日本ダクタイル鉄管協会技術資料

下水道用

ダクタイル鉄管管路

設計と施工

JDPA T 30

一般社団法人
日本ダクタイル鉄管協会

目　　次

はじめに …… 1

1．ダクタイル鉄管の規格 …… 2

2．ダクタイル鉄管の特長 …… 3
2.1　優れた耐圧性 …… 3
2.2　豊富な管厚・継手 …… 6
2.2.1　管厚 …… 6
2.2.2　管長 …… 9
2.2.3　代表的な継手と特長 …… 10
2.2.4　異形管について …… 15
2.2.5　ゴム輪について …… 16
2.2.6　使用例 …… 17
2.3　優れた施工性 …… 18
2.3.1　掘削 …… 18
2.3.2　基礎工 …… 18
2.3.3　埋め戻し …… 18
2.3.4　管の取り扱い …… 18
2.3.5　管の接合 …… 18
2.3.6　作業条件・環境 …… 19
2.3.7　使用機材 …… 19
2.3.8　管路調整 …… 19
2.4　地盤沈下への順応性 …… 20
2.5　長距離推進 …… 23
2.6　優れた耐久性 …… 24

3．圧送用ダクタイル鉄管管路の設計 …… 25
3.1　圧送管路の計画 …… 25
3.1.1　圧送方式とは …… 25
3.1.2　圧送方式の基本的な特長と利点 …… 25
3.1.3　圧送方式と自然流下方式との比較 …… 26
3.1.3.1　特性比較 …… 26
3.1.3.2　経済性比較 …… 26
3.1.4　圧送方式の計画 …… 27
3.1.4.1　検討手順 …… 27
3.1.4.2　圧送方式での整備を検討する必要性の判断 …… 28
3.1.4.3　代替案の評価手法 …… 28

3.1.5　圧送システムの構成 …… 29
3.1.5.1　システムの種類 …… 29
3.1.5.2　圧送ポンプ場 …… 31
3.1.5.3　マンホールポンプ …… 32
3.2　圧送管路の基本設計 …… 33
3.2.1　ヘーゼン・ウィリアムス公式による水理計算 …… 33
3.2.2　管路の埋設深さ …… 35
3.2.3　圧送管路でのバルブ類の選択〔参考〕 …… 37
3.3　耐震設計 …… 39
3.3.1　日本下水道協会「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014年版－」による耐震設計 …… 39
3.3.2　ダクタイル鉄管継手の耐震性能 …… 44
3.3.3　管路の耐震設計の手順 …… 48
3.3.4　地質・地形上から耐震性を高める必要がある場所 …… 49
3.4　管厚設計 …… 50
3.4.1　埋設管の管厚計算 …… 50
3.4.1.1　ダクタイル鉄管の管厚計算式の誘導 …… 50
3.4.1.2　たわみ計算式 …… 53
3.4.1.3　内圧 …… 54
3.4.1.4　外圧 …… 54
3.4.2　露出配管の構造計算 …… 60
3.4.2.1　内圧によって管に発生する円周方向応力（引張応力） …… 60
3.4.2.2　管自重と管内水重によって管に発生する軸方向応力（曲げ応力） …… 60
3.4.2.3　安全性の照査 …… 62
3.5　異形管防護工の設計 …… 62
3.5.1　水圧による不平均力 …… 63
3.5.2　離脱防止継手による防護工の計算（埋設管路） …… 64
3.5.2.1　離脱防止継手を用いた管路の一体化長さ …… 66
3.5.3　防護コンクリートの計算（埋設管路） …… 68
3.5.3.1　水平に不平均力がかかる場合 …… 68
3.5.3.2　垂直上向きに不平均力がかかる場合 …… 69
3.5.3.3　垂直下向きに不平均力がかかる場合 …… 70
3.5.3.4　コンクリート防護工の計算例 …… 70
3.5.4　露出配管防護工の計算式 …… 80
3.5.4.1　鋼製受台に不平均力が水平にかかる場合 …… 80
3.5.4.2　防護コンクリートに不平均力が水平にかかる場合 …… 83
3.6　軟弱地盤における配管設計 …… 85
3.6.1　軟弱地盤配管設計の手順 …… 85
3.6.2　支持力の計算式 …… 85
3.6.3　沈下量の計算式 …… 86

3.6.4　管継手の検討 …… 90
3.6.5　液状化対策工法 …… 92
3.6.6　基礎工法の検討 …… 93
3.7　トンネル内配管の設計 …… 93
3.7.1　トンネルの断面形状 …… 93
3.7.2　管の安全性検討の考え方 …… 95
3.7.2.1　トンネルが永久構造物である場合 …… 95
3.7.2.2　トンネルが仮設構造物である場合 …… 96
3.7.3　曲線部の通過および管の組み合せ検討の考え方 …… 98
3.7.3.1　曲線部を通過可能な管長の検討 …… 98
3.7.3.2　直管または切管による曲線配管の検討 …… 99
3.7.3.3　曲管との組合せ配管 …… 99
3.8　水管橋、橋梁添架の設計 …… 100
3.8.1　ダクタイル鉄管製水管橋の特長 …… 100
3.8.2　ダクタイル鉄管製水管橋の構造 …… 100

4．ダクタイル鉄管の施工 …… 103
4.1　管布設工事に関する一般事項 …… 103
4.1.1　掘削 …… 103
4.1.2　管の基礎 …… 105
4.1.3　管類の取り扱いと運搬 …… 106
4.1.4　接合部品の取り扱い …… 107
4.1.5　据え付け …… 107
4.1.6　曲げ配管 …… 108
4.1.7　埋め戻し …… 109
4.1.8　切管 …… 110
4.2　継手接合 …… 111
4.3　防食設計 …… 111
4.3.1　腐食機構 …… 111
4.3.1.1　腐食反応 …… 111
4.3.1.2　土壌腐食に影響を及ぼす諸因子 …… 111
4.3.1.3　マクロセル腐食 …… 113
4.3.1.4　電食 …… 114
4.3.1.5　下水管の内面腐食 …… 114
4.3.2　塗装およびライニング …… 115
4.3.2.1　内面の防食方法 …… 115
4.3.2.2　埋設管の外面塗装 …… 115
4.3.2.3　特殊な外面塗装 …… 116
4.3.3　腐食性土壌に配管する場合の外面防食法 …… 116

4.3.3.1　腐食性土壌の簡易判定法 …… 116
4.3.3.2　土壌分析による評価方法 …… 117
4.3.3.3　ポリエチレンスリーブ …… 117
4.4　管路の検査 …… 119
4.4.1　管路の水圧試験 …… 120
4.4.2　継手部の水圧テストバンドによる水密性試験（呼び径900以上） …… 120
4.5　圧送管路の維持管理 …… 121
4.5.1　スラッジ排出 …… 121
4.5.1.1　高流速運転による排出 …… 121
4.5.1.2　排出設備 …… 122
4.5.1.3　ポリピグによるスラッジの排出法 …… 123
4.5.2　空気弁の維持管理 …… 124
4.5.3　硫化水素抑制対策 …… 125

5．推進工法用ダクタイル鉄管の設計と施工 …… 126
5.1　推進工法用ダクタイル鉄管 …… 126
5.2　推進工法の種類 …… 126
5.2.1　小口径管推進工法（呼び径700以下） …… 126
5.2.2　大中口径管推進工法（呼び径800以上） …… 126
5.3　推進管に作用する荷重 …… 127
5.3.1　直土圧 …… 127
5.3.2　緩み土圧 …… 129
5.4　推進力の計算式 …… 130
5.4.1　基本式 …… 130
5.4.2　下水道協会式 …… 132
5.4.3　泥水・土圧式算定式 …… 133
5.4.4　泥濃式算定式 …… 135
5.4.5　高耐荷力泥水・泥土圧式算定式 …… 135
5.4.6　推進力に対する耐荷力 …… 136
5.5　カーブ推進工法 …… 137
5.5.1　工法の概要 …… 137
5.5.2　カーブ推進時の許容曲率半径（目安） …… 137
5.5.3　カーブ推進の施工例 …… 138
5.6　施工 …… 139
5.6.1　掘進機械との接合 …… 139
5.6.2　先頭管と最後管 …… 140
5.6.3　留意事項 …… 141

はじめに

ダクタイル鉄管は、下水道界に古くから用いられ、送水管、送泥管など圧送管路や処理場内配管を中心に幅広く使用されている。材質の変化はあるものの、記録に残っている最も古い鋳鉄管の使用例は、大正11年（1922年）に東京三河島処理場が散水ろ床法による処理を開始したときの田町ポンプ所での呼び径1100である。また、圧送管路としては昭和28年に完成した東京三河島処理場から砂町処理場への汚泥圧送管として採用された。その後、昭和38年に第１次下水道整備５カ年計画が策定されてからさらに下水道整備が進み、排水区で集めた汚水を別の既設下水道幹線へ流入させるための汚水圧送管、活性汚泥法などによって処理場で発生する汚泥を別の処理場に集めて統合処理するための汚泥圧送管などにダクタイル鉄管が使用されてきた。

本書は、下水道に使用するダクタイル鉄管について、規格、特長、配管設計および施工に関する事項をより専門的に解説したものである。なお、本書で取り扱うダクタイル鉄管は、日本下水道協会規格品※1とした。

※１　日本下水道協会規格を以下に示す。

・日本下水道協会規格「下水道用ダクタイル鋳鉄管（呼び径75～2600）JSWAS G－1」

・日本下水道協会規格「下水道推進工法用ダクタイル鋳鉄管（呼び径250～2600）JSWAS G－2」

「下水道用 ダクタイル鉄管管路のてびき」と合わせて、ご活用頂ければ幸いである。

1．ダクタイル鉄管の規格

下水道に使用するダクタイル鉄管の主な規格を表１に示す。

表１　規格の種類

【開削、トンネル内配管用】

規格番号	規格名称	接合形式	呼　び　径
JSWAS G－1	下水道用ダクタイル鋳鉄管	K形	75～2600
		U形	800～2600
		T形	75～2000
		UF形	800～2600
		S形	1100～2600
		US形	800～2600
		フランジ形	75～2600
		NS形	75～1000
		GX形※	75～ 450

備考　フランジ形は、異形管のみである。

※　呼び径350および450はJSWAS G－1類似品認定

【推進工法用】

規格番号	規格名称	接合形式	呼　び　径
JSWAS G－2	下水道推進工法用ダクタイル鋳鉄管	T形	250～ 700
		U形	800～2600
		US形	

また、下水道に使用するダクタイル鉄管の塗装の種類をまとめると表２のようになる。

表２　管の塗装の種類

管の種類			塗装の種類	適用規格
直管	内面	JSWAS G－1 JSWAS G－2	エポキシ樹脂粉体塗装	JSWAS G－1 の附属書２の２.の内面塗装１ （エポキシ樹脂粉体塗装）
			モルタルライニング	JSWAS G－1 の附属書３ （下水道用ダクタイル鋳鉄管モルタルライニング）
	外面	JSWAS G－1	合成樹脂塗装	JSWAS G－1 の附属書４の２.外面塗装１ （合成樹脂塗装）
			外面耐食塗装（GX形）	JSWAS G－1 の附属書４の２.の外面塗装２
			外面特殊塗装 （露出配管、水中配管、 湿度の高いところ等）	JSWAS G－1 の附属書４の２.外面塗装３ （外面特殊塗装）
異形管	内面	JSWAS G－1	エポキシ樹脂粉体塗装	JSWAS G－1 の附属書２の２.の内面塗装１ （エポキシ樹脂粉体塗装）
			液状エポキシ樹脂塗装	JSWAS G－1 の附属書２の２.内面塗装２ （液状エポキシ樹脂塗装）
	外面	JSWAS G－1	合成樹脂塗装	JSWAS G－1 の附属書４の２.外面塗装１ （合成樹脂塗装）
			外面耐食塗装（GX形）	JSWAS G－1 の附属書４の２.の外面塗装２
			外面特殊塗装 （露出配管、水中配管、 湿度の高いところ等）	JSWAS G－1 の附属書４の２.外面塗装３ （外面特殊塗装）

備考　JSWAS G－1：日本下水道協会規格「下水道用ダクタイル鋳鉄管（呼び径75～2600）」
JSWAS G－2：日本下水道協会規格「下水道推進工法用ダクタイル鋳鉄管（呼び径250～2600）」

２．ダクタイル鉄管の特長

2.1　優れた耐圧性

ダクタイル鉄管の物理的・機械的性質を以下に示す。

表３　ダクタイル鉄管の物理的・機械的性質

材質 機械的性質	ダクタイル鉄管	鋼管	硬質塩化ビニル管	ポリエチレン管
引張強さ（N/mm²）	420以上	400以上	49以上（15℃）	20以上[1)、2)]
曲げ強さ（N/mm²）	600以上	400以上	78～98	24[4)]
伸び（%）	10以上	18以上	50～150	350以上[1)、3)]
弾性係数（N/mm²）	$1.5\sim1.7\times10^{5}$	2.1×10^{5}	$2.7\sim3\times10^{3}$	1.30×10^{3} [4)]
硬さ	ブリネル230以下	ブリネル140以下	ロックウエルR115	デュロメータ63[4)]
ポアソン比	0.28～0.29	0.3	0.37	0.47[4)]
比重	7.15	7.85	1.43	0.96[4)]
線膨張係数（1/℃）	1.0×10^{-5}	1.1×10^{-5}	$6\sim8\times10^{-5}$	1.3×10^{-4} [4)]

注　１）JWWA K 144「水道配水用ポリエチレン管」
２）引張降伏強さ
３）引張破断伸び
４）PE100の基本物性値例

大きな外圧に対し容易に破壊しないことは、直管のへん平試験および管体曲げ試験の結果が示している。

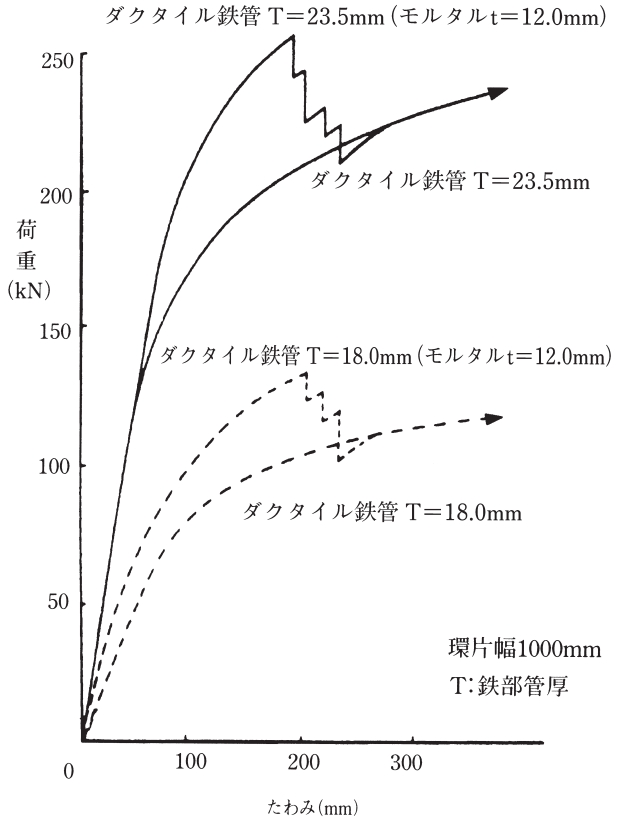


図１　呼び径1500環片圧壊試験

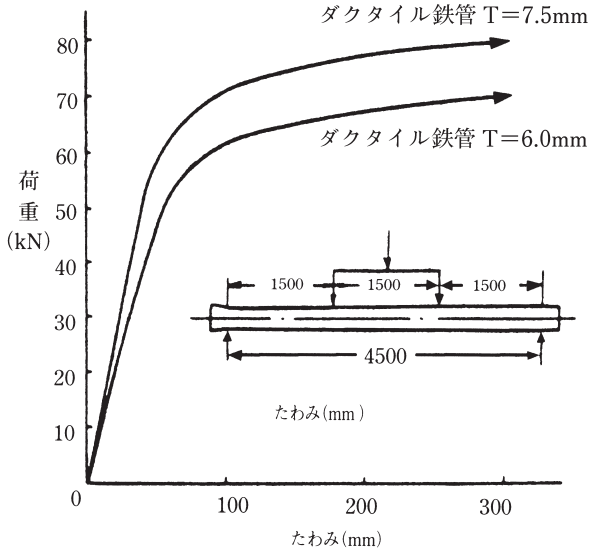


図２　呼び径150曲げ試験

また、計算により求めた破裂水圧が示すように、大きな内圧に対しても安全である。

表４　破裂水圧（計算値）の一例

呼び径 ＼ 管種	200		500		1000		1500		2000	
	管厚（mm）	破裂水圧（MPa）	管厚（mm）	破裂水圧（MPa）	管厚（mm）	破裂水圧（MPa）	管厚（mm）	破裂水圧（MPa）	管厚（mm）	破裂水圧（MPa）
１　種	7.5	31.5	9.5	16.0	16.5	13.9	23.5	13.2	30.5	12.8
２　種	－	－	8.5	14.3	14.5	12.2	20.5	11.5	26.5	11.1
３　種	6.0	25.2	8.0	13.4	13.0	10.9	18.0	10.1	23.5	9.9
４　種	－	－	－	－	12.0	10.1	16.5	9.2	21.0	8.8
５　種	－	－	－	－	10.5	8.8	14.0	7.8	18.0	7.6
ＰＦ種	－	－	12.0	20.2	18.0	15.1	24.0	13.4	30.5	12.8
Ｓ　種	6.5	27.3	8.5	14.3	14.5	12.2	－	－	－	－

表４の計算式は以下となる。

$$P=\frac{2T\cdot S}{D}$$

ここに、

Ｐ ：破裂水圧（計算値）（MPa）

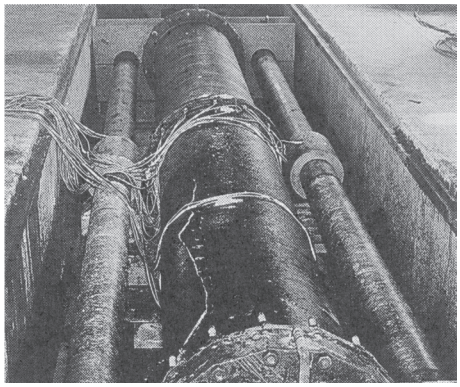
Ｔ ：管厚（mm）

Ｄ ：呼び径（mm）

Ｓ ：引張強さ　420N/mm^2

表５　破裂水圧試験結果

呼び径	管厚（mm）	水圧（MPa）	結　　果
600	8.5	11.77	管体は破裂したが、継手からの漏洩は無し。



また、推進工法用管についても、各種試験により高い強度を有していることが確認されている。

表６　管体の軸圧縮試験結果

項　目 ＼ 管　種	3種
呼　び　径	800
管　厚（mm）	11
圧縮荷重（kN）	5,790
結　　果	破壊せず

2.2　豊富な管厚・継手

2.2.1　管厚

ダクタイル鉄管は、使用条件や用途に応じた最適な管厚を選定できるように、表７、８に示すような管種を規格化している。

表７　管の種類と記号

種　　類	記　　号	JSWAS G－1	JSWAS G－2
1　種　管	D1	○	○
2　種　管	D2	○	○
3　種　管	D3	○	○
4　種　管	D4	○	○
5　種　管	D5	○	○
S　種　管	DS	○	○
P F 種 管	DPF	○	○
異　形　管	DF	○	－

備考　JSWAS G－1：日本下水道協会規格「下水道用ダクタイル鋳鉄管（呼び径75～2600）」
JSWAS G－2：日本下水道協会規格「下水道推進工法用ダクタイル鋳鉄管（呼び径250～2600）」

表８　直管の管厚表

単位：mm

管厚							
呼び径	JSWAS G－1、JSWAS G－2						
	１種管	２種管	３種管	４種管	５種管	Ｓ種管	PF種管
75	7.5	－	6.0	－	－	6.0	－
100	7.5	－	6.0	－	－	6.0	－
150	7.5	－	6.0	－	－	6.5	－
200	7.5	－	6.0	－	－	6.5	－
250	7.5	－	6.0	－	－	6.5	－
300	7.5	－	6.5	－	－	7.0	－
350	7.5	－	6.5	－	－	7.0	－
400	8.5	7.5	7.0	－	－	7.0	－
450	9.0	8.0	7.5	－	－	7.5	－
500	9.5	8.5	8.0	－	－	8.5	－
600	11.0	10.0	9.0	8.5	7.5	10.0	－
700	12.0	11.0	10.0	9.0	8.0	11.0	－
800	13.5	12.0	11.0	10.0	9.0	12.0	15.0
900	15.0	13.0	12.0	11.0	9.5	13.0	16.0
1000	16.5	14.5	13.0	12.0	10.5	14.5	18.0
1100	18.0	15.5	14.0	13.0	11.0	－	19.0
1200	19.5	17.0	15.0	13.5	11.5	－	20.0
1350	21.5	18.5	16.5	15.0	12.5	－	21.5
1500	23.5	20.5	18.0	16.5	14.0	－	24.0
1600	25.0	22.0	19.0	17.5	14.5	－	25.0
1650	25.5	22.5	19.5	18.0	15.0	－	25.5
1800	28.0	24.0	21.0	19.5	16.0	－	28.0
2000	30.5	26.5	23.5	21.0	18.0	－	30.5
2100	32.0	28.0	24.5	22.0	18.5	－	31.5
2200	33.5	29.0	25.5	23.0	19.5	－	32.5
2400	36.5	31.5	27.5	25.0	21.0	－	34.5
2600	39.5	34.0	29.5	27.0	23.0	－	36.5

備考　１．PF種管は、UF形に使用する。

２．Ｓ種管は、GX形およびNS形（呼び径500～1000）に使用する。

直管の保証水圧を表９に示す。（JSWAS G－1 解説に示されている表である）
直管の保証水圧は、管の計算破裂水圧の70%（ただし、最高10MPa）としている。
なお、正規に接合された継手の保証水圧も管と同様である。

表９　直管の保証水圧

単位：MPa

呼び径	１種管	２種管	３種管	４種管	５種管	S種管	PF種管
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	－
350	10.0	－	8.9	－	－	9.8	－
400	10.0	9.3	8.5	－	－	8.5	－
450	10.0	8.9	8.2	－	－	8.2	－
500	9.8	8.6	8.0	－	－	8.6	－
600	9.5	8.6	7.7	7.2	6.2	8.6	－
700	8.9	8.2	7.4	6.6	5.7	8.2	－
800	8.8	7.8	7.1	6.5	5.7	7.8	9.8
900	8.7	7.5	6.9	6.3	5.4	7.5	9.3
1000	8.6	7.6	6.8	6.2	5.4	7.6	9.4
1100	8.6	7.3	6.6	6.1	5.2	－	9.1
1200	8.5	7.4	6.5	5.8	5.0	－	8.7
1350	8.4	7.2	6.4	5.8	4.8	－	8.4
1500	8.2	7.2	6.3	5.7	4.8	－	8.4
1600	8.2	7.2	6.2	5.7	4.7	－	8.2
1650	8.2	7.2	6.2	5.7	4.7	－	8.2
1800	8.2	7.0	6.1	5.7	4.7	－	8.2
2000	8.0	7.0	6.2	5.5	4.7	－	8.0
2100	8.0	7.0	6.1	5.5	4.6	－	7.9
2200	8.0	6.9	6.0	5.4	4.6	－	7.7
2400	8.1	6.9	6.0	5.5	4.6	－	7.6
2600	8.0	6.9	5.9	5.4	4.6	－	7.4

備考　保証水圧は次の式で計算した。

$$p=\frac{2t\cdot S}{D_O}\times 0.7$$

$D_O=D_2-2t$

$t=0.9T\ (T>10\text{mm})$

$t=T-1.0\ (T\leqq 10\text{mm})$

ここに

p　：保証水圧（最高10MPa）
D_0　：管内径（mm）
D_2　：管外径（mm）
t　：計算に用いる管厚（mm）
T　：規格管厚（mm）
S　：管材の引張強度（420N／mm^2）

2.2.2　管長

ダクタイル鉄管の直管の有効長は、管の種類により異なっている。

表10　直管の有効長

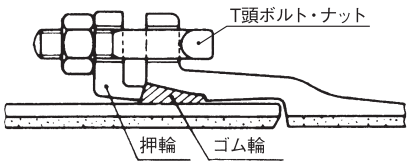
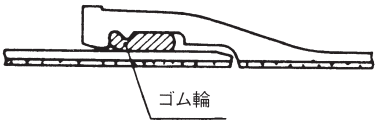
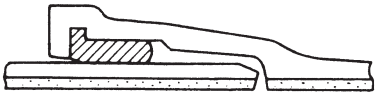
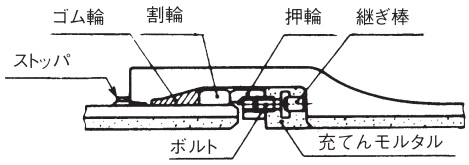
単位：mm

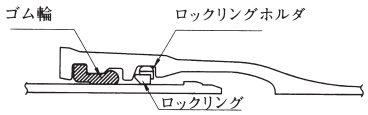
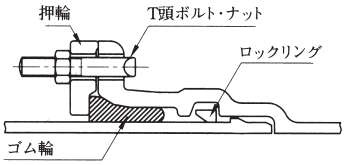
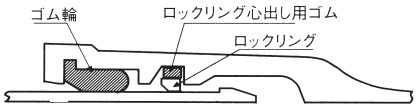
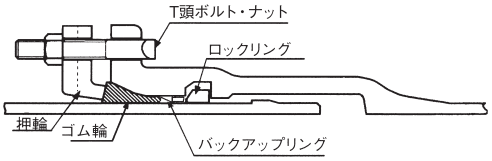
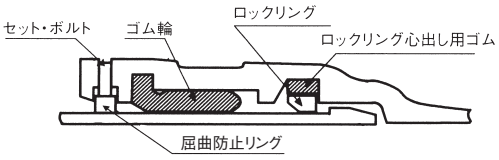
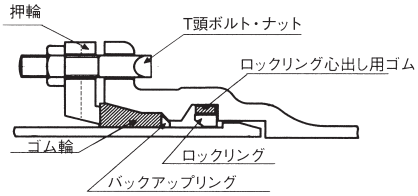
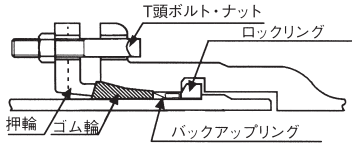
呼び径	JSWAS　G－1	JSWAS G－2
75	4000	－
100	4000	－
150	5000	－
200	5000	－
250	5000	4000・5000
300	6000	4000・6000
350	6000	4000・6000
400	6000	4000・6000
450	6000	4000・6000
500	6000	4000・6000
600	6000	4000・6000
700	6000	4000・6000
800	6000	4000・6000
900	6000	4000・6000
1000	6000	4000・6000
1100	6000	4000・6000
1200	6000	4000・6000
1350	6000	4000・6000
1500	6000	4000・6000
1600	4000・5000	4000・5000
1650	4000・5000	4000・5000
1800	4000・5000	4000・5000
2000	4000・5000	4000・5000
2100	4000・5000	4000・5000
2200	4000・5000	4000・5000
2400	4000	4000
2600	4000	4000

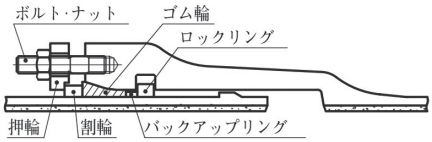
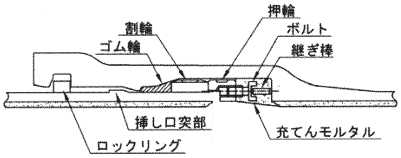
2.2.3　代表的な継手と特長

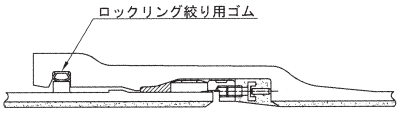
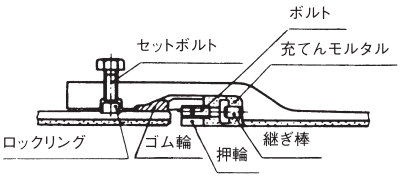
ダクタイル鉄管の接合形式には、次のようなものがある。

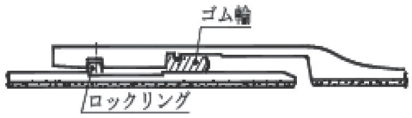
表11　ダクタイル鉄管の継手形式

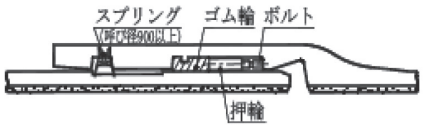
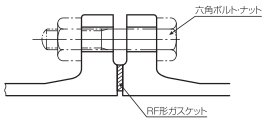
接合形式	呼び径	特　長	用途および使用についての要点
K　形	75～2600	ゴム輪を押輪とボルトで締め付けて接合するメカニカルタイプである。 作業が迅速で、継手の水密性が高く、かつ、伸縮性および可とう性がある。	一般管路に使用され、大口径にも適している。
			
T　形	75～2000	受口の内面にゴム輪を装着し、テーパ状の挿し口を挿入することで簡単に接合できるプッシュオンタイプである。 作業が迅速で、継手の水密性が高く、かつ、伸縮性および可とう性がある。	直線部の多い管路に適している。 呼び径300以上の異形管は、製造されていないのでメカニカルタイプのものを使用する。
【呼び径 75～250】  **【呼び径 300～600】** **【呼び径 700～2000】** 			
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している。
			

接合形式	呼び径	特　長	用途および 使用についての要点
ＧＸ形	75～450	大きな伸縮性および可とう性をもち、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。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している。
直管  異形管  			
ＮＳ形	75～1000	大きな伸縮性および可とう性をもち、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。 継手形式は、呼び径75～250の直管および異形管、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している。
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)  			

<table>
<tr><th>接合形式</th><th>呼び径</th><th>特　長</th><th>用途および
使用についての要点</th></tr>
<tr><td>S　形</td><td>1100～2600</td><td rowspan="2">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。</td><td rowspan="2">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している。</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>US形</td><td>800～2600</td><td rowspan="2">伸縮性および可とう性をもち、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合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。</td><td rowspan="2">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している。</td></tr>
<tr><td colspan="2">【呼び径 800～1000】
 

【呼び径 1100以上】
 
</td></tr>
<tr><td>UF形</td><td>800～2600</td><td rowspan="2">大きな離脱防止力をもつメカニカルタイプで、U形の受口と挿し口にロックリングが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又は軽減できる。</td><td rowspan="2">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。</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>接合形式</th><th>呼び径</th><th>特　長</th><th>用途および
使用についての要点</th></tr>
<tr><td>ＰＮ形</td><td>300～1500</td><td rowspan="2">伸縮性および可とう性をもつプッシュオンタイプで、最終的には受口と挿し口がかかりあって離脱防止の役目をする。
離脱防止力は3DkN以上（Ｄ：呼び径）で、継手の水密性は、Ｔ形と同じである。
ロックリングの挿入やセットボトルによるロックリングの締め付けが不要である。</td><td rowspan="2">既設老朽管、新設鉄筋コンクリート管などをさや管として新管を配管するパイプ・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している。
呼び径300～1100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。
配管施工は、さや管に押し込む方式、およびさや管内に持ち込んで接合する方式がある。</td></tr>
<tr><td colspan="2">【呼び径 300～600】
 

【呼び径 700～1500】
 
</td></tr>
<tr><td>フランジ形</td><td>75～2600</td><td rowspan="2">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、伸縮性および可とう性はない。</td><td rowspan="2">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、フランジがRF形のみの異形管、形式２は、フランジにＧＦ形を含む異形管である。
ＲＦ形－ＧＦ形の組合せで使用し、7.5Kの呼び径75～600の場合は、ＲＦ形－ＲＦ形の組合せでも使用できる。</td></tr>
<tr><td colspan="2">【RF形－RF形の組み合わせ（形式1）】
 

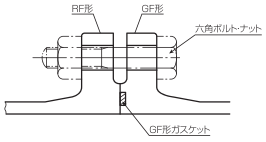
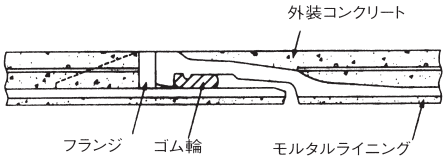
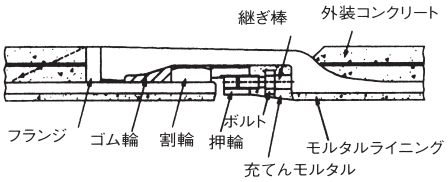
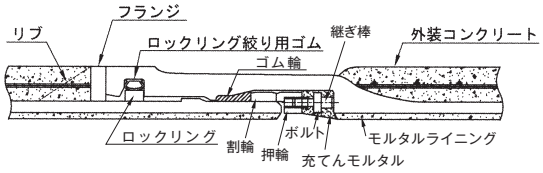
【RF形－GF形の組み合わせ（形式2）】
 
</td></tr>
</table>

表12　推進工法用ダクタイル鉄管の継手形式

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	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。	・一般用
			
U　形	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。 挿し口外面のフランジを介して水力を伝達をする。	・一般用
			
US形	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かけ合せにより、継手の離脱を防止する。 継手の水密性は、U形と同じである。	・耐地盤変動用（耐震用・軟弱地盤用など）
			

2.2.4　異形管について

主な異形管の種類を各接合形式ごとに表13に示す。

表13　ダクタイル鉄管の異形管

	K形	T形	U形	NS形	S形	UF形	US形	GX形
二受T字管	○	○	○	○	−	○	−	○
片落管	○	○	○	○	−	○	−	○
90°　曲管	○	○	○	○	−	○	−	○
45°　曲管	○	○	○	○	−	○	−	○
22 1/2°　曲管	○	○	○	○	−	○	−	○
11 1/4°　曲管	○	○	○	○	−	○	−	○
5 5/8°　曲管	○	−	○	○	−	○	−	○
90°　両受曲管	−	−	−	−	−	○	−	−
45°　両受曲管	−	−	−	○	−	○	−	○
22 1/2°　両受曲管	−	−	−	○	−	○	−	○
11 1/4°　両受曲管	−	−	−	−	−	○	−	−
5 5/8°　両受曲管	−	−	−	−	−	○	−	−
仕切弁副管（A1号、A2号）	○	−	○	○	−	○	−	−
フランジ付きT字管	○	○	○	○	−	○	−	○
排水Ｔ字管	○	○	○	○	−	○	−	○
継ぎ輪	○	○	○	○	○	−	○	○
短管（１号、２号）	○	○	○	○	−	○	−	−
栓	○	○	−	○	−	−	−	−
帽	−	−	−	○	−	−	−	○
両受短管	−	−	−	−	−	−	−	○
乙字管	−	−	−	−	−	−	−	○

備考　呼び径によっては、規格化されていないものもある。

2.2.5　ゴム輪について

ゴム輪については、用途に応じた継手用ゴム輪が準備されており、流体に応じた適切な材質のゴム輪を選ぶことができる。

表14　ゴム輪の使用区分

種　　類	条　　件	ゴム輪の材料
汚水・汚泥	－	SBR、EPDM
	溶剤、鉱物油などが混入する場合	NBR
雨水・処理水	－	SBR、EPDM
空　　気	温度60℃以上の場合	NBR、EPDM
	温度60℃以下の場合	SBR、EPDM
返流水（注）	－	NBR、EPDM

（注）返流水は、汚泥の各処理過程で生じる濃縮分離液、消化脱離液、脱水ろ液などを合わせて水処理施設に戻す排水をいう。

表15　ゴム輪材料の特性

区　分	ゴム／項目	SBR（スチレンブタジエンゴム）	NBR（アクリロニトリルブタジエンゴム）	EPDM（エチレンプロピレンゴム）
物　性	硬さ　(Hs)	30～ 90	40～ 90	30～ 90
	引張強さ　(MPa)	2～ 20	3～ 17	3～ 20
	伸び　(%)	50～400	50～400	50～500
最高温度	乾熱使用温度　(℃)	80	110	120
	湿熱使用温度　(℃)	90	120	130
	最低使用温度　(℃)	－60	－20	－60
化学変化	耐老化性	○	○	◎
	耐オゾン性	△	×	◎
	耐候性	○	○	◎
	耐微生物性	◎	△～○	○
膨　潤	ガソリン・軽油	×	○	×
	トルエン・ベンゼン	×	△	×
	アセトン・MEK	○	×	○
	アルコール	○	△	○

備考　物性値は、JIS K 6380（工業用ゴムパッキン材料）の規格値を示した。

2.2.6　使用例

下水道におけるダクタイル鉄管の採用実績の例を表16に示す。

表16　ダクタイル鉄管の圧送管路などの用途別使用例

汚水圧送管			
事　業　体	呼び径（mm）	延長（m）	備　　考
A　県	600	2,700	
B　市	400～500	10,000	処理場間
C　市	150	3,000	
D　市	300	3,500	
E　県	300・350	4,600	
F　町	150～300	2,300	
G　県	350	2,000	
H　町	450	1,500	２条配管
I　県	1000	1,600	
J　市	400	2,500	２条配管、一部海底配管
K　県	300	900	２条配管
L　市	300	1,000	
M　市	150	300	マンホールポンプによる圧送（２条配管）
N　県	250	2,000	マンホールポンプによる圧送
O　市	200	1,500	
P　市	200	3,500	
Q　市	800	1,800	多重圧送
R　町	150・200	2,000	
S　市	350	1,500	マンホールポンプによる多段圧送
T　市	300・350	1,500	
処理水圧送管			
事　業　体	呼び径（mm）	延長（m）	備　　考
A　県	350～800	6,000	放流管
B　県	300	2,000	シールド内２条配管
C　市	600	2,700	
D　市	400	3,000	２条配管
E　市	250～700	1,500	
F　町	250	2,000	
G　市	300	2,800	
H　県	700	4,800	
I　県	1500	1,500	放流管
J　県	1100	2,500	シールド内配管
汚泥圧送管			
事　業　体	呼び径（mm）	延長（m）	備　　考
A　市	300	6,000	処理場間
B　県	250	16,000	処理場～処理センター間
C　県	150～350	37,000	広域汚泥処理送泥管
D　市	200～700	70,000	処理場～処理センター間
E　市	300	38,000	処理場～処理センター間
その他			
事　業　体	呼び径（mm）	延長（m）	備　　考
A　市	350	2,000	河川水圧送
B　市	2000	400	雨水放流管（推進）

2.3　優れた施工性

2.3.1　掘削

⑴　掘削幅

掘削幅は、埋設管の幅の外にボルト締め付けのための継手掘り程度でよい。GX形、T形およびU形管では、狭いスペースでも配管できるので、掘削幅を小さくできる。

⑵　掘削深さ

管の強度が大きいため、路面荷重に対しても安全性が高く、場合によっては浅埋も可能である。浅埋にすることによって、掘削土工費の節減、掘削時間の短縮および土留めの簡素化が可能である。

2.3.2　基礎工

管が強じんである上、管厚が厚いので剛性があり、一般には特別な基礎工を施す必要はない。

2.3.3　埋め戻し

管の強度が大きいので、特に掘削土質の悪い場合を除いて、購入砂による埋め戻しを行わなくても良い。このことにより、埋め戻し費および残土処理費の節減が可能である。

2.3.4　管の取り扱い

ダクタイル鉄管は強度があるので、管の取り扱いも内面のモルタルライニングおよび管の塗装に注意する程度でよく、比較的簡単である。

2.3.5　管の接合

接合作業に大がかりな動力や設備は不要であり、一般的にはボルトを締め付けるだけの簡単な工具で接合できる。GX形、T形はボルト締めが不要であり、管を差し込むだけで接合が完了する。ただし、いずれの場合も接合要領書にしたがって確実に行うことが必要である。

表17　各種継手の接合試験結果

接合形式	呼び径	所要時間（分）	作業員（名）
ＧＸ形	100	3.3	1
	250	3.9	1
ＮＳ形	75	4.2	1
	150	4.9	1
	250	5.9	1
	500	15.5	2
	1000	24	2
Ｋ　形	500	7	2
	1200	16	2
	1800	25	3
	2200	34	3
Ｔ　形	100	1	1
	500	5	2
	1000	9	3
Ｕ　形	1350	35	3
	2000	40	3

備考　1．所要時間は試験室内で心出し完了後の継手接合時間。
2．GX形、NS形は直管の継手接合時間。
3．GX形、NS形は接合器具の取り外し時間を含む。
4．K形はボルト締めのみ。
5．U形はモルタル充てん含まず。

2.3.6　作業条件・環境

気象条件が少々悪い場合や多少の湧水などの悪条件下でも接合作業は可能であり、作業条件での制約をあまり受けない。

2.3.7　使用機材

接合作業においては、大掛りな動力や設備は不要である。GX形、T形の場合には管を引き込む治具のみである。K形の場合は、ボルトを締め付ける際にラチェットレンチとトルクレンチを用意するだけで済む。ただしU形、US形など管の内面から接合する継手は、他に照明や換気設備などが必要である。

2.3.8　管路調整

所定の位置に異形管やバルブ類を配置できるように、管心の調整または切管をもって管路長を調整する必要がある。ダクタイル鉄管の管心調整では、各種の曲管と継手の可とう性を併用することにより対応できる。

2.4　地盤沈下への順応性

主な継手の許容曲げ角度、水圧曲げ試験結果、振動試験結果を以下に示す。

表18　各種継手と可とう性

呼び径	管長	ＧＸ形		ＮＳ形		Ｓ形		ＵＳ形		Ｋ形		Ｔ形		Ｕ形	
		許容曲げ角度 θ	許容変位 δ (cm)	許容曲げ角度 θ	許容変位 δ (cm)	許容曲げ角度 θ	許容変位 δ (cm)	許容曲げ角度 θ	許容変位 δ (cm)	許容曲げ角度 θ	許容変位 δ (cm)	許容曲げ角度 θ	許容変位 δ (cm)	許容曲げ角度 θ	許容変位 δ (cm)
75	4m	4°00′	28	4°00′	28	−	−	−	−	5°00′	35	5°00′	35	−	−
100	4m	4°00′	28	4°00′	28	−	−	−	−	5°00′	35	5°00′	35	−	−
150	5m	4°00′	35	4°00′	35	−	−	−	−	5°00′	44	5°00′	44	−	−
200	5m	4°00′	35	4°00′	35	−	−	−	−	5°00′	44	5°00′	44	−	−
250	5m	4°00′	35	4°00′	35	−	−	−	−	4°10′	36	5°00′	44	−	−
300	6m	4°00′	42	3°00′	31	−	−	−	−	5°00′	52	4°00′	42	−	−
350	6m	4°00′	42	3°00′	31	−	−	−	−	4°50′	50	4°00′	42	−	−
400	6m	4°00′	42	3°00′	31	−	−	−	−	4°10′	43	3°30′	37	−	−
450	6m	4°00′	42	3°00′	31	−	−	−	−	3°50′	40	3°00′	31	−	−
500	6m	−	−	3°20′	35	−	−	−	−	3°20′	35	3°00′	31	−	−
600	6m	−	−	2°50′	29	−	−	−	−	2°50′	29	2°30′	31	−	−
700	6m	−	−	2°30′	26	−	−	−	−	2°30′	26	2°30′	26	−	−
800	6m	−	−	2°10′	22	−	−	2°10′	22	2°10′	22	2°30′	26	2°10′	22
900	6m	−	−	2°00′	21	−	−	2°00′	21	2°00′	21	2°30′	26	2°00′	21
1000	6m	−	−	1°50′	19	−	−	1°50′	19	1°50′	19	2°00′	21	1°50′	19
1100	6m	−	−	−	−	1°40′	17	1°40′	17	1°40′	17	2°00′	21	1°40′	17
1200	6m	−	−	−	−	1°30′	15	1°30′	15	1°30′	15	2°00′	21	1°30′	15
1350	6m	−	−	−	−	1°30′	15	1°30′	15	1°20′	14	2°00′	21	1°30′	15
1500	6m	−	−	−	−	1°30′	15	1°30′	15	1°10′	12	2°00′	21	1°30′	15
1600	5m	−	−	−	−	1°30′	13	1°10′	10	1°30′	13	2°00′	18	1°10′	10
1650	5m	−	−	−	−	1°30′	13	1°05′	9	1°30′	13	2°00′	18	1°05′	9
1800	5m	−	−	−	−	1°30′	13	1°00′	9	1°30′	13	2°00′	18	1°00′	9
2000	5m	−	−	−	−	1°30′	13	1°00′	9	1°30′	13	2°00′	18	1°00′	9
2100	5m	−	−	−	−	1°30′	13	1°00′	9	1°30′	13	−	−	1°00′	9
2200	5m	−	−	−	−	1°30′	13	1°00′	9	1°30′	13	−	−	1°00′	9
2400	4m	−	−	−	−	1°30′	10	1°00′	7	1°30′	10	−	−	1°00′	7
2600	4m	−	−	−	−	1°30′	10	1°00′	7	1°30′	10	−	−	1°30′	10

