



ホームページ
公開中

<https://www.pekyo.jp/>

下水道用ポリエチレン管・継手協会

下水道用リブ付ポリエチレン管

(PA-21-2015)

[JSWAS K-15]

技術資料

はじめに

一般排水管には種々の薬品、有機物、泥砂、その他の異物の混入、有機物の微生物による硫酸への変質などがあり、従来の管路材では腐食や摩耗を生じ、また管の重量が大きく、管長も短く接合部も多いことから、施工能率が低く、地下水の進入や草木の根の侵入による流路障害、漏水などの問題が発生しています。

このような背景から、高密度ポリエチレン樹脂の特徴を生かし耐薬品性、耐摩耗性に優れ、軽量で、接合部が少なく施工性の良い耐久性のある管路材として下水道用リブ付ポリエチレン管が開発されました。

下水道用リブ付ポリエチレン管は、従来の管とは様々な点で異なった性質を持っています。これらを正しくご理解いただくことにより、高密度ポリエチレン管ならではの優れた特性を発揮できるものとの認識に立ち、本技術資料を編集致しました。下水道管路設計にご活用いただけますようお願い申し上げます。

C O N T E N T S

1. 下水道用リブ付ポリエチレン管	1
1.1 ポリエチレン管とは	1
1.2 下水道用リブ付ポリエチレン管の種類	2
1.3 外圧管の概要	3
1.4 内圧管の概要	4
2. 外圧管	6
2.1 外圧管の設計と適用	6
2.2 外圧管の流速及び流量	12
2.3 外圧管の施工標準	13
3. 内圧管	26
3.1 内圧管の設計と適用	26
3.2 内圧管の流速及び流量	33
3.3 内圧管の施工標準	34
4. 耐震計算例	40
4.1 はじめに	40
4.2 外圧管の耐震計算例	40
4.3 内圧管の耐震計算例	58
5. 参考資料	69
5.1 外圧管の布設歩掛り	69
5.2 内圧管の布設歩掛り	71
一部転載並びに引用箇所	72

1. 下水道用リブ付ポリエチレン管

1.1 ポリエチレン管とは

ポリエチレンは熱可塑性樹脂の一種であり、熱を加えると軟化するプラスチックである。ポリエチレン管の一般的特徴は次の通りである。

1. 柔軟性がある（地盤変位に追従しやすい）
2. 耐薬品性に優れている（下水に浸されない）
3. 耐衝撃性に優れている（割れにくい）
4. 耐摩耗性に優れている（耐久性に優れる）

以上のことから、地中に埋設される下水道用管材の使用環境条件に対して、優れた特性をもっている管材といえる。ポリエチレンの中にはその密度によって高密度、中密度、低密度ポリエチレンに区別され、下水道用リブ付ポリエチレン管として比較すると次の通りである。

表 1-1 材質によるポリエチレン管の比較

項 目			低密度	中密度	高密度	
					汎用(従来)	下水道用
物 性	短期	引張降伏強さ	×	○	◎	◎
		剛 性	×	○	◎	◎
		耐衝撃性	◎	○	△	○
	長期	クリープ特性	×	○	×	◎
		耐環境応力き裂性	×	○	×	◎
耐薬品性			△	○	○	○
施工性			△	○	◎	◎
総合評価			×	○	×	◎

◎秀 ○優 △良 ×劣

一般的には、ポリエチレンは密度が高くなると引張降伏点強さや耐薬品性が向上し、耐衝撃性や長期特性は低下する。しかしながら、これらの諸特性は密度によってのみではなく分子量や分子量分布によって変化する。この下水道用高密度ポリエチレンは汎用の高密度ポリエチレンの特性を生かしつつ改善することにより、下水道用管材としてバランスのとれた優れた材料となっている。

1.2 下水道用リブ付ポリエチレン管の種類

下水道用リブ付ポリエチレン管の種類は、自然流下方式に使用される外圧管と圧送方式に使用される内圧管に、また管の形状によって直管と異形管に、更に外圧管は偏平強さにより 1、2、3 種に区分し、表 1-2 のとおりとする。

なお、外圧管のゴム輪差し口とは差し口部にゴム輪を装着させた構造をいう（図 1-1 参照）。また、内圧管の EF 受口とは、エレクトロフュージョン構造（受口内面に電熱体を埋め込んだ構造）の受口をいう（図 1-3 参照）

表 1-2 管の種類

区分	管の形状		偏平強さ	略号	用途	直管または異形管と接合する側の形状	呼び径範囲	
外圧管	直管	R 形	1,2,3 種	RP	本管、取付け管	ゴム輪差し口受口	300～1000	
		F 形	1,2,3 種	FP				
	異形管	短管		1,2,3 種	SSP	本管, 取付け管		ゴム輪差し口受口
		曲管	30 度	1,2,3 種	30LS	本管、取付け管		ゴム輪差し口受口
			45 度		45LSP			
			60 度		60LSP	本管, 副管		
			90 度		90LSP			
		Y 形分岐管	45 度	1,2,3 種	45YSP	本管、取付け管		本管側受口 ゴム輪差し口
			60 度		60YSP			
		T 形分岐管	90 度		90TSP	本管、副管 取付け管		取付け管側受口
	支管		1,2,3 種	SPR	取付け管			
	マンホール継手	上流用	1,2,3 種	MR-SP MR-FP	本管、取付け管	受口		300～1000
下流用		1,2,3 種	MSA-SP MSA-FP	ゴム輪差し口				
副管分岐用		1,2,3 種	MRL-SP	受口				
カップリング		1,2,3 種	SPD	本管、取付け管	両受口			
内圧管	直管	受け差し直管		—	SWP	本管	差し口 EF 受口	300～1000
		異形管	曲管	11 1/4 度	—	11LSWP	本管	
	22 1/2 度			—	22LSWP	差し口 EF 受口		
	45 度			—	45LSWP	差し口 EF 受口		
	90 度			—	90LSWP	差し口 EF 受口		
	短管	フランジ片受け短管	—	FBWP	本管	EF 受口		
		フランジ片差し短管	—	FSWP		差し口		

備考 1. 外圧管の R 形は、管の外側に断面形状が円形、方形等をしたリブがあり、F 形は方形のリブが連続的に形成され管の外側にリブがない。

2. 外圧管の異形管及び内圧管は、中実の管壁を持つ。

1.3 外圧管の概要

外圧管の直管部の構造は、R形及びF形（中空断面構造）とし、管の接合方法はゴム輪接合としている。外圧管の構造図を図1-1に示す。外圧管は、中空断面構造の管壁を有した、軽量かつ高強度で耐薬品性、耐震性等の長期耐久性に優れた管材であり、主に自然流下方式の下水道管として使用されている。

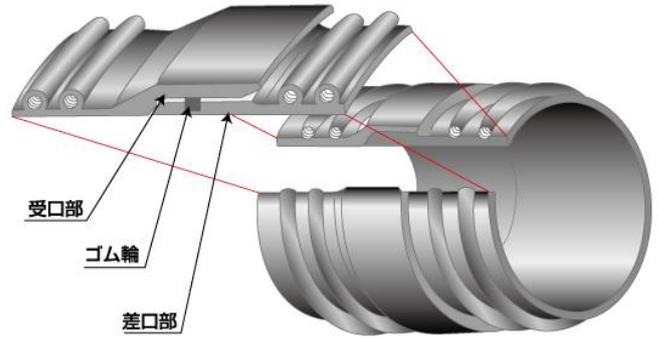


図1-1 外圧管の構造

1.3.1 外圧管の特長

下水道用リブ付ポリエチレン管は、高密度ポリエチレン樹脂のスパイラルワイディング押し出し成形法を応用した異形壁の外圧管であり、DIN 16961-1989（ドイツ）、ASTM F894-1992（アメリカ）に規定されているものである。

下水道用リブ付ポリエチレン管は、昭和60年代から日本国内における製造が開始され、排水用配管、集水用配管などに使用されている。その特性として、材料の耐薬品性、耐腐食性、耐摩耗性、耐衝撃性、軽量性などをもち、管の種類ごとに内径の範囲が300～1000mmまであり、下水、土木、農業、工業などの分野で、パイプラインとしての排水用配管、集水用配管、その他の流体用配管などの配管材として普及しつつある。

近年は、腐食性や環境保全などの面から管の材料に関するさまざまな研究や技術開発が行われており、下水道用リブ付ポリエチレン管に限らずポリエチレン樹脂を材料とした配管材への要求が高まっているが、下水道用リブ付ポリエチレン管の材料には、ポリエチレン樹脂の中でも強度などの性能の優れた高密度ポリエチレン樹脂を使用している。

下水道用リブ付ポリエチレン管は、金属管やコンクリート管に比べて軽量なため、特に重い土工機械の使用が困難な傾斜地、軟弱地盤などでの運搬や施工が容易であり、一体となっている継手部がスリップオン方式であるため接合が容易で、浸入水の防止機能などももっている。

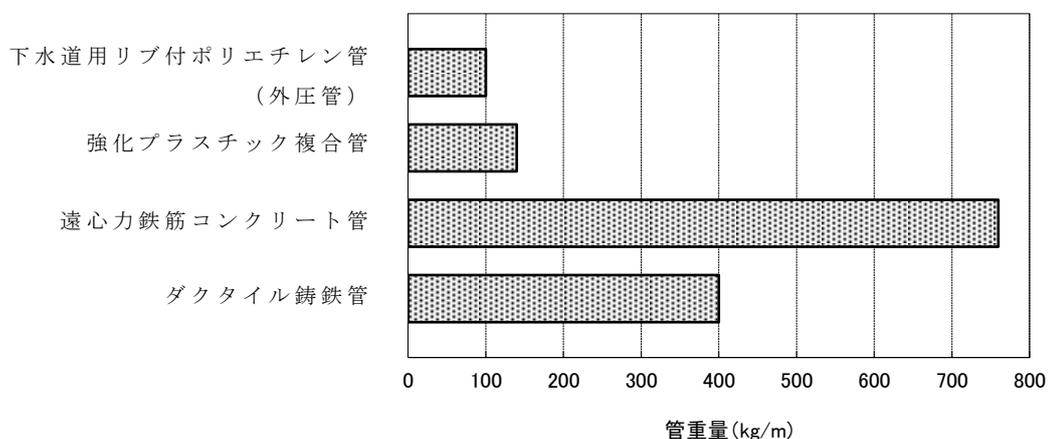


図1-2 代表的下水道管（φ1000）の重量比較

1.4 内圧管の概要

内圧管の直管部の構造は、中実構造とし、管の接合方法は EF 融着接合としている。内圧管の構造図を図 1-3 に示す。内圧管は、中実構造の管壁を有した高強度で耐薬品性、耐震性等の長期耐久性に優れた管材であり、主に圧送方式の下水道管として使用されている。

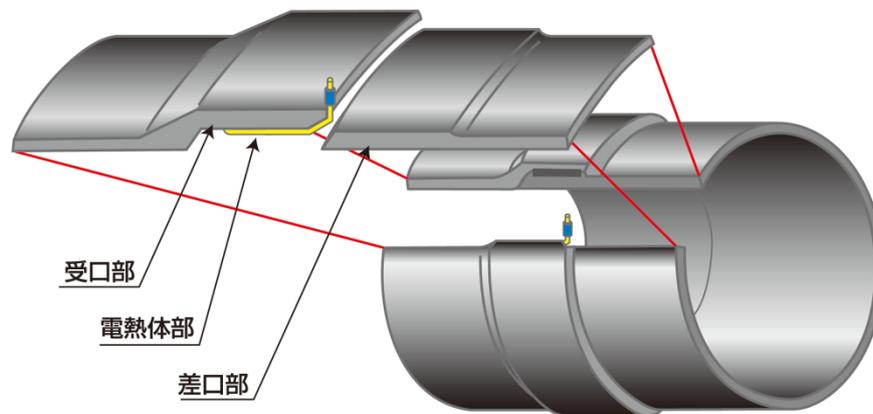


図 1-3 内圧管の構造

1.4.1 ポリエチレン管の融着原理

ポリエチレンは、図 1-4 に示す通り、常温では‘ラメラ構造’と呼ばれる結晶部分がタイ分子で結ばれた構造になっている。また、一つ一つの分子は、常温ではミクロブラウン運動といわれる振動をしており、これが柔軟性に富んだ材料となっている要因である。

材料の温度を上げていき、 120°C 付近で同じ材料同士を圧着してやると、タイ分子同士の活動は境界を越えて絡み合い、やがて界面がなくなり、この状態で自然冷却を行うと一体化した素材が得られる。これらが基本的なポリエチレンの融着原理である。

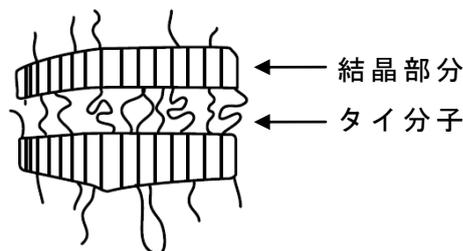


図 1-4 ラメラ構造

1.4.2 EF融着継手

あらかじめ継手の受口内面に電熱線を巻設させた管受口部を差口部と嵌合した後、電熱線の通電条件をコントローラーで最適制御し、受口内面及び差口外面を同時に溶融することによって、受口及び差口を一体化させる。EF融着継手の接合メカニズムを図1-5に示す。

EF（エレクトロフュージョン）融着継手の特徴は

- (1) 作業が小規模の機材で可能なため、容易かつ迅速になり、工費が軽減できる。
- (2) 作業スペースの縮小化が可能である。
- (3) バット溶着時で発生する内面のビードが残らない。
- (4) 作業者、環境条件による融着品質のばらつきが少なく信頼性が高い。

EF融着継手作業手順は

- (1) 受口部に差口部を所定の位置まで差込む。
- (2) コントローラーと継手部の電熱線端子を接続し、通電を開始する。
- (3) 所定の時間通電を行う。
- (4) 所定の時間放置冷却を行い、作業完了とする。



図1-5 EF融着継手接合メカニズム

2. 外圧管

2.1 外圧管の設計と適用

地中に埋設する外圧管の設計計算は、計画する埋設深さ及び活荷重により埋設管に作用する荷重と、基礎構造によって管体に発生する最大曲げ応力及びたわみ率を計算し、そのいずれもが許容値を満足することを確認する手法により行う。

2.1.1 設計の手順

外圧管の設計は、図 2-1 の手順で行う。

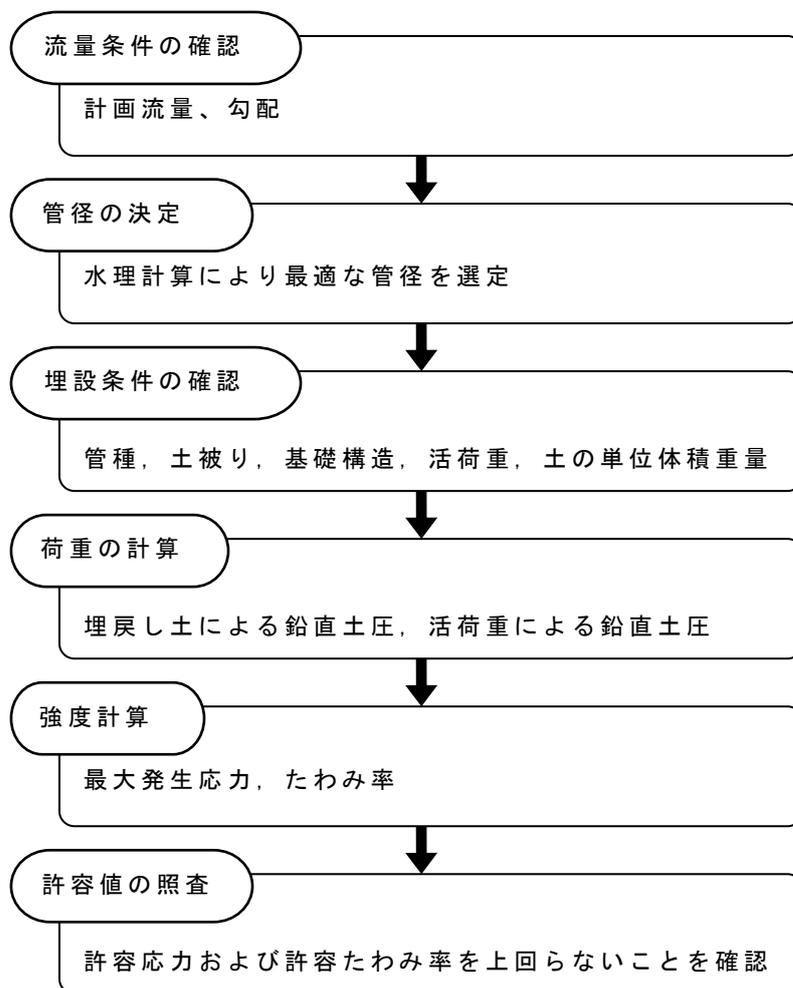


図 2-1 設計の手順

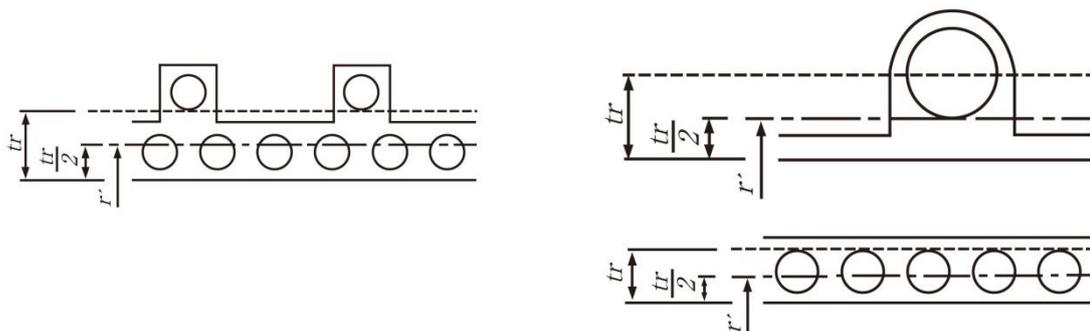
2.1.2 設計に用いる寸法諸元

設計に用いる管の寸法諸元は表 2-1 のとおりとする。

表 2-1 設計に用いる寸法諸元

管種	呼び径	管厚中心半径	管の曲げ剛性	断面係数	換算厚さ
		r' (mm)	EI ($N \cdot mm^2/mm$)	Z (mm^3/mm)	tr (mm)
		$\frac{d+tr}{2}$	$\frac{E \times tr^3}{12}$	$\frac{tr^2}{6}$	注参照
1種	300	159.0	0.483×10^6	0.545×10^2	18.1
	350	186.0	0.766×10^6	0.741×10^2	21.1
	400	212.0	1.145×10^6	0.969×10^2	24.1
	450	239.0	1.629×10^6	1.226×10^2	27.1
	500	265.0	2.234×10^6	1.513×10^2	30.1
	600	318.0	3.861×10^6	2.179×10^2	36.2
	700	371.0	6.133×10^6	2.967×10^2	42.2
	800	424.0	9.156×10^6	3.875×10^2	48.2
	900	477.0	13.032×10^6	4.903×10^2	54.2
	1000	530.0	17.879×10^6	6.054×10^2	60.3
2種	300	158.0	0.356×10^6	0.445×10^2	16.3
	350	185.0	0.565×10^6	0.606×10^2	19.1
	400	211.0	0.844×10^6	0.791×10^2	21.8
	450	237.0	1.202×10^6	1.001×10^2	24.5
	500	264.0	1.649×10^6	1.236×10^2	27.2
	600	316.0	2.850×10^6	1.780×10^2	32.7
	700	369.0	4.524×10^6	2.422×10^2	38.1
	800	422.0	6.755×10^6	3.164×10^2	43.6
	900	475.0	9.614×10^6	4.003×10^2	49.0
	1000	527.0	13.191×10^6	4.943×10^2	54.5
3種	300	157.0	0.232×10^6	0.335×10^2	14.2
	350	183.0	0.370×10^6	0.456×10^2	16.5
	400	209.0	0.551×10^6	0.595×10^2	18.9
	450	236.0	0.785×10^6	0.753×10^2	21.3
	500	262.0	1.076×10^6	0.930×10^2	23.6
	600	314.0	1.861×10^6	1.340×10^2	28.4
	700	367.0	2.954×10^6	1.823×10^2	33.1
	800	419.0	4.411×10^6	2.381×10^2	37.8
	900	471.0	6.278×10^6	3.013×10^2	42.5
	1000	524.0	8.615×10^6	3.721×10^2	47.3

