

ダクタイル鉄管
ガイドブック

Ductile Iron Pipe Guidebook

一般社団法人

日本ダクタイル鉄管協会

ダクタイル鉄管ガイドブック

Ductile Iron Pipe Guidebook



一般社団法人
日本ダクタイル鉄管協会

刊行にあたって

日本での鑄鉄管の歴史は、新橋-横浜間に鉄道が開通した1872(明治5)年に横浜の馬車道のガス灯に使用された英国製のガス管により始まりました。また、水道管としては、1887(明治20)年に創設された横浜水道で使用された、同じく英国製の鑄鉄管がその第一歩でした。その後、1890年(明治23)頃から、鑄鉄管の国産化が始まり、現在に至るまで主に水道管・ガス管用として広く採用されてきました。

私ども日本ダクタイル鉄管協会は1947(昭和22)年に鑄鉄管倶楽部として設立し、昨年70周年を迎えました。この間、当協会では、事業体の皆様のご意見をお聞きし、研究開発を積み重ねた結果、製品内容としては鑄鉄管からダクタイル鉄管へ、印籠継手から耐震継手へと大きな進化を遂げてきました。

また同時に、規格の制定、便覧・技術資料などの作成、技術講習会・セミナーの開催、協会誌『ダクタイル鉄管』の発行など多岐にわたる活動を継続して参りました。

これらの活動の中で、水道事業者、コンサルタント、施工業者の方々からダクタイル鉄管の技術を一冊にまとめてほしいとのご要望を数多くいただき、このたび、『ダクタイル鉄管ガイドブック』を上梓する運びとなりました。このガイドブックは、ダクタイル鉄管の歴史から継手性能・設計施工に至るまでわかりやすくまとめておりますので、日々の業務にご活用いただければ幸いです。

最後になりますが、本ガイドブックの刊行にあたりましては、水道事業者、関連団体、関連企業の皆様から多くの貴重なデータ・資料をご提供いただき、また多くのご助言をいただきましたことをここに厚くお礼申しあげます。

2018(平成30)年1月1日

一般社団法人
日本ダクタイル鉄管協会
会長 久保俊裕



ダクタイル鉄管

— その長い歴史とライフラインへの貢献

直管

溶解



- 01 溶解——熱風キュボラから溶けた鉄(溶湯)が出湯され、この後、球状化処理などが行われる。

鑄造



- 02 遠心力鑄造——高速回転させた金型の中に樋(トラフ)を介して溶湯を流し込み、遠心力作用下で固め、管を形成する。

内面塗装



- 05 エポキシ樹脂粉体塗装——下地処理後、加熱された管の内面にエポキシ樹脂粉末を吹き付ける。



- 06 モルタルライニング(遠心力施工)——高速回転させた管内面にモルタルを投入してライニングを形成する。

外面塗装



- 07 亜鉛合金溶射——GX形管では耐食性向上のために下地に亜鉛合金溶射が施される。

ダクタイル鉄管の製造工程

異形管

- 10 鑄型セット——下型に中子をセットしている状況。この後、上型がセットされる。



焼 鈍



- 03 焼鈍——管に強靱性・延性を持たせるために高温で焼きなましを行う。

加 工



- 04 加工——受口内面の旋盤加工などを行う。



- 08 合成樹脂塗装——回転させた管の外面に合成樹脂塗装が施される。



- 09 出荷を待つ完成品。

- 11 鑄込み(置き注ぎ)
——静置した鑄型に溶湯を流し込む。その後自然放冷された管は鑄造されたままで強靱性・延性を有する。



- 12 加工——中・大口径管は受口内面の旋盤加工を行う。異形管の加工は、管を固定し刃物を回転させながら行う。

近代水道の創設と鑄鉄管



- 13 1887(明治20)年創設の横浜水道に使用された日本最初の水道用普通鑄鉄管。
 印籠継手 公称内径18インチ[写真左]・15.5インチ[写真右]/英国R.レイドロー社製



- 14 1889(明治22)年に創設された函館水道の配水管布設工事。
 印籠継手 公称内径4~12.5インチ/英国R.レイドロー社製



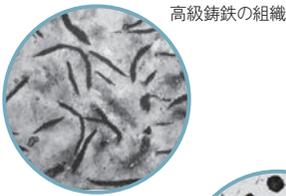
- 15 立吹回転式鑄造装置。この鑄造法により国産鑄鉄管の量産化が可能になった。
 1910(明治43)年ごろ



- 16 1911(明治44)年、京都「御所水道」に採用された普通鑄鉄管。受口には「宮」の鑄出し記号がある。
 印籠継手 公称内径18インチ

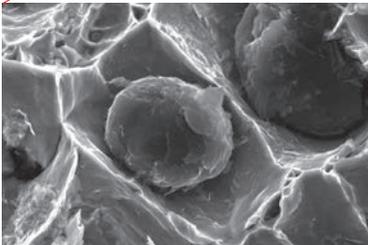
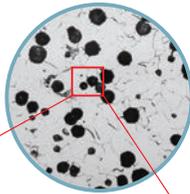


17 1954(昭和29)年、阪神市町村組合(現阪神水道企業団)が初めて採用したダクタイル鉄管の第1号。
印籠継手 呼び径1350/置注立吹鑄造法



高級铸铁の組織

ダクタイル铸铁の組織



19 黒鉛の形状を菊の花びら状から球状にすることにより鉄基地の連続性が高まり、強度が大幅に向上した。



18 遠心力鑄造法による初のダクタイル鉄管。
1957(昭和32)年、桂沢上水道組合(現桂沢水道企業団)創設時の導水管、送水管に採用された。
メカニカルジョイント形 呼び径700/サンドレジン遠心力鑄造法



20 八戸市水道部(現八戸圏域水道企業団)が1974(昭和49)年に全国に先駆けて採用した世界初となる耐震継手管。
S形 呼び径1000

より強靱なダクタイル鉄管へ

耐震継手管路

災害に強い 管路



21 大きな地盤変位にも追従できる耐震継手管路



22 GX形 呼び径400／東北電力／
2013(平成25)年



23 GX形 呼び径300／筑後市上下
水道課／2014(平成26)年



24 GX形 呼び径75／朝霞市水道
部／2017(平成29)年



25 NS形 (E種管) 呼び径100 (ポリエチレンスリーブ被覆) / 富山県南砺市上下水道課 / 2015 (平成27) 年



26 NS形 呼び径800・1000 (ポリエチレンスリーブ被覆) / 沖縄県企業局 / 2007 (平成19) 年



27 S50形 呼び径50 / 盛岡市上下水道局 / 2015 (平成27) 年



28 GX形 呼び径150・250、NS形 呼び径300、GX形 呼び径150 / 福島県白河市水道部 / 2013 (平成25) 年

貯水槽

災害に強い管路



29 UF形 呼び径2600 1500m³ / 横浜市水道局 / MM21高島中央公園内 / 2004(平成16)年

水管橋



30 FT形 呼び径350 L=22.23m / 浜松市上下水道部 / 2011(平成23)年



31 FGX形 呼び径150 L=19.8m / 岡山市水道局 / 2016(平成28)年

地震・津波・風水害を乗り越えたダクタイル鉄管

- 32 1995(平成7)年の阪神・淡路大震災では耐震継手管路の被害はなかった。
S形 呼び径700 / 神戸市水道局



- 33 2011(平成23)年の東日本大震災でも津波・地震による耐震継手管路の被害はなかった。
NS形 呼び径150 / 仙台市水道局 / 若林区荒浜



- 34 NS形 呼び径300 / 石巻地方広域水道企業団 / 石巻市(日本製紙(株)石巻工場前)



- 35 NS形 呼び径200 / 石巻地方広域水道企業団 / 東松島市



- 36 2004(平成16)年の台風21号による県道51号線の路肩崩壊の際も耐震継手管路の被害はなかった。
SⅡ形 呼び径400 / 秋田市上下水道局 / 浜田



- 37 2004(平成16)年9月4日の集中豪雨による路肩崩壊の際も耐震継手管路の被害はなかった。
NS形 呼び径200 / 千葉市水道局 / 若葉区

PIP (パイプインパイプ) 工法

非開削工法



38 PⅡ形 呼び径1100／福岡市水道局／1997(平成9)年／カーブ推進さや管内配管



39 PN形 呼び径800 キャスタバンド付き／高知市上下水道局／2012(平成24)年／長距離曲線シールド内配管

推進工法



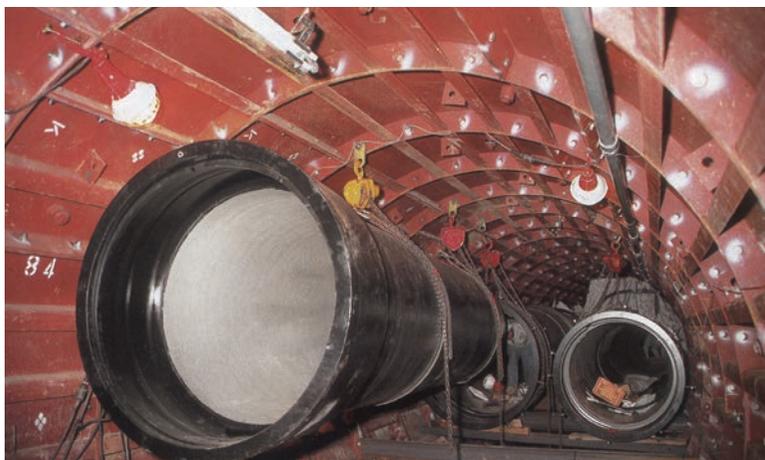
- 40 US形推進管 呼び径1800／国土交通省九州地方整備局大分河川国道事務所／1998(平成10)年／奥田第一排水樋管改築工事



- 41 US形推進管 呼び径1000／秋田市上下水道局／2010(平成22)年／手形山配水幹線縦断曲線推進

シールド内配管

非開削工法



42 US形 呼び径1200・1000 2条配管／京都市
上下水道局／2000(平成12)年／山ノ内系宇
多野幹線配水管および山ノ内高区送水管



43 US形 呼び径1500／東京都水道局
／2005(平成17)年／鍾水小山給水
所～町田市小山町間送水管

山岳トンネル内配管



44 U形 呼び径2000／東京都水道局／
1982(昭和57)年／馬蹄形暗渠



45 K形 呼び径600／山形県企業局／2006(平成18)年／
導水トンネル

共同溝内配管



46 S形 呼び径1000 / 広島市水道局 / 1994(平成6)年ごろ / 牛田～基町間幹線共同溝



47 S形 呼び径600(大阪広域水道企業団 / 工業用水)、SⅡ形・K形 呼び径400(泉佐野市上下水道局 / 上水道) / 1994(平成6)年 / りんくタウン共同溝

傾斜配管



48 K形 呼び径300・500・700 / 島根県企業局石見地域開発事務所 / 1984(昭和59)年 / 江津浄水場～江津調整池間(傾斜角43%)

場内配管



49 K形 呼び径1200・2000 / 大阪市水道局 / 1994(平成6)年 / 柴島浄水場

農業用水



50 ALW形 呼び径350 / 関東農政局大井川用水農業水利事業所 / 2015 (平成27) 年



51 T形 呼び径400・900・600・500 / 沖縄総合事務局宮古伊良部農業水利事業所 / 2015 (平成27) 年

さまざまなライフラインへの貢献

電力



52 S形 呼び径2000 / 東北電力 / 2014 (平成26) 年 / 新潟火力発電所 (冷却用海水取水管)



53 K形 呼び径2100 / 四国電力 / 1968 (昭和43) 年 / 西条火力発電所 (冷却用海水取水管)

海外でも活躍

57 T形・TLH形 呼び径1600 / アラブ首長国連邦アブダビ / 2009年 / 山越えの大口徑高水圧管路

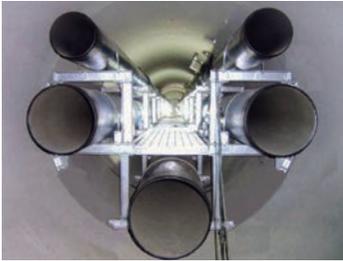


中東



58 T形 呼び径1400×2条・1200×2条 / カタール / 2016年 / 海水淡水化プラント～ドーハへの送水管

下水道



54 NS形 呼び径400・600・700／日本下水道事業団(堺市上下水道局)／2008(平成20)年／下水処理水を工業用水として送水



55 U形 呼び径2200／東京都下水道局／1985(昭和60)年／砂町処理場内導水渠

鉄道トンネル



56 K形 呼び径350／JR東日本／2002(平成14)年／総武トンネル内の湧水送水管



59 T形・TLH形 呼び径300～1200／バンラデシュ共和国／2011～2014年／カルナフリプロジェクトの資材置場

アジア



北米

60 S形 呼び径1800・1500・1650／米国シリコンバレー(サンノゼ市)／2016年／導送水管で採用された米国初の大口径耐震継手管

グラビア 所蔵・写真提供先

[所蔵]

- 13…横浜市水道局
- 16…京都市上下水道局(クボタ阪神工場保管)
- 18…桂沢水道企業団

[写真提供]

- トビラ、4～8、10～12、17、19、20、21、57～60…クボタ
- 1～3、43、45…栗本鐵工所／9…日本鑄鉄管
- 14…函館市水道局／15…柴柳徹郎氏
- 27、34～37…日本ダクタイル鉄管協会

以下は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)からの転載

- 22、23、28…95号／24…96号／26…82号／25、31…99号
- 29…76号／30…91号／32、33…100号／38…65号
- 39…92号／40…67号／41…89号／42…70号／44…35号
- 46…58号／47、49…59号／48…38号／50、51…98号
- 52…97号／53…7号／54…85号／55…40号／56…73号

Chapter

1

ダクタイトイル鉄管の歴史……37

1-1	鉄の歴史 ……………	38
1-1-1	古代の金属……………	38
1-1-2	製鉄方法の変遷……………	40
	1 古代から近代にかけての製鉄方法／2 日本の古代製鉄方法／3 近代の製鉄方法 茶話01 鉄の起源	
1-1-3	普通鑄鉄から高級鑄鉄へ……………	44
	1 鑄鉄の歴史／2 鑄鉄と鋼の違い	
1-1-4	ダクタイトイル鉄管の誕生……………	48
	1 高級鑄鉄管の開発／2 ダクタイトイル鉄管の幕明け 茶話02 『キューボラのある街』 茶話03 ダクタイトイル鑄鉄との出会い 茶話04 ダクタイトイル鑄鉄の特許	
1-2	鑄物の歴史 ……………	57
1-2-1	古代の鑄物……………	57
	1 鑄物の始まり／2 日本の鑄物	
1-2-2	鉄製鑄物の発展……………	59
	1 産業革命と鉄製鑄物の普及／2 大砲と鉄製鑄物の発展 茶話05 キャプテンクックの大砲	
1-3	水道管の歴史 ……………	62
1-3-1	水道と鑄鉄管……………	62
	1 古代の水道管／2 鑄鉄管の登場 茶話06 古代から水を管路で運んだ理由 茶話07 ガス用鑄鉄管第1号	
1-3-2	日本の水道と鑄鉄管……………	68
	1 江戸時代の水道／2 近代水道と鑄鉄管	

1-3-3	近代水道創設期の鑄鉄管	70
	1 鑄鉄管国産化の歴史／2 近代水道創設期の鑄鉄管とメーカー／3 現存する近代水道創設期の鑄鉄管／4 長期間使用された鑄鉄管／5 近代水道創設期の布設工事／6 近代水道拡張期の鑄鉄管とメーカー	
1-4	製造方法の歴史	81
1-4-1	鉄管(直管)製造方法の変遷	81
	1 概要／2 置注鑄造法の変革／3 遠心力鑄造法への発展／4 太平洋戦争前後の鑄鉄管／5 ダクタイル鉄管の開発／6 サンドレジン型遠心力鑄造法／7 ウェットスプレー遠心力鑄造法 茶話08 鑄鉄管国産化への情熱 茶話09 火事と間違えられた鑄造作業 茶話10 日中技術交流	
1-4-2	現在の製造方法	93
	1 直管の製造工程／2 異形管の製造工程	
1-4-3	鑄鉄管メーカーの変遷	104
1-5	継手の歴史	108
1-5-1	主な継手の変遷	108
1-5-2	印籠継手	122
	1 ソケット形、印籠接手、C形／2 クボタ耐震細管／3 印籠接手(クボタイト接合)／4 名古屋市形	
1-5-3	メカニカル継手	127
	1 メカニカルジョイント形、A形／2 B形、特殊メカニカル形(大阪府形)／3 AⅡ形、K形	
1-5-4	プッシュオン継手	132
	1 ハイタイトジョイント(タワラ形)／2 タイトン形、T形	
1-5-5	内面継手	135
	1 U形	
1-5-6	離脱防止継手	136
	1 FN形、N形、W形／2 KF形、UF形	
1-5-7	伸縮離脱防止継手	140
	1 特殊カラー継手、SW形／2 S形、SⅡ形、US形／3 NS形、NS形(E種管)	

／4 GX形／5 S50形	
1-5-8 フランジ継手	149
1-5-9 推進工法用の継手	153
1 TC形推進管／2 U形推進管、UF形推進管、T形推進管、US形推進管／ 3 U形中間スリーブ	
1-5-10 PIP(パイプインパイプ)工法用の継手	158
1 タイトン形など／2 P I形、P II形／3 PN形／4 PN形(JP方式及びCP方式)	
1-5-11 農業用水用の継手	165
1-5-12 下水道用の継手	168
1 下水道用ダクタイル鉄管／2 下水道推進工法用ダクタイル鉄管	
1-5-13 ガス管用の継手	172
1-5-14 ケーブル保護管用の継手	177
1-6 耐震継手の誕生	180
1-6-1 管路耐震化への取組み	180
1 開発の経緯／2 最初の管路挙動試験	
1-6-2 耐震継手の開発	182
1 耐震継手の試作／2 S形の開発／3 耐震継手管路のコンセプト／4 耐震 継手の技術基準 茶話11「ライフライン」の始まり	
1-7 工法の歴史	186
1-7-1 工法の種類	186
1-7-2 開削工法	188
1-7-3 シールド内配管工法	192
1 歴史／2 実績	
1-7-4 山岳トンネル内配管工法	197
1 歴史／2 実績	
1-7-5 推進工法	200
1 歴史／2 実績	
1-7-6 PIP工法——既設管内挿入工法	206

1 歴史／2 実績	
1-7-7 PIP工法——新設さや管内押込・持込工法	211
1 歴史／2 実績	
1-7-8 共同溝内配管	213
1 歴史／2 実績	
1-8 輸出の歴史	218
1-8-1 戦前——1929～1945(昭和4～20)年	218
1-8-2 戦後——1946(昭和21)年～現在	221
茶話12 ウンプランの泉の鋳鉄管	

Chapter
2

ダクタイル鉄管の特性……227

2-1 ダクタイル鋳鉄の種類と特性	228
2-1-1 組織と種別	228
1 組織／2 日本におけるダクタイル鋳鉄の種別／3 米国におけるダクタイル鋳鉄の種別	
2-1-2 特性	230
1 物理的性質／2 機械的性質／3 工業的性質	
2-1-3 用途	236
2-2 ダクタイル鉄管の管体・管路の特性	238
2-2-1 材料	238
1 化学組成／2 組織／3 物理的・機械的性質	
2-2-2 強度	239
1 へん平荷重に対する強度／2 モルタルライニングの補強効果／3 曲げに対する強度／4 衝撃に対する強度／5 破裂水圧	
2-2-3 耐食性	249
1 長期使用の実績／2 各種耐食性試験結果／3 管路の耐食性とその実績	

2-2-4	耐電食性	258
	1 電食の原理／2 耐電食性／3 継手部の電気抵抗値／4 耐電食性調査結果	
2-2-5	耐震性	262
	1 耐震継手管路の特徴／2 地震時の管路挙動観測による耐震性の検証	
2-2-6	長期耐久性	268
	1 経年管の事故率(他管種との比較)／2 経年管の機械的性質／3 経年管の継手性能	
2-3	ゴム輪	271
2-3-1	ゴム輪の物性	271
2-3-2	ゴム材料の種類	273
	1 SBR(スチレンブタジエンゴム)／2 EPR(EPM、EPDM)(エチレンプロピレンゴム) ／3 NBR(アクリロニトリルブタジエンゴム)／4 CR(クロロプレンゴム)／5 NR(天然ゴム)	
2-3-3	ゴム材料の耐薬品性	276
2-3-4	長期耐久性	279
2-3-5	水質衛生性	280
2-4	ボルト・ナット	281
2-4-1	材料の種類	281
2-4-2	耐食性	282

Chapter
3

ダクタイトイル鉄管の継手.....283

3-1	概要	284
3-1-1	継手の分類	284
	1 機能による分類／2 工法による分類／3 接合方法による分類／4 接合形式による分類／5 現在の主な継手	

3-1-2	インフラ分野と接合形式	287
3-1-3	直管の管厚の種類	288
3-1-4	異形管の種類と接合形式	290
3-2	水密機構	293
3-2-1	印籠継手	293
3-2-2	メカニカル継手	294
	1 A形の水密機構 / 2 B形の水密機構 / 3 AⅡ形の水密機構 / 4 K形の水密機構	
3-2-3	プッシュオン継手	296
	1 T形の水密機構	
3-3	性能確認試験	298
3-3-1	試験の種類	298
3-3-2	試験方法	299
	1 水密性試験 / 2 曲げ水密性試験 / 3 離脱防止性試験 / 4 曲げ強度試験 / 5 曲げ試験 / 6 繰返し曲げ水密性試験 / 7 繰返し伸縮水密性試験 / 8 不均力作用時の埋設管挙動確認試験 / 9 繰返し曲げ気密性試験 (ガス管用の継手) / 10 圧縮試験	
3-4	耐震継手	320
3-4-1	GX形 (呼び径75～300・400)	320
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-4-2	S50形 (呼び径50)	325
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-4-3	NS形 (呼び径75～1000)	328
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-4-4	NS形 (E種管) (呼び径75～150)	333
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-4-5	S形 (呼び径1100～2600)	336
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	

3-4-6	US形(呼び径800～2600)	338
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-4-7	UF形(呼び径800～2600)	341
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-5	一般継手	344
3-5-1	K形(呼び径75～2600)	344
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-5-2	T形(呼び径75～2000)	347
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-5-3	U形(呼び径800～2600)	350
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-6	フランジ継手	352
3-6-1	フランジ形(呼び径75～2600)	352
	1 開発の背景 / 2 フランジの種類 / 3 継手の構造 / 4 特徴	
3-7	PIP工法用の継手	355
3-7-1	PN形(JP方式及びCP方式)(呼び径300～1500)	355
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 推力伝達構造 / 5 基本性能 / 6 特徴	
3-7-2	PN形(呼び径300～1500)	358
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-7-3	PⅡ形(呼び径300～1350)	361
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 基本性能 / 5 特徴	
3-8	推進工法用の継手	364
3-8-1	T形推進管(呼び径250～700)	364
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 特徴	
3-8-2	U形推進管(呼び径800～2600)	365
	1 開発の背景 / 2 管の種類 / 3 継手の構造 / 4 特徴	

3-8-3	US形推進管 (呼び径800～2600)……………	367
	1 開発の背景／2 管の種類／3 継手の構造／4 特徴	
3-9	貯水槽用の継手 ……………	369
3-9-1	LUF形 (呼び径1500・2000・2600)……………	369
	1 開発の背景／2 管の種類／3 継手の構造／4 基本性能／5 特徴	
3-10	水管橋用の継手 ……………	371
3-10-1	FGX形 (呼び径75～300)……………	371
	1 開発の背景／2 管の種類／3 継手の構造／4 基本性能／5 特徴	
3-10-2	FT形 (呼び径75～350)……………	373
	1 開発の背景／2 管の種類／3 継手の構造／4 基本性能／5 特徴	
3-11	下水道用の継手 ……………	376
3-11-1	NS形 (Gタイプ)(呼び径200・250)……………	376
	1 開発の背景／2 管の種類／3 継手の構造／4 基本性能／5 特徴	
3-12	農業用水用の継手 ……………	378
3-12-1	ALW形 (呼び径300～1500)……………	378
	1 開発の背景／2 管の種類／3 継手の構造／4 基本性能／5 特徴	
3-13	その他の継手 ……………	380
3-13-1	ガス管用の継手GMⅡ形 (呼び径100～300)(JDPA規格外)…	380
	1 開発の背景／2 管の種類／3 継手の構造／4 基本性能／5 特徴	
3-13-2	ガス管用の継手TM型 (呼び径100～300)(JDPA規格外)……	382
	1 開発の背景／2 管の種類／3 継手の構造／4 基本性能／5 特徴	
3-13-3	ケーブル保護管用の継手GX-I形 (JDPA規格外)……………	384
	1 開発の背景／2 管の種類／3 継手の構造／4 基本性能／5 特徴	
3-13-4	海外におけるダクタイル鉄管の継手と規格 ……………	386
	1 継手／2 規格	

Chapter
4ダクタイトル鉄管の
内外面防食……387

4-1	外面防食 ……………	388
4-1-1	外面腐食の要因 ……………	388
	1 埋設管の外面腐食／2 外面腐食に影響を及ぼす諸因子	
4-1-2	外面防食の種類 ……………	396
4-1-3	合成樹脂塗装 ……………	396
4-1-4	外面耐食塗装 ……………	399
	1 防食性／2 傷部に対する防食性／3 水質衛生性	
4-1-5	外面特殊塗装 ……………	402
4-1-6	ポリエチレンスリーブ法 ……………	403
	1 防食性／2 適用判定基準	
4-2	内面防食 ……………	407
4-2-1	内面腐食の要因 ……………	407
	1 内面腐食に影響を及ぼす諸因子／2 上水道における因子／3 下水道における因子／4その他	
4-2-2	内面防食の種類 ……………	410
4-2-3	エポキシ樹脂粉体塗装 ……………	411
	1 塗料／2 塗装方法／3 塗膜の品質／4 塗膜の密着性・耐真空性／5 たわみに対する塗膜の安全性／6 塗膜の耐水性／7 塗膜の耐酸性／8 塗膜の耐摩耗性／9 塗膜の耐候性／10 塗膜の水質に及ぼす影響／11 塗装の浸出水の変異原性試験／12 塗膜の性能	
4-2-4	モルタルライニング ……………	423
	1 配合と施工／2 シールコート／3 モルタル材料の強度／4 ライニングの密着性・耐真空性／5 たわみに対する安全性／6 耐振動性・耐衝撃性／7 各種防食塗料の耐食性／8 耐海水性／9 熱による影響／10 ひび割れ(ヘアクラック)の許容幅	
4-2-5	液状エポキシ樹脂塗装 ……………	440
	1 水道用液状エポキシ樹脂塗料／2 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料	

Chapter
5

ダクティル鉄管の設計……445

5-1	水理設計 ……………	446
5-1-1	概要 ……………	446
	1 水理設計の必要性／2 配水方式	
5-1-2	水理公式 ……………	448
	1 水理公式の種類／2 ヘーゼン・ウィリアムス公式／3 マニング公式	
5-1-3	管径の算定 ……………	454
	1 管径の算定方法／2 最小動水圧および流速など	
5-1-4	管網解析 ……………	458
	1 管網解析の手法／2 管網解析ソフト／3 管網解析に必要なデータ	
5-1-5	水撃圧 ……………	460
	1 水撃圧の概要／2 水撃圧対策	
5-2	管厚計算 ……………	464
5-2-1	基本的な考え方 ……………	464
	1 荷重／2 安全率／3 管厚の種類／4 管厚の種類の選定	
5-2-2	管厚計算 ……………	467
5-2-3	たわみ量の計算 ……………	470
5-2-4	構造計算 ……………	472
5-2-5	静水圧(最大使用圧力)と水撃圧 ……………	473
5-2-6	土かぶりによる土圧 ……………	474
	1 土圧の計算式／2 土の単位体積重量と内部摩擦角／3 埋戻しによる管体発生応力／4 土かぶりが深い場合の管体発生応力／5 埋戻しと水圧負荷による管体発生応力	
5-2-7	路面荷重による土圧 ……………	481
	1 土圧の計算式／2 路面荷重による管体発生応力／3 トラック通過による衝撃の影響	
5-2-8	管底支持角 ……………	488

5-2-9	特殊な条件の管厚計算	489
5-3	耐震設計	490
5-3-1	基本的な考え方	490
	1 耐震継手管路の特徴／2 耐震継手管路の実績／3「水道施設の技術的基準を定める省令」による規定／4 管種・継手ごとの耐震性能の評価／5『水道施設耐震工法指針・解説2009』による規定	
5-3-2	耐震設計の留意点と耐震計算	496
	1 基本的な考え方／2 地質・地形上検討を要する場所／3 構造上検討を要する場所とその対策／4 管路における地震対策／5 地割れなどに対する変位吸収量／6 管軸直角方向の変位吸収量／7 液状化対策／8 側方流動の発生が予想される地域での管路設計／9 一般埋設部の耐震計算(応答変位法)	
5-4	異形管防護	504
5-4-1	異形管防護の必要性	504
5-4-2	不平均力の大きさ	505
5-4-3	一体化による異形管防護	506
	1 一般事項／2 早見表による一体化長さの決定／3 一体化長さ早見表の適用例／4 適用時の留意点／5 計算式による一体化長さの求め方	
5-4-4	防護コンクリートによる異形管防護	524
	1 一般事項／2 水平曲管部の設計方法／3 垂直上向きに不平均力がかかる場合／4 垂直下向きに不平均力がかかる場合	
5-4-5	防護コンクリートと離脱防止継手の併用	528
5-4-6	離脱防止金具(特殊押輪など)による異形管防護(参考)	529
5-5	付属設備	531
5-5-1	付属設備の種類	531
5-5-2	バルブ	532
	1 機能および設置場所／2 種類／3 弁筐とバルブ室	
5-5-3	空気弁	538
	1 機能および設置場所／2 種類／3 耐震性	
5-5-4	消火栓	541

1 機能および設置場所／2 種類	
5-5-5 減圧弁(オート弁)	544
1 機能および設置場所／2 種類	
5-5-6 逆止弁	546
1 機能および設置場所／2 種類	
5-5-7 緊急遮断弁	547
1 機能および設置場所／2 種類	
5-5-8 排水設備	549
1 機能および設置場所	
5-5-9 人孔	550
1 機能および設置場所	
5-5-10 給水装置	551
1 機能および設置場所／2 分水栓／3 穿孔工事	
5-6 軟弱地盤対策	556
5-6-1 軟弱地盤の定義	556
5-6-2 沈下量の計算	558
1 計算方法／2 計算例	
5-6-3 沈下対策	561
1 変位吸収量の算定／2 急激な地盤変状に対する対策／3 伸縮可とう管による変位量の吸収	
5-6-4 軟弱地盤での配管の留意点	566
5-7 配管設計	567
5-7-1 配管設計の手順	567
1 配管設計の全体概要／2 関連資料	
5-7-2 管径の算定	568
1 動水勾配線／2 管路の路線	
5-7-3 埋設位置および深さ	570
1 埋設位置／2 埋設深さ	
5-7-4 管種の決定	573

5-7-5	管割設計	577
	1 管割設計の手順／2 管厚の選定／3 接合形式の選定／4 直管、異形管およびバルブの種類／5 GX形呼び径150の設計事例／6 管割に必要な寸法など／7 管割図および材料明細書	
5-8	貯水槽	593
5-8-1	概要	593
5-8-2	種類と継手の構造	595
	1 必要貯水量／2 公称貯水容量／3 種類／4 継手の構造／5 貯水方式による分類／6 給水方式の種類	
5-8-3	安全性の検討	600
5-8-4	設計の留意点	602
	1 設置場所／2 管の基礎／3 管の支持方法／4 液状化に対する安全性	
5-8-5	設置例	603
5-8-6	メンテナンス	604
5-8-7	滞留水の水質確保	605
	1 モデル実験の結果／2 現地調査結果(その1)／3 現地調査結果(その2)	
5-9	水管橋	609
5-9-1	概要と形式	609
	1 概要／2 形式／3 付帯設備／4 キャンバと塗装	
5-9-2	設計	613
	1 設計の手順／2 構造計算に使用する諸数値	
5-9-3	設置事例	614
5-9-4	橋梁添架配管	615

6-1	開削工法	618
6-1-1	施工手順	618
6-1-2	掘削断面	619
	1 標準掘削断面／2 掘削幅の計算例	
6-1-3	事前調査	624
	1 地盤調査／2 地下水の調査／3 現場周辺状況の調査／4 埋設物(埋設管・地下構造物)の調査／5 試験掘削(試掘)	
6-1-4	掘削工	626
	1 土留め／2 掘削／3 埋設物の防護	
6-1-5	管の取扱いと保管	630
	1 管の吊り方／2 保管方法／3 接合部品の取扱いの留意事項／4 現場での配列方法	
6-1-6	基礎	633
	1 普通地盤の場合／2 軟弱地盤の場合	
6-1-7	配管	634
6-1-8	接合	637
	1 GX形直管 呼び径75～300・400／2 S50形直管 呼び径50／3 NS形直管 呼び径500～1000／4 US形直管 呼び径800～2600／5 K形	
6-1-9	切管の方法	654
	1 切管用／2 現地挿し口加工／3 切管時の挿し口加工形状／4 切管時の端面の防食方法／5 内面エポキシ樹脂粉体塗装の補修／6 モルタルライニングの補修	
6-1-10	ポリエチレンスリーブの施工	661
	1 施工方法／2 施工の留意点	
6-1-11	防護コンクリートの施工	663
6-1-12	通水(水張り)および洗管	663
6-1-13	水圧試験	664
	1 管路水圧試験／2 テストバンドによる水圧試験(呼び径900以上)	

6-1-14	埋戻し	669
	1 留意点/2 管路の浮上りに対する検討	
6-2	PIP (パイプインパイプ) 工法	671
6-2-1	工法開発の経緯	671
6-2-2	概要と特徴	672
6-2-3	施工手順	673
6-2-4	接合形式と異形管の種類	673
	1 接合形式/2 直管の種類/3 異形管の種類	
6-2-5	新設管の設計	680
	1 呼び径の選定/2 管厚計算/3 耐震性能	
6-2-6	押込工法	682
	1 概要/2 新設管の仕様決定/3 通過検討/4 新設管の屈曲角度の算出/ 5 挿入力の算出/6 施工方法	
6-2-7	持込工法	694
	1 概要/2 新設管の仕様決定/3 平面における通過検討/4 断面における 通過検討/5 施工方法	
6-2-8	推力伝達部材を用いた押込工法	699
	1 推力伝達部材の役割/2 推力伝達部材を用いた押込工法(事例1)/3 推力 伝達部材を用いた押込工法(事例2)	
6-3	トンネル内配管工法	708
6-3-1	トンネルの種類	708
6-3-2	概要	708
6-3-3	トンネルの断面形状	710
6-3-4	接合形式	711
6-3-5	管の安全性検討(充填方式)	714
	1 トンネルを永久構造物として取り扱う場合/2 トンネルを仮設構造物と して取り扱う場合	
6-3-6	曲線部の配管検討	723
	1 通過検討/2 直管または切管による曲線配管/3 曲管との組合せ検討	

6-3-7	不平均力に対する安全性検討	725
6-3-8	立坑	727
	1 管の吊下しスペース／2 発進・到達立坑寸法／3 発進立坑基地の占有スペース／4 到達立坑の寸法	
6-3-9	シールド内配管	731
	1 施工手順／2 使用機材／3 配管手順／4 水圧試験／5 トンネルと新設管の間隙の充填工	
6-4	推進工法	737
6-4-1	推進工法用ダクティル鉄管	737
	1 種類／2 挿し口の接合形式によるZ'寸法	
6-4-2	推力に対する抵抗力	739
6-4-3	推進工事	740
	1 調査／2 推進工法の選定	
6-4-4	推進時の留意点	745
	1 アダプタの取付け／2 有効長／3 管内養生	
6-4-5	推進力の計算式	747
	1 基本式／2 下水道協会式／3 泥水・土圧式算定式／4 泥濃式算定式	
6-4-6	管厚計算	754
6-4-7	曲線推進	755
	1 留意点／2 接合形式／3 直管または切管による曲線配管の検討／4 許容耐荷力／5 配管例／6 発進・到達立坑	
6-4-8	支圧壁	758
6-4-9	補助工法	760
6-4-10	滑材、裏込めおよび注入孔	761
	1 滑材／2 裏込め／3 注入孔／4 注入孔の水圧試験方法	
6-4-11	管の接合	763
	1 T形／2 U形(LS方式)	
6-4-12	計測工	765
6-5	共同溝内配管	766

6-5-1	共同溝の概要	766
6-5-2	共同溝の断面および線形	767
6-5-3	設計	768
	1 接合形式／2 管受台／3 管の安全性検討／4 異形管防護／5 外面塗装／6 耐震設計	
6-5-4	施工	773
6-6	その他特殊工法	775
6-6-1	水中配管工法	775
	1 概要／2 特徴／3 塗装／4 施工事例	
6-6-2	ダクタイル井戸ケーシング工法	780
	1 概要／2 特徴／3 施工手順	
6-6-3	既設管破碎布設替え工法	783
	1 PTP(パイプツッパイプ)工法／2 PAP(パイプアフターパイプ)工法	
6-6-4	不断水工法	788
	1 不断水分岐工法／2 不断水バルブ設置工法	

Chapter
7

ダクタイル鉄管管路の 維持管理.....791

7-1	維持管理の概要	792
7-1-1	基本的な考え方	792
	1 定義／2 現状と課題／3 点検実施状況／4 効率化のポイント／5 予防保全の必要性	
7-1-2	管種別の維持管理	798
	1 機能障害と原因／2 管種別機能障害	
7-1-3	維持管理情報の活用	799
	1 マッピングシステムの活用／2 維持管理情報／3 維持管理情報の活用例	
7-1-4	アセットマネジメント	802
	1 概要／2 効果	

7-2	維持管理業務	805
7-2-1	漏水調査	805
7-2-2	漏水補修	807
	1 不断水による修理／2 断水による修理	
7-2-3	バルブの点検	808
7-3	水道管路の機能評価	811
7-3-1	総合的機能評価	811
	1 改善必要度評価／2 物理的評価／3 重要度を用いた総合評価	
7-3-2	水理・水質機能評価	813
	1 基本条件の把握／2 管網解析モデルの検証／3 水理機能評価／4 水質機能評価	
7-3-3	健全度評価	819
	1 埋設年数による評価／2 事故率による評価／3 管外面からの評価／4 管内面からの評価／5 鑄鉄管の判別方法	
7-3-4	耐震性評価	831
	1 管路被害予測式／2 地震時の給水確率／3 地震対策	
7-4	下水道圧送管路の内面腐食診断	839
7-4-1	硫化水素に起因する硫酸腐食	839
7-4-2	内面腐食診断	840
7-4-3	ピグ洗管	842
7-4-4	圧送管路の複数化	844
付録1	「JDPA G 1046 PN形ダクタイル鑄鉄管」の規格改正(2017年10月).....	846
付録2	ダクタイル鉄管管路を高水圧で使用した事例.....	847
付録3	ダクタイル鉄管の塗覆装および表示などの規格年表.....	848
付録4	モルタルライニング管の流速係数 C_H 値の経年変化実測例.....	850
付録5	ダクタイル鉄管の荷重によるたわみ量.....	852
付録6	円環の構造計算式.....	854
付録7	鑄鉄管の管厚計算式.....	865
付録8	ダクタイル鉄管およびバルブのメーカーマーク.....	868
付録9	近代水道創設当時の鑄鉄管のメーカーマーク例.....	870
付録10	接合形式の名称の由来.....	872

Appendix 付録.....843

ダクタイル鉄管の 歴史



Chapter 1

1-1

鉄の歴史

1-1-1 古代の金属

我々の先祖が、いつごろから金属の存在を知り、どのようにしてこれを利用するかを知ったかは定かではないが、最初は自然界に存在した銅を使い始めた。紀元前3600年ごろに、シュメール人が銅(融点:1083℃)に錫(融点:232℃)を混ぜることにより、融点が低い青銅(融点:錫が30%で700℃)ができることを発見した。青銅は流動性が良く^{いもの}鑄物(金属を溶かして型に入れて造ったもの)にしやすく、さらに銅よりも強度があるため斧、剣、壺などが造られた。

鉄は、年間約2000個程度が落下してくると推定されている鉄隕石(鉄ニッケル合金からなる隕石で、約90%が鉄の成分のものある)を繰り返し加熱して叩くなどの加工をして、首飾りなどにしていた。その後、木炭で加熱して、砂鉄や鉄鉱石から鉄を取り出したが、最高温度が1200℃程度と低いために、不純物が多く、これも繰り返し叩いて不純物などを取り除いて利用した。当時の鉄で鑄造(鑄物で造ること)しても、もろかったために鉄の鑄物は普及しなかった。

近年、トルコのカマン・カレホユック遺跡で、鉄滓(鉄を製錬したときの残りかす、スラグ)と鉄の小刀が発見され、紀元前20世紀ごろに鉄の製錬技術があったことが明らかになった。紀元前15世紀ごろに鉄器文化を築いた強国ヒッタイト帝国が紀元前1190年ごろに滅亡した後、周辺諸国に製錬技術が広まり、本格的に鉄が使われ始めた。

●図表1-1-1-1 主な金属の歴史区分^{注1}

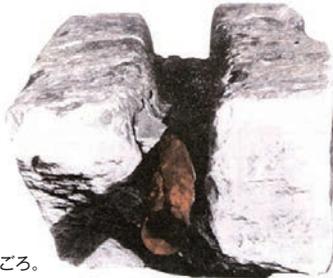
年代	区分
紀元前5000～紀元前3000年ごろ	銅器時代
紀元前3500～紀元前1500年ごろ	青銅器時代
紀元前1500年ごろ～	鉄器時代

注1 金属の歴史区分は、地域により異なるので概略である。

中国では、殷(紀元前17世紀ごろ～紀元前1046年)時代の鉄器が発見されているが、鉄器が多く使われるようになったのは春秋時代(紀元前770～紀元前403年)である。

日本では、弥生時代(紀元前3世紀中ごろ～紀元後3世紀中ごろ)に青銅器と鉄器がほぼ同時に大陸から入ってきた。古代のたたら製鉄は、古墳時代後期(6世紀ごろ)からといわれているが、1～2世紀ごろにはすでに山陰地方などで行われていた説もある。

●図表1-1-1-2 アブシル神殿の銅製給水管



紀元前2750年ごろ。

ベルリン博物館所蔵、日本銅センター写真提供

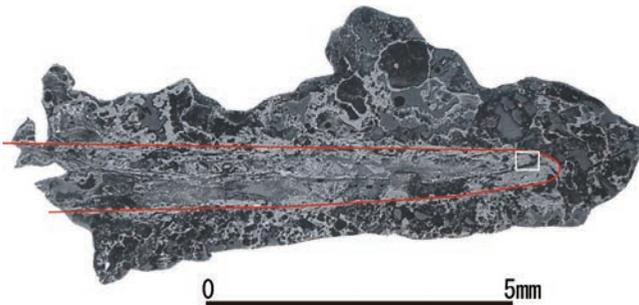
●図表1-1-1-3 アラジャホユック遺跡出土世界最古の黄金装鉄短剣



紀元前2300年ごろ、刀身部(約18cm)はニッケルが7%含まれることから鉄隕石を打ち延ばして作られた可能性が高い。

アナトリア文明博物館(トルコ・アンカラ)所蔵、中井泉教授(東京理科大学)撮影・写真提供

●図表1-1-1-4 カマン・カレホユック遺跡の鉄製小刀



紀元前2100～紀元前1950年ごろ。

中近東文化センター附属アナトリア考古学研究所、赤沼英男氏(岩手県立博物館)写真提供

1-1-2 製鉄方法の変遷

1 古代から近代にかけての製鉄方法

●図表1-1-2-1 古代から近代にかけての製鉄方法

時代	製鉄方法
紀元前2000年以前	鉄の製錬 ^{注1} 技術がなく、鉄隕石（鉄とニッケルの合金で鉄を90%含むものもあった）を加熱、加工して鉄器を造った。
紀元前2100～ 紀元前1950年ごろ	カマン・カレホユック遺跡から鉄滓、鉄製小刀などが発見され、鉄の製錬が、ヒッタイトよりも400年程度さかのぼって行われていたことが分かってきた。アナトリアのキュルテベから出土した粘土板によると鉄は金の5倍、銀の40倍の価値があった。
ヒッタイト時代 紀元前1680～ 紀元前1190年ごろ	たたら炉で、鉄鉱石や砂鉄を鞆 <small>ふいご</small> を使い比較的低い温度（700～800℃）に加熱して溶かさずに酸素分を除去（還元）し、炭素量が少ない「錬鉄」を造る直接製鉄法であった。ヒッタイトの滅亡後に鉄の技術が広まったとされている。
日本の古墳時代 400年ごろ～	砂鉄と木炭を鞆を使い比較的低温で加熱し、三日三晩かけてケラ（素鋼塊）を造る。ケラの中の良質な部分は、炭素量1～1.5%で、その他の不純物元素の含有量が極めて低い純粋な鉄鋼材料である玉鋼になる。玉鋼は日本刀を造るには欠かせない材料である。
西洋の反射炉時代 1690年～ 18世紀末ごろ	最初は、青銅の溶解や鉛、銅の精錬に使用され、17世紀末に銑鉄の熔融に用いられたが、キュボラ（コークスの燃焼熱を利用して鉄を溶かすためのシャフト型溶解炉）の導入により時代遅れになり衰退していった。
日本の反射炉時代 1850年代～	日本では幕末に薩摩藩、佐賀藩、伊豆韭山、水戸藩などで造られ、開国の技術革新の象徴となった。反射炉で精練された鉄を用いて、佐賀藩では多くの大砲が造られた。
ベッセマー法 1855年に特許を 取得	溶けた銑鉄から良質な鋼を大量に生産できる世界初の安価な精錬 ^{注2} 法で、鋼の大量生産を可能にした。溶銑に空気を吹き込んで酸化還元反応を起こし、鉄から炭素、不純物を取り除いた。
高炉時代の幕開け 1857（安政4）年～	<small>おおしまたかどう</small> 大島高任が指導し、現在の岩手県釜石市大橋に、翌年には同橋野に仮高炉が建設された。その後、橋野に1番、2番、3番高炉を建設し、栗林を含めて13基の高炉が建設された。この功績から大島は「近代製鉄の父」と呼ばれた。当時は鉄鉱の高炉と木炭を原材料とし、水車を用いた送風機で加熱して鉄鉱石を熔融した。
高炉による連続出銑 1886年（明治19）年	<small>よこやまきゆうたろう</small> 横山久太郎らによる苦心惨憺の末に49回目で連続出銑に成功し、翌年釜石山田中製鉄所を設立した。日本の製鉄事業の幕開けでもあり、新日鉄住金釜石製鉄所の創立記念にもなっている。
コークス銑の時代 1894（明治27）年～	国内初のコークス銑の生産に成功し、良質な銑鉄ができるようになった。その後、釜石山田中製鉄所において国内での鑄鉄管の製造が盛んになっていく。現在では、高炉の規模が大きくなり、水車の送風が熱風炉を用いるなど技術の進歩はあるが、現在でも基本構造は変わっていない。

注1 「製錬」は、鉄を鉄鉱石などから取り出すこと。

注2 「精錬」は、不純物の多い鉄から純度の高い鉄を取り出すこと。「製錬」とは区別している。

2 日本の古代製鉄方法

古墳時代(3世紀半ば～7世紀末ごろ)のたたら炉は、^{ふいご}鞴が造られていなかったために、自然風によって木炭の燃焼が行われていた。その後、日本列島においては、鞴を用いた「たたら製鉄方法」で砂鉄、岩鉄、餅鉄(「べいてつ」とも呼ばれる)を原料に和鋼や和ズクが製造された。和鋼や和ズクは^{おおかじ}大鍛冶と呼ばれる^{たんれん}鍛錬(鉄を打ってきたること)によって^{だつたん}脱炭(炭素量を減らすこと)され、和鉄に加工され、刀や農具の原材料となった。古代から中世においては、露天型の「野だたら」から始まり、その後は、屋根を備えた全天候型の「永代たたら」になり同じ場所での製造が可能になった。

たたら製鉄の中で日本独自の和式製鋼法に「たたら吹き(タタラ)」があり、現在は出雲安来地方の島根県仁多郡横田町(現:奥出雲町)にある「^{にっとうほ}日刀保たたら」が、日本刀や刃金の素材である^{たまはがね}「玉鋼」を唯一製造している。通常、日本刀に使用される玉鋼は「ケラ押し法(直接製鉄法)」により製鋼される。

日刀保たたらでは、^{とうしょう}刀匠(刀を造る人)が使う玉鋼を造るために、年数回程度たたら吹き^のの操業が行われている。

●図表1-1-2-2 たたら製鉄の種類

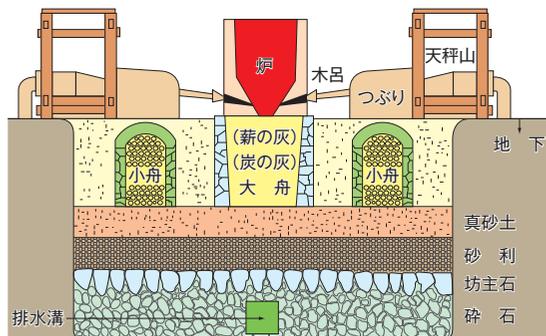
たたら製鉄の種類	主な原料	製品
ケラ押し法(直接製鉄法) ^{注1}	真砂(まさ)砂鉄	日本刀、刃物、工具など
ズク押し法(銑鉄を造る)	赤目(あこめ)砂鉄	鋳物、包丁鉄など

注1 ケラ押し法は、1回の作業が三昼夜、約70時間かかるので三日押しともいわれ、1回の作業を一代という。一代に投入する砂鉄13トン、木炭約13トンに対し、できるケラ(素鋼塊)は2.8トン、ズクは0.8トンしかない。このケラの中でも良質部分は玉鋼として、日本刀などの材料になった。2.8トンのケラから採れる玉鋼は1トン以下であった。

たたら吹きは江戸時代中ごろに完成したもので、「近世たたら製鉄法」といわれている。炉に風を送る^{てんびんふいご}鞴は、17世紀の終わりに発明された天秤鞴が用いられ、これにより製鉄炉の大型化が進んだ。

近世たたら製鉄法(図表1-1-2-3)は、長方形の炉の炭火の中に「鉄穴流し」で集めた細かい砂鉄を入れ、天秤鞴で大量の空気を送り込み、現在の製鉄に比べると低温で還元させることでリン(P)、硫黄(S)やケイ素(Si)など不純物が少ない銑鉄を造ることができるケラ押し法による製鉄法である。銑鉄は炉を壊して取り出した。炉の地下に排水溝を設け真砂土層で水分を遮断しさらに薪や炭の灰を詰めた大舟、子舟を設けるなど地下部分を乾燥させる工夫が凝らしてある。

●図表1-1-2-3 近世たたら製鉄法



日立金属ホームページより

3 近代の製鉄方法

日本では、1857(安政4)年に日本初の洋式高炉である大橋高炉(岩手県釜石市)が誕生し、連続出銑に成功した。ここに始まる近代製鉄法はその後どのように進歩するのであろうか。

明治初期から鉄の生産は高炉で行われていたが、当時は鉄鉱石と木炭を入れ水車を使った箱型竈による製鉄を行っていた。1890(明治23)年ごろ釜石鉱山田中製鉄所では、イタリアのグレゴリーニ製銑鉄よりも安価で優れた銑鉄が製造できるようになった。また、同社は1894(明治27)年に国内初のコークスを用いた銑鉄の生産に成功している。その製鉄技術は、1901(明治34)年の官営八幡製鉄所の創業に大きく貢献することになった。

鉄鉱石から鉄ができる仕組みは、まず、高炉の上から鉄鉱石とコークスを入れ、高炉の中に鉄鉱石とコークスの層を造り、下の方から熱い空気とコークスの燃焼を補うための微粉炭なども一緒に送風する。この熱風でコークスを燃やすことにより高炉内は約2000℃に達し、一酸化炭素や水素が発生して鉄鉱石を還元していく。熱風は高炉の中を上昇し鉄鉱石を加熱すると共に還元し、スラグ(不純物)は軽いため高炉の上部に浮かぶ。溶けた鉄はコークスの間を通過して下降していき、さらに還元して炭素(C)5%弱の溶銑となり炉の下に溜まり銑鉄は高炉の底の出銑口から取り出される。

そうした製鉄方法の基本的な構造は現代も明治時代も同じであるが、高炉の規模、精錬技術、熱風の再利用やスラグの活用などは大きく進化している。

鉄の起源は、137億年前に起きた「ビッグバン」と呼ばれる大爆発で生まれた宇宙の誕生までさかのぼる。宇宙の温度が約3000°Cに下がると、水素やヘリウムができ、それらが徐々に集まりガス状の雲となり「恒星」をつくった。

太陽の約8倍から30倍の大きさの恒星の場合、引力で核融合が起こり、その反応は鉄で終わる。さらに温度、圧力が高まると、陽子は電子と衝突して中性子に変化し、このとき「ニュートリノ」を放出し、恒星の中心部が崩壊する。これが「超新星爆発」だ。その巨大な超新星爆発により、鉄をはじめとする核融合の産物は、星屑の塵となって宇宙に飛び散り、漂うことになる。原子番号の順番で鉄以降の元素、すなわちニッケルからウランまでは、この超新星爆発で誕生した。

宇宙を漂っている水素やヘリウム、その他の元素が集積して新たに太陽ができる。太陽に吸収されなかった塵は、太陽の赤道面に円盤状に集ま

り、それが集積して多くの惑星が誕生した。約46億年前に誕生した地球は、太陽に近いために比較的重い元素が集まって形成されたので、鉄がその構成の主体となっている。重力によって「中心核」「マントル」「地殻」の3つの層から成る構造ができ上がった。

地球は、鉄、ケイ素、マグネシウムの酸化物から成り立ち、最も量が多いのが鉄で、総重量の約34.6%を占める。このように地球は鉄の塊だ。地球の誕生当時大気には酸素はなく、酸性雨により地表の鉄分が溶けて海に入り、約27億年前になると「シアノバクテリア」が生まれ、光合成により海中に酸素を出し、その酸素と鉄が結び付いて固体の酸化鉄となって沈澱して堆積し「鉄鉱床」を形成した。そして約15億年前に、その鉄鋼床が海底の隆起によって地上に現れ、いわゆる鉄鉱石の鉱山ができあがった。

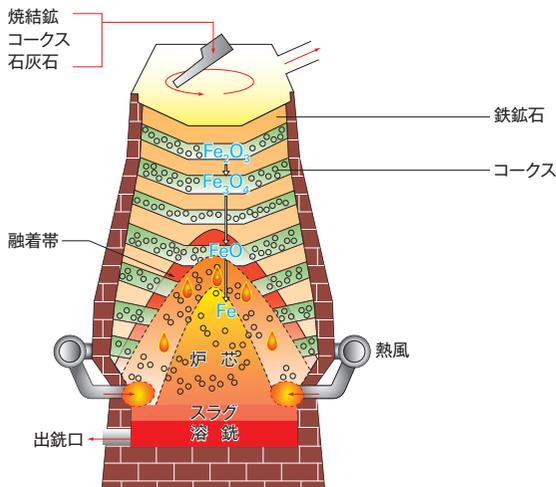
鉄鉱石の可採埋蔵量は2320億トンで、他の金属に比べると桁違いに多い。

●地球上の可採埋蔵量

種 類	可採埋蔵量(億トン)
鉄鉱石	2320
ボーキサイト	280
銅	6.1
亜鉛	3.3
鉛	1.2
ニッケル	1.1

山崎一正「モノづくりの原点——科学の世界VOL.15 鉄の起源」
[NIPPON STEEL MONTHLY]2014年10月号(新日鐵住金)より(要約)

●図表1-1-2-4 高炉のしくみ



高炉の中では、炉頂から炉底に鉄鉱石が下りる過程で、個体、気体、液体が共存するダイナミックな反応プロセスが進行している。

- [還元反応1] (200-800℃)
 $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$
 [還元反応2] (300-800℃)
 $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}_2$
 [還元反応3] (400-1000℃)
 $\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$
 [還元反応4] (950℃以上で)
 $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$

奥野嘉雄「モノづくりの原点——科学の世界VOL.8 鉄鉱石から鉄を生み出す(上)」【NIPPON STEEL MONTHLY】2004年1・2月号(新日鐵住金)より

1-1-3 普通鑄鉄から高級鑄鉄へ

1 鑄鉄の歴史

鉄は数千年前から造られて多くの鉄製品を生み出したが、なぜ鉄の鑄物はあまり造られなかったのであろうか。ヒッタイト時代の製鉄法も日本のたたら製鉄も温度が低く、炭素量が少ない「錬鉄」を造る直接製鉄法であり、鉄(純鉄の溶融温度は1536℃)を溶融させるまで温度を上げることも難しかった。また鉄を構造物や鑄鉄管など大量に造ることも産業革命までは難しかった。鑄鉄は炭素量が多く(約2%以上)、溶解温度が約1150℃と低く、湯流れ(溶けた鉄の流動性)も良いことから鑄造には向いていた。鑄鉄は、炭素、ケイ素などを含む合金であり、主な成分の役割を図表1-1-3-1、鑄鉄の種類と成分を図表1-1-3-2に示す。

古代中国では、戦国時代(紀元前476～221年)に鉄の鑄造は始まっていたが、現在の鑄鉄と比較するとチル化した黒鉛の晶出(液体から結晶が出てくること)がない硬くてもろい組織であったために、鉄の鑄造技術がヨーロッパに14世紀まで伝わらなかった原因の一つとも考えられる。

●図表1-1-3-1 鑄鉄の主要5成分

成分	鑄鉄に与える影響
炭素(C)	ケイ素が約1%以上で炭素が増すと、強さと硬さが減少し湯流れが良くなる。
ケイ素(Si)	強さ、硬さが減少し湯流れが良くなる。
マンガン(Mn)	強さをいくらか増し、硫黄の悪影響を減らす。
リン(P)	硬さを増し湯流れを良くする。
イオウ(S)	材質を脆くし健全性を害する。

●図表1-1-3-2 鑄鉄の種類と主要5成分

(単位:%)

成分	普通鑄鉄 ^{注1}	高級鑄鉄	ダクタイル鑄鉄
炭素(C)	2.5~4.5	3.2~3.8	2.8~3.7
ケイ素(Si)	<3.0	1.4~2.2	1.7~2.5
マンガン(Mn)	0.3~1.0	0.4~0.6	0.2~0.4
リン(P)	0.5以下	0.5以下	0.1以下
イオウ(S)	0.02~0.13	0.1以下	0.015以下

注1 普通鑄鉄の成分は定かではないが一例を紹介する。リンは高級鑄鉄と同じとした。

英国産業革命の推進役の一つに製鉄業がある。大量の鉄需要に必要な木炭が不足し、石炭が利用されるようになったが、石炭に含まれる硫黄分が鉄をもろくしたため、1709年にエイブラハム・ダービー1世が石炭を蒸し焼きにしたコークスを用いたコークス製鉄法を開発し、1750年ごろから英国全土に普及した。1760年代にジョン・スミートンが高炉用の送風機を改良し、これにワット式蒸気機関を用いることで送風がより効率化され、1784年になるとヘンリー・コートが攪拌製錬法を發明し、より良質な錬鉄が生産できるようになった。英国では、鉄の生産が需要に追いつかないため、スウェーデンから炭素をほとんど含有しない錬鉄を輸入し、炭素を加えるという方法で鋼の生産を行っていた。

鉄の本格的な大量生産は、溶けた銑鉄から鋼を大量生産できる安価な製法をヘンリー・ベッセマーが1855年ごろに發明してからである。ベッセマー転炉は、溶鉄に空気を吹き込んで酸化還元反応を起こし、鉄から不純物を取り除く方法で、炭素の燃焼によって鉄の温度も上がり、溶けた状態を保持しやすいメリットもあった。

ケイ素の含有量の高いチル組織がない鑄鉄ができるのは、1779年に英国でアイアンブリッジが造られたところからである。産業革命の18世紀まで、鑄鉄は硬くてもろいものとされ、粘^{ねば}りがあり、焼き入れて硬くできる鍛造品の鉄が重宝された。鑄鉄

の性質を大きく変えたのは、ケイ素含有量の増加であり、チル化しない鑄鉄により、鑄鉄は産業を支える重要な素材へと変化していき、橋や大砲など多くの鑄物製品が造られた。

2 鑄鉄と鋼の違い

鉄にもいろいろな種類があり、特に鑄物を造るための鑄鉄(Cast iron)と構造材としてよく用いられる鋼(Steel)について簡単に紹介する。

ひと口に鉄といっても各種の不純物を含んでいる。例えば炭素、ケイ素、マンガ
ン(Mn)、リン、硫黄、銅(Cu)などである。炭素は最も重要な役割を持っており、鉄材
の分類の基本となっている。

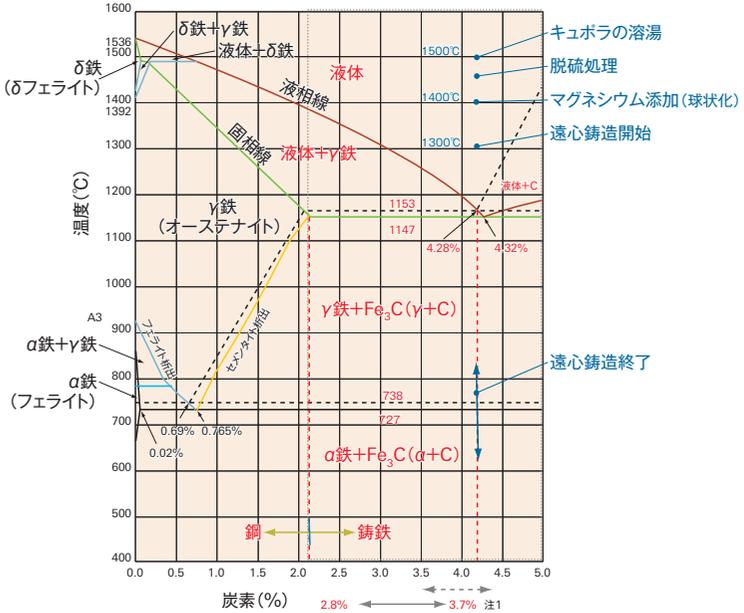
鑄鉄とは鉄(Fe)を主成分とし、炭素を2%以上含有する鑄物の製造に用いる鉄-
炭素(Fe-C)系合金である。厳密には、炭素をオーステナイト(γ 鉄)の最高固溶炭素
量(C2.0%)まで含むものを鋼と呼び、炭素量が2.0%を超えるものは鑄鉄と定義され
る。鑄鉄ではこのように比較的多くの炭素が含まれているので一般的は基地(鉄部)
に黒鉛として晶出する。もっとも炭素2.0%を境にして、性質が急激に一変するの
ではなく、また、他の元素の存在によっても多少影響される。鑄鉄は、融点^きが比較的
低いことや、溶湯(鉄の溶けたもの)の流動性^{ようとう}が高いために鑄物を造るのに適している。

鑄鉄には、ねずみ鑄鉄(片状黒鉛鑄鉄)である普通鑄鉄(黒鉛の形状がみみず状)と高級
鑄鉄(黒鉛の形状が菊の花びら状)などがあり、基地組織中の黒鉛が球状化しているも
のはダクタイル鑄鉄と呼ばれ、黒鉛部にかかる応力集中が小さいため機械的性質が
優れている。なお、「JIS G 5526-2014 ダクタイル鑄鉄管」に規定されている機械的
性質は、引張強さ $420\text{N}/\text{mm}^2$ 以上、伸び10%以上となっている。

●図表1-1-3-3 鑄鉄、ダクタイル鑄鉄、鋼の違い

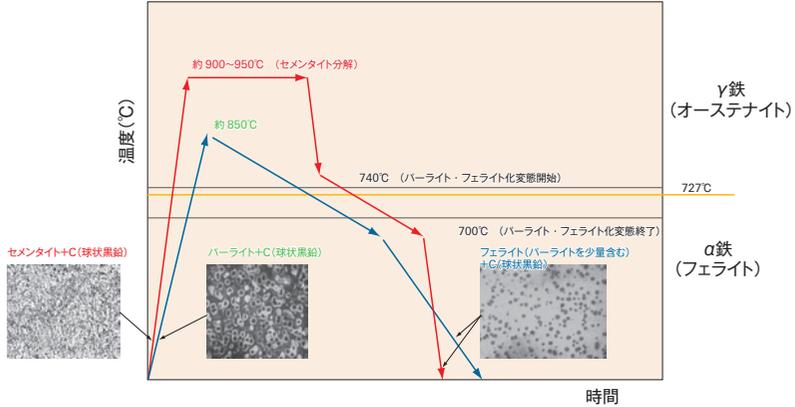
種 類	炭素量	融 点	溶湯の流動性
鑄鉄	2%以上	約1150℃～1200℃	高い
ダクタイル鑄鉄	2%以上	約1150℃～1200℃	中間
鋼	2%未満	約1400℃以上	低い

● 図表1-1-3-4 鉄の状態図 小管(金型管)の事例



備考 ←→ は、ダクタイル鑄鉄の炭素量を示す。(C=2.8%~3.7%)
 ←---→ は、炭素当量(CE)=炭素量(C)+シリコン(Si)×1/3を示す。
 Si=2%とすると、CE=3.5%~4.4%となる。
 鉄の状態図は、炭素量と鉄の温度との関係を示したものである。グラフは、Si=0%の場合を示し、鑄鉄は点線で示してある。
 青色で示す溶湯から遠心鑄造の温度帯などは、呼び径などにより異なるので目安である。
 また遠心鑄造時に急冷するので、鉄の基底はセメンタイトもしくはパーライトになる。

● 図表1-1-3-5 焼鈍のイメージ図



備考 赤線は比較的小さな呼び径で鑄造後に鉄の基底がセメンタイト化した場合を示す。
 青色は比較的大きな呼び径で鑄造後に鉄の基底がパーライト化した場合を示す。
 加温開始温度や焼鈍時間は製造工程や呼び径などにより異なる。
 焼鈍炉では、γ鉄とα鉄の境界である727°C前後でゆっくりと冷やすことで、フェライト・パーライト化を行う。

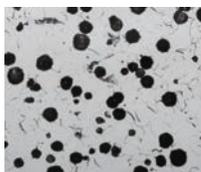
Chapter 1
Chapter 2
Chapter 3
Chapter 4
Chapter 5
Chapter 6
Chapter 7
Appendix

●図表1-1-3-6 鋳鉄、ダクタイル鋳鉄、鋼(SS400)の組織

高級鋳鉄

ダクタイル鋳鉄

鋼(SS400)



1-1-4 ダクタイル鉄管の誕生

日本において普通鋳鉄管が製造されるようになったのは、明治初期のことである。その後、昭和に入って高級鋳鉄管が製造されている。そして、より強靱なダクタイル鉄管が登場するのは戦後のことである。その開発の軌跡を宮岡正「鋳鉄管からダクタイル鉄管へ」(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より要約して紹介する。

●図表1-1-4-1 日本における鋳鉄管の材質の変遷

鋳鉄管の材質	年度	抗張力または引張強さ ^{注1}	規格名
普通鋳鉄管 (抗張力20kg/mm ² 未満) 1890(明治中期)年代～ 1940(昭和15)年代ごろ	1914(大正3)年	18000 lb/in ²	上水協議会規格
	1925(大正14)年	12.5kg/mm ²	上水協議会規格
高級鋳鉄管 (抗張力20kg/mm ² 以上) 1930(昭和5)年代～ 1970(昭和45)年代中ごろ	1933(昭和8)年	25kg/mm ²	水道協会規格
	1954(昭和29)年	20～25kg/mm ²	JIS G 5521
ダクタイル鋳鉄管 (球状黒鉛鋳鉄) 1954(昭和29)年～	1959(昭和34)年	36kg/mm ²	鋳鉄管協会仕様書
	1961(昭和36)年	38kg/mm ²	JWSA G 105
	1973(昭和48)年	40kg/mm ²	JWWA G 110
	1982(昭和57)年	42kg/mm ²	JIS G 5526
	1989(平成元)年	420N/mm ²	JIS G 5526

注1 規格書の単位を使用した。lb/in²はポンド/スクエアインチを示す。

1 高級鋳鉄管の開発

第一次世界大戦1914～1918(大正3～大正7)年末期、ドイツでは鋼製の砲弾が間に合わなくなってきた。これを急ぎ補充するために、大量生産できる鋳鉄に目をつ

け、鑄鉄の強度向上の研究に総力を挙げた末、「高強度鑄鉄」を開発して砲弾の製造に利用した。

このことがきっかけとなり、戦乱が収まった後も世界列強は兵器の高度化、大型化を競うようになった。特に鑄鉄はあらゆる兵器や産業機械の基礎素材でもあったため、世界の冶金学界で鑄鉄の性能向上の研究熱が高まった。特にドイツ、英国、日本では著名な学者が成果を上げ始めた。

近代の鑄鉄においては、大きな発明の一つとして、1920(大正9)年代にG.F.ミーハンとO.スモージーが発明した高強度片状黒鉛鑄鉄の製造方法がある。この技術により、高強度鑄鉄が安定的に造られるようになった。

普通鑄鉄管は、キューボラ(鉄を溶かすためのシャフト型溶解炉)で銑鉄のみを溶解していた。図表1-1-4-2のように普通鑄鉄の白く見える基地(黒鉛以外の鉄部)をフェライト組織という。その中にみみず状に黒く見えるのが黒鉛である。普通鑄鉄は、強度のない黒鉛が長く大きいため、みみず状黒鉛が鉄部を分断するようになり、全体的に強度が弱くなる。

普通鑄鉄管は衝撃などに弱いという短所があり、これをなんとか改善したいというのが、水道界挙げての悲願であった。そこで関係者の間では、世界の趨勢に遅れないために鑄鉄の強度向上を大いに研究していた。その結果ようやく昭和の初めごろから成功を収めつつあった。そして1930(昭和5)年には高級鑄鉄管の製造に成功し、1933(昭和8)年には日本水道協会の「水道用高級鑄鉄管規格」となり、従来の管のもろさが改善され、内圧、外圧に対する安全性が向上した。

高級鑄鉄の場合は、黒鉛の量が少なく、ちょうど菊の花びらを一枚一枚ばらまいたように見え、かつ黒鉛の形も小さい。灰色に見える基地はパーライト組織といい、パーライトはフェライトよりも強度がある上に、鉄部の連続性も高い。

このように基地組織の違いと黒鉛の量およびその形状と分散の仕方の違いが普通鑄鉄管と高級鑄鉄管の強度の違い(2倍)となっている。

●図表1-1-4-2 普通鑄鉄管と高級鑄鉄管の組織

普通鑄鉄管



高級鑄鉄管



具体的には、従来の上水協議会規格では鑄鉄管の抗張力は $12.5\text{kg}/\text{mm}^2$ と決められていたものを一挙に $25\text{kg}/\text{mm}^2$ へと上げることができた。

このような高級鑄鉄管を造ることができたのも、キュポラで溶解する際の配合に不純物の少ない厳選した鋼片(炭素量が少ない)を加え、その量の加減、それを溶解するための温度を高める技術、型への鑄込温度を上げて湯流れを良くする手段、炉や鑄物砂の耐火度の改善など一連の緻密な研究を地道に積み重ねた成果である。

2 ダクタイル鉄管の幕明け

もう一つの大きな発明としては、1947(昭和22)年に英国においてH.モンロー、W.J.ウィリアムらが発見したカルシウム-ケイ素(Ca-Si)などを用いた球状黒鉛鑄鉄の生成である。翌年には、H.モンロー、グラントらがセリウム(Ce)添加による球状黒鉛鑄鉄の生成を報告した。これとほぼ同時期にA.P.ガニユバン、K.D.ミルスとN.B.ピリングらが、安価なマグネシウム(Mg)添加による球状黒鉛鑄鉄の生成を報告した。この発見により、粘りがありかつ強靱な強度(高級鑄鉄の1.6倍)を有するダクタイル鑄鉄の製造ができるようになった。

茶話 02

『キューポラのある街』

ご年輩の方は、1962(昭和37)年に『キューポラのある街』という映画が封切られたことを覚えておられるかも知れない。世の「サクリスト」ならずとも忘れ難い映画であった。黒煙とともに赤い焔ほのおをメラメラと吹き上げるキュポラ(cupolafurnace)は、日本の戦後復興の、それに続く高度成長の象徴のひとつでもあった。当時の若い現場の鑄造技術者にとっては、キュポラのある赤い焔しゅつとうこう、出湯口からほとぼしり出る赤熱の溶鉄、飛び散る汗玉かんだま(こぼれ散る溶鉄の小滴)を見れば、血湧き肉踊るのを覚えたものであった。「やけど」などはちょっとした勲章みたい

なもの。現代では時間当たり100トンの溶湯を造り出す巨大なキュポラも活躍しており、黒煙も粉塵も出ず、大気を汚すガスも出さないクリーンシステムに変革されているが、鉄を溶かす基本原理は今も昔も変わらない。

キュポラが普及する以前の溶鉄炉が甑こしきと呼ばれていたが、これは米を蒸す甑と形が似ていたことに由来する。キュポラの語源も溶解炉ではなく、円塔を意味するラテン語cupulaからきている。水を飲むコップも形が似ており、同じ語源からきたといわれている。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より(抜粋)

① GHQ(ゼネラル・ヘッド・クォーター)の図書館

GHQとは、あのマッカーサー元帥の最高司令部のことである。1945(昭和20)年8月30日、黒いサングラスにパイプをくわえて丸腰で厚木飛行場に降り立った彼の姿写真は、脳裏に焼きついたままで、消そうにも消しようがない年配の方も多と思う。以後、皇居前の第一生命ビルに本拠を構え、占領下の日本の政治、経済、教育その他一切を支配したのが、このGHQであった。

一方の日本はといえば、多くの人々が喰うに食なく、住むに家なく、働くに職なく、希望もなく、^{りゅうげんひご}流言蜚語こそあったが諸外国の情報はまったくなく、ただただ右往左往してさまよっていた。

そんな中で、GHQの管理下にCIE図書館というのがあった。CIEとは、Civil Information & Education Section(民間情報教育局)のことで、その図書館は情報飢餓の中にあって、米国社会を伺い知る唯一の窓口であった。

② 一冊の技術誌が呼んだ春の嵐

1949(昭和24)年の春、CIE図書館の書棚に1冊の技術雑誌が現われた。『IRON AGE』の1949年2月号である。世界最大のニッケル生産会社インターナショナル・ニッケル社のミルスらが発表した論文が載っていた。これぞダクタイル鑄鉄発明の衝撃的な発表であった。

実はその前年の1948(昭和23)年5月のAFS(米国鑄物協会)の大会において公表されたものであるが、9カ月後にペーパーに載って日本にやってきたのであった。

この論文を見た日本国中の鑄鉄に関係する学者、研究者、企業の間に関心セッションが巻き起こったのであった。その論文は簡潔なものであった。要約すると、論文の前半は「ねずみ鑄鉄の溶湯にマグネシウムまたはその合金を適量加えて、鑄鉄中に残留するマグネシウムの含有量を0.04%以上とすれば、鑄鉄中の黒鉛が球状化した」というのである。

③ 「菊の花びら」から「ボール」へ

そもそも鑄鉄中の黒鉛とはどこからきて、どんな役目を持っているのだろうか。ひと口に鑄鉄といっても、鉄100%でなく、種々の不純物、例えば炭素、ケイ素、マンガン(Mn)、リン、硫黄、その他を含有することは先に述べた通りで、特に炭素は鋼と鑄鉄の区別をつける主人公である。

同じ鑄鉄においても、炭素は、その量が多くなればなるほど、鑄鉄の溶融温度が低くなり、つまり湯流れが良くなり鑄造しやすくなるという大切な役目を果たしている。そしてこの炭素は、最終的には鉄との化合物としてではなくて、大部分が黒鉛結晶として晶出してくる。

では、ミルスらの発明、つまり黒鉛がボール状になったということが、なぜ嵐のようなセンセーションを巻き起こすのか、その意義はどういうことなのか。

すでに述べたように、黒鉛の形がみみず状よりは菊の花びら状の方が鑄鉄の強度は強くなった。それをさらに追究するなら、球状つまりボールのようにするのが窮極である。なぜならば、同じ黒鉛量でも板状や片状よりは球状の方が表面積が最小になるからである。言い換えると、黒鉛の球状化ということは学者・技術者の長年の夢であり、理想であった。それが突如としてミルスらによって現実のものとなったので大騒ぎになったわけである。

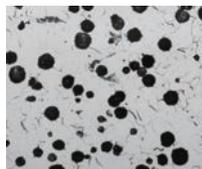
図表1-1-4-3にダクタイル鑄鉄(球状黒鉛鑄鉄)の顕微鏡写真の一例を示した。高級鑄鉄のそれと比べると違いがよく分かる。

『IRON AGE』誌の論文の後半は次のように続く。「このようにしてできた球状黒鉛を有する鑄鉄は、鑄放しで40kg/mm²以上の抗張力と3%以上の伸びを有している。よってこれを“ダクタイル鑄鉄Ductile Cast Iron”(略してDCI)と命名した」と。ダクタイル(Ductile)とは、延性のある、強靱なという意味の形容詞である。

●図表1-1-4-3 ダクタイル鑄鉄と高級鑄鉄の組織

ダクタイル鑄鉄

高級鑄鉄



4 ダクタイル鑄鉄発明の動機

では次なる興味は、当然ダクタイル鑄鉄発明の動機はなんであったのかということになる。1968(昭和43)年秋10月、DCIライセンス国際会議が京都洛北宝ヶ池の国際会議場で開催された。発明者のミルスも初来日し、世界各国から集まった学者、研究者、経営者らから尊敬と感銘をもって迎えられた。会議は盛大で、かつ極めて友好裡に大成功を収めた。

さて、会議終了後の一日、久保田鉄工(現クボタ)はミルスを武庫川工場(現阪神工場)に招き懇談する機会があった。その折、若い技術者達を前にしてミルスの語った話の概要は次のようであった。

米国でも第二次大戦中に重要基礎資源であるクロム(Cr)が不足した。当時インターナショナル・ニッケル社はニハードと称する4.5%Ni-1.5%Cr合金鑄鉄を生産していたが、そのクロムも潤沢に使えないことになりかねないために、その代替品を考えることになった。そこで、大学を出て3年目の若い冶金技術者であるミルスに特命された。ミルスはニハードのクロムに代えて、ジルコン($ZrSiO_4$)、セリウム、ビスマス(Bi)、銅、テルル(Te)、マグネシウムなどを試みる実験計画を上司に提出したが、「マグネシウムは危険だから駄目」とはねつけられたが屈せず、ついに彼の熱意に負けて「お前に任せる」ということになった。実験は進み、ある日マグネシウムを使ったところ、爆発的な反応を起こした。飛び散った鉄の一部を拾い上げ、顕微鏡で組織を調査しているうちに黒鉛が球状化しているのを発見した、という訳であった。

研究の過程においては、ちょっとした事象をついそのまま見逃してしまったり、あるいは気が付いたにしても特異現象、例外的事象として顧みない例が多いものである。それを徹底的に追究したところに思いがけない大発見の機会がひそんでいた訳であり、ミルスの偉大さのゆえんもこの点にあった。

茶話

03

ダクタイル鑄鉄との出会い

私が学生の頃、1949(昭和24)年前後、京都大学の大学院で金属の流動性、つまり熔融状態になったときの湯流れ(鑄造性)の研究を行っていた。毎日、鉄やアルミニウムを溶解し、その成分や溶解温度を変えて、別に考案した測定器に鑄込んで、その流動性を定量的に測定することを行っていた。例の『IRON AGE』誌を見たのはその頃であった。さっそく試してみようということになった。マグネシウム(Mg)の比重は1.74で鉄(Fe)の7.2に比べると遥かに軽く混合させにくい。さらにマグネシウムの熔融温度は約650°C、沸騰温度は1100°Cで、いずれも鉄の熔融温度よりも遥かに低い。その上、非常に発火しやすい。これはご存知のよ

うに、ひと昔前までは写真を撮るときにポツとマグネシウムの粉を発火させていた通り。つまり爆発する。その危険は十分解っているのに、それなりの対策を考え、溶鉄の上にマグネシウム片を添加する瞬間に、るつぼの上から蓋をするようにして実施したが、想像以上の爆発反応が起こり、溶鉄はすべて飛び散り、サンプルをとることすらできないで、手足のやけどだけが残った次第であった。

その後、少しずつ工夫しながら試行錯誤しているうちに、ようやく丸くなった黒鉛にお目にかかることができるようになった。懐かしい思い出である。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より(抜粋)

5 ダクタイル鑄鉄の工業化

インターナショナル・ニッケル社は20Ni-50Mgを使ったようであるが、当時ニッケルはトン当たり数百万円もする金属で、とてもやすやすと使えるものではない。Fe-Si-Mg合金も考案されたが、やはり危険も伴うが純マグネシウムがもっとも経済的という結論になった。

原料銑については純粋度ということが問題になり、できるだけ不純物の少ない銑鉄を使わないとなかなか黒鉛が球状化しないので当初はスウェーデン木炭銑を使って実験をしていた。しかし工業生産となると価格、量共に不適格である。結局、有害な不純物の限界を規定した特別な「ダクタイル銑」なるものを高炉メーカーに造ってもらって、もっぱらこれを使用した。もちろん普通銑よりは高価である。

黒鉛の球状化を阻害する元素、それは何と何かを特定することが、また大変な根気のいる研究作業であった。一番の阻害要因は硫黄である。普通の銑鉄中には0.08～0.1%含有されている。これを脱硫工程といって、一般には窒素ガスでカーバイド(CaC₂)粉を溶湯中に吹き込み硫化窒素の形で分離除去して、少なくとも0.005%以下にはしておかねばならない。

そのほかに悪戯いたづらをする元素は、アルミニウム(Al)、チタン(Ti)、鉛(Pb)、砒素(As)、アンチモン(Sb)、ビスマス、ジルコン、テルル、錫(Sn)等々数多いが、いずれも0.00数%以下に抑えた原料を使わねばならないことが次第に分かってきた。

さて合金を使えば反応が穏やかで、确实、安全であることは分かっているが、経済性からいえば純マグネシウムが良いことまでは先述の通りわかったが、なにしろ危険な金属なので安易に扱うわけにはいかない。マグネシウムの融点は650℃、気化温度は1100℃、比重は1.74である。しかも、昔からおなじみの写真のフラッシュに使われていたことから分かるように、極めて発火しやすい金属である。一方の溶湯の温度は、低くても1450℃はある。従ってマグネシウムを溶湯の上に不用意に投げ込んだりすると爆発的な反応を起こし危険極まりない。そこでいくつかの方法が試みられた。

取鍋とりべ(溶湯を入れる容器)の底にポケットを設けてマグネシウム塊を敷き、上から溶湯を注ぐ方法、黒鉛製または鉄板製の孔あき籠かごにマグネシウムを詰め込み、棒の先に取り付け、取鍋蓋の真中に設けた孔あなにさし込んでおき、取鍋に溶湯が溜められた時点でふたをして棒を湯の底まで押し込む方法など各種の工夫が試みられた。

それぞれ一長一短あるが、鉄管のように大量連続生産するのに適した方法として

圧力添加法というのが考案されて実用されている。高压下では物質の蒸発気化温度が上昇するという一般物理現象を利用したもので、取鍋を高压容器にしておき、溶湯が溜められた時点で窒素ガスを封入、マグネシウムの気化温度を溶湯の温度近くになるように雰囲気圧力を調節してやるのである。その上でピストンの先に取り

茶話

04

ダクタイル鑄鉄の特許

Column

インターナショナル・ニッケル社はいち早く全世界の主要国に特許を申請していた。日本で特許が成立したのは1951(昭和26)年である。

これを許諾するには厳しい条件を加え、たとえばある一定以上の試験設備を現有していること、また、ある一定数以上の専任研究者が在籍していることなどをいちいちインターナショナル・ニッケル社の代理人が現場調査の上、厳選するほどの慎重さであった。

こうして1952(昭和27)年の末頃から1953(昭和28)年にかけて7社が供与された。それはクボタ、東芝、トヨタ自動車、日立製作所、新三菱重工、豊田自動織機および三菱造船であった。その後、時間をかけて逐次追加されている。

先般ある親しい人から率直な指摘をいただいた。「ダクタイル鉄管はアメリカから特許を買ってきたのだから、なにも苦労なんかなかったのじゃないの?」と。それを聞いて私は「ハッ」と気付いた。これは我々が迂闊だった。乗り越えねばならなかった難関の数々の説明が足りなかった。ピーアールが足りなかったなと反省させられたのだった。

確かに製品特許であればすでに出上がった製品があり、その作り方、扱い方のノウハウがついており、その通りやっておれば間違いない、勝手なことすれば却って特許に反するというのが一般通念であろう。

ところがインターナショナル・ニッケル社のダクタイル鑄鉄特許は、あくまで基本特許であり、極端な言い方をすれば、黒鉛が球状化した鑄鉄の顕微鏡組織そのものが特許であり、特定の製品、つまり管であろうと、機械鑄物であろうと、自動車部品であろうとなんでもよい、どんな作り方でもよい、とにかくマグネシウムまたはその合金を使ってダクタイル鑄鉄「黒鉛が球状化した鑄鉄」を作れば特許にかかりますよ、ということである。

裏返せば、特定の製品を作るノウハウは一切ついていない特許である。したがって作る側で一つ一つ暗中模索、試行錯誤、理論究明をしてかからねばならなかった。すべてがまさに未知との遭遇にほかならなかった。さればこそ幾多の危険もおかし、言い知れぬ苦難をも乗り越えねばならなかったわけである。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より(抜粋)

Chapter 1

Chapter 2

Chapter 3

Chapter 4

Chapter 5

Chapter 6

Chapter 7

Appendix

付けておいたマグネシウムの塊を湯の中に押し込んでやれば、密閉容器内で反応は静かに進むという仕掛けである。

以上の他にもまだまだ解決しなければならなかった問題は多くあったが、それら要素技術とその組み合わせを一つ一つ綿密に、ちょうどもつれた麻をときほぐすようにして解決していったのである。その間には危険も伴い、失敗もあり、事故も起こし、神経をすり減らすような長い苦しい道のりであった。

日本が1945(昭和20)年の終戦を迎えるころには、鑄鉄の技術は大きく進歩しており、戦後、諸外国の技術をさらに取り入れ、改良し、世界でトップレベルの鑄造技術を確立していった。

1-2

鋳物の歴史

1-2-1 古代の鋳物

1 鋳物の始まり

鋳物は紀元前約3600年ごろにメソポタミアで始まったといわれる。青銅を溶かし型に入れて造った。紀元前19～18世紀の鋳物、鋳型がトルコ・アナトリア博物館に保存されており、紀元前23世紀ごろには、ロストワックス法(ろうもけい)で繊細な鋳物が造られている。また、紀元前14世紀ごろのエジプト・ルクソール西岸レクミラ墓の壁画に鋳物工房の様子が残されている。

- 図表1-2-1-1 石製鋳型
紀元前19～18世紀
トルコ・キュルテベ出土



トルコ・アナトリア文明博物館所蔵、
『KÜKTEPE KANİŞ/NEŞA』
(The Middle Eastern Culture Center in Japan, 2003) より

- 図表1-2-1-2 ロストワックス法による
鹿の鋳物 紀元前23世紀ごろ
トルコ・アラジャホユック出土



トルコ・アナトリア文明博物館所蔵、
「トルコ文明展」図録(中近東文化センター、1985年) より

- 図表1-2-1-3 エジプト・ルクソール
西岸レクミラ墓の壁画にある
鋳物工房の様子 紀元前14世紀ごろ



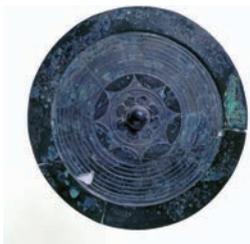
©AKHT

溶けた鉄を鋳型に流し込んで鋳造する技術は、中国では春秋時代(紀元前770～紀元前403年)ごろに開発された。しかし、鉄製の鋳物は強度が低く大砲などの製造に向かないため、ヨーロッパでは鉄を叩いて造る鍛造が中心で、鉄製の鋳物は広くは普及しなかった。

2 日本の鋳物

日本の鋳物は、最初は製品として中国大陸から渡来していた。弥生時代中期の紀元前200年ごろ鋳物の製造技術を持った人たちが移住すると、銅鏡、銅劍、銅矛、銅鐸どうたたくなどが国内で造られるようになった。福岡県の平原遺跡ひらばるから出土した大型内行花文鏡ないこうは弥生時代の終わりに造られたと推定されており、日本で製作された銅鏡では最大級のものである。

●図表1-2-1-4 平原遺跡から出土した内行花文鏡



国宝(文化庁保管)「内行花紋鏡」
糸島市立伊都国歴史博物館所蔵・
写真提供

●図表1-2-1-5 荒神谷遺跡から出土した銅劍、銅矛、銅鐸



左から「荒神谷銅劍」
「荒神谷9・10号銅矛」
「荒神谷1号銅鐸」
文化庁所蔵、
島根県立古代出雲歴史博物館写真提供

岡山県にある金蔵山古墳では、古墳時代中期の400年ごろの鉄器が多く出土しており、その中の鉄斧てつぶは、京都大学の調査では鉄製鋳物と考えられている。奈良時代の8世紀前半には、東大寺の「奈良の大仏」をはじめとする仏像や梵鐘ほんしゅうなどが造られるようになった。また、栃木県宇都宮市の清巖寺には1312(正和元)年に造られた日本最古の鑄鉄製塔婆が残されている。

●図表1-2-1-6 金蔵山古墳の鉄器
400年ごろ



倉敷考古館所蔵

●図表1-2-1-7 日本最古の鑄鉄製塔婆
1312(正和元)年



清巖寺所蔵

1-2-2 鉄製鑄物の発展

1 産業革命と鉄製鑄物の普及

英国のエイブラハム・ダービー1世が1709年にコークスを用いた製鉄技術を開発したことにより、チル組織のない強度の高い鑄鉄が大量生産できるようになった。1779年には、世界で初めての鑄鉄製の橋であるアイアンブリッジが建造されている。当時はワットの蒸気機関の発明によって産業革命が始まったころである。強度の高い鑄鉄を大量に必要とする橋をはじめ大砲や水道管などの鑄鉄製品が造られ、産業や生活を支える重要な材料として広く普及した。

日本初の鑄鉄製の橋となる兵庫県朝来市の神子畑鑄鉄橋が造られたのは約100年後の1885(明治18)年のことである。神子畑鑄鉄橋は2007年、近代化産業遺産として登録され、現在も使われている。

●図表1-2-2-1 アイアンブリッジ
1779年



アイアンブリッジ 渓谷博物館写真提供

●図表1-2-2-2 神子畑鑄鉄橋
1885(明治18)年



朝来市役所写真提供

2 大砲と鉄製鑄物の発展

大砲はそれまでは主に青銅で造られていたが、コストが高く、強度が低かったので、鑄鉄製の大型砲の開発が行われるようになり、1543年には英国のサセックスにおいて、鑄鉄砲の製作に成功している。当時の戦史に次の一文がある。「いかなる城壁も鉄の弾丸には敵わなかった。例えば4メートルの厚さをもった城壁や、岩壁上の近づき難い位置などのために、中世には不落と思われた城砦も、ひとたび鉄製の砲弾が城壁をかすめて通ったならば、幾日ならずして廢墟と化して……」とある。今日、ヨーロッパ各地の諸城を巡ってみても、大抵の城には眼下の敵を見おろせる位置に大型砲が据えられている。多くは後世のものが多く、中には見事な装飾や城主の名を鑄出した古い鑄鉄製のものも見ることができる。

中国の鑄鉄製大型砲の誕生は、ヨーロッパよりも早く、一番古い銘が入っているのは明の1377(洪武10)年製の口径21cm、長さ1mのものといわれている。ちなみに火薬は、唐時代に中国で発明され、硝石、硫黄、木炭からなる黒色火薬とされる。

日本で初めて使われた大型砲は、1576(天正4)年にポルトガル人から大友宗麟^{おおともそうりん}に贈られた佛狼機砲^{フランキ}で、「国崩し^{くにくず}」と命名され、現在は靖国神社境内に展示されている。現存する最古の日本製の大型砲も靖国神社に収蔵されており、「慶長十六年堺鉄砲鍛冶芝辻理右衛門」との銘がある。これは徳川家康の命で1611(慶長16)年に造られ、大阪夏の陣でも使われたといわれている。

江戸時代になると大型砲は顧みられなくなり、幕末に鹿児島、佐賀、長州、水戸などで大型砲の鑄造が行われたが、たたら製鉄法の銑鉄ではうまくいかなかった。たたら銑は低温精錬のためケイ素(Si)やリン(P)が非常に低く、炭素(C)も低めになりがちで、白銑(炭素がセメントイトとして多く出ている鑄鉄)になりやすかったためだと考えられる。多くの大型砲を造ったのは佐賀藩のみであり、江戸港や長崎港の防衛に使用されたが、銑鉄は輸入銑を使用したといわれている。

●図表1-2-2-3 エジンバラ城の18ポンド砲 1810年ごろ



山田洋二氏写真提供

●図表1-2-2-4 佛狼機砲 1576(天正4)年ごろ



靖国神社遊就館所蔵・写真提供

その後、各地に反射炉ができたが、原料としてたたら製鉄法のズク(不純物を含む銑鉄)を用いており、大砲はうまく造れなかった。

おおしまたかとう
大島高任は、1857(安政4)年にU.ヒューゲニン著の『ロイク王立鉄製大砲製造所における鑄造法』を基に、製鉄に適した鉄鉱石を産出する岩手県釜石市の大橋に西洋式高炉を建設し、日本で初めて鉄鉱石を用いた連続出銃しゅっせんに成功した。さらに、1858(安政5)年に大島の指導により橋野に高炉が建設される。生産された銑鉄は水戸藩那珂湊反射炉へと送られ、大砲が製造された。

1880(明治13)年には25トン高炉2基を有する官営製鉄所が設立されたが、2年半で失敗に終わった。この官営製鉄所の払下げを受けた田中長兵衛は、横山久太郎とともに49回の試行錯誤の末、1886(明治19)年に連続出銃に成功する。田中らは翌1887(明治20)年に釜石鉱山田中製鐵所(現新日鐵住金釜石製鐵所)を設立して銑鉄の供給を開始した。これが日本の製鉄事業の幕開けである。

茶話

05

キャプテンクックの大砲

鑄鉄の耐食性を示すトピックスを紹介する。1770年6月11日、オーストラリアの発見者であるキャプテン・クックが指揮するエンデバー号がオーストラリアの北東岸で暗礁に乗り上げた。離礁するため、やむなく彼は船荷を海中に投入し、船を軽くして危うく危機を脱出、オーストラリア大陸のクックタウンに上陸することができた。その際、海中に投入された船荷の中には6門の鑄鉄製の砲が含まれていた。この投棄された砲を引き上げる計画が多くの人々によってなされたが全ては徒労に終わった。

しかし1969年1月、米国のV.カウフマン率いるフィラデルフィア自然科学アカデミーの探険隊が199年ぶりにこれらの砲を発見し、引き上げることに成功した。これらの砲は

オーストラリアの造船運輸省により詳細に調査復元された。それによると鑄鉄製の砲は、約200年もの間海水にさらされながらも、鑄出しマークと刻印が良好な状態で残っており、腐食の影響はあまり受けていなかった。

オーストラリア国立海洋博物館によって砲は保存され展示されたが、錨と砲の一部はクックタウンのジェームス・クック歴史博物館にも展示されている。



キャプテンクック
の砲



約200年間海水に
さらされた鑄出し
マーク

『ダクティル管ハンドブック』(クボタ)より

1-3

水道管の歴史

1-3-1 水道と鑄鉄管

1 古代の水道管

最初の水道管は粘土であったとされている。古代メソポタミアの遺跡から多数の分岐管や曲管が発掘されている。その他、初期には木管、鉛管、レンガ水路、石の水路、トンネルなどが使われていた。

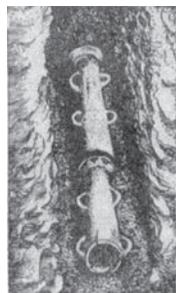
エジプト古代王朝にも早くからパイプの製造技術があり、古代メソポタミアと同様に粘土と藁を混ぜた日干しから素焼きへと進歩していった。メンフィスの遺跡からは紀元前2500年ごろの神殿に引かれた400mの銅製水道管が発掘されている。

インダス文明期の代表的な都市モヘンジョダロは、紀元前2300年ごろに都市を形成したといわれているが、市街地は区画整理され、700もの井戸から家々に水を供給する配水システムや下水が完備されていたことが分かっている。それぞれの家には浴室があり、水は2階にも供給されていたという。このような都市設計は、現代文明のそれに匹敵する見事なものである。

その300年後の紀元前2000年ごろ、古代ギリシャ、エーゲ海のクレタ島に築造されたミノア文明期のクノッス宮殿には、上水道、下水道、雨水排水の3つがすでに整備されたという。水は自然流下方式で陶製のパイプを通して噴水や水栓へと送られ風呂や水洗トイレにも使われた。陶製の管の端はロープで止水するためにテーパ

が付けてあった。
また、ローマ水道は、歴史を代表する土木建築物であり、紀元前312年に建設が始まり、約300年かけて造られたものである。水道の水路は11本あり、延長にして約350kmにもなる。地上部が有名であるが実

●図表 1-3-1-1 クノッスの陶管



チャールズ・シンガー、
E. J. ホームヤード、
A. R. ホール編
『増補 技術の歴史(第2巻)』
(筑摩書房)より

際には約47kmのみで、ほとんどは埋設されている。水路の構造は自然流下方式が基本であり、そのために非常に精密な1:3000の勾配でできている。ローマに送られた水は1日に100万 m^3 にも達し、1人当たりになると現在よりも多い約 1m^3 に及んでいた。

イタリアのナポリ近郊にあった古代都市ポンペイは、79年にヴェスヴィオ火山が噴出した際、火砕流と噴火物で街全体が埋もれてしまった。1748年にポンペイ遺跡が発掘されると、当時の人々の生活や都市構造、インフラなどが明らかになった。

ポンペイに四通八達に広がる石畳の道路の下には、鉛管の上水道が整備され、浴場や共同水栓に水が供給されていた。水飲み場などでは蛇口から水を使用していたようである。また、当時の上下水道の基本的な仕組みは現在とほとんど変わらず、各戸の屋根からは地下の水瓶に雨水を導く土管などもあり、その水道施設は2000年近く前のものとは思えない素晴らしいものである。

● 図表1-3-1-2 ポンペイ遺跡の水飲み場の蛇口 1世紀ごろ



斎藤吉彦氏「海外研修報告2 古代の金属技術について」
『大阪市立科学館研究報告』第14号(2004年)より

● 図表1-3-1-3 ポンペイ遺跡の水道用の鉛管 1世紀ごろ



斎藤吉彦氏「海外研修報告2 古代の金属技術について」
『大阪市立科学館研究報告』第14号(2004年)より

茶話 **06 古代から水を管路で運んだ理由**

経済性: 古代ローマや江戸時代の日本でも水路や管路が使われていたのは、大量の水を長距離運んで経済的だったからである。

衛生性: 水の汚染を防止するために多くの管路は埋設されていた。古代ローマ水道も地下が多く、地上に露出する部分(水道橋など)も石蓋などで覆われていた。日本の江戸時代も木樋や竹樋などで埋設した。

安全性: 盗難防止および敵の攻撃から水を守ることができた。

2 鋳鉄管の登場

鋳鉄管がいつ、どこで最初に造られたかははっきりしていないが、記録に残っているものを以下に紹介する。

主として鉄斧などの小道具類の製造に使われた鉄鑄物は、その後次第に大型化し、1311年にはドイツで、1345年には英国で本格的な大砲と砲弾が鋳鉄で製造された。続いてほぼ同時期に鋳鉄管が鋳造されたが、大砲も鋳鉄管も大きな中空円筒であり、同じ鋳造技術で造られたであろうことは容易に想像できる。むしろ鋳鉄管の方が薄肉で細長いだけに高度の技術を要したであろうと考えられる。一方は戦争利用であり、一方は平和利用と目的は異なるものの歴史的には兄弟のようなものである。

なお、初めて水道に使用された鋳鉄管は、1412年にできたドイツのアウグスブルグの水道といわれている。

① ディレンベルグ城の鋳鉄管

現存する鋳鉄管として最も古いものは、ドイツのディレンベルグ城とディール川の間に1455年に布設された水道管である。この水道管は、1760年にディレンベルグ城が壊されるまで約300年間使用された。

●図表1-3-1-4 世界最古の鋳鉄管



「History」(European Association for Ductile Iron Pipe Systems)

② バートランゲンザルツァの鋳鉄管

ドイツのバートランゲンザルツァ市に聖ヤコブ教会や市役所の噴水に水を送るために鋳鉄管が1562年に布設され、1949年当時の新聞では、386年経過してもまだ機能していると記されている。

③ ブラウンフェルス城の鑄鉄管

ドイツのブラウンフェルス城に水を引くために1661年に鑄鉄管が布設され、1875年まで約200年間使われた。これはその後、1932年に大口径管と取り換える必要が生じた際に、古い鑄鉄管を掘り出したが、管はまだ使用できる状態であったと伝えられている。

④ ベルサイユ宮殿の鑄鉄管

フランスのルイ14世の時代にベルサイユの街や宮殿の噴水に水を引くために、セヌ川のマルリーポンプ場から総延長約24kmの鑄鉄管(最大内径20インチ:約508mm)が数条布設された。これに使用された鑄鉄管は1664～1668年の間に製造されたもので、長さ約1mのフランジ継手管(ボルトと鉛のパッキンで接合)である。長期間使用する中で、継手の一部修理や大修復(2008年)がされているものの、当時のパイプの約80%は今日なおその機能を果たしている。

●図表1-3-1-5 ベルサイユ宮殿の鑄鉄管



1664年ごろ製造され、約300年間使用されたフランジ継手管。管体にある鑄出しマークのローマ数字「LXXXIII」は「8012」を意味し、製造者を区別する番号と考えられる。

Musee-Promenade所蔵



ベルサイユ宮殿へ水を送る管路の一部



アポロンの泉水。宮殿内には多くの泉水が設けられており、その水は鑄鉄管によって送られている。

藤野恭裕氏写真提供

ベルサイユ宮殿の噴水への導水管が350年以上の長期にわたってその機能を果たし続けていることは、鑄鉄管の耐食性が優れていることを示している。フランスのナンシーにある鉄鋼博物館やアルクールにあるプロムナード博物館では、ベルサイユ宮殿の導水管の一部を展示しているが、鑄造技術の関係で表面の鑄肌の凹凸がかなり認められるものの良好な状態を保持しており、300年以上も埋設されてきたとは思われぬほどである。

5 世界遺産の鑄鉄管

ドイツのヴィルヘルムスヘーエ公園で階段状の噴水(1701年築造)があり、そこに流れる水は300年間鑄鉄管により供給され続けている。この鑄鉄管は砂型で鑄造されたソケット形であり、管長は2mであった。

●図表1-3-1-6 ヴィルヘルムスヘーエ公園の鑄鉄管



八角形の噴水塔から階段状に水が流れる。



噴水塔で使用されている鑄鉄管。

「History」(European Association for Ductile Iron Pipe Systems)

6 ツヴィンガー宮殿の鑄鉄管

ドイツ・ドレスデンのツヴィンガー宮殿に水を送るために1720年に埋設された鑄鉄管である。

●図表1-3-1-7 ツヴィンガー宮殿の鑄鉄管



「History」(European Association for Ductile Iron Pipe Systems)
Source : Foto Kästner, Dresden

7 ヨーロッパの鑄鉄管使用例

市街地で比較的大きな規模で水道管として使用したヨーロッパの使用事例を示す。

●図表1-3-1-8 市街地での鑄鉄管使用例

年	使用例
1746年	チェルシー(英国)他/内径12インチ×1500ヤード、フランジタイプ
1790年	エジンバラ(英国)/内径7-9インチ×6マイル
1800年ごろ	ロンドン(英国)/ウィーン(オーストリア)
1850~1865年	ベルリン(ドイツ)
1858年ごろ	ダルムシュタット(ドイツ)/ハンブルグ(ドイツ)

茶話 07

ガス用鑄鉄管第1号

1872(明治5)年に、新橋-横浜間に鉄道が開通した。同年、横浜の街頭にガス灯がともされ、沿道の夜がにぎわった。これが日本におけるガス事業の始まりである。フランス人技術者アンリ・プレグランの指導のもとに設置を行った実業家高島嘉右衛門の偉業であり、さすがハイカラな港町のことである。ガス灯にガスを導いたのは、道の下に埋設された公称内径8インチ(203.2mm)以下の鑄鉄管であった。

東京にガス灯が設置されたのは、その2年後の1874(明治7)年のことである。1872(明治5)年の銀座大火^{ぎんざたいか}によって丸の内、銀座、築地一帯が炎に包まれたことから、時の明治政府は火災が広がりにくい都市の建設を目指し、銀座の街をれんがで再建を図った。この再建をきっかけに、銀座の街に鑄鉄管を使用したガス管が敷かれ、

85基のガス灯が点灯したのである。

横浜と銀座では輸入した鑄鉄管が用いられたが、1876(明治9)年に東京府瓦斯局が開設されたところ国産鑄鉄管の使用が検討されたようである。アンリ・プレグランが群馬県下仁田市にある中小坂鉄山を視察し、ガス管(鑄鉄管)を発注した記録があるが、製造や使用された記録は残っていない。

日本最古のガス用鑄鉄管



横浜都市
発展記念館所蔵

ガス用鑄鉄管 内径8インチ
1871年ごろ R.レイドロー社製

1872(明治5)年の
横浜のガス灯(復元)



1-3-2 日本の水道と鑄鉄管

1 江戸時代の水道

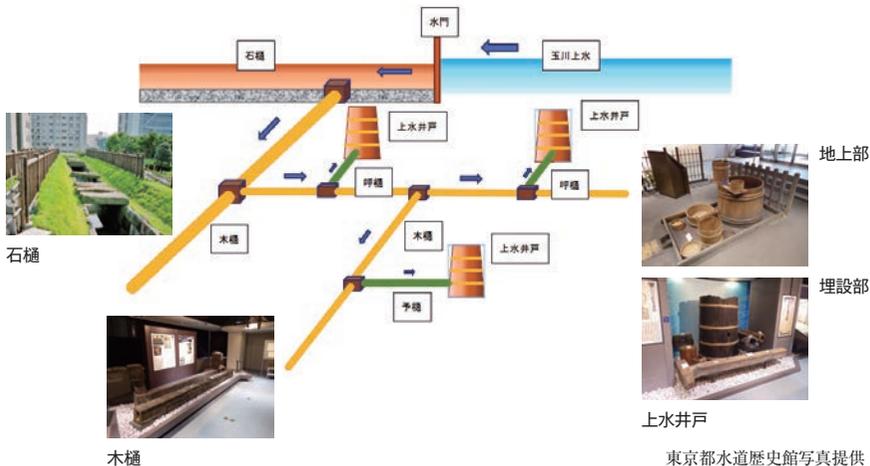
① 日本初の水道

小田原早川上水は、小田原城に水を引き入れるために築造されたもので日本初の水道とされている。1545(天文14)年に、小田原に立ち寄った連歌師の谷宗牧たにそうぼくの紀行文「東国紀行」の中に記されていることから北条氏康が支配していたところに造られたと考えられている。

日本で本格的な上水道が整備されたのは江戸時代に入ってからのことである。

徳川家康が1590(天正18)年に江戸へ入国した当時、低地では塩分が多く飲用には不適切で、生活水の確保から大久保藤五郎に小石川上水を造らせた。その後、井の頭を水源とする神田上水を造り、神田、日本橋へ給水した。1652(承応元)年に玉川上水の計画を建て、町人の庄右衛門、清右衛門(玉川兄弟)の提出した設計書に決定し、延長約43km、標高差約92mの玉川上水を1653(承応2)年4月4日に着工し、同年11月15日に完成した。1654(承応3)年からは、石樋、木樋の布設を行い、四谷、麴町、赤坂の台地、京橋方面など市の西、西南部に給水した。神田上水と玉川上水が明治の初めまでは100万都市の江戸の人々の暮らしの基盤となり続けた。

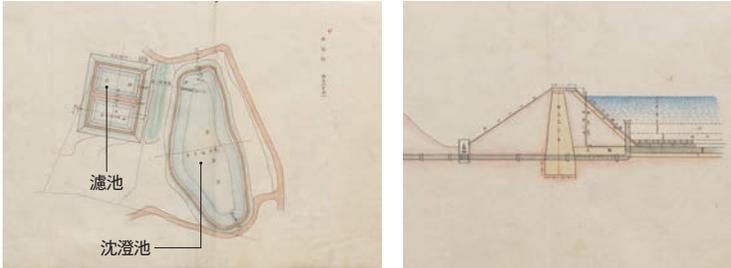
●図表1-3-2-1 江戸の上水のしくみ



② 明治宮殿の水道

皇居の中にあった明治宮殿は1882(明治15)年に造営が開始され、1888(明治21)年に旧江戸城西の丸の場所に建設された。玉川上水、堀井戸も使用していたが、^{ちんちようち}沈澄池からの水を濾池(ろ過池)でろ過して鑄鉄管(公称内径2~22インチ)で各建物に給水する給水管(鑄鉄管)も整備された。

●図表1-3-2-2 明治宮殿の沈澄池と濾池の平面図



沈澄池から濾池へ水を送る
鑄鉄管(公称内径14インチ)の断面図。

宮内庁宮内公文書館所蔵

2 近代水道と鑄鉄管

近代水道以前の水道は、水源がきれいであっても開水路であったため、途中で汚染されることがあり、さらに木樋の水道管路は修繕費が高く修理がままならないために、漏水が多かったといわれている。また港町では、良質な井戸水が得られず、コレラなどがたびたび蔓延し、居留地の外国人や市民から、水道の建設が強く要望されていた。

水道の建設には、多大な費用が必要なため、水道事業の基本方針を決める必要があり、政府は1887(明治20)年6月17日の閣議で「水道布設ノ目的ヲ一定スルノ件」を決議し、水道事業の経営は営利を排した地方政府による経営を原則とし、やむを得ない場合に限り、地方政府監督下で私営水道を認めることとした。

同年、ついに横浜で水道の創設工事が完了し、通水を記念して、吉田橋(横浜市中区)で消防出初式が行われた。日本で最初の近代水道による給水が始められたのである。市民はどれほどこのときを待ち望んだことであろうか。コレラの恐怖も去り、水汲みの重労働からも解放される日がやってきた。引き続き函館、長崎という順に開港都市での給水が始まった。だが、当時使用された鑄鉄管は英国やベルギーからの輸入

铸铁管であった。

水道の建設費は横浜の水道で約107万円であったが、その当時の市の予算約5万円の20倍以上であり、他の水道でも市の予算の数倍から数十倍と高額なものであった。従って、日本の創設水道の多くは国の補助なくしては建設できなかった。市民からの強い要望があったものの、水道の創設が計画されたいずれの議会でも賛否両論意見が分かれて、幾度かの起案を経て、議会の解散や市長の辞職までに至る場合も少なくなかった。

さらに、翌年1888(明治21)年には、大都市や貿易の拠点で水道布設の緊急性の高かった3府(東京、大阪、京都)と5港(横浜、神戸、長崎、函館、新潟)に水道布設を促進するための国庫補助の道が開かれ、次々に近代水道が創設されていった。政府の水道建設促進策が、近代水道発展の基盤をつくっていったのである。コレラの蔓延が数度と起こるたびに水道建設賛成派が多くなり、県知事、市長、創設に関わる強い推進派の人々の努力で多くの水道が造られた。

1890(明治23)年、全文16カ条からなる「水道条例」が公布され、水道布設の公営優先原則、市町村経営の原則が確立した。

●図表1-3-2-3 吉田橋の消防出初式
(1887(明治20)年)



横浜市水道局所蔵

1-3-3 近代水道創設期の铸铁管

1 铸铁管国産化の歴史

横浜水道が創設された1887(明治20)年ごろは、日本では铸铁管のメーカー(製造業者)はなかったため、英国のR.レイドロー社製の铸铁管を使用した。当時の輸入铸铁管は、錆び止めの赤色の下塗りだけで、検査後上塗りの黒色塗料を塗装した。

釜石鉦山田中製鐵所(現新日鐵住金釜石製鐵所)では1886(明治19)年に、49回の試行錯誤の末、鉄の連続出銑(溶けた鉄が連続的に生産できること)に成功し、製鉄の国産化が見えてきた。しかし、1889(明治22)年創設の函館市では、横浜市と同じR.レイド

ロー社製、1891(明治24)年創設の長崎市ではD.Y.スチュワード社製など外国製の鑄鉄管を用いた。だが、鑄鉄管の工事費に占める割合は大きく、外貨の流出抑制のためにも国産化が強く望まれた。

横浜市の場合では総工費約107万円の内約48万円(約45%)が鑄鉄管の費用であり、輸入鑄鉄管を使用しないで陶管を使用する案や鍛鉄管を使用して費用を低減する案が出された。

その当時の函館市水道の資料では、鍛鉄管(輸入)、鍛鉄管(函館港にて製造)、ワイコック発明木管、日本製木管、日本製陶管などの特性、経済性を比較している。J.H.クロフォードの設計は米国製の鍛鉄管であったが、設計のチェックを依頼されたファン・ゲントは鍛鉄管の使用は年月が浅く耐久力が不明であるとして、強く反対した。鑄鉄管は200年の実績があり、実験では100年は保つと述べている。当時の時任ときとうたもと為基支庁長がこれらの意見を踏まえて区長に審議させ、将来のために一時の費用を惜しむべきではないとして、鑄鉄管を採用することで衆議一決した。なお、J.H.クロフォードも米国に帰国後、鍛鉄管の事故事例を知り、後に耐久性に優れた鑄鉄管の採用に賛成している。

鑄鉄管の国産化の要望が高まる中、大阪の久保田鉄工所(現クボタ)では、鑄鉄管の製造を1893(明治26)年に開始していた。しかし、大阪市の水道創設時の1895(明治28)年に、大口径の鑄鉄管を大量製造できる技術力と設備を持っていたのは、大口径の火砲を主体とする兵器の製造を担った大阪砲兵工廠のみであった。大阪市は、水道創設に必要な鑄鉄管(内径36インチ以下、延長約325km、総重量約2万290トン)の全ての製造を大阪砲兵工廠に依頼した。しかし、同工廠にとって初めての水道用鑄鉄管の製造であり、職工の熟練度が不十分で、不合格品も多く、契約当初の履行が不可能になったため、英国のD.Y.スチュワード社製に頼り、最終的には全体の約54%が輸入品となった。

東京水道創設時にも鑄鉄管国産化の動きがあった。1893(明治26)年に、水道用鑄鉄管購買の決議がなされ、東京市は国内外のメーカー(製造業者)より見積りを取り、製造の可否を調査し、入札により日本鑄鉄と契約を行った。他の入札者としては、石川島造船所、東京鑄鉄所などがあった。しかし、日本鑄鉄による鑄鉄管の生産・納品にはさまざまな問題が発生した。まず、画数の多い製造所番号「東京水道」の文字を小口径管に鑄出すことは困難として、契約後に東京市のロゴマークに変更した。さらに、生産体制が整わず東京市への納入は大幅に遅延、検査で不合格となった鉄管を合格品と偽って納入していた不正も発覚した。こうした問題が、政治問題に発

展し、市参事会員の辞表提出、府知事辞職の勧告、市会解散、知事辞職と続き、東京市政を混乱に陥れた。結果として、1894(明治27)年には、外国鉄管購買決議がなされ、日本鑄鉄との契約は解除され、ベルギーのリエージュ市水道鉄管会社、英国のM.ストラング社の鑄鉄管を輸入することになった。

1899(明治32)年に創設された広島市水道の鑄鉄管もD.Y.スチュワード社製を用いたが、不足分については大阪砲兵工廠の鑄鉄管も用いた。神戸市水道もD.Y.スチュワード社、R.レイドロー社製のものを用いたが、不足分の一部は石田鉄工所の鑄鉄管も使用した。

東京水道は、1898(明治31)年の創設時は神田・日本橋方面への通水のみであったが、順次給水区域を拡大し1911(明治44)年に全面的に完成した。久保田鉄工所では、1897(明治30)年に合わせ型斜吹鑄造法を開発した。1903(明治36)年ごろに久保田鉄工所が国産鑄鉄管を東京水道向けに700トン納入した記録も残っている。1905(明治38)年創設の岡山市水道は大阪鉄工所(現在の日立造船が創業し、1916(大正5)年に久保田鉄工所の尼崎工場となった)の鑄鉄管を使用しており、下関市水道は谷口鉄工所製、佐世保市水道は、釜石鉦山田中製鐵所製、大阪鉄工所製を用いるなど鑄鉄管の国産化がこのころを境に進んでいく。

鑄鉄管は、1887(明治20)年代は主に外国製、1887(明治20)年代後半から国内製を一部使用するようになり、1897(明治30)年代後半には国内でも造られていたが、まだ外国製を一部使用していた。明治1907(明治40)年代には、水道の鑄鉄管は、ほぼ国内産で賄えるようになった。また、1904(明治37)年には、久保田鉄工所が立吹回転式鑄造法を開発し、国産鑄鉄管の量産も始まった。1909(明治42)年には、大阪市が国産の48インチ(呼び径1200)の大口径管を採用している。

2 近代水道創設期の鑄鉄管とメーカー

●図表1-3-3-1 近代水道創設期の鑄鉄管とメーカー

水道事業体 ^{注1} 創設年	創設期の鑄鉄管 公称内径 ^{注2} /総延長/総重量	創設期のメーカー	拡張初期のメーカー
横浜市水道局 1887 (明治20)	18インチ以下 約44km 約11400トン	R.レイドロー社 リエージュ市水道鉄管会社	久保田鉄工所 栗本鐵工所
函館市企業局 1889 (明治22)	12.5インチ以下 約45km 約2790トン	R.レイドロー社	D.Y.スチュワード社

水道事業体 ^{注1} 創設年	創設期の鑄鉄管 公称内径 ^{注2} ／総延長／総重量	創設期のメーカー	拡張初期のメーカー
長崎市上下水道局 1891 (明治24)	24インチ以下 約52km 約2300トン	D.Y.スチュワード社	R.マクラレン社 大阪鉄工所 TE & S社
大阪市水道局 1895 (明治28)	36インチ以下 約325km 約20290トン	D.Y.スチュワード社 (54%) 大阪砲兵工廠 (46%)	久保田鉄工所 大阪砲兵工廠
東京都水道局 1898 (明治31)	42インチ以下 約695km 約45000トン	リエージュ市水道鉄管会社 M.ストラング社	久保田鉄工所
広島市水道局 1899 (明治32)	20インチ以下 約66km 約3080トン	D.Y.スチュワード社 大阪砲兵工廠 瀬良鑄物工場	久保田鉄工所
神戸市水道局 1900 (明治33)	24インチ以下 約150km 約9230トン	D.Y.スチュワード社 石田鉄工所 R.レイドロー社	東京堅鉄製作所 神戸川崎造船所 大阪鉄工所 粟本鐵工所 久保田鉄工所
岡山市水道局 1905 (明治38)	22インチ以下 約34km 約17260トン	大阪鉄工所	—
下関市上下水道局 1906 (明治39)	14インチ以下 約48km 約2430トン	谷口鉄工所 R.レイドロー社	—
佐世保市水道局 1907 (明治40)	14インチ以下 約36km 約10590トン	釜石鉱山田中製鐵所 大阪鉄工所 石田鉄工所	久保田鉄工所 釜石鉱山田中製鐵所 粟本鐵工所 大阪鉄工所

注1 水道事業体については現在の名称を記載している。

注2 当時の鑄鉄管は内径(インチ)で規定されていた。1インチは25.4mm。

● 図表1-3-3-2 近代水道創設期の主要な鑄鉄管

横浜市 18インチ R.レイドロー社製
1885(明治18)年ごろ



水源の三井用水取水地から川井接合井間で使用していた。

横浜市水道局所蔵

函館市 12.5インチ R.レイドロー社製
1888(明治21)年ごろ



赤川から元町配水池の送水管に使用していた。

函館市企業局所蔵

長崎市

6インチ D.Y.スチュワード社製
1889(明治22)年ごろ



分水栓が付いている。

長崎市上下水道局東長崎浄水場資料室所蔵

大阪市

26インチ 大阪砲兵工廠製
1893(明治26)年ごろ



大阪城内の幹線に使用していた。

大阪市水道局柴島浄水場所蔵

東京都

20インチ リエージュ市水道
鉄管会社製 1897(明治30)年



中央区新富一丁目付近で使用していた。

東京都水道歴史館所蔵

広島市

20インチ D.Y.スチュワード
社製 1896(明治29)年ごろ



神田橋水管橋の一部と考えられる。

広島市水道局水道資料館所蔵

神戸市

12インチ D.Y.スチュワード
社製 1898(明治31)年ごろ



布引ダム五本松堰堤の取水管として使用していた。
(手前側は石田鉄工所製)

神戸市水道局奥平野浄水場所蔵

岡山市

10インチ 大阪鉄工所製
1904(明治37)年ごろ



岡山市北区舟橋町付近で使用していた。

岡山市水道局三野浄水場所蔵

下関市 14インチ 谷口鉄工所製
1904(明治37)年ごろ



下関市
内日貯水池から高尾浄水場への導水管として使用していた。

下関市上下水道局水道資料室蔵

佐世保市 14インチ 釜石鉱山田中製鐵所製
1906(明治39)年ごろ



山の田浄水場内の急速ろ過池から第1配水池までの管路として使用していた。

佐世保市水道局山の田浄水場所蔵

備考 創設時の鑄鉄管は内径(インチ)で規定されていた。1インチは約25.4mm。

3 現存する近代水道創設期の鑄鉄管

近代水道の創設は、2017年現在から約130年前になるが、水道創設時に埋設されたまま現在でも使用している鑄鉄管が全国に存在する。

●図表1-3-3-3 現存する近代水道創設期の鑄鉄管

水道事業者 ^{注1}	公称内径(インチ) ^{注2}	メーカー ^{注3}	布設年	埋設期間 ^{注4}
函館市企業局	12.5	R.レイドロー社	1889(明治22)	128年間
函館市企業局	12	R.レイドロー社	1889(明治22)	128年間
函館市企業局	4	R.レイドロー社	1889(明治22)	128年間
大阪市水道局 ^{注5}	36	大阪砲兵工廠	1895(明治28)	122年間
大阪市水道局 ^{注5}	30	大阪砲兵工廠	1895(明治28)	122年間
広島市水道局 ^{注5}	14	D.Y.スチュワード社	1897(明治30)	120年間
広島市水道局 ^{注5}	12	D.Y.スチュワード社	1898(明治31)	119年間
岡山市水道局	20	大阪鉄工所	1905(明治38)	112年間
下関市上下水道局	18	不明	1905(明治38)	112年間
下関市上下水道局	16	不明	1905(明治38)	112年間
下関市上下水道局	14	不明	1905(明治38)	112年間
佐世保市水道局	16	釜石鉱山田中製鐵所	1906(明治39)	111年間

注1 水道事業者名については現在の名称を記載している。

注2 当時の鑄鉄管は内径(インチ)で規定されていた。1インチは約25.4mm。

注3 メーカー名については当時の名称を記載している。

注4 埋設期間は、2017(平成29)年現在。

注5 内面更生を実施済み。

4 長期間使用された鑄鉄管

● 図表 1-3-3-4 長期間使用された鑄鉄管

水道事業者 ^{注1}	公称内径 ^{注2}	メーカー ^{注3}	布設年 ^{注4}	撤去年	埋設期間
横浜市水道局	18	R.レイドロー社	1887 (明治20)	2002 (平成14)	115年間
横浜市水道局	15.5	R.レイドロー社	1887 (明治20)	2003 (平成15)	116年間
函館市企業局	12.5	R.レイドロー社	1889 (明治22)	1989 (平成元)	100年間
大阪市水道局	26	大阪砲兵工廠	1893 (明治26)	1958 (昭和33)	65年間
広島市水道局	20	D.Y. スチュワード社	1896 (明治29)	1950 (昭和25)	54年間
東京都水道局	20	リエージュ市水道鉄管会社	1896 (明治29)	1984 (昭和59)	88年間
広島市水道局	18	大阪砲兵工廠	1897 (明治30)	2007 (平成19)	110年間
神戸市水道局	24	D.Y. スチュワード社	1898 (明治31)	2009 (平成21)	111年間
佐世保市水道局	8	D.Y. スチュワード社	1899 (明治32)	1986 (昭和61)	87年間
岡山市水道局	10	大阪鉄工所	1904 (明治37)	1993 (平成5)	89年間
岡山市水道局	10	大阪鉄工所	1904 (明治37)	1999 (平成11)	95年間
岡山市水道局	10	大阪鉄工所	1904 (明治37)	2003 (平成15)	99年間
岡山市水道局	12	大阪鉄工所	1904 (明治37)	1999 (平成11)	95年間
広島市水道局	4	不明	1905 (明治38)	1992 (平成4)	87年間
佐世保市水道局	14	釜石鉱山田中製鐵所	1906 (明治39)	1997 (平成9)	91年間
佐世保市水道局	6	大阪鉄工所	1906 (明治39)	1997 (平成9)	91年間
京都市 上下水道局	12	久保田鉄工所	1910 (明治43)	2010 (平成22)	100年間
佐世保市水道局	継ぎ輪 14	釜石鉱山田中製鐵所	1914 (大正3)	2013 (平成25)	99年間
長崎市 上下水道局 ^{注5}	14	不明	1917 (大正6)	2015 (平成27)	98年間

水道事業体 ^{注1}	公称内径 ^{注2}	メーカー ^{注3}	布設年 ^{注4}	撤去年	埋設期間
横浜市水道局	4	田中鉱山	1925 (大正14)	2016 (平成28)	91年間
佐世保市水道局	90°曲管 14	栗本鐵工所	1937 (昭和12)	2013 (平成25)	76年間

注1 水道事業体名については現在の名称を記載している。

注2 当時の鑄鉄管は内径(インチ)で規定されていた。1インチは約25.4mm。

注3 メーカー名については当時の名称を記載している。

注4 布設年は、製造年、もしくは埋設年などを記載した。

注5 1992(平成4)年に内面更生を実施済み。

●図表1-3-3-5 100年以上使用された鑄鉄管

116年間使用された鑄鉄管



15.5インチ R.レイドロー社製
1885～2003(明治18～平成15)年

横浜水道記念館所蔵

110年間使用された鑄鉄管



18インチ 大阪砲兵工廠製
1897～2007(明治30～平成19)年

広島市水道資料館所蔵

100年間使用された鑄鉄管



12インチ 久保田鐵工所製
1910～2010(明治43～平成22)年

京都市上下水道局所蔵

5 近代水道創設期の布設工事

横浜市の水道創設時は、鑄鉄管を使用するのは初めてであり、印籠継手(麻と鉛で止水する構造)の接合方法についても技術を習得する必要がある。

また運搬についても、鉄道もトラックもなく、鉄管その他重量物の運搬は困難であり、約40km離れた水源地までは、軽便軌条を敷設し、牛馬を使役して輸送を行った。

●図表1-3-3-6 近代水道創設期の布設工事状況など

横浜水道の鑄鉄管布設工事

1885(明治18)年ごろ



宮内庁書陵部所蔵「横浜水道写真帳」より

函館市水道鉄管置場 12.5インチ以下

1888(明治21)年ごろ



『函館市水道百年史』(函館市企業局,1989年)より

長崎市水道浦上浄水場送水管布設工事

呼び径600 1941(昭和16)年ごろ



長崎市上下水道局東長崎浄水場資料室所蔵

大阪市水道柴島浄水場の鑄鉄管布設工事

1914(大正3)年



大阪市水道局所蔵

東京水道淀橋浄水場の鑄鉄管布設工事

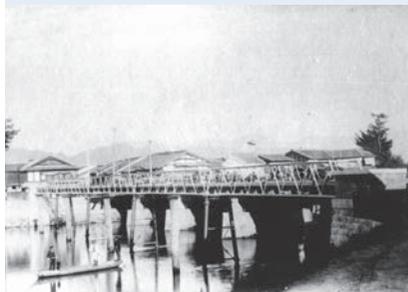
1896(明治29)年ごろ



東京都水道歴史館

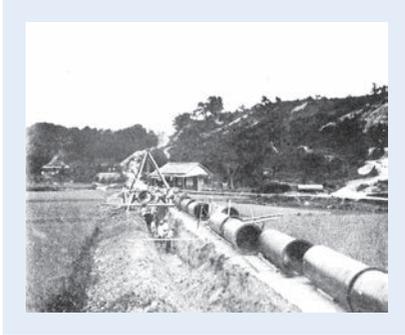
広島市水道猿橋水管橋

1897(明治30)年ごろ



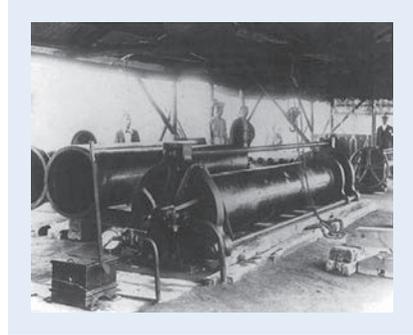
広島市水道局所蔵

神戸水道上ヶ原送水管布設工事
1916(大正5)年



神戸市水道局所蔵

岡山市水道水圧試験機による鑄鉄管の検査
1904(明治37)年



岡山市水道局所蔵

下関市送水管布設工事 長府浄水場から
日和山浄水場 第5期拡張事業
1940~1953(昭和15~28)年



「WaterTalk VOL.44」(下関市上下水道局)より

佐世保市水道内径18インチ布設工事
1926(大正15)年ごろ



「佐世保市水道誌」(佐世保市役所、1928年)より

印籠継手の鉛の流込み



横浜水道記念館水道技術資料館所蔵

6 近代水道拡張期の鑄鉄管とメーカー

大阪市水道の第1回、2回拡張事業が1897(明治30)年から1914(大正3)年にかけて行われ、久保田鉄工所製、大阪砲兵工廠製などの国産鑄鉄管が使われた。1909(明治42)年には、大阪市が国産の48インチ(呼び径1200)の大口径管を採用している。

神戸水道の第1回拡張工事は、1911(明治44)年から1921年(大正10)年にかけてであるが、神戸川崎造船所、東京堅鉄製作所、大阪鉄工所、関西鉄工、栗本鐵工所、久保田鉄工所などの国産鑄鉄管が多く使われた。

●図表1-3-3-7 近代水道拡張期に使用された鑄鉄管

水道事業体 ^{注1}	公称内径 ^{注2}	メーカー ^{注3}	製造年
横浜市水道局	22	リエージュ市水道鉄管会社	1897(明治30)ごろ
長崎市上下水道局	18	R. マクラレン社	1901(明治34)
長崎市上下水道局	14	TE & S社	1901(明治34)
広島市水道局	18 ^{注4}	不明	1905(明治38)
佐世保市水道局	2	大阪鉄工所	1908(明治41)
大阪市水道局	48	久保田鉄工所	1909(明治42)
佐世保市水道局	2	久保田鉄工所	1912(明治45)
神戸市水道局	6	神戸川崎造船所	1915(大正4)
長崎市上下水道局	18	不明	1917(大正6)
佐世保市水道局	14	釜石鉱山株式会社	1924(大正13)

注1 水道事業体名については現在の名称を記載している。

注2 当時の鑄鉄管は公称内径(インチ)で規定されていた。

注3 メーカー名については当時の名称を記載している。

注4 内面更生を実施済み。

●図表1-3-3-8 大阪市水道柴島浄水場向け鑄鉄管



第2回拡張工事
1908～1914(明治41～大正3)年

大阪市水道局写真提供



印籠継手 48インチ 久保田鉄工所製 1909(明治42)年

『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

1-4

製造方法の歴史

1-4-1 鉄管（直管）製造方法の変遷

1 概要

わが国の鉄管の材質は、普通鑄鉄、高級鑄鉄からダクタイル鑄鉄に変わり、鑄鉄管（直管）の製造方法は、置注鑄造法^{おきつぎ}から遠心力鑄造法に変わっていった。この間、1954（昭和29）年には世界初のダクタイル鉄管が置注鑄造法で製造され、1957（昭和32）年には遠心力鑄造法による初のダクタイル鉄管が製造された。

●図表1-4-1-1 日本における鉄管（直管）製造方法の変遷

開始年次	製造方法	材質
1893（明治26）年	置注鑄造法 ^{注1} （合わせ型横込め鑄造法）	普通鑄鉄
1897（明治30）年	置注鑄造法 ^{注1} （合わせ型斜吹鑄造法）	普通鑄鉄
1897（明治30）年	置注鑄造法 ^{注1} （合わせ型立吹鑄造法）	普通鑄鉄
1900（明治33）年	置注鑄造法 ^{注1} （立込丸吹鑄造法）	普通鑄鉄
1908（明治41）年	置注鑄造法 ^{注1} （回転盤式立吹鑄造法）	普通鑄鉄
1940（昭和15）年	砂型遠心力鑄造法 ^{注1} （呼び径300～900） ^{注3}	高級鑄鉄
1950（昭和25）年	金型遠心力鑄造法 ^{注2} （呼び径75～300） ^{注3}	高級鑄鉄
1957（昭和32）年	サンドレジン型遠心力鑄造法 ^{注1} （呼び径700、1350） ^{注3}	ダクタイル鑄鉄
1957（昭和32）年	金型遠心力鑄造法 （呼び径250以下） ^{注3}	ダクタイル鑄鉄
1977（昭和52）年	ウェットスプレー遠心力鑄造法 （呼び径1000、1200） ^{注3}	ダクタイル鑄鉄

注1 現在はこの製造方法は使われていない。

注2 高級鑄鉄に対して使用されたこの鑄造法は、現在は使用されていないが、ダクタイル鑄鉄向けに若干の改良を加えた後、現在はダクタイル鑄鉄向けに使用されている。製造方法の名称は両者とも同じである。

注3 呼び径は当時のもの。

●図表1-4-1-2 鉄管(直管)製造方法の変遷年表

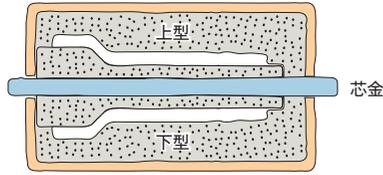
年代	普通铸铁／高級铸铁			ダクタイル铸铁		
	置注 铸造法	遠心力 铸造法		置注 铸造法	遠心力 铸造法	
1900 (明治33)	●合 わせ 型横 込め 铸造 法(1893)		普通 铸铁			
1910 (明治43)						
1920 (大正9)	●立 吹 铸造 法(1900)		普通 铸铁			
1930 (昭和5)						
1940 (昭和15)			普通 铸铁			
1950 (昭和25)				高級 铸铁		
1960 (昭和35)		●砂 型 遠 心 力 铸 造 法 (1940)			●世 界 初 の ダ ク タ イ ル 鉄 管 (1954)	●遠 心 力 铸 造 法 に よ る ダ ク タ イ ル 鉄 管 (1957)
1970 (昭和45)		●金 型 遠 心 力 铸 造 法 (1950)				ダ ク タ イ ル 鉄 管
1980 (昭和55)						
1990 (平成2)						
2000 (平成12)						
2010 (平成22)						

2 置注铸造法の変革

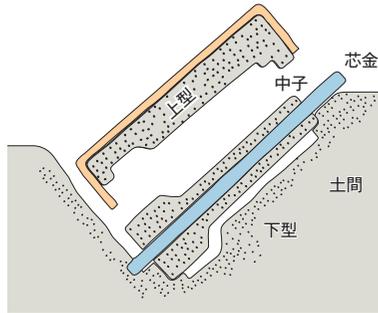
初期の铸铁管は、世界的に合わせ型横込め铸造法により铸造され、この铸造法が300年以上も続けられた。铸铁管の長さが長くなるにつれて、水平式から傾斜式となり、ついには垂直式すなわち立吹法に変化した。立吹法で初めて铸铁管を生産したのは、英国モントローズのリンクスファウンドリーで1846年のことである。この方法は海外では1920年ごろまで铸铁管の主たる製造方法であった。

● 図表 1-4-1-3 鉄管製造方法 (置注鑄造法)

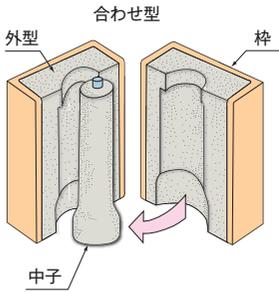
合わせ型横込め鑄造法



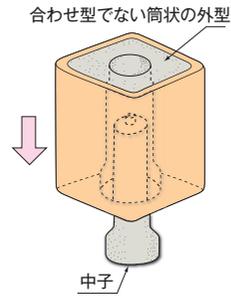
合わせ型斜吹鑄造法



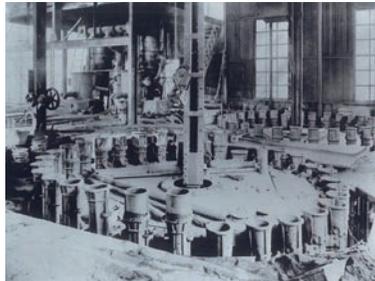
合わせ型立吹鑄造法



立込丸吹鑄造法



回転盤式立吹鑄造法



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

●図表1-4-1-4 1914(大正3)年製鑄鉄管



当時、60インチ(約1500ミリ)管は国内最大であり、大正博覧会で金賞を受けている。『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

3 遠心力鑄造法への発展

① 遠心力鑄造法への試み

静置した型に溶湯を流し込む鑄造法に対して、遠心力を利用した鑄造法であれば、鑄巢もなく効率も上がるはずだとの思想はかなり早くからあった。久保田鐵工所(現クボタ)が1903(明治36)年から遠心力鑄造法を試みたという記録が残っている。

その記録によると、まず中空円筒形の鑄型を造り、両端には把手を固定しておき、これを回転軸受に乗せる。円筒の一カ所にあらかじめ孔を開けておき、そこから溶湯を流し込み、粘土で素早く孔をふさぐ。両端の把手にかけたハンドルを懸命に手で回す。頃合いを見計らって中を見ると、ウサギのふんみたいにモロモロになっていて、とてもパイプとはいえない。何回やっても駄目だった。また、旋盤に型を取り付けて、回転させながら注湯する方法も試みたが、うまくいかなかったそうである。今から見れば滑稽かもしれないが、当時は危険を伴う真剣な試みであり、まさに可能性を追求しようという一念であった。

1916(大正5)年、カナダのトロントでド・ラボーが開発したド・ラボー式金型遠心力鑄造による鑄鉄管の試作が行われていた。久保田鐵工所の社主は、そこでド・ラボーに面会して遠心力鑄造設備の特許を25万円で購入した。この特許を活用するために、栗本鐵工所、津田勝商店(現津田鋼材)と共同で金型遠心力鑄造による鑄鉄

管を試作し、1923(大正12)年に6インチ(呼び径150)小口径鑄鉄管の製造に日本で初めて成功した。

1927(昭和2)年に社主は、英国、ドイツ、スイス、イタリア、フランス、米国の6カ国を訪問し、ドイツのランツ社からはパーライト鑄物の特許を購入した。

② 米国における実用化

1922(大正11)年、米国においてアメリカン・キャスト・アイアン・パイプ社が砂型遠心力鑄造を開始し、1933(昭和8)年にはユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社により金型遠心力鑄造法が実用化された。

1934(昭和9)年には、久保田鉄工所、アメリカン・キャストアイアン・パイプ社の

茶話 08

鑄鉄管国産化への情熱

明治20年代は横浜をはじめ函館、長崎、大阪、東京と近代水道の創設がなされた時代であり、自社でなければできないものと考えたクボタの創業者は、鑄物技術を用いて国産の水道管を造ることを目指し、ありとあらゆる知恵をしばり工夫を重ねた。

鉄管の異形管を製造しはじめた1893(明治26)年当時、鉄鉱石をキュポラ(溶鉄炉)で溶かした鉄は不純物を含んでいるため固くもろかった。直管は鉄の材質、湯の温度、鑄物土、水分の関係、鑄込み時間、湯口の取り具合など、どれかに欠陥があってもうまくいかない。鉄管の製造は外型と芯型との間に溶湯を流し込み固めるだけで一見簡単のように思われるが、鉄管は薄くて長いので、偏肉にもなりやすく非常に難しかった。当時は大資本家が鑄鉄管の製造に挑戦しても失敗の連続であった。鑄型を横にしたたり、斜めにしたたり、2つの割型を合わせて

縦にしてみたり工夫を重ねた。鑄造法を教えてくれる学者、文献、マニュアルもなかった。アイデアは一夜にして考えられるが、工業化するには非常に努力がいる。九分九厘までできても、一歩及ばなければ工業化はできない。

職人たちからも徐々に不平が起こり、「ご主人、一体いつまでこんな商売にならんことをやるつもりなんですか」と口々に反対し始めた。しかし、「金もうけのためにやっているのではない。水道鉄管を造ることはお国のためなんだ」「岩の上に生えた松は育たぬが、干ばつでも枯れはせぬ、これがわしの事業の根本だ、黙ってみておれ」と職人たちを説得した。

こうした4年に及ぶ努力の末、1897(明治30)年に、内径3インチ、4インチの鑄鉄管の製造に成功した。

扶間祐行「此の人を見よ 久保田権四郎傳」(山海堂出版、1940年)より

砂型特許と、ユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社の金型遠心力鑄造技術の特許の製造実施権をそれぞれ譲り受けた。

③ 日本最初の砂型遠心力鑄造

日本人の満州移住が始まって2年後の1935(昭和10)年、大連機械製作所と久保田鉄工所が合弁で満州久保田鑄鉄管を設立した。鞍山工場あんざんでは、原材料の鑄鉄を隣接していた昭和製鋼から調達し、当時日本で主流であった立吹回転式鑄造法ではなく、久保田鉄工所が研究を続けていた遠心力鑄造法で鑄鉄管を製造した。翌1936(昭和11)年には、鞍山工場に東洋初の砂型遠心力設備が完成し、4mの直管を製造した。そして最盛期には1200人をもって月6000トンの鑄鉄管の生産を行っている。終戦後は中国に接収され、同国最大の鑄鉄管生産の拠点として、そのまま生産が続けられた。

ついで1940(昭和15)年に久保田鉄工所の武庫川工場において、砂型遠心力法で呼び径300～900の鑄鉄管が、1950(昭和25)年には金型にごく薄く耐熱コーティングを施すだけで極めて能率の良い金型遠心力法で呼び径75～250の鑄鉄管の生産が開始されている。

遠心力鑄造法の特徴は、管の組織が緻密で鑄巣がないこと、管長6mの長尺ものが鑄造できることである(今では管長9mのものまで可能)。さらに、鑄造欠陥や偏肉、偏心がなく、均一な材質になるなど品質管理面における大きなメリットもあった。

4 太平洋戦争前後の鑄鉄管

① 戦前戦中の苦難時代

1937(昭和12)年に日中戦争が勃発し、1938(昭和13)年には国家総動員法が公布され、生産活動に必要な原料、資材、人も全て軍需優先となった。揚げ句の果てに1941(昭和16)年には太平洋戦争に突入した。

1937(昭和12)年の鑄鉄管の全国生産量は14万トンであったが、1941(昭和16)年には8万トンに減少、しかもそのほとんどが軍用水道に使われ、民需は極端に圧迫されるに至った。当時の事情を物語る一例を挙げる。

鑄鉄管用銑鉄を確保したいと考えた久保田鉄工所は、尼崎製鋼所と共同で350トン高炉を有する本格的な製鉄所を建設した。ようやく1941(昭和16)年6月に竣工を

見たが、すでに戦時統制下にあり、その銑鉄はついに隣接する武庫川鉄管工場へ一片も運ばれることなく終わってしまった。そして1945(昭和20)年8月、日本は破局に至り、筆舌に尽くし難い戦後の数年を迎えることになった。

2 戦後の混乱と復興の時代

戦争による荒廃は惨状を極めた。都市の水道施設は爆弾によって破壊され、焼夷弾によって家もろとも給水装置が焼失したため、漏水率は70%を越えるありさまであった。さらに、鑄鉄管の工場の多くは全焼あるいは破壊のため生産は不能に陥っていた。

1950(昭和25)年に朝鮮戦争が勃発、その特需を契機としてようやく経済が立ち直り始めた。そんな中で鉄管メーカーである久保田鉄工所は何をしたか。破壊された工場を修復しつつ、あらゆる困難と闘いながら原料、資材、人の確保に奔走する一方、四散してしまった印籠継手の鉛コーキングの熟練者不足を補い、かつ水密性を高めるためのメカニカル継手の開発、あるいは維持管理を容易にするためのセメントモルタルライニングの実用化などに努めた。なお、埼玉県でピストン関連品を製造していた東洋精機(現日本鑄鉄管)が³1949(昭和24)年に鑄鉄管の製造を始めている。

5 ダクタイル鉄管の開発

1949(昭和24)年に米国からダクタイル鑄鉄発明のニュースが伝わり、これこそ天の恵み、従来の高級鑄鉄管に代わる強靱なパイプの製造に利用できると直感的に閃いた人々がいた。久保田鉄工所では早速鑄鉄管部門に対してダクタイル管の試作を指示した。そして手探りのまま立吹法、砂型遠心力法、金型遠心力法などあらゆる方法で試作が始まった。

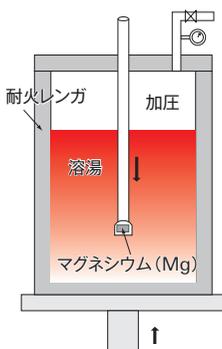
サンフランシスコで日米の平和条約が1951(昭和26)年9月9日に締結された。間もなく和平回復後の定期飛行便の第一便が羽田を飛び立ち、その便で久保田鉄工所の技術者はインターナショナル・ニッケル社を訪問し、ダクタイル鑄鉄をパイプに利用することの可否を研究者たちと議論し、確信を得て、早速特許の交渉を始めている。このとき、すでにダクタイル鉄管の開発に社運をかける決意で臨んでいたのであった。

1952(昭和27)年にはダクタイル鑄鉄の発明者ギャグネビンと直接交渉し、ダクタイル鑄鉄鑄造法の日本国内実施権を受けることに成功。インターナショナル・ニッ

ケル社の親会社カナディアン・ニッケル・プロダクツ社と契約を結んだ。

ダクタイル鋳鉄を工業的に造るには大きな課題があった。マグネシウム(Mg)の融点は650℃、気化温度は1100℃、比重は1.74と鉄よりも軽く、きわめて爆発しやすい金属であった。一方の溶湯の温度は、低くても1450℃はあり、マグネシウムを溶湯の中に不用意に投げ込むと爆発的な反応を起こし危険極まりなかった。そこで、ダクタイル鉄管のように大量に連続生産する方法として考案されたのが世界で「クボタメソッド」といわれている「圧力添加法」である。高圧下では物質の蒸発気化温度が上昇するという一般物理現象を利用したもので、取鍋を高圧容器にして、マグネシウムの気化温度を溶湯の温度近くになるように取鍋内の圧力を調節し、その上で挿入棒の先に取り付けておいたマグネシウムの塊を溶湯の中に押し込むと、圧力密閉容器内で反応は静かに進むという仕掛けである。

●図表1-4-1-5 マグネシウム圧力添加法(クボタメソッド)



ダクタイル鉄管の鋳造は、砂型遠心力鋳造で試みられたが、完全な失敗に終わった。この方法では、金枠の内面に30～50mmもの鋳物砂を内張りするため、全体が固まるまでに相当の時間がかかって、マグネシウム処理した溶湯の効果がなくなり、管の内面側は黒鉛の球状化が不十分で、かつ酸化のために皺が生じたりした。金型遠心力鋳造法でも試みられたが、鋳造品に材質以外の不具合が発生するなどさらに悪い結果であった。

そこでもう一つの鋳造法として立吹鋳造法があった。これこそ昔から鋳鉄管(FC管)でやってきた安定した方法であり、すでにダクタイル鉄管の試作で1953(昭和28)年ごろまでに一応の成功を収めていた。ただ欠点としては肉厚があり、重量が重い。管長も4mが限度で、遠心力管のように6mのものは困難である。しかし強度は十分

ある。なぜなら立吹鑄造法では外型と中子の隙間に溶湯を鑄込むので、凝固は管の内面側からと外面側からとが同時に始まって速く進行し、マグネシウムの酸化あるいは蒸発消失も少ないからである。

久保田鉄工(現クボタ)は、新規の遠心力鑄造法の開発は武庫川工場で、一方の立吹鑄造法の完成は尼崎工場でそれぞれ担当するという両面作戦を展開していった。苦労を重ねた末に、1954(昭和29)年には立吹鑄造法によってダクタイル鉄管の製造に成功した。

そのころ、阪神上水道市町村組合(のちの阪神水道企業団)では、第二期淀川導水路計画が具体化、そのうち尼崎浄水場から甲東ポンプ場への約6.6km強、そこから甲山浄水場までの2.8kmの区間は高圧となり、従来の鑄鉄管では耐え得ないと判断さ

●図表1-4-1-6 阪神水道企業団へ呼び径1350ダクタイル鉄管を運ぶトラック



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

茶話 09 火事と間違えられた鑄造作業

尼崎工場で呼び径1350管を初めて鑄造したときのことである。朝から手順の打ち合わせや段取りにかかり、鑄込みが夕刻になった。前工程が脱硫作業であるが、カーバイド粉を窒素ガスで数分間にわたって吹き込むので、反応生成物の黒煙が高い建屋の天井から吹き上げる。続いてマグネシウム処理の工程である。反応が激しく、物凄い閃光がパツパツと天窓のガラスを真赤に染める。たまたま

尼崎消防署員が望楼ぼろうの上から望んでおり、「クボタが火事や!」というので数台の消防車がサイレンを鳴らしながら工場の中へ飛び込んできた。「火事はどっちだ!」と消防士。「えー、火事?どこの?」と門衛。騒ぎのあと「そんなことするんなら、事前に連絡せんかいな」と叱られ、「えらいすんまへん」と平謝りの一幕であった。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より

れ、たまたま完成したばかりの立吹鑄造法によるダクタイル鉄管が着目された。

若い技術者が毎日のように工場に派遣され、抜き取った試作品を切り刻んでは機械強度試験、残留応力の有無、継手の水密試験など、考えられるあらゆる面から綿密かつ徹底的な調査・試験を実施した結果、呼び径1350管を4.1km分、呼び径1200管を1km分それぞれ初採用、1954(昭和29)年春から工事が開始された。

これが歴史を飾る日本におけるダクタイル鉄管の第1号であり、しかも世界における最初の大口径ダクタイル鉄管であった。

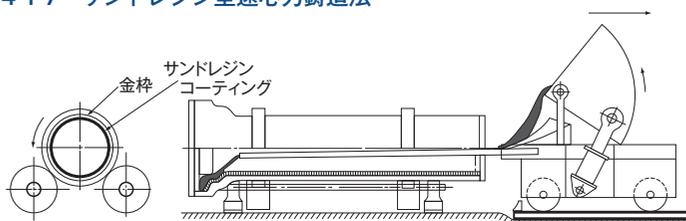
6 サンドレジン型遠心力鑄造法

久保田鉄工では、発想を転換して新たな遠心力管を開発することになった。だが、一朝一夕には無理な話で、相当の時間がかかることを覚悟しなければならない。ところが水道を取り巻く環境・情勢は急を要しており、とても悠長なことはいっておれない。

珪砂けいさにフェノール樹脂を混合して成型する方法(サンドレジン遠心力鑄造法)が実用化されつつあった。予熱した金枠かみかの内面に1~2mmほどの薄いサンドレジンサンドレジンをコーティングし鑄造すると溶湯の冷却が速いために、酸化物の生成がなく、管内面にも皺ができてくいが、硬くて脆い組織(セメントイト、 Fe_3C)になってしまうので、鑄造後に焼鈍しょうどんをしてやらねばならない。

焼鈍は1本1本やっているわけにはいかないので、長さ50~60mの連続炉を築き、加熱、保温、冷却の各ゾーンを管が回転しながら連続的に動いていく仕組みで行った。こうして1957(昭和32)年にサンドレジン型遠心力鑄造法により、ダクタイル鉄管の遠心力鑄造に成功したわけである。ダクタイル鑄鉄は非常に難しい材料であり、この鑄造法を確立するまでに7年の歳月を要していた。

●図表1-4-1-7 サンドレジン型遠心力鑄造法



ローラー上に横たえた鑄型が高速回転を始めると取鍋が転倒し、溶湯が樋を伝って流れる。鑄型上に落ちた溶湯は遠心力の作用で鑄型に沿って広がる。こうして樋が後退おひしながら管を形成していく。管は冷却後引き抜かれ、次の工程に流れる。

●図表1-4-1-8 サンドレジン遠心力铸造ダクタイル鉄管の工場検査



桂沢水道企業団写真提供

1957(昭和32)年に砂型・金型両者の長所を兼備したサンドレジン型による遠心力铸造法により、世界に先駆けて大口径遠心力ダクタイル鉄管の製造を開始し、桂沢上水道組合(現在の桂沢水道企業団)の創設に初めて採用された。

7 ウェットスプレー遠心力铸造法

サンドレジン型遠心力铸造法では、金枠に無数のガス抜き孔を設ける必要があり、金枠の維持管理作業が大変であること、焼鈍に伴う寸法ばらつきが大きいことなどの問題があった。そこで、ガス抜き孔のない予熱金枠の内面に水に溶いたスラリー(珪藻土、ベントナイト、水)をスプレーして耐火物層を形成しておき、溶湯を铸込むウェットスプレー遠心力铸造法が開発され、まず呼び径1000、1200で実用化された。

今日の日本のダクタイル鉄管製造技術は世界をリードするものであり、技術・製品ともに遠く海外に輸出されるまでに至っている。特に1987(昭和62)年に製造された呼び径2900ダクタイル鉄管のような超大口径管の遠心力铸造技術は世界を驚嘆させた。

●図表1-4-1-9 呼び径2900ダクタイル鉄管



クボタ写真提供(日本ダクタイル鉄管協会加工)

1978(昭和53)年10月、中国土木工
程学会の招聘により、日本水道協会
名誉会員小林重一先生を団長に、日
本下水道協会専務理事寺島重雄先生
を副団長に、計8名の訪中団が17日
間にわたり北京、西安、南京、上海を
回り、技術交流を行った。詳細は日
中経済協会から報告書が出ているの
で、ここでは省略する。時あたかも鄧
小平副首相が日中平和友好条約批准
書交換のため来日された前後であり、
中国でも友好的な雰囲気がみなぎり、
その上、時候もベストシーズンであ
ったこともあって万事めぐまれた旅で
あった。

当時中国では国を挙げて4つの近
代化に取り組んでいた。農業、工業、
国防、科学技術である。交流会を通じ
て感じた限りでは、自力更生を貫く精
神と新技術を吸収しようとする強烈
な意欲がひしひしと迫ってくるよう
な印象に打たれた。

さて、鑄鉄管に関連する一部に
ちよっと触れてみよう。水道管の主流
はやはり鑄鉄管であったが、どこも普
通の印籠形鑄鉄管であり、ダクタイル
鉄管はまだなかった。鑄鉄管の製造工
場は北京、上海にもあるが、主力は鞍

山工場であるとのこと(終戦時に満州久
保田鑄鉄管を接収したもので、その後もその
まま稼働させている)。上海鑄鉄管工場で
は水冷銅鑄型による立型半連続鑄造
方式で小管を製造していた。ソ連から
持ってきた技術らしいが、まだまだ問
題ありとのこと。ただ感心したのは取
鋼の扱いから鑄造機の運転まで女性
がやっていたことで、当時の日本では
まずないことだろうと思った。中国で
は男女を問わず同一労働同一賃金で、
働ける者はすべて働くのが原則だか
ら当然のことなのだろう。

もうひとつ。西安(昔の長安)で、あ
まりの懐かしさに胸が熱くなる思い
をしたことだった。それは技術交流会
が終わった直後、私とほぼ同年輩と
思われる一人の技師が近寄り、「高級
鑄鉄管規格、昭和8年印刷、久保田鉄
工所」なる古びた蠟半紙刷りの規格書
を取り出され、「その後も変わってい
ないか」と質問されたことだった。パ
ラパラとめくって見ると、旧漢字と片
仮名文字とむずかしい文章の、まぎ
れもない鞍山当初の規格書であった。

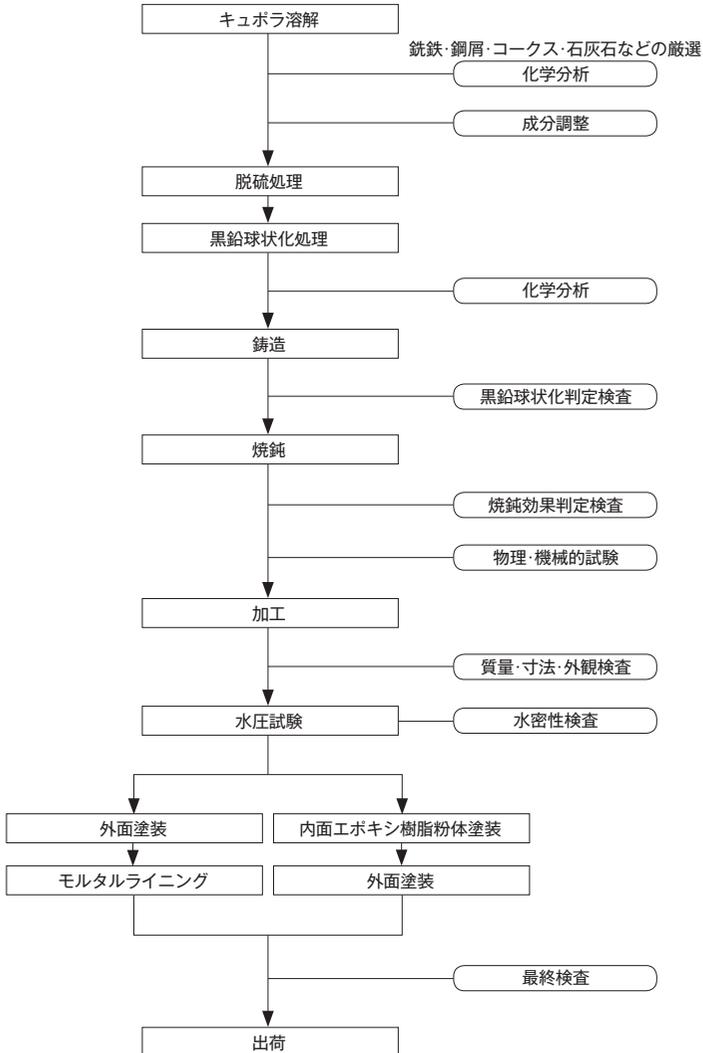
宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より

1-4-2 現在の製造方法

1 直管の製造工程

直管の製造工程と品質管理のフローの一例を図表1-4-2-1に示す。

●図表1-4-2-1 ダクタイル鉄管(直管)の製造工程



① 溶解

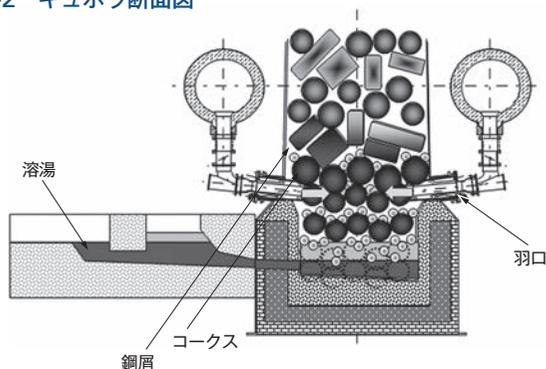
連続的に大量の良質な溶湯が得られる特徴を有することから、溶解にはキュポラが使用されている。日本の鉄管メーカーが保有するキュポラの中には溶解能力(時間当たりの溶解トン数)が世界最大級のものもある。

溶解方法はキュポラに良質のコークス(石炭から製造した燃料)を投入し、羽口から高温の空気を吹き込むことで、燃焼させる。その雰囲気温度は 2000°C 以上にもなり、その熱で鋼屑・銑鉄などの鉄源を溶かして、 1500°C 以上の高温の溶湯にする。溶湯中には黒鉛球状化を阻害する硫黄(S)が含まれるため、生石灰(CaO)やカルシウムカーバイド(CaC_2)を添加して脱硫処理を行った後、低周波炉に保持し、温度・成分の調整を行う。

その後、黒鉛を球状化させるために、溶湯に少量のマグネシウム(Mg)、またはその合金を添加する。マグネシウムの添加には圧力添加法やコンバータ法などが用いられる。

各工程では、溶湯中の成分(炭素(C)、ケイ素(Si)、硫黄、マグネシウムなどの元素)が基準を満足しているかをサンプリング・分析によって確認している。

●図表1-4-2-2 キュポラ断面図



② 鑄造

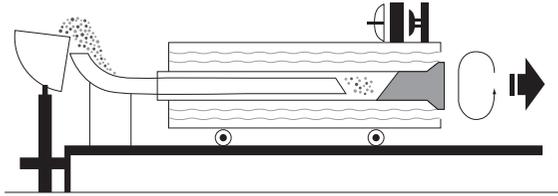
1) 金型遠心力鑄造法

金型遠心力鑄造法は、同一管種を連続的に高能率で生産するのに適した鑄造法であり、主に小・中口径管に適用される。

高速回転させた水冷金型に細長い樋(トラフ)を通じて一定割合で溶湯を流し込みながら、金型を後退させる。金型上に落ちた溶湯は遠心力の作用によって金型内面

に広がり、均一な厚みの管を鑄造できる。鑄造後短時間で凝固するため、すぐに金型から引き抜くことができる。なお、受口部には砂型中子(コア)をセットして鑄造しており、鑄造時に受口内面形状を形成することができる。

●図表1-4-2-3 金型遠心力鑄造法の仕組み



●図表1-4-2-4 金型遠心力鑄造法による管の鑄造

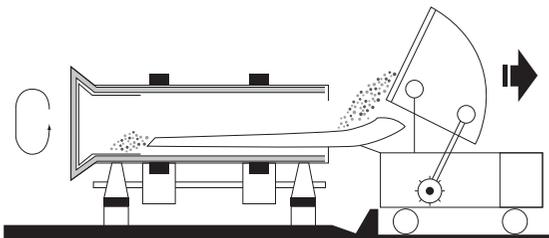


2) ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法

ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法は、多品種の大口徑管を生産するのに適した鑄造法であり、主に中・大口徑管に適用される。

耐火粉末を薄く内面にコーティングした金型を高速回転させ、樋(トラフ)を通じて一定割合で溶湯を流し込みながら、樋を後退させる。金型遠心力鑄造法と同様、金型上に落ちた溶湯は遠心力の作用によって金型内面に広がり、均一な厚みの管を鑄造できる。鑄造が終わった金型はクレーンで搬送され、管の引き抜き、ブラシ・コーティング工程を経て、次の鑄造を行うことができる。

●図表1-4-2-5 ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法の仕組み



●図表1-4-2-6 ウェットスプレーコーティング遠心力铸造法による管の铸造

③ 焼鈍 しょうどん

1) 連続式横転炉

連続式横転炉は、金属爪(フィンガー)で管を押しして転がしながら熱処理を行う炉で、連続的に高効率で生産するのに適した焼鈍設備であり、小口径・中口径・大口径などに適用されている。

铸造された管のままではセメンタイトやパーライトを含んだ脆い組織であるため、高温焼鈍を行うことによって基体組織をフェライト化し、強靱性・延性を持たせている。

●図表1-4-2-7 連続式横転炉



2) バッチ式炉

バッチ式炉は、1本1本熱処理を行う炉であって、管の変形を抑制するためローラー上に横たえた管を回転させる方式(回転式)と管を立てたまま静止させておく方

式(立型式)がある。

焼鈍後は、扁平試験または組織観察を行い、焼鈍効果を確認している。

●図表1-4-2-8 バッチ式炉(回転式)



●図表1-4-2-9 バッチ式炉(立型式)



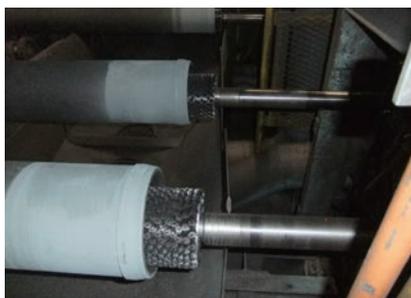
4 加工

成分・組織・機械的性質といった厳しい検査に合格した管は、外面や内面について研削・切削・溶接などが行われ、規定の形状・寸法のダクタイル鉄管に仕上げられる。

研削工程では、主に塗装の下地処理を目的に、外面ではブラスト処理、内面では中摺り処理が施される。切削工程では、主に大口径管の受口内面の形状・寸法確保を目的に旋盤加工が施される。また、耐震継手管向けの挿し口外面には、離脱防止機能付加を目的にリング溶接も施される。

規定の形状・寸法に仕上げられた管は全数について水圧試験が行われ、管の水密性が確認される。

●図表1-4-2-10 内面研削加工



●図表1-4-2-11 旋盤による受口内面加工



●図表1-4-2-12 水圧試験



5 塗装

1) 内面塗装

内面塗装は、エポキシ樹脂粉体塗装(主に小・中管)とモルタルライニングに大きく分けられる。

エポキシ樹脂粉体塗装は、200℃程度に加熱した管を回転させながら管内面にエポキシ樹脂粉末を吹き付ける塗装方法である。検査工程では、全数の管について塗膜厚さの測定やピンホール試験を実施し、規格に適合しているかを確認している。

モルタルライニングは、セメント・砂・水を混ぜたモルタルを高速回転した管に流し込み、養生後に表面のレイタンス層を取り除き、シーラートを塗布する方法である。検査工程では、外観や厚さの測定などを行っている。

●図表1-4-2-13 エポキシ樹脂粉体塗装



塗装状況



製品の内面状況

●図表1-4-2-14 モルタルライニング



施工状況

2) 外面塗装

外面塗装では、エポキシやアクリル系の合成樹脂塗料を塗装している。小・中口径管では、乾燥を早めるために60℃程度に加熱して回転した管にスプレー塗装を行っている。製造時には、目標厚さの塗膜を形成できるような塗布量を管理している。

また、GX形管では耐食亜鉛系塗装を施している。合成樹脂塗装前に、亜鉛合金溶射、封孔処理を施して耐食性を向上し、長寿命を実現している。

●図表1-4-2-15 外面塗装



亜鉛合金溶射

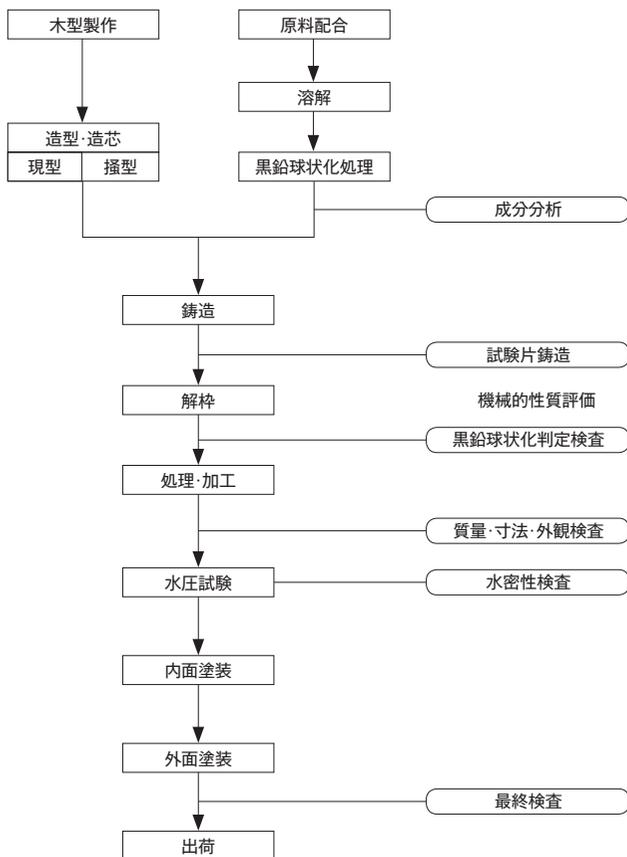


合成樹脂塗装

2 異形管の製造工程

異形管の製造工程と品質管理のフローの一例を図表1-4-2-16に示す。

●図表1-4-2-16 ダクタイル鉄管（異形管）の製造工程



① 造型・造芯工程

異形管の造型・造芯工程は、大きく現型造型法と掻型造型法に分かれる。造型砂には造型法に適したものが使用される。

異形管の鑄型は、製品の外側形状となる上型、下型と、内側形状となる中子（また

は芯)から構成される。

・ 現型造型法

製品と相似形状をした三次元(半割)の模型に金枠をかぶせて砂を詰め、砂が硬化した後に模型を抜き取ることで模型形状を写し取った鑄型が完成する。

機械化に適した造型法であり、ばらつきが少ない鑄型を造れるが、模型の製作には費用・期間がかかり、また保管スペースも必要となる。

多量または繰り返し生産するのに適している造型法といえる。主に、小口径管・中口径管などに用いられる。

・ 掻型造型法

二次元での木型を円運動あるいはスライド運動させることにより三次元の鑄型を造る。木型製作費や製作期間を圧縮できる反面、造型作業には技能と労力が必要である。多品種少量生産に適した造型法であり、主に、大口径管・特大口径管などに用いられる。

● 図表1-4-2-17 異形管の造型



現型造型法に使用される模型



掻型造型法

② 鑄造工程

異形管の鑄造は直管と異なり、砂で造型した鑄型を使用する。鑄造後は製品を取り出す際に鑄型を壊すので、鑄造のたびに鑄型を造り直す。

1) ^{かぶせまえ}被前(鑄型のセット)

下型、中子、上型を所定の位置に組み合わせ、鑄造時に溶湯流で鑄型が動いたり、溶湯が漏れたりしないよう固定する。

2) 鑄込み

1350℃程度の溶湯を流し込む。溶湯は湯道から堰を通り静かに鑄型の中に入っ

ていく。凝固の際、砂型の中で保温されながら時間をかけて冷えるので基地組織はフェライト化し、焼鈍工程を必要としない。

3) 解粹^{かいわく}

上型、下型を壊して製品を取り出し、製品から中子を取り出す。

●図表1-4-2-18 異形管の鑄造



被前(下型と中子のセット)



鑄込み



解粹

③ 処理加工工程

鑄造後から塗装前の鉄部完成までの処理加工工程は以下の通り。

1) 処理

鑄型から取り出された製品はショットブラストで表面の砂が除去され、湯道、堰、押湯、バリといった不要な部分がプラズマ切断機や高周波グラインダーなどで切断・除去される。この段階で製品表面を磨いて金属組織を観察し、黒鉛球状化判定検査と製品肉厚などの寸法検査が行われる。

2) 機械加工

主に中・大口径管では、工作機械によって継手部が規定の形状・寸法に加工され

る。接合用の孔明け加工、タッピング加工も行われる。また、塗装の下地処理を目的に、内面にグラインダー処理が施されるものもある。

3) 検査

質量測定、寸法・外観検査、水圧試験による水密性を全数確認している。

●図表1-4-2-19 異形管の加工処理・検査



機械加工



検査(水圧試験)

4 塗装工程

1) 内面塗装

エポキシ樹脂粉体塗装、液状エポキシ樹脂塗装、無溶剤形液状エポキシ樹脂塗装など、呼び径・用途に合わせて塗装を行う。

粉体塗装は、200～250℃に予熱した管に粉体塗料を静電塗装することで管の熱により塗料が熔融密着し、強固な塗膜が形成される。

液状エポキシ樹脂塗装は、エアレススプレーにより製品に吹き付けることで塗料の硬化反応により塗膜が形成される。

2) 外面塗装

内面の塗装に塗料がかからないようマスキングを行い、塗装仕様に合わせて外面塗装を行う。塗装方法はエアレススプレー、ローラー刷毛など、塗料性状や塗膜厚さに応じて使い分ける。

3) 検査・出荷

塗装が乾燥・硬化した後で、塗膜厚さ、外観、ピンホールなどの不具合がないか最終検査を行う。

ペイント表示・梱包をして出荷する。

●図表1-4-2-20 異形管の塗装



内面粉体塗装ロボット



外面スプレー塗装

(図表1-4-2-4, 6～15, 17～20の写真はクボタ提供)

1-4-3 鋳鉄管メーカーの変遷

横浜のガス灯用のガス管として1872(明治5)年ごろに英国のR. レイドロー社の鋳鉄管が輸入されたのが、日本の鋳鉄管の始まりである。

国内のメーカーについては、いつから鋳鉄管を製造して、いつ辞めたかなどははっきりしないメーカーもあるが、資料を基に分かっているメーカーの変遷を以下に示す。

1895(明治28)年創設の大阪市水道では大阪砲兵工廠が鋳鉄管を製造し納入する予定であったが、生産が間に合わず、半分以上は英国のD.Y. スチュワード社の鋳鉄管が使用されたが、大阪城に現在でも使用している当時の大阪砲兵工廠製鋳鉄管が残っている。また、1898(明治31)年創設の東京水道でも当初国産化を図ったが日本鋳鉄合資会社の製造がうまくできずに、ベルギーのリージュ市水道鉄管会社の鋳鉄管を使用することになった。

佐賀の谷口鉄工所は1883(明治16)年に設立し、1892(明治25)年に鋳鉄管の製造に成功した記録が残っているが、現存する最古の谷口鉄工所製鋳鉄管は下関市の1904(明治37)年のものである。また、1915(大正4)年の佐賀市水道の創設時に鋳鉄管を納めている。1893(明治26)年には久保田鉄工所が鋳鉄管の製造を開始し、1900(明治33)年には大阪鉄工所、官営八幡製鉄所(現新日鐵住金八幡製鉄所)が鋳鉄管の製造を開始した。1903(明治36)年には釜石鉦山田中製鉄所(現新日鐵住金釜石製鉄所)が鋳鉄管の製造を開始し、1909(明治42)年には栗本鐵工所が操業している。

数多くの鋳鉄管メーカーが明治時代に創業したが、その多くは1929(昭和4)年に

始まる世界恐慌^{きょうこう}の影響で日本経済が危機的な状況に陥った1930(昭和5)年から翌1931(昭和6)年にかけての昭和恐慌の際に鑄鉄管の製造を中止した。その後も鑄鉄管の製造を継続したのは久保田鉄工所と栗本鐵工所のみで、1949(昭和24)年に東洋精工業(現日本鑄鉄管)が鑄鉄管の製造を新たに開始した。

● 図表1-4-3-1 過去の鑄鉄管(直管)メーカー

メーカー	明治		大正		昭和				平成					
	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
〈輸入鑄鉄管〉 ^{注1}														
R.レイドロ-&ソンス社(R.LAIDLAW & SON/RL&S)(英国) ガス用	1872~1907(明治5~40)年ごろ													
R.レイドロ-&ソンス社(R.LAIDLAW & SON/RL&S)(英国) 水道用	1885~1907(明治18~40)年ごろ													
リエージュ市水道鉄管会社(Compagnie General Liesi/CIEGLELIEGE)(ベルギー)	1896~1902(明治29~35)年ごろ													
D.Y.スチュワード社(Daniel Yoolow Stewart & Co./DYS&C)(英国)	1889~1907(明治22~40)年ごろ													
R.マクラレン社(Roberts McLaren & Co./RM&C*)(英国)	1887~1901(明治20~34)年ごろ													
TE&S ^{注2}	1901(明治34)年ごろ													
〈国産鑄鉄管〉														
東京鉄管製造	1875(明治8)年ごろ(ガス用鑄鉄管の製造を手掛けた記録があるが、製品として製造したか定かではない)													
中小坂鉄山(群馬県)	1876(明治9)年ごろ(ガス用鑄鉄管の製造を手掛けた記録があるが、製品として製造したか定かではない)													
日本鑄鉄合資会社(東京市)	1892~1894(明治25~27)年ごろ(東京水道の創設時に鑄鉄管の製造を試みるが失敗した)													
東京堅鉄株式会社	1907~1916(明治40~大正5)年													
永瀬鉄工所(川口市)	1893~1937(明治26~昭和12)年													
官営製鉄所(釜石釜山田中製鐵所のルーツ)	1880~1883(明治13~16)年ごろ													
釜石釜山田中製鐵所(現新日鉄住金釜石製鐵所)	1903~1917(明治36~大正6)年													
田中釜山株式会社(現新日鉄住金釜石製鐵所)	製鉄技術 1917~1930(大正6~昭和5)年ごろ													
官営八幡製鐵所 尾倉鑄造工場(現新日鉄住金八幡製鐵所)	1900~1933(明治33~昭和8)年ごろ													
官営八幡製鐵所 堂山鑄造工場(現新日鉄住金八幡製鐵所)	1918~1927(大正7~昭和2)年ごろ													
大阪砲兵工廠(大阪市)	1891~1919(明治24~大正8)年ごろ													
谷口鉄工所(佐賀県)	1892~1929(明治25~昭和4)年													
大阪鉄管製造所	1925~1948(大正14~昭和23)年													
藤永田造船所	1921~1924(大正10~13)年													

注1 輸入鑄鉄管は製造期間ではなく、日本への輸入時期を示す(日本水道創設期の水道事業への輸入実績のみ示す)。

注2 メーカー名不明のため、管体鑄出しマークを記載している。

備考 ■■■■■ は、鑄鉄管の製造以外を示す。

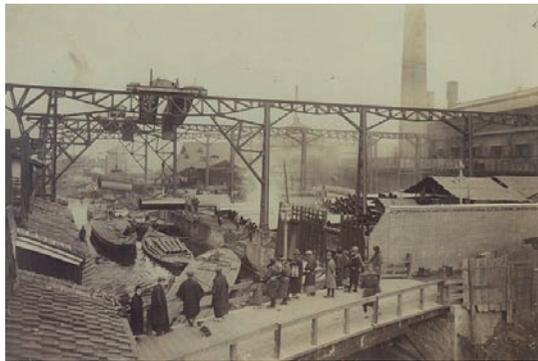
●図表1-4-3-2 現在のダクタイル鉄管(直管)メーカー(国内)

メーカー	明治		大正		昭和				平成					
	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
株式会社クボタ					● 1890 (明治23)年、大出鑄物(現株式会社クボタ)創業				● 1953 (昭和28)年、久保田鉄工株式会社と改称			● 1990 (平成2)年、株式会社クボタと改称		
大出鑄物 (大阪市南区御藏跡町23番地)		■												
大出鑄造所 西開谷町工場 (後に第一分工場)					●									
久保田鉄工所 北高岸町工場 (後に本店工場、船出町工場となる)														
久保田鉄工所 第二分工場 (南区馬淵町)														
大阪鉄工所 (現日立造船株式会社)														
関西鉄工株式会社 (後に尼崎工場となる)														
久保田鉄工所 尼崎工場														
株式会社久保田鉄工所 武庫川工場 (現株式会社クボタ阪神工場)														
満州久保田鑄鉄管株式会社 鞍山工場														
株式会社久保田鉄工所 北京工場														
株式会社隅田川精鉄所														
株式会社久保田鉄工所 隅田川工場														
久保田鉄工株式会社 船橋工場 (現株式会社クボタ京葉工場)														

備考 ■ は、鑄鉄管の製造以外を示す。

1912 (明治45)年ごろの久保田鉄工所本店新工場(後の船出町工場)。高津入堀川をまたぐ80尺クレーンによる鉄管の出荷風景。

『クボタ100年』(クボタ、1990年)より



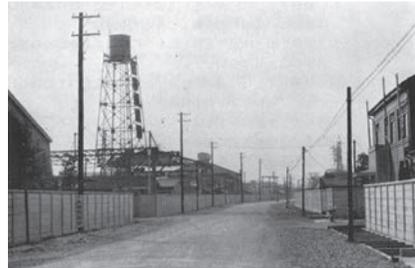
メーカー	明治			大正		昭和				平成				
	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
株式会社栗本鐵工所				● 1909 (明治42) 年、栗本鐵工所創業	● 1914 (大正3) 年、合資会社栗本鐵工所と改称				● 1934 (昭和9) 年、株式会社栗本鐵工所と改称					
紀野吉鐵工所				■ 1906 ~ 1909 (明治39 ~ 42) 年										
株式会社栗本鐵工所 千島工場			1909 ~ 2002 (明治42 ~ 平成14) 年											
株式会社栗本鐵工所 加賀屋工場					1940 (昭和15) 年 ~									
新日本ハイブ株式会社						1963 ~ 1987 (昭和38 ~ 62) 年						● 1975 (昭和50) 年、買取 ● 1987 (昭和62) 年、合併		
株式会社栗本鐵工所 堺工場										1987 (昭和62) 年 ~				
製造メーカー	明治			大正		昭和				平成				
	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
日本鑄鉄管株式会社									● 1937 (昭和12) 年、東洋精機株式会社 (現日本鑄鉄管株式会社) 創業					
									● 1939 (昭和14) 年、東洋精工工業株式会社と改称					
									● 1960 (昭和35) 年、日本鑄鉄管株式会社と改称					
東洋精機株式会社							■ 1937 ~ 1939 (昭和12 ~ 14) 年							
東洋精工工業株式会社									■ 1949 ~ 1960 (昭和24 ~ 35) 年					
日本鑄鉄管株式会社 蔵工場						1960 ~ 1981 (昭和35 ~ 56) 年								
日本鑄鉄管株式会社 久喜菖蒲工場 (現本社・工場)												1981 (昭和56) 年 ~		

備考 ■ は、鑄鉄管の製造以外を示す。



1935 (昭和10) 年ごろの栗本鐵工所千島工場 (現在は閉鎖)。工場敷地内の護岸から港湾船 (はしけ) に積み出された鑄鉄管は、貨物船へと積み替えられ国内外に出荷された。

『栗本鐵工所百年記念誌-百歳のしるべ』(栗本鐵工所、2010年)より



1962 (昭和37) 年当時の日本鑄鉄管蔵工場。道路を挟んで左側が工場、右側手前の建屋が事務所、その奥は製品置場。

『日本鑄鉄管三十年史』(日本鑄鉄管、1968年)より

1-5

継手の歴史

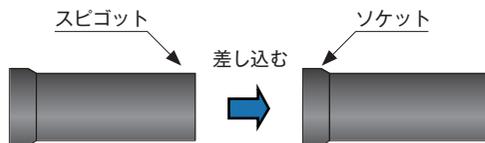
1-5-1 主な継手の変遷

日本で初めて使用された鑄鉄管は、1872(明治5)年に横浜の街頭にガス燈を灯すために布設されたガス管用の輸入管である。この鑄鉄管はソケット形であり、葉などを入れて腰に下げる印籠の形に似ていたので「印籠接手*1」といわれるようになった。

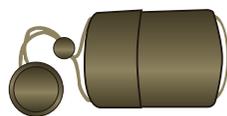
*1 1914(大正3)年の上水協議会規格では「印籠接手」が用いられており、1961(昭和36)年以降はC形が用いられた。本書では総称として「印籠継手」を用いている。

●図表1-5-1-1 鑄鉄管の印籠接手と印籠

鑄鉄管



日本の印籠



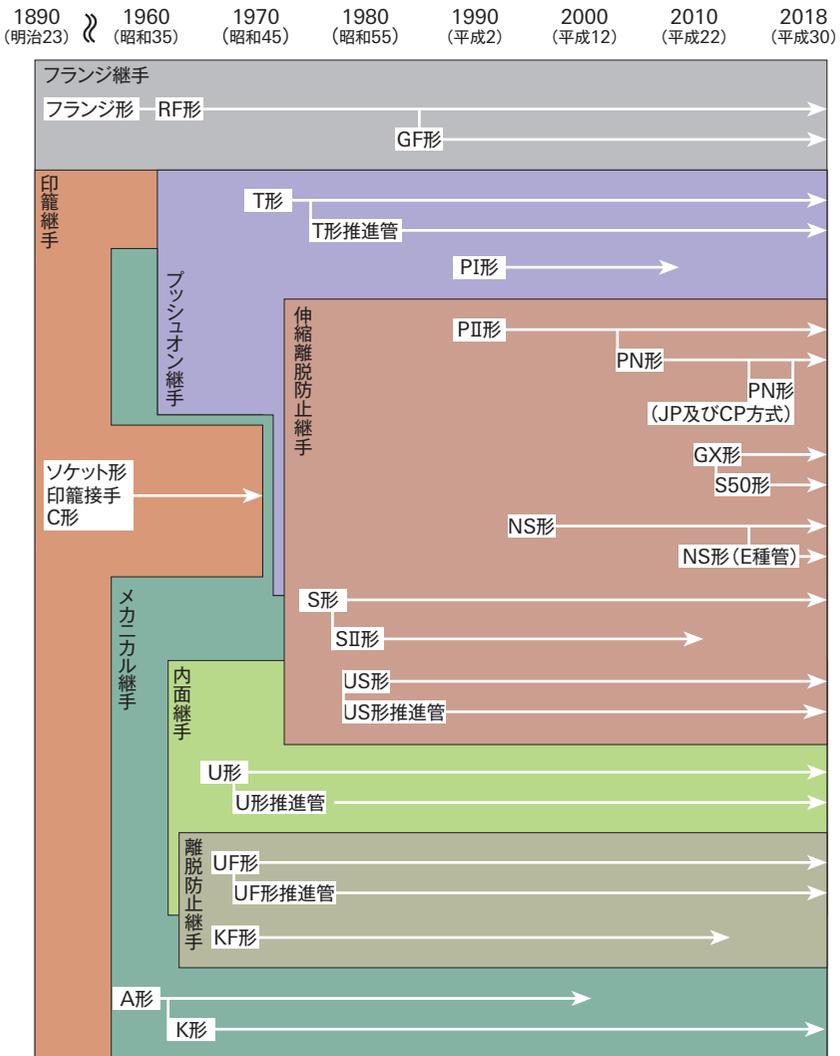
その後1891(明治24)年ごろから国産品が製造され、鑄鉄管の材質は普通鑄鉄、高級鑄鉄、ダクタイル鑄鉄と発展していったが、その過程で多くの継手が開発された。水密性の確保、現場の人手や施工技術の不足を補うためなど時代のニーズに応える継手の開発が行われた。またゴム輪の開発により継手の構造は大きく変化した。

また、トンネル内配管、推進工法、PIP(パイプインパイプ)工法、水管橋用など工法に応じたダクタイル鉄管の継手も開発されてきた。また、防護コンクリートに代わり曲管部などの不平均力を止める離脱防止継手や地震や地盤沈下に耐える伸縮離脱防止継手など現在の主流となる継手が開発されてきた。

ダクタイル鉄管の歴史は「継手の歴史」といっても過言ではなく、近代水道創設期に埋設された鑄鉄管には現在も使用されているものがある。過去の多くの継手が日本の地下に埋設されている現在、今後の水道管路の更新、また新しい継手の開発においても継手の歴史を十分に理解しておくことが必要となる。そこで本節では日本における継手の歴史を概説する。

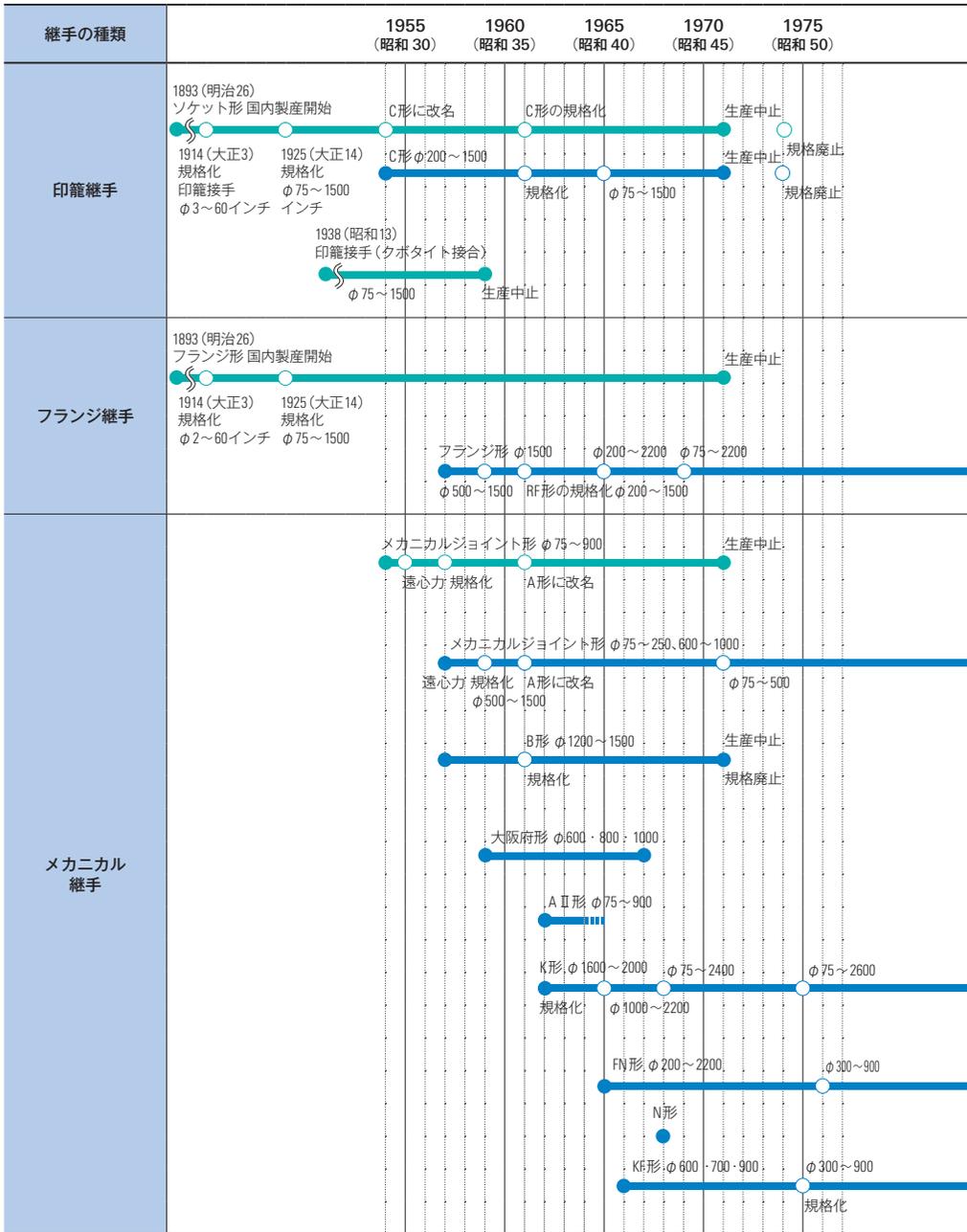
なお、本節の継手の構造図に記載している年度はその継手が布設に用いられた年または製造開始年から中止年を示している。一方、表内の年は主な規格の制定、改正、廃止年を示している。また、継手の構造図に記載している呼び径はその継手を使用された当時の呼び径を示し、現在も使用しているものは現在の呼び径を示した。

●図表1-5-1-2 継手の歴史と接合形式別分類

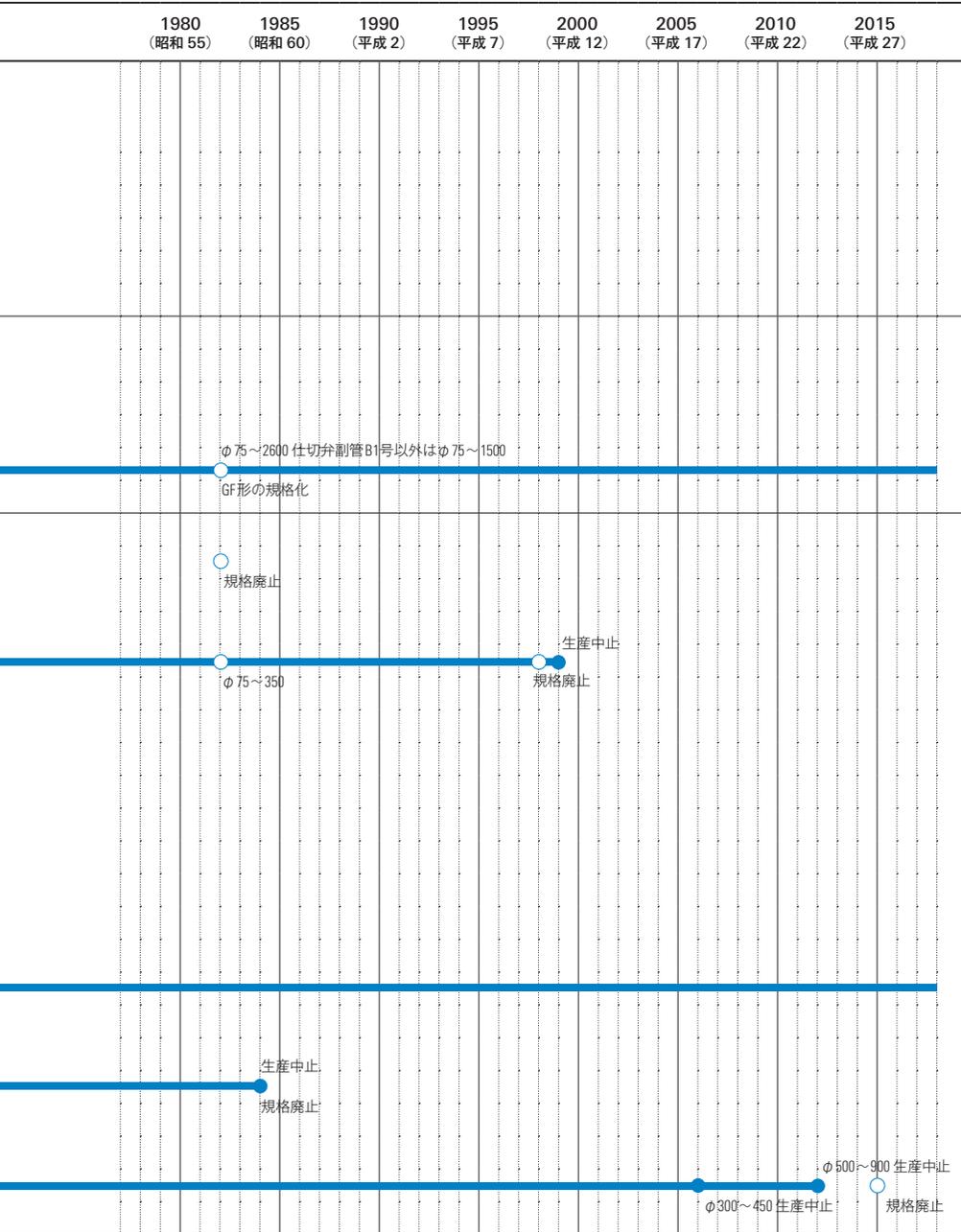


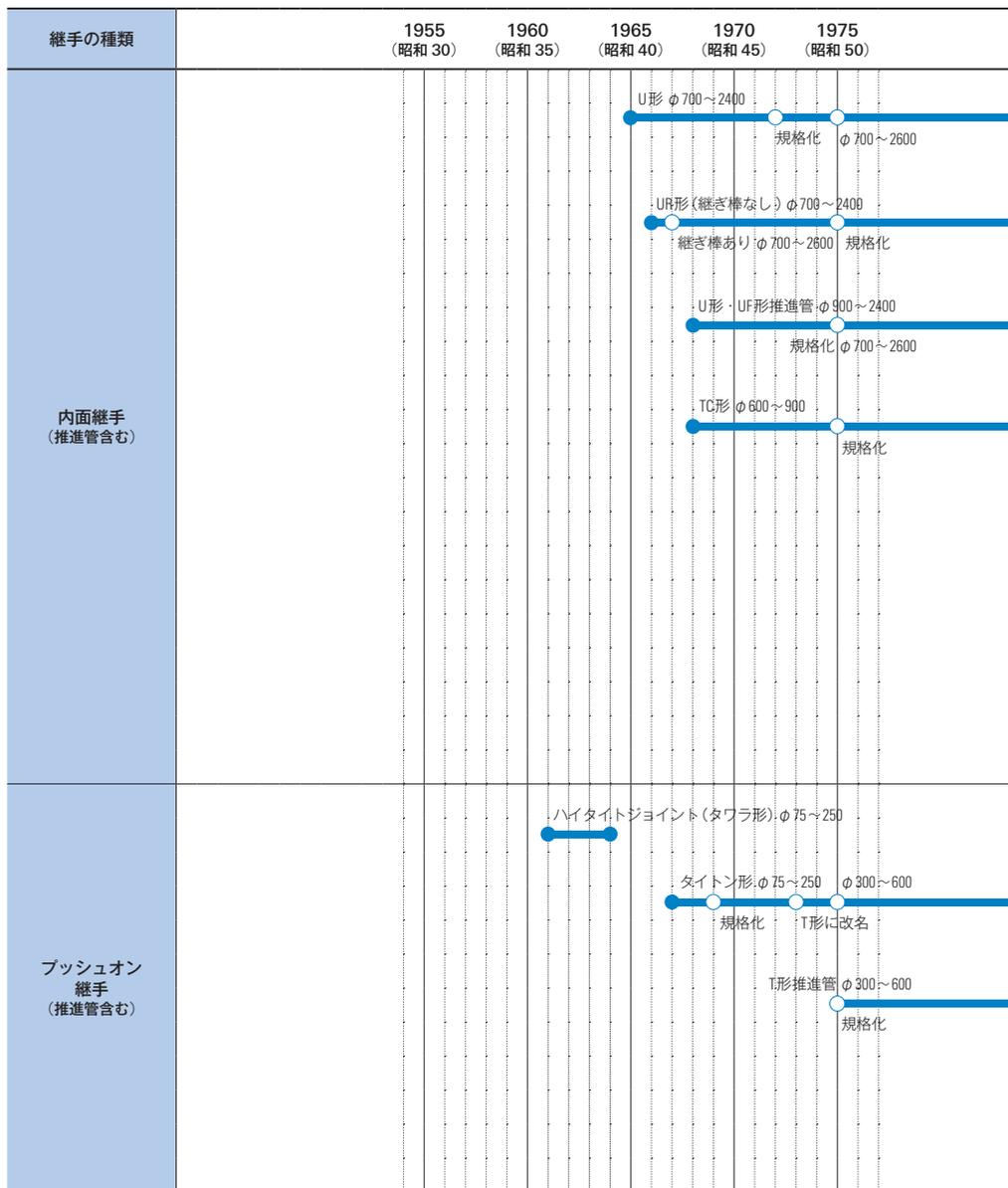
●図表1-5-1-3 直管の主な接合形式の変遷

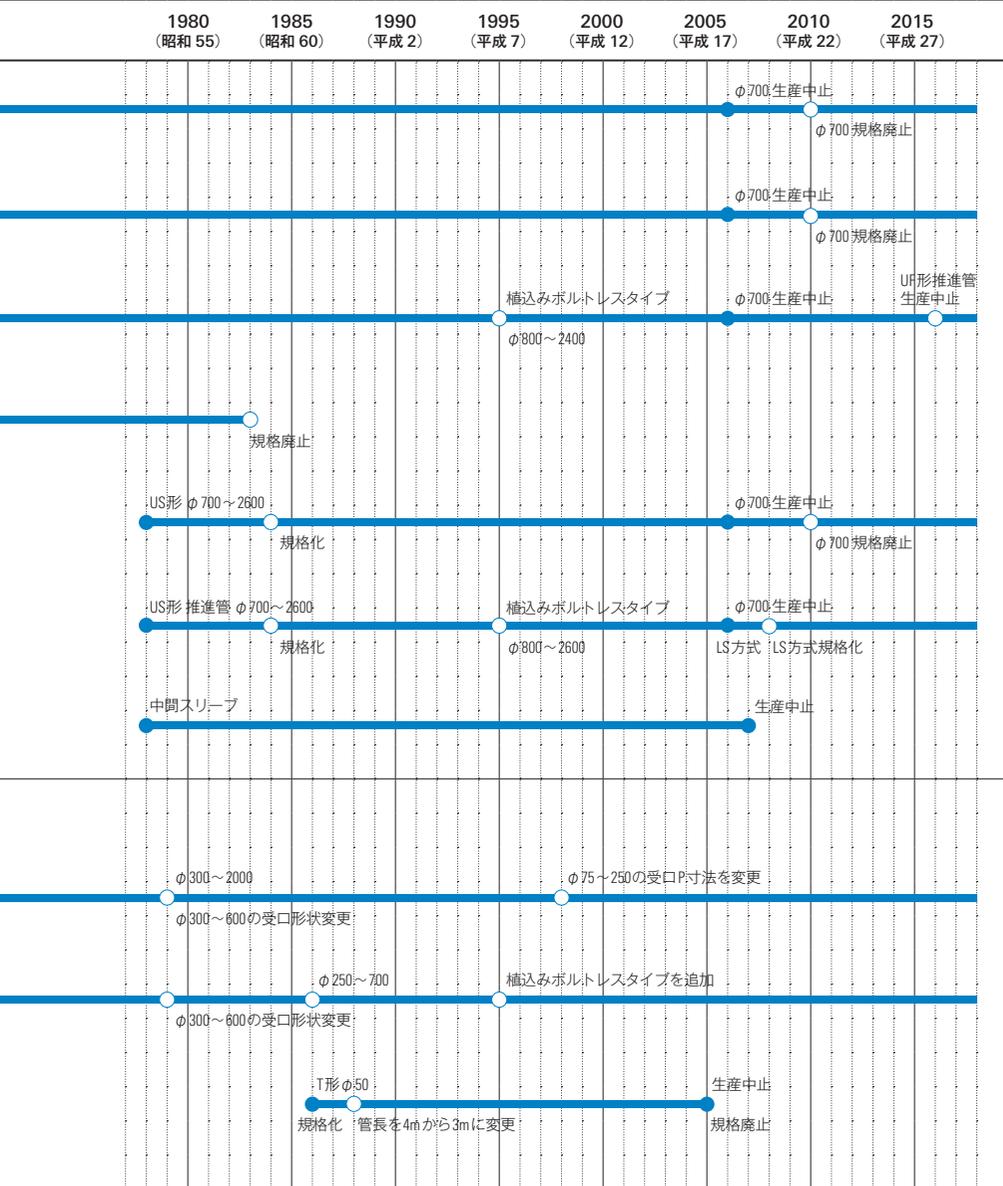
凡例 ● = 生産開始、○ = 規格制定・改訂・廃止など、● = 生産中止(年は製造メーカーにより多少異なる)、



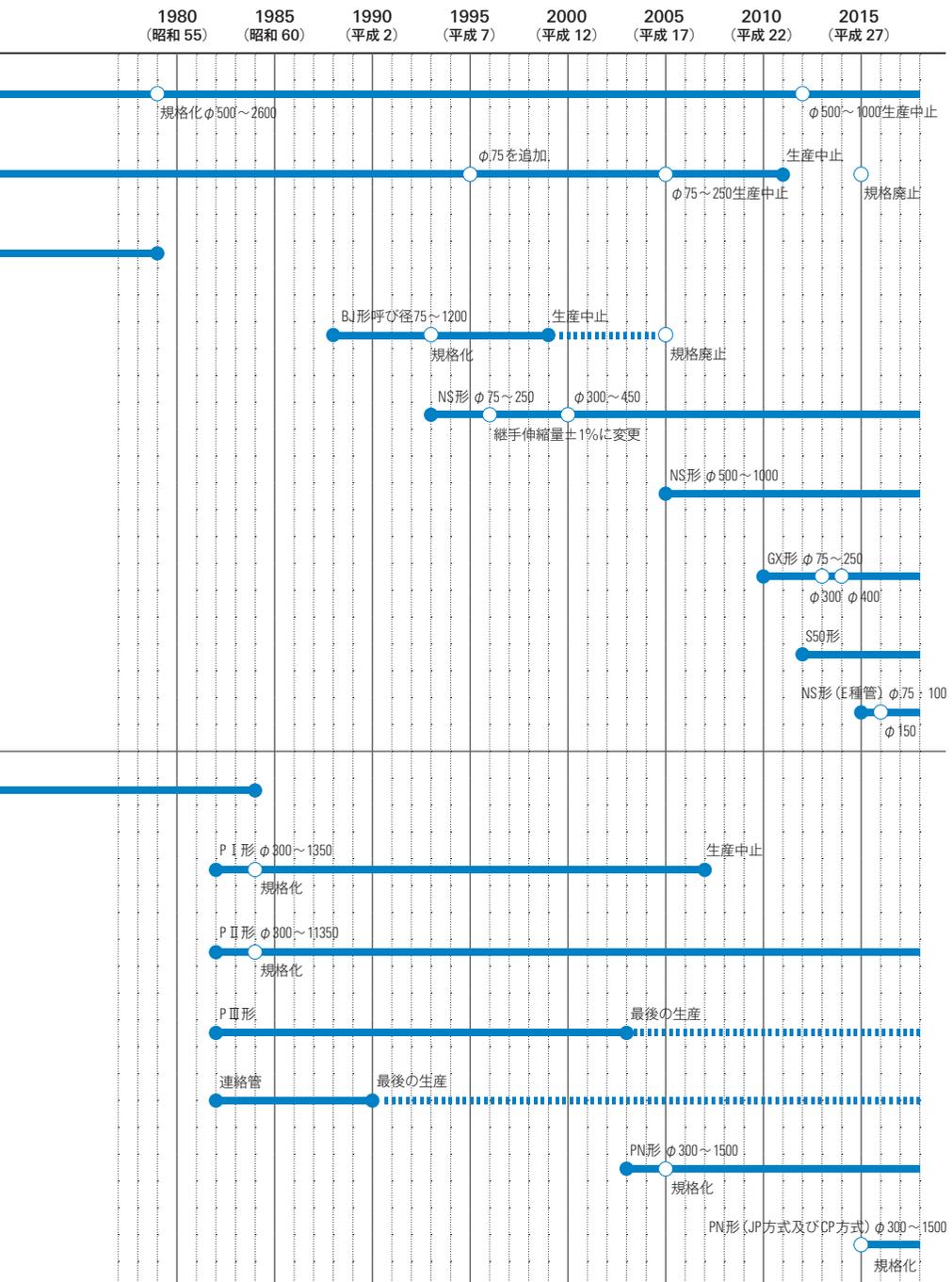
— は鋳鉄管、— はダクタイル鉄管







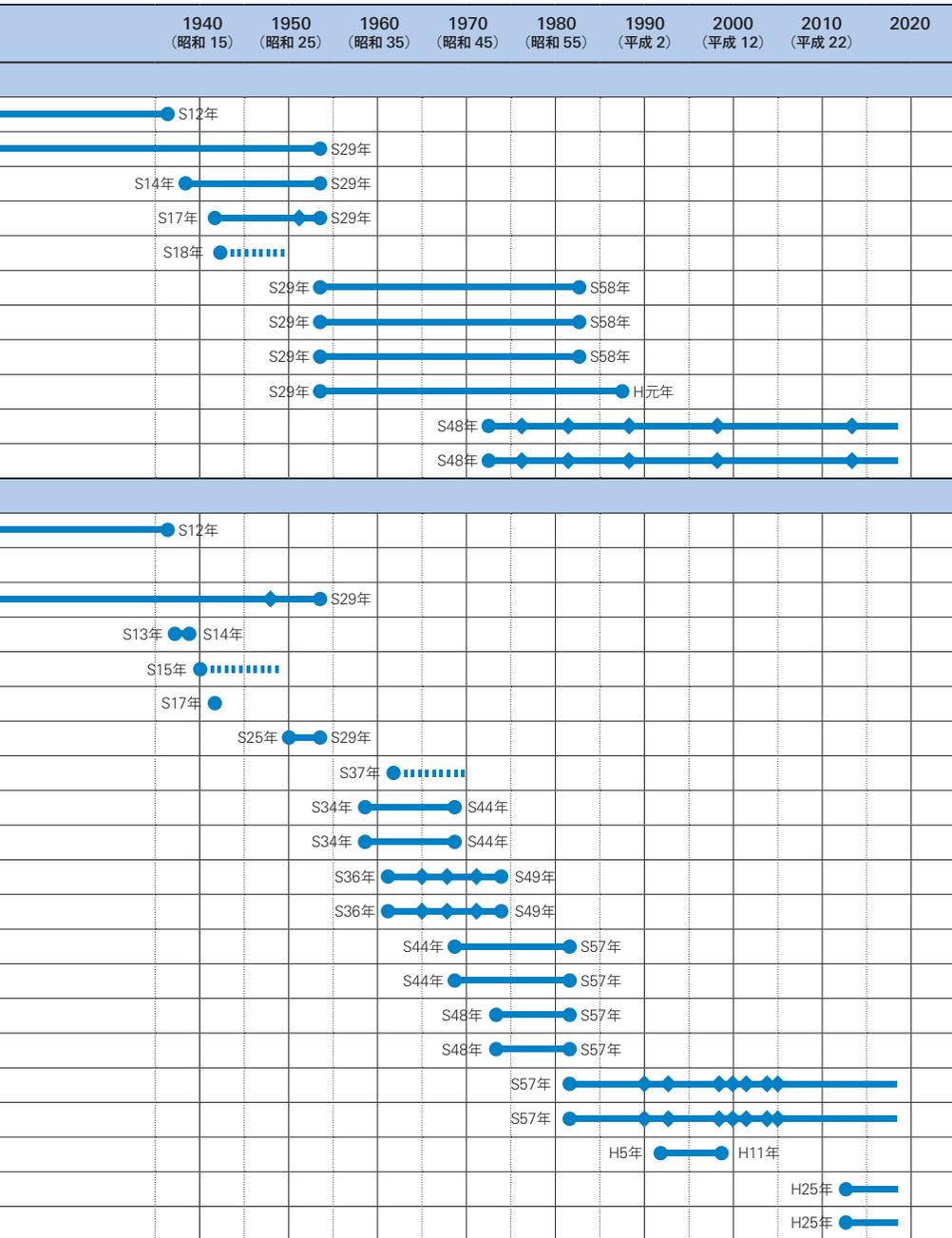
継手の種類	1955 (昭和 30)	1960 (昭和 35)	1965 (昭和 40)	1970 (昭和 45)	1975 (昭和 50)
耐震継手					<p>S形φ1000～1500 φ500～2000 SⅡ形φ100～450 DUB形 呼び径500・1000・1500</p>
PIP工法用継手				<p>タイトン形・ロッキングタイトン形・TN形・TS形など</p>	