備考　1．K形、T形、U形、S形は、呼び径1600以上には管長４mの管もある。

2．US形は管長４mの管もある。

3．許容変位 δ とは、下図のように管一本が許容曲げ角度（θ）まで曲がった時の変位量を示す。

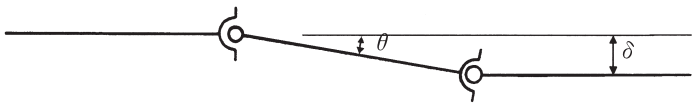
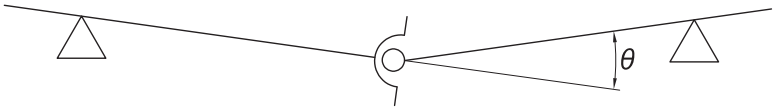


表19　継手の曲げ水圧試験結果の例

接合形式	呼　び　径	負荷水圧 （MPa）	曲げ角度 θ	継手部の状況
ＧＸ形	100	2.5	8°	漏水その他異常なし
	250	2.5	8°	〃
ＮＳ形	75	2.5	8°	〃
	200	2.5	8°	〃
	400	2.5	6°	〃
	500	2.0	7°	〃
	1000	3.0	7°	〃
Ｓ　形	2000	2.5	1°56′	〃
Ｋ　形	300	2.5	5°	〃
	700	5.0	3°	〃
	1200	2.5	2°52′	〃
	1800	2.5	2°35′	〃
Ｔ　形	150	2.5	5°	〃
	250	2.5	5°	〃
	500	2.5	6°	〃
	1000	2.5	4°	〃
	1500	2.5	4°	〃
	2000	2.5	4°	〃
Ｕ　形	1000	2.5	2°06′	〃
	2000	2.5	1°58′	〃
	2600	2.5	3°	〃



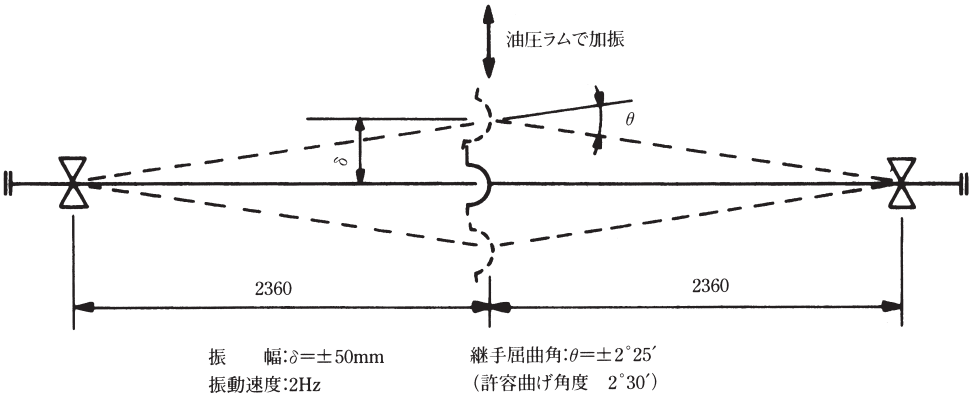


図３　継手の振動試験方法（Ｋ形 呼び径700）

表20　継手の振動試験結果

振　動　回　数	2400	3600	7200	14400
締め付けトルクの低下	なし	なし	なし	なし
負荷水圧P=0.98MPa	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし

2.5　長距離推進

ダクタイル鉄管は、圧縮強度が高く、大きな推進力で耐えるので、長距離推進が可能である。使用例を表21に示す。

表21　下水道における長距離推進の使用例

JSWAS G－2			
事　業　体	呼び径×最長スパン	接合形式	工　　法
A　市	400×　92m	T　形	オーガー
B　市	500×108m	〃	オーガー
C　市	600×250m	〃	泥　水
D　市	600×101m	〃	圧　入
E　市	600×108m	〃	圧　入
F　市	600×120m	〃	オーガー
G　市	600×164m	〃	泥　水
H　県	700×211m	〃	
I　市	800×164m	U　形	
J　市	800×263m	〃	泥土圧
K　市	800×255m	〃	泥土圧
L　市	1000×168m	〃	
M　県	1000×376m	〃	泥土圧
N　県	1000×400m	〃	泥土圧
O　市	1100×148m	〃	
P　市	1100×200m	〃	
Q　県	1100×240m	〃	
R　市	1350×180m	〃	
S　県	1350×200m	〃	
T　市	1500×248m	〃	泥　水
U　県	1500×250m	〃	
V　市	1650×300m	〃	
W　県	2200×301m	〃	泥　水
X　市	2600×170m	〃	刃　口

2.6　優れた耐久性

鋳鉄管は、古くから水道管およびガス管に広く用いられ、横浜市をはじめとして、多くの都市で100年以上経過した管路が数多く現存している。

表22　鋳鉄管の古い埋設例

国名		地名	埋設年
外国	フランス	ベルサイユ	1664
		ウィルパーク	1703
		エーレン・ペレッテン	1727
		クリアモンド	1748
	イギリス	ロンドン	1810
	アメリカ	フィラデルフィア	1822
		ボストン	1830
		セントルイス	1831
		リッチモンド	1832
		ニューヨーク	1833
		ランカスタ	1844
		メインランド	1848
日本		横浜	1885
		長崎	1887
		東京	1888
		大阪	1889
		神戸	1894

［出典：「ダクタイル鉄管ハンドブック」（株式会社クボタ）］

ダクタイル鉄管は、この優れた鋳鉄管の組成をそのまま受け継いでおり、ダクタイル鉄管の耐久性は普通鋳鉄管と変わらない結果が報告されている。

このように、鋳鉄管は耐久性に優れているが、その理由は鋳鉄の成分として炭素およびケイ素を数％含有しているためといわれている。

また、鋳鉄自身の電気抵抗も高いため、電食の影響も受けにくい。

表23　ダクタイル鉄管の化学組成例

単位：％

炭素（C）	ケイ素（Si）	マンガン（Mn）	リン（P）	硫黄（S）	マグネシウム（Mg）
3.2～3.8	1.7～2.7	0.4以下	0.1以下	0.015以下	0.03以上

表24　ダクタイル鋳鉄と鋼の電気抵抗

材質別	電気抵抗（μΩ・cm）
ダクタイル鋳鉄	50～70
鋼	10～20

［出典：日本ダクタイル鉄管協会によるデータ］

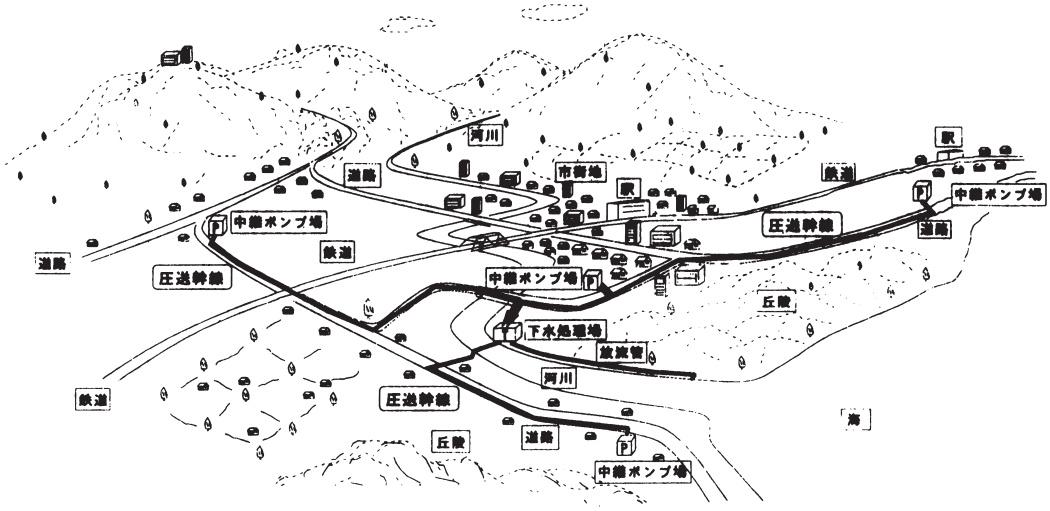
３．圧送用ダクタイル鉄管管路の設計

3.1　圧送管路の計画

3.1.1　圧送方式とは

圧送方式とは、分流式汚水管、雨水管、合流管、処理水送水管などの下水道管路施設の幹線管きょにおいて、ポンプ設備により下水を圧力送水する方式である。

圧送方式による管路施設は図４に示すように分散した集落を統合して１つの処理区とする場合や河川横断のある処理区など、従来の自然流下方式による整備手法では施工上の問題点があったり、建設費が増加する場合に適用されるものである。また現在、採用事例が増えつつある「圧力式下水道システム」や「真空式下水道システム」が、主に家庭などからの汚水を集水し幹線まで輸送する部分に適用されるのに対し、圧送方式は、主として幹線における下水輸送方式であり、若干の重複はあるとしても両者はその対象領域において異なるシステムである。



［出典：「土木研究所資料　下水道幹線圧送検討資料集」（建設省土木研究所下水道研究室）］

図４　圧送方式の概要

3.1.2　圧送方式の基本的な特長と利点

圧送方式の基本的な特長は、次の通りである。

１）ポンプ設備により下水を圧力輸送するため、管路勾配を埋設地盤勾配に合致させるなどの自由な配管レイアウトが可能である。

２）管口径を小さくすることができる。

以上に述べた基本的な特長により、圧送方式には以下のような利点がある。

a. 管路勾配を埋設地盤に合わせられるための管の埋設深さを浅くでき、施工が容易で管路建設の工期短縮が可能。

b. 管口径が小さいため建設費を低減することができ、また施工も容易になる。

c. 配管が輻輳するところでの布設が可能。

d. ２条管を採用するなど、送水能力の段階的な拡張が容易であるため、段階施工による初期投資の軽減と早期供用開始が可能。

e. 管路の耐震性を向上でき、地震に強い下水道施設とすることができる。

［出典：「土木研究所資料　下水道幹線圧送検討資料集」（建設省土木研究所下水道研究室）］

3.1.3　圧送方式と自然流下方式との比較

3.1.3.1　特性比較

下水輸送方式として従来から用いられている自然流下方式と圧送方式の一般的特性比較を表25に示す。

表25　自然流下方式と圧送方式の一般的特性比較

項　目	自然流下方式	圧送方式
概要	・管路勾配を利用して下水を輸送する方式である。 ・管路は下り勾配で布設する必要がある。 ・埋設深さは一般的に深くなる。 ・流入、合流に特別な検討は必要ない。 ・長距離の送水幹線では、管の口径が大きく、埋設深さが深くなる。	・ポンプ設備により下水を輸送する方式である。 ・管路は地表勾配に合わせて布設できる。 ・埋設深さは一般的に浅くできる。 ・流入、合流は圧力的な整合が必要であるため検討を要する。 ・流入、合流のない送水管路とした場合は、管径を小さく埋設深さを浅くできる。
計画	・地形的条件による制約が多く管路ルートの決定には十分な事前調査が必要となる。 ・管の埋設深さが深くなる。 ・流入、合流が自由にできる。 ・管路の屈曲部、合流部などにマンホールが必要である。 ・管には圧力がかからないため管体強度、継手水密性はあまり要求されない。	・地形的条件による制約が少なく管路ルートはある程度自由に決定できる。 ・管の埋設深さは浅くできる。 ・流入、合流には圧力上の検討が必要となる。 ・管路の屈曲部、合流部等にマンホールは不要である。 ・管に圧力がかかるため管体強度・継手水密性の大きい管材が必要となる。 ・ポンプ設備が必要となる。
施工	・管口径が大きく埋設深さが深いため土木工事は大規模となる。 ・建設工期が長くなる。 ・管路勾配が輸送能力に大きく影響するため、施工管理が重要となる。 ・点検用マンホールが多数必要となる。 ・既設管の横断は基本的には不可であり、相手の管を切り回す必要がある。	・管口径が小さく埋設深さが浅いため土木工事は小規模となる。 ・建設工期は短い。 ・管路勾配は輸送能力に影響しない。 ・管路の途中に空気弁や排泥弁などの設備が必要である。 ・既設管の横断は伏せ越し、上越しとも自由にできる。

［出典：「土木研究所資料　下水道幹線圧送検討資料集」（建設省土木研究所下水道研究室）］

3.1.3.2　経済性比較

圧送方式および自然流下方式による下水道幹線建設の経済性の優劣は、それぞれの計画における計画条件が種々異なるため一概には言い表せず、それぞれの条件で費用比較を実施する必要がある。

この場合、「自然流下管きょの費用（場合によっては、揚水ポンプ場の費用との合計）」と「圧送管路および圧送ポンプ場の費用の合計」を比較検討することにより、送水幹線の経済性比較を行う必要がある。

特に、自然流下方式の場合であっても最終的には揚水ポンプ場で汚水を揚水する必要がある場合には、費用比較の範囲にこの揚水ポンプ場も含め、自然流下方式の場合と圧送方式の場合とで流末の管の標高が同じとなるように比較するべきである。

比較対象の費用としては、自然流下方式と圧送方式では各施設の耐用年数が異なり、また維持管理費も異なるため、これらを考慮した年価[1)]を用いることが望ましい。

注　1）下水道施設の年価とは、施設の建設費をその耐用年数で除した金額に、その施設の年間維持管理費を加算したものである。

3.1.4　圧送方式の計画

分流式汚水管きょ幹線で圧送方式を検討する場合の要領を示す。

3.1.4.1　検討手順

以下に検討手順のフローチャートを示す。

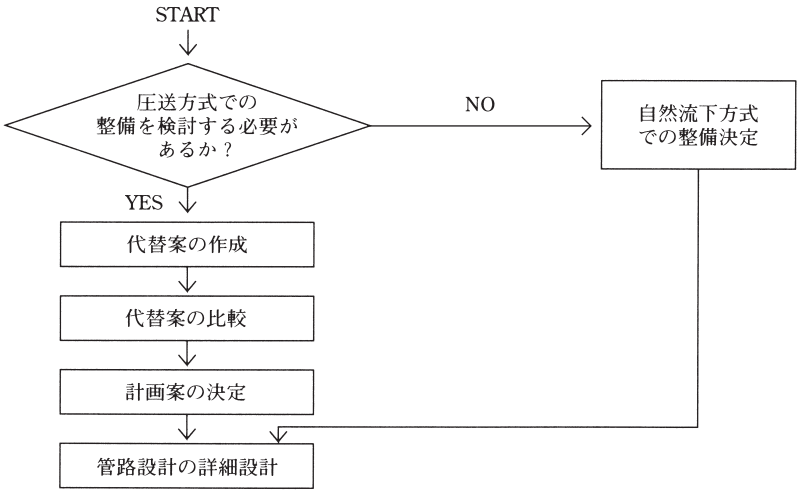


図５　圧送方式による代替案検討の流れ

まず分流式汚水管きょの整備対象地区に対して、自然流下方式による整備を検討し、大まかな整備計画を立てる。この作業を通して対象地区の物理的条件（地形や地盤など）および社会的条件（集落形態、施工上の制約、整備時期など）を十分把握し、圧送方式による代替案を検討すべきかどうかを判断する。代替案検討が必要と判断された場合は、代替案として圧送方式による整備計画を作成し、自然流下方式を含めて代替案同士の比較を行い、最終的な計画案の決定を行う。

［出典：「土木研究所資料　下水道幹線圧送検討資料集」（建設省土木研究所下水道研究室）］

3.1.4.2　圧送方式での整備を検討する必要性の判断

自然流下方式の管路施設計画に対して、圧送方式の代替案を検討すべきかどうかの判断項目は、整備区域の特性による判断項目と経済的な判断項目が考えられる。圧送方式での整備を検討する必要があるかどうかについては、この両者を勘案することが望ましい。

(1)　整備区域の特性による判断項目

圧送方式の代替案を検討する必要があると思われる整備区域の特性は次の通りである。

表26　圧送方式ので代替案検討が必要と思われる整備区域の特性

	整備区域の特性	代替案検討が必要な理由
①	処理区の起伏が大きい	自然流下では技術的に困難または著しく建設費が増加する場合が多い。
②	長距離の河川横断	同上および河川下の伏越管は維持管理が困難な場合が多い。
③	下流側施設が既設	自然流下では既設の施設に接続できない場合が多い。
④	処理区域が平坦で広い	自然流下でも揚水ポンプ場が必要となり、圧送の方が経済的な場合が多い。
⑤	道路幅印が狭い、 道路交通量が多い	自然流下では施工が困難または施工による周辺影響、交通障害が大きくなる場合が多い。
⑥	地盤が軟弱	自然流下では施工が困難または建設費が著しく増大する場合が多い。
⑦	早期整備が必要	圧送による整備の方が早期整備が可能な場合が多い。

整備対象区域が上記の区域特性に該当する場合は、圧送方式による代替案検討を行うことを前提として、以後の検討を行う。

(2)　経済的な判断項目

経済的な判断項目としては、自然流下方式の概算費用とする。すなわち、既に検討済みの自然流下方式による大まかな整備計画より、自然流下方式の概算費用を求め、これをもとに自然流下方式の年価を算定し、この年価の大小により圧送方式の代替案の検討が必要かどうかを判断する。

3.1.4.3　代替案の評価手法

代替案評価において最も重要なことは、評価対象の管路施設整備に要求される項目が何であるかを的確に把握することである。例えば、早期供用が強く要求されている場合には建設工期や整備効率が最も重要な評価項目となるであろうし、また道路が狭いなどの施工上の制限がある場合は施工性が最も重要な評価項目となると考えられる。

また代替案の経済性評価においては、より詳細な費用積算を行い、ポンプ場・管路の建設費およびその維持管理費を算出して、年価による費用比較を実施する必要がある。維持管理費として見込む費用としては、ポンプ場の運転費（人件費、電力料金、水道料金など）やポンプ場・管路の点検補修費などである。

しかしながら、事業体の価値判断は実に様々である。例えば、年価は高いが維持管理費が安い案に価値をおく事業体もあれば、逆に年価は高くても建設費が廉価で早期整備が可能な案に価値をおく事業体もある。

したがって、費用比較の場合には、年価に加え、費用に応じて建設費、維持管理費なども表示し総合的に判断する。

3.1.5　圧送システムの構成

3.1.5.1　システムの種類

(1)　単一圧送方式

ポンプ場から処理場まで単一路線（多条管路も含む）で圧送する方式。処理場間の送水（送泥）に多く見られる。

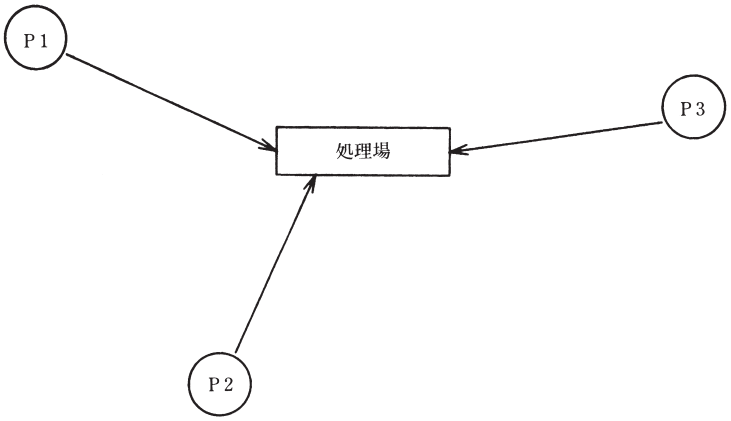


図６　単一圧送方式

(2)　多重圧送方式

圧送本管の途中に流入圧送管を取り込む方式。

小規模圧力式下水道との併用あるいは物理的・経済的に単一圧送方式がとりにくい場合などに採用される。

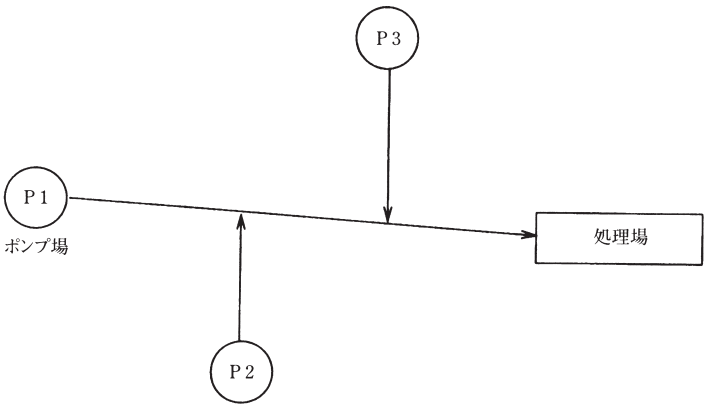


図７　多重圧送方式

(3) 圧送と自然流下の併用方式

管路の前半が圧送方式で後半を自然流下で送水する方式。

地形的に全線自然流下方式がとりにくい場合に採用される。

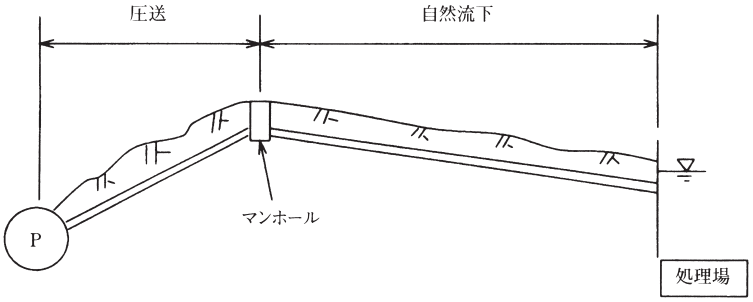


図８　併用方式

(4) 多段圧送方式

圧送管路の途中に複数のポンプ場を設けて送水する方式。

揚程が大きく単独のポンプで揚水が困難な場合などに用いられる。

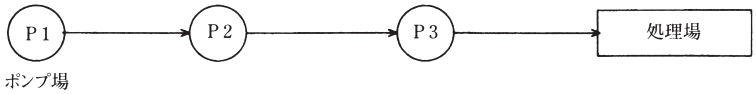


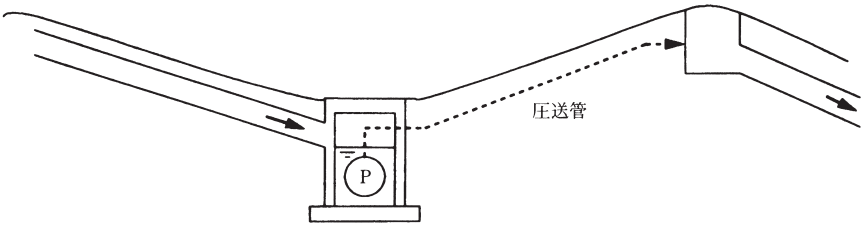
図９　多段圧送方式

3.1.5.2　圧送ポンプ場

圧送ポンプ場が用いられる例としては、比較的起伏の大きい地形を対象として管路を敷設する場合や、低地より高地へ泥水を圧送する必要が生じたり、また自然流下では管きょ延長が長くなり、至近距離をポンプ圧送した方が得策である場合などがある。

このために汚水を必要な位置まで圧送するポンプ施設を圧送ポンプ場という。

全揚程は、実揚程に圧送管路の損失揚程が加算されるので比較的大きな値となる。



［出典：「下水道施設計画・設計指針と解説」（公益社団法人　日本下水道協会）］

図10　圧送ポンプ場の例

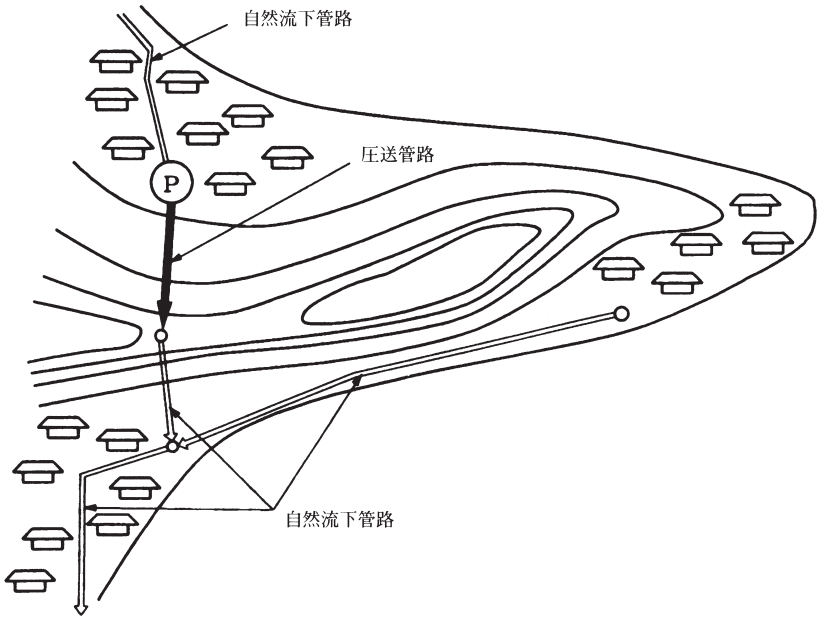
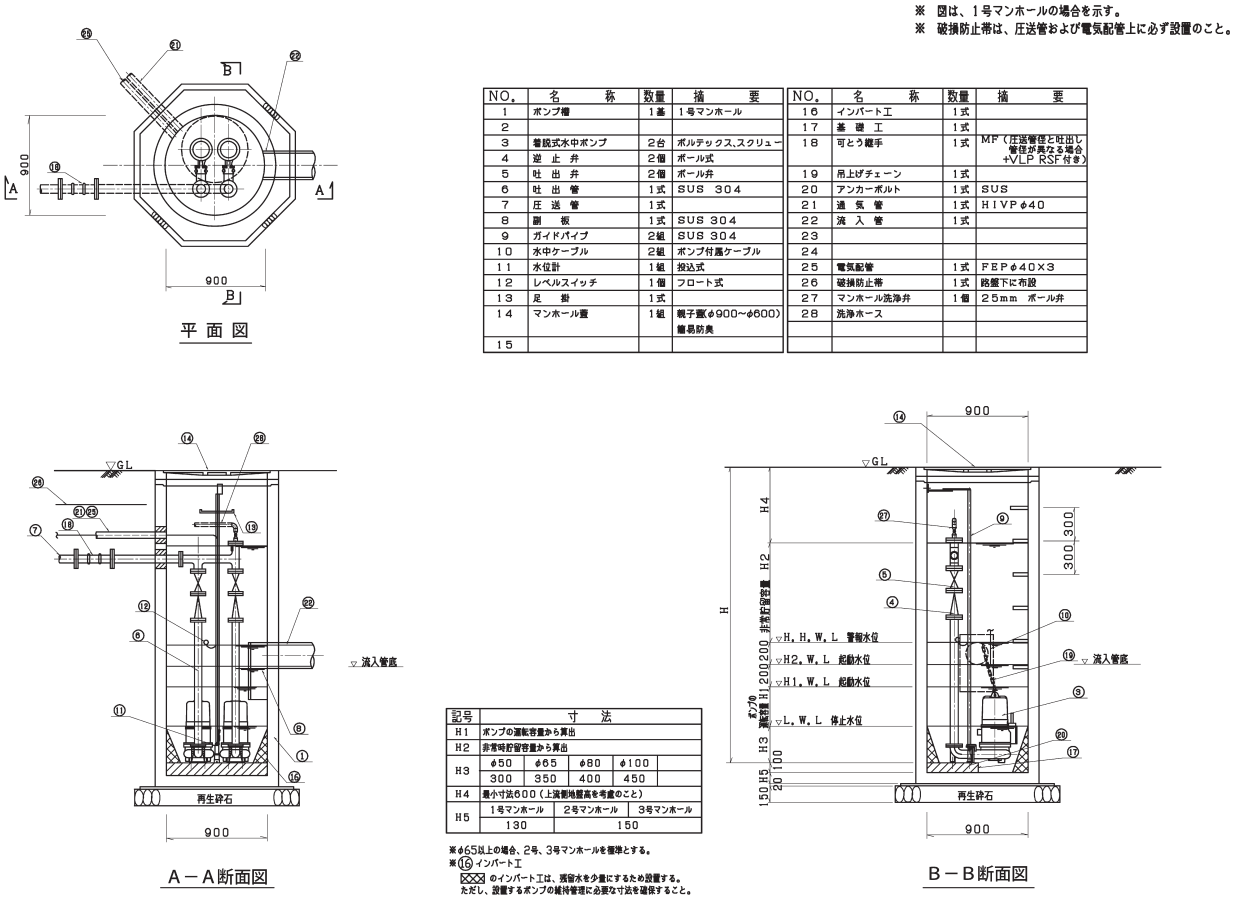


図11　圧送ポンプ場採用地形の例

3.1.5.3　マンホールポンプ

マンホール形式ポンプは、図12に示すようにマンホール構造のポンプ井と水中ポンプで構成される最も簡素なポンプ場である。小規模・小処理区域においては利用されることが多い。



NO.	名　称	数量	摘　要
1	ポンプ槽	1基	1号マンホール
2			
3	着脱式水中ポンプ	2台	ボルテックス、スクリュー
4	逆　止　弁	2個	ボール式
5	吐　出　弁	2個	ボール弁
6	吐　出　管	1式	SUS　304
7	圧　送　管	1式	
8	副　板	1式	SUS 304
9	ガイドパイプ	2組	SUS 304
10	水中ケーブル	2組	ポンプ付属ケーブル
11	水位計	1組	投込式
12	レベルスイッチ	1個	フロート式
13	足　掛	1式	
14	マンホール蓋	1組	親子蓋(φ900～φ600) 簡易防臭
15			

NO.	名　称	数量	摘　要
16	インバート工	1式	
17	基　礎　工	1式	
18	可とう継手	1式	MF（圧送管径と吐出し管径が異なる場合+VLP RSF付き）
19	吊上げチェーン	1式	
20	アンカーボルト	1式	SUS
21	通　気　管	1式	HIVPφ40
22	流　入　管	1式	
23			
24			
25	電気配管	1式	FEPφ40×3
26	破損防止帯	1式	路盤下に布設
27	マンホール洗浄弁	1個	25mm　ボール弁
28	洗浄ホース		

記号	寸　法				
H1	ポンプの運転容量から算出				
H2	非常時貯留容量から算出				
H3	φ50	φ65	φ80	φ100	
	300	350	400	450	
H4	最小寸法600（上流側地盤高を考慮のこと）				
H5	1号マンホール	2号マンホール	3号マンホール		
	130	150			

※φ65以上の場合、2号、3号マンホールを標準とする。
※⑯ インバート工
▨ のインバート工は、滞留水を少量にするため設置する。
ただし、設置するポンプの維持管理に必要な寸法を確保すること。

［出典：「下水道設計標準図」（神戸市建設局）］

図12　小型マンホールポンプ設備例

3.2　圧送管路の基本設計

3.2.1　ヘーゼン・ウィリアムス公式による水理計算

圧送管路の水理設計は、一般にヘーゼン・ウィリアムス（Hazen·Williams）公式を用いて行う。

ヘーゼン・ウィリアムス公式

$H_f = 6.82C_H^{-1.85} \cdot D^{-1.17} \cdot V^{1.82} \cdot L$

$I = 10.666C_H^{-1.85} \cdot D^{-4.78} \cdot Q^{1.85}$

ここに　H_f　：摩擦損失水頭（m）　　V ：流速（m/s）

C_H　：流速係数　　L ：管路延長（m）

D　：管径（m）　　Q ：流量（m^3/s）（=A・V）

I　：動水勾配（＝H_f/L）　　A ：管断面積（m^2）（＝$\pi/4 \times D^2$）

ただし、汚泥の場合以下に示した修正式を用いて計算する。

$H_f = 6.82C_H^{-1.85} \cdot D^{-1.17} \cdot V^{1.85} \cdot L \cdot K$

$K = 1 + 0.11C$

ここに　K　：液温10℃における管摩擦損失水頭係数比

H_f　：乱流域における汚泥の摩擦損失水頭（m）

C　：汚泥の液温10℃におけるみかけの濃度（%）

なお、汚泥の液温が10～20℃において、任意の液温における濃度を液温10℃のみかけの濃度として下式で補正して求める。

$C = \{1 - 0.019(T - 10)\}^{0.37}C_T$

ここに　C_T　：汚泥の液温T℃における濃度

標準的な流速は1.0～2.0m/sが望ましく、また汚泥の場合の濃度と臨界流速の関係を下図に示し、流速係数C_Hを表27に示す。

表27　ヘーゼン・ウィリアムス公式のC_H値

管　　種	C_H	備　　考
モルタルライニング鋳鉄管	110	屈曲損失等を別途に計算する時、直線部のC_H値を130にすることができる。
塗覆装鋼管	110	
硬質塩化ビニル管	110	

なお、表中に示した以外のエポキシ樹脂粉体塗装などの内面塗装についてもC_H=110とする。

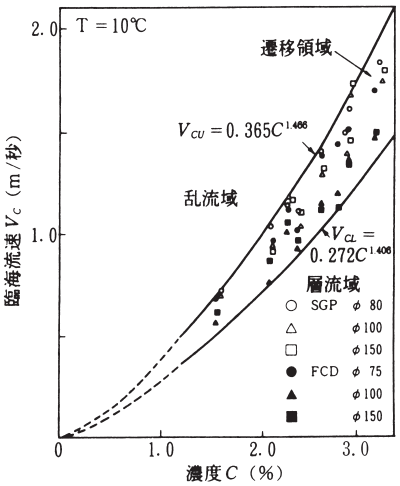


図13　汚泥濃度と臨界流速

なお、簡便的に送泥管の摩擦損失水頭を、固形物濃度が２％程度までは清水の1.3～1.5倍程度として求めることもある。

C_H=110とした場合の呼び径75～800までのヘーゼン・ウィリアムス公式をもとにした流量計算線図を図14に示す。

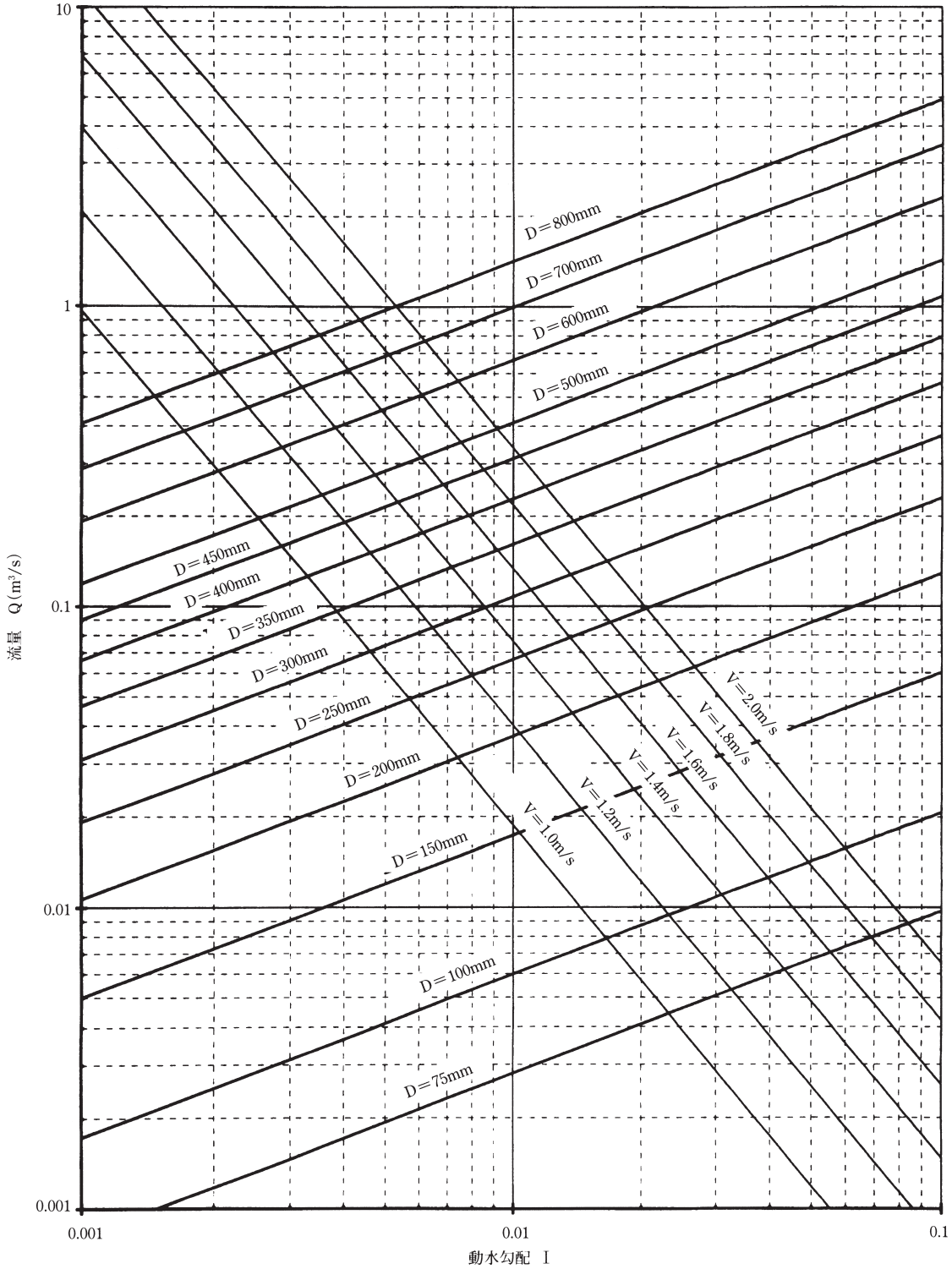


図14　ヘーゼン・ウィリアムス公式による流量計算線図（C_H=110）

［出典：「下水道施設計画・設計指針と解説（後編）－ 2019 年版－」（公益社団法人日本下水道協会）］

3.2.2　管路の埋設深さ

管路の埋設深さが不十分な場合、降雨や地下湧水により充水されていない管に浮力が作用し、管路の浮き上がりや継手の抜け出しが生じる恐れがある。

管路の浮上に対する検討は次式により行う。

$$H \geqq \frac{\frac{\pi}{4} Dc^2 \cdot S \cdot \gamma_w - \left[\frac{\pi}{4} \{ Dc^2 - (Dc - 2T)^2 \} \gamma_p + \frac{\pi}{4} \{ (Dc - 2T)^2 - (Dc - 2T - 2t_c)^2 \} \gamma_c \right]}{(\gamma_s - \gamma_w) Dc}$$

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）

Dc　：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/m^3）
（ダクタイル鉄管の場合は70kN/m^3）

γ_c　：モルタルライニングの単位体積重量（20kN/m^3）

γ_s　：埋戻し土の飽和単位体積重量（kN/m^3）

γ_w　：水の単位体積重量（10kN/m^3）

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_s＝18kN/m^{3}とした場合の計算結果を表28に示す。

表28　ダクタイル鉄管が浮上しないための最小土かぶり

単位：m

呼び径	内面塗装	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管	S種管
75	粉体塗装	0	−	0	−	−	0
	モルタルライニング	0	−	0	−	−	0
100	粉体塗装	0	−	0	−	−	0
	モルタルライニング	0	−	0	−	−	0
150	粉体塗装	0	−	0.04	−	−	0.03
	モルタルライニング	0	−	0.01	−	−	0
200	粉体塗装	0.06	−	0.10	−	−	0.09
	モルタルライニング	0.03	−	0.07	−	−	0.06
250	粉体塗装	0.12	−	0.16	−	−	0.15
	モルタルライニング	0.09	−	0.13	−	−	0.12
300	粉体塗装	0.18	−	0.21	−	−	0.19
	モルタルライニング	0.13	−	0.16	−	−	0.15
350	粉体塗装	0.24	−	0.27	−	−	0.25
	モルタルライニング	0.19	−	0.22	−	−	0.21
400	粉体塗装	0.27	0.30	0.31	−	−	0.31
	モルタルライニング	0.23	0.25	0.27	−	−	0.27
450	粉体塗装	0.32	0.35	0.36	−	−	0.36
	モルタルライニング	0.27	0.30	0.31	−	−	0.31
500	粉体塗装	0.37	0.39	0.41	−	−	0.39
	モルタルライニング	0.32	0.35	0.36	−	−	0.35
600	粉体塗装	0.45	0.47	0.50	0.51	0.54	0.47
	モルタルライニング	0.40	0.43	0.45	0.47	0.49	0.43
700	粉体塗装	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.57
	モルタルライニング	0.48	0.51	0.53	0.56	0.59	0.51
800	粉体塗装	0.62	0.66	0.69	0.71	0.74	0.66
	モルタルライニング	0.56	0.60	0.63	0.65	0.68	0.60
900	粉体塗装	0.70	0.75	0.78	0.81	0.85	0.75
	モルタルライニング	0.64	0.69	0.72	0.75	0.79	0.69
1000	粉体塗装	0.78	0.83	0.87	0.90	0.94	0.83
	モルタルライニング	0.70	0.76	0.80	0.82	0.86	0.76
1100	粉体塗装	0.86	0.93	0.97	0.99	1.05	−
	モルタルライニング	0.79	0.85	0.89	0.92	0.97	−
1200	粉体塗装	0.94	1.01	1.06	1.10	1.15	−
	モルタルライニング	0.86	0.93	0.98	1.02	1.08	−
1350	粉体塗装	1.07	1.15	1.20	1.24	1.31	−
	モルタルライニング	0.98	1.06	1.11	1.15	1.22	−
1500	粉体塗装	1.19	1.27	1.34	1.38	1.45	−
	モルタルライニング	1.10	1.18	1.25	1.29	1.36	−
1600	モルタルライニング	1.15	1.23	1.31	1.35	1.43	−
1650	モルタルライニング	1.20	1.28	1.36	1.40	1.48	−
1800	モルタルライニング	1.31	1.41	1.49	1.53	1.63	−
2000	モルタルライニング	1.49	1.60	1.68	1.74	1.82	−
2100	モルタルライニング	1.57	1.68	1.77	1.84	1.93	−
2200	モルタルライニング	1.67	1.78	1.88	1.95	2.04	−
2400	モルタルライニング	1.79	1.93	2.03	2.10	2.21	−
2600	モルタルライニング	1.98	2.13	2.25	2.31	2.42	−

