
技 術 資 料

ヒューム管設計施工要覧



全国ヒューム管協会

PDF 版「ヒューム管設計施工要覧」のご使用上の注意事項

このたび、全国ヒューム管協会では、管の設計・施工を行うユーザーのご要望により「ヒューム管設計施工要覧」を電子データ化をおこないました。

PDF 版「ヒューム管設計施工要覧」のご使用上に際しては以下の事項に御注意ください。

①PDF 版「ヒューム管設計施工要覧」は、平成 21 年版ヒューム管設計施工要覧を PDF 化した物です。平成 21 年版「ヒューム管設計施工要覧」は当時の規格や基準を元に編集を行っているので、現在の規格、基準と異なる箇所があります。

また、PDF 版の作成に当たり JIS 規格、下水道協会規格から削除された C 形についてはそれぞれの規格表より削除をしています。

②PDF 版「ヒューム管設計施工要覧」と書籍版「ヒューム管設計施工要覧」とは、フォントや文字の配置等が異なる部分があります。

③ページ番号は、書籍版「ヒューム管設計施工要覧」の白紙部分を削除している為、ページ番号が飛んでいる箇所があります。

平成 25 年 10 月

全国ヒューム管協会 技術委員会

序

今から100年前にヒューム管の製造技術がオーストラリアで発明され、その高品質な管を大量生産できる遠心成形技術をわが国に導入して90年になろうとしています。その間、管の種類や使用分野も拡大され、施工方法も改良が加えられ大幅に変化しております。私共ヒューム管メーカーも、時期に応じた管種の開発や技術の向上をはかり、施工性、経済性、耐久性に優れ、有害物質等の公害の原因を生じさせない環境にやさしい管きょ材として、その役割を果たしてまいりました。また、ヒューム管が90年に及ぶロングセラーを続けているのは、ユーザーの皆様へのヒューム管に対する高い信頼によるものと自負しております。

昭和の経済成長期には、生活環境の面から、河川や湖沼さらに海洋の水質汚濁が大きな社会問題となり、下水道の整備が進められ、近年においては下水道の耐震対策や、集中豪雨による浸水対策が重点課題としてあげられます。ヒューム管もこれらの問題に対応するために、継手の耐震性能、水密性能を向上させた製品を開発してまいりました。近年多発する大規模地震では、ヒューム管は地盤の液状化によって浮き上がることがなく耐震性に優れている事が証明されています。私共ヒューム管メーカーでは今後とも品質や性能の向上に努め、ニーズに合わせたより良い製品を供給したいと考えております。また、ユーザーの皆様へのヒューム管に対する適切な設計、施工及び管理について、十分にご配慮をいただきたく、心よりお願いするものであります。

このようなことから、本協会では皆様の実務に役立つよう、技術資料「ヒューム管設計施工要覧」を昭和52年に刊行し、改訂を重ねて今日に至っております。

本書の内容につきましては、不備な点も多々あることと思いますが、ヒューム管の設計、施工にご活用頂ければ幸いに存じます。

平成21年7月

全国ヒューム管協会

会長 中川 喜久治

改訂について

日頃、ヒューム管の設計及び施工に関する資料として、本要覧が関係者の方々のご利用を頂いていることに感謝いたしております。当協会では、できる限り新しい技術情報を提供できるように、昭和52年の初版刊行以来、主に規格の制定、改正を機に、新製品や新しい技術などを追加して、要覧の改訂を行ってきました。

今回、JIS A 5372 「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」の制定及び改正、(社)日本下水道協会規格JSWAS A-2、A-6の改正、全国ヒューム管協会規格の改正を機に要覧を全体的に見直し、設計編・施工編の構成についても一部変更を行ったものです。

主な見直し点は次のとおりです。

第1編「製品」

管の規格については2009年5月現在における規格を基準とした。

外圧管3種呼び200～700の外圧強さを変更した。

JSWAS A-2、A-6に規定される継手性能を追加した。

N S推進管の先頭管規定を追加した。

E形管とN S管の接続管の規定を追加した。

第2編「設計」

耐震設計の考え方を追加した。

列車荷重を削除した。

推進工法の土圧式を「下水道推進工法の指針と解説-2003」に合わせた。

従来「設計」に記載されていた施工に係わる計算について「施工」に移動した。

第3編「施工」

管の拔出し長の考え方を示し、それに基づく推進管の推力、曲線半径について示した。

推進工法の分類および適用範囲について最新のものを示した。

計算例

各編ごとに記載されていたものを巻末にまとめた。

資料

日本工業規格及び日本下水道協会規格の変遷を示した。

平成21年7月

全国ヒューム管協会

技術委員会

目 次

第1編 製 品

第1章 管の種類	13
第2章 管の規格	14
第3章 管の形状及び寸法	16
3.1 A形	16
3.2 B形	17
3.3 NB形	18
3.4 C形	19
3.5 NC形	20
3.6 NE形	21
3.7 NL形	23
3.8 推進管	25
3.8.1 E形推進管（JSWAS A-2 1999）（JA）	25
3.8.2 NS推進管（JSWAS A-2 1999）（JC）	28
3.8.3 E形小口径推進管（JSWAS A-6 2000）（SJS）	32
3.8.4 NS小口径推進管（JSWAS A-6 2000）（SJB）	36
3.8.5 接続管	40
3.9 異形管	41
3.9.1 T字管及びY字管	41
3.9.2 曲管	42
3.9.3 支管	43
3.9.4 短管	44
3.10 集水管	45
3.11 寸法の許容差	46
第4章 管の強さ	51
4.1 外圧管、異形管及び集水管	51
4.2 推進管	53
4.3 内圧管	54
4.3.1 内圧強さ	54
4.3.2 内圧管の外圧強さ（曲げ強度）	55
4.4 継手性能	56

第5章 継手用製品	57
5.1 シール材	57
5.1.1 形状及び寸法	57
5.1.2 寸法の許容差	66
5.1.3 ゴム輪の材質	67
5.2 止水滑剤	68
 第2編 設 計	
第1章 水理	71
1.1 水理公式	71
1.2 水理特性曲線	72
1.3 管きよの断面の決定	74
第2章 設計	75
2.1 埋設管の耐荷力	75
(1) ひび割れ及び破壊保証モーメント	75
(2) 埋設管に生じる曲げモーメント	75
(3) 埋設管の耐荷力	76
(4) 支承条件による係数	76
[参考] 管内水重及び管の自重による曲げモーメント	78
2.2 活荷重	82
2.2.1 トラック荷重	82
2.2.2 ローラ荷重	83
2.2.3 ブルトーザ荷重	85
2.3 土圧荷重	86
2.3.1 開削工法に用いる土圧	86
2.3.1.1 マーストンの式	86
(1) 溝型	87
(2) 正の突出型	87
(3) 負の突出型	89
2.3.1.2 下水道協会式	91
(1) 矢板引抜きを行わない場合	92
(2) 矢板引抜きを行う場合	95
2.3.2 推進工法に用いる土圧	99
2.3.2.1 緩み土圧（テルツァーギ）の式	99
(1) 均一地盤における緩み土圧の基本式	100
(2) 多層地盤における緩み土圧の基本式	101

2.3.2.2 推進工法における直土圧の式	102
2.4 開削管の設計	103
2.5 推進管の設計	104
2.6 内圧管の設計	108
2.6.1 設計内圧	108
2.6.2 埋設管に生じる曲げモーメントの線荷重への換算	108
2.6.3 管種算定	109
(1) 管種の算定	109
(2) 管種算定及び安全性照査手順	109
2.6.4 内外圧組合せ荷重曲線	110
2.7 360° コンクリート巻立てヒューム管の設計	110
2.7.1 概要	110
2.7.2 断面力算定方法	111
(1) 設計曲げモーメント及び k 値	111
2.7.3 使用限界状態に対する安全性の検討	112
(1) 応力度の算定	112
(2) 設計曲げ引張応力度及び安全照査	113
2.7.4 終局限界状態に対する安全性の検討	114
2.8 耐震設計	116
2.8.1 本体鉛直断面の検討	117
2.8.2 管きよと管きよの継手部の検討	126

第3編 施 工

第1章 開削工法	135
1.1 管の運搬及び保管	135
1.1.1 運搬	135
1.1.2 保管	136
1.2 土工	136
1.2.1 調査	136
1.2.2 掘削	136
1.2.3 水替え	139
1.2.4 埋戻し	139
1.2.5 盛土	140
1.3 基礎	140
1.3.1 基礎の種類	140
1.3.2 基礎の施工	142
1.4 布設工	143

1. 4. 1	管の配置、吊りおろし及び据付け	143
1. 4. 2	接合	145
1. 4. 3	曲線布設	148
1. 4. 4	マンホール又は構造物との取付け	148
1. 4. 5	異形管	149
1. 4. 6	管の布設歩掛り	151
第2章	推進工法	152
2. 1	推進工法の分類	152
2. 2	適用土質	153
2. 3	推進方向の管の耐荷力	154
2. 3. 1	コンクリートの許容平均圧縮応力度	154
2. 3. 2	管の有効断面積	155
2. 3. 3	管の許容耐荷力	155
2. 3. 4	曲線推進の許容耐荷力	156
2. 4	推進力に対する検討	157
2. 4. 1	直線推進	157
2. 4. 2	曲線推進	161
2. 4. 3	許容推進延長	174
2. 4. 4	中押し工法	174
2. 5	その他	174
2. 5. 1	クッション材	174
2. 5. 2	立坑内に埋設される管	176
2. 5. 3	拡幅掘削	176
2. 6	管の取扱い	177
2. 6. 1	標準管	177
2. 6. 2	中押管	181
2. 7	施工上の留意点	182
2. 7. 1	推進力によるもの	182
2. 7. 2	外圧によるもの	183
第3章	管路の補修方法	184
3. 1	管体	184
3. 1. 1	外圧管路	184
3. 1. 2	推進工法による管路	184
3. 1. 3	内圧管路	184
3. 2	継手	185

3. 2. 1 外圧管	185
3. 2. 2 内圧管	185
「参考」コンクリートのひび割れの補修方法および耐久性について	186
1. ひび割れの補修工法	186
2. ひび割れの補修材料	186
3. ひび割れ幅による補修と耐久性	187
4. 許容ひび割れ幅	190

計算例

1. マーストンの式（正の突出型）による呼び径1000の検討	195
2. 下水道協会式による呼び径400の検討	197
3. マーストンの式（溝形）による呼び径600の内圧管の検討	202
4. 呼び径600の360° コンクリート巻立ての検討	204
5. 呼び径1350の推進管の外圧荷重及び推進力の検討	212

資料

資料 1 埋設管の耐荷力	217
資料 2 土圧一覧表	223
資料 3 掘削溝幅とコンクリート基礎の寸法	228
資料 4 流量表	229
資料 5 規格の変遷	234

第1編 製品

第1編 製品

第1章 管の種類

ヒューム管は用途及び埋設方法により、外圧管、内圧管及び推進管に大別される。外圧管は継手部の形状によってA形、B形、NB形、NC形、NE形及びNL形、さらに外圧強さによって1種、2種及び3種に区分される。また推進管は、継手部の形状と性能の違いからE形とNSに、外圧強さにより1種及び2種に、そして軸方向の圧縮強度により50、70、90に区分される。

以上のほか、それぞれの使用目的によって、T字管、Y字管等の異形管及び集水管等の特殊管がある。これらの種類を図1.1-1に示す。

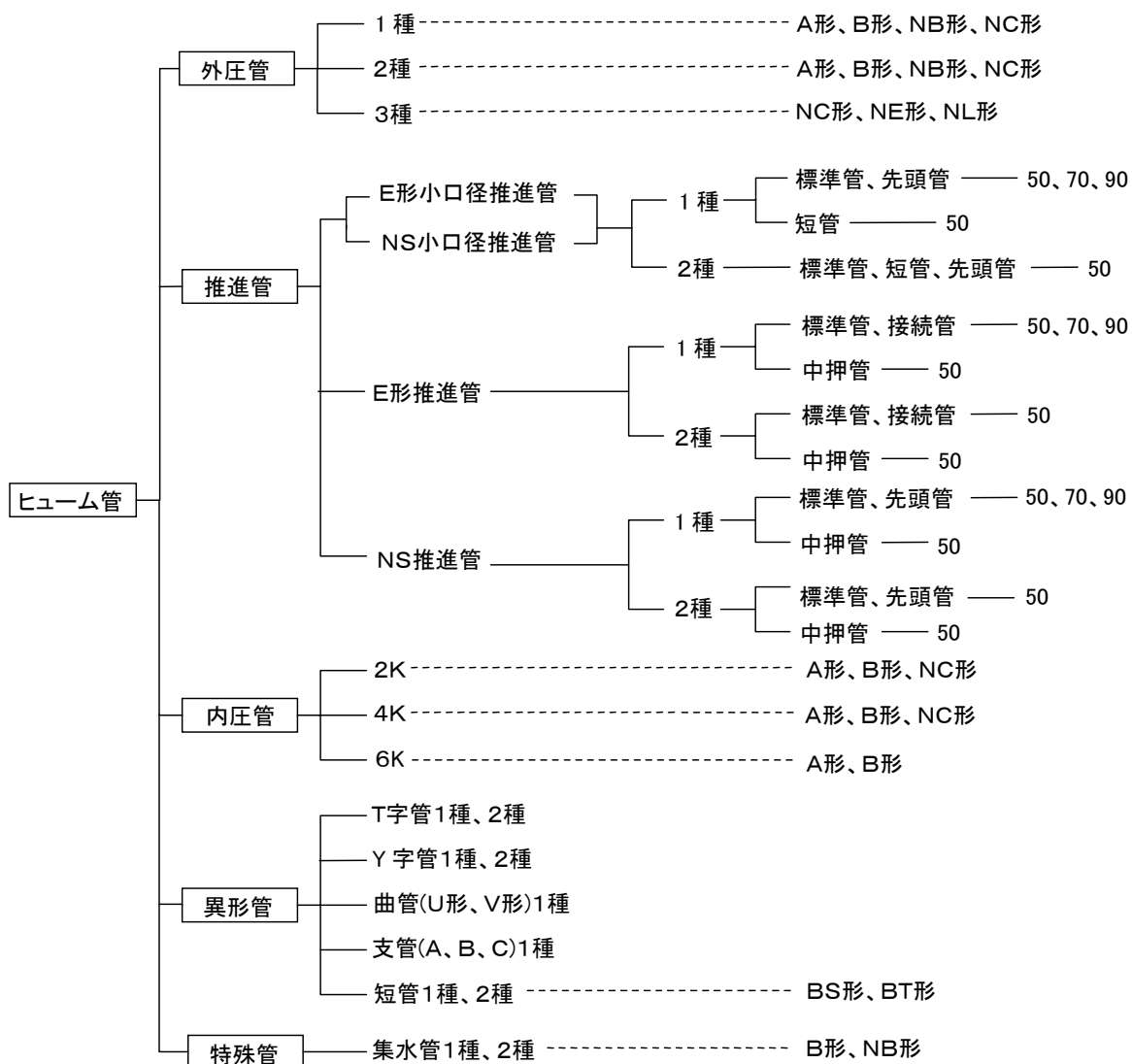


図 1.1-1 管の種類

第2章 管の規格

管の規格には、日本工業規格として JIS A 5372 : 2010（附属書 C(規定)暗きょ類 推奨仕様 C-2 遠心力鉄筋コンクリート管）、日本下水道協会規格として JSWAS A-1（下水道用鉄筋コンクリート管）、JSWAS A-2（下水道推進工法用鉄筋コンクリート管）及び JSWAS A-6（下水道小口径管推進工法用鉄筋コンクリート管）がある。また、全国ヒューム管協会規格として JHPAS がある。これらの規格を表 1.2-1～3 に示す。

表 1.2-1 日本工業規格

規 格	種 類				呼 び 径					
					A 形	B 形	N B 形	N C 形	N E 形 N L 形	推進管
JIS A 5372 -2010	直 管	外圧管	1 種、2 種		150~1800	150~1350	150~900	1500~3000	—	—
			3 種		—	—	—	1500~3000	—	—
		内圧管	2K		150~1800	150~1350	—	1500~3000	—	—
			4K		150~1800	150~1350	—	1500~3000	—	—
			6K		150~800	150~800	—	—	—	—
	異 形 管	T 字管		1 種、2 種	—	200~450	—	—	—	—
		Y 字管		1 種、2 種	—	200~450	—	—	—	—
		曲管 30°、45°	U 形	1 種	—	150、200	—	—	—	—
			V 形							
		支管		A、B、C	1 種	—	150、200	—	—	—
短管		1 種、2 種		—	150~450	—	—	—	—	

表 1.2-2 日本下水道協会規格

規 格	種 類				呼 び 径						
					A 形	B 形	N B 形	N C 形	N E 形 N L 形	推進管	
JSWAS A-1 -2011	直 管			1 種、2 種		150~350	150~1350	150~900	1500~3000	—	—
				3 種		—	—	—	1500~3000	—	—
	異 形 管			1 種、2 種		—	200~450	—	—	—	
				1 種、2 種		—	200~450	—	—	—	—
				U 形 V 形		—	150, 200	—	—	—	—
				A、B、C		1 種	—	150, 200	—	—	—
短管			BS、BT 形	1 種、2 種	—	150~450	—	—	—	—	
JSWAS A-2 -1999	E 形推進管 N S 推進管			1 種		—	—	—	—	800~3000	
				2 種							50
	中押管		S		—	—	—	—	1000~3000		
			T							1 種、2 種	50
JSWAS A-6 -2000	E 形小口径推進管 N S 小口径推進管			標準管		—	—	—	—	200~700	
				1 種							50、70
				2 種							50
短管			A、B	1 種、2 種	50						

表 1.2-3 全国ヒューム管協会規格

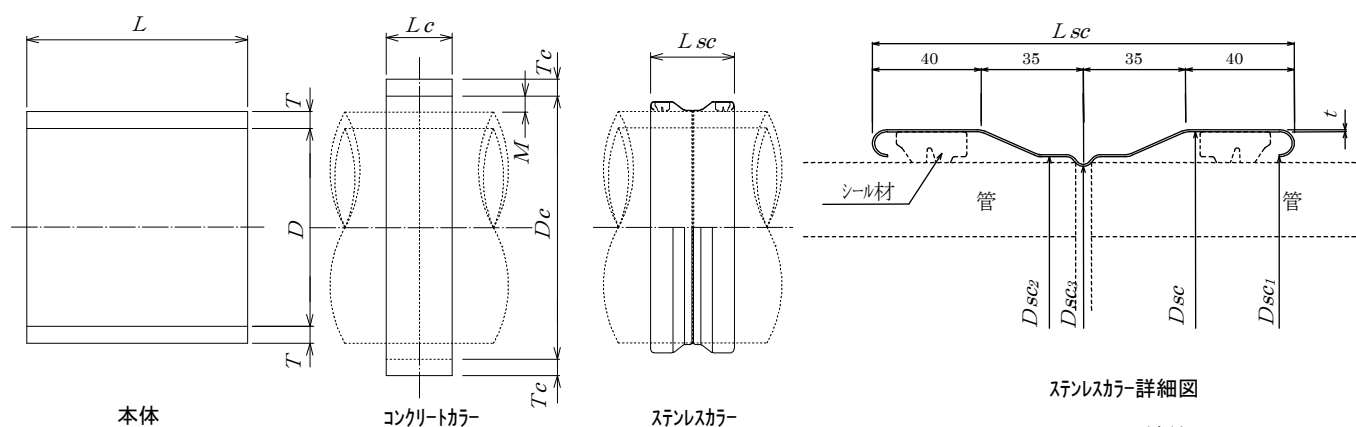
規 格	種 類				呼び 径							
					A 形	B 形	N B 形	C 形	N C 形	N E 形 N L 形	推進管	
JHPAS-6 ・2004	集 水 管			1 種		—	150~1000	150~900	—	—	—	—
				2 種		—	150~400	150~400	—	—	—	—
JHPAS-19 ・2006	E 形推進管	標準管		1 種	50、70、90	—	—	—	—	—	—	800~3000
				2 種	50							
		中押管	S	—		—	—	—	—	—	900~3000	
			T	1 種、2 種	50							
		接続管	N S — E	1 種	50、70、90	—	—	—	—	—	800~3000	
	2 種	50										
JHPAS-20 ・2006	E 形小口径推進管	標準管		1 種	50、70、90	—	—	—	—	—	—	200~700
				2 種	50							
		短管	A、B、D	1 種、2 種	50	—	—	—	—	—	200~700	
				1 種	50、70、90							
		先頭管	C	2 種	50							
JHPAS-24 ・2005	N E 形管 ・N L 形管	外圧管	N E 形 N L 形	3 種		—	—	—	—	—	200~1350	—
						—	—	—	—	—	200~1350	—
JHPAS-25 ・2006	N S 推進管	標準管		1 種	50、70、90	—	—	—	—	—	800~3000	
				2 種	50							
		中押管	S	—		—	—	—	—	—	900~3000	
			T	1 種、2 種	50							
		先頭管	C	1 種	50、70、90	—	—	—	—	—	800~3000	
	2 種	50										
JHPAS-27 ・2006	N S 小口径推進管	標準管		1 種	50、70、90	—	—	—	—	—	200~700	
				2 種	50							
		短管	A、B、D	1 種、2 種	50							
				1 種	50、70、90							
先頭管	C	2 種	50									
JHPAS-28 ・2000	外圧管 N B 形	外圧管	1 種、2 種		—	—	150~900	—	—	—	—	
JHPAS-31 ・2004	A 形管	外圧管	1 種、2 種		150~1800	—	—	—	—	—	—	
			2K		150~1800	—	—	—	—	—		
		内圧管	4K		150~1800	—	—	—	—	—	—	
			6K		150~ 800	—	—	—	—	—	—	
JHPAS-32 ・2007	B 形管	外圧管	1 種、2 種		—	150~1350	—	—	—	—	—	
			2K		—	150~1350	—	—	—	—		
		内圧管	4K		—	150~1350	—	—	—	—	—	
			6K		—	150~800	—	—	—	—	—	
JHPAS-33 ・2004	C 形管	外圧管	1 種、2 種		—	—	—	1500~3000	—	—	—	
JHPAS-34 ・2004	N C 形管	外圧管	1 種、2 種、3 種		—	—	—	—	1500~3000	—	—	
		内圧管	2K、4K		—	—	—	—	1500~3000	—	—	
JHPAS-35 ・2007	異形管	T 字管	1 種、2 種		—	200~450	—	—	—	—	—	
		Y 字管	1 種、2 種		—	200~450	—	—	—	—	—	
		曲管 30°、45°	U 形 V 形	1 種	—	150、200	—	—	—	—	—	
		支管	A、B、C	1 種	—	150、200	—	—	—	—	—	
		短管	1 種、2 種		—	150~450	—	—	—	—	—	

第3章 管の形状及び寸法

3.1 A形

最も歴史の古い継手形状で、管とカラーから構成されている。カラーはコンクリートカラーとステンレスカラー（呼び径 150～300）がある。コンクリートカラーの場合は硬練りモルタルでコーキングして接合することが原則である。A形とカラーの形状及び寸法を表 1.3.1-1 に示す。

表 1.3.1-1 A形とカラーの形状及び寸法



単位：mm

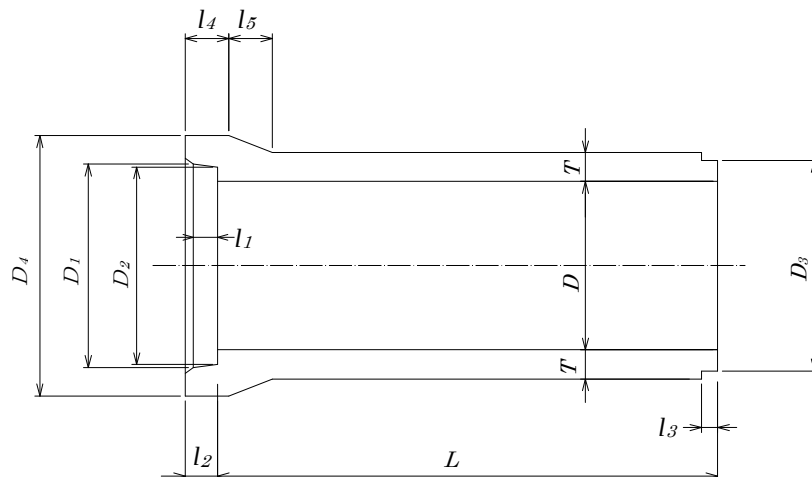
呼び径	管			コンクリートカラー				ステンレスカラー							参考質量(kg)									
	内 径 <i>D</i>	厚 さ <i>T</i>	有効長 ^(注) <i>L</i>	内 径 <i>D_c</i>	厚 さ <i>T_c</i>	長 さ <i>L_c</i>	ランニング スペース <i>M</i>	内 径 <i>D_{sc}</i>	$\pi(D_{sc}+2t)$	<i>D_{sc1}</i>	<i>D_{sc2}</i>	<i>D_{sc3}</i>	厚 さ <i>t</i>	長 さ <i>L_{sc}</i>	管	コンクリ ートカラー	計							
150	150	26	2 000	226	28	150	12	226	715	206	206	200	0.8	150	70	8	78							
200	200	27		278	30			278	878	258	258	252			94	11	105							
250	250	28		330	31			330	1 042	310	310	304			119	13	132							
300	300	30		390	33			384	1 211	364	364	358			151	16	167							
350	350	32		444	35			438	1 381	418	418	412			187	20	207							
400	400	35	2 430	500	38	200	15	—	—	—	—	—	—	—	283	24	307							
450	450	38		556	42										347	39	386							
500	500	42		614	46										430	47	477							
600	600	50		730	50										606	61	667							
700	700	58		846	58										820	82	902							
800	800	66		962	66										1 060	110	1 170							
900	900	75		1 080	75										1 360	140	1 500							
1 000	1 000	82		1 200	82	250	18								1 660	200	1 860							
1 100	1 100	88		1 312	88										1 960	240	2 200							
1 200	1 200	95		1 426	95										2 300	290	2 590							
1 350	1 350	103		1 592	103										2 810	340	3 150							
1 500	1 500	112		1 768	112										3 380	410	3 790							
1 650	1 650	120	2 430	1 934	120	22	22								3 970	480	4 450							
1 800	1 800	127		2 098	127										4 570	550	5 120							

注 呼び径 150～350 の管の有効長は 990mm、呼び径 400～1 800 の管の有効長は 1 200mm とすることができる。

3.2 B形

管端が受口と差し口からなっており、シーล材を用いて接合する。B形の形状及び寸法を表 1.3.2-1 に示す。

表 1.3.2-1 B形の形状及び寸法



単位：mm

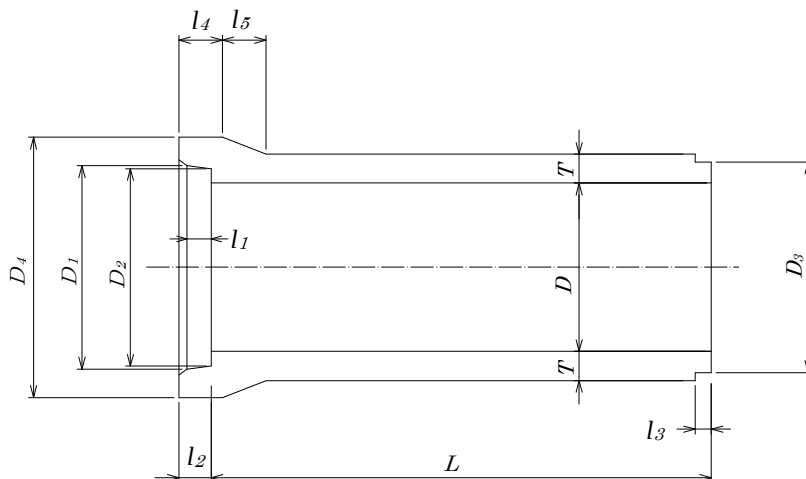
呼び径	内径 D	D_1	D_2	D_3	D_4	厚さ T	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	有効長 ^(注) L	参考質量 (kg)
150	150	210	206	194	262	26					50	2 000	77
200	200	262	258	246	316	27			32	115	55		103
250	250	314	310	298	370	28	65	90			60		131
300	300	368	364	350	424	30				120			165
350	350	422	418	404	482	32					65		204
400	400	478	474	460	544	35			36	125	70	2 430	306
450	450	534	530	516	606	38	70	95			75		373
500	500	592	588	574	672	42				130	85		459
600	600	708	704	690	804	50		100		135	100		660
700	700	824	820	802	936	58	75	105		140	115		899
800	800	940	936	918	1 068	66	80	110		150	130		1 170
900	900	1 058	1 054	1 036	1 204	75	85	115	40	160	150		1 520
1 000	1 000	1 172	1 168	1 150	1 332	82	96	120		165	165		1 850
1 100	1 100	1 286	1 282	1 260	1 458	88	100	125		175	175		2 190
1 200	1 200	1 400	1 396	1 374	1 586	95	104	130	42	185	190		2 600
1 350	1 350	1 566	1 562	1 540	1 768	103	108	135		195	205		3 190

注 呼び径 150 及び 200 の管の有効長は 500mm 又は 1 000mm、呼び径 250～350 の管の有効長は 1 000mm、呼び径 400～1 350 の管の有効長は 1 200mm とすることができる。

3.3 NB形

B形より受口を長くし、拔出し長の機能を向上させたもので、シール材を用いて接合する。
NB形の形状及び寸法を表 1.3.3-1 に示す。

表 1.3.3-1 NB形の形状及び寸法



単位：mm

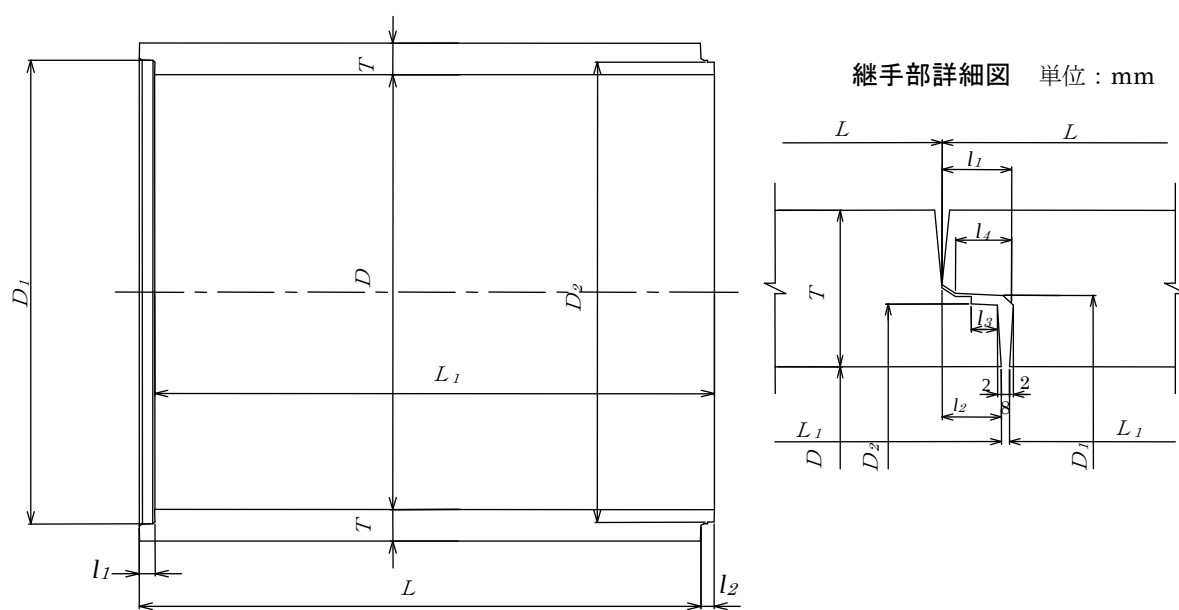
呼び径	内径 D	D_1	D_2	D_3	D_4	厚さ T	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	有効長 ^(注) L	参考質量 (kg)
150	150	210	206	194	262	26					50		77
200	200	262	258	246	316	27	72		32	115	55		103
250	250	314	310	298	370	28		90			60	2 000	131
300	300	368	364	350	424	30	76			120			165
350	350	422	418	404	482	32					65		204
400	400	478	474	460	544	35		95	36	125	70		306
450	450	534	530	516	606	38	86				75		373
500	500	592	588	574	672	42				130	85		459
600	600	708	704	690	804	50		100		135	100	2 430	660
700	700	824	820	802	936	58		105		140	115		899
800	800	940	936	918	1 068	66	90	110	40	150	130		1 170
900	900	1 058	1 054	1 036	1 204	75		115		160	150		1 520

注 呼び径 150 及び 200 の管の有効長は 500mm 又は 1 000mm、 呼び径 250～350 の管の有効長は 1 000mm、
呼び径 400～900 の管の有効長は 1 200mm とすることができる。

3.4 C形(規格外品)

管端が受口と差し口からなっており、シール材を用いて接合する。C形の形状及び寸法を表 1.3.4-1 に示す。

表 1.3.4-1 C形の形状及び寸法



単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	D_2	厚さ T	l_1	l_2	l_3	l_4	有効長 ^(注) L	L_1	参考質量 (kg)
1 500	1 500	1 604	1 588	112	62	52	27	49	2 360	2 352	3 270
1 650	1 650	1 760	1 744	120							3 850
1 800	1 800	1 914	1 898	127	67	57		54			4 430
2 000	2 000	2 132	2 116	145							5 640
2 200	2 200	2 342	2 326	160	72	62	30	59			6 840
2 400	2 400	2 556	2 536	175							8 170
2 600	2 600	2 766	2 746	190	77	67		64			9 610
2 800	2 800	2 976	2 956	205							11 200
3 000	3 000	3 186	3 166	220							

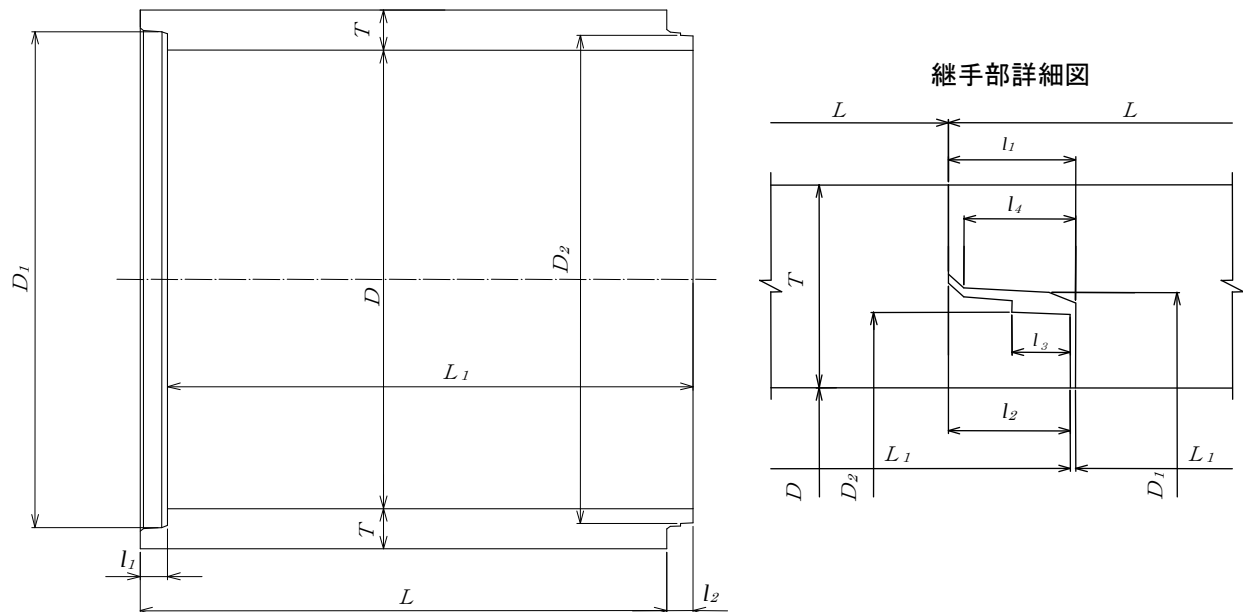
注 呼び径 1 500～1 800 の管の有効長は 1 145mm とすることができる。

C 形管は、日本工業規格 JIS A-5372 および日本下水道協会規格 JSWAS A-1 の規格外。

3.5 NC形

C形より管の厚さを増し、抜け出しの性能を向上させたもので、シール材を用いて接合する。
NC形の形状及び寸法を表 1.3.5-1 に示す。

表 1.3.5-1 NC形の形状及び寸法



単位：mm

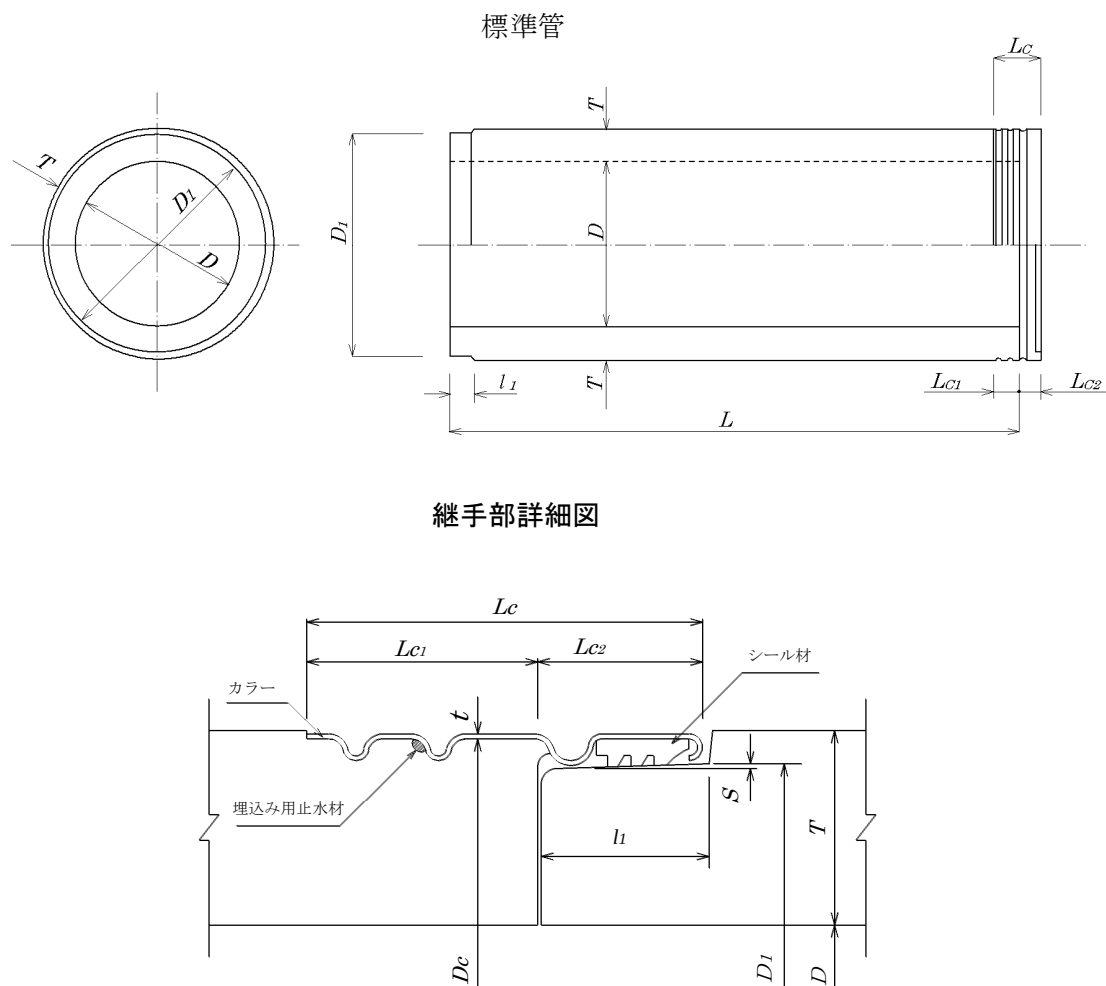
呼び径	内径 <i>D</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	厚さ <i>T</i>	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃	<i>l</i> ₄	有効長 ^(注) <i>L</i>	<i>L</i> ₁	参考質量 (kg)
1 500	1 500	1 632	1 598	140	120	115	55	105	2 300	2 295	4 050
1 650	1 650	1 792	1 758	150							4 760
1 800	1 800	1 950	1 916	160							5 530
2 000	2 000	2 164	2 130	175							6 710
2 200	2 200	2 378	2 344	190	135	130	65	120			8 010
2 400	2 400	2 594	2 550	205							9 400
2 600	2 600	2 808	2 764	220							10 900
2 800	2 800	3 022	2 978	235							12 600
3 000	3 000	3 236	3 192	250							14 300

注 呼び径 1 500～1 800 の管の有効長は 1 080mm とすることができる。

3.6 NE形

NE形は、JHPAS 24 で規定している呼び径 200～1350 の外圧管 3 種である。管の形状はE形小口径推進管及びE形推進管と同一で、接合部にクッション材を使用しない。NE形の形状及び寸法を表 1.3.6-1～2 に示す。

表 1.3.6-1 NE形の形状及び寸法（ $\phi 200 \sim \phi 700$ ）



単位：mm

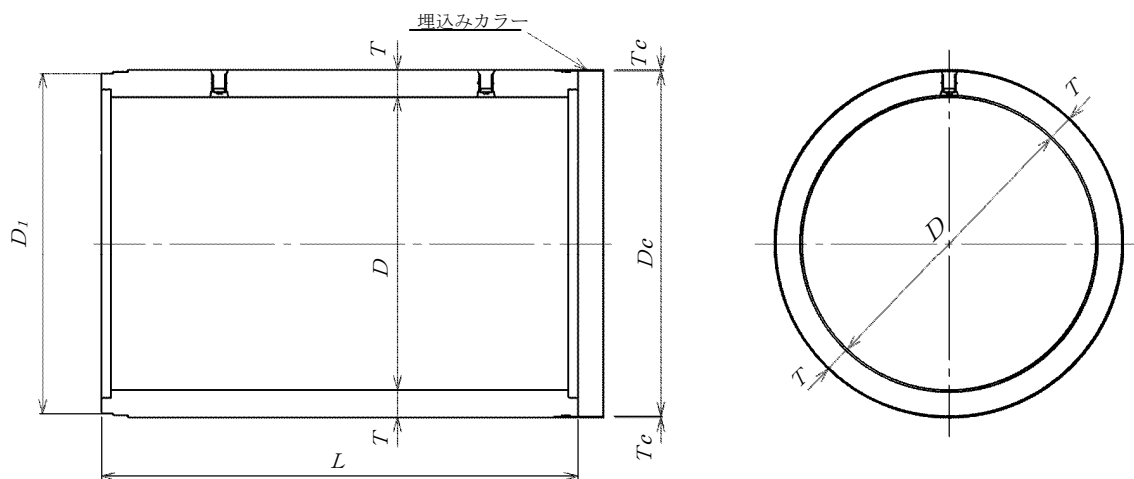
呼び径	内径 D	D_1	πD_1	厚さ T	有効長 ^(注) L	l_1	S	L_c	L_{c1}	L_{c2}	t	D_c	$\pi(D_c + 2t)$	参考質量 (kg)
200	200	298	936	59	2 000							313	993	236
250	250	340	1 068	55								355	1 125	260
300	300	394	1 238	57								409	1 294	315
350	350	450	1 414	60	2 430	51	1.5	120	70	50	1.5	465	1 470	462
400	400	506	1 590	63								521	1 646	548
450	450	564	1 772	67								579	1 828	651
500	500	620	1 948	70								635	2 004	749
600	600	736	2 312	80		81	2.5	170	90	80	2.0	754	2 381	1 030
700	700	856	2 689	90								874	2 758	1 340

注 有効長は、呼び径 200～300 については 1 000mm、呼び径 350～700 については 1 200mm とすることができる。

備考 管の形状は、カラーなしとすることができる。

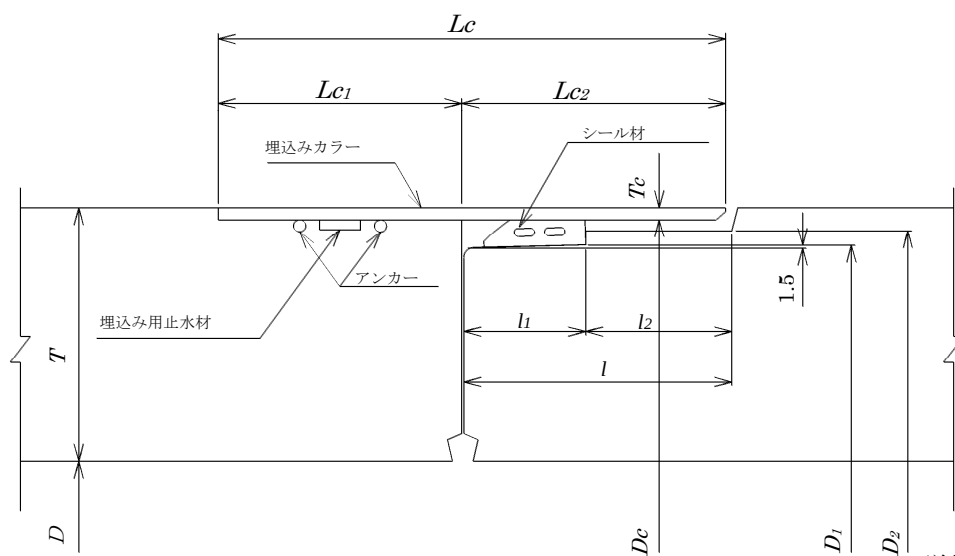
表 1.3.6-2 N E 形の形状及び寸法 (φ800～φ1350)

標準管



継手部詳細図

単位：mm



単位：mm

呼び径	D_1	πD_1	D_2	厚さ T	有効長 ^(B) L	l_1	l_2	l	L_{c1}	L_{c2}	L_c	T_c	D_c	$\pi(D_c + 2T_c)$	参考質量 (kg)
800	933	2 931	942	80									951	3 016	1 330
900	1 053	3 308	1 062	90									1 071	3 393	1 670
1 000	1 173	3 685	1 182	100									1 191	3 770	2 060
1 100	1 283	4 031	1 292	105	2 430	60	72	132	120	130	250	4.5	1 301	4 115	2 380
1 200	1 403	4 408	1 412	115									1 421	4 492	2 840
1 350	1 563	4 910	1 577	125								6.0	1 588	5 027	3 460