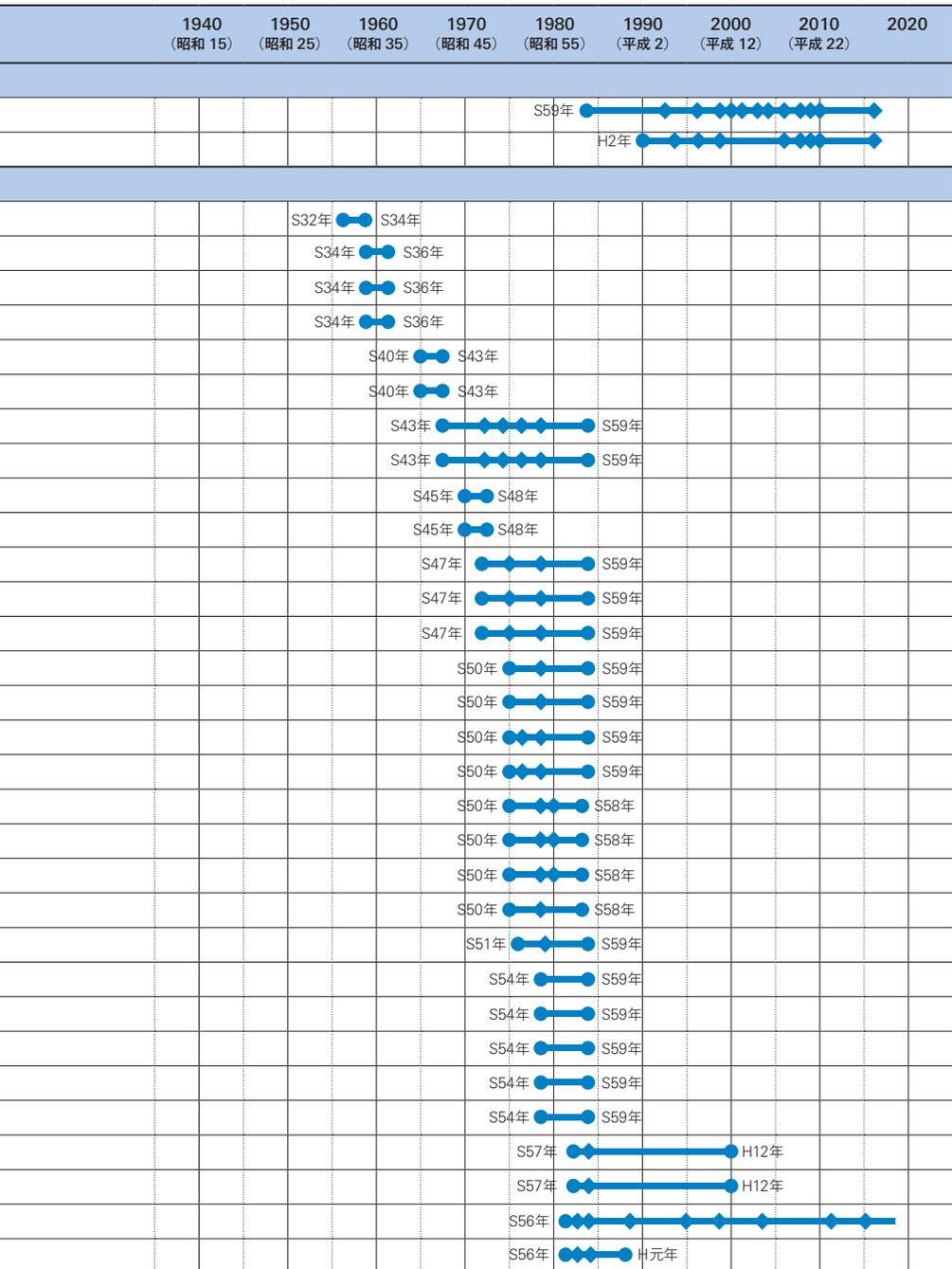
●図表1-5-1-4 主な規格の変遷

凡例 ● = 制定、◆ = 改正、● = 廃止、T = 大正、S = 昭和、H = 平成

規 格	1920 (大正 9)	1930 (昭和 5)
日本工業規格類		
JES 第80号類別G21 水道用鑄鉄管規格	T3年 ●	
JES 第272号類別G36 水道用高級鑄鉄管規格		S9年 ●
臨 JES 第111号類別G 水道用高級鑄鉄薄手管規格		
臨 JES 第328号類別G 水道用遠心力砂型鑄鉄管臨時規格		
土木工事戦時規格		
JIS G 5521 水道用立型鑄鉄管		
JIS G 5522 水道用遠心力砂型鑄鉄管		
JIS G 5523 水道用遠心力金型鑄鉄管		
JIS G 5524 水道用鑄鉄異形管		
JIS G 5526 ダクタイル鑄鉄管		
JIS G 5527 ダクタイル鑄鉄異形管		
(社) 日本水道協会規格		
水道用鑄鉄管仕様書標準	T3年 ●	
水道用鑄鉄管規格	T 14年 ●	S3年 ●
水道用高級鑄鉄管規格		S8年 ●
水道用高級鑄鉄薄手管規格		
水道用高級鑄鉄管臨時規格		
水道用砂型遠心力鑄鉄管臨時規格		
水道用遠心力金型鑄鉄管		
水道用鑄鉄異形管実用管種表(厚生省監修)		
JWSA G 102 水道用メカニカルジョイント形鑄鉄直管		
JWSA G 103 水道用メカニカルジョイント形鑄鉄異形管		
JWSA G 105 水道用遠心力ダクタイル鑄鉄管		
JWSA G 106 水道用ダクタイル鑄鉄異形管		
JWWA G 108 水道用遠心力鑄鉄管		
JWWA G 109 水道用鑄鉄異形管		
JWWA G 110 水道用T形遠心力ダクタイル鑄鉄管		
JWWA G 111 水道用T形ダクタイル鑄鉄異形管		
JWWA G 113 水道用ダクタイル鑄鉄管		
JWWA G 114 水道用ダクタイル鑄鉄異形管		
JWWA G 114-2 水道用うず巻式ダクタイル鑄鉄フランジ付きT字管(消火栓用)		
JWWA G 120 水道用GX形ダクタイル鑄鉄管		
JWWA G 121 水道用GX形ダクタイル鑄鉄異形管		

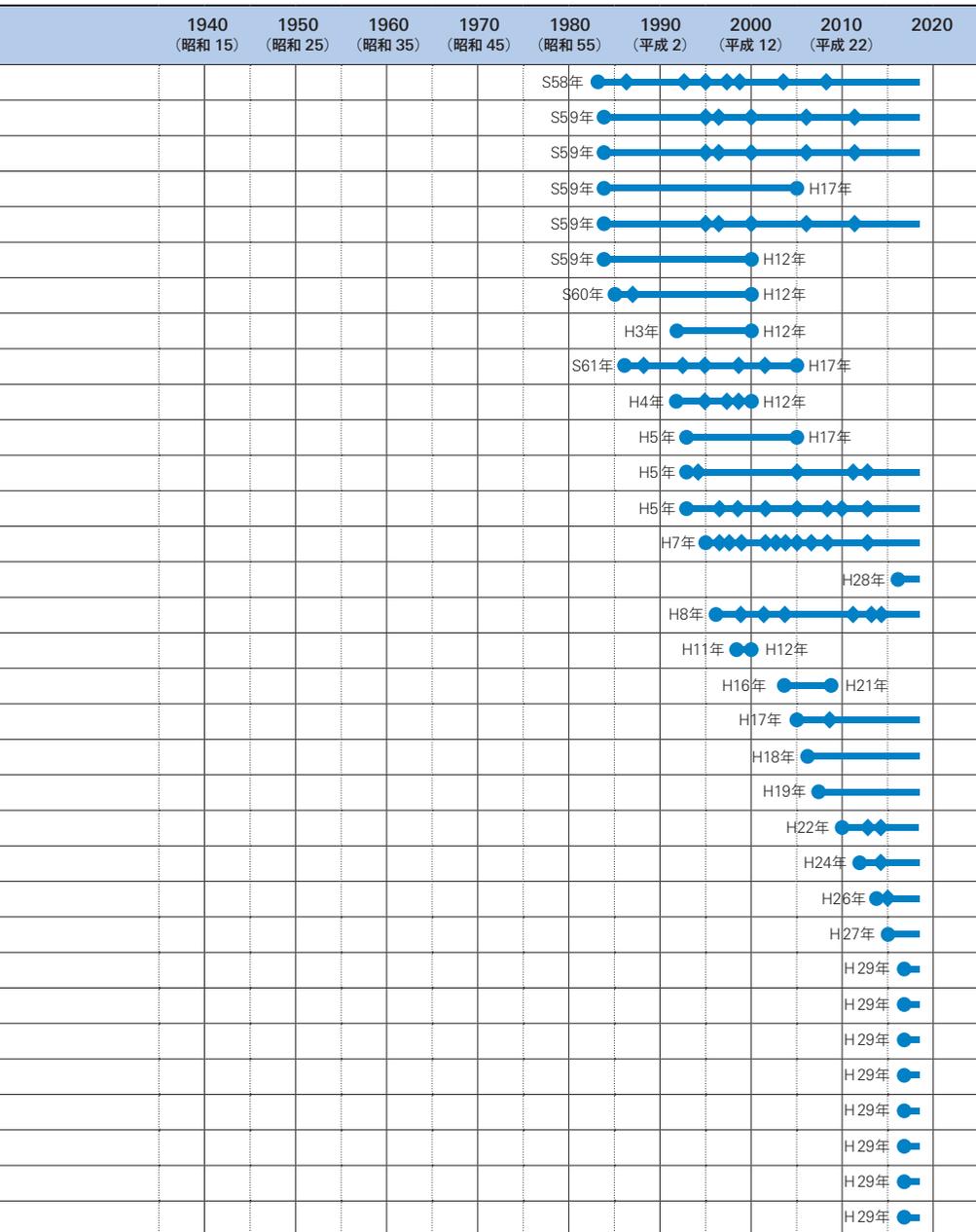


規 格	1920 (大正 9)	1930 (昭和 5)
日本下水道協会規格		
JSWAS G-1 下水道用ダクタイル鑄鉄管		
JSWAS G-2 下水道推進工法用ダクタイル鑄鉄管		
日本ダクタイル鉄管協会規格		
水道用メカニカルジョイント型鑄鉄直管、鑄鉄異形管及び付属品		
メカニカル型水道用遠心力砂型ダクタイル鑄鉄直管		
メカニカル型水道用立型ダクタイル鑄鉄直管		
メカニカル型水道用ダクタイル鑄鉄異形管		
K形遠心カダクタイル鑄鉄管		
K形ダクタイル鑄鉄異形管		
JDPA G 1001 K形遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1002 K形ダクタイル鑄鉄異形管		
JCPA G 1003 タイトン形水道用遠心カダクタイル鑄鉄管		
JCPA G 1004 タイトン形水道用ダクタイル鑄鉄異形管		
JDPA G 1007 U形遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1008 U形ダクタイル鑄鉄異形管		
JDPA G 1009 フランジダクタイル鑄鉄長管		
JDPA G 1010 UF形遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1011 UF形ダクタイル鑄鉄異形管		
JDPA G 1012 KF形遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1013 KF形ダクタイル鑄鉄異形管		
JDPA G 1014 U形推進工法用遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1015 UF形推進工法用遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1016 T形推進工法用遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1017 TC形推進工法用遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1018 K形ダクタイル鑄鉄管用FN形継手		
JDPA G 1019 S形遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1020 S形ダクタイル鑄鉄異形管		
JDPA G 1021 SⅡ形遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1022 SⅡ形ダクタイル鑄鉄異形管		
JDPA G 1024 T形遠心カダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1025 下水道用ダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1026 下水道用ダクタイル鑄鉄管継手		
JDPA G 1027 農業用水用ダクタイル鑄鉄管		
JDPA G 1028 農業用水用ダクタイル鑄鉄管継手		



規格		1920 (大正 9)		1930 (昭和 5)	
JDPA G 1029	推進工法用ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1030	ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1031	ダクタイル鑄鉄異形管				
JDPA G 1032	フランジ形ダクタイル鑄鉄直管				
JDPA G 1033	PⅡ形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1034	US形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1035	下水道推進工法用ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1036	下水道推進工法用GS形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1037	呼び径50ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1038	うず巻式ダクタイル鑄鉄フランジ付きT字管(消火栓用)				
JDPA G 1039	ボール式ダクタイル鑄鉄可とう管ユニット				
JDPA G 1040	ダクタイル鑄鉄管用ステンレス鋼製ボルト・ナット				
JDPA G 1041	ダクタイル鑄鉄製貯水槽(耐震用・緊急用)				
JDPA G 1042	NS形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1042-2	NS形ダクタイル鑄鉄管(E種管)				
JDPA G 1043	ダクタイル鑄鉄製FT形水管橋				
JDPA G 1044	浅層埋設形ダクタイル鑄鉄フランジ付きT字管(空気弁用・消化栓用)				
JDPA G 1045	農業用水用(低圧用)KL形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1046	PN形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1047	NS形防食ゴム付き切管用挿しロリング				
JDPA G 1048	US形ダクタイル鑄鉄管(LS方式)				
JDPA G 1049	GX形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1051	PN形ダクタイル鑄鉄管(JP方式及びCP方式)				
JDPA G 1052	S 50形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1053	ALW形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA A 3000	ダクタイル鑄鉄管、異形管及び接合部品				
JDPA G 3001	S形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3002	US形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3003	UF形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3004	K形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3005	T形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3006	U形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3007	フランジ形ダクタイル鑄鉄異形管				

備考 規格名称は最新のものを記載した。



1-5-2 印籠継手

1 ソケット形、印籠接手、C形

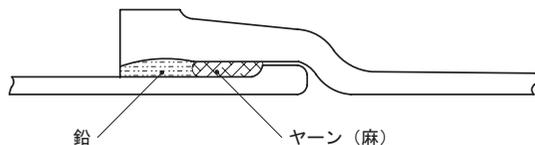
ベルサイユ宮殿の鑄鉄管など1600年代の初期の鑄鉄管の接合形式は、鉛をガスケットに用いたフランジ形であった。しかし、1785年にロンドンのチェルシー給水整備会社の技師トーマス・シンプソンがソケット&スピゴット(受口&挿し口)を用いた接合形式を考案、鉛と黄麻おうまを使って、試験的に埋設した結果が良好であり、1700年代後半以降の鑄鉄管にはこのソケット形が広く用いられるようになった。

明治初めごろ日本で使用された鑄鉄管は、ヨーロッパ(英国、ベルギーなど)からの輸入品であったためソケット形であった。ソケット形は、その構造が印籠の構造に似ていることから日本では「印籠接手」「鉛継手」と呼ばれた。日本最初の近代水道である横浜水道で鑄鉄管が使用された1885(明治18)年以來1950(昭和25)年ごろまでは、鉛とヤーン(麻)で止水する印籠接手(後のC形)が主要な接合形式として使用されたが、メカニカルジョイント形(A形)、K形などの普及に伴い1974(昭和49)年にC形は規格が廃止された。受口と挿し口の形状は、輸入品と国産品、時代などによって多少異なる。

印籠接手は1954(昭和29)年にC形に改名され、1961(昭和36)年に「JWSA G 105 水道用遠心力ダクタイル鑄鉄管」としてA形、B形とともに制定された。その際、管厚も普通圧、低圧から1種、2種、3種になり、かなり薄くなった。なお、C形の挿し口突部は、遠心鑄造法の場合は溶接で形成されていた。

図表1-5-2-1～8に印籠継手の変遷を示す。

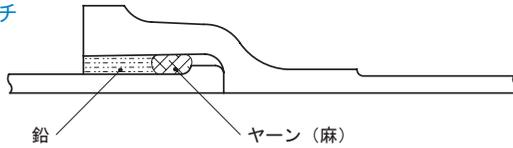
●図表1-5-2-1 普通鑄鉄管 ソケット形(R.レイドロー社製)
1885(明治18)～1907(明治40)年ごろ
公称内径4～18インチ



横浜、函館、下関などで公称内径4～18インチの管が使われていた。

●図表1-5-2-2 普通铸铁管 ソケット形<D.Y.スチュワード社製>
1889(明治22)～1907(明治40)年ごろ

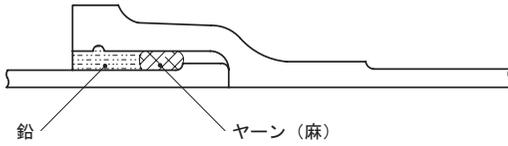
公称内径3.5～36インチ



長崎、大阪、広島、神戸などで使われていた。

●図表1-5-2-3 普通铸铁管 ソケット形<リエージュ市水道鉄管会社製>
1894(明治27)～1914(大正3)年ごろ

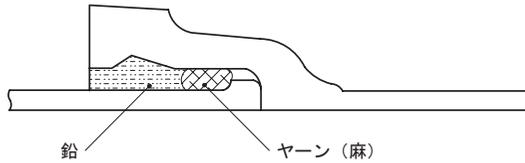
公称内径3～36インチ



東京、横浜、大阪などで使われていた。

●図表1-5-2-4 普通铸铁管(インチ管) 印籠接手 1914(大正3)～1937(昭和12)年

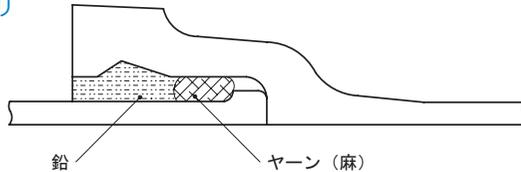
公称内径3～60インチ



規格：上水協議会規格「水道用铸铁管仕様書標準」

●図表1-5-2-5 普通铸铁管(ミリ管) 印籠接手 1925(大正14)～1937(昭和12)年

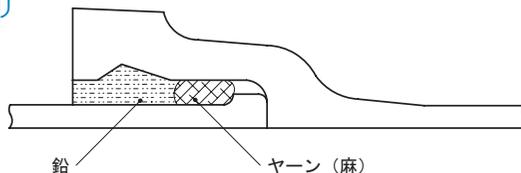
公称内径75～1500ミリ



規格：上水協議会規格「水道用铸铁管規格」

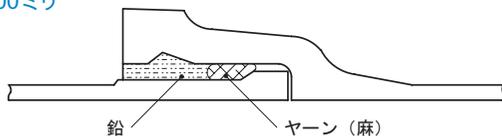
●図表1-5-2-6 高級铸铁管 印籠接手 1933(昭和8)～1954(昭和29)年

公称内径75～1500ミリ



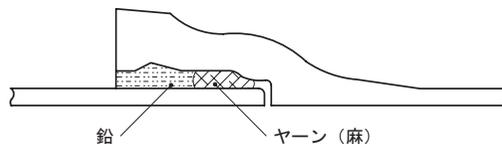
規格：上水協議会規格「水道用高級铸铁管規格」

●図表1-5-2-7 水道用遠心力砂型鑄鉄管 印籠接手 1942(昭和17)～1952(昭和27)年
公称内径300～900ミリ



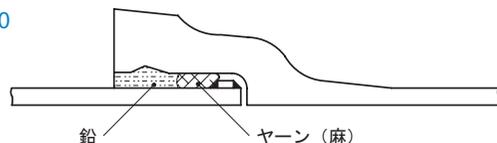
規格：水道協会規格「水道用砂型遠心力鑄鉄管臨時規格」

●図表1-5-2-8 水道用遠心力砂型鑄鉄管 ソケット管、C形 1954(昭和29)～1971(昭和46)年
呼び径75～450



「C形」として規格化されたのは1961(昭和36)年である。

呼び径500～1500



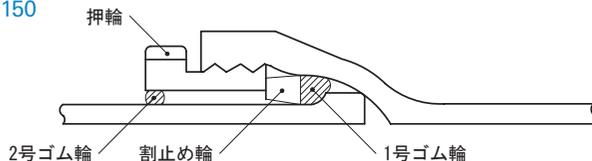
遠心力鑄造法の場合は挿し口突部は溶接で形成された。

規格：JWSA G 105

2 クボタ耐震細管

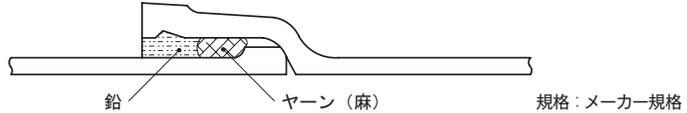
クボタ耐震細管は、印籠接手の接合部品である鉛やヤーンが不足し始めた1937(昭和12)年ごろに開発された。鉛もヤーンも使用せず、押輪を回転させることにより割止め輪を押し出し、ゴム輪の面圧で水密性を保持する接合形式である。継手部が屈曲し、抜けない構造から耐震細管と称された。当時のメーカーの仕様書ではエタニットパイプよりも経済的で、管厚も薄く、普通管に比べて重量が軽く、運搬施工も安全にできるとしている。また、印籠接手に比べて継手の接合に熟練と手間がいらざ簡便であるとしている。

●図表1-5-2-9 クボタ耐震細管 1937(昭和12)年ごろ(現在は廃止)
呼び径50～150

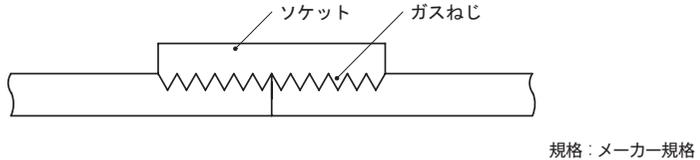


規格：メーカー規格

●図表1-5-2-10 クボタ細管 1937(昭和12)年ごろ(現在は廃止)
呼び径50~300



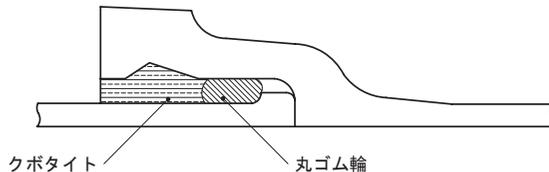
●図表1-5-2-11 クボタ無頭細管 1937(昭和12)年ごろ(現在は廃止)
呼び径50~150



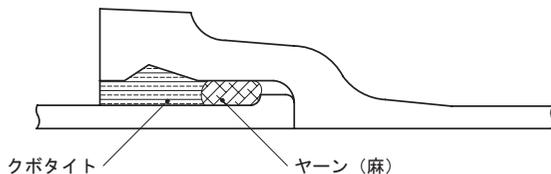
3 印籠接手(クボタイト接合)

1937(昭和12)年に日中戦争が始まって鉛など接合材料が不足した時期に、印籠接手(クボタイト接合)が開発された。継手構造は印籠接手と同じであるが、鉛の代用品としてクボタイトを受口・挿し口の間に流し込み固めることにより丸ゴム輪を押さえた。クボタイトは硫黄、珪砂などを混ぜた粉末を常に攪拌しながら熔融したものである。管体は当時の印籠接手であり、1938(昭和13)年ごろから1959(昭和34)年ごろまで使用された。横浜市水道局の水道資料館には現物が保存されているが、丸ゴムの代わりにヤーンを使用した管もあったようである。1925(大正14)年ごろ、小樽市などで使用されたハイドロタイト形またはレイタイト形と呼ばれる輸入品も同じ継手構造である。

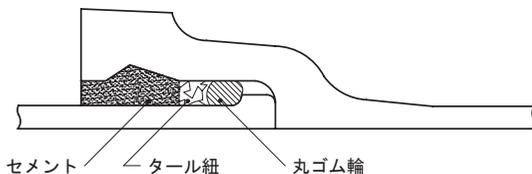
●図表1-5-2-12 印籠接手(クボタイト接合) 1938(昭和13)~1959(昭和34)年
丸ゴム輪タイプ 呼び径75~1500



ヤーンタイプ 呼び径75～1500



セメント+タール紐+丸ゴム輪 呼び径75～1500



規格：メーカー規格

●図表1-5-2-13 クボタイトの組成

組 成	重量比 (%)
硫黄	64～70
珪砂	24～30
カーボンブラック	4～5
珪弗化ソーダ	0.6
チオコール	1.3

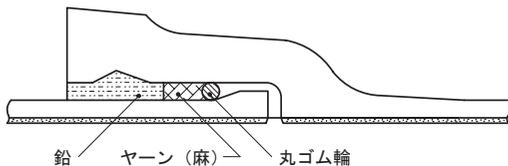
西川栄三「クボタイトに就いて」『水道協会誌』97号(1941年)より

4 名古屋市形

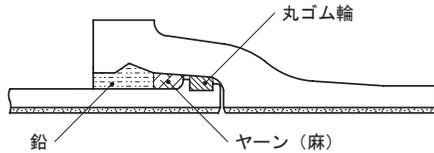
印籠接手を基にヤーンの奥側に丸ゴム輪を用いる名古屋市形が使用された。丸ゴム輪が受口の奥にいかないように挿し口端部に溝を設けた改良型もあった。

●図表1-5-2-14 名古屋市形 1965(昭和40)年ごろ(現在は廃止)

呼び径1800



改良型 呼び径1800



規格：メーカー規格

1-5-3 メカニカル継手

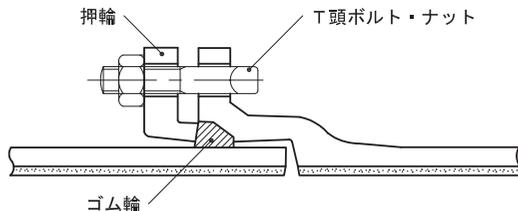
1 メカニカルジョイント形、A形

戦後(1945年以降)、印籠接手の接合材料である鉛やヤーンの不足に加えて、水道の工事量の増加のため熟練工が不足し、また道路上を通行する車両の重量、交通量の増加など、埋設環境も過酷となったため、継手の接合に熟練を要せず、より水密性の高い継手が求められた。そこで、角ゴム輪を受口と挿し口の間に挿入し、ボルトで締め付けて角ゴム輪の面圧で止水する高級鑄鉄管のメカニカルジョイント形呼び径75～900が1954(昭和29)年に開発され、神奈川県企業庁で使用された。1957(昭和32)年には、鑄鉄管協会標準仕様書に呼び径75～900が制定された。また、同年には遠心力鑄造法によるダクタイル鉄管のメカニカルジョイント形呼び径700が桂沢上水道組合で初めて採用された。

ダクタイル鉄管の普及とメカニカルジョイント形の口径拡大に伴い、1959(昭和34)年には鑄鉄管協会標準仕様書に「メカニカル型水道用遠心力砂型ダクタイル鉄管直管」の呼び径500～1500が制定され、1961(昭和36)年には「JWSA G 105 水道用遠心力ダクタイル鑄鉄管」にA形として制定された。

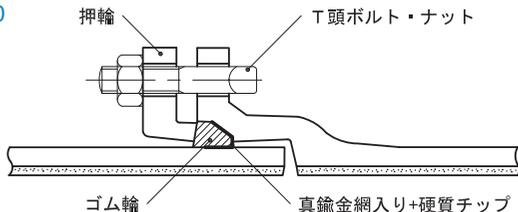
その後、K形の普及に伴い1971(昭和46)年には呼び径600～1500が廃止され、1982(昭和57)年には呼び径400～500が廃止され、1998(平成10)年にはJIS G 5526から削除された。

●図表1-5-3-1 メカニカルジョイント形 1957(昭和32)～1959(昭和34)年
呼び径75～900



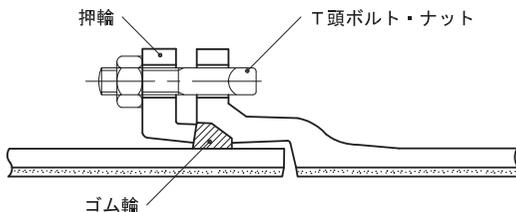
規格： 鑄鉄管協会標準仕様書「水道用メカニカルジョイント鑄鉄直管・鑄鉄異形管及び付属品」

●図表1-5-3-2 メカニカルジョイント形 1959(昭和34)～1961(昭和36)年
呼び径500～1500



規格： 日本水道協会規格「水道用メカニカルジョイント型鑄鉄直管」

●図表1-5-3-3 A形 1961(昭和36)～1999(平成11)年
呼び径75～1500



規格： JWSA G 105、JWWA G 105、JIS G 5526、JWWA G 113

●図表1-5-3-4 メカニカルジョイント形、A形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1954 (昭和 29)	メーカー規格	高級鑄鉄管のメカニカルジョイント形をメーカー規格として制定	75～900
1957 (昭和 32)	鑄鉄管協会標準仕様書「水道用メカニカルジョイント鑄鉄直管・鑄鉄異形管及び付属品」	高級鑄鉄管のメカニカルジョイント形の普及に伴い、仕様書を制定	75～900
1959 (昭和 34)	JWSA G 102 制定	JWSA 規格として制定	75～900

年	規格	主な改正内容	呼び径
1959 (昭和 34)	鑄鉄管協会標準仕様書 「メカニカル型水道用遠心力 砂型ダクタイル鑄鉄直管」	遠心力ダクタイル鑄鉄管の普及 に伴い、仕様書を制定	500 ~ 1500
1959 (昭和 34)	鑄鉄管協会標準仕様書 「メカニカル型水道用立型ダ クタイル鑄鉄直管」	立型ダクタイル鑄鉄管の普及に 伴い、仕様書を制定	500 ~ 1500
1961 (昭和 36)	JWSA G 105 制定	昭和 34 年の仕様書を JWSA 規 格として制定し、呼び径 200 ~ 450 を追加、名称を A 形に変更	200 ~ 1500
1965 (昭和 40)	JWWA G 105 改正	呼び径 75 ~ 150 を追加	75 ~ 1500
1971 (昭和 46)	JWWA G 105 改正	K 形の普及に伴い A 形の呼び径 600 ~ 1500 を削除	75 ~ 500
1974 (昭和 49)	JIS G 5526 制定	JIS 規格として制定	75 ~ 500
1982 (昭和 57)	JIS G 5526 改正 JWWA G 113 改正	SI 単位に変更	75 ~ 500
1982 (昭和 57)	JIS G 5526 改正	水道以外にも使用できるよう改 正し、呼び径 400 ~ 500 を削除	75 ~ 350
1982 (昭和 57)	JWWA G 113 制定	JIS G 5526 の改正に伴い、水道 用として改めて JWWA 規格を 制定	75 ~ 350
1998 (平成 10)	JIS G 5526 改正 (A 形 廃止)	A 形を JIS G 5526 から削除	—
1999 (平成 11)	JWWA G 113 改正 (A 形 廃止)	A 形を JWWA G 113 から削除	—

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

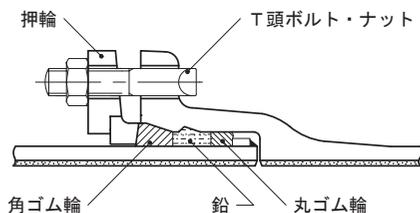
2 B形、特殊メカニカル形(大阪府形)

メカニカルジョイント形の口径拡大とさらなる水密性の向上を目指して、B形呼び径600~1500が1957(昭和32)年に開発された。大阪府では1959(昭和34)年ごろ、異形管に特殊メカニカル形(大阪府形)が使用された。B形は大口径用であり、水密性を高めるためにC形にA形の機能を加えたもので、丸ゴム輪、鉛、さらに角ゴム輪を加えて、割輪、押輪をボルトで締め付けて止水する継手構造であった。

B形は1961(昭和36)年に呼び径1200~1500がJWSA G 105 として制定され、1974(昭和49)年に廃止された。

●図表1-5-3-5 B形 1957(昭和32)～1971(昭和46)年

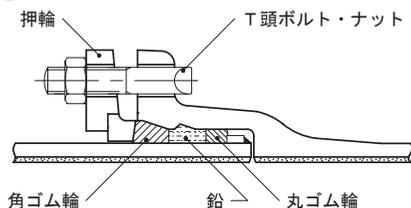
呼び径1200～1500



規格：JWSA G 105

●図表1-5-3-6 特殊メカニカル形(大阪府形) 1959(昭和34)～1967(昭和42)年ごろ

呼び径600、800、1000など



規格：メーカー規格

3 AⅡ形、K形

ダクタイル鉄管はその優れた材質により大口径化が図られたが、高級鋳鉄管とは異なり土圧に対する変形が大きく、受口と挿し口の剛性差を吸収する継手構造が必要となった。A形は呼び径500～1500であったが、大口径管用、薄肉管用、高圧管用の要望に応えるため、1962(昭和37)年ごろに角ゴム輪に丸ゴム輪を付加したAⅡ形が開発された。AⅡ形は、受口と挿し口の剛性差を角ゴム輪で吸収し丸ゴム輪の変形による面圧で止水する構造である。東京都水道局では呼び径1600、2000が、大阪府水道部(現大阪広域水道企業団)では呼び径1600などが使用された。

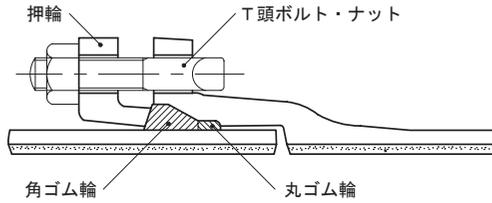
1964(昭和39)年ごろ、AⅡ形に角ゴム輪の形状変更、受口内面の角ゴム輪と丸ゴム輪境界付近の面取りを付加するなどの改良が加えられ、K形の継手構造の原型ができた。

その後、施工性の改善を図るため、角ゴム輪と丸ゴム輪が一体化され、現在のK形の継手構造となった(図表1-5-3-8)。K形が開発された当初はA形と同じボルトが使用されたため、初期の製品にはボルトの短いものがある。

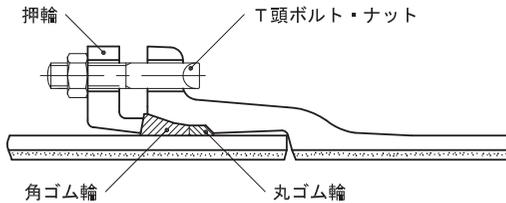
K形はA形に比べ性能が良いため、1965(昭和40)年に日本鋳鉄管協会規格として呼び径1000～2200が規格化され、1968(昭和43)年には呼び径75～2400に拡大

された。さらに1975(昭和50)年には呼び径2600が追加されて一般継手の主流になっていった。

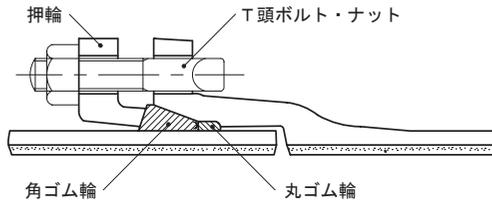
●図表1-5-3-7 A II形からK形への改良 1962(昭和37)～1964(昭和39)年ごろ



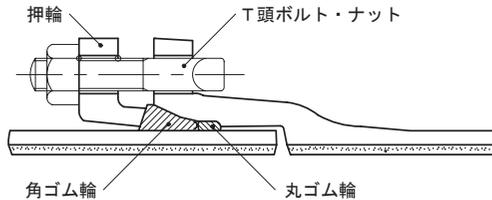
呼び径75～1500(メーカー規格)。角ゴム輪はA形と同じ形状で、角ゴム輪と丸ゴム輪の一体化なし。



呼び径75～1500(メーカー規格)。角ゴム輪は現在のK形と同じ形状で、角ゴム輪と丸ゴム輪の一体化なし。

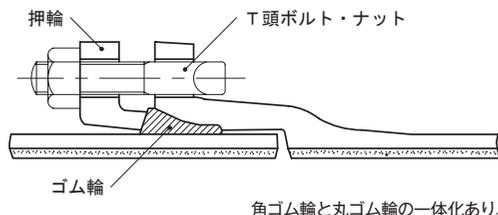


呼び径1600～2200(メーカー規格)。角ゴム輪は現在のK形と同じ形状で、メッシュ補強がされている。角ゴム輪と丸ゴム輪の一体化なし。



呼び径1600～2200(メーカー規格)。角ゴム輪は現在のK形と同じ形状で、メッシュ補強がされている。角ゴム輪と丸ゴム輪の一体化なし。受口内面の面取りあり。

●図表1-5-3-8 K形 1965(昭和40)～現在
呼び径75～2600



●図表1-5-3-9 K形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1962(昭和37)	メーカー規格	A形を改良したK形が開発された	1000～2000
1965(昭和40)	日本鑄鉄管協会規格 「K形遠心力ダクタイル鑄鉄管」制定	K形の普及に伴い日本鑄鉄管協会規格として制定	1000～2200
1968(昭和43)	JCPA G 1001 制定	JCPA規格として制定し、呼び径を拡大	75～2400
1971(昭和46)	JWWA G 105 制定	JWWA規格として制定	400～1500
1974(昭和49)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	400～1500
1975(昭和50)	JCPA G 1001 改正	呼び径を拡大	75～2600
1976(昭和51)	JCPA G 1001 改正	酸化被膜処理したボルト・ナットに変更	75～2600
1979(昭和54)	JDPA G 1001 制定	SI単位に変更	75～2600
1982(昭和57)	JWWA G 105 改正	JWWA規格の呼び径を拡大	75～2600
1982(昭和57)	JIS G 5526 改正	JIS規格の呼び径を拡大	75～2600
2017(平成29)	JDPA G 3004 制定	JDPA規格として新たに制定	75～2600

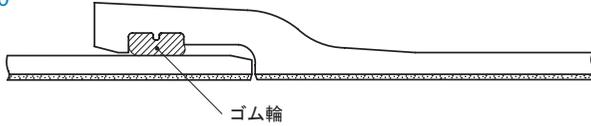
備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

1-5-4 プッシュオン継手

1 ハイタイトジョイント(タワラ形)

ボルトレスの要望から開発されたのがプッシュオン継手である。ハイタイトジョイントは、後継のタイトン形が実用化される前の1961(昭和36)年から1964(昭和39)年に関西地区などで使用された接合形式である。挿し口を受口に挿入しにくいなどの課題があった。

●図表1-5-4-1 ハイタイトジョイント 1961(昭和36)～1964(昭和39)年ごろ
呼び径75～250



規格：メーカー規格

2 タイトン形、T形

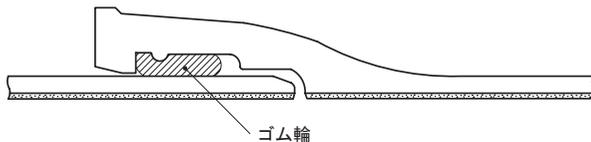
ボルトレスで接合できるプッシュオン継手の要望はその後もあり、ユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社が特許を有していたタイトンジョイントが日本でも製造された。タイトンジョイントは受口に特殊形状のゴム輪を預け、これに挿し口を挿入することでゴム輪を圧縮し、管内の水圧によりゴム輪の面圧を高めるセルフシールタイプの継手構造である。

タイトン形の呼び径75～250は1967(昭和42)年から実用化され、1970(昭和45)年に制定されたJCPA G 1003ではタイトン形と称した。1973(昭和48)年に制定されたJWWA G 110でT形と名称変更された。1974(昭和49)年には呼び径300～2000が実用化され、1979(昭和54)年に呼び径300～2000をJDPA G 1024として制定するとともに呼び径300～600の受口の形状を現在の形状に変更した。

異形管も同時に実用化され、曲管の $L_1 \cdot L_2$ 寸法が短いショートボディを採用したために接合がしにくく、またプッシュオン継手のため曲げ配管の際にも挿し口をまっすぐに挿入する必要がある。夜間工事など施工時間が限られる現場では使用しにくい面もあり、タイトン形の異形管はあまり採用されなかった。

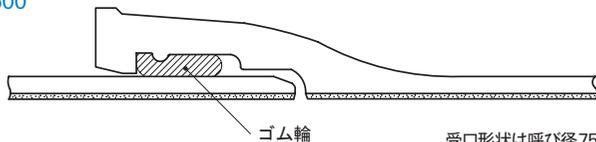
1995(平成7)年の阪神・淡路大震災の被害状況から1998(平成10)年のJIS G 5526の改正では、継手部が抜け出しにくいように呼び径75～250のP寸法(受口部の呑込み寸法)を長くする改良が行われた。

●図表1-5-4-2 T形(タイトン形) 1967(昭和42)年～現在
呼び径75～250



●図表 1-5-4-3 T形 1975(昭和50)～1979(昭和54)年

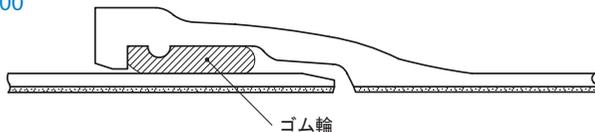
呼び径300～600



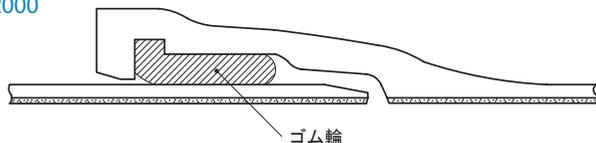
受口形状は呼び径75～250と同じ形状
規格：メーカー規格

●図表 1-5-4-4 T形 1979(昭和54)～現在

呼び径300～600

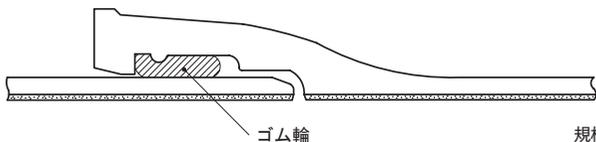


呼び径700～2000



●図表 1-5-4-5 T形 1986(昭和61)～2005(平成17)年

呼び径50



規格：JCPA G 1037

●図表 1-5-4-6 T形および呼び径50の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1967(昭和42)	メーカー規格	タイトン形をメーカー規格として制定	75～250
1970(昭和45)	JCPA G 1003 制定	JCPA規格として制定	75～250
1973(昭和48)	JWWA G 110 制定	JWWA規格として制定 T形に名称変更	75～250
1975(昭和50)	メーカー規格	メーカー規格の呼び径を拡大 (受口形状は呼び径75～250と同じ)	300～600
1979(昭和54)	JCPA G 1024 制定	JWWA G 110に規定されていない 呼び径をJCPA規格として制定	300～2000
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	75～2000
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	75～2000

年	規格	主な改正内容	呼び径
1986(昭和61)	JDPA G 1037 制定	JDPAとして制定	50
1988(昭和63)	JDPA G 1037 改正	管長を4mから3mに変更	50
1998(平成10)	JIS G 5526 改正	受口のP寸法の改良	75～250
2005(平成17)	JDPA G 1037 廃止	JDPA規格を廃止	—
2014(平成26)	JDPA G 3005 制定	JDPA規格として新たに制定	75～2000

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

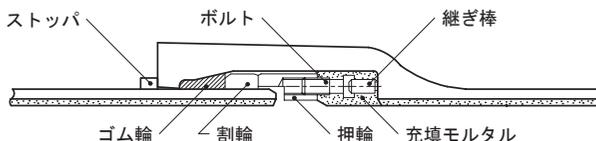
1-5-5 内面継手

1 U形

道路交通事情や埋設物により道路の全面掘削が困難になり、非開削工法の要望が1960(昭和35)年ごろから出てきた。シールド工法を用いた配管工事が東京都で計画され、外面から接合するK形などは新設管とシールド内面との間に広いスペースが必要になるため、内面から接合できるU形呼び径700～2600が1965(昭和40)年に開発された。U形を使用するとさや管としてのトンネルの内径を小さくでき、開削工法においても掘削の幅を狭くできるメリットがあった。1972(昭和47)年に呼び径700～2400がJDPA G 1007として制定され、1975(昭和50)年には呼び径2600が追加された。1985(昭和60)年に東京都水道局が呼び径2900を使用した。2010(平成22)年には安全上の理由から呼び径700が削除された。

U形は管内面から接合ができ、管内面に凸部のない継手構造になっている。内面の継ぎ棒、ボルトの隙間は、腐食防止、損失抵抗の増加防止のためにモルタルで充填している。静岡県企業局の東駿河工業用水の蒲原・富士間の送水管は、U形の採用により呼び径2200の2条配管において管と管の間隔を1mに狭めることができた。

●図表1-5-5-1 U形 1965(昭和40)年～現在 呼び径800～2600



●図表 1-5-5-2 U形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1965(昭和40)	メーカー規格	メーカー規格を制定	1000、1600、2000
1972(昭和47)	JCPA G 1007 制定	JCPA規格として制定	700～2400
1975(昭和50)	JCPA G 1007 改正	呼び径2600を追加	700～2600
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定 4種管および中間管種を追加	700～2600
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	700～2600
1985(昭和60)	メーカー規格	呼び径2900を追加 (東京都水道局など)	2900
2010(平成22)	JWWA G 113 改正	呼び径700をJWWA G 113から削除	800～2600
2014(平成26)	JIS G 5526 改正	呼び径700をJIS G 5526から削除	800～2600
2017(平成29)	JDPA G 3006 制定	JDPA規格として新たに制定	800～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

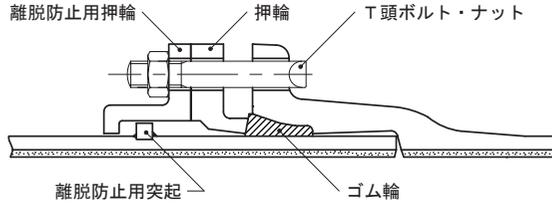
1-5-6 離脱防止継手

1 FN形、N形、W形

K形は地盤変動に順応するが最終的には継手部が離脱するため、大阪市と大阪府から離脱防止機能を持たせた新たな接合形式を開発するよう要請があった。そこで発案されたのがFN形とN形であった。FN形の発案者は野口一男氏(大阪府)、N形は西山利夫氏(大阪市)であり、それぞれの名称は発案者の名前に由来する。いずれも継手の離脱防止力はゴム輪を締め付けるボルトの強度に依存するため、それほど高くはなかった。異形管防護として使用する場合は、コンクリート防護との併用で使用した。FN形呼び径200～2200は1965(昭和40)～1977(昭和52)年、N形は1968(昭和43)年ごろ使用された。FN形は呼び径300～900が1976(昭和51)年にJCPA G 1018になり、1984(昭和59年)に廃止されている。

この他にも1968(昭和43)年ごろに離脱防止機能を有するW型が使用された。

● 図表1-5-6-1 FN形 1965(昭和40)～1984(昭和59)年
呼び径200～2200



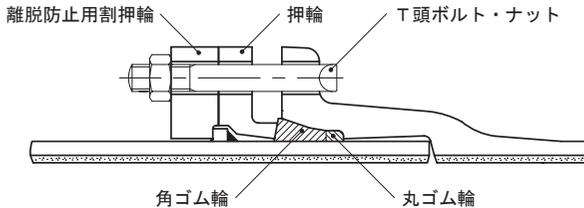
規格：JDPA G 1018

● 図表1-5-6-2 FN形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1965(昭和40)	メーカー規格	メーカー規格	200～2200
1976(昭和51)	JCPA G 1018 制定	JCPA規格として制定	300～900
1979(昭和54)	JDPA G 1018 制定	JDPA規格として制定	300～900
1984(昭和59)	JDPA G 1018 廃止 (FN形廃止)	JDPA規格を廃止	—

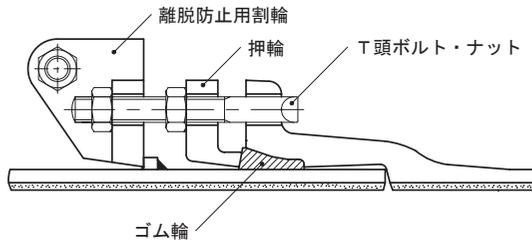
備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

● 図表1-5-6-3 N形 1968(昭和43)年ごろ(現在は廃止)



規格：メーカー規格

● 図表1-5-6-4 W形 1968(昭和43)年ごろ(現在は廃止)
呼び径75～250



規格：メーカー規格

2 KF形、UF形

曲管部など不平均力が作用する所には、コンクリート防護などが必要になるが、交通量の多い所では長時間の道路開放が難しく、即日復旧できる防護方法の要望が出てきた。曲管部やT字管部の継手が抜け出さない接合形式で管路を一体化することにより不平均力を押さえるKF形、UF形が開発された。

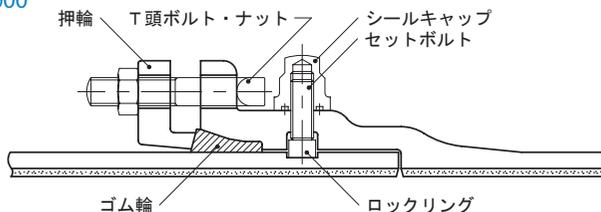
K形に離脱防止機能が付いたKF形呼び径300～900は1966(昭和41)年に開発され、富山県高岡市上下水道局で呼び径700が採用された。同年、U形に離脱防止機能を付けたUF形も開発され、1967(昭和42)年には千葉県水道局の印旛～柏井浄水場線で呼び径2000が採用された。その後、1967(昭和42)年に施工性を向上するために継ぎ棒が加えられ、現在の継手構造になった。

KF形呼び径300～900は1975(昭和50)年にJCPA G 1012として規格化され、NS形の普及により2012(平成24)年に製造中止となり2015(平成27)年にJWWA規格が廃止された。

UF形呼び径700～2400は1975(昭和50)年にJCPA G 1010として規格化され、同年呼び径2600が追加され、1982(昭和57)年にはJIS G 5526として呼び径700～2600が制定された。呼び径700は2006(平成18)年に製造中止となり、2014(平成26)年にJIS G 5526から削除された。

●図表1-5-6-5 KF形 1966(昭和41)～2012(平成24)年

呼び径300～900



●図表1-5-6-6 KF形の規格の変遷

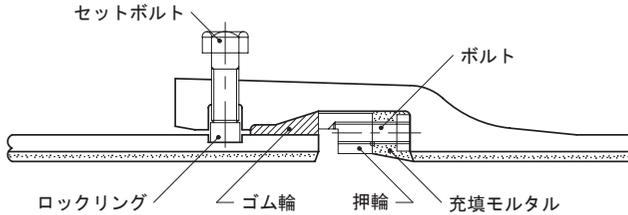
年	規格	主な改正内容	呼び径
1966(昭和41)	メーカー規格	メーカー規格制定	300～900
1975(昭和50)	JCPA G 1012 制定	JCPAとして制定	300～900
1976(昭和51)	JCPA G 1012 改正	酸化被膜処理したボルト・ナットに変更	300～900
1979(昭和54)	JDPA G 1012 制定	JDPAとして制定し、SI単位に変更	300～900

年	規格	主な改正内容	呼び径
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	300～900
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	300～900
2014(平成26)	JIS G 5526 廃止	KF形をJIS G 5526から削除	300～900
2015(平成27)	JWWA G 113 廃止	KF形をJWWA G 113から削除	300～900

備考 「JCPA」はJCPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

●図表1-5-6-7 UF形 1966(昭和41)年ごろ～現在

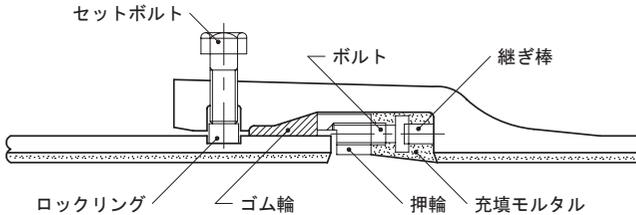
継ぎ棒なし 呼び径1000～2400(現在は廃止)



1966(昭和41)年に開発され、1969(昭和44)年に廃止された。

規格：メーカー規格

継ぎ棒あり 呼び径800～2600



継ぎ棒が追加され、現在の継手構造になったのは1967(昭和42)年からである。

●図表1-5-6-8 UF形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1966(昭和41)	メーカー規格(旧UF形)	メーカー規格を制定(継ぎ棒なし)	700～2400
1967(昭和42)	メーカー規格(UF形)	メーカー規格を制定(継ぎ棒あり)	700～2600
1975(昭和50)	JCPA G 1010 制定	JCPA規格として制定	700～2400
1975(昭和50)	JCPA G 1010 改正	呼び径2600を追加	700～2600
1979(昭和54)	JDPA G 1010 改正	SI単位に変更	700～2600
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定し、呼び径2600追加	700～2600
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定し、呼び径2600追加	700～2600

年	規格	主な改正内容	呼び径
2010(平成22)	JWWA G 113 改正	呼び径700をJWWA G 113から削除	800～2600
2014(平成26)	JIS G 5526 改正	呼び径700をJIS G 5526から削除	800～2600
2017(平成29)	JDPA G 3003 制定	JDPA規格を新たに制定	800～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

1-5-7 伸縮離脱防止継手

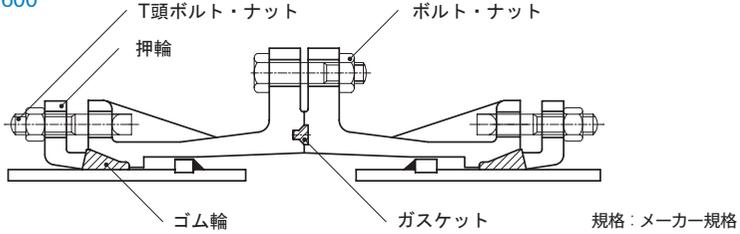
現在の伸縮離脱防止継手(耐震継手)は1974(昭和49)年のS形(呼び径1000～1500)から始まったが伸縮離脱防止機能への試みはS形が開発される前に特殊カラー継手やSW形として行われていた。S形は、呼び径範囲の拡大(呼び径500～2600)が行われ、US形呼び径800～2600、SⅡ形呼び径75～450、PⅡ形呼び径300～1350、NS形呼び径75～450、PN形呼び径300～1500、NS形呼び径500～1000、GX形呼び径75～400、S50形呼び径50、NS形(E種管)呼び径75～150へと発展した。2015(平成27)年度にはダクタイル鉄管における耐震継手の出荷比率は約91.6%に達した。

1 特殊カラー継手、SW形

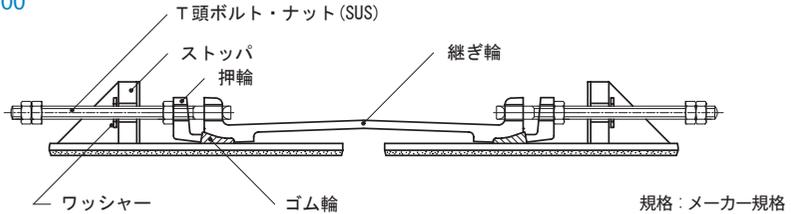
1970(昭和45)年には継ぎ輪の中心部をフランジで接合し、継手部が伸縮して離脱防止機能を持つ特殊カラー継手が開発されていた。1968(昭和43)年の十勝沖地震で水道管路が大きな被害を受け全市が断水した八戸市では、1972(昭和47)年の第2次拡張計画策定の際に地震でも断水することのないダクタイル鉄管への強い要望があった。久保田鉄工(現コボタ)および栗本鐵工所と八戸市水道部(現八戸圏域水道企業団)は、5回に及ぶ毎週の討議を重ね、SW形が開発されて呼び径700が試験的に使用された。稚内市でも軟弱地盤対策として呼び径700が採用された。

また静岡県企業局柿田川水道では高水圧管路があり、また三島市内大場地区の軟弱地盤の配管において継手部の抜出し防止用としてSW形が採用された。

●図表1-5-7-1 特殊カラー継手 1970(昭和45)年ごろ～1986(昭和61)年
呼び径250～600



●図表1-5-7-2 SW形 1972(昭和47)～1978(昭和53)年ごろ
呼び径700



稚内市で1978(昭和53)年ごろに
使用されたSW形 呼び径700。
『ダクタイル鉄管』第26号
(日本ダクタイル鉄管協会、1979年)より

2 S形、S II形、US形

1964(昭和39)年の新潟地震では、ダクタイル鉄管の管体に被害はなかったが、継手部の拔出が多く発生した。地震に強い管路の継手部に求められる条件は伸縮、屈曲が自在なフレキシブル構造であり、かつ最終的には継手部が離脱しないことであることが分かった。振動実験装置で正弦波を与え、管路の挙動を調べた結果、

管路が地盤の動きに追従して動き、継手部が屈曲し、かつ地盤変位を吸収するためには、継手部の伸縮量は管長の $\pm 1\%$ 、離脱防止力は $3DkN$ (D :呼び径)必要であった。このような機能を有する管路を鎖構造管路という。各種の実験を経て1974(昭和49)年に日本初の耐震継手管であるS形(呼び径1350)が開発された。八戸市への初年度の納入分はロックリングを管体に抱き付かせるために外面からボルトで押さえるセットボルト方式であったが、その後ロックリングの分割部分を継手の隙間から固定する現在の結合ピース方式に変更された。また構造物との取合部などのより大きな変位を吸収するためにDBJ形呼び径500・1000・1500が開発され、八戸市の西水管橋に呼び径1000が使用された。

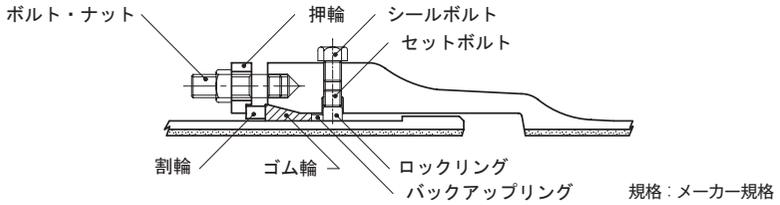
当初S形は呼び径1000～1500であったが、その後、口径拡大が行われて1976(昭和51)年に呼び径500～2000になり、1979(昭和54)年には呼び径500～2600になった。その後、NS形呼び径500～1000が2005(平成17)年に開発され、S形呼び径500～1000は2012(平成24)年ごろ製造を中止した。

S形の開発直後の1977(昭和52)年には、小口径の耐震継手管の要望があり、SⅡ形呼び径100～450が開発され、長年小口径耐震継手管の主流であった。SⅡ形の普及に伴いより大きな変位を吸収できるBJ形呼び径75～1200が1988(昭和63)年に開発され、1993(平成5)年にJDKPA G 1039として制定されたが2011(平成23)年に廃止になった。1995(平成7)年にはSⅡ形呼び径75が追加されたが、2005(平成17)年ごろには呼び径75～250はNS形の普及に伴い製造が中止された。その後2011(平成23)年ごろにSⅡ形呼び径300～450の製造も中止され、2015(平成27)年に規格が廃止された。

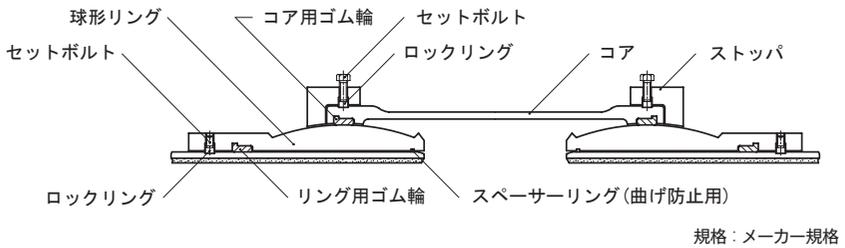
1978(昭和53)年には、非開削工法のシールド内配管などに使われる耐震継手管として内面継手のUS形呼び径700～2600が開発された。シールド内など外面からロックリングの締付けができない場合には、VT(ビニルチューブ)方式が採用された。当初は呼び径700から開発されたが、安全性などから2006(平成18)年ごろには呼び径700は製造中止となり、2010(平成22)年には呼び径700は規格から削除された。

SB(セットボルト)方式は、開削部など外面からの施工が可能な場所で用いられたが、施工性をより改善したLS(ロックリング絞り)方式が開発され2008(平成20)年に規格化された。LS方式はロックリング収納溝の壁面がテーパ状になっており、拔出し力によりロックリングが締め付けられる構造である。呼び径1100以上はロックリングの外側に絞り用ゴムが入っている。

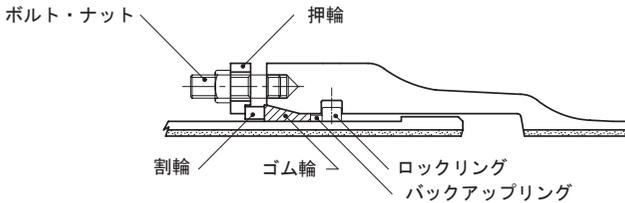
●図表1-5-7-3 S形(セットボルト付き) 1974(昭和49)～1975(昭和50)年
呼び径500～2000



●図表1-5-7-4 DBJ形 1976(昭和51)～1979(昭和54)年
呼び径500・1000・1500



●図表1-5-7-5 S形 1975(昭和50)年～現在
呼び径1100～2600 結合ピース方式



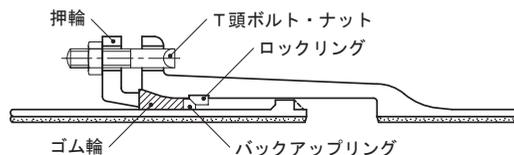
●図表1-5-7-6 S形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1976(昭和51)	メーカー規格	メーカー規格を制定	500～2000
1979(昭和54)	JDPA G 1019 制定	JDPA規格として制定	500～2600
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	500～2600
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	500～2600
2012(平成24)	JDPA G 1019 改正	呼び径500～1000を削除	1100～2600
2014(平成26)	JWWA G 113 改正	呼び径500～1000を削除	1100～2600
2015(平成27)	JIS G 5526 改正	呼び径500～1000を削除	1100～2600
2017(平成29)	JDPA G 3001 制定	JDPA規格を新たに制定	1100～2600

備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

●図表1-5-7-7 SⅡ形 1977(昭和52)～2011(平成23)年

呼び径75～450

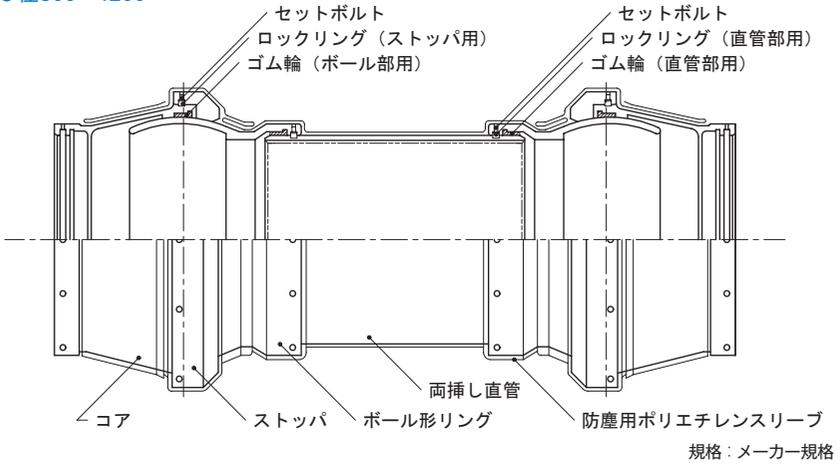


●図表1-5-7-8 SⅡ形の規格の変遷

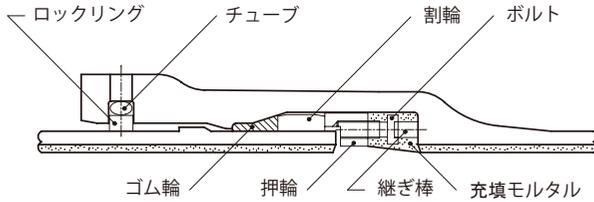
年	規格	主な改正内容	呼び径
1977(昭和52)	メーカー規格	メーカー規格を制定	100～450
1979(昭和54)	JDPA G 1021 制定	JDPA規格として制定	100～450
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	100～450
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	100～450
1992(平成4)	JWWA G 113 改正	呼び径75を追加	75～450
2010(平成22)	JWWA G 113 改正	呼び径300～450をJWWA G 113から削除	75～250
2014(平成26)	JIS G 5526 廃止(SⅡ形廃止)	SⅡ形をJIS G 5526から削除	—
2015(平成27)	JWWA G 113 廃止(SⅡ形廃止)	SⅡ形をJWWA G 113から削除	—

備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

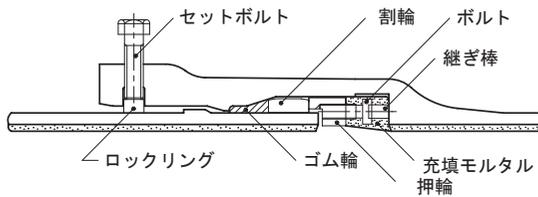
●図表1-5-7-9 BJ形 1988(昭和63)年～2003(平成15)年
呼び径500～1200



●図表1-5-7-10 US形 1978(昭和53)年～現在
VT方式 呼び径800～2600

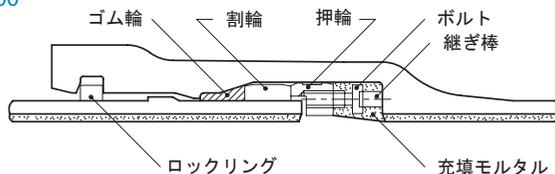


SB方式 呼び径800～2600

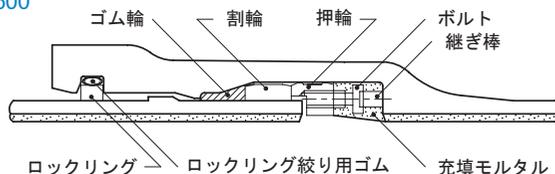


●図表1-5-7-11 US形(LS方式) 2008(平成20)年～現在

呼び径800～1000



呼び径1100～2600



呼び径1100以上にはロックリング絞り用ゴムがある。

●図表1-5-7-12 US形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1978(昭和53)	メーカー規格	メーカー規格を制定	700～2600
1984(昭和59)	JDPA G 1034 制定	JDPA規格として制定	700～2600
1989(平成元)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	700～2600
1991(平成3)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	700～2600
2007(平成19)	JDPA G 1048 制定	LS方式を追加し、呼び径700を削除	800～2600
2010(平成22)	JWWA G 113 改正	JWWA G 113から呼び径700を削除	800～2600
2014(平成26)	JIS G 5526 改正	JIS G 5526から呼び径700を削除	800～2600
2017(平成29)	JDPA G 3002 制定	JDPA規格を新たに制定	800～2600

備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

3 NS形、NS形(E種管)

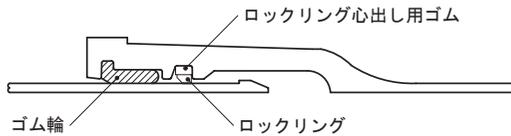
小さな口径の耐震化率が向上するにつれて、SⅡ形よりもボルトレスにより施工性が向上し、経済性が高いプッシュオン継手の耐震継手管NS形呼び径75～250が1993(平成5)年に開発され、呼び径300～450は2000(平成12)年に開発された。開発当初は継手の伸縮量が $\pm 0.5\%$ であったが、1995(平成7)年の阪神・淡路大震災を受けて $\pm 1\%$ に変更された。2005(平成17)年には、従来のS形よりも部品点数を減らし、

施工性の向上、コストダウンを図ったNS形呼び径500～1000が開発された。

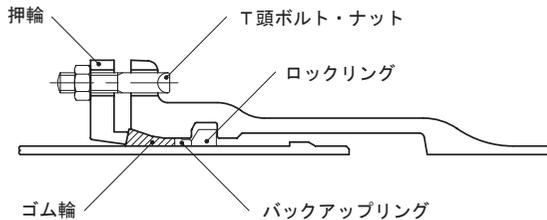
事業者からの要望に応じて、技術開発によりNS形のさらなる低コスト・軽量化を実現したNS形(E種管)呼び径75～100(使用水圧:1.3MPa以下)が、2015(平成27)年に開発され、2016(平成28)年には呼び径150が追加された。鑄造技術の開発により、管厚の薄肉化を図り、挿し口突部をビード突起に変更し、内面塗装も珪砂混合エポキシ粉体塗装に変更することにより、低コスト・軽量化を実現した。継手性能は伸縮量管長の±1%、離脱防止力3DkN、許容屈曲角度4°であり性能はNS形と同等である。

●図表1-5-7-13 NS形 1993(平成5)年～現在

呼び径75～450

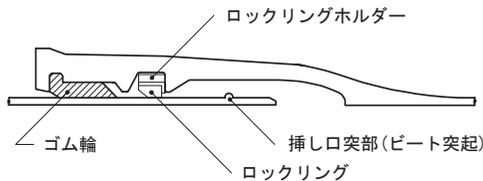


呼び径500～1000



●図表1-5-7-14 NS形(E種管) 2015(平成27)年～現在

呼び径75～150



●図表1-5-7-15 NS形の規格の変遷

年	規 格	主な改正内容	呼び径
1993 (平成5)	メーカー規格	メーカー規格を制定	75～250
1995 (平成7)	JDPA G 1042 制定	JDPA規格として制定	75～250
1996 (平成8)	JDPA G 1042 改正	挿し口突部の溶接方法および5/8曲管を追加	75～250
1998 (平成10)	JDPA G 1058 改正	うず巻式フランジ付きT字管を追加	75～250
1999 (平成11)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	75～250
2000 (平成12)	JWWA G 113 改正	挿し口突部を性能規定に変更	75～250
2003 (平成15)	JDPA G 1042 改正	タッピングねじタイプを追加	75～250
2004 (平成16)	JDPA G 1042 改正	呼び径300～450を追加	75～450
2005 (平成17)	JDPA G 1042 改正	呼び径500～1000を追加	75～1000
2005 (平成17)	JWWA G 113 改正	NS形切管用挿し口リング(タッピングねじタイプ)の形状をR面取りからテーパ形状に変更	75～1000
2006 (平成18)	JDPA G 1042 改正	呼び径500～1000 接合部品を変更	75～1000
2008 (平成20)	JDPA G 1042 改正	呼び径75～250に新たなゴム輪形状を追加	75～1000
2010 (平成22)	JWWA G 113 改正	呼び径300～450を追加	75～450
2011 (平成23)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	75～1000
2015 (平成27)	JWWA G 113 改正	呼び径500～1000を追加	75～1000
2016 (平成28)	JDPA G 1042-2 制定	NS形(E種管)をJDPA規格として制定	75～150

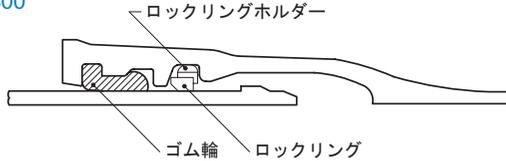
備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

4 GX形

NS形の改良型として、管路布設費の低減、施工性の向上、長寿命化(外面耐食塗装C-Protectにより、一般的な埋設環境で期待できる100年の寿命)を実現した耐震継手管GX形呼び径75～250が2010年(平成22)年に開発された。2013(平成25)年には呼び径300が追加され、切管時の現場施工性を向上するために切管用挿し口リングに加えて、呼び径75～300のP-Link(直管用)、G-Link(異形管用)が開発された。P-Linkは挿し口突部を有しており、直管受口に切管を接合する場合に使用する。切管をP-Linkに接合し、押しボルトをトルク100N・mで締め付けて一体化する。

また、2014(平成26)年には呼び径400が追加された。

●図表1-5-7-16 GX形 2010(平成22)年～現在
呼び径75～300・400



●図表1-5-7-17 GX形の規格の変遷

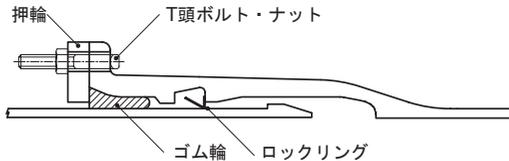
年	規格	主な改正内容	呼び径
2010(平成22)	JDPA G 1049 制定	JDPA規格を制定	75～250
2013(平成25)	JDPA G 1049 改正	呼び径300およびP-Link、G-Linkを追加	75～300
2013(平成25)	JWWA G 120 制定	JWWA規格として制定	75～250
2014(平成26)	JDPA G 1049 改正	呼び径400および切管用挿し口リングを追加	75～300・400
2017(平成29)	JWWA G 120 改正	呼び径300,400を追加	75～300・400

備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

5 S50形

従来の耐震継手管は呼び径75以上であったが、管路末端部まで耐震化が求められるようになり、高い耐震性を有し施工性に優れた呼び径50の耐震継手管S50形が2012(平成24)年に開発された。

●図表1-5-7-18 S50形 2012(平成24)年～現在
呼び径50



規格：JDPA G 1052

1-5-8 フランジ継手

フランジ継手は印籠継手の時代からあり、パッキンに鉛や銅線の輪を使用していたが、その後1937(昭和12)年に「水道用ゴム」の規格が制定され、ゴムパッキンも使われるようになった。ダクタイル鉄管のゴム製ガasketを用いたフランジ継手は1957(昭和32)年に初めて製造された。1961(昭和36)年のJWSA G 106にRF形と

して追加されて現在でも使用されている。1982(昭和57)年には、曲げモーメントなどが働いたときの水密性がRF形より高いGF形が開発され、高水圧管路や耐震継手管路に使用されている。GF形にはガスケット1号(メタルタッチの場合)とガスケット2号(メタルタッチでない場合)の2種類がある。GF形は呼び圧力7.5~20kで使用されている。1976(昭和51)年に呼び径1100~1500、1982(昭和57)年に呼び径1600~2600が追加されている。ステンレス管との接合部など異種金属腐食が発生しやすいフランジ継手にはメタルタッチでないガスケット2号を用いる。東京都水道局、宮城県企業局などでは、ガスケット1号が開発される以前からガスケット2号を使用していた。

●図表1-5-8-1 普通铸铁管 フランジ形 1914(大正3)~1937(昭和12)年
両フランジ管 公称内径2~60インチ



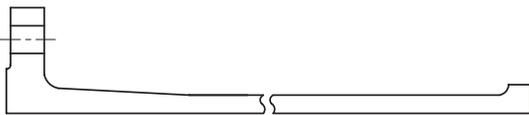
規格：上水協議会規格「水道用铸铁管規格」

●図表1-5-8-2 普通铸铁管 フランジ形 1925(大正14)年~1937(昭和12)年
両フランジ管 公称内径75~1500ミリ



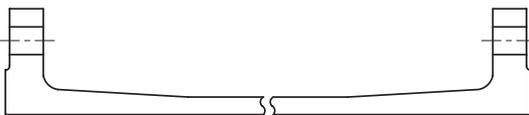
規格：上水協議会規格「水道用铸铁管規格」

片フランジ管 公称内径75~1500ミリ



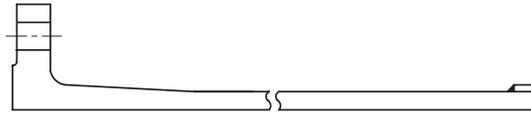
規格：上水協議会規格「水道用铸铁管規格」

●図表1-5-8-3 高級铸铁管 フランジ形 1933(昭和8)~1949(昭和24)年
両フランジ管 呼び径75~1500



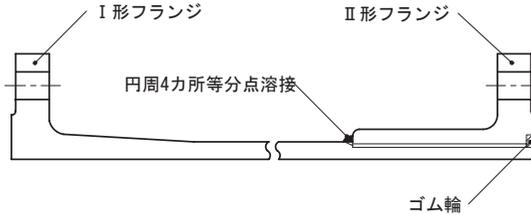
規格：水道協会規格「水道用高級铸铁管規格」

●図表1-5-8-4 高級鑄鉄管 フランジ形 1957(昭和32)年ごろ(現在は廃止)
片フランジ管 呼び径1500



挿し口突起は溶接。
規格：メーカー規格

●図表1-5-8-5 高級鑄鉄管 ねじ込みフランジ形 1960(昭和35)年ごろ(現在は廃止)
呼び径75~1500



規格：メーカー規格

●図表1-5-8-6 フランジ形(両フランジ管・片フランジ管)の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1914(大正3)	上水協議会規格 制定	普通鑄鉄管のインチ管として制定された	2~60インチ
1925(大正14)	上水協議会規格 制定	普通鑄鉄管のミリ管として制定された	75~1500
1928(昭和3)	JES 第80号類別G21 制定	JES規格として制定	75~1500
1933(昭和8)	上水協議会規格 制定	高級鑄鉄管の規格として制定	75~1500
1934(昭和9)	JES 第272号類別G36 制定	高級鑄鉄管の規格として制定	75~1500
1954(昭和29)	JIS G 5524 制定	JIS規格として制定	75~1500
1989(平成元)	JIS G 5524 廃止	JIS規格を廃止	—

備考 「JES」はJIS(日本工業規格)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

●図表1-5-8-7 フランジ形 1972(昭和47)年ごろ~現在
フランジ長管 呼び径75~1500



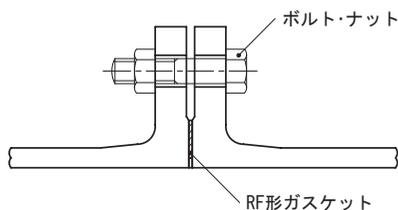
●図表1-5-8-8 フランジ形ダクタイル鋳鉄長管の規格の変遷

年	規 格	主な改正内容	呼び径
1972 (昭和47)	JCPA G 1009 制定	ダクタイル鋳鉄長管の普及に伴いJCPA規格として制定	75～1000
1976 (昭和51)	JCPA G 1009 改正	呼び径1100～1500を追加	75～1500
1979 (昭和54)	JCPA G 1009 改正	SI単位に変更	75～1500
1982 (昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	75～2600
1984 (昭和59)	JDPA G 1032 制定	フランジ形ダクタイル鋳鉄直管をJDPA規格として制定	75～1200
2005 (平成17)	JDPA G 1032 廃止	JDPA規格を廃止	—
2017 (平成29)	JDPA G 3007 制定	JDPA規格を新たに制定	75～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

●図表1-5-8-9 RF形 1957(昭和32年)～現在

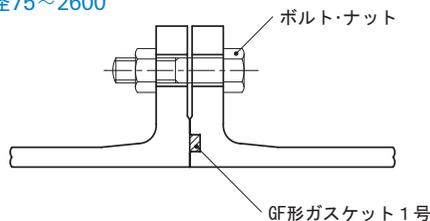
呼び径75～2600



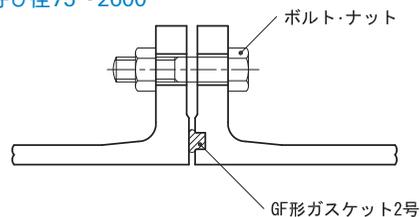
RF形の製造開始年としてはダクタイル鋳鉄製のフランジ形の製造開始年を示した。

●図表1-5-8-10 GF形 1982(昭和57年)～現在

メタルタッチの場合 呼び径75～2600



メタルタッチでない場合 呼び径75～2600



●図表1-5-8-11 RF形、GF形の規格の変遷

年	規 格	主な改正内容	呼び径
1957 (昭和32)	鑄鉄管協会標準仕様書	ダクタイル鑄鉄製のフランジ形の製造を開始	75～900
1961 (昭和36)	JWSA G 106	RF形として制定	75～1500
1968 (昭和43)	JCPA G 1001	ボルト・ナットをメートル並目ねじに変更 呼び径1600～2400を追加	75～2400
1982 (昭和57)	JWWA G 114	GF形を追加 呼び径2600を追加	75～2600
2017 (平成29)	JDPA G 3007 制定	JDPA規格を新たに制定	75～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

1-5-9 推進工法用の継手

短いスパンの鉄道横断や河川横断などの場合に直接推進できるダクタイル鉄管の要望が大阪市などからあり、内カラー継手のO—I形、O—II形、O—III形や外面にコンクリート外装を施して受口部との段差を平滑にしたUF形推進管、U形推進管呼び径900～2400が1968(昭和43)年に開発された。推進工法は当時主に横断方向に用いられたが、大阪市水道局は同年にUF形推進管呼び径1500の延長76mを道路縦断方向に推進する工事を実施した。U形推進管は挿し口にフランジを溶接して受口端面で推進力を伝達させる構造である。同工事では主に立坑近傍の立上り配管など不平均力(水圧による拔出し力)を押さえるための一体化を行う際にUF形推進管を使用している。

U形推進管呼び径700～2600、UF形推進管呼び径700～2600、T形推進管呼び径300～600、TC形推進管呼び径600～900は、それぞれ1975(昭和50)年にJCPA規格として制定された。その後、1983(昭和58)年に、U形推進管、UF形推進管、T形推進管がJDPA G 1029として制定された。

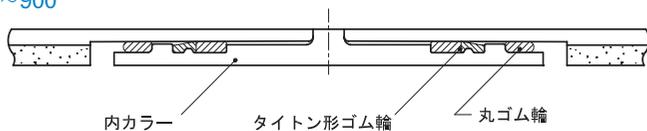
耐震継手を有するUS形推進管呼び径700～2600は1978(昭和53)年に開発された。長距離推進には中間スリーブを用いた中押工法が行われたが、推進工法の進化により現在ではあまり使用されていない。

推進工法は1975(昭和50)年ごろには道路縦断方向に用いられることが多くなり、長距離推進やカーブ推進も行われるようになった。1995(平成7)年に改定されたJDPA G 1029では、継手部が曲がりやすいように植込みボルトレスタイプが追加さ

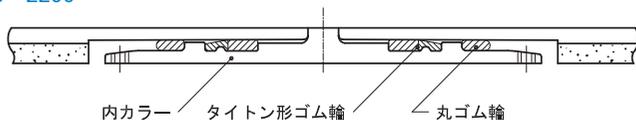
れ、U形推進管、UF形推進管、US形推進管(LS方式、SB方式)は管内面作業の安全性から呼び径700が削除され呼び径800～2600、T形推進管は呼び径250～700が規格化されている。

1 TC形推進管

●図表1-5-9-1 タイトン形内カラー継手推進管 1968(昭和43)年ごろ(現在は廃止)
呼び径200～900

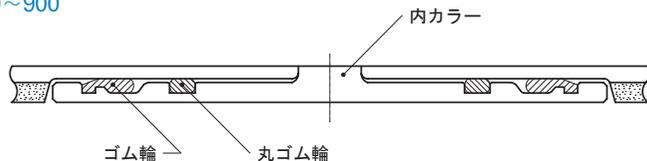


呼び径1000～2200



規格：メーカー規格

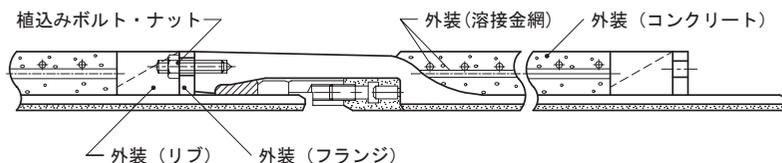
●図表1-5-9-2 TC形推進管 1975(昭和50)～1983(昭和58)年
呼び径600～900



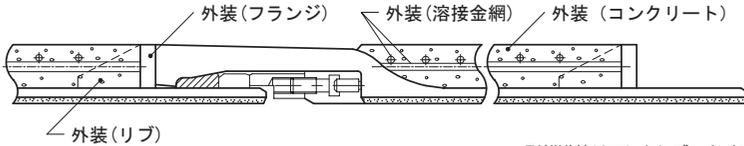
規格：JCPA G 1017

2 U形推進管、UF形推進管、T形推進管、US形推進管

●図表1-5-9-3 U形推進管 1968(昭和43)年～現在
植込みボルトタイプ

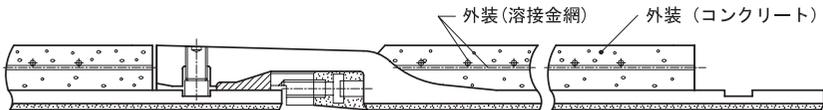


植込みボルトレスタイプ

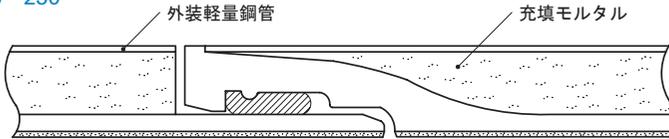


U形推進管はフレキシブルタイプである。

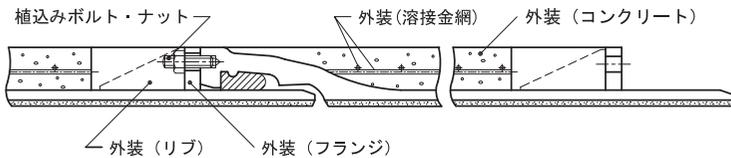
●図表1-5-9-4 UF形推進管 1968(昭和43)年～2016(平成28)年



UF形はリジットタイプである。

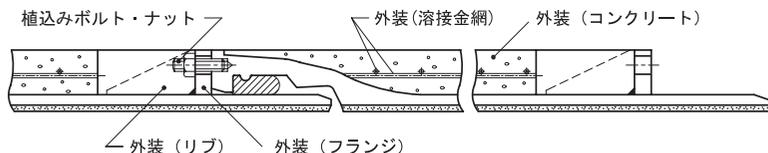
●図表1-5-9-5 タイトン形外装推進管(TOM) 1972(昭和47)年ごろ(現在は廃止)
呼び径75～250

規格：メーカー規格

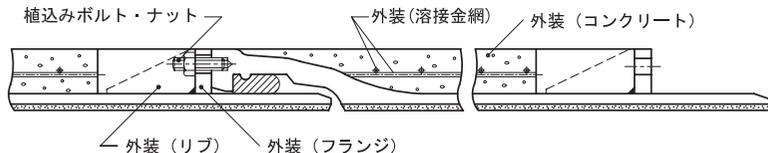
●図表1-5-9-6 T形推進管 1975(昭和50)～1979(昭和54)年
呼び径300～600

受口形状はJDPAG 1029の呼び径250以下と同じであった。
規格：JDPAG 1016

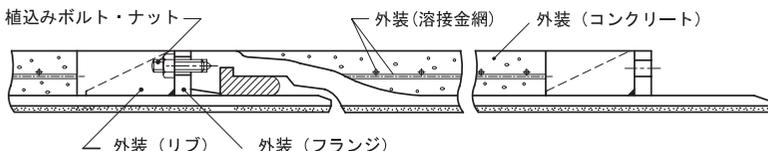
●図表1-5-9-7 T形推進管 1979(昭和54)年～現在
呼び径250



呼び径300～600

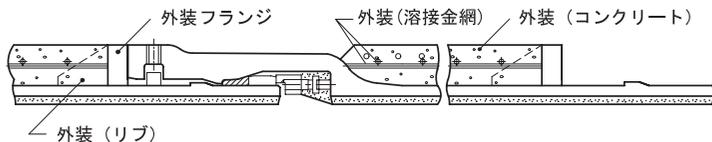


呼び径700

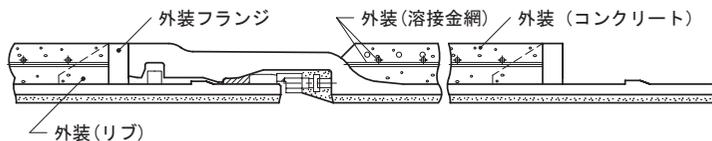


1995(平成7)年に植込みボルトレスタイプが規格に追加され、
2004(平成16)年に植込みボルトタイプは規格から削除された。

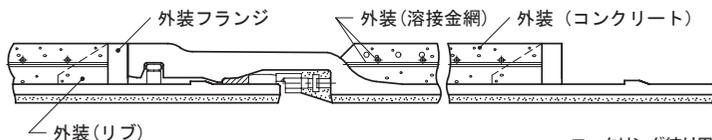
●図表1-5-9-8 US形推進管 1993(平成5)年～現在
SB方式 呼び径800～2600



LS方式 呼び径800～1000



LS方式 呼び径1100～2600



ロックリング絞り用ゴムあり。

●図表 1-5-9-9 U形推進管、UF形推進管、T形推進管、US形推進管の規格の変遷

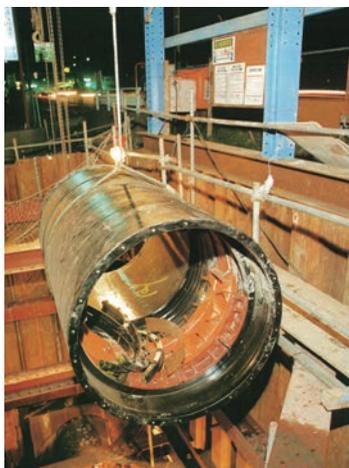
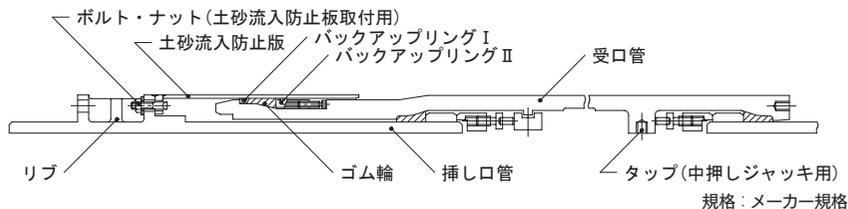
年	規 格	主な改正内容	呼び径
1968 (昭和43)	メーカー規格	U形推進管、UF形推進管をメーカー規格として制定	900～2400
1975 (昭和50)	JCPA G 1014 制定	U形推進管をJCPA規格として制定	700～2600
1975 (昭和50)	JCPA G 1015 制定	UF形推進管をJCPA規格として制定	700～2600
1975 (昭和50)	JCPA G 1016 制定	T形推進管をJCPA規格として制定	300～600
1975 (昭和50)	JCPA G 1017 制定	TC形推進管をJDPA規格として制定	600～900
1978 (昭和53)	メーカー規格 制定	US形推進管をメーカー規格として制定	700～2600
1979 (昭和54)	JCPA G 1014～1017 改正	外装などの仕様を追加し、T形推進管の呼び径300～600の受口形状を現在の形に変更	300～2600
1983 (昭和58)	JCPA G 1014～1017 廃止	TC形推進管を廃止	600～900
1983 (昭和58)	JDPA G 1029 制定	JDPA規格として制定 U形推進管、UF形推進管呼び径700～2600 T形推進管呼び径300～700	300～2600
1986 (昭和61)	JDPA G 1029 改正	T形推進管の呼び径250を追加	250～2600
1993 (平成5)	JDPA G 1029 改正	US形推進管を追加 内面エポキシ粉体塗装を追加 呼び径1500以下の中間管種を削除	250～2600
1995 (平成7)	JDPA G 1029 改正	植込みボルトレスタイプを追加 U形推進管、UF形推進管、US形推進管の呼び径700を削除 呼び径800～2600	250～2600
1999 (平成11)	JDPA G 1029 改正	T形推進管呼び径250の受口P寸法およびZ'寸法を変更	250～2600
2004 (平成16)	JDPA G 1029 改正	植込みボルトタイプ、中間管種を削除	250～2600
2008 (平成20)	JDPA G 1029 改正	US形推進管にLS方式を追加	250～2600
2016 (平成28)	JDPA G 1029 改正	UF形推進管を削除	250～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

3 U形中間スリーブ

中間スリーブには、U形推進管用、US形推進管用などがあった。ここではU形推進管用を示す。

●図表図表 1-5-9-10 中間スリーブ(U形推進管用) 1978(昭和53)～2007(平成19)年
呼び径800～2600



仙台市下水道部で1982(昭和57)年ごろに使用された中間スリーブ呼び径1100。

『ダクタイル鉄管』第32号(日本ダクタイル鉄管協会、1982年)より

1-5-10 PIP(パイプインパイプ)工法用の継手

1975(昭和50)年代になると戦前に布設された普通・高級铸铁管などが老朽化してきた。布設替する時に交通量の多い道路などでは、既設管の中に新設管を押し込むPIP工法のニーズが高まった。1973(昭和48)年ごろにはタイトン形を用いて押し込んでいたが2口径落としになるため翌年には1口径落としの改良形が開発された。また1979(昭和54)年ごろには内カラー継手のTN形、1980(昭和55)年には現在のPⅡ形に近いTS形などが使用された。1982(昭和57)年には、新設管を1口径落としで押

し込むことができるPⅠ形、PⅡ形呼び径300～1350が開発され、1984(昭和59)年にJDPA G 1033として規格化された。大きな押込力が必要な場合の補強タイプとして溶接リング付き、フランジ・リップ付きがある。また曲管部で管内ドッキングをするためのPⅢ形も開発された。

2003(平成15)年には、PⅡ形の施工性を向上し、離脱防止力が1.5DkNから3DkNに改良されたPN形呼び径300～1500が開発された。また、PN形はロックリングを受口外面の長穴から挿入する方式となった。2005(平成17)年にPN形はJDPA G 1046として規格化された。

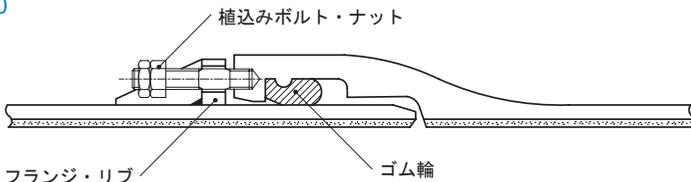
その後、既設の铸铁管への押込みだけではなく、推進工法により新設されたヒューム管の中に押込または持込配管することができるPN形(JP方式及びCP方式)が2015(平成27)年に開発されている。ロックリングにテーパを設けることにより、セットボルトがなくても離脱力が作用するとロックリングが挿し口外面に抱き付く構造になっている。PN形呼び径700以上にはゴム輪の面圧を確保するための押輪があり、呼び径900以上にはロックリングを押えるためのスプリングが入っている。またシールド内に持ち込んで配管する場合にもPN形(JP方式及びCP方式)が用いられることがある。JP方式では1種管、CP方式ではP種管を使用する。また、2口径以上呼び径が異なる場合にキャストバンドを用いて押し込む方法も開発された。

2017(平成29)年には、PN形とPN形(JP方式及びCP方式)はJDPA G 1046として統合された。

1 タイトン形など

大阪市の工業用水道の既設管鉄筋コンクリート管呼び径800総延長2120mのPIP工事では、1973(昭和48)年に第1期工事としてタイトン形呼び径600を50m押し込んだ。第1期工事には離脱防止金具を装着したが、第2期工事以降は簡単な押込台を下に敷き、タイトン形のみをウィンチを用いて押し込む方法で行った。

●図表1-5-10-1 タイトン形の継手離脱防止金具 1973(昭和48)年ごろ(現在は廃止) 呼び径600

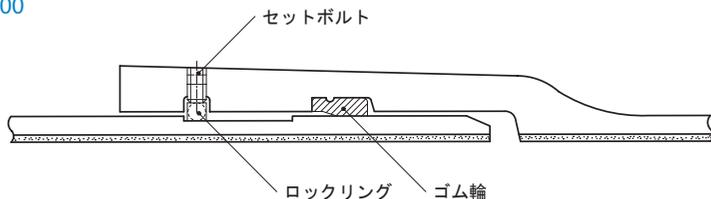


規格：メーカー規格

京都市でも1974(昭和49)年に西大路幹線の普通铸铁管公称内径900の中にP II形の原形ともいえる離脱防止機能としてロックリングとセットボルトを用いたタイトン形呼び径700を、最大押込延長120mのPIP工事7スパンを実施した。

●図表1-5-10-2 タイトン形 1974(昭和49)年～1984(昭和59)年

呼び径700



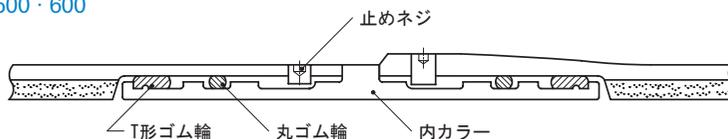
管外径 D_2 は、通常のダクタイル鉄管と同じ。

規格：メーカー規格

タイトン形式では2口径落としになるため、1口径落としでできるように管外面に突起のないTC形(JDPA G 1017 タイトン形内カラー継手管)に改良を加えたTN形が開発され、1978(昭和53)年には、大阪市が三軒家枝管公称内径600、700の中にTN形呼び径500、600で総延長1200m(3工区14スパン)のPIP工事を行っている。その後東京都でも芝線普通铸铁管公称内径1100の中にTN形呼び径1000を使用して、総延長2700m最大押込延長330m(4スパン)のPIP工事を行っている。

●図表1-5-10-3 TN形 1978(昭和53)年ごろ(現在は廃止)

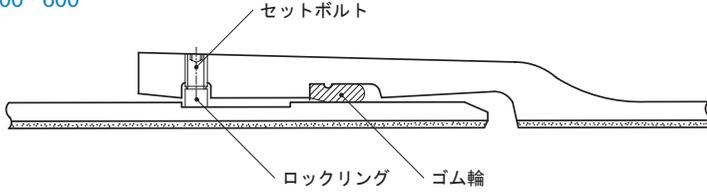
呼び径500・600



規格：メーカー規格

1980(昭和55)年には、京都市が一乗寺幹線(高級铸铁管呼び径800、延長1150m)においてTS形呼び径600を総延長1150m(4工区11スパン)最大挿入延長276mのPIP工事を行っている。

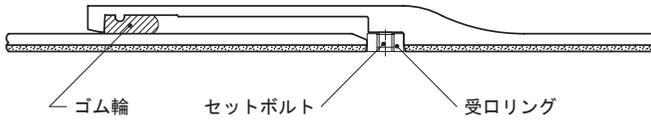
●図表1-5-10-4 TS形 1980(昭和55)～1984(昭和59)年
呼び径500・600



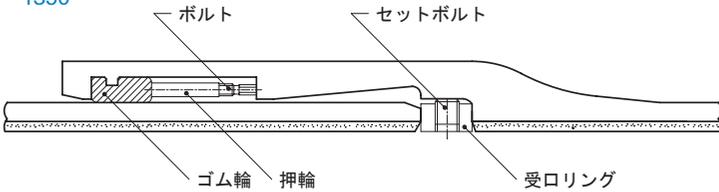
規格：メーカー規格

2 P I形、P II形

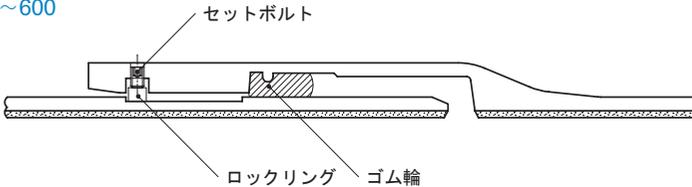
●図表1-5-10-5 P I形 1982(昭和57)～2007(平成19)年
呼び径300～600



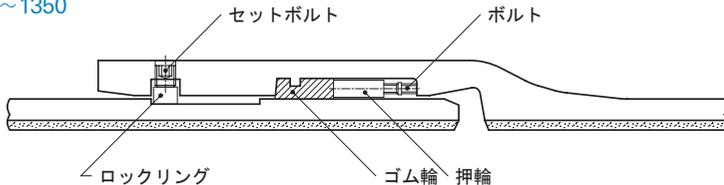
呼び径700～1350



●図表1-5-10-6 P II形 1982(昭和57)～現在
呼び径300～600

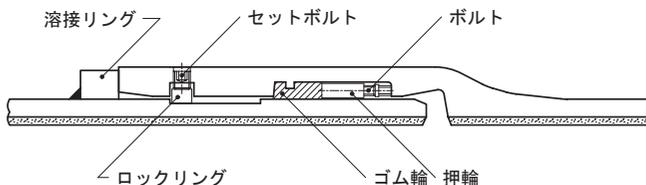


呼び径700～1350



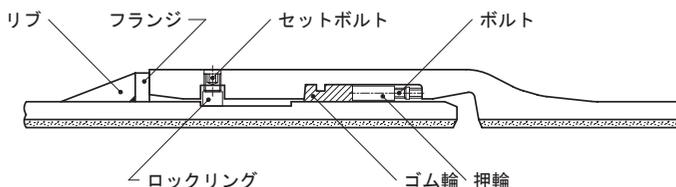
●図表1-5-10-7 P I、P II形<補強タイプ>

溶接リング付き 呼び径300~1350



挿し口に溶接したリングで押込力を伝達する。図はP II形呼び径700~1350の継手構造。
P I形の溶接リング付きは2007(平成19)年に廃止。

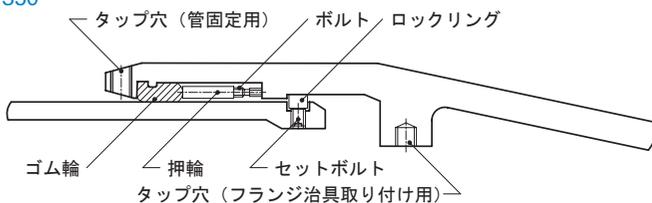
フランジ・リップ付き 呼び径300~1350



挿し口に溶接したフランジで押込力を伝達する。図はP II形呼び径700~1350の継手構造。
P I形のフランジ・リップ付きは2007(平成19)年に廃止。

●図表1-5-10-8 P III形 1982(昭和57)年~現在

呼び径700~1350

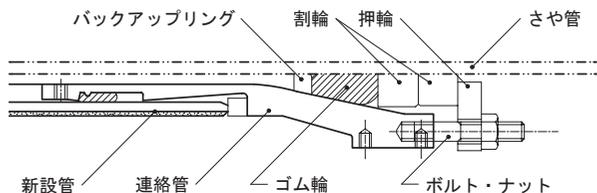


PIP工法において管内で新設管をドッキングする際に用いる曲管である。
P III形が最後に製造されたのは2003(平成15)年である。

規格：メーカー規格

●図表1-5-10-9 連絡管 1982(昭和57)年~現在

呼び径700~1350



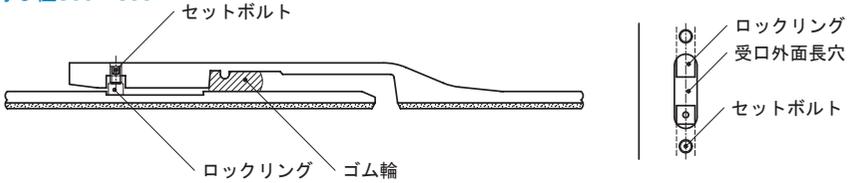
PIP工法において既設管と新設管を管の内側で連絡して止水するときに用いる連絡管である。
連絡管が最後に製造されたのは1990(平成2)年である。

規格：メーカー規格

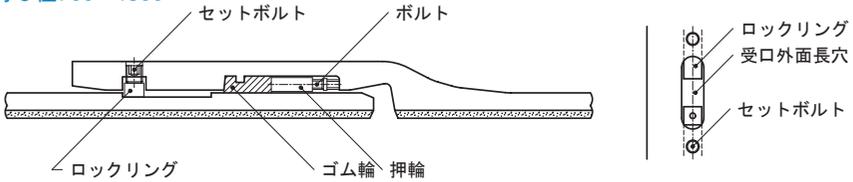
3 PN形

●図表1-5-10-10 PN形 2003(平成15)年～現在

呼び径300～600

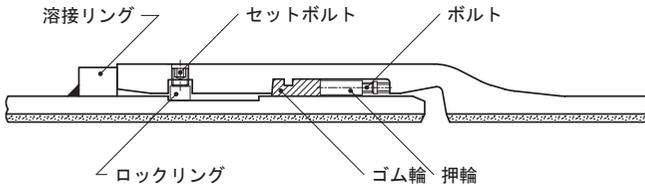


呼び径700～1500



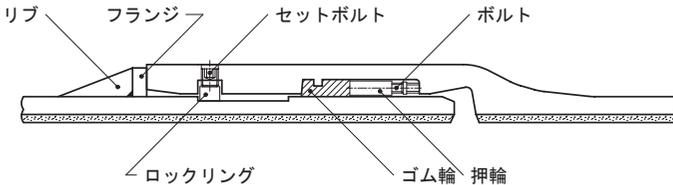
●図表1-5-10-11 PN形<補強タイプ>

溶接リング付き 呼び径300～1500



挿し口に溶接したリングで押込力を伝達する。図は呼び径700～1500の継手構造。

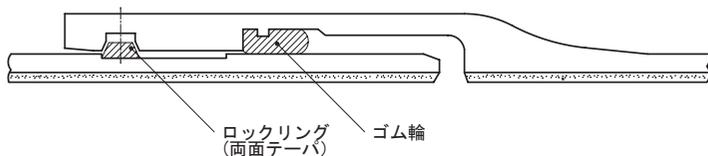
フランジ・リブ付き 呼び径300～1500



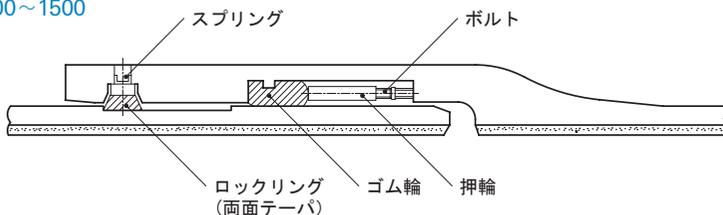
挿し口に溶接したフランジで押込力を伝達する。図は呼び径700～1500の継手構造。

4 PN形 (JP方式及びCP方式)

- 図表1-5-10-12 PN形 (JP方式及びCP方式) 2015 (平成27)年～現在
呼び径300～600

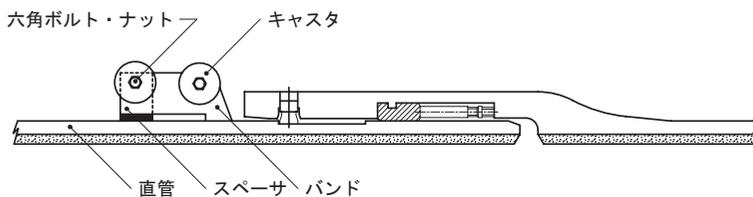


呼び径700～1500



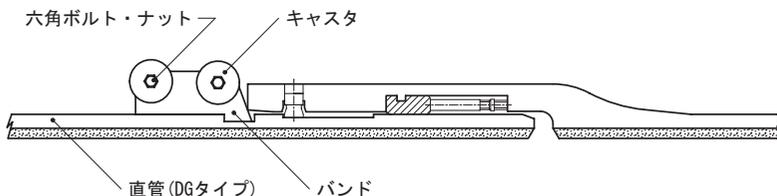
呼び径700・800ではスプリングなし。

[参考] キャスタバンドタイプ (溝なし) 呼び径300～1500



PN形 (溝なし) 呼び径700～1500にキャスタバンドが取り付けられている場合の継手構造。

[参考] キャスタバンドタイプ (溝あり) 呼び径300～1500



PN形 (溝あり) 呼び径700～1500にキャスタバンドが取り付けられている場合の継手構造。

● 図表 1-5-10-13 P I形、P II形、PN形、PN形 (JP方式及びCP方式) の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1984 (昭和59)	JDPA G 1033 制定	P I形、P II形をJDPA規格として制定	300～1350
2005 (平成17)	JDPA G 1046 制定	PN形をJDPA規格として制定 離脱防止力を3DkNに変更	300～1500
2007 (平成19)	JDPA G 1033 改正	溶接リング、フランジ・リップ付き管を追加し、P I形を削除	300～1350
2007 (平成19)	JDPA G 1046 改正	継手部の寸法を主要寸法に限定 継手性能の規定を強化	300～1500
2015 (平成27)	JDPA G 1051 制定	PN形 (JP方式及びCP方式) をJDPA規格として制定	300～1500
2017 (平成29)	JDPA G 1046 改定	PN形とPN形 (JP方式及びCP方式) を統合	300～1500

備考 規格名称などは図表 1-5-1-4 を参照のこと。

1-5-11 農業用水用の継手

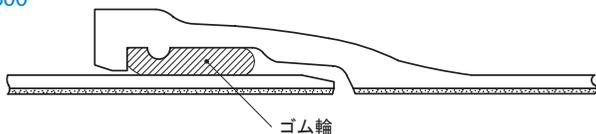
農業用水で多く用いられてきたT形ダクタイル鉄管は、1970(昭和45)年に「JCPA G 1003 タイトン形水道用遠心力鋳鉄管」として呼び径75～250が規格化された。その後、1973(昭和48)年に日本水道協会規格の「JWWA G 110 水道用T形遠心力ダクタイル鋳鉄管」として制定され広く普及してきた。

またその当時、海外でもT形ダクタイル鉄管のニーズが高く、呼び径2000までの拡大を図り、1979(昭和54)年に呼び径300～2000までが「JDPA G 1024 T形遠心力ダクタイル鋳鉄管」として制定された。1974(昭和49)年には「JIS G 5526 ダクタイル鋳鉄管」、1982(昭和57)年には「JWWA G 113 水道用ダクタイル鋳鉄管」として規格化され現在に至っている。従来のメカニカル継手に比べてゴム輪のみのプッシュオン継手であるT形は、直線部が多くかつ比較的大きな口径である農業用水では経済性を発揮して採用されるケースも多くなった。

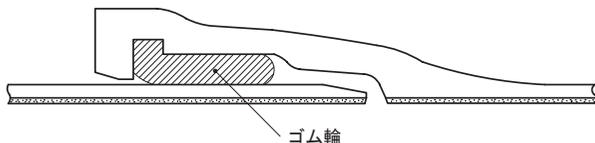
農業用水用としては、1981(昭和56)年に「JDPA G 1027 農業用水用ダクタイル鋳鉄管」が制定され、今日に至っている。その他、農業用水用としては2004(平成16)年にKL形、2010(平成22)年にTLW形、2015(平成27)年にALW形が開発された。詳細は図表 1-5-11-5 を参照のこと。

●図表 1-5-11-1 T形 1967(昭和42)年～現在

呼び径300～600

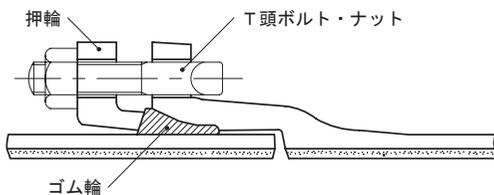


呼び径700～2000



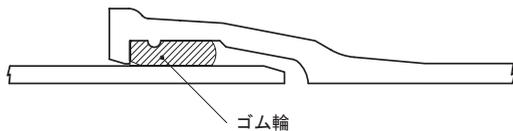
●図表 1-5-11-2 K形 1965(昭和40)年～現在

呼び径75～2600



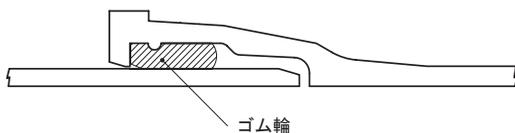
●図表 1-5-11-3 ALW形 2015(平成27)～2016(平成28)年

呼び径300～600



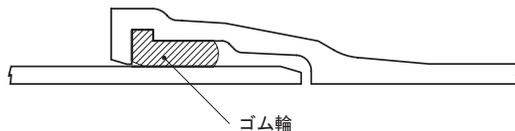
●図表 1-5-11-4 ALW形 2016(平成28)年～現在

呼び径300～600

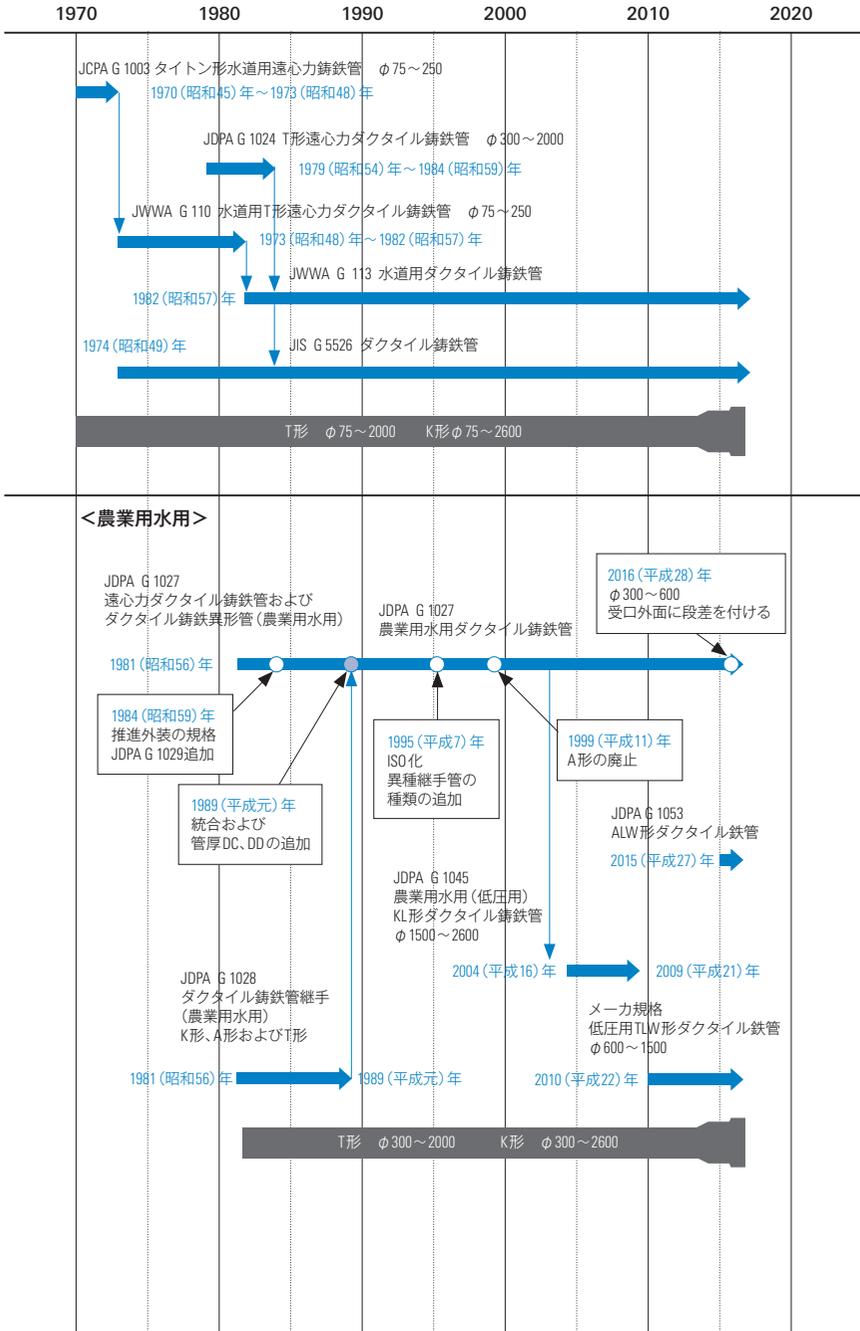


受口外面の段差付き。

呼び径700・800



●図表1-5-11-5 農業用水用ダクタイル鉄管の変遷



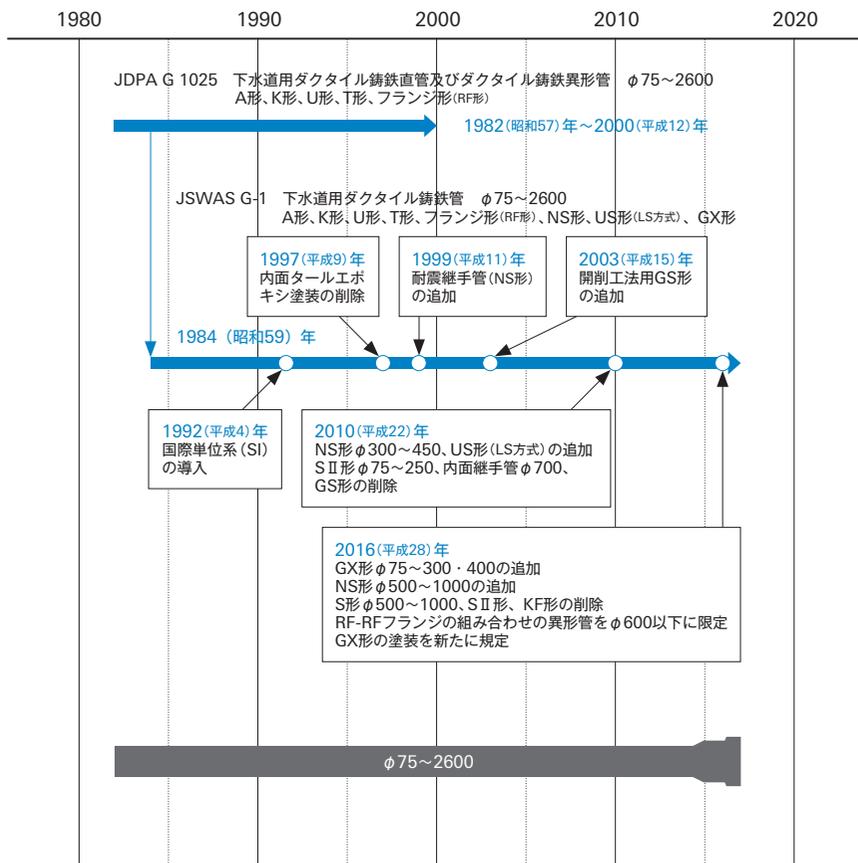
Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

1-5-12 下水道用の継手

1 下水道用ダクタイトイル鉄管

ダクタイトイル鉄管は、下水道に古くから用いられており、送泥管、送水管など圧送管路や処理場内配管を中心に幅広く使用されている。下水道用ダクタイトイル鉄管は、下水道独自の規格の必要性から1984(昭和59)年10月に「JSWAS G-1 下水道用ダクタイトイル鑄鉄管」として制定された。新たに実用化された管種の追加、JIS規格(JIS A 5314、JIS G 5526、JIS G 5527、JIS G 5528)との整合などから適宜改正されている。規格の主な変遷は図表1-5-12-1の通りである。

●図表1-5-12-1 下水道用ダクタイトイル鉄管の規格(JSWAS G-1)の変遷

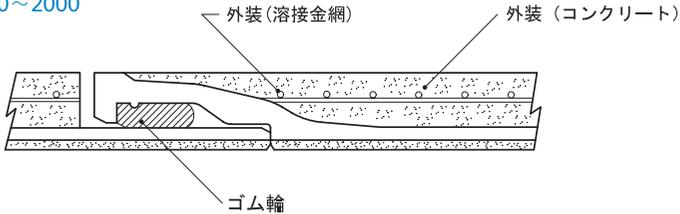


2 下水道推進工法用ダクタイトイル鉄管

ダクタイトイル鉄管は、送泥管、送水管など圧送管路や自然流下でも使用されている。下水道独自の規格の必要性から1990(平成2)年4月に「JSWAS G-2 下水道推進工法用ダクタイトイル鉄管」として制定された。新たに実用化された管種の追加、JIS規格との整合などから適宜改正されている。規格の主な変遷は図表1-5-12-10の通りである。

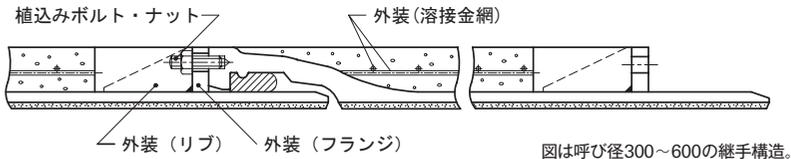
●図表1-5-12-2 ST形推進管 1990(平成2)～1993(平成5)年

呼び径250～2000



●図表1-5-12-3 T形推進管 1985(昭和60)年～現在

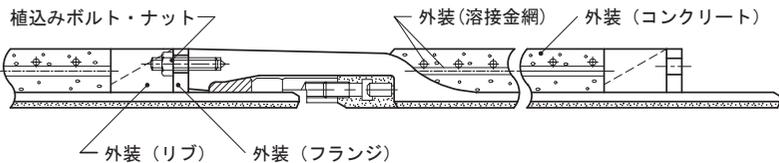
呼び径250～700



図は呼び径300～600の継手構造。

●図表1-5-12-4 U形推進管 1990(平成2)年～現在

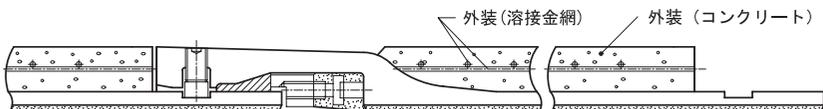
呼び径800～2600



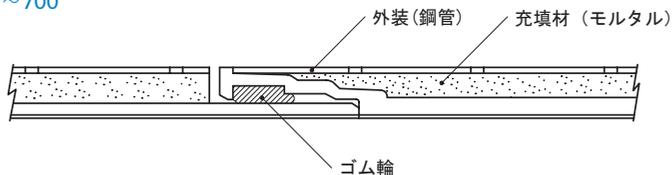
1997(平成9)年に植込みボルトレスが追加され、
2010(平成22)年に植込みボルトタイプは規格から削除された。

●図表1-5-12-5 UF形推進管 1997(平成9)年～現在

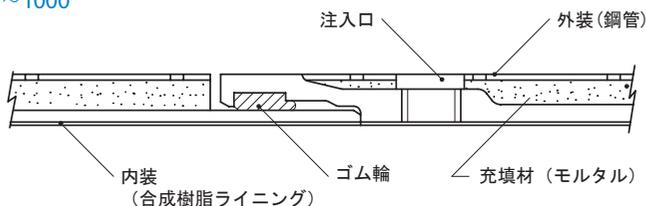
呼び径800～2600



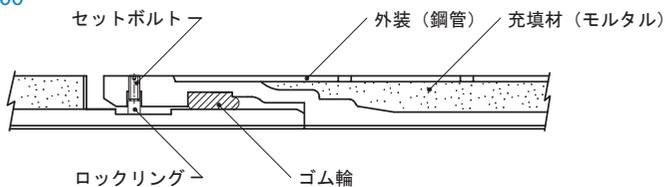
●図表1-5-12-6 GS形推進管 1993(平成5)年～2010(平成22)年
呼び径300～700



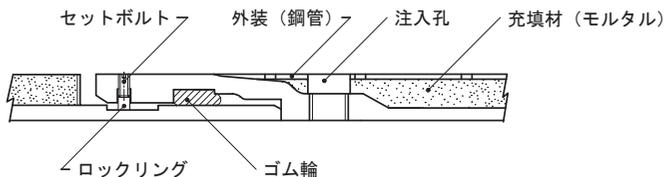
●図表1-5-12-7 GS形推進管 1993(平成5)～2010(平成22)年
呼び径800～1000



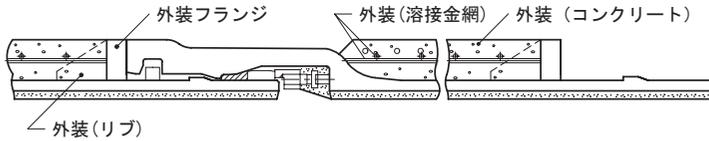
●図表1-5-12-8 GSS形推進管 1993(平成5)～2010(平成22)年
呼び径300～700



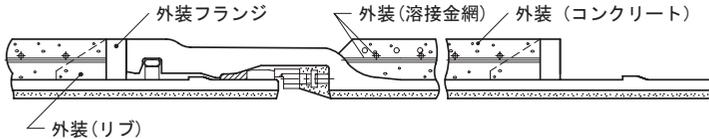
呼び径800～1000



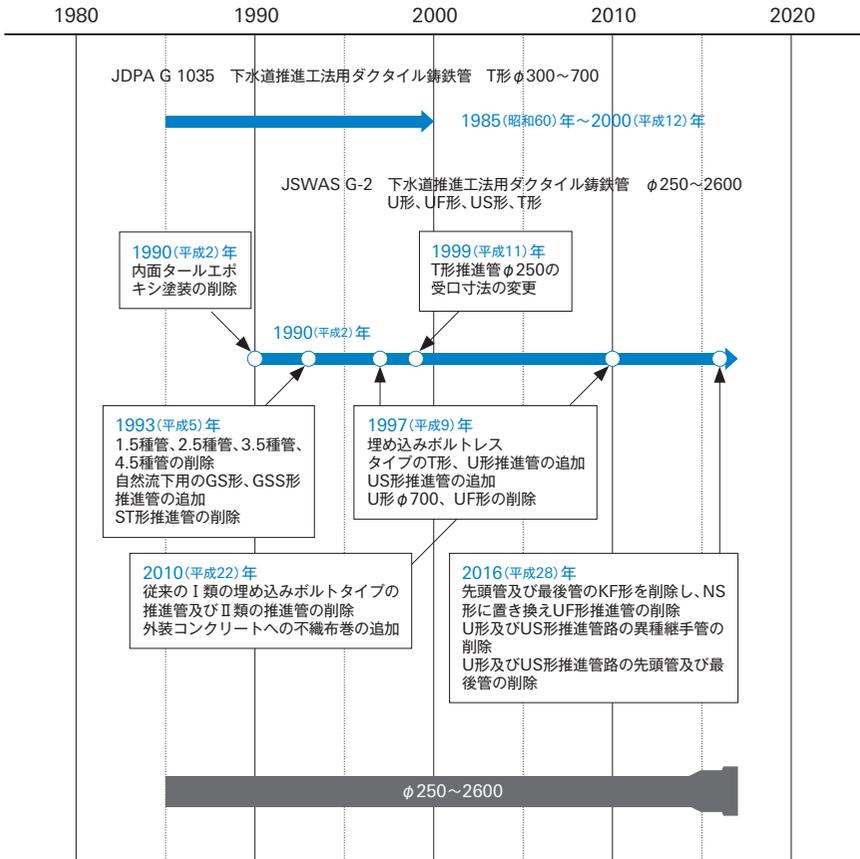
● 図表 1-5-12-9 US形 (LS方式) 推進管植込みボルトレスタイプ 1997 (平成9) 年～現在
呼び径800～1000



呼び径1100～2600



● 図表 1-5-12-10 下水道推進工法用ダクタイト鉄管の規格 (JSWAS G-2) の変遷



Chapter 1
Chapter 2
Chapter 3
Chapter 4
Chapter 5
Chapter 6
Chapter 7
Appendix

1-5-13 ガス管用の継手

日本で初めてガス用の鑄鉄管が使われたのは、横浜の街頭にガス燈が灯された1872(明治5)年のことである。公称内径8インチ以下の鑄鉄管が使われたが、横浜市発展記念館に当時のガス管用鑄鉄管が保存されており、鑄出し記号「R.L.&S」からイギリスのグラスゴー市にあったR.レイドロー社製であることが分かっている。このとき使われた鑄鉄管は印籠継手であった。1874(明治7)年に銀座にガス燈が灯されたときもガス管用鑄鉄管が使用された。その後も日本国内ではガス管用としては印籠継手が使用され、また水道用高級鑄鉄管規格(呼び径75～1500)をガス管用の鑄鉄管として用いた。印籠継手の接合部分である麻がガス中の飽和水蒸気で常に湿っており、十分気密性を発揮した。

東京ガスでは1932(昭和7)年には水道用の鑄鉄管よりも管外径が大きく、麻と鉛を主体としてゴム輪を補助的に使用した継手であるG型(呼び径75～750)を採用しており、1964(昭和39)年発行の『日本鑄鉄管協会便覧』には「東京瓦斯型呼び径75～750」として掲載されている。1970(昭和45)年には、G型と外径が同じで角ゴム輪、丸ゴム輪、バックアップリングを用いたメカニカル継手TM型呼び径100～400が開発された。1989(平成元年)年以降は呼び径100～300に改正されている。

大阪ガスでは、G型と形状は類似しているが、外径は水道用と同じ瓦斯型を1940(昭和15)年ごろに開発した。またビクトリックジョイントも一時用いられたが、ゴムの性状が劣っていたことから気密性を確保できなかった。1946(昭和21)年の「瓦斯型鑄鉄管表」(日本瓦斯工業会)には呼び径100～1500が規定されている。

1953(昭和28)年の「鉄管・バルブ・コックおよび継手類の検査規定」(日本瓦斯協会(現日本ガス協会))には、瓦斯型(G型)鑄鉄管(呼び径75～1000)、砂型遠心力鑄鉄管(呼び径150～250)、金型遠心力鑄鉄管(呼び径75～300)が規定されている。しかし、瓦斯型(G型)の継手は、施工性、費用の面から改良を必要とされ、より簡便な信頼性の高い継手が望まれるようになった。

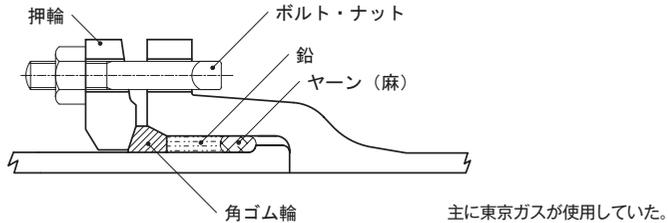
東海ガスが1956(昭和31)年に水道用のメカニカルジョイント形に形状は類似しているが、耐ガス性のゴム層、ゴム輪の先端や背部に真鍮^{しんちゅう}金網層を施したガス用のメカニカル継手管を日本で初めて採用した。一般的にはメカニカル継手はガスの成分がゴム輪を劣化させるために敬遠されてきたが、角ゴムの前に耐ガス性の丸ゴムを加えた改良AⅡ形(呼び径75～300)を多くのガス会社が1971(昭和

46)年ごろから使用した。

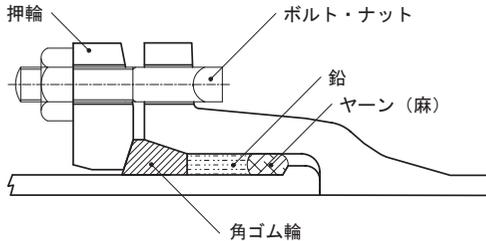
1969(昭和44)年には、大阪ガスがAⅡ形のメカニカル継手の優位性を残したまま継手の抜き出し防止力を向上させるためにロックリングを有したGM形呼び径100～400を開発した。1977(昭和52)年には、GM形のロックリングに溝を設けるなど改良を施し、引張側で60mm、圧縮側で15mmの伸縮を有したGMⅡ形呼び径100～300を開発した。

1980(昭和55)年ごろから耐震性能の向上を図る目的でSⅡ形呼び径400、450が使用された。

●図表1-5-13-1 高級铸铁管 G型、東京瓦斯型 1932(昭和7)～1970(昭和45)年ごろ
呼び径75～750

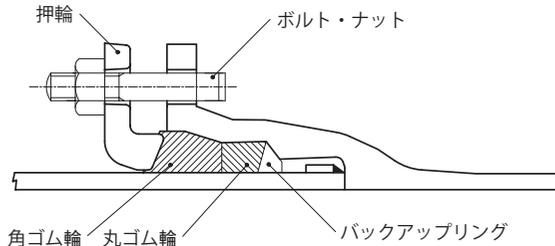


東京瓦斯型 呼び径75～750



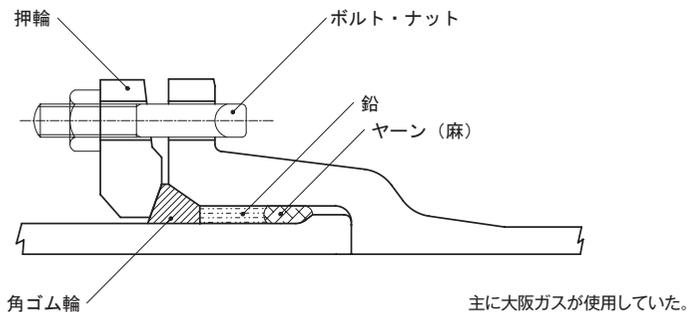
1964(昭和39)年発行の『日本铸铁管協会便覧』(日本ダクタイル鉄管協会)に掲載されていたもので、G型と気密性構造は同じである。主に東京ガスが使用していた。

●図表1-5-13-2 TM型 1970(昭和45)年～現在
呼び径100～300

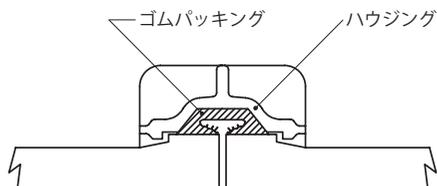


1989(平成元年)年以前は呼び径100～400であった。

●図表1-5-13-3 高級铸铁管 瓦斯型 1940(昭和15)年～1969(昭和44)年ごろ
呼び径100～1500

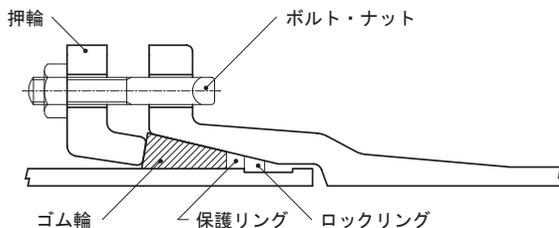


●図表1-5-13-4 高級铸铁管 ビクトリックジョイント 1940(昭和15)年ごろ



主に大阪ガスが使用していた。1940(昭和15)年当時に一部使用されたが、ゴムの性状が劣っていたため気密性が不十分であった。

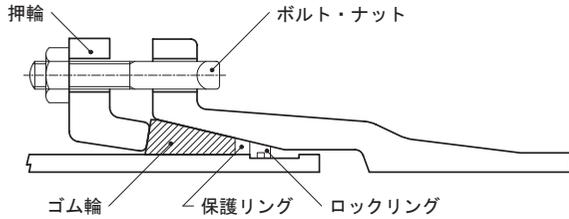
●図表1-5-13-5 GM形 1969(昭和44)年～1977(昭和52)年ごろ
呼び径100～400



主に大阪ガスが使用していた。

● 図表1-5-13-6 GM II形 1977(昭和52)年～現在

呼び径100～300

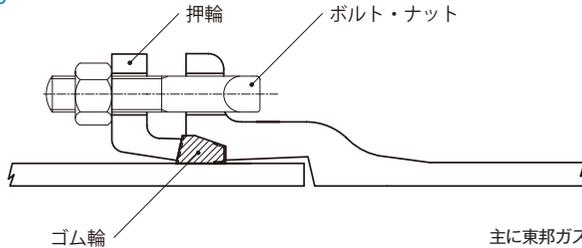


主に大阪ガスが使用している。

詳細は『ダクタイル鉄管』第36号(日本ダクタイル鉄管協会、1984年)を参照のこと。

● 図表1-5-13-7 A形(ガス用) 1956(昭和31)年～1971(昭和46)年ごろ

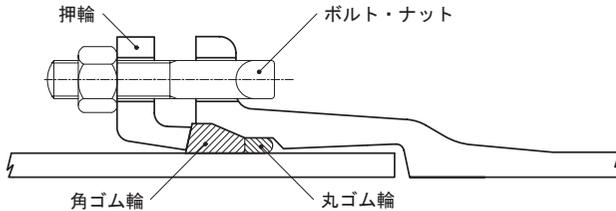
呼び径100～300



主に東邦ガスが使用していた。

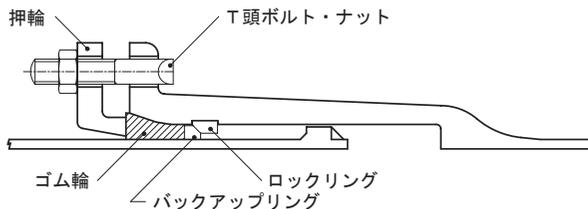
● 図表1-5-13-8 改良A II形 1971(昭和46)年～2009(平成21)年

呼び径75～300

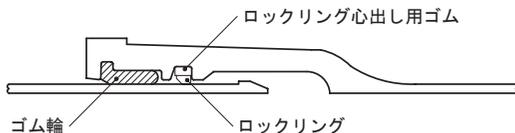


● 図表1-5-13-9 S II形 1980(昭和55)～2012(平成24)年

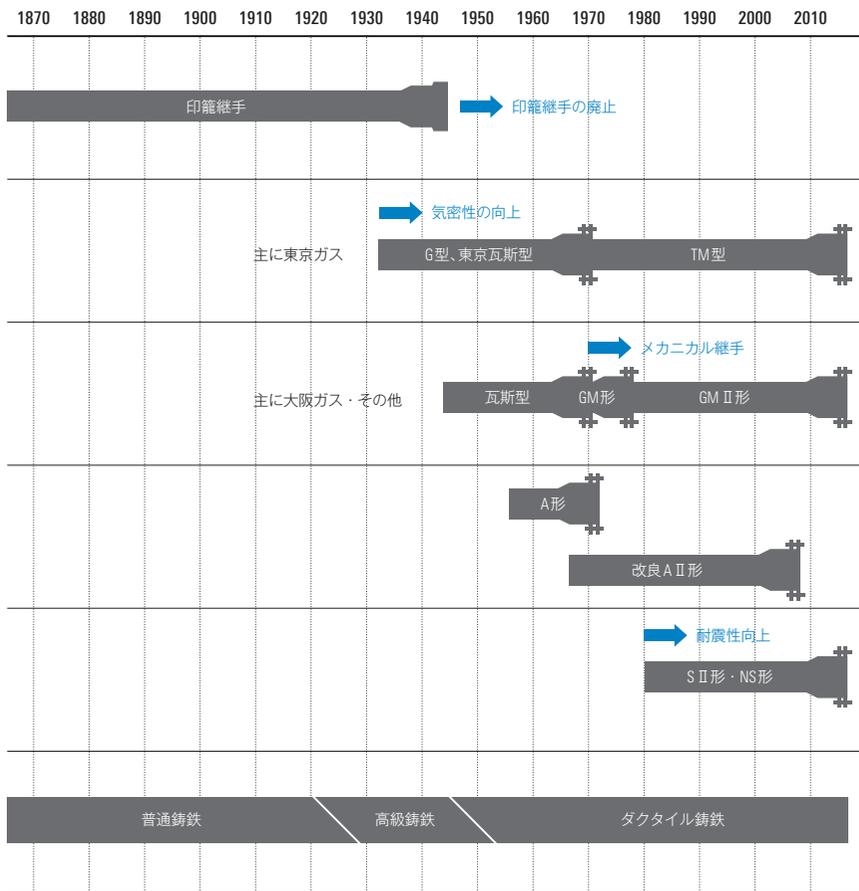
呼び径400・450



●図表1-5-13-10 NS形 1993(平成5)年～現在
呼び径400・450



●図表1-5-13-11 ガス管用ダクタイル鉄管の変遷



1-5-14 ケーブル保護管用の継手

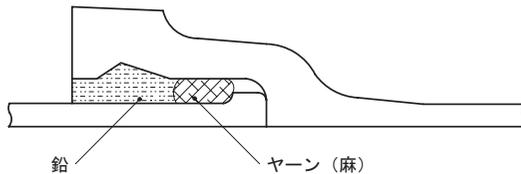
電話ケーブル保護管用鑄鉄管が日本で初めて用いられたのは1897(明治30)年のことである。公称内径3インチ、管長9フィートの印籠継手の鑄鉄管が東京の銭瓶町電話局から浪速局までの約2kmに地下管路として布設された。その後、管体強度は向上し管長も4mになった。戦争による物資の不足などから1938(昭和13)年ごろからソケット形(クボタイト接合)が併用された。また1964(昭和39)年には継手の施工性の改善から印籠継手はスクリー形に切り替わった。

東海道新幹線などの交流電化、電力の超高压送電などで電話ケーブルの電磁誘導遮断対策が必要となり、1967(昭和42)年に平塚駅の近くで遮断特性の比較試験を行った結果、ねじ形が最も優れていたために1969(昭和44)年に管材は全てダクタイル鉄管になり、接合形式はスクリー形からねじ形に改良された。

管路工事の安全対策上、掘削構内に入らないで接合できる継手の要望がNTTからあり、掘削溝の上から作業が可能な差込み継手が必要となった。そのため、従来から用いられているプッシュオン継手のT形に電話ケーブル保護管用として必要な導電性、離脱防止性を付加した新しい差込み継手のダクタイル鉄管がPL-I管として開発された。2012(平成24)年からは、水道用耐震形継手管GX形と同じように継手部が $\pm 45\text{mm}$ 伸縮し、かつ196kNの離脱防止性能が付き、外面は新たな耐食仕様で長寿命化が図られたGX-I管が使用されている。

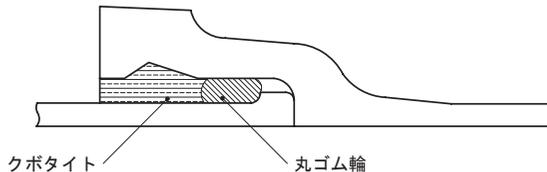
●図表1-5-14-1 普通鑄鉄管印籠継手 1897(明治30)～1937(昭和12)年

呼び径75

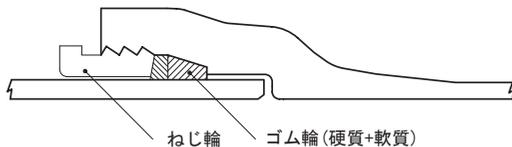


●図表1-5-14-2 高級鑄鉄管印籠継手(クボタイト接合) 1938(昭和13)～1959(昭和34)年

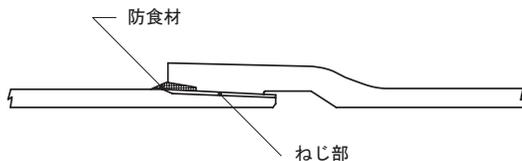
呼び径75



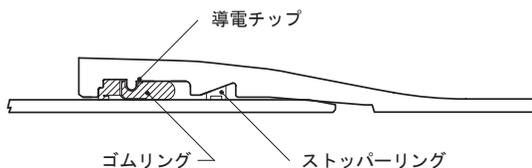
●図表1-5-14-3 高級铸铁管 スクリュー形 1964(昭和39)～1969(昭和44)年
呼び径75



●図表1-5-14-4 ねじ形 1969(昭和44)～1985(昭和60)年
呼び径75

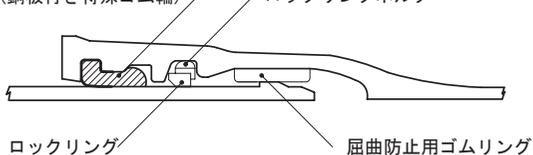


●図表1-5-14-5 PL-I管 1985(昭和60)～2012(平成24)年
呼び径75

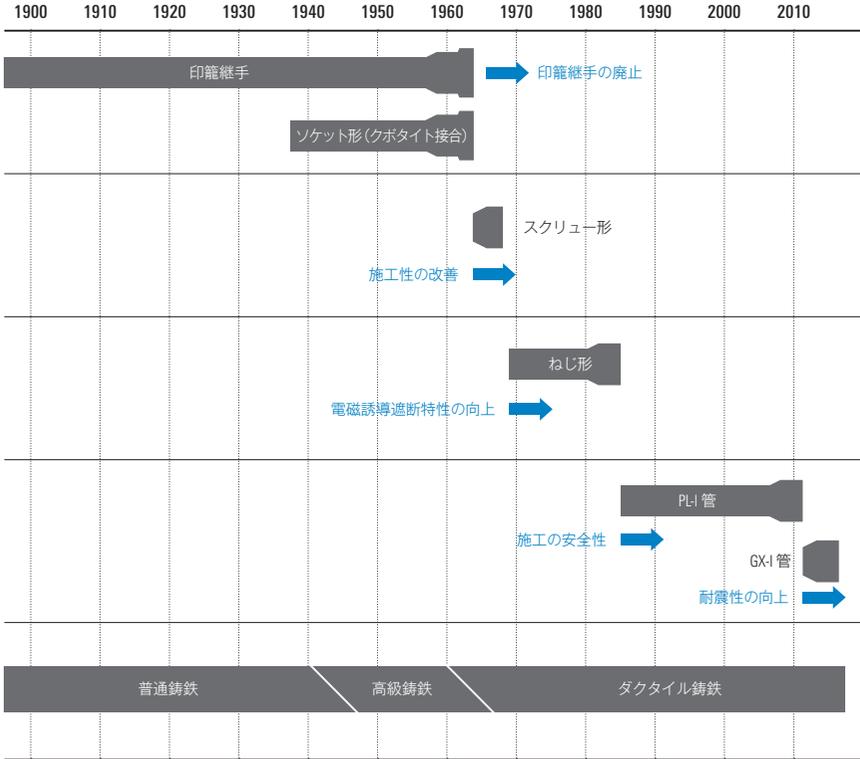


●図表1-5-14-6 GX-I管 2012(平成24)年～現在

呼び径75 ゴムリング(銅板付き特殊ゴム輪) ロックリングホルダ



●図表1-5-14-7 ケーブル保護管用ダクタイル鉄管の変遷



1-6

耐震継手の誕生

耐震継手の開発経緯については「世界に先駆ける耐震形ダクタイトイル鉄管」(八戸圏域水道企業団・クボタ、2013年)にまとめられており、抜粋して以下に紹介する(特に引用の記載がない図表も同書からの引用である)。

1-6-1 管路耐震化への取組み

1 開発の経緯

1964(昭和39)年6月16日13時1分41秒、新潟県の粟島南方沖40km、深さ34kmを震源として発生した新潟地震の規模はM7.5、最大震度5であった。新潟市水道局の青山浄水場への導水管、関谷浄水所への送水管の国道部分では1m以上の隆起や押出しにより管路被害が発生した。また配水管についても液状化による地盤の陥没箇所被害を受けるなど、地盤が良好な地区を除いてほとんど使用できなくなり、全管路延長約470kmのうち約68%を取り換える必要があった。管路の被害で特徴的なことは、ダクタイトイル鉄管の管体破損はなく、铸铁管も破裂、破損というよりも、いんろう印籠継手の緩みによる漏水、継手の離脱が多かったことである。その後、1968(昭和43)年に発生した十勝沖地震でも埋設管路に被害を受け、特に軟弱地盤に埋設された管路に被害が集中した。

青森県では、十勝沖地震で大きな被害を受けた八戸市水道部(現八戸圏域水道企業団)の水道事業管理者であった田邊一政氏が、市民が水を求める姿を目のあたりにして、「どうしても地震時に破損しないパイプが欲しい。このパイプの開発こそ、人間生活を幸福にする。」と痛感し、1971(昭和46)年に日本ダクタイトイル鉄管協会を訪ねて、久保田鉄工(現クボタ)の開発部門に耐震継手管の開発を依頼した。そのコンセプトは当時としては以下のような非常に厳しい要求であったが、同社は快諾し、地震時における管路の挙動と耐震継手の研究を決断した。

- ・ 継手が軸方向にスライドして、かつ抜けない。

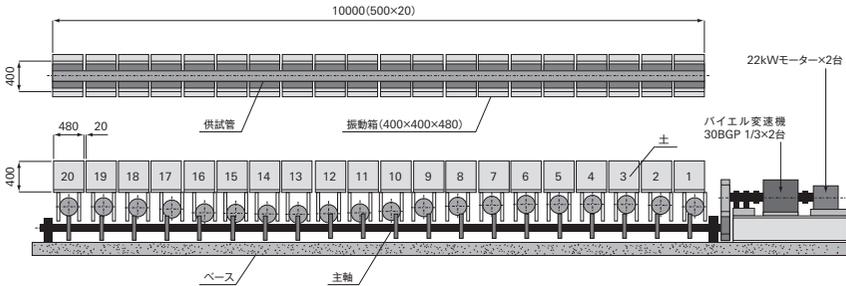
- ・ ボールジョイントのように360°方向に折れ曲がることができ、漏水しない。

2 最初の管路挙動試験

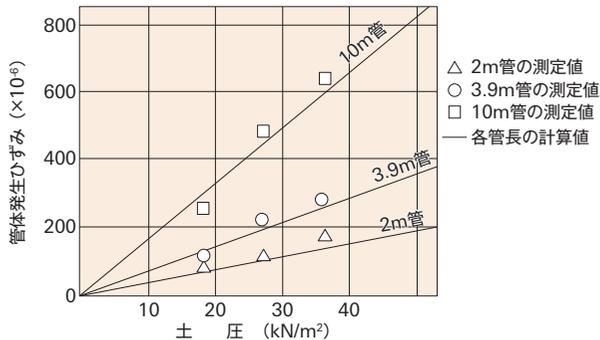
開発は、地震時の埋設管路の挙動を確認することから始めた。1971(昭和46)年、図表1-6-1-1に示すような小さな振動台を多数並べた装置で、各振動台を往復運動させ、かつ位相をずらして運動させることによって振動台に相対変位を与え、地震時の地盤の動きを再現させた。この結果から、下記の知見が得られた。

- ・ 管体発生ひずみは、地震の加速度、周期にはあまり関係なく、地盤の相対変位からくる地盤のひずみ量、管長および土と管の摩擦力などによって決まる。
- ・ 管と土の摩擦力は土圧にほぼ比例する。
- ・ 継手の伸縮量は、管体発生ひずみと同様に、地震の加速度、周期にはあまり関係なく、地盤のひずみ量、管長によって決まる。

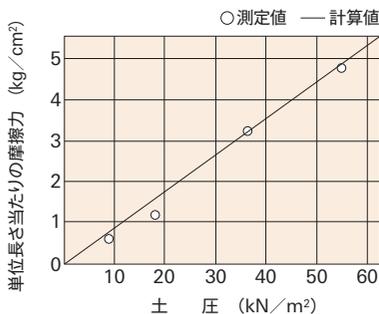
● 図表1-6-1-1 振動実験装置



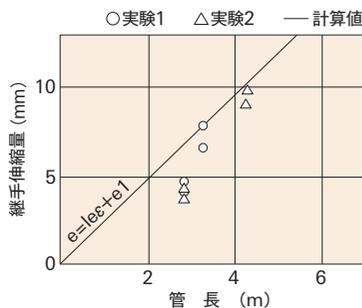
● 図表1-6-1-2 土圧と管体発生ひずみの関係



●図表1-6-1-3 土圧と摩擦力の関係



●図表1-6-1-4 管長と継手伸縮量の関係

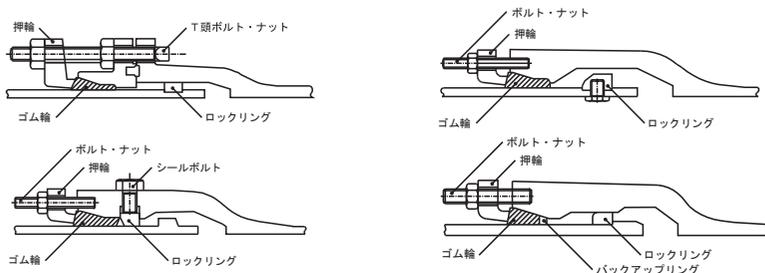


1-6-2 耐震継手の開発

1 耐震継手の試作

耐震継手の開発は、すでに開発されていた離脱防止継手管UF形をベースに研究し、新潟地震や十勝沖地震の被害レポートをさらに研究して、図表1-6-2-1に示す継手案を基に性能試験を繰り返し、長所短所を見極めていった。

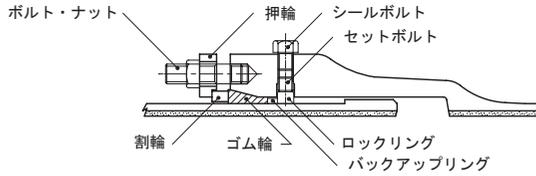
●図表1-6-2-1 開発過程の耐震継手（試作）



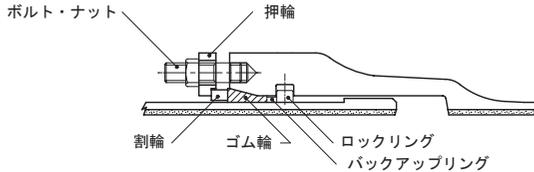
2 S形の開発

八戸市水道部と開発チームはダクタイル鉄管の耐震継手の目標性能をまとめ、1972(昭和47)年8月から約1年間で耐震継手の試作を完了し、1974(昭和49)年に日本で初めての耐震継手管を開発した。その名称は耐震を意味する英語「Seismic/Seismal」の頭文字をとって、「S形ダクタイル鉄管」(呼び径1000~1500)と命名された。

●図表1-6-2-2 S形 1974～1975(昭和49～50)年
セットボルト付き 呼び径1000～1500



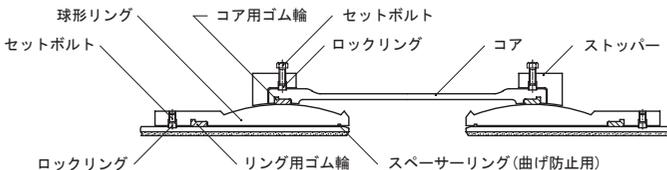
●図表1-6-2-3 S形 1976(昭和51)年当時
結合ピース方式 呼び径500～2000



八戸市のループ幹線(約8km)に最初に採用されたS形はUF形のようなセットボルト付き(図表1-6-2-2)であった。1976(昭和51)年には呼び径が500～2000に拡大されるとともに、ロックリングは現在の結合ピース方式(図表1-6-2-3)に改良され、さらに1979(昭和54)年には呼び径が500～2600に拡大されている。

S形では対応しにくい建物との取合部などいわゆる不同沈下が起きる所や、非常に大きな地盤変位が生じる所に使用可能な屈曲性の高いDBJ形呼び径1500が開発された。八戸市水道部は、田辺水道事業管理者の「地震が起きても市民は生きている。橋が落ちてでも水を供給しなければならない」といった思想に基づいて、馬淵川を横断する西水管橋に使用している。

●図表1-6-2-4 DBJ形 1976(昭和51)～1979(昭和54)年



3 耐震継手管路のコンセプト

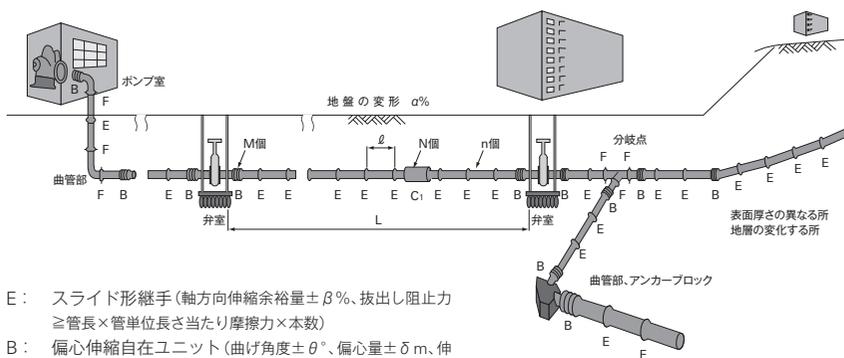
耐震継手管の開発とはほぼ同時期に厚生省(現厚生労働省)では、南関東大地震対策調査研究会が発足し、1973(昭和48)年3月に「南関東大地震対策調査報告書」をま

とめた。この中でも前述の耐震継手管路の挙動研究などが掲載されている。厚生省との打合せの中で、耐震継手管路のコンセプトは、継手が伸縮、屈曲し、離脱しない「鎖構造管路」と明確になった。

耐震継手管路のコンセプトを実現するための継手性能は以下のように定められた。

- ・ 高水圧に耐えること。
- ・ 大きな伸縮量(管長の±1%)が可能である(地盤の弾性範囲は 10^{-4} のオーダー<0.1%未満>であり、地盤が塑性域に達するのはひずみが 5×10^{-3} (0.5%)程度である)。
- ・ ある程度の屈曲(U形、K形並み)が可能である。
- ・ 大きな抜出し力 $3DkN$ (当時は $0.3Dtf$ 、 D :呼び径)に耐える(管と土の単位当たり摩擦力を $10kN/m^2$ と仮定した。安全率を考慮すると、管路長 $100m$ 分の管を引っ張ることができる力に相当する)。

●図表1-6-2-5 鎖構造管路構想



- E: スライド形継手(軸方向伸縮余裕量±β%、抜出し阻止力
 \geq 管長×管単位長さ当たり摩擦力×本数)
 B: 偏心伸縮自在ユニット(曲げ角度±θ°、偏心量±δm、伸縮量±a mm、抜出し阻止力…Eに同じ)
 C1: 特殊耐震継ぎ輪(軸方向伸縮余裕量±b mm、抜出し阻止力…Eに同じ)…要すれば用いる。

$$\text{使用個数}(N\text{個}) = \frac{aL - n\beta\ell - Ma}{b}$$

F: 離脱防止継手

『南関東大震災対策調査報告書』(厚生省、1973年)より

4 耐震継手の技術基準

1976(昭和51)年、国土開発技術研究センター(現国土技術研究センター)に、東京大学・久保慶三郎教授を委員長とする埋設管路耐震継手技術委員会が設置され、「地中施設の耐震継手に関する研究」が実施された。その中で、各種埋設管の継手の耐震性が調査され、「地下埋設耐震継手技術基準(案)」が作成された。

●図表 1-6-2-6 耐震継手の性能基準

項目	区分	継手の性能
伸縮性能	S-1類	伸縮量 $\pm 0.01 \ell$ mm以上
	S-2類	伸縮量 $\pm 0.005 \ell$ mm以上 $\pm 0.01 \ell$ mm未満
	S-3類	伸縮量 $\pm 0.005 \ell$ mm未満
離脱防止性能	A級	離脱防止抵抗力0.3dTon以上
	B級	離脱防止抵抗力0.15dTon以上0.3dTon未満
	C級	離脱防止抵抗力0.075dTon以上0.15dTon未満
	D級	離脱防止抵抗力0.075dTon未満

備考 表中の ℓ は管長(mm)、dは呼び径(mm)を示す。

「地下埋設耐震継手技術基準(案)」(国土開発技術研究センター、1977年)より(抜粋)

茶話

11

「ライフライン」の始まり

1977(昭和52)年夏、UCLAにおいてアメリカ土木学会のLIFELINE EARTHQUAKE ENGINEERING学会があり、久保慶三郎先生が講演されたおりに、私が学会名の「ライフライン」なる言葉が非常に新鮮であり、大いに気に入ったが、日本では一般化しておらず、マスコミにも出たことがなかったので、その出所なり意義なりがいかなるものかをお伺いした。先生のご説明は、「新潟地震におくれること7年後の、1971(昭和46)年アメリカでサンフェルナンド地震が発生、高架橋が落ちるなどの被害が生じたが、アメリカで注目したのは高架橋よりもむしろ水道、ガス、電気の施設に対する被害であった。この重要性に気付き、研究を始めた。この分野について、マーティン・デュークという先生が、ライフライン地震工学という言葉を使ったの

が始まりだった」というもので、当時の日本においても、そうあるべきだなと痛感した。

また、先生が常々おっしゃっていたことは、「安全は金で買うという考えが大事だ。これを基本にしないといろんな問題が解決していかない。丈夫なものにするよう、あとの祭りにならないように早く手を打つ、このように行政に動いてもらいたい。それをサポートするのが大学の研究機関であり、メーカーの立場だと思う」と。また、「埋設管の場合、実証することが難しいから、今までのデータ、これは神様がくれたデータだから、過去の地震時の被害状況を克明に解析することが大事」とも主張された。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
日本ダクタイル鉄管協会ホームページより(抜粋)

1-7

工法の歴史

1-7-1 工法の種類

施工方法としては、明治の近代水道創設以来、開削工法が中心であったが³、戦後の経済成長に伴い大都市では道路交通事情や地下埋設物の輻輳化^{ふくそう}、騒音、振動等の住環境への配慮から、開削工法が困難な場合には、非開削工法を適用することが増加してきた。

●図表1-7-1-1 工法の種類と特徴

種類		特徴
開削工法		道路などを掘削して管を布設していく工法であり、経済性も高く、施工方法の基本である。
トンネル内配管工法	シールド内配管工法	シールド工法でセグメントのトンネルを形成し、その中にダクタイト鉄管を持ち込んで配管する工法である。 長距離（約数百m～2Km程度）、カーブ施工も可能であるが、費用的には開削工法より割高である。最近では、セグメント内径が1m程度の小さなシールド工法も可能になってきている。 シールドと新設管の間をエアミルクなどで充填する方法と充填しない点検通路方法がある。
	山岳トンネル内配管工法	TBM（トンネルボーリングマシン）工法、NATM（ナトム）工法等で築造されたトンネル、水道用ずい道の馬蹄形トンネル（耐震補強等）、道路用トンネル（消火用配管等）などのトンネル内に管を持ち込んで配管する工法である。
非開削工法	推進工法（直押し）	推進工法用ダクタイト鉄管を発進立坑から1工程もしくは2工程方式で直接推進する工法である。土質、推進工法の種類により異なるが、シールド工法より施工可能延長は相対的に短い。1スパン数百mの施工が可能で、最近ではカーブ推進（口径により異なるが曲率半径約100～500m程度）も可能になっている。費用は開削工法よりは割高であるがトンネル内配管工法よりは割安である
PIP工法 （ハイインハイ工法）	既設管内挿入工法	既設管（铸铁管、鉄筋コンクリート管、ヒューム管、石棉管等）の中に、1口径程度小さなPⅡ形、PN形、PN形（JP方式及びCP方式のJP方式）を挿入する工法である。1スパンの施工延長は、既設管の屈曲角、既設管と新設管との摩擦力、新設管の許容抵抗力などにより決まるが、実績的には500m程度まで可能である。費用的には配管距離が長くなれば開削工法より割安になる場合もある。2口径程度小さくなるが、GX形、NS形、S形なども推力伝達部材などを用いて挿入は可能である。

種類		特徴
非開削工法	PIP工法 (ハイブイン パイプ工法)	新設さや管内押込工法 ヒューム管などの推進管でさや管を新設し、1口径程度小さなダクタイル鉄管を挿入する工法である。PN形(JP方式及びCP方式のJP方式)では呼び径300～1500がある。曲線配管も可能であるが継手の曲げ角度が大きくなると挿入許容抵抗力が小さくなる。新設管が2口径程度小さくなるがキャスタバンドを使用することにより挿入距離を長くできる。新設管にDGタイプ(溝あり)を使用することにより、さらに長距離の押込みが可能になる。推進工法(直押し)よりは費用的には割高であるが、曲線配管の曲率半径が小さい場合や施工延長が長い場合に適している。GX形、NS形などを推力伝達部材を装着して押込む場合は新設管口径よりも2口径程度大きなさや管が必要となる。
		新設さや管内持込工法 ヒューム管などの推進管でさや管を新設し、3口径程度小さなダクタイル鉄管を1本ずつ持ち込んで配管する工法である。PN形(JP方式及びCP方式)では呼び径700～1500がある。持ち込む方法としては①軌条を用いる方法、②台車やキャスタバンドなどを用いる方法、③管を吊って運搬する方法などがある。持込工法の場合は、押込工法よりも曲線配管の曲率半径を小さくすることが可能である。推進工法(直押し)よりは費用的には割高であるが、曲線配管の曲率半径が小さい場合や施工延長がさらに長い場合に適している。
		共同溝内配管 道路管理者が、道路下等に共同溝を造り、その中に複数の公益事業者が共同で公益施設を収容する方法である。施設は露出して収容されるため維持管理はしやすいが開削工法等より費用は割高である。また、塗装の種類や維持管理・更新時のスペースを考慮する必要がある。

●図表1-7-1-2 各工法の開始時期

種類		明治	大正	昭和			平成	
		1900	1920	1940	1960	1980	2000	
開削工法								
非開削工法	トンネル内 配管工法	シールド内配管工法				■	■	
		山岳トンネル内配管工法				■	■	
	推進工法(直押し)					■	■	
	PIP工法 (ハイブイン パイプ工法)	既設管内押込工法					■	■
		新設さや管内押込工法					■	■
		新設さや管内持込工法						■
共同溝内配管			■	■	■	■	■	

1-7-2 開削工法

開削工法とは、道路など管を埋設する場所を掘削して、管を所定の位置に据え付け、接合した後に埋め戻す工法である。一般的には経済性も高いため、日本最初の近代水道となる横浜水道以来、最も標準的な工法として用いられている。

基本的な工法は明治時代以来変わっていないが、年々機械化が進んでいる。また、接合の施工性向上に伴い、掘削幅が小さくなったり、浅層埋設が可能になったりするなど、改良も進んでいる。

① 運搬と吊上げ・吊下ろし

横浜水道などの近代水道創設期には、管を運ぶトラックなどもなく、重量物である鑄鉄管の運搬は、配管ルートに沿って軌条を敷き、台車を載せて牛などを使って行った。

●図表1-7-2-1 管の運搬の変化

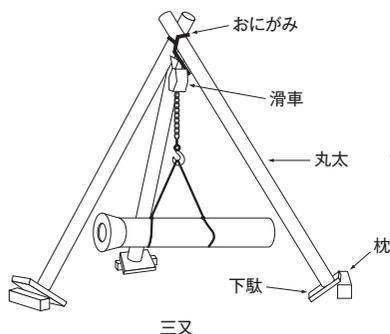


宮内庁書陵部所蔵「横浜水道写真帳」より



また、現場での荷降ろしや配管作業では、鉄管の吊上げ・吊下ろしに三又さんまたが使われていたが、近年ではクレーンを用いている。特に小口径の工事では積載形トラッククレーンなどが用いられている。

●図表1-7-2-2 管の吊上げ・吊下ろしの変化



積載形トラッククレーン

② 掘削

1) 掘削

掘削は人力から機械化され、主にバックホウなどが用いられている。また、掘削方法はのり勾配を付けて掘削し土留め(木材や鋼材で土を押さえる)を行わない方法から、交通事情などを背景に垂直に掘削して土留めを行う方法に変化してきている。しかし、水道管の埋設深さについては、1999(平成11)年3月31日付建設省道政発第32号、道国発第5号において、土かぶり1.2m以上から0.6m(舗装厚+0.3m)以上(給水取出しがない場合)の浅層埋設に変更するように通達が出されており、呼び径300以下であればのり勾配も土留めも必要でない素掘りを用いた掘削が多くなっている。また施工性が改善されたGX形の開発により、掘削幅も小さくなってきている。

●図表1-7-2-3 掘削幅の変化(土留めなしの場合)

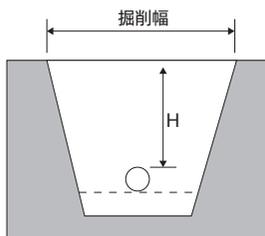
(単位:cm)

接合形式	呼び径75	呼び径100	呼び径150	呼び径200	呼び径250
NS形	60	65	70	75	80
GX形	55	55	55	55	60

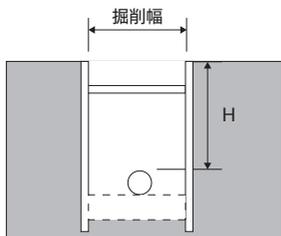
備考 「水道施設整備費に係る歩掛表」厚生労働省平成29年度により算出した掘削面。

●図表1-7-2-4 掘削断面の例

①のり勾配を付けた場合

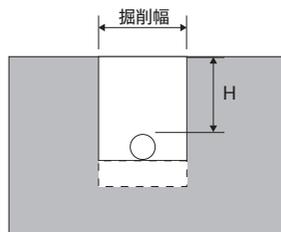
東北電力
GX形 呼び径400

②土留めの場合



沖縄県企業局
US形 呼び径1500

③索掘りの場合



筑後市上下水道課
GX形 呼び径300

備考 会所掘り(継手接合のための余掘り)は呼び径350以下は深さ0.3m、長さ0.5mとする。

『ダクタイル鉄管』第95、96号(日本ダクタイル鉄管協会、2014、2015年)より

2) 土留め

多くの掘削の際、法面や段差の崩壊を防ぐために、木材や鋼材で土を押さえる土留めが必要となる。土留めには各種の工法があり、管の埋設深さは比較的小さいため、地盤条件が悪くなければ、埋設物などが多い都市部での布設は、親杭横矢板工法や軽量鋼矢板工法の一つである建込方式が用いられることが多い。

●図表1-7-2-5 土留めの種類と特徴

種類	特徴
親杭横矢板工法	湧水の恐れのない土質に用いられる工法で、H鋼を根入れ深さまで打ち込み、木製横矢板を掘削しながら挿入して土留めする工法である。地中に小規模な埋設物があっても対応できる。
鋼矢板工法	砂質地盤、湧水地盤、軟弱地盤に用いられる工法で、鋼矢板(シートパイル)を打ち込み後掘削する工法である。推進工事の立坑が深い場合や、湧水がある場合などに用いる。
軽量鋼矢板工法 ^{注1)}	建込方式：掘削した地山が自立する場合には、一定の深さまで掘削し、軽量鋼矢板を建て込んでから押し込み、腹越し、切梁を設置する。 打込方式：砂質土、湧水、軟弱地盤等の場合には、軽量鋼矢板を打ち込んだ後に掘削し、腹起し、切梁を設置する。
建込簡易鋼矢板工法 ^{注1)}	スライドレール方式：切梁を取り付けたスライドレールをあらかじめ設置し、これに土留めパネルを挿入して掘削する。 縦ばりプレート方式：切梁を取り付けた縦ばりプレートと呼ばれる矢板を建て込み、プレートを押し込みながら掘削する。

注1 「土止め先行工法による土止め支保工等の種類と特徴」(労務安全情報センターホームページ)より抜粋要約した。

3) 埋戻し土

ダクタイル鉄管の場合は、埋戻しが適切に行われれば、管体の損傷などの影響は受けにくく、発生土を埋戻しに使用してきた。しかし、軟弱地盤など粘性土や含水比が高い場合には埋戻し後に道路に不陸^{ふりく}が生じるなど道路管理者からの要請により砂埋めを行う場合が多くなった。土壌の腐食性が高い場合は、ポリエチレンスリーブ法や、管周りのみ砂埋めしたりする方法が取られた。

また、山砂が少なくなり、発生土を捨てる所も少なくなったため、国土交通省令(平成13年3月29日国交令60)では、発生土の適正な利用促進を図るために、コーン指数(土の固さを示す指数)、含水比、粒子の大きさなど目的に応じて第一種から第四種までの建設発生土および泥土の5段階の利用基準が定められている。また石灰などを混ぜ改良土として利用する場合もあるが、その場合は、改良後の性状で判定することになっている。改良土を用いる場合、GX形の外面耐食塗装以外はポリエチレンスリーブを用いる必要がある。現在、公共工事においては、発生土を有効利用するために、購入山砂はなるべく使用せず個々の工事間で発生土の流用を図ることを原則にしている。

③ 継手の変遷

明治時代から使用された印籠^{いんろう}継手(ソケット形、C形)は、現場で鉛を溶かして受口と挿し口の隙間に流し込む必要があり、その鉛をかしめる(鉛を塑性変形させて水密性を確保する)職人技が必要であった。1955(昭和30)年代になると、メカニカルジョイント形の開発により、接合は容易になったが、トルクチェック(トルクレンチを用いたボルトの締付け具合のチェック)などは必要であった。1965(昭和40)年代には、大口径化により、B形、AⅡ形、K形などが開発された。接合部品がゴム輪のみのプッシュオン継手(T形)も使用された。また、内面継手管(U形、UF形)なども開発され、都市部など掘削幅が浅くても配管できるようになった。1975(昭和50)年ごろには、時代の要請もあり耐震継手管であるS形、SⅡ形、US形などが開発された。その後、耐震継手管はNS形、GX形、S50形、NS形(E種管)へと進化し施工性も改善されてきている。

1-7-3 シールド内配管工法

シールド内配管工法とは、シールドトンネルをさや管として、その中にダクタイ
ル鉄管を配管する工法である。シールドトンネルは、切羽^{きりば}(トンネルの掘削先端部)後
方のトンネル壁面をセグメントで支えて構築したトンネルである。

1 歴史

英国の技師マーク・イズムバード・ブルネルによって1818年に考案されたシールド工法は、1825年にロンドンのテムズ川を横断する水底トンネルに初めて採用された。ブルネルが考案したシールドの断面は長方形の断面であったが、1870年のテムズ川水底トンネル建設の際にピーター・バーロウによって円形断面のシールドが考案され、より大きな土砂の圧力に耐えられるトンネルができるようになった。1884年のロンドンの地下鉄建設で、グレートヘッド式シールドはさらに大型化され改良されている。日本で初めて採用されたのは、1917(大正6)年、羽越本線折渡トンネルの一部区間においてである。1936(昭和11)年には、世界初の海底鉄道トンネルである関門鉄道トンネルにおいてもこの工法が採用された。

その後、水道でも用いられるようになり、シールドトンネルをさや管として、その中にダクタイル鉄管を配管するシールド内配管工法が普及した。

シールド内配管工法に用いる内面継手U形が1965(昭和40)年に開発され、初めて東京都の溜池交差点を通過するシールドトンネル内にU形呼び径1500が配管された。1978(昭和53)年には、耐震継手管であるUS形呼び径700～2600が開発され、VT方式、SB方式に加えて挿入するだけでロックリングの機能が働くLS方式へと改良されて、シールド内配管材料の主流になっている。

シールドトンネルと新設管のダクタイル鉄管との間隙は、以前はコンクリートなどを打設していたが、1980(昭和55)年代には流動性の高いエアモルタルが使用されるようになり、施工性が向上した。その後、長スパンの施工や間隙の縮小に伴い、より流動性の高いエアミルクおよび流動化充填材が使用されると、間仕切りの間隔が長くできるようになり、施工性の改善、工期の短縮化が図られた。

シールド工法も進化を遂げており、トンネル内径1000mm、曲率半径15mのシールドなども可能になり、2012(平成24)年には、持込配管が可能なPN形(JP方式及び

CP方式)がJCPA G 1051として制定され、CP方式呼び径700～1500を用いることにより、急曲線、長距離施工も可能になった。

●図表1-7-3-1 シールド内配管工法

立坑内の吊下ろし状況



神奈川県内広域水道企業団
U形 呼び径1500

シールド内の運搬状況



東京都水道局
US形 呼び径1500

『ダクタイル鉄管』第58、89号(日本ダクタイル鉄管協会、1995、2011年)より

2 実績

1972(昭和47)年6月に完工した東京都水道局の村山下貯水池～東村山浄水場間で、当時世界最大口径のU形呼び径2600がその安全性と経済性からシールド内配管工法に採用された。

●図表1-7-3-2 シールド内配管工法の実績例

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	内径 ^{注3} (m)	接合形式	呼び径	延長 ^{注4} (m)	No. ^{注5}
東京都水道局	1973 (昭和48)	3300	U形	2600	818	13
東京都下水道局	1977 (昭和52)	4000	U形	1800	1100	22
			K形	700	1100×2 (並列)	
京都市上下水道局	1983 (昭和58)	2700	US形	2000	2300	35
大阪府南部流域 下水道事務所	1984 (昭和59)	1800	T形	350	総延長9000	36
			U形	800		
京都市上下水道局	1987 (昭和62)	1850	US形	1000	364	45
札幌市水道局	2007 (平成19)	2144	US形	1500	1849 (R460)	82
					1056 (R600)	
名古屋市 上下水道局	2013 (平成25)	2700	US形	2000	12400	93
東京都水道局	2013 (平成25)	1850	US形	1000	2741	95
東京都水道局	2016 (平成28)	2700	US形	2000	2800	98

注1 事業体名は現在の事業体名で記載。

注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

注3 内径はシールド内径を示す。

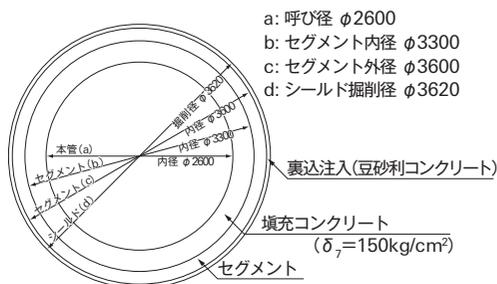
注4 ()内のRはカーブの曲率半径。

注5 No.は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

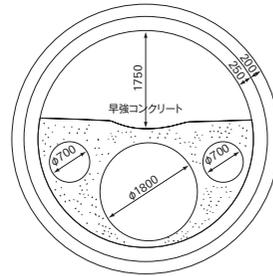
施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表1-7-3-3 シールド内配管工法の施工事例

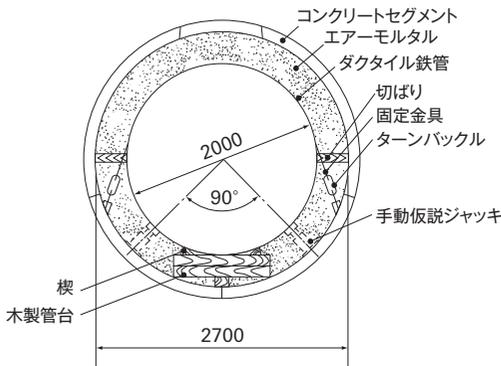
東京都水道局 U形 呼び径2600 1973(昭和48)年度 No.13



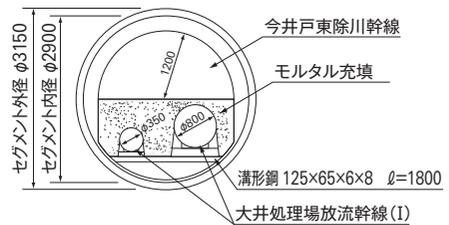
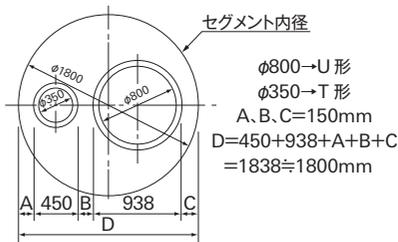
東京都下水道局 U形 呼び径1800 1977 (昭和52) 年度 No.22



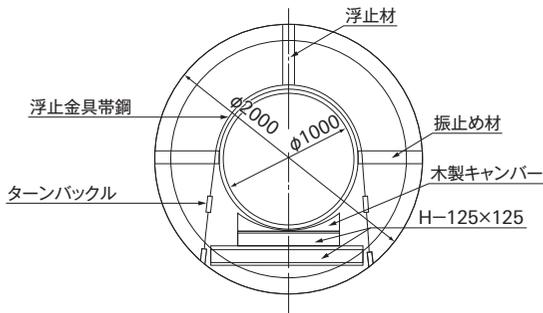
京都市上下水道局 US形 呼び径2000 1983 (昭和58) 年度 No.35



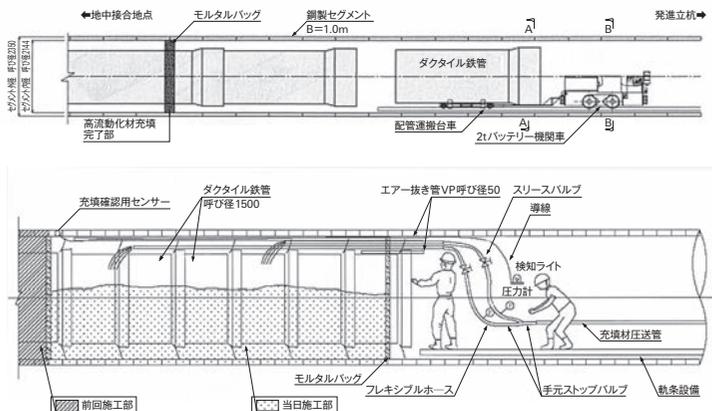
大阪府南部流域下水道事務所 U形 呼び径800、T形 呼び径350 1984 (昭和59) 年度 No.36



京都市上下水道局 US形 呼び径1000 1987(昭和62)年度 No.45



札幌市水道局 US形 呼び径1500 2007(平成19)年度 No.82



名古屋市上下水道局 US形 呼び径2000 2013(平成25)年度 No.93



備考 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

1-7-4 山岳トンネル内配管工法

山岳トンネル内配管工法は、馬蹄形トンネルなど山岳工法(NATM工法など)により築造された山岳トンネル内にダクタイトイル鉄管を配管する工法である。

この工法は、大口径のダクタイトイル鉄管を配管後にエアモルタルなどで間隙を充填する工法で、シールド内配管工法と使用する接合形式や配管方法、間隙の充填方法などはほぼ同じである。山岳トンネル内は湿度が高く水が挿すなどシールドトンネル内よりも施工環境が悪いため、施工条件をあまり選ばないダクタイトイル鉄管が適している場合が多い。

山岳トンネル内配管としては、以下のようなケースがある。

- ・ 既設の水道用馬蹄形トンネルに、地下水による汚染防止および耐震補強などを目的に配管する場合
- ・ 山岳トンネル工法によってトンネルを築造し、その中に新設管として配管する場合
- ・ 道路トンネルの消火用配管として配管する場合
- ・ 鉄道トンネルの地下水排水用として配管する場合

1 歴史

山岳トンネル内配管に使用されてきた接合形式はシールド内配管工法とほぼ同じである。

1965(昭和40)年に、接合が内側から可能なU形が開発され、山岳トンネル内配管工法にも使用されたが、新設管の呼び径が小さい場合や、トンネルと新設管との間隙が十分大きな場合には、外面継手であるT形やK形も使用された。なお、1985(昭和60)年には東京都水道局の羽村線導水路の馬蹄形トンネル内に世界最大のU形呼び径2900のダクタイトイル鉄管が採用されている。

耐震継手であるUS形が1978(昭和53)年ごろに開発され、施工性を改善したUS形(LS方式)が2008(平成20)年ごろに開発された。

PIP工法用の継手としては、1982(昭和57)年には、PⅠ形、PⅡ形、その後、機能、施工性が向上したPN形が2003(平成15)年、PN形(JP方式及びCP方式)が2015(平成27)年に開発されている。

2 実績

●図表1-7-4-1 山岳トンネル内配管工法の実績例

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	トンネル種類・用途	接合形式	呼び径	延長 ^{注3} (m)	No. ^{注4}
NEXCO中日本	1975(昭和50)	道路トンネル	T形	250	8500	18
広島市水道局	1981(昭和56)	山岳トンネル	K形	1650	4040、1748	30
東京都水道局	1982(昭和57)	馬蹄形トンネル	U形	2000	9500	35
仙台市水道局	1983(昭和58)	馬蹄形トンネル	K形	700	3343	37
近畿農政局	1984(昭和59)	ダムの回廊	T形	1000	225	38
奈良県水道局	1984(昭和59)	山岳トンネル	U形	1800	620	39
東京都水道局	1985(昭和60)	馬蹄形トンネル	U形	2900	8800	41
宮城県企業局	1985(昭和60)	馬蹄形トンネル	U形	2300	4857	41
静岡県大井川 広域水道企業団	1986(昭和61)	馬蹄形トンネル	U形	1500	2600	43
中国四国農政局	1986(昭和61)	山岳トンネル	T形	700	890	43
横浜市水道局	1987(昭和62)	馬蹄形トンネル	U形	2000	3755	45
神戸市水道局	1996(平成8)	馬蹄形トンネル	P I形	1350	4887	62
高知市 上下水道局	1996(平成8)	山岳トンネル	U形	1500	3870	62
JR東日本	2001(平成13)	鉄道トンネル	K形	350 300	10690 1540	73
NEXCO中日本	2008(平成20)	道路トンネル	T形	350	上り4503 下り4545	86
京都府道路公社	2008(平成20)	道路トンネル	T形	150	3660	86

注1 事業体名は現在の事業体名を記載。

注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

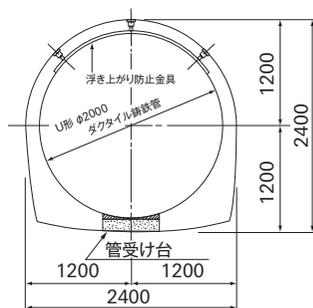
注3 工事区間延長ではなく、対象の工事全延長を示した。

注4 No.は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

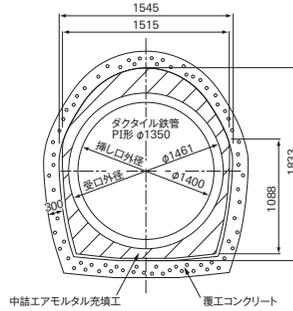
施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表1-7-4-2 山岳トンネル内配管工法の施工事例

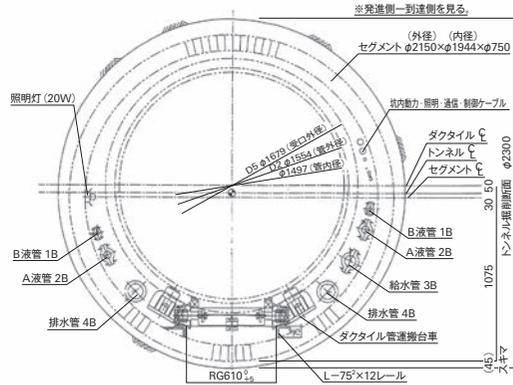
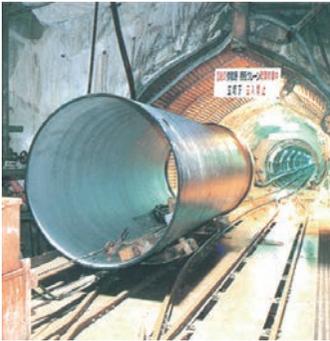
馬蹄形トンネル内配管例 横浜市水道局 U形 呼び径2000 1987(昭和62)年度 No.45



馬蹄形トンネル内配管例 神戸市水道局 P I 形 呼び径1350 1996(平成8)年度 No.62



山岳トンネル(TBM工法)内配管例 高知市上下水道局 U形 呼び径1500 1996(平成8)年度 No.62



トンネル内消火用配管例 2009(平成21)年度 No.86



NEXCO中日本 T形 呼び径350

京都府道路公社 T形 呼び径150

備考 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

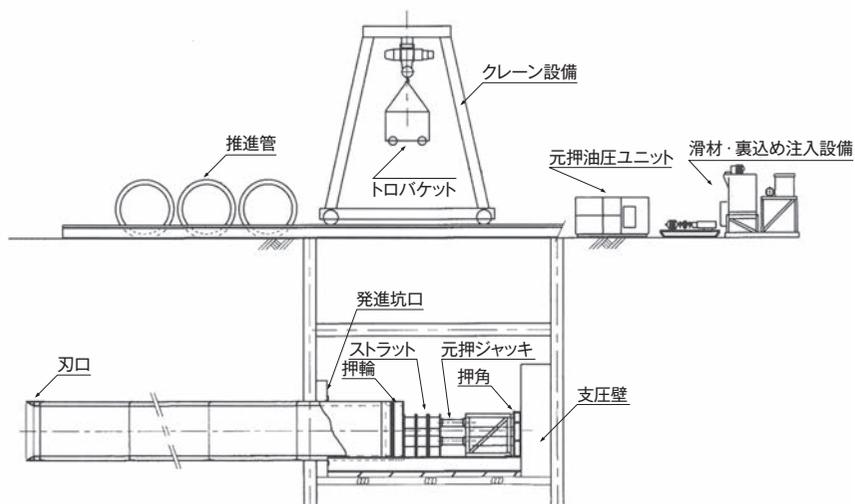
1-7-5 推進工法

推進工法とは、発進立坑と到達立坑を築造し、発進立坑から油圧ジャッキ等で推進工法用ダクタイル鉄管を地中に押し込みながら、管路を構築する工法である。

推進工法用ダクタイル鉄管を直接押し込む一工程方式と、先に推進した誘導管を案内管として進工法用ダクタイル鉄管を推進する二工程方式がある。

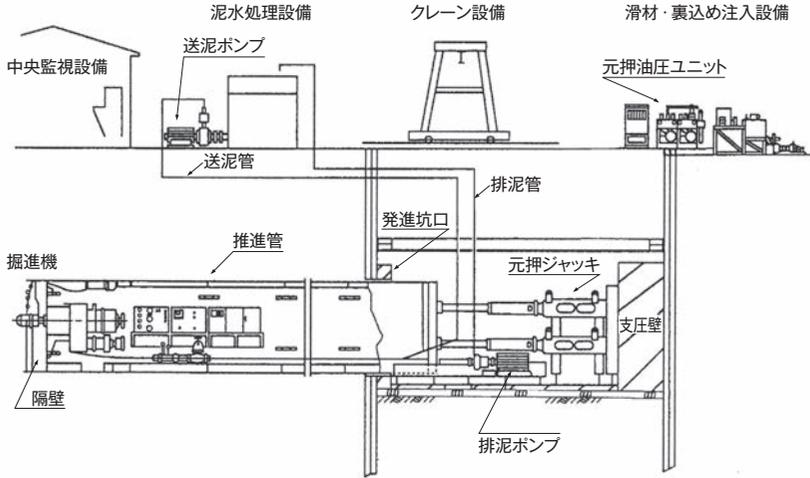
T形呼び径250～700などの小中口径では、圧入式、オーガ式、泥水式、泥土圧式などの機械推進で行われる。U形、UF形、US形呼び径800～2600などの中大口径では、開放型の刃口式、密閉型の泥水式、土圧式、泥濃式などで行われる。

●図表1-7-5-1 刃口式推進工法



「ダクタイル鉄管による推進工法 JDP A T33」(日本ダクタイル鉄管協会)より

●図表1-7-5-2 泥水加圧式推進工法



「ダクタイル鉄管による推進工法 JDP A T33」(日本ダクタイル鉄管協会)より

1 歴史

推進工法用ダクタイル鉄管が1968(昭和43)年に開発されたが、当初は推進距離も数十m程度と比較的短く、手掘りの刃口式推進工法で、河川横断部や鉄道横断部など開削ができない部分に適用された。1969(昭和44)年には、静岡県でU形推進管呼び径1500が東海道線の横断で採用され、翌々年には東名高速道路の横断で、U形推進管呼び径1500・2200の並列推進工事で採用された。1970(昭和45)年には東京都の石神井川横断でU形推進管呼び径2200が採用された。

推進工法も道路・河川横断のみでなく、道路縦断方向にも適用されるようになり、推進延長が長くなるとともに、軟弱地盤や礫層などの地盤が悪い場所でも推進工事が必要となり、密閉式の機械推進が用いられるようになった。

1973(昭和48)年に埼玉県企業局で、泥水加圧セミシールド工法によりU形推進管呼び径2200×120m、124mの2条が施工された。1980(昭和55)年には香川県坂出市でU形推進管呼び径1100の泥水加圧セミシールド工法が採用された。1990(平成2)年ごろから泥水加圧式など機械推進が一般的に用いられるようになった。

また、呼び径300～700において1983(昭和58)年に、オーガ式一工程方式のダクタイル鉄管専用の推進機械なども開発され、推進延長も約100m以上になり、レーザーを用いた精密測量による自動方向制御が採用された。1986(昭和61)年に兵庫

県明石市で行われたU形推進管呼び径1800、延長400mの長距離推進は道路縦断方向に行った推進工事である。

2005(平成17)年には、埼玉県で耐震継手のUS形推進管呼び径2200を用いた曲率半径1000mを含むカーブ推進が行われた。さらに2010(平成22)年には茨城県でU形推進管呼び径1000を用いた曲率半径300m、500mを含むカーブ推進が行われた。2010(平成22)年には、秋田市の手形山配水池の最大傾斜16°の斜面配管でUS形推進管(LS方式)呼び径1000が採用された。

2 実績

●図表1-7-5-3 推進工法の実績例

事業者名 ^{注1}	年度 ^{注2}	工法 ^{注3}	接合形式	呼び径	延長(m) ^{注4}	No. ^{注5}
静岡県企業局	1969(昭和44)	刃口	U形	1500	32	9
東京都水道局	1970(昭和45)	刃口	U形	2200	54	10
静岡県企業局	1971(昭和46)	刃口	U形	1500	78	11
				2000	78	
守口市下水道部	1971(昭和46)	刃口	U形	1000	84-84-76-84-56-56-60-88-80-80-56	13
埼玉県企業局	1973(昭和48)	泥水加圧	U形	2200	120-124	16
宇治市建設部	1975(昭和50)	刃口	U形	2000	40-100	20
近畿農政局	1975(昭和50)	刃口	U形	2000	20	20
北千葉広域水道企業団	1976(昭和51)	刃口	U形	2000	174(中間)×2-80-116-132-154-116-140-56	21
高知市上下水道局	1977(昭和52)	刃口	U形	1200	229-230(中間)	24
東京都水道局	1979(昭和54)	刃口	U形	1000	222	29
坂出市建設経済部	1980(昭和55)	泥水加圧	U形	1100	170	30
茨城県企業局	1981(昭和56)	刃口	U形	1500	68	32
札幌市水道局	1982(昭和57)	刃口	U形	1800	386(中間)	33
札幌市水道局	1983(昭和58)	オーガ	T形	500	51-70	36
				400	51-67	
札幌市水道局	1983(昭和58)	刃口	U形	1650	134(R458)(中間)	37

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	工法 ^{注3}	接合形式	呼び径	延長(m) ^{注4}	No. ^{注5}
明石市都市局 下水道室	1986(昭和61)	泥水加圧	U形	1800	68	40
近畿農政局	1987(昭和62)	刃口	U形	1350	187-237(中間)	42
近畿農政局	1987(昭和62)	オーガ	U形	1100	32-26-26	45
			T形	500	32-26-26	
宮崎市上下水道局	1990(平成2)	泥水加圧	U形	900	総延長749内 145(R148)	52
愛知県建設部	1991(平成3)	泥水加圧	U形	2900	100	52
秋田県中央流域 下水道事務所	1991(平成3)	泥水加圧	GS形	600	164-142	52
藤井寺市水道局	1991(平成3)	泥水加圧	T形	350	55-46-107-91- 91-71	52
安城市上下水道部	1991(平成3)	泥水加圧	GS形	800	268	53
岡谷市建設水道部	1992(平成4)	刃口	GS形	800	74	54
名古屋市 上下水道局	1993(平成5)	泥水加圧	U形	1800	150-102	55
福井市下水道部	1993(平成5)	泥水加圧	GS形	600	131-121-124- 112-94-85	56
東京テレポート センター	1993(平成5)	オーガ	GSS形	500	59-74-11	57
			GSS形	700	50-46-22-64-44	
名古屋市 上下水道局	1994(平成6)	泥水加圧	U形	1800	80(R833)	58
長岡市土木部	1995(平成7)	オーガ	GSS形	400	45	59
八戸圏域 水道企業団	1996(平成8)	泥水加圧	US形	800	180-218-248	63
国土交通省 中国地方整備局	1997(平成9)	刃口	U形	2000	22	64
鎌倉市都市整備部	1997(平成9)	泥水加圧	GS形	1000	500(R300・中間) -448(中間)	64
鹿児島県大隅耕地 事務所	1998(平成10)	超泥水	U形	1100	334-139-248- 291-267-424 (R200)	66
高岡市上下水道局	1999(平成11)	パイロット	NS形	100	48	68
東京都水道局	1999(平成11)	泥水加圧	S形	800	201	69
茨城県企業局	2000(平成12)	泥濃	U形	1000	410(R300)-500	70
国土交通省 九州地方整備局	2001(平成13)	刃口	US形	1800	50×2	72
埼玉県企業局	2005(平成17)	泥水加圧	US形	2200	263(R1000)×2 (並列)	78

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	工法 ^{注3}	接合形式	呼び径	延長(m) ^{注4}	No. ^{注5}
名古屋市上下水道局	1992-2000 (平成4-平成12)	超泥水	U形	1800	総延長4500	83
秋田市上下水道局	2010(平成22)	泥水加圧	US形 (LS方式)	1000	274(最大16°)×2 (並列)	89
関東農政局	2013(平成25)	CMT	U形	800	42	94

注1 事業体名は現在の事業体名で記載。

注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

注3 刃口：刃口推進工法、泥水加圧：泥水加圧式推進工法、高濃度：高濃度密封式推進工法、パイロット：パイロット式推進工法

超泥水：超泥水加圧式推進工法、泥濃：泥濃式推進工法、オーガ：オーガ方式推進工法、CMT：複合推進工法

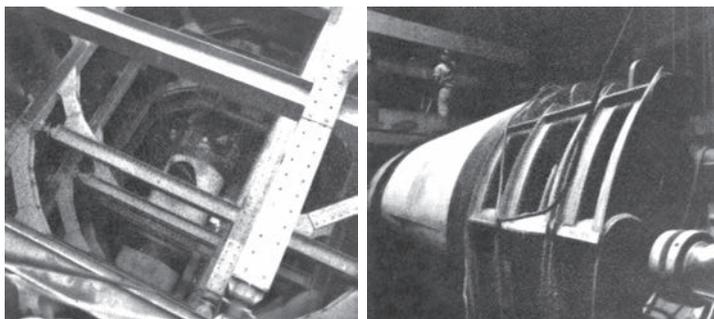
注4 (中間)は中間スリーブ使用、()内のRはカーブの曲率半径。

注5 No.は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表1-7-5-4 推進工法の施工事例

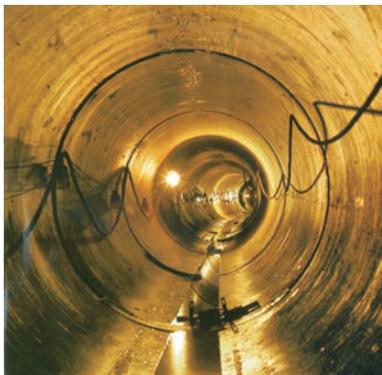
東京都水道局 U形推進管 呼び径2200 1970(昭和45)年度 No.10



横浜市水道局 U形推進管 呼び径1350 1978(昭和53)年度 No.26



札幌市水道局 U形推進管 呼び径1650
カーブ推進 1983(昭和58)年度 No.37



水資源機構構愛知用水総合管理所 U形推進管
呼び径2400 1984(昭和59)年度 No.39



大阪市建設局 U形推進管 呼び径2000
カーブ推進 1993(平成5)年度 No.57



国土交通省中国地方整備局 US形推進管
呼び径2000 1997(平成9)年度 No.64



鹿児島県大隅耕地事務所 U形推進管
呼び径1100 1998(平成10)年度 No.64



国土交通省九州地方整備局 US形推進管
呼び径1800 1998(平成10)年度 No.67



国土交通省九州地方整備局 US形推進管 呼び径1800 2001(平成13)年度 No.72



秋田市上下水道局 US形推進管 呼び径1000 2010(平成22)年度 No.89



備考 施工年度が不明な場合は、『ダクタイトイル鉄管』(日本ダクタイトイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

1-7-6 PIP 工法——既設管内挿入工法

1970(昭和45)年代になると鑄鉄管の布設替えが多くなったが、新設管の呼び径をサイズダウンできるところでは、既設管の中に新設管を挿入するPIP工法が行われはじめた。

1 歴史

日本で最初のPIP工法は、大阪市で1973(昭和48)年に行われたヒューム管呼び径800の中に呼び径600の継手離脱防止金具を付けたタイトン形50mを押し込む工事である。1974(昭和49)年には、京都市で印籠継手管^{いんろう}呼び径900の中に呼び径700のロックリングを用いたタイトン形式(PⅡ形の原形)を用いて、最大押込延長120m、7スパンのPIP工事を実施した。京都市ではさらに、1980(昭和55)年に印籠継手管呼び径800に呼び径600(11区間12～296m)のタイトン形式(TS形)を用いてPIP工事を行った。これらのPIP工事はさや管と新設管の呼び径は2口径ダウンで行われ、現在のPN形などと異なり管外径寸法は通常のダクタイトイル鉄管と同じであった。

タイトン形式では2口径落としになるため、1口径落としでできるようにTN形が開発された。1978(昭和53)年には、大阪市で印籠継手管呼び径600に呼び径500(4区間38～218m)、呼び径700に呼び径600(7区間11～175m)を押し込むPIP工事が行われた。

その後、東京都でも印籠継手管呼び径1100の中に呼び径1000(2区間、300m、

350m)のPIP工事が行われた。

1982(昭和57)年には、PIP工法用継手であるPⅠ形と離脱防止機能が付いたPⅡ形が開発され、大阪市においてPⅡ形を用いた印籠継手管呼び径1500に呼び径1350を512m押し込む工事が行われた。

また、名古屋市でも印籠継手管呼び径900に呼び径700を519m押し込む工事が行われ、東海橋幹線では印籠継手管呼び径500に呼び径400を252m、415mの2スパンのPIP工事を実施している。1984(昭和59)年には、曲管内に配管できるPⅢ形が開発され、札幌市、神戸市などで使用された。1987(昭和62)年には、福岡市でも印籠継手管呼び径750にPⅡ形 呼び径600(3区間、最大押込延長430m)のPIP工事をを行った。平成になると、新居浜市などでは総延長約2.5kmの石綿管呼び径900にPⅡ形呼び径700のPIP工事が行われた。堺市でも総延長約870mの石綿管呼び径900にPⅡ形呼び径700のPIP工事を実施している。

PⅡ形の離脱阻止力が1.5DkN(D:呼び径)に対して、2003(平成15)年に開発されたPN形の離脱阻止力は3DkNである。PN形はロックリングを受口外面長穴から挿入する形式であったが、2012(平成24)年に開発されたPN形(JP方式及びCD方式)では、ロックリングを押さえるセットボルトがなくなり、新設管(さや管)に立坑から油圧ジャッキなどで押し込むPN形(JP方式)呼び径300～1500と1本ずつ新設管を持ち込んで配管するPN形(CP方式)呼び径700～1500が開発された。キャストバンドタイプ(2口径ダウン)も用意されており、長距離、曲線に対する施工性向上が図られており、今後、口径の縮小が可能な幹線の更新など適用範囲が広がっている。

2 実績

●図表1-7-6-1 PIP工法の実績例

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	既設管		新設管		延長 (m)	No. ^{注4}
		種類 ^{注3}	呼び径	接合 形式	呼び径		
大阪市水道局	1973(昭和48)	HP	800	タイトン形 離脱防止 金具	600	50	18
京都市 上下水道局	1974(昭和49)	CIP印	900 (36インチ)	タイトン形	700	72-90-120-108- 108-84-108	18

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	既設管		新設管		延長 (m)	No. ^{注4}
		種類 ^{注3}	呼び径	接合形式	呼び径		
大阪市水道局	1978 (昭和53)	CIP印	600 (24インチ)	TN形	500	142-50-218-38	26
		CIP印	700 (28インチ)	TN形	600	1工区 64-11-88-96-41-21-175 2工区 22-166-50	
京都市 上下水道局	1980 (昭和55)	CIP印	800 (30インチ)	TS形	600	1工区 12-28	29
						2工区 116-82	
						3工区 276	
						4工区 69-96-29-16-87-78	
東京都水道局	1980 (昭和55)	CIP印	1100 (42インチ)	TN形	1000	330-350	31
大阪市水道局	1982 (昭和57)	CIP印	1500 (60インチ)	P II形	1350	512-184-178-265-107	34
		CIP印	1000	TN-K形	900	総延長671	32
名古屋市 上下水道局	1984 (昭和59)	CIP印	900 (36インチ)	P II形	700	519	37
		CIP印	500 (20インチ)	P II形	400	252-415	39
福岡市水道局	1987 (昭和62)	CIP印	750 (30インチ)	P II形	600	123-293-430	43
新居浜市水道局	1990 (平成2)	ACP	900	P II形	700	515-791-541-673	51
堺市上下水道局	1991 (平成3)	ACP	800	P II形	700	182-182-182-320	53
呉市上下水道局	1991 (平成3)	HP	600	P II形	500	52	51
千葉県水道局	1992 (平成4)	ACP	1100	P II形	1000	194	54
神戸市水道局	1993 (平成5)	PC	1350	P II形	1200	108-376 (11 1/4 × 2) -262	56
	2001 (平成13)	CIP印	800 (33インチ)	P II形	700	197-201	73
		CIP印	900 (36インチ)	P II形	800	197-200	
横須賀市 上下水道局	2009 (平成21)	CIP印	750 (30インチ)	PN形	600	318 (傾斜24.9%)	87

注1 事業体名は現在の事業体名で記載。

注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

注3 CIP印は鑄鉄管の印籠継手、ACPは石綿管、HPは鉄筋コンクリート管、PCはプレストレスコンクリート管を示す。

注4 No.は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』（日本ダクタイル鉄管協会）の号数を表す。

●図表1-7-6-2 PIP工法の施工事例

京都市上下水道局 TS形（さや管CIP 呼び径800）呼び径600 1980（昭和55）年度 No.29



大阪市水道局 TN形（さや管CIP 呼び径1000）呼び径900 1981（昭和56）年度 No.32



名古屋市上下水道局 P II形（さや管CIP 呼び径500）呼び径400 1984（昭和59）年度 No.39



大阪市水道局 PⅢ形 呼び径1350
1985(昭和60)年度 No.41



福岡市水道局 PⅡ形(さや管CIP 呼び径750)
呼び径600 1987(昭和62)年度 No.43



神戸市水道局 PⅡ形(さや管PC 呼び径1350)呼び径1200 1993(平成5)年度 No.56



倉敷市水道局 PN形(JP方式及びCP方式)
呼び径700 2013(平成25)年度 No.95



広島県企業局広島水道事務所 PN形
呼び径1350 2014(平成26)年度 No.97

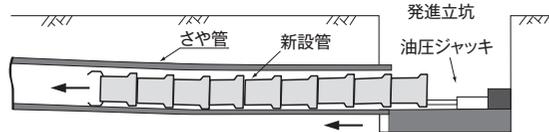


備考 施工年度が不明な場合は、「ダクタイル鉄管」(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

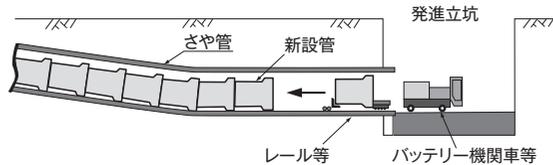
1-7-7 PIP工法——新設さや管内押込・持込工法

新設さや管内押込・持込工法は、配管ルートにヒューム管などの推進管を新設のさや管として推進し、その中にダクタイル鉄管を挿入するか、もしくは持込みで配管する工法である。

●図表1-7-7-1 新設さや管内押込工法



●図表1-7-7-2 新設さや管内持込工法



1 歴史

鉄道や河川横断部など比較的延長が短く直線的な配管では、銅管やヒューム管などのさや管を推進し、その中に新設管としてA形、K形、T形などを押し込む方法は従来から行われていた。

T形やNS形などフランジ部がない接合形式では、そのまま押し込み、新設管をさや管の中心部に配置する場合や、フランジ部がある場合、押込距離が長い場合には、ソリや車輪などを用いて配管を行った。

最近では延長が長い場合などは、小口径のシールド工法がさや管築造に使用されるようになった。新設管としてはPIP工法用のPⅡ形を用いたりしたが、当初は離脱防止力が1.5DkNだったため、離脱防止力3DkNを有するS形、NS形、US形を使用する例もあった。2005(平成17)年には、3DkNを有するPIP工法用のPN形が開発され、新設さや管内配管押込・持込工法の新設管として使用されるようになった。2015(平成27)年には施工性がさらに改善されたPN形(JP方式及びCP方式)が開発され、呼び径700～1500は持込配管にも使用できるようになった。

2017(29平成)年には「JDPA G 1046 PN形ダクタイル鋳鉄管」として統合された。

2 実績

●図表1-7-7-3 新設さや管内押込・持込工法の実績例

事業体名 ^{注1}	年度	新設さや管		新設管		延長 ^{注3} (m)	No. ^{注4}
		種類 ^{注2}	呼び径	接合形式	呼び径		
長浜水道企業団	1986(昭和61)	HP	1000	P II形	300	609	42
東京都水道局	1998(平成10)	HP	1000	S形	500	336(R300)	67
福岡市水道局	1998(平成10)	HP	1200	P II形	1100	120(R120)	67
熊本市上下水道局	2000(平成12)	SP	400	NS形	1-70	21(1m管)	68
札幌市水道局	2000(平成12)	HP	1200	S形	700	170	70
		HP	900	S形	500	327	
福岡市水道局	2006(平成18)	SP	1000	PN形	800	18	80
札幌市水道局	2009(平成21)	HP	2400	US形	1800	480	87
岡山市水道局	2010(平成22)	HP	1350	NS形	900	1018	89
高知市上下水道局	2012(平成24)	SD	1000	PN形	800	575(R120)	92
宇部興産株式会社	2013(平成25)	SP	600	P II形	500	90	95
倉敷市水道局	2013(平成25)	SD	1000	PN形 (CP方式)	700	1636	95
広島県企業局 広島水道事務所	2014(平成26)	SD	1650	PN形 (CP方式)	1350	2037	97
滑川市上下水道課	2015(平成27)	HP	1000	PN形	350	48	98
				GX形	150		
蒲都市上下水道部	2015(平成27)	HP	600	PN形	500	141	98
津市上下水道局	2015(平成27)	HP	1100	PN形	900	147	98

注1 事業体名は現在の事業体名を記載した。

注2 HPは推進工法用ヒューム管、SPは推進用鋼管、SDはシールドを示す。

注3 区間が複数の場合は、最長スパンの長さを記載。Rは最大曲率半径。

注4 No.は『ダクタイル鉄管』（日本ダクタイル鉄管協会）の号数を表す。

施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイトイル鉄管』（日本ダクタイトイル鉄管協会）の号数を表す。

●図表1-7-7-4 新設さや管内押込・持込工法の施工事例

札幌市水道局 US形(さや管 HP推進)
呼び径1800 2009(平成21)年度 No.87



滑川市上下水道課 PN形 呼び径350 および
GX形 呼び径150 2015(平成27)年度 No.98



蒲都市上下水道部 PN形 呼び径500
2015(平成27)年度 No.98



津市上下水道局 PN形 呼び径900
2015(平成27)年度 No.98



備考 施工年度が不明な場合は、『ダクタイトイル鉄管』（日本ダクタイトイル鉄管協会）に事例が掲載された前年度とした。

1-7-8 共同溝内配管

共同溝内配管は、道路管理者が複数の公益事業者の施設(管、電線、通信線など)を収めるための共同溝にダクタイトイル鉄管を布設する工法である。

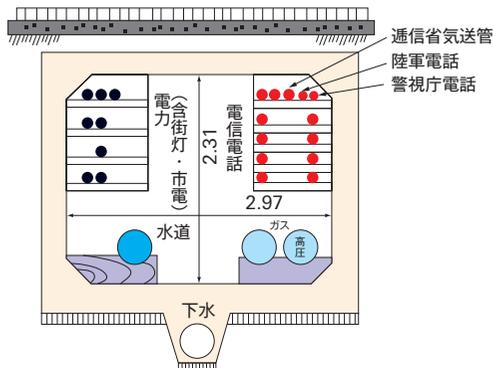
共同溝は道路下などにコンクリート構造物などで築造され、布設環境としてはトンネルなどよりは良い。共同溝を大きくすると不経済なため他企業の管との離隔が狭い場合が多く、設計、施工方法、管台、外面塗装、不平均力対策、地震対策、エク

スパンションジョイント部の対策など十分に検討する必要がある。

1 歴史

日本初の共同溝は、関東大震災の帝都復興事業の一環として、1927(昭和2)年に九段坂、八重洲通り、浜松金座通りの3カ所で試験的に整備された。その後、1960(昭和35)年に至り、東京都では淀橋をはじめ新宿角管^{つのはず}、人形町、また関西では第二阪神国道尼崎に設置された。1963(昭和38)年には、「共同溝の整備等に関する特別措置法」が制定され、1964(昭和39)年に青山共同溝、1966(昭和41)年に三宅坂共同溝が設置された。1971(昭和46)年以降は、横浜市内の直轄国道、千葉県、川崎市、名古屋市、大阪府、京都市などで設置が進められた。

●図表1-7-8-1 東京九段共同溝断面図 1925(大正15)年



東京国道事務所ホームページより

共同溝は開削工法で布設する予定の管を共同溝に布設するので、開削工法で使用する接合形式をそのまま使用する場合が多い。したがって初期の共同溝ではT形、A形、K形などが使用されたが、1993(平成5)年の東京臨海副都心ではSⅡ形呼び径75～450、S形500～1200が採用された。共同溝の標準的な勾配は1:3であり角度にすると約18.4°である。ダクタイル鉄管の曲管では11 1/4°曲管と5 5/8°曲管が2個必要になるが臨海副都心では18.4°曲管を製作して配管を行った。

共同溝自体も耐震設計がなされているので躯体として破損することはないが、軸方向には躯体と躯体の間には必ずエキスパンションジョイント部が設けてあり、その部分で伸縮と変位を吸収する設計になっている。ダクタイル鉄管の耐震継手は十分な伸縮・屈曲性を有しているため通常の場合はエキスパンションジョイント部に

耐震継手があれば吸収できるが、東京臨海副都心では、より安全性を高めるためにつなぎ部には耐震継手を2個使用した。『水道施設耐震工法指針・解説 2009』には「重要幹線の場合、共同溝内においても耐震性の高い管種・継手管路の使用を検討する」とある。

共同溝内にダクタイル鉄管を配管する場合は、搬入口から管をクレーンなどで吊り下ろして共同溝内の台車に載せ人力またはバッテリー機関車を用いて横持ちを行い、布設場所では門型にチェーンブロックなどを用いて吊り上げて所定の位置に配管する。東京臨海副都心では共同溝内の横持ちにモノレールなどを使用した事例もある。

2 実績

●図表1-7-8-2 共同溝内配管の実績例

事業者名 ^{注1}	年度 ^{注2}	接合形式	呼び径	延長(m)	No. ^{注3}
広島市水道局	1987(昭和62)	T形	150	4000	44
東大阪市上下水道局	1989(平成元)	K形	300	北側375	47
			600	南側342	
東京都港湾局	1993(平成5)	SⅡ形	450以下	72555	56
		S形	500~1200		
名古屋市上下水道局	1993(平成5)	U形	1350	210-80	57
			1800	20	
広島市水道局	1994(平成6)	SⅡ形・S形	400・1000	410-1681	58
北九州市上下水道局	1996(平成8)	K形・KF形	300~800	209	61
札幌市下水道局	1998(平成10)	SⅡ形・S形	100~600	1000	67
福岡市水道局	1998(平成10)	K形	1200	333	67
東京都下水道局	2009(平成21)	U形	2200	701-146	85
姫路市下水道局	2012(平成24)	K形	1000	150	92

注1 事業者名は現在の事業者名を記載。

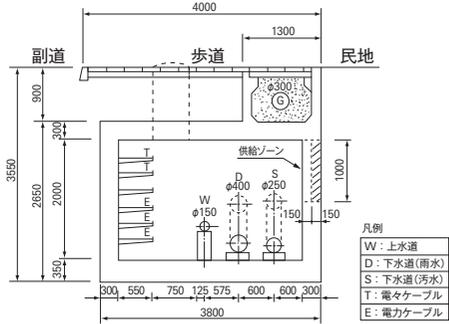
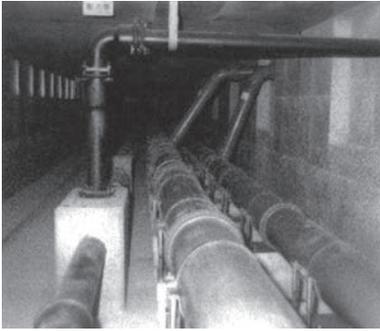
注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

