

農業用水用 ダクトイル鉄管管路 設計と施工

JDPA T 32



一般社団法人

日本ダクトイル鉄管協会

目 次

はじめに	1
1. ダクタイル鉄管について	1
1. 1 ダクタイル鉄管の材質	1
1. 2 ダクタイル鉄管の製造と品質管理	3
1. 3 ダクタイル鉄管の耐久性	5
2. ダクタイル鉄管の規格について	8
2. 1 ダクタイル鉄管の規格	8
2. 2 ダクタイル鉄管の規格管厚	9
3. ダクタイル鉄管の継手について	10
3. 1 ダクタイル鉄管の各種継手と特長	10
3. 2 ダクタイル鉄管の継手の選定	14
4. ダクタイル鉄管管路の耐震性について	15
5. 水理計算について	18
5. 1 定常的な水理計算	18
5. 1. 1 計算の流れ	18
5. 1. 2 許容設計流速	19
5. 1. 3 水理計算の方法	20
5. 1. 4 摩擦損失水頭	20
5. 1. 5 各種損失水頭	21
5. 2 水撃圧の計算	23
5. 2. 1 一般事項	23
5. 2. 2 水撃圧の推定方法	25
5. 2. 3 理論解法による水撃圧の推定方法	26
5. 2. 4 数値解法による水撃圧の推定方法	27
5. 2. 5 経験則による水撃圧の推定方法	28
6. 構造設計について	30
6. 1 ダクタイル鉄管の安全性	30
6. 1. 1 荷重に対する安全性	30
6. 1. 2 水圧に対する安全性	30

6. 2	埋設深さ	32
6. 2. 1	埋設深さの標準	32
6. 2. 2	管が浮上しない深さ	32
6. 3	基礎工法	34
6. 3. 1	基礎工法の選定	34
6. 3. 2	基礎および埋戻し材料	35
6. 4	荷重	35
6. 4. 1	布設の状態	35
6. 4. 2	構造計算に用いる荷重の組み合わせ	35
6. 4. 3	土圧	36
6. 4. 4	活荷重による土圧の計算	37
6. 4. 5	管体の自重および管内水重	38
6. 5	管の横断面に生じる最大曲げモーメントの計算	39
6. 6	内外圧から求める管厚計算式	40
6. 7	たわみ率から求める管厚計算式	40
6. 8	基礎材の反力係数	43
6. 9	スラストカの検討	46
6. 9. 1	スラストカの検討順序	46
6. 9. 2	スラストカの検討が必要な箇所	47
6. 9. 3	スラストブロック要否の検討	49
6. 9. 4	スラストブロックの設計方法	51
6. 10	離脱防止継手	56
6. 10. 1	離脱防止継手の検討	56
6. 10. 2	離脱防止継手の性能	57
6. 10. 3	離脱防止継手の使用本数の計算	58
6. 11	ダクタイル鉄管管路の曲線布設	60
6. 12	耐震設計	65
6. 12. 1	計画上の留意点	65
6. 12. 2	パイプラインの耐震対策	66
6. 12. 3	ダクタイル鉄管継手の耐震性能	71
6. 13	推進工法（参考）	72
6. 13. 1	推進工法の種類	72
6. 13. 2	推進工法用ダクタイル鉄管の種類	73
6. 14	パイプ・イン・パイプ工法（参考）	74
6. 14. 1	工法の概要	74
6. 14. 2	パイプ・イン・パイプ工法用ダクタイル鉄管の種類	75
6. 15	配管設計	76

7. 防食について	78
7. 1 腐食性土壌	78
7. 2 防食対策	79
7. 3 マクロセル腐食	80
7. 4 内面防食	80
8. ダクタイル鉄管の施工について	81
8. 1 管の取り扱いと運搬	81
8. 1. 1 一般事項	81
8. 1. 2 管の吊り方	81
8. 1. 3 配積方法	81
8. 1. 4 接合部品の取り扱い	82
8. 2 掘削	82
8. 3 管の基礎	84
8. 4 据え付け	85
8. 5 接合	86
8. 5. 1 一般事項	86
8. 5. 2 T形継手	86
8. 5. 3 K形継手	88
8. 5. 4 ALW形継手	89
8. 5. 5 GX形（直管）継手	90
8. 5. 6 フランジ形継手	91
8. 6 切管	92
8. 7 曲線布設	94
8. 7. 1 施工	94
8. 7. 2 ジョイント間隔の施工管理	96
8. 8 埋戻し	99
8. 8. 1 埋戻し土	99
8. 8. 2 埋戻し方法	99
8. 8. 3 管の浮き上がりに対する注意	99
9. 通水試験について	100
9. 1 テストバンドによる継目試験	100
9. 2 水張り試験	101
9. 3 水圧試験	101

はじめに

農業用パイプラインにはダクタイル鉄管が広く使用され、全国的に普及している。

規格としては、JIS G 5526(ダクタイル鋳鉄管)、JIS G 5527(ダクタイル鋳鉄異形管)、JDPA G 1027(農業用水用ダクタイル鋳鉄管)、JDPA G 1053(ALW形ダクタイル鋳鉄管)などで多種類の管種(管厚)、接合形式について規定されている。

農業用パイプラインの設計は農林水産省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」(以下、設計基準という)に準拠して行われているが、長期的に安全な機能を備えた管路を確立するためには、管路構成材の性能把握、適材適所な選択および適正な施工が必須である。

本書は設計基準が令和3年6月に改定されたことを踏まえ、ダクタイル鉄管の特性、規格、管種・接合形式の選定、管路付属物、計画・設計と施工上の留意点など、配管設計・施工上の基本的事項について設計基準のダクタイル鉄管に関連する部分を抜粋、補足する形でまとめたものである。

本書を農業用パイプラインの設計と施工に係る業務の一助としてお役立ていただければ幸いである。

1. ダクタイル鉄管について

1.1 ダクタイル鉄管の材質

ダクタイル鋳鉄は球状黒鉛鋳鉄とも呼ばれているもので、組織中の黒鉛が球状であるため表面積が最小となり、地鉄の連続性が保たれて優れた強じん性を発揮する。

ダクタイル鋳鉄の引張強さは、 420N/mm^2 以上となっており、優れた強度を持っている。

さらに、ダクタイル鋳鉄は、組織中に存在する不活性な黒鉛を中心にして炭化物、酸化物、ケイ酸化物などの不溶性の緻密な腐食生成物をつくるので、これが一種の保護被膜となり、本質的に耐食性に優れている。

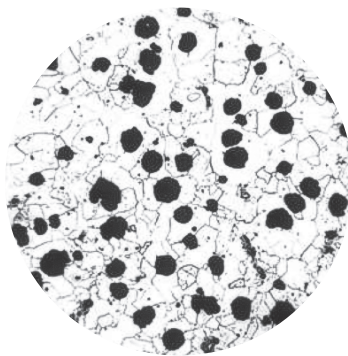


写真1 顕微鏡組織写真

表1 各種管の水道水スプレーによる腐食試験結果

試 料	腐 食 量 (g/cm ³)	
	45日間スプレー後	90日間スプレー後
ダクタイル鉄管	0.0060	0.0090
高級铸铁管	0.0060	0.0103
引 拔 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、10時間吹き付け—14時間休止の乾湿を繰り返す。

表2 海水中浸漬試験結果

	各浸漬期間における腐食量					
	(mg/dm ² /day)			(mm/year)		
浸 漬 期 間	90日	180日	360日	90日	180日	360日
ダクタイル鉄管	24.0	16.1	13.2	0.122	0.081	0.066
高級铸铁管	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。
長期にわたるにしたがい、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ない。

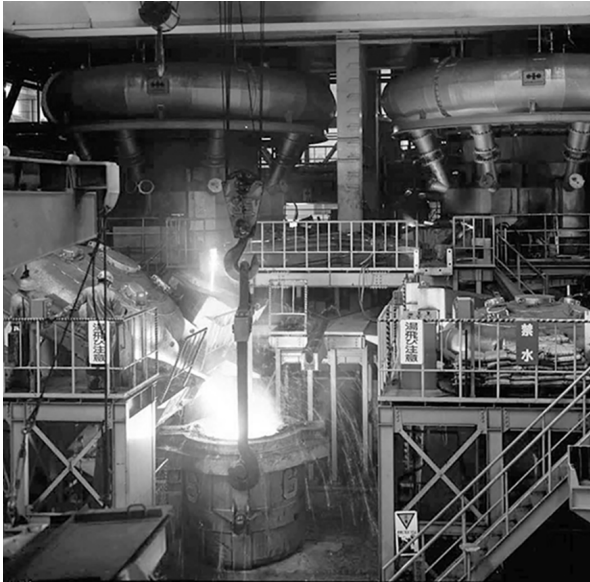
表3 ダクタイル鉄管の物理的・機械的性質

項 目	ダクタイル鉄管	参 考		
		鋼管 (STPY400)	硬質塩化 ビニル管	FRPM管 (内圧管 5 種)
引張応力 (N/mm ²)	420	400	45(25)	—
曲げ応力 (N/mm ²)	600	400	—	216 周方向
ヤング係数(短期) (kN/mm ²)	160	200	3	14.7
ヤング係数(長期) (kN/mm ²)	160	200	2.4	11.8
管の単位体積重量 (kN/m ³)	70	77	14	19.6
伸び (%)	10以上	18以上	50～150	—
線膨張係数 (1/°C)	1.0×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵	6～8×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵
ポアソン比	0.28～0.29	0.3	0.37	0.2～0.3

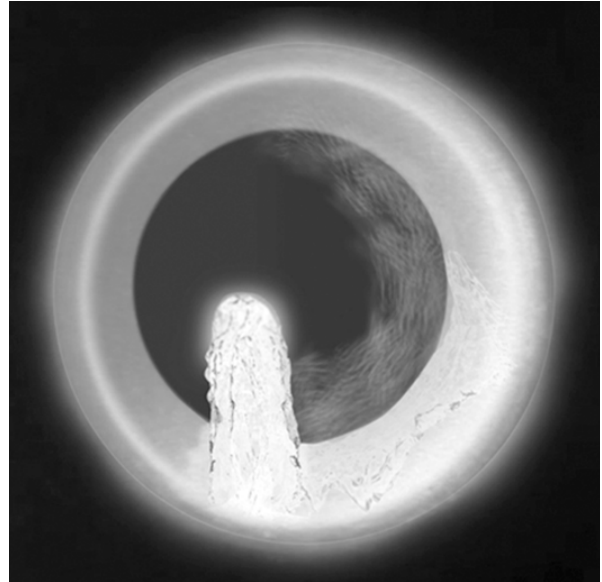
備考 ()は長期の値を示す。

1.2 ダクタイル鉄管の製造と品質管理

ダクタイル鉄管は、いろいろな製造工程を通してつくられるが、その過程で、さまざまな試験や検査を繰り返して、高品質の製品が得られるよう、厳しく品質管理されている。



●熱風式キュポラ溶解



●鑄造



●焼鈍



●水圧試験

写真2 ダクタイル鉄管の製造工程

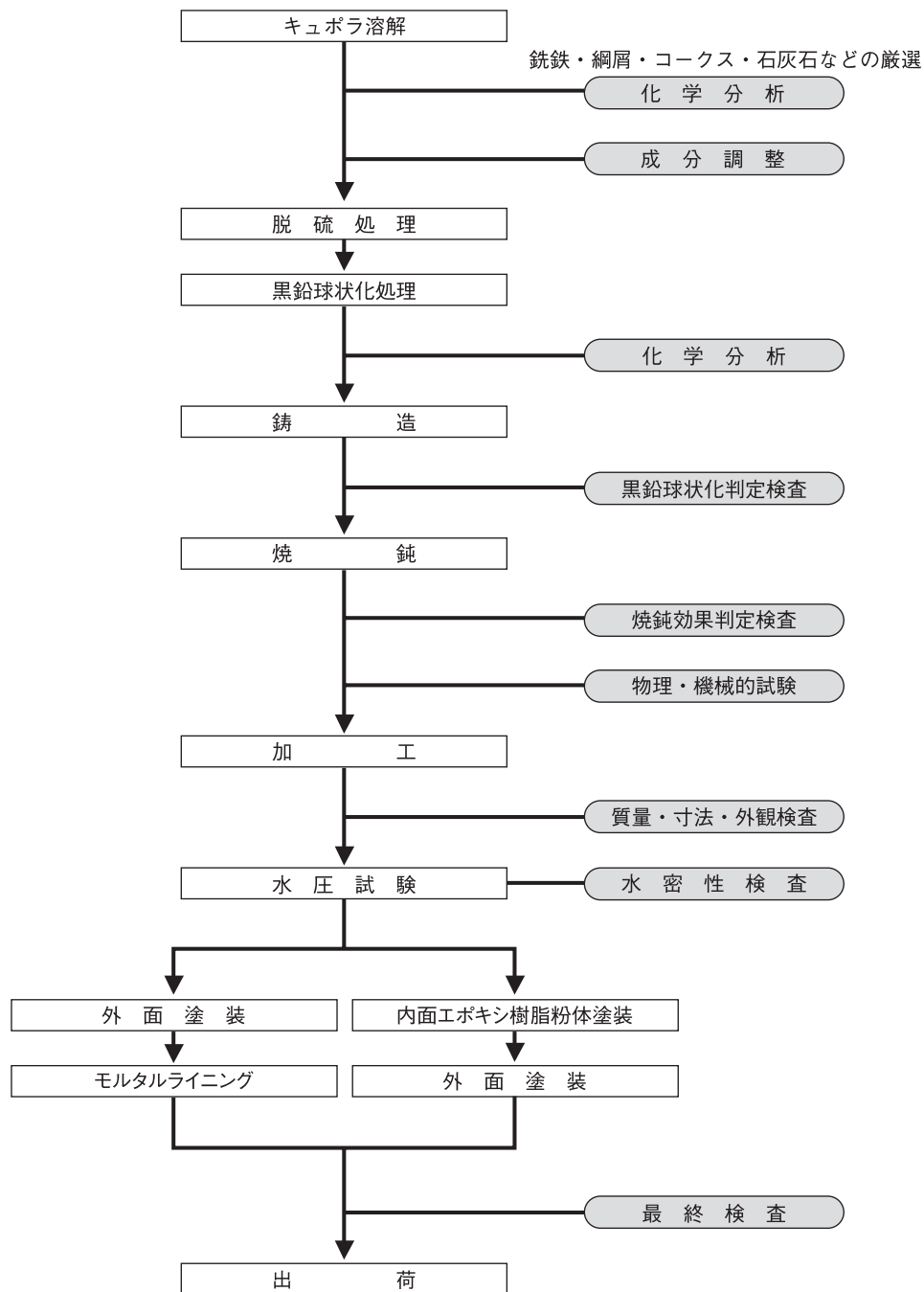


図1 ダクタイル鉄管の製造工程と品質管理

ダクタイル鉄管の検査には

- ① 公益社団法人 日本水道協会による検査
- ② 注文者による立会検査
- ③ 製造業者による検査

の種類が上げられるが、一般には公益社団法人 日本水道協会の受検証明書または製造業者の検査報告書のいずれかが提出される。

1.3 ダクタイル鉄管の耐久性

鑄鉄が鋼に比べて腐食しにくいのは、鑄鉄の成分として炭素およびケイ素を数パーセント含んでいるためといわれ、また、鑄鉄自身の電気抵抗も高く、継手部にはゴム輪を使用しているので、管路全体として電気を通しにくく、電食の影響を受けにくいものとなっている。

国内では130年以上、外国では300年以上も水道管としての役目を果たし続けている例がある。

表4 ダクタイル鉄管の化学組成

単位 %

炭 素 (C)	ケイ素 (Si)	マンガン (Mn)	燐 (P)	硫 黄 (S)	マグネシウム (Mg)
3.2～3.8 (0.3以下)	1.7～2.7 (0.35以下)	0.4以下	0.1以下	0.015以下	0.03以上

備考 ()内の数字は、鋼の場合の参考含有量

表5 ダクタイル鑄鉄と鋼の電気抵抗

材 質 別	電気抵抗($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)
ダクタイル鑄鉄	50～ 70
鋼	10～ 20

表6 各種鑄鉄材および鋼材の大気中における腐食試験(5ヵ年間の腐食量)

単位 $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$

材 質 別	大 気 曝 露 試 験 地						
	御前崎	枕崎	高山	帯広	輪島	川崎	東京
キ ル ド 鋼	4.16	3.15	1.79	1.71	2.59	17.37	8.00
リ ム ド 鋼	4.44	3.44	2.06	1.82	2.97	16.82	7.59
普 通 鑄 鉄	2.46	2.75	2.77	3.21	3.69	9.41	4.81
ダクタイル鑄鉄	2.91	1.84	1.63	2.02	1.96	9.07	5.79

備考 $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$ とは、1日100 cm^2 あたりの腐食量(mg)をいう。

表7 水道用鑄鉄管の古い埋設例

国 名	地 名	埋設年
外 国	フランス	ベルサイユ
		ウィルパーク
		エーレン・ベレッテン
		クリアモンド
	イギリス	ロンドン
	アメリカ	フィラデルフィア
		ボストン
		セントルイス
		リッチモンド
		ニューヨーク
		ランカスタ
日 本		メインランド
		横浜
		長崎
		東京
		大阪
		神戸

なお、地方公営企業法施行規則による償却耐用年数は、40年(配水管)となっている。

また、一般社団法人農業土木事業協会による農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」では、機能保全計画の検討対象期間は40年を基本としている。

表8 各管種の平常時事故率(報告事例1)

単位 件／km／年

事故内容				年度		S56		S57		S58		3ヵ年平均	
				事故率		件 数	事故率	件 数	事故率	件 数	事故率	件 数	事故率
自然(破損・腐食・継手) 漏水・管体事故	鑄 鉄 管					1,101	0.0874	933	0.0730	1,207	0.0934	1,080.4	0.0846
	F C C					1,058	0.2067	896	0.1842	1,165	0.2544	1,039.7	0.2142
	F C M												
	F C D					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						1,352	0.1006	1,132	0.0834	1,422	0.1039	1,302.0	0.0959
その他	弁類・消火栓等					2,636	0.1961	2,199	0.1620	1,861	0.1360	2,232.0	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						4,700	(0.3497)	3,970	(0.2924)	3,831	(0.2799)	4,167.0	(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：ソケット継手鑄鉄管

FCM：メカニカル継手鑄鉄管

FCD：ダクタイル鑄鉄管(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、昭和61年5月〉

表9 各管種の平常時事故率(報告事例2)

単位 件/km/年

地 区	鋳 鉄 管		ダクタイル鋳鉄管		石 綿 管		ビニル管		銅 管		合 計	
	件数	発生率	件数	発生率	件数	発生率	件数	発生率	件数	発生率	件数	発生率
1.内 町	34	0.297	1	0.043	4	0.971	0	0.0	0	0.0	39	0.274
2.昭 和	22	0.870	2	0.166	21	7.071	16	2.703	0	0.0	61	1.320
3.東富田	31	0.398	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	31	0.265
4.西富田	9	0.236	0	0.0	0	0.0	2	6.154	0	0.0	11	0.248
5.新 町	14	0.349	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	14	0.275
6.佐 古	14	0.340	1	0.043	0	0.0	0	0.0	0	0.0	15	0.213
7.加 茂	1	0.121	1	0.012	0	0.0	7	0.613	0	0.0	9	0.088
8.渭 北	23	0.389	0	0.0	0	0.0	13	2.359	0	0.0	36	0.290
9.渭 東	10	0.152	0	0.0	0	0.0	14	1.274	0	0.0	24	0.239
10.沖 州	5	0.393	1	0.013	0	0.0	16	1.540	0	0.0	22	0.224
11.津 田	5	0.131	1	0.019	5	4.032	9	1.041	0	0.0	20	0.198
12.八 万	4	0.300	2	0.016	6	2.290	13	1.224	1	0.257	26	0.164
13.加茂名	1	0.041	1	0.013	1	1.399	10	1.337	0	0.0	13	0.115
14.不 動	0	0.0	0	0.0	8	1.167	5	0.489	0	0.0	13	0.270
15.応 神	0	0.0	1	0.013	37	0.337	5	0.778	0	0.0	43	0.222
16.川 内	2	8.889	2	0.016	16	0.137	60	0.347	0	0.0	80	0.189
17.勝 占	0	0.0	0	0.0	2	0.576	26	1.521	1	0.552	29	0.343
18.多家良	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
19.上八万	2	0.425	1	0.063	0	0.0	5	0.181	1	0.151	9	0.124
20.入 田	3	28.04	0	0.0	5	0.354	3	0.045	0	0.0	11	0.125
21.国 府	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
22.南井上	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
23.北井上	1	0.597	0	0.0	0	0.0	4	0.389	0	0.0	5	0.382
合 計	181	0.227	14	0.015	105	0.234	208	0.505	3	0.059	511	0.195

備考 破損事故発生率は地区ごとの配水管布設延長で除した値である。

〈細井由彦他：徳島市水道における配水管の破損特性に関する研究、水道協会雑誌、昭和63年8月〉

2. ダクタイル鉄管の規格について

2. 1 ダクタイル鉄管の規格

ダクタイル鉄管の主な規格は次の通りである。

JIS	G	5526	ダクタイル鋳鉄管
JIS	G	5527	ダクタイル鋳鉄異形管
JDPA	G	1027	農業用水用ダクタイル鋳鉄管
JDPA	G	1029	推進工法用ダクタイル鋳鉄管
JDPA	G	1042	NS形ダクタイル鋳鉄管
JDPA	G	1046	PN形ダクタイル鋳鉄管
JDPA	G	1049	GX形ダクタイル鋳鉄管
JDPA	G	1053	ALW形ダクタイル鋳鉄管

また、主な関連規格は次の通りである。

JIS	A	5314	ダクタイル鋳鉄管モルタルライニング
JIS	G	5528	ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装
JWWA	K	135	水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法
JWWA	K	139	水道用ダクタイル鋳鉄管合成樹脂塗料
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	水道用ダクタイル鋳鉄管用ポリエチレンスリーブ
JDPA	Z	2002	ダクタイル鋳鉄管継手用滑剤
JDPA	Z	2009	ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装

2. 2 ダクトイル鉄管の規格管厚

ダクトイル鉄管の規格管厚は表10のとおりである。

表10 ダクトイル鉄管の規格管厚
(JIS G 5526、JPA G 1027、JPA G 1049、JPA G 1053)

単位 mm

呼び径	外径	管 種											
		1種 D1	2種 D2	3種 D3	4種 D4	A種 DA	B種 DB	C種 DC	D種 DD	S種 DS	PF種 DPF	AL1種 L1	AL2種 L2
75	93.0	7.5	—	6.0	—	—	—	—	—	6.0	—	—	—
100	118.0	7.5	—	6.0	—	—	—	—	—	6.0	—	—	—
150	169.0	7.5	—	6.0	—	—	—	—	—	6.5	—	—	—
200	220.0	7.5	—	6.0	—	—	—	—	—	6.5	—	—	—
250	271.6	7.5	—	6.0	—	—	—	—	—	6.5	—	—	—
300	322.8	7.5	—	6.5	—	—	5.0	—	—	7.0	—	6.0	4.5
350	374.0	7.5	—	6.5	—	—	5.0	—	—	7.0	—	7.0	4.5
400	425.6	8.5	7.5	7.0	—	—	5.5	—	—	7.0	—	7.5	5.0
450	476.8	9.0	8.0	7.5	—	—	6.0	—	—	7.5	—	8.5	5.5
500	528.0	9.5	8.5	8.0	—	—	6.5	—	—	8.5	—	9.0	5.5
600	630.8	11.0	10.0	9.0	8.5	8.0	7.5	—	—	10.0	—	10.5	6.5
700	733.0	12.0	11.0	10.0	9.0	8.5	8.0	—	—	11.0	—	11.5	7.5
800	836.0	13.5	12.0	11.0	10.0	9.5	9.0	—	8.0	12.0	15.0	12.0	7.5
900	939.0	15.0	13.0	12.0	11.0	10.5	9.5	—	8.5	13.0	16.0	13.5	8.0
1000	1041.0	16.5	14.5	13.0	12.0	11.5	10.5	—	9.0	14.5	18.0	15.0	9.0
1100	1144.0	18.0	15.5	14.0	13.0	12.0	11.0	—	9.5	—	19.0	16.5	10.0
1200	1246.0	19.5	17.0	15.0	13.5	12.5	11.5	—	10.0	—	20.0	18.0	12.5
1350	1400.0	21.5	18.5	16.5	15.0	14.0	12.5	—	11.0	—	21.5	20.5	14.0
1500	1554.0	23.5	20.5	18.0	16.5	15.5	14.0	—	12.0	—	24.0	22.5	16.0
1600	1650.0	25.0	22.0	19.0	17.5	16.0	14.5	13.5	12.5	—	25.0	—	—
1650	1701.0	25.5	22.5	19.5	18.0	16.5	15.0	14.0	13.0	—	25.5	—	—
1800	1848.0	28.0	24.0	21.0	19.5	18.0	16.0	15.0	14.0	—	28.0	—	—
2000	2061.0	30.5	26.5	23.5	21.0	19.5	18.0	16.5	15.0	—	30.5	—	—
2100	2164.0	32.0	28.0	24.5	22.0	20.5	18.5	17.0	15.5	—	31.5	—	—
2200	2280.0	33.5	29.0	25.5	23.0	21.5	19.5	18.0	16.5	—	32.5	—	—
2400	2458.0	36.5	31.5	27.5	25.0	23.0	21.0	19.0	17.5	—	34.5	—	—
2600	2684.0	39.5	34.0	29.5	27.0	25.0	23.0	21.0	19.0	—	36.5	—	—

備考

1. ハッチング部はJIS G 5526を示す。
2. S種はGX形およびNS形(呼び径500～1000)に適用する。
3. PF種はUF形に適用する。

3. ダクティル鉄管の継手について

3. 1 ダクティル鉄管の各種継手と特長

表11 ダクティル鉄管の各種継手と特長

接合形式	呼び径	特 長	用途および使用についての要点
T 形	75 ～ 2000	受口の内面にゴム輪を装着し、テーパー状の挿し口を挿入するのみで、簡単に接合できるプッシュオンタイプである。 作業が迅速で、継手の水密性が高く、かつ、伸縮性および可とう性がある。	直線部の多い管路に適している。 呼び径 300 以上の異形管は、製造されていないのでメカニカルタイプのものを使用する。
K 形	75 ～ 2600	ゴム輪を押輪とボルトで締め付けて接合するメカニカルタイプである。 作業が迅速で、継手の水密性が高く、かつ、伸縮性および可とう性がある。	一般管路に使用され、大口径にも適する。
ALW形	300 ～ 1500	受口の内面にゴム輪を装着し、テーパー状の挿し口を挿入するのみで、簡単に接合できるプッシュオンタイプである。 作業が迅速で、継手の水密性が高く、かつ、伸縮性および可とう性がある。	継手構造、配管設計は基本的にT形と同様であるが、設計水圧の上限は1.0MPaである。 呼び径 700 ～ 1500 には JIS G 5527 の附属書 JA の T 形ゴム輪を使用する。 異形管は製造されていないので、メカニカルタイプのものを使用する。
U 形	800 ～ 2600	管の内面から接合を行うメカニカルタイプである。 継手の水密性は、K形と同じである。 伸縮性および可とう性がある。	シールド・トンネル内配管、掘削幅が狭い所などの配管に適する。

表11 (続き)

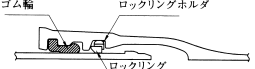
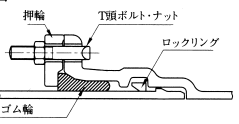
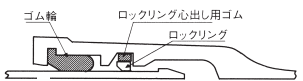
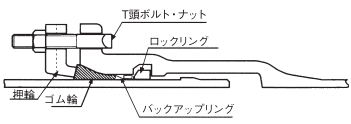
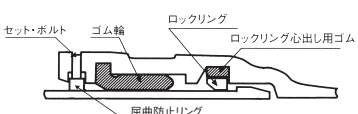
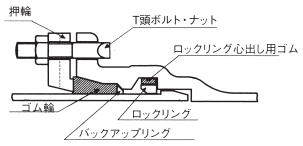
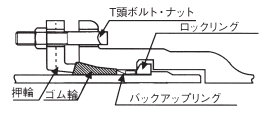
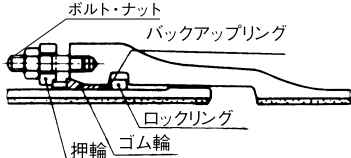
接合形式	呼び径	特 長	用途および使用についての要点
G X 形	75 ～ 450	大きな伸縮性および可とう性を持ち、最終的には受口と挿し口がかかり合って離脱防止の役目をする。直管がプッシュオンタイプで、異形管がメカニカルタイプである。 継手の水密性は、プッシュオンタイプはT形、メカニカルタイプはK形と同じである。	耐地盤変動（耐震用、軟弱地盤用など）の要求される配管に適する。
直管  異形管 	75 ～ 1000	大きな伸縮性および可とう性を持ち、最終的には受口と挿し口がかかり合って離脱防止の役目をする。継手形式は、呼び径 75 ～ 250 直管および異形管、呼び径 300 ～ 450 の直管がプッシュオンタイプで、呼び径 300 ～ 450 の異形管、呼び径 500 ～ 1000 の直管および異形管がメカニカルタイプである。 継手の水密性は、プッシュオンタイプはT形、メカニカルタイプはK形と同じである。	耐地盤変動（耐震用、軟弱地盤用など）の要求される配管に適する。
直管(呼び径75～450)  直管(呼び径500～1000)  異形管(呼び径75～250)  異形管(呼び径300～450)  異形管(呼び径500～1000) 	1100 ～ 2600	大きな伸縮性および可とう性をもつメカニカルタイプで、最終的には受口と挿し口がかかり合って離脱防止の役目をする。 継手の水密性は、K形と同じである。	耐地盤変動（耐震用、軟弱地盤用など）の要求される配管に適する。
S 形			

表11 (続き)