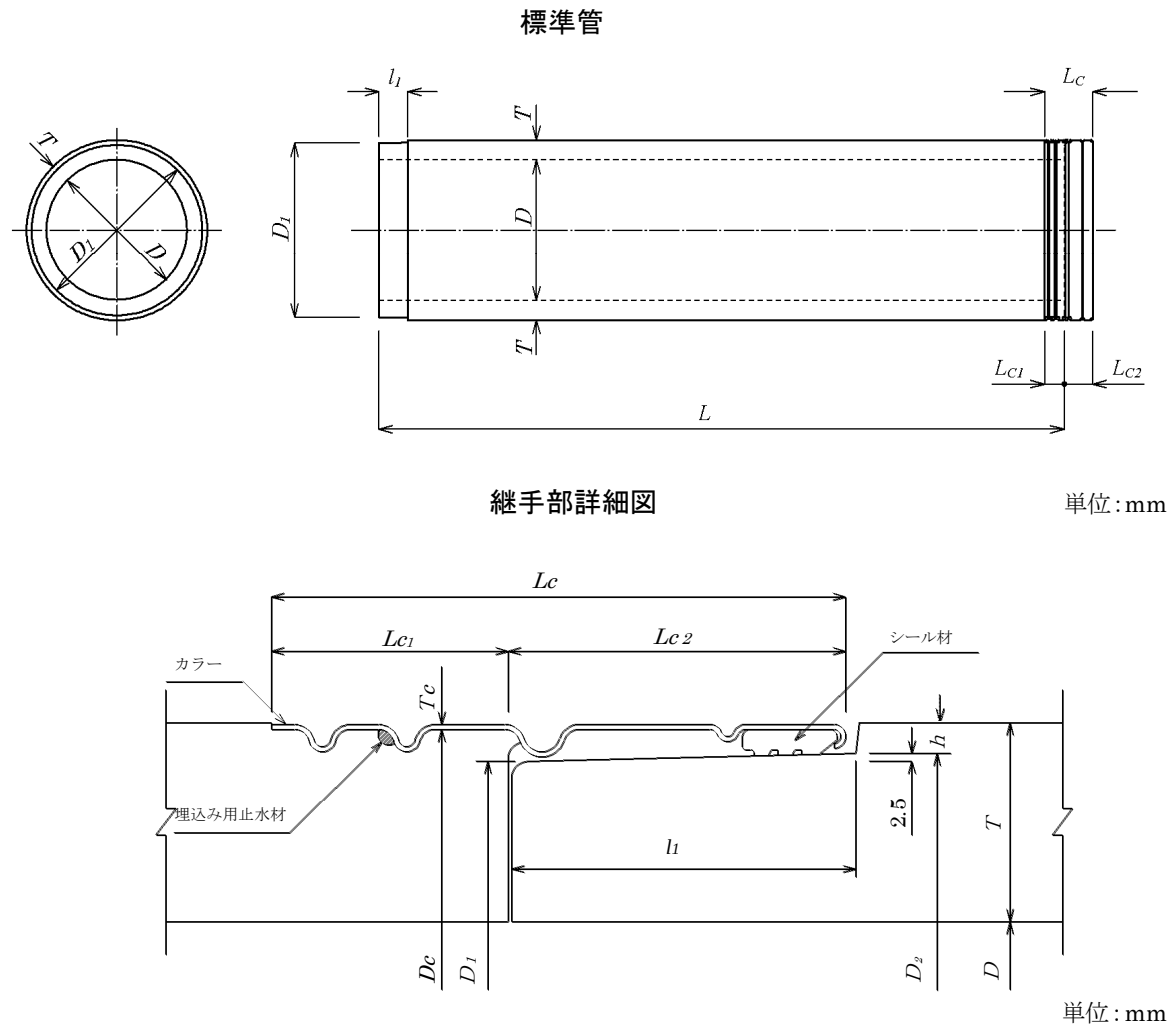
注 有効長は 1 200mm とすることができる。

備考 管の形状は、カラーなしとすることができる。

3.7 N L形

N L形は、N E形と同様に JHPAS 24 で規定している呼び径 200～1350 の外圧管 3 種である。管の形状はN S小口径推進管及びN S推進管と同一で、接合部にクッション材は使用しない。N L形の形状及び寸法を表 1.3.7-1～2 に示す。

表 1.3.7-1 N L形の形状及び寸法（ $\phi 200 \sim \phi 700$ ）



単位: mm

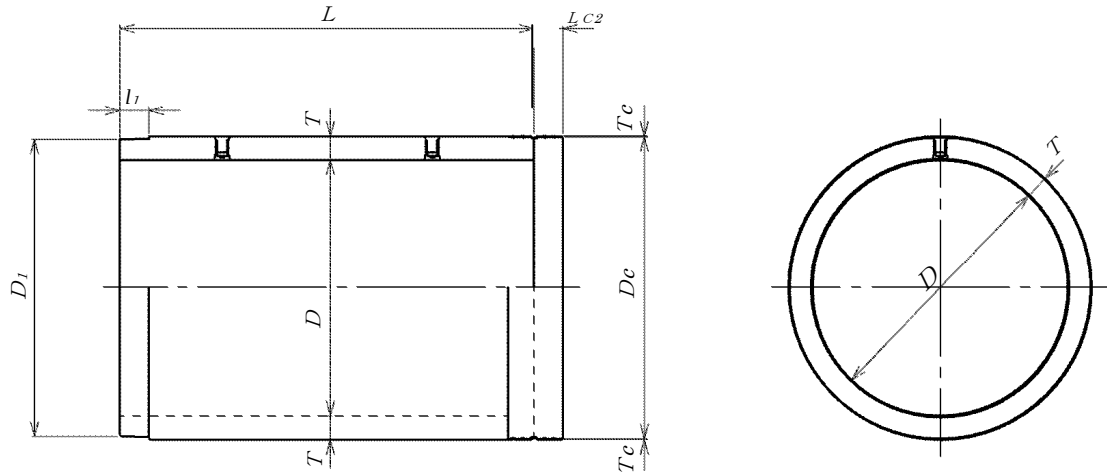
呼び径	内径 D	D_1	D_2	πD_2	厚さ T	有効長 (注) L	l_1	h	L_c	L_{c1}	L_{c2}	T_c	D_c	$\pi (D_c+2T_c)$	参考質量 (kg)
200	200	295	300	942	59	2 000	102	9	170	70	100	1.5	314	996	236
250	250	337	342	1 074	55								356	1 128	260
300	300	391	396	1 244	57								410	1 297	315
350	350	447	452	1 420	60	2 430							466	1 473	462
400	400	503	508	1 596	63								522	1 649	548
450	450	561	566	1 778	67								580	1 832	651
500	500	617	622	1 954	70		636	2 007	749						
600	600	713	736	2 312	80	112	12	200	90	110	2.0	755	2 384	1 030	
700	700	851	856	2 689	90							875	2 761	1 340	

注 有効長は、呼び径 200～300 については 1 000mm、呼び径 350～700 については 1 200mm とすることができる。

備考 管の形状は、カラーなしとすることができる。

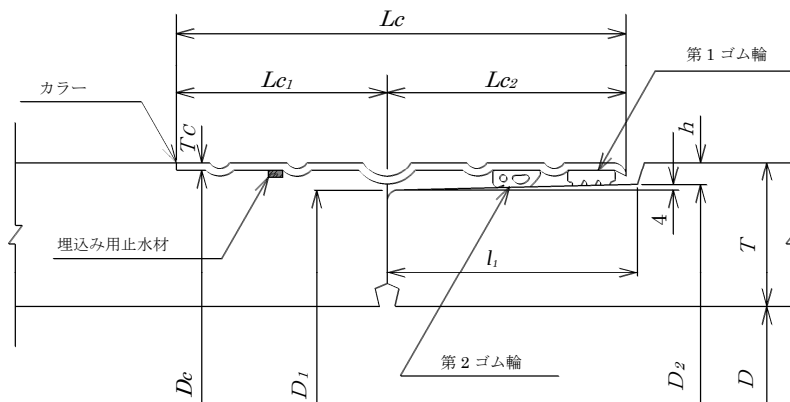
表 1.3.7-2 N L 形の形状及び寸法 (φ800～φ1350)

標準管



継手部詳細図

単位:mm



単位:mm

呼び径	内径 D	D_1	D_2	πD_2	h	厚さ T	有効長 ^(注) L	l_1	L_{c1}	L_{c2}	L_c	T_c	D_c	$\pi(D_c+2T_c)$	参考質量 (kg)
800	800	930	938	2 947		80							951	3 016	1 340
900	900	1 050	1 058	3 324		90							1 071	3 393	1 680
1 000	1 000	1 170	1 178	3 701	11	100	2 430	172	150	170	320	4.5	1 191	3 770	2 070
1 100	1 100	1 280	1 288	4 046		105							1 301	4 115	2 890
1 200	1 200	1 400	1 408	4 423		115							1 421	4 492	2 650
1 350	1 350	1 560	1 568	4 926	16	125						6.0	1 588	5 027	3 470

注 有効長は1 200mm とすることができる。

備考 管の形状は、カラーなしとすることができる。

3.8 推進管

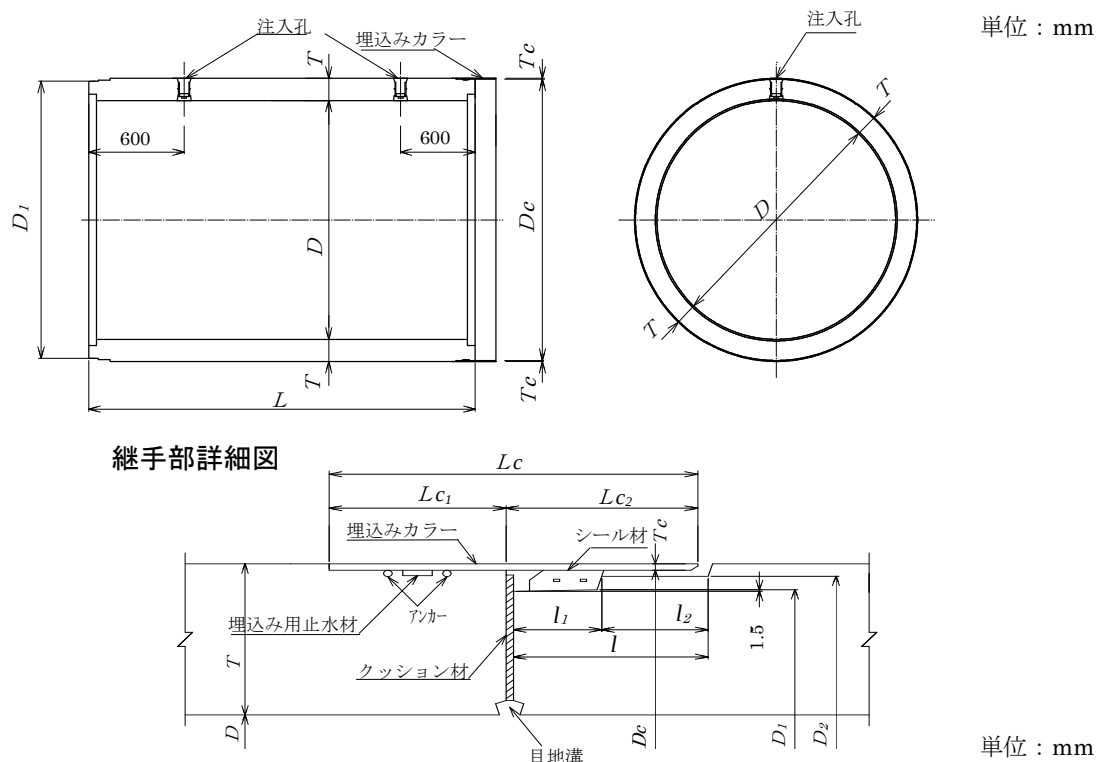
推進管は、製造時において、カラーと本体を一体化した埋込みカラー形で、シーล材を用いて接合する。

3.8.1 E形推進管（JSWAS A-2 1999）（JA）

(1) 標準管

E形推進管の形状及び寸法を表 1.3.8.1-1 に示す。

表 1.3.8.1-1 E形推進管の形状及び寸法



呼び径	D_1	πD_1	D_2	厚さ T	有効長 ^(注) L	l_1	l_2	l	L_{C1}	L_{C2}	L_C	T_c	D_c	$\pi(D_c+2T_c)$	参考質量 (kg)
800	933	2 931	942	80	2 430	60	72	132	120	130	250	4.5	951	3 016	1 330
900	1 053	3 308	1 062	90									1 071	3 393	1 670
1 000	1 173	3 685	1 182	100									1 191	3 770	2 060
1 100	1 283	4 031	1 292	105									1 301	4 115	2 380
1 200	1 403	4 408	1 412	115									1 421	4 492	2 840
1 350	1 563	4 910	1 577	125								6	1 588	5 027	3 460
1 500	1 743	5 476	1 757	140									1 768	5 592	4 310
1 650	1 913	6 010	1 927	150									1 938	6 126	5 060
1 800	2 083	6 544	2 097	160									2 108	6 660	5 890
2 000	2 313	7 267	2 327	175									2 338	7 383	7 140
2 200	2 543	7 989	2 557	190									2 568	8 105	8 520
2 400	2 763	8 680	2 779	205									70	82	152
2 600	2 993	9 403	3 009	220		3 022	9 550	11 700							
2 800	3 223	10 125	3 239	235		3 252	10 273	13 400							
3 000	3 453	10 848	3 469	250										3 482	10 996

注 標準管の有効長は1 200mmとすることができる。

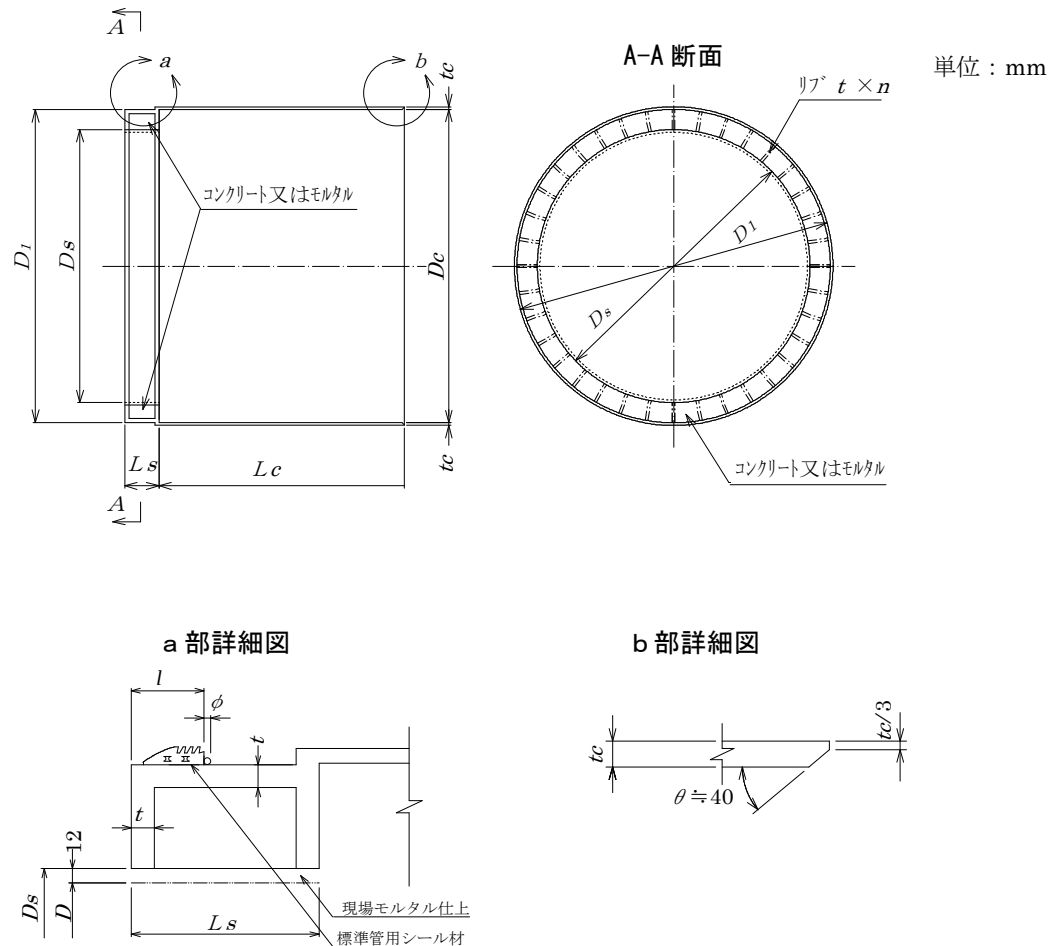
備考 1) 標準管は、カラーなしとすることができる。

2) 呼び径 1 000mm 以上の標準管には、緊結用埋込みナットをつけることができる。

(2) 中押管

中押管は、主に長距離推進に使用し、中押管S、Tを1組として用いる。中押管Sの形状及び寸法を表1.3.8.1-2に、中押管Tの形状及び寸法を表1.3.8.1-3に示す。

表 1.3.8.1-2 中押管Sの形状及び寸法



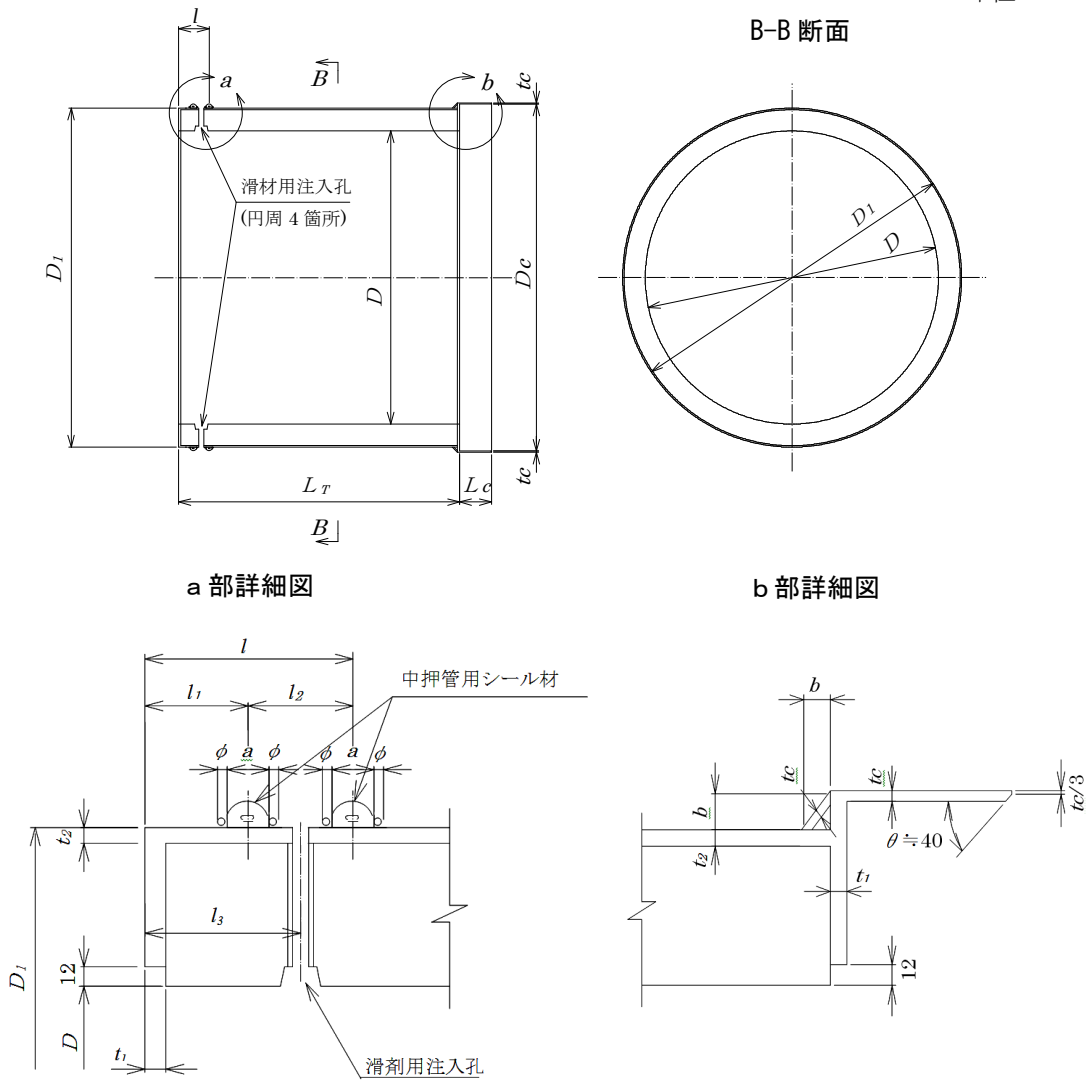
単位：mm

呼び径	D	D_s	D_1	πD_1	D_c	$\pi(D_c+2tc)$	有効長 L_s	L_c	l	tc	t	ϕ	リブ n (枚)	参考質量 (kg)
900 ^(注)	900	924	1 053	3 308	1 062	3 393							24	424
1 000	1 000	1 024	1 173	3 685	1 182	3 770	150	1 100		9	16	6	28	494
1 100	1 100	1 124	1 283	4 031	1 292	4 115							32	552
1 200	1 200	1 224	1 403	4 408	1 406	4 492							36	773
1 350	1 350	1 374	1 563	4 910	1 576	5 027	155		60		19		40	905
1 500	1 500	1 524	1 743	5 476	1 756	5 592							44	1 060
1 650	1 650	1 674	1 913	6 010	1 926	6 126				12			48	1 250
1 800	1 800	1 824	2 083	6 544	2 096	6 660	160	1 150			22		52	1 440
2 000	2 000	2 024	2 313	7 267	2 326	7 383							58	1 670
2 200	2 200	2 224	2 543	7 989	2 556	8 105							64	1 900
2 400	2 400	2 424	2 763	8 680	2 778	8 828							72	2 680
2 600	2 600	2 624	2 993	9 403	3 008	9 550							78	3 000
2 800	2 800	2 824	3 223	10 125	3 238	10 273	180	1 200	70	16	25		84	3 360
3 000	3 000	3 024	3 453	10 848	3 468	10 996							90	3 670

注 呼び径 900 は、JHPAS-19 による。

表 1.3.8.1-3 中押管 T の形状及び寸法

単位：mm



単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	πD_1	D_c	$\pi (D_c + 2tc)$	有効長 L_r	L_c	l	l_1	l_2	l_3	a	b	tc	t_1	t_2	ϕ	参考質量 (kg)
900 ^(註)	900	1 044	3 280	1 071	3 393	1 150	130	125	60	65	92.5	26	18	4.5	9	6	6	780
1 000	1 000	1 164	3 657	1 191	3 770								21					968
1 100	1 100	1 274	4 002	1 301	4 115	1 200	130	140	65	75	102.5	30	24.5	6	12	6	9	1 120
1 200	1 200	1 388	4 361	1 421	4 492													1 300
1 350	1 350	1 551	4 873	1 588	5 027	1 250	150	150	70	80	110	34	30.5	9	12	9	9	1 620
1 500	1 500	1 731	5 438	1 768	5 592													2 040
1 650	1 650	1 901	5 972	1 938	6 126	1 200	130	140	65	75	102.5	30	24.5	6	12	6	9	2 430
1 800	1 800	2 071	6 506	2 108	6 660													2 840
2 000	2 000	2 301	7 229	2 338	7 383	1 250	150	150	70	80	110	34	30.5	9	12	9	9	3 460
2 200	2 200	2 531	7 951	2 568	8 105													4 150
2 400	2 400	2 749	8 636	2 792	8 828	1 250	150	150	70	80	110	34	30.5	9	12	9	9	5 140
2 600	2 600	2 979	9 359	3 022	9 550													5 990
2 800	2 800	3 209	10 081	3 252	10 273	1 250	150	150	70	80	110	34	30.5	9	12	9	9	6 900
3 000	3 000	3 439	10 804	3 482	10 996													7 880

注 呼び径 900 は、JHPAS-19 による。

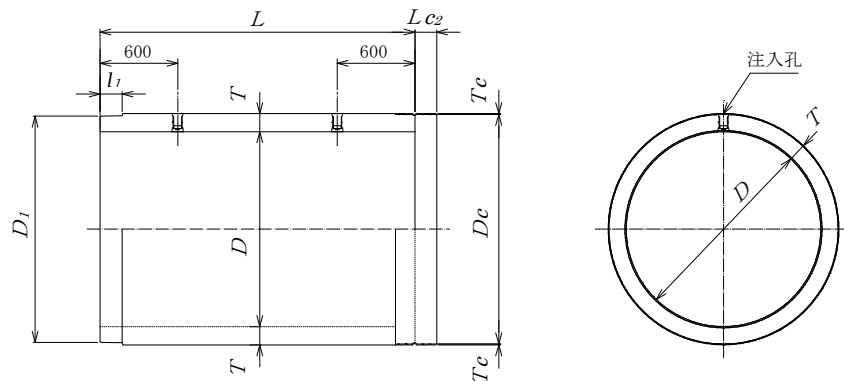
3.8.2 NS推進管（JSWAS A-2 1999）（JC）

(1) 標準管

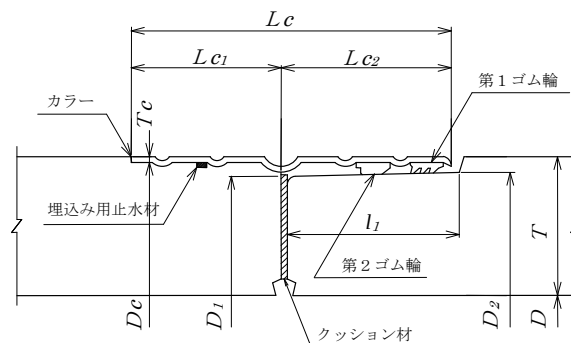
NS推進管の形状及び寸法を表 1.3.8.2-1 に示す。

表 1.3.8.2-1 NS推進管の形状及び寸法

単位：mm



継手部詳細図



単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	D_2	πD_2	h	厚さ T	有効長 ^(B) L	l_1	L_{c1}	L_{c2}	L_c	T_c	D_c	$\pi(D_c+2T_c)$	参考質量 (kg)
800	800	930	938	2 947	11	80	2 430	172	150	170	320	4.5	951	3 016	1 340
900	900	1 050	1 058	3 324		90							1 071	3 393	1 680
1 000	1 000	1 170	1 178	3 701		100							1 191	3 770	2 070
1 100	1 100	1 280	1 288	4 046		105							1 301	4 115	2 390
1 200	1 200	1 400	1 408	4 423	16	115						6	1 421	4 492	2 850
1 350	1 350	1 560	1 568	4 926		125							1 588	5 027	3 470
1 500	1 500	1 740	1 748	5 492		140							1 768	5 592	4 320
1 650	1 650	1 910	1 918	6 026		150							1 938	6 126	5 080
1 800	1 800	2 080	2 088	6 560	21	160						9	2 108	6 660	5 910
2 000	2 000	2 310	2 318	7 282		175							2 338	7 383	7 160
2 200	2 200	2 540	2 548	8 005		190							2 568	8 105	8 540
2 400	2 400	2 760	2 768	8 696		205							2 792	8 828	10 100
2 600	2 600	2 990	2 998	9 418	21	220							3 022	9 550	11 700
2 800	2 800	3 220	3 228	10 141		235							3 252	10 273	13 400
3 000	3 000	3 450	3 458	10 864		250							3 482	10 996	15 300

注 標準管の有効長は、1 200mm とすることができる。

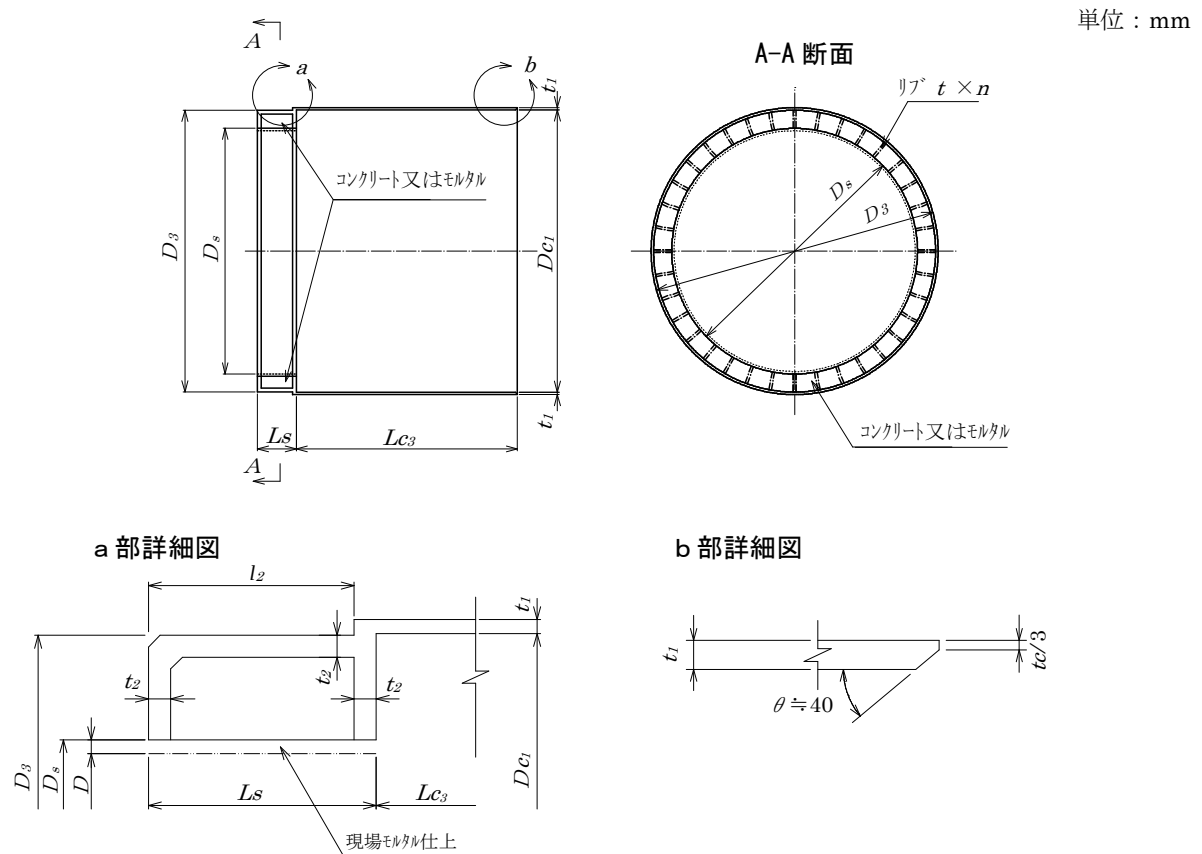
備考 1) 標準管は、カラーなしとすることができる。

2) 呼び径 1 000mm 以上の標準管には、緊結用埋込みナットをつけることができる。

(2) 中押管

中押管は、主に長距離推進に使用し、中押管S、Tを1組として用いる。中押管Sの形状及び寸法を表1.3.8.2-2に、中押管Tの形状及び寸法を表1.3.8.2-3に示す。

表 1.3.8.2-2 中押管Sの形状及び寸法



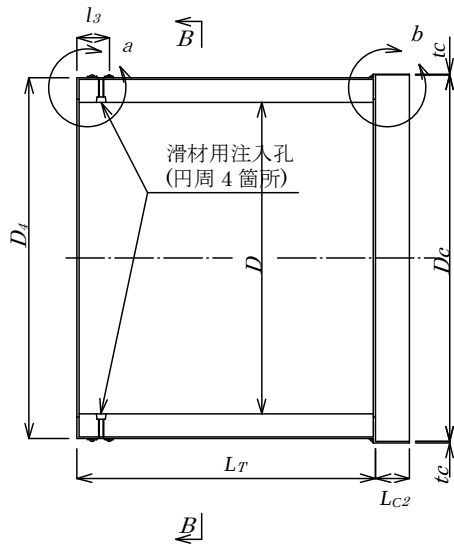
単位：mm

呼び径	内径 D	D_s	D_3	πD_3	D_{c1}	$\pi (D_{c1} + 2 t_1)$	有効長 L_s	L_{c3}	l_2	t_1	t_2	リブ n (枚)	参考質量 (kg)
900 ^(注)	900	924	1 054	3 311	1 062	3 393	190	1 100	174	9	16	24	454
1 000	1 000	1 024	1 174	3 688	1 182	3 770			176	12	22	28	531
1 100	1 100	1 124	1 284	4 034	1 292	4 115						32	595
1 200	1 200	1 224	1 404	4 411	1 406	4 492						36	830
1 350	1 350	1 374	1 564	4 913	1 576	5 027	195	1 150	173	16	25	40	975
1 500	1 500	1 524	1 744	5 479	1 756	5 592						44	1 150
1 650	1 650	1 674	1 914	6 013	1 926	6 126						48	1 340
1 800	1 800	1 824	2 084	6 547	2 096	6 660						52	1 510
2 000	2 000	2 024	2 314	7 270	2 326	7 383	200	1 200	175	16	25	58	1 770
2 200	2 200	2 224	2 544	7 992	2 556	8 105						64	2 040
2 400	2 400	2 424	2 764	8 683	2 778	8 828						72	2 780
2 600	2 600	2 624	2 994	9 406	3 008	9 550						78	3 130
2 800	2 800	2 824	3 224	10 128	3 238	10 273	200	1 200	175	16	25	84	3 500
3 000	3 000	3 024	3 454	10 851	3 468	10 996						90	3 890

注 呼び径 900 は、JHPAS-19 による。

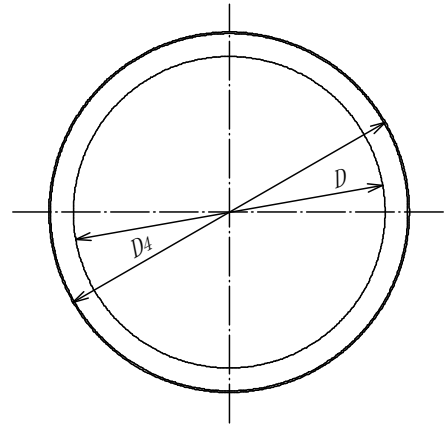
表 1.3.8.2-3 中押管 T の形状及び寸法

単位：mm

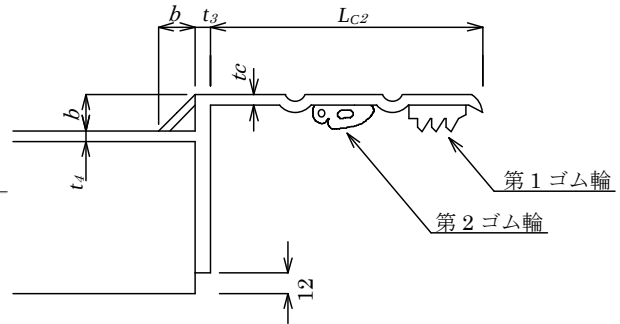
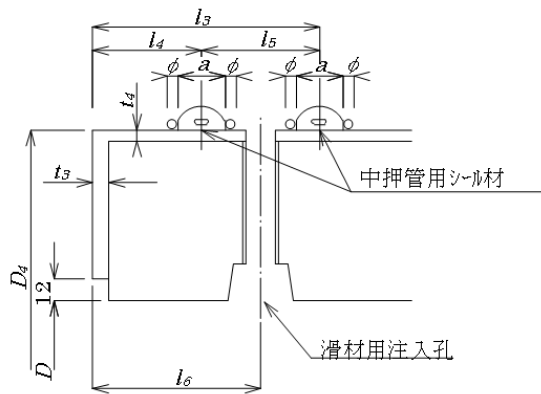


a 部詳細図

B-B断面



b 部詳細図



単位：mm

呼び径	内径 <i>D</i>	<i>D</i> ₄	<i>π D</i> ₄	<i>D</i> _c	<i>π(D</i> _c <i>+2t</i> _c <i>)</i>	有効長 <i>L</i> _{<i>T</i>}	<i>L</i> _{<i>C</i>2}	<i>l</i> ₃	<i>l</i> ₄	<i>l</i> ₅	<i>l</i> ₆	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>t</i> _c	<i>t</i> ₃	<i>t</i> ₄	φ	参考質量 (kg)	
900 ^(注)	900	1 044	3 280	1 071	3 393	1 150	170	125	60	65	93	26	18	4.5	9	6	6	785	
1 000	1 000	1 164	3 657	1 191	3 770													974	
1 100	1 100	1 274	4 002	1 301	4 115													1 120	
1 200	1 200	1 388	4 361	1 421	4 492								21					1 310	
1 350	1 350	1 551	4 873	1 588	5 027	1 200		140	65	75	103	30	24	6	12	6	9	1 640	
1 500	1 500	1 731	5 438	1 768	5 592														2 050
1 650	1 650	1 901	5 972	1 938	6 126														2 450
1 800	1 800	2 071	6 506	2 108	6 660														2 850
2 000	2 000	2 301	7 229	2 338	7 383	1 250		150	70	80	110	34	30	9	9	9	9	3 480	
2 200	2 200	2 531	7 951	2 568	8 105														4 170
2 400	2 400	2 749	8 636	2 792	8 828														5 170
2 600	2 600	2 979	9 359	3 022	9 550														6 020
2 800	2 800	3 209	10 081	3 252	10 273														6 940
3 000	3 000	3 439	10 804	3 482	10 996														7 920

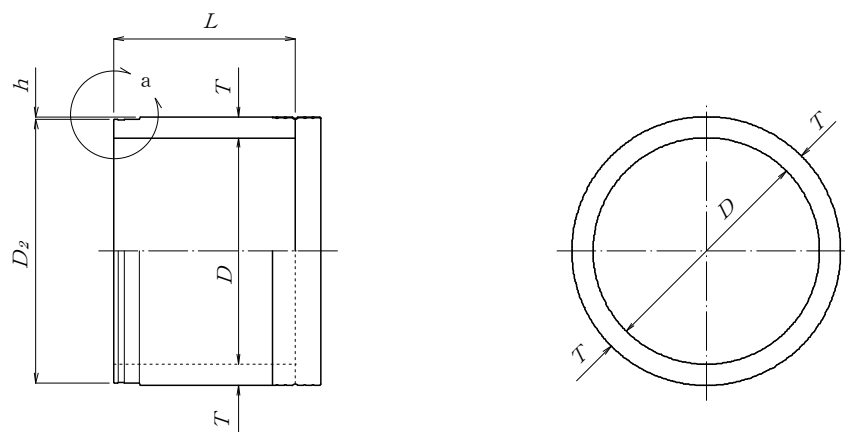
注 呼び径 900 は、JHPAS-19 による。

(3) 先頭管 C

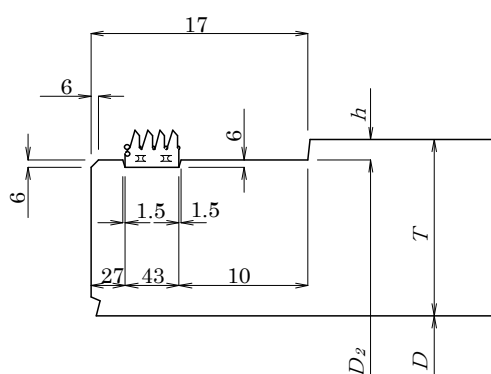
先頭管 C の形状及び寸法を表 1.3.8.2-4 に示す。

表 1.3.8.2-4 先頭管 C の形状及び寸法

単位：mm



a 部詳細図



単位：mm

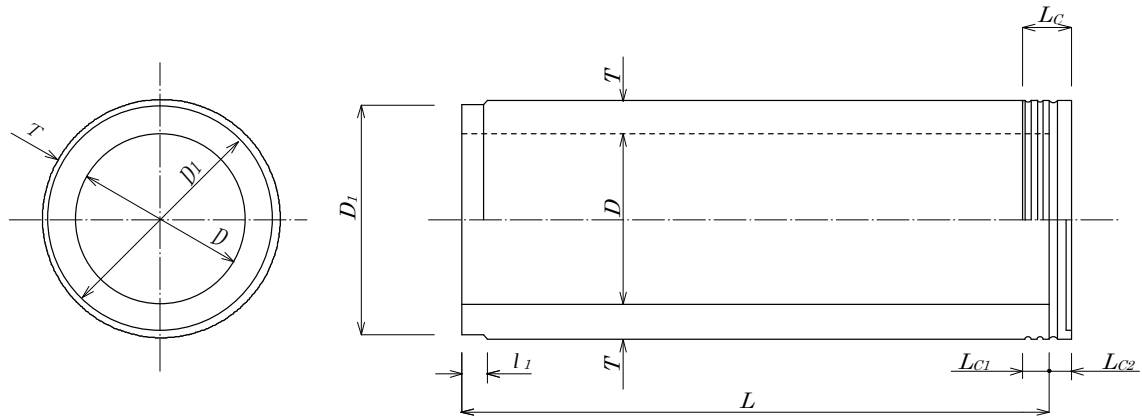
呼び径	内 径 D	D_2	$\pi(D_2 - 2 \times 6)$	h	厚 さ T	有効長 L	参考質量 (kg)
800	800	938	2 909	11	80	1 200	670
900	900	1 058	3 286		90		840
1 000	1 000	1 178	3 663		100		1 035
1 100	1 100	1 288	4 009		105		1 195
1 200	1 200	1 408	4 386		115		1 425
1 350	1 350	1 568	4 888	16	125		1 735
1 500	1 500	1 748	5 454		140		2 160
1 650	1 650	1 918	5 988		150		2 540
1 800	1 800	2 088	6 522		160		2 955
2 000	2 000	2 318	7 245		175		3 580
2 200	2 200	2 548	7 967	21	190		4 270
2 400	2 400	2 768	8 658		205		5 050
2 600	2 600	2 998	9 381		220		5 850
2 800	2 800	3 228	10 103		235		6 700
3 000	3 000	3 458	10 826		250		7 650

備考 その他の寸法については、標準管に準じる。

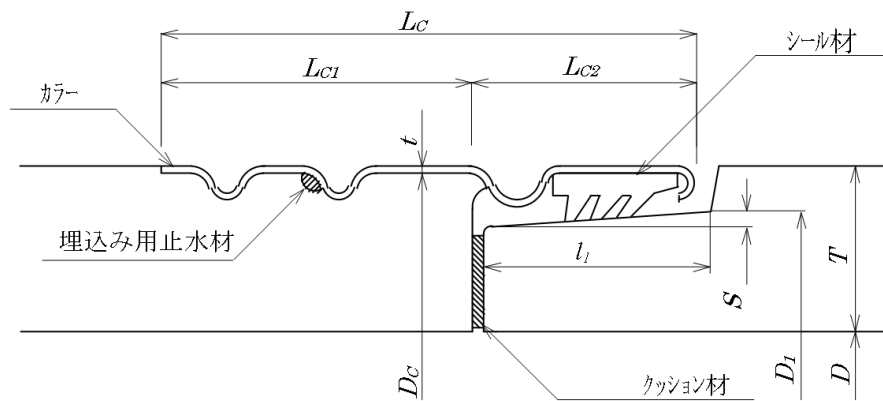
3.8.3 E形小口径推進管（JSWAS A-6 2000）（SJS）

(1) 標準管

表 1.3.8.3-1 標準管の形状及び寸法



継手部詳細図



単位：mm

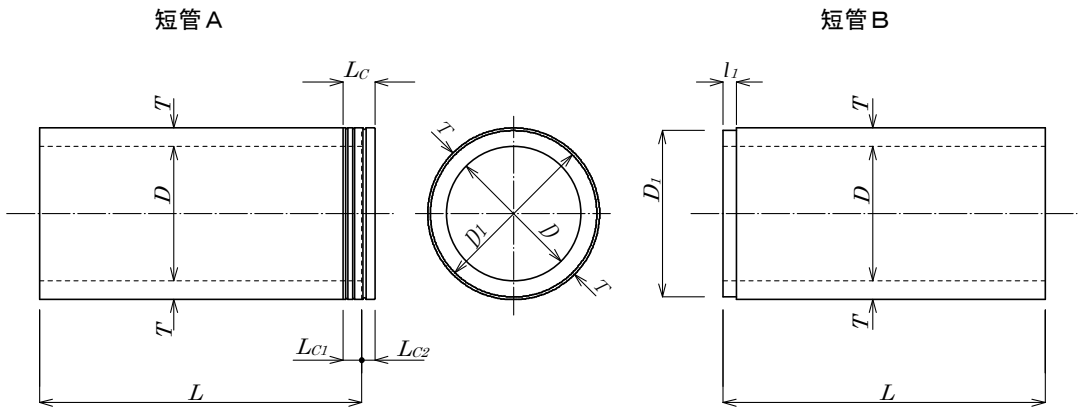
呼び径	内径 D	D_1	πD_1	厚さ T	有効長 ^(注) L	l_1	S	L_c	L_{c1}	L_{c2}	t	D_c	$\pi(D_c + 2t)$	参考質量 (kg)
200	200	298	936	59	2 000	51	1.5	120	70	50	1.5	313	993	236
250	250	340	1 068	55								355	1 125	260
300	300	394	1 238	57								409	1 294	315
350	350	450	1 414	60	2 430	51	1.5	120	70	50	1.5	465	1 470	462
400	400	506	1 590	63								521	1 646	548
450	450	564	1 772	67								579	1 828	651
500	500	620	1 948	70								635	2 004	749
600	600	736	2 312	80	2 430	81	2.5	170	90	80	2.0	754	2 381	1 030
700	700	856	2 689	90								874	2 758	1 340

注 呼び径 200～300 の管の有効長は 1 000mm、呼び径 350～700 の管の有効長は 1 200mm とすることができる。

備考 標準管の形状はカラーなしとすることができる。

(2) 短管 A、B

表 1.3.8.3-2 短管 A、B の形状及び寸法



単位：mm

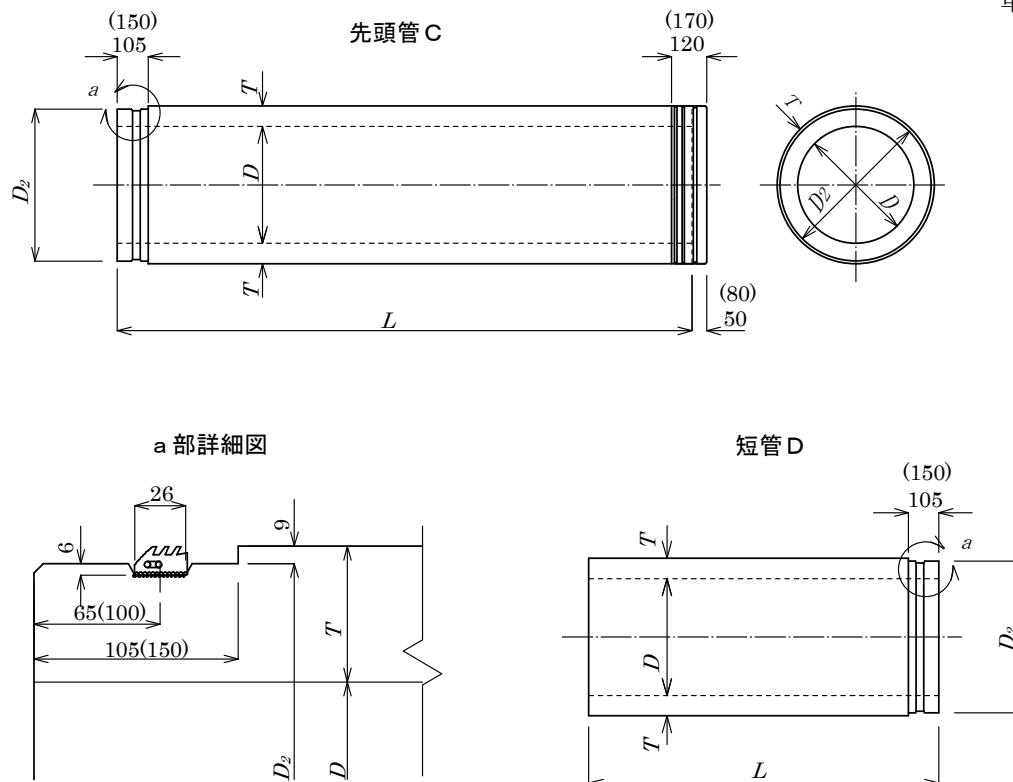
呼び径	内径 D	D_1	厚さ T	有効長 L	参考質量(kg)	
					短管 A	短管 B
200	200	298	59	990	119	117
250	250	340	55		131	129
300	300	394	57	1 200	159	156
350	350	450	60		232	230
400	400	506	63		276	272
450	450	564	67		327	324
500	500	620	70		376	373
600	600	736	80		517	510
700	700	856	90		673	665