3.2.3　圧送管路でのバルブ類の選択〔参考〕

圧送管路には必要に応じて遮断用、管路切換用、ドレン用、吸排気用などのバルブを設置する。

⑴　遮断用および管路切換用のバルブ

原則として外ネジ式ソフトシール仕切弁を使用する。

圧送管路ではピグによる洗管を考慮して、バルブ全開時に100％の通過断面が得られる仕切弁形式のバルブを使用する。

仕切弁には、ソフトシール形と金属弁座形があるが、弁箱底部に異物が堆積しないソフトシール仕切弁を使用することが望ましい。またネジ部に異物が付着しない外ネジ式を使用する。

なお、埋設深さの関係から、ソフトシール仕切弁が設置困難な場合は偏心構造弁の使用を検討する。

⑵　ドレン用のバルブ

原則として偏心構造弁を使用する。

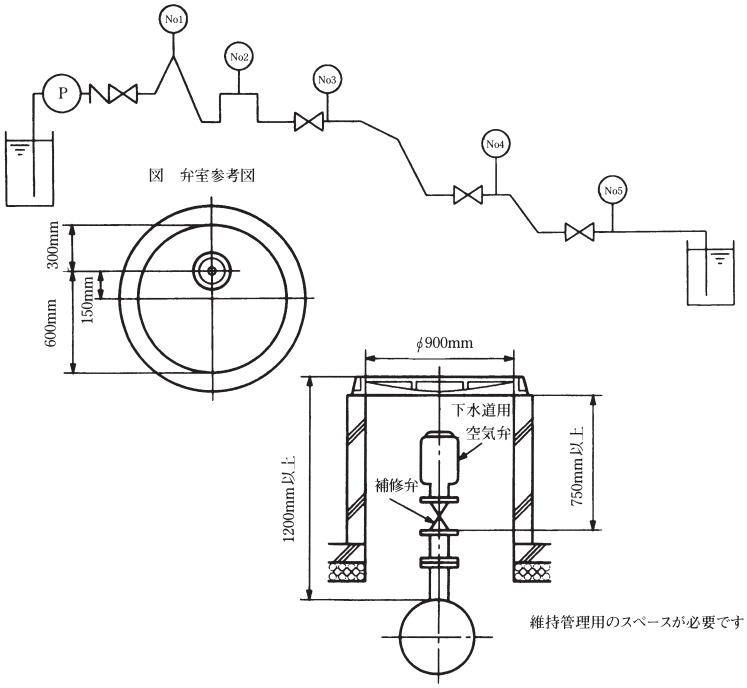
ドレン用のバルブは、操作力、全開全閉回転数などの操作性を考慮し、偏心構造弁を使用することが望ましい。

⑶　吸排気用のバルブ

原則として下水道用空気弁を使用する。

圧送管路の凸部などの空気の溜まりやすい箇所は、下水道用空気弁を設置する。また勾配のない管路でも１km当たり２～３ヶ所設置するのが望ましい。

下水道用空気弁はフロートなどへの異物の付着が進行するため、空気弁の下部に補修弁を設置し、点検清掃などの維持管理のための作業スペースを確保する必要がある。以下の図15に据付参考図を示す。またバルブ類の選定表および機能一覧をそれぞれ表29および表30に示す。



［出典：「月刊下水道 vol.13 №9 1990」（株式会社環境新聞社）］

図15　空気弁設置箇所例

表29　バルブ類の選定

	外ねじ式ソフトシール仕切弁	外ねじ式金属弁座仕切弁	下水道用空気弁（補修弁付）	偏心構造弁
遮　断　用	◎	○	－	－
管路切替用	◎	○	－	－
吸排気用	－	－	◎	－
ドレン用	○	－	－	◎

◎　最適　　○適

表30　バルブの機能一覧表

バルブの種類	ソフトシール仕切弁	金属弁座仕切弁	下水道用空気弁	偏心構造弁	逆止弁	逆止弁
形　式	外ネジ式	外ネジ式	補修弁付	－	スイング式	フラップ式
呼び径（mm）	φ50～φ500	φ600～φ1000	φ75	φ75～φ500	φ50～φ1000	φ300～φ1000
使用圧力（MPa）	0.74	0.44	0.74	0.44	0.44	0.05
最高許容圧力（MPa）	1.27	0.98	1.72	－	0.98	－
適用規格	JWWA B 120（但しφ50～φ350）	JIS B 2062 準拠	－	－	－	－
フランジ寸法	JIS G 5527（ダクタイル鋳鉄異形管）　RF形　7.5Kに接続可能					
止水性	良好	良好	良好	良好	良好	多少の漏れあり
止水方向の制限	なし	なし	－	あり	あり	あり
特　長	1.全開時の圧力損失が小さい 2.堅牢で耐久性がある 3.弾性シートのため止水性がよく、操作が軽快である 4.弁箱底部がストレートで凹溝がないので異物堆積がない 5.部品交換が容易である 6.内外面エポキシ樹脂粉体塗装、弁体はゴムライニング	1.全開時の圧力損失が小さい 2.堅牢で耐久性がある 3.弁座の耐久性が優れている 4.内面にエポキシ樹脂粉体塗装を施すことができる	1.汚水、汚泥の吹き出しを防止する構造になっている 2.ゴミ、土砂、泥が詰まりにくい構造になっている 3.内外面にエポキシ樹脂粉体塗装 4.補修弁を閉じれば、システムの運転を止めずに点検等の維持管理ができる	1.仕切弁に比べ、高さ寸法が小さく、操作トルクも小さい 2.流路がストレートのため汚泥などに適している 3.トップエントリー構造のため弁箱を配管より取り外すことなく内部点検ができる	1.弁体の自重で閉止し少ない背圧で逆流を防止できる 2.急止形と緩止形がある	1.管端用 2.急激な逆流の防止
問　題　点	1.全開、全閉使用が原則で中間の使用には適さない	1.全開、全閉使用が原則で中間の使用には適さない 2.弁箱底部には砂等の異物が堆積しやすい	1.屋内の使用では臭気対策が必要である		1.弁体自体が抵抗となるため圧力損失が大きい	1.多少の漏れあり
使用上の留意点（含、保守など）	1.できる限り据付姿勢は立形とする 2.粉体塗装に傷を付けないよう据付時の取り扱いに注意が必要である	1.できる限り据付姿勢は立形とする	1.空気弁室が必要である 2.補修弁が必要である 3.起動、停止の多い運転に使用する場合は汚泥堆積防止のため点検周期に注意を要する 4.分解時以外はエアー抜きは禁物である	1.据付時止水方向に制限があるので、注意が必要である	1.ウォーターハンマーに対する検討を必要とし、それに伴いハンマー防止構造を考慮すること	

［出典：「土木研究所資料　下水道幹線圧送検討資料集」（建設省土木研究所下水道研究室）］

3.3　耐震設計

3.3.1　日本下水道協会「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014年版－」による耐震設計

「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014年版－」に記載されている耐震設計関係の項として、次のようなものがある。その他の必要な事項は、「水道施設耐震工法指針・解説」を参照とする。

1.1.1　総説

下水道は、汚水の排除・処理による公衆衛生の確保・生活環境の保全、雨水の排除による浸水の防除、汚濁負荷削減による公共用水域の水質保全等、住民の暮らし、安全及び環境を守るとともに都市活動を支える根幹的社会基盤である。また、下水道は、日常生活における最も基本的な事項を担うとともに、電気や水道、ガス等と同様に都市機能を支える重要なライフラインである。

さらに、下水道施設は大規模な地震や津波発生時にも避難所などの生活空間におけるトイレの使用という、生命活動の最も基本的な事項の一端を担う施設であるとともに、大規模な地震や津波の発生時においても、住民の生活空間での汚水の滞留や未処理下水の流出に伴う水系伝染病の発生を防ぎ、雨水排水機能等の喪失による甚大な浸水被害の発生も防止することが求められる。

加えて、下水道管理職員や下水道施設に避難する住民等の人命保護を最優先しながら下水道の有すべき機能（要求機能）を維持し、被災した場合にも、早期の機能回復を図り、その影響を最小限に食い止めなければならない。

「**下水道施設の耐震対策指針と解説**」は、下水道の地震・津波対策のうち、主に下水道施設の構造面での対策を中心にした耐震・耐津波対策に関する性能設計の基本を示すものである。

2.1.1　耐震設計の基本方針

下水道施設の耐震設計にあたっては、地域特性、地盤特性及び施設の特性や規模並びに類似施設の被害事例を考慮し、個々の下水道施設及び下水道システム全体として必要な耐震性能を有するように配慮しなければならない。

2.1.4　保持すべき耐震性能

下水道の耐震対策において、新設する下水道施設に求められる性能は、設計地震動のレベルや下水道施設の重要度に応じて、次のように設定するものとする。なお、既存下水道施設については、**第７章　既存施設の耐震・耐津波対策**を参照する。

(1)　管路施設

「重要な幹線等」はレベル１地震動に対して設計流下能力を確保するとともに、レベル２地震動に対して流下機能を確保する。

「その他の管路」は、レベル１地震動に対して設計流下能力を確保する。

(2)　処理場・ポンプ場施設

処理場・ポンプ場施設の土木構造物においては、レベル１地震動に対して処理場・ポンプ場施設としての本来の機能を確保する。レベル２地震動に対しては構造物が損傷を受けても速やかな機能回復を可能とする性能を確保する。

また、建築構造物においては、**建築基準法**に適合する耐震性能を確保する。

■新設する管路施設の耐震性能

<table>
<tr><td colspan="2">耐震性能１</td><td colspan="3">耐震性能２</td></tr>
<tr><td colspan="2">レベル１地震動</td><td colspan="3">レベル２地震動</td></tr>
<tr><td rowspan="2">重要な幹線等
及び
その他の管路</td><td rowspan="2">設計流下能力を
確保できる性能</td><td rowspan="2"></td><td>重要な幹線等</td><td>流下機能を確保できる性能</td></tr>
<tr><td>軌道や緊急輸送路
等下の埋設管路</td><td>流下機能を確保できる性能
交通機能を阻害しない性能</td></tr>
</table>

【解説】

管路施設における「設計流下能力の確保」とは、流量計算書に記載された当該管きょの流下能力の確保をいい、具体的には、当該管きょの抜出しを防ぐとともに、管きょ断面に発生する応力が許容応力度以内の状態を示す。「流下機能の確保」とは、地震によって本管部のクラックや沈下等の被害が生じ、設計流下能力の確保が困難となっても補修や布設替等の対策を講じるまでの間は、管路として下水を上流から下流に流せる状態をいい、具体的には土砂の流入を防ぐとともに、管きょ断面がひび割れを起こしているが破壊しない状態を指す。

新設する管路施設が保持すべき耐震性能を上表に示す。なお、既存管路施設の保持すべき耐震性能については、**第７章　既存施設の耐震・耐津波対策**に記載する。

■レベル２地震動に対する機能保持の考え方

管路施設	部　　位	機能保持の考え方
マンホール及び管きょ	マンホールと管きょの接続部	・マンホールと管きょの接続部における屈曲角及び抜出し量は、土砂流入が起こらない値以内とする。
	管きょと管きょの継手部	・管きょと管きょの継手部における屈曲角及び抜出し量は、土砂流入が起こらない値以内とする。
	マンホール本体部	・RC構造及び組立式マンホールの応力度は、終局限界状態以内とする。 ・周辺地盤又は埋戻し土の液状化により浮上がりを防止し、緊急輸送道路等における車両交通へ支障を与えないようにする。 ・組立式マンホールの組立ブロック継手部の目開き量は、土砂流入が起こらない値以内とする。
	管きょ本体部	・管材個々の材質に応じて、断面崩壊等に至らない耐力を付与する。 ・周辺地盤又は埋戻し土の液状化による浮上がりや路面沈下を防止し、緊急輸送道路等における車両交通へ支障を与えないようにする。
矩形きょ及び開きょ	マンホールと矩形きょの接続部	・マンホールと矩形きょの接続部における屈曲角及び抜出し量は、土砂流入が起こらない値以内とする。
	矩形きょと矩形きょの継手部	・矩形きょと矩形きょの継手部における屈曲角及び抜出し量は、土砂流入が起こらない値以内とする。 ・二次製品で縦断方向に本体を連続的に緊結する場合は、各継手の目開き量及び緊結した本体が縦断方向の不同沈下等による継手部のずれ量が、流下機能に支障を生じさせない値以内とする。
	矩形きょ本体部	・現場打ち式及び二次製品の矩形きょに発生する応力度は、終局限界状態以内とする。 ・周辺地盤又は埋戻し土の液状化による浮上がりや路面沈下を防止し、緊急輸送道路等における車両交通へ支障を与えないようにする。
シールド管きょ	マンホールと管きょ接合部	・マンホールと管きょの接続部における屈曲角及び抜出し量は、土砂流入が起こらない値以内とする。
	一次覆工部	・リング継手部等の部材の破損がなく、リング間の目開き量が止水に対して修復が可能な範囲以内とする。
	二次覆工部	・二次覆工の鉄筋の有無にかかわらず、ひび割れが生じても流下機能に支障を与えないようにする。
雨水吐き室及び吐き口	本体部	・ＲＣ構造に発生する応力度は、結局限界状態以内とする。 ・周辺地盤又は埋戻し土の液状化による浮上がりや路面沈下を防止し、緊急輸送道路等における車両交通へ支障を与えないようにする。
汚水圧送管及び送泥管	本体部	・「**水道施設耐震工法指針・解説**」を参考にする。 ・周辺地盤又は埋戻し土の液状化による浮上がりや路面沈下を防止し、緊急輸送道路等における車両交通へ支障を与えないようにする。

2.3.1　管路施設の設計地震動

管路施設の耐震計算は応答変位法を用いることを標準とし、レベル１地震動とレベル２地震動それぞれの設計地震動を与えるものとする。

4.1.3　管路施設の耐震設計上の構造分類

管路施設は耐震設計上から「重要な幹線等」と「その他の管路」に区分し、管きょ及びマンホールの種別ごとに耐震検討を行う。

⑴　管きょの分類

１）差し込み継手管きょ、２）矩形きょ、３）シールド管きょ、４）一体構造管きょ

⑵　マンホールの分類

１）現場打ち式マンホール、２）組立式マンホール

⑶　上記の⑴、⑵に該当しない他の管路施設

4.5.1　検討項目と耐震対策

一体構造管きょの耐震設計は、管材の特徴及び特性に留意し、以下の項目について行う。また、耐震計算結果が許容値を超えた場合には、適切な耐震対策を講じる。

⑴　耐震計算の対象とする部位と項目

１）マンホールと管きょの接続部

２）管きょと管きょの継手部

３）鉛直断面（横断面）

４）軸方向断面

５）管きょ本体の浮上がり

⑵　耐震対策

4.7.4　汚水圧送管及び送泥管

汚水圧送管及び送泥管は、次の各項を考慮して耐震設計を行う。

⑴　管路は複数化し、それぞれ別路線に布設して、連絡管路を設置することが望ましい。

⑵　橋りょう添架部などの箇所には可とう性をもつ伸縮管を設けるとともに、津波の遡上が懸念される箇所は、波力による損傷や脱落が生じないような構造とする。

⑶　管きょ本体及び継手部の耐震設計は、水道施設の耐震設計を参考にする。

【解説】

地震時には地盤変位に伴って管体にも相当の応力が生じるので、この応力に対処できる配管構造とする必要がある。特に地盤の変形や衝撃等に対する管体の強度のほか、継手部の強度やその伸縮性を検討し、管路が一体として耐えられる管種を選定する必要がある。

汚水圧送管及び送泥管は重要な役割を持つ場合が多く、また、自然流下の管きょとは異なり、被害を受けた場合、流下機能への影響や汚水や泥土の流出のおそれが大きい。したがって、重要な汚水圧送管及び送泥管は二条以上を布設し、それらの間に互換性を持たせるとともに、**図4.7.3**に示すような耐震性能を有する継手構造を設けることが望ましい。

また、できる限り別路線を選定し、地震によって被害を受けても、その支障を最小化できるよう数箇所に連絡管を設け、制水弁によって切回しができるようにしておくことも必要である。

■管路の耐震性向上の具体的対策法

<table>
<tr><th colspan="4">項　　目</th><th>「重要な幹線等（含むマンホール）」の対策</th><th>「その他の管路（含むマンホール）」の対策</th></tr>
<tr><td rowspan="4">地震動・地盤変位に対して</td><td colspan="3">マンホールと管きょの接続部の対策</td><td>・可とう継手を用いる等の採用を検討し、耐震性能の向上を図る。
・取付管のますや管きょへ接続箇所においても、特に重要と判断される場合は、可とう継手等を採用する。</td><td>・可とう継手を用いる等の採用を検討し、耐震性能の向上を図る。
・取付管のますや管きょへの接続箇所においても、特に重要と判断される場合は、可とう継手等を採用する。</td></tr>
<tr><td colspan="3">管きょと管きょの継手部の対策</td><td>・抜け出しと円周方向クラックを防止するために、差し込み長さを長くするとともに、曲げが可能な水密構造の継手とする。
・地盤の硬軟急変化部では、地盤改良や可とう性継手の採用により耐震性の向上を図る。
・液状化のおそれのある地盤、あるいは地盤の急変する箇所でシールド管きょを採用する場合は、可とうセグメント等の採用を検討する。
・圧送管は、継手に伸縮、屈曲、離脱防止等の耐震性のあるものを用いる。</td><td>－</td></tr>
<tr><td colspan="3">管きょ本体の対策</td><td>・管軸方向クラックを防止するため管種あるいは基礎構造等を検討する。
・液状化のおそれのある地盤、あるいは地盤の急変する箇所でシールド管きょを採用する場合は、継手ボルトの強度増加、弾性ワッシャーの採用、桁高の検討、二次覆工の有筋化等を検討する。
・地盤の硬軟急変化部では、大きな応力度変化に抵抗できる管材を選定する。</td><td>－</td></tr>
<tr><td colspan="3">マンホール本体の対策</td><td>・マンホール本体がずれないあるいは多少のずれを許容する構造とする。
・マンホール浮上防止対策を行う。</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="4">液状化に対して</td><td colspan="3">液状化の判定</td><td>・周辺地盤の液状化判定を行う。
・埋戻し土については、周辺地盤の地下水位・強度、並びに管きょの埋設深さから埋戻し土の液状化被害の可能性を判断する(+)。</td><td>・少なくとも既存資料や地形条件等に基づく周辺地盤の液状化判定を行う。
・埋戻し土については、周辺地盤の地下水位・強度、並びに管きょの埋設深さから埋戻し土の液状化被害の可能性を判断する(+)。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">周辺地盤の分類</td><td rowspan="2">液状化のおそれのある地盤</td><td>基礎地盤</td><td>・必要に応じて地盤改良等の対策を行う。（管材や管基礎等での対応も検討する）。</td><td>・必要に応じて地盤改良等の対策を行う。（管材や管基礎等での対応も検討する）。</td></tr>
<tr><td>埋戻し</td><td>・開削工法では、液状化被害のおそれのない埋戻し(※)を行う。</td><td>・開削工法では、液状化被害のおそれのない埋戻し(※)を行う。</td></tr>
<tr><td></td><td>液状化のおそれのない地盤</td><td>埋戻し</td><td>・開削工法で、地下水位が高く、かつ土被りが深く、周辺地盤が軟弱な場合、並びに砂など液状化しやすい埋戻し材料を使用する場合は、液状化による被害のおそれのない埋戻し(※)を行う。</td><td>・開削工法で、地下水位が高く、かつ土被りが深く、並びに周辺地盤が軟弱な場合は、液状化による被害のおそれのない埋戻し(※)を行う。</td></tr>
</table>

注）表中の（－）欄は、レベル１地震動に対して重大な被害の生じるおそれがないため、特別な対策を講ずる必要がないことを示す。
（※）については、本章４．８．３ 埋戻し土の液状化対策を参照するほか、道路管理者と協議のうえ選定する。
（＋）についての具体的な判断条件は、本章４．８．１管路施設における液状化対策の基本方針を参照する。

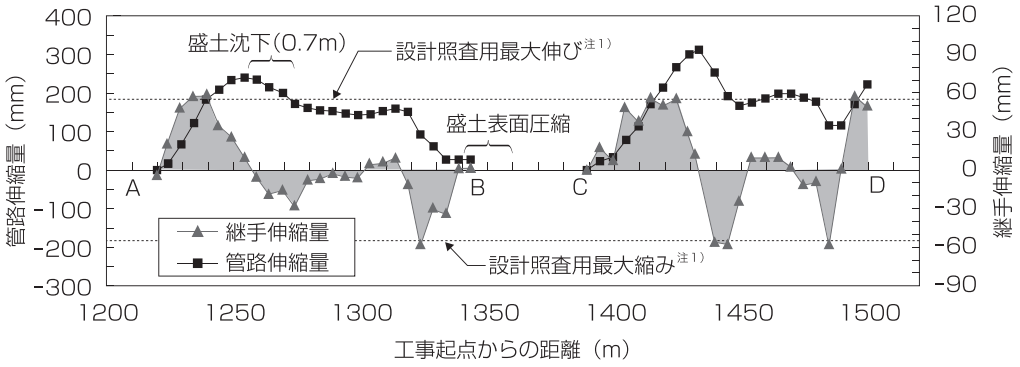
3.3.2　ダクタイル鉄管継手の耐震性能

わが国のような地震の多発国では、地下埋設管路についても、常にその耐震性が問題となる。管路は地震動によってあらゆる角度から複雑な形で外力（引張り、圧縮、曲げ、振動など）を受け、地震の規模によっては、予測できない大きな力が作用する。このため、管体はもちろん、継手にも耐震性（伸縮、可とう）が要求される。

ダクタイル鉄管に使用されている各種継手の多くは伸縮性や可とう性に優れている。そのため、地盤に変動があっても順応する。以下に、2011年東日本大震災時において離脱防止機構付き継手の継手伸縮量および継手屈曲角度を測定した結果を示す。特に大きな地震（大きな地盤変動）に対し管路が十分追従していることがわかる。

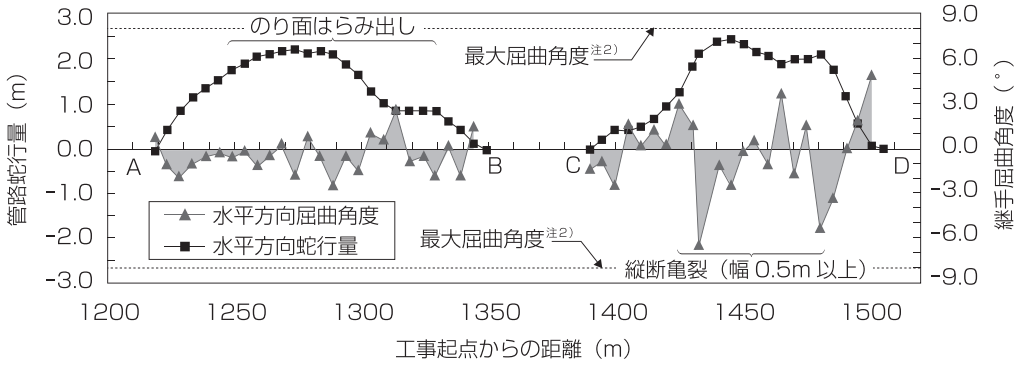
■2011年東日本大震災時における呼び径150ＮＳ形継手の挙動

参考文献：「東日本大震災における道路盛土部のＮＳ形ダクタイル鉄管管路の挙動調査」、ダクタイル鉄管、第90号（2012.5）



注１）許容曲げ角度まで屈曲した状態での継手の最大伸縮量（±54mm）

継手伸縮量および管路伸縮量



注２）地震時や地盤沈下時の継手の最大屈曲角（8°）

継手屈曲角度と管路蛇行量

上の図から、一部の継手が最大伸縮量まで伸びて離脱防止機構によって隣の継手を順次引張り、大きな地盤ひずみを吸収できる鎖構造管路の有効性が立証できている。また、地震後でも管路にはまだ伸縮・屈曲できる余裕があり、耐震性能を保持できている。

このことから、ダクタイル鉄管では、地盤の変位を伸縮性および可とう性（十分な伸縮量および屈曲角度）によって吸収および順応する柔構造としているため、管体発生応力が小さい。

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いては、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鎖構造の管路を用いる。

GX形、NS形、S形継手は柔構造継手の継手伸縮量を大きくし、さらに離脱防止機構を付加したものである。そのため、その管路は大きな地盤の動きに対しても柔軟に順応でき、かつ継手部が抜け出さない構造となっており、地震時にはあたかも地中に埋められた鎖のように挙動することから鎖構造継手と呼ばれている。

GX形、NS形、S形直管の継手構造を図16～図19に示す。

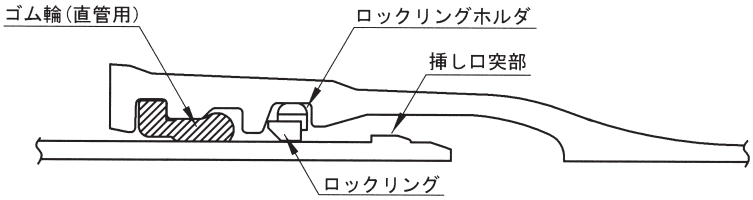


図16　GX形直管の継手構造（呼び径75～450）

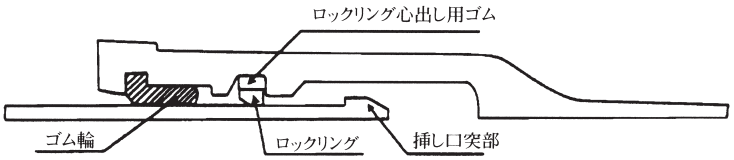


図17　NS形直管の継手構造（呼び径75～450）

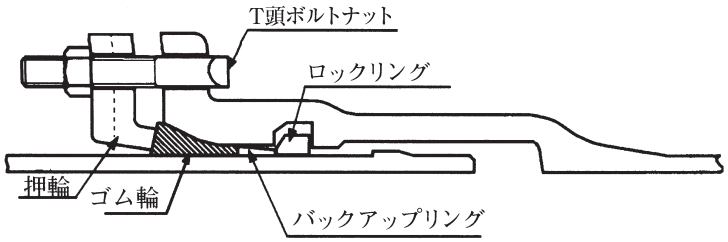


図18　NS形直管の継手構造（呼び径500～1000）

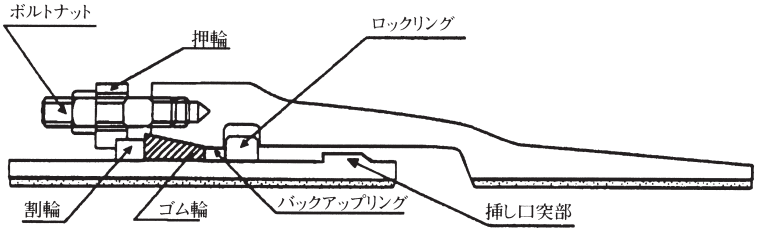


図19　S形直管の継手構造（呼び径1100～2600）

表31　設計照査最大伸縮（伸び）量

単位：mm

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

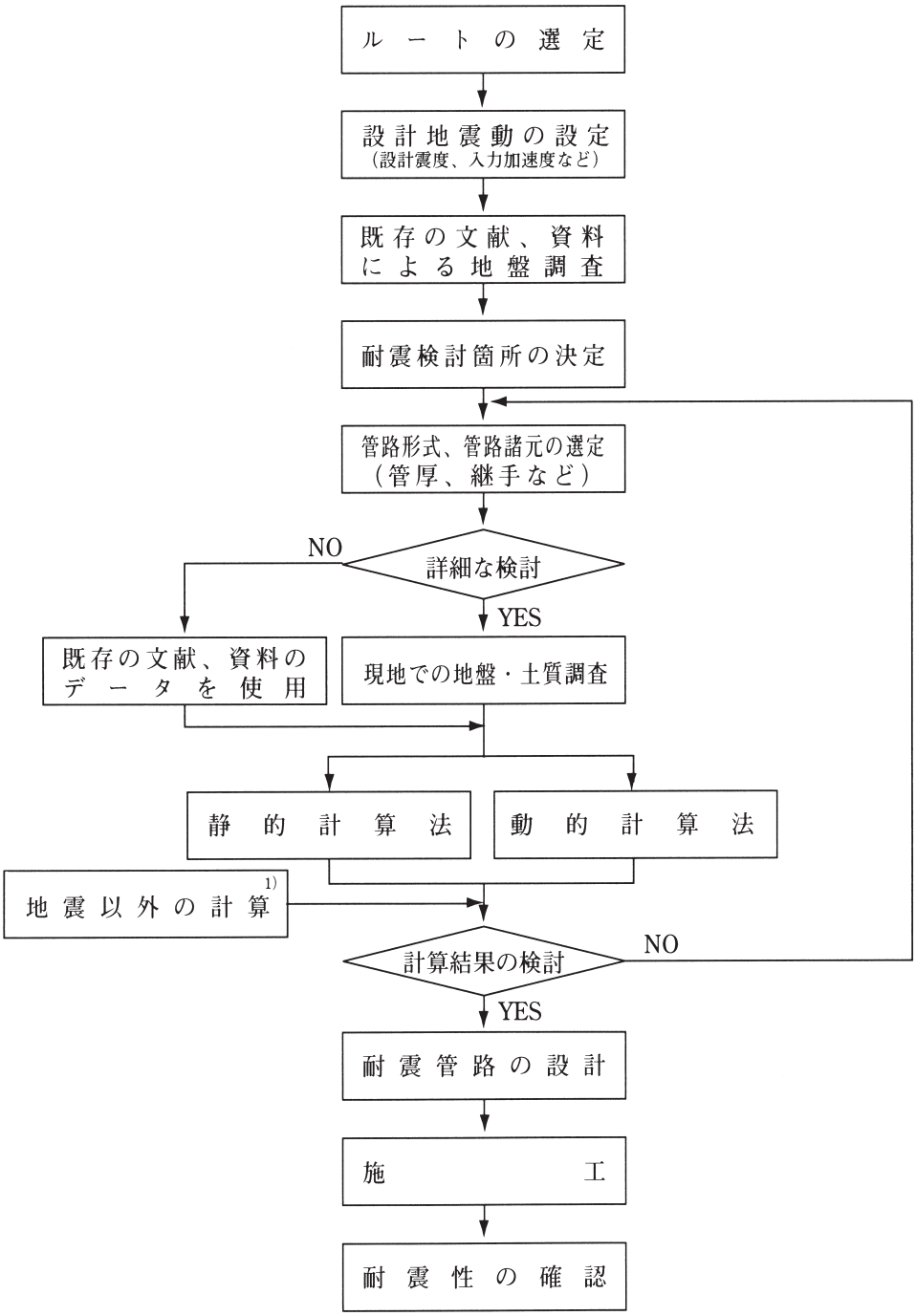
※括弧内の数値は、平成10年以前を示す。

表32　GX形、NS形、S形継手の基準性能

継手形式	呼　び　径	離脱防止力（kN）	地震時に曲がり得る最大屈曲角	許容曲げ角度（参考）
GX形 NS形 ※	75	225	8°	4°
	100	300	8°	4°
	150	450	8°	4°
	200	600	8°	4°
	250	750	8°	4°
	300	900	8°（6°）	4°（3°）
	350	1050	8°（6°）	4°（3°）
	400	1200	8°（6°）	4°（3°）
	450	1350	8°（6°）	4°（3°）
NS形	500	1500	7°	3°20′
	600	1800	7°	2°50′
	700	2100	7°	2°30′
	800	2400	7°	2°10′
	900	2700	7°	2°
	1000	3000	7°	1°50′
S形	1100	3300	7°	1°40′
	1200	3600	7°	1°30′
	1350	4050	6°30′	1°30′
	1500	4500	5°50′	1°30′
	1600	4800	5°	1°30′
	1650	4950	4°50′	1°30′
	1800	5400	4°40′	1°30′
	2000	6000	4°20′	1°30′
	2100	6300	4°10′	1°30′
	2200	6600	4°	1°30′
	2400	7200	3°50′	1°30′
	2600	7800	3°40′	1°30′

※括弧内の数値は、NS形の角度を示す。

3.3.3　管路の耐震設計の手順



注　1）地震以外の計算：管路の設計として次のものを追加する。

① 軟弱地盤における沈下に対するもの。

② 曲げ配管に対するもの。

③ 温度応力に対するもの。

④ 水圧による不平均力に対するもの。

図20　管路の耐震設計の手順

3.3.4　地質・地形上から耐震性を高める必要がある場所

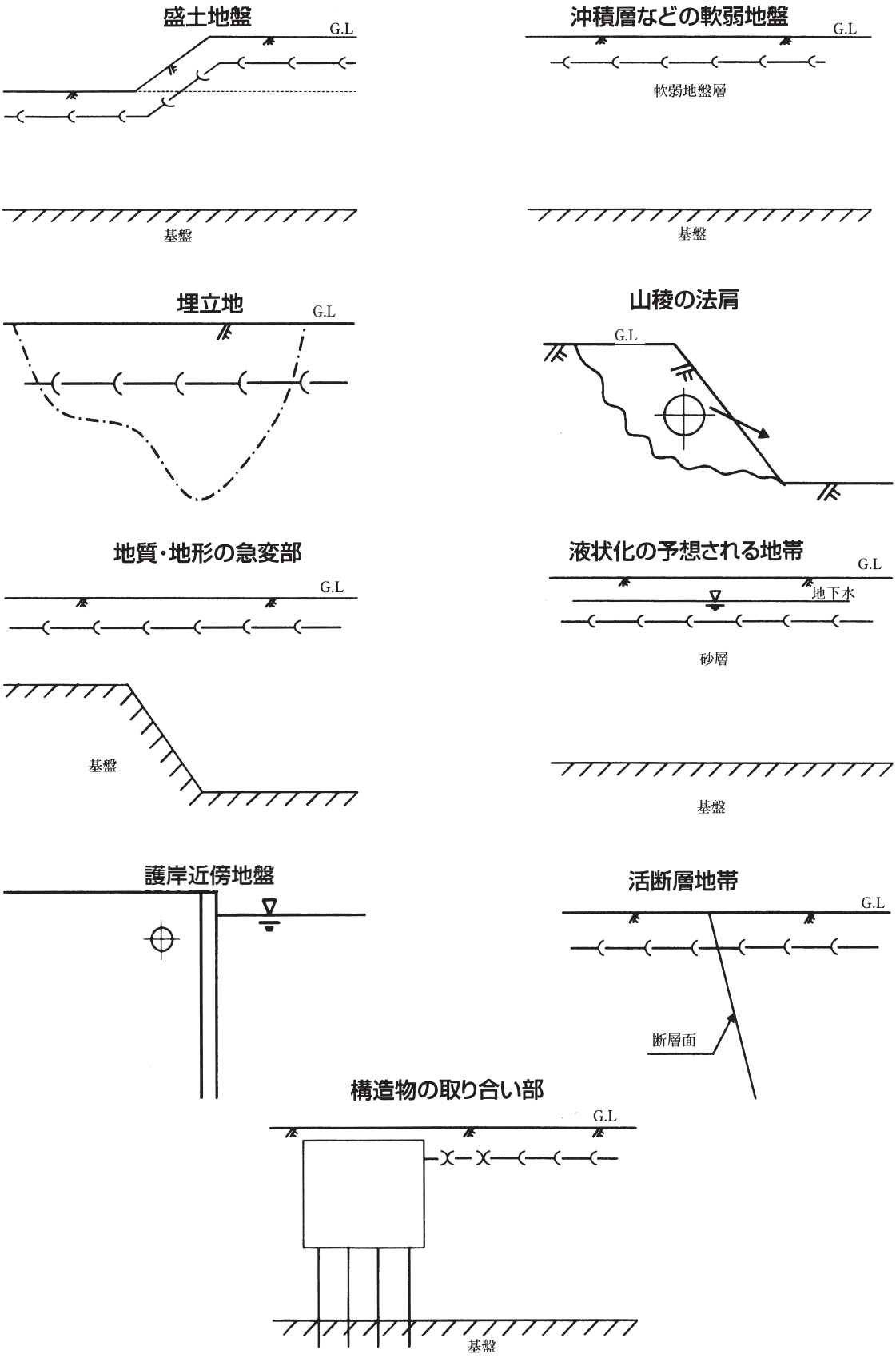


図21　地質・地形上から耐震性を高める必要がある場所

3.4　管厚設計

埋設管について、JSWAS G－１のダクタイル鉄管の管厚設計方法を次に示す。

3.4.1　埋設管の管厚計算

3.4.1.1　ダクタイル鉄管の管厚計算式の誘導

ダクタイル鉄管の管厚計算式は、静水圧、水撃圧、土かぶりによる土圧および活荷重による土圧を全部同時に考慮している。

内圧によって発生する引張圧力σ_tは、

$$\sigma_t = \sigma_{ts} + \sigma_{td} = \frac{(P_s + P_d)d}{2t}$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{ts} &= \frac{P_s \cdot d}{2t} \\ \sigma_{td} &= \frac{P_d \cdot d}{2t} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここに、　σ_t　：内圧によって発生する引張応力
　　σ_{ts}　：静水圧によって発生する応力
　　σ_{td}　：水撃圧によって発生する応力
　　P_S　：最大使用圧力（静水圧）
　　P_d　：水撃圧
　　d　：管内径
　　t　：管厚

外圧によって発生する曲げ応力σ_bは、

$$\sigma_b = \frac{(M_f + M_t)}{Z} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$Z = \frac{b \cdot t^2}{6}$$

ここに、　σ_b　：外圧によって発生する曲げ応力
　　M_f　：土かぶりによって発生する曲げモーメント
　　M_t　：活荷重により発生する曲げモーメント
　　Z　：断面係数
　　b　：管長（単位長さで考えれば、b＝1）
　　t　：管厚

したがって、単位長さ当たりの曲げ応力σ_bは

$$\sigma_b = \frac{6(M_f + M_t)}{t^2} \quad \cdots\cdots (3)$$

土かぶりによって発生する曲げモーメントM_f、活荷重により発生する曲げモーメントM_tは、

$M_f = K_f \cdot W_f \cdot R^2$

$M_t = K_t \cdot W_t \cdot R^2$

ここに、　K_f, K_t：管底支持角により定まる係数

W_f　：土かぶりによる土圧

W_t　：活荷重による土圧

R　：管平均半径

これらを(3)式に代入すると、

$$\sigma_b = \frac{6(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t)R^2}{t^2} \quad \cdots\cdots (4)$$

となる。

σ_bは曲げ応力であるから、引張応力に換算するために0.7を乗じ、許容応力をσ_zとすると、管厚は次式を満足するように決定すればよいことになる。

$$\sigma_t + 0.7\,\sigma_b = \sigma_z \quad \cdots\cdots (5)$$

さらに、

静水圧に対し安全率	2.5
水撃圧に対し安全率	2.0
土かぶりによる土圧安全率	2.0
活荷重による土圧安全率	2.0

を見込み、管材の引張強さをSとすると、（5）式は、

$$2.5\,\sigma_{ts} + 2.0\,\sigma_{td} + 1.4\,\sigma_b = S \quad \cdots\cdots (6)$$

$R = \frac{D_m}{2}$ とおいて、(6)式に(1)式、(4)式を代入すると、（D_m：管の平均径）

$$S \cdot t^2 - (1.25P_s + P_d)\ d \cdot t - 2.1\ (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t)\ Dm^2 = 0$$

$D_m \fallingdotseq D$とおいてtについて解くと、（D：呼び径）

$$t = \frac{(1.25P_s + P_d) + \sqrt{(1.25P_s + P_d)^2 + 8.4(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t)S}}{2S} D \quad \cdots\cdots (7)$$

となる。

ここに、

t	：正味管厚（mm）
P_s	：静水圧（MPa）
P_d	：水撃圧（MPa）
K_f、K_t	：管底支持角により定まる係数（表33、34による）
W_f	：土かぶりによる土圧（kN/m^2）
W_t	：活荷重による土圧（kN/m^2）
S	：管材の引張強さ（$420N/mm^2$）
D	：呼び径（mm）

(7)式で算出した管厚は正味管厚であるので、これに腐食に対する余裕（1 mm)、鋳造上の余裕（10%または1 mm）を加算すると計算管厚は、(8)式により求める。

$$T_1=(t+1)\times 1.1\text{mm} \qquad t+1 \geqq 10\text{mm の場合}$$
$$T_1=[(t+1)+1]\text{mm} \qquad t+1 < 10\text{mm の場合} \qquad \cdots\cdots (8)$$

ここに、

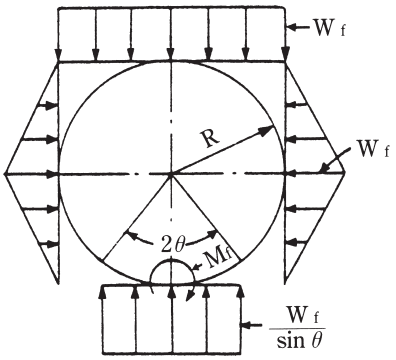
t　：正味管厚（mm）

T_1：計算管厚（mm）

計算管厚（T_1）より、規格管厚（T）を選定する。

土圧分布および係数K_f、K_t

ダクタイル鉄管の場合の土圧分布は、数多くの埋設実験の結果から図22、図23のようになるとする。



2 θ：管底支持角

図22　土かぶりによる荷重分布

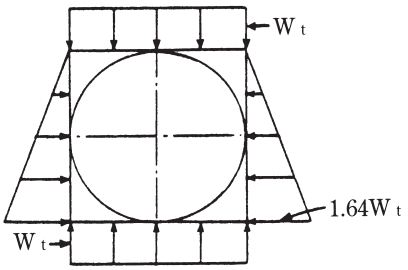


図23　路面荷重による荷重分布

K_fの値を表33に示し、K_tの値を表34に示す。

K_fは管底の支持角によって定まる係数で、一般の埋め戻し時に管側のつき固めが行われたり、管径が大きくなれば管底支持角も大きくなる。

表33　K_fの値

位置 ＼ 管底支持角 2θ	40°	60°	90°	120°	180°
管　頂	140×10^{-6}	132×10^{-6}	121×10^{-6}	108×10^{-6}	96×10^{-6}
管　底	281×10^{-6}	223×10^{-6}	160×10^{-6}	122×10^{-6}	96×10^{-6}

表34　K_tの値

管　頂	76×10^{-6}
管　底	11×10^{-6}

管厚計算に当たっては、管頂および管底の両方について計算し、いずれか厚くなる方を採用する。

3.4.1.2　たわみ計算式

土かぶりと活荷重による垂直たわみの計算式を以下に示す。

(1)　土かぶりによる垂直たわみ

$$\delta_v = K\frac{W_f \cdot R^4}{EI}$$

ここに、

δ_v　：土かぶりによる垂直たわみ（mm）

W_f　：土かぶりによる土圧（kN/m²）

R　：管半径（mm）

E　：ダクタイル鉄管の弾性係数（1.6×10^5N/mm²）

I　：慣性モーメント（mm⁴/mm）　$\left[\frac{bt_1^3}{12}\right]$

単位長さで考えれば、$b=1$、$\therefore I=\frac{t_1^3}{12}$

t_1は、規格管厚（T）より鋳造上の余裕を差し引いた管厚である。

K　：管底支持角により定める係数（表35）

表35　管底支持角と係数Kとの関係

管底支持角	0°	40°	60°	90°	120°	180°
K	122×10^{-6}	111×10^{-6}	100×10^{-6}	84×10^{-6}	70×10^{-6}	58×10^{-6}