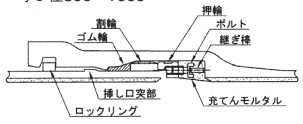
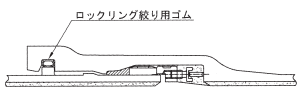
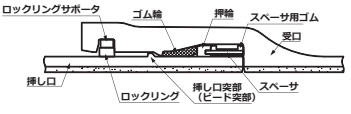
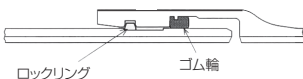
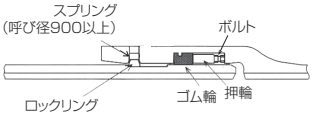
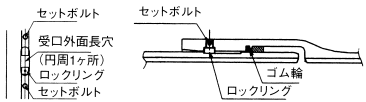
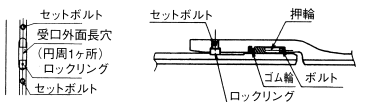
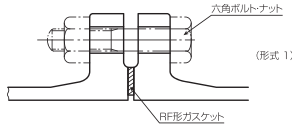
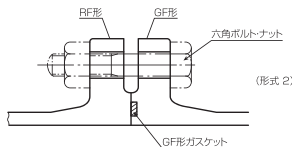
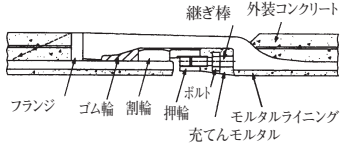
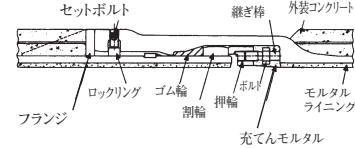
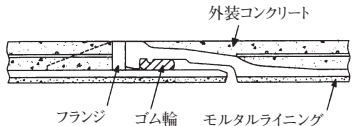
接合形式	呼び径	特 長	用途および使用についての要点
U S 形	800 ～ 2600	伸縮性および可とう性をもつ、管の内面から接合を行うメカニカルタイプで、最終的には、受口と挿し口がかかりあって離脱防止の役目をする。 継手の水密性は、K 形、U 形と同じである。	シールド・トンネル内配管、掘削幅の狭い所などで耐地盤変動（耐震用、軟弱地盤用など）の要求される配管に適する。
LS方式 呼び径800～1000  呼び径1100～2600  R方式 呼び径1500～2600 	800 ～ 2600	大きな離脱防止力をもつメカニカルタイプで、K形またはU形の受口と挿し口にロックリングのかかり合う溝を設けたものである。コンクリート防護が不要または軽減することができる。	曲管部、T字管部、片落管部、伏せ越し部など内圧による抜け出し力が作用する場所に使用する。
U F 形	800 ～ 2600	伸縮性および可とう性をもつプッシュオンタイプで、最終的に受口と挿し口がかかり合って離脱防止の役目をする。なお、離脱防止力は3DkN以上（D：呼び径）である。 継手の水密性は、T 形と同じである。	既設配管に新管を挿入するパイプ・イン・パイプ工法に使用し、耐地盤変動（耐震用、軟弱地盤用など）の要求される配管に適する。呼び径300～1100の外径は、他の接合形式の外径と異なるため、取合い部には、受挿し短管などを用いて接合する。
【JDDPA G1046-2019】 呼び径 300 ～ 600  呼び径 700 ～ 1500  【JWWA G113 (JDDPA G1046-2007)】 呼び径 300 ～ 600  呼び径 700 ～ 1500 	300 ～ 1500	大きな離脱防止力をもつメカニカルタイプで、K形またはU形の受口と挿し口にロックリングのかかり合う溝を設けたものである。コンクリート防護が不要または軽減することができる。	曲管部、T字管部、片落管部、伏せ越し部など内圧による抜け出し力が作用する場所に使用する。

表11 (続き)

接合形式	呼び径	特 長	用途および使用についての要点
フランジ形	75 ～ 2600	両方のフランジの合わせ面に、ガスケットをはさんで、ボルトで締め付ける。 剛継手であるため、可とう性や伸縮性はない。	フランジの付いた異形管には、形式1と形式2がある。形式1は、7.5K RF 形フランジの付いた異形管であり、RF 形－RF 形で使用する。但し、呼び径 700 以上については、RF 形－GF 形の組み合わせで使用する。形式2は、GF 形フランジの付いた異形管であり、RF 形－GF 形の組み合わせで使用する。
【RF 形－RF 形の組み合わせ】 			
【RF 形－GF 形の組み合わせ】 			
U形推進管	800～2600	管の内面からゴム輪を装着し、ボルトでゴム輪を締め付けて水密性を保つ。	一般管路に使用され中押し工法による長距離推進が可能である。
			
US形推進管	800～2600	ロックリングと挿し口突部の間に隙間があるため、その間で受口・挿し口の抜け出しが可能である。 最終的にロックリングと挿し口突部の掛け合わせにより、継手の離脱を防止する。	耐地盤変動用（耐震用・軟弱地盤用等）として使用される。フランジには、ローリング防止を目的とした植込みボルトタイプとボルトレスタイプとがある。
			
T形推進管	250～700	受口の内面にゴム輪を装着し、挿し口の挿入により、ゴム輪が圧縮されて水密性を保つ。 挿し口の外面には、推力伝達用のフランジが取り付けられている。	一般管路に使用され、フランジには、ローリング防止を目的とした植込みボルトタイプとボルトレスタイプとがある。
			

3.2 ダクティル鉄管の継手の選定

(1) 一般的な管路の継手

表12 一般的な管路の継手の選定

継手形式 施工条件	T形	K形	ALW形	GX形、NS形、S形
一般埋設部	○	○	○	○
15°以上の傾斜部	△	○	△	○
伏せ越し部	△	○	△	○
露出配管	○	○	—	○
軟弱地盤や 地滑り地帯など	△	△	△	○

備考 ○：適、△：使用条件を考慮し検討する、—：不適

(2) 異形管部の継手

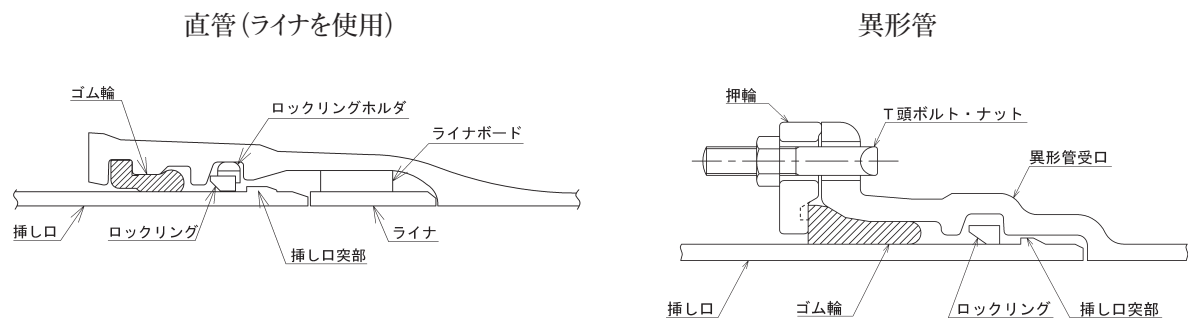
管路の屈曲部、分岐部などでスラスト力の作用する箇所では、次のいずれかの方法がとられる(併用する場合もある)。

- ① スラスト力に抵抗する構造物として「スラストブロック」を設ける。
- ② 直管部に作用する土圧の拘束力を利用してスラスト力に抵抗できるよう、伸縮性・屈曲性を有しない「離脱防止継手」を用いて異形管と直管とを一体化する。

表13 異形管部の継手の選定

方式 継手形式 呼び径	スラストブロック		離脱防止継手 ^{注1)}		
	T形	K形	GX形	NS形	UF形
75～250	○	○	○	○	—
300～450	—	○	○	○	—
500～700	—	○	—	○	—
800～1000	—	○	—	○	○
1100～2600	—	○	—	—	○

注1) 代表例として、呼び径250GX形の継手構造を下図に示す。



4. ダクタイル鉄管管路の耐震性について

設計基準では、農業用パイプラインは、地震による被害を軽減するための対策(免震設計)を検討することを基本とし、全体的に伸縮に富む構造(柔構造)にすることがよいとしている。

ダクタイル鉄管継手の特性は、図2に示すように、A 柔継手、B 剛継手、C 鎖継手の3つの種類に分類される。

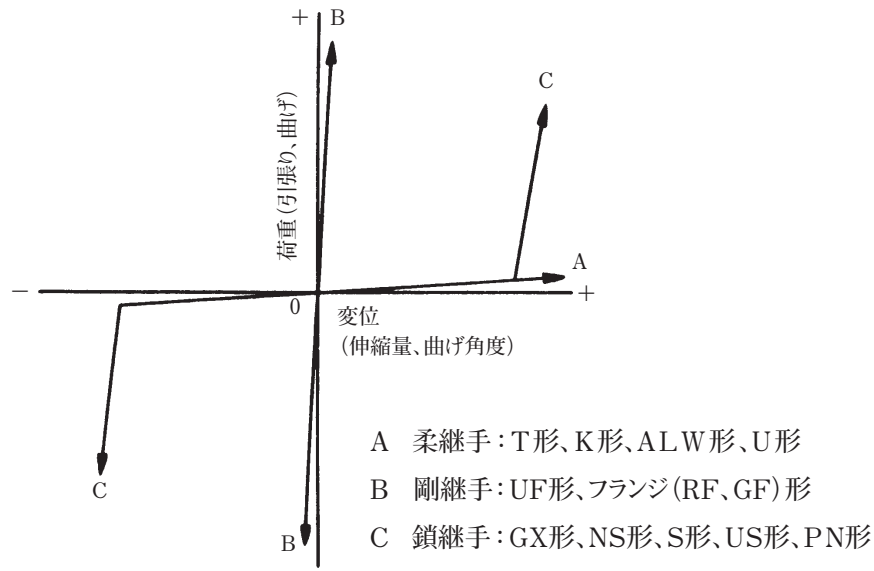


図2 継手の特性

T形、K形、ALW形などの柔継手で構成された柔構造管路は、伸縮性・可とう性に優れ地盤変動に順応し、管体応力も軽減できる耐震性を備えた管路といえる。

GX形、NS形、S形などで構成する鎖構造管路とすれば、さらに大きな地盤の変動にも耐える優れた耐震性を備えた管路となる。

図3に1978年宮城県沖地震の時に呼び径1500ダクタイル鉄管管路の挙動観測所で得られた波形の一部を示す。

波形は上より、地盤加速度(SA-X)、地盤速度(SV-X)、地盤ひずみ(SS)、管体ひずみ(PS) および継手部の伸縮(PJ)を示している。この図より、次のことがわかる。

- ① 地盤ひずみの波形から、明らかに地盤は伸びたり、縮んだりしている。
- ② 管体ひずみおよび継手部の伸縮は、地盤ひずみと同一の位相および挙動を示している。
- ③ 管体ひずみの波形から、管体は引張りおよび圧縮力を受けており、同一時間で継手部も伸縮している。
- ④ 地盤ひずみにより管体にひずみ(力)が作用した場合でも、継手部の伸縮により、管体に発生したひずみを逃している。

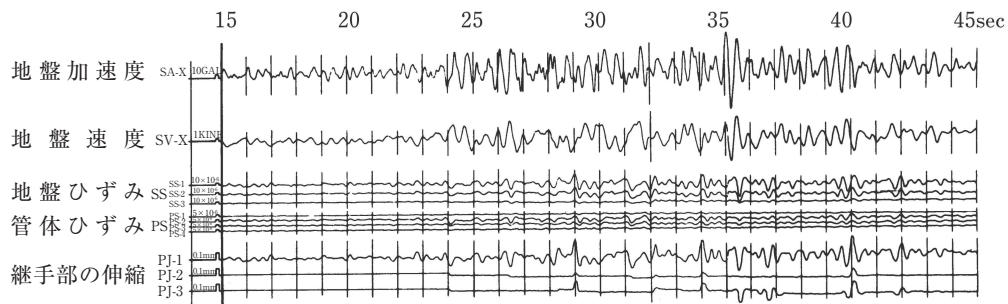


図3 記録波形の一例(宮城県沖地震:昭和53年6月12日17時14分、M=7.4)

また、地盤ひずみと管体ひずみおよび継手部の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間に読みとったものを図4に示す。図中で、 $\varepsilon_p = \varepsilon$ の線は、地盤ひずみをすべて管体で受持ったと仮定した場合を示し、管長 l として $e = \varepsilon \times l$ の線は地盤ひずみをすべて継手部で受持ったと仮定した場合を示す。

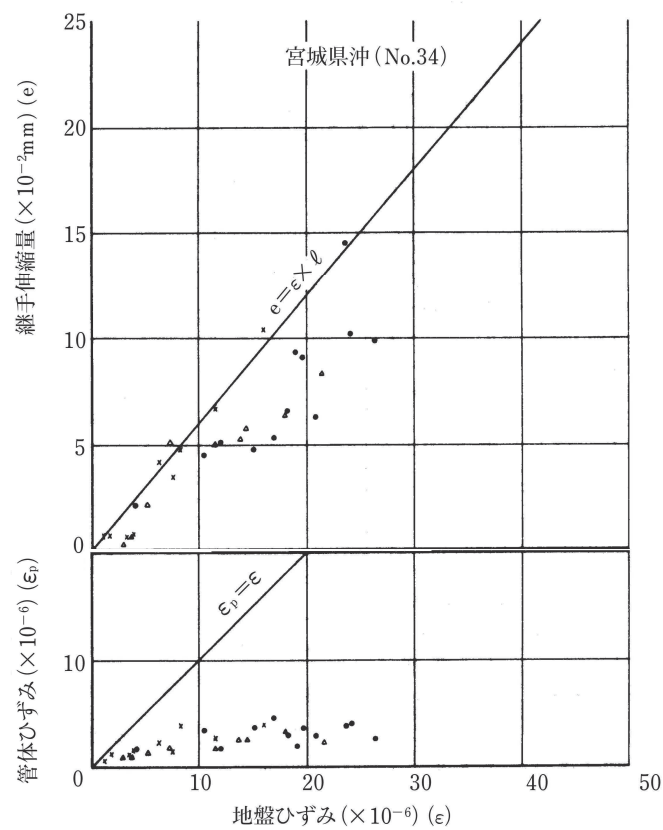


図4 地震時における地盤ひずみ、管体ひずみおよび継手伸縮量の関係

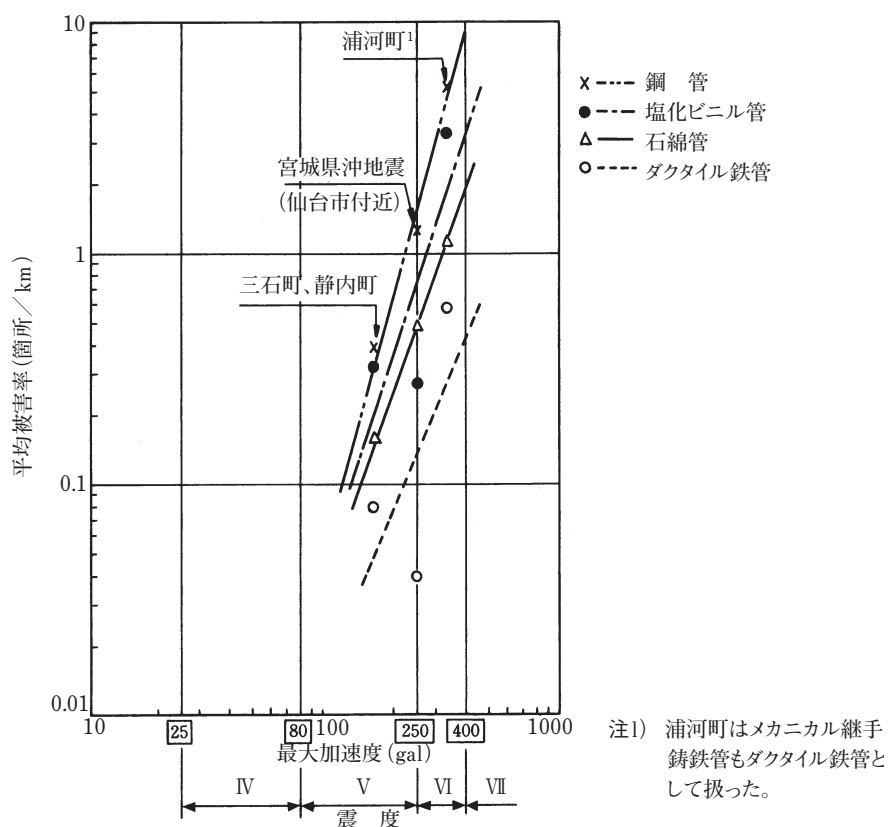
この図より、次のことがわかる。

- ① 地盤のひずみが大きくなると、継手部の伸縮量が大きくなる。
- ② 一方、管体ひずみは、ある一定値以上大きくならない。
- ③ 地盤のひずみにより管路に発生するひずみ(力)を、継手部で逃がしている。

このことよりダクタイル鉄管では、地盤の変位を伸縮性、可とう性(伸縮余裕および屈曲余裕)によって無理なく吸収し、順応する柔構造としているため、管体発生応力も小さく、地震に対して被害を受けにくいといえる。

特に大きな地震(大きな地盤変動)が起こることが予測される地域における軟弱地盤、あるいは土質の変化する境界付近には、自由に伸縮、屈曲に順応して、しかも離脱防止機能を有する耐震継手を用いることが望ましい。

さらに、1982年浦河沖地震の時、被害各地の地震動と各管種の1kmあたりの平均被害率との関係を図5に示す。



〈黒地政美他、1982年浦河沖地震による水道管路被害調査、ダクタイル鉄管協会誌第33号〉

図5 地震動の大きさと各管種の平均被害率の関係

この図より、震度VとVIとでは明らかに差があり、震度VIになると、被害率は震度VIに比べて約10倍近く増加するようである。

また、被害率は他の管種に比べてダクタイル鉄管がもっとも小さい。この結果は一つの事例であるが、継手が伸縮性、可とう性のある構造で、かつ管体強度の高いダクタイル鉄管は、地震に対して被害を受けにくい管種であることがわかる。

5. 水理計算について

5. 1 定常的な水理計算

5. 1. 1 計算の流れ

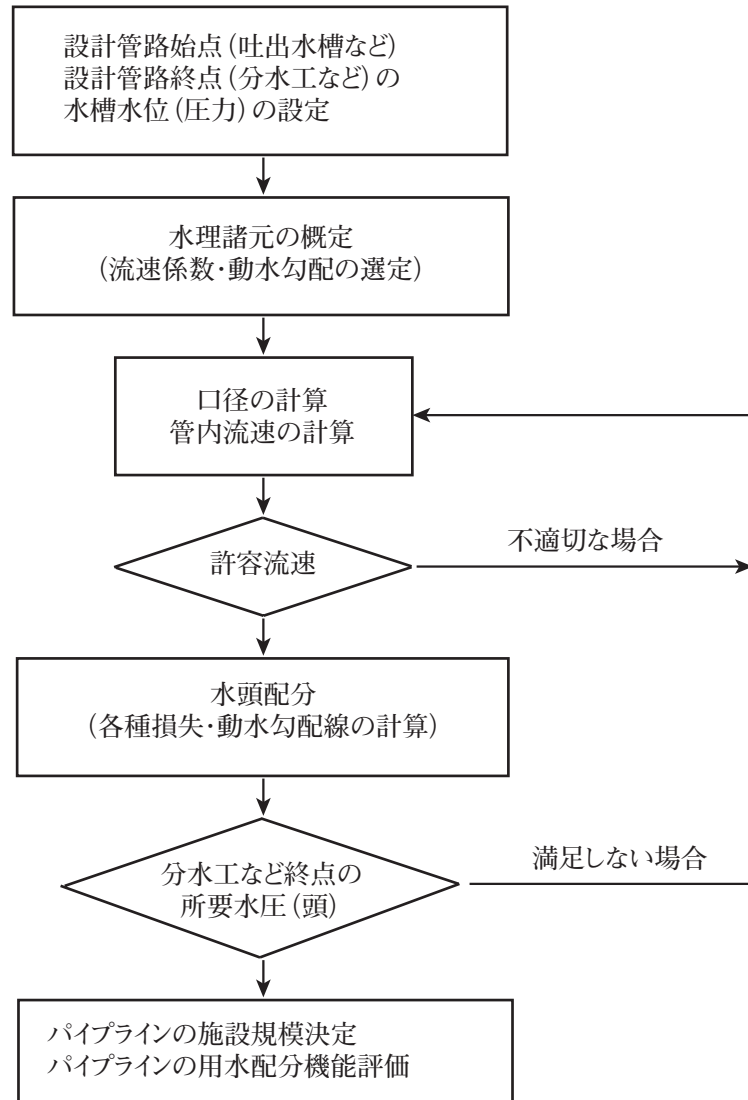


図6 定常水理計算の流れ

5. 1. 2 許容設計流速

設計に用いる最大許容流速を表14に、最小許容流速を表15に、許容平均流速を表16に示す。

表14 最大許容流速

単位 m/sec

管内面状態	最大許容流速
コンクリート	3.0
モルタルライニング+シールコート	5.0
そ の 他	5.0

〈設計基準〉

表15 最小許容流速

単位 m/sec

対象とする流体	最小許容流速
通常のかんがい用水	0.3
防除、施肥等の多目的利用を行う 場合の流体を通水する場合	0.6

〈設計基準〉

表16 許容平均流速

単位 m/sec

通水方式	呼び径	許容平均流速
自然圧式		2.5
ポンプ圧送式	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

〈設計基準〉

水理計算は、計画最大用水量を流し得る最小断面を求めることが目的である。設計上の摩擦損失水頭および各種損失水頭は、以下のように計算することによって求められる。

- ただし、口径300mm以下、かつ設計水圧1.0MPa以下の小口径管の定常水理計算については、曲管、分岐管、片落管等の異形管類および制水弁類の局所損失水頭が摩擦損失水頭に比べて小さいので、次の簡略式を用いてもよい。

$$h_f: \text{ヘーゼン・ウィリアムス公式による摩擦損失水頭 (m)}$$

ヘーゼン・ウィリアムス公式による。

$$I = \frac{h_f}{I_c} = 10.67 \text{ C}^{-1.85} \cdot \text{D}^{-4.87} \cdot \text{Q}^{1.85} \dots\dots\dots (5-5)$$

D : 管内径(m)	h_f : 摩擦損失水頭(m)
Q : 流量(m^3/sec)	L : 管路長(m)
V : 平均流速(m/sec)	C : 流速係数
I : 動水こう配	

表17 流速係数Cの標準値

		呼び径	Cの標準値
ダクタイル鉄管 (モルタルライニング)		75～2600	130
ダクタイル鉄管 (シリカエポキシ樹脂塗装)		300～1500	140(暫定値)
参考	銅 管 (水道用液状エポキシ樹脂塗装)	800以上	130
		600・700	120
		350～500	110
		300以下	100
	硬質ポリ塩化ビニル管	13～700	150
	強化プラスチック複合管	200～3000	150

〈設計基準〉

5. 1. 5 各種損失水頭

水理計算においては、摩擦損失水頭のほか、設計条件に応じてつぎの各種損失水頭を考慮する。

- ① 流入による損失水頭
- ② 流出による損失水頭
- ③ 湾曲および屈折による損失水頭(曲管の損失水頭)
- ④ 片落管の損失水頭
- ⑤ 分岐管の損失水頭
- ⑥ 合流管の損失水頭
- ⑦ バルブの損失水頭
- ⑧ 量水器の損失水頭
- ⑨ スクリーンの損失水頭

ダクタイル鉄管の曲管の損失係数は、湾曲による損失係数を計算するバジールスキの簡略式、またはワイズバッハ・フューラの式を適用する。

曲管の口径をD、曲率半径をRとし、 $R/D \geq 2$ の場合はバジールスキの簡略式、 $0.5 < R/D < 2$ の場合はワイズバッハ・フューラの式で計算する。

バジールスキの簡略式

$$\frac{1}{f_b} = \frac{90 \cdot \pi}{\alpha} \left(\log_e \frac{R}{D} + \frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right) \dots\dots\dots (5-6)$$

ワイズバッハ・フューラの式

$$f_b = \left\{ 0.131 + 1.847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3.5} \right\} \left(\frac{\alpha}{90} \right)^{0.5} \dots\dots\dots (5-7)$$

ここに、

- f_b : 曲管の損失係数
 D : 管内径 (m)
 R : 曲管の曲率半径 (m)
 α : 曲管の角度 (°)

T形曲管およびK形曲管の損失係数を計算した結果を表18、表19および表20に示す。

表18 T形曲管の損失係数

曲管角度 呼び径	90°	60°	45°	30°	22 1/2°	11 1/4°	5 5/8°
75	0.1935	-	0.1160	-	0.0503	0.0287	-
100	0.2521	-	0.1252	-	0.0537	0.0310	-
150	0.3437	-	0.1443	-	0.0577	0.0336	-
200	0.4400	-	0.1610	-	0.0623	0.0368	-
250	0.5434	-	0.1836	-	0.0663	0.0396	-

表19 K形曲管(片受)の損失係数

曲管角度 呼び径	90°	60°	45°	30°	22 1/2°	11 1/4°	5 5/8°
75	0.1153	-	0.0651	-	0.0290	0.0103	-
100	0.1285	-	0.0736	-	0.0323	0.0111	-
150	0.1458	-	0.0803	-	0.0349	0.0125	-
200	0.1400	-	0.0840	-	0.0363	0.0124	-
250	0.1615	-	0.0953	-	0.0404	0.0134	-
300	0.1501	-	0.0970	-	0.0410	0.0142	0.0055
350	0.1639	-	0.0984	-	0.0415	0.0139	0.0058
400	0.1697	-	0.0993	-	0.0418	0.0146	0.0060
450	0.1896	-	0.1002	-	0.0421	0.0152	0.0062
500	0.1806	-	0.1009	-	0.0424	0.0148	0.0061
600	0.1902	0.1553	0.1020	0.0817	0.0428	0.0159	0.0064
700	0.1984	0.1620	0.1027	0.0824	0.0430	0.0170	0.0068
800	0.2058	0.1680	0.1034	0.0831	0.0433	0.0180	0.0071
900	0.2122	0.1733	0.1039	0.0836	0.0434	0.0190	0.0074
1000	0.2314	0.1890	0.1043	0.0839	0.0436	0.0200	0.0077
1100	0.2522	0.2059	0.1046	0.0843	0.0442	0.0210	0.0080
1200	0.2952	0.2410	0.1045	0.0854	0.0465	0.0221	0.0083
1350	0.3788	0.3093	0.1106	0.0903	0.0499	0.0236	0.0087
1500	0.4892	0.3994	0.1186	0.0968	0.0534	0.0252	0.0091
1600	0.5730	-	0.2357	-	0.0744	0.0262	0.0094
1650	0.6234	-	0.2521	-	0.0755	0.0267	0.0095
1800	0.7024	-	0.3061	-	0.0788	0.0283	0.0099
2000	-	-	0.4069	-	0.0851	0.0307	0.0105
2100	-	-	0.3337	-	0.0806	0.0319	0.0108
2200	-	-	0.3827	-	0.0836	0.0333	0.0111
2400	-	-	0.4707	-	0.0891	0.0356	0.0116
2600	-	-	0.5692	-	0.0909	0.0643	0.0177

表20 K形曲管(両受)の損失係数

曲管角度 呼び径	90°	60°	45°	30°	22 1/2°	11 1/4°	5 5/8°
300	0.3101	0.2532	0.2193	0.1791	0.1551	0.1097	0.0775
350	0.3081	0.2516	0.2179	0.1779	0.1540	0.1089	0.0770
400	0.3057	0.2496	0.2161	0.1765	0.1528	0.1081	0.0764
450	0.3117	0.2545	0.2204	0.1800	0.1558	0.1102	0.0779
500	0.3101	0.2532	0.2193	0.1790	0.1550	0.1096	0.0775
600	0.3135	0.2560	0.2217	0.1810	0.1568	0.1109	0.0784
700	0.3108	0.2538	0.2198	0.1794	0.1554	0.1099	0.0777
800	0.3134	0.2559	0.2216	0.1810	0.1567	0.1108	0.0784
900	0.3155	0.2576	0.2231	0.1822	0.1578	0.1116	0.0789
1000	0.3166	0.2585	0.2239	0.1828	0.1583	0.1119	0.0791
1100	0.3212	0.2622	0.2271	0.1854	0.1606	0.1135	0.0803
1200	0.3245	0.2650	0.2295	0.1874	0.1623	0.1147	0.0811
1350	0.4059	0.3314	0.3460	0.2825	0.3264	0.5429	0.3839
1500	0.4840	0.3952	0.3957	0.3231	0.3818	0.6106	0.4318

5. 2 水撃圧の計算

5. 2. 1 一般事項

水撃圧は、バルブ等を短時間に操作してパイプライン組織の流量調節を行った結果、水圧が急激に上昇あるいは下降する現象である。

この水撃圧の大きさ(すなわち、最大上昇圧又は最大下降圧)は、流量変化の発生地点から水理的な境界点へ向かう区間における圧力波の伝播運動に要する時間と、バルブ等の操作に要する時間との相対的な関係のみによって決まる。

図7のような簡単な水槽～管～バルブ系において、バルブの操作によって発生した圧力波は、水槽へ向かって伝播し、水槽地点では自由水面の影響を受けて圧力波が反射する。このようにして、圧力波の往復運動が起こる。圧力波の伝播速度を a 、管路長を L とすると、管路末端のバルブ操作により発生した圧力波が管を往復する時間 $2L/a$ と、バルブの操作時間 t_v との関係により、以下のような水撃圧の発生が見られる。