備考 その他の寸法については標準管に準ずる。

(3) 先頭管 C、短管 D

表 1.3.8.3-3 先頭管 C、短管 D の形状及び寸法

単位：mm



※ () 内は、呼び径 600,700

単位：mm

呼び径	内径 <i>D</i>	<i>D</i> ₂	厚さ <i>T</i>	有効長 ^(注) <i>L</i>		参考質量(kg)	
				先頭管 C	短管 D	先頭管 C	短管 D
200	200	300	59	1 940	990	236	117
250	250	342	55			260	129
300	300	396	57			315	156
350	350	452	60	2 370	1 200	462	230
400	400	508	63			548	272
450	450	566	67			651	324
500	500	622	70			749	373
600	600	742	80	2 340		1 030	510
700	700	862	90			1 340	665

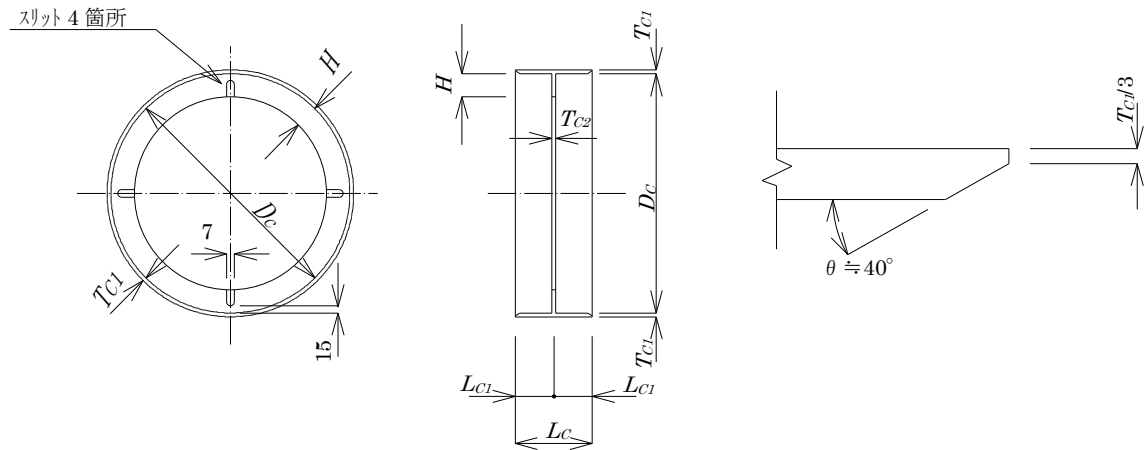
注 先頭管の有効長は、呼び径 200～300 については 1 000mm、呼び径 350～700 については 1 200mm とすることができる。

備考 1) 先頭管の形状は、カラーなしとすることができる。

2) その他の寸法については標準管に準ずる。

表 1.3.8.3-4 先頭管 C、短管 D に用いるカラーの形状及び寸法

単位：mm



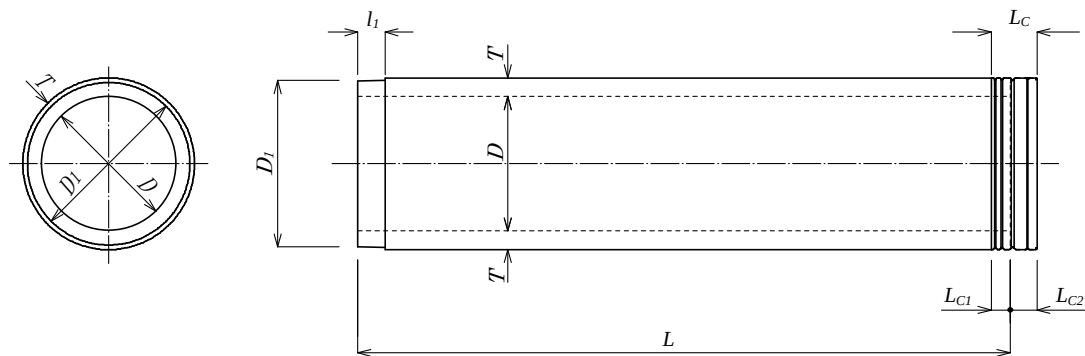
単位：mm

呼び径	D_c	$\pi(D_c + 2T_{c1})$	H	T_{c1}	T_{c2}	L_c	L_{c1}	参考質量 (kg)
200	307	993	50					9
250	349	1 125	46					10
300	403	1 294	48					11
350	459	1 470	51			200	100	13
400	515	1 646	54	4.5	4.5			15
450	573	1 828	58					17
500	629	2 004	61					18
600	749	2 381	71			300	150	31
700	869	2 758	81					37

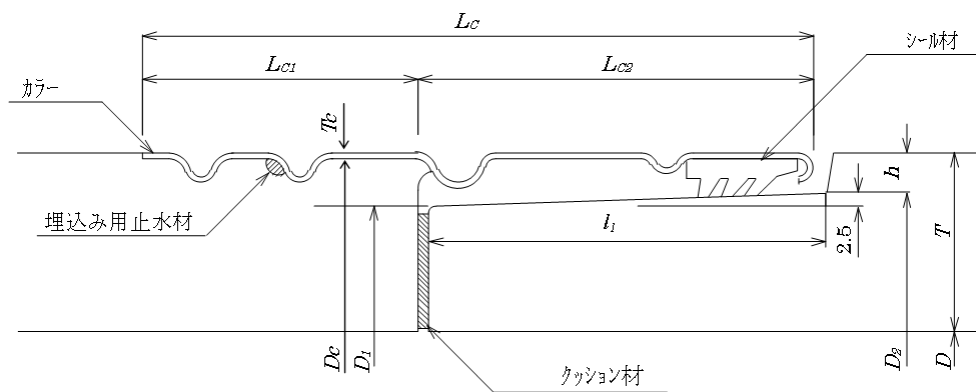
備考 スリットは、呼び径 600, 700 のみに設ける。

(1) 標準管

單位：mm



継手部詳細図



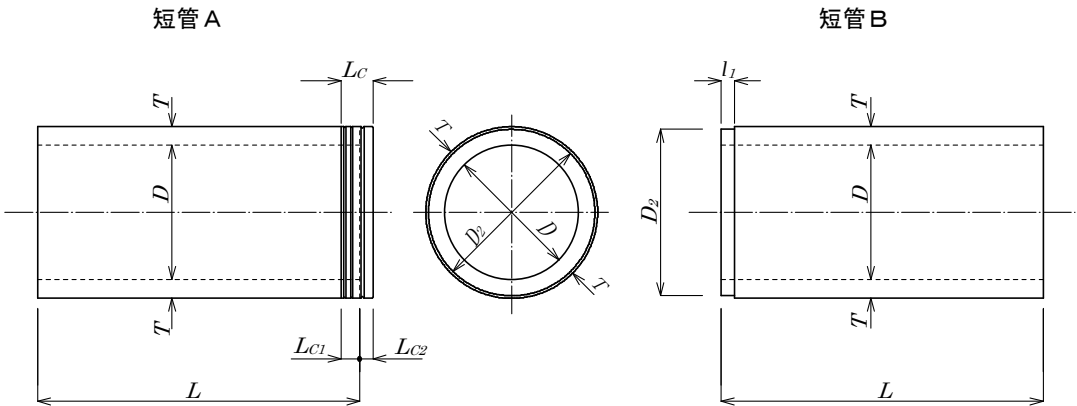
單位：mm

呼び径	内径 D	D_1	D_2	πD_2	厚さ T	有効長 ^(注) L	l_1	h	L_c	L_{C1}	L_{C2}	T_c	D_c	$\pi(D_c+2T_c)$	参考質量 (kg)						
200	200	295	300	942	59	2 000	102	9	170	70	100	1.5	314	996	236						
250	250	337	342	1 074	55								356	1 128	260						
300	300	391	396	1 244	57								410	1 297	315						
350	350	447	452	1 420	60	2 430							112	12	200	90	110	2.0	466	1 473	462
400	400	503	508	1 596	63														522	1 649	548
450	450	561	566	1 778	67														580	1 832	651
500	500	617	622	1 954	70														636	2 007	749
600	600	731	736	2 312	80		755	2 384	1 030												
700	700	851	856	2 689	90	875	2 761	1 340													

備考 標準管は、カラーなしとすることができる。

(2) 短管 A、B

表 1.3.8.4-2 短管 A、B の形状及び寸法



単位：mm

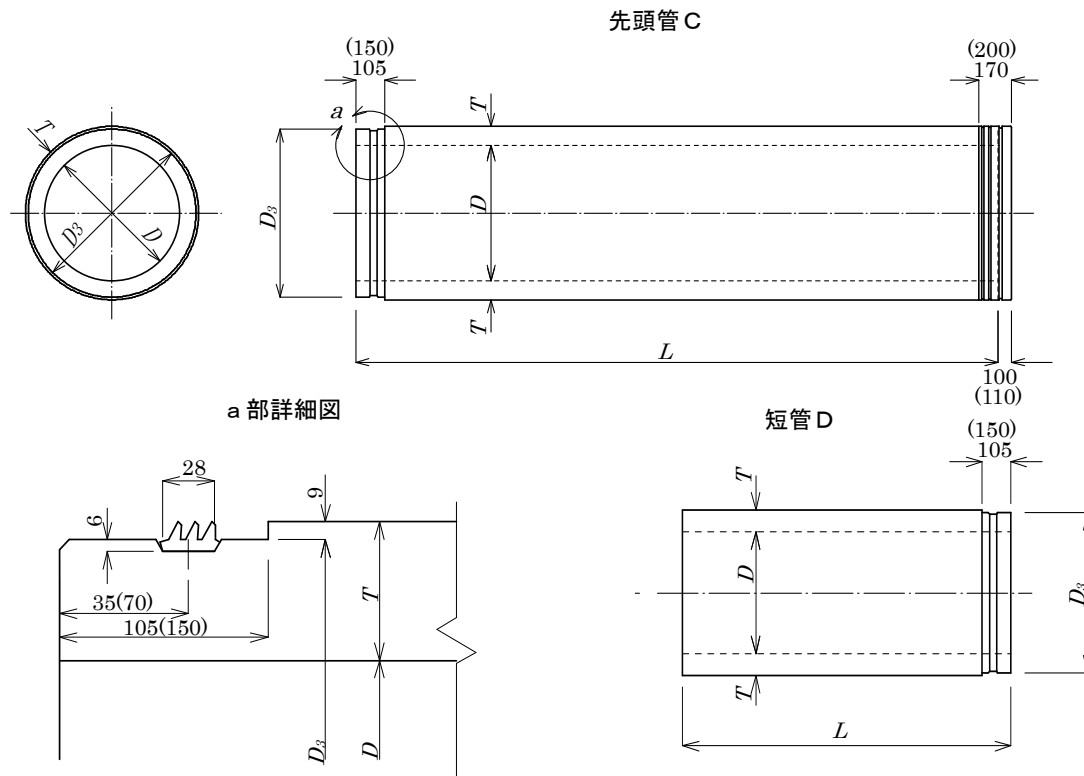
呼び径	内径 D	D_2	厚さ T	有効長 L	参考質量(kg)	
					短管 A	短管 B
200	200	300	59	990	119	117
250	250	342	55		131	129
300	300	396	57	1 200	159	156
350	350	452	60		232	230
400	400	508	63		276	272
450	450	566	67		327	324
500	500	622	70		376	373
600	600	736	80		517	510
700	700	856	90		673	665

備考 その他の寸法については標準管に準ずる。

(3) 先頭管 C、短管 D

表 1.3.8.4-3 先頭管 C、短管 D の形状及び寸法

単位：mm



※ () 内は、呼び径 600,700

単位：mm

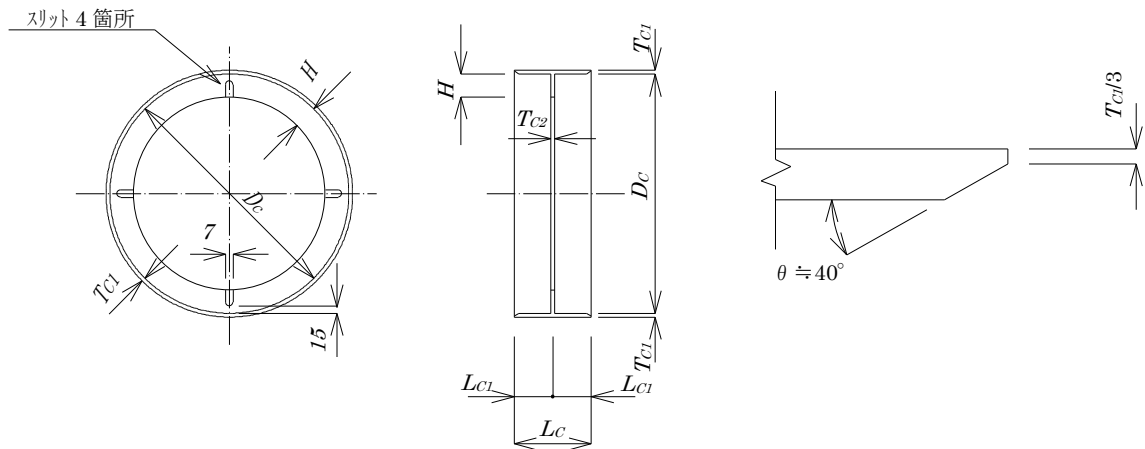
呼び径	内径 D	D_3	厚さ T	有効長 ^(注) L		参考質量(kg)	
				先頭管 C	短管 D	先頭管 C	短管 D
200	200	300	59	1 890	940	230	114
250	250	342	55			253	125
300	300	396	57			307	152
350	350	452	60			452	224
400	400	508	63	2 320	1 150	536	265
450	450	566	67			637	315
500	500	622	70			733	363
600	600	742	80			1 020	507
700	700	862	90	2 310		1 320	657

注 先頭管の有効長は、呼び径 200～300 については 940mm、呼び径 350～700 については 1150mm とすることができる。

備考 その他の寸法については標準管に準ずる。

表 1.3.8.4-4 先頭管 C、短管 D に用いるカラーの形状及び寸法

単位：mm



単位：mm

呼び径	D_c	$\pi(D_c + 2T_{c1})$	H	T_{c1}	T_{c2}	L_c	L_{c1}	参考質量 (kg)
200	307	993	50					9
250	349	1 125	46					10
300	403	1 294	48					11
350	459	1 470	51			200	100	13
400	515	1 646	54	4.5	4.5			15
450	573	1 828	58					17
500	629	2 004	61					18
600	749	2 381	71			300	150	31
700	869	2 758	81					37

備考 スリットは、呼び径 600, 700 のみに設ける。

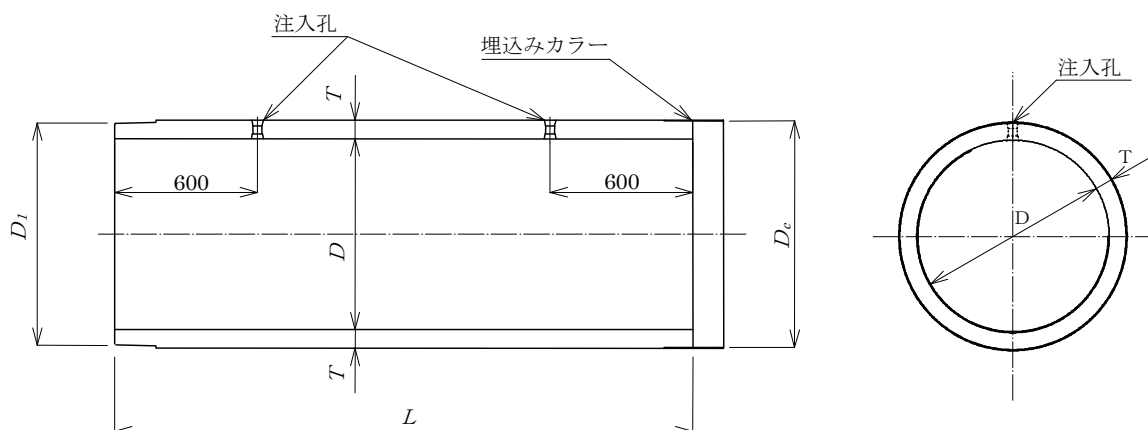
3.8.5 接続管

接続管は、E形推進管とNS推進管を接続するために使用する管で、差し口はNS推進管、受口はE形推進管の形状及び寸法となっている。

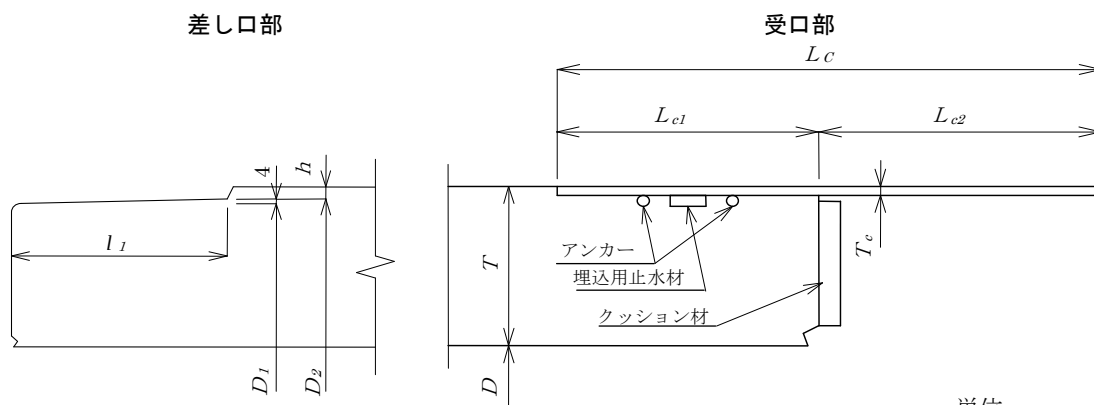
接続管の形状及び寸法を表 1.3.8.5-1 に示す。

表 1.3.8.5-1 接続管の形状及び寸法

単位：mm



継手部詳細図



単位：mm

呼び径	D_1	D_2	πD_2	厚さ T	有効長 ^(注) L	l_1	h	L_{c1}	L_{c2}	L_c	T_c	D_c	$\pi (D_c + 2T_c)$	参考質量 (kg)
800	930	938	2 947	80	2 430	172	11				4.5	951	3 016	1 330
900	1 050	1 058	3 324	90								1 071	3 393	1 670
1 000	1 170	1 178	3 701	100								1 191	3 770	2 060
1 100	1 280	1 288	4 046	105								1 301	4 115	2 380
1 200	1 400	1 408	4 423	115			16	120	130	250	6	1 421	4 492	2 840
1 350	1 560	1 568	4 926	125								1 588	5 027	3 460
1 500	1 740	1 748	5 492	140								1 768	5 592	4 310
1 650	1 910	1 918	6 026	150								1 938	6 126	5 060
1 800	2 080	2 088	6 560	160								2 108	6 660	5 890
2 000	2 310	2 318	7 282	175			21				9	2 338	7 383	7 140
2 200	2 540	2 548	8 005	190								2 568	8 105	8 520
2 400	2 760	2 768	8 696	205								2 792	8 828	10 100
2 600	2 990	2 998	9 418	220								3 022	9 550	11 700
2 800	3 220	3 228	10 141	235				150	150	300		3 252	10 273	13 400
3 000	3 450	3 458	10 864	250								3 482	10 996	15 300

注 標準管の有効長は1 200mmとすることができる。

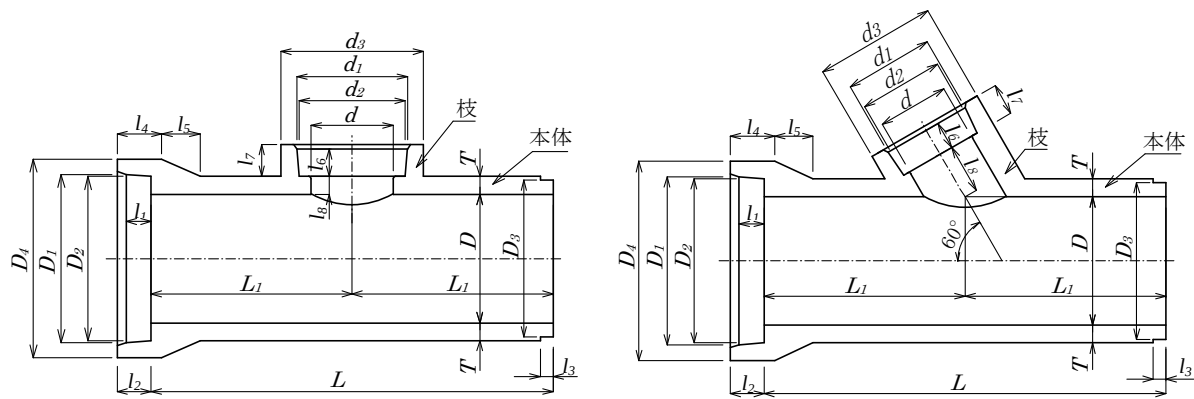
備考 呼び径1 000mm以上の標準管には、緊結用埋込みナットをつけることができる。

3.9 異形管

T字管及びY字管は、ヒューム管を取付管として使用する場合に直接接続できるように形状及び寸法が定められている。また、曲管及び短管は、取付管の方向及び長さの調整に使用し、支管は本管に直接穿孔して、取付管を接続する場合に使用する。

3.9.1 T字管及びY字管

表 1.3.9.1-1 T字管、Y字管の形状及び寸法

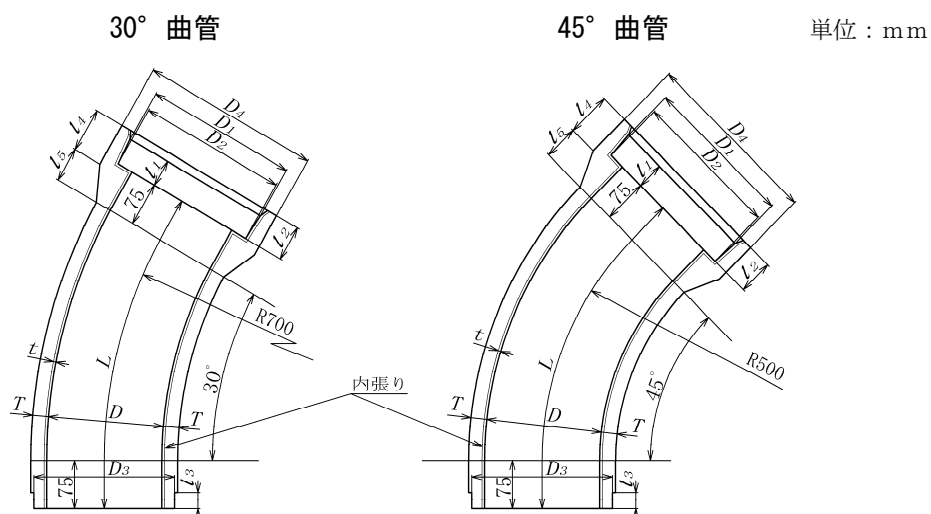


単位：mm

呼び径	呼　　び	本　　　　　　体												枝								参考質量		
		内径 <i>D</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄	厚さ <i>T</i>	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃	<i>l</i> ₄	<i>l</i> ₅	有効長 <i>L</i>	<i>L</i> ₁	内径 <i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>l</i> ₆	<i>l</i> ₇	T字			Y字
																					<i>l</i> ₈		T字	Y字
200	200×150	200	262	258	246	316	27			32	115	55			150	210	206	262	65	90	27	91	44	51
250	250×150	250	314	310	298	370	28	65	90			60	600	300							28	92	53	60
300	300×150	300	368	364	350	424	30				120										30	94	64	72
350	350×150	350	422	418	404	482	32			36		65									32	97	78	84
400	400×150	400	478	474	460	544	35	70	95		125	70	800	400							35	100	120	127
450	450×150	450	534	530	516	606	38					75								38	103	144	160	
250	250×200	250	314	310	298	370	28			32		60			200	262	258	316	65	90	28	107	57	68
300	300×200	300	368	364	350	424	30	65	90		120		600	300							30	109	67	78
350	350×200	350	422	418	404	482	32			36		65									32	112	79	90
400	400×200	400	478	474	460	544	35					70									35	115	122	132
450	450×200	450	534	530	516	606	38	70	95		125	75	800	400							38	118	145	156

3.9.2 曲 管

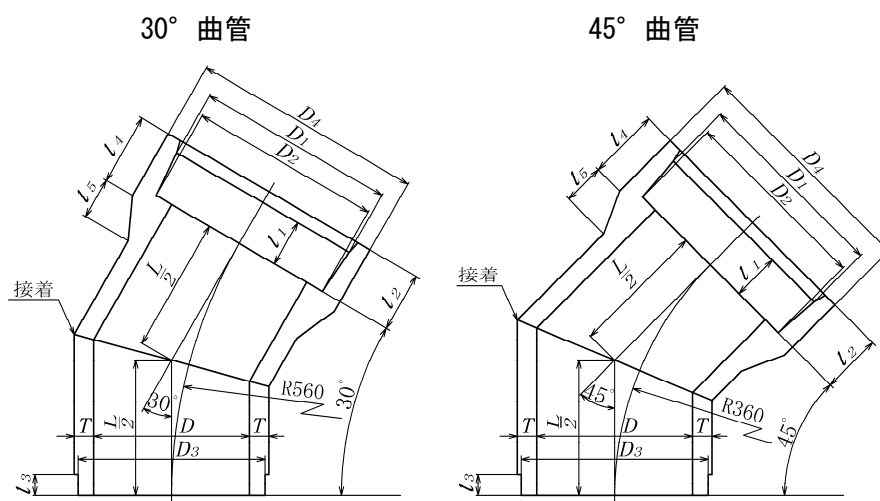
表 1.3.9.2-1 曲管（U形）の形状及び寸法



単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	D_2	D_3	D_4	厚さ T	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	有効長 L		参考 t は一般に 2mm程度	参考質量(kg)	
												30°	45°		30°	45°
150	150	210	206	194	262	26	65	90	32	115	50	517	543	t は一般に 2mm程度	24	25
200	200	262	258	246	316	27					55				32	33

表 1.3.9.2-2 曲管（V形）の形状及び寸法

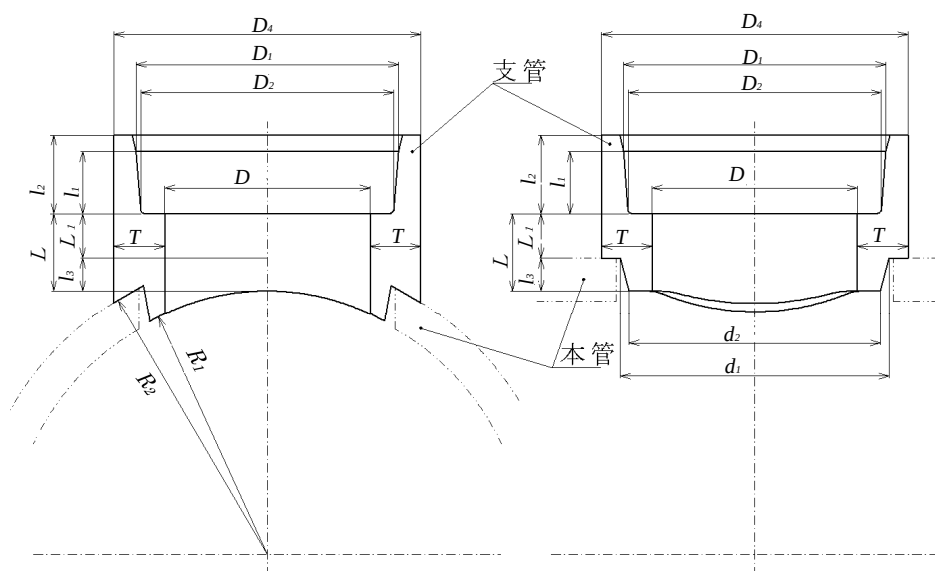


単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	D_2	D_3	D_4	厚さ T	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	有効長 L		参考質量 (kg)
												30°	45°	
150	150	210	206	194	262	26	65	90	32	115	50	300	300	18
200	200	262	258	246	316	27					55			23

3.9.3 支 管

表 1.3.9.3-1 支管の形状及び寸法

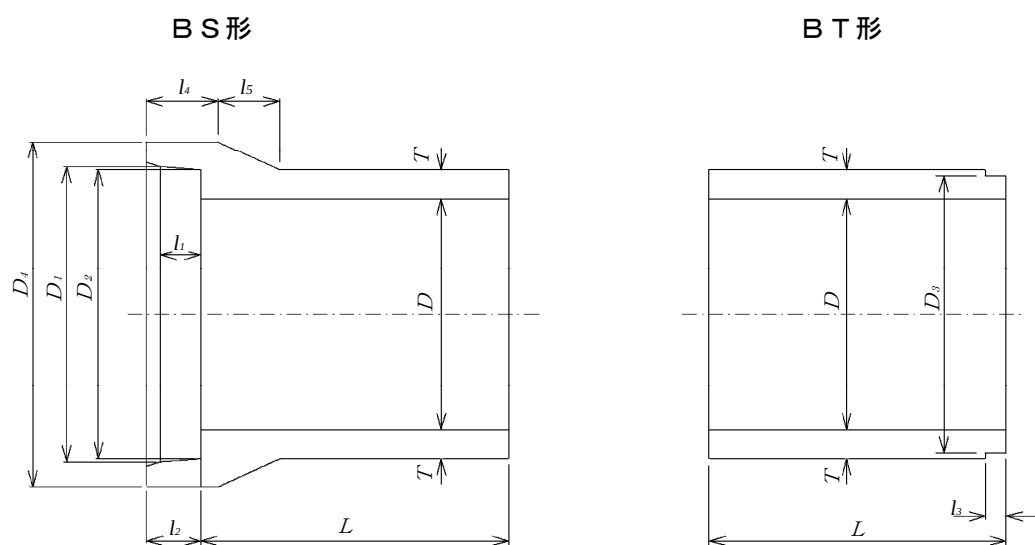


単位：mm

呼び径		内径 D	D_1	D_2	D_4	厚さ T	R_1	R_2	L_1	l_1	l_2	l_3	d_1	d_2	有効長 L	(参考) 適用される 本管の呼び径	参考 質量 (kg)
150	A	150	210	206	262	56	181	207	74	65	90	26	200	190	100	250～350	13
	B	150	210	206	262	56	259	292	92			33		190	125	400～500	14
	C	150	210	206	262	56	477	525	102			48		190	150	600 以上	15
200	A	200	262	258	316	58	259	292	67	65	90	33	255	245	100	400～500	15
	B	200	262	258	316	58	477	525	77			48		245	125	600～900	17
	C	200	262	258	316	58	558	638	70			80		245	150	1000 以上	17

3.9.4 短 管

表 1.3.9.4-1 短管の形状及び寸法



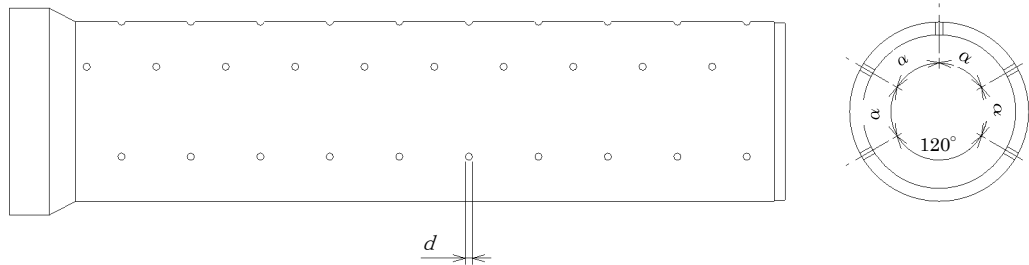
単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	D_2	D_3	D_4	厚さ T	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	有効長 L	参考質量 (kg)	
													B S 形	B T 形
150	150	210	206	194	262	26	65	90	32	115	50	500	25	17
200	200	262	258	246	316	27					55		33	23
250	250	314	310	298	370	28			36	120	60		42	30
300	300	368	364	350	424	30					52		38	
350	350	422	418	404	482	32	70	95			65	64	47	
400	400	478	474	460	544	35					70	92	71	
450	450	534	530	516	606	38					75	600	110	87

3.10 集水管

集水管は地下水や伏流水の集水用などに用いられる有孔管である。管の形状及び寸法は、B形、NB形の規定による。

表 1.3.10-1 集水管



呼び径	孔径 d (mm)	総孔数 (個)	列数 ^(注) (列)	一列の数 ^(注) (個)	α ^(注) (度)
150	20	18	3	6	120
200		24	4	6	80
250		28	4	7	80
300		35	5	7	60
350		40	5	8	60
400	25	40	5	8	60
450		45	5	9	60
500		50	5	10	60
600		60	6	10	48
700		70	7	10	40
800		80	8	10	34
900		88	8	11	34
1 000		99	9	11	30

注 集水孔の配置の一例を示す。

表 1.3.10-2 集水管の集水面積

呼び径	外周面積 (cm ²)	集水面積 (cm ²)			穿孔率 (%)
		管体部	継手部	総集水面積	
150	12 690	57	19	76	0.45
200	15 960	75	24	99	0.47
250	19 230	88	29	117	0.46
300	22 620	110	34	144	0.48
350	26 010	126	39	165	0.48
400	35 880	196	45	241	0.55
450	40 150	221	50	271	0.55
500	44 580	245	55	300	0.55
600	53 440	294	66	360	0.55
700	62 290	343	77	420	0.55
800	71 150	392	88	480	0.55
900	80 160	432	99	531	0.54
1 000	88 860	486	110	596	0.55

備考 集水面積と穿孔率は、表 1.3.10-1 に示す集水孔の配置にもとずいて計算した値である。

3.11 寸法の許容差

表 1.3.11-1 A 形

単位：mm

呼び径	内径 D	厚さ T	有効長 L
150～250	±3	+3 -2	+10 - 5
300～900	±4	+4 -2	
1 000～1 350	±6	+6 -3	
1 500～1 800	±8	+8 -4	

表 1.3.11-2 A 形用コンクリートカラー

単位：mm

呼び径	内径 D_c	厚さ T_c	長さ L_c
150～250	+3 -2	+3 -2	+10 - 5
300～900	+4 -2	+4 -2	
1 000～1 350	+5 -3	+5 -3	
1 500～1 800	+6 -3	+6 -3	

表 1.3.11-3 A 形用ステンレスカラー

単位：mm

呼び径	$\pi(D_{sc}+2t)$	長さ L_{sc}
150～350	±3	+5 -2

表 1.3.11-4 B 形 NB 形

単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	D_3	厚さ T	l_2	l_3	有効長 L
150～250	±3	±2		+3 -2	±5	±4	+10 - 5
300～600	±4			+4 -2		±5	
700～900		+3 -2					
1 000～1 350	±6			+6 -3			

表 1.3.11-5 C 形 NC 形

単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	D_2	厚さ T	l_1	l_2	L_1
1 500～1 800	±8	±3	±2	+8 -4	±2		+10 - 5
2 000～2 400	±10			+10 - 5			
2 600～3 000	±12	±4	±3	+12 - 6			

表 1.3.11-6 N E 形

単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	πD_1	厚さ T	有効長 ^(注 1) L	l_1	L_C	L_{C2}	$\pi (D_C+2 T c)$ ^(注 2)	
200, 250	±3	±2	±3	+4 −2	+10 − 5	+3 −1	+5 −2	±2	±3	
300~600	±4									+3 −2
700										
800										
900~ 1 200	±6	+4 −2		+6 −3		±2			±5	
1 350	±8		+4 −3		±6		+8 −4			

注 1) カラーなしの場合は+10,-20 とする。

2) 呼び径 800~1 350 については $\pi (D_C+2 T c)$ とする。

表 1.3.11-7 N L 形

単位：mm

呼び径	内径 D	D_2	πD_2	厚さ T	有効長 ^(注) L	l_1	L_C	L_{C2}	$\pi (D_C+2 T c)$
200, 250	±3	±2	±3	+4 −2	+10 −5	+3 −1	+5 −2	±2	±3
300~700	±4					+3 −2			
800									
900~1 200	±6	+3 −2		+6 −3					
1 350	±8	+4 −3	±6	+8 −4					±5

注 カラーなしの場合は+10,-20 とする。

表 1.3.11-8 E 形推進管（標準管）

単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	πD_1	厚さ T	有効長 ^(注) L	l	L_C	L_{C2}	$\pi (D_C+2 T c)$
800	±4	+3 -2	±3	+4 -2	+10 -5	±2	+5 -2	±2	±3
900~1 200	±6	+4 -3	±6	+6 -3					
1 350~1 650	±8			+8 -4					±5
1 800~2 200	±10			+10 -5					
2 400~3 000	±12	+5 -3	±9	+12 -6					

注 カラーなしの場合は+10,-20 とする。

表 1.3.11-9 E形推進管（中押管S）

単位：mm

呼び径	D_1	πD_1	$\pi (Dc+2 t c)$	有効長 $L s$	$L c$
900 (注)	+3 -2	±3	±3	±2	+5 -3
1 000～1 200					
1 350～2 200	+4 -3	±6	±5		
2 400～3 000	+5 -3	±9			

注 呼び径 900 は JHPAS-19 による。

表 1.3.11-10 E形推進管（中押管T）

単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	πD_1	$\pi (Dc+2 t c)$	有効長 L_T	$L c$
900 (注)	±6	+3 -2	±3	±3	+5 -3	±2
1 000～1 200		+4 -3	±6	±5		
1 350～1 650	±8					
1 800～2 200	±10					
2 400～3 000	±12	+5 -3	±9			

注 呼び径 900 は JHPAS-19 による。

表 1.3.11-11 NS推進管（標準管・接続管）

単位：mm

呼び径	内径 D	D_2	πD_2	厚さ T	有効長 ^(注) L	l_1	L_c	L_{c2}	$\pi (Dc+2Tc)$
800	±4	+3 -2	±3	+4 -2	+10 -5	±2	+5 -2	±2	±3
900～1 200	±6			+6 -3					
1 350～1 650	±8	+4 -3	±6	+8 -4					±5
1 800～2 200	±10			+10 -5					
2 400～3 000	±12	+5 -3	±9	+12 -6					

注 カラーなしの場合は+10,-20 とする。

表 1.3.11-12 NS推進管（中押管S）

単位：mm

呼び径	D_3	πD_3	$\pi (Dc_l+2t_l)$	有効長 L_s	L_{c3}
900 (注)	+3	± 3	± 3	± 2	$+5$ -3
1 000～1 200	-2				
1 350～2 200	+4 -3	± 6	± 5		
2 400～3 000	+5 -3	± 9			

注 呼び径 900 は JHPAS-25 による。

表 1.3.11-13 NS推進管（中押管 T）

単位：mm

単位：mm

呼び径	内径 D	D_4	πD_4	$\pi (Dc+2Tc)$	有効長 L_T	L_{c2}
900 (注)	± 6	$+3$ -2	± 3	± 3	$+5$ -3	± 2
1 000～1 200						
1 350～1 650	± 8	$+4$ -3	± 6	± 5		
1 800～2 200	± 10					
2 400～3 000	± 12		± 9			

注 呼び径 900 は JHPAS-25 による。

表 1.3.11-14 NS先頭管 C

単位：mm

呼び径	内径 D	D_2	$\pi (D_2-2\times 6)$	厚さ T	有効長 L
800	± 4	$+3$ -2	± 3	$+4$ -2	$+10$ -5
900～1 200	± 6			$+6$ -3	
1 350～1 650	± 8	$+4$ -3	± 6	$+8$ -4	
1 800～2 200	± 10			$+10$ -5	
2 400～3 000	± 12	$+5$ -3	± 9	$+12$ -6	

表 1.3.11-15 E形小口径推進管（標準管、短管、先頭管）

単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	πD_1	厚さ T	有効長 ^(注 1) L	l_1	Lc	Lc_2	$\pi (Dc+2t)$	D_2 ^(注 2)	$\pi (D_2-2\times 6)$ ^(注 3)
200,250	± 3	± 2	± 3	$+4$ -2	$+10$ -5	$+3$ -1	$+5$ -2	± 2	± 3	± 3	$+9$ -6
300 ～600	± 4										
700		$+3$ -2									

注 1) 標準管カラーなしの場合は+10,-20、短管の場合は+20,-10、先頭管呼び径 600,700 の場合は+5,-30 とする。

2) 3) D_2 及び $\pi (D_2-2\times 6)$ は短管D及び先頭管に適用する。

表 1.3.11-16 E形小口径推進管の先頭管C、
短管Dに用いるカラー

単位：mm

呼び径	$\pi (Dc+2Tc_1)$	H	Lc_1
200～700	±3	±2	±2

表 1.3.11-17 N S小口径推進管の先頭管C、
短管Dに用いるカラー

単位：mm

呼び径	$\pi (Dc+2Tc_1)$	H	Lc_1
200～700	+3 -2	±2	±2

表 1.3.11-18 N S小口径推進管（標準管、短管、先頭管）

単位：mm

呼び径	内径 D	D_2	πD_2	厚さ T	有効長 ^(注1) L	l_1	Lc	Lc_2	$\pi (Dc+2Tc)$	^(注2) D_3	^(注3) $\pi (D_3-2 \times 6)$
200,250	±3	±2	±3	+4 -2	+10 -5	+3 -1	+5 -2	±2	±3	±3	+6 -3
300 ～700	±4										

注 1) 標準管カラーなし及び先頭管の場合は+10,-20、短管の場合は+20,-10とする。

2) 3) D_3 及び $\pi (D_3-2 \times 6)$ は短管D及び先頭管に適用する。

表 1.3.11-19 T字管, Y字管

単位：mm

呼び径	本体							枝			
	内径 D	D_1	D_3	厚さ T	l_2	l_3	有効長 L	内径 d	d_1	d_3	l_7
200,250	±3	±2		+3 -2	±5	±4	+10 -5	±3	±2	-5 +は規定 しない	±5
300～450	±4			+4 -2							

表 1.3.11-20 曲管（U形、V形）

単位：mm

呼び径		内径 D	D_1	D_3	厚さ T	l_2	l_3	有効長 L
150,200	U形	±4	±2		+4 -3	±5	±4	+10 -5
	V形	±3			+3 -2			

表 1.3.11-21 支管

単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	厚さ T	l_2	l_3	d_1	有効長 L
150,200	±3	±2	+5 -4	±5	±4	±3	±5

表 1.3.11-22 短管（BS形、BT形）

単位：mm

呼び径	内径 D	D_1	D_3	厚さ T	l_2	l_3	有効長 L
150～ 250	±3	±2		+3 -2	±5	±4	±5
300～ 450	±4			+4 -2			

第4章 管の強さと継手性能

4.1 外圧管、異形管及び集水管

外圧管（A形、B形、C形、NB形、NC形、NE形及びNL形）、異形管及び集水管の外圧強さ（曲げ強度）を表 1.4.1-1、外圧試験方法（曲げ強度試験方法）を図 1.4.1-1 に示す。

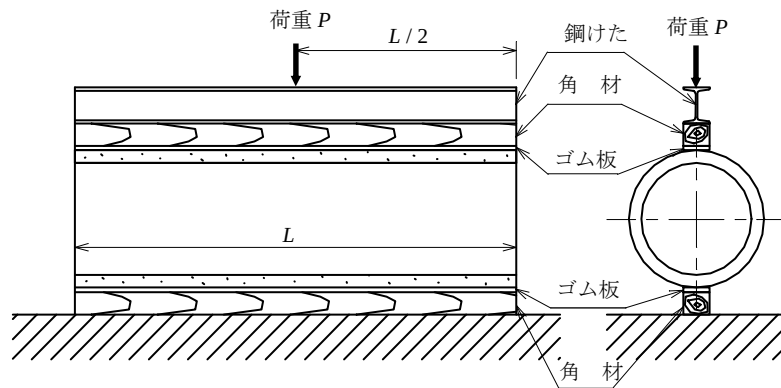
表 1.4.1-1 外圧管、異形管及び集水管の外圧強さ（曲げ強度）

単位：kN/m

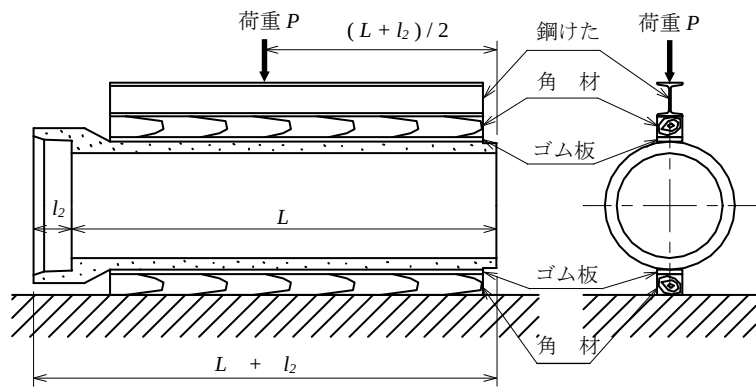
呼び径	ひび割れ荷重			破壊荷重		
	1 種	2 種	3 種	1 種	2 種	3 種
150			—			—
200	16.7	23.6	62.8	25.6	47.1	94.2
250			64.8			97.1
300	17.7	25.6	68.7	26.5	51.1	103
350	19.7	27.5	74.6	29.5	55.0	112
400	21.6	32.4	78.5	32.4	62.8	118
450	23.6	36.3	84.4	35.4	66.8	127
500	25.6	41.3	88.3	38.3	70.7	133
600	29.5	49.1	92.2	44.2	77.5	138
700	32.4	54.0	96.2	49.1	85.4	143
800	35.4	58.9	70.7	53.0	93.2	106
900	38.3	63.8	76.5	57.9	101	115
1 000	41.3	68.7	82.4	61.9	108	124
1 200	43.2	72.6	85.4	65.8	113	128
1 200	45.2	75.6	88.3	71.7	118	133
1 350	47.1	79.5	94.2	81.5	126	142
1 500	50.1	83.4	110	91.3	134	165
1 650	53.0	88.3	117	102	143	176
1 800	56.0	93.2	123	111	151	185
2 000	58.9	98.1	130	118	161	195
2 200	61.9	104	137	124	172	206
2 400	64.8	108	143	130	183	214
2 600	67.7	113	150	136	193	224
2 800	70.7	118	155	142	204	233
3 000	73.6	123	162	148	213	244

備考 ひび割れ荷重とは、管に幅 0.05 mm のひび割れを生じたときの試験機が示す荷重を有効長 L で除した値をいい、破壊荷重とは、試験機が示す最大荷重を有効長 L で除した値をいう。