注3 No.は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

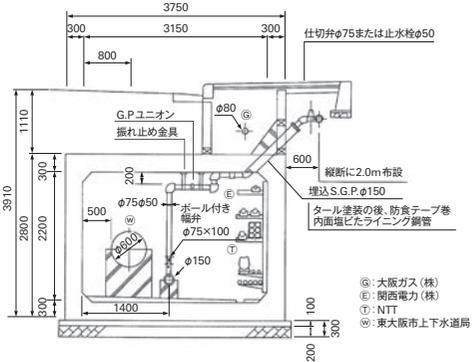
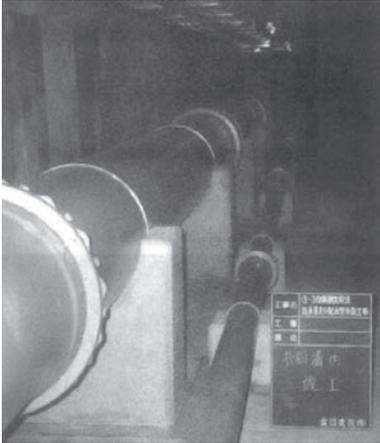
施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表1-7-8-3 共同溝内配管の施工事例

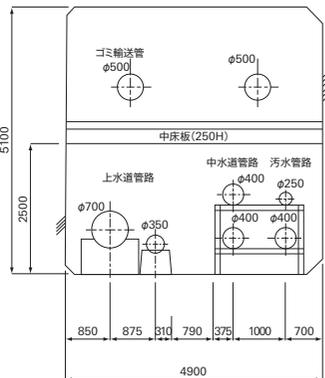
広島市水道局 T形 呼び径150 1987(昭和62)年度 No.44



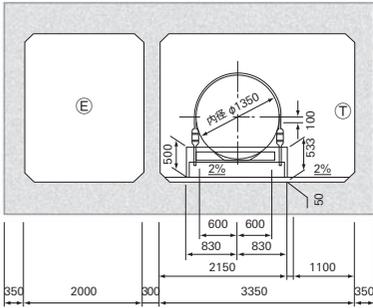
東大阪上下水道局 K形 呼び径300・600 1989(平成元)年度 No.47



東京都港湾局 SⅡ形 呼び径450以下/S形 呼び径500~1200 1993(平成5)年度 No.56



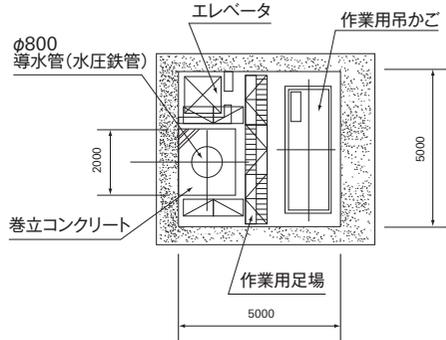
名古屋市上下水道局 U形 呼び径1800
1993(平成5)年度 No.57



広島市水道局 S形 呼び径1000
1994(平成6)年度 No.58



北九州市上下水道局 KF形 呼び径800 1995(平成7)年度 No.61



姫路市下水道局 K形 呼び径1000 2012(平成24)年度 No.92



備考 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

1-8 輸出の歴史

1-8-1 戦前 ——1929～1945(昭和4～20)年

日本における鉄管輸出の歴史は、1917(大正6)年に、インドネシアのスラバヤ市に制水弁を含めて国産品の鑄鉄管2000トンを輸出したことに始まる。同市へは1929(昭和4)年にも800トンの鑄鉄管が輸出されている。長年、日本企業が東北帝国大学と共同研究してきた高級鑄鉄管の開発に1931(昭和6)年に成功する。これは普通鑄鉄管に比して強度が高いことから、重量の軽減が可能となる画期的なものであった。当時東南アジアの統治国であったオランダ政府にその品質の優秀性が認められ、オランダ本国への輸出が実現した。また、1932(昭和7)年には、オランダのロッ

- 図表1-8-1-1 インドネシア・スラバヤ市向け鑄鉄管 1917(大正6)年ごろ
- 図表1-8-1-2 オランダ向け鑄鉄管 1932(昭和7)年ごろ

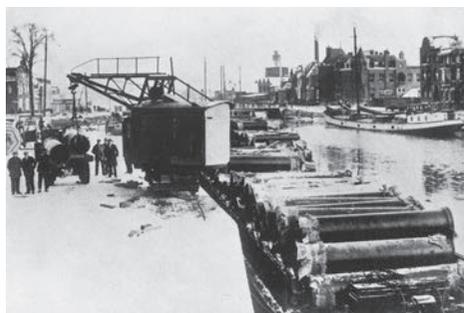


『概観』(久保田鉄工所)より



『概観』(久保田鉄工所)より

- 図表1-8-1-3 オランダ・フローニンゲン市向け鑄鉄管 1932(昭和7)年ごろ



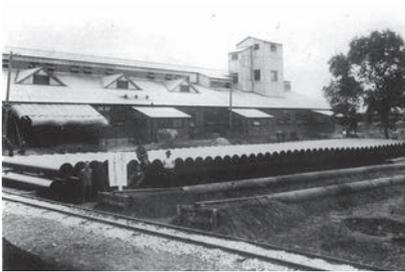
『クボタ100年』
(クボタ、1990年)より

テルダム・ガス会社にガス用鑄鉄管3000トン、オランダのフローニンゲン市に水道用鑄鉄管2500トンが輸出されている。

1932(昭和7)年に満州国が成立すると、大阪工業会は、満蒙経済視察団を派遣した。そのころ大連では、大連機械製作所が立吹法で鑄鉄管を生産していたが、需要に供給が追いつかず日本から大量の鑄鉄管を輸入していた。

そのため大連機械製作所と日本企業の合弁で1935(昭和10)年に満州の鞍山あんざんに工場を建設した。鞍山工場では、それまで国内で研究が重ねられてきた砂型遠心力鑄造法が初めて用いられ、最盛期の1943(昭和18)年には月6000トンを生産した。また、1940(昭和15)年には北京にも工場が建設され立吹鑄造法で月1000トンを生産した。

●図表1-8-1-5 満州久保田鑄鉄管鞍山工場 1936(昭和11)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

●図表1-8-1-7 出荷を待つ戦前最大の直管 呼び径1700 1935(昭和10)年ごろ



『栗本鐵工所百年記念誌 一白歳のしるべ』(栗本鐵工所、2010年)より

●図表1-8-1-4 鑄鉄管の輸出先 1940(昭和15)年ごろ



『株式会社久保田鐵工所創業五十周年祝典誌』(久保田鐵工所、1941年)より

●図表1-8-1-6 久保田鐵工所北京工場 1940(昭和15)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

●図表1-8-1-8 馬車で運搬される鑄鉄管 1940(昭和15)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

茶話 …… 12 ウンブランの泉の鑄鉄管

ジャバ島の東端に近く、スラバヤという市がある。当時人口200万人を超えるインドネシア国第二の大都市である。ここからはプロモという標高2400mばかりの秀麗な姿の火山が望見できる。その山麓の懐深く、スラバヤ市から約70km、車で1時間半ほどに入った所にウンブランという泉がある。泉といっても大変なもので、1日43万 m^3 もの清澄な水が湧き出るので、ちょっと想像し難いほどのものである。

湧水の一部は古くからスラバヤ市の水道水として利用されている。ところが近年人口膨張が続き、水需要が増大する一方なので、もう1本の導水管を緊急に新設しなければならない必要に迫られた。

私は昭和57年にその調査のためにこの泉を訪ねた。鬱蒼たる森の緑とカラフルな花々に抱かれた泉のほとりに

ウンブランポンプ場

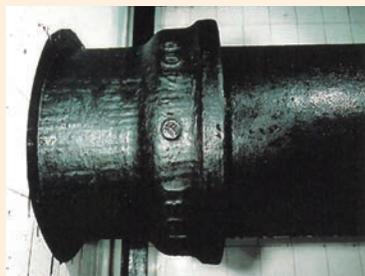


たたく 佇めば、わが身はあたかも仙境にあるかのような不思議を覚えた。人のよさそうな番人の案内でポンプ室へと下り立って驚いた。黒光りしている配管には、なんと「1931(久)400」との鑄出しがきわめて鮮明であった。昭和6年に鑄造された鑄鉄管！赤道を越えて遙か彼方の島の山奥に、50年間黙々と……。「ご苦労さんでした」。私は管をなでながら心の中で話しかけた。「まだまだ頑張るさ」との答えが返ってきたような、いいしれぬ感動に打たれたのであった。

ちなみにクボタでは、大正6年にインドネシアに2000トンをはじめ、その後数度にわたって鑄鉄管を輸出しており、また、オランダのロッテルダムなど欧州市場にも販路を拡げている。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より(抜粋)

鑄鉄管 呼び径400



久保田鉄工所製 1931(昭和6)年

クボタ写真提供

さらに朝鮮半島は大陸と内地との中間地点であることから、輸送力の大幅アップのために幹線鉄道の複線化が進められることに関連して送水用の鑄鉄管が必要となった。そこで、1944(昭和19)年に日本企業が工場を設立して鑄鉄管の製造に着手し、鑄鉄管の供給を開始したものの翌年に終戦を迎えた。

戦前、日本からオランダや満州以外にもノルウェー、メキシコ、エジプト、シンガポール、インド(英国・オランダ領)、上海など多方面に鑄鉄管が輸出されていた。

1-8-2

戦後

—1946(昭和21)年～現在

1959(昭和34)年にカンボジアのプノンペン市において、フランスのデグレモン社との競争に日本企業が勝ち、初めての海外水道工事を行った。この工事では、日本の規格品(日本水道協会規格)を使用した、浄水場、貯水池、パイプラインの施工が行われた。工期はわずか7カ月であったが、常時400人の作業員を動員し、大工事を短時間で完成させたため、日本人の勤勉さと優秀な技術力に対し、敬意と称賛が寄せられた。竣工式にはプノンペン市長が出席して執り行われた。

さらに、1962(昭和37)年にラオスのビエンチャン市の浄水場(2万 m^3 /日)、沈殿池、急速濾過池、浄水池、市内配管53kmの工事を日本企業が受注した。その起工式には、ラオスからスファヌボン殿下、日本政府から蓮見幸雄大使が出席し、工事は工期を2カ月余り残して完成した。この工事により、ラオス最高の勲章である「百万頭の象と白い天蓋」を日本企業として初めて受賞した。

1964(昭和39)年、アフガニスタン・カブール市の浄水場(3万6000 m^3 /日)の工事でも日本企業が施工および技術指導を行い、主要資材には日本の製品が使用された。また、1965(昭和40)年に、台湾の台北市にも日本からガス管が輸出された。

●図表1-8-2-1 カンボジア・プノンペン市水道工事 1959(昭和34)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

フィリピンでは水不足を解消するために、アンガットダムからのバリチェス貯水池を経てバララ浄水場に導水するマニラ広域水道拡張計画が1968(昭和43)年に策定されたが、工事が遅々として進まず、新たにマリキナ渓谷から取水して山越しにバララ浄水場に直送する日本の提案が採用された。そのマリキナ管路には日本製のメカニカル継手ダクタイル鉄管呼び径1200が、バララ浄水場および各ポンプステーションにも日本のダクタイル鉄管、バルブ、制御扉などが輸出された。

1976(昭和51)年には先発欧米メーカーとの競争の末、イラク工業省のバスラ肥料工場用の鉄管1.3万トンや、エジプトのカイロ下水道局、カタール水電気省にも日本製品が採用された。翌1977(昭和52)年には、ナイジェリアにも日本製ダクタイル鉄管

●図表1-8-2-2 ラオス・ピエンチャン市
水道工事 1964(昭和39)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-4 アフガニスタン・
カブール市内の配管
1964(昭和39)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-3 フィリピン・
マリキナ管路の配管
メカニカル継手 呼び径1200
1970(昭和45)年ごろ



『鑄鉄管』第6号(日本ダクタイル鉄管協会,1969年)より

●図表1-8-2-5 エジプトのカイロ
下水道向けダクタイル鉄管
1976(昭和51)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

呼び径1600(2.3万トン)が輸出されている。また、1978(昭和53)年ごろ日本企業がアラブ首長国連邦アブダビ・サムハ地区に、最大呼び径600、延長約120km分の輸出を行った。このときのパイプの輸送では、呼び径の異なるパイプを入れ子にして運ぶネスティングを行い、物流コストの大幅な削減が図られた。1979(昭和54)年にはクウェート水電力省向けに呼び径150～1200、延べ185km(5.5万トン)分の日本製ダクタイル鉄管が輸出された。

1980(昭和55)年、日本企業がイラクのバグダッド市水道局向けにダクタイル鉄管呼び径80～1000、延べ約273km分を納入したときは、イラン、イラク戦争勃発直後の砲火をくぐり、昼夜を分かたず奔走した同社の誠意と製品への愛着心が先方に感銘を与えた。1981(昭和56)年ごろ、イラクのカルハ地区給水工事では、欧州の鋼管メーカーとの競合の末に日本企業が成約し、呼び径350～1600、延べ173km(8.7万トン)分のダクタイル鉄管が輸出された。また、イラクのウェストデザート灌漑プ

●図表1-8-2-6 クウェート
水電力省向けダクタイル鉄管
1978(昭和53)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-7 アラブ首長国連邦アブダビ・
サムハ地区の水道工事
1979(昭和54)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-8 ネスティング輸送



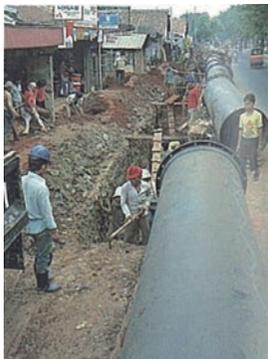
『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-9 シリア向けダクタイル鉄管
1981(昭和56)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-10 インドネシア・ジャカルタ市の水道工事
1990(平成2)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

●図表1-8-2-11 台湾・台北市の推進工事
U形呼び径2600
2001年(平成13)年ごろ



栗本鐵工所写真提供

プロジェクトでは現地調査と配管設計も日本のメーカーが行い、呼び径600・800、延べ345km(6.9万トン)分が輸出された。1982(昭和57)年のカルハ地区の2期工事では呼び径800～2300、延長88km(10万トン)分が日本から輸出された。このころ日本からイラクへのダクタイル鉄管の輸出量は年間20万トンを超える勢いであった。

ダクタイル鉄管の輸出シェアでは1982(昭和57)年からの3年間は日本が首位に立ち、国内よりも輸出の方が上回る年もあった。その後は中近東産油国を中心に、チリ、ネパール、パキスタン、エジプト、リビアなどの南米、アジア、アフリカの国々へと輸出先が広がった。1984(昭和59)年にはサウジアラビアの2つの大きなプロジェクトを中心に18万トン、1985(昭和60)年にはアジアやアフリカ市場へ日本からの輸出も増えたが、同年9月のプラザ合意によって円高へとシフトしたために海外への輸出は5万トン前後にとどまった。

1986(昭和61)年、中国の改革・開放政策による経済特区や沿岸都市での都市基盤整備が急がれている中、長春市にJICAの無償資金によって「長春日中友好浄水場」の建設が決定し、1988(昭和63)年に日量18万トンが完成。この浄水場内配管に日本の呼び径75～1350のダクタイル鉄管が使用された。

さらに、1990(平成2)年に入るとジャカルタ市のODA(政府開発援助)によるプロジェクトを含めインドネシアへ7万トン、1993(平成5)年に北京市向けの呼び径2600、延べ32kmを含め中国へ9万トン、2002(平成14)年にシウワイハットの9万トンを含め16万トンアラブ首長国連邦とカタールへ輸出が行われた。また、台湾の台北自來水事業處において1992(平成4)年～2002(平成14)年の10カ年で実施された第二條清

水プロジェクトに、呼び径2400・2600のU形推進工法用ダクタイル鉄管約4200トンを供給した。

2011(平成23)年のODAによるバングラデシュのカルナフリ上水道整備事業では、チッタゴン市への導水・送水管用ダクタイル鉄管呼び径300～1200、延べ76.3km分のダクタイル鉄管の供給と布設工事を日本企業が担った。また、2012(平成24)年には、カンボジアの鉱工業エネルギー省の3都市プロジェクト(プルサット市、バタンバン市、シハヌークビル市)延べ123kmの配水管改修および拡張工事を日本企業が行い日本製ダクタイル鉄管が輸出された。

2012(平成24)年に米国ロサンゼルス水道電気局への耐震継手管(GX形呼び径150、1800フィート)の輸出を皮切りに、サンフランシスコ(NS形呼び径500、GX形呼び径200・400)、カナダのバンクーバー市(GX形呼び径200)、サンノゼ市の傾斜配管(S形呼び径1500・1650・1800)など9都市で採用され、耐震継手管の北米への輸出が広がりを見せている。

2014(平成26)年、カタールの上水道メガリザーバープロジェクトに呼び径1600を中心に、延べ301km(20万トン)分の日本製ダクタイル鉄管が採用された。また、2016(平成28)年から行われたバングラデシュ・カルナフリ上水道整備事業2期工事では、導水・送水用に日本製ダクタイル鉄管呼び径1100・1200、延べ約35km分が採用されている。



ダクタイル鉄管の
特性

Chapter 2

2-1

ダクタイル鑄鉄の種類と特性

2-1-1 組織と種別

1 組織

ダクタイル鑄鉄は球状黒鉛鑄鉄、ノジュラー鑄鉄とも呼ばれ、組織内の黒鉛(炭素の結晶)が球状に存在する。強度のない黒鉛を細長く片状に含むねずみ鑄鉄(普通鑄鉄、高級鑄鉄)は、黒鉛を起点にひび割れを起こす。これに対してダクタイル鑄鉄は、黒鉛が球状で他の黒鉛とつながらないため強度や延性に優れる。

ダクタイル鑄鉄の^{きざ}基地組織は、セメントイト(炭化鉄 Fe_3C)組織、パーライト(フェライトとセメントイトの共析)組織、フェライト(アルファ鉄の固溶体)組織の形態をとる。

1) セメントイト組織

硬度が高く、延性はない。金型、サンドレジン型などで鑄造したダクタイル鉄管の鑄放し組織はこれに属する。

2) パーライト組織

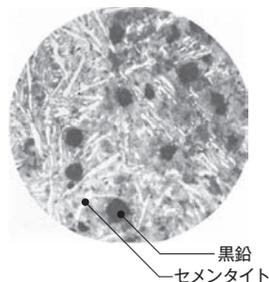
強度はあるが延性は少ない。硬度は比較的高い。

3) フェライト組織

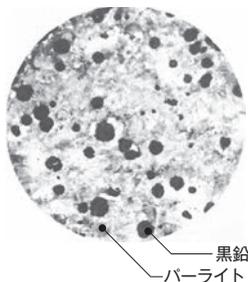
強靱性に優れる。硬度は低く切削性^{しょうどん}良好。焼鈍したダクタイル鉄管はこれに属する。

●図表2-1-1-1 ダクタイル鑄鉄の組織

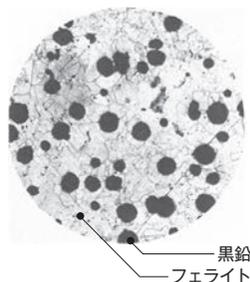
セメントイト組織



パーライト組織



フェライト組織



2 日本におけるダクタイル鑄鉄の種類

「JIS G 5502-2001 球状黒鉛鑄鉄品」には、ダクタイル鑄鉄とその供試材が規定されている。図表2-1-1-2に一例を示す。

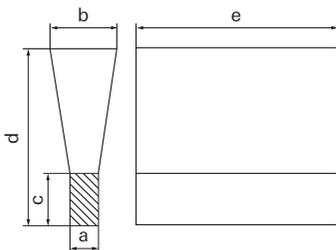
●図表2-1-1-2 JIS G 5502-2001によるダクタイル鑄鉄の種類
(別鑄込み供試材の機械的性質)

種類の 記号	引張強さ (N/mm ²)	0.2% 耐力 (N/mm ²)	伸 び (%)	シャルピー吸収エネルギー			(参 考)		
				試験温度 (°C)	3個の平均値 (J)	個々の値 (J)	硬 さ (HB)	主要基地 組織	
FCD 350-22	350以上	220以上	22以上	23±5	17以上	14以上	150以下	フェライト	
FCD 350-22L				-40±2	12以上	9以上			
FCD 400-18	400以上	250以上	18以上	23±5	14以上	11以上	130~180		
FCD 400-18L				-20±2	12以上	9以上			
FCD 400-15			15以上						
FCD 450-10	450以上	280以上	10以上				140~210		
FCD 500-7	500以上	320以上	7以上				150~230		フェライト+ パーライト
FCD 600-3	600以上	370以上	3以上	-	-	-	170~270		パーライト+ フェライト
FCD 700-2	700以上	420以上	2以上				180~300		パーライト
FCD 800-2	800以上	480以上					200~330		パーライト または焼戻し マルテンサイト

●図表2-1-1-3 Y形供試材(別鑄込み供試材の例)の形状・寸法

(単位: mm)

種 類	寸 法				
	a	b	c	d	e
A 号	12	40	25	135	180以上
B 号	25	55	40	140	180以上
C 号	50	90	50	160	180以上
D 号	75	125	65	175	180以上



備考 原則としてB号を用いる。鑄鉄品の肉厚が著しく異なる場合には、受渡当事者間の協定によって、A号、C号、D号のいずれかを用いることができる。

3 米国におけるダクタイル鑄鉄の種別

米国におけるダクタイル鑄鉄の種別と機械的性質の例を示す。

●図表2-1-1-4 米国におけるダクタイル鑄鉄の種別

種別	引張強さ		降伏点		伸び (%)
	(psi)	(N/mm ²)	(psi)	(N/mm ²)	
60-40-18	60000以上	414以上	40000以上	276以上	18以上
60-42-10	60000以上	415以上	42000以上	290以上	10以上
65-45-12	65000以上	448以上	45000以上	310以上	12以上
70-50-05	70000以上	485以上	50000以上	345以上	5以上
80-55-06	80000以上	552以上	55000以上	379以上	6以上
80-60-03	80000以上	555以上	60000以上	415以上	3以上
100-70-03	100000以上	689以上	70000以上	483以上	3以上
120-90-02	120000以上	827以上	90000以上	621以上	2以上

ASTM A536-84

●図表2-1-1-5 米国におけるダクタイル鑄鉄の機械的性質

種別	80-60-03型 (鑄放し)	60-45-10型 (焼なまし)
圧縮強さ (引張強さに対する比)	1.2	1.2
高温強さ		
クリープ強さ 430°C 10000時間 1% (N/mm ²)	78~177	108~186
破壊強さ 430°C 1000時間 (N/mm ²)	206~275	177~186
650°C 1000時間 (N/mm ²)	16.7~19.6	14.7~15.7
弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)	172	172
剪断強さ (引張強さに対する比)	0.90	0.90

International Nickel Co. "Ductile Iron" 1954

2-1-2 特性

1 物理的性質

① 熱伝導率

ダクタイル鑄鉄の物理的性質は化学成分と基地組織によって多少異なる。熱伝導率はねずみ鑄鉄より低い(図表2-1-2-1)。

●図表2-1-2-1 ダクタイル鑄鉄の熱伝導率

(単位: J/m°C/S)

区 分	基地組織	
	フェライト	パーライト
100°C	35.4	31.4
200°C	35.0	31.9
300°C	34.7	32.1
400°C	34.4	31.9

Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

2 熱膨張係数

●図表2-1-2-2 ダクタイル鑄鉄の熱膨張係数

温度範囲	熱膨張係数
20~100°C	$10.8 \sim 11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
20~200°C	$11.7 \sim 12.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
20~400°C	$12.9 \sim 13.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
20~600°C	$13.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

AFS. "Cast Metal Handbook" 1957

3 比熱

●図表2-1-2-3 ダクタイル鑄鉄の比熱

温度 (°C)	比熱 (J/g°C)	温度 (°C)	比熱 (J/g°C)	温度 (°C)	比熱 (J/g°C)
100	0.481~0.532	400	0.536~0.599	700	0.599~0.678
200	0.502~0.569	500	0.544~0.620	800	0.628~0.720
300	0.515~0.586	600	0.573~0.636	900	0.640~0.758

総合鑄物センター編「鑄鉄の高温特性」『鑄造品のエンジニアリング・データブック』(1980年)掲載のグラフより
日本ダクタイル鉄管協会が作成

4 比抵抗

ダクタイル鑄鉄の比抵抗はねずみ鑄鉄より小さく、パーライト組織よりフェライト組織の方が小さい。ケイ素(Si)が1%増すごとに約 $0.2 \mu \Omega \cdot \text{m}$ が増加する(図表2-1-2-4)。

●図表2-1-2-4 ダクタイル鋳鉄の比抵抗

(単位: $\mu\Omega \cdot m$)

測定者	比抵抗		
	ねずみ鋳鉄	ダクタイル鋳鉄	
		鋳造のまま	焼鈍後
Everest	1.066	0.576	0.548
Wittmoser	0.6724	0.577	0.530
Königer ^{注1}	0.98 ⁽¹⁾ 0.89 ⁽²⁾	0.59 ⁽³⁾	0.55 ⁽⁴⁾

注1 Königerの鋳鉄成分

C: 3.6% Si: 2.4% Mn: 0.5%

P: (1) (2) 0.5% (3) (4) 0.087%

(1) パーライト95% (2) フェライト100% (3) フェライト5% (4) フェライト95%

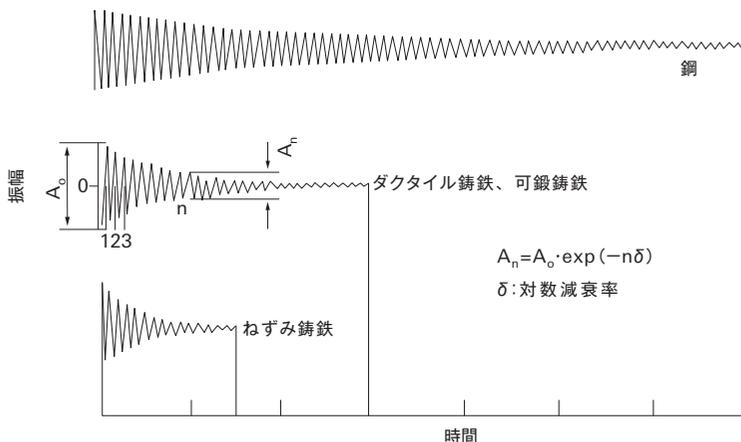
A.B. Everest "Foundry Tr.J"89,1950/A. Wittmoser "Z. VDI"93,1951/A. Königer "Giesserei"46,1959

2 機械的性質

① 吸振性 (減衰能)

ダクタイル鋳鉄の吸振性はねずみ鋳鉄と鋼の中間にある。

●図表2-1-2-5 鉄系材料の振動減衰状況の比較



C.F.Walton, T.J.Opar 『Iron Castings Handbook』 (Iron Castings Society, 1981)より

② 磁気特性

ダクタイル鋳鉄の静磁場磁性は組織、黒鉛化率、化学成分等によって異なる。

● 図表2-1-2-6 ダクタイル鑄鉄の磁気特性

鑄鉄の種類	抗磁力 (Hc)	残留磁力 (Br)	最大導磁率 (μm)	(μm) に対する磁場の強さ ($H\mu m$)	磁気感応 $4\pi I$		履歴損失 (エルグ/cm ³)
					H=750e	H=9000e	
ねずみ鑄鉄 ^{注1}	6.3	4700	355	11	9400	16100	30300
ダクタイル鑄鉄 ^{注2} (パーライト)	9	8000	544	14	14850	18500	49300
ダクタイル鑄鉄 ^{注2} (フェライト)	2.4	5100	1400	5.5	16100	19100	16320

注1 C 3.6% Si 2.16% Mn 0.69% P 0.128% S 0.11%

注2 C 3.6% Si 2.5% Mn 0.6% P 0.08% S 0.009%

A. Königler "Giesserei" 46,1959

③ 疲労限界

● 図表2-1-2-7 ダクタイル鑄鉄の疲労限界 (250個の試験結果の集計)

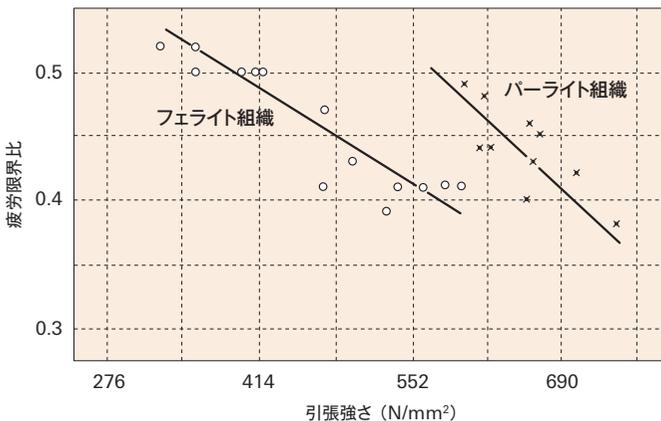
種別 ^{注1}	引張強さ	ノッチなし		45° V-ノッチ付		ノッチ感度係数
		疲労限界	疲労限界比	疲労限界	疲労限界比	
		St (N/mm ²)	Se (N/mm ²)	Se ÷ St	Sn (N/mm ²)	
60-45-10型	490	211	0.43	147	0.30	1.4
80-60-03型	618	272	0.44	167	0.27	1.7
120-90-02型 ^{注2}	932	335	0.36	206	0.22	1.6

注1 ASTM A339-55による種別。

注2 約900°Cにて油焼入後、約600°Cにて焼なまし。

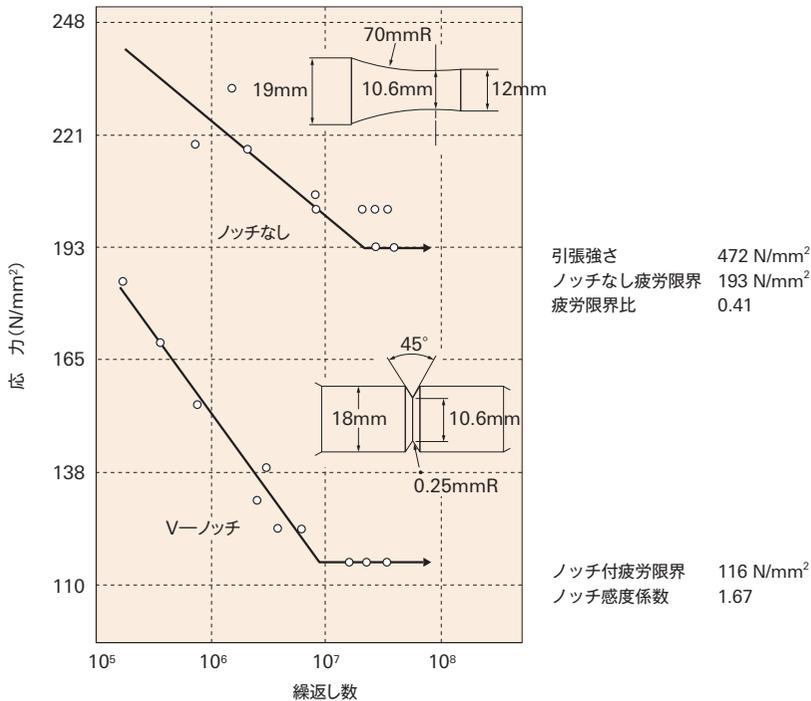
Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

● 図表2-1-2-8 ダクタイル鑄鉄の引張強さに対する疲労限界比



Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

●図表2-1-2-9 ダクタイル鋳鉄の代表的なS-N曲線の例(焼鈍)



Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

3 工業的性質

① 切削性

- フェライト組織のダクタイル鋳鉄の切削性は良好であるが、パーライト組織に近づくほど不良となる。パーライト量が65%から25%に減ると切削性は著しく改良されるが、20%以下ではあまり変わらない。
- フェライト組織のダクタイル鋳鉄のドリル穿孔は、ドリル直径の3.5～4倍の深さまでは容易である。
- 旋盤切削の場合、冷間引抜鋼の切削性を100とすれば、鋳造のままのブリネル硬さ(HB)290～300のダクタイル鋳鉄の切削性は80～90、焼鈍したブリネル硬さ(HB)180～200のものでは135～155である。
- 切削面は片状黒鉛鋳鉄と異なり、鋼の場合に似ている。

2 耐摩耗性

摩耗条件によって異なる。一般的にはパーライト組織のダクタイル鑄鉄の耐摩耗性は優秀であるが、フェライト基地になればその性質は劣る。

3 耐熱性

ダクタイル鑄鉄はねずみ鑄鉄よりも耐熱性、とりわけ耐成長性が良好^{*1}であることは、多くの報告によって認められている。特にケイ素の影響が大きい。黒鉛が球状になっていることは外部からの酸化性ガスの侵入を妨げ、耐熱性、耐成長性を与えている。

*1 鑄鉄を高温で保持したり、繰り返し加熱冷却すると、体積が膨張し、割れや強度の低下を引き起こす。耐成長性が良好であると、このような現象(鑄鉄の成長)を起こしにくい。

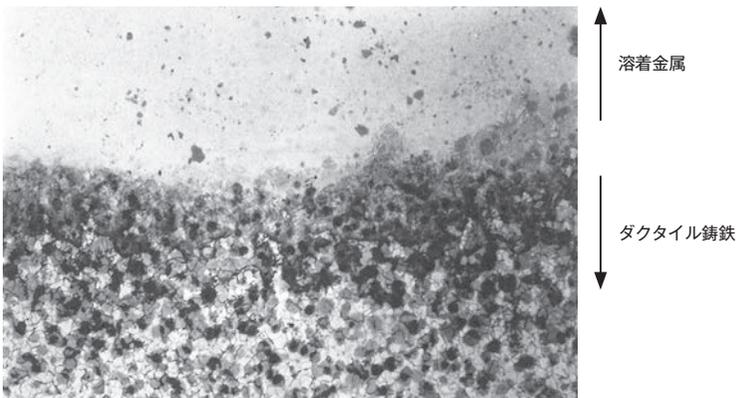
4 高温加工性

ダクタイル鑄鉄は高温加工できる。加工度が増すと、加工後フェライト化焼鈍したダクタイル鑄鉄の延性および衝撃値が増す。

5 溶接性

ねずみ鑄鉄に比較して、ニッケル(Ni)溶接性が良好である。適切な条件で溶接を行えば、ボンド部にはごくわずかのセメンタイトしか晶出せず(図表2-1-2-10)、かなりの強度が得られる。

●図表2-1-2-10 ダクタイル鑄鉄を全自動MIG溶接^{注1}したボンド部



注1 アーク溶接でシールドガスに不活性ガスを使った全自動溶接の一種。

2-1-3 用途

ダクタイル鋳鉄は、鋳造品でありながら、強度、剛性、耐衝撃性、疲れ強さなどに優れるため、さまざまな用途に用いられている。経済産業省による統計分類上の「球状黒鉛鋳鉄」と「鋳鉄管」との合計生産量(2016(平成28)年)は161万3825トンで、輸送機械用(自動車用)52.5%と鋳鉄管19.2%で約72%を占める(図表2-1-3-1)。

●図表2-1-3-1 球状黒鉛鋳鉄鋳物の生産量(2016(平成28)年)の内訳

品目・用途例		生産量(トン)
球状黒鉛鋳鉄	一般・電気機械用(産業機械機具用)	198716
	一般・電気機械用(金属工作・加工機械用)	11204
	一般・電気機械用(その他の一般・電気機械用)	94739
	輸送機械用(自動車用)	847692
	輸送機械用(その他の輸送機械用)	65721
	その他用の球状黒鉛鋳鉄	86178
鋳鉄管		309575
合 計		1613825

備考 「球状黒鉛鋳鉄」と「鋳鉄管」の合計生産量。「鋳鉄管」と分類されているものの中には、ごくわずかにダクタイル鋳鉄管以外のものが含まれている可能性がある。

〔平成28年経済産業省生産動態統計年報〕より(抜粋)

輸送機械用(自動車用)のほとんどは自動車の足回り部品、鋳鉄管のほとんどはダクタイル鉄管(直管、異形管など)である。その他のダクタイル鋳鉄を用いた製品の例を図表2-1-3-2に示す。

●図表2-1-3-2 ダクタイル鋳鉄を用いた製品例

マンホール蓋(FCD製)



日本鋳鉄管写真提供

橋梁用防護柵(FCD製)



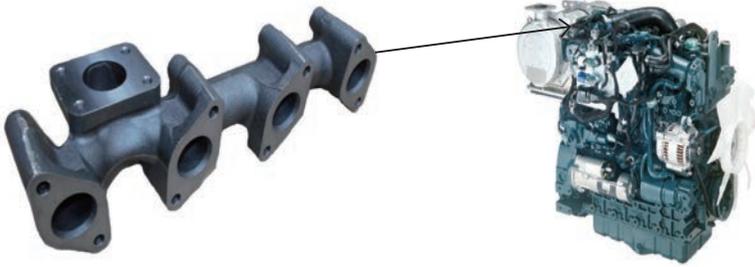
大阪高級鋳造鉄工写真提供

シールド工法用セグメント継手金物 (FCD製)



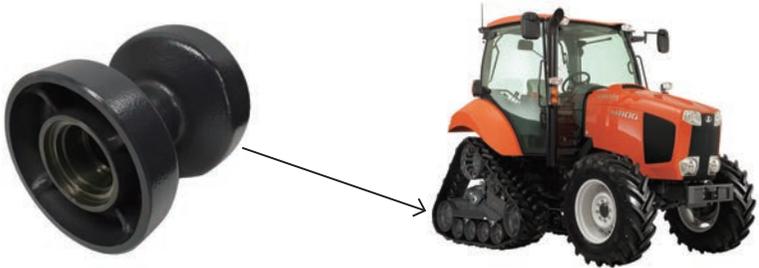
日本シールドセグメント技術協会写真提供

エキゾーストマニホルド (FCD製)



クボタ写真提供

トラックローラ (FCD製)



クボタ写真提供

2-2

ダクタイル鉄管の
管体・管路の特性

2-2-1 材料

1 化学組成

●図表2-2-1-1 ダクタイル鉄管と高級鑄鉄管の化学組成

(単位:%)

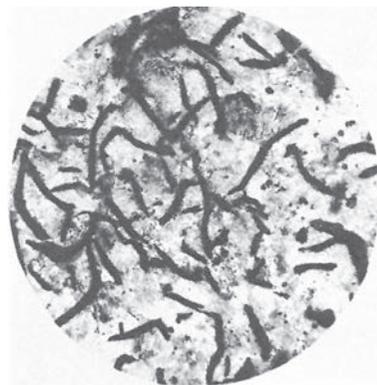
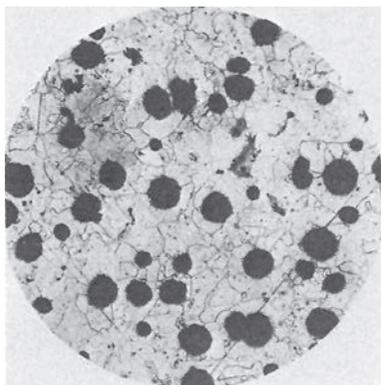
成分	ダクタイル鉄管	高級鑄鉄管
トータルカーボン(T.C)	2.8~3.7	3.2~3.8
シリコン(Si)	1.7~2.5	1.4~2.2
マンガン(Mn)	0.2~0.4	0.4~0.6
リン(P)	0.1以下	0.5以下
硫黄(S)	0.015以下	0.1以下
マグネシウム(Mg)	0.03以上	—

2 組織

●図表2-2-1-2 ダクタイル鉄管と高級鑄鉄管の組織

ダクタイル鉄管(フェライト組織)

高級鑄鉄管



3 物理的・機械的性質

●図表2-2-1-3 ダクタイル鉄管の物理的・機械的性質

項目	物性値
引張強さ (N/mm ²)	420以上 (JIS G 5526)
曲げ強さ (N/mm ²)	600 以上
伸び (%)	10以上 (JIS G 5526)
弾性係数 (kN/mm ²)	150~170
ブリネル硬さ (HB)	230以下 (JIS G 5526)
ポアソン比	0.28~0.29
比重	7.15

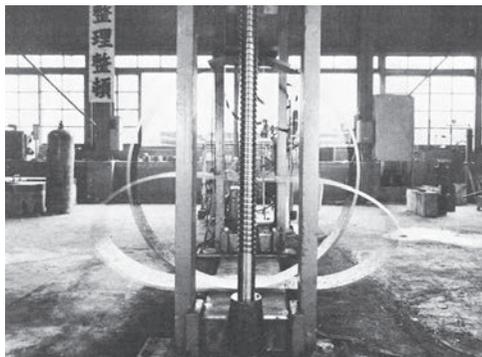
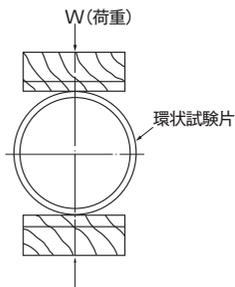
2-2-2 強度

1 へん平荷重に対する強度

ダクタイル鉄管と高級鋳鉄管から切り出した環状試験片に図表2-2-2-1に示す方法でへん平荷重を負荷し、荷重とたわみの関係を調査した。

図表2-2-2-2～6にへん平試験結果を示す。試験をした呼び径のいずれにおいて

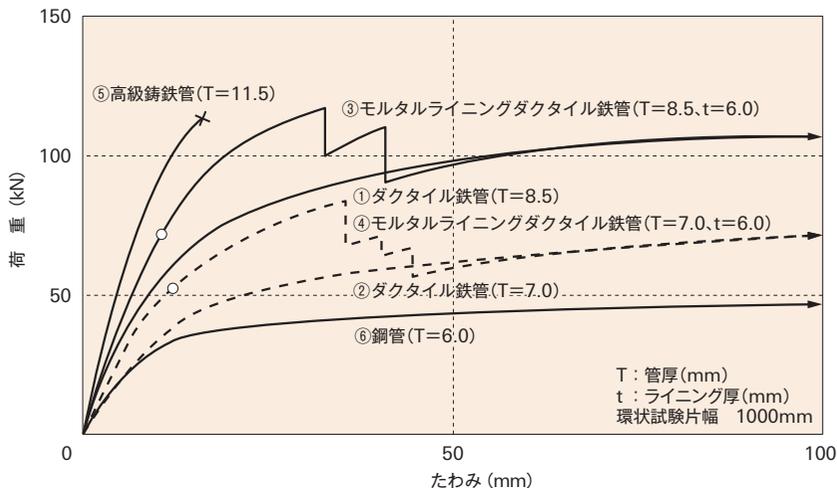
●図表2-2-2-1 へん平試験方法



も次のことがいえる。

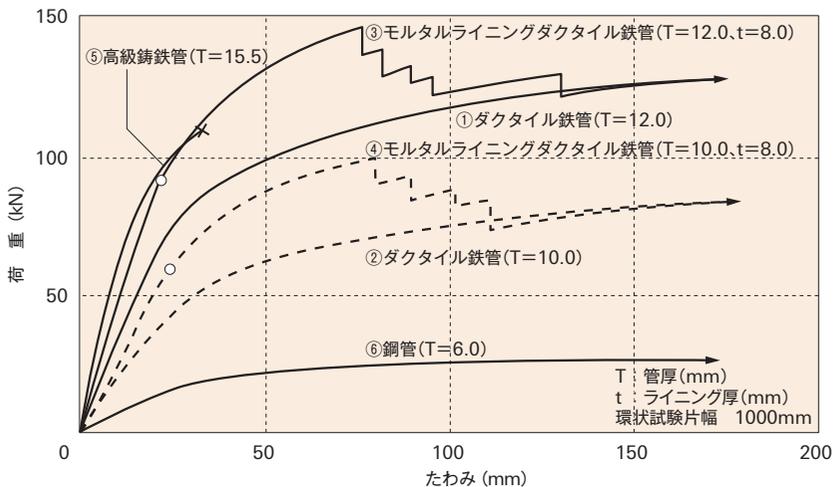
- ・ダクタイル鉄管は高級铸铁管よりも大きなたわみに耐える。
- ・モルタルライニング付きのダクタイル鉄管はモルタルライニングなしの同じ鉄管厚のダクタイル鉄管よりも大きな荷重に耐える。

●図表2-2-2-2 へん平試験結果 呼び径400



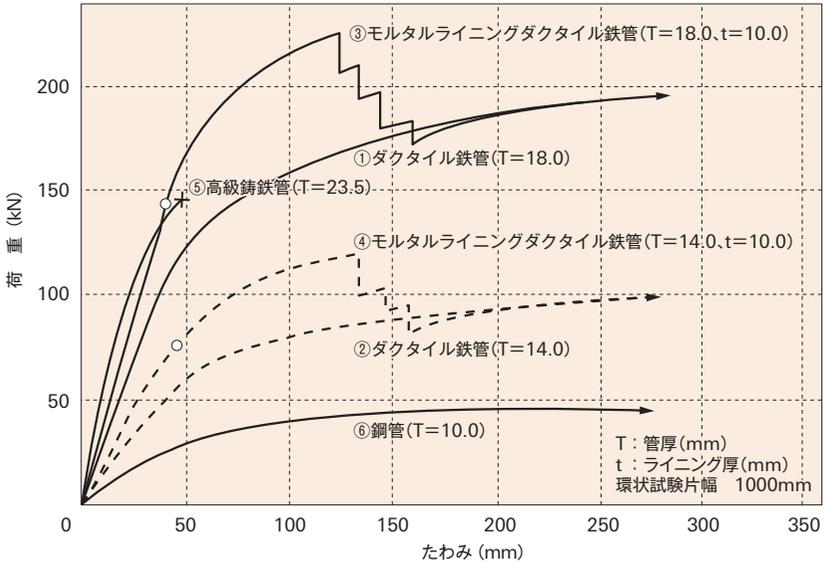
備考 図中の○はライニング部の表面に可視クラックの入るところ、グラフ線の下降部はライニング部の破断など、×は環状試験片の破壊を示す。

●図表2-2-2-3 へん平試験結果 呼び径700



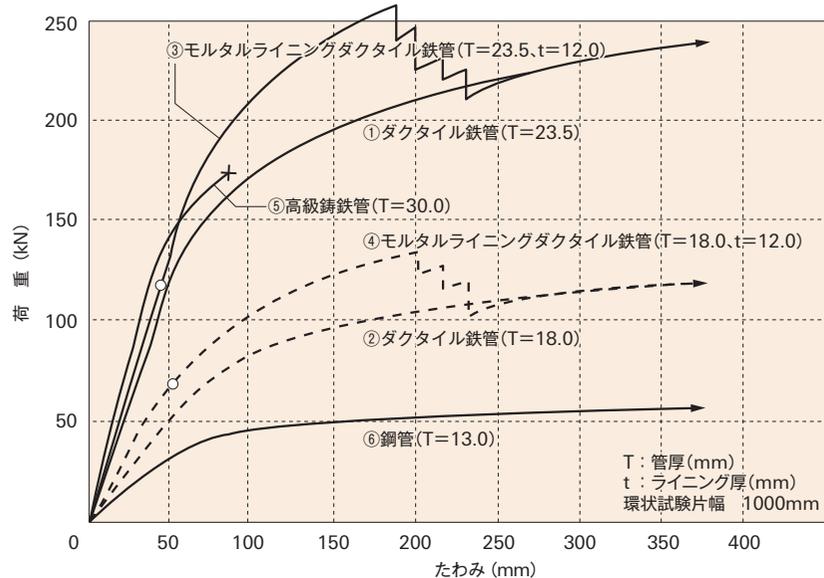
備考 図中の○はライニング部の表面に可視クラックの入るところ、グラフ線の下降部はライニング部の破断など、×は環状試験片の破壊を示す。

● 図表2-2-2-4 へん平試験結果 呼び径1100



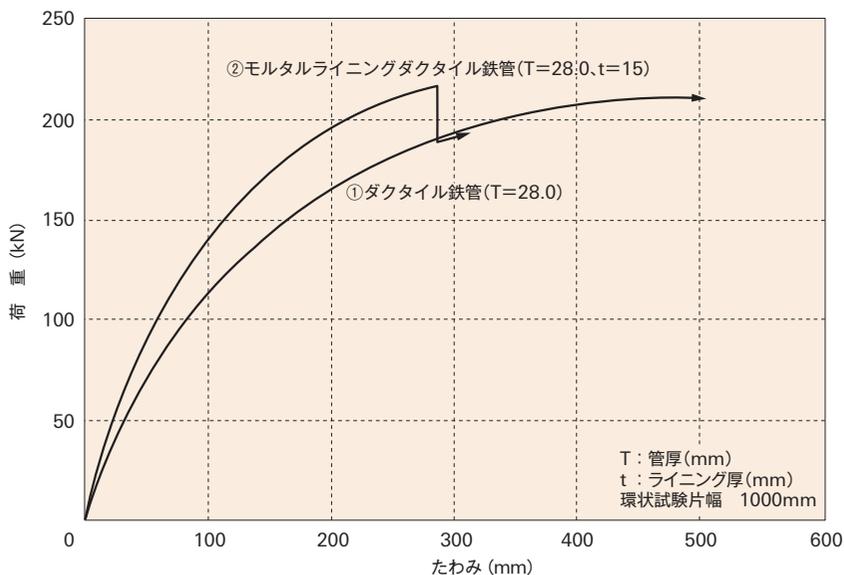
備考 図中の○はライニング部の表面に可視クラックの入るところ、グラフ線の下降部はライニング部の破断など、×は環状試験片の破壊を示す。

● 図表2-2-2-5 へん平試験結果 呼び径1500



備考 図中の○はライニング部の表面に可視クラックの入るところ、グラフ線の下降部はライニング部の破断など、×は環状試験片の破壊を示す。

●図表2-2-2-6 へん平試験結果 呼び径2200



2 モルタルライニングの補強効果

モルタルライニングの目的は防錆であるが、モルタルの圧縮強度が大きいため、結果的には管の補強にもなっている。しかし、管体の発生応力やたわみ率を安全側で評価するために、これらの計算にあたってはモルタルライニングによる補強効果は加味しない。

補強の程度は次式により求められる。

- ・ 同一荷重に対する応力減少係数：f

$$f = \frac{\pi}{2} \cos \phi_0$$

ここに、 ϕ_0 : モルタルライニングのある場合、曲げモーメントが³⁾0になる位置(水平軸基準)

- ・ 同一荷重に対するたわみの減少係数：g

$$g = \frac{1}{0.149} \left[\left(\frac{\pi}{4} - \cos \phi_0 \right) - \left(1 - \frac{I}{I^*} \right) \left(\frac{\phi_0}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\phi_0 \right) \right]$$

$$\frac{I}{I^*} = \frac{1}{1 + nm^3 + 3nm \frac{(1+m)^2}{1+nm}}$$

$$m = t_C / t_F$$

$$n = E_C / E_F$$

$$1 \frac{I}{I^*} = \frac{1 - \frac{\pi}{2} \cos \phi_0}{\sin \phi_0 - \phi_0 \cos \phi_0}$$

ここに、 E_F : 外殻管の弾性係数

E_C : モルタルの弾性係数

t_F : 外殻管の管厚

t_C : モルタルライニング厚さ

I : モルタルライニングのない場合の慣性モーメント

I^* : モルタルライニングのある場合の慣性モーメント

ϕ_0 : モルタルライニングのある場合、曲げモーメントが0になる位置(水平軸基準)

従って、モルタルライニングのない場合に外圧によって発生する応力を σ_0 、たわみを δ_0 とすると、同一条件下でライニングのある場合の応力 σ 、たわみ δ は次のようになる。

$$\sigma = f \sigma_0$$

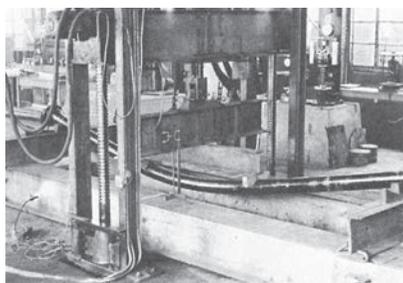
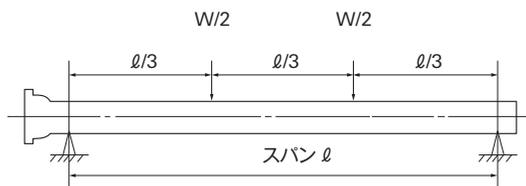
$$\delta = g \delta_0$$

規定厚さのモルタルライニングを施した場合、管の応力は1～2割減少し、たわみは2～3割減少する。

3 曲げに対する強度

管体を曲げた場合、高級铸铁管はある程度までたわむと破壊するが、ダクタイル鉄管は破壊しなかった。

●図表2-2-2-7 管体曲げ試験方法 呼び径100～400

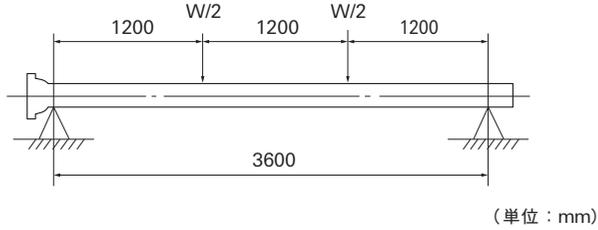


●図表2-2-2-8 管体曲げ試験結果 呼び径100～400

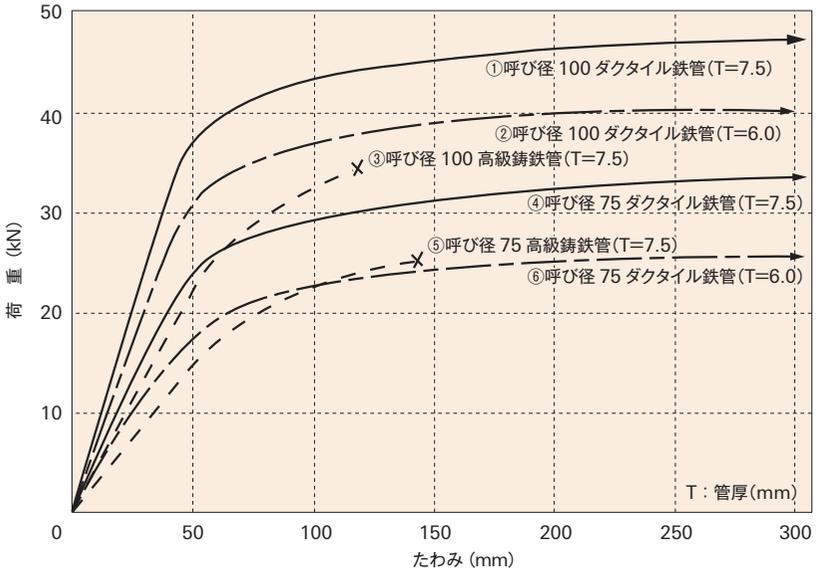
呼び径	管種	管厚 (mm)	最大荷重 (kN)	最大たわみ (mm)	スパン (m)	備考
100	ダクタイル鉄管	6.0	> 39.2	> 400	3.6	破壊せず
	高級铸铁管	7.5	34.3	135	3.6	破壊
150	ダクタイル鉄管	6.0	> 68.6	> 450	4.8	破壊せず
	高級铸铁管	8.0	64.7	150	4.8	破壊
200	ダクタイル鉄管	6.0	> 137.3	> 450	4.8	破壊せず
	高級铸铁管	8.8	124.5	125	4.8	破壊
250	ダクタイル鉄管	6.0	> 235.4	> 400	4.8	破壊せず
	高級铸铁管	9.5	205.9	100	4.8	破壊
300	ダクタイル鉄管	6.5	> 313.8	> 450	5.8	破壊せず
	高級铸铁管	10.0	227.5	130	5.8	破壊
400	ダクタイル鉄管	7.0	> 490.4	> 130	5.8	破壊せず ^{注1}
	高級铸铁管	11.5	459.9	100	5.8	破壊

注1 試験機能力490.4kNまで負荷。

● 図表2-2-2-9 管体曲げ試験方法 呼び径75・100

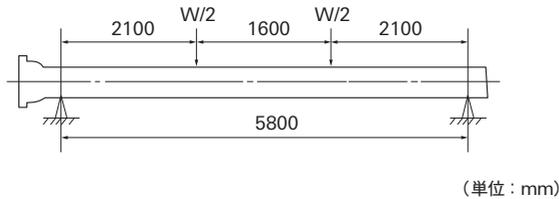


● 図表2-2-2-10 管体曲げ試験結果 呼び径75・100

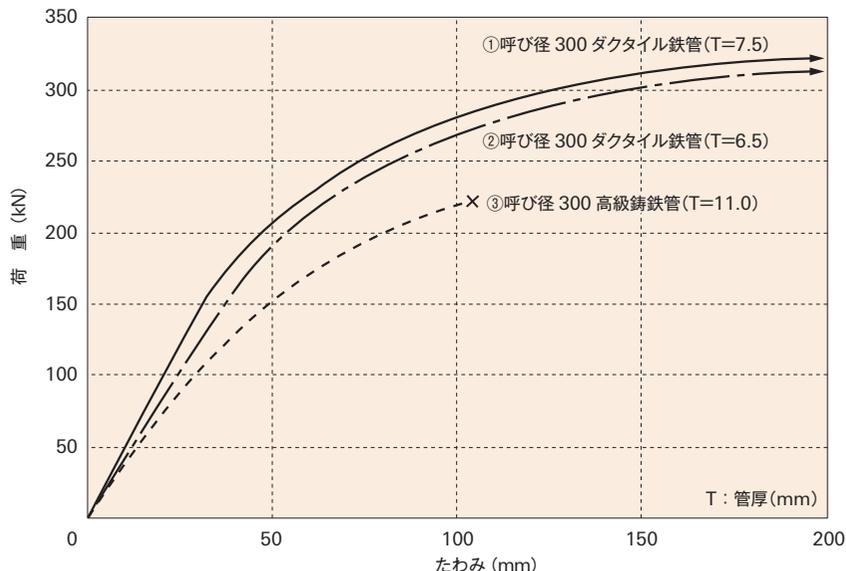


備考 図中の×は環状試験片の破壊を示す。

● 図表2-2-2-11 管体曲げ試験方法 呼び径300



●図表2-2-2-12 管体曲げ試験結果 呼び径300



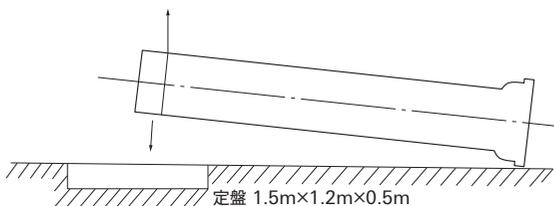
備考 図中の×は環状試験片の破壊を示す。

4 衝撃に対する強度

① 挿し口部耐衝撃試験

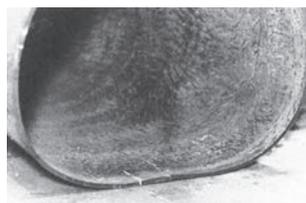
●図表2-2-2-13 挿し口部落下衝撃試験方法

管の挿し口のみを持ち上げ、初め0.25mの高さから、0.25mずつ高くしながら挿し口を鑄鉄製定盤上に落下させる。



●図表2-2-2-14 挿し口部落下衝撃試験結果

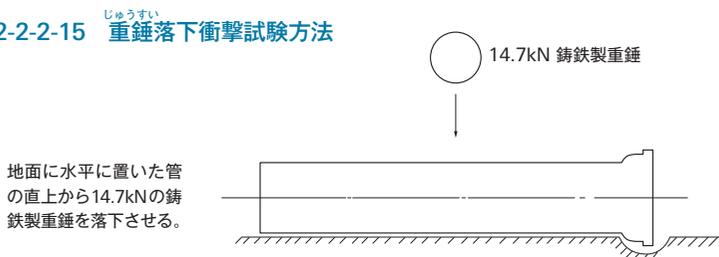
管種	呼び径900×6m 遠心力鑄造管	
	ダクタイル鉄管	高級鑄鉄管
質量(kg)	1836	2410
管厚(mm)	14.0	18.2
試験結果	落下高さ3mで挿し口にクラック	落下高さ0.25mで挿し口破壊



ダクタイル鉄管

2 管体耐衝撃試験

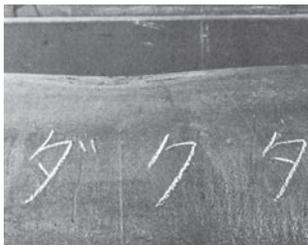
● 図表2-2-2-15 重錘落下衝撃試験方法



● 図表2-2-2-16 重錘落下衝撃試験結果

管種	呼び径900×6m遠心力铸造管	
	ダクタイル鉄管	高級铸铁管
管厚(mm)	14.0	18.2
試験結果	落下高さ3mで管体にクラック	落下高さ25cmで管体破壊

ダクタイル鉄管



ダクタイル鉄管は、衝撃点で管が凹むが、破壊せずにクラックが生じるのみ。

高級铸铁管



5 破裂水圧

ダクタイル鉄管の破裂水圧を図表2-2-2-17に示す。破裂水圧の値は次式より求めた計算値である。なお、製品検査に用いる試験水圧はJDKPA G 3000-2017などに定められており、この破裂水圧とは異なる。

$$P = \frac{2tS}{D}$$

ここに、P : 破裂水圧 (MPa)

S : 管材の引張強さ (420N/mm²)

t : 規定管厚から铸造公差10%(管厚10mm以下の場合1mm)を差し引いた管厚 (mm)

D : 管内径 (mm)

●図表2-2-2-17 破裂水圧 (計算値)

呼び径 (mm)	1種管		2種管		3種管		4種管		5種管		S種管		P種管	
	管厚 (mm)	破裂水圧 (MPa)												
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.0	72.4	—	—
75	7.5	88.2	—	—	6.0	50.6	—	—	—	—	6.0	50.6	—	—
100	7.5	52.0	—	—	6.0	38.8	—	—	—	—	6.0	38.8	—	—
150	7.5	35.0	—	—	6.0	26.4	—	—	—	—	6.5	29.2	—	—
200	7.5	26.3	—	—	6.0	20.0	—	—	—	—	6.5	22.1	—	—
250	7.5	21.1	—	—	6.0	16.0	—	—	—	—	6.5	17.7	—	—
300	7.5	17.6	—	—	6.5	14.8	—	—	—	—	7.0	16.2	—	—
350	7.5	15.1	—	—	6.5	12.7	—	—	—	—	—	—	—	—
400	8.5	15.3	7.5	13.2	7.0	12.1	—	—	—	—	7.0	12.1	—	—
450	9.0	14.5	8.0	12.7	7.5	11.7	—	—	—	—	—	—	—	—
500	9.5	13.9	8.5	12.2	8.0	11.4	—	—	—	—	—	—	—	—
600	11.0	13.6	10.0	12.3	9.0	10.9	8.5	10.2	7.5	8.8	10.0	12.3	—	—
700	12.0	12.7	11.0	11.6	10.0	10.5	9.0	9.3	8.0	8.1	11.0	11.6	10.0	10.5
800	13.5	12.5	12.0	11.1	11.0	10.1	10.0	9.2	9.0	8.1	12.0	11.1	11.0	10.1
900	15.0	12.4	13.0	10.7	12.0	9.8	11.0	9.0	9.5	7.7	13.0	10.7	11.0	9.0
1000	16.5	12.3	14.5	10.8	13.0	9.6	12.0	8.8	10.5	7.7	14.5	10.8	12.0	8.8
1100	18.0	12.2	15.5	10.4	14.0	9.4	13.0	8.7	11.0	7.3	—	—	13.0	8.7
1200	19.5	12.1	17.0	10.5	15.0	9.3	13.5	8.3	11.5	7.0	—	—	13.5	8.3
1300	21.5	11.9	18.5	10.2	16.5	9.1	15.0	8.2	12.5	6.8	—	—	15.0	8.2
1500	23.5	11.7	20.5	10.2	18.0	8.9	16.5	8.1	14.0	6.9	—	—	16.5	8.1
1600	25.0	11.7	22.0	10.3	19.0	8.8	17.5	8.1	14.5	6.7	—	—	—	—
1650	25.5	11.6	22.5	10.2	19.5	8.8	18.0	8.1	15.0	6.7	—	—	—	—
1800	28.0	11.7	24.0	10.0	21.0	8.7	19.5	8.1	16.0	6.6	—	—	—	—
2000	30.5	11.4	26.5	9.9	23.0	8.8	21.0	7.8	18.0	6.7	—	—	—	—
2100	32.0	11.4	28.0	10.0	24.5	8.7	22.0	7.8	18.5	6.5	—	—	—	—
2200	33.5	11.4	29.0	9.8	25.5	8.6	23.0	7.7	19.5	6.5	—	—	—	—
2400	36.5	11.5	31.5	9.9	27.5	8.6	25.0	7.8	21.0	6.5	—	—	—	—
2600	39.5	11.4	34.0	9.8	29.5	8.4	27.0	7.7	23.0	6.5	—	—	—	—

備考 切り捨てによって小数第一位までの数値として表示したものである。

2-2-3 耐食性

1 長期使用の実績

鑄鉄が長期間にわたって使用されてきたことは内外の多数の文献・実績が示している。特に鑄鉄管は多くの実績(図表2-2-3-1)があり、これらの内のいくつかは現在もなお使用されている。

ダクタイル鉄管は約60年の歴史があり、上水道をはじめとして、下水道、工業用水道、農業用水、ガス管などに広く用いられている。

●図表2-2-3-1 古くから使用されている鑄鉄管の例

国名	地名	埋設年
フランス	ベルサイユ	1664
	ウイルバーク	1703
	エーレン・ベレット	1727
	クリアモンド	1748
英国	ロンドン	1810
米国	フィラデルフィア	1822
	ボストン	1830
	セントルイス	1831
	リッチモンド	1832
	ニューヨーク	1833
	ランカスタ	1844
	メインランド	1848
日本	横浜	1885
	長崎	1887
	東京	1888
	大阪	1889
	神戸	1894

2 各種耐食性試験結果

鑄鉄は黒鉛とフェライト（純鉄に近い）の混合物であり、腐食作用においては、この黒鉛が腐食生成物と固着し、新たな腐食を抑制する方向に働く。この作用は「黒鉛化」と呼ばれ、これが鑄鉄材料の耐久性が優れている要因ともいわれている。

ダクタイル鉄管の耐食性は、種々の試験により確認されている。

① 水道水・蒸留水による耐食性試験結果

●図表2-2-3-2 水道水スプレーによる腐食量

(単位：g/cm²)

試料	45日間腐食後	90日間腐食後
ダクタイル鉄管	0.0060	0.0090
高級鑄鉄管	0.0060	0.0103
引抜鋼管	0.0170	0.0273
溶接鋼管	0.0294	0.0396

備考 スプレーガンにて水道水を霧化し、10時間吹き付け14時間休止し、乾湿を繰り返す試験を行った。

●図表2-2-3-3 水道水中浸漬試験における腐食量

(単位：mg/dm²/day)

試料	196時間浸漬
ダクタイル鑄鉄(鑄放し)	32.4
高級鑄鉄	34.9

備考 空気を吹き込み、加熱(90~95℃)40時間、総浸漬時間196時間。

〔第17回ダクタイル技術委員会資料〕(1958年)より

●図表2-2-3-4 蒸留水中浸漬試験における腐食量

(単位：mg/dm²/day)

試料	静置水中380日間浸漬	圧搾空気を吹き込み380日間浸漬
ダクタイル鑄鉄	6.1	19.1
高級鑄鉄管	6.2	19.3
鋼	7.5	24.5

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

② 海水・人工海水・食塩水等による耐食性試験結果

●図表2-2-3-5 海水中浸漬(連続)試験における腐食量

試料	mg/dm ² /day			mm/year		
	90日間浸漬	180日間浸漬	360日間浸漬	90日間浸漬	180日間浸漬	360日間浸漬
ダクタイル鉄管	24.0	16.1	13.2	0.122	0.081	0.066
高級鑄鉄管	24.9	16.4	14.5	0.127	0.083	0.073
鋼管	30.2	20.7	27.3	0.140	0.097	0.130

備考 海水中に浸漬し、機械的に攪拌して、腐食量を測定した。長期にわたるに従って、腐食量が減少しているのは腐食生成物の影響で、鋼管ではこの影響はほとんど見られない。

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

●図表2-2-3-6 海水・人工海水・蒸留水中浸漬試験における腐食量(380日後)

試料	mg/dm ² /day				mm/year			
	加圧して空気を 絶えず吹き込んだ場合			静置	加圧して空気を 絶えず吹き込んだ場合			静置
	海水	人工海水 ^{注1}	蒸留水	蒸留水	海水	人工海水 ^{注1}	蒸留水	蒸留水
ダクタイル鉄管	15.3	15.8	19.1	6.1	0.076	0.081	0.097	0.030
ねずみ鑄鉄管	17.0	19.4	19.3	6.2	0.086	0.097	0.097	0.030
低炭素鋼	23.5	25.4	24.5	7.5	0.109	0.119	0.114	0.036

注1 人工海水の組成は、NaCl : 30g、MgSO₄・7H₂O : 5g、MgCl₂・6H₂O : 6g、CaSO₄・2H₂O : 1.5g、KHCO₃ : 0.2g、蒸留水 : 1L

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

●図表2-2-3-7 海水中浸漬(繰返し)試験における腐食量

試料	mg/dm ² /day			mm/year		
	3カ月間 浸漬	6カ月間 浸漬	12カ月間 浸漬	3カ月間 浸漬	6カ月間 浸漬	12カ月間 浸漬
ダクタイル鉄管	44.5	43.9	43.0	0.226	0.234	0.218
ねずみ鑄鉄管	45.5	43.7	43.0	0.231	0.211	0.218
鋼管	62.5	64.0	64.0	0.292	0.300	0.300
低炭素鋼板	82.5	69.2	67.0	0.384	0.300	0.316

備考 海水中に20分ごとに浸漬と引上げの乾湿を繰り返して、腐食量を測定した。

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

●図表2-2-3-8 人工海水中浸漬試験における腐食量

(単位 : mg/dm²/day)

試料	380日間浸漬
ダクタイル鑄鉄	15.8
高級鑄鉄	19.4
鋼	25.4

備考 圧搾空気を吹き込み、380日間浸漬し、腐食量を測定した。

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

●図表2-2-3-9 食塩水中浸漬試験における腐食量

(単位 : mg/dm²/day)

試料	165時間浸漬
ダクタイル鑄鉄(鑄放し)	22.1
高級鑄鉄	36.2

備考 3%食塩水に165時間浸漬し、腐食量を測定した。

「第17回ダクタイル技術委員会資料」(1958年)より

③ 酸・アルカリによる耐食性試験結果

●図表2-2-3-10 塩酸溶液中浸漬試験における腐食量 (単位：g/cm²)

試料	0.2%塩酸			1%塩酸			5%塩酸		
	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr
ダクタイル鉄管	0.0257	0.0284	0.0328	0.0300	0.0429	0.0515	0.0404	0.0609	0.0821
高級铸铁管	0.0256	0.0331	0.0331	0.1062	0.1396	0.1516	0.1849	0.5113	0.6899

●図表2-2-3-11 硝酸溶液中浸漬試験における腐食量 (単位：g/cm²)

試料	0.2%硝酸			1%硝酸			5%硝酸		
	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr
ダクタイル鉄管	0.0164	0.0179	0.0196	0.0594	0.0779	0.0814	0.3112	0.3959	0.4342
高級铸铁管	0.0156	0.0175	0.0204	0.0771	0.0812	0.0902	0.3286	0.3927	0.3997

●図表2-2-3-12 硫酸溶液中浸漬試験における腐食量 (単位：g/cm²)

試料	0.2%硫酸			1%硫酸			5%硫酸		
	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr
ダクタイル鉄管	0.0244	0.0322	0.0336	0.0272	0.0367	0.0437	0.0311	0.0711	0.1162
高級铸铁管	0.0290	0.0366	0.0369	0.0818	0.1716	0.1812	0.1747	0.3553	0.4693

●図表2-2-3-13 苛性ソーダ溶液中浸漬試験における腐食量 (単位：g/cm²)

試料	5%苛性ソーダ	30%苛性ソーダ
	180日	180日
ダクタイル鉄管	0.0075	0.0029
高級铸铁管	0.0076	0.0030

●図表2-2-3-14 酸溶液・アルカリ溶液・海水中浸漬試験における腐食量 (単位：mg/dm²/day)

試料および組織 ^{注1} F.G：片状黒鉛 N.G：球状黒鉛 P：パーライト F：フェライト	10%苛性ソーダ		海水		10%硫酸アンモニア		1%塩酸		5%硫酸	
	50℃		20℃		20℃		20℃		50℃	
	730Hr	736Hr	480Hr	454Hr	121Hr	120Hr	46Hr	49Hr	65min	3Hr
	F.G+P	3.3	3.7	55	48.0	167	124	5950	5600	300800
N.G+P(鑄放し)	1.3	2.5	69	49.5	145	85	820	1087	186500	246700
N.G+F(焼鈍)	1.9	2.0	70	49.6	101	76	413	704	22930	38600

注1 各試料の化学成分

(単位: %)

試料	C	Si	Mn	S	Ni	Mg
F.G+P	3.5	2.55	0.49	0.009	0.73	—
N.G+P(鑄放し)	3.5	2.38	0.49	0.009	0.71	0.078
N.G+F(焼純)	3.5	2.38	0.49	0.009	0.71	0.078

A.B.Everst "Foundry Tr. Jr" 1950

●図表2-2-3-15 硫酸中浸漬試験における腐食量

(単位: mg/cm²/hour)

試料	硫酸濃度(20℃)				硫酸濃度(100℃)			
	0.5%	5%	10%	33%	0.5%	5%	10%	33%
ダクタイル鉄管	2.7	6.3	12.0	9.4	127	308	415	620
ねずみ鑄鉄管	3.4	6.6	14.6	13.5	92	276	370	470
鋼板	3.9	9.6	16.0	16.0	189	334	515	1250

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion" May, 1957

●図表2-2-3-16 各種酸溶液中浸漬試験における腐食量

(単位: mg/cm²/hour)

試料	20℃			100℃	
	50%塩酸	30%硝酸	30%醋酸	50%塩酸	30%醋酸
ダクタイル鉄管	13	229	0.7	750	34
ねずみ鑄鉄管	25	222	0.7	522	48

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion" May, 1957

●図表2-2-3-17 硫酸溶液中浸漬試験における腐食量

試料		mg/dm ² /day	mm/year
ダクタイル鑄鉄	(鑄放し・パーライト組織)	27000	137
	(焼純・フェライト組織)	16000	81
ねずみ鑄鉄	(鑄放し・パーライト組織)	30000	168
	(焼純・フェライト組織)	40000	203

備考 空気で飽和させた5% 30℃の硫酸中に浸漬し、24時間4.8m/minで試験片を動かして、腐食量を測定した。

F.L.LaQue "Corrosion" Oct.1958

●図表2-2-3-18 各種溶液中の浸漬試験における腐食量

(単位: mg/dm²/day)

試料	溶液		
	5% FeSO ₄	5% FeCl ₃	5% NaCl
ダクタイル鉄管	5.41	88.2	4.91
高級鑄鉄管	8.81	87.0	6.84

備考 各種溶液に6カ月間浸漬し、腐食量を測定した。

4 大気中の耐食性試験結果

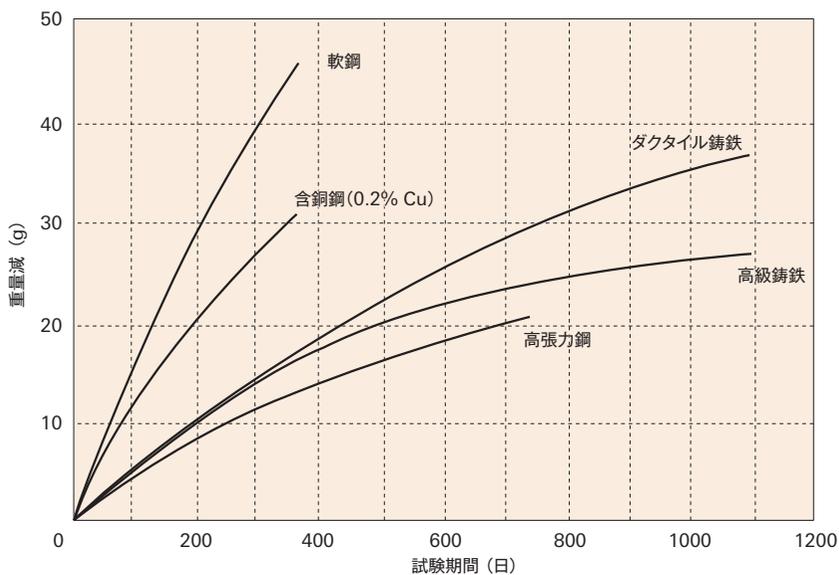
●図表2-2-3-19 各種铸铁材・鋼材の大気腐食試験における腐食量 (単位: mg/dm²/day)

試料	大気暴露試験地						
	御前崎	枕崎	輪島	高山	帯広	川崎	東京
キルド鋼	4.18	3.17	2.60	1.97	1.72	17.45	8.03
リムド鋼	4.50	3.48	3.01	2.09	1.85	17.05	7.69
ねずみ铸铁	2.54	2.83	3.80	2.85	3.30	9.69	4.95
ダクタイル铸铁	2.96	1.87	1.99	1.66	2.05	9.22	5.88

備考 全国7か所(海岸地域、内陸地域、工業地域)において5年間大気中に曝露し、腐食量を測定した。

堀川一男、瀧口周一郎、石津善雄、金指元計「各種金属材料および防錆被覆の大気腐食に関する研究(第5報)」『防蝕技術』Vol.16、No.4(1967年)より

●図表2-2-3-20 大気中の鋼・高級铸铁・ダクタイル铸铁の腐食試験結果



備考 米国クルピーチの沖80フィートの海洋にて、4×6インチ試験片を用いて腐食量を測定した。

F.L.La Que "Corrosion" Oct.1958

●図表2-2-3-21 ダクタイル鑄鉄・鋼の大気腐食試験における腐食量 (単位: mg/dm²/day)

試験片種類	試験片表面 状況	地域名		農業地域				工業地域			
		試験地名		Point Keyes, Calif.		Kure Beach, N.C.		New York N.J.		E.Chicago Ind.	
		試験期間		1年	3年	1年	3年	1年	3年	1年	3年
ダクタイル鑄鉄 (フェライト)	as cast	9.0	1.0	18.8	5.1	15.1	4.8	12.9	1.2	11.2	2.2
ダクタイル鑄鉄 (フェライト)	machined	5.6	1.8	7.3	2.2	9.0	5.0	8.8	1.0	13.5	1.7
ダクタイル鑄鉄 (パーライト)	as cast	6.2	1.4	11.3	2.0	9.6	3.2	11.4	7.0	14.3	2.3
ダクタイル鑄鉄 (パーライト)	machined	5.0	0.9	6.8	2.2	8.2	3.0	7.0	0.9	9.3	1.4
軟鋼	Rolled	9.7	3.0	24.4	21.7	30.2	15.1	17.6	3.4	14.7	3.8

備考 ASTM (American Society for Testing Materials) が米国の農業地域、海岸地域、工業地域の5カ所において腐食量を測定した。

Proceedings of ASTM vol.61.1961, vol.62.1962

5 Beach Soil中の耐食性試験結果

●図表2-2-3-22 Beach Soil中埋設試験における腐食量 (単位: mm/year)

試料	試験地	
	Le Touquet	Mont St. Michel
ダクタイル鑄鉄	1.19	1.14
ねずみ鑄鉄	1.75	1.09

備考 埋立地は潮の干満の影響を受け、腐食性の強い土壌である。この土壌中に試験片を3年間埋設し、腐食を測定した。

F.L.La Que "Corrosion" Oct.1958

●図表2-2-3-23 臨海地帯に埋設したダクタイル鉄管の外面状況



瀬戸内海地方の臨海地帯において、海水面以下に埋設されている呼び径1350ダクタイル鉄管の4年後の外面状況を調査した結果、塗料は全面に顕在であり、発錆はほとんどなく良好な状態であった。

6 海水中の鑄鉄管の耐久性

●図表2-2-3-24 海水中の鑄鉄管の耐久性の事例

使用地方名	埋設年	調査年	使用期間	状 況
Venice. Italy	1884	1952	68	管は湖の底に敷設され、68年後においても良好な状態にあった。
Cannes. France	1890	1949	59	現在これらの管は他の地方で使用に供されている。
	1901	1949	48	
Beyrouth. Lebanon	1875	1953	78	同上。
Calais, France	1906	1952	46	管は良好な状態にあった。
Barcelona, Spain	1912	—	—	管は現在まだ使用しており、非常に良好な状態にある。
Boulogne, France	1884	—	—	管は1952年まで(68年間)使用されていた。
Trouville, France	1890	—	—	管は現在まだ使用しており、非常に良好な状態にある。
Antibes, France	1902	—	—	管はまだ使用されている。同じ場所に埋設された鋼管は、12年後に腐食した。
	1935	—	—	
Nice, France	1904	—	—	管はまだ使用されており、良好な状態にある。1934年6%銅合金鋼管の新設管の一部が同じ場所に敷設された。これらの管は、10年後、鑄鉄管と置き換えられることとなった。

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion" May, 1957

3 管路の耐食性とその実績

埋設された管路の腐食には、まず土壌側の物理的・化学的性質などが大きな影響を及ぼす。これに対し管路側は、管が管路として長距離にわたって電氣的につながっているかどうか腐食に対し大きな因子となる。土壌は埋設管路に沿って、一様な組成・性状を示すものではなく、その差異に基づき、酸素濃淡などの局部電池を形成する可能性が高い。従って、それらの土壌を貫いて電氣的連続体となった場合は、長大電流(Long Line Current)が生じ、それが流出する部分において非常に激しい腐食を生じることがある。このような現象は、継手部が溶接などで接合された鋼管管路で認められる場合が多い。

一方、ダクタイル鉄管管路の継手部は、ゴム輪を介して接合されているため、管路として電氣的な抵抗体となっており、長大電流が発生しにくい構造である。また、この特性により、土壌中に迷走電流が存在する場合でもダクタイル鉄管管路は影響

を受けにくい。

ダクタイル鉄管管路の耐食性は、実管路における過去の腐食による漏水事故の統計などに示されている。図表2-2-3-25～27に参考データを示す。

●図表2-2-3-25 各管種の平常時事故率

管種	継手 ^{注1}		管路数	延長 (km)	事故数 (件) (3年間)	事故率 (件/km) (3年間)	事故の種類別事故数					管種別 事故率 (件/km) (3年間)	管種別 事故率 (件/km/年)
							継手の 緩み ^{注2}			亀裂	腐食		
							(1)	(2)	(3)				
石綿 セメント管	直管	異形管	283	39.62	37	0.934	1	1	—	35	0	1.21	0.40
		CA							G				
	CS	CS	14	1.49	3	2.013	0	0	—	3	0		
	CS	G	1	0.07	0	0	0	0	—	0	0		
	G	G	515	80.33	107	1.332	24	2	—	81	0		
鋳鉄管	SO		2701	439.22	416	0.947	—	—	62	338	16	0.74	0.25
	M		1280	200.09	54	0.270	—	—	3	47	4		
ダクタイル 鉄管	SO		6	1.07	0	0	—	—	0	0	0	0.05	0.02
	M		5026	740.06	37	0.050	—	—	4	32	1		
鋼管	SO		57	10.32	15	1.453	—	—	1	1	13	0.83	0.28
	W		79	11.67	0	0	—	—	0	0	0		
	SC		164	12.29	14	1.067	—	—	2	6	6		
硬質塩化 ビニル管	TS		184	30.75	45	1.463	—	—	40	5	0	1.48	0.49
	RR		3	0.36	1	2.777	—	—	0	1	0		

注1 継手の記号

管種	継手	
石綿セメント管	CA	石綿セメント継手
	CS	鋼板製継手
	G	鋳鉄製継手(ギボルト)
鋳鉄管	SO	ソケット継手(印籠)
	M	メカニカル継手
ダクタイル鉄管	SO	ソケット継手(印籠)
	M	メカニカル継手
鋼管	SO	ソケット継手(印籠)
	W	溶接継手
	SC	ねじ込み式継手
硬質塩化ビニル管	TS	接着継手
	RR	ゴム輪型継手

注2 継手の緩み

- (1) 石綿セメント管直管部
- (2) 石綿セメント管異形管部
- (3) 石綿セメント管以外

備考 1983～1985年度の全国20事業者の集計である。

「水道管路更新システム開発調査報告書」(厚生労働省)より

●図表2-2-3-26 各管種の平常時事故率(東京都水道局)

(単位: 件/km/年)

事故内容		昭和56年度		昭和57年度		昭和58年度		3力年平均	
		件数	事故率	件数	事故率	件数	事故率	件数	事故率
自然漏水管体事故 (破損・腐食・継手)	铸铁管	1101	0.0874	933	0.0730	1207	0.0934	1080.4	0.0846
	内FCC、FCM	1058	0.2067	896	0.1842	1165	0.2544	1039.7	0.2142
	内FCD	43	0.0057	37	0.0047	42	0.0050	40.7	0.0051
	鋼管	63	0.2704	53	0.2284	50	0.2174	55.3	0.2387
	石綿管	188	0.3118	146	0.2561	165	0.3107	166.3	0.2928
小計		1352	0.1006	1132	0.0834	1422	0.1039	1302.0	0.0959
その他	弁類・消火栓等	2636	0.1961	2199	0.1620	1861	0.1360	2232.0	0.1645
	他企業関連事故等	712	(0.0530)	639	(0.0471)	548	(0.0400)	633.0	(0.0467)
合計		4700	0.3497	3970	(0.2924)	3831	0.2799	4167.0	(0.3071)

備考 事故率については、それぞれの年度末管路延長で計算した。他企業関連事故はそのときの他企業の工事量、東京という都市の特殊性によるところが多いため、関連するものを()内に参考値として示した。

FCC: ソケット継手铸铁管

FCM: メカニカル継手铸铁管

FCD: ダクタイル铸铁管(メカニカル継手およびT形継手)

川北和徳「配水管破損事故における季節変動の実態とその分析」『水道協会雑誌』(1986年5月)より

●図表2-2-3-27 铸铁管および鋼管の腐食事故総件数総括表(東京ガス・大阪ガス)

管種	東京ガス 7年間(昭和30年4月～38年4月(32年は除く))			大阪ガス 10年間(昭和30年4月～42年3月(31、36年は除く))		
	配管延長	事故総件数	配管1km当たり 事故件数	配管延長	事故総件数	配管1km当たり 事故件数
铸铁管	7162km	84件	0.012件/km/7年	5968km	61 ⁽³⁾ 注1件	0.010件/km/10年 (0.0005) ^{注1}
鋼管	492km	119件	0.242件/km/7年	1364km	360 ⁽⁶⁷⁾ 注1件	0.264件/km/10年 (0.049) ^{注1}

注1 ()内の数字は電食事故件数を示す。

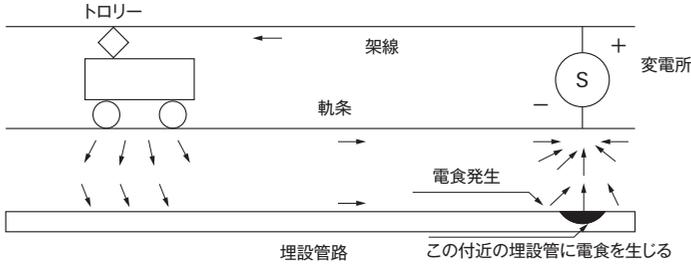
「埋設管路の腐食原因とその防食について J D P A T11」(日本ダクタイル鉄管協会)より

2-2-4 耐電食性

1 電食の原理

一般に埋設された金属体に測定し得る程度の電流が流れ、これにより金属体が腐食される現象を電解腐食、略して電食という。電食は主に電鉄軌条からの漏洩電流により発生する(図2-2-4-1)。

●図表2-2-4-1 電鉄による電食概念図



電食防止対策としては、以下のような種々の方法がある。

- ・ 絶縁物による遮蔽^{しゃへい}

遮蔽物の設置

絶縁物の被覆(プラスチック被覆: ポリエチレンスリーブ法、ポリエチレンコーティングなど)

- ・ 電気伝導体による遮蔽
- ・ 排流法(選択排流法、強制排流法)

2 耐電食性

ダクタイル鋳鉄は図表2-2-4-2のように鋼に比べて比抵抗が比較的大きく、さらに、ダクタイル鉄管はゴムを介して接続されるため、管路として電気的な抵抗体となるので電食の影響を受けにくい。

●図表2-2-4-2 ダクタイル鋳鉄と鋼の比抵抗

(単位: $\mu\Omega \cdot m$)

材 質	比抵抗
ダクタイル鋳鉄	0.5~0.7
鋼	0.1~0.2

3 継手部の電気抵抗値

ダクタイル鉄管管路の継手部は、管1本ごとにゴム輪を介して接合されているため、いずれの継手部も高い電気的接触抵抗を持っている。従って、管路は1本ごとに電気的に不連続となり、迷走電流の帰路になりにくく電食を受けにくい。代表的な接合形式における継手部の電気抵抗値を図表2-2-4-3に示す。

●図表2-2-4-3 継手部の電気抵抗値

(単位：Ω)

接合形式	継手部の電気抵抗値
GX形	3000以上 ^{注1}
NS形	3000以上 ^{注2}
S形	100～300 ^{注2}
US形	100～200 ^{注2}
K形	1000以上 ^{注2}
T形	1000以上 ^{注2}
U形	100～300 ^{注2}

注1 JDPA調べによる。

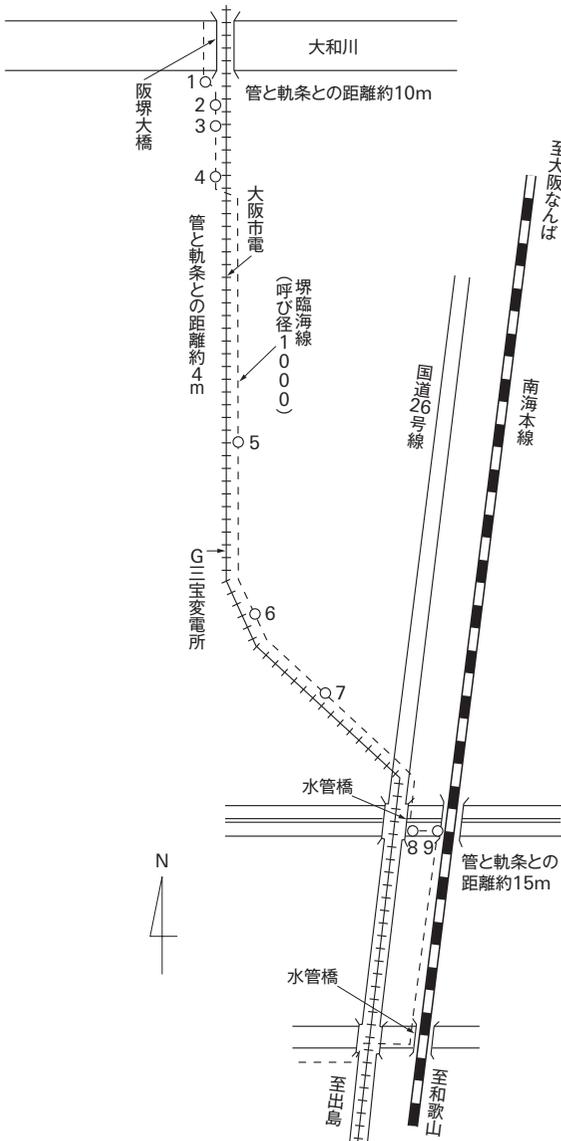
注2 関西電食防止対策委員会『電食防止対策のてびき(第6版)』(文献社、2009年)による。

4 耐電食性調査結果

関西電食防止対策委員会水道管小委員会は、大阪府営工業用水道(現大阪広域水道企業団工業用水道)堺臨海線の最も電食の可能性が高いと思われる地域について、電氣的測定を行った結果を次のように報告している。

- ①測定地点No.1、5、6、7、9の各地点における自然状態での対地電位は、-500～-580mV(対硫酸銅標準電極)であり、ほぼ鉄鋼材料の自然電位を示している。
- ②各地点における管路の自然状態での対地電位は変動を示さず一定の値で安定している。
- ③朝夕のラッシュ時と昼間の閑散時とで、管路の自然状態での対地電位は変化しない。
- ④変電所のすぐ近くと変電所から若干離れた地点における管路の自然状態での対地電位には特別目立った差異はない。
- ⑤以上①～④から、この管路は電車軌条と並行して埋設されているのにもかかわらず、そのレールからの迷走電流の影響を受けることはなく、この調査に含まれる範囲では電食の危険性はほとんどないものといえる。これは、この管路を形成している鑄鉄管がメカニカル継手で接続されており、一本の完全なLong Lineを形成していないことが原因と考えられる。
- ⑥管路と軌条をボンドすると、流れる電流に応じて管の対地電位は変動するが、これは軌条の電位がほぼそのまま鉄管の対地電位に現れてきたものと考えられる。

● 図表2-2-4-4 大阪府営工業用水道堺臨海線(呼び径1000)堺付近管路図



備考 図内の1~9は管路のマンホールの位置を示す。

「大阪府営工業用水道堺臨海線電食調査結果報告書」(関西電食防止対策委員会水道管小委員会、1954年2月)より

2-2-5 耐震性

1 耐震継手管路の特徴

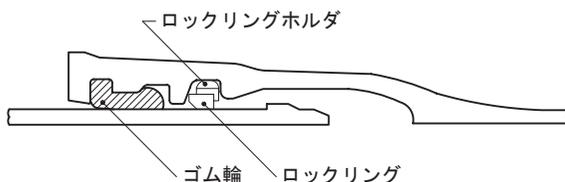
① 継手部の機能と管路の挙動

K形やT形などの管路では、大きな地震や他の埋設物工事など埋設環境の大きな変化を受けた場合などに継手が離脱する被害が発生してきた。いつでも安定した水供給を可能とするためには、伸縮離脱防止継手を有するダクタイル鉄管の布設が有効である。

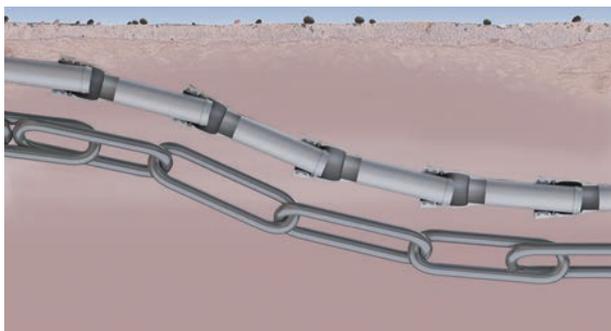
伸縮離脱防止継手の例として、最も多く使用されているGX形の継手構造を図表2-2-5-1に示す。継手部は伸縮・屈曲でき最終的に受口内面にセットされたロックリングが挿し口突部に引っ掛かることによって継手の離脱を防止する構造となっている。

このように伸縮・屈曲、離脱防止機構を有する継手を使用した管路は、図表2-2-5-2のように地盤沈下や地盤亀裂などの大きな地盤の動きに対しても柔軟に順応でき、あたかも地中に埋められた鎖のように挙動することから、「鎖構造管路」と呼ばれている。図表2-2-5-3には管路の吊上げ試験状況を示す。管路は地盤の大きな変位を吸収できることが分かる。

●図表2-2-5-1 GX形の継手構造



● 図表2-2-5-2
鎖構造管路の概念図



● 図表2-2-5-3
GX形の
吊上げ試験状況



② 接合形式と継手性能

伸縮離脱防止継手および離脱防止継手の接合形式と継手性能を図表2-2-5-4に示す。離脱防止力は、いずれも3DkN(D:呼び径)であり、例えば呼び径500の場合は $3 \times 500 = 1500\text{kN}$ の引張力(乗用車1台分の重さを約6.86kN(約700kg)とすると、約218台分を吊り上げる力に相当)に耐える。なお、UF形や耐震継手にライナを装着した直管は異形管部で水圧による不平均力によって管路が動かないように一体化する用途に用いられ、継手部は伸縮できない。

● 図表2-2-5-4 伸縮離脱防止継手および離脱防止継手の接合形式と継手性能の例

接合形式	一般的な用途	離脱防止力 (kN)	伸縮量 (mm)
GX形、NS形、 NS形(E種管)、S50形、S形	開削工法	3D	±L/100
UF形	異形管防護	3D	0
US形	開削工法、推進工法、 トンネル内配管工法	3D	+L/100
P II形、PN形、 PN形(JP方式及びCP方式)	PIP工法、 トンネル内配管工法	3D (P II形は1.5D)	+L/100

備考 D:呼び径 L:管長(mm)

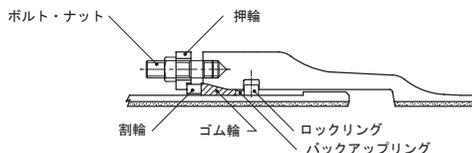
2 地震時の管路挙動観測による耐震性の検証

① 地震時の管路挙動観測

青森県八戸市はメーカー（製造業者）と共同で1975（昭和50）年5月から耐震設計に基づいて布設された白山浄水場系S形管路の安全性の確認、耐震研究の資料収集を目的として地震時の地盤および管路の挙動観測を行っている。S形は、図表2-2-5-5に示すように継手部で引張り、圧縮、曲げ方向に対して広い範囲にわたって自由に動き、挿し口突部とロックリングとの掛かり合いによる離脱防止機能を有している。

観測所は、幹線、白山浄水場内、下長の3カ所に設置されている（図表2-2-5-6）。1977（昭和52）年7月より観測を始めた下長観測所（S形呼び径1000の管路）の測定計器を図表2-2-5-7に示す。地盤については管路位置で60mの正三角形各頂点の3カ所に地震計（加速度、速度、変位：X・Y方向）、60m間隔の2カ所に地盤ひずみ計（2点）と地表面下約45mに地震計（加速度：X・Y方向）を設置し、管路については60m間隔の2カ所に管体加速度計（X・Y方向）、管体ひずみ計（左・右）、継手部伸縮計（4点）を設置しており、総数42チャンネルを同時測定できる。

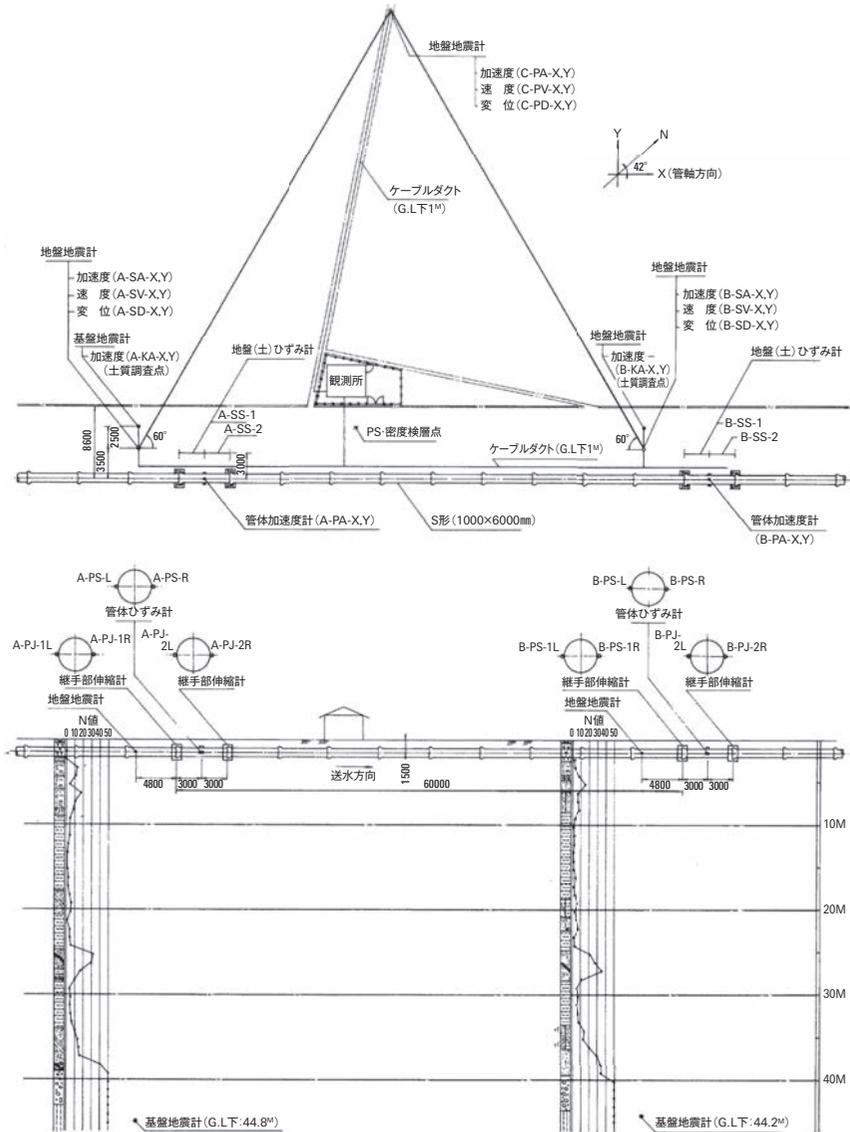
●図表2-2-5-5 S形の構造



●図表2-2-5-6 八戸市の観測所位置図



● 図表2-2-5-7 下長観測所の測定計器



Chapter 1
Chapter 2
Chapter 3
Chapter 4
Chapter 5
Chapter 6
Chapter 7
Appendix

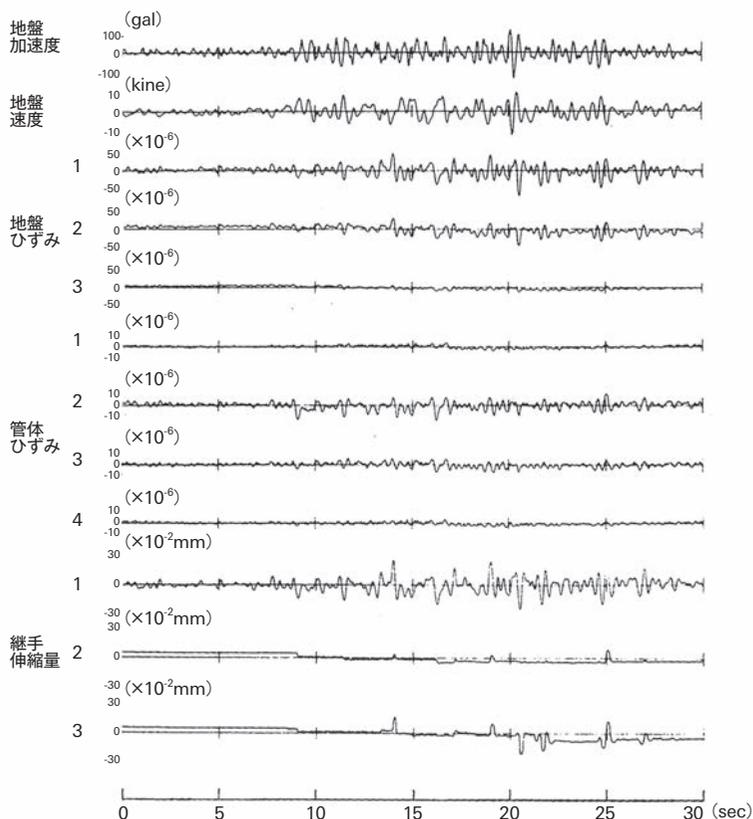
② 地震時の地盤および管路の挙動

宮城県沖地震(1978<昭和53>年6月12日17時14分)時に幹線観測所で得られた波形の一部を図表2-2-5-8に示す。

波形は上より地盤加速度、地盤速度、地盤ひずみ、管体ひずみ、継手伸縮量を示しており、次のことが分かる。

- ・ 地盤ひずみの波形から地盤が伸縮する変形挙動が分かる。
- ・ 管体ひずみ、継手部の伸縮は地盤ひずみと同一の位相、挙動を示している。
- ・ 管体ひずみの波形より、管体は引張り、圧縮力を受け、同一時刻で継手部も伸縮している。
- ・ すなわち、地盤のひずみが管体にひずみを発生させ、また、管体に発生したひずみ(力)を継手部の伸縮で逃がしていることが分かる。

●図表2-2-5-8 記録波形の一例(宮城県沖地震：1978<昭和53>年6月12日17時14分、M7.4)

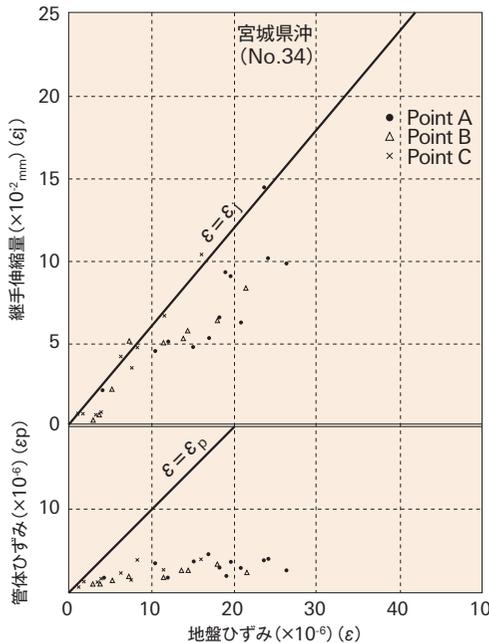


また、地盤ひずみと管体ひずみ、継手伸縮量の関係を見るために、宮城県沖地震の波形で同一時刻に読み取ったものを図表2-2-5-9に示す。図中で、 $\varepsilon = \varepsilon_p$ の線は地盤ひずみを全て管体で受け持ったと仮定した場合、 $\varepsilon = \varepsilon_j$ の線は地盤ひずみを全て継手部で受け持ったと仮定した場合を示す。この図より、次のことが分かる。

- ・ 地盤のひずみが大きくなると、継手伸縮量が大きくなる。
- ・ 一方、管体ひずみはある一定値以上大きくならない。
- ・ すなわち、管路に発生するひずみ(力)をほとんど全て継手部で逃がしていることが分かる。

宮城県沖地震などにおいて、地盤と管路の挙動関係が明確になり、伸縮離脱防止継手は地盤の変形を継手部で逃がすので、地震に対して非常に有効であることが分かった。

● 図表2-2-5-9 地盤ひずみによる管体のひずみと継手部の伸縮

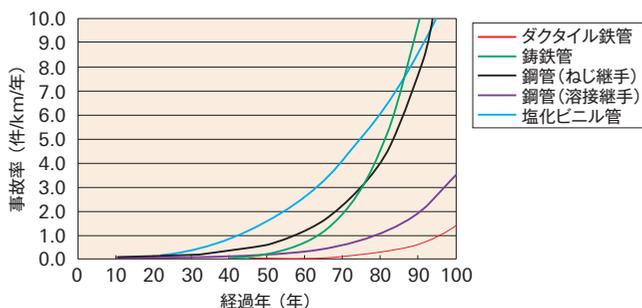


2-2-6 長期耐久性

1 経年管の事故率（他管種との比較）

経年管の事故率を図表2-2-6-1に示す。ダクタイル鉄管（一般継手）の平常時の事故率は他管種に比べて非常に小さい値である。

●図表2-2-6-1 管種別布設年数と事故率



管種	基準状態（呼び径区分）
ダクタイル鉄管	ポリエチレンスリーブなしおよび良い地盤（呼び径50～250）
鋳鉄管	良い地盤（呼び径75～250）
鋼管	ねじ継手および良い地盤（呼び径50～150）
	溶接継手および良い地盤（呼び径200～450）
塩化ビニル管	TS継手および良い地盤（呼び径100～150）

水道技術研究センター「持続可能な水道サービスのための管路技術に関する研究（e-pipeプロジェクト）報告書」（2011年）より

2 経年管の機械的性質

長期間使用後（115年・45年間）の鋳鉄管、ダクタイル鉄管の機械的性質の試験結果（テストピース採取）を図表2-2-6-2、3に示す。長期間使用後も、引張強さおよび伸びとも当時の仕様書の規定値を十分満足している。これらから分かるように、材質そのものが劣化することはない。

●図表2-2-6-2 長期間使用後(115年後)の鑄鉄管の引張試験結果

No.	直径 (mm)	面積 (mm ²)	最大荷重 (kgf)	引張強さ (kgf/mm ²)
No.1	4.02	12.7	178.6	14.1
No.2	4.02	12.7	214.3	16.9
No.3	4.02	12.7	183.7	14.5

備考 (参考規格) 大正3年 上水協議会 鑄鉄管仕様標準より

「抗張試験 1平方インチに付1万8千ポンドよりも少なからずを要す」(換算すると12.7kgf/mm²となる)

谷賢二他(横浜市水道局)「日本最古の水道管調査—普通鑄鉄管(15.5インチ管印籠継手)の管体調査報告—」『工業用水』第537号(2003年6月)より

●図表2-2-6-3 長期間使用後(45年後)のダクタイル鉄管^{注1}の引張試験結果

試験片 採取位置	試験片	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	ブリネル硬さ ^{注2} (HB)
受口側	No.1	404	7.1	152
	No.2	399	7.1	163
	No.3	429	7.8	156
	平均	411	7.3	157
中央部	No.1	413	9.5	137
	No.2	427	11.5	143
	No.3	418	10.5	140
	平均	419	10.5	140
挿し口部	No.1	397	8.5	149
	No.2	425	8.8	156
	No.3	433	10.2	146
	平均	418	9.2	150
当時の規定値 ^{注3}		353以上	5以上	230以下



注1 国内最初の遠心力鑄造法によるもの(呼び径700)。

注2 仕様書では、ブリネル硬さについての規定をしていなかったため、JIS G 5526-1998(ダクタイル鑄鉄管)に照らして試験を行った。

注3 仕様書では、「1溶解に試験片を3個とり、そのうち2個以上の抗張力が36kg/mm²(353N/mm²)以上、伸び5%以上でなければならぬ」と規定していた。

横田明他(桂沢水道企業団)「国内最初の遠心力鑄造法によるダクタイル鑄鉄管の調査」『水道協会雑誌』Vol.73, No.9(2004年9月)より

3 経年管の継手性能

53年間使用されたダクタイル鉄管（A形呼び径700）の継手部に地震時の揺れや地盤沈下を想定した実験を行った。継手に管軸方向の変位ならびに曲げ変位を、おのおの繰り返し与えた状態で水圧を負荷し、水密性能を調査した。その結果、図表2-2-6-4に示す通り、いずれの場合も漏水を生じず、高い水密性能を保持していることを確認した。

●図表2-2-6-4 水密性能試験結果（A形呼び径700）

条 件	繰返し回数	負荷水圧、時間	結 果
繰返し伸縮 ±32.5mm ^{注1}	10回	水圧0.85MPaを負荷し5分間保持	漏水なし
繰返し屈曲 ±2° 30' ^{注2}	10回	水圧0.85MPaを負荷し5分間保持	漏水なし

注1 32.5mmは、A形呼び径700の真直配管時最大伸び幅65mmの1/2に相当する。

注2 2° 30' は、A形呼び径700の許容曲げ角度

宮崎俊之、丹羽真一（桂沢水道企業団）「国内最初の遠心力鑄造法によるダクタイル鑄鉄管の調査 - 53年間埋設後の調査結果 - 」「全国会議（水道研究発表会）講演集」（日本水道協会、2013年）より

38年間使用されたダクタイル鉄管（S形呼び径1000）の離脱防止性能を調査した。このダクタイル鉄管は過去に震度6以上の地震を2回経験している。

●図表2-2-6-5 供用期間中に発生した地震の回数（八戸市）

震 度	発生回数
4	35
5	7
6	2

備考 1975年以降に発生した震度4以上のもの。

継手に3DkN（D：呼び径）相当の引張力3000kNを19回負荷し、20回目に4DkN相当の引張力4000kNを与えたが、図表2-2-6-6に示す通り、引張力を繰り返し負荷しても継手に異常はなく、埋設当時と同じ性能を保持していることを確認した。

●図表2-2-6-6 繰返し離脱防止試験結果

負荷条件	結 果
引張力3000kNを19回負荷	異常なし
引張力4000kNを1回負荷	異常なし

内宮靖隆、古川勲（八戸圏域水道企業団）「耐震管S形ダクタイル鉄管φ1000（38年間埋設）の調査結果」
「全国会議（水道研究発表会）講演集」（日本水道協会、2013年）より

2-3 ゴム輪

2-3-1 ゴム輪の物性

ゴム輪は、「JIS K 6353-1997 水道用ゴム」「JIS G 5526 ダクタイル鋳鉄管」「JIS G 5527 ダクタイル鋳鉄異形管」「JCPA A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」により規定されている(図表2-3-1-1、2)。

一般的に「JIS K 6353 水道用ゴム」においては水道用のゴム輪の材質をSBR(スチレンブタジエンゴム)、NBR(アクリロニトリルブタジエンゴム)、BR(ブタジエンゴム)、CR(クロロプレンゴム)、EPR(エチレンプロピレンゴム)などの合成ゴムまたはNR(天然ゴム)としているが、ダクタイル鉄管のゴム輪の材質には、通常、SBRを用い、下水道などで油、薬品、熱などの影響のある場合は、EPDM(エチレンプロピレンゴムと第3成分との共重合体)またはNBRを用いる。この場合、EPDMは、GX形、NS形、S形、PN形、PⅡ形、T形およびフランジ形に適用する。

●図表2-3-1-1 ゴム輪などの物性

接合形式	名称		種類の記号 ^{注1}	圧縮永久ひずみ(%以下)	浸漬試験による質量変化率(%以内)	静的オゾン劣化試験	
GX形	ゴム輪 (直管用、P-Link用)	バルブ部	呼び径 75～250	60	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない
			呼び径 300・400	I A・55	20	+7 0	
		ヒール部	Ⅲ・80	—	+15 0	—	
	ゴム輪 (異形管用)	丸部	I A・55	7	—	—	
角部		I A・70	20	—	—		
NS形	ゴム輪 ^{注2}	バルブ部	呼び径 75～450	I B・50	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない
			呼び径 75～250	Ⅲ・80	—	+15 0	
		ヒール部	呼び径 300～450	90	—	+15 0	—

接合形式	名称		種類の記号 ^{注1}	圧縮永久ひずみ (%以下)	浸漬試験による質量 変化率(%以内)	静的オゾン劣化試験	
NS形	ゴム輪 ^{注3}	丸部	呼び径 75~450	I A・55	7	—	—
			呼び径 500~1000	I A・50	7	—	—
		角部	呼び径 75~1000	I A・70	20	—	—
	ロックリング心出し 用ゴム ^{注4}		突部	I B・50	—	—	—
			リング部	Ⅲ・80	—	—	—
	ロックリング心出し用ゴム ^{注5}			Ⅲ・80	—	—	—
ライナ心出し用ゴム			I B・50	—	—	—	
S形、 US形、 UF形、 K形、 U形	ゴム輪	丸部	I A・55	7	—	—	
		角部	I A・70	20	—	—	
US形	ロックリング絞り用ゴム		Ⅲ・60	—	—	—	
PN形、 PⅡ形	ゴム輪	バルブ部	I B・50	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない	
		ヒール部	Ⅲ・80	—	+15 0	—	
T形	ゴム輪	バルブ部	呼び径 75~600	I B・50	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない
		ヒール部	呼び径 75~600	Ⅲ・80	—	+15 0	—
		呼び径700~2000		I B・65	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない
フランジ形	ガスケット	RF形	Ⅲ・60	—	—	—	
		GF形	I A・55	20	—	—	

注1 種類の記号は、図表2-3-1-2による。

注2 呼び径75~250の直管及び異形管、呼び径300~450の直管に適用する。

注3 呼び径75~250の継ぎ輪及び帽、呼び径300~450の異形管、呼び径500~1000の直管及び異形管に適用する。

注4 呼び径75~250の直管及び異形管、呼び径300~450の直管に適用する。

注5 呼び径300~450の異形管に適用する。

〔JDP A 3000-2017 ダクタイル 鑄鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—〕より

●図表2-3-1-2 種類の記号と物性

種類の記号	デュロメータ硬さ (HA (タイプA))	引張試験					促進老化試験		
		7.0MPa 荷重時の伸び (% (以下))	引張強さ (MPa (以上))			伸び (% (以上))	引張強さ変化率 (% (以内))	伸び変化率 (% (以内))	デュロメータ硬さの変化 (HA (以内))
			SBR	EPDM	NBR				
IA・50	50±5	400	18	14	16	400	-20	+10 -30	+7 0
IA・55	55±5	350 ^{注1}	18	14	16	400	-20	+10 -30	+7 0
IA・70	70±5	200	18	14	16	300	-20	+10 -20	+7 0
IB・50	50±5	400 ^{注2}	18	14	16	450	-40 ^{注3}	+10 ^{注3} -40 ^{注3}	+5 0
60	60±5	—	18	14	16	450	-40	+10 -40	+5 0
IB・65	65±5	—	18	14	16	450	-40	+10 -40	+5 0
Ⅲ・60	60±5	300	12	12 ^{注4}	12	300	-25 ^{注4}	—	+7 ^{注5} 0 ^{注5}
Ⅲ・80	80±5	150 ^{注6}	12	12	12	280	—	—	+5 0
90	90±5	—	12	12	12	280	—	—	+5 0

注1 GX形ゴム輪呼び径300・400 (直管用及びP-Link用) のバルブ部には適用しない

注2 NS形、PN形、PⅡ形及びT形ゴム輪のバルブ部には適用しない。

注3 NS形ロックリング心出し用ゴム及びライナ心出し用ゴムには適用しない。

注4 US形ロックリング絞り用ゴムには適用しない。

注5 RF形ガasketには適用しない。

注6 GX形ゴム輪 (直管用及びP-Link用)、NS形、PN形、PⅡ形及びT形ゴム輪のヒール部には適用しない。

「JDP A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」より

2-3-2 ゴム材料の種類

1 SBR (スチレンブタジエンゴム)

天然ゴムの性質の大略を受け継ぎ、天然ゴムの欠点である耐候性、耐老化性を改善した合成ゴムの一種で、次のような特性がある。

- ・ 加硫されたゴム弾性体としての機械的性質は優れており、耐候性、耐老化性は天然ゴムより良好である。
- ・ 耐油性は天然ゴムに比べると良い。

- ・耐寒性は良好で、耐熱性も天然ゴムより優れている。
- ・バクテリアの侵食がない。

2 EPR (EPM、EPDM) (エチレンプロピレンゴム)

耐オゾン性、耐候性に優れていて、化学的にはエチレンとプロピレンのゴム状共重合体(EPM)またはエチレンとプロピレンと第3成分の共重合体(EPDM)がある。この両者を称してEPRという。

- ・耐オゾン性に優れている(CRより良好)。
- ・耐候性、耐熱老化性、耐熱性、耐寒性、耐薬品性、電気絶縁性に優れている。
- ・加工性は汎用ゴムに比べてやや難点があるといわれている。

3 NBR (アクリロニトリルブタジエンゴム)

CRと同様に比較的早くから開発されたゴムである。アクリロニトリルとブタジエンの共重合体で下記の性質を持つ。

- ・耐油性に優れている。
- ・耐熱老化性に優れている。
- ・耐候性はあまり良くない。

4 CR (クロロプレンゴム)

物理的性質、化学的性質のバランスが良いといわれるゴムで下記の性質を持つ。化学構造的には、天然ゴムのイソプレンによく似た化学構造を持つクロロプレンの重合体である。

- ・耐候性、耐オゾン性、耐熱老化性に優れている。
- ・耐油性、耐薬品性が良好である。
- ・長時間低温に曝すと、ゴムが結晶化して固くなる性質がある。

5 NR (天然ゴム)

代表的なゴム弾性体であり、下記のような性質を備えている。

- ・ 引張強さ、伸び、永久変形などの性質は適当な配合、加硫を行えば優れたものが得られる。
- ・ 耐候性はあまり良くないが、埋設された場合の耐久性は良好である。
- ・ 耐老化性も一般にはあまり良くないが、配合によって改善することができる。
- ・ 耐油性はあまり良くない。特に鉱物油に対しては弱い。しかし、水溶性の物質や無機質に対する抵抗力は優れている。
- ・ 耐寒性は良いが、耐熱性はあまり良くない。
- ・ 微生物によって侵食されることがある。

● 図表2-3-2-1 ゴム材料の物性および特性

物性および特性		SBR	EPR EPM EPDM	NBR	CR	NR
加硫ゴム	硬度 (JISA)	35～100	40～90	20～100	20～90	20～100
	引張強さ MPa (kgf/cm ²)	18～21 (180～210)	3～20 (30～200)	18～25 (180～250)	18～25 (180～250)	25～32 (250～320)
	伸び (%)	500～600	50～500	500～600	500～600	550～660
耐摩耗性		○	○	○	◎	◎
耐圧縮性		◎	◎	◎	◎	◎
耐屈曲性		○	○	○	◎	○
耐候性		△	◎	△	◎	△
耐引張性		○	○	○	○	◎
耐オゾン性		△	◎	○	○	△
耐ガス透過性		○	○	◎	◎	○
耐熱性		○	◎	◎	◎	△
耐寒性		○	◎	○	○	◎
比重		0.93	0.86	1.00	1.23	0.98

2-3-3 ゴム材料の耐薬品性

●図表2-3-3-1 ゴム材料の耐薬品性

凡例 ◎：優秀

○：実用上差支えない

?：使用時の条件により異なるため、実用に際しては検討を要す

×：使用不可

対象物名		SBR	EPR EPM EPDM	NBR	CR	NR
水	海水	◎	◎	◎	?	◎
	水(凝集回収)	◎	◎	◎	?	◎
	水(冷泉、酸化性物質含有)	◎	◎	◎	?	◎
	水(冷泉、酸化性物質無)	◎	◎	◎	?	◎
	下水汚物	?	?	◎	○	?
	蒸溜水	◎	◎	◎	?	◎
ガス体	空気	◎	◎	◎	◎	◎
	硫化水素(乾冷)	?	◎	?	○	?
	硫化水素(乾熱)	?	◎	?	○	?
	硫化水素(湿冷)	?	◎	?	○	?
	硫化水素(湿熱)	?	◎	?	○	?
	炭酸ガス(乾)	◎	◎	◎	◎	◎
	炭酸ガス(湿)	◎	◎	◎	◎	◎
	一酸化炭素	?	?	?	?	?
	水素(冷熱共)	○	◎	◎	◎	○
	アンモニアガス(冷)	◎	◎	◎	◎	◎
	アンモニアガス(熱)	?	◎	?	◎	?
	水蒸気(260℃以下)	◎	◎	◎	?	?
	水蒸気(260℃以上)	×	×	×	×	×
	発生炉ガス	×		◎	○	
	溶鉱炉ガス	?		?	?	?
	ークス炉ガス	?	?	?	?	?
天然ガス	○	×	◎	◎	○	

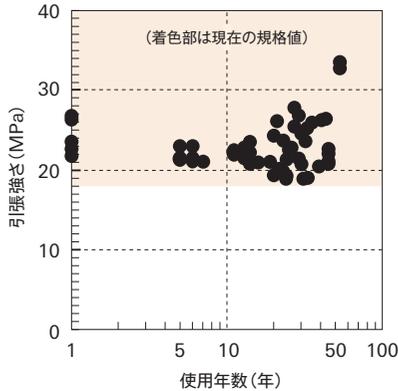
対象物名		SBR	EPR EPM EPDM	NBR	CR	NR
ガス体	アセチレン	◎	◎	◎	○	◎
	酸素(冷)	?	◎	?	◎	?
	酸素(260℃以下)	?	?	?	○	?
	酸素(260℃以上)	×	×	×	×	×
	亜硫酸ガス	?	?	?	?	?
酸アルカリおよび塩類	塩酸(65℃以下)	○	◎	◎	○	◎
	塩酸(65℃以上)	×	◎	×	○	○
	硝酸(稀)	×	○	×	×	×
	硝酸(濃)	×	?	×	×	×
	磷酸(濃稀共)	○	◎ (50% RT)	?	?	?
	硫酸(10%以下)	◎	◎	◎	◎	◎
	硫酸(10~75%)	?	◎	?	?	?
	硫酸(75~95%冷)	?	◎	?	?	?
	硫酸(75~95%熱)	×	?	×	×	×
	発煙硫酸	×	×	×	×	×
	亜硫酸	?	?	?	?	◎
	酢酸	?	◎ (50% RT)	○	○	?
	フッ化水素酸(65%以上冷)	×	×	×	×	×
	アンモニア水	?	◎	?	?	?
	消石灰	◎	◎	◎	◎	◎
	苛性カリウム	◎	◎	◎	◎	◎
	塩化アンモン	◎	◎	◎	◎	
	硫酸アンモン	◎	◎	◎	◎	◎
	塩化カルシウム	◎	◎	◎	◎	◎
	食塩	◎	◎	◎	◎	◎
	芒硝	◎	◎	◎	◎	◎
	苛性ソーダ	?	◎	?	?	?
	ソーダ灰	◎	◎	◎	◎	◎
塩化マグネシア	◎	◎	◎	◎	◎	

対象物名	SBR	EPR EPM EPDM	NBR	CR	NR
ベンゾール	×	×	×	×	×
トリオール	×	×	◎	○	×
ベンジン、ナフサ、 石油、エーテル	×	?	×	×	×
ガソリン	×	×	◎	◎	×
灯油	?	×	◎	○	?
潤滑油	○	×	◎	◎	○
原油 (260℃以下)	?	×	◎	◎	?
原油 (260℃以上)	×	×	×	×	×
有機溶剤並びに油類 四塩化炭素	×	×	×	×	×
エーテル	?	○	?	?	?
アセトン	◎	○	×	?	○
メタノール	◎	◎	◎	◎	◎
石炭酸	×	×	×	?	×
二硫化炭素	×	×	×	×	×
アマニ油	?	×	◎	○	?
大豆油	?	×	◎	◎	?
クレオソートコールタール	×	×	◎	○	×
タール	?	×	?	?	?
アスファルト	×	×	○	○	×

2-3-4 長期耐久性

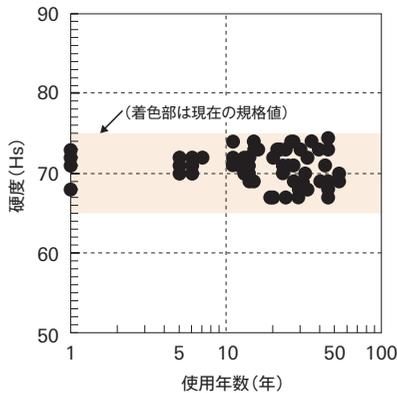
実際に使用されていた水道用ゴム輪(最大で53年間使用)の引張強さを図表2-3-4-1に、硬さを図表2-3-4-2に示す。引張強さおよび硬度は新品と変わらず、経年による大きな変化は認められない。

●図表2-3-4-1 ゴム輪の引張強さの経時変化



「ダクタイル鉄管の耐震性および長期耐久性」(日本ダクタイル鉄管協会)より

●図表2-3-4-2 ゴム輪の硬さの経時変化



「ダクタイル鉄管の耐震性および長期耐久性」(日本ダクタイル鉄管協会)より

2-3-5 水質衛生性

水道用ゴム輪の水質に及ぼす影響は「JIS K 6353-1997 水道用ゴム」「JWWA K 156 水道用ゴム」「JDKPA A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」で規定されている。

●図表2-3-5-1 水道用ゴム輪の浸出性

項目		基準
共通	味	異常でないこと ^{注1}
	臭気	異常でないこと ^{注1}
	色度	0.5度以下 ^{注1}
	濁度	0.2度以下 ^{注1}
SBR	亜鉛及びその他の化合物	亜鉛の量に関して0.1mg/L以下 ^{注1}
	有機物(全有機炭素(TOC)の量)	0.5mg/L以下 ^{注1}
	残留塩素の減量	0.7mg/L以下
EPDM	亜鉛及びその他の化合物	亜鉛の量に関して0.1mg/L以下 ^{注1}
	フェノール類	フェノールの量に換算して0.0005mg/L以下 ^{注1}
	有機物(全有機炭素(TOC)の量)	0.5mg/L以下 ^{注1}
	残留塩素の減量	0.7mg/L以下

1. フェノール類の基準については、水道施設の技術的基準を定める省令の附則(平成16年1月26日厚生省令第5号)抄 第3条による。
2. 新規に製造する場合、または原料ゴム及び配合剤を変更する場合に、水道施設の技術的基準を定める省令の別表二の全ての事項及び残留塩素の減量について、基準(図表2-3-5-1)に適合しなければならない。ただし、別表二の全ての事項及び残留塩素の減量も基準に合格することが確認できた材料、また減量ゴム及び配合剤が同一で、配合だけを変更する場合は、図表2-3-5-1で規定する項目の基準に適合すればよい。

注1 「水道施設の技術的基準を定める省令」(平成12年2月23日厚生省令第15号、平成26年2月28日改正)の別表第二による値を参考までに記載したものである。

「JDKPA A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」より

2-4

ボルト・ナット

2-4-1 材料の種類

特殊で腐食性の強い地域に布設された管路のボルト・ナットにおいて、特異な腐食が生じる場合がある。これは、管体および押輪とボルト・ナットが局部電池を形成して犠牲的に侵食される現象に基づくものである。

この対策として、米国では「ANSI A21.11-90 Rubber-Gasket Joints for Ductile-Iron Pressure Pipe and Fittings」の中で、メカニカル継手用ボルト・ナットとして0.5%銅の鋳鉄ボルトまたは高張力の低合金鋼(0.25%ニッケル、0.20%銅、1.25% \langle 銅+ニッケル+クロム \rangle を含むボルト)を使用するように規定している。

これに対し、日本では、この局部電池の形成を防止するため、ねじ山の機械加工を行った後、加熱酸化処理を実施し、黒皮を再生させた酸化被膜付ボルト・ナットが開発され、1976(昭和51)年にメカニカル継手(K形、KF形)に関するJCPA(日本鋳鉄管協会〈現日本ダクタイル鉄管協会〉)規格の中で規定された。

その後、耐食合金として一般的に普及していたステンレス鋼(SUS304)製のボルト・ナットがダクタイル鉄管の接合用として普及したことを受け、1993(平成5)年に「JCPA G 1040 ダクタイル鋳鉄管用ステンレス鋼(SUS304)製ボルト・ナット」が制定され、翌年のSUS403の同規格への追加などを経て、2017(平成29)年の「JCPA A 3000 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」の制定に至っている。

●図表2-4-1-1 ボルト・ナットの材料

材 料	接合形式	接合部品
JIS G 4303、JIS G 4308、 JIS G 4309のSUS304、 SUS304J3、SUSXM7、 SUS304N1、SUS304N2 (以下、SUS304系という)	GX形、NS形、K形 ^{注1}	T頭ボルト・ナット
	S形	ボルト・ナット
	PN形、P II形	ボルト
	NS形、US形、UF形、PN形、P II形	セットボルト
	フランジ形	六角ボルト・ナット

材 料	接合形式	接合部品
本体のFCD (420-10) (以下、FCD (420-10) という)	US形、UF形、U形	ボルト・継ぎ棒
	K形	T頭ボルト・ナット
JIS G 3101のSS400、 JIS G 3505のSWRM材、 JIS G 3506のSWRH材または JIS G 3507-1の SWRCH材 (以下、SS400系という)	フランジ形	六角ボルト・ナット

注1 SUS304系のK形T頭ボルト・ナットは、JDPA G 1040による。

[「JDPA A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品-共通仕様-」より]

2-4-2 耐食性

腐食性埋設環境における各種ボルト・ナットの耐食性を比較すると、ステンレス鋼製ボルト・ナットは、図表2-4-2-1に示すように酸化被膜処理ボルト・ナットや合金ボルト・ナットなどに比べ優れている。

このため、ダクタイル鉄管の継手では、図表2-4-1-1のように多くの接合形式でステンレス鋼製ボルト・ナットを使用するように規定されている。

●図表2-4-2-1 腐食性埋設環境における腐食量

(単位：g)

種 類	埋設1年後		埋設3年後	
	ポリエチレンスリーブ		ポリエチレンスリーブ	
	なし	あり	なし	あり
酸化被膜処理ボルト・ナット	2.13	0.59	7.21	1.54
合金ボルト・ナット	2.40	0.52	7.52	1.46
ナイロン被覆ボルト・ナット	0.14	0.10	0.28	0.23
ステンレスボルト・ナット (SUS403)	0.07	0.06	0.58	0.47
ステンレスボルト・ナット (SUS304)	0.03	—	0.22	—

なお、管路の布設現場においてボルト・ナットの塗装を使用前に溶剤で溶かしたり、燃やして除去したりするなどの処置は、ボルト・ナットの腐食を促進することになるので、厳に慎まなければならない。

特に、腐食性の強い土壤地域にダクタイル鉄管を布設する際、土壤調査を実施した後、危険性が高いと判断された場合は、ポリエチレンスリーブ法を適用するか、さらにはナイロン被覆ボルト・ナットやステンレスボルト・ナットを使用するなどの対策を取ることが望ましい。



ダク
タイル
鉄管の
継手

Chapter **3**

3-1

概要

ダクタイル鉄管は一端に受口、他端に挿し口を備えており、隣り合う管の受口と挿し口を接合することで管路が形成される。受口と挿し口ではなくフランジが用いられる場合もある。

継手の分類の主な切り口を概観すると次のようになる。

3-1-1 継手の分類

1 機能による分類

ダクタイル鉄管の全ての継手には、鉄管内部の流体(主に水道水)の漏水を防止する機能(止水機能)が求められることはもちろん、これ以外の機能を求められる場合がある。

① 直管における分類

地震などにより大きな地盤ひずみが発生した場合でも止水機能を維持することが求められる管の継手には、継手部が伸縮・屈曲して地盤ひずみを吸収する機能(伸縮・屈曲機能)と所定の伸び量以上で継手の離脱を防止する機能(離脱防止機能)が求められる。この両方の機能を有するものが「伸縮離脱防止継手」、伸縮・屈曲機能がなく離脱防止機能のみ有するものが「離脱防止継手」として分類される。

伸縮機能を有するが離脱防止機能を持たないものは「一般継手」に分類される。

② 異形管における分類

管路の曲り部、分岐部、内径変化部などに使用される異形管の継手とこれに接合される直管の継手には、管内水圧によって継手を離脱させたり曲げたりしようとする力(不平均力)が作用する。これに対抗できる継手が離脱防止継手である。

シールド内や既設管の中で用いられる異形管の中には、曲り角度が比較的小さな曲管があり、これに作用する不平均力はシールドや既設管からの側圧で受け持たせ

つつ、大きな地盤ひずみが発生した場合には伸縮継手として、最終的には離脱防止継手として機能する。これらも伸縮離脱防止継手に分類される。

伸縮・屈曲機能を有するが離脱防止機能を持たないものは一般継手に分類される。異形管には、これら以外にフランジ継手として分類されるものもある。

2 工法による分類

鉄管は、主に地盤中に埋設されて使用される。埋設に当たっては、地盤に掘った溝に管を布設し埋め戻す工法(開削工法)が一般的であり、これらに用いられる継手を開削工法用継手と呼ぶことがある。

交通事情や地下構造物、埋設物の^{ふくそう}輻輳などの理由から地表面を開削することが困難な場合には、管を地盤中に押し込む工法(推進工法)やトンネル内に管路を構築する工法(トンネル内配管工法)が採用されることがある。また、既設管の更新時に既設管あるいは新設の管をさや管として、その中に新管を押し込むPIP(パイプインパイプ)工法などの特殊な工法(非開削工法)も採用される。これら非開削工法に用いられる継手を、推進工法用継手、トンネル内配管工法用継手、PIP工法用継手などと呼ぶことがある。

3 接合方法による分類

隣り合う管の受口と挿し口を接合するに当たって、押輪とボルト・ナットを使用するものをメカニカル継手、押輪を使用しないものをプッシュオン継手という。メカニカル継手の中には管内作業によって接合されるものがあり、管外作業によるものと区別する意味で、メカニカル内面継手と呼ぶことがある。

その他に、フランジとボルト・ナットを用いて接合するものがあり、それをフランジ継手という。

4 接合形式による分類

GX形、NS形などダクタイル鉄管の接合形式は、継手の構造に由来する。従って、接合形式ごとに分けることがダクタイル鉄管の種類の最も細かな分類である。ただし、同一の接合形式でも、直管、異形管、呼び径などによって、機能、接合方法などからは別の区分に分類されるものがある。

5 現在の主な継手

●図表3-1-1-1 現在の主な継手

継手区分	接合形式	呼び径	水密機構および接合方法区分	主な適用工法	
直管	GX形	75～300・400	ブッシュオン継手	閉削	
	NS形	75～450	ブッシュオン継手	閉削	
		500～1000	メカニカル継手	閉削	
	NS形(E種管)	75～150	ブッシュオン継手	閉削	
	S形	1100～2600	メカニカル継手	閉削	
	S50形	50	メカニカル継手	閉削	
		800～2600	メカニカル継手	閉削、トンネル内配管、推進	
	PN形 ^{注2}	300～600	ブッシュオン継手	PIP(バイズインバイズ)	
	PN形(JP方式及びCP方式) ^{注2}	700～1500	メカニカル内面継手	PIP(バイズインバイズ)	
	P II形	300～600	ブッシュオン継手	PIP(バイズインバイズ)	
		600～1350	メカニカル内面継手	PIP(バイズインバイズ)	
	離脱防止継手	UF形	800～2600	メカニカル内面継手	閉削、トンネル内配管、推進
	異形管	K形	75～2600	メカニカル継手	閉削
T形		75～2000	ブッシュオン継手	閉削、推進	
		800～2600	メカニカル内面継手	閉削、トンネル内配管、推進	
S形		1100～2600	メカニカル継手	閉削	
US形		800～2600	メカニカル内面継手	閉削、トンネル内配管	
PN形 ^{注2}		300～600	ブッシュオン継手	PIP(バイズインバイズ)	
PN形(JP方式及びCP方式) ^{注2}		700～1500	メカニカル内面継手	PIP(バイズインバイズ)	
P II形		300～600	ブッシュオン継手	PIP(バイズインバイズ)	
		700～1350	メカニカル内面継手	PIP(バイズインバイズ)	
GX形		75～300・400	メカニカル継手	閉削	
NS形		75～250	ブッシュオン継手	閉削	
		300～1000	メカニカル継手	閉削	
NS形(E種管)		75～150	メカニカル継手	閉削	
S50形	50	メカニカル継手	閉削		
UF形	800～2600	メカニカル内面継手	閉削、トンネル内配管		
K形	75～2600	メカニカル継手	閉削		
T形	75～250	ブッシュオン継手	閉削		
U形	800～2600	メカニカル内面継手	閉削、トンネル内配管		
フランジ継手	フランジ形	75～2600	フランジ継手	閉削	

注1 伸縮離脱防止継手は、伸縮・屈曲機能と離脱防止機能を有する継手であり、耐震用の継手として用いられる。

注2 2017年10月のJDPA規格改正でPN形(JP方式及びCP方式)とPN形は統合された。

3-1-2 インフラ分野と接合形式

●図表3-1-2-1 主なインフラ分野別ダクタイル鉄管の用途

インフラ分野	用途
上水道・簡易水道	導水管、送水管、配水管、給水管、浄水場内配管、ポンプ場内配管、水管橋、耐震貯水槽、ほか
下水道	管渠、圧力管路、送泥管、ポンプ場内配管、処理場内配管、水管橋、ほか
農業用水	灌漑用水管、樋管、水管橋、ほか
工業用水	導水管、送水管、配水管、水管橋、ほか
ガス	中圧B管路、低圧管路、ほか
電力	水力発電所水圧鉄管(バンストック)、発電所冷却用水管、施設内配管、ほか
通信	ケーブル保護用管、ほか
交通	道路トンネル内消火用配管、鉄道施設内湧水対策管、ほか

●図表3-1-2-2 主な用途別接合形式

接合形式	上水道・ 簡易水道	下水道	農業 用水	工業 用水	水管橋	耐震 貯水槽	ガス	電力	通信	交通
GX形	○	○	○	○	○			○		○
S50形	○	○	○	○	○			○		○
NS形	○	○	○	○	○	○		○		○
NS形(E種管)	○	○	○	○				○		○
S形	○	○	○	○		○		○		
US形	○	○	○	○		○		○		
PN形(JP方式及びCP方式)	○	○	○	○				○		
PN形	○	○	○	○				○		
PⅡ形	○	○	○	○				○		
UF形	○	○	○	○		○		○		
K形	○	○	○	○				○		○
T形	○	○	○	○				○		○
U形	○	○	○	○				○		○
フランジ形	○	○	○	○				○		○
LUF形						○				
FGX形					○					
FT形					○					
NS形(Gタイプ)		○								
ALW形		○	○					○		
GMⅡ形 ^{注1}							○			
TM型 ^{注1}							○			
GX-I形 ^{注1}									○	

注1 JDPA規格品ではない。

備考 ○印は一般的に適用されているインフラ分野を表す。推進工法用のUS形、UF形、T形、U形は各接合形式に含む。

3-1-3 直管の管厚の種類

●図表3-1-3-1 直管の管厚の種類と記号

呼び径	管厚の種類(記号)								
	1種管 (D1)	2種管 (D2)	3種管 (D3)	4種管 (D4)	5種管 (D5)	PF種管 (DPF)	S種管 (DS)	E種管 (DE)	P種管 ^{注1} (DP)
50	—	—	—	—	—	—	6.0	—	—
75	7.5	—	6.0	—	—	—	6.0	4.5	—
100	7.5	—	6.0	—	—	—	6.0	4.5	—
150	7.5	—	6.0	—	—	—	6.5	5.5	—
200	7.5	—	6.0	—	—	—	6.5	—	—
250	7.5	—	6.0	—	—	—	6.5	—	—
300	7.5	—	6.5	—	—	9.5	7.0	—	—
350	7.5	—	6.5	—	—	9.5	—	—	—
400	8.5	7.5	7.0	—	—	10.0	7.0	—	—
450	9.0	8.0	7.5	—	—	10.5	—	—	—
500	9.5	8.5	8.0	—	—	12.0	8.5	—	—
600	11.0	10.0	9.0	8.5	—	13.0	10.0	—	—
700	12.0	11.0	10.0	9.0	—	14.0	11.0	—	10.0
800	13.5	12.0	11.0	10.0	9.0	15.0	12.0	—	11.0
900	15.0	13.0	12.0	11.0	9.5	16.0	13.0	—	11.0
1000	16.5	14.5	13.0	12.0	10.5	18.0	14.5	—	12.0
1100	18.0	15.5	14.0	13.0	11.0	19.0	—	—	13.0
1200	19.5	17.0	15.0	13.5	11.5	20.0	—	—	13.5
1350	21.5	18.5	16.5	15.0	12.5	21.5	—	—	15.0
1500	23.5	20.5	18.0	16.5	14.0	24.0	—	—	16.5
1600	25.0	22.0	19.0	17.5	14.5	25.0	—	—	—
1650	25.5	22.5	19.5	18.0	15.0	25.5	—	—	—
1800	28.0	24.0	21.0	19.5	16.0	28.0	—	—	—
2000	30.5	26.5	23.5	21.0	18.0	30.5	—	—	—
2100	32.0	28.0	24.5	22.0	18.5	31.5	—	—	—
2200	33.5	29.0	25.5	23.0	19.5	32.5	—	—	—
2400	36.5	31.5	27.5	25.0	21.0	34.5	—	—	—
2600	39.5	34.0	29.5	27.0	23.0	36.5	—	—	—

注1 P種管は2017年10月のJDPA規格改正により廃止になった。

備考 異形管の管厚の記号は「DF」である。

●図表3-1-3-2 直管(農業用水用)の管厚の種類と記号

呼び径	管厚の種類(記号)					
	農A種管 (DA)	農B種管 (DB)	農C種管 (DC)	農D種管 (DD)	AL1種管 (L1)	AL2種管 (L2)
50	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—
150	—	—	—	—	—	—
200	—	—	—	—	—	—
250	—	—	—	—	—	—
300	—	5.0	—	—	6.0	4.5
350	—	5.0	—	—	7.0	4.5
400	—	5.5	—	—	7.5	5.0
450	—	6.0	—	—	8.5	5.5
500	—	6.5	—	—	9.0	5.5
600	8.0	7.5	—	—	10.5	6.5
700	8.5	8.0	—	—	11.5	7.5
800	9.5	9.0	—	8.0	12.0	7.5
900	10.5	9.5	—	8.5	13.5	8.0
1000	11.5	10.5	—	9.0	15.0	9.0
1100	12.0	11.0	—	9.5	16.5	10.0
1200	12.5	11.5	—	10.0	18.0	12.5
1350	14.0	12.5	—	11.0	20.5	14.0
1500	15.5	14.0	—	12.0	22.5	16.0
1600	16.0	14.5	13.5	12.5	—	—
1650	16.5	15.0	14.0	13.0	—	—
1800	18.0	16.0	15.0	14.0	—	—
2000	19.5	18.0	16.5	15.0	—	—
2100	20.5	18.5	17.0	15.5	—	—
2200	21.5	19.5	18.0	16.5	—	—
2400	23.0	21.0	19.0	17.5	—	—
2600	25.0	23.0	21.0	19.0	—	—

備考 AL1種管、AL2種管は設計水圧1.0MPa以下の農業用水用、下水道用(汚水および汚泥を除く)およびその他(水道用を除く)用。

3-1-4 異形管の種類と接合形式

●図表3-1-4-1 異形管 (JDPA規格品) の種類と接合形式 (呼び径)

異形管の種類	GX形	S50形	S形	NS形	NS形 (E種管)	US形	
三受十字管				75～900			
二受T字管	75～300・400	50		75～1000	75～150		
受挿し片落管	100～300・400			100～1000			
挿し受片落管	100～300・400			100～1000			
両受片落管					100～150		
曲管90°	75～300・400	50		75～1000	75～150		
曲管30°							
曲管45°	75～300・400	50		75～1000	75～150		
曲管22 1/2°	75～300・400	50		75～1000	75～150		
曲管11 1/4°	75～300・400	50		75～1000	75～150		
曲管5 5/8°	75～300・400			75～1000	75～150		
曲管3°							
両受曲管90°				75～250			
両受曲管60°							
両受曲管45°	75～300・400			75～1000	75～150		
両受曲管30°							
両受曲管22 1/2°	75～300・400			75～1000	75～150		
両受曲管11 1/4°							
両受曲管5 5/8°							
仕切弁副管A1号				400～1000			
仕切弁副管A2号				400～1000			
フランジ付きT字管	75～300・400	50		75～1000			
浅層埋設形フランジ付きT字管	75～250			75～250	75～150		
うず巻式フランジ付きT字管	75～300			75～350			
排水T字管	300・400			200～1000			
継ぎ輪	75～300・400	50	1100～2600	75～1000	75～150	800～2600	
長尺継ぎ輪			1100～2600			1100～2600	
短管1号				75～1000			
短管2号				75～1000			
帽	75～300・400			75～450	75～150		
栓		50		500～1000			
両受短管	75～300・400	50					
乙字管	75～300			75～350			
受挿し短管 (E種管)					75～150		
受挿し短管							
両フランジ短管							
両フランジ片落管							

備考 本表には、水道用以外のJDPA規格品も含まれている。なお、ALW形は異形管がないためK形異形管を用いる。

	UF形	P II形	PN形	PN形 (JP方式及びCP方式)	K形	T形	U形
	800・900				75～900	75～250	800・900
	800～2600				75～2600	75～250	800～2600
	800～2600				100～2600	100～250	800～2600
	800～2600				100～2600	100～250	800～2600
	800～1800				75～1800	75～250	800～1800
					600～1500		
	800～2600				75～2600	75～250	800～2600
	800～2600				75～2600	75～250	800～2600
	800～2600			700～1500	75～2600	75～250	800～2600
	800～2600			700～1500	300～2600		800～2600
				700～1500			
	800～1800				300～600		
					300～600		
	800～2600				300～600		
					300～600		
	800～2600				300～600		
	800～2600				300～600		
	800～2600				300～600		
	800～2600				400～2600		800～2600
	800～2600				400～2600		800～2600
	800～2600	700～1350	700～1500	700～1500	75～2600	75～250	800～2600
					75～300	75～250	
					75～300	75～250	
	800～2600				200～2600	200・250	800～2600
		700～1350	700～1500	700～1500	75～2600	75～2000	800～2600
	800～2600				75～2600	75～250	800～2600
	800～2600				75～2600	75～250	800～2600
					75～1500	75～250	
					100～350	100～250	
		300～1100	300～1100	300～1100			
		100・150	100・150	100・150			
		100・200	100・200	100・200			

●図表3-1-4-2 フランジ形異形管 (JDPA規格品) の種類と呼び径

異形管の種類	フランジ形
パドル付きフランジ短管	75~1500
パドル付き片フランジ短管	75~1500
フランジ長管	75~1500
片フランジ長管	75~1500
三フランジT字管	75~1500
二フランジT字管	75~1500
フランジ片落管	100~1500
フランジ曲管90°	75~1500
フランジ曲管60°	75~600
フランジ曲管45°	75~1500
仕切弁副管B1号 (7.5K、10K用)	400~2600
仕切弁副管B1号 (16K、20K用)	400~1500
フランジ短管	75~1500
フランジ蓋 (形式1)	75~1500
フランジ蓋 (形式2)	75~1500
人孔蓋	600
らっぱ口	75~1500

備考 本表には、水道用以外のJDPA規格品も含まれている。

●図表3-1-4-3 JDPA規格外の主な異形管の種類と接合形式 (呼び径)

異形管の種類	GX形	S50形	NS形	NS形 (E種管)	US形	フランジ形
二受T字管	75~150×50					
受挿し片落管	75×50		75×50			
挿し受片落管	75×50		75×50			
曲管11 1/4°					800~2600	
曲管8°					800~2600	
両受曲管5 5/8°					800~2600	
曲管3°					800~2600	
短管1号	75~300・400	50		75~150		
短管2号	75~300・400	50		75~150		
栓	75~300・400					
特殊消火栓用T字管	100~250		100~350			
給水分岐専用管	75~250					
仕切弁副管B2号						400~2000

備考 二受T字管、受挿し片落管、挿し受片落管の「×50」はS50形である。

3-2

水密機構

ダクタイト鉄管の継手の水密機構は、過去のものも含めると印籠継手^{いんろう}、メカニカル継手、プッシュオン継手に大別される。なお、印籠継手の製造は1971(昭和46)年に終了しており、現在はメカニカル継手とプッシュオン継手が用いられている。

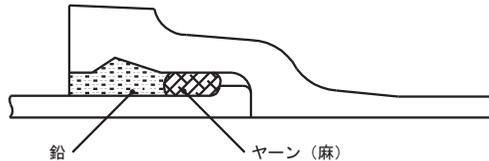
ここでは、それらの水密機構について概観する。

3-2-1 印籠継手

印籠接手^{*1}は麻の湿潤膨張により止水する構造であり、鉛の弾性によりある程度は屈曲するが、接合するためには熟練された技能が必要な継手であった。後年、C形とも称された。

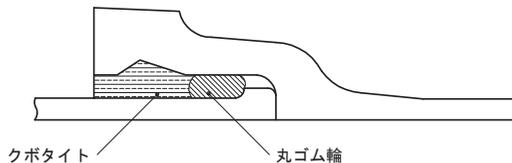
*1 1914(大正3)年の上水協議会規格では「印籠接手」が用いられており、1961(昭和36)年以降は「C形」が用いられていた。本書では総称としては「印籠継手」を用いている。

●図表3-2-1-1 印籠接手の継手構造



鉛や麻が十分に入手できない時代には、鉛や麻の代用品としてクボタイト(硫黄、珪砂を主成分とした黒色の粉末。130~140℃で流動、100℃で固化する)とゴム輪を用いた継手や、セメントとタール紐、ゴム輪を用いた継手が採用されたが、わずかなたわみでも亀裂が生じ、漏水の原因となりやすかった。

●図表3-2-1-2 印籠接手(クボタイト接合)の継手構造



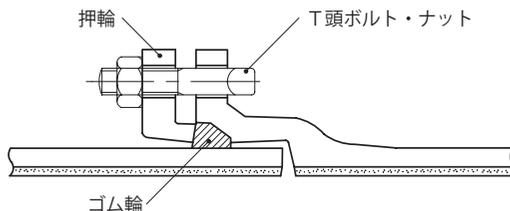
3-2-2 メカニカル継手

止水のためにゴム輪を使い、そのゴム輪と受口内面、挿し口外面との間の面圧を確保するためにゴム輪を受口奥側に向かって押し付ける押輪とボルト・ナットを用いている。

1 A形の水密機構

T頭ボルト・ナットの締結により押輪を介してゴム輪を強く圧縮することによって、ゴム輪に発生する面圧で止水する構造の継手である。印籠継手と比較して接合が容易かつ確実にできる。

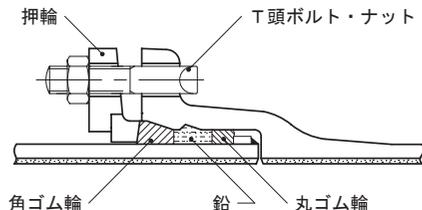
●図表3-2-2-1 A形の継手構造



2 B形の水密機構

A形では大口径管に必要な水密性が得られなかったため、角ゴム輪とともに丸ゴム輪と鉛を併用し、水密性を向上したB形が開発されたが、A形と比較すると鉛の溶融が必要だったため、施工性に難があった。

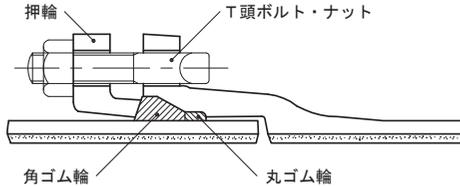
●図表3-2-2-2 B形の継手構造



3 AⅡ形の水密機構

角ゴム輪と丸ゴム輪を有し、丸ゴム輪を圧縮して生じる面圧により止水するものである。角ゴム輪は、丸ゴム輪の飛び出しを防ぐ役割も担っている。

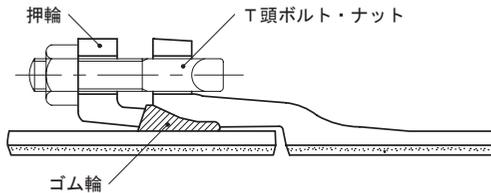
●図表3-2-2-3 AⅡ形の継手構造



4 K形の水密機構

受口内面にテープを付け、ゴム輪がスタフィンボックスに収まりやすいようにし、さらに丸ゴム輪と角ゴム輪を一体化した。ある程度の屈曲も可能で、高水圧にも対応できる継手として、現在も使用されている代表的なメカニカル継手の一つである。

●図表3-2-2-4 K形の継手構造



3-2-3 プッシュオン継手

ゴム輪に面圧を発生させるためにメカニカル継手では押輪やボルト・ナットが必須であるが、これらを不要にしたものがプッシュオン継手である。

ここでは代表的なプッシュオン継手であるT形の水密機構を示す。

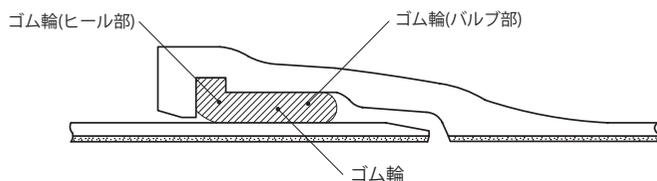
1 T形の水密機構

ゴム輪は、受口溝部と密着し固定されるヒール部と継手の水密性を確保するバルブ部で構成されている。受口にゴム輪をセットし、挿し口を挿入することにより、ゴム輪が圧縮され、ゴムの反発力により、止水面（受口内面や挿し口外面）に面圧がかかる。そして、管内から水圧が作用すると、ゴム輪のセルフシール作用により止水面の面圧はさらに増加する。

ゴム輪のセルフシール作用とは、図表3-2-3-2に示すように、管内に水圧がかかると、ヒール部で固定され逃げ場がなくなったゴム輪のバルブ部が水圧により継手部の隙間内で膨らもうとして止水面にさらに強く圧着し、水圧に応じて止水面の面圧が増加する作用である。

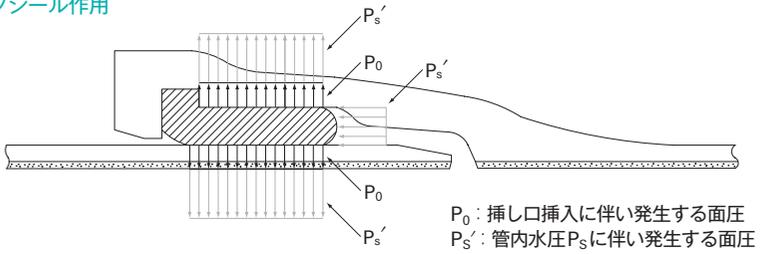
メカニカル継手と比べるとボルト・ナットがないので施工は容易であるが、ゴム輪の圧縮に伴い、挿し口挿入時に大きな力が必要となる。

●図表3-2-3-1 T形の継手構造

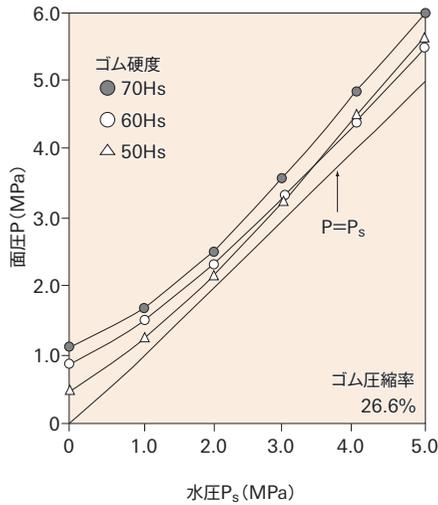


●図表3-2-3-2 ゴム輪のセルフシール作用と面圧測定結果

セルフシール作用



面圧測定結果



ゴム輪をセットした受口に挿し口を挿入すると、ゴム輪の止水面には P_0 の面圧が発生する。そして、管内から水圧 P_s が作用するとゴム輪の止水面には $P = P_0 + P_s'$ の面圧が発生する。ゴム輪の止水面の面圧 P は管内水圧 P_s とともに増加する。

3-3

性能確認試験

3-3-1 試験の種類

ダクタイル鉄管の継手は、使用条件を考慮し、開発段階で各種の性能確認試験を実施している。その一例を図表3-3-1-1に示す。

●図表3-3-1-1 開発時の継手性能確認試験例

名称	概要
水密性試験	正規に接合した真直状態の継手に、水圧を負荷し、漏れや継手の異常の有無を確認。
曲げ水密性試験	正規に接合した継手を許容曲げ角度よりも大きく曲げた状態で、水圧を負荷し、漏れや継手の異常の有無を確認。
離脱防止性試験	正規に接合した継手に所定の離脱力が作用した場合の継手の異常の有無を確認。
曲げ強度試験	正規に接合した継手に所定の限界曲げモーメントが作用した場合の継手強度の確認。
曲げ試験	正規に接合した継手を許容曲げ角度よりも大きく曲げる場合の曲げモーメントと、継手の異常の有無を確認。
繰返し曲げ水密性試験	継手を繰返し曲げた場合の継手水密性の確認。
繰返し伸縮水密性試験	継手を繰返し伸縮させた場合の継手水密性の確認。
不平均力作用時の埋設管挙動確認試験	曲管部に離脱防止継手管を有する埋設管路に水圧による不平均力が作用した場合の継手および管の挙動を確認(不平均力対策としての離脱防止継手管の有効性を確認)。
繰返し曲げ気密性試験	正規に接合した継手を繰返し曲げた場合の継手気密性の確認。
圧縮試験	正規に接合した継手に管軸方向の圧縮力がかかった場合の異常の有無を確認。

なお、製品としての継手性能を確保するために、「JCPA A 3000 ダクタイル鋳鉄管 異形管及び接合部品—共通仕様—」の附属書Cでは、「ダクタイル鋳鉄管・異形管及び接合部品—継手の性能試験方法」として性能試験が規定されている。

●図表3-3-1-2 JDPA規格による継手性能確認試験例

名称	概要
水密性試験	正規に接合した真直状態の継手に、別途定められている水圧2.0MPaを負荷し、5分間保持して漏れや異常がないか確認。
曲げ水密性試験	正規に接合した一般継手を対象に、別途定められている角度（許容曲げ角度）まで曲げて、水圧2.0MPaを負荷し、5分間保持して漏れや異常がないか確認。
離脱防止性試験	正規に接合した継手に別途定められている離脱防止力3DkN（D：呼び径）を負荷し、継手に異常がないか確認。 ただし、PⅡ形は1.5DkNを負荷。
曲げ強度試験	正規に接合した継手に別途定められている限界曲げモーメントを負荷し継手に異常がないか確認。

備考 各試験の概要はJDPA A 3000に規定されている試験方法の要旨をまとめたものである。

3-3-2 試験方法

1 水密性試験

1) 目的

正規に接合した真直状態の継手の水密性を確認する。

2) 試験方法

正規に接合した真直状態の継手に、管内から水圧を負荷し、漏水や継手の異常の有無を確認した。

3) 試験結果

図表3-3-2-1に示す例の通り、JDPA規格で定められているよりも高い水密性を有することが確認されている。

●図表3-3-2-1 水密性試験結果（GX形）

呼び径	試験結果
100	水圧 2.5MPa を負荷し、5 分間保持するも継手からの漏水なし
200	
300	
400	

備考 JDPA規格で定められている水圧負荷条件：2.0MPa、5分間

2 曲げ水密性試験

1) 目的

継手には、水圧による不平均力の他、地震などに伴う地盤変状により曲げが作用する。そこで、正規に接合した継手の許容曲げ角度よりも大きく曲げた状態での水密性を確認する。

2) 試験方法

正規に接合された2本の直管の継手をJDKPA A 3000で定められている許容曲げ角度(図表3-3-2-2)より大きい角度(例えば最大屈曲角度*²)まで曲げた状態で図表3-3-2-3あるいは図表3-3-2-4の方法で水圧を負荷し、5分間保持して漏水の有無を確認する。

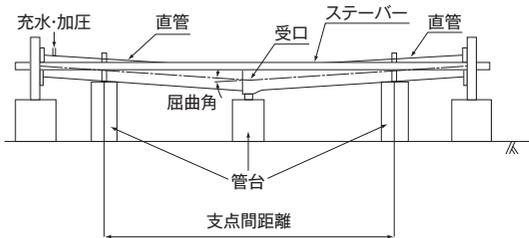
*2 最大屈曲角度は、地震時や地盤沈下時に曲がり得る最大角度で、配管施工時の許容曲げ角度の2倍(一部に例外がある)。値は継手によって異なるので各接合形式の項を参照のこと。

●図表3-3-2-2 許容曲げ角度

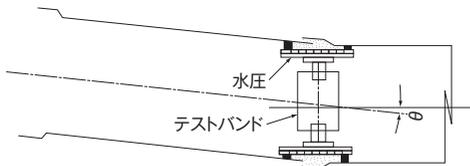
呼び径	接合形式							
	GX形	NS形、 S形	US形	PN形、 PⅡ形	K形	T形	U形	
75～200	4° 00′	4° 00′	—	—	5° 00′	5° 00′	—	
250					4° 10′			
300	3° 00′	4° 00′		5° 00′	4° 00′			
350				4° 50′				
400		4° 00′		4° 10′	3° 30′			
450		—		3° 50′	3° 00′			
500	3° 20′	3° 20′						
600	2° 50′	2° 50′						
700	—	2° 30′		3° 00′	2° 30′	2° 30′		2° 10′
800		2° 10′						
900		2° 00′	2° 00′	2° 00′	2° 00′	2° 00′		
1000		1° 50′	1° 50′	2° 45′	1° 50′	2° 00′	1° 50′	
1100		1° 40′	1° 40′		1° 40′		1° 40′	
1200		1° 30′	1° 30′	2° 30′	1° 30′	2° 00′	1° 30′	
1350					1° 20′			
1500				1° 10′	1° 10′			
1600				—	1° 30′			1° 10′

呼び径	接合形式						
	GX 形	NS 形、S 形	US 形	PN 形、P II 形	K 形	T 形	U 形
1650	—	1° 30′	1° 05′	—	1° 30′	2° 00′	1° 05′
1800・2000			1° 00′			1° 00′	
2100～2400			—			1° 00′	
2600			—			1° 30′	

● 図表3-3-2-3 曲げ水密性試験方法



● 図表3-3-2-4 曲げ水密性試験方法(テストバンドによる)



3) 試験結果

図表3-3-2-5～7に示す例の通り、継手が許容曲げ角度以上曲った状態でも、高い水密性能を有していることが分かった。

● 図表3-3-2-5 曲げ水密性試験結果の例(GX形直管)

呼び径	継手曲げ角度	支点間距離 (m)	試験結果
100	8° 00′	6	水圧2.5MPaを負荷し、5分間保持するも継手からの漏水その他異常なし
200		8	
300		10	
400			

備考 地震時に曲り得る最大屈曲角度は、GX形呼び径75～300・400：8° 00′である。

●図表3-3-2-6 曲げ水密性試験結果の例 (NS形)

呼び径	曲げ角度	支点間距離 (m)	試験結果
500	7° 00′	10	水圧2.0MPaを負荷し、5分間保持するも継手からの漏水その他異常なし
1000			

備考 地震時に曲り得る最大屈曲角度は、NS形呼び径500～1000：7° 00′

●図表3-3-2-7 曲げ水密性試験結果の例 (S形)

呼び径	曲げ角度	負荷水圧 (MPa)	試験結果
500	4° 20′	2.0	継手からの漏水その他異常なし
800	2° 17′	2.5	
1000	1° 50′	2.5	
2000	1° 56′	2.5	

備考 許容曲げ角度はS形呼び径1500～2100：1° 30′

3 離脱防止性試験

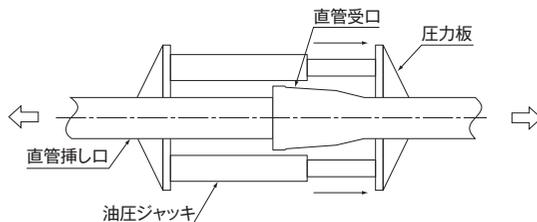
1) 目的

継手には、水圧による不平均力の他、地震などに伴う地盤変状により離脱力が作用する。そこで、正規に接合した継手に離脱力が作用した場合の継手の異常の有無を確認する。

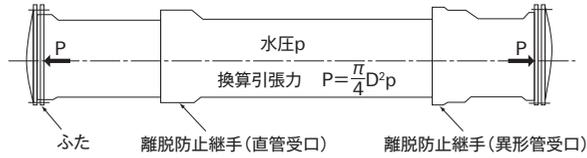
2) 試験方法

正規に接合した継手に、図表3-3-2-8あるいは図表3-3-2-9などの方法で、引張力を負荷し、継手の異常の有無を確認する。

●図表3-3-2-8 離脱防止性試験方法 (油圧ジャッキによる引張荷重負荷の例)



● 図表3-3-2-9 離脱防止性試験方法(水圧による引張荷重負荷の例)



3) 試験結果

図表3-3-2-10～12に示すような性能を有することが確認されている。

このうち、S形は、開発当時は試験装置の関係で図表3-3-2-12に示す引張力までしか荷重できていないが、発生曲げ応力はダクタイル鋳鉄の曲げ強度に対してまだ余裕があり、3DkNの性能を有するものと推定された。その後、「2-2-6 長期耐久性」で示した38年間使用された継手の例のように3DkNの引張力に耐えることが実証されている。

● 図表3-3-2-10 離脱防止性試験結果(GX形)

呼び径	挿し口方式	最大引張力 (kN)	試験結果
100	溶接方式	300	3DkNの引張力に耐え、 継手に異常なし
	切管方式(切管用挿しロリング)		
200	溶接方式	600	
	切管方式(切管用挿しロリング)		
300	溶接方式	900	
	切管方式(切管用挿しロリング)		
400	溶接方式	1200	
	切管方式(切管用挿しロリング)		

● 図表3-3-2-11 離脱防止性試験結果(NS形)

呼び径	挿し口方式	最大引張力 (kN)	継手最大伸び量 (mm)	試験結果
500	溶接方式	1500	76	3DkNの引張力に耐え、 継手に異常なし
	切管方式		76	
1000	溶接方式	3000	81	
	切管方式		81	

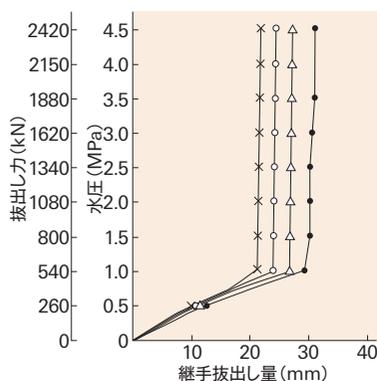
●図表3-3-2-12 離脱防止性試験結果 (S形)

呼び径	負荷水圧 (MPa)	引張力 (kN)	継手状況	発生曲げ応力	
				(N/mm ²)	発生場所
500	7.0	1500	漏水その他異常なし	387	挿し口
800	4.5	2420		261	
1000	3.6	2940		181	受口溝
1500	2.5	4640		125	
2000	1.5	4900		226	
2100	(換算すると1.44)	5290		108	挿し口
2600	1.5	8310		82	

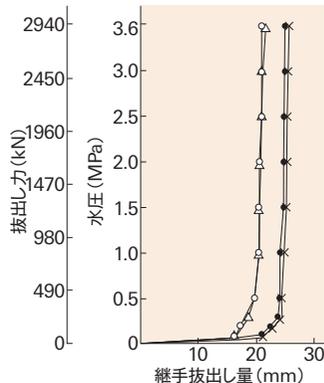
備考 挿し口は呼び径500、2100は3種管、呼び径800、1000、2000は2種管、呼び径1500、2600は1種管を用いた。呼び径500、800、1000、1500、2000、2600は、図表3-3-2-9に準じた方法によった。呼び径2100は、図表3-3-2-8に準じた方法によった。いずれも、試験装置の関係で、本表に示す引張力まで負荷した。ダクタイル鋳鉄の曲げ強度はJIS G 5526に規定する材質のもので、559N/mm²以上。本表の呼び径は、試験実施当時のものである。現在の規格では、S形の呼び径範囲は1100～2600である。

●図表3-3-2-13 引張力と変位量の関係

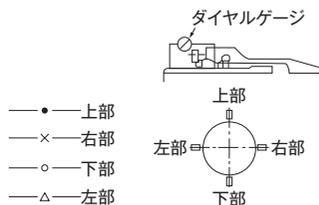
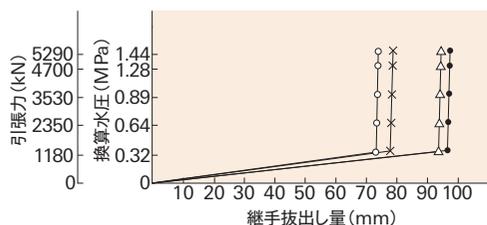
呼び径800



呼び径1000



呼び径2100



●図表3-3-2-14 離脱防止性試験結果 (UF形)

呼び径	継手	負荷水圧 (MPa)	換算引張力 (kN)	継手最大伸び量 ^{注1} (mm)	継手状況
1500	直管受口	2.5	5000	1.55 (0.2)	漏水その他異常なし
	異形管受口			0.85 (0.2)	
2000	直管受口	2.2	7870	1.30 (0.1)	
	異形管受口			1.30 (0.1)	

注1 () 内数字は最大伸び量のうち、溝幅とロックリング幅の寸法差(余裕分)によって生じた伸び量。

4 曲げ強度試験

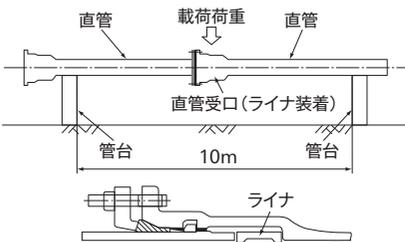
1) 目的

曲管部などでは水圧による不均均力を受けて曲げモーメントが継手に作用する。このような部分には離脱防止継手を有する異形管のほか、耐震継手(伸縮離脱防止継手)を有する直管にライナを装着することで離脱防止継手とした直管受口が用いられる。そこで、正規に接合したこれらの継手に所定の限界曲げモーメントが作用した場合の継手の異常の有無を確認する。

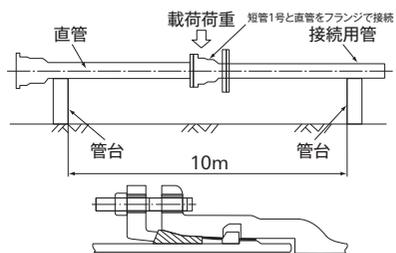
2) 試験方法

正規に接合した継手に図表3-3-2-15あるいは図表3-3-2-16の方法で、別途定められている曲げモーメント(限界曲げモーメント)を負荷し、継手の異常の有無を確認する。

●図表3-3-2-15 曲げ強度試験方法 (直管受口(ライナ装着))



●図表3-3-2-16 曲げ強度試験方法 (異形管)



●図表3-3-2-17 呼び径1000の試験状況



●図表3-3-2-18 限界曲げモーメント (kN・m)

呼び径	接合形式			
	GX形	S50形	NS形 (E種管)	NS形
50	—	2.1	—	—
75	4.4	—	4.4	4.4
100	7.4	—	7.4	7.4
150	17	—	17	17
200	24	—	—	24
250	35	—	—	35
300	64	—	—	64
350	—	—	—	81
400	130	—	—	130
450	—	—	—	170
500	—	—	—	360
600	—	—	—	540
700	—	—	—	820

(kN・m)

呼び径	接合形式	
	NS形	UF形
800	1180	1180
900	1630	1630
1000	2010	2010
1100	—	2600
1200	—	3140
1350	—	4360
1500	—	5150
1600	—	6670
1650	—	7310
1800	—	9270
2000	—	12600
2100	—	14000
2200	—	16100
2400	—	20300
2600	—	32300

3) 試験結果

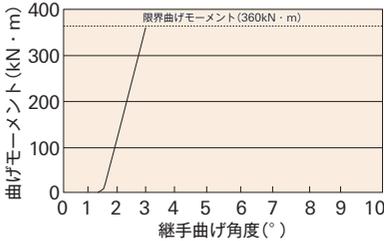
図表3-3-2-19～21に示す通り、継手に異常は認められなかった。また、直管受口にライナを装着した場合も異形管と同様な性能を示すことが確認できた。

● 図表3-3-2-19 曲げ強度試験結果 (NS形)

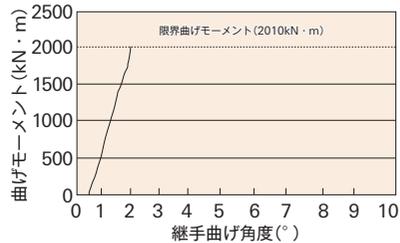
呼び径	継手	曲げモーメント (kN・m)	継手曲げ角度	試験結果
500	直管受口+ライナ	360	2° 30′	継手、ロックリングおよび挿し口内面のモルタルライニングに異常なし。
500	異形管受口	360	2° 30′	
1000	直管受口+ライナ	2010	1° 42′	
1000	異形管受口	2010	1° 30′	

● 図表3-3-2-20 曲げ強度試験結果 (NS形直管(受口にライナ装着))

呼び径500

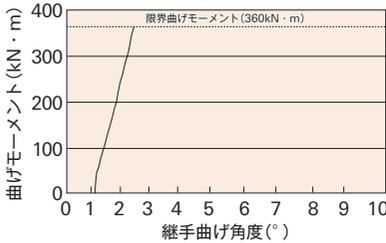


呼び径1000

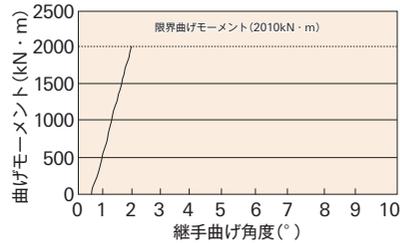


● 図表3-3-2-21 曲げ強度試験結果 (NS形異形管)

呼び径500



呼び径1000



5 曲げ試験

1) 目的

地震時、管路直線部において継手に生じる曲げは理論計算では非常に小さいが、正規に接合した継手を許容曲げ角度よりも大きく曲げる場合の曲げモーメントと、継手の異常の有無を確認する。

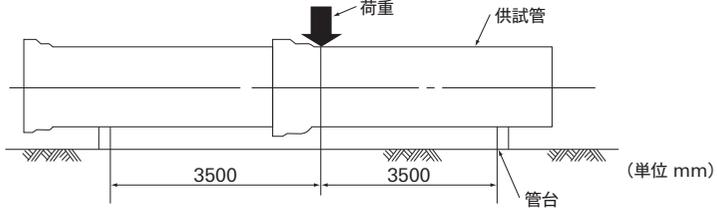
ここで紹介する「曲げ試験」は、JDEPA A 3000で定められている「曲げ強度試験」とは異なるものである。後者は、離脱防止継手を有する直管、異形管、G-LinkおよびP-Link (G-Link、P-Linkについては「3.4.1 GX形(呼び径75～300・400)」参照)を対象とし

た試験であって、継手に限界曲げモーメントを負荷し継手に異常のないことを確認するものである。

2) 試験方法

正規に接合した継手に、図表3-3-2-22の方法で荷重を負荷し、継手曲げ角度や継手の異常の有無を確認する。

●図表3-3-2-22 曲げ試験



3) 試験結果

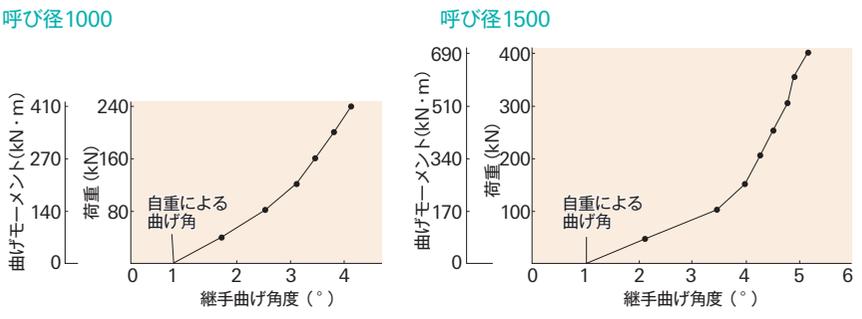
図表3-3-2-23～28に示す通り、継手を許容曲げ角度以上に曲げても継手に異常は認められなかった。

●図表3-3-2-23 曲げ試験結果 (S形)

呼び径	支点間距離 (m)	継手曲げ角度	曲げモーメント (kN・m)	継手状況
1000	7	4° 06'	410	異常なし
1500		5° 06'	690	

備考 継手の発生応力が約245N/mm²になるまで曲げモーメントを負荷した。
S形の許容曲げ角度 (JPA A 3000による) は、呼び径1000 : 1° 50'、呼び径1500 : 1° 30'である。

●図表3-3-2-24 曲げモーメントと継手曲げ角度の関係 (S形)



● 図表3-3-2-25 曲げ試験結果 (GX形直管)

呼び径	支点間距離 (m)	継手曲げ角度	曲げモーメント (kN・m)	継手状況
100	6	8° 00′	6.5	最大曲げ角度(8° 00′) ^{注1} まで継手を曲げても異常なし。
200	8		32.3	
300	10		41.8	
400			76.2	

注1 最大曲げ角度とは、継手が曲がり挿し口端部と受口内面とが接触する状態での曲げ角度であり、最大屈曲角度ともいう。

備考 GX形の許容曲げ角度(JDPA A 3000による)は、呼び径75～300・400：4° 00′である。

● 図表3-3-2-26 曲げ試験結果 (NS形)

呼び径	支点間距離 (m)	継手曲げ角度	曲げモーメント (kN・m)	継手状況
75	6	8° 00′	5.9	最大曲げ角度(8° 00′) ^{注1} まで継手を曲げても異常なし。
150	8		18.0	
250			38.0	
300	10	6° 00′	11.0	最大曲げ角度(6° 00′) ^{注1} まで継手を曲げても異常なし。
450			49.0	

注1 最大曲げ角度とは、継手が曲がり挿し口端部と受口内面とが接触する状態での曲げ角度であり、最大屈曲角度ともいう。

備考 NS形の許容曲げ角度(JDPA A 3000による)は、呼び径75～250：4° 00′、呼び径300～350：3° 00′である。

● 図表3-3-2-27 曲げ試験結果 (PN形)

呼び径	継手の状態 ^{注1}	継手曲げ角度	曲げモーメント (kN・m)	継手状況
600	入込み状態	3° 53′	10.8	異常なし
	抜出し状態	4° 39′	34.3	
1200	入込み状態	2° 13′	44.1	
	抜出し状態	3° 23′	186.2	

注1 継手の状態の「入込み状態」とは受口に挿し口が最も入った状態、「抜出し状態」とは受口から挿し口が最も抜け出した状態をいう。

備考 PN形の許容曲げ角度(JDPA A 3000による)は、呼び径600：4° 00′、呼び径1200：2° 45′である。

なお、図表3-3-2-28に示す通り、継手が考え得る限界まで曲がったときに継手の充填モルタルや接合部品に異常が発生しないことも確認されている。

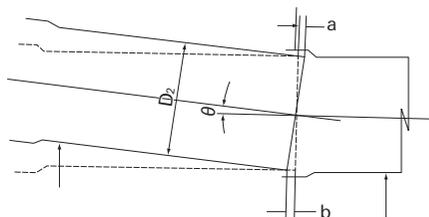
●図表3-3-2-28 曲げ試験結果(U形)

呼び径	上部入込み量a (mm)	下部拔出し量b (mm)	管外径D ₂ (mm)	継手曲げ 角度θ	試験結果
1000	6	22	1014	2° 06′	充填モルタルには、剥離、亀裂などの異常は認められなかった。また、割輪、押輪にも異常は認められなかった。
1600	3	55	1650	2° 02′	
2000	2	67	2061	1° 58′	

備考 U形の許容曲げ角度(JDPA A 3000による)は、呼び径1000 : 1° 50′、呼び径1600 : 1° 10′、呼び径2000 : 1° 00′である。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{a+b}{D_2} \right)$$

a : 上部入込み量
b : 下部拔出し量
D₂ : 管外径
θ : 継手曲げ角度



6 繰返し曲げ水密性試験

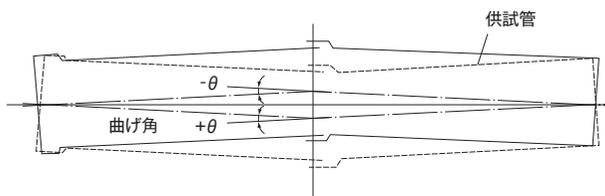
1) 目的

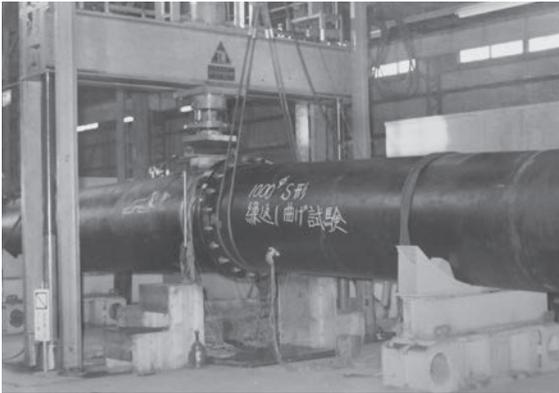
地震時、継手が繰返し曲がることを想定して、正規に接合した継手を繰返し曲げた場合の継手の水密性を確認する。

2) 試験方法

正規に接合した継手を繰返し曲げ、その後、継手が曲がった状態でテストバンドを装着して継手に水圧を負荷し、漏水の有無を確認する。

●図表3-3-2-29 繰返し曲げ水密性試験方法(例)





継手を持ち上げ、
上方に屈曲させた状況。

3) 試験結果

図表3-3-2-30～31に示す通り、継手を繰り返し曲げてても継手には漏水などの異常は認められなかった。

●図表3-3-2-30 繰返し曲げ水密性試験結果(S形)

呼び径	継手曲げ角度	繰返し回数 (回)	試験結果
1000	±3° 00′	30	継手を繰り返し曲げた後、水圧1.0MPaを負荷しても、漏水その他異常なし。
1500	±3° 30′	10	
2100	±1° 50′	10	

備考 S形の許容曲げ角度(JDPA A 3000による)は、呼び径1100：1° 40′、呼び径1200～2600：1° 30′である。

●図表3-3-2-31 繰返し曲げ水密性試験結果(US形)

呼び径	継手曲げ角度	繰返し回数 (回)	試験結果
1500	±1° 30′	20	継手を繰り返し曲げた後、水圧2.5MPaを負荷しても、漏水その他異常なし。
2000	±1° 00′	20	
2600	±1° 00′	20	

備考 US形の許容曲げ角度(JDPA A 3000による)は、呼び径1500：1° 30′、呼び径1800～2600：1° 00′である。

7 繰返し伸縮水密性試験

1) 目的

地震時に継手が繰り返し伸縮することを想定して、正規に接合した継手を繰り返し伸縮させた場合の継手の水密性を確認する。

2) 試験方法

正規に接合した継手を繰り返し伸縮させた後、テストバンドを装着して継手に水圧を負荷し、漏水の有無を確認する。

3) 試験結果

図表3-3-2-32に示す通り、継手を繰り返し伸縮させても継手には漏水などの異常は認められなかった。

●図表3-3-2-32 繰返し伸縮水密性試験結果 (US形)

呼び径	継手伸縮量 (mm)	繰返し回数 (回)	伸縮速度 (mm/s)	試験結果
1500	65	20	24.5	継手を繰り返し伸縮させた後、水圧2.5MPaを負荷しても、漏水その他異常なし
2000	54	20	25.8	
2600	70	20	21.0	

以上の結果から、地震時において継手が繰り返し屈曲、伸縮する場合でも継手の水密性能には問題がないことが確認された。

8 不平均力作用時の埋設管挙動確認試験

曲管部に離脱防止継手管 (UF形呼び径2000) を有する埋設管路に水圧による不平均力が作用した場合の継手および管の挙動を確認する。ここでは、確認試験の結果を3例紹介する。

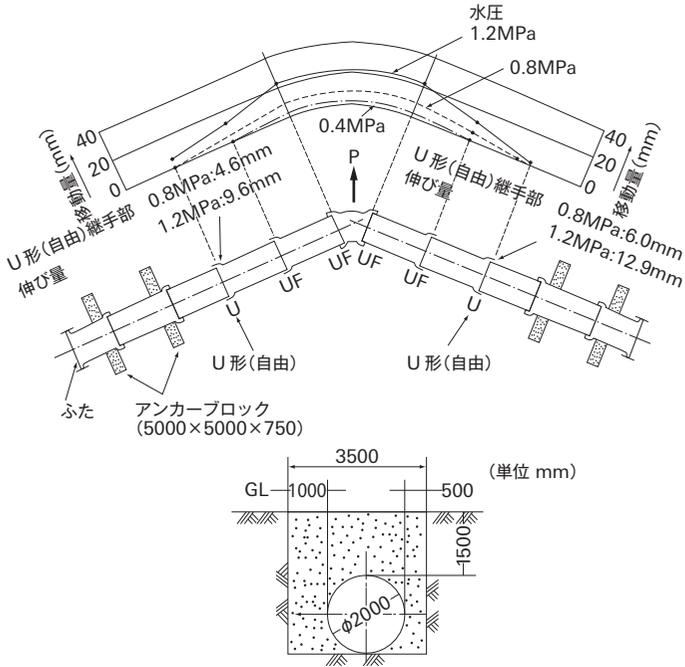
① 試験例1

1) 試験方法

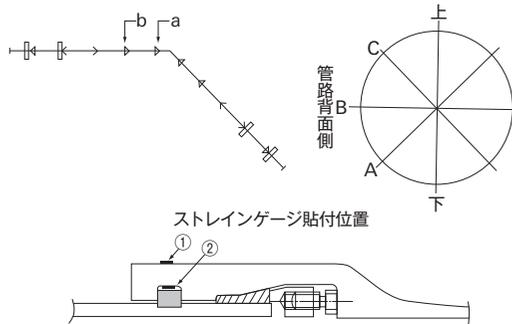
水平方向45°曲管に片側2本ずつUF形直管を接合し、曲管部保護コンクリートを設置しない場合の変位量と継手の発生応力を測定した。

●図表3-3-2-33 埋設試験方法および結果(試験例1)

水圧 (MPa)	不平均力P (kN)
0.4	942
0.8	1884
1.2	2825



●図表3-3-2-34 水圧(不平均力)と離脱防止継手の発生応力測定位置(試験例1)



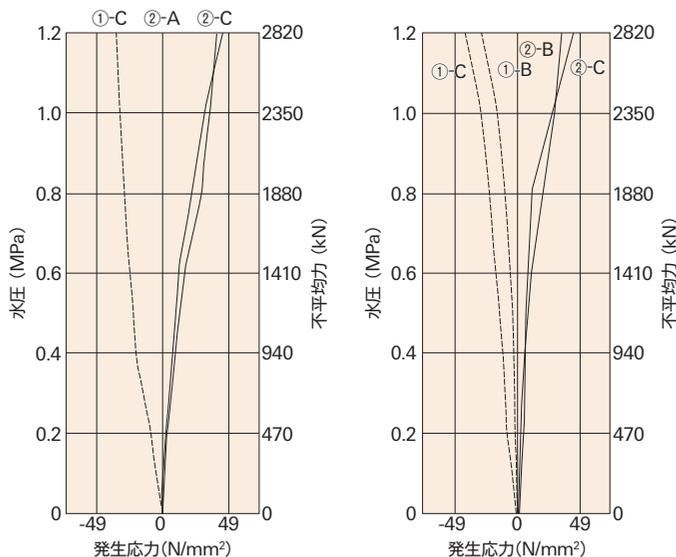
2) 試験結果

図表3-3-2-33、35に示す通り、管の移動量は小さく、また継手の発生応力も小さい。

●図表3-3-2-35 継手の発生応力(試験例1)

異形管受口の発生応力

直管受口の発生応力



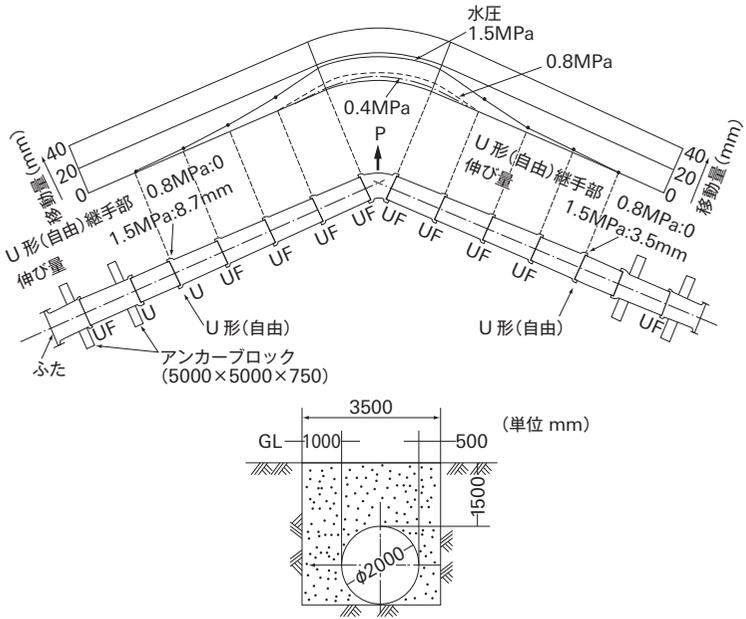
2 試験例2

1) 試験方法

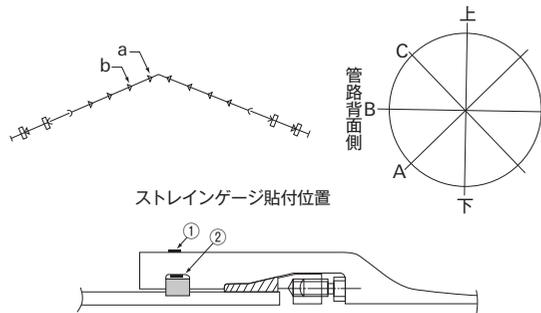
水平45°曲管に片側4本ずつUF形直管を接合し、曲管部保護コンクリートを設置しない場合の変位量と継手の発生応力を測定した。

●図表3-3-2-36 埋設試験方法および結果(試験例2)

水圧 (MPa)	不平均力P (kN)
0.4	942
0.8	1884
1.5	3532



● 図表3-3-27 水圧(不平均力)と離脱防止継手の発生応力測定位置(試験例2)



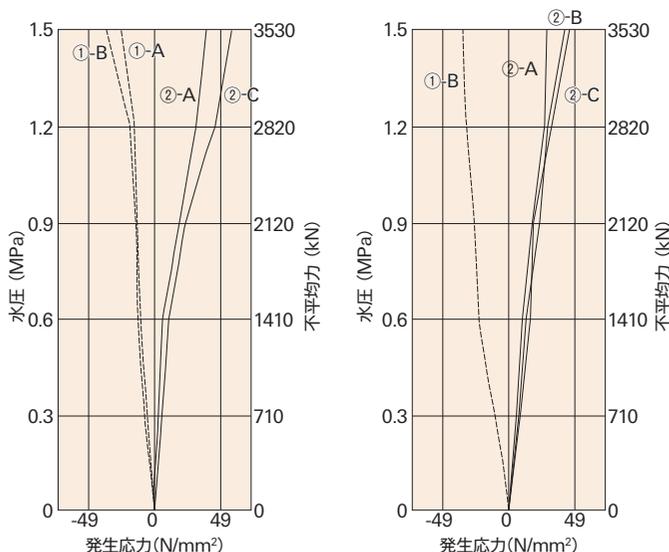
2) 試験結果

図表3-3-2-36、38に示す通り、試験例1に比べて同一水圧に対する管の移動量はさらに小さく、また継手の発生応力も小さい。

●図表3-3-2-38 継手の発生応力(試験例2)

異形管受口の発生応力

直管受口の発生応力



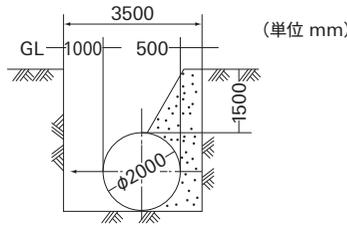
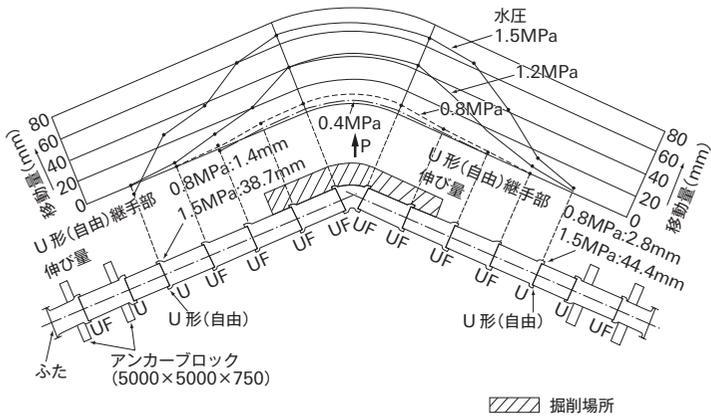
③ 試験例3

1) 試験方法

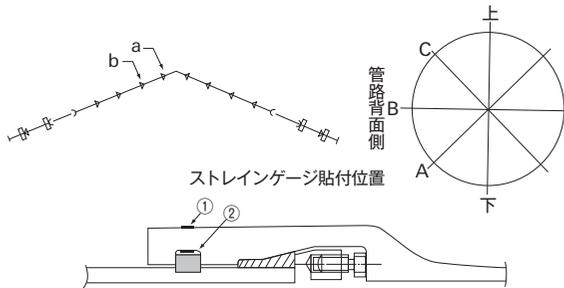
水平45°曲管に片側4本ずつのUF形直管を接合し、曲管部保護コンクリートなしで、曲管とその両側の直管部の背面を露出させた場合の変位量と継手の発生応力を測定した。

●図表図表3-3-2-39 埋設試験方法および結果(試験例3)

水圧 (MPa)	不平均力 P (kN)
0.4	942
0.8	1884
1.2	2825
1.5	3532



● 図表図表3-3-2-40 水圧(不均力)と離脱防止継手の発生応力測定位置(試験例3)



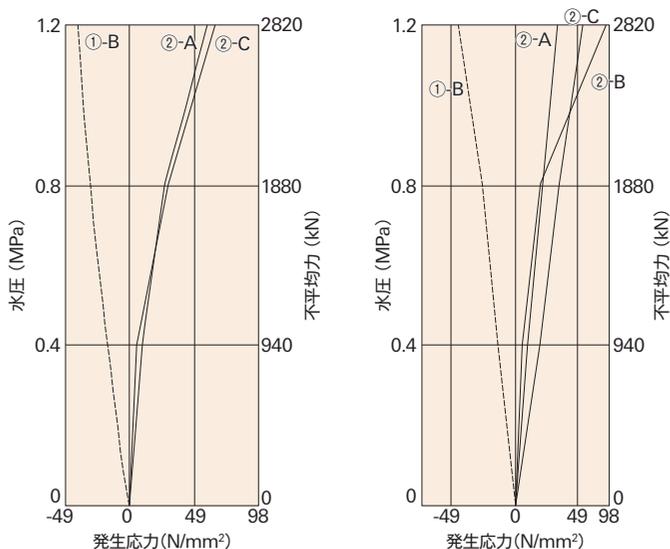
2) 試験結果

図表3-3-2-41に示す通り、継手が剛であるため、水圧0.8MPa(不均力1880kN)程度までは、主として埋設されている部分の管軸方向抵抗力で耐えており、背面地盤掘削の影響は表れていない。

●図表3-3-2-41 継手の発生応力(試験例3)

異形管受口の発生応力

直管受口の発生応力



以上のように、離脱防止継手を用いれば、曲管部の防護に用いるコンクリートブロックを省略、あるいは軽減できる。

9 繰返し曲げ気密性試験(ガス管用の継手)

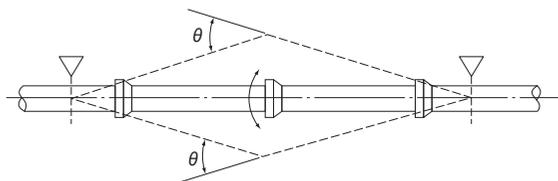
1) 目的

正規に接合した継手を繰返し曲げた場合の継手の気密性を確認する。

2) 試験方法

図表3-3-2-42に示すように管を4本接合し、空気圧を負荷した状態で、中央の継手を規定の角度 θ (継手による)まで繰返し曲げ、継手の気密性を確認する。

●図表3-3-2-42 繰返し曲げ気密性試験方法



3) 試験結果

図表3-3-2-43に示す通り、継手を繰り返し曲げても、気密性は保持されていた。

●図表3-3-2-43 繰返し曲げ気密性試験結果 (GM II形、TM型)

接合形式	呼び径	負荷気圧 (MPa)	継手曲げ角度 (θ)	繰返し速度 (回/分)	繰返し回数	試験結果
GM II形	100	0.5	$\pm 5^\circ$	360	10800	異常なし
TM型	100	0.3	$+1^\circ$	180	100000	異常なし

10 圧縮試験

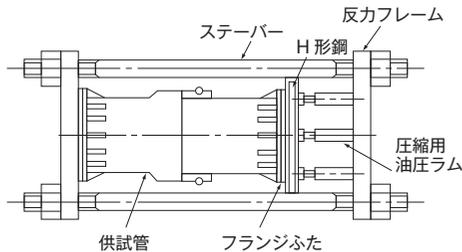
1) 目的

PIP工法に使用する継手には施工時に圧縮力が作用する。それを想定し、正規に接合した継手に管軸方向の圧縮力がかかった場合の異常の有無を確認する。

2) 試験方法

図表3-3-2-44に示すように管を2本接合し、換算推進長約1000mを想定した圧縮力を管軸方向に負荷し、異常の有無を確認する。

●図表3-3-2-44 圧縮試験方法



3) 試験結果

図表3-3-2-45に示す通り、圧縮力を負荷しても異常は認められなかった。

●図表3-3-2-45 圧縮試験結果 (P II形)

呼び径	負荷圧縮力 (kN)	換算推進長 (m)	試験結果
300	340	約 1000	異常なし
700	1120		
1200	3010		

備考 換算推進長は新設管と既設管との摩擦係数を0.5として計算した。

3-4

耐震継手

継手部が伸縮・屈曲して地盤のひずみを吸収する機能(伸縮・屈曲機能)と所定の伸び量以上で継手の離脱を防止する機能(離脱防止機能)の両者を有する、伸縮離脱防止継手について紹介する。耐震継手管路においても不平均力が作用する箇所には伸縮・屈曲機能がなく離脱防止機能のみを有する継手も必要であることから、UF形もこの中に含めて記載する。

3-4-1 GX形(呼び径75～300・400)

1 開発の背景

水道管路の耐震化はますます加速されてきている。一方、水道予算は減少し、老朽化した管路の更新率は総延長の1%程度と更新も厳しい状況にある。そのため、耐震継手管路を低コストで構築するとともに、施工性が高く、長寿命が期待できる耐震継手管を求める声が増してきた。そこで、NS形と同じ性能を有し、管路布設費の低減、施工性の飛躍的向上および長寿命化が実現できる次世代の耐震継手管としてGX形が開発された。

GX形の名称は、次世代(Generation neXt)に由来する。

2 管の種類

●図表3-4-1-1 GX形の種類

呼び径	75～300・400		
規格	JWWA G 120・121/JDPA G 1049		
直管	有効長	呼び径75～100	4000mm
		呼び径150～250	5000mm
		呼び径300・400	6000mm

直管	管厚の種類 (記号)	呼び径75～300・400	1種管(D1) S種管(DS)
異形管	二受T字管、受挿し片落管、挿し受片落管 曲管90°、曲管45°、曲管22 1/2°、曲管11 1/4°、曲管5 5/8° 両受曲管45°、両受曲管22 1/2° フランジ付きT字管、浅層埋設形フランジ付きT字管 うず巻式フランジ付きT字管、排水T字管 継ぎ輪、両受短管、乙字管、帽		
	メーカー規格品	短管1号、短管2号、栓、特殊消火栓用T字管	

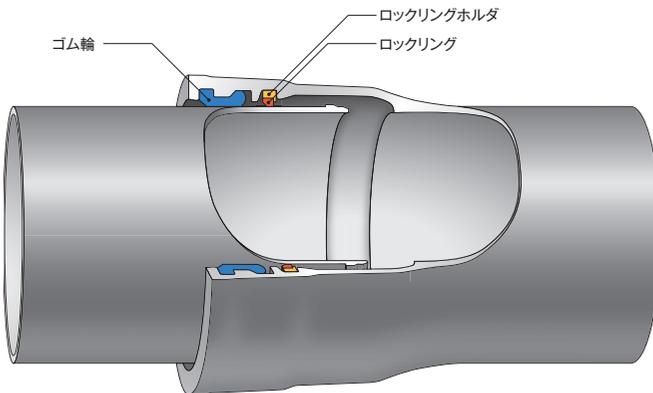
備考 受挿し片落管、挿し受片落管、短管1号、短管2号、栓は呼び径75～300・400。浅層埋設形フランジ付きT字管、特殊消火栓用T字管は呼び径75～250。うず巻式フランジ付きT字管は呼び径75～300である。直管の具体的な管厚については、図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

直管は、NS形と同様にプッシュオン継手である。ロックリングはロックリングホルダによって、受口に心出しされた状態で工場から出荷され、接合作業はゴム輪を受口にセットした後、挿し口を挿入するだけで完了する。

挿し口突部がゴム輪の内側を通過する際、ゴム輪のバルブ部が拡径し受口溝部に逃げ、ゴム輪の圧縮を緩和できる。挿し口の挿入に当たって必要な挿入力はNS形よりも小さい。挿し口突部がロックリングを押し抜けて通過し、挿し口突部通過後にはロックリングが挿し口外面に抱き付く。

●図表3-4-1-2 GX形直管の継手構造



異形管部では管内面に働く水圧の不平均力によって管路が動かないように管路を一体化する必要があり、異形管の継手は離脱防止継手である。

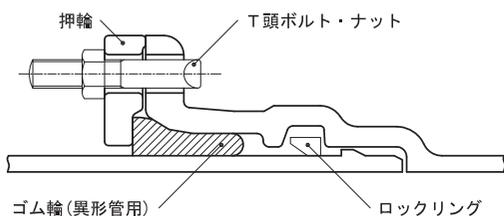
継手構造は、接合作業時の融通性に優れたメカニカル継手である。ストップパに

よって拡張されたロックリングがあらかじめ受口内部にセットされており、施工現場でのロックリング装着作業は不要である(図表3-4-1-3)。押輪が受口フランジ面と接触するまで締結用ボルトを締め付けるだけで締結用ボルトのトルク管理が不要なメタルタッチ構造である(図表3-4-1-4)。さらに、締結用ボルトの本数がK形の半分である。

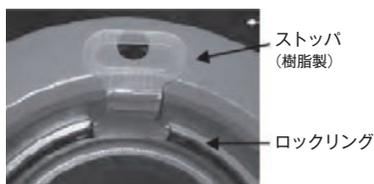
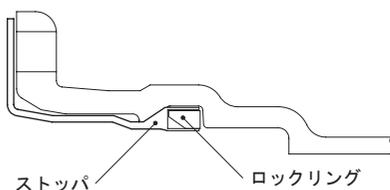
施工現場において切管(定尺の直管を短く切断した管)を用いて接合を行う場合は、NS形などのように切管用挿し口リングを用いることもできるが、図表3-4-1-5、3-4-1-6のような切管ユニット(P-Link〈直管との接合用〉、G-Link〈異形管との接合用〉、対象呼び径75~300)を用いれば、挿し口溝加工(切管用挿し口リングを用いる場合には必須の作業)を省略できる。

これらにより、NS形に比べ施工性が向上している。

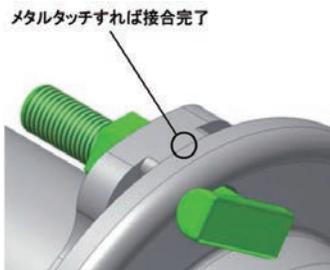
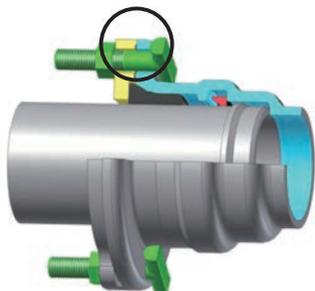
●図表3-4-1-3 GX形異形管の継手構造



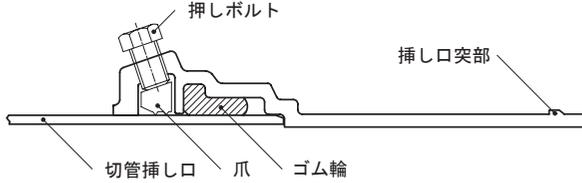
呼び径	ボルト本数
75・100	2
150・200	3
250・300	4
400	6



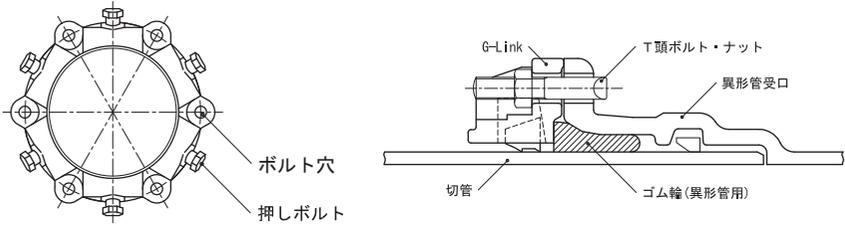
●図表3-4-1-4 メタルタッチ接合



●図表3-4-1-5 P-Linkの構造



●図表3-4-1-6 G-Linkの構造



4 基本性能

NS形と同等の伸縮性能および屈曲性能、離脱防止性能を有している。異形管周りの一体化長さ計算に用いる限界曲げモーメントはNS形と同じである。

なお、P-Link、G-Linkは爪を内蔵しており、3DkN (D:呼び径)の離脱防止性能を有する。また、本体や爪には外面耐食塗装が施されており、長期的な耐食性が確保されている(これらの点で一般の特殊押輪とは異なる)。

●図表3-4-1-7 GX形の継手性能

呼び径	許容 曲げ角度	地震時に曲がり得る 最大屈曲角度	継手伸縮量	離脱防止力 (kN)	限界曲げ モーメント (kN・m)
75	4° 00'	8° 00'	有効長の ±1%	3D (D:呼び径)	4.4
100	4° 00'	8° 00'			7.4
150	4° 00'	8° 00'			17
200	4° 00'	8° 00'			24
250	4° 00'	8° 00'			35
300	4° 00'	8° 00'			64
400	4° 00'	8° 00'			130

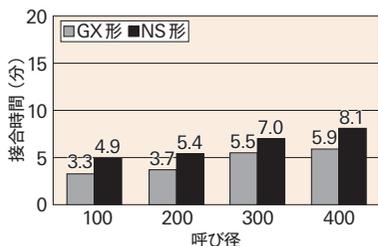
5 特徴

① 施工性の向上

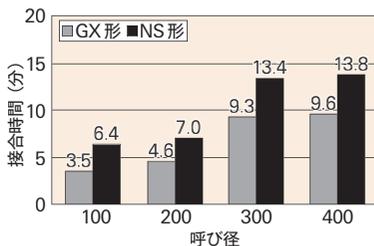
- ・ 直管は接合力の低減によりレバーホイスト1本で接合できるため、狭い掘削溝幅で接合可能である。また、2°曲げた状態で接合できるので、接合作業時の取回しが容易になっている。
- ・ 異形管はメカニカル継手にすることで、NS形などプッシュオン継手の異形管と比較して接合作業時の取回しが容易になった。また、メタルタッチ接合により接合時間が短縮された。
- ・ 切管ユニットを用いることで、挿し口溝加工なしで切管の接合ができる。

●図表3-4-1-8 GX形とNS形の接合時間の比較

直管



異形管



② 長寿命

外面耐食塗装により防食維持時間が大幅に向上し、長期の使用が期待できる。詳しくは「4-1-4 外面耐食塗装」を参照のこと。

③ コスト縮減

- ・ 施工性能向上により、NS形よりも狭い掘削溝幅での施工が可能となり、布設工事のトータルコストが縮減できる。
- ・ 長寿命化による、ライフサイクルコストの低減ができる。
- ・ 狭い掘削溝幅による発生土量の縮減、環境負荷の低減も期待できる。

3-4-2 S50形（呼び径50）

1 開発の背景

配水管路においては、管路システムとしての耐震化率向上を目指すために管路末端部までの耐震化が求められる。そのため、呼び径50以下の小口径管においても、高い耐震性能を有する管材料の必要性が高まっている。また、人口の減少などから水需要は減少傾向にあり、管路末端部における滞留水の発生が問題となっており、管路更新の際は、水量の適正化対策として管路のダウンサイジングにも配慮する必要がある。このように、今後小口径耐震継手管の需要が増加することが予想されるが、ダクタイル鉄管には呼び径50の耐震継手管が存在しなかったため、高い耐震性能を有し施工性に優れたS50形が開発された。

S50形の名称は、「地震の(Seismic、Seismal)」の頭文字「S」、呼び径50の「50」に由来する。

2 管の種類

●図表3-4-2-1 S50形の種類

呼び径	50		
規格	JDPA G 1052		
直管	有効長	呼び径50	4000mm
	管厚の種類(記号)	呼び径50	S種管(DS)
異形管	二受T字管 曲管90°、曲管45°、曲管22 1/2°、曲管11 1/4° フランジ付きT字管 継ぎ輪、両受短管、栓		
	メーカー規格品	短管1号、短管2号、GX形75×50受挿し片落管、GX形75×50挿し受片落管	