注 換算厚さ (tr) は、 $I = \frac{tr^3}{12}$ 、管剛性 (Sr) = $\frac{EI}{r^3}$ より算出される。



2.1.3 埋設管に加わる荷重

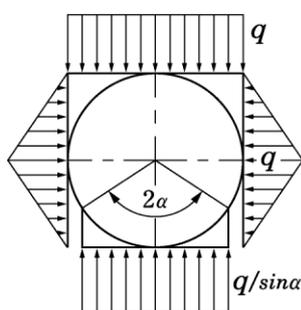
埋設管に加わる荷重は、埋戻し土による荷重及び活荷重による荷重とする。

(1) 荷重による土圧分布

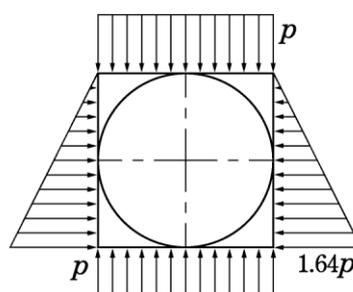
管の円周方向設計計算（曲げモーメント及びたわみ計算）に用いる鉛直土圧と水平土圧の分布は、**図 2-2**とする。

埋戻し土による土圧分布は、管上土圧と底面反力が等分布の鉛直土圧として上下に作用するものとし、管のたわみによって生じる反力が二等辺三角形の水平土圧として左右に作用するものと想定する。また、活荷重による土圧分布は、管上土圧と底面反力が上下とも等しい等分布の鉛直土圧として作用するものとし、管のたわみによって生じる反力が、直角三角形の水平土圧として左右に作用するものと想定する。

(a) 埋戻し土による土圧分布



(b) 活荷重による土圧分布



注 q : 単位面積当たりの埋戻し土による鉛直土圧
 p : 単位面積当たりの活荷重による鉛直土圧
 2α : 有効支承角

図 2-2 土圧分布状態

(2) 埋戻し土による鉛直土圧

鉛直土圧により管側部の埋戻し土と管が一樣に変形するため、管に加わる荷重は、管幅のみの土圧とし、埋戻し土の荷重による鉛直土圧は**式 (2.1)**により求める。

$$q = \gamma \cdot H \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

ここに、

q : 埋戻し土による鉛直土圧 (kN/m²)
 γ : 埋戻し土の単位体積重量 (通常、18kN/m³)
 H : 土かぶり (m)

(3) 活荷重による鉛直土圧

活荷重は、**図 2-3**のように分散するものとし、活荷重による鉛直土圧は、**式 (2.2)**より求める。

ここでは、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会発行）に定められた T-25 の後輪荷重を用いる。

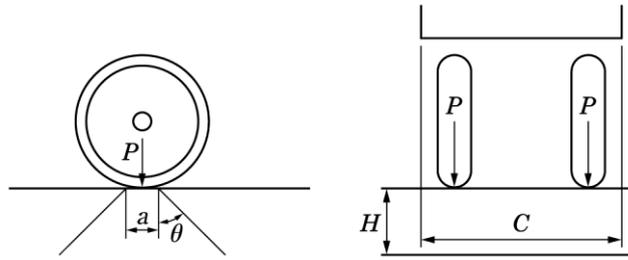


図 2 - 3 活荷重の影響

$$p = \frac{2P(1+i) \cdot \beta}{C(a+2H\tan\theta)} \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、

- p : 活荷重による鉛直土圧 (kN/m²)
- P : T-25の後輪荷重 (100kN)
- C : 車体占有幅 (2.75m)
- a : 車輪接地長さ (0.2m)
- H : 土かぶり (m)
- θ : 荷重の分布角 (45°)
- i : 衝撃係数 (Hによって表 2 - 2 の値をとる)
- β : 断面力の低減係数 (0.9)

表 2 - 2 衝撃係数

土かぶり (H) (m)	$H \leq 1.5$	$1.5 < H < 6.5$	$6.5 \leq H$
衝撃係数 (i)	0.5	$0.65 - 0.1H$	0

2.1.4 強度計算

(1) 曲げ応力の計算

図 2 - 2 の土圧分布で、埋戻し土と活荷重により発生する曲げモーメント及び曲げ応力は、式 (2.3) 及び式 (2.4) で求める

$$M = (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)r'^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (2.4)$$

ここに、

- M : 管長1cm当たりの埋戻し土と活荷重による曲げモーメントの和 (N・mm/mm)
- k_1 : 埋戻し土による曲げモーメント係数 (表 2 - 3 による。)
- k_2 : 活荷重による曲げモーメント係数 (表 2 - 3 による。)
- q : 埋戻し土による鉛直土圧 (N/mm²=10³kN/m²)
- p : 活荷重による鉛直土圧 (N/mm²=10³kN/m²)
- r' : 管厚中心半径 (mm) (表 2 - 1 による。)

σ : 埋戻し土と活荷重による曲げ応力 (N/mm²=MPa)
 Z : 管長1cmたりの断面係数 (mm³/mm) (表 2-1 による。)

(2) たわみ率の計算

図 2-2 の土圧分布で、埋戻し土と活荷重により発生する鉛直方向のたわみ量及びたわみ率は式 (2.5) 及び式 (2.6) で求める。

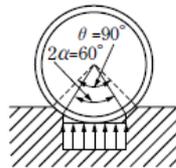
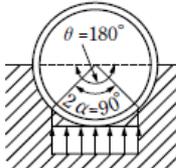
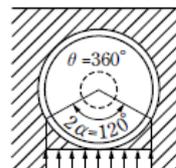
$$\delta = (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p) \frac{r'^4}{EI} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$V = \frac{\delta}{2 \cdot r'} \times 100 \dots\dots\dots (2.6)$$

ここに、

- δ : 埋戻し土と活荷重によるたわみ量の和 (mm)
- K_1 : 埋戻し土による鉛直方向のたわみ係数 (表 2-3 による。)
- K_2 : 活荷重による鉛直方向のたわみ係数 (表 2-3 による。)
- q : 埋戻し土による鉛直土圧 (N/mm²=10³kN/m²)
- p : 活荷重による鉛直土圧 (N/mm²=10³kN/m²)
- r' : 管厚中心半径 (mm) (表 2-1 による。)
- EI : 管の曲げ剛性 (N・mm²/mm) (表 2-1 による。)
- V : たわみ率 (%)

表 2-3 基礎条件と係数の関係

基礎条件	施工 支承角 θ	有効 支承角 2α	管の 位置	曲げ モーメント係数		たわみ係数		基礎施工 状態
				k_1	k_2	K_1	K_2	
A	90°	60°	管頂	0.132	0.079	0.102	0.030	
			管底	0.223	0.011			
B	180°	90°	管頂	0.120	0.079	0.085	0.030	
			管底	0.160	0.011			
C	360°	120°	管頂	0.107	0.079	0.070	0.030	
			管底	0.121	0.011			

2.1.5 曲げ応力とたわみ率の許容値

(1) 許容曲げ応力

許容曲げ応力(σ_a)は、6.4MPaとする。これは、曲げ強さ32.4 MPaに対して安全率を5としたものである。

(2) 許容たわみ率

設計に用いる許容たわみ率(V_a)は、4%とする。

2.1.6 最大曲げ応力とたわみ率の算定例

設計算定例を表2-4に示す。

表2-4 最大曲げ応力とたわみ率

設計条件 (1) 活荷重：T-25の後輪荷：100kN
 (2) 土の単位体積重量： $\gamma = 18\text{kN/m}^3$ σ_{max} ：最大曲げ応力(MPa)
 (3) 有効支承角：120° V ：たわみ率(%)

土かぶり H (m)	1 種 管		2 種 管		3 種 管	
	$V(\%)$	$\sigma_{max}(\text{MPa})$	$V(\%)$	$\sigma_{max}(\text{MPa})$	$V(\%)$	$\sigma_{max}(\text{MPa})$
0.5	1.3	3.45	1.7	4.17	2.6	5.46
1.0	1.1	2.53	1.4	3.06	2.2	4.01
1.5	1.2	2.46	1.6	2.98	2.3	3.91
2.0	1.3	2.61	1.8	3.16	2.7	4.15
2.5	1.5	2.88	2.0	3.48	3.1	4.57
3.0	1.8	3.20	2.3	3.87	3.5	5.08
3.1	1.8	3.27	2.4	3.96	3.6	5.19
3.2	1.9	3.34	2.5	4.04	3.7	5.30
3.3	1.9	3.41	2.5	4.13	3.8	5.42
3.4	2.0	3.50	2.6	4.23	3.9	5.55
3.5	2.0	3.60	2.6	4.35	4.0	5.70
4.0	2.2	4.09	3.0	4.95	4.4	6.49
4.5	2.5	4.59	3.3	5.55	5.0	7.28
5.0	2.7	5.09	3.6	6.15	5.4	8.07
5.1	2.8	5.19	3.7	6.28	5.5	8.23
5.2	2.8	5.29	3.7	6.40	5.6	8.39
5.3	2.9	5.39	3.8	6.52	5.7	8.55
5.4	2.9	5.49	3.9	6.64	5.8	8.71
5.5	3.0	5.59	3.9	6.76	5.9	8.87
6.0	3.2	6.09	4.3	7.37	6.4	9.66
6.1	3.3	6.19	4.3	7.49	6.5	9.82
6.2	3.3	6.29	4.4	7.61	6.6	9.98
6.3	3.4	6.40	4.5	7.73	6.7	10.14

注 太線は許容値の範囲を示す。

2.2 外圧管の流速及び流量

外圧管の流速及び流量の計算には、一般にマンニング式(2.7)又はクッター式(2.8)を用いる。

2.2.1 マンニング式による平均流速公式

$$\left. \begin{aligned} Q &= A \cdot V \\ V &= \frac{1}{n} \cdot R^{(2/3)} \cdot I^{(1/2)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

ここに、

Q : 流量 (m³/s)

V : 流速 (m/s)

A : 流水の断面積 (m²)

$$A = \frac{1}{8} \cdot (\theta - \sin \theta) \cdot d^2$$

θ : 中心角 (rad)

d : 内径 (m)

n : 粗度係数 ($n = 0.010$)

R : 径深 (m) ($= \frac{A}{P}$)

P : 潤辺 (m)

I : 勾配 (分数又は少数)

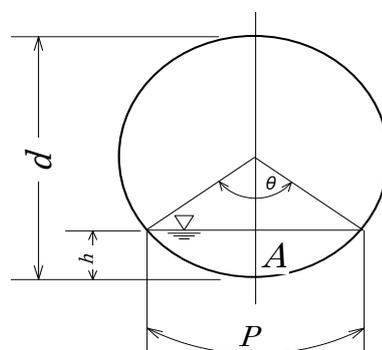


図 2 - 4 流水断面

2.2.2 クッター式による流速公式

$$\left. \begin{aligned} Q &= A \cdot V \\ V &= \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{I}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot I} = \frac{N \cdot R}{\sqrt{R} + D} \end{aligned} \right\} (2.8)$$

ここに、

$$N: (23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}) \sqrt{I}$$

$$D: (23 + \frac{0.00155}{I}) n$$

2.3 外圧管の施工標準

2.3.1 運搬

管は軽量で取り扱いが容易であるが、以下の項目に留意して運搬を行う。

- (1) 管及び部品の運搬に際しては、管を放り投げたり、引きずったりしないよう十分に注意する。
- (2) 管には、ゴム輪があらかじめ装着され保護シートが取付けられているが、運搬に際しては、きずをつけたり、土等で汚すことのないように扱う。
- (3) 荷台に管を積み込む場合は、台板を敷き受口と差し口を交互に積み込み、ロープなどで適切に固定する。
- (4) 運搬中、振動や滑りで荷崩れが起きないように、側方に角材を入れ荷台前面に当て板をつけ、締め付ける。
- (5) 荷降ろしに際し、管の引きずり、投げ降ろし、突放しなどにより衝撃を与えないようにする。

2.3.2 保管

管の保管については、以下の項目に留意して行う。

- (1) 管が、曲がらないように平らな場所に置く。
- (2) 積み重ねは滑り止めをして、平行に置く。
- (3) 積み重ね高さは、表 2-5 に示すとおりとする。
- (4) 風等による荷崩れを防ぐため、ロープ、シートなどで固定し、保管する。
- (5) 直射日光、熱等により高温となるような場所での保管は避ける。
- (6) 炎天下で保管する場合は、シートなどをかぶせ、風通しをよくし、熱気がこもらないようにする。
- (7) 図 2-5 (a) に示すように、管の転がり防止のため、端止め材を設置する。
- (8) 図 2-5 (b) に示すように、台板は厚さ 15mm 以上、幅 150mm 以上とし、直管部に 1m 間隔で敷く。
- (9) 受口部と差し口部を交互に積む（受口部の変形防止のため）。
- (10) 1段保管の場合でも、直管部に台板（厚さ 15mm 以上）を敷く。

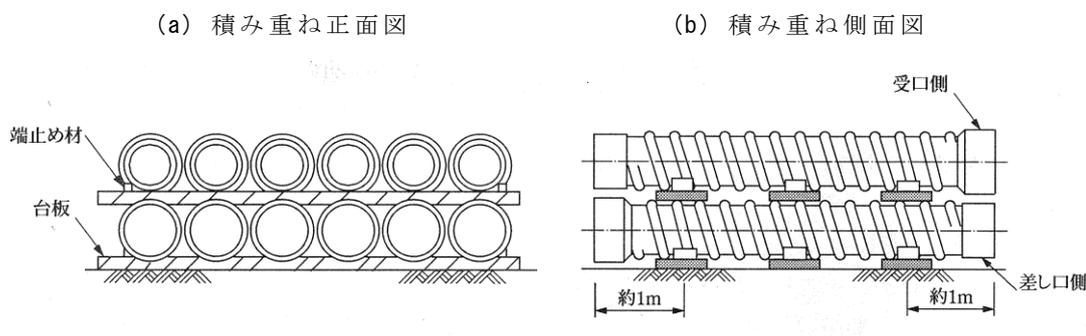


図 2-5 管の保管

表 2 - 5 管の積み重ね段数

呼び径	段 数
300～ 350	5段以下
400～ 600	3段以下
700～1000	1段

2.3.3 工具類

配管作業に必要な工具類は、表 2 - 6 のとおりである。

表 2 - 6 工具類

作 業 名	工 具 類
管の布設	クレーン、スリングベルト
切断及び面取り	ジグソー又は大工のこぎり、面取り器（ハンドグラインダー、やすり又は専用面取り器）、100V電源、スケール、スチール巻尺、帯テープ又は細ひも、スケール、マジックインキ等
管の接合	挿入機（レバーブロック）及びスリングベルト、てこ棒、専用滑剤、ウエス、刷毛、スケール等
芯出し、仮固定	くい（杭）、下振り、水準器、横木、番線、ハンマー、レベル計、スタッフスケール等
ます及びマンホールとの接合	普通ポルトランドセメント、2液性樹脂系接合剤、竹ベラ、ハンドグラインダー
管のせん孔	型紙、スケール、マジックインキ、ドリル及びホールソー、ジグソー、引回しのこ又はハンドグラインダー、やすり、100V電源等
支管の接合	2液性樹脂系接合剤、焼きなまし番線（＃10～＃12）、ウエス、刷毛、マジックインキ、バケツ、ゴム手袋、SUS4mmタッピングねじ等

2.3.4 管の布設

(1) 管の吊降し

管据付け面への管の吊降しは、事故のないように慎重に行う。特に掘削が深い場合は、ロープ掛けなどの配慮が必要である。クレーンを使用する場合は、受口の首を利用するなど滑り止めには十分に注意する。このとき、受口は上流側に向ける。

(2) マンホール継手の仮置き

マンホール又はますに接合するにあたり、長さ調整のため調整管を作る場合には、マンホール継手をマンホール又はますに仮置きする。

2.3.5 管の接合

(1) 接合部の清掃

管の受口部内面、差し口部外面及びゴム輪をウエスで拭き、砂や泥等を除去する。

(2) ゴム輪の確認

ゴム輪が正確に溝に納まっていることを確認する。もしゴム輪がねじれていたり、はみ出している場合には、ゴム輪を取り出し、溝を拭いてから再装着する。

注 ゴム輪接合の機能から受口、ゴム輪、差し口の間に土砂、ゴミなどの異物があつたり外傷があつたりすると水密性が低下するので注意する。

(3) 面取りと標線の確認

差し口部の面取り及び差込み標線を確認する。

(4) 挿入機の取付け

接合に際しては、あらかじめ受口部側及び差し口部側に図2-6に準じて差し込み作業の準備をしておく。使用する挿入機は、表2-7を基準とする。

表2-7 使用挿入機

呼び径	能力	台数
300～500	1.0t	2
600～1000	1.5t	2

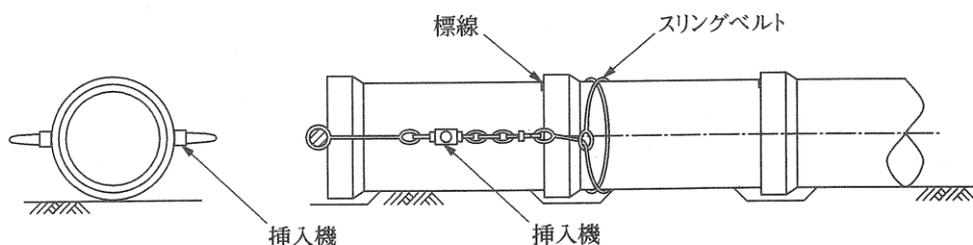


図2-6 挿入機による差込み

(5) 滑剤の塗布

滑剤をゴム輪表面、受口部内面に刷毛で均等に塗る。滑剤の使用量は、表2-8を目安とする。

表2-8 滑剤使用量 (ゴム輪接合1箇所当たり)

呼び径	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
使用量 (g)	50	65	90	115	140	190	200	300	360	420

注 グリス、油等はゴム輪を劣化させる恐れがあるので、リップ付ポリエチレン管用滑材を使用する。

(6) 管の挿入

管軸を正確に合わせ、差し口を受口側の内面に正しく標線まで差し込む。差し込みは原則として挿入機を用いる。なお、差し込みが困難なときは、管軸が一直線になっているかどうか確認して差し込み直す。(図2-7参照)

ゴム輪がよじれて、はみ出した場合は、ゴム輪を傷つけないように慎重に管を引き抜き、再度接合する。

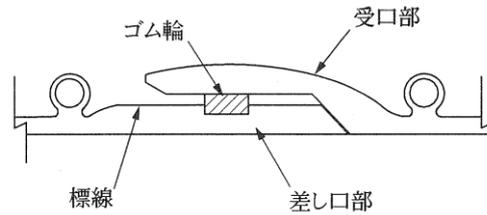


図 2 - 7 管の接合状態

2.3.6 芯出し及び仮固定

(1) 管の芯出し及び据付け

下水道では管路の直線性が重要であるので、図 2 - 8 のように下振り、水準器等を使用して正確に芯出しを行う。施工時、管路に曲りが生じた場合は、杭、横木等により矯正する。

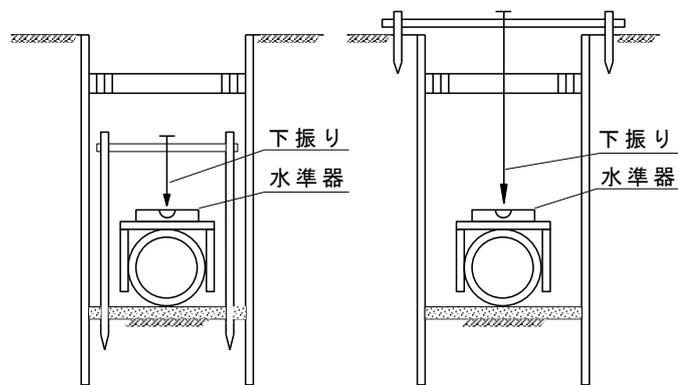


図 2 - 8 管の芯出し方法

(2) 仮固定

芯出しの後、管側部を埋戻す際、管が移動しないように接合部に近い位置で、図 2 - 9 のように杭と番線を用いて管を仮固定する。また、仮固定完了後、図 2 - 10 の要領で管底高さの確認を行う。高低差の修正は、管据付け面で行い、枕木、角材等は使用しない。仮固定用杭は、管側部の埋戻しにより管を十分に固定した後、撤去する。管路の曲りを矯正するために杭及び横木を使用した場合も同様に、必ずこれらを撤去する。