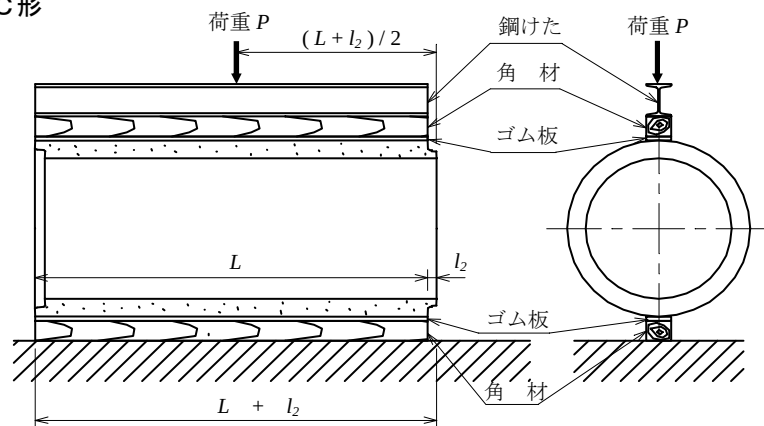
A 形



B 形、NB 形



C 形、NC 形



NE 形、NL 形

NE 形、NL 形は、図 1.4.2-1 を参照。

図 1.4.1-1 外圧管の外圧試験方法（曲げ強度試験方法）

4.2 推進管

推進管の外圧強さ（曲げ強度）を表 1.4.2-1、外圧試験方法（曲げ強度試験方法）を図 1.4.2-1 に示す。

表 1.4.2-1 推進管の外圧強さ（曲げ強度）

単位：kN/m

呼 び 径	ひ び 割 れ 荷 重		破 壊 荷 重	
	1 種	2 種	1 種	2 種
200	31.4	62.8	47.1	94.2
250	32.4	64.8	49.1	97.1
300	34.4	68.7	52.0	103
350	37.3	74.6	55.9	112
400	39.3	78.5	58.9	118
450	42.2	84.4	63.8	127
500	44.2	88.3	66.7	133
600	46.1	92.2	69.7	138
700	48.1	96.2	72.6	143
800	35.4	70.7	57.9	106
900	38.3	76.5	64.8	115
1 000	41.2	82.4	71.6	124
1 100	42.7	85.4	78.5	128
1 200	44.2	88.3	86.3	133
1 350	47.1	94.2	98.1	142
1 500	50.1	101	110	151
1 650	53.0	106	122	159
1 800	55.9	112	134	168
2 000	58.9	118	142	177
2 200	61.8	124	149	186
2 400	64.8	130	155	195
2 600	67.7	136	163	203
2 800	70.7	142	170	212
3 000	73.6	148	177	221

備考 ひび割れ荷重とは、管に幅 0.05 mm のひび割れを生じたときの試験機が示す荷重を有効長 L で除した値をいい、破壊荷重とは、試験機が示す最大荷重を有効長 L で除した値をいう。

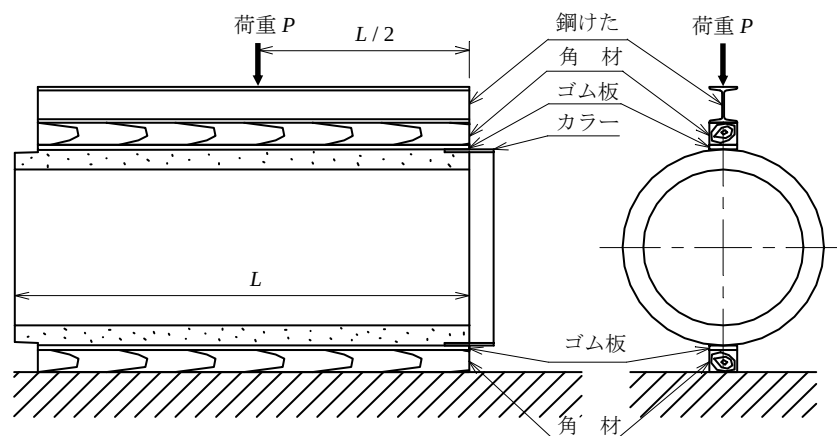


図 1.4.2-1 推進管の外圧試験方法（曲げ強度試験方法）

4.3 内圧管

内圧管は試験水圧の大きさによって、2 K 管（2 キロ管）、4 K 管（4 キロ管）、6 K 管（6 キロ管）に区別される。例えば、2 K 管とは試験水圧が 0.2 MP a の水圧に耐える管のことをいう。

4.3.1 内圧強さ

内圧強さを表 1.4.3.1-1 に示す。

表 1.4.3.1-1 内圧強さ

単位：MP a

種類	試験水圧
2 K	0.2
4 K	0.4
6 K	0.6

内圧試験は管体のコンクリートが十分水を含み、管の表面がかわいた状態で管の両端をパッキング及び鏡板などによって密閉し、管内の空気を抜き満水にした上で水圧を加える。

内水圧試験の試験例を図 1.4.3.1-1 に示す。

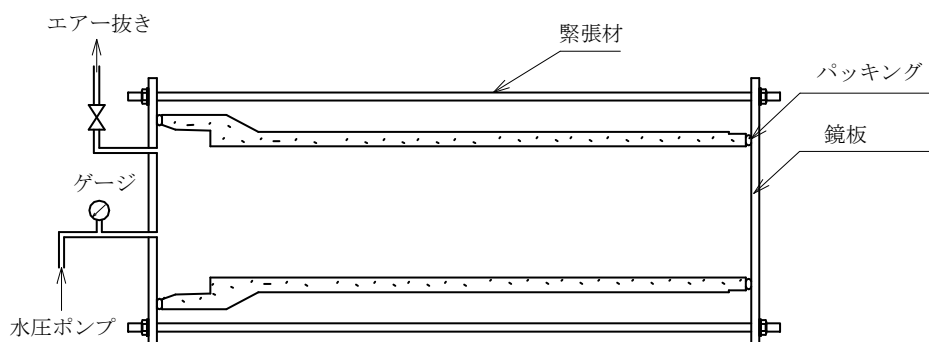


図 1.4.3.1-1 内水圧試験例

4.3.2 内圧管の外圧強さ（曲げ強度）

内圧管の外圧強さ（曲げ強度）を表 1.4.3.2-1 に示す。また外圧試験方法（曲げ強度試験方法）は図 1.4.1-1 による。

表 1.4.3.2-1 内圧管の外圧強さ（曲げ強度）

単位：kN/m

呼び径	ひび割れ荷重			破壊荷重		
	2 K	4 K	6 K	2 K	4 K	6 K
150		17.7	19.7		35.4	39.3
200	16.7	19.7	21.6	33.4	39.3	43.2
250		20.7	23.6		41.3	47.1
300	17.7	21.6	25.6	35.4	43.2	51.1
350	19.7	23.6	27.5	39.3	47.1	55.0
400	21.6	25.6	29.5	43.2	51.1	58.9
450	23.6	27.5	31.4	47.1	55.0	62.8
500	25.6	29.5	33.4	51.1	58.9	66.8
600	29.5	32.4	36.3	58.9	64.8	72.6
700	32.4	36.3	40.3	64.8	72.6	80.5
800	35.4	39.3	44.2	70.7	78.5	88.3
900	38.3	47.1	—	76.6	94.2	—
1 000	41.3	51.1	—	82.5	103	—
1 100	43.2	53.0	—	86.4	106	—
1 200	45.2	55.0	—	90.3	110	—
1 350	47.1	58.9	—	94.2	118	—
1 500	50.1	62.8	—	101	126	—
1 650	53.0	66.8	—	106	134	—
1 800	56.0	70.7	—	112	142	—
2 000	58.9	75.6	—	118	152	—
2 200	61.9	80.5	—	124	161	—
2 400	64.8	85.4	—	130	171	—
2 600	67.7	90.3	—	136	181	—
2 800	70.7	95.2	—	142	191	—
3 000	73.6	101	—	148	201	—

備考 ひび割れ荷重とは、管に幅 0.05 mm のひび割れを生じたときの試験機が示す荷重を有効長 L で除した値をいい、破壊荷重とは、試験機が示す最大荷重を有効長 L で除した値をいう。

4.4 継手性能

管の継手性能は、(社)日本下水道協会規格で規定されている。外圧管は、JSWAS A-1（下水道用鉄筋コンクリート管）で水密性が規定され、また推進管は、JSWAS A-2（下水道推進工法用鉄筋コンクリート管）及びJSWAS A-6（下水道小口径管推進工法用鉄筋コンクリート管）で継手性能が規定されている。

外圧管の水密性を表 1.4.4-1 に、推進管の継手性能を表 1.4.4-2 及び表 1.4.4-3 に示す。

表 1.4.4-1 JSWAS A-1 の水密性

水密性 (MPa)
0.1

表 1.4.4-2 JSWAS A-2 の継手性能

区分	耐水圧 (MPa)	拔出し長さ ^(注) (mm)
JA	0.1	30
JB	0.2	40
JC	0.2	60

注 拔出し長さとは、管と管との開きをいう。

表 1.4.4-3 JSWAS A-6 の継手性能

区分	耐水圧 (MPa)	拔出し長さ ^(注) (mm)
SJS	0.1	10
SJA	0.2	10
SJB	0.2	20

注 拔出し長さとは、管と管との開きをいう。

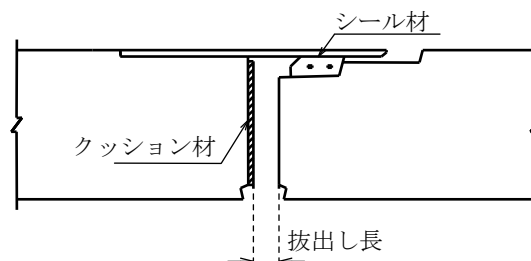


図 1.4.4-1 拔出し長

第 5 章 継手用製品

5.1 シール材

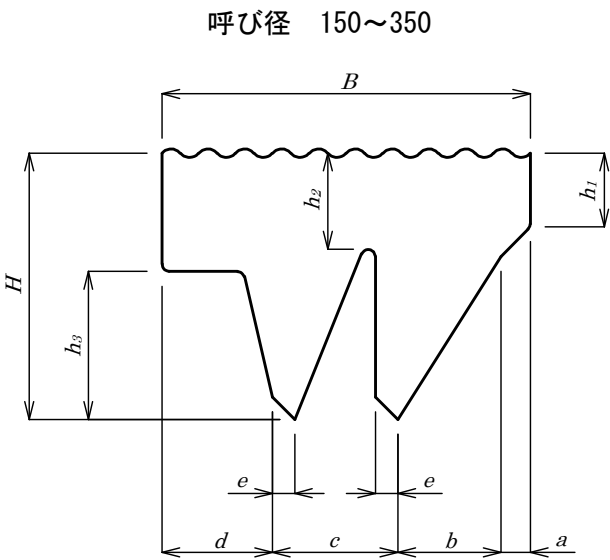
シール材として、一般的にはゴム輪が用いられている。

ゴム輪は、材質については JIS 及び JSWAS に規定されているが、形状及び寸法は JHPAS に定められている。全国ヒューム管協会では、継手にゴム輪を用いる B 形、C 形等の管が開発されて以来改良を重ね、全てのゴム輪について形状、寸法及び品質等を規定している。

5.1.1 形状及び寸法

(1) A 形用

表 1.5.1.1-1 A 形用の形状及び寸法

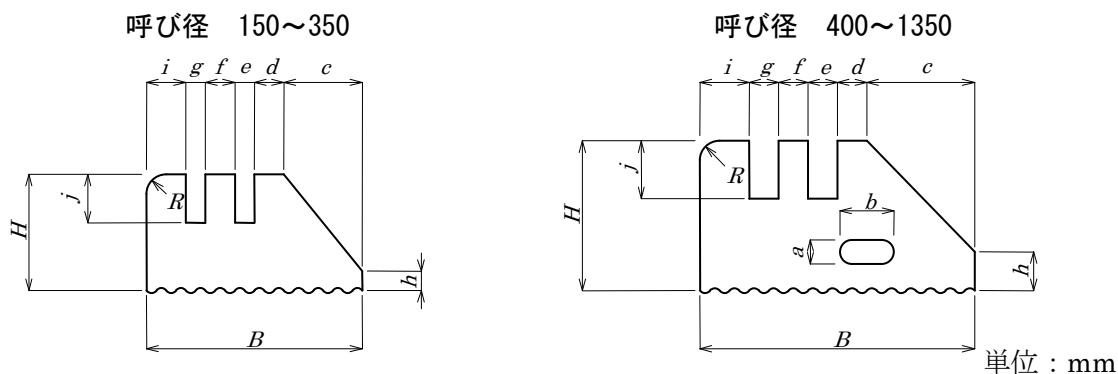


単位：mm

呼び径	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>h₁</i>	<i>h₂</i>	<i>h₃</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	長さ <i>L</i>
150 ～ 350	25	18	5	6.5	10	2	7	8.5	7.5	1.5	ゴム輪装着部 周長の 102%

(2) B形用

表 1.5.1.1-2 B形用の形状及び寸法

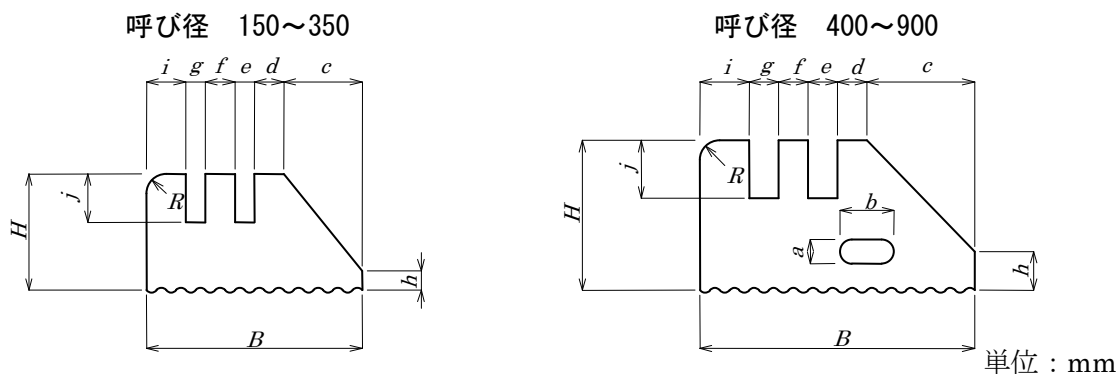


呼び径			<i>B</i>	<i>H</i> ^(注)	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>R</i>	長さ <i>L</i>
150	～	250	20	10.5	2	－	－	6	3	2	3	2	4	5	2	ゴム輪装着部 周長の 85%
300	～	350	22	12				8								
400	～	600	24	4	2.5	5.5	7	3		3		3	5	6		
700	～	1 000	28				11									
1 100	～	1 350	31	18.5	6	4	8	14		5						

注 内圧管用のゴム輪は、H寸法を1 mm 高くする。

(3) NB形用

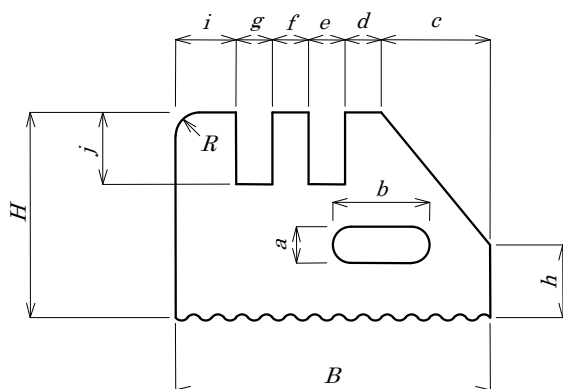
表 1.5.1.1-3 NB形用の形状及び寸法



呼び径	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>R</i>	長さ <i>L</i>
150 ～ 250	20	11.5	2	-	-	6	3	2	3	2	4	5	2	ゴム輪装着部 周長の 85%
300 ～ 350	22	13.5				8								
400 ～ 600	24		4	2.5	5.5	7		3		3	5	6		
700 ～ 900	28	16.5				11								

(4) C形用

表 1.5.1.1-4 C形用の形状及び寸法

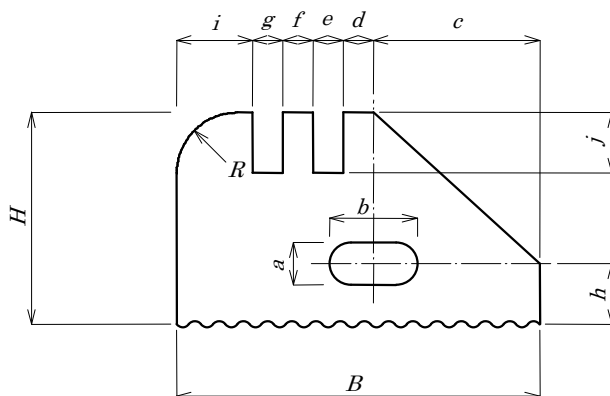


単位：mm

呼び径	B	H	h	a	b	c	d	e	f	g	i	j	R	長さ L
1 500 ～ 2 200	24	14.5	5	2.5	6.5	8	3	3	3	3	4	5.5	2	ゴム輪装着部 周長の 85%
2 400 ～ 3 000	26	17	6	3	8	9					5	6		

(5) NC形用

表 1.5.1.1-5 NC形用の形状及び寸法



単位：mm

呼び径	B	H	h	a	b	c	d	e	f	g	i	j	R	長さ L
1 500 ～ 2 200	43	28	9	5	12	18	4.5	4.5	4.5	4.5	7	8	8	ゴム輪装着部 周長の 90%
2 400 ～ 3 000	60	35	10	7	14.5	27.5	5	5	5	5	12.5	10	10	

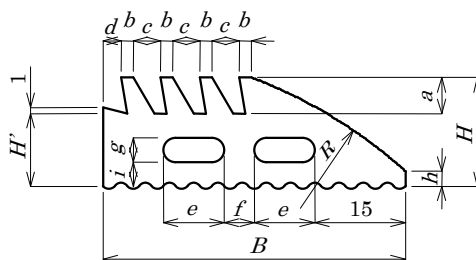
(6) NE形及びNL形用

NE形及びNL形は、それぞれE形及びNS形のゴム輪を使用する。

なお、NE形の呼び径 1350 に用いるゴム輪の形状及び寸法を表 1.5.1.1-6 に示す。

表 1.5.1.1-6 N E 形呼び径 1350 の継手に用いるゴム輪の形状及び寸法

単位：mm



単位：mm

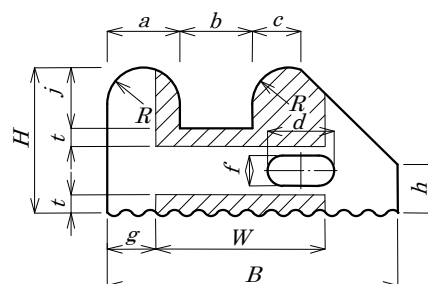
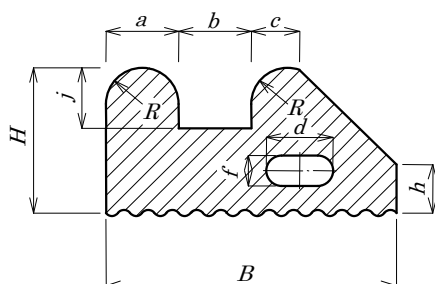
呼び径	B	H	H'	h	a	b	c	d	e	f	g	i	R	長さ L
1 350	50	18	12	2.5	6	2	4.5	3	10	5	4	4	80	ゴム輪装着部 周長の 85%

(7) B 形用水膨張性ゴム輪

表 1.5.1.1-7 B 形用水膨張性ゴム輪の形状及び寸法

I 型

II 型



※ 斜線部は水膨張部を示す。

単位：mm

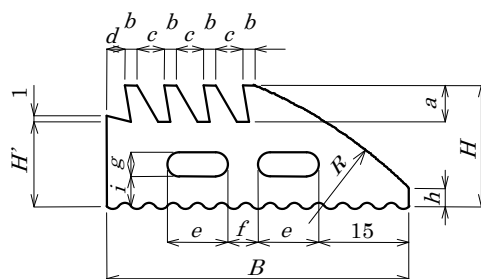
呼び径	B	H	h	j	a	b	c	d	f	R	W	t	g	長さ L
150 ～ 250	20	10.5	2	5	6	4	4	-	-	3	12	1.5	3	ゴム輪装着部 周長の 85%
300 ～ 350	22	12	4	6	7	6	4	5.5	2.5	3	13	1.5	4	
400 ～ 600	24	15.5	6	7	7	6	4	8	4	3.5	14	1.5	5	
700 ～ 1 000	28	18.5	6	7	7	6	4	8	4	3.5	15	1.5	5	
1 100 ～ 1 350	31	18.5	6	7	7	6	4	8	4	3.5	15	1.5	5	

(8) E形推進管用

標準管用

表 1.5.1.1-8 標準管用の形状及び寸法

単位：mm

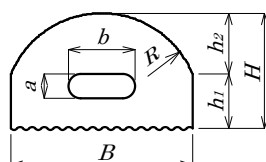


単位：mm

呼び径	B	H	H'	h	a	b	c	d	e	f	g	i	R	長さ L
800 ~ 1 200	50	15	10	2	5	2	4	3	10	5	4	3	80	ゴム輪装着部 周長の 85%
1 350 ~ 2 200		20	14	3	6	2.5	4.5	3.5	12	8	5	5	100	
2 400 ~ 3 000	60	23.5	16.5	5	7	2.5	5	3.5	12	8	5	5	100	

中押管用

表 1.5.1.1-9 中押管用の形状及び寸法



単位：mm

呼び径	B	H	h_1	h_2	a	b	R	長さ L
900 ~ 1 200	26	13	6	7	3	9	15	ゴム輪装着部 周長の 90%
1 350 ~ 2 200	30	19	9	10	4	11	16	
2 400 ~ 3 000	34	22.5	11.5	11	4.5	12	18	

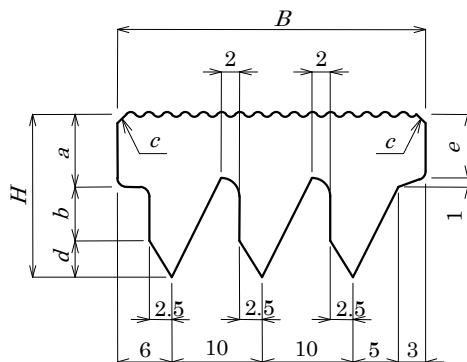
(9) NS推進管用

標準管用

標準管用は、第1ゴム輪、第2ゴム輪があり、表1.5.1.1-10～11に示す。

表 1.5.1.1-10 第1ゴム輪の形状及び寸法

単位：mm

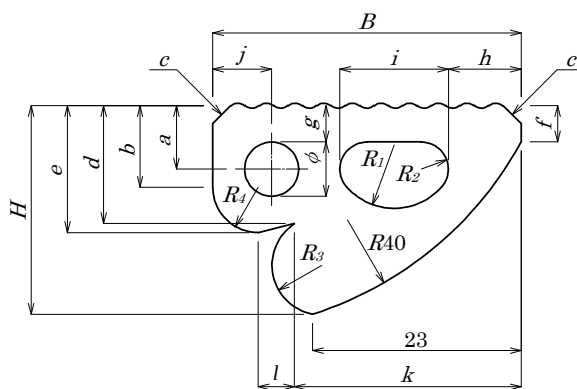


単位：mm

呼び径			B	H	a	b	c	d	e	長さ L
800	～	1 200	34	12	5	4	1	3	4	ゴム輪装着部 周長の 102%
1 350	～	2 200		18	8	6	1	4	7	
2 400	～	3 000		21.5	9.5	7.5	3	4.5	8.5	

表 1.5.1.1-11 第2ゴム輪の形状及び寸法

単位：mm



単位：mm

呼び径	B	H	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	ϕ	R_1	R_2	R_3	R_4	長さ L
800～1 200	34	14.5	4	5	0	7.5	8.5	2	2	9	11	6	26	4.5	4	8	2	5	3.5	ゴム輪装 着部周長 の 102%
1 350～2 200		20	5.5	8		10.5	12	3	3	8	12	7.5		4	5	7	2.5		4	
2 400～3 000		23	7	9	2		13	14	4			4	6.5		25		6	3	5.5	

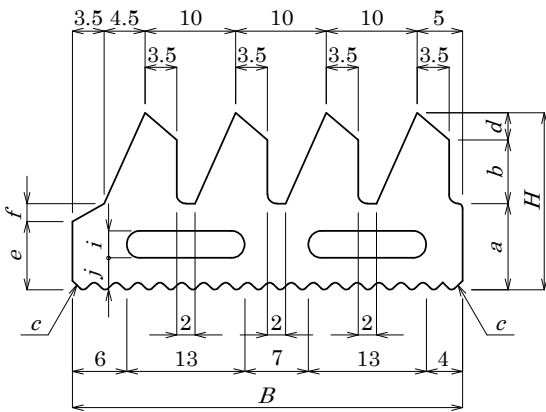
中押管用

E 形推進管の中押管用と同一の形状及び寸法で、表 1.5.1.1-9 を参照。

先頭管用

表 1.5.1.1-12 先頭管用の形状及び寸法

単位：mm



単位：mm

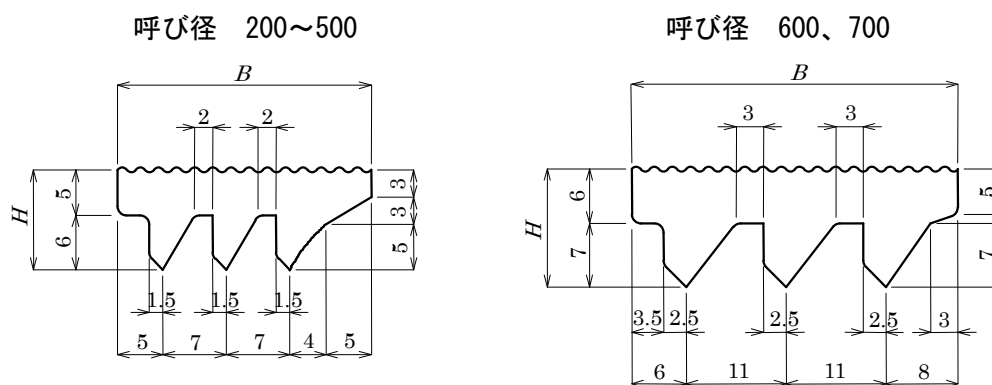
呼び径	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	長さ <i>L</i>
800 ～ 1 200	43	19.5	9.5	7		3	7.5	2	3	3.5	ゴム輪装着部 周長の 85%
1 350 ～ 2 200		25	12	9	1	4	9.5	2.5	4	4.5	
2 400 ～ 3 000		28	13.5	10		4.5	11		4.5	5	

(10) E形小口径推進管用

標準管、短管A用

表 1.5.1.1-13 標準管、短管A用の形状及び寸法

単位：mm



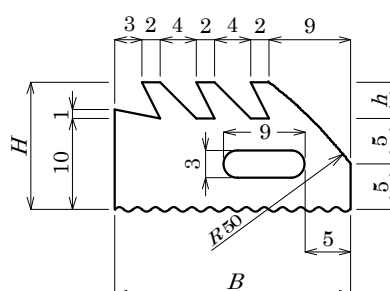
単位：mm

呼び径	B	H	長さ L
200~500	28	11	ゴム輪装着部
600、700	36	13	周長の 102%

先頭管C、短管D用

表 1.5.1.1-14 先頭管C、短管D用の形状及び寸法

単位：mm

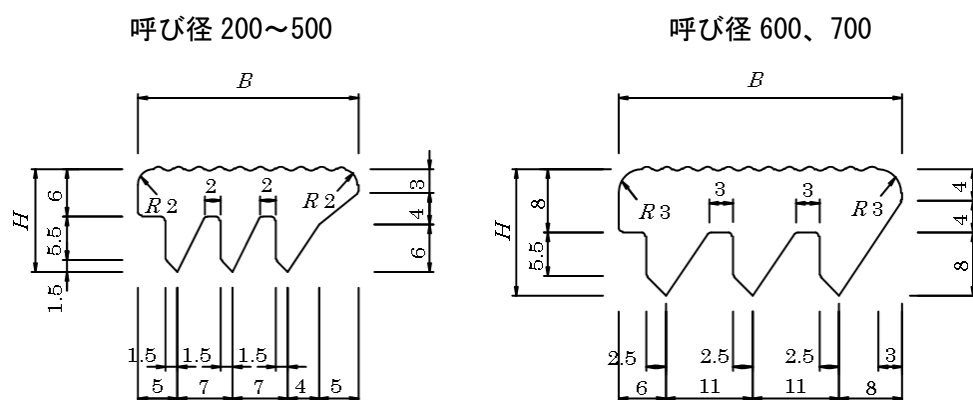


単位：mm

呼び径	B	H	h	長さ L
200~500	26	14	4	ゴム輪装着部
600、700		15	5	周長の 85%

標準管、短管 A 用

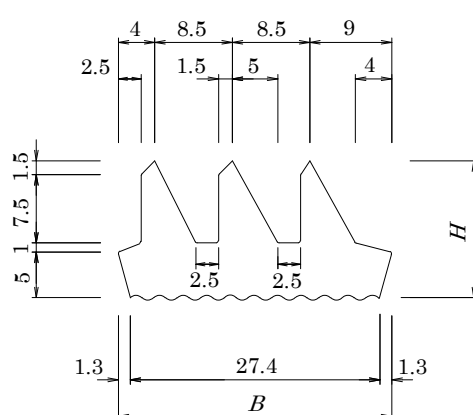
單位：mm



單位：mm

呼び径	B	H	長さ L
200～500	28	13	ゴム輪装着部
600、700	36	16	周長の 102%

表 1.5.1.1-16 先頭管 C、短管 D 用の形状及び寸法



單位：mm

單位：mm

呼び径	B	H	長さ L
200～700	30	15	ゴム輪装着部 周長の 90%

5.1.2 寸法の許容差

表 1.5.1.2-1 A形用

単位：mm

呼び径	B	H	L (%)
150～300	±1.0	±0.5	±1.0

表 1.5.1.2-2 B形用、NB形用及びC形用

単位：mm

呼び径	B	H	L (%)
150～3 000	±1.0	±0.5	±1.0

表 1.5.1.2-3 NC形用

単位：mm

呼び径	B	H	L (%)
1 500～2 200	±1.0	+1.0 -0.5	±1.0
2 400～3 000	±2.0	±1.0	

表 1.5.1.2-4 NE形用及びNL形用

単位：mm

呼び径	B	H	L (%)
1 350	±1.0	±0.5	±1.0

表 1.5.1.2-5 B形用水膨張性ゴム輪

単位：mm

呼び径	B	H	j	W	L (%)
150～1 350	±1.0	±0.5	±1.0	±1.0	±2.0

表 1.5.1.2-6 推進管用

単位：mm

種 類		呼び径	B	H	L (%)
E 形推進管	標準管用	800～3 000	±2.0	±0.5	±1.0
	中押管用	900～3 000		±1.0	
NS 推進管	標準管用	800～3 000	±1.0	±0.5	
	中押管用	900～3 000			
E 形小口径推進管用		200～ 700	±1.0	±0.5	
NS 小口径推進管用		200～ 700			

5.1.3 ゴム輪の材質

ゴム輪の材質は、外圧管用及び推進管標準管用は JIS K 6353（水道用ゴム）に規定するⅣ類、内圧管用はⅠ類 A・50 が用いられている。また、推進管の中押管用としては、耐摩耗性を考慮してⅠ類 A・60 が用いられる。

水膨張性ゴム輪は、吸水性ポリマーを使用した水膨張性のゴム輪で、Ⅳ類の材質を基本として、水膨張前後の品質について JHPAS で規定している。

(1) 外圧管用、内圧管用及び推進管用

表 1.5.1.3-1 外圧管用、内圧管用及び推進管用のゴム輪の材質

用途	種類	デュロ メータ 硬さ	デュロ メータ 硬さの 許容差	引 張 試 験			老 化 試 験			圧 縮 永 久 ひずみ %
				7.0MPa 荷重時 の伸び %	引張 強さ MPa	伸び %	引 張 強 さ 変化率 %	伸 び 変化率 %	デュロ メータ 硬さの 変化 H _A	
		H _A (タイプ A)		(以下)	(以上)	(以上)	(以内)	(以内)		
外圧管用 推進管標準管用	Ⅳ 類	50	±5	—	9	400	-25	+10 -30	+7 0	30
推進管中押管用	Ⅰ 類 A	60	±5	300	18	400	-20	+10 -30	+7 0	20
内圧管用	Ⅰ 類 A	50	±5	400	18	400	-20	+10 -30	+7 0	20

(2) B 形用水膨張性ゴム輪

表 1.5.1.3-2 B 形用水膨張性ゴム輪の材質

項 目			I 型	II 型		項 目			I 型	II 型		
				水膨張部	非水膨張部					水膨張部	非水膨張部	
水膨張前	デュロメータ硬さ H _A		50±5	50±5	50±5	水膨張後	水膨張率 %	水道水	7 日後	10～30	25～60	
	引張試験	引張強さ (MP a)	9 以上	4 以上	9 以上				28 日後	15～40	25～60	
		伸 び %	400 以上	400 以上	400 以上			3%食塩水	28 日後	15～40	20～50	
	老化試験	引張強さ変化率 %	-25 以内	-25 以内	-25 以内		引張試験	引張り強さ (MPa)		4.5 以上	2.0 以上	—
		伸び変化率 %	+10 以内 -30	+10 以内 -30	+10 以内 -30			伸 び %		300 以上	200 以上	—
		デュロメータ硬さの 変化率 H _A		+7 0	+7 0		+7 0	反発力変化率 %		-20 以内	-20 以内	
	圧縮永久ひずみ率 %		40 以下	30 以下	30 以下		圧縮膨張復元率 %		10 以上	20 以上		
							質量変化率 %		5 以内	5 以内		

5.2 止水滑剤

止水滑剤とは、ゴム輪を用いて接合する管の接合しやすさを生かすと共に継手部からの浸入水や漏水を防ぐ止水剤の効果をもたらす接合材料である。この止水滑剤は、水分を硬化剤とする親水性ポリウレタン樹脂で、普通滑剤と同様の使用方法で接合部の空隙充填効果を上げ、管路の水密性を確保するものである。

表 1.5.2-1 止水滑剤の一例

主成分	親水性ポリウレタン樹脂
外観	淡黄色～黄色の透明粘調な液体
比重	1.0～1.4（15℃）
粘度	1,500～5,000mPa・s
凝固点	0℃以下
硬化時間	24 時間（20℃）
水分	無し（%）

第2編 設 計

第2編 設 計

第1章 水 理

1.1 水理公式

下水は、普通の水に比較して浮遊物質を多く含んでいるが、水理計算に支障をきたすほどではないので普通の水と考えて水理計算をする。したがって、流量計算には、一般に自然流下ではマニング式、又はクッター式を用い、圧送式ではヘーゼン・ウィリアム式を用いる。

マニングの式を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} Q &= AV \\ V &= \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.1-1)$$

ここに

Q : 流量 (m³/s)

A : 流水の断面積 (m²)

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

θ : 中心角 (rad)

D : 内径 (m)

V : 流速 (m/s)

n : 粗度係数

R : 径深 (m) ($=A/P$)

P : 潤辺 (m)

$$P = \frac{1}{2} \theta D$$

I : こう配 (分数又は小数)

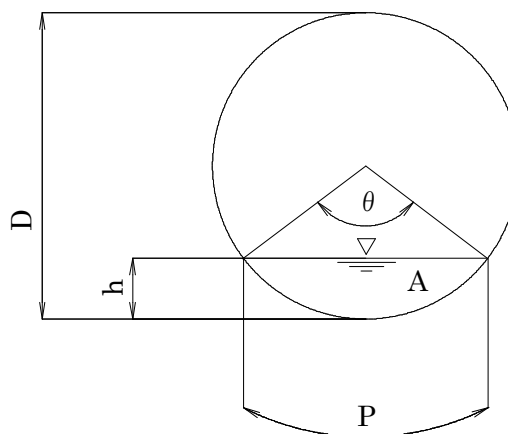


図 2.1.1-1 流水断面

粗度係数 n は、2001 年度版「下水道施設計画・設計指針と解説」では、陶管、鉄筋コンクリート管きよなどの工場製品及び現場打ち鉄筋コンクリート管きよの場合 0.013 を標準とする、とされている。しかし、諸外国では一般に管きよの流量計算にはコンクリート管、陶管、プラスチック管等、管きよ材質の如何にかかわらず、マニング式の粗度係数は 0.013 が推奨されている。

粗度係数を求める実験は古くから数多く行われている。実験の結果を総合すると、コンクリート管では $n=0.009\sim0.011$ 、プラスチック管では $n=0.009$ 程度の値が得られている。これらの実験は新管の直線管路に良質の水を使用し、満流で管内面のなめらかさのみを実験の対象としている。しかし、現実の下水管路は理想的な条件下で使用される事が少ないこと、流水には土砂や固

形汚物も含まれている。損失水頭や摩擦係数に影響を及ぼす因子としては、以下のような事が考えられる。

- ①沈下や地盤の移動によるこう配の変化や断面の変形
- ②管内における固形物の沈積
- ③油脂などの管内面への付着
- ④マンホールや合流部における流水断面の拡大によって生じる渦流や沈積
- ⑤取付管からの流入

経年使用された下水管の内面は、汚物や油脂の沈積、付着などによって、管の材質に関係なく流水に対して同じ状態になることが知られている。

このような事情をふまえて、設計に用いる粗度係数は、実験値に対して十分な余裕を見込んだ値が採用されるべきである。

アメリカの水質汚濁防止連盟（WPCF）と土木学会（ASCE）の合同委員会により制定された、「下水管きよの設計と施工（WPCF マニュアル）」ではコンクリート管、陶管、プラスチック管に対して粗度係数の範囲を 0.011～0.015 としている。通常の管路の設計値としては $n=0.013$ が用いられる。

全国ヒューム管協会では、実際の下水を用いた水理特性実験を平成 4 年 7 月～平成 5 年 9 月に横浜市緑下水処理場内において日本大学理工学部と共同で行った。

処理場内の未処理水を用いた実験の結果、粗度係数は 0.009～0.011 で変化し平均で $0.0098 \approx 0.010$ となった。

1.2 水理特性曲線

下水道の円形管では、満流時の流量と計画流量から管きよ断面の大きさを決定する。流速は水深 81%のとき最大となり、流量は水深が 93%のとき最大になるので、満流時における設計は、十分余裕のあるものとなっている。

図 2.1.2-1 に、マンニングの式による円形管の水理特性曲線を、表 2.1.2-1 に流水断面諸係数を示す。

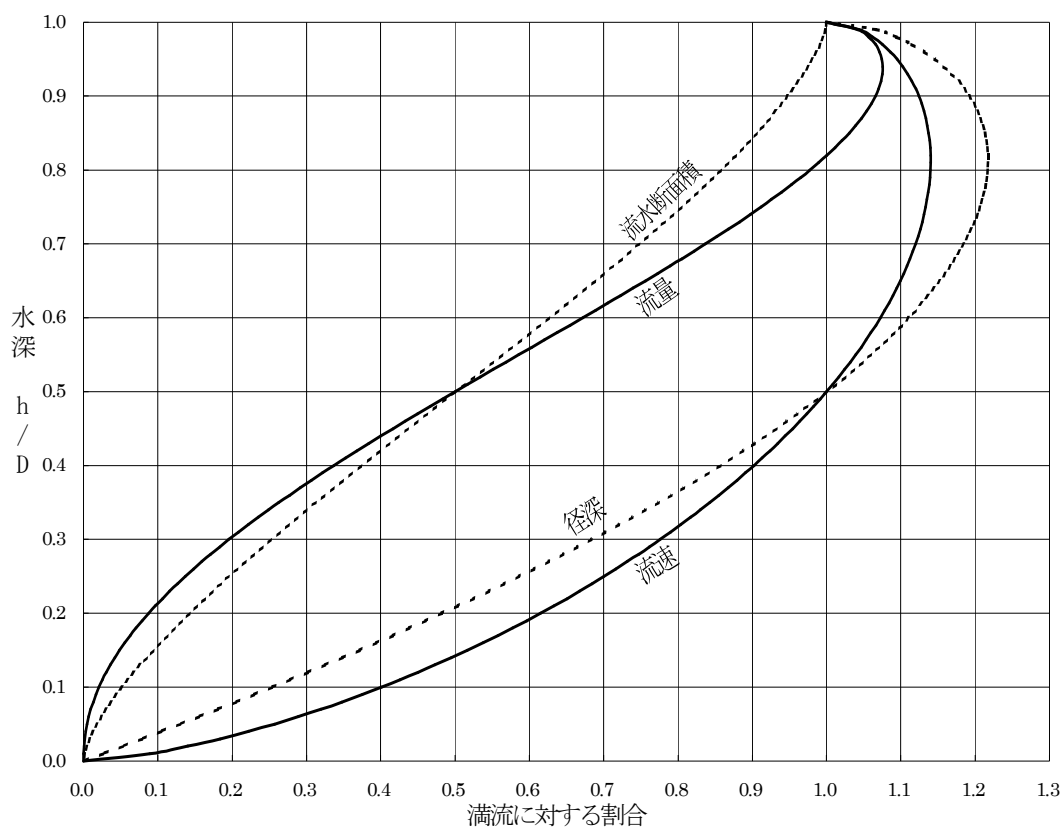


図 2.1.2-1 水力特性曲線

表 2.1.2-1 流水断面諸係数

h/D	流水断面積比	径 深 比	流 速 比	流 量 比
1.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.95	0.9813	1.1460	1.0950	1.0745
0.90	0.9479	1.1920	1.1243	1.0657
0.85	0.9059	1.2132	1.1374	1.0304
0.80	0.8577	1.2168	1.1397	0.9775
0.70	0.7476	1.1848	1.1197	0.8371
0.60	0.6264	1.1040	1.0724	0.6718
0.50	0.5000	1.0000	1.0000	0.5000
0.40	0.3736	0.8568	0.9019	0.3370
0.30	0.2524	0.6836	0.7759	0.1958
0.20	0.1424	0.4824	0.6148	0.0876
0.15	0.0940	0.3712	0.5163	0.0485
0.10	0.0521	0.2540	0.4008	0.0209
0.05	0.0187	0.1304	0.2569	0.0048

1.3 管きょ断面の決定

下水道の場合を例にとると、管きょの大きさは計画汚水量、計画雨水量を算出し、これに対する管きょ断面及びこう配を決定する。

管きょ断面の決定には、次の点に注意しなければならない。

- ① 流速は上流より下流になるにしたがって漸増させる。一般的に汚水管きょでは、いかなる流量の時でも汚物が沈殿しないよう流速とこう配を定めるべきである。流速が小さいと管きょ底部に汚物や泥土が沈殿し、管路のこう配を急にして流速を大きくすれば管の断面が小さくなるが、下流部は埋設の深さが大きくなり、また流速が過大となって管壁を摩耗するおそれがある。また管きょのこう配は下流ほどゆるやかにする。これは下流ほど流量は増大し、管きょは大きくなるのでこう配がゆるくても流速を大きくとることができるためである。

下水管きょの最大・最小流速について、「下水道施設計画・設計指針と解説」では、つぎのように規定している。

- 1) 汚水管きょ

計画下水量に対し、最小 0.6m/sec、最大 3.0m/sec

- 2) 雨水管きょ・合流管きょ

計画下水量に対し、最小 0.8m/sec、最大 3.0m/sec

2) の場合の最小流量を 1) の場合より大きくとるのは、沈殿物の比重が土砂類の流入により大きいためである。

なお、理想的な流速は 1)、2) とともに 1.0～1.8m/sec 程度である。

- ② 管きょ内の清掃や点検及び供用後の新たな取付け管の設置等維持管理に支障をきたすので、計算上 200mm 又は 250mm 以下で十分であっても、200mm 又は 250mm の管径のものを使用する。

ただし、汚水管きょでは、局所的な下水量の増加が将来にわたって見込まれない場合には 150mm とし、更に次のすべての要件を満たす場合には 100mm とすることができる。

- 1) 取付け管の接続の追加が将来にわたって見込まれないこと。

- 2) 瞬間最大下水量の掃流作用によって下水中の固形物を 100mm 以上 150mm 未満の管きょから 150mm 以上の管きょまで流下させることができること。

なお、100mm～150mm とする場合には、将来的に工場や集合住宅の立地等土地利用の変更が全く見込まれない地域に限定するなど、十分な検討が必要である。

第2章 設 計

2.1 埋設管の耐荷力

(1) ひび割れ及び破壊保証モーメント

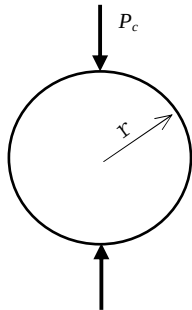


図 2.2.1-1

“ひび割れ保証モーメント”は式 2.2.1-1 を用いて算出する。

ひび割れ保証耐荷力（規定のひび割れ試験荷重）の荷重段階では、管は、完全弾性体として扱う。また式 2.2.1-1 は、円管を薄肉弾性リングとして解いたときの、管底部での最大曲げモーメントとなる。

$$\left. \begin{aligned} M_C &= 0.318P_C \cdot r + 0.239W \cdot r \\ \text{又は} \\ M_C &= 0.318P_C \cdot r + 1.5w \cdot r^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2.1-1)$$

ここに M_C : ひび割れ保証モーメント (kN・m/m)
 P_C : ひび割れ試験荷重 (kN/m)
 r : 管厚中心までの半径 (m)
 W : 管の自重 (kN/m)
 w : 単位管長、単位弧長の管の自重 (kN/m/m)

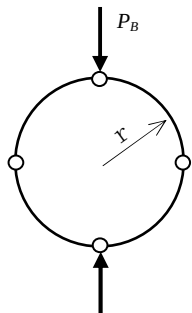


図 2.2.1-2

“破壊保証モーメント”は式 2.2.1-2 で表す。

式 2.2.1-2 は、極限設計により求めたもので、円管の上下左右の4点に降伏ヒンジが生じるときの、降伏モーメントとなる。

$$\left. \begin{aligned} M_B &= 0.25P_B \cdot r + 0.165W \cdot r \\ \text{又は} \\ M_B &= 0.25P_B \cdot r + 1.036w \cdot r^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2.1-2)$$

ここに M_B : 破壊保証モーメント (kN・m/m)
 P_B : 破壊試験荷重 (kN/m)

(2) 埋設管に生じる曲げモーメント

外圧荷重により埋設管に生じる曲げモーメントは、式 2.2.1-1 に示したひび割れ保証モーメントと同様、薄肉弾性リングとして解き、式 2.2.1-3 によって求める。

$$M = k \cdot p \cdot r^2 \dots\dots\dots (2.2.1-3)$$

ここに M : 埋設管に生じる曲げモーメント (kN・m/m)
 k : 荷重分布及び支承の状態によって変わる係数
 p : 外圧荷重 (kN/m²)
 r : 管厚中心までの半径 (m)

(3) 埋設管の耐荷力

埋設管に作用する外圧荷重（鉛直土圧及び活荷重）及び埋設管の耐荷力は、等分布荷重として考える。耐荷力は、式 2.2.1-1 及び式 2.2.1-3 より $M_C = M$ として式 2.2.1-4 によって求める。

$$P_r = \frac{0.318P_C \cdot r + 0.239W \cdot r}{k \cdot r^2} \dots\dots\dots (2.2.1-4)$$

ここに P_r : 埋設管の耐荷力 (kN/m²)
 P_C : ひび割れ試験荷重 (kN/m)
 r : 管厚中心までの半径 (m)
 W : 管の自重 (kN/m)
 k : 荷重分布及び支承の状態によって変わる係数