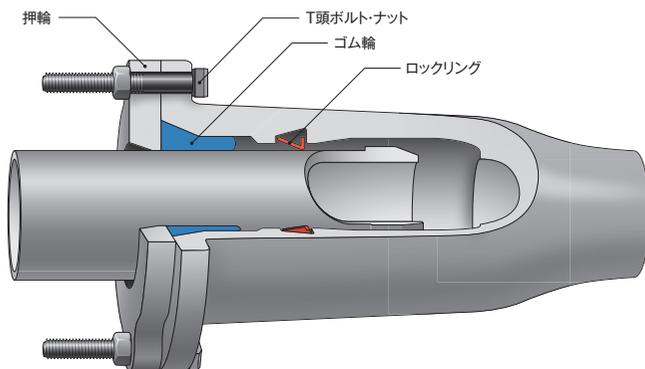
備考 直管の具体的な管厚は、図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

直管は、ロックリングによる離脱防止機構により、地震により継手に離脱力が働くとロックリングが挿し口突部とロックリング収納溝壁面に掛かり合い、3DkN(D:

呼び径)の離脱防止性能を発揮する。また、同時に十分な継手伸縮量と屈曲性能を有しているため、地盤の変動に対して柔軟に追従できる。

●図表3-4-2-2 S50形直管の継手構造

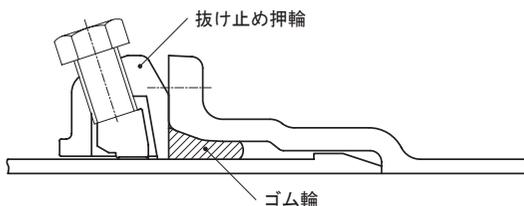


●図表3-4-2-3 S50形ロックリングの外観



異形管は抜け止め押輪を使用する。地震などにより継手に離脱力が働いた場合は、抜け止め押輪の爪が挿し口外面に食い込み、直管と同じく3DkNの離脱防止性を発揮する。

●図表3-4-2-4 S50形異形管の継手構造



4 基本性能

NS形と同等の伸縮性能および屈曲性能、離脱防止性能を有している。

●図表3-4-2-5 S50形の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	地震時に曲がり得る最大屈曲角度	継手伸縮量	離脱防止力 (kN)	限界曲げモーメント (kN・m)
50	4° 00'	8° 00'	有効長の ±1%	3D (D:呼び径)	2.1

5 特徴

1 耐震性

NS形やGX形等の耐震継手管と同等の高い耐震性を有している。直管はロックリングにより3DkNの離脱防止力、有効長の±1%の継手伸縮量、許容曲げ角度4°を有し、異形管は抜け止め押輪により3DkN以上の離脱防止力を有する。

2 施工性

S50形は、管路末端部で使用されることが多く、埋設物の^{ふくそう}輻輳した場所や施工時間の制約などが想定されているため、施工性に優れた構造となっている。

直管、異形管ともにメカニカル継手を採用し、押輪がメタルタッチ構造なので、T頭ボルト・ナット締付け時のトルク管理は不要である。また、インパクトレンチを使用した迅速な締付け作業が可能である。

また、従来の耐震継手管は、挿し口突部がロックリングを通過する際にレバーホイスト等による引込み作業が必要であるが、S50形は挿し口を人力で受口に挿入するだけでロックリングが自動的に広がり、挿し口突部がロックリングを簡単に通過するため接合が容易である。さらに、切管時の挿し口溝切り加工が不要で、異形管の接合同様に抜け止め押輪を使用することで、接合作業の負荷を低減できる。掘削幅50cmを想定した場所で、直管および抜け止め押輪の施工性を確認した。

3 長寿命

外面耐食塗装により防食維持時間が大幅に向上し、長期の使用が期待できる。詳しくは「4-1-4 外面耐食塗装」を参照のこと。

3-4-3 NS形（呼び径75～1000）

1 開発の背景

呼び径75～450のNS形は、SⅡ形の施工性を向上させた耐震継手管として開発された。

呼び径500～1000のNS形は、S形の施工性向上だけでなく、1種類の接合形式で管路を構築できることから、管路設計および施工管理を容易にする耐震継手管として開発された。

NS形の名称は、新しい(New)の頭文字「N」、 「地震の(Seismic、Seismal)」の頭文字「S」に由来する。

2 管の種類

●図表3-4-3-1 NS形の種類

呼び径	75～1000		
規格	JIS G 5526・5527/JWWA G 113・114/JDPA G 1042		
直管	有効長	呼び径75～100	4000mm
		呼び径150～250	5000mm
		呼び径300～1000	6000mm
	管厚の種類 (記号)	呼び径75～450	1種管(D1) 3種管(D3)
呼び径500～1000		S種管(DS)	
異形管	三受十字管、二受T字管 受挿し片落管、挿し受片落管 曲管90°、曲管45°、曲管22 1/2°、曲管11 1/4°、曲管5 5/8° 両受曲管45°、両受曲管22 1/2° 仕切弁副管A1号、仕切弁副管A2号 フランジ付きT字管、浅層埋設形フランジ付きT字管 うず巻式フランジ付きT字管、排水T字管、継ぎ輪 短管1号、短管2号、帽、栓		
	メーカー規格品	乙字管、栓	

備考 三受十字管は呼び径75～900。受挿し片落管、挿し受片落管は、呼び径100～1000。仕切弁副管A1号、仕切弁副管A2号は呼び径400～1000。浅層埋設形フランジ付きT字管は呼び径75～250。うず巻式フランジ付きT字管、乙字管(メーカー規格)は呼び径75～350。排水T字管は呼び径200～1000。帽、栓(メーカー規格)は呼び径75～450。栓は呼び径500～1000である。直管の具体的な管厚は、図表3-1-3-1参照のこと。

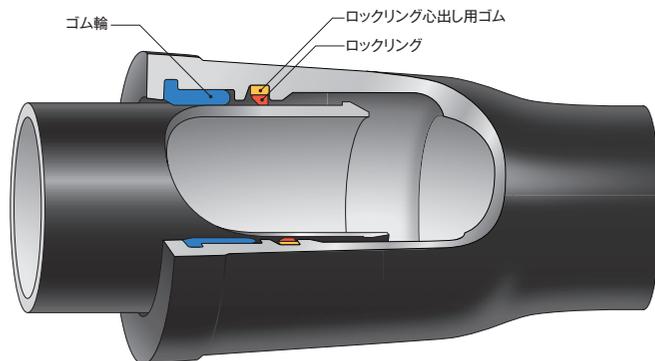
3 継手の構造

① 呼び径75～250

直管、異形管ともにT形と同様プッシュオン継手であるが、離脱防止機能を持たせるためのロックリングが受口内で心出しされた状態で工場から出荷される。

接合には、挿し口突部がゴム輪の内側を通過するのでT形に比べて大きな押込み力(挿入力)が必要となるものの、SⅡ形で必要であった現場における接合作業時のロックリング装着作業は不要である。

●図表3-4-3-2 NS形(呼び径75～250)直管の継手構造

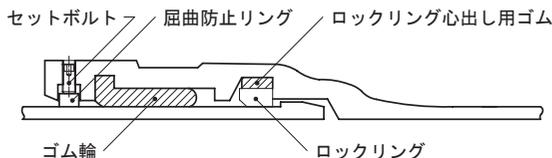


直管の継手は伸縮・屈曲機能を有するが、図表3-4-3-3のように受口にライナを使用することにより、離脱防止継手としても使用される。

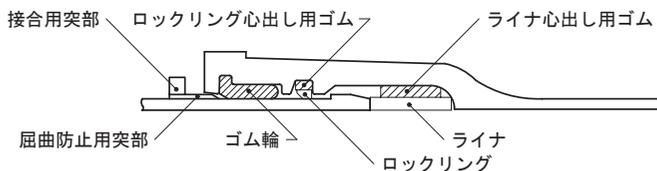
異形管は、工場で装着済みの屈曲防止リングを備えている。現場の接合作業時にセットボルトを締め付けることで屈曲防止リングが挿し口に抱き付き挿し口と受口とが一体化し屈曲が防止される。

●図表3-4-3-3 NS形(呼び径75～250)の離脱防止機構の構造

異形管受口の場合



直管受口と異形管挿し口の場合



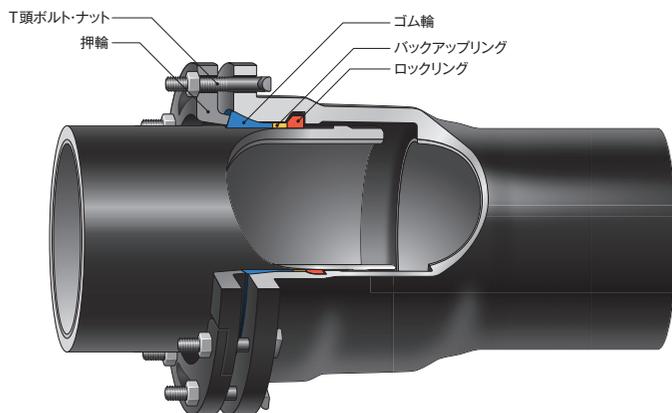
② 呼び径300～450

直管は、呼び径75～250同様プッシュオン継手であるが、異形管は呼び径75～250と異なりメカニカル継手である。いずれも、ロックリングが受口内で心出しされた状態で工場から出荷される。

③ 呼び径500～1000

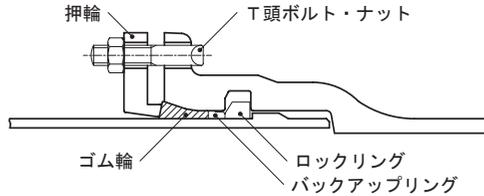
直管、異形管ともにメカニカル継手である。ロックリングは接合作業時に装着される。直管の継手には伸縮・屈曲機能がある。継手に離脱力が働くと最終的にロックリングがロックリング収容溝壁面と挿し口突部に掛かり合い、離脱防止力を発揮するため離脱防止継手となる。ロックリングに設けたテーパ面の作用によって、ロックリングを挿し口外周面に抱き付かせる力が働くので確実に離脱防止性能が得られる。

●図表3-4-3-4 NS形(呼び径500～1000)直管の継手構造

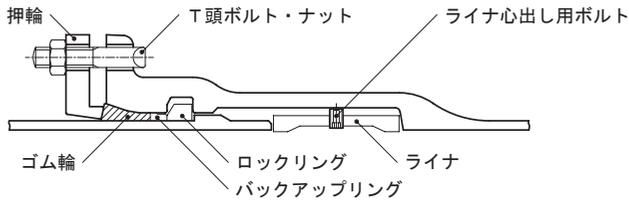


直管は図表3-4-3-5のようにライナの使用により伸縮・屈曲機能をなくせば、離脱防止継手管としても使用可能である。異形管の継手は直管同様メカニカル継手であるが、伸縮機能はない(継ぎ輪だけは伸縮機能がある)。

●図表3-4-3-5 NS形(呼び径500~1000)の離脱防止構造
異形管受口の場合



直管受口と異形管挿し口の場合



4 基本性能

SII形、S形と同等の伸縮性能および屈曲性能、離脱防止性能を有している。限界曲げモーメントはGX形と同じである。

●図表3-4-3-6 NS形(呼び径75~450)の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	地震時に曲がり得る最大屈曲角度	継手伸縮量	離脱防止力 (kN)	限界曲げモーメント (kN・m)
75	4° 00′	8° 00′	有効長の土 1%	3D (D:呼び径)	4.4
100	4° 00′	8° 00′			7.4
150	4° 00′	8° 00′			17
200	4° 00′	8° 00′			24
250	4° 00′	8° 00′			35
300	3° 00′	6° 00′			64
350	3° 00′	6° 00′			81
400	3° 00′	6° 00′			130
450	3° 00′	6° 00′			170

異形管周りの一体化長さ計算に用いるNS形(呼び径500～1000)の限界曲げモーメントは、KF形、UF形と同じである。

●図表3-4-3-7 NS形(呼び径500～1000)の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	地震時に曲がり得る最大屈曲角度	継手伸縮量	離脱防止力 (kN)	限界曲げモーメント (kN・m)
500	3° 20′	7° 00′	有効長の ±1%	3D (D:呼び径)	360
600	2° 50′	7° 00′			540
700	2° 30′	7° 00′			820
800	2° 10′	7° 00′			1180
900	2° 00′	7° 00′			1630
1000	1° 50′	7° 00′			2010

5 特徴

① 呼び径75～450

現場における接合作業時のロックリング装着作業は不要である。

② 呼び径500～1000

- ・ ロックリングの逆向き装着が防止できる。
- ・ 他の離脱防止継手管 (UF形) を使用せずにNS形管だけで耐震継手管路が構築できる。

3-4-4 NS形 (E種管) (呼び径75~150)

1 開発の背景

耐震化を一層促進するに当たり、事業者からのさまざまな要望に応え、NS形を経済的に、そして軽量にしたものとして開発された。

NS形 (E種管) の名称にあるEは経済的 (Economy) の頭文字「E」に由来する。

2 管の種類

●図表3-4-4-1 NS形 (E種管) の種類

呼び径	75~150		
規格	JDPA G 1042-2		
直管	有効長	呼び径75	4000mm
		呼び径100	4000mm・5000mm
		呼び径150	5000mm
	管厚の種類 (記号)	呼び径75~150	E種管 (DE)
異形管	二受T字管、両受片落管 曲管90°、曲管45°、曲管22 1/2°、曲管11 1/4°、曲管5 5/8° 両受曲管45°、両受曲管22 1/2° 浅層埋設形フランジ付きT字管 受挿し短管、継ぎ輪、帽		
	メーカー規格品	短管1号、短管2号	

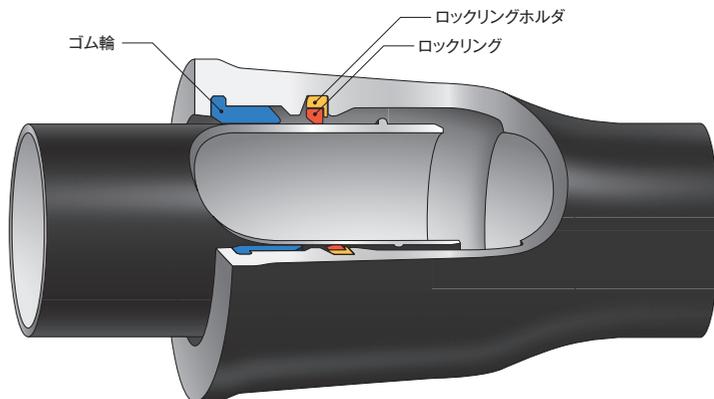
備考 両受片落管は呼び径100~150である。直管の具体的な管厚は、図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

直管はNS形に比べ、受口の設計変更や直部管厚の変更により軽量化されている。また、挿し口突部はリング材を用いず溶接ビードだけで形成されている。

ロックリングは、NS形直管同様、受口に心出しされた状態で工場から出荷される。

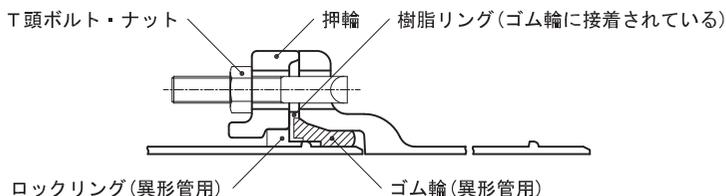
●図表3-4-4-2 NS形(E種管)直管の継手構造



異形管は、ロックリング装着位置の変更(受口内部から受口外部へ)によるショートボディ化や、受口フランジ部形状の変更(円形→四角形・六角形へ)により軽量化されている。

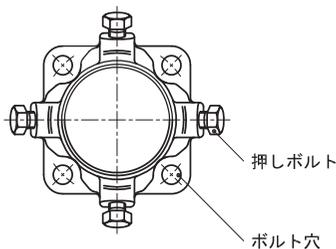
押輪が受口フランジ面と接触するまでT頭ボルト・ナットを締め付けるだけで押輪締結用ボルトのトルク管理が不要なメタルタッチ構造である。さらに、ロックリングがストッパによって拡径された状態で工場から出荷されるので、現場での接合作業にロックリングの拡径は不要である。施工現場で切管を用いて接合する場合には、図表3-4-4-4のような切管ユニット(N-Link)を用いる。

●図表3-4-4-3 NS形(E種管)異形管の継手構造

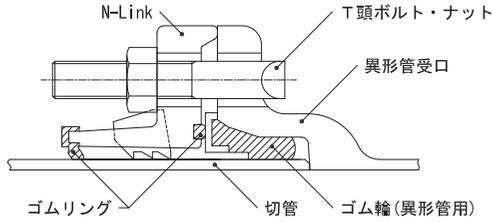


●図表3-4-4-4 N-Linkの構造

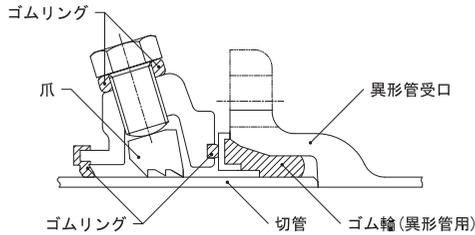
断面



側面



側面・爪部



4 基本性能

継手性能はNS形と同等である。

●図表3-4-4-5 NS形(E種管)の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	地震時に 曲がり得る 最大屈曲角度	継手伸縮量	離脱防止力 (kN)	限界曲げ モーメント (kN・m)
75	4° 00′	8° 00′	有効長の ±1%	3D (D:呼び径)	4.4
100	4° 00′	8° 00′			7.4
150	4° 00′	8° 00′			17

5 特徴

- ・ 軽量のため、取扱いが容易である。特に、呼び径75直管の場合は人手による運搬が可能である。
- ・ 直管はロックリング装着作業が不要である。
- ・ 異形管はロックリングの拡径作業やトルク管理が不要である。
- ・ 継手性能は同じ呼び径のNS形と同じである。ただし、設計水圧は1.3MPa以下である。

3-4-5 S形（呼び径1100～2600）

1 開発の背景

大都市あるいは地震多発地方の都市から大地震で地盤が悪い場合や亀裂、液状化が起こる場合でも十分安全な管路を求める声が強くなったことを受け、S形が開発された。日本で最初に使用された耐震型ダクタイル鉄管用継手である。

当初は、呼び径1000～1500、最終的には呼び径500～2600が規格化されていたが、呼び径500～1000のNS形の普及に伴い、S形の最小呼び径は1100となった。

S形の名称は、「地震の(Seismic、Seismal)」の頭文字「S」に由来する。

2 管の種類

●図表3-4-5-1 S形の種類

呼び径	1100～2600		
規格	JIS G 5526・5527/JWWA G 113・114/JDPA G 3001		
直管	有効長	呼び径1100～1500	6000mm
		呼び径1600～2200	4000mm・5000mm
		呼び径2400～2600	4000mm
	管厚の種類 (記号)	呼び径1100～2600	1種管(D1) 2種管(D2) 3種管(D3)
異形管	継ぎ輪、長尺継ぎ輪		

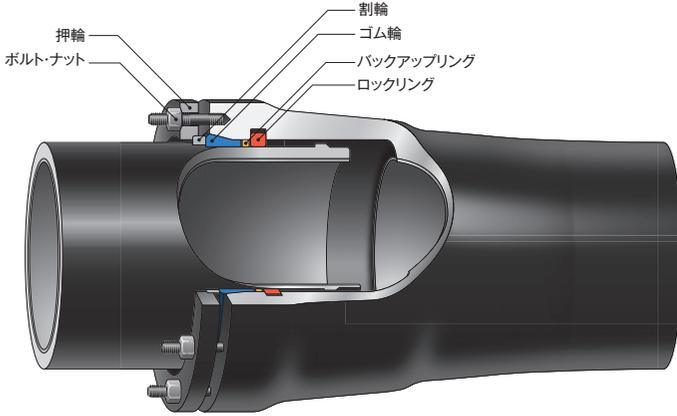
備考 長尺継ぎ輪は現在JDPA G 3001のみに規定されている。直管の具体的な管厚は、図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

継手は伸縮・屈曲機能を有し、地盤のひずみを継手の伸縮・屈曲により吸収することができる。受口内面にはロックリングが収納されており、継手に離脱力が働くと、最終的にはロックリングが受口のロックリング収納溝壁面と挿し口突部とに掛かり合い、離脱防止継手となる。

継手の基本構造は直管と同じである。異形管は、継ぎ輪、長尺継ぎ輪のみであり、これらは伸縮機能を有する。

●図表3-4-5-2 S形直管の継手構造



4 基本性能

●図表3-4-5-3 S形の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	地震時に曲がり得る 最大屈曲角度	継手伸縮量	離脱防止力 (kN)
1100	1° 40′	7° 00′	有効長の±1%	3D (D: 呼び径)
1200	1° 30′	7° 00′		
1350	1° 30′	6° 30′		
1500	1° 30′	5° 50′		
1600	1° 30′	5° 00′		
1650	1° 30′	4° 50′		
1800	1° 30′	4° 40′		
2000	1° 30′	4° 20′		
2100	1° 30′	4° 10′		
2200	1° 30′	4° 00′		
2400	1° 30′	3° 50′		
2600	1° 30′	3° 40′		

5 特徴

- ・継手の水密性が高く、大きな伸縮・屈曲性を持つ。
- ・最終的には、ロックリングと挿し口突部との掛かり合いによって、受口と挿し口との離脱を防止する。

3-4-6 US形（呼び径800～2600）

1 開発の背景

すでに大口径ダクタイル鉄管には経済的な埋設が可能な内面接合用の継手(U形)が開発されており、耐震継手管においても内面接合可能な継手が要望されたことを受け、US形が開発された。

US形の名称は、内側(Uchigawa)の頭文字「U」、[地震の(Seismic、Seismal)]の頭文字「S」に由来する。

2 管の種類

●図表3-4-6-1 US形の種類

呼び径	800～2600		
規格	JIS G 5526・5527 / JWWA G 113・114 / JDPA G 3002		
直管	有効長	呼び径 800～1500	4000mm・6000mm
		呼び径 1600～2600	4000mm・5000mm
異形管	管厚の種類(記号)	呼び径 800～2600	1種管(D1) 2種管(D2) 3種管(D3) 4種管(D4)
	継ぎ輪、長尺継ぎ輪	メーカー規格品	曲管 11 1/4°、曲管 8°、曲管 5 5/8°、曲管 3°

備考 直管の呼び径2400、2600の4種管の有効長5000mmはJDPA G 3002で規定(JIS、JWWA規格では規定なし)。長尺継ぎ輪は呼び径1100～2600である(JDPA G 3002で規定(JIS、JWWA規格では規定なし))。曲管11 1/4°呼び径1000～1500。曲管8°、曲管5 5/8°、曲管3°は呼び径1000～2600である。直管の具体的な管厚は、図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

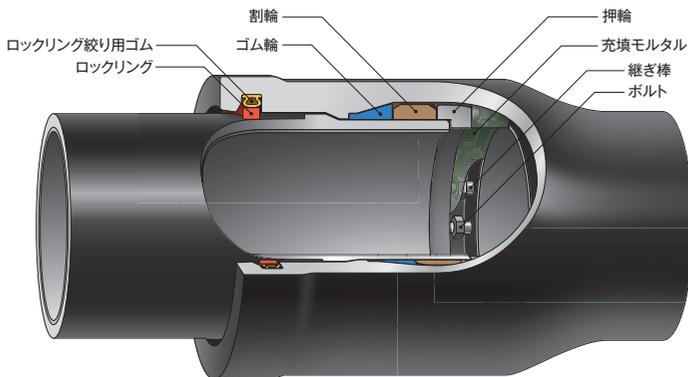
K形やU形と同じ水密機構を有する。継手には伸縮・屈曲機能があるが、継手に離脱力が働くと、最終的にロックリングがロックリング収容溝壁面と挿し口突部に掛かり合い、離脱防止力を発揮するため離脱防止継手となる。

ロックリングを挿し口外周面に抱き付かせる方式によって3つの方式に分かれる。

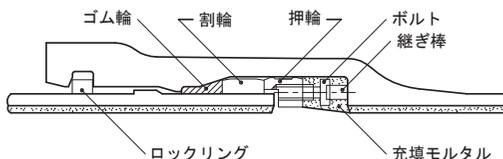
① LS (Lockring Squeeze : ロックリング絞り) 方式

呼び径800～1000では、継手に離脱力が働くと、ロックリング収容溝のテーパ状壁面からの反力により、呼び径1100～2600では、予めロックリング収容溝底に配置したロックリング絞り用ゴムの弾性復元力もこれに加わることで、ロックリングが挿し口外周面に抱き付く。

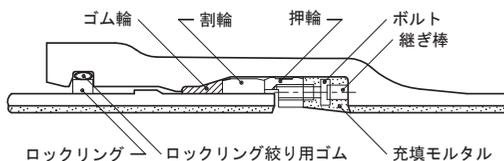
●図表3-4-6-2 US形(LS方式)直管の継手構造



呼び径800～1000



呼び径1100～2600



② VT (Vinyl Tube : ビニルチューブ) 方式

ロックリング収容溝にはテーパ状壁面が設けられておらず、ロックリングを挿し口外周面に抱き付かせるための作業がすべての呼び径において必要である。受口外周に設けたキリ穴から差し込んだビニルチューブにモルタルを圧入し膨張させ、ロックリングを挿し口外周面に抱き付かせる。

③ SB (Set Bolt : セットボルト) 方式

ロックリング収容溝にはテーパ状壁面が設けられておらず、ロックリングを挿し口外周面に抱き付かせるための作業がすべての呼び径において必要である。受口外周にほぼ均等に設けたねじ穴からセットボルトをねじ込むことで、ロックリングを挿し口外周面に抱き付かせる。

4 基本性能

●図表3-4-6-3 US形の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	継手伸び量	離脱防止力 (kN)
800	2° 10′	有効長の+1%	3D (D : 呼び径)
900	2° 00′		
1000	1° 50′		
1100	1° 40′		
1200~1500	1° 30′		
1600	1° 10′		
1650	1° 05′		
1800~2600	1° 00′		

5 特徴

- ・ 屈曲性能とともに大きな伸縮性能 (基本的には伸長のみ) を有し、最終的には離脱防止継手となる。
- ・ 管内面からの接合が可能であり、非開削での接合に適した継手である。
- ・ 水密性が優れている。

3-4-7 UF形（呼び径800～2600）

1 開発の背景

曲管部などにおいて不平均力が作用する所にはコンクリート防護が必要となるが、交通量の多い所では長時間の道路占有が難しく、即日復旧できる防護方法が必要となってきた。そこで、内面接合が可能な離脱防止継手としてUF形が開発された。

UF形の名称は、内側(Uchigawa)の頭文字「U」、固定(Fixed)の頭文字「F」に由来する。

2 管の種類

●図表3-4-7-1 UF形の種類

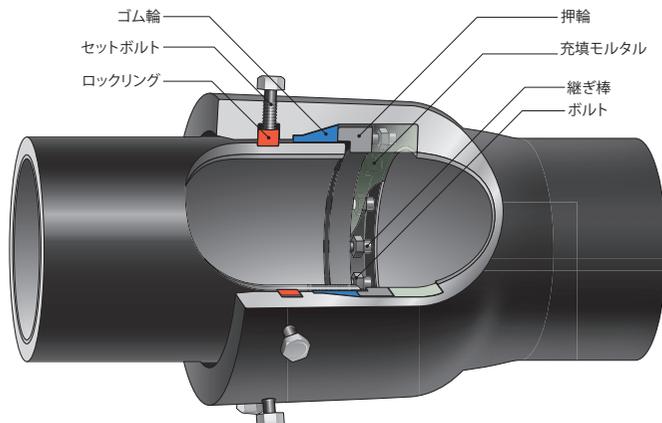
呼び径	800～2600		
規格	JIS G 5526・5527/JWWA G 113・114/JDPA G 3003		
直管	有効長	呼び径800～1500	6000mm
		呼び径1600～2200	4000mm・5000mm
		呼び径2400～2600	4000mm
	管厚の種類(記号)	呼び径800～2600	PF種管(DPF)
異形管	三受十字管、二受T字管 受挿し片落管、挿し受片落管 曲管90°、曲管45°、曲管22 1/2°、曲管11 1/4°、曲管5 5/8°、両受曲管90°、 両受曲管45°、両受曲管22 1/2°、両受曲管11 1/4°、両受曲管5 5/8° 仕切弁副管A1号、仕切弁副管A2号 フランジ付きT字管、排水T字管、短管1号、短管2号		

備考 三受十字管は呼び径800～900。曲管90°、両受曲管90°は 呼び径800～1800である。直管の具体的な管厚は図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

受口内面にはロックリングが収納されており、継手に離脱力が働くと、ロックリングが受口のロックリング収納溝と挿し口溝部とに掛り合い、離脱防止継手となる。継手は伸縮・屈曲性を持たない。ロックリングを押圧するセットボルトには、六角ボルト(主に開削工法用)と六角穴付止めねじ(主に推進用工法用)の2種類がある。図表3-4-7-2に六角ボルトの場合を示す。

●図表3-4-7-2 UF形の継手構造



4 基本性能

異形管周りの一体化長さ計算に用いるUF形の限界曲げモーメントは、NS形と同じである。

●図表3-4-7-3 UF形の継手性能

呼び径	離脱防止力 (kN)	限界曲げ モーメント (kN・m)
800	3D (D:呼び径)	1180
900		1630
1000		2010
1100		2600
1200		3140
1350		4360
1500		5150
1600		6670

呼び径	離脱防止力 (kN)	限界曲げ モーメント (kN・m)
1650	3D (D:呼び径)	7310
1800		9270
2000		12600
2100		14000
2200		16100
2400		20300
2600		32300

5 特徴

- ・ 水圧によって曲管部に作用する不平均力に対し大きな抵抗力を有するため、UF形を使用することで、曲管部の防護に用いるコンクリートブロックを省略、あるいは軽減できる。
- ・ 不平均力に対して変位が少ない。
- ・ 水密性が優れている。
- ・ 現地での切管が可能である。

3-5

一般継手

3-5-1 K形（呼び径75～2600）

1 開発の背景

高度経済成長の時代を迎え、より高圧での輸送が求められたため、既存のA形、改良AⅡ形よりもさらに水密性を向上させるために開発された。伸縮・屈曲性を有するが離脱防止性を必要としない場合のもっとも代表的な継手として、上水道その他で広く用いられている。

K形は水密性に優れ、しかも耐変形性が良いので、高い水圧や大きな外圧のかかる場所あるいは大口径管、薄肉管用として適している。

K形の名称は、改良（Kairyou）の頭文字「K」に由来する。

2 管の種類

●図表3-5-1-1 K形の種類

呼び径	75～2600		
規格	JIS G 5526・5527/JWWA G 113・114/JDPA G 3004		
直管	有効長	呼び径 75～100	4000mm
		呼び径 150～250	5000mm
		呼び径 300～1500	6000mm
		呼び径 1600～2200	4000mm・5000mm
		呼び径 2400～2600	4000mm
	管厚の種類（記号）	呼び径 75～350	1種管（D1） 3種管（D3）
		呼び径 400～500	1種管（D1） 2種管（D2） 3種管（D3）

直管	管厚の種類 (記号)	呼び径 600 ~ 2600	1 種管 (D1) 2 種管 (D2) 3 種管 (D3) 4 種管 (D4)
異形管	三受十字管、二受 T 字管 受挿し片落管、挿し受片落管 曲管 90°、曲管 45°、曲管 22 1/2°、曲管 11 1/4°、曲管 5 5/8° 仕切弁副管 A1 号、仕切弁副管 A2 号 フランジ付き T 字管、浅層埋設形フランジ付き T 字管、うず巻式フランジ付き T 字管、 排水 T 字管、継ぎ輪 短管 1 号、短管 2 号、栓		

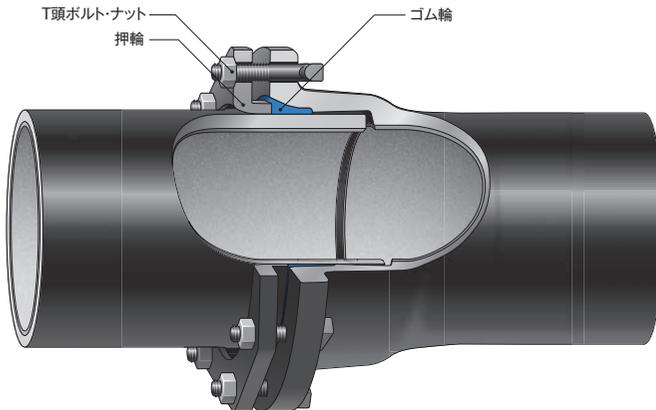
備考 三受十字管は 呼び径75~900。受挿し片落管、挿し受片落管は 呼び径100~2600。曲管90°は呼び径75~1800。曲管5 5/8°は呼び径300~2600。仕切弁副管A1号、仕切弁副管A2号は呼び径400~2600。浅層埋設形フランジ付きT字管は呼び径75~300。うず巻式フランジ付きT字管は呼び径75~350。排水T字管は呼び径200~2600。栓は呼び径75~1500である。直管の具体的な管厚は図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

丸ゴムとそれよりも硬い角ゴムを一体化させたゴム輪を、T頭ボルト・ナットで締め付けられた押輪で受口内部のスタフィンボックスに押し込み、水密性を確保する構造である。

接合に当たっては、T頭ボルト・ナットの締め付けトルクなどを管理する必要がある。

●図表3-5-1-2 K形の継手構造



4 基本性能

●図表3-5-1-3 K形の許容曲げ角度と許容胴付間隔

呼び径	許容曲げ角度	許容胴付間隔 (mm)	呼び径	許容曲げ角度	許容胴付間隔 (mm)
75~200	5° 00′	20	1100	1° 40′	36
250	4° 10′	20	1200	1° 30′	36
300	5° 00′	32	1350	1° 20′	36
350	4° 50′	32	1500	1° 10′	36
400	4° 10′	32	1600	1° 30′	43
450	3° 50′	32	1650	1° 30′	45
500	3° 20′	32	1800	1° 30′	48
600	2° 50′	32	2000	1° 30′	53
700	2° 30′	32	2100	1° 30′	55
800	2° 10′	32	2200	1° 30′	58
900	2° 00′	32	2400	1° 30′	63
1000	1° 50′	36	2600	1° 30′	71

5 特徴

- ・ ゴム輪は押輪によって受口内に押し込まれ、受口内面および挿し口外面と強く密着するため、高い水密性、気密性が得られる。弾力性のあるゴム輪を用いていることにより屈曲性が得られ、多少の地盤の動き、振動に対しても順応する。
- ・ 簡単な工具（ラチェットレンチあるいはスパナ）で接合ができる。場合によっては水場での作業も可能で、天候によって作業が遅延することが少ない。また接合後直ちに埋め戻せるので工事の進捗がスムーズである。
- ・ ゴム輪はスタフィンボックス内に収納され露出部分が少ないので、酸素と接触することが少なく老化しにくい。
- ・ 管一本一本をゴム輪で絶縁することになるので電食の影響を受けにくい。
- ・ 構造上、離脱防止力はほとんど期待できない。従って、不均均力の作用する曲管部、管末等では離脱に対して適当な防護が必要である。ただし、直線部ではその必要はない。

3-5-2 T形（呼び径75～2000）

1 開発の背景

海外で一般的に用いられていたプッシュオン継手は、メカニカル継手のK形と比べ、押輪、ボルト・ナットが不要で接合部品はゴム輪のみである。そこで、ダクタイル鉄管による管路をより経済的に構築するためT形が開発された。

T形の名称は、米国ユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社の米国登録商標「TYTON JOINT」「TYTON」の「T」に由来する。なお、「タイトン」は同社の日本登録商標である。

2 管の種類

●図表3-5-2-1 T形の種類

呼び径	75～2000		
規格	JIS G 5526・5527 / JWWA G 113・114 / JDPA G 3005		
直管	有効長	呼び径 75～100	4000mm
		呼び径 150～250	5000mm
		呼び径 300～1500	6000mm
		呼び径 1600～2000	4000mm・5000mm
	管厚の種類（記号）	呼び径 75～350	1種管（D1） 3種管（D3）
		呼び径 400～500	1種管（D1） 2種管（D2） 3種管（D3）
呼び径 600～2000		1種管（D1） 2種管（D2） 3種管（D3） 4種管（D4）	
異形管	三受十字管、二受T字管 受挿し片落管、挿し受片落管 曲管90°、曲管45°、曲管22 1/2°、曲管11 1/4° フランジ付きT字管、浅層埋設形フランジ付きT字管 うず巻式フランジ付きT字管、排水T字管、継ぎ輪 短管1号、短管2号、栓		

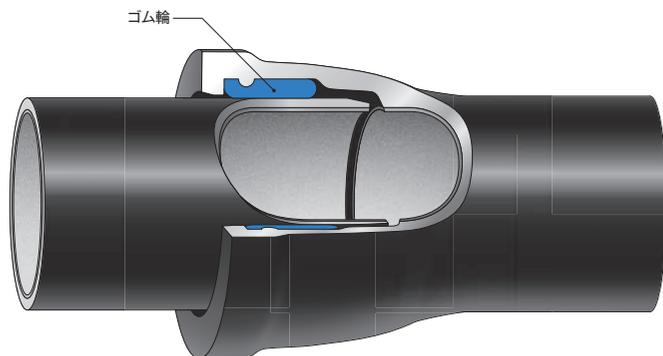
備考 三受十字管、二受T字管、短管1号、短管2号、栓は 呼び径75～250。受挿し片落管、挿し受片落管、曲管90°、曲管45°、曲管22 1/2°、曲管11 1/4°、フランジ付きT字管、浅層埋設形フランジ付きT字管、うず巻式フランジ付きT字管は呼び径100～250。排水T字管は呼び径200～250。継ぎ輪だけはK形（呼び径75～250）である。直管の具体的な管厚は図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

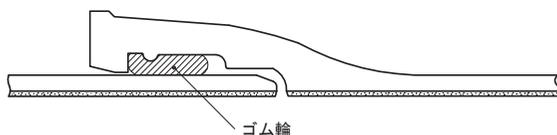
受口、挿し口、ゴム輪から構成されるプッシュオン継手である。

受口内面にはゴム輪を固定するために突起や溝が設けられており、ゴム輪が受口溝部と密着する。ゴム輪は固定のためのヒール部と継手の水密性を確保するためのバルブ部で構成されている。受口にゴム輪をセットし、挿し口を挿入することによりゴム輪が圧縮され、ゴムの反発力により止水面に面圧がかかり、管内の水圧によってゴム輪が圧縮されるとセルフシール作用によって止水面の面圧がさらに増加する構造となっている。セルフシール構造については「3-2-3 プッシュオン継手」を参照のこと。

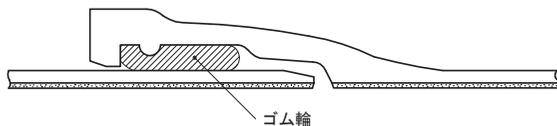
●図表3-5-2-2 T形の継手構造



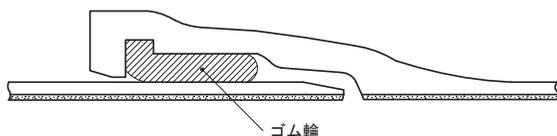
呼び径75～250



呼び径300～600



呼び径700～2000



4 基本性能

● 図表3-5-2-3 T形の許容曲げ角度と許容胴付間隔

呼び径	許容曲げ角度	許容胴付間隔 (mm)	呼び径	許容曲げ角度	許容胴付間隔 (mm)
75	5° 00′	20	800	2° 30′	35
100	5° 00′	20	900	2° 30′	42
150	5° 00′	20	1000	2° 00′	41
200	5° 00′	23	1100	2° 00′	49
250	5° 00′	25	1200	2° 00′	56
300	4° 00′	25	1350	2° 00′	58
350	4° 00′	28	1500	2° 00′	67
400	3° 30′	28	1600	2° 00′	74
450	3° 00′	28	1650	2° 00′	76
500	3° 00′	31	1800	2° 00′	81
600	3° 00′	33	2000	2° 00′	91
700	2° 30′	32			

5 特徴

- ・ 接合部品がゴム輪のみであるが、セルフシール作用により、押輪なしで高水圧に耐える。
- ・ 継手は伸縮・屈曲機能を有するが離脱防止機能は持たない。
- ・ 直線管路に適する。
- ・ プッシュオン継手であり、レバーホイストなどのけん引器具で挿入する。
- ・ 施工現場において切管(定尺の直管を短く切断した管)を用いて接合を行う場合は、管を切断後、挿し口端にテーパ加工が必要である。

3-5-3 U形（呼び径800～2600）

1 開発の背景

従来のダクトイル鉄管では埋設用の溝内に接合作業を行うためのスペースが必要であったため、呼び径が大きくなると掘削溝も深くなることから掘削土量が増加し経済面で問題となっていた。そこで、内面から接合可能なU形が開発された。

U形の名称は、内側（Uchigawa）の頭文字「U」に由来する。

2 管の種類

●図表3-5-3-1 U形の種類

呼び径	800～2600		
規格	JIS G 5526・5527/JWWA G 113・114/JDPA G 3006		
直管	有効長	呼び径800～1500	6000mm
		呼び径1600～2600	4000mm・5000mm
直管	管厚の種類（記号）	呼び径800～2600	1種管（D1） 2種管（D2） 3種管（D3） 4種管（D4）
異形管	三受十字管、二受T字管 受挿し片落管、挿し受片落管 曲管90°、曲管45°、曲管22 1/2°、曲管11 1/4°、曲管5 5/8° 仕切弁副管A1号、仕切弁副管A2号 フランジ付きT字管、排水T字管、継ぎ輪、短管1号、短管2号		

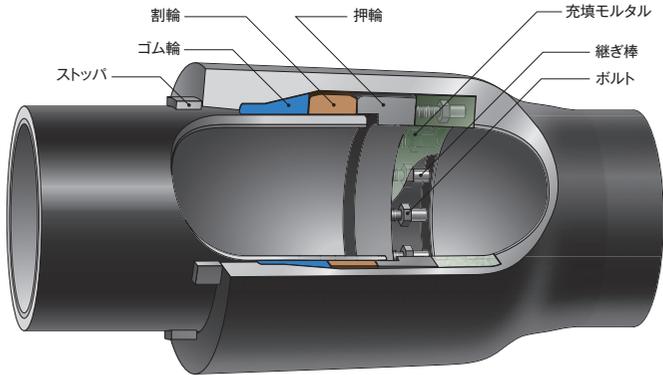
備考 直管の呼び径2400、2600の4種管の有効長5000mmはJDPA G 3006で規定（JIS、JWWA規格では規定なし）三受十字管は呼び径800～900。曲管90°は呼び径800～1800である。直管の具体的な管厚は図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

離脱防止性機能や耐震性機能を必要としない場合の呼び径800以上の中大口径管について、管内面から接合ができる構造にしたもので、水密機構はK形と同じものである。

受口内面奥の端面から反力をとったボルトで割輪を介して押輪を押すことで、ゴム輪を押し込む構造としている。

●図表3-5-3-2 U形の継手構造



4 基本性能

●図表3-5-3-3 U形の許容曲げ角度と許容胴付間隔

呼び径	許容曲げ角度	許容胴付間隔 (mm)	呼び径	許容曲げ角度	許容胴付間隔 (mm)
800	2° 10′	137	1650	1° 05′	148
900	2° 00′	137	1800	1° 00′	148
1000	1° 50′	138	2000	1° 00′	151
1100	1° 40′	138	2100	1° 00′	153
1200	1° 30′	138	2200	1° 00′	155
1350	1° 30′	141	2400	1° 00′	158
1500	1° 30′	145	2600	1° 30′	200
1600	1° 10′	148			

5 特徴

- ・ 内外圧に対し優れた性能を有している。
- ・ 内面から接合作業が行えるため、さらに掘削溝幅を低減できる。
- ・ 路地などでも迂回あるいはシールド工法を考えずに中大口径の管が布設できる。
- ・ シールド工法によるトンネル内においても、トンネルの屈曲、心違いに応じた配管が容易に行えるなど、設計、施工上、経済上の特徴を兼備している。
- ・ US形とほぼ同様の屈曲性能と伸縮性能(基本的には伸長のみ)は有するが、離脱防止機能はない。

3-6 フランジ継手

3-6-1 フランジ形（呼び径75～2600）

1 開発の背景

フランジ継手は、主に構内配管あるいはポンプ、バルブその他配管付属品や装置との取合いなどに使用される継手で、両方のフランジの合わせ面にガスケットを挟んでボルトで締め付けるものである。

従来は、JIS規格、JWWA規格ともに、水道用フランジとして、フランジ面にガスケット用の溝がない、いわゆる大平面座フランジ（RF形）が最高使用水圧（静水圧）0.75MPa（呼び圧力7.5K）についてのみ規定されていた。このフランジでは、内水圧が高くなると水密性に問題があったため、高度経済成長の時代を迎え、より高圧での輸送が求められるようになると、一部の事業者では、高圧管路用にガスケット用の溝を有する事業者独自のフランジを使用するようになっていった。

その後、ガスケット用の溝を有する水道用フランジの規格化を望む声が高まり、高圧用のフランジが開発され、1982（昭和57）年に、JIS G 5527、JWWA G 113・114の中で規定されるに至った。

2 フランジの種類

●図表3-6-1-1 フランジ形の種類

呼び径	75～2600
規格	JIS G 5527 / JWWA G 114 / JDPA G 3007
異形管	フランジ長管、片フランジ長管、三フランジT字管、二フランジT字管 フランジ片落管 フランジ曲管90°、フランジ曲管45° 仕切弁副管B1号 フランジ短管、フランジ蓋、人孔蓋、らっぱ口

異形管	メーカー規格品	仕切弁副管B2号
-----	---------	----------

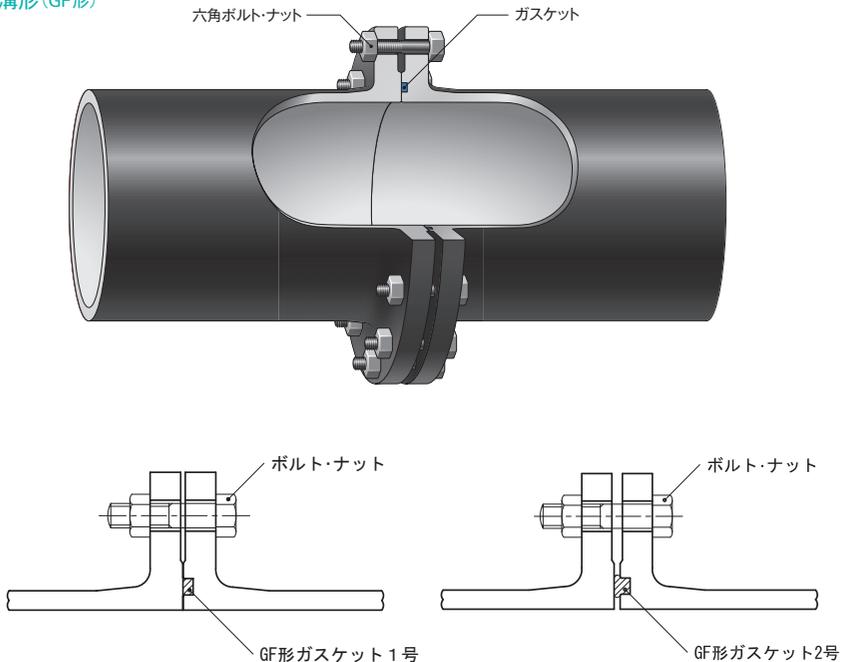
備考 フランジ長管、片フランジ長管、三フランジT字管、二フランジT字管、フランジ曲管90°、フランジ曲管45°、フランジ蓋、らっぱ口は 呼び径75～1500。フランジ片落管は呼び径100～1500。仕切弁副管B1号は(7.5K・10K用)は呼び径400～2600。仕切弁副官B1号(16K・20K用)は呼び径400～1500。フランジ短管は呼び径75～150。人孔蓋は呼び径600。仕切弁副管B2号は呼び径400～2000である。

3 継手の構造

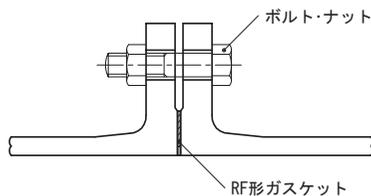
大平面座形(RF形、Raised Face)と溝形(GF形、Grooved Face)がある。

●図表3-6-1-2 フランジ形の継手構造

溝形(GF形)



大平面座形(RF形)



GF形は、フランジのガスケットをはめ込む長方形の溝を有する溝形フランジであり、RF形と組み合わせて使用される。使用水圧により各種規格がある。

呼び圧力は、7.5K(最高使用水圧<静水圧> 0.75MPa)、10K、16K、20Kの4種類で、接合する継手の組み合わせによって、RF形-RF形とRF形-GF形の2つに分かれている。

呼び圧力と使用するフランジの種類、呼び径を図表3-6-1-3に示す。高圧の場合はRF形-GF形を使用する必要がある。

使用するガスケットは、図表3-6-1-4の通り、両フランジがメタルタッチするかどうかに応じて、GF1号、GF2号を使い分ける。

●図表3-6-1-3 フランジの呼び圧力と種類および適用呼び径

呼び圧力	種類および適用呼び径	
	溝形 (GF形)	太平面座形 (RF形)
7.5K	75~2600	75~600
10K	50~2600	—
16K	75~1500	—
20K	75~900	—

備考 — : 適用不可

●図表3-6-1-4 フランジ形の継手構造

形式	溝形 (GF形)		大平面座形 (RF形)
	メタルタッチの場合	メタルタッチでない場合	
継手組合せ	RF形-GF形		RF形-RF形
ガスケット	GF形1号 (甲丸形)	GF形2号 (甲丸形)	RF形 (平パッキン)
	溝内格納	角部は溝内 丸部はフランジ面間	フランジ面間挟込み
フランジ面間	接触している	離れている	

なお、S50形フランジ付きT字管に用いられているフランジは、「JIS B 2239 鋳鉄管フランジ」の10Kフランジである。

4 特徴

- ・ 剛性が大きい。
- ・ 屈曲性や伸縮性はない。

3-7

PIP工法の継手

3-7-1

PN形（JP方式及びCP方式）
（呼び径300～1500）

1 開発の背景

既設管もしくは新設さや管に新設管を挿入するPIP（パイプインパイプ）工法の継手としては、PⅡ形と、PⅡ形の離脱防止性能や施工性を向上させたPN形があったが、PN形（JP方式及びCP方式）は、PN形の施工性をさらに向上させるために開発された。施工方式に応じて、以下の2種類がある。

JP方式（呼び径300～1500）は、発進立坑内で新設管を接合しながら到達坑に向け順次既設管の中に押し込んでいく方式である。

CP方式（呼び径700～1500）は、発進立坑から台車などで新設管を1本ずつ持込み、既設管内もしくは新設さや管、トンネル内で新設管同士を接合する方式である。

PN形（JP方式及びCP方式）の名称は、パイプインパイプ（Pipe in pipe）工法の頭文字「P」、新しい（New）の頭文字「N」、押込工法（Jacking Pipe method）の「JP」、持込工法（Carrying Pipe method）の「CP」に由来する。

2 管の種類

●図表3-7-1-1 PN形（JP方式及びCP方式）の種類

呼び径	300～1500		
規格	JDPA G 1051		
直管	有効長	呼び径300～1500	4000mm・6000mm
	管厚の種類（記号）	呼び径300～600	1種管（D1）
		呼び径700～1500	1種管（D1） P種管（DP）

異形管

曲管11 1/4°、曲管5 5/8°、曲管3°
 フランジ付きT字管、継ぎ輪
 受挿し短管、両フランジ短管（フランジ付きT字管用）、
 両フランジ片落管（フランジ付きT字管用）

備考 曲管11 1/4°、曲管5 5/8°、曲管3°、フランジ付きT字管、継ぎ輪は呼び径700～1500。受挿し短管は呼び径300～1100。両フランジ短管（フランジ付きT字管用）は 呼び径100～150。両フランジ片落管（フランジ付きT字管用）は呼び径100～200である。直管の具体的な管厚は図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

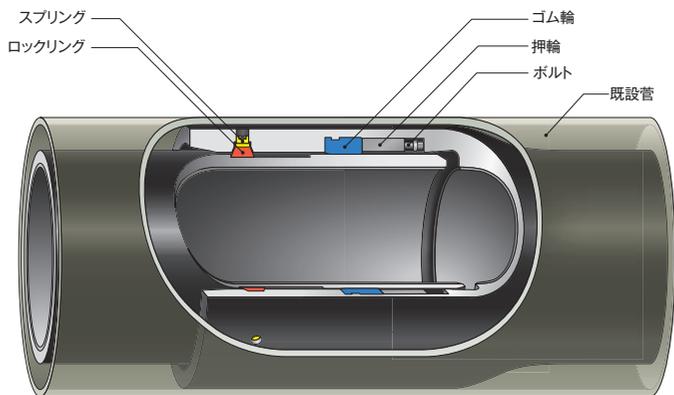
PN形との違いは、ロックリングの断面や受口のロックリング収納溝の断面がテーパ状となっていることである。

継手に離脱力が働くとテーパ面によってロックリングを挿し口外周面に密着させる力が作用する。従って、PN形のようにロックリングを押圧するセットボルトがない。呼び径900～1500では、専用のスプリングによる弾性復元力も併用している。

これらのことから接合に当たって受口外周側からの作業は不要である。

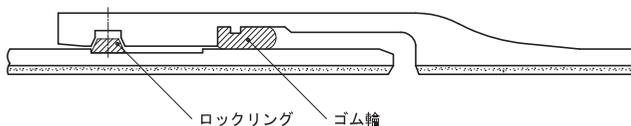
●図表3-7-1-2 PN形（JP方式及びCP方式）の継手構造

呼び径700～1500



呼び径700・800ではスプリングなし。

呼び径300～600（JP方式）

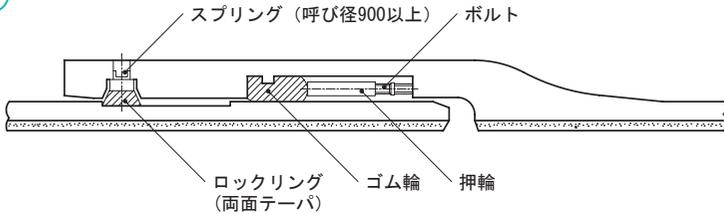


4 推力伝達構造

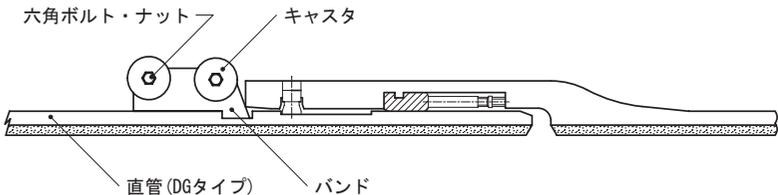
ロックリングで推力を伝達する標準タイプ、キャストバンドで推力を伝達するキャストバンドタイプがある。さらにキャストバンドタイプには、挿し口外周面との摩擦力だけで挿し口部を把持するもの（溝なし）と、把持力を高めるために管の挿し口にキャストバンド用の溝を設けるもの（溝あり）がある。

キャストバンドタイプ（溝なし）の場合は、キャストバンドにスペーサを装着する必要がある。キャストバンドタイプ（溝あり）に用いる直管はDGタイプ（DGはDouble Groovedを意味する）と呼ばれる。施工時の許容耐荷力（許容抵抗力）は、高い順に、キャストバンドタイプ（溝あり）、キャストバンドタイプ（溝なし）、標準タイプである。

●図表3-7-1-3 PN形（JP方式及びCP方式）押込工法時の挿入力伝達構造
標準タイプ



[参考]キャストバンドタイプ（溝あり）



5 基本性能

●図表3-7-1-4 PN形（JP方式及びCP方式）の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	地震時に曲がり得る最大屈曲角度	継手伸び量	離脱防止力 (kN)
300	4° 00′	8° 00′	有効長の+1%	3D (D:呼び径)
350	4° 00′	7° 10′		
400	4° 00′	6° 20′		
500	4° 00′	5° 00′		
600	4° 00′	4° 10′		

呼び径	許容曲げ角度	地震時に曲がり得る最大屈曲角度	継手伸び量	離脱防止力 (kN)
700	3° 00′	3° 30′	有効長の+1%	3D (D:呼び径)
800	3° 00′	3° 30′		
900	3° 00′	3° 20′		
1000	3° 00′	3° 00′		
1100	2° 45′	2° 45′		
1200	2° 45′	2° 45′		
1350	2° 25′	2° 25′		
1500	1° 50′	2° 00′		

備考 曲げ角度および地震時や地盤沈下時の最大屈曲角度はいずれも、この角度まで屈曲するにはある程度の曲げモーメントを加える必要がある。PN形継手の耐圧縮性能は離脱防止性能と同じである。地震時や地盤沈下時の最大屈曲角度 = \tan^{-1} (継手伸び量/外径)

6 特徴

- ・ 既設管もしくは新設さや管に対して、一般に1口径(100mm)小さい新設管を挿入できる。従って、既設管の適用呼び径は400～1650となる(呼び径1500は呼び径1650以上の既設管に挿入できる)。
- ・ 継手には管の有効長に対し+1%の伸び量がある。
- ・ 最終的には、ロックリングが受口と挿し口との溝に掛かり合って離脱防止継手となる。離脱防止性能は、他の離脱防止継手と同様に3DkN(D:呼び径)である。
- ・ 接合に当たって受口外周側での作業は不要である。

3-7-2 PN形(呼び径300～1500)

1 開発の背景

既設管に新設管を挿入するPIP工法に使用される接合形式としてすでにPⅡ形があったが、他の離脱防止継手などに比べると離脱防止力が1.5DkN(D:呼び径)と半分であったので、離脱防止力を3DkNに向上させるとともに、施工性を向上させることを目的としてPN形が開発された。

PN形の名称は、パイプインパイプ(Pipe in pipe)工法の頭文字「P」、新しい(New)の頭文字「N」に由来する。

2 管の種類

● 図表3-7-2-1 PN形の種類

呼び径	300～1500		
規格	JIS G 5526・5527 / JWWA G 113・114 / JDPA G 1046		
直管	有効長	呼び径300～1500	4000mm・6000mm
	管厚の種類(記号)	呼び径300～350	1種管(D1)
		呼び径400	1種管(D1) 2種管(D2)
		呼び径500	1種管(D1) 2種管(D2) 3種管(D3)
呼び径600～1500		1種管(D1) 2種管(D2) 3種管(D3) 4種管(D4)	
異形管	フランジ付きT字管、継ぎ輪 受挿し短管、両フランジ短管(フランジ付きT字管用)、両フランジ片落管(フランジ付きT字管用)		

備考 フランジ付きT字管、継ぎ輪は呼び径700～1500(JDPA G 1046で規定。JIS、JWWA規格では規定なし)。受挿し短管は呼び径300～1100。両フランジ短管(フランジ付きT字管用)は呼び径100～150。両フランジ片落管(フランジ付きT字管用)は呼び径100～200である。直管の具体的な管厚は図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

受口外面に設けた長穴から専用工具を用いてロックリングを挿入した後、セットボルトによってロックリングを挿し口外面の溝底に押圧する構造である。

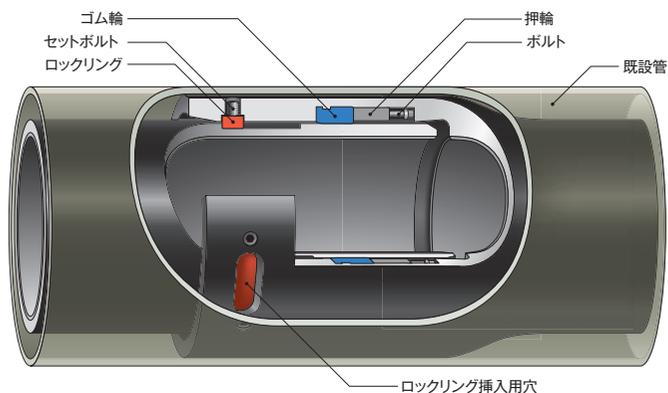
継手に離脱力が働くと、ロックリングがロックリング収容溝壁面と挿し口溝の壁面とに掛かり合い離脱防止継手となる。

呼び径300～600では、プッシュオン継手と同様ゴム輪のセルフシール作用だけで水密性が確保されるが、呼び径700～1500では、図表3-7-2-2に示す通り、押輪が併用される。

異形管の継手構造は直管と同じであるが、受挿し短管にはロックリング挿入用の長穴はない。

●図表3-7-2-2 PN形の継手構造

標準タイプ(呼び径700~1500)



4 基本性能

●図表3-7-2-3 PN形の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	地震時に曲がり得る最大屈曲角度	継手伸び量	離脱防止力 (kN)
300	4° 00′	8° 50′	有効長の+1%	3D (D: 呼び径)
350	4° 00′	8° 00′		
400	4° 00′	7° 00′		
500	4° 00′	5° 30′		
600	4° 00′	4° 40′		
700	3° 00′	4° 00′		
800	3° 00′	3° 20′		
900	3° 00′	3° 40′		
1000	3° 00′	3° 20′		
1100	2° 45′	3° 00′		
1200	2° 45′	2° 50′		
1350	2° 30′	2° 30′		
1500	1° 50′	2° 20′		

備考 曲げ角度および地震時や地盤沈下時の最大屈曲角度はいずれも、この角度まで屈曲するにはある程度の曲げモーメントを加える必要がある。PN形の耐圧縮性能は離脱防止性能と同一である。地震時や地盤沈下時の最大屈曲角度 = \tan^{-1} (継手伸び量/外径)

5 特徴

- ・ 既設管に対して、一般に1口径(100mm)小さい新設管を挿入できる。従って、既設管の適用呼び径は、400～1650となる(呼び径1500は呼び径1650以上の既設管に挿入できる)。
- ・ 継手には管有効長に対し+1%の伸び量がある。
- ・ 最終的には、ロックリングが受口と挿し口との溝に掛かり合って離脱防止継手となる。離脱防止性能は、他の離脱防止継手と同様に3DkN(D:呼び径)である。
- ・ 受口外面にはロックリングを専用工具で挿入するための長穴がある。

3-7-3 P II形(呼び径300～1350)

1 開発の背景

既設管もしくは新設さや管に新設管を挿入するPIP工法に使用する接合形式としてすでに開発されていたP I形に、離脱防止機能を付加した接合形式である。同じくPIP工法に使用される。

P II形の名称は、パイプインパイプ(Pipe in pipe)工法の頭文字「P」、一般継手を「I」、伸縮離脱防止継手を「II」としたことに由来する。

2 管の種類

●図表3-7-3-1 P II形の種類

呼び径	300～1350		
規格	JIS G 5526・5527/JWWA G 113・114/JDPA G 1033		
直管	有効長	呼び径300～1350	4000mm・6000mm
	管厚の種類(記号)	呼び径300～350	1種管(D1)
		呼び径400～500	1種管(D1) 2種管(D2) 3種管(D3)

直管	管厚の種類(記号)	呼び径600～1350	1種管(D1) 2種管(D2) 3種管(D3) 4種管(D4)
異形管	フランジ付きT字管、継ぎ輪 受挿し短管、両フランジ短管(フランジ付きT字管用)、両フランジ片落管(フランジ付きT字管用)		

備考 フランジ付きT字管、継ぎ輪は呼び径700～1350(JDPA G 1033)。受挿し短管は呼び径300～1100。両フランジ短管(フランジ付きT字管用)は呼び径100～150。両フランジ片落管(フランジ付きT字管用)は呼び径100～200である。具体的な管厚は図表3-1-3-1を参照のこと。

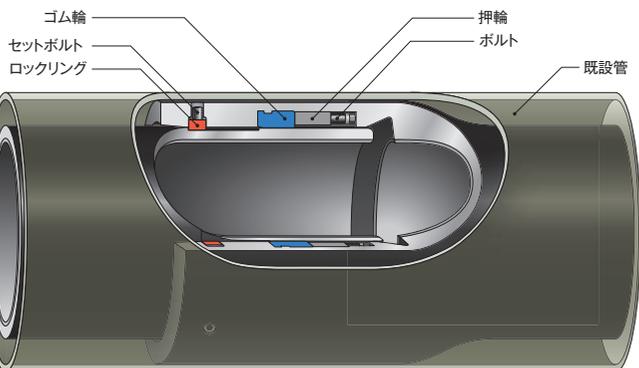
3 継手の構造

ロックリングは、受口外周面に設けたセットボルトで、挿し口に設けた溝の外面に密着される。

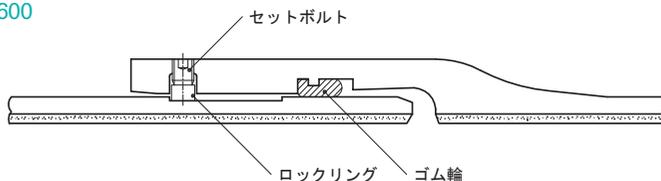
継手に離脱力が働くと、ロックリングがロックリング収容溝壁面と挿し口溝の壁面に掛かり合い離脱防止継手となる。

●図表3-7-3-2 PⅡ形の継手構造

呼び径700～1350



呼び径300～600



4 基本性能

●図表3-7-3-3 PⅡ形の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	地震時に曲がり得る最大屈曲角度	継手伸び量	離脱防止力 (kN)
300	4° 00′	8° 50′	有効長の+1%	1.5D (D:呼び径)
350	4° 00′	8° 00′		
400	4° 00′	7° 00′		
500	4° 00′	5° 30′		
600	4° 00′	4° 40′		
700	3° 00′	4° 00′		
800	3° 00′	3° 20′		
900	3° 00′	3° 40′		
1000	3° 00′	3° 20′		
1100	2° 45′	3° 00′		
1200	2° 45′	2° 50′		
1350	2° 30′	2° 30′		

5 特徴

- ・ 既設管もしくは新設さや管に対して、一般に1口径(100mm)小さい新設管を挿入できる。従って、既設管の適用呼び径は400～1500となる。
- ・ 継手には管有効長に対し+1%の伸長機能がある。
- ・ 最終的には、ロックリングが受口と挿し口との溝に掛かり合って離脱防止継手となるが、離脱防止力は1.5DkN (D:呼び径)と他の伸縮離脱防止継手や離脱防止継手の半分である。
- ・ K形、U形、UF形、S形、NS形と接合可能である。呼び径300～1100の外径は、他の接合形式と異なるため、取合部には受挿し短管を用いる必要がある。

PN形(JP方式及びCP方式)については2017(平成29)年10月5日付で規格改正があった。改正前後の規格内容の相違点については「付録1『JDPA G 1046 PN形ダクタイル鋳鉄管』の規格改正(2017.10)」を参照のこと。

3-8

推進工法用の継手

ダクタイル鉄管は圧縮に強く大きな推進力に耐えられるため、推進工法に幅広く使用されている。開削工法と比較して、騒音・振動・粉じんの低減、住民や交通への影響の軽減、環境対策に優れるなどのメリットから数多く採用されてきた。現在の規格品は、T形、U形、US形の3種類である。

3-8-1 T形推進管（呼び径250～700）

1 開発の背景

一般管路を推進工法で構築するためにT形推進管が開発された。

2 管の種類

●図表3-8-1-1 T形推進管の種類

呼び径	250～700		
規格	JDPA G 1029		
直管	有効長	呼び径250	4000mm・5000mm
		呼び径300～700	4000mm・6000mm
	管厚の種類（記号）	呼び径250～350	1種管（D1） 3種管（D3）
		呼び径400～500	1種管（D1） 2種管（D2） 3種管（D3）
		呼び径600～700	1種管（D1） 2種管（D2） 3種管（D3） 4種管（D4） 5種管（D5）

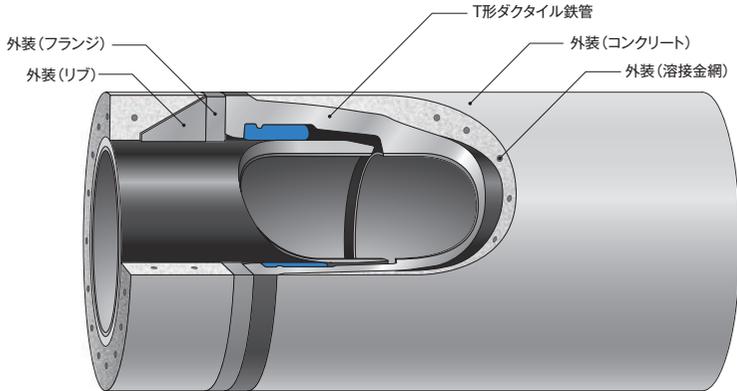
備考 直管の具体的な管厚は図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

T形直管を鉄筋コンクリートで外装したもので、推力の伝達は挿し口部に溶接したフランジと受口端面を介して行う。

フランジは推力伝達を目的としたものであり、推進完了後は、屈曲性の継手が不同沈下に順応する。水密性はT形と同じである。

●図表3-8-1-2 T形推進管の継手構造



4 特徴

- ・ ダクタイル鉄管は圧縮に強いいため大きな推力に耐える。
- ・ 雨中、湿気などにあまり左右されことなくスピーディに接合できる。管の長さは4mまたは5m、6mである。必要に応じて管路の方向修正が可能である。
- ・ 継手は水道用として多くの使用実績があるT形であり、高い水密性を有している。
- ・ 屈曲性を発揮して地盤の変動に順応できる。

3-8-2 U形推進管(呼び径800~2600)

1 開発の背景

呼び径の比較的大きい一般管路を推進工法で構築するためにU形推進管が開発された。

2 管の種類

●図表3-8-2-1 U形推進管の種類

呼び径	800～2600		
規 格	JDKA G 1029		
直 管	有効長	呼び径800～1500	4000mm・6000mm
		呼び径1600～2200	4000mm・5000mm
		呼び径2400・2600	4000mm
	管厚の種類(記号)	呼び径800～2600	1種管(D1) 2種管(D2) 3種管(D3) 4種管(D4) 5種管(D5)

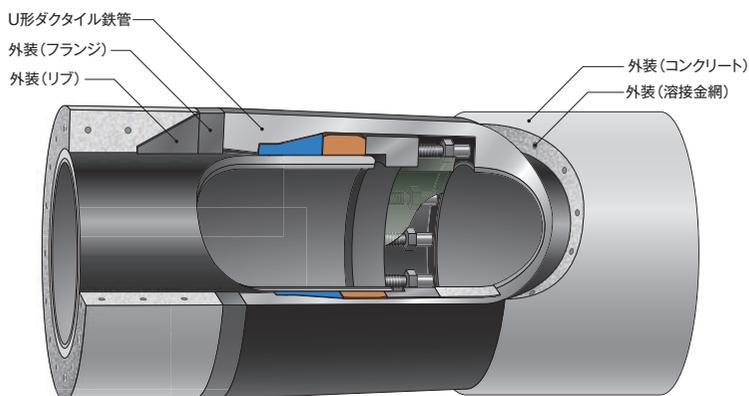
備考 直管の具体的な管厚は図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

U形直管を鉄筋コンクリートで外装したもので、推力の伝達は挿し口部に溶接したフランジと受口端面を介して行う。

フランジは推力伝達を目的としたものであり、推進完了後は屈曲性のある継手が不同沈下に順応する。水密性はU形と同じである。

●図表3-8-2-2 U形推進管の継手構造



4 特徴

- ・ ダクタイル鉄管は圧縮に強いいため大きな推力に耐える。
- ・ 接合がスピーディに行え、雨中、湿気などにあまり左右されることなく管内面から接合できる。管の長さは4mまたは5m、6mである。必要に応じて管路の方向修正が可能である。
- ・ 継手は水道用として多くの使用実績があるU形であり、高い水密性を有している。
- ・ 屈曲性を発揮して地盤の変動に順応できる。

3-8-3 US形推進管（呼び径800～2600）

1 開発の背景

耐震継手管路を推進工法で構築するためにUS形推進管が開発された。

2 管の種類

●図表3-8-3-1 US形推進管

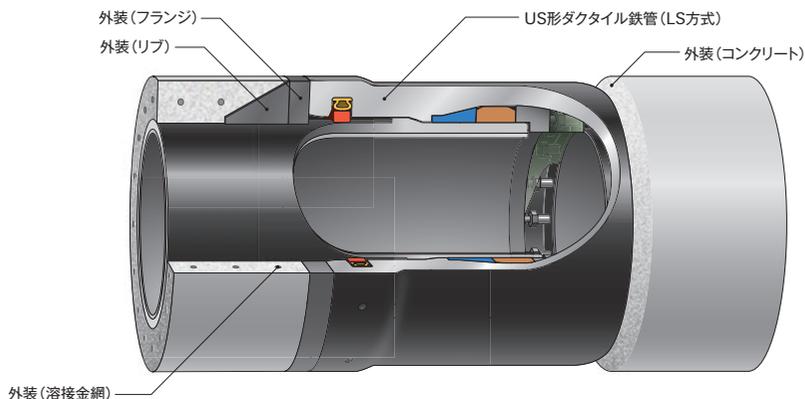
呼び径	800～2600		
規格	JDKA G 1029		
直管	有効長	呼び径 800～1500	4000mm・6000mm
		呼び径 1600～2200	4000mm・5000mm
		呼び径 2400・2600	4000mm
	管厚の種類（記号）	呼び径 800～2600	1種管（D1） 2種管（D2） 3種管（D3） 4種管（D4）

3 継手の構造

US形直管を鉄筋コンクリートで外装したもので、推力の伝達は挿し口部に溶接したフランジを介して行う。

フランジは推力伝達を目的としたものであり、推進完了後は屈曲性と伸長性のある離脱防止継手によって鎖構造管路を造ることができる。

●図表3-8-3-2 US形推進管の継手構造



4 特徴

- ・ダクタイル鉄管は圧縮に強いいため大きな推力に耐える。
- ・雨中、湿気などにあまり左右されることなくスピーディに接合できる。管の長さは4mまたは5m、6mである。必要に応じて管路の方向修正が可能である。
- ・継手は水道用として多くの使用実績があるUS形であり、高い水密性を有している。
- ・屈曲性と伸長性に加えて離脱防止機能を有しているため、耐震用管路、堤体樋管、耐地盤変動管路に適している。

3-9

貯水槽用の継手

3-9-1 LUF形（呼び径1500・2000・2600）

1 開発の背景

飲料水は日常生活に欠くことのできないものであり、大地震などの災害時にも緊急用の飲料水を確保することが重要である。これに応えるものとして、通常は管路の一部として機能し、地震時には管路を閉鎖し管内の水を蓄える、いわゆる貯水槽がある。この貯水槽用に開発されたのがLUF形である。

LUF形の名称は、軽量 (Light) の頭文字「L」、内側 (Uchigawa) の頭文字「U」、固定 (Fixed) の頭文字「F」に由来する。

2 管の種類

この継手は、貯水槽の直線状部分を構成するためにのみ使用されるため、LUF形の継手を適用した異形管はその両端に設けられる2種類だけである。

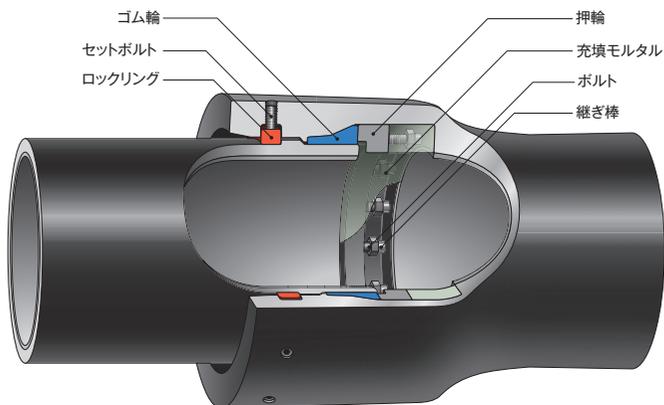
●図表3-9-1-1 LUF形の種類

呼び径	1500・2000・2600		
規格	JDPA G 1041		
直管	有効長	呼び径1500	4000mm・5000mm
		呼び径2000	3000mm・4000mm・5000mm
		呼び径2600	2000mm・3000mm・4000mm
	管厚	呼び径1500	15.5mm
		呼び径2000	19.5mm
		呼び径2600	25.0mm
異形管	帽、栓		

3 継手の構造

挿し口にはロックリングと掛かり合う突部、受口には内面に設けた溝に収納したロックリングを挿し口の外周面に向けて押圧するセットボルトを設け、離脱防止機能を持たせている。水密機能は、U形、UF形と同じく管内作業により押輪でゴム輪を押圧することにより得られる。なお、接合部内面はモルタルによって覆われる。

●図表3-9-1-2 LUF形の継手構造



4 基本性能

●図表3-9-1-3 LUF形の継手性能

呼び径	離脱防止力 (kN)
1500	3D (D: 呼び径)
2000	
2600	

5 特徴

- ・ 軽量である。
- ・ 離脱防止性を有する。
- ・ 水密性が優れている。
- ・ 貯水槽が曲管部分を含む場合には、UF形曲管と、UF形-LUF形の異種継手管(一方にUF形の継手、他方にLUF形の継手を有する管)を併用する。

3-10 水管橋用の継手

3-10-1 FGX形（呼び径75～300）

1 開発の背景

水管橋用としてはすでにFT形があったが、GX形管路の普及を受け、水管橋と接続されるGX形管路との取合いを容易にするため新たに開発されたのがFGX形である。

FGX形の名称は、固定(Fixed)の頭文字「F」、GX形の「GX」に由来する。

2 管の種類

●図表3-10-1-1 FGX形の種類

呼び径	75～300		
規格	JDPA G 1043		
直管	有効長	呼び径75～100	4000mm
		呼び径150～250	5000mm
		呼び径300	6000mm
	管厚の種類(記号)	呼び径75～300	1種管(D1)
異形管	両挿しフランジ付きT字管		

備考 直管の具体的な管厚は、図表3-1-3-1を参照のこと。

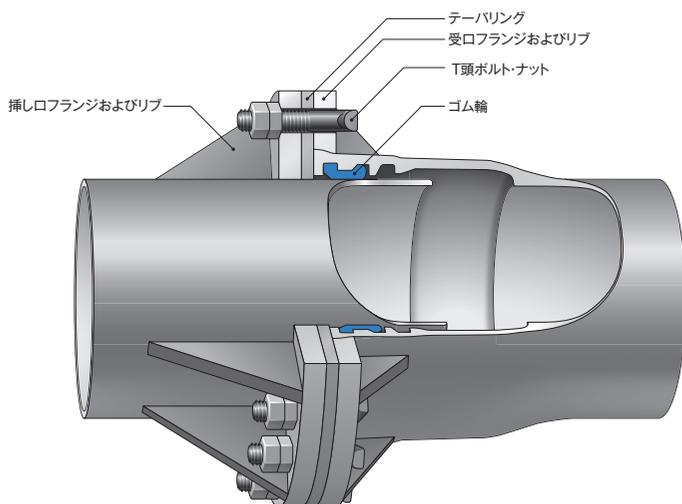
3 継手の構造

GX形直管にフランジとリブを設けており、曲げ剛性を高め、大きな曲げモーメントに耐える。

受口と挿し口は、受口フランジとテーパリング、挿し口フランジを介してT頭ボル

ト・ナットの締結により一体となる。従ってこの部位にはロックリングは不要である。
水密機構はGX形と同じである。

●図表3-10-1-2 FGX形の継手構造



4 基本性能

許容曲げモーメントはFT形と同じである。

●図表3-10-1-3 FGX形の継手性能

呼び径	許容曲げモーメント (kN・m)	呼び径	許容曲げモーメント (kN・m)
75	4.9	200	31.4
100	7.85	250	40.2
150	18.6	300	61.8

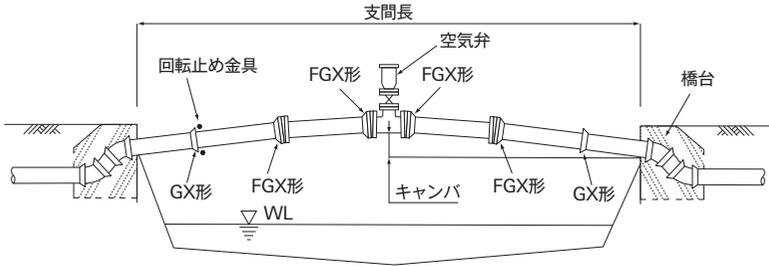
5 特徴

- ・ 施工性に優れている。ボルト接合であり、天候や周囲環境の影響を受けない。また接合には特殊技能は不要である。
- ・ 水密性に優れている。
- ・ テーパーリングによりキャンバがとれる。
- ・ この継手自体は剛継手であるが、水管橋としては図表3-10-1-4に示すようにGX

形を併用するので、GX形の継手の屈曲および伸縮によって、地震、地盤沈下などで生じる兩岸の橋台の相対移動を無理なく吸収することができる。

- 水管橋前後のGX形管路との接続が容易である。

●図表3-10-1-4 FGX形を使用した長支間水管橋の構造例



3-10-2 FT形（呼び径75～350）

1 開発の背景

水管橋用として最初に開発された。

FT形名称は、固定（Fixed）の頭文字「F」、T形の「T」に由来する。

2 管の種類

●図表3-10-2-1 FT形の種類

呼び径	75～350		
規格	JDPA G 1043		
直管	有効長	呼び径75～100	4000mm
		呼び径150～250	5000mm
呼び径300～350		6000mm	
	管厚の種類（記号）	呼び径75～350	1種管（D1）
異形管	両挿しフランジ付きT字管		

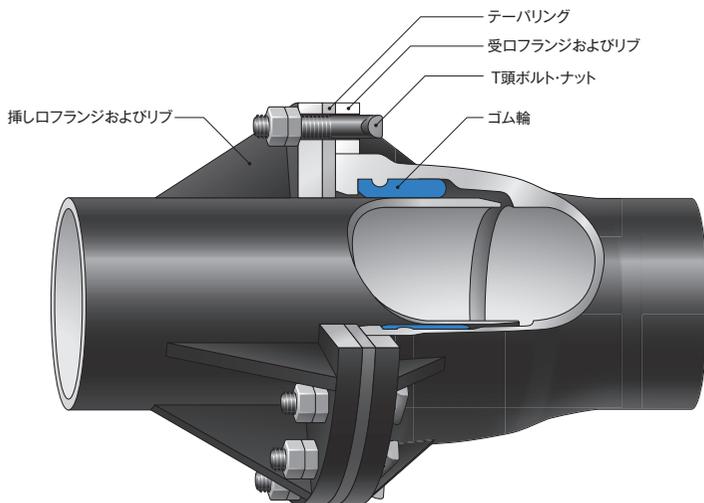
備考 直管の具体的な管厚は、図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

T形直管にフランジとリブを設けており、曲げ剛性を高め、大きな曲げモーメントに耐える。

受口と挿し口は、受口フランジとテーパリング、挿し口フランジを介してT頭ボルト・ナットの締結により一体となる。水密機構はT形と同じである。

●図表3-10-2-2 FT形の継手構造



4 基本性能

許容曲げモーメントは、次の通りである。

●図表3-10-2-3 FT形の継手性能

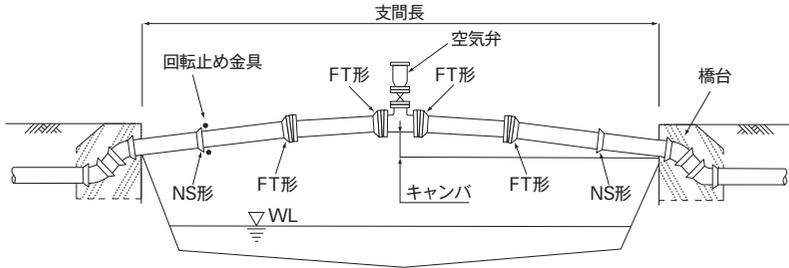
呼び径	許容曲げモーメント (kN・m)
75	4.9
100	7.85
150	18.6
200	31.4

呼び径	許容曲げモーメント (kN・m)
250	40.2
300	61.8
350	85.3

5 特徴

- ・ 施工性に優れている。ボルト接合であり、天候や周囲環境の影響を受けない。また接合には特殊技能は不要である。
- ・ 水密性に優れている。
- ・ テーパーリングによりキャンバがとれる。
- ・ この継手自体は剛継手であるが、水管橋としては、図表3-10-2-4に示すようにNS形を併用するので、NS形の継手の伸縮・屈曲によって、地震、地盤沈下などで生じる兩岸の橋台の相対移動を無理なく吸収することができる。

●図表3-10-2-4 FT形を使用した長支間水管橋の構造例



3-11 下水道用の継手

3-11-1 NS形 (Gタイプ) (呼び径200・250)

1 開発の背景

上水道分野では耐震継手管の普及が促進されている一方、下水道分野での耐震継手管の普及に貢献できる管材料が求められている。下水道分野での耐震化を促進するため、上水道分野で普及率の高い耐震継手であるNS形をより低コストで供給するためにNS形の寸法許容差の見直しを行い、設計水圧を1.3MPa以下とし、内面には珪砂混合エポキシ樹脂粉体塗装を用いた。

NS形 (Gタイプ) の名称にあるGは、下水 (Gesui) の頭文字「G」に由来する。

2 管の種類

●図表3-11-1-1 NS形 (Gタイプ) の種類

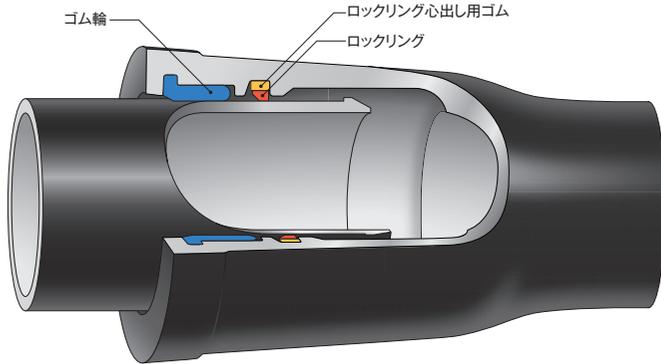
呼び径	200・250		
規格	JDKA G 1042-3		
直管	有効長	呼び径200・250	5000mm
	管厚の種類 (記号)	呼び径200・250	1種管 (D1) 3種管 (D3)

備考 直管の具体的な管厚は、図表3-1-3-1を参照のこと。

3 継手の構造

継手構造はNS形と同じである。

●図表3-11-1-2 NS形(Gタイプ)の継手構造



4 基本性能

NS形と同等の伸縮・屈曲性能、離脱防止性能を有している。限界曲げモーメントはNS形と同じである。

●図表3-11-1-3 NS形(Gタイプ)の継手性能

呼び径	許容曲げ角度	地震時に曲がり得る最大屈曲角度	継手伸縮量	離脱防止力 (kN)	限界曲げモーメント (kN・m)
200	4° 00′	8° 00′	有効長の ±1%	3D (D:呼び径)	24
250					35

5 特徴

- ・ NS形と同じ性能を有するが、設計水圧は1.3MPa以下である。
- ・ 呼び径は2口径のみである。

3-12 農業用水用の継手

農業用水用の継手として紹介するが、農業用水用以外(下水道用など)にも使用されるものである。

3-12-1 ALW形(呼び径300~1500)

1 開発の背景

少子高齢化や人口減少により低成長の時代が続き、公共投資の伸びも期待できない中、できるだけ小さい負担で農業用水、下水道等の施設を建設、保全・管理していくことが重要となっている。そのような中、管路施設でも低コストで施工しやすく、長寿命が期待できる管材料が求められている。

そこで、管路建設コストの低減を目的としてALW形が開発された。ALW形は設計水圧1.0MPa以下の農業用水用、下水道用(汚水および汚泥を除く)およびその他(水道用を除く)のパイプラインに使用される。

ALW形の名称は、低圧用に進化させたパイプ「Advanced pipes for Low Water pressure」に由来する。

2 管の種類

●図表3-12-1-1 ALW形の種類

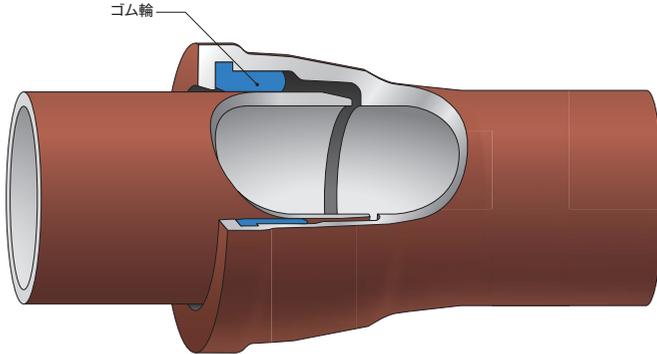
呼び径	300~1500		
規格	JDPA G 1053		
直管	有効長	呼び径300~1500	6000mm
	管厚の種類(記号)	呼び径300~1500	AL1種管(L1) AL2種管(L2)

備考 直管の具体的な管厚は、図表3-1-3-2を参照のこと。

3 継手の構造

ALW形の受口構造はT形と同じである。呼び径300～600では新たに開発したALW形ゴム輪、呼び径700以上ではT形ゴム輪を使用する。なお、ALW形には異形管がないため、K形異形管を用いる。

●図表3-12-1-2 ALW形の継手構造



4 基本性能

●図表3-12-1-3 ALW形の耐震計算時の設計照査用最大伸び量^{注1}

呼び径	最大伸び量(mm)	呼び径	最大伸び量(mm)
300	28	800	32
350	29	900	43
400	30	1000	45
450	31	1100	57
500	33	1200	68
600	33	1350	67
700	32	1500	78

注1 真直配管時の最大伸び量から施工時に継手を許容曲げ角度まで屈曲させた場合の伸縮量を差し引いた値。

5 特徴

- ・ 設計水圧は1.0MPa以下である。
- ・ 継手の伸縮・屈曲性は、T形と同等である。

3-13 その他の継手

3-13-1 ガス管用の継手 GM II形 (呼び径100～300) (JCPA規格外)

1 開発の背景

施工性、気密性に優れ、離脱防止性を備えたGM形が新しいメカニカル継手のガス管として開発されたが、その後、耐震性能をさらに向上させるため、GM形にいくつかの改良を加えたGM II形が開発された。

GM II形の名称は、GM形のガス (Gas) 用メカニカル (Mechanical) 継手の「GM」、その改良版を意味する「II (Two)」に由来する。なお、GM II形の仕様はメーカー規格である。

2 管の種類

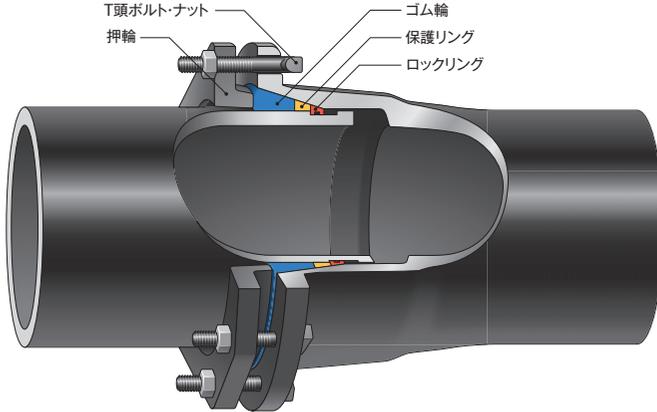
●図表3-13-1-1 GM II形の種類

呼び径	100～200・300		
規格	— (メーカー規格)		
直管	有効長	呼び径100	4000mm
		呼び径150・200	5000mm
		呼び径300	6000mm
	管厚	8.5mm	
異形管	プレハブ短管 ベンド (90°、45°、22 1/2°、11 1/4°) 両受口ベンド (45°) ティー レジューサ 両受口レジューサ カップ 本管プラグ ソリッドスリーブ 水取器		

3 継手の構造

メカニカル継手であり、伸縮・屈曲性を有し、挿し口溝に装着したロックリングによる離脱防止機能を有する。

●図表3-13-1-2 GM II形の継手構造



4 基本性能

適用圧力は中圧B (0.3MPa未満) までである。

5 特徴

- ・ 受口は単一のテーパ面からなり、保護リングとロックリングの組合せでゴム輪の圧縮量を一定に保つことで、優れた長期気密性を実現できる。
- ・ 伸縮・屈曲性、離脱防止性を有する。
- ・ 低・中圧用ガス導管に用いられる。

3-13-2 ガス管用の継手 TM型（呼び径100～300）〈JDPA規格外〉

1 開発の背景

TM型は、熟練接合技術が必要な印籠継手やG型などの既存のガス管に対し、作業者による性能のばらつきがなく、長期間安定した強度と気密性が維持できる新しいメカニカル継手のガス管として開発された。

TM型の名称は、東京ガスが開発したT型メカニカル継手（ガス管用の継手であり、T形とは異なる）の略称でT型の「T」とメカニカル（Mechanical）の「M」に由来する。なお、TM型の仕様は「東京ガス株式会社材料仕様書」による。

2 管の種類

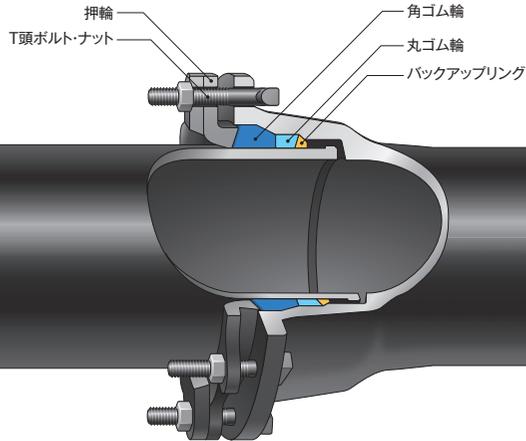
●図表3-13-2-1 TM型の種類

呼び径	100～200・300		
規格	— （「東京ガス株式会社材料仕様書」）		
直管	有効長	呼び径100	4000mm
		呼び径150・200	5000mm
		呼び径300	6000mm
	管厚	呼び径100	8.5mm
呼び径150・200・300		9.0mm	
異形管	ベンド（90°、45°、22 1/2°、11 1/4°） 両口ベンド（45°） コケ チーズ クロス 短管 タンピース フション センプル カップ		

3 継手の構造

メカニカル継手であり、伸縮・屈曲性を有し、挿し口突部による離脱防止機能を有する。

●図表3-13-2-2 TM型の継手構造



4 基本性能

適用圧力は中圧B(0.3MPa未満)までである。

5 特徴

- ・ 角ゴム輪と丸ゴム輪を使用することで、優れた長期気密性を有する。
- ・ 伸縮・屈曲性、離脱防止性を有する。
- ・ 主に低圧用ガス導管に用いられる。

3-13-3 ケーブル保護管用の継手 GX-I形(JDPA規格外)

1 開発の背景

電話ケーブルの誘導障害を防ぐ、いわゆる電話ケーブル保護管としてのダクタイル鉄管には、ねじ継手を有する管、その施工性を高めたPL-I (Push Lock Iron) 管があったが、GX形をベースにした電話ケーブル保護管として改良が加えられた。

GX-I形の名称は、「GX-Iron管」に由来する。

2 管の種類

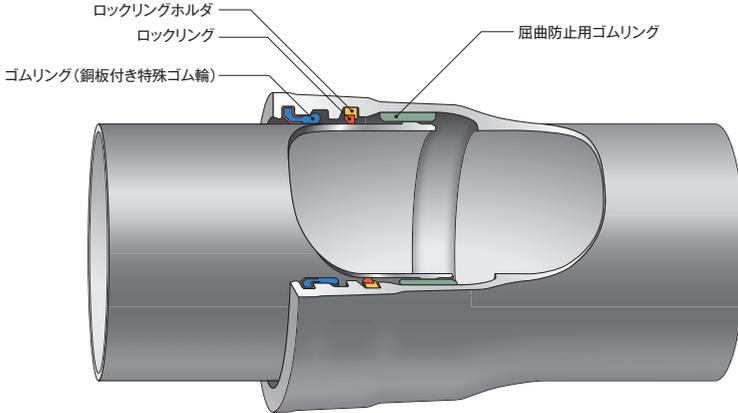
●図表3-13-3-1 GX-I形の種類

呼び径	75		
規格	— (メーカー規格)		
直管	有効長	差込み耐震継手鑄鉄管	4000mm
		差込み耐震継手鑄鉄管 (内径大)	
		差込み耐震継手鑄鉄管 (継手部なし)	3800mm
		差込み耐震継手鑄鉄管 (継手部なし、内径大)	
管厚の種類 (記号)	S種管 (DS)		
異形管	15°曲管、15°曲管 (内径大)、割継手		

3 継手の構造

特殊ゴム輪には、銅板が取り付けられており、受口内面、挿し口外面の導電性塗料を介して管同士が電氣的に導通する構造となっている。

●図表3-13-3-2 GX-I形の継手構造



4 基本性能

●図表3-13-3-3 GX-I管の継手性能

項目	性能
引抜阻止力	196kN以上
気密性能	気圧294kPaの正圧および-78kPaの負圧で漏洩なし
導電性能	平均値0.17mΩ以下
マンドレル通過性能	4号マンドレル通過
継手伸縮性能	管長の±1%(±45mm)

5 特徴

- ・ 管同士を接続するだけで管と管を電氣的に連続体とし、電話ケーブルの誘導障害を防ぐ。
- ・ 銅板付き特殊ゴム輪の圧縮力により高い気密性を確保できる。
- ・ 継手に離脱力が加わると継手が伸び、最大まで伸びると196kNの離脱防止機構が働く。
- ・ 管外面に施した新たな耐食仕様により、従来のPL-I管以上の長寿命が期待できる。

3-13-4 海外におけるダクタイル鉄管の継手と規格

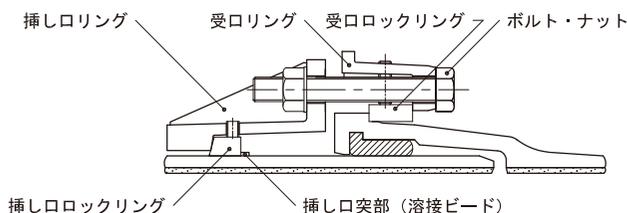
海外におけるダクタイル鉄管の継手、規格として欧米および中東の例を挙げる。

1 継手

海外の水道用ダクタイル鉄管には、T形のようなプッシュオン継手およびK形のようなメカニカル継手、フランジ継手が使われている。継手が伸縮する日本の耐震継手のようなタイプはなく、伸縮性能はないものの、離脱防止機能を備えた継手は欧米でラインアップされている。こうした中、近年米国では、日本の耐震継手管（GX形、NS形、S形）が試験採用されており、今後は本格採用が期待できる。

一方、中東では日本のダクタイル鉄管が多く採用されている。この中でも高水圧の導送水管向けとして、図表3-13-4-1に示すような離脱防止機能を有した海外仕様様の日本の大口径管が使われている。

●図表3-13-4-1 海外の離脱防止継手構造（例）



2 規格

欧州ではEN規格、米国ではANSI/AWWA規格、中国はGB規格、インドはISに準じており、主要国は各々が独自規格を制定している。ただし、中東などその他の国で使用されているダクタイル鉄管は、ISO規格やEN規格に準じることが多い。



ダクタイル鉄管の
内外面防食

Chapter 4

4-1

外面防食

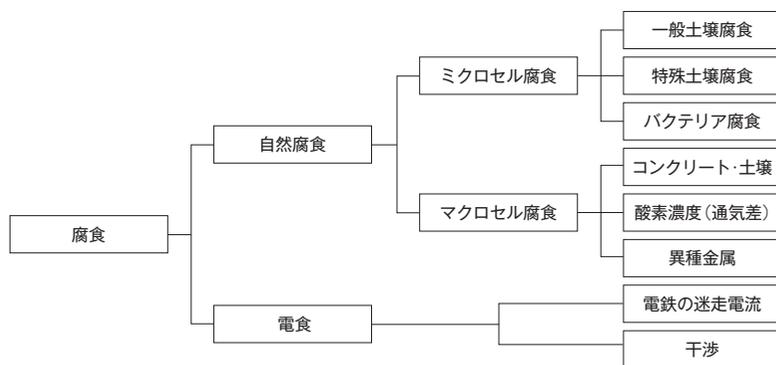
4-1-1 外面腐食の要因

1 埋設管の外面腐食

埋設管(埋設金属管)の腐食は、埋設環境により加速される。結果として生じる管路の腐食損耗現象は同じでも加速因子はさまざまである。

ダクタイル鉄管は、内面にはモルタルライニング、エポキシ樹脂粉体塗装、液状エポキシ樹脂塗装などが施されているため、一部の例外(無ライニング管、受口内面、挿し口外面、硫化水素や塩素ガス発生管路など)を除き、通常の使用状態で生じる腐食は、外面からの腐食に限られる。配管設計に際し、外面防食方法の選定は、埋設環境、使用環境など種々の使用条件によって異なり、選定を誤ると腐食事故などの発生要因となる。詳しくは「埋設管路の腐食原因とその防食について JCPA T11」を参照のこと。

●図表4-1-1-1 埋設管の外面腐食の分類



2 外面腐食に影響を及ぼす諸因子

外面腐食に影響を及ぼす因子としては、土壤の組成・不均一性・比抵抗(電気抵抗)・pH値・溶解塩分とその濃度、土壤中のバクテリア活動、異種金属の影響などがある。

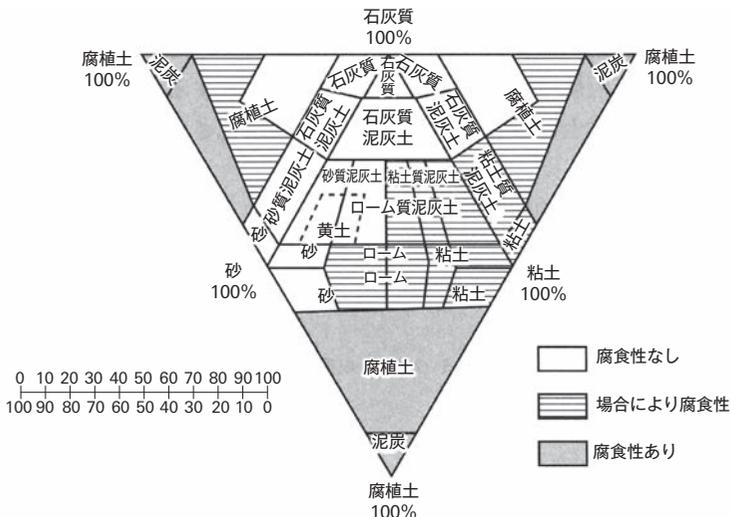
① 土壤の組成

土壤が一般的に腐食性であるといわれているのは、次のような所である。

- ・ 酸性の工場廃液や汚濁河川水などが地下に浸透した所
- ・ 海浜地帯、埋立地域など地下水に多量の塩分を含む所
- ・ 硫黄分を含む石炭ガスなどで盛土や埋立てをされた所
- ・ 泥炭地帯
- ・ 腐植土、粘土質の土壤
- ・ 廃棄物による埋立地域や湖沼の埋立地
- ・ 海成粘土など酸性土壤

工場廃液や迷走電流の影響がない場合、砂・石灰石などの通気性の良いローム質の土壤は、腐食性を示さないといわれている。一方、通気性の悪い粘土・腐植土・泥炭層などは腐食性を示す。

●図表4-1-1-2 土壤の評価



[DVGW.GW-9](ドイツガス水道技術者協会規格)を元に作成

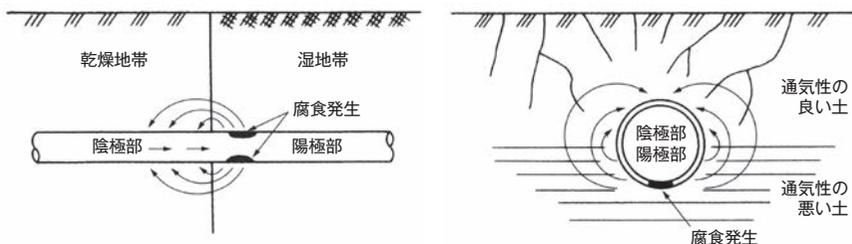
② 土壤の不均一性(マクロセル腐食)

埋設環境では、土壤の差により部分的に電位差を生じマクロセル(巨視的電池)が形成され、腐食が促進されることがある。代表的な事例は以下の通りである。なお、マクロセル腐食の対策としては、ポリエチレンスリーブによって、土壤やコンクリートと管の直接接触を防ぐことが有効である。

1) 通気差による腐食

土壤の通気性の差により酸素濃淡電池ができ、湿地帯など通気性の悪い土壤と接する部分がアノードとなり腐食が起こる。

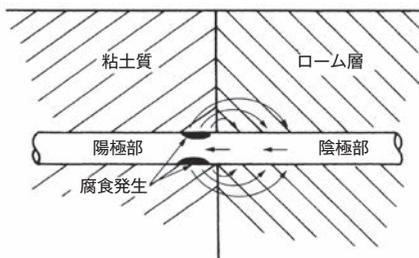
●図表4-1-1-3 通気差による腐食



2) 土質の違いによる腐食

塩類濃度に差がある場合や腐食性の異なる土壤など腐食性の環境差により、マクロセルが形成され、腐食が促進される。粘土質とローム層では、粘土質と接する部分がアノードとなり腐食が進行する。

●図表4-1-1-4 土質の違いによる腐食

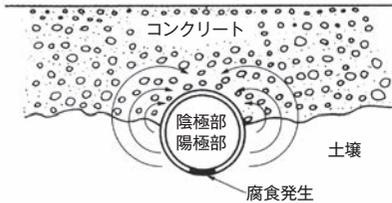


3) コンクリートによる腐食

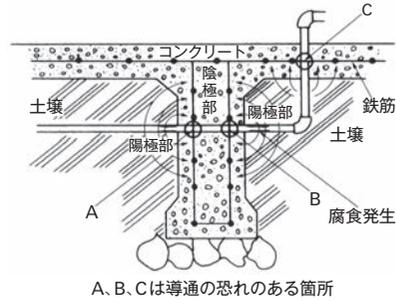
コンクリートと土壤のpH値の差により電位差を生じ、コンクリートと隣接した土壤付近がアノードとなり腐食が進行する。また、鉄筋コンクリートを通する配管

で鉄筋と導通(電氣的に接触)することによりカソードが増大し、アノードである土壤側の配管において激しい腐食を起こす。

●図表4-1-1-5 コンクリートによる腐食(土中で起こる)

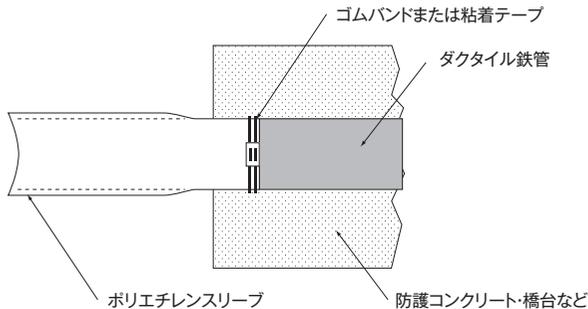


●図表4-1-1-6 鉄筋コンクリートとの導通によって起こる管の腐食



防護コンクリートや水管橋のコンクリート製橋台などコンクリートでダクタイル鉄管が巻かれている場合には、コンクリート出口付近にマクロセル腐食が発生しやすいために、ダクタイル鉄管用ポリエチレンスリーブをゴムバンドまたは粘着テープで固定して、コンクリート端部から100～150mm程度入れるように施工する。

●図表4-1-1-7 防護コンクリート部などでのポリエチレンスリーブの末端処理



〔水道施設設計指針・解説 2012〕(日本水道協会)より

③ 土壌の比抵抗

金属の腐食は、電気化学的な反応であり、腐食速度は環境の比抵抗によって大きな影響を受ける。

●図表4-1-1-8 土壌の腐食性と比抵抗の関係

腐食性の程度	比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)				
	F.O.Waters 注1	L.M.Applegate 注2	V.A.Pritula 注3	E.R.Shepard 注4	M.Romanoff 注5
激しい	0~900	0~1000	0~500	0~500	< 700
やや激しい	900~2300	1000~5000	500~1000	500~1000	700~2000
中	2300~5000	5000~10000	1000~2000	定め難い	2000~5000
小	5000~10000	10000~100000	2000~10000		> 5000
きわめて小	> 10000	> 100000	> 10000		

注1 F.O.Waters : Corrosion, 8, No.407 (1952)

注2 L.M.Applegate : Cathodic Protection (1960)

注3 V.A.Pritula : Cathodic Protection of Pipeline and Storage Tanks (1953)

注4 E.R.Shepard : Journal of Res. of NBS, 6, 683 (1931)

注5 M.Romanoff : NBS Circular 450 and 579

『新版 電食・土壌腐食ハンドブック』(電気学会, 1986年)より

4 土壌のpH値

土壌のpH値は、腐食に大きな影響を及ぼす。鉄の腐食速度は、pH4前後から弱アルカリ性までの範囲でほとんど差がない。しかし、pH4以下の酸性域では酸性が強くなるに従って腐食は激しくなる。

●図表4-1-1-9 土壌のpH値と鉄の腐食の程度の関係

pH値	腐食の程度
4.5以下(酸性)	非常に腐食性
4.5~6.5(弱酸性)	腐食性
6.5~8.5(中性または弱アルカリ性)	非腐食性
8.5以上(アルカリ性)	不明 ^{注1}

注1 不明とは、場合によって非腐食性のときと腐食性のときがあり、一概に決められないことをいう。

『電食・土壌腐食ハンドブック』(電気学会, 1966年)より

5 土壌の溶解塩分とその濃度

可溶性の塩類の存在は、土壌の電気伝導性を良好にし(比抵抗を下げる)、電気の通過を容易にするので腐食速度が大きくなる場合が多い。また、塩素イオンなどのハロゲンイオンは、金属表面の保護皮膜を破壊し腐食を進行させる作用がある。一方、中性条件下でカルシウムイオンやマグネシウムイオンは、不溶性の生成物となって析出し、これが保護皮膜となって働くため腐食を抑制する作用がある。

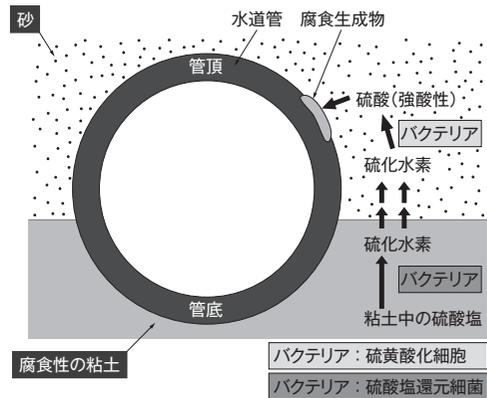
6 土壌中のバクテリア

埋設管の腐食は、土壌に生息するバクテリアの代謝作用によって促進されることがある。腐食に関連する代表的なバクテリアには、好気性の鉄バクテリアと嫌気性の硫酸塩還元バクテリアの影響が大きいといわれている。硫酸塩還元バクテリアは、pH6～8程度の中性環境中で水素と硫酸塩を必要とし、硫酸塩を硫化物に

還元する。通常、鉄表面には水素が吸着しているが、バクテリアは硫酸塩を還元するときに、この鉄表面の水素を利用し復極*1させ、鉄は一部が黒錆(硫化鉄: FeS)になって腐食する。Redox電位(酸化還元電位)は、硫酸塩還元バクテリアの活動しやすい酸素の少ない嫌気性環境のときに低い値を示す。

*1 復極とは、電流の流れを止める分極作用を抑制することをいう。

●図表4-1-1-10 バクテリア腐食のメカニズム



7 特殊な腐食性土壌

粘土は、淡水成粘土と海成粘土に大別できる。この中で海成粘土は、内海の静かな海底に堆積して生成した粘土であり、硫化物や塩分として硫酸塩を多量に含有するため強い腐食性を示す。これは、嫌気性環境で活動する硫酸塩還元バクテリアによって、海水中の硫酸塩が多量に還元されたためであり、この結果、海成粘土の比抵抗やRedox電位は低い値を示す。また、この粘土は還元状態(海水中や地下深く)では中性を示すが、風化すると酸性を示す特徴を持つ。海成粘土は、今から5万～200万年前(地質学的には第四紀)に生成されたもので、その後の海岸線の移動や地殻変動により、海岸近くだけでなく内陸の丘陵地にも分布している場所がある。

●図表4-1-1-11 海成粘土と淡水成粘土

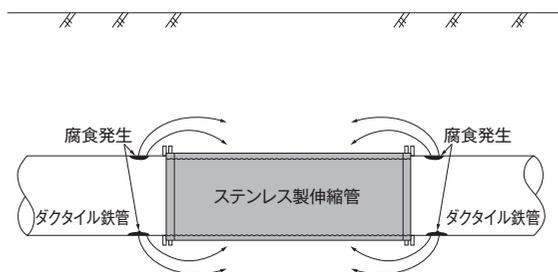
粘土の種類	比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	硫化物	硫黄分 (%)	土壌抽出水 ^{注1} (1:2.5)					腐食性 評価
				比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	pH	SO ₄ (mg/L)	2-C1 (mg/L)	蒸発 残留物 (mg/L)	
海成 粘土	430	検出	0.63	331	4.7	779	4	1268	強腐 食性
淡水成 粘土	1670	検出	0.03	2520	6.9	28	6	180	腐食性

注1 土壌を乾燥後、質量比で2.5倍の純水を入れ、抽出した水。

⑧ 異種金属による影響

異なる2種の金属が土壤中で電氣的に接合されると、おのおのの自然電位の差によりマクロセルが形成され、自然電位の卑な(小さい)金属がアノード(陽極)となり腐食する。これを異種金属マクロセル腐食という。また、卑な金属の面積に比べて自然電位の貴な(大きい)金属の面積が大きいと、卑な金属の腐食が激しくなる。これは、貴な金属の面積が大きいとそれに見合ったアノード溶解が卑な金属の小さな表面に集中するために腐食が激しくなることによる。逆に貴な金属の面積に比べて卑な金属の面積が大きくなればなるほど、卑な金属の腐食はより減少する。

●図表4-1-1-12 異種金属による腐食

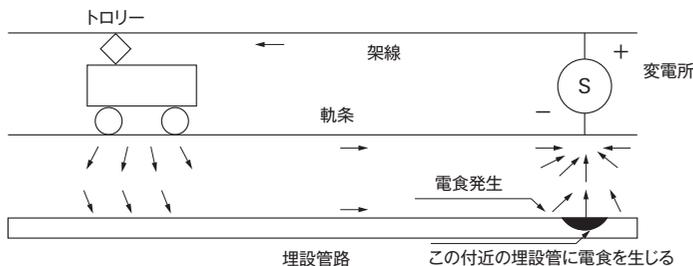


このような異種金属による影響を防止するには、絶縁継手などにより卑な金属と貴な金属を電氣的に絶縁状態にし、さらにポリエチレンスリーブを被覆して、金属と土壌の直接接触を防ぐことが有効である。

9 電食

電食とは、電鉄の迷走電流や電気防食施設の漏れ電流などが埋設管に流入し、電流が再び土中に流出する箇所で激しい電解腐食を起すことをいう。この内、電気防食施設からの漏れ電流による電食は「干渉」と呼ばれる。

●図表4-1-1-13 電食の発生メカニズム



10 母材の耐食性

一般に、ダクタイル鉄管は材質自体の比抵抗が鋼管に比べ、2.5～7.0倍程度大きく、また継手部にゴム輪を使用しているため継手部自体が抵抗体になっている。関西電食防止対策委員会『電食防止対策の手引き』では、ダクタイル鉄管の継手部の電気抵抗値は、接合形式によって差はあるが管内満水状態で100～3000Ω程度を有している(図表2-2-4-3)。このため、管路全体として導通状態ではなく、迷走電流の影響による電食を受けにくい構造となっている。

また、鋳鉄は黒鉛とフェライト(純鉄に近い)の混合物であり、腐食反応においては、この黒鉛が腐食生成物と固着し新たな腐食を抑制する方向に働く。この作用は「黒鉛化」と呼ばれ、これが鋳鉄材料の耐久性が優れている要因ともいわれている。

●図表4-1-1-14 ダクタイル鋳鉄と鋼の比抵抗

材 質	比抵抗 ρ ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	ρ ダ / ρ 鋼
ダクタイル鋳鉄	50～70	2.5～7.0
鋼	10～20	

4-1-2 外面防食の種類

●図表4-1-2-1 外面防食の種類と概要

種類	概要
合成樹脂塗装	ダクタイル鉄管の標準的な塗装でエポキシ樹脂塗料やアクリル樹脂塗料による塗装仕様である。
外面耐食塗装 (GX形など)	亜鉛系合金の溶射により自己修復機能を持たせた塗装仕様である。GX形などに用いられている。
外面特殊塗装	色指定が必要な場合や水中配管など特殊な環境で使用する場合に適用する塗装仕様で、AA、BB、CC、DD種の4区分に分けられる。
ポリエチレンスリーブ法	ポリエチレンスリーブを現地で被覆する防食仕様で、上記塗装仕様と併用することでさらに防食性能を高めることができる。

4-1-3 合成樹脂塗装

鑄鉄管、ダクタイル鉄管の防食法として、古くはコールタールやタールエポキシ樹脂塗料が用いられてきたが、現在では「JWWA K 139 水道用ダクタイル鑄鉄管合成樹脂塗料」で規定されている一液性エポキシ樹脂塗料、二液性エポキシ樹脂塗料、アクリル樹脂塗料の3種類が用いられている。各塗料は製造ラインの特性に応じて使い分けられている。

なお、JWWA K 139で規定されている塗料は、図表4-1-3-1、2に示す品質を有している。浸出性が規定されているのは、外面部でも、一部が水と接触するためである。

塗料の組成はJWWA K 139で、塗装方法や塗布量は「JWWA G 113 水道用ダクタイル鑄鉄管」「JWWA G 114 水道用ダクタイル鑄鉄異形管」でそれぞれ規定されている。「JDP A Z 2010 ダクタイル鑄鉄管合成樹脂塗装」では、目標塗膜厚さなども規定されている(図表4-1-3-3)。

下塗りとして用いている亜鉛系プライマは、腐食性環境下における管路の防食対策として有効であり、わが国はもとより海外においても図表4-1-3-4のように規格化されている。一般に埋設土壌の腐食性が高い場合や、より長期の耐久性を求める場合にはポリエチレンスリーブを被覆する防食方法がある(「4-1-6 ポリエチレンスリーブ法」参照)。

● 図表4-1-3-1 合成樹脂塗料・塗膜の品質(物性)

項 目		概 要
塗 料	容器の中の状態	かき混ぜたとき堅い塊がなくて一様になる。
	塗装作業性	塗装作業に支障がない。
	硬化乾燥時間	48時間以内に硬化乾燥状態になっている。
塗 膜	耐屈曲性	直径10mmの心棒による折り曲げで塗膜のき裂またははく離がない。
	耐おもり落下性	500gのおもりを高さ30cmから落下させて塗膜の割れ・はがれがない。
	耐アルカリ性	水酸化ナトリウム溶液(0.1mol/L)に48時間浸し、塗膜に割れ・はがれ・膨れ・あな・軟化がなく、さらに2時間放置した後、原状試験片と比べて、つやの変化及び変色の程度が大きくない。
	耐酸性	硫酸(0.05mol/L)に48時間浸し、塗膜に割れ・はがれ・膨れ・あな・軟化・さびがなく、さらに2時間放置した後、原状試験片と比べて、つやの変化及び変色の程度が大きくない。
	耐水性	脱イオン水に30日間浸し、塗膜に割れ・はがれ・膨れ・しわを認めず、さらに2時間放置した後、原状試験片と比べて、つやの変化・くもり・白化・変色の程度が大きくない。
	耐中性塩水噴霧性	塗膜に素地に達するスクラッチをつけ120時間の塩水噴霧で塗膜の膨れ・はがれ・さびがない。
	耐湿性	温度50±2℃、湿度95%以上で120時間静置し、塗膜に割れ・はがれ・膨れ・しわ・さびが認められず、2時間置いた後の観察でくもり・白化・変色がない。
	促進耐候性	キセノンランプ法により300時間の照射で、塗膜に割れ・はがれ・さびを認めない。
耐低温・高温繰返し性	-20±2℃で1時間、23±2℃で30分以上、80±2℃で1時間、23±2℃で30分以上を1サイクルとして6サイクル繰り返し、塗膜に割れ・剥がれ・膨れ・白化を認めない。	

備考 各項目の概要はJWWA K 139-2015において、塗料と塗膜について規定された内容を試験方法などと簡潔にまとめたものである。

「JWWA K 139 水道用ダクタイル鋳鉄管合成樹脂塗料」より

●図表4-1-3-2 合成樹脂塗料・塗膜の品質（浸出性）

項目	基準		
	一液性 エポキシ樹脂	二液性 エポキシ樹脂	アクリル樹脂
シアン化物イオンおよび塩化シアン	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}
ホルムアルデヒド	0.008mg/L以下 ^{注1}	0.008mg/L以下 ^{注1}	0.008mg/L以下 ^{注1}
フェノール類	0.0005mg/L以下 ^{注1}	0.0005mg/L以下 ^{注1}	0.0005mg/L以下 ^{注1}
有機物 [全有機炭素(TOC)の量]	0.5mg/L以下 ^{注1}	0.5mg/L以下 ^{注1}	0.5mg/L以下 ^{注1}
味	異常でないこと ^{注1}	異常でないこと ^{注1}	異常でないこと ^{注1}
臭気	異常でないこと ^{注1}	異常でないこと ^{注1}	異常でないこと ^{注1}
色度	0.5度以下 ^{注1}	0.5度以下 ^{注1}	0.5度以下 ^{注1}
濁度	0.2度mg/L以下 ^{注1}	0.2度mg/L以下 ^{注1}	0.2度mg/L以下 ^{注1}
塗膜 アミン類	トリエチレンテ トラミンとして、 0.01mg/L以下 ^{注1}	トリエチレンテ トラミンとして、 0.01mg/L以下 ^{注1}	トリエチレンテ トラミンとして、 0.01mg/L以下 ^{注1}
酢酸ビニル	0.01mg/L以下 ^{注1}	0.01mg/L以下 ^{注1}	0.01mg/L以下 ^{注1}
スチレン	0.002mg/L以下 ^{注1}	0.002mg/L以下 ^{注1}	0.002mg/L以下 ^{注1}
1,2-ブタジエン	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}
1,3-ブタジエン	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}	0.001mg/L以下 ^{注1}
エピクロロヒドリン	0.01mg/L以下 ^{注1}	0.01mg/L以下 ^{注1}	—
2,4-トルエンジアミン	—	0.002mg/L以下 ^{注1}	—
2,6-トルエンジアミン	—	0.001mg/L以下 ^{注1}	—
トルエン	0.2mg/L以下(暫定)	0.2mg/L以下(暫定)	0.2mg/L以下(暫定)
キシレン	0.4mg/L以下(暫定)	0.4mg/L以下(暫定)	0.4mg/L以下(暫定)
残留塩素の減量	0.7mg/L以下	0.7mg/L以下	0.7mg/L以下

注1 JWWA K 139-2015では、「水道施設の技術的基準を定める省令の別表二による」と規定されているが、「水道施設の技術的基準を定める省令(平成12年2月23日厚生省令第15号、平成26年2月28日改正)」の別表二による基準を参考までに記載したものである。

「JWWA K 139 水道用ダクタイル鋳鉄管合成樹脂塗料」より

●図表4-1-3-3 ダクタイル鉄管の外面塗装

項目	直管	異形管
塗装方法	エアレススプレー塗装機又はエアスプレー塗装機、はけ、ローラなどを用いて行う。	
目標塗膜厚さ	0.1mm以上	0.8mm以上
塗布量	塗膜厚さ0.1mmにつき250g/m ² 以上	
亜鉛系プライマ	呼び径250以下は全管に適用	—

「JCPA Z 2010 ダクタイル鋳鉄管合成樹脂塗装」より

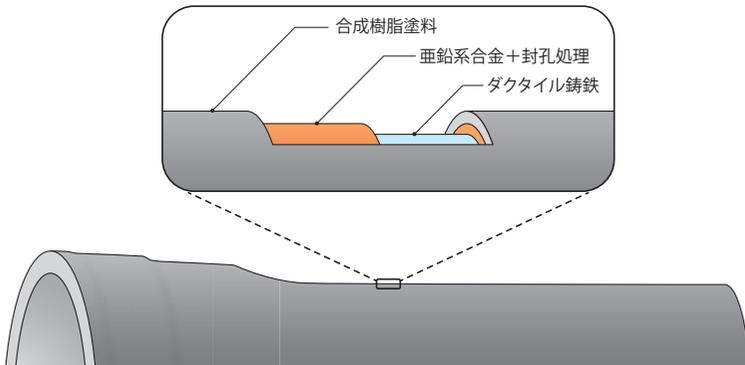
●図表4-1-3-4 海外でのダクタイル鉄管の外面塗装の規格

規格	名称
ISO 8179	Ductile iron pipes-External zinc-based coating
BS EN 545	Ductile iron pipes, Fittings, accessories and their joints for water-pipelines

4-1-4 外面耐食塗装

外面耐食塗装はポリエチレンスリーブを被覆することなく長期の耐久性が期待できる塗装仕様として開発された。この仕様の寿命は一般的な埋設環境(山地を除く国土の95%)において外面耐食塗装の寿命70年以上を目標として設計しており、鉄部の寿命と合わせて長期の耐久性が期待できるものである。図表4-1-4-1に外面耐食塗装の塗膜構成を示す。

●図表4-1-4-1 外面耐食塗装の塗膜構成



1 防食性

「JIS Z 2371 塩水噴霧試験方法」に従って試験を行った結果、外面耐食仕様のものは、長期間でも錆が発生しない良好な防食性能を示した。

●図表4-1-4-2 塩水噴霧試験結果(従来仕様との比較)

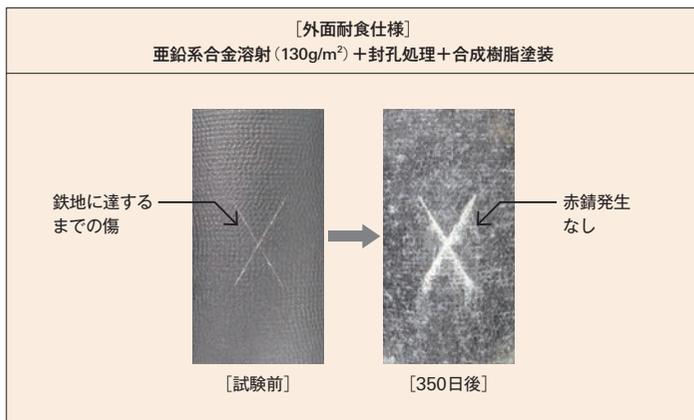


備考 合成樹脂塗装はなし。

2 傷部に対する防食性

試験片に鉄地に達するまで傷をつけ、塩水噴霧試験を行ったが、外面耐食塗装は、良好な防食性能を示した。

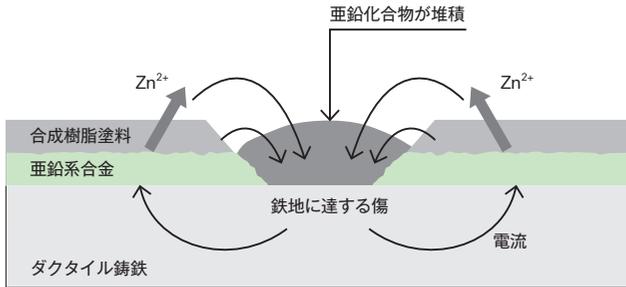
●図表4-1-4-3 塩水噴霧試験結果(傷部に対する防食性)



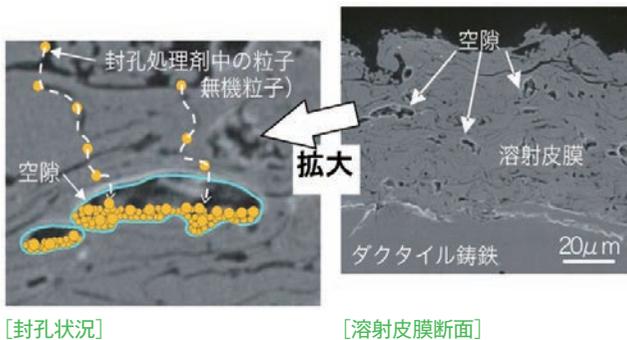
これは、管体に傷がつき鉄地が露出しても、図表4-1-4-4に示す外面耐食塗装の防食メカニズムにより、この部分を守るために矢印のように電流が流れ、亜鉛がゆっくと溶出し、傷部に亜鉛化合物が堆積して保護皮膜を形成するためである。溶射皮膜に存在する空隙を無機粒子で埋める封孔処理(図表4-1-4-5)により亜鉛の溶出を抑制し、防食性能を向上させている。

なお、許容できる傷の大きさは、管外表面 1m^2 当たり 15cm^2 以内、かつ幅5mm以内である。

●図表4-1-4-4 傷部の防食メカニズム



●図表4-1-4-5 封孔処理状況



3 水質衛生性

「JWWA Z 108 水道用資機材-浸出試験方法」に基づき外面耐食塗装(亜鉛系合金溶射($325\text{g}/\text{m}^2$) + 封孔処理 + 合成樹脂塗装)の浸出試験を行ったが、試験後の測定値は「水道施設の技術的基準を定める省令」の基準値以内であった。

4-1-5 外面特殊塗装

ダクタイル鉄管は一般的には地下に埋設して使用される。しかし、浄水場などでは、地上または管廊内での露出配管や水中に配管される場合がある。

露出配管の場合には、塗装は単なる防錆、防食だけでなく、管路の美観、用途や使用目的を判別するための表示も目的となる。水中の場合には、通常の外面に要求されるレベルよりも優れた防食性能が要求される。

これらの外面特殊塗装については、「JCPA Z 2009-2011 ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装」で規格化されており、1次、2次、3次塗装は工場で塗装し、輸送や布設工事での塗膜の損傷を考慮して布設完了後現地で仕上げ塗装を行うこととしている。

●図表4-1-5-1 ダクタイル鉄管の外面特殊塗装

種類	工場塗装			現地塗装(参考)		
	1次塗装	2次塗装	3次塗装	用途	現地塗装適合塗料	備考
AA ^{a)}	亜鉛溶射又はジंकリッチペイント ^{b)}	管に通常用いる塗料塗膜の厚さ0.08mm	—	主として露出配管に用いる。	管に通常用いる塗料	黒色とし、その他の色は指定できない。
BB	亜鉛溶射又はジंकリッチペイント	現地塗装のアクリルNAD系艶有塗料に適した管に通常用いる塗料塗膜の厚さ0.08mm			アクリルNAD系艶有塗料	色の指定ができ、歩道橋や建築関係で通常用いられている。塗料は市販性がよく、入手しやすい。
CC	ただし、JCPA G 1049のGX形管は亜鉛系合金溶射でもよい ^{b)}	エポキシ樹脂塗料塗膜の厚さ0.05mm	エポキシM.I.O.塗料又はエポキシ樹脂塗料塗膜の厚さ0.05mm	水中配管及び湿度の高い所の露出配管に用いる。	ポリウレタン樹脂塗料	色の指定ができ、耐候性が要求される場合に使用される。
DD					エポキシ樹脂塗料	色の指定ができ、水中や湿度の高い腐食性環境で使用される。

注 a) 種類AAには、JCPA G 1049のGX形管は適用しない。

b) 1次塗装の塗布量は、亜鉛溶射又は亜鉛系合金溶射の場合は130g/m²以上、ジंकリッチペイントの場合は150g/m²以上を基準とし、塗膜厚さは0.02mmとして積算する。

なお、亜鉛系合金溶射の場合は、封孔処理を行ってもよい。

「JCPA Z 2009-2011 ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装」より

4-1-6 ポリエチレンスリーブ法

1 防食性

布設予定地が腐食土壌と判定された場合、または管路の長寿命化を図るために、ポリエチレンスリーブ法を適用する。ポリエチレンスリーブ法は、厚さ0.2mmの軟質ポリエチレン製スリーブをダクタイル鉄管の全長にわたって被覆する方法であり、以下①～④の防食効果が期待できる。①腐食土壌と管の直接接触を防ぎ防食する、②管の周辺を均一な状態に保ちマクロセル腐食を防ぐ、③侵入した地下水の移動を抑制することで溶存酸素を消費し腐食の進行を抑制する、④迷走電流^{しゃへい}に対して遮蔽物の効果を果たして電食を防ぐ。

ポリエチレンスリーブは、米国^{*2}と英国^{*3}で国家規格になっており、欧州諸国^{*4}でも広く用いられ、中近東諸国でも採用されている。日本では、2001年に材料がより破れにくいものへと改良され、「JWWA K 158-2005 水道用ダクタイル鑄鉄管用ポリエチレンスリーブ」として規格化された。その後、2017(平成29)年にさらに耐久性の向上した材料が「JWWA K 158-2017 ダクタイル鑄鉄管用ポリエチレンスリーブ」として規格化された(図表4-1-6-1)。

*2 ANSI/AWWA C105-10 Polyethylene Encasement For Ductile – Iron Pipe Systems.

*3 BS 6076 1981 Tubular Polyethylene film for use as protective sleeving for buried iron pipes and fittings.

*4 ISO 8180 1985 Ductile iron pipes – polyethylene Sleeving.

●図表4-1-6-1 ポリエチレンスリーブの物性

試験項目	品質
引張降伏応力 (MPa)	30以上 ^{注1}
引張破壊ひずみ (%)	600以上 ^{注2}
引張弾性率 (MPa)	160以下
耐衝撃性	衝撃で破れないこと
メルトマスフローレイト (g/10min)	0.2を超え、3.0以下
密度 (23℃) (kg/m ³)	901を超え、921以下
酸化誘導時間 (min)	60以上

注1 降伏点を示さない場合は、引張破壊応力とする。

注2 熱融着によって製造したスリーブの熱融着部の引張降伏応力は、10MPa以上、引張破壊ひずみは250%以上とする。

「JWWA K 158-2017 ダクタイル鑄鉄管用ポリエチレンスリーブ」より

2 適用判定基準

① 合成樹脂塗装の場合

布設予定地の土壌が調査の結果、腐食性の土壌であった場合には、適切な防食を行うという考え方が1960年代の米国で普及し、判定基準の一つとして「ANSI/AWWA C105/A 21.5」が規定された。その中では、合成樹脂塗装の場合、5項目の埋設土壌環境を測定し、各評価点の合計が10点以上のときは、铸铁管に対して腐食性があると判定し、ポリエチレンスリーブ法の適用が推奨されている。

●図表4-1-6-2 「ANSI/AWWA C105/A21.5」による土壌評価法

測定項目	測定値	点数
比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	< 1500	10
	1500~1800	8
	1800~2100	5
	2100~2500	2
	2500~3000	1
	> 3000	0
pH値	0~2	5
	2~4	3
	4~6.5	0
	6.5~7.5	0 ^{注1}
	7.8~8.5	0
	> 8.5	3
Redox電位 (100mv)	> 100	0
	50~100	3.5
	0~50	4
	< 0	5
水分	排水悪く非常に湿潤	2
	排水良く一般に湿っている	1
	排水良く一般に乾燥している	0
硫化物	検出	3.5
	痕跡	2
	なし	0

注1 硫化物が存在し、Redox電位が100mv以下の時は3点を追加する。

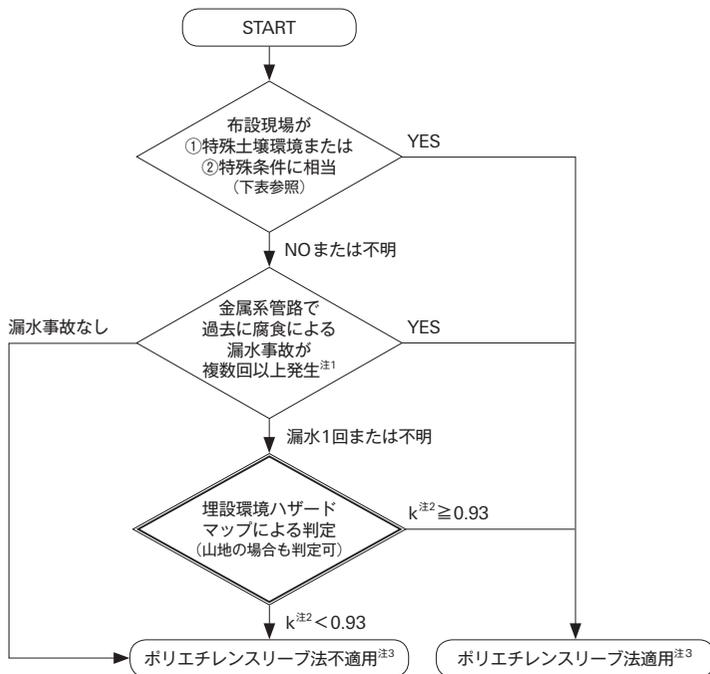
● 図表4-1-6-3 土壌腐食性評価例

土壌の種類	評価点数(点)				
	5	10	15	20	25
海成粘土				■	
石灰がら・鋳炉灰・コークスがら			■		
腐植土・泥炭			■		
砂(塩分を含む)			■		
淡水成粘土		■			
赤色土・黄色土		■			
ローム	■				
砂	■				

② 外面耐食塗装(GX形)の場合

外面耐食塗装が施されているGX形は、長期耐久性を有しているため、ポリエチレンスリーブ法の適用判定は図表4-1-6-4による。

●図表4-1-6-4 GX形のポリエチレンスリーブ法の適用判定



環境・条件

①特殊土壌環境 (自然環境)	強酸性土壌環境注4	海成粘土相当層
		温泉地域
		泥炭地帯
		強酸性の工場廃液による土壌汚染地域注5
②特殊条件注6	強腐食性土壌環境	ガラ等の廃棄物による埋立地
		(旧)炭鉱地帯
		鉄筋コンクリート構造物を貫通して出た埋設管(コンクリート/土壌系マクロセルに相当)
		電気防食設備設置付近の管(外部電源用電極設置箇所)
		ステンレス鋼管と電氣的に接触し、異種金属接触腐食を生じる場合

注1 例えば40年以内に2回以上の腐食漏水事故が発生したことを目安とする。

注2 「k」は、腐食予測式 $P = kt^{\alpha}$ (P: 腐食深さ、t: 埋設年数、 α : 定数) に示される埋設環境の腐食性を示す係数。

注3 管周囲を砂で埋め戻せば、埋設環境はさらに良好になる。

注4 強酸性とはpH4未満または過酸化水素水による強制酸化試験後のpH3以下のもの。

注5 強酸性の工場廃液で汚染された土壌環境では、ポリエチレンスリーブ法併用でも効果がない場合がある。

注6 ステンレス給水管の取出部は「絶縁型サドル分水栓」を使用すればポリエチレンスリーブ法は不要。またステンレス鋼管との接合部は「異種金属同士の絶縁対策」を施せば、ポリエチレンスリーブ法は不要。なお、既設の「GX継手管以外の従来管」との切管ユニット接合部分には、ポリエチレンスリーブ法の併用が必要。

4-2

内面防食

4-2-1 内面腐食の要因

1 内面腐食に影響を及ぼす諸因子

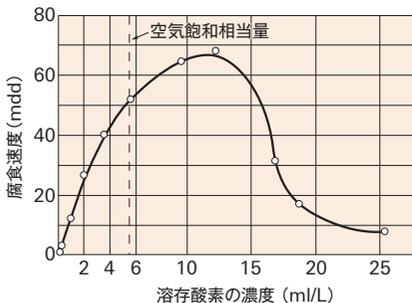
① 溶存酸素

中性の水中では、鉄系金属は腐食の進行に溶存酸素が必要であるが、酸素濃度が高過ぎると、鉄は不動態化して腐食速度は低下する。

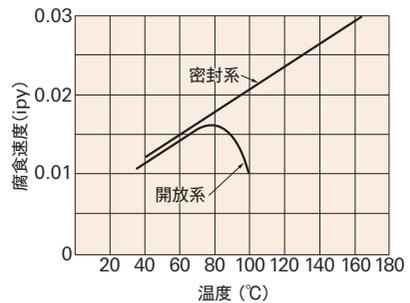
② 温度

温度の影響は、一定の酸素濃度下(密封系)では温度上昇とともに腐食は直線的に増加する。しかし、開放系では腐食速度は80℃で最大となり、それ以上の温度では酸素の溶解度が急激に減少するため、鉄の腐食速度は低下する。

● 図表4-2-1-1 溶存酸素濃度と腐食速度の関係



● 図表4-2-1-2 溶存酸素を含む水中での鉄の腐食に対する温度影響



H.H. ユーリック、R.W. レヴィー 『腐食反応とその制御 (第2版)』(産業図書)より

③ 流速

流速が増せば、鉄表面に達する酸素濃度が增大するため腐食速度も増すが、さらに速度が上がり、酸素供給量が多くなり過ぎると、鉄表面が不動態化して腐食速度は低下する。しかし、流速が極端に速くなると、不動態皮膜や腐食生成物が機械的に破壊され、キャビテーションエロージョンの被害を受ける。このキャビテーションエロージョンは、バルブ部のように局部的に流れが変化する箇所で起こりやすい。

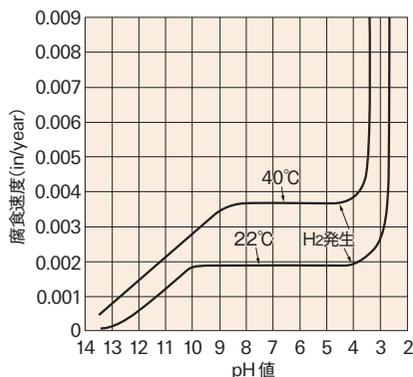
④ pH値

pH4～10の範囲ではほとんど差がなく、一定の腐食量を示すが、pH4以下では水素発生型の腐食が起こり、鉄の腐食速度は急速に増大する。pH10以上では鉄は不動態化の傾向を示し、腐食速度は低下する。

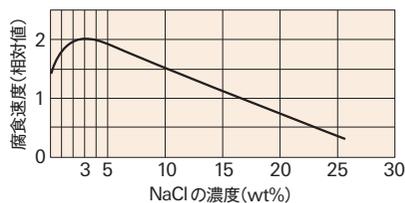
⑤ 溶存塩類

溶存塩類の影響は、例えば食塩3%含有の食塩水の場合、電気伝導度が大きいいため、鉄の腐食速度は速くなる。また、塩素イオンが水酸化鉄の保護膜を破壊するため、腐食の進行速度が経時的に低下する傾向が少なくなる。このため、一般に淡水の場合より海水の場合の方が腐食が激しくなる。しかし、さらに塩類濃度が高くなると、酸素の溶解度が小さくなるため、腐食速度は遅くなる。

●図表4-2-1-3 鉄の腐食に及ぼすpH値の影響



●図表4-2-1-4 曝気した室温の鉄の腐食に関する食塩水濃度



2 上水道における因子

上水道では、先に述べた内面腐食の諸因子は、鉄部の内面腐食に大きな影響を及ぼすほどの値をとるものではない。むしろ、モルタルライニングの中性化に影響を及ぼす遊離炭酸に注意する必要がある。

① 遊離炭酸

『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）に「侵食性遊離炭酸を多く含む水は水道施設に障害を与える場合がある。遊離炭酸が約20mg/Lを越える場合は、侵食性遊離炭酸も多いおそれがあるので、水質障害の程度を勘案して、エアレーションあるいはアルカリ処理を行って、除去または中和する必要がある」と記されている。遊離炭酸は水の侵食性に大きく影響を与える因子の一つである。

② 水の侵食性を表す指数

水の侵食性が高い場合には、内面無ライニングの管などがあると赤水などが発錆しやすくなる。水が侵食性かあるいはスケール形成による非侵食性かの判断方法としてランゲリア指数があり、『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）では管理目標値を-1.0程度以上としている。またAWWAでは侵食性指数（Aggressiveness Index）を指標に管理することを提案している。侵食性指数が10以下のときは強侵食性で、12以上のときは非侵食性、10～12の間を中間程度の侵食性と区別している。

3 下水道における因子

下水道では、先に述べた内面腐食の諸因子に加えて、硫酸塩還元バクテリアによるモルタルライニングの劣化に注意を要する。

① 硫酸塩還元バクテリア

硫酸塩還元バクテリアは、pH5.5～8.5で脱気した水中や、自然の還元性環境下で繁殖し激しい腐食を起こすことがある。この現象は、下水のスラッジ中で硫酸塩還元バクテリアが活動し、硫化水素（ H_2S ）ガスを発生させ、さらに好気性バクテリアによって硫酸となることによって起こる現象である。

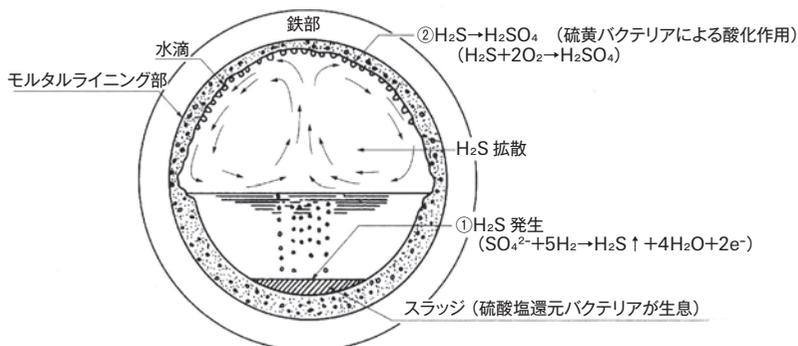
この腐食は、水中や海水中でも起こるが、特に高温地域などにおけるモルタルラ

ライニング下水道管で問題化している。

この下水道管の腐食を防止するため、米国EPA (Environmental Protection Agency) では、流速を上げるか、下水道管の中に酸素を供給する方法が規定されている。

既設管がモルタルライニング管の場合の対策としては、定期的な管内清掃によりスラッジを排出するか、エポキシ樹脂粉体塗装管への更新が望ましいとされている。

●図表4-2-1-5 下水道管のモルタルライニング劣化メカニズム



4 その他

海水や温泉水などその他の流体については内面腐食の諸因子が種々影響を及ぼす場合がある。

4-2-2 内面防食の種類

ダクタイル鉄管では、1955 (昭和30) 年代から、直管の内面にモルタルライニングが施されるようになり、それ以前の管に見られるような内面の錆はほとんど発生しなくなったが、異形管については、^{れきせいしつ}瀝青質系の薄い塗装が施されていたため、赤水発生の原因の一つになっていた。そこで、1973 (昭和48) 年ごろから内面エポキシ樹脂粉体塗装異形管が採用されはじめ、その後、年々この塗装が施された異形管を採用する都市が増加し、現在では主流となっている。

この間、1977 (昭和52) 年に異形管専用の規格として、「JDKA Z 2006 水道用ダク

「タイル鑄鉄異形管粉体塗装」が制定された。さらに、内面にエポキシ樹脂粉体塗装が施された直管を採用する都市が増えてきたことから、直管、異形管ともに適用できる規格として、1980(昭和55)年に「JWWA G 112 水道用ダクタイル鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装」が制定された。また、エポキシ樹脂粉体塗装は、水道以外の分野、例えば硫化水素ガスの発生しやすい下水道管路や海水等を利用する工業用水道管路でも使われるようになり、1984(昭和59)年に「JIS G 5528 ダクタイル鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装」が制定された。

● 図表4-2-2-1 内面防食の種類と概要

種 類	概 要
エポキシ樹脂粉体塗装	小中口径ダクタイル鉄管(直管、異形管)に用いられる標準的な内面塗装仕様である。
モルタルライニング	小中口径から大口径ダクタイル鉄管(直管)に用いられる。長年の実績があり、エポキシ樹脂粉体塗装よりも安価である。管内水が長時間滞留するとCaの溶出に伴うpH上昇を生じることがある。
液状エポキシ樹脂塗装	主に大口径ダクタイル鉄管(異形管)に用いられる。

4-2-3 エポキシ樹脂粉体塗装

1 塗料

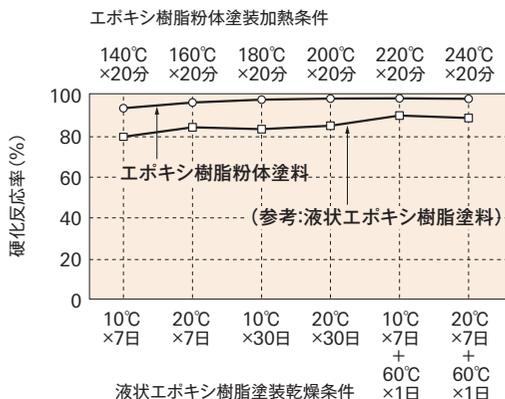
一般に、エポキシ樹脂系の塗料に使われている原料エポキシ樹脂の分子量は塗料の種類によって異なっており、おおむね図表4-2-3-1のようにになっている。このように、エポキシ樹脂粉体塗料では他のエポキシ樹脂系の塗料と比べて高分子量の原料が用いられており、さらに樹脂粉末を製造する段階で加熱溶融させるため、実際に使用される段階では1万以上の分子量になっている。塗料は、このような樹脂粉末に顔料が加えられた粉末状のものであり、溶剤は含まれていない。

エポキシ樹脂粉体塗料は、硬化性に優れている。いろいろな塗装条件での硬化反応率を、ソックスレー抽出法により測定した結果を図表4-2-3-2に示す。溶剤系の塗料が常温で1週間経過しても十分に硬化していないのに対して、エポキシ樹脂粉体塗料は、幅広い温度域でほぼ100%の硬化反応率を示している。

●図表4-2-3-1 原料エポキシ樹脂の分子量

塗料	原料エポキシ樹脂の分子量
エポキシ樹脂粉体塗料	1400程度
溶剤系エポキシ樹脂塗料	900程度
無溶剤形液状エポキシ樹脂塗料	350程度

●図表4-2-3-2 エポキシ樹脂粉体塗料の硬化反応率



2 塗装方法

直管は、あらかじめ190～220℃に加熱した管を高速で回転させておき、その内面に、空気とともに圧送されてきたエポキシ樹脂粉体塗料を吹き付けることにより塗装される。これにより均一で滑らかな塗膜が形成される。

異形管は、直管のように管を回転することができず、しかも形状が複雑なため、静電スプレーガンを用いた静電塗装が施される。この方法は、静電気を帯びたエポキシ樹脂粉体塗料と管との間に生じる吸引力を利用する方法で、複雑な形状の被塗物でも均一で滑らかな塗膜が得られやすい。

3 塗膜の品質

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の品質は、JIS G 5528の中で図表4-2-3-3のように規定されている。

● 図表4-2-3-3 エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の品質

項目	概要
塗膜の比重	1.8以下とする。
附着性	クロスカット法による試験結果の分類で0または1とする。
耐おもり落下性	500gのおもりを高さ500mmから落下させ、衝撃による変形で、割れまたは剥がれがない。
耐カッピング性	押し込み深さ3mmで、割れまたは剥がれがない。
引っかき硬度	硬度Hの鉛筆で、異常がない。
耐中性塩水噴霧性	500時間の塩水噴霧でさび、膨れまたは剥がれがない。
耐低温・高温繰返し性	-30±1℃で4時間、20±1℃で1時間、70±1℃で2時間、20±1℃で17時間を1サイクルとして4サイクル繰り返し、割れ、剥がれ、膨れまたは白化がない。

備考 各項目の概要はJIS G 5528-2014において、塗料について規定されている内容を試験方法などと簡潔にまとめたものである。

管を水道施設に使用する場合は、水質に有害な影響を与えないことを確認する。塗料の浸出性検査項目はJWWA G 112に規定されている(図表4-2-3-4)。

● 図表4-2-3-4 塗料の浸出性

項目	基準
シアン化物イオンおよび塩化シアン	シアンの量に関して、0.001mg/L以下 ^{注1}
ホルムアルデヒド	0.008mg/L以下 ^{注1}
フェノール類	フェノールの量に換算して、0.0005mg/L以下 ^{注1}
有機物[全有機炭素(TOC)の値]	0.5mg/L以下 ^{注1}
味	異常でないこと ^{注1}
臭気	異常でないこと ^{注1}
色度	0.5度以下 ^{注1}
濁度	0.2度以下 ^{注1}
エピクロロヒドリン	0.01mg/L以下 ^{注1}
アミン類	トリエチレンテトラミンとして、0.01mg/L以下 ^{注1}
ヒドラジン	0.005 mg/L以下
アクリル酸	0.002 mg/L以下
残留塩素の減量	0.7 mg/L以下

注1 JWWA G 112では「水道施設の技術的基準を定める省令の別表第二による」と規定されているが、「水道施設の技術的基準を定める省令」(平成12年2月23日厚生省令第15号、平成26年2月28日改正)の別表第二による値を参考までに記載したものである。

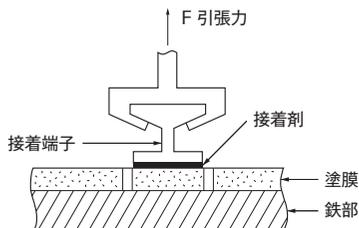
「JWWA G 112-2015 水道用ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装」より

4 塗膜の密着性・耐真空性

① 密着性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の密着力を図表4-2-3-5の要領で調べた。試験結果の一例を図表4-2-3-6に示す。

●図表4-2-3-5 塗膜の密着力試験方法



〔JIS K 5600 5-7塗料一般試験方法-第5部：塗膜の機械的性質-第7節：付着性(プルオフ法)〕より

●図表4-2-3-6 塗膜の密着力試験結果

NO.	密着力 (N/mm ²)	NO.	密着力 (N/mm ²)
1	7.75<	5	9.41<
2	7.26<	6	7.36<
3	9.41<	平均	8.24<
4	8.24<		

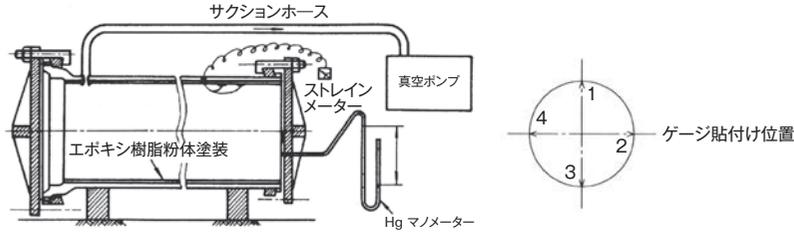
備考 <は、接着端子の接着面で剥がれてしまったため、実際の密着力は測定値より大きいと評価した。

② 耐真空性

1) 試験方法

呼び径200のエポキシ樹脂粉体塗装管の内面にひずみゲージ(円周方向4カ所)を貼り、図表4-2-3-7のようにセットした後、管内を真空ポンプにより-96kPaまで減圧し、1時間静置した。

● 図表4-2-3-7 真空試験方法



備考 気密性を保つためにサクシオンホース用穿孔部など粉体塗装膜の断面が露出する部分はエポキシ樹脂で鉄部との間をシールした。

2) 試験結果

-96kPaまで減圧しても、エポキシ樹脂粉体塗装面に発生したひずみは、最大でも 20×10^{-6} 程度であった。

● 図表4-2-3-8 ひずみの経時変化

(単位: $\times 10^{-6}$)

測定位置 No.	経過時間(分)					
	10	20	30	40	50	60
1	20	18	10	13	6	15
2	17	10	3	12	18	10
3	16	6	13	15	4	12
4	10	8	12	15	10	6

試験後の塗膜の密着力は、常圧下の密着力(図表4-2-3-6)と同等であり、真空試験による密着力の低下は認められなかった。

● 図表4-2-3-9 真空試験後の塗膜の密着力

NO.	密着力(N/mm ²)	NO.	密着力(N/mm ²)
1	9.02<	3	8.73<
2	7.55<	平均	8.43<

備考 <は、接着端子の接着面で剥がれてしまったため、実際の密着力は測定値より大きいと評価した。

5 たわみに対する塗膜の安全性

管のたわみがエポキシ樹脂粉体塗装の塗膜に与える影響を環状試験片によるへん平試験を行い調査した。

1) 試験方法

【供試管】

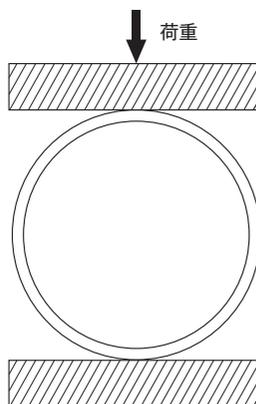
- ・ 呼び径200(3種管)のエポキシ樹脂粉体塗装管から採取した長さ50mmの環状試験片
 - ・ 呼び径700(3種管)のエポキシ樹脂粉体塗装管から採取した長さ300mmの環状試験片
- 供試管に図表4-2-3-10の要領で荷重を負荷し、へん平試験を行った。

呼び径の5%たわみ量までのへん平試験を行い、試験後の塗膜の状況を調査した。

2) 試験結果

いずれの供試管においても、目視により観察した結果、塗膜に異常は認められなかった。

●図表4-2-3-10 へん平試験方法



6 塗膜の耐水性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の耐水性を確認するため、浸食性の地下水を用いて約12年間にわたる長期通水試験を実施した。

1) 試験方法

【供試管】

供試管は全て呼び径100×300mmの乙切管(両挿し口の管)で、内面防食仕様は図表4-2-3-11とした。

●図表4-2-3-11 供試管の内面防食仕様

No.	種類	厚み(mm)	備考
1	エポキシ樹脂粉体塗装	0.3~0.4	
2	タールエポキシ樹脂塗装	0.3~0.4	比較用
3	無溶剤形液状エポキシ樹脂塗装	0.3~0.4	比較用

【通水条件】

- ・ 流速：約0.4m/s(常に新しい水を供給)

- ・ 水質：pH5.8、遊離炭酸濃度60ppm、アルカリ度32ppm
L.I.(ランゲリア指数^{*5}) - 2.6 (いずれも平均値)
- *5 「4-2-1 内面腐食の要因」2の②による。

2) 試験結果

エポキシ樹脂粉体塗装には、他の塗装に認められたような塗膜の膨れや錆の発生はなく、良好であった(図表4-2-3-12)。本試験で通水された水は、浸食性の地下水であることから、エポキシ樹脂粉体塗装は、耐水性に優れているといえる。

●図表4-2-3-12 内面防食の長期通水試験結果

No.	種 類	厚み (mm)	試験期間	観察結果
1	エポキシ樹脂粉体塗装	0.3~0.4	約12年	塗膜の膨れや剥がれは認められず良好
	エポキシ樹脂粉体塗装 (直接分岐穿孔部)	0.3~0.4	約5年	穿孔部周辺の塗膜に膨れや剥がれは認められず良好
2	タールエポキシ樹脂 塗装	0.3~0.4	約12年	φ1~2mmの膨れが多く認められた
3	無溶剤形液状エポキシ 樹脂塗装	0.3~0.4	約11年	φ1~20mmの膨れが多く認められた

7 塗膜の耐酸性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の耐酸性を確認するため、強酸性水による通水試験を行った。

1) 試験方法

【通水条件】

- ・ 水のpH値：2および4の2種類(塩酸を用いて調整)
 - ・ 流速：約2.3m/s
 - ・ その他：循環通水
- 試験状況を図表4-2-3-13に示す。

2) 試験結果

エポキシ樹脂粉体塗装には、13年間経過しても塗膜の膨れや剥がれは認められず、優れた耐酸性を有しているといえる。

●図表4-2-3-13 強酸性水通水試験状況



手前がpH2、奥がpH4の通水管路

8 塗膜の耐摩耗性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の耐摩耗性を調査するため、以下の2種類の試験を行った。

① 摩耗輪による摩耗試験

1) 試験方法

この試験は、「JIS K 7204 プラスチック—摩耗輪による摩耗試験方法」に準拠して行った。

2) 試験結果

図表4-2-3-14の通り、エポキシ樹脂粉体塗装は、タールエポキシ樹脂塗装に比べて摩耗質量が約半分であった。

●図表4-2-3-14 摩耗輪による塗膜の摩耗試験結果

種 類	摩耗質量 (mg)	
エポキシ樹脂粉体塗装	113 ^{注1}	23.3 ^{注2}
タールエポキシ樹脂塗装	224 ^{注1}	

注1 摩耗輪=GC-150H、塗装片の回転数=1000回、塗装片への荷重=9.8N

注2 摩耗輪=CS17、塗装片の回転数=1000回、塗装片への荷重=4.9N

② スラリー通水摩耗試験

1) 試験方法

高速流でスラリー水を流す試験により、内面塗膜の摩耗による厚みの変化を測定した。

【供試管】

- ・ 呼び径100×300mmのエポキシ樹脂粉体塗装管

【通水条件】

- ・ スラリー：微粉珪砂／7号珪砂／沈降防止剤（エアロジル）=2／1／0.2（重量比）
- ・ スラリー濃度：1%（重量比）
- ・ 流速：約2.5m/s

2) 試験結果

1年後も摩耗による厚みの減少量は小さかった。

● 図表4-2-3-15 スラリー通水による塗膜の摩耗試験結果

種 類	摩耗による厚み減少量 (mm)	
	3カ月後	1年後
エポキシ樹脂粉体塗装	0.0030	0.0035

9 塗膜の耐候性

エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜の耐候性を確認するため、長期間の屋外曝露試験を行った。

1) 試験方法

世界でも特に過酷な条件と思われる中近東(クウェート)で約4年間、その後、国内にて約7年間の計11年間という長期にわたって行った。

2) 試験結果

供試管のエポキシ樹脂粉体塗装の表面には、チョーキング(粉が出る現象)が発生していた。これは、屋外曝露等で、熱、風雨、紫外線等により、塗膜の表面が分解し、塗膜中の顔料分等が粉状になって現れるエポキシ樹脂系塗料によく見られる現象である。

しかし、チョーキングによる影響は塗膜の表層だけであり、これによって失われた塗膜厚も十数 μm 程度であった。

なお、実際のエポキシ樹脂粉体塗装管の両端には、キャップが施されているので、1、2年の保管では、チョーキングもあまり起こらないものと考えられる。

10 塗膜の水質に及ぼす影響

エポキシ樹脂粉体塗装の材料はもともと高分子であり、さらに塗装時の熱によって硬化反応がほぼ終了するため、硬化不足に起因する臭気、味などに異常はない。また、無溶剤形塗料なので、残留溶剤の影響もない。

① 浸出試験(事例1)

エポキシ樹脂粉体塗装が水質に及ぼす影響は、JWWA G 112の中に浸出試験として規定されている。公的機関で行われた試験結果を図表4-2-3-16に示す。

●図表4-2-3-16 エポキシ樹脂粉体塗装浸出試験結果例

様式-1-12-1-改正02 (業務規則第11条11.3)

第2015-定塗-006-1号
2016年(平成28年)3月7日

日本ペイント・インダストリアルコーティングス株式会社 様

公益社団法人 日本水道協会 品質認証センター 品質管理課
東京都千代田区九段南4-8-9

浸出性能試験結果(定期)

ご依頼のありました試験の結果は次のとおりです。

認証取得者	日本ペイント・インダストリアルコーティングス株式会社		
品質確認実施工場	日本ペイント・インダストリアルコーティングス株式会社 千葉工場		
試料名	タホ'ク'グ'ーTK1413F(IJ)		
接触面積比	550cm ² /L	認証登録番号	資管F-6
規格番号	JWWA G 112 水道用ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装		
試料採取年月日	平成27年12月22日	試料採取職員	佐藤 喜一郎
受付年月日	平成28年1月15日	試験方法	JWWA G 112:2015
コテ'イ'ョウ'グ'分析年月日	平成28年1月16日～2月15日		JWWA Z 108:2012
試験実施場所	一般財団法人岐阜県公衆衛生検査センター	試験責任者	品質管理課長 仙波 政
浸出用水の水質	pH値6.9 硬度46 mg/L アルカリ度34 mg/L 残留塩素1.1 mg/L		
項目	試験結果(単位:mg/L)	基準(単位:mg/L)	注 分析方法
シ'ン'化'物'及'び'塩'化'シ'ン'	0.0005 未満	0.001 以下	(E)5075'57'-E'31936分光光度法
結'晶'質'の'ヒ'ド'	0.008 未満	0.008 以下	誘導体抽出-誘導体抽出-GC-MS法
フェ'ノ'ール'類'	0.0005 未満	0.005 以下	I 固相抽出-誘導体抽出-GC-MS法
有機物(全有機炭素(TOC)の量)	0.2	0.5 以下	全有機炭素計測定法
味	異常なし	異常でないこと	官能法
臭気	異常なし	異常でないこと	官能法
色度	0.5 度未満	0.5 度以下	透過光測定法
濁度	0.1 度未満	0.2 度以下	積分球式光電光度法
ア'ミ'ン'類'	0.01 未満	0.01 以下	吸光光度法
エ'ピ'ク'ロ'ヒ'ド'リン'	0.001 未満	0.01 以下	PT-GC-MS法
ヒ'ド'ラ'ジ'ン'	0.005 未満	0.005 以下	吸光光度法
ア'ク'リ'ル'酸'	0.002 未満	0.002 以下	HPLC法
残留塩素の減量	0.15	0.7 以下	吸光光度法
備考	Lot No. 15.12.22C6-1 (2015年12月22日製造) 注1 フェ'ノ'ール'類'とは、フェ'ノ'ール'及び塩素化したフェ'ノ'ール'の総称である。 フェ'ノ'ール'類'の基準は0.0005 mg/Lであるが、ハ'ク'キ'を除く主要部品の材料として'ゴ'ム'、'ゴ'ム'化合物又は合成樹脂を使用している場合は、当分の間、0.005 mg/Lとする。 上記の試験結果は、基準内であるため、適合と判定する。		

この試験結果は、完全な複製を除き、試験結果の一部分のみを複製した場合は、無効とする。

2 浸出試験(事例2)

エポキシ樹脂粉体塗装管の中に、水道水を溜めて水質変化を調査した。

1) 試験方法

【供試管】

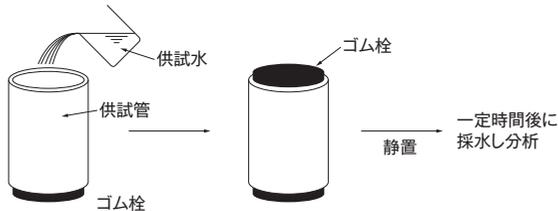
- ・ 呼び径100×300mmの内面エポキシ樹脂粉体塗装管

なお、比較用として内面モルタルライニング管も併せて試験した。

【条件】

浸出試験は、JWWA G 112の附属書Aに準じ、図表4-2-3-17の要領にて行った。

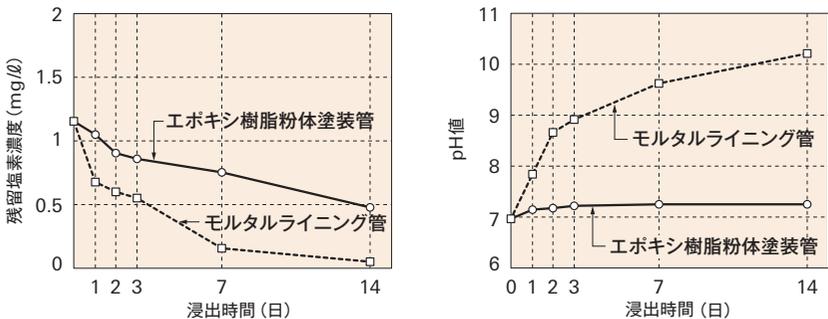
●図表4-2-3-17 浸出試験要領

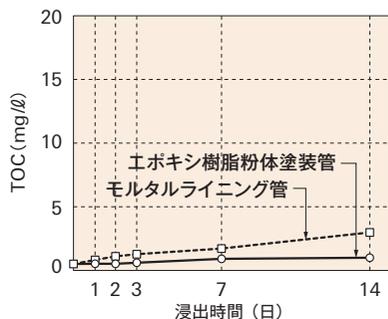
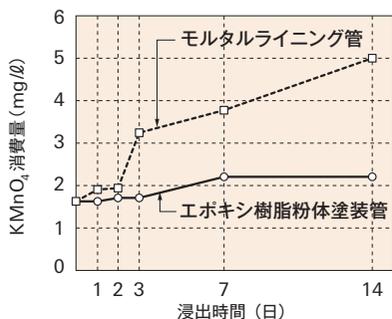


2) 試験結果

浸出期間1カ月の内、水質が大きく変化した14日間の変化を図表4-2-3-18に示す。

●図表4-2-3-18 エポキシ樹脂粉体塗装の浸出試験における水質の経時変化





11 塗装の浸出水の変異原性試験

エポキシ樹脂粉体塗装の浸出水についてAmes試験(変異原性試験)を行った(Ames試験については「4-2-4 モルタルライニング」2の③を参照)。

その結果、エポキシ樹脂粉体塗装の浸出水の変異原性は陰性であった。

12 塗膜の性能

本項で取り上げた性能試験結果の一覧を図表4-2-3-19に示す。

●図表4-2-3-19 エポキシ樹脂粉体塗装の性能確認試験結果

試験項目	試験結果
密着性	塗膜の密着力は平均8.24N/mm ² 以上であった。
耐真空性	管内を真空ポンプにより-96kPaまで減圧した場合、エポキシ樹脂粉体塗装面に発生したひずみは、最大でも20μ程度であった。また、真空試験による密着力の低下は認められなかった。
たわみに対する安全性	呼び径の5%たわみ量までのへん平試験を行った結果、塗膜に異常は認められなかった。
耐水性	ランゲリア指数=-2.6の強浸食性の地下水による約12年間の長期通水試験の結果、エポキシ樹脂粉体塗装には塗膜の膨れや錆の発生はなく良好であり、優れた耐水性を有していた。
耐酸性	pH2およびpH4の2種類(塩酸調整水)の通水試験を行った結果、13年間経過してもエポキシ樹脂粉体塗装には塗膜の膨れや剥がれは認められず優れた耐酸性を有していた。
耐摩耗性	JIS K 7204に規定されている「プラスチック-摩耗輪による摩耗試験方法」では、エポキシ樹脂粉体塗装はタールエポキシ樹脂塗装に比べて摩耗量が約半分であった。また、高流速でスラリー水を流すスラリー通水摩耗試験を行った結果、エポキシ樹脂粉体塗装は1年後も厚みの減少量が、0.0035mmと小さいことを確認した。

試験項目	試験結果
耐候性	中近東(クウェート)で約4年間、その後、国内にて約7年間の計11年間屋外曝露試験を行った結果、チョーキング(粉が出る現象)は発生していたが、チョーキングによる影響は塗膜の表層だけであり、これによって失われた塗膜厚も十数 μ 程度であった。
水質に及ぼす影響	浸出性はJWWA G 112を満足する。また、エポキシ樹脂粉体塗装管およびモルタルライニング管の中に水道水を約1カ月間にわたって溜めた場合の水質変化を比較したところ、残留塩素濃度の低下、pH値、 KMnO_4 消費量、TOCのいずれの経時変化についてもエポキシ樹脂粉体塗装管はモルタルライニング管よりも良好な結果が得られた。
変異原性	Ames試験(変異原性試験)での塗膜の浸出水の変異原性は陰性であった。

4-2-4 モルタルライニング

1 配合と施工

① 配合

- ・ セメント：砂＝1：1.5～3.0(質量比)
- ・ 水セメント比＝約0.4(膨張材＝セメント量の約8%)

② 施工

直管は遠心力によりモルタルライニングを行う。すなわち、管を回転させながら、所定の厚さを得るように計量されたモルタルを投入した後、重力の約30倍の遠心力を与えるように高速回転させて、モルタルを管内面に均一の厚さに密着させる。

モルタルライニング施工後の管に適切な条件で蒸気養生を行い、その後シールコートを施す。

異形管には、遠心力施工を行うことができないので、過去においては、遠心力投射、グナイト(吹付け)および手塗りによってモルタルライニングを行っていた。現在では、異形管の内面にはエポキシ樹脂粉体塗装または液状エポキシ樹脂塗装が施されており、モルタルライニングは行われていない。

●図表4-2-4-1 モルタルライニングの規定厚さおよび参考質量

呼び径	厚さ (mm)	参考質量 (kg/m)	呼び径	厚さ (mm)	参考質量 (kg/m)
75	4	2.23	1000	10	75.25
100	〃	2.99	1100	〃	82.79
150	〃	4.52	1200	〃	90.25
200	〃	6.06	1350	12	121.69
250	〃	7.62	1500	〃	135.26
300	6	13.65	1600	15	179.26
350	〃	15.97	1650	〃	184.91
400	〃	18.21	1800	〃	200.97
450	〃	20.48	2000	〃	224.5
500	〃	22.76	2100	〃	235.81
600	〃	27.27	2200	〃	248.59
700	8	42.28	2400	〃	268.04
800	〃	48.32	2600	〃	292.92
900	〃	54.35			

「JIS G 5526-2014 ダクタイル鋳鉄管」より

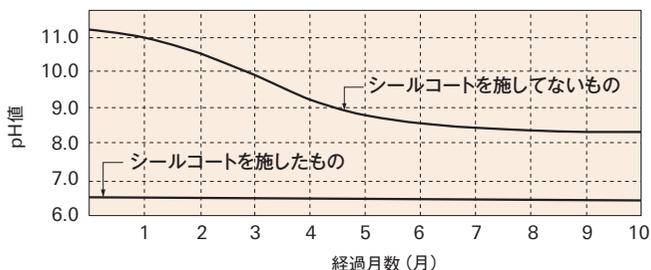
2 シールコート

① 機能

シールコートはモルタル中のアルカリ成分の溶出を抑制し、通水初期の急激なpH値の上昇を防ぐとともに、長期的にもpH値の上昇を抑えることができる*6。

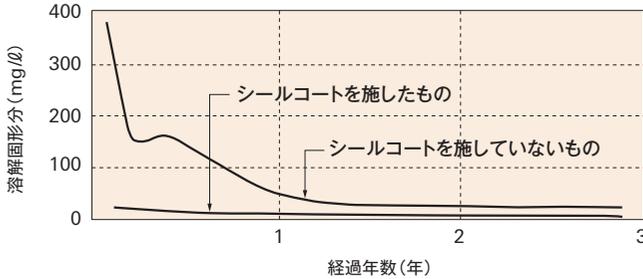
*6 1967(昭和42)年、シールコートを施すことが規格化され、上記のような効果を発揮したが、1982年ごろから水質によってはシールコートが剥離する現象が生じたため1989年ごろから浸透性のシールコートが施されるようになった。

●図表4-2-4-2 シールコートの長期通水試験におけるpH値の経時変化



Journal.AWWA, 47,Dec,1995

● 図表4-2-4-3 シールコートの長期通水試験における溶解固形分の経時変化



Journal.AWWA, 47,Dec,1995

2 塗料

シールコートに使用される塗料の組成と諸性能を図表4-2-4-4に示す。

● 図表4-2-4-4 シールコート用塗料の組成と諸性能

項目	内容
外観	無色透明液
主成分	アクリル酸、メタクリル酸等共重合物
溶剤	トルオール、キシレン
灰分	0
粘度 (CPS)	100以下
比重	約0.9

3 水質試験

シールコートを塗装したモルタルライニング管に、20℃で24時間接触させた後の水を用いて、WHO (世界保健機関) の「飲料水質ガイドライン」(1984年) の中に示されている有機物の分析と Ames 試験 (変異原性試験)^{*7}を行った。

WHOに基づく有機物の分析結果を図表4-2-4-5に、Ames 試験結果を図表4-2-4-6、7に示す。

試験の結果、シールコートは、WHOの水質基準を満たし、Ames 試験でもコントロールと試験水は、ほぼ同じコロニー数を示したことから変異原性は陰性であった。

*7 Ames 試験とは、変異原性試験方法の一つであり、最も一般的で広く用いられている手法である。変異原性試験は、化学物質の変異原性を検出すると同時に化学物質の発癌性を予備的にスクリーニングするものである。Ames 試験の方法は、培地の入ったプレート中に試料水とテスト菌株を入れ、培養を行い、その菌の増殖状況に応じて試料中に変異原性物質が存在するか否かを判定するものである。なお、判定基準は、プレート当たりのコロニー数が「いくつ以上あれば陽性」という具体的な数値はないがコントロールの2～3倍が目安となる。ここでは、コントロールとして培地にテスト菌株のみを入れたもの (溶媒対象) および培地に未処理水 (空試験水) とテスト菌株を入れたものを用いた。

●図表4-2-4-5 WHO「飲料水質ガイドライン」(1984年)に基づく有機物分析結果

試験項目	ガイドライン値	試験結果
アルドリンおよびディルドリン	0.03 μ g/L	0.03 μ g/L以下
ベンゼン	10 μ g/L	1 μ g/L以下
ベンゾ(a)ピレン	0.7 μ g/L	0.01 μ g/L以下
四塩化炭素	4 μ g/L	0.05 μ g/L以下
クロルデン	0.2 μ g/L	
trans-クロルデン		0.005 μ g/L以下
cis-クロルデン		0.005 μ g/L以下
trans-ノナクロル		0.005 μ g/L以下
cis-ノナクロル		0.005 μ g/L以下
オキシクロルデン		0.005 μ g/L以下
クロロベンゼン	ガイドライン値なし	1 μ g/L以下
クロロフェノール	ガイドライン値なし	
(o)		1 μ g/L以下
(m)		1 μ g/L以下
(p)		1 μ g/L以下
2,4-D	30 μ g/L	10 μ g/L以下
DDT	1 μ g/L	1 μ g/L以下
1,2-ジクロロエタン	30 μ g/L	1 μ g/L以下
1,1-ジクロロエチレン	30 μ g/L	0.3 μ g/L以下
ヘプタクロール	ガイドライン値なし	0.1 μ g/L以下
ヘプタクロールエポキシサイド	ガイドライン値なし	0.1 μ g/L以下
ヘキサクロロベンゼン	ガイドライン値なし	0.01 μ g/L以下
ガンマ-HCH(リンデン)	2 μ g/L	0.1 μ g/L以下
メトキシクロール	20 μ g/L	1 μ g/L以下
ペンタクロロフェノール	9 μ g/L	0.5 μ g/L以下
テトラクロロエチレン	40 μ g/L	0.2 μ g/L以下
トリクロロエチレン	70 μ g/L	0.5 μ g/L以下
2,4,6-トリクロロフェノール	200 μ g/L	0.5 μ g/L以下
トリハロメタン		
クロロホルム	200 μ g/L	5 μ g/L以下
ブロモジクロロメタン	60 μ g/L	0.5 μ g/L以下
ジブロモクロロメタン	100 μ g/L	0.5 μ g/L以下
ブロモホルム	100 μ g/L	0.5 μ g/L以下

● 図表4-2-4-6 Ames試験結果(1)

物質	濃度 μL/平板	S9Mix	復帰変異コロニー数/平板	
			塩基置換型 (TA100)	フレームシフト型 (TA98)
溶媒対照	0	—	74	14
			86	17
空試験水	100	—	85	19
			95	12
試料水	3.13	—	83	17
			99	5
	6.25	—	71	12
			73	14
	12.5	—	70	13
			79	13
	25	—	75	9
			86	12
	50	—	76	20
			79	23
100	—	84	17	
		100	18	
陽性対照	名 称		AF-2	AF-2
S9Mix	濃度 μg/平板		0.01	0.05
(-)	コロニー数/平板		472	288
			499	274

AF-2 2-(2-furyl)-3-(5-nitro-2-furyl)acrylamide

●図表4-2-4-7 Ames試験結果(2)

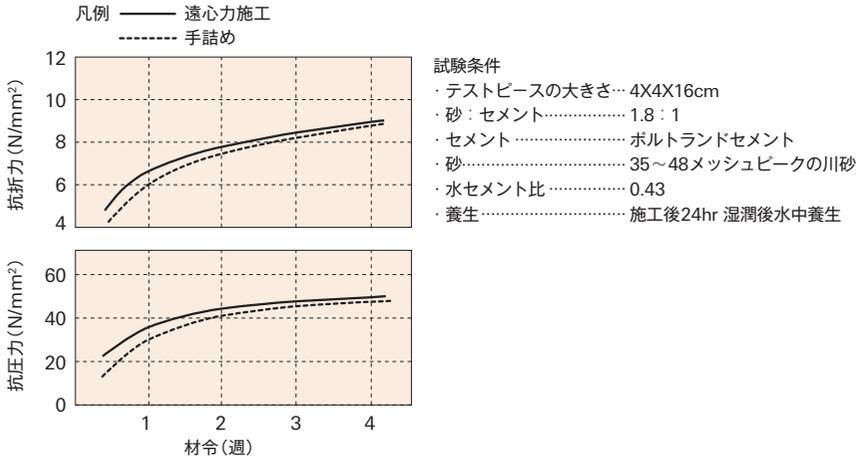
物質	濃度 μL/平板	S9Mix	復帰変異コロニー数/平板	
			塩基置換型 (TA100)	フレームシフト型 (TA98)
溶媒対照	0	+	80	15
			93	19
空試験水	100	+	104	20
			124	24
試料水	3.13	+	87	15
			107	23
	6.25	+	81	15
			105	21
	12.5	+	100	15
			122	17
	25	+	112	19
			99	21
	50	+	121	16
			123	22
100	+	114	17	
		120	24	
陽性対照	名 称	2-AA	2-AA	
S9Mix	濃度 μg/平板	0.5	0.5	
(+)	コロニー数/平板	659	316	
		642	314	

2-AA : 2-aminoanthracene

3 モルタル材料の強度

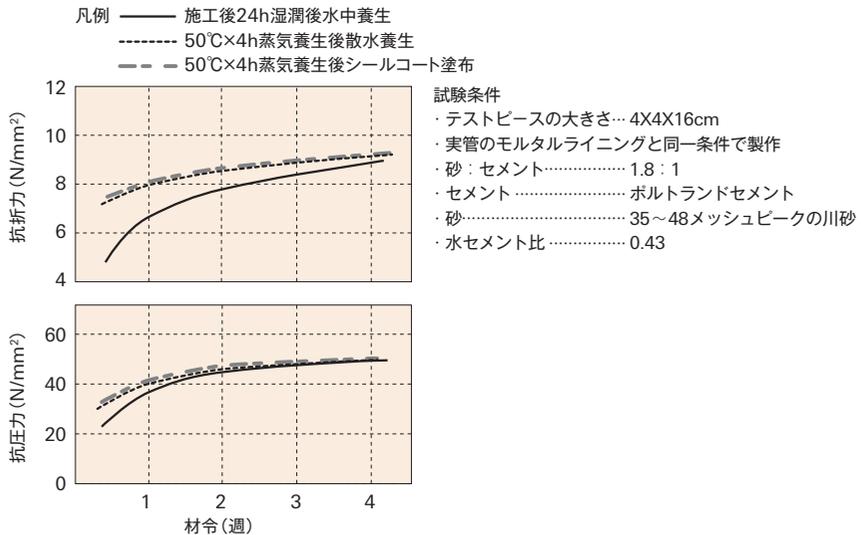
① 遠心力施工と手詰めと比較

● 図表4-2-4-8 モルタル材料の初期強度



② 遠心力施工における養生方法と初期強度

● 図表4-2-4-9 遠心力施工モルタルテストピースにおける初期強度に及ぼす養生方法の影響



4 ライニングの密着性・耐真空性

① 密着力

●図表4-2-4-10 各種ライニング材の密着力

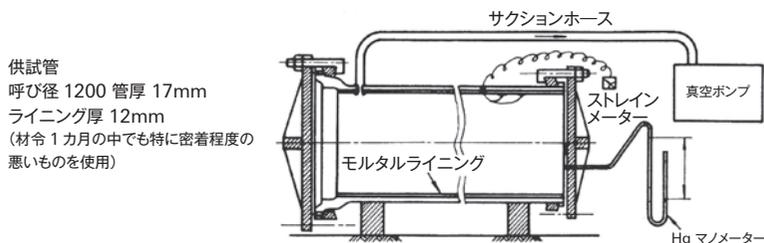
種 類	密着力 (N/mm ²)
コールタール・エナメルと鋼板	0.20～0.39
モルタルと鋼板	0.49
モルタルと鉄管内面肌	1.96

管が多少たわんでも管内面のモルタルライニングが容易に剥離しないことは、Chapter2の図表2-2-2-2～6に示したへん平試験結果からも明らかである。

② 耐真空性

呼び径1200のモルタルライニング管を用いて、図表4-2-4-11のような装置にて、特に密着程度の悪いモルタルライニング管の真空試験を行った。

●図表4-2-4-11 真空試験方法



備考 気密性を保つためにサクションホース用穿孔部など粉体塗装膜の断面が露出する部分はエポキシ樹脂で鉄部との間をシールした。

試験の結果、以下のことが明らかになった。

- ・ 管内の真空度が72%に達するも、モルタルライニングには肌離れ面積の増加、その他の異常は認められなかった。
- ・ 真空がモルタルライニング面に与える影響は、健全部、密着不良部で本質的な差異はない。
- ・ モルタルライニング面に生じる最大ひずみは $33\sim 26 \times 10^{-6}$ 程度であり、モルタル表面層の亀裂発生ひずみが 200×10^{-6} 程度であるのに比べて小さい。
- ・ モルタルはある程度空気を浸透させるため、ライニング内外面の圧力が平衡にな

りやすく、真空作用などに対しては有利である。

5 たわみに対する安全性

Chapter2の図表2-2-2-2～6に示した通り、環状試験片の上下から集中加重を加えるモルタルライニングにとっては厳しい試験条件においても、ライニングに可視クラックを生じるのは、呼び径の3%以上の垂直たわみに達してからである。

埋設管にあっては、荷重は集中することなく分散されるため、モルタルライニングのクラックに対してはさらに有利な条件となる。

従って、許容たわみは呼び径の3%として十分である。一般の埋設条件下におけるダクトイル鉄管の垂直変形の計算値は、図表4-2-4-13の通りであり、一般的な埋設条件下ではモルタルライニングのクラックを懸念する必要はない。

図表4-2-4-13においては、モルタルライニングの補強効果は見込んでいないが、実際にはこの補強効果により、たわみは同表の計算値よりさらに小さくなる。また、もしライニングにクラックを生じ、クラック幅が0.4mmになったとしても、防食効果は損なわれないことを確認している(図表4-2-4-27)。

6 耐振動性・耐衝撃性

① 耐振動性

図表4-2-4-12の通り、呼び径500のモルタルライニング管の挿し口を60mm持ち上げて、衝撃台上に繰り返し落下させ、5000回の振動衝撃を与えても、クラック、剥がれ等の異常は生じなかった。

●図表4-2-4-12 モルタルライニング管の振動衝撃試験方法



●図表4-2-4-13 土かぶり深さとダクタイトル鉄管の垂直たわみとの関係

(単位：mm)

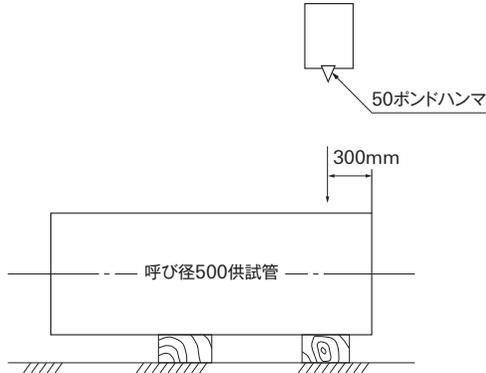
支持角 土かぶり (m)	2θ = 40°												2θ = 60°											
	1.2				1.8				2.4				1.2				1.8				2.4			
	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管	1種管	2種管	3種管	4種管
500	0.94	1.37	1.69	1.29	1.88	2.32	1.58	2.29	2.83	0.85	1.23	1.51	1.17	1.68	2.07	1.43	2.06	2.53						
600	1.28	1.70	2.42	1.78	2.36	3.35	4.06	2.20	2.92	4.14	5.02	1.15	1.52	2.18	2.64	1.60	2.11	3.02	3.66	1.98	2.61	3.74	4.52	
700	1.85	2.41	3.20	4.56	2.59	3.38	4.48	6.39	3.24	4.22	5.59	7.98	1.66	2.17	2.88	4.28	2.33	3.04	4.03	6.00	2.91	3.79	5.04	7.49
800	2.26	3.21	4.18	5.55	3.20	4.55	5.92	7.85	4.02	5.71	7.44	9.87	2.03	2.89	3.76	5.00	2.88	4.09	5.33	7.07	3.62	5.14	6.89	8.89
900	2.68	4.11	5.23	6.79	3.81	5.84	7.43	9.64	4.81	7.37	9.38	12.18	2.41	3.71	4.71	6.12	3.43	5.26	6.69	8.69	4.32	6.64	8.44	10.97
1000	3.08	4.54	6.31	8.01	4.39	6.46	8.97	11.40	5.57	8.19	11.38	14.46	2.77	4.09	5.68	7.22	3.95	5.82	8.09	10.27	5.01	7.39	10.26	13.02
1100	3.49	5.48	7.43	9.28	4.98	7.81	10.59	13.23	6.32	9.92	13.45	16.80	3.14	4.93	6.69	8.35	4.48	7.03	9.54	11.90	5.68	8.93	12.11	15.11
1200	3.92	5.90	8.60	11.80	5.60	8.43	12.29	16.86	7.12	10.72	15.63	21.43	3.53	5.31	7.74	10.62	5.04	7.59	11.06	15.18	6.41	9.65	14.06	19.30
1350	4.71	7.37	10.40	13.83	6.74	10.55	14.89	19.80	8.58	13.43	18.96	25.20	4.24	6.64	9.36	12.47	6.06	9.5	13.40	17.85	7.72	12.10	17.05	22.72
1500	5.50	8.30	12.28	15.92	7.92	11.94	17.67	22.91	10.12	15.25	22.57	29.27	4.97	7.48	11.05	14.36	7.15	10.77	15.90	20.66	9.14	13.76	20.31	26.39
1600	5.95	8.74	13.57	17.37	8.55	12.56	19.51	24.97	10.97	16.11	25.03	32.04	5.37	7.88	12.22	15.64	7.72	11.33	17.56	22.48	9.91	14.53	22.53	28.85
1650	6.35	9.23	14.19	18.05	9.19	13.36	20.53	26.12	11.77	17.12	26.31	33.47	5.71	8.32	12.80	16.26	8.27	12.04	18.52	23.53	10.59	15.42	23.73	30.15
1800	6.82	10.84	16.18	20.20	9.85	15.66	23.38	29.19	12.65	20.11	30.01	37.47	6.14	9.76	14.58	18.20	8.87	14.10	21.07	26.30	11.39	18.10	27.05	33.76
2000	8.08	12.32	17.69	24.78	11.70	17.84	25.61	35.88	15.08	22.99	33.00	46.24	7.30	11.12	15.94	22.33	10.56	16.09	23.08	32.33	13.61	20.74	29.74	41.66
2100	8.52	12.70	18.97	26.21	12.38	18.45	27.56	38.08	15.94	23.76	35.49	49.03	7.68	11.46	17.09	23.60	11.15	16.64	24.82	34.28	14.36	21.43	31.96	44.14
2200	8.97	13.86	20.36	27.75	13.01	20.10	29.53	40.26	16.78	25.93	38.10	51.94	8.10	12.48	18.34	25.01	11.75	18.11	26.60	36.27	15.16	23.36	34.32	46.80
2400	9.89	15.39	23.12	30.77	14.37	22.36	33.60	44.72	18.55	28.88	43.40	57.76	8.91	13.86	20.83	27.71	12.95	20.15	30.27	40.27	16.73	26.02	39.09	52.01
2600	10.74	16.85	25.78	33.64	15.66	24.57	37.59	49.05	20.26	31.79	48.64	63.46	9.68	15.18	23.24	30.31	14.12	22.14	33.89	44.19	18.27	28.65	43.86	57.18

備考 規定管厚から製造公差余裕(管厚の10%または1mm)を差し引いた最底管厚について計算した。モルタルライニングによる補強効果は見込まない。土圧の計算はヤンセン公式による。

② 耐衝撃性

図表4-2-4-14のように呼び径500のモルタルライニング管の端近くに重さ50ポンド(22.7kg)のハンマを、最初15cmの高さから次いで5cmずつ高くしながら、繰り返し落下させ衝撃を与えたが、落下高さ50～75cm(すなわち衝撃回数8～13回)でようやくライニング表面にわずかなひび割れ(ヘアクラック)を生じた。

●図表4-2-4-14 モルタルライニング管の落下衝撃試験方法



以上の試験結果から明らかなように、乱暴な取扱いをしない限り、ライニングが損傷することはない。

7 各種防食塗料の耐食性

モルタルライニングと各種防食塗料の耐食性を比較する試験を行った。

1) 試験方法

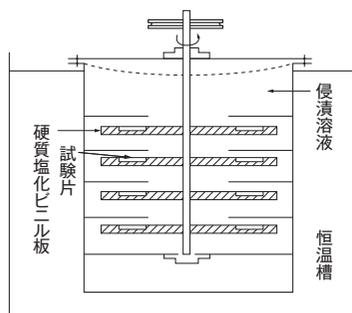
【供試材料】

●図表4-2-4-15 塗料の耐食試験に用いた供試材料

種類	塗装方法	厚み(mm)
コールタール塗料	焼付け 1回	0.03
常温型瀝青質塗料	常温刷毛塗り 1回	0.1
塩化ビニル塗料	〃 2回	0.05
タールエポキシ樹脂塗料	〃 2回	0.3
モルタルライニング	手塗り、50℃×6時間蒸気養生	3
モルタルライニング(割れ目0.4mm)	〃	3

供試材料を40×40×3mmの鑄鉄片に塗布し、塩化ビニル板に取り付け、溶液中に浸漬回転させた(図表4-2-4-16)。

●図表4-2-4-16 各種防食塗料の耐食試験装置



試験片取付け状況

2) 試験結果

●図表4-2-4-17 水道水浸漬試験結果

凡例：◎ 変化なし、○ 一部に膨れ、△ 膨れ多し、× 塗膜一部剥離

種 類	浸漬期間(月)									
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	
コールタール塗料	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	△	
常温瀝青質塗料	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○	
塩化ビニル塗料	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	
タールエポキシ樹脂塗料	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
モルタルライニング	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
モルタルライニング (割れ目0.4mm)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	

●図表4-2-4-18 海水中浸漬試験結果

種 類	浸漬期間(月)									
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	
コールタール塗料	◎	○	○	△	×	×	×	×	×	
常温瀝青質塗料	◎	○	○	△	×	×	×	×	×	
塩化ビニル塗料	◎	◎	○	○	△	△	×	×	×	
タールエポキシ樹脂塗料	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	
モルタルライニング	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
モルタルライニング (割れ目0.4mm)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	

モルタルライニングが最も優れた耐食性を有している。

また、0.4mm程度の割れ目があってもモルタルライニングの防食効果は損なわれるものでないことも明らかである。これは、モルタル中のCaイオンにより腐食性の水がアルカリ化されるためであり、長期間のうちにはセメントの癒着現象^{ゆちやく}により割れ目は小さくなり、わずかなクラックは塞がれる。剥がれについても同様である。

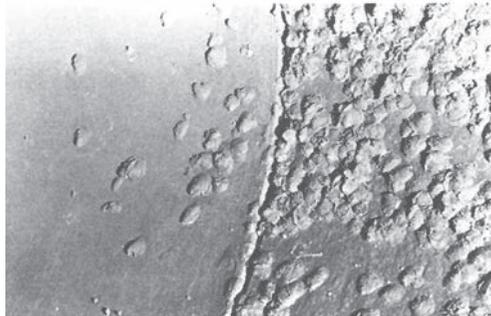
8 耐海水性

海水輸送管として使用する管は次のような条件に耐えるものでなければならない。

- ・ 侵食性の強い海水によって、常に激しい腐食作用にさらされる。
- ・ 海水中に生息するバクテリア類の攻撃を受ける。
- ・ 貝類などの生物の付着と、その繁殖によって内面のライニングが被害を受け、時には致命傷を招く。

図表4-2-4-19から分かるように、モルタルライニングへの生物の付着は、コールトールエナメル、タールエポキシ樹脂などの防食材に比べて少ない。

●図表4-2-4-19 モルタルライニング管およびタールエポキシ樹脂塗装管への生物付着



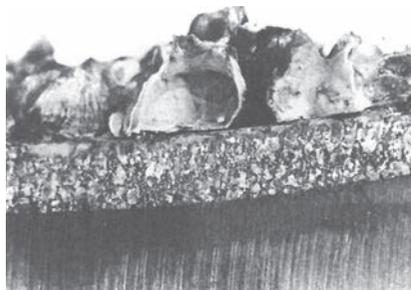
左：モルタルライニング管
右：タールエポキシ樹脂塗装管

もし生物が付着しても、ライニングに食い込んでライニングが剥がされたり、損傷を受けたりすることがない(図表4-2-4-20)。特にフジツボはライニング面に足を食い込ませ、コールトールエナメルなどの軟らかいライニングを持ち上げてしまうが、モルタルライニングは硬いためこのようなことはない。

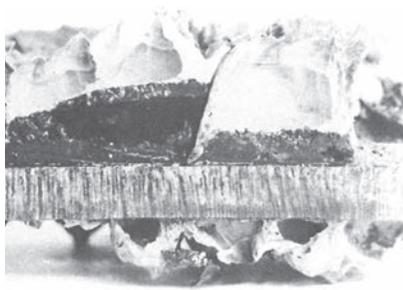
モルタルライニング面に付着した生物類は比較的除去しやすい。

●図表4-2-4-20 モルタルライニングおよび
コールタールエナメルライニングへの生物付着の状況

モルタルライニング

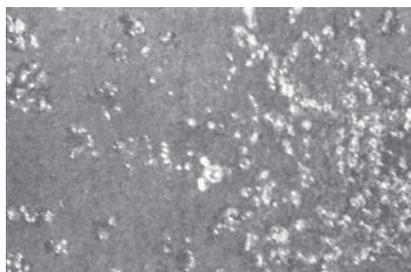


コールタールエナメルライニング

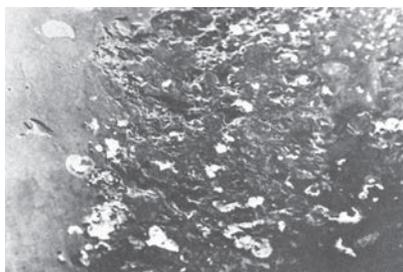


●図表4-2-4-21 生物付着を除去した後のライニングの状況

モルタルライニング



コールタールエナメルライニング



9 熱による影響

① 熱に対するモルタルの特性

●図表4-2-4-22 熱に対するモルタルおよびダクタイル鑄鉄の特性

項目	モルタル	ダクタイル鑄鉄
熱膨張係数 (1/°C)	$11 \sim 18 \times 10^{-6}$	$10.8 \sim 11.5 \times 10^{-6}$
熱伝導度 (kJ/m/h/°C)	3.56	0.989
比熱 (J/g/°C)	1.05	0.481 ~ 0.502

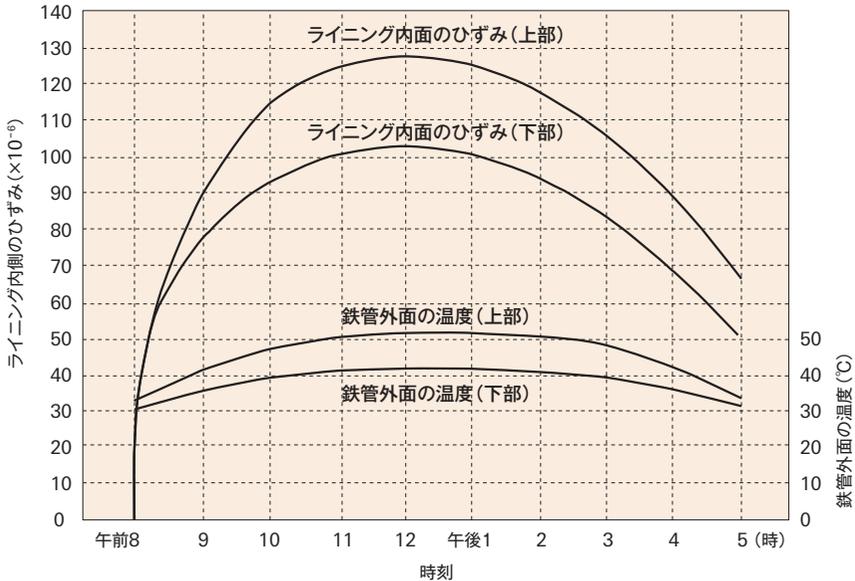
② 直射日光による影響

ダクト用鉄管に比べてモルタルライニングの熱伝導率や比熱が異なるため、直射日光の当たる場所に放置すると管外面とライニングに温度差が生じ、熱膨張の差によってライニングにひずみが生じることがあるので注意を要する。

実測結果の一例を図表4-2-4-23に示す。これを図表4-2-4-24のモルタルの引張破壊ひずみと比較すると、なお約2倍近くの安全率があり、一般の場合、問題は無いと考えられる。

●図表4-2-4-23 鉄管外面の温度とライニング内面のひずみ

実験条件：呼び径250モルタルライニング管を直射日光に曝した場合



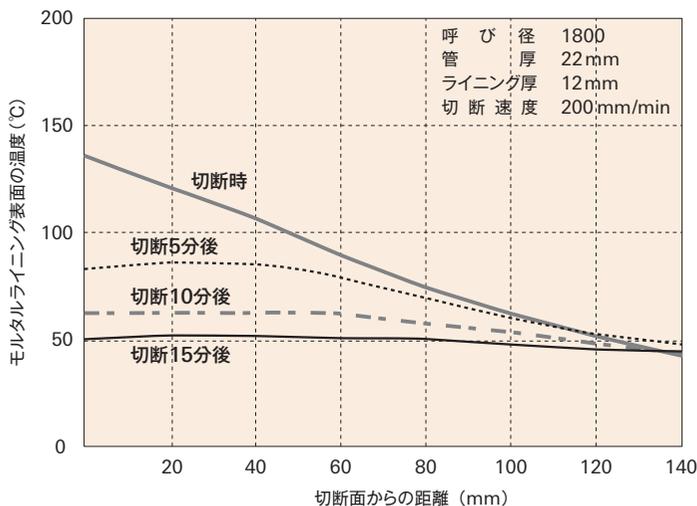
●図表4-2-4-24 遠心力施工したモルタルのテストピースによる引張破壊ひずみ

試料No.	引張強さ (N/mm ²)	ひずみ
1	6.57	204 × 10 ⁻⁶
2	6.37	248 × 10 ⁻⁶

③ ガス切断の影響

呼び径1800のモルタルライニング管についての実測結果の一例を図表4-2-4-25に示す。ガス炎が直接ライニングに当たる部分で、幅約15～20mm程度のモルタルライニング層が結晶水を失いクラックを生じるが、それ以外の熱影響部は変化を生じず、モルタルライニングは健全である。

●図表4-2-4-25 ガス切断におけるモルタルライニングの表面温度と影響範囲



10 ひび割れ(ヘアクラック)の許容幅

セメント硬化物は、硬化過程における水和反応の進行ならびに水分の蒸発に伴う収縮によりひび割れが発生する。モルタルライニングにも同様のひび割れが生じる場合があるが、管内面の水道水と接触することによる吸水膨潤ならびにカルシウム^{せきしゆつ}の析出^{ゆちやく}などにより癒着作用が生じ、長期間防食効果を維持する。ISO 4179では、ひび割れの幅は0.8mmまで許容されている。日本は水質が主に軟水であることから、有害なひび割れの幅を調査したところ0.4mmまで癒着することを確認した。「JIS A 5314 ダクタイル鋳鉄管モルタルライニング」ならびに「JWWA A 113 水道用ダクタイル鋳鉄管モルタルライニング」では安全を考慮し、許容されるひび割れの幅は0.25mm以下と規定している。

● 図表4-2-4-26 モルタルライニングのひび割れの癒着結果

ひび割れの幅	流水状態			滞留状態		
	3カ月後	6カ月後	1年後	3カ月後	6カ月後	1年後
0.25mm	○	○	○	○	○	○
0.40mm	△	○	○	○	○	○
0.80mm	×	×	×	△	△	△
1.50mm	×	×	×	△	△	△

○：癒着 △：一部癒着 ×：未癒着

備考1 呼び径500、長さ300mmのモルタルライニング管をたわませて所定の幅のひび割れを生じさせた。

備考2 供試管を滞留状態、流水状態(1L/min)の2種類の水槽に入れ、ひび割れの癒着状況を観察した。

備考3 流水の総硬度は46.0mg/Lであり、軟水に分類された。

● 図表4-2-4-27 モルタルライニングのひび割れの癒着状況(例)

ひび割れの幅	試験開始時	6カ月後
0.4mm		
0.8mm		

4-2-5 液状エポキシ樹脂塗装

液状エポキシ樹脂塗装は、主に大口径の異形管などに適用される。液状エポキシ樹脂塗料には、有機溶剤を含む水道用液状エポキシ樹脂塗料と、有機溶剤を含まない水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料がある。

1 水道用液状エポキシ樹脂塗料

水道用液状エポキシ樹脂塗料は「JWWA K 135水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法」で規定されており、塗料は図表4-2-5-1、2に示す品質を有している。また、塗装した製品は図表4-2-5-3に示す塗膜の品質に適合している。

●図表4-2-5-1 水道用液状エポキシ樹脂塗料の品質(物性)

項目	概要	
塗料	容器の中の状態	主剤、硬化剤ごとに、かき混ぜたとき、堅い塊がなくて一様になる。
	塗装作業性	塗装作業に支障がない。
	硬化乾燥時間	48時間以内に硬化乾燥状態になっている。
	加熱残分 %	60以上
塗膜	塗膜の外観	塗りむら、流れ、はじき、割れない。
	耐屈曲性	先端半径13mmの押さえ金具で38mmまで押し下げたとき、き裂又ははく離がない。
	耐おもり落下性	塗膜表面及び裏面について行う。500gのおもりを、落下面が塗膜表面の場合は30cm、落下面が裏面の場合は50cmの高さから落下させ、割れ、はがれがない。
	付着性(クロスカット法)	試験結果の分類で0又は1である。
	付着性(プルオフ法) MPa	破壊強さが2.0以上である。
	低温・高温繰返し性	-30±2℃で4時間、23℃±2℃で1時間、70±2℃で2時間、23±2℃で17時間を1サイクルとして4サイクル繰り返し、き裂又ははく離がない。
	耐中性塩水噴霧性	300時間の塩水噴霧でさび又は膨れがない。
耐湿性	温度50±1℃、湿度95%以上で試験時間は120時間とし、さび、膨れ又ははがれがない。	

備考 各項目の概要はJWWA K 135において、塗料について規定されている内容を試験方法などと簡潔にまとめたものである。

「JWWA K 135-2007水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法」より

● 図表4-2-5-2 水道用液状エポキシ樹脂塗料の品質（浸出性）

項 目		規 定
塗 膜	シアン化物イオン及び塩化シアン mg/L	シアンの量に関して、0.001以下。
	ホルムアルデヒド mg/L	0.008以下。
	フェノール類 mg/L	フェノールの量に換算して、0.0005以下。
	有機物 [全有機炭素 (TOC) の量] mg/L	0.5以下。
	味	異常でないこと。
	臭気	異常でないこと。
	色度 度	0.5以下であること。
	濁度 度	0.2以下であること。
	エピクロロヒドリン mg/L	0.01以下。
	アミン類 mg/L	トリエチレンテトラミンとして、0.01以下。
	2,4-トルエンジアミン mg/L	0.002以下。
	2,6-トルエンジアミン mg/L	0.001以下。
	トルエン mg/L	0.2以下 (暫定)
	キシレン mg/L	0.4以下 (暫定)
	残留塩素の減量 mg/L	0.7以下

〔JWWA K 135-2007水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法〕より

● 図表4-2-5-3 水道用液状エポキシ樹脂塗装製品の塗膜の品質

項 目	規 定
塗膜の外観	異物の混入、著しい塗りむら、塗りもれなどがなく、均一な塗膜である。
塗膜の厚さ mm	塗膜の厚さは、0.3以上である。
ピンホール	火花が発生するような欠陥がない。
付着性 (はつり法)	容易にはがれない。

〔JWWA K 135-2007水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法〕より

2 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料

水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料は「JWWA K 157水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法」で規定されており、塗料は図表4-2-5-4、5に示す品質を有している。また、塗装した製品は図表4-2-5-6に示す塗膜の品質に適合している。

●図表4-2-5-4 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料の品質(物性)

項目		概要
塗料	容器の中の状態	主剤、硬化剤ごとに、かき混ぜたとき、堅い塊がなくて一様になる。
	塗装作業性	塗装作業に支障がない。
	硬化乾燥時間	48時間以内に硬化乾燥状態になっている。
	加熱残分 %	96以上
塗膜	塗膜の外観	塗りむら、流れ、はじき又は割れがない。
	耐屈曲性	先端半径13mmの押さえ金具で38mmまで押し下げたとき、亀裂又は剥離がない。
	耐おもり落下性	塗膜表面及び裏面について行う。500gのおもりを、落下面が塗膜表面の場合は30cm、落下面が裏面の場合は50cmの高さから落下させ、割れ又は剥れがない。
	付着性(クロスカット法)	試験結果の分類で0又は1である。
	付着性(プルオフ法)MPa	破壊強さが2.0以上である。
	低温・高温繰返し性	-30±2℃で4時間、23±2℃で1時間、70±2℃で2時間、23±2℃で17時間を1サイクルとして4サイクル繰返し、亀裂又は剥離がない。
	耐中性塩水噴霧性	300時間の塩水噴霧でさび又は膨れがない。
	耐湿性	温度50±1℃、湿度95%以上で試験時間は120時間とし、さび、膨れ又は剥れがない。

備考 各項目の概要はJWWA K 157において、塗料について規定されている内容を試験方法などと簡潔にまとめたものである。

「JWWA K 157-2013水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法」より

●図表4-2-5-5 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料の品質(浸出色)

項目		規定
塗膜	シアン化物イオン及び塩化シアン mg/L	シアンの量に関して、0.001以下。
	ホルムアルデヒド mg/L	0.008以下。
	フェノール類 mg/L	フェノールの量に換算して、0.0005以下。
	有機物[全有機炭素(TOC)の量] mg/L	0.5以下。
	味	異常でないこと。
	臭気	異常でないこと。
	色度 度	0.5以下であること。
	濁度 度	0.2以下であること。
	エピクロロヒドリン mg/L	0.01以下。
	アミン類 mg/L	トリエチレンテトラミンとして、0.01以下。
	トルエン mg/L	0.2以下(暫定)
	キシレン mg/L	0.4以下(暫定)
	残留塩素の減量 mg/L	0.7以下

「JWWA K 157-2013水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法」より

● 図表4-2-5-6 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗装製品の塗膜の品質

項目	規定
塗膜の外観	異物の混入、著しい塗りむら、塗り漏れなどがなく、均一な塗膜である。
塗膜の厚さ mm	塗膜の厚さは、0.3以上である。
ピンホール	火花が発生するような欠陥がない。
付着性(はつり法)	容易に剥がれない。

〔JWWA K 157-2013水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法〕より

5-1

水理設計

5-1-1 概要

1 水理設計の必要性

水道の蛇口から水が出るためには、圧力が必要である。水が管の中を流れる距離が長くなると摩擦などによる抵抗力(摩擦損失)が大きくなり、蛇口での圧力が不足して水が出なくなる。また、水が管の中を流れる速度(流速)が速過ぎると内面のライニングなどを傷め、遅過ぎると滞留時間が長くなり、残留塩素の低下や水質への影響が出てくる。

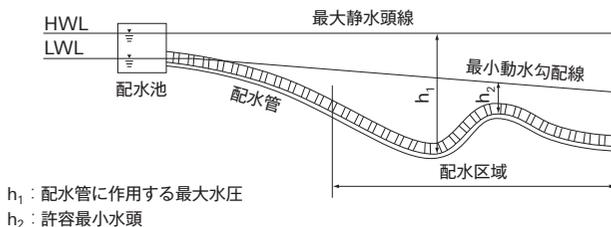
従って、水を送る高低差またはポンプの全揚程、距離、流量などから、適切な管径を事前に計算して、必要な圧力が得られるかなど確認しておく必要がある。