① $t_v < 2L/a$ の場合

圧力波の往復時間より短い時間でバルブを閉そくする場合であり、図7(a)のような水撃圧が発生する。これを急閉そく状態と呼ぶ。

② $t_v = 2L/a$ の場合

圧力波の往復時間と同じ時間でバルブを閉そくする場合であり、図7(b)のような水撃圧が発生する。

③ $t_v > 2L/a$ の場合

圧力波の往復時間より長い時間でバルブを閉そくする場合であり、図7(c)のような水撃圧が発生する。これを緩閉そく状態と呼ぶ。

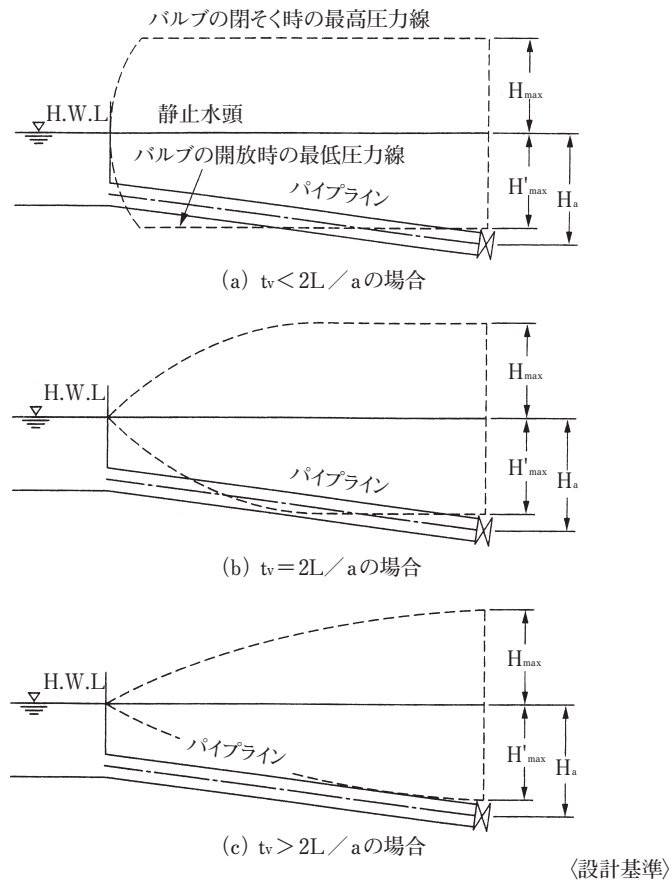


図7 水撃圧の概念

設計水圧は、定常流況下の水理設計で得られた静水圧に水撃圧を加えた値としなければならない。

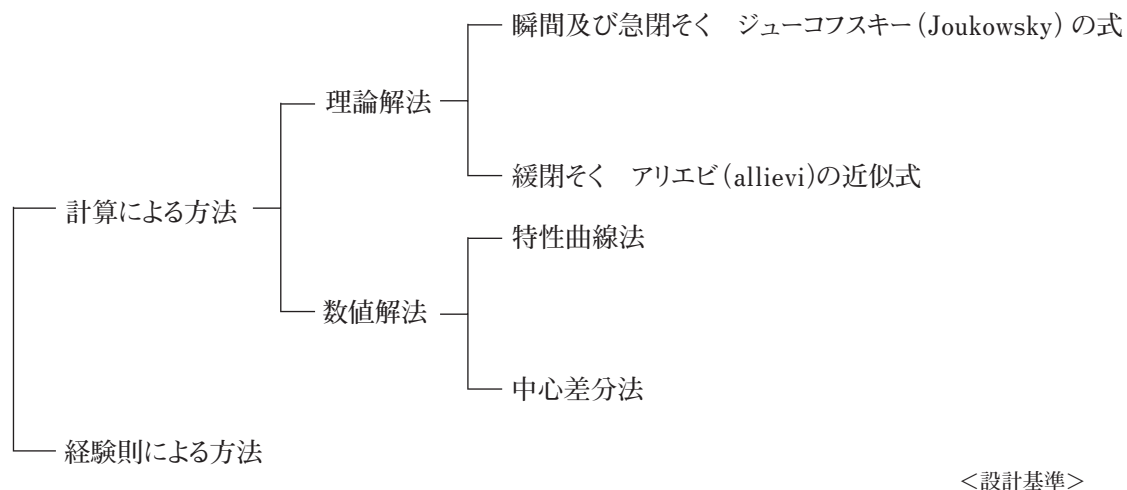
$$\text{設計水圧} = \text{静水圧} + \text{水撃圧} \cdots \cdots (5-8)$$

水撃圧の現象は、圧力波の伝播運動に伴う上昇圧と下降圧が時間的に振動しながら発生する。上昇圧がパイプラインの耐圧強度を超えるとパイプラインは破壊し、また、下降圧が大気圧以下になると、管路が負圧となって水に溶解込んでいた空気が分離する。したがって、パイプラインは、想定される水管理の条件下で安全な機能を果たすようにその対策を講じなければならない。

5. 2. 2 水撃圧の推定方法

(1) 推定方法の分類

水撃圧を予測する方法は、図8に示すように大別すると計算による方法と経験則による方法とがある。さらに計算による水撃圧の解析法には、簡単な系については理論解があり、複雑な系については数値解析が行われる。



<設計基準>

図8 水撃圧の予測方法

(2) 推定方法の適用基準

水撃圧の予測は計算による方法を原則とする。

ただし、給水栓を有する水田用配水系パイプラインで低圧（静水圧0.35MPa未満）の場合は、経験則による方法で水撃圧の推定を行ってもよい。

なお、数値解析以外の推定方法は、バルブ操作による水撃圧の上昇圧のみを扱っているため、負圧の検討など下降圧が問題となる場合は、数値解析によらなければならない。

5. 2. 3 理論解法による水撃圧の推定方法

(1) 圧力波の伝播速度

バルブ操作等の外的要因によってパイプライン中の流況が変化すると、圧力波が発生し、水の流速とは違ったある特定の速度でパイプライン系内を往復する。

圧力波の伝播速度は、水の圧縮性、管材のヤング係数、管の支持状態から式(5-9)によって求められる。

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{w_0}{g} \left(\frac{1}{K} + \frac{D \cdot C_1}{E_s \cdot t} \right)}} \dots\dots\dots (5-9)$$

ここに

- a : 水撃波の伝播速度(m/s)
- E_s : 管材のヤング係数(短期) (kN/m²)
- g : 重力の加速度(9.8m/s²)
- K : 水の体積弾性係数(2.03×10⁶kN/m²)
- D : 管の内径(m)
- w_0 : 水の単位体積重量(kN/m³)
- t : 管厚(m)
- C_1 : 管の埋設状況による係数(1.0を基準とする)

(2) 水撃圧の推定式

a. バルブの急閉そく($0 \leq t_v \leq 2L/a$)の場合の水撃圧推定式

バルブの急閉そくの場合については、ジューコフスキーの式を用いる。

$$H - H_0 = - \frac{a}{g} (V - V_0) \dots\dots\dots (5-10)$$

ここで、圧力上昇を $H - H_0 = \Delta H$ 、流速変化を $V - V_0 = \Delta V$ で表すと式(5-11)を得る。

$$\Delta H = - \frac{a}{g} \Delta V \dots\dots\dots (5-11)$$

b. バルブの緩閉そく($t_v > 2L/a$)の場合の水撃圧推定式

バルブの緩閉そくの場合については、アリエビの近似式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{H_{\max}}{H_0} &= \frac{K_1}{2} + \sqrt{K_1 + \frac{K_1^2}{4}} \\ K_1 &= \left(\frac{L \cdot V'}{g \cdot H_0 \cdot t_v} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-12)$$

ここに

$H_{\max}$: バルブ閉そくによって発生する水撃圧水頭(m)

H_0 : バルブの位置における静水頭(m)

L : 管の全長(m)

V' : 管内の初期および終期の定常状態の流速差(m/s)

g : 重力の加速度(9.8m/s^2)

t_v : バルブの閉そくに要する時間(s)

なお一般に、式(5-12)は $t_v > L/300$ の条件で成立するとされているので、バルブの操作時間はこの値を満足するものでなければならない。

(3) 理論解法による解の利用法

バルブの急閉そくあるいは緩閉そく時の末端弁の直上流に発生する水撃圧の大きさはジューコフスキーの式およびアリエビの近似式で計算される。それぞれの系内での圧力分布は、図7に示したようになるので急閉そく時にはジューコフスキーの式によって得られた値が全域にわたって作用する。アリエビの近似式による場合は、バルブの等価操作時間 t_v が $t_v > L/300$ の場合には計算値をバルブ地点に与え、上流水槽水面と直線を結んで評価してよい。 $t_v < L/300$ の場合には、アリエビの近似式とジューコフスキーの式の間領域となるので、数値解析により検討しなければならない。

5. 2. 4 数値解法による水撃圧の推定方法

数値解法による水撃圧の推定は、パイプラインシステム全体の設計内容に極めて近似した数理モデルを構成してパイプライン中の圧力、流量の時間変化を解析できることから、管種を検討する場合、および経験則により推定した水撃圧の検証などに適用することができる。なお、数値解法には、基礎式からの展開の考え方が異なる特性曲線法と中心差分法とがある。本手法の詳細については、設計基準を参照のこと。

5. 2. 5 経験則による水撃圧の推定方法

経験則による水撃圧の推定は以下のとおりである。ただし、管路に負圧が発生しないようなバルブ操作や対策を講じるものとする。

(1) オープンタイプの場合

水撃圧は、設計流量が流下時の動水こう配線による水圧の20%とする。

(2) クローズドタイプおよびセミクローズドタイプの場合

静水圧が 0.35MPa 未満の場合は、静水圧の100%とする。

静水圧が 0.35MPa 以上の場合は、静水圧の40%、または 0.35MPa のいずれか大きい値とする。

(3) 配水槽までのポンプ送水管

通常時水圧(動水圧)が 0.45MPa 未満の場合は、その100%を水撃圧とする。

通常時水圧(動水圧)が 0.45MPa 以上の場合は、その60%若しくは 0.45MPa のいずれか大きい値を水撃圧とする。

図9に示すような事例では経験則による値に比べて、計算などによる水撃圧の値が上回ることが多いので注意が必要である。

特に小口径の手動バルブは、通常操作では開閉時間が非常に短いため大きな水撃圧が発生する。また、同時に開閉操作を行った場合も同様に大きな水撃圧が発生するため、2箇所以上のバルブを同時操作しないよう管理することが望ましい。

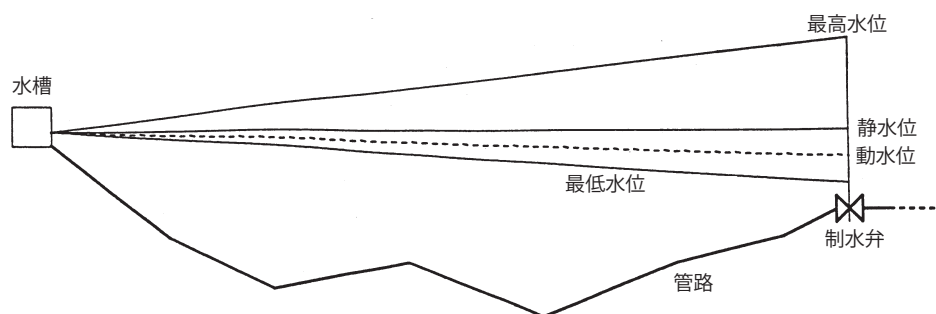


図9 水撃圧が経験則の範囲を超えやすい管路の例

理論式においては、水撃圧はバルブの閉そく時間が急閉そく($t_v \leq 2L/a$)の場合は圧力波の伝播速度に比例するので伝播速度が小さな低剛性の管ほど水撃圧が小さくなる。

しかし、一般的な管路は緩閉そく($t_v > 2L/a$)であるため、水撃圧は管の剛性には関係なく管路延長、流速、静水頭および閉そく時間により求められる。(ここに、 t_v ：バルブの閉そく時間(s)、 L ：管路延長(m)、 a ：圧力波の伝播速度(m/s))

伝播速度は管の種類により200～1,500m/s程度である。経験則の範囲に水撃圧を抑えるためのバルブの閉そく時間を求めると表21のようになり、いずれも緩閉そくの条件となる。緩閉そくの場合は圧力波の伝播速度が $1/2$ の管材料を使用しても水撃圧は $1/2$ とならず、その値はほとんど変わらないので十分注意が必要である。緩閉そくの条件においては、管の種類にかかわらず静水圧に経験則による水撃圧を加えた値(計算値が経験則を上回る場合は計算による水撃圧)が使用した管材料の許容内圧以下となる範囲で使用する。

なお、末端と始点の高低差が少ない管路では、経験則の範囲に水撃圧が収まるようなバルブ操作が困難な場合もある。

表21 数値解析による水撃圧の計算結果例

呼び径 D	管 種	伝播速度 a (m/s)	流量 Q (m ³ /s)	流速 V (m/s)	静水圧 P _s (MPa)	水撃圧 P _d (MPa)	管路延長 L (m)	弁閉塞時間 t _v (s)
200	硬質ポリ塩化 ビニル管 (VP管)	380	0.04	1.27	0.59	0.30	1,000	60
						0.31	2,000	120
						0.29	5,000	320
	ダクタイル鉄管	1,190	0.04	1.27	0.59	0.32	1,000	60
						0.34	2,000	120
						0.34	5,000	320
400	硬質ポリ塩化 ビニル管 (VU管)	290	0.20	1.59	0.29	0.26	1,000	70
						0.26	2,000	150
						0.26	5,000	400
	ダクタイル鉄管	1,020	0.20	1.59	0.29	0.28	1,000	70
						0.27	2,000	150
						0.28	5,000	400

備考 管路末端の仕切弁を閉そくする条件で計算した。

6. 構造設計について

6. 1 ダクティル鉄管の安全性

6. 1. 1 荷重に対する安全性

設計に用いる許容応力と許容たわみ率を表22に示す。

表22 ダクティル鉄管の許容応力と許容たわみ率

許容引張応力 (N/mm ²)		189
許容曲げ応力 (N/mm ²)		270
許 容 た わ み 率 (%)		5
設計たわみ率 ¹⁾ (%)	締固めⅠ	3(4) ²⁾
	締固めⅡ	4

注1) 表34参照

注2) () 内は基礎材料に礫質土、固化処理土を使用した場合の値を示す。

〈設計基準〉

許容応力は、鑄肌の粗さを考慮して破壊応力の90%とし、安全率2.0を見込めば上表の値となる。

6. 1. 2 水圧に対する安全性

直管の保証水圧を表23に示す。表に示す保証水圧は、管の破裂水圧の70%とし、最高10MPaとした値である。ただし、土圧、輪荷重などの外圧は考慮していない。なお、正規に接合された継手部の保証水圧も同じである。

表23 直管の保証水圧

単位 MPa

呼び径 (mm)	種 類									
	1種 D1	2種 D2	3種 D3	4種 D4	S種 DS	PF種 DPF	A種 DA	B種 DB	C種 DC	D種 DD
75	10.0	—	10.0	—	10.0	—	—	—	—	—
100	10.0	—	10.0	—	10.0	—	—	—	—	—
150	10.0	—	10.0	—	10.0	—	—	—	—	—
200	10.0	—	10.0	—	10.0	—	—	—	—	—
250	10.0	—	10.0	—	10.0	—	—	—	—	—
300	10.0	—	10.0	—	10.0	10.0	—	7.5	—	—
350	10.0	—	8.9	—	9.7	10.0	—	6.4	—	—
400	10.0	9.3	8.5	—	8.5	10.0	—	6.4	—	—
450	10.0	8.9	8.2	—	8.2	10.0	—	6.3	—	—
500	9.8	8.6	8.0	—	8.6	10.0	—	6.3	—	—
600	9.5	8.6	7.7	7.2	8.6	10.0	6.7	6.2	—	—
700	8.9	8.2	7.4	6.6	8.2	10.0	6.1	5.7	—	—
800	8.8	7.8	7.1	6.5	7.8	9.8	6.1	5.7	—	5.0
900	8.7	7.5	6.9	6.3	7.5	9.3	6.0	5.4	—	4.8
1,000	8.6	7.6	6.8	6.2	7.6	9.4	6.0	5.4	—	4.6
1,100	8.6	7.3	6.6	6.1	—	9.1	5.7	5.2	—	4.4
1,200	8.5	7.4	6.5	5.8	—	8.7	5.4	5.0	—	4.3
1,350	8.4	7.2	6.4	5.8	—	8.4	5.4	4.8	—	4.2
1,500	8.2	7.2	6.3	5.7	—	8.4	5.4	4.8	—	4.1
1,600	8.2	7.2	6.2	5.7	—	8.2	5.2	4.7	4.4	4.1
1,650	8.2	7.2	6.2	5.7	—	8.2	5.2	4.7	4.4	4.1
1,800	8.2	7.0	6.1	5.7	—	8.2	5.2	4.7	4.4	4.1
2,000	8.0	7.0	6.2	5.5	—	8.0	5.1	4.7	4.3	3.9
2,100	8.0	7.0	6.1	5.5	—	7.9	5.1	4.6	4.2	3.8
2,200	8.0	6.9	6.0	5.4	—	7.7	5.1	4.6	4.2	3.9
2,400	8.1	6.9	6.0	5.5	—	7.6	5.0	4.6	4.1	3.8
2,600	8.0	6.9	5.9	5.4	—	7.4	5.0	4.6	4.2	3.8

- 注1)保証水圧は管の破壊水圧の70%(ただし、最高10.0MPa)とした。
2)D1、D2、D3、D4、DS(呼び径500～1000mm)、DPFの保証水圧はJIS G 5526及びJDPA G 1046で同じである。
3)DS(呼び径75～450mm)の保証水圧はJDPA G 1049である。
4)DA、DB、DC、DDの保証水圧はJDPA G 1027である。
5)L1、L2は設計水圧が規定されている。

〈設計基準〉

表24 管および継手の水密性による内水圧の目安

種 類		管 種	接合形式	設計内圧(MPa)
ダクタイル鉄管		1種～4種	T形、K形	保証水圧の1/2
		A種～D種		
		AL1種～AL2種	ALW形	1.0
参 考	コア式プレストレストコンクリート管	1種～3種	標準型	0.6
	硬質ポリ塩化ビニル管	VP	TS接合 RR接合	1.0
	強化プラスチック複合管	1種	B形、C形	1.11
	鋼管STPA400	D/t=110のとき	溶接継手	3.0程度

〈設計基準〉

6. 2 埋設深さ

6. 2. 1 埋設深さの標準

表25 埋設深さの標準

耕 地 下	0.6m以上+耕土深
公道または市町村道等に認定され道路構造令に準拠する農道下	1.2m以上
設計基準「農道」に準拠する農道および私道下	1.0m以上

〈設計基準〉

6. 2. 2 管が浮上しない深さ

浮上に対する検討は、次式による。

$$H \geq \frac{\frac{\pi}{4} D_c^2 \cdot S \cdot \gamma_w - \left[\frac{\pi}{4} \{D_c^2 - (D_c - 2T)^2\} \gamma_p + \frac{\pi}{4} \{(D_c - 2T)^2 - (D_c - 2T - 2t_c)^2\} \gamma_c \right]}{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) D_c} \dots\dots\dots (6-1)$$

ここに、

H : 管が浮上し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(kN/m³)

(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_{sat} : 埋戻し土の飽和単位体積重量(kN/m³)

γ_w : 水の単位体積重量(9.8kN/m³)

上式は、地表面まで地下水で飽和されているとした場合のもので、モルタルライニングの重量を考慮したものである。

γ_{sat} = 18kN/m³とした場合を表26に示す。

なお、浮上防止に必要な土かぶりを確保する代わりにジオテキスタイルを用いて、地盤と構造物を一体化させることで埋設深さを低減する技術が開発されている。「パイプラインの浅埋設工法 設計・施工・積算指針(案)」(独)農研機構 農村工学研究所を参照。

表26 ダクティル鉄管が浮上しないための最小土かぶり

単位 m

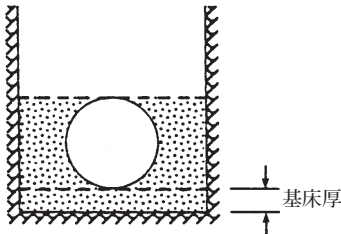
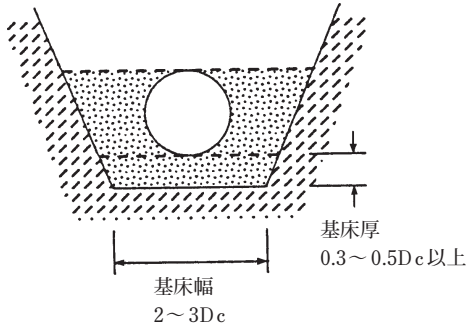
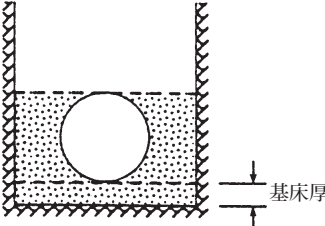
呼び径	管 種									
	1種 D1	2種 D2	3種 D3	4種 D4	A種 DA	B種 DB	C種 DC	D種 DD	AL1種 L1	AL2種 L2
75	0.00	—	0.00	—	—	—	—	—	—	—
100	0.00	—	0.00	—	—	—	—	—	—	—
150	0.00	—	0.01	—	—	—	—	—	—	—
200	0.03	—	0.06	—	—	—	—	—	—	—
250	0.08	—	0.12	—	—	—	—	—	—	—
300	0.12	—	0.15	—	—	0.19	—	—	0.21	0.24
350	0.18	—	0.21	—	—	0.24	—	—	0.24	0.30
400	0.21	0.24	0.25	—	—	0.29	—	—	0.28	0.35
450	0.26	0.28	0.30	—	—	0.33	—	—	0.31	0.39
500	0.30	0.33	0.34	—	—	0.38	—	—	0.36	0.45
600	0.38	0.40	0.43	0.44	0.45	0.47	—	—	0.43	0.54
700	0.45	0.48	0.50	0.53	0.54	0.55	—	—	0.52	0.63
800	0.53	0.57	0.59	0.62	0.63	0.64	—	0.67	0.62	0.74
900	0.60	0.65	0.68	0.71	0.72	0.75	—	0.77	0.70	0.84
1000	0.66	0.72	0.75	0.78	0.79	0.82	—	0.86	0.78	0.93
1100	0.74	0.80	0.84	0.87	0.90	0.92	—	0.96	0.85	1.02
1200	0.82	0.88	0.93	0.97	1.00	1.02	—	1.06	0.93	1.07
1350	0.92	1.00	1.05	1.09	1.12	1.16	—	1.19	1.04	1.21
1500	1.04	1.12	1.18	1.22	1.25	1.29	—	1.34	1.16	1.33
1600	1.09	1.17	1.24	1.28	1.32	1.36	1.39	1.41	—	—
1650	1.13	1.21	1.29	1.33	1.37	1.41	1.43	1.46	—	—
1800	1.23	1.34	1.41	1.45	1.49	1.54	1.57	1.60	—	—
2000	1.40	1.51	1.59	1.65	1.69	1.73	1.77	1.81	—	—
2100	1.48	1.59	1.68	1.74	1.78	1.83	1.87	1.91	—	—
2200	1.57	1.69	1.78	1.85	1.88	1.94	1.98	2.02	—	—
2400	1.69	1.82	1.93	1.99	2.05	2.10	2.15	2.19	—	—
2600	1.87	2.01	2.13	2.19	2.25	2.30	2.35	2.40	—	—

備考 埋戻し土の飽和単位体積重量を18kN/m³として計算した。

6.3 基礎工法

6.3.1 基礎工法の選定

表27 基礎工法の選定

状 態	基 礎 工 法												
普通地盤 直接管体を布設すると不同沈下が予測される地盤。	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>口径 (mm)</th><th>基床厚 (mm)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200 以下</td><td>100 以上</td></tr> <tr> <td>250～450</td><td>150 "</td></tr> <tr> <td>500～900</td><td>200 "</td></tr> <tr> <td>1000～2000 未満</td><td>300 "</td></tr> <tr> <td>2000 以上</td><td>0.2 D_c "</td></tr> </tbody> </table> 注 D_cは管外径 (mm)	口径 (mm)	基床厚 (mm)	200 以下	100 以上	250～450	150 "	500～900	200 "	1000～2000 未満	300 "	2000 以上	0.2 D _c "
口径 (mm)	基床厚 (mm)												
200 以下	100 以上												
250～450	150 "												
500～900	200 "												
1000～2000 未満	300 "												
2000 以上	0.2 D _c "												
軟弱地盤 粘性土：N≤2～5または自然含水比 70%以上 砂質土：N≤5～10または液化の可能性がある土層 備考 Nは標準貫入試験のN値	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>口径 (mm)</th><th>基床厚 (mm)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200 以下</td><td>150 以上</td></tr> <tr> <td>250～450</td><td>200 "</td></tr> <tr> <td>500～900</td><td>300 "</td></tr> <tr> <td>1000～2000 未満</td><td>500 "</td></tr> <tr> <td>2000 以上</td><td>0.3 D_c "</td></tr> </tbody> </table> 注 D_cは管外径 (mm)	口径 (mm)	基床厚 (mm)	200 以下	150 以上	250～450	200 "	500～900	300 "	1000～2000 未満	500 "	2000 以上	0.3 D _c "
口径 (mm)	基床厚 (mm)												
200 以下	150 以上												
250～450	200 "												
500～900	300 "												
1000～2000 未満	500 "												
2000 以上	0.3 D _c "												
岩 盤	 埋設深 7m 以下: 300mm 以上 埋設深 7m 以上: 1m 増すごとに 40mm 加算 かつ口径 2000mm 以上: 0.2D_c 以上												

〈設計基準〉

6. 3. 2 基礎および埋戻し材料

管体の基礎および埋戻し材料は、原則的に砂、砂礫または良質な地盤材料を用いるものとする。

基礎および埋戻し材料に礫質土を用いる場合、管体に対して支障を与えない最大粒径は、40mm(C-40相当)とする。

基礎材料に固化処理土を採用する場合の一軸圧縮強度は、200～500kN/m²とする。

現場発生土が埋戻し材として不適な場合、購入土などの良質土で埋戻しするものとする。

6. 4 荷 重

6. 4. 1 布設の状態

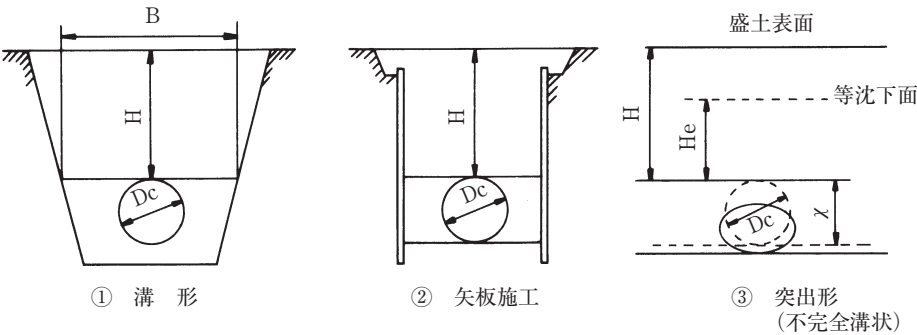


図10 布設の状態

6. 4. 2 構造計算に用いる荷重の組み合わせ

表28 構造計算に用いる荷重の組み合わせ

荷 重		と う 性 管			
		構造計算		たわみ量計算	
		常 時	施工時	常 時	施工時
土 圧	鉛 直 方 向	○	○	○	○
	水 平 方 向	○	○	※	※
活 荷 重	鉛 直 方 向	○	—	○	—
	水 平 方 向	○	—	※	—
軌 道 荷 重	鉛 直 方 向	○	—	○	—
	水 平 方 向	○	—	※	—
上 載 荷 重	鉛 直 方 向	○	—	○	—
	水 平 方 向	○	—	※	—
施工時荷重	鉛 直 方 向	—	○	—	○
	水 平 方 向	—	○	—	※
管 体 自 重	鉛 直 方 向	○	○	○	○
	水 平 方 向	○	○	※	※
管 内 水 重	鉛 直 方 向	○	—	○	—
	水 平 方 向	○	—	※	—
基 礎 反 力	鉛 直 方 向	○	○	—	—
内 水 圧	全 方 向	○	—	—	—

備考 ・とう性管の施工時の構造計算においては、管体の許容応力が常時の5割増し、もしくは降伏点荷重のうちいずれか小さい方。なお、通常施工時の条件で管種が定まることのないよう、方法を検討することが望ましい。

・※は、とう性管のたわみ量計算において水平荷重は考慮されている。 〈設計基準〉

6. 4. 3 土 圧

(1) 鉛直土圧 W_v

表29 鉛直土圧の計算

布設の状態	土 か ぶり H	
	$H \leq 2.0\text{m}$	$H > 2.0\text{m}$
溝 形	$W_v = w \cdot H$	$W_v = C_d \cdot w \cdot B$ または $W_v = C_c \cdot w \cdot D_c$ のいずれか 小さい値と $W_v = 2.0w$ の値 のうち大きい値
矢板施工		$W_v = w \cdot H$
突出形		$W_v = C_c \cdot w \cdot D_c$ または $W_v = 2.0w$ のうちいずれか 大きい値

ここに、

- W_v : 鉛直土圧 (kN/m^2)
- H : 土かぶり(埋戻し面または盛土面から管頂までの深さ)(m)
- w : 土の単位体積重量 (kN/m^3)
- B : 管頂における溝幅(m)
- D_c : ダクタイル鉄管の外径(m)
- C_d, C_c : 土圧係数

(2) 水平土圧 P_v

$$P_v = \frac{1}{F_1} \cdot \frac{e'}{R} \cdot \frac{\Delta X_v}{2} \dots\dots\dots (6-2)$$

ここに、

- P_v : 管側面中心に作用する水平土圧 (kN/m^2)
- e' : 埋戻し土の反力係数 (kN/m^2) (式(6-13)参照)
- R : 管厚中心半径(m) = $\frac{D_c - t}{2}$
- t : 計算管厚(規格管厚から腐食代、管厚公差余裕を引いた管厚)(m)
- F_1 : 変形遅れ係数(表36参照)
- ΔX_v : 鉛直土圧によるたわみ量(m)