この式では、埋設状態での管の自重及び管内水重による曲げモーメントが、土の側圧（主働土圧）による曲げモーメントと相殺するものと仮定した。

またヒューム管は剛性管であるので、管の変形による受働土圧は考慮しない。

(4) 支承条件による係数

通常、管を埋設するときの基礎形状としては、砂又は土の上に直接置く場合（砂又は土基礎）と下部の一部分をコンクリートで固定する場合（コンクリート基礎）に大別できる。

砂又は土基礎は自由支承、コンクリート基礎は固定支承として取り扱う。

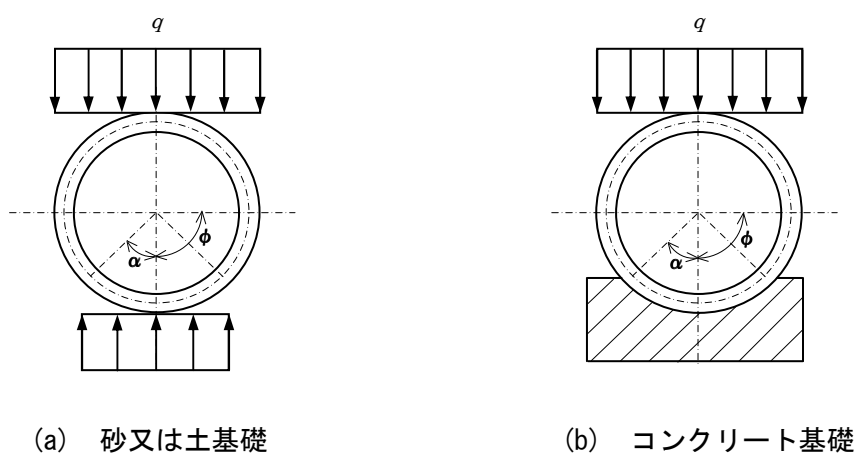


図 2.2.1-3 荷重と支承条件

砂又は土基礎の場合は、基礎の部分に等分布力を仮定して（図 2.2.1-3(a)）、係数 k を求めると、底面反力の作用する部分（ $0 \leq \phi \leq \alpha$ ）については式 2.2.1-5 で求められる。

$$k = \frac{3}{8} + \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{3}{2} \cos \alpha + \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} - (\pi - \alpha) \sin \alpha \right\} - \frac{1}{3\pi} \cos^2 \alpha \cdot \cos \phi - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \sin^2 \phi$$

..... (2.2.1-5)

ここに α : 基礎の支承角の半分 (rad)
 ϕ : 管の断面の位置を表わす角度で、管底から測る (rad)

最大曲げモーメントは管底 ($\phi=0$ の点) で発生するので 式 2.2.1-5 で $\phi=0$ において係数 k を求めると表 2.2.1-1 に示す値となる。

表 2.2.1-1 係数 k の値

支 承 角	砂又は土基礎	コンクリート基礎
60°	0.377	———
90°	0.314	0.303
120°	0.275	0.243
180°	———	0.220

コンクリート基礎 (図 2.2.1-3 (b)) については、従来は円形アーチと考えて係数 k を計算していたが、実際には、理論上の最大曲げモーメントが生じると予想されるアーチの固定部 ($\phi = \alpha$) ではなく、管頂 ($\phi = \pi$) にひび割れが発生することなどから、模型実験及び埋設実験の結果から推定した値 (表 2.2.1-1) を用いる。参考までに、固定部の中心角を 2α とするときの係数 k の式を示すと、式 2.2.1-6 のようになる。

なお、式 2.2.1-6 による計算値は、120°コンクリート基礎の場合 0.230、180°コンクリート基礎の場合 0.107 である。

$$k = \frac{\frac{3}{16} \pi \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - \frac{1}{2} (\pi - \alpha) \cos^3 \alpha + \frac{5}{6} (\pi - \alpha) \cos \alpha + \frac{1}{3} \sin \alpha - \frac{1}{2} (\pi - \alpha) \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha}{\frac{1}{2} (\pi - \alpha)^2 - \frac{1}{2} (\pi - \alpha) \sin \alpha \cdot \cos \alpha - \sin^2 \alpha} + \frac{\frac{3}{16} \pi (\pi - \alpha) - \frac{1}{2} (\pi - \alpha)^2 \sin \alpha}{\dots} \quad (2.2.1-6)$$

表 2.2.1-2、表 2.2.1-3 に基礎形状と k の値を示す。

【参考】管内水重及び管の自重による曲げモーメント

自由支承の場合の、管内水重及び管の自重による曲げモーメントは、式 (1) 及び式 (3) の通りである。

管内水重による曲げモーメント $M = k \cdot w \cdot r^3$ (1)

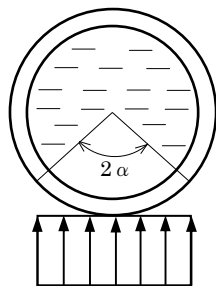


図 1

$$k = \left(\frac{\alpha}{8 \sin \alpha} + \frac{5}{12} + \frac{3}{8} \cos \alpha - \frac{\pi}{4} \sin \alpha + \frac{\alpha}{4} \sin \alpha - \frac{1}{6} \cos^2 \alpha \right) \quad \text{.....(2)}$$

ここに w : 管内水の単位重量 (9.8 kN/m³)

管の自重による曲げモーメントは、管底部で発生し式 (3) で示される。

$$M = k \cdot w_d \cdot r^2 = \frac{k}{2\pi} W \cdot r \quad \text{.....(3)}$$

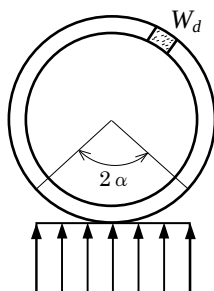


図 2

$$k = \left(\frac{5}{6} + \frac{\alpha}{4 \sin \alpha} + \frac{3}{4} \cos \alpha - \frac{1}{3} \cos^2 \alpha - \frac{\pi}{2} \sin \alpha + \frac{\alpha}{2} \sin \alpha \right) \quad \text{.....(4)}$$

ここに w_d : 単位管長単位弧長の管の自重 (kN/m/m)

W : 管の自重 (kN/m)

これら、代表的な支承角のものについての、管に生じる曲げモーメント式を表 2.2.1.1-4 に示す。

表 2.2.1-2 基礎形状と k の値（溝型）

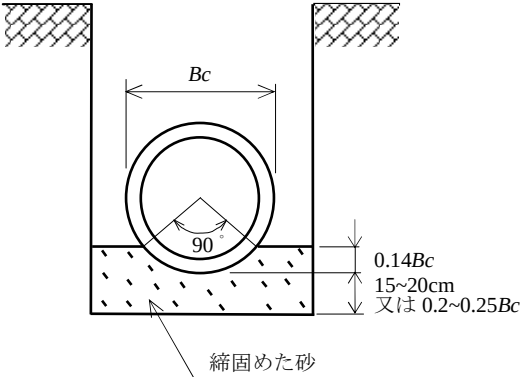
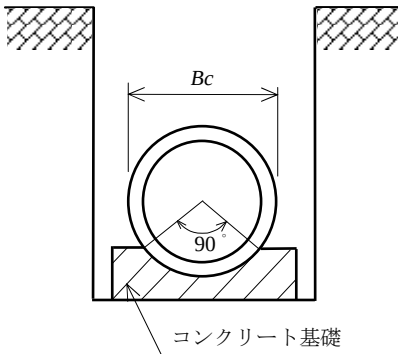
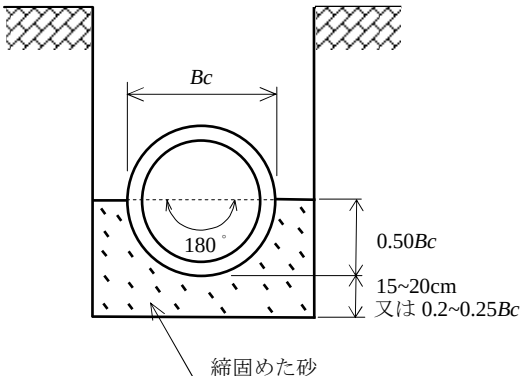
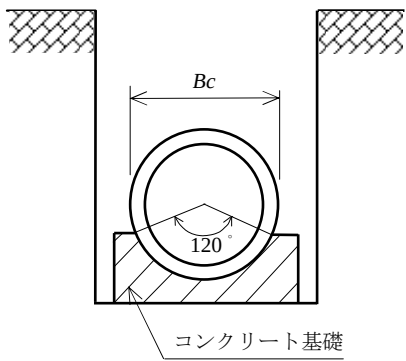
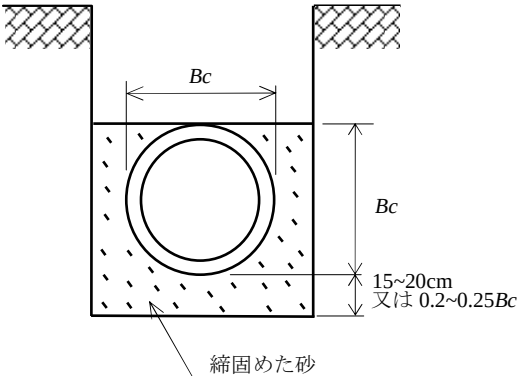
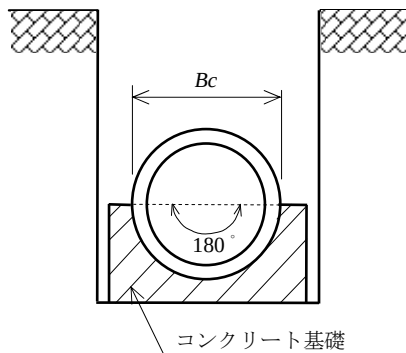
— 溝 型 —	
砂又は土基礎	コンクリート基礎
 設計支承角 90° k の値 0.377	 設計支承角 90° k の値 0.303
 設計支承角 90° k の値 0.314	 設計支承角 120° k の値 0.243
 設計支承角 120° k の値 0.275	 設計支承角 180° k の値 0.220

表 2.2.1-3 基礎形状と k の値（正の突出型、負の突出型）

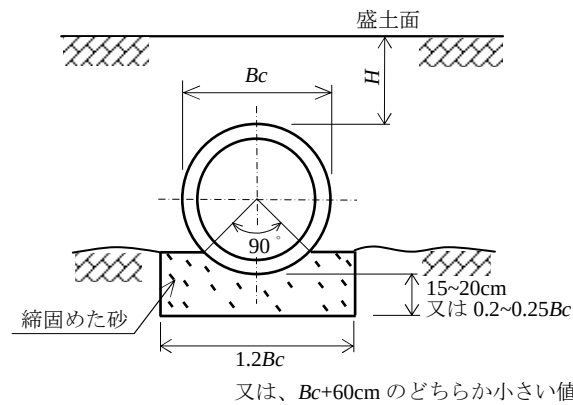
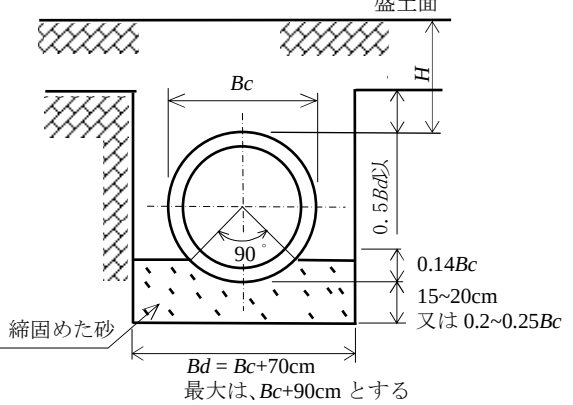
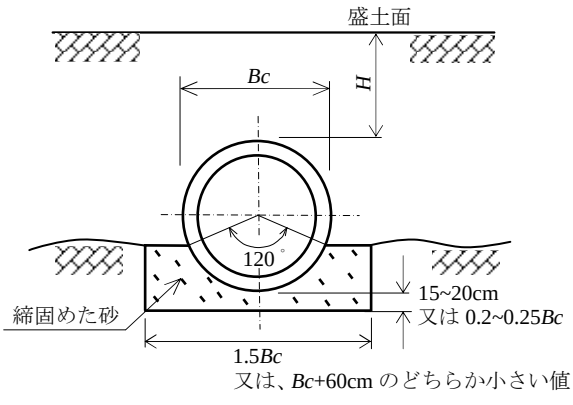
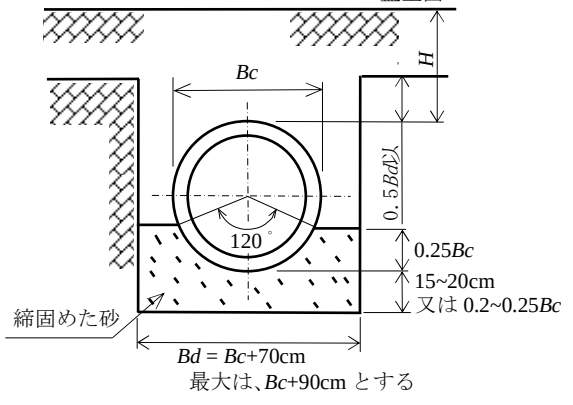
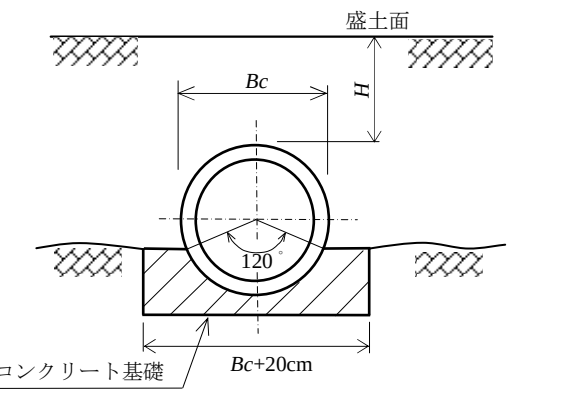
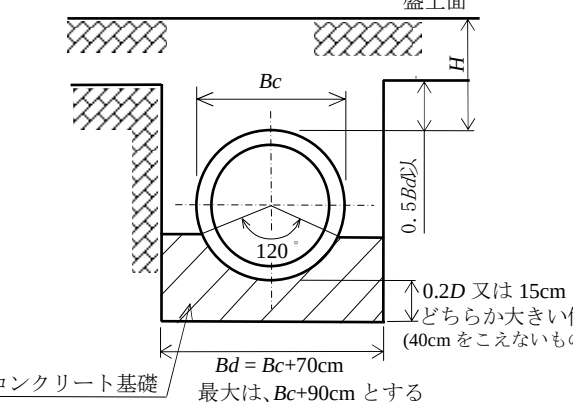
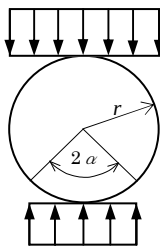
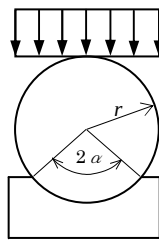
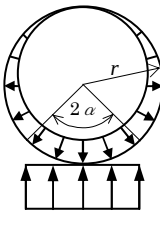
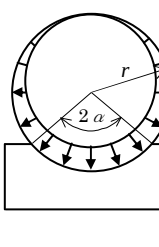
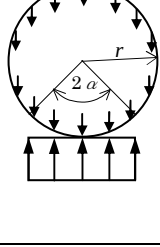
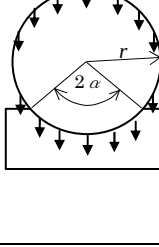
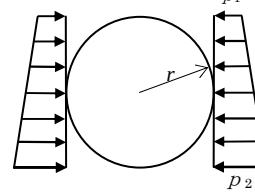
—— 正の突出型 ——	—— 負の突出型 ——
 設計支承角 90° k の値 0.377	 設計支承角 90° k の値 0.377
 設計支承角 120° k の値 0.314	 設計支承角 120° k の値 0.314
 設計支承角 120° k の値 0.243	 設計支承角 120° k の値 0.243

表 2.2.1-4 管に生じる最大曲げモーメント M

荷 重	支承角 2α (度)	支 承 条 件		荷 重 作 用 状 態	
		砂又は土基礎 (自由支承)	コンクリート 基礎 (固定支承)	砂又は土基礎 (自由支承)	コンクリート基礎 (固定支承)
外圧荷重	0	$0.587p \cdot r^2$	—————		
	30	$0.468p \cdot r^2$	—————		
	60	$0.377p \cdot r^2$	—————		
	90	$0.314p \cdot r^2$	$0.303p \cdot r^2$		
	120	$0.275p \cdot r^2$	$0.243p \cdot r^2$		
	180	—————	$0.202p \cdot r^2$		
管内水重	0	$0.750w \cdot r^3$	—————		
	30	$0.563w \cdot r^3$	—————		
	60	$0.419w \cdot r^3$	—————		
	90	$0.321w \cdot r^3$	$0.260w \cdot r^3$		
	120	$0.260w \cdot r^3$	$0.166w \cdot r^3$		
	180	—————	$0.055w \cdot r^3$		
管 自 重	0	$0.239W \cdot r$	—————		
	30	$0.179W \cdot r$	—————		
	60	$0.133W \cdot r$	—————		
	90	$0.102W \cdot r$	$0.082W \cdot r$		
	120	$0.082W \cdot r$	$0.052W \cdot r$		
	180	—————	$0.017W \cdot r$		
側 圧	—————	$-(0.104 + 0.146C) \cdot p_1 \cdot r^2$	—————		

M : 管に生じる最大曲げモーメント (kN・m/m)
 p : 管に作用する外圧荷重 (kN/m²)
 r : 管厚中心までの半径 (m)
 w : 管内水の単位重量 (9.8kN/m³)
 W : 管の自重 (kN/m)
 p_1, p_2 : 管頂部、管底部に作用する側圧 (kN/m²)
 C : $\frac{p_1}{p_2}$

2.2 活荷重

2.2.1 トラック荷重

輪荷重は、地表面よりある角度をもって地中に分布するものとする。分布角は、車両の進行方向については 45° で分布するものとするが、それと直角方向は車両が並列に並ぶ可能性があることを考慮して、車両占有幅 2.75m の範囲に均等に分布するものとする（図 2.2.2.1-1）。

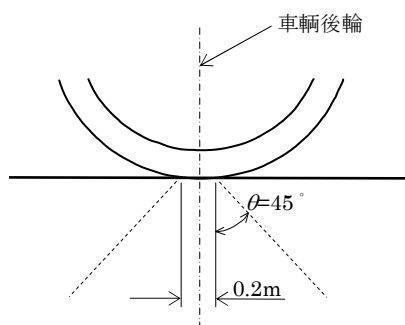


図 2.2.2.1-1 輪荷重の分布

「道路橋示方書 I 共通編 2.2.2」に示す T 荷重が作用する場合、トラック荷重による鉛直荷重 p_l は式 2.2.2.1-1 で計算する。

$$P_l = \frac{2 P(1+i) \beta}{2.75(0.2+2H)} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.1-1)$$

ここに

- P_l : トラック荷重による鉛直荷重 (kN/m^2)
- P : T 荷重 (後輪 100kN)
- H : 土かぶり (m)
- i : 衝撃係数で表 2.2.2.1-1 による。
- β : 断面力の低減係数で表 2.2.2.2-2 による。

表 2.2.2.1-1 衝撃係数

H (m)	$H < 1.5$	$1.5 \leq H < 6.5$	$6.5 \leq H$
i	0.5	$0.65 - 0.1H$	0

表 2.2.2.1-2 断面力の低減係数

	土かぶり $H \leq 1\text{m}$ かつ 内径 $\geq 4\text{m}$ の場合	左記以外の場合
β	1.0	0.9

トラック荷重による鉛直荷重の計算値を表 2.2.2.1-3 に示す。

表 2.2.2.1-3 トラック荷重による鉛直荷重の計算値

単位：kN/m²

土かぶり H (m)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
鉛直荷重 (後輪 100kN)	81.82	44.63	30.68	22.60	17.62	14.25	11.82	9.98	8.54	7.38

2.2.2 ローラ荷重

ローラ荷重は、前輪及び後輪荷重の影響範囲を考慮し荷重が最大となる条件で設計を行う。

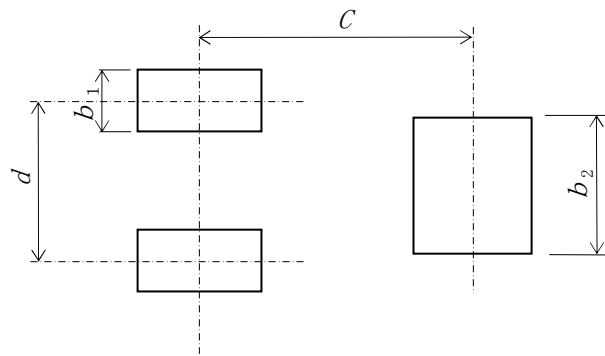


図 2.2.2.2-1 ローラ荷重

表 2.2.2.2-1 ローラ荷重の例

	機 種	総 重量 W (kN)	輪荷重(kN)		輪帯幅 (m)		軸 距 C (m)	前輪中心 間隔 d (m)	車輪接地長 a (m)
			前輪 P_1	後輪 P_2	前輪 b_1	後輪 b_2			
K 社	K12B (14ton)	138.0	34.7	68.6	0.550	1.100	3.400	1.550	0.200
H 社	CS125	98.5	24.6	49.2	0.550	1.100	3.400	1.550	0.200

1) 前 輪

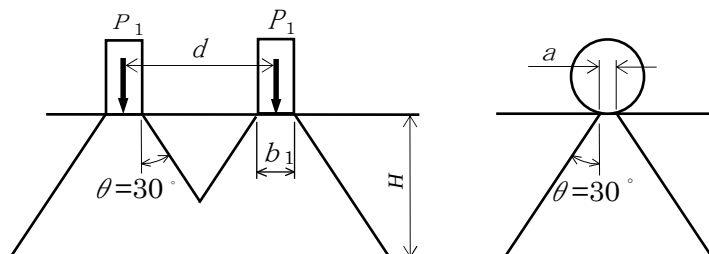


図 2.2.2.2-2 前輪荷重分布

$$d \geq b_1 + 2H \cdot \tan \theta$$

$$P_{l1} = \frac{P_1}{(b_1 + 2H \cdot \tan \theta)(a + 2H \cdot \tan \theta)}$$

$$d < b_1 + 2H \cdot \tan \theta$$

$$P_{l2} = P_{l1} \times 2$$

..... (2.2.2.2-1)

2) 後 輪

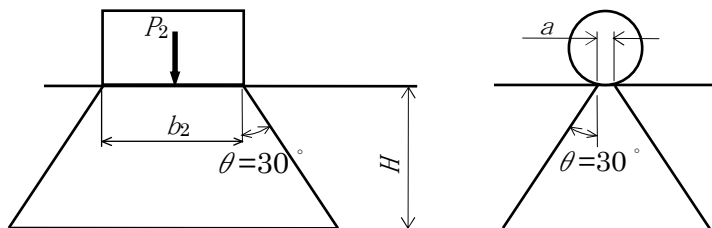


図 2.2.2.2-3 後輪荷重分布

$$P_{l3} = \frac{P_2}{(b_2 + 2H \cdot \tan \theta)(a + 2H \cdot \tan \theta)}$$

..... (2.2.2.2-2)

3) 3 輪全ての荷重が影響する場合

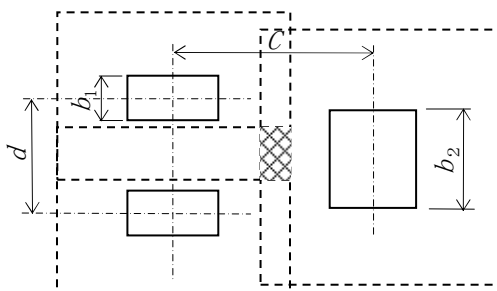


図 2.2.2.2-4 前後輪荷重分布

$$C < a + 2H \cdot \tan \theta$$

$$P_{l4} = P_{l2} + P_{l3}$$

..... (2.2.2.2-3)

ここに

$P_{l1 \sim 4}$: ローラ荷重による荷重強度 (kN/m²)

2.2.3 ブルドーザ荷重

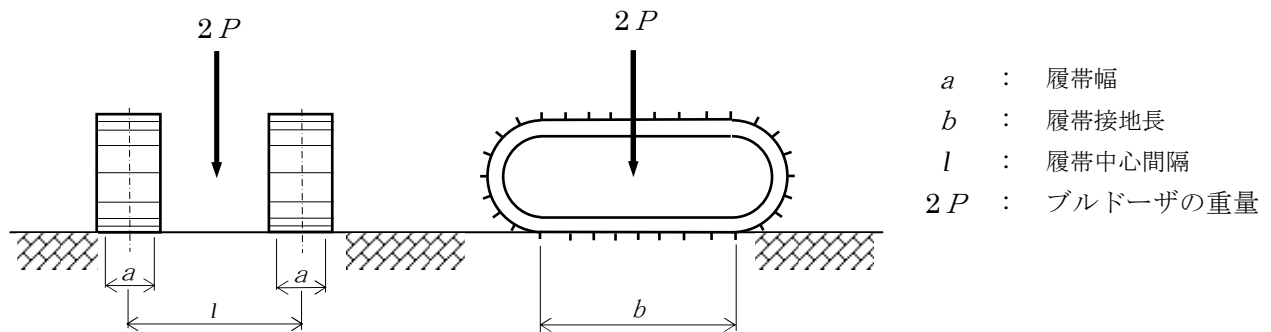


図 2.2.2.3-1 ブルドーザ荷重

表 2.2.2.3-1 ブルドーザ荷重の例

機 種	C 社			K 社		
	BD2J II	BD3C	D5G	D65-12E	D85A-21E	D155AX-5
全装備重量 (kN)	37.1	72.1	91.7	183.3	274.9	377.6
履 帯 幅 (mm)	300	405	510	510	560	560
履帯接地長 (m)	1.740	2.065	2.320	2.675	2.840	3.210
履帯中心間隔 (m)	1.200	1.45	1.55	1.880	2.000	2.100
接 地 圧 (kPa)	35.3	43.1	38.8	68.0	86.3	105.0

K社の D65-12E のブルドーザについて例示する。

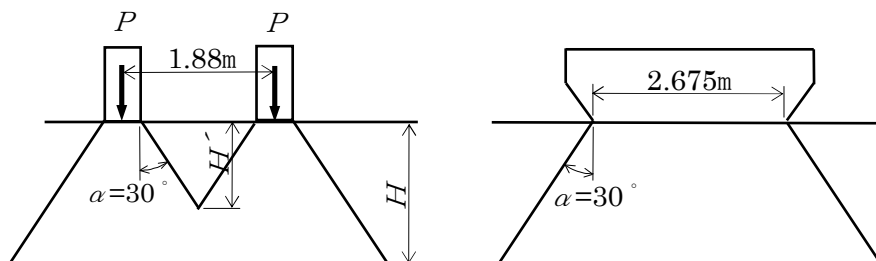


図 2.2.2.3-2 荷重分布図

$$H' = 1.186\text{m}$$

$$H \leq 1.186\text{m}$$

$$P_l = \frac{P(1+i)}{(1.155H+2.675)(1.155H+0.51)}$$

$$H > 1.186\text{m}$$

$$P_l = \frac{2P(1+i)}{(1.155H+2.675)(1.155H+2.39)}$$

..... (2.2.2.3-1)

ここに、

P_l : 183.3kN ブルドーザによる荷重強度 (kN/m²)

P : 1 履帯の荷重 91.65 (kN)

i : 衝撃係数

2.3 土圧荷重

2.3.1 開削工法に用いる土圧

埋戻しによる鉛直土圧の算定には、種々の式が提案されているが、管きよの設計では、一般にマーストンの式及び下水道協会式が用いられている。

マーストンの式は土圧算定式として、最も広く用いられているもので、鉛直土圧は埋設管直上又は掘削溝の直上の土柱の重量に、これに隣接する土柱との間の摩擦せん断力を加味して求める。

摩擦せん断力は、これらの土柱の相対的沈下によって決まり、これには、水平土圧が関与する。マーストンの式では、この水平土圧にランキン理論を採用している。

下水道協会式は、旧下水道協会式が、小口径管では過大な値を与える傾向があることなどから、現場計測、実験等をもとに提案された式である。

下水道協会式は図 2.2.3.1.2-1 に示すように施工方法（埋戻し後の矢板引抜きの有無）、基礎の種類（砂又はコンクリート）、土かぶり、コンクリート基礎の基礎幅と埋設管の外径、矢板引抜きを行う場合の埋戻し土のゆるみ幅等の設計条件により 24 通りに分けられているが、ここでは下水管の設計条件として比較的頻度が高い 11 通りの算定式を示す。

なお、下水道協会式の詳細については「下水道用管（剛性管）に係わる土圧調査報告書」（日本下水道協会）を参照されたい。

2.3.1.1 マーストンの式

マーストンの式は、管の埋設方法により、次のように分けている。

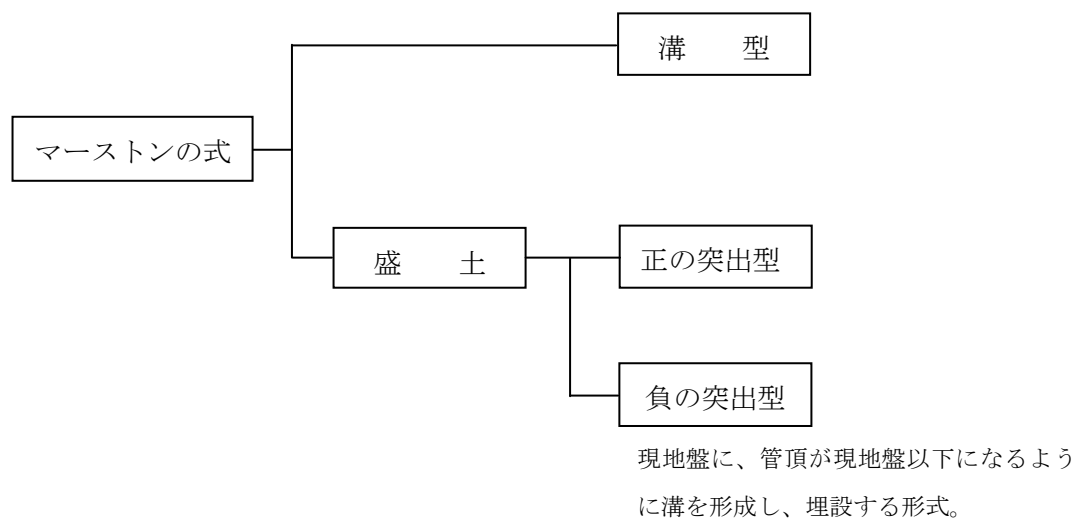
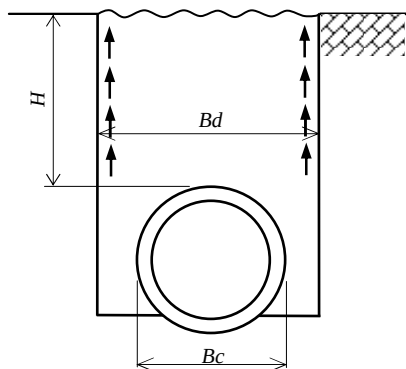


図 2.2.3.1.1-1 マーストンの式の構成

(1) 溝型



$$p_e = C_d \cdot \gamma \cdot \frac{B_d^2}{B_c} \dots\dots\dots (2.2.3.1.1-1)$$

$$C_d = \frac{1 - e^{-\alpha' \cdot H}}{2K \cdot \mu'}$$

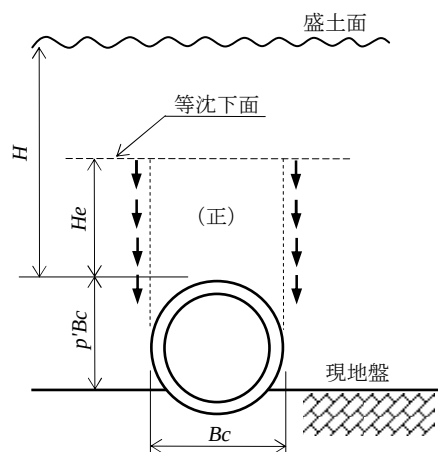
$$\alpha' = \frac{2K \cdot \mu'}{B_d}$$

$$K = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu}$$

図 2.2.3.1.1-2 溝 型

- ここに
- p_e : 鉛直土圧 (kN/m²)
 - γ : 埋戻し土の単位体積重量 (kN/m³)
 - B_d : 溝の掘削幅 (m)ただし、掘削面にこう配があるときは、一般に管頂部での掘削幅を採用する。
 - B_c : 管の外径 (m)
 - μ' : 埋戻し土と溝側面との摩擦係数 = $\tan \phi'$
 - μ : 埋戻し土の内部摩擦係数 = $\tan \phi$ (通常 $\mu' = \mu$ とする)
 - K : ランキンの土圧係数
 - H : 土かぶり (m)
 - e : 自然対数の底

(2) 正の突出型



$$p_e = Cc \cdot \gamma \cdot Bc \dots\dots\dots (2.2.3.1.1-2)$$

$H \leq He$ のとき

$$Cc = \frac{e^{\beta \cdot H} - 1}{2K \cdot \mu}$$

$H > He$ のとき

$$Cc = \frac{e^{\beta \cdot He} - 1}{2K \cdot \mu} + \left(\frac{H}{Bc} - \frac{He}{Bc} \right) e^{\beta \cdot He}$$

$$\beta = \frac{2K \cdot \mu}{Bc}$$

図 2.2.3.1.1-3 正の突出型

ここに、 He は等沈下面の位置で、式 2.2.3.1.1-3 による。

$$e^{\beta \cdot He} - 2K \cdot \mu \cdot \frac{He}{Bc} = 2K \cdot \mu \cdot \delta \cdot p' + 1 \quad \dots\dots\dots (2.2.3.1.1-3)$$

ここに He : 等沈下面の位置 (m)
 δ : 沈下比
 p' : 突出比

なお、沈下比の決定はむずかしいため、現在では広く設計に用いてきた経験値を採用している。剛性管で普通地盤の場合、沈下比 δ は 0.5~0.8 程度に採るのが一般的であるとされているので、代表的なものとして、 $\delta \cdot p' = 0.7$ の場合と、 $\delta \cdot p' = 0.5$ の場合の 2 通りについて、 $\phi = 30^\circ$ 、 $K \cdot \mu = 0.1924$ としての He と Cc の計算式を表 2.2.3.1.1-1 に示す。

表 2.2.3.1.1-1 正の突出型の場合の He 及び Cc

$H \leq He$	$H > He$	
	$\delta \cdot p' = 0.7$	$\delta \cdot p' = 0.5$
$Cc = \frac{e^{\frac{0.3848 H}{Bc}} - 1}{0.3848}$	$He \doteq 1.70 Bc$ $Cc = 1.924 \frac{H}{Bc} - 0.869$	$He \doteq 1.46 Bc$ $Cc = 1.754 \frac{H}{Bc} - 0.602$

表 2.2.3.1.1-2 沈下比

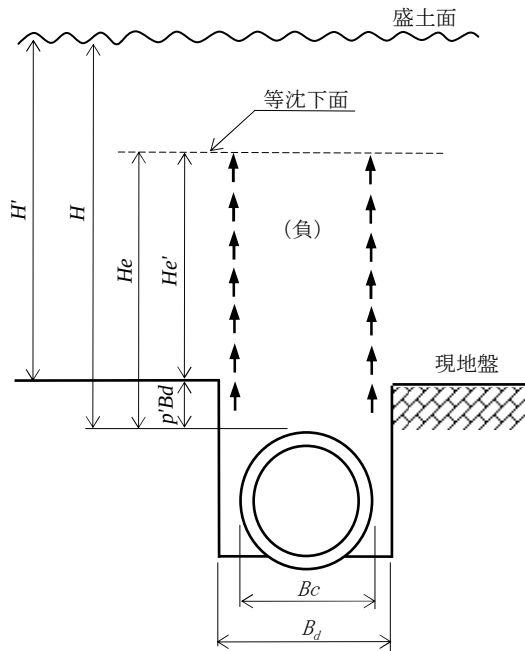
地 盤 条 件	沈下比 (δ)
岩 盤 また は 硬 質 地 盤	1.0
普 通 地 盤	0.5~0.8
軟 弱 な 地 盤	0~0.5

注) 溝を掘削し管を埋設する場合でも、溝の掘削幅を拡げてゆくと、ある幅のところで、溝型の土圧でなく、正の突出型の土圧が働くようになる。この幅を転移幅といい、掘削幅の拡がりにともない溝型の土圧は、正の突出型の土圧に等しくなるまで増加する。

したがって、広い溝を掘削したときは、溝型の土圧と、正の突出型の土圧のどちらが作用するかを判別する必要がある。この場合、式 2.2.3.1.1-1 と式 2.2.3.1.1-2 の両方を計算し、そのうちの小さい方の値を、管にかかる鉛直土圧として採用すればよい。

(3) 負の突出型

負の突出型は浅い溝の中に、管頂が現地盤高以下になるよう、管を埋設し、溝内には、圧縮されやすい土を埋戻し、あとは、通常の盛土を行い、摩擦せん断力の方向を上向きにして、土圧を軽減させる埋設形式である。



$$p_e = C_n \cdot \gamma \cdot \frac{B_d^2}{Bc} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.1.1-4)$$

$H \leq He$ のとき

$$C_n = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot H}}{2K \cdot \mu} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.1.1-5)$$

$H > He$ のとき

$$C_n = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot He}}{2K \cdot \mu} + \left(\frac{H}{B_d} - \frac{He}{B_d} \right) e^{-\alpha \cdot He} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.1.1-6)$$

$$\alpha = \frac{2K \cdot \mu}{B_d}$$

図 2.2.3.1.1-4 負の突出型

ここに、 He は等沈下面の位置で、式 2.2.3.1.1-7 による。

$$\left\{ \left(\frac{H'}{B_d} - \frac{He'}{B_d} \right) - \frac{1}{2K \cdot \mu} \right\} \frac{1 - e^{-\alpha \cdot He'}}{2K \cdot \mu} - \frac{He'}{B_d} \left\{ \left(\frac{H'}{B_d} - \frac{He'}{B_d} \right) + \frac{1}{2} \frac{He'}{B_d} - \frac{1}{2K \cdot \mu} \right\}$$

$$= \frac{2}{3} \delta \cdot p' \left\{ \frac{1 - e^{-\alpha \cdot He'}}{2K \cdot \mu} + \left(\frac{H'}{B_d} - \frac{He'}{B_d} \right) e^{-\alpha \cdot He'} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.1.1-7)$$

ここに $H' = H - p' \cdot B_d$ 、 $He' = He - p' \cdot B_d$

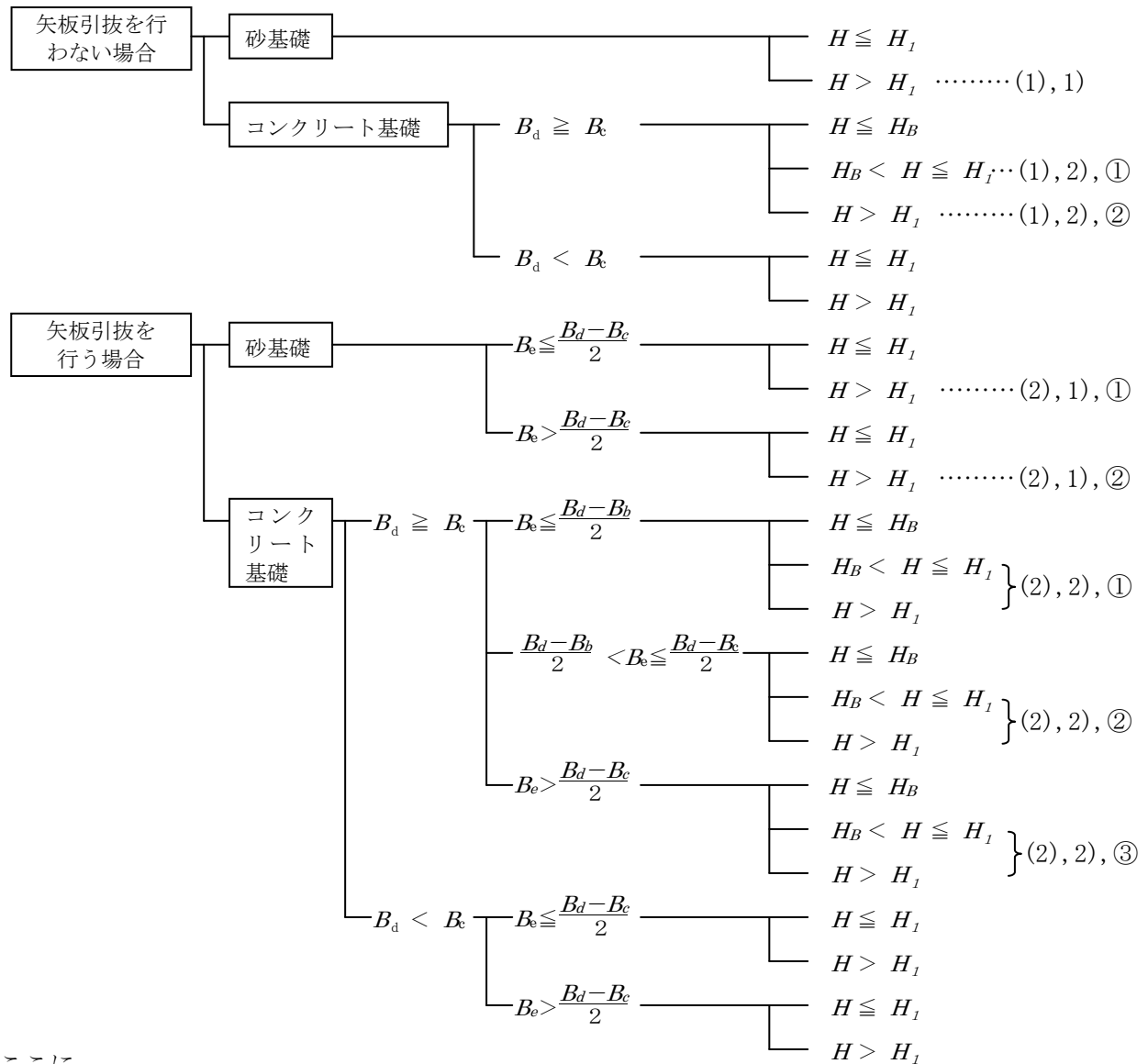
表 2.2.3.1.1-3 に示す C_n の算定式は表中の p' 及び土かぶり H の範囲において適用される近似式であり、土かぶり H が表 2.2.3.1.1-3 以下の場合は、 $H \leq He$ のときの式 2.2.3.1.1-5 で C_n を算出する。

沈下比 δ は、経験的な数値として-0.3 を用いることが多い。 $K \cdot \mu$ の値は、通常 0.130 を用いる。また、一般的には $B_d = B_c + 0.7$ (m) として計算を行う。

表 2. 2. 3. 1. 1-3 突出比と H の範囲及び C_n の算定式

p'	H の範囲	C_n の算定式
0.5	$H > 2.00B_d$	$C_n = 0.71 \frac{H}{B_d} + 0.14$
1.0	$H > 3.03B_d$	$C_n = 0.58 \frac{H}{B_d} + 0.34$
1.5	$H > 3.89B_d$	$C_n = 0.48 \frac{H}{B_d} + 0.58$
2.0	$H > 4.82B_d$	$C_n = 0.40 \frac{H}{B_d} + 0.82$

2.3.1.2 下水道協会式



ここに

H : 土かぶり (m)

$$H_1 = \frac{B_d - B_c}{2 \tan \phi} \text{ (m)}, H_B = \frac{B_b - B_c}{2 \tan \phi} \text{ (m)}$$

B_b : 基礎コンクリート幅 (m)

B_c : 管外径 (m)

B_d : 掘削溝幅 (m)

B_e : ゆるみ幅 (m), 次の B_{e1-3} のうち最小のもの

$$B_{e1} = l_0 \cdot \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right), B_{e2} = \frac{B_d - B_c \cdot \tan \left([45^\circ + \phi / 2] / 2 \right)}{2}, B_{e3} = \frac{B_d - B_b + B_c (1 + \cos \theta) \cdot \tan (45^\circ - \phi / 2)}{2}$$

l_0 : 管頂レベルから矢板先端までの長さ (m)

θ : 有効支承角の $1/2$ (度)

ϕ : 埋戻し土の内部摩擦角 (度)

図 2.2.3.1.2-1 下水道協会式の構成

(1) 矢板引抜きを行わない場合

1) 砂基礎、 $H > H_1$

埋設管は図 2.2.3.1.2-2 に示す状態にある。この場合、埋設管に作用する土圧に寄与する土荷重は、 $B C D D' C' B'$ （黒部）埋戻し土の荷重から、溝壁と埋戻し土の間に生じる上向きの摩擦力を引いたものである。

この土荷重については埋設管と管側部埋戻し土との分担比率を考慮し、埋設管にかかる鉛直土圧 w は式 2.2.3.1.2-1 で求める。

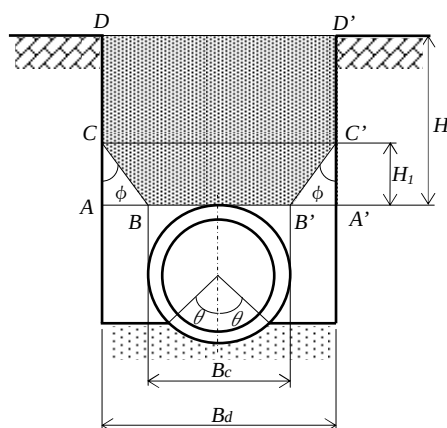


図 2.2.3.1.2-2 管の埋設状態

$$w = \alpha \frac{1}{B_c} \gamma \cdot B_d \{ C_{dH_1} (B_c + H_1 \cdot \tan \phi) \Psi_2 + (C_d - C_{dH_1}) B_d \cdot \Psi_3 \} \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-1)$$

ただし、

$$H_1 = \frac{B_d - B_c}{2 \tan \phi}$$

$$C_d = \frac{1 - \exp(-2K \cdot \mu \cdot \frac{H}{B_d})}{2K \cdot \mu}$$

$$C_{dH_1} = \frac{1 - \exp\left(-2K \cdot \mu \cdot \frac{H_1}{B_d}\right)}{2K \cdot \mu}$$

$$\Psi_2 = \frac{A_2}{A_2 + \frac{H_1 \cdot \tan \phi}{(K_{01} \cdot B_c \cdot \sin \theta)}}$$

$$A_2 = \frac{1}{K_{02}} + \frac{B_c}{2E_g} (1 + \cos \theta)$$

$$K_{01} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{B_c \cdot \sin \theta}{0.3} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$K_{02} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{H_1 \cdot \tan \phi}{0.3} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$\psi_3 = \frac{A_3}{A_3 + \frac{(B_d - B_c)}{(K_{01} \cdot B_c \cdot \sin \theta)}}$$

$$A_3 = \frac{1}{K_{02}} + \frac{B_c}{2E_g} (1 + \cos \theta)$$

$$K_{01} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{B_c \cdot \sin \theta}{0.3} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$K_{02} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{B_d - B_c}{0.3} \right)^{\frac{3}{4}}$$

ここに

w : 鉛直土圧 (kN/m²)

H : 土かぶり (m)

B_d : 掘削溝幅 (m)

B_c : 管外径 (m)

ϕ : 埋戻し土の内部摩擦角 (度)