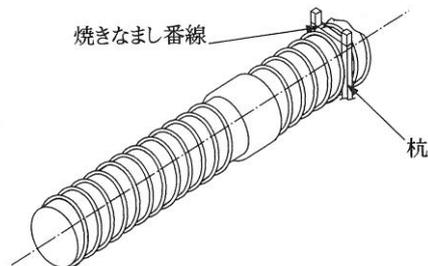


図 2 - 9 杭による管の仮固定

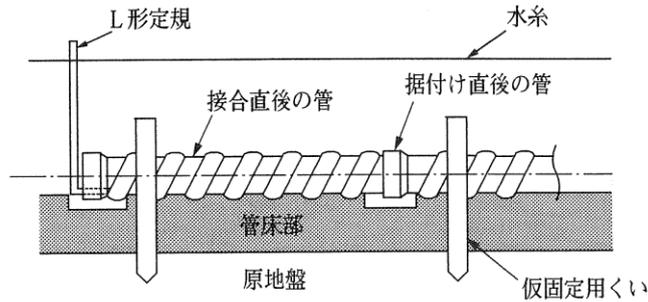


図 2 - 1 0 管底高さの確認

2.3.7 管のせん孔

支管の接合を目的とする管のせん孔は、次のように行う。

(1) せん孔の位置決め

支管を仮置きしてせん孔位置を決め、せん孔部に型紙等をあてがい、マジックインキ等でせん孔標線を記入する。

注 近接してせん孔する場合は、管体の強度を確保するために本管軸方向に心間距離を70cm以上とする。ただし、呼び径200以上の支管を接合する時は、90cm以上とする。(図 2 - 1 1 参照) 心間距離がこれ以下になるときは、コンクリート巻立てにより防護する。

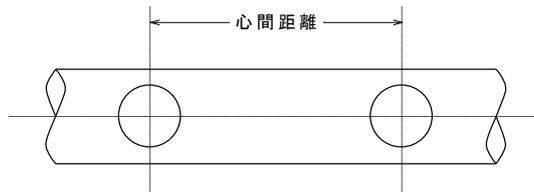


図 2 - 1 1 心間距離

(2) せん孔

せん孔標線の内側にドリルでガイド孔をあけた後、せん孔標線にしたがって、ジグソー等によりせん孔する。その後ハンドグラインダー又は引回しのこで所定の形に仕上げる。

(3) せん孔部の仕上げ

せん孔部のばりや切欠き等は、やすりなどで必ず仕上げる。

(4) 後掘りせん孔時における注意

マンホール周辺部や軟弱地盤等で、後掘りをしてせん孔を行うときは、せん孔部分を中心に本管の軸方向に約2m(左右1mずつ)の部分の土を取り除いてから作業を行う。

2.3.8 支管の接合

支管の接合には、水密性を確保するために、硬化時に容積減量を起こさない2液性樹脂系接合剤を用いて行う(図 2 - 1 2 参照)。以下、接合手順を示す。

(1) 接合標線の記入

2.3.7によってせん孔された孔に支管を仮置きし、そのつばに沿ってマジックインキ等で接合面の範囲を本管に記入する。

(2) 接合部の清掃

支管のつば内側及び本管標線内を、乾いたウエスできれいに拭く。特に、油分、水分は注意して拭き取る。

注 接合面に汚れ、水分が残ると接合強度が低下する。

(3) 接合剤の混練

同量の接合剤を十分混ぜ合わせて、色ムラのないようにする。

注1. エポキシ樹脂系の接合剤を使用すること。

2. 混練不足や量の不均などがあると硬化せず強度が出ない。

3. 接合する面では混練しない。

(4) 接合剤の塗布

混練した接合剤を支管と本管の隙間及び本管せん孔部の周辺に塗布する。このとき、接合部凹部にも接合剤が十分にゆきわたるように塗布する。

注1. 硬化する際に、空気の巻込みがないようにする。

2. 支管外縁部に多く塗布し、隙間を埋め込むようにする。

(5) 接 合

接合剤は、混合後発熱し、硬化が始まるので、塗布後素早く体重をかけて押しさえこみながら接合する。接合してからあらかじめ用意した番線（＃10～12程度）で支管を本管に十分締付け圧着する。

(6) 仕上げ

接合剤の拭き取りは、ウエスなどを用い、本管内部にはみ出した接合剤を十分拭き取る。

(7) 養 生

接合剤が硬化するまでは養生のため静置し、外力をかけない。なお、養生時間は夏期15分、冬期30分以上を必要とする。

接合剤の使用量は表2-9を目安とする。

注 接合剤の粘着性がなくなれば、接合強度が得られない。押え込みが不足すると、強度が得られない。焼なまし番線は、分岐部に近い場所に締め付けること。

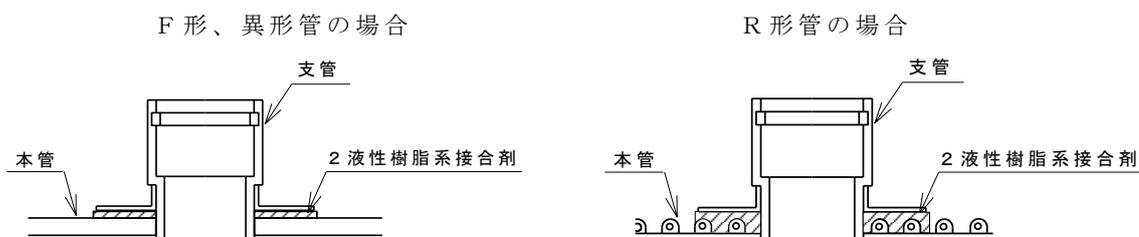


図 2 - 1 2 支管の接続方法

表 2 - 9 接合剤使用量

呼び径		300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
使用量 (g)	F形	0.2		0.4							
	R形	2.0		3.5					5.0		

2.3.9 長さ調整用管の接続

(1) 必要長さの確保

マンホール又はます等で長さ調整のため管を切断する場合は、短管を使用し必要長さ（図2-13の L_1 、 L_2 ）の寸法出しを正確に行う。

(2) 管軸に直角に切断標線を記入

切断箇所にスチール巻尺等を当て、管軸に直角にマジックインキなどで切断標線を記入する。

(3) 切 断

標線に沿って、ジグソー又は大工のこぎり等で、切断面の食い違いを生じないように注意して正確に切断する。

(4) 切断面の仕上げ

切断面に生じたバリや食い違いを平らに仕上げるとともに、管端内外周をハンドグラインダー、やすり又は専用面取器で軽く面取りする。

(5) 接 続

切断後の接続は、カップリングを用いて行う。また、ゴム輪取付け溝を切削し、ゴム輪による受差し接合する方法もある。

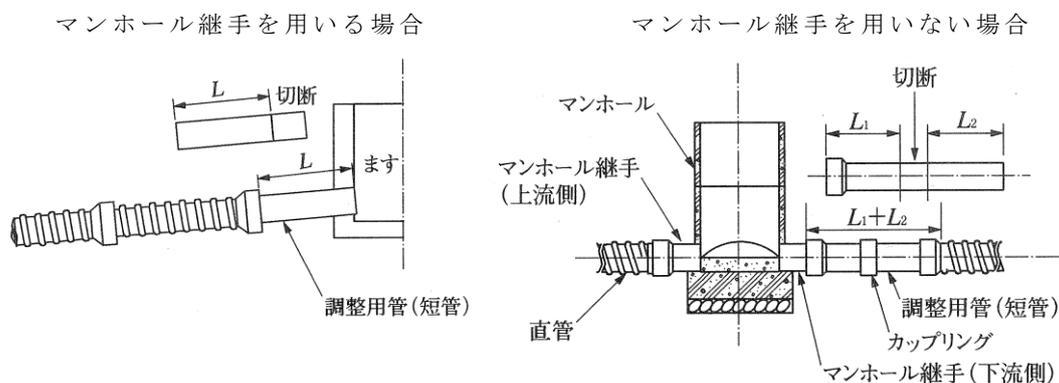


図 2 - 1 3 調整用管の必要長さの決め方

2.3.10 マンホールとの接合

(1) マンホールとの接合

コンクリートマンホールとの接合は、マンホール継手を用いて行う（図2-14参照）。

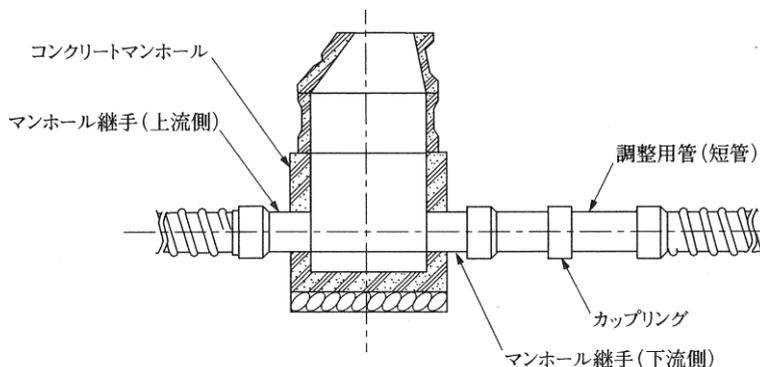


図 2 - 1 4 コンクリートマンホールとの接合

- ① 位置決め
マンホール継手をマンホール内面に合わせ、勾配、寸法出しを行った後、すき間に木片等を詰めて仮置きする。木片等は2液性樹脂系接合剤又はモルタルを充てんする際に撤去する。
- ② 仕上げ
マンホール継手の先端は、マンホールの内面に合わせてハンドグラインダーで仕上げた後、マンホール継手とコンクリートマンホールのすき間を2液性樹脂系接合剤又はモルタルを充てんし、面仕上げを行う。
- ③ 副管の設置における配慮
コンクリートマンホールに副管を設置する場合は、コンクリートを巻き立てて保護する（図2-15参照）。

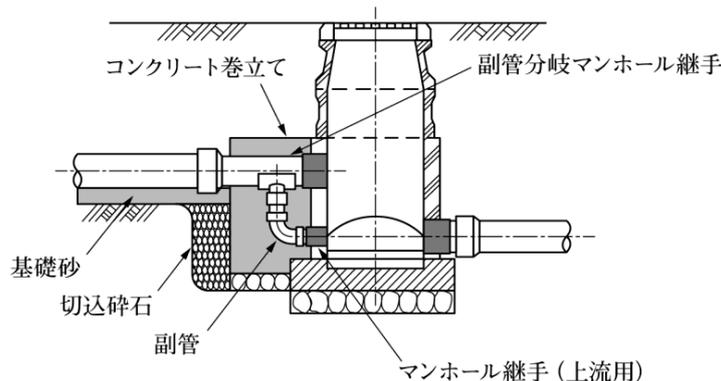


図2-15 副管の設置例

(2) ますとの接合

ますとの接合は、マンホール継手を用いて行う。

- ① マンホール継手とます孔のすき間に2液性樹脂系接合剤又はモルタルを詰め込む。モルタルは樹脂系接合剤のような粘性がないので、盛り付けた部分が落ちないように十分に押し込んでおく。なお、ますの内面側は、ますの内面に合わせて平滑に仕上げる。
- ② 硬質塩化ビニル製のます及びポリプロピレン製ますとの接合は、ゴム二次製品を用いて接続することもできる。

2.3.11 配管

標準配管例を図2-16に示す。

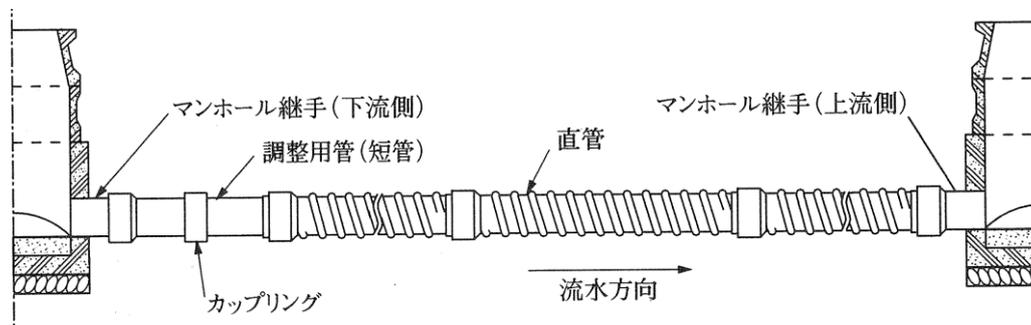


図2-16 標準配管例

2.3.12 本管工事

(1) 掘削工

掘削は、設計図書に基づいて確実にを行う。特に、機械掘削の場合は、掘り過ぎや溝底が波形にならないよう注意する。

- 注1. 周辺地盤の緩みや崩れ防止及び溝内作業の安全を確保するため、必要な山留工を施工する。
2. 溝床面を乱さないよう施工する。
3. 事前に試掘等により既設埋設物の位置を確認するとともに、既設埋設物を露出させる場合は、損傷を与えないよう必要な防護処理を行う。

(2) 埋戻し材料と締固め機器

掘削溝に対する配管及び埋戻しは、次の手順で行われる（図2-17参照）。

- ① 基礎工（管床部）
- ② 配管（管の布設、芯出し、仮固定、切断、接合）
- ③ 基礎工（抱き基礎部）
- ④ 埋戻し工

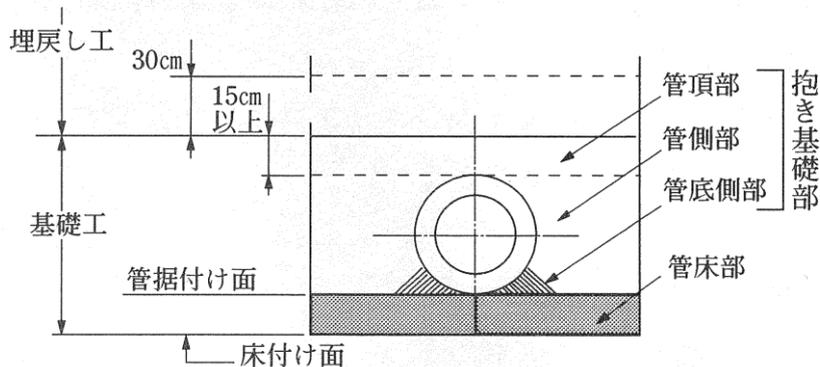


図2-17 基礎工、埋戻し工の区分

管は、埋戻し材料及び締固め方法により、水平土圧が左右され、それに伴い、たわみ量に大きな差異を生じる。これらについては、次のとおり注意を払うものとする。

- ・ 管底側部は、特に念入りに突き固める。
- ・ 管側部は、管頂30cmまで厚さ20cm毎にタンピングランマー等で2往復以上締固める。
- ・ 管上の重機の走行は、管頂土かぶりが80cmを超えるまで行わない。

1) 埋戻し材料

図2-17の基礎工（管床部）、基礎部（抱き基礎部）及び埋戻し工に用いる埋戻し材料は、いずれも、十分な地耐力が得られるように良質な材料が必要である。

埋戻し材料には次のものを使用する。（表2-10参照）

- ① いずれの材料にも耐久性があり、ゴミや有機性不純物などが含まないものを使用する。
- ② 基礎工用材料には、細粒分の少ない砂質材料で十分な締固め強度が得られるものを使用する。

- ③ 埋戻し工用材料には、道路地盤として十分な地耐力が得られる締固めが可能なものを使用する。

2) 締固め機器

管の埋戻しに使用する締固め機器には、次の各種類があり、掘削溝の状況（溝幅、床付面の土質及び山留工の種類等）、埋戻し材料及び締固め位置の諸条件を考慮し、適切な締固め機器を選定する。（表 2-11 参照）

表 2-10 埋戻し材料とその適性

埋戻し材料の標示	適性	埋戻し材料
SW	良好	SW：粒度のよい砂
GW, GP GM, GC	良	GW：粒度のよいレキ GP：粒度の悪いレキ GM：シルト質レキ GC：粘土質レキ
SP, SM SC ML	やや良	SP：粒度の悪い砂 SM：シルト質砂 SC：粘土質砂 ML：シルト（液性限界：WL<50%）

注 埋戻し材料の標示文字は、統一分類法による土の分類とする。

表 2-11 締固め機器の選定例

器具名		突き棒	木だこ	ダンピンググラマー	
					締固め位置
基礎部	管床部				○
	抱き基礎部	管底側部	○		
		管側部		○	
		管頂部		○	○
埋戻し部	管上30cmまで			○	○
	管上30cm以上			○	○

(3) 基礎工（管床部）

リブ付ポリエチレン管は、じん(靱)性の大きい管であるから、多少の不等沈下のある場所に設置しても破壊のおそれが少ないので管床部コンクリートなどの特殊な基床が必要ない。しかし、その特性を最大限に生かすためには、粗粒状の砂質の地盤に管を設置する（図 2-17 参照）。

1) 管床部材料

① 圧縮性が少なく締固めやすい砂、砂質土等とする。

② 凍結した土砂、粘土及び草木その他の有機性物質を含む土は使用しない。

2) 床付面の仕上げ

人力で掘削溝底の不陸をなくし、所定の縦断勾配になるように平坦に床付面を仕上げる。がれきや、木の根等の固いものは管に悪影響を与えるので必ず取り除く。

3) 管据付け面の仕上げ

① 良質地盤の場合

一般に、管床部（粒径 30mm 以上のれきを含まないもの）の厚さは、10～20cm とする。管据付け面の仕上げは、設計管底高さや、勾配に注意しながら、タンピングランマー等で十分転圧する。なお、管を接合する箇所をあらかじめ継手掘りしておく、後の接合作業が容易である。管布設後は、継手掘り箇所に十分基礎材料を充てんし、突き棒等で突き固める（図 2-18、19 参照）

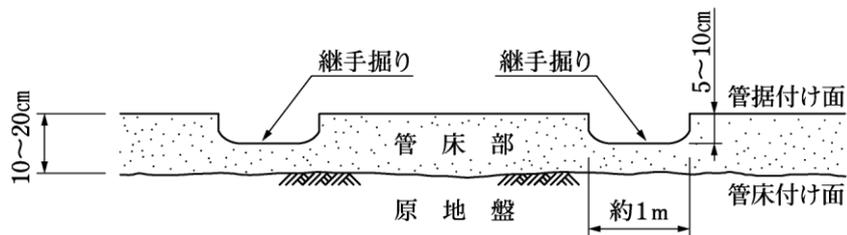


図 2-18 良質地盤の基礎

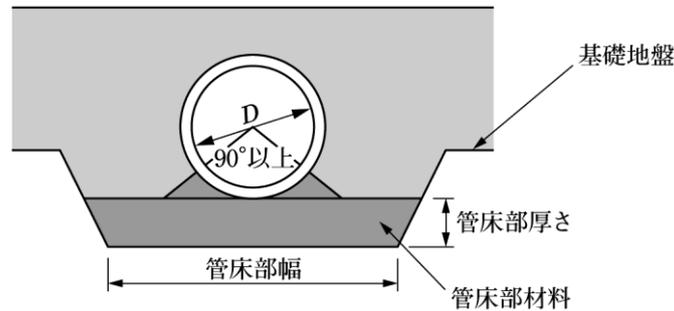


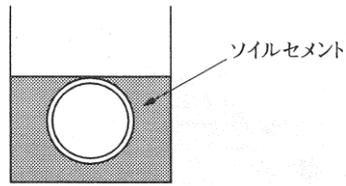
図 2-19 設置断面

② 湧水地帯や軟弱地盤の場合

湧水のあるところでは排水を十分に行い、あらかじめ栗石や砕石等を投入し、足で踏み固め管床部の砂が、転圧できるほどに支持力を出しておく。管床部の厚さは地盤の程度にもよるが、30cm以上は必要である。

超軟弱地盤では、管床部厚 50～60cm 以上を必要とし、砂床のみでは不十分なときは、地盤改良やソイルセメント工法、ベッドシート工法及びはしご胴木、布基礎等の基礎工を施すことが望ましい（図 2-20 参照）。また、地盤及び管床部の急激な変化を避けるため、図 2-21 のように緩衝区間を設けると効果がある。

ソイルセメント工法



ベットシート工法

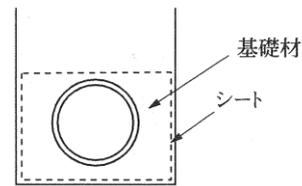


図 2-20 ソイルセメント工法及びベットシート工法

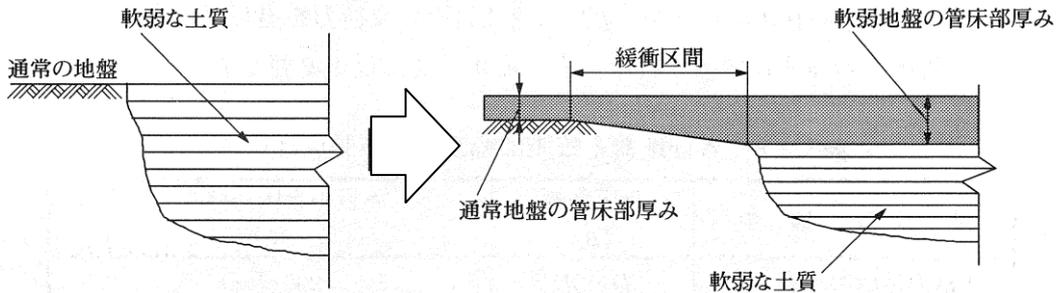


図 2-21 軟弱地盤における緩衝区間の設置

(4) 基礎工 (抱き基礎部)