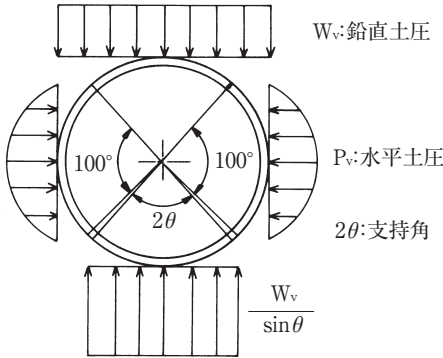


図11 土圧の分布

6. 4. 4 活荷重による土圧の計算

(1) 活荷重による鉛直荷重

(i) 群集荷重による鉛直荷重 W_M

路面等で大型自動車が入る場合 $5.0\text{kN}/\text{m}^2$

大型自動車の入らない耕作道 $3.0\text{kN}/\text{m}^2$

公道の歩道 $5.0\text{kN}/\text{m}^2$

(ii) 自動車荷重による鉛直荷重 W_w

自動車荷重は、公道および道路構造令に準拠する農道下ではT—25、その他の道路では現場条件に応じて適切な自動車荷重により設計する。

$$W_w = \frac{P \cdot \beta}{W} = \frac{P \cdot \beta}{0.2 + 2h}$$

$$P = \frac{2 \times \text{後輪荷重}}{\text{車両占有幅}} \times (1 + i) \dots\dots\dots (6-3)$$

ここに、

W_w : 輪荷重による鉛直荷重(kN/m^2)

P : 進行直角方向単位長さあたりの後輪荷重(kN/m)

β : 断面力の低減係数(T—25の場合0.9、T—20以下の場合1.0)

W : 後輪荷重の分布幅(m)

h : 土かぶり(m)

i : 衝撃係数

表30 自動車荷重および車両占有幅

荷 重	総重量(kN)	前輪荷重(kN)	後輪荷重(kN)	車両占有幅(m)
T—25	245	22.5	100	2.75
T—20	196	20	78	2.75
T—14	137	13.5	55	2.75
T—10	98	10	39	2.75

表31 衝撃係数(自動車荷重) i の標準値

土かぶり深さ(m)	1.5未満	1.5～2.5未満	2.5以上
道路の状態			
未舗装道路	0.4	0.3	0.2
コンクリートおよび アスファルト舗装道路	0.3	0.2	0.1

(2) 活荷重による水平荷重

$$P_w = \frac{1}{F_2} \cdot \frac{e'}{R} \cdot \frac{\Delta X_w}{2} \dots\dots\dots (6-4)$$

ここに、

P_w : 活荷重による水平荷重(kN/m^2)

ΔX_w : 活荷重によるたわみ量(m)

F_2 : 活荷重に対する変形遅れ係数(=1.0)

その他の記号は式(6-2)と同じ。

6. 4. 5 管体の自重および管内水重

(1) 管の自重による水平荷重 P_p

$$P_p = \frac{1}{F_1} \cdot \frac{e'}{R} \cdot \frac{\Delta X_p}{2} \dots\dots\dots (6-5)$$

ここに、

P_p : 管の自重による水平荷重 (kN/m^2)

ΔX_p : 管の自重によるたわみ量 (m)

その他の記号は式 (6-2) と同じ。

$$\Delta X_p = F_1 \frac{2 \cdot K_p \cdot W_p \cdot R^4}{E_L \cdot I + 0.061 \cdot e' \cdot R^3} \dots\dots\dots (6-6)$$

ここに、

K_p : 基礎の支持角によって決まる係数

W_p : 管の単位面積あたりの重量 = $\gamma_p \cdot t$ (kN/m^2)

E_L : 管材のヤング係数 (長期) (ダクタイル鉄管の場合は $160 \times 10^6 \text{kN/m}^2$)

I : 管壁の断面二次モーメント = $\frac{t^3}{12}$ (m^4/m)

γ_p : ダクタイル鉄管の単位体積重量 = 70kN/m^3

t : 計算管厚 (m)

(2) 管内水重による水平荷重 P_o

$$P_o = \frac{1}{F_1} \cdot \frac{e'}{R} \cdot \frac{\Delta X_o}{2} \dots\dots\dots (6-7)$$

ここに、

P_o : 管内水重による水平荷重 (kN/m^2)

ΔX_o : 管内水重によるたわみ量 (m)

その他の記号は式 (6-2) と同じ。

$$\Delta X_o = F_1 \cdot \frac{2 \cdot K_o \cdot W_o \cdot R^5}{E_L \cdot I + 0.061 \cdot e' \cdot R^3} \dots\dots\dots (6-8)$$

ここに、

K_o : 基礎の支持角によって決まる係数

w_o : 水の単位体積重量 = 9.8kN/m^3

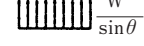
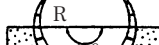
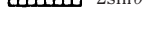
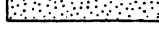
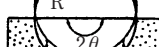
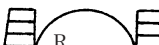
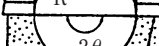
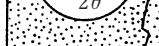
その他の記号は式 (6-6) と同じ。

6. 5 管の横断面に生じる最大曲げモーメントの計算

表32に示す各荷重によって生じる曲げモーメントをそれぞれ計算し、その和が最大曲げモーメントの値となる。

表32 横断面に生じる最大曲げモーメント

単位 kN・m/m

対 象 荷 重	設 計 支持角 (2θ)	自 由 支 承		固 定 支 承	
		最大曲げ モーメント	荷重作用状態	最大曲げ モーメント	荷重作用状態
鉛直等分布 荷重	60	$0.377WR^2$		—	
	90	$0.314WR^2$		—	
	120	$0.275WR^2$		—	
	180	$0.250WR^2$		$0.220WR^2$	
管内水重	60	$0.420w_oR^3$		—	
	90	$0.321w_oR^3$		—	
	120	$0.260w_oR^3$		—	
	180	$0.220w_oR^3$		$0.055w_oR^3$	
管体自重	60	$0.134W_dR$		—	
	90	$0.102W_dR$		—	
	120	$0.083W_dR$		—	
	180	$0.070W_dR$		$\approx 0.017W_dR$	
側 面 水 平 荷 重	60	$-0.166PR^2$		—	
	90	$-0.166PR^2$		—	
	120	$-0.166PR^2$		—	
	180	$-0.166PR^2$		$-(0.047P_1 + 0.060P_2)R_2$	

備考 固定支承の曲げモーメント式は、不とう性管と同様である。

〈設計基準〉

ここに、

W : 鉛直荷重の和 (kN/m²)

(W =鉛直土圧 + 活荷重または軌道荷重またはその他の上載荷重の和)

P : 水平荷重の和 (kN/m²)

(P =水平土圧 + 管体の自重および管内水重 + 水平活荷重または水平軌道荷重またはその他の水平上載荷重)

w_o 、 R : 式(6-8)と同じ。

W_d : 単位長さあたりの管の重量 = $\gamma_p \cdot \pi \cdot (D_c - t) \cdot t$ (kN/m)

γ_p 、 t : 式(6-6)の記号の説明と同じ。

D_c : ダクタイル鉄管の外径 (m)

表33 締固めた土基礎の設計支持角

土質	日本統一分類		設計支持角 (°)	施工支持角 (°)
	中分類	小分類		
礫質土・碎石	G,GS,GF		120	360
砂質土	S,SG	SW, SW-G, SGW	120	
		SP, SP-G, SGP, S-F, S-FG, SG-F	90	
	SF		90	
固化処理土	—	—	180	

備考 ・固化処理土の施工支持角は180°としても良いが、管頂までの基礎材料は礫質土、砂質土を使用する。
 ・呼び径300以下の小口径管で基礎材料にML,CLを使用する場合の設計支持角は60°とする。ただし、この場合でも管底部より下の基礎材料は礫質土、砂質土を使用する。
 〈設計基準〉

6.6 内外圧から求める管厚計算式

内外圧同時に作用する時に発生する応力が、ダクタイル鉄管の許容応力以内にあることを条件に計算する。

$$\sigma_a \geq \sigma_t + \sigma_b = \frac{H \cdot D}{2t} + a \cdot \frac{6M}{t^2} \quad \dots\dots\dots (6-9)$$

ここに、

σ_a : 許容応力(ダクタイル鉄管の場合 189N/mm²)

σ_t : 内圧による応力(N/mm²)

σ_b : 外圧による応力(N/mm²)

H : 設計内圧(MPa)=H₁ + H₂

H₁ : 静水圧(MPa)

H₂ : 水撃圧(MPa)

D : 内径=D_c-2t(mm)

t : 計算管厚(mm)

M : 単位長さあたりの最大曲げモーメント(N・mm/mm)

a : 引張応力／曲げ応力(ダクタイル鉄管は0.7)

D_c : 外径(mm)

式(6-9)から、管厚を求めると

$$t \geq \frac{0.5D \cdot H + \sqrt{(0.5D \cdot H)^2 + 24 a \cdot \sigma_a \cdot M}}{2\sigma_a} \quad \dots\dots\dots (6-10)$$

6.7 たわみ率から求める管厚計算式

$$\Delta X = \Delta X_1 + \Delta X_2 \quad \dots\dots\dots (6-11a)$$

$$\Delta X_1 = F_1 \frac{2(K \cdot W_v \cdot R^4 + K_o \cdot w_o \cdot R^5 + K_p \cdot W_p \cdot R^4)}{E_L \cdot I + 0.061e' \cdot R^3} \quad \dots\dots\dots (6-11b)$$

$$\Delta X_2 = F_2 \frac{2K \cdot W_w \cdot R^4}{E_s \cdot I + 0.061e' \cdot R^3} \quad \dots\dots\dots (6-11c)$$

ここに、

ΔX : 水平たわみ量(m)

ΔX_1 : 土かぶりによる土圧、管内水重および管自重による水平たわみ量(m)

ΔX_2 : 活荷重による水平たわみ量 (m)

R : 管厚中心半径 $= \frac{D-t}{2}$ (m)

W_v : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

W_w : 活荷重による鉛直荷重 (kN/m²)

w_o : 水の単位体積重量 (=9.8kN/m³)

W_p : 管の単位面積あたりの重量 $= \gamma_p \cdot t$ (kN/m²)

K, K_o, K_p : 基礎の支持角によって決まる係数 (表35参照)

F_1 : 変形遅れ係数 (表36参照)

F_2 : 活荷重による変形遅れ係数 (=1.0)

E_L : 管材のヤング係数 (長期) (ダクタイル鉄管の場合は 160×10^6 kN/m²)

E_S : 管材のヤング係数 (短期) (ダクタイル鉄管の場合は長期と同じ値)

I : 断面二次モーメント $= \frac{t^3}{12}$ (m⁴/m)

e' : 埋戻し土の反力係数 (kN/m²) (式 (6-13) 参照)

したがって、たわみ率は、

$$\frac{\Delta X}{2R} \times 100 = (\%) \quad \dots\dots\dots (6-12)$$

で表され、表34の設計たわみ率以下でなければならない。

表34 設計たわみ率の標準

単位 %

締固めの程度	締固めⅠ	締固めⅡ
許容たわみ率	5	5
たわみ率のバラツキ	±2 (±1)	±1
設計たわみ率	3 (4)	4

備考 ・締固めの程度は、次のとおりとする。
 締固めⅠ …… 締固め度90%平均 (一定の仕様を定めて管理する締固め)
 締固めⅡ …… 締固め度95%平均 (厳密な施工管理のもとで行う締固め)
 管理精度 …… 施工上のバラツキ具合は±5%以内とする。
 ・()内は基礎材料に礫質土、固化処理土を使用した場合の値を示す。 <設計基準>

表35 K, K_o, K_p の標準値

基礎の設計支持角	0°	30°	60°	90°	120°	180°
K	0.110	0.108	0.103	0.096	0.089	0.083
K_o	0.107	0.104	0.096	0.085	0.075	0.065
K_p	0.215	0.208	0.191	0.169	0.149	0.131

<設計基準>

式(6-10)および式(6-11)によって求めた計算管厚に管厚公差余裕および腐食代(呼び径700以下)を見込み、最終管厚Tを求める。

$t + 1 \geq 10\text{mm}$ の場合、	呼び径800以上	$T = 1.1t$
	呼び径700以下	$T = 1.1(t + 1)$
$t + 1 < 10\text{mm}$ の場合、	呼び径800以上	$T = t + 1$
	呼び径700以下	$T = t + 2$

表36 変形遅れ係数 F_1 の標準値

基礎材料 現地盤の土質	砂質土	礫質土
礫質土	1.0	1.0
砂質土	1.1	1.0
粘性土	1.3	1.2
その他	1.5以上	1.5

備考 ・現地盤の支持強さなどの土質条件、地下水位の変動状況に応じて、 ± 0.2 程度の範囲を考慮する。

・いかなる場合も $F_1 \geq 1.0$ とする。

・変形遅れ係数のもととなる管のたわみ量は埋設完了後3ヶ月目までに大半が進行することから、埋設完了後3ヶ月以降の変形遅れを対象にする。

なお、矢板引抜きにおいても現地盤の土質区分別に本表を標準とする。

・呼び径300以下の場合は、 $F_1 = 1.0$ を標準とする。

・固化処理土の場合は、 $F_1 = 1.0$ を標準とする。

<設計基準>

6.8 基礎材の反力係数

基礎材の反力係数は、現地盤の土質および施工方法などによって異なるので現地盤の土質試験を実施し、施工方法および現場条件によって、以下により算定する。

$$e' = e'_0 \cdot \alpha_a \cdot \alpha_b \cdot \alpha_w \cdots \cdots \cdots (6-13)$$

ここに、

e' : 基礎材の反力係数 (kN/m²)

e'_0 : 現地盤、施工方法、基礎材による基準反力係数(kN/m²)

表37 基準反力係数 e'_0

単位 kN/m²

現地盤の土質	施工方法	矢板施工		素掘り施工	
	基礎材料	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土
礫 質 土		3,500	5,000	4,500	6,000
砂 質 土		3,000	4,000	4,000	5,500
粘 性 土		2,500	3,500	3,000	4,000
そ の 他		1,000	1,500	1,500	2,000

備考 ・管側部における現地盤区分が2層以上となる場合は、管心レベルに占める割合により判定する。
 ・その他の地盤とは、高有機質土やN値が0程度の極めて軟弱な膨潤するような地盤をいう。
 ・岩盤は礫質土を参照する。
 ・簡易土留工法は素掘り施工と同等とする。
 ・矢板の引き抜きをせず存置する場合は素掘り施工と同等とする。 〈設計基準〉

α_a : 溝幅による補正係数(現地盤が岩盤の場合は補正しない)

$$\alpha_a = \{1 + 0.1 \times (B_c - B_s)\} \leq 1.2 \cdots \cdots \cdots (6-14)$$

B_c : 設計の管心レベルの溝幅(m)

B_s : 標準溝幅(m)

表38 標準溝幅 B_s 値(管心レベルの幅)

呼び径	B_s 値 (m)	呼び径	B_s 値 (m)
100以下	0.90	1000	2.20
150	0.90	1100	2.30
200	0.90	1200	2.60
250	0.95	1350	2.75
300	1.00	1500	2.90
350	1.05	1650	3.05
400	1.10	1800	3.30
450	1.15	2000	3.50
500	1.60	2200	3.70
600	1.70	2400	3.90
700	1.80	2600	4.10
800	2.00		
900	2.10		

備考 ・標準溝幅 B_s は $aa=1.0$ の場合の管心レベルの基準値。
 ・設計の管心レベルの溝幅 B_c は標準掘削幅と掘削勾配により求める。
 ・複合配管においても単独配管の設計に準じ溝幅を設定する。
 b_1 、 b_2 はそれぞれの呼び径に応じた標準溝幅 B_s の1/2をとることで施工上必要な幅を確保する。管と管の間隔 b_3 は複合配管の大なる口径により表39に示す間隔を確保する。

〈設計基準〉

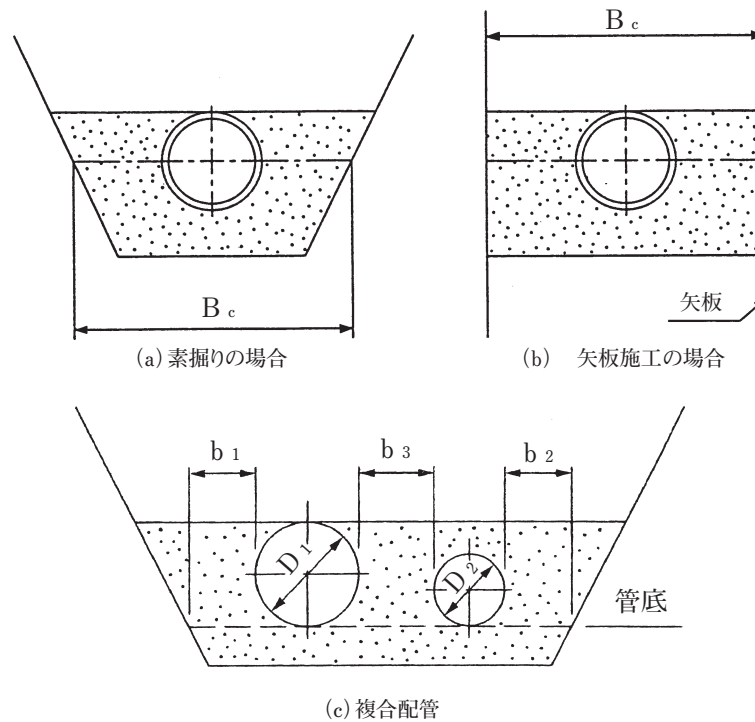


図12 設計の管心レベルの溝幅

表39 管と管との間隔 b_3

呼び径	管と管との間隔 (m)
100～ 450	0.35以上
500～ 700	0.55以上
800～1100	0.6以上
1200～1650	0.7以上
1800～3000	0.75以上

α_b : 基礎材の締固め度合による補正係数(表40参照)

表40 締固め度合による補正係数

区 分	締固め度	
	I	II
砂質土	1.0	1.2
礫質土	1.0	1.1

締固め度は、表34を参照のこと。

α_w : 地下水位の影響による補正係数

$$\alpha_w = (P_r - 45) / 50 \quad \cdots \cdots \cdots (6-15)$$

P_r : 基礎材の締固め度 $\leq 95\%$

なお、呼び径300以下の管の場合、水平土圧が小さいため、 e' の大小が管種に与える影響は比較的少ない。
この意味合いから、この場合の e' の値は3,000kN/m²を用いてよい。

また、固化処理土を基礎材料に使用する場合は、大口径パイプラインの場合でも反力係数 $e'=7,000\text{kN/m}^2$ を用いてよいが、原則として実証試験や施工実績を参考にしてパイプのたわみ量から算出される反力係数を設計に反映しなければならない。

6. 9 スラスト力の検討

6. 9. 1 スラスト力の検討順序

スラスト力の検討順序を図13に示す。

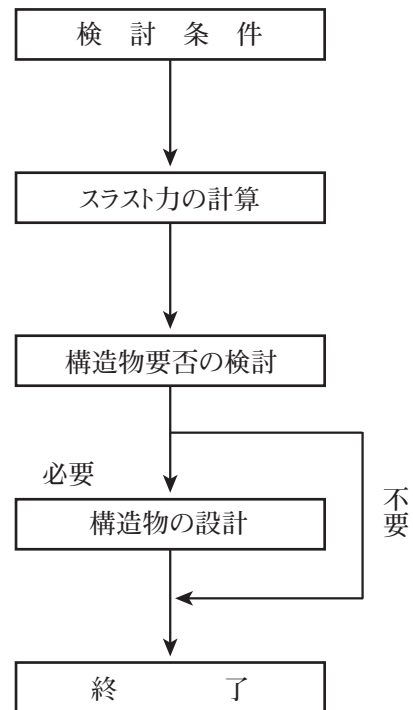
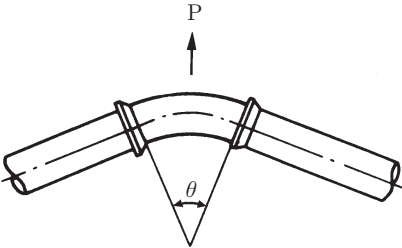
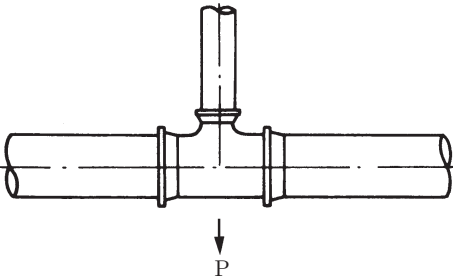
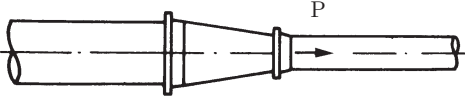


図13 スラスト力の検討順序

6. 9. 2 スラスト力の検討が必要な箇所

スラスト力の検討が必要な箇所とその計算式を表41に示す。

表41 スラスト力の検討が必要な箇所とスラスト力

スラスト力の検討が必要な箇所	スラスト力の計算
(1) 流れの向きが変わる場合 ① 曲 管  ② T字管および排水T字管 	$P=2\left(H\cdot a_c+\frac{a\cdot w_o\cdot v^2}{g}\right)\sin\frac{\theta}{2}$ ()内第2項は無視してもよい。(6 -16) $P=H\cdot a_c' \text{(6 -17)}$
(2) 管径が変わる場合(片落管) 	$P=H(a_c-a_c') \text{(6 -18)}$
(3) 管路の末端部(栓および制水弁) 	$P=H\cdot a_c \text{(6 -19)}$

ここに、

P : スラスト力(kN)

H : 設計内圧(kN/m²)

a_c : 管の断面積 $\left\{ = \frac{\pi}{4} D_c^2 \right\}$ (m²)

a : 管内断面積 $\left\{ = \frac{\pi}{4} (D_c - 2 T)^2 \right\}$ (m²)

D_c : 管の外径(m)

T : 規格管厚(m)

w_o : 水の単位体積重量(9.8 kN/m³)

v : 管内平均流速(m/s)

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

θ : 曲管の曲がり角度(°)

a'_c : 変化した管径に対する断面積(m²)

6. 9. 3 スラストブロック要否の検討

管体がスラスト力によって移動するか否かは次の検討を行って判定する。

管が水平方向に屈曲する場合

① 滑動に対する検討

$$R_h \geq S \cdot P \quad \cdots \cdots \cdots (6-20)$$

ここに、

R_h : 水平方向抵抗力(管背面の受働土圧) (kN)

S : 安全率(滑動に対して) (表42参照)

P : スラスト力(kN)

表42 安全率 S

検討項目	スラスト力の検討(裸管)	構造物の設計
滑 動	1.5	1.5
浮 上	1.2	1.2
沈 下	1.2	1.0

〈設計基準〉

水平方向抵抗力(管背面の受働土圧) R_h は、図14を参考に地下水の有無や管と地下水位の高さの関係に応じて算出する。

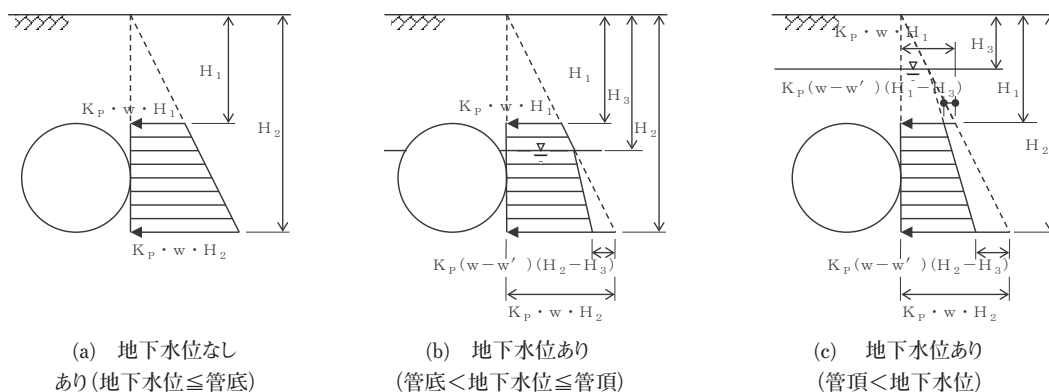


図 14 受働土圧算定模式図

地下水位なしまたは地下水位あり(地下水位 $\leq$ 管底)の場合

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot w \cdot B_b (H_2^2 - H_1^2) \quad \cdots \cdots \cdots (6-21a)$$

地下水位あり(管底 $<$ 地下水位 $\leq$ 管頂)の場合

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \left\{ w (H_2^2 - H_1^2) - (w - w') (H_2 - H_3)^2 \right\} \quad \cdots \cdots \cdots (6-21b)$$

地下水位あり(管頂 $<$ 地下水位)の場合

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w - w') (H_2 - H_1) H_3 \right\} \quad \cdots \cdots \cdots (6-21c)$$

ここに、

F : 曲面の受働土圧の補正係数(0.65とする) H_1 : 地表面から管頂面までの深さ(m)

w : 土の単位体積重量(kN/m³)

H_3 : 地表面から地下水面までの深さ(m)

w' : 土の水中単位体積重量(kN/m³)

K_p : 受働土圧係数、 $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$

B_b : 管背面の幅(m)

ϕ : 土の内部摩擦角($^\circ$)

H_2 : 地表面から管底面までの深さ(m)

② 受働土圧を算定する際の留意点

谷側へ管路を布設すると、水平曲管部に発生したスラスト力に抵抗する受働土圧が見込めず危険な状態となることがある。

期待できる受働土圧に相当する土かぶり高は、図15による。

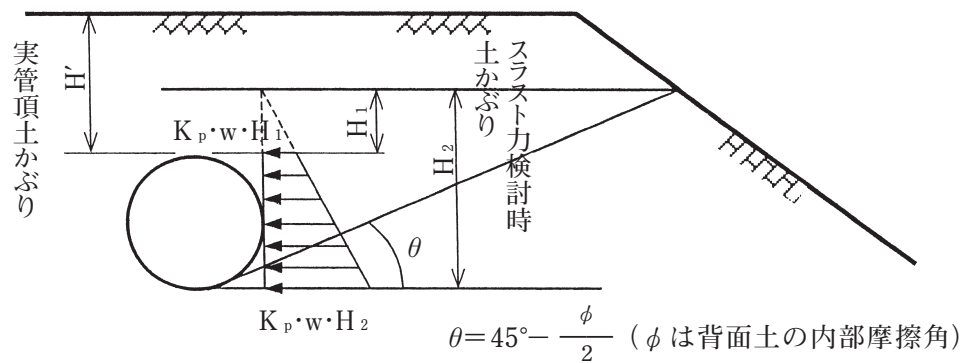


図15 谷側にスラスト力が働く場合の受働土圧の考え方

このような場合の対策案としては、谷側にスラスト力が働く場所で、受働土圧を考慮できる位置へ線形を決定することや、やむを得ない場合は、スラストブロックを大きくとるなどの対策が必要である。(地盤の悪い箇所では、スラストブロックを大きくするのは危険なため反力壁等を設ける検討も必要である。)

規格の曲管でスラストブロックの要否を検討した一例を表43に示す。

スラストブロックなどの対策が必要な場合は、**6. 9. 4 スラストブロックの設計方法**を参考に設計する。また、GX(離脱防止)形継手、NS(離脱防止)形継手、UF形継手を用いることによりスラストブロックを省略することもできる。

表43 K形曲管のスラストブロックの要否の検討例

項 目	記 号	単 位	測 点 1	測 点 2
呼び径	D		900	1100
曲がり角度	θ	($^{\circ}$)	5.625	11.25
設計水圧	H	(kN/m ²)	500	500
土かぶり	H ₁	(m)	1.2	1.2
土の内部摩擦角	ϕ	($^{\circ}$)	25	25
土の単位体積重量	w	(kN/m ³)	18	18
規格管厚	T	(m)	0.019	0.021
管内径	D _o	(m)	0.901	1.102
管外径	D _c	(m)	0.939	1.144
管の断面積	a _c	(m ²)	0.693	1.028
管内断面積	a	(m ²)	0.638	0.954
管内平均流速	v	(m/s)	1.50	1.50
スラスト力	P	(kN)	34.0	100.8
曲管の長さ	L	(m)	1.442	1.447
曲管の L ₁ 寸法	L ₁	(m)	0.654	0.660
曲管の L ₂ 寸法	L ₂	(m)	0.790	0.791
管頂までの深さ	H ₁	(m)	1.200	1.200
管底までの深さ	H ₂	(m)	2.139	2.344
管背面の幅	B _b	(m)	1.442	1.444
受働土圧による抵抗力	R _b	(kN)	65.2	84.4
安全率	S		1.92	0.84
スラストブロックの要否			否	要

備考 地下水位なしの場合[図14(a)]をもとに算出した。

6. 9. 4 スラストブロックの設計方法

(1) 管が水平方向に屈曲する場合

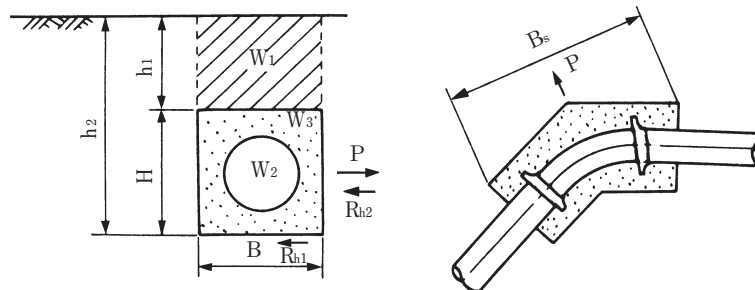


図16 水平曲がりのスラストブロック

$$R_{h1} + R_{h2} \geq S \cdot P \dots\dots\dots (6-22a)$$

$$\sigma_{rv} \geq S' \cdot W/A \dots\dots\dots (6-22b)$$

ここに、

- P : スラスト力(kN)
- S : 滑動に対する安全率(1.5以上)
- S' : 沈下に対する安全率(1.0以上)
- R_{h1} : スラストブロック底面の摩擦抵抗力 = $\mu \cdot W$ (kN)
- W : スラストブロック底面にかかる総重量(kN)
- μ : スラストブロック底面と土の摩擦係数 (表44参照)
- R_{h2} : スラストブロック背面の受働土圧(kN)
- σ_{rv} : スラストブロック底面の地盤の許容支持力(kN/m²) (表44参照)
- A : スラストブロックの底面積(m²)