θ : 有効支承角の $\frac{1}{2}$ (度)

α : 補正係数 (=1.1)

γ : 埋戻し土の単位体積重量 (kN/m³)

K : 埋戻し土の主働土圧係数 ($= \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})$)

μ : 溝壁と埋戻し土の摩擦係数 ($= \tan \delta$)

δ : 溝壁と埋戻し土の摩擦角(度)

素掘り、木矢板 $\delta = \phi$

鋼矢板 $\delta = 0.54 \phi$

E_g : 直径 30cm の剛体円板による平板載荷試験から求められる埋戻し土の変形係数 (kN/m²)

E_0 : 直径 30cm の剛体円板による平板載荷試験から求められる地盤の変形係数 (kN/m²)

ψ_2, ψ_3 : 土圧分担係数

K_{01} : 管下部基礎地盤の反力係数 (kN/m³)

K_{02} : 管側部下部地盤の反力係数 (kN/m³)

2) コンクリート基礎 $B_b \geq B_c$

この場合の管の埋設状態は図 2.2.3.1.2-3 のようになり、埋設管にかかる鉛直土圧 w は式 2.2.3.1.2-2、又は式 2.2.3.1.2-3 で求める。

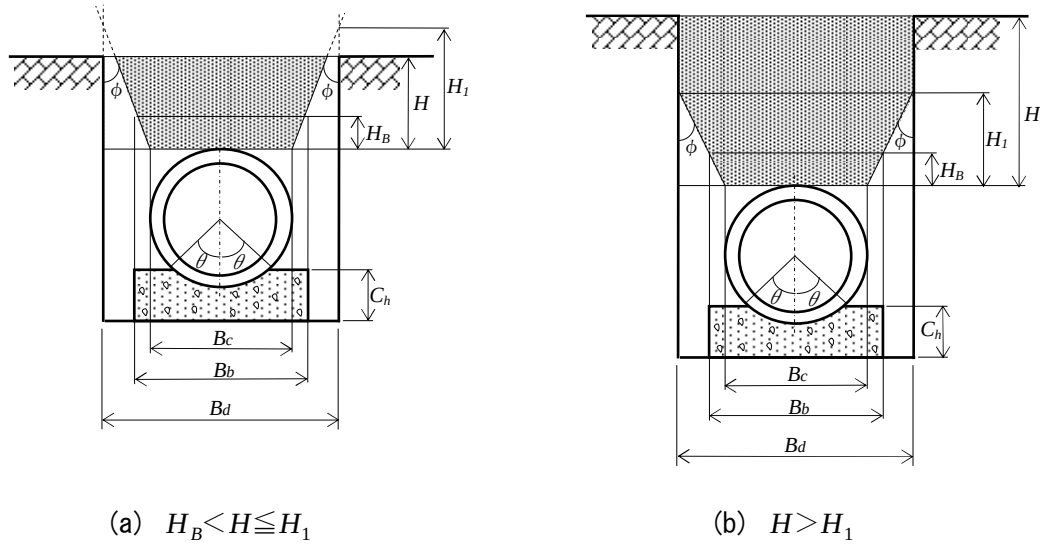


図 2.2.3.1.2-3 管の埋設状態

① $H_B < H \leq H_1$

$$w = \alpha \frac{1}{B_c} \gamma \cdot B_d [C_{dHB} (B_c + H_B \cdot \tan \phi) + (C_d - C_{dHB}) \{B_c + (H_B + H) \tan \phi\} \Psi_{C1}] \quad (2.2.3.1.2-2)$$

② $H > H_1$

$$w = \alpha \frac{1}{B_c} \gamma \cdot B_d [C_{dHB} (B_c + H_B \cdot \tan \phi) + (C_{dH1} - C_{dHB}) \{B_c + (H_B + H_1) \tan \phi\} \Psi_{C2} + (C_d - C_{dH1}) B_d \cdot \Psi_{C3}] \quad (2.2.3.1.2-3)$$

ただし、

$$H_B = \frac{B_d - B_c}{2 \tan \phi}$$

$$C_{dHB} = \frac{1 - \exp\left(-2K \cdot \mu \cdot \frac{H_B}{B_d}\right)}{2K \cdot \mu}$$

$$\Psi_{C1} = \frac{A_{C1}}{A_{C1} + (H - H_B) \frac{\tan \phi}{(K_{01} \cdot B_b)}}$$

$$\Psi_{C2} = \frac{A_{C2}}{A_{C2} + (H_1 - H_B) \frac{\tan \phi}{(K_{01} \cdot B_b)}}$$

$$\Psi_{C3} = \frac{A_{C3}}{A_{C3} + \frac{(B_d - B_b)}{(K_{01} \cdot B_b)}}$$

$$A_{C1 \sim C3} = \frac{1}{K_{02}} + \frac{1}{E_g} \left\{ \frac{B_c}{2} (1 + \cos \theta) + C_h \right\}$$

$$K_{01} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{B_b}{0.3} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$A_{C1} \text{ に対して } K_{02} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{(H - H_B) \tan \phi}{0.3} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$A_{C2} \text{ に対して } K_{02} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{(H_1 - H_B) \tan \phi}{0.3} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$A_{C3} \text{ に対して } K_{02} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{B_d - B_b}{0.3} \right)^{\frac{3}{4}}$$

ここに、

B_b : 基礎コンクリート幅 (m)

C_h : 基礎コンクリート厚さ (m)

Ψ_{C1} 、 Ψ_{C2} 、 Ψ_{C3} : 土圧分担係数

K_{01} : 基礎コンクリート下部基礎地盤の反力係数 (kN/m³)

K_{02} : 基礎コンクリート側部下部地盤の反力係数 (kN/m³)

(2) 矢板引抜きを行う場合

1) 砂基礎 $H > H_1$

埋戻しを行ったときの管の埋設状態は、図 2.2.3.1.2-2 に同じである。この状態で矢板の引抜きを行うと図 2.2.3.1.2-4 に示すゆるみ域（黒で示す部分）にゆるみが生じる。このゆるみ現象は、ゆるみ境界線の位置によって図に示すように二つの場合が考えられ、管頂レベルにおける矢板とゆるみ境界線との距離「ゆるみ幅 B_e 」はそれぞれ次の二つの式で表される。

$$B_{e1} = l_0 \cdot \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-4)$$

$$B_{e2} = \frac{B_d - B_c \cdot \tan\{(45^\circ + \phi/2)/2\}}{2} \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-5)$$

矢板引抜き後に管にかかる鉛直土圧 w は、ゆるみ幅 B_e の値によって次の二つの場合に分けられる。

この場合の B_e は、上記式 2.2.3.1.2-4 及び式 2.2.3.1.2-5 による算定値のうち小さい方の値をとる。

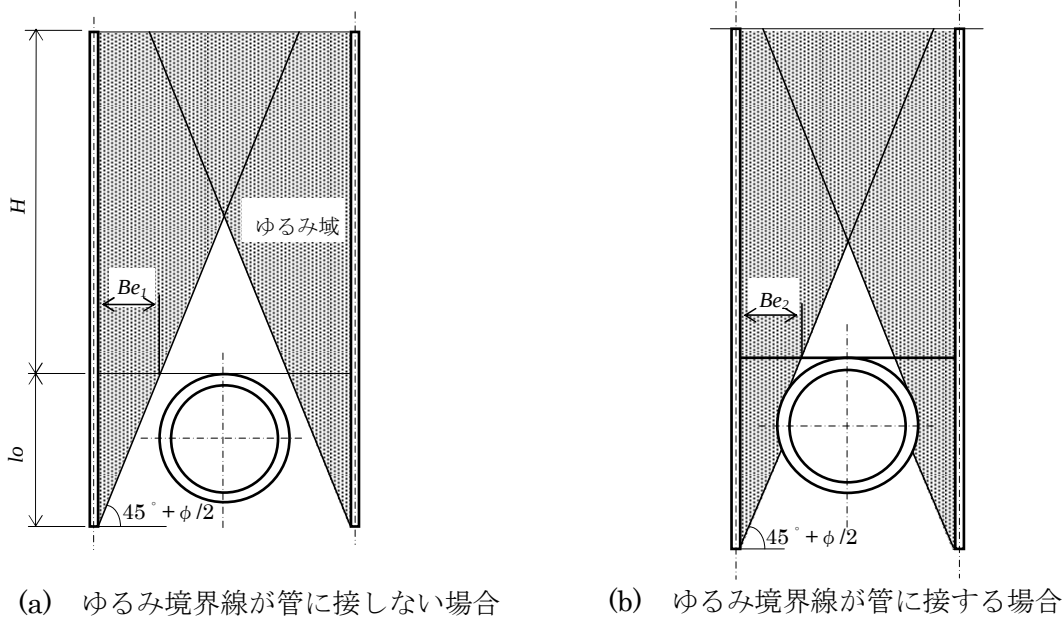


図 2.2.3.1.2-4 ゆるみ幅 B_e

① $B_e \leq \frac{B_d - B_c}{2}$ の場合

$$w = \frac{\alpha \cdot \gamma \cdot H \cdot B_d}{B_c + \xi(B_d - B_c - B_e)} \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-6)$$

② $B_e > \frac{B_d - B_c}{2}$ の場合

$$w = \frac{\alpha \cdot \gamma \cdot H \cdot B_d}{B_d - B_e - (1 - \xi)(B_d - B_c)^2 / 4B_e} \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-7)$$

ただし

$$\xi = \frac{q_2}{q_1}$$

$$q_1 = \frac{\gamma \{ H_1 (B_c + H_1 \tan \phi) \Psi_2 + (H - H_1) B_d \cdot \Psi_3 \}}{B_c}$$

$$q_2 = \frac{\gamma \{ H_1 \cdot B_d - H_1 (B_c + H_1 \tan \phi) \Psi_2 + (H - H_1) B_d (1 - \Psi_3) \}}{B_d - B_c}$$

他の記号は(1)に同じである。

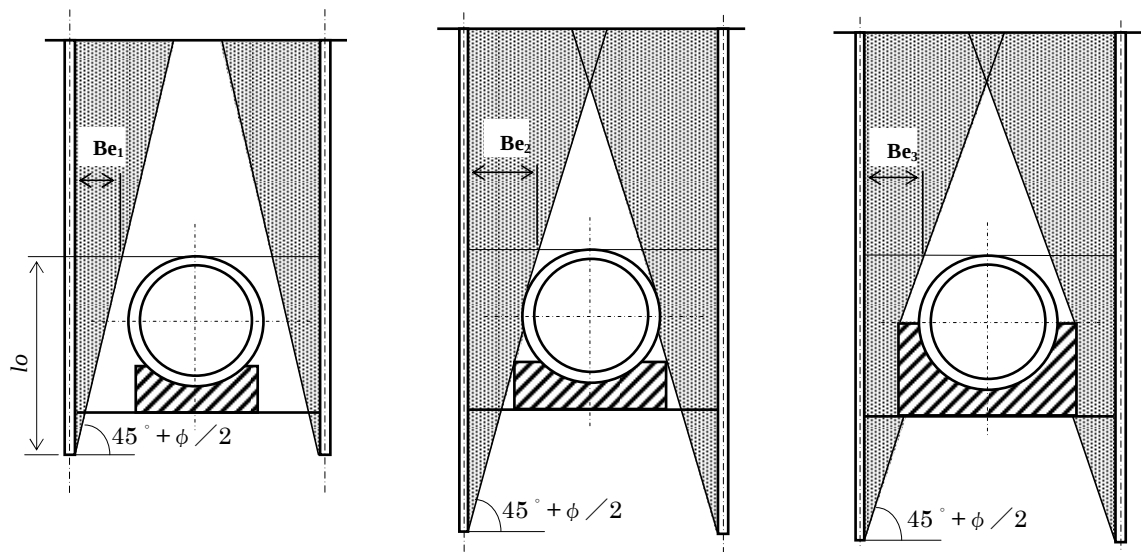
2) コンクリート基礎 $B_b \geq B_c$

埋戻し時の管の埋設状態は図 2.2.3.1.2-3 に同じであり、矢板引抜き時のゆるみの状態は図 2.2.3.1.2-5 のようになる。

$$B_{e1} = l_0 \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-8)$$

$$B_{e2} = \frac{B_d - B_c \cdot \tan\left\{\left(45^\circ + \phi/2\right)/2\right\}}{2} \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-9)$$

$$B_{e3} = \frac{B_d - B_b + B_c(1 + \cos \theta) \cdot \tan(45^\circ - \phi/2)}{2} \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-10)$$



(a) ゆるみ境界線が管基礎コンクリートに接しない場合

(b) ゆるみ境界線が管に接する場合

(c) ゆるみ境界線が基礎コンクリートに接する場合

図 2.2.3.1.2-5 ゆるみ幅 B_e

矢板引抜き後に管にかかる鉛直土圧 w は、ゆるみ幅 Be の値によって次の三つ場合に分けられる。

この場合の Be は、前記式 2.2.3.1.2-8 , 式 2.2.3.1.2-9 及び式 2.2.3.1.2-10 による算定値のうち最小値をとる。

① $Be \leq \frac{B_d - B_b}{2}$ の場合

$$w = \frac{\alpha \cdot \gamma \cdot H \cdot B_d}{B_c + \xi(B_d - B_c) + \zeta(B_d - B_b - B_e)} \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-11)$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{B_d - B_b}{2} < Be \leq \frac{B_d - B_c}{2} \quad \text{の場合}$$

$$w = \frac{\alpha \cdot \gamma \cdot H \cdot B_d}{B_c + \xi(B_d - B_c - Be) - (\xi - \zeta)(B_d - B_b)^2 / 4Be} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-12)$$

$$\textcircled{3} \quad Be > \frac{B_d - B_c}{2} \quad \text{の場合}$$

$$w = \frac{\alpha \cdot \gamma \cdot H \cdot B_d}{B_d - Be - \left\{ \frac{(1 - \xi)(B_d - B_c)^2 + (\xi - \zeta)(B_d - B_b)^2}{4Be} \right\}} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.1.2-13)$$

ただし

$$\xi = \frac{q_2}{q_1}$$

$$\zeta = \frac{q_3}{q_1}$$

$H_B < H \leq H_1$ の場合

$$q_1 = \frac{\gamma [H_B (B_C + H_B \cdot \tan \phi) + (H - H_B) \{B_C + (H_B + H) \tan \phi\} \Psi_{C1}]}{B_C}$$

$$q_2 = \frac{\gamma \cdot H_B}{2}$$

$$q_3 = \frac{\gamma (H - H_B) [B_d - \{B_C + (H_B + H) \tan \phi\} \Psi_{C1}]}{B_d - B_b} + \gamma \cdot H_B$$

$H > H_1$ の場合

$$q_1 = \frac{\gamma [H_B (B_C + H_B \cdot \tan \phi) + (H_1 - H_B) \{B_C + (H_B + H_1) \tan \phi\} \Psi_{C2}]}{B_C} \\ + \frac{(H - H_1) B_d \cdot \Psi_{C3}}{B_C}$$

$$q_2 = \frac{\gamma \cdot H_B}{2}$$

$$q_3 = \frac{\gamma (H_1 - H_B) [B_d - \{B_C + (H_B + H_1) \tan \phi\} \Psi_{C2}] + \gamma (H - H_1) B_d (1 - \Psi_{C3})}{B_d - B_b} + \gamma \cdot H_B$$

他の記号は（１）に同じである。

土圧算定に用いる土質定数を表 2.2.3.1.2-1 に、また、変形係数の概略値を表 2.2.3.1.2-2 に示す。

表 2.2.3.1.2-1 土圧算定に用いる土質定数

裏込め土の種類	内部摩擦角 ϕ	粘着力 C
れき（礫）質土 ^注	35°	—
砂 質 土	30°	—
シルト・粘性土 (ただし $W_L < 50\%$)	25°	—

注 きれいな砂はれき質土の値を用いてよい。

表 2.2.3.1.2-2 変形係数の概略値

土の種類	変形係数 (kN/m ²)
れき（密な）	100 000 ～ 200 000
砂（密な）	50 000 ～ 80 000
砂（ゆるい）	10 000 ～ 20 000
粘土（硬い）	8 000 ～ 15 000
粘土（中位の）	4 000 ～ 8 000
粘土（軟い）	1 500 ～ 4 000
粘土（非常に軟い）	500 ～ 3 000

2.3.2 推進工法に用いる土圧

2.3.2.1 緩み土圧（テルツァーギ）の式

推進工法に使用する管にかかる等分布荷重には、活荷重、土圧、地盤反力、水圧がある。管の断面方向の耐荷力を検討するための土圧には鉛直土圧のみを考慮し、鉛直土圧は土かぶ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。直土圧と緩み土圧の使い分けは、「下水道推進工法の指針と解説—2003 年版—」などに、土かぶりが 2D（D：掘削外径）程度以下では、直土圧を採用する旨の内容が記載されているが、実設計においては、地盤の条件等を考慮して、設計者の判断によりその土圧式を適切に使い分ける必要がある。

ここに示されているテルツァーギの式を用いる場合には上載荷重が見込まれているため、鉛直荷重を算出するときには、活荷重を考慮する必要はない。

また、緩み土圧は、土かぶり 10m 程度以内に計画す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の式を用いて計算を行う。さらに、N 値 ≥ 25 の基盤層と判断される粘性土地盤以外では、土質調査結果による粘着力 c をそのまま緩み土圧の計算式に用いるのではなく、安全率 $sf (=2.0 \text{ 程度})$ で除した値を採用することが望ましい。

(1) 均一地盤における緩み土圧の基本式

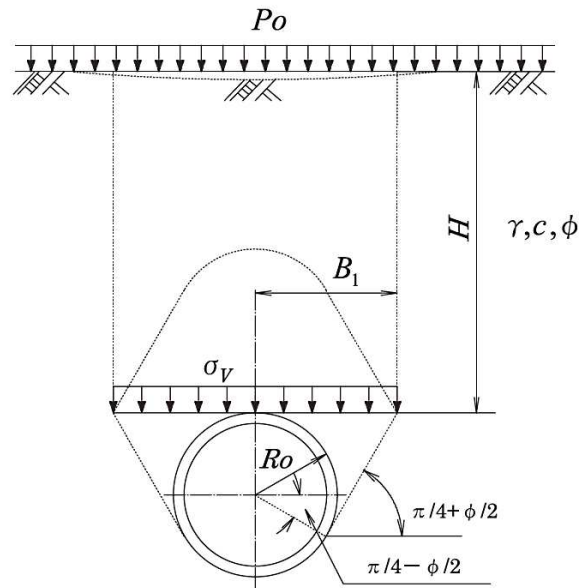


図 2.2.3.2.1-1 均一地盤における緩み土圧

$$p = \sigma_v = \frac{B_1 \left(\gamma - \frac{c}{B_1} \right)}{K_o \cdot \tan \phi} \left(1 - e^{-K_o \cdot \tan \phi \cdot \frac{H}{B_1}} \right) + P_o \cdot e^{-K_o \cdot \tan \phi \cdot \frac{H}{B_1}} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.2.1-1)$$

$$B_1 = R_o \cdot \cot \left(\frac{\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}}{2} \right)$$

ただし、内部摩擦角 $\phi=0$ の場合は解が不定となって適用できない。

$\phi=0$ の場合、緩み土圧の計算式に式 2.2.3.2.1-2 を便宜的に適用する。

$$p = \sigma_v = \left(\gamma - \frac{c}{B_1} \right) H + P_o \quad \dots\dots\dots (2.2.3.2.1-2)$$

ここに、 p : 管にかかる等分布荷重 (kN/m²)

σ_v : テルツァーギの緩み土圧 (kN/m²)

K_o : 水平土圧と鉛直土圧との比 (通常 $K_o = 1$ としてよい)

ϕ : 土の内部摩擦角 (度)

P_o : 上載荷重の影響 (= 10 kN/m²)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

c : 土の粘着力 (kN/m²)

R_o : 掘削半径 $R_o = \frac{Bc + 0.1}{2}$ (m)

Bc : 管外径 (m)

(2) 多層地盤における緩み土圧の基本式

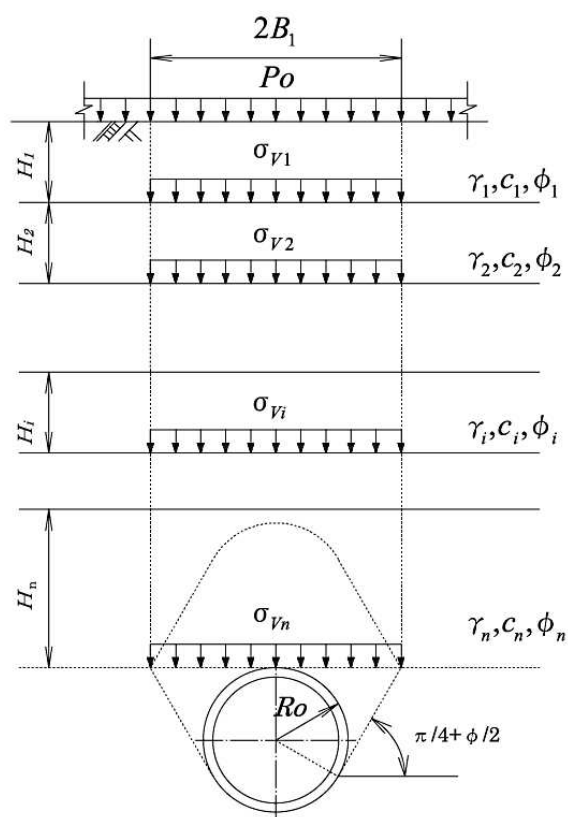


図 2.2.3.2.1-2 多層地盤における緩み土圧

土の単位体積重量 γ 、粘着力、内部摩擦角 ϕ がそれぞれ異なる多層地盤の場合は式 2.2.3.2.1-3 により緩み土圧を算出する。

$$\sigma_{v1} = \frac{B_1(\gamma_1 - \frac{c_1}{B_1})}{Ko \cdot \tan \phi_1} \left(1 - e^{-Ko \cdot \tan \phi_1 \cdot \frac{H_1}{B_1}} \right) + Po \cdot e^{-Ko \cdot \tan \phi_1 \cdot \frac{H_1}{B_1}}$$

$$\sigma_{v2} = \frac{B_1(\gamma_2 - \frac{c_2}{B_1})}{Ko \cdot \tan \phi_2} \left(1 - e^{-Ko \cdot \tan \phi_2 \cdot \frac{H_1}{B_1}} \right) + \sigma_{v1} \cdot e^{-Ko \cdot \tan \phi_2 \cdot \frac{H_1}{B_1}}$$

$$\sigma_{vi} = \frac{B_1(\gamma_i - \frac{c_i}{B_1})}{Ko \cdot \tan \phi_i} \left(1 - e^{-Ko \cdot \tan \phi_i \cdot \frac{H_i}{B_1}} \right) + \sigma_{vi-1} \cdot e^{-Ko \cdot \tan \phi_i \cdot \frac{H_i}{B_1}}$$

$$p = \sigma_{vn} = \frac{B_1(\gamma_n - \frac{c_n}{B_1})}{Ko \cdot \tan \phi_n} \left(1 - e^{-Ko \cdot \tan \phi_n \cdot \frac{H_n}{B_1}} \right) + \sigma_{vn-1} \cdot e^{-Ko \cdot \tan \phi_n \cdot \frac{H_n}{B_1}} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.2.1-3)$$

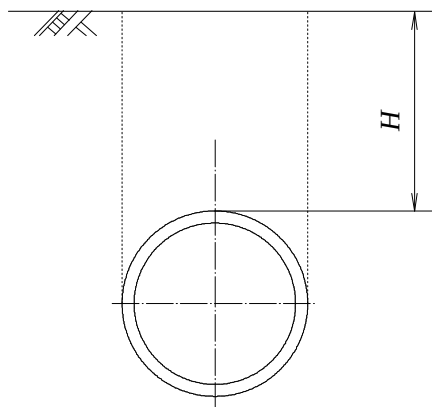
$$B_1 = Ro \cdot \cot \left(\frac{\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_n}{2}}{2} \right)$$

$\phi=0$ の場合、緩み土圧の計算式に式 2.2.3.2.1-4 を便宜的に適用する。

$$\sigma_{vi} = \left(\gamma_i - \frac{c_i}{B_1} \right) H_i + \sigma_{vi-1} \dots\dots\dots (2.2.3.2.1-4)$$

2.3.2.2 推進工法における直土圧の式

推進管の設計を行うときに用いる直土圧の式は、設計者が地盤及び管の敷設状態等から土のアーチング効果への信頼性が低いと判断した場合等に使用される。



$$Pe = \gamma \cdot H \dots\dots\dots (2.2.3.2.2-1)$$

ここに、

Pe : 鉛直土圧 (kN/m²)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

H : 土かぶり(m)

図 2.2.3.2.2-1 直土圧

2.4 開削管の設計

開削管の外圧荷重に対する設計フローチャートを図 2.2.4-1 に示す。

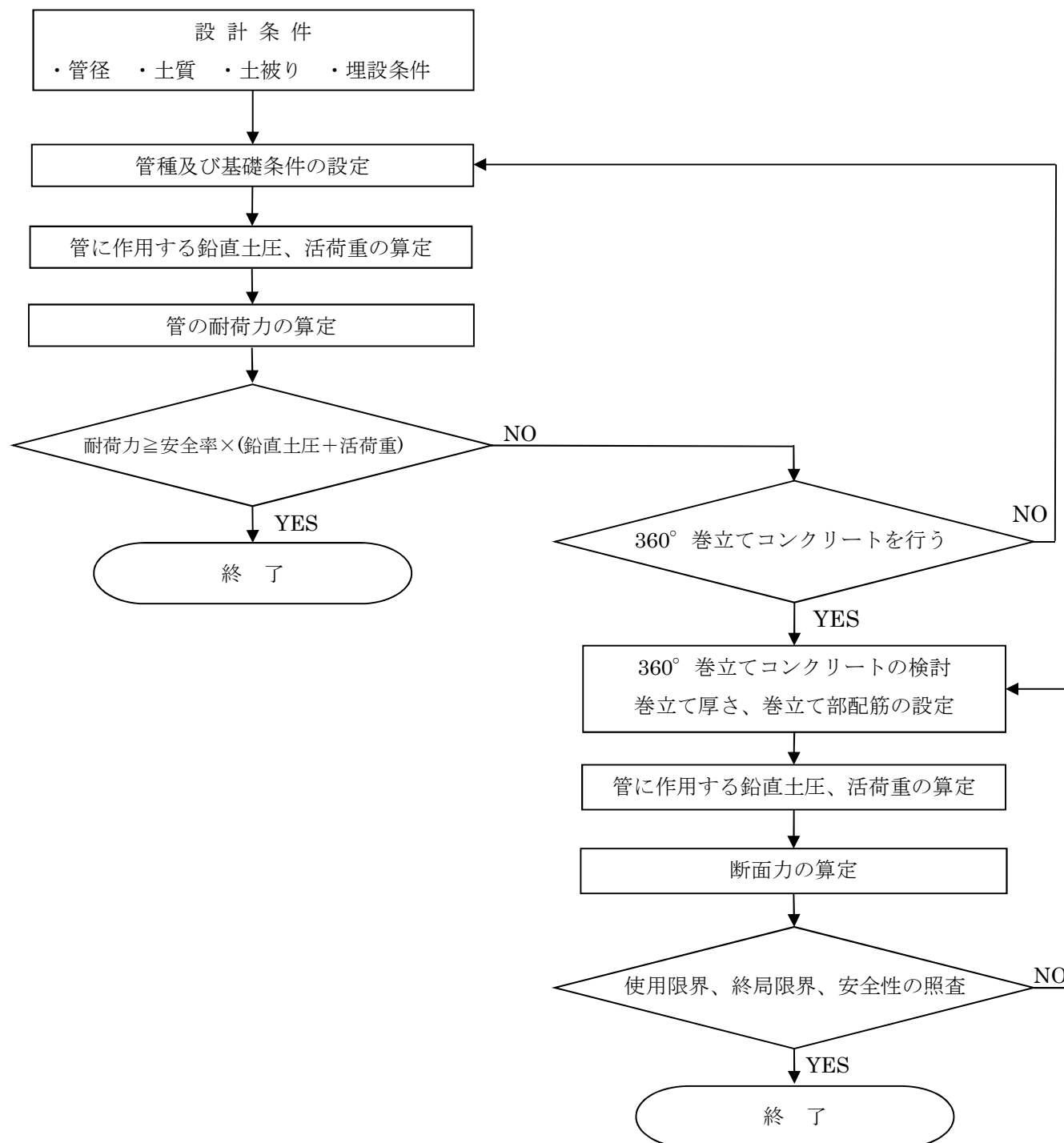


図 2.2.4-1 開削管の設計フローチャート

2.5 推進管の設計

推進管の設計においては、鉛直荷重及び推進力、また曲線布設の場合には、曲線推進時に側部からかかる外圧荷重に対する検討を行うことが必要である。推進管の設計フローチャートを図 2.2.5-1～図 2.2.5-4 に示す。

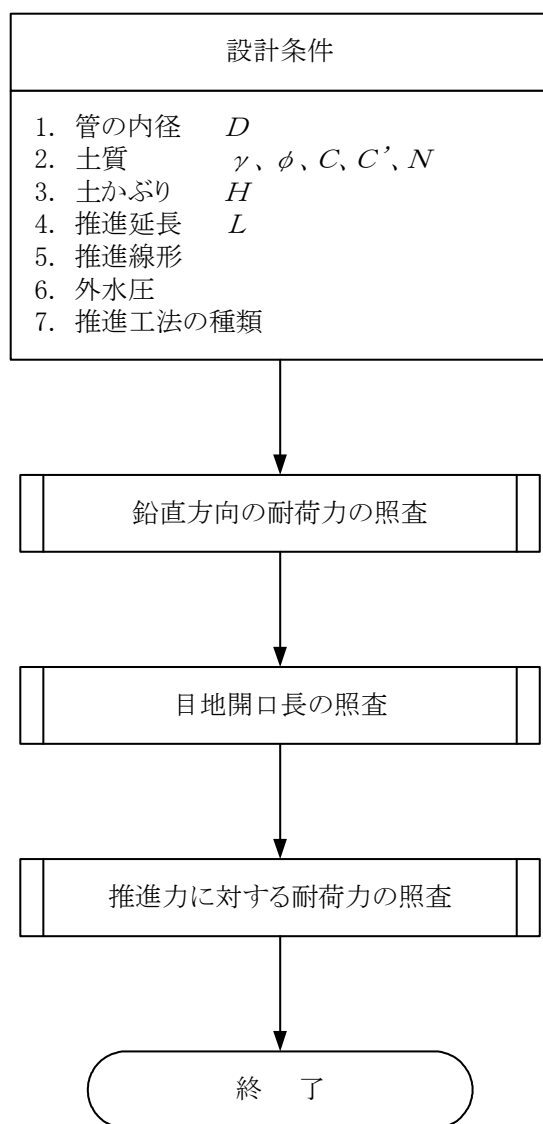


図 2.2.5-1 推進管の設計フロー

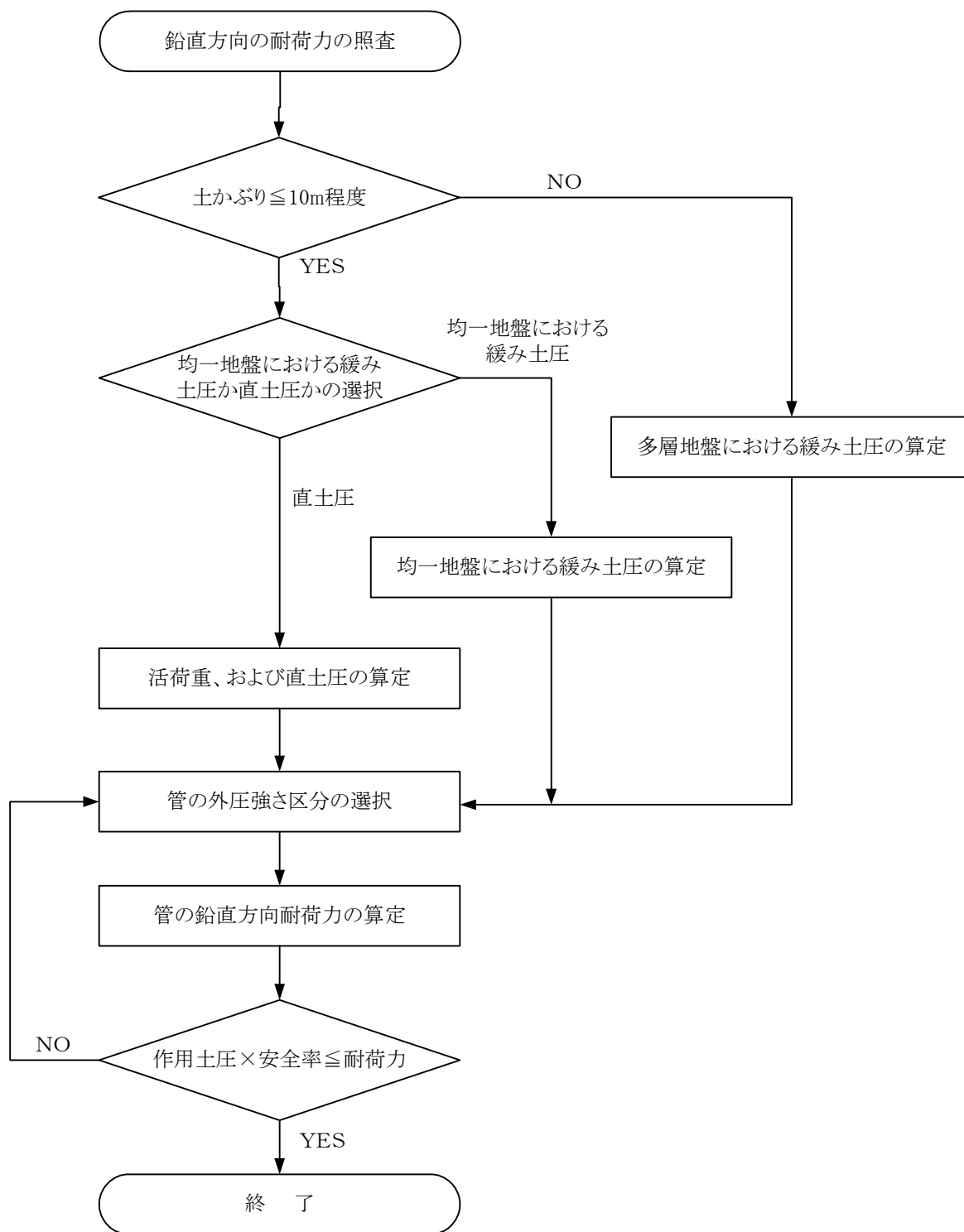


図 2.2.5-2 鉛直方向の耐荷力の照査フロー

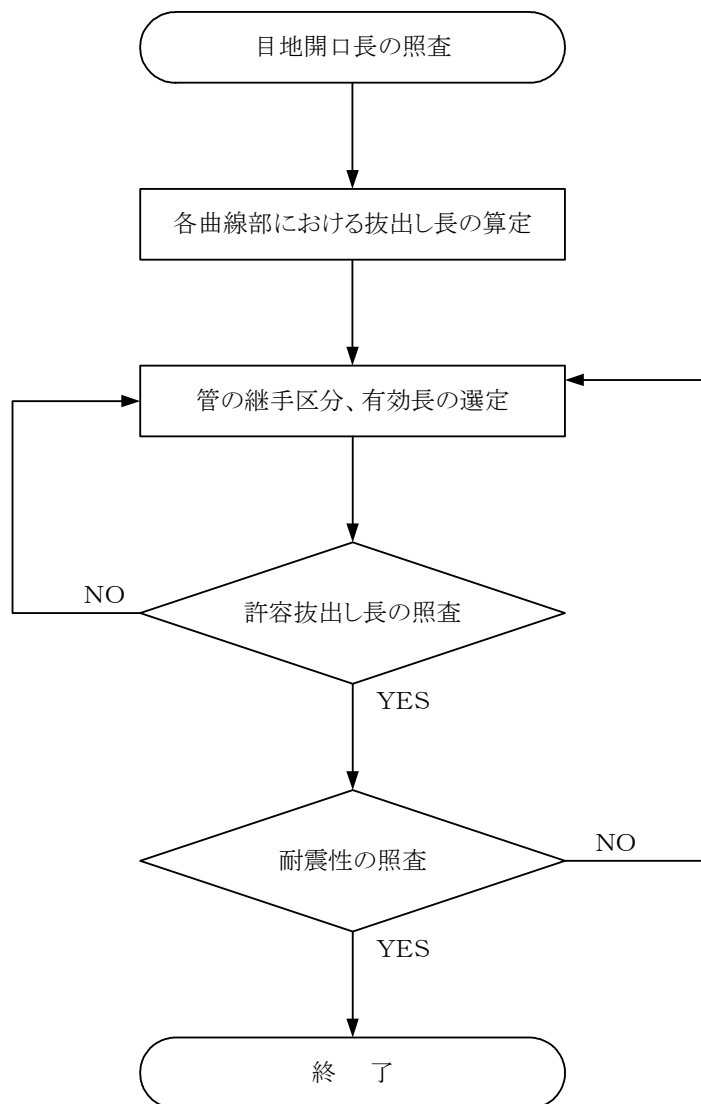


図 2. 2. 5-3 目地開口長の照査フロー

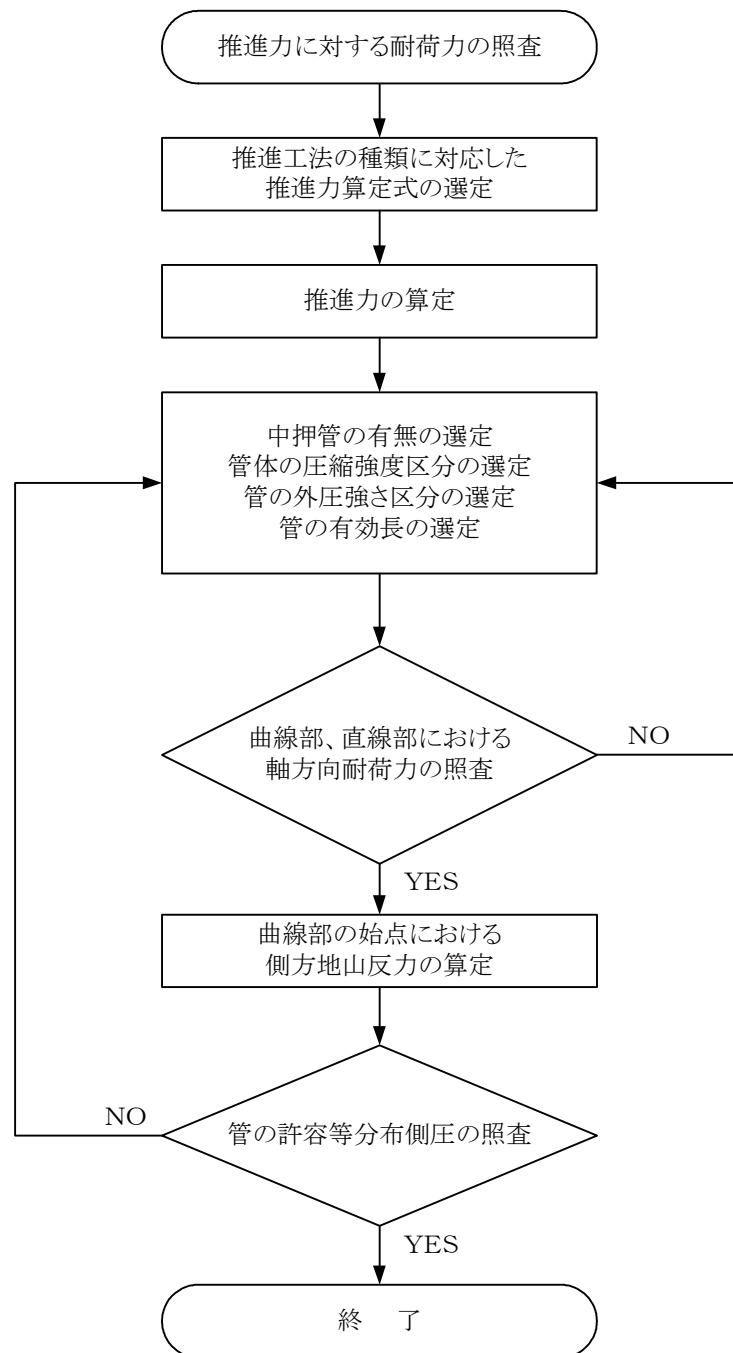


図 2.2.5-4 推進力に対する耐荷力の照査フロー

2.6 内圧管の設計

内圧強さが要求される内圧管の試験水压は JIS に規定されているが、埋設された内圧管には、内圧と同時に外圧荷重も作用する。管の内圧荷重に対する設計フローチャートを図 2.2.6-1 に示す。

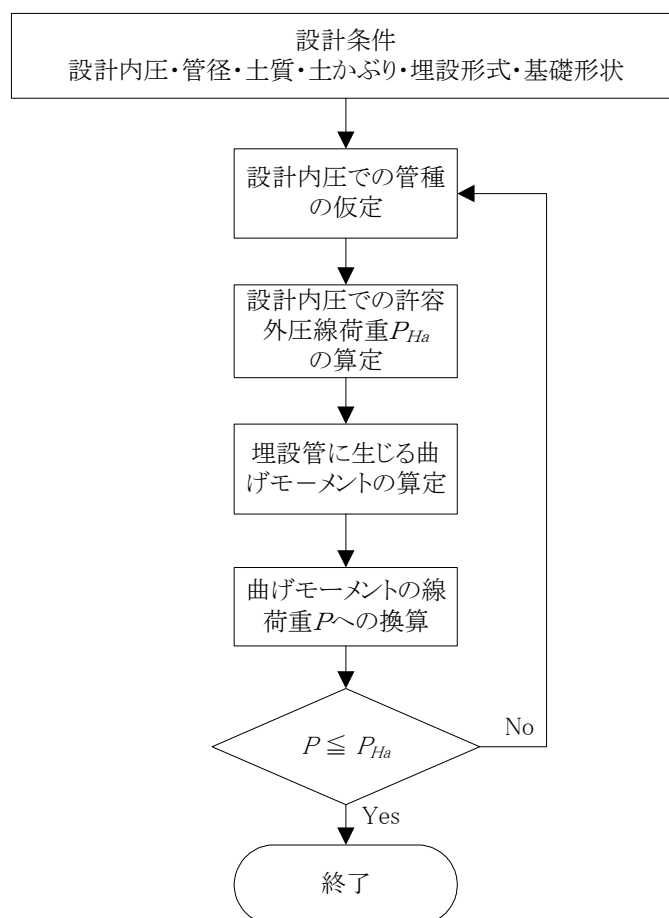


図 2.2.6-1 内圧管の設計フローチャート

2.6.1 設計内圧

設計内圧は、管内通水時の動水こう配線または通水停止時の圧力水頭線に基づいて決まる静水压と水撃圧を加算して求める。

2.6.2 埋設管に生じる曲げモーメントの線荷重への換算

埋設管に生じる曲げモーメントは、2.1 に述べた手順に従って求まる。このモーメントの線荷重換算値は次式による。

$$P = \frac{M}{0.318 \cdot r} \quad \dots\dots\dots (2.2.6.2-1)$$

ここに、 P : 線荷重換算値 (kN/m)

M : 埋設管に生じる曲げモーメント (kN・m/m)

r : 管厚中心までの半径 (m)

2.6.3 管種算定

(1) 管種の算定

内圧管の設計で、管に内外圧が同時に作用するときのひび割れ荷重と内外圧との関係は、式 2.2.6.3-1 で表すことができる。

$$\left(\frac{P_H}{P_C}\right)^{1.5} + \left(\frac{H_P}{H_C}\right) = 1 \quad \dots\dots\dots (2.2.6.3-1)$$

ここに P_H : 内圧 H_P のときひび割れを発生させる外圧 (kN/m)

P_C : 内圧 0 のときひび割れを発生させる外圧 (kN/m)

H_P : 外圧 P_H のときひび割れを発生させる内圧 (MPa)

H_C : 外圧 0 のときひび割れを発生させる内圧 (MPa)

管種を算定するときは、式 2.2.6.3-1 を変型した式 2.2.6.3-2 によればよい。

$$P_{Ha} = \frac{P_C}{S_p} \sqrt[3]{\left(1 - \frac{H_{pd}}{H_C/S_H}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (2.2.6.3-2)$$

ここに P_{Ha} : 設計内圧作用のもとでの許容外圧線荷重 (kN/m)

P_C : ひび割れ試験荷重、表 1.4.3.2-1 (kN/m)

H_{pd} : 設計内圧(静水压+水撃圧) (MPa)

H_C : 試験水压、表 1.4.3.1-1 (MPa)

S_p : 外圧に対する安全率 1.5

S_H : 内圧に対する安全率 1.5

(2) 管種算定及び安全性照査手順

① 設計内圧 H_{pd} に安全率 S_H を乗じて、管の規格試験水压を選定し、予め管種を仮定する。仮定し

た管種の H_C 及び P_C は、表 1.4.3.1-1 及び表 1.4.3.2-1 参照。

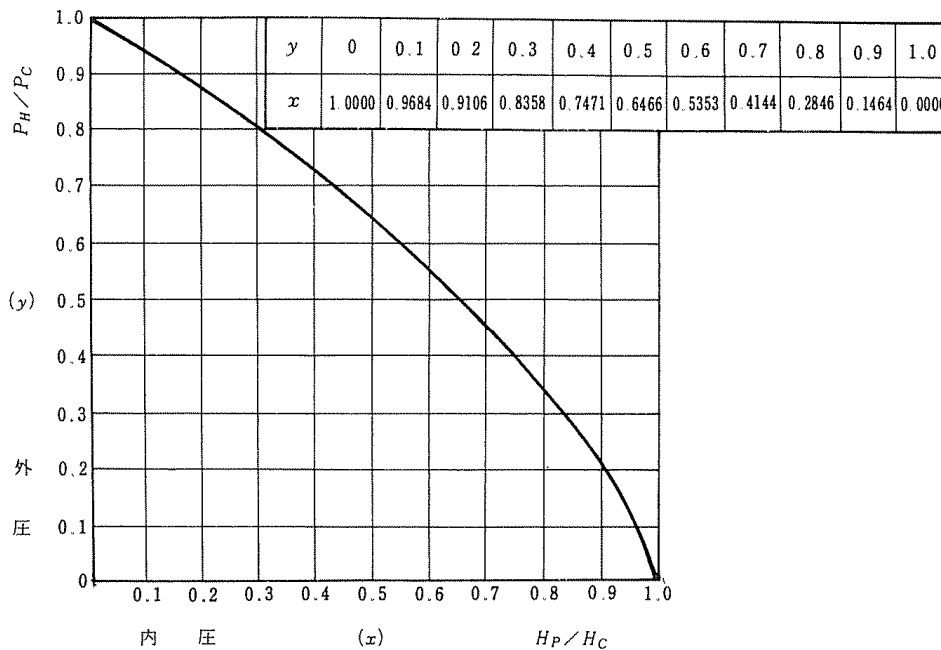
② 式 2.2.6.3-2 から、許容外圧線荷重 P_{Ha} を算定する。

③ 式 2.2.1-3 より、埋設管に生じる曲げモーメント M を算定する。

- ④ 式 2.2.6.2-1 から、埋設管に生じる曲げモーメント M から線荷重換算値 P を求め、 $P \leq P_{Ha}$ を満足することを確認する。
- ⑤ 管種と基礎の両面から経済性の検討を行い、必要に応じて①～④までの試算を繰返して管種算定を行う。