2 配水方式

① 自然流下式とポンプ加圧式

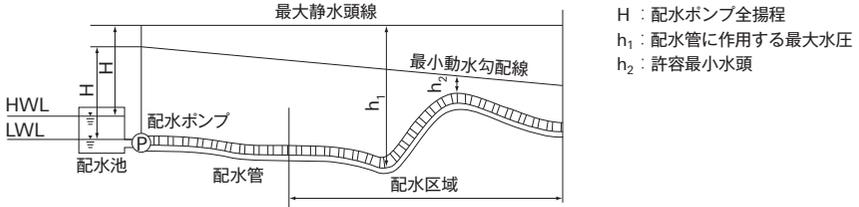
水道の配水の方式には、高い所から低い所へ重力を利用して水を流す自然流下式と低い所から高い所へポンプなどで水を押し上げて流すポンプ加圧式がある。

●図表5-1-1-1 自然流下式



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

● 図表5-1-1-2 ポンプ加圧式

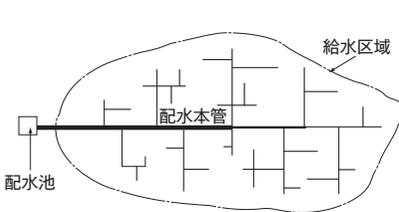


『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

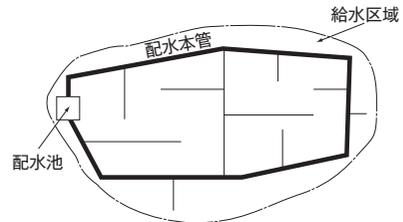
② 配管方式

配管方式には、樹枝状配管、環状配管、管網配管の3種類があり、給水区域の地形や地盤の高低差、水需要量、経済性などを考えて選択する必要がある。また、蛇口の圧力や到達時間の平均化や、災害時の復旧の効率化が図られるブロック化などもあるが、管路更新時などの断水範囲を最小化するためには、環状配管、管網配管にすることが望ましい。

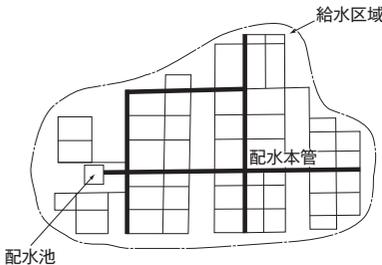
● 図表5-1-1-3 樹枝状配管



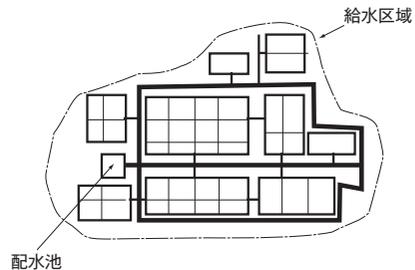
● 図表5-1-1-4 環状配管



● 図表5-1-1-5 管網配管



● 図表5-1-1-6 ブロック化



●図表5-1-1-7 配管方式の特徴

配管方式	長 所	短 所
樹枝状配管 <ul style="list-style-type: none"> ● 給水区域の中央部に配水本管を通し、ここから樹枝状に枝管を分岐していく配管方法。 ● 給水区域が細長い場合や放射状に広がっているときに適する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 管網解析が比較的容易にできる。 ● 水の流れ方向や断水範囲が把握しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 上流側に事故が発生すると下流側が全面的に断水する。 ● 時間最大時などに圧力変化が発生しやすい。 ● 末端部の水が停滞しやすく、水質劣化の恐れがある。
環状配管 <ul style="list-style-type: none"> ● 給水区域の周囲近くに配水本管を環状に配置し、この間を枝管で連絡する配管方法。 ● 宅地開発など新規開発の場合に適する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 樹枝状配管より冗長性があり、水圧変動が軽減される。 ● 断水影響範囲を比較的小さくできる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 樹枝状配管に比べると基幹管路延長が長くなる。
管網配管 <ul style="list-style-type: none"> ● 環状配管の中の支管がメッシュ状になっている配管方法。 ● ある程度の人口が密集している所に適する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水需要に対して冗長性があり、水圧変動が小さくできる。 ● 断水影響範囲を小さくできる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 管網解析などは計算ソフトが必要である。 ● 水質事故などの原因が特定しにくい。
ブロック化 <ul style="list-style-type: none"> ● 幹線と支管を明確に分け、管網の中をブロックに区切った配管方法。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水圧・水質の均てん化が図りやすい。 ● 濁水などの範囲が把握しやすい。 ● 災害時の復旧などが行いやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ● ブロック境界で滞留水が発生しやすい。 ● 管網整備延長が長くなる。

5-1-2 水理公式

1 水理公式の種類

水理公式は、管径の大きさや管内面の粗さなどにより各種水理公式を使い分ける必要がある。ここでは、各種水理公式の紹介と、代表的なヘーゼン・ウィリアムス公式とマンニング公式の計算法について紹介する。

単一管路の場合は、図表5-1-2-1に示す公式を用いて計算することができるが、管路が管網になったときには計算が複雑になる。手計算ではハーディ・クロス法が用いられていたが、最近では「5-1-4 管網解析」に示す市販のパソコンソフトなどを用いることにより短時間で計算できる。

● 図表5-1-2-1 水理公式の種類と特徴

種 類	特 徴
ヘーゼン・ウィリアムス	実験式であり、呼び径75以上の粗滑遷移領域に適用される。上水道、下水道、農業用水などの満流で流れる管路に用いられる。
ダルシー・ワイスバッハ	理論的に考えて合理的な式であり、ポンプ場内の配管など比較的短い場合に適用される。
マニング	レイノルズ数および相対粗度の大きい壁面上の流れに対して精度が良く、下水道、河川などの自然流下に適用される。
ウェストン	主に呼び径50以下の給水管に適用される。

2 ヘーゼン・ウィリアムス公式

ヘーゼン・ウィリアムス公式は実験公式であり、呼び径75以上、内面が比較的滑らかな管、水の流れが遷移領域に比較的合うとされている。詳しくは「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JCPA T23」の「3.3.1 管径の決定」を参照のこと。

$$V = 0.35464 C_H \cdot D^{0.63} \cdot I^{0.54}$$

$$Q = 0.27853 C_H \cdot D^{2.63} \cdot I^{0.54}$$

$$D = 1.6258 C_H^{-0.38} \cdot Q^{0.38} \cdot I^{-0.205}$$

$$I = 10.666 C_H^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85}$$

$$h = 10.666 C_H^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85} \cdot L$$

$$C_H = 3.5903 Q \cdot D^{-2.63} \cdot I^{-0.54}$$

ここに、V：平均流速(m/s)

D：管内径(m)

I：動水勾配

L：管路長(m)

Q：流量(m³/s)

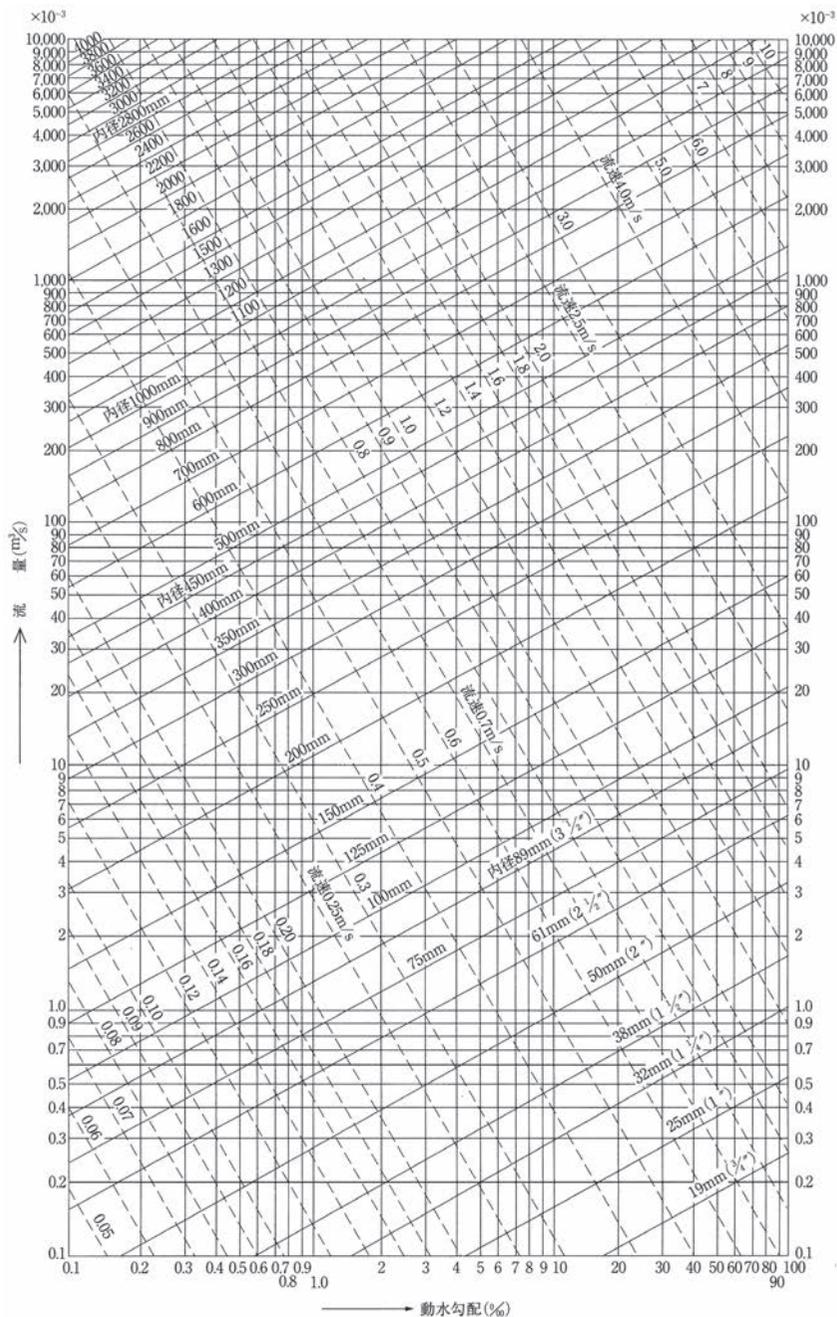
h：摩擦損失水頭(m)

C_H：流速係数

ヘーゼン・ウィリアムス公式のC_H値(流速係数)は、管路の屈曲部、分岐部などの損失を含めて110を標準としている。

C_H値110の場合のヘーゼン・ウィリアムス公式図表を図表5-1-2-2に示す。

●図表5-1-2-2 ヘーゼン・ウィリアムス公式図表 (C_H 値110)



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

① 上水道における C_H 値

上水道における C_H 値(新設管の場合)を図表5-1-2-3に示す。

●図表5-1-2-3 設計上の C_H 値

計算条件	C_H 値
屈曲部損失などを含んだ管路全体	110
直線部のみ	130

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

既設管路の整備あるいは改良時にもその C_H 値を知ることが必要となる場合がある。管内面にモルタルライニングなどが施されていない場合には、通水年数および水質の影響でかなり異なるので調査の必要がある。詳しくは『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)の「7.5.5 管径」を参照のこと。

上水道の呼び径1000以下では約8割がエポキシ樹脂粉体塗装管になっているので、以下にエポキシ樹脂粉体塗装管の C_H 値の測定結果を示す。

●図表5-1-2-4 エポキシ樹脂粉体塗装管の C_H 値の実測例(呼び径150)

流量(m^3/s)	流速(m/s)	摩擦損失水頭(mm)	C_H 値
0.0098	0.55	17	155
0.0191	1.07	59	156
0.0290	1.62	124	158
0.0388	2.17	215	157
0.0486	2.71	318	159
0.0579	3.23	441	159

備考 供試管は内面エポキシ樹脂粉体塗装の直管呼び径150(内径測定平均値151.0mm)、測定区間は9.54m。

●図表5-1-2-5 エポキシ樹脂粉体塗装管の C_H 値の実測例(呼び径200)

流量(m^3/s)	流速(m/s)	摩擦損失水頭(mm)	C_H 値
0.0147	0.45	78	151
0.0202	0.62	134	155
0.0250	0.77	200	155
0.0302	0.93	276	157
0.0360	1.11	373	159
0.0397	1.22	465	156
0.0456	1.40	580	159
0.0503	1.55	689	160

備考 供試管は内面エポキシ樹脂粉体塗装の直管呼び径200(内径測定平均値203.3mm)、測定区間は84m。

② 下水道における C_H 値

管路の屈曲部、分岐部などの損失を含めて110を標準とする。詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・『下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版〈前編〉』（日本下水道協会）
- ・「下水道用ダクトイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T30」（日本ダクトイル鉄管協会）

③ 農業用水における C_H 値

C_H 値は、図表5-1-2-6の通りであり、モルタルライニング管の標準値は130とされている。

●図表5-1-2-6 農業用水の C_H 値

管（内面の状態）		C_H 値		
		最大値	最小値	標準値
鋳鉄管（塗装なし）		150	80	100
鋼管（塗装なし）		150	90	100
水道用液状エポキシ塗装管（鋼） ^{注1}	呼び径800以上	-	-	130
	呼び径600～700	-	-	120
	呼び径350～500	-	-	110
	呼び径300以下	-	-	100
モルタルライニング管（鋳鉄）		150	120	130
遠心力鉄筋コンクリート管		140	120	130
プレストレスコンクリート管		140	120	130
硬質ポリ塩化ビニル管 ^{注2}		160	140	150
ポリエチレン管 ^{注2}		170	130	150
強化プラスチック複合管 ^{注2}		160	-	150

注1 JIS G 3443-4によるエポキシ樹脂塗装が内面に施されているが、十分な経年変化後の水理データがないことから、タールエポキシ樹脂塗装と同等として扱い本表の値を運用してよい。また、呼び径800未満で、現場溶接部の内面塗装を行わない場合には本表の値を適用する。ただし、現場溶接部の内面塗装を十分な管理の下で行う場合は、 C_H 値130を適用することができる。

注2 呼び径150以下の管路では、 C_H 値140を標準とする。

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）より

なお、全損失水頭は、摩擦損失水頭（ヘーゼン・ウィリアムス公式）と各種損失水頭（流入、流出、湾曲など）の合計値として算出することに留意が必要である。

2015(平成27)年2月に規格化された「JDKPA G 1053 ALW形ダクタイル鋳鉄管」では、従来のモルタルライニングやエポキシ樹脂粉体塗装に代わる新たな内面塗装仕様として、シリカエポキシ樹脂塗装（エポキシ樹脂塗料に無機系材料を混合した塗料）が採用された。

図表5-1-2-7に新たな内面塗装の C_H 値の測定結果を示す。なお、 C_H 値は、試験管路内の継手部を含めた管路距離約10mの直線区間における摩擦損失水頭をマンメータによって測定し、算出した。

●図表5-1-2-7 シリカエポキシ樹脂塗装の C_H 値

C_H 値 (参考値)	試験結果 (呼び径300)
150	(粉体) 平均163.5 (154.9~169.2) 注1
	(液状) 平均168.5 (158.2~175.1) 注1

注1 約0.5m/s~4.5m/sの8種類の流速条件で、摩擦損失水頭を約20回測定し、その平均値から C_H 値を算出。

備考 呼び径150以上に適用する。

3 マニング公式

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

ここに、 V ：平均流速 (m/s)

n ：粗度係数 (一般に0.010~0.013)

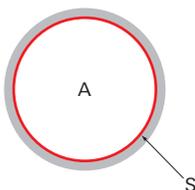
R ：径深^{注1} (m)

I ：動水勾配 ($\frac{h}{L}$)

h ：高低差 (m)

L ：管路長 (m)

注1 流水断面積を管と流水との接触長さ S で除したものの。



$$R = \frac{A}{S}$$

ここに、 R ：径深

A ：流水断面積 (m²)

S ：潤辺 (m) (管と流水との接触長さ)

● 図表5-1-2-8 マニング公式の粗度係数n

管の種類	粗度係数n
鉄筋コンクリート管渠などの工場製品(陶管を含む)および現場打ち鉄筋コンクリート管渠、ダクタイル鉄管(モルタルライニング)	0.013
硬質塩化ビニル管および強化プラスチック複合管、ダクタイル鉄管(合成樹脂ライニング)	0.010

〔下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版(前編)〕(日本下水道協会)より

5-1-3 管径の算定

1 管径の算定方法

一般に管路の設計においては、管路の中を流れる水の流量が設定されれば、管路の全ての取出し点での最小動水圧が確保できるような管径を設定することができる。自然流下式の場合は、流量が確保できる管径が経済的管径となる。ポンプ加圧式の場合には、その建設費(特に管径による違い)と維持管理費(ポンプの電力費)の合計が最小になる経済的な管径を定める。

また、管路内に濁質が滞留しないための最小流速、内面のライニングなどへの損傷を防ぐための最大流速なども考慮する必要がある。

・ 自然流下式の場合

必要な流量および圧力により管径が決定できる。

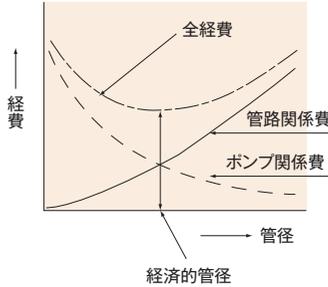
・ ポンプ加圧式の場合

管径とポンプの関係は、管径を小さくすると布設費は低減できるが、ポンプおよび電力費が増加する反比例の関係にあり、図表5-1-3-1のように、管路布設費とポンプおよび電力費の和が最小となるような呼び径を選定する。

水道の配水管などにおいては、消火用水の水量により管径が算定される場合がある。また、維持管理や工事の断水時の水運用などを考慮して、配水ブロック内のループ化や配水ブロック内幹線を設ける場合など、必ずしも管網解析のみで呼び径が決定されるわけではない。

実際の呼び径の選定は、既設管の呼び径や管内流速などからいくつかの呼び径に絞られる場合が多く、その中で経済的な呼び径を選ぶことが多い。

● 図表5-1-3-1 ポンプ加圧式の場合の管径の算定



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

2 最小動水圧および流速など

管網解析により管径を算定する際には、下記の規定を満たすように管径を定める。

① 上水道における基準

配水管の最小動水圧は「水道施設の技術的基準を定める省令」に定められている。また水理公式はヘーゼン・ウィリアムス公式を用いる。

● 図表5-1-3-2 上水道の水圧の基準

項目	水圧
最小動水圧	150kPa (0.15MPa)
消火栓使用時	正圧が保たれていること
最大静水圧	740kPa (0.74MPa)

【水道施設の技術的基準を定める省令】より

直結給水の場合の最小動水圧については図表5-1-3-3による。

● 図表5-1-3-3 直結給水の場合の最小動水圧

項目	最小動水圧 (MPa)
2階建て	0.15~0.20
3階建て	0.20~0.25
4階建て	0.25~0.30
5階建て	0.30~0.35

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

●図表5-1-3-4 上水道の配水方式による管内流速

方式	基準
自然流下式	導水管の許容最大限度3.0m/s程度とする
ポンプ加圧式	経済的な流速とする

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

●図表5-1-3-5 火災時の流量計算

計画給水人口	計算方法
計画給水人口10万人を超える場合	計画時間最大配水量に十分余裕があり、平常時の場合と同様に計算する
計画給水人口10万人以下の場合	計画一日最大給水量と消火用水量との合計とするのが望ましい

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

② 工業用水道における基準

●図表5-1-3-6 工業用水道の最小動水圧

項目	基準
最小動水圧	49kPa (0.049MPa)

『工業用水道施設の技術的基準を定める省令』より

●図表5-1-3-7 工業用水道の管内流速

項目	基準
導水管渠がコンクリートの場合	3m/s 以下
導水管渠が鋼または铸铁の場合	6m/s 以下

『工業用水道施設の技術的基準を定める省令』より

③ 下水道における基準

最小動水圧については特に規定されていないが、流量計算は、自然流下方式では Manning 公式を、圧送方式ではヘーゼン・ウィリアムス公式を用いる。管径^{*1}および流速については図表5-1-3-8による。

なお、一つの建築物から出る汚水の一部を排除する排水管で管路延長が3m以下かつ、勾配が100分の3以上の場合には最小管径75とすることができる。

*1 『下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版(前編)』(日本下水道協会)では管径を用いているので、ここでは呼び径を管径とした。

● 図表5-1-3-8 下水道の最小管径および流速（自然流下方式）

種 類	最小管径 (mm)	最小流速 (m/s)	最大流速 (m/s)
汚水管渠	200	0.6	3.0
雨水管渠	250	0.8	3.0
圧送下水	75	0.6	3.0

『下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版(前編)』(日本下水道協会)より

● 図表5-1-3-9 下水道の勾配に関する規定（自然流下方式）

排水人口(人)	排水管の管径 (mm)	勾 配
150未満	100以上	2.0/100以上
150以上 300未満	150以上	1.5/100以上
300以上	200以上	1.2/100以上

『下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版(前編)』(日本下水道協会)より

④ 農業用水における基準

最小動水圧については特に規定されていないが、水理公式は原則としてヘーゼン・ウィリアムス公式を用いる。詳しくは『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）の「9-1 定常的な水理現象の解析」を参照のこと。

● 図表5-1-3-10 農業用水の管内流速

項 目	基 準
許容最大流速	コンクリートの場合3m/s、コンクリート以外(モルタルライニングを含む)の場合5m/s(放水工、余水吐などの一時的に流れる構造物は基準の1.5倍以内)
許容最小流速	0.3m/s(防除、施肥と多目的に使用する場合は0.6m/s)

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会)より

● 図表5-1-3-11 農業用水の送配水方式による管内流速

方 式	基 準
自然圧式	水理ユニット内の流速の平均値の限界は2.0m/s以下が望ましい。
	経済的な観点から平均速度の限界値を2.5m/sまで高めてもよい。
ポンプ圧送式	流速(管径)は経済比較により決定するのが望ましい。 ^{注1}
	許容平均流速は2.0m/s以内が望ましいが、限界値を2.5m/sとする。

注1 設計流速の目安は図表5-1-3-12による。

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会)より

●図表5-1-3-12 農業用水のポンプ圧送の場合の平均流速

管径 (mm)	平均流速 (m/s)
75～150	0.7～1.0
200～400	0.9～1.6
450～800	1.2～1.8
900～1500	1.3～2.0
1600～3000	1.4～2.5

〔土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、
基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月〕(農業農村工学会)より

5-1-4 管網解析

1 管網解析の手法

管網解析とは、一般に満流の管路の定常流解析を指す。具体的には水源(配水池など)の水位、管路の諸元(呼び径、延長など)、管路中の節点の流出水量、節点の地盤高などの条件から流量、流速、流向と水圧を求める。管網解析の手法は大別して流量法とエネルギー位法がある。いずれも繰返し計算を必要とするため、管網解析ソフトが開発されている。

●図表5-1-4-1 管網解析の手法

手 法	特 徴
流量法	各管路の流量を未知数として計算する。(例：ハーディ・クロス法)
エネルギー位法	節点エネルギー位法や水位法とも呼ばれる。節点のエネルギー位を未知数として、各節点の流量条件を満足させるエネルギー位を求める。

2 管網解析ソフト

管網解析ソフトは、計画管路の呼び径、流量、流速、流向の算出のみならず、管路の維持管理業務の中で下記のような業務の支援にも活用できる。

- ・ 直結給水検討時の配水管圧力検討
- ・ 配水管網のブロック化検討
- ・ 渇水時の圧力コントロール

- ・ 断水時の影響検討
- ・ 管路の重要度評価
- ・ 出水不良の解消
- ・ 洗管計画の作成
- ・ 水の滞留地域の特定制と対策など

● 図表5-1-4-2 管網解析ソフトの例



「技術資料」(管総研)より

3 管網解析に必要なデータ

管網解析には次のデータが必要である。

- ① 管網図 (各管路を節点で結んだ模式図)
- ② 管路の管径、延長、 C_{D1} 値
- ③ 各節点の地盤高
- ④ ポンプやバルブの諸元 (揚程など)
- ⑤ 配水池など水源の水位 (HWL, LWL)
- ⑥ 各管路、節点の取出し水量

取出し水量を決める際に、以下のような項目を調査する必要がある。

- ・ 一日平均使用水量 = 一人一日平均使用水量 × 給水人口
(管網計算上は、大口需要者は別にして加算する場合もある)
- ・ 一日平均給水量 = 一日平均使用水量 ÷ 有収率
- ・ 一日最大給水量 = 一日平均給水量 ÷ 負荷率
- ・ 時間最大給水量 = 一日最大給水量 ÷ 24 × 時間係数

5-1-5 水撃圧

1 水撃圧の概要

バルブの急開閉やポンプの急激な始動・停止などにより管路内を充滿して流れている水の速度が急激に変化すると、管内圧力が急上昇・急低下することがある。これをウォーターハンマ(水撃作用)という。このウォーターハンマにより発生する水撃圧の大きさは、管内の流速の変化の大きさや管路の長さ、管材質(弾性係数)、ポンプの慣性力の大きさなどにより異なる。詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・『水道用バルブハンドブック』(日本水道協会)の「2.1.5 バルブ操作と水撃作用」
「7.1.1 水撃作用軽減対策」
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)の「8.2 ポンプ設備」
- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 J DPA T23」(日本ダクタイル鉄管協会)の「3.3.3 水撃圧の検討」

① 上水道における水撃圧

水撃圧は計算により予測できるが、計算によらない場合(樹枝状配管や管網配管など)には、管材質の弾性係数の違いにより以下のように定められている。

●図表5-1-5-1 管材質による水撃圧

管材質	水撃圧(MPa)
ダクタイル鉄管、鋼管およびステンレス鋼管	0.45~0.55
硬質ポリ塩化ビニル管および水道配水用ポリエチレン管	0.25

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

② 下水道(圧送)における水撃圧

下水道(圧送)における水撃圧は計算によって求めることができるが、計算式によらない場合は、図表5-1-5-2および図表5-1-5-3のように定められている(農林水産省の基準と同じである)。

詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・「JSWAS G-1-2016 下水道用ダクタイル鋳鉄管」(日本下水道協会)

- 『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）

③ 農業用水における水撃圧

水撃圧を予測する方法は、計算などによる方法と経験則による方法に大別される。計算などによる水撃圧の解析法には、単純な管路についての理論解法と複雑な管路についての数値解析があり、予測は計算による方法を原則とする。計算によらない場合は、過去の設計事例、施工事例などの経験則を採用する。図表5-1-5-2および図表5-1-5-3は、経験則から導かれた水撃圧の一例である。

● 図表5-1-5-2 自然圧式（クロースドタイプおよびセミクロースドタイプ）における水撃圧

静水圧	水撃圧
0.35MPa未満	静水圧の100%
0.35MPa以上	静水圧の40%または0.35MPaのどちらか大きい方

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）より

● 図表5-1-5-3 ポンプ圧送式における水撃圧

動水圧	水撃圧
0.45MPa未満	動水圧の100%
0.45MPa以上	動水圧の60%または0.45MPaのどちらか大きい方

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）より

2 水撃圧対策

水撃圧の基本的な対策は、最低圧力勾配線を求めて、負圧を6～7m未満に抑えることである。

① サージタンクの設置や管路の縦断位置

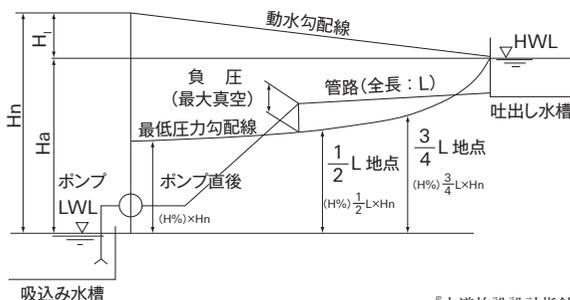
水撃圧を予測する方法には、逐次計算法、図式計算法および性能曲線法があり、複雑な管路やバルブ制御などを含む場合は、専用ソフトなどにより計算を行うのが一般的である。

なお、簡単な管路系においては、簡易計算図表（パーマキアンの線図）によって最低

圧力を予測することが可能である。簡易計算図表から読み取ったポンプ出口、管路の1/2地点、3/4地点の最低圧力から管路の最低圧力勾配線図の作成を行う。

管路縦断より低い最低圧力勾配線図の中で、負圧が約10mになると水柱分離が生じるので、負圧が5～7m以上の場合には、サージタンクの設置や管路の縦断位置を下げるなどの対策が必要となる。

●図表5-1-5-4 最低圧力勾配線図



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

② ポンプにおけるフライホールや緩閉逆止弁の設置

動力遮断後、ポンプの回転数は急速に低下し、しばらくは慣性でポンプは正方向に回転するが、吐出量が減少し、吐出方向に動く管路内の水圧が下がり、水柱分離が起こることがある。これはフライホイールを付けるなどポンプの回転体慣性力 (GD^2) を大きくすることにより、低減することができる。

正転逆流領域の逆流が始まると、ほぼ同時に逆止弁が閉鎖するので、急激に圧力が上昇する。これは油圧ダッシュポットを付属させた緩閉逆止弁で低減することができる。

③ バルブの開閉時間

自然流下系の管路においても、また、ポンプ系の管路においてもバルブを急開、急閉塞した場合にウォーターハンマが発生するので、開閉時間を長く取る必要がある。バルブが急閉塞する場合の水撃圧は、ジューコフスキーの式により求めることができ、緩閉塞した場合はアリエビの式が用いられる。

急閉塞か緩閉塞かの区分は、以下の計算式で判定する。

$$T \leq \frac{2L}{a} \text{ の場合は急閉塞になる。}$$

ここに、 T : バルブを閉塞するに要する時間 (秒)

L : 管路の長さ (m)

a : 圧力波の伝播速度 (m/s)

管内水撃波 (圧力波) の伝播速度は次式で計算できる。

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_w}{g} \left(\frac{1}{K_w} + \frac{1}{E} \cdot \frac{D}{t} \right)}}$$

ここに、 a : 水撃波の伝播速度 (m/s)

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

K_w : 水の体積弾性係数 (=2.19×10⁶ kN/m² (20℃))

E : ダクタイル鉄管の弾性係数 (=1.6×10⁸ kN/m²)

D : 管内径 (m)

t : 管厚 (m)

5-2

管厚計算

5-2-1 基本的な考え方

1 荷重

ダクタイル鉄管の管厚計算は実験結果から以下の荷重が同時に働くものとして計算される。

●図表5-2-1-1 管厚計算において用いる荷重

項目	荷重
内圧	静水圧(最高使用水圧)、水撃圧
外圧	土かぶりによる土圧、路面荷重による土圧

2 安全率

ダクタイル鉄管の管厚計算の安全率を以下に示す。

●図表5-2-1-2 安全率

項目	安全率
静水圧	2.5
水撃圧	2.0
土かぶりによる土圧	2.0
路面荷重による土圧	2.0

3 管厚の種類

●図表5-2-1-3 管厚の種類と記号および適用呼び径

種類	記号	適用呼び径
1種管	D1	75～2600
2種管	D2	400～2600
3種管	D3	75～2600
4種管	D4	600～2600
5種管 ^{注1}	D5	600～2600
PF種管 ^{注2}	DPF	300～2600
S種管	DS	50～1000
P種管 ^{注3}	DP	700～1500
E種管	DE	75～150

注1 JDPA G 1029など推進管にのみ規定されている。

注2 呼び径300～700はJDPA G 1029など推進管にのみ規定されている。

注3 2017年10月の規格改正により廃止になった。

備考 農業用水用ダクタイル鉄管の管種は、「JDPA G 1027-2016 農業用水用ダクタイル鋳鉄管」「JDPA G 1053 ALW形ダクタイル鉄管」を参照のこと。

4 管厚の種類の設定

「JWWA G 113-2015 水道用ダクタイル鋳鉄管」「JWWA G 114-2015 水道用ダクタイル鋳鉄異形管」の「資料」に管厚計算方法および直管の管厚の種類の設定表が掲載されている。図表5-2-1-4に示すような通常の設計条件下では、ダクタイル鉄管の管厚は内外圧に対して安全性が確保できるようになっている。しかし、高水圧、土かぶりが深い場合、均一でない地盤（片持ち張り状態、大きな不陸^{ふりく}など）の場合には計算による確認が必要である。

管厚の種類の設定の詳細および下水道、農業用水のダクタイル鉄管は、以下の技術資料を参照のこと。

- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDPA T23」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ダクタイル鉄管管路のてびき JDPA T26」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「下水道用ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDPA T30」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「JSWAS G-1-2016 下水道用ダクタイル鋳鉄管」(日本下水道協会)
- ・「農業用水用ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDPA T32」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ALW形ダクタイル鉄管 JDPA T60」(日本ダクタイル鉄管協会)

- ・「JDBA G 1027-2016 農業用水用ダクタイル鋳鉄管」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計『パイプライン』」(農業農村工学会、平成21年3月)

●図表5-2-1-4 管厚の種類の選定表

呼び径	土かぶり (m)											
	1.2				1.8				3			
	静水圧 (MPa)				静水圧 (MPa)				静水圧 (MPa)			
	1.5	1	0.75	0.45	1.5	1	0.75	0.45	1.5	1	0.75	0.45
50~300	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3
600	3	4	4	4	3	4	4	4	2	4	4	4
700	3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	4
800	3	4	4	4	3	4	4	4	2	3	4	4
900	3	4	4	4	3	4	4	4	2	3	4	4
1000	3	4	4	4	3	4	4	4	2	3	4	4

備考1 設計条件は下表により、数値は管厚の種類(1種管、2種管、3種管、4種管)を示す。

項目	設計条件
布設状態	平底溝
管底支持角	60°
路面荷重	245kNトラック2台並行同時通過
水撃圧	0.55MPa
土の単位体積重量	18kN/m ³

備考2 S種管は呼び径350、450を除き、本表の全ての条件で使用できる。

備考3 E種管(呼び径75~150)の設計水圧は1.3MPa以下となっており、本表の静水圧0.75MPa以下では全ての条件で使用できる。

備考4 呼び径1100~2600、その他の条件はJWWA G 113-2015、JWWA G 114-2015を参照のこと。

5-2-2 管厚計算

① 内圧によって発生する引張応力

$$\sigma_t = \sigma_{ts} + \sigma_{td} = \frac{(P_s + P_d)d}{2t} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-2-1}$$

$$\sigma_{ts} = \frac{P_s \cdot d}{2t}$$

$$\sigma_{td} = \frac{P_d \cdot d}{2t}$$

- ここに、 σ_t : 内圧によって発生する引張応力
 σ_{ts} : 静水圧によって発生する引張応力
 σ_{td} : 水撃圧によって発生する引張応力
 P_s : 静水圧
 P_d : 水撃圧
 d : 管内径
 t : 正味管厚

② 外圧によって発生する曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_f + M_t}{Z} = \frac{6(M_f + M_t)}{t^2} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-2-2}$$

- ここに、 σ_b : 外圧によって発生する曲げ応力
 M_f : 土かぶりによる土圧によって発生する曲げモーメント
 M_t : 路面荷重により発生する曲げモーメント
 Z : 断面係数 $\left(\frac{b \cdot t^2}{6} \right)$
 b : 管長 (単位長さで考えれば、 $b=1$)

土かぶりによる土圧 W_f は、土かぶりが浅い場合は垂直公式を用いてもよいが、一般には土かぶりが深い場合は実際とよく合致するヤンセン公式を用いる。

土かぶりによる土圧 W_f によって発生する曲げモーメント M_f 、路面荷重により発生する曲げモーメント M_t は、次の式による。

$$M_f = K_f \cdot W_f \cdot R^2 \dots\dots\dots \text{式5-2-2-3}$$

$$M_t = K_t \cdot W_t \cdot R^2 \dots\dots\dots \text{式5-2-2-4}$$

従って、単位長さ当たりの曲げ応力は、式5-2-2-5で表される。

$$\sigma_b = \frac{6(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t)R^2}{t^2} \dots\dots\dots \text{式5-2-2-5}$$

管厚計算に当たっては、管頂および管底の両方について計算し、いずれか大きい方を採用する。

ここに、 W_f : 土かぶりによる土圧 (「5-2-6 土かぶりによる土圧」参照)

W_t : 路面荷重による土圧 (「5-2-7 路面荷重による土圧」参照)

K_f : 土かぶりによる曲げモーメント係数

K_t : 路面荷重による曲げモーメント係数

R : 管半径

3 合成応力

合成応力を求めるためには、曲げ応力 σ_b を引張応力に換算するために0.7を乗じる。この合成応力が許容応力 σ_z を満足する必要がある。

$$\sigma_t + 0.7 \sigma_b = \sigma_z \dots\dots\dots \text{式5-2-2-6}$$

4 管厚計算式

$$\sigma_t = \sigma_{ts} + \sigma_{td}$$

さらに、 静水圧に対する安全率	2.5
水撃圧に対する安全率	2.0
土かぶりによる土圧に対する安全率	2.0
路面荷重による土圧安全率	2.0
管材の引張強さ	S

とすると、

$$2.5 \sigma_{ts} + 2.0 \sigma_{td} + 1.4 \sigma_b = S \dots\dots\dots \text{式5-2-2-7}$$

従って、

$$2.5 \frac{P_s \cdot d}{2t} + 2.0 \frac{P_d \cdot d}{2t} + 1.4 \frac{6(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t)R^2}{t^2} = S \dots\dots\dots \text{式5-2-2-8}$$

ここで、 $R = \frac{D_m}{2}$ とおくと、

$$S \cdot t^2 - (1.25P_s + P_d) d \cdot t - 2.1 (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) D_m^2 = 0 \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-2-9}$$

ここに、 D_m : 管厚中心直径

ここで、 $D_m \doteq D$ (呼び径) とおいて、 t について解くと式5-2-2-10になる。

$$t = \frac{(1.25P_s + P_d) + \sqrt{(1.25P_s + P_d)^2 + 8.4 (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) S}}{2S} D \quad \dots \text{式5-2-2-10}$$

となる。

ここに、 t : 正味管厚 (mm)

P_s : 静水圧 (MPa)

P_d : 水撃圧 (MPa)

K_f : 土かぶりによる曲げモーメント係数

K_t : 路面荷重による曲げモーメント係数

W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

W_t : 路面荷重による土圧 (kN/m²)

S : 管材の引張強さ (= 420N/mm²)

D : 管の呼び径 (mm)

式5-2-2-10で計算した管厚は正味管厚であるので、これに腐食に対する余裕2mmを加算し、これらに対して鑄造上の余裕10%または1mmを加算すると計算管厚は、式5-2-2-11により求められる。

$$\begin{aligned} t+2 \geq 10\text{mm} \text{ の場合} \quad T_1 &= (t+2) \times 1.1 \\ t+2 < 10\text{mm} \text{ の場合} \quad T_1 &= (t+2) + 1 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-2-11}$$

ここに、 t : 式5-2-2-10より求めた正味管厚 (mm)

T_1 : 式5-2-2-11より求めた計算管厚 (mm)

計算管厚 T_1 より、規格管厚 T を選定する。

● 図表5-2-2-1 管底支持角により定まる係数 K_f

位置	管底支持角 (2θ)					
	0°	40°	60°	90°	120°	180°
管頂	145×10^{-6}	140×10^{-6}	132×10^{-6}	121×10^{-6}	108×10^{-6}	96×10^{-6}
管底	433×10^{-6}	281×10^{-6}	223×10^{-6}	160×10^{-6}	122×10^{-6}	96×10^{-6}

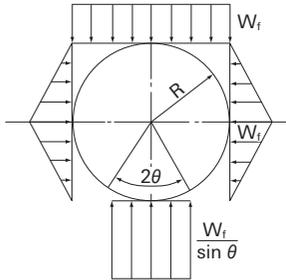
● 図表5-2-2-2 路面荷重により定まる係数 K_t

項目	K_t
管頂	76×10^{-6}
管底	11×10^{-6}

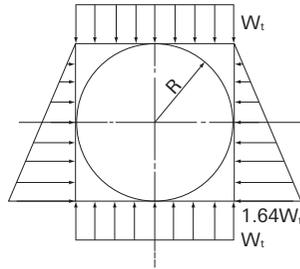
●図表5-2-2-3 土圧分布

土かぶりによる土圧

路面荷重による土圧



2θ : 管底支持角



5-2-3 たわみ量の計算

土かぶりと路面荷重による土圧による垂直たわみ量の計算式を以下に示す。

① 土かぶりによる土圧による垂直たわみ量

$$\delta_f = k_f \frac{W_f \cdot R^4}{E \cdot I} \dots\dots\dots \text{式5-2-3-1}$$

ここに、 k_f : 土かぶりによる土圧によるたわみ係数

δ_f : 土かぶりによる土圧による垂直たわみ量(mm)

W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

R : 管半径 (mm)

E : ダクタイル鉄管の弾性係数 (= 1.6 × 10⁵N/mm²)

I : 断面2次モーメント (mm⁴)

$$I = \frac{t_2^3}{12} \quad (\text{単位長さで考えた場合})$$

t_2 : たわみ計算管厚 (mm)

t_2 は規格管厚 T より铸造上の余裕(10%または1mm)を差し引いた管厚である。

$$T - 1 \geq 10\text{mm} \text{ の場合 } t_2 = T / 1.1 \dots\dots\dots \text{式5-2-3-2}$$

$$T - 1 < 10\text{mm} \text{ の場合 } t_2 = T - 1$$

● 図表5-2-3-1 管底支持角により定まる係数 k_t

管底支持角(2θ)					
0°	40°	60°	90°	120°	180°
122×10^6	111×10^6	100×10^6	84×10^6	70×10^6	58×10^6

② 路面荷重による土圧による垂直たわみ量

$$\delta_t = k_t \frac{W_t \cdot R^4}{E \cdot I} \dots\dots\dots \text{式5-2-3-3}$$

ここに、 δ_t : 路面荷重による土圧による垂直たわみ量(mm)

W_t : 路面荷重による土圧(kN/m²)

k_t : 路面荷重による土圧によるたわみ係数(= 30×10^{-6})

③ 合計たわみ量

$$\delta = \delta_f + \delta_t \dots\dots\dots \text{式5-2-3-4}$$

ここに、 δ : 合計たわみ量(mm)

④ たわみ率

$$\delta_r = \frac{\delta}{D} \times 100 \dots\dots\dots \text{式5-2-3-5}$$

ここに、 δ_r : たわみ率(%)

D : 呼び径(mm)

設計たわみ率 δ_r は、モルタルライニングのクラック発生などを考慮して一般に3%以下とする。

⑤ 実測値との比較

たわみ量の実測値と計算値との比較を図表5-2-3-2に示す(実験状況は図表5-2-6-4を参照)。

● 図表5-2-3-2 たわみ量の実測値と計算値との比較

呼び径	管厚(mm)	基礎	土かぶり(m)	突固め	管底支持角(2θ)	実測値(mm)	計算値(mm)
1350	17.5	平底溝	2	なし	0	14.93	14.7
				あり	60	11.17	11.3

Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

6 たわみ量と管底支持角

東京都の呼び径1600および名古屋市の呼び径1800のダクタイル鉄管管路のたわみ量実測値から管底支持角を推定した。90°基礎の場合は120°～180°、平底溝の場合は60°以上、平底溝で突き固めた場合はほぼ120°の管底支持角が得られる。

●図表5-2-3-3 たわみ量の実測値と管底支持角

呼び径	管厚 ^{注1} (mm)	土質	基礎	土 かぶり (m)	突 固め	たわみ 量実 測値 (mm)	たわみ量計算値(mm)				
							管底支持角(2θ)				
							0°	60°	90°	120°	180°
1600	25.0 (15)	関東 ローム	90°	2.2	なし	3.0	6.5	5.3	4.5	3.7	3.1
				3.2	なし	3.7	8.4	6.9	5.8	4.8	4.0
				3.4	なし	4.8	8.7	7.2	6.0	5.0	4.2
		シルト	平底溝	2.1	なし	4.6	6.3	5.1	4.3	3.6	2.9
1800	22.5 (12)	粘土	平底溝	2.5	あり	10.4	17.7	15.5	—	10.2	8.4
				4.0	あり	14.9	26.1	21.4	—	15.0	12.4
1650	22.5 (12)	シルト	平底溝 管頂ま で砂を 置換え	2.1	なし	5.3	10.4	8.6	7.2	6.0	5.0
				3.2	なし	9.1	15.0	12.3	10.3	8.6	7.1
2200	28.0 (15)	シルト	平底溝 管底突 固め	2.0	なし	10.5	18.3	15.0	12.6	10.5	8.7
				3.6	なし	16.4	28.4	23.3	19.6	16.3	13.5

注1 ()内はライニング厚。

5-2-4 構造計算

管の構造計算には応力計算管厚、たわみ計算管厚を用いる。

① 応力に対する検証

応力計算管厚 t_1 は規格管厚 T から铸造上の余裕および腐食に対する余裕を引いたものとする。

$$\begin{aligned}
 T-1 \geq 10\text{mm} \text{ の場合} \quad t_1 &= T / 1.1 - 2 \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-4-1} \\
 T-1 < 10\text{mm} \text{ の場合} \quad t_1 &= T - 1 - 2
 \end{aligned}$$

ここに、 T : 規格管厚 (mm)

t_1 : 応力計算管厚 (mm)

応力計算管厚 t_1 を用いて、式5-2-4-2～4より合成応力を求めて、管材の引張強さと比較して応力に対する安全性を検証する。

$$\sigma_z = 2.5\sigma_{ts} + 2.0\sigma_{td} + 1.4\sigma_b < S \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-4-2}$$

ここに、 σ_{ts} : 静水圧によって発生する引張応力 (N/mm²)

σ_{td} : 水撃圧によって発生する引張応力 (N/mm²)

σ_b : 外圧によって発生する曲げ応力 (N/mm²)

S : 管材の引張強さ (= 420N/mm²)

② たわみ量に対する検証

たわみ計算管厚 t_2 は規格管厚 T から鑄造上の余裕を引いたものとする。

$$T \geq 10\text{mm} \text{ の場合 } t_2 = T / 1.1 \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-4-3}$$

$$T < 10\text{mm} \text{ の場合 } t_2 = T - 1$$

たわみ量計算管厚 t_2 を用いて、式5-2-3-1～4より合計たわみ量よりたわみ率 δ_r を求める。設計たわみ率3%と比較してたわみ率に対する安全性を検証する。

$$\delta_r = \frac{\delta}{D} \times 100 \leq 3\% \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-4-4}$$

ここに、 δ_r : たわみ率

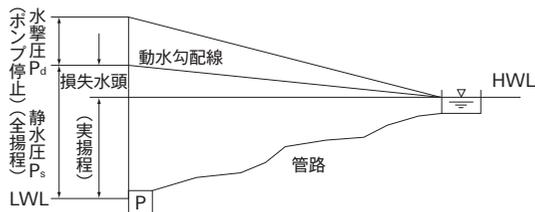
δ : 合計たわみ量 (mm)

D : 呼び径 (mm)

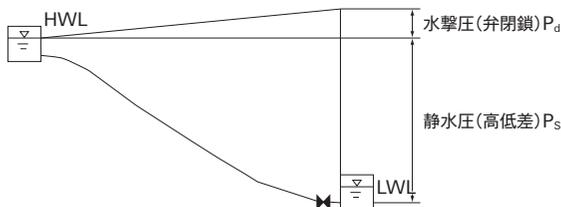
5-2-5 静水圧 (最大使用圧力) と水撃圧

ポンプ加圧式の場合の静水圧と水撃圧について以下に示す。

● 図表5-2-5-1 ポンプ加圧式の場合の静水圧と水撃圧



●図表5-2-5-2 自然流下式の場合の静水圧と水撃圧



●図表5-2-5-3 静水圧と水撃圧の基準

項目	基準
静水圧 P_s	ポンプ加圧式の場合は全揚程の水圧とする
	自然流下の場合はHWLとLWLの高低差 配水管から給水管に分岐する箇所での配水管の最大静水圧が740kPa (0.74MPa) ^{注1} を超えないこと
水撃圧 P_d	ダクタイル鉄管 450～550kPa (0.45～0.55 MPa) ^{注2}
	硬質塩化ビニル管 250kPa (0.25MPa) ^{注2}

注1 「水道施設の技術的基準を定める省令」より

注2 値は「水道施設設計指針 2012」(日本水道協会)より

5-2-6 土かぶりによる土圧

1 土圧の計算式

土かぶりによる土圧の計算式としては図表5-2-6-1に示すようにヤンセン公式が実測値とよく合致する。ただし、土かぶりが2m以下の場合は、垂直公式でも大差なく、計算も簡単であるので垂直公式がよく使用されている。土かぶりが2mを超える場合は、土かぶり2m時の垂直公式の値とヤンセン公式で求めた値の大きい方を採用する。土留めに矢板を使用する場合は垂直公式を用いる。

① 垂直公式

$$W_f = \gamma \cdot H \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-6-1}$$

ここに、 W_f : 垂直土圧 (kN/m²)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

H : 土かぶり (m)

② ヤンセン公式

$$W_f = \frac{\gamma}{2K \cdot \tan \phi} \left(1 - e^{-2K \cdot \tan \phi \cdot \frac{H}{B}} \right) \cdot B \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-6-2}$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-6-3}$$

ここに、 W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m^2)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

K : ランキン (Rankine) 係数

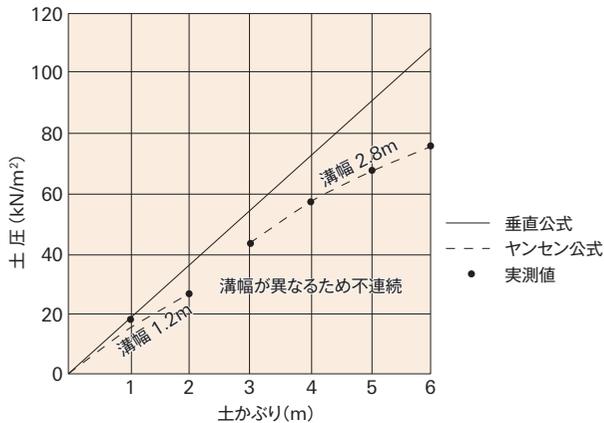
ϕ : 土の内部摩擦角 ($^\circ$)

H : 土かぶり (m)

B : 溝幅 (m)

e : 自然対数の底

●図表5-2-6-1 土かぶり6mの実験における実測値と計算値



備考 ダクタイル鉄管呼び径700を土かぶり4mの溝に布設。

土かぶり2mに達したときに矢板を引き抜き、溝幅を1.2mから2.8mに拡大し、地上2mまで盛土を行った。

2 土の単位体積重量と内部摩擦角

式5-2-6-1～3における土の単位体積重量 γ と土の内部摩擦角 ϕ の例を以下に示す。

●図表5-2-6-2 土の単位体積重量と内部摩擦角

土質	単位体積重量 γ (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)
土砂(乾燥したもの)	14	35~40
土砂(自然の湿り)	16	45
土砂(充分湿ったもの)	18	27
粘土質土砂(乾燥したもの)	15	40~46
粘土質土砂(湿ったもの)	19	20~25
粘土(乾燥したもの)	16	40~50
粘土(湿ったもの)	20	20~25
砂(乾燥したもの)	15.8~16.5	30~35
砂(自然の湿り)	18	40
砂(充分湿ったもの)	20	25
砂利(乾燥したもの)	18~18.5	35~40
砂利(濡れたもの)	18.6	25
玉石(角立ったもの)	18	45
玉石(丸みのもの)	18	30

東京工学研究会編『設計施工土木工学公式便覧』(鉄道図書局)より

土かぶり1m、溝幅1m、土の単位体積重量18kN/m³などの条件で土かぶりが浅い場合は、内部摩擦角は土かぶりによる土圧には大きく影響しない。

●図表5-2-6-3 内部摩擦角と土圧の関係

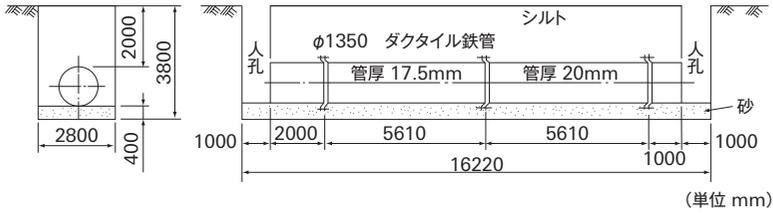
内部摩擦角 ϕ (°)	土かぶりによる土圧 Wf (kN/m ²)
10	15.4
20	15.1
30	15.0
40	15.1
50	15.4

3 埋戻しによる管体発生応力

埋戻土によって、管体各部にそれぞれ異なる応力を発生するが、最大応力は管中央円周方向に生じる。円周方向応力と管軸方向応力を比較すると前者が大きく、また、円周方向応力の中では管中央部かんそくが大きい。中でも、管底が最大である。管側

の土を埋め戻すときに突き固めた場合と突き固めない場合では、突き固めない場合の方が大きい。埋設実験の状況と実験結果を示す。

● 図表5-2-6-4 埋設実験状況

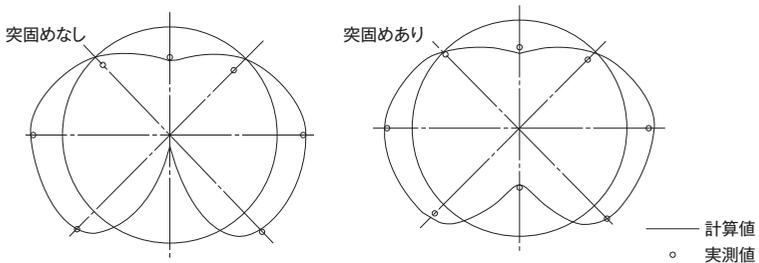


● 図表5-2-6-5 管中央部発生応力および曲げモーメント（呼び径1350、管厚17.5mm）

測定箇所	突固めなし		突固めあり	
	応力 (N/mm ²)	曲げモーメント (kN・m)	応力 (N/mm ²)	曲げモーメント (kN・m)
上部	42.4	2.17	37.4	1.91
斜右上部	19.3	0.99	15.7	0.80
右側部	38.0	1.94	30.7	1.57
斜右下部	33.3	1.71	26.1	1.33
下部	137.3	7.01	69.3	3.54
斜左下部	35.1	1.79	15.6	0.79
左側部	35.0	1.78	35.2	1.80
斜左上部	17.3	0.89	7.0	0.35

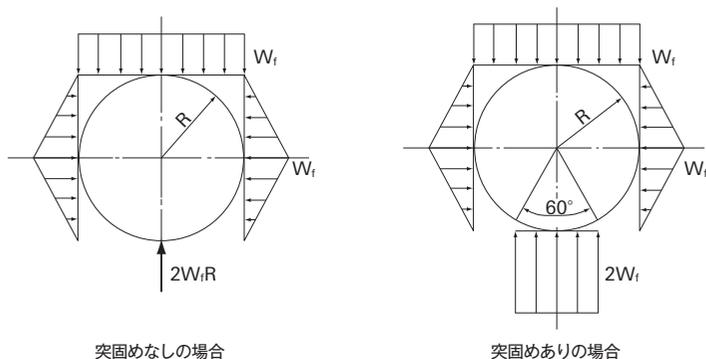
図表5-2-6-5を線図化したものが、図表5-2-6-6であるが、計算値と実測値が合致しているのがよく分かる。

● 図表5-2-6-6 埋戻土による曲げモーメント線図（呼び径1350、管厚17.5mm、土かぶり2m）



図表5-2-6-7は計算値に用いた土圧分布であるが、突固めなしの場合には、点支持に近いことが分かる。

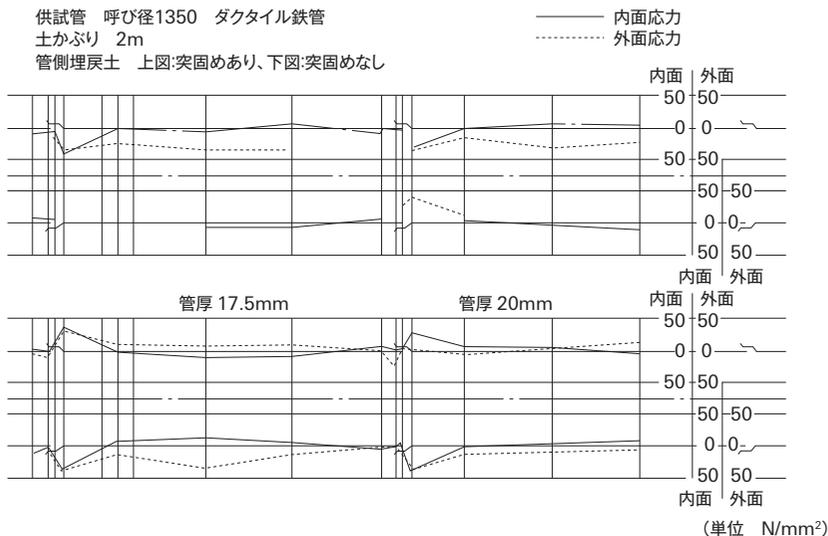
●図表5-2-6-7 計算値に用いた埋戻土による土圧分布



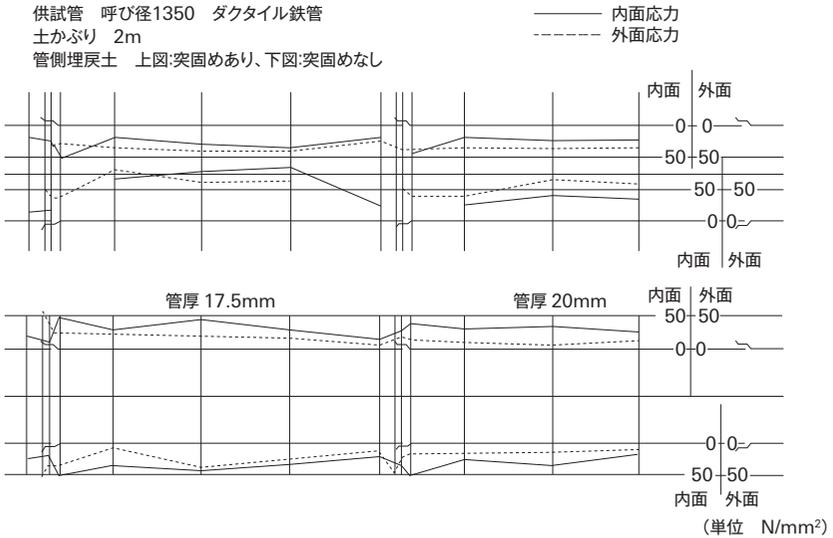
管軸方向応力(図表5-2-6-8)と円周方向応力(図表5-2-6-9)を比較すると管軸方向応力の発生が小さいことが分かる。また円周方向応力は管中央部の発生応力が大きいことが分かる。

管軸方向に見た管軸方向応力と円周方向応力のグラフを以下に示す。

●図表5-2-6-8 管軸方向応力



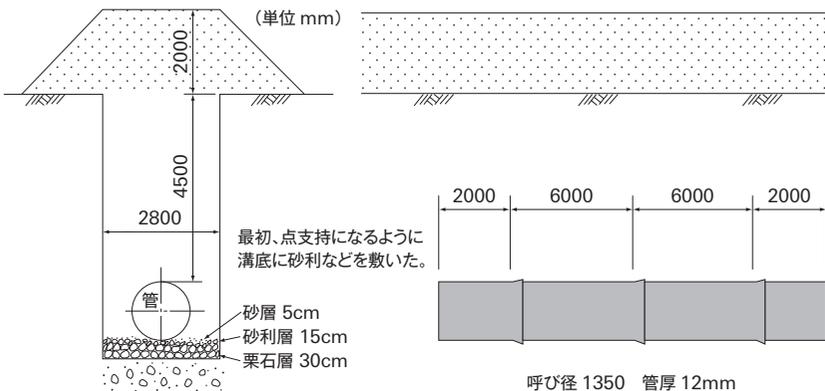
● 図表5-2-6-9 円周方向応力



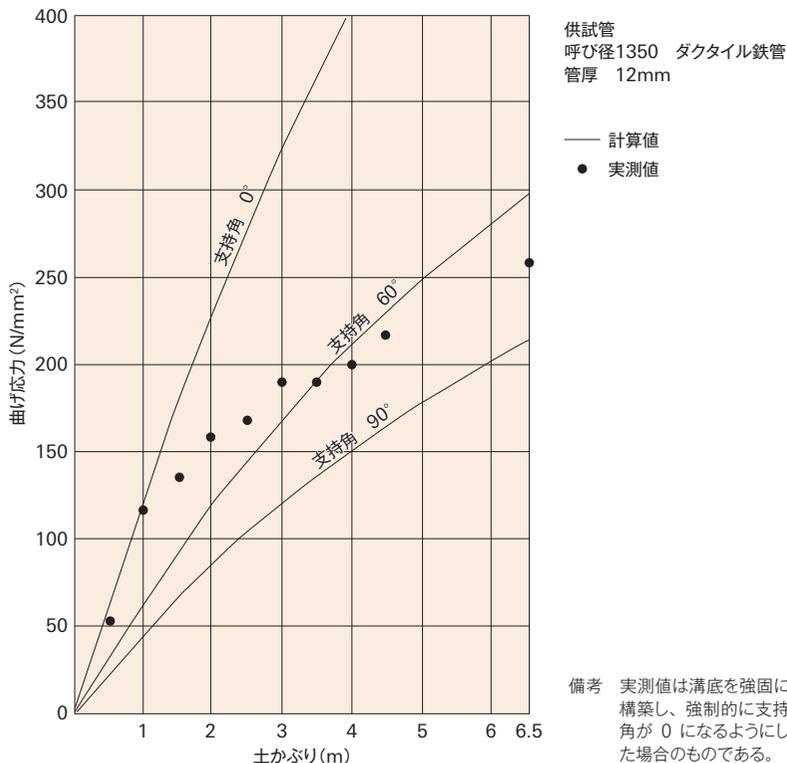
4 土かぶりが深い場合の管体発生応力

最初、点支持になるように溝底に砂層、砂利層、栗石層を形成し、硬いものとした。最大応力は管底に発生し、土かぶりが深くなると管体発生応力は大きくなるが、管の変形により管底支持角が増加し、土かぶり4mでは、管底支持角60°を上回った。

● 図表5-2-6-10 土かぶりが深い場合の管底支持角の確認実験状況 呼び径1350



●図表5-2-6-11 土かぶりが高い場合の管底支持角の変化



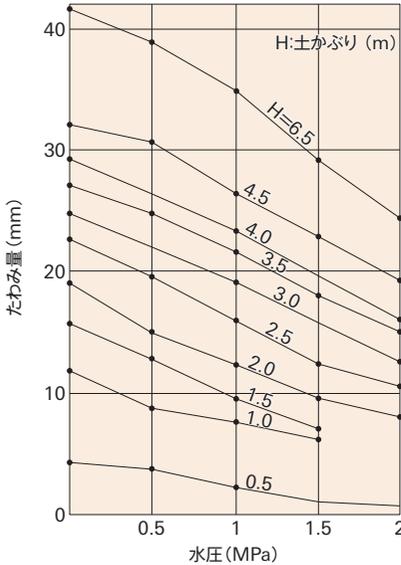
5 埋戻しと水圧負荷による管体発生応力

管を埋設して土かぶりによる土圧がかかると、管の垂直方向の径が減少して管体に曲げ応力が発生する。そこに水圧が内面から働いた場合には、管を真円に戻そうとする力が働き、図表5-2-6-12のように管のたわみ量が復元し、曲げ応力は緩和されるが、水圧による引張応力は増加する。図表5-2-6-13にその実験の結果を示す。

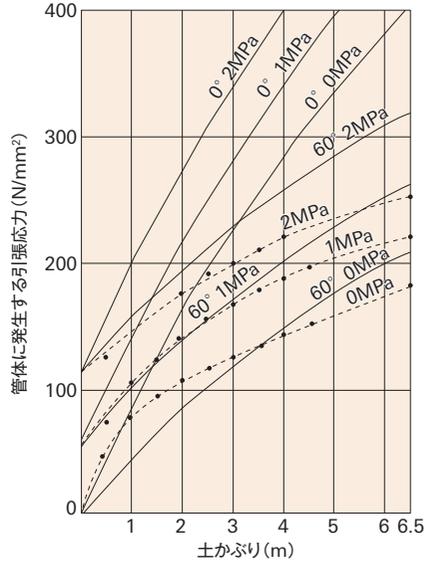
実測値水圧1MPa、2MPaのグラフから管底支持角60°の計算値よりも発生応力が小さいことが分かる。

実験は溝底を強固にし、管底支持角が最初は0°であったが、次第に増加し、最終的には管底支持角60°の計算値よりも下回ったので、計算上の管底支持角を60°としてもよいことを示唆している。

● 図表5-2-6-12 水圧負荷によるたわみ量の復元 (実測値) (呼び径1350、管厚12mm)



● 図表5-2-6-13 土圧と水圧負荷による管体発生応力 (呼び径1350、管厚12mm)



●--- 実測値 ——— 計算値
備考 数値は管底支持角(°)と水圧(MPa)を示す。

5-2-7 路面荷重による土圧

1 土圧の計算式

トラックの車輪などの集中荷重が地表面に作用し、埋設管に荷重が伝達されるような場合は、下記のブーシネスク式を用いる。

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{H_s^5} P \\
 &= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{(H^2 + r^2)^{5/2}} P \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-1} \\
 &= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{(H^2 + X^2 + Z^2)^{5/2}} P
 \end{aligned}$$

ここに、 p : 地下の任意のA'点における垂直圧力(kN/m²)

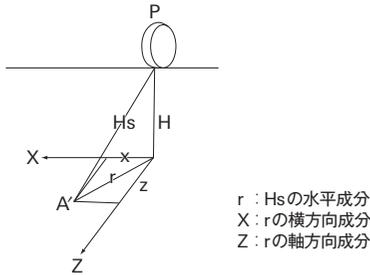
P : 集中荷重(kN)

Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

H : A' 点の地表面下の深さ (m)

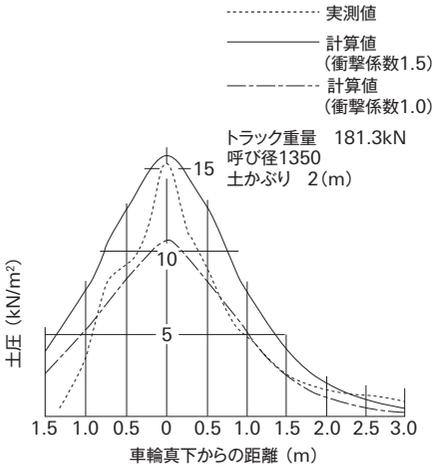
Hs : Pの作用点から A' 点までの傾斜した距離 (m)

●図表5-2-7-1 集中荷重(路面荷重)Pの成分

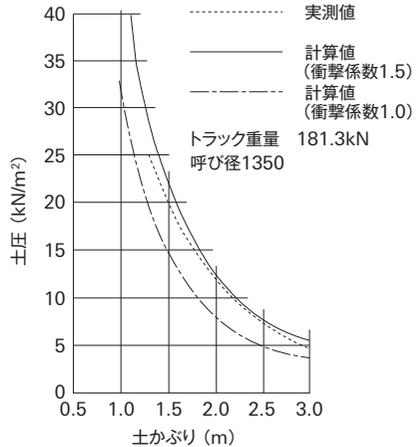


埋設実験での実測値とブーシネスク式による計算値を図表5-2-7-2、3に示す。車輪直下の土圧は、衝撃係数を1.5とした場合に計算値とよく合っている。

●図表5-2-7-2 管頂線上の土圧分布



●図表5-2-7-3 各土かぶりにおける車輪直下の土圧



ブーシネスク式で

$$\frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{(H^2 + X^2 + Z^2)^{5/2}} = \phi \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-2}$$

とおくと、 $p = \phi \cdot P$

ただし、この式によって求まるのは地下の任意の一点における圧力である。そのため管に作用する全体の荷重を求めるには、管上のpを積算しなければならない。

厳密には積分して求めねばならないが、非常に複雑であるため管をいくつかの正

方形で区分し、その中央に作用する圧力 $p \times$ 正方形面積を正方形全体にかかる荷重とし、正方形にかかる荷重を全部加え合わせて全体にかかる荷重とする方法をとる。

以上より、路面荷重による土圧は、次式により求める。

$$W_t = 1.5a \cdot P \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-3}$$

$$P = \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{2} U \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-4}$$

$$a = \frac{\Sigma(\phi \cdot a)}{\Sigma a} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-5}$$

ここに、 W_t : 路面荷重による土圧 (kN/m²)

P : トラック1後輪荷重 (kN)

U : トラック重量 (kN)

1.5 : 衝撃係数

a : 呼び径、土かぶりにより定まる係数 (m⁻²)

a : 正方形面積 (m²)

一般に、 a を求めるのに図表5-2-7-4のような線図を利用すれば便利であるが、次式によって求めることもできる。

$$F(A, B, H) = 0.25 - \frac{1}{2\pi} \left\{ \sin^{-1} \left(H \sqrt{\frac{A^2 + B^2 + H^2}{(A^2 + H^2)(B^2 + H^2)}} \right) - \frac{A \cdot B \cdot H}{\sqrt{A^2 + B^2 + H^2}} \left(\frac{1}{A^2 + H^2} + \frac{1}{B^2 + H^2} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-6}$$

[トラック2台の場合]

$$S_h = F(3.3, B, H) + F(1.5, B, H) + F(0.5, B, H) - F(1.3, B, H)$$

$$a = \frac{4S_h}{2D} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-7}$$

[トラック1台の場合]

$$S_h = F(0.1, B, H) + F(1.9, B, H)$$

$$a = \frac{4S_h}{2D} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-8}$$

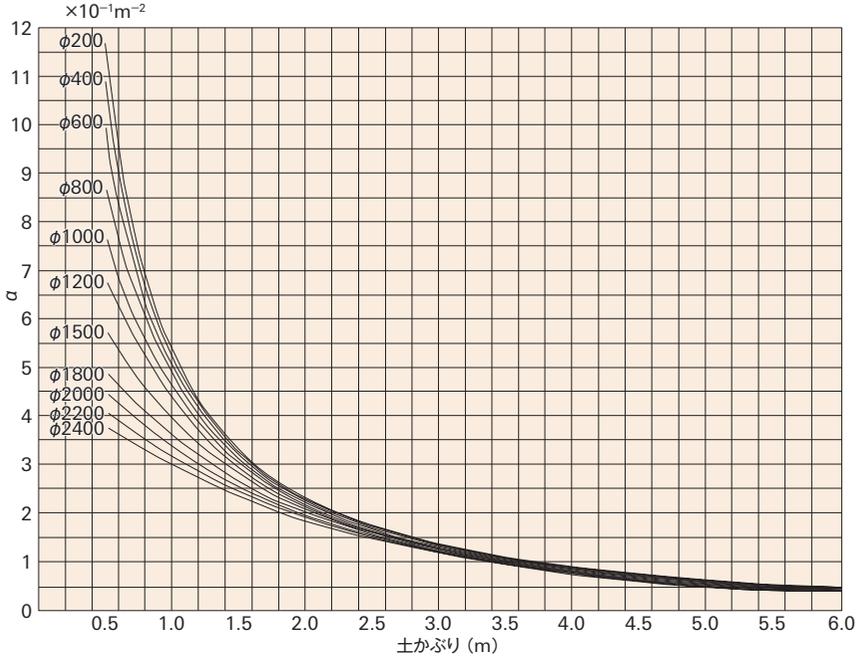
ここに、 D : 呼び径 (m)

H : 土かぶり (m)

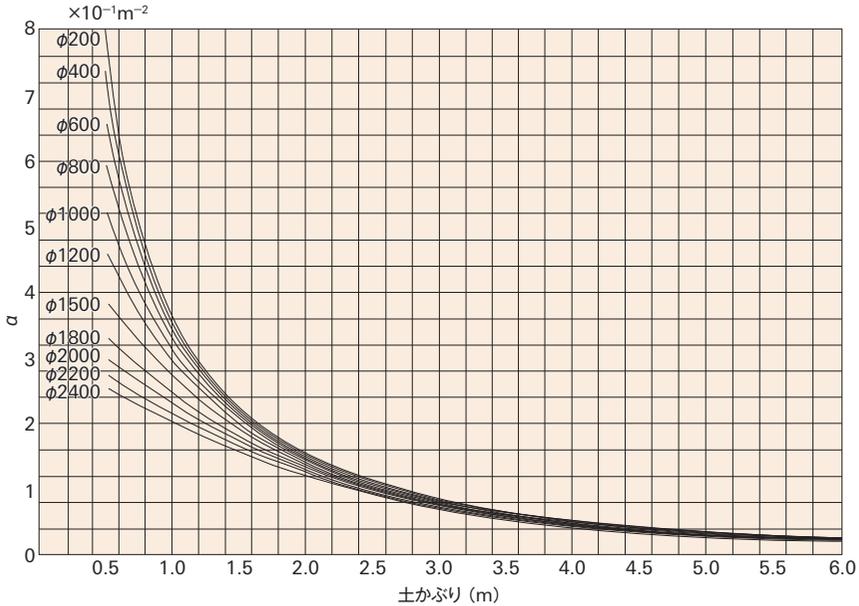
A : 管軸方向長さ (m)

B : $D/2$ (m)

●図表5-2-7-4 トラック荷重による土圧計算のための係数 α の線図(トラック2台の場合)



●図表5-2-7-5 トラック荷重による土圧計算のための係数 α の線図(トラック1台の場合)



2 路面荷重による管体発生応力

① 呼び径1350、土かぶり2mの場合

平底溝に呼び径1350(管厚17.5mm)のダクティル鉄管を土かぶり2mで埋設しトラックを通過させて管体の発生応力を測定した。

●図表5-2-7-6 トラック荷重の実測条件

突固め	トラック荷重 (kN)
なし	181
あり	167

トラック通過に伴う管体発生応力は、トラックの位置により大きく異なり、場合によっては引張と圧縮が逆になることもある。トラックが通過する間に生じた最大応力を下記に示す。

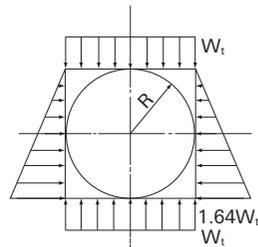
●図表5-2-7-7 トラック通過による管中央部最大応力

(単位: N/mm²)

測定位置	突固めなし	突固めあり
上	3.43	3.14
斜め上	1.76	1.86
横	2.94	2.74
斜め下	0.59	0.39
下	0.49	0.29

- ・ トラック通過による管体発生応力は小さい(埋戻土による発生応力は最大140N/mm²)。
- ・ 最大発生応力は管頂に生じる。従って埋戻土によるものとトラックによるものと同時に作用しても最大応力の上昇はほとんどない。
- ・ 突固めによる発生応力の差異はほとんどない(埋戻土による発生応力は突固めの有無により約2倍の違いがあった)。
- ・ 図表5-2-7-8に示す土圧分布が実際とよく合うことが分かった。

●図表5-2-7-8 トラック通過時の土圧分布



●図表5-2-7-9 トラック通過により管中央部に発生する曲げモーメント (単位: kN・m)

測定位置	実測値	計算値
上	0.39	0.36
斜め上	0.13	0.11
横	0.18	0.20
斜め下	0.14	0.11
下	0.03	0.05

② 呼び径300、土かぶり0.6mの場合

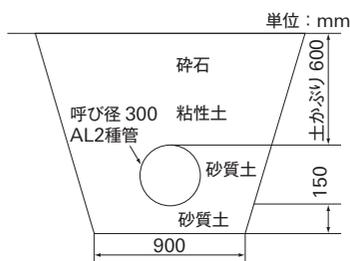
1) 目的

浅層埋設など厳しい埋設条件でも、トラック荷重に対して管体強度に問題がないことを確認する。

2) 試験方法

図表5-2-7-10に示す条件で管を埋設した後、T-25トラックを走行させて活荷重を負荷し、管体に生じるひずみを計測した。浅層埋設の実験には、呼び径300で管厚が薄い主に農業用水に使用されているALW形のAL2種管(供試管の管厚は規格公差内最小管厚の2.5mm)を使用した。土かぶりは設計基準の最小0.6mとし、水圧は負荷しない条件で行った。

●図表5-2-7-10 埋設条件



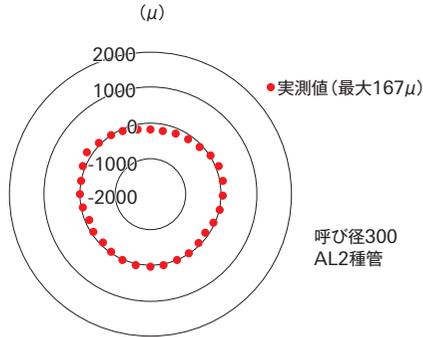
●図表5-2-7-11 試験状況



3) 試験結果

曲げひずみはほとんど発生しておらず、この埋設条件であれば問題ないことが確認された。

● 図表5-2-7-12 管体ひずみ計測結果



3 トラック通過による衝撃の影響

トラックが通過する場合の衝撃による重量増加を測定した。一般には30%あるいは50%増とされているが、実際には土かぶり深さによって異なる。図表2-5-7-13から分かるように土かぶり0.5mでは50%増程度であるが、土かぶり1.5mになると測定位置「上」(管頂部)の実測値は、衝撃係数1.0の計算値よりも小さく、衝撃による割増は必要ないことが分かる。

● 図表5-2-7-13 管体発生応力による衝撃係数の検証

(単位: N/mm²)

測定位置	土かぶり0.5m			土かぶり1.0m			土かぶり1.5m		
	実測値	計算値		実測値	計算値		実測値	計算値	
		衝撃係数			衝撃係数			衝撃係数	
		1.0	1.5		1.0	1.5		1.0	1.5
上	64.6	44.8	66.4	16.4	12.9	19.3	7.2	9.3	13.9
斜め上	19.5	14.6	21.9	14.8	4.7	6.4	0.7	3.0	4.6
横	20.2	26.3	39.3	12.4	7.6	11.5	6.1	5.8	8.3
斜め下	6.6	14.0	20.9	3.7	4.1	6.1	0.1	2.9	4.4
下	19.2	6.4	9.6	8.7	1.9	2.8	4.5	1.4	2.1

備考 呼び径700(管厚10mm)、平底溝、突固めなし、通過させたトラックの1後輪荷重は以下の通り。

土かぶり (m)	通過させたトラックの1後輪荷重 (kN)
0.5	89.5
1.0	74.4
1.5	66.8

5-2-8 管底支持角

平底溝で埋戻し時に管側の埋戻土を突き固めなくとも、管底あるいは管側に十分土が回るように留意すれば、一般には60°以上の管底支持角が期待できる。また、たとえ初期において管底支持角が0°であっても、土かぶりの増大に従って管底支持角が増し、さらに水圧を負荷すれば曲げ応力は減少するという事実から、一般的な埋設条件下では、管底支持角60°としても安全である。

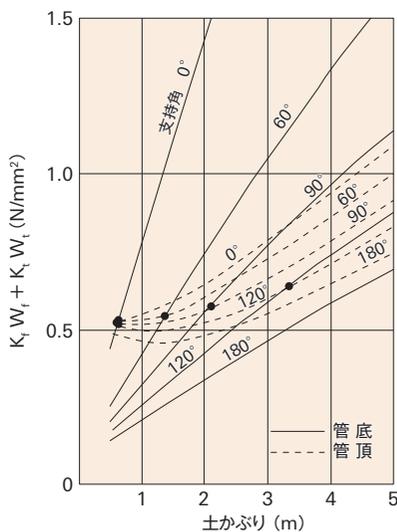
ただし、管底に接する溝底の地盤が特に硬い場合には、管底支持角が多少小さくなることも考えられるので、このような場合は40°程度の管底支持角を見込む方が安全である。従って、管厚計算に当たっては、特例を除き、一般には管底支持角を図表5-2-8-1のように考える。

●図表5-2-8-1 各埋設条件に対する管底支持角

区分	埋設条件	管底支持角
A	一般的な地盤の場合	60°
	溝底が強固な場合で溝底に砂を置く場合	
	溝底が強固な場合で埋戻土を砂で置き換える場合	
B	溝底が強固な場合	40°

同じ管底支持角であれば、土かぶり浅い場合には管頂に、土かぶりが深い場合には管底に最大応力が発生する。管底支持角が60°の場合は、図表5-2-8-2から分かるように、おおよそ土かぶり1.4m程度で最大発生応力の位置が管頂から管底に変わる。

●図表5-2-8-2 管頂、管底選択図



5-2-9 特殊な条件の管厚計算

ダクタイル鉄管は管体の強度が高いため通常の配管では管軸方向の検討は行わないが、小口径において管の一部が固定される場合や下部にコンクリート構造物、他の管路、障害物などが直接当たるような場合には管軸方向の検討が必要である。

$$M_R \geq M \cdot S$$

ここに、 M : 管の管軸方向に作用する曲げモーメント (kN・m)

M_R : 管の管軸方向の抵抗曲げモーメント (kN・m)

S : 安全率 (2.0以上)

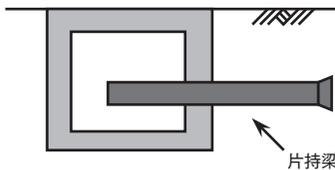
$$M_R = \sigma_b \cdot Z$$

ここに、 σ_b : 管の引張強度 (= $420 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$)

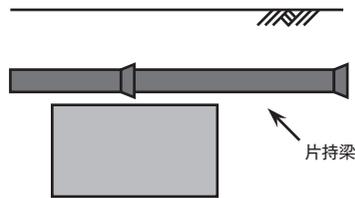
Z : 管の断面係数 (m³)

● 図表5-2-9-1 管軸方向の計算または対策が必要な場合

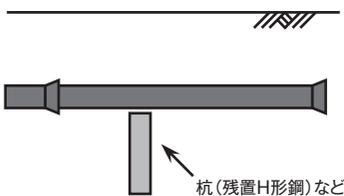
① 構造物で管が固定されている場合



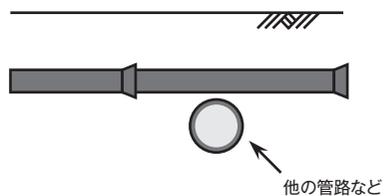
② 構造物が下であり管が載っている場合



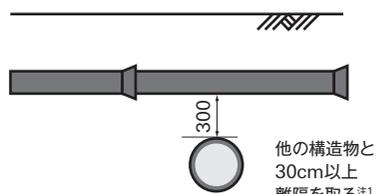
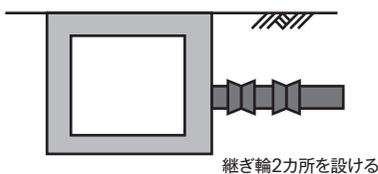
③ 管の下に杭など障害物がある場合



④ 他の管路と交差している場合



● 図表5-2-9-2 対応策の配管事例



注1 『水道施設設計指針2012』(日本水道協会)では距離は30cm以上とされる。

5-3

耐震設計

5-3-1 基本的な考え方

わが国は世界有数の地震発生国であり、都市の巨大化、産業規模の大型化などに伴い、上下水道、工業用水道、農業用水などに使用される管路はライフラインとしての重要性が増している。

2013(平成25)年に策定された厚生労働省の新水道ビジョンにおいても「安全、強靱、持続」のローガンのもと、「基幹管路(導水管、送水管、配水本管など)の耐震化率を100%にする」という施策目標が掲げられている。

上水道においては、ダクタイル鉄管の耐震継手管^{*2}の出荷比率は約93.8%(2016(平成28)年度)に達しており、新設管のほとんどは耐震継手管を布設していることになる。しかし、基幹管路^{*3}の耐震適合率は37.2%(2015(平成27)年度末)であり、更新率も0.74%(2015(平成27)年度)と低い水準になっている。従って、大規模地震や災害発生時にも水を安定供給するためには、既設の上水道の一般継手管を耐震継手管に更新することが急務である。

*2 耐震継手管とは「レベル2地震動において、管路の破損や継手の離脱等の被害が軽微な管」「液状化等による地盤変状に対しても、上記と同等の耐震性能を有する管」と「管路の耐震化に関する検討報告書 平成26年6月」(平成25年度管路の耐震化に関する検討会)で説明されている。

*3 基幹管路は、導水管、送水管および配水本管を指す。配水本管については、「水道施設の技術的基準を定める省令」の「第1条第7号イ(3)」を基本とするが、水道事業の規模、配水区域の広がり、市街地の状況、配水管の口径・流量・配置状況等を勘案して、水道事業者等において適切に定めるものとする。災害拠点病院、避難所などの重要給水施設に供給する管路は、口径を問わず、基幹管路として扱うことが望ましい。

1 耐震継手管路の特徴

大きな伸縮性と屈曲性を備える耐震継手管で構成された管路は、大きな地盤変位に対して、ちょうど埋設された鎖のように各継手部が伸縮・屈曲しながら追従する。また、一つの継手が限界まで抜け出した後も、離脱防止機構によって隣の管を次々と引っ張ることで、離脱せずに管路全体で大きな変位を吸収できる。これを鎖構造

管路という。耐震継手管路については、「2-2 管体・管路」を参照のこと。

耐震継手管路に用いられる接合形式には、GX形、NS形、S形、US形、PN形、UF形、NS形(E種管)、S50形などがある。

2 耐震継手管路の実績

耐震継手管路は布設されて以来40年経過しているが、地震による被害は報告されていない。1995(平成7)年の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)、2011(平成23)年の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)、2016(平成28)年の熊本地震などの巨大地震においても、埋立地、造成地、液状化発生地域に埋設された耐震継手管路に被害はなかった。震度6強以上の1995(平成7)年以降の総布設延長は約2810kmになる。

●図表5-3-1-1 耐震継手管(S形、SⅡ形、NS形)の実績例

地震名	発生日月	最大震度	布設都市	布設延長
兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災) ^{注1}	1995(平成7)年 1月17日	7	神戸市、西宮市、 芦屋市	270km
鳥取県西部地震 ^{注2}	2000(平成12)年 10月6日	6強	米子市、境港市	12km
新潟県中越地震 ^{注3}	2004(平成16)年 10月23日	7	長岡市、十日町市、 柏崎市、山古志地域	20km
能登半島地震 ^{注4}	2007(平成19)年 3月25日	6強	輪島市、穴水町、 七尾市	19km
新潟県中越沖地震 ^{注5}	2007(平成19)年 7月16日	6強	柏崎市、刈羽村、 長岡市	130km
東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) ^{注6}	2011(平成23)年 3月11日	7	仙台市、 東北地域他	1780km
熊本地震 ^{注7}	2016(平成28)年 4月14～16日	7	熊本市、益城町、 三石町	約30km

注1 日本水道協会「1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析」(1996年5月)より

注2 米子市水道局「鳥取県西部地震震災報告書」(2001年3月)より

注3 新潟県中越地震水道現地調査団(厚生労働省健康局水道課)「新潟県中越地震水道被害調査報告書」(2005年2月)より

注4 厚生労働省健康局水道課「平成19年(2007年)能登半島地震水道施設被害等調査報告書」(2007年8月)より

注5 厚生労働省健康局水道課「平成19年(2007年)新潟県中越沖地震水道施設被害等調査報告書」(2008年3月)より

注6 日本水道協会「平成23年(2011年)東日本大震災における管本体と管路付属設備の被害調査報告書」(2012年9月)より

注7 厚生労働省健康局水道課「平成28年(2016年)熊本地震水道施設被害等現地調査団報告書」より

3 「水道施設の技術的基準を定める省令」による規定

水道施設の耐震性能は、「水道施設の技術的基準を定める省令」第一条七で「施

設の重要度に応じて、地震力に対して安全な構造であるとともに、地震により生ずる液状化、側方流動等によって生ずる影響に配慮されたものであること」と定められていたが、2008(平成20)年3月28日号外厚生労働省令第60号〔第五次改正〕(健水発0408001号平成20年4月8日)の改正で、水道施設の重要度(図表5-3-1-2)に応じたレベル1地震動、レベル2地震動(図表5-3-1-3)に対する水道施設の保有すべき耐震性能が定められた(図表5-3-1-4)。

●図表5-3-1-2 水道施設の重要度による分類

重要な水道施設	(1) 取水施設、貯水施設、導水施設、浄水施設、送水施設 (2) 配水施設のうち、重大な二次災害を生じるおそれの高いもの (3) 配水施設のうち、(2)の施設以外の施設であって、次に掲げるもの。配水本管及びこれに接続するポンプ場、配水池等、並びに配水本管を有しない水道における最大の容量の配水池等
それ以外の施設	・ 上記以外の施設 配水支管、末端部の小規模な配水池など

備考1 「破損した場合に重大な二次被害を生ずるおそれが高いもの」とは、破損した場合に住民の財産等に直接重大な損害を及ぼすおそれが高い施設、塩素などの危険物の流出を招き周辺的生活環境等に重大な被害を及ぼすおそれが高い施設等をいう(健水発0408001号)。

備考2 当該水道において最大でない配水池等についても重要度の高い配水池等についてはより高い耐震性能が確保されることが望ましい(健水発0408001号)。

「水道施設の技術的基準を定める省令」より

●図表5-3-1-3 レベル1、レベル2地震動の定義

レベル1地震動	当該施設の設置地点において発生するものと想定される地震動のうち、当該施設の供用期間中に発生する可能性の高いもの
レベル2地震動	当該施設の設置地点において発生するものと想定される地震動のうち、最大規模の強さを有するもの

「水道施設の技術的基準を定める省令」より

●図表5-3-1-4 水道施設の重要度と備えるべき耐震性能基準

水道施設の重要性	対レベル1地震動	対レベル2地震動
重要な水道施設	健全な機能を損なわない	生じる損傷が軽微であって、機能に重大な影響を及ぼさない
それ以外の施設	生じる損傷が軽微であって、機能に重大な影響を及ぼさない	—

備考1 「健全な機能を損なわない」とは、施設の設計能力を損なわないことをいう(健水発0408001号)。

備考2 「機能に重大な影響を及ぼさない」とは、一定の機能低下をきたしたとしても、速やかに施設の機能が回復できる程度の影響に留まることをいう(健水発0408001号)。

備考3 施設全体として備えるべき耐震性能が確保されるよう、構造物と一体をなして施設の機能の維持に深く関わる機械設備、電気設備、計装設備、施設内の配管についても、その耐震性能に配慮すること(健水発0408001号)。

「水道施設の技術的基準を定める省令」より

4 管種・継手ごとの耐震性能の評価

「平成18年度管路の耐震化に関する検討会報告書」において、過去の地震における管路被害実績データ等を踏まえ、「管種・継手ごとの耐震適合性」が検討され評価された。

2011(平成23)年9月の「平成23年(2011年)東日本大震災水道施設被害等現地調査団報告書」を踏まえて、2012(平成24)年に「水道施設設計指針」が改訂された。「7.5.3 管種」に配水管の特徴、「表-7.5.3 管種・継手ごとの耐震適合性」(図表5-3-1-5)が掲載されている。

その後「東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書(平成25年3月)」がまとめられ、東日本大震災の被害状況が明確になり、改めて管路・管種の耐震性能を再評価するために設置された「平成25年度管路の耐震化に関する検討会」の報告書が2014(平成26)年6月に出されたが、管種ごとの耐震性能の評価に変更はなかった。

●図表5-3-1-5 管種・継手ごとの耐震適合性

管種・継手	配水支管が備えるべき耐震性能	基幹管路が備えるべき耐震性能	
	レベル1地震動に対して、個々に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること。	レベル1地震動に対して、原則として無被害であること。	レベル2地震動に対して、個々に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること。
ダクタイル鋳鉄管(NS形継手等)	○	○	○
ダクタイル鋳鉄管(K形継手等)	○	○	注1
ダクタイル鋳鉄管(A形継手等)	○	△	×
鋳鉄管	×	×	×
鋼管(溶接継手)	○	○	○
配水用ポリエチレン管(融着継手) ^{注2}	○	○	注3
水道用ポリエチレン二層管(冷間継手)	○	△	×
硬質塩化ビニル管(RRロング継手) ^{注4}	○	注5	
硬質塩化ビニル管(RR継手)	○	△	×

管種・継手	配水支管が備えるべき耐震性能	基幹管路が備えるべき耐震性能	
	レベル1地震動に対して、個々に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること。	レベル1地震動に対して、原則として無被害であること。	レベル2地震動に対して、個々に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること。
硬質塩化ビニル管(TS継手)	×	×	×
石綿セメント管	×	×	×

注1 ダクタイル鋳鉄管(K形継手等)は、埋立地など悪い地盤において一部被害は見られたが、岩盤・洪積層などにおいて、低い被害率を示していることから良い地盤においては、基幹管路が備えるべきレベル2地震動に対する耐震性能を満たすものと整理することができる。

注2 水道配水用ポリエチレン管(融着継手)の使用期間が短く、被災経験が十分でないことから、十分に耐震性能が検証されるには、なお時間を要すると考えられる。

注3 水道配水用ポリエチレン管(融着継手)は良い地盤におけるレベル2地震(新潟県中越地震)で被害がなかった(フランジ継手部においては被害があった)が、布設延長が十分に長いとはいえないこと、悪い地盤における被災経験がないことから、耐震性能が検証されるには、なお時間を要すると考えられる。

注4 硬質塩化ビニル管(RR ロング継手)は、RR継手よりも継手伸縮性能が優れているが、使用期間が短く、被災経験もほとんどないことから、十分に耐震性能が検証されるには、なお時間を要すると考えられる。

注5 硬質塩化ビニル管(RR ロング継手)の基幹管路が備えるべき耐震性能を判断する被災経験はない。

備考 ○：耐震適合性あり

×：耐震適合性なし

△：被害率が比較的到低いが、明確に耐震適合性ありとし難いもの

厚生労働省「管路の耐震化に関する検討会報告書」(平成19年3月)より

5 『水道施設耐震工法指針・解説 2009』による規定

日本水道協会発行の『水道施設耐震工法指針・解説 2009』の以下の章に詳細な耐震設計法が記述されている。

- ・ 総論 3.2 埋設管路の耐震計算法
- ・ 総論解説編 VII 埋設管路の耐震設計法

●図表5-3-1-6 水道管路の重要度区分

重要度区分	対象となる水道管路
ランクA1	重要な水道管路 ^{注1} のうち、ランクA2以外の管路
ランクA2	重要な水道管路のうち、次の①および②のいずれにも該当する管路 ①代替管路がある管路 ②破損した場合に重大な二次被害を生じる恐れが低い管路
ランクB	A1、A2ランク以外の管路

注1 重要な水道管路とは次のものを指す。

- ・ 導水管路および送水管路
- ・ 配水管路のうち、破損した場合に重大な二次災害を生じる恐れが高いもの
- ・ 配水本管(配水管のうち、給水分岐のないもの)

『水道施設耐震工法指針・解説 2009』(日本水道協会)より(抜粋)

水道管路はその重要度により区分され、その区分により求められる耐震性能が異なる。

耐震計算の応答変位法に用いる地盤ひずみ(管軸方向)は、地盤変位と波長から求められるが、均一地盤内に地震波動が伝播すると想定したときの地盤ひずみである。しかし過去の地震被害から、地盤の不均一性(不整形性)が高い地盤や地盤条件の変化域に管路被害が集中することが明らかになっている。

埋設管路の求められる耐震性能は、レベル1地震動、レベル2地震動により異なり、地震動ごとに求められる耐震性能と照査基準は図表5-3-1-7の通りである。

●図表5-3-1-7 埋設管路の耐震性能と照査基準

項目	耐震性能1 ^{注3}	耐震性能2 ^{注3}
レベル1地震動の耐震性能 ^{注1}	ランクA1、ランクA2	ランクB
レベル2地震動の耐震性能	—	ランクA1、ランクA2
一体構造管路	(原則として弾性域検討) 管体応力 \leq 降伏点応力 管体ひずみ \leq 許容ひずみ	(塑性域検討) 管体ひずみ \leq 許容ひずみ
鎖構造管路 ^{注2}	(管体:弾性域検討) 管体応力 \leq 許容応力 継手部伸縮量 \leq 設計照査用最大伸縮量	(管体:弾性域検討) 管体応力 \leq 許容応力 継手部伸縮量 \leq 設計照査用最大伸縮量

注1 液状化等の地盤変状により地盤ひずみが著しく増大する場合、レベル1地震動に対する埋設管路の耐震性能の照査は、ランクA1、ランクA2であっても耐震性能2を満足することを照査する。

注2 離脱防止機能を有する鎖構造管路は、一つの継手の継手部伸縮量が設計照査用最大伸縮量を超えた場合でも、隣接する管を引張ることで管路全体として地盤変位を吸収できるため、これを照査するものとする。

注3 耐震性能1:地震によって健全な機能を損なわない性能
耐震性能2:地震によって生じる損傷が軽微であって、地震後に必要とする修復が軽微なものにとどまり、機能に重大な影響を及ぼさない性能

備考 埋設管路は漏水発生の有無で耐震性能が規定されるため、保持すべき耐震性能は2までとした。

『水道施設耐震工法指針・解説 2009』(日本水道協会)より

ダクタイル鉄管の耐震設計の詳細については、以下の資料を参照のこと。

- ・『水道施設耐震工法指針・解説 2009』「3.5 水管橋及び水路橋の耐震計算法」(日本水道協会)
- ・『K形継手等を有するダクタイル鋳鉄管の耐震適合地盤判定支援ハンドブック』(水道技術研究センター、2010年)
- ・「地震と管路について JDDPA T05」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ダクタイル管路の耐震設計について」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDDPA T23」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JDDPA T57」(日本ダクタイル鉄管協会)

- ・『下水道施設の耐震対策指針と解説－2014年版－』（日本下水道協会）
- ・「工業用水道施設更新・耐震・アセットマネジメント指針 第3編 耐震対策指針」（経済産業省、2013年）
- ・「土地改良事業設計指針『耐震設計』」（農林水産省、2016年）

5-3-2 耐震設計の留意点と耐震計算

本節では『水道施設耐震工法指針・解説 2009』（日本水道協会）に基づいて耐震設計の留意点と耐震計算の方法をまとめた。

1 基本的な考え方

ダクタイル鉄管の耐震計算は、応答変位法を用いて算定することを原則とし、地震動レベル1とレベル2について、それぞれによる管体応力が耐力（弾性域）以下、および継手部の伸縮量が設計照査用最大伸び量以下となるかで照査する。

- ・耐震性能の照査は、常時荷重と地震の影響とを組み合わせられた状態で行う。常時荷重としては、設計内圧、自動車荷重などの活荷重、温度変化、不同沈下などを考慮する。
- ・ダクタイル鉄管の場合は弾性域の検討とし、管と地盤とのすべりは考慮しない。
- ・水道管路の重要度や特別な地盤条件に応じた設計を行う必要がある場合には、設計地震動に対する耐震性照査を行い、断層横断部、地盤変状部、構造物との接続部など、大きな変位が予想される箇所については管割方法などの変更により十分な耐震性照査を行う。

しかし、水道管路は広い区域を対象として布設されるため、全ての埋設管路の耐震設計において、詳細な地盤調査を行い、地盤の動的解析などを実施することは困難である。

このため、一般的な条件における設計では、過去の被災経験から、規格化された耐震継手管の安全性は実証されているため、全ての新設管路の設計に対して個別に耐震計算を行う必要はない。

2 地質・地形上検討を要する場所

管路は良好な地盤に埋設することが望ましいが、条件によっては良好でない地盤に埋設せざるを得ない場合がある。地盤の状態は地形、層序*4、層厚、各層の強度および地下水位などにより定まる。特に次に示すような地盤は地盤条件が悪いものとされており、注意が必要である。

- ・ 盛土地盤、地すべり、山崩れ、山腹崩壊の生じやすい地盤
- ・ 山稜のりきの法先、法肩のりかた、その他地形の急激に変化する場所
- ・ 傾斜地盤(斜面、坂)
- ・ 土層の変化界、すなわち力学的性質の異なる土層の境界部分
- ・ 軟弱な表層が厚い地盤
- ・ 埋立地、護岸(海、河川)近傍の地盤
- ・ 地震時に液状化および側方流動の可能性がある地盤
- ・ 活断層近傍

*4 地盤の古い地層から上位の新しい地層への重なり方

3 構造上検討を要する場所とその対策

- ・ 構造物、弁室などに固定された管路の取出し部分には、必要に応じて伸縮可とう性を有するものを設ける。
- ・ シールド、共同溝内管路などの立上り部分は相対変位による変形を受けやすいためにコンクリートなどで防護する必要がある。
- ・ 異形管部の一体化長さの両端など継手伸縮量が大きくなる場合は必要に応じて、伸縮量を吸収する対策が必要である。

4 管路における地震対策

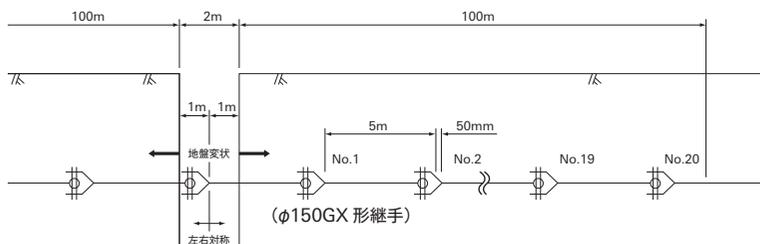
- ・ 管路と他の埋設物が近接している部分(少なくとも30cm以上は隔離を保つ)。
- ・ 呼び径800以上の管路には、震災その他事故時に内部からの点検を可能とするため、適切な位置に人孔を設ける。
- ・ 延長が長い管路の途中には遮断弁を設けるなど、震災その他事故時に影響の最小化を図るための対策が必要である。

- ・ダクタイル鉄管の継手を屈曲させる場合には許容曲げ角度内で曲げて布設する。
- ・配水池の排水管の漏水は二次災害につながるので、耐震継手管を使用する。
- ・通常地震動の管軸方向ひずみは耐震継手で吸収可能であるが、一体化部や構造物との取合部、断層帯などでは必要箇所継ぎ輪(または長尺継ぎ輪)などを用いる。

5 地割れなどに対する変位吸収量

耐震継手管が有する3DkN(D:呼び径)の離脱防止性能は、管と地盤の摩擦力を 1kN/m^2 とすると、100m分の管と地盤の摩擦力に等しい。従って、耐震継手管路は100m分の変位吸収量を有しており、継手部の伸縮量は管長の $\pm 1\%$ であるから管路としての変位吸収量は $\pm 1\text{m}$ になる。地割れなどの場合、片側で1m、両側で2mの変位が吸収できる。

●図表5-3-2-1 管軸方向の地盤変位吸収量



6 管軸直角方向の変位吸収量

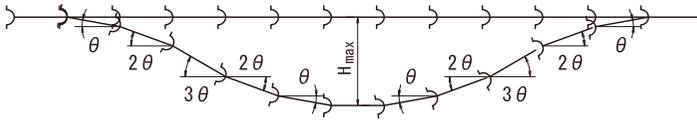
側方流動や地盤沈下などの管軸直角方向の地盤変位が発生した場合の変位吸収量の例を示す。

$$H_{\max} = L_p (\tan \theta + \tan 2\theta + \tan 3\theta + \dots + \tan 3\theta + \tan 2\theta + \tan \theta)$$

ここに、 L_p : 管1本分の長さ

θ : 継手1個当たりの最大屈曲角(°)

●図表5-3-2-2 管軸直角方向の地盤変位吸収量



7 液状化対策

地盤の液状化とは、砂質地盤が地震動の繰返し応力により、急激にその強度と剛性を喪失し、あたかも地盤全体が液体のように振る舞う現象である。液状化の判定を行う必要がある砂質土層は以下の通りである。液状化に対する抵抗率 F_L 値を算出し、この値が1.0以下の土層は液状化の可能性ありとみなすことができる。

$$F_L = \frac{R}{L}$$

ここに、 F_L : 液状化に対する抵抗率

R : 地盤の動的せん断強度比

L : 地震時せん断の応力比

●図表5-3-2-3 液状化の判定を行う必要がある砂質土層

地下水位が現地盤面から10m以浅にあり、かつ現地盤面から25m以内の深さに存在する飽和土層

細粒分含有率 F_C ^{注1}が35%以下の土層、または F_C が35%を超えても塑性指数 I_p ^{注2}が15以下の土層

平均粒径 D_{50} が10mm以下で、かつ10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層

注1 土の乾燥質量に対して金属製網ふるい75 μ m通過分の乾燥質量が占める割合を、百分率で表したものを。

注2 液性限界(土が液状から塑性になる)と塑性限界(土が塑性から半個体になる)の含水比の差で表される。

兵庫県南部地震をはじめ過去の主な地震において、一般継手の管路の被害は地割れや液状化、地盤沈下などの埋設された管路に大きな変位をもたらす地盤変状の発生した場所で多く発生している。

地盤変状の発生した場所では、地盤が大きく変形し脆性^{ぜいせい}状態に達しているため、一般継手の管路では、地盤を弾性状態として考える応答変位法による耐震設計のみでは不十分であり、別途耐震性能の照査が必要である。

耐震継手管路(鎖構造管路)の場合には液状化地盤でも管路機能を保持しており、伸縮・屈曲性がありかつ離脱防止機能がある耐震継手により管路が地盤の動きに追

従している結果である。

地震時において管路の周辺地盤が液状化すると、過剰間隙水圧が発生し、管路底面には過剰間隙水圧による揚圧力が作用して、管路を浮上させる恐れがある。液状化判定の結果、液状化の可能性があると判定された場合には、過剰間隙水圧による揚圧力に対して、十分な抵抗力を有するかを照査する必要がある。

8 側方流動の発生が予想される地域での管路設計

側方流動は液状化した地盤が護岸の移動や傾斜地盤におけるわずかな不均衡力によって生じる現象で、地盤の液体的な振る舞いによって生じるものと考えられている。従って、側方流動による地盤の変位量を高い精度で予測することは極めて難しいが、埋立地などの護岸が大きく移動する可能性がある場合には、地盤引張ひずみは1.2～2.0%、護岸線より100m以上離れた場所では、1.0～1.5%の範囲としてよいが、管路の重要度、復旧の難易度などを基に適切に設定すればよい。側方流動によって生じる地盤の圧縮ひずみは1.0～1.5%の範囲の値とする。

傾斜した液状化地盤の変位は次式による。

$$\delta_G = k \cdot H \cdot \theta$$

ここに、 δ_G : 地盤の水平変位量 (m)

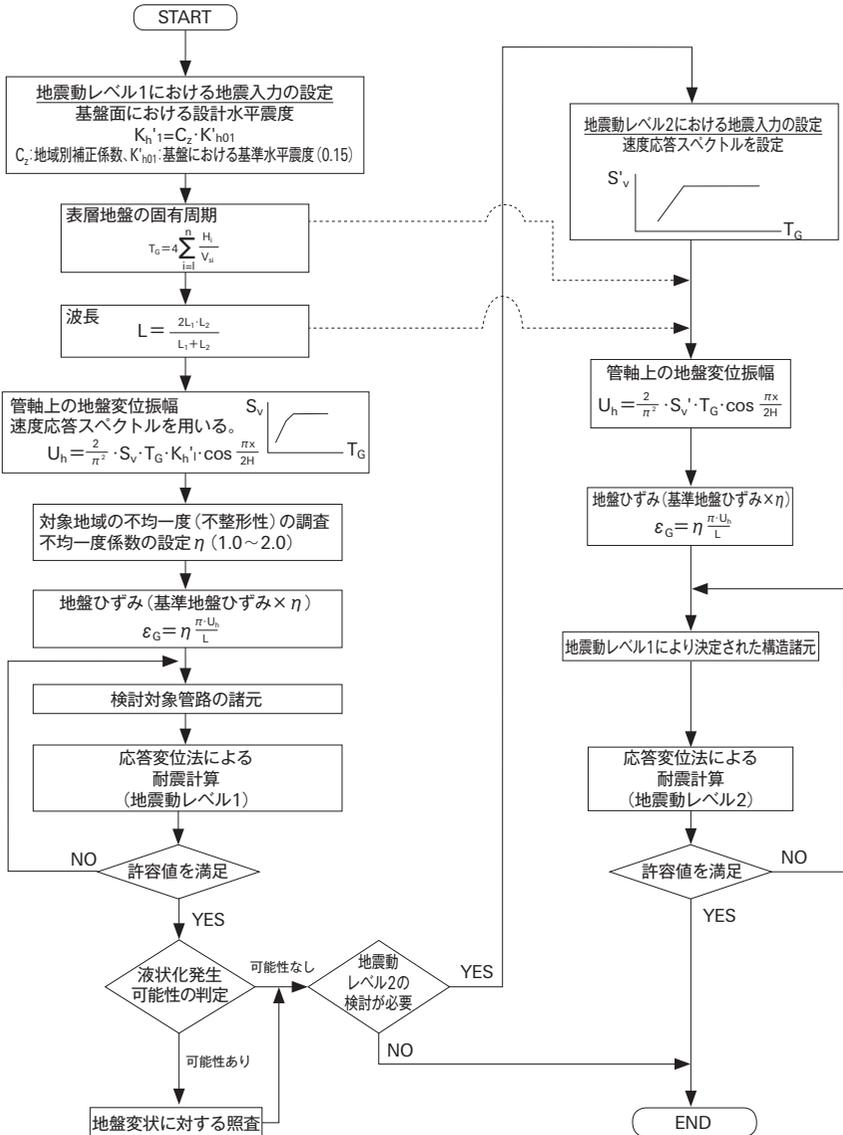
k : 0.77～0.96

H : 液状化層厚の総和 (m)

θ : 地表面の傾き (%)

9 一般埋設部の耐震計算 (応答変位法)

●図表5-3-2-4 埋設管路の耐震計算の手順



NS形呼び径500(S種管)の計算事例を以下に示す。

【計算条件】

管外径	: $D_2=0.528\text{m}$
規格管厚	: $T=0.0085\text{ m}$
計算管厚 ^{注1}	: $t_2=0.0075\text{ m} (=t - 0.001)$
管長	: $l=6\text{m}$
土かぶり	: $h=1.20\text{m}$
土の単位体積重量	: $\gamma_t=17\text{kN/m}^3$
鉛直方向地盤反力係数	: $K_V=10000\text{kN/m}^3$
設計内圧	: $P_i=1.30\text{MPa}=1300\text{kN/m}^2$
自動車荷重	: $P_m=100\text{kN/輪}(T-25)$
温度変化	: $\Delta T=20^\circ\text{C}$
地域別補正係数の地域区分 ^{注2}	: 地域区分 A ($C_z=1.0$)
管路の重要度ランク ^{注3}	: ランク A1
重畳係数 ^{注4}	: 3.12
地盤の不均一度係数 ^{注5}	: $\eta=2.0$ (極めて不均一)

注1 鋳造公差を差し引いたもの。

注2 地域により、0.7、0.8、0.9、1.0とする。

注3 図表5-3-1-6参照(A1、A2、Bの分類がある)。

注4 レベル1地震動の管体ひずみの計算式では、5成分の波が同時に管路に作用したときに最大になり、1成分の3.12倍となる。1.0~3.12の範囲で設定は可能であるが、設計においては最大値の3.12を適用するのが一般的である。レベル2地震動は、実際の観測結果を基に算出しているので、重畳係数は考慮しない。

注5 地盤の不均一度係数 η を以下に示す。

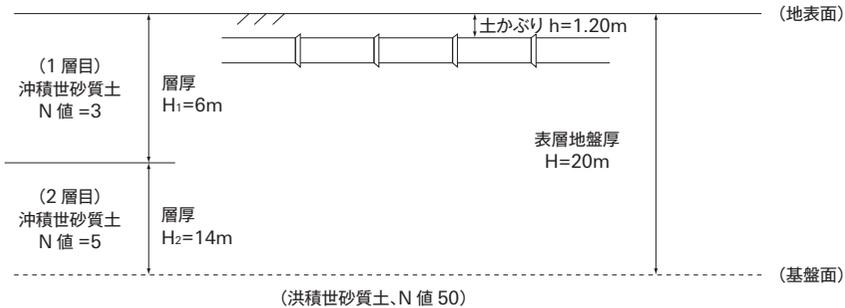
●図表5-3-2-5 地盤の不均一度係数 η

不均一の程度	地盤の不均一度係数 η	地盤条件
均一	1.0	洪積地盤、均一な沖積台地
不均一	1.4	層厚の変化がやや激しい沖積地盤、普通の丘陵宅造地
極めて不均一	2.0	河川流域、おぼれ谷などの非常に不均一な沖積地盤、大規模な切土・盛土の造成地

備考 洪積地盤であっても平坦でない地形の場合には、不均一地盤とみなす。

なお、ダクタイル鉄管の耐震計算は計算ソフトを用いて行うこともできる。

【地盤モデル】



【計算結果】

項目		レベル1	レベル2	
管体応力 (kN/m^2)	常時	設計内圧 ($P_i=1.30\text{MPa}$)	12631	
		自動車荷重 (T-25)	16077	
	地震時		11477	27986 (37960) 注2
	軸方向応力合計		40185	56694 (66668) 注2
	(参考)許容応力		270000	270000
	評価		○	○(○) 注2
継手伸縮量 (mm)	常時	設計内圧 ($P_i=1.30\text{MPa}$)	0.47	
		自動車荷重 (T-25)	0.60	
		温度変化 ($\Delta t=20^\circ\text{C}$)	1.20	
		不同沈下 (20cm)	0.67	
	地震時		6.55 (6.78) 注2	54.99 (55.58) 注2
	伸縮量合計		9.49 (9.72) 注2	57.93 (59.52) 注2
	(参考)設計照査用最大伸び量 注1,3		60	60
	評価		○(○) 注2	○(○) 注2
継手屈曲角度 ($^\circ$)	地震時		$0^\circ 2' 18$	$0^\circ 19' 11$
	(参考)地震時の最大屈曲角度		$7^\circ 0'$	$7^\circ 0'$
	評価		○	○

注1 継手を許容屈曲角度まで曲げて配管した場合の継手の伸出し量を示す。

注2 ()内は簡便計算式で求めた場合を示す。

注3 離脱防止機能を有する鎖構造管路は、一つの継手の継手部伸縮量が設計照査用伸量を超えた場合でも、隣接する管を引っ張ることで管路全体として地盤変位を吸収できるため、これを照査するものとする。

【水道施設耐震工法指針・解説 2009】(日本水道協会)より

5-4

異形管防護

5-4-1 異形管防護の必要性

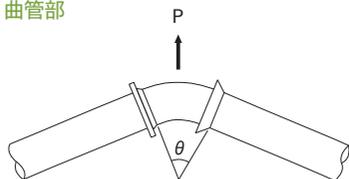
ダクタイル鉄管管路の曲管部、T字管部、片落管部、管端部および仕切弁部などの異形管部には不平均力 P (管内で水圧が不均衡に作用した結果として発生する、管路をある方向に動かそうとする力)が働く。不平均力が働くと管路中の一般継手や耐震継手が伸縮することにより管路が地中で動き、特に一般継手の場合は継手が離脱する恐れがある。

不平均力対策としては、離脱防止継手などを用いて管路を一体化(継手部分が伸縮・屈曲しないよう固定)する方法や異形管部に防護コンクリートを打設する方法がある。また、配管状態によってはこれらを併用する場合もある。

離脱防止継手には、ライナを使用した直管受口(GX形、S50形、NS形など)、耐震継手の異形管受口(継ぎ輪を除く)、UF形がある。

●図表5-4-1-1 不平均力の作用箇所

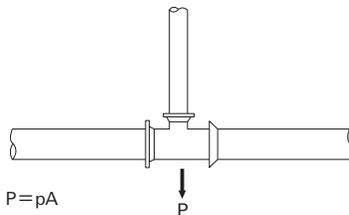
曲管部



$$P=2pA\sin\frac{\theta}{2}$$

ここに、 P :不平均力、 p :水圧
 A :管の断面積、 θ :曲管角度

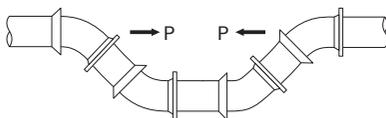
T字管部



$$P=pA'$$

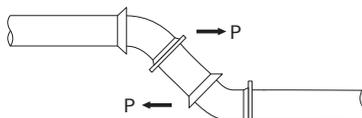
ここに、 A' :分岐管の断面積

伏越し部



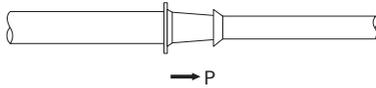
$$P=pA$$

Sベント部



$$P=pA$$

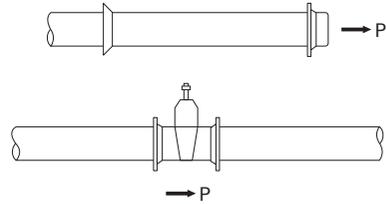
片落管部



$$P=p(A-a)$$

A-a: 片落管前後の管の断面積の差

管端部および仕切弁部



$$P=pA$$

5-4-2 不平均力の大きさ

● 図表5-4-2-1 水圧0.1MPa当たりの不平均力早見表

(単位:kN)

呼び径	曲管部 ^{注1}					T字管 ^{注2} 栓・仕切弁
	90°曲管	45°曲管	22 1/2°曲管	11 1/4°曲管	5 5/8°曲管	
50	0.51	0.28	0.14	0.07	0.04	0.36
75	0.96	0.52	0.27	0.13	0.07	0.68
100	1.55	0.84	0.43	0.21	0.11	1.09
150	3.17	1.72	0.88	0.44	0.22	2.24
200	5.38	2.91	1.48	0.75	0.37	3.80
250	8.19	4.43	2.26	1.14	0.57	5.79
300	11.57	6.26	3.19	1.60	0.80	8.18
350	15.54	8.41	4.29	2.15	1.08	10.99
400	20.12	10.89	5.55	2.79	1.40	14.23
450	25.25	13.67	6.97	3.50	1.75	17.86
500	30.97	16.76	8.54	4.29	2.15	21.90
600	44.20	23.92	12.19	6.13	3.07	31.25
700	59.68	32.30	16.47	8.27	4.14	42.20
800	77.63	42.01	21.42	10.76	5.39	54.89
900	97.93	53.00	27.02	13.58	6.80	69.25
1000	120.37	65.14	33.21	16.68	8.35	85.11
1100	145.36	78.67	40.11	20.15	10.09	102.79
1200	172.44	93.32	47.58	23.90	11.97	121.93
1350	217.70	117.82	60.06	30.18	15.11	153.94
1500	268.23	145.16	74.00	37.18	18.61	189.67
1600	302.39	163.65	83.43	41.92	20.98	213.82
1650	321.38	173.93	88.67	44.55	22.30	227.25

Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

呼び径	曲管部 ^{注1}					T字管 ^{注2} ・ 栓・仕切弁
	90°曲管	45°曲管	22 1/2°曲管	11 1/4°曲管	5 5/8°曲管	
1800	379.32	205.29	104.65	52.58	26.34	268.22
2000	471.80	255.34	130.17	65.40	32.76	333.62
2100	520.14	281.50	143.51	72.10	36.11	367.79
2200	577.40	312.49	159.30	80.04	40.09	408.28
2400	671.07	363.18	185.15	93.02	46.59	474.52
2600	800.15	433.04	220.76	110.91	55.55	565.79

注1 図表5-4-1-1の曲管部の不平均力Pを示す。

注2 図表5-4-1-1のT字管部、伏越し部、Sベンド部、栓および仕切弁部の不平均力Pに相当する。

なお、片落管部の不平均力は小管側の口径によるため省略した。

備考 各不平均力は外径 D_2 で計算した。

〔ダクタイル鉄管管路の設計と施工 JCPA T23〕(日本ダクタイル鉄管協会)より

5-4-3 一体化による異形管防護

1 一般事項

管路の一体化による異形管防護では、異形管部に作用する不平均力に対して、管と土との間に発生する摩擦力、管背面の地盤反力、継手の曲げ剛性を利用して管路が動かないようにするのが基本的な考え方である。また、不平均力に対抗するために一体化が必要な管の延長を「一体化長さ」という。

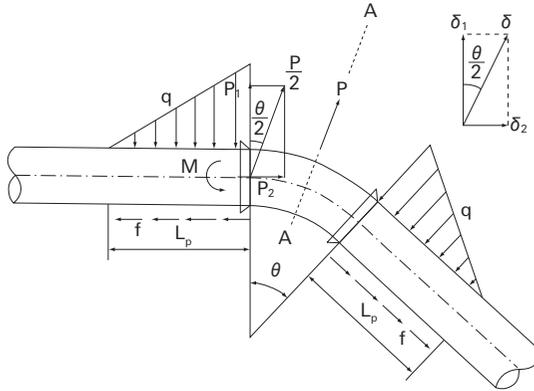
ここで、水平曲管部を例として挙げると、曲管部には図表5-4-3-1に示すような不平均力Pが作用する。これに対して管と土との摩擦力 f および管背面からの地盤反力 q により管路が動かないようにすることを考えるが、そのときに曲管部の継手に作用する曲げモーメント M に対して十分な安全率を確保し、かつ曲管の移動量 δ が許容値以下となるよう一体化長さを設定する。なお、曲管部背面に作用する地盤反力や曲管の変形は無視する。

一般的な設計条件下で使用されるGX形、S50形、NS形、NS形(E種管)管路の曲管部およびT字管部については、一体化長さ早見表が公表されており、それには設計条件に対して一体化すべき管の延長が記されている。これにより、中大口径管路に比べて配管延長が長く、施工時の設計変更が頻繁に行われる小口径耐震継手管については、一体化長さの設計が簡略化されている。

詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T35」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「NS形ダクタイル鉄管(E種管)管路の設計 JCPA T62」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T57」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「S50形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T59」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)

●図表5-4-3-1 不平均力と作用する力と抵抗力



「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T35」(日本ダクタイル鉄管協会)より

2 早見表による一体化長さの決定

離脱防止継手による異形管防護は、不平均力による管の移動を防止するのに必要な一体化長さを求め、その範囲内にある継手を離脱防止継手とすることを原則とする。鎖構造管路の呼び径50～450の曲管部およびT字管部については、一定の管路条件を満たす場合、早見表から一体化長さを求めることができる。一方、呼び径500以上および早見表の適用管路条件に当てはまらない場合は、それぞれの土かぶり、設計水圧といった管路条件から異形管部の形状ごとに定められた計算式によって求める。詳細については前述の技術資料を参照のこと。

① 適用管路の条件

図表5-4-3-2の条件を一つでも満足しない場合には計算式によって一体化長さを求める。

●図表5-4-3-2 適用管路の条件

項目	内容	
呼び径	50～300	350～450
接合形式	GX形、S50形、NS形、NS形(E種管)	
設計水圧	1.3MPa以下	
土かぶり	0.6m以上	1.2m以上
埋戻条件	一般的な埋戻土 ^{注1} でN値5程度以上の締固めによる	

注1 一般的な埋戻土とは、①原則として塩分の少ない良質の砂あるいは良質土。②掘削土を埋戻土に使用する場合は、良質土であることと、粘土塊や転石、木根など異物を除去したもの。

② 曲管部およびT字管部の一体化長さ早見表(呼び径50～300)

これらは異形管に隣接する管の最低限の必要一体化長さを示したものである。また、一体化長さに異形管の長さは含めないものとする。

●図表5-4-3-3 曲管部およびT字管部の一体化長さ早見表(呼び径50～300) (単位:m)

呼び径	曲管部 ^{注1}						T字管部 ^{注2}				
	22.5°以下		22.5°を超え45°以下		45°を超え90°以下		設計水圧 (MPa)				
	設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)						
	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3			
50	1	1	1	1	1	1	1	1			
75						4					
100						5 ^{注3}					
150					4	6			6		
200						8					
250					2	6			11	2	7
300					2	7			7	16	7

注1 単独曲管部では曲管の両側に表中の値以上の一体化長さを確保する。

注2 枝管の呼び径で判断し、枝管側に表中の一体化長さを確保する。なお、本管側の一体化長さは呼び径によらず両側とも1mとする。

注3 NS形(E種管)の場合は4mとする。

備考1 表中の設計水圧は、0.75MPaは0.75MPa以下の場合、1.3MPaは0.75MPaを超え1.3MPa以下の場合に適用する。なお、設計水圧は静水圧と水撃圧を加えたものとする。

備考2 ポリエチレンスリーブの有無にかかわらず、本表の値を適用する。

備考3 曲管が2個以上の複合曲管部で90°を超え112.5°以下の角度であれば、本表の45°を超え90°以下の曲管部の一体化長さをそのまま適用できる。ただし、112.5°を超える角度については管端部の一体化長さを用いる。

備考4 土かぶり0.6m以上に適用する。

③ 曲管部およびT字管部の一体化長さ早見表(呼び径350~450)

● 図表5-4-3-4 曲管部^{注1}の一体化長さ早見表(呼び径350~450)

(単位:m)

呼び径	土かぶり1.2m						土かぶり1.5m					
	22.5°以下		22.5°を超え 45°以下		45°を超え 90°以下		22.5°以下		22.5°を超え 45°以下		45°を超え 90°以下	
	設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)	
	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3
350			3		8	15			3		7	13
400	1	2	4	7	9	17	1	2	4	7	8	15
450		3		9	10	19		3		9		16

注1 単独曲管部では曲管の両側に表中の値以上の一体化長さを確保する。

備考1 表中の設計水圧は、0.75MPaは0.75MPa以下の場合、1.3MPaは0.75MPaを超え1.3MPa以下の場合に適用する。なお、設計水圧は静水圧と水撃圧を加えたものとする。

備考2 ポリエチレンスリーブの有無にかかわらず、本表の値を適用する。

備考3 曲管が2個以上の複合曲管部で90°を超え112.5°以下の角度であれば、本表の45°を超え90°以下の曲管部の一体化長さをそのまま適用できる。ただし、112.5°を超える角度については管端部の一体化長さを用いる。

備考4 GX形の呼び径は400のみである。呼び径500以上については、「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計JCPA T35」を参照のこと。

● 図表5-4-3-5 T字管部^{注1}の一体化長さ早見表(呼び径350~450)

(単位:m)

本管側 呼び径	枝管側 ^{注2} 呼び径	土かぶり1.2m		土かぶり1.5m	
		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)	
		0.75	1.3	0.75	1.3
350	350	7	14	7	13
400	300	6	12	5	10
	400	7	16	7	15
450	300	5	12	4	10
	450	8	18	8	17

注1 枝管の呼び径で判断し、枝管側に表中の一体化長さを確保する。なお、本管側の一体化長さは呼び径によらず両側とも1mとする。

注2 枝管の呼び径が本表の呼び径よりも小さい場合は、図表5-4-3-3のT字管の呼び径の一体化長さを用いてもよい。

備考1 表中の設計水圧は、0.75MPaは0.75MPa以下の場合、1.3MPaは0.75MPaを超え1.3MPa以下の場合に適用する。なお、設計水圧は静水圧と水撃圧を加えたものとする。

備考2 ポリエチレンスリーブの有無にかかわらず、本表の値を適用する。

備考3 GX形の呼び径は400のみである。呼び径500以上については、「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計JCPA T35」を参照のこと。

④ 管端部および仕切弁部の一体化長さ(呼び径50~400)

● 図表5-4-3-6 管端部および仕切弁部の一体化長さ早見表

(単位:m)

呼び径	土かぶりh	h=0.6m		h=0.8m		h=1.0m		h=1.2m		h=1.4m	
	水圧 (MPa) 摩擦 係数 ^{注1}	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3
50	0.4	4.5	7.0	3.5	5.5	2.5	4.5	2.5	4.0	2.0	3.5
	0.3 ^{注2}	5.5	9.5	4.5	7.5	3.5	6.0	3.0	5.0	2.5	4.5
75	0.4	5.5	9.5	4.5	7.0	3.5	6.0	3.0	5.0	2.5	4.5
	0.3 ^{注2}	7.5	12.5	5.5	9.5	4.5	8.0	4.0	6.5	3.5	5.5
100	0.4	7.0	11.5	5.5	9.0	4.5	7.5	3.5	6.0	3.0	5.5
	0.3 ^{注2}	9.0	15.5	7.0	12.0	5.5	9.5	5.0	8.0	4.0	7.0
150	0.4	9.5	16.0	7.0	12.5	6.0	10.0	5.0	8.5	4.5	7.5
	0.3 ^{注2}	12.5	21.0	9.5	16.5	8.0	13.5	6.5	11.5	6.0	10.0
200	0.4	11.5	20.0	9.0	15.5	7.5	13.0	6.5	11.0	5.5	9.5
	0.3 ^{注2}	15.5	26.5	12.0	20.5	10.0	17.0	8.5	14.5	7.0	12.0
250	0.4	14.0	23.5	11.0	18.5	9.0	15.5	7.5	13.0	6.5	11.5
	0.3 ^{注2}	18.5	31.5	14.5	25.0	12.0	20.5	10.0	17.5	9.0	15.0
300	0.4	16.0	27.0	12.5	21.5	10.5	18.0	9.0	15.5	8.0	13.5
	0.3 ^{注2}	21.0	36.0	16.5	28.5	14.0	24.0	12.0	20.5	10.5	17.5
400	0.4		—	—	—	—	—	11.5	19.5	10.0	17.0
	0.3 ^{注2}	—	—	—	—	—	—	15.0	25.5	13.0	22.5

注1 管と土の間で起こる摩擦係数。

注2 ポリエチレンスリーブを使用した場合の摩擦係数。

備考 NS形の管端部および仕切弁部の一体化長さ早見表は、「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T35」を参照のこと。

5 片落管部の一体化長さ(呼び径50~400)

● 図表5-4-3-7 片落管部の一体化長さ早見表

(単位:m)

呼び径		土かぶりh	h=0.6m		h=0.8m		h=1.0m		h=1.2m		h=1.4m	
			0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3
大管	小管	水圧 (MPa)										
		摩擦 係数 ^{注1}										
75	50	0.4	2.5	4.5	2.0	3.5	2.0	3.0	1.5	2.5	1.5	2.0
		0.3 ^{注2}	3.5	6.0	2.5	4.5	2.5	3.5	2.0	3.0	1.5	3.0
100	75	0.4	2.5	4.5	2.0	3.5	2.0	3.0	1.5	2.5	1.5	2.0
		0.3 ^{注2}	3.5	6.0	3.0	4.5	2.5	4.0	2.0	3.5	1.5	3.0
150	100	0.4	5.0	8.5	4.0	6.5	3.0	5.5	2.5	4.5	2.5	4.0
		0.3 ^{注2}	6.5	11.0	5.0	8.5	4.0	7.0	3.5	6.0	3.0	5.0
200	150	0.4	5.0	8.5	4.0	6.5	3.0	5.5	3.0	4.5	2.5	4.0
		0.3 ^{注2}	6.5	11.0	5.0	8.5	4.0	7.0	3.5	6.0	3.0	5.5
250	200	0.4	5.0	8.5	4.0	6.5	3.5	5.5	3.0	4.5	2.5	4.0
		0.3 ^{注2}	6.5	11.0	5.0	8.5	4.5	7.0	3.5	6.0	3.0	5.5
300	100	0.4	13.5	23.5	11.0	18.5	9.0	15.5	8.0	13.5	7.0	11.5
		0.3 ^{注2}	18.0	31.5	14.5	25.0	12.0	20.5	10.5	17.5	9.0	15.5
	150	0.4	11.5	20.0	9.0	15.5	7.5	13.0	6.5	11.0	5.5	10.0
		0.3 ^{注2}	15.5	26.5	12.0	21.0	10.0	17.5	8.5	15.0	7.5	13.0
	200	0.4	8.5	14.5	7.0	11.5	5.5	9.5	5.0	8.5	4.5	7.5
		0.3 ^{注2}	11.5	19.5	9.0	15.5	7.5	13.0	6.5	11.0	5.5	9.5
250	0.4	5.0	8.0	4.0	6.5	3.0	5.5	3.0	4.5	2.5	4.0	
	0.3 ^{注2}	6.5	10.5	5.0	8.5	4.0	7.0	3.5	6.0	3.0	5.5	
400	200	0.4	—	—	—	—	—	—	8.5	14.5	7.5	12.5
		0.3 ^{注2}	—	—	—	—	—	—	11.0	19.0	9.5	16.5
	300	0.4	—	—	—	—	—	—	5.0	8.5	4.5	7.5
		0.3 ^{注2}	—	—	—	—	—	—	6.5	11.0	5.5	9.5

注1 管と土の間で起こる摩擦係数。

注2 ポリエチレンスリーブを使用した場合の摩擦係数。

備考 NS形の片落管部の一体化長さ早見表は、「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T35」を参照のこと。

3 一体化長さ早見表の適用例

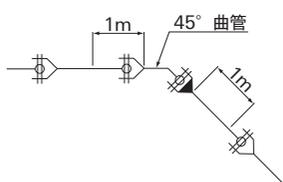
本設計法は、一体化長さを計算により求めるのではなく、早見表を用いて単独および複数の異形管の不平均力に対する一体化長さを求める方法である。以下に適用事例を挙げ説明する。なお、図中の一体化長さは呼び径150、設計水圧1.3MPaの例である。より多くの事例については前述の技術資料を参照のこと。

1 曲管部

曲管部の一体化長さは、複数の曲管が直結あるいは近接している場合でも、個々の曲管の曲がり角度で判断していくことを基本とする。すなわち、一体化長さを確保しようとする直管につながる曲管の曲がり角度で判断すればよい。このとき、計算により設計する場合のようにSベンド部、伏越し部、切回し部、ひねり配管部といった配管形態を特に考慮する必要はない。

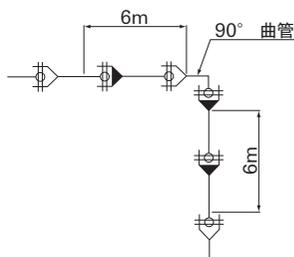
●図表5-4-3-8 単独曲管部の一体化長さ

例①…45°曲管



45°曲管の前後に1m確保する。

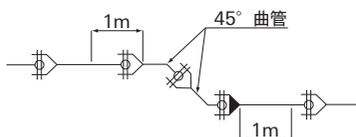
例②…90°曲管



90°曲管の前後に6mを確保する。

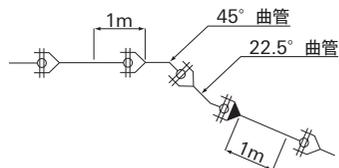
●図表5-4-3-9 組合せ曲管の一体化長さ

例①…Sベント45°曲管



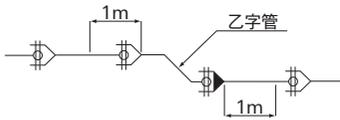
45°曲管の前後にそれぞれ1mを確保する。

例②…Sベント45°+22.5°曲管



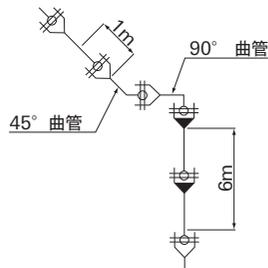
45°曲管側と22.5°曲管側にそれぞれ1mを確保する。

例③…乙字管



乙字管の前後にそれぞれ1m(45°曲管の一体化長さ)を確保する。

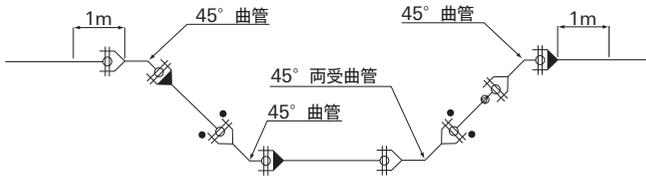
例④…Sベント45°+90°曲管



45°曲管側に1m、90°曲管側に6mを確保する。

●図表5-4-3-10 組合せ曲管の一体化長さ

例①…45°曲管の伏越し



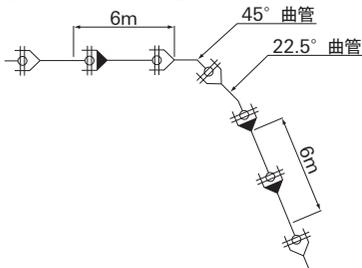
左右の45°曲管の外側にそれぞれ1mを確保する(曲管間が全て一体化された伏越し、切回し配管の例)。

例外として、曲管が同一面で曲がり角度が大きくなる方向に直結された場合は、それらの曲がり角度を合計した複合曲管部として取り扱う(図5-4-3-11例①②)。

さらに、これらの曲管の間に直管あるいは切管が挟まる場合については、挟まる直管の長さが1m未満であれば曲がり角度を合計した複合曲管部として扱い、1m以上の場合にはそれぞれを単独の曲管部として取り扱うものとする(図5-4-3-11例③④)。

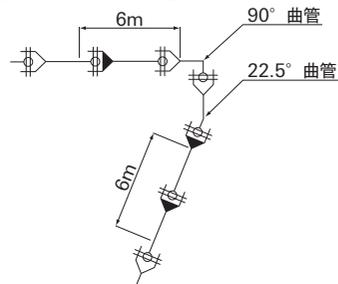
●図表5-4-3-11 複合曲管部

例①…45°+22.5°曲管



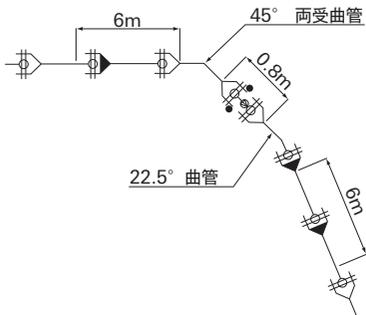
曲がり角度が大きくなる方向にあり、合成角が45°を超えているため、それぞれ6mを確保する。

例②…90°+22.5°曲管



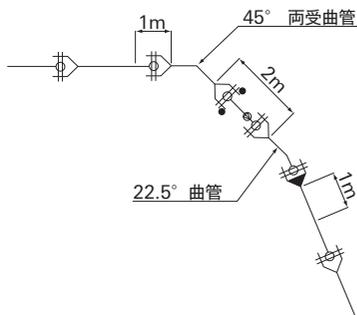
90°曲管と22.5°曲管を曲がり角度が大きくなる方向に直結すると、複合曲管としての曲がり角度が90°を超えるが、90°曲管の一体化長さを適用する。

例③…曲管の切管が1m未満



曲管間に挟まる管が1m未満であるため、同様に複合曲管部として扱い、それぞれ6mを確保する(曲管間も一体化する)。なお、切管長さは原則として1m以上とするため、本配管は説明用の事例である。

例④…曲管の切管が1m以上



曲管間に挟まる管が1m以上であるため、それぞれ単独曲管部として扱い、各々1mを確保する(曲管間は一体化する)。

2 T字管部

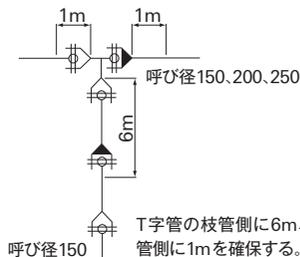
T字管部の一体化長さは枝管の呼び径で判断し、枝管側に一体化長さを確保する。本管側は、呼び径によらずT字管の両側にそれぞれ1mを確保する。

図表5-4-3-13～15に異形管部が近接した複合異形管部の設計水圧1.3MPa、土かぶり0.8mの場合の設計例を示す。ただし、呼び径150の仕切弁あるいは呼び径150×100の片落管の一体化長さは、一体化長さの早見表図表5-4-3-6、7により12.5m、6.5mとした。

●図表5-4-3-12 単独T字管部

●図表5-4-3-12 単独T字管部

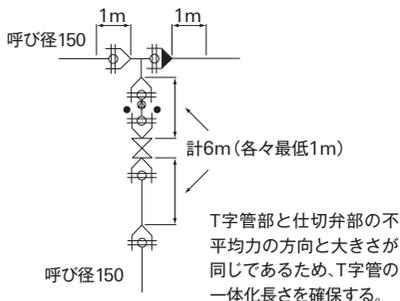
例①…枝管側の一体化長さ



呼び径150

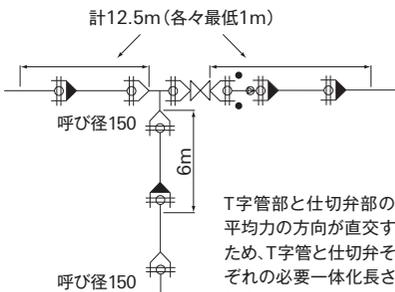
T字管の枝管側に6m、本管側に1mを確保する。

例①…枝管側に仕切弁



T字管部と仕切弁部の不平均力の方向と大きさが同じであるため、T字管の一体化長さを確保する。

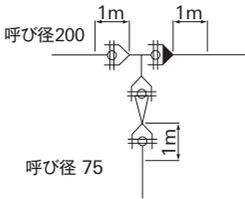
例②…本管側に仕切弁



T字管部と仕切弁部の不平均力の方向が直交するため、T字管と仕切弁それぞれの必要一体化長さを包含するように確保する。

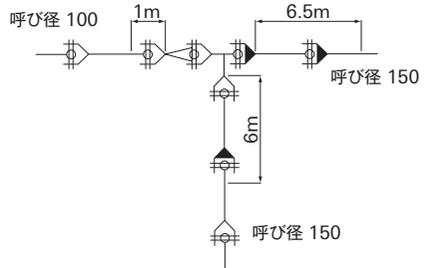
● 図表5-4-3-14 T字管+片落管部

例①…枝管側に片落管



T字管部の不平均力の一部が片落管で相殺されるため、枝管の呼び径を75として一体化長さを確保する。

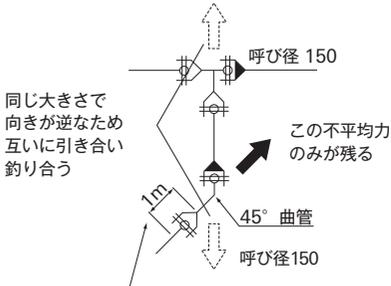
例②…本管側に片落管



T字管と片落管の不平均力の向きが直交するため、T字管の一体化長さを確保したうえで、さらに片落管の一体化長さを本管の呼び径の大きい側に確保する。

● 図表5-4-3-15 T字管+曲管部

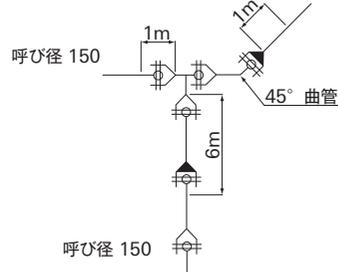
例①…T字の枝管に曲管



残った45°曲管に作用する不平均力に対する一体化長さを確保する。

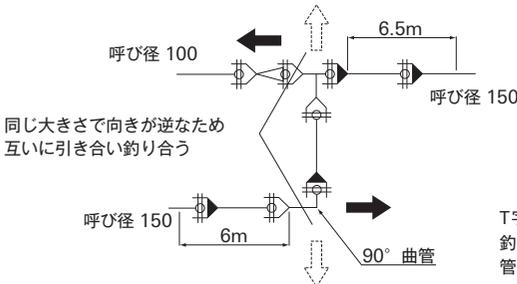
T字管の枝管から45°曲管までが一体化されているため、T字管部の不平均力は曲管部と釣り合う。このため、45°曲管の一体化長さを片側に確保する。

例②…本管側に曲管



T字管と45°曲管の一体化長さをそれぞれ確保する。この場合、T字管と曲管が直結されているため、上記の一体化で両方を包含している。

例③…T字の枝管に曲管、本管に片落管



同じ大きさで向きが逆なため互いに引き合い釣り合う

T字管に生じる不平均力と90°曲管の不平均力の釣り合いを考えると、90°曲管の不平均力と片落管の不平均力が残ることになる。従って、90°曲管と片落管の一体化長さだけを確保する。

4 適用時の留意点

① 適用範囲外の管路

早見表による一体化長さは、以下の管路には適用できないため注意が必要である。

1) 設計水圧が1.3MPaを超える管路

この場合の曲管部およびT字管部の一体化長さは、早見表を適用できないため従来からの計算式により算出する(計算方法については「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T35」を参照)。

2) 直管の継手が離脱する可能性のある一般継手管路

埋設実験によると、本資料の一体化長さを適用した場合の異形管部の移動量は十分に小さく、その安全性は実証されたものであるが、将来、必要な対策を施さずに他工事等で異形管部の近傍が掘削された場合などの安全性までを考慮したものではない。このため、直管の継手が離脱する可能性がある一般継手のK形、T形管路で異形管部のみにGX形を使用する管路には適用しない。

② すでに設計された管路への対応

従来からの計算式により算出された一体化長さは、通常早見表の一体化長さよりも長く、水圧による不平均力に対してより安全側となる。このため、既設あるいはすでに設計された管路に対する布設替えや設計変更等の対応は不要である。

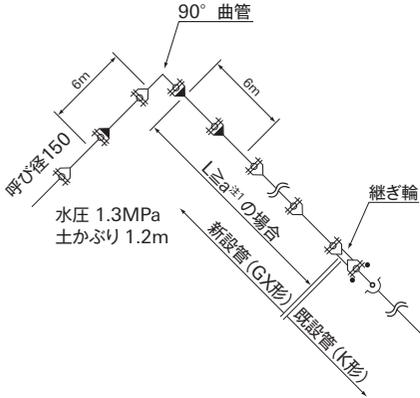
③ 既設管路などとの接続

K形、T形などの既設の一般継手管路と新設の耐震継手管路の連絡部には、早見表の一体化長さは適用できない。従って、連絡部は計算による従来の考え方で必要な一体化長さを確保するか、連絡部に防護コンクリートを打設するなどの対策を施すことになる。

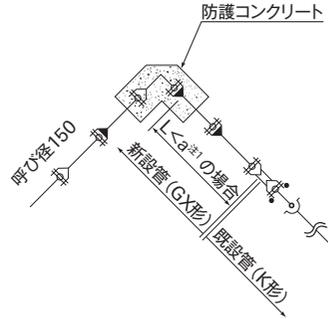
ただし、連絡部そのものに不平均力が生じておらず、かつ連絡部に最も近い新設管の不平均力作用箇所までの離隔距離Lが早見表の一体化長さの2倍あるいは計算による従来の一体化長さ以上に離れている場合は、連絡部から十分離れているものとみなし、その不平均力作用箇所には早見表の一体化長さをとってもよい。

● 図表5-4-3-16 既設管路との連絡部

例①…新設管の曲管が連絡部から十分離れている ($L \geq a^{注1}$)



例②…新設管の曲管が連絡部から十分離れていない ($L < a^{注1}$)



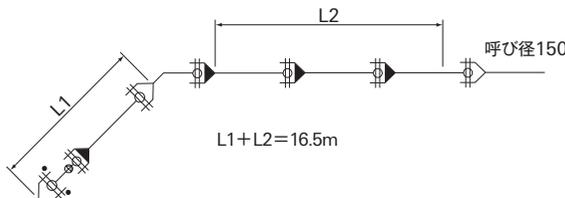
注1 aは早見表の一体化長さの2倍を示し、異形管と既設管との距離Lがa以上の長さがある場合に早見表が適用できる。

④ 管端部および仕切弁部近傍に曲管がある場合の一体化長さ

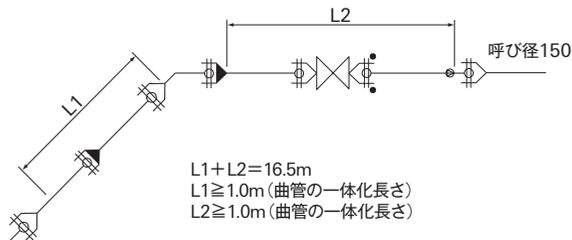
管端部および仕切弁部近傍に曲管がある場合は、早見表の一体化長さを適用するのではなく管端部の一体化長さを確保する。この管端部の一体化長さを確保する場所は、図表5-4-3-17例①のように曲管の両側に管端部の一体化長さを分けて確保してもよい。また単独曲管部、Sベンドおよび伏越し部等の曲管部の近傍に仕切弁がある場合についても、例②、③のように管端部の一体化長さを曲管の両側や仕切弁を挟んで確保してもよい。ただし、曲管部も一体化長さを確保すること。

● 図表5-4-3-17 管端部および仕切弁部近傍に曲管がある場合の一体化長さ

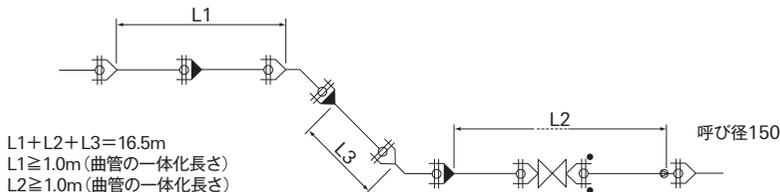
例①…管端部近傍に曲管



例②…仕切弁部近傍に曲管



例③…仕切弁部近傍にSベンド



5 呼び径400における一体化長さの注意点

一体化長さを確保する方法は、呼び径50～300の考え方と同じである。

しかし、以下の条件の管路においては一体化長さを確保する考え方が異なるので注意が必要である。

- 1) 45°を超え90°以下の曲管(複合曲管では112.5°まで)を含む複数の曲管で構成された管路
- 2) T字管とその枝管側に曲管を含む管路

詳しくは「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 J DPA T57」(日本ダクタイル鉄管協会)を参照のこと。

6 水圧

水圧は0.75MPa、1.3MPaの2種類であり、これと異なる水圧の一体化長さを比例配分するなどして求めることはできない。

7 事業者の設計基準との整合

事業者が本手法による設計法を採用していない場合は、事業者からの指示を優先するものとする。

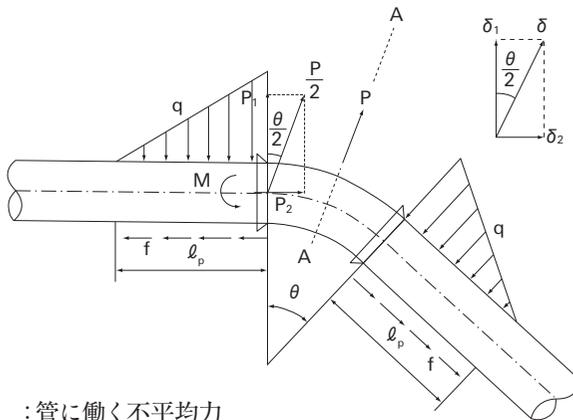
5 計算式による一体化長さの求め方

ここでは例として水平曲管部の一体化長さの求め方を説明する。

曲管部には不平均力 P が作用するが、ここで図表5-4-3-18のように曲管両側の継手それぞれに不平均力 $P/2$ が作用するものとする。それに対して一体化された直管部(一体化長さ: L_p)には管背面から地盤反力 q および管と地盤の摩擦力 f が作用し、曲管部が不平均力 P の方向に δ だけ移動するものとする。曲管部に作用する土圧や曲管の変形については無視する。

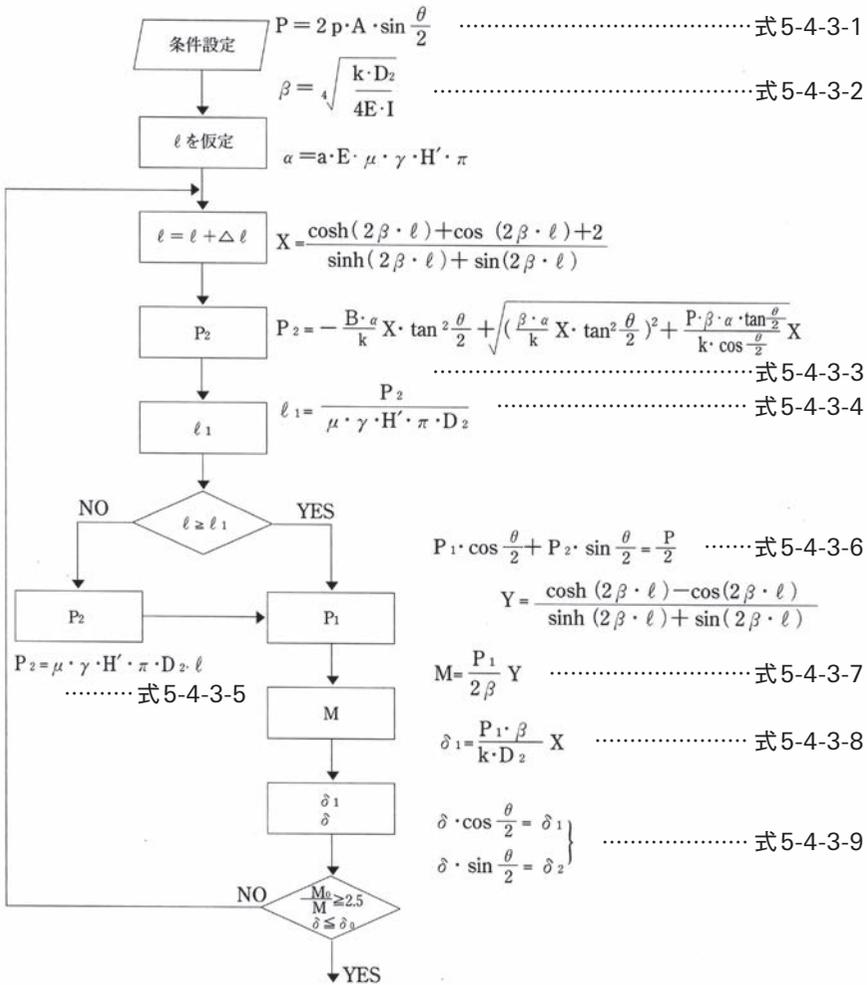
必要となる一体化長さについては、曲管部の継手に作用する曲げモーメント M が離脱防止継手の限界曲げモーメント M_0 に対して安全率2.5以上を確保するとともに、曲管部の移動量 δ が許容移動量 δ_0 (図表5-4-3-20参照)以下となるのに最低限必要な値を、図表5-4-3-19に示す繰返し計算によって求める。計算では、一体化された直管部を弾性床土上の梁と見なして継手部に作用する力(管軸直角方向: P_1 、管軸方向: P_2)、曲げモーメント M 、継手の移動量 δ を算出する。

●図表5-4-3-18 水平曲管部の一体化した箇所作用する力



- ここに、 P : 管に働く不平均力
 P_1 : 継手部に作用する管軸直角方向の力 (kN)
 P_2 : 継手部に作用する管軸方向の力 (kN)
 θ : 曲管の曲がり角 (°)
 M : 継手に発生する曲げモーメント (kN・m)
 q : 地盤反力
 f : 管と土の摩擦力
 l : 片側の一体化長さ (m)

●図表5-4-3-19 一体化長さの計算手順



- ここに、P : 管に働く不平均力 (kN)
- P_1 : 継手部に作用する管軸直角方向の力 (kN)
- P_2 : 継手部に作用する管軸方向の力 (kN)
- p : 設計水圧 (kN/m²)、設計水圧 (MPa) × 10³
- θ : 曲管の曲がり角 (°)
- A : 管断面積 (m²)
- k : 地盤反力係数 (= 3000 kN/m³)

D_2 : 管外径 (m)

E : ダクタイル鋳鉄の弾性係数 ($= 1.6 \times 10^8 \text{kN/m}^2$)

I : 管鉄部の断面2次モーメント (m^4)

$$I = \frac{\pi}{64} (D_2^4 - D_1^4)$$

D_1 : 管鉄部の内径 (m)

a : 管鉄部の断面積 (m^2)

$$a = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)$$

μ : 土と管との摩擦係数

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

H' : 有効土かぶり (m)

$$H' = H + \frac{D_2}{2}$$

H : 土かぶり (m)

ℓ : 片側の一体化長さ (m)

M_0 : 離脱防止継手の限界曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

M : 継手に発生する曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

δ : 異形管部の移動量

δ_0 : 異形管部の許容移動量

計算の手順

- ①式5-4-3-1により不平均力Pを求める。
- ② ℓ を仮定し、式5-4-3-3より管軸方向に作用する力 P_2 を求め、式5-4-3-4より有効長 ℓ_1 を求める。
- ③ $\ell \geq \ell_1$ の場合は、式5-4-3-6より管軸直角方向に作用する力横力 P_1 を求める。
- ④ $\ell < \ell_1$ の場合は、改めて式5-4-3-5より P_2 を求め、式5-4-3-6より P_1 を求める。
- ⑤式5-4-3-7より曲げモーメントMを求める。
- ⑥式5-4-3-8および式5-4-3-9より異形管部の移動量 δ を求める。
- ⑦Mの安全率が2.5以上かつ $\delta \leq \delta_0$ であるかどうかをチェックし、満足していない場合は ℓ を増加(+ $\Delta \ell$)して仮定し直し、もう一度①～⑥を計算する。最終的に⑦の条件を満足するまで繰り返し計算を行う。

●図表5-4-3-20 異形管部の許容移動量 δ_0

接合形式	許容移動量 δ_0 (mm)
GX形 S50形 NS形(呼び径75~450) NS形E種管(呼び径75~150)	10
NS形(呼び径500~1000) UF形	20

●図表5-4-3-21 地盤反力係数 k

土の性質	地盤反力係数 k (kN/m^3)
非常に軟弱なシルトまたは粘土	2800~14000
軟弱なシルトまたは粘土	14000~28000
普通の粘土	28000~140000
硬い粘土	140000~
砂(付着力なし)	28000~83000

土質とポリエチレンスリーブの有無に応じて一般に以下の値を使用する。

●図表5-4-3-22 管と土との摩擦係数 μ

地盤の種類	摩擦係数 μ	
	ポリエチレンスリーブあり	ポリエチレンスリーブなし
硬い地盤	0.4	0.5
中位の地盤	0.3	0.4
軟弱地盤	0.2	0.3

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

土の単位体積重量 γ は普通の地盤では $16\sim 18\text{kN/m}^3$ を使用するのが一般的である。

●図表5-4-3-23 土の単位体積重量 γ と内部摩擦角 ϕ

種別	状態	単位体積重量 γ (kN/m^3)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
普通土	乾燥したもの	14	30~40
	水分のあるもの	16	45
	水で飽和したもの	18	25~30

種 別	状 態	単位体積重量 γ (kN/m^3)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
砂	乾燥したもの	16	30~35
	水分のあるもの	18	40
粘土混り土	水で飽和したもの	20	20~25
	乾燥したもの	15	40~45
	水分のあるもの	19	20~25
粘土	乾燥したもの	16	40~45
	水分のあるもの	20	20~25
	水で飽和したもの	—	14~20
シルト		17	10~20

〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

● 図表5-4-3-24 離脱防止継手の限界曲げモーメント M_0 と限界水圧 P_0

呼び径	限界曲げモーメント M_0 ($\text{kN} \cdot \text{m}$) ^{注1}					限界水圧 P_0 (MPa) ^{注2}
	GX形	S50形	NS形	NS形 (E種管)	UF形	UF形
50	—	2.1	—	—	—	—
75	4.4	—	4.4	4.4	—	—
100	7.4	—	7.4	7.4	—	—
150	17	—	17	17	—	—
200	24	—	24	—	—	—
250	35	—	35	—	—	—
300	64	—	64	—	—	—
350	—	—	81	—	—	—
400	130	—	130	—	—	—
450	—	—	170	—	—	—
500	—	—	360	—	—	—
600	—	—	540	—	—	—
700	—	—	820	—	—	—
800	—	—	1180	—	1180	7.5
900	—	—	1630	—	1630	7.5
1000	—	—	2010	—	2010	7.5
1100	—	—	—	—	2600	7.2
1200	—	—	—	—	3140	7.1
1350	—	—	—	—	4360	6.0

呼び径	限界曲げモーメント M_0 ($\text{kN} \cdot \text{m}$) ^{注1}					限界水圧 P_0 (MPa) ^{注2}
	GX形	S50形	NS形	NS形 (E種管)	UF形	UF形
1500	—	—	—	—	5150	6.0
1600	—	—	—	—	6670	6.0
1650	—	—	—	—	7310	6.0
1800	—	—	—	—	9270	5.9
2000	—	—	—	—	12600	5.8
2100	—	—	—	—	14000	5.6
2200	—	—	—	—	16100	5.5
2400	—	—	—	—	20300	5.5
2600	—	—	—	—	32300	6.8

注1 限界曲げモーメントとは、水圧が作用しない状態で発生応力が弾性限界に達したときの曲げモーメントを示す。

注2 限界水圧とは、曲げモーメントが作用しない状態で発生応力が弾性限界に達したときの内水圧を示す。

5-4-4 防護コンクリートによる異形管防護

1 一般事項

不平均力による管の移動、継手部の離脱を防護コンクリートで防止する場合には、次の点に注意することが必要である。

- ①防護コンクリートは、管の継手部を抱き込んで一体化するように打設するので、強度が必要である。防護工の形状など、場合によっては鉄筋を使用する。
- ②防護コンクリートの背面の土質が悪い場合は、埋戻土を砂で入れ替えるなどして、支持力を増大させるようにする。
- ③防護コンクリートの地耐力が不足するような地盤では、防護コンクリートの打設を控えるか、砂基礎、碎石基礎やぐり石基礎などを用いて地耐力の確保を図る必要がある。

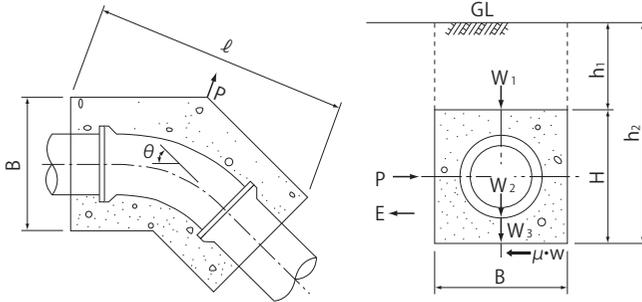
詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T23」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)

2 水平曲管部の設計方法

水平曲管部の防護コンクリートの計算は、図表5-4-4-1に示すように、土かぶりによる荷重 W_1 、管および水の重量 W_2 、防護コンクリートの重量 W_3 による防護コンクリート底面と土との摩擦抵抗力 $\mu \cdot W$ と、防護コンクリート背面の受働土圧による抵抗力 E の合力が不平均力 P に抵抗するという考え方を基本とする。

●図表5-4-4-1 防護コンクリートに作用する力(水平曲管部)



【計算方法】

次式の条件を満足するように計算する。

$$P = 2p \cdot A \cdot \sin \frac{\theta}{2} < \frac{\mu \cdot W + E}{S_f} \quad \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-1}$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$E = \frac{1}{2} C_e \cdot \gamma_s (h_2^2 - h_1^2)$$

$$C_e = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

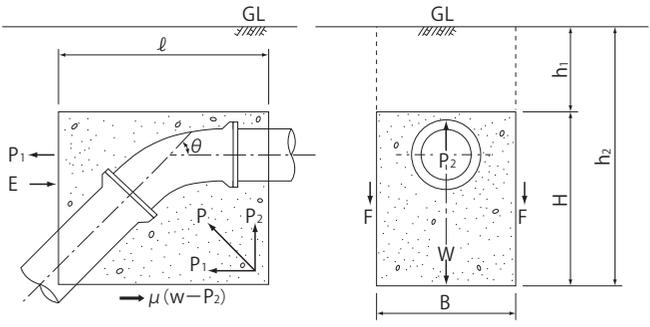
- ここに、 P : 曲管部の不平均力 (kN)
 p : 設計水圧 (kN/m²)、設計水圧 (MPa) $\times 10^3$
 A : 管断面積 (m²)
 θ : 曲管の角度 (°)
 μ : コンクリートと土の摩擦係数 (=0.5)
 W : コンクリートの底面にかかる総重量 (kN)
 W_1 : 土かぶりによる荷重 (kN)

- W_2 : 管および水の重量 (kN)
- W_3 : コンクリートの重量 (kN)
- E : コンクリート背面の受働土圧抵抗力 (kN)
- C_e : 受働土圧係数
- γ_s : 土の単位体積重量 (kN/m³)
- h_1 : 土かぶり (m)
- h_2 : コンクリート底面高 (m)
- ℓ : コンクリート背面の投影長 (m)
- ϕ : 土の内部摩擦角 (°)
- S_f : 安全率 (1.5以上とする)

3 垂直上向きに不平均力がかかる場合

図表5-4-4-2に示すように、不平均力Pを水平方向の不平均力 P_1 と垂直方向の不平均力 P_2 に分けて、 P_1 に対しては、防護コンクリート底面の摩擦抵抗力 $\mu(W - P_2)$ と防護コンクリート背面の受働土圧抵抗力Eにより抵抗する。垂直方向 P_2 に対しては、防護コンクリート底面に働く重量と側面の主働土圧による摩擦抵抗力Fにより抵抗する考え方を基本とする。

●図表5-4-4-2 防護コンクリートに作用する力(垂直上向き曲管部)



【計算方法】

水平分力および垂直分力は、次式により求める。

$$P_1 = P \cdot \sin \frac{\theta}{2} < \frac{\mu (W - P_2) + E}{S_f} \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-2}$$

$$P_2 = 2p \cdot \cos \frac{\theta}{2} < \frac{W + F}{S_f} \quad \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-3}$$

$$F = \frac{1}{2} Ce' \cdot \gamma_s (h_2^2 - h_1^2) \cdot 2(B + \ell) \mu$$

$$Ce' = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

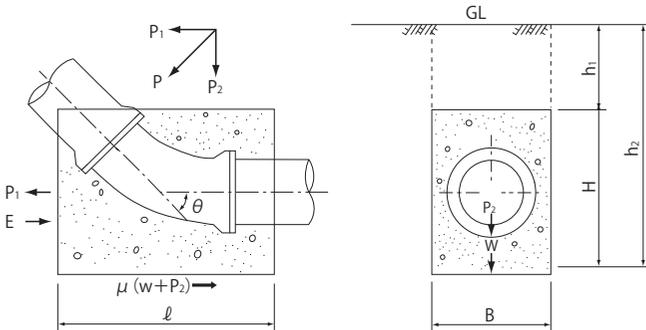
- ここに、 P_1 : 不平均力Pの水平分力 (kN)
 P_2 : 不平均力Pの垂直分力 (kN)
 W : コンクリートおよびコンクリート上部の土の重量
 $\mu (W - P_2)$: コンクリート底面と土との摩擦抵抗力 (kN)
 F : コンクリート側面の主働土圧による摩擦抵抗力 (kN)
 Ce' : 主働土圧係数
 B : コンクリートの幅 (m)
 ℓ : コンクリートの長さ (m)

他の記号は前述の記号に準じる。

4 垂直下向きに不平均力がかかる場合

図5-4-4-3に示すように、不平均力Pを水平方向の不平均力 P_1 と垂直方向の不平均力 P_2 に分けて、 P_1 に対しては、防護コンクリート底面の摩擦抵抗力 $\mu (W + P_2)$ と防護コンクリート背面の受働土圧抵抗力Eにより抵抗する。垂直方向 P_2 に対しては、防護コンクリート底面に働く重量と不平均力を足した荷重が地耐力よりも小さければよいとする考え方を基本とする。

● 図表5-4-4-3 防護コンクリートに作用する力(垂直下向き曲管部)



Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

水平分力および垂直分力は、次式により求める。

$$P_1 = P \cdot \sin \frac{\theta}{2} < \frac{\mu (W + P_2) + E}{S_f} \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-4}$$

$$P_2 = P \cdot \cos \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-5}$$

$$\frac{W + P_2}{B \cdot \ell} < \sigma \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-6}$$

ここに、 σ ：地耐力 (kN/m²)

他の記号は前述の記号に準じる。

地耐力(地盤の許容支持力)が不足する場合は、基礎杭を用いる。

●図表5-4-4-4 地耐力 σ

土の種類	地耐力 (kN/m ²)	土の種類	地耐力 (kN/m ²)
粘土	50～200	硬い砂	500～700
砂混り土	300～400	硬い小岩	500～800
水分の多い砂	10～300	土岩、砂岩	700～2500
水分の少ない砂	300～500	硬い岩	2000～5000

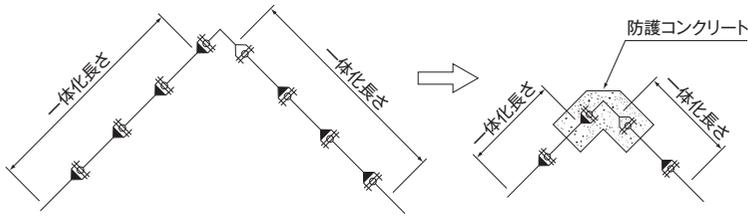
〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

5-4-5 防護コンクリートと離脱防止継手の併用

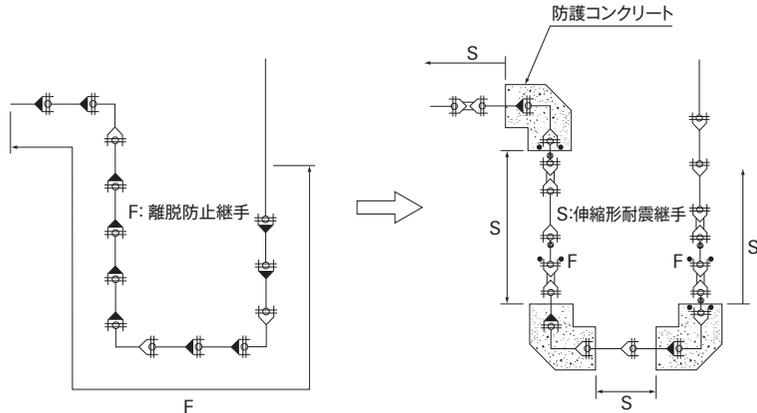
呼び径が大きい高水圧管路や配水場内等の異形管が多い複雑な管路では、一体化長さが長くなり管路のほとんどが離脱防止継手による剛構造管路にならざるを得ない場合が生じる。その結果、鎖構造管路の機能を十分に発揮できないと判断される場合には、必要に応じて防護コンクリートの適用を検討するべきである。

図表5-4-5-1および図表5-4-5-2に防護コンクリートを併用して一体化長さを短縮する場合の例を示す。一体化長さが連続して50mを超える場合には防護コンクリートを併用することが望ましい。

● 図表5-4-5-1 単独曲管部における併用の例



● 図表5-4-5-2 曲管が複数個ある管路における併用の例



注1 管路を一体化した部分は離脱防止継手により剛構造管路となる。剛構造管路では施工時に直管継手を曲げて配管することができないため、その配管形状は異形管の屈曲角度(例えば45°)に制限されてしまう。このような施工上の制約を避けるため一体化長さの最大値は50m以内としている。

5-4-6

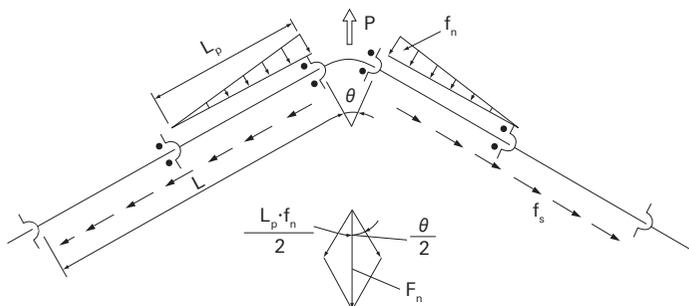
離脱防止金具(特殊押輪など)による 異形管防護(参考)

T形、K形といった一般継手の場合、防護コンクリートによる異形管防護方法に加え、以下の条件を満たせば離脱防止金具(特殊押輪など)による異形管防護も可能である。

- ・ 使用水圧(静水圧+水撃圧)が、メーカー(製造業者)の定める離脱防止金具の許容水圧以下であること。
- ・ 軟弱地盤や不同沈下の生じる恐れのない地盤であること。
- ・ 腐食性地盤でないこと。

図表5-4-6-1に水平曲管の場合に計算に考慮する力を示す。曲管に作用する不平均力に対し、曲管に隣接した直管1本分の受働土圧抵抗力と一体化長さ分の摩擦抵抗力で曲管部の移動を防止する。

●図表5-4-6-1 水平曲管部の離脱防止金具を用いた一体化長さに作用する力



P : 不平均力 (kN)

θ : 曲管の角度 ($^{\circ}$)

L_p : 曲管に隣接する直管1本の長さ (m)

L : 管路一体化長さ (m)

f_n : 単位長さ当たりの受働土圧抵抗力 (kN/m)

f_s : 単位長さ当たりの摩擦抵抗 (kN/m)

詳しくは『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)を参照のこと。

5-5

付属設備

5-5-1 付属設備の種類

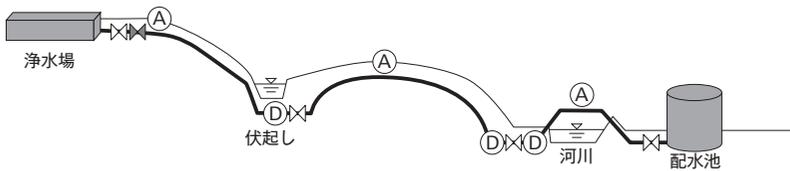
ダクタイル鉄管管路の付属設備(バルブ、空気弁、消火栓、減圧弁、排水設備、人孔、給水装置など)の種類、機能、設置場所などについて概要を示す。

詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

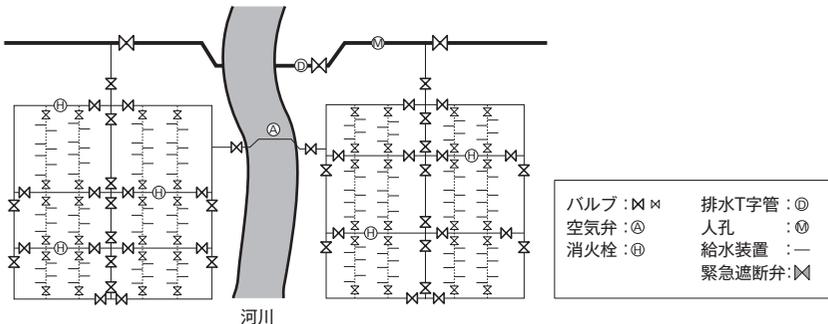
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)
- ・『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)
- ・『水道用バルブ便覧 改訂四版』(水道バルブ工業会、2015年)
- ・『水道用バルブ維持管理マニュアル』(日本水道協会、2004年)
- ・「ダクタイル鉄管管路のてびき JDP A T26」(日本ダクタイル鉄管協会)

●図表5-5-1-1 主な付属設備の設置場所

送水管



配水管



5-5-2 バルブ

1 機能および設置場所

バルブは、管路内の水を遮断できるように、以下の場所に設置するのが望ましい。

- ・ 管路の始点、分岐点、排水設備、工事途中の終点部の下流側
- ・ 配水池、伏越し部、水管橋、連絡管、軌道横断箇所の前
- ・ 高低差がある長い傾斜管路などの前後
- ・ 導・送水管、配水本管では1000～3000m間隔
- ・ 配水管では、配水本管からの分岐部、水管橋、伏越し部の両側、排水管の分岐部付近には必ず設置
- ・ 配水支管の分岐部、交差部には、配水支管網の状況に応じて設置
- ・ 配水管が長いときは、500～1000m間隔^{*5}
- ・ 呼び径400以上の管にはバイパス管とバイパス弁、または充水機能を有した弁を設ける

*5 東京都水道局の事例、それ以外は『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）による。

2 種類

バルブの種類を図表5-5-2-1に示す。

なお、バルブの選定に当たっては、以下の資料を参照のこと。

- ・ 『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）
- ・ 『水道用バルブハンドブック 2015』（日本水道協会）
- ・ 『水道用バルブ便覧 改訂四版』（水道バルブ工業会、2015年）

●図表5-5-2-1 バルブの種類

種類	接合形式	管厚の種類	呼び径
水道用ソフトシール仕切弁 ^{注1}	GX形 ^{注3}	3種 ^{注5}	75～300・400
		4種 ^{注5}	75～300
	NS形 ^{注4}	3種 ^{注5}	75～400
		4種 ^{注5}	75～300

種 類	接合形式	種 類	呼び径
水道用ソフトシール仕切弁 (JWWA B 120-2017)	フランジ形	2種、3種 ^{注5}	50～500
		4種 ^{注5}	50～300
水道用バタフライ弁 ^{注2}	NS形 ^{注4}	2種、3種 ^{注6}	300～1000
水道用バタフライ弁 (JWWA B 138-2013)	フランジ形	1種、2種、3種 ^{注6}	200～1500
水道用大口径バタフライ弁 (JWWA B 121-2013)	フランジ形	1種、2種、3種 ^{注7}	1600～2600
水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁 (JWWA B 122-2013)	フランジ形	2種、3種 ^{注5}	50～500
		4種、5種 ^{注5}	50～300

注1 バルブ本体はJWWA B 120-2013に準ずる。

注2 バルブ本体はJWWA B 138-2013に準ずる。

注3 GX形：呼び径75～300は両受け、受挿し。呼び径400は両受けのみ。

注4 NS形：呼び径75～1000の受口の形式はJWWA G 113・114-2015に準拠。

注5 ソフトシール仕切弁の呼び径75～300は両受け、受挿し。呼び径350、400は両受けのみ。バタフライ弁は両受のみ。

注6 種類は以下の通りとする。

(単位:MPa)

種 類	呼び圧力 (記号)	使用圧力	最高許容圧力	全閉時の最大差圧
2種	7.5K	0.75	1.3	0.75
3種	10K	1.0	1.4	1.0
4種	16K	1.6	2.2	1.6
5種	20K	2.0	2.8	2.0

注6 1種、2種、3種は以下の通りとする。

(単位:MPa)

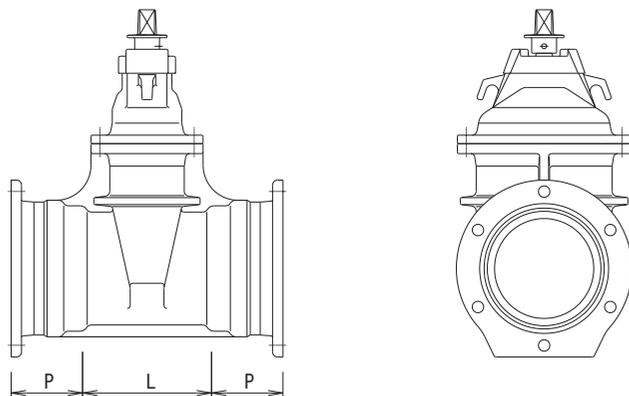
種 類	呼び圧力 (記号)	使用圧力	最高許容圧力	全閉時の最大差圧	最大流速 (m/s)	
1種	A	4.5K	0.45	1.0	0.45	3
	B					6
2種	A	7.5K	0.75	1.3	0.75	3
	B					6
3種	A	10K	1.0	1.4	1.0	3
	B					6

注7 1種、2種、3種は以下の通りとする。

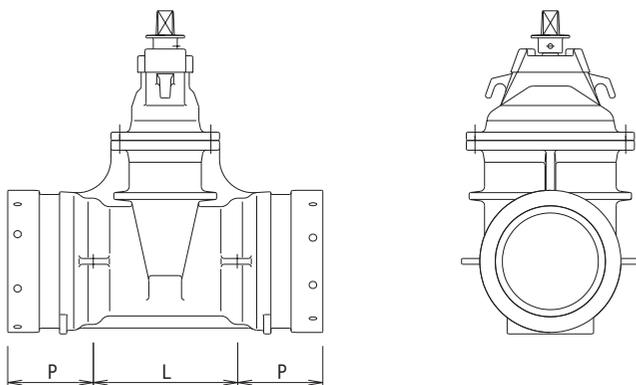
(単位:MPa)

種 類	呼び圧力 (記号)	最高許容圧力	最大流速 (m/s)	
1種	A	4.5K	1.0	3
	B			6
2種	A	7.5K	1.3	3
	B			6
3種	A	10K	1.4	3
	B			6

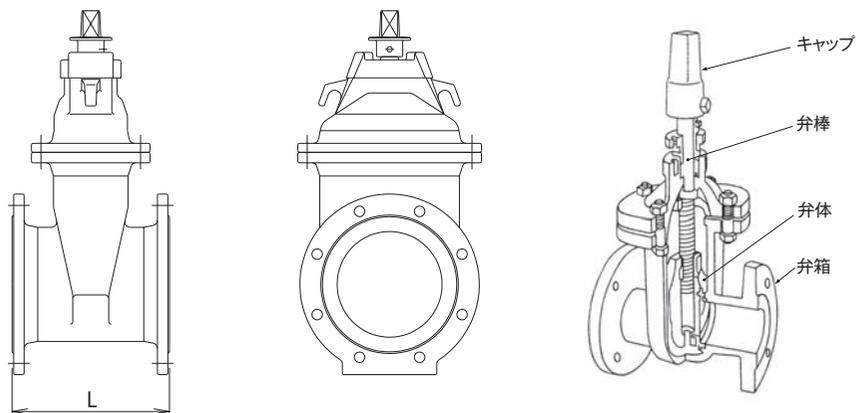
●図表5-5-2-2 ソフトシール仕切弁の例 (GX形)



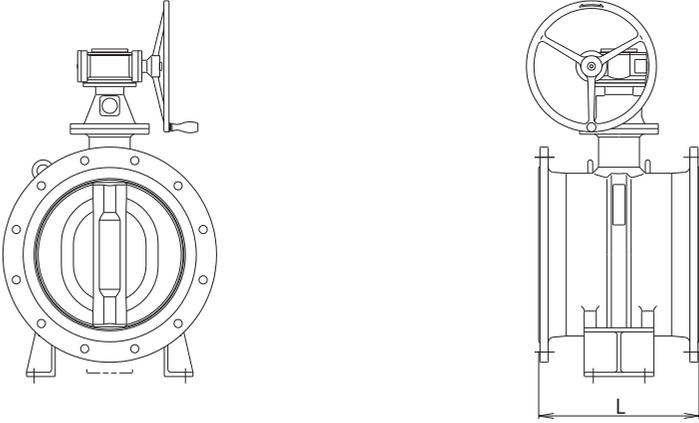
●図表5-5-2-3 ソフトシール仕切弁の例 (NS形)



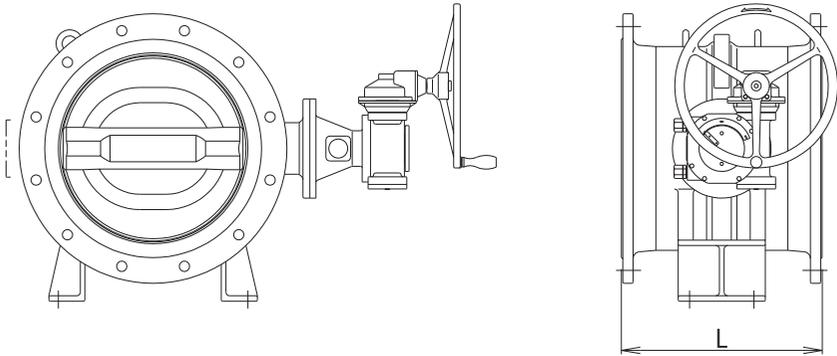
●図表5-5-2-4 ソフトシール仕切弁の例 (フランジ形)



● 図表5-5-2-5 バタフライ弁の例(立形)



● 図表5-5-2-6 バタフライ弁の例(横形)



● 図表5-5-2-7 バルブの有効長および面間寸法L

(単位:mm)

呼び径	接合形式							
	GX形			NS形			フランジ形	
	ソフトシール弁		バタフライ弁	ソフトシール弁		バタフライ弁	仕切弁 ^{注1}	バタフライ弁
	両受け	受挿し	両受け	両受け	受挿し	両受け		
50	—	—	—	—	—	—	180	—
75	180	490	—	200	500	—	240	—
100	180	490	—	200	500	—	250	—
125	—	—	—	—	—	—	260	—
150	220	550	—	250	550	—	280	—
200	260	610	—	300	600	—	300	300
250	300	680	—	350	650	—	380	380

呼び径	接合形式							
	GX形			NS形			フランジ形	
	ソフトシール弁		バタフライ弁	ソフトシール弁		バタフライ弁	仕切弁 ^{注1}	バタフライ弁
	両受け	受挿し	両受け	両受け	受挿し	両受け		
300	400	700	300	450	725	290	400	400
350	—	—	—	500	—	360	430	430
400	500	—	500	550	—	450	470	470
450	—	—	—	—	—	470	500	500
500	—	—	—	—	—	460	530	530
600	—	—	—	—	—	480	560	560
700	—	—	—	—	—	520	610	610
800	—	—	—	—	—	540	690	690
900	—	—	—	—	—	600	740	740
1000	—	—	—	—	—	840	770	770
1100	—	—	—	—	—	—	800	800
1200	—	—	—	—	—	—	820	820
1350	—	—	—	—	—	—	850	850
1500	—	—	—	—	—	—	900	900

注1 2種、3種の場合。

備考 ーは2016年10月現在に存在しないもの。

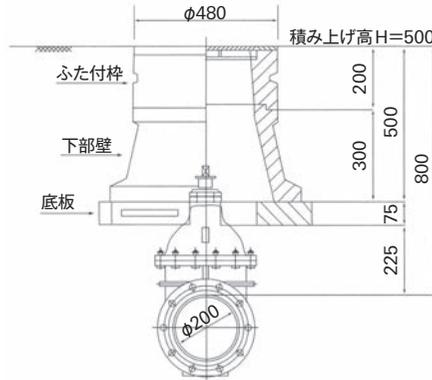
⊥は両受の場合は有効長、フランジ形の場合は面間寸法である。

3 弁筐とバルブ室

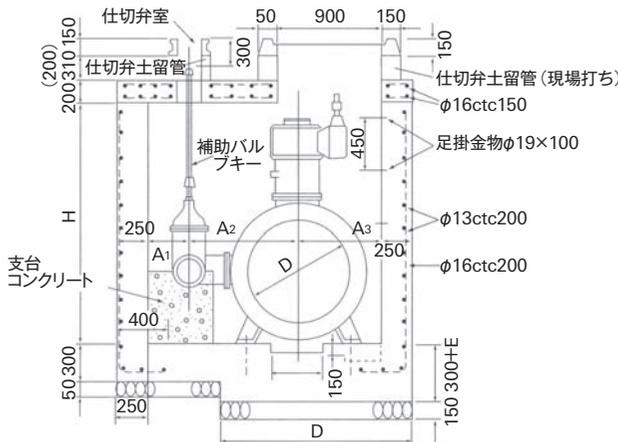
一般的にバルブ室は、呼び径400以上の配水本管に設置され、呼び径350以下のバルブには弁筐^{べんきょう}を用いる。GX形、NS形などの伸縮離脱防止機能を有する耐震継手では、バルブ室を設置せず弁筐にする場合がある。

●図表5-5-2-8 弁筐とバルブ室の構造(例)

弁筐(呼び径350以下)



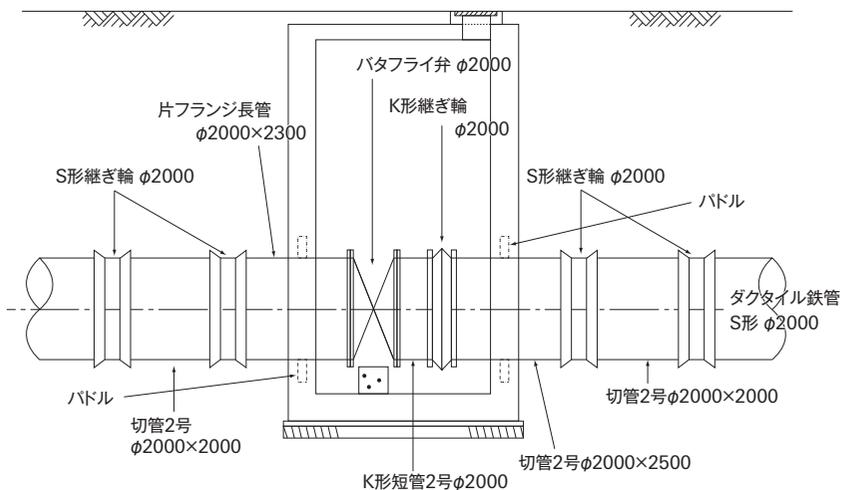
バルブ室(呼び径400以上)



〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

耐震継手管路でバルブ室を設けフランジ形を用いる場合には、バルブ室の前後に継ぎ輪などを設け、バルブ室と管路の相対変異を大きな伸縮代により吸収するような構造が望ましい。

●図表5-5-2-9 耐震継手管路の弁室周りの配管



『水道施設耐震工法指針・解説 2009』(日本水道協会)より

5-5-3 空気弁

1 機能および設置場所

管路内に空気が滞留すると、流量が制限されるほか管路の破裂事故を招くこともあるので、空気弁を設置して自動的に排気し、常に満流の状態で行れるようにする必要がある。また管内の水を排水する際の吸気用に設ける。空気弁の設置場所には以下の場所がある。

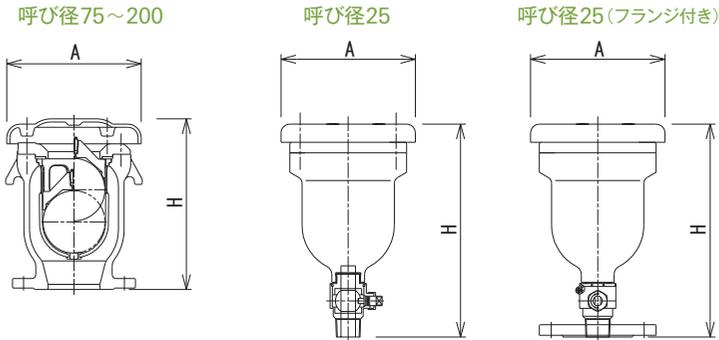
- ・ 管路の布設勾配が変化する場合の凸部。
- ・ 管路延長が長い配水本管などでは、1～3kmの間隔でバルブが設けられるので、バルブ間には必ず設ける。
- ・ 水管橋の凸部。
- ・ 排水時の吸気のために管路が一定勾配であれば、高い方に設置されているバルブの直下流部。

2 種類

① 急速空気弁 (JWWA B 137-2013)

単口空気弁と双口空気弁 (旧 JIS B 2063) は、2002 (平成14) 年2月20日に日本規格協会の規格から廃止され、小空気孔と大空気孔が一つの弁箱内にある急速空気弁 (JWWA B 137) が2002 (平成14) 年5月22日に制定された。

● 図表5-5-3-1 急速空気弁の構造、形状 (例)



● 図表5-5-3-2 空気弁の種類

(単位:MPa)

種類	呼び圧力 (記号)	使用圧力	最高許容圧力
2種	7.5K	0.75	1.3
3種	10K	1.0	1.4
4種	16K	1.6	2.2

〔水道用バルブ便覧 改訂四版〕(水道バルブ工業会、2015年)より

● 図表5-5-3-3 呼び径および接続部の形状

種類	接続部の形状	呼び径
2種、3種、4種	フランジ形	75・100・150・200
	ねじ込み形 ^{注1}	25

注1 取付け部をフランジ付きとするときには、『水道用バルブ便覧 改訂四版』(水道バルブ工業会)の「付表7」のフランジを用いる。

〔水道用バルブ便覧 改訂四版〕(水道バルブ工業会、2015年)より

●図表5-5-3-4 急速空気弁の寸法(JWWA B 137)

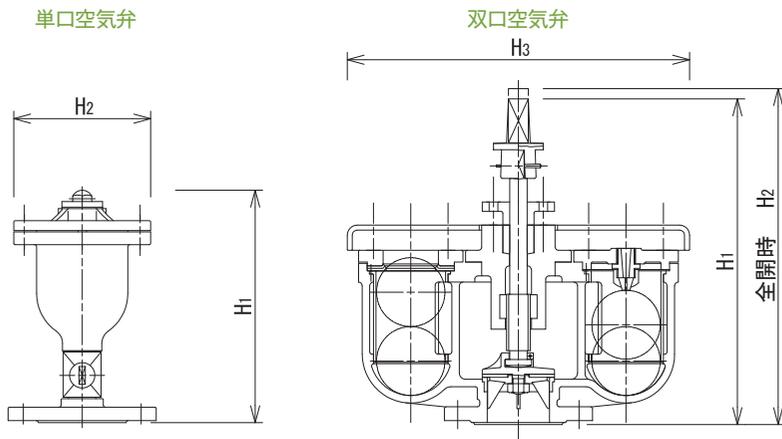
呼び径	高さ(最大) H (mm)	カバーの外径(最大) A (mm)	質量(参考) (kg)
25	420	260	30
75	390	320	35
100	410	360	45
150	500	450	90
200	660	600	215

『水道用バルブ便覧 改訂四版』(水道バルブ工業会、2015年)より

② 単口、双口空気弁(旧 JIS B 2063)

従来使用されてきた空気弁で、小空気孔のみの単口、小空気孔と大空気孔が別々の弁箱に分かれて多量の排気・吸気および少量の排気・吸気に対応した双口空気弁がある。

●図表5-5-3-5 単口、双口空気弁の構造、形状



●図表5-5-3-6 単口空気弁の種類と寸法

(単位: mm)

呼び径	2種		3種		4種		質量(参考) (kg)
	H_1	H_2	H_1	H_2	H_1	H_2	
13	230	185	—	—	—	—	12
20	225	195	—	—	—	—	15
25	235	200	250	220	300	260	16

『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

●図表5-5-3-7 双口空気弁の種類と寸法

(単位:mm)

呼び径	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄ ^{注1}	質量(参考) (kg)
75	460	485	515	200	70
100	530	565	560	230	90
150	610	660	675	305	160

注1 H₄は、H₃の短辺の寸法を示す。

[水道用バルブハンドブック 2015] (日本水道協会)より

3 耐震性

東日本大震災などで送水管や配水本管の古い空気弁が地震の影響で破損した事例があり、現在の製品は耐震性が改善されているので、古い空気弁などは最新の耐震性の高い空気弁に交換することが望ましい。

5-5-4 消火栓

1 機能および設置場所

消火栓は消防活動に便利な場所を選び、建物などの状況に応じてその設置場所を決める。配水本管からの分岐部付近、道路交差点付近などの消防活動に有利な場所に設ける。沿線の建物の状況に応じ100～200m間隔で設置し(消防当局と事前協議が心要)、消火栓には補修弁を取り付ける。

消火栓を設置する配水支管は原則として、呼び径150以上とし、単口消火栓を設ける。呼び径300以上の配水管には双口消火栓を用いるが、設置条件によってはこの限りでない。またできるだけ大きい呼び径の管に取り付けることが望ましい。消火栓の口金の口径は原則として65mmとする。

寒冷地および積雪地域では、不凍式の地上式消火栓を用いる。

●図表5-5-4-1 消火栓排水量の換算表

(単位:m³/min)

本管の水圧 (MPa)	ホースの長さ						
	6m	8m	10m	12m	14m	16m	20m
0.05	0.90	0.82	0.76	0.72	0.67	0.64	0.59
0.10	1.26	1.16	1.03	1.01	0.95	0.90	0.83

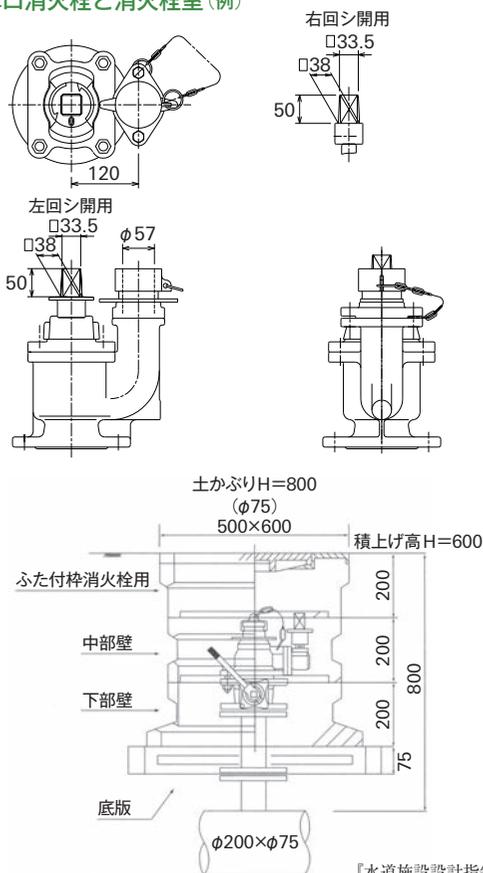
本管の水圧 (MPa)	ホースの長さ						
	6m	8m	10m	12m	14m	16m	20m
0.15	1.55	1.42	1.32	1.24	1.17	1.11	1.02
0.2	1.79	1.64	1.52	1.43	1.35	1.25	1.17
0.3	2.2	2	1.87	1.75	1.65	1.56	1.44
0.4	2.78	2.55	2.38	2.22	2.08	1.97	1.82

〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

2 種類

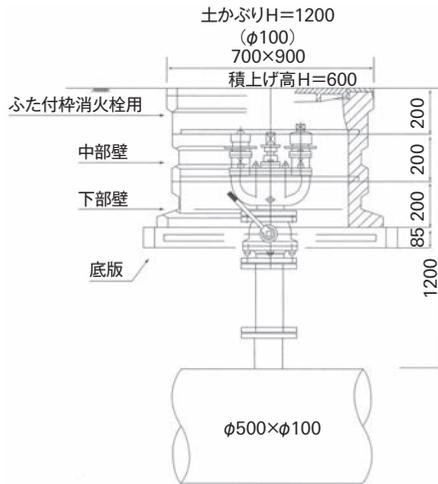
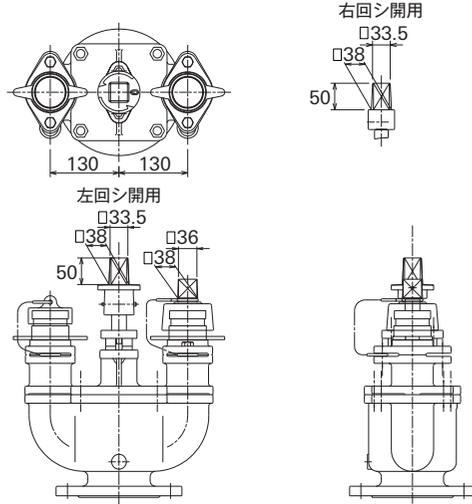
消火栓には、単口消火栓と双口消火栓があり、JWWA B 103-2013に規定されている。

●図表5-5-4-2 単口消火栓と消火栓室(例)



〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

● 図表5-5-4-3 双口消火栓と消火栓室(例)



〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

5-5-5 減圧弁（オート弁）

1 機能および設置場所

減圧弁は管路下流側の圧力を下げ、配水区域の適正動水圧を維持したり、渇水時の水圧調整に用い、二次側の水圧を一次側の水圧より低い、あるいは一定水圧に保持する調整弁である。減圧弁には、弁体上部にセットされたばねの強さと、水圧ピストンまたはダイヤフラムがバランスを取って弁体を作動させる直動式と、パイロット弁が圧力変化を感知して弁体を制御するパイロット式がある。減圧弁には同じ呼び径または1口径下のバイパス管路を設置する。

設置場所の一例を以下に示す。

- ・ 水圧による低地区での障害発生を防止するために、高地区と低地区の連絡管に設置する。
- ・ ポンプ圧送で配水するとき、部分的に高水圧となる地区がある場合に、その低地区への分岐箇所を設置する。
- ・ 配水池の流入側などで流量制御を行うとき、落差の関係で流量制御弁1台では適正な制御範囲から外れる場合に、圧力調整用として減圧弁を直列に併用設置する。

2 種類

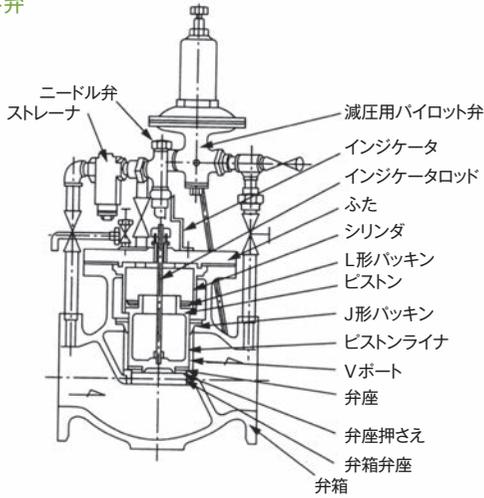
●図表5-5-5-1 減圧弁の種類

直動式	ピストン形
	ダイヤフラム形
パイロット式	主弁ピストン形
	主弁ダイヤフラム形

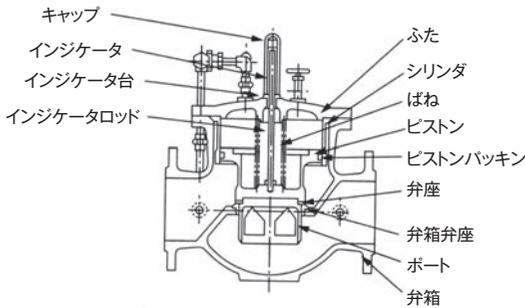
【水道用バルブハンドブック 2015】(日本水道協会)より

● 図表5-5-5-2 減圧弁の種類(例)

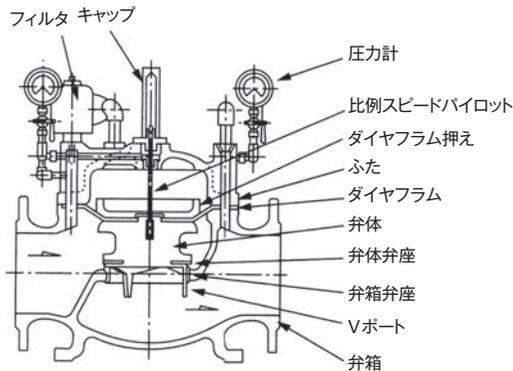
主弁ピストン形オート弁



主弁ピストン形オート弁



主弁ダイヤフラム形オート弁



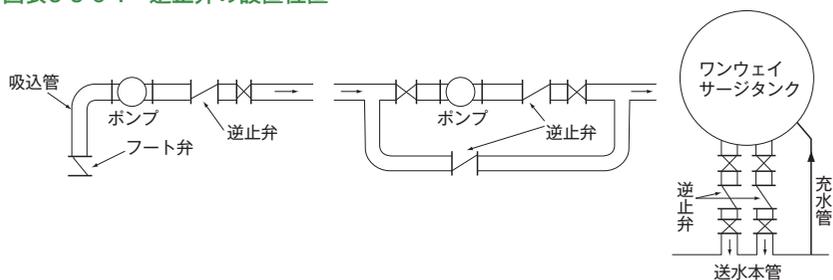
『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

5-5-6 逆止弁

1 機能および設置場所

ポンプ吐出し側、ワンウェイサージタンクの流入、流出管に圧力上昇緩和や逆流防止のために設置する。

●図表5-5-6-1 逆止弁の設置位置



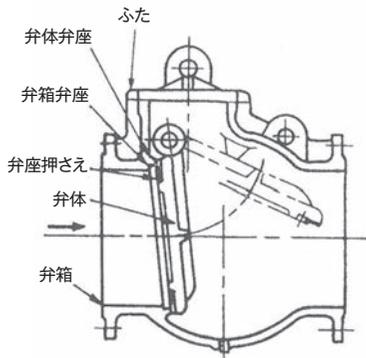
『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

2 種類

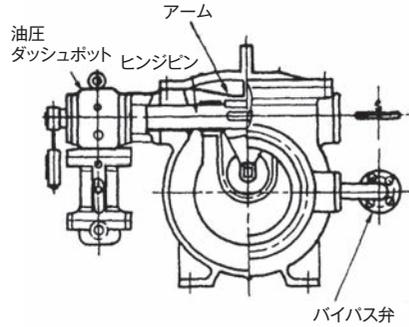
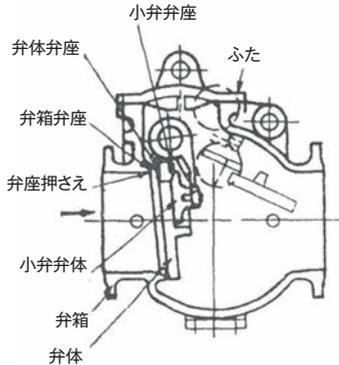
逆止弁にはいろいろな種類があるが、代表的なスイング逆止弁、主弁緩閉式スイング逆止弁を図表5-5-6-2に示す。

●図表5-5-6-2 逆止弁の種類(例)

スイング逆止弁



主弁緩閉式スイング逆止弁



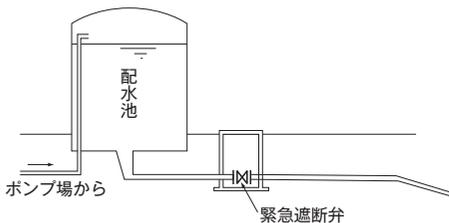
『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

5-5-7 緊急遮断弁

1 機能および設置場所

配水池や災害時に緊急用飲料水を確保するための貯水槽には、水の流出や濁水の流入を防止するための緊急遮断弁を設置することが望ましい。緊急遮断弁には動作方法によって信号式および自力式に分類される。信号式は、別途設置した地震計や流量計と連動させ、異常信号の受信によって流れを緊急遮断させる。自力式は、流量検知機構が管破損時の異常流速を自らキャッチし、弁体と直結するウェイトで流れを緊急遮断させる。自力式の場合、電源は不要である。

●図表5-5-7-1 緊急遮断弁の設置位置

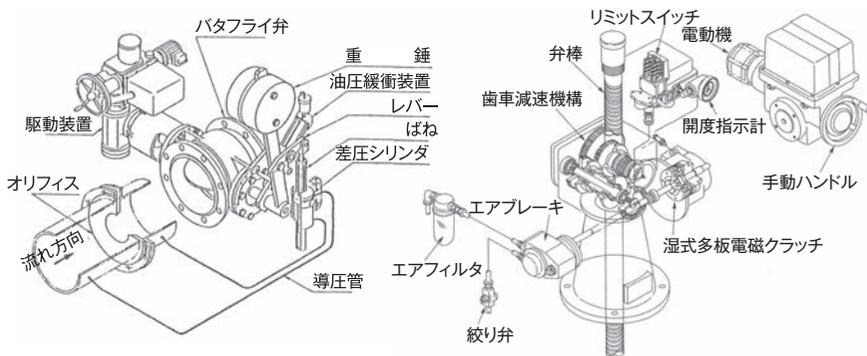


『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

2 種類

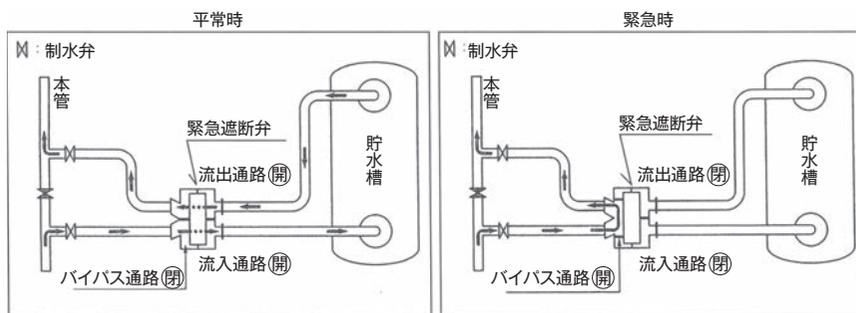
緊急遮断弁には、地震時に配水池の水の流出を防ぐための緊急遮断弁や、貯水槽と配水管を切り離す機能を持つ貯水槽用緊急遮断弁がある。

●図表5-5-7-2 緊急遮断弁の構造 (例)



『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

●図表5-5-7-3 貯水槽用緊急遮断弁の配置と流れ

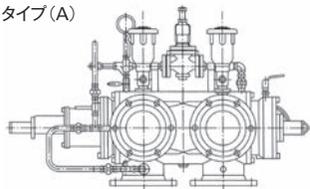


『ダクタイル鉄管による耐震貯水槽 JDP A T38』(日本ダクタイル鉄管協会)より

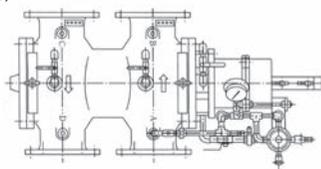
●図表5-5-7-4 貯水槽用緊急遮断弁の構造

貯水槽用緊急遮断弁スプール形

タイプ(A)

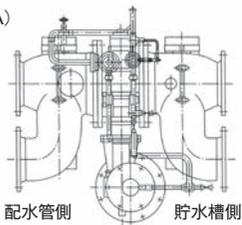


タイプ(B)

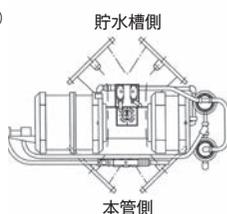


貯水槽用緊急遮断弁バタフライ弁形

タイプ(A)



タイプ(B)



『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

5-5-8 排水設備

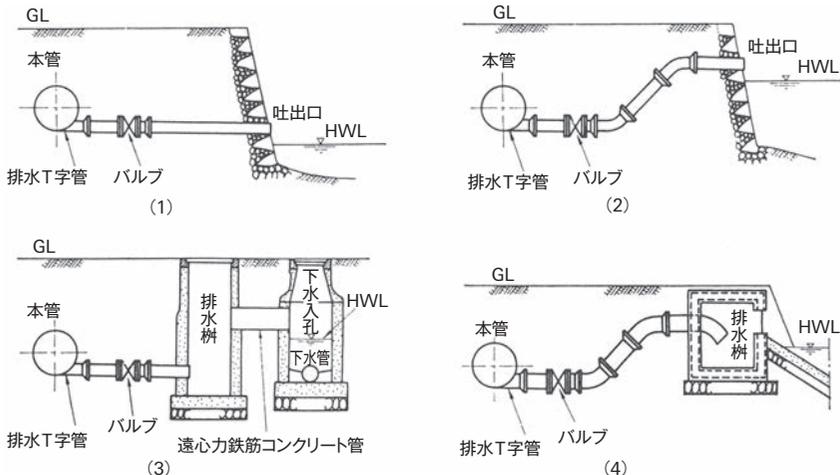
1 機能および設置場所

排水設備は、管路内を空にしたり、洗管や水質保全のために水を排水する目的で設ける。河川、水道管渠、側溝などのある場所で、なるべく管路の凹部に設ける。下流・上流両側の管路の排水ができるように排水設備の前後にバルブを設ける。可能な限り排水量に適合した呼び径にすることが望ましいが、一時的に大量の排水をすると水路などに影響を与えるため、排水管の呼び径が制約されることがある。排水管路からの吐出口は、放流先の水路などの高水位より高い位置に配置する。放流水面が管底より高いときは、管路内を完全に排水するために排水柵を設けてポンプ排水する必要がある。

●図表5-5-8-1 排水管の呼び径

本管呼び径	200~300	350~400	450~600	700~900	1000~2600
排水管呼び径	100	150	200	300	400

●図表5-5-8-2 排水設備の設置例



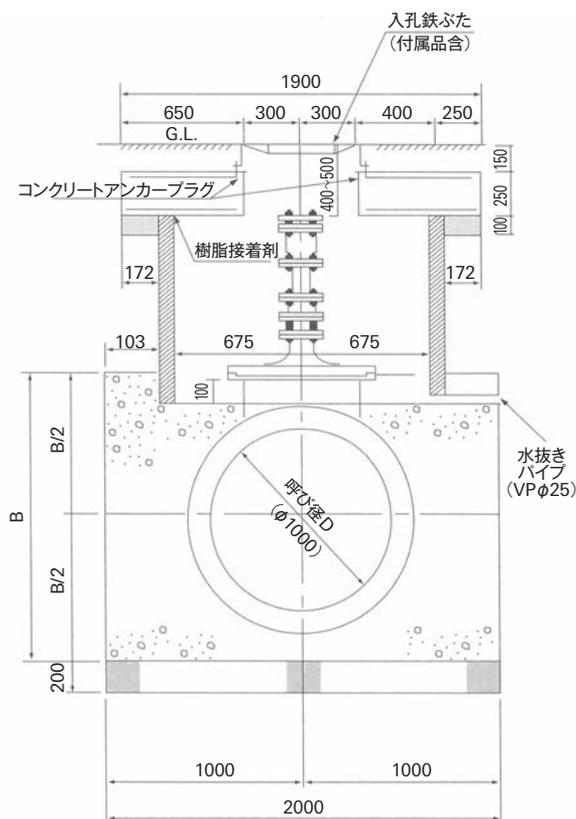
『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