1) 抱き基礎部材料は、以下の点に注意して選択する。

- ① 圧縮性が少なく締固めやすい砂、砂質土等とする。
- ② 30mm以上のレキ、凍結した土砂、粘土、草木及びその他の有機性物質を含む土は、使用しない。

2) 抱き基礎部材料は、左右均等に投入する。

管の接合が完了した後、材料を投入し、抱き基礎部を作る。材料を投入する際には、管が移動しないよう管の左右均等に投入する。このとき、管の芯出しや仮固定に杭や横木等を使用した場合は、工程に合わせて順次取り除く。

3) 抱き基礎部材料は、入念に締固める。

リブ付ポリエチレン管のようなとう(撓)性管は、管周囲の締固めの程度により埋設強度が異なってくるため基礎工材料の締固めが極めて重要である。管底側部は、基礎工材料が回り込みにくく締固め不足が生じやすい箇所なので、図 2-22 のように基礎工材料を盛り付け、木だこ、突き棒等で突き固め、管側部の基礎工材料のまき出しは一層の仕上がり厚さが 20cm を越えないようにする。

一層ごとに基礎材料を均等に敷きならし、木だこ、タンピングランマー等により管側部の左右に不均衡を生じないように入念に締固める。管頂上部は、木だこ又は振動コンパクターなどにより慎重かつ入念に締固める。

4) 継手掘り部分は、特に締固める。

布設の際、管接合部を継手掘りした箇所は、締固め不足が生じやすいため、基礎材を十分に充てんし突き棒等によく締固める。

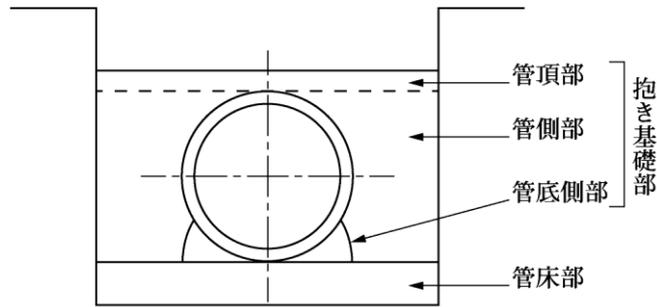


図 2 - 2 2 管底側部の基礎工材料の盛り付け

(5) 埋戻し工

埋戻し工は、管上30cmまでの埋戻しと、管上30cmから地表面までの埋戻しの二つに大別される。埋戻しには、次の各項に留意して施工する。

1) 管上30cmまでの埋戻し

埋戻し土は、粒径30mm以上のレキを含まないものとし、石、がれきなど管に悪影響を及ぼすような固形物を一緒に埋め込まないようにする。締固めは、管に悪影響を及ぼさないよう注意しつつ、木だこ、タンピングランマー等で十分行う。

2) 管上30cmから地表面までの埋戻し

良質土で厚さ30cmの層に分け、道路復旧工事仕様書等に基づいて、各層ごとに振動コンパクターで締固める。ローラーで埋戻し土を転圧する場合は、管上80cm以上まで埋戻してから行う。また、降雨や湧水による管の浮上や落下物等による管の損傷を防ぐため、管布設後は速やかに地表面（やむを得ない場合でも最小限管上1m）まで埋戻すようにする。

3) マンホール周辺の埋戻し

マンホール設置のために余分に掘削された部分は、地盤沈下を起こすおそれがあるので、良質な埋戻し材料を用いて十分に締固める。

副管部のように余掘り部が深い場合は、通常切込砕石を敷き、その上を管床部材料で埋戻す（図 2 - 2 3 参照）。

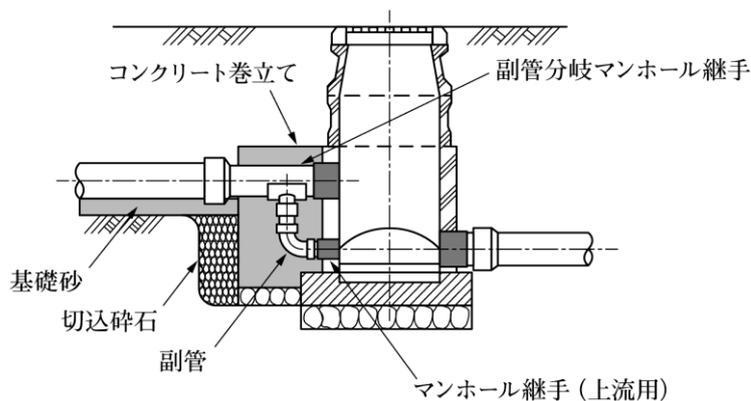


図 2 - 2 3 副管余掘り部の埋戻し

(6) 矢板による施工時の注意

矢板による掘削、布設を行う場合は、あらかじめ矢板への土の付着を確認し、付着がある場合は、引抜き時に土の共上りを防止するような措置（ジェット噴射、矢板へのシート巻きなど）を講じる。

3. 内圧管

3.1 内圧管の設計と適用

地中に埋設する内圧管の設計計算は、内圧による発生応力と埋戻し土及び活荷重により埋設管に作用する荷重と、基礎構造によって管体に発生する最大曲げ応力及びたわみ率を計算し、そのいずれもが許容値を満足することを確認する。

3.1.1 設計の手順

内圧管の設計は、図3-1の手順で行う。

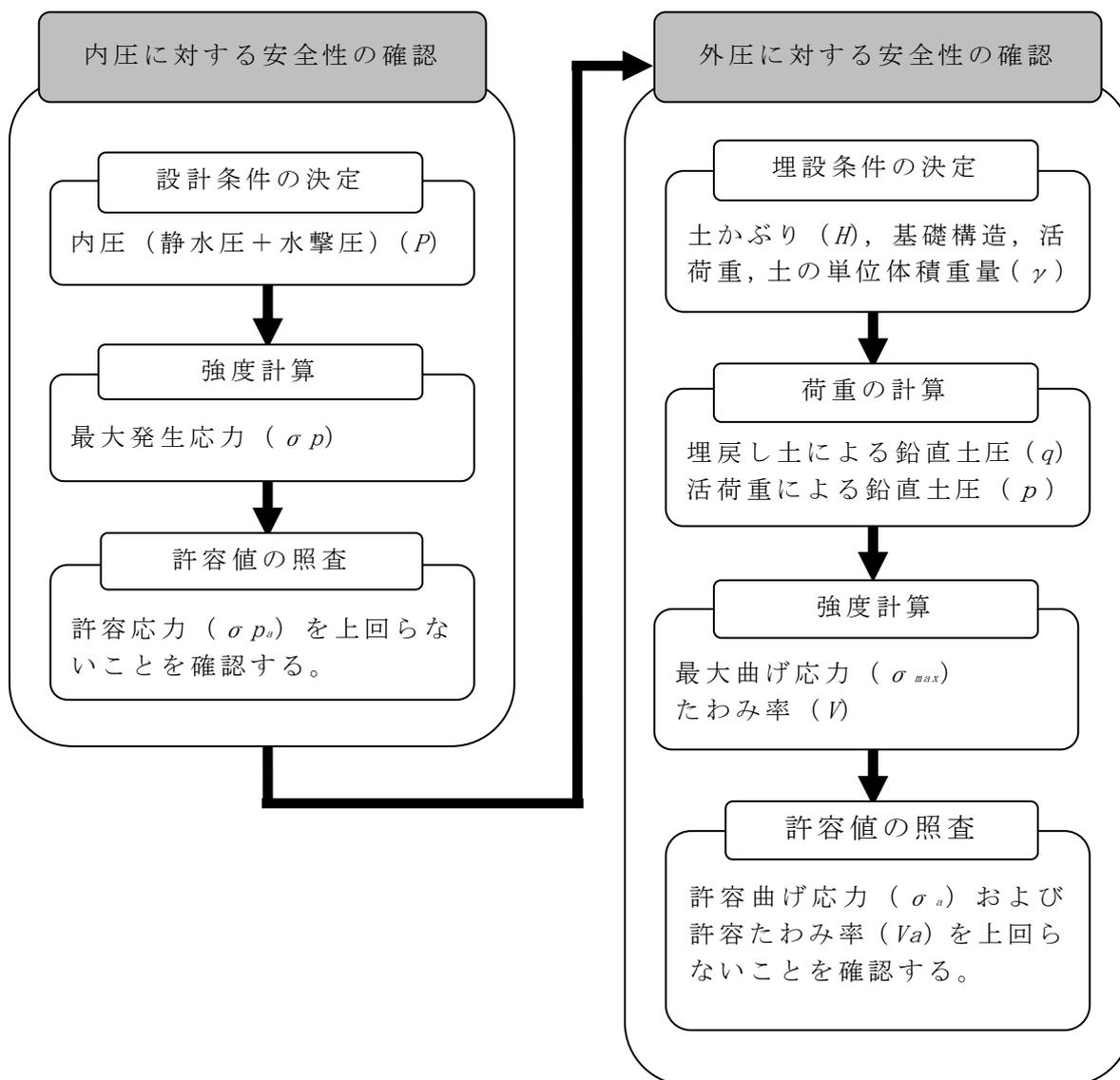


図3-1 設計の手順

3.1.2 設計に用いる寸法諸元

設計に用いる管の寸法諸元は表 3-1 のとおりとする。

表 3-1 設計に用いる寸法諸元

呼び径	内 径	厚 さ	外 径	管厚中心半径	管長 1 cm 当りの断面 2 次モーメント	管長 1 cm 当りの 断面係数
	d (mm)	t (mm)	D (cm)	$r' = \frac{d+t}{2}$ (mm)	$I = \frac{t^3}{12}$ (mm ⁴ /mm)	$Z = \frac{t^2}{6}$ (mm ³ /mm)
300	296.0	17.0	33.0	156.50	0.409×10^6	0.482×10^2
350	345.0	20.0	38.5	182.50	0.667×10^6	0.667×10^2
400	395.0	22.0	43.9	208.50	0.887×10^6	0.807×10^2
450	444.0	25.0	49.4	234.50	1.302×10^6	1.042×10^2
500	493.0	28.0	54.9	260.50	1.829×10^6	1.307×10^2
600	592.0	33.0	65.8	312.50	2.995×10^6	1.815×10^2
700	691.0	39.0	76.9	365.00	4.943×10^6	2.535×10^2
800	790.0	44.0	87.8	417.00	7.099×10^6	3.227×10^2
900	888.0	50.0	98.8	469.00	10.417×10^6	4.167×10^2
1000	987.0	55.0	109.7	521.00	13.865×10^6	5.042×10^2

3.1.3 内圧に対する安全性の検討

3.1.3.1 内圧による発生応力の計算

内圧が管内に作用する場合の円周応力は Naday の式 (3.1) で計算する。

$$\sigma_p = \frac{P(D-t)}{2t} \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに、

σ_p : 発生応力 (N/mm²=MPa)

P : 設計水圧 (N/mm²=MPa)

D : 外径 (mm)

t : 管厚 (mm)

注 P : 設計水圧 (静水圧+水撃圧) は 0.75MPa を上限とする。

3.1.3.2 許容応力

許容応力は(*opa*)は、8.0MPa とする。内圧に対する許容応力は PE100 に準じた材料の長期静水圧強度 10.0MPa を安全率 1.25 で除した値を用いた。

3.1.4 外圧に対する安全性の検討

3.1.4.1 埋設管に加わる荷重

埋戻し土による荷重及び活荷重による荷重を計算によって求める。

(1) 荷重による土圧分布

管の円周方向設計計算（曲げモーメント及びたわみ計算）に用いる鉛直土圧と水平土圧の分布を、**図 3-2**に示す。

埋戻し土による土圧分布は、管上土圧と底面反力が等分布に作用し、また、管のたわみによって生じる反力が二等辺三角形の水平土圧として作用する。一方、活荷重による土圧分布は、管上土圧と底面反力が等しく作用し、管のたわみによって生じる反力が直角三角形の水平土圧として作用する。

(a) 埋戻し土による土圧分布

(b) 活荷重による土圧分布

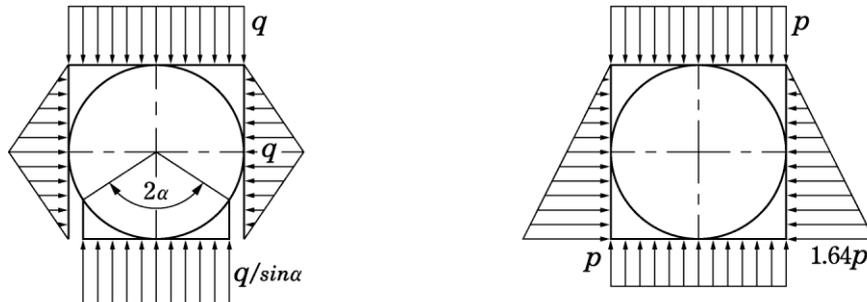


図 3-2 土圧分布状態

注 q : 単位面積当りの埋戻し土による鉛直土圧

p : 単位面積当りの活荷重による鉛直土圧

2α : 有効支承角

(2) 埋戻し土による鉛直土圧

鉛直土圧により管側部の埋戻し土と管が一樣に変形するため、管に加わる荷重は管幅のみの土圧とし、埋戻し土による鉛直土圧は**式 (3.2)**により求める。

$$q = \gamma \cdot H \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

ここに、

q : 埋戻し土による鉛直土圧 (kN/m²)

γ : 埋戻し土の単位体積重量 (通常、18kN/m³)

H : 土かぶり (m)

(3) 活荷重による鉛直土圧

活荷重は、**図 3-3**のように分散するものとし、活荷重による鉛直土圧は**式 (3.3)**より求める。

ここでは、荷重として「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会発行）に定められた T-25 の後輪荷重を用いる。

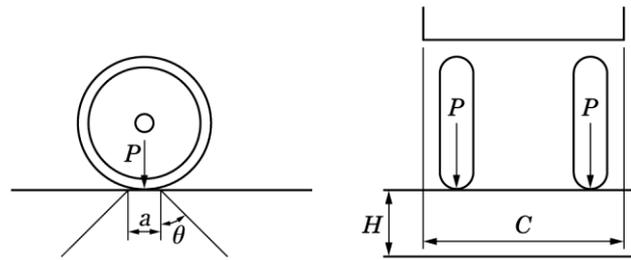


図 3 - 3 活荷重の影響

$$p = \frac{2P(1+i) \cdot \beta}{C(a+2H\tan\theta)} \dots\dots\dots (3.3)$$

ここに、

- p : 活荷重による鉛直土圧 (kN/m²)
- P : T-25 の 1 後輪荷重 (100kN)
- C : 車体占有幅 (2.75m)
- a : タイヤの接地長さ (0.2m)
- H : 土かぶり (m)
- θ : 荷重の分散角 (45°)
- i : 衝撃係数 (H によって表 3 - 2 の値をとる。)
- β : 断面力の低減係数 (0.9)

表 3 - 2 衝撃係数

土かぶり H (m)	$H \leq 1.5$	$1.5 < H < 6.5$	$6.5 \leq H$
衝撃係数 i	0.5	$0.65 - 0.1H$	0

3.1.4.2 強度計算

(1) 曲げ応力の計算

図 3 - 2 の土圧分布で、埋戻し土と活荷重により発生する曲げモーメント及び曲げ応力は、式 (3.4) 及び (3.5) で求める。

$$M = (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p) r'^2 \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (3.5)$$

ここに、

- M : 管長 1cm 当りの埋戻し土と活荷重による曲げモーメントの和 (N・mm/mm)
- k_1 : 埋戻し土による曲げモーメント係数 (表 3 - 3 による。)
- k_2 : 活荷重による曲げモーメント係数 (表 3 - 3 による。)
- q : 埋戻し土による鉛直土圧 (N/mm³=10³kN/m²)
- p : 活荷重による鉛直土圧 (N/mm³=10³kN/m²)

r' : 管厚中心半径(mm) (表 3-1 による。)
 σ : 埋戻し土と活荷重による曲げ応力 (N/mm²=MPa)
 Z : 管長 1cm 当りの断面係数(mm³/mm) (表 3-1 による。)

(2) たわみ率の計算

図 3-17 の土圧分布で、埋戻し土と活荷重により発生する鉛直方向のたわみ量及びたわみ率は、式 (3.6) 及び (3.7) で求める。

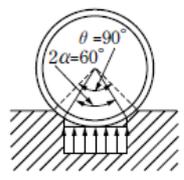
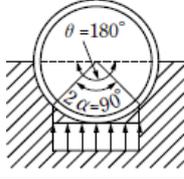
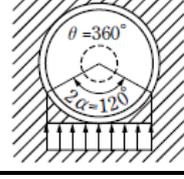
$$\delta = (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p) \frac{r'^4}{E \cdot I} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$V = \frac{\delta}{2 \cdot r'} \times 100 \dots\dots\dots (3.7)$$

ここに、

δ : 埋戻し土と活荷重による管の鉛直方向のたわみ量の和 (mm)
 K_1 : 埋戻し土による鉛直方向のたわみ係数(表 3-3 による。)
 K_2 : 活荷重による管の鉛直方向のたわみ係数(表 3-3 による。)
 q : 埋戻し土による鉛直土圧 (N/mm²=10³kN/m²)
 p : 活荷重による鉛直土圧 (N/mm²=10³kN/m²)
 r' : 管厚中心半径(mm) (表 3-1 による。)
 E : ポリエチレンの曲げ弾性係数 (980MPa)
 I : 管長 1cm 当りの断面 2 次モーメント (mm⁴/mm)
 (表 3-1 による。)
 V : たわみ率(%)

表 3-3 基礎条件と係数の関係

基礎条件	施工支承角 θ	有効支承角 2α	管の位置	曲げモーメント係数		たわみ係数		基礎施工状態
				k_1	k_2	K_1	K_2	
A	90°	60°	管頂	0.132	0.079	0.102	0.030	
			管底	0.223	0.011			
B	180°	90°	管頂	0.120	0.079	0.085	0.030	
			管底	0.160	0.011			
C	360°	120°	管頂	0.107	0.079	0.070	0.030	
			管底	0.121	0.011			

3.1.4.3 曲げ応力とたわみ率の許容値

(1) 許容曲げ応力

許容曲げ応力(σ_a)は、6.6MPa とする。外圧に対する許容曲げ応力は PE100 に準じた材料の長期静水圧強度 10.0MPa を安全率 1.5 で除した値を用いた。

(2) 許容たわみ率

許容たわみ率(V_a)は 4% とする。

3.1.4.4 最大曲げ応力とたわみ率の算定例

有効支承角(2α) = 120° の場合の算定例を表 3-4 に示す。

表 3-4 管の最大曲げ応力とたわみ率 (有効支承角 $2\alpha = 120^\circ$)

呼び径 H (m)	300		350		400		450		500	
	σ_{max} (MPa)	V (%)								
0.5	3.77	1.48	3.71	1.43	4.00	1.61	3.92	1.56	3.86	1.52
0.8	2.97	1.27	2.92	1.23	3.15	1.38	3.09	1.34	3.04	1.30
1.0	2.77	1.24	2.72	1.21	2.94	1.35	2.88	1.31	2.83	1.28
1.2	2.69	1.27	2.64	1.23	2.85	1.38	2.79	1.34	2.75	1.30
1.5	2.70	1.35	2.65	1.31	2.86	1.47	2.80	1.42	2.76	1.39
2.0	2.86	1.53	2.82	1.49	3.04	1.67	2.98	1.62	2.93	1.58
2.5	3.15	1.76	3.10	1.71	3.34	1.92	3.28	1.86	3.22	1.81
3.0	3.51	2.01	3.45	1.96	3.72	2.19	3.64	2.13	3.58	2.07
3.5	3.94	2.28	3.87	2.22	4.18	2.48	4.09	2.41	4.03	2.35
4.0	4.48	2.55	4.41	2.48	4.75	2.78	4.66	2.70	4.58	2.63
4.5	5.03	2.83	4.94	2.76	5.33	3.09	5.22	2.99	5.14	2.92
5.0	5.57	3.12	5.48	3.03	5.91	3.40	5.79	3.30	5.70	3.21
5.1	5.68	3.18	5.59	3.09	6.03	3.46	5.90	3.36	5.81	3.27
5.2	5.79	3.23	5.69	3.14	6.14	3.53	6.02	3.42	5.92	3.33
5.3	5.90	3.29	5.80	3.20	6.26	3.59	6.13	3.48	6.03	3.39
5.4	6.01	3.35	5.91	3.25	6.37	3.65	6.25	3.54	6.14	3.45
5.5	6.12	3.41	6.02	3.31	6.49	3.71	6.36	3.60	6.26	3.51
5.6	6.23	3.46	6.12	3.37	6.61	3.78	6.47	3.66	6.37	3.57
5.7	6.34	3.52	6.23	3.42	6.72	3.84	6.59	3.72	6.48	3.63
5.8	6.45	3.58	6.34	3.48	6.84	3.90	6.70	3.78	6.59	3.69
5.9	6.56	3.64	6.45	3.54	6.96	3.97	6.82	3.84	6.70	3.75
6.0	6.67	3.70	6.56	3.59	7.07	4.03	6.93	3.91	6.82	3.81
6.1	6.78	3.75	6.66	3.65	7.19	4.09	7.04	3.97	6.93	3.87