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \dots\dots\dots (6-23)$$

ここに、

- W_1 : スラストブロック上の埋戻し土の重量 = $w \cdot h_1 \cdot A$ (kN)
ただし、沈下の検討においては、地下水の影響を無視する。
- W_2 : スラストブロックの重量 = $w_b \cdot V$ (kN)
- W_3 : 管および管内水の重量 = $W_F + \frac{\pi}{4} D^2 \cdot L \cdot w_o$ (kN)
- w : 土の単位体積重量(kN/m³)
- w_b : スラストブロックの単位体積重量(kN/m³)
- w_o : 水の単位体積重量(kN/m³)
- W_F : スラストブロックに巻込まれた管の重量(kN)
- h_1 : スラストブロック上面までの深さ(m)
- A : スラストブロックの底面積(m²)
- D : 管の内径(m)
- L : スラストブロックに巻込まれた管長(m)
- V : スラストブロックの体積(m³)

$$R_{h2} = \frac{1}{2} K_p \cdot w \cdot (h_2^2 - h_1^2) \cdot B_s \dots\dots\dots (6-24)$$

ここに、

- K_p : 受働土圧係数 = $\tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2})$
- w, h_1 : 式(6-23)と同じ
- B_s : スラストブロック背面の投影長さ(m)
- h_2 : スラストブロック底面までの深さ(m)
- ϕ : 土の内部摩擦角 (°)

表44 基礎地盤の種類と設計定数

基礎地盤の種類		許容 支持力度 ¹⁾ σ_{rv} (kN/m ²)	擁壁底面の滑動 安定計算に用い る摩擦係数 ²⁾ μ	備 考	
				一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)	N 値
岩 盤	亀裂の少ない均一な硬岩	1,000	0.7	10,000以上	—
	亀裂の多い硬岩 軟岩	600 300	0.7	10,000以上 1,000以上	— —
礫 層	密なもの ³⁾	600	0.6	—	—
	密でないもの	300		—	—
砂 質 地 盤	密なもの	300	0.6	—	30～50
	中位なもの	200		—	15～30
粘性土地盤	非常に堅いもの	200	0.5	200～400	15～30
	堅いもの	100	0.5	100～200	8～15
	中位なもの	50	—	50～100	4～ 8

注1) 数値は常時の場合を示し、地震時は常時の1.5倍の値とする。

注2) 場所打ちコンクリートによるもの。

注3) 現場の土質状況や土質試験結果から判定する。

〈設計基準〉

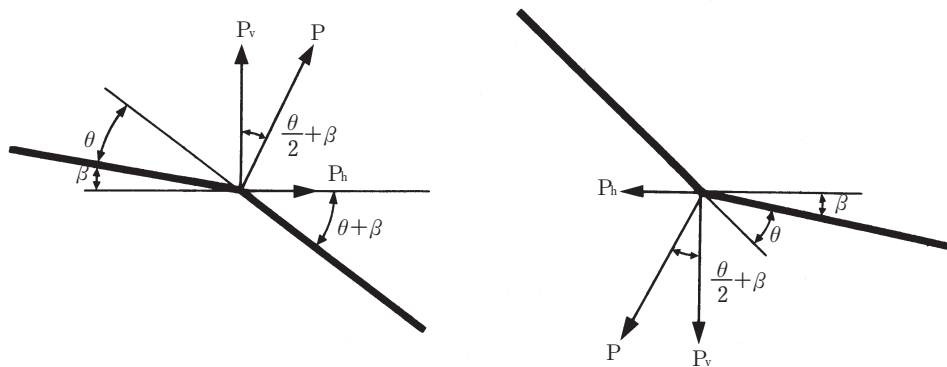
(2) 管が鉛直方向に屈曲する場合
水平分力および垂直分力を求める。

$$\left. \begin{aligned} P_h &= P \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2} \pm \beta\right) \\ P_v &= P \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2} \pm \beta\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6-25)$$

ここに、

- P : スラスト力(kN)
- P_h : 水平分力(kN)
- P_v : 垂直分力(kN)
- θ : 曲管の屈曲角(度)
- β : 水平と屈曲部とのなす角(度)

式(6-25)で(+)の場合



式(6-25)で(−)の場合

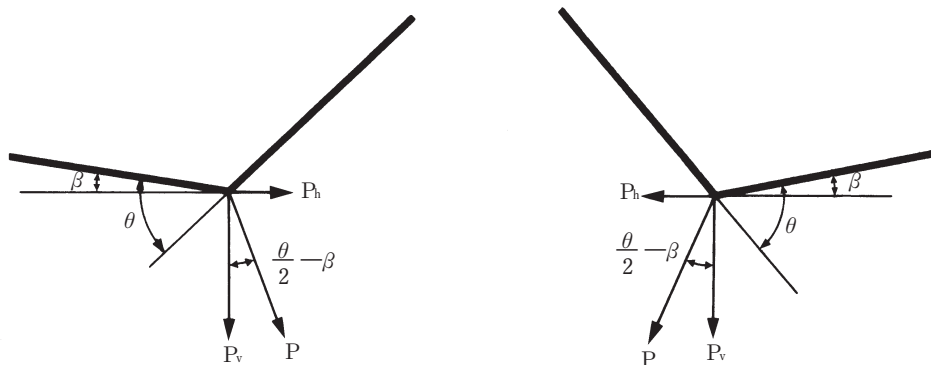


図17 水平分力と垂直分力の計算

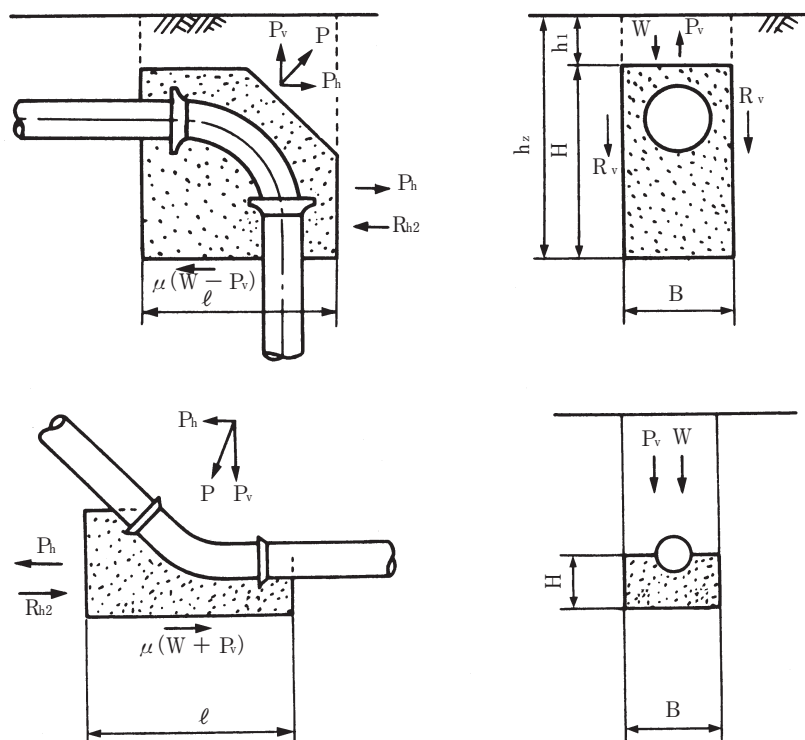


図18 垂直曲がりのスラストブロック

① 水平分力に対する計算

$$\mu(W \pm P_v) + R_{h2} \geq S \cdot P_h \quad \dots\dots\dots (6-26)$$

P_v が、上向きの時(-)、下向きの時(+)をとる。

$$R_{h2} = \frac{1}{2} K_p \cdot w \cdot (h_2^2 - h_1^2) \cdot B$$

ここに、

K_p : 式(6-24)と同じ

μ, W, R_{h2}, S : 式(6-22)と同じ

P_h, P_v : 式(6-25)と同じ

B : スラストブロック背面の幅(m)

② 垂直分力に対する計算

(i) 垂直分力 P_v が上向きの場合

$$\left. \begin{array}{l} W + R_v - U \geq S' \cdot P_v \\ \sigma_{rv} \geq S' \cdot W / A \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (6-27a)$$

(ii) 垂直分力 P_v が下向きの場合

$$\sigma_{rv} \geq S' \cdot (W + P_v) / A \quad \dots\dots\dots (6-27b)$$

ここに、

$W, S', P_v, \sigma_{rv}, A$: 式(6-22)、式(6-23)、式(6-25)と同じ

S' : 浮上に対する安全率(1.2以上)

R_v : スラストブロック側面の主働土圧による摩擦抵抗(kN)

U : スラストブロックおよび管の浮力 $= (V + \frac{\pi}{4} D_c^2 \cdot L) \cdot w_0$ (kN)

ただし、地下水位が管頂上にある場合のみ考慮する。

D_c : 管の外径(m)

V, L, w_0 : 式(6-23)と同じ

$$R_v = \frac{1}{2} K_a \cdot w \cdot (h_2^2 - h_1^2) \cdot \{2(B + \ell)\} \cdot \mu$$

ここに、

$$K_a : \text{主働土圧係数} = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})$$

ℓ : スラストブロック底面の長さ(m)

$w, h_2, h_1, B, \mu, \phi$: 式(6-22)、式(6-23)、式(6-24)、式(6-26)と同じ

6. 10 離脱防止継手

6. 10. 1 離脱防止継手の検討

一般に次のような場合に、GX(離脱防止)形、NS(離脱防止)形、UF形の離脱防止継手を使用する。

- (1) 軟弱地盤などでスラストブロックに対する地耐力が不足するような場合。
- (2) スラストブロックとの境界で大きな不同沈下が予想されるような場合。
- (3) スラストブロックを省略または小さくすることにより掘削などを少なくしたい場合。
- (4) 配管後、すぐに埋戻しをする必要がある場合。

6. 10. 2 離脱防止継手の性能

表45 離脱防止継手の限界曲げモーメントと限界水圧

呼び径	限界曲げモーメント ¹⁾ (kN・m)			限界水圧 ²⁾ (MPa)
	GX(離脱防止)形	NS(離脱防止)形	UF形	UF形
75	4.4	4.4	—	—
100	7.4	7.4	—	—
150	17	17	—	—
200	24	24	—	—
250	35	35	—	—
300	64	64	—	—
350	81	81	—	—
400	130	130	—	—
450	170	170	—	—
500	—	360	—	—
600	—	540	—	—
700	—	820	—	—
800	—	1,180	1,180	7.5
900	—	1,630	1,630	7.5
1000	—	2,010	2,010	7.5
1100	—	—	2,600	7.2
1200	—	—	3,140	7.1
1350	—	—	4,360	6.6
1500	—	—	5,150	5.6
1600	—	—	6,670	6.0
1650	—	—	7,310	6.0
1800	—	—	9,270	5.9
2000	—	—	12,600	5.8
2100	—	—	14,000	5.6
2200	—	—	16,100	5.5
2400	—	—	20,300	5.5
2600	—	—	32,300	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時の内水圧を示す。

計算に用いる限界曲げモーメントは、次式で求める。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{呼び径} & 900 \text{以下} \quad M_o = M_o' \\ \text{呼び径} & 1000 \text{以上} \quad M_o = M_o' \sqrt{1 - \frac{H}{H_0}} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (6-28)$$

ここに、

- M_o : 計算に用いる限界曲げモーメント(kN・m)
- M_o' : 表45に示す限界曲げモーメント(kN・m)…………… (水圧0の場合の値)
- H : 設計内圧(MPa)
- H_0 : 表45に示す限界水圧(MPa)…………… (曲げモーメント0の場合の値)

6. 10. 3 離脱防止継手の使用本数の計算

離脱防止継手の使用本数の計算は、曲管、T字管、Sベンド、合成ベンド・伏せ越しなどのそれぞれについて行が、ここでは水平曲管について離脱防止継手で一体化した管路を弾性床上の梁として求める場合について示す。

なお、設計基準に従い、スラスト力は管背面の受働土圧を控除するものとし、仮定した一体化長さを ℓ として計算する。

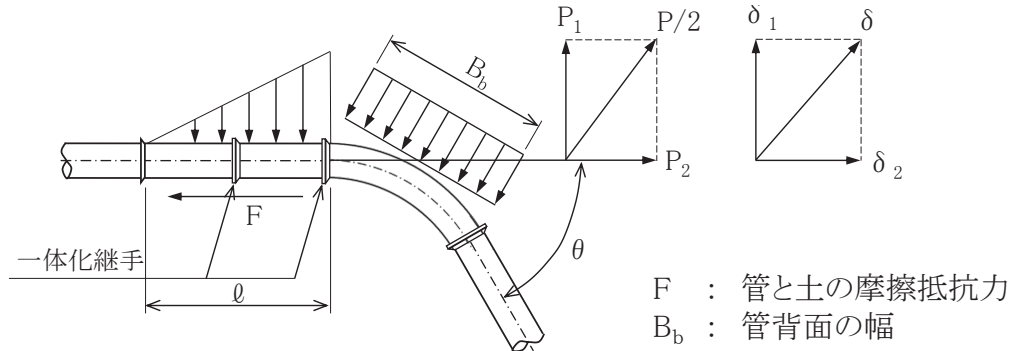


図19 一体化長さの計算

片側一体化長さの計算

$$P=2H \cdot \frac{\pi}{4} D_c^2 \cdot \sin(\theta/2) - R_b/S \dots\dots\dots (6-29)$$

Pの分力である P_1, P_2 を求めると、

$$P_2 = - \frac{\beta \cdot a \cdot E \cdot \mu \cdot W_f \cdot \pi}{k} \cdot \frac{\cosh(2\beta \cdot \ell) + \cos(2\beta \cdot \ell) + 2}{\sinh(2\beta \cdot \ell) + \sin(2\beta \cdot \ell)} \cdot \tan^2(\theta/2) + \sqrt{\left\{ \frac{\beta \cdot a \cdot E \cdot \mu \cdot W_f \cdot \pi}{k} \cdot \frac{\cosh(2\beta \cdot \ell) + \cos(2\beta \cdot \ell) + 2}{\sinh(2\beta \cdot \ell) + \sin(2\beta \cdot \ell)} \cdot \tan^2(\theta/2) \right\}^2} + \frac{P \cdot \beta \cdot a \cdot E \cdot \mu \cdot W_f \cdot \pi \cdot \tan(\theta/2)}{k \cdot \cos(\theta/2)} \cdot \frac{\cosh(2\beta \cdot \ell) + \cos(2\beta \cdot \ell) + 2}{\sinh(2\beta \cdot \ell) + \sin(2\beta \cdot \ell)} \dots\dots\dots (6-30)$$

$$\ell_1 = \frac{P_2}{\mu \cdot W_f \cdot \pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (6-31)$$

a) $\ell \geq \ell_1$ の時

$$P_1 = \frac{P}{2\cos(\theta/2)} - P_2 \cdot \tan(\theta/2) \dots\dots\dots (6-32)$$

b) $\ell < \ell_1$ の時

$$P_1 = \frac{P}{2\cos(\theta/2)} - \mu \cdot W_f \cdot \pi \cdot D_c \cdot \ell \cdot \tan(\theta/2) \dots\dots\dots (6-33)$$

継手部に発生する曲げモーメント M_1 を求める。

$$M_1 = \frac{P_1}{2\beta} \cdot \frac{\cosh(2\beta \cdot \ell) - \cos(2\beta \cdot \ell)}{\sinh(2\beta \cdot \ell) + \sin(2\beta \cdot \ell)} \dots\dots\dots (6-34)$$

ここに、

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D_c}{4E_L \cdot I}}$$

移動量 δ を求める。

$$\delta_1 = \frac{P_1 \cdot \beta}{k \cdot D_c} \cdot \frac{\cosh(2\beta \cdot \ell) + \cos(2\beta \cdot \ell) + 2}{\sinh(2\beta \cdot \ell) + \sin(2\beta \cdot \ell)} \dots\dots\dots (6-35)$$

$$\delta = \frac{\delta_1}{\cos(\theta/2)} \dots\dots\dots (6-36)$$

安全率の計算

$$S_f = \frac{M_o}{M_1} \geq S_o, \text{かつ } \delta \leq \delta_o \text{ を満足する } \ell \text{ を算出し、一体化長さ } L \text{ を決定する。}$$

ここに、

P : 水平方向抵抗力(管背面の受働土圧) R_h (kN)を控除したスラスト力

R_h : 水平方向抵抗力(管背面の受働土圧) (kN)

(式(6-21a～c)及び図14参照)

S : 安全率(1.5以上)

H : 設計内圧(kN/m²)

D_c : 管の外径(m)

θ : 曲がり角度(度)

W_f : 管中心位置での土かぶりによる鉛直土圧(kN/m²)

E_L : 管材のヤング係数(長期) (kN/m²)

(ダクタイル鉄管の場合は 160×10^6 kN/m²)

μ : 管と土の摩擦係数(0.3～0.5、ただし、ポリエチレンスリーブを被覆する場合は0.2～0.4とする)

k : 横方向地盤反力係数(kN/m³) (安全をみて $k=2000 \sim 5000$)を用いる。

a : 管の断面積 $= \frac{\pi}{4} (D_c^2 - D_i^2)$ (m²)

I : 管の断面二次モーメント $= \frac{\pi}{64} (D_c^4 - D_i^4)$ (m⁴)

$D_i = D_c - 2t$ (m)

t : 計算管厚(規格管厚から腐食代および管厚公差余裕を引いた管厚)

M_o : 計算に用いる限界曲げモーメント(kN・m)

S_o : 安全率(2.5以上)

δ_o : 許容移動量(呼び径75～450のNS〈離脱防止〉形、GX〈離脱防止〉形の場合は0.01m以下、呼び径500～1000のNS〈離脱防止〉形、UF形離脱防止継手の場合は0.02m以下)

なお、ここで示した水平曲管部以外の①分岐部 ②伏せ越し部 ③Sベンド部 ④片落管部 ⑤仕切弁部などの検討にあたっては、「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 J D P A T 35」を参照。

(参考)

ダクタイル鉄管管路では、異形管の両端から所定の長さ以内の継手に離脱防止金具(特殊押輪)を使用することにより、離脱防止継手と同様にスラスト防護工を省くことができる。

一体化長さの計算については設計基準による。

6. 11 ダクティル鉄管管路の曲線布設

ここではT形、K形、ALW形継手等による曲線布設を実施する場合の設計フローを図20に示すとともに、設計の考え方を以下に示す。

なお、ダクティル鉄管は高内圧(2MPa)を負荷した埋設実験による検証を行い、適用性を確認している。

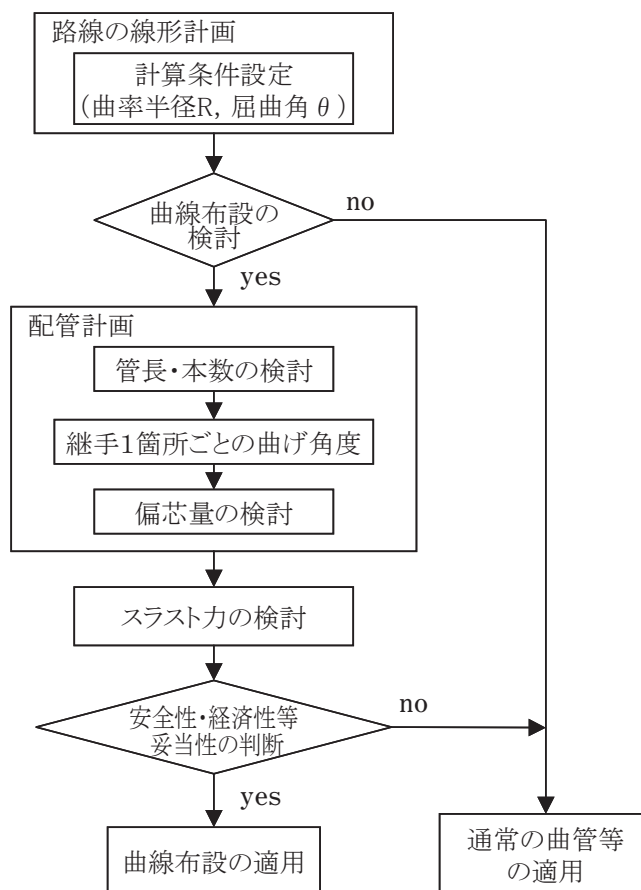


図20 曲線布設の設計フロー

(1) 配管計画

図21に示すように、設定された円弧A点(B.C)～B点(E.C)間に管軸中心線が内接するよう、長さの等しい管を配置する。

各管の中心線を弦とみなせば、管1本あたりの屈曲角度 ϕ と必要本数 n は式(6-37)、式(6-38)で求められる。ここで n は2以上の整数とする。

$$\phi = 2 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{L}{2R} \right) \dots\dots\dots (6-37)$$

$$n = \frac{\theta}{\phi} \dots\dots\dots (6-38)$$

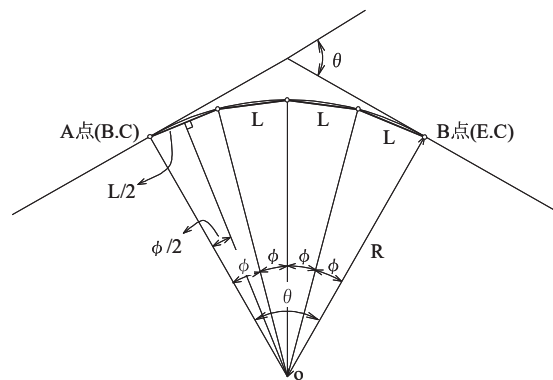


図21 配管計画

管の必要本数が n のとき、曲線布設する継手の数は $n+1$ である。図21に示すように曲線の両端(A点、B点)に継手を配置し、管路は円弧に内接する多角形となるので、継手の屈曲角度は両端部で $\phi/2$ 、円弧上の継手では ϕ とする。

図21の配管計画のとき、継手ごとの屈曲角は図22のとおりである。

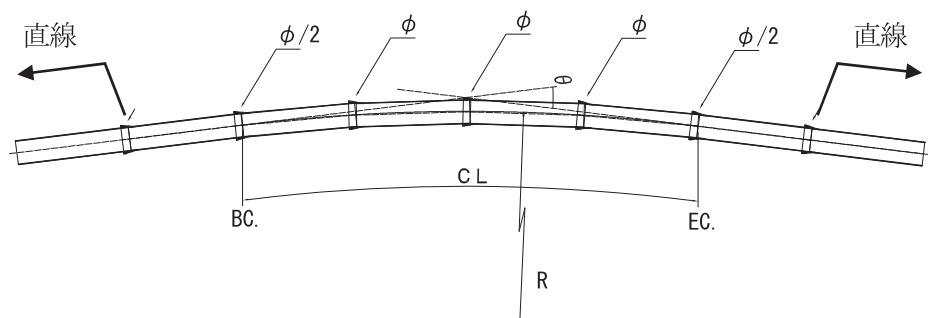


図22 曲線布設に伴う継手屈曲角

なお、調整管は直線配管区間に設けるものとする。

(2) 継手1箇所ごとの屈曲角度

継手1箇所あたりに許される屈曲角度は表46、表47に示す設計曲げ角度 θ_d (許容曲げ角度 θ_a の1/2)を限度とする。

(3) 管長と曲率半径

施工可能な曲線布設の曲率半径Rは、呼び径ごとの継手の設計曲げ角度 θ_d と管長Lから求められ表46、表47のとおりである。

通常、管長は規格長さの直管を用いるが、最小切管長さの管を用いた場合もあわせて示す。

$$R = \frac{L}{2 \cdot \sin\left(\frac{\theta_d}{2}\right)} \quad \dots\dots\dots (6-39)$$

ここに、R : 曲率半径

L : 管長

θ_d : 設計曲げ角度

表46 管長と曲率半径(T形継手、ALW形継手)

呼び径	許容曲げ 角度 θ_a (度)	設計曲げ 角度 θ_d (度)	曲率半径R(m)	
			直管 ¹⁾	最小長さ ¹⁾
75	5°00′	2°30′	92(4.00)	23(1.00)
100			92(4.00)	23(1.00)
150			115(5.00)	23(1.00)
200			115(5.00)	23(1.00)
250			115(5.00)	23(1.00)
300	4°00′	2°00′	172(6.00)	29(1.00)
350			172(6.00)	29(1.00)
400	3°30′	1°45′	196(6.00)	33(1.00)
450	3°00′	1°30′	229(6.00)	38(1.00)
500			229(6.00)	38(1.00)
600			229(6.00)	38(1.00)
700	2°30′	1°15′	275(6.00)	46(1.00)
800			275(6.00)	46(1.00)
900			275(6.00)	46(1.00)
1,000	2°00′	1°00′	344(6.00)	57(1.00)
1,100			344(6.00)	63(1.10)
1,200			344(6.00)	69(1.20)
1,350			344(6.00)	77(1.35)
1,500			344(6.00)	86(1.50)
1,600			286(5.00)	92(1.60)
1,650			286(5.00)	95(1.65)
1,800			286(5.00)	103(1.80)
2,000			286(5.00)	115(2.00)

注1) カッコ内数字は、曲線布設する管の長さを示す。

表47 管長と曲率半径(K形継手)

呼び径	許容曲げ 角度 θ_a (度)	設計曲げ 角度 θ_d (度)	曲率半径R(m)	
			直管 ¹⁾	最小長さ ¹⁾
75	5°00′	2°30′	92(4.00)	23(1.00)
100			92(4.00)	23(1.00)
150			115(5.00)	23(1.00)
200			115(5.00)	23(1.00)
250	4°10′	2°05′	138(5.00)	28(1.00)
300	5°00′	2°30′	138(6.00)	23(1.00)
350	4°50′	2°25′	142(6.00)	24(1.00)
400	4°10′	2°05′	165(6.00)	28(1.00)
450	3°50′	1°55′	179(6.00)	30(1.00)
500	3°20′	1°40′	206(6.00)	34(1.00)
600	2°50′	1°25′	243(6.00)	40(1.00)
700	2°30′	1°15′	275(6.00)	46(1.00)
800	2°10′	1°05′	317(6.00)	53(1.00)
900	2°00′	1°00′	344(6.00)	57(1.00)
1,000	1°50′	0°55′	375(6.00)	63(1.00)
1,100	1°40′	0°50′	412(6.00)	76(1.10)
1,200	1°30′	0°45′	458(6.00)	92(1.20)
1,350	1°20′	0°40′	516(6.00)	116(1.35)
1,500	1°10′	0°35′	589(6.00)	147(1.50)
1,600	1°30′	0°45′	382(5.00)	122(1.60)
1,650			382(5.00)	126(1.65)
1,800			382(5.00)	138(1.80)
2,000			382(5.00)	153(2.00)
2,100			382(5.00)	160(2.10)
2,200			382(5.00)	168(2.20)
2,400			306(4.00)	183(2.40)
2,600			306(4.00)	199(2.60)

注1)カッコ内数字は、曲線布設する管の長さを示す。

(4) 屈曲部の偏芯量

屈曲部に曲管を用いる場合と曲線布設を行う場合とを比べると、管中心線のずれ(偏芯量)は図23に示される状態となり、曲線布設の方が曲率の内側を通過する。

その偏芯量(δ)は交角(θ)と曲率半径(R)によって決まる。一例として、 $R=275\text{m}$ 、 $\theta=5^{\circ}30'$ の場合を考えると、 $\delta=0.32\text{m}$ となる。

曲管が計画されていた箇所に曲線布設を適用する際には、この偏芯量を考慮した設計・施工が必要である。条件によっては掘削断面の変更が必要になる場合がある。

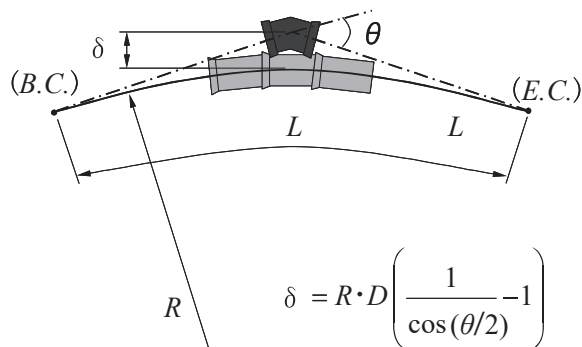


図23 曲線布設に伴う偏芯量

(5) スラスト力の検討

曲線布設を行う際の内圧スラスト力は、実験および解析の結果から曲線部全体に作用し、背後地盤からの抵抗力も均等に作用することが確認されている。したがって曲線布設部のスラスト力の検討は、図24に示すように継手1箇所ごと(屈曲角 ϕ 、背面幅 Bb')に曲管と同様の計算式を用いて行うものとする。

水平方向の屈曲に対しては、式(6-20)～式(6-24)により、滑動に対する安全性を検討する。

鉛直方向の屈曲に対しては、式(6-25)～式(6-27)により、浮上または沈下に対する安全性を検討する。

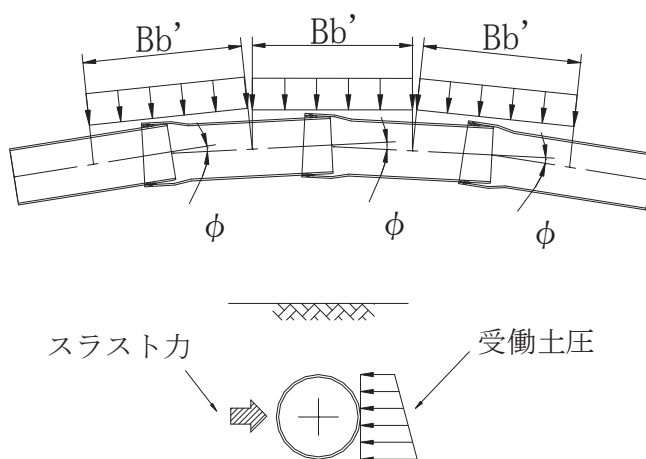


図24 曲線布設のスラスト力の考え方

6. 12 耐震設計

6. 12. 1 計画上の留意点

埋設パイプラインのように長大で多種の地盤にまたがり、地震入力も場所によって異なるような構造物では、均一な耐震性を確保することは容易ではない。

したがって、パイプラインの耐震性については地震被害を軽減するための対策を骨子として、応答変位法や地盤の液状化判定などの設計手法を用いて検討する対策と、設計手法は確立していないものの過去の被災事例などから有効と考えられる対策の両面から設計・施工を実施することを基本とする。