5-5-9 人孔

1 機能および設置場所

呼び径800以上の管路には、施工時の機材搬入、接合、水圧試験、維持管理上の点検、補修などのために管内に入れるように直径600mmの人孔を設ける。人孔には、空気弁や消火栓を設置することができる。

●図表5-5-9-1 人孔の設置例



注) 水抜きは地下水位の高い場所には設置しない

5-5-10 給水装置

1 機能および設置場所

給水装置とは、配水管から分岐した給水管とこれに付属する器具によって需要者に水を供給する装置をいう。給水方式は図表5-5-10-1の通りである。

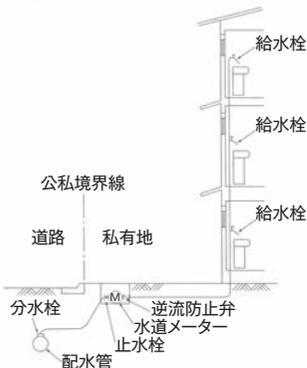
●図表5-5-10-1 給水方式の分類

給水方式		説明
直結直圧式		配水管の動水圧で直接給水する方式
直結増圧式	直結増圧式(直送式)	給水管の途中に増圧設備を設ける方式
	直結増圧式(高置水槽式)	増圧したのち高置水槽から給水する方式
	直結多段型	建物を上下に分け、多段で給水する方式
	直結並列型	建物を左右に分け、給水する方式
受水槽式	単段高置水槽式	受水槽後に加圧し、高置水槽から給水する方式
	多段高置水槽式	受水槽後に加圧し、多段の高置水槽から給水する方式
	圧力水槽式	受水槽後に加圧し、圧力水槽から給水する方式
	ポンプ直送式	受水槽後に加圧し、直接給水する方式
直結・受水槽併用式		1つの建物で、直結と受水槽を併用する方式

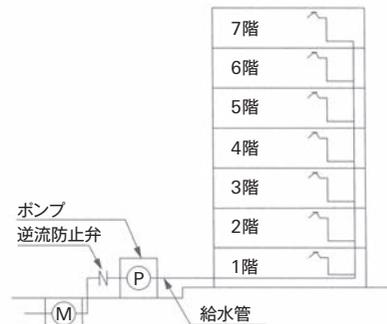
給水方式は給水栓の高さ、水量、使用用途、維持管理、需要者の要望、配水管の整備状況などを考慮して決定する(図表5-5-10-2、3)。

●図表5-5-10-2 直結式給水の例

直結直圧式(3階建住宅)の例



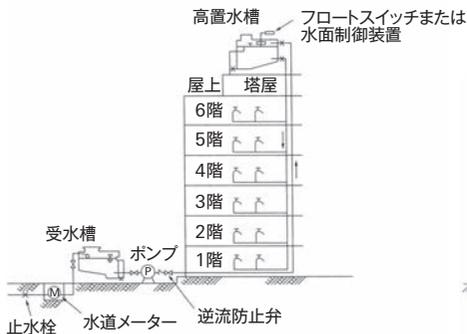
直結増圧式(直送式)の例



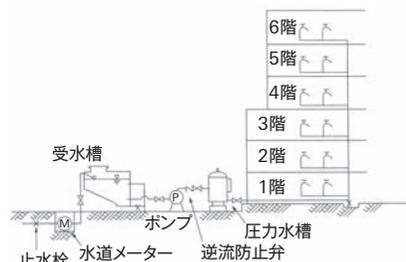
【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

●図表5-5-10-3 受水槽式給水の例

単段高置水槽式の例



圧力水槽式の例



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

2 分水栓

分水栓は、配水管に直接取り付けられ、給水管を取り出すための器具である。

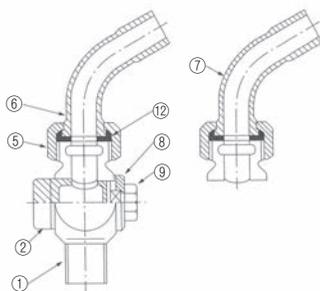
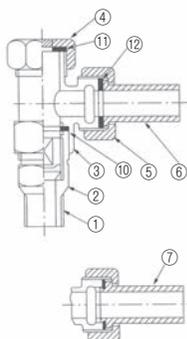
① 管に直接ねじを切って分水する場合

甲形分水栓と乙形分水栓(図表5-5-10-4)があり、甲形はねじ式で給水管は分水栓に直角に接続される。また乙形は止水コックが取り付けられ、給水管は60°または90°に取り出される。

なお、ダクタイル鉄管の呼び径300以下の3種管から分水する場合は、管厚の関係からサドル付き分水栓を使わなければならない。

●図表5-5-10-4 甲形および乙形分水栓の例

(1) 甲形(水平対向取出し用) (2) 乙形(60°上方向取出し用)



部品番号	部品名称
①	下胴(1)
	胴
②	止めこま(1)
	閉止(2)
③	上胴
④	止めナット
⑤	袋ナット
⑥	ソケット
⑦	ガイドソケット
⑧	座金
⑨	ガスケット
⑩	ガスケット
⑪	ガスケット
⑫	ガスケット

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

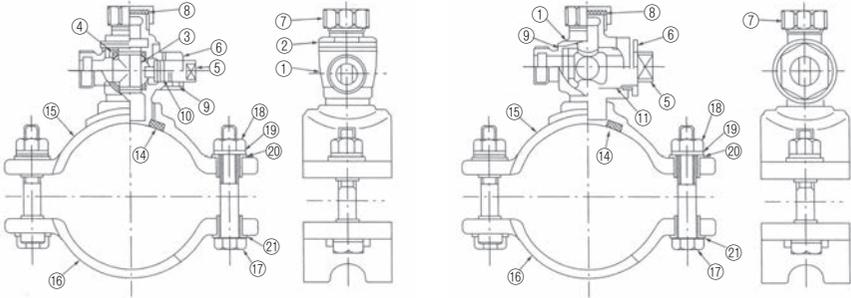
② サドル付き分水栓 (JWWA B 117)

サドル付き分水栓 (図表5-5-10-5) は、バンドとボルトによって配水管に取り付けられた後、穿孔し、給水管を分岐、取り出す構造になっている。

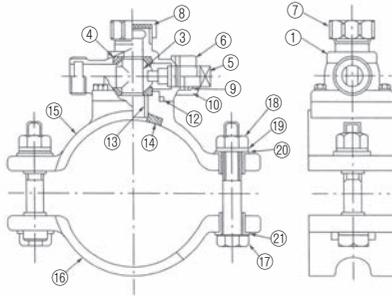
●図表5-5-10-5 サドル付き分水栓の例

(1) 止水機構ボール式 (ねじ式)

(3) 止水機構コック式



(2) 止水機構ボール式 (フランジ式)



部品番号	部品名称
①	胴
②	ボール押さえ
③	ボール
④	ボールシート
⑤	栓棒 (1) (2) 閉止 (3)
⑥	保護ナット (1) (2) 止めナット (3)

部品番号	部品名称
⑦	キャップ
⑧	ガスケット
⑨	止めピン
⑩⑪⑫	Oリング
⑬	ブッシュ
⑭	サドル取付ガスケット
⑮	サドル

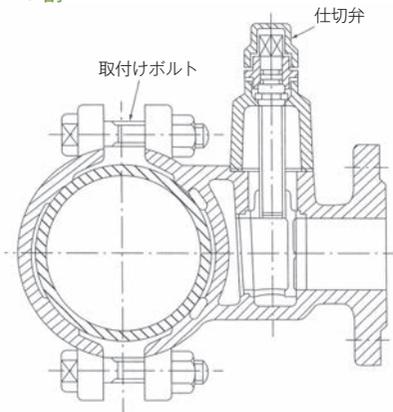
部品番号	部品名称
⑯	バンド
⑰⑱	ボルト・ナット
⑲	平座金
⑳㉑	絶縁体

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

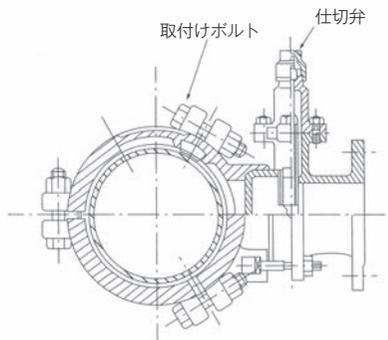
③ 割T字管

割T字管は、ダクタイル鋳鉄製の割T字形の分岐帯に仕切弁を仕込み、一体として配水管にボルトを用いて取り付ける構造のもので、二つ割と三つ割がある (図表5-5-10-6)。最近では、耐震構造の製品も開発されている。

●図表5-5-10-6 割T字管
二つ割



三つ割



〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

3 穿孔工事

① サドル付き分水栓の穿孔要領

- ・ サドルをバンドとボルトでしっかりと取り付ける。
- ・ 穿孔機を取り付け、ドリルによって穿孔する。
- ・ ドリルを引き抜き、サドルロックを閉じる。
- ・ 穿孔機を取り除き、キャップを締め穿孔作業を完了する。
- ・ 穿孔部などの防食のために、防食コアを装着することが好ましい。

② エポキシ樹脂粉体塗装管の穿孔の注意点

1) モルタルライニング管と同様な方法

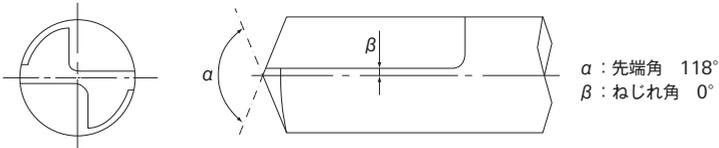
モルタルライニング管と同様な方法でも穿孔が可能であるが、ドリルの摩耗度などの管理が不十分な場合、塗膜の貫通不良や欠けなどが発生しやすい。

2) エポキシ樹脂粉体塗装管に適した方法

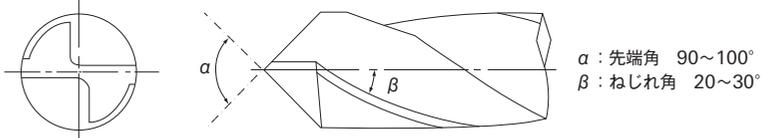
- ・ 穿孔機は電動式あるいは簡易電動機を用いる。
- ・ ドリルはエポキシ樹脂粉体塗装管に適した先端角が鋭角(90°程度)でひねりが5°～30°のものを用いる。

● 図表5-5-10-7 ドリルの形状

モルタルライニング管用



エポキシ樹脂粉体塗装管用



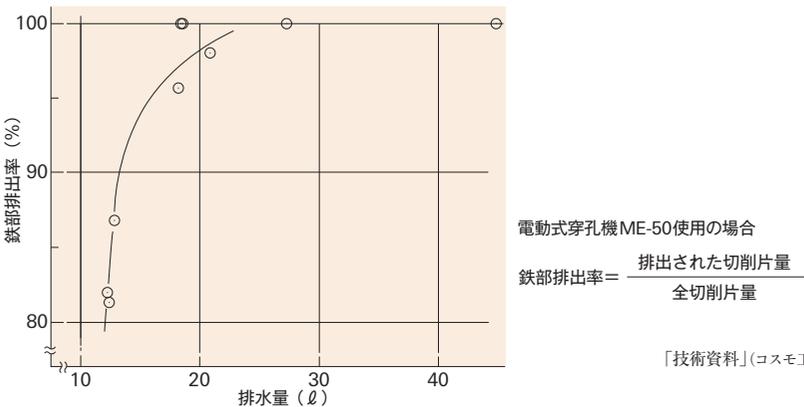
〔内面エポキシ樹脂粉体塗装ダクタイル鉄管について JCPA T47〕(日本ダクタイル鉄管協会)より

③ その他

1) 穿孔時の切粉排出

モルタルライニング管、エポキシ樹脂粉体塗装管を問わず、穿孔作業と同時に十分な排水を行い、切削片を全て管外へ排出する。

● 図表5-5-10-8 排水量と切削片の排出率



2) ドリル使用上の注意

エポキシ樹脂粉体塗装管用のドリルとモルタルライニング管のドリルを共用せず、専用のドリルを使用すること。モルタルライニング管を穿孔すると刃先の摩耗が極度に進行するため、同じドリルを用いるとエポキシ樹脂粉体塗膜の切削に支障を来すこととなる。

Chapter 1
Chapter 2
Chapter 3
Chapter 4
Chapter 5
Chapter 6
Chapter 7
Appendix

5-6

軟弱地盤対策

5-6-1 軟弱地盤の定義

軟弱地盤の大部分は、沖積層細粒土地盤である。定義は明確ではないが、一般に次のようなものを軟弱地盤として扱う。

- ・ 軟弱地盤は、主として粘土やシルトのような微細な粒子に富んだ軟らかい土で、間隙の大きい有機質土または泥炭、緩い砂などから成る土層によって構成され、地下水位が高く、盛土や構造物の安定・沈下に影響を与える恐れのある地盤をいう。
- ・ 地盤の軟弱さの判定は一般的にボーリング調査時に行われる標準貫入試験方法(JIS A 1219)によって得られるN値によって判断する。N値とは重さ63.5kg(±0.5kg)のハンマを760mm(±10mm)自由落下させ標準貫入試験用サンプラーと呼ばれる銅製円筒300mm打ち込むのに要する打撃回数のことであり、N値がだいたい0～4程度のもを軟弱地盤と呼んでいる。
- ・ 一軸圧縮強さを基に判断する場合は、60kN/m²以下を目安とする。

軟弱地盤の詳細については、以下の技術資料および図表5-6-1-1～5を参照のこと。

- ・ 『道路橋示方書・同解説』(日本道路協会、2012年)
- ・ 『道路土工 軟弱地盤対策工指針(平成24年度版)』(日本道路協会)
- ・ 『土木・建築技術者のための軟弱地盤ハンドブック』(建設産業調査会、1981年)

● 図表5-6-1-1 軟弱地盤の判定基準(非砂質地盤の場合)

標準貫入試験N	コーン指数 ^{注1} q _c (kN/m ²)	判定
4以上	400以上	安定についてはだいたい問題はない。
2～4	200～400	一般にすべり破壊のおそれはない。軟弱層が厚い場合には沈下について一応の調査を要する。
0～2	0～200	すべり破壊と沈下に対し、十分な調査が必要である。

注1 一軸圧縮強度q_uから判断する場合には、q_c ≒ 5q_uと仮定する。

農林水産省農村振興局整備部設計課監修『土地改良事業計画設計基準 設計「農道」基準書 技術書』(農業土木学会、平成17年3月)より

● 図表5-6-1-2 細粒土の自然含水比による区分

自然含水比 (%)	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	適用土	盛土の安定および沈下
40以下	60以下	深い位置にある圧密の進んだ沖積粘土、乾いた表土、洪積粘土(火山灰土を除く)。	沈下、安定について、ほとんど問題がない。
40～70	60～40	一般の沖積粘土。	沈下について検討を要する。盛土高が高くなると安定性が問題となる。
70～100	40以下	比較的浅い位置にある沖積粘土(有機物を混入している場合が多い)。	沈下対策が問題となる。安定についても注意を要する。
100～300	40以下	有機物の多い沖積粘土	全沈下量、残留沈下量とも大。安全対策には十分な検討が必要。
300以上	30以下	有機質土	全沈下量、残留沈下量とも極めて大。安全対策には十分な検討が必要。

農林水産省農村振興局整備部設計課監修 『土地改良事業計画設計基準 設計「農道」基準書 技術書』
(農業土木学会、平成17年3月)より

● 図表5-6-1-3 高速道路における軟弱地盤の目安

地 盤	泥炭質地盤および粘土質地盤		砂質地盤
	全層厚10m未満	全層厚10m以上	
N値	4以下	6以下	10以下
q _u (kN/m ²)	60以下	100以下	—
q _c (kN/m ²)	800以下	1200以下	4000以下

q_u：一軸圧縮強さ

q_c：機械式コーン貫入試験によるコーン指数

『設計要領 第一集 土工保全編・土工建設編(平成28年8月)』(高速道路総合技術研究所)より

● 図表5-6-1-4 JR(旧国鉄)における先行調査結果の判定基準(標準貫入試験)

N 値	層厚(その他)	判 定
0	2m以上	軟弱地盤
2以下	5m以上	
4以下	10m以上	
30以上	3m以上 (その下に軟弱層がないとき)	支持層

『軟弱地盤の調査・設計・施工法』(土質工学会)より

● 図表5-6-1-5 地盤の許容応力度

地 盤	長期に生ずる力に対する許容応力度 ^{注1} (kN/m ²)
岩盤	1000
固結した砂	500

地盤	長期に生ずる力に対する許容応力度 ^{注1} (kN/m ²)
土丹盤	300
密実な礫層	300
密実な砂質地盤	200
砂質地盤(地震時に液状化のおそれのないものに限る。)	50
堅い粘土質地盤	100
粘土質地盤	20
堅いローム層	100
ローム層	50

注1 短期に生ずる力に対する許容応力度は、長期に生ずる力に対する許容応力度のそれぞれの数値の2倍とする。
「建築基準法施行令 第93条」より

5-6-2 沈下量の計算

軟弱地盤に管を埋設する場合、圧密沈下を生じることがある。管の重量、管内水の重量および埋戻土などを考慮して、管底部での土圧増加分を計算し、それによって沈下量を推定する。

詳しくは「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDBA T23」(日本ダクタイル鉄管協会)を参照のこと。

1 計算方法

沈下量の計算式としては、次のような3種のものがある。

$$\delta = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} H \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-2-1}$$

$$\delta = m_v \cdot \Delta P \cdot H \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-2-2}$$

$$\delta = \frac{C_c}{1 + e_0} H \cdot \log \frac{P + \Delta P}{P} \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-2-3}$$

- ここに、 δ : 圧密沈下量(m)
 e_0 : 現地盤の初期間隙比
 e : 載荷後の間隙比
 H : 圧密される層の厚さ(m)

- m_v : 土の体積変化率(体積圧縮係数) (m^2/kN)
- C_c : 土の圧縮指数
- P : 原地盤の先行荷重 (kN/m^2)
- ΔP : 各層での増加荷重 (kN/m^2)

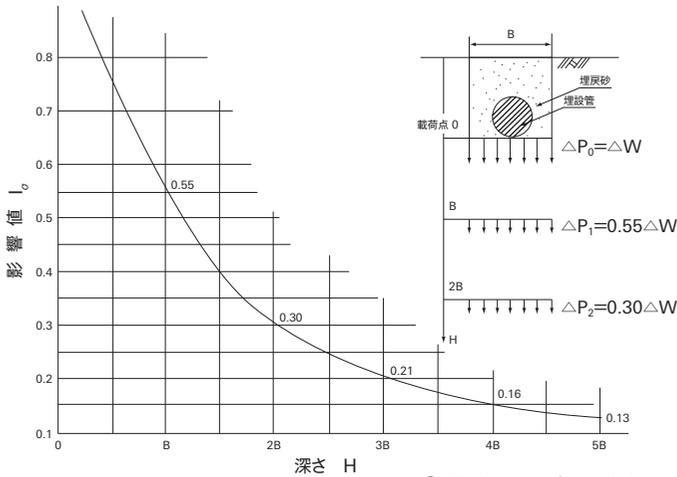
ここで、地盤に増加荷重が作用して圧密沈下する場合、荷重点に近い層の圧密量に比べて下層部の圧密量は小さくなる。増加荷重の深さによる荷重の減少係数を影響値 I_σ という。

$$\Delta P = I_\sigma \cdot \Delta W \quad \dots\dots\dots \text{式5-6-2-4}$$

ここに、 I_σ : 深さによる影響値

ΔW : 載荷点の増加荷重 (kN/m^2)

●図表5-6-2-1 深さによる影響値 I_σ



【基礎工学ハンドブック】(朝倉書店、1964年)より

●図表5-6-2-2 体積変化率 m_v

地盤の種類	体積変化率 m_v の値 (m^2/kN)
密な砂	$2 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$
緩い砂	$10 \times 10^{-5} \sim 20 \times 10^{-5}$
過密粘土	$5 \times 10^{-5} \sim 8 \times 10^{-5}$
普通の粘土	$50 \times 10^{-5} \sim 80 \times 10^{-5}$
腐植土を含む緩い砂、粘土	$100 \times 10^{-5} \sim 300 \times 10^{-5}$
腐植土	$300 \times 10^{-5} \sim 700 \times 10^{-5}$

「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T23」(日本ダクタイル鉄管協会)より

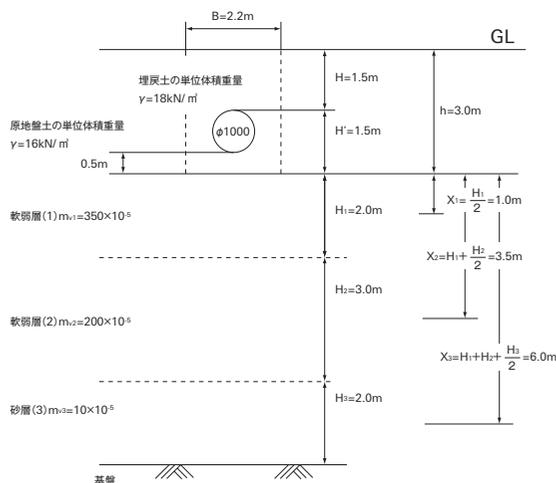
2 計算例

軟弱地盤に管を埋設した場合の沈下量の推定を、前述の式5-6-2-2で行った計算例を次に示す。

【計算条件】

- 管種 : ダクタイル鉄管
 呼び径 : 1000
 管厚の種類 : 2種管
 内面 : モルタルライニング
 管の埋設条件および地盤条件は図表5-6-2-3に示す。

●図表5-6-2-3 管埋設状況と地盤条件



〔ダクタイル鉄管管路 設計と施工 J DPA T23〕(日本ダクタイル鉄管協会)より

【計算結果】

●図表5-6-2-4 沈下量 δ の計算結果

層番号	土の体積変化率 m_v (m^2/kN)	軟弱中心深さ $X_{1\sim3}$ (m)	深さ／掘削幅 (X/B)	深さによる影響値 l_σ	層厚 $H_{1\sim3}$ (m)	沈下量 δ (m)
軟弱層(1)	360×10^{-5}	1.0	0.5	0.78	2.0	0.025
軟弱層(2)	200×10^{-5}	3.5	1.6	0.38	3.0	0.010
砂層(3)	10×10^{-5}	6.0	2.7	0.23	2.0	0.000
合計						0.035

これより総沈下量 δ は約3.5cmと予想される。

推定沈下量の計算を各点について行い、これに基づいて配管設計を検討する。

5-6-3 沈下対策

1 変位吸収量の算定

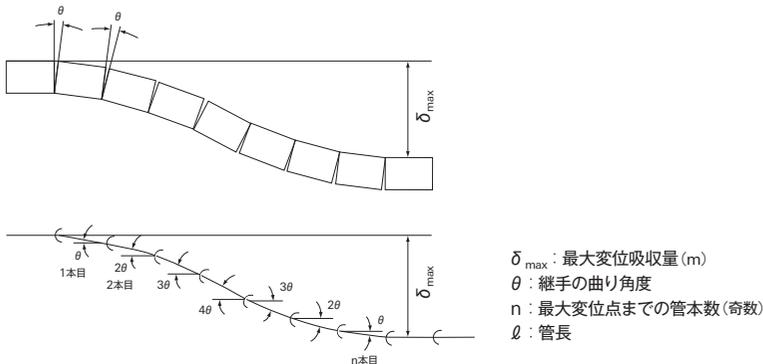
軟弱地盤では、配管工事に伴って仮設道路用の盛土を行ったり、埋戻土を砂に入れ替えたりすることによって掘削前よりも大きな荷重が地盤に作用し、不同沈下が発生することがある。また、普通地盤から軟弱地盤へと緩やかに地層が変化している場合も同様の不同沈下が生じる。

伸縮離脱防止継手管は継手に伸縮・屈曲性を有するため図表5-6-3-1に示すように管路の継手部が伸縮および屈曲し、このような地盤沈下に無理なく追従する。この場合の最大変位吸収量 δ_{\max} は式5-6-3-1で計算できる。

地震時に地盤の液状化が予想される地域では、地震動によって地盤が水平方向に流れるように移動する現象(液状化による地盤の側方流動)が発生することがあるが、最大変位吸収量 δ_{\max} は同様に計算できる。

●図表5-6-3-1 沈下量に対する最大変位吸収量

$$\delta_{\max} \doteq \ell (2\tan\theta + 2\tan 2\theta + 2\tan 3\theta + \cdots + 2\tan \frac{n-1}{2}\theta + \tan \frac{n+1}{2}\theta) \quad \text{式5-6-3-1}$$



「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T23」(日本ダクタイル鉄管協会)より

一例として、ダクタイル鉄管1本当たりの管長6m、全管路延長90m(15本)の中央部で順応できる変位吸収量を計算すると以下ようになる。

●図表5-6-3-2 変位吸収量の計算事例

曲り角度 $\theta^{\pm 1}$	30'	1°	1° 30'	2°
変位吸収量 δ (m)	0.84	1.68	2.52	3.36

注1 呼び径900の継手の許容曲げ角度は2°である。これより小さな呼び径の許容曲げ角度は大きく、大きな呼び径の許容曲げ角度は小さい(図表5-6-3-5参照)。

特に大きな地盤沈下が予想される場合は、伸縮離脱防止継手を有するGX形、NS形、S形、US形などの耐震継手管による鎖構造管路が効果的である。この管路は、継手が伸縮および屈曲することによって地盤の動きに無理なく追従し、かつ最終的に離脱防止機能が働き、地震時はもちろんのこと軟弱地盤でも継手が離脱することがないためライフラインの確保に適している。

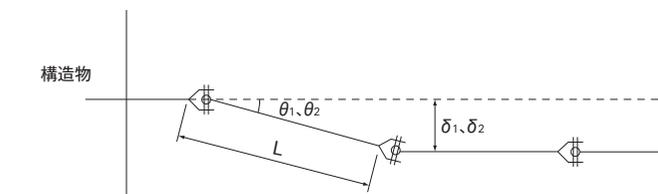
2 急激な地盤変状に対する対策

構造物との取合部や、硬い地盤から軟らかい地盤(例えば切土から盛土)へと地層が変化する箇所などでは、大きな変位が局部的に発生する可能性が高い。従って、あらかじめ以下のような対策を施しておくことが望ましい。

① 伸縮離脱防止継手による変位量の吸収

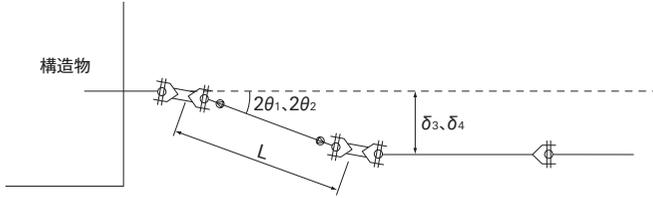
構造物との取合部に伸縮離脱防止継手を2個以上設けることにより、変位量を吸収することができる。さらに継ぎ輪を使用することで、より大きな変位量を吸収することができる。

●図表5-6-3-3 伸縮離脱防止継手による変位量の吸収(変位量が小さい場合)



「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T57」(日本ダクタイル鉄管協会)より

● 図表5-6-3-4 継ぎ輪による変位量の吸収(変位量大きい場合)



「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T57」(日本ダクタイル鉄管協会)より

この場合に吸収できる地盤変位量は次式より求める。ここに、継手屈曲角度は配管施工時の許容曲げ角度で計算しており、設計時はこの範囲で検討することが望ましい。

$$\delta_1 = L \cdot \tan \theta_1 \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-3-2}$$

$$\delta_3 = L \cdot \tan 2\theta_1 \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-3-3}$$

ここに、 δ_1 または δ_3 : 直管の継手または継ぎ輪によって吸収可能な地盤変位量 (設計時)

L : 切管の管長

θ_1 : 継手1カ所当たりの許容曲げ角度

なお、継手は地震時や地盤沈下時には最大屈曲角度まで曲がり得るため、最大の変位吸収量は次式より求める。

$$\delta_2 = L \cdot \tan \theta_2 \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-3-4}$$

$$\delta_4 = L \cdot \tan 2\theta_2 \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-3-5}$$

ここに、 δ_2 : 直管の継手または継ぎ輪によって吸収可能な地盤変位量

L : 切管の管長

θ_2 : 地震時や地盤沈下時の最大屈曲角度(許容曲げ角度の2倍)

伸縮離脱防止継手の継ぎ輪2個を用いた場合の変位吸収量を示す(計算値は継手の許容曲げ角度の2倍を用いた)。

● 図表5-6-3-5 継ぎ輪2個を用いた場合の変位吸収量(US形を除く)

呼び径	継手の許容曲げ角度 θ_1 (°)	継ぎ輪の許容曲げ角度 $\theta_1 \times 2$ (°)	変位吸収量 (mm)			
			切管の管長			
			L=2m	L=3m	L=4m	L=5m
50	4°	8°	281	421	—	—
75	4°	8°	281	421	—	—
100	4°	8°	281	421	562	—
150	4°	8°	281	421	562	702

呼び径	継手の 許容曲げ角度 $\theta_1 (^{\circ})$	継ぎ輪の 許容曲げ角度 $\theta_1 \times 2 (^{\circ})$	変位吸収量 (mm)			
			切管の管長			
			L = 2m	L = 3m	L = 4m	L = 5m
200	4°	8°	281	421	562	702
250	4°	8°	281	421	562	702
300	3°	6°	210	315	420	525
350	3°	6°	210	315	420	525
400	3°	6°	210	315	420	525
450	3°	6°	210	315	420	525
500	3° 20′	6° 40′	233	350	467	583
600	2° 50′	5° 40′	198	297	396	495
700	2° 30′	5°	174	262	349	437
800	2° 10′	4° 20′	151	227	303	379
900	2°	4°	139	209	279	349
1000	1° 50′	3° 40′	127	191	255	319
1100	1° 40′	3° 20′	116	174	232	290
1200	1° 30′	3°	104	157	209	262
1350	1° 30′	3°	104	157	209	262
1500	1° 30′	3°	104	157	209	262
1600	1° 30′	3°	104	157	209	262
1650	1° 30′	3°	104	157	209	262
1800	1° 30′	3°	104	157	209	262
2000	1° 30′	3°	104	157	209	262
2100	1° 30′	3°	104	157	209	262
2200	1° 30′	3°	104	157	209	262
2400	1° 30′	3°	104	157	209	262
2600	1° 30′	3°	104	157	209	262

備考 各接合形式の呼び径は以下の通りである。

S50形 : 50

GX形 : 75~300・400

NS形 : 75~1000

NS形 (E種管) : 75~150

S形 : 1100~2600

● 図表5-6-3-6 継ぎ輪2個を用いた場合の変位吸収量 (US形の場合)

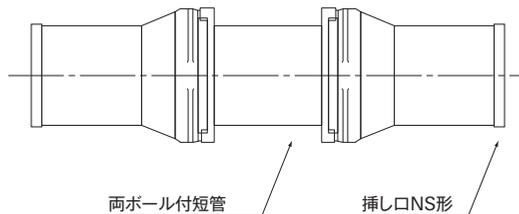
呼び径	継手の 許容曲げ角度 $\theta_1(^{\circ})$	継ぎ輪の 許容曲げ角度 $\theta_1 \times 2(^{\circ})$	変位吸収量 (mm)		
			切管の管長		
			L=2m	L=3m	L=4m
800	2° 10′	4° 20′	151	227	303
900	2°	4°	139	209	279
1000	1° 50′	3° 40′	127	191	255
1100	1° 40′	3° 20′	116	174	232
1200	1° 30′	3°	104	157	209
1350	1° 30′	3°	104	157	209
1500	1° 30′	3°	104	157	209
1600	1° 10′	2° 20′	81	122	—
1650	1° 05′	2° 10′	75	113	—
1800	1°	2°	69	104	—
2000	1°	2°	69	104	—
2100	1°	2°	69	104	—
2200	1°	2°	69	104	—
2400	1°	2°	69	104	—
2600	1°	2°	69	104	—

3 伸縮可とう管による変位量の吸収

軟弱地盤や構造物との取合部など不同沈下の恐れのある箇所には、大きな変位を吸収するためのユニットであるボール式ダクティル鑄鉄可とう管を用いることもでき、これには図表5-6-3-7の両挿しタイプや呼び径によりGX形などもある。

詳しくは『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)を参照のこと。

● 図表5-6-3-7 伸縮可とう管の例



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

5-6-4 軟弱地盤での配管の留意点

軟弱地盤での配管では以下の点に留意すること。

- ・ 埋設溝を掘削するに当たっては、周囲への影響、安全対策、作業性を考慮した上で土留め、地下水対策および地盤改良などの工法を決定する。
- ・ 地盤によって、砂基礎、杭基礎などの基礎工を考慮する必要がある。
- ・ 埋戻しの転圧は定められた層ごとに丁寧に行う。埋戻し中および埋戻し直後の沈下は大きいので、ワイヤロープなどで管を吊った状態で埋め戻し、初期沈下が収まるまで養生をする。
- ・ 管路の不規則な沈下を防止するために、埋戻しが終わった管路上には、工事中の掘削土・器材などを置かないようにし、局部的に大きな荷重がかからないようにする。
- ・ 地下水位が高い場合、埋戻しが完了するまでは浮上りの恐れがあるので、埋戻しは配管完了後すみやかに行う。

5-7

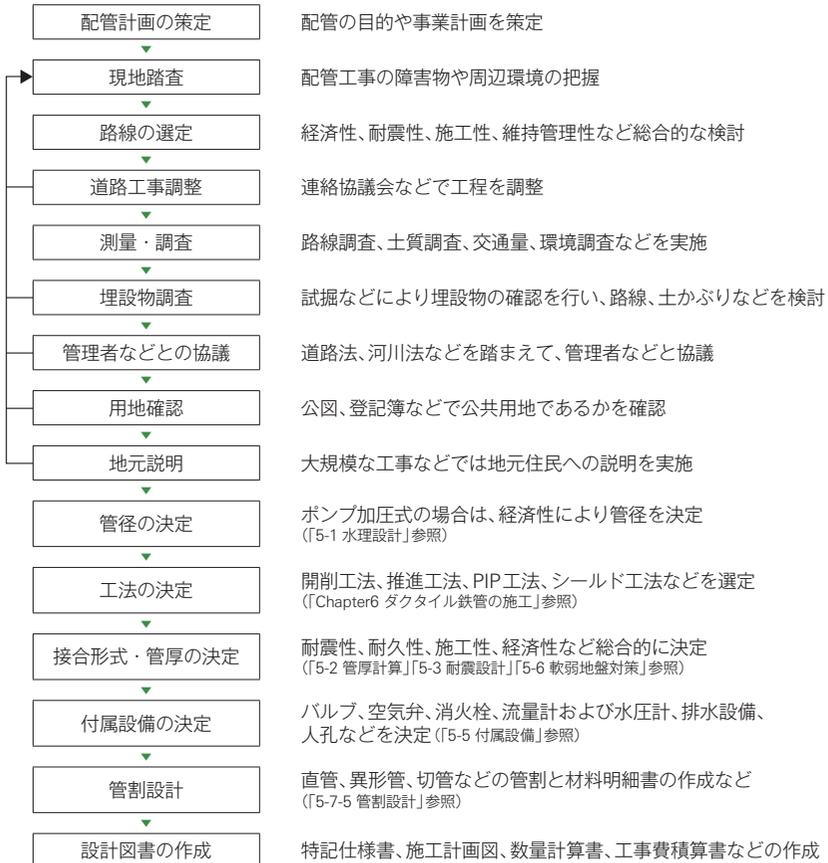
配管設計

5-7-1 配管設計の手順

1 配管設計の全体概要

導・送水管、配水本管、配水支管の配管設計の手順の例を以下に示す。

●図表5-7-1-1 配管設計の手順



2 関連資料

接合形式別の詳細な設計方法については、以下の技術資料を参照のこと。

- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T23」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ダクタイル鉄管管路 配管設計標準マニュアル(配管図面製作用) JDP A T27」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T35」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T57」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「S50形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T59」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「NS形ダクタイル鉄管(E種管)管路の設計 JDP A T62」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)
- ・「下水道用 ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T30」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「農業用水用 ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T32」(日本ダクタイル鉄管協会)

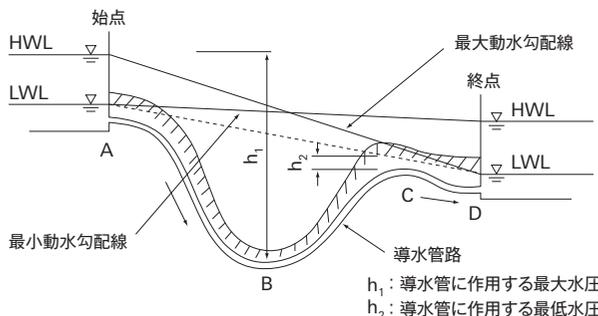
5-7-2 管径の算定

詳細な水理、水撃圧の計算方法などは「5-1 水理設計」を参照のこと。

1 動水勾配線

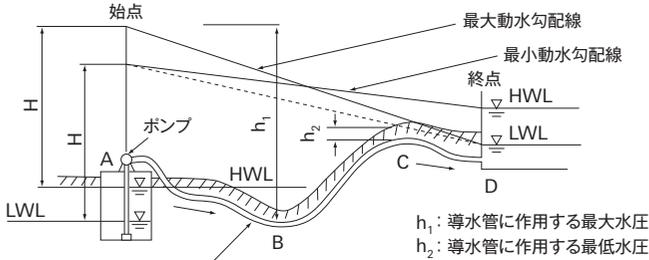
管径を算定する場合は、始点のLWL(最低水位)と終点のHWL(最高水位)を結んだ最小動水勾配線を基に算出する。

●図表5-7-2-1 自然流下式の動水勾配線



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

● 図表5-7-2-2 ポンプ加圧式の動水勾配線

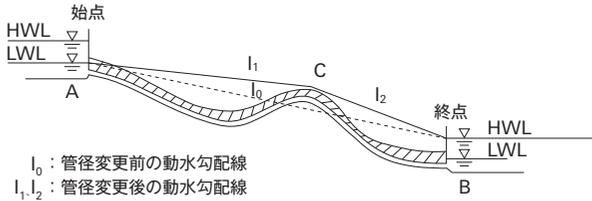


『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

2 管路の路線

管路の路線は、最小動水勾配線以下に設定して、常に管内が負圧になることは避ける。

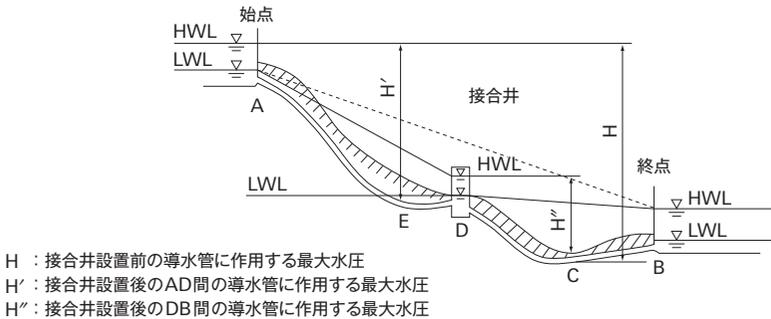
● 図表5-7-2-3 管路と最小動水勾配線の関係(負圧を避ける場合)



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

管路に働く最大静水圧が高圧となる場合には、接合井を設けて圧力を自由水面で開放する。

● 図表5-7-2-4 管路と最小動水勾配線の関係(高圧を避ける場合)



H : 接合井設置前の導水管に作用する最大水圧
 H' : 接合井設置後のAD間の導水管に作用する最大水圧
 H'' : 接合井設置後のDB間の導水管に作用する最大水圧

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

Chapter 1
Chapter 2
Chapter 3
Chapter 4
Chapter 5
Chapter 6
Chapter 7
Appendix

5-7-3 埋設位置および深さ

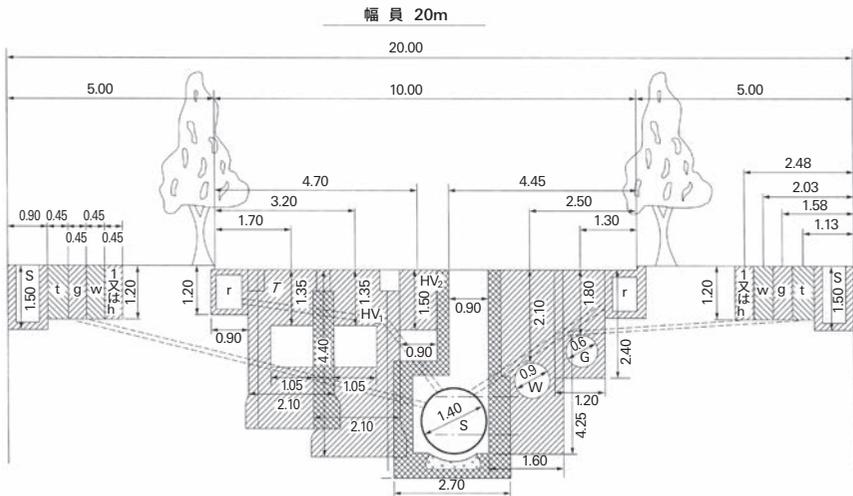
1 埋設位置

配水管は、維持管理の容易性に配慮し、原則として道路(公道)に布設する。この場合、配水本管は道路中央寄りに、配水支管は給水管分岐の都合上、なるべく道路の片側よりに布設する。

道路幅員が広い場合には、需要者への給水の利便性、給水管の漏水防止を図るために、両側の歩道または車道の両側に布設する。

河川敷、軌道敷、私有地に管を埋設する場合には、当該管理者あるいは土地所有

●図表5-7-3-1 道路占用埋設物の配置標準図例(福山市)



- 1 本図例の縮尺は百分の一とする。
- 2 本図例は通常北西又は西面として実地に適用するものとする。
- 3 本図例に於ける路下管線路の標示は右表に依る。

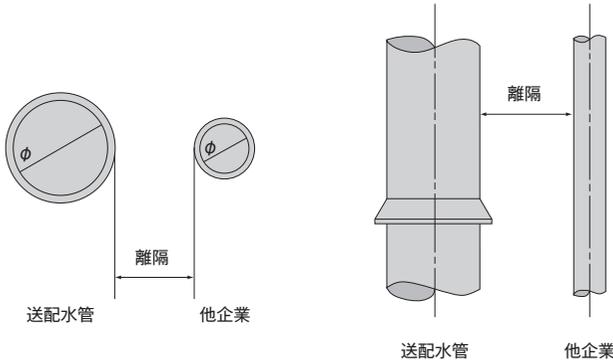
凡 例			
路下管線路種別	本線	支線	摘要
電信電話線	T	t	
高圧電線	HV ₁	HV ₂	HV ₁ はダクト式 HV ₂ はトラフ式
電燈低圧線		i	
水道管	W	w	
下水管	S	s	sは污水枡、rは雨水枡
瓦斯管	G	g	

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

者と協議の上、使用承認を取る。

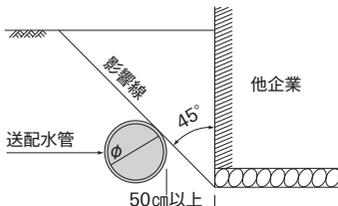
「配水管を他の地下埋設物と交差または近接して布設するときは、少なくとも0.3m以上の間隔を保つ」と『水道施設設計指針 2012』の「7.5.6 埋設位置及び深さ」にはあるが、ガス管、下水道管、電線など、他企業側でも基準を設けている場合もあるので、確認が必要である。また、管径の大きさにより交差する場合、並行して布設する場合の構造物との離隔が規定されている場合もある。交差する場合には、45°以上で交差するなどの規定もある。

●図表5-7-3-2 他の埋設物との離隔例
並行布設



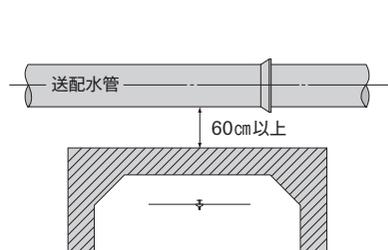
送配水管	離隔
φ 450以下	30cm以上
φ 500～φ 900	50cm以上
φ 1000～φ 1350	100cm以上
φ 1500～φ 1800	150cm以上
φ 2000以上	200cm以上

構造物の影響範囲

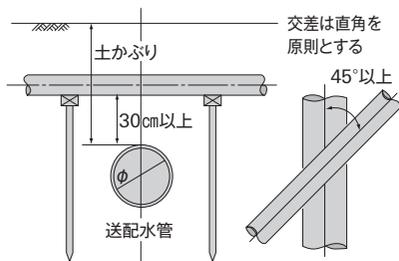


45°の影響線内に送配水管が入る場合は別途協議によるものとする。

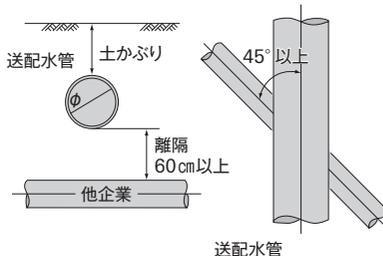
構造物の上を通過する場合



上面横断する場合



下面横断する場合



「地下埋設協議基準」
(宮城県仙南・仙塩広域水道事務所工業用水道管理事務所HP)より(抜粋)

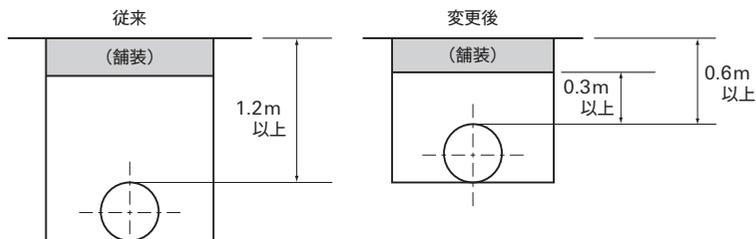
2 埋設深さ

「道路法施行令」(昭和27年政令第479号)では、土かぶりの標準は1.2mと規定されているが、水管橋取付部の堤防横断箇所や他の埋設物と交差の関係上で、土かぶりを標準、または規定値まで取れない場合は、道路管理者または河川管理者と協議の上、土かぶりを0.6mまで減少することができる。

水道管の浅層埋設については、「電線、水管、ガス管又は下水道管を道路の地下に設ける場合における埋設の深さ等について」(平成11年3月31日建設省道政発第32号・建設省道国発第5号、「浅層化通達」)により、「水管の頂部と路面との距離は、当該水管を

●図表5-7-3-3 浅層埋設における最小土かぶり

区分	最小土かぶりの規定
車道	車道の最小土かぶりは舗装の厚さに0.3mを加えた値以上とし、かつ下記の値以下としないこと。 ・上下水道、ガス、下水道(本線以外)、電話線：0.6m ・下水道本線：1.0m
歩道	歩道の最小土かぶりは0.6m以下としないこと。建設省道路局通達では、歩道の最小土かぶりは0.5mとなっているが、建設省道路局事務連絡により、別途条件について連絡があるまで0.6mの運用となる。



備考 上記の舗装厚さは、路面から路盤の載荷面までの距離をいう。

設ける道路の舗装の厚さに0.3mを加えた値(当該値が0.6mに満たない場合には、0.6m)以下としないこと」の運用規定が出されている。

浅層埋設において対象となるダクタイル鉄管の呼び径は75～300である。ただし、呼び径50～350は浅層埋設でも管体、継手部の強度、性能面で問題はない。道路管理者の判断により使用可能である(「水道管の浅層埋設に伴う管路並びに付属器具に関する技術的検討報告書」平成11年10月、日本水道協会)。最小土かぶりの詳細については「ダクタイル鉄管の浅層埋設について」(日本ダクタイル鉄管協会)を参照のこと。

5-7-4 管種の決定

管種は、図表5-7-4-1の項目などを十分検討して選定する必要がある。

●図表5-7-4-1 管種の検討項目

項目	解説	
内圧	最大静水圧と水撃圧に対して安全であること。同一路線でも水圧に応じて区間ごとに管種、管厚を変える場合もある。	
外圧	埋設管の場合は土かぶりによる土圧と路面荷重に対して安全であること。水管橋では、自重、水重、地震荷重、風荷重、積雪荷重、保温材の荷重に対して安全であること。	
継手性能 施工性	継手には一般継手、離脱防止継手および伸縮離脱防止継手があるが、地震対策として、継手が伸縮、屈曲して離脱しない伸縮離脱防止継手が一般的である。	
使用条件	水質	送配水管では、水道水の残留塩素や遊離炭酸の影響を受けにくいものを使用する。導水管等の原水では、砂などの影響も考える必要がある。また無ライニング管、モルタルライニング管では、ランゲリア指数 ^{注1)} の改善などを考慮する必要がある。
	地盤・土質	埋設地盤の液状化、側方流動、軟弱地盤の不同沈下が生じる場所では、伸縮離脱防止継手が一般的である。また、土壌の腐食性を調査し、特に腐食性の高い環境下ではポリエチレンスリーブなど防食対策を適用する。
	地下水	地下水位が高く湧水が多い場合には、施工にその影響の少ないものを選定する。地下水に腐食性のある場合には、ポリエチレンスリーブなど防食対策を適用する。
	埋設物	他の埋設物と交差もしくは近接する場合には、少なくとも0.3m以上の離隔を保つこと。
	路面荷重・交通量	大きな路面荷重がかかる場合には管厚の安全性検討が必要である。交通量に応じて、PIP(パイプインパイプ)工法など非開削工法の検討を行う。

項目		解説
各種配管	異形管部	一般的には離脱防止継手を用いる。高水圧管路や一体化長さが50mを超える場合には、コンクリート防護を併用するとともに、必要に応じて継ぎ輪などを設け、一体化長さを50m以下にする。
	構造物周り	地震時の大きな伸縮量、不同沈下による変位量を想定して、管体強度が強く、継手の伸縮性・屈曲性のある材料を選定する。
	水管橋・橋梁添架配管	軸方向に伸縮性のある継手が好ましく、剛継手の場合には伸縮可とう管が必要である。 管体および継手材料、外面塗装に耐候性のある外面特殊塗装(JDPA G 1029)などを選定する。
	地上配管 (露出配管)	
	軌道付近	電食防止に留意し、絶縁継手や電気抵抗の大きい管種を用いる。
	トンネル・シールド内配管	接合が管内作業になるので、施工性の良いもの、施工時間が短いものを選定する。また、長距離施工の場合には、仮設設備が少ない方が好ましい。
	PIP工法	掘削は立坑のみであり、交通への影響が軽減される。また挿入延長が長ければ経済的である。
	推進工法	推力に十分耐えるもので、接合作業時間が短く、推進抵抗の小さいものが望ましい。
	軟弱地盤	地盤沈下に際して、管体に大きな力が作用しないよう、伸縮離脱防止継手管および継ぎ輪などの使用が望ましい。
	断層通過部	地震力に耐える十分な強度を有するもので、継手が伸縮および屈曲することによって地盤の動きに無理なく追従し、最終的には離脱が防止できるものが適する。大きな変位に対しては長尺継ぎ輪などを適宜配置する。
経済的要件		管および接合費・管布設工事費・維持管理費の総和をできるだけ小さくするように配慮すべきであるが、何よりも安全性と耐久性をよく考慮に入れて、前述の技術的要件を満足することが必要である。

注1 ランゲリア指数が小さいほど炭酸カルシウムは溶解しやすく、腐食性が強いことを示している。快適水質項目の目標値は「-1程度以上とし、極力0に近づけること」とされている。

〔ダクタイル鉄管管路のてびき JDPA T26〕(日本ダクタイル鉄管協会)より(改変)

●図表5-7-4-2 管種の特徴

種類	長所	短所
ダクタイル鉄管	<ul style="list-style-type: none"> 管体強度が大きく、靱性に富み、衝撃に強い。 耐久性がある。 K、T、U形などの柔構造継手は、継手の伸び、屈曲により地盤の変動に順応できる。 GX、NS、US形などの鎖構造継手は、柔構造継手よりも大きな伸縮に対応でき、さらに離脱防止機能を有するので、より大きな地盤変動に対応できる。 施工性が良い。 	<ul style="list-style-type: none"> 重量は比較的重い。 継手の種類によっては、異形管防護を必要とする。 内外面の防食面に損傷を受けると腐食しやすい。 K、T、U形などの柔構造継手は、地震時の地盤の液化化や亀裂などの地盤変状により伸縮(伸び)量が限界以上になれば離脱する。

種類	長所	短所
鋼管	<ul style="list-style-type: none"> ・管体強度が大きい。靱性に富み、衝撃に強い。 ・耐久性がある ・溶接継手により一体化ができ、地盤の変動には管体の強度および変形能力で対応する。地盤変動が大きなところでは、伸縮継手の使用または厚肉化で対応できる。 ・加工性が良い。 ・防食性の良い外面防食材料(ポリウレタンまたはポリエチレン)を被覆した管がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接技術は、専門技術が必要とするが、自動溶接もある。 ・電食に対する配慮が必要である。 ・内外面の防食面に損傷を受けると腐食しやすい。
硬質塩化ビニル管	<ul style="list-style-type: none"> ・耐食性に優れている。 ・重量が軽く施工性が良い。 ・内面粗度が変化しない。 ・RRロング継手は、RR継手よりも継手伸縮性が優れている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・管体強度は金属管に比べると小さい。低温時において耐衝撃性が低下する。 ・熱、紫外線に弱い。 ・シンナーなどの有機溶剤により軟化する。 ・継手の種類によっては、異形管防護を必要とする。 ・RRロング継手は、使用期間が短く、被災経験もほとんどないことから使用に当たっては十分な耐震性の検証が必要である。
配水用 ポリエチレン管	<ul style="list-style-type: none"> ・耐食性に優れている。 ・重量が軽く施工性が良い。 ・融着継手により一体化ができ、管体に柔軟性があるため地盤変動に追従できる。 ・内面粗度が変化しない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・管体強度は金属管に比べると小さい。 ・熱、紫外線に弱い。 ・有機溶剤による浸透に注意する必要がある。 ・融着継手では、雨天時や湧水地盤での施工が困難である。 ・融着継手の接合には、コントローラーや特殊な工具を必要とする。 ・悪い地盤における被災経験がないことから、使用に当たっては十分な耐震性の検証が必要である。

〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

● 図表5-7-4-3 ダクタイル鉄管の種類 (2017年3月現在)

接合形式 ^{注1}	呼び径	管厚の種類	
GX形	75~300・400	1種管、S種管	
NS形	75~450	1種管、3種管	
	500~1000	S種管	
NS形(E種管)	75~150	E種管	
S50形	50	S種管	
S形	1100~2600	1種管、2種管、3種管	
US形	800~2600	1種管、2種管、3種管	
PN形 (JP方式及びCP方式)	JP方式	300~1500	1種管
	CP方式	700~1500	P種管

接合形式 ^{注1}	呼び径	管厚の種類
PN形	300・350	1種管
	400	1種管、2種管
	500	1種管、2種管、3種管
	600～1500	1種管、2種管、3種管、4種管
PⅡ形	300・350	1種管
	400	1種管、2種管
	500	1種管、2種管、3種管
	600～1350	1種管、2種管、3種管、4種管
UF形	800～2600	PF種管
K形	75～350	1種管、3種管
	400～500	1種管、2種管、3種管
	600～2600	1種管、2種管、3種管、4種管、(5種管) ^{注2}
T形	75～350	1種管、3種管
	400～500	1種管、2種管、3種管
	600～2000	1種管、2種管、3種管、4種管、(5種管) ^{注2}
U形	800～2600	1種管、2種管、3種管、4種管
		1種管、2種管、3種管、4種管、(5種管) ^{注2}
フランジ形	75～2600	DF(異形管の管種は1種類のみ)
T形推進管	250	1種管、3種管
	300～350	1種管、3種管
	400～500	1種管、2種管、3種管
	600～700	1種管、2種管、3種管、4種管、5種管
U形推進管	800～2600	1種管、2種管、3種管、4種管、5種管、(PF種管) ^{注3}
US形推進管	800～2600	1種管、2種管、3種管、4種管、(PF種管) ^{注3}
LUF形(貯水槽用)	1500	15.5mm
	2000	19.5mm
	2600	25.0mm
FGX形(水管橋用)	75～300	7.5m
FT形(水管橋用)	75～350	7.5mm

注1 各接合形式の詳細は「Chapter3 ダクタイル鉄管の継手」を参照のこと。

注2 「JSWAS G-1 下水道用ダクタイル鋳鉄管(呼び径75～2600)」のみに規定されている。

注3 US形—UF形などの先頭管に用いられる。

備考 農業用水用ダクタイル鉄管の管種は、「JDPA G 1027-2016 農業用水用ダクタイル鋳鉄管」を参照のこと。

5-7-5 管割設計

1 管割設計の手順

具体的な管割設計の手順の例を以下に示す。

●図表5-7-5-1 管割設計の手順

配管条件の確認	呼び径、水圧、土かぶり、地盤・地質、路面荷重、配管路線の確認
管厚の選定	管種選定表または管厚計算により選定。一般的には管種により決まるが、必要に応じて計算で確認（「5-2 管厚計算」参照）
接合形式の選定	布設工法などより選定
配管路線の確認	分岐部、伏越し部、付属設備などの位置を決定
曲管の選定	屈曲角、分岐角度により曲管の選定を行い、組合せを決定
付属設備の管割検討	バルブ、空気弁、消火栓、排水施設、人孔などを決定
異形管防護の検討	離脱防止継手管による一体化、防護コンクリートなどの決定（「5-4 異形管防護」参照）
管割、切管長さの決定	直線部、曲管部、T字管部、伏越し部など直管本数および切管長さの決定
継ぎ輪位置の決定	施工順序（方向）などから結び配管用継ぎ輪の位置を決定
配管図の作成	平面図、縦断図（中大口径の場合）の作成
材料明細書の作成	使用材料の明細書および切管組合せ表の作成
数量計算書の作成	配管延長、接合箇所数、土木工事の数量などの明細書を作成
工事費積算書の作成	数量計算書を基に工事費積算書を作成

2 管厚の選定

管厚の選定については、「JWWA G 113-2015 水道用ダクタイル鋳鉄管」の資料「表1 直管の管種選定表」を参照のこと。

図表5-7-5-2より通常の使用条件では、呼び径500以下は3種管、S種管、E種管、呼び径600～1000は4種管とS種管で安全なことが分かる。呼び径1100以上については、「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDDPA T23」の「表17 直管の管種選定表（支

持角60°の場合)」を参照のこと。

切管用挿し口リング(継ぎ輪用を除く)を使用する場合には、1種管を用いる必要がある。土かぶり深い場合、水圧が高い場合などは、「5-2 管厚計算」を参照し、管厚に対する安全性の検討が必要である。また、管厚計算以外の要素(耐食性・他工事による損傷など)を考慮する場合は、より安全性の高いものを使用する場合もある。

●図表5-7-5-2 管厚の種類の選定表(呼び径1000以下、静水圧0.75MPa以下、土かぶり2.1m以下)

呼び径	土かぶり(m)							
	2.1		1.8		1.5		1.2	
	静水圧(MPa)		静水圧(MPa)		静水圧(MPa)		静水圧(MPa)	
	0.75	0.45	0.75	0.45	0.75	0.45	0.75	0.45
50	S	S	S	S	S	S	S	S
75	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E
100	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E
150	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E
200	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
250	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
300	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
350	3	3	3	3	3	3	3	3
400	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
450	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
600	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S
700	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S
800	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S
900	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S
1000	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S

備考1 計算条件：平底溝、管底支持角60°、直管材料の引張強さ420N/mm²、輪荷重245kN(トラック2台同時通過(衝撃係数1.5))、水撃圧0.55MPa、土の単位体積重量18kN/m³。

備考2 表内の数字・アルファベットは管種(3種管、4種管、S種管、E種管)を示す。

3 接合形式の選定

呼び径、工法などから適切な接合形式を選定する。

● 図表5-7-5-3 工法別接合形式一覧(2017年3月現在)

工 法	接合形式(呼び径) ^{注1}		離脱防止継手など ^{注2}
開削工法 (共同溝、添架水管橋、 露出配管など含む)	GX形(75~300・400)		GX形異形管
			直管受口+ライナ
			G-Link ^{注3}
	S50形(50)		抜け止め押輪
	NS形(75~1000)		NS形異形管
			直管受口+ライナ
	NS形(E種管)(75~150)		N-Link
			直管受口+ライナ
	S形(1100~2600)		UF形
	US形(800~2600)		UF形
	T形(75~2000)		離脱防止金具 (種類により適用呼び径が異なる)
K形(75~2600)			
U形(800~2600)		UF形	
トンネル内配管工法	US形(800~2600)		UF形
	PN形(700~1500)		—
	U形(800~2600)		UF形
PIP(パイプインパイプ)工法	PN形 (JP方式及びCP方式)	JP方式 (300~1500)	—
		CP方式 (700~1500)	—
	PN形(300~1500)		—
	PⅡ形(300~1350)		—
推進工法	T形推進管(250~700)		—
	U形推進管(800~1500)		—
	US形推進管(800~1500)		—
貯水槽	LUF形(1500~2600)、 UF形(1500~2600) ^{注4}		—
水管橋 (タイプⅠ、タイプⅡ ^{注5})	GX形(75~300・400)		FGX形 ^{注6}
	NS形(75~600)		FT形 ^{注6}

注1 各接合形式の形状や詳細は「Chapter3 ダクタイル鉄管の継手」を参照のこと。

注2 継手部に離脱防止機能を持たせるための方法を示した。

注3 呼び径400のG-Linkはなく、挿しロリングのみである。

注4 通常はLUF形を使用するが、U字形、W字形ではUF形を使用する場合がある。

注5 水管橋のタイプⅡは呼び径75~350のみである。

注6 FGX形は呼び径300以下、FT形は呼び径350以下のみである。

4 直管、異形管およびバルブの種類

ここでは、GX形を例に説明する。

●図表5-7-5-4 GX形の直管

呼び径	管長	管厚の種類
75・100	4m	1種管、S種管
150～250	5m	1種管、S種管
300・400	6m	1種管、S種管

●図表5-7-5-5 GX形の異形管

分類		種類
曲管	片受	90°、45°、22 1/2°、11 1/4°、5 5/8°
	両受	45°、22 1/2°
T字管		二受T字管、フランジ付きT字管、うず巻式フランジ付きT字管 ^{注1} 、浅層埋設形フランジ付きT字管 ^{注2} 、排水T字管 ^{注3}
その他		片落管、継ぎ輪、帽、乙字管、両受短管

注1 呼び径75～300のみ

注2 呼び径75～250のみ

注3 呼び径300・400のみ

●図表5-7-5-6 切管ユニット

種類	呼び径
P-Link (直管用)	75～300
G-Link (異形管用)	75～300

●図表5-7-5-7 GX形ソフトシール仕切弁の種類

分類		呼び径
GX形 ^{注1}	両受タイプ	75～300・400
	受挿しタイプ ^{注2}	75～300

注1 呼び圧力は10Kと16Kの2種類がある。

注2 規格外品である。

5 GX形呼び径150の設計事例

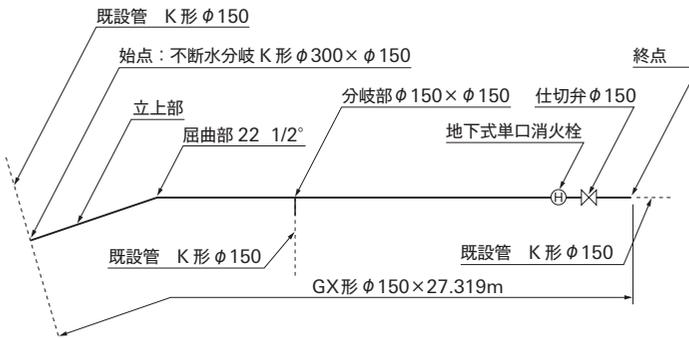
① 配管条件の確認

配管設計するために必要な呼び径、接合形式、配管始点・終点、分岐部、屈曲部、伏越し部、付属設備（バルブ、空気弁、排水施設、消火栓など）の位置や角度、延長などの確認を行う。

● 図表5-7-5-8 配管条件の確認項目（GX形呼び径150）

項目	確認内容
呼び径	150
延長	27.319m（平面延長）
接合形式	GX形
管厚の種類	S種管（6.5mm）
土かぶり	H=0.8m
始点（既設管）の接合形式	K形 φ150（挿し口）
終点（既設管）の接合形式	K形 φ150（挿し口）
分岐部（既設管）の接合形式	K形 φ150（挿し口）
分岐部	1力所 φ150×φ150
屈曲部	約22 1/2°
立上部	1力所
仕切弁	1力所 φ150
地下式単口消火栓	1力所 φ75

● 図表5-7-5-9 配管の確認（GX形呼び径150）



② 使用する異形管およびバルブの決定

●図表5-7-5-10 使用する異形管およびバルブの決定 (GX形呼び径150)

項 目		異形管およびバルブ
不断水分岐	1カ所	耐震形不断水割T字管 $\phi 300 \times \phi 150$
立上部	1カ所 $h=400$	GX形 両受短管 $\phi 150$ 、片受曲管 $22 \ 1/2^\circ \times 1$ 個
		両受曲管 $22 \ 1/2^\circ \times 1$ 個
屈曲部	1カ所 約 $22 \ 1/2^\circ$	曲管 $22 \ 1/2^\circ \times 1$ 個
分岐部	1カ所	二受T字管 $\phi 150 \times \phi 150$
消火栓	1カ所	フランジ付きT字管 $\phi 150 \times \phi 75$
		補修弁 $\phi 75$ 、地下式単口消火栓 $\phi 75$
仕切弁	1カ所	GX形 両受ソフトシール仕切弁 $\phi 150$

③ 異形管防護の検討

異形管防護の一体化長さは「5.4 異形管防護」を参照のこと。

異形管防護の一体化長さを以下に示す。

●図表5-7-5-11 一体化長さ早見表の選定条件 (GX形呼び径150)

項 目	条 件
呼び径	150
土かぶり	0.8m (0.6m以上)
設計水圧	0.75MPa

●図表5-7-5-12 曲管部、T字管部および仕切弁部の一体化長さ (GX形呼び径150)

項 目	一体化長さ
始点の不断水分岐から曲管 $22 \ 1/2^\circ$ まで	全体を一体化するので、曲管部に1m以上
T字管部	本管に1m以上、分岐側も1m以上
仕切弁部	仕切弁前後に7.0m以上

6 管割に必要な寸法など

① 管割に必要な各種寸法

ここではGX形を例に説明する。異形管の寸法は『便覧』（日本ダクタイル鉄管協会）を参照のこと。

●図表5-7-5-13 ライナ・P-Linkの使用による伸び量

(単位:mm)

呼び径	ライナ			P-Link	
	ライナ幅 (A)	標準胴付 寸法(Y)	ライナによる 伸び量 (A-Y)	P-Linkの 有効長	P-Linkの 伸び量
75	74	45	29	180	17
100	74	45	29	180	20
150	99	60	39	210	23
200	99	60	39	220	22
250	99	60	39	220	23
300	126	72	54	267	20
400	130	75	55	—	—

●図表5-7-5-14 配管設計に必要な寸法表

(単位:mm)

呼び径	継ぎ輪の標準 胴付寸法	両受短管の 有効長	仕切弁の 有効長
75	190	20	180
100	200	20	180
150	240	20	220
200	250	20	260
250	250	20	300
300	300	20	400
400	300	20	500

●図表5-7-5-15 最小切管寸法

(単位:mm)

呼び径	最小切管長さ			
	切管ユニットを使用する場合		切管用挿しロリングを使用する場合	
	甲切管	乙切管	甲切管	乙切管
75	660	770	700	770
100	660	770	720	770
150	680	770	740	770
200	680	770	740	770
250	680	770	740	770
300	720	820	760	820
400	—	—	970	1020

備考1 切管ユニットを使用する場合の各寸法は、切断加工をエンジンカッターで行う場合について示した。

備考2 切管用挿しロリングを使用する場合の各寸法は、切断・溝切加工をパイプ切削切断機で行う場合について示した。

備考3 各寸法は、管の切断、接合・解体に必要な最小寸法をおのおの算出し、それらのうち最も長い値を示した。なお、切管ユニットを使用する場合の寸法はP-Linkの有効長は含んでいない。

備考4 切断部の外径または外周長を実測し、外径許容差を満足していることを確認する必要がある。

備考5 本寸法は継ぎ輪の預け代を考慮していない。そのような配管(せめ等)を行う場合の切管寸法は、別途検討すること。

② 管割に用いる記号

1) 配水管の標示

●図表5-7-5-16 管種の文字記号例

管種	文字記号	管種	文字記号
石綿セメント管	ACP φ○○	耐衝撃性硬質塩化ビニル管	HIVP φ○○
亜鉛めっき管	GP φ○○	硬質塩化ビニルライニング鋼管	SGP-VA または SGP-VB φ○○
塗覆装鋼管	SP φ○○	鋼板巻込み石綿セメント管	SACP φ○○
铸铁管	CIP φ○○	プレストレストコンクリート管	PCP φ○○
ダクタイル鉄管	DIP φ○○	配水用ポリエチレン管	PP φ○○
硬質塩化ビニル管	VP φ○○		

● 図表5-7-5-17 管径の符号例

呼び径	符 号	呼び径	符 号
75		200	
100		250	
150		300	

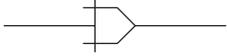
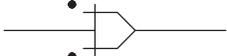
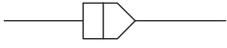
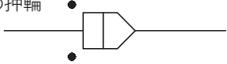
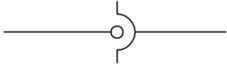
● 図表5-7-5-18 工事別の色表示例

区 分	色・線種	区 分	色・線種
計画		撤去	
新設		廃止	
既設			

2) 継手・異形管・付属設備のシンボル

● 図表5-7-5-19 継手のシンボル(例)

接合形式(呼び径)	略記号	管割時のシンボル
GX形(75~300・400)		
		P-Link
		ラインナ使用
		G-Link
NS形(75~1000)		
		ラインナ使用

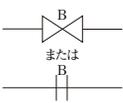
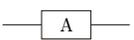
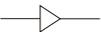
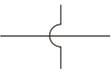
接合形式 (呼び径)	略記号	管割時のシンボル
NS形 (E種管) (75~150)		
		ライナ使用 
		N-Link 
S形 (1100~2600)		
US形 (800~2600)		
PN形 (300~1500)		
P II形 (300~1350)		
UF形 (800~2600)		
S50形 (50)		
		ライナ使用 
		抜け止め押輪 
K形 (75~2600)		
		離脱防止金具付き 

接合形式(呼び径)	略記号	管割時のシンボル
T形(75~2000)		 離脱防止金具付き
U形(800~2600)		
フランジ(50~2600) RF形-GF形		
フランジ(50~600) RF形-RF形		

●図表5-7-5-20 異形管のシンボル(GX形の例)

名称	シンボル	名称	シンボル
二受T字管		排水T字管	
片落管	受挿し	継ぎ輪	
	挿し受	両受短管	
曲管	90°	乙字管	
	45°	帽	
	22 1/2°	短管	1号
	11 1/4°		2号
5 5/8°	P-Link		
フランジ付きT字管		G-Link	

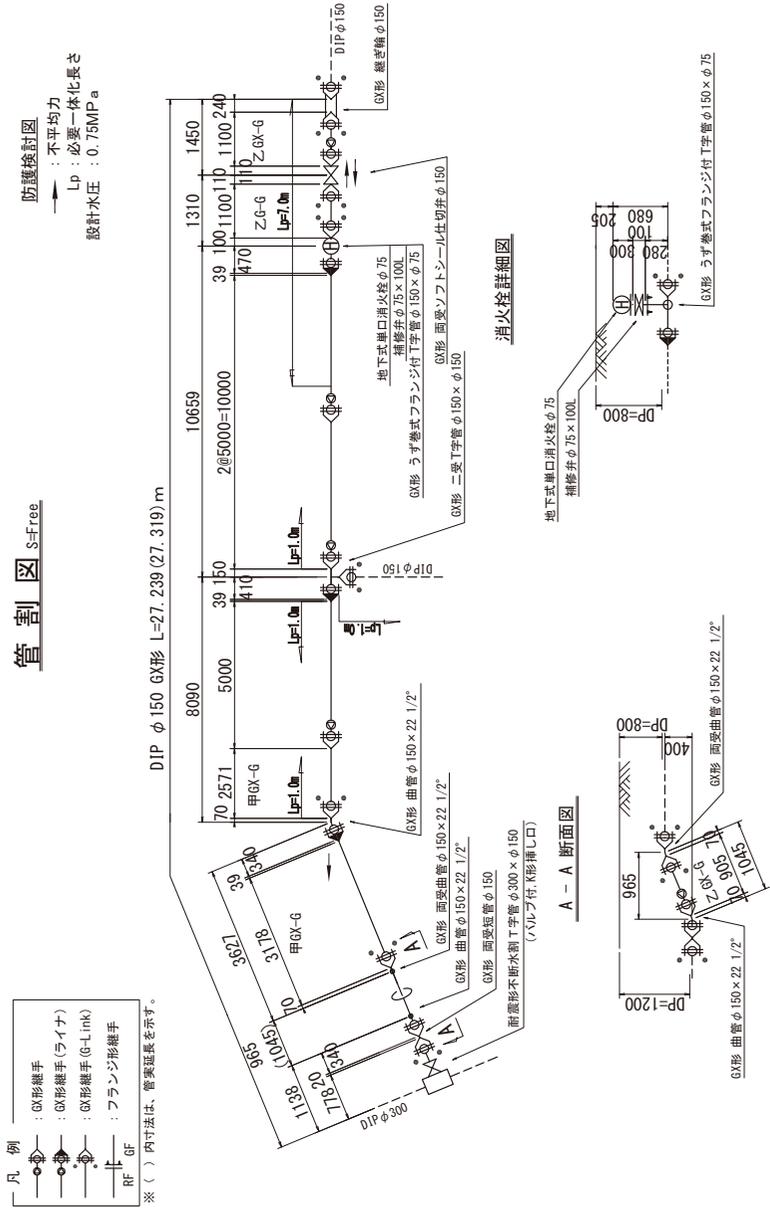
●図表5-7-5-21 付属設備のシンボル例

名 称		シンボル	名 称		シンボル
制水弁	仕切弁		空気弁	単口	
	バタフライ弁			双口	
逆止弁		急速			
消火栓	地上式単口		片落管		
	地上式双口		管の交差		
	地下式単口		メーター		
	地下式双口				

7 管割図および材料明細書

1 GX形呼び径150の場合

● 図表5-7-5-22 管割図の例 (GX形呼び径150)

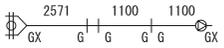


●図表5-7-5-23 材料明細書の例 (GX形呼び径150)

名 称	形状・寸法	管 厚	単 位	数 量	備 考
GX形 直管	φ150×5000L	S種	本	3	
GX形 切用管	φ150×5000L	S種	本	2	切管組合せ表より
GX形 二受T字管	φ150×φ150		個	1	
GX形 曲管	φ150×22 1/2°		個	2	
GX形 両受曲管	φ150×22 1/2°		個	1	
GX形 継ぎ輪	φ150		個	1	
GX形 両受短管	φ150		個	1	
GX形 うず巻式フランジ付きT字管	φ150×φ75		個	1	
GX形 両受ソフトシール仕切弁	φ150		基	1	
補修弁	φ75×100L		基	1	
地下式単口消火栓	φ75×300L		基	1	
GX形 ライナ	φ150		個	3	
GX形 異形管用接合部品	φ150		組	4	
GX形 異形管用接合部品 (G-Link)	φ150		組	9	
フランジ接合材	φ75 GF		組	1	
フランジ接合材	φ75 RF		組	1	
耐震形不断水割T字管	φ300×φ150		個	1	バルブ付き、K形挿し口

備考 GX形の直管用接合部品は管材料に含まれているため、別途計上する必要はない。

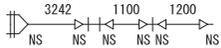
●図表5-7-5-24 切管組合せ表の例 (GX形呼び径150)

切管組合せ	原管形状	管 厚	有効長 (mm)	残管長 (mm)	切管箇所数	挿し口加工数	備 考
	GX-GX	S種	4083	917	2	G-2 P-0	
	GX-GX	S種	4771	229	3	G-4 P-0	
	合計		8854	1146	5	G-6 P-0	

●図表5-7-5-26 材料明細書の例 (NS形呼び径500)

名 称	形状・寸法	管 厚	単 位	数 量	備 考
NS形 直管	φ500×6000L	S種	本	3	
NS形 切用管	φ500×6000L	S種	本	2	切管組合せ表より
NS形 曲管	φ500×45°		個	3	
NS形 曲管	φ500×22 1/2°		個	1	
NS形 両受曲管	φ500×45°		個	1	
NS形 継ぎ輪	φ500		個	1	
NS形 フランジ付きT字管	φ500×φ75		個	1	
NS形 両受バタフライ管	φ500		基	1	
フランジ短管	φ75×500L		個	1	
フランジ短管	φ75×300L		個	1	
補修弁	φ75×150L		基	1	
急速空気弁	φ75×200L		基	1	
NS形 継ぎ輪用特殊割押輪	φ500		個	1	接合部品含む
NS形 切管用挿し口リング	φ500		個	6	
NS形 ライナ	φ500		個	2	
NS形 バタフライ弁用接合部品	φ500		組	2	
フランジ接合材	φ75 GF		組	3	
フランジ接合材	φ75 RF		組	1	

●図表5-7-5-27 切管組合せ表の例 (NS形呼び径500)

切管組合せ	原管形状	管 厚	有効長 (mm)	残管長 (mm)	切管箇所数	挿し口加工数	備 考
	NS-NS	S種	4298	1702	2	2	
	NS-NS	S種	5542	458	3	4	
合計			9840	2160	5	6	

5-8

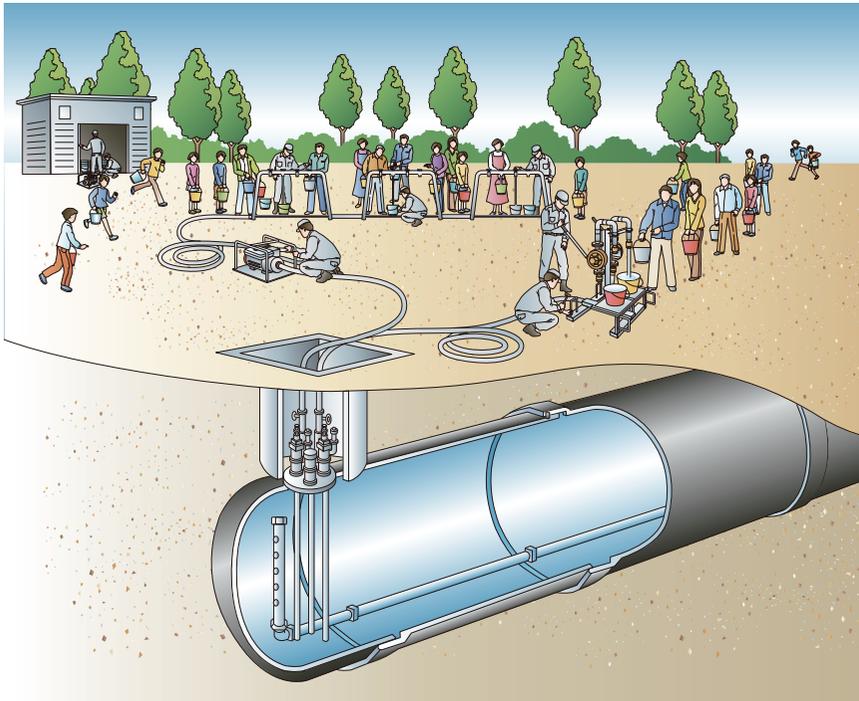
貯水槽

5-8-1 概要

ダクタイル鉄管製の貯水槽は、配水管の一部に大口径ダクタイル鉄管を組み込み、平常時は水道管路の一部として機能するが、地震時に他の管路部分が破損した場合、緊急遮断弁が作動することにより、飲料水が貯水槽に貯留され、緊急用水源として活用することができるものである。すでに全国の多くの事業者の公園や公共施設などに設置されている。

また、ここで取り上げる貯水槽は、日本消防設備安全センターの「二次製品等飲

●図表5-8-1-1 貯水槽の給水状況



「クボタダクタイル鉄管製貯水槽〈耐震用・緊急用〉」より

●図表5-8-1-2 貯水槽の特徴

項目	特徴
認定	日本消防設備安全センター「二次製品等飲料水兼用耐震性貯水槽認定基準」の認定品である（一部の形式を除く）。
材料強度	引張強さ420N/mm ² 以上、伸び10%以上で強靱である。
耐震性	耐震継手を使用しており、阪神・淡路大震災や東日本大震災でも耐えた実績がある。
水密性	耐震継手を使用しており、水密性も優れている。
耐久性	ダクタイル鉄管は優れた耐食性を有している。
水の停滞性	配水管路の一部として水の停滞がなく、常に清浄な水が確保される。
設置場所	貯水規模および形式が選択でき、埋設型であり、設置場所の制約が少ない。
施工性	ダクタイル鉄管は施工性が良く、工期を短縮できる。

●図表5-8-1-3 二次製品等飲料水兼用耐震性貯水槽認定基準による貯水槽の区分

項目	型式	内容
設置場所	I型	公園などの自動車の進入がない場所(10kN/m ² の等分布荷重を考慮)
	II型	自動車荷重200kN
	III型	自動車荷重250kN
容量	40m ³ 型	実内容量40m ³ 以上60m ³ 未満
	60m ³ 型	実内容量60m ³ 以上100m ³ 未満
	100m ³ 型	実内容量100m ³ 以上
内水圧	普通圧型	0.74MPa(最高許容圧力1.23MPa)
	高圧型	1.23MPa(最高許容圧力1.72MPa)

料水兼用耐震性貯水槽認定基準」を満たした製品である（一部の形式を除く）。詳細については以下の技術資料を参照のこと。

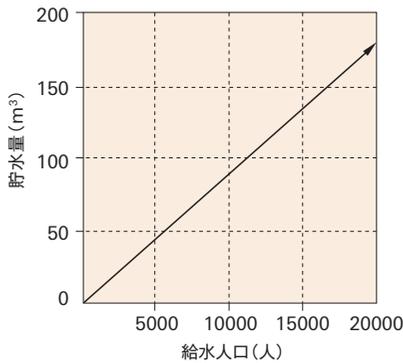
- ・「ダクタイル鉄管による耐震貯水槽 JDP A T38」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「JDP A G 1041-2013 ダクタイル鋳鉄製貯水槽(耐震用・緊急用)」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)
- ・「耐震性貯水槽の設計手引き及び管理マニュアル」(日本消防設備安全センター)

5-8-2 種類と継手の構造

1 必要貯水量

貯水槽の容量は計画避難人口に基づいて決定することができる。例えば、必要飲料水を $3\ell/\text{人}\cdot\text{日}$ （『水道施設耐震工法指針・解説 2009』）とし、1万人に対し3日間給水する場合の必要貯水量は 90m^3 となるため、 100m^3 タイプを設置することになる。

●図表5-8-2-1 給水人口と貯水量（1人1日 3ℓ を3日間給水した場合）



2 公称貯水容量

公称貯水容量 40m^3 、 50m^3 、 60m^3 、 100m^3 の直線形の外、直管と曲管を組み合わせてU字形、W字形の配管形状とすることにより、さまざまな容量を設計できる。過去の最大容量は 1500m^3 である。

●図表5-8-2-2 耐震貯水槽の配管形状

直線形



U字形



W字形



「クボタダクタイル鉄管貯水槽〈耐震用・緊急用〉」より

●図表5-8-2-3 公称貯水容量別配管材料

貯水槽の 呼び径	公称貯水 容量 (m ³)	帽の 長さ (m)	直線部				栓の 長さ (m)	総延長 (m)
			5m管の 本数	4m管の 本数	3m管の 本数	全 長		
1500	40	1.425	1	4	—	21	1.425	23.85
	50		2	4	—	26		28.85
	60		4	3	—	32		34.85
2000	40	1.52	—	2	1	11	1.52	14.04
	50		2	1	—	14		17.04
	60		1	3	—	17		20.04
	100		6	—	—	30		33.04
2600	60	1.64	—	—	3	9	1.64	12.28
	100		—	4	—	16		19.28

3 種類

貯水槽は、その構造により図表5-8-2-4の3種類に分類される。各種類で特徴があるので、設計に際しては最適なものを選択する。

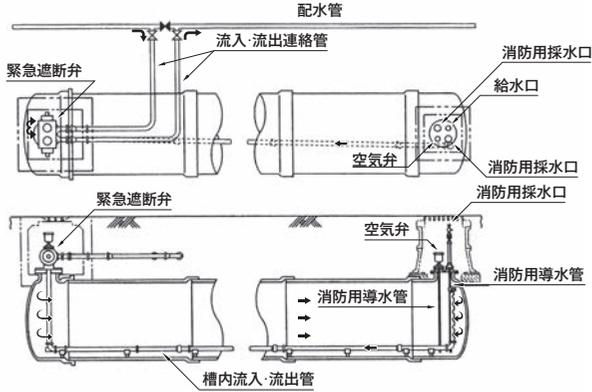
●図表5-8-2-4 貯水槽の種類

種 類	内 容	特 徴
集中Ⅱ型	流入・流出管が片側の弁室に集約され、緊急遮断弁が搭載型である形式	緊急遮断弁が搭載型であり、弁室工事費が安価である。給水室が片側に集約されており、現在はこのタイプが主流である。
分散型	流入・流出管が両側にあり、緊急遮断弁が別置型である形式	緊急遮断弁が搭載型でなく、弁室を別に設ける必要があり、メンテナンス時に配管を解体する必要がある。また給水室が両側に設けられる。
集中Ⅰ型	流入・流出管が片側にあり、緊急遮断弁が搭載型でない形式	緊急遮断弁の搭載型ができる前の型式で、弁室を別に設ける必要があり、現在は新設ではほとんど使用されていない。

備考 集中Ⅱ型が最もよく使われている。分散型が次に使われ、集中Ⅰ型はほとんど使われないためこの順に記載した。

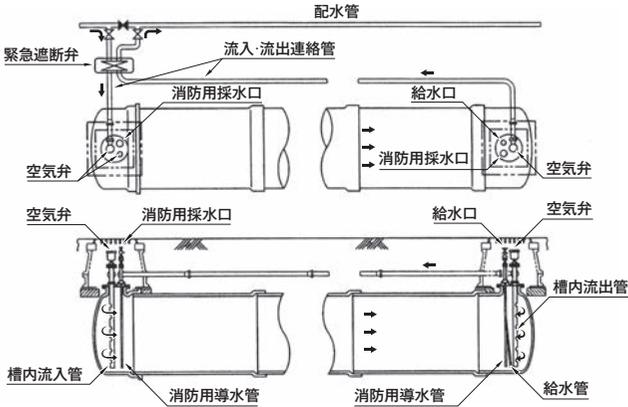
● 図表5-8-2-5 集中Ⅱ型の概要図

☒：制水弁



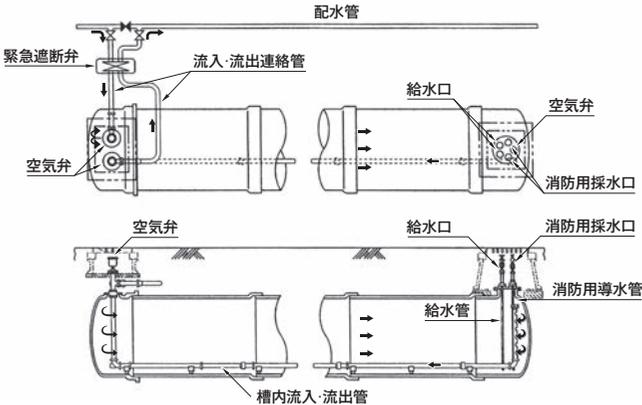
● 図表5-8-2-6 分散型の概要図

☒：制水弁



● 図表5-8-2-7 集中Ⅰ型の概要図

☒：制水弁



4 継手の構造

貯水槽の継手構造は図表5-8-2-8の通りである。

●図表5-8-2-8 貯水槽の継手構造

接合形式	使用箇所	継手構造
LUF形	100m ³ 以下の直管部に使用する。	
UF形	U字形やW字形の曲管などに使用する。	
S形	100m ³ を超える場合などで、貯水槽の全長が長くなる場合は直管部に挿入する。	

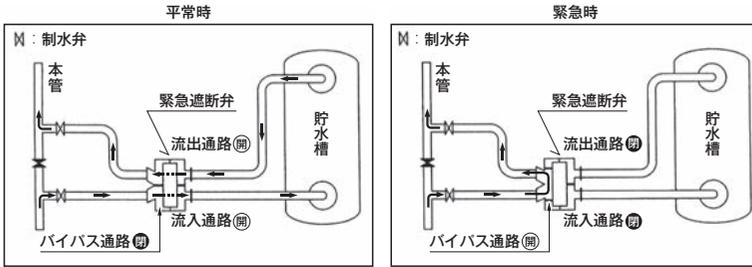
備考 貯水槽で使用されるUF形、LUF形は、継手部のモルタル充填範囲が一般管路の場合と異なるので注意をする。

5 貯水方式による分類

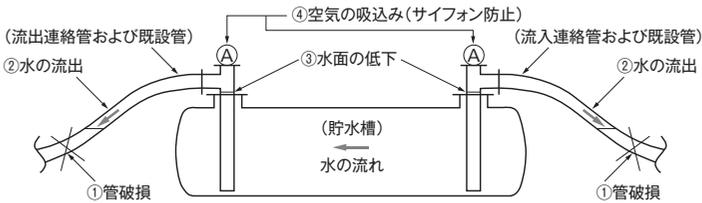
●図表5-8-2-9 貯水方式による分類

貯水方式	内容
強制貯水方式	配水管と貯水槽を接続する流入・流出管路に緊急遮断弁を設け、弁部に内蔵された検知装置により自動的に弁を開閉させて、貯水槽に水を蓄えるものである。緊急遮断弁には、水圧低下によって開閉する水圧感知型や地震計からの外部信号によって開閉する震度感知型などがある(図表5-8-2-10を参照のこと)。
自然貯水方式	流入側、流出側の管にそれぞれ空気弁を設け、万一サイフォン作用が働いても空気弁の機能により貯水槽内の水の流出を防止して、貯水する方式である。ただし、上下流の既設管が空気弁よりも高い位置にある場合は、高い方の管の破損箇所から濁水が槽内に混入する恐れがあり、設計上注意を要する(図表5-8-2-11を参照のこと)。

● 図表5-8-2-10 強制貯水方式



● 図表5-8-2-11 自然貯水方式



備考 ①から④はサイフォンが防止されている順序を示す。

6 給水方式の種類

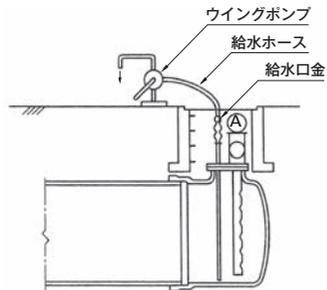
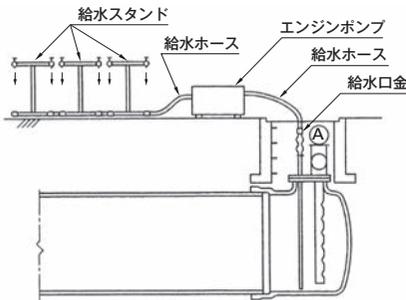
● 図表5-8-2-12 給水方式の種類

給水方式	内容
動力式	貯水槽の人孔部に取水用の給水口金を設け、エンジンポンプなどを接続して、給水スタンドや給水タンクなどの給水設備に送水する。
手動式	ウイングポンプや手動ポンプを用いて給水する方式である。

● 図表5-8-2-13 給水スタンドによる給水方式

動力式(エンジンポンプの例)

手動式(ウイングポンプの例)



●図表5-8-2-14 給水用資機材

給水用ホース



ウイングポンプ



エンジンポンプ



給水用スタンド



5-8-3 安全性の検討

安全性の検討は、日本消防設備安全センターの認定基準に従って行う。

平常時の安全性の検討では、①内圧(静水圧および水撃圧)、土かぶりによる土圧、路面荷重により発生する管体応力、②土かぶりによる土圧、路面荷重により発生する管体のたわみ率、③内圧により貯水槽両端に発生する不平均力が継手の離脱防止力以下か、④地下水により浮上しないか、⑤地盤沈下が発生しないかなどを検討する。

地震時の安全性の検討では、①内圧、土かぶりによる土圧、路面荷重により発生する管体応力(地震時動水圧は、静水圧や水撃圧と比べてほとんど影響しない程度であるため考慮しない)、②土かぶりによる土圧、路面荷重により発生する管体のたわみ率、③内圧により貯水槽両端に発生する不平均力が継手の離脱防止力以下か、④地震時の管と周辺地盤との摩擦力に対する安全性などを検討する。計算管厚、土圧分布、曲げモーメント係数などは平常時の検討に準じる。

詳しくは「ダクタイル管による耐震貯水槽 JDP A T38」を参照のこと。

【検討条件】

100m³貯水槽(呼び径2600)の計算例

・呼び径 D	: 2600mm
・管外径 D ₂	: 2684mm
・管厚 T	: 25.0mm (4.5種管)
・土かぶり H	: 1.6m
・静水圧 P _s	: 0.74MPa
・水撃圧 P _d	: 0.49 MPa
・路面荷重	: (平常時)自動車荷重として 250kNトラック (地震時)上載荷重として10kN/m ²

- ・貯水槽の全長 L_A : 19.28m
- ・土の単位体積重量 γ_s : 17.7kN/m³
- ・飽和土の単位体積重量 γ_f : 19.3kN/m³
- ・水の単位体積重量 γ_w : 9.8kN/m³
- ・ダクタイル鋳鉄の単位体積重量 γ_d : 70.1kN/m³
- ・ダクタイル鋳鉄の引張強さ σ_0 : 420N/mm²
- ・管底支持角 θ : 90°
- ・設計水平震度 k_h : 0.288
- ・設計垂直震度 k_v : 0.144 (=0.5 k_h)

【検討結果】

●図表5-8-3-1 平常時の安全性検討

項目	検討結果(例)	判定
管体応力(σ)	内圧、土圧、路面荷重により発生する管体応力($\sigma_0 = 373.46\text{N/mm}^2$)が、ダクタイル鉄管の引張り強さ($\sigma_0 = 420\text{N/mm}^2$)より小さいので安全である。	OK
たわみ(δ)	土圧、路面荷重により発生する管体のたわみ率($\delta = 2.44\%$)が、設計たわみ率($\delta_0 = 3\%$)より小さいので安全である。	OK
継手の離脱防止力	内圧(水圧)により貯水槽両端に発生する不平均力($F_p = 6959.2\text{kN}$)が、継手の離脱防止力(7800kN)よりも小さいので安全である。	OK
浮上を防止できる地下水位(X)	浮上を防止できる地下水位($X = -0.57\text{m}$)以下であれば安全である。	OK
地盤沈下	貯水槽の重量(1488.3kN)が、置換される土の重量(=1930.8kN)よりも軽いために沈下は発生しない。	OK

●図表5-8-3-2 地震時の安全性検討

項目	検討結果(例)	判定
管体応力(σ')	内圧、土圧、路面荷重により発生する管体応力($\sigma' = 372.07\text{N/mm}^2$)が、ダクタイル鉄管の引張り強さ($\sigma_0 = 420\text{N/mm}^2$)より小さいので安全である。	OK
たわみ(δ')	土圧、路面荷重により発生する管体のたわみ率($\delta' = 2.37\%$)が、設計たわみ率($\delta_0 = 3\%$)より小さいので安全である。	OK
継手の離脱防止力	地盤のひずみまたは変状により管に作用する力の最大値は貯水槽全長の1/2相当の管と土の摩擦力($F_m = 1269.8\text{kN}$)に等しい。これは継手の離脱防止力(7800kN)よりも小さいので安全である。	OK

5-8-4 設計の留意点

1 設置場所

貯水槽の設置に当たっては、以下の条件を満たす場所が望ましい。

- ・ 点検、修理および水質検査などの維持管理が容易に行える。
- ・ 設置、応急給水などに支障が生じない広さを持つ。
- ・ 下流側に一定の需要があり、滞留水による水質劣化を防止できる。

2 管の基礎

貯水槽は一般に使用されている大口径管であり、管の基礎は砂基礎で底面を平らにならしておく程度でよい。

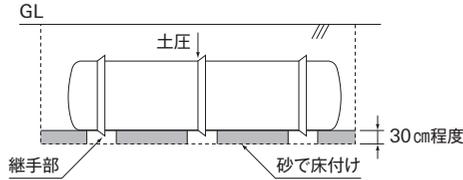
貯水槽の設置によって地盤の圧密沈下を促進する可能性は低いことから、一般にコンクリート床版は必要でない。逆に、堅固なコンクリート床版を設置し、埋戻土の突固めを行わないと、管とコンクリート面とが点接触した状態となり、設置後の土かぶりによる土圧や通行車両などの上載荷重が作用したときに、床版との接触点に応力が集中して管の安全性を損なう危険性が高くなる。

ただし、軟弱地盤で地耐力を向上させる必要がある場合は、碎石を敷いたり、コンクリート床版を設置することがある。コンクリート床版を打設する必要がある場合は、管と床版との間に少なくとも30cm以上の砂を敷き、十分に突固めを行うことが望ましい。

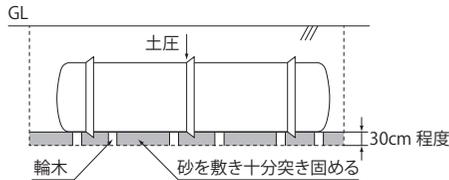
3 管の支持方法

軟弱地盤などで施工時の管の安定上輪木を使用する場合はあらかじめ輪木の上面まで砂を敷き、十分突き固めておくなどの対策を行って、輪木との接触点に応力が集中しないように管底全体で支承させるよう配慮することが望ましい。また、管の支持やレベル調整のため、砂袋を使用する方法もある。

● 図表5-8-4-1 砂を使用する管の支持方法



● 図表5-8-4-2 砂と輪木を使用する管の支持方法



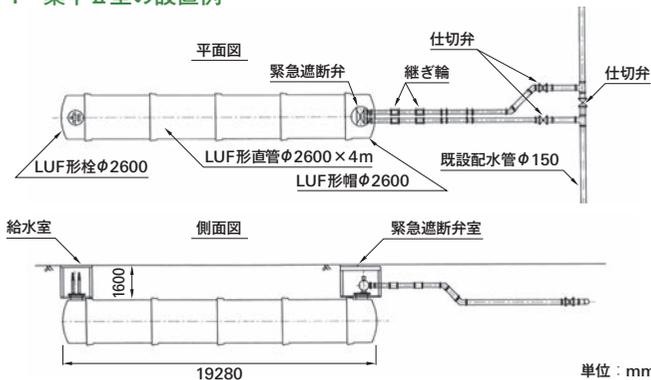
4 液状化に対する安全性

液状化に対する貯水槽の浮上対策には、地盤改良、非液状化材料による埋戻しなど液状化防止対策の他、コンクリートを打設して貯水槽重量を増加させるなどの浮上対策がある。

5-8-5 設置例

集中Ⅱ型の貯水槽 (100m³) の設置事例を以下に示す。

● 図表5-8-5-1 集中Ⅱ型の設置例



●図表5-8-5-2 集中Ⅱ型の仕様例

項目	仕様
形式	集中Ⅱ型(接合形式：LUF形)
貯留方式	強制貯水方式
貯水容量	100m ³
呼び径	2600(流入管：呼び径100)
全長	19.28m
設置場所	給食センター駐車場

5-8-6 メンテナンス

貯水槽を災害時に適正に機能させるために、適切な間隔での貯水槽内、緊急遮断弁などのメンテナンスが必要である。

① 槽内、給水室

デッキブラシなどを用いて清掃を行い、底部に溜まった堆積物は丁寧に拭き取る。清掃は定期的に行うのが望ましい。

② 配管

本体、給水管、導水管などの腐食、塗装、継手状況、変形などの目視チェックを行い、異常がある場合は補修、交換を行う。

③ 緊急遮断弁

緊急遮断弁のメンテナンスは、メーカーにより違いがあるが、一般に配管の接合部などの水漏れの有無、遮断弁およびバルブの状態、閉開動作などの作動確認を行う。実際のメンテナンスは、遮断弁のメーカーに依頼をして定期的に行うのが望ましい。

④ 付属設備

給水設備、消火栓、空気弁などはフランジ継手を解体して行う。解体した付属設備は汚れを拭き取り、錆がある場合は塗料で補修する。なお、再接合時は解体した

ボルト、ナット、パッキンは再使用せず、新品と交換する。

●図表5-8-6-1 槽内排水：水中ポンプ2台



●図表5-8-6-2 高圧洗浄による清掃



5-8-7 滞留水の水質確保

貯水槽では、定期的に水質調査を行い、季節的、時間的な変化を把握し、緊急時にも十分な水質を確保できるようにすることが望ましい。

1 モデル実験の結果

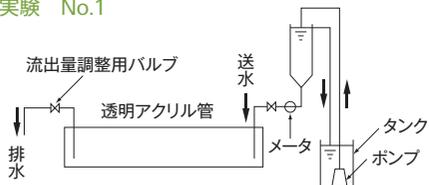
貯水槽内の水質状況はメチレンブルーを使用したモデル実験によって確認している。その結果を以下に示す。

●図表5-8-7-1 モデル実験結果

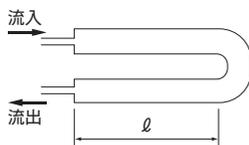
No.	呼び径 (D)	管長 l (m)	管長/呼び径 (l/D)	流速 (m/s)	水が入れ 替わった水量 (流入量/貯水槽容量)
1	100	2.8	28	4×10^{-3}	4~5倍
		2.1	21	2×10^{-3}	4~5倍
		1.4	14	1×10^{-3}	4~5倍
2	100	6	60	10×10^{-3}	約4倍
3	200	1.46	7.3	1.59×10^{-3}	4~5倍
4	500	3	6	2.16×10^{-3}	4~5倍

●図表5-8-7-2 実験方法

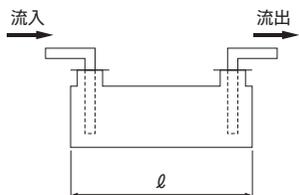
実験 No.1



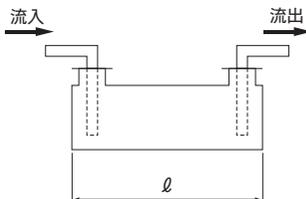
実験 No.2



実験 No.3



実験 No.4

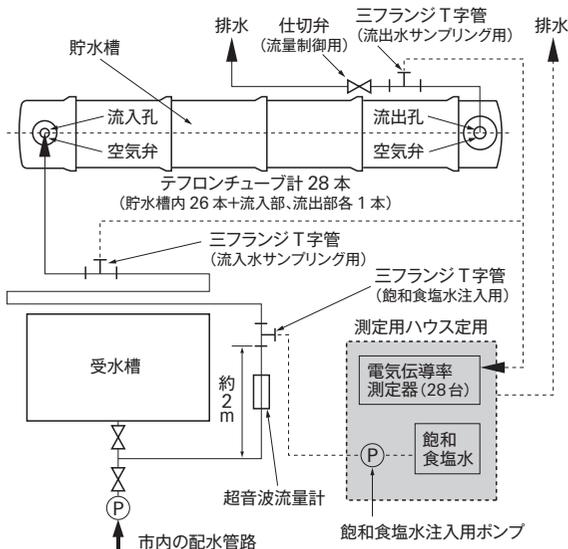


2 現地調査結果 (その1)

モデル実験に加えて、既設貯水槽で流入水(電気伝導度約 $270 \mu\text{s/cm}$)に飽和食塩水を混入したトレーサー水(電気伝導度約 $650 \mu\text{s/cm}$)を流すことにより、貯水槽(呼び径 $2600 \times 19.3\text{m}$:貯水容量 100m^3 、日流量 100m^3)の入替り性能を調査した。

調査結果は、貯水槽容量 100m^3 の約2.5~3倍で入れ替わることが分かった。

●図表5-8-7-3 現地調査方法



●図表5-8-7-4 現地調査結果



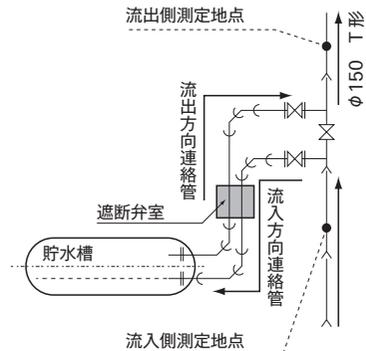
3 現地調査結果(その2)

A都市の既設貯水槽で流入量を変化させて、残留塩素濃度の変化を測定した結果、以下のことが分かった。

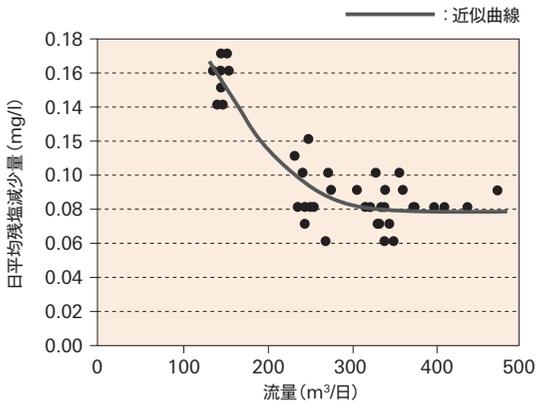
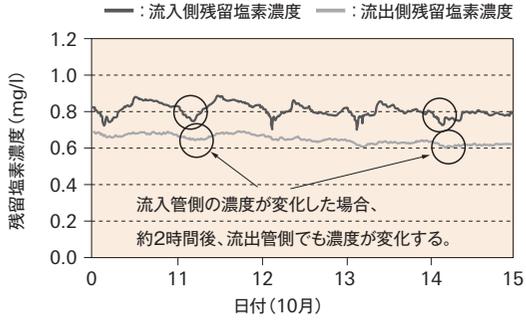
- ・ 流入管近傍で攪拌混合された流入水は比較的流速が速い領域を通り、流出管近傍に比較的短時間で到達し、流出管近傍の水を攪拌混合しながら流出していくと考えられる。
- ・ 日流量の増大に伴って、残留塩素濃度の減少の度合いが小さくなる。貯水槽(呼び径2600×19.3m)の場合は、日流量約300m³以上でほぼ一定となった。
- ・ 流入水の残留塩素濃度が0.9mg/ℓ程度の場合では、貯水容量100m³の貯水槽で日流量200m³以上を確保できれば、残留塩素濃度減少量は約0.1mg/ℓ以下である。

●図表5-8-7-5 貯水槽の概要および現地調査方法

項目	内容
呼び径および長さ	φ2600×19.3m
形式	集中I型
流入管・流出管口径	φ150
貯水容量	100m ³
日流量	約140m ³ ～480m ³ (時間変動あり)
流量測定	流入側連絡管部にて、内面設置型超音波流量計を用いて測定
水質測定	流入側・流出側連絡管部にて、残留塩素濃度を測定
測定期間	平成10年9月初旬～10月下旬
布設年度	平成9年度



● 図表5-8-7-6 現地調査結果



5-9

水管橋

5-9-1 概要と形式

1 概要

ダクタイル鉄管製の水管橋には、架空部に継手部が2つ設けられたタイプⅠと3つ以上設けられたタイプⅡがある。どちらのタイプも温度変化による管の伸縮や不同沈下、相対移動によって発生する変化を吸収できるようにゲルバー形式となっている。そのため架空部両端の継手部は伸縮・屈曲性および離脱防止性を有するGX形、NS形を使用している。

詳細については、以下の技術資料を参照のこと。

- ・『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）
- ・「ダクタイル鉄管による水管橋の設計と施工 JDP A T41」（日本ダクタイル鉄管協会）
- ・「JDP A G 1043-2014 ダクタイル鋳鉄製水管橋」（日本ダクタイル鉄管協会）
- ・「JDP A Z 2009-2011 ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装」（日本ダクタイル鉄管協会）

●図表5-9-1-1 ダクタイル鉄管製水管橋の特徴

項目	特徴
施工性	メカニカル継手またはブッシュオン継手なので、簡単な工具でスピーディに接合できる。
管体強度	ダクタイル鉄管の引張強さは $420\text{N}/\text{mm}^2$ と大きい。
耐久性	管外面は露出配管用のダクタイル鉄管外面特殊塗装を、また、管内面は防食性と衛生面に優れたエポキシ樹脂粉体塗装を施しているため、優れた耐久性を有している。
経済性	管材料費が安い。また、現地溶接が不要で短時間で架設できるため架設費も節減できる。さらに、耐久性に優れているため維持管理費用も少なく済む。
温度変化への順応性	温度変化による管の伸縮は、GX形またはNS形の伸縮余裕度で吸収できる。
耐震性	地震時の橋上部の不同沈下や相対移動によって管に発生する変位を、GX形またはNS形の継手が伸縮および屈曲することによって無理なく吸収する。また、継手部が最大まで伸び出しても離脱防止機能が働き離脱しない。これらの機能により高い耐震性を備えている。

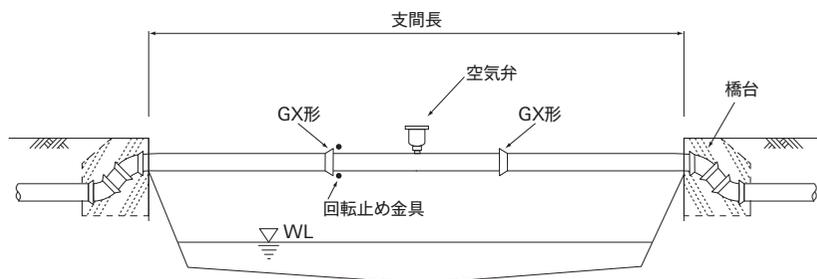
項目	特徴
景観	水管橋は、いずれもキャンバを設定できるので、安定した線形を実現できる。 また、外面特殊塗装は色を選定できる。

2 形式

① タイプⅠ（対象呼び径75～600）

図表5-9-1-2に示すようにGX形またはNS形直管3本で構成されたものをタイプⅠという。

●図表5-9-1-2 ダクタイル鉄管製の水管橋（タイプⅠ）の構造例（直管3本の場合）



●図表5-9-1-3 ダクタイル鉄管製の水管橋（タイプⅠ）の呼び径別最大支間長

呼び径	最大支間長 (m)	接合形式
75・100	11	GX形またはNS形
150～250	14	GX形またはNS形
300	16	GX形またはNS形
350	16	NS形
400	16	GX形またはNS形
450～600	15	NS形

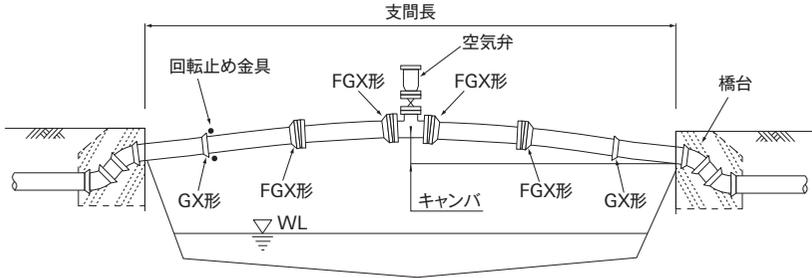
備考 積雪および外装保温荷重などを考慮しない最大支間長である。

② タイプⅡ（対象呼び径75～350）

タイプⅠの中央の管を、図表5-9-1-4に示すように剛構造のFGX形またはFT形を持つ複数の管による配管に置き換えたものをタイプⅡという。タイプⅡはタイプⅠ

と異なり、中央部の剛構造管路を長く取ることができるために最大支間長を長くすることができる。

● 図表5-9-1-4 ダクタイト鉄管製の水管橋(タイプII)の構造例(長支間の場合)

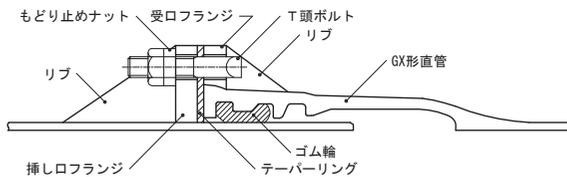


● 図表5-9-1-5 ダクタイト鉄管製の水管橋(タイプII)の呼び径別最大支間長

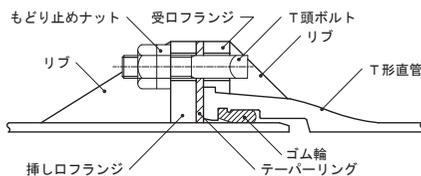
呼び径	最大支間長 (m)	接合形式
75	17	FGX形とGX形またはFT形とNS形
100	18	FGX形とGX形またはFT形とNS形
150	23.5	FGX形とGX形またはFT形とNS形
200~300	25	FGX形とGX形またはFT形とNS形
350	25	FT形とNS形

備考 積雪および外装保温荷重などを考慮しない最大支間長である。

● 図表5-9-1-6 FGX形の継手構造(呼び径75~300)



● 図表5-9-1-7 FT形の継手構造(呼び径75~350)



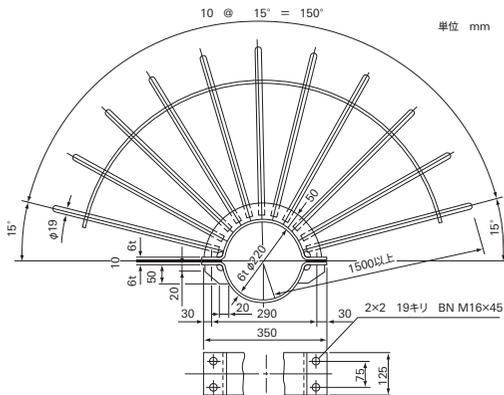
3 付帯設備

●図表5-9-1-8 付帯設備の留意点

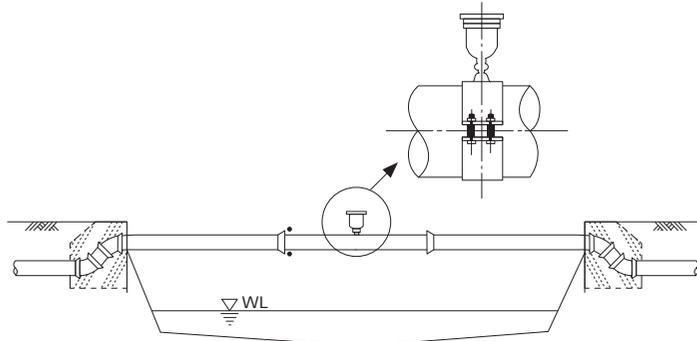
項目	説明	
防渡柵	防渡柵は必要に応じて設ける。	
空気弁 ^{注1}	水管橋部でキャンバの最も高い位置に設けることを原則とする。	
	タイプⅠ	分岐サドルを取り付け、これに空気弁を設置する。
	タイプⅡ	FGX形フランジ付きT字管またはFT形フランジ付きT字管に空気弁を取り付ける。
	呼び径 500以上	NS形フランジ付きT字管を橋台内に設置し、これに空気弁を取り付けることを原則とする。

注1 空気弁は急速空気弁または双口空気弁を使用する。

●図表5-9-1-9 防渡柵の例（呼び径200の場合）



●図表5-9-1-10 空気弁の例（タイプⅠで分岐サドルを取り付ける場合）



4 キャンバと塗装

●図表5-9-1-11 キャンバと塗装

項目	説明	
キャンバ	空気弁の効果および美観上の理由から支間長の1/200程度のキャンバを設けることが望ましい。	
内面塗装	タイプⅠ	エポキシ樹脂粉体塗装 ^{注1} を標準とする。 モルタルライニング ^{注2} も可能である。
	タイプⅡ	エポキシ樹脂粉体塗装 ^{注1} 。
外面塗装	管が露出することを考慮して外面特殊塗装(JDPA Z 2009の種類CC)を施す。	

注1 「JIS G 5528 内面エポキシ樹脂粉体塗装」

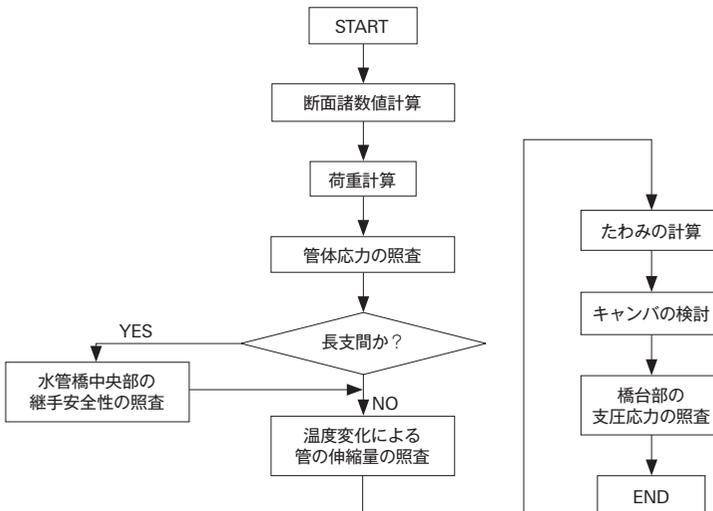
注2 「JIS A 5314 モルタルライニング」

5-9-2 設計

1 設計の手順

設計は図表5-9-2-1に示す手順に基づき行う。構造計算については、「ダクタイル鉄管による水管橋の設計と施工 JDPA T41」(日本ダクタイル鉄管協会)を参照のこと。

●図表5-9-2-1 設計の手順



2 構造計算に使用する諸数値

●図表5-9-2-2 構造計算に使用する諸数値の例

項目	諸数値
管厚の種類	呼び径450以下は1種、500・600はS種
最大支間長	図表5-9-1-3、5を参照
設計管厚	$t = \text{規格管厚}(T) - \text{許容差}(0.001)$ (m)
設計水圧	$P = \text{静水圧} + \text{水撃圧}$ (MPa)
地震荷重	$K_h = 0.3$ (水平震度)
風荷重	1.5 kN/m^2 (風速40m/s相当、円筒体)
積雪荷重	必要に応じて考慮する。 参考：一般地区 1.5 kN/m^3 、多雪地区 3.5 kN/m^3
外装保温荷重	必要に応じて考慮する。
鉄部の温度変化	$\Delta T = 60^\circ\text{C}$ ($-20 \sim 40^\circ\text{C}$): 寒冷地域 50°C ($-10 \sim 40^\circ\text{C}$): 一般地域
コンクリートの許容支圧応力	$\sigma_{ca} = 6.0 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$
ダクタイル鉄管の弾性係数	$E = 1.6 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$
ダクタイル鉄管の許容引張応力	$\sigma_a = 1.4 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$
ダクタイル鉄管の許容せん断応力	$\tau_a = 0.8 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$
ダクタイル鉄管の線膨張係数	$\alpha = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

5-9-3 設置事例

●図表5-9-3-1 大阪府豊中市FT形(タイプII)呼び径250×18.9m

施工中



施工完了



●図表5-9-3-2 静岡県浜松市
FT形(タイプII)呼び径350×22.23m

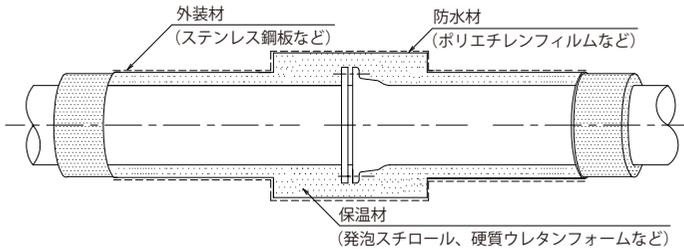


●図表5-9-3-3 秋田県横手市
FT形(タイプII 外装保温付き)呼び径250×17.8m



寒冷地において管内の水が凍結する恐れがある場合は、管の外周に適当な防凍工を施す。防凍工としては、一般に管の外周に硬質ウレタンフォームなどの保温材を巻き、その周囲を外装材で保護する工法が多く採用されている。

●図表5-9-3-4 ダクタイル鉄管製の水管橋の防凍工

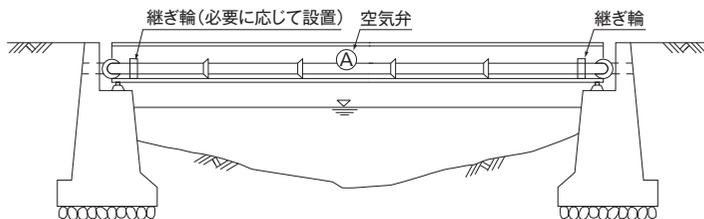


〔水道施設設計指針・解説 2012〕(日本水道協会)より

5-9-4 橋梁添架配管

支間長が長い場合は橋梁に添架したり、専用のプレートガーターやトラスを組んでその上に配管する。この場合、橋梁および管の温度伸縮や橋梁の振動などが管に伝わり、継手が伸縮する可能性がある。また、過去の地震では管の支持金具が破損して管が垂れ下がった事例も見られた。このため、橋梁添架配管には伸縮離脱防止継手であるGX形、NS形などを用いることが望ましい。

●図表5-9-4-1 設置例



●図表5-9-4-2 山口県山陽小野田市 GX形呼び径150・200

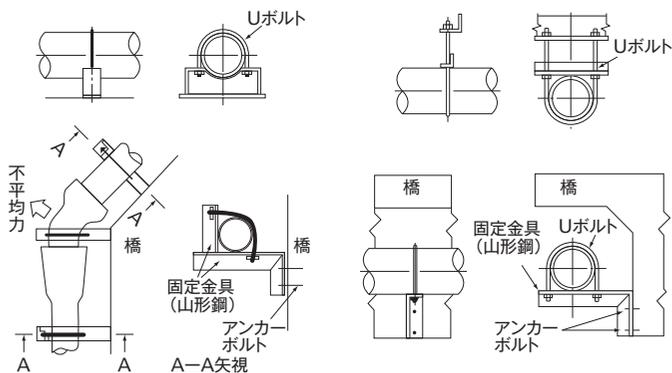


●図表5-9-4-3 大阪府大阪市 S II形呼び径400×2条污水圧送管



管の支持は、橋梁の主桁、あるいは補桁などに鋼材などで適当な形の支持金具や吊り金具などを取り付けて行う。橋梁の形状に沿って配管するために曲管を添架するなど、水圧による不平均力が作用する管の場合には、その力を保持できる支持金具を使用する必要がある。また、橋梁添架配管の耐震性を高めるため、支持金具の形状・寸法や橋梁取付部のアンカーボルトなどの設計に当たっては、管重や水重に加えて震度法による地震荷重も考慮することが望ましい。

●図表5-9-4-4 橋梁添架配管の支持金具例





ダクタイル鉄管の
施工

Chapter 6

6-1

開削工法

6-1-1 施工手順

具体的な開削工法の施工手順の例を図表6-1-1-1に示す。

●図表6-1-1-1 開削工法の施工手順の例

施工計画の立案	設計図書、現場調査に基づき配管計画を立案する。
断水計画	断水による影響ができるだけ少ない断水計画を作成する。
事前調査	埋設物の確認、既設管の位置、管種、口径などの確認を行う。
掘削工	保安対策、土留め、排水、覆工、建設発生土、騒音など確認して行う。
埋設物の防護	ガス管、電力線、下水道管などの確認と防護を行う。
既設管の撤去	既設管の確認と撤去を行う。
資機材の運搬・保管	管材料は定められた段積みを行い、付属品などは屋内で保管する。
管の据付け	2点吊りを原則とし、吊り具による損傷が生じないようにする。
管の接合	接合形式ごとの接合要領書に従って接合を行う。
既設管連絡工	既設管の管厚の種類、特に管外径を確認して、適切な配管材料で連絡配管を行う。
水圧試験	管路水圧試験(呼び径800以下)、テストバンドを用いた継手部の水圧試験(呼び径900以上)を行う。
埋戻工	指定された埋戻土を使用し、数段に分けて埋め戻す。
仮舗装工	仮舗装を行い、埋戻土が安定するまで管理する。
舗装工	規定の期間を経過した後、本舗装を行う。

備考 最近では断水をできるだけ少なくするために仮設配管や不排水で分岐工事を行うことがある。

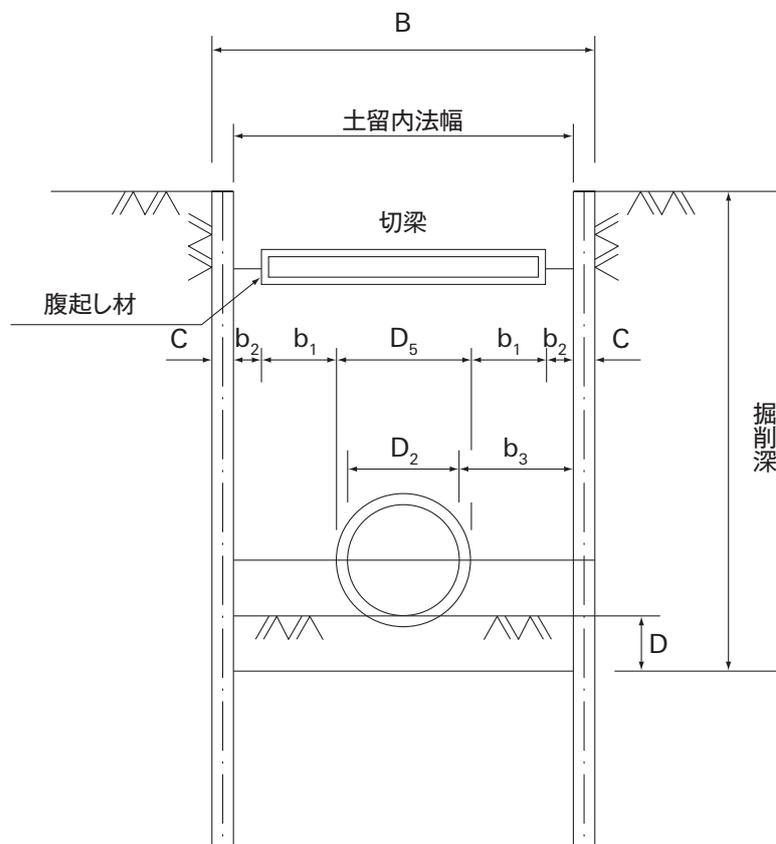
6-1-2 掘削断面

1 標準掘削断面

ダクタイル鉄管を開削工法で布設する場合の掘削断面は、下記事項を考慮して決定されるが、標準的な掘削断面は、『〈平成29年度改訂版〉水道事業実務必携』（全国簡易水道協議会）に掲載されている。

- ・ 管布設の周辺環境、土かぶりなど総合的に検討し、関係法令を遵守し、配管、接合作業が安全に作業できるスペースを確保する。
- ・ 掘削深度が1.5mを超える場合は、安全性を確保するために土留工を施す。
- ・ 会所掘り（継手部の接合作業のために下部を広く掘削すること）を必要とする箇所には、必要な掘削断面を確保すること。
- ・ 掘削幅Bは、土留内法幅に両側の矢板厚Cを加算した幅であり、吊込み時の土留内法幅 ($D_5 + 2 \times b_1 + 2 \times b_2$) と、接合時の土留内法幅 ($D_2 + 2 \times b_3$) より求めた大きい方を採用する。ただし、最小掘削幅Bは、 $55\text{cm} + \text{土留加算幅}(C + b_2) \times 2$ とする。

● 図表6-1-2-1 標準掘削断面図



『〈平成29年度改訂版〉水道事業実務必携』（全国簡易水道協議会）より

- ここに、 B : 掘削幅 (=土留内法幅+2×矢板厚C)
 D₂ : 管外径(直管部の外径)
 D₅ : 受口外径(管の最大外径)
 b₁ : 吊込み余裕代(=50mm)
 b₂ : 腹起し材幅(図表6-1-2-2)
 b₃ : 接合作業幅(図表6-1-2-3)
 C : 矢板厚(図表6-1-2-4)
 D : 会所掘り深さ(図表6-1-2-5)
 L : 会所掘り管軸方向長さ(図表6-1-2-5)

●図表6-1-2-2 腹起し材幅 b₂

(単位: mm)

土留矢板種別	普通地盤における標準部材幅(腹起し材幅)		
	木製支保	軽量金属	鋼製
木矢板	150	—	—
軽量鋼矢板	150	110	—
鋼矢板およびH鋼横かけ H=3.5m以下	—	—	200
鋼矢板およびH鋼横かけ H=4.0m以下	—	—	250
鋼矢板およびH鋼横かけ H=6.0m以下	—	—	300

〔平成29年度改訂版〕水道事業実務必携〔全国簡易水道協議会〕より

●図表6-1-2-3 接合作業幅 b₃

継手の区分	摘要			接合作業幅(mm)	備考
	呼び径	ボルト径	トルク(N・m)		
外面継手 (T頭ボルト締付け) (トルク管理あり)	~75	M16	60	150	レンチ長
	100~250	M20	100	250	
	300~350	M20	100	250	
	400~600	M20	100	250	
	700~800	M24	140	350	
	900~	M30	200	450	
外面継手 (フッシュオン継手)	T形			100	余裕幅
	NS形			250	レバーホイスト (両側2カ所)
	NS形(E種管)	75~150		175	レバーホイスト
	GX形	75~300		175	レバーホイスト (上部1カ所)
		400		250	

継手の区分	摘 要				接合 作業幅 (mm)	備 考	
	呼び径	ボルト径	トルク(N・m)				
外面継手 (T頭ボルト締付け) メタルタッチ (トルク管理なし)	NS形(E種管)	75	M16	—		175	ラチェット レンチ長
		100・150	M20	—			
	GX形	75	M16	—		175	
		100～300	M20	—			
		400	M20	—		250	
S50形	50	M10	—		150		
内面継手	U形				100	余裕幅	
内面継手 (セットボルト 締付け)	UF形・US形	800			350	レンチ長	
		900～			450		

【〈平成29年度改訂版〉水道事業実務必携】(全国簡易水道協議会)より

●図表6-1-2-4 矢板厚C

(単位：mm)

矢板形式		部材厚(矢板厚)
木矢板	H=1.8m以下	30
木矢板	H=2.7m以下	45
軽量鋼矢板	建込み	35
軽量鋼矢板	打込み	35
鋼矢板	Ⅱ型	100
鋼矢板	Ⅲ型	125
H鋼横かけ	H=1.5m以下	30
H鋼横かけ	H=4.5m以下	45
H鋼横かけ	H=6.0m以下	60

【〈平成29年度改訂版〉水道事業実務必携】(全国簡易水道協議会)より

●図表6-1-2-5 会所掘り(継手下の余掘り)の深さDおよび管軸方向長さL

(単位：mm)

呼び径	深さD	管軸方向長さL
～350	300	500
400～800	600	800

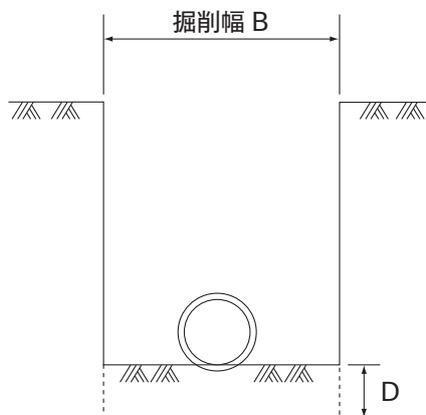
備考 会所掘りは図表6-1-2-6を参照のこと。

【〈平成29年度改訂版〉水道事業実務必携】(全国簡易水道協議会)より

2 掘削幅の計算例

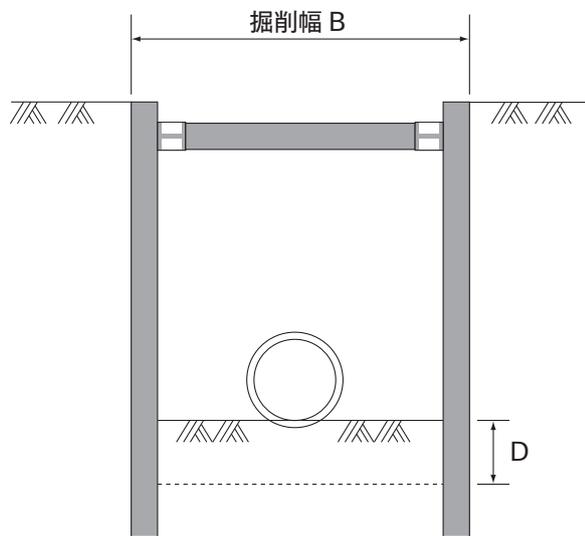
● 図表6-1-2-6 掘削断面例

素掘りの場合（掘削深さが1.5m以内）



会所掘りの管軸方向長さ：L

矢板掘りの場合（掘削深さが1.5mを超える場合）



会所掘りの管軸方向長さ：L

標準掘削断面寸法に用いる掘削幅の計算条件を図表6-1-2-7に示す。

● 図表6-1-2-7 掘削幅の計算条件

(単位：mm)

呼び径	矢板掘りの場合		素掘りの場合
	腹起し材幅 b_2 ^{注1}	矢板厚 C ^{注2}	
～350	110	35	接合幅 b_3 により算定。 ただし、最小掘削幅は 550とした。
400～1600	200	45	
1650～2100	250	45	
2200～2600	300	60	

注1 掘削深さより標準的な幅の腹起し材とした。

注2 呼び径350までは軽量鋼矢板、呼び径400～2100は鋼矢板およびH鋼横かけ（ $H=4.5\text{m}$ 以下）、呼び径2200～2600は鋼矢板およびH鋼横かけ（ $H=6.0\text{m}$ 以下）とした。備考 素掘りの掘削幅＝管外径 $D_2 + 2 \times$ 接合作業幅 b_3 （最小掘削幅550）矢板掘りの吊込み時の掘削幅 $B_1 =$ 受口外径 $D_5 + 2 \times$ （吊込み余裕幅 $b_1 +$ 腹起し材幅 $b_2 +$ 矢板厚 C ）接合作業時の掘削幅 $B_2 =$ 管外径 $D_2 + 2 \times$ （接合作業幅 $b_3 +$ 矢板厚 C ）、ただしUS形、UF形は、受口外径 $D_5 + 2 \times$ （接合作業幅 $b_3 +$ 矢板厚 C ）掘削幅 $B = B_1、B_2$ の大きい掘削幅

● 図表6-1-2-8 掘削幅の計算結果(素掘りの場合)

(単位：mm)

呼び径	GX形	S50形	NS形	NS形(E種管)	K形	T形
50	—	550	—	—	—	—
75	550	—	600	550	550	550
100	550	—	650	550	650	550
150	550	—	700	550	700	550
200	600	—	750	—	750	550
250	650	—	800	—	800	550
300	700	—	850	—	850	550
350	—	—	900	—	900	600

備考 呼び径400以上は掘削深さが1.5m以上になるので素掘りの表から省いた。

図表6-1-2-3接合作業幅 b_3 および管外径 D_2 より算出した。掘削幅は、1cm未満を切り捨て、5cm単位に切り上げ、丸め処理をした。

● 図表6-1-2-9 掘削幅の計算結果(矢板掘りの場合)

(単位：mm)

呼び径	GX形	S50形	NS形	NS形(E種管)	S形	US形・UF形	K形	T形	U形
50	—	850	—	—	—	—	—	—	—
75	850	—	850	850	—	—	850	850	—
100	850	—	850	850	—	—	850	850	—
150	850	—	850	850	—	—	850	850	—
200	850	—	850	—	—	—	850	850	—
250	850	—	850	—	—	—	850	850	—
300	850	—	900	—	—	—	900	850	—
350	—	—	950	—	—	—	950	850	—
400	1150	—	1150	—	—	—	1150	1100	—
450	—	—	1200	—	—	—	1200	1150	—
500	—	—	1300	—	—	—	1250	1200	—
600	—	—	1400	—	—	—	1400	1300	—
700	—	—	1550	—	—	—	1550	1450	—
800	—	—	1650	—	—	1800	1650	1550	1550
900	—	—	1950	—	—	2100	1950	1650	1650
1000	—	—	2050	—	—	2200	2050	1750	1750
1100	—	—	—	—	2150	2300	2150	1850	1850
1200	—	—	—	—	2250	2400	2250	1950	1950
1350	—	—	—	—	2400	2550	2400	2150	2150
1500	—	—	—	—	2550	2700	2550	2300	2300
1600	—	—	—	—	2650	2800	2650	2400	2400

(単位：mm)

呼び径	GX形	S50形	NS形	NS形 (E種管)	S形	US形・ UF形	K形	T形	U形
1650	—	—	—	—	2700	2850	2700	2550	2550
1800	—	—	—	—	2850	3000	2850	2700	2700
2000	—	—	—	—	3050	3200	3050	2900	2900
2100	—	—	—	—	3150	3350	3150	—	3000
2200	—	—	—	—	3300	3500	3350	—	3250
2400	—	—	—	—	3550	3650	3550	—	3450
2600	—	—	—	—	3700	3900	3750	—	3700

備考 受口外径 D_5 、吊込み余裕代 b_1 、図表6-1-2-2腹起し材幅 b_2 より算出した掘削内法幅と管外径 D_2 と図表6-1-2-3接合作業幅 b_3 より算出した掘削内法幅に図表6-1-2-4矢板厚 C を加算し、1cm未満を切り捨て、5cm単位に切り上げ、丸め処理をして、掘削幅を算出した。

6-1-3 事前調査

1 地盤調査

管布設工事では、土質や地下水の状況によって、施工方法、埋戻土の入替え条件、管基礎条件などが検討され決定される。従って、事前に土の性質や条件を調べることは、工事を計画し、実行していくための重要な事項である。

地盤調査方法の詳細は『道路土工—土質調査指針』(日本道路協会)に示されている。サンプリングによる室内試験と貫入試験(サウンディング試験)に大きく分けられるが、ここでは主な貫入試験方法を紹介する。

図表6-1-3-1の貫入試験方法の中で、一般的に最も広く実施されているのは標準貫入試験である。

標準貫入試験とは、ハンマ(63.5±0.5kg)を76±1cmの高さから落下させ、ボーリングロッド頭部に取り付けたノッキングヘッドを打撃し、レイモンドサンプラーを地中に貫入させる試験方法である。レイモンドサンプラーを最初の15cmほど予備打ちした後、30cm地中に貫入させるために要した打撃回数をN値といい、土の硬さ、強度などを知る上で重要な数値である。また、レイモンドサンプラーからそれぞれの深さにおける土を採取し、土の種類を分類することができる。詳細な試験方法は「JIS A 1219 標準貫入試験方法」に規定されている。

●図表6-1-3-1 貫入試験方法

種類	方法	特徴	備考
標準貫入試験 (JIS A 1219)	レイモンドサンプラーの打撃回数(N値)を測定する。	・N値が測定できる。 ・地下水位が確認できる。	・作業スペースが大きい(4m×5m程度)。 ・費用が高額である。
スウェーデン式 サウンディング試験	スクリューポイントの貫入に要する荷重と回転数を測定する。	・試験装置・試験方法が簡単で容易にできる。 ・N値に換算できる。	・礫、ガラなどは貫入困難となる。 ・調査深度は10m程度。
オートマチック・ラム・ サウンディング試験	コーンを地中に打ち込み打撃回数を測定する。	・標準貫入試験と比べて簡便である。 ・N値との相関性が良い。	・高低差の大きい現場での作業が困難。

2 地下水の調査

開削溝における地下水の影響は大きい。地下水は掘削床の強度を低下させ、土留壁にボイリング、パイピングなどの問題を引き起こしたり、施工に影響を与えたりするため、地下水の事前調査は重要な意味を持つ。また、標準貫入試験により地下水位が確認でき、サンプリングした土の粒度分布を知ることができる。

3 現場周辺状況の調査

工事現場の周辺状況の把握も工事前には重要となる。主な調査項目を以下に示す。

- ・ 家屋、井戸などの状況
- ・ 公共設備(バス停、その他)の状況
- ・ 道路、鉄道などの規模、交通量
- ・ 地形(法面、傾斜、河川、水路、その他)の状況
- ・ 使用機材搬入路の確保
- ・ 作業スペースの確保
- ・ 埋設管(上水道、下水道、ガス管、電力・通信ケーブル、その他)の状況
- ・ 地下構造物(マンホール、弁室、アンカーブロック、擁壁、その他)の状況
- ・ 地上構造物(電柱、架空線、その他)の状況

4 埋設物(埋設管・地下構造物)の調査

埋設物の調査は、以下の手順で行う。

- ①マンホール、弁室の位置から埋設物の位置、方向を想定
- ②個々の埋設物の所轄管理者から竣工図面などの情報入手、現地との照合
- ③埋設管探知器による調査
- ④試験掘削
- ⑤調査結果の図面化、工事影響範囲、作業性の検討

5 試験掘削(試掘)

試掘の目的は、簡易的な土質調査(目視による判断)、既知埋設物の確認、未知埋設物の調査などである。調査する項目の例を以下に示す。

- ・埋設管の管種(用途)、口径、規格、接合形式、製造年、定尺長さ、位置、方向、高さ、勾配、土かぶり、管基礎、埋戻状況
- ・地下構造物の位置、大きさ(各部寸法)、基礎などの状況
また、試掘の際は以下の点に留意する。
- ・事前に得た情報、調査項目の内容より試掘計画を立てる。
- ・所轄管理者に対して必ず届出を行い、立会いの下に試掘する。
- ・埋設管については、管路の方向、勾配を確認するために数箇所試掘する。
- ・試掘は原則として手掘りで行う。
- ・交差点部や管路交差点部は複数箇所試掘する。

6-1-4 掘削工

掘削前には、埋設物の有無、位置および形状寸法を関係図面、試掘などにより調査確認し、防護方法などを関係者と事前に協議する。

1 土留め

土留めは、地盤や施工環境を考慮し、振動および騒音により周辺の住民へ迷惑が

かからない工法を選択する。矢板打込みの場合は、埋設物に損傷を与えないよう確認しながら打ち込み、切梁・腹起しを適切に設置する。

2 掘削

機械掘削の場合は、特に埋設物に注意して掘削をする。また、掘削床は掘り過ぎによって、将来、管の不同沈下を起こさないよう注意し、床付けは人力により凹凸のないように仕上げる。

掘削中、多量の湧水がある場合は水替え用の釜場(50cm四方程度の小さなくぼみ)を設け、ポンプなどにより水替えをし、掘削床の地下湧水の排水が十分できるよう、根切りなどをして常に床地盤を乱すことのないよう留意する。

3 埋設物の防護

埋設物を防護するときは、その埋設物の管理者と協議し、関連法規を遵守して処置をする。なお、防護工をする場合は、所定の強度を持った角材または鋼材を桁として金具で吊るか、埋戻しなどで沈下する恐れがある場合は、適切な基礎工または支保工をする必要がある。なお、防護を取り外すときは、安全を確かめてから行う。

① 留意点

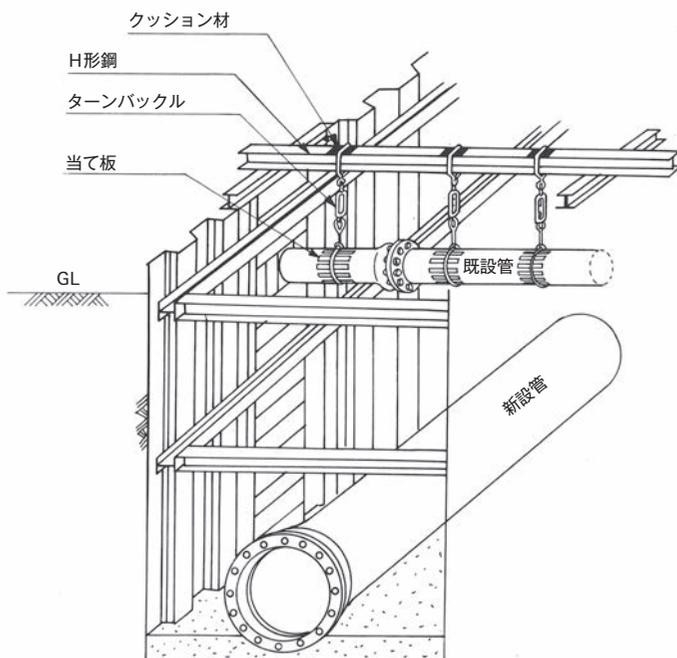
埋設物に近接して新設管を布設する場合、所轄管理者と十分な協議、検討を行い、それらの埋設物を安全に防護しなければならない。吊り防護の対象物には、上水道管、工業用水道管、下水道管、ガスパイプ、電力・通信ケーブル管、その他がある。管の吊り防護の留意点は以下の通りである。

- ・ 管防護の計画を立て、所轄管理者の承認・許可を得る。
- ・ 管防護・器具(ワイヤロープ、ボルト・ナット、ターンバックル、H形鋼、I形鋼)などは、十分強度のあるものを使用する。
- ・ 長い距離の既設管を防護する場合は、振れ防止も併せて考慮する。
- ・ 防護金具が管に直接接する場所には、クッション材として当て板、ゴム板などを施し、振動、衝撃などが直接伝わらないようにする。
- ・ 深い掘削の場合、土留壁背面の緩み影響線を考え、既設管の防護は、その影響範囲まで防護する。

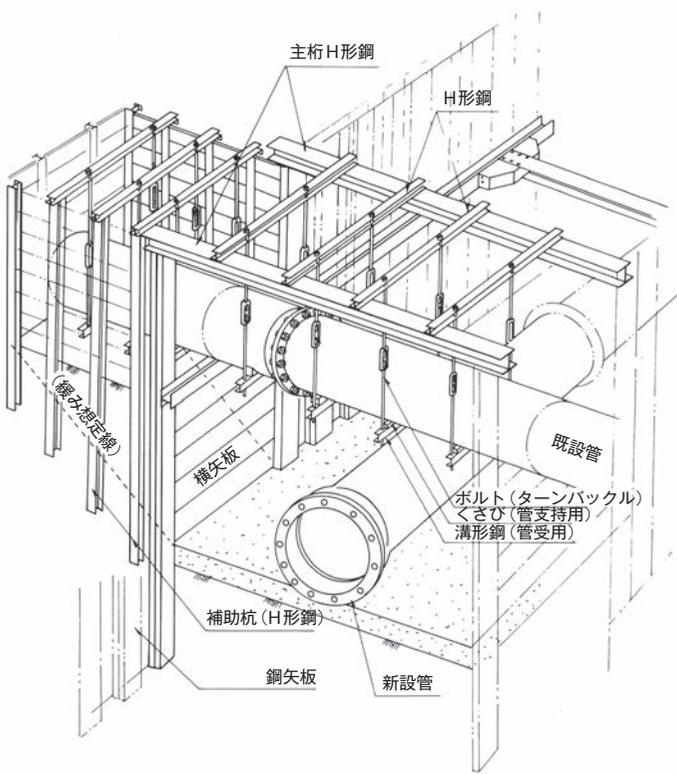
- ・ 定期的にワイヤロープの緩みなどを点検する。

② 吊り防護の施工例

- 図表6-1-4-1 小口径水道管の場合（呼び径300以下）

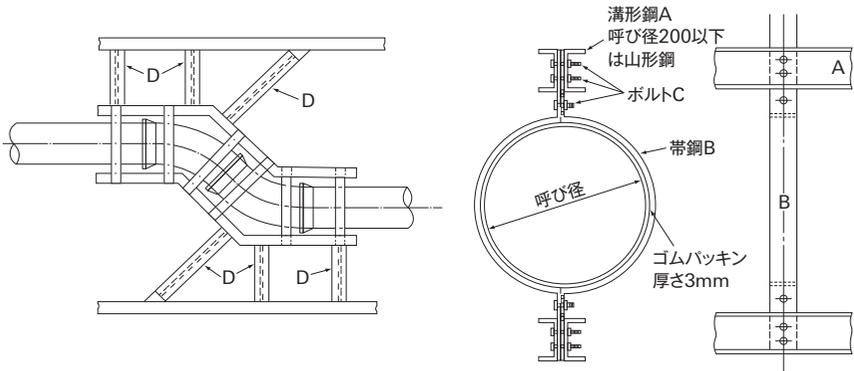


● 図表6-1-4-2 中大口径水道管の場合(呼び径400~1200)



● 図表6-1-4-3 吊り防護の使用材料(例)

曲管部防護図(単位: mm)



呼び径	拔出し力(トン)	A材	B材	C材(帯鋼1カ所当たり)
100	0.5	L-65×65×6	P-4.5×50	ボルト呼び径16×4
150	1.0	L-65×65×6	P-4.5×50	ボルト呼び径16×4
200	1.9	L-65×65×6	P-4.5×50	ボルト呼び径16×4
300	4.3	[-6×125×65	P-6.0×70	ボルト呼び径16×6
400	7.7	[-6×125×65	P-6.0×70	ボルト呼び径16×6
500	12.0	[-6×125×65	P-6.0×70	ボルト呼び径16×6
600	17.3	[-9×150×75	P-9.0×100	ボルト呼び径19×6
700	23.4	[-9×150×75	P-9.0×100	ボルト呼び径19×6
800	30.5	[-9×150×75	P-9.0×100	ボルト呼び径19×6
900	38.9	[-10×200×90	P-9.0×100	ボルト呼び径22×8
1000	48.0	[-10×200×90	P-9.0×100	ボルト呼び径22×8
1100	58.5	[-10×200×90	P-9.0×100	ボルト呼び径22×8
1200	69.4	[-11×250×90	P-12.0×100	ボルト呼び径22×10
1350	87.5	[-11×250×90	P-12.0×100	ボルト呼び径22×10
1500	108.0	[-11×250×90	P-12.0×100	ボルト呼び径22×10

備考 本図は45°曲管の防護方法である。他の角度も本図に準じるものとするが、所轄管理者の承認・許可を得ること。

ソケット継手の場合、漏水防止金具を事前に取り付けること。
D材については、拔出し力に対して十分耐える材料であること。
Lは山形鋼、[-は溝形鋼、Pは平鋼を示す。

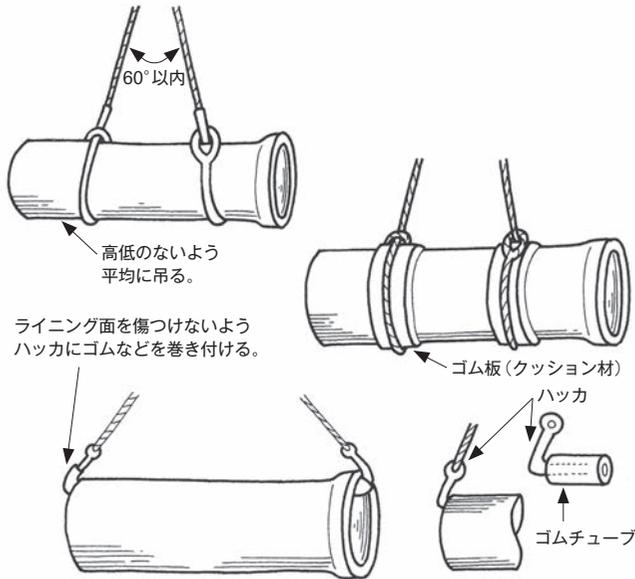
〔東京都土木工事標準仕様書〕(東京都)より

6-1-5 管の取扱いと保管

1 管の吊り方

管の取扱いについては、管の変形、内外面塗装の損傷、モルタルライニングの亀裂や剥離などを生じさせないように慎重に、かつ丁寧に取扱う。一般にはナイロンスリングによる2点吊りを原則とし、管の重心の位置に注意するとともに、吊り具が内外面塗装を傷つけないように、クッション材(ゴム板など)を使用する。また、吊り具は管の質量に合った適正なものを使用する。

●図表6-1-5-1 管の吊り方

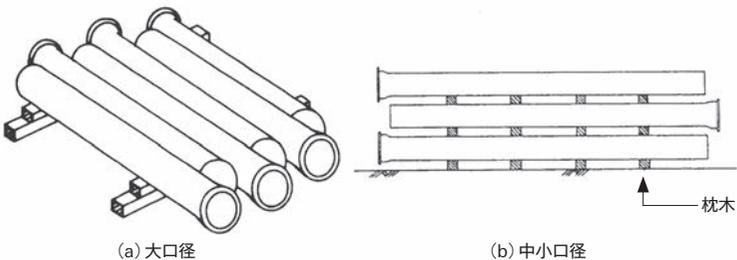


2 保管方法

保管中の事故防止のため、管の並べ方は図表6-1-5-2に従い、歯止め、防護柵などを設置する。

- ・ 管の下には枕木を敷く。
- ・ 受口と挿し口を交互にして積み、受口部で隣の管を傷つけないようにする。
- ・ 両端には必ず歯止めをする。

●図表6-1-5-2 保管時の管の並べ方



3 接合部品の取扱いの留意事項

●図表6-1-5-3 接合部品の取扱いの留意事項

種 類	取扱いの留意事項
ゴム輪	・ 空気中の酸素、オゾン、紫外線、熱などで劣化が生じるので、屋内（冷暗所が望ましい）に保管する。
	・ 梱包ケースから取り出した後はできるだけ早く使用する。
	・ 未使用品は、必ず梱包ケースに戻して保管する。
	・ 曲げたり、ねじったままでの保管は避ける。
ボルト・ナット	・ 油、溶剤などが付着しないよう注意して使用する。
	・ 開包後、直接地上に置くことは避け、所定の容器に入れて持ち運ぶ。
	・ 放り投げたりせず（ねじ山、塗装の損傷防止）、丁寧に取扱う。
押輪・ロックリングなど	・ ステンレス製の場合は、焼付き防止剤が塗布されていることがあるので洗い流さない。
	・ 直接地上に置かず台木上に並べて保管する。
	・ 呼び径500以上は、水平に積んで保管するのが望ましい。ただし、安全上あまり高く積まない。

●図表6-1-5-4 ゴム輪の保存方法

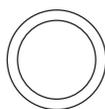
短期間の場合

小口径用

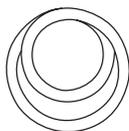


不可

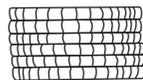
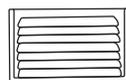
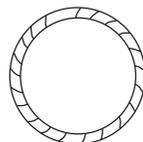
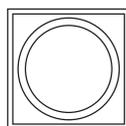
大口径用



可



長期間の場合

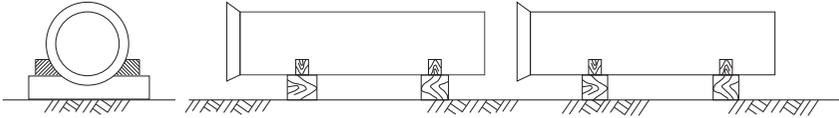


4 置場での配列方法

現場が狭く、作業の支障や交通の妨害となる場合などについては、掘削の進行に伴い必要量を置場より運搬配列する。

- ・ 受口を同じ方向に向けて配列する。
- ・ 枕木の上に置き、歯止めをする。
- ・ 管内に異物が入り込まないようにふたをして、入った場合は取り除く。

●図表6-1-5-5 ダクタイル鉄管の配列方法

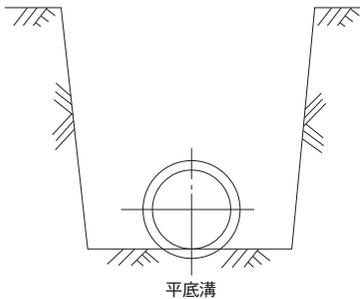


6-1-6 基礎

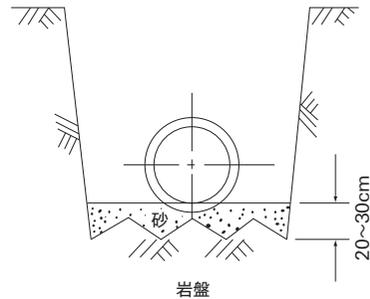
1 普通地盤の場合

一般的には平底溝とし、溝底面は平坦にならし、よく締固めを行い、管、水重、土圧、上載荷重などを安定して支持できる床を造る。

●図表6-1-6-1 普通地盤の場合の基礎



●図表6-1-6-2 岩盤の場合の基礎



2 軟弱地盤の場合

沖積層などの軟弱な地盤では、管の据付けが困難となるばかりか、将来管路の不同沈下を起こす恐れがある。従って、軟弱地盤での基礎はこの点を考慮する。

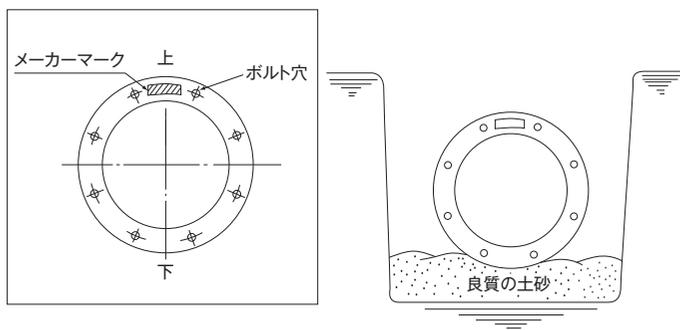
- ・ 通常、軟弱層が浅い場合の基礎は歩いて沈まない程度に良質の土砂で置き換えるか、土木シートなどを併用した基礎とする。
- ・ 軟弱層が深い場合、または配管工事のための重機が入れないような非常に軟弱な地盤では、薬液注入工法、サンドドレーン工法などにより地盤改良を行い、地盤強化を図ることが望ましい。
- ・ 施工に当たっては、湧水などの排水を完全に行い、水位を掘削床以下に保ち、基礎地盤を乱さないよう施工する。

6-1-7 配管

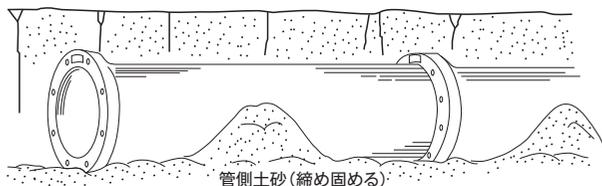
配管(吊込み、据付け)に当たっては以下を注意して行う。

- ・ 管の据付けに当たっては、管内を十分に清掃し、異物などが無いことを確認した上でメーカーマーク(製造業者名またはその略号)を管頂にして据え付ける。
- ・ 水準器、形板、水糸などを使用して管の中心位置および高低を確認すると同時に、管が移動しないように管底、管側を良質の土砂で締め固めるか、または角材などで管をしっかり固定する。
- ・ 軟弱地盤での据付けには管重および埋戻し時の土圧による不同沈下を防ぐためにワイヤロープとチェンブロックを使用して管を吊る。なお、ワイヤロープは埋戻土が十分締め固まったことを確認した後に切断または取り外す。
- ・ 配管中、既設埋設物と交差または近接する場合は、埋設物の影響を避けるため、少なくとも30cm以上離して配管する。

●図表6-1-7-1 メーカーマークを管頂にして据え付ける

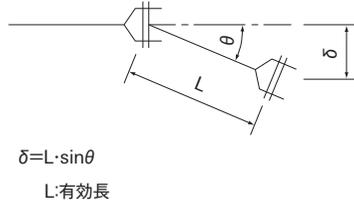


●図表6-1-7-2 管底、管側を良質の土砂で締め固める



- 直管による曲げ配管は、継手の伸縮量が減少することになるので、原則として避け、屈曲部は曲管を使用することが望ましい。施工上、やむを得ず曲げ配管を必要とする場合は、許容曲げ角度以内で、かつ複数の継手に分割して曲げ配管を行う。

● 図表6-1-7-3 許容曲げ角度の例



呼び径50～450

呼び径	有効長 (m)	GX形		S50形		NS形		NS形(E種管)			
		許容曲げ 角度 θ	許容偏位 δ (cm)	許容曲げ 角度 θ	許容偏位 δ (cm)	許容曲げ 角度 θ	許容偏位 δ (cm)	許容曲げ 角度 θ	許容偏位 δ (cm)		
50	4	—	—	4° 00′	28	—	—	—	—		
75	4	4° 00′	28	—	—	4° 00′	28	4° 00′	28		
100	4									—	—
150	5	—	—			—	—	4° 00′	35		
200	5	4° 00′	35			—	—	4° 00′	35	—	—
250	5										
300	6	4° 00′	42			—	—	3° 00′	31	—	—
350	6	—	—								
400	6	4° 00′	42			—	—	—	—	—	—
450	6	—	—								

Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

呼び径500～2600

呼び径	有効長 (m)	NS形		S形		US形																		
		許容曲げ 角度 θ	許容偏位 δ (cm)	許容曲げ 角度 θ	許容偏位 δ (cm)	許容曲げ 角度 θ	許容偏位 δ (cm)																	
500	6	3° 20′	35	—	—	—	—																	
600	6	2° 50′	29																					
700	6	2° 30′	26																					
800	4	2° 10′	—			—	—	2° 10′	15															
	6		22						22															
900	4	2° 00′	—					—	—	2° 00′	14													
	6		21								21													
1000	4	1° 50′	—							—	—	1° 50′	13											
	6		19										19											
1100	4	—	—									1° 40′	—	1° 40′	12									
	6			17	17																			
1200	4			—	—							—		—	1° 30′	10								
	6															15	15							
1350	4					—	—									—	—	1° 30′	10					
	6																		15	15				
1500	4							—	—									—	—	1° 30′	10			
	6																				15	15		
1600	4									—	—				—					—	1° 10′	8		
	5																					13	10	
1650	4	—	—										—								—	1° 05′	7	
	5																						13	9
1800	4			—	—							1° 30′		—								1° 00′	7	
	5																						13	9
2000	4					—	—									1° 30′	—						1° 00′	7
	5																							13
2100	4							—	—									1° 30′	—				1° 00′	7
	5																							13
2200	4									—	—				1° 30′					—		1° 00′	7	
	5																						13	9
2400	4	—	—										1° 30′								—	1° 00′	7	
	5																						—	9
2600	4			—	—							1° 30′		—								1° 00′	7	
	5																						—	9

6-1-8 接合

接合形式によって接合方法が異なるため、ここでは代表的な接合形式を例に直管の接合方法の概略を示す。管の接合および解体、切管、チェックシートなどの詳細は日本ダクタイル鉄管協会が発行する接合形式別の接合要領書を参照のこと。

なお、共通する接合の留意事項を以下に示す。

- ・ 接合に従事する作業者は、作業着手に当たって接合形式、構造、接合部品および接合の要点を熟知しておく。
- ・ 接合要領書に基づいて接合を行い、接合結果をチェックシートに記録する。
- ・ ゴム輪の表示マークを確認し、向きや表裏を間違えないように使用する。
- ・ 受口および挿し口を入念に清掃し、異物があれば確実に除去する。
- ・ 受口、挿し口、ゴム輪の所定の範囲にダクタイル鉄管継手用滑剤を十分に塗布する。

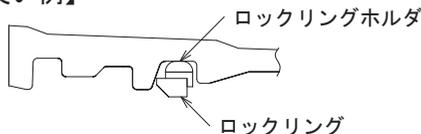
1 GX形直管 呼び径75～300・400

① ロックリングおよびロックリングホルダの確認

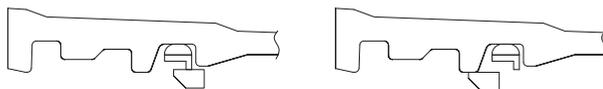
ロックリングおよびロックリングホルダが、正常な状態で所定の受口溝内にあるか目視および手で触って確認する。

● 図表6-1-8-1 ロックリングおよびロックリングホルダのセット例

【良い例】



【悪い例】

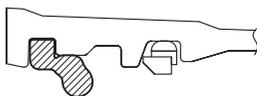


② ゴム輪のセット

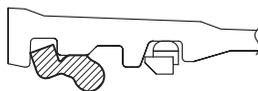
ゴム輪を清掃し受口内面にセットする。

●図表6-1-8-2 ゴム輪のセット例

【良い例】



【悪い例】

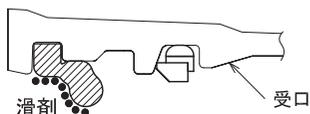


③ 滑剤の塗布

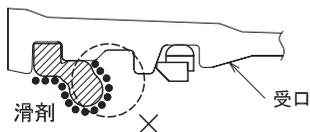
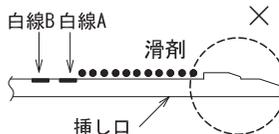
ダクティル鉄管継手用滑剤を図表6-1-8-3に示すようにむらなく塗布する。挿し口への塗布が不十分な場合やゴム輪の奥に滑剤が付着した場合、ゴム輪がずれ漏水の原因となる恐れがある。

●図表6-1-8-3 滑剤塗布範囲

【良い例】



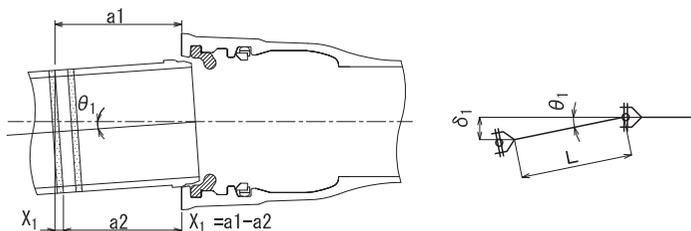
【悪い例】



④ 挿し口の預入れ

曲げ挿入ができる 2° 以内の角度で挿し口を受口に預ける。

●図表6-1-8-4 曲げ挿入できる角度 θ_1 と偏位 δ_1



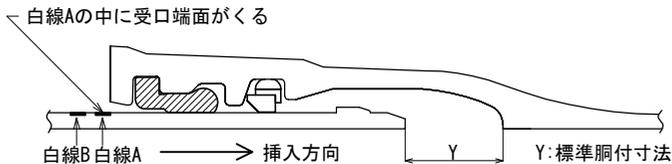
呼び径	曲げ挿入できる角度 θ_1	寸法の差 X_1 (mm) ^{注1}	管1本あたりに許容される偏位 δ_1 (cm)
75	2°	3	14 (4m管)
100	2°	4	14 (4m管)
150	2°	6	17 (5m管)
200	2°	8	17 (5m管)
250	2°	9	17 (5m管)
300	2°	11	21 (6m管)
400	2°	15	21 (6m管)

注1 X_1 は挿し口外径基準の計算値。

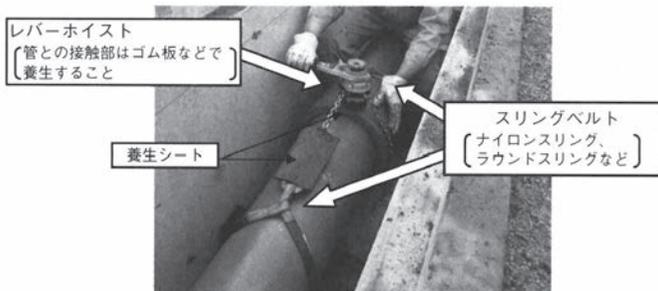
5 挿し口の挿入

接合器具をセットし、ゆっくりと挿し口を受口に挿入する。挿し口外面に表示してある2本の白線のうち白線Aの幅の中に受口端面を合わせる。

●図表6-1-8-5 挿入状態



●図表6-1-8-6 挿入状況

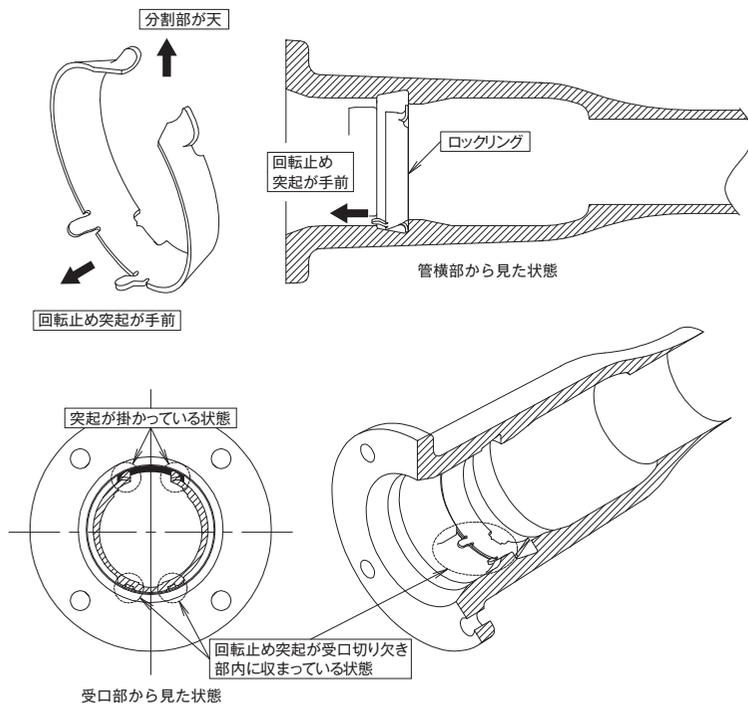


2 S50形直管 呼び径50

① ロックリングの確認

所定の受口溝にロックリングが図表6-1-8-7に示すように正常な状態にあるか、目視および手で触って確認する。

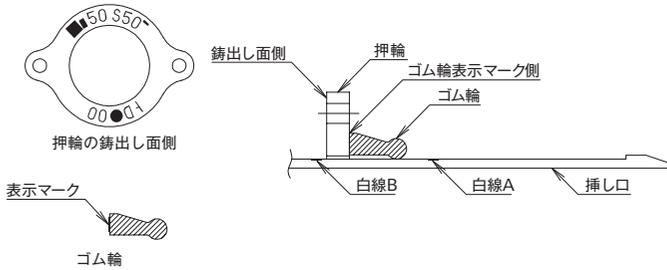
●図表6-1-8-7 ロックリングのセット方向と正常なセット位置



② 接合部品の預入れ

押輪およびゴム輪を清掃し、押輪、ゴム輪の順で図表6-1-8-8に示す向きおよび位置に預け入れる。

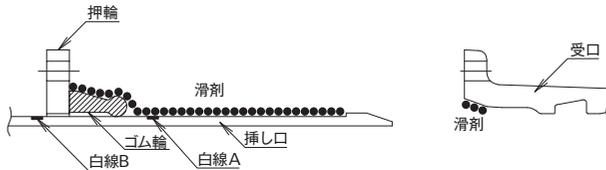
● 図表6-1-8-8 接合部品の預入れ位置



③ 滑剤の塗布

ダクタイトル鉄管継手用滑剤を図表6-1-8-9に示すようにむらなく塗布する。

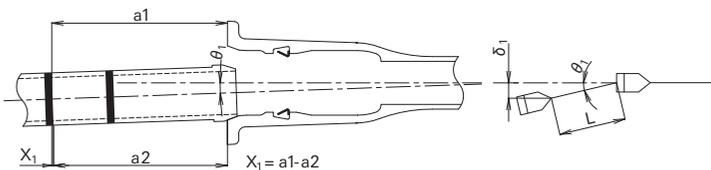
● 図表6-1-8-9 滑剤の塗布範囲



④ 挿し口の挿入

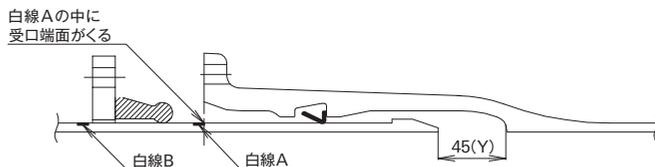
曲げ挿入できる 2° 以内の角度で挿入する。挿し口突部がロックリングを通過したら、確認のため挿し口を軽く引き抜き、継手が離脱しないことを確認し、図表6-1-8-11に示すように、白線Aの幅の中に受口端面を合わせる。

● 図表6-1-8-10 曲げ挿入できる角度(θ_1)と変位(δ_1)



曲げ挿入できる角度 θ_1	寸法の差 X_1 (mm)	管1本当たりに許容される偏位 δ_1 (cm)
2°	2	14

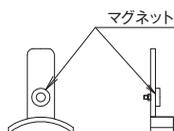
●図表6-1-8-11 挿入状態



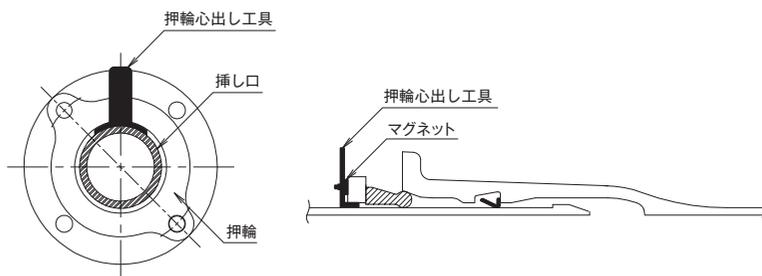
⑤ 接合部品のセット

ゴム輪を受口側へ寄せT頭ボルト・ナットを受口フランジおよび押輪のボルト穴にセットし、押輪心出し工具(図表6-1-8-12)のマグネット面を押輪に取り付ける(図表6-1-8-13)。

●図表6-1-8-12 押輪心出し工具



●図表6-1-8-13 押輪心出し工具の取付け



⑥ T頭ボルト・ナットの締め付け

受口と押輪の間隔がほぼ全周にわたって均一になるように注意しながら、ナットを少しずつ電動工具(インパクトレンチ)などで締め付ける。押輪と受口が接触するまで締め付け、押輪心出し工具を取り外す。

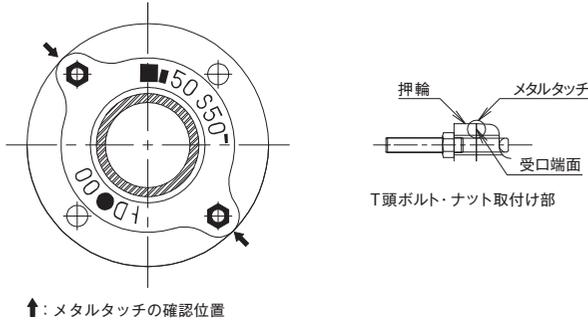
⑦ 接合状態の確認

図表6-1-8-14に示すように、T頭ボルト・ナット取付け部2カ所の押輪と受

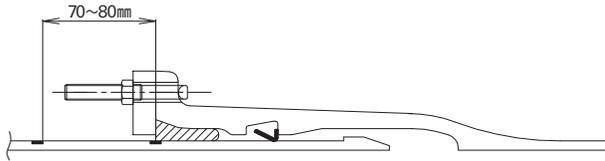
口端面に隙間がないことを、隙間ゲージ(厚さ0.5mm)で確認する。

また、図表6-1-8-15に示すように、受口端面から白線Bまでの間隔を上下左右の4カ所で測定し、70~80mmであることを確認する。

●図表6-1-8-14 締付け完了の状態



●図表6-1-8-15 受口端面から白線Bまでの間隔

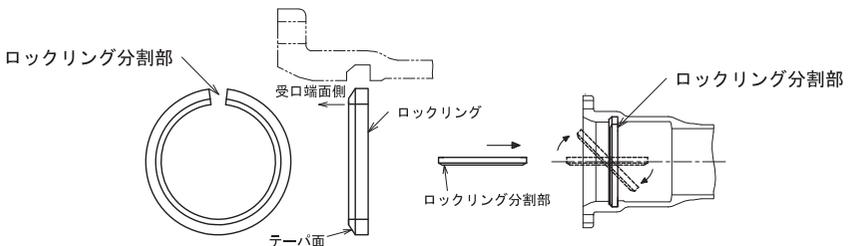


3 NS形直管 呼び径500~1000

① ロックリングのセット

ロックリングをテーパ面が受口端面側となるように受口にセットする。

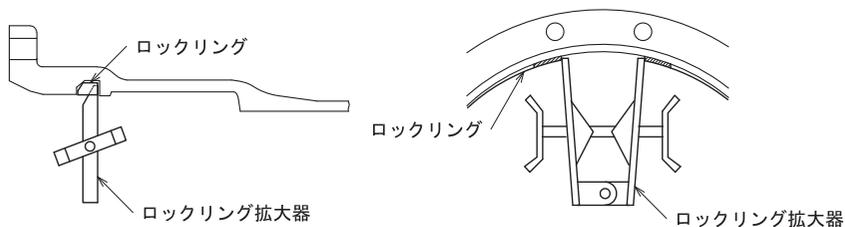
●図表6-1-8-16 ロックリングの受口へのセット



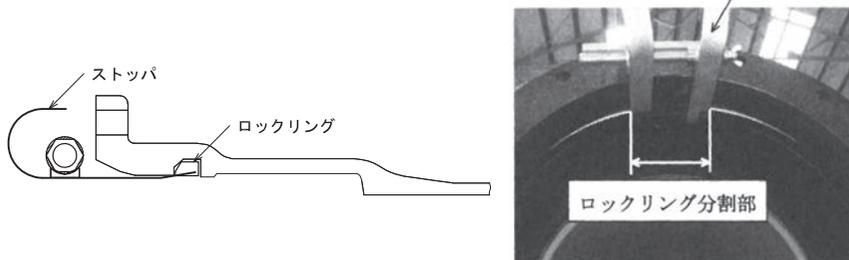
② ロックリングの拡大

ロックリング拡大器を用いてロックリングの分割部を拡大する。拡大したロックリング分割部にストッパを装着し、ロックリング拡大器を取り外す。

●図表6-1-8-17 ロックリング拡大器の装着



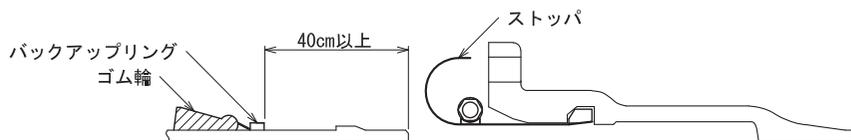
●図表6-1-8-18 ストッパの装着



③ ゴム輪の預入れ

ゴム輪およびバックアップリングを清掃して挿し口に預け入れる。

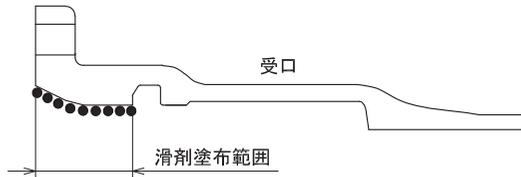
●図表6-1-8-19 接合部品のセット位置



④ 滑剤の塗布

受口内面にダクタイル鉄管継手用滑剤を塗布する。

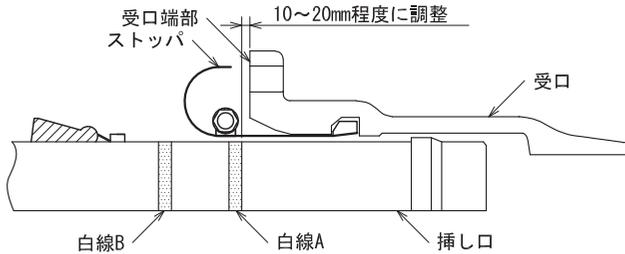
●図表6-1-8-20 滑剤塗布範囲



⑤ 挿し口の挿入とロックリングの位置確認

受口端面と白線Aとの間隔が10～20mm程度になるようにゆっくりと挿入し、ストップを引き抜く。管をクレーンなどで吊った状態で挿し口もしくは受口を大きく上下左右前後に振り、継手が離脱しないことを確認する。

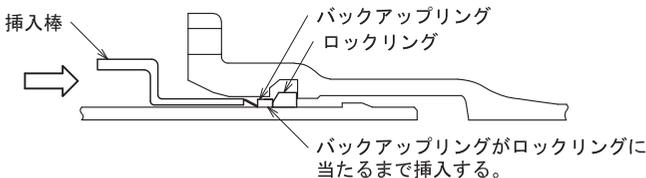
●図表6-1-8-21 挿し口の挿入



⑥ バックアップリングの挿入

管を心出しし、バックアップリングがロックリングに全周にわたって当たるまで挿入棒を使って受口と挿し口の隙間に挿入する。

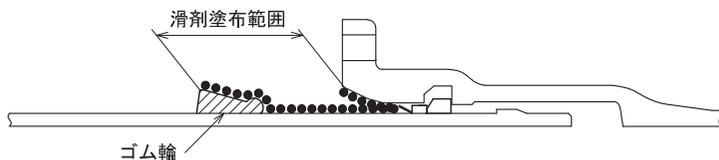
●図表6-1-8-22 バックアップリングの挿入



⑦ 滑剤の塗布

ゴム輪外面、挿し口外面および受口内面にダクタイトル鉄管継手用滑剤を塗布する。受口、挿し口の隙間を上下左右で均等に保ちながらゴム輪を押し込む。

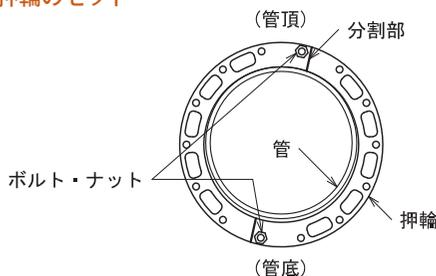
●図表6-1-8-23 滑剤塗布範囲



8 押輪のセット

押輪の分割部を上下に配置し、分割部のボルト穴に通し、ナットを手締めして押輪を一体化する。その後、全てのボルト・ナットを受口のフランジ穴および押輪のボルト穴にセットする。セット完了後、くさびを用いて押輪を心出しし、全てのボルト・ナットを手締めする。

●図表6-1-8-24 押輪のセット



9 締付け

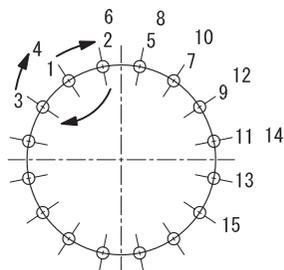
1) 仮締付け

受口と押輪の間隔が全周にわたって均一になるように注意しながら、ほぼ対称の位置にあるナットを少しずつラチェットレンチ、スパナなどで締め付ける。

2) 追い締付け

- ①ある程度ナットが締まったらトルクレンチにより図表6-1-8-25に示す手順により追い締付けで1周、標準締付けトルク(図表6-1-8-26)まで締め付ける。
- ②最初に締め付けたナットが手で回る場合には、1のナットおよび2のナットのみ再度、標準締付けトルクで締め付ける。

●図表6-1-8-25 追い締付け方法



● 図表6-1-8-26 ボルトの呼びと標準締め付けトルク

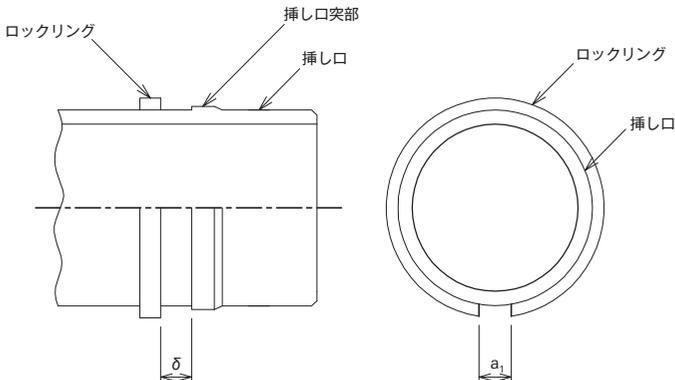
呼び径	呼 び	標準締め付けトルク (N・m)
500・600	M20	100
700・800	M24	140
900・1000	M30	200

4 US形直管 呼び径800～2600

US形は、LS方式、VT方式、SB方式があるが、LS方式について以下に示す。

① ロックリングのセット

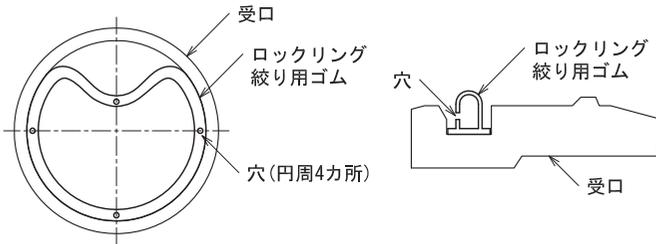
ロックリングを清掃し、挿し口突部から図表6-1-8-27に示す δ だけ離れた位置に、ロックリング分割部が管底にくるようにして預け、ロックリング全周が挿し口に抱き付いた状態でロックリング分割部間隔 a_1 を測定する。

● 図表6-1-8-27 ロックリング分割部間隔 a_1 の測定位置

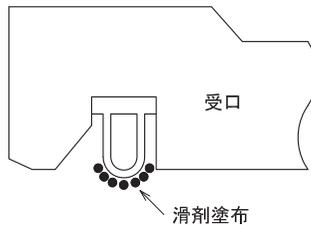
呼び径	δ (mm)	呼び径	δ (mm)
800	55	1650	55
900	55	1800	55
1000	60	2000	60
1100	60	2100	65
1200	60	2200	70
1350	70	2400	80
1500	75	2600	80
1600	55		

受口溝内にロックリング絞り用ゴムをねじれないようにセットする(呼び径800~1000は不要)。ロックリング絞り用ゴムの表面にダクタイト鉄管継手用滑剤を塗布する。

●図表6-1-8-28 ロックリング絞り用ゴムのセット方法(呼び径1100以上)

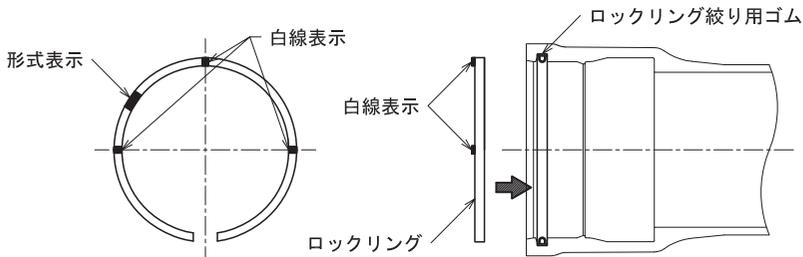


●図表6-1-8-29 ロックリング絞り用ゴムへの滑剤の塗布



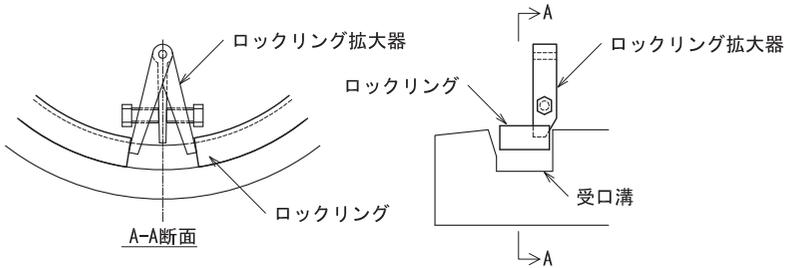
ロックリングを受口溝内にセットする。

●図表6-1-8-30 ロックリングのセットの向き

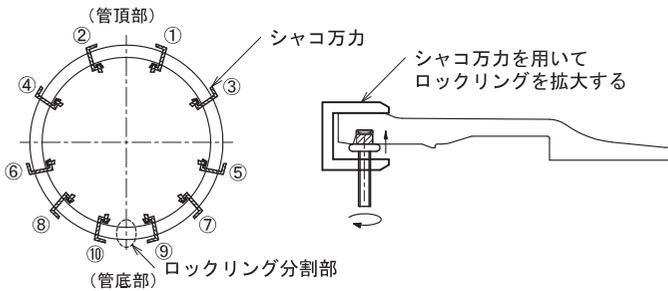


ロックリング分割部をロックリングが全周にわたって受口溝内に収まるまで拡大し、ストッパを装着する。呼び径800~1000はロックリング拡大器、呼び径1100以上はシャコ万力を用いてロックリング分割部を拡大する。

● 図表6-1-8-31 ロックリングの受口溝内へのセット (呼び径800~1000)

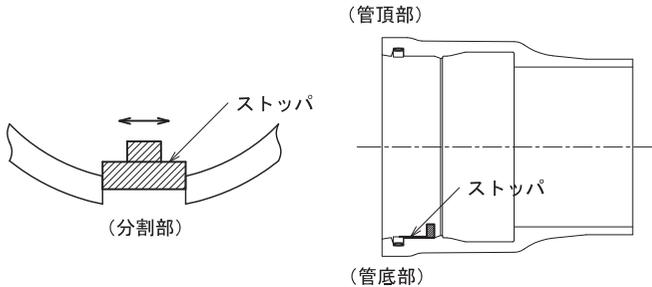


● 図表6-1-8-32 ロックリングの受口溝内へのセット (呼び径1100以上)



番号はシャコ万力の締付け順番例を示す。

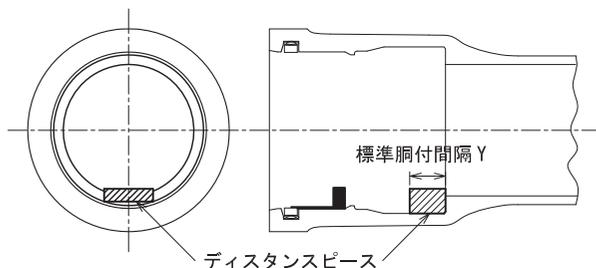
● 図表6-1-8-33 ストップの装着



② 挿し口の挿入

受口内面奥に図表6-1-8-34の標準胴付間隔Yに相当する幅のディスタンスピース (木製または金属製) を設置する。

●図表6-1-8-34 ディスタンスピースの設置

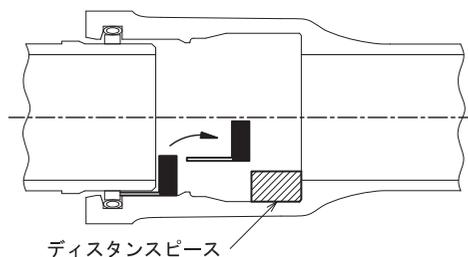


●図表6-1-8-35 標準胴付間隔 Y

呼び径	標準胴付間隔 Y (mm)
800~1500	105
1600~2400	115
2600	130

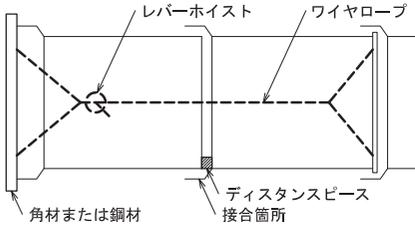
受口に挿し口を挿入する。挿し口端部がストップの突部付近にくるまで挿入した後、受口から挿し口が離脱しないように注意しながら、接合する管の両端を管の内側からレバブロックやワイヤを使って固定する。ストップを外すと、ロックリングは挿し口に抱き付く。

●図表6-1-8-36 挿入途中の状況

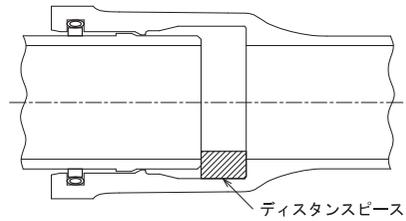


挿し口端部がディスタンスピースに当たるまで、管内側からレバーホイストなどを用いて管を引き込む。引き込み後、ロックリング分割部間隔を測定し、ロックリングが挿し口に十分抱き付いていることを確認する。

● 図表6-1-8-37 管内側から挿し口の引込み



● 図表6-1-8-38 挿入完了状況



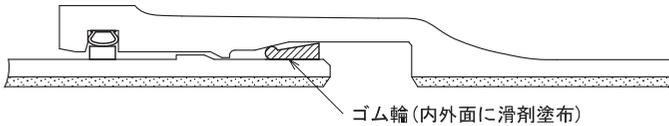
③ 滑剤の塗布

挿し口端部から挿し口突部までの挿し口外面および受口内面のゴム輪がセットされる部分にダクタイル鉄管継手用滑剤を塗布する。

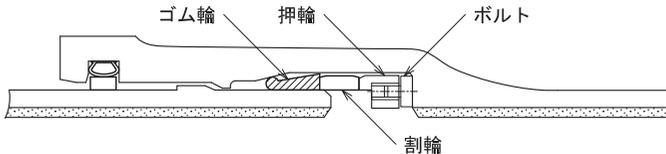
④ ゴム輪、割輪、押輪のセット

ゴム輪を清掃後、滑剤を塗布して挿し口に預け、指先でできるだけ受口の奥まで押し入れる。その後、割輪(3つ割り)、押輪(4つ割り)をセットし組み立てる。

● 図表6-1-8-39 ゴム輪のセット



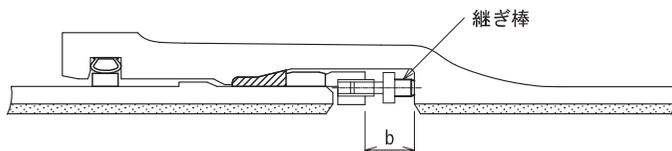
● 図表6-1-8-40 ゴム輪、割輪、押輪の位置



⑤ ボルトの締付け

押輪のボルトをねじ出し、ゴム輪を押し込む。継ぎ棒をセットしさらに押し込んでいく。ねじ出し間隔が上下左右均等になるように注意しながら、締付け完了時のb寸法が図表6-1-8-42に示す値になるまで全ボルトをねじ出す。ただし、締付けトルクが非常に大きくなってそまでのねじ出しが困難な場合は、所定の締付けトルクに達した時点で完了とする。

●図表6-1-8-41 ボルトの締付け



●図表6-1-8-42 締付け完了時のb寸法と締付けトルク

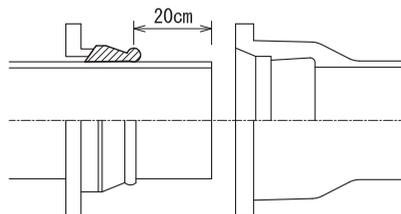
呼び径	締付け完了時のb寸法 (mm)	締付けトルク (N・m)
800～1500	57～60	120
1600～2400	67～70	140
2600	77～80	

5 K形

① 接合部品の預入れ

接合部品(押輪、ゴム輪)を清掃し、挿し口に預け入れる。ゴム輪の向きを逆に入れないように注意する。

●図表6-1-8-43 接合部品の預入れ



② 滑剤の塗布

ダクタイトル鉄管継手用滑剤をゴム輪表面、受口ゴム輪当たり面、挿し口外面の端面から白線までの範囲にむらなく塗布する。

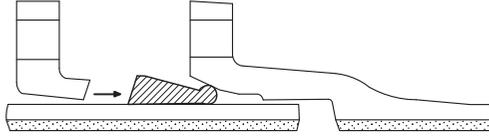
③ 挿し口の挿入

受口に挿し口を挿入する。呼び径700以下の管には挿し口に白線が2本表示されているので、1本目を受口端面に合わせる。

4 ゴム輪のセット

受口、挿し口の隙間を上下左右均等に保ちながらゴム輪を押し込む。

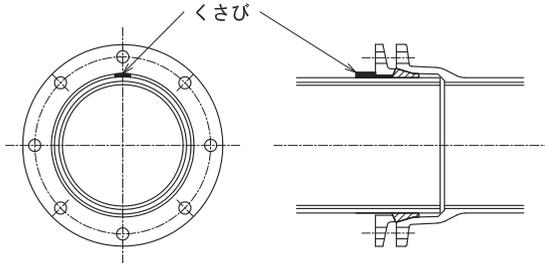
●図表6-1-8-44 ゴム輪のセット



5 押輪のセット

ラチェットレンチの柄などを利用して管と押輪のボルト穴を合わせ、押輪の下にくさびを入れて押輪を持ち上げ、管と同心円とする。

●図表6-1-8-45 押輪のセット



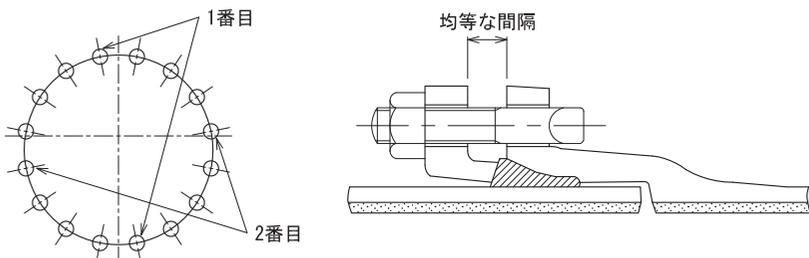
6 ボルト・ナットの取付け

ボルトをボルト穴に差し込み、ナットを軽く締める。

7 締付け

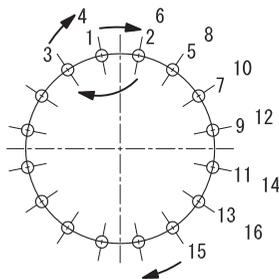
スパナまたはラチェットレンチでゴム輪の入込みの少ない箇所から締め付け、片締めにならないよう上下左右少しずつ均等に締める(仮締め付け)。

●図表6-1-8-46 仮締め付け



ある程度締まったら、図表6-1-8-47に示す手順で5、6回にわたって締め付ける（追い締め付け）。最後にトルクレンチで追い締め付けと同様の手順で標準締め付けトルクまで締め付ける。

●図表6-1-8-47 追い締め付け



●図表6-1-8-48 標準締め付けトルク

呼び径	ボルトの呼び	標準締め付けトルク (N・m)
75	M16	60
100～600	M20	100
700・800	M24	140
900～2600	M30	200

6-1-9 切管の方法

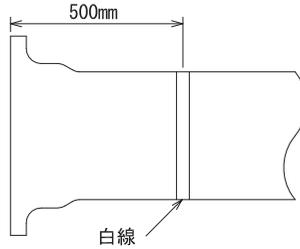
1 切用管

●図表6-1-9-1 呼び径別切用管の適否

呼び径	切用管の適否
250以下	すべて切用管となる。
300以上	切用管を使用する（切用管は受口側に白線が表示されている）。または切断部の外径および外周を実測し、接合要領書に示す許容範囲内に入っている管を使用する。

備考 異形管は切管してはならない。

●図表6-1-9-2 切用管の白線表示位置(呼び径300以上)



2 現地挿し口加工

●図表6-1-9-3 現地挿し口加工の呼び径と適用管厚(溝切加工を行う場合)

接合形式	適用呼び径	適用管厚
GX形(挿し口リング使用時)	75~300・400	1種管またはPF種管
NS形	75~450	
S形 ^{注1}	1100~1600	
US形 ^{注1}	800~1800	
NS形	500~1000	S種管
UF形	800~2600	PF種管

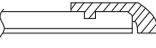
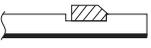
注1 該当しない呼び径は現地での挿し口加工は行えない。

3 切管時の挿し口加工形状

接合形式によって、切断、溝切り加工、テーパ加工、突部形成など挿し口加工形状が異なる。

●図表6-1-9-4 切管時の挿し口加工形状

接合形式	呼び径	挿し口加工形状 ^{注1}	切断	溝切り加工	テーパ加工	突部形成
S50形	50	面取り	○	—	—	—
GX形	75~300	面取り (P・G-Link)	○	—	—	—
	75~250	挿し口リング(1)	○	○	—	○
	300・400	挿し口リング(2)	○	○	—	○

接合形式	呼び径	挿し口加工形状 ^{注1}	切 断	溝切り加工	テーパ加工	突部形成
NS形	75～450	タッピンねじタイプ 	○	○	—	○
		リベットタイプ 	○	○	○	○
	500～1000	リベットタイプ	○	○	—	○
S形	1100～1600	挿し口リング 	○	○	—	○
US形	800～1800		○	○	—	○
UF形	800～2600	溝切り 	○	○	—	—
K形	75～2600	面取り 	○	—	—	—
U形	800～2000		○	—	—	—
T形	75～2600	テーパ加工 	○	—	○	—

注1 挿し口リングの名称は便覧に準じた。

ダクトイル鉄管の現場での切断および溝切り加工については、種々の機械が市販されているので、それぞれの機械の特徴を踏まえ、用途に合った使い分けをする。

4 切管時の端面の防食方法

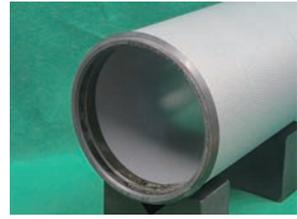
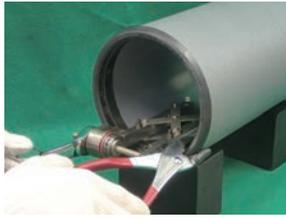
切り口の鉄部はダクトイル鉄管切管鉄部用塗料で塗装する。GX形には端面防食キャップ(呼び径75～300)、切管端面防食材料(呼び径75～250)もある。

●図表6-1-9-5 切管端面の防食方法

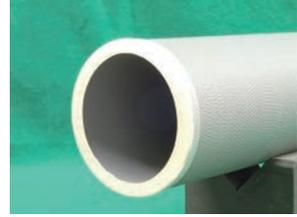
切管鉄部用塗料



切管端面防食材料



端面防食キャップ



5 内面エポキシ樹脂粉体塗装の補修

管を現場内で運搬するときあるいは切管作業時に内面エポキシ樹脂粉体塗装が損傷した場合は現地で補修して使用する。補修の概要は以下の通りである。

① 補修塗料

1) 切管鉄部用塗料(一液性エポキシ樹脂)

切管部の補修およびエポキシ樹脂粉体塗装の端部の補修は専用の切管鉄部用塗料(常温硬化型の一液性エポキシ樹脂)を使用する。

●図表6-1-9-6 切管鉄部用塗料の硬化乾燥時間

温度(℃)	硬化乾燥時間(分)
10	30
20	15
30	15

2) 内面補修塗料(二液性エポキシ樹脂)

管内部の内面エポキシ樹脂粉体塗装を損傷した場合は専用の内面補修塗料(常温硬化型の二液性エポキシ樹脂)を使用する。

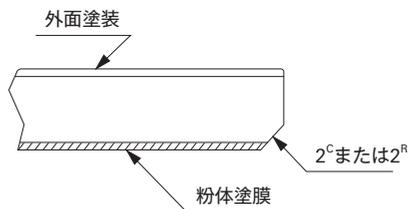
●図表6-1-9-7 内面補修塗料の硬化乾燥時間

温度 (°C)	硬化乾燥時間 (分)
10	16
20	8
30	6

② 切管部の補修方法

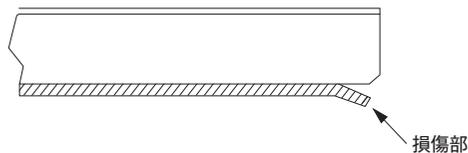
①切り口端面(内面側)を 2^C または 2^R の面取りを行う。

●図表6-1-9-8 切り口端面の面取り



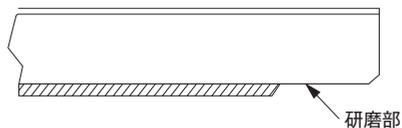
②エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜に損傷部があればその部分を除去する。

●図表6-1-9-9 損傷部の除去



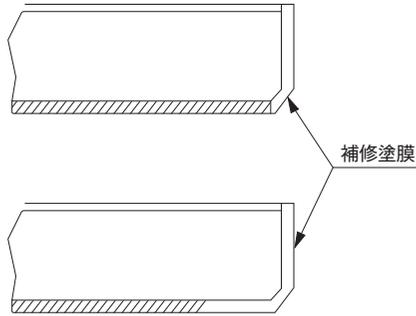
③損傷部が大きい場合には塗装面と損傷部の金属面をグラインダおよびサンドペーパー(#160程度)で研磨する。

●図表6-1-9-10 損傷部の研磨



④切管鉄部用塗料を刷毛で均一かつ平滑に塗装する。一回塗りで所定の膜厚が得られない場合は塗装間隔を守って同様の方法で塗り重ねを行う。外面塗装の上への塗装はできるだけ避けるようにする。

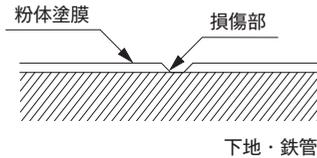
● 図表6-1-9-11 切管鉄部用塗料の塗布



③ 管内部の補修方法

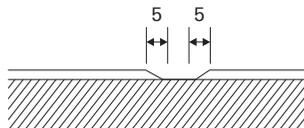
① 損傷した塗膜を除去する。

● 図表6-1-9-12 損傷した塗膜の除去



② 損傷部周辺(約5mm)の塗膜面と損傷部の金属面をグラインダおよびサンドペーパー(#160程度)で研磨する。

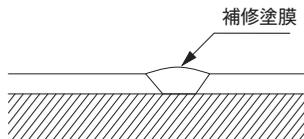
● 図表6-1-9-13 塗膜面と損傷部の研磨



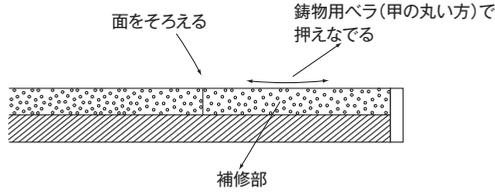
③ 内面補修塗料を所定の配合比で混合し、十分攪拌する。

④ 内面補修塗料を刷毛で均一かつ平滑に塗装する。一回塗りで所定の膜厚が得られない場合は塗装間隔を守って同様の方法で塗り重ねを行う。

● 図表6-1-9-14 内面補修塗料の塗布

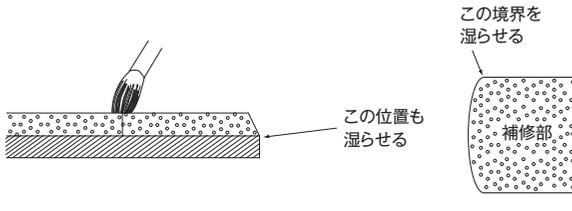


● 図表6-1-9-17 平滑にする方法



⑥仕上げ後、補修境界部を水でぬらした刷毛で湿らせる。

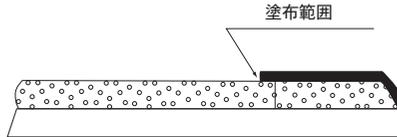
● 図表6-1-9-18 補修境界部を湿らせる方法



⑦補修部の養生を行う。補修部が急激に乾燥しないようウエスで表面と端面に覆いをする。

⑧養生後、速やかにシールコートを塗布する。

● 図表6-1-9-19 シールコートの塗布範囲



補修用の材料は、JWWA A 113-2015の「附属書C」に定められている。また、エポキシ樹脂モルタルで補修する方法もある。

6-1-10 ポリエチレンスリーブの施工

1 施工方法

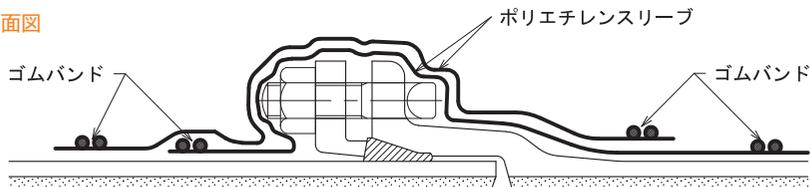
ポリエチレンスリーブの施工は、日本ダクタイル鉄管協会が発行する施工要領書に基づいて行う。

施工方法としては、下記の2通りがあるが、A法が一般的である。

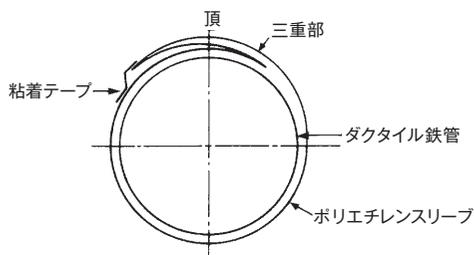
- ・ A法：ポリエチレンスリーブ全長を一体として管に被覆する方法
- ・ B法：ポリエチレンスリーブを2つに切り、直管部と継手部に分けて被覆する方法
また、T字管など枝管を有する異形管や弁類などはポリエチレンスリーブを適当に切断または切り開いて被覆し粘着テープで固定する。

●図表6-1-10-1 継手部の被覆状況(A法)

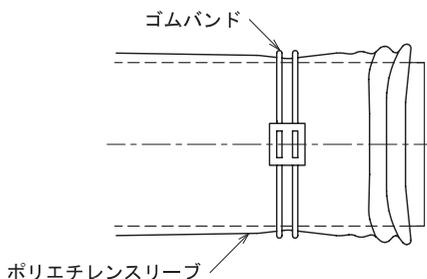
側面図



断面図



●図表6-1-10-2 直管部の被覆および固定方法(A法)



2 施工の留意点

- ・ 継手部ではポリエチレンスリーブを十分にたるませ、埋戻しに際してポリエチレンスリーブが損傷しないよう配慮する。
- ・ ポリエチレンスリーブを管に密着させ、ゴムバンドや粘着テープで固定し、ポリエチレンスリーブと管との間へ地下水ができるだけ浸入しないようにする。仮に

地下水が入っても移動しにくいようにしておく。

- ・ポリエチレンスリーブに損傷、または使用上有害な欠陥が生じた場合は、別のポリエチレンスリーブを用いて補修する。
- ・埋戻しは、ポリエチレンスリーブに損傷を与えないように、大きな石などを含まない良質の埋戻土を用いて行う。

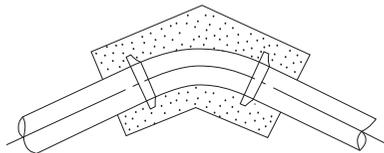
6-1-11 防護コンクリートの施工

水圧による不平均力による管の動きを防止するために、防護コンクリートを施工する場合には次の点に注意する。

- ・コンクリートは、指定された強度のコンクリートを使用する。
- ・ポリエチレンスリーブがある場合には端部を10cm程度巻き込んで打設する。
- ・コンクリート強度が不足する場合には鉄筋を使用する。
- ・コンクリートの背面の土質が軟弱で、受働土圧が期待しにくい場合には、埋戻土を砂で入れ替えたりして受働土圧を増大させる。

設計に関する詳細は「5-4-4 防護コンクリートによる異形管防護」を参照のこと。

●図表6-1-11-1 防護コンクリートの形状(水平曲管の事例)



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より(改変)

6-1-12 通水(水張り)および洗管

通水(水張り)および洗管は、以下の点に留意して行う。また、『水道維持管理指針 2016』(日本水道協会)の「8.5.6 管の洗浄及び消毒、夾雑物の排除」を参照のこと。

- ・通水に当たっては、短時間に多量の空気を排出することになるため、事前に空気弁をよく点検する。
- ・空気弁のない小口径管路では、比較的高所にある消火栓で排気を行う。

- ・バルブは徐々に開く。大口径バルブでは、まずバイパス弁を開いて通水する。
- ・通水作業中は必ず管路をパトロールし、異常の有無、排気状態を確認しながら通水する。
- ・洗管に当たっては、小口径管路では消火栓や管末端に取り付けた排水口を通じて、また、大口径管路では排水管を通じて少なくとも1m/秒以上の流速で排水する。
- ・短時間に多量の水が流出するので、排水場所の容量、放流河川の水質への影響などを事前によく調査検討し、必要であれば対策を講じる。
- ・洗管排水終了後、原則として配水管の消毒を行う。薬品としては、液体塩素、さらし粉、次亜塩素酸ナトリウムなどがあるが、作業性や安全性などの面から次亜塩素酸ナトリウムが多く使用されている。

6-1-13 水圧試験

ダクタイル鉄管の継手は、ゴム輪を用いるため接合後に漏水することは極めて少ないが、正規に接合されているかの確認のために接合後に水圧試験を行う。ダクタイル鉄管の水圧試験には図表6-1-13-1に示すように大きく2つの方法がある。

●図表6-1-13-1 ダクタイル鉄管の水圧試験方法

種 類	適 用	特徴および注意事項
管路水圧試験 ^{注1}	主としてテストバンドが挿入できない中小口径に適用される。	管路が全て配管されてからでないとき水圧試験ができない。呼び径が大きくなると、充水用の水や排水先の確保が難しくなる。水圧の代わりに空気圧で行うと管が吹き飛ばされる可能性があり、決して行ってはならない。
テストバンドによる水圧試験	呼び径900以上に適用される。	接合後すぐに継手部1口ずつの水圧試験ができる。