表 3-4 管の最大曲げ応力とたわみ率 (有効支承角 $2\alpha = 120^\circ$) (続き)

呼び径	600		700		800		900		1000	
土かぶり H(m)	σ_{max} (MPa)	V (%)								
0.5	4.00	1.60	3.90	1.55	4.00	1.61	3.92	1.56	4.00	1.61
0.8	3.15	1.37	3.07	1.33	3.15	1.38	3.09	1.34	3.15	1.38
1.0	2.93	1.35	2.87	1.30	2.94	1.35	2.88	1.31	2.93	1.35
1.2	2.85	1.37	2.78	1.33	2.85	1.38	2.79	1.34	2.92	1.38
1.5	2.86	1.46	2.79	1.41	2.86	1.47	2.80	1.42	2.85	1.46
2.0	3.03	1.66	2.96	1.61	3.04	1.67	2.98	1.62	3.03	1.66
2.5	3.34	1.91	3.26	1.85	3.34	1.92	3.28	1.86	3.34	1.91
3.0	3.71	2.19	3.63	2.11	3.72	2.19	3.64	2.13	3.72	2.19
3.5	4.17	2.48	4.07	2.39	4.18	2.48	4.09	2.41	4.17	2.48
4.0	4.75	2.78	4.64	2.68	4.75	2.78	4.66	2.70	4.75	2.78
4.5	5.32	3.08	5.20	2.97	5.33	3.09	5.22	2.99	5.33	3.08
5.0	5.90	3.39	5.77	3.27	5.91	3.40	5.79	3.30	5.91	3.39
5.1	6.02	3.45	5.88	3.33	6.03	3.46	5.91	3.36	6.02	3.46
5.2	6.14	3.52	5.99	3.39	6.14	3.52	6.02	3.42	6.14	3.52
5.3	6.25	3.58	6.11	3.45	6.26	3.59	6.13	3.48	6.25	3.58
5.4	6.37	3.64	6.22	3.52	6.38	3.65	6.25	3.54	6.37	3.64
5.5	6.48	3.70	6.33	3.58	6.49	3.71	6.36	3.60	6.49	3.71
5.6	6.60	3.77	6.45	3.64	6.61	3.77	6.47	3.66	6.60	3.77
5.7	6.72	3.83	6.56	3.70	6.73	3.84	6.59	3.72	6.72	3.83
5.8	6.83	3.89	6.67	3.76	6.84	3.90	6.70	3.78	6.84	3.90
5.9	6.95	3.96	6.79	3.82	6.96	3.96	6.82	3.84	6.95	3.96
6.0	7.06	4.02	6.90	3.88	7.08	4.03	6.93	3.91	7.07	4.02

3.2 内圧管の流速及び流量

3.2.1 設計の手順

内圧管の水理設計は、図3-4の設計手順で行う。

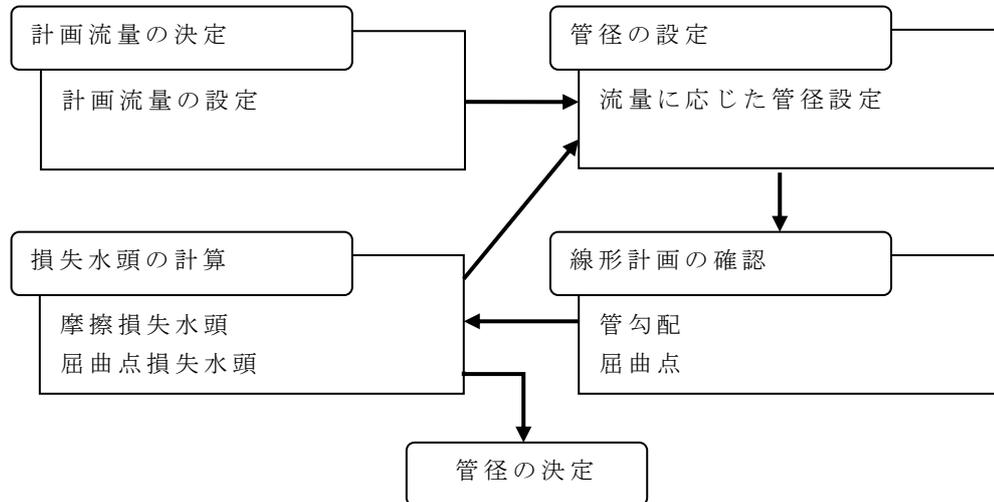


図3-4 設計の手順

3.2.2 水理計算

内圧管の流量計算には、ヘーゼンウィリアムズ公式(3.8)を使用する。

$$Q = 0.27853 \cdot C \cdot d^{2.63} \cdot I^{0.54} \dots\dots\dots (3.8)$$

ここに、

- Q : 流量(m³/s)
- C : 流速係数(C=150)
- d : 管内径(m)
- I : 動水こう配(I=h/l)
- h : 損失水頭(m)
- l : 管長(m)

3.3 内圧管の施工標準

3.3.1 運 搬

管は軽量で取り扱いが容易であるが、以下の項目に留意して運搬を行う。

- (1) 管及び部品の運搬に際しては、管を放り投げたり、引きずったりしないよう十分に注意する。
- (2) 管の受口には、電熱体の保護シートが取付けられているが、運搬に際しては、きずをつけたり、土等で汚すことのないように取り扱う。
- (3) 荷台に管を積み込む場合は、台板を敷き受口と差し口を交互に積み込み、ロープなどで適切に固定する。
- (4) 運搬中、振動や滑りで荷崩れが起きないように、側方に角材を入れ荷台前面に当て板をつけ、締め付ける。
- (5) 荷降ろしに際し、管の引きずり、投げ降ろし、突放しなどにより衝撃を与えないようにする。

3.3.2 保 管

管の保管については、以下の項目に留意して行う。

- (1) 管が曲がらないように平らな場所に置く。
- (2) 積み重ねは滑り止めをして、平行に置く。
- (3) 積み重ね高さは、表 3-5 に示すとおりとする。
- (4) 風等による荷崩れを防ぐため、ロープ、シートなどで固定し、保管する。
- (5) 直射日光、熱等により高温となるような場所での保管は避ける。
- (6) 炎天下で保管する場合は、シートなどをかぶせ、風通しをよくし、熱気がこもらないようにする。
- (7) 図 3-5 (a) に示すように、管の転がり防止のため、端止め材を設置する。
- (8) 図 3-5 (b) に示すように、台板は厚さ 100mm 以上、幅 100mm 以上とし、直管部に 1m 間隔で敷く。
- (9) 受口部と差し口部を交互に積む（受口部の変形防止のため）。
- (10) 1 段保管の場合でも、直管部に台板（厚さ 100mm 以上）を敷く。

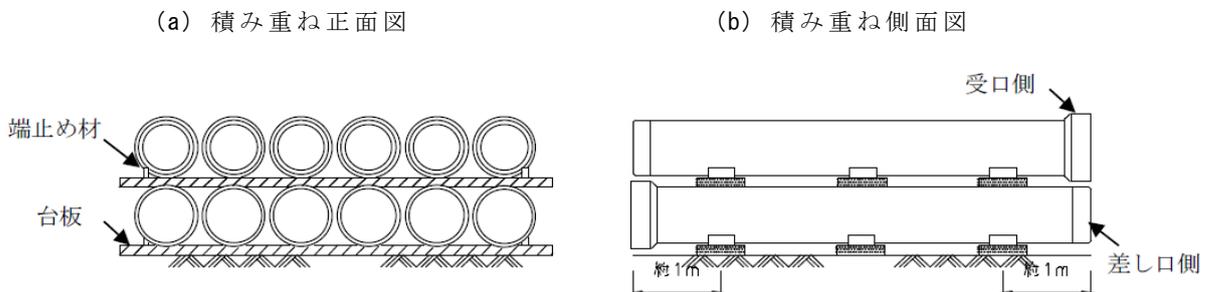


図 3-5 管の保管

表 3 - 5 管の積み重ね段数

呼び径	段 数
300～ 400	2段以下
450～1000	1段

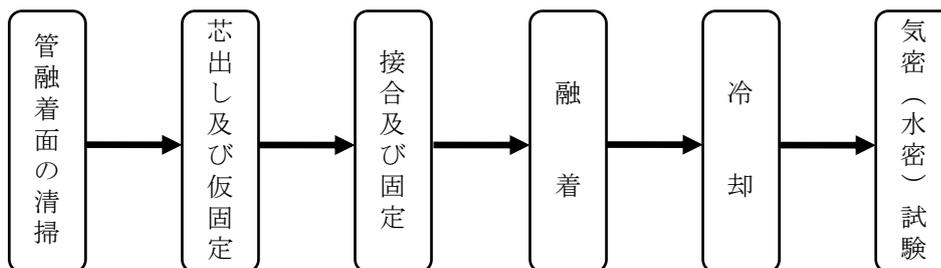
3.3.3 工具類

配管作業に必要な工具類は、表 3 - 6 のとおりである。

表 3 - 6 工具類(参考)

作 業 名	工 具 類
融着面の清掃	アセトン又はイソプロピルアルコール、容器、ペーパータオル
芯出し仮固定	レベル計、スタッフ、下げ振り、水準器、スケール、くい、横木、たこ糸等
接合及び固定	挿入機（レバーブロック）、スリングベルト、
融着及び冷却	コントローラ、スケール、マジックインキ、電動リード線、発電機、ストップウォッチ、すきまゲージ
管の切断	パイプカッター又は専用切断機、面取り器（ハンドグラインダー、やすり）、スケール、帯テープ器又細紐、マジックインキ、100V 電動リール線、電動ドリルなど
気密（水密）検査	加圧ポンプ、電源リード線、加圧テスト治具

3.3.4 基本作業のフローシート



3.3.5 管融着面の清掃

管受口内面及び管差し口融着面を、アセトンなどを浸み込ませたペーパータオルで清掃する（融着面の油脂等の汚れが、完全に拭きとられていることを確認する）。

- 注 1. EF 継手部は、融着面に泥等が付着しないように、融着直前に梱包材を取り外す。
2. 清掃後は、融着面に手を触れない。触れた場合は再度清掃する。

3.3.6 芯出し及び仮固定

(1) 管の芯出しを行って、正確に据え付ける。

下水道では、管路のこう配が重要なので図3-6のように下げ振り、水準器等を使用して正確に芯出しを行う。施工時に万一、管に反りがある場合は管の反りを水平にとり、くい、横木等により矯正する。ただし、継手の電熱線端子接続部が下方にならないように注意する。

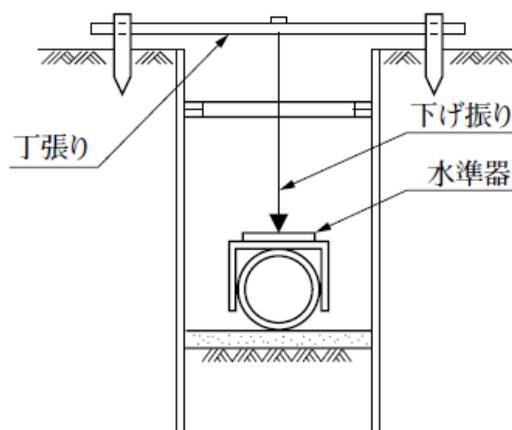


図3-6 芯出しの方法例

(2) 仮固定する。

芯出し後埋め戻す際、管が移動しないよう接合部に近い位置で、図3-7のように杭と番線を用いて管を仮固定する。また、仮固定完了後、図3-8の要領で管底高の確認を行う。

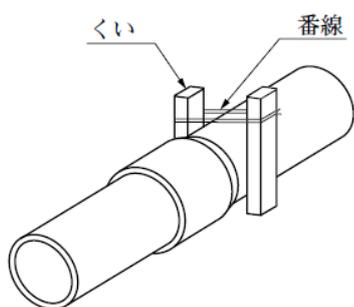


図3-7 杭による 管の仮固定

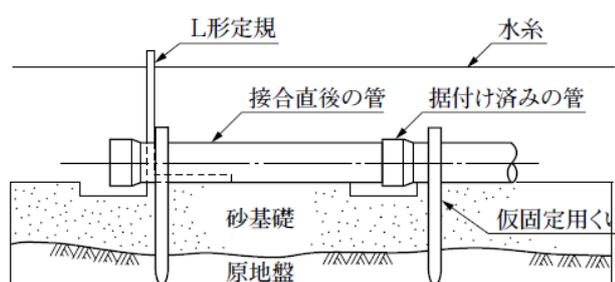


図3-8 管底の確認

3.3.7 接合及び固定

(1) 管を挿入する。

融着面の清掃済みの管差し口を管受口に図3-9に準じて挿入機とスリングベルトにより挿入する。使用する挿入機は表3-7を基準とする。このとき、斜め挿入にならないよう十分配慮し、標線まで挿入されていることを確認する。

なお、標線まで挿入されていない場合は、必ず標線まで挿入する。

(2) 管を固定する。

挿入に用いた挿入機とスリングベルトは融着・冷却作業が終了するまで取り外さず、融着部を固定したままとする。

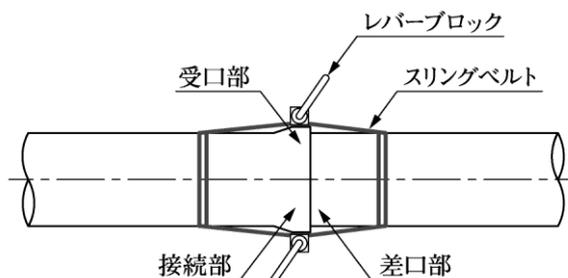


図3-9 管体の接合

表3-7 使用挿入機

呼び径	能力	台数
300~1000	3.0t	2

3.3.8 融着

融着作業は、水場で行ってはならない。地下水の流出の多いところでは、排水を十分に行うこと。したがって、雨天時は原則として融着作業を行ってはならない。以下に融着作業手順の概略を示す。

- (1) コントローラの電源を入れ、融着前点検を行う。
- (2) コネクターと管受口部の電熱線端子を接続する。
- (3) コントローラのスタートボタンを押す。
- (4) 融着終了後、出力ケーブルのコネクターを取り外す。

3.3.9 冷却

製造者より示された標準冷却時間まで、挿入機を装着したまま放置冷却し、その間管を動かしたり無理な力をかけてはならない。融着終了時刻に所定の冷却時間を加えた時刻を、継手表面にマジックインキで記入しておくことよい。

なお、冷却は自然放置冷却で行い、決して水をかけたりして冷却してはならない。冷却終了後挿入機を外す。

なお、挿入機を外すときも必要以上に管を動かしたり、無理な力をかけてはならない。

冷却終了後、埋戻しを開始する。管側部の埋戻しにより管を完全に固定した後、仮固定を撤去する。また、管の反りを矯正するために杭や横木を使用した場合も同様に必ずこれらを撤去する。

3.3.10 工 事

3.3.10.1 管路の掘削

掘削は設計図書に基づいて確実に行う。特に機械掘削の場合は、掘り過ぎや溝底が不陸を生じないように注意し、床付け面に近付いたら人力掘削とする。

3.3.10.2 基礎工

基礎工は、管床部と抱き基礎部の二つに大別される（図3-10参照）。

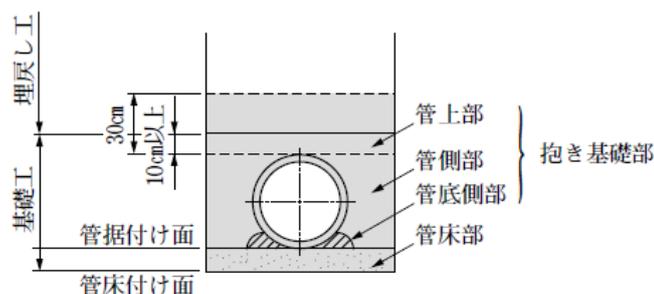


図3-10 基礎工、埋戻し工の区分

(1) 管床付け面の仕上げ

人力で溝底の凹凸をなくし、所定の縦断こう配となるように、平均に床付け面の仕上げを行う。湧水のあるところでは排水を十分に行い、がれきや木の根等の固いものは、管に悪影響を与えるので必ず取り除いておく。継手掘りしておく、後の接合作業がやりやすい(図3-11参照)。

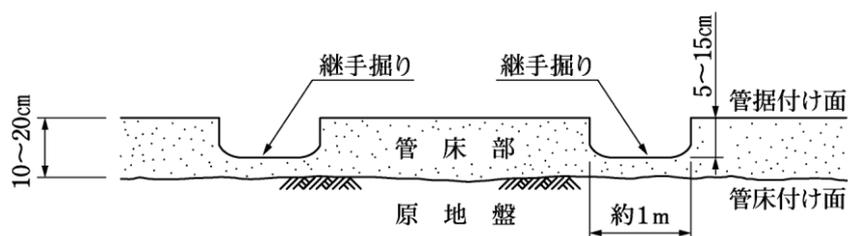


図3-11 基礎の継手掘り

(2) 管据付け面の仕上げ

1) 良質地盤の場合

一般に管床部(粒径30mm以上のれきを含まないもの)の厚さは、床ならしのため10~20cmとする。管据付け面の仕上げは、設計管底高さやこう配に注意しながら、振動コンパクターなどで十分転圧して行う。

2) 湧水地帯や軟弱地盤等の場合

あらかじめ栗石や碎石等を投入し、足で踏み固めるなどして管床部の砂が転圧できるだけの支持力を出しておく。砂厚は、地盤の程度にもよるが30cm位は必要である。超軟弱地盤では50~60cm程度の砂厚を必要とするが、砂床のみで不十分なときは、地盤改良、シートサンドベッド、はしご胴木等を併用すれば効果がある。

(3) 管の抱き基礎

1) 砂の投入

管の接合が完了した後、砂(粒径30mm以上のれきを含まないもの)を投入し抱き基礎をつくる。

砂を投入する際には、管が移動しないよう管の左右交互に投入する。このとき、管の芯出しや仮固定に杭や横木等を使用した場合は、工程に合わせて順次取り除く。

2) 基礎砂の締固め

ポリエチレン管のような可とう性管は、地盤の反力の大小により埋設強度が異なってくるため、管周辺部の締固めが極めて重要である。

管底側部は、空洞にならないように木だこ、突き棒等で十分に充てんし、突き棒でよく締め固める。

管側部の砂基礎の巻出しは、一層の仕上り厚さが 20cm を超えないようにし、一層ごとに基礎砂を均等に敷きならし、木だこ又は足踏みなどにより管側部の左右に不均衡を生じさせないように入念に踏み固める。

(4) その他

矢板施工では、矢板引抜による基礎工及び埋戻しの砂の移動防止と締固めの効果を維持するために、合成樹脂シートを用いる方法がある。

3.3.10.3 埋戻し

基礎工から上の埋戻しは、管上 30cm までの埋戻しと管上 30cm から地表面までの埋戻しの二つに大別される(図 3-10 参照)。

(1) 管上 30cm までの埋戻し

木だこ、タンピングランマーなどで十分締め固める。埋戻し土は、れきを含まないものとし、石、がれきなど、管に悪影響を及ぼすような固形物を一緒に埋め込んではならない。

(2) 管上 30cm から地表面までの埋戻し

良質土で厚さが 30cm の層に分け、道路復旧工事仕様書に基づいて埋戻し、一層ごとにタンピングランマーなどで十分締め固める。ローラーで埋戻し土を転庄する場合は、管上 50cm 以上まで埋め戻してから行う。また、降雨や湧水による管の浮上がりや落下物等による管の損傷を防ぐため、管布設後は速やかに地表面(やむを得ない場合でも最小限管上 1m)まで埋め戻すように留意する。

(3) 構造物周辺の埋戻し

構造物設置のために余分に掘削された部分は、地盤沈下を起こす恐れがあるため良質な埋戻し材料を用いて十分締め固める。

4. 耐震計算例

4.1 はじめに

下水道用リブ付ポリエチレン管の耐震計算は、(公社)日本下水道協会発行の「下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年度版)」、「下水道用リブ付ポリエチレン管(JSWAS K-15)」に準拠して行う。