(2)　活荷重による垂直たわみ

$$\delta_v' = 30\times10^{-6}\frac{W_t \cdot R^4}{E \cdot I}$$

ここに、

δ_v'：活荷重による垂直たわみ（mm）

W_t　：活荷重による土圧（kN/m²）

(3)　合計たわみ

$$\delta = \delta_v + \delta_v'$$

設計たわみ率（合計たわみ／呼び径）は、一般に３％以下とする。

3.4.1.3　内圧

ポンプ圧送の場合の静水圧と水撃圧について以下に示す。

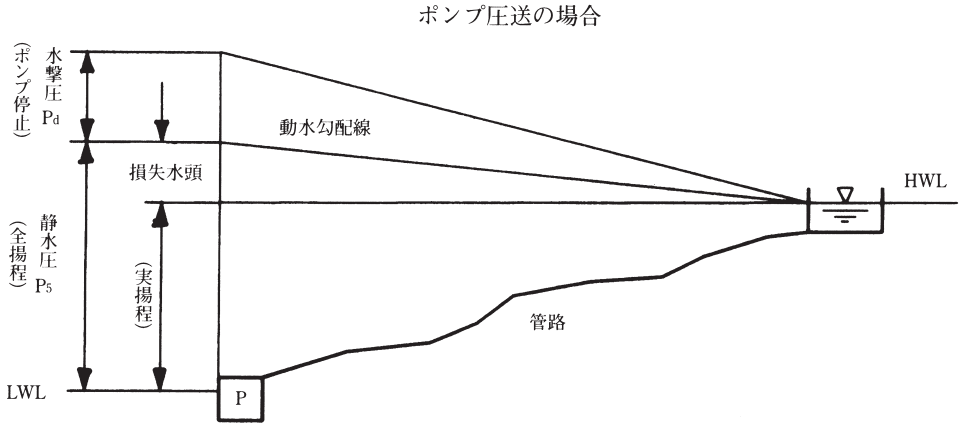


図24　静水圧と水撃圧

(1)　静水圧

ポンプ圧送…全揚程の水圧とする。

(2)　水撃圧

水撃圧は計算によって求めることができるが、計算によらない場合は次による。

ポンプ圧送：静水圧が0.45MPa未満の場合は、その100％、静水圧が0.45MPa以上の場合は、その60%または0.45MPaのいずれか大きい値。

［土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書（農林水産省農村振興局整備部設計課 監修）（令和３年６月）の経験則による水撃圧の推定による。］

3.4.1.4　外圧

(1)　土かぶりによる土圧

土かぶりによる土圧の計算式としては、図25に示すようにヤンセン（Janssen）公式が実験値とよく合致する。ただし、土かぶりが２m以下の場合は、垂直公式でも大差なく、計算も簡単であるので垂直公式がよく使用されている。

土かぶりが２mを超える場合は、土かぶり２m時の垂直公式の値とヤンセン公式で求めた値の大きい方を採用する。

①　垂直公式

$$W_f = \gamma \cdot H$$

ここに、

W_f　：垂直土圧（kN/m^2）

γ　：土の単位体積重量（kN/m^3）

H　：土かぶり（m）

② ヤンセン公式

$$W_f = \frac{\gamma}{2K \cdot \tan\phi}\left(1 - e^{-2K \cdot \tan\phi \cdot \frac{H}{B}}\right)B$$

$$K = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$$

ここに、

W_f ：垂直土圧（kN/m^2）

γ ：土の単位体積重量（kN/m^3）

K ：ランキン（Rankine）係数

ϕ ：土の内部摩擦角（°）

H ：土かぶり（m）

B ：溝幅（m）

e ：自然対数の底

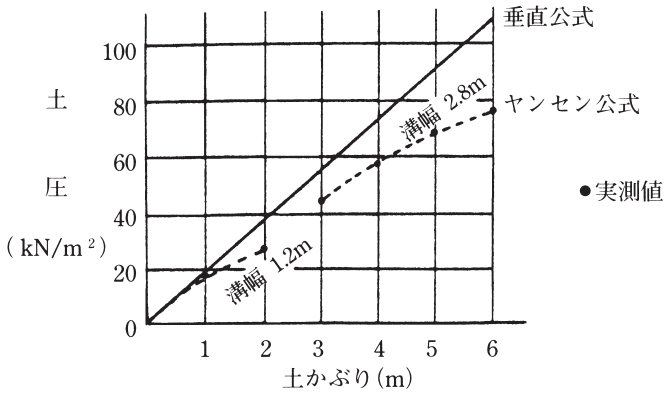


図25　土かぶり６mの実験における実測土圧と計算土圧

(2) 活荷重による土圧

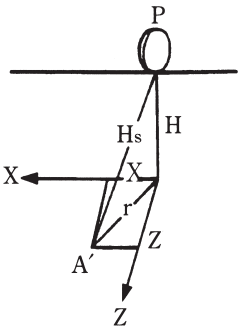
トラックの車輪などの集中荷重が地上に作用し、地下の埋設管に荷重が伝達されるような場合は、下記のブーシネスク（Boussinesq）を用いる。

ブーシネスク式

$$p = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{H_s^5} P$$

$$= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{(H^2+r^2)^{5/2}} P$$

$$= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{(H^2+X^2+Z^2)^{5/2}} P$$



ここに、

p ：地下の任意の点A' における垂直圧力（kN/m²）
P ：集中荷重（kN）
H ：A'点の地表面下の深さ（m）
Hs ：Pの作用点からA' 点までの距離（m）
r ：Hsの水平成分
X ：rの横方向成分
Z ：rの軸方向成分

埋設実験での実測値とブーシネスク式による計算値を図26、図27に示す。車輪直下の土圧は、衝撃係数を1.5とした場合に計算値とよく合っている。

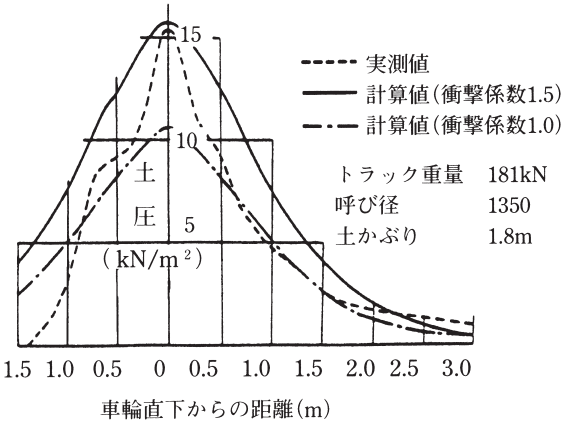


図26 管頂線上の土圧分布

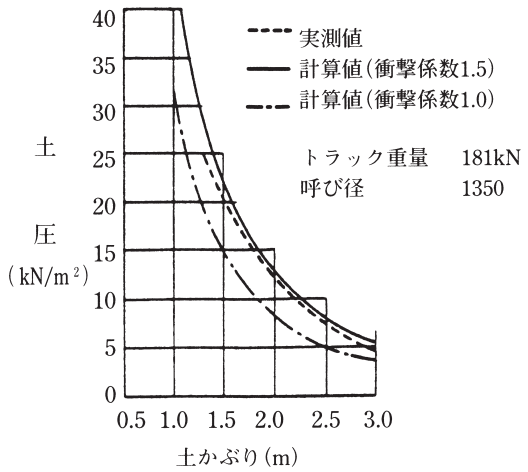


図27 各土かぶりにおける車輪直下の土圧

ブーシネスク式で

$$\frac{3}{2\pi}\cdot\frac{H^3}{(H^2+X^2+Z^2)^{5/2}}=\Phi$$

とおくと、

$$p=\Phi\cdot P$$

ただし、この式によって求まるのは地下の任意の一点における圧力である。そのため管に作用する全体の荷重を求めるには、管上のpを積算しなければならない。

厳密には積分して求めなければならないが、非常に複雑であるため管をいくつかの正方形で区分し、その中央に作用する圧力p×正方形面積を正方形全体にかかる荷重とし、正方形にかかる荷重を全部加え合わせて全体にかかる荷重とする方法をとる。

以上より、路面荷重による土圧は、次式により求める。

$$W_t=1.5\alpha\cdot P$$

$$P=\frac{4}{5}\cdot\frac{1}{2}U$$

$$\alpha=\frac{\Sigma(\Phi\cdot a)}{\Sigma a}$$

ここに、W_t：活荷重による土圧（kN/m^2）

P　：トラック１後輪重量（kN）

U　：トラック重量（kN）

1.5　：衝撃係数

α　：管口径、土かぶりによる定まる係数（m^{-2}）

a　：正方形面積（m^2）

一般に、αを求めるのに図28のような線図を利用すれば便利であるが、次式によって求めることもできる。

$$F(A,B,H)=0.25-\frac{1}{2\pi}\left\{\sin^{-1}\left(H\sqrt{\frac{A^2+B^2+H^2}{(A^2+H^2)(B^2+H^2)}}\right)-\frac{A\cdot B\cdot H}{\sqrt{A^2+B^2+H^2}}\left(\frac{1}{A^2+H^2}+\frac{1}{B^2+H^2}\right)\right\}$$

［トラック２台の場合］

$$S_h=F(3.3,B,H)+F(1.5,B,H)+F(0.5,B,H)-F(1.3,B,H)$$

$$\alpha=\frac{4\ S_h}{2\ D}$$

［トラック１台の場合］

$$S_h=F(0.1,B,H)+F(1.9,B,H)$$

$$\alpha=\frac{4\ S_h}{2\ D}$$

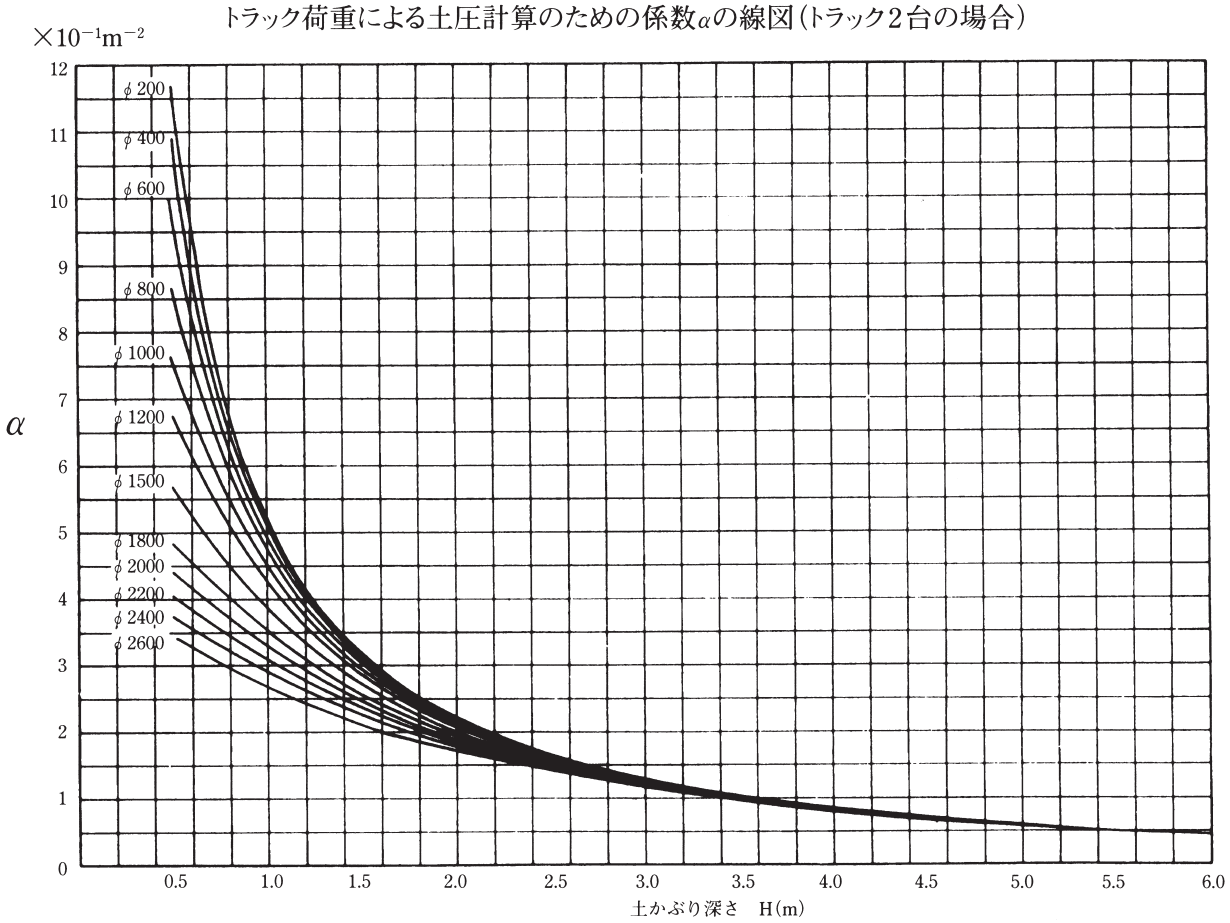
ここに、D　：呼び径（m）

H　：土かぶり（m）

A　：管軸方向長さ（m）

$B=\frac{D}{2}$（m）

トラック荷重による土圧計算のための係数αの線図（トラック2台の場合）



トラック荷重による土圧計算のための係数αの線図（トラック1台の場合）

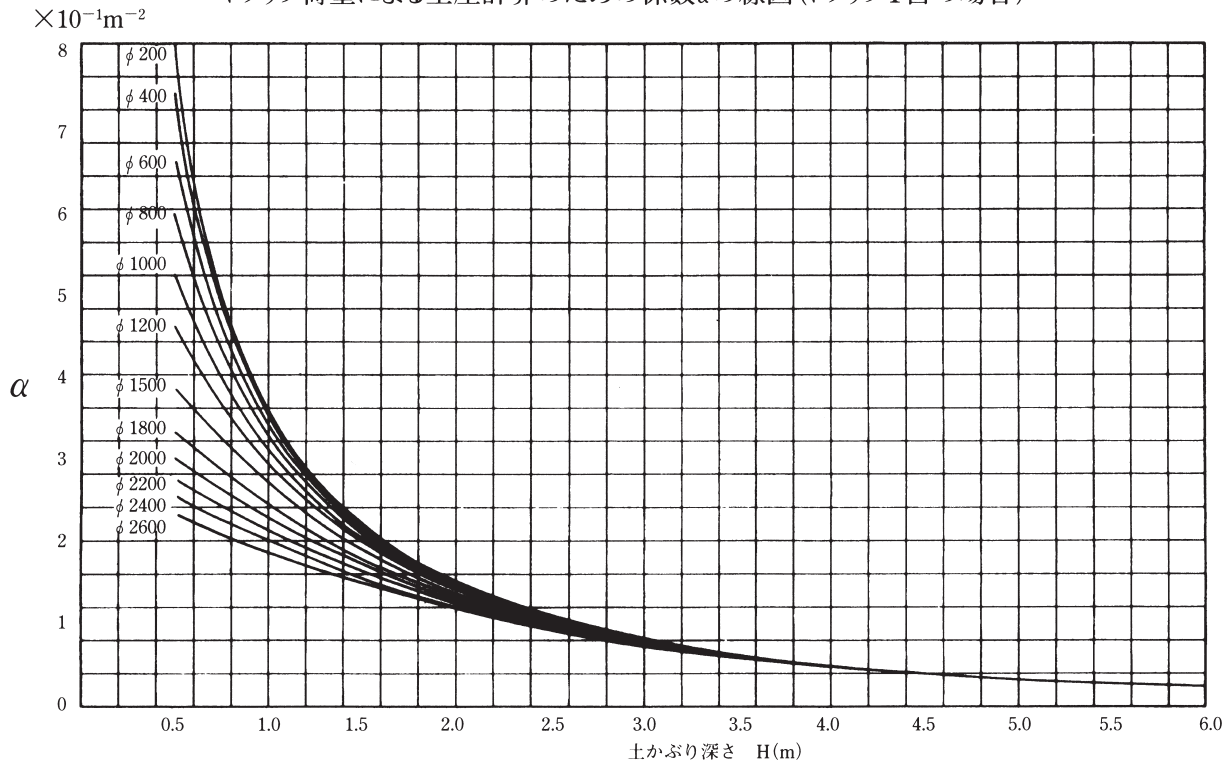


図28　H－α線図

表36　管種選定表

設計条件

1）布設状態：平底溝

2）土の単位体積重量：18kN/m^3

3）土の内部摩擦角：30°

4）溝幅：B＝1.5D＋750（mm）

5）活荷重：T－25トラック２台　並列同時通過

6）管底支持角：60°

7）設計たわみ率：３％

土かぶり（m）		1.0					1.2					1.5					1.8				
静水圧（MPa）		0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0
水撃圧（MPa）		0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0
呼び径	75～300	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	350～500	－	－	－	－	－	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	600	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	700	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	800	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	900	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1000	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1100	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1200	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
	1350	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	1500	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
	1600	－	－	－	－	－	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	1650	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	1800	－	－	－	－	－	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2000	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2100	－	－	－	－	－	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2200	－	－	－	－	－	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2400	－	－	－	－	－	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2600	－	－	－	－	－	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

土かぶり（m）		2.1					2.4					3.0				
静水圧（MPa）		0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0
水撃圧（MPa）		0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.2	0.1	0
呼び径	75～300	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	350～500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	600	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	700	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	800	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	900	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1000	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1100	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
	1200	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	1350	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	1500	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	1600	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	1650	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	1800	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2000	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2100	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2200	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2400	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2600	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

備考　表中の数値は、管種を示す。

3.4.2　露出配管の構造計算

露出配管時の構造計算を行う場合に、管に作用する荷重としては、内圧、管自重および管内水重を考える。

管厚は、これらの荷重によって管に発生する応力が、許容値以内になるように決める。

3.4.2.1　内圧によって管に発生する円周方向応力（引張応力）

内圧によって管に発生する円周方向応力は、次式で求める。

$$\sigma_{ts}=\frac{P_s \cdot D}{2t}$$

$$\sigma_{td}=\frac{P_d \cdot D}{2t}$$

ここに、

σ_{ts} ：静水圧による円周方向応力（N/mm^2）

σ_{td} ：水撃圧による円周方向応力（N/mm^2）

P_s ：静水圧（MPa）

P_d ：水撃圧（MPa）

D ：呼び径（mm）

t ：正味管厚（mm）

3.4.2.2　管自重と管内水重によって管に発生する軸方向応力（曲げ応力）

管は図29、図30に示す方法でサポートされているものとする。

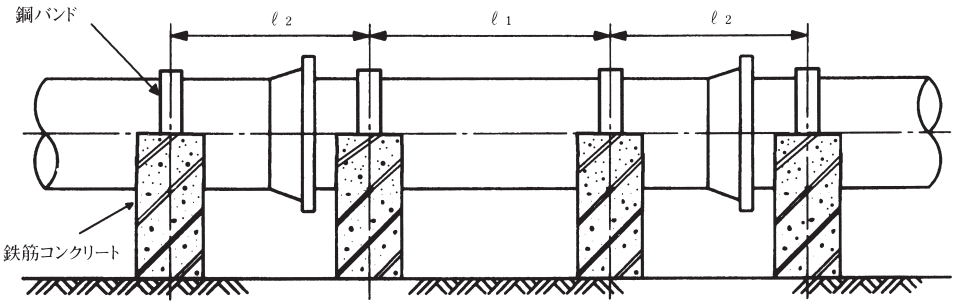
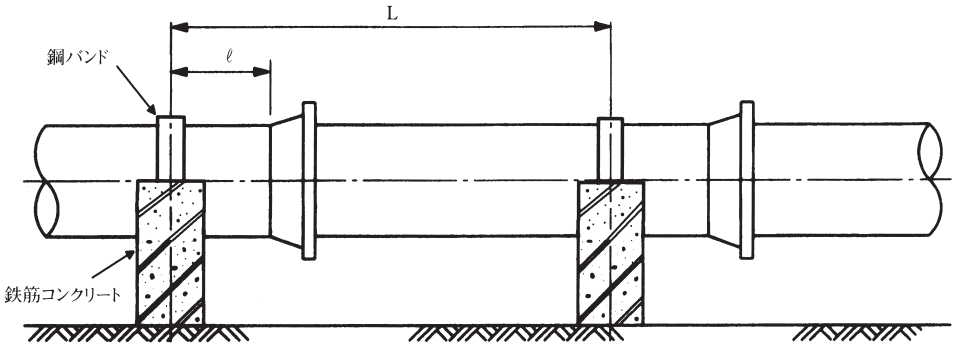


図29　管の２点サポート方法（継手部は、ℓ2の中央とする。）



備考　サポートと管との接触面は、できるだけ広くとり応力集中を避けること。

図30　管の１点サポート方法

管自重と管内水重によって管に発生する軸方向の曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_2^4 - D_1^4}{D_2}$$

ここに、

σ_b ：管自重と管内水重による軸方向曲げ応力（N/mm^2）

M ：管自重と管内水重による軸方向曲げモーメント（N・mm）

Z ：管の軸直角方向の断面係数（mm^3）

D_2 ：管外径（mm）

D_1 ：管内径（mm）

軸方向曲げモーメントは、管のサポート方法によって異なり、ダクタイル鉄管の継手をヒンジと考えると、次のようになる。

(1) ２点サポートの場合

図31に示す２点サポートの場合に、管に発生する曲げモーメントは、次式で求める。

$$M_1 = \frac{W \cdot \ell_2^2}{8}$$

$$M_2 = \frac{W(\ell_2^2 - \ell_1^2)}{8}$$

ここに、

W ：単位長さ当たりの管自重と管内水重（N/mm）

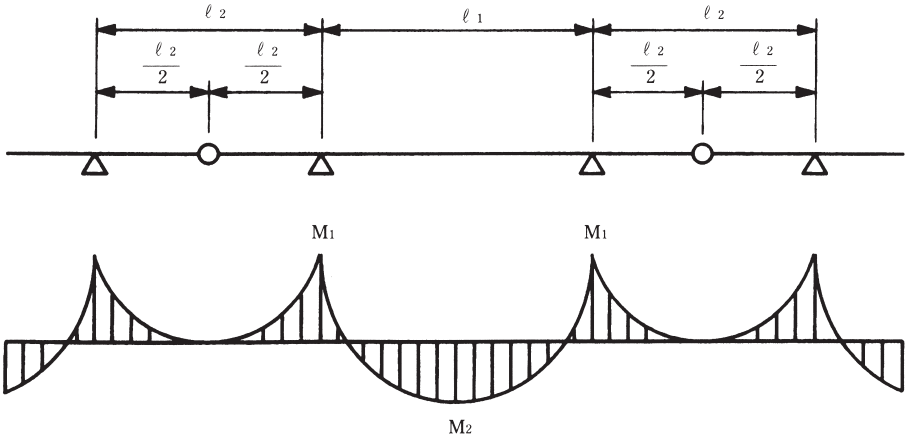


図31　２点サポートの場合の曲げモーメント

(2)　1点サポートの場合

図32に示す1点サポートの場合に、管に発生するモーメントは、次式で求める。

$$M_1=\frac{W\cdot\ell}{8}(3\ell-L)$$

$$M_2=\frac{W}{8}(L^2-4L\cdot\ell+4\ell^2)$$

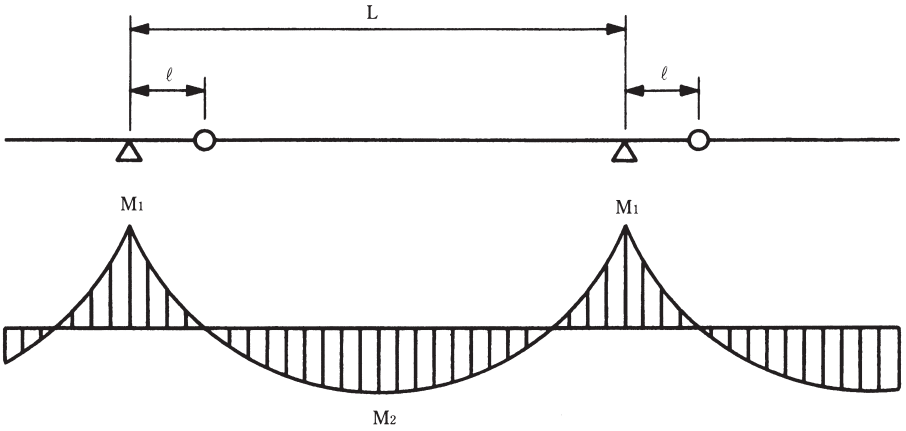


図32　1点サポートの場合の曲げモーメント

3.4.2.3　安全性の照査

発生応力に対して安全率を考慮した安全性の照査を行う。

$\sigma_t' = 2.5\sigma_{ts} + 2.0\sigma_{td} \leqq S_t$

$\sigma_b' = 2.0\sigma_b \leqq S_b$

S_t：管材の引張強さ＝420N/mm^2

S_b：管材の曲げ強さ＝600N/mm^2

ここに、

σ_t'：引張応力に安全率を考慮した照査値（N/mm^2）

σ_b'：曲げ応力に安全率を考慮した照査値（N/mm^2）

σ_{ts}：静水圧による円周方向応力（N/mm^2）

σ_{td}：水撃圧による円周方向応力（N/mm^2）

σ_b：管自重と管内自重による軸方向曲げ応力（N/mm^2）

3.5　異形管防護工の設計

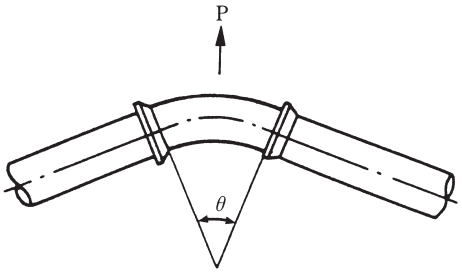
管路の屈曲部、分岐部、末端の栓または帽、バルブなどには、水圧によって管を動かそうとする力（不平均力という）が動く。このような場合には、離脱防止継手を用いるか、防護コンクリートブロックによる防護が必要となる。

ただし、小口径管路では、離脱防止金具を使用することもある。

3.5.1　水圧による不平均力

(1)　不平均力が作用する場合

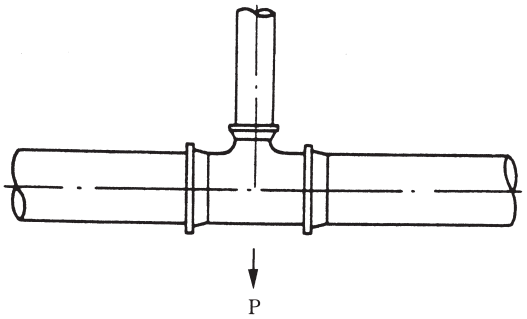
①　流れの向きが変わる場合



$P=2p\cdot A\cdot \sin\frac{\theta}{2}$

A:管断面積
p:水圧

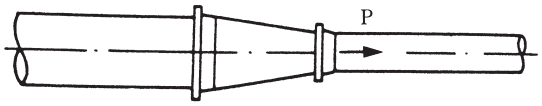
図33　曲管



P=p·a
a:管断面積(枝管)

図34　T字管および排水T字管

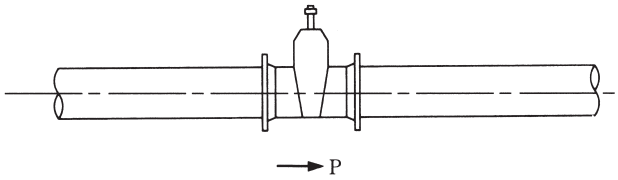
②　管径が変わる場合



P=p(A−a)
A−a:管断面積の差

図35　片落管

③　管路の行き止まりの場合



P=p·A

図36　栓（または帽）およびバルブ

表37　水圧による不平均力

単位：kN（水圧0.1MPa当たり）

呼び径	90°曲管	45°曲管	$22\frac{1}{2}$°曲管	$11\frac{1}{4}$°曲管	$5\frac{5}{8}$°曲管	T字管 栓･帽･仕切弁
75	0.96	0.52	0.27	0.13	0.07	0.68
100	1.55	0.84	0.43	0.21	0.11	1.09
150	3.17	1.72	0.88	0.44	0.22	2.24
200	5.38	2.91	1.48	0.75	0.37	3.80
250	8.19	4.43	2.26	1.14	0.57	5.79
300	11.57	6.26	3.19	1.60	0.80	8.18
350	15.54	8.41	4.29	2.15	1.08	10.99
400	20.12	10.89	5.55	2.79	1.40	14.23
450	25.25	13.67	6.97	3.50	1.75	17.86
500	30.97	16.76	8.54	4.29	2.15	21.90
600	44.20	23.92	12.19	6.13	3.07	31.25
700	59.68	32.30	16.47	8.27	4.14	42.20
800	77.63	42.01	21.42	10.76	5.39	54.89
900	97.93	53.00	27.02	13.58	6.80	69.25
1000	120.37	65.14	33.21	16.68	8.35	85.11
1100	145.36	78.67	40.11	20.15	10.09	102.79
1200	172.44	93.32	47.58	23.90	11.97	121.93
1350	217.70	117.82	60.06	30.18	15.11	153.91
1500	268.23	145.16	74.00	37.18	18.61	189.67
1600	302.39	163.65	83.43	41.92	20.98	213.82
1650	321.38	173.93	88.67	44.55	22.30	227.25
1800	379.32	205.29	104.65	52.58	26.32	268.22
2000	471.80	255.34	130.17	65.40	32.74	333.62
2100	520.14	281.50	143.51	72.10	36.09	367.79
2200	577.40	312.49	159.30	80.04	40.07	408.28
2400	671.07	363.18	185.15	93.02	46.57	474.52
2600	800.15	433.04	220.76	110.91	55.52	565.79

備考　各不平均力は管の外径で計算した。

3.5.2　離脱防止継手による防護工の計算（埋設管路）

離脱防止継手にはGX形（離脱防止形）、NS形（離脱防止形）およびUF形があり、それらの使用本数の計算は、曲管、T字管、Sベンドおよび伏せ越しなどのそれぞれについて行う。

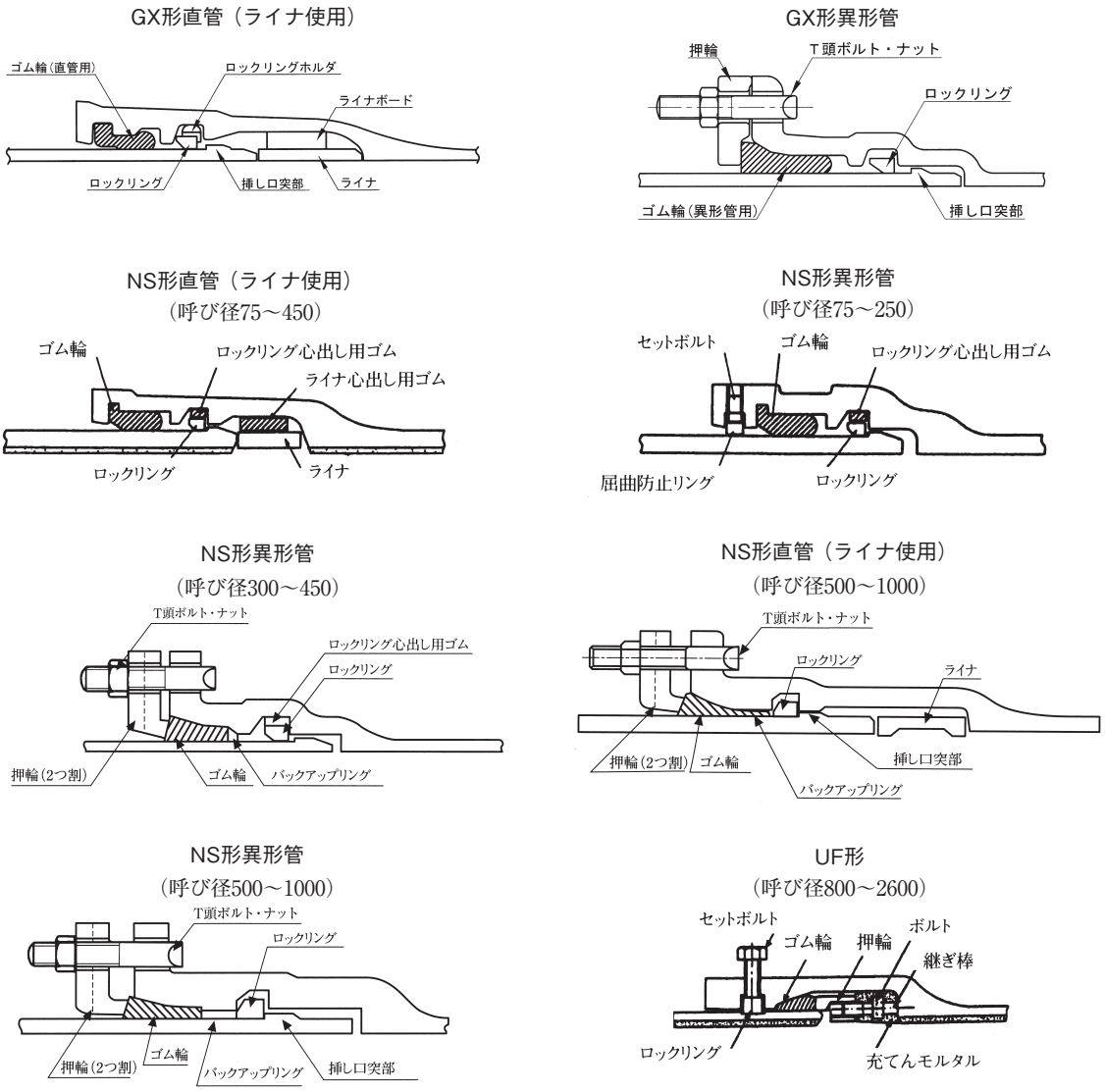


図37　GX形、NS形およびUF形継手の構造

3.5.2.1　離脱防止継手を用いた管路の一体化長さ

水圧による不平均力によって異形管部が移動しないように異形管部の近傍を離脱防止継手で一体化する必要がある。この一体化長さは従来計算により算出していたが、一般的な設計条件下で使用されるGX形、NS形管路の曲管部とT字管部の一体化長さは、表39（呼び径75～300）、表41（呼び径350～450）および表42（呼び径350～450）に示す値を使用すればよい。適用管路の条件は、表38（呼び径75～300）、表40（呼び径350～450）に示す通りである。

詳細については、「GX形ダクタイル鉄管管路の設計（JDPA T 57）」「NS形・S 形ダクタイル鉄管管路の設計（JDPA T 35）」を参照のこと。

表38　適用管路の条件

項　　目	内　　容
呼　び　径	75～300
継 手 形 式	GX形またはNS形
設 計 水 圧	1.3MPa以下
土　被　り	0.6m以上
埋め戻し条件	一般的な埋め戻し土でN値５程度以上の閉め固めよる

注）一般的な埋め戻し土とは、①原則として塩分の少ない良質の砂あるいは良質土。②掘削土を埋め戻し土に使用する場合は、良質土であることと、粘土塊や転石、木根など異物を除去したもの。

表39　曲管部およびT字管部の一体化長さ（呼び径75～300）

単位：m

<table>
<tr><th rowspan="3">呼び径</th><th colspan="6">曲管部[1)]</th><th colspan="2" rowspan="2">T字管部[2)]</th></tr>
<tr><th colspan="2">22.5°以下</th><th colspan="2">22.5°を超え45°以下</th><th colspan="2">45°を超え90°以下</th></tr>
<tr><th colspan="2">設計水圧（MPa）</th><th colspan="2">設計水圧（MPa）</th><th colspan="2">設計水圧（MPa）</th><th colspan="2">設計水圧（MPa）</th></tr>
<tr><th>0.75</th><th>1.3</th><th>0.75</th><th>1.3</th><th>0.75</th><th>1.3</th><th>0.75</th><th>1.3</th></tr>
<tr><td>75</td><td rowspan="6">1</td><td rowspan="5">1</td><td rowspan="6">1</td><td rowspan="4">1</td><td>4</td><td rowspan="5">1</td><td rowspan="2">1</td></tr>
<tr><td>100</td><td rowspan="4">1</td><td>5</td></tr>
<tr><td>150</td><td rowspan="3">4</td><td>6</td><td rowspan="3">6</td></tr>
<tr><td>200</td><td>8</td></tr>
<tr><td>250</td><td>2</td><td>6</td><td>11</td><td>2</td><td>7</td></tr>
<tr><td>300</td><td>2</td><td>7</td><td>7</td><td>16</td><td>7</td><td>13</td></tr>
</table>

注）１）単独曲管部では曲管の両側に一体化長さを確保する。
２）枝管の呼び径で判断し、枝管側に表中の一体化長さを確保する。なお、本管側の一体化長さは呼び径によらず両側とも１mとする。

備考１）適用条件：土被り0.6m以上
２）表中の設計水圧は、0.75MPaは0.75MPa以下の場合、1.3MPaは0.75MPaを超え1.3MPa以下の場合に適用する。なお、設計水圧は静水圧と水撃圧を加えたものとする。
３）ポリエチレンスリーブの有無に関わらず、上表の値を適用する。
４）曲管が２個以上の複合曲管部で90°を超え112.5°以下の角度であれば表39の45°を超え90°以下の曲管の一体化長さをそのまま適用出来る。ただし、112.5°を超える角度については管端部の一体化長さを用いる。

表40　適用管路の条件

項　　目	内　　容
呼　び　径	350～450
継　手　形　式	GX形またはNS形
設　計　水　圧	1.3 MPa以下
土　被　り	1.2m以上
埋め戻し条件	一般的な埋め戻し土でN値５程度以上の締め固めによる

注）一般的な埋め戻し土とは、①原則として塩分の少ない良質の砂あるいは良質土。②掘削土を埋め戻し土に使用する場合は、良質土であることと、粘土塊や転石、木根など異物を除去したもの。

表41　曲管部の一体化長さ[1)]（呼び径350～450）

単位：m

土被り　1.2m							土被り　1.5m						
呼び径	22.5°以下		22.5°超え 45°以下		45°超え 90°以下		呼び径	22.5°以下		22.5°超え 45°以下		45°超え 90°以下	
	設計水圧（MPa）		設計水圧（MPa）		設計水圧（MPa）			設計水圧（MPa）		設計水圧（MPa）		設計水圧（MPa）	
	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3		0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3
350	1	2	3	7	8	15	350	1	2	3	7	7	13
400			4		9	17	400			4		8	15
450		3		9	10	19	450		3		9		16

表42　T字管部の一体化長さ[2) 3)]（呼び径350～450）

単位：m

土被り　1.2m				土被り　1.5m			
本管側呼び径	枝管側呼び径	設計水圧（MPa）		本管側呼び径	枝管側呼び径	設計水圧（MPa）	
		0.75	1.3			0.75	1.3
350	350	7	14	350	350	7	13
400	300	6	12	400	300	5	10
	400	7	16		400	7	15
450	300	5	12	450	300	4	10
	450	8	18		450	8	17

注）１）単独曲管部では曲管の両側に一体化長さを確保する。
２）枝管の呼び径で判断し、枝管側に表中の一体化長さを確保する。なお、本管側の一体化長さは呼び径によらず両側とも１mとする。
３）枝管が表42に示す呼び径より小さい場合は、表39のT字管部の値を用いて良い。

備考１）適用条件：土被り1.2m以上
２）表中の設計水圧は、0.75MPaは0.75MPa以下の場合、1.3MPaは0.75MPaを超え1.3MPa以下の場合に適用する。なお、設計水圧は静水圧と水撃圧を加えたものとする。
３）ポリエチレンスリーブの有無に関わらず、上表の値を適用する。
４）曲管が２個以上の複合曲管部で90°を超え112.5°以下の角度であれば表41の45°を超え90°以下の曲管の一体化長さをそのまま適用出来る。ただし、112.5°を超える角度については管端部の一体化長さを用いる。

3.5.3　防護コンクリートの計算（埋設管路）

(1)　一般事項

不平均力による管の移動を防止するために、コンクリートで防護する時は、次の点に注意することが必要である。

①　コンクリートは、管の継手部を抱き込んで一体化するように打つので、強度が必要である。防護工の形状など、場合によっては鉄筋を使用する。

②　コンクリートの背面の土質が悪い場合は、埋戻し土を砂で入れ替えるなどして、支持力を増大させるようにする。

3.5.3.1　水平に不平均力がかかる場合

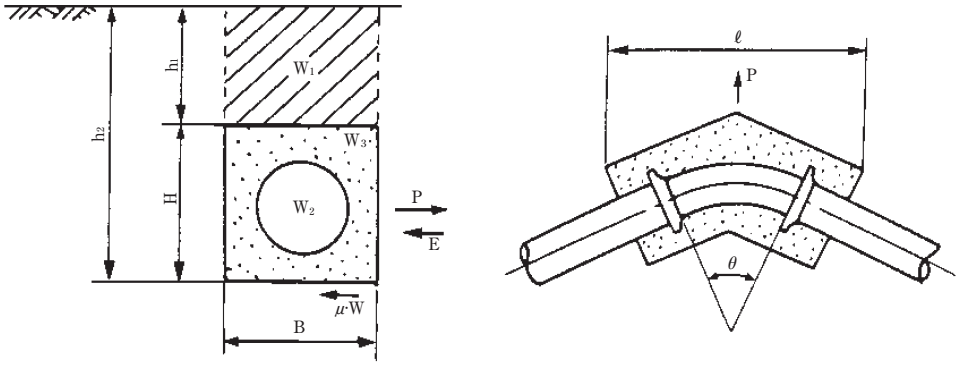


図38　水平曲管部の場合

次式の条件を満足するように計算する。

$$P < \frac{\mu \cdot W + E}{S_f}$$

$$P = 2p \cdot A \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$E = \frac{1}{2} Ce \cdot \gamma (h_2{}^2 - h_1{}^2)\ \ell$$

$$Ce = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

ここに、

P　：曲管部の不平均力（kN）

p　：設計水圧（kN/m^2（=10^{-3}MPa））

A　：管断面積（m^2）

θ　：曲管の角度（°）

μ·W：コンクリート底面と土との摩擦抵抗力（kN）

μ　：コンクリートと土の摩擦抵抗係数

W　：コンクリートの底面にかかる総重量（kN）

W_1　：土かぶりによる荷重（kN）

W_2　：管および水の重量（kN）

W_3　：コンクリートの重量（kN）

E　：コンクリート背面の受働土圧抵抗力（kN）
Ce　：受働土圧係数
γ　：土の単位体積重量（kN/m^3）
h_1　：土かぶり（m）
h_2　：コンクリート底面高（m）
ℓ　：コンクリート背面の投影長（m）
ϕ　：土の内部摩擦角（°）
S_f　：安全率（1.5以上とする）

3.5.3.2　垂直上向きに不平均力がかかる場合

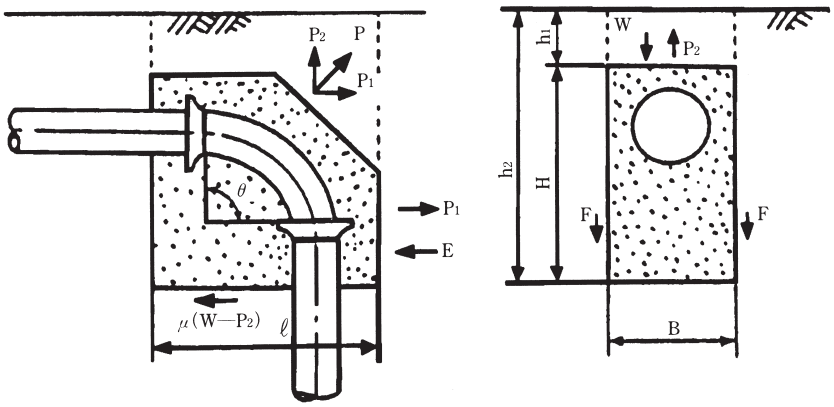


図39　垂直曲管部（上向き）の場合

水平分力および垂直分力は、次式により求める。

$$P_1 = P \cdot \sin\frac{\theta}{2} < \frac{\mu(W - P_2) + E}{S_f}$$

$$P_2 = P \cdot \cos\frac{\theta}{2} < \frac{W + F}{S_f}$$

$$F = \frac{1}{2} Ce' \cdot \gamma (h_2^2 - h_1^2) \cdot 2(B + \ell)\mu$$

$$Ce' = \tan^2\left(45° - \frac{\phi}{2}\right)$$

ここに、

P_1　：不平均力Pの水平分力（kN）
P_2　：不平均力Pの垂直分力（kN）
μ（W－P_2）：コンクリート底面と土との摩擦抵抗力（kN）
F　：コンクリート側面の主働土圧による摩擦抵抗力（kN）
Ce'　：主働土圧係数
B　：コンクリートの幅（m）
ℓ　：コンクリートの長さ（m）