2.6.4 内外圧組合せ荷重曲線

式 2.2.6.3-1 で表したひび割れ荷重と内外圧との関係は、内外圧組合せ荷重曲線として図 2.2.6.4-1 に表すことができる。



式 2.2.6.3-1 中の H_C 及び P_C については、第 1 編第 4 章管の強さ表 1.4.3.1-1 及び表 1.4.3.2-1 に掲げた値を用いる。表 1.4.3.1-1 に示した値は、必ずしも、ひび割れを発生させる内圧ではないが、管体の水密性をも考慮して決められた管の試験水圧であるので、ひび割れ荷重曲線の横軸との交点は、この値を採ることとした。管種の算定にあたっては、安全率を 1.5 としている。

2.7 360° コンクリート巻立てヒューム管の設計

2.7.1 概要

巻立てヒューム管の場合においても、ヒューム管の設計方法との連続性および利便性から、設計の条件に応じて曲げモーメント算定係数 k 値を設定し、それをもとに曲げモーメントの算出を行う。また、設計計算における安全の照査部位及び仮定条件は下記に示すとおりである。

- ① 安全性の検討は、下部中央及び側面部中央にて行う。
- ② 断面力は、ヒューム管と巻立て部とが一体となった弾性体と考えて求める。
- ③ 断面の算定は、薄肉管の一部として、まっすぐなはりとして応力を求める。

2.7.2 断面力算定方法

(1) 設計曲げモーメント及び k 値

1) 設計曲げモーメント

分布荷重による場合の係数 k_p 、自重による場合の係数を k_w とすると、分布荷重及び自重による曲げモーメントは、式 2.2.7.2-1, 2.2.7.2-2 で表される。

$$M_{pd} = k_p \cdot p \cdot R^2 \quad \dots\dots\dots (2.2.7.2-1)$$

$$M_{wd} = k_w \cdot W \cdot R \quad \dots\dots\dots (2.2.7.2-2)$$

ここに、 M_{pd} : 等分布荷重による作用曲げモーメント (kN・m/m)

M_{wd} : 自重による作用曲げモーメント (kN・m/m)

p : 等分布荷重(鉛直方向) (kN/m²)

R : 巻立てヒューム管の中心までの半径(= $\frac{d_h + t_h + t_c}{2}$) (m)

W : 巻立てヒューム管の管の自重 (kN/m)

d_h : ヒューム管の内径 (m)

t_h : ヒューム管の厚さ (m)

t_c : 巻立て厚さ (m)

なお、 R はヒューム管と巻立て部との合成断面において、巻立て部をヒューム管のコンクリートに換算した断面における図心とヒューム管の中心までの距離とするのがより正確であると考えられるが、計算が繁雑となるので上記のように求めることとした。

2) k 値算定式

巻立て厚さ、ヒューム管厚さ、弾性係数を与えるときに曲げモーメント係数 値及び 値の算定式を誘導する。算定式は、FEMによって計算した 値及び 値を目的変数とし、巻立て厚比 R_C 、弾性係数比 R_E 、ヒューム管厚比 R_h 及びそれらの交互作用の 6 要因を説明変数とする重回帰分析により定式化した。回帰式を式 2.2.7.2-3～6 に示す。

下部中央

$$k_p = 0.236 - 0.237R_C + 0.017R_E - 0.153R_h + 0.094R_C \cdot R_E \\ + 0.143 \cdot R_E \cdot R_h - 0.637 \cdot R_C \cdot R_h \quad \dots\dots\dots (2.2.7.2-3)$$

$$k_w = 0.0671 - 0.0935R_C + 0.0097R_E - 0.0653R_h + 0.0182R_C \cdot R_E \quad \dots\dots\dots (2.2.7.2-4)$$

側面部中央

$$k_p = -0.228 + 0.050 \cdot R_C + 0.013 \cdot R_E + 0.356 \cdot R_h \\ - 0.107 \cdot R_C \cdot R_E - 0.350 \cdot R_E \cdot R_h \quad \dots\dots\dots (2.2.7.2-5)$$

$$k_w = -0.0524 + 0.0223 \cdot R_C + 0.0017 \cdot R_E + 0.0878 R_h \\ - 0.0142 \cdot R_C \cdot R_E - 0.0668 \cdot R_E \cdot R_h \dots\dots\dots (2.2.7.2-6)$$

なお、側面部中央の軸力は、式 2.2.7.2-7 及び 2.2.7.2-8 より求める。

$$N_{pd} = \frac{-p(d_h + 2t_h + 2t_c)}{2} \dots\dots\dots (2.2.7.2-7)$$

$$N_{wd} = \frac{-(W_h + W_c)}{4} \dots\dots\dots (2.2.7.2-8)$$

ここに、 N_{pd} : 等分布荷重による軸力 (kN/m)

N_{wd} : 自重による軸力 (kN/m)

W_h : ヒューム管の自重 (kN/m)

W_c : 巻立て部の自重 (kN/m)

2.7.3 使用限界状態に対する安全性の検討

(1) 応力度の算定

ヒューム管と巻立て部との合成断面に曲げモーメントあるいは、曲げモーメントとともに軸力が作用するときのまっすぐなはりとしての曲げ引張応力は式 2.2.7.3-1, 2.2.7.3-2 により求める。なお、断面は、図 2.2.7.3-1 のように考える。

下部中央ヒューム管内面

$$\sigma_d = \frac{1}{10000} \cdot \frac{M_d}{I} \cdot X_2 \dots\dots\dots (2.2.7.3-1)$$

側面部中央巻立て部外面

$$\sigma_d = \frac{1}{10000} \cdot n \cdot \left[\frac{N_d}{A} - \frac{M_d}{I} \cdot (t_c + t_h - X_2) \right] \dots\dots\dots (2.2.7.3-2)$$

ここに、 M_d : 設計曲げモーメント、 M_{pd} あるいは $M_{pd} + M_{wd}$ (kN・m/m)

N_d : 設計軸力、 N_{pd} あるいは $N_{pd} + N_{wd}$ (kN/m)

σ_d : 曲げ引張応力度 (N/mm²)

n : 巻立て部コンクリートとヒューム管コンクリートの弾性係数比 ($= R_E$)

$$n = \frac{E_c}{E_h}$$

E_c : 巻立て部コンクリートの弾性係数 (kN/mm²)

E_h ヒューム管コンクリートの弾性係数 (kN/mm²)

A : 換算断面積 (m²)

$$A = b \cdot t_h + n \cdot b \cdot t_c$$

X_2 : 図心から引張縁までの距離 (m)

$$X_2 = \frac{(b \cdot t_h^2 / 2) + n \cdot b \cdot t_c \cdot (t_h + t_c / 2)}{A}$$

I : 換算断面の断面 2 次モーメント (m^4)

$$I = \frac{b \cdot t_h^3}{12} + b \cdot t_h \cdot \left(X_2 - \frac{t_h}{2} \right)^2 + \frac{n \cdot b \cdot t_c^3}{12} + n \cdot b \cdot t_c \cdot \left(t_h + \frac{t_c}{2} - X_2 \right)^2$$

b : 断面の幅 (1.0m)

t_c : 巻立て厚さ (m)

t_h : ヒューム管の厚さ (m)

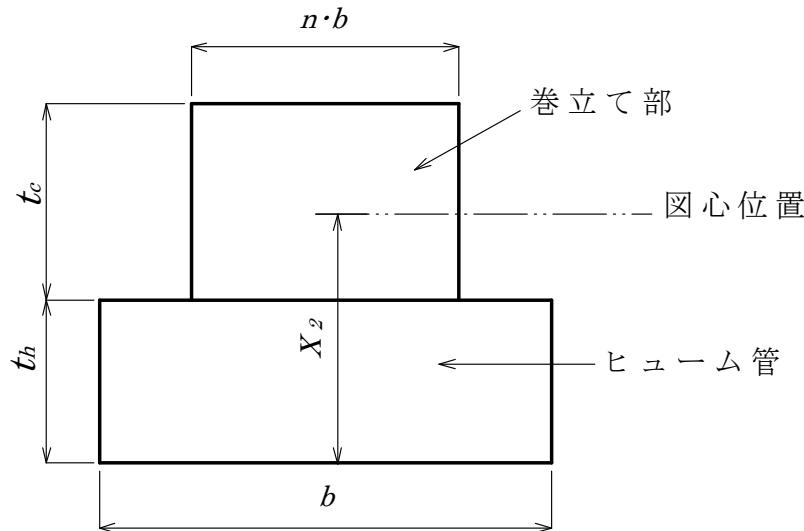


図 2.2.7.3-1 使用限界状況に対する検討を行うときの断面の考え方

(2) 設計曲げ引張応力度及び安全照査

ヒューム管の設計曲げ引張応力度は、ヒューム管の外圧荷重から求める。すなわち、曲げモーメントは、薄肉リングとして式 2.2.7.3-3 により求め、曲げ強度は、まっすぐなはりとして式 2.2.7.3-4 により求める。

$$M = 0.318 \cdot P \cdot r' + 0.239 \cdot W \cdot r' \quad \dots\dots\dots (2.2.7.3-3)$$

$$f_b = 0.001 \cdot M / Z_h \quad \dots\dots\dots (2.2.7.3-4)$$

ここに、 P : ヒューム管のひび割れ荷重 (kN/m)

M : ひび割れ荷重による曲げモーメント (kN・m/m)

W_h : ヒューム管の自重 (kN/m)

r' : 管厚中心までの半径 ($= \frac{d_h + t_h}{2}$) (m)

f_b : ヒューム管コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm²)

Z_h : ヒューム管の長さを幅、厚さを高さとする断面の断面係数 (m³/m)

巻立て部コンクリートの設計曲げ強度は、土木学会制定の「コンクリート標準示方書 設計編 3.2.1 強度 (平成 8 年制定)」に準じ、式 2.2.7.3-5 により求める。

$$f_b = 0.42 \cdot f_{ck}'^{2/3} \dots\dots\dots (2.2.7.3-5)$$

ここに、 f_{ck}' : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

安全の照査は、式 2.2.7.3-6 により行う。

$$f_b / \sigma_d \geq \text{安全係数} \dots\dots\dots (2.2.7.3-6)$$

2.7.4 終局限界状態に対する安全性の検討

巻立てヒューム管においては、ひび割れ耐力よりも終局耐力の方が大きいという保証はないので、終局限界状態の安全性の検討も行う必要がある。

下部中央における曲げ耐力の算定は、巻立て部外縁を圧縮縁とする単鉄筋矩形断面であるとして行う。側面部中央においては、ヒューム管内面を圧縮縁とする単鉄筋矩形断面であるとして算定を行う。図 2.2.7.3-1 に示す断面とすることも考えられるが、計算を簡略にするため上記のように矩形断面とする。

又、コンクリートは、圧縮側となった部分のコンクリートからなるものとし、引張鉄筋は、引張側となった部分に配置された鉄筋とする。断面力は、2.7.2 で求めた値を用いる。

下部中央においては設計曲げモーメント M_d について、側面部中央においては、設計曲げモーメント M_d とともに設計軸力 N_d が作用するものとして、それぞれの部位における曲げ耐力 M_u を求める。安全照査は、式 2.2.7.4-1 により行う。

$$M_u / M_d \geq \text{安全係数} \dots\dots\dots (2.2.7.4-1)$$

上下部においては、巻立て部における配筋を必要としないが、用心鉄筋として側面部の 1/2 程度配筋すればよいものと考えられる。

参考 ヒューム管の鉄筋比の一例

呼 び 径	外 圧 管		推 進 管	
	1 種	2 種	1 種	2 種
150	0.0025	0.0100	—	—
200	0.0025	0.0100	0.0030	0.0070
250	0.0025	0.0100	0.0030	0.0070
300	0.0030	0.0100	0.0030	0.0070
350	0.0035	0.0100	0.0030	0.0080
400	0.0035	0.0100	0.0040	0.0080
450	0.0040	0.0100	0.0040	0.0090
500	0.0040	0.0100	0.0040	0.0090
600	0.0045	0.0100	0.0040	0.0090
700	0.0045	0.0110	0.0040	0.0090
800	0.0050	0.0110	0.0050	0.0090
900	0.0055	0.0110	0.0070	0.0100
1000	0.0060	0.0125	0.0070	0.0100
1100	0.0065	0.0125	0.0070	0.0100
1200	0.0070	0.0125	0.0070	0.0100
1350	0.0070	0.0125	0.0070	0.0100
1500	0.0070	0.0125	0.0070	0.0100
1650	0.0070	0.0125	0.0070	0.0110
1800	0.0070	0.0125	0.0070	0.0110
2000	0.0070	0.0125	0.0070	0.0110
2200	0.0070	0.0125	0.0070	0.0110
2400	0.0070	0.0125	0.0065	0.0100
2600	0.0070	0.0120	0.0065	0.0100
2800	0.0070	0.0120	0.0065	0.0100
3000	0.0070	0.0120	0.0065	0.0100

備考：外圧管の呼び径 1500 以上は C 形

2.8 耐震設計

重要な幹線等の耐震設計は原則として、図 2.2.8-1 のフローに従って行う。

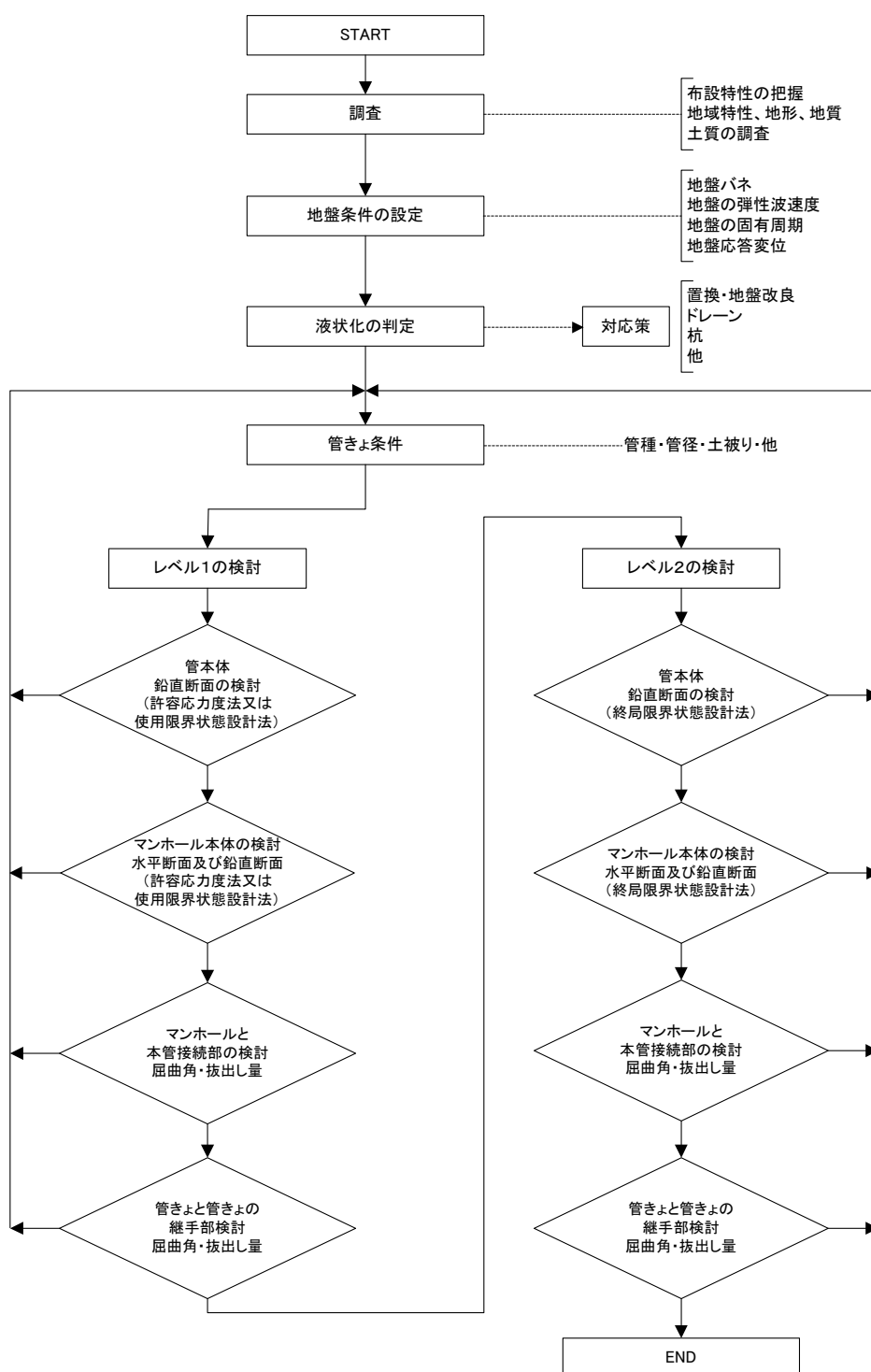


図 2.2.8-1 重要な幹線等の耐震設計手順（差込継手構造の円形管きょ）

2.8.1 本体鉛直断面の検討

1) 鉛直断面耐震計算フロー

鉛直断面耐震計算は、図 2.2.8.1-1 に示すフローに従って行う。

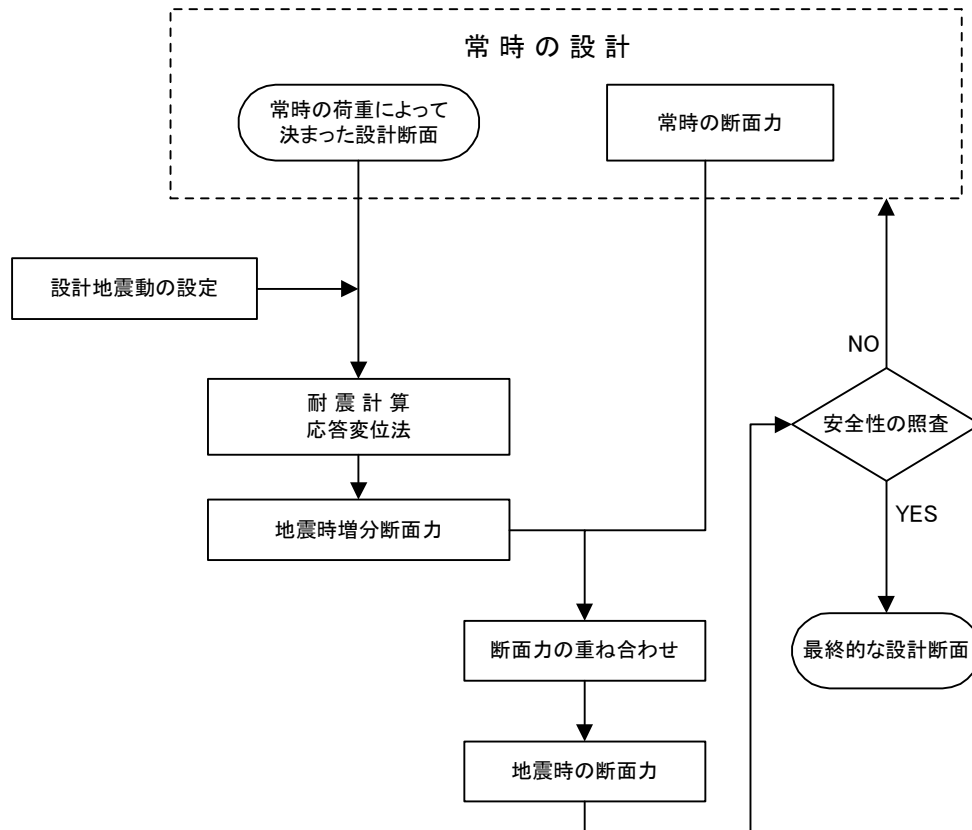


図 2.2.8.1-1 耐震計算フロー

2) 部材計算モデル

応力解析は、図 2.2.8.1-2 に示すように 24 分割の円形フレームモデルを設定して行う。

1～24：接点番号 a～x：部材番号

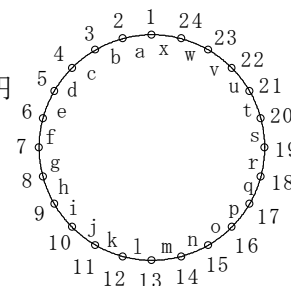


図 2.2.8.1-2 円形フレームモデル

3) 算定式

3.1) 常時荷重の算定

常時の土圧分布モデルを図 2.2.8.1-3 に、また計算式のサフィックスの取扱いは図 2.2.8.1-4 に示すように、鉛直土圧および水平土圧を求める場合においては、第 n 層の層厚は管が埋設されている層における土かぶり厚さとしている。

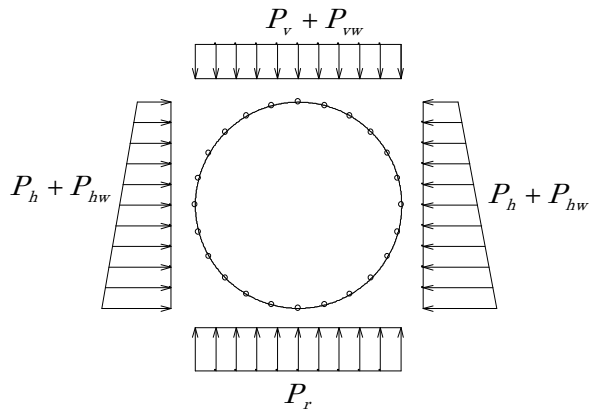


図 2.2.8.1-3 常時土圧分布モデル

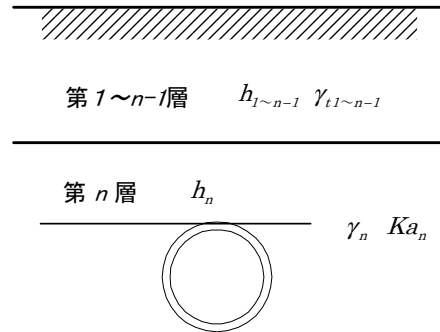


図 2.2.8.1-4 計算式のサフィックス

(1) 鉛直土圧

i) 外圧管の場合

$$P_v = \sum_{i=1}^n (\gamma_{ti} \cdot h_i) \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-1)$$

ここに、

- P_v : 鉛直土圧 (kN/m²)
- γ_{ti} : 各層の土の単位体積重量 (kN/m³)
- h_i : 各層の層厚 (m)

ii) 推進管の場合

第 n 層の鉛直土圧の増分は、次式より計算する。

$$P_{vn} = \left\{ \gamma_t - \frac{2 \cdot C}{B_e} - \frac{2 \cdot K \cdot \mu \cdot (P_{v1} + P_{v2} + \cdots + P_{vn-1})}{B_e} \right\} \cdot C_e \quad (2.2.8.1-2)$$

($P_{v1} + P_{v2} + \cdots + P_{vn-1} < 0$ のときは $P_{v1} + P_{v2} + \cdots + P_{vn-1} = 0$ とおく)

ここに、

- P_{vn} : 第 n 層の鉛直土圧増分 (kN/m²)
- γ_t : 土の単位体積重量(kN/m³)
- C : 土の粘着力(kN/m²)
- B_e : 土のゆるみ幅(m)

$$B_e = B_t \cdot \left\{ \frac{1 + \sin\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)}{\cos\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)} \right\}$$

B_t : トンネル直径 $B_t = B_c + 0.1$ (m)

B_c : 管外径(m)

ϕ : 管埋設層の内部摩擦角(°)

C_e : テルツァギーの土荷重の係数(m)

$$C_e = \frac{1}{\frac{2 \cdot K \cdot \mu}{B_e}} \left\{ 1 - e^{-\left(\frac{2 \cdot K \cdot \mu}{B_e}\right) \cdot h} \right\}$$

ただし、 $\frac{2 \cdot K \cdot \mu}{B_e} = 0$ の場合は、 $C_e = h$ とする。

K : テルツァギーの側方土圧係数($K = 1$)

μ : 土の摩擦係数($= \tan \phi$)

h : 土の層厚(m)

第 n 層の鉛直土圧は、各層の鉛直土圧増分を加算して、次式より求める。

$$P_v = P_{v1} + P_{v2} + \cdots + P_{vn} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-3)$$

(2) 鉛直水圧

$$P_{vw} = \gamma_w \cdot h_w \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-4)$$

ここに、

P_{vw} : 鉛直水圧 (kN/m²)

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

h_w : 水面から管頂までの深さ (m)

(3) 水平土圧

i) 外圧管の場合

$$P_h = Ka_n \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n (\gamma_{ti} \cdot h_i) + \gamma_m \cdot (z - H) \right\} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-5)$$

ここに、

P_h : 地表面から深さ z の点における水平土圧 (kN/m²)

Ka_n : 管が埋設されている層のランキン主働土圧係数

$$Ka = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (\phi: \text{土の内部摩擦角})$$

γ_{ti} : 各層の土の単位体積重量 (kN/m³)

z : 計算する位置の地表面からの深さ (m)

H : 土かぶり(m)

ii) 推進管の場合

$$P_h = Ka_n \cdot \{\gamma_{tn} \cdot (z - H) + P_v\} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-6)$$

ここに、

P_h : 地表面から深さ z の点における水平土圧 (kN/m²)

Ka_n : 管が埋設されている層のランキン主働土圧係数

$$Ka = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (\phi: \text{土の内部摩擦角})$$

γ_{tn} : 管が埋設されている層の土の単位体積重量(kN/m³)

z : 地表面からの深さ(m)

H : 土かぶり(m)

P_v : 鉛直方向ゆるみ土圧(kN/m²)

(4) 水平水圧

$$P_{hw} = \gamma_w \cdot z_w \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-7)$$

ここに、

P_{hw} : 水面から深さ z_w の点における水平水圧 (kN/m²)

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

z_w : 水面からの深さ (m)

(5) 底面地盤反力

$$P_r = P_v + P_{vw} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-8)$$

ここに、

P_r : 底面地盤反力(kN/m²)

P_v : 鉛直土圧(kN/m²)

P_{vw} : 鉛直水圧(kN/m²)

3.2) 地震時増分荷重の算定

地震水平力の分布モデルを図 2.2.8.1-5 に示す。

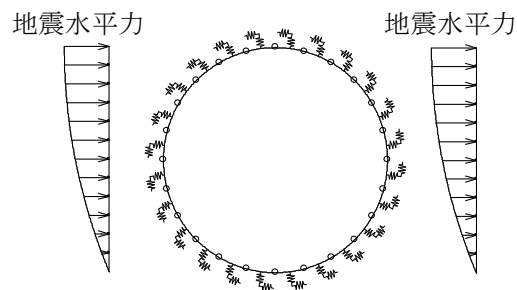


図 2.2.8.1-5 地震水平力の分布モデル

(1) 表層地盤の特性値

$$T_G = 4 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-9)$$

ここに、

T_G : 表層地盤の特性値(s)

H_i : i 番目の地層の厚さ(m)

V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度(m/s)

粘性土層の場合 $V_{si} = 100 \cdot Ni^{1/3} (1 \leq Ni \leq 25)$

砂質土層の場合 $V_{si} = 80 \cdot Ni^{1/3} (1 \leq Ni \leq 50)$

$Ni = 0$ の場合 $V_{si} = 50$

Ni : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値

i : 当該地盤が地表面から基盤面まで n 層に区分されているときの、地表面から i 番目の地層番号

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 以上地層の上面、もしくはせん断弾性波速度が 300m/s 程度以上の地層の上面をいう

(2) 表層地盤の固有周期

$$T_s = 1.25 \cdot T_G \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-10)$$

ここに、

T_s : 表層地盤の固有周期(s)

T_G : 地盤の特性値(s)

(3) 設計応答速度

設計応答速度(S_v)は、地震動レベルに合わせて図 2.2.8.1-6 および図 2.2.8.1-7 より求める。

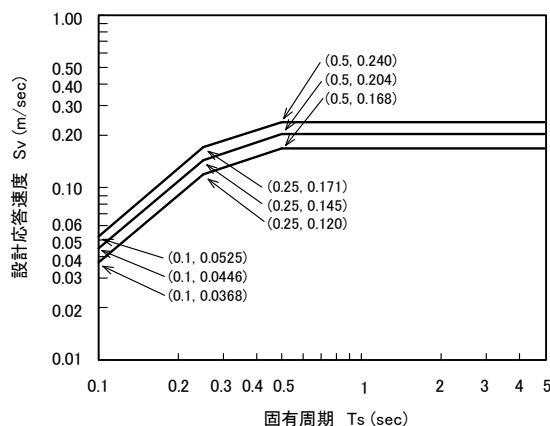


図 2.2.8.1-6 レベル 1 地震動
設計応答速度

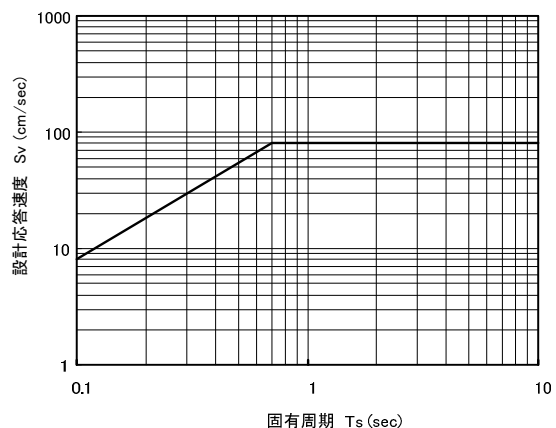


図 2.2.8.1-7 レベル 2 地震動
設計応答速度

(4) 地盤の変位振幅

応答変位法による耐震計算法では、地表面から深さ z における水平方向の変位振幅を次式により求める。図 2.2.8.1-8 に計算位置と部材モデルの位置関係を示す。

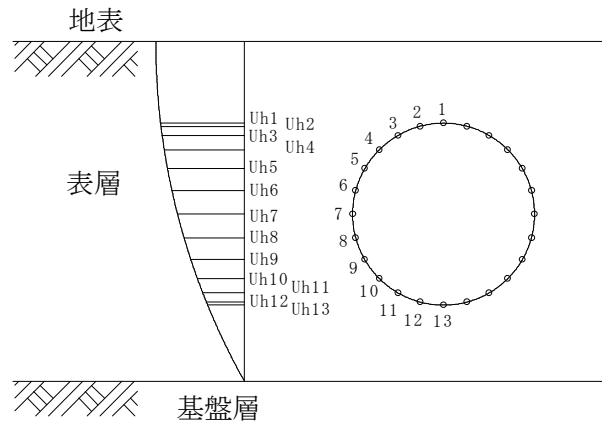


図 2.2.8.1-8 変位振幅計算位置

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2 \cdot H_h}\right) \quad \text{----- (2.2.8.1-11)}$$

ここに、

- $U_h(z)$: 地表面からの深さ z (m) における水平方向の変位振幅(m)
- S_v : 設計応答速度(m/s)
- T_s : 表層地盤の固有周期(s)
- H_h : 表層地盤の厚さ(m)

(5) 地盤バネ定数

i) 水平方向地盤ばね定数

$$k_h = k_{h0} \cdot \left(\frac{B_h}{0.3}\right)^{-3/4} \quad \text{----- (2.2.8.1-12)}$$

ここに、

- k_h : 水平方向地盤バネ定数(kN/m³)
- k_{h0} : 直径 30cm の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する水平方向地盤ばね定数(kN/m³)で、次式により求める。

$$k_{h0} = \frac{1}{0.3} \cdot \alpha \cdot Eo$$

- α : 地盤ばね定数の推定に用いる係数で表 2.2.8.1-1 による。
- Eo : 表 1-4.1 による方法で、測定または推定した解析の対象とする位置での地盤の変形係数(kN/m²)

本検討では、「標準貫入試験の N 値より $Eo = 2800 \cdot N$ で推定した変形係数」を

用いている。

表 2.2.8.1-1 地盤反力係数の推定に用いる係数 α (下水道施設耐震計算例)

変形係数 E_o の推定方法	地盤反力係の推定に用いる係数 α
直径 30cm の剛体円板による平板載荷試験の繰り返し曲線から求めた変形係数の 1/2	1
孔内水平載荷試験で測定した変形係数	4
供試体の一軸又は三軸圧縮試験から求めた変形係数	4
標準貫入試験の N 値より $E_o = 2800 \cdot N$ で推定した変形係数	1

B_h : 換算載荷幅(m)

$$B_h = \sqrt{A_h}$$

A_h 水平方向の載荷面積 (m^2)で、次式により求める。

$$A_h = \frac{\text{内径} + \text{外径}}{2} \times \text{管の有効長}$$

ii) セン断ばね定数

$$k_s = 0.3 \cdot k_h \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-13)$$

ここに、

k_s : セン断ばね定数(kN/m^3)

k_h : 水平方向地盤ばね定数 (kN/m^3)

(6) 地盤変位による地震水平力

応答変位法における地盤変位による地震水平力は、図 2.2.8.1-9 のように作用させるものとする。

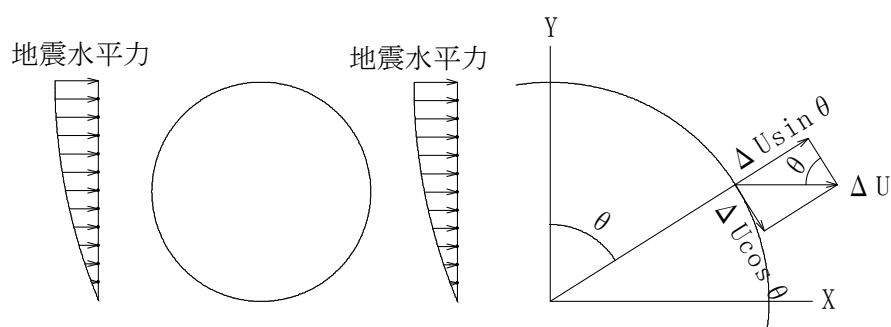


図 2.2.8.1-9 地震水平力

地盤の応答変位(相対変位)を次式にて法線方向成分と接線方向成分に分解する。

$$\text{法線方向成分} = \Delta U \cdot \sin \theta \text{ (m)} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-14)$$

$$\text{接線方向成分} = \Delta U \cdot \cos \theta \text{ (m)} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-15)$$

地盤の変位成分にそれぞれ、法線方向地盤ばね定数および接線方向地盤ばね定数を乗じて地震力に換算する。

$$q_k = k_h \cdot \Delta U \cdot \sin \theta \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-16)$$

$$q_j = k_s \cdot \Delta U \cdot \cos \theta \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-17)$$

ここに、

q_k : 法線方向地震力(kN/m²)

q_j : 接線方向地震力(kN/m²)

k_h : 水平方向地盤ばね定数(kN/m³)

k_s : せん断ばね定数(kN/m³)

ΔU : 相対変位量(m)で、次式から求める。

$$\Delta U = U_h(z) - U_h(z_0)$$

$U_h(z)$: 各接点の変位振幅(m)

$U_h(z_0)$: 管底の変位振幅 (m)

θ : 管頂から各節点の角度(°)

3.3) 断面力の算定

(1) 常時断面力

常時断面力算出の計算モデルおよび断面力図の一例を図 2.2.8.1-10 および図 2.2.8.1-11 に示す。

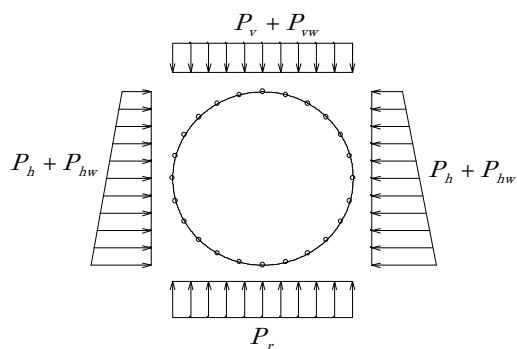


図 2.2.8.1-10 常時断面力計算モデル図

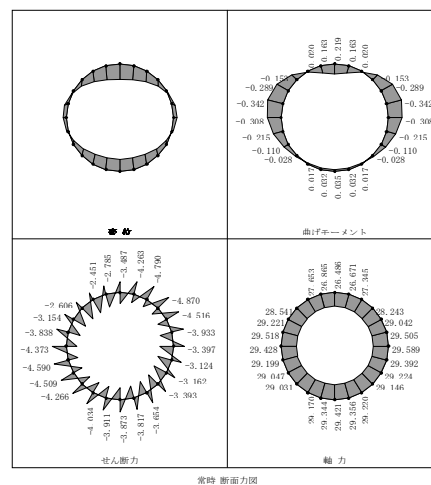


図 2.2.8.1-11 常時断面力図例

(2) 地震水平力による断面力

地震水平力による断面力算出の計算モデルおよび断面力図の一例を図 2.2.8.1-12 および図 2.2.8.1-13 に示す。

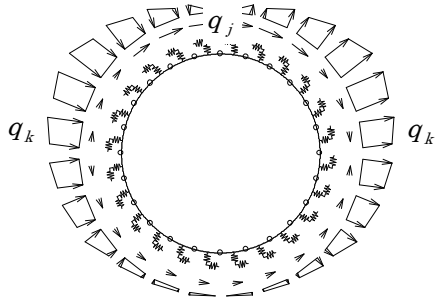


図 2.2.8.1-12 地震水平力による
断面力計算モデル図

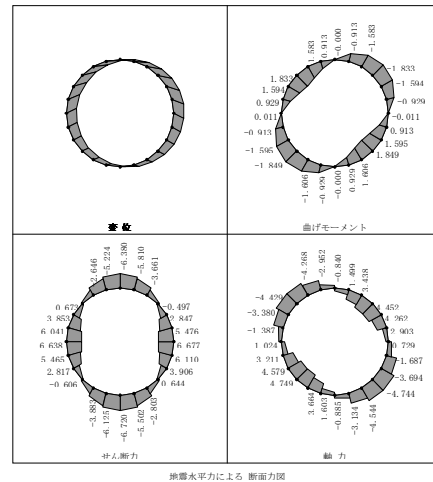


図 2.2.8.1-13 地震水平力による断面力図例

(3) 地震時断面力

地震時断面力算出の計算モデルおよび断面力図の一例を図 2.2.8.1-14 および図 2.2.8.1-15 に示す。

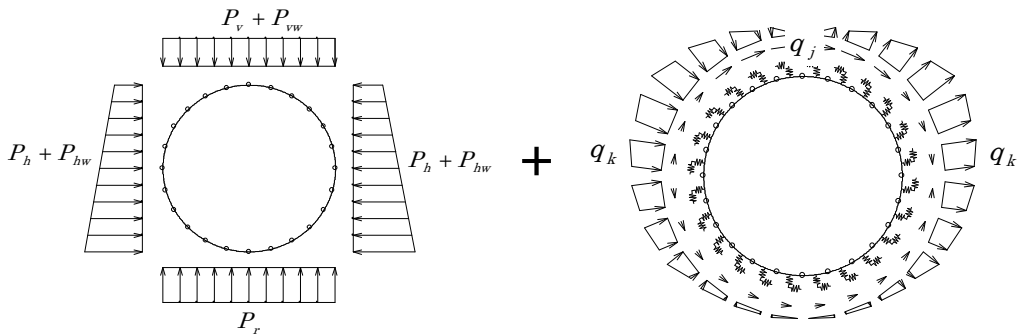


図 2.2.8.1-14 地震時断面力計算モデル図

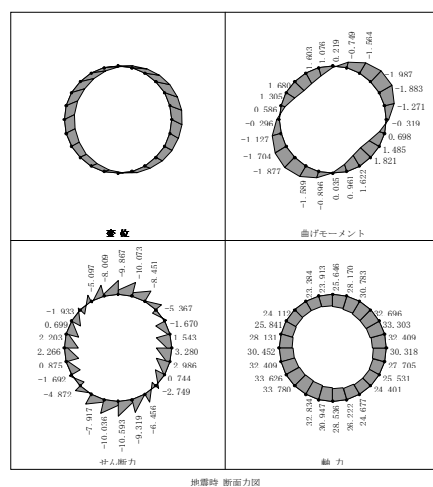


図 2.2.8.1-15 地震時断面力図例

3.4) 埋設管の耐荷力の算定

管きよの保証モーメントは、次式より求める。

(1) レベル1地震動の場合

$$M_C = 0.318 \cdot P_C \cdot r + 0.239 \cdot W \cdot r \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-18)$$

(2) レベル2地震動の場合

$$M_B = 0.25 \cdot P_B \cdot r + 0.165 \cdot W \cdot r \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-19)$$

ここに、

M_C : ひび割れ保証モーメント (kN・m)

M_B : 破壊保証モーメント (kN・m)

P_C : ひび割れ荷重 (kN/m)

P_B : 破壊荷重 (kN/m)

r : 管厚中心半径 (m)

W : 管の自重 (kN/m)

3.5) 安全性の確認

(1) レベル1地震動の場合

$$F_C = \frac{M_C}{M} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-20)$$

(2) レベル2地震動の場合

$$F_B = \frac{M_B}{M} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.1-21)$$

ここに、

F_C : レベル1地震動に対する安全率

F_B : レベル2地震動に対する安全率

M_C : ひび割れ保証モーメント (kN・m)

M_B : 破壊保証モーメント (kN・m)

M : 発生モーメント (kN・m)

2.8.2 管きよと管きよの継手部の検討

1) 算定式

1.1) 地震動による屈曲角と拔出し量の算定

(1) 表層地盤の特性値

表層地盤の特性値は、式 2.2.8.1-9 より求める。

(2) 表層地盤の固有周期

表層地盤の固有周期は、式 2.2.8.1-10 より求める。

(3) 設計応答速度

設計応答速度(S_v)は、地震動レベルに合わせて図 2.2.8.1-6 および図 2.2.8.1-7 より求める。

(4) 表層地盤のせん断弾性波速度

表層地盤のせん断弾性波速度は、次式より求める。

$$V_{DS} = \frac{4 \cdot H}{T_S} \text{ ----- (2.2.8.2-1)}$$

ここに、

V_{DS} : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)
 H : 表層地盤の厚さ (m)
 T_S : 表層地盤の固有周期 (s)

(5) 地盤振動の波長

地盤振動の波長は、次式より求める。

$$L = \frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \text{ ----- (2.2.8.2-2)}$$

L : 地震動の波長 (m)

L_1 : 表層地盤の地震動の波長 (m/s)

$$L_1 = T_S \cdot V_{DS}$$

T_S : 表層地盤の固有周期 (s)

V_{DS} : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)

L_2 : 基盤面の地震動の波長 (m/s)

$$L_2 = T_S \cdot V_{BS}$$

T_S : 表層地盤の固有周期 (s)

V_{BS} : 基盤面のせん断弾性波速度 (m/s)

(6) 検討位置での最大変位振幅

検討位置での最大変位振幅は、式 2.2.8.1-11 より求める。

(7) 地震動により地盤に生ずるひずみ

地震動により地盤に生ずるひずみは、次式より求める。

$$\varepsilon_{gd} = \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z) \text{ ----- (2.2.8.2-3)}$$

ここに、

ε_{gd} : 地震動により地盤のに生じるひずみ
 $U_h(z)$: 検討位置 z (m)での最大変位振幅 (cm)
 L : 地震動の波長 (m)

(8) 地震動による屈曲角

地震動による屈曲角は、次式より求める。

$$\theta = \left(\frac{2\pi}{T_S} \right)^2 \frac{U_h(z)}{V_{DS}} \cdot \ell \quad \text{-----} \quad (2.2.8.2-4)$$

ここに、

- θ : 地震動による屈曲角(°)
- T_S : 表層地盤の固有周期 (s)
- $U_h(z)$: 管中心での最大変位振幅 (cm)
- V_{DS} : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)
- ℓ : 管の有効長 (m)

(9) 地震動による拔出し量

地震動による拔出し量は、次式より求める。

$$\delta_2 = \varepsilon_{gd} \cdot \ell \quad \text{-----} \quad (2.2.8.2-5)$$

ここに、

- δ : 地震動により拔出し量 (m)
- ε_{gd} : 地震動により地盤のに生じるひずみ
- ℓ : 管の有効長 (m)

1.2) 地盤沈下による屈曲角と拔出し量

液状化に伴う地盤沈下による屈曲角および拔出し量は以下により求める。

(1) 地盤沈下による屈曲角

地盤沈下による屈曲角は、次式より求める。

$$\theta_2 = 2 \tan^{-1} \left(\frac{4 \cdot h'}{L'^2} \cdot \ell \right) \quad \text{-----} \quad (2.2.8.2-6)$$

ここに、

- θ_2 : 管渠と管渠の継手部の屈曲角
- h' : 沈下量 (m) 液状化層を H' (m) としたとき沈下量は最大 5% を見込み、 $h' \approx 0.05 \cdot H'$
- L' : マンホールスパン (m)
- ℓ : 管の有効長 (m)

(2) 地盤沈下による拔出し量

地盤沈下による拔出し量は、次式より求める。

$$\delta_{s \max} = \frac{\ell}{\cos \left(\frac{n-1}{2} \right) \cdot \theta_2} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.2-7)$$

ここに、

- $\delta_{s \max}$: 管渠と管渠の継手部の最大拔出し量 (m)
- θ_2 : 管渠と管渠の継手部の屈曲角 … 参考 3-1 より算出
- n : マンホールスパンの管渠の本数 (本) $n = \frac{L'}{\ell}$
- ℓ : 管の有効長 (m)

1.3) 地盤の永久ひずみによる拔出し量

地盤の永久ひずみによる拔出し量は、次式より求める。

$$\delta_l = \varepsilon_g \cdot \ell \quad \text{-----} \quad (2.2.8.2-8)$$

ここに、

δ_l : 地盤の永久ひずみによる拔出し量 (m)

ε_g : 地盤の永久ひずみ

ℓ : 管の有効長 (m)

別条件の地盤の永久ひずみ量

地形条件	永久ひずみ量
a. 護岸近傍の液状化地盤(護岸から 100m 未満)	1.5
b. 内陸部の液状化地盤(護岸から 100m 以上)	1.2
c. 非液状化の傾斜地盤(地表面勾配が 5%以上の盛土)	1.3

1.4) 地盤急変部での拔出し量の算定

(1) 耐震設計上の地盤種別

耐震設計上の地盤種別は、地盤の特性値 T_G をもとに表 2.2.8.2-1 により区分する。

表 2.2.8.2-1 地盤の特性値 T_G (s)

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

(2) 設計水平震度

設計水平震度は、次式より求める。

i) 地震動レベル 1 の場合

$$K_{0h} = K_{hf} \cdot (1 - 0.015 \cdot z)$$

$$= C_z \cdot C_G \cdot C_I \cdot K_{h0} \cdot (1 - 0.015 \cdot z) \quad \text{-----} \quad (2.2.8.2-9)$$

ここに、

K_{0h} : レベル 1 地震動における地下部の設計水平震度

K_{hf} : レベル 1 地震動における地上部の設計水平震度

C_z : 地域別補正係数

地域別	A 地域	B 地域	C 地域
補正係数 C_z	1.0	0.85	0.7

C_G : 地盤別補正係数

地域別	I 種	II 種	III 種
補正係数 C_G	0.8	1.0	1.2

C_I : 重要度別補正係数 (=1.1)

K_{ho} : 標準設計水平震度

構造物	一般構造物	特殊構造物
標準設計水平震度 K_{ho}	0.2	0.3

z : 検討位置の地表面からの深さ (m)

ii) 地震動レベル 2 の場合

$$K_{Oh} = K_{hf} \cdot (1 - 0.015 \cdot z) \quad \text{-----} \quad (2.2.8.2-10)$$