また、耐震設計で考慮する地震動は、レベル1(※1)、レベル2(※2)に分け、各地震動レベルに対して耐震設計を行う。

(※1) レベル1地震動：供用期間中に1~2回発生する確率を有する地震動

(※2) レベル2地震動：陸地近傍に発生する大規模なプレート境界地震や、直下型地震による断層近傍の地震動で、供用期間中に発生確率は低いが大きな強度を持つ地震動

4.2 外圧管の耐震計算例

下水道用リブ付ポリエチレン管(外圧管 RP-3) $\phi 300$ を開削工法により、土被り 1.20m に埋設した場合の耐震設計結果を以下に示す。耐震設計計算の方針は「下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年度版)」の「差し込み継手管きよの耐震設計」に基づく。

4.2.1 計算条件

(1) 設計条件

埋設条件及び耐震設計条件は表4-1に示すとおりとした。

なお、マンホールは下水道用リブ付ポリエチレン管に比べ相対的に大きい構造物のため、地震時のマンホール間隔の変動はないものとする。

表4-1 RP-3 $\phi 300$ の埋設条件

項 目		設計値	
管仕様	外径	372mm	
	管厚(換算肉厚)	14.2mm	
	長さ(1本当たり)	5.00m	
埋設条件	管頂土被り	1.20m	
	活荷重	T-25	
	マンホール深さ	1.70m	
	マンホールスパン	40.00m	
耐震設計条件	地震時に生じるせん断ひずみの大きさを考慮した係数(α_D)	レベル1地震動	1.25
		レベル2地震動	2.00
	重畳係数(γ)	3.12	
	管軸方向の地盤変位の伝達係数(α_1)	1.0	
	管軸直角方向の地盤変位の伝達係数(α_2)	1.0	

(2) 地盤モデル

① 地盤条件

土質モデル：「下水道施設耐震指針計算例－管路施設編」（(公社)日本下水道協会）の標準土質モデル I とする。

表 4-2 標準モデルタイプ I の土質条件

層番号	下端深度 (GL-m)	層厚 (m)	土質	単位体積重量 (kN/m ³)	平均 N 値	せん断弾性波速度 V _{si} (m/s)
1	0.50	0.50	砂質土	18.0	2	100.77
2	3.30	2.80	砂質土	17.0	5	136.72
3	5.20	1.90	粘性土	16.0	3	144.17
4	8.50	3.30	砂質土	17.0	10	172.22
5	20.70	12.20	粘性土	16.0	2	125.96
6	24.70	4.00	砂質土	17.0	12	183.00
7	基盤面	---	---	20.0	50	300.00

② 地域別補正係数の地域区分：A 地区 (C_z=1.0)

③ 地盤急変部の基盤傾斜角：30°

(3) 液状化地盤及び傾斜地盤の永久ひずみ

① 液状化地盤（護岸近傍部）：1.5%

② 液状化地盤（内陸部）：1.2%

③ 非液状化の傾斜地盤：1.3%

4.2.2 管の安全照査のための性能値

安全照査に用いる下水道用リブ付ポリエチレン管(外圧管)の性能値は、レベル 1 地震動については、使用限界値(許容値)、レベル 2 地震動については終局限界値(試験性能値)とする。

表 4-3 RP-3 φ300 の安全照査のための性能値

項 目	レベル 1 地震動	レベル 2 地震動
発生応力 (引張強さ)	6.4N/mm ²	27N/mm ²
屈 曲 角	±2.5°	±5.0°
抜 出 し 量	37mm	75mm

4.2.3 耐震設計

(1) 表層地盤の特性値の算定

① 平均せん断弾性波速度

i 番目の地盤の平均せん断弾性波速度 V_{si} は、下式により求める。

$$\text{粘性土の場合} \quad V_{si} = 100 \cdot N_{si}^{1/3}$$

$$\text{砂質土の場合} \quad V_{si} = 80 \cdot N_{si}^{1/3}$$

ここに、V_{si}：i 番目の地盤の平均せん断弾性波速度 (m/s)

N_{si}：標準貫入試験による i 番目の地盤の平均 N 値

i：当該地盤が地表面から基盤層まで n 層に区分されるとき、地表面から i 番目の地層の上面をいう。

※ ここでいう基盤面とは、粘性土層の場合は N 値が 25 以上、砂質土層の場合は N 値が 50 以上の地層の上面、またはせん断弾性波速度が 300m/s 以上の地盤の上面をいう。

② 表層地盤の固有周期

表層地盤の固有周期は、下式により求める。

(i) レベル 1 地震動

$$T_s = a_D \cdot T_G$$

$$= 1.25 \times 0.706 = 0.883 \text{ (s)}$$

(ii) レベル 2 地震動

$$T_s = a_D \cdot T_G$$

$$= 2.00 \times 0.706 = 1.412 \text{ (s)}$$

$$T_G = \sum_{i=1}^n \frac{4 \cdot H_{si}}{V_{si}}$$

$$= 0.706 \text{ (s)}$$

ここに、 T_s : 表層地盤の固有周期 (s)

T_G : 地盤の特性値 (s)

a_D : 地震時に生じるせん断ひずみの大きさを考慮した係数

H_{si} : i 番目の地盤の厚さ (m)

表 4 - 4 各層のせん断弾性波速度

層番号	層厚 H_{si} (m)	平均 N 値	せん断弾性波速度 V_{si} (m/s)	H_{si}/V_{si} (s)
1	0.50	2	100.77	0.005
2	2.80	5	136.72	0.020
3	1.90	3	144.17	0.013
4	3.30	10	172.22	0.019
5	12.20	2	125.96	0.097
6	4.00	12	183.00	0.022
合計	24.70	---	---	0.176

表 4 - 5 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値 T_G (s)
I 種	$T_G < 0.2$
II 種	$0.2 < T_G < 0.6$
III 種	$0.6 \leq T_G$

また、 $T_G > 0.6$ (s) より、III 種地盤となる。

③ 表層地盤の動的せん断弾性波速度

(i) レベル1地震動

$$V_{SD} = \frac{4 \cdot H}{T_s}$$

$$V_{SD} = \frac{4 \times 24.70}{0.883}$$

$$= 111.89 \text{ (m/s)}$$

(ii) レベル2地震動

$$V_{SD} = \frac{4 \cdot H}{T_s}$$

$$V_{SD} = \frac{4 \times 24.70}{1.412}$$

$$= 69.97 \text{ (m/s)}$$

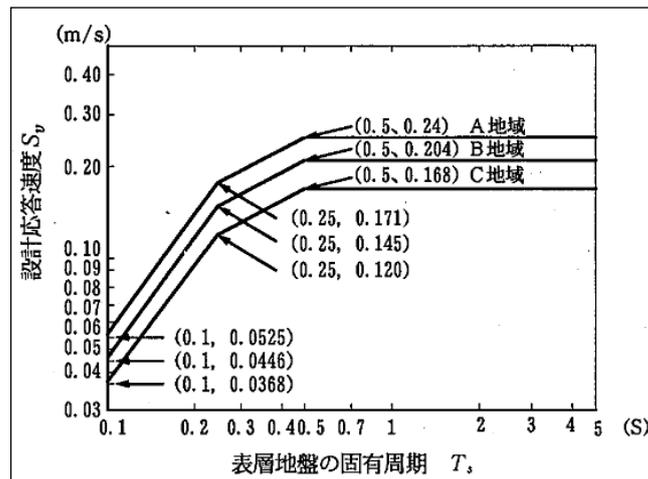
ここに、 H : 表層地盤の厚さ (m)

T_s : 表層地盤の固有周期

(2) レベル1地震動に対する検討

① 設計に用いる地震外力

レベル1地震動に用いる設計応答速度は、「下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年度版)」による。



「下水道施設の耐震対策指針」37 ページの抜粋

上図より、固有周期 $T_s = 0.883$ (s) の場合、A 地域的设计応答速度 S_v は、

$S_v = 0.24$ (m/s) となる。

(i) 管軸深さにおける地震水平方向の変位振幅の算定

表層地盤の固有周期 T_s における設計応答速度は以下の通りであり、これらを基に水平方向変位振幅を算定する。

$$\begin{aligned} \text{設計応答速度} & S_V = 0.24 \text{ (m/s)} \\ \text{管軸深さ} & z = \text{土被り} + \text{管外径}/2 = 1.386 \text{ (m)} \\ \text{水平方向振幅} & U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_V \cdot T_s \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right) \\ & U_h(1.386) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.24 \times 0.883 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.386}{2 \times 24.70}\right) \\ & = 0.0428 \text{ (m)} \end{aligned}$$

(ii) 地震動の波長

a) 計算式

地震動の波長を算出する計算式は、以下の通りである。

$$L = \left(\frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \right)$$

$$L_1 = V_{SD} \cdot T_s$$

$$L_2 = V_{SDB} \cdot T_s$$

ここに、 L : 地震動の波長 (m)

V_{SD} : 表層地盤の動的せん断弾性波速度 (m/s)

V_{SDB} : 基盤層の動的せん断弾性波速度 (m/s)

b) 地盤の波長 L の算定

表層地盤の動的せん断弾性波速度及び基盤層の動的せん断弾性波速度は以下の通りであり、これを基に地震時の波長を算出する。

$$\text{表層地盤の動的せん断弾性波速度} \quad V_{SD} = 111.95 \text{ (m/s)}$$

$$\text{基盤層の動的せん断弾性波速度} \quad V_{SDB} = 300.00 \text{ (m/s)}$$

※ 基盤層の動的せん断弾性波速度は、 $V_{SDB}=300.00(\text{m/s})$ と定める。

$$L = 143.90(\text{m})$$

$$L_1 = 98.80(\text{m})$$

$$L_2 = 264.75(\text{m})$$

② マンホールと本管の接続部の計算

(i) 地震動による屈曲角

a) 計算式

地震動による屈曲角を算出する計算式は、以下の通りである。

$$1 \theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta U}{h}\right)$$

ここに、 1θ ：マンホールと本管との回転角 (rad)
 (マンホールと継手の屈曲角)
 h ：マンホールの設置深さ (m/s)
 ΔU ：地表面と深さ h における水平方向変位振幅の差 (m/s)

b) マンホールと本管との回転角の算定

水平方向振幅
$$Uh(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot Sv \cdot Ts \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right)$$

地表面
$$Uh(0) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.24 \times 0.883 \times \cos\left(\frac{\pi \times 0.00}{2 \times 24.70}\right)$$

$$= 0.04292 \text{ (m)}$$

マンホール
$$Uh(1.70) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.24 \times 0.883 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.70}{2 \times 24.70}\right)$$

$$= 0.0427 \text{ (m)}$$

$\Delta U = 0.00025 \text{ (m)}$

$$1\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta U}{h}\right)$$

$$= 0.008 \text{ (}^\circ\text{)}$$

(ii) 地震動による抜出し量

a) 計算式

地震動による抜出し量を算出する計算式は、以下の通りである。

$$1\delta = \varepsilon_{gd} \cdot l$$

ここに、 1δ ：継手部の抜出し量 (m)
 ε_{gd} ：地震動により生じた地盤に生じる歪み
 l ：管の有効長 (m)

$$\varepsilon_{gd} = \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot Uh(z)$$

ここに、 η ：不均一係数 (表 4-6 参照)
 L ：地震時の波長 (m)

表 4-6 不均一係数

不均一の程度	不均一係数 (η)	地盤条件
均一	1.0	洪積地盤、均一な沖積地盤
不均一	1.4	層厚の変化がやや激しい沖積地盤、普通の丘陵宅造地
極めて不均一	2.0	河川流域、おぼれ谷などの非常に不均一な沖積地盤、大規模な切土・盛土の造成地

b) 地震動による抜出し量の算定

下記の条件を基に、地震動による抜出し量を算定する。

不均一係数	$\eta = 1.0$
地震動の波長	$L = 143.90 \text{ (m)}$
管軸位置での地盤水平変位振幅	$Uh(1.386) = 0.0428 \text{ (m)}$
管の有効長	$l = 5.00 \text{ (m)}$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{gd} &= \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot Uh(z) \\ &= 1.0 \times \frac{\pi}{143.90} \times 0.0428 = 0.093 \text{ (\%)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}l\delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l \\ &= 0.093 \times 5.00 \\ &= 0.00465 \text{ (m)} = 4.65 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

(iii) 地盤の硬軟急変部を通過する場合の影響

a) 計算式

地盤の硬軟急変部を通過する管渠のマンホールからの抜出し量は以下の通りである。

$$\delta = \varepsilon_{gd2} \cdot l$$

ここに、 ε_{gd2} : 硬軟境界部に生じるひずみ (=0.0025)

l : 管の有効長 (m)

b) 地盤硬軟急変部の抜出し量の算定

$$\delta = 0.0025 \times 5.00 = 12.5 \text{ (mm)}$$

③ 管渠と管渠継手部の計算

(i) 地震動による屈曲角

a) 計算式

地震動による屈曲角を算出する計算式は、以下の通りである。

$$l\theta = \left(\frac{2\pi}{Ts} \right)^2 \cdot \frac{Uh(z)}{V_{SD}^2} \cdot l$$

ここに、 $l\theta$: 継手部の屈局角 (rad)

Ts : 表層地盤の固有周期 (s)

$Uh(z)$: 検討位置での最大変位振幅 (m)

V_{SD} : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)

l : 管の有効長 (m)

b) 地震動による屈曲角の算定

$$\text{表層地盤の固有周期} \quad Ts = 0.883 \text{ (s)}$$

$$\begin{aligned} \text{検討位置での変位振幅 } U_h(1.386) &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.24 \times 0.883 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.386}{2 \times 24.70}\right) \\ &= 0.0428 \text{ (m)} \end{aligned}$$

表層地盤のせん断弾性波速度 $V_{DS} = 111.89 \text{ (m/s)}$

$$\begin{aligned} I \theta &= \left(\frac{2\pi}{T_s}\right)^2 \cdot \frac{U_h(z)}{V_{SD}^2} \cdot l \\ &= \left(\frac{2\pi}{0.883}\right)^2 \times \frac{0.0428}{111.95^2} \times 5.00 \\ &= 0.050 \text{ (}^\circ\text{)} \end{aligned}$$

(ii) 地震動による抜出し量の算定

a) 計算式

地震動による抜出し量を算出する計算式は、以下の通りである。

$$I \delta = \varepsilon_{gd} \cdot l$$

ここに、 $I \delta$: 継手部の抜出し量 (m)
 ε_{gd} : 地震動により地盤に生じる歪み
 l : 管の有効長 (m)

$$\varepsilon_{gd} = \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z)$$

ここに、 η : 不均一係数 (表 4-6 参照)
 L : 地震時の波長 (m)

b) 地震動による抜出し量の算定

下記の条件を基に、地震動による抜出し量を算定する。

不均一係数	$\eta = 1.0$
地震動の波長	$L = 143.90 \text{ (m)}$
管軸位置での地盤水平変位振幅	$U_h(1.386) = 0.0428 \text{ (m)}$
管の有効長	$l = 5.00 \text{ (m)}$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{gd} &= \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z) \\ &= 1.0 \times \frac{\pi}{143.90} \times 0.0428 = 0.093 \text{ (\%)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l \\ &= 0.093 \times 5.00 \\ &= 0.00465 \text{ (m)} = 4.65 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

(iii) 地盤の硬軟急変部を通過する場合の影響

a) 計算式

地盤の硬軟急変部を通過する管渠のマンホールからの拔出し量は以下の通りである。

$$\delta = \varepsilon_{gd2} \cdot l$$

ここに、 ε_{gd2} ：硬軟境界部に生じるひずみ (=0.0025)

l ：管の有効長 (m)

b) 地盤硬軟急変部の拔出し量の算定

$$\delta = 0.0025 \times 5.00 = 12.5 \text{ (mm)}$$

(iv) 浅層不整形地盤を通過する場合の影響

a) 浅層不整形地盤における地盤ひずみの計算式

$$\varepsilon_{G2} = (\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2)^{1/2}$$

ここに、 ε_{G2} ：浅層不整形地盤におけるひずみ

ε_{G1} ：設計地点における一様地盤ひずみ (= ε_{gd})

ε_{G3} ：基礎傾斜角が大きいことにより応答変位量に差が出て発生するひずみ (=0.003)

ε_{gd} ：地震動により地盤に生じるひずみ (=0.00093)

b) 浅層不整形地盤における地盤ひずみ

浅層不整形地盤における地盤ひずみは、下式により求める。

$$\begin{aligned} \varepsilon_{G2} &= (\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2)^{1/2} \\ &= (0.00093^2 + 0.003^2)^{1/2} \\ &= 0.314 \text{ (\%)} \end{aligned}$$

c) 浅層不整形地盤での拔出し量

浅層不整形地盤における地盤での拔出し量は、下式により求める。

$$\begin{aligned} \delta &= \varepsilon_{G2} \cdot l \\ &= 0.00314 \times 5.00 \\ &= 0.0157 \text{ (m)} = 15.7 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

(v) 管体部の応力の計算 (管軸方向引張応力度計算法)

a) 計算式

$$\sigma_x = (\gamma \cdot \sigma_L(x)^2 + \sigma_B(x)^2)^{1/2}$$

$$\sigma_L(x) = \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h(z)}{L} \cdot E$$

$$\sigma_B(x) = \alpha_2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot Bc \cdot U_h(z)}{L^2} \cdot E$$

ここに、 σ_X ：二乗和の平方根で重畳した場合の合成応力 (N/mm²)
 σ_L 、 σ_B ：埋設管の軸方向及び曲げ方向応力 (N/mm²)
 α_1 、 α_2 ：地盤変位の伝達係数
 $Uh(z)$ ：管軸位置の水平方向変位振幅 (m)
 E ：ヤング係数 (N/mm²)
 γ ：重畳係数 (重要度に応じて 1.00～3.12 の値とする)

b) 管体部の応力の算定

α_1 、 α_2 は地盤に生じた歪みの管路に対する伝達率であり、ポリエチレン管は地盤との滑りを考慮せず、 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$ とする。また、 γ は地震の波動成分によって 1.00～3.12 の値をとり、重要度に応じた値とする。

$$\begin{aligned}\sigma_L(x) &= \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot Uh(z)}{L} \cdot E \\ &= 1.0 \cdot \frac{\pi \times 0.0428}{143.90} \cdot 980 \\ &= 0.915 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

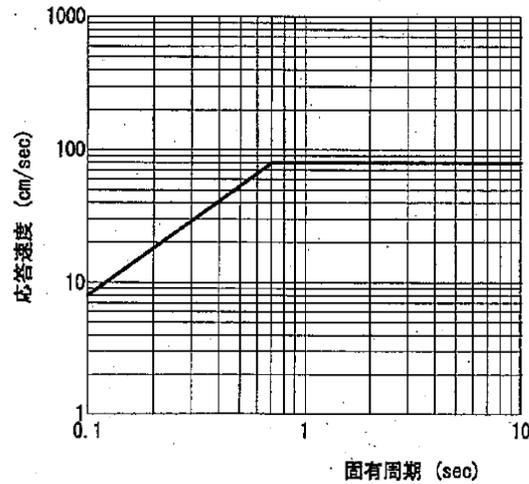
$$\begin{aligned}\sigma_B(x) &= \alpha_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot D \cdot Uh(z)}{L^2} \cdot E \\ &= 1.0 \cdot \frac{2 \times \pi^2 \times 0.372 \times 0.0428}{143.90^2} \cdot 980 \\ &= 0.015 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_X &= (\gamma \cdot \sigma_L(x)^2 + \sigma_B(x)^2)^{1/2} \\ &= (3.12 \times 0.916^2 + 0.015^2)^{1/2} \\ &= 1.616 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

(3) レベル2地震動に対する検討

① 設計に用いる地震外力

レベル2地震動に用いる設計応答速度は、「下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年度版)」による。



「下水道施設の耐震対策指針」39ページの抜粋

上図より、固有周期 $T_s = 1.412$ (s) の場合、設計応答速度 S_v は、

$$S_v = 0.8 \text{ (m/s)} \text{ となる。}$$

(i) 管軸深さにおける地震水平方向の変位振幅の算定

レベル1地震動と同様に計算を行う。

設計応答速度 $S_v = 0.8 \text{ (m/s)}$
 管軸深さ $z = \text{土被り} + \text{管外径}/2 = 1.386 \text{ (m)}$

水平方向振幅
$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right)$$

$$\begin{aligned} U_h(1.386) &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.8 \times 1.412 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.386}{2 \times 24.70}\right) \\ &= 0.2280 \text{ (m)} \end{aligned}$$

(ii) 地震動の波長

レベル1地震動と同様に計算を行う。

$$\begin{aligned} L &= 160.23\text{(m)} \\ L_1 &= 98.80\text{(m)} \\ L_2 &= 423.60\text{(m)} \end{aligned}$$

② マンホールと本管の接続部の計算

(i) 地震動による屈曲角

a) 計算式

地震動による屈曲角を算出する計算式は、以下の通りである。

$$2\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta U}{h}\right)$$

ここに、 2θ : マンホールと本管との回転角 (rad)

(マンホールと継手の屈曲角)

h : マンホールの設置深さ (m/s)