注1 管路内の空気を十分に排出しておく必要がある。

1 管路水圧試験

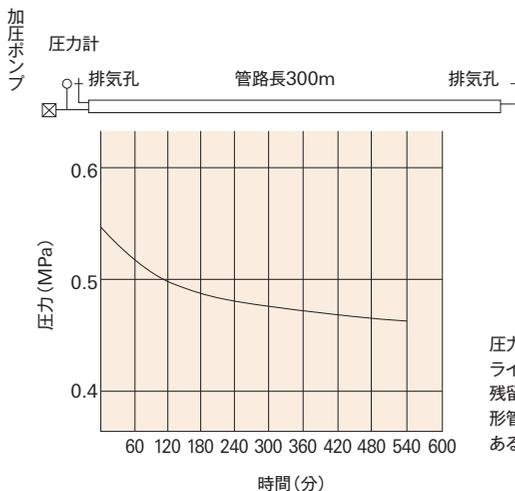
管路水圧試験の手順および留意点を以下に示す。

- ・試験実施区間はバルブ、フランジ蓋、栓などで仕切るとともに空気弁などで十分排気できる構造とする。
- ・管路は水圧によって移動することがあるので、充水に先立ってある程度以上の埋

戻しをしておく必要がある。また、防護コンクリートの養生が完了し、設計強度が期待できるようになってから実施する。

- ・ 充水は、原則として管路の布設位置の低い方から行う。この際、急激に充水すると管路内の空気圧で思わぬ事故を招くこともあるので、排気状態を確認しながら流量調整を行う。
- ・ 空気弁の通常の働きでは多量の空気を排出できない場合がある。この場合、空気弁の上ぶたを外して、フロートを棒で押さえて空気の排出を助ける。
- ・ 管路内の残留空気を排除するために、充水後も一昼夜程度経過してから行う。
- ・ 試験水圧、保持時間および許容圧力低下量は、管路の使用水圧、管厚の種類、継手構造、管路延長、付属設備の状況および施工条件などを考慮して適切な数値を設定する。
- ・ 水圧を所定時間保持させ、この間、管路の異常および圧力変化を記録する。一般に管路の水圧試験の場合、その圧力は、モルタルライニングへの水の浸透、残留空気の溶存・溶解および異形管部の微移動などの要因により、管路に漏水がなくても初期圧力から30%程度低下することもある(図表6-1-13-2)。
- ・ 所定時間経過後、管路に異常がなく、また急激な圧力低下が生じなければ合格とする。管路水圧試験や工事終点部には栓または帽による栓止め、もしくはバルブを設置して栓止めをする場合がある。静水圧が0.75MPa以上の場合、呼び径1600以上の

● 図表6-1-13-2 管路水圧試験時の時間と圧力低下例



圧力低下要因は、①モルタルライニングへの水の浸透、②残留空気の溶存・溶解、③異形管部の微移動、④その他である。

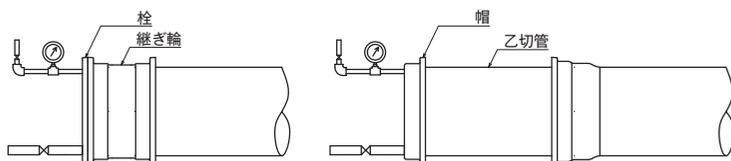
[ダクタイル鉄管管路のてびき JDP A T26] (日本ダクタイル鉄管協会)より

場合にはフランジ蓋による栓止めを行う。なお、管路の閉鎖部に栓を用いている場合、水圧試験後に管内の空気抜きを行わないで栓を取り外し、加圧時に圧縮された空気により大事故を起こした例がある。従って、栓を取り外すときは、栓に取り付けている空気抜きバルブを全開にし、完全に空気抜きを行ってからボルト・ナットを緩め、栓を取り外す。

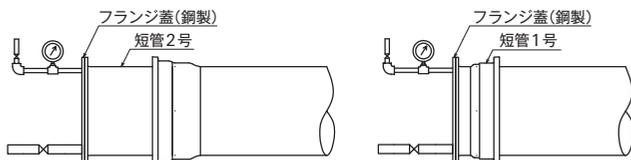
管路水圧試験における管端部の防護方法と留意点を以下に示す。

- ・ 工事終点部の栓止め、バルブ止めの場合には防護をすること。配水本管などの場合には図表6-1-13-6を参照のこと。
- ・ 配水小管などの場合にも、栓止め、バルブ止めに必要な防護を行うこと。防護方法としては、栓の手前に一体化長さを設け、防護コンクリートを打設する方法もあるが、仮設であり、本管と同様に鋼材や木材などで継手部が移動しないように防護を行う必要がある。防護コンクリートの大きさは、不平均力に対して背面の受働土圧で抵抗するものとし、安全率は1.5以上とする。

●図表6-1-13-3 栓または帽による栓止め



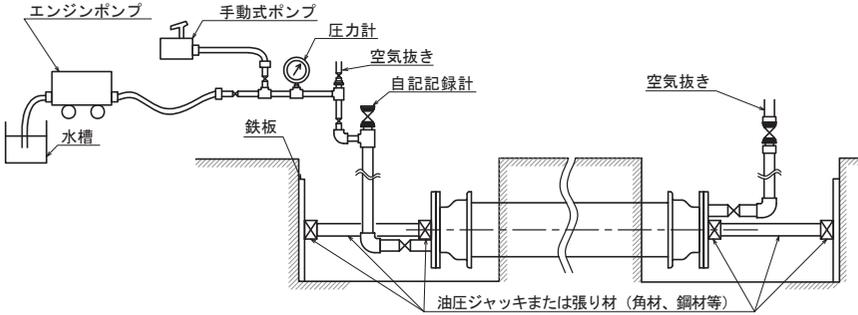
●図表6-1-13-4 フランジ蓋による栓止め



●図表6-1-13-5 栓および帽の種類

接合形式	呼び径	栓および帽
K形	75～1500	栓
T形	75～250	栓
GX形	75～300・400	帽
NS形	75～450	帽
	500～1000	栓

●図表6-1-13-6 水圧試験設備の配管例



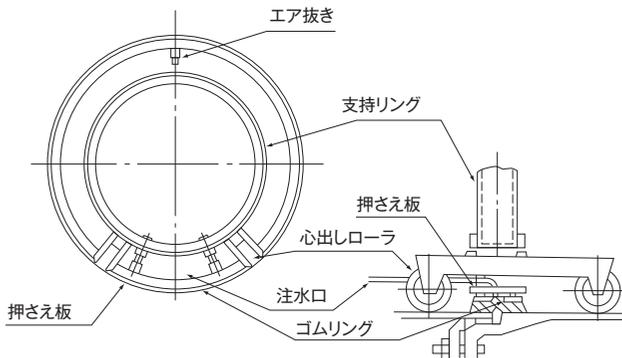
2 テストバンドによる水圧試験 (呼び径900以上)

大口径管路については、充水・排水および工区内の管路構造上の制約から、管路水圧試験の実施が困難となる場合が多い。従って、管内部からテストバンド(図表6-1-13-7)を用い、継手部のみ水圧を負荷して施工の不備がないかを確認する。

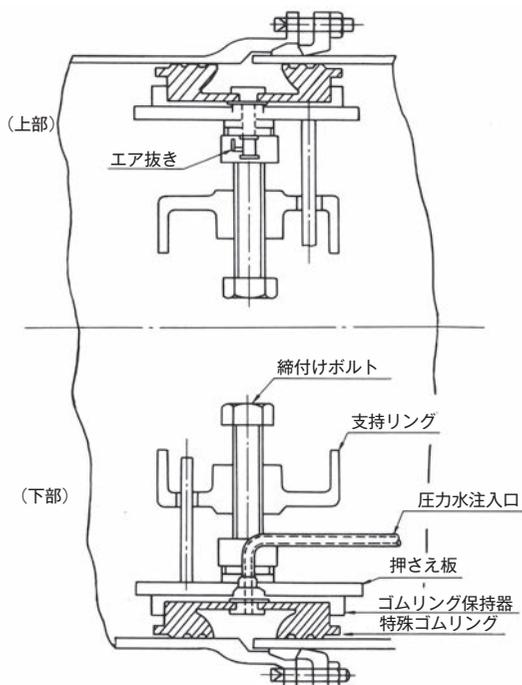
継手部は、正規に接合された状態で0.5MPa程度の水圧に耐えられれば、構造上それ以上の水圧にも耐えられることが実証されている。そのため水圧試験は通常0.5MPa程度とし、水圧を負荷して5分経過後に0.4MPa以上保持していれば合格としてよい(図表6-1-13-9)。

万一テストバンドからの漏水、またはモルタルライニングへの水の浸透が認められないにもかかわらず水圧が上がらないとき、または圧力保持中に急激な圧力変化が生じた場合は継手部の異常が考えられることからテストバンドを取り外し、その原因を解消して再試験を行う。

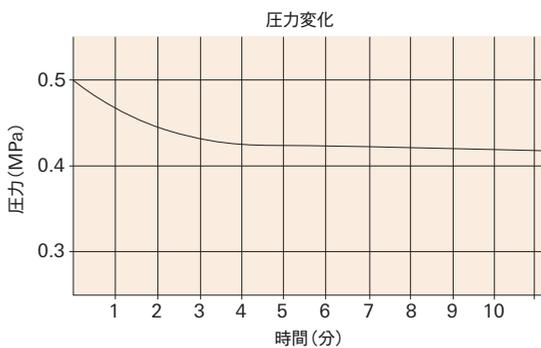
●図表6-1-13-7 テストバンドの例



●図表6-1-13-8 テストバンドの構造図



●図表6-1-13-9 テストバンドによる水圧試験の圧力変化例



6-1-14 埋戻し

1 留意点

●図表6-1-14-1 埋戻しの留意点

項目	留意点
埋戻土	・埋戻土は原則として指定された良質の土砂を使い、礫(または砂利)や岩片などが混入していないものを使用する。
埋戻方法	・管の両側から管底部に十分土砂を入れ、埋戻しは数段に分けて行い、各段ごとに十分締め(転圧、水締めなど)を行う。
	・埋戻しは、管および構造物に損傷を与えたり、移動を生じさせないよう慎重に施工する。 ・転圧機械は、転圧方式によって、パイプレーション方式、インパクション方式、ローラ方式に分類される。
配管の浮上りに 対する注意	・布設した管を、管内が空の状態では放置すると、掘削溝内の水の浮力で管が浮き上がることがある。従って、接合後はできるだけ早く埋戻しを行う。やむを得ず埋戻しができない場合には、掘削溝内の排水に万全を期す。
管布設作業後の注意	・管の中に工具類や資材などを置き忘れていないかを確かめる。 ・土砂や湧水などが管の中に流れ込まないように短期間であれば仮栓、長期間であれば帽、栓などで管端部をふさぐ。

2 管路の浮上りに対する検討

地表面まで地下水で飽和されている場合の管路の浮上りに対する検討は次式により行う。なお、次式はモルタルライニングの重量を考慮している。

$$H \geq \frac{\frac{\pi}{4} D_c^2 \cdot S \cdot \gamma_w \left\{ \frac{\pi}{4} [D_c^2 - (D_c - 2T)^2] \gamma_p + \frac{\pi}{4} [(D_c - 2T)^2 - (D_c - 2T - 2t_c)^2] \gamma_c \right\}}{(\gamma_s - \gamma_w) D_c}$$

ここに、H : 管が浮き上がらないための最小土かぶり (m)

S : 安全率 (=1.2)

D_c : 管の外径 (m)

T : 規格管厚 (m)

t_c : モルタルライニング厚 (m)

γ_p : 管の単位体積重量 (ダクタイル鉄管の場合は70kN/m³)

γ_c : モルタルライニングの単位体積重量 (20kN/m³)

γ_s : 埋戻土の飽和単位体積重量 (18kN/m³)

γ_w : 水の単位体積重量 (10kN/m³)

●図表6-1-14-2 ダクタイル鉄管が浮き上がらないための最小土かぶり (単位: m)

呼び径	管厚の種類					
	1種管	2種管	3種管	4種管	S種管	E種管
50	—	—	—	—	0	—
75	0	—	0	—	0	0
100	0	—	0	—	0	0.02
150	0	—	0.04	—	0.03	0.05
200	0.06	—	0.10	—	0.09	—
250	0.12	—	0.16	—	0.15	—
300	0.18	—	0.21	—	0.19	—
350	0.24	—	0.27	—	—	—
400	0.27	0.30	0.31	—	—	—
450	0.32	0.35	0.36	—	—	—
500	0.37	0.39	0.41	—	0.39	—
600	0.45	0.47	0.50	0.51	0.47	—
700	0.54	0.57	0.59	0.61	0.57	—
800	0.62	0.66	0.69	0.71	0.66	—
900	0.70	0.75	0.78	0.81	0.75	—
1000	0.78	0.83	0.87	0.90	0.83	—
1100	0.86	0.93	0.97	0.99	—	—
1200	0.94	1.01	1.06	1.10	—	—
1350	1.07	1.15	1.20	1.24	—	—
1500	1.19	1.27	1.34	1.38	—	—
1600	1.15	1.23	1.31	1.35	—	—
1650	1.20	1.28	1.36	1.40	—	—
1800	1.31	1.41	1.49	1.53	—	—
2000	1.49	1.60	1.68	1.74	—	—
2100	1.57	1.68	1.77	1.84	—	—
2200	1.67	1.78	1.88	1.95	—	—
2400	1.79	1.93	2.03	2.10	—	—
2600	1.98	2.13	2.25	2.31	—	—

備考 呼び径75~1500は粉体塗装管で試算した。呼び径1600以上はモルタルライニング管で試算した。

6-2

PIP

(パイプインパイプ) 工法

6-2-1 工法開発の経緯

PIP工法は、交通事情や埋設物の^{ふくそう}輻輳箇所など開削工事が困難な場合の管路更新工法として1980(昭和55)年ごろから数多く用いられるようになった。当初は印籠^{いんろう}継手の^{いんろう}鑄鉄管(FC管)をさや管*1とし、その中に新設管を押込工法で挿入していたが、近年では、更新対象管路がメカニカル継手の鑄鉄管やダクタイトル鉄管をさや管とするケースも出てきており、これまでより継手部の屈曲が大きい管路に押し込む事例が増加してきた。また、新たにさや管(ヒューム管など)を推進し、その中に新設管のダクタイトル鉄管を挿入するケースも増えてきた。さらに、さや管を布設する推進工法の長距離化や曲線推進技術の向上などに伴い、長距離や曲線部を含むさや管内へのPIP工法の適用が多くなり、押込工法の他にも新設管を1本ずつ運び込む持込工法も行われるようになった。

PIP工法用の接合形式は、離脱防止機能がないPⅠ形、1.5DkN(D:呼び径)の離脱防止機能があるPⅡ形、伏越し部などへ持ち込んで配管できるPⅢ形が1982(昭和57)年ごろに開発され、2003(平成15)年には3DkNの離脱防止機能を有するPN形が開発されている。さらに2015(平成27)年にはロックリングを改良して施工性が向上したPN形(JP方式及びCP方式)が開発され、より長距離の押込みを可能にするキャストバンドタイプも開発された。

2017(平成29)年には、PN形とPN形(JP方式及びCP方式)がJDPA G 1046-2017として統合された。

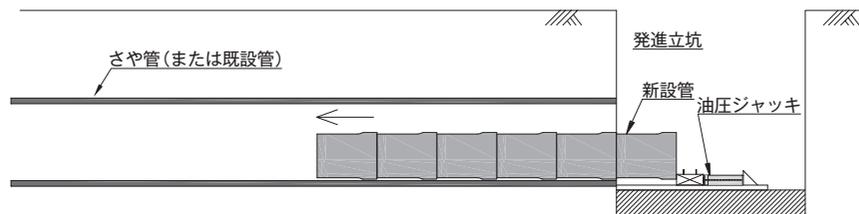
*1 「さや管」とはPIP工法の外管のことで、「新設管」とはさや管に挿入する管のことをいう。さや管には既設管と新設さや管があり、新設さや管は新設管を入れるためのさやとなる管を新たに推進工法で布設した管のことである。

6-2-2 概要と特徴

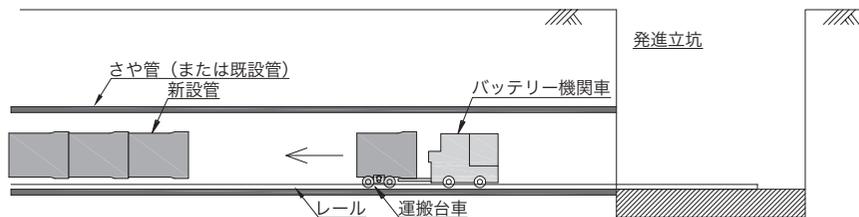
PIP工法は、既設管もしくは新たなさや管に発進立坑と到達立坑を設けてさや管内に新たな管を新設する工法である。発進立坑で新設管を順次接合しながら挿入する押込工法と、さや管内に1本ずつ持ち込んで配管する持込工法がある。

●図表6-2-2-1 PIP工法の概要

押込工法



持込工法



●図表6-2-2-2 PIP工法の特徴

メリット	開削箇所が立坑部のみであり土木工事が少なく、交通渋滞、経済性、工期面で有利である。
デメリット	新設管の呼び径が1口径以上小さくなることと、工事中は既設管を断水する必要がある。

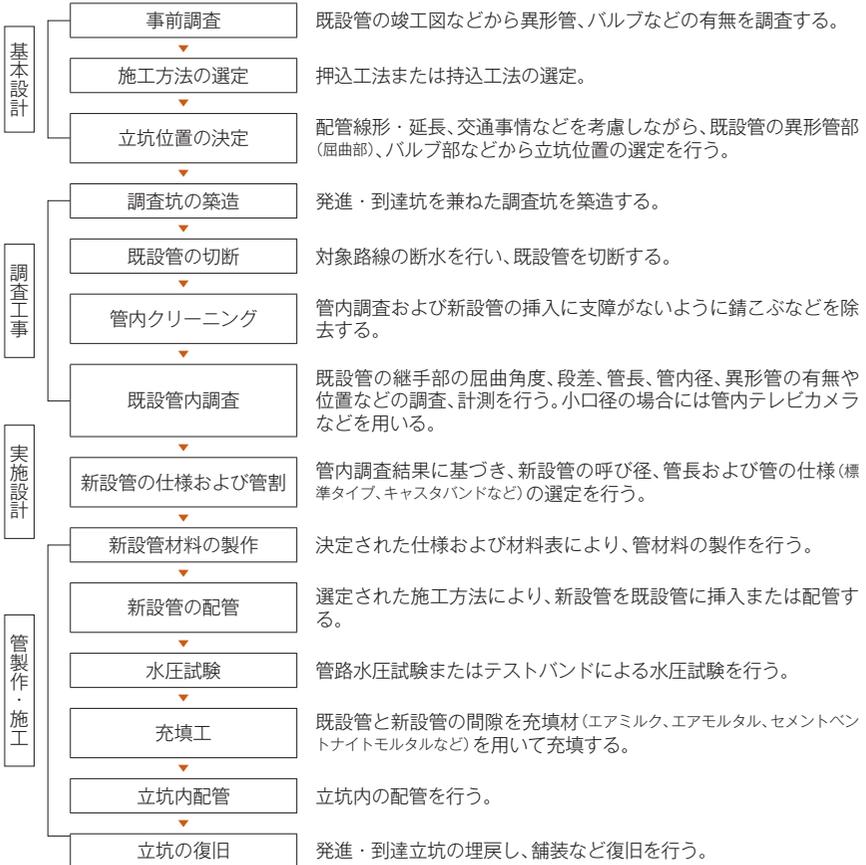
●図表6-2-2-3 PIP工法の施工方法と接合形式

施工方法	接合形式
押込工法	PN形(JP方式)、PN形、P II形
	GX形、NS形など ^{注1}
持込工法	PN形(CP方式) 呼び径700～1500

注1 推力伝達部材を付けることにより押込工法に使用できる。

6-2-3 施工手順

●図表6-2-3-1 PIP工法の施工手順の例



6-2-4 接合形式と異形管の種類

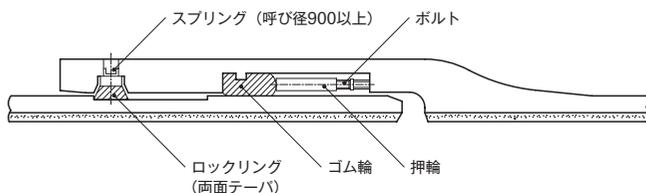
1 接合形式

PIP工法に用いられる接合形式は、PN形(JP方式及びCP方式)、PN形、PⅡ形がある。詳しくは「3-7 PIP工法用の継手」を参照のこと。

① PN形 (JP方式及びCP方式)

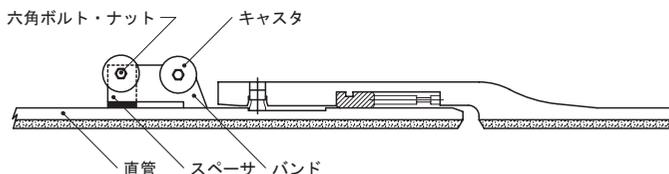
継手構造はJP方式もCP方式も同じである。なお、PN形 (JP方式及びCP方式) は「JDEPA G 1051-2016 PN形ダクタイル鋳鉄管 (JP方式及びCP方式)」に規定されている。挿入抵抗を低減させるためにキャストを取り付けるキャストバンドタイプもある。キャストバンドについては、JDEPA G 1051の「附属書C (参考)」に記載されている。

●図表6-2-4-1 PN形 (JP方式及びCP方式) 標準タイプ

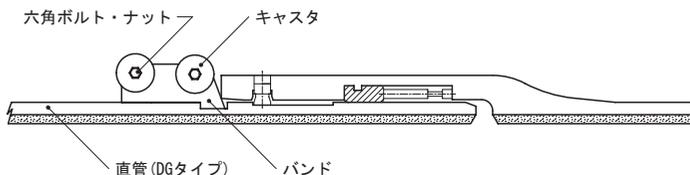


●図表6-2-4-2 [参考] キャスタバンドタイプ

標準タイプに取り付ける場合 (溝なし)



DGタイプに取り付ける場合 (溝あり)



図表6-2-4-3に示す新設管の挿入施工時の許容抵抗力を考慮し、使用する管の仕様を決定する。

キャストバンドを使用しない標準タイプとキャストバンドタイプは外径差が大きいため併用できない。そのため、キャストバンドタイプを使用する場合は、挿入抵抗が標準タイプの許容抵抗力以下の管については、キャストバンドタイプ (溝なし) を用いる。

● 図表6-2-4-3 許容抵抗力

(単位: kN)

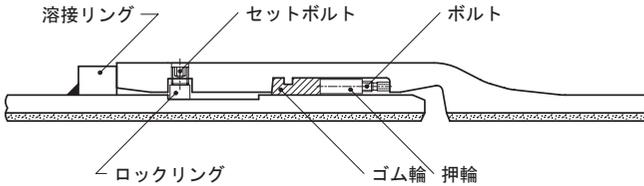
タイプ	呼び径	許容曲げ 角度 θ_a	継手の屈曲角度						
			0	$0.15 \theta_a$	$0.25 \theta_a$	$0.4 \theta_a$	$0.5 \theta_a$	$0.75 \theta_a$	$1.0 \theta_a$
キャストバンドタイプ (溝なし)および標準タイプ	300	4° 00'	450	294	190	180	173	143	113
	350	4° 00'	525	343	222	210	202	167	131
	400	4° 00'	600	392	253	240	231	190	150
	500	4° 00'	750	480	300	264	241	202	163
	600	4° 00'	900	567	345	289	251	213	176
	700	3° 00'	1050	837	695	481	339	264	189
	800	3° 00'	1200	945	775	520	350	275	200
	900	3° 00'	1350	1067	878	594	405	315	225
	1000	3° 00'	1500	1185	975	660	450	350	250
	1100	2° 45'	1650	1364	1173	887	697	557	417
	1200	2° 45'	1800	1488	1280	968	760	608	455
	1350	2° 25'	2025	1687	1461	1122	897	717	537
	1500	1° 50'	2250	1860	1600	1210	950	759	569
	キャストバンドタイプ (溝あり)	300	4° 00'	600	504	441	345	281	234
350		4° 00'	700	588	514	402	328	273	219
400		4° 00'	800	672	587	460	375	312	250
500		4° 00'	1000	818	696	514	392	332	271
600		4° 00'	1200	963	805	567	409	351	292
700		3° 00'	1400	1108	913	621	426	370	313
800		3° 00'	1600	1253	1022	676	444	389	333
900		3° 00'	1800	1410	1150	760	500	437	375
1000		3° 00'	2000	1567	1278	844	556	486	417
1100		2° 45'	2200	1829	1581	1210	963	779	596
1200		2° 45'	2400	1995	1725	1320	1050	850	650
1350		2° 25'	2700	2261	1968	1529	1236	1000	764
1500		1° 50'	3000	2494	2156	1650	1312	1062	812

② PN形

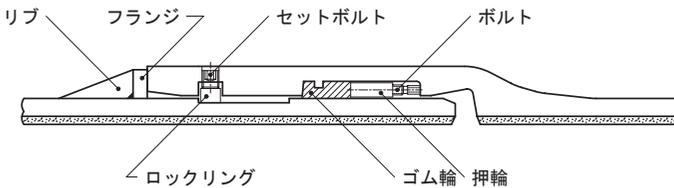
PN形には、ロックリングで挿入力を伝達する標準タイプの他に、補強タイプとして溶接リングで伝達する溶接リング付き、フランジで伝達するフランジ・リブ付きがある。施工時の許容抵抗力は、高い順にフランジ・リブ付き、溶接リング付き、標

準タイプである。なお、PN形は「JDPG G 1046-2007 PN形ダクタイル鋳鉄管」に規定されている。

●図表6-2-4-4 PN形(溶接リング付き)呼び径700～1500



●図表6-2-4-5 PN形(フランジ・リップ付き)呼び径700～1500



3 P II形

P II形には、PN形と同様の溶接リング付きとフランジ・リップ付きがある。なお、P II形は「JDPG G 1033-2007 P II形ダクタイル鋳鉄管」に規定されている。

2 直管の種類

PIP工法の管が開発された当初は、既設管の最大呼び径が鋳鉄管では60インチ(約1500mm)であったが、呼び径250以下は水理特性上の影響が大きいため、呼び径300～1350が開発された。しかし、最近では、鋳鉄管以外のPIP工事のニーズ(鋼管、トンネル内、さや管内など)があり、PN形は呼び径1500まで規格化されている。

●図表6-2-4-6 PIP工法用の直管の管厚の種類

接合形式	呼び径	管厚の種類	規格
PN形(CP方式)	700～1500	P種管	JDPA G 1051
PN形(JP方式) ・標準タイプ ・DGタイプ(溝あり)	300～1500	1種管	JDPA G 1051
PN形 ・標準タイプ ・溶接リング付き ・フランジ・リップ付き	300～1500	1種管、2種管、 3種管、4種管 (呼び径により異なる)	JDPA G 1046

接合形式	呼び径	管厚の種類	規 格
P II形 ・標準タイプ ・溶接リング付き ・フランジ・リップ付き	300～1350	1種管、2種管、 3種管、4種管 (呼び径により異なる)	JIS G 5526・5527 (JCPA G 1033)

備考 直管の有効長は、4mと6mがある。

3 異形管の種類

呼び径300～1100の外径は、「JIS G 3443-1-2014 水輸送用塗覆装鋼管」の外径と同じであり、一般のダクタイル鉄管と外径 D_2 が異なるため、既設管との接合用に「受挿し短管」がある。呼び径1200～1500については、外径が通常のダクタイル鉄管の外径と同じであるためにそのまま接合できる。呼び径300～1100の受挿し短管には、NS形、UF形、S形、K形の挿し口がある。

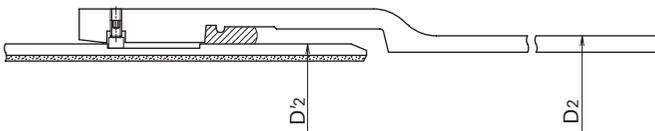
●図表6-2-4-7 呼び径別受挿し短管の有無

呼び径	受挿し短管の挿し口の接合形式			
	PN・P II-NS ^{注1}	PN・P II-UF	PN・P II-S	PN・P II-K
300	○	—	—	○
350	○	—	—	○
400	○	—	—	○
500	○	—	—	○
600	○	—	—	○
700	○	—	—	○
800	○	○	—	○
900	○	○	—	○
1000	○	○	—	○
1100	—	○	○	○

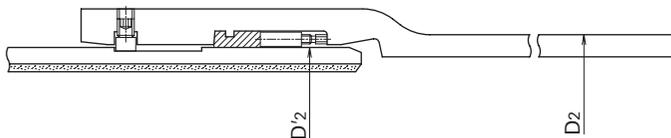
注1 GX形との接合はPN-NSを使用する。

●図表6-2-4-8 受挿し短管の形状

PN形 呼び径300～600



PN形 呼び径700～1100



受口部の挿し口の外径は D'_2 、挿し口の外径は D_2

●図表6-2-4-9 受挿し短管以外の異形管の有無

呼び径	フランジ付き T字管	曲管 ^{注1}	継ぎ輪	連絡管 ^{注2}
700	○	○	○	○
800	○	○	○	○
900	○	○	○	○
1000	○	○	○	○
1100	○	○	○	○
1200	○	○	○	○
1350	○	○	○	○
1500 ^{注3}	○	○	○	—

注1 曲管はPN形（CP方式）のみであり、11 1/4° 曲管、5 5/8° 曲管、3° 曲管がある。

注2 規格外である。

注3 P II形には呼び径1500はない。

●図表6-2-4-10 フランジ付きT字管用の形状

PN形 呼び径300～600

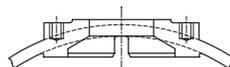
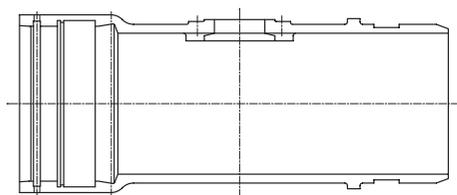
呼び径100の
タップ穴振り分け



呼び径150および200の
タップ穴振り分け



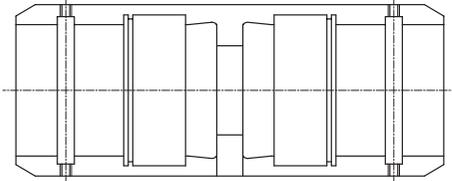
フランジの形状



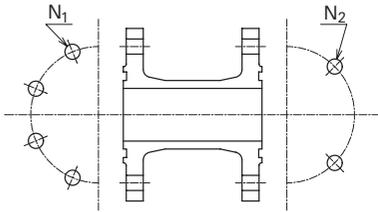
空気弁などを取り付けるために使用する。

本管呼び径D	枝管呼び径d
700~900	100
1000・1100	150
1200~1500	200

● 図表6-2-4-11 継ぎ輪 (PN形 呼び径700~1500)



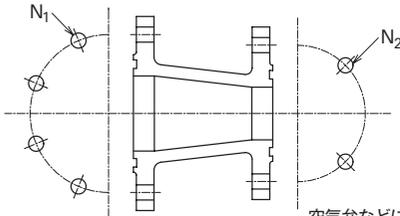
● 図表6-2-4-12 PN形用両フランジ短管 (フランジ付きT字管用)



呼び径 D	ボルト穴数	
	N ₁	N ₂
100	8	4
150	12	6

空気弁などに使用する。

● 図表6-2-4-13 PN形用両フランジ片落管 (フランジ付きT字管用)



大きい方の 呼び径 D	小さい方の 呼び径 d	ボルト穴数	
		N ₁	N ₂
100	75	8	4
200	150	12	6

空気弁などに使用する。

6-2-5 新設管の設計

1 呼び径の選定

既設管が無ライニング鑄鉄管などで損失水頭が大きい場合、既設管と新設管の摩擦損失水頭を計算し、既設管より新設管の損失水頭が小さい場合は問題ない。しかし、既設管がモルタルライニング管の場合は、口径が小さくなることによる損失水頭の増加が考えられ、計画流量を確保できるか水理計算で確認する。

既設管(無ライニング鑄鉄管)に対して、新設管を1口径落としにした場合の通水量の計算例を図表6-2-5-1に示す。これは既設管と新設管の動水勾配を同じとして流量で比較したものであるが、1口径落としの新設管を挿入しても既設管の流量と同程度かそれ以上の流量が確保できることが分かる。参考として無ライニング鑄鉄管の流速係数 C_H 値の経年変化を図表6-2-5-2に示す。

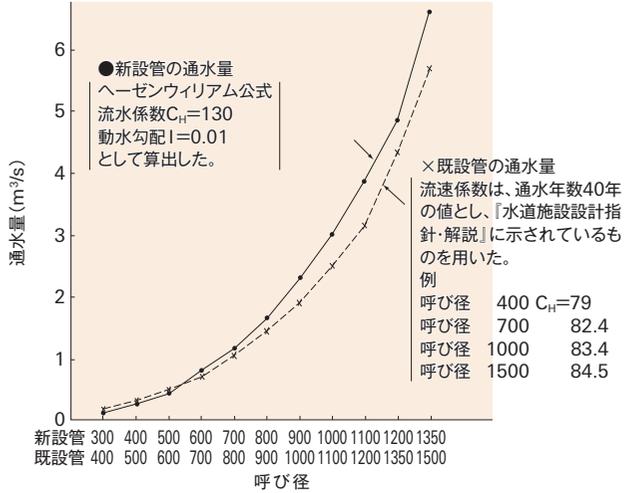
2 管厚計算

PIP工法で挿入する新設管の管厚計算では、老朽化した既設管の強度を原則として見込まないこととする。なお、新設さや管の中に挿入する場合においてさや管の強度が期待できる場合はこの限りでない。従って、通常の開削工法で埋設する場合と同じ管厚計算方法を用いる。詳しくは「5-2 管厚計算」を参照のこと。

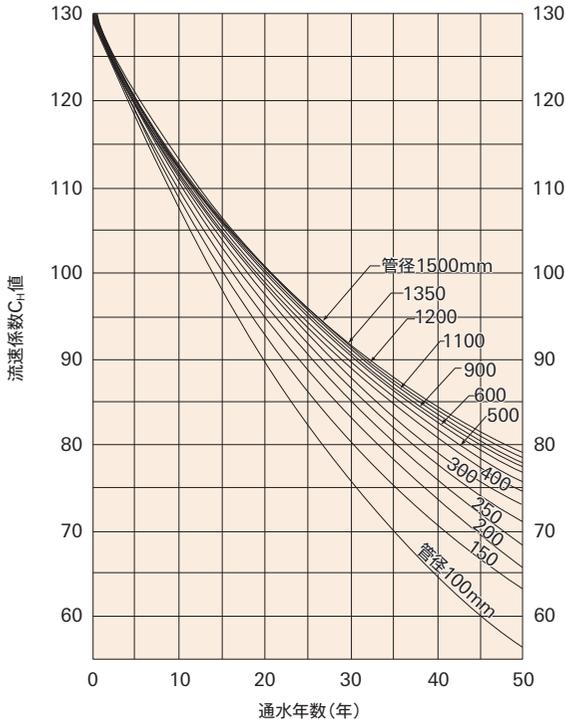
3 耐震性能

PIP工法に使用するPN形は、管の有効長の+1%の伸び量と3DkN(D:呼び径)の離脱防止性能があるので、地震時には継手部は伸び(引張)方向にS形やNS形と全く同じ挙動をする。一方、PN形には縮み代がないために、地震時に作用する圧縮力に対して、継手部の耐圧縮性能で耐えることになる。地震時の新設管に作用する力は図表6-2-5-3に示すように、地震波の波長の1/4に相当する長さの管に作用する摩擦力に、新設管と既設管の間隙が充填されていることを考慮した軽減係数をかけ合わせた0.43DkNである。PN形の耐圧縮性能は離脱防止性能と同じ3DkNであり、圧縮方向に対しても高い安全性があることが分かる。

● 図表6-2-5-1 既設管と新設管の通水量



● 図表6-2-5-2 無ライニング铸铁管の流速係数 C_H 値



『水道施設設計指針・解説 1990』(日本水道協会)より

これらのことから、PIP工法に用いるPN形はS形やNS形と同等の耐震性能を有しているといえる。

●図表6-2-5-3 地震時の圧縮力

$$W_1 = \pi \times \frac{D}{1000} \times \tau \times \frac{L'}{4} \times \alpha \approx 0.43D$$

ここに、 W_1 : 地震時に管路に作用する圧縮力 (kN)

D : 管の呼び径 (mm)

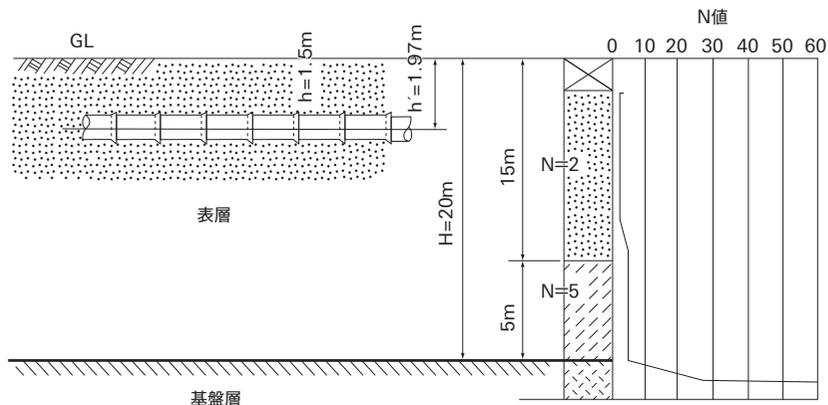
τ : 管と地盤との摩擦力 (= 10kN/m^2)^{注1}

L' : 地震波の見かけの波長 (= 182.0m)

α : 地震による地盤ひずみが新設管(内挿管)に作用する伝達率 (= 0.3)^{注2}

注1 「水道施設耐震工法指針・解説 2009」(日本水道協会)による。

注2 「水道技術ジャーナル」No.11(水道技術研究センター、1999年)による。



6-2-6 押込工法

1 概要

発進立抗からPIP工法用管を油圧ジャッキなどにより1本ずつ押し込んでいく工法である。

詳細については以下の技術資料を参照のこと。

- ・「ダクタイル鉄管によるPIP工法 設計と施工 J DPA T36-1」(日本ダクタイル鉄管協会)

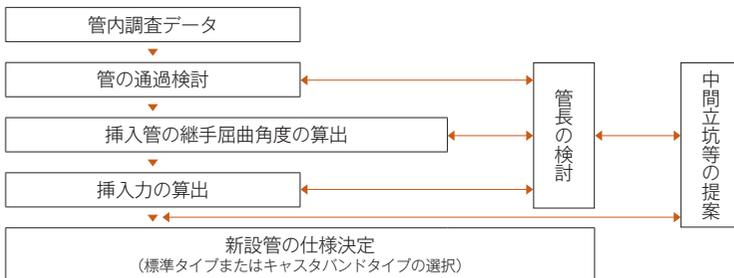
- ・「ダクタイル鉄管によるPIP工法 設計と施工(JP方式及びCP方式)JDBA T36-2」(日本ダクタイル鉄管協会)

2 新設管の仕様決定

押込工法では、事前にさや管の継手部の屈曲角度および方向、内径、管長などを調査し、これらに基づいた管の通過検討、新設管の継手部の屈曲角度および挿入力の算定を行うことによって挿入する新設管の管長や仕様を決定することを原則とする。なお、仕様としては、PN形の場合には標準タイプ、補強タイプ(溶接リング付き、フランジ・リップ付き)、PN形(JP方式及びCP方式)の場合は標準タイプ、キャストバンドタイプ(溝なし、溝あり)がある。特に、老朽化した既設管の中に挿入する場合は、必ず管内調査を事前に行うものとする。

しかし、新設管の製作には、ある程度の期間が必要であることに加え、既設管の管内調査を事前に行う場合には、断水期間が長期にわたるか、断水が2回になることに留意する必要がある。

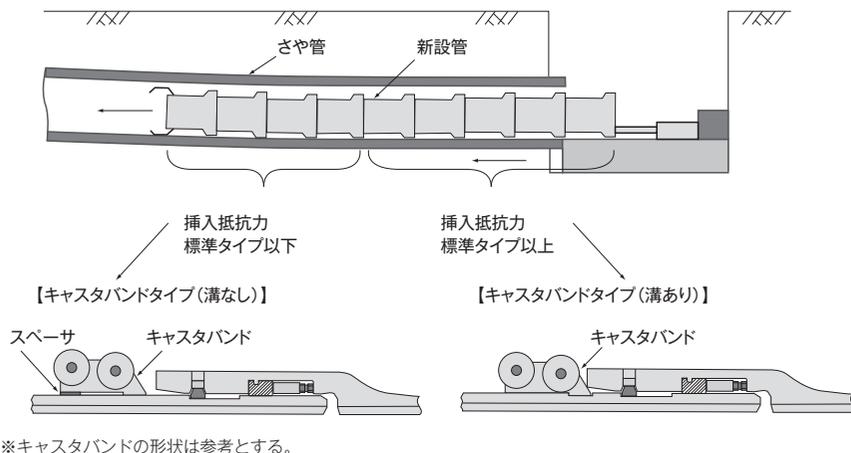
●図表6-2-6-1 新設管の仕様決定フロー



備考1 管長を短くし、かつキャストバンドタイプを使用しても後述の設計が成り立たない場合は、中間立坑の設置や管内ドッキング工法、持込工法の採用を検討する。

備考2 キャスタバンドタイプを使用する場合は、全数の管にキャストバンドを使用する。その場合、キャストバンドタイプの摩擦係数を考慮し挿入抵抗力がキャストバンドタイプ(溝なし)の許容抵抗力以上となる管には、キャストバンド(溝あり)を使用する。

●図表6-2-6-2 [参考] キャスタバンドの仕様例



3 通過検討

既設管に挿入する場合は、管内調査による管内径、管長および継手の屈曲角度などの調査データを基に通過検討を行う。新設したさや管に挿入する場合は、さや管の設計図面による管路の曲率と管路長のデータを使用する。ただし、さや管が計画時の線形通りに推進できていることを確認することが前提となる。

「ダクタイル鉄管によるパイプ・イン・パイプ工法 設計と施工 JDP A T36-1」に記載されているモデルⅠ、モデルⅡの式を用いて、挿入可能な新設管の管長を算出する。さや管を新たに推進施工した場合は、さらにモデルⅢの式も併せて検討する。

4 新設管の屈曲角度の算出

新設管の屈曲角度は、さや管の屈曲状態に応じた配管パターンと連続するさや管の継手の屈曲方向に応じて異なる式で算出する。

● 図表6-2-6-3 新設管の屈曲角度の算出式の種類

配管パターン	連続するさや管の継手の屈曲方向		屈曲角度の算出式の種類 ^{注1}
新設管がさや管より長い場合	同方向	左右曲がり	同方向の算出式
		下り曲がり	
		上り曲がり	
新設管がさや管より短い場合	異方向	左右曲がり	異方向の算出式
		上下曲がり	上下曲がりの算出式
全て	全て		

注1 屈曲角度の算出式については、「ダクタイル鉄管によるパイプ・イン・パイプ工法 設計と施工 JCPA T36-1」(日本ダクタイル鉄管協会)の「4.5.3 新設管がさや管より長い場合」「4.5.4 新設管がさや管より短い場合」を参照のこと。

5 挿入力の算出

さや管1本ごとの屈曲を考慮して、到達側から順次、設計挿入力を算出する。さや管の継手部ごとに算出する挿入力はその前(到達側)までの挿入力 F_{j-1} (先端抵抗)に屈曲による挿入力の上昇分を考慮したものである。これを次式に示す。

$$f_0 = 0$$

$$f_j = (f_{j-1} + \mu W_j) e^{\mu \frac{\pi \theta_j}{180}} \quad (j = 1 \sim s)$$

$$F_j = f_j S_f$$

ここに、 f_0 : 初期抵抗(通常は0とする)(kN)

f_j : 到達側からj番目のさや管の継手部での挿入力(kN)

j : さや管の本数(到達側より $j = 1, 2, \dots, s$)

e : 自然対数の底(=2.718…)

μ : 摩擦係数(さや管の種類により異なる。安全率2を含む)

・ライニングなしの場合=0.4

・ライニングあり、またはコンクリート管の場合=0.8

・キャストバンドタイプの場合=0.08

θ_j : 調査結果によるさや管の屈曲角度(°)

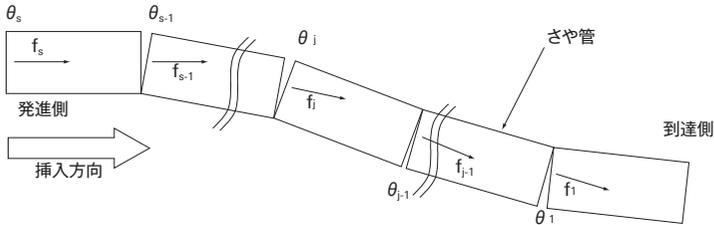
W_j : 到達側からj番目のさや管内にある新設管の重量(kN)

F_j : 到達側からj番目までのさや管の継手部における設計挿入力(kN)

S_f : 段差などを考慮した安全率

- ・1cm以上の段差がない場合または修正した場合：
 $S_f = 1.0$ (キャストバンドタイプの場合 $S_f = 1.0$)
- ・段差を修正しない場合：
 $S_f = 1.3$ (キャストバンドタイプの場合 $S_f = 1.5$)

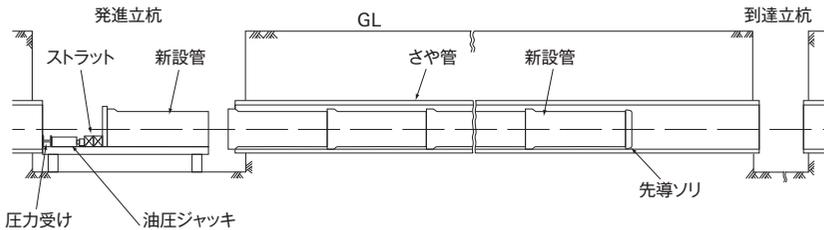
●図表6-2-6-4 挿入力算出のモデル



6 施工方法

押込工法の施工手順はそれぞれの工事において多少異なるが、新設管を既設管内に挿入する標準的なものを示す。

●図表6-2-6-5 押込工法の概要



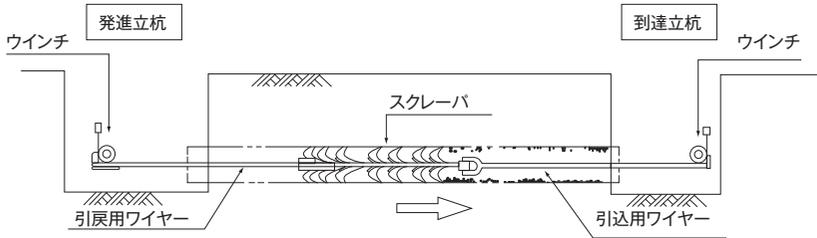
① 既設管内クリーニング

既設管の内面には、錆こぶや堆積物など、管の挿入を阻害する異物が付着しているため、施工前にこれらを除去する必要がある。

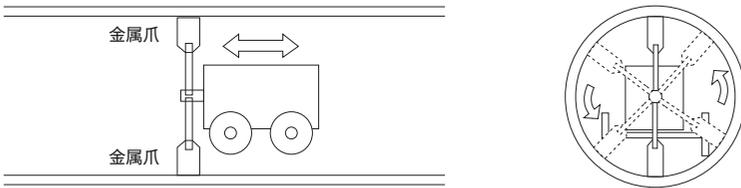
人の入れない呼び径700以下の既設管の場合は、図表6-2-6-6に示すスクレーパ法その他、超高压洗浄車でノズルから高压水を噴射させて管内をクリーニングする高压洗浄法、ポリピッグ法、呼び径800以上であれば人力、呼び径800～1500では金属爪を回転させてクリーニングを行う機械式などを用いる。

● 図表6-2-6-6 既設管内のクリーニング方法

スクレーパ法 呼び径700以下



機械式 呼び径800～1500



② 既設管内調査

押込工法の施工可否、管種、管長などを決定するために次の調査を行う。

1) 調査項目

新設管の通過性の検討、挿入可能な管長の決定、管の仕様決定などのため、原則としてさや管の内側から以下の全項目を測定する。

● 図表6-2-6-7 既設管内調査項目

項目	内容
管長	各管長および全管路延長
継手屈曲角度	各継手の屈曲角度
内径	段差も含む各継手部での最小内径
継手部段差	各継手部での段差

2) 調査方法

各調査方法によってその精度が異なる。従って、調査方法に応じた図表6-2-6-8、9に示す安全率を考慮して設計に用いる。

なお、管長、内径などについては調査結果の値をそのまま使用する。

●図表6-2-6-8 さや管の屈曲角度の測定結果に対する安全率

さや管の呼び径	700以下		800以上	
調査方法	調査機器による 詳細調査 ^{注1}	簡易調査	トラバース測量などによる 詳細調査	簡易調査
		テレビカメラ		胴付調査
安全率 S_{θ}	1.0	1.5	1.0	1.3

注1 調査機器による詳細調査はさや管の角度を正確に測定できる機器を使用して調査した場合とする。

●図表6-2-6-9 模擬管調査を用いた場合の新設管の継手屈曲角度に対する安全率

さや管の呼び径	700以下
調査方法	簡易調査
	模擬管調査 ^{注1}
安全率 S_r	1.3

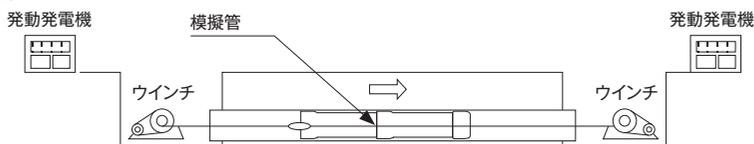
注1 模擬管①：継手の屈曲角度が測定可能な模擬管を使用し、測定した屈曲角度に1.3を乗じた屈曲角度を、新設管の継手屈曲角度とする。
 模擬管②：継手部に「許容曲げ角度を安全率(1.3)で除した角度」を超える屈曲を防止する矯正部材を取り付け、模擬管が通過した場合でも、新設管は全て許容曲げ角度(呼び径700:3°、呼び径600以下:4°)まで屈曲すると判断する。

例： 矯正部材の矯正角度
 呼び径700の場合 3° / 1.3 = 2.3°
 呼び径600以下の場合 4° / 1.3 = 3.1°

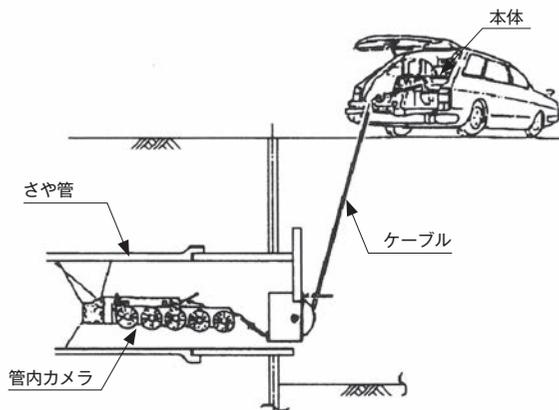
調査機器による詳細調査の例として、人力による測定ができない呼び径700以下の管内調査用として開発された模擬管は継手部に変位計が設置されているため、挿入性の確認に加え、挿入する新設管の屈曲角度を直接計測することができる。

●図表6-2-6-10 既設管内調査方法

模擬管



テレビカメラ



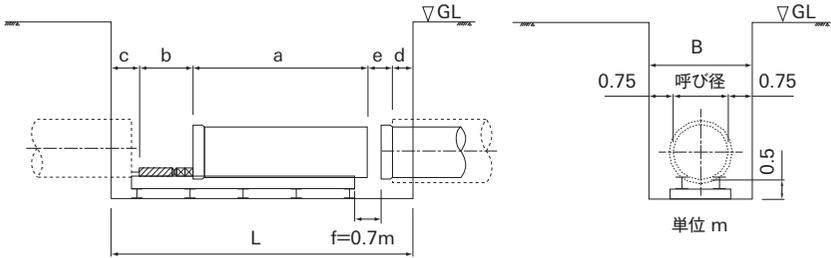
③ 立坑の設置

押込工法は、一般に市街地で行われることが多いため、技術面や経済面からだけでは立坑の位置を決められず、その決定には以下の点に留意する必要がある。

- ・ さや管の曲管部、T字管部、制水弁部などを立坑の位置に選ぶ。
- ・ できる限り挿入施工区間を長くする。
- ・ 管の置場が確保できる場所を選定する。

発進立坑の大きさは次式により決定する。ただし、発進立坑内の連絡配管の長さが図表6-2-6-11のL寸法以上となるときはその長さで決定される。発進立坑の内法幅は概略寸法を示す。作業および配管など必要な幅を確保すること。一方、到達立坑の大きさは連絡配管ができる大きさがあればよい。

●図表6-2-6-11 発進立坑の形状・寸法



$$L = a + b + c + d + e$$

- ここに、L : 発進立坑の長さ (m)
- a : 新設管長さ (m)
- b : 油圧ジャッキ長さ (m)
- c : 反力受け厚さ (m)
- d : さや管の突出長さ (m)
- e : 接合余裕 (0.5~0.7m)

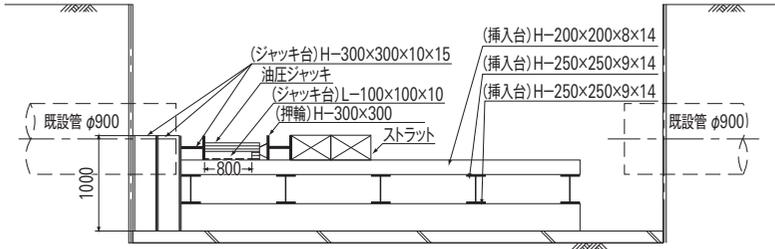
$$B = D + 1.5m$$

- ここに、B : 発進立坑の内法幅 (m)
- D : 呼び径 (m)

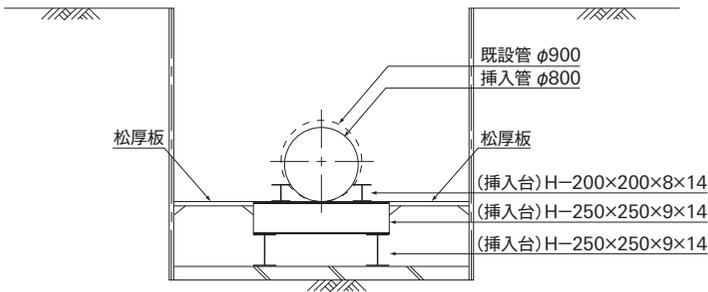
4 挿入設備

●図表6-2-6-12 発進立坑内設備例

縦断面



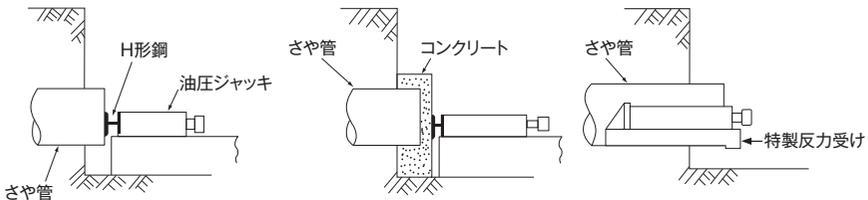
横断面



1) 反力受け

現場状況や推力などに応じて反力受けの方法を検討する。ジャッキの反力は一般的に挿入方向後方のさや管が受け、その際、H形鋼による反力受けや反力受け架台を設ける。また、背面にコンクリートを打設して受働土圧を反力に利用することもある。

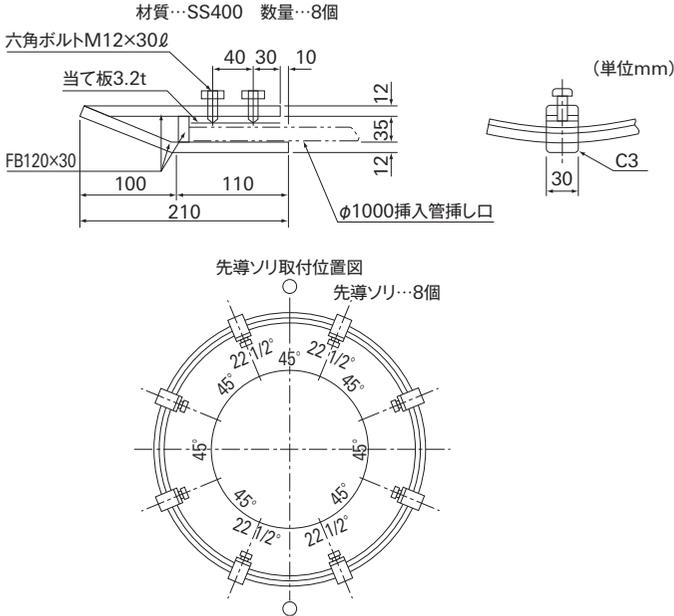
●図表6-2-6-13 挿入用ジャッキの反力受け方法例



2) 先導ソリ

先頭の新設管がさや管内の段差を乗り越え、スムーズに挿入できるように先導ソリを設ける。

●図表6-2-6-14 先導ソリの例(呼び径1000)



5 さや管と新設管の間隙の充填

さや管と新設管との間隙は、充填しなければ地中に空洞を残すことになり、万一、老朽化したさや管が破損した場合、周囲の土砂が間隙に流入し、路面陥没を起こす恐れがある。また、地下水が流入すると、この間隙を流下するため、管路の防食対策上好ましくない。

以上の理由により間隙に充填を行う。このとき、充填に使用する材料の強度はさや管周囲の地盤強度と同程度でよく、一般に圧縮強度 $0.5 \sim 1.5 \text{N/mm}^2$ 程度のものが使われる。

1) 充填材

充填材(エアミルク、エアモルタル、セメントベントナイトモルタルなど)は、新設管とさや管との口径差、注入量、現場条件などに応じて注入可能な延長や作業性が異なるため、現場に応じたものを選択する必要がある。

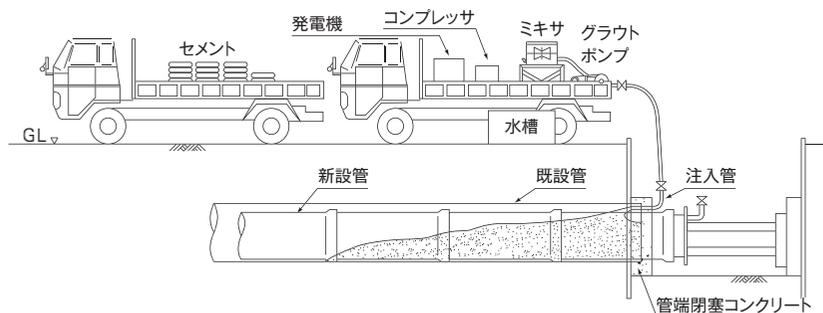
2) 充填工

さや管と新設管の両端部の間隙を閉塞し、一方に注入孔を設け、反対側の端面にはエア抜きを設けてグラウトポンプで充填する。

- ・ 車上プラントによる施工

これは比較的小規模な充填に適した方法である。ただし、トラックミキサによる施工よりも道路の占用範囲が广くなる。

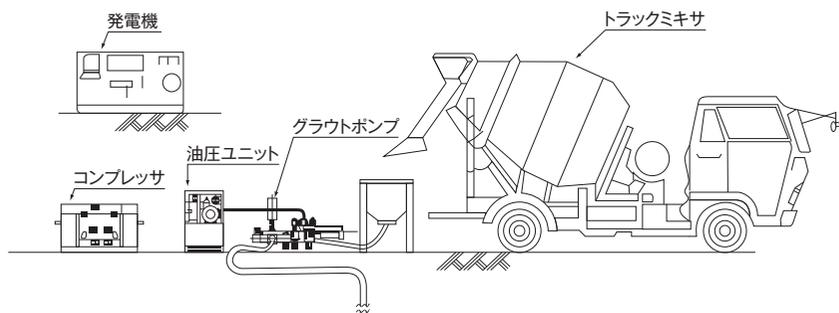
- 図表6-2-6-15 車上プラントによる施工の例



- ・ トラックミキサによる施工

これは充填の規模にかかわらず、施工ヤードや混練の水が確保できない場合に適した方法で、充填材がエアミルクの場合に適用できる。ただし、生コンプラントが近隣にあることが必要であり、これがない場合は車上プラントによるのが一般的である。

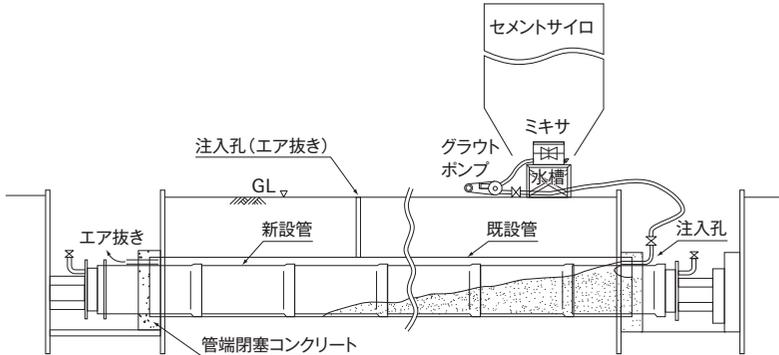
- 図表6-2-6-16 トラックミキサによる施工の例



- ・ 現地プラントによる施工

この方法は比較的大規模な打設の場合に経済的である。ただし、プラントの設置占有スペースが必要である。

- 図表6-2-6-17 現地プラントによる施工の例



なお、1スパン当たりの距離が長く充填が困難な場合は、以下のような対策を取ることがある。

- ・ セメントベントナイトモルタルの場合は充填材に遅延剤を混和し、高い流動性を長時間保持することによって注入延長を延ばす。
- ・ 管路の途中からも充填できるように、新設管挿入前にさや管上部を掘削してこれに孔を開け、注入パイプを取り付けて複数箇所から充填する。
- ・ 新設管が呼び径800以上の場合は、グラウト孔付管を使用することにより、挿入完了後の管内に注入パイプを配管して充填することができる。

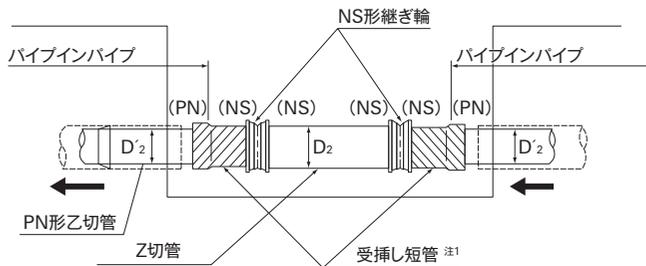
また、スパン当たりの充填距離が長く、高低差も大きなスパンの場合には、過大な充填圧が管に作用しないよう注意が必要である。

6 立坑内連絡配管

挿入、充填終了後、立坑内での連絡配管を行う。呼び径300～1100の場合は、新設管外径寸法 D_2 は、一般のダクタイル鉄管外径 D_2 (JIS G 5526による)と異なるため、受挿し短管を用いて接合する。

立坑内連絡配管の施工例を図表6-2-6-18、19に示す。

●図表6-2-6-18 立坑内連絡配管の施工例 (PN形とPN形)

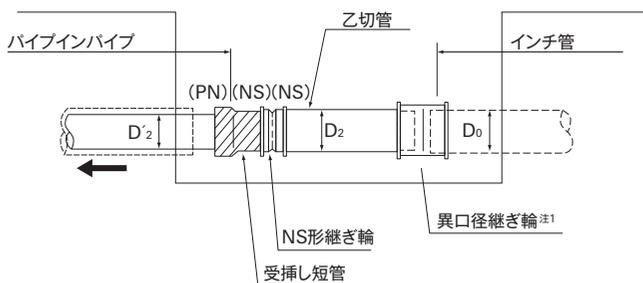


注1 受挿し短管とは受口寸法 (JIS G 3443) 挿し口寸法 (JIS G 5526) を適用した異形管である。

『ダクタイル管施工ハンドブック』(クボタ)より

呼び径1200～1500 (P II形は1350) の場合は、新設管外径が一般のダクタイル鉄管の外径と同じであるのでS形継ぎ輪による接合ができる。

●図表6-2-6-19 立坑内連絡配管の施工例 (PN形と既設管)



注1 インチ管 (外径 D_0) などの旧規格管と現行規格管を接続する異形管である。旧管の寸法を必ずチェックして製作手配する。

『ダクタイル管施工ハンドブック』(クボタ)より

6-2-7 持込工法

1 概要

持込工法は、さや管内に新設管を持ち込んで順次接合していく工法である。さや管内に新設管を持ち込む方法は、下記に示す方法などから選定する。

- ・ 軌条を用いて運搬する方法
- ・ 台車やキャスタバンド等を用いて運搬する方法
- ・ 管を吊って運搬する方法

2 新設管の仕様決定

持込工法は、さや管の継手屈曲角度および方向、内径、管長等を調査し、新設管を運搬するためのレールや管運搬台車の使用を考慮して、新設管の通過検討、継手屈曲角度と曲管の組合せ配管を検討することを原則とする。

以下に、持込工法における新設管の仕様決定検討フローを示す。

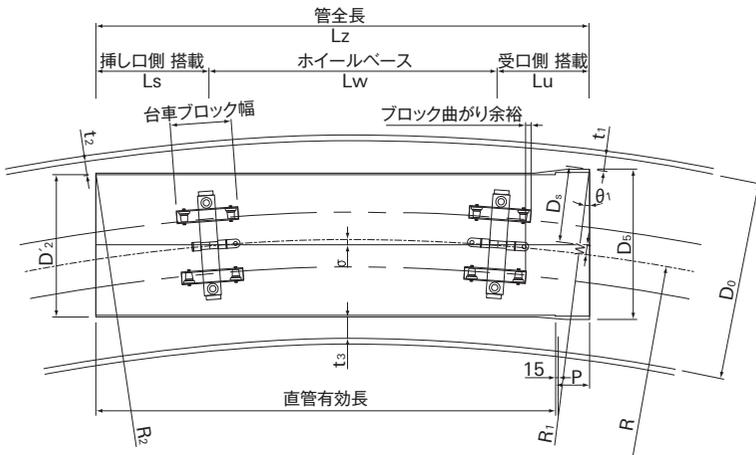
●図表6-2-7-1 新設管の仕様決定フロー



3 平面における通過検討

軌条を用いて運搬する場合、管運搬時に曲線部分を通過できるかどうかについて、新設管外径、管長、さや管内径、ホイールベース長等の値を用いて検討する。

●図表6-2-7-2 管運搬時の平面図



条件に基づき、新設管とさや管内径の離隔は次式により求める。

$$\sigma = R - \sqrt{\left(R^2 - \left[\frac{L_W}{2}\right]^2\right)}$$

$$t_3 = \frac{D_0}{2} - \sigma - \frac{D'_2}{2}$$

$$t_1 = \left(R + \frac{D_0}{2}\right) - R_1$$

$$= \left(R + \frac{D_0}{2}\right) - \sqrt{\left(\left[L_U + \frac{L_W}{2}\right]^2 + \left[R - \sigma + \frac{D_5}{2}\right]^2\right)}$$

$$t_2 = \left(R + \frac{D_0}{2}\right) - R_2$$

$$= \left(R + \frac{D_0}{2}\right) - \sqrt{\left(\left[L_S + \frac{L_W}{2}\right]^2 + \left[R - \sigma + \frac{D'_2}{2}\right]^2\right)}$$

$$w = R_1 - R - D_5$$

$$= R_1 - R - \frac{D_5}{2\cos(\theta_1)}$$

$$R_1 \cdot \sin(\theta_1) = L_U + \frac{L_W}{2}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{L_U + \frac{L_W}{2}}{R_1}\right)$$

ここに、R : 曲率半径 (m)

D'_2 : 新設管挿し口外径 (m)

D_5 : 新設管受口外径 (m)

D_5 : 受口外側から新設管中心までの R_1 上の斜辺長 (m)

D_0 : さや管内径 (m)

L_Z : 新設管全長 (m)

L_W : ホイールベース長 (m)

L_U : 新設管受口側台車搭載位置長 (m)

L_S : 新設管挿し口側台車搭載位置長 (m)

σ : 新設管中心とさや管中心のずれ量 (m)

w : 新設管の受口端面の中心とさや管中心のずれ量 (m)

R_1 : 受口外側の曲線半径 (m)

- R_2 : 挿し口外側曲線半径 (m)
- θ_1 : R_1 の線と受口端面との角度 (°)
- t_1 : 受口外側とさや管内径との離隔 (0.03m 程度を目安とする)
- t_2 : 挿し口外側とさや管内径との離隔 (0.03m 程度を目安とする)
- t_3 : 新設管内側とさや管内径との離隔 (0.03m 程度を目安とする)

● 図表6-2-7-3 PN形 (CP方式) 直管の通過最小曲率半径計算結果例

(単位 : m)

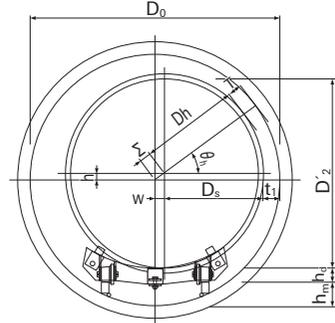
さや管の呼び径	1000	1100	1200	1350	1500	1650	1800	2000
新設管の呼び径	700	800	900	1000	1100	1200	1350	1500
4m直管	25	30	25	15	15	10	10	10
6m直管	75	75	75	65	55	55	55	40

備考 詳しくは「ダクタイル鉄管によるパイプ・イン・パイプ工法 設計と施工 (JP方式及びCP方式) JDPA T36-2」を参照のこと。

4 断面における通過検討

管運搬時に曲線部分を通過できるかどうかについて、管運搬台車高さ、軌条枕木高さ、さや管内径、新設管外径等の値を用いて検討する。

● 図表6-2-7-4 管運搬時の曲線部分の通過検討



$$h = \frac{D'_2}{2} + h_d + h_m - \frac{D_0}{2}$$

$$\Sigma = \sqrt{(h^2 + w^2)}$$

$$T = \frac{D_0}{2} - \Sigma - D_h \geq 0.03\text{m}$$

$$D_h = \frac{D_5}{2} + \left(D_s - \frac{D_5}{2} \right) \cdot \cos(\theta_h)$$

$$\theta_h = \tan^{-1} \left(\frac{h}{w} \right)$$

- ここに、 T : 新設管受口とさや管内径との断面最小離隔 (m)
- Σ : 新設管とさや管中心の断面ずれ量 (m)
- w : 新設管の受口端面の中心とさや管中心のずれ量 (m)
- h : 新設管とさや管中心の高さのずれ量 (m)
- h_d : 管運搬台車高さ (m)

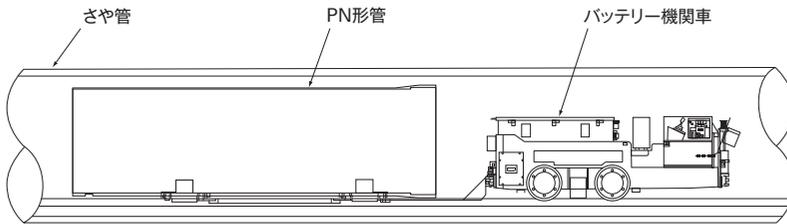
- h_m : 軌条枕木高さ (m)
- D_h : D_s の斜辺長 (m)
- D_0 : さや管内径 (m)
- D_5 : 新設管受口外径 (m)
- D_s : 受口外側から新設管中心までの R_1 上の斜辺長 (m)
- θ_h : D_h と D_s の挟角^{きょうかく} ($^\circ$)

ここで、さや管曲線内での新設管通過可否の判定基準は新設管断面最小離隔 $T = 0.03\text{m}$ 程度を目安とする。

5 施工方法

新設管を一本ずつ既設管内もしくは新設さや管の中に持ち込んで配管するときの管運搬には、バッテリー機関車や軌条設備を用いて行う。

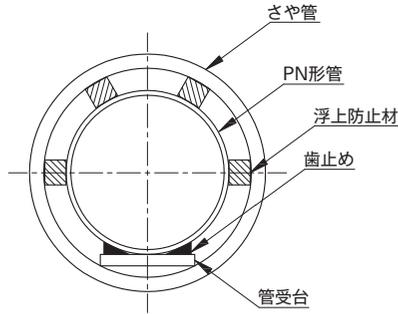
●図表6-2-7-5 新設管運搬状況



●図表6-2-7-6 持込工法の手順

管の運搬	新設管をバッテリー機関車で運搬する。
管の心出し	新設管の高さ、左右位置を調整する。
管の挿入	新設管を決められた仮受け位置まで挿入する。
端部の仮受け	新設管を押し上げ、仮受けする。
管運搬台車の引抜き	バッテリー機関車を後退させ、管運搬台車を引き抜く。
管の接合	新設管を正規の位置に設置し、管を接合する。
管受台設置	位置を確認し、正規の位置に管受台、転がり止め(歯止め)をする。
浮力防止材設置	充填時の浮力防止材を設置し、管を固定する。
軌条の撤去	軌条設備を撤去する。

● 図表6-2-7-7 管受台と浮力防止の例



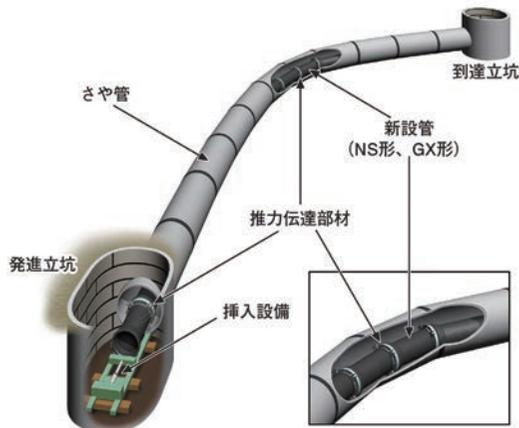
6-2-8 推力伝達部材を用いた押込工法

1 推力伝達部材の役割

GX形やNS形などの耐震継手管をさや管内に押し込んで配管する場合、そのままでは継手伸縮代が確保できない。そこで、推力を伝達し継手伸縮代を確保した状態で配管可能な推力伝達部材を取り付けてさや管内に押し込む。なお、推力伝達部材によりさや管と新設管との口径は2～4口径の差を見込む必要がある。

推力伝達部材には、呼び径や推力伝達方式によりいくつかの種類がある。

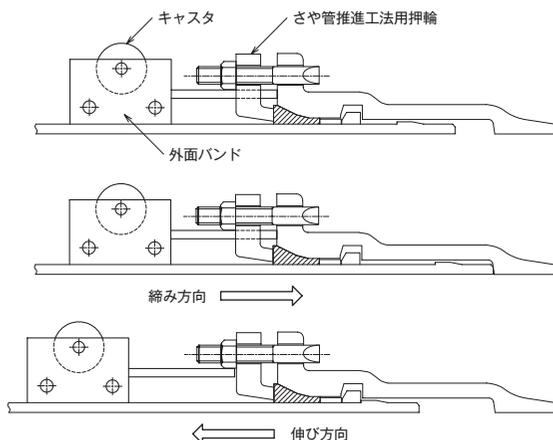
● 図表6-2-8-1 工法概要図



2 推力伝達部材を用いた押込工法(事例1)

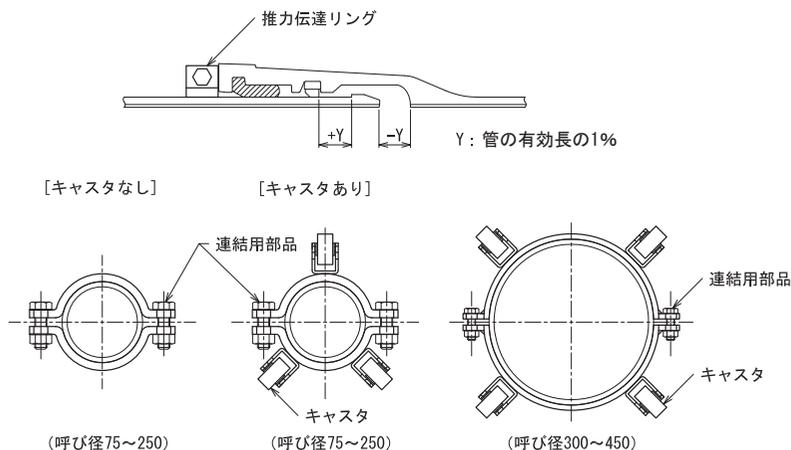
新設管の挿し口部にキャスト付きの鋼製バンドなどを装着して挿入する方法である。地震などで圧縮方向に力が働いた場合には、鋼製バンドが管体上を移動することにより耐震継手の伸縮性能が発揮できるようになっている(図表6-2-8-2)。長距離施工の場合(おおむね400m以上)は、専用の特殊押輪を取り付けて施工し、その場合は鋼製バンドが変形して縮む仕組みになっている。

●図表6-2-8-2 継手伸縮機構(NS形 呼び径500~900)

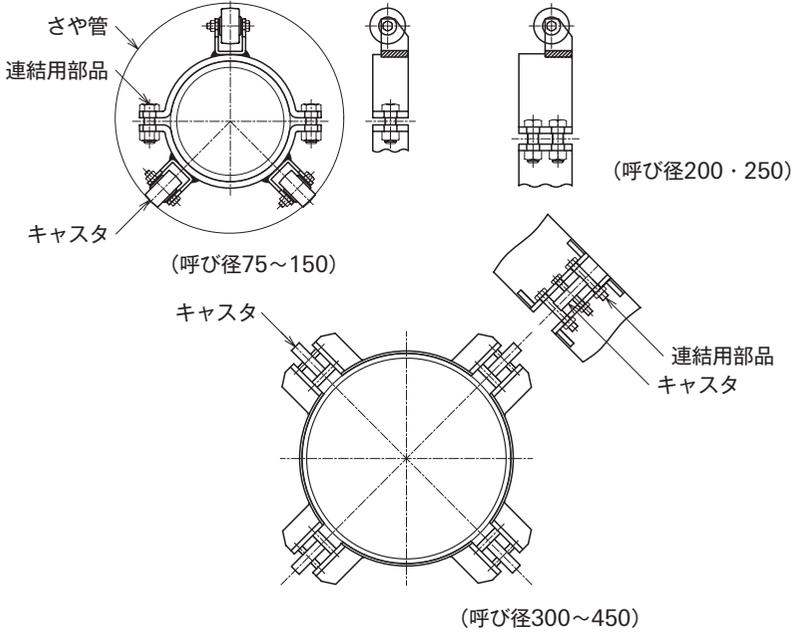


① 呼び径75~450用

●図表6-2-8-3 推力伝達部材 直線用(呼び径75~450)



● 図表6-2-8-4 推力伝達部材 直線・カーブ用 (呼び径75~450)



● 図表6-2-8-5 推力伝達部材の種類と許容推進延長

種類	対象呼び径	許容推進延長 (m) 注1		カーブ推進
		キャストなし	キャストあり	
直線用	75~250	100注2	200注3	×
	300~450	50注4	100注2	
直線・カーブ用	75~250	100	500	○
	300~450	—	400	

注1 上表の許容推進延長は、直管 (呼び径75・100 : 4m、呼び径150~250 : 5m、呼び径300~450 : 6m) の場合の値である。切管の場合の許容推進延長は管長等により変わるため、設計の都度、検討を行うものとする。

注2 1継手に取り付ける推力伝達部材数は、先頭管から50m以下の継手には1個、50mを超える継手には2個とする。

注3 1継手に取り付ける推力伝達部材数は、先頭管から100m以下の継手には1個、100mを超える継手には2個とする。

注4 1継手に取り付ける推力伝達部材数は、先頭管から2個とする。

●図表6-2-8-6 曲率半径ごとの直管の有効長(呼び径75～450)

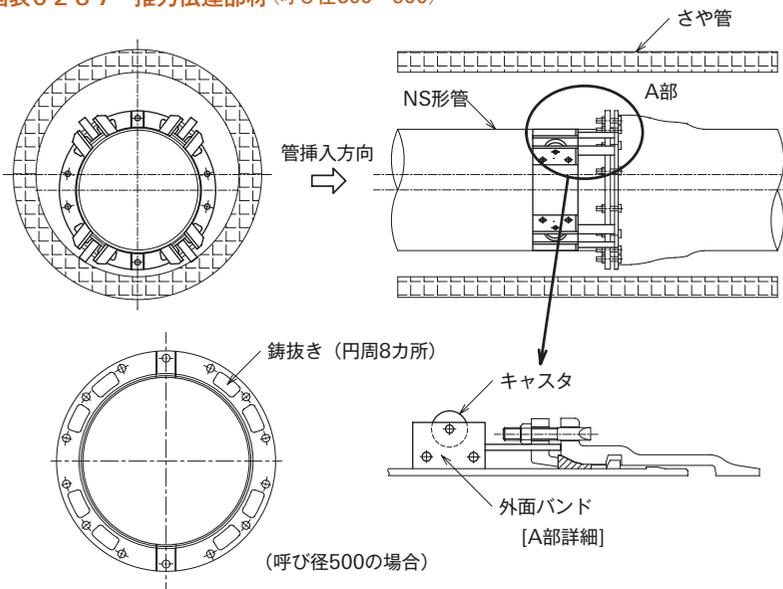
(単位：m)

呼び径	R60m	R80m	R100m	R150m	R200m	R250m
75～250	2.0	2.7	3.4	直管	直管	直管
300～450	1.5	2.0	2.6	3.9	5.2	直管

備考 計算に用いた設計許容曲げ角度は許容曲げ角度の1/2とした。

② 呼び径500～900用

●図表6-2-8-7 推力伝達部材(呼び径500～900)



●図表6-2-8-8 新設管呼び径とさや管の最小呼び径

新設管の呼び径	外面バンドの最大径 (mm) ^{注1}	挿入可能なさや管最小呼び径 ^{注2}
500	772	800
600	876	900
700	979	1000
800	1081	(1200) ^{注3}
900	1185	(1350) ^{注3}

注1 図表6-2-8-7のキャスト部の外径。

注2 ()は推奨口径を示す。条件により1口径縮径も検討可能。

注3 ヒューム管などの内径基準管を対象とする。一般構造用炭素鋼管などの外径基準のさや管の場合は、内径が不足する必要があるため詳細検討が必要である。

● 図表6-2-8-9 推力伝達部材の種類と許容推進延長

(単位：m)

呼び径	外面バンドのみの場合		特殊押輪を使用した場合	
	4m管	6m管	4m管	6m管
500	430	470	1000	1000
600	420	460	1000	1000
700	390	420	1000	1000
800	380	410	1000	1000
900	360	390	1000	1000

備考 勾配のない直線配管、さや管の最長推進延長を1000mとした。4m、6mは管の有効長を示す。

● 図表6-2-8-10 曲率半径ごとの直管の有効長 (呼び径500~900)

(単位：m)

呼び径	R60m	R80m	R100m	R150m	R200m	R250m
500	1.7	2.3	2.9	4.3	5.8	直管
600	1.4	1.9	2.4	3.7	4.9	直管
700	1.3	1.7	2.1	3.2	4.3	5.4
800	1.1	1.5	1.8	2.8	3.7	4.7
900	1.0	1.3	1.7	2.6	3.4	4.3

備考 計算に用いた設計許容曲げ角度は許容曲げ角度の1/2とした。

● 図表6-2-8-11 推力伝達部材による挿入工

NS形 呼び径400



NS形 呼び径600



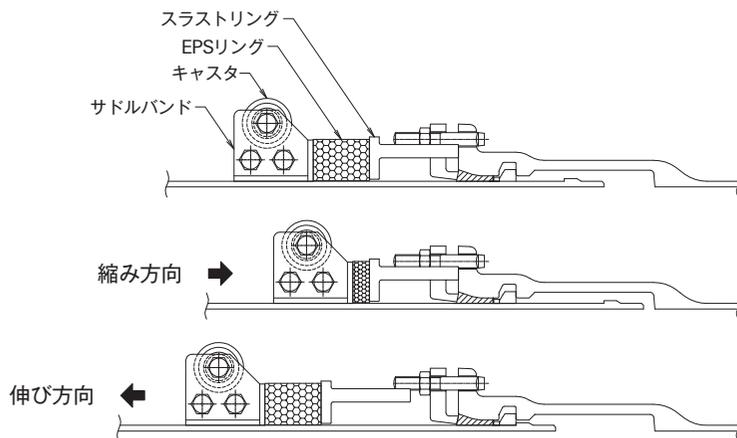
東京都水道局施工

3 推力伝達部材を用いた押込工法(事例2)

新設管に推力伝達リングを取り付け、継手伸縮代を保持した状態で挿入する方法である。

推進力伝達リングは発泡ポリスチレン樹脂製で、発泡倍率を変える(呼び径300以上)ことで任意の圧縮強度が得られ、挿入力程度では圧壊せずに地震などの大きな力で圧壊され耐震継手の性能が発揮できるようになっている。

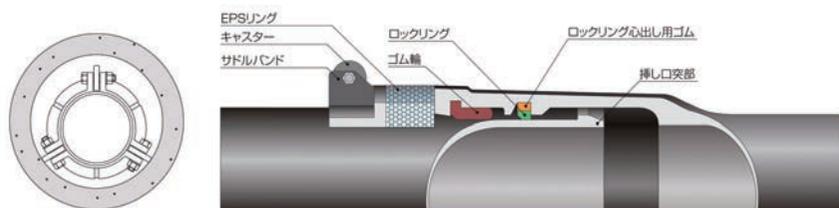
●図表6-2-8-12 継手伸縮機構



① 呼び径75～450用

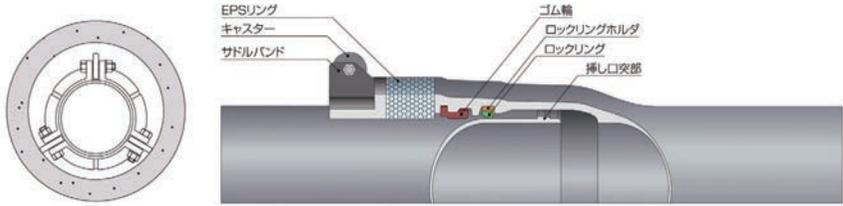
●図表6-2-8-13 推力伝達部材

NS形 呼び径75～450



呼び径300～450は4分割サドルとなる。

GX形 呼び径75～300・400



呼び径300・400は4分割サドルとなる。

●図表6-2-8-14 呼び径ごとのさや管呼び径および許容推進延長

呼び径	さや管呼び径		許容推進延長 (m) ^{注1}	
	ヒューム管	鋼管	NS形	GX形
75	250	200	200	205
100	250	250	195	203
150	300	300	182	189
200	350	350	173	179
250	400	450	168	173
300	500	500	477	486
350	600	600	505	—
400	600	600	458	461
450	700	700	454	—

注1 上表の許容推進延長は、推進線形が直線かつ縦断方向は水平とし、直管(呼び径75～250:1種管・モルタルライニング・4m、呼び径300～450:1種管・粉体塗装・6m)の場合の値である。切管の場合の許容推進延長は管長等により変わるため、設計の都度、検討を行うものとする。

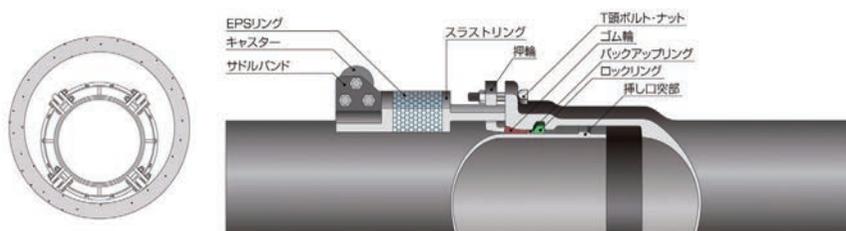
●図表6-2-8-15 管有効長に対する最小曲率半径(呼び径75～450)

接合形式	呼び径	継手許容曲げ角度	推進時の継手曲げ角度	最小曲率半径 (m)				
				管の有効長				
				2m	3m	4m	5m	6m
GX形 NS形	75・100	4° 00'	2.0°	57	85	114	—	—
	100・150 200・250						143	
GX形	300・400			3° 00'	1.5°	76	114	152
NS形	300～450	190	229					

備考 推進時の継手曲げ角度を継手許容曲げ角度の1/2とし、最小曲率半径を求めた。

② 呼び径500～900用

●図表6-2-8-16 推力伝達部材 (NS形 呼び径500～900)



●図表6-2-8-17 呼び径ごとのさや管呼び径および許容推進延長

呼び径	さや管呼び径		許容推進延長 (m) ^{注3}	
	ヒューム管	鋼管	溶接突起なし	溶接突起あり ^{注4}
500	900 ^{注1}	800 ^{注1}	440	1000
600	1000 ^{注1}	900 ^{注1}	410	1000
700	1100 ^{注2}	1000 ^{注2}	360	1000
800	1200 ^{注2}	1100 ^{注2}	290	1000
900	1350	1350	270	1000

注1 エアミルク等の配管が不要の場合。

注2 特殊専用サドル使用の場合。

注3 上表の許容推進延長は、推進線形が直線かつ縦断方向は水平とし、直管(S種管・6m)の場合の値であり、EPSリング $\sigma=1400\text{kPa}$ の場合である。切管の場合の許容推進延長は管長等により変わるため、設計の都度、検討を行うものとする。

注4 長距離タイプ。

●図表6-2-8-18 管有効長に対する最小曲率半径(呼び径500～900)

接合形式	呼び径	継手許容曲げ角度	推進時の継手曲げ角度	最小曲率半径 (m)				
				管の有効長				
				2m	3m	4m	5m	6m
NS形	500	3° 20′	1.66°	69	103	138	172	207
	600	2° 50′	1.41°	81	121	162	203	243
	700	2° 30′	1.25°	91	137	183	229	275
	800	2° 10′	1.08°	106	159	212	265	318
	900	2° 00′	1.00°	114	171	229	286	343

備考 推進時の継手曲げ角度を継手許容曲げ角度の1/2とし、最小曲率半径を求めた。

● 図表6-2-8-19 推力伝達部材による挿入工

NS形 呼び径400



NS形 呼び径600



東京都水道局施工

6-3

トンネル内配管工法

6-3-1 トンネルの種類

基幹管路の多くは布設から約半世紀を迎え、老朽化更新と耐震化への対応が求められているが、市街地では道路幅が狭く、開削での更新工事が困難であったり、代替管路がないために断水ができないなどの問題がある。その対策として狭い道路下での非開削工法のニーズが増加しており、山間部では山岳トンネル、都市部では推進工法やPIP（パイプインパイプ）工法と同様にシールド工法も多く用いられてきた。2011（平成23）年ごろには、さらに小口径化したさや管シールド内配管工法も開発された。

●図表6-3-1-1 トンネルの種類と特徴

項目	山岳トンネル	シールドトンネル
工法概要	トンネル周辺地山の支保機能を有効に活用し、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工等により地山の安定を確保して掘進する工法である。	泥土あるいは泥水等で切羽の土圧と水圧に対抗して切羽の安定を図りながら、シールドを掘進させ、セグメントを組み立てて地山を保持し、トンネルを構築する工法である。
適用地質	地質の変化には、支保工、掘削工法、補助工法の変更により対応可能である。	地質の変化への対応は比較的容易である。
断面形状	掘削断面天端部にアーチ形状を有することを原則とする。その限りでは、かなりの程度まで自由な断面で施工可能であり、施工途中での断面形状の変更も可能である。	円形が標準である。特殊シールドを用いて複円形、楕円形、矩形等も可能。施工途中での断面の変更は、一般には困難である。
線形（急曲線への対応）	施工上の制約はほとんどない。	曲線半径とシールド外径の比が3～5程度の急曲線の実績がある。

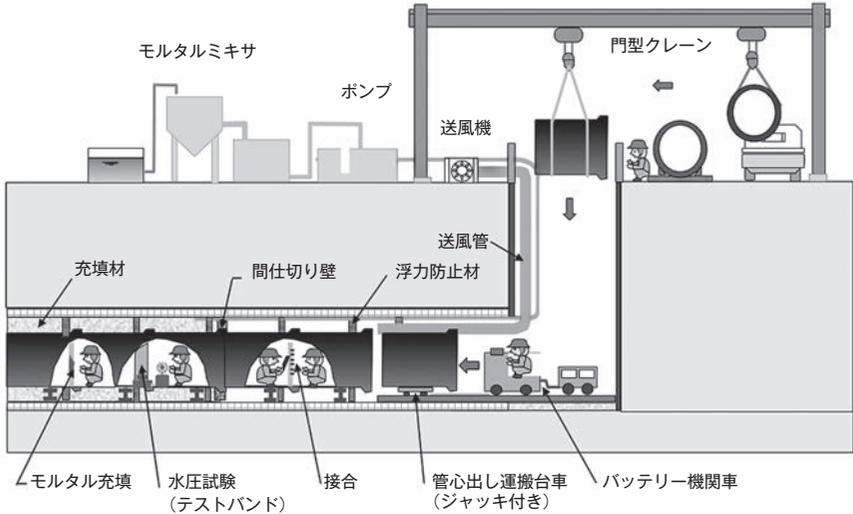
【トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説】2016年制定(土木学会)より(抜粋)

6-3-2 概要

シールド工法および山岳トンネル工法等により築造されたトンネル内に管運搬台車およびバッテリー機関車などを用いてUS形などを1本ずつ持ち込み、トンネルの

中で接合して配管する工法である。PN形(JP方式及びCP方式)呼び径700～1500を
持込工法で配管する場合には、さや管呼び径を比較的小さくできる。また、推進工
法とシールド工法を組み合わせ、押込工法と持込工法を併用する方法もある。

●図表6-3-2-1 トンネル内配管工法の概要



●図表6-3-2-2 管の吊込み状況



東京都水道局 US形 呼び径2000

『ダクタイル鉄管』第98号
(日本ダクタイル鉄管協会、2016年)より

●図表6-3-2-3 管の持込み状況



名古屋市上下水道局 US形 呼び径2000

『ダクタイル鉄管』第93号
(日本ダクタイル鉄管協会、2013年)より

●図表6-3-2-4 シールド内配管工法の断面例

項目	シールド内配管工法 ^{注1} US形	シールド内配管工法 ^{注1} PN形 (JP方式及びCP方式)
さや管呼び径	1650～3300	1000～2000
新設管呼び径	800～2600	700～1500
標準施工延長	1000m以上 (経済性から)	1500m程度 (経済性から)
本管布設方法	持込工法	持込工法 (CP方式)
最小曲率半径	10m程度 ^{注2}	15m程度 ^{注2、注3}
交通障害	立坑が少ないため、 交通障害が少ない	立坑が少ないため、 交通障害が少ない
断面図例 (呼び径800の場合) ^{注4}	シールド呼び径 1650 	シールド呼び径 1100 

注1 縦断勾配は軌条設備を使用するため、労働安全衛生規則第202条に定められている5%以下とする。

注2 シールドの最小曲率半径であり、管割、配管工事については検討が必要である。

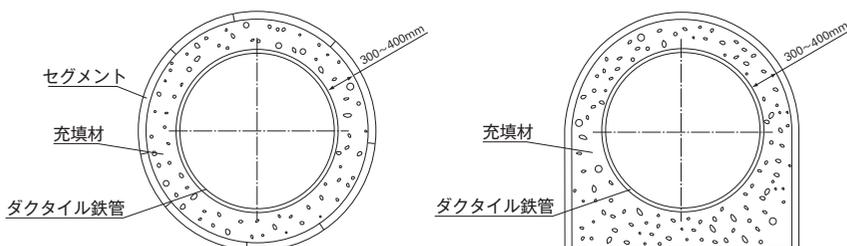
注3 R=15m未満は条件により施工可能である。

注4 カーブ配管時は別途検討が必要。

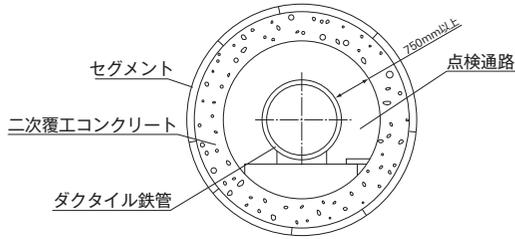
6-3-3 トンネルの断面形状

●図表6-3-3-1 トンネルの断面形状

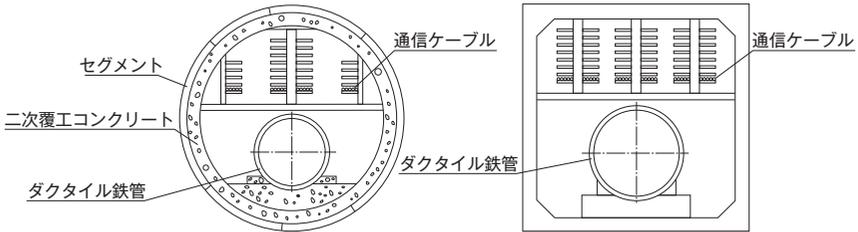
充填方式



点検通路方式



区分使用方式(共同溝方式)



6-3-4 接合形式

じゅうてん

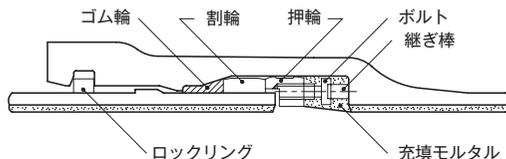
充填方式のトンネル内配管では、管内面から接合を行うUS形またはU形を用いる。US形直管は、管の内面から接合する耐震継手で、伸縮・屈曲性に加えて、離脱防止機構を付加した接合形式である。PN形(JP方式及びCP方式)を用いれば、シールド断面を小さくすることができる。トンネル内配管では呼び径700～1500、管厚の種類としてはP種管を用いる。US形およびU形、PN形(JP方式及びCP方式)の特徴としては以下のことが挙げられる。

- ・ トンネル内の作業環境の特徴である湿気や湧水などの影響を受けにくく、品質管理が容易である。また、接合に大掛かりな動力や設備は不要であり、特殊作業を伴わない。
- ・ トンネルの曲率や施工誤差には、継手部を屈曲させて曲げ接合することで対応が可能である。このため、現場での微調整に材料を加工する必要がない。
- ・ 接合は短時間で行うことができるため、工期を短縮できる。このため仮設費、安全費などが安価となる。
- ・ トンネル内での溶接作業、塗装作業および換気作業が不要であり、施工管理も容易である。

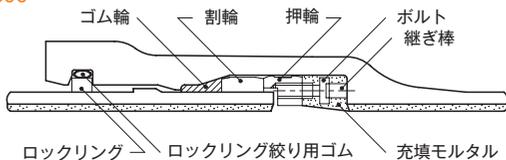
- 継手部の水圧試験は、呼び径800以下では管路内充水試験、呼び径900以上ではテストバンドにより比較的容易に行うことができる。

●図表6-3-4-1 US形の継手構造 (LS方式の場合)

呼び径800～1000



呼び径1100～2600



備考 LS方式以外にVT(ビニールチューブ)方式、SB(セットボルト)方式がある。

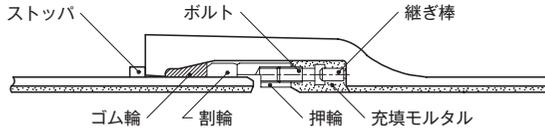
●図表6-3-4-2 US形の継手性能

呼び径	真直配管時 最大伸び量 (mm) ^{注1}	離脱防止力 (kN)	配管施工時の 許容曲げ角度	地震時や 地盤沈下時の 最大屈曲角度
800	65	2400	2° 10′	3° 45′
900	65	2700	2° 00′	3° 21′
1000	70	3000	1° 50′	3° 17′
1100	70	3300	1° 40′	3° 00′
1200	70	3600	1° 30′	2° 45′
1350	80	4050	1° 30′	2° 51′
1500	85	4500	1° 30′	2° 45′
1600	60	4800	1° 10′	1° 54′
1650	60	4950	1° 05′	1° 51′
1800	60	5400	1° 00′	1° 42′
2000	65	6000	1° 00′	1° 40′
2100	70	6300	1° 00′	1° 43′
2200	75	6600	1° 00′	1° 45′
2400	85	7200	1° 00′	1° 51′
2600	85	7800	1° 00′	1° 42′

注1 継手を真直に接合したときの伸縮量を示す。

● 図表6-3-4-3 U形の継手構造

呼び径800～2600



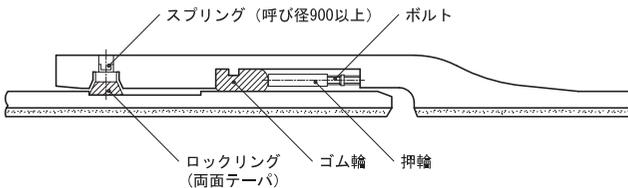
● 図表6-3-4-4 U形の継手性能

呼び径	真直配管時最大伸び量 (mm) 注1	配管施工時の許容曲げ角度
800	64	2° 10′
900	64	2° 00′
1000	67	1° 50′
1100	67	1° 40′
1200	67	1° 30′
1350	77	1° 30′
1500	82	1° 30′
1600	67	1° 10′
1650	67	1° 05′
1800	67	1° 00′
2000	72	1° 00′
2100	77	1° 00′
2200	82	1° 00′
2400	92	1° 00′
2600	138	1° 30′

注1 継手を真直に接合したときの伸縮量を示す。

● 図表6-3-4-5 PN形 (JP方式及びCP方式) 直管の継手構造

呼び径700～1500



備考 機能や性能については、「3-7 PIP工法用の継手」を参照のこと。

6-3-5 管の安全性検討(充填方式)

トンネルを新しく築造する場合はトンネルを永久構造物として検討するケースが多い。一方、老朽化した導水トンネルに新たに配管する場合は、トンネルを仮設構造物として考えて検討するケースもある。トンネルを永久構造物として取り扱うか仮設構造物として取り扱うかは、トンネルの仕様、老朽度、使用目的およびトンネルの設計方針による。

●図表6-3-5-1 トンネルの構造物としての取扱いと安全性の検討方法

項目	永久構造物		仮設構造物	
内圧	○	静水圧と水撃圧を考慮する。	○	静水圧と水撃圧を考慮する。
土かぶりおよび路面荷重による土圧	—	土圧はトンネルが全て受け持つと考え考慮しない。	○	土かぶりによる土圧はテルツァギーの緩み土圧式、路面荷重による土圧はブーシネスク式による。
地下水による外水圧	○	トンネルにより管体が拘束されており、外水圧による座屈に対する安全性をアムスタッツの式を用いて検討する。	○	トンネルがないものと考え、外水圧が直接管体に作用することにより発生する曲げ応力に対する安全性を検討する。
たわみ率	—	トンネルが外圧を受け持つと考え考慮しない。	○	土かぶりおよび路面荷重によるたわみ率を検討する。
充填圧	○	トンネルと管体の間隙を充填するときの充填圧のみ単独で検討する。	○	トンネルと管体の間隙を充填するときの充填圧のみ単独で検討する。
検討方法	トンネルが外圧を受け持つと考え、内圧と外水圧が同時に作用するときよりも別々に作用する場合の方が危険側のため、安全性の検討は以下の3通りについて行う。 ・内圧のみ作用する場合 ・外水圧のみ作用する場合 ・充填圧のみ作用する場合		トンネルがないものと考え、内圧と外水圧は永久構造物の場合と同様に別々に作用する場合の方が危険側のため、安全性の検討は以下の4通りについて行う。 ・内圧、土かぶりおよび路面荷重による土圧が同時に作用する場合 ・外水圧、土かぶりおよび路面荷重による土圧が同時に作用する場合 ・土かぶりおよび路面荷重によるたわみ率に対する検討 ・充填圧のみ作用する場合	

備考 ○印は検討項目が安全性の検討対象であることを示す。

1 トンネルを永久構造物として取り扱う場合

トンネルに作用する土圧(土かぶりおよび路面荷重による土圧)は全てトンネルが受け持つと考え、土圧に対する管の安全性検討は行わない。内圧と地下水による外水圧が管体の内外面に同時に作用すると力が相殺されるため、内圧と外水圧が別々に作用する危険側の場合で検討する。トンネルと管の間隙を充填材(エアモルタルなど)で充填するときの充填圧は単独に作用するものとして検討する。従って、安全性の検討は以下の3通りについて行う。

① 内圧のみ作用する場合

内圧により管体に発生する引張応力は、静水圧、水撃圧にそれぞれの安全率を見込んで次式により求める。

$$\sigma_t = \frac{(S_{f1} \cdot P_s + S_{f2} \cdot P_d)D}{2 \cdot t} \leq \sigma_0 \quad \text{式 6-3-5-1}$$

ここに、 σ_t : 内圧により管体に発生する引張応力 (kN/m²)

D : 呼び径 (m)

P_s : 静水圧 (kN/m²)

P_d : 水撃圧 (kN/m²)

S_{f1} : 静水圧に対する安全率 (=2.5)

S_{f2} : 水撃圧および外荷重に対する安全率 (=2.0)

σ_0 : ダクタイル鉄管の引張強さ (= 4.2×10^5 kN/m²)

t : 応力計算管厚 (m) 規格管厚 T から 鑄造上の余裕および腐食代を差し引いたものである。

$$T - 0.001 \geq 0.01\text{m の場合は } t = \frac{T}{1.1} - 0.002$$

$$T - 0.001 < 0.01\text{m の場合は } t = T - 0.001 - 0.002$$

T : 規格管厚 (m)

② 地下水による外水圧のみ作用する場合

トンネルと管との間隙を充填材で充填後、管外面と充填材との隙間に地下水による外水圧が作用するが、その外水圧と規定の安全率を見込んだ管体の許容座屈圧力とを比較して検討する。管体の許容座屈圧力の計算式は、管体の変形が充填材

により拘束されていると仮定し以下のアムスタッツの式より求める。

$$P_{K1} = \frac{\sigma_N}{\frac{r}{t} \left(1 + 0.35 \frac{r}{t} \cdot \frac{\sigma_F^* - \sigma_N}{E^*} \right)} \cdot \frac{1}{S_{f3}} \geq P_W \quad \dots\dots\dots \text{式6-3-5-2}$$

$$\left(\frac{k_0}{r} + \frac{\sigma_N}{E^*} \right) \left(1 + 12 \frac{r^2}{t^2} \cdot \frac{\sigma_N}{E^*} \right)^{1.5} = 3.36 \frac{r}{t} \cdot \frac{\sigma_F^* - \sigma_N}{E^*} \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{t} \cdot \frac{\sigma_F^* - \sigma_N}{E^*} \right) \quad \dots\dots\dots \text{式6-3-5-3}$$

ここに、 P_{K1} : 地下水圧に対する許容座屈圧力 (kN/m²)

σ_N : 管の円周方向直応力 (kN/m²)

r : 管厚中心半径 $\left(= \frac{D_2 - t}{2} \right)$

D_2 : 管外径 (m)

σ_F^* : $\sigma_F^* \doteq \mu \frac{\sigma_F}{\sqrt{1 - \nu_s + \nu_s^2}}$

σ_F : 降伏点^{注1} (=2.7×10⁵ kN/m²)

μ : $\mu = 1.5 - 0.5 \frac{1}{\left(1 + 0.002 \frac{E}{\sigma_F} \right)^2}$

E^* : $E^* = \frac{E}{1 - \nu_s^2}$ (kN/m²)

E : 弾性係数 (=1.6×10⁸ kN/m²)

ν_s : ポアソン比 (=0.28)

S_{f3} : 座屈検討時の外水圧に対する安全率 (=1.5)

P_W : 外水圧 (kN/m²)

k_0 : 充填材と管外面との間隙 通常 $k_0 = 0.4 \times 10^{-3} \cdot r$ (m)

注1 降伏点は、ダクタイル鉄管の耐力相当の値を用いた(『水道施設耐震工法指針・解説 1997』(日本水道協会))。

③ 充填圧のみ作用する場合 (一度に全断面を充填する場合)

トンネルと管との間隙を充填材で充填するときに管体に充填圧が作用する。充填圧に対する許容座屈圧力は、管外周囲無拘束の場合に充填圧が作用するとき(施工時)の許容座屈圧力は次式により求める。

$$P_{K2} = \frac{2E}{1 - \nu_S^2} \left(\frac{t'}{D_2} \right)^3 \cdot \frac{1}{S_{f4}} \geq P_G \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-4}$$

ここに、 P_{K2} : 充填圧に対する許容座屈圧力 (kN/m²)

t' : たわみ計算管厚 (m) 規格管厚から製造上の余裕を差し引いたものである。

$$T - 0.001 \geq 0.01 \text{ の場合は } t' = \frac{T}{1.1}$$

$$T - 0.001 < 0.01 \text{ の場合は } t' = T - 0.001$$

D_2 : 管外径 (m)

S_{f4} : 施工時荷重 (短期荷重) に対する安全率 (= 1.5)

P_G : 充填圧 (kN/m²)

2 トンネルを仮設構造物として取り扱う場合

トンネルを仮設構造物と考える場合、トンネルはないものとし一般埋設管の計算方法に準じて管の安全性を検討する。内圧と地下水による外水圧が管体の内外面に同時に作用すると力が相殺される。内圧と外水圧が別々に作用する場合は危険側のため、安全性の検討は以下の4通りについて行うものとする。

① 内圧および土かぶり、路面荷重による土圧が同時に作用する場合

1) 内圧により管体に発生する引張応力

トンネルを永久構造物として取り扱う場合の式6-3-5-1と同じである。

2) 土かぶりおよび路面荷重による曲げ応力

a) 土かぶりによる土圧

管頂に作用する鉛直方向の土圧はテルツァギーの緩み土圧式を用いて求める。

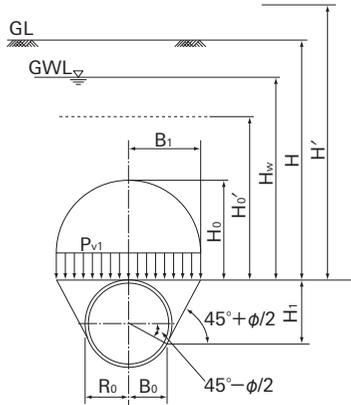
緩み高さ H_0 は、 H_0' と $2 \cdot D_{R0}$ の大きい方を用いて求める。

$$H_0' \geq 2 \cdot D_{R0} \text{ の場合 } W_f = P_{V1} = \gamma_S' \cdot H_0' \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-5}$$

$$H_0' < 2 \cdot D_{R0} \text{ の場合 } W_f = P_{V1} = \gamma_S' \cdot 2 \cdot D_{R0} \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-6}$$

ここに、 D_{R0} : 一次覆工外径 (= $2 \cdot R_0$)

●図表6-3-5-2 テルツァギーの緩み土圧



$$B_0 = R_0 \cos \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-7}$$

$$H_1 = R_0 \left[1 + \sin \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right] \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-8}$$

$$B_1 = B_0 + H_1 \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-9}$$

$$H' = H_w + \frac{1}{\gamma_s'} [(H - H_w) \gamma_s] \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-10}$$

$$H_0' = \frac{B_1 - \frac{c}{\gamma_s'}}{\tan \phi \cdot K} \left(1 - e^{-\tan \phi \cdot K \cdot \frac{H'}{B_1}} \right) \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-11}$$

ここに、 W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m^2)

P_{v1} : 管頂部に作用する鉛直土圧 (kN/m^2)

H_0' : 地下水位を考慮したときの緩み高さ (m)

H_0 : 緩み高さ (m)

H' : 地下水位を考慮したときの換算土かぶり (m)

H_1 : 崩壊面の出発点から管頂までの高さ (m)

H_w : 地下水位 (m)

ϕ : 土の内部摩擦角 ($^\circ$)

R_0 : 一次覆工外半径 (m)

γ_s' : 土の水中単位体積重量 ($= 9\text{kN/m}^3$)

- γ_s : 土の単位体積重量 (= 18kN/m³)
 c : 土の粘着力 (0kN/m²)
 B_0 : 崩壊面の出発点から管中心までの幅
 B_1 : 緩み幅の端から管中心までの幅

b) 路面荷重による土圧

路面荷重による土圧は、ブーシネスク式を用いた次式より求める。

$$W_t = (1+i) \cdot a \cdot P \quad \text{.....式 6-3-5-12}$$

ここに、 W_t : 路面荷重による土圧 (kN /m²)

i : 路面荷重の衝撃割増係数 (= 0.5)

a : 呼び径、土かぶりおよびトラック台数により定まる係数 (「5-2 管厚計算」参照)

P : トラック1後輪荷重 (= 98.00kN)

c) 土圧の荷重分布

一般埋設管と同じ土圧の荷重分布を用いる (「5-2 管厚計算」参照)。

d) 土かぶりおよび路面荷重による曲げ応力

土かぶりおよび路面荷重による土圧により管体に発生する曲げ応力は、管頂および管底について計算し大きい方の値を採用する。

管頂に発生する曲げ応力

$$\sigma_{b1} = \frac{6 \cdot (K_{f1} \cdot W_f + K_{t1} \cdot W_t) \cdot r^2}{t^2} \quad \text{.....式 6-3-5-13}$$

管底に発生する曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \frac{6 \cdot (K_{f2} \cdot W_f + K_{t2} \cdot W_t) \cdot r^2}{t^2} \quad \text{.....式 6-3-5-14}$$

σ_b は σ_{b1} 、 σ_{b2} のいずれか大きい方を採用する。

ここに、 σ_b : 土かぶりおよび路面荷重による曲げ応力 (kN/m²)

σ_{b1} : 土圧により管頂に発生する曲げ応力 (kN/m²)

K_{f1} : 土かぶりによる管頂の曲げモーメント係数 (= 0.108)

K_{t1} : 路面荷重による管頂の曲げモーメント係数 (= 0.076)

σ_{b2} : 土圧により管底に発生する曲げ応力 (kN/m²)

K_{f2} : 土かぶりによる管底の曲げモーメント係数 (= 0.122)

K_{t2} : 路面荷重による管底の曲げモーメント係数 (= 0.011)

3) 合計応力

内圧による引張応力と土圧による曲げ応力に0.7を乗じて引張応力に換算したものにそれぞれ規定の安全率を見込んで足し合わせたものを合計応力とする。

$$\sigma = \sigma_t + 0.7 \cdot S_{f5} \cdot \sigma_b \leq \sigma_0 \quad \text{式 6-3-5-15}$$

ここに、 σ : 合計応力 (kN/m²)

S_{f5} : 外圧に対する安全率 (=2.0)

② 外水圧、土かぶりおよび路面荷重による土圧が同時に作用する場合

施工直後や管内の水を抜いた場合など管内に水がなく内圧がかからない場合で、外水圧、土かぶりおよび路面荷重による土圧が同時に作用するものとして検討を行う。

1) 外水圧による引張応力

a) 外水圧による荷重

外水圧による荷重は次式で表される。

$$P_w = \gamma_w \cdot H_w \quad \text{式 6-3-5-16}$$

$$P_{w1} = P_w \quad \text{式 6-3-5-17}$$

$$P_{w2} = \gamma_w (H_w + D_2) \quad \text{式 6-3-5-18}$$

ここに、 P_w : 管頂部に発生する鉛直方向水圧 (kN/m²)

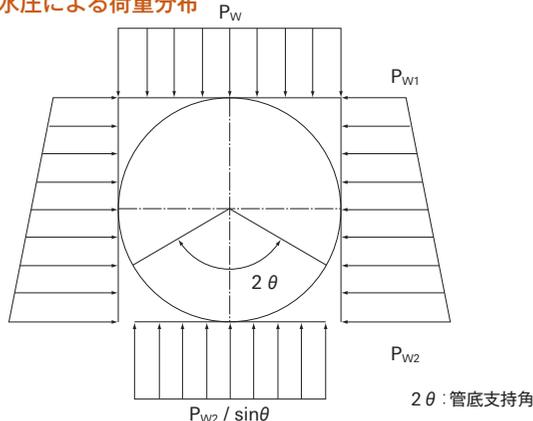
γ_w : 水の単位体積重量 (10kN / m³)

P_{w1} : 管頂部に発生する水平方向水圧 (kN/m²)

P_{w2} : 管底部に発生する水平方向水圧 (kN/m²)

D_2 : 外径 (m)

●図表6-3-5-3 外水圧による荷重分布



b) 外水圧による曲げ応力

$$\sigma_w = \frac{M_w}{Z} \dots\dots\dots \text{式6-3-5-19}$$

管体に発生する曲げモーメント M_w は M_{w1} 、 M_{w2} の大きい方を採用する。

管頂部に発生する曲げモーメント

$$M_{w1} = P_w \cdot r^2 \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\theta}{4 \sin \theta} + \frac{3}{4} \cos \theta + \frac{\theta}{2} \sin \theta + \frac{1}{3} \cos^2 \theta \right) - \frac{1}{8} \right] - \frac{r^2}{48} (7P_{w1} + 5P_{w2}) \dots\dots\dots \text{式6-3-5-20}$$

管底部に発生する曲げモーメント

$$M_{w2} = P_w \cdot r^2 \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\theta}{4 \sin \theta} + \frac{3}{4} \cos \theta + \frac{\theta}{2} \sin \theta - \frac{1}{3} \cos^2 \theta \right) + \frac{3}{8} - \frac{1}{2} \sin \theta \right] - \frac{r^2}{48} (7P_{w1} + 5P_{w2}) \dots\dots\dots \text{式6-3-5-21}$$

ここに、 σ_w : 外水圧により管に発生する曲げ応力 (kN/m²)

M_w : 管体に発生する曲げモーメント (kN・m)

Z : 単位長さ当たりの断面係数 (m³)

$$Z = \frac{b \cdot t^2}{6}$$

b : 単位長さ (1.0m)

M_{w1} : 管頂部に発生する曲げモーメント (kN・m)

M_{w2} : 管底部に発生する曲げモーメント (kN・m)

r : 管半径 $\left(= \frac{D}{2} \right)$ (m)

D : 呼び径 (m)

θ : 管底支持角 / 2 (rad)

2) 土圧による曲げ応力

土圧により管体に発生する曲げ応力 σ_b は、式6-3-5-13、14を用い管頂発生応力 σ_{b1} および管底発生応力 σ_{b2} について計算し、大きい方の値を採用する。

3) 合計応力

外水圧および土圧による発生応力は、外水圧および土圧による曲げ応力にそれぞれ0.7を乗じて引張応力に換算し、規定の安全率を見込んで足し合わせたものを合計応力とする。

$$\sigma_w \cdot 0.7 \cdot S_{I5} + \sigma_b \cdot 0.7 \cdot S_{I5} \leq \sigma_0 \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-22}$$

③ たわみ率に対する安全性検討

土かぶりおよび路面荷重によるたわみ率を求める。

合計たわみ量

$$\delta = \delta_f + \delta_t \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-23}$$

たわみ率

$$R_b = \frac{\delta}{D} \times 100 \leq 3\% \quad (\text{設計たわみ率}) \quad \dots\dots\dots \text{式 6-3-5-24}$$

ここに、 δ : 合計たわみ量 (m)

R_b : たわみ率 (%)

δ_f : 土かぶりによる土圧によるたわみ量 (m)

$$\delta_f = k_f \frac{W_f \cdot r^4}{E \cdot I}$$

k_f : 土かぶりに対するたわみ係数 (=0.070)

I : 断面二次モーメント (管長1m当たり)(m^3)

$$I = \frac{t^3}{12}$$

δ_t : 路面荷重による土圧によるたわみ量 (m)

$$\delta_t = k_t \frac{W_t \cdot r^4}{E \cdot I}$$

k_t : 路面荷重に対するたわみ係数 (=0.030)

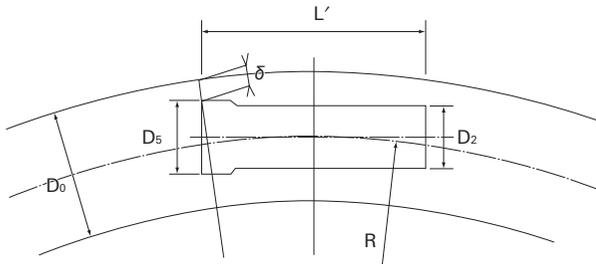
④ 充填圧に対する検討

トンネルを永久構造物として扱う場合と同じ式6-3-5-4を適用する。

6-3-6 曲線部の配管検討

1 通過検討

●図表6-3-6-1 曲線部通過時の管の位置



曲線部を通過可能な管長は次式により求める。

$$\left(R + \frac{D_0}{2} - \delta\right)^2 = \left(R + \frac{D_5}{2}\right)^2 + \left(\frac{L'}{2}\right)^2$$

これより、

$$L' = 2 \sqrt{\left(R + \frac{D_0}{2} - \delta\right)^2 - \left(R + \frac{D_5}{2}\right)^2}$$

- ここに、
- R : トンネルの曲率半径 (m)
 - D_0 : トンネルの内径 (m)
 - δ : 余裕代 (0.1m程度を目安とする)
 - D_5 : 管の受口外径 (m)
 - L' : 管の全長 = $L + P - Y$ (m)
 - L : 管の有効長 (m)
 - P : 管の受口の呑込み寸法 (m)
 - Y : 継手の胴付寸法 (m)

2 直管または切管による曲線配管

曲線部の配管に用いる管の長さを次式により求め、管の有効長以上の場合は直

管を用い、有効長未満の場合は切管を用いる。ただし、切管長が最小切管寸法より短い場合、切管が短く不経済な場合には曲管との組合せを検討する。

$$L = 2R \tan \frac{\theta_a}{2}$$

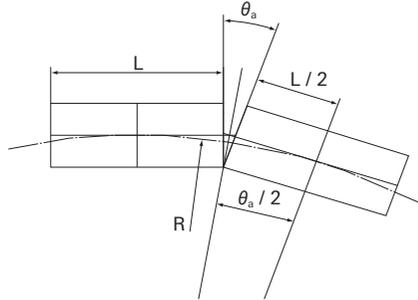
●図表6-3-6-2 直管または切管による曲線配管

ここに、L : 配管可能な管の有効長(m)

R : トンネルの曲率半径(m)

θ_a : 設計曲げ角度 $\left(= \frac{\theta}{2} \right)$

θ : 許容曲げ角度(°)



3 曲管との組合せ検討

曲管を組み合わせて配管する場合、曲管に挟まれる管の有効長は次式により求める(内接させる場合)。

$$N = L + L_1 + L_2$$

$$N = 2R \sin \left(\frac{\phi}{2} \right)$$

$$L = 2R \sin \left(\frac{\phi}{2} \right) - (L_1 + L_2)$$

ここに、L : 管の有効長(m)

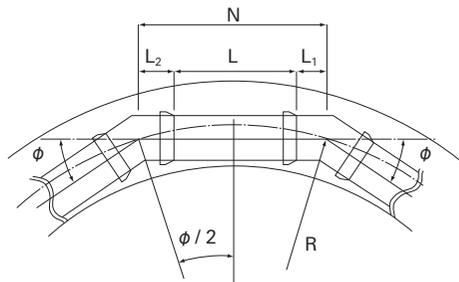
L_1 : 曲管の L_1 寸法(m)

L_2 : 曲管の L_2 寸法(m)

R : トンネルの曲率半径(m)

ϕ : 曲管角度(°)

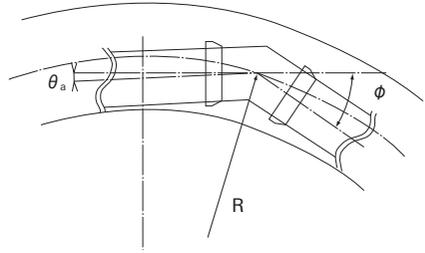
●図表6-3-6-3 曲管との組合せ配管



曲管の間の切管長が極端に短くなる場合や長くなる場合は、継手を屈曲させ切管長を調整する。この場合、管の有効長は以下の式で算出する。

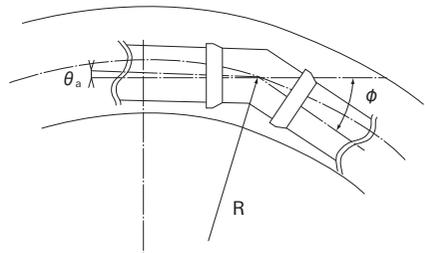
$$L = 2R \sin \left(\frac{\phi}{2} + \theta_a \right) - (L_1 + L_2)$$

●図表6-3-6-4 継手を曲げて内振りする場合の配管



$$L = 2R \sin \left(\frac{\phi}{2} - \theta_a \right) - (L_1 + L_2)$$

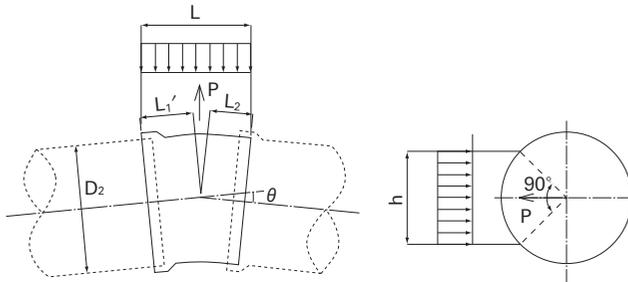
●図表6-3-6-5 継手を曲げて外振りする場合の配管



6-3-7 不平均力に対する安全性検討

曲管に働く不平均力は、曲管背面部分とトンネルの間の充填材の圧縮力で抵抗するものとする。

●図表6-3-7-1 曲管背面の投影長さおよび投影高さ



曲管の投影長さL、投影高さhは次式により表される。

$$L = \left[(L_1' + L_2) \cos \frac{\theta}{2} + 2 \cdot \frac{D_2}{2} \sin \frac{\theta}{2} \right]$$

$$h = 2 \cdot \frac{D_2}{2} \sin \frac{90^\circ}{2}$$

- ここに、 P : 曲管部に作用する不平均力 (kN)
 L : 曲管の管軸方向投影長さ (m)
 L₁' : 曲管の受口側の長さ = L₁ + P - Y (m)
 L₁ : 曲管のL₁寸法 (m)
 P : 曲管の呑込み寸法 (m)
 Y : 曲管の胴付寸法 (m)
 L₂ : 曲管のL₂寸法 (m)
 D₂ : 管外径 (m)
 θ : 曲管角度 (°)
 h : 曲管の管軸直角方向投影高さ (m)

曲管背面のエアモルタルに作用する応力σ_m

$$\sigma_m = \frac{P}{A} < \sigma_{m0}$$

ここに、 σ_m : エアモルタルに作用する応力 (kN/m²)

P : 曲管部に作用する不平均力 (kN)

$$P = 2PA_0 \sin \frac{\theta}{2}$$

P : 設計水圧 (kN/m²)

A₀ : 管の断面積 $\left(= \frac{\pi}{4} D_2^2 \right)$ (m²)

A : 曲管投影面積 (m²)

$$A = L \cdot h$$

σ_{m0} : エアモルタルの許容圧縮強度 (kN/m²)

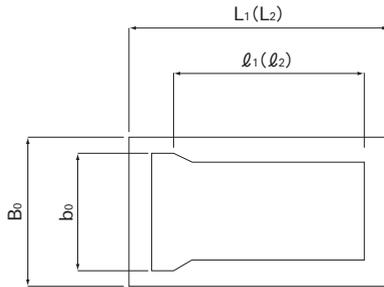
エアモルタルがトンネルとダクタイル鉄管の間に隙間なく充填されていて、エアモルタルに作用する圧縮応力がエアモルタルの許容圧縮強度よりも小さければ、曲線部の不平均力に対しては十分安全である。なお、本検討以外に力が伝達されたセグメントの強度については別途検討が必要である。

6-3-8 立坑

1 管の吊下スペース

門型クレーンまたはトラッククレーンなどを使用して管を立坑内へ吊り下ろす。管を吊り下ろす際に必要な最小スペースの目安を図表6-3-8-1に示す。なお、形状・寸法については、管の吊下しに必要なスペースであり、立坑内には運搬台車およびバッテリー機関車等の待機スペースが必要な場合や、吊下しに支障となる切梁、腹起し、火打ち等の鋼材が設置されている場合などがあるため、現場の状況に合わせた検討が必要である。

●図表6-3-8-1 立坑の吊下しスペース



(単位：mm)

呼び径	管の寸法			吊下しスペース		
	受口外径 b_0 ^{注1}	管長 l_1	管長 l_2	最小幅 B_0 ^{注2}	最小長さ L_1 ^{注2}	最小長さ L_2 ^{注2}
700	759.2 ^{注3}	4000	6000	1800	5200	7200
800	862.8 ^{注3}	4000	6000	1900	5200	7200
900	966.4 ^{注3}	4000	6000	2000	5200	7200
1000	1183	4000	6000	2200	5200	7200
1100	1288	4000	6000	2300	5200	7200
1200	1390	4000	6000	2400	5200	7200
1350	1546	4000	6000	2500	5200	7200
1500	1705	4000	6000	2700	5200	7200
1600	1805	4000	5000	2800	5200	6200

呼び径	管の寸法			吊下スペース		
	受口外径 b_0 ^{注1}	管長 l_1	管長 l_2	最小幅 B_0 ^{注2}	最小長さ L_1 ^{注2}	最小長さ L_2 ^{注2}
1650	1856	4000	5000	2800	5200	6200
1800	2003	4000	5000	3000	5200	6200
2000	2220	4000	5000	3200	5200	6200
2100	2326	4000	5000	3300	5200	6200
2200	2445	4000	5000	3500	5200	6200
2400	2630	4000	5000 ^{注4}	3700	5300	6300
2600	2874	4000	5000 ^{注4}	3900	5300	6300

注1 US形の受口外径 D_5 とした。

注2 B_0 は b_0 に、 L_1 は l_1 に、 L_2 は l_2 に対応した寸法である。

注3 呼び径700～900はPN形（JP方式及びCP方式）の受口外径とした。

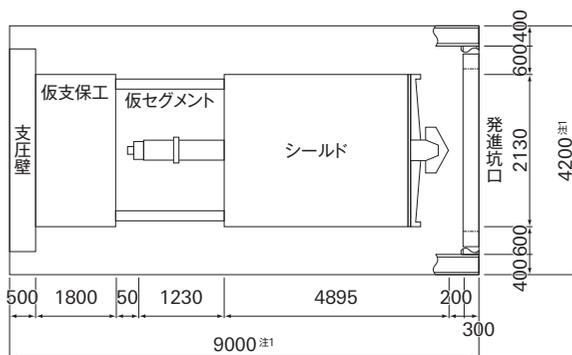
注4 4種管のみである。

2 発進・到達立坑寸法

発進立坑は、シールド工法や推進工法に必要な寸法および配管に必要な寸法を考慮して決定する。到達立坑は、掘削機械の撤去や配管に必要な寸法を考慮して決定する。詳細な発進立坑の寸法は、シールド工法技術協会および日本下水道管渠推進技術協会の技術資料に掲載されている。

① シールド工法

●図表6-3-8-2 泥水加压シールド工法の事例（セグメント外径2000mm）

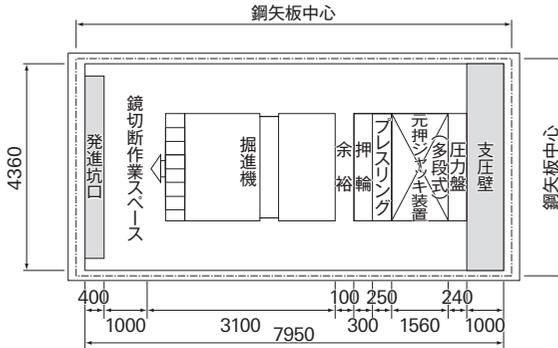


注1 立坑寸法は切り上げて決定している。

『泥水加压シールド工法—技術資料—』（シールド工法技術協会）より

② 推進工法

● 図表6-3-8-3 ヒューム管推進工法の事例(呼び径2000)

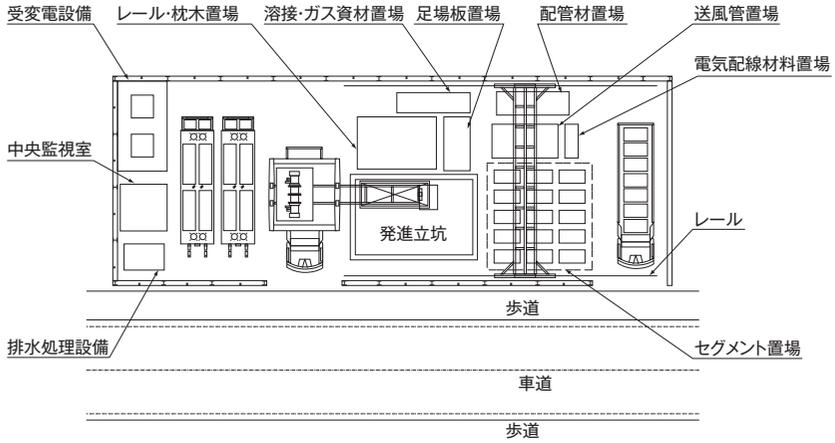


『推進工法体系I 推進工法技術編(2013年版)』(日本下水道管渠推進技術協会)より

3 発進立坑基地の占有スペース

発進基地の占有スペースはシールド(さや管)呼び径や施工場所の環境条件を考慮して決定する。参考に発進基地図の例を図表6-3-8-4に示す。

● 図表6-3-8-4 発進基地の配置例(参考)



『泥土加圧シールド工法—技術資料—』(シールド工法技術協会)より

発進基地の用地面積は、セグメント、レール、裏込め材、作泥土材、枕木等の材料、注入プラント、土砂ホッパー、発生土改良設備等の坑外設備、作業員休憩所、運転管理室、現場詰所等が設置できる広さとする。

発進基地の必要面積は、基地用地の形状、車両出入り口、近接構造物等の立地条件により異なるので計画に当たっては十分検討する必要があるが、一般的には図表6-3-8-5に示す程度である。

●図表6-3-8-5 [参考] 発進用地標準面積

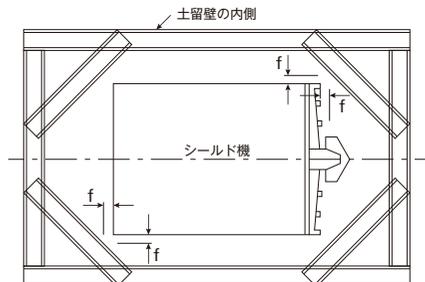
セグメント外径(mm)	標準面積(m ²)
1000~1650	500以下
1800~2350	600
2550~2950	700
3150~3550	800
3800~4300	900
4550~5100	1100
5400~6000	1300
6300~7250	1500
7600~8650	1800

〔泥土加圧シールド工法—技術資料—〕(シールド工法技術協会)より(改変)

4 到達立坑の寸法

到達立坑の寸法は、シールド機を引き上げる場合の最小スペースとするが、寸法の決定に当たっては立坑内配管を考慮する。

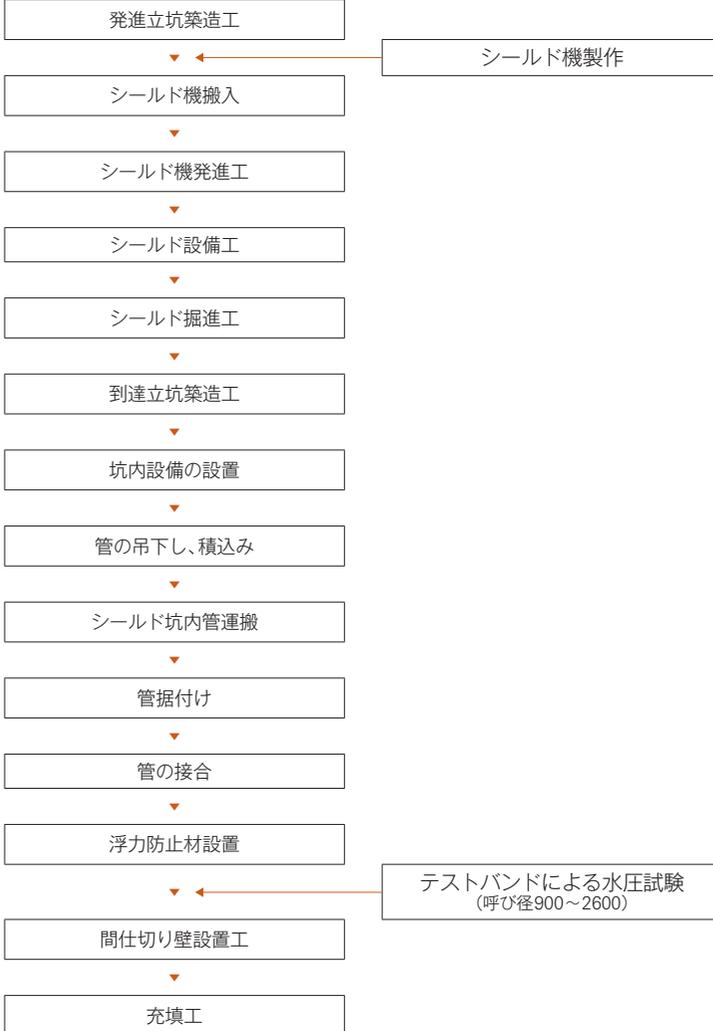
●図表6-3-8-6 到達立坑の寸法



6-3-9 シールド内配管

1 施工手順

●図表6-3-9-1 シールド内配管の施工手順

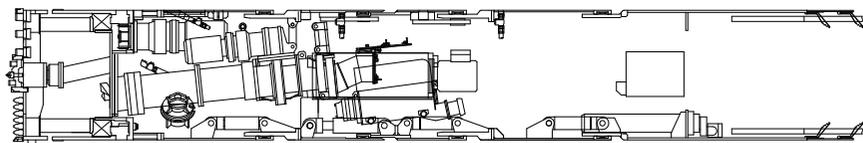


2 使用機材

① シールド機

シールド機はカッターヘッドの変更で普通土から岩盤まで幅広い土質に対応が可能である。シールド機(泥土圧式)の例およびカッターヘッドの例を示す。

●図表6-3-9-2 シールド機およびカッターヘッドの例



普通土用

普通土、砂用

軟岩・中硬岩用

硬岩用

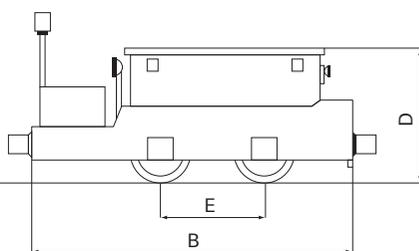
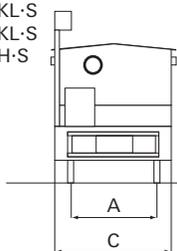


「技術資料」(クボタ工建)より

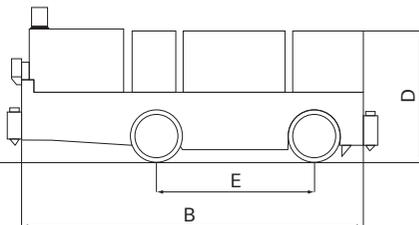
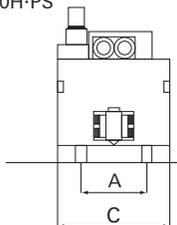
② バッテリー機関車

●図表6-3-9-3 バッテリー機関車の仕様(US形、U形用)例

TBL-255KL-S
TBL-510KL-S
TBL-600H-S



TBL-2140H-PS



項目	型式				
	TBL-255KL-S	TBL-510KL-S	TBL-600H-S	TBL-2140H-PS	
公称重量 (t)	2.1	3.1	2.3	5	
定格速度 (km/h)	5	5	6	9 / 3.5 ^{注1}	
定格牽引力 (kN) ^{注2}	2.5	5	5.9	9.4 / 21 ^{注1}	
主要寸法 (mm)	ゲージ (A)	508・610	508・610・762	508・610	610・762
	車体全長 (B)	2320	2320	2050	3765
	車体全幅 (C)	730	790	730	990
	車体全高 (D)	940	940	1112	1585
	ホイールベース (E)	700	700	635	1710

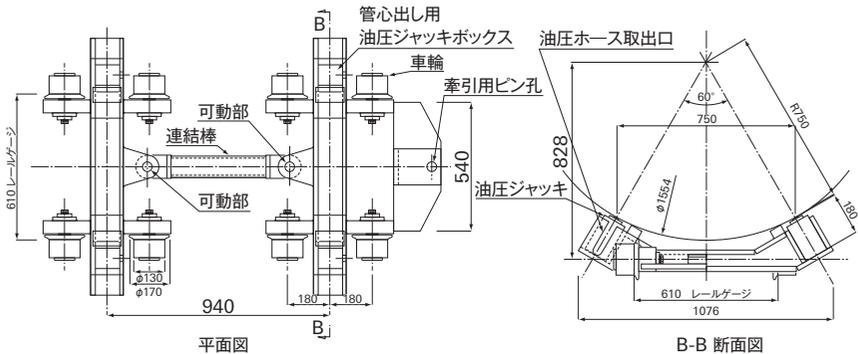
注1 左右の数値は、平坦な場合と急勾配の場合を示す。

注2 カタログの定格索引力 (kg) を換算した。

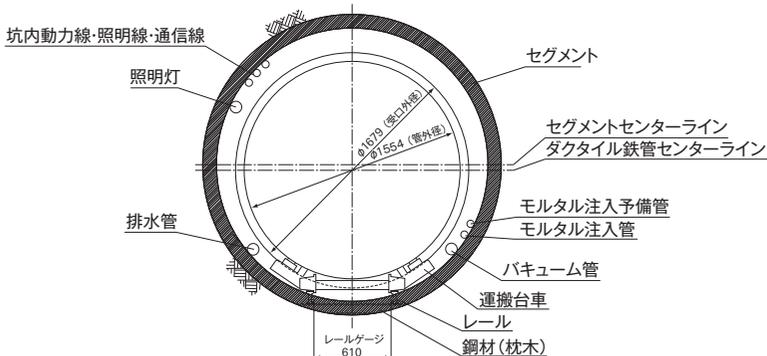
備考 PN形 (CP方式) の場合には、特殊なバッテリー機関車を使用する。

③ 運搬台車

● 図表6-3-9-4 運搬台車の構造 (US形、U形用) 例



● 図表6-3-9-5 運搬台車の搬入時の断面例 (US形呼び径1500)

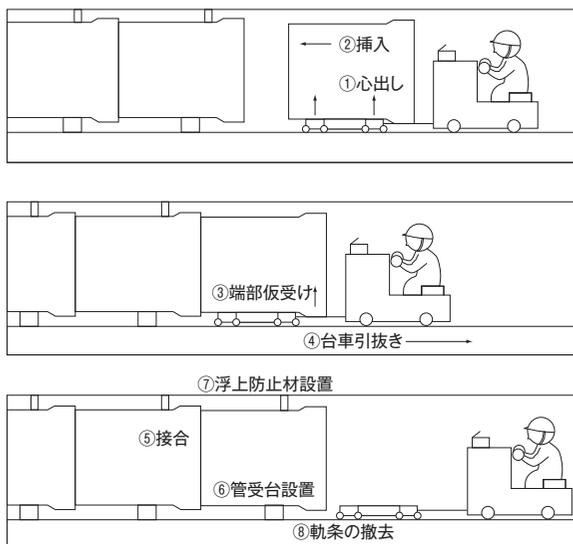


3 配管手順

配管する際の手順を以下に示す。

- ①すでに配管した管の受口(または挿し口)に、管運搬台車に載せた管を4本のジャッキで心出しを行い挿入する。
- ②台車引き抜き用ジャッキでダクタイル鉄管を押し上げて仮受けし、台車を引き抜く。
- ③ジャッキで微調整しながら管を正規の位置にセットし接合を行う。
- ④充填時の浮上防止材を設置して管を固定する。

●図表6-3-9-6 配管手順



札幌市水道局 U形 呼び径1800

『ダクタイル鉄管』第87号
(日本ダクタイル鉄管協会、2010年)より

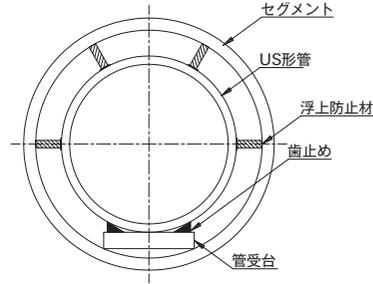


大阪広域水道企業団 U形 呼び径2400(接合)

『ダクタイル鉄管』第94号
(日本ダクタイル鉄管協会、2014年)より

管受台(H形鋼100×100)に本管を仮設置した後、上下左右のクリアランスを測定し、歯止めによる転び止めで設計位置に本管を設置する。本管の設置位置確定後、浮力防止材を設置して管を固定する。

●図表6-3-9-7 管受台と浮力防止の例



4 水圧試験

トンネル内配管に使用する管は一般的には大口径であり、立坑間の1スパンの延長が長く、充水・排水の水量が多くなるため、充水試験は現実的に難しい。このため、図表6-1-13-7.8に示すテストバンドを用い、管内面から継手部のみに水圧を負荷して水圧試験を行うのが一般的である。テストバンドによる試験は水圧0.5MPaを負荷して5分経過後に0.4MPa以上保持すれば合格とする(『水道施設設計指針 2012』〈日本水道協会〉参照)。この試験水圧については、継手のゴム輪のセルフシール効果を確認するものであり、セルフシール効果が機能していれば継手部は直管の保証水圧*1まで水密性を保持することができる。なお、水圧試験時にはトンネル内から反力をとるなどして管を固定し、継手部が水圧で抜け出すのを防ぐ必要がある。詳細な水圧試験方法については「6-1-13 水圧試験」を参照のこと。

*1 保証水圧は管の破裂水圧の70%であり、正規に接合された継手部の保証水圧も管と同様である(JWWA G113-114-2004)。

5 トンネルと新設管の間隙の充填工

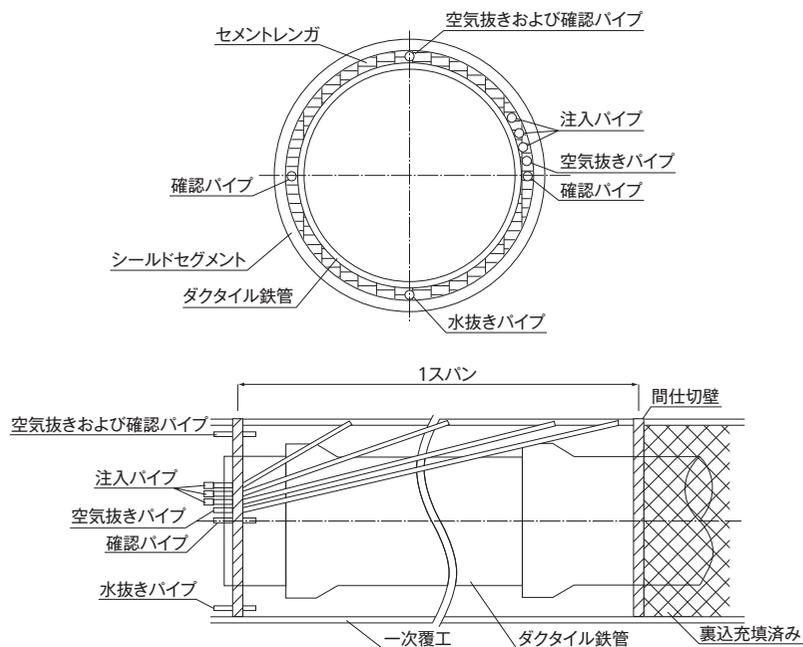
① 充填材

充填材(エアミルク、エアモルタル、セメントベントナイトモルタルなど)は、新設管とトンネルとの間隙の大きさ、後述する充填方法など各種条件に応じて注入可能な延長や作業性が異なるため、現場に応じたものを選択する必要がある。また、充填に使用する材料の強度はトンネル周囲の地盤強度と同程度でよく、一般的に圧縮強度0.5～1.5 N/mm²程度のものが使われる。

② 充填工

トンネルと新設管の間にセメントレンガなどで壁を設置し、注入パイプ、空気抜きパイプを設けてグラウトポンプで充填する。空気抜きパイプから充填材が流出した時点で完了とする。

●図表6-3-9-8 充填工概要図



③ 充填圧の管理

管充填時には管に充填圧が作用するので、許容座屈圧力以上にならないように管理をする。許容座屈圧力の計算式は式6-3-5-4を参照のこと。充填圧は通常0.1MPa～0.2MPaであるが、以下の場合などは充填圧に対して注意が必要である。

- ・ 区間当たりの充填距離が長く、高低差が大きい区間の場合
- ・ ダクタイル鉄管以外の鋼管が部分的に使用されている場合

また、許容座屈圧力以上の充填圧が作用する可能性がある場合には、数回に分けて充填材を注入するなどして許容座屈圧力以上にならないような施工管理が必要である。

6-4

推進工法

推進工法は19世紀末ごろに米国の鉄道横断工事で最初に採用された。日本では、戦後の1948(昭和23)年に軌道下横断工事として、呼び径600のさや管工事が採用されたのが最初という報告がある。その後、道路交通事情や埋設物などの関係で開削工法が困難な場合の非開削工法として用いられてきた。

また開削工法と比較して、騒音、振動、粉じんの低減、住民への影響の軽減など環境上も優れていることから、ダクタイル鉄管の推進工法は1970(昭和45)年ごろから数多く採用されてきたが、最近ではヒューム管による推進技術が向上し、長距離、カーブ推進が可能になり、ヒューム管をさや管として、ダクタイル鉄管を本管として挿入または持込みによる配管工法が増えてきている。

詳細については以下の技術資料を参照のこと。

- ・「ダクタイル鉄管による推進工法 JDPA T33」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「JDPA G 1029 推進工法用ダクタイル鑄鉄管」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「JSWAS G-2 下水道推進工法用ダクタイル鑄鉄管」(日本下水道協会)
- ・『推進工法体系Ⅰ』(日本推進技術協会、2016年)
- ・『推進工法体系Ⅱ』(日本推進技術協会、2016年)

6-4-1

推進工法用ダクタイル鉄管

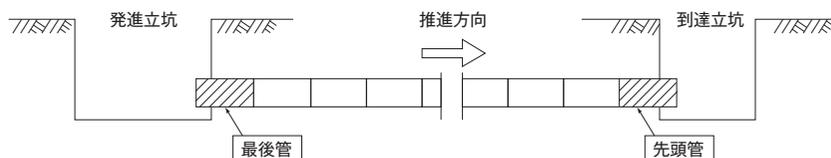
1 種類

推進工法用ダクタイル鉄管にはT形、U形、US形の3種類がある。これらはいずれも管の外表面を鉄筋コンクリートで巻くことによって、直管受口の凸部をなくし、管外表面を平滑にし、推進抵抗力が小さくなるようにしたものである。詳しくは「3-8 推進工法用の継手」を参照のこと。

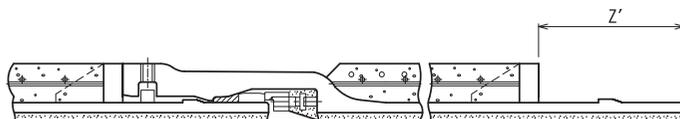
2 挿し口の接合形式によるZ'寸法

推進管路の両端は、接合形式によって、先頭管の挿し口、最後管の受口の形状が変わる場合がある。先頭管の挿し口のZ'寸法は、接続する接合形式によって変更する必要がある。

●図表6-4-1-1 先頭管、最後管



●図表6-4-1-2 Z'寸法の例 (US形推進管<LS方式>)



Z'寸法は、推進管挿し口端部から外装(フランジ)までの寸法である。

●図表6-4-1-3 挿し口部のZ'寸法

(単位：mm)

呼び径	先頭管 挿し口の接合形式		標準管、最後管 挿し口の接合形式			
	NS形以外	NS形	T形	U形	UF形	US形
250	250	400	109	—	—	—
300	300	400	110	—	—	—
350	300	400	125	—	—	—
400	300	400	125	—	—	—
450	300	400	125	—	—	—
500	300	500	130	—	—	—
600	330	500	135	—	—	—
700	360	500	150	—	—	—
800	360	500	—	160	180	300
900	360	500	—	160	180	300
1000	380	530	—	165	185	325
1100	380	—	—	165	185	325
1200	380	—	—	165	185	325

呼び径	先頭管 挿し口の接合形式		標準管、最後管 挿し口の接合形式			
	NS形以外	NS形	T形	U形	UF形	US形
1350	420	—	—	175	195	345
1500	420	—	—	180	200	370
1600	440	—	—	180	200	350
1650	440	—	—	180	200	350
1800	480	—	—	180	200	350
2000	530	—	—	185	205	375
2100	590	—	—	190	210	385
2200	590	—	—	195	215	395
2400	640	—	—	205	225	415
2600	700	—	—	265	280	430

6-4-2 推力に対する抵抗力

推進工法用ダクタイル鉄管の推力に対する抵抗力を図表6-4-2-1に示す。

●図表6-4-2-1 管厚の種類別許容抵抗力 (T形、U形、UF形、US形) 注1,2

(単位：kN)

呼び径	管厚の種類					
	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管	PF管種
250	1670	—	1470	—	—	—
300	2060	—	1770	—	—	—
350	2450	—	1770	—	—	—
400	2840	2450	2160	—	—	—
450	2840	2840	2450	—	—	—
500	3730	3300	2840	—	—	—
600	3730	3730	3730	3330	2450	—
700	6570	5790	4810	3730	2840	—
800	6570	6570	5790	4810	3730	7550
900	6570	6570	6570	5790	4220	8530
1000	9020	9020	8040	6860	5200	6960
1100	9020	9020	9020	8040	5790	7650

呼び径	管厚の種類					
	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管	PF管種
1200	9020	9020	9020	8630	6280	8340
1350	9020	9020	9020	9020	7450	15890
1500	12360	12360	12360	12360	9320	17650
1600	12360	12360	12360	12360	10000	14910
1650	12360	12360	12360	12360	10690	15400
1800	12360	12360	12360	12360	12160	16670
2000	16870	16870	16870	16870	15400	18630
2100	16870	16870	16870	16870	16820	22560
2200	16870	16870	16870	16870	16870	27950
2400	16870	16870	16870	16870	16870	38150
2600	23240	23240	23240	23240	23240	41680

注1 管厚は、許容差内最小管厚として計算した。数値は推力を管に均等に作用させ、真っすぐに推進した場合の値である。

注2 曲線推進は、U形、US形(LS方式)のみ適用可能である。曲線推進での許容抵抗力は、表以下の値になり、曲線の概要や延長によって施工できない場合があるので、検討が必要になる。

6-4-3 推進工事

1 調査

調査の目的は路線、立坑位置、管の埋設深さ、施工方法、補助工法などを決定するための資料を得ること、かつ工事を安全で経済的に実施することである。

調査は立地条件調査、支障物件調査、地形および地盤調査、環境保全のための調査に大別できる。調査結果は推進工法採用の可否、推進工法のルート選定および線形などの計画・設計、施工方法や環境保全対策などの検討、そして工事完成後は維持管理のための資料ともなるので、このことを十分に考慮して調査を行わなければならない。

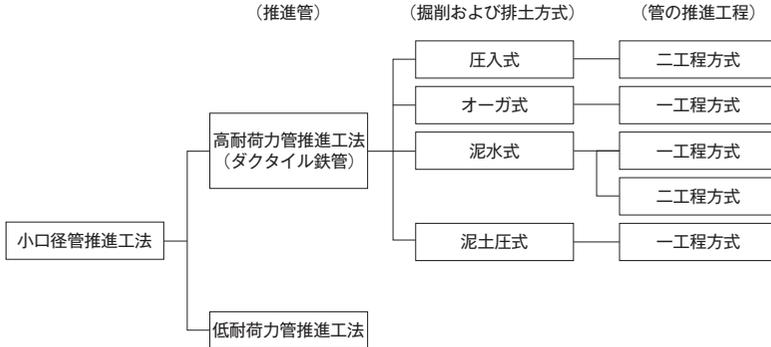
2 推進工法の選定

推進工法は切刃の構造、掘削方法、土砂処理方法などにより分類される。

① 小口径管推進工法（呼び径700以下）

推進工法用ダクタイル鉄管での小口径管推進工法は、高耐荷力管推進工法と低耐荷力管推進工法に大別され、高耐荷力管推進工法はさらに掘削および排土方式、管の推進工程により細分類される。

●図表6-4-3-1 小口径管推進工法の分類（T形）

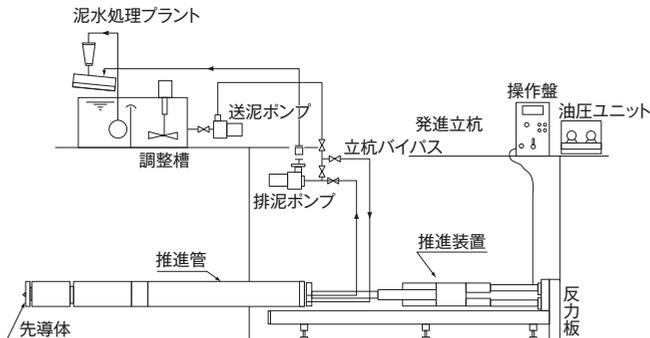


1) 泥水式

泥水式は先導体のカッタチャンバ内を泥水で満たし、その泥水圧を切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持することにより切羽の安定を図る。掘削土は泥水と混合し排泥水として坑外へ流体輸送される。排泥水は坑外に設けた泥水処理設備により土砂と泥水に分離され、泥水は送泥水として再び切羽に送られる。推進工程には一工程方式と二工程方式とがある。

適用土質の範囲は粘性土、砂質土、砂礫土であり、粗石・巨石、軟岩・中軟岩対応の専用機もある。最大推進延長の目安は一工程方式で標準管の場合、120～160m程度である。

●図表6-4-3-2 泥水式（一工程方式の例）

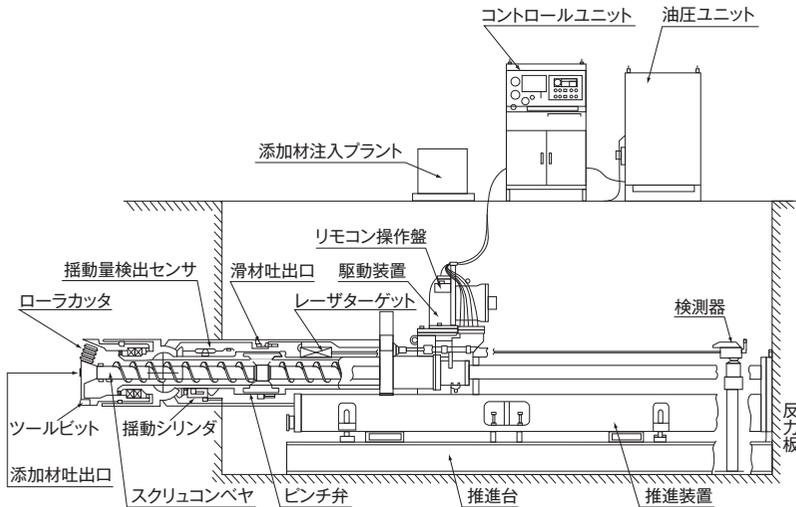


2) 泥土圧式

泥土圧式は先導体のカッタチャンバ内を泥土で満たし、その泥土の圧力を切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持することにより切羽の安定を図る。掘削土(泥土)は、ピンチ弁または圧送排土ゲートの開閉により、排土量を調整しながら排出される。管の推進工程は一工程方式である。

適用土質の範囲は粘性土、砂質土、砂礫土であり、粗石・巨石まで対応することができる。最大推進延長の目安はスクリュ排土方式で標準管の場合、60～80m程度である。また圧送排土方式および吸引排土方式で標準管の場合は140～160m程度である。

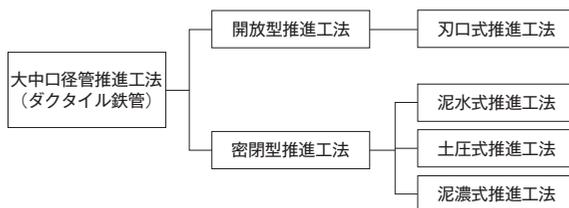
●図表6-4-3-3 泥土圧式(一工程方式・スクリュ排土方式)



② 大口径管推進工法(呼び径800以上)

大口径管推進工法は切羽が自立している場合に用いられる開放型推進工法と地下水圧と土圧に対抗して推進するため各種の機能を備えた密閉型推進工法がある。

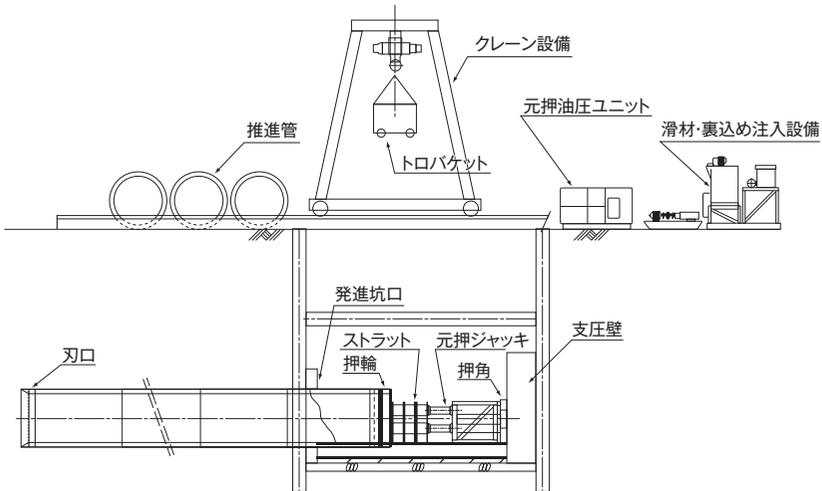
●図表6-4-3-4 大口径管推進工法の種類(U形、UF形、US形)



1) 刃口式推進工法

刃口式推進工法は推進管の先端に刃口を装着し、立坑に設けた元押ジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して管渠を構築する工法である。本工法は切羽からの出水がなく、自立していることが必要条件であり、各種の補助工法を用いることが多い。切羽の掘削は人力による場合がほとんどである。

●図表6-4-3-5 刃口式推進工法

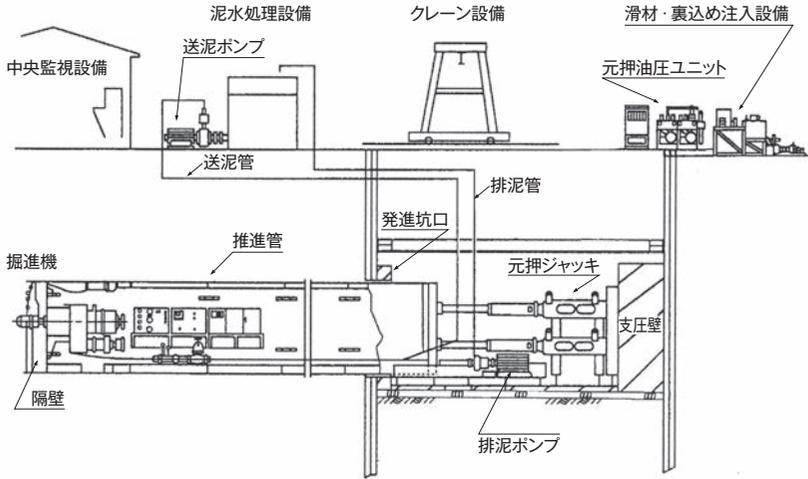


2) 泥水式推進工法

泥水式推進工法は切羽と隔壁間のカタチャンバ内を泥水で満たし、切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持することにより切羽の安定を図り、カタヘッドで掘削しながら立坑に設けた元押ジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して管渠を構築する工法である。

掘削土は泥水と混合して排泥水として坑外へ流体輸送され、排泥水は坑外に設けた泥水処理設備により土砂と泥水に分離される。泥水は送泥水として再び切羽へ送られ、送泥水、排泥水の管路系統は循環回路になっている。適用土質の範囲は、粘性土(N値10未満)、砂質土(N値50未満)、砂礫土(礫含有率30%以上80%未満)、硬質土(一軸圧縮強度200MN/m²未満)である。

●図表6-4-3-6 泥水式推進工法

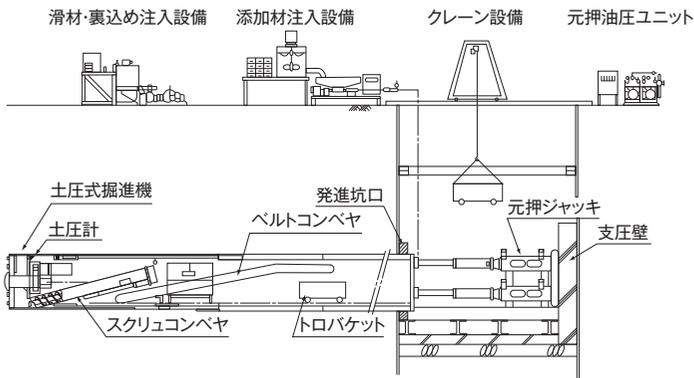


3) 土圧式推進工法

土圧式推進工法は切羽と隔壁間のカタチャンバ内およびスクリュコンベヤ内を掘削土砂あるいは土砂(泥土)で満たし、その土砂(泥土)の圧力を切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持することにより切羽の安定を図り、カッターヘッドで掘削しながら立坑に設けた元押ジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して管渠を構築する工法である。

掘削土は連続的に排出され、土砂はトロバケット、圧送ポンプあるいは吸引装置により坑外に搬出される。適用土質の範囲は粘性土(N値10未満)、砂質土(N値50未満)、砂礫土(礫含有率30%以上80%未満)、硬質土(一軸圧縮強度200MN/m²未満)である。

●図表6-4-3-7 土圧式推進工法

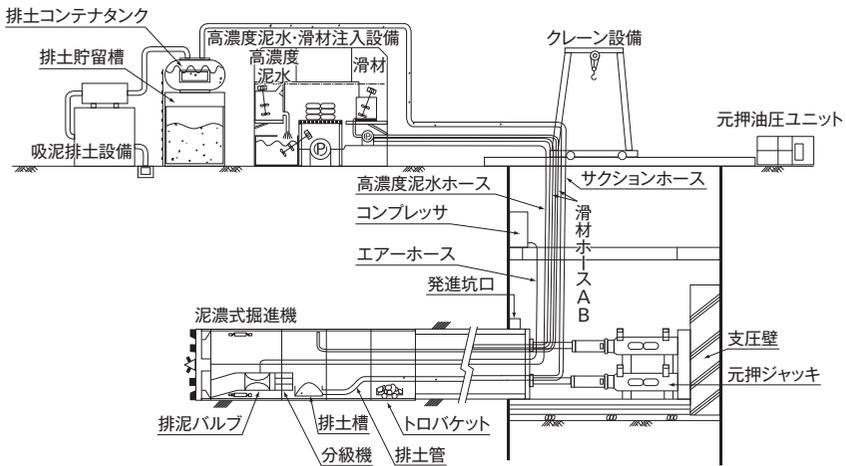


4) 泥濃式推進工法

泥濃式推進工法は切羽と隔壁間のカタチャンバ内を掘削土砂と高濃度泥水と攪拌混合した土砂(泥土)で満たし、切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に、泥土の圧力を保持することにより切羽の安定を図り、カッターヘッドで掘削しながら立坑に設けた元押ジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して管渠を構築する工法である。

掘削土は間欠的に排土槽へ排出される。排土は搬送可能な粒径以下に分級され、吸引力により坑外へ搬出される。適用土質の範囲は粘性土(N値10未満)、砂質土(N値50未満)、砂礫土(礫含有率30%以上80%未満)、硬質土(一軸圧縮強度200MN/m²未満)である。

●図表6-4-3-8 泥濃式推進工法



6-4-4 推進時の留意点

1 アダプタの取付け

推進装置は一般にヒューム管または鋼管を対象として開発されたもので、ダクトイル鉄管と管の外径が異なるので、アダプタを推進機に取り付けて推進する必要がある。ダクトイル鉄管とヒューム管の推進管の外径を図表6-4-4-1に示す。

●図表6-4-4-1 推進工法用ダクタイトイル鉄管とヒューム管の外径

(単位：mm)

呼び径 ^{注1}	外径D ₅		呼び径 ^{注1}	外径D ₅	
	ダクタイトイル鉄管	ヒューム管		ダクタイトイル鉄管	ヒューム管
250	334	360	1200	1362 (1390)	1430
300	386	414	1350	1521 (1546)	1600
350	450	470	1500	1679 (1705)	1780
400	502	526	1600	1786 (1805)	—
450	555	584	1650	1839 (1856)	1950
500	608	640	1800	1990 (2003)	2120
600	713	760	2000	2209 (2220)	2350
700	831	880	2100	2314 (2326)	—
800	938 (973)	960	2200	2433 (2445)	2580
900	1043 (1077)	1080	2400	2617 (2630)	2810
1000	1151 (1183)	1200	2600	2865 (2874)	3040
1100	1258 (1288)	1310			

注1 呼び径250～700はT形、呼び径800～2600はU形、US形。外径の〈 〉内はUS形の場合を示す。

2 有効長

ダクタイトイル鉄管とヒューム管は管の有効長が異なるので、推進工法の種類により適用できない場合がある。その場合は適用可能な管の長さに調整して製造することが可能である。

●図表6-4-4-2 推進管の最大有効長

(単位：mm)

呼び径	最大有効長	
	ダクタイトイル鉄管	ヒューム管
250	4000、5000	2000
300	4000、6000	
350～1500		2430
1600～2200	4000、5000	
2400・2600		

注1 4種管のみである。

3 管内養生

掘削土砂の運搬時など、ダクタイル鉄管内に機材を搬入する場合は、管内面の塗装、ライニングを保護するためにゴム板などを管内面に敷き養生する必要がある。

6-4-5 推進力の計算式

1 基本式

総推進力 F は、先端抵抗力 F_0 、管にかかる等分布荷重および自重による摩擦抵抗力 F_1 、管と土との付着力 F_2 の総和で表される。詳細については「ダクタイル鉄管による推進工法 JDP A T33」および『下水道推進工法の指針と解説 2010』（日本下水道協会）を参照のこと。カーブ推進の場合は、地盤反力により背面からの力を受けるので別途検討を要する。

$$F = F_0 + F_1 + F_2 \dots\dots\dots \text{式6-4-5-1}$$

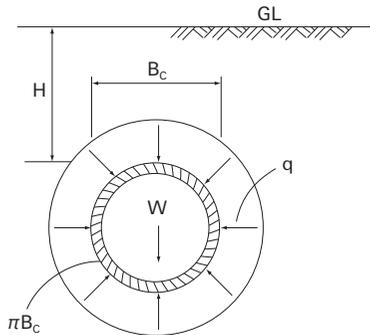
ここに、 F : 総推進力 (kN)

F_0 : 先端抵抗力 (kN)

F_1 : 摩擦抵抗力 (kN)

F_2 : 付着力 (kN)

● 図表6-4-5-1 推進諸抵抗



① 先端抵抗力 F_0

先端抵抗力は一般に先端刃先抵抗と呼ばれるものであり、標準貫入試験から求めたN値で表した式を用いる。

$$F_0 = 10.0 \times 1.32 \pi B_c \cdot N \quad \dots\dots\dots \text{式6-4-5-2}$$

ここに、 B_c : 推進管外径 = D_5' (m)

N : 標準貫入試験から求めたN値

② 摩擦抵抗力 F_1

$$F_1 = \mu' (\pi B_c q + W) L$$

ここに、 μ' : 管と土との摩擦係数 $\dots\dots\dots$ 式6-4-5-3

$$\mu' = \tan \delta = \tan \frac{\phi}{2} \quad \text{全断面加圧と仮定}$$

δ : 管と土との摩擦角 ($^\circ$)

ϕ : 土の内部摩擦角 ($^\circ$)

q : 管にかかる等分布荷重 (kN/m^2)

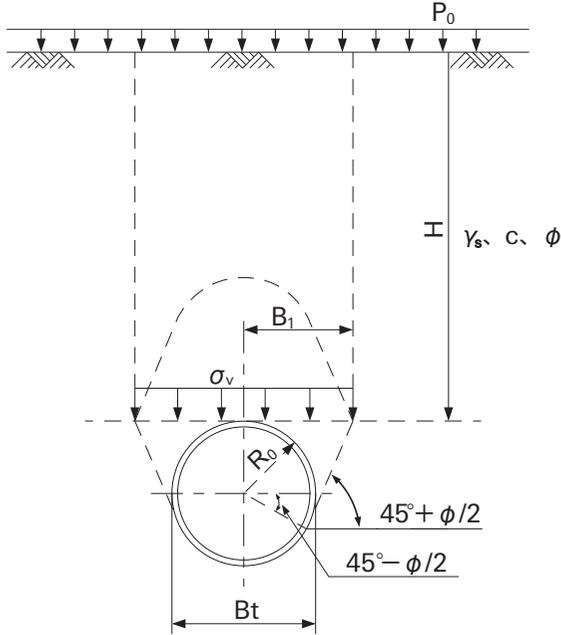
W : 管の単位重量 (kN/m)

L : 推進延長 (m)

1) 緩み土圧による管にかかる等分布荷重 q_1

推進管は深い位置に埋設されるので、一般に管にかかる等分布荷重の計算は緩み土圧により求める。

● 図表6-4-5-2 均一地盤におけるテルツァギーの緩み土圧による管にかかる等分布荷重



$$q_1 = \sigma_v = \frac{B_1 \left(\gamma_s - \frac{c}{B_1} \right)}{K_0 \cdot \tan \phi} \left(1 - e^{-K_0 \cdot \tan \phi \cdot \frac{H}{B_1}} \right) + P_0 \cdot e^{-K_0 \cdot \tan \phi \cdot \frac{H}{B_1}} \quad \dots\dots\dots \text{式6-4-5-4}$$

$$B_1 = R_0 \cdot \cot \left(\frac{45^\circ + \frac{\phi}{2}}{2} \right)$$

$\phi = 0$ の場合

$$q_1 = \sigma_v = \left(\gamma_s - \frac{c}{B_1} \right) H + P_0 \quad \dots\dots\dots \text{式6-4-5-5}$$

- ここに、 q_1 : 緩み土圧による管にかかる等分布荷重 (kN/m²)
 σ_v : テルツァギーの緩み土圧による鉛直土圧 (kN/m²)
 B_1 : 片側緩み幅 (m)
 γ_s : 土の単位体積重量 (kN/m³)
 c : 土の粘着力 (kN/m²)
 W : 管の単位重量 (kN/m)
 K_0 : 水平土圧と垂直土圧の比 (通常 $K=1.0$ としてよい)
 ϕ : 土の内部摩擦角 (°)

Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

- μ' : 管と土との摩擦係数
- e : 自然対数の底
- H : 土かぶり (m)
- p_0 : 上載荷重 (=10kN/m²)
- R_0 : 土の緩み幅を考慮した掘削半径 (m)
 $R_0 = B_c / 2 + \text{土の緩み幅または } B_t / 2$
- B_t : 土の緩みを考慮した掘削径 (m)

2) 垂直土圧による管にかかる等分布荷重 q_2

$$q_2 = w + p \quad \dots\dots\dots \text{式 6-4-5-6}$$

ここに、 q_2 : 垂直土圧による管にかかる等分布荷重 (kN/m²)

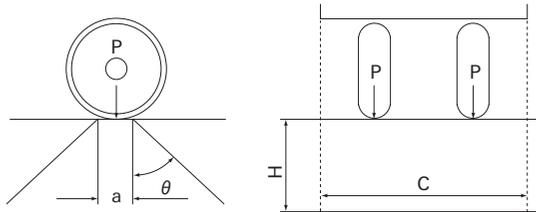
w : 垂直土圧による等分布荷重 (kN/m²)

$$w = \gamma_s H$$

p : 路面荷重による等分布荷重 (kN/m²)

路面荷重による等分布荷重は、輪荷重が図表6-4-5-3のように地中に分布するものとする。設計自動車荷重は250kN (『道路橋示方書・同解説』(日本道路協会)に定められた後輪荷重)として路面荷重による等分布荷重を求める。

●図表6-4-5-3 路面荷重による等分布荷重



$$p = \frac{2P(1+i) \cdot \beta}{C(a+2H \cdot \tan \theta)} \quad \dots\dots\dots \text{式 6-4-5-7}$$

ここに、 p : 路面荷重による等分布荷重 (kN/m²)

P : 後輪荷重 (=100kN)

a : タイヤの接地長 (=0.2m)

C : 車両の占有幅 (=2.75m)

θ : 荷重の分布角 (一般に45°)

i : 衝撃係数 (図表6-4-5-4)

β : 低減係数 (図表6-4-5-5)

● 図表6-4-5-4 衝撃係数*i*

H (m)	H ≤ 1.5	1.5 < H < 6.5	6.5 ≤ H
衝撃係数	0.5	0.65-0.1H	0

● 図表6-4-5-5 低減係数β

H (m)	H ≤ 1mかつ内径B ≥ 4mの場合	左記以外の場合
低減係数	1.0	0.9

なお、大型車の乗り入れがないことが確実な場合は、別途検討するものとする。

3) 付着力*F*₂

管と土との単位当たり付着力*C'*は、土の粘着力が大きくなると相対的に小さくなる。一般に管と土の付着力は、大きくとも10.0 (kN/m²)程度と考えてよい。

$$F_2 = \pi B_c C' L \dots\dots\dots \text{式6-4-5-8}$$

ここに、*C'* : 管と土との単位当たり付着力 (kN/m²)

● 図表6-4-5-6 標準的な土質とその特性値

土質	特性値 ^{注1}			
	φ (°)	N	<i>C'</i> (kN/m ²)	μ'
軟弱土	15	4	10	0.1317
普通土	20	10	5	0.1763
普通土	30	15	0	0.2679
高質土	40	30	0	0.3640

注1 φは土の内部摩擦角、Nは標準貫入試験によるN値、*C'*は管と土との付着力、μ'は管と土との摩擦係数 (tan φ / 2)を示す。

2 下水道協会式

次式は式6-4-5-1 (基本式)の修正式であり、自立可能な地山における刃口式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + \alpha \cdot \pi B_c \cdot \tau_a \cdot L + W \cdot \mu' \cdot L \dots\dots\dots \text{式6-4-5-9}$$

$$\tau_a = \sigma \cdot \mu' + C'$$

$$\sigma = \beta \cdot q$$

$$\mu' = \tan \delta$$

$$F_0 = 10.0 \times 1.32 \cdot \pi \cdot B_s \cdot N'$$

Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

- ここに、 F : 総推進力 (kN)
 F_0 : 先端抵抗力 (kN)
 B_c : 管外径 (m)
 B_s : 先導体 (刃口・掘進機) 外径 (m)
 a : 管と土との摩擦抵抗の生じる範囲にかかる係数 (= 0.50~0.75)
 τ_a : 管と土との単位当たりせん断力 (kN/m²)
 q : 管にかかる等分布荷重 (kN/m²)
 W : 管の単位重量 (kN/m)
 μ' : 管と土との摩擦係数
 σ : 管にかかる周辺荷重 (kN/m²)
 β : 管にかかる周辺荷重の係数 (= 1.0~1.5)
 δ : 管と土との摩擦角 (°) (全断面加圧につき $\delta = \frac{\phi}{2}$ と仮定する)
 C' : 管と土との単位当たり付着力 (kN/m²)
 N' : 切羽芯抜きをした場合の貫入抵抗値
 普通土 (粘性土) 1.0
 砂質土 2.5
 硬質土 3.0
 L : 推進延長 (m)

3 泥水・土圧式算定式

次式は大中口径管の泥水・土圧式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + f_0 \cdot L \quad \dots\dots\dots \text{式 6-4-5-10}$$

$$F_0 = (P_w + P_e) \cdot \pi \cdot \left(\frac{B_s}{2} \right)^2$$

$$f_0 = \beta [(\pi B_c \cdot q + W) \mu' + \pi B_c \cdot C']$$

- ここに、 F : 総推進力 (kN)
 F_0 : 先端抵抗力 (kN)
 f_0 : 周面抵抗力 (kN/m)
 L : 推進延長 (m)
 P_w : カッターチャンバ内圧力 (kN/m²)

泥水式 $P_w = \text{地下水圧} + 20.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

土圧式 砂質土の場合：

$$P_w = \text{主働土圧} + \text{地下水圧} + \Delta P \quad (\Delta P = 20 \sim 50 \text{ kN/m}^2)$$

粘性土の場合： $P_w = \text{静止土圧}$ を用いる。

P_e : 切削抵抗力 (kN/m²)

$$P_e = N \text{ 値} \times 10.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ただし、 $N < 15$ の場合は $P_e = 150 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

$N > 50$ の場合は $P_e = 500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

B_s : 掘進機外径 (m)

B_c : 管外径 (m)

q : 管にかかる等分布荷重 (kN/m²)

W : 管の単位重量 (kN/m)

μ' : 管と土との摩擦係数

$$\mu' = \tan \frac{\phi}{2}$$

ϕ : 内部摩擦角

C' : 管と土との付着力 (kN/m²)

粘性土 ($N < 10$): $C' = 8$

固結土 ($N \geq 10$): $C' = 5$

β : 推進力低減係数

● 図表6-4-5-7 土質別の β 標準値

土 質		推進力低減係数 β
普通土	粘性土	0.35
	砂質土	0.45
	砂礫土 ^{注1}	0.50
粗石混り土	砂礫土(1) ^{注2}	0.60
	砂礫土(2) ^{注3}	0.70
硬質土	硬質土(1) ^{注4}	0.35
	硬質土(2) ^{注5}	0.35

注1 砂礫土：礫径20mm未満、礫含有率30%未満。

注2 砂礫土(1)：最大砂礫径20mm以上で最大礫径は掘進機外径の20%未満かつ400mm以下、礫含有率は30%以上80%未満。

注3 砂礫土(2)：礫径は砂礫土(1)以外、礫含有率は30%以上80%未満。

注4 硬質土(1)：N値10以上で一軸圧縮強度は5MN/m²未満。

注5 硬質土(2)：一軸圧縮強度は5MN/m²以上200MN/m²未満。

備考 β 値は標準値を基本とし、施工条件により ± 0.05 の範囲で採用する。

4 泥濃式算定式

次式は大中口径管の泥濃式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + f \cdot S \cdot L \quad \dots\dots\dots \text{式6-4-5-11}$$

$$F_0 = (P_e + P_w) \cdot \pi \cdot \left(\frac{B_s}{2} \right)^2$$

$$f = 2 + 3 \cdot \left(\frac{G}{100} \right)^2 + 27 \cdot \left(\frac{G}{100} \right) \cdot M^2$$

ここに、 F : 総推進力 (kN)

F_0 : 先端抵抗力 (kN)

S : 管外周長 (m)

L : 推進延長 (m)

P_e : 切羽単位面積当たり抵抗力 (kN/m²)

$$P_e = 4.0 \times N \text{ 値}$$

$N < 1$ の場合は $P_e = 4.0$ (kN/m²) とする。

P_w : カッタチャンバ内の泥土圧力 (kN/m²)

$$P_w = (\text{地下水圧} + 20.0) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

B_s : 掘進機外径 (m)

f : 管周面抵抗力 (kN/m²)

G : 礫率 (%)

M : 最大礫長径/管外径

6-4-6 管厚計算

管厚に関する安全性の検討、たわみの計算式は「5-2 管厚計算」を参照のこと。

ただし、管底支持角は90°としてよい。

6-4-7 曲線推進

1 留意点

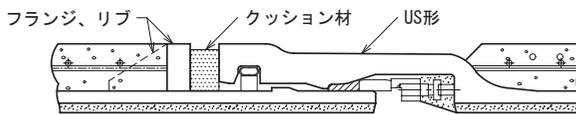
曲線推進の計画に際しては、推進管を安全確実に推進するために、以下の点に留意し推進管列に関わる検討と曲線造成のための掘進方法に関わる検討を行わなければならない。

- ・ 曲線線形の各点における推進力の計算と推進抵抗力低減対策
- ・ 推進力伝達材(クッション材)の形状、厚さ、材質
- ・ 側方地盤反力に対する管の耐荷力
- ・ 曲線推進時の管の軸方向の耐荷力
- ・ 推進管継手部の開口長と継手の止水性
- ・ 元押部における推進力に対する管の軸方向の耐荷力

2 接合形式

推進工法用ダクタイル鉄管を使用する場合、推進が曲線であることから接合形式はU形、US形(LS方式)が適用可能である。

●図表6-4-7-1 曲線用の推進工法用ダクタイル鉄管



備考 クッション材は、材質および発泡倍率によって圧縮性状が異なるので、圧縮率の増大に比べて、応力度の上昇が緩やかなものを使用するなど、適切な材質を選定する必要がある。クッション材の配置と厚さは現場の諸条件によって選定する。

3 直管または切管による曲線配管の検討

曲線配管を行う場合、継手の許容曲げ角度を全て見込んで設計すると施工時の余裕がなくなり、施工誤差などを継手で吸収できなくなる。このため、許容曲げ角度に余裕を見て設計することが望ましい。一般的には許容曲げ角度の1/2を設計曲げ角度として設計を行う場合が多い。直管または切管で曲線配管する場合の有効長は

次式により求める。

$$L = 2R \tan \frac{\theta}{2}$$

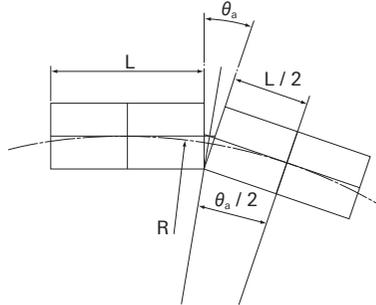
L : 管の有効長 (m)

R : 曲線半径 (m)

θ : 許容曲げ角度 (°)

θ_a : 設計曲げ角度 ($= \frac{\theta}{2}$)

●図表6-4-7-2 直管または切管による曲線配管の有効長



●図表6-4-7-3 設計曲げ角度(許容曲げ角度の1/2)と管の有効長から求まる最小曲線半径

呼び径	許容曲げ角度 (°)	設計曲げ角度 (°)	最小曲線半径 (m)				
			有効長				
			2m	3m	4m	5m	6m
800	2° 10′	1° 05′	106	159	212	265	318
900	2° 00′	1° 00′	115	172	230	287	344
1000	1° 50′	0° 55′	126	188	251	313	376
1100	1° 40′	0° 50′	138	207	276	344	413
1200	1° 30′	0° 45′	153	230	306	382	459
1350	1° 30′	0° 45′	153	230	306	382	459
1500	1° 30′	0° 45′	153	230	306	382	459
1600	1° 10′	0° 35′	197	295	393	492	—
1650	1° 05′	0° 32′ 30″	212	318	424	529	—
1800	1° 00′	0° 30′	230	344	459	573	—
2000	1° 00′	0° 30′	230	344	459	573	—
2100	1° 00′	0° 30′	230	344	459	573	—
2200	1° 00′	0° 30′	230	344	459	573	—
2400	1° 00′	0° 30′	230	344	459	—	—
2600	1° 30′ (1° 00′)	0° 45′ (0° 30′)	153 (230)	230 (344)	306 (459)	—	—

備考 ()内はUS形を示す。

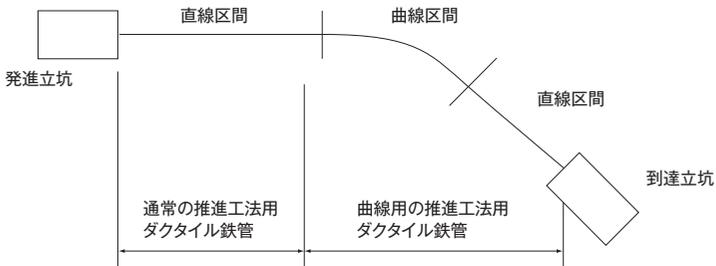
4 許容耐荷力

曲線推進部の管の許容耐荷力は設計曲げ角度と曲線部の推進力を考慮して算定する。

5 配管例

曲線用の推進工法用ダクタイル鉄管は曲線施工時に曲線部を通過する推進管全てに適用する。

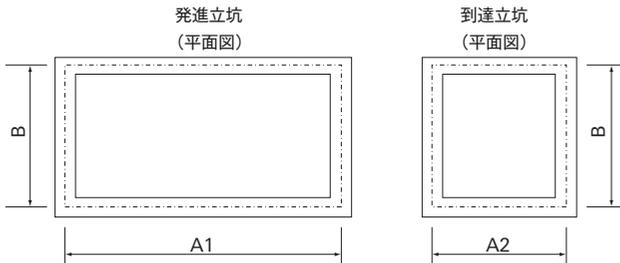
●図表6-4-7-4 曲線推進時の配管例



6 発進・到達立坑

立坑寸法は推進方式、現場条件などによって異なるので推進作業に必要なスペースを考慮して決定する。

●図表6-4-7-5 発進・到達立坑の参考寸法



呼び径	刃口式 推進工法	泥水式推進工法		土圧式推進工法		泥濃式推進工法		幅
	A1	A1	A2	A1	A2	A1	A2	B
800	7.6	8.4	4.8	8.4	4.8	8.4	4.0	3.2
900	7.6	8.4	4.8	8.4	4.8	8.4	4.0	3.2
1000	8.0	8.8	4.8	8.8	4.8	8.8	4.0	3.2
1100	8.0	8.8	4.8	8.8	4.8	8.8	4.0	3.6
1200	8.0	8.8	4.8	8.8	5.2	8.8	4.0	3.6
1350	8.0	8.8	5.2	8.8	5.2	8.8	4.0	3.6
1500	8.0	8.8	5.2	8.8	5.2	8.8	4.0	4.0
1600	8.0	8.8	5.6	8.8	5.2	8.8	4.4	4.0
1650	8.0	8.8	5.6	8.8	5.2	8.8	4.4	4.4
1800	8.0	9.2	5.6	9.2	5.6	9.2	4.4	4.8
2000	8.0	9.2	5.6	9.2	5.6	9.2	4.4	4.8
2100	8.0	9.2	5.6	9.2	6.0	9.2	4.4	5.2
2200	8.0	9.2	5.6	9.2	6.0	9.2	4.4	5.2
2400	8.4	9.2	5.6	9.2	6.0	—	—	5.6
2600	8.4	9.2	5.6	9.2	6.4	—	—	6.0

6-4-8 支圧壁

支圧壁は背面支持力が得られる大きさで、推進反力に十分耐えられる構造でなければならない。また、回転モーメントが働かないような位置に設置すること。

支圧壁の大きさはランキンの受働土圧式を用いて決定する。

$$R = a \cdot B \left(\gamma_s \cdot H^2 \cdot \frac{K_p}{2} + 2c \cdot H \sqrt{K_p} + \gamma_s \cdot h \cdot H \cdot K_p \right) \dots\dots\dots \text{式6-4-8-1}$$

ここに、R : 地山の支持力 (kN)

a : 係数 (=1.5~2.5。通常は2)

B : 支圧壁の幅 (m)

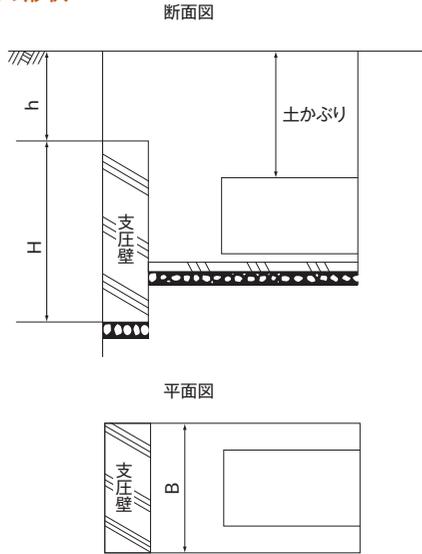
γ_s : 土の単位体積重量 (kN/m³)

H : 支圧壁の高さ (m)

K_p : 受働土圧係数 $\left[= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right]$

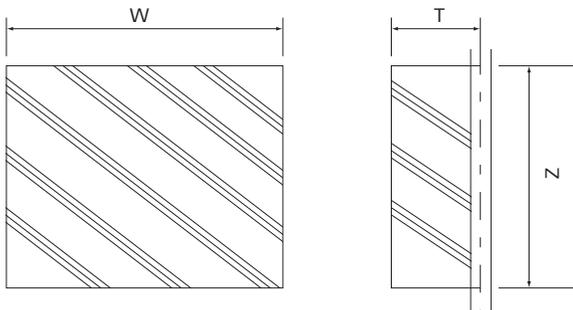
- ϕ : 土の内部摩擦角 (°)
- c : 土の粘着力 (kN/m²)
- h : 地表からの深さ (m)

● 図表6-4-8-1 支圧壁の形状



支圧壁の厚みについては、鋼材などを用いて、できるだけコンクリートには圧縮力が働くようにするのが望ましいが、推進力が働く鋼材の始点から支圧壁端部までを片持梁と仮定して、無筋コンクリートに作用する曲げモーメントに対して、コンクリートの引張強度による抵抗モーメントを用いて安全性の検討を行う。無筋コンクリートの支圧壁の抵抗モーメントが不足する場合、鉄筋による補強の検討を行うことが必要である。支圧壁の厚みは図表6-4-8-2を参照のこと。

● 図表6-4-8-2 支圧壁寸法



呼び径	支圧壁の寸法			型枠 (m ²)	コンクリート (m ³)
	W (m)	Z (m)	T (m)		
φ 800	2.00	1.80	0.60	5.76	2.16
φ 900	2.00	2.00	0.60	6.40	2.40
φ 1000	2.20	2.00	0.70	7.20	3.08
φ 1100	2.40	2.20	0.70	8.36	3.70
φ 1200	2.80	2.40	0.70	10.08	4.70
φ 1350	3.20	2.60	0.70	11.96	5.82
φ 1500	3.50	3.00	0.70	14.70	7.35
φ 1650	3.80	3.20	0.80	17.28	9.73
φ 1800	3.90	3.40	1.00	20.06	13.26
φ 2000	4.00	3.60	1.00	21.60	14.40
φ 2200	4.20	3.80	1.00	23.56	15.96
φ 2400	4.40	4.00	1.00	25.60	17.60
φ 2600	4.60	4.30	1.00	28.38	19.78

備考 上記寸法表に示す支圧壁の大きさは経験値を含めたヒューム管推進工法協会の標準的な大きさである。施工条件によっては寸法変更を行うことがある。

「ヒューム管推進工法 設計・積算・技術資料 泥濃式 (φ800～φ2600) (平成24年度版)」(ヒューム管推進工法協会)より

6-4-9 補助工法

推進工法では土質条件によって施工の難易度が大きく左右される。特に地山が不安定で切羽の崩落、地表面の陥没あるいは地盤沈下の恐れのある場合、または近接する構造物、埋設物などの防護や立坑、支圧壁を補強する場合には地盤改良が必要である。

補助工法は単独または併用によって、安全かつ経済的な方法で地山の安定を図る必要がある。補助工法としては、地盤改良工法、地下水位低下工法、圧気工法、凍結工法などがある。

6-4-10 滑材、裏込めおよび注入孔

1 滑材

滑材は推進抵抗を減少させ、また地山の緩みを防ぎ、かつ止水を目的として行う。注入に当たっては、滑材の種類、注入圧、注入量等を検討し、滑材が管全周に行き渡るように注入する。滑材には、混合（標準型）滑材、一体型混合滑材、粒状型滑材、固結型滑材、遅硬性滑材などがある。

●図表6-4-10-1 滑材配合例（m³当たり）

項目	数量
ベントナイト	100kg
マッドオイル	40ℓ
固化剤	2kg
CMC ^{注1}	2kg
水	0.9m ³

注1 カルボキシメチルセルロース（セルロース系水溶性高分子）

2 裏込め

裏込めは推進完了後、推進管と地山との間隙を充填し、地山の緩みを防止するために行う。注入に当たっては、裏込め材の流出に注意しながら、注入圧力・注入量の管理を確実に行う必要がある。

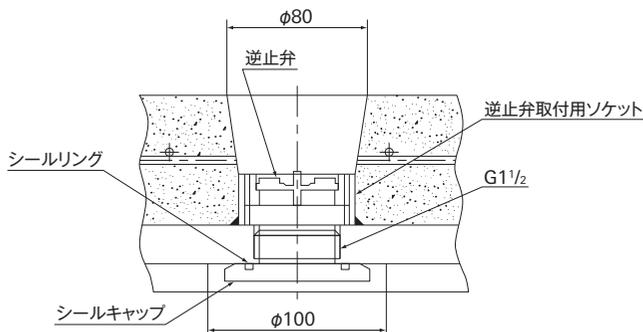
●図表6-4-10-2 裏込め配合材（m³当たり）

項目	数量
セメント	500kg
フライアッシュ	250kg
ベントナイト	100kg
分散剤	4kg
目詰材	5kg
水	0.7m ³

3 注入孔

呼び径800以上の推進工法用ダクタイル鉄管には、必要に応じて図6-4-10-3に示す注入孔を設けることができる。また注入孔には図表6-4-10-3に示すように、逆止弁を取り付けたものも使用できる。

●図表6-4-10-3 逆止弁付き注入孔の構造



4 注入孔の水圧試験方法

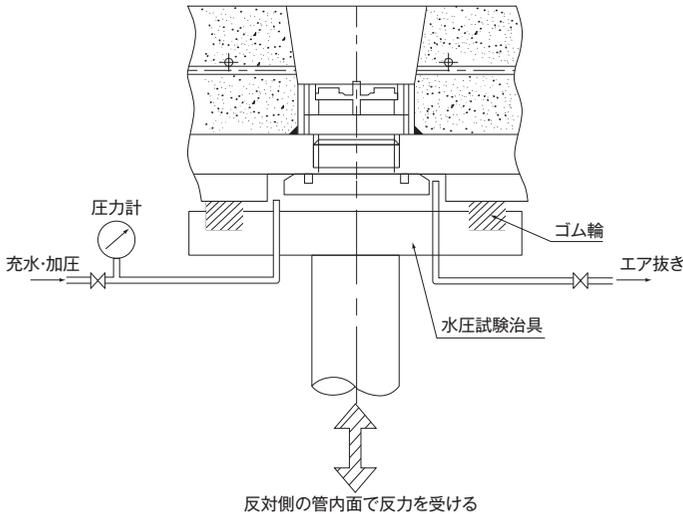
推進工法用ダクタイル鉄管にて管路を構築する場合には、継手部の水密性検査とは別に注入孔の水圧試験が必要である。

注入孔の水圧試験は、以下の手順に従って行う。

- ・ 注入作業終了後、管体ねじ部の異物をきれいに取り除く。
- ・ シールキャップの溝の中に、シールリングを確実に取り付ける。
- ・ 管内面にシールキャップ面が当たる（メタルタッチ）まで十分締め付ける。
- ・ シールキャップの止水性を確認する場合は、テストバンドや図表6-4-10-4に示す方法などで水圧試験を行う。なお、このときの試験水圧は0.49MPaとし、5分経過後に0.39MPa以上あれば合格としてよい。
- ・ 水圧試験合格後、シールキャップ部分をエポキシ樹脂などで充填する。このとき、樹脂は硬化するまで十分養生する。

なお、注入孔を使用しない場合についても、必ず上記方法でシールキャップを取り付ける。

● 図表6-4-10-4 注入孔の水圧試験



6-4-11 管の接合

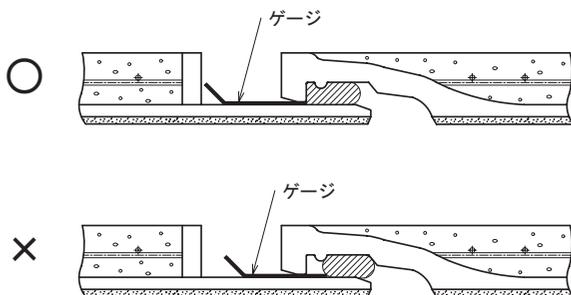
接合形式によって接合方法が異なるため、接合方法およびチェックシートなどの詳細は日本ダクタイトル鉄管協会が発行する接合形式別の接合要領書を参照のこと。なお、共通する場合の留意事項を以下に示す。

- ・ 管の接合に従事する配管工は、関係機関にてダクタイトル鉄管についての技能講習を受講した者、またはダクタイトル鉄管の豊富な配管経験を有する者が適当である。
- ・ 配管工は作業着手に当たって、接合形式、構造、接合部品および接合の要点につき熟知しておく。
- ・ 接合要領書に基づいて接合を行い、接合結果をチェックシートに記録する。

1 T形

- ・ 管の心出しを行った後、挿し口を受口に挿入する。このとき受口端面と挿し口フランジ面の間隔をゴム輪が確認できる程度(約40mm)空けておく。
- ・ ゴム輪の確認は受口と挿し口の隙間に薄板のゲージを挿し込み、ゴム輪が正しい位置にあることを確認する。

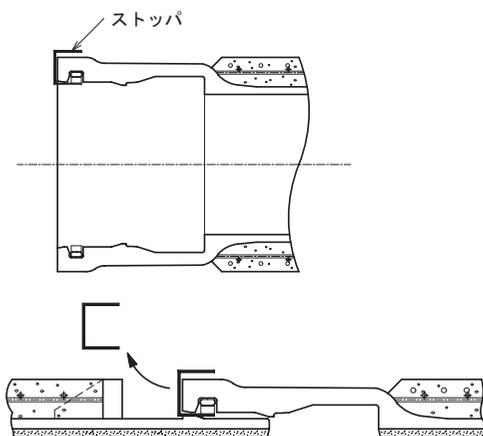
●図表6-4-11-1 T形推進管のゴム輪の確認



2 US形 (LS方式)

- ・ ストップはロックリングの分割部を管頂部にした状態で、シャコ万力等を使用して拡大し、全ての呼び径において、図表6-4-11-2に示すように拡大したロックリングの分割部に装着する。
- ・ 管の心出しを行った後、挿し口を受口に挿入する。挿し口突部がロックリングに当たるまで挿入し、ストップを外してロックリングを挿し口に抱き付かせる。その後、受口端面とフランジ面が当たるまで挿入する。

●図表6-4-11-2 US形推進管のストップのセットと撤去



6-4-12 計測工

計測工は推進管が安全に、かつ計画線上に正しく配管されるように導くためのものであり、正確に行う必要がある。

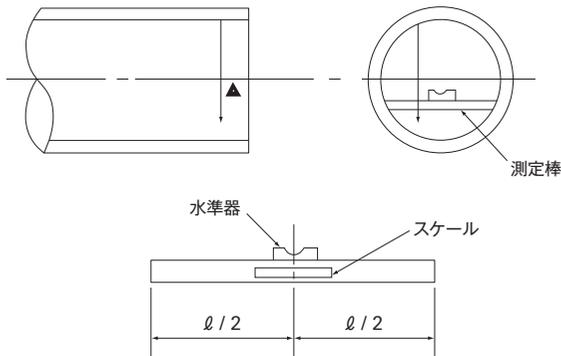
1) 管の蛇行

基本的には1本推進するごとに全管の挿し口端と受口端の間隔を上下、左右2カ所について測定する。

2) ローリング

基本的には1本推進するごとに全管の挿し口端で管内頂部に付けた印より下げ振りを下ろし、管内に当てた測定棒の中心とのずれを測定する。

●図表6-4-12-1 ローリングの計測



6-5 共同溝内配管

6-5-1 共同溝の概要

1832年にパリでコレラが大流行し、全ての公道の地下に下水道管を張り巡らせる計画が始まった。その中に下水道管だけではなく、電話ケーブルおよび圧縮空気管、交通信号ケーブルなど他のインフラ設備と一緒に収納した事例がある。ただし、世界初の共同溝とされているのは1861年に英国ロンドンでガリック街の街路を新設した際に造られた幅3.6m、高さ2.3mのアーチ形の天井をした共同溝であり、その後各国に広がった。

共同溝とは、2以上の公益事業者が公益物件を収容するために、道路管理者が道路の地下に設ける施設である。共同溝は、車道に築造する幹線共同溝と歩道に築造する供給管共同溝に区分される。

公益事業者とは図表6-5-1-1に掲げる者であり、公益物件とは公益事業者が当該事業の目的を達成するために設ける電線、ガス管、水管または下水道管と「共同溝の整備等に関する特別措置法第2条」に定められている。

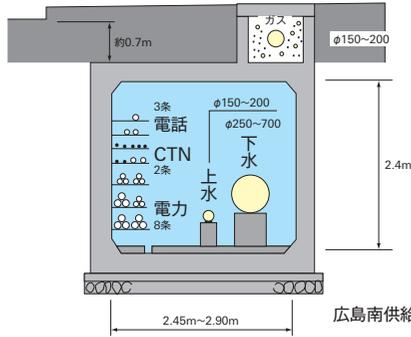
●図表6-5-1-1 公益事業者

公益事業者	規定する法律
認定電気通信事業者	電気通信事業法
一般電気事業者、卸電気事業者、特定電気事業者	電気事業法
一般ガス事業者、簡易ガス事業者	ガス事業法
水道事業者、水道用水供給事業者	水道法
工業用水道事業者	工業用水道事業法
公共下水道管理者、流域下水道管理者、都市下水路管理者	下水道法

〔共同溝の整備等に関する特別措置法(昭和三十八年四月一日法律第八十一号)〕より

共同溝の一般的な例を以下に示す。

●図表6-5-1-2 一般的な共同溝の例



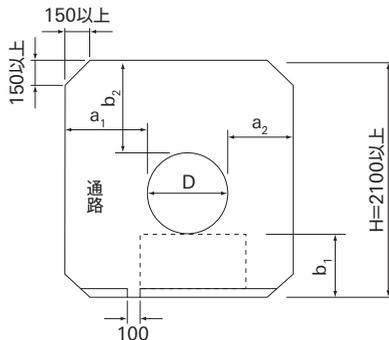
「共同溝の種類」(国土交通省中国地方整備局)より

6-5-2 共同溝の断面および線形

共同溝内における必要断面は、配管工事時の施工性、配管後の維持管理を考慮して決定するが、道路管理者および他の公益事業者との調整を経て経済性にも配慮して決定する。共同溝の線形は直線が多いが、躯体の交差部、分岐部では管路を縦断方向に迂回する必要がある^{くたい}、施工性、結び配管方法、異形管防護など十分に検討して設計する必要がある。また、共同溝の平面折角は15°未満、縦断勾配は維持管理を考慮して15%以下で計画することになっている。

水道管の場合の標準的な共同溝断面例を以下に示す。

●図表6-5-2-1 水道管の標準的な共同溝断面例



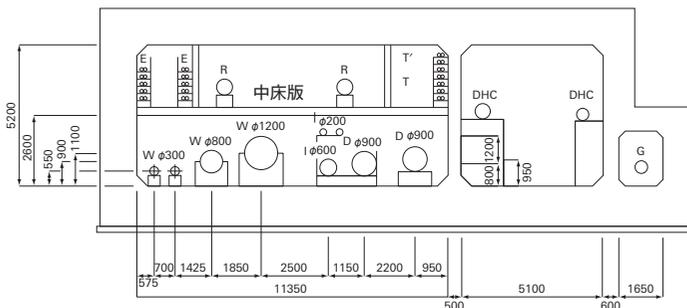
備考 外面継手でトルク管理が必要な例である。

(単位：mm)

呼び径 D	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂
400未満	850	400	400	2100 - (b ₁ + D)
400以上～800未満	850	500	500	2100 - (b ₁ + D)
800以上～1000未満	850	500	500	800
1000以上～1500未満	850	600	600	800
1500以上	850	700	700	800

『共同溝設計指針』(日本道路協会)より

●図表6-5-2-2 共同溝の断面例



W：上水道管 I：中水道管 D：下水道管
 G：ガス管 DHC：地域冷暖房用熱供給導管 R：ごみ収集管
 E：電力ケーブル T：通信ケーブル T'：情報通信ケーブル

東京臨海副都心の共同溝

『ダクタイル鉄管』第60号(日本ダクタイル鉄管協会、1996年)より

6-5-3 設計

共同溝は管材料の搬入口が限られており、ダクタイル鉄管の搬入方法、配管の順番や受口・挿し口の向き、最後の結び配管まで設計段階で十分に検討しておくことが必要である。

1 接合形式

共同溝内配管に用いる接合形式は開削工法で用いる接合形式をそのまま用いている場合が多く、初期の共同溝ではT形、A形、K形など一般継手管が使用され、1993(平成5)年に設けられた東京臨海副都心の共同溝ではSⅡ形呼び径75～450、S形呼び径500～1200などの耐震継手管が使用された。

●図表6-5-3-1 共同溝内配管で使用される耐震継手管

接合形式	呼び径
S50形	50
NS形	75～1000
NS形(E種管)	75～150
GX形	75～300・400
S形	1100～2600
US形(LS方式)	800～2600

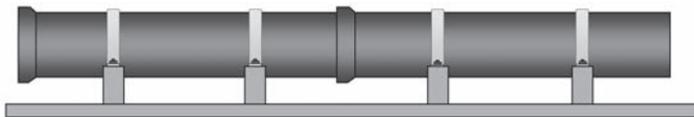
●図表6-5-3-2 共同溝内配管で使用される一般継手管

接合形式	呼び径
T形	75～2000
K形	75～2600
U形	800～2600

2 管受台

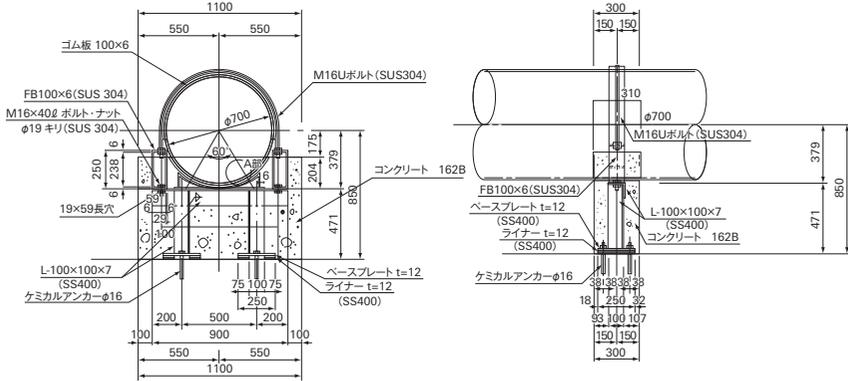
直管1本には通常2個の管受台を使用して配管することが多い。切管部、異形管部は適宜必要な管受台を設ける。管受台はコンクリートを使用する 경우가多いが、共同溝内の施工性を考慮して、小口径の場合には鋼製を用いたり、レジンコンクリート製や鋳鉄製の二次製品なども使用する場合がある。また、管を固定するバンドも従来は鋼製を用いてきたが、東京臨海副都心の共同溝などではステンレス製を用いている。

●図表6-5-3-3 管受台の設置例

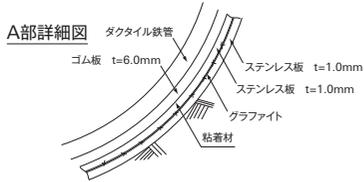


東京臨海副都心の共同溝

●図表6-5-3-4 コンクリート製管受台の材料および寸法例

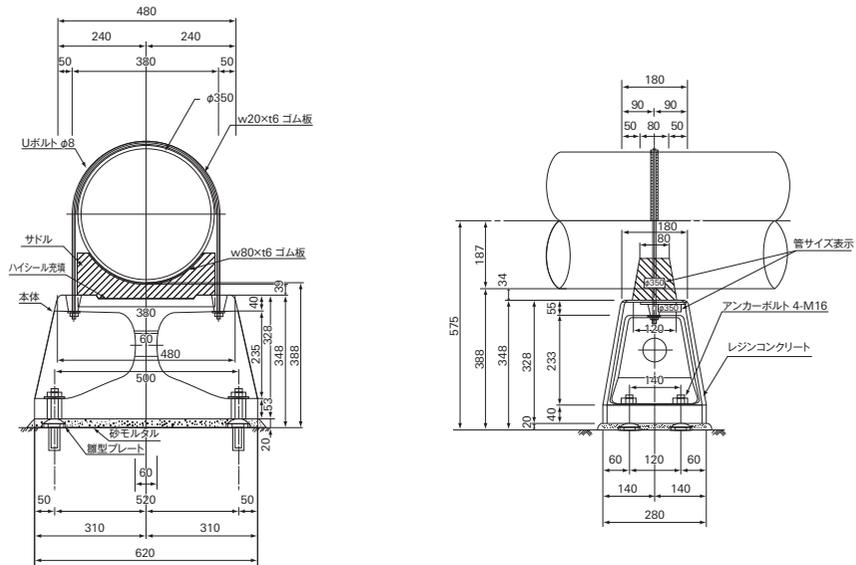


臨海副都心共同溝



東京臨海副都心の共同溝
『ダクタイル鉄管』第56号(日本ダクタイル鉄管協会、1994年)より

●図表6-5-3-5 レジンコンクリート製管受台の材料および寸法例



東京臨海副都心の共同溝
『ダクタイル鉄管』第56号(日本ダクタイル鉄管協会、1994年)より

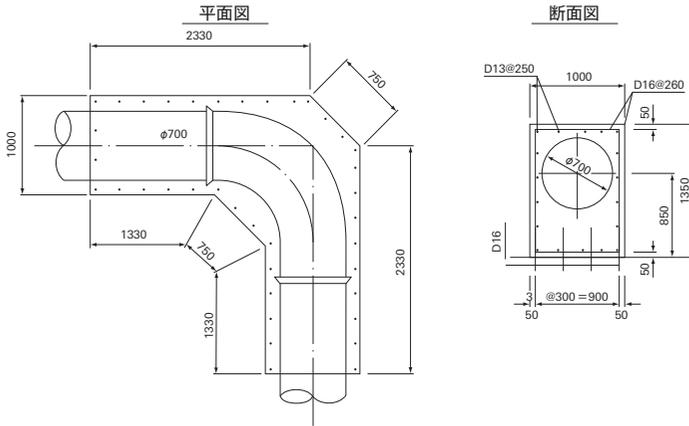
3 管の安全性検討

共同溝内ダクトイル鉄管は管受台の上に据え付けられており、土かぶりや路面荷重による外圧はかからないので、内圧により発生する引張応力に加えて自重および地震力による軸方向曲げ応力に対する安全性の検討を行う。