パイプライン全体の耐震化は多額の費用を要するだけでなく、過大な構造物となる場合も想定されることから、パイプラインの重要度区分に応じて保持すべき耐震性能を設定し、震害を受けた場合の影響を最小限とするよう配慮する。また早期復旧のためには、路線選定や水理システムの面からもウィークポイント付近に点検施設を設ける等の配慮が必要である。

過去の地震被害例などより、耐震性を高める必要のある場所として次のものが挙げられる。

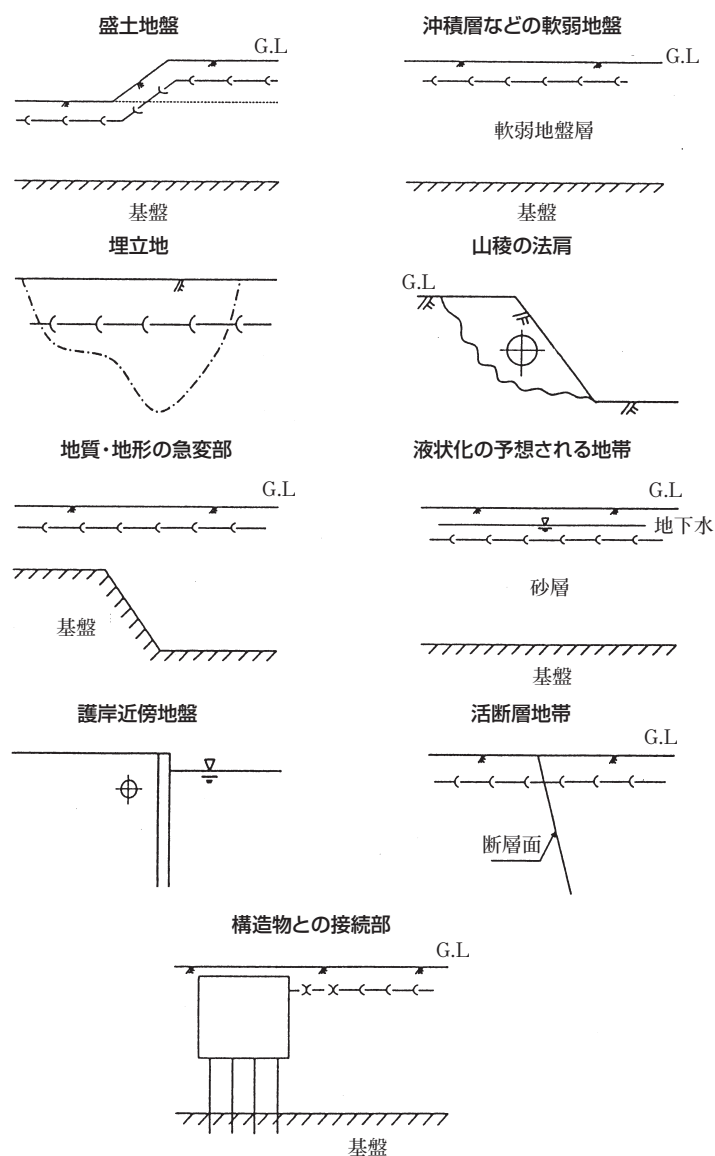


図25 地質・地形上から耐震性を高める場所

6. 12. 2 パイプラインの耐震対策

(1) 地震動に対応する場合

地震動による地盤の動きが小さいと想定される場合には、地震で発生する地盤ひずみに対して管路の耐震性を検討すればよい。このような条件では、応答変位法を用いた検討手法があり管路の安全性を評価できる。

また、耐震計算を行なった後、地震動による挙動の違いによって被災するおそれのあるパイプラインの屈曲部などについては地震応答対策を検討する。

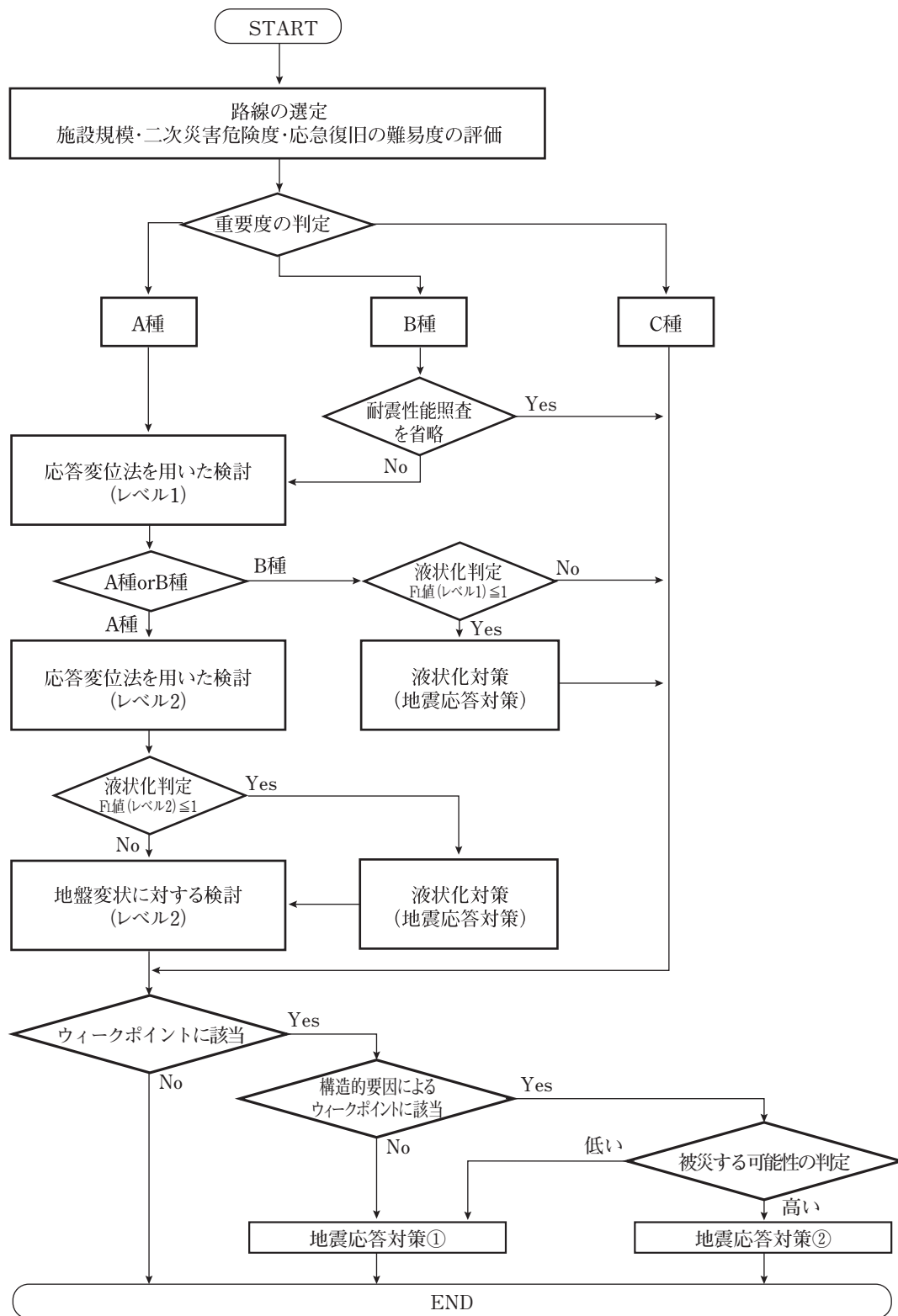
(2) 地盤変状に対応する場合

被災の事例をみると、管路は地盤の大きな永久変位を受けて被災している。このため、応答変位法のみで管路の安全性を評価するのは難しい。地盤変状の事例などからパイプライン系全体のウィークポイントを整理し、対策方法を検討しなければならない。ここで地盤変状とは、地震動により生じた現地盤や埋戻し土の液状化、地すべり、斜面崩壊、地盤沈下、地割れなどの永久的変位をいう。

液状化によって生じる護岸近傍や傾斜地盤における地盤の側方流動などについては、地盤変状に対する検討手法があり管路の安全性を評価できる。また、耐震設計手法の確立していない地すべりや斜面崩壊、地盤沈下などの変状に対しては地震応答対策を検討する。

耐震設計のフローチャートを図26に示す。

また、パイプラインの重要度区分の考え方を表48に、重要度区分と耐震性能を表49、表50に示す。



備考 地震応答対策①：「地震動に対する地震応答対策」
 パイプラインの屈曲部、土質の変化点、地盤の急変部など、応答変位法では対策工法の検討ができない挙動に対する対策。

地震応答対策②：「地盤変状に対する地震応答対策」
 地盤の液状化や地すべり、斜面崩壊、地盤沈下などの永久的な変位の対策であり、計算等により地盤変状に対する安全性を検証できない際の対策。

図26 耐震設計のフローチャート

表48 重要度区分の考え方

区 分	項 目 ①～③のいずれかに該当する施設	判断する上での参考指標
重要度A種 (レベル2地震動を考慮する)	①利水施設としての規模。 供給される用水の中断あるいは減量が地域の生活機能および経済活動・生産活動に与える影響の度合い。	水路システムの中で上流に位置し、施設規模が極めて大きく、かつ被災した場合にライフラインとしての水供給、ひいては地域の生活機能や経済活動・生産活動に著しい支障をきたす場合。 例) 基幹水利施設(水田用水)として、流量 5m ³ /s以上、管径でφ2000 (V=1.5～2.0m/s程度を想定)以上 ^{注)} など。また、バイパス水路の有無や、関連施設からの供給の可能性など地区の状況に応じて勘案する。
	②被災による二次災害危険度。 パイプライン施設が被災することによる第三者への被害で、特に人命・財産やライフラインなどへの影響。	パイプライン施設に近接して家屋、避難場所、若しくは公道、鉄道、ライフライン等重要公共施設があり、水路の損壊による流出水が大量にこれらの場所に流入、または湛水し、人命若しくは社会経済的に重大な影響を及ぼすおそれがある場合。
	③応急復旧の難易度。 パイプライン施設が被災した場合に直ちに実施すべき応急復旧のための現場作業の難易度。	応急復旧のための作業が極めて困難、若しくは長期間を要する場合。 例) 宅地などの隣接部や構造物の埋設が深い場合などに難易度が高くなると考えられる。
重要度B種 (レベル1地震動を考慮する)	①利水施設としての規模。 同上	施設規模が極めて大きく、かつ被災した場合にライフラインとしての水供給、ひいては地域の生活機能や経済活動・生産活動に相当の支障をきたす場合で、A種以外のもの。
	②被災による二次災害危険度。 同上	パイプライン施設に近接して家屋、避難場所、若しくは重要公共施設があり、水路の損壊による流出水がこれらの場所に流入または湛水し、人命に重大な影響はないものの、社会経済的に多大な影響を及ぼすおそれがある場合。
	③応急復旧の難易度。 同上	応急復旧のための作業に比較的長期間を要する場合。
重要度C種 (耐震設計は行わない)	①利水施設としての規模。 同上	A種、B種に該当しない場合。 ②の例) 水路施設が甚大な被害を受けた場合でも付近の原野、水田等が浸水する程度で、社会経済的な影響が軽微な場合。 ③の例) 応急復旧のための作業が容易で、短期間で実施できる場合。
	②被災による二次災害危険度。 同上	
	③応急復旧の難易度。 同上	

注) 水田用水における流量 5 m³/s以上、管径でφ2000 (V=1.5～2.0m/s程度を想定) 以上は、ひとつの例示として示しているものであることから、地区の状況に応じて勘案する。 〈設計基準〉

表49 パイプラインの重要度区分と耐震性能

地震動レベル 重要度区分		レベル 1 地震動	レベル 2 地震動 (タイプⅡ)
A	耐震性能	健全性を損なわない	致命的な損傷を防止する
	耐震設計	耐震設計を行う	耐震設計を行う
B	耐震性能	健全性を損なわない	－ (対象としない)
	耐震設計	耐震設計を行う	－ (耐震設計を行わない)
C	耐震性能	－ (対象としない)	－ (対象としない)
	耐震設計	－ (耐震設計を行わない)	－ (耐震設計を行わない)

〈設計基準〉

表50 耐震性能の定義

耐震性能	定義 (損傷度)
健全性を損なわない	設計通水能力を維持できること (設計水圧によって計画最大流量が流せる)
致命的な損傷を防止する	圧力管路を維持できること (静水圧で漏水を生じない)

〈設計基準〉

地震応答対策例として設計基準に掲載された「鎖構造継手を用いた耐震工法」の概要を以下に示す。

この工法は、管路屈曲部に伸縮・屈曲性と離脱防止性能を備えた鎖構造継手を配置することで、屈曲部に生じる変位に追従し、継手離脱を生じない管路構造を構築するものである。鎖構造継手を用いる範囲（耐震化範囲）は、想定する曲管変位をもとに定められる。過去の被災調査によるとスラストブロック等の屈曲部の曲管変位は、表51であった。

変位量は溝幅や地山の材質にもよるが、目安として表51を踏まえ、地盤が軟弱で地下水位が高い場合は、最大の曲管変位量400mmに対して、離脱防止機能をもった管を採用することで、耐震対策が可能となる。

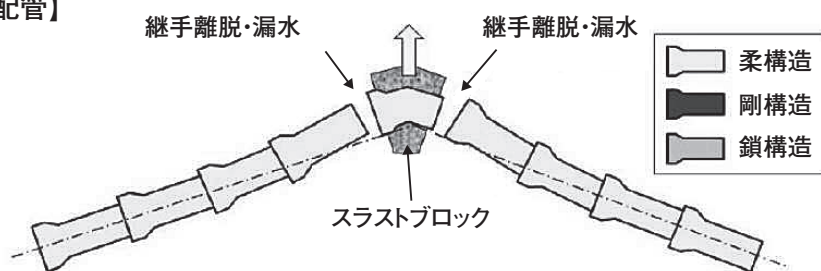
なお、液状化が生じる場合は、実績より曲管変位量の最大値の800mmが対策範囲を求める目安となる。

あわせて、厳密な施工管理を行い埋戻し土の密度を高める、砕石など液状化抵抗力の高い材料を埋戻し材料として使用するなど、液状化や剛性低下に対する対策を適切に実施する必要がある。

表51 被災調査による屈曲部の最大変位

液状化の有無	無し	有り
変位量	350～400mm	600～800mm

【現状の配管】



【提案する配管】

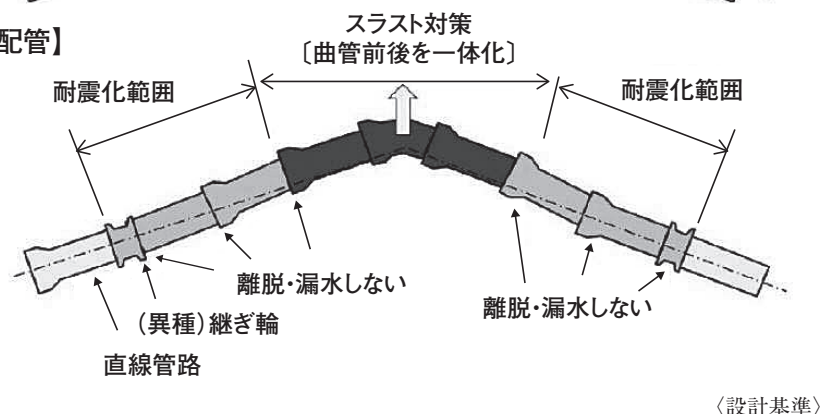


図27 鎖構造継手を用いた耐震工法概要

【備考】

地すべりや側方流動などを想定する場合は管路の弱点箇所の特が困難なため、区間全体を鎖構造管路とすることが望ましい。

また、上下水道の設計指針に基づいて設計される管路では、管路全体に鎖構造継手が用いられている。

6. 12. 3 ダクタイル鉄管継手の耐震性能

耐震計算時のダクタイル鉄管継手の設計照査用最大伸び量を表52に示す。

表52 設計照査用最大伸縮(伸び)量

単位 mm

接合形式 呼び径	T形	K形	ALW形	U形	GX形	NS形	S形
75	31(23) ^{※1}	31	—	—	±42	±42	—
100	29(22) ^{※1}	29	—	—	±41	±41	—
150	25(21) ^{※1}	25	—	—	±54	±54	—
200	25(11) ^{※1}	20	—	—	±52	±52	—
250	25(4) ^{※1}	20	—	—	±50	±50	—
300	28	35	28	—	±60	±60	—
350	29	32	29	—	±60	±60	—
400	30	33	30	—	±60	±60	—
450	31	32	31	—	±60	±60	—
500	33	33	33	—	—	±60	—
600	33	32	33	—	—	±60	—
700	32	32	32	—	—	±60	—
800	32	32	32	32	—	±60	—
900	43	31	43	31	—	±60	—
1000	45	38	45	33	—	±60	—
1100	57	38	57	33	—	—	±61
1200	68	39	68	34	—	—	±62
1350	67	39	67	40	—	—	±60
1500	78	40	78	41	—	—	±60
1600	89	41	—	33	—	—	±50
1650	92	45	—	34	—	—	±50
1800	97	46	—	34	—	—	±50
2000	110	51	—	36	—	—	±50
2100	—	53	—	39	—	—	±51
2200	—	55	—	42	—	—	±50
2400	—	60	—	49	—	—	±50
2600	—	70	—	67	—	—	±50

※1 括弧内の数値は、平成10年以前を示す。

6. 13 推進工法(参考)

ダクトイル鉄管は圧縮強度が高く、大きな推進力に耐えられるので、軌道・河川・幹線道路などの横断箇所部をはじめ、長距離推進などにも使用されている。

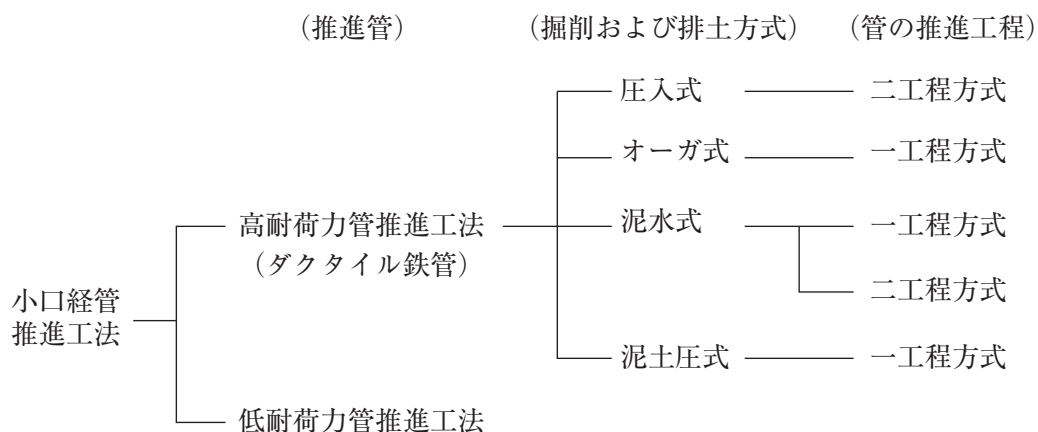
6. 13. 1 推進工法の種類

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。

代表的な工法としては、以下があげられる。

(1) 小口径管推進工法(呼び径700以下)

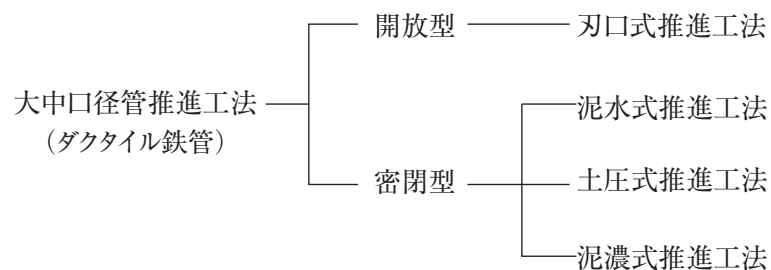
ダクトイル鉄管での小口径管推進工法は、高耐荷力管推進工法に大別され、さらに掘削および排土方式、管の推進工程により細分類される。



(2) 大中口径管推進工法(呼び径800以上)

大中口径管推進工法は、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。また、中押工法(呼び径1000以上)を併用することにより推進距離を延ばすことができる。

これらの工法は、ダクトイル鉄管の推進施工が可能である。



6. 13. 2 推進工法用ダクトイル鉄管の種類

推進工法用ダクトイル鉄管は表53に示すようにT形、U形およびUS形の3種類がある。これらはいずれも管の外面を鉄筋コンクリートで巻くことによって、直管受口の凸部を均し、推進抵抗力が小さくなるようにしたものである。

表53 推進工法用ダクトイル鉄管(JDPA G 1029)

接合形式	呼び径	管長(m)	管種
T形	250～700	4,6 ¹⁾	1～5種 ²⁾
U形	800～1500	4,6	1～5種
	1600～2200	4,5	
	2400・2600	4	
US形	800～1500	4,6	1～4種
	1600～2200	4,5	
	2400・2600	4	

注 1) T形呼び径250は管長4mと5m。
2) 呼び径により異なる。

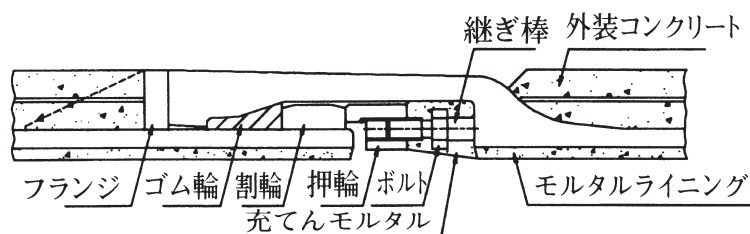


図28 U形推進工法用ダクトイル鉄管

なお、検討にあたっては、当協会技術資料「JDPA T 33ダクトイル鉄管による推進工法」を参照されたい。

6. 14 パイプ・イン・パイプ工法(参考)

ダクトイル鉄管によるパイプ・イン・パイプ工法は、交通事情や輻輳する地下埋設物がある等の理由で道路掘削が困難な場合、既設老朽管の中にダクトイル鉄管を挿入する管路更新工法として、昭和50年代後半から数多く用いられてきた。また、新設の鉄筋コンクリート管を推進施工し、その中にダクトイル鉄管を挿入して、新たな管路を構築する非開削工法の一つとしても用いられている。

6. 14. 1 工法の概要

本工法は、既設老朽管あるいは新設の鉄筋コンクリート管をさや管とし、その前後に発進立坑と到達立坑を設けた上で、発進立坑内で新管を接合して、さや管内に新管を順次挿入する押込工法と、さや管内に新管を持ち込んで、順次接合する持込工法がある。図29に押込工法、図30に持込工法の概要を示す。

なお、「さや管」とはパイプ・イン・パイプ工法の外管のことで、「新管」とはパイプ・イン・パイプ工法で挿入する管のことをいう。

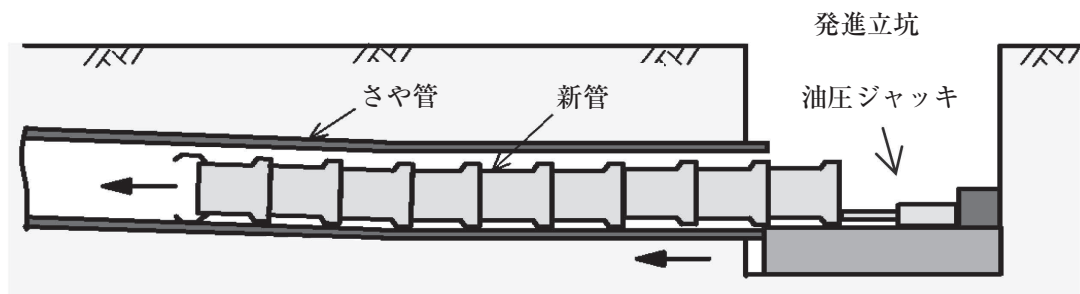


図29 押込工法の概要

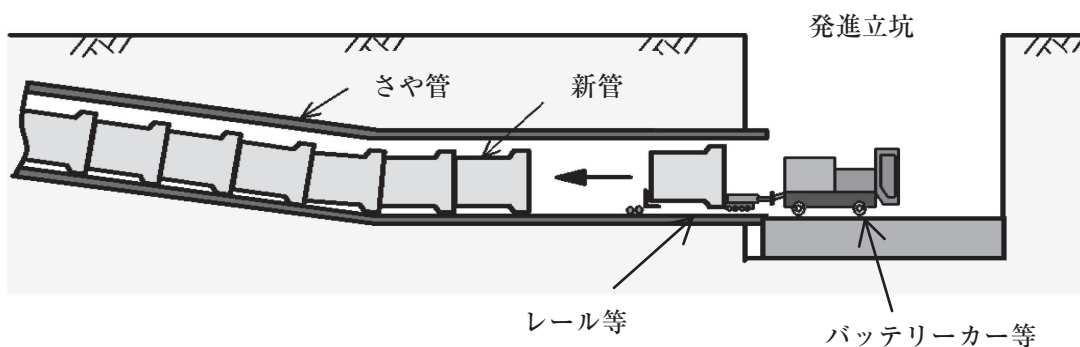


図30 持込工法の概要

6. 14. 2 パイプ・イン・パイプ工法用ダクタイル鉄管の種類

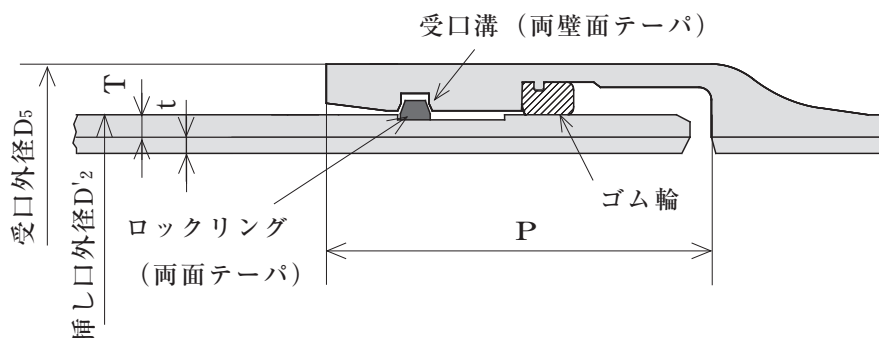
パイプ・イン・パイプ工法に適用するPN形用ダクタイル鉄管には、表54に示すように、推力伝達構造の異なる複数の仕様が存在する。施工時の許容抵抗力は、フランジ・リブタイプ、溶接リングタイプ、標準タイプの順に高い。キャストバンドタイプは摩擦抵抗を低減しているため、比較的小さい挿入力で長距離施工が可能である。

表54 PN形ダクタイル鉄管の種類

仕様		呼び径	管長(m)	管種
標準タイプ	—	300～1500	4,6	1～4種 ^{注1)}
補強タイプ	溶接リングタイプ			
	フランジ・リブタイプ			
	キャストバンドタイプ			

注1) 呼び径により異なる。

【呼び径300～600】



【呼び径 700～1500】

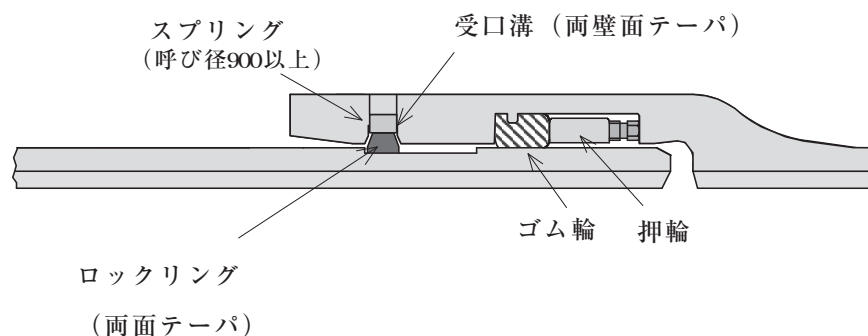


図31 PN形の継手構造(標準タイプ)

なお、検討にあたっては、当協会技術資料「JDPA T36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」を参照されたい。

6. 15 配管設計

管割設計などの配管設計は、設計基準および標準設計に基づいて行う。また、日本ダクタイル鉄管協会「ダクタイル管路 配管設計標準マニュアル(配管図面製作用)」も参考にするとよい。

そのほかに留意すべき点としては次の点が上げられる。

(1) T形管路において、呼び径300以上のT形異形管は製造されていないので、K形などの異形管を使用する。

この場合の配管例を示す。

① 切管の挿し口を現場で面取り加工を行う時。

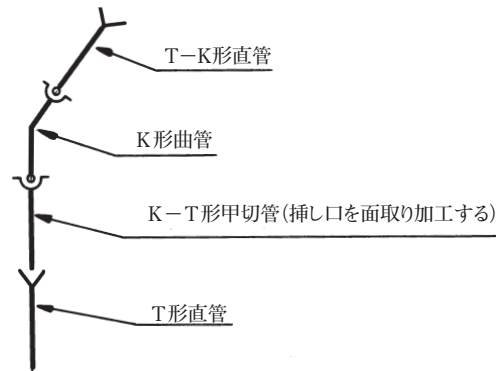


図32 異形管部の配管例1

② 切管の挿し口の現場面取り加工を省略する時。

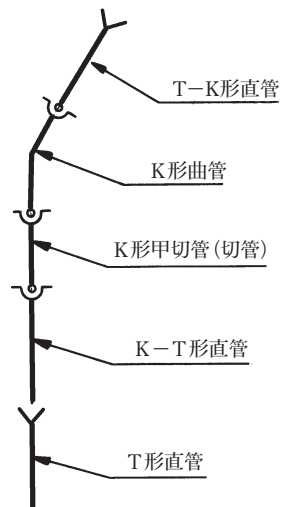


図33 異形管部の配管例2

- (2) ALW形は従来のT形管など異なる管厚が規定されているため、呼び径300～600のT形受口(T形ゴム輪)とALW形(AL 2種) 挿し口とは接合してはならない。T形管路からALW形管路に切り替える場合は、以下の配管例のようにALW形(AL1種)、K形継ぎ輪、K形継手等のいずれかを介してALW形(AL 2種)に切り替えること。