3.5.3.3　垂直下向きに不平均力がかかる場合

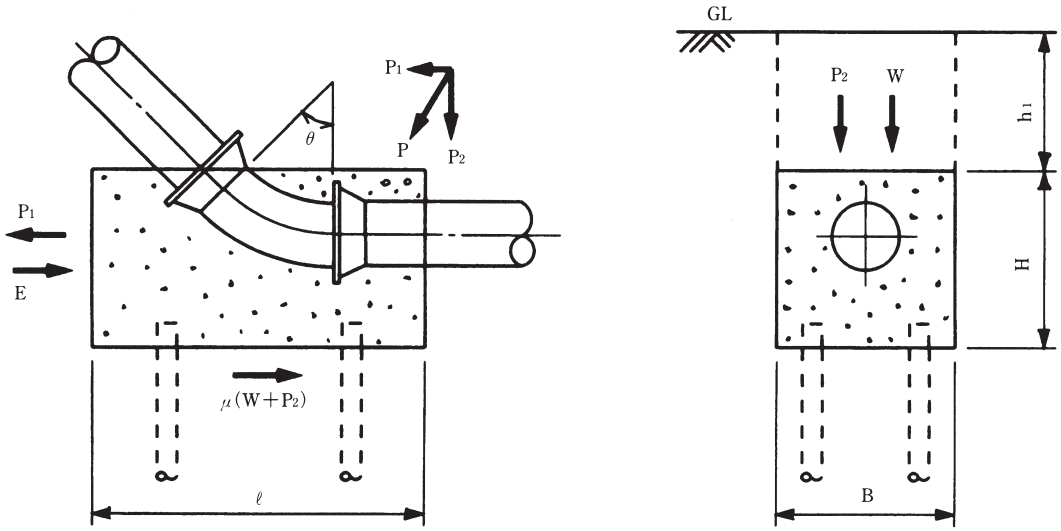


図40　垂直曲管部（下向き）の場合

水平分力および垂直分力は、次式により求める。

$$P_1 = P \cdot \sin\frac{\theta}{2} < \frac{\mu(W+P_2)+E}{S_f}$$

$$P_2 = P \cdot \cos\frac{\theta}{2}、\qquad \frac{W+P_2}{B \cdot \ell} < Q$$

ここに、

Q：　地耐力（kN/m²）

地耐力が不足する場合は、基礎ぐいなどを用いる。

3.5.3.4　コンクリート防護工の計算例

(1)　水平曲管45°の場合

1）設計条件

呼 び 径 ：600

接合形式 ：K形

設計水圧 ：P＝1000kN/m²（1MPa）（静水圧＋水撃圧）

土かぶり ：1.2m

2）曲管部の不平均力

$$P = 2p \cdot A \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

$$= 2 \times 1000 \times \frac{\pi}{4} \times 0.6308^2 \times \sin\frac{45^\circ}{2}$$

$$= 239.2\text{kN}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D_2^2$$

ここに、

P　：曲管の不平均力（kN）

p　：設計水圧（kN/m²）

A　：管の断面積（m²）

θ　：管の曲り角度（45°）

D_2　：管の外径（0.6308m）

3）計算上の条件

土とコンクリートの摩擦係数 ： $\mu=0.5$

土の単位体積重量 ： $\gamma=16\mathrm{kN/m^3}$

コンクリートの単位体積重量 ： $\gamma c=22.5\mathrm{kN/m^3}$

土の内部摩擦角 ： $\phi=30°$

4）防護コンクリートの計算

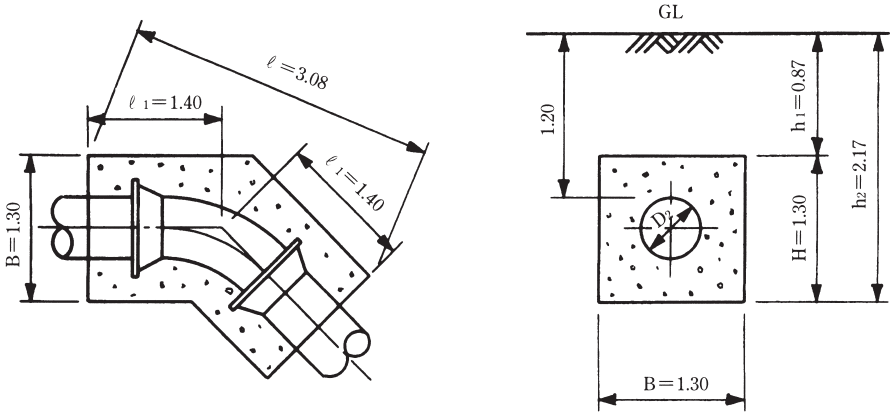


図41　防護コンクリートの形状

① 土かぶりによる荷重（W_1）

$$W_1 = 2\ell_1 \cdot B \cdot \gamma \cdot h_1$$
$$= 2\times1.40\times1.30\times16\times0.87$$
$$= 50.67\mathrm{kN}$$

② 管重および水重（W_2）

$$W_2 = W_p + \frac{\pi}{4}D^2 \cdot 2\ell_1 \cdot \gamma_w$$
$$= 3.33 + \frac{\pi}{4}\times0.6^2\times2\times1.40\times9.8$$
$$= 11.09\mathrm{kN}$$

ここに、

W_p ：管重量（3.33kN）

γ_w ：水の単位体積重量（$9.8\mathrm{kN/m^3}$）

D ：呼び径（0.6m）

③ コンクリートの重量（W_3）

$$W_3 = \{2\ell_1(B\cdot H - \frac{\pi}{4}D_2^2)\}\gamma_c$$
$$= \{2\times1.40\times(1.30\times1.30 - \frac{\pi}{4}\times0.6308^2)\}\times22.5$$
$$= 86.78\mathrm{kN}$$

④　コンクリートの底面にかかる総重量（W）

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$
$$= 50.67 + 11.09 + 86.78$$
$$= 148.5\text{kN}$$

⑤　コンクリート底面での土との摩擦抵抗力（$\mu \cdot W$）

$$\mu \cdot W = 0.5 \times 148.5$$
$$= 74.3\text{kN}$$

⑥　コンクリート背面の受働土圧による抵抗力（E）

$$E = \frac{1}{2} C_e \cdot \gamma (h_2^2 - h_1^2)\ \ell$$
$$= \frac{1}{2} \times 3.0 \times 16 \times (2.17^2 - 0.87^2) \times 3.08$$
$$= 292.1\text{kN}$$
$$C_e = \tan^2 (45^\circ + \frac{\phi}{2}) = 3.0$$

ここに、

C_e　：受働土圧係数

h_2　：コンクリート底面までの深さ（2.17m）

h_1　：コンクリート上面までの深さ（0.87m）

ℓ　：コンクリート背面長（3.08m）

⑦　防護コンクリートの総抵抗力（R）

$$R = \mu \cdot W + E$$
$$= 74.3 + 292.1$$
$$= 366.4\text{kN}$$

⑧　安全率（S_f）

$$S_f = \frac{R}{P}$$
$$= \frac{366.4}{239.2}$$
$$= 1.53 > 1.5$$

設計安全率1.5以上であり安全である。

⑨　防護コンクリートを支持するのに必要な地耐力（Q）

$$Q = \frac{W}{2B \cdot \ell_1}$$

$$= \frac{148.5}{2 \times 1.30 \times 1.40}$$

$$= 40.8\text{kN/m}^2$$

したがって、地耐力は50kN/m²以上必要である。

(2)　垂直上向き曲管45°の場合

1）設計条件

呼 び 径：600

接合形式：K形

設計水圧：P＝1000kN/m²（＝1MPa）（静水圧＋水撃圧）

土かぶり：1.2m

2）曲管部の不平均力

$$P = 2p \cdot A \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

$$= 2 \times 1000 \times \frac{\pi}{4} \times 0.6308^2 \times \sin\frac{45^\circ}{2}$$

$$= 239.2\text{kN}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D_2^2$$

ここに、

P：曲管の不平均力（kN）

p：設計水圧（kN/m²）

A：管の断面積＝（m²）

θ：管の曲り角度（45°）

D_2：管の外径（0.6308m）

3）計算上の条件

土とコンクリートの摩擦係数　：μ　＝0.5

土と単位体積重量　：γ　＝16kN/m³

コンクリートの単位体積重量　：γ_c　＝22.5kN/m³

土の内部摩擦角　：ϕ　＝30°

4）防護コンクリートの計算

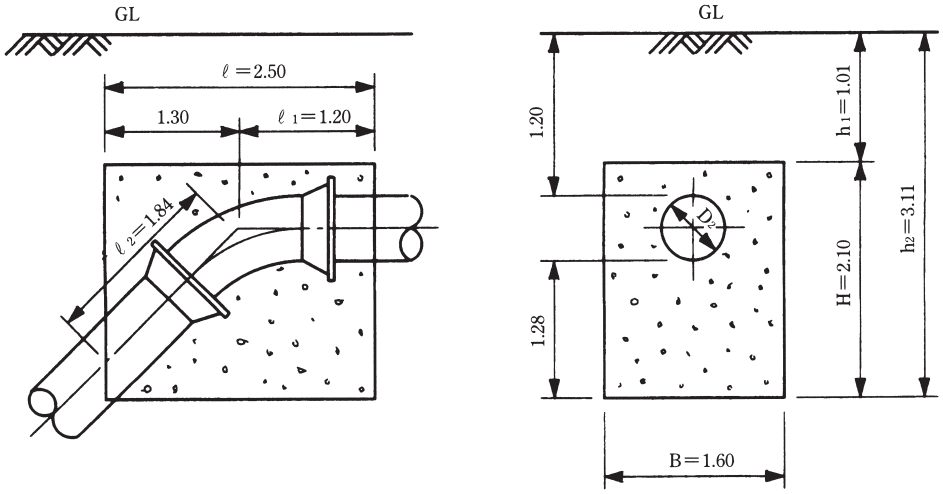


図42　防護コンクリートの形状

①　曲管部の不平均力

水平分力　$P_1 = P \cdot \sin\frac{\theta}{2}$

$= 239.2 \times \sin\frac{45^\circ}{2}$

$= 91.54\text{kN}$

垂直分力　$P_2 = P \cdot \cos\frac{\theta}{2}$

$= 239.2 \times \cos\frac{45^\circ}{2}$

$= 221.0\text{kN}$

②　水平分力に対する抵抗力の検討

（イ）土かぶりによる荷重（W_1）

$W_1 = \ell \cdot B \cdot \gamma \cdot h_1$

$= 2.50 \times 1.60 \times 16 \times 1.01$

$= 64.64\text{kN}$

（ロ）管重および水重（W_2）

$W_2 = W_p + \frac{\pi}{4} D^2 (\ell_1 + \ell_2) \gamma_w$

$= 3.33 + \frac{\pi}{4} \times 0.6^2 \times (1.20 + 1.84) \times 9.8$

$= 11.75\text{kN}$

ここに、

W_p ：管重量（3.33kN）

γ_w ：水の単位体積重量（9.8kN/m^3）

D ：呼び径（0.6m）

（ハ）コンクリートの重量（W_3）

$$W_3 = \{B \cdot H \cdot \ell - \frac{\pi}{4} D_2{}^2 (\ell_1 + \ell_2)\} \gamma_c$$

$$= \{1.60 \times 2.10 \times 2.50 - \frac{\pi}{4} \times 0.6308^2 \times (1.20 + 1.84)\} \times 22.5$$

$$= 167.6\text{kN}$$

（ニ）コンクリートの底面にかかる総重量（W）

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$= 64.64 + 11.42 + 167.6$$

$$= 243.7\text{kN}$$

（ホ）コンクリート底面での土との摩擦抵抗力〔$\mu(W - P_2)$〕

$$\mu(W - P_2) = 0.5 \times (243.7 - 221.0)$$

$$= 11.35\text{kN}$$

（ヘ）コンクリート背面の受働土圧による抵抗力（E）

$$E = \frac{1}{2} C_e \cdot \gamma (h_2{}^2 - h_1{}^2) B$$

$$= \frac{1}{2} \times 3.0 \times 16 \times (3.11^2 - 1.01^2) \times 1.60$$

$$= 332.2\text{kN}$$

（ト）水平分力に対する防護コンクリートの総抵抗力（R_H）

$$R_H = \mu(W - P_2) + E$$

$$= 11.35 + 332.2$$

$$= 343.6\text{kN}$$

（チ）安全率（Sf）

$$S_f = \frac{R_H}{P_1}$$

$$= \frac{343.6}{91.54}$$

$$= 3.75 > 1.5$$

設計安全率1.5以上であり安全である。

③　垂直分力に対する抵抗力の検討

（イ）重量による抵抗力（W）

$W = 243.7\text{kN}$

（ロ）コンクリート側面の主働土圧による摩擦抵抗力（F）

$$F = \frac{1}{2} C_e' \cdot \gamma (h_2^2 - h_1^2) \times 2(B + \ell)\mu$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.333 \times 16 \times (3.11^2 - 1.01^2) \times 2 \times (1.60 + 2.50) \times 0.5$$

$$= 94.50\text{kN}$$

$$C_e' = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) = 0.333$$

ここに、

C_e'：主働土圧係数

（ハ）垂直分力に対する抵抗力（R_v）

$$R_v = W + F$$

$$= 243.7 + 94.50$$

$$= 338.2\text{kN}$$

（ニ）安全率（S_f）

$$S_f = \frac{R_v}{P_2}$$

$$= \frac{338.2}{221.0}$$

$$= 1.53 > 1.5$$

設計安全率1.5以上であり安全である。

④　防護コンクリートを支持するのに必要な地耐力（Q）

$$Q = \frac{W}{B \cdot \ell}$$

$$= \frac{243.7}{1.60 \times 2.50}$$

$$= 60.9\text{kN/m}^2$$

したがって、地耐力は70kN/m^{2}以上必要である。

(3) 垂直下向き曲管45° の場合

1）設計条件

呼 び 径 ：600

接合形式 ：K形

設計水圧 ：P＝1000kN/m^2（＝1MPa）（静水圧＋水撃圧）

土かぶり ：1.2m

2）曲管部の不平均力

$$P = 2p \cdot A \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

$$= 2 \times 1000 \times \frac{\pi}{4} \times 0.6308^2 \times \sin\frac{45^\circ}{2}$$

$$= 239.2\text{kN}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D_2{}^2$$

ここに、

P ：曲管の不平均力（kN）

p ：設計水圧（kN/m^2）

A ：管の断面積（m^2）

θ ：管の曲り角度（45°）

D_2 ：管の外径（0.6308m）

3）計算上の条件

土とコンクリートの摩擦係数 ：μ ＝0.5

土の単位体積重量 ：γ ＝16 kN/m^3

コンクリートの単位体積重量 ：γ_c＝22.5 kN/m^3

土の内部摩擦角 ：ϕ ＝30°

4）防護コンクリートの計算

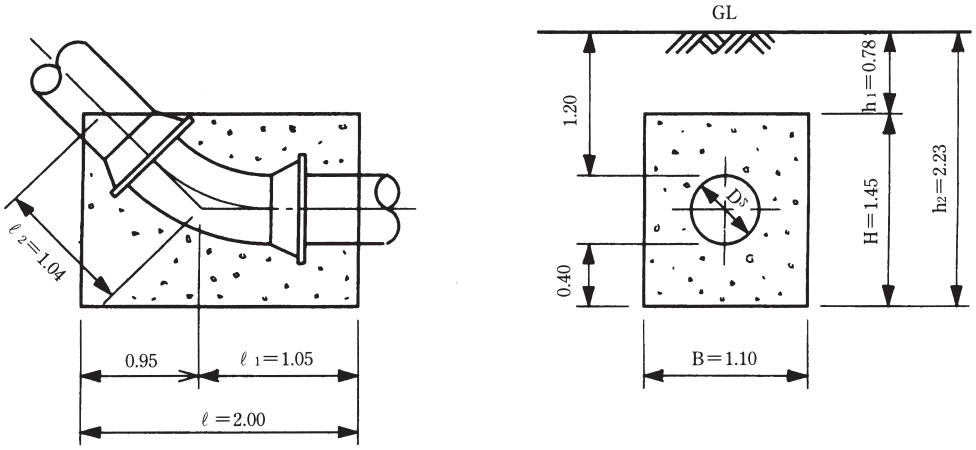


図43 防護コンクリートの形状

① 曲管部の不平均力

水平分力 $P_1 = P \cdot \sin\frac{\theta}{2}$

$= 239.2 \times \sin\frac{45^\circ}{2}$

$= 91.54\text{kN}$

垂直分力 $P_2 = P \cdot \cos\frac{\theta}{2}$

$= 239.2 \times \cos\frac{45^\circ}{2}$

$= 221.0\text{kN}$

② 水平分力に対する抵抗力の検討

（イ）土かぶりによる荷重（W_1）

$W_1 = \ell \cdot B \cdot \gamma \cdot h_1$

$= 2.00 \times 1.10 \times 16 \times 0.78$

$= 27.46\text{kN}$

（ロ）管重および水重（W_2）

$W_2 = W_p + \frac{\pi}{4} D^2 (\ell_1 + \ell_2) \gamma_w$

$= 3.33 + \frac{\pi}{4} \times 0.6^2 \times (1.05 + 1.04) \times 9.8$

$= 9.12\text{kN}$

ここに、

W_p ：管重量（3.33kN）

γ_w ：水の単位体積重量（9.8kN/m^3）

D ：呼び径（0.6m）

（ハ）コンクリート重量（W_3）

$W_3 = \{B \cdot H \cdot \ell - \frac{\pi}{4} D_2{}^2 (\ell_1 + \ell_2)\} \gamma_c$

$= \{1.10 \times 1.45 \times 2.00 - \frac{\pi}{4} \times 0.6308^2 \times (1.05 + 1.04)\} \times 22.5$

$= 57.08\text{kN}$

（ニ）コンクリートの底面にかかる総重量（W）

$W = W_1 + W_2 + W_3$

$= 27.46 + 9.12 + 57.08$

$= 93.66\text{kN}$

（ホ）コンクリート底面での土との摩擦抵抗力〔μ（W＋P_2）〕

$$\mu\ (W+P_2) = 0.5\times(93.66+221.0)$$
$$= 157.3\text{kN}$$

（へ）コンクリート背面の受働土圧による抵抗力（E）

$$E = \frac{1}{2}C_e\cdot\gamma(h_2{}^2-h_1{}^2)B$$
$$= \frac{1}{2}\times3.0\times16\times(2.23^2-0.78^2)\times1.10$$
$$= 115.2\text{kN}$$

（ト）水平分力に対する防護コンクリートの総抵抗力（R_H）

$$R_H = \mu\ (W+P_2)+E$$
$$= 157.3+115.2$$
$$= 272.5\text{kN}$$

（チ）安全率（S_f）

$$S_f = \frac{R_H}{P_1}$$
$$= \frac{272.5}{91.54}$$
$$= 2.98 > 1.5$$

設計安全率1.5以上であり安全である。

③　垂直分力に対する抵抗力（Rv）

垂直分力に対する抵抗力は、防護コンクリートを支持するのに必要な地耐力（Q）として検討する。

$$R_V(Q) = \frac{W+P_2}{B\cdot\ell}$$
$$= \frac{93.66+221.0}{1.10\times2.00}$$
$$= 143.0\text{kN/m}^2$$

したがって、地耐力が150kN/m²以上あればよい。

3.5.4　露出配管防護工の計算式

設計手法の一例を以下に示す

3.5.4.1　鋼製受台に不平均力が水平にかかる場合

（曲管部で受台１個により支えるものと仮定する。）

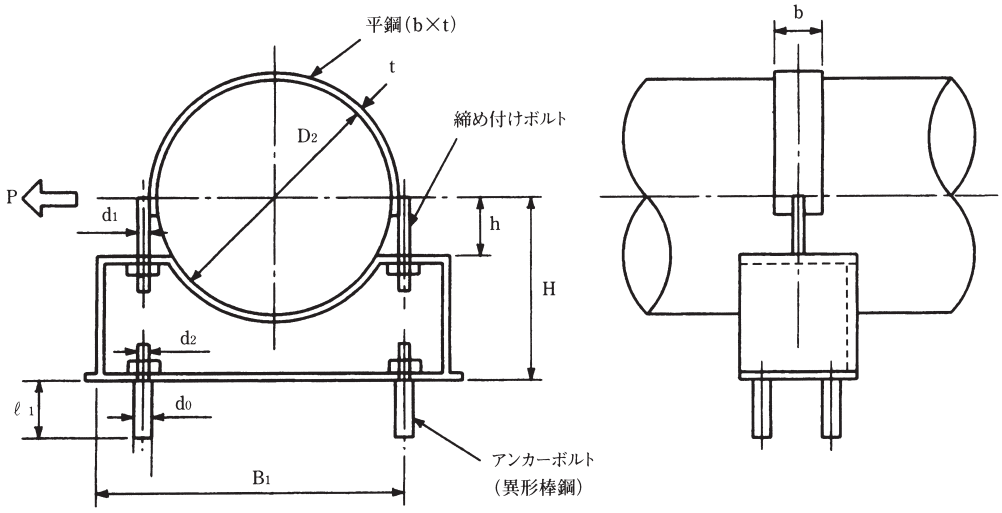


図44　鋼製受台の例

(1)　平鋼の断面寸法

$$b \cdot t \cdot \sigma_t \cdot D_2 \geqq P \cdot h$$

$$P = 2p \cdot A \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D_2^{\,2}$$

ここに、

b　：平鋼の幅（mm）

t　：平鋼の厚さ（mm）

σ_t　：平鋼の許容引張応力（137N/mm^2）

D_2　：管外径（mm）

P　：不平均力（N）

p　：設計水圧（MPa）

A　：管の断面積（mm^2）

θ　：曲がり角（°）

$$\therefore\ b \times t \times 137 \times D_2 \geqq 2p \times \frac{\pi}{4} D_2^{\,2} \cdot \sin\frac{\theta}{2} \times h$$

$$b \times t \geqq \frac{\pi \cdot p \cdot D_2 \cdot h}{274} \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

(2) 締め付けボルトの断面寸法

$$A_b \cdot \sigma_t \cdot D_2 \geqq P \cdot h$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_1^{\,2}$$

ここに、

A_b ：ボルトの断面積（mm^2）

d_1 ：ボルト谷の径（mm）

σ_t ：ボルトの許容引張応力（$137N/mm^2$）

$$\therefore \frac{\pi}{4} d_1^{\,2} \times 137 \times D_2 \geqq 2p \times \frac{\pi}{4} D_2^{\,2} \cdot \sin\frac{\theta}{2} \times h$$

$$d_1 \geqq \sqrt{\frac{p \cdot D_2 \cdot h}{68.5} \cdot \sin\frac{\theta}{2}}$$

(3) アンカーボルトの断面寸法

$$2n \cdot A_b \cdot \sigma_s \geqq P$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_2^{\,2}$$

ここに、

n ：アンカーボルトの片側の本数（本）

A_b ：ボルトの断面積（mm^2）

d_2 ：ボルト谷の径（mm）

σ_s ：ボルトの許容せん断応力（$80N/mm^2$）

$$\therefore 2n \times \frac{\pi}{4} d_2^{\,2} \times 80 \geqq 2p \times \frac{\pi}{4} D_2^{\,2} \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

$$d_2 \geqq \sqrt{\frac{p \cdot D_2^{\,2}}{80n} \sin\frac{\theta}{2}}$$

また、

$$n \cdot A_b \cdot \sigma_t \cdot B_1 \geqq P \cdot H$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_2$$

ここに、

A_b ：ボルトの断面積（mm^2）

d_2 ：ボルトの谷の径（mm）

σ_t ：ボルトの許容引張応力（$137N/mm^2$）

$$\therefore n \times \frac{\pi}{4} d_2'^{\,2} \times 137 \times B_1 \geqq 2p \times \frac{\pi}{4} D_2^{\,2} \cdot \sin\frac{\theta}{2} \times H$$

$$d_2' \geqq \sqrt{\frac{p \cdot D_2^{\,2} \cdot H}{68.5n \cdot B_1} \cdot \sin\frac{\theta}{2}}$$

上記の２式によって計算し、大きい方を用いる。

(4) アンカーボルトの埋め込み深さ

$$n \cdot L_b \cdot \ell_1 \cdot \sigma_c \cdot B_1 \geqq P \cdot H$$

ここに、

L_b ：異形棒鋼の周長（mm）｛$L_b = \pi d_0$、d_0：異形棒鋼の直径(mm)｝

ℓ_1 ：埋め込み長さ（mm）

σ_c ：コンクリートと異形棒鋼の付着力（1.4N/mm²）

$$\therefore n \times \pi d_0 \times \ell_1 \times 1.4 \times B_1 \geqq 2p \times \frac{\pi}{4} D_2{}^2 \cdot \sin\frac{\theta}{2} \times H$$

$$\ell_1 \geqq \frac{p \cdot D_2{}^2 \cdot H}{2.8n \cdot d_0 \cdot B_1} \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

表43　ボルトの標準寸法

ボルト呼び径	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45
ねじの外径（mm）	14.000	16.000	18.000	20.000	22.000	24.000	27.000	30.000	33.000	36.000	39.000	42.000	45.000
ねじの谷の径（mm）	11.835	13.835	15.294	17.294	19.294	20.752	23.752	26.211	29.211	31.670	34.670	37.129	40.129
ボルト断面積（mm²）	110	150	184	235	292	338	443	539	670	787	944	1090	1270

表44　異形棒鋼の単位重量および標準寸法

呼び名	単位重量（N/m）	公称直径（d）（mm）	公称断面積（S）（mm²）	公称周長(1)（mm）
D 6	2.44	6.35	31.67	20
D10	5.49	9.53	71.33	30
D13	9.76	12.7	126.7	40
D16	15.3	15.9	198.6	50
D19	22.1	19.1	286.5	60
D22	29.8	22.2	387.1	70
D25	39.0	25.4	506.7	80
D29	49.4	28.6	642.4	90
D32	61.1	31.8	794.2	100
D35	73.6	34.9	956.6	110
D38	87.8	38.1	1040	120
D41	103	41.3	1340	130
D51	156	50.8	2027	160

3.5.4.2　防護コンクリートに不平均力が水平にかかる場合

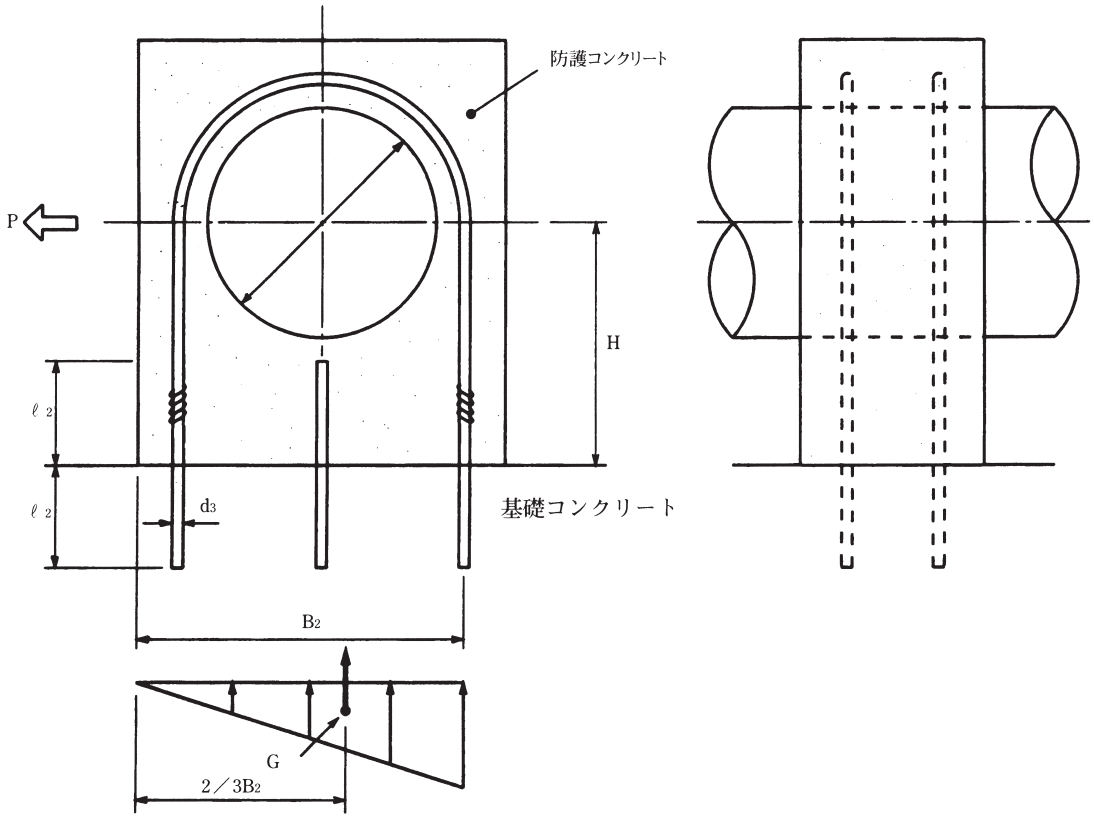


図45　防護コンクリートの例

(1)　鉄筋の断面寸法

$$n \cdot A_b \cdot \sigma_s \geqq P$$

$$P = 2p \cdot A \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_3^2$$

ここに、

P　：不平均力（N）

n　：鉄筋の本数（本）

A_b　：鉄筋の断面積（mm^2）

d_3　：鉄筋径（mm）

σ_s　：鉄筋の許容せん断応力（$80N/mm^2$）

$$\therefore\ n \times \frac{\pi}{4} d_3{}^2 \times 80 \geqq 2p \times \frac{\pi}{4} D_2{}^2 \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

$$d_3 \geqq \sqrt{\frac{p \cdot D_2{}^2}{40n} \cdot \sin\frac{\theta}{2}}$$

また、

$$n \cdot A_b \cdot \sigma_t \cdot \frac{2}{3} B_2 \geqq P \cdot H$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_3'^2 、$$

ここに、

A_b ：鉄筋の断面積（mm^2）

d_3' ：鉄筋径（mm）

σ_t ：鉄筋の許容引張応力（$137N/mm^2$）

$$\therefore n \times \frac{\pi}{4} d_3'^2 \times 137 \times \frac{2}{3} B_2 \geqq 2p \times \frac{\pi}{4} D_2^2 \cdot \sin\frac{\theta}{2} \times H$$

$$d_3' \geqq \sqrt{\frac{3p \cdot D_2^2 \cdot H}{137n \cdot B_2} \cdot \sin\frac{\theta}{2}}$$

上記の２式によって計算し、大きい方を用いる。

(2) さし筋の埋め込み深さ

$$n \cdot L_b \cdot \ell_2 \cdot \sigma_c \cdot \frac{2}{3} B_2 \geqq P \cdot H$$

ここに、

L_b ：鉄筋の周長（mm）｛$L_b = \pi d_3$、d_3：鉄筋の直径(mm)｝

ℓ_2 ：埋め込み長さ（mm）

σ_{ck} ：コンクリートの設計基準強度（$18N/mm^2$）

σ_c ：コンクリートと異形棒鋼の付着力（$1.4N/mm^2$）

$$\therefore n \times \pi d_3 \times \ell_2 \times 1.4 \times \frac{2}{3} B_2 \geqq 2p \times \frac{\pi}{4} D_2^2 \cdot \sin\frac{\theta}{2} \times H$$

$$\ell_2 \geqq \frac{3p \cdot D_2^2 \cdot H}{5.6n \cdot d_3 \cdot B_2} \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

表45　コンクリートの許容付着強度

単位：N/mm^2

鉄筋の種類 ＼ コンクリートの設計基準強度（σ_{ck}）	18	21	24	30
丸　　鋼	0.7	0.75	0.8	0.9
異　形　棒　鋼	1.4	1.5	1.6	1.8

3.6　軟弱地盤における配管設計

3.6.1　軟弱地盤配管設計の手順

軟弱地盤では地盤沈下が発生するため、軟弱地盤に配管する場合には、地盤の状況に応じて、工事上の対策を十分に検討し、それに適した管種および工法を用いる必要がある。図46に設計手順を示す。

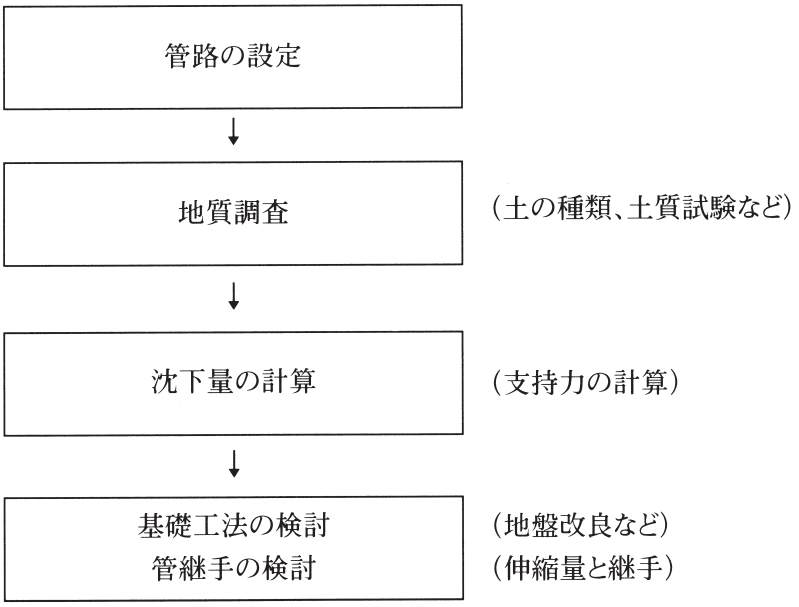


図46　軟弱地盤配管設計の手順

3.6.2　支持力の計算式

長期許容支持力度qa（kN/m^2）は次式による。

$$q_a=\frac{1}{3}\left(C\cdot N_c+\frac{1}{2}\gamma_1\cdot B\cdot N_\gamma+\gamma_2\cdot D_f\cdot N_q^*\right)$$

ここに、

C　：基礎荷重面下にある地盤の粘着力（kN/m^2）

γ_1：基礎荷重面下にある地盤の単位体積重量（kN/m^3）
（地下水位下にある場合は水中単位重量をとる）

γ_2：基礎荷重面より上方にある地盤の平均単位体積重量（kN/m^3）
（地下水位下にある部分については、水中単位重量をとる）

D_f　：基礎に近接した最低地盤面から基礎荷重面までの深さ（m）
（隣接地で掘削の行われる恐れのある場合は、その影響を考慮しなければならない）

B　：基礎荷重面の最小幅（m）、円形の場合は直径

N_c、$N\gamma$、N_q：支持力係数（図47参照）

ψ	N_c	N_γ	$N_q^*=N_q+2$
0°	5.3	0	3.0
5°	5.3	0	3.4
10°	5.3	0	3.9
15°	6.5	1.2	4.7
20°	7.9	2.0	5.9
25°	9.9	3.3	7.6
28°	11.4	4.4	9.1
32°	20.9	10.6	16.1
36°	42.2	30.5	33.6
40° 以上	95.7	114.0	83.2

注　N_q^*はフーチングなどで掘削される場合に用いる。

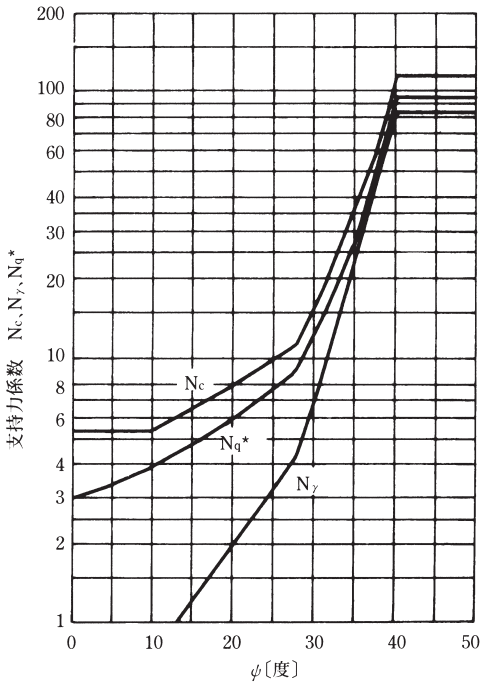


図47　内部摩擦角ψと支持力係数N_c、N_γ、N_qとの関係

3.6.3　沈下量の計算式

(1)　沈下量の計算式

管の重量、管内水重および埋め戻し土圧などを考慮し、管底部での土圧増加分を計算して沈下量を推定する。

沈下量の計算式としては次の３種類がある。

$$\delta=\frac{e_0-e}{1+e_0}H \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\delta=m_v\cdot\triangle P\cdot H \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\delta=\frac{C_c}{1+e_0}H\cdot\log\frac{P+\triangle P}{P} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\triangle P=I\sigma\cdot\triangle W$$

ここに、

δ　：圧密沈下量（m）

e_0　：原地盤の初期間隙比

e　：戴荷後の間隙比

H　：圧密される層の厚さ（m）

m_v　：土の体積変化率（体積圧縮係数）（m^2/kN）

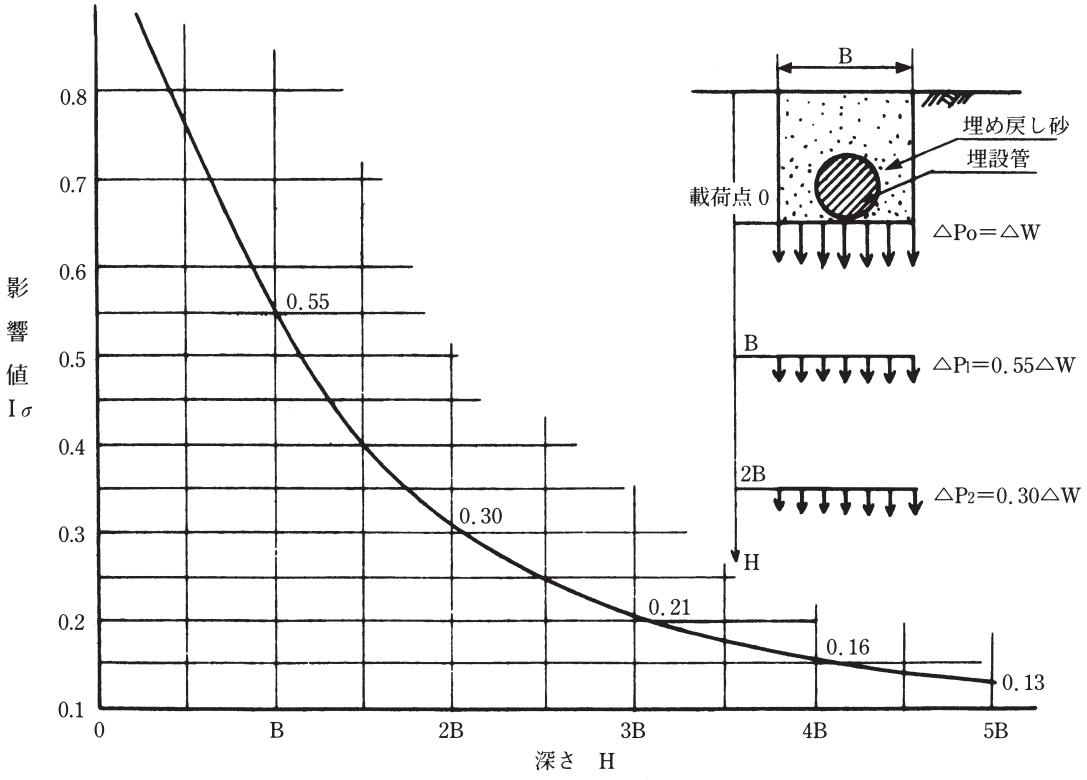
C_c　：土の圧縮指数

P　：原地盤の先行荷重（kN/m^2）

ΔP　：各層での増加荷重（kN/m^2）

$I\sigma$　：深さによる影響値

ΔW：戴荷点の増加荷重（kN/m^2）



［出典：「基礎工学ハンドブック（1964）」村山朔郎・大崎順彦編）］

図48　深さによる影響値 I_σ

表46　体積変化率 m_v の値（例）

地盤の種類	m_v の値（m^2/kN）
密な砂	2×10^{-5} ～ 5×10^{-5}
ゆるい砂	10×10^{-5} ～ 20×10^{-5}
過密粘土	5×10^{-5} ～ 8×10^{-5}
普通の粘土	50×10^{-5} ～ 80×10^{-5}
腐食土を含むゆるい砂、粘土	100×10^{-5} ～ 300×10^{-5}
腐食土	300×10^{-5} ～ 700×10^{-5}

(2) 計算例

軟弱地盤に管を埋設した場合の沈下量の推定を式(2)で行った計算例を次に示す。

① 計算条件

管　　種：呼び径1000ダクタイル鉄管（２種管）

地　　盤：図49に示す。

埋設条件：同上

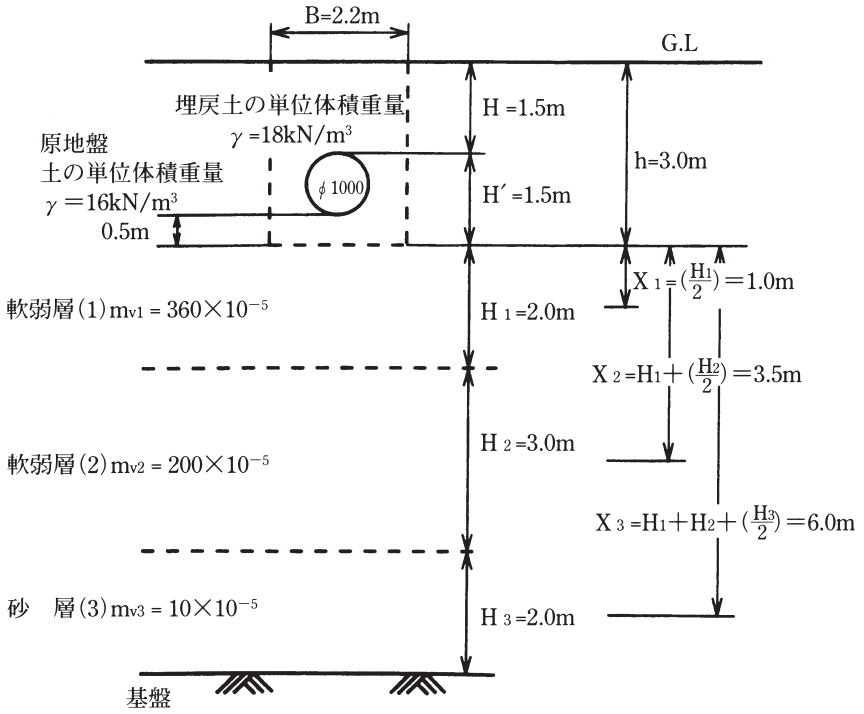


図49　管埋設状況と地盤条件

② 数値計算

掘削土の重量（W_1）

W_1＝掘削幅×掘削深さ×原地盤土の単位体積重量＝2.2×3.0×16＝105.6kN/m

埋戻土の重量（W_2）

W_2＝(掘削幅×掘削深さ－管の断面積)×埋戻土の単位体積重量

$$=(2.2\times3.0-\frac{\pi}{4}\times1.041^2)\times18=103.5\ \text{kN/m}$$

管と管内水の重量（W_3）

W_3　＝管重＋管内水重

＝4.2＋7.6＝11.8kN/m

したがって、

掘削底面での単位長さ当たりの増加荷重ΔW_0は

$$\Delta W_0 = W_2 + W_3 - W_1$$
$$= 103.5 + 11.8 - 105.6 = 9.7\text{kN/m}$$

単位面積当たりの増加荷重ΔWは

$$\triangle W = \frac{\triangle W_0}{\text{掘削幅}}$$
$$= \frac{9.7}{2.2} = 4.4\ \text{kN/m}^2$$