ΔU : 地表面と深さ h における水平方向変位振幅の差 (m/s)

b) マンホールと本管との回転角の算定

$$\text{水平方向振幅} \quad Uh(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot Sv \cdot Ts \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right)$$

$$\begin{aligned} \text{地表面} \quad Uh(0) &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.8 \times 1.412 \times \cos\left(\frac{\pi \times 0.00}{2 \times 24.70}\right) \\ &= 0.2289 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{マンホール} \quad Uh(1.70) &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.8 \times 1.412 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.70}{2 \times 24.70}\right) \\ &= 0.2276 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$$\Delta U = 0.00133(\text{m})$$

$$\begin{aligned} 2\theta &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta U}{h}\right) \\ &= 0.045 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

(ii) 地震動による抜出し量

a) 計算式

地震動による抜出し量を算出する計算式は、以下の通りである。

$$2\delta = \varepsilon_{gd} \cdot l$$

ここに、 2δ : 継手部の抜出し量 (m)

ε_{gd} : 地震動により生じた地盤に生じる歪み

l : 管の有効長 (m)

$$\varepsilon_{gd} = n \cdot \frac{\pi}{L} \cdot Uh(z)$$

ここに、 n : 不均一係数 (表 4-6 参照)

L : 地震時の波長 (m)

b) 地震動による抽出し量の算定

下記の条件を基に、地震動による抽出し量を算定する。

不均一係数	$\eta = 1.0$
地震動の波長	$L = 160.23 \text{ (m)}$
管軸位置での地盤水平変位振幅	$U_h(1.386) = 0.2280 \text{ (m)}$
管の有効長	$l = 5.00 \text{ (m)}$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{gd} &= \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z) \\ &= 1.0 \times \frac{\pi}{160.23} \times 0.2280 = 0.447 \text{ (\%)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2\delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l \\ &= 0.00447 \times 5.00 \\ &= 0.02235 \text{ (m)} = 22.35 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

(iii) 傾斜地の場合の影響

a) 計算式

非液状化の人工改変地の傾斜地盤における永久ひずみによる抽出し量を算出する計算式は以下の通りである。

$$\delta = \varepsilon_g \cdot l$$

ここに、 ε_g : 傾斜地盤の永久ひずみ (= 0.013)
 l : 地震時の波長 (= 5.00m)

b) 傾斜地の影響による抽出し量の算定

$$\begin{aligned}\delta &= \varepsilon_g \cdot l \\ &= 0.013 \times 5.00 = 00.65 \text{ (m)} \\ &= 65.00 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

(iv) 地盤の硬軟急変部を通過する場合の影響

a) 計算式

地盤の硬軟急変部を通過する管きよのマンホールからの抽出し量は以下の通りである。

$$\delta = \varepsilon_{gd2} \cdot l$$

ここに、 ε_{gd2} : 硬軟急変部に生じるひずみ (= 0.005)
 l : 管の有効長 (m)

b) 地盤硬軟急変部の抽出し量の算定

$$\delta = 0.005 \times 5.00 = 25.00 \text{ (mm)}$$

③ 管渠と管渠継手部の計算

(i) 地震動による屈曲角

a) 計算式

地震動による屈曲角を算出する計算式は、以下の通りである。

$$2\theta = \left(\frac{2\pi}{T_s}\right)^2 \cdot \frac{Uh(z)}{V_{SD}^2} \cdot l$$

ここに、 2θ ：継手部の屈曲角 (rad)

T_s ：表層地盤の固有周期 (s)

$Uh(z)$ ：検討位置での最大変位振幅 (m)

V_{SD} ：表層地盤の動的せん断弾性波速度 (m/s)

l ：管の有効長 (m)

b) 地震動による屈曲角の算定

表層地盤の固有周期

$$T_s = 1.412 \text{ (s)}$$

検討位置での変位振幅

$$Uh(1.386) = 0.2280 \text{ (m)}$$

表層地盤の動的せん断弾性波速度

$$V_{SD} = 69.97 \text{ (m/s)}$$

$$\begin{aligned} 2\theta &= \left(\frac{2\pi}{T_s}\right)^2 \cdot \frac{Uh(z)}{V_{SD}^2} \cdot l \\ &= \left(\frac{2\pi}{1.412}\right)^2 \times \frac{0.2280}{69.97^2} \times 5.00 \\ &= 0.264 \text{ (}^\circ\text{)} \end{aligned}$$

(ii) 地震動による抜き出し量の算定

a) 計算式

地震動による抜き出し量を算出する計算式は、以下の通りである。

$$2\delta = \varepsilon_{gd} \cdot l$$

ここに、 2δ ：継手部の抜き出し量 (m)

ε_{gd} ：地震動により生じた地盤に生じる歪み

l ：管の有効長 (m)

$$\varepsilon_{gd} = \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot Uh(z)$$

ここに、 η ：不均一係数 (表 4-6 参照)

L ：地震時の波長 (m)

b) 地震動による抜き出し量の算定

下記の条件を基に、地震動による抜き出し量を算定する。

不均一係数	$\eta = 1.0$
地震動の波長	$L = 160.23 \text{ (m)}$
管軸位置での地盤水平変位振幅	$Uh(1.386) = 0.2280 \text{ (m)}$
管の有効長	$l = 5.00 \text{ (m)}$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{gd} &= \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot Uh(z) \\ &= 1.0 \times \frac{\pi}{160.23} \times 0.2280 = 0.447 \text{ (\%)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2\delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l \\ &= 0.447 \times 5.00 \\ &= 0.02235 \text{ (m)} = 22.35 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

(iii) 地盤沈下による屈曲角の算定

地盤沈下による屈曲角の算出を行う計算式は、次式の通りである。

$$2\theta = 2 \cdot \tan^{-1}\left(\frac{4h}{Lo^2} \cdot l\right)$$

ここに、 2θ : 継手部の屈曲角 (rad)

h : 沈下量 (m)

Lo : マンホールスパン (m)

l : 管の有効長 (m)

液状化層の厚さは、3.3m であることから、沈下量 h は下記の通りに推定する。

$$\begin{aligned}\text{沈下量 } h &= \text{液状化厚さ} \times 5\% \\ &= 3.3\text{m} \times 5\% \\ &= 0.165 \text{ (m)}\end{aligned}$$

沈下量 $h=0.165\text{m}$ 、マンホールスパン $Lo=40\text{m}$ 、管の有効長 $l=5.00\text{m}$ の場合、屈曲角は、

$$\begin{aligned}2\theta &= 2 \cdot \tan^{-1}\left(\frac{4h}{Lo^2} \cdot l\right) \\ &= 2 \times \tan^{-1}\left(\frac{4 \times 0.165}{40.00^2} \times 5.00\right) \\ &= 0.00412 \text{ (rad)} = 0.236 \text{ (}^\circ\text{)}\end{aligned}$$

(iv) 地盤沈下による抜出し量の算定

地盤沈下による抜出し量の算出を行う計算式は、次式の通りである。

$$2\delta = \frac{l}{\cos\{(n-1)/2 \cdot \theta\}} - l$$

ここに、 2δ : 継手部の抜出し量 (m)
 l : 管の有効長 (m)
 n : マンホールスパンの管渠本数 (本)

管の有効長 $l=5.00\text{m}$ 、管渠本数 $n=8$ の場合、抜出し量は

$$2\delta = \frac{l}{\cos\{(n-1)/2 \cdot \theta\}} - l$$

$$= \frac{5.00}{\cos\{(8-1)/2 \times 0.00412\}} - 5.00$$

$$= 0.00052 \text{ (m)} = 0.52 \text{ (mm)}$$

(v) 傾斜地盤の場合の影響

非液状化地盤(傾斜地盤)における抜出し量を算出する計算式および計算結果は以下の通りである。

$$\delta = \varepsilon_g \cdot l$$

$$= 0.013 \times 5.00$$

$$= 0.065 \text{ (m)}$$

ここに、 δ : 継手部の抜出し量 (m)
 ε_g : 地盤の永久歪み (=1.3%)
 l : 管の有効長 (m)

(vi) 地盤の硬軟急変部を通過する場合の影響

地盤の硬軟急変部を通過する場合の管渠と管渠の継手部の抜出し量を算出する計算式及び計算結果は以下の通りである。

$$\delta = \varepsilon_{gd2} \cdot l$$

$$= 0.005 \times 5.00$$

$$= 0.025 \text{ (m)}$$

ここに、 δ : 継手部の抜出し量 (m)
 ε_{gd2} : 硬軟急変部に生じるひずみ (=0.005)
 l : 管の有効長 (m)

(vii) 浅層不整形地盤を通過する場合の影響

a) 浅層不整形地盤における地盤ひずみ

$$\varepsilon_{G2} = (\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2)^{1/2}$$

$$= (0.00447^2 + 0.003^2)^{1/2}$$

$$= 0.00538 = 0.538\%$$

ここに、 ε_{G2} : 浅層不整形地盤における地盤ひずみ
 ε_{G1} : 設計地点における一様地盤ひずみ (ε_{gd})
 ε_{G3} : 基礎傾斜角が大きいことにより応答変位量に差が出て発生する

ひずみ (= 0.003)

ε_{gd} : 地震動により地盤に生じるひずみ (= 0.00447)

b) 抜き出し量の算定

(viii) 浅層不整形地盤での抜き出し量は、下式により求める。

$$\begin{aligned} 2\delta &= \varepsilon_{G2} \cdot l \\ &= 0.00538 \times 5.00 \\ &= 0.0269 \text{ (m)} = 27 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

(ix) 管体部の応力の計算 (管軸方向引張応力度計算法)

a) 計算式

$$\begin{aligned} \sigma_X &= (\sigma_L(x)^2 + \sigma_B(x)^2)^{1/2} \\ \sigma_L(x) &= \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot Uh(z)}{L} \cdot E \\ \sigma_B(x) &= \alpha_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot Bc \cdot Uh(z)}{L^2} \cdot E \end{aligned}$$

ここに、 σ_X : 二乗和の平方根で重畳した場合の合成応力 (N/mm²)

σ_L 、 σ_B : 埋設管の軸方向及び曲げ方向応力 (N/mm²)

α_1 、 α_2 : 地盤変位の伝達係数

$Uh(z)$: 管軸位置の水平方向変位振幅 (m)

E : ヤング係数 (N/mm²)

b) 管体部の応力の算定

α_1 、 α_2 は地盤に生じた歪みの管路に対する伝達率であり、ポリエチレン管は地盤との滑りを考慮せず、 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$ とする。

$$\begin{aligned} \sigma_L(x) &= \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot Uh(z)}{L} \cdot E \\ &= 1.0 \cdot \frac{\pi \times 0.2280}{160.23} \cdot 980 \\ &= 4.381 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_B(x) &= \alpha_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot Bc \cdot Uh(z)}{L^2} \cdot E \\ &= 1.0 \cdot \frac{2 \times \pi^2 \times 0.372 \times 0.2280}{160.23^2} \cdot 980 \\ &= 0.064 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_X &= (\sigma_L(x)^2 + \sigma_B(x)^2)^{1/2} \\ &= (4.381^2 + 0.064^2)^{1/2} \\ &= 4.39 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

(4) 計算結果

R型3種呼び径300の耐震性について検討した結果を表4-7に示す。

表4-7 RP-3 呼び径300の耐震計算結果

条 件			レベル1地震動			レベル2地震動			
			計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定	
計算結果	応力 (N/mm ² =MPa)		1.62	6.4	○	4.39	27	○	
	地震動	屈曲角 (°)	0.05	2.5	○	0.264	5	○	
		拔出し量 (mm)	4.7	37	○	22.4	75	○	
	地盤沈下	屈曲角 (°)	—			0.236	5	○	
		拔出し量 (mm)	—			0.6	75	○	
	地盤硬軟急変部	地盤ひずみ (%)	0.25	—		0.5	—		
		拔出し量 (mm)	12.5	37	○	25.0	75	○	
	傾斜地盤	永久ひずみ (%)	—			1.3	—		
		拔出し量 (mm)	—			65.0	75	○	
	浅層不整形地盤による拔出し量 (mm)		15.7	37	○	27.0	75	○	
	マンホール継手部	地震動	本管との回転角 (°)	0.008	2.5	○	0.045	5	○
			拔出し量 (mm)	4.7	37	○	22.4	75	○
		地盤硬軟急変部	地盤ひずみ (%)	0.25	—		0.5	—	
			拔出し量 (mm)	12.5	37	○	25.0	75	○
傾斜地盤		永久ひずみ (%)	—			1.3	—		
		拔出し量 (mm)	—			65.0	75	○	

計算結果から、発生する継手の屈曲角、拔出し量、管軸方向応力はすべて管体の性能値（許容値）以下であり、十分安全であると考えられる。このことから、有効長5mの外圧管（ゴム輪継手）による配管は十分な耐震性を有することが確認できた。

4.3 内圧管の耐震計算例

下水道用リブ付ポリエチレン管(内圧管 SWP) $\phi 300$ を開削工法により、土被り 1.20m に埋設した場合の耐震設計結果を以下に示す。耐震設計計算の方針は「下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年度版)」の「一体構造管きよの耐震設計」に基づく。

4.3.1 計算条件

(1) 設計条件

埋設条件及び耐震設計条件は表 4-8 に示すとおりとした。

なお、マンホールは下水道用リブ付ポリエチレン管に比べ相対的に大きい構造物のため、地震時のマンホール間隔の変動はないものとする。

表 4-8 SWP $\phi 300$ の埋設条件

項 目		設計値	
管仕様	外径	330mm	
	管厚(換算肉厚)	17mm	
埋設条件	設計内圧	0.5MPa	
	管頂土被り	1.20m	
	活荷重	T-25	
	温度変化	15°C	
	軟弱地盤区間	50m	
	地盤沈下量	0.39m	
耐震設計条件	地域別補正係数(C_z)	1.0	
	標準設計水平震度	0.15	
	管軸方向,管軸直角方向の単位長さ当りの地盤剛性係数に対する定数(C_1, C_2)	C_1	1.5
		C_2	3.0
	管軸方向の地盤変位の伝達係数(α_1)	1.0	
	管軸直角方向の地盤変位の伝達係数(α_2)	1.0	
重畳係数	3.12		

(2) 地盤モデル

① 地盤条件

土質モデル:「下水道施設耐震指針計算例—管路施設編」((公社)日本下水道協会)の標準土質モデルⅡとする。

表 4-9 標準モデルタイプⅡの土質条件

層番号	下端深度 (GL-m)	層厚 (m)	土質	単位体積重量 (kN/m ³)	平均 N 値	せん断弾性波速度 V _{si} (m/s)	堆積時代
1	1.00	1.00	砂質土	17.0	2	71.5	沖積層
2	2.30	1.30	砂質土	17.0	5	86.8	沖積層
3	4.90	2.60	礫質土	19.0	25	121.9	沖積層
4	12.40	7.50	砂質土	18.0	16	110.9	沖積層
5	18.00	5.60	粘性土	16.0	3	134.0	沖積層
6	基盤面	---	---				

② 地域別補正係数の地域区分: A地区 ($C_z=1.0$)

4.3.2 管の安全照査のための性能値

安全照査に用いる下水道用リブ付ポリエチレン管(内圧管)の性能値は、レベル1地震動については、使用限界値(許容値)、レベル2地震動については終局限界値(試験性能値)とする。

また、内圧管は管体の接合方式が融着接合により、鋼管と同様、管路としての変形能力を管体材料にもたせる一体管路構造と考えることができるため、照査項目は管軸方向のひずみで行う。

表4-10 SWP φ300の安全照査のための性能値

項目	レベル1地震動	レベル2地震動
ひずみ	1.5%	3.0%

4.3.3 常時の設計

(1) 内圧による軸方向ひずみ

$$\begin{aligned} \varepsilon_{Pi} &= \nu \cdot \frac{Pi \cdot (Bc - t)}{2 \cdot t \cdot E} \\ &= 0.35 \times \frac{0.5 \times (0.330 - 0.017)}{2 \times 0.017 \times 980} = 0.164 \text{ (\%)} \end{aligned}$$

ここに、 ε_{Pi} : 内圧による軸方向ひずみ
 ν : ポアソン比(ポリエチレン) (0.35)
 Pi : 設計内圧 (0.5MPa)
 Bc : 管外径 (0.330m)
 t : 管厚 (0.017m)
 E : ヤング係数 (980MPa)

(2) 活荷重による軸方向ひずみ

$$\begin{aligned} Wm &= \frac{2P(1+i) \cdot Bc \cdot \beta}{C(a+2H \cdot \tan\theta)} \\ &= \frac{2 \times 100 \times (1 + 0.5) \times 0.330 \times 0.9}{2.75 \times (2 \times 1.20 + 0.20)} = 12.46 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ \varepsilon_{P0} &= \frac{0.322 \cdot Wm}{Zp \cdot E} \cdot \left(\frac{E \cdot I}{Kv \cdot Bc} \right)^{1/2} \end{aligned}$$

$$= \frac{0.322 \times 12.46}{1.24 \times 10^{-3} \times 980} \cdot \left(\frac{980 \times 2.05 \times 10^{-4}}{9800 \times 0.330} \right)^{1/2} = 0.082 \text{ (\%)}$$

ここに、 ε_{Pi} : 活荷重による軸方向ひずみ

W_m : 活荷重 (kN/m)

P : T-25の後輪荷重 (100kN)

C : 車体占有幅 (2.75m)

a : 車輪接地長さ (0.20m)

H : 土被り (1.20m)

θ : 分布角 (45°)

i : 衝撃係数 (H によって表4-4の値をとる)

β : 断面力の低減係数 (= 0.9)

Bc : 管外径 (0.330m)

E : ヤング係数 (980MPa)

Zp : 断面係数 ($1.24 \times 10^{-3} \text{m}^3$)

I : 断面二次モーメント ($2.05 \times 10^{-4} \text{m}^4$)

Kv : 鉛直方向地盤反力係数 (9800kN/m^3)

(3) 温度変化による軸方向ひずみ

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \alpha \cdot \Delta t \\ &= 12 \times 10^{-5} \times 15 = 0.0018 \\ &= 0.180 \text{ (\%)} \end{aligned}$$

ここに、 ε_t : 温度変化による軸方向ひずみ

α : ポリエチレン管の線膨張係数 (12×10^{-5})

Δt : 温度変化 (15°C)

(4) 不同沈下による軸方向ひずみ

不同沈下によって発生する軸方向ひずみの計算を図4-1のモデルにより行う。

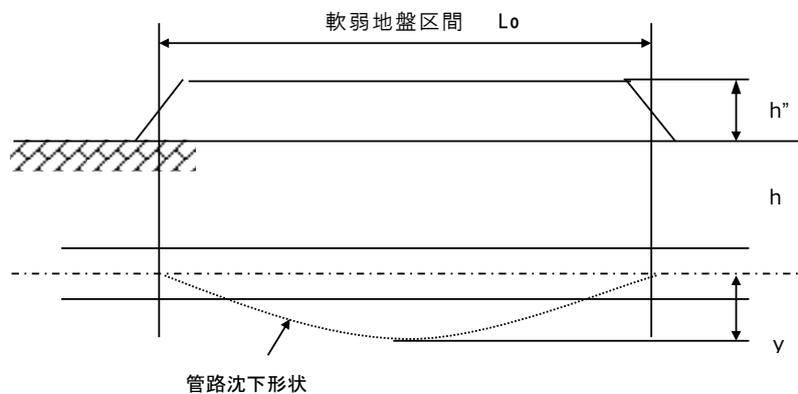


図4-1 不同沈下想定図

融着した下水道用リブ付ポリエチレン管を弾性床土上の梁とし、最大曲げモーメントは構造力学公式集(土木学会)により、以下の M_1 または M_2 の大きな値によって、安全側に近似する事ができる。

$$M_1 = \frac{Wd}{2\beta o^2} \cdot \exp\left(-\frac{\beta oLo}{2}\right) \cdot \sin \frac{\beta oLo}{2} \approx 0 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

$$M_2 = 0.3877 \cdot \frac{Wd}{\beta o^2} \cdot \{0.2079 + \exp(-\beta oLo) \cdot (\sin \beta oLo - \cos \beta oLo)\}$$

$$= 0.0293 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

$$\beta o = \left(\frac{K_{g2}}{4EI}\right)^{1/4} = 4.453$$

$$Wd = \gamma t \cdot h \cdot Bc = 7.13 \text{ (kN/m)}$$

ここに、 Lo : 軟弱地盤区間 (50m)

Wd : 鉛直土荷重 (kN/m)

γt : 土の単位重量 (18kN/m³)

h : 土被り (1.20m)

E : ヤング係数 (980MPa)

I : 断面二次モーメント ($2.05 \times 10^{-4} \text{m}^4$)

K_{g2} : 軸直角方向に関する地盤の剛性係数 (360901kN/m²)