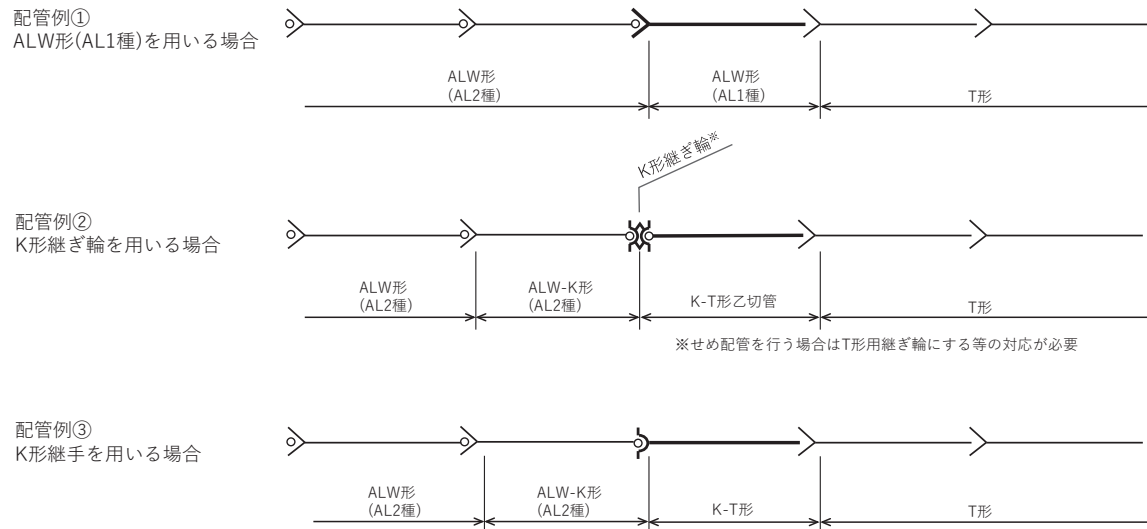


図34 T形とALW形との接続例(呼び径300～600)

- (3) 切土と盛土の境界および付帯構造物との接続には、不同沈下を吸収する目的で可とう継手を設けることが望ましい。ダクトイル鉄管管路においては、K形継ぎ輪やS形継ぎ輪を使用すればよい。

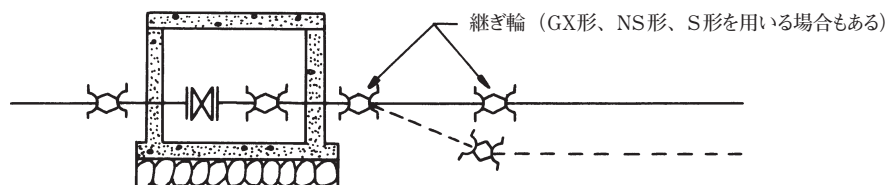


図35 構造物際の配管例

7. 防食について

7.1 腐食性土壌

ダクタイル鉄管は鋳鉄特有の耐食性を持ち、さらにさまざまな使用条件に耐えるように合成樹脂塗料などで塗装が施されている。しかし、次のような腐食性の強い土壌に埋設する場合は、なんらかの防食対策を講じなければならない。

- ① 酸性の工場廃液や汚れた河川水などが地下に浸透する所
- ② 海浜地帯や埋立地域など、地下水に多量の塩分を含む所
- ③ 硫黄分を含む石炭ガラなどで盛土や埋立てされた所
- ④ 泥炭地帯
- ⑤ 腐植土、粘土質の土壌
- ⑥ 廃棄物による埋立地域や湖沼の埋立地
- ⑦ 酸性土壌（海成粘土など）

また、機器を使用して測定する場合の腐食性評価基準の一例を表55に示す。

表55 腐食性土壌の評価表

項目	測定結果	点数	項目	測定結果	点数
土壌の比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	1,500以下	10	酸化還元電位 (Redox電位) (mV)	100以上	0
	1,500～1,800	8		50～100	3.5
	1,800～2,100	5		0～50	4
	2,100～2,500	2		マイナス	5
	2,500～3,000	1	水分	排水悪い 常に湿潤	2
	3,000以上	0		排水かなり良好 一般に湿っている	1
pH値	2以下	5		排水良好 一般に乾燥している	0
	2～4	3	硫化物	あり	3.5
	4～6.5	0		微量	2
	6.5～7.5	0		なし	0
	7.5～8.5	0			
	8.5以上	3			

備考 ・表に示す測定項目および点数は、ANSI/AWWA C 105/A21.5-99(アメリカ国家規格)による。

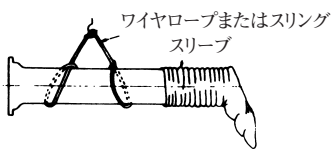
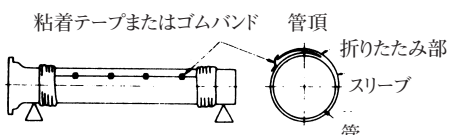
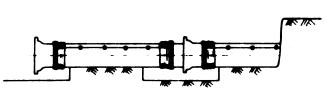
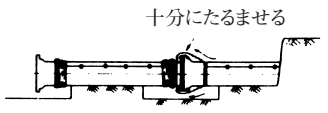
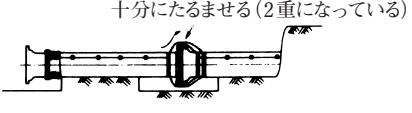
・pH値が6.5～7.5の場合で硫化物が存在し、かつ、酸化還元電位が低い場合は3点を加算する。

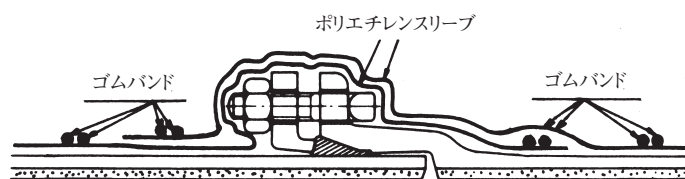
表55の5項目を測定した結果から点数をつけ、その合計が10点以上の場合は、腐食性土壌と判断する。

7.2 防食対策

腐食性土壌と判断される場合には、ポリエチレンスリーブ(JWWA K 158 ダクタイル鋳鉄管用ポリエチレンスリーブ)で被覆する。

表56 ポリエチレンスリーブの施工手順

手順	図	解 説
1		● 管を吊り上げるか、または枕木の上に載せて、挿し口側からスリーブを挿入する。
2		● スリーブの端面より500mm(呼び径500以上は750mm)につけられた印と管端とを合致させて、スリーブを引き延ばす。 ● 管頂部にスリーブの折りたたみ部がくるように折りたたんで、粘着テープまたはゴムバンド¹⁾などで固定する。
3		● 受口側および挿し口側に粘着テープまたはゴムバンドを巻き、管にスリーブを固定する。 ● 受口および挿し口側のスリーブを折り返す。
4		● スリーブを傷つけないように管を吊り下ろす。 ● 管を接合する。
5		● 折り返したスリーブを元に戻して、接合部にかぶせ、ゴムバンドを巻き、スリーブを管に固定する。
6		● 他方のスリーブも同様に管に固定する。(下図参照)



備考 ゴムバンドは、直径約5mmのものを用いる。

図36 接合部施工詳細

7.3 マクロセル腐食

マクロセル腐食は、そのマクロセル(巨大腐食電池)を形成する因子の組み合わせと種類によりコンクリート／土壌マクロセル、酸素濃淡(通気差)マクロセル、異種金属マクロセルなどによる腐食に区分される。これらの腐食作用の起電力はいずれも周囲環境の差異による両者の電位の差、あるいは金属自体の電位の差である。

これらのマクロセル腐食のうちコンクリート／土壌マクロセル腐食は、その特徴から比較的短期間のうちに腐食損傷を起こすので、設計・施工にあたり十分注意することが必要である。

(1) 設計上の留意点

コンクリート／土壌マクロセル腐食は、主に(鋼面／土壌)～(土壌／コンクリート／鉄筋)のマクロセルの電流回路を形成するために起こるものであるから、両者を接触(導通)させなければ、この種の腐食は防止できる。

- ① 金属的に一体化した配管系統においては、コンクリート壁の貫通部、配管支持金具、各種の設備機器の基礎アンカーなどがコンクリート中の鉄筋と接触(導通)する可能性があるので、設計上、接触(導通)しないようにするか、またはその部位を絶縁処置する。
- ② 建物や各機器の銅アースが埋設管と導通する場合があるので注意する。
- ③ コンクリート壁の貫通部では、管が鉄筋と電氣的に導通状態とならないよう、ゴムなどの絶縁物を間に挟むなど適切な絶縁処置をとること。ダクトイル鉄管にあっては通常の塗装を施し、土中埋設部についてはポリエチレンスリーブで被覆する。

(2) 施工管理上の留意点

- ① コンクリート中の鉄筋と接触(導通)する可能性のある部位は、特に注意し接触させないようにする。
- ② コンクリート貫通部の管は、コンクリート打設前にテスターにより鉄筋との絶縁状態を確認し、導通状態であれば再度絶縁措置を改善する。
- ③ コンクリート貫通部より約10mまでの土中埋設される管はポリエチレンスリーブで被覆する。
- ④ 埋戻しに際しては管外面の塗覆装を損傷する恐れのある埋戻しは避ける。
- ⑤ 工事の完了している地区においては、埋設管の電位あるいは土中の電位こう配を測定し、マクロセル形成の有無を検査する。電位が通常自然電位よりも高い(貴な)電位になっているか、あるいは電位こう配が埋設からコンクリート構造物の方へ向かっている場合は、マクロセルが形成されている恐れがあるので、適切な対策を講ずることが大切である。

7.4 内面防食

農業用水用のダクトイル鉄管(直管)では、従来から管内面にJIS A 5314(ダクトイル鋳鉄管モルタルライニング)に規定されたモルタルライニングが施されてきた。モルタルライニングは、セメント中のカルシウム分によるアルカリ性が鉄面を不動態化して防食する効果がある。さらにはライニングにわずかな割れが生じることがあっても間隙はセメントの石灰分により密閉されるため、防食機能を維持できる。近年では、より高い防食性能を発揮するJIS G 5528などのエポキシ樹脂塗装や、これと同等の効果が期待されるJCPA G 1053のシリカエポキシ樹脂塗装も採用されるようになった。

異形管の管内面は、古くからJWWA K 139(水道用ダクトイル鋳鉄管合成樹脂塗料)による塗装が多く施されてきたが、直管同様、エポキシ樹脂塗装の採用が増加しつつある。

なお、管内面にモルタルライニングを施した管では、管内水の滞留時間が長いとpH上昇が起こる可能性があるため、pHの高い滞留水は適切な処理後、排水処理する必要がある。

8. ダクトイル鉄管の施工について

8. 1. 管の取り扱いと運搬

8. 1. 1 一般事項

管の取り扱いについては管の変形、外面塗装の損傷、モルタルライニングのき裂やはく離などを生じさせないよう慎重に、かつ、丁寧に取り扱う。

また、保管中の事故防止のため歯止め、防護柵などを設置する。

8. 1. 2 管の吊り方

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、吊り具が直接管外面やライニング部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。

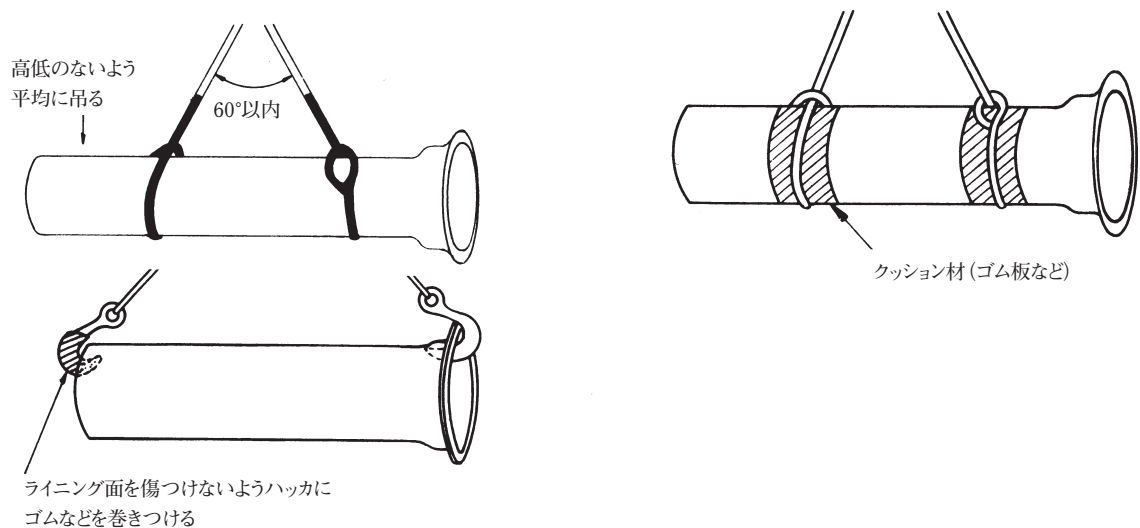


図37 管の吊り方例

8. 1. 3 配積方法

- ① 管の下には枕木を敷く。
- ② 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。
- ③ 両側には、必ず歯止めをする。

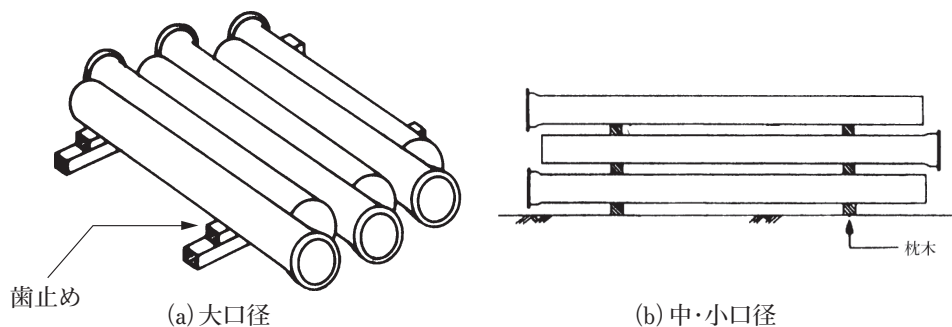


図38 管の置き方

8. 1. 4 接合部品の取り扱い

- ① ゴムは、紫外線、熱などに直接さらされると劣化するので、ゴム輪は屋内(乾燥した冷暗所が望ましい)に保管し、梱包ケースから取り出したあとはできるだけ早く使用すること。
また、未使用品は、必ず梱包ケースに戻して保管する。この際折り曲げたり、ねじったままでの保管は避けること。
- ② ゴム輪は油、溶剤などが付着しないよう注意して使用すること。
- ③ 開包後のボルト・ナットは、直接地上に置くことは避け、所定の容器に入れて持ち運びすること。
- ④ ボルト・ナットは、放り投げることなく(ネジ山、塗装の損傷防止)、丁寧に扱うこと。
- ⑤ 押輪は、直接地上に置かず、台木上に並べて保管すること。呼び径600以上の押輪は、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こと。

8. 2 掘 削

掘削幅や法面こう配は、管の接合作業が安全、かつ、容易にできるとともに、埋戻し土が管底部まで十分に回ることを考えて決める。

また、地下水や雨水を排除するため、排水設備を設ける。

次に一例として標準的な掘削寸法を示す。

(1) 素掘りの場合

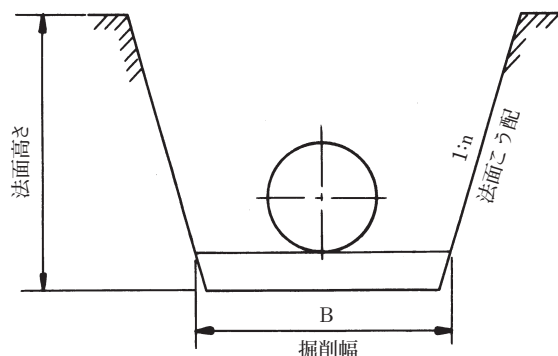


表57 法面こう配nの標準値

地質 \ 法面高さ	2m未満	2m以上5m未満	5m以上
岩または固い粘土	0 ~ 0.1	0 ~ 0.3	0.3 ~
粘性土	0 ~ 0.3	0.2 ~ 0.5	0.6 ~
シルト	0.2 ~ 0.4	0.3 ~ 0.6	1.0 ~
砂質土	0.4 ~ 0.6	0.5 ~ 1.2	1.2 ~
砂	1.5	1.5 ~	—
礫および礫質土	0.3 ~ 0.8	0.6 ~ 1.5	—
ゆるんだ地山	1.0	—	—

備考 ・過去の施工実績がある場合、法面の含水状態、湧水状態および地表面の状態(水田、沢等)によって、本表の値を適宜増減できる。

ただし、労働安全衛生規則の下限を下回ってはならない。

・掘削法面に奥行きが2m以上の水平な段があるときは、当該段により法面高さを算定できる。

(労働安全衛生規則の考え方による)

〈設計基準〉

表58 掘削幅Bの標準値

単位 mm

呼び径	施工方法 人力掘削	バックホウ掘削	呼び径	施工方法 人力掘削	バックホウ掘削
100以下	600	500	900	1,700	1,700
150	600	500	1000	1,800	1,800
200	600	600	1100	1,900	1,900
250	850	850	1200	2,200	2,200
300	900	900	1350	2,350	2,350
350	950	950	1500	2,500	2,500
400	1,000	1,000	1650	2,650	2,650
450	1,050	1,050	1800	2,800	2,800
500	1,300	1,300	2000	3,000	3,000
600	1,400	1,400	2200	3,200	3,200
700	1,500	1,500	2400	3,400	3,400
800	1,600	1,600	2600	3,600	3,600

〈設計基準〉

(2) 矢板施工の場合

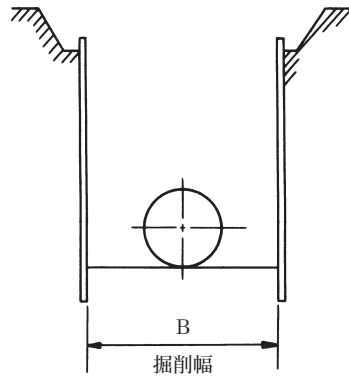


表59 掘削幅Bの標準値

単位 mm

呼び径	施工方法 人力掘削	呼び径	施工方法 バックホウ掘削
100以下	900	900	2,100
150	900	1000	2,200
200	900	1100	2,300
250	950	1200	2,600
300	1,000	1350	2,750
350	1,050	1500	2,900
400	1,100	1650	3,050
450	1,150	1800	3,300
500	1,600	2000	3,500
600	1,700	2200	3,700
700	1,800	2400	3,900
800	2,000	2600	4,100

〈設計基準〉

(3) 継手掘り

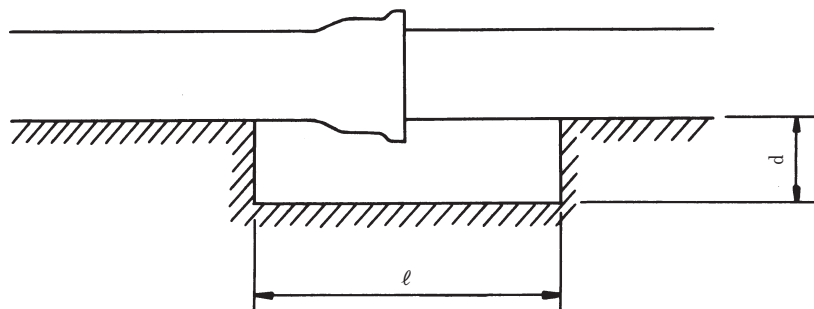


表60 継手掘りの標準値

① プッシュオン継手 (T、ALW、GX、NS形等)
単位 mm

呼び径	寸法	d	ℓ
75～ 900		200	1,000
1000～1350		250	1,200
1500～2600		300	1,300

② メカニカル継手 (K、UF、GX、NS、S形等)
単位 mm

呼び径	寸法	d	ℓ
75～ 500		400	1,000
600～1350		600	1,200
1500～2600		800	1,300

8. 3 管の基礎

- ① 基礎は、**6. 3 基礎工法**にしたがって施工する。
- ② 基礎は、平坦にならし締固めを行い、管、水重、土圧、上載荷重などを安定して支持できる床をつくる。
- ③ 工事中、排水が滞留しないよう排水用の側溝を設ける。あるいは有孔集水管を埋設することもある。

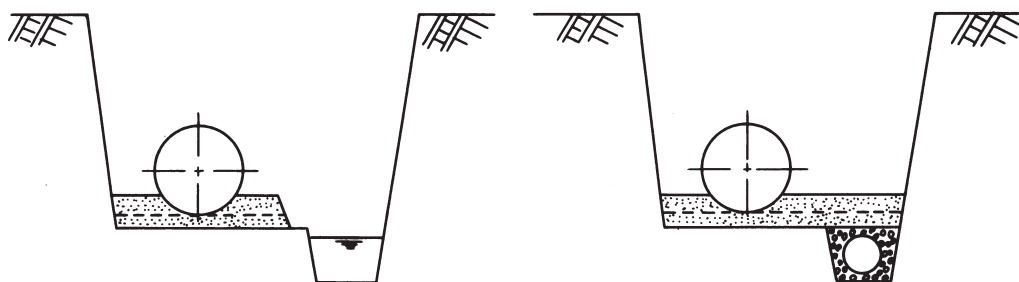


図39 基礎の施工

- ④ 基礎に礫が混入した土砂を用いる場合は、礫の最大粒径はおおむね40mm以下とする。

8. 4 据え付け

- ① 管を吊り込み、据え付けする前にはかならず受口表示マークで接合形式および管種(1種管、2種管など)を確認し、設計図書に定めてある接合形式および管種を使用する。
- ② 管の据え付けにあたっては、管内を十分に清掃し、異物などがないことを確認した上でメーカーマークの中心部を管頂にして据え付ける。

このとき水準器、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。

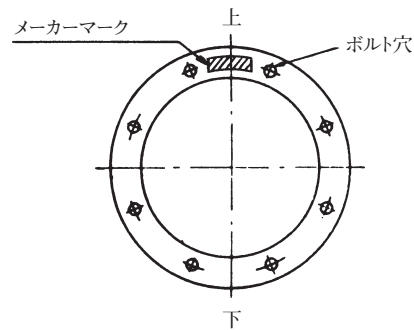


図40 管の据え付け

- ③ 軟弱地盤での据え付けには管重および埋め戻し時の土圧による不同沈下を防ぐためにワイヤーロープとチェンブロックを使用して管を吊る。
なお、ワイヤーロープは埋め戻し土が十分固まったことを確認した後に切断または取り外す。
- ④ 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300mm以上離して配管する。
- ⑤ 直管による曲線布設は、**8. 7 曲線布設**を参照のこと。

8.5 接 合

8.5.1 一般事項

- ① 継手接合に従事する配管工は、関係機関にてダクトイル鉄管についての技能講習を受講したもの、またはダクトイル鉄管の豊富な配管経験を有するものが適当である。
- ② 配管工は、作業着手にあたって継手の形式、構造、接合部品および接合の要点につき熟知しておくことが望ましい。
- ③ 各種継手の接合手順は、日本ダクトイル鉄管協会が発行している「接合要領書」に基づく。
- ④ 布設にあたっては、継手の拔出しがないよう注意する。
- ⑤ 継手部が湧水につからないよう排水を十分に作る。
- ⑥ ゴム輪の保管は、直射日光を避け、折り曲げたりしないで箱に入れておく。
- ⑦ 接合作業は、その都度必要事項をチェックシートに記入しながら行うことが望ましい。
- ⑧ 継手の特性を十分に発揮せしめるため、特に下記の事項を遵守する。

8.5.2 T形継手

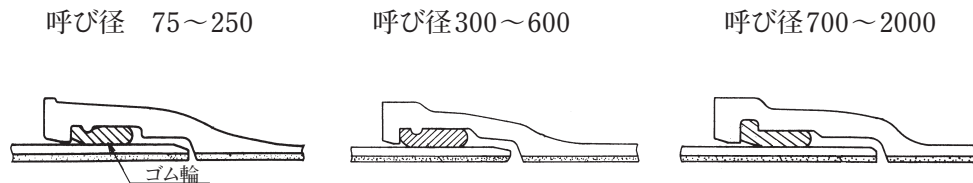


図41 T形継手

- ① 受口内面溝部の清掃は、特に入念にし、異物は確実に除去する。
- ② ゴム輪は受口溝部に正しくはめ、専用の滑剤を図42に示す範囲に十分塗布する。

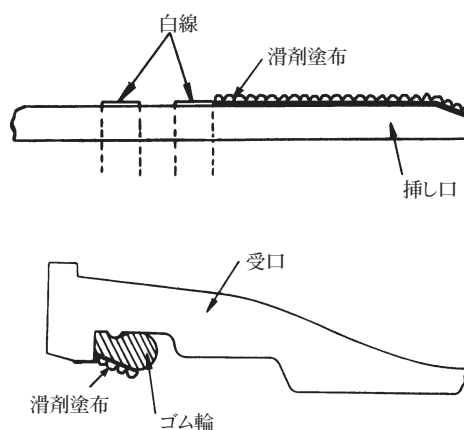


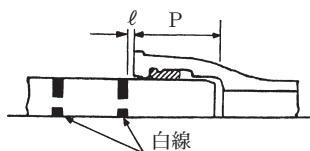
図42 滑剤の塗布

- ③ 接合工具を使用し、挿し口外面に表示してある白線2本のうち、挿し口側の白線を受口端面に合わせる。

- ④ 異形管受口への接合は直管と同様に行う。ただし異形管受口のP寸法が直管より短いため、正規に接合された場合でも挿し口側の白線が受口端面より飛び出すことがある。そのため下図の間隔 ℓ を測定し、表61の範囲内にあることを確認する。ただし、この値のうち0と表示されている場合は、受口端が挿し口側白線上にある場合や、挿し口側白線が受口に入って見えない場合も含む。

表61 異形管受口と白線の間隔 ℓ

単位 mm



呼び径	受口面—白線の間隔 ℓ
75	0～10
100	0～ 4
150	0～ 4
200	0～11
250	6～19

- ⑤ 接合完了後、受口と挿し口の間隙に薄板ゲージを挿し込み、全円周にわたりゴム輪が正しい位置にあることを確認する。
- ⑥ 切管した場合または他形式の管挿し口とT形の受口との接合は、かならずテーパゲージなどを用い、グラインダまたは加工機で管挿し口端面に表62のような面取り加工を行う。加工部塗装の後、所定の位置に白線を表示する。

なお、呼び径300～600については、T形受口(T形ゴム輪)とALW形(AL2種)挿し口とを接合してはならない。

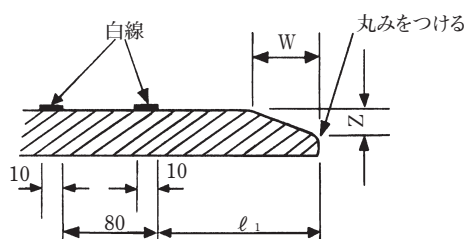


表62 面取り、白線寸法

単位 mm

呼び径	面取寸法		白線の位置	呼び径	面取寸法		白線の位置
	W	Z	ℓ_1		W	Z	ℓ_1
75	9.5	3.2	80	700	15	6	150
100	9.5	3.2	80	800	15	6	155
150	9.5	3.2	85	900	15	6	170
200	9.5	3.2	100	1000	19	7.5	180
250	9.5	3.2	110	1100	19	7.5	195
300	9.5	3.2	110	1200	19	7.5	210
350	14	5	125	1350	23	8.5	230
400	14	5	125	1500	23	8.5	255
450	14	5	125	1600	23	8.5	270
500	14	5	130	1650	23	8.5	275
600	14	5	135	1800	26	9.5	300
				2000	26	9.5	330

8. 5. 3 K形継手

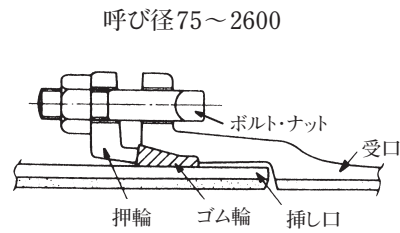


図43 K形継手

- ① 受口内面、挿し口外面を清掃する。
- ② 押輪、ボルト穴、ゴム輪の内外面を清掃する。
- ③ ゴム輪の表裏を間違えないよう形状、表示マークを確認して使用する。
- ④ 押輪、ゴム輪を挿し口に預け入れる。
- ⑤ 受口ゴム輪あたり面、挿し口外面の端面から白線までの範囲にムラなく塗布する。
- ⑥ 受口に挿し口を挿入する。このときの白線位置および胴付間隔は表63のとおり。

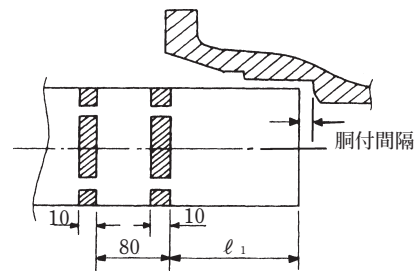


表63 白線位置および胴付間隔

白線の寸法表		許容胴付間隔			
単位 mm		単位 mm			
呼び径	ℓ_1	呼び径	許容胴付間隔	呼び径	許容胴付間隔
75	75	75	20	1000	36
100	75	100	20	1100	36
150	75	150	20	1200	36
200	75	200	20	1350	36
250	75	250	20	1500	36
300	105	300	32	1600	43
350	105	350	32	1650	45
400	105	400	32	1800	48
450	105	450	32	2000	53
500	105	500	32	2100	55
600	105	600	32	2200	58
700	115	700	32	2400	63
備考 $\ell_1 = P - 5$ とした。		800	32	2600	71
		900	32	—	—