沈下量δは下式により計算し、表47のようになる

$$\delta = m_v \cdot \Delta P \cdot H = m_v \cdot I_\sigma \cdot \Delta W \cdot H$$

表47　沈下量の計算

層番号	体積変化率 mv (m²/kN)	軟弱中心深 X (m)	$\frac{X}{B}$	影響値 $I\sigma$	厚層 H (m)	沈下量 δ (m)
軟弱層(1)	360×10^{-5}	1.0	0.5	0.78	2.0	0.025
軟弱層(2)	200×10^{-5}	3.5	1.6	0.38	3.0	0.010
砂　層(3)	10×10^{-5}	6.0	2.7	0.23	2.0	0.000
					合計	0.035

表47により総沈下量は約3.5cmと予想される。

3.6.4　管継手の検討

(1)　ダクタイル鉄管管路の地盤沈下に対する順応性

地盤沈下に伴い管路も沈下するがダクタイル鉄管管路は、継手の屈曲によって地盤の動きに順応でき、管体に無理がかからず有利である。

ダクタイル鉄管の継手は可とう性があり、1°～5°の許容曲げ角度を持っている。この範囲内では地盤の変位に順応できる。

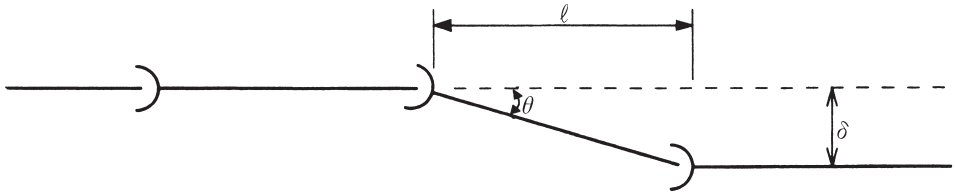


図50　継手の曲げ角度と変位量

上図において、

$$\delta = \ell \cdot \tan\theta$$

ここに、ℓ ：管長（m）

θ ：継手の曲げ角度（°）

δ ：変位吸収量（m）

ダクタイル鉄管管路は、図51のような沈下に対しても順応できる。この場合の変位吸収量δは次式で計算できる。

$$\delta = \ell\left(2\tan\theta + 2\tan 2\theta + 2\tan 3\theta + \cdots + 2\tan\frac{n-1}{2}\theta + \tan\frac{n+1}{2}\theta\right)$$

θ　：継手の曲げ角度

n　：最大変位点までの管本数（奇数）

ℓ　：管長

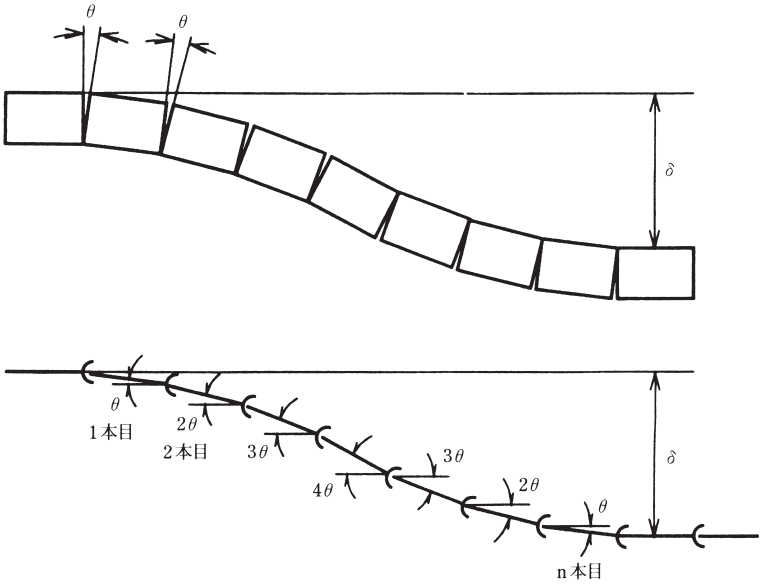


図51　管路の順応性

一例として、管長６ｍで管路長90mの中央部で順応できる沈下量を計算すると表48のようになる。管路の中央部までの本数はｎ＝７となる。

表48　順応しうる沈下量の例

曲げ角 θ	30'	1°	1°30'	2°
沈下量 δ（m）	0.84	1.68	2.52	3.36

特に大きな地盤変状が予想される場合は、伸縮可とう性と離脱防止機構を備えたGX形、NS形、S形管による鎖構造管路が効果的である。

(2)　配管例

図52に構造物との取り合い部および地盤の急変部での配管例を示す。

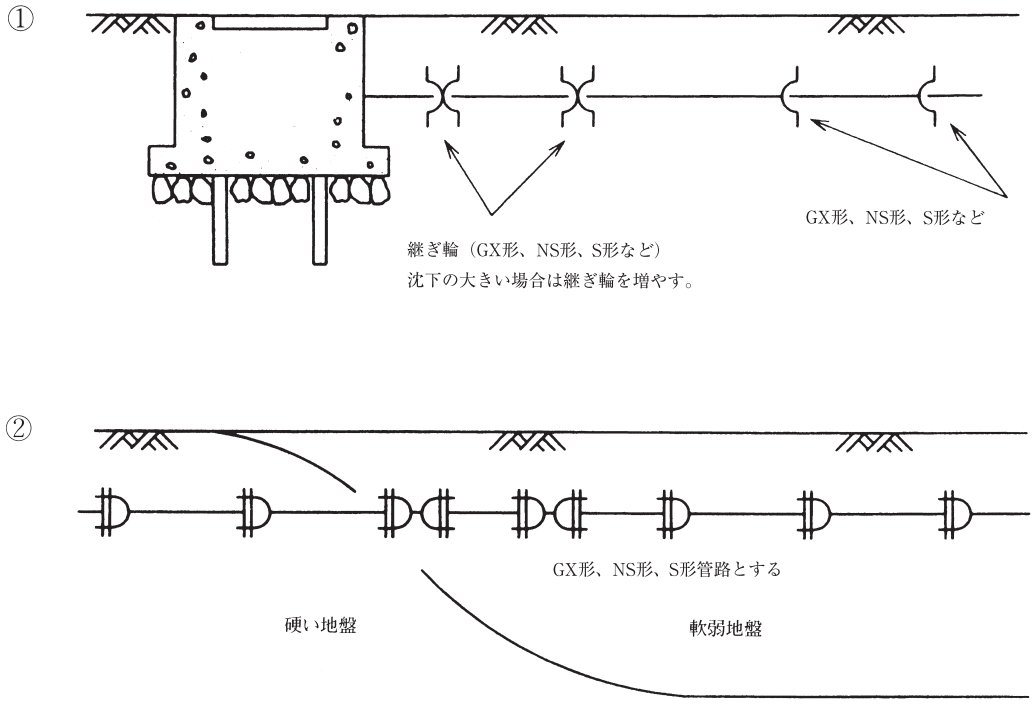


図52　軟弱地盤における配管例

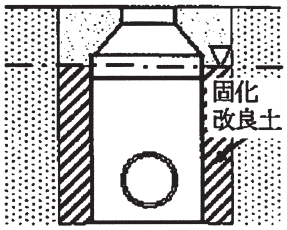
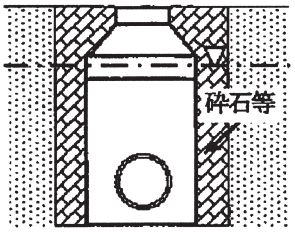
3.6.5　液状化対策工法

過去の地震においては、マンホール周辺地盤で液状化による浮上被害が散見された。

液状化時においては、マンホールと管路との相対変位は大きくなるため、マンホール周辺地盤は液状化対策工法を施すことが重要である。

液状化対策工法を下表に示す。

表49　埋め戻し部の液状化対策と概念図

埋戻し方法注)	①埋戻し土の固化	②砕石等による埋戻し	③埋戻し土の締固め
概　要　図	地下水位以深を固化改良土等で埋戻す。 	透水性の高い材料（砕石等）で地下水位より上方まで埋戻す。 	良質土で締固め（締固め度90％程度以上）ながら、埋戻す。
埋戻し材料	現地発生土あるいは購入土。	透水性の高い材料。 例えば、10％通過粒径(D_{10})が１㎜以上の砕石、又は、排水効果の確認されている材料。	良質な砂、または埋戻しに適した現地発生土。
施 工 管 理	液状化被害防止と再掘削を考慮した強度を確保する。 例えば、現場における一軸圧縮強度の平均値で、50kPa～100kPa	道路管理者の基準を準用する。 例えば、締固め度90％以上確保。	締固め度で90％以上。 なお、90％以上でも周辺地盤が軟弱な場合には液状化した実験事例があることから、現地の特性に留意することが必要。
特　徴　等	埋戻し部が非液状化層となるため、液状化に対する効果は大きい。	マンホール・管路近傍部の過剰間隙水圧が消散するため、液状化に対する効果は大きい。	十分な締固めを行うことにより、埋戻し部の過剰間隙水圧を小さくすることができる。 地下水位が高い場合には、適用に十分注意する。

「下水道地震対策技術検討委員会報告書」に加筆

注）　埋戻しは、道路管理者等の埋戻し基準にも従う。

［出典：「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014 年版－」（公益社団法人　日本下水道協会）］

3.6.6　基礎工法の検討

配管工事のための重機が入れないような極軟弱地盤に配管する場合は、

①　サンドドレーン工法

②　土の置き換え工法

などの抜本的な地盤改良が必要である。

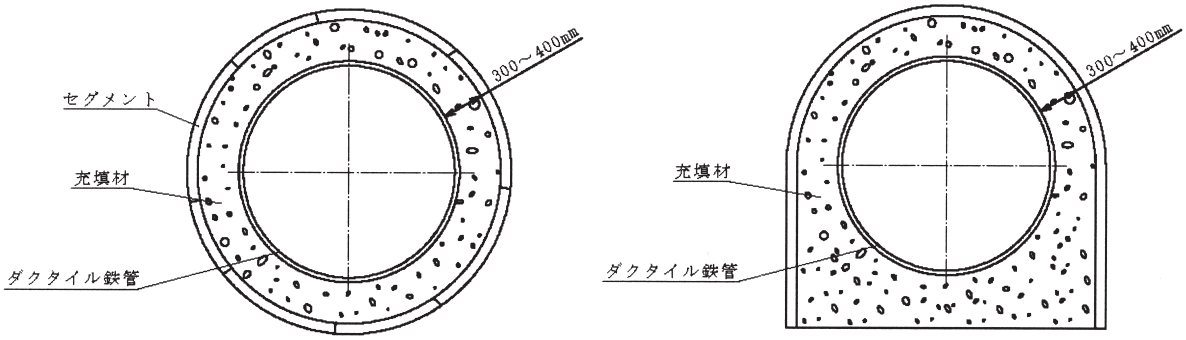
軟弱地盤に対しては、地質調査の結果に基づいて管路の沈下量を推測し、管継手の許容変位内に収まるようであれば、管底以下を管径程度の厚さまで砂利および砂で置き換えることによって、管路の沈下を滑らかにすることができる。

3.7　トンネル内配管の設計

3.7.1　トンネルの断面形状

(1)　充填方式

トンネルと同心位置に管を配管接合し、さらにトンネルと管との間隙を充填材で充填する方式である。この方式は、トンネルの断面が小さく、工事費は他の方式と比べて安価になるため、単独で配管する場合には最も多く用いられる方式である。二次覆工に使用する管は、内面から接合する必要があるため、U形、US形等の内面継手管を用いる。シールドトンネル内配管、山岳トンネル内配管の断面形状の一例を図53に示す。



(a)シールドトンネル内配管　　(b)山岳トンネル内配管

図53　充填方式

(2)　点検通路方式

二次覆工コンクリートで内空断面のトンネルを築造後、この中にダクタイル鉄管を配管する方式であり、トンネルと管との空間は点検通路として使用する。この方式は、トンネルの断面が大きくなるため工事費は高くなるが、管路を維持管理する上で直接確認できる利点がある。使用する管は、管の外面から接合作業が出来る作業スペースが有る場合にはS形、NS形、K形等の一般埋設用の管を使用することが出来る。点検通路方式のトンネル断面形状の一例を図54に示す。

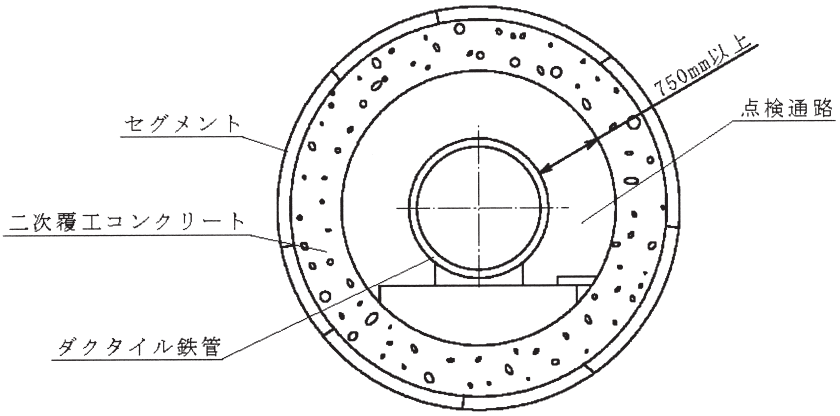


図54　点検通路方式

(3)　区分使用方式（共同溝）

上水道、下水道、電力ケーブル、通信ケーブルおよびガス導管など同一トンネル内に複数で収用する方式である。使用する管は点検通路方式と同様の考え方となる。例として水道管と通信ケーブルを併設した場合のトンネル断面形状の一例を図55に示す。

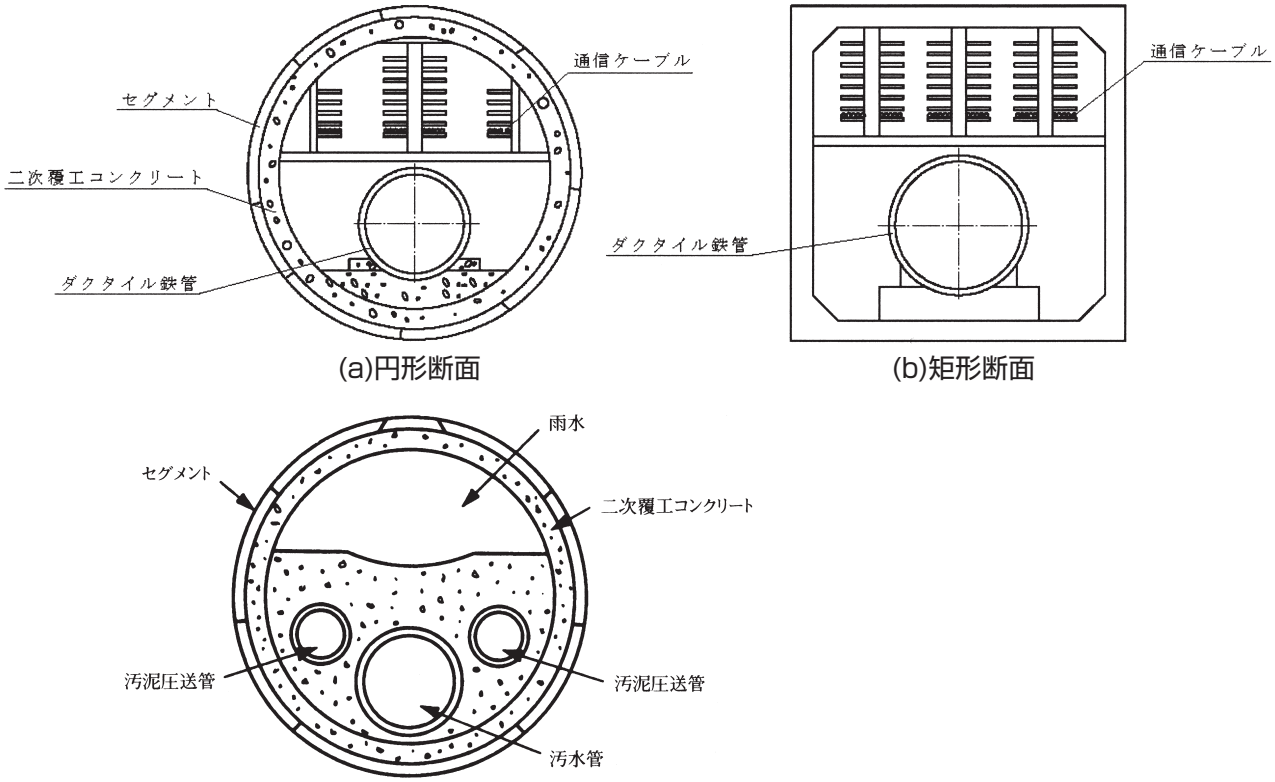


図55　区分使用方式

3.7.2　管の安全性検討の考え方

管の安全性の検討は、トンネル本体の構造仕様により、以下のように大別される。

⑴　トンネルが永久構造物である場合

トンネルが永久構造物である場合、トンネルの外側から作用する荷重はトンネルが受持つこととなる。このため、管に作用する荷重は、①内圧、②地下水による外水圧、③中詰材の充填圧（施工時）であり、これらの荷重に対して管の安全性検討を行う。

⑵　トンネルが仮設構造物である場合

トンネルが仮設構造物である場合は、配管の外側にトンネルが無いものとして考える。このため、管に作用する荷重は、①内圧、②土被りによる土圧、③路面荷重にある土圧、④地下水による外水圧、⑤中詰材の充填圧（施工時）であり、これらの荷重に対して管の安全性検討を行う。

【解説】

シールドトンネルを新しく築造する場合はトンネルを永久構造物として検討する場合が多い。一方、老朽化した導水トンネル等に新たに配管する場合は、トンネルを仮設構造物として考えて検討する場合もある。このようにトンネルを永久構造物として検討するか、仮設構造物として検討するかは、トンネルの構造仕様、老朽度、使用目的、および発注者の設計方針に従って決定する必要がある。

3.7.2.1　トンネルが永久構造物である場合

⑴　内圧

設計に用いる内圧は、通常運転時の最大静水圧と水撃圧を考慮する。

⑵　地下水による外水圧

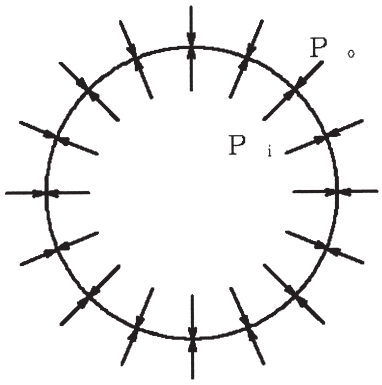
地下水位がダクタイル鉄管の管頂により高い場合、管とトンネルとの空隙を充填材で充填した後も、充填材と管との隙間に地下水による浸透水圧が作用するため、管に作用する外水圧を考慮する。

⑶　充填材による充填圧（施工時）

ダクタイル鉄管とトンネルとの空隙を充填する際に、ダクタイル鉄管に外圧として作用する充填圧を考慮する。

【解説】

図56に示す様に内圧と地下水位による外水圧は、力が相反する方向から互いに管に作用する。従って、内圧と外水圧が同時に管に作用する場合は、それぞれが単独に作用する場合の力よりも小さくなる。また、施工時には外水圧は内圧が作用していない状態で作用している。以上のことから、内圧のみが作用する場合と外水圧のみが作用する場合について、それぞれの検討を行えば安全側の設計となる。また、施工時に充填材を充填する場合の管体座屈に対する安全性検討は、施工計画の充填圧を用いて計算を行う。一般的に施工時に用いる充填圧は0.1～0.2MPa程度が用いられる。



内圧　：P_i
外水圧：P_o

$$P_o > |P_o - P_i|$$
$$P_i > |P_i - P_0|$$

図56　内圧と外水圧との関係

3.7.2.2　トンネルが仮設構造物である場合

(1)　内圧

設計に用いる内圧は、通常運転時の最大静水圧と水撃圧を考慮する。

(2)　土圧

土被りによる鉛直土圧は土質調査資料をもとに、土質、土被りを考慮して土のアーチ作用を考慮したTerzaghi（テルツァーギ）のゆるみ土圧式又は垂直公式により算定する。

(3)　路面荷重による土圧

路面荷重は地上に作用する荷重を考慮する。（ダクタイル鉄管管路　設計と施工　JDPA T－23参照）

(4)　地下水による外水圧

地下水位がダクタイル鉄管の管頂より高い場合、管に作用する外水圧を考慮する。

(5)　充填材による充填圧（施工時）

ダクタイル鉄管とトンネルとの空隙を充填する際に、ダクタイル鉄管を外圧として作用する充填圧を考慮する。

【解説】

①　荷重の組合わせについて

トンネルが永久構造物である場合と同様に、内圧と地下水による外水圧は相反する方向から互いに作用するため、内圧のみが作用する場合と外水圧のみが作用する場合の２通りの場合で検討を行うこととする。この場合の荷重の組合せは、①内圧＋土被りによる土圧＋路面荷重による土圧（供用時で内圧を考慮する場合）、②外水圧＋土被りによる土圧＋路面荷重による土圧（供用時で内圧を考慮する場合）、③外水圧＋土被りによる土圧＋路面荷重による土圧（施工時の空管の状態で外水圧を考慮する場合）、および施工時の充填材による充填圧に対する検討となる。

②　土圧の算出について

以下の条件[注1)]を満たす場合、土圧の算出にTerzaghi式を採用することが多い。

・砂質土の場合、土被りが$2D_0$[注2)]以上

・N値８以上の粘性土の場合、土被りが$2D_0$以上

注１）「トンネル標準示方書　シールド工法編・同解説」、P43参照
注２）D_0：一次覆工外径

③　地下水の取扱いについて

土圧の算出にあたっての地下水の取扱いには、地山の条件に応じて以下の考え方がある。

(a)　土と水を分離して取り扱う考え方（土水分離モデル）

(b)　水と土の一部として包含する考え方（土水一体モデル）

地下水位は、長期の間に自然あるいは人為的な影響により変動するので条件設定はきわめて難しい。一般に、土水分離モデルは砂質土において、また土水一体モデルは粘性土において採用される傾向にあるが、設計に際してどちらの考え方が適切であるかの判断は容易ではないのが実状である。従って、計算に用いる地下水位の設定については、十分検討を行うことが重要であり、地下水位が高い場合は、両モデルによる検討を行い、安全側のモデルによる設計を行うのが望ましい。

(a)の場合は、地下水位以上では湿潤重量、地下水位以下では水中重量を用いる。(b)の場合は地下水位以上では(a)と同じであるが、地下水位以下では水を含めた単位体積重量を用いる[注)]。なお、(a)の場合は地下水による外水圧を考慮する必要がある。表50に土の単位体積重量を示す。

注）「トンネル標準示方書　シールド工法編・同解説」、P42参照

表50　土の単位体積重量

種類		状態		単位体積重量（kN/m³） 地下水位以上にある土
盛土	砂利混じり砂	締め固めたもの		20
	砂	締め固めたもの	粒度の良いもの	20
			粒度の悪いもの	19
自然地盤	砂利	密実なものまたは粒度の良いもの		20
		密実でないものまたは粒度の悪いもの		18
	砂利混じり砂	密実なもの		21
		密実でないもの		19
	砂	密実なものまたは粒度の良いもの		20
		密実でないものまたは粒度の悪いもの		18
	砂利または岩石と土砂の混合物	密実なもの		20
		密実でないもの		17
	砂質土	密実なもの		19
		密実でないもの		17
	粘性土	硬質なもの		18
		軟質なもの		16
	シルト	硬質なもの		16
		軟質なもの		14
	粘土	硬質なもの		17
		軟質なもの		15

引用）「火力原子力発電所土木構造物の設計」社団法人　電力土木技術協会編

注）1）土と水を分離して取り扱う場合、地下水位以下にある土の単位体積重量は、それぞれ表中の値から9kN/m³を差し引いた値としてよい。
2）砕石は砂利と同じ値とする。ずり、岩塊などの場合は種類、形状、大きさおよび間隙などを考慮して定める必要がある。
3）砂利混じり砂質土、あるいは砂利混じり粘性土にあたっては、混合割合および状態に応じて適当な値を定める。

3.7.3　曲線部の通過および管の組み合せ検討の考え方

トンネルの曲率を沿ってダクタイル鉄管を配管する場合、曲率半径が大きい場合や直管や切管を継手の曲げ角度で屈曲させ、曲線配管を行うことが出来る。また、曲率半径が小さい場合は、直管又は切管と曲管を組合せで配管することになる。なお、ダクタイル鉄管は曲線部を通過する管長にしておく必要がある。

曲線部の配管については、以下の手順で検討を行う

⑴　曲線部を通過可能な管長の検討

管運搬時に管とトンネルの内壁との間に隙間が確保出来る管長さを算出する。

⑵　直管または切管による曲線配管の検討

直管の継手の曲げ角度を利用して連続的に曲線を形成する。

⑶　曲管との組合せ配管の検討

直管のみによる曲線配管では、継手の曲げ角度が設計曲げ角度より大きくなってしまう場合や、切管の長さが極端に短くなり経済性や施工性に問題があると考えられる場合には、曲管を用いた配管を検討する。

3.7.3.1　曲線部を通過可能な管長の検討

曲線部を検討可能な管長は次式の関係により深まる。

$$\left(R+\frac{D_0}{2}-\delta\right)^2=\left(R+\frac{D_5}{2}\right)^2+\left(\frac{L'}{2}\right)^2$$

R　：トンネルの曲率半径（m）

D_0：トンネル内径（m）

δ　：余裕代（m）

D_5：管の受口外径（m）

L'　：管の全長（＝L＋P－Y m）

L　：管の有効長（m）

P　：管の受口ののみ込み寸法（m）

Y　：継手の胴付寸法（m）

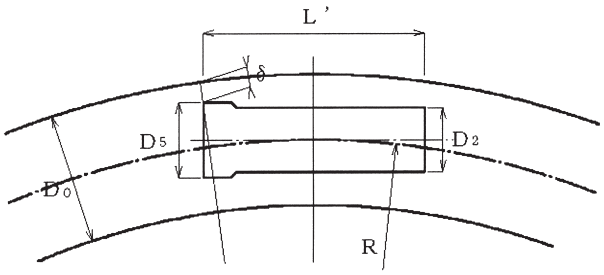


図57　曲線部通過時の管の位置

3.7.3.2　直管または切管による曲線配管の検討

曲線配管を行う場合、継手の許容曲げ角度を全て見込んで設計すると施工時の余裕がなくなり、施工誤差等を継手で吸収できなくなる。このため、許容曲げ角度に余裕を見て設計することが望ましい。一般的には許容曲げ角度の1/2を設計曲げ角度として計算を行う場合が多い。直管または切管で曲線配管する場合の有効長は次式より求まる。

$$L = 2R\tan\frac{\theta_a}{2}$$

L　：管の有効長（m）

R　：トンネルの曲率半径（m）

θ　：許容曲げ角度（°）

θ_a：設計曲げ角度（$=\frac{\theta}{2}$）

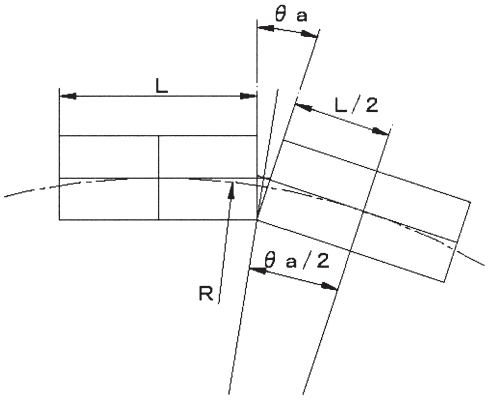


図58　直管又は切管による曲線配管

3.7.3.3　曲管との組合せ配管

直管のみによる曲線配管では、継手の屈曲が設計曲げ角度より大きくなってしまう場合や、切管の長さが極端に短くなり経済性や施工性に問題があると考えられる場合には、曲管と直管、または切管を組み合わせた配管を検討する必要がある。

管の組み合わせについては、下記に示す内容を考慮して検討することが望ましい。

・管の有効長は基本的には呼び径、または１mよりも大きい値とすれば、施工に支障がない。

・曲管は曲げ角度の小さいものから計算する。

・曲管に挟まれる管の長さは継手を屈曲させることで調整することが可能である。

注）曲げ角度の大きい曲管は弦の長さが長く、管長も長く取ることが可能である。その反面、管とトンネルの隙間が小さく施工が困難となることがある。したがって、施工性を考慮した管長と曲管を選択する必要がある。

$$N = L + L_1 + L_2 \quad \cdots \text{i)}$$

$$N = 2R\sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad \cdots \text{ii)}$$

i）、ii）式より、

$$L = 2R\sin\left(\frac{\phi}{2}\right) - (L_1 + L_2) \quad \cdots \text{iii)}$$

ここに、

L　：管の有効長（m）

L_1　：曲管のL_1寸法（m）

L_2　：曲管のL_2寸法（m）

R　：トンネルの曲率半径（m）

ϕ　：曲管角度（°）

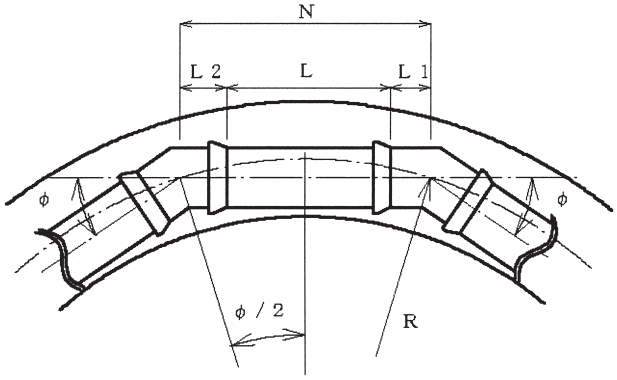


図59　曲管と組合わせ配管

3.8　水管橋、橋梁添架の設計

3.8.1　ダクタイル鉄管製水管橋の特長

①　継手はメカニカル形またはプッシュオン形であるため短時間に接合・架設できる。

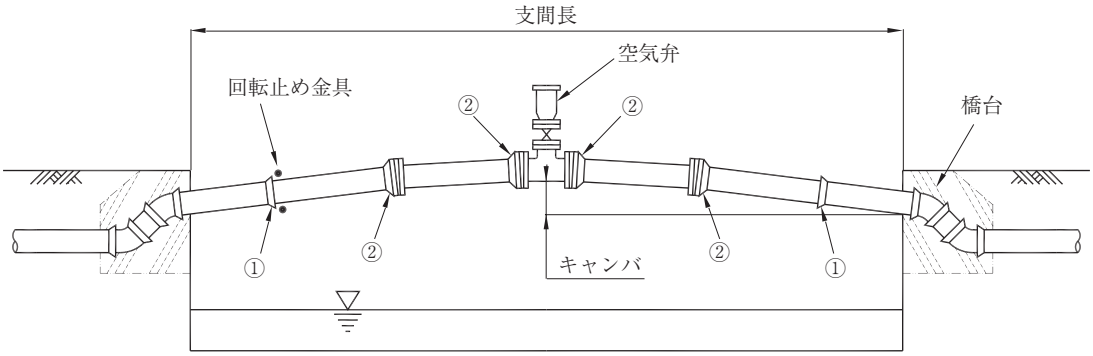
②　水管橋部分の管外面は露出配管用のダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装を、また管内面は防食性に優れたエポキシ樹脂粉体塗装を標準とし、適用規格はJSWAS G－1下水道用ダクタイル鋳鉄管附属書２および４による。

③　地震時の橋台部の不同沈下や相対移動によって管に発生する変位をＧＸ形またはＮＳ形継手によって吸収する。また、継手が最大まで伸び出しても離脱防止機構が作用する。これらにより耐震性に優れる。

3.8.2　ダクタイル鉄管製水管橋の構造

(1)　単独水管橋

単独の上越しでスパンが短い場合は、管を直接ビームとして用いることができる。



種類	GX形水管橋	NS形水管橋
①	GX形	NS形
②	FGX形	FT形

図60　単独水管橋の構造例（長支間の場合、タイプⅡ）

ダクタイル鉄管による単独水管橋はGX形、NS形、FGX形、FT形で構成され、対象口径は呼び径75～600で、各呼び径別の最大支間長と接合形式を表51に示す。

タイプⅠはGX形やNS形直管３本以内で対応できる場合で、それ以上長くなるとタイプⅡのようにFGX形あるいはFT形継手を組み合わせて用いる。

表51　最大支間長と接合形式

<table>
<tr><th rowspan="2">呼び径</th><th colspan="2">タイプⅠ</th><th colspan="3">タイプⅡ</th></tr>
<tr><th>支間長L（m）</th><th>橋梁部接合形式</th><th>支間長L（m）</th><th colspan="2">橋梁部接合形式</th></tr>
<tr><td>75</td><td rowspan="2">11.0</td><td rowspan="8">GX形、NS形</td><td>17.0</td><td rowspan="5">FGX形、
GX形</td><td rowspan="6">FT形、
NS形</td></tr>
<tr><td>100</td><td>18.0</td></tr>
<tr><td>150</td><td rowspan="2">14.0</td><td>23.5</td></tr>
<tr><td>200・250</td><td rowspan="3">25.0</td></tr>
<tr><td>300</td><td rowspan="3">16.0</td></tr>
<tr><td>350</td><td></td></tr>
<tr><td>400</td></tr>
<tr><td>450</td><td rowspan="2">15.0</td></tr>
<tr><td>500・600</td><td>NS形</td></tr>
</table>

備考　最大支間長は、積雪、保温材などを含まない標準的な場合を示す。

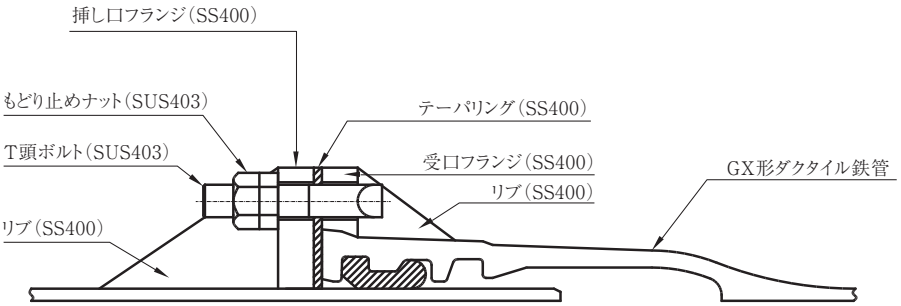


図61　FGX形継手（呼び径75～300）

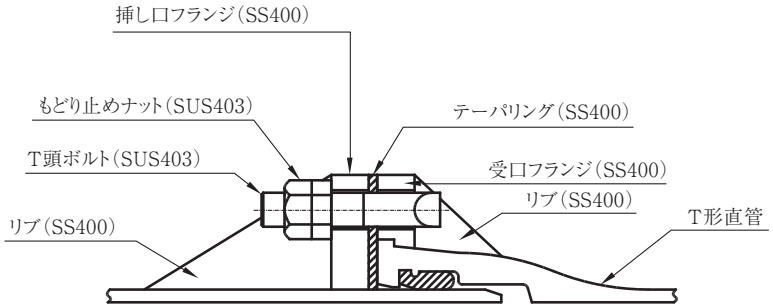


図62　FT形継手（呼び径75～350）

水管橋の配管例を図63に示す。

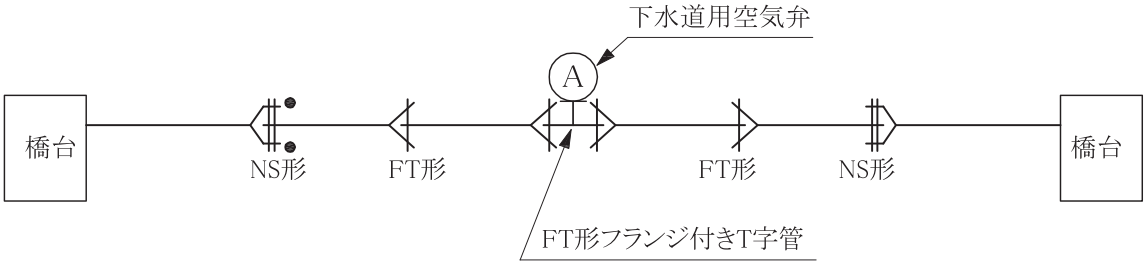


図63　水管橋の配管例（長支間の場合、タイプⅡ）

(2)　添架配管

スパンが長い場合は橋梁に添架したり、専用のプレートガータやトラスを組んでその上に配管する。この場合、接合形式は特に制約されないが、耐震性を考慮してGX形、NS形、S形、NS形（E種管）、S50形のように鎖構造管路を形成できる継手を用いることが望ましい。

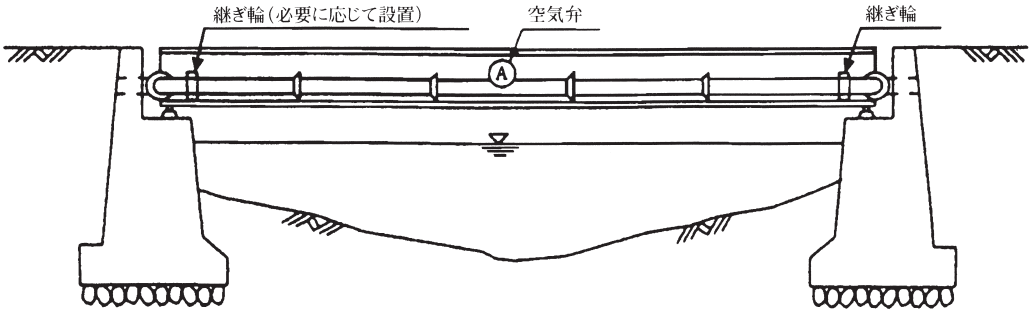


図64　橋梁添架配管例

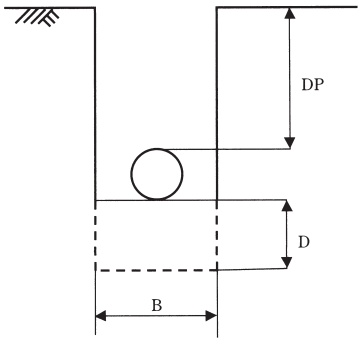
4．ダクタイル鉄管の施工

4.1　管布設工事に関する一般事項

4.1.1　掘削

(1)　掘削断面は、埋め戻しに際して土砂が管底まで十分に回るように配慮して定める。掘削寸法例を以下に示す。

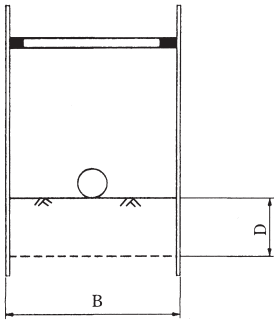
①　掘削断面図



管径 (mm)	ＤＰ (m)	Ｄ[1)] (m)	Ｌ[2)] (m)
75～200	0.60以上	0.30	0.50

注　1）Ｄ：会所掘りの掘削深度
　　2）Ｌ：会所掘りの掘削延長
〔出典：「水道事業実務必携（令和5年度改訂版）」（全国簡易水道協議会）〕

図65　土留めなしの場合の掘削断面図



管径 (mm)	Ｄ[1)] (m)	Ｌ[2)] (m)
350以下	0.30	0.50
400～800	0.60	0.80

注　1）Ｄ：会所掘りの掘削深度
　　2）Ｌ：会所掘りの掘削延長
〔出典：「水道事業実務必携（令和5年度改訂版）」（全国簡易水道協議会）〕

図66　土留めありの場合の掘削断面図

②　掘削幅（Ｂ）

掘削幅は、管の吊込み時と接合時より求めた値を比較して大きい方を掘削幅とする。

ｉ）吊込み時の掘削幅

吊込み掘削幅＝管最大外径＋２×（吊込み余裕幅＋土留加算幅）

管最大外径　＝受口外径（D_5）

吊込み余裕幅＝50mm

土留加算幅　＝矢板厚＋腹起し材幅

ii）接合時の掘削幅

接合掘削幅＝管外径（D_2）＋２×（接合作業幅＋矢板厚）

③　掘削寸法例

表52　土留めなしの場合の掘削寸法例[1)]

管径 （mm）	接合形式	B （m）	DP （m）	D （m）	L （m）
75	ＧＸ形	0.60	0.60以上	0.30	0.50
	ＮＳ形	0.60			
100	ＧＸ形	0.60	0.60以上	0.30	0.50
	ＮＳ形	0.65			
150	ＧＸ形	0.60	0.60以上	0.30	0.50
	ＮＳ形	0.70			
200	ＧＸ形	0.60	0.60以上	0.30	0.50
	ＮＳ形	0.75			
250	ＧＸ形	0.65	0.60以上	0.30	0.50
	ＮＳ形	0.80			

注　1）「水道事業実務必携（令和5年度改訂版）」（全国簡易水道協議会）を参考

⑵　掘削前には、地下埋設物の有無、位置および形状寸法を関係図面、試験掘りなどにより調査確認し、防護方法などを関係者と事前に協議する。

⑶　機械掘削の場合は、特に地下埋設物に注意して掘削をする。また、掘削底面は掘り過ぎによって、将来、管の不同沈下を起こさないよう注意し、床付けは人力により凹凸のないように仕上げる。

⑷　掘削中多量の湧水がある場合は会所を設け、ポンプなどにより水替えをし、掘削底面は底面全般の地下湧水の排水が十分できるよう、根切りなどをして常に床地盤を乱すことのないよう留意する。

4.1.2　管の基礎

(1)　普通地盤の場合

一般的には平底溝とし、溝底面は平坦にならし、よく締め固めを行い、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。

(2)　岩盤の場合

溝底面に転石や岩石などがあって平坦にすることが困難な場合には、呼び径や地盤などに応じて砂などを0.2～0.3m程度敷きならし、管が岩石などへ直接当たらないようにする。

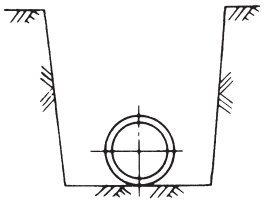


図67　普通地盤の基礎

(3)　軟弱地盤の場合

沖積層などの軟弱な地盤では、管の据え付けが困難となるばかりか、将来管路の不同沈下を起こす恐れがある。

したがって、軟弱地盤での基礎はこの両者を考慮した施工が必要である。

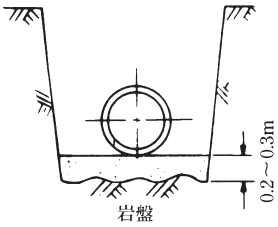


図68　岩盤の基礎

①　通常、軟弱層が浅い場合の基礎は歩いて沈まない程度に良質の土砂で置き換えるか、土木シートなどを併用した基礎とする。

②　軟弱層が深い場合、または配管工事のための重機が入れないような非常に軟弱な地盤では、薬液注入工法、サンドドレーン工法などにより地盤改良を行い、地盤強化をはかることが望ましい。

③　施工に当たっては、湧水などの排水を完全に行い、水位を掘削底面以下に保ち、基礎地盤を乱さないよう施工する。

(4)　露出配管の場合

地上に露出して配管する場合はコンクリート受台基礎とし、原則として平鋼バンドで管を固定する。

コンクリート受台の管底支持角は90°以上を確保し、さらに管路が道路と近接している場合など、将来、管に損傷の恐れのある箇所は、コンクリートを360°巻き立てるなど防護処置を講じる。