4 異形管防護

異形管部には通常の内圧による不平均力に加えて地震力により発生する荷重が作用する。また共同溝本体に影響を与えるような防護方法をとる場合には共同溝管理者との協議が必要である。異形管防護については、コンクリート防護や呼び径が小さいものなどは鋼製の防護も使われている。

●図表6-5-3-6 コンクリート防護の事例



東京臨海副都心の共同溝 上水道 S形 呼び径700
『ダクトイル鉄管』第60号(日本ダクトイル鉄管協会、1996年)より

5 外面塗装

共同溝配管など露出配管でのダクトイル鉄管の外面塗装は用途により着色する場合も多いことから「JDPA Z 2009 ダクトイル 鑄鉄管外面特殊塗装」を参照して決定する。

6 耐震設計

① 一般部および付属設備

『水道施設耐震工法指針・解説 2009年版』には「重要幹線の場合、共同溝内においても耐震性の高い管種・継手管路の使用を検討する」とある。

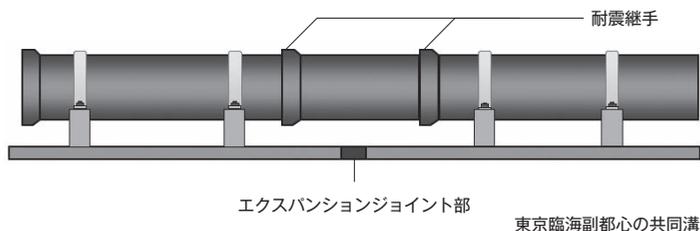
共同溝内配管では、共同溝本体の耐震設計内容を考慮する必要がある。また、管受台を設置して配管するので、ダクタイル鉄管と管受台の固定、管受台と共同溝の躯体との固定部分についても十分な耐震性を考慮しておく必要がある。固定するためのアンカーなどの設計については『建築設備耐震設計・施工指針』（日本建築センター）を参照のこと。

また、付属設備なども地震時に影響を受けやすいので、振れ止めなど必要な処置を講じる必要がある。

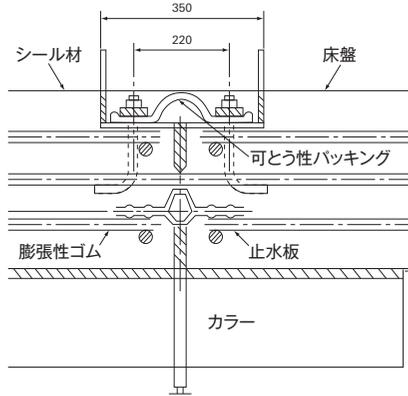
② エクспанションジョイント(EXJ)部

共同溝自体も耐震設計がなされているので躯体として破損することはないが、躯体と躯体の間には必ずエクспанションジョイント部が設けてあり、その部分で伸縮と変位を吸収する設計になっている。ダクタイル鉄管の耐震継手は十分な伸縮・屈曲性を有しているが、東京臨海副都心の共同溝のエクспанションジョイント部は30mに1カ所あり、共同溝の最大変位は軸方向100mmであった。従って、水平、鉛直方向の変位対策としてエクспанションジョイント部の前後に伸縮離脱防止継手を2カ所設けることにより伸縮、変位を吸収する設計となっている。

●図表6-5-3-7 エクспанションジョイント部の配管例



● 図表6-5-3-8 共同溝のエクspansionジョイント部例



東京臨海副都心の共同溝

『ダクタイル鉄管』第56号(日本ダクタイル鉄管協会、1994年)より

③ 共同溝の躯体貫通部

共同溝の躯体貫通部には伸縮可とう管を設置するなど地震対策や不同沈下対策が必要である。また、必要に応じてさや管を通し、間隙にはゴム製防水材やシーリング材により十分な止水処置を行う必要がある。

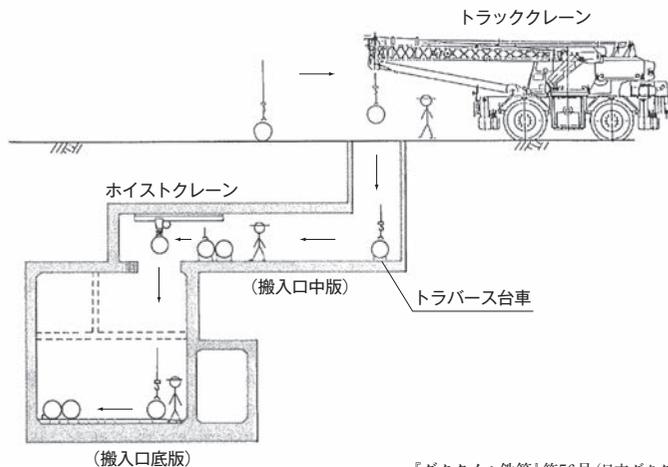
なお、共同溝の躯体貫通部は、鉄筋との接触を防ぎ、防食テープやポリエチレンスリーブを被覆するなどマクロセル腐食が生じないような処置を講じる必要がある。

6-5-4 施工

共同溝内にダクタイル鉄管を配管する場合には搬入口よりクレーンなどを用いて管を吊り下ろし、共同溝内の台車に載せ軌条の上を人力またはバッテリー機関車を用いて搬入を行い、設置場所では小型の門型クレーンなどを用いて吊り上げ、所定の位置にダクタイル鉄管を据え付ける。

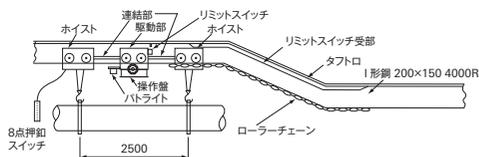
また、モノレールなどを使用して共同溝内に搬入した事例もある。

●図表6-5-4-1 ダクタイル鉄管の搬入作業



『ダクタイル鉄管』第56号(日本ダクタイル鉄管協会、1994年)より

●図表6-5-4-2 モノレールを用いた共同溝内運搬作業



『ダクタイル鉄管』第56号・60号(日本ダクタイル鉄管協会、1994年・1996年)より

6-6

その他特殊工法

6-6-1 水中配管工法

1 概要

ダクタイトル鉄管に適用できる主な水中配管工法として引張工法、浮遊・沈降工法、布設台船工法がある。この他に管1本ごとに沈設して水中接合する直接配管工法もある。各工法の概要を図表6-6-1-1に示す。

●図表6-6-1-1 各種水中配管工法

工 法	特 徴
引張工法	陸上で管をできるだけ長く接合して、その管路をアンカーした台船上のウインチで海床上に曳き出し布設する工法である。海面が穏やかで数時間から数日で布設できる場合は効果的である。
浮遊・沈降工法	陸上で管をある程度の長さに接合して、海中に進水させ、浮力タンクなどを付けて海面に浮かべ、曳船で布設位置まで曳航し、台船のウインチで海床上に沈降させ、水中で各ユニットを接合する工法である。
布設台船工法	特別に建造した布設台船上で管を接合し、台船の一端からはしごあるいはステンガーを介して、海床上に沈降させる工法である。大規模な工事に適している。
直接配管工法	管を1本ずつ水中へ吊り込み、潜水士により順次接合していく。ダクタイトル鉄管のメカニカル継手などの簡単な継手でないと困難である。また工期も長くなり、水中作業も多くなるので、経済的ではない。

2 特徴

ダクタイトル鉄管による水中配管(海底、湖底、河川横断など)工法の特徴として次のことが挙げられる。

- ・ GX形、NS形、S形管は、伸縮・屈曲性に加えて離脱防止機能を備えており、耐震性、耐地盤変動性が優れている。
- ・ これらの継手の特徴を活かして引張工法や浮遊・沈降工法が可能である。
- ・ 陸上での接合がプッシュオン継手で容易であり、作業スペースも小さい。特別な

場合を除いて栈橋などの設備も不要である。

- ・ 水中での接合は、一般的に継ぎ輪などのメカニカル継手が使われ、短時間で接合できる。
- ・ 防食対策を施す場合は、ポリエチレンスリーブ被覆法、外面特殊塗装などもある。

3 塗装

「JCPA Z 2009-2011ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装」の中で、水中の配管に適している塗装としてDD塗装があるので、その仕様を図表6-6-1-2に示す。

●図表6-6-1-2 ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装 (DD塗装)

場 所	塗装仕様と特徴	
工場塗装	1次塗装	亜鉛溶射又はジンクリッチペイント ^{注1}
	2次塗装	エポキシ樹脂塗料
		塗膜の厚さ0.05mm
3次塗装	エポキシM.I.O.塗料又はエポキシ樹脂塗料	
	塗膜の厚さ0.05mm	
現地塗装 ^{注2} (参考)	適合塗料	エポキシ樹脂塗料

用途:水中配管及び湿度の高い所の露出配管に用いる。

備考:色の指定ができ、水中や湿度の高い腐食性環境で使用される。

注1 1次塗装の塗布量は、亜鉛溶射の場合130g/m²、ジンクリッチペイントの場合は150g/m²を基準とし、塗膜厚さは0.02mmとして積算する。

注2 現地塗装の種類および塗膜厚さはJCPA Z 2009の解説に示されている。

「JCPA Z 2009-2011ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装」より

4 施工事例

●図表6-6-1-3 水中配管の実績

件 名	施工年	工 法	接合形式	呼び径	延長 (m)	No. ^{注1}
水資源機構 琵琶湖湖底取水管	1980 (昭和55)	浮遊・沈降	S II形	250	480	28
カネボウ (現第一実業ビズウィル) 琵琶湖湖底取水管	1980 (昭和55)	浮遊・沈降	S形	600	808	31

件名	施工年	工法	接合形式	呼び径	延長(m)	No. ^{注1}
熊石町(現八雲町) 海水取水管	1990 (平成2)	浮遊・ 沈降他	SⅡ形	250	260	51
木古内町 海水取水管	1991 (平成3)	浮遊・沈降	SⅡ形	350	170	—

注1 No.は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表6-6-1-4 琵琶湖湖底取水管の配管状況



SⅡ形 呼び径250
『ダクタイル鉄管』第28号
(日本ダクタイル鉄管協会)より

① 琵琶湖湖底取水管の事例

滋賀県長浜市近傍の取水管位置を1.5m下げるために、沖合約808mまでS形呼び径600を布設した。直管10本を陸上でつないで1ユニットとし、一端はK形継ぎ輪とK形栓でふたをし、もう一端は挿し口となっているため、ふたを取り付け、防食のために管全体にポリエチレンスリーブを被覆した。

各ユニットは、浮遊・沈降工法で所定の位置までタグボートで曳航し、一端を船で引き揚げK形栓またはふたを取り外し、水を入れながら所定の位置(土かぶり1.5m)に沈設した。K形継ぎ輪で水中接合を行った後、他端の残留空気を排出しながら、

●図表6-6-1-5 琵琶湖湖底取水管の沈設状況



S形 呼び径600
『ダクタイル鉄管』第31号
(日本ダクタイル鉄管協会)より

管路全体を沈設したが、端板は土砂の流入を防ぐために残したままにしておいた。

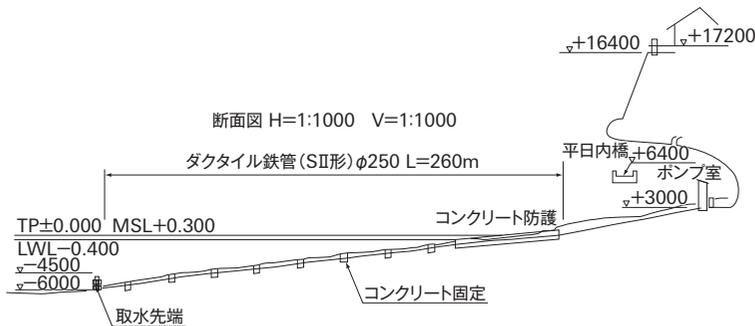
1カ所の接合時間は約1時間程度で、1ユニットの沈設は1日で完了した。これを順次繰り返すことにより13ユニット全てを沈設し約808mの取水管が完成した。

② 熊石町海水取水管

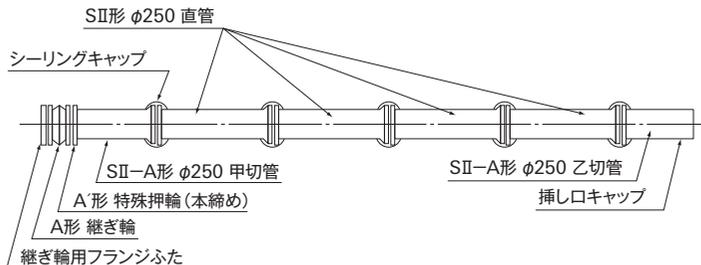
北海道熊石町水産種苗生産センターのアワビ養殖用の海水取水管(呼び径250、 $L=260\text{m}$)の布設替えをSⅡ形の1種管で行った(図表6-6-1-6)。

陸上で図表6-6-1-7に示すようなユニット($L=25\text{m}$)に組み上げ、吊り上げ時の曲げを押さえるために、胴付間隔は通常の60mmから25mmに変更した。接合後は、継手部にウレタン製のスペーサを装着して、その上から防食のために熱収縮チューブをかぶせ、加熱密着させた。ユニットを台船に載せ布設位置まで曳航、クレーンで海床上に吊り下ろしたが、水深が浅く台船が近づけない所では浮力タンクを付けて曳航した。その後、ふたを取り外し海中に沈降させ、各ユニットを潜水士が海中で継ぎ輪によって接合して管路として一体化させた。先端には、鋼製の取水管を取り付けて潮流などで動かないように固定した。

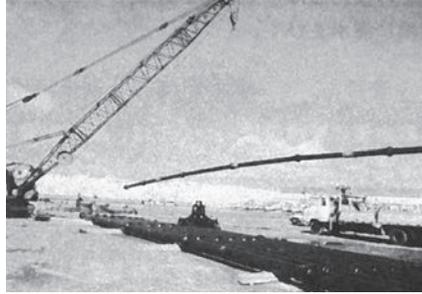
●図表6-6-1-6 取水管概要図



●図表6-6-1-7 海底配管用に組んだユニット(L=25m) SⅡ形 呼び径250



● 図表6-6-1-8 熊石町海水取水管布設状況



『ダクタイル鉄管』第51号(日本ダクタイル鉄管協会)より

③ 木古内町海水取水管

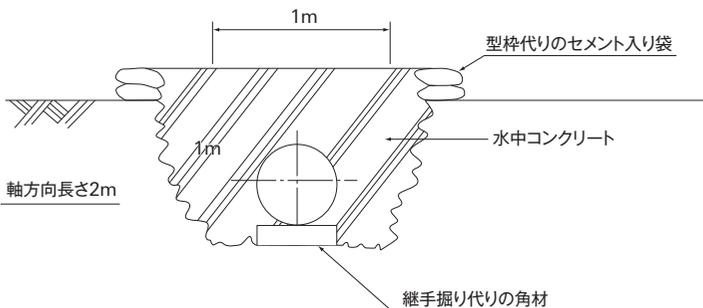
北海道木古内町の札苧漁港内にて、出荷調整用の生簀への海水取水管(呼び径250ポリエチレン管)が、頻繁に海藻などにより目詰まりを起こしたため、ダクタイル鉄管SⅡ形呼び径350で布設替えを行った。

配管延長は約170mで、最大水深は約5~6mであった。陸上で約25mのユニット(直管3本の両端に3mの切管をつないだもの)に接合し、継手部には熱収縮チューブを施した。このユニットにフロートを10個程度取り付け、漁船で予定位置まで約10分程度で曳航した。

配管予定地では、潜水士によりフロートを順次切離し、配管位置まで誘導して海中に沈降させ、チェーンブロックで引き込み、作業性の良さからA形継ぎ輪で接合を行った。押輪には、コンクリート打設までの離脱防止に特殊押輪を使用した。

布設後の管の流出防止のために、海床に掘削溝を設けて、継ぎ輪の部分にコンクリート打設を行った。

● 図表6-6-1-9 コンクリート打設



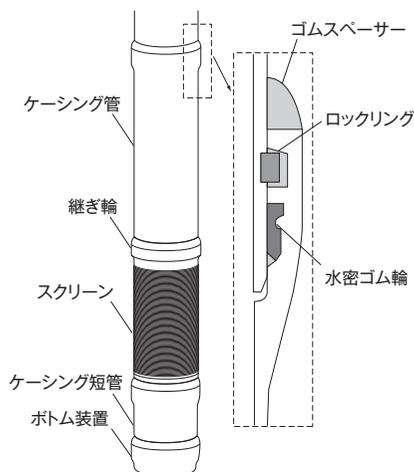
6-6-2 ダクタイル井戸ケーシング工法

1 概要

ダクタイル鉄管の耐震継手を応用した深井戸用ケーシング管^{注2}で、井戸の新設・掘替え・二重ケーシングでの更生に適用できる。材質、塗装は水道用ダクタイル鉄管と同じである。

*2 孔壁の崩壊を防止するために掘削孔内に挿入する管

●図表6-6-2-1 ダクタイル井戸ケーシング管の構造と継手の断面図



●図表6-6-2-2 ダクタイル井戸ケーシング管の仕様

項目	仕様
呼び径	150～350
適用可能な最大深度	400m
水密性能	内水圧1.0MPa ^{注1}
継手離脱防止性能	1.3DkNで異常のないことを確認 ^{注2}
管の塗装	外面：合成樹脂塗装、内面：エポキシ樹脂粉体塗装
スクリーン	市販のステンレス製、銅製スクリーンが使用できる

注1 掘削穴内で曲がり得る最大角度2°試験水圧1.5MPaで漏水なし。

注2 適用最大深さ400m分の自重に安全率2を考慮し1.3D k Nを設定（D：呼び径）。

2 特徴

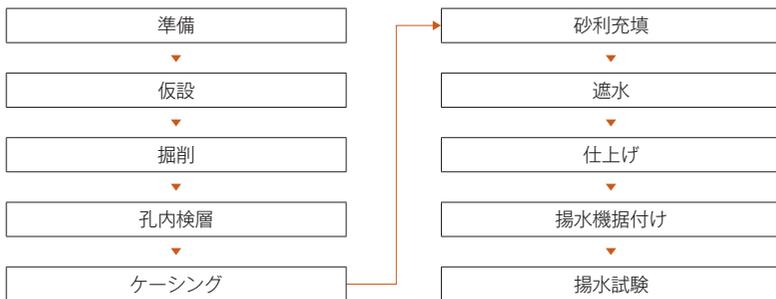
- ・ダクタイル鉄管と同じ管体強度と耐食性を有することから従来多く見られる炭素鋼管製ケーシングより耐久性に優れる。
- ・継手の離脱防止性能と屈曲性能より地盤変動に追従する耐震性の高い井戸ケーシングを構築できる。
- ・プッシュオン継手のため市販の簡易工具で接合でき熟練者でなくても容易に短時間で施工可能(ケーシング挿入工に要する時間は溶接の約半分)。溶接作業がないため雨天や工場などで現場が火気厳禁でも施工でき作業環境を選ばない。
- ・施工が早いため早期にケーシング外側への砂利充填に着手でき孔壁崩壊リスクが小さいこと、溶接不良リスク自体がないことから、施工品質を確保しやすい。

3 施工手順

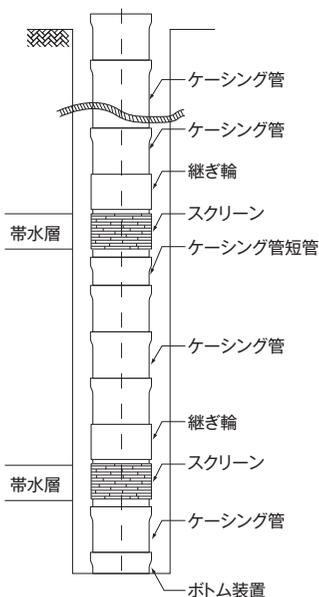
さく井^{せい}工事では、掘削、孔内検層の後にケーシング挿入工が行われる。

ケーシングは帯水層の位置にスクリーンがくるよう設計される。スクリーンとケーシング管は継ぎ輪により接続される。井戸の最深部は下からボトム装置、ケーシング管、スクリーン、継ぎ輪、ケーシング管の順となる。帯水層が複数ある場合は各々の帯水層にスクリーンが位置するようケーシング材料が配される(図表6-6-2-4)。

●図表6-6-2-3 ダクタイル井戸ケーシング工事の流れ



●図表6-6-2-4 ダクタイル井戸ケーシング管の配管例



ケーシング挿入工では、掘削孔の真上に設置した^{やぐら}槽を用いてケーシング管を吊り上げ、坑口に固定した受口にその挿し口を接合し、順次掘削孔内へ吊り下ろしていく。ボトム装置とケーシング管の接合、スクリーンと継ぎ輪の接合については、あらかじめ^{おかぐ}陸組みして吊り下ろす。

●図表6-6-2-5 ダクタイル井戸ケーシング管の挿入状況



●図表6-6-2-6 ダクタイル井戸ケーシング管の接合状況



6-6-3 既設管破碎布設替え工法

1 PTP (パイプツウパイプ) 工法

PTP工法は、主に石綿管の更新に使用したもので、発進立坑の推進ジャッキで推進することにより、既設管(鋳鉄管、石綿管など)を先頭の破碎ヘッドで破碎し、後続のダクタイル鉄管を挿入していく工法である。

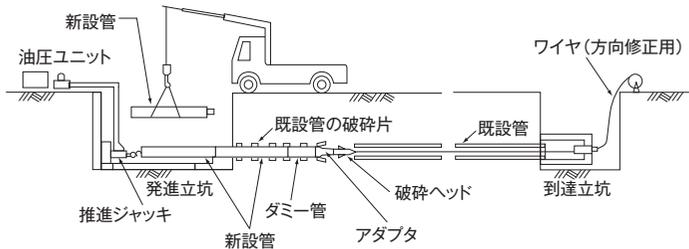
しかし、破碎した既設管が残存するなどの問題もあり、現在は行われていない工法だが、過去の実績として工法の概要を以下に示す。

① 概要

1) 概要

図表6-6-3-1に示すように、推進力を破碎ヘッドに伝えて既設管を破碎し、先頭管のアダプタで破砕片を拡大して、新設管を推進する工法である。

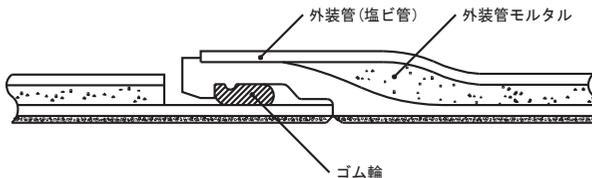
●図表6-6-3-1 PTP工法の概要図



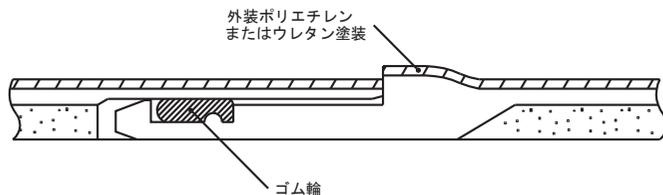
2) PTP工法用ダクタイル鉄管(PT形)

通常の場合にはPT形が用いられたが、周辺への影響を最小限にしたい場合はUT形が用いられた。

●図表6-6-3-2 PT形管(呼び径75~350)

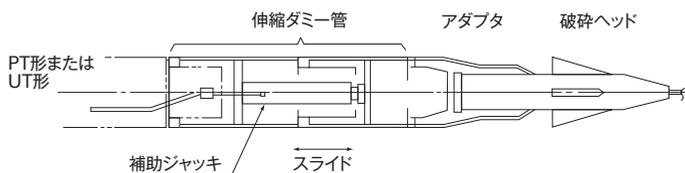


●図表6-6-3-3 UT形管(呼び径75~350)



3) 先導管

●図表6-6-3-4 PTP工法の先導部



② 既設管破砕力

既設管の材質、管厚の種類により異なるが、確認実験から推定した石綿管の破砕力は図表6-6-3-5、6の通りである。

●図表6-6-3-5 铸铁管の破砕力

(単位: kN)

呼び径	铸铁管の破砕力	
	直管部	継手部
150	50~70	200
350	150~170	390

●図表6-6-3-6 石綿管の破砕力

(単位: kN)

直管部	継手部	
	石綿カラー	铸铁継手
60~70	100~200	150~250

3 実績

●図表6-6-3-7 PTP工法の実績

場 所	施工年	接合形式 管厚の種類	呼び径	スパン数 延長	No. ^{注1}
岡山県津山市	1987 (昭和62)	UT形 1種管	150	2スパン 64、20m	—
三重県久居市 (現 津市)	1991 (平成3)	PT形 1種管	600	5スパン 75、70、90、65、50m	52

注1 No.は「ダクタイル鉄管」(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表6-6-3-8 岡山県津山市の工事事例 1987(昭和62)年



クボタ写真提供

●図表6-6-3-9 三重県久居市の工事事例 1991(平成3)年



〔ダクタイル鉄管〕第52号(日本ダクタイル鉄管協会)より

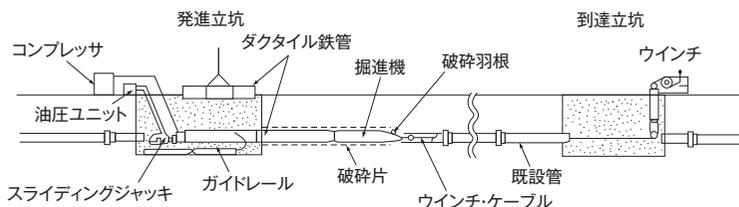


2 PAP(パイプアフターパイプ)工法

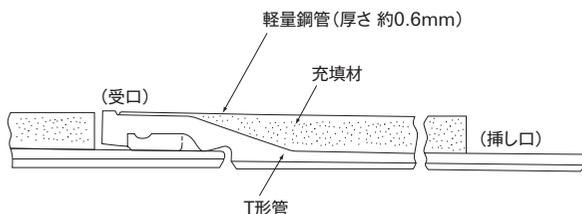
PAP工法は、栗本鐵工所が英国より基本技術を導入し、開削することなく経年既設管(鑄鉄管、石綿管など)をダクタイル鉄管に更新することを目的に開発された工法である。更新区間の両端に設けた立坑より作業を行い、開削することなく経年既設管を更新することが可能である。現在は使われていない工法だが、過去の実績として工法の概要を以下に示す。

① 概要

●図表6-6-3-10 PAP工法の概要



●図表6-6-3-11 PAP工法用ダクタイル鉄管

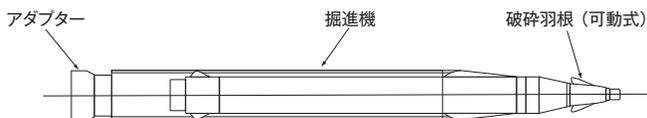


●図表6-6-3-12 対象既設管、適用呼び径

対象既設管	適用呼び径	新設管呼び径
鋳鉄管 (FC管) 硬質塩化ビニル管 その他 不とう性管	75～250	100～300 ^{注1}

注1 既設管より1口径大きい更新が可能。

●図表6-6-3-13 PAP工法の先導部



② 既設管挿入力

エアハンマを内蔵した掘進機が、既設管を破碎しながら既設管路の通りに地中を進行し、掘進機後端には更新用ダクタイル鉄管が接続され、掘進機の前進により破碎・拡大された既設管路にダクタイル鉄管を推進させて管路を更新する。

また、掘進機の頭部には、2枚の油圧で作動する破碎羽根が取り付けられており、

エアハンマの衝撃だけでは破碎しにくい肉厚部は、破碎羽根を押し広げて割ることが可能である。図表6-6-3-14に既設管破碎状況を示す。

●図表6-6-3-14 既設管破碎状況



栗本鐵工所写真提供

●図表6-6-3-15 挿入力計算例(80m挿入時)

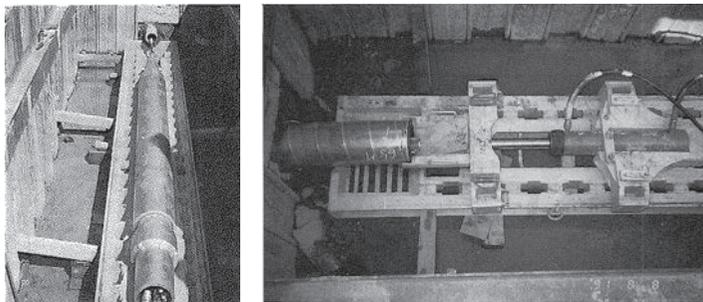
新設管呼び径 (mm)	挿入力 (kN)
100	220
150	290
200	360
250	430

③ 実績

●図表6-6-3-16 PAP工法の実績

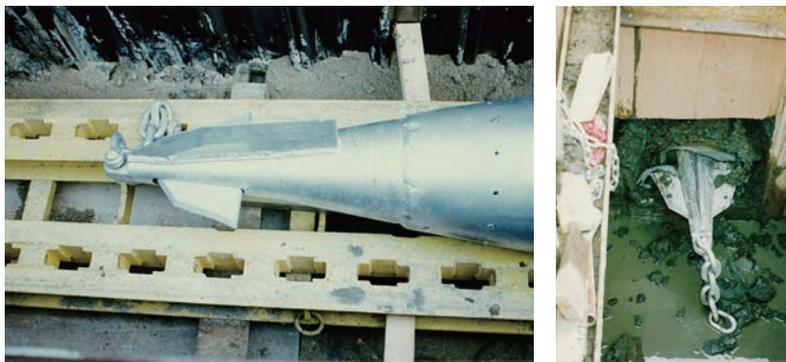
場 所	施工年	接合形式 管種	呼び径	スパン数および延長
西佐賀水道企業団 管内	1989 (平成元)	PA形 1種管	150	呼び径125 石綿管 119.0、109.0m
群馬県前橋市	1990 (平成2)	PA形 1種管	100	呼び径75 石綿管 73.0m
岡山県津山市	1990 (平成2)	PA形 1種管	150	呼び径150 石綿管 97.0、30.0m
徳島県板野町	1991 (平成3)	PA形 1種管	150	呼び径125 石綿管 64.0m

●図表6-6-3-17 徳島県板野町の工事事例 1991(平成3)年



『ダクタイル鉄管』第53号(日本ダクタイル鉄管協会)より

●図表6-6-3-18 佐賀県東佐賀町の工事事例 1991(平成3)年



栗本鐵工所写真提供

6-6-4 不断水工法

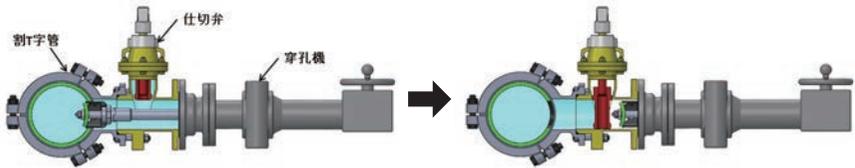
既設の管路を工事する際に水道利用者への影響を避けるため、水の供給を行いながら分岐やバルブ設置などを行う不断水工法について紹介する。

不断水工法に用いる材料は十分な強度、耐久性、水密性を有するものを使用し、施工前には試験掘りなどで既設管の管種、外径、真円度、穿孔機の設置スペースなどの確認が必要である。また、既設管に取り付けた不断水分岐用割T字管やバルブ等に水圧による不平均力や荷重等が加わるので、適当な防護工を行うとともに、軟弱地盤の施工においては不同沈下が起きないように十分な基礎を施し、必要に応じて伸縮可とう管などを設置する。

1 不断水分岐工法

既設管に連絡用割T字管を取り付けて不断水で分岐を設けることができる。割T字管には特殊弁が付いたものや耐震形もある。

●図表6-6-4-1 不断水分岐工法の概要



既設管に割T字管、仕切弁、穿孔機を取り付け、弁を開き、穿孔機で既設管に穿孔を行う。

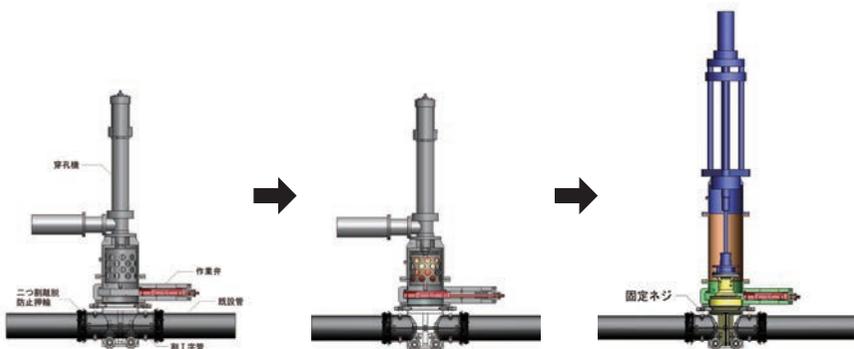
穿孔機の主轴を元に戻し、弁を閉じ穿孔機を取り外した後、分岐配管を行う。

大成機工イラスト提供

2 不断水バルブ設置工法

既設管の任意の場所に既設管と同口径の仕切弁または栓を取り付けることができる。

●図表6-6-4-2 不断水バルブ設置工法の概要



既設管に割T字管、作業弁、穿孔機を取り付ける。作業弁を開き、穿孔を行う。

既設管の切片を回収し、作業弁を閉じる。その後穿孔機を取り外し、挿入機、挿入するバルブ・プラグを設置する。

バルブ・プラグを所定の位置まで挿入し、仮止めの固定ねじで固定する。漏水の有無を確認し、挿入機・作業弁を取り外し、上ぶたを取り付ける。

コスモ機工イラスト提供

ダクタイル鉄管管路の
維持管理

Chapter

7

7-1

維持管理の概要

7-1-1 基本的な考え方

1 定義

日本水道協会が策定した「水道維持管理指針」では、管路の維持管理業務は「給水区域内の需要に対応した水量を、需要者の満足度の高い水質と水圧をもって供給できるように、水道施設を効率よく、かつ安全に運転管理するとともに必要な点検・整備等を行うもの」と定義されている。

今後は、効率的な水運用・漏水防止などによる水資源の有効利用、老朽化施設の更新の着実な推進、維持管理段階における情報を科学的に解析することによる管理の質的向上、省エネルギーなど環境負荷低減を指向した運転管理などの維持管理業務が求められる。

2 現状と課題

現在、日本の水道は97.9%（「平成27年度水道統計」）の普及率に達し、水道は国民生活基盤として必要不可欠なものとなっている。水道事業の現状と課題については、厚生科学審議会生活環境水道部会水道事業の維持・向上に関する専門委員会報告書「国民生活を支える水道事業の基盤強化等に向けて講ずべき施策について（平成28年11月）」にまとめられている。その内容のうち維持管理に関するものを抜粋・要約して紹介する。

- ・ 老朽管更新の遅れ

これまでの施設投資額の約6割を占める水道管路の経年化率は、年々上昇し全ての管路の更新に約130年かかる計算となっている（管路更新率0.76%、「平成26年度水道統計」から計算）。

- ・ 耐震化の遅れ

基幹管路の耐震適合率は37.2%と、依然として低い水準となっているので、東日本大震災(2011〈平成23〉年)や熊本地震(2016〈平成28〉年)などのような大規模災害時には断水が長期化し、市民生活に甚大な影響を及ぼす恐れがある。

- ・ 職員不足と技術継承問題

水道事業者の組織人員削減や団塊世代退職により、水道事業に携わる職員数は1986(昭和61)年ごろに比べ、3割程度減少している(「平成26年度水道統計」)。さらに、職員の高齢化も進み、技術の維持、継承が課題となっている。

3 点検実施状況

水道施設の点検状況については、厚生労働省調査(平成28年10月現在、速報)によると、機械・電気・計装設備では日常点検を事業者の約9割、定期点検を約8割が実施しているものの、点検を行うことが比較的困難な埋設された管路では日常点検は事業者の約4割、定期点検は約3割と、その実施率が低くなっている。コンクリート構造物については、約7割の事業者で日常点検が行われているものの、定期点検の実施率は約1割にとどまっている。

老朽化などに起因する事故の防止や水道水の安定供給のために、また、施設の長寿命化を図り設備費用を抑制するとともに、長期的な更新需要の把握に必要な施設の健全性を確認する観点から、水道施設の点検を含む維持・修繕は極めて重要になってきている。

4 効率化のポイント

「水道維持管理指針」には、効率化のポイントとして以下のことが挙げられている。

- ・ 個々の点検にとどまらないシステムとしての施設機能の正確な把握と向上。
- ・ 点検・整備における管理目標に応じた頻度の設定、維持管理計画の策定と計画的実施。
- ・ 小規模水道において技術者の確保が難しい場合、事業の広域化、第三者委託による対応などにより、経営・技術の両面で運営基盤を強化。
- ・ 老朽化した施設の計画的更新や耐震性の向上。
- ・ 業務指標(PI)などにより、需要者に分かりやすい内容で積極的に情報提供。
- ・ 技術の継承や中堅若手職員の技術水準を維持向上するために、研修・トレーニング

グや研究開発を積極的に推進。

- ・ OA やIT 技術を活用した維持管理の最適化。
- ・ PI などを活用した目標管理の徹底による維持管理の向上と効率化。

特に、埋設された管路は目視ができないため、管路の状態や機能などの情報収集、一元管理することによる適切な診断、事故情報の記録、管内の水質管理、耐震性診断などが重要である。

●図表7-1-1-1 効率化のポイント

分類	課題
管路情報の管理	システムの連携および統合 維持管理に活用しやすいシステム構築 事業者規模や維持管理手法を考慮した整備データの検討 事業者規模や維持管理手法を考慮したシステム構成の検討 バックアップ方法（遠隔地での保管、頻度など）
管路の劣化診断	非開削、不断水調査技術 簡易調査手法 効率的なデータ収集方法 維持管理情報を活用した劣化診断手法 簡易で低コストな補修・補強技術 ライフサイクルコストの最適化 更新事業の平準化
バルブの維持管理	バルブ情報の管理システム（GPSによる位置管理など） 計画的な洗管、更新 技術の伝承（マニュアル整備など） 民間委託方法の整備 既存バルブの優先順位付け 維持管理を考慮した設計方法の確立・普及 バルブ仕様の統一 汎用操作キーの開発
管路の水質保全	管路特性に応じた配水管理 管路維持管理のマニュアル化 赤水、停滞水の解消（洗管など）
人員体制（技術継承）	広域化推進手法 業務支援に資するITの活用方法 維持管理の評価手法 研修カリキュラム、研修機関等の検討
工事・断水	省スペース、非開削工法の開発 断水時間を減少する工法の開発 水道利用者への断水の理解促進 バルブ管理（動作確認）の実施方法 不断水による仕切弁の再配置の検討 委託方法の整備 立会いの簡略化

5 予防保全の必要性

水道施設の管路機能を維持するための管理としては、予防保全(状態監視保全、時間計画保全)が望ましい。

① 状態監視保全

日常点検、定期点検によって得られたデータに基づいて施設の状態を評価・診断し、その結果で具体策を立案、実施する手法である。この場合、評価・診断の手法を選定し、必要なデータを取得するための点検・調査を計画的に進める必要がある。

点検の頻度・項目などについては、個々の施設構造などを勘案して、適切な時期に目視やその他の適切な方法により点検を行うことが必要である。特に損傷した場合には給水への支障が甚大となる可能性があり、かつ点検による健全性の評価が更新需要の平準化に有効である鉄筋コンクリート構造物については、例えば5年に1回など一定の頻度で近接目視などにより劣化状況の確認を行うこととする基準を設けることが考えられる。

② 時間計画保全

管路などの埋設構造物など点検による状態把握が困難なものについては、埋設環境を考慮しつつ時間計画保全を基本とすることが考えられる。例えば法定耐用年数や供用年数に基づき、一定周期ごとに更新などの対策を行うことである。この手法は、経年による施設の機能劣化、老朽化に起因する事故などが発生して使えなくなるまでの期間を設定することが大前提となるので、各事業体での過去の事故・災害事例、経験および他事業体を含めた種々の調査研究報告などを基に、判定基準を決定する必要がある。実施には施設の状態情報を分析可能なデータで蓄積する必要がある。

これまでの法定耐用年数に基づいた更新ではなく、過去の維持管理情報などに基づいた使用実績から設定した水道管路更新基準年数(実質的な使用可能期間)を図表7-1-1-2に示す。

●図表7-1-1-2 水道管路の更新基準年数(例)

団体名／出典	管種	更新基準年数 ^{注1}
札幌市水道局 「平成25年水道研究会講演集」 (日本水道協会、2013年)	高級铸铁管 ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり) ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし) 腐食性土壌・軟弱地盤多い 腐食性土壌・軟弱地盤少ない	0年(即更新) 80年 40年 60年
川崎市上下水道局 「川崎市上下水道事業中期計画 (平成29年3月)」	ダクタイル鉄管(非耐震継手φ350以下)	60年
横浜市水道局 「第3回新水道ビジョン策定検討 会」(2012年)の 「資料-6 住民等との連携 (横浜市の取組事例)」	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり) ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし) 鋼管 ビニルライニング鋼管 耐衝撃性硬質塩化ビニル管 鑄鉄管(モルタルライニングあり) 鑄鉄管(モルタルライニングなし) その他(ビニル管、ポリエチレン管、亜鉛鍍鋼管)	80年 70年 60年 40年 40年 50年 40年 40年
名古屋市上下水道局 「第5回技術講習会資料」 (水問題研究所、2015年)	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり) ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし)	60～80年 40～60年
大阪市水道局 「平成26年水道研究会講演集」 (日本水道協会、2014年)	ダクタイル鉄管(腐食性土壌、ポリエチレンスリーブなし) ダクタイル鉄管(一般土壌、ポリエチレンスリーブなし)	65年 ^{注2} 100年 ^{注2}
神戸市水道局 「水道公論」Vol.47 No.4 (日本水道新聞社、2011年)	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり) ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし)	80年 60年
広島市水道局 「平成25年水道研究会講演集」 (日本水道協会、2013年)	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり) 腐食性が高い地盤、φ500未満／φ500以上 一般地盤、φ500未満／φ500以上 腐食性が低い地盤、φ500未満／φ500以上 ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし) 腐食性が高い地盤、φ500未満／φ500以上 一般地盤、φ500未満／φ500以上 腐食性が低い地盤、φ500未満／φ500以上 鋼管 腐食性が高い地盤、φ500未満／φ500以上 一般地盤、φ500未満／φ500以上 腐食性が低い地盤、φ500未満／φ500以上 SUS HIPV HPPE	60年／80年 70年／90年 80年／100年 40年／60年 50年／70年 60年／80年 50年／90年 60年／100年 60年／100年 100年 40年 50年 ^{注3}
福岡市水道局 「水道公論」Vol.45 No.9 (日本水道新聞社、2009年)	ダクタイル鉄管(良質地盤) ダクタイル鉄管(一般的地盤) ダクタイル鉄管(腐食性土壌、ポリエチレンスリーブなし)	80～100年 60～80年 40～50年
日本水道協会 「水道施設更新指針」 (日本水道協会、2005年)	ダクタイル鉄管耐震継手 (ポリエチレンスリーブ等の外面防食対策が施されたもの)	60年以上

団体名／出典	管種	更新基準年数 ^{注1}
厚生労働省 「アセットマネジメント [簡易支援ツール]」の「実使用年数 に基づく更新基準の設定例」 (厚生労働省、2014年) ^{注4}	鋳鉄管(ダクタイル鉄管は含まない)	50年
	ダクタイル鉄管耐震継手	80年
	ダクタイル鉄管(K形、良い地盤)	70年
	ダクタイル鉄管(上記以外、不明含む)	60年
	鋼管(溶接)	70年
	鋼管(上記以外、不明含む)	40年
	石綿セメント管	40年
	硬質塩化ビニル管(RRロング継手)	60年
	硬質塩化ビニル管(RR継手等)	50年
	硬質塩化ビニル管(上記以外、不明含む)	40年
	コンクリート管	40年
	鉛管	40年
	ポリエチレン管(高密度、熱癒着継手)	60年
	ポリエチレン管(上記以外、不明含む)	40年
	ステンレス管(耐震継手)	60年
	ステンレス管(上記以外、不明含む)	40年
その他(管種不明含む)	40年	

注1 各事業体の耐用年数、想定耐用年数、目標耐用年数、使用可能年数、管種別使用年数、耐久性などの呼称を更新基準年数に置き換えて記載した。

また、厚生労働省については、実使用年数の設定値例の「事故率、耐震性能を考慮した更新基準としての一案」を更新基準年数に置き換えて記載した。

注2 大阪市水道局は、ポリエチレンスリーブ装着により、さらに20年程度の延伸を想定している。

注3 HPPPEについては、使用期間が短く、使用年数基準を検証するには時間を要する。

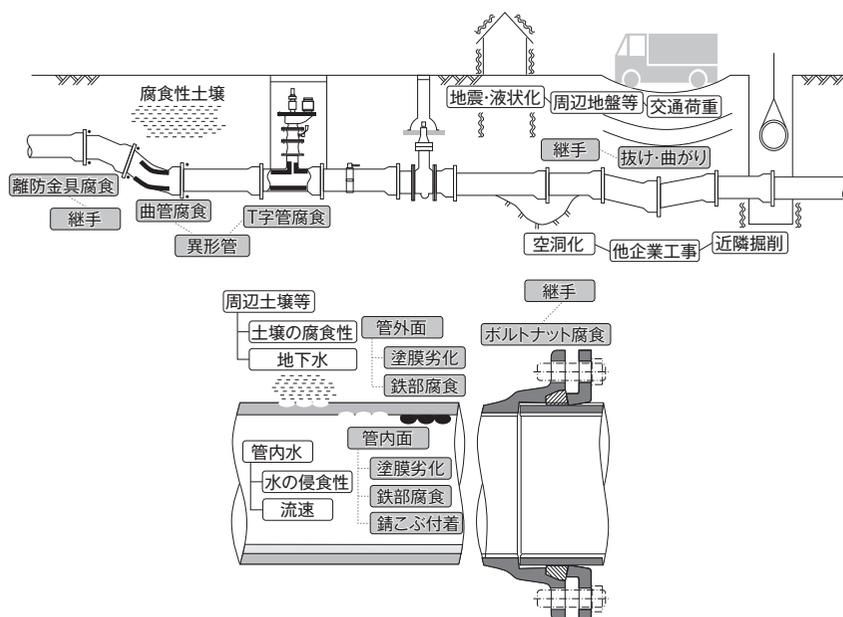
注4 出典には、管路の布設環境(地質、土壌の腐食性、ポリエチレンスリーブの有無など)、管種別の布設時期、漏水事故実績等、事業体の実情を踏まえた設定を心掛けるよう注釈がある。

7-1-2 管種別の維持管理

1 機能障害と原因

管路はさまざまな要因で機能障害に至ることがこれまでの調査・研究で明らかになっている。鋳鉄管や初期のダクタイル鉄管を中心に、管路の機能障害と原因を図表7-1-2-1に示す。

●図表7-1-2-1 水道管路の機能障害と原因

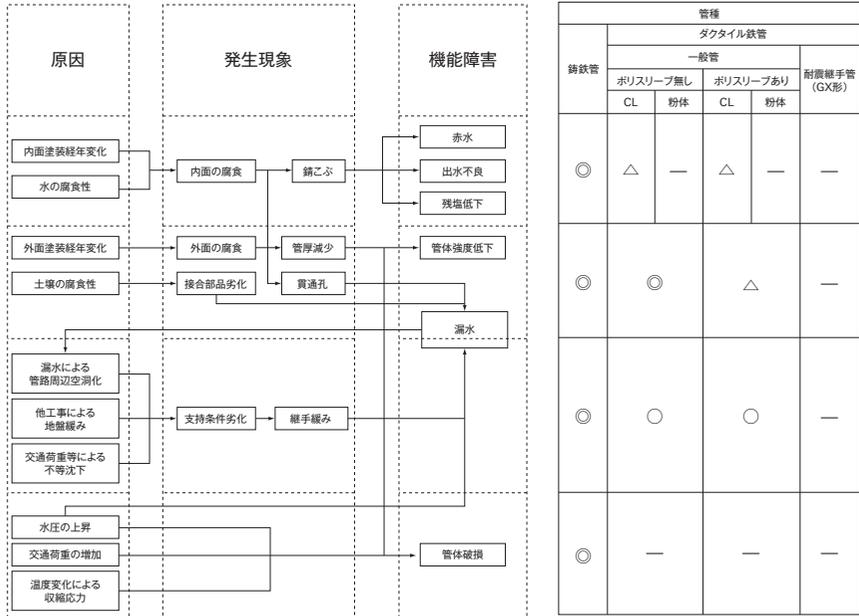


備考1 管内面の腐食は無ライニング鋳鉄管などで生じる現象である。耐震継手管はステンレス製ボルト・ナットを使用しており腐食はしない。耐震継手管は離脱防止機能があり継手が離脱することはない。

2 管種別機能障害

管種別機能障害を図表7-1-2-2に示す。なお、近年、主に使用されている耐震継手管であるGX形は、ほとんどの老朽化原因への対策が施されている。

●図表7-1-2-2 管種別機能障害



◎：可能性大 ○：可能性あり △：通常の使用条件では可能性が小さい -：該当しない

【『铸铁管路の診断及び更新・更生計画策定マニュアル』(水道技術研究センター、2001年)より(改変)】

7-1-3 維持管理情報の活用

更新工事または他企業による近隣の掘削工事、給水管の取出し、漏水調査、健全度診断、災害時復旧時などの際に、管路の維持管理情報が重要となる。

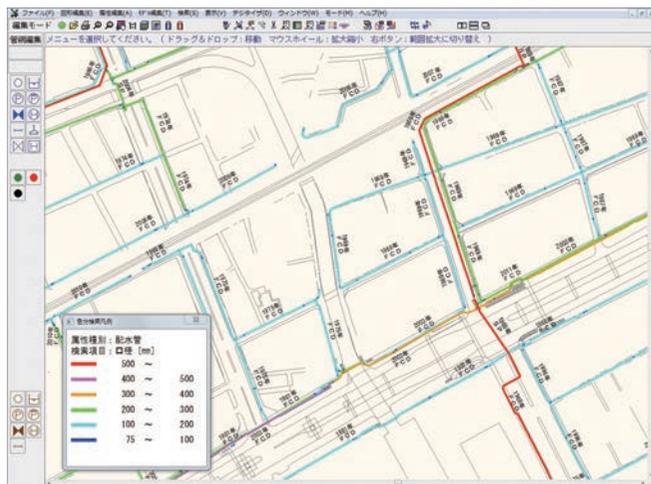
これらの情報を活用するためにはマッピングシステムが有効である。

1 マッピングシステムの活用

管路の維持管理には配管図を基本に、関連する台帳や工事完成図面を調査して、

管路の埋設位置や管路情報を取得することが必要である。最近では、マッピングシステムに情報を集約することが一般的となっているが、その管路データを維持管理に活用できるようになってきている。

●図表7-1-3-1 マッピングシステムによる埋設管調査例



神戸市水道局資料提供

2 維持管理情報

管路の維持管理は、種々の業務が実施されている。また、それらから得られた貴重な情報は、各種台帳類、ファイリングシステム、マッピングシステムなどの媒体に記録することが望ましい(図表7-1-3-2、3)。

●図表7-1-3-2 管路の維持管理業務

業務内容	業務内容
管路パトロール	増圧ポンプ点検
漏水調査	流量計点検
水管橋点検	漏水事故対応など
貯水槽点検	災害時応急給水など
弁類点検	他工事立会
弁室・弁筐の点検・清掃	修繕工事(施工・市民対応)
仕切弁操作	調査・診断(埋設環境・老朽度・耐震性等)
減圧弁点検	

● 図表7-1-3-3 管路の維持管理情報

情報の種類	情報の種類
管路台帳(管種・年度・継手等)	水圧記録(自動計測・非定期測定等)
弁栓台帳(種類・開度・開閉方向)	流量調査記録(自動計測・非定期測定等)
修繕記録(漏水事故履歴等)	水質調査記録(自動計測・非定期測定、末端給水栓、貯水槽水道等)
漏水調査記録	増・減圧設備点検記録
排水記録(常時・非定期)	応急給水設備点検記録
配水日報(配水量・配水圧・水質等)	備蓄資材保管記録
埋設環境調査記録(土質・PL値・地下水位・管体調査結果・ボリスリーブの有無、地盤種別・耐震適合性等)	苦情記録

3 維持管理情報の活用例

管路の大部分は埋設されていることから、直接目視による確認が困難であり、日常の維持管理から得られた情報を整理、蓄積することは、管路の現状を把握する上で特に重要である。管路の現状把握に必要な維持管理情報を整理・分析し、予防保全型維持管理を実施することで、より合理的・効果的な管路の再構築が可能となる。

● 図表7-1-3-4 日常の管路維持管理によって得られる情報と活用例(1)

点検名	維持管理業務名	点検・調査対象施設	点検・調査項目	活用例
日常および定期点検	管路バトロール	基幹管路 (機能上重要な施設、社会的影響が大きい施設、事故時に対応が難しい施設)	漏水の状況確認	更新優先順位の設定
			路面の状況確認	
			管路近傍工事等の有無	実施計画時の施工方法等の検討
			水道工事跡の状況確認	管路の現況把握
	弁栓類点検	仕切弁、空気弁、減圧弁、消火栓 (管路の重要性、事故時の影響度も考慮に入れて、基幹管路等を優先に実施)	仕切弁の日常点検	更新優先順位の設定 付帯施設の現況把握
			空気弁の日常点検	
			減圧弁の日常点検	
			消火栓の日常点検	

『管路維持管理マニュアル作成の手引き(Pipe Starsプロジェクト)』(水道技術研究センター、2014年)より

●図表7-1-3-5 日常の管路維持管理によって得られる情報と活用例(2)

障害項目	原因	管理情報	活用例
漏水	管体破損 管体腐食 ボルト腐食 ボルト緩み 継手離脱 接合不良	布設年度 埋設環境 管種 継手形式 外面塗装 内面塗装 ポリエチレンスリーブの有無	属性情報による更新対象管路の抽出
赤水等夾雑物 <small>きょうざつぶつ</small>	錆こぶ 内面塗装劣化 流向の急変 流速の急変 流量の急変 バルブ操作 管内滞留	布設年度 管種 内面塗装 管の流向(管網計算) 管の流速(管網計算) 管の流量(管網計算)	滞留管路の抽出 更新・再構築時の滞留対策 排水頻度の設定 管内洗浄の頻度
水量・水圧不足	口径不足 給水管の状況 受水方式の変更 (受水層・直結給水) 配水システムの不良	配水管口径 給水量・給水実績 給水の時間変動 受水方式 配水システム	更新・再構築時の区域設定 更新・再構築時の口径設定 大口需要者の受水方式 配水系統の設定
高水圧	配水システムの不良 (地理的特性) 減圧弁不良	管路水圧 配水システム	配水系統の設定 減圧施設の設定
残留塩素濃度の低下	行止り管路 過大口径 ループ管路の不足 排水頻度の不適 配水ブロックの不適	配水システム 配水ブロック 排水頻度	配水系統の見直し 更新・再構築時の口径設定 配水ブロックの再設定 排水頻度の設定

『水道管路の再構築読本：次世代に向けた水道管路の更新：Pipe Starsプロジェクト』(水道技術研究センター、2014年)より

7-1-4 アセットマネジメント

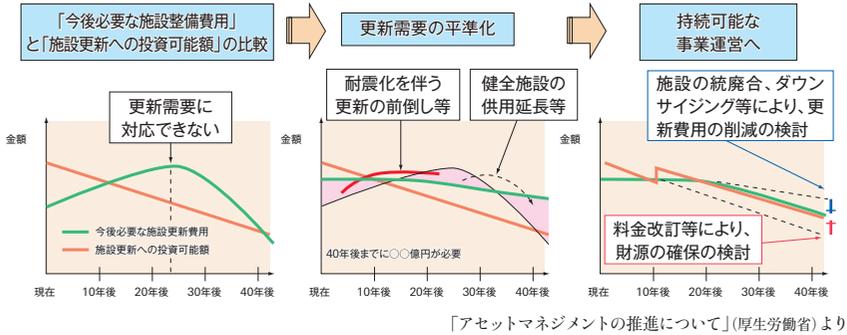
1 概要

厚生労働省は、水道事業におけるアセットマネジメントを「水道ビジョンに掲げた持続可能な水道事業を実現するために、中長期的な視点に立ち、水道施設のライフサイクル全体にわたって効率的かつ効果的に水道施設を管理運営する体系化された実践活動」と定義している(「水道事業におけるアセットマネジメント(資産管理)」に関する手引き」厚生労働省より)。

アセットマネジメントは、水道施設の特性を踏まえつつ、現有資産の状態・健全

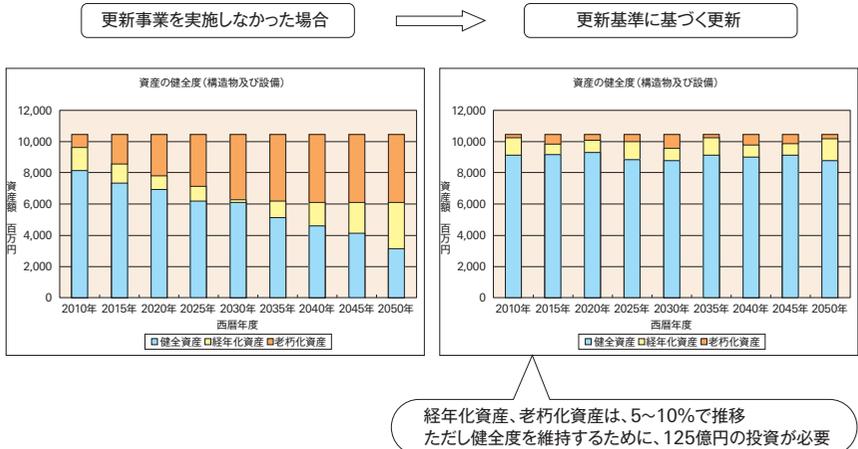
度を評価し、日常の点検・修繕などにより施設を適正に維持管理するとともに、中長期的な更新需要見通しや財政収支見通しを作成し、その結果を事業実施のための各種計画に活かし、施設全体を総合的に管理する手法である。

●図表7-1-4-1 アセットマネジメントの実践イメージ



2 効果

●図表7-1-4-2 更新事業実施の有無による施設健全度の比較例



アセットマネジメントを行うことにより、中長期的(40~50年間)な視点に立ち、適正な維持管理による機能保持や安全性を考慮した上で、法定耐用年数ではなく、新たに設定した更新基準年数を用いた効果的な更新が可能となる。また、将来の水需

要の推移も考慮した施設計画などにより、将来の更新需要を抑制・平準化することも可能である。

上下水道などの施設は、市民生活や企業活動にとって欠くことのできない重要なインフラであるとともに、需要者共有の財産でもある。各事業の経営環境がますます厳しくなる状況が見込まれる中、施設の適正な維持管理や計画的・効率的な更新投資を行い、将来にわたる施設機能の保持・向上に取り組む必要がある。そのためにも更新投資を確保していく必要があり、アセットマネジメントを活用して財政収支見直し、新規事業計画の策定や既存計画の見直しなどを実施することができる。

7-2

維持管理業務

7-2-1 漏水調査

水道管の漏水は、相関式漏水調査や音聴調査などにより漏水箇所を特定することができる。

音聴調査は、漏水箇所が発生する漏水音を地上から探知する手法が主に用いられている。ダクタイル鉄管などの鉄製の管種は、漏水音を伝播しやすい特性があり、漏水箇所から離れた位置でも漏水音を聞き分けることができるため、漏水調査が容易で維持管理しやすい管種であるといえる（図表7-2-1-2参照）。

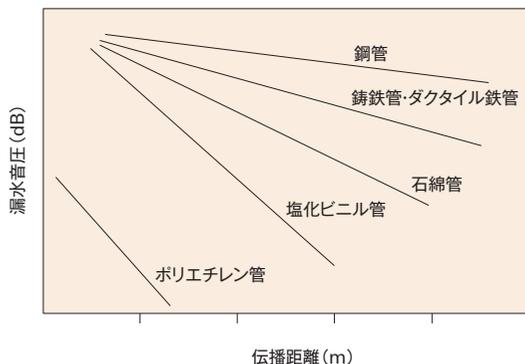
相関式漏水調査は、管路上の2つの測定点にピックアップを設置し、漏水音がそれぞれのピックアップに到達する時間差を測定して、漏水位置を特定する方法である。

●図表7-2-1-1 路面での音聴による漏水調査



フジテコム写真提供

●図表7-2-1-2 管種ごとの漏水音の伝播特性

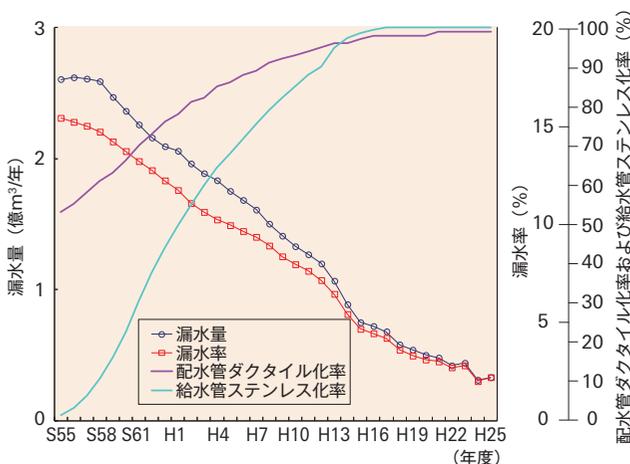


「漏水防止マニュアル：計画的な漏水管理に向けて 2012」(水道技術研究センター)より(改変)

配水管のダクタイル化および給水管のステンレス化によって漏水率が改善された事例を図表7-2-1-3に示す。なお、ダクタイル鉄管は漏水や事故が少ない管種であることが各種のデータで示されている。

こうした漏水や事故の情報を、管路図やマッピングシステムに登録しておき、定期的に統計をとることは、管路のアセットマネジメントや更新計画立案時に有効な情報となる。

●図表7-2-1-3 東京都水道局の漏水量・漏水率と配水管ダクタイル化率および給水管ステンレス化率の推移



「環境報告書 2014」(東京都水道局)より

7-2-2 漏水補修

鑄鉄管およびダクタイル鉄管の漏水補修は漏水箇所の規模に応じて以下の方法により修理を行う。

1 不断水による修理

① 補修金具による補修

補修金具は不断水で管外面より取り付けることができる。継手部の漏水には補修金具(継手部用)、管体部の漏水には補修金具(直管部用)を適用し、呼び径50～700まで対応できる。

●図表7-2-2-1 補修金具の例

継手部用



コスモ工機写真提供

直管部用



大成機工写真提供

2 断水による修理

① 管内面補修バンドによる補修

管内の水を排水して継手部の漏水を内面から補修することができる。継手部の間隔、段差および屈曲に対応し、呼び径800～2600まで対応できる。

●図表7-2-2-2 内面バンドによる補修の例



大成機工写真提供

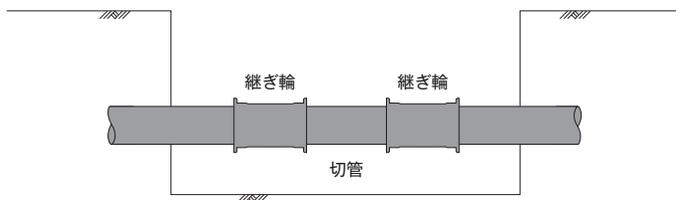


コスモ機工写真提供

② 継ぎ輪による補修

管路の漏水部を掘削し、漏水部の前後で切断して切管と継ぎ輪を用いて復旧することができる。切管と継ぎ輪で補修ができるため特殊な材料を必要としない。呼び径50～2600まで対応できる。

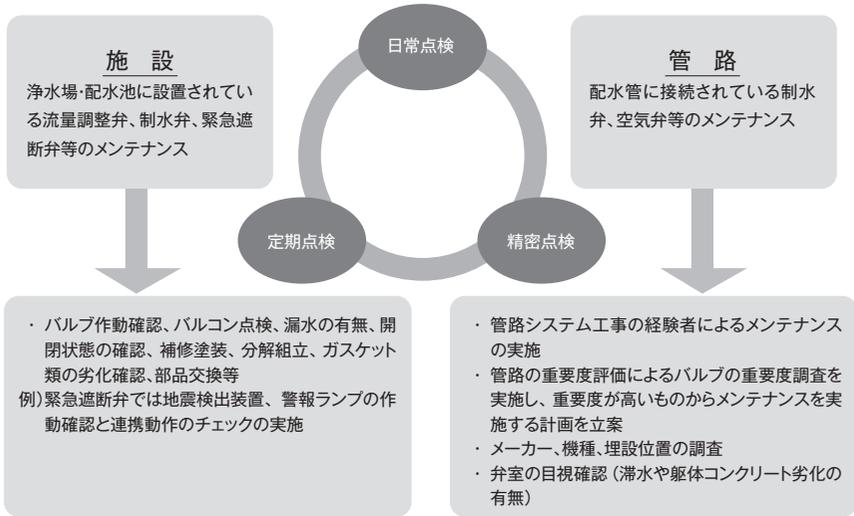
●図表7-2-2-3 継ぎ輪による補修の例



7-2-3 バルブの点検

上水施設や管路の維持管理では、制水弁や空気弁などの点検が重要である。バルブの点検確認を行い、作動可能な状態に保つことは日常のライフラインの安定を確保するとともに、災害時の配水切替え、ブロック化作業、洗管作業時の操作をより効率的に行うことにつながる。

● 図表7-2-3-1 バルブの点検の全体像



● 図表7-2-3-2 点検の種類と点検期間

点検種類	期 間	点検内容
日常点検	日々の巡回	目視点検、異音、振動の有無
定期点検	1回/年	動作確認、目視点検
精密点検	1回/5年	分解整備、消耗品交換

● 図表7-2-3-3 バルブの分類と作業項目

分 類	作業項目
施設バルブ	外観点検、電機部品の点検、ボルト等の増し締め、絶縁測定、バルブコントローラーA・B級点検等
管路バルブ	外観点検、作動確認、清掃、空気弁整備、弁室点検、排水換気等

『水道用バルブ類維持管理マニュアル 2004』(日本水道協会)より

●図表7-2-3-4 バルブ点検の実施例
遮断扉減速機の点検



遮断扉スピンドルの点検



遮断扉の点検



緊急遮断弁の点検



仕切弁の操作確認



仕切弁減速機の点検



「バルブメンテナンススリーフレット」(クボタバイotech)より

7-3

水道管路の機能評価

管路の維持管理の目的は、配水機能を確保することにある。そのためには現状の管路を把握・評価し、個々の状況に応じた対策を講じることが求められる。

経年変化により管路の事故率が増加することは種々の調査・研究で確認されており、最終的には管路更新により、必要な機能を回復し、耐震性などを向上させる必要がある。ここでは管路更新の優先順位と管路の評価方法を紹介する。

7-3-1 総合的機能評価

管路の評価や更新優先順位は、本来、水理・水質機能評価、健全度評価、耐震性評価などの結果から総合的に決定する。ここではその評価方法の事例を紹介する。この場合、事業体の規模、管路に関連する情報整理の状況によって、評価の精度、実務の作業量が大きく変わってくることに留意が必要である。

布設年度の古い管路から更新することを基本とし、現状で大きな問題のある管路に重み付けを設定し、その他の判定基準は付加項目として評価する方法も用いられている。そうした簡易な方法による管路の更新優先度評価を併せて紹介する。

1 改善必要度評価

管路の更新優先度を漏水、水質、水量・水圧、地震、維持管理などの管路別評価点と重み付けをした重要度合を加算した評価方法である。

●図表7-3-1-1 総合的機能評価方法(管路の改善必要度評価)

特徴	日々の管理を通じて得られる経験・知識・感覚に基づいて管路の現状機能を総合的かつ定量的に判断する方法
評価方法	改善必要度(100点満点) ＝管路別評価による基本点＋影響度合を考慮した加算点 ・管路別評価による基本点：カルテシートにより漏水、水質、水量・水圧、地震、維持管理の面から評価 ・影響度を考慮した加算点：給水影響、老朽化影響、社会的影響、漏水影響、特殊事情を判定基準により評価
必要な情報	系統別・路線別の管路情報(送水、配水等)、管種、継手、呼び径、経過年数(布設年度)、管路形態(埋設、水管橋)

〔水道施設機能診断マニュアル〕(水道技術研究センター、2011年)より(改変)

2 物理的評価

事故危険度(S_F)、水理機能(S_H)、有効率(S_E)、耐震性強度(S_S)、水質保持機能(S_Q)をそれぞれ100点満点で評価し、全項目の相乗平均値に経年化点数(C_Y)を乗じて総合物理的評価点数(S :100点満点)を算出する。さらに給水人口、給水量、重要施設への給水から各路線の重要度評価(100点満点)を算出し、総合物理的評価点数に管路の重要度(図表7-3-1-4)などを考慮して管路の更新優先度を評価する方法である。

この方法は、総合的機能評価の中で、管路の物理機能を総合的に診断する方法である。

●図表7-3-1-2 総合的機能評価方法(管路の物理的評価)

特徴	管路の諸元データにより総合的かつ定量的に管路の物理的評価を行う方法
評価方法	総合物理評価点数 $S = (S'_F \times S'_E \times S'_H \times S'_S \times S'_Q)^{1/5}$ $S'_F = S_F \times C_Y$, $S'_E = S_E \times C_Y$, $S'_H = S_H \times C_Y$, $S'_S = S_S \times C_Y$, $S'_Q = S_Q \times C_Y$, C_Y : 経年化係数, S_F : 事故危険度点数, S_E : 有効率点数 S_H : 水理機能点数, S_S : 耐震性強度点数, S_Q : 水質保持機能点数 総合物理評価点数 S は、得点が高いほど健全な管路
必要な情報	経過年数(布設年度)、経過年数別管路延長、管種別管路延長 直近の有効率、内面ライニング別管路延長、管径別管路延長など

〔水道施設更新指針 2005〕(日本水道協会)より(改変)

3 重要度を用いた総合評価

小規模事業者で総管路延長が比較的短い場合に、全ての路線を対象として基幹管路、重要路線などに重み付けを設定し、更新優先度を評価する方法である。

● 図表7-3-1-3 管路の重要度を用いた総合評価方法

管路番号	系統名	管種	呼び径 (mm)	延長 (m)	基準点数				重要度 ^{注5}	総合評価点 ^{注6}
					布設 年度 ^{注1}	水理・ 水質機能 ^{注2}	耐震 性能 ^{注3}	基準 点数 ^{注4}		
100	配水	ダクタイル鉄管	200	250						
101	配水	鋳鉄管	150	200						
.						

注1 布設年度による評価点

注2 高負荷（増径管路）、低負荷（滞留管路）による評価

注3 耐震性の有無による評価

注4 基準点数＝布設年度＋水量・水質機能＋耐震性能

注5 管路の重要度による重み付け

注6 総合評価点＝基準点数×重要度

〔水道管路の再構築読本：次世代に向けた水道管路の更新：Pipe Starsプロジェクト〕(水道技術研究センター)より

● 図表7-3-1-4 管路の重要度

区分	対象となる水道施設
ランクA1の水道施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取水施設、貯水施設、導水施設、浄水施設及び送水施設 ・ 配水施設のうち、破損した場合に重大な二次被害を生じるおそれの高いもの ・ 配水本管（配水管のうち、給水分岐がないもの）
ランクA2の水道施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ ランクA1に示す重要な水道施設のうち、次の1)、2)のいずれにも該当する水道施設 1) 代替施設がある水道施設 2) 破損した場合に重大な二次被害を生じるおそれの低い水道施設
ランクBの水道施設	上記ランクA1、A2以外の水道施設

〔水道施設耐震工法指針・解説 2009〕(日本水道協会)より(改変)

7-3-2 水理・水質機能評価

1 基本条件の把握

① 計画水量

対象となる配水管網の計画水量を、マスタープラン、地域水道ビジョン、中長期計画などの上位計画と整合性を図った上で、明確に設定する。

② 配水量分析

現状の配水管網が、必要な機能を有しているかを判断するため、図表7-3-2-1のよ

うに配水量の実績を整理・分析する。管網解析を用いた分析を実施する場合、各配水区域における使用水量を設定するためには、実勢による時間係数の把握が必要である。一般的な時間係数を参考にする場合は、『水道維持管理指針 2016』（日本水道協会）を準用することも可能である。

●図表7-3-2-1 配水量分析

配水量	有効水量	有収水量	料金水量	(1) 料金徴収の基礎となった水量 (2) 定額栓およびその認定水量
			分水量	他の水道事業に分水した水量
			その他	(1) 公園用水量 (2) 公衆便所用水量 (3) 消防用水量 (4) その他(他会計などから維持管理費として収入のある水量)
		無収水量	メーター不感水量	有効に使用された水量のうち、メーター不感のため料金徴収の対象とならない水量
			事業用水量	管洗浄用水、漏水防止作業用水等配水施設に係る事業に使用する水量
			その他	(1) 公園用水量 (2) 公衆便所用水量 (3) 消防用水量 (4) その他(料金その他の収入が全くない水量)
	無効水量	調定減額水量	赤水などのため、調定により減額の対象となった水量	
		漏水量	(1) 配水本管漏水量	
			(2) 配水支管漏水量	
			(3) メーター上流給水管からの漏水量	
	その他	他に起因する水道施設の損傷などにより無効となった水量および不明水量		

〔水道維持管理指針 2016〕(日本水道協会)より

3 目標水圧

配水管の水圧は「水道施設の技術的基準を定める省令」(厚生労働省)で定められている。また、直結給水を導入する場合は、給水区域内の建築物分布や地域特性を考慮して独自に設定する。

- ・ 配水管から給水管に分岐する箇所での配水管の最小動水圧は、150kPa(0.15MPa)以上を確保する。

- ・ 配水管から給水管に分岐する箇所での配水管内の最大静水圧は、740kPa (0.74MPa)を超えないこと。3階、4階および5階建てに対する標準的な最小動水圧は、それぞれ0.20～0.25MPa、0.25～0.30MPa、0.30～0.35MPaである。

2 管網解析モデルの検証

適正な水圧で適正な水量の確保が可能かを判断するためには、現況管網の管網解析モデルを用いる方法が一般的である。管網解析モデルの妥当性は、実績配水圧や配水量と計算結果を比較し、その適合状況により判断する。詳しくは「5-1 水理設計」を参照のこと。

3 水理機能評価

管網解析モデルを用いて、流量、流速、水圧など現況の水理機能評価を行う。将来の計画配水量を現況の管網で配水した場合の管網解析によって過負荷管路を抽出するなど、水理機能評価を行う。過負荷管路の解消は、管径の増径で対応するのが一般的であるが、上位計画において水需要の減少が想定されている区域については、更新実施年度の水量で管径を決定する。

4 水質機能評価

管網解析によって、残留塩素濃度を算出することで、滞留している管路を抽出するなど水質機能評価を行う。管路内の残留塩素は、水道法で遊離残留塩素濃度0.1mg/l以上保持されなければならない。一方、おいしい水供給の観点から塩素臭を感じない遊離残留塩素濃度として0.4mg/l以下への低減を目安としている。対策として、以下のような方法がある。

① 残留塩素濃度の適正化

- ・ 配水管内の残留塩素濃度は、水温が高く、滞留時間が長いほど塩素消費量が大きいため、滞留時間の短縮、また均てん化が必要である。
- ・ 管路末端までの滞留時間が異常に長くなる場合、管路の上流部で高い残留塩素濃度が必要となり、おいしい水の要因を阻害することになるので、追加塩素注入設

備の設置や管路末端での定期的な排水作業による滞留時間の短縮が必要である。

- ・ 管路の塩素消費特性を把握して、塩素注入管理や塩素消費が少なくなるように管網の改良を行う。
- ・ 受水槽水道の流入時濃度は、受水側での塩素注入設備の有無や受水槽以下の滞留時間などにより設定する。

② 残留塩素濃度の制御

- ・ 残留塩素濃度の制御は、管路末端の残留塩素濃度情報と残留塩素消費予測式により、浄水場や配水場で必要な塩素注入量を算定し制御する。
- ・ 管路末端は滞留とならないよう、管網を形成、改良する。

③ ブロック化

水需要の実態など社会的条件、地勢などの自然条件、水源・浄水場の位置、合理的・経済的な水運用などの諸条件に配慮しても、地形の高低差や配水区域の形状のために管路の維持管理が複雑になり、適正な水量・水圧・水質での配水が困難なこともある。そうした場合、配水区域をブロック化することが有効である。ブロック化のメリットを以下に示す。

1) 現況把握の容易性

- ・ 監視機器の設置が適正にでき、水運用情報(流量、水圧、流向、水質など)の把握が容易になる。また、情報の収集、管理および分析などが容易になる。
- ・ 水需要変動の地域別把握ができ、需要予測が容易になる。
- ・ 新設、改良、更新の配水管整備を計画的、合理的に行うことができる。

2) 平常時の配水管理と維持管理の向上

- ・ 水圧管理、水量管理、水質管理が容易になる。
- ・ 減圧、増圧区域が合理的に設定でき、これらに要する設備の効率化が図れるとともに、省エネルギー化を推進できる。
- ・ 漏水箇所、漏水量の把握が容易となり、漏水調査が効率的になる。特に、漏水修理に伴う断水区域を最小限に限定することができる。

3) 非常時対応の向上

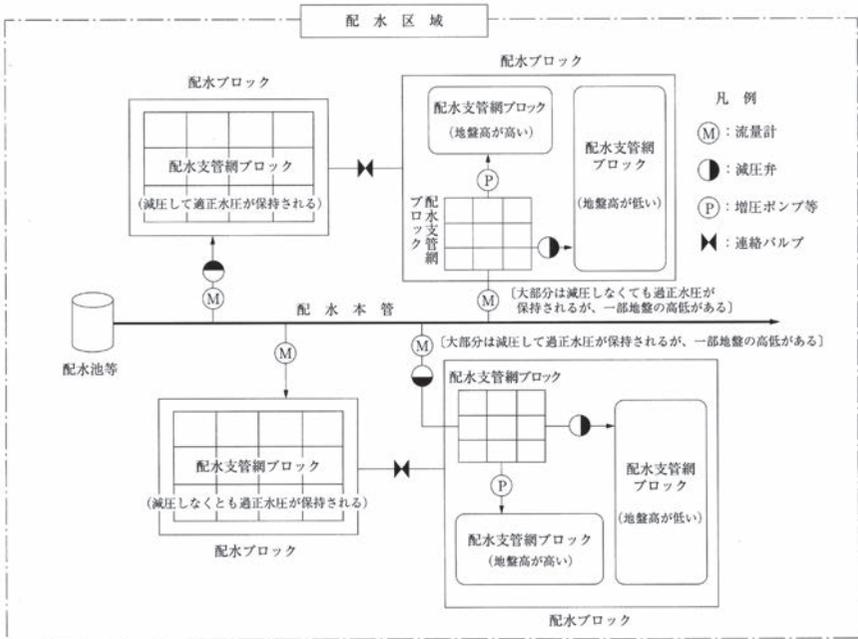
- ・ ブロック間の相互融通を図ることにより、災害事故などへの対応が容易になる。
- ・ 災害、事故などの影響範囲の極小化とその把握ができる。また、あらかじめ災害、事故時などの影響予測が可能となる。

- ・ 災害、事故などの早期復旧ができる。

4) その他

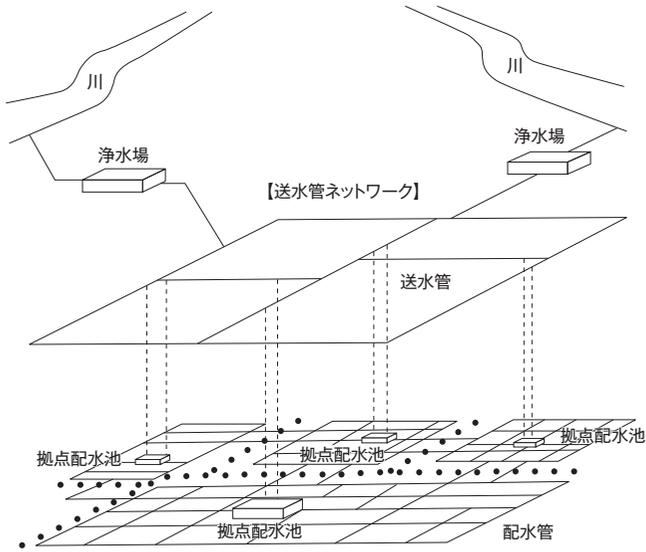
- ・ 水圧・水量管理が十分できるため、直結式給水の導入、拡大を図ることが容易となる。
- ・ ブロックごとの使用水量を把握することにより、配水量分析などに効果を発揮する。

●図表7-3-2-2 ブロック化の概念図



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

●図表7-3-2-3 送・配水管ネットワーク



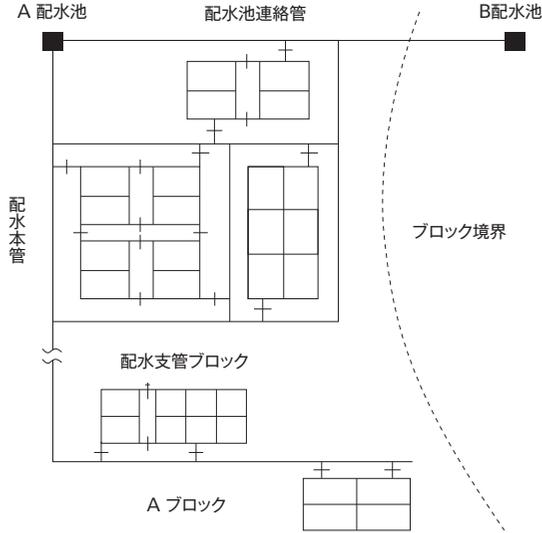
〔水道維持管理指針 2016〕(日本水道協会)より

●図表7-3-2-4 配水本管の計画図



〔水道維持管理指針 2016〕(日本水道協会)より(改変)

●図表7-3-2-5 配水本管と配水支管ブロックとの関係



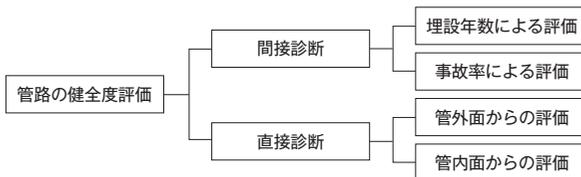
【水道維持管理指針 2016】(日本水道協会)より

7-3-3 健全度評価

管路の健全度は、更新判断に直接結び付く重要な要因である。ここでは、間接診断と直接診断の評価方法を紹介する。

管路の健全度を評価する場合、直接調査して機能を測定・評価する方法が最も信頼性が高いが、ほとんどの管路は埋設されており、その全てを直接目視などにより確認することは困難で、膨大な費用と時間がかかる。そこで、まず間接的な診断方法により管路の健全度を評価し、得られた結果が悪かった管路、基幹管路などの重要な管路、埋設環境が悪いと判断される管路などを対象として、直接診断する手順が合理的である。

●図表7-3-3-1 管路の健全度評価分類



1 埋設年数による評価

管種（鑄鉄管またはダクタイル鉄管）やその埋設年数から診断する方法である。管種の判別については「7-3-3 5 鑄鉄管の判別方法」を参照のこと。

配管図やマッピングシステムで埋設年数が不明な場合には、管の継手部を掘削し、鑄出しマーク（記号）などで鑄鉄管かダクタイル鉄管かの判別や製造年、管厚の種類などを調査することが可能である。また、明示テープにより布設年を確認することができる。

●図表7-3-3-2 企業別明示テープの色

企業区分	明示テープの色
電話線	赤色 
電力線	橙色 
水管（水道法）	水色 
水管（工業用水道事業法）	白色 
下水道管	茶色 
ガス管	緑色 



明示テープが貼り付けられた水道管路

2 事故率による評価

事故率評価手法は、管種、呼び径、布設年度などの管路情報を基に、管路の健全度を事故率（漏水事故の可能性）として算出する方法である。定量的な総合得点が算出できることから、管路の更新優先度評価が可能となる。また、この評価結果は「事故率」という指標により需要者や議会への説明資料として有効である。

●図表7-3-3-3 事故率評価方法（超長期を勘案した機能劣化予測式）

特徴	管理設から50年以上の超長期間で提供可能な漏水事故率推計式
評価方法	推定事故率 $y = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot F_m(t)$ y ：推定事故率（件/km/年）、 C_1 ：仕様に関する補正係数、 C_2 ：呼び径に関する補正係数、 C_3 ：地盤条件に関する補正係数 $F_m(t)$ ：経過年数と事故率の関係を表す管種ごとの関数 $F_{DIP}(t) = 0.0007e^{0.0758t}$ 、 $F_{SP}(t) = 0.0074e^{0.0618t}$ $F_{VP}(t) = 1.27 \times 10^{-5} \cdot t^{2.907}$ 、 $F_{CIP}(t) = 1.91 \times 10^{-12} \cdot t^{6.502}$
必要な情報	経過年数、管路種別、管路の種別ごとの呼び径、管路仕様、地盤種別

「持続可能な水道サービスのための管路技術に関する研究報告書」（水道技術研究センター、2011年）より（改変）

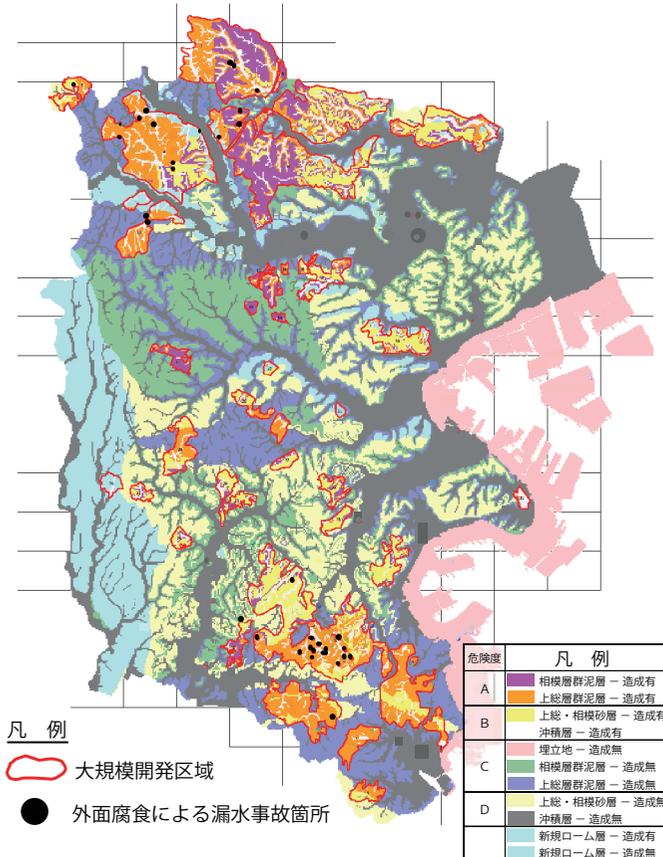
3 管外面からの評価

① 腐食土壌の危険度マップ

管外面の健全度を直接確認するために既設管の周囲を掘削して、管の腐食深さを測定し、同時に土壌や地下水の成分分析や周辺環境を調査することで、腐食原因の特定が可能となる。また、腐食深さと埋設年数から腐食の進行速度式を設定し、土壌別の管路の腐食傾向を把握することができる。

蓄積された埋設環境情報を基に作成した腐食性についての土壌マップは管路の更新優先度の設定に活用することが可能である。

●図表7-3-3-4 腐食土壌の危険度マップ例

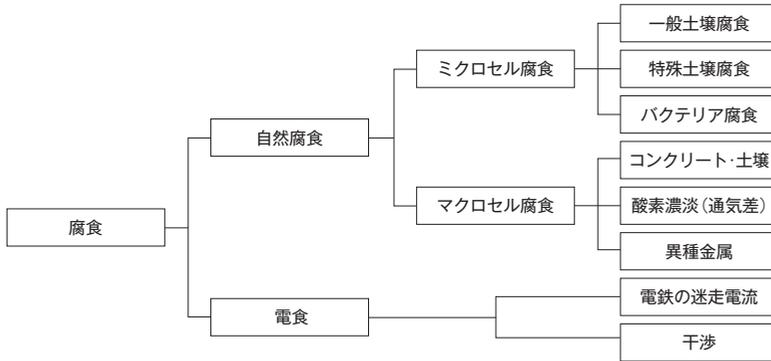


「老朽管改良(耐震化)計画報告書」(横浜市水道局、2008年)より(改変)

② 土壌の腐食性判定

土壌中に埋設された金属の腐食には、電鉄レール、電気設備などから地中に漏れ出た迷走電流によって起こされるいわゆる「電食」と、金属体表面に形成される局部電池作用によって電気化学的な反応として進行する一般的な「自然腐食」とがある。

●図表7-3-3-5 金属管の腐食の分類



ここでは、自然腐食を対象として、ダクタイル鉄管が埋設される土壌環境が、腐食性を持っているか否かを測定する方法について解説する。土壌の評価方法としては簡易な見分け方と土壌分析による方法があり、腐食性土壌と評価された場合には、ポリエチレンスリーブ法による防食処理を施す。

1) 簡易な見分け方

一般に次のような所は、腐食性土壌といわれている。

- ・ 酸性の工場廃液や汚濁河川水などが地下に浸透した所
- ・ 海浜地帯や埋立地域など地下水に多量の塩分を含む所
- ・ 硫黄分を含む石炭ガラなどで、盛土や埋立てされた所
- ・ 泥炭地帯
- ・ 腐植土、粘土質の土壌
- ・ 廃棄物による埋立地域や湖沼の埋立地
- ・ 海成粘土など酸性土壌

2) 土壌分析による評価方法

既設管路で腐食の事例があった場合など、さらに詳細を調査する必要があるときは、機器を用いた測定によって腐食性を評価する。

腐食性因子を個々に測定した後、これらの結果を総合的に評価する方法としては、米国の国家規格である図表7-3-3-6の基準を適用して判定するのが一般的である。表中の5項目を現地調査で観察・測定し、それぞれの数値によって点数を付し、合計点が10点以上になる場合を腐食性土壌と判定できる。

●図表7-3-3-6 ダクタイル鉄管に対する土壌の腐食性評価^{注1}

測定項目	測定値	評価点数
比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	< 1500	10
	1500~1800	8
	1800~2100	5
	2100~2500	2
	2500~3000	1
	> 3000	0
pH ^{注2}	0~2	5
	2~4	3
	4~6.5	0
	6.5~7.5	0*
	7.5~8.5	0
	> 8.5	3
Redox電位 (mV)	> 100	0
	50~100	3.5
	0~50	4
	< 0	5
水分 ^{注3}	排水が悪く、常に湿潤	2
	排水が良く、一般に湿っている	1
	排水が良く、一般に乾燥している	0
硫化物	検出	3.5
	痕跡	2
	なし	0

注1 米国国家規格 ANSI/AWWA C105/A21.5「Polyethylene Encasement for Ductile Iron Pipe Systems (ダクタイル鋳鉄管類のポリエチレン装着)」であり、ポリエチレンスリーブの米国国家規格である。その付録の項には比抵抗(腐食電流の流れやすさ)、pH、Redox電位(土壌の通気性の良否を判断するもので酸化還元電位とも呼ばれる)、水分および硫化物(腐食反応に寄与するもの)の有無を点数化し、その合計点数が10点以上になれば腐食性の土壌と判断して、ポリエチレンスリーブ法により防食対策を考慮することとされている。

注2 pH6.5~7.5の中性域の場合(表中の*印)、評価点数は0点であるが、硫化物が存在(検出または痕跡)して、Redox電位が100mV以下である場合は、3点を加算する。

注3 水分の評価は、含水比の測定結果から以下のように判断する。

- ・含水比10%未満: 評価点0点
- ・含水比10%以上20%未満: 評価点1点
- ・含水比20%以上: 評価点2点

③ ダクタイル鉄管の腐食深さによる健全度

1) 管体腐食調査

内面にはモルタルライニングやエポキシ樹脂粉体塗装が施されているため、内面腐食の可能性は少ない。従って、管路の腐食度を見て診断を行う場合、指標となるのは外面からの腐食であり、その深さである。

診断は、まず可能な限り多くの地点で管体腐食調査を実施し、管体の腐食深さに基づいて健全度を評価する。さらに腐食深さと埋設環境との関係を定式化すれば、他工事などを利用して土壌を採取することによって、試掘調査ができない他の管路についても間接的に健全度を予測することが可能となる。

図表7-3-3-7に示すような埋設環境因子とその環境における腐食量に関する情報を管体腐食調査により収集する。

●図表7-3-3-7 管体腐食調査により収集するデータ

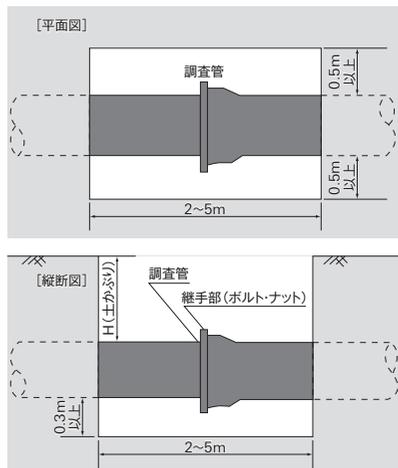
調査の種類		因子
管体調査	管属性	呼び径、管厚の種類、布設年度、材質、水圧など
	環境属性	土かぶり、地下水の有無など
	管体腐食度	外面腐食深さ
土壌調査		土質、土色、比抵抗、pH、硫化物の有無、Redox 電位、含水比、強制酸化試験、硫黄含有率、硫酸イオン含有量、塩素イオン含有量、蒸発残留物、ANSI 評価点

管体腐食調査は、埋設環境調査、土壌および地下水の採取、管体腐食調査の順で実施する。

A 埋設環境調査

掘削は図表7-3-3-8に示すように既設管の全周が露出するように行う。また、ボルト・ナットの腐食調査が必要な場合は継手部を露出させる。その後、既設管の土かぶりや既設管周りの土質や色などの埋設環境について調査を行う。

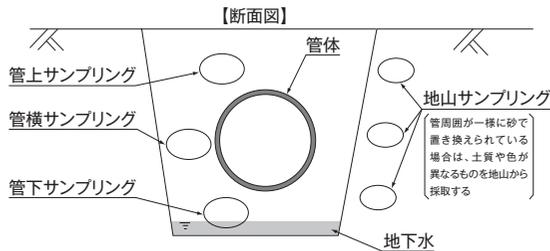
●図表7-3-3-8 埋設環境調査時の掘削断面例



B 土壌および地下水の採取

土壌は、管の周囲から原則として3検体(管上、管横および管下)採取する。これ以外に掘削範囲で土質や色の異なる土壌が存在している場合は、これについても採取し、管周りが良質な砂などによって置き換えられている場合は、その土壌1検体と掘削範囲の地山部分から土質や色の異なる土壌を採取する。また、管周囲に地下水が認められる場合は、それも同時に採取する。

●図表7-3-3-9 土壌および地下水の採取

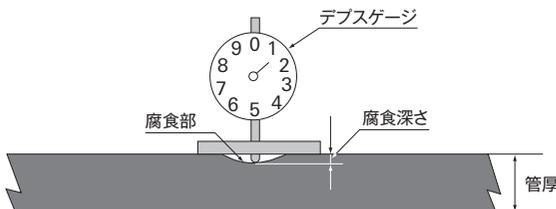


C 管体腐食調査

管体の腐食調査は、以下の手順で実施する。

- ・ 管表面を水洗い後、付着物などをワイヤーブラシを用いて除去する。
- ・ 目視で管体の外観を調査し、腐食が認められた場合は、その深さをデプスゲージ(孔食計)で測定する。
- ・ 継手部のボルト・ナットを採取する場合は、取り換えた古いボルト・ナットの採取位置が分かるように採取位置に番号を振り、管頂部のものから順に時計回りに番号札を付ける。

●図表7-3-3-10 デプスゲージによる測定



●図表7-3-3-11 ボルト番号



D 管体の健全度ランク付け

予測値や管体腐食調査で得られた実測値を、健全度ランクの定義と照合して、管体のランク付けを行う。

●図表7-3-12 ダクタイル鉄管の健全度ランクの判断基準と対策例

ランク	判断基準	対策例
I	貫通腐食した状態 (規定管厚-管厚許容差 ^{注1})	更新対象
II	腐食が進行し、内外圧に耐えられない状態 (設計安全率1.0 ^{注2} 未満)	更新対象
III	腐食が進行し、内外圧に対する安全率が不足する状態 (設計安全率1.0 ^{注2} 以上2.0~2.5 ^{注3} 未満)	更新計画の立案等
IV	腐食深さが管の腐食しろ2.0mmを超える状態 (設計安全率は2.0~2.5 ^{注3} 以上)	10年以内に再診断
V	腐食深さが管の腐食しろ2.0mm以下の状態	20年以内に再診断

注1 規定管厚が10mm以下の場合にはマイナス1.0mm、10mmを超える場合はそのマイナス10%とする。

注2 静水圧、水撃圧、土かぶりによる土圧および路面荷重による土圧に対し、それぞれ1.0を見込んだときの安全率である。

注3 静水圧に対し2.5、水撃圧、土かぶりによる土圧および路面荷重による土圧に対し2.0を見込んだときの安全率である。

『水道維持管理指針 2016』(日本水道協会)より

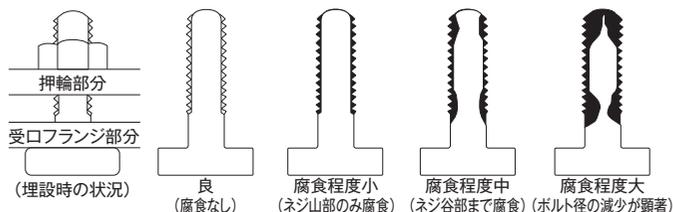
④ ボルト・ナットの健全度評価

●図表7-3-13 ボルト・ナットの健全度ランクの判断基準と対策例

ランク	判断基準		対策例
I	腐食程度大	ボルト径の減少が顕著、またはナットが著しく腐食	管路更新を最優先に検討 ^{注1}
II	腐食程度中	ボルトのネジ谷部まで腐食、またはナットの角が全体的に腐食	管路更新を優先的に検討 ^{注2}
III	腐食程度小	ボルトのネジ山部のみ腐食、またはナットの角の一部が腐食	継続的な調査の実施
IV	良好	異常なし	同上

注1 ボルト・ナットの腐食が著しい場合は、継手の止水性能が低下していると想定されるため、管路更新の検討が必要である。

注2 ボルト・ナットが腐食している場合は、管体も同様に腐食していることが想定されるので、継手部全体を含めた管路全体の調査・診断を行い、管路更新の検討が必要である。



『水道維持管理指針 2016』(日本水道協会)より

5 直接診断の効果的な実施方法

日常の維持管理や工事の際に、直接診断を実施することも可能である。例えば、漏水箇所の修理や給水管の取出し工事では、管路を直接目視および腐食深さを測定し、診断することができる。このような工事時の診断は、計画的な調査として実施される直接診断よりも頻度が多いことから、診断結果を蓄積・整理することで、将来の管路更新計画に活用できる有効な手段である。

●図表7-3-14 配水管簡易調査シート例

配水管老朽化簡易調査シート

台帳番号：PS-2017-09-12-3

調査日時	2017（平成29）年10月11日（水）10時			施工会社	〇〇建設株式会社		
住所	東京都千代田区九段南 0-0-0			担当	〇〇太郎		
調査地点	〇〇ビル前			漏水	有・無		
埋設場所	国道・県道・市道・私道			歩車道	歩道		
埋戻し土	発生土・砂・改良土・その他			地下水	有・無		
呼び径	150	土かぶり	1.2m	地下水位	-1.0m		
管種	DIP	A・T・K・U・US・SⅡ・S・GX		ポリスリーブ	有・無		
	0.	溶接・ネジ込み					
	3.	TS・RR・RRロング					
	HIVP	TS・RR・RRロング					
	..	カップリング・融着					
布設年度	1995（平成7）年			経過年数	22年		
管腐食状況	多数あり・有り・多少あり・腐食無し			腐食深さ	5mm		
	大・中・小・腐食なし			腐食程度	5		
ボルト腐食状況							
							管腐食状況写真

6 腐食深さの予測

1) データの解析

調査で得られた情報を基に管体の腐食と埋設環境の腐食性との間の因果関係(腐食原因)について解析手法を用いて明らかにしていく。

2) 解析結果の評価

解析結果が妥当と判断され腐食原因が明らかになれば、埋設環境から腐食深さを予測する式を作成する。

$$P = kT^a$$

ここに、P：腐食深さ予測値(mm)

k：腐食性評価係数

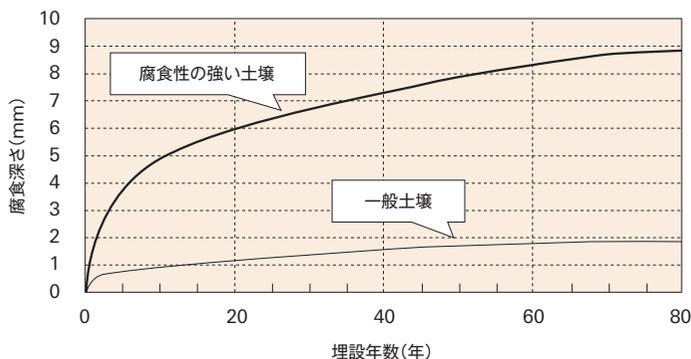
T：埋設年数(年)

a：0.4程度

3) 腐食度予測

一般の腐食深さの予測式は、埋設環境因子と時間の指数関数で示される。予測式を得た後は、診断したい地域の埋設環境因子の情報をこの式に当てはめて、その地域に埋設された管の腐食深さを推定することができる。

●図表7-3-15 ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブ未装着)の腐食深さの予測例



『水道施設更新指針 2005』(日本水道協会)より

4 管内面からの評価

管内面からの評価は、管内カメラによる目視調査が中心であり、呼び径によっては非開削・不断水で管内面の状況を調査できるため経済的である。しかし、目視調

査が主となるため定性的な評価となる。管内面の直接調査機器には以下のようなものがある。

- ・ 不断水調査—不断水管内カメラ、不断水管内調査ロボット
- ・ 断水調査—管内調査ロボット（レーザーによる段差診断、広角レンズ・画像展開）、管内径精密測定装置、水中航行型ロボット、音響式パイプ診断装置

5 鋳鉄管の判別方法

水道管路の更新において、既設管の材質の把握が必要な場合がある。この項では、ダクタイル鉄管(FCD)と鋳鉄管(FC)とを判別する方法例を示す。

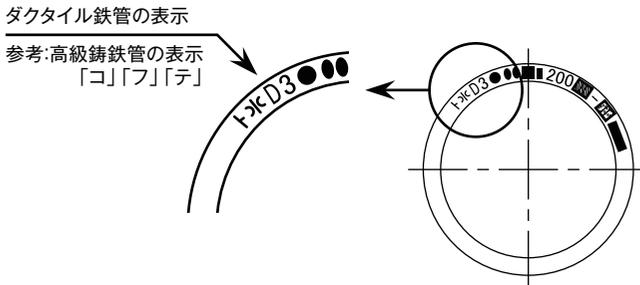
掘削した範囲で継手が確認できる場合は、受口部の表示によって、管の製造年、呼び径、接合形式、メーカー名などを判別することができる。メーカー名は、各社ごとに定められたメーカーマーク（製造業者の略号）で表示されている。各社のメーカーマークについては「鋳鉄管路の診断及び更新・更生計画策定マニュアル」（水道技術研究センター）の巻末および付録を参照のこと。

なお、主に1960（昭和35）年代に埋設された管路において、机上調査や表示だけでは、材質がダクタイル鉄管か鋳鉄管か判別できない場合がある。そのような場合には、主に以下のような判別法を用いて材質を特定する。

① 表示による判別

受口部の表示を見て鋳鉄管を判断することができる。受口部に「D」の鋳出しマークがあればダクタイル鉄管であり、「コ」（高压管）、「フ」（普通圧管）、「テ」（低圧管）の鋳出しマークがあれば鋳鉄管と判断できる。

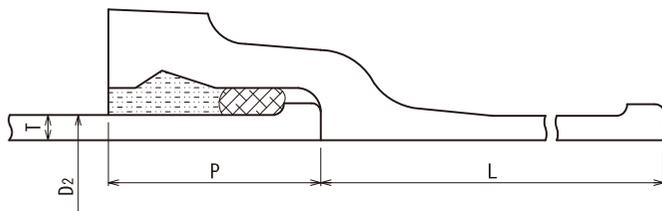
●図表7-3-3-16 表示例



② 接合形式と管厚による判別

ダクトイル鉄管以外(普通鑄鉄管や高級鑄鉄管)の接合形式は印籠継手かA形(メカニカルジョイント形含む)がほとんどである。管厚を測定し、その値と当時の規格とを比べて見分けることが可能な場合もある。詳細は、日本ダクトイル鉄管協会ホームページ「旧規格の寸法表」を参照のこと。

●図表7-3-3-17 接合形式と管厚による判別例



(単位: mm)

呼び径	管厚T		実外径 D_2	P寸法	有効長 L
	普通圧	低圧			
75	9.0	9.0	93.0	90	3000
500	14.0	12.0	528.0	115	4000
1500	27.0	—	1554.0	165	4000

水道協会規格「高級鑄鉄管」(1933(昭和8)年)より(抜粋)

③ 黒鉛形状による判別

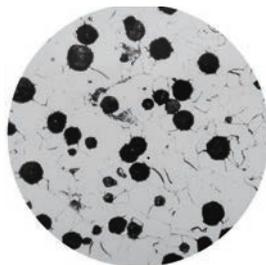
管の表面を鏡面研磨し、携帯顕微鏡で黒鉛形状を観察して判断する方法。黒鉛が片状であれば高級鑄鉄管であり、球状であればダクトイル鉄管である。

●図表7-3-3-18 黒鉛形状

高級鑄鉄管



ダクトイル鉄管



写真は基体組織を腐食液で腐食させたものである。

④ 化学組成による判別

硫黄(S)量の違いを確認することで判別できる。硫黄の含有量は、高級鑄鉄管で

は0.1%以下、ダクタイル鉄管では0.015%以下と大きく異なっている。なお、硫黄の測定方法には以下の2通りがある。

- ・ ガス検知管法：塩酸により管の表面を溶かし、発生する硫化水素ガスを検知する方法。
- ・ 酢酸鉛試験紙法：硫黄を塩酸酸性で還元し、硫化水素ガスを酢酸鉛試験紙で分析する方法。

詳細は『ダクタイル鉄管協会』61号（日本ダクタイル鉄管協会）の「FC管とFCD管の簡易判別法」を参照のこと。

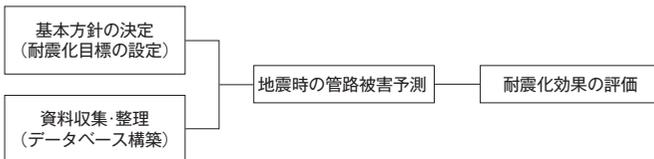
5 鋼管との判別（火花試験）

鋼管など炭素鋼系の材質では、火花試験などによる判別があり、「JIS G 0566 鋼の火花試験方法」で規定されている。炭素鋼の場合は、含有する炭素量の違いで発生する火花の出方が異なる。一般には鋼管よりも铸铁管、ダクタイル鉄管は炭素量が多いので、火花の量も多い。

7-3-4 耐震性評価

管路の耐震性評価では、まず耐震化に対する基本方針を決定し、耐震化の目標を設定する。評価に必要な資料を収集・整理して、地震時の管路被害を予測し、設定した耐震化の目標に基づいて評価する。

● 図表7-3-4-1 水道管路の耐震性評価の実施手順



1 管路被害予測式

過去の大規模な地震における管路の被害調査データに基づいて、地震時の管路の被害予測手法が、調査・研究されている。以下に日本水道協会によるJWWA式（図表7-3-4-2）と水道技術研究センターによるJWRC式（図表7-3-4-3）を紹介する。

●図表7-3-4-2 JWVA式における地震時の管路被害予測式

被害件数 (件) = 被害率 (件/km) × 管路延長 (km)

①最大加速度を用いる場合

被害率 (件/km) = $C_p \times C_d \times C_g \times C_e \times R(a)$

$R(a)$: 標準被害率 (件/km) = $2.88 \times 10^{-6} \times (a - 100)^{1.97}$

a : 地震動の最大加速度 (galあるいはcm/sec²)

②最大速度を用いる場合

被害率 (件/km) = $C_p \times C_d \times C_g \times C_e \times R(v)$

$R(v)$: 標準被害率 (件/km) = $3.11 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.3}$

v : 地震動の最大速度 (kineあるいはcm/sec)

C_p 管種による補正係数

管種	補正係数
DIP ^{注1}	0.3
CIP	1.0
VP	1.0
SP ^{注2}	(0.3)
ACP ^{注3}	(1.2)

C_d 管径による補正係数

管径	補正係数
$\phi 75$	1.6
$\phi 100 \sim \phi 150$	1.0
$\phi 200 \sim \phi 450$	0.8
$\phi 500 \sim \phi 800$	0.5

注1 耐震継手は除く。過去の耐震継手の被害事例はない。

注2 中～小口径を想定。補正係数の設定については引用資料参照のこと。

注3 被害想定では3.0程度を使用している例が多い。補正係数の設定については引用資料参照のこと。

C_g 地形・地盤による補正係数

地形・地盤	補正係数
改変山地	1.1
改変丘陵地	1.5
谷・旧水部	3.2
沖積平地	1.0

C_e 液状化の程度による補正係数

液状化の程度	補正係数
液状化なし	1.0
液状化程度中	2.0

〔地震による水道管路の被害予測〕(日本水道協会、1998年)より(改変)

地震時の震度、最大速度、最大加速度の関係を以下に示す。

震度	計測震度	境界加速度 ^{注1} (gal)	震度	計測震度	境界加速度 ^{注1} (gal)
0	0~0.4	—	5弱	4.5~4.9	50
1	0.5~1.4	0.5	5強	5.0~5.4	90
2	1.5~2.4	1.5	6弱	5.5~5.9	150
3	2.5~3.4	5.0	6強	6.0~6.4	300
4	3.5~4.4	15.0	7	6.5~	500

注1 境界加速度は対象震度になるための最低加速度を気象庁「震度と加速度」(図3:周期および加速度と震度(理論値)の関係)のグラフより読み取った概略値である。

●図表7-3-4-3 JWRC式における地震時の管路被害予測式

地震による管路被害予測式 ^{注8}					
液状化の情報を有していない場合、 又は液状化の可能性がない場合の管路被害予測式			液状化の情報を有しており、 かつ液状化の可能性ありの場合の管路被害予測式		
$R_m = C_p \times C_d \times C_g \times R(v)$			$R_m = C_p \times C_d \times R_L$		
R_m : 推定被害率 [件/km] C_p : 管種・継手補正係数 C_d : 口径補正係数 C_g : 微地形補正係数 $R(v)$: 標準被害率 [件/km] $R(v) = 9.92 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.14}$ v : 地震動の地表面最大速度(cm/s) (ただし、 $15 \leq v < 120$)			R_m : 推定被害率 [件/km] C_p : 管種・継手補正係数 C_d : 口径補正係数 C_g : 微地形補正係数 R_L : 標準液状化被害率 [件/km] $R_L = 5.5$		
補正係数					
管種・継手	C_p	口径	C_d	管が布設されている微地形	C_g ^{注1}
DIP(A)	1.0	φ 50-80	2.0	山地 山麓地 丘陵 火山地	0.4
DIP(K)	0.5	φ 100-150	1.0	火山山麓地 火山性丘陵	
DIP(T)	0.8 ^{注2}	φ 200-250	0.4	砂礫質台地 ローム台地	
DIP(離脱防止)	0	φ 300-450	0.2	谷底低地 扇状地 後背湿地	1.0
CIP	2.5	φ 500-900	0.1	三角州・海岸低地	
VP(TS)	2.5			自然堤防 旧河道 砂州・砂礫州	2.5
VP(RR)	0.8 ^{注3}			砂丘	
SP(溶接)	0.5/0 ^{注4}			埋立地 干拓地 湖沼	5.0
SP(溶接以外)	2.5 ^{注5}				
ACP	7.5 ^{注6}				
PE(融着)	— ^{注7}				

- 注 1 管が布設されている微地形の補正係数「 C_g 」の値についても、微地形ごとの液状化の発生頻度のある程度反映している。
- 注 2 平成 11 年度以前に出荷されたものに限る。平成 11 年度以降に出荷されたものはダクタイル鋳鉄管 K 形継手と同等と評価されているので補正係数を 0.5 とする。
- 注 3 RR 継手を有する塩化ビニル管は布設延長が十分ではなく*、ダクタイル鋳鉄管の T 形継手と継手構造が近いことから、クロス集計の結果も考慮して同等の係数とした。また、RR ロング継手を有する塩化ビニル管は、管路被害データが RR 継手のものと区別されていなかったため、個別の補正係数は算定できなかった。
- 注 4 裏波溶接が採用される以前の片面溶接管（φ 700 以下で 1975 年以前に布設のもの）に限り補正係数を 0.5 とし、それ以外の場合は 0 とする。なお、補正係数が 0 となる SP（溶接）において、溶接継手内部面が無塗装による腐食等の劣化が原因と推察される被害が確認されている。
- 注 5 溶接以外の鋼管の布設延長も十分ではなく*、継手強度試験結果などからクロス集計の結果も考慮して鋳鉄管、塩化ビニル管 TS 継手と同等の係数とした。
- 注 6 石綿セメント管の布設延長も十分ではなく*、クロス集計の結果などから算定した。
- 注 7 融着継手を有する配水管ポリエチレン管は地震による被害がないが、布設延長が十分でない*ことから、補正係数は算定できなかったため、「平成 25 年度 管路の耐震化に関する検討会報告書（厚生労働省）」を参照し、各水道事業者の判断により設定できることとする。
- 注 8 本予測式は、メッシュごとの被害を評価することを目的としていることから、推定被害率が安全側に算出される傾向となっている。なお、給水区域全体の被害件数の推計では過大評価となる場合もあることに注意が必要である。

※ 地震による管路被害データを多変量解析で分析するに当たり、データサンプルとして布設延長が十分ではないことを意味している。

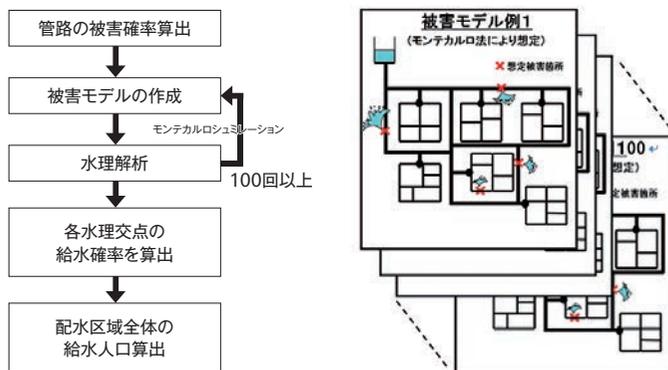
「平成 28 年熊本地震を踏まえた『地震による管路被害予測式』の見直しに関する検討 報告書(平成 28 年度)」(水道技術研究センター)より

2 地震時の給水確率

① モンテカルロシミュレーションを用いた給水確率

地震による管路被害が発生した場合に給水が確保できる確率を推定する手法の一例として、管網解析とモンテカルロシミュレーションを用いた方法がある。これは、各管路の被害確率を算出し、管網内での被害モデルを100パターン以上作成し、その全パターンに対して管網解析により給水人口を算出し、その平均値を想定給水人口とし、給水人口で除して給水確率を求める方法である。

●図表7-3-4-4 給水確率の算出方法

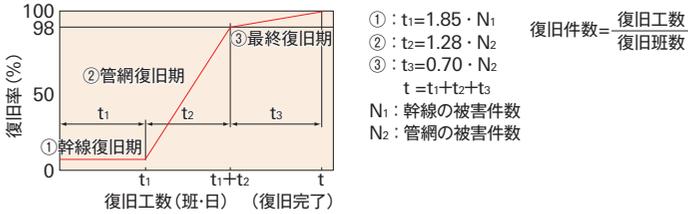


●図表7-3-4-5 給水確率の試算例



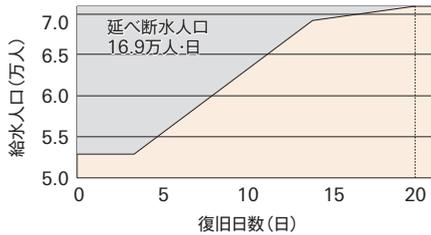
これらの結果を基に、復旧までの工数と復旧班数を用い、1日ごとの復旧率を算出する(図表7-3-4-6)。さらに、その復旧率から1日ごとの給水人口を算出することができる(図表7-3-4-7)。1日ごとの給水人口から断水人口を推定し、その総和として延べ断水人口が推定できる。

●図表7-3-4-6 復旧工数と復旧率の関係



「ダクタイル鉄管」第67号(日本ダクタイル協会)より

●図表7-3-4-7 延べ断水人口の算出例



② 被害率を用いた断水率の算出例

配水管の被害率から断水率を求める川上英二の式(「道路交通システムの形状と連結確率との関係」(1996年))がある。

$$\text{断水率} = \frac{1}{1 + 0.0473x^{-1.61}}$$

ここに、 x : 配水管の被害率(箇所/km)

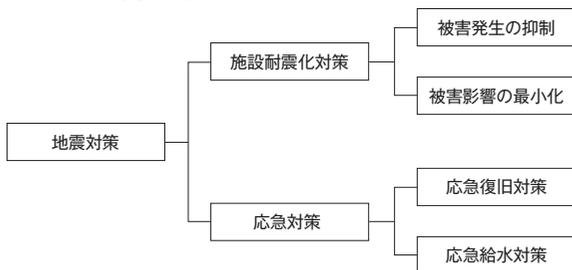
3 地震対策

大規模地震の発生頻度は低いが、いったん発生した場合の被害は甚大なものとなり、その影響も広域にわたる。このため、地震対策は水道事業における最重点施策の一つである。

水道施設は水源から取水装置に至る多くの施設で構成されその機能を満たして

いることから、水道施設の地震対策では、水道システム全体の機能を勘案し、予防と早期復旧の両面から見た地震対策が重要である。

●図表7-3-4-8 地震対策の分類



『水道維持管理指針 2006』(日本水道協会)より

●図表7-3-4-9 管路の現状と耐震化案の比較

①現状



②耐震化案



神戸市水道局資料提供

① 被害発生の抑制

地震被害の抑制には、施設（構造物、機械・電気設備）、管路（管路、付属設備、特殊形態管路）、給水装置など水道施設全般にわたる耐震化が必要であるが、実際には基幹施設を中心とした合理的な施設の耐震化が進められている。

耐震管路に採用する管種の基本的な考え方を呼び径や布設環境などにより設定し、選定する必要がある。管種・継手ごとの耐震適合性は図表5-3-1-5を参照のこと。

ここでは、耐震化を進めるべき管路を紹介する。

1) 重要性の観点から耐震性を高めるべき管路

- ・ 導・送水管や配水本管などの重要性の高い基幹管路
- ・ 給水区域内に位置する避難所、救急病院、応急給水拠点などの震災後の応急対策上重要な施設（ライフ・スポット）への供給ルートとなる管路
- ・ 福祉施設などの災害弱者の施設、さらに清掃工場、発電所、変電所など、災害復旧上重要な施設への供給ルートとなる管路

2) 地質、地形上の観点から耐震性を高めるべき管路

- ・ 盛土地盤や沖積層などの軟弱地盤で、地盤が不安定な場所
- ・ 海岸や旧河川、旧ため池などの埋立地で地震時に大きな地盤変状が生じる恐れが大きい場所
- ・ 液状化の恐れのある場所
- ・ 山稜（尾根）の法肩や法先など地盤の崩壊並びに移動の恐れが大きい場所
- ・ 地質・地形の急変部など地震時に地盤の相対変位が生じる恐れがある場所
- ・ 護岸（海、河川）近傍地盤や傾斜地盤など地震時に大きな地盤変状が生じる恐れがある場所
- ・ 活断層の存在が明確に把握されている場所

3) 構造上検討を必要とする場所

- ・ 構造物に固定された管路の取出し部など、地震時に構造物と管路がそれぞれ異なった挙動を生じることが予想される場所

② 被害影響の最小化

大規模な地震では、管路・給水装置などの一定の被害は避けられないので、個別管路の耐震性向上と同時に、被害影響の最小化対策を推進する。

1) 管路システムの耐震化

- ・ 広域水道、隣接水道との連絡管の整備による広域的バックアップ機能の強化
- ・ 送水管、配水管などにおけるループシステムの採用
- ・ 施設複数化、バイパス設備、貯留施設大容量化、複数系統化など、システムとしてのバックアップの確保
- ・ 配水区域が広い、高低差が大きいなどの場合は配水管網のブロックシステムの整備

2) バルブの設置

施設・管路が被災した場合の影響を局所化して断水区域を限定し、復旧作業用水を確保し早期復旧を可能にするため、必要なバルブの新設、設置間隔の短縮などを行う。

- ・ 管路の始点・終点、分岐部などへの設置
- ・ 導・送水管などの設置間隔の見直し（現状、おおむね1～3km間隔）
- ・ 自然流下の配水池には、緊急遮断弁の設置が有効（急激な流量変動防止に、弁開閉時間調整、地震計と流量計の併用考慮）
- ・ 緊急対応の迅速化のために、電動弁の設置、遠方監視制御などを検討（水の流出による2次災害の恐れや重要管路からの分岐部など）

3 応急復旧対策

1) 情報収集

地震発生後の緊急措置や応急復旧活動に必要な情報の迅速な収集のため、電話、無線などの通信手段の確保や、テレメーターなどの必要な監視施設の設置および既存施設の耐震化を図る。

2) 応急復旧作業

- ・ 早期の復旧を可能にするために、被災後の漏水調査に必要な水量を考慮して、想定される復旧作業用水の確保を行っておく。
- ・ 復旧作業が進んでくると、通常給水量も増加し、復旧作業と応急給水が競合して人員不足となることがある。
- ・ 災害時には復旧資機材の入手も困難になることから、ある程度の備蓄を行っておく。

7-4

下水道圧送管路の内面腐食診断

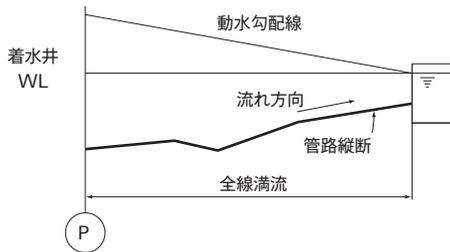
7-4-1 硫化水素に起因する硫酸腐食

下水を圧送すると嫌気化が進行し、管壁に付着したスライム層や管底の堆積層に生息する硫酸塩還元細菌により、堆積汚泥中の硫酸塩 (SO_4^{2-}) から硫化水素が生成される。管路内に気相があれば、生成された硫化水素は液相から気相に放散され、気相の内壁の結露水中で好気性の硫黄酸化細菌群などにより酸化されて硫酸となり、セメントや鉄を腐食させる。これが下水道圧送管路における硫化水素に起因する硫酸腐食である（硫酸腐食のメカニズムは図表4-2-1-5を参照）。

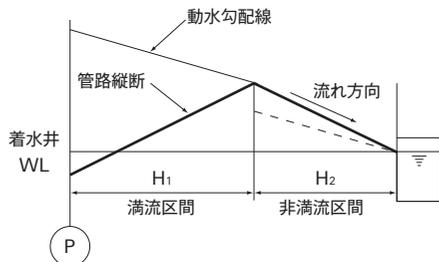
ここでは、ポンプ圧送している管路でも、非満流となる条件について図表7-4-1-1、2で説明する。ポンプ圧送する場合、その管路は全線満流と思われがちであるが、図表7-4-1-2のような管路形状の場合、満流となるのは H_1 部分のみであり、管路途中の凸部下流の下り勾配となる H_2 部分は非満流となる。

こうした箇所では、管内の気相中に硫化水素が放散されて硫酸となり、管内面の耐食性が不十分な場合は腐食が発生する。

● 図表7-4-1-1 圧送管路で全線満流の場合



●図表7-4-1-2 圧送管路で一部非満流の場合



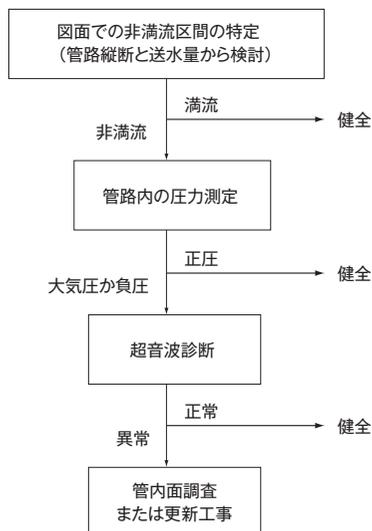
7-4-2 内面腐食診断

前述の通り、圧送管路は通常満流状態になり、管路の大部分では硫化水素に起因する腐食は起こらない。しかし、図表7-4-1-2のような管路形状の場合、前述のように H_2 部分は非満流状態となり、硫酸腐食が圧送管路でも起こる可能性がある。

圧送管路の維持管理を効率的に行うためには、こうした硫酸腐食の可能性が高い箇所を絞り込み、腐食の有無を確認する必要がある。

硫酸腐食の発生箇所を特定するための内面腐食診断の手順を図表7-4-2-1に示す。

●図表7-4-2-1 下水道圧送管路の内面腐食診断手順



① 図面での非満流区間の特定

管路縦断面図と送水量のデータを基に管路内が非満流となる区間(腐食危険箇所)を推定する。判断基準としては、以下の3つの条件を満たす区間となる。

- ・ 管路レベルが着水井側からの動水勾配線のレベルより上にある下り勾配区間
- ・ 管路勾配(下り勾配の傾き)が動水勾配より大きい区間
- ・ 上記に該当し、さらに下流側により高いレベルの管路が存在していない区間

② 管路内の圧力測定

非満流と推定された区間の管路内圧を測定することにより、非満流かどうかの確認や自由水面の位置の推定が可能となる。管路内圧力が、常時ほぼ大気圧または負圧となる区間は、常に非満流となっていると判断され、図面で非満流区間と推定された区間をさらに絞り込むことが可能となる。なお、管路内圧力の測定は、通常は空気弁などを利用して行うことができる。

③ 超音波による腐食診断

前段までの検討結果により管路内が非満流となる区間(腐食危険箇所)が特定されたことになるが、そこで必ず硫酸腐食が発生するわけではない。例えば、多量の硫化水素が発生する管路で、内面防食が十分でない管に腐食が発生した場合でも、内面エポキシ樹脂粉体塗装されたダクタイル鉄管には全く異常が発生していない。そのため、管内面を観察することが望ましいが、管内カメラや直接目視のいずれにしても、送水停止や排水など大掛かりな作業が必要である。そこで管外面から超音波を用いて内面の腐食の有無を判断すれば、送水を中断する必要がなく、簡便で経済的である。

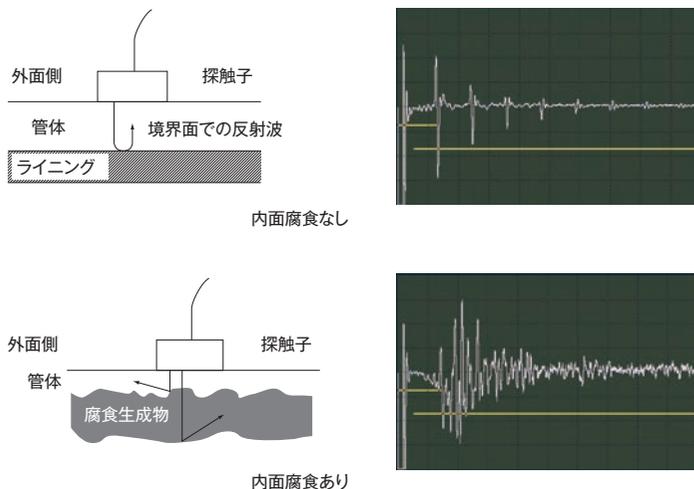
超音波による診断は、被測定物素材中を伝播する超音波の境界面での反射を利用したものである。超音波の伝播・反射を利用して、通常は厚さの測定や内部の探傷が行われるが、超音波の伝播方向と境界面との角度によって反射波の強弱が生じる。伝播方向に対し、境界面が垂直な場合には大きな反射波が得られるが、境界面が傾いている場合には反射波が小さくなる。同様に腐食が生じた凹凸の境界面では反射波が散乱する。実際に超音波の反射波を観察すると、図表7-4-3-2に示すように内面状況によって波形に差異が生じ、その特徴から内面腐食の有無が判断可能となる。

この超音波による診断方法には以下の特徴がある。

- ・ 均質な材料であれば、管の材質を問わない。
- ・ 管路内流体の有無、種類を問わない。

本診断手法は、調査立坑の築造が必要となるため、今後、立坑不要な簡易な直接診断手法の開発が望まれる。

●図表7-4-2-2 内面腐食の有無による超音波の反射波形



4 管路の更新

前述の診断結果より、硫化水素に起因する内面腐食事故が懸念される場合は、内面エポキシ樹脂塗装系のダクタイル鉄管で布設替えすることが望まれる。供用を停止できない場合などは、リスク管理の観点からバックアップ管路を構築することも有効な手段である。

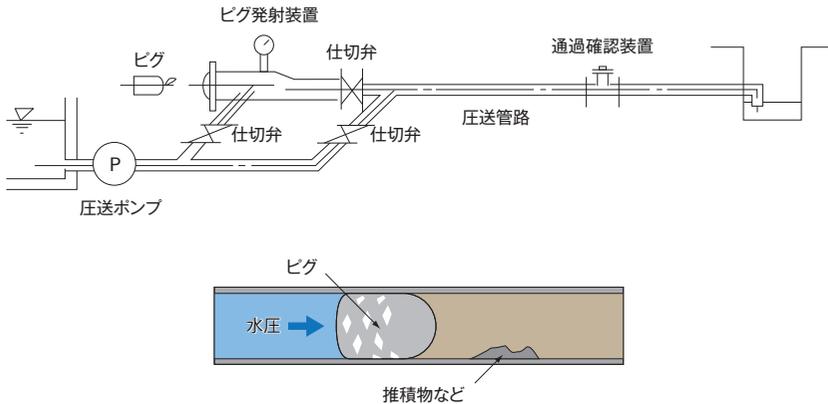
7-4-3 ピグ洗管

圧送管路の硫酸腐食を予防する手段としてピグ洗管がある。ピグ洗管は管路内に内径より若干大きいポリウレタン製のピグを挿入し、ピグに水圧を加え、管路内を移動させることにより管路内の堆積物などを排出するポリピグ法である。

この方法は、ピグ発射装置(ピグランチャー)とピグ回収装置(ピグキャッチャー)を常

設し、下水圧送ポンプの圧力を利用すれば、内径が変わらない限り長距離の管路を一度に洗管できる。

●図表7-4-3-1 ピグ洗管の概要

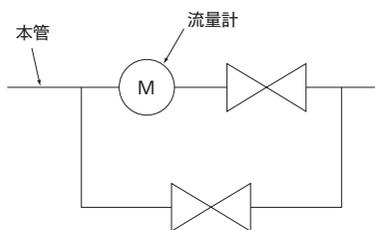


この方法を下水道圧送管路の維持管理に採用するにあたっての留意事項は、以下の通りである。

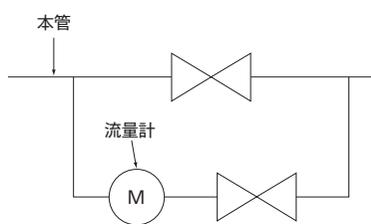
- ・ 一定の期間(1～6カ月)を定めて必ずピグ洗管をし、管内を常に良好な状態に維持することが望ましい。土砂、汚泥などの固着を未然に防止することが本来の目的であって、成長し固着したものを除去することが目的ではない。
- ・ 簡単にピグ洗管ができるように、ピグ発射装置、ピグ回収装置などを管路両端に設置する。圧送源としては、本管に入るまで清水で圧送し、その後、下水で圧送するような工夫をしておく方がよい。ピグ挿入を素早く安全に行うために、安全装置付きワンタッチ開閉装置およびピグ通過確認装置付きピグ発射装置の採用が望ましい。
- ・ 管路内途中には、ピグが通らないような計器(流量計、濃度計など)やバルブ(バタフライ弁など)を設置しないようにする。ピグの通過可否に留意して管路を設計しておかないと、完成後ピグを通せないことがある。供用前にピグが全管路内を通過することを確認しておけば、メンテナンス上でのトラブルの発生を防ぐことができる。

●図表7-4-3-2 バルブ・流量計の設置例

好ましくない例



好ましい例

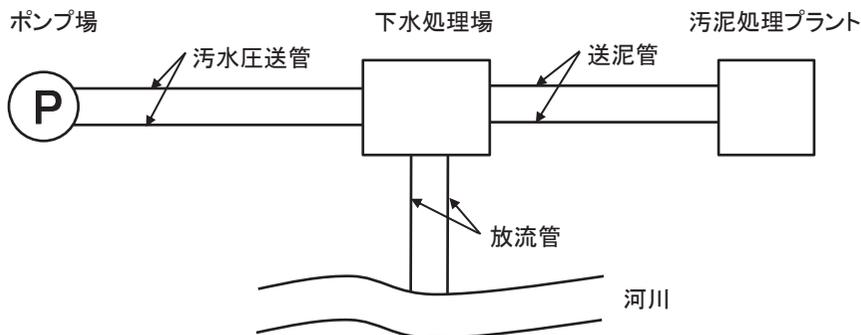


- ・使用するピグは、通過性が良く、管内面に損傷を与えることなくクリーニングできる半硬質ウレタン発泡体にウレタン樹脂コーティングを施したものが適している。
- ・ピグは通常、呼び径100～600までに対応するものが標準である。
- ・排出距離は、最大20km程度の例がある。

7-4-4 圧送管路の複数化

圧送管路では供用開始直後の流量の確保、災害時の復旧や維持管理を容易にするために圧送管路の複数化、連結管の設置を行うことが望ましい。

●図表7-4-4-1 圧送管路の複数化



付録

Appendix

付録 1 「JDPG G 1046 PN形ダクタイル鋳鉄管」の規格改正 (2017年10月)

2017年10月5日付で以下の規格改正があった。

「JDPG G 1051-2016 PN形ダクタイル鋳鉄管 (JP方式及びCP方式)」規格廃止。

「JDPG G 1046-2007 PN形ダクタイル鋳鉄管」規格改正。G 1046-2017に継承。

本書ではこの改正を反映していないが、今後の参考のために改正前と改正後の相違点を以下に示す。

【改正前】

規 格	JDPG G 1046			JDPG G 1051		
適 用 (対さや管)	押込工法			押込工法 (JP方式)		持込工法 (CP方式)
	1呼び径ダウン以上			2呼び径ダウン以上		3呼び径ダウン 以上
呼び径	300～1500					700～1500
管厚の種類	1種管(すべての呼び径) 2種管(呼び径400以上) 3種管(呼び径500以上) 4種管(呼び径600以上)			1種管		P種管 (3種管及び 4種管相当)
セットボルト	あり			なし		
スプリング	なし			呼び径900以上		
タイプ	直管	直管 (溶接リン グ付き)	直管 (フランジ・ リップ付き)	直管	直管 + キャスト バンド (スペース)	直管 (DGタイプ) + キャスト バンド

【改正後】

規 格	JDPG G 1046					
適 用	押込工法					持込工法
(対さや管)	1呼び径ダウン以上		2呼び径ダウン以上			3呼び径ダウン 以上
呼び径	300～1500					700～1500
管厚の種類	1種管(すべての呼び径)、2種管(呼び径400以上)、 3種管(呼び径500以上)、4種管(呼び径600以上) ^{注1}				1種管	3種管及び 4種管
セットボルト	なし					
スプリング	呼び径900以上					
タイプ	直管	直管 (溶接リン グ付き)	直管 (フランジ・ リップ付き)	直管 + キャスト バンド (STタイプ) ^{注2}	直管 (DGタイプ) + キャスト バンド (DGタイプ) ^{注3}	直管

注1 4種管は、管路の線形及び施工延長に制限が設けられている。

注2 STタイプのSTは、STandardの略である。

注3 DGタイプのDGは、Double Groovedの略である。

備考 詳細は「ダクタイル鉄管によるパイプ・イン・パイプ工法 設計と施工 JDPG T 36」を参照のこと。

付録 2 ダクタイル鉄管管路を高水圧で使用した事例

事業体	静水圧 (MPa)	呼び径	延長 (m)	管厚の種類	接合形式	用途	安全対策
A市	3.34	100	6090	PF種	K形	上水	特殊管厚サージタンク装置
B県	1.99	200~400	8000	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
B県	1.80	500	500	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
B県	2.00	150~300	3000	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
C県	1.70	200~350	5000	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
D県	1.30	400	1000	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
E社	1.40	300	5000	1種	K形	原水送水	曲管部にKF形使用 ^{注1}
F市	1.40	700	7000	1種他	K形	上水	曲管部にKF形使用 ^{注1}
G県	1.20	1100	2400	1種	K形	上水	曲管部にKF形使用 ^{注1}
H県	1.76	300	1878	3種	K形	灌漑用	サージタンク装置
I県	1.30	800	2700	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
I県	1.30	900	5800	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
J県	1.65	700~1100	19300	2種	S形	灌漑用	
J県	1.65	2400	2950	2種	K形	灌漑用	
K県	2.55	500	600	1種他	K形	灌漑用	
L電力	3.17	500	300	PF種	K形	電力	
M市	1.90	500・600	3500	1種	K形	上水	
N県	2.52	600	2428	1種	K形	上水	
O局	2.40	600	2000	2種	K形	上水	
O局	2.50	450	5500	1種	T形	上水	
O局	1.79	400	2600	3種	T形	上水	
O局	2.40	800	900	特殊	K形・T形	上水	

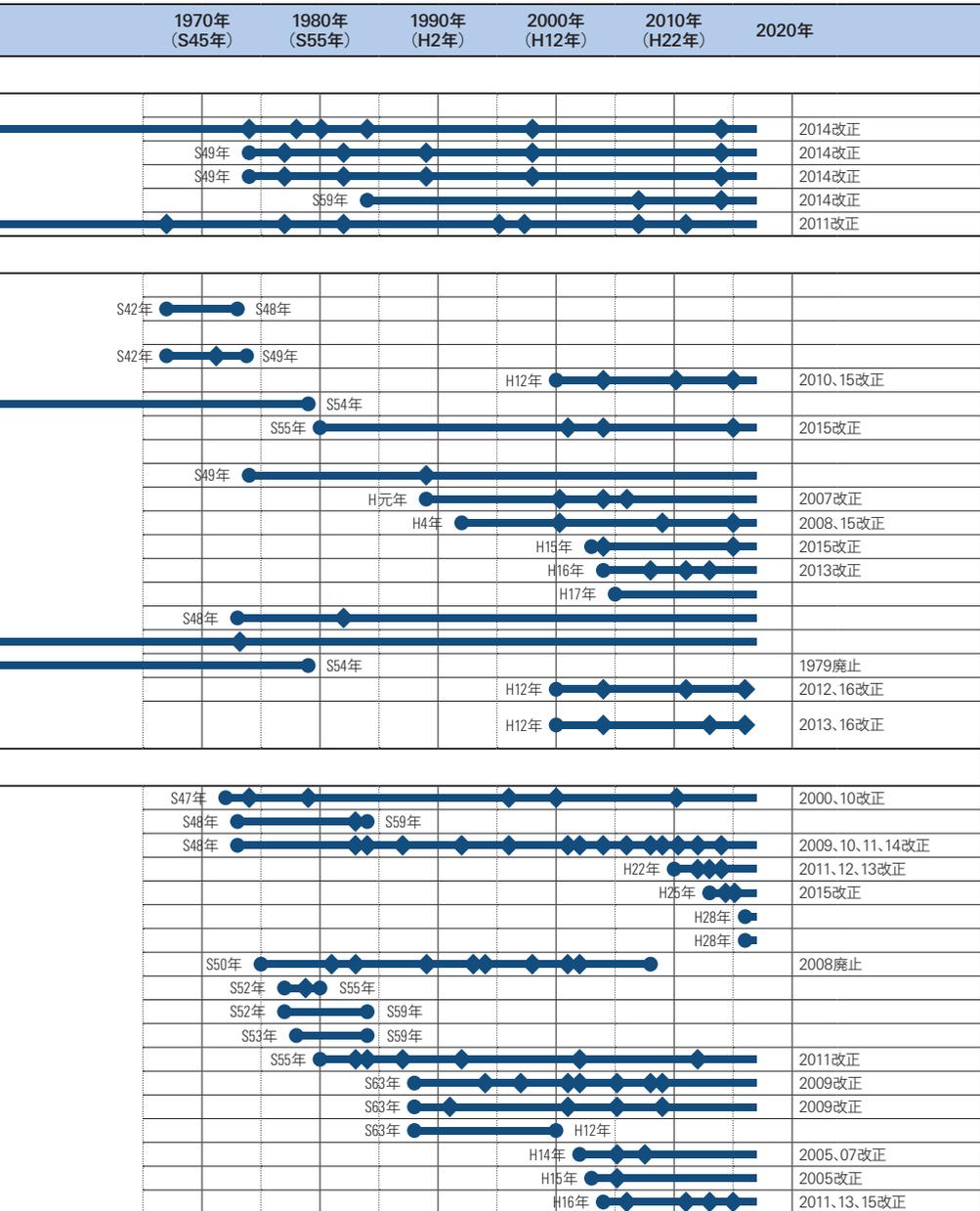
注1 KF形は廃止されている。

付録 3 ダクタイト管の塗覆装および表示などの規格年表

凡例 ● = 制定、◆ = 改正、● = 廃止、S = 昭和、H = 平成

年 号	1930年 (S5年)	1940年 (S15年)	1950年 (S25年)	1960年 (S35年)
日本工業規格				
JIS 第499号類別K 水道用ゴムパッキン		S18年 ●		
JIS A 5314 ダクタイト管 鋳鉄管モルタルライニング				S33年 ●
JIS G 5526 ダクタイト管 鋳鉄管				
JIS G 5527 ダクタイト管 鋳鉄異形管				
JIS G 5528 ダクタイト管 内面エポキシ樹脂粉体塗装				
JIS K 6353 水道用ゴム			S26年 ●	◆
日本水道協会規格				
水道用鋳鉄管及び弁鑄出記号標準		S17年 ●	S26年 ●	
直管表示マーク統一表				
水道用鋳鉄管モルタルライニング方法			S31年 ●	S33年 ●
JWWA A 107 水道用速心カダクタイト管 鋳鉄管モルタルライニング				
JWWA A 113 水道用ダクタイト管 鋳鉄管モルタルライニング				
JWSA G 104 水道用鋳鉄管塗装方法			S30年 ●	
JWWA G 112 水道用ダクタイト管 内面エポキシ樹脂粉体塗装				
JWSA K 102 水道用ゴムパッキン	S12年 ●			◆
JWWA K 115 水道用タールエポキシ樹脂塗料塗装方法				
JWWA K 135 水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法				
JWWA K 139 水道用ダクタイト管 鋳鉄管合成樹脂塗料				
JWWA K 156 水道施設用ゴム材料				
JWWA K 157 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法				
JWWA K 158 水道用ダクタイト管 鋳鉄管用ポリエチレンスリーブ				
JWWA Z 100 水道用品表示記号				
JWWA Z 101 水道用ダクタイト管 鋳鉄管類の表示方法			S26年 ●	
JWWA Z 107 水道用メカニカルジョイント 鋳鉄管記号配列				S35年 ●
JWWA Z 108 水道用資機材の浸出試験及び				
JWWA Z 110 水道用資機材の浸出試験及び 水道用薬品の評価試験に係る分析方法				
日本ダクタイト管協会規格				
JDPA Z 2002 ダクタイト管 鋳鉄管継手用滑剤				
JCPA Z 2003 ダクタイト管 鋳鉄管類の表示記号				
JDPA Z 2004 ダクタイト管 鋳鉄管類の表示				
JDPA Z 2004-2 GX形ダクタイト管 鋳鉄管の表示				
JDPA Z 2004-3 S50形ダクタイト管 鋳鉄管の表示				
JDPA Z 2004-4 NS形ダクタイト管 鋳鉄管(E種管)の表示				
JDPA Z 2004-4-1 NS形ダクタイト管 鋳鉄管(E種管)の表示				
JDPA Z 2005 ダクタイト管 鋳鉄管防食用ポリエチレンスリーブ				
JDPA Z 2006 ダクタイト管 鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装				
JDPA Z 2007 ダクタイト管 鋳鉄管継手用クロロレンゴム輪				
JDPA Z 2008 ダクタイト管 鋳鉄管継手用ニトリルゴム輪				
JDPA Z 2009 ダクタイト管 鋳鉄管外面特殊塗装				
JDPA Z 2010 ダクタイト管 鋳鉄管合成樹脂塗料				
JDPA Z 2011 ダクタイト管 鋳鉄異形管内面液状エポキシ樹脂塗料				
JDPA Z 2013 ダクタイト管 鋳鉄異形管モルタルライニングエポキシ樹脂塗料				
JDPA Z 2015 水道用ダクタイト管 鋳鉄管モルタルライニングシーコート				
JDPA Z 2016 ダクタイト管 鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装				
JDPA Z 2017 ダクタイト管 鋳鉄管用切管端面防食材料				

備考 規格名称は2016(平成28)年12月末現在のものを記載した。



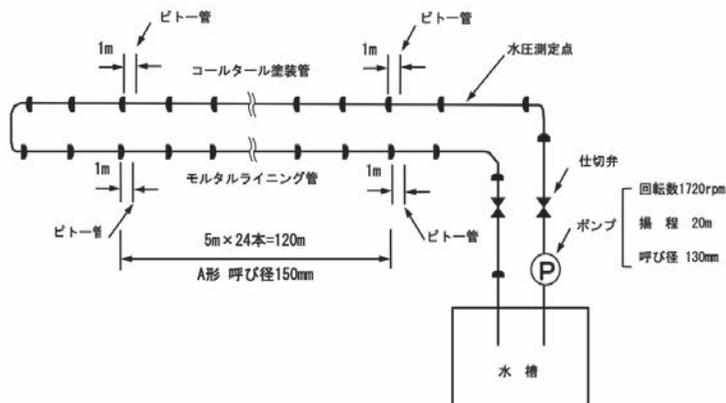
付録 4 モルタルライニング管の流速係数 C_H 値の経年変化実測例

1 モルタルライニング管の流速係数 C_H 値の測定実験

A形呼び径150のダクタイル鉄管を図のように配管し、ピトー管を用いて損失水頭を測定して、モルタルライニング管の流速係数 C_H 値を測定した。その結果、表に示した通り C_H 値はかなり大きな値が得られている。また、継手部で管路を3°ずつ屈曲させても C_H 値はほとんど低下せず、3°程度の屈曲による損失は摩擦損失に比べて小さい。モルタル表面を強制的に侵食した場合の C_H 値は112~117になっているが、これはモルタル中の砂が完全に露出し、表面がもっとも粗な状態のものであり、上水道等の良質の水が通水されている場合には、ほとんど起こり得ない状態のものである。

また、同様の実験方法にて、呼び径200内面エポキシ樹脂粉体塗装管で C_H 値を測定した結果、 C_H 値は154であった。

① モルタルライニング管の流速係数 C_H 値の測定方法



② モルタルライニング管の流速係数 C_H 値の測定結果

管の状況	C_H 値
新管、直線管路の場合	155~159
新管、全管路にわたって継手部をジグザグに3°ずつ屈曲させた場合	155~158
管内に硫酸を充滿し、約50時間放置して強制的に浸食させ、ライニング表面をザラザラにした場合	112~117

2 国内の上水道におけるモルタルライニング管の流速係数 C_H 値の実測例

場 所	呼び径	管路長 (m)	布設年	経過年数 (年)	C_H 値
A市	900~1600	13980	1960~1965(昭和35~40)年	15~20年	117~122
B市	500~1200	44770	1965~1972(昭和40~47)年	8~15年	120~124
C市	900	25920	1982(昭和57)年	6年	133

3 海外のモルタルライニング管の流速係数 C_H 値の経年変化実測例

場 所	呼び径 (インチ)	シール コート	公称最低ラ イニング厚さ (インチ)	長さ (フィート)	布設年	経過年数 (年)	C_H 値
Birmingham, Ala.	6	有	1/16	473	1940	1	148
						6	141
						12	138
						17	133
Catskill, N.Y.	16	無	1/8	30825	1932	25	136
Champaign, Ill.	16	無	3/16	3920	1928	13	137
						22	139
						28	145
						36	130
Charleston, S.C.	5.78			300	1941	新管	145
						12	146
						16	143
	12		1/8	500	1932	15	145
						25	136
Chicago, Ill.	36	有	1/8	7200	1945	1	147
						12	151
Concord, N.H.	12	無	1/16	500	1928	13	143
						29	140
						36	140
Danvers, Mass.	20	無	1/16	500	1926	31	135
						38	133
Greenville, S.C.	30	無	1/8	87400	1944	13	148
						20	146
		有	1/8	50700	1939	19	148
						25	146
Greenville, Tenn.	12	無	1/16	500	1928	13	134
						29	137
						36	146
Knoxville, Tenn.	10		1/16	500	1925	16	134
						32	135
						39	138
Manchester, N.H.	12	有		500	1936	5	151
						19	132
						26	140
Safford, Ariz.	10	無	1/8		1941	16	144
Watertown, N.Y.	10	無	1/16	500	1927	14	151
						28	132
						37	125 ^{注1}

注1 多量の塩素添加によりライニング表面のスライムを除去したものの。

Wallace T. Miller, Jour. AWWA, Jun, 1965

付録 5 ダクタイル鉄管の荷重によるたわみ量

1 ダクタイル鉄管の自重によるたわみ量

呼び径	管厚の種類							
	1種管		2種管		3種管		4種管	
	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)						
500	111	0.2	99	0.2	93	0.3	—	—
600	153	0.2	139	0.3	126	0.4	119	0.5
700	194	0.4	178	0.5	162	0.6	146	0.7
800	249	0.5	222	0.7	204	0.8	186	1.0
900	311	0.7	270	0.9	250	1.0	229	1.3
1000	380	0.8	334	1.1	300	1.3	277	1.6
1100	455	1.0	393	1.4	355	1.7	330	2.0
1200	537	1.2	469	1.6	415	2.1	374	2.6
1350	666	1.6	574	2.2	513	2.7	467	3.3
1500	808	2.0	706	2.7	621	3.5	570	4.2
1600	913	2.3	805	3.0	696	4.0	642	4.7
1650	960	2.5	848	3.2	737	4.3	680	5.1
1800	1145	2.9	983	3.9	862	5.2	801	6.0
2000	1391	3.7	1211	5.0	1076	6.4	962	8.0
2100	1532	4.1	1343	5.4	1177	7.1	1059	8.9
2200	1690	4.6	1466	6.2	1291	8.1	1166	10.0
2400	1985	5.3	1717	7.1	1501	9.4	1366	11.4
2600	2346	6.4	2024	8.7	1759	11.6	1611	14.0

呼び径	管厚の種類							
	5種管		S種管		PF種管		P種管	
	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)						
500	—	—	99	0.2	—	—	—	—
600	105	0.6	139	0.3	—	—	—	—
700	130	1.0	178	0.5	—	—	158	0.5
800	167	1.3	222	0.7	277	0.4	198	0.7
900	198	1.8	270	0.9	332	0.6	223	1.1
1000	243	2.1	334	1.1	414	0.7	271	1.4
1100	280	2.8	—	—	480	0.9	323	1.8
1200	319	3.6	—	—	551	1.2	374	2.6
1350	390	4.8	—	—	666	1.6	467	3.3
1500	484	5.9	—	—	825	1.9	570	4.2
1600	533	6.9	—	—	913	2.3	—	—
1650	568	7.3	—	—	960	2.5	—	—
1800	658	9.0	—	—	1145	2.9	—	—
2000	826	11.0	—	—	1391	3.7	—	—
2100	892	12.6	—	—	1509	4.3	—	—
2200	990	14.0	—	—	1641	4.9	—	—
2400	1150	16.3	—	—	1878	5.9	—	—
2600	1375	19.3	—	—	2171	7.5	—	—

備考 たわみ量の計算には規格管厚から鑄造公差余裕(管厚の10%または1mm)を差し引いた管厚を用いた。モルタルライニングの補強効果は見込んでいない。

2 土かぶり土圧 (10kN/m²あたり) によるたわみ量

(単位: mm)

呼び径	垂直土圧 (10kN/m ² あたり) によるたわみ量							
	管底支持角 $2\theta = 60^\circ$							
	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管	S種管	PF種管	P種管
500	0.6	0.8	1.0	—	—	0.8	—	—
600	0.7	0.9	1.4	1.7	2.6	0.9	—	—
700	1.0	1.3	1.7	2.5	3.8	1.3	—	1.5
800	1.2	1.7	2.2	2.9	4.3	1.7	0.8	1.9
900	1.3	2.1	2.7	3.5	5.7	2.1	1.1	3.1
1000	1.5	2.3	3.2	4.0	6.1	2.3	1.2	3.7
1100	1.7	2.7	3.7	4.6	7.7	—	1.5	4.2
1200	1.9	2.9	4.2	5.9	9.5	—	1.8	5.9
1350	2.3	3.6	5.1	6.8	11.8	—	2.3	6.8
1500	2.6	4.0	6.0	7.8	12.8	—	2.5	7.8
1600	2.8	4.1	6.4	8.3	14.6	—	2.8	—
1650	3.0	4.3	6.7	8.6	14.9	—	3.0	—
1800	3.1	5.0	7.5	9.4	17.2	—	3.1	—
2000	3.7	5.7	8.3	11.7	18.6	—	3.7	—
2100	3.9	5.9	8.9	12.3	20.9	—	4.1	—
2200	4.2	6.6	9.7	13.3	22.0	—	4.6	—
2400	4.4	6.9	10.5	14.0	23.8	—	5.2	—
2600	5.0	7.8	12.1	15.8	25.7	—	6.3	—

備考 たわみ量の計算には規格管厚から製造公差余裕 (管厚の10%または1mm) を差し引いた管厚を用いた。モルタルライニングの補強効果は見込んでいない。

3 ダクタイル鉄管の路面荷重 (10kN/m²あたり) によるたわみ量

(単位: mm)

呼び径	路面荷重 (10kN/m ² あたり) によるたわみ量							
	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管	S種管	PF種管	P種管
500	0.2	0.2	0.3	—	—	0.2	—	—
600	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	0.3	—	—
700	0.3	0.4	0.5	0.8	1.1	0.4	—	0.5
800	0.3	0.5	0.7	0.9	1.3	0.5	0.3	0.6
900	0.4	0.6	0.8	1.0	1.7	0.6	0.3	0.9
1000	0.5	0.7	1.0	1.2	1.8	0.7	0.4	1.1
1100	0.5	0.8	1.1	1.4	2.3	—	0.4	1.3
1200	0.6	0.9	1.3	1.8	2.9	—	0.5	1.8
1350	0.7	1.1	1.5	2.0	3.6	—	0.7	2.0
1500	0.8	1.2	1.8	2.3	3.8	—	0.7	2.3
1600	0.8	1.2	1.9	2.5	4.4	—	0.8	—
1650	0.9	1.3	2.0	2.6	4.5	—	0.9	—
1800	0.9	1.5	2.3	2.8	5.1	—	0.9	—
2000	1.1	1.7	2.5	3.5	5.6	—	1.1	—
2100	1.2	1.8	2.7	3.7	6.3	—	1.2	—
2200	1.3	2.0	2.9	4.0	6.6	—	1.4	—
2400	1.3	2.1	3.1	4.2	7.1	—	1.6	—
2600	1.5	2.3	3.6	4.7	7.7	—	1.9	—

備考 たわみ量の計算には規格管厚から製造公差余裕 (管厚の10%または1mm) を差し引いた管厚を用いた。モルタルライニングの補強効果は見込んでいない。

付録 6 円環の構造計算式

M_1 、 T_1 、 V_1 、 M 、 T 及び V は図示の時正、逆の時負 荷重は図示の時正、逆の時負

E = 弾性係数

I = 円環断面の慣性モーメント

W 又は F = 荷重又は反力

w = 荷重

k = 液体の比重

z = $\sin x$

u = $\cos x$

s = $\sin \theta$

c = $\cos \theta$

n = $\sin \phi$

e = $\cos \phi$

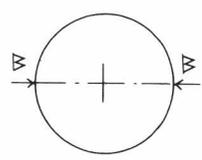
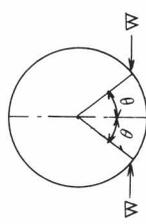
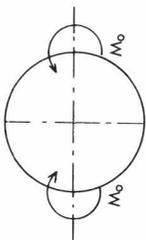
p = $\sin \beta$

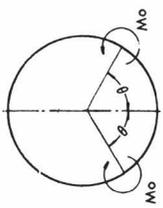
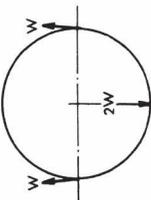
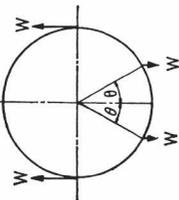
q = $\cos \beta$

角度はラジアン

$+D_x$ 、 $+D_y$ は直径の増加を意味し、 $-D_x$ 、 $-D_y$ は減少を意味する。

$+ΔR$ は垂直方向直径の上半分の増加を $-ΔR$ は減少を意味する。

<p>荷重・支持条件</p>	<p>曲げモーメント M、円周方向引張 T、円環の底面から角度 x の距離に於ける半径剪断力 V、直径の水平方向変化 Dx、直径の垂直方向変化 Dy</p>
<p>1.</p> 	$M = WR \left(0.3183 - \frac{1}{2} z \right) \quad \max + M = 0.3183 WR, \text{ at } x = 0 \quad \max - M = -0.1817 WR \text{ at } x = \frac{\pi}{2}$ $T = -\frac{1}{2} Wz$ $V = -\frac{1}{2} Wu$ $Dx = +0.137 \frac{WR^3}{EI}$ $Dy = -0.149 \frac{WR^3}{EI}$
<p>2.</p> 	$(x = 0 : x = \theta \text{間}) M = WR [0.3183 (s - c\theta + u\theta - usc) - u + c] \quad (x = \theta : x = \pi \text{間}) M = WR [0.3183 (s - c\theta + u\theta - usc)]$ $T = WR [0.3183u (\theta - sc) - u]$ $V = WR [0.3183z (sc - \theta) + z]$ $Dx = \frac{WR^3}{EI} \left[0.6366 (s - c\theta) + \frac{1}{2} (sc - \theta) \right] \quad \Delta R = \frac{WR^3}{EI} \left[0.3183 \left(s - c\theta + \frac{1}{2} \theta - \frac{1}{2} sc \right) - \frac{1}{2} s + \frac{1}{2} \theta c \right]$ $Dy = \frac{WR^3}{EI} \left[0.6366 (s - c\theta) + c + \frac{1}{2} s^2 - 1 \right]$
<p>3.</p> 	$(x = 0 : x = \frac{\pi}{2} \text{間}) M = Mo \left(0.6366u - \frac{1}{2} \right) \quad (x = \frac{\pi}{2} : x = \pi \text{間}) M = Mo \left(0.6366u + \frac{1}{2} \right)$ $\max + M = +\frac{1}{2} Mo, Mo \text{ の直上} \quad \max - M = -\frac{1}{2} Mo, Mo \text{ の直下}$ $(x = 0 : x = \pi \text{間}) T = \frac{Mo}{R} (0.6366u) \quad V = -\frac{Mo}{R} (0.6366z)$ $Dx = 0, Dy = 0$ $\Delta R = \frac{MoR^2}{EI} (0.0329)$

<p>4.</p> 	<p> $(x=0: x=\theta\text{間}) M=Mo(0.3183(2us+\theta)-1)$ $(x=\theta: x=\pi\text{間}) M=Mo(0.3183(2us+\theta))$ $T=\frac{Mo}{R}(0.6366us)$ $T=\frac{Mo}{R}(0.6366us)$ $V=\frac{Mo}{R}(0.6366zs)$ $V=-\frac{Mo}{R}(0.6366zs)$ $Dx=\frac{MoR^2}{EI}(0.6366\theta-s)$ $Dy=\frac{MoR^2}{EI}(0.6366\theta+c-1)$ $\Delta R=\frac{MoR^2}{EI}(0.3183s-0.1817\theta)$ ここに $\theta < 90^\circ$ </p>
<p>5.</p> 	<p> $(x=0: x=\frac{\pi}{2}\text{間}) M=\overline{WR}(0.3183u+z-0.8183)$ $(x=\frac{\pi}{2}: x=\pi\text{間}) M=\overline{WR}(0.1817+0.3183u)$ $T=\overline{W}(0.3183u+z)$ $T=\overline{W}(0.3183u)$ $V=\overline{W}(u-0.3183z)$ $V=-\overline{W}(0.3183z)$ $Dx=\frac{\overline{WR}^2}{EI}(-0.1366)$ $Dy=\frac{\overline{WR}^2}{EI}(0.1488)$ $\Delta R=\frac{\overline{WR}^2}{EI}(0.0554)$ </p>
<p>6.</p> 	<p> $(x=0: x=\theta\text{間}) M=\overline{WR}\left[0.3183(uc^2-s\theta-c)+s-\frac{1}{2}\right]$ $(x=\theta: x=\frac{\pi}{2}\text{間}) M=\overline{WR}\left[0.3183(uc^2-s\theta-c)+s-\frac{1}{2}\right]$ $T=\overline{W}(0.3183uc^2+z)$ $T=\overline{W}(0.3183uc^2+z)$ $V=-\overline{W}(0.3183zc^2)$ $V=\overline{W}(u-0.3183zc^2)$ $Dx=\frac{\overline{WR}^3}{EI}\left[\frac{1}{2}(s^2+1)-0.6366(s\theta+c)\right]$ $(x=\frac{\pi}{2}: x=\pi) M=\overline{WR}\left[0.3183(uc^2-s\theta-c)+\frac{1}{2}\right]$ $Dy=\frac{\overline{WR}^3}{EI}\left[s-\frac{1}{2}(s\theta+c)-0.6366(s\theta+c)+0.7854\right]$ $T=\overline{W}(0.3183uc^2)$ $\Delta R=\frac{\overline{WR}^3}{EI}\left[\frac{c^2}{2\pi}+0.1817(c+\theta s)-0.2854\right]$ $V=-\overline{W}(0.3183zc^2)$ </p>

曲げモーメントM、円周方向引張り力T、円環の底面から角度xの距離xに於ける半径剪断力V、直径の水平方向変化Dx、直径の垂直方向変化Dy

7.
$$(x=0: x=\theta \text{間}) M = \frac{WR}{0.3183}(s\theta + c + us^2 - 1) \quad (x=\theta: x=\pi \text{間}) M = \frac{WR}{0.3183}(s\theta + c + us^2 - 1)$$

$$T = \frac{W}{0.3183}(0.3183us^2 + z)$$

$$V = \frac{W}{0.3183}(u - 0.3183zs^2)$$

$$Dx = \frac{WR^3}{EI} \left\{ \frac{1}{2}(s^2 + 2) + 0.6366(s\theta + c - 1) - 2s \right\} \text{ここに } \theta > 90^\circ \quad Dx = \frac{WR^3}{EI} \left\{ 0.6366(s\theta + c - 1) - \frac{1}{2}s^2 \right\}$$

$$Dy = \frac{WR^3}{EI} \left\{ \frac{1}{2}(sc + \theta) + 0.6366(s\theta + c - 1) - s \right\}$$

$$\Delta R = \frac{WR^3}{EI} \left\{ 1.6366(c + \theta s) - \pi s + cs + \theta - \frac{c^2}{\pi} - 0.8891 \right\}$$

8.
$$(x=0: x=\theta \text{間}) M = \frac{WR}{0.3183}(n\phi + e - s\theta - c) \quad (x=\theta: x=\phi \text{間}) M = \frac{WR}{0.3183}(n\phi + e - s\theta - c)$$

$$T = \frac{W}{0.3183} \left(\frac{us^2 + un^2}{n} - n + s \right) \quad T = \frac{W}{0.3183} \left(\frac{un^2 - s^2}{n} + z \right)$$

$$V = \frac{W}{0.3183} (s^2 - n^2) \quad V = \frac{W}{0.3183} (s^2 - n^2 + u)$$

$$Dx = \frac{WR^3}{EI} \left\{ \frac{1}{2}(s^2 + n^2) + 0.6366(n\phi + e - s\theta - c) \right. \\ \left. + 1 - 2n \right\} \quad (x=\phi: x=\pi \text{間}) M = \frac{WR}{0.3183}(n\phi + e - s\theta - c)$$

$$Dy = \frac{WR^3}{EI} \left\{ \frac{1}{2}(ne + \phi - sc - \theta) + 0.6366(n\phi + e - s\theta - c) + s - n \right\}$$

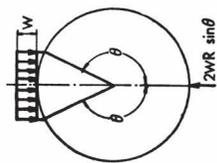
$$\Delta R = \frac{WR^3}{EI} \left\{ 0.1592(c^2 + e^2) + 0.8183(e + \phi n) + 0.1817(c + \theta s) - 0.5(\pi n - \phi - en) - 0.7854 \right\}$$

9.
$$(x=0: x=\theta \text{間}) M = \frac{1}{2} \frac{WR}{\theta} \left(\frac{u}{s} - \frac{1}{\theta} \right) : \max + M = \frac{1}{2} \frac{WR}{\theta} \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{\theta} \right) \text{ at } x=0, 2\theta, 4\theta, \text{ etc.}$$

$$\max - M = -\frac{1}{2} \frac{WR}{\theta} \left(\frac{1}{\theta} - \cot \theta \right) \quad \max T = \frac{1}{2} \frac{WR}{s} \left(\frac{1}{s} \right) \text{ at } x=0, 2\theta, \text{ etc.} \quad T = \frac{1}{2} \frac{WR}{\theta} \cot \theta$$

各荷重点に於ける半径の変化 = $\frac{WR^3}{2EI} \left\{ \frac{1}{s} \left(\frac{1}{2}\theta + \frac{1}{2}sc \right) - \frac{1}{\theta} \right\}$ 外向き
 $x=0, 2\theta, 4\theta, \text{ etc.}$ に於ける半径の変化 = $\frac{WR^3}{4EI} \left(\frac{2}{\theta} - \frac{1}{s} - \theta \frac{c}{s} \right)$ 内向き

10.



$$M_1 = wR^2 \left[\frac{1}{4} + \frac{1}{2} s^2 + 0.3183 \left(s - \frac{1}{2} \theta s^2 - \frac{1}{3} s^3 - \frac{3}{4} s c - \frac{1}{4} \theta \right) \right] \quad T_1 = -0.1061 wR s^3$$

($x=0$: $x = \theta$ 間) $(x = \theta$: $x = \pi$ 間)

$$M = M_1 - wR^2 \left[sz - 0.1061 s^3 (1-u) \right] \quad M_1 = M_1 + wR^2 \left[0.1061 s^3 (1-u) - \frac{1}{2} (s^2 + z^2) \right]$$

$$T = -wR(0.1061 s^3 u + sz) \quad T_1 = -wR(0.1061 s^3 u + z^2)$$

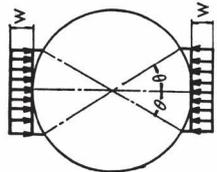
$$V = wR(0.1061 s^2 z - su) \quad V = wR(0.1061 s^2 z - zu)$$

$$Dx = \frac{2wR^4}{EI} \left[\frac{1}{4} - \frac{1}{2} s + \frac{1}{2} s^2 - \frac{1}{12} s^3 - 0.3183 \left(\frac{1}{4} \theta + \frac{3}{4} sc + \frac{1}{2} \theta s^2 - s \right) \right]$$

$$\Delta R = \frac{wR^4}{EI} \left[0.3094 + 0.6037 s + \frac{\pi}{4} s^2 - \frac{1}{3} c - 0.6132 sc - \frac{1}{6} s^2 c - 0.2046 \theta \right]$$

$$Dy = \frac{2wR^4}{EI} \left[\frac{1}{12} + \frac{1}{4} s^2 - \frac{1}{12} s^2 c - \frac{1}{4} \theta s - \frac{1}{6} c - 0.3183 \left(\frac{1}{2} \theta s^2 + \frac{3}{4} sc + \frac{1}{4} \theta - s \right) \right] \quad -\frac{1}{2} \theta s - 0.4092 \theta s^2 - \frac{1}{6} S^3$$

11.



$$M_1 = wR^2 \left[0.3183 \left(\frac{1}{2} \theta + \theta s^2 + \frac{3}{2} sc \right) - \frac{1}{2} s^2 \right] \quad T_1 = 0$$

($x=0$: $x = \theta$ 間) $M = M_1 - wR^2 \left(\frac{1}{2} z^2 \right)$ $(x = \theta$: $x = \pi - \theta$ 間) $M = M_1 - wR^2 \left(sz - \frac{1}{2} s^2 \right)$

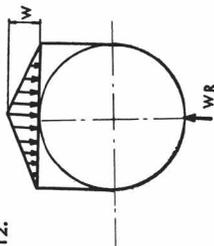
$$T = -wRz^2 \quad T = -wRsz$$

$$V = -wRzu \quad V = -wRsu$$

$$Dx = -\frac{wR^4}{EI} \left[s + \frac{1}{3} s^3 - 0.3183(\theta + 3sc + 2\theta s^2) \right]$$

$$Dy = -\frac{wR^4}{EI} \left[-0.3183(2\theta s^2 + 3sc + \theta) + s^2 - \theta s + \frac{1}{2} \pi s + \frac{1}{3} c^3 + \frac{2}{3} - c \right]$$

12.



$$M_1 = 0.305wR^2 \quad T_1 = -wR(0.026653)$$

($x=0$: $x = \frac{\pi}{2}$ 間) $M = M_1 - T_1 R(1-u) - \frac{1}{2} wR^2 z$ $(x = \frac{\pi}{2}$: $x = \pi$ 間) $M = M_1 - T_1 R(1-u) - \frac{1}{2} wR^2 z$

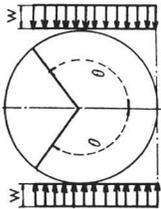
$$T = T_1 u - \frac{1}{2} wRz \quad -\frac{1}{6} wR^2 (1-z)^3$$

$$V = -T_1 z - \frac{1}{2} wRu \quad T = T_1 u - \frac{1}{2} wRz + \frac{1}{2} wR(1-z)^2 z$$

$$Dx = +\frac{0.1228wR^4}{EI} \quad Dy = -\frac{0.1220wR^4}{EI} \quad V = -T_1 z - \frac{1}{2} wRu + \frac{1}{2} wR(1-z)^2 u$$

荷重・支持条件
 曲げモーメント M 、円周方向引張力 T 、円環の底面から角度 x の距離に於ける
 半径剪断力 V 、直径の水平方向変位 Dx 、直径の垂直方向変位 Dy

13.



$$M_1 = wR^2 \left[0.3183 \left(\frac{2}{3}s - \theta c - \frac{1}{3}sc^2 + \frac{1}{2}\theta c^2 - \frac{3}{4}sc \right) \right. \\ \left. + \frac{1}{4}\theta \right] - \frac{1}{2} + c - \frac{1}{2}c^2 \quad T_1 = wR \left[0.3183 \left(\frac{2}{3}s + \frac{1}{3}sc^2 - \theta c \right) + c - 1 \right]$$

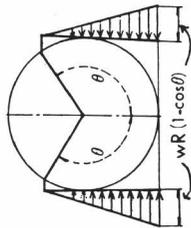
$$(x = \theta : x = \theta \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) - \frac{1}{2} w R^2 (1 - c) \times (1 + c - 2u)$$

$$(x = 0 : x = \theta \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) - \frac{1}{2} w R^2 (1 - u^2)$$

$$T = T_1 u + wR(1 - u)u \quad T = T_1 u + wR(1 - c)u$$

$$V = -T_1 z - wR(1 - u)z \quad V = -T_1 z - wR(1 - c)z$$

14.



$$M_1 = wR^3 \left[0.3183 \left(\frac{1}{8}\theta + \frac{1}{9}s - \frac{1}{4}\theta c - \frac{1}{2}\frac{3}{4}sc + \frac{1}{6}sc^2 + \frac{1}{2}\theta c^2 - \frac{1}{12}sc^3 - \frac{1}{6}\theta c^3 \right) - \frac{1}{6}(1 - c)^3 \right]$$

$$T_1 = wR^2 \left[0.3183 \left(\frac{1}{8}\theta + \frac{1}{2}\theta c^2 - \frac{1}{2}\frac{3}{4}sc - \frac{1}{12}sc^3 \right) - \frac{1}{2}(1 - c)^2 \right]$$

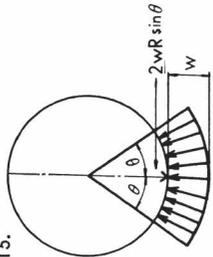
$$(x = 0 : x = \theta \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) + wR^2 \left[\frac{1}{6}(1 - u)^3 - \frac{1}{2}(1 - c)(1 - u) \right]$$

$$T = T_1 u + wR^2 \left[\frac{1}{2}(1 - 2c + u)(1 - u)u \right] \quad V = -T_1 z - wR^2 \left[\frac{1}{2}(1 - 2c + u)(1 - u)z \right]$$

$$(x = \theta : x = \pi \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) + wR^3 \left[\frac{1}{2}(1 - c)^2 \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3}c - u \right) \right]$$

$$T = T_1 u + wR^2 \left[\frac{1}{2}u(1 - c)^2 \right] \quad V = -T_1 z - wR^2 \left[\frac{1}{2}z(1 - c)^2 \right]$$

15.



$$M_1 = wR^2 (c - 0.3183(\theta c - \theta) - 1) \quad T_1 = wR(0.3183(s - \theta c) + c - 1)$$

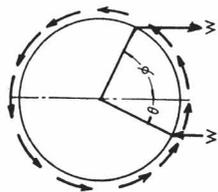
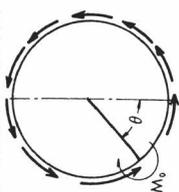
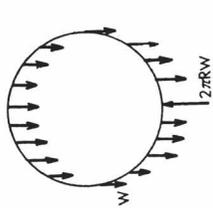
$$(x = 0 : x = \theta \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) - wR^2 (1 - u - sz) \quad (x = \theta : x = \pi \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) - wR^2 (cu - u)$$

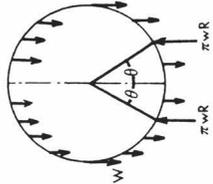
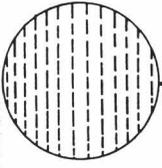
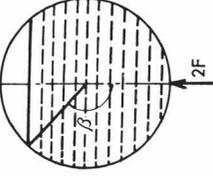
$$T = T_1 u + wR(sz + u - 1) \quad T = T_1 u + wR(u - cu)$$

$$V = -T_1 z + wR(su - z) \quad V = -T_1 z + wR(cz - z)$$

$$Dx = \frac{2wR^4}{EI} \left[\frac{1}{4}\theta c + 0.3183\theta - 0.5683s \right] z \geq |z| \theta < \frac{\pi}{2}$$

$$Dy = \frac{2wR^4}{EI} \left[\frac{1}{4}\theta s + 0.3183\theta + \frac{1}{2}c - 0.3183s - \frac{1}{2} \right]$$

<p>16.</p> 	$(x=0 : x=\theta \text{間}) M = \overline{WR} \left\{ 0.15915(s\theta + c - n\phi - e + u(s^2 - n^2) - z(sc + \theta + ne + \phi) - x(s + n)) \right. \\ \left. - \frac{1}{2}(s - n) + z \right\}$ $(x=\theta : x=2\pi - \phi) M = \overline{WR} \left\{ 0.15915(s\theta + c - n\phi - e + u(s^2 - n^2) - z(sc + \theta + ne + \phi) - x(s + n)) \right. \\ \left. + \frac{1}{2}(s + n) \right\}$ $(x=2\pi - \phi : 2\pi \text{間}) M = \overline{WR} \left\{ 0.15915(s\theta + c - n\phi - e + u(s^2 - n^2) - z(sc + \theta + ne + \phi) - x(s + n)) \right. \\ \left. + \frac{1}{2}(s + 3n) + z \right\}$ $(x=0 : x=\theta \text{及 } \phi \text{ 間}) T = \overline{W} \left\{ 0.15915(us^2 - zsc - z\theta - zne - z\phi) + z \right\}$ $V = \overline{W} \left\{ 0.15915(-s - n - zs^2 + zn^2 - usc - u\theta - une - u\phi) + u \right\}$ $T = \overline{W} \left\{ 0.15915(us^2 - un^2 - zsc - z\theta - zne - z\phi) \right\}$ $V = \overline{W} \left\{ 0.15915(-s - n - zs^2 + zn^2 - usc - u\theta - une - u\phi) \right\}$
<p>17. 局部に M_0 が働き接線方向に一樣に $(M_0 \div 2\pi R^2)$ なる剪断力の働く円環</p> 	$(x=0 : x=\theta \text{間}) M = M_0 \left(0.3183(us - zc + \frac{1}{2}\theta - \frac{1}{2}x) - \frac{1}{2} \right)$ $(x=\theta : x=2\pi \text{間}) M = M_0 \left(0.3183(us - zc + \frac{1}{2}\theta - \frac{1}{2}x) + \frac{1}{2} \right)$ $T = -\frac{M_0}{R} (0.318(zc - us))$ $V = -\frac{M_0}{R} \left(0.3183(zs + uc + \frac{1}{2}) \right)$
<p>18. 基礎で支持された自重 w の円環</p> 	$M = wR^2 \left(1 + \frac{1}{2}u - \pi z + xz \right) \quad \max M = M_1 = \frac{3}{2} wR^2 \quad \max - M = -0.642wR^2 \text{ at } x = 1.3 \text{ rad } (74.6^\circ)$ $T = wR \left(xz - \frac{1}{2}u - \pi z \right)$ $V = wR \left(xu + \frac{1}{2}z - \pi u \right)$ $D_x = \frac{wR^4}{EI} (0.4292)$ $D_y = -\frac{wR^4}{EI} (0.4674)$ $\delta_R = -\frac{wR^4}{EI} (0.18765)$

<p>荷重・支持条件</p>	<p>曲げモーメント M、円周方向引張力 T、円環の底面から角度 x の距離に於ける半剪断力 V、直径の水平方向変化 Dx、直径の垂直方向変化 Dy</p>
<p>19.</p> 	$M_1 = wR^2 \left(\frac{1}{2} + c + \theta s - \pi s + s^2 \right)$ $(x = 0 : x = \theta \text{間}) M = M_1 - T_1 R(1-u) + wR^2(xz + u - 1)$ $T = T_1 u + wR x z$ $V = -T_1 z + wR x u$ $Dx = \frac{2wR^4}{EI} \left[c + \theta s - \frac{1}{4} \pi (1 + s^2) \right]$ $Dy = \frac{wR^4}{EI} \left[-2.4674 + \frac{1}{2} \pi (sc + \theta - 2s) + 2(\theta s + c) \right]$ $dR = \frac{wR^4}{EI} \left[0.38315 - 0.5708(c + \theta s) + \frac{1}{2} s^2 \right]$ $T_1 = wR \left(s^2 - \frac{1}{2} \right)$ $(x = \theta : x = \pi \text{間}) M = M_1 - T_1 R(1-u) + wR^2$ $\times (xz + u - 1 - \pi z + \pi s)$ $T = T_1 u + wR(xz - \pi z)$ $V = -T_1 z + wR(xu - \pi u)$
<p>20. 比重 k なる液体を満たした円環</p> 	$M_1 = \frac{3}{4} kR^3 \quad T_1 = \frac{5}{4} kR^2 \quad \max M = M_1 \quad \max -M = -0.321kR^3 \text{ at } x = 1.3 \text{ rad } (74.6^\circ)$ $M = kR^3 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} u - \frac{1}{2} \pi z + \frac{1}{2} x z \right)$ $T = kR^2 \left(1 + \frac{1}{4} u - \frac{1}{2} \pi z + \frac{1}{2} x z \right)$ $V = kR^2 \left(\frac{1}{2} x u + \frac{1}{4} z - \frac{1}{2} \pi u \right)$ $Dx = \frac{kR^5}{EI} (0.2146) \quad Dy = -\frac{kR^5}{EI} (0.2337) \quad dR = -\frac{kR^5}{EI} (0.093825)$
<p>21.</p> 	$F = \frac{1}{4} kR^2 (2\beta - \sin 2\beta) \quad M_1 = kR^3 \left[0.6366 \left(\frac{1}{2} \beta q - \frac{3}{8} \beta - \frac{1}{2} p + \frac{5}{8} p q - \frac{1}{4} \beta q^2 \right) + q^2 - q + \frac{1}{2} p^2 \right] + 0.6366 F R$ $T_1 = kR^2 \left[\frac{1}{2} p^2 - q + q^2 + 0.3183 \left(\frac{3}{4} p q - \frac{1}{2} \beta q^2 - \frac{1}{4} \beta \right) \right]$ $(x = 0 : x = \beta \text{間}) M = M_1 - T_1 R(1-u) - FRz + kR^3 \left(\frac{1}{2} x z - q + qu \right)$ $T = T_1 u - Fz + kR^2 \left(\frac{1}{2} x z - q + qu \right)$ $V = -T_1 z - Fu + kR^2 \left(\frac{1}{2} x u + \frac{1}{2} z - qz \right)$

$$\beta < \frac{1}{2}\pi \text{ の時 : } Dx = \frac{kR^5}{EI} \left[\frac{2}{\pi}(\beta q - p) + 0.6933(\beta - pq) - \frac{1}{4}\beta p^2 \right] \quad (x = \beta : x = \pi \text{ 間})$$

$$M = M_1 - T_1 R(1 - u) - FRz + kR^3 \left[\frac{1}{2}z(\beta - pq) + u(q - q^2 - \frac{1}{2}p^2) \right]$$

$$\beta > \frac{1}{2}\pi \text{ の時 : } Dx = \frac{kR^5}{EI} \left[\frac{2}{\pi}(\beta q - p) - 0.5567(\beta - pq) - 2q + \frac{1}{4}\beta p^2 + \frac{1}{4}\pi q^2 + \frac{3}{8}\pi \right]$$

$$Dy = \frac{kR^5}{EI} \left[\frac{1}{\pi}(2\beta q + \beta - pq - 2p) - \frac{5}{8}p^2 - q + \frac{1}{4}\beta pq - \frac{1}{8}\beta^2 + 1 \right]$$

$$dR = \frac{kR^5}{EI} \left[\frac{1}{4\pi}\beta p^2 + 0.1825(\beta - pq) + 0.8183(\beta q - p) - \frac{\pi}{2}q + \frac{7}{8}q^2 + \frac{1}{4}\beta pq - \frac{1}{8}\beta^2 + 0.6916 \right]$$

$$V = -T_1 z - Fu + kR^2 \left[\frac{1}{2}u(\beta - pq) - z(q - q^2 - \frac{1}{2}p^2) \right]$$

$$(x = \theta : x = \pi \text{ 間})$$

$$M = kR^3 \left(\frac{1}{4}u - \frac{1}{2}\pi z + \frac{1}{2}xz + \frac{1}{2}\theta + \frac{1}{2}c + \frac{1}{2}us^2 \right)$$

$$T = kR^2 \left(1 + \frac{1}{4}u - \frac{1}{2}\pi z + \frac{1}{2}xz + \frac{1}{2}us^2 \right)$$

$$V = kR^2 \left(\frac{1}{2}xu + \frac{1}{4}z - \frac{1}{4}\pi u - \frac{1}{2}zs^2 \right)$$

$$M_1 = kR^3 \left(\frac{1}{4} - \frac{\pi}{2}s + \frac{1}{2}\theta s + \frac{1}{2}c + \frac{1}{2}s^2 \right)$$

$$T_1 = kR^2 \left(\frac{1}{2}s^2 + \frac{5}{4} \right)$$

$$(x = 0 : x = \theta \text{ 間}) M = kR^3 \left(\frac{1}{4}u + \frac{1}{2}xz - \frac{1}{2}\pi s + \frac{1}{2}\theta s + \frac{1}{2}c + \frac{1}{2}us^2 \right)$$

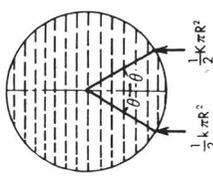
$$T = kR^2 \left(1 + \frac{1}{4}u + \frac{1}{2}xz + \frac{1}{2}us^2 \right)$$

$$V = kR^2 \left(\frac{1}{2}xu + \frac{1}{4}z - \frac{1}{2}zs^2 \right)$$

$$Dx = \frac{kR^5}{EI} \left[\theta s + c - \frac{1}{4}\pi(1 + s^2) \right]$$

$$Dy = -\frac{kR^5}{EI} \left[\frac{1}{4}\pi(2s - sc - \theta) - c - \theta s + \frac{1}{8}\pi^2 \right]$$

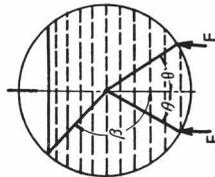
$$dR = \frac{kR^5}{2EI} \left[1 + c + s \left(\theta + \frac{1}{2}s \right) - \frac{\pi}{2} \left(\frac{\pi}{8} + \theta s + c \right) \right]$$



22.

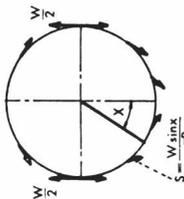
荷重・支持条件
 曲げモーメント M 、円周方向引張力 T 、円環の底面から角度 x の距離に於ける
 半径剪断力 V 、直径の水平方向変位 Dx 、直径の垂直方向変位 Dy

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{1}{4} kR^2(2\beta - \sin 2\beta) ; M_1 = kR^3 \left[0.6366 \left(\frac{1}{2} \beta q - \frac{3}{8} \beta - \frac{1}{2} p + \frac{5}{8} pq - \frac{1}{4} \beta q^2 \right) + q^2 - q + \frac{1}{2} p^2 \right] \\
 &\quad + 0.3183 FR(1 + c + \theta s - \pi s + s^2) \\
 (x=0 : x=\theta \text{間}) \quad T_1 &= kR^2 \left[\frac{1}{2} p^2 - q + q^2 + 0.3183 \left(\frac{3}{4} pq - \frac{1}{2} \beta q^2 - \frac{1}{4} \beta \right) \right] \\
 &\quad + \frac{1}{\pi} F s^2 \\
 M &= M_1 - T_1 R(1-u) + kR^3 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right) \\
 T &= T_1 u + kR^2 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right) \quad (x=\theta : x=\beta \text{間}) \\
 V &= -T_1 z + kR^2 \left(\frac{1}{2} xu + \frac{1}{2} z - qz \right) \\
 M &= M_1 - T_1 R(1-u) + kR^3 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right) - FR(z-s) \\
 T &= T_1 u - Fz + kR^2 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right) \\
 V &= -T_1 z - Fu + kR^2 \left(\frac{1}{2} xu + \frac{1}{2} z - qz \right) \\
 (x=\beta : x=\pi \text{間}) \quad M &= M_1 - T_1 R(1-u) + kR^3 \left[z \left(\frac{1}{2} \beta - \frac{1}{2} pq \right) + u \left(q - q^2 - \frac{1}{2} p^2 \right) \right] \\
 &\quad - FR(z-s) \\
 T &= T_1 u - Fz + kR^2 \left(\frac{1}{2} \beta z - \frac{1}{2} pqz - \frac{1}{2} p^2 u - q^2 u + qu \right) \\
 V &= -T_1 z - Fu + kR^2 \left(\frac{1}{2} \beta u - \frac{1}{2} pq u + \frac{1}{2} p^2 z + q^2 z - qz \right) \\
 \beta < \frac{1}{2} \pi \text{ の時} : Dx &= \frac{kR^5}{EI} \left\{ \frac{1}{\pi} \left[2\beta q - 2p + (\beta - pq) \right] (\theta s + c - \frac{7}{8} \pi - \frac{1}{4} \pi s^2) \right\} + \frac{3}{8} \beta - \frac{1}{4} p \left(\beta q + \frac{3}{2} q \right) \\
 \beta > \frac{1}{2} \pi \text{ の時} : Dx &= \frac{kR^5}{EI} \left\{ \frac{1}{\pi} \left[2\beta q - 2p + (\beta - pq) \right] (\theta s + c - \frac{7}{8} \pi - \frac{1}{4} \pi s^2) \right\} - 2q + \frac{1}{4} \beta p^2 + \frac{1}{4} \pi q^2 + \frac{3}{8} \pi \left\} \\
 Dy &= \frac{kR^5}{EI} \left\{ \frac{1}{\pi} (2\beta q - 2p + (\beta - pq) (\theta s + c)) + 1 - \frac{5}{8} p^2 - q + \frac{1}{4} \beta pq - \frac{1}{8} \beta^2 + \frac{1}{4} (\beta - pq) (\theta + sc - 2s) \right\} \\
 \Delta R &= \frac{kR^5}{EI} \left\{ 0.1194(\beta - pq) + 0.8183(\beta q - p) + \frac{1}{4} \pi \beta (p^2 + s^2) - 0.09845(\beta c + \beta \theta s - pqc - pq\theta s) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{7}{8} p^2 + \frac{1}{4} \beta pq - \frac{1}{8} \beta^2 + 0.6916 \right\}
 \end{aligned}$$



23.

24.



$$M_1 = -0.01132WR \quad T_1 = -0.07958WR \quad \max + M = 0.01456WR \quad \text{at } x = 1.166 \text{ rad } (66.8^\circ)$$

$$\max - M = -0.01456WR \quad \text{at } x = 1.975 \text{ rad } (113.2^\circ) :$$

$$\left(x = 0 : x = \frac{\pi}{2} \text{ 間} \right) M = WR \left(0.23868u + 0.15915xz - \frac{1}{4} \right) \quad \left(x = \frac{\pi}{2} : x = \pi \text{ 間} \right)$$

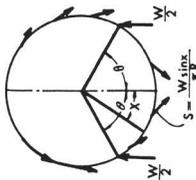
$$T = WR \left(0.15915xz - 0.07958u \right) \quad M = WR \left(0.23868u + 0.15915xz - \frac{1}{2}z + \frac{1}{4} \right)$$

$$V = WR \left(0.15915xu - 0.07958z \right) \quad T = WR \left(0.15915xz - 0.07958u - \frac{1}{2}z \right)$$

$$Dx = 0 \quad V = WR \left(0.15915xu - 0.07958z - \frac{1}{2}u \right)$$

$$Dy = 0 \quad V = WR \left(0.15915xu - 0.07958z - \frac{1}{2}u \right)$$

25.



$$\left(x = 0 : x = \theta \text{ 間} \right) M = WR \left[0.23868u - \frac{1}{2}s + 0.15915(xz + \theta s + c - uc^2) \right] \quad \left(x = \theta : x = \pi \text{ 間} \right)$$

$$T = WR \left[0.15915(xz - uc^2) - 0.07958u \right] \quad M = WR \left[0.23868u - \frac{1}{2}z + 0.15915(xz + \theta s + c - uc^2) \right]$$

$$V = WR \left[0.15915(xu - \frac{1}{2}z + zc^2) \right] \quad T = WR \left[0.15915(xz - uc^2) - 0.07958u - \frac{1}{2}z \right]$$

$$Dx = \frac{WR^3}{EI} \left[0.3183(s\theta + c) - \frac{1}{4}(s^2 + 1) \right] \quad V = WR \left[0.15915(xu - \frac{1}{2}z + zc^2) - \frac{1}{2}u \right]$$

$$Dy = \frac{WR^3}{EI} \left[0.3183(s\theta + c) + \frac{1}{4}(sc + \theta) - \frac{1}{2}s - \frac{\pi}{8} \right]$$

$$\Delta R = \frac{WR^3}{EI} \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2}c + \frac{1}{2}\theta s + \frac{1}{4}s^2 + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4}c - \frac{1}{4}\theta s - \frac{\pi}{32} \right] \quad \text{ここに } \theta < 90^\circ$$

【ダクタイル管ハンドブック(第17版)】(クボタ, 2002年)より

付録 7 鑄鉄管の管厚計算式

1 明治初期 1894(明治27)年ごろ

バルトン(W.K.Burton)の鑄鉄管の管厚計算式を式7-1に示す。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} \cdot S_f + 0.3 \quad \dots\dots\dots \text{式 7-1}$$

ここに、 t : 管厚 (in)
 d : 管の内径 (in)
 P : 静水圧 (lb/in²)
 P' : 衝撃圧力 (=60 lb/in²)
 W : 抗張力 (=18000 lb/in²)
 S_f : 安全率=6

補足 lbはポンド、inはインチを示す。

2 水道用鑄鉄管仕様書標準 1914(大正3)年制定

日本で初めて普通鑄鉄管(公称内径3~42インチ)の規格が制定され、その中で式7-2、3に示したものが上水協議会規格として定められた。

① 公称内径10インチ以上は、ファニング(J.T.Fanning)の公式を用いた。

$$t = \frac{(P + 100)d}{2W} + \frac{1}{3} \left(1 - \frac{d}{100}\right) \quad \dots\dots\dots \text{式 7-2}$$

ここに、 t : 管厚 (in)
 d : 管の内径 (in)
 P : 静水圧 (lb/in²)
 P' : 衝撃圧力 (=100 lb/in²)
 W : 抗張力 (=18000 lb/in²) 安全率S_f=5により3600 lb/in²とした。

補足 式7-2の中の1/3は、正味厚さに鑄造上厚さの不平均、土砂などの圧力による曲げ作用、手荒き取扱いのために生じる撃動力などを予想して余裕を見込んだものである。公称内径の1/100を1インチより減じて、その残数に1/3に乗じたのは、公称内径が大きくなるとその余裕を見込む必要が少なくて済むからである。

一般に用いる場合には、式7-3を用いた。

$$t = \frac{(P + 76)d}{7200} + \frac{1}{3} \quad \dots\dots\dots \text{式 7-3}$$

② 公称内径10インチ未満は式7-2よりもやや薄い管厚を得る式7-4を用いた。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} + 0.274 + \frac{d^2}{21000} \dots\dots\dots \text{式 7-4}$$

ここに、P : 静水圧 (lb/in²)

P' : 衝撃圧力 (lb/in²) P' = 500 / (d + 8.8)^{0.5}

W : 抗張力 (lb/in²) 安全率 S_f = 5により 3600 lb/in²とした。

補足 式7-4の中の0.274は腐食代である。d²/21000は鑄造上の寸法公差である。

3 水道用鑄鉄管規格 1925 (大正14) 年制定

1921 (大正10) 年の度量衡法の改正に伴い、メートル法による普通鑄鉄管 (呼び径75~1500) の規格が上水協議会規格として制定された。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} + 8.5 \left(1 - \frac{d}{2125}\right) \dots\dots\dots \text{式 7-5}$$

ここに、P' : 衝撃圧力 (= 5.5 kg/cm²)

W : 抗張力 (kg/cm²) 安全率 S_f = 5により 250 kg/cm²とした。

補足 上水協議会規格 (大正3年制定) で用いられた10インチ以下のやや薄い管厚計算式7-4は、小管が布設延長も長く、手荒い取扱いを受けやすく、事故も多いことから、取りやめた。管厚計算式は、ファニングの公式の10インチ未満に適用していた式7-4をメートル法に換算して、係数を丸めるとともに、従来よりもやや管厚が厚くなる直線式 (1次式) が採用された。衝撃圧力 5.5 kg/cm² は、この当時に実験結果より定められた。

4 水道用高級鑄鉄管規格 1933 (昭和8) 年制定

高級鑄鉄管 (呼び径75~1500) の規格が水道協会規格として制定された。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} + 7.5 \left(1 - \frac{d}{2125}\right) \dots\dots\dots \text{式 7-6}$$

ここに、W : 許容強度 (kg/cm²)

抗張力 2500 kg/cm²、安全率 S_f = 5により 500 kg/cm²とした。

補足 管厚計算式の基本はファニングの公式に準じている。

5 水道用高級鑄鉄薄手管規格 1938 (昭和13) 年制定

日華事変の影響により銑鉄を節約する目的で1934 (昭和9) 年のJES規格よりも薄くした高級鑄鉄管 (呼び径75~300) の規格が水道協会規格として制定された。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} + 6.5 \left(1 - \frac{d}{2125}\right) \dots\dots\dots \text{式 7-7}$$

ここに、W：許容強度 (kg/cm²) 安全率S_r=5による。

(単位：kg/cm²)

呼び径	抗張力	許容強度
75 ~ 350	2000	400
400 ~ 900	2300	460
1000 ~ 1500	2500	500

備考 抗張力の規定は「水道用高級鑄鉄管臨時規格」1940 (昭和15) 年による。

補足 管厚計算式の基本はファニングの公式に準じているが、式7-6の余裕代7.5mmが式7-7では6.5mmになっている。管厚が従来ものより1mm程度薄くなった。

6 水道用高級鑄鉄管規格 1949 (昭和24) 年制定

1934 (昭和9) 年のJES規格が整理され、高級鑄鉄管 (呼び径75 ~ 1500) の規格が水道協会規格として改正された。

① 呼び径900以下

管厚計算式は、式7-6と同じである。ただし普通管の静水圧は7.5kg/cm²とし、低圧管の静水圧は4.5kg/cm²とした。簡易的には、静水圧7.5kg/cm²、衝撃圧5.5kg/cm²、呼び径75 ~ 350の許容強度400kg/cm²の場合は、式7-6に代入して、t=0.013d+7.5を用いた。

② 呼び径1000以上

管厚計算式は、式7-6と同じである。ただし許容強度は360kg/cm²とした。また公差および表面の粗度による式7-8との平均値を0.5mm単位で切り上げて決定した。

$$t = \frac{(P+P')d}{2W} \cdot \left(1 + \frac{1}{10}\right) + 1 \quad \dots\dots\dots \text{式 7-8}$$

(単位：mm)

呼び径	式 7-6 による管厚	式 7-8 による管厚	決定管厚
1000	22.0	20.9	22.0
1100	23.4	22.8	23.5
1200	24.8	24.8	25.0
1350	27.0	27.8	27.5
1500	29.2	30.8	30.0

③ 異形管の管厚は、普通圧管の10%増しとした。

ここに掲載した計算式については規格書および以下の文献を参考にした。

- ・バルトン著『The Water Supply of Towns and The Construction of Waterworks』
- ・田中勘七著「鑄鉄管の歴史」『鑄鉄管』第7号 (鑄鉄管協会)

付録 8 ダクタイル鉄管およびバルブのメーカーマーク

主なダクタイル鉄管およびバルブメーカーのメーカーマーク（製造業者名またはその略号）を以下に示す。

1 鋳鉄管類

			NBK
朝日鑄工(株) ^F	(株)イトー鑄造 ^F	(株)岡本 ^F	(株)岡本(旧)
			
九州鑄鉄管(株) ^{D,F}	(株)クボタ ^{DS,F}	(株)栗本鐵工所 ^{DS,F}	クロダイト工業(株) ^F
			
コスモ工機(株) ^F	大成工機(株) ^F	鶴巻工業(株) ^F 旧鶴巻鑄造(株)	日本鑄鉄管(株) ^{DS,F}
			
(株)遠山鐵工所 ^{D,F}	幡豆工業(株) ^F 旧幡豆鑄物工業(株)	日之出水道機器(株) ^{D,F}	北光金属工業(株) ^F 旧北光金属(株)
			
前澤工業(株) ^F 旧前澤バルブ工業(株)	(株)丸阪 ^F 旧(株)丸阪鑄造所	(株)村瀬鐵工所 ^F	山岡鉄管(株) ^F
			
(資)福岡鐵工所	旧利根鐵工(株) 日本鑄鉄管(株)と合併	村精鑄工(株)	

備考 「D」は日本ダクタイル鉄管協会の会員、「DS」は会員かつ直管メーカー(2017年4月1日現在)を示す。「F」は日本ダクタイル異形管工業会の会員(2017年4月1日現在)を示す。

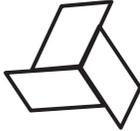
2 バルブ類

(株)クボタ ^V	(株)クボタ ^V (旧)	(株)栗本鐵工所 ^V	清水工業(株) ^V
(株)清水合金製作所 ^V	(株)清水鐵工所 ^V	角田鐵工(株) ^V	千代田工業(株) ^V
幡豆工業(株) ^V	富士鐵工(株) ^V	前澤工業(株) ^V	宮部鐵工(株) ^V
(株)森田鐵工所 ^V	廣瀬バルブ工業(株)	古川工業(株)	(株)牧村製作所
協和工業(株)			

備考 「V」は水道バルブ工業会の会員(2017年4月1日現在)を示す。

付録 9 近代水道創設当時の鑄鉄管のメーカーマーク例

製造メーカー ^{注1}	鑄出し記号	
英国 グラスゴー市 R. レイドロー社		R.L. & S
英国 グラスゴー市 D.Y. スチュアート社		D.Y.S. & C°
ベルギー リエージュ市 リエージュ市水道鉄管会社		C ^{IE} G ^{LE} LIEGE
英国 ロバーツ・マクラレン社		RM & C°
英国 マクファーレン・ストラング社		MS & C°
不明		TE & S
大阪砲兵工廠		
久保田鉄工所		

製造メーカー ^{注1}	鑄出し記号	
大阪鉄工所		O.I.W.
石田鉄工所		神戸石田製
谷口鉄工所		
釜石鉱山田中製鐵所		
栗本鐵工所		
神戸川崎造船所		
隅田川精鉄所		

注1 海外メーカー名の読みは、水道事業者、年代によって多少異なる。

付録 10 接合形式の名称の由来

接合形式	由来
印籠継手	鑄鉄管の受口に挿し口を挿入する継手構造が、江戸時代に旅人が葉類などを入れて携帯した印籠の構造と似ていたことに由来する。
ソケット形	輸入鑄鉄管の接合形式「Socket & Spigot」から「ソケット形」とした。
フランジ形	輸入鑄鉄管の接合形式「Flange」から「フランジ形」とした。
メカニカルジョイント形	ゴム輪をボルト・ナットで機械的 (mechanical) に締めて接合 (Joint) することから「メカニカルジョイント」とした。
A形・B形・C形	1954 (昭和29) 年の JIS G 5523 でソケット形が C形 と称され、1961 (昭和36) 年の JWSA G 105 の規格改正時に、メカニカルジョイント形を「A形」、ソケット形を「C形」、A形とC形を組み合わせたものを「B形」とした。
AⅡ形	A形を改良する際に5つの継手構造を試したが、2案目の継手構造が優れていたため「Ⅱ」を用いた。
K形	改良 (Kairyō) の頭文字「K」を用いた。
KF形	改良 (Kairyō) の頭文字「K」、固定 (Fixed) の頭文字「F」を用いた。
FN形	大阪府の「F」、野口一男氏の頭文字「N」を用いた。
タイトン形	米国ユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社の商標「TYTON JOINT」から「タイトン形」とした。
T形	米国ユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社の商標「TYTON JOINT」の頭文字「T」を用いた。
U形	内側 (Uchigawa) の頭文字「U」を用いた。
UF形	内側 (Uchigawa) の頭文字「U」、固定 (Fixed) の頭文字「F」を用いた。
LUF形	軽量 (Light) の頭文字「L」、内側 (Uchigawa) の頭文字「U」、固定 (Fixed) の頭文字「F」を用いた。
US形	内側 (Uchigawa) の頭文字「U」、「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」を用いた。
S形	「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」を用いた。
SⅡ形	「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」、小口径用としてS形の次に開発されたことから「Ⅱ」を用いた。
BJ形	ボールジョイント (Ball Joint) の頭文字「B」、「J」を用いた。
NS形	新しい (New) の頭文字「N」、「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」を用いた。
NS形 (E種管)	経済的 (Economy) の頭文字「E」を用いた。
GX形	次世代 (Generation neXt) の「G」と「X」を用いた。
S50形	「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」、呼び径50の「50」を用いた。
PⅠ形・PⅡ形・PⅢ形	パイプインパイプ (Pipe in pipe) 工法の頭文字「P」と一般継手を「Ⅰ」、伸縮離脱防止継手を「Ⅱ」、曲管部の管内ドッキング用を「Ⅲ」とした。
PN形	パイプインパイプ (Pipe in pipe) 工法の頭文字「P」、新しい (New) の頭文字「N」を用いた。
PN形 (JP方式及びCP方式)	パイプインパイプ (Pipe in pipe) 工法の頭文字「P」、新しい (New) の頭文字「N」、押込工法 (Jacking Pipe method) の「JP」、持込工法 (Carrying Pipe method) の「CP」を用いた。
FT形	固定 (Fixed) の頭文字「F」、T形の「T」を用いた。
FGX形	固定 (Fixed) の頭文字「F」、GX形の「GX」を用いた。
ALW形	低圧用に進化させたパイプ (Advanced pipes for Low Water pressure) に由来する。
NS形 (Gタイプ)	下水 (Gesui) の頭文字「G」を用いた。

備考 接合形式の名称の由来は諸説あるが主要な説を紹介した。

本ガイドブックの制作にあたり、次の皆様に資料および情報のご提供をいただきました。
また、関連団体・企業の文献、資料などを参考にさせていただきました。
皆様のご協力に感謝申し上げます。

■ 国・自治体・事業体

厚生労働省

医薬・生活衛生局水道課

国土交通省

関東地方整備局

中国地方整備局

九州地方整備局

農林水産省

関東農政局

近畿農政局

中国四国農政局

内閣府沖縄総合事務局

宮内庁書陵部

地方共同法人日本下水道事業団

独立行政法人水資源機構

札幌市水道局

桂沢水道企業団

稚内市環境水道部

函館市企業局

北海道庁農政部

北海道木古内町

北海道八雲町

盛岡市上下水道局

八戸圏域水道企業団

宮城県企業局

仙台市水道局

仙台市建設局

山形県企業局

秋田市上下水道局

秋田県中央流域下水道事務所

横手市上下水道部

白河市水道部

石巻地方広域水道企業団

東京都水道局

東京都港湾局

東京都下水道局

神奈川県内広域水道企業団

横浜市水道局

川崎市上下水道局

横須賀市上下水道局

鎌倉市都市整備部

朝霞市水道部

千葉市水道局

千葉県水道局

北千葉広域水道企業団

前橋市水道局

埼玉県企業局

茨城県企業局

静岡県企業局

浜松市上下水道部

大井川広域水道企業団

福井市下水道部

名古屋市上下水道局

愛知県建設部

高岡市上下水道局

長岡市土木部

津市上下水道局

安城市上下水道部

岡谷市建設水道部

南砺市上下水道課

蒲郡市上下水道部

滑川市上下水道課

宇治市建設部

京都市上下水道局

大阪広域水道企業団

大阪市水道局

堺市上下水道局

豊中市上下水道局

泉佐野市上下水道局

東大阪市上下水道局

藤井寺市水道局

大阪市下水道局

大阪府都市整備部

南部流域下水道事務所

守口市下水道部

京都府道路公社

神戸市水道局

明石市都市局下水道室

朝来市

奈良県水道局

長浜水道企業団

姫路市下水道局

岡山市水道局

広島市水道局

広島県企業局

倉敷市水道局

福山市上下水道局

島根県企業局

米子市水道局
山陽小野田市水道局
呉市上下水道局
下関市上下水道局
津山市水道局
新居浜市水道局
坂出市建設経済部
高知市上下水道局
徳島県板野町水道課
福岡市水道局
北九州市上下水道局
筑後市上下水道課
熊本市上下水道局
長崎市上下水道局
佐世保市水道局
宮崎市上下水道局
西佐賀水道企業団
鹿児島県大隅耕地事務所
沖縄県企業局

■ 団体

公益社団法人日本水道協会
公益財団法人水道技術研究センター
公益社団法人日本下水道協会
公益社団法人日本推進技術協会
公益社団法人土木学会
公益社団法人農業農村工学会
公益社団法人日本道路協会
公益財団法人日本美術刀剣保存協会
公益財団法人中近東文化センター
公益社団法人地盤工学会
アナトリア考古学研究所
一般社団法人電気学会
一般社団法人日本銅センター
一般財団法人国土開発技術研究センター
一般財団法人素形材センター
全国簡易水道協議会
ミールド工法技術協会
日本シールドセグメント技術協会
日本ダクタイル異形管工業会
水道バルブ工業会
シューム管&ベルスタ推進工法協会
労務安全情報センター
Ductile Iron Pipe Research Association
European Association
for Ductile Iron Pipe Systems
American Foundry Society
アイアンブリッジ峡谷博物館

岩手大学
早稲田大学エジプト研究所
トルコ・アナトリア文明博物館
館がす資料館
横浜都市発展記念館
倉敷考古館
大阪市立科学館
島根県立古代出雲歴史博物館
伊都国歴史博物館
東京都水道歴史館
宗教法人靖國神社
宗教法人清巖寺

■ 企業・個人

東日本旅客鉄道株式会社
日立金属株式会社
新日鐵住金株式会社
フジテコム株式会社
株式会社管総研
大成機工株式会社
コスモ工機株式会社
第一実業ビスウィル株式会社
株式会社アケト
宇部興産株式会社
東京ガス株式会社
大阪ガス株式会社
株式会社クボタ工建
株式会社クボタパイプテック
大阪高級鑄造鉄工株式会社
東北電力株式会社
四国電力株式会社
中日本高速道路株式会社
株式会社高速道路総合技術研究所
Vale Inco Limited
平塚真人
柴柳徹郎
中井泉
赤沼英男
斎藤吉彦
山田洋二

■ JDPA 会員企業

株式会社クボタ
株式会社栗本鐵工所
日本鑄鉄管株式会社
株式会社遠山鐵工所
九州鑄鉄管株式会社
日之出水道機器株式会社

(敬称略 順不同)

ダクタイル鉄管ガイドブック

2018 (平成30) 年1月 初版 第1刷発行

編著者 一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会
© Japan Ductile Iron Pipe Association 2018, Printed in Japan

発行所 一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会
〒102-0074
東京都千代田区九段南4丁目8番9号
日本水道会館
<http://www.jdpa.gr.jp/>

ブックデザイン 鈴木美里／原 拓郎／清水絵理子
印刷製本 株式会社I&S BBDO

本書のコピー、スキャン、デジタル化等無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写、複製、引用、転載については当協会にお問い合わせください。