(※ $K_{g2} = C_2 \cdot rt/g \cdot V_S$ P63参照)

よって、最大発生ひずみ ε_{PI} は以下の通りとなる。

$$\varepsilon_{PI} = \frac{M}{E \cdot I} \cdot \frac{Bc}{2}$$

$$= \frac{0.0293}{980 \times 2.05 \times 10^{-4}} \cdot \frac{0.330}{2} = 0.002 \text{ (%)}$$

4.3.4 耐震設計

(1) 表層地盤の特性値の算定

① 平均せん断弾性波速度

i 番目の地盤の平均せん断弾性波速度 V_{si} は、表 4-11 により求める。

基本式 $V_{si} = a_i \cdot N_i^{b_i}$

表 4-11 せん断弾性波速度算出に係る係数

土質区分		係数 <i>a</i>	係数 <i>b</i>
洪積層	粘性土	129	0.183
	砂質土	123	0.125
沖積層	粘性土	123	0.0777
	砂質土	61.8	0.211

ここに、 V_{si} : *i* 番目の地盤の平均せん断弾性波速度 (m/s)

N_{si} : 標準貫入試験による *i* 番目の地盤の平均 N 値

i: 当該地盤が地表面から基盤層まで *n* 層に区分されるとき、地表面から *i* 番目の地層の上面をいう。

※ ここでいう基盤面とは、粘性土層の場合は N 値が 25 以上、砂質土層の場合は N 値が 50 以上の地層の上面、または動的せん断弾性波速度が 300m/s 以上の地盤の上面をいう。

② 表層地盤の固有周期

表層地盤の固有周期は、下式により求める。

$$T_G = \sum_{i=1}^n \frac{4 \cdot H_{si}}{V_{si}} = 0.640 \text{ (s)}$$

ここに、 T_G : 表層地盤の固有周期 (s)

H_{si} : *i* 番目の地盤の厚さ (m)

表 4-12 各層のせん断弾性波速度

層番号	層厚 H_{si} (m)	平均 N 値	せん断弾性波速度 V_{si} (m/s)	H_{si}/V_{si} (s)
1	1.00	2	71.5	0.014
2	1.30	5	86.8	0.015
3	2.60	25	121.9	0.021
4	7.50	16	110.9	0.068
5	5.60	3	134.0	0.042
合計	18.00	---	---	0.160

③ 地震動の波長

(i) 計算式

地震動の波長を算出する計算式は、以下の通りである。

$$L = \left(\frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \right)$$

$$L_1 = V_{SD} \cdot T_G$$

$$L_2 = V_{SDB} \cdot T_G$$

ここに、 L : 地震動の波長 (m)

V_{SD} : 表層地盤の動的せん断弾性波速度 (m/s)

V_{SDB} : 基盤層の動的せん断弾性波速度 (m/s)

(ii) 表層地盤及び基盤層の動的せん断弾性波速度

表層地盤の動的せん断弾性波速度は、下式により求める。

$$V_{SD} = \frac{4 \cdot H}{T_G} = 112.50 \text{ (m/s)}$$

ここに、 H ：表層地盤の厚さ (= 18.00m)

T_G ：表層地盤の固有周期 (=0640s)

基盤層の動的せん断弾性波速度は、下式により求める。

$$V_{SDB} = 205 \cdot N^{0.125} \text{ (} 1 \leq N \leq 50 \text{)} = 334.29 \text{ (m/s)}$$

ここに、 N ：基盤層の平均 N 値 ($N=50$)

(iii) 地盤の波長 L の算定

表層地盤の動的せん断弾性波速度及び基盤層の動的せん断弾性波速度は以下の通りであり、これを基に地震時の波長を算出する。

$$\text{表層地盤の動的せん断弾性波速度} \quad V_{SD} = 112.50 \text{ (m/s)}$$

$$\text{基盤層の動的せん断弾性波速度} \quad V_{SDB} = 334.29 \text{ (m/s)}$$

$$L = 107.74 \text{ (m)}$$

$$L_1 = 72.00 \text{ (m)}$$

$$L_2 = 213.95 \text{ (m)}$$

④ 地盤の剛性係数

埋設管路の管軸方向および管軸直角方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数は、次式により求める。

$$K_{g1} = C_1 \cdot \frac{\gamma \text{ teq}}{g} \cdot V_S^2$$

$$K_{g2} = C_2 \cdot \frac{\gamma \text{ teq}}{g} \cdot V_S^2$$

$$\gamma \text{ teq} = \frac{\sum \gamma \text{ ti} \cdot H_i}{H} = 18 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

ここに、 K_{g1} 、 K_{g2} ：埋設管路の管軸方向および管軸直角方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数 (kN/m²)

$\gamma \text{ teq}$ ：表層地盤の換算単位体積重量 (kN/m³)

g ：重力加速度 (=9.8m/s²)

V_S ：埋戻土の平均せん断弾性波速度 (m/s)

C_1 、 C_2 ：埋設管路の管軸方向及び管軸直角方向の単位長さ当たりの地盤の伝達係数に対する定数 $C_1=1.5$ 、 $C_2=3.0$

ここで、埋戻土の N 値 : $N=5.9$
 埋戻土の土質区分 : 砂質土
 埋戻土の堆積時代 : 堆積世
 $V_s = 205 \times 5.9^{0.125} = 255.92(\text{m/s})$

$$Kg_1 = C_1 \cdot \frac{\gamma teq}{g} \cdot V_s^2$$

$$= 1.5 \times \frac{18}{9.8} \times 255.92^2 = 180451 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$Kg_2 = C_2 \cdot \frac{\gamma teq}{g} \cdot V_s^2$$

$$= 3.0 \times \frac{18}{9.8} \times 255.92^2 = 360901 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

⑤ 地盤の伝達係数

α_1 、 α_2 は地盤に生じた歪みの管路に対する伝達率であり、ポリエチレン管は地盤との滑りを考慮せず、 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$ とする。

(2) レベル 1 地震動における発生ひずみ

① 水平方向変位振幅

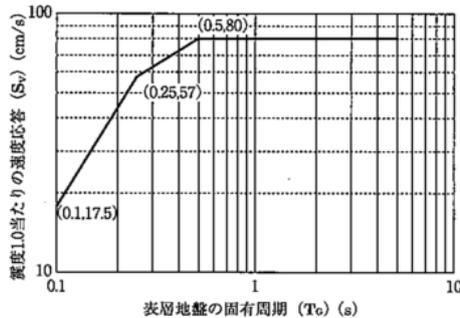
表層地盤の固有周期 T_G における設計応答速度は以下の通りであり、これらを基に水平方向変位振幅を算定する。

設計応答速度 $S_v = 0.80 \text{ (m/s)}$
 表層地盤の固有周期 $T_G = 0.640 \text{ (s)}$
 管軸深さ $z = \text{土被り} + \text{管外径}/2 = 1.365 \text{ (m)}$
 基盤面の水平震度 $k'_{h1} = 0.15 \times C_z$
 地域別補正係数 $C_z = 1.0$

$$\text{水平方向振幅 } U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K_{h1}' \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right)$$

$$U_h(1.365) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.80 \times 0.640 \times 0.15 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.365}{2 \times 18.00}\right)$$

$$= 0.016 \text{ (m)}$$



「水道施設耐震工法指針・解説」196 ページの抜粋

② 発生ひずみ

$$\varepsilon_G = \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot Uh(z)$$

$$\varepsilon_{1L} = \alpha_1 \cdot \varepsilon_G$$

$$\varepsilon_{1B} = \alpha_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot Bc}{L} \cdot \varepsilon_G$$

$$\varepsilon_{1X} = (\gamma \cdot \varepsilon_{1L}^2 + \varepsilon_{1B}^2)^{1/2}$$

ここに、 ε_{1X} ：軸ひずみと曲げひずみの合成ひずみ

ε_{1L} 、 ε_{1B} ：埋設管の軸方向及び曲げ方向ひずみ

ε_G ：地盤ひずみ（管軸方向）

α_1 、 α_2 ：地盤変位の伝達係数（=1.0）

$Uh(z)$ ：管軸位置の水平方向変位振幅（0.016m）

η ：不均一係数（表4-6 参照）

L ：地震の波長（=107.74m）

γ ：重畳係数（=3.12）

$$\varepsilon_G = 1.0 \times \frac{\pi}{107.74} \times 0.016 = 4.5 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{1L} = 1.0 \times 4.5 \times 10^{-4} = 4.5 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{1B} = 1.0 \times \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.330}{107.74} \cdot 4.5 \times 10^{-4} = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{1X} &= \{3.12 \times (4.5 \times 10^{-4})^2 + (1.0 \times 10^{-5})^2\}^{1/2} \\ &= 7.9 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

(3) レベル2地震動における発生ひずみ

① 水平方向変位振幅

表層地盤の固有周期 T_G における設計応答速度は以下の通りであり、これらを基に水平方向変位振幅を算定する。

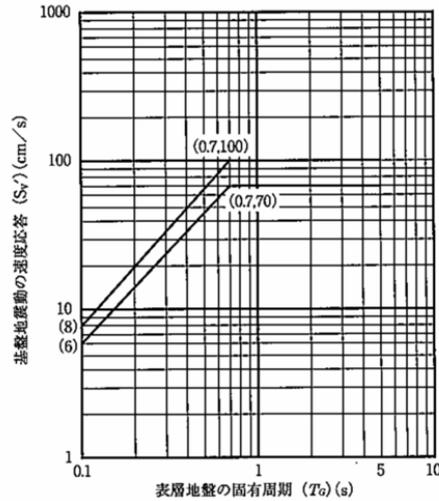
設計応答速度 $S_v = 0.89$ (m/s)

表層地盤の固有周期 $T_G = 0.640$ (s)

管軸深さ $z = \text{土被り} + \text{管外径}/2 = 1.365$ (m)

$$\text{水平方向振幅} \quad Uh(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right)$$

$$Uh(1.365) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.89 \times 0.640 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.365}{2 \times 18.00}\right) = 0.115 \text{ (m)}$$



「水道施設耐震工法指針・解説」197 ページの抜粋

② 発生ひずみ

$$\varepsilon_G = \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot Uh(z)$$

$$\varepsilon_{2L} = \alpha_1 \cdot \varepsilon_G$$

$$\varepsilon_{2B} = \alpha_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot Bc}{L} \cdot \varepsilon_G$$

$$\varepsilon_{2X} = (\varepsilon_{2L}^2 + \varepsilon_{2B}^2)^{1/2}$$

ここに、 ε_{2X} ：軸ひずみと曲げひずみの合成ひずみ

ε_{2L} 、 ε_{2B} ：埋設管の軸方向及び曲げ方向ひずみ

ε_G ：地盤ひずみ（管軸方向）

α_1 、 α_2 ：地盤変位の伝達係数（=1.0）

$Uh(z)$ ：管軸位置の水平方向変位振幅（0.115m）

η ：不均一係数（表4-6 参照）

L ：地震の波長（=107.74m）

$$\varepsilon_G = 1.0 \times \frac{\pi}{107.74} \times 0.115 = 3.3 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{2L} = 1.0 \times 3.3 \times 10^{-3} = 3.3 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{2B} = 1.0 \times \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.330}{107.74} \cdot 3.3 \times 10^{-3} = 6.5 \times 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{2X} = \{(3.3 \times 10^{-3})^2 + (6.5 \times 10^{-5})^2\}^{1/2} = 3.3 \times 10^{-3}$$

(4) 地盤液状化による管体発生ひずみ

① 地盤の液状化に伴う側方流動によるひずみ

$$\begin{aligned} \varepsilon_{p2} &= \frac{\tau' \cdot L_{P1}}{E \cdot t} \\ &= \frac{1.0 \times 10^{-3} \times 100}{980 \times 0.017} = 0.600 \text{ (\%)} \end{aligned}$$

ここに、 ε_{p2} : 管体発生ひずみ

τ' : 液状化した地盤の最大摩擦力 (1.0×10^{-3} MPa)

L_{P1} : 変位区間長さ (100m)

E : ヤング係数 (980MPa)

t : 管厚 (0.017m)

② 地盤液状化に伴う地盤沈下によるひずみ

地盤液状化に伴う地盤沈下により発生するマンホール接続部のひずみは、管路を両端固定梁と仮定し、マンホールスパン中央にて地盤沈下が発生した場合に生ずるひずみを計算する。

$$\begin{aligned} M &= \frac{W \cdot L_P}{4} \\ h_s &= \frac{W \cdot L_P^3}{192 \cdot E \cdot I} \end{aligned}$$

ここに、 M : 最大曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{m}$)

W : 中心部における荷重 (N)

L_P : 管路長さ(マンホールスパン) (50m)

h_s : マンホールスパン中央での沈下量 (0.39m)

E : ヤング係数 (980MPa)

I : 断面二次モーメント ($2.05 \times 10^{-4} \text{m}^4$)

上記より、発生ひずみは

$$\begin{aligned} \varepsilon_{p4} &= \frac{M}{E \cdot I} \cdot \frac{B_C}{2} = \frac{24 \cdot B_C \cdot h_s}{L_P^2} \\ &= \frac{24 \times 0.330 \times 0.39}{50^2} = 0.124 \text{ (\%)} \end{aligned}$$

(5) 計算結果

内圧管(SWP φ300)の耐震性について検討した結果を表4-13に示す。

表4-13 SWP φ300の耐震計算結果

項 目		レベル1地震動			レベル2地震動		
		計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定
常 時 ひずみ (%)	設計内圧	0.164	—	—	0.164	—	—
	活荷重	0.081	—	—	0.081	—	—
	温度変化	0.180	—	—	0.180	—	—
	不同沈下	0.002	—	—	0.002	—	—
地震時ひずみ (%)		0.079	—	—	0.334	—	—
ひずみの合計 (常時+地震時) (%)		0.507	1.5	○	0.762	3.0	○
地盤 液状化 (%)	側方流動	—	—	—	0.600	3.0	○
	地盤沈下	—	—	—	0.124	3.0	○

計算結果から、発生するひずみはすべて管体の性能値（許容値）以下であり、十分安全であると考えられる。このことから、内圧管（EF継手）による配管は十分な耐震性を有することが確認できた。

5. 参考資料

5.1 外圧管の布設歩掛り

外圧管の人力据付歩掛りを表5-1に、機械据付歩掛りを表5-2に示す。

表5-1 外圧管の人力据付歩掛表

管種	呼び径	人力据付工（10m当たり）	
		特殊作業員(人)	普通作業員(人)
1種管	300	0.29	0.49
	350	0.38	0.89
	400	0.40	1.02
	450	0.45	1.29
	500	0.49	1.49
2種管	300	0.27	0.39
	350	0.32	0.64
	400	0.36	0.82
	450	0.42	1.13
	500	0.46	1.37
	600	0.52	1.59
3種管	300	0.27	0.39
	350	0.30	0.52
	400	0.35	0.75
	450	0.38	0.94
	500	0.45	1.26
	600	0.49	1.51

表 5 - 2 外圧管の機械据付歩掛表

管種	呼び径	機械据付工 (10m 当たり)			
		特殊作業員 (人)	普通作業員 (人)	トラッククレーン	
				能力	運転時間 (h)
1 種 管	350	0.31	0.35	4.8~ 4.9 t 吊	0.24
	400	0.33	0.40		0.25
	450	0.38	0.54		0.28
	500	0.42	0.72		0.32
	600	0.49	1.06		0.43
	700	0.56	1.38		0.55
	800	0.59	1.55		0.65
	900	0.64	1.75		0.82
	1000	0.67	1.87		0.99
2 種 管	450	0.35	0.45		0.26
	500	0.39	0.60		0.30
	600	0.45	0.75		0.36
	700	0.52	1.19		0.48
	800	0.58	1.48		0.60
	900	0.61	1.66		0.73
	1000	0.65	1.80	0.79	
3 種 管	450	0.31	0.35	0.25	
	500	0.37	0.51	0.28	
	600	0.42	0.74	0.32	
	700	0.48	0.98	0.40	
	800	0.55	1.33	0.53	
	900	0.60	1.58	0.67	
	1000	0.62	1.69	0.77	

5.2 内圧管の布設歩掛り

内圧管の機械据付歩掛りを表5-3に示す。

表5-3 内圧管の機械据付歩掛表

呼び径 (mm)	据付工 (10m当たり)			継手工 (1箇所当たり)			機械器具損料 及び消耗品
	配管工 (人)	普通作業員 (人)	トラッククレーン (日)	世話役 (人)	配管工 (人)	普通作業員 (人)	
300	0.26	0.33	0.25	0.25	0.50	0.25	労務費の 25%
350	0.31	0.33	0.25	0.25	0.50	0.25	
400	0.36	0.51	0.25	0.25	0.50	0.25	
450	0.39	0.68	0.25	0.25	0.50	0.25	
500	0.43	0.82	0.25	0.25	0.50	0.25	
600	0.48	1.05	0.26	0.26	0.52	0.26	
700	0.54	1.27	0.33	0.33	0.66	0.33	
800	0.58	1.47	0.36	0.36	0.72	0.36	
900	0.62	1.62	0.40	0.40	0.80	0.40	
1000	0.66	1.78	0.40	0.40	0.80	0.40	

※1 機械器具とは、レバーブロック、発電機、EFコンローラー等を示す。

※2 消耗品とは、エタノール、キムタオル等の融着部の洗浄に使用するもの、および燃料代を示す。

※3 -10℃以下で施工を行なう場合は、ジェットヒーターを別途に計上するものとする。

※4 水密試験等実施の場合の歩掛りは別途に計上するものとする。

一部転載並びに引用箇所

本技術資料は公益社団法人日本下水道協会規格書「下水道用リブ付ポリエチレン管（JSWAS K-15-2014）」より一部転載並びに引用しております。

技術資料	公益社団法人日本下水道協会発行規格書 「下水道用リブ付ポリエチレン管（JSWAS K-15）」	
	内 容	ページ
P2	表-1 管の種類	P2
P6	参考資料1 設計と適用	P51
P7	表1-1 設計に用いる諸元	P52
P8	図1-2 土圧分布状態	P53
P10	表1-5 基礎条件と係数の関係	P55
P11	表1-6 最大曲げ応力とたわみ率	P56
P12	参考資料2 流速及び流量	P65
P13	参考資料3 施工標準	P70
P13,14	図3-1 管の保管 表3-1 積み重ね段数 表3-2 工具類	P70,71
P15	表3-3 使用挿入機 表3-4 滑剤使用量	P72
P16	図3-3 管の接合状態 図3-4 管の芯出し方法 図3-5 杭による管の仮固定	P72,73
P17	図3-6 管底高さの確認 図3-7 心間距離	P73,74
P18	図3-8 支管の接続方法 表3-5 接合剤使用量	P75
P19	図3-9 調整用管の必要長さの決め方 図3-10 コンクリートマンホールとの接合	P76
P20	図3-11 副管の設置例 図3-12 標準配管例	P77
P21	図3-13 基礎工,埋戻し工の区分	P78
P22	表3-6 埋戻し材料とその適性 表3-7 締固め機器の選定例	P79
P23	図3-14 良質地盤の基礎 図3-15 設置断面	P80
P24	図3-16 ソイルセメント工法及びベットシート工法 図3-17 軟弱地盤における緩衝区間の設置	P81
P25	図3-18 管底側部の基礎工材料の盛り付け 図3-19 副管余堀り部の埋戻し	P81,82
P26	図1-4 設計の手順	P57
P27	表1-11 設計に用いる寸法諸元	P61
P28	図1-5 土圧分布状態	P58
P29	図1-6 活荷重の影響 表1-8 衝撃係数	P59
P30	表1-10 基礎条件と係数の関係	P61
P31	表1-12 管の最大曲げ応力とたわみ率	P63

P33	図2-3 設計の手順	P69
P34	図3-23 管の保管	P85
P35	表3-8 管の積み重ね段数 図3-9 工具類	P85
P36	図3-24 芯出しの方法例 図3-25 杭による管の仮固定 図3-26 官底の確認	P86
P37	図3-27 管体の接合 表3-10 使用挿入機	P87
P38	図3-28 基礎工,埋戻し工の区分 図3-29 基礎の継手掘り	P88

下水道用ポリエチレン管・継手協会

会員名: 株式会社クボタケミックス
積水化学工業株式会社
タキロンシーアイシビル株式会社

事務局: 〒105-8566
東京都港区虎ノ門2-10-4 オークラプレステージタワー
積水化学工業(株) 環境・ライフラインカンパニー内
TEL.03(6748)6496 FAX.03(6748)6564
ホームページ <https://www.pekyo.jp/>

ホームページ
公開中

<https://www.pekyo.jp/>

不許転載

平成17年10月 初 版
令和 3年 4月 改訂5版

下水道用ポリエチレン管・継手協会

下水道用リブ付ポリエチレン管 PA-21-2015

技術資料

資料コード PAA04-02

2021.4.0TH TX