また、場内配管などでは鋼製受台とする場合もある。

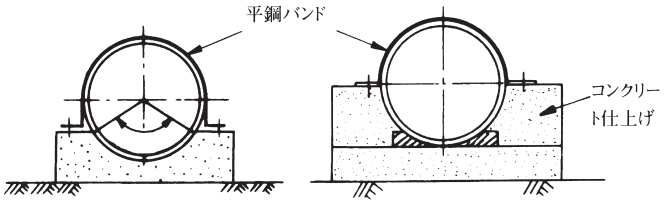


図69　コンクリート受台の例

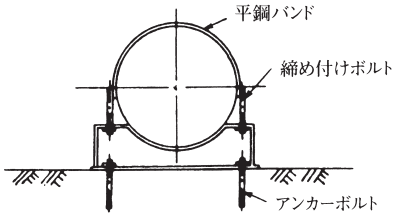


図70　鋼製受台の例

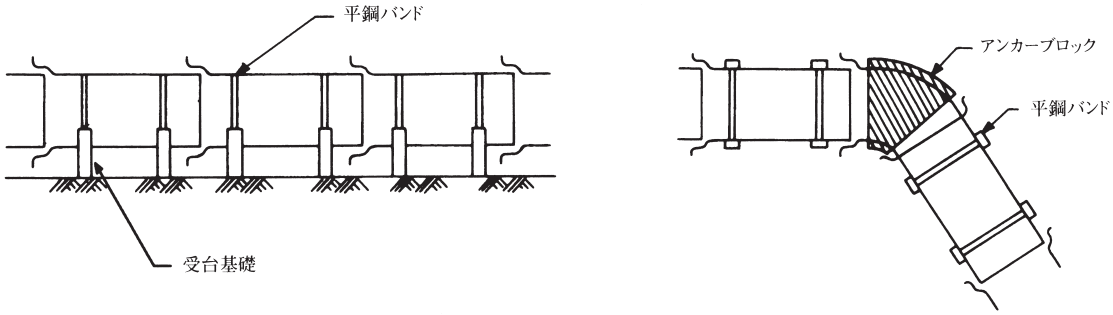


図71　受台基礎配置の例

4.1.3　管類の取り扱いと運搬

(1)　一般事項

管類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。

(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。

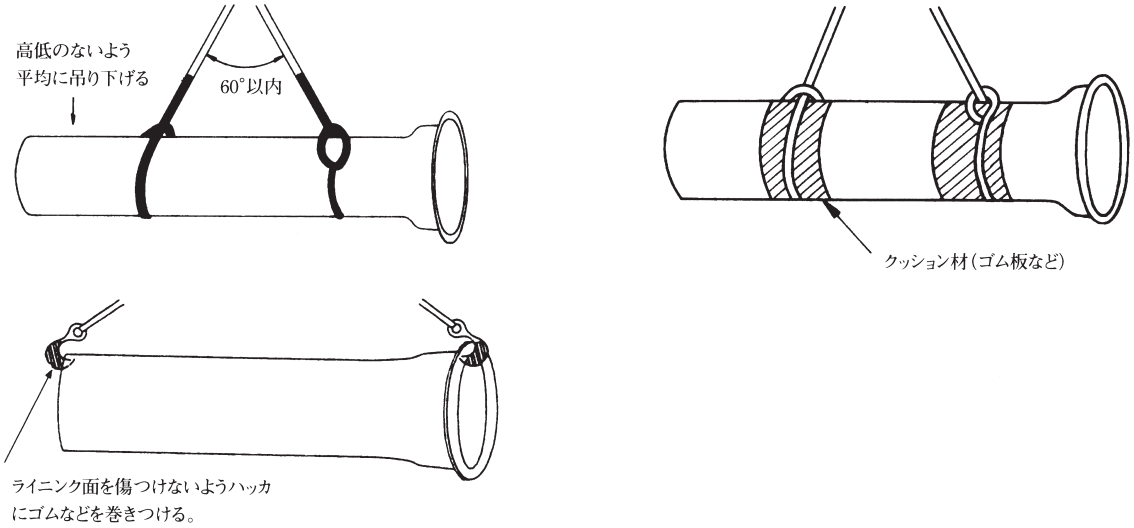


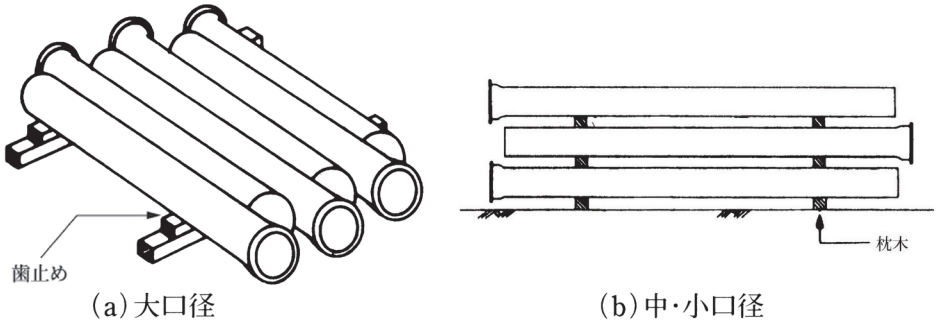
図72　管の吊り方例

(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付けないようにする。

③　両端には、必ず歯止めをする。



(a)大口径　　(b)中･小口径

図73　配積方法

4.1.4　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（ねじ山、塗装の損傷防止）、丁寧に取り扱うこと。

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。

4.1.5　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の管種（１種管、２種管など）を確認し、設計図書に定めてある管種を使用する。

②　管の据え付けに当たっては、管内に十分に清掃し、異物などがないことを確認した上でメーカー表示マークの中心を管頂にして据え付ける。

　このあと水準器、形板、水糸などを使用して管の中心位置および高低を確定すると同時に、管が移動しないよう管底、管側を良質の土砂で締め固めるか、または角材などでしっかり固定する。

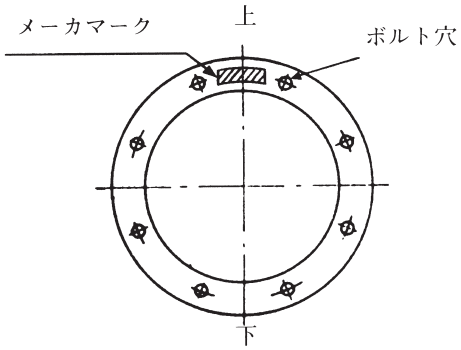


図74　管の据え付け

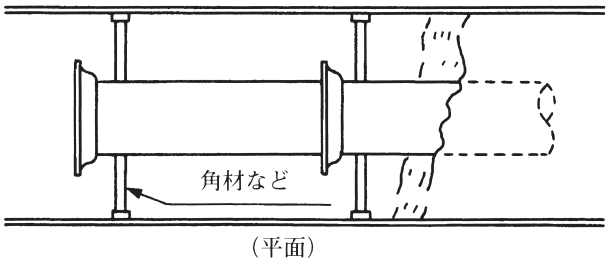
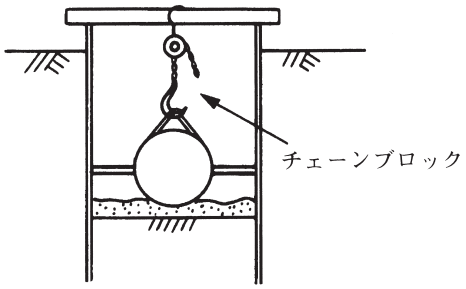


図75　管の固定

③　軟弱地盤などでの据え付けには、ワイヤロープとチェーンブロックを使用して管を吊る。このようにして、管重および埋め戻し時の土圧による不同沈下を防ぐ。

なお、ワイヤロープは、埋め戻し土が十分締め固まったことを確認した後に、取り外す。



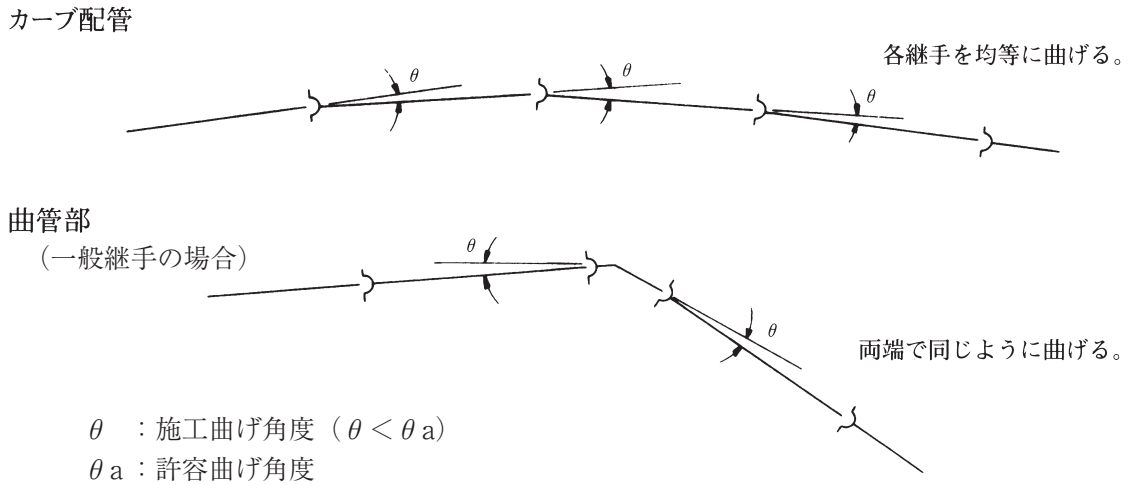
（断　面）

図76　軟弱地盤での管の固定例

④　配管中、既設埋設物と交差、または接近する場合は、埋設物の影響を避けるため、少なくとも0.3m以上離して配管する。

4.1.6　曲げ配管

直管による曲げ配管は、継手の伸縮量が減少することになるので、原則として避け、屈曲部は曲管を使用することが望ましい。施工上やむを得ず曲げ配管を必要とする場合は、表18の許容の曲げ角度以内で、かつ、複数の継手に分割して曲げ配管を行う。



θ　：施工曲げ角度（$\theta < \theta a$）

θa：許容曲げ角度

図77　曲げ配管

4.1.7　埋め戻し

⑴　埋め戻し土

①　埋め戻し材は、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　掘削土を埋め戻し土に使用する場合は、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。

⑵　埋め戻し方法

①　埋め戻しは、継手の接合および管の防護工が完了した後、速やかに施工する。

②　埋め戻しに際しては、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慎重に施工する。

　特に地上から管の片側へダンプトラックなどで一挙に多量の埋め戻し土を投入すると管が移動することがあるので注意する。

③　管の両側から管底部に向け砂を入れ、片寄って埋め戻しすることなく、両側から均等に埋め戻しする。

④　埋め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　防護工背面の埋め戻しは、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　土留支保工、管据え付け時の胴締め材およびチェーンブロックの取りはずしは、埋め戻し、締め固めが完了し、管に影響が生じないことを確認してから行う。

⑦　埋め戻しの影響で継手部が許容胴付間隔以上に移動していた場合は、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。

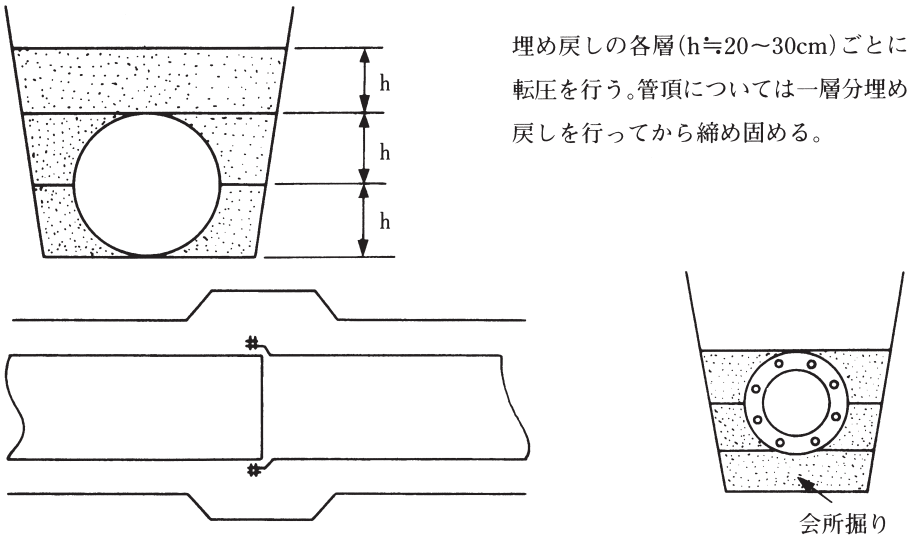


図78　埋め戻し断面の一例

⑧　１日の布設作業終了後は管内に工具、資材などを放置していないことを確認し、土砂湧水などが流入しないよう木製ふたなどで管端部を閉塞する。

⑨　この場合、埋め戻しが未施工の場合、降雨あるいは地下涌水により掘削構内に水がたまり、管に浮力が作用し、管路の浮き上がりや継手の抜け出しが生じる恐れがある。

　したがって、接合後は速やかに完全な埋め戻しを行う。ただし、やむを得ず完全な埋め戻

しができない場合は、充水するか表28に示す浮き上がり防止のための土かぶりとなるまで埋め戻しを行う。

4.1.8　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　挿し口に溝切加工する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53に示すように、接合形式によって、切断、溝切、テーパ加工、突部形成を行なって施工する。

表53　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
ＧＸ形	（呼び径75～300）	（P-Link、G-Link）	○			
	（呼び径75～250）	（挿し口リング）	○	○		○
	（呼び径300～450）	（タッピンねじ）	○	○		○
ＮＳ形（呼び径75～450）		（タッピンねじ）	○	○		○
		（リベット）	○	○	○	○
ＮＳ形（呼び径 500～1000）、Ｓ形（呼び径1100～1600）、ＵＳ形（呼び径 800～1800）			○	○		○
ＮＳ形（E種管）、Ｓ50形、Ｋ形、Ｕ形			○			
ＵＦ形			○	○		
Ｔ　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 切り口の鉄部は、ダクタイル鉄管切管鉄部用塗料で塗装する。

② 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粉体樹脂塗装が生じた場合には、必ず補修材または補修塗料で塗装して補修を行う。

③ 異形管は、切管してはならない。

4.2 継手接合

① 継手接合には従事する配管工は、関係機関にてダクタイル鉄管についての技能講習を受講した者、またはダクタイル鉄管の豊富な配管経験を有する者が適当である。

② 配管工は、作業着手に当たって継手の形式、構造、接合部品および接合要点につき熟知しておく。

③ 各種継手の接合手順は、日本ダクタイル鉄管協会が発行している接合要領書に基づいて行い、接合結果をチェックシートに記録する。

4.3 防食設計

4.3.1 腐食機構

4.3.1.1 腐食反応

金属の土壌中における腐食と水中における腐食は、本質的には同じで電気化学的な機構によって起こる金属のイオン化反応である。この場合、金属の腐食は電子を放出する陽極反応（アノード反応）であるが、これと同時に電子を受け取る陰極反応（カソード反応）も起こる。

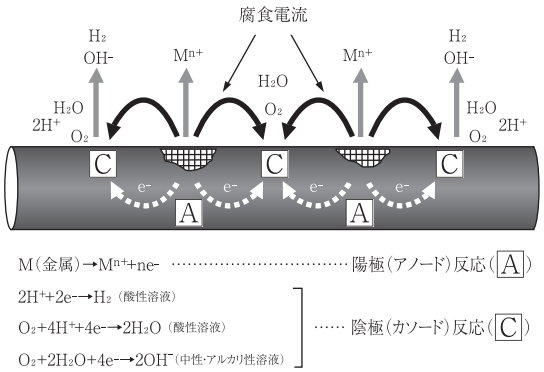


図79 基本腐食反応図

4.3.1.2 土壌腐食に影響を及ぼす諸因子

土壌腐食に影響を及ぼす因子としては、土壌の不均一、組成、比抵抗、通気性、含水量、pH値、溶解塩分およびその濃度、バクテリアの活動、陽極・陰極の面積比など、いろいろの要因がある。

(1) 土壌の比抵抗

金属の腐食は、電気化学的な反応であるから、腐食速さは環境の電気抵抗（比抵抗）によって大きな影響を受ける。

土壌の比抵抗と腐食性の関係については、その一例を表54に示す。

表54　土壌の腐食性と比抵抗の関係

腐食性の程度	比　抵　抗　Ω・cm				
	F.O.Waters[1]	L.M.Applegate[2]	VAPritula[3]	E.R.Shepard[4]	Romanoff[5]
激　し　い	0～ 900	0～ 1,000	0～ 500	0～ 500	＜700
やや激しい	900～2,300	1,000～ 5,000	500～ 1,000	500～1,000	700～2,000
中	2,300～5,000	5,000～ 10,000	1,000～ 2,000	定め難い	2,000～5,000
小	5,000～10,000	10,000～100,000	2,000～10,000		＞5,000
きわめて小	＞10,000	＞100,000	＞10,000		

1）引用文献　F.O.Waters : Corrosion, 8, No407（1952）
2）　〃　L.M.Applegate : Cathodic Protection（1960）
3）　〃　V.A.Pritula : Cathodic Protection of Pipeline and Storage Tanks（1953）
4）　〃　E.R.Shepard : Journal of Res. of NBS, 6, 683（1931）
5）　〃　M.Romanoff : NBS Circular 450 and 579

［出典：「電食・土壌腐食ハンドブック（1977）」（電気学会）］

(2)　土壌のpH値

表55に一般的なpH値と鉄の腐食程度の関係を示す。

表55　土壌のpH値と鉄の腐食程度の関係

pH値	腐食の程度
4.5以下　酸　性	非常に腐食性
4.5～6.5　弱 酸 性	腐　食　性
6.5～8.5　中性または弱アルカリ性	非　腐　食　性
8.5以上　アルカリ性	不　明

注　不明とあるのは、場合によって非腐食性の時と腐食性の時があり、一概に決められないことを意味する。

［出典：「電食・土壌腐食ハンドブック（1977）」（電気学会）］

(3)　土壌のバクテリアの活動による影響

土壌中では硫酸塩還元バクテリアによる腐食がある。硫酸塩還元バクテリアは、pH値６～８の中性環境中で水素と硫酸塩を必要とし、硫酸塩を硫化物に還元する。通常、鉄表面には水素が吸着しているが、バクテリアは硫酸塩を還元する時に、この鉄表面の水素を利用し、復極させ、鉄は一部硫化鉄（FeS黒色の錆）になって腐食する。

Redox電位（酸化還元電位）は、この硫酸塩還元バクテリアの活動を示す指標で、バクテリアの活動しやすい酸素の少ない嫌気性環境の時、低い電位を示す。

4.3.1.3　マクロセル腐食

土壌中では土質の不均一によって大きなマクロセルを形成し腐食することがある。

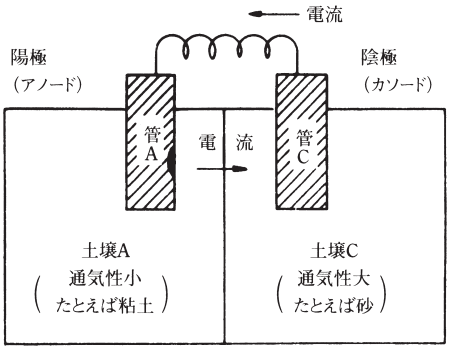


図80　土壌中のマクロセル

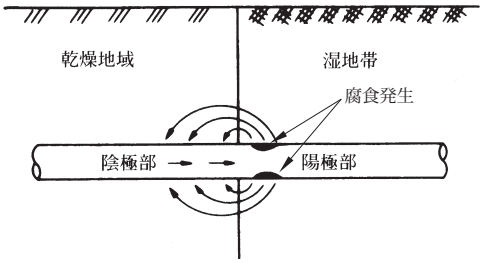


図81　通気差による腐食（1）

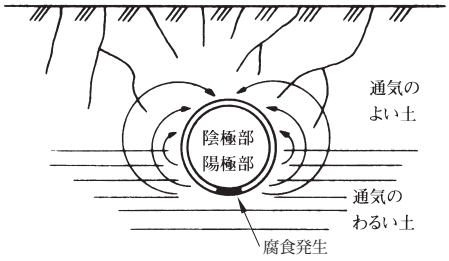


図82　通気差による腐食（2）

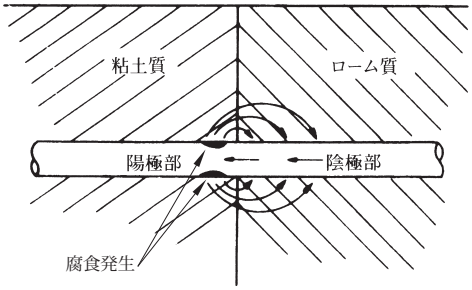


図83　土質の違いによる腐食

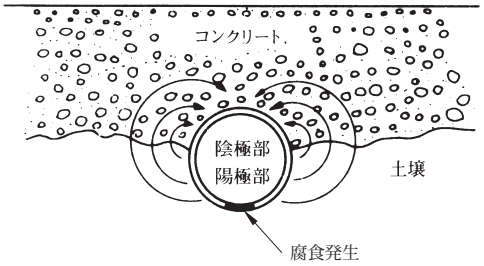


図84　コンクリートによる腐食（土中で起こる）

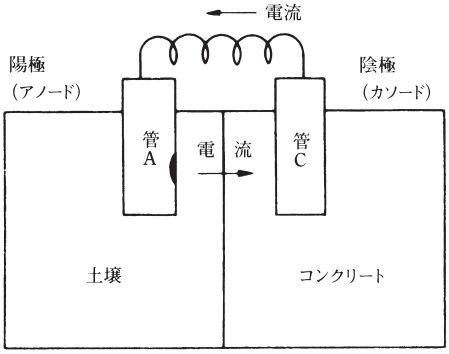


図85　コンクリート存在下のマクロセル

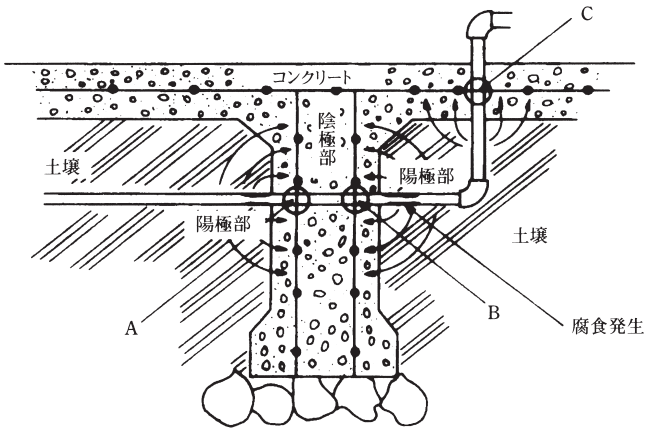


図86　鉄筋コンクリートとの導通によって起こる管の腐食

（A、B、Cのうち１ヶ所でも管と鉄筋が接触すると鉄筋コンクリートが陰極となり、管が腐食する。）

4.3.1.4　電食

電食とは、迷走電流が地中の埋設管に流入し、電流が再び土中に放出する箇所で激しい電解腐食を起こすことをいう。

迷走電流の発生源のうちもっとも一般的なものは、電鉄から漏れ電流である。

現在の電鉄は、大部分が直流で、レールを電車電流の帰路として使用している。この場合レールの絶縁が不十分で、埋設管路の電気抵抗が低い場合、レールに近接して配管されている埋設管路の電流が流入し、この流入部分では腐食は起こらないが、流出する所で電解腐食が発生する。

ダクタイル鉄管の場合、継手にはゴムを用いており、また、材質自体の電気抵抗が大きく、一般に電食を受けにくい。

電鉄電流が交流の場合、腐食は直流の場合に比べてはるかに小さく、通常50～60Hzの交流によって生ずる鉄の腐食は、同程度の直流によって起こる腐食の１％程度にすぎないといわれている。

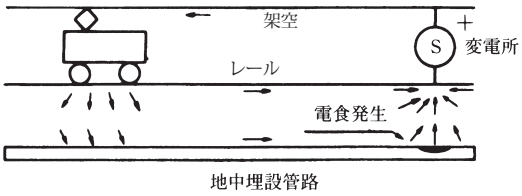


図87　電食の発生メカニズム

4.3.1.5　下水管の内面腐食

下水のスラッジ中で硫酸塩還元バクテリアが活動し、硫化水素ガス（H_2S）を発生させ、さらに好気性バクテリアによって硫酸となり、下水管に重大な腐食を起こすことがある。特に高温地域などにおけるモルタルライニング下水管では問題化している。（図88参照）従って、定期的な管内の清掃を行い、スラッジを排出させるのが望ましい。（4.5を参照）

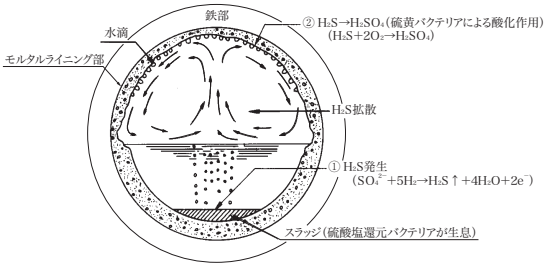


図88　下水管のモルタルライニング劣化メカニズム

4.3.2　塗装およびライニング

管の内外面は通常、次に述べるような方法で防食のため塗装する。

4.3.2.1　内面の防食方法

(1)　内面防食の種類

管路は、下水道施設の中のいろいろな場所で使われる。そのため管路内の流体の腐食性もさまざまで、条件によっては大変激しい腐食性環境となる。

流体の種類とそれに適応するダクタイル鉄管の内面防食仕様を次表に示す。

表56　流体の種類と内面防食仕様

種　　類	条　　件	内面防食仕様[注1)]
汚水・汚泥	－	PE　LE　CL
	酸性が強い場合や温度が高い場合	PE　LE
雨水・処理水	－	PE　LE　CL
空　　気	－	PE　LE　CL
返　流　水[注2)]	－	PE　LE

注　1）記号の意味は、次のとおりである。
PE：エポキシ樹脂粉体塗装　　LE：液状エポキシ樹脂塗装　　CL：モルタルライニング
2）返流水は、汚泥の各処理過程で生じる濃縮分離液、消化脱離液、脱水ろ液などを合せて水処理施設に戻す排水をいう。

(2)　エポキシ樹脂粉体塗装

下水道管路の複雑な腐食条件に幅広く対応できる内面防食仕様として、エポキシ樹脂粉体塗装が標準化（JSWAS G－1　附属書２の２.の内面塗装１）され、大きな効果を発揮している。

①　性能について

耐 酸 性：pH2およびpH4の強酸性水を通水しても塗膜は良好であった。

耐磨耗性：2.5m/sの高流速でスラリー通水試験を行い、塗膜にはほとんど磨耗は認められず良好であった。

耐 候 性：中近東で４年間、その後国内で７年間の暴露試験の結果、塗膜の密着力の低下はほとんど認められなかった。

耐真空性：真空度72％で１時間静置したが、なんらの変化も認められなかった。

4.3.2.2　埋設管の外面塗装

通常、ダクタイル鉄管は、特に指定のない場合は表57に示す外面塗装が施されている。特に、外面耐食塗装を施すGX形ダクタイル鉄管は、長期耐久性を有している。

表57　埋設管外面塗装の標準

管	工場出荷時の外面塗装	現地塗装
埋設管（GX形以外）	一液性エポキシ樹脂、二液性エポキシ樹脂、アクリル樹脂系塗料でJSWAS G－1附属書４の２.の外面塗装１の合成樹脂塗装に適合するもの。	―
埋設管（GX形）	「亜鉛系合金溶射＋封孔処理＋合成樹脂塗料」で構成されJSWAS G－1附属書４の２.の外面塗装２の外面耐食塗装に適合するもの。	―

4.3.2.3　特殊な外面塗装

JSWAS G－1附属書４の２.の外面塗装３では、露出配管、水中配管、湿度の高いところの配管などに使用される場合の外面特殊塗装に用いる塗料および塗装方法について規定されている。

塗装の種類は、工場塗装および現地塗装の組み合わせにより区分され、表58に示す。

なお、現地塗装は、参考とする。

表58　工場塗装および現地塗装

<table>
<tr><th colspan="4">工　場　塗　装</th><th colspan="3">現　地　塗　装（参考）</th></tr>
<tr><th>種類</th><th>１次塗装</th><th>２次塗装</th><th>３次塗装</th><th>現地塗装適合塗料</th><th>用　途</th><th>備　考</th></tr>
<tr><td>AA</td><td>亜鉛溶射
又は
ジンクリッチペイント</td><td>合成樹脂塗料
塗膜の厚さ0.08mm</td><td rowspan="2">―</td><td>合成樹脂塗料</td><td rowspan="3">主として露出配管に用いる。</td><td>黒色とし、その他の色は指定できない。</td></tr>
<tr><td>BB</td><td rowspan="3">亜鉛溶射
又は
ジンクリッチペイント
ただし、外面塗装２の亜鉛系合金溶射でもよい</td><td>現地塗装のアクリルNAD系艶有塗料に適した合成樹脂塗料
塗膜の厚さ0.08mm</td><td>アクリルNAD系艶有塗料</td><td>色の指定ができ、歩道橋や建築関係で通常用いられている。塗料は市販性がよく、入手しやすい。</td></tr>
<tr><td>CC</td><td rowspan="2">エポキシ樹脂塗料
塗膜の厚さ0.05mm</td><td rowspan="2">エポキシM.I.O塗料
又は
エポキシ樹脂塗料
塗膜の厚さ0.05mm</td><td>ポリウレタン樹脂塗料</td><td>色の指定ができ、耐候性が要求される場合に使用される。</td></tr>
<tr><td>DD</td><td>エポキシ樹脂塗料</td><td>水中配管及び湿度の高い所の露出配管に用いる。</td><td>色の指定ができ、水中や湿度の高い腐食性環境で使用される。</td></tr>
</table>

4.3.3　腐食性土壌に配管する場合の外面防食法

ダクタイル鉄管を埋設する場合、埋設環境が管に対して腐食性であるか否かを評価し、腐食性である場合はポリエチレンスリーブ法が適用されている。土壌の評価方法としては簡易判定法と土壌分析をする方法がある。

なお、GX形は一般的な埋設環境においてはポリエチレンスリーブが不要である。詳細については、「GX形ダクタイル鉄管（JDPA T 56)」参照のこと。

4.3.3.1　腐食性土壌の簡易判定法

一般に次のような所は、腐食性土壌といわれている。

① 酸性の工場廃液や汚れた河川水などが地下に浸透した所

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め立てをされた所

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泥の埋立地

⑦ 海成粘土など酸性土壌

4.3.3.2　土壌分析による評価方法

1．の項で述べた土壌のほかに、すでに埋設されている管路で腐食の事例があった場合などでは、さらに詳しく調べる必要がある。その場合は機器を使用して測定し、腐食性を評価する。

土壌分析を行った結果、下の表において各項目の測定値に対応する点数の合計が10点以上になる場合は、腐食性土壌と判断する。

表59　測定項目および点数

項　目	測定結果	点　数
土壌の比抵抗（Ω・cm）	＜1500	10
	1500～1800	8
	1800～2100	5
	2100～2500	2
	2500～3000	1
	3000＜	0
pH値	0　～2	5
	2　～4	3
	4　～6.5	0
	6.5～7.5	0
	7.5～8.5	0
	8.5＜	3

項　目	測定結果	点　数
酸化還元電位（Redox電位）（mV）	100＜	0
	50～100	3.5
	0～ 50	4
	マイナス	5
水　　分	排水性が悪く、常に湿潤	2
	排水性が悪くないが、一般に湿っている	1
	排水性が良く一般に乾燥している	0
硫　化　物	検出	3.5
	痕跡	2
	なし	0

備考　1．表に示す測定項目および評価点数は、アメリカ国家規格ANSI/AWWA C 105/A21.5-2010による。

2．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。

4.3.3.3　ポリエチレンスリーブ

(1)　物理的性質

スリーブの材料は低密度ポリエチレンを主体とした良質の原料を用いる。

この場合の物理的性質は表60による。

表60　スリーブの物理的性質

試　験　項　目		品　質	
引張試験	引張降伏応力　（MPa）	一 般 部	30以上
		熱融着部	10以上
	引張破壊ひずみ　（%）	一 般 部	600以上
		熱融着部	250以上
引張弾性率　（MPa）		50を超え、160以下	
衝撃強さ		衝撃に耐えること	
メルトマスフローレート（MFR）　（g/10min）		0.2を超え、3.0以下	
密度（23℃）　（kg/m^3）		901を超え、921以下	

(2) ポリエチレンスリーブの施工

① 施工手順

ポリエチレンスリーブの施工は、日本ダクタイル鉄管協会発行の「ダクタイル鉄管用ポリエチレンスリーブ施工要領書」に基づいて行う。施工方法としては、A法（スリーブ全長を一体として管に被覆する方法）、B法（スリーブを２つに切り、直部と継手部に分けて被覆する方法）の２通りがあるが、A法が一般的である。

また、T字管など枝管を有する異形管や弁類などはスリーブを適当に切断または切開いて被覆し粘着テープで固定する。

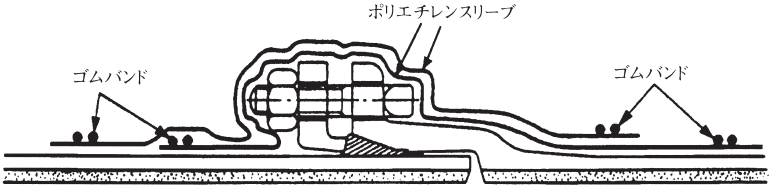


図89　継手部分のポリエチレンスリーブの状況（A法）

② 施工上の留意点

(a) スリーブを傷つけないよう注意する。

(b) 継手部ではスリーブを十分にたるませ、埋め戻しに際してスリーブが接合部の形状に無理なくなじみ、損傷しないよう配慮しておくことが必要である。

(c) スリーブは管に密着させ、ゴムバンドや粘着テープで固定することにより、スリーブと管との間へ地下水ができるだけ浸入しないようにする。仮に地下水が入っても移動しにくいようにしておく。

(d) スリーブに損傷、または使用上有害な欠陥が生じた場合は、別のスリーブを用いて補修する。

(e) 埋め戻しは、スリーブに損傷を与えないように、大きな石などを含まない良質の埋め戻し土により行う。

③ 直管の施工要領

スリーブの施工方法にはA法とB法がある。A法はスリーブ一体として施工し、B法はスリーブを直部と接合部に分割して施行する方法である。

一般にはA法が多く、特例的にB法が採用される。

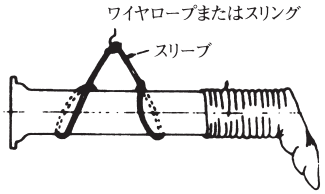
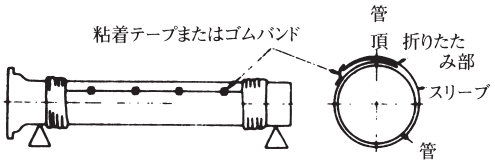
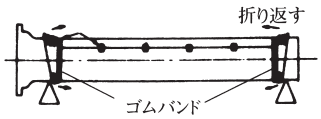
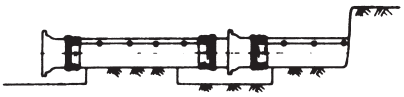
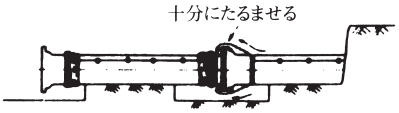
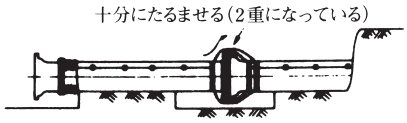
手順	図	解　　説
1		●管を吊り上げるか、または枕木の上に乗せて挿し口側からスリーブを挿入する。
2		●スリーブの端から500mm（呼び径500mm以上は750mm）に付けられた印と管端とを合致させて、スリーブを引き伸ばす。 ●管頂部にスリーブの折りたたみ部がくるように折りたたんで、粘着テープまたはゴムバンドで固定する。
3		●受口側および挿し口側にゴムバンドを巻き、管にスリーブを固定する。 ●受口側および挿し口側のスリーブを折り返す。
4		●スリーブを傷付けないように管を吊り下ろす。 ●管を接合する。
5		●折り返したスリーブを元に戻して接合部にかぶせ、ゴムバンドを巻き、スリーブ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

図90　A法の手順

4.4　管路の検査

配管中または配管後の管路の検査としては、

①　継手接合時の作業検査（チェックシートによる作業点検）

②　管路水圧試験（小口径管路）

③　継手部の水圧テストバンドによる水圧試験（大口径管路）

が行われている。

水圧の代わりに空気圧で試験を行うと、管が吹き飛ばされる恐れがあるため決して行ってはならない。

ここでは管路水圧試験および水圧テストバンドによる継手部の水圧試験について述べる。

4.4.1　管路の水圧試験

水圧試験の順序、方法は次のとおりである。

① 試験実施区間はバルブ、フランジふた、栓などで仕切るとともに空気弁などで十分排気できる構造とする。

② 試験は、防護コンクリートの養生が完了し、設計強度が期待できるようになってから実施する。

③ 充水は、原則として管路の低い方から行う。この際、急激に充水すると管路内の空気圧の上昇で思わぬ事故を招くこともあるので、排気状態を確認しながら注意して充水する。

④ 水圧試験は、管路内の残留空気を排除するために、充水後一昼夜程度経過してから行う。

⑤ 試験水圧は設計で採用されている水圧を最大とし、管路の使用水圧、付属設備の状況などを考慮して適切な数値を設定する。

⑥ 水圧を所定時間保持させ、この間、管路の異常の有無および圧力変化を記録する。

一般に管路の水圧試験の場合の圧力は、モルタルライニングへの吸水、残留空気の溶存・溶解・異形管部の微移動などの要因により、管路に漏えいがなくても初期圧力から30％程度低下することもある。この場合、再度試験水圧を負荷し、所定時間保持する。

⑦ 所定時間経過後、管路に異常がなく、また、急激な圧力降下が生じなければ合格とする。

4.4.2　継手部の水圧テストバンドによる水密性試験（呼び径900以上）

大口径管路については、充水・排水および工区内の管路構造上の制約から、管路水圧試験の実施が困難となる場合が多い。

したがって、管内部からテストバンド（図91）を用い、継手部のみ水圧を負荷して施工の不備がないかを確認する。

通常は水圧0.5MPaを負荷して５分間経過後に0.4MPa以上保持すれば合格とする。

試験水圧を高くすると、モルタルライニングと管体鉄部との間に水が浸透し、圧力保持がしにくい。

万一テストバンドからの漏えいまたはモルタルライニング部への水の浸透が認められないにもかかわらず、水圧が上がらない時または圧力保持中急激な圧力変化が生じた場合は、テストバンドを取りはずし、継手部を点検後再試験を行う。

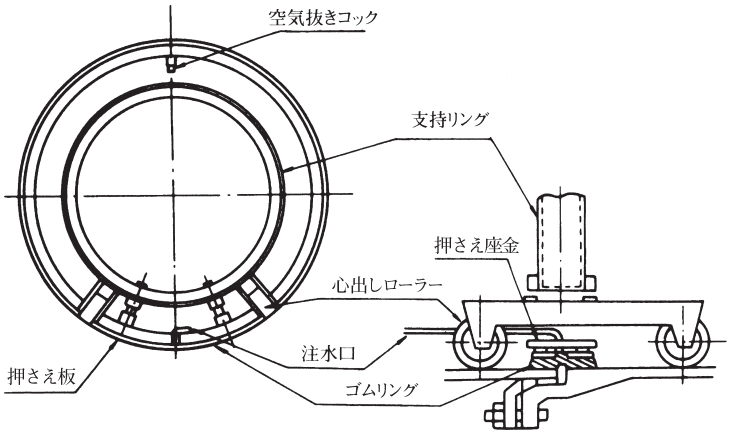


図91　テストバンド

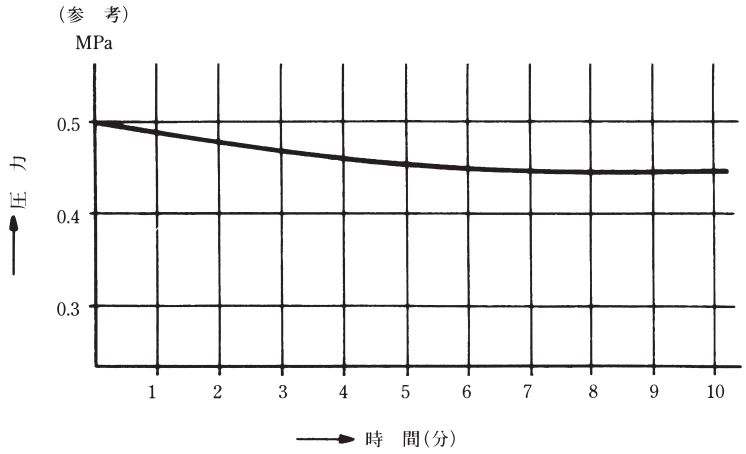


図92　圧力変化

4.5　圧送管路の維持管理

圧送管路を常に所定の能力で使用するには、種々の維持管理を行うことが望ましい。以下に圧送管路の維持管理について述べる。

4.5.1　スラッジ排出

汚水や汚泥を長距離圧送する場合、管路の凹部にスラッジが沈殿して管路を閉塞し、通水能力が小さくなることがある。

また、スラッジの堆積のため、硫化水素などの有害ガスが発生する。そのため適切な方法で定期的にスラッジを管路外に排出しなければならない。

スラッジ排出のための一般的な対策としては以下のものがあげられる。

① 一時的に高流速で圧送運転を行い管内のスラッジを排出する。

② 管路の凹部に排出設備を設置してスラッジを排出する。

③ ポリピグ法によりスラッジを排出する。

4.5.1.1　高流速運転による排出

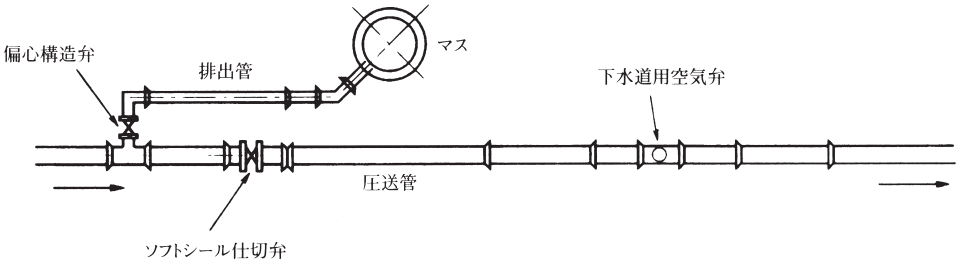
高流速運転で圧送運転を行い管内のスラッジを排出する場合、次の事項に留意しなければならない。

① ２条配管では１条ずつの運転とするか、予備ポンプを含めて稼働させ流速を確保する。

② 高流速運転する場合はあらかじめ排出する水量を計算し、運転時間を定めておく。排出のためには清水が一般に用いられるが、清水の確保が困難な場合、処理水などを利用することもある。

4.5.1.2　排出設備

圧送管路の凹部にはスラッジが溜まり易いので、このような場所には下図に示すような排出設備を設置するのが望ましい。排出時の作業性から排出管の径は150mm以上が一般的である。排出設備の設置場所の選定にあたっては、スラッジのたまりやすい場所で周囲の環境、スラッジの処分方法を検討し、決定しなければならない。