- ⑦ ボルトの締め付けは均等にかつ数回に分けて追い締めする。

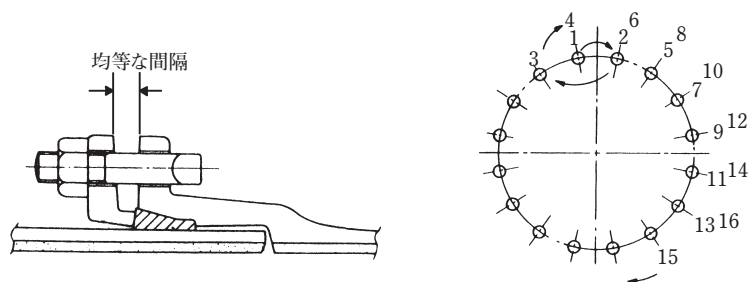


図44 ボルトの締め付け

- ⑧ ボルトの標準締め付けトルクは表64に示す値とし、トルクレンチで測定、記録する。

表64 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

8. 5. 4 ALW形継手

接合手順は「8.5.2 T形継手」と同様である。面取り、白線寸法は表65のとおりである。

表65 面取り、白線寸法

呼び径	面取寸法		単位 mm
	W	Z	白線の位置 ℓ_1
300	9	3.0	110
350	9	3.0	125
400	10.5	3.5	125
450	12	4.0	125
500	12	4.0	130
600	13	4.5	135
700	14	5.0	150
800	15	5.5	155
900	15	6.0	170
1000	19	7.0	180
1100	19	7.5	195
1200	19	7.5	210
1350	23	8.5	230
1500	23	8.5	255

備考 $\ell_1 = P - 5$ (mm)

注) 現場納入時(工場出荷時)に挿し口がT形用にテーパ加工されている管は、そのままALW形受口に挿入可能である。新たにALW形用の挿し口に加工し直す必要はない。

8. 5. 5 GX形(直管)継手

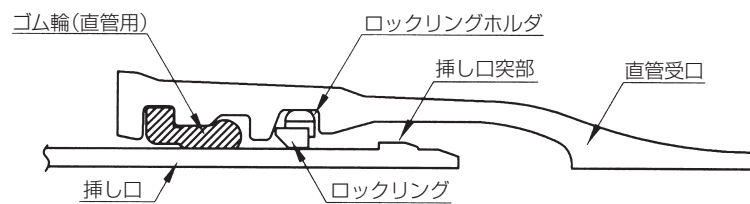


図45 GX形(直管)継手

- ① 管の受口溝とゴム輪のあたり面、および挿し口外面の異物除去と清掃を行う。
- ② ロックリングとロックリングホルダの確認を行う。
- ③ ゴム輪を清掃し、受口内面の所定の位置に装着する。
- ④ ゴム輪の内面と挿し口外面のテーパ部から白線までダクタイル鉄管継手用滑剤を塗布する。
- ⑤ 管をクレーンなどで吊った状態にして挿し口を受口に預ける。
- ⑥ 次のように接合器具をセットし、レバーホイストを操作して挿し口を受口に挿入し、白線Aの幅の中に受口端面を合わせる。

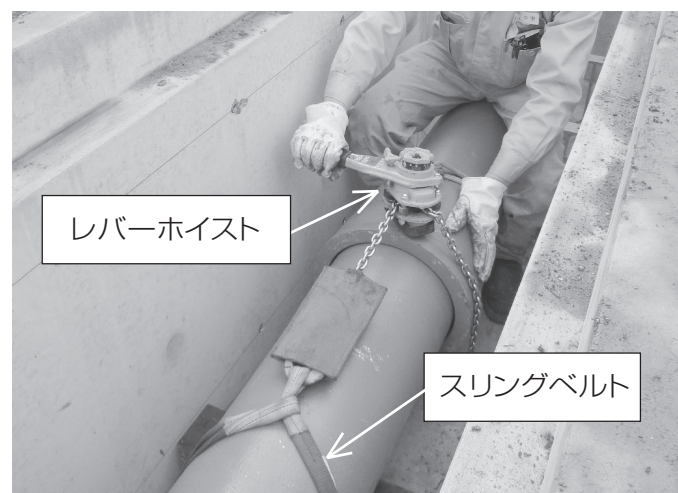


写真3 挿入状況

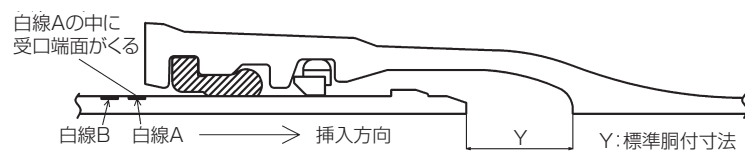


図46 挿入位置

- ⑦ GX形用チェックゲージでゴム輪が所定の位置にあることを確認する。

8. 5. 6 フランジ形継手

呼び径75～2600

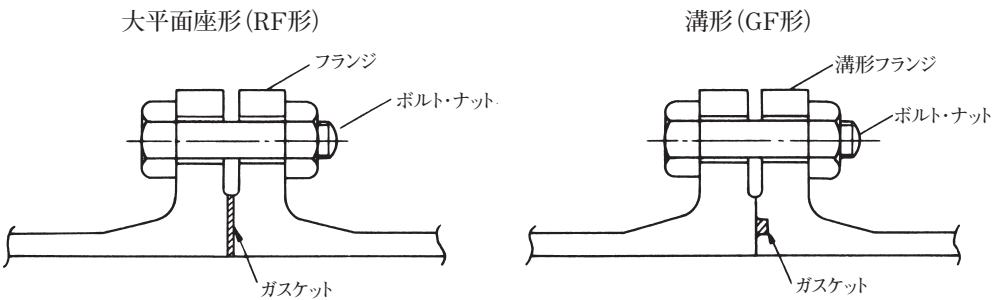


図47 フランジ形継手

フランジ形継手には、RF形(大平面座形)とGF形(溝形)がある。ここではRF形の接合について記す。

- ① フランジ面およびガスケットを清掃し、異物を確実に除去する。
- ② ガスケットは、管心およびボルト穴の位置によく合わせ、ズレが生じないようにシアノアクリレート系接着剤などで仮止めする。
- ③ 接合にあたっては、ガスケット面を損傷させないように当て木などを使用する。
- ④ ガスケットの位置およびボルト穴に注意しながらK形継手と同要領でボルトを締め付ける。
- ⑤ ボルトの標準締め付けトルクは表66に示す値を参考とし、トルクレンチなどで測定、記録する。

表66 RF形(大平面座形)フランジのボルト締め付けトルク

呼び径	ボルトの呼び	締め付けトルク (N・m)
75～200	M16	60
250・300	M20	90
350・400	M22	120
450～600	M26	260

参考

呼び径	ボルトの呼び	締め付けトルク (N・m)
700～1200	M30	570
1350～1500	M36	1,200

なお、GF形メタルタッチの場合は、フランジ面が接触するまで締め付ける。(1mmのすき間ゲージが入らなければよい)

8.6 切管

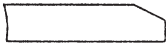
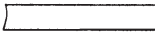
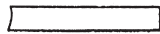
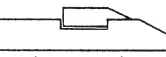
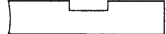
(1) 切用管

- ① 呼び径300以上の切管は切用管を使用するか、切断部の外径または外周を実測し、接合要領書に示す許容範囲内に入っていることを確認してから切管する。切用管には受口側に白線が表示されている。なお、呼び径250以下はすべて切管できる。
- ② 挿し口に溝を加工するGX形(挿し口リング使用時)、NS形(呼び径75～450)、S形(呼び径1600以下)、US形(呼び径1800以下)では、切用管として1種管またはPF種管、NS形(呼び径500～1000)ではS種管を用い、UF形ではPF種管を用いる。

(2) 切管作業

切管作業は表67に示すように、接合形式によって、切断、溝切、テーパ加工、突部形成を行って施工する。

表67 切管作業項目

接合形式	切管形状	作業項目			
		切断	溝切	テーパ加工	挿口加工
T形、ALW形		○		○	
K形、U形		○			
GX形 (呼び径250以下)	 (P-Link、G-Link)	○			
	 (挿し口リング)	○	○		○
GX形(呼び径300～450) NS形(呼び径75～450)	 (タッピンねじ)	○	○		○
NS形(呼び径75～450)	 (リベット)	○	○	○	○
NS形(呼び径500～1000) S形、US形		○	○		○
UF形		○	○		

備考) 切管形状は接合形式によって異なるため例示した。

(3) 切管時の注意事項

- ① 切管にあたっては、管に損傷を与えないように注意を行い、切管した端部のモルタルライニングまたは内面エポキシ樹脂粉体塗装が損傷した場合には、監督員の指示にしたがって、補修材または補修塗料で塗装して補修する。
- ② 切口が、管軸に対して直角になるよう切管する。
- ③ 切断面は、接合形式に応じた形状に加工し、切り口の鉄部にはダクトイル鉄管切管鉄部用塗料で塗装するか、ダクトイル鉄管用切管端面防食材料を取付ける。

K形の場合

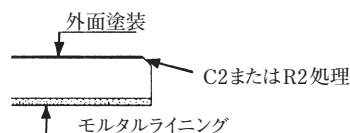


T形およびALW形の場合



- ④ 切管端面(K形モルタルライニング管の場合)の補修方法は下記のとおりとする。

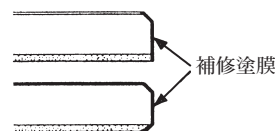
- (i) 切管端面(外面側)の面取り(C2またはR2程度)処理を行う。



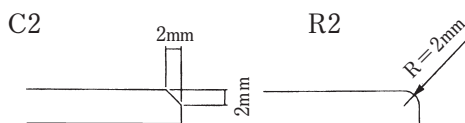
- (ii) モルタルライニングに損傷があればその部分を除去する。



- (iii) 補修塗料を刷毛にて均一・平滑な塗装を行う。



注:面取りについて



- ⑤ 溝切加工(UF形等)や挿し口突部の形成(NS形等)が必要な場合は、それぞれの継手形式に応じた接合要領書に記載された手順に従う。
- ⑥ 切管の最小長さは、原則として1m以上とし、施工条件、経済性などを考慮して決める。
- ⑦ 異形管は、切管してはならない。

(4) 切断機および溝切機

ダクトイル鉄管の切断および溝切りの現場加工については、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知り、用途に合った使い分けをする。

8. 7 曲線布設

8. 7. 1 施工

T形、K形、ALW形継手等による曲線布設の施工では、以下の項目について直線配管の場合と手順・内容が若干異なるため、留意する必要がある。

- ・継手の接合作業
- ・管軸の心出し作業
- ・接合済みの管の固定作業

(1) 継手の接合作業

- ① 図48に示すようにまっすぐ引込み、所定の曲げ角度に屈曲させたときに屈曲外周で開く最大寸法よりも少し手前(20～30mm)で、一旦引込みを停止する。

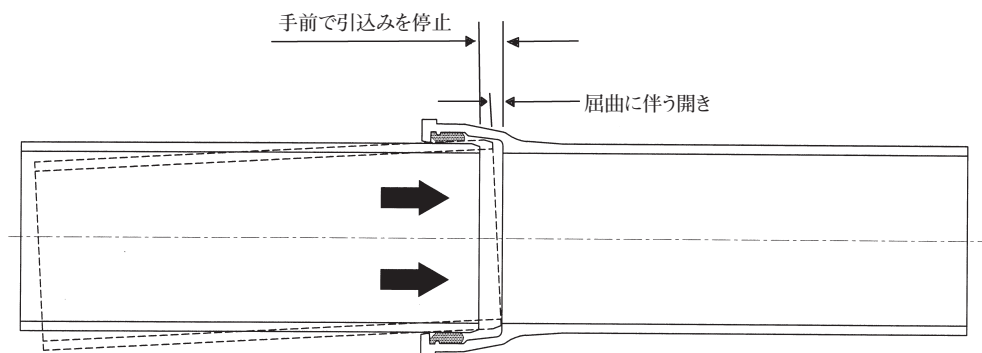


図48 曲線布設時の接合方法(引込み作業例)

- ② 継手の屈曲外側にあたるレバーホイストをゆるめる。
- ③ 屈曲させる方(内側)のレバーホイストをゆっくり引込む。このとき管内面ではジョイント間隔を、管外面では白線を確認しながら行う。
- ④ 屈曲の内側、外側両方のレバーホイストを調整しながら引込んで所定の位置(角度)まで挿入する。
また、呼び径800以上の場合、受口奥にあらかじめ屈曲角度に合わせて寸法を調整したスペーサを挟んで接合することにより、継手の入りこみを防止することができる。
なお、スペーサは接合が完了した後に除去する。

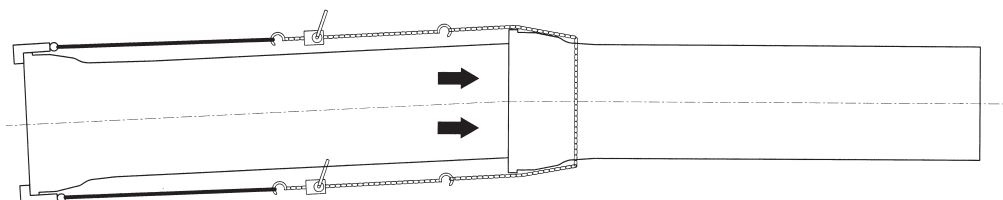


図49 曲線布設時の接合方法(屈曲角度調整作業例)

- ⑤ 挿入した管の管心をトランシットで確認しながら据付け位置の微調整を行う。微調整を行うにはレバーホイストをゆるめ、水ジャッキなどを利用して左右方向の位置あわせを行うとよい。

(2) 管軸の心出し作業

管軸の心出し作業には、基床面を仕上げた時点で管心位置を測量し、木杭などでポイントを押さえておき、これを目印として据え付ける方法、管接合時に1本ずつトランシットとレベルで測量していく方法などがある。

いずれも、接合時には管の位置の測量とジョイント間隔の測定を行い、施工管理基準の範囲内に収まっていることを確認する。すなわち、曲線布設部については全ての管(通常は最も手前の受口)について接合完了時の位置を測量し、あらかじめ設定した位置にあることを確認する。これによりジョイント間隔等の施工誤差が次のパイプに累積していかないようにする必要がある。

心出しの微調整が必要となった場合には、図50に示すように水ジャッキなどを用いて、最も手前の受口端部の位置決めを行う。

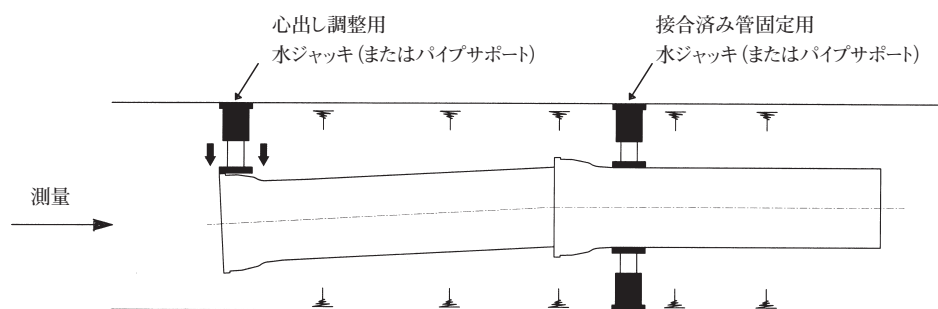


図50 曲線布設時の心出し作業例

(3) 接合済み管の固定作業

管の接合が完了した時点で、掘削法面や鋼矢板との間に水ジャッキなどを横ばりとして用い、管の位置決めと横移動防止を行う。また、管底側部への基礎材の充填・締固めは作業性・重要度の点から横ばりによる固定作業に引き続き行っていくことが望ましい。

なお、横ばりを用いたときは、管に損傷を与えないようゴム板等で養生し、埋め戻し時に必ず撤去する。

8. 7. 2 ジョイント間隔の施工管理

曲線布設時のジョイント間隔は、上下左右の4箇所測定し、その平均値を「標準値」と「管理基準値」の和と照査して施工管理を行う(図51参照)。

ここで、

「標準値」 y^* ：次式で計算される値の小数第一位を四捨五入したもの

$$y^* = D_2 / 2 \cdot \sin \theta$$

ここに、 D_2 ：管外径(mm)

θ ：屈曲角度(°) (ただし設計曲げ角度以内)

「管理基準値」 δ^* ：表68、表69の通り

管理基準値は、標準の屈曲状態から施工誤差でさらに屈曲が生じたときを考え、継手の最大抜け出し寸法が限界の1/2以下に収まるように範囲を定めた。

具体的には、各呼び径について次式で計算される値の小数第一位を四捨五入したものを算出する。そして、呼び径ごとの値を安全側に丸め、階段状に増加するように設定した。

$$\delta^* = \frac{L}{2} - \frac{D_2}{2} \cdot \sin \theta_d$$

ここに、 L ：継手の許容胴付間隔(mm)

θ_d ：設計曲げ角度(°)

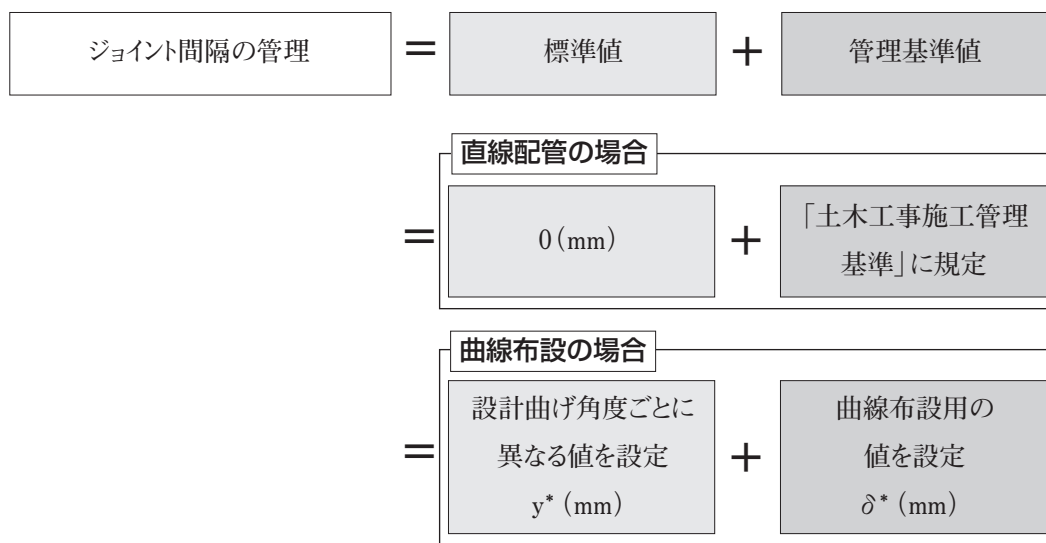


図51 曲線布設時のジョイント間隔管理方法

曲線布設においては「標準値」、「管理基準値」ともに直線配管の場合とは異なり、更に厳しい値となる。

また、呼び径800以上では埋戻し後にもジョイント間隔を測定し、上下左右の1箇所でも「土木工事施工管理基準」の規格値(表68、表69参照)を超えてはならない。

なお、ジョイント間隔の測定は、図52に示すように呼び径700以下では挿し口外面の白線を用いてA寸法を測定し、y寸法を算出する。呼び径800以上については、管内面からy寸法を測定する。

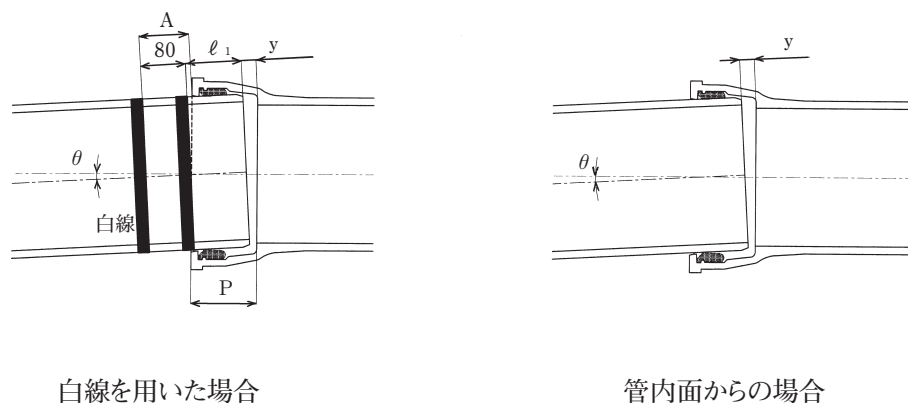


図52 ジョイント間隔測定方法

表68 曲線布設時のジョイント間隔管理基準値(案)(T形およびALW形継手の場合)

単位(mm)

呼び径	曲線布設時			(参考:農水省「土木施工管理基準」)				継手形式		
	標準値 y*	管理基準値		直線布設時の 管理基準値		規格値				
		+δ*	−δ*							
75	y*=D ₂ /2・sinθ	6	−6	11	0	16	0	—	T形 ALW形	
100		6	−6	11	0	16	0			—
150		6	−6	11	0	16	0			—
200		7	−7	10	0	14	0			—
250		7	−7	10	0	14	0			—
300		7	−7	16	0	24	0	—		
350		7	−7	16	0	24	0			
400		8	−8	16	0	24	0			
450		8	−8	16	0	24	0			
500		8	−8	20	0	30	0			
600		8	−8	20	0	30	0			
700		8	−8	20	0	30	0			
800		8	−8	20	0	30	0			
900		11	−11	25	0	40	0			
1000		11	−11	25	0	40	0			
1100		15	−15	25	0	40	0			
1200		17	−17	25	0	50	0			
1350		17	−17	25	0	50	0			
1500		20	−20	25	0	60	0			
1600		23	−23	25	0	70	0			
1650		23	−23	25	0	70	0	—		
1800		24	−24	25	0	80	0	—		
2000		25	−25	25	0	90	0	—		

表69 曲線布設時のジョイント間隔管理基準値(案)(K形継手の場合)

単位(mm)

呼び径	曲線布設時			(参考:農水省「土木施工管理基準」)			
	標準値 y^*	管理基準値		直線布設時の 管理基準値		規格値	
		$+\delta^*$	$-\delta^*$				
75	$y^*=D_2/2\cdot\sin\theta$	5	-5	14	0	19	0
100		5	-5	14	0	19	0
150		5	-5	14	0	19	0
200		5	-5	14	0	19	0
250		5	-5	14	0	19	0
300		8	-8	14	0	19	0
350		8	-8	22	0	31	0
400		8	-8	22	0	31	0
450		8	-8	22	0	31	0
500		8	-8	22	0	31	0
600		8	-8	22	0	31	0
700		8	-8	22	0	31	0
800		8	-8	22	0	31	0
900		8	-8	22	0	31	0
1000		10	-10	25	0	36	0
1100		10	-10	25	0	36	0
1200		10	-10	25	0	36	0
1350		10	-10	25	0	36	0
1500		10	-10	25	0	36	0
1600		11	-11	25	0	40	0
1650		11	-11	25	0	45	0
1800		12	-12	25	0	45	0
2000		13	-13	25	0	50	0
2100		13	-13	25	0	55	0
2200		14	-14	25	0	55	0
2400		15	-15	25	0	60	0
2600		18	-18	25	0	70	0

呼び径200、500、1000、1500の4口径のT形継手を例に施工管理基準を算定し、直線配管の場合と比較した結果を表70に示す。

表70 曲線布設時のジョイント間隔施工管理基準の例

呼び径	外径 D_2 (mm)	屈曲角度 θ	標準値 $y^*(D_2/2\cdot\sin\theta)$ (mm)	管理基準値 δ^* (mm)	ジョイント間隔の許容範囲 ¹⁾²⁾ $y^*-\delta^* \sim y^*+\delta^*$ (mm)	(参考)直線配管 時の管理基準値 (mm)	規格値 ³⁾ (mm)
200	220.0	2°30′	4.80→5	±7	0 ~ 12	0~10	0~14
500	528.0	1°30′	6.91→7	±8	0 ~ 15	0~20	0~30
1000	1,041.0	1°00′	9.08→9	±11	0 ~ 20	0~25	0~40
1500	1,554.0	1°00′	13.56→14	±20	0 ~ 34	0~25	0~60

注1) 標準値に管理基準値を加えた値であり、接合完了時の上下左右4箇所ので平均値がこの範囲になければならない。

注2) ジョイント間隔の許容範囲の下限は、0とする。

注3) 規格値は埋戻し後の値であり、原則として4箇所のうち1箇所でもこの値を超えてはならない。

8. 8 埋戻し

8. 8. 1 埋戻し土

- ① 埋戻し材は、原則として砂(塩分の少ないもの)あるいは良質土を使用する。
- ② 掘削土を埋戻し土に使用する場合は、前項に記述した良質土であることと、土塊や転石、異物などを除去したものを使用する。
- ③ 管頂から少なくとも0.3mの間は管側付近の埋戻し土と同程度の土を用いる。
- ④ れきが混入した土砂を用いる場合、最大粒径はおおむね40mm以下とする。

8. 8. 2 埋戻し方法

- ① 埋戻しは、継手の接合および管の防護工が完了したあと速やかに施工する。
- ② 埋戻しに際しては、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に慎重に施工する。
特に地上から管の片側へダンブトラックなどで一挙に多量の埋戻し土を投入すると、管が移動することがあるので行ってはならない。
- ③ 管の両側より管底部に砂を入れ、片寄って埋戻しすることなく、両側から均等に埋戻しする。
- ④ 埋戻しは数段に分けて行い、各段ごとに十分締め固め(転圧、水締めなど)を行う。
- ⑤ 防護工背面の埋戻しは、受働土圧が十分期待できるよう、良質土を用い入念に締め固める。
- ⑥ 呼び径800程度以上の場合、埋戻し、締め固め完了後、再度ジョイント間隔などを測定し、配管に異常がないことを確認、記録する。
もし、埋戻しの影響でジョイント間隔が規格値以上に開いた場合は、そのまま放置せず、監督員に連絡するとともに接合をやり直す。

8. 8. 3 管の浮き上がりに対する注意

接合した管を、そのまま埋戻しせずに放置したり、所定の土被りが確保されていない場合は、突然の降雨や地下水の復元によって管が浮上する恐れがある。

したがって、接合後はできるだけ早く埋戻しを行う。やむを得ず完全な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とともに管内に充水するか、浮き上がり防止のための必要土かぶり(表26)となるまで、埋戻しを行う。

9. 通水試験について

9. 1 テストバンドによる継目試験

- ① 管布設後の継手の接合状態を検査するもので、呼び径900以上の継手について行う。なお、以下に示す箇所等、通常の試験の実施が困難な場合は、監督職員と協議するものとする。

(i) 異形管部

(ii) 伏せ越し部

(iii) 傾斜地配管部

- ② 静水圧が0.5MPa以上の場合は0.5MPaを、また静水圧が0.5MPa未満の場合はその静水圧を試験水圧とするのが一般的である。

- ③ 水圧保持時間は5分間とし、5分経過後に試験水圧の80%以上の水圧を保持すればよい。＜設計基準＞

- ④ 試験を行うにあたっては、次の条件が満たされていることを事前に確認する。

$$N < F \cdots \cdots (9-1)$$

$$N = A \cdot P + W \cdot \sin \theta \cdots \cdots (9-2)$$

$$F = \mu \cdot W \cdot \cos \theta \cdots \cdots (9-3)$$

ここに、

N : テスト水圧による推力 (kN)

F : 管の鉛直荷重による抵抗 (kN)

A : 管端面の断面積 (m²)

P : 試験水圧 (kN/m²)

W : 1本あたり管の自重と管上載土の重量 (kN)

θ : 水平と管布設軸とのなす角 (°)

μ : 土と管との摩擦係数 (ダクタイル鉄管の場合 0.5)

9.2 水張り試験

- ① 管の吸水と残留空気を排除するため、水張り後少なくとも一昼夜経過してから水張り試験を行うことが望ましい。
- ② 一定の試験水压を24時間維持し、この間の減水量(補給水量)を測定する。
- ③ 試験水压は静水压とすることが望ましいが、やむを得ず静水压より低い試験水压を用いる場合は、式(9-4)により修正する。

$$Q = Q' \sqrt{H/H'} \quad \dots\dots\dots (9-4)$$

ここに、

Q : 修正減水量(ℓ)

Q' : 測定減水量(ℓ)

H : 静水頭(m) (図53参照)

H' : 試験水頭(m) (図53参照)

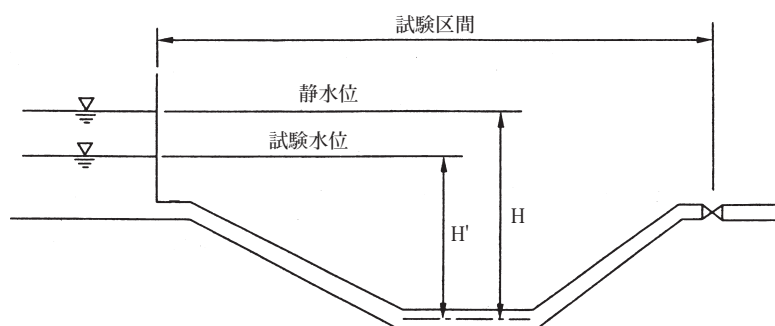


図53 試験水頭のとり方

- ④ 許容補給水量は、ダクタイル鉄管管路では管径1mあたり、延長1kmあたり、5～10 m^3 /日を標準とする。

9.3 水压試験

水压試験は、設計水压を負荷してパイプラインの異常の有無を点検する。

技術資料の内容は、製品の仕様変更などで予告なく変更される場合があります。当協会のホームページから最新の技術資料がダウンロードできますので、お手持ちの技術資料をご確認ください。

一般社団法人

日本ダクタイル鉄管協会

<https://www.jdpa.gr.jp>

本部・関東支部	東京都千代田区九段南4丁目8番9号（日本水道会館） 電話 03（3264）6655（代） FAX 03（3264）5075
関西支部	大阪市中央区南船場4丁目12番12号（ニッセイ心斎橋ウエスト） 電話 06（6245）0401 FAX 06（6245）0300
北海道支部	札幌市中央区北2条西2丁目41番地（札幌2・2ビル） 電話 011（251）8710 FAX 011（522）5310
東北支部	仙台市青葉区本町2丁目5番1号（オーク仙台ビル） 電話 022（261）0462 FAX 022（399）6590
中部支部	名古屋市中村区名駅3丁目22番8号（大東海ビル） 電話 052（561）3075 FAX 052（433）8338
中国四国支部	広島市中区立町2番23号（野村不動産広島ビル） 電話 082（545）3596 FAX 082（545）3586
九州支部	福岡市中央区天神2丁目14番2号（福岡証券ビル） 電話 092（771）8928 FAX 092（406）2256