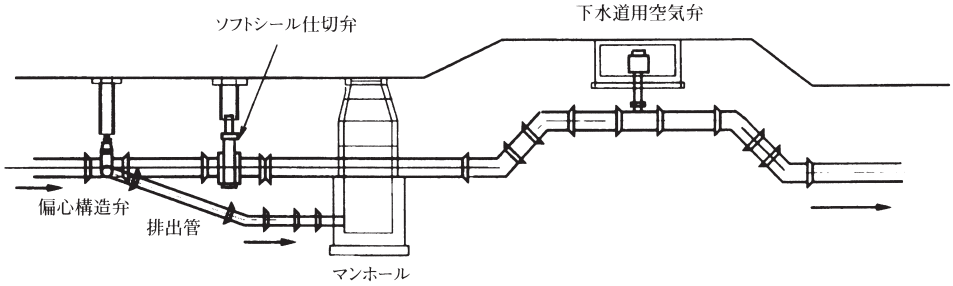
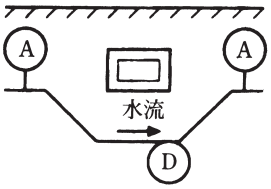
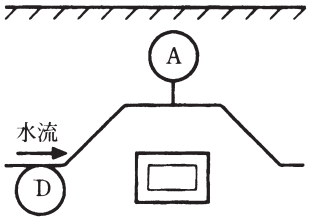


図93　スラッジ排出設備の例

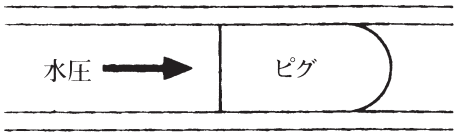
表61　排出設備の設置例

	伏せ越し	上越し
配置パターン		
空気弁の設置	管路の凸部に設置する。（図のAの位置）	
排出設備の設置	管路の凹部に設置する。（図のDの位置）	

4.5.1.3　ポリピグによるスラッジの排出法

ポリピグによるスラッジ排出法は、管路内の内径より若干大きい発泡ポリウレタン製のピグを挿入し、ピグに水圧を加え、管路内を移動させることにより、管路内のスラッジなどの異物を排出する方法である。

この方法は、ピグの発射装置（ピグランチャ）とピグの回収装置（ピグキャッチャ）を常設し、下水圧送ポンプの圧力を利用すれば、内径が変わらない限り長距離の管路を一度に洗浄できる。



この方法を下水圧送管路の維持管理に採用するにあたっての留意事項は、下記の通りである。

① 一定の期間（1～6ヶ月）を定めて必ずピグを通し、管内を常に良好な状態に維持することが望ましい。

スラッジの固着を未然に防止することが本来の目的であって、成長し固着したものを除去することが目的ではない。

② 簡単にピグクリーニングが施工できるように、ランチャ、キャッチャなどの装置を管路両端に設置する。

圧送源としては、本管に入るまで清水で圧送し、その後下水で圧送するような工夫をしておく方がよい。

ピグ挿入をすばやく安全に行うために、クイッククロージャ（安全装置付き開閉装置）およびピグシグナル（ピグ通過確認装置）付きランチャの採用が望ましい。

③ 管路内途中にはピグが通らないような計器（流量計・濃度計など）やバルブ（バタフライ弁など）を設置しないようにする。

ピグ通過の可否に留意して管路設計しておかないと、完成後ピグを通せないことがある。

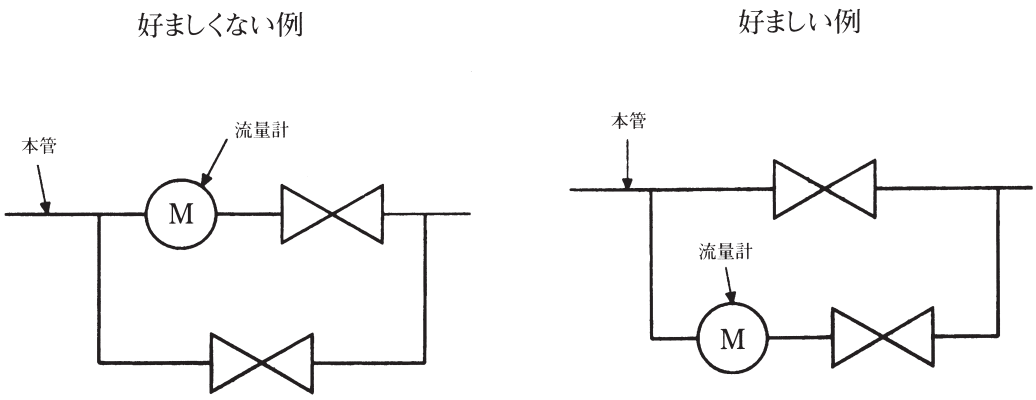


図94　バルブ・流量計の設置例

供用前にピグが全管路内を通過することを確認しておけば、メンテナンス上でのトラブルの発生を防ぐことができる。

④ 使用するピグは、通過性がよく管内面に損傷を与えることなくクリーニングできるポリ

ウレタン製クリスクロスタイプが適している。

⑤　ピグは通常呼び径150～600までの口径に対応するものが標準である。

⑥　排出距離は、最大500m程度の例がある。

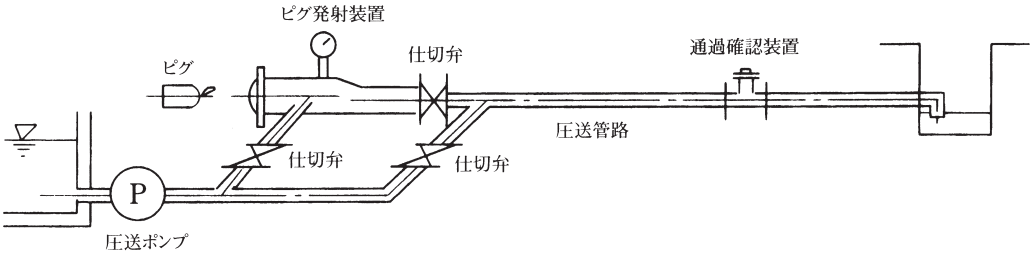


図95　システム概略

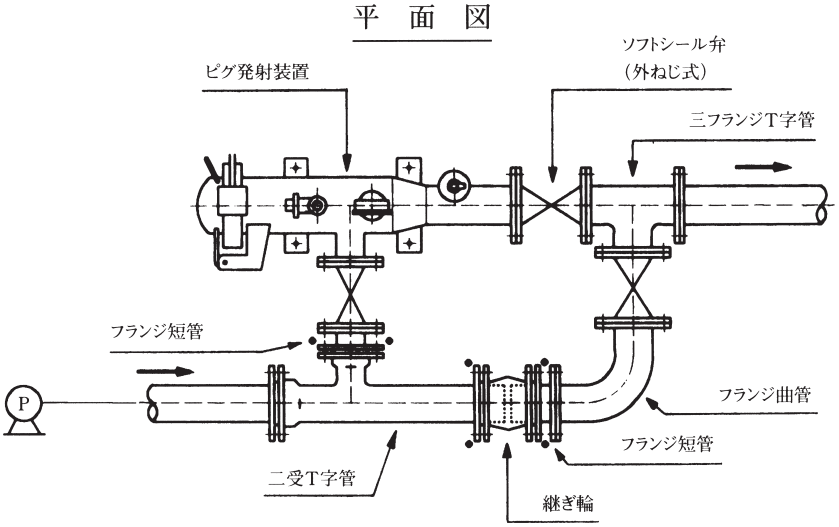


図96　ピグ発射装置配置例

4.5.2　空気弁の維持管理

下水道用空気弁は種々改良されているが、異物の付着により機能低下に陥る可能性がある。流体の種類、濃度、運転の仕方による差はあるが、使用期間の経過につれて異物の付着が進行するものと思われる。従って期間を定めて点検・清掃等の維持管理を行う必要がある。補修弁を閉じれば、システムの運転を止めずに維持管理が行える。またほとんどの機能部品が弁箱からセットで取り出せるので、スペアを用意して取り替えるようにすれば、一層容易かつ周到な保守ができる。

維持管理上の注意事項は次の通りである。

①　３ヵ月ごとに一度、下記の維持管理を必ず実施する。

・異物の堆積、付着による作動不良を防ぐために、空気弁内の洗浄を実施する。

・腐食・摩耗による動作不良を防ぐために点検を実施し、不具合が見つかった場合は部品の交換を行う。

②　送泥管の間欠運転の際は、運転終了後、処理水・洗浄水を送り、休止中に汚泥が管内に沈殿するのを防止する。

4.5.3　硫化水素抑制対策

長距離の汚水圧送を行う場合、管路に空気が供給されないので嫌気性の雰囲気となりやすい。嫌気性雰囲気下では硫酸塩還元菌により汚水中の硫化物が還元され、硫化水素を発生するので管路末端で悪臭等の問題となることがある。

硫化水素抑制対策としては薬品注入や空気注入が上げられるが、ここでは一例として空気注入システムについて説明する。

〔神戸市における空気注入システム〕

神戸市では、六甲山背後の内陸部に立地する住宅・産業団地の下水送水幹線に圧送方式を採用し、管きょ施設の腐食劣化原因となる硫化水素抑制のために空気注入システムを採用している。圧送管路施設は平成２年より供用しているが、現在までの間、種々の調査を実施し、空気注入による硫化水素生成抑制効果を確認している。

①　システムの概要

管路施設の概要を下図に示す。なお、圧送管路は維持管理性を考慮して、呼び径350のダクタイル鉄管で延長34.33m×２条管理となっている。

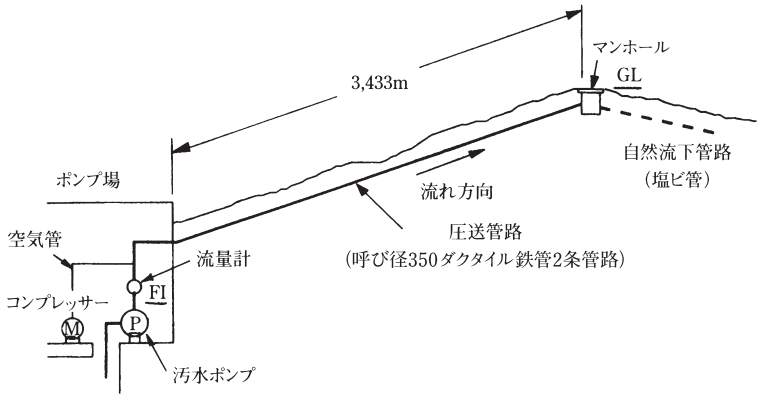


図97　圧送幹線の概要

②　硫化水素生成の抑制効果

空気注入による硫化水素生成の抑制効果の例として、圧送管路終点のマンホール内硫化水素濃度の測定結果を下図に示す。

空気注入を実施した場合3ppm以下であった硫化水素濃度は、空気注入を停止した場合に100ppm以上の濃度となった。

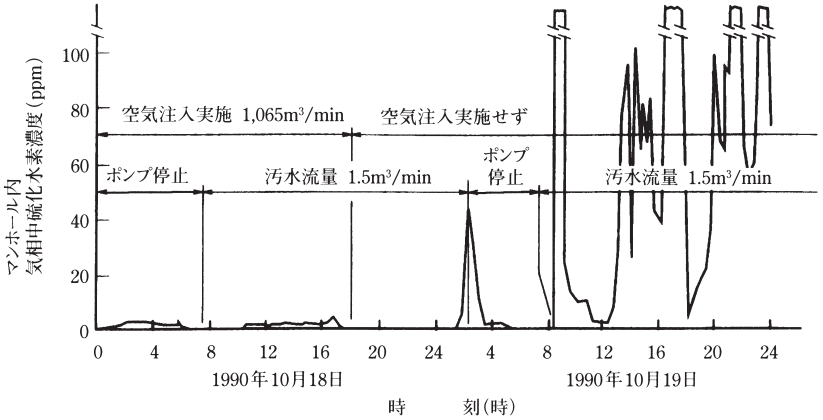


図98　圧送管路終点のマンホール内硫化水素濃度の例

［出典：「第３回 MWRDGC/JSWA 技術交流ワークショップ講演集 p.83 － 101」］

5．推進工法用ダクタイル鉄管の設計と施工

5.1　推進工法用ダクタイル鉄管

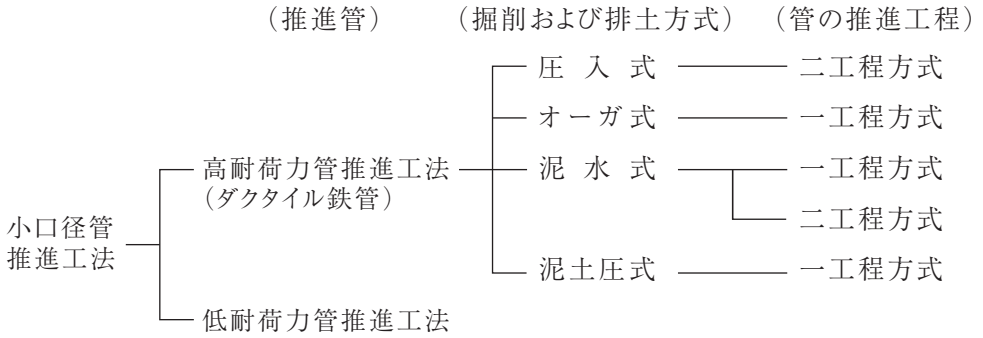
ダクタイル鉄管は圧縮強度が高く、大きな推進力に耐えられ軌道・河川・幹線道路などの横断箇所部、長距離推進などにも使用されている。

5.2　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。

5.2.1　小口径管推進工法（呼び径700以下）

ダクタイル鉄管での小口径管推進工法は、高耐荷力管推進工法に大別され、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。

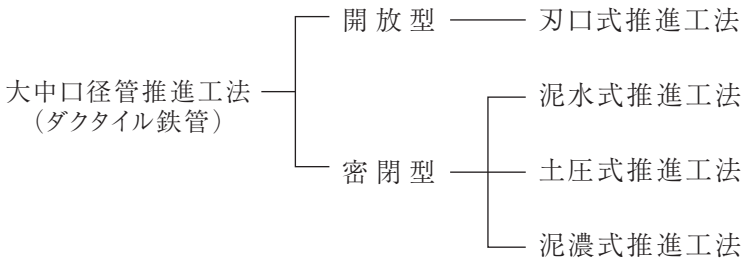


公益社団法人　日本推進技術協会資料より抜粋

5.2.2　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、ダクタイル鉄管の推進施工が可能である。



公益社団法人　日本推進技術協会資料より抜粋

5.3　推進管に作用する荷重

管の自重は推進力の算定においては考慮するが鉛直方向の管の耐荷力の検討では考慮しない。

鉛直土圧は土被りにより直土圧と緩み土圧を使い分け、推進工法では全ての地盤で土水一体として鉛直土圧を算出する。直土圧を採用した場合は、鉛直土圧に活荷重を加算するが、緩み土圧を採用した場合は、活荷重は式中に考慮されているので加算しない。

(1)　直土圧

直土式は、土被りが２D（D：管外径）または２m程度以下と比較的小さく、土のアーチング効果への信頼性が低いと判断される場合や緩み高さ（ho）が土被り（H）に比べ大きくなる場合に採用する。直土圧を採用した場合の管に作用する等分布荷重は、式(1)に示すように活荷重を考慮し、鉛直荷重と活荷重の和として表される。

$$ho = \sigma_v / \gamma > H$$

ここに、

σ_v　：テルツァギーの緩み土圧（kN/m^2）式(4)参照

γ　：土の単位体積重量（kN/m^3）

(2)　緩み土圧

緩み土圧は、土のアーチング効果に信頼がおけると判断できる場合に採用する。緩み土圧の計算方法には一般的にテルツァギーの式が採用され、土被り10m程度以内に計画される場合は原則として均一地盤、それを超える場合は多層地盤として計算する。

5.3.1　直土圧

等分布荷重は式(1)に示すように土による鉛直等分布荷重と活荷重との和である。

$$q = w + p \quad \cdots\cdots (1)$$

ここに、

q　：管に作用する等分布荷重（kN/m^2）

w　：土による鉛直等分布荷重（kN/m^2）

p　：活荷重（kN/m^2）

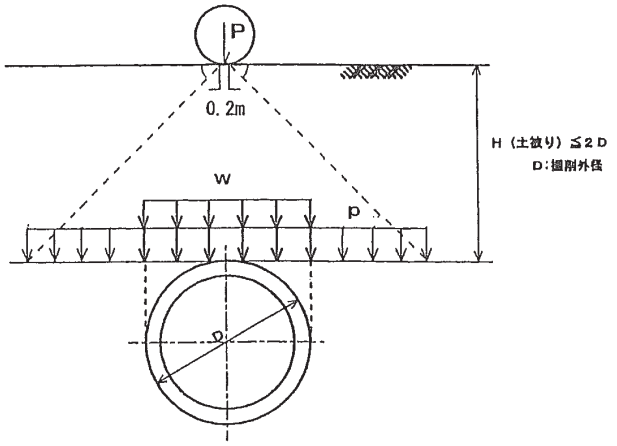


図99　管に作用する鉛直荷重（直土圧）

(1) 土による鉛直等分布荷重

$$w = \gamma H \cdots\cdots (2)$$

ここに、

w ：土による鉛直等分布荷重（kN/m²）

γ ：土による単位体積重量（kN/m³）

H ：土被り（m）

(2) 活荷重

活荷重は、輪荷重が図100のように地中に分布するものとする。

ここに、設計自動車荷重を250kN（「道路橋示方書・同解説」に定められた後輪荷重）として活荷重を求めると式(3)になる。

$$p = \frac{2P(1+i) \times \beta}{C(a+2H \cdot \tan\theta)} \cdots\cdots (3)$$

ここに、

p ：活荷重（kN/m²）

H ：土被り（m）

P ：後輪荷重（＝100kN）

a ：タイヤの接地長（＝0.2m）

C ：車両の占有幅（＝2.75m）

θ ：荷重の分布角（一般に45°）

i ：衝撃係数（表62）

β ：低減係数（表63）

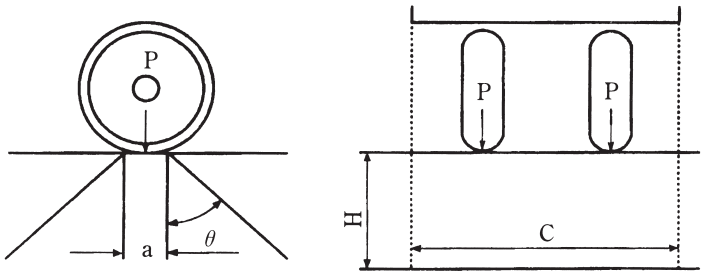


図100　輪荷重の分布

表62　衝撃係数

H（m）	H≦1.5	1.5＜H＜6.5	6.5≦H
i	0.5	0.65－0.1H	0

表63　低減係数

	土かぶりH≦１mかつ内径B≧４mの場合	左記以外の場合
β	1.0	0.9

5.3.2　緩み土圧

等分布荷重は式(4)、(6)の第二項で活荷重の影響を考慮しているので、活荷重をあらためて加算する必要はない。

(1)　均一地盤における緩み土圧の基本式

$$q = \sigma_v = \frac{B1(\gamma - c/B1)}{K_0 \cdot \tan\phi}\left(1 - e^{-K_0 \cdot \tan\phi \cdot H/B1}\right) + p_0 \cdot e^{-K_0 \cdot \tan\phi \cdot H/B1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

$$B1 = R_0 \cdot \cot\left(\frac{45° + \phi/2}{2}\right)$$

$$\phi = 0 \text{ 場合} \quad q = \sigma_v = (\gamma - c/B1) \cdot H + p_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

ここに、

- q　：管に作用する等分布荷重(kN/m²)
- σ_v　：テルツァギーの緩み土圧(kN/m²)
- K_0　：水平土圧と鉛直土圧との比(通常K_0=1としてよい)
- ϕ　：土の内部摩擦角(°)
- p_0　：上載荷重(=10kN/m²)
- γ　：土の単位体積重量(kN/m²)
- c　：土の粘着力(kN/m²)
- R_0　：掘削半径(m)
  - $R_0 = Bc/2 + b$
- b　：管外周ゆるみ範囲　$b = 0.04$m
- Bc　：管外径(m)
- H　：土被り(m)

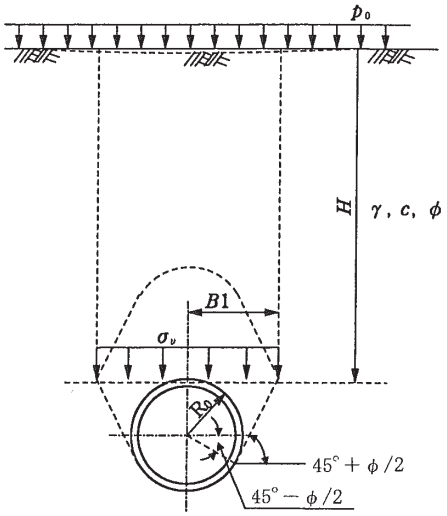


図101　均一地盤における緩み土圧

(2)　多層地盤における緩み土圧の基本式

$$\sigma_{v1} = \frac{B1(\gamma_1 - c_1/B1)}{K_0 \cdot \tan\phi_1}\left(1 - e^{-K_0 \cdot \tan\phi_1 \cdot H1/B1}\right) + p_0 \cdot e^{-K_0 \cdot \tan\phi_1 \cdot H1/B1}$$

$$\sigma_{v2} = \frac{B1(\gamma_2 - c_2/B1)}{K_0 \cdot \tan\phi_2}(1 - e^{-K_0 \cdot \tan\phi_2 \cdot H2/B1}) + \sigma_{v1} \cdot e^{-K_0 \cdot \tan\phi_2 \cdot H2/B1}$$

$$\sigma_{vi} = \frac{B1(\gamma_i - c_i/B1)}{K_0 \cdot \tan\phi_i}(1 - e^{-K_0 \cdot \tan\phi_i \cdot Hi/B1}) + \sigma_{vi-1} \cdot e^{-K_0 \cdot \tan\phi_i \cdot Hi/B1}$$

$$q = \sigma_{vn} = \frac{B1(\gamma_n - c_n/B1)}{K_0 \cdot \tan\phi_n}(1 - e^{-K_0 \cdot \tan\phi_n \cdot Hn/B1}) + \sigma_{vn-1} \cdot e^{-K_0 \cdot \tan\phi_n \cdot Hn/B1} \quad \cdots\cdots (6)$$

$$B1 = R_0 \cdot \cot\left(\frac{45° + \phi_n/2}{2}\right)$$

$\phi_i = 0$ 場合　$\sigma_{vi} = (\gamma_i - c_i/B1) \cdot H_i + \sigma_{vi-1}$ ……(7)

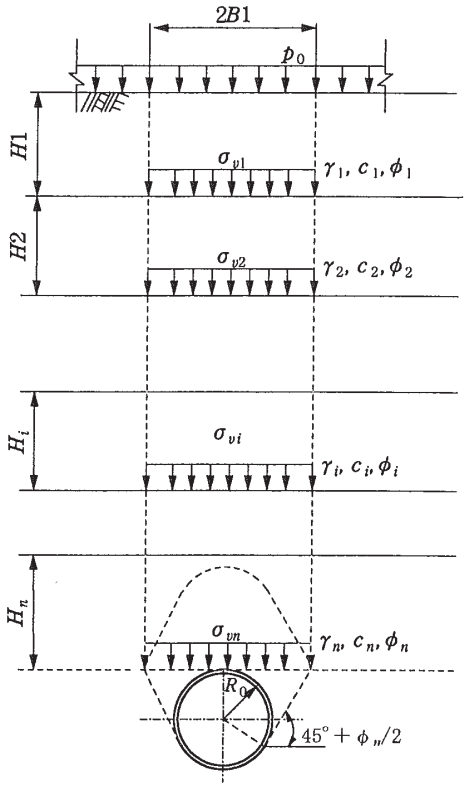


図102　多層地盤における緩み土圧

5.4　推進力の計算式

推力の計算式には、工法によって各種あり、主なものを次に示す。

5.4.1　基本式

本式は推進工法における基本式を示すものである。

総推進力は、式(8)に示す推進諸抵抗力の総和で表される。

$$F = F_0 + \{(\pi B_c \ q + W)\mu' + \pi B_c \cdot C'\}L \quad \cdots\cdots (8)$$

ここに、

F　：総推進力(kN)

F_0：先端抵抗力(kN)

B_c：管外径(m)

q　：管にかかる等分布荷重(kN/m²)

W　：管の単位重量(kN/m)

μ'：管と土との摩擦係数

C′：管と土との付着力(kN/m²)

L　：推進延長(m)

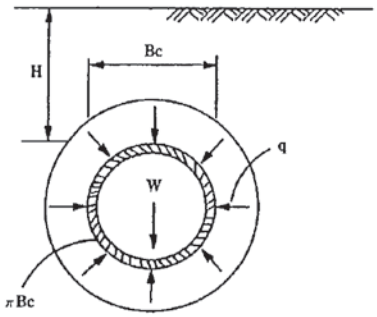


図103　推進諸抵抗力

総推進力(F)は、管の周囲(πB_c)に等分布荷重(q)が働き、さらに管と土との付着力(C′)は、管の周囲(πB_c)に働くものとした。さらに、管の単位重量(W)による管と土との間の摩擦抵抗力および先端抵抗力が加わるものとして計算する。

(1) 先端抵抗力

先端抵抗力は、一般に先端刃先抵抗と呼ばれるものであり、標準貫入試験から求めたN値で表した式を用いる。

$$F_0 = 10.0 \times 1.32\pi B_c \cdot N \ (kN)$$

ここに、

F_0：先端抵抗力(kN)

B_c：管外径(m)

N　：標準貫入試験から求めたN値

(2) 等分布荷重

管にかかる等分布荷重は5.3に示す算定式により求める。

(3) 管と土との摩擦係数

管と土との摩擦係数は、下式で表される。

$$\mu' = \tan\delta = \tan\frac{\phi}{2}$$

ここに、

μ' ：管と土との摩擦係数

δ ：管と土との摩擦角(°)(全断面加圧につき $\delta = \frac{\phi}{2}$ と仮定する。)

ϕ ：土の内部摩擦角(°)

(4) 管と土との付着力

管と土との付着力(C′)は、粘性土の場合に粘着力が大きくなると付着力は粘着力より小さくなる。一般に管と土の付着力は、大きくとも10.0(kN/m²)程度と考えてよい。

(5) 標準的な土質

表64　標準的な土質とその特性値

特性値 / 土質	ϕ (°)	N	C′ (kN/m²)	μ'
軟弱土	15	4	10	0.1317
普通土	20	10	5	0.1763
普通土	30	15	0	0.2679
硬質土	40	30	0	0.3640

備考　表中、ϕは土の内部摩擦角、Nは標準貫入試験によるN値、C′は管と土との付着力、μ'は管と土との摩擦係数(=tan $\frac{\phi}{2}$)を示す。

5.4.2　下水道協会式

式(9)は式(8)(基本式)の修正式であり、自立可能な地山における刃口式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + \alpha \cdot \pi B_c \cdot \tau_a \cdot L + W \cdot \mu' \cdot L \quad \cdots\cdots (9)$$

$$\tau_a = \sigma \cdot \mu' + C'$$

$$\sigma = \beta \cdot q$$

$$\mu' = \tan\delta$$

$$F_0 = 10.0 \times 1.32 \cdot \pi \cdot Bs \cdot N' \text{(kN)}$$

ここに、

F ：総推進力(kN)

F_0 ：先端抵抗力(kN)

B_c ：管外径(m)

B_s ：先導体(刃口・掘進機)外径(m)

α ：管と土との摩擦抵抗の生じる範囲にかかる係数(= 0.50～0.75)

τa ：管と土とのせん断力(kN/m²)

q ：管にかかる等分布荷重(kN/m²)

W　：管の単位重量（kN/m）
μ'　：管と土との摩擦係数
σ　：管にかかる周辺荷重（kN/m^2）
β　：管にかかる周辺荷重の係数（=1.0～1.5）
δ　：管と土との摩擦角（°）（全断面加圧につき $\delta = \dfrac{\phi}{2}$ と仮定する）
C′　：管と土との付着力（kN/m^2）
N′　：切羽心抜きをした場合の貫入抵抗値

普通土（粘性土）	1.0
砂質土	2.5
硬質土	3.0

L　：推進延長（m）

5.4.3　泥水・土圧式算定式

式（10）は大中口径管の泥水・土圧式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + f_0 \cdot L \quad \cdots\cdots (10)$$

$$F_0 = (Pw + Pe)\pi\left(\frac{B_s}{2}\right)^2$$

$$f_0 = \beta\{(\pi B_c \cdot q + W)\mu' + \pi B_c \cdot C'\}$$

ここに、

F　：総推進力（kN）
F_0　：先端抵抗力（kN）
f_0　：周面抵抗力（kN/m）
L　：推進延長（m）
P_w　：カッタチャンバ内圧力（kN/m^2）
　泥水式　P_w = 地下水圧 + 20.0（kN/m^2）
　土圧式　（砂質土の場合）
　　P_w = 主働土圧 + 地下水圧 + ΔP（ΔP = 20～50kN/m^2）
　　（粘性土の場合）
　　P_w = 静止土圧を用いる。
Pe　：切削抵抗力（kN/m^2）
　P_e = N値 × 10.0（kN/m^2）
　　ただし、N ＜ 15 の場合は P_e = 150（kN/m^2）とする。
　　N ＞ 50 の場合は P_e = 500（kN/m^2）とする。

B_s ：掘進機外径(m)

B_c ：管外径(m)

q ：管にかかる等分布荷重(kN/m²)

W ：管の単位重量(kN/m)

μ' ：管と土との摩擦係数

$$\mu' = \tan\frac{\phi}{2}$$

ϕ：内部摩擦角

C′ ：管と土との付着力(kN/m²)

粘性土(N ＜ 10)：C′= 8

固結土(N ≧ 10)：C′= 5

β ：推進力低減係数

表65　土質別のβ標準値

土　　質		推進力低減係数β
普通土	粘　性　土	0.35
	砂　質　土	0.45
	砂　礫　土*	0.50
粗石混り土	砂　礫　土(1)*	0.60
	砂　礫　土(2)*	0.70
硬質土	硬　質　土(1)*	0.35
	硬　質　土(2)*	0.35

注　β値は標準値を基本とし、施工条件により±0.05の範囲で採用する。

＊　砂礫土　　：礫径20mm未満、礫含有率30%未満。

砂礫土(1)：最大礫径20mm以上で最大礫径は掘進機外径の20%未満かつ400mm以下、礫含有率は、30%以上80%未満。

砂礫土(2)：礫径は砂礫土(1)以外、礫含有率は30%以上80%未満。

硬質土(1)：N値10以上で一軸圧縮強度は5MN/m²未満。

硬質土(2)：一軸圧縮強度は5MN/m²以上200MN/m²未満。

5.4.4　泥濃式算定式

式(11)は大中口径管の泥濃式推進工法に適用する。

$F = F_o + f \cdot S \cdot L$ ……(11)

$F_o = (Pe + Pw) \cdot \pi \cdot (B_s/2)^2$

$f = 2 + 3 \cdot (G/100)^2 + 27 \cdot (G/100) \cdot M^2$

ここに、

F　：総推進力(kN)

F_o　：先端抵抗力(kN)

S　：管外周長(m)

L　：推進延長(m)

P_e　：切羽単位面積当たり抵抗力(kN/m²)

$P_e = 4.0 \times$ N値

N ＜1の場合は $P_e = 4.0$ (kN/m²)とする。

P_w　：カッタチャンバ内の泥土圧力(kN/m²)

P_w =(地下水圧 + 20.0) (kN/m²)

B_s　：掘進機外径(m)

f　：管周面抵抗力(kN/m²)

G　：礫率(%)

M　：最大礫長径/管外径

5.4.5　高耐荷力泥水・泥土圧式算定式

式(12)は小口径管推進工法、高耐荷力管推進工法の泥水式・泥土圧式に適用する。

$F = F_o + f \cdot S \cdot L$ ……(12)

$F_o = \alpha \cdot \pi \cdot (B_c/2)^2$

ここに、

F　：総推進力(kN)

Fo　：先端抵抗力(kN)

f　：周面抵抗力係数(kN/m²)

S　：管外周長(m)

α　：先端抵抗力係数(kN/m²)

B_s　：先導体外径(m)　(通常 Bs = Bc としてよい)

B_c　：管外径(m)

L　：推進延長(m)

表66　土質別先端抵抗力係数および周面抵抗力係数

	砂質土、粘性土	砂礫土	硬質土
先端抵抗力係数 α (kN/m²)	1,200	1,750	1,500
周面抵抗力係数 f (kN/m²)	3.0	4.5	2.5

5.4.6　推進力に対する耐荷力

直管の管種によって許容耐荷力が異なるので、管種の選定に当たっては、表67による。ただし、この許容耐荷力は推進力を管に均等に作用させ、まっすぐに推進した場合の値である。

カーブ推進時や極端に大きい蛇行などの偏圧がかかる場合には、下表の数値の$\frac{1}{2}$を目安に施工することが望ましい。

表67　管種別許容耐荷力（T形、U形、US形）

単位：kN

呼び径＼管種	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管
250	1670	−	1470	−	−
300	2060	−	1770	−	−
350	2450	−	1770	−	−
400	2840	2450	2160	−	−
450	2840	2840	2450	−	−
500	3730	3330	2840	−	−
600	3730	3730	3730	3330	2450
700	6570	5790	4810	3730	2840
800	6570	6570	5790	4810	3730
900	6570	6570	6570	5790	4220
1000	9020	9020	8040	6860	5200
1100	9020	9020	9020	8040	5790
1200	9020	9020	9020	8630	6280
1350	9020	9020	9020	9020	7450
1500	12360	12360	12360	12360	9320
1600	12360	12360	12360	12360	10000
1650	12360	12360	12360	12360	10690
1800	12360	12360	12360	12360	12160
2000	16870	16870	16870	16870	15400
2100	16870	16870	16870	16870	16280
2200	16870	16870	16870	16870	16870
2400	16870	16870	16870	16870	16870
2600	23240	23240	23240	23240	23240

備考　1．管厚は、許容差内最小管厚として計算した。

2．数値は、推力を管に均等に作用させ真っ直ぐに推進した場合の値である。

注　1．曲線推進は、U形、US形（LS方式）のみ適用可能である。曲線推進での許容抵抗力は、表67以下の値になり、曲線の概要や延長によって施工できない場合があるので、検討が必要になる。

5.5　カーブ推進工法

カーブ推進を行う場合は、十分な技術検討を行い、安全確実な計画をしなければならない。

カーブ推進は、直線推進と比較して、管の方向制御、管にかかる偏圧、測量方法などがかなり異なるので設定に当たっては十分な技術的検討が必要であり、安易な取り組みは慎まなければならない。

施工計画立案にあたっては、次の要素について検討し、補助工法を含め、施工方法を考慮したうえで作成しなければならない。

① 管目地の開口長と開口長保持方法
② 推進抵抗値の算定と管体強度確認
③ 曲線造成方法
④ 拡幅余掘りおよびその空隙と地山の安定保持方法
⑤ 測量方法
⑥ 地盤改良の方法

推進工法では、管自体を推進するため管内有人作業において単純な線形で曲線半径の比較的大きな曲線を設置することは可能であるが、カーブ推進を行う場合は、慎重に諸条件を検討し、施工計画を立案しなければならない。

5.5.1　工法の概要

推進工法用ダクタイル鉄管を使用する場合、継手は推進施工、継手構造等により、U形、US形（LS方式）が適用可能である。また、カーブ推進を行う場合は、クッション材を使用する。

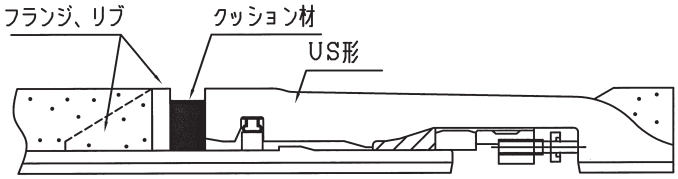


図104　カーブ推進工法（US形）

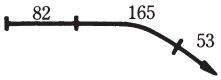
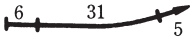
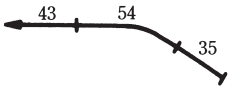
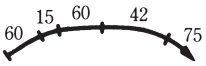
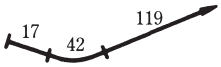
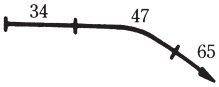
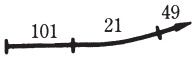
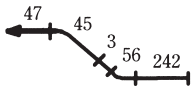
5.5.2　カーブ推進時の最小曲率半径（目安）

カーブ推進を行う場合の施工性を左右する要素には、管の口径、管長、曲線部の延長、土質の状態、先導体の構造、施工方法（補助工法を含む）などがある。これらの要素により推進可能な曲率半径は異なるが、最小曲率半径の目安は次のとおりである。

継手許容曲げ角度の半分以内でカーブ推進できる曲率半径。
計算例（４m管使用）
　　呼び径1000の場合；最小曲率半径　R＝260m
　　呼び径1350の場合；最小曲率半径　R＝310m

5.5.3　カーブ推進の施工例

表68　カーブ推進の施工例

事業体	呼び径×延長（mm）	管　長	R（m）	工　法	備　　考
A 流 域 下 水	2200×300m	4m	350	泥　　水	
B 流 域 下 水	900×42m	4m	150	刃　　口	
C市下水道課	1350×171m	2m, 4m	100	泥　　水	エンドカーブ
D市下水道課	1500×132m	1.2m×2本 2.5m×残り	120	泥　　水	
E市下水道局	800×252m	4m	600	泥 土 圧	
F市下水道課	1200×178m	2m×5本 4m×残り	300	泥しょう	
G市下水道部	900×145m	3m, 4m	148	泥　　水	エンドカーブ
H市下水道部	900×190m	4m	250	泥　　水	エンドカーブ
I 市下水道局	2400×106m	3m, 3.4m	300	泥　　水	
J 市下水道課	1000×146m	2m 3m 4m	120	泥　　水	
K市下水道局	1200×146m	2m 4m	300	泥　　水	
L市下水道局	2200×171m	3m 4m	400	刃　　口	
T地方建設局	1000×393m	2m 4m	140	超 泥 水	

5.6　施工

5.6.1　掘進機械との接合

1）T形、U形およびUS形推進工法用ダクタイル鉄管の外径は次の表69のとおりである。施工に当たっては、掘進機との取り合いに接合治具を用い、掘進機に若干の調整が必要である。

2）掘進機との取り合いに接合治具を用いる。接合治具を図105に示す。

表69　推進工法用ダクタイル鉄管の外径

単位：mm

呼び径	T形・U形	US形	（参考）推進工法用鉄筋コンクリート管
250	334	−	360
300	386	−	414
350	450	−	470
400	502	−	526
450	555	−	584
500	608	−	640
600	713	−	760
700	831	−	880
800	938	973	960
900	1043	1077	1080
1000	1151	1183	1200
1100	1258	1288	1310
1200	1362	1390	1430
1350	1521	1546	1600
1500	1679	1705	1780
1600	1786	1805	−
1650	1839	1856	1950
1800	1990	2003	2120
2000	2209	2220	2350
2100	2314	2326	−
2200	2433	2445	2580
2400	2617	2630	2810
2600	2865	2874	3040

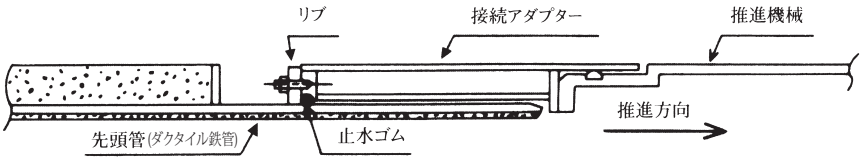


図105　　接合治具の例

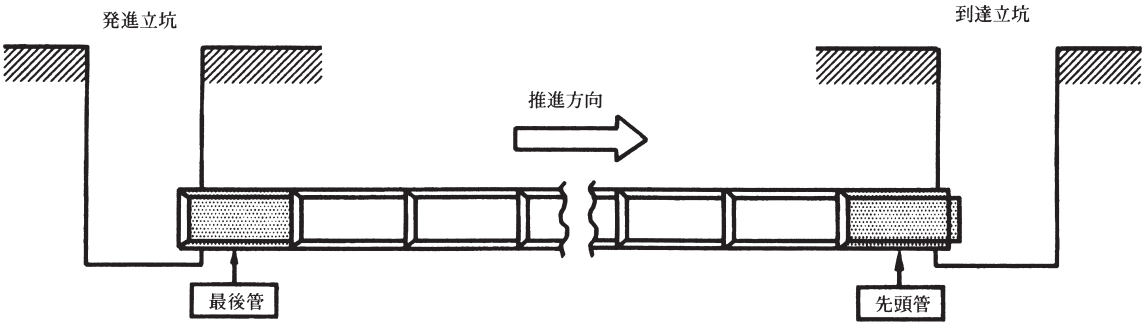
5.6.2　先頭管と最後管

表70　先頭管、最後管の種類

先　　頭　　管	最　　後　　管
Ｔ－Ｔ形　(250～700)	ＵＦ－Ｕ形　(800～2600)
Ｔ－Ｋ形　(250～700)	Ｋ－Ｔ形　(250～700)
Ｔ－ＮＳ形　(250～700)	ＮＳ－Ｔ形　(250～700)
Ｕ－Ｔ形　(800～2000)	ＵＦ－ＵＳ形　(800～2600)
Ｕ－Ｕ形　(800～2600)	Ｔ－Ｔ形　(250～700)
Ｕ－Ｋ形　(800～2600)	Ｕ－Ｕ形　(800～2600)
Ｕ－ＵＦ形　(800～2600)	Ｋ－Ｕ形　(800～2600)
Ｕ－ＮＳ形　(800～1000)	ＮＳ－Ｕ形　(800～1000)
ＵＳ－ＵＳ形　(800～2600)	ＵＳ－ＵＳ形　(800～2600)
ＵＳ－ＵＦ形　(800～2600)	ＮＳ－ＵＳ形　(800～1000)
ＵＳ－ＮＳ形　(800～1000)	―――

備考　１．表中、接合形式の組み合わせは受口部－挿し口部であり、(　　)内は呼び径の範囲を示す。

２．接合形式のＮＳ形、Ｋ形、ＵＦ形は、JSWAS G－1による。



5.6.3　留意事項

推進施工上の一般事項については、「下水道推進工法の指針と解説」（日本下水道協会）を参照するものとし、ここでは特に必要な留意点について述べる。

1）各種の先導体があるので、先頭の管との接続方法をあらかじめ検討しておく。

2）推進の先頭には、先頭管等所定の管を用いる。

　また、推進管に接続する管の種類によって先頭管、最後管の接合形式が異なることがあるのであらかじめ確認しておく。

3）管の向きは挿し口側を前方とし、受口側は後方とする。受口端面には押輪を当ててジャッキの推力が均等に作用するように留意する。

4）推進途中で方向修正が必要となった場合、急激な方向修正は避け、少しずつ行う。

5）推力の変化に注意し、異常が認められたときには作業を中断し、その原因を調べて処置する。管には許容耐荷力以上の力が作用しないように留意する。

6）施工機械等により、内装に損傷を与えないよう留意する。

7）常に管内の換気に留意し、管内作業者の環境安全に注意を払う。

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）	FAX03（3264）5075
関西支部	大阪市中央区南船場4丁目12番12号（ニッセイ心斎橋ウェスト）	
	電話 06（6245）0401	FAX06（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	FAX011（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	FAX022（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	FAX052（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	FAX082（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	FAX092（406）2256

2024.4.⑮ Y－3.H