ここに、

K_{Oh} : レベル 2 地震動における地下部の設計水平震度

K_{hf} : レベル 2 地震動における地上部の設計水平震度

地盤別	I 種	II 種	III 種
一般構造物	0.8	0.6	0.6
特殊構造物	1.2	0.9	0.9

z : 検討位置の地表面からの深さ (m)

(3) 検討位置での最大変位振幅

検討位置での最大変位振幅は、式 2.2.8.1-11 より求める。

(4) 急変地盤設計地点における一様地盤ひずみ

急変地盤設計地点における一様地盤ひずみひずみは、次式より求める。

$$\varepsilon_{G1} = \varepsilon_{gd} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.2-11)$$

ここに、

ε_{G1} : 急変地盤設計地点における一様地盤ひずみ

ε_{gd} : 地震動による地盤に生じるひずみ

(5) 基盤傾斜角が大きいことにより応答変位量に差が生じて発生するひずみ

基盤傾斜角が大きいことにより応答変位量に差が生じて発生するひずみは、次式より求める。

$$\varepsilon_{G3} = k \cdot \frac{K_{Oh}}{V_s} \cdot \tan \theta \cdot \cos \frac{\pi z}{2H} \quad \text{-----} \quad (2.2.8.2-12)$$

ここに、

ε_{G3} : 応答変位量に差が生じて発生するひずみ

K : 係数 k (cm/s) … 参考 5-2 より算出

$$T_s < 0.3(s) \text{ の時 } K = 405 \cdot T_s$$

$$T_s \geq 0.3(s) \text{ の時 } K = 122$$

T_s : 急変地盤設計地点における表層地盤の固有周期

K_{Oh} : 設計水平震度

V_s : 表層地盤のせん断波弾性速度 (m/s)

θ : 基盤傾斜角 (°) θ が 30 度を超えるときは $\theta = 30$ 度とする。

z : 地表面から管中心までの距離

H : 表層地盤厚(m)

(6) 急変地盤ひずみ

急変地盤ひずみは、次式より求める。

$$\varepsilon_{G2} = \sqrt{(\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2)} \quad \text{----- (2.2.8.2-13)}$$

ここに、

ε_{G2} : 急変地盤ひずみ

ε_{G1} : 急変地盤設計地点における一様地盤ひずみ

ε_{G3} : 基盤傾斜角が大きいことにより応答変位量に差が生じて発生するひずみ

(7) 地盤急変部での拔出し量

地盤急変部での拔出し量は、次式より求める。

$$\delta_3 = \varepsilon_{G2} \cdot l \quad \text{----- (2.2.8.2-14)}$$

ここに、

δ : 地盤急変部での拔出し量(cm)

ε_{G2} : 急変地盤ひずみ

l : 管の有効長(m)

1.5) 安全性の検討

地震時の安全性の検討は、布設時の拔出し量および屈曲角を考慮して行う。

布設時拔出し長＋地震時拔出し長 ≤ 許容または最大拔出し長

布設時曲げ角度＋地震時曲げ角度 ≤ 許容または最大曲げ角度

	許容値	判定方法
地震動による屈曲角	レベル 1: 許容屈曲角	許容値以下であること
	レベル 2: 最大屈曲角	
地震動による拔出し量	レベル 1: 許容拔出し量	許容値以下であること
	レベル 2: 最大拔出し量	
地盤沈下による屈曲角	レベル 2: 最大屈曲角	許容値以下であること
地盤沈下による拔出し量	レベル 2: 最大拔出し量	許容値以下であること
地盤の永久ひずみによる拔出し量 ^{*1}	レベル 2: 最大拔出し量	許容値以下であること
地盤急変部での拔出し量	レベル 1: 許容拔出し量	許容値以下であること
	レベル 2: 最大拔出し量	

第3編 施 工

第3編 施 工

施工の要点

設計に基づいた管路の機能を十分に発揮させることが、施工の最終目的である。

設計時の管種の選定では、基礎の構造や掘削及び埋めもどしなどの条件が必ず含まれている。そのため、設計に定められたとおりの施工が要求されることになる。

また、継手の水密性の良否は、接合作業に帰するところが多い。現場の状況に合わせた合理的な施工管理を行い、十分な確認を行って作業を進めることが必要である。

不同沈下による上下方向の変位、継手の抜け出しなどは自然流下を妨げ、また、漏水の原因ともなる。地層は次々と変化し、対応が困難な場合もあるが、施工現場での最大限の努力により極力防止することが大切である。

以上のように、設計と連携して、機能的で耐久的な管路を築造することが施工の要点といえる。

施工方法

従来、管の埋設は開削工法や盛土工法が主流であったが、市街地においては、交通事情や工事公害などの問題から、推進工法の採用が多くなっている。小口径から大口径に至るまで、機械化が進められ、施工精度や安全性も格段に向上している。

開削工法や盛土工法に比較し、推進工法は施工面でも異なる点が多い。従って、本編では開削工法と推進工法に分けて施工について記す。

第1章 開削工法

1.1 管の運搬及び保管

1.1.1 運 搬

- (1) 管の積みおろしの作業には、十分な能力のあるクレーンやフォークリフトなどの荷役機械を用いる。
- (2) 管の積みおろしに際しては、ひび割れ、欠けなどの有害な傷を生じるような衝撃を与えないように注意しなければならない。
- (3) 運搬に際しては、必ず転び止めを施し、さらにロープなどにより確実に締めつけて固定する。
- (4) 手作業又はウインチで管をおろす場合には、必ず管の重心点又は両端をロープで支持しながら徐々におろす。2本以上の管を順次おろす場合は、先におろした管に角材等の緩衝材を当てておき、ひび割れ、欠けなどの発生を防ぐ。また、管を堅い地面におろす場合には、板材等の緩衝材を使用する。
- (5) 管を転がして小運搬する場合は、一般に、受口や差し口が直接地面に接しないように、地面に角材等を置き、その上を転がす。この場合も、地面にでこぼこがあると衝撃を与えるので注意する。

1.1.2 保 管

- (1) 管を現場に一時保管するときは、できるだけ平坦な場所に置き、特に継手部が地面に当たって破損することのないよう注意する。通常は角材等を敷くが、軟弱な地盤では管の自重によって角材が地面にめり込まないように大きなものをうい、あるいは簡単な基礎を施しておく必要がある。また、転び止め又はロープによる固定をし、容易に転がらないようにする。

管は段積みをしたのが望ましいが、置場の状況によって止むを得ず積み重ねる場合は、小口径管で3～4段、中口径管では2段程度までとし、管を確実に支えられる大きさの転び止め及びロープによって固定し、振動で動き出したり、崩れたりすることのないようにする。

B形管を段積みする場合には、ソケット同士が接触することがないように、交互に積むのがよい。保管状態の良否の例を図3.1.1.2-1に示す。

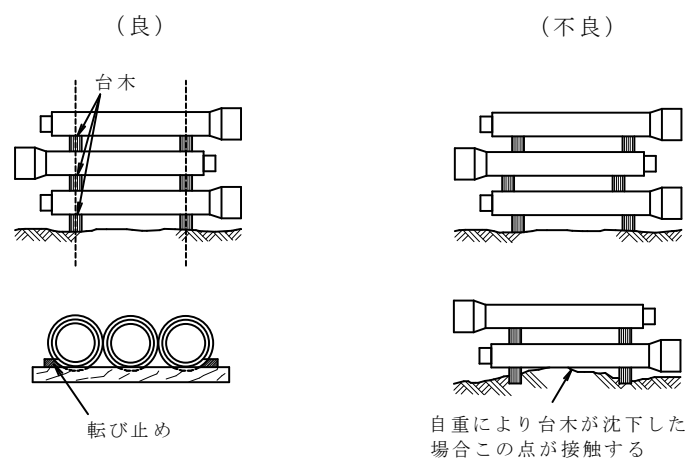


図 3.1.1.2-1 保管状態

- (2) ゴム輪は、日光等によって劣化し易いので、折れ曲がったり、ねじれたりしないようにして屋内の冷暗所に保管し、施工の直前に装着するのがよい。

1.2 土 工

1.2.1 調 査

- (1) 管埋設場所の地質は、設計に当ってボーリングを行い、これを確認しておく必要がある。また、地下水や湧水の状況を知っておくのも、施工計画や準備を行う上において必要なことである。
- (2) 道路は水道管、ガス管、電力管などの既設埋設物が多く、管埋設のための障害となることが多いので、事前にできる限りの調査を行い、これを確認した上で対策を立てておかなくてはならない。

1.2.2 掘 削

- (1) 掘削溝の敷幅は、安全に無理なく接合作業のできる範囲で、なるべく狭いことが望ましい。これは掘削幅が広くなるほど埋もどし土による土圧が大きくなるからである。

その目安としては、小口径では、かがんで十分作業ができる程度とし、中・大口径以上の

場合には、管の両側に作業員が横向きに立って作業できる程度の幅とするのがよい。

その他、B形ではソケットが直接溝底に接触しない程度（ある程度の沈下量を想定して）に、直下の土を取っておく必要がある。

- (2) 管の最小土かぶりとは、「下水道施設計画・設計指針と解説」では、原則として 1m としている。

設計上、止むを得ずわずかな土かぶりしかとれない場合は、十分安全な防護方法を講じる必要がある。

- (3) 床付けは管の据付けの難易に影響するため、設計に従って正確に仕上げる必要がある。最終的な床付けは、手作業などによって入念に仕上げるのがよい。掘削地盤上に管をそのまま据付ける場合には、掘り過ぎないことが大切である。掘り過ぎて基礎地盤をゆるめると、管路の沈下を助長させる結果となるからである。

- (4) 土留め工法には木矢板工法、建込み簡易土留め工法、軽量鋼矢板工法、鋼矢板工法、親杭横矢板工法などがある。掘削溝が深く、矢板を補強する場合の切りばりの位置は、管の吊りおろし及び接合作業の便を考えて配置する必要がある。それぞれの工法を、図 3.1.2.2-1～5 に示す。

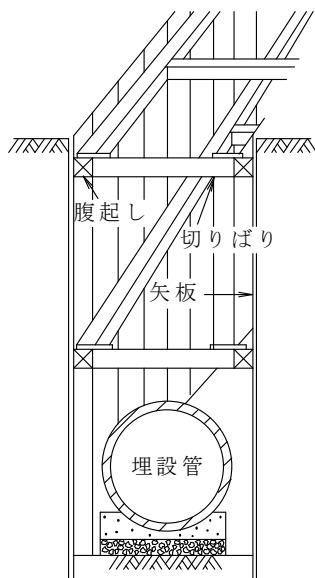


図 3.1.2.2-1 木矢板工法

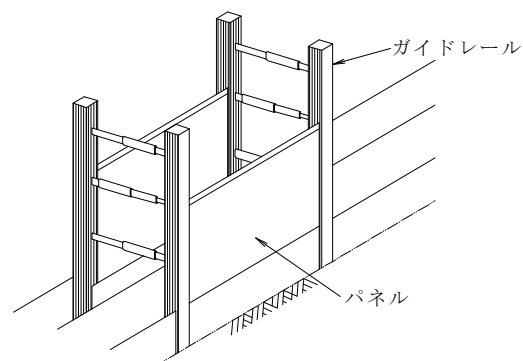


図 3.1.2.2-2 建込み簡易土留め工法

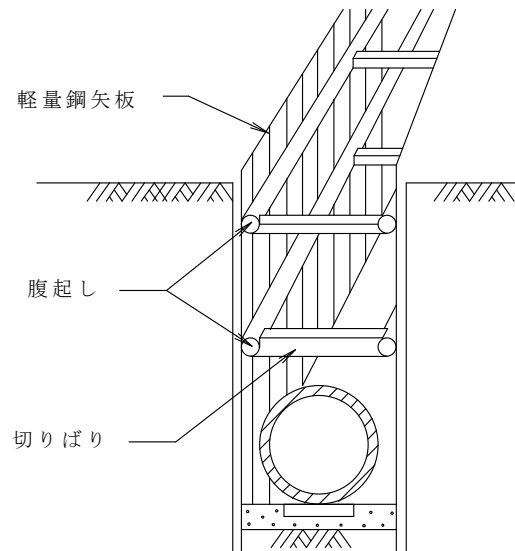


図 3.1.2.2-3 軽量鋼矢板工法

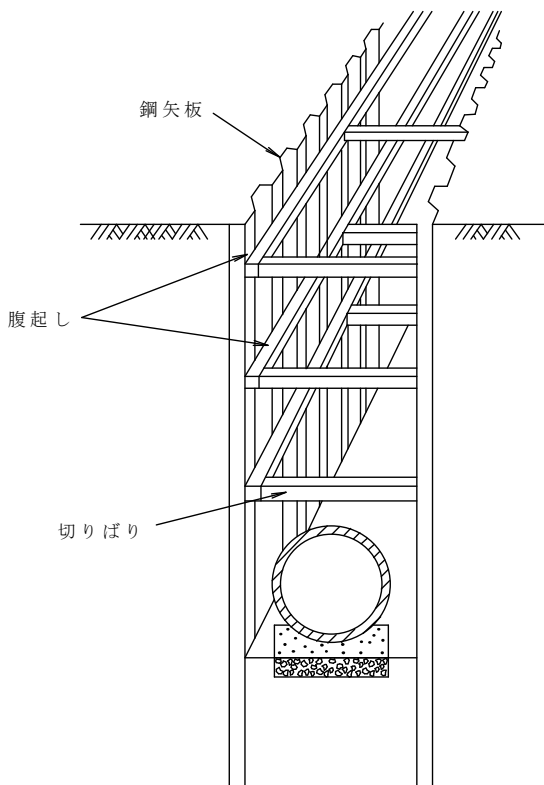


図 3.1.2.2-4 鋼矢板工法

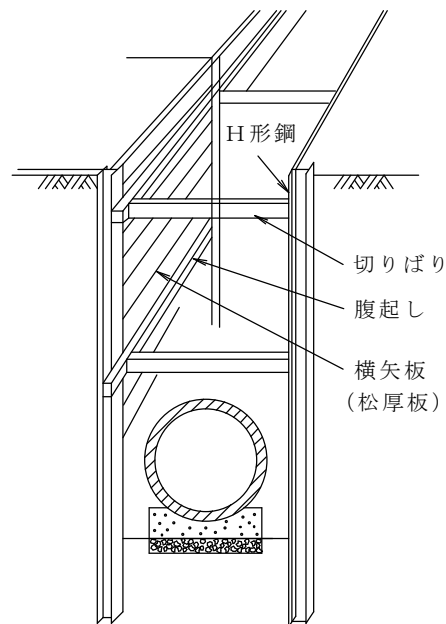


図 3.1.2.2-5 親杭横矢板工法

- (5) 素掘りによって掘削を行う場合、法面の崩壊を防ぐために、地盤の土質と掘削深さに応じて適当なこう配をつけるのが一般的であるが、土圧は管頂の掘削幅 (B_d) によって左右されるので、管頂まではなるべく鉛直とすることが望ましい。図 3.1.2.2-6 はその場合の掘削断面を示すものである。

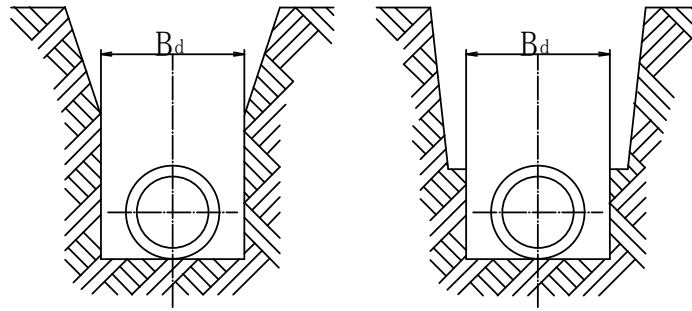


図 3.1.2.2-6 掘削溝断面図

したがって、土質が予想以上に悪く、管底よりかなり大きなこう配を付さなくてはならない場合は、管頂の掘削幅によって土圧を再検討し、適宜対策を講じなくてはならない。

1.2.3 水 替 え

(1) 掘削を行う場合には、地盤調査の結果に基づいて、地下水位又は湧水の状況に適応した排水用機器を準備しておかなくてはならない。排水用機器としては一般的にポンプ（渦巻ポンプ、自吸式ポンプ、水中ポンプ等）が使用されるが、湧水量及び土質によってはウエルポイント工法やディープウエル工法を採用することも考慮しなければならない。

なお、水替えによって地盤の圧密沈下や地下水の枯渇など、環境条件に与える影響を調査しておく必要がある。

(2) 湧水によって作業に支障のある場合はもちろんであるが、踏み荒しによって基礎地盤を軟弱にするおそれのある場合は、十分水替えを行った後に作業を始めなくてはならない。この場合、湧水量に応じた大きさの排水路を溝端に付けておくと水はけの効果が良好である。

(3) 接合が完了した後でも、管路に悪影響を及ぼすおそれのある場合には、埋めもどしが完了するまで水替えを続けなければならない。

1.2.4 埋めもどし

(1) 埋めもどしは、管の接合及び据付けが完了したのち、なるべく速やかに行うことが望ましい。長期間埋めもどしを行わないで放置すると、湧水または降雨による管路の浮上等の原因となることがあるので、十分注意する必要がある。

(2) 埋めもどしに掘削土をそのまま使用する場合は、かなり良質なものでなくてはならない。軟弱な土質であったり、大きな転石などを多量に含み、埋めもどし土として不適当であると判断された場合には、管頂から 30cm 程度上までは、良質な砂などで入替えを行う必要がある。

とくに、交通車両の多い道路下に布設する場合には、路面沈下をひきおこす原因ともなるので、十分に検討することが必要である。

(3) 埋めもどし作業に際しては、管及び継手に有害な衝撃を与えないように、できるだけ入念に行わなくてはならない。

埋めもどし方法としては、管底又は基礎上端から管頂までを数層（1 層の厚さは 30cm 以内とする）に分け、各層ごとに両側の埋めもどし高さがほぼ均等となるように、ランマなどを用いて

締固めるのがよい。また、砂質土の場合には、水締めによる方法も有効である。

管頂までの埋めもどし土をよく締固めることによって、支承条件を良好にし、側圧を増加するとともに、土の支持力を向上させて鉛直荷重を分散させることができるので、管の安全率を増すために大きな効果がある。

(4) ブルドーザなどの建設機械によって埋めもどしを行う場合は、管の上に直接機体に乗るようなことは、極力避ける必要がある。

(5) 矢板を使用した場合には、溝壁の崩壊や周辺地盤の地割れを生じない様に埋めもどしを行う。矢板の引抜き時には埋めもどし土と原地盤との摩擦力がほとんど消滅し、一時的に土圧が増加するので、十分な注意が必要である。

また、矢板の引抜きは、1枚おき又は数枚おきに行い、引き抜いたあとの空隙は、すみやかに砂で充てんするなどの措置も必要である。

1.2.5 盛 土

盛土において、とくに土かぶりの大きい場合は、溝埋設に比較してかなり大きな土圧が作用するため、これを軽減する方法を講じる必要もある。そのためには次に示すような方法も有効である。

(1) 管の頂部まで盛土を行った後、その両側をローラやランマなどによって十分締固め、土の支持力を増してから上部の盛土を行う。

(2) 高盛土の場合、事情が許せば、一度に所定の高さまで盛土を行わないで、これを数層に分けて一層ずつ転圧するか、又は、ある程度の期間をかけて、降雨などにより各層を逐次安定させながら徐々に行う。

(3) 盛土地盤を数層に分けて転圧しながら、基礎地盤を成形したのち、地盤を掘削し、管を溝埋設してその後に盛土を行う。

1.3 基 礎

基礎は管体の補強及び管路の沈下を防止することが主たる目的であるが、その工法及び構造は、管の種類、地盤の状態及び荷重の大きさによって選定すべきである。

1.3.1 基礎の種類

以下は一応目的別に分類したものであるが、実際の管路では両者の組合わせによる構造となる場合もある。

(1) 管体の補強効果を目的とするもの

1) 直接基礎

地盤の極めてよい場所で、管底が直接地盤に密着するように掘削した原地盤を、そのまま管の外周（円弧）に合わせて床付けするものである。

ただし、弾性支承となり得ないような硬質地盤では、この基礎は不適當である。

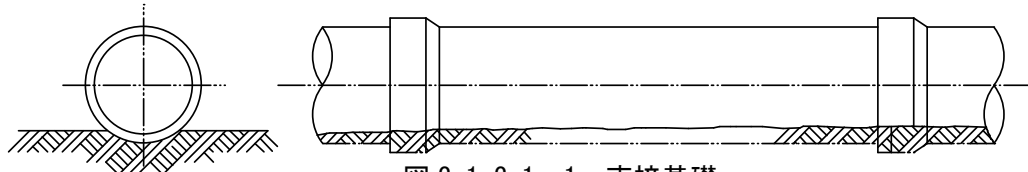


図 3.1.3.1.-1 直接基礎

2) 砂又は碎石基礎

砂又は碎石を管底に万遍なく密着するように締固めて、管を支持するものである。

この基礎が管底に接する幅（又は角度）によって管体の補強効果が異なり、その角度が大きい程耐荷力は大きくなるが、設計上の支承角と施工上の支承角は異なるため、注意が必要である。

また、管底下の基床厚は、最小 150～200mm 又は $0.2 \sim 0.25B_c$ (B_c は管の外径) とするのが望ましい。

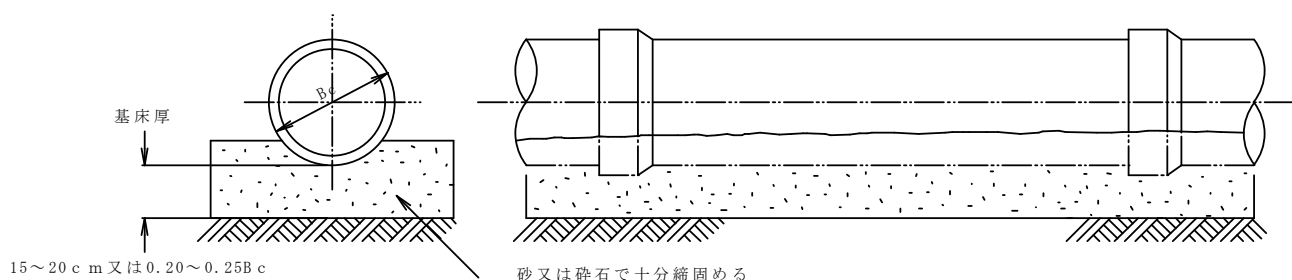


図 3.1.3.1-2 砂又は碎石基礎

管の据付地盤が岩盤の場合は、必ずこの型式の基礎とする必要がある。その場合の基床厚は、上記より多少厚めとする方が安全である。

なお管底に流水があつて、基礎地盤の洗掘されるおそれのある場合や、地下水位が高く、地震による砂の流動化が予測される所では、碎石基礎とするのがよい。

3) コンクリート基礎

管の底部をコンクリートで巻立てるもので、外圧荷重による管体の変形を十分拘束できるだけの剛性がなくてはならない。この場合も支承角が大きくなるほど耐荷力は増加する。また、管にかかる荷重が大きいときにはコンクリートを 360° 巻立てる場合もある。

この他、コンクリート基礎はアンカーとして、圧力管路における曲管や分岐管などの水圧による移動又は管路の布設こう配が大きく (15° 以上)、管が滑動する危険のある場合にも施工される。

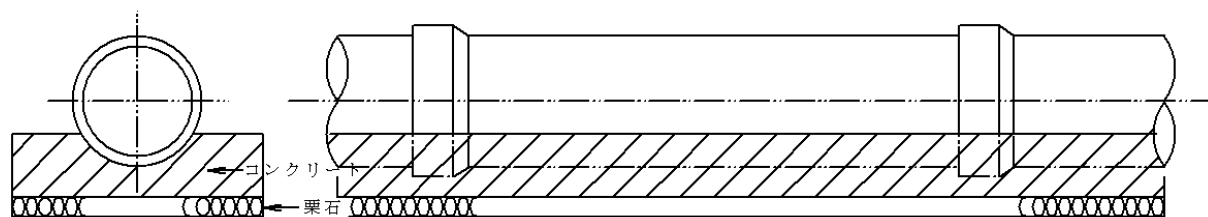


図 3.1.3.1-3 コンクリート基礎

(2) 管路の沈下防止効果を目指すもの

1) はしご基礎（胴木基礎）

不同沈下のおこりやすい軟弱地盤に用いられるもので、管路方向に 2 本の胴木（連続通しげた）を渡し、この上にまくら木（横木材）を固定して管を支えるものである。胴木の太さは一般に小口径で 9～15cm、中・大口径で 15～18cm が標準的で、材料としては生松丸太が用いられる。

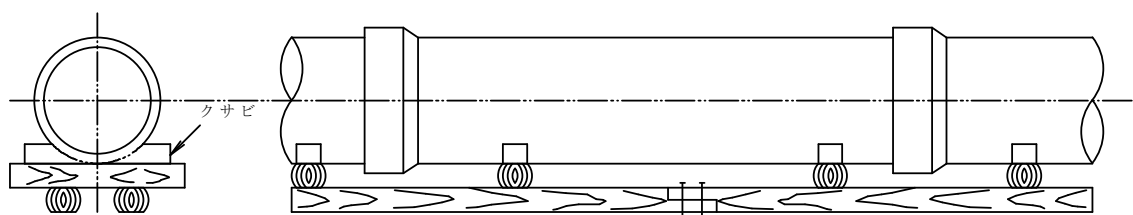


図 3.1.3.1-4 はしご基礎（胴木基礎）

2) 鳥居基礎（くい打ち基礎）

極軟弱基礎で、ほとんど地耐力の期待できない場合、支持力に応じて所定の間隔にくいを打込み、その上にまくら木（横木材）などを載せる形で鳥居状に組立てるものである。

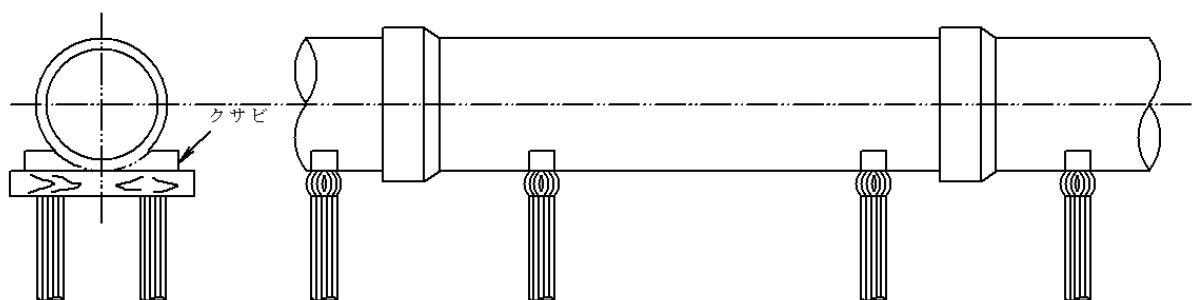


図 3.1.3.1-5 鳥居基礎（くい打ち基礎）

3) 布打ち基礎（べた基礎）

軟弱地盤で支持層が極めて深く、くい打込みが不経済となるような場合、溝底にコンクリート床盤を打設し、広い面積で上部荷重を支持し、据付け地盤の沈下を防止する方法である。この方法は管の据付けも容易であるという利点もあるが、この上に直接配管すると管底が点接触となり、荷重が集中する結果となるので、その上に砂を敷きならして据付ける必要がある。その場合の基床厚は岩盤の場合と同様に考えればよい。

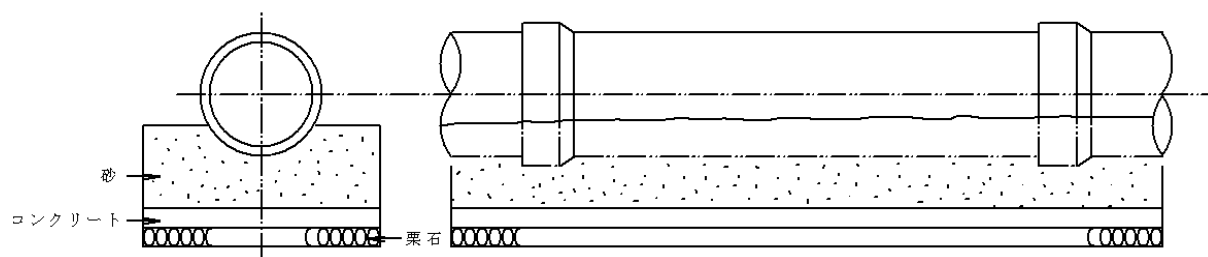


図 3.1.3.1-6 布打ち基礎（べた基礎）

1.3.2 基礎の施工

(1) 砂又は碎石基礎を行う場合には、設計上の基礎条件を満足するように、十分密実に締固めなくてはならない。この場合、とくに注意しなくてはならないことは、管底まで隙間のないように充てんすることであって、砂の場合には水締めを行うと比較的よい結果が得られる。

(2) コンクリート基礎を施工する場合には、作業性が困難とならない範囲で、なるべく固練り

のコンクリートを用い、管底まで充てんするようにバイブレータなどを用いて入念に行う必要がある。特に道路横断などで早期交通開始と活荷重が頻繁に作用する場合においてはコンクリートの強度発現が十分得られるよう養生に心がけ、埋めもどし及び交通開始時期などを考えなければならない。

(3) はしご基礎を行う場合でも、管底がまくら木（横木材）だけで支えられることのないように(1)または(2)に準じて施工しなくてはならないが、この場合土質が悪く十分な効果が得られないならば、少なくとも管底部分のみでも砂と置き換える必要がある。

(4) コンクリートアンカーを施す場合、その重量によって管路の不同沈下を起したり、その端部付近で管に不均等な力（応力）が生じないように構造とする必要がある。

また、これらの箇所において不同沈下のおそれのある場合は、可とう継手などを考慮する必要がある。

1.4 布 設 工

この作業は、個々の管体を連結して、管路としての所期の目的を達成させるために極めて重要なことである。

したがって、管の接合は一本一本入念に施工して、その都度結果を確認する必要がある。不完全な状態のまま工事を進めることがあってはならない。

また、下水管や排水管のように、自然流下による管路では、そのこう配の不正確さが、流量の減少や砂などの停滞に大きく影響し、圧力管路では、管内に空気の滞留や真空の発生によって水の流れを阻害したり、極端な場合には管体を損傷することさえあるので、管の布設作業は設計に対して忠実に行うとともに、工事の進捗の過程においても、全般的な布設の状態をチェックする必要がある。

1.4.1 管の配置、吊りおろし及び据付け

(1) 管は布設現場の状況をよく検討して、作業の手順に最も便利のように配置するのがよい。とくに、布設作業中に建設機械によって損傷を受けやすい所に配置することのないように注意する必要がある。

(2) 管の継手には必ず前後の管の間に若干の隙間が生じ、いわゆる継手の伸びがおきるので、長い管路では、これらを含めた実延長を考慮して配管する必要がある。

(3) 管を吊りおろす前には、基礎の仕上り、据付高さ及びこう配を確かめ、吊りおろした後で修正を行うことのないようにしなければならない。また、管の据付け高さを決めるためにまくら木（横木材）を用いることもある。

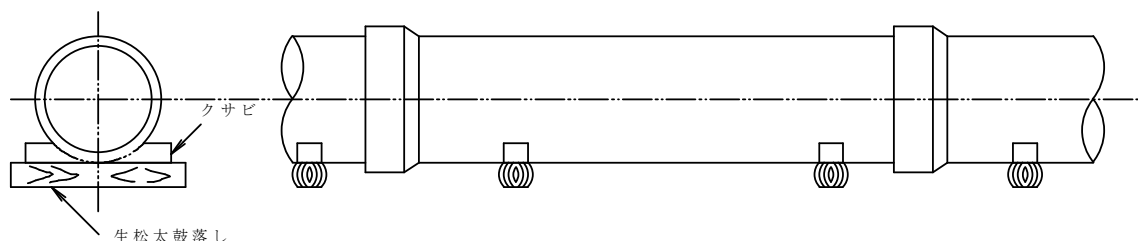


図 3.1.4.1-1 まくら木（横木材）使用例

(4) 吊りおろし作業を能率的に行うため、現場の状況に応じて、門型クレーンやトラッククレーンなどが一般的に用いられている。

機械の能力は十分余裕のあるものでなくてはならないが、とくにトラッククレーンは作業半径と吊り能力を考慮して十分安全なものを使用する。

(5) 吊り込んだ管は、正しく管路軸線に合わせ、管を溝壁や前の管に衝突させたりすることのないように注意深く行わなければならない。

(6) 管の布設はなるべく下流側より上流側に向けて進んだ方が能率的である。また、受口を上流側に向けて、差し口をはめ込む方が作業しやすい。

参考

硬い地面に管を落下した時の衝撃力によって、管体にひび割れが生じる高さは、論理的に計算すると表 1 の通りとなる。

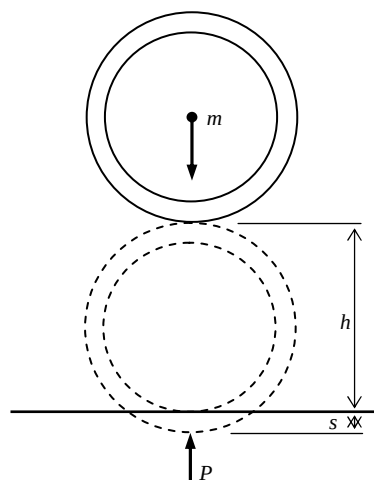
表 1 管にひび割れが生じる落下高さ
(地盤のへこみ $s = 0.5\text{cm}$ とした場合)

呼 び 径	300	600	1 000	1 800
落下高さ (cm)	11	6	3	1.5

注：JIS A 5372 の外圧管 1 種の場合

管にひび割れが生じる落下高さは、次のように求められる。

参考図において、質量 m の管を高さ h のところから落し、地面が s だけへこんだとする。重力の加速度を g とすると、管が落下しはじめてから地面に衝突するまでになす仕事は位置エネルギーとして mgh である。管が地面に接すると地面からの反力を受けるので s だけ沈下して静止する。反力の平均値を P とすると、このときの仕事は Ps である。両方の仕事量は等しい。



参 考 図

運動エネルギー 位置エネルギー 仕事量

$$\frac{1}{2}mV^2 = mgh = Ps$$

(Joule) (Joule)

$$V^2 = 2gh$$

$$V = mgh / s$$

$$h = \frac{Ps}{mg}$$

ここに、 h : 落下高さ (m)

P : 外圧強さ (N/m)

s : へこみ量 (m)

m : 質量 (管の長さ 1m 当り製品質量 kg/m)

g : 重力加速度 (m/sec²) (= 9.8)

1.4.2 接 合

(1) A形

1) コンクリートカラー接合

A形は、原則としてコンボコーキングによって接合が行われていたが、この継手はコーキングによって管体とカラーが一体構造となり、管路が連続ばりとなる。この場合、地盤の不同沈下によって局部的に荷重が集中し、継手の破損が生じやすいので、可とう性をもつ継手とするのが望ましい。

この継手の構造の一例として図 3.1.4.2-1 のようなものがある。

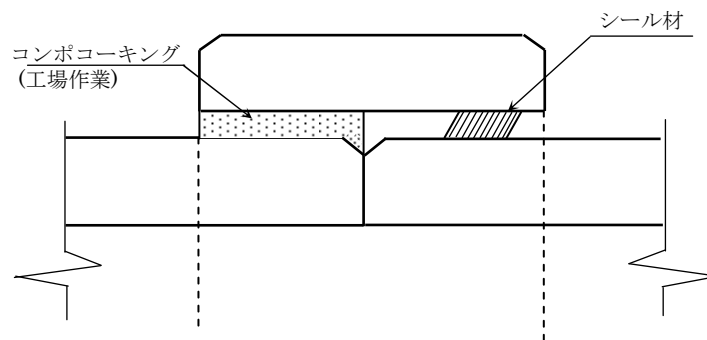


図 3.1.4.2-1 A形のコンクリートカラー継手

2) ステンレスカラー接合

- ① 吊り下し前に管の片側にカラーを取付ける。この時、管端外面に滑剤を塗布し、カラー内面の突起に当たるまでカラーを差し込む。
- ② 管の引き込み線までカラーが入っていることを確認する。
- ③ 管の接合作業直前に管端外面を清掃し、はけ又はウエスなどを用いて滑剤を均等に塗布する。
- ④ 接合の要領は、管を吊り下げ、管芯を合わせ、カラー内面の突起に当たるまで差し込む。

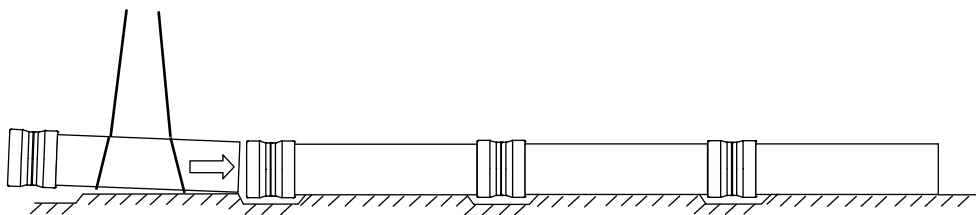


図 3.1.4.2-2 A形 (ステンレスカラー)

(2) B形、NB形、C形、NC形、NE形及びNL形の接合

- 1) 管の布設は、布設済みの管の受口に差し口を挿入する。
- 2) 管の接合作業の直前に、受口内面及びゴム輪の滑動面を点検清掃し、はけ又はウエスなどを用いて滑剤を均等に塗布する。このとき、土砂やごみなどが付着しないように注意する。
- 3) 接合の要領は、管を吊ったままの状態、管の軸心を合わせながら、差し口の上端を受口内面の上端につけ、慎重に吊りおろしを行いながら、差し口を受口に挿入する。

なお、管の挿入は、次の方法によるのが一般的である。また、表 3.1.4.2-1 に呼び径ごとの引き込み用機材を示す。

- ① 呼び径 700 以下の管の場合は、図 3.1.4.2-3(a) に示すように、レバーブロックなどの引き込み器具を用い、ワイヤロープをかけて管の外側から操作して引き込む。この場合既に接合した部分が抜け出すおそれがあるので、ワイヤロープの控えは数本離れた既設管よりとる。
- ② 人が管の中に入って作業できる呼び径 800 以上の管では、図 3.1.4.2-3(b) に示すように、レバーブロックなどを管内に配置して引き込む。ワイヤロープの控えは、十分引き込み力に耐え得る角材等を用いる。また、①の場合と同様の理由により、引き込み側の控えは、接合される管より数本離れた既設管よりとる。

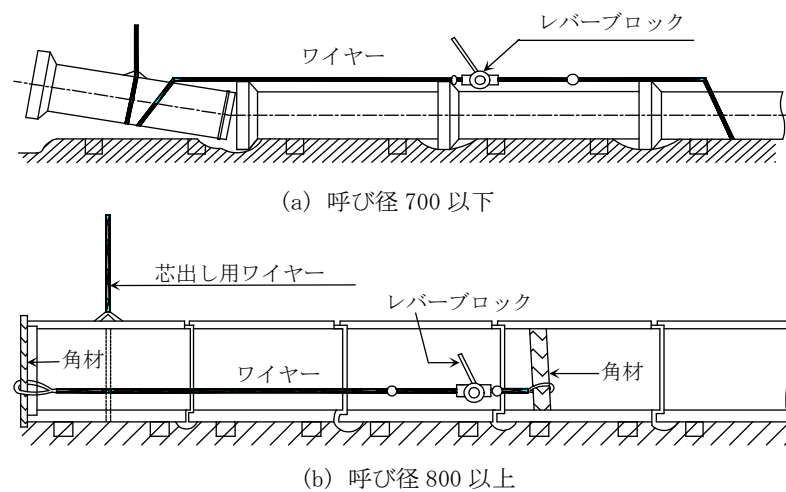


図 3.1.4.2-3 接合方法

表 3.1.4.2-1 引き込み用機材

呼び径	レバーブロック		ワイヤロープの 太さ (mm)
	台数	容量 (tf)	
150～ 700	1	2	9 以上
800～1350	1	2～3	12.5 以上
1500～3000	2	3～5	16 以上

- 4) 接合に使用する滑剤には、引き込みを容易にするための専用滑剤（植物油系）を用いる。ゴム輪は、一般に油脂類（特に鉱物性のもの）に侵され易いので、滑剤に油脂類のものを使用することは絶対に避けなければならない。

継手 1 箇所当たりの滑剤の使用量の例を参考として表 3.1.4.2-2 に示す。

また、滑性のほかに水密効果をもった止水滑剤（親水性ポリウレタン樹脂）がある。止水滑剤は地下水位の高い所に適しているが、水和反応によって発泡する性質を持っているので、

接合が完了するまで水分と接触させないようにしなければならない。

止水滑剤は、量が多すぎると継手内部にはみ出すことがあるので、注意する必要があり、ゴムベラなどを用いてソケット内面に均等に塗布するとよい。

- 5) 接合が終わったときは、管が正しく挿入されているかを確認する。正しく挿入されていないときは、管を一旦はずして継手部及びゴム輪を点検し、異常がなければ、再び同じ手順によって管を挿入する。

管の挿入状態は、呼び径 700 以下の管では管の差し口側に目やす線をあらかじめ引いておき、これと受口端面の位置で確認する。

管の内部に入れる呼び径 800 以上の管では、内部から確認する。

- 6) 完全に接合してから、転び止めを施して管を固定して、吊り込み装置や引き込み装置をはずす。
- 7) 接合作業が終了したら管路内をよく点検し、土砂がないようによく清掃する。

表 3.1.4.2-2 滑剤の標準使用量（接合部 1 箇所当り）

(単位：g)				(単位：g)		
管種 呼び径	A 形	B 形	N B 形	管種 呼び径	C 形	N C 形
150	70	35	35	1 500	175	380
200	80	40	40	1 650	200	440
250	90	45	45	1 800	210	460
300	100	50	50	2 000	250	490
350	110	55	55	2 200	280	550
400	—	60	60	2 400	320	660
450	—	65	65	2 600	350	730
500	—	80	80	2 800	400	760
600	—	100	100	3 000	430	820
700	—	115	115			
800	—	140	140			
900	—	160	160			
1 000	—	180	—			
1 100	—	210	—			
1 200	—	240	—			
1 350	—	270	—			

(単位：g)

管種 呼び径	N E 形	N L 形
200	45	60
250	50	80
300	60	85
350	70	90
400	85	100
450	90	105
500	95	110
600	110	140
700	125	160
800	140	190
900	160	210
1 000	180	230
1 100	200	245
1 200	210	260
1 350	240	285

1.4.3 曲線布設

管の継手を少しずつ曲げながら、大きな曲線半径で所定の曲げ角度とするのが曲線布設であるが、各継手は均等に曲げることが望ましい。また、基礎構造や地盤の軟弱度によっては、埋設後の不同沈下のために、さらに拔出し長が増加するので、現場の状況をよく考慮しなくてはならない。また、各継手は均等に曲げることが望ましい。

1.4.4 マンホール又は構造物との取付け

ヒューム管をマンホールまたは構造物に直接埋込むと、両者の相対的な不同沈下や振動などによって、取付け部分に折損が生じ、漏水の原因となることがある。このような事故は小口径管路で見られるが、その対策としては、取付け部分を伸縮可とう性のある構造にすることが必要である。可とう管又は管長の短い管を数本使用すると効果がある。

図 3.1.4.4-1 は可とう継手（耐震ジョイント）での取付け例を示したものである。

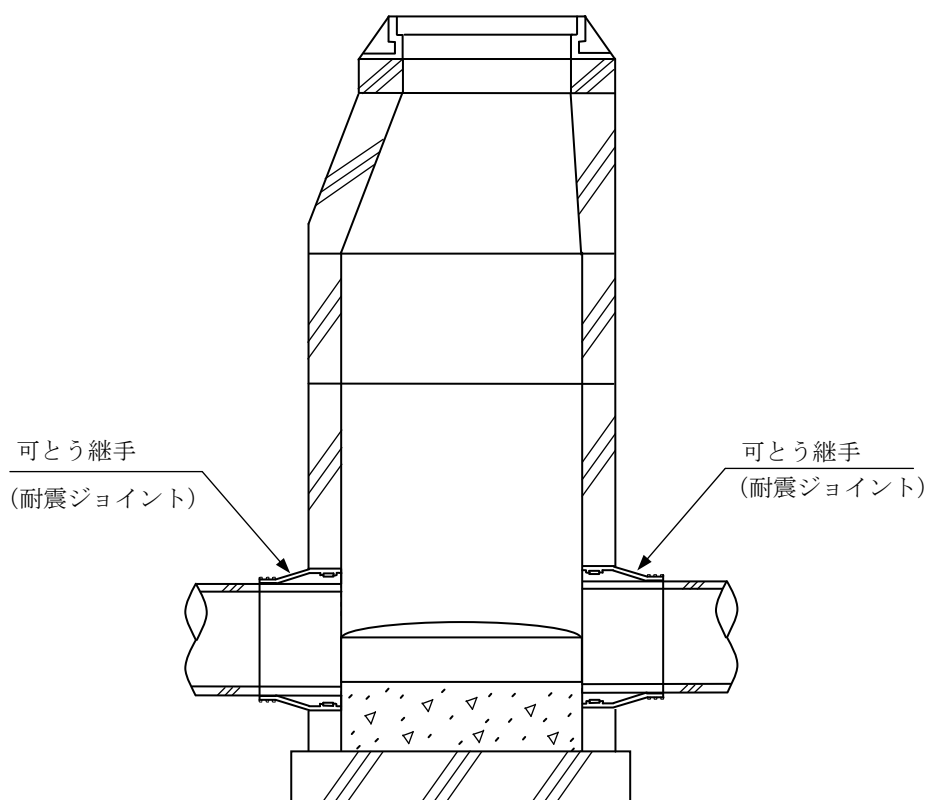
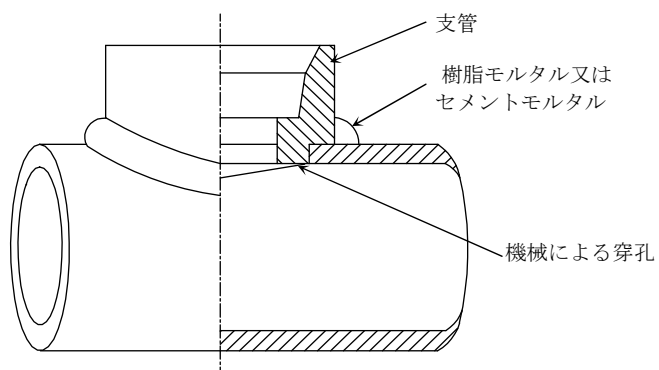


図 3. 1. 4. 4-1 可とう継手（耐震ジョイント）による管取付け

1. 4. 5 異形管

管路に用いられる異形管の種類としては、J I Sに規定されているT字管、Y字管、曲管、支管及び短管がある。

図 3. 1. 4. 5-1 には本管を機械により穿孔して支管を取付ける場合の一例を、また、図 3. 1. 4. 5-2 に異形管の使用例を示す。



支管の呼び径	本管の穿孔径 (mm)
150	225
200	275

図 3. 1. 4. 5-1 支管の取り付け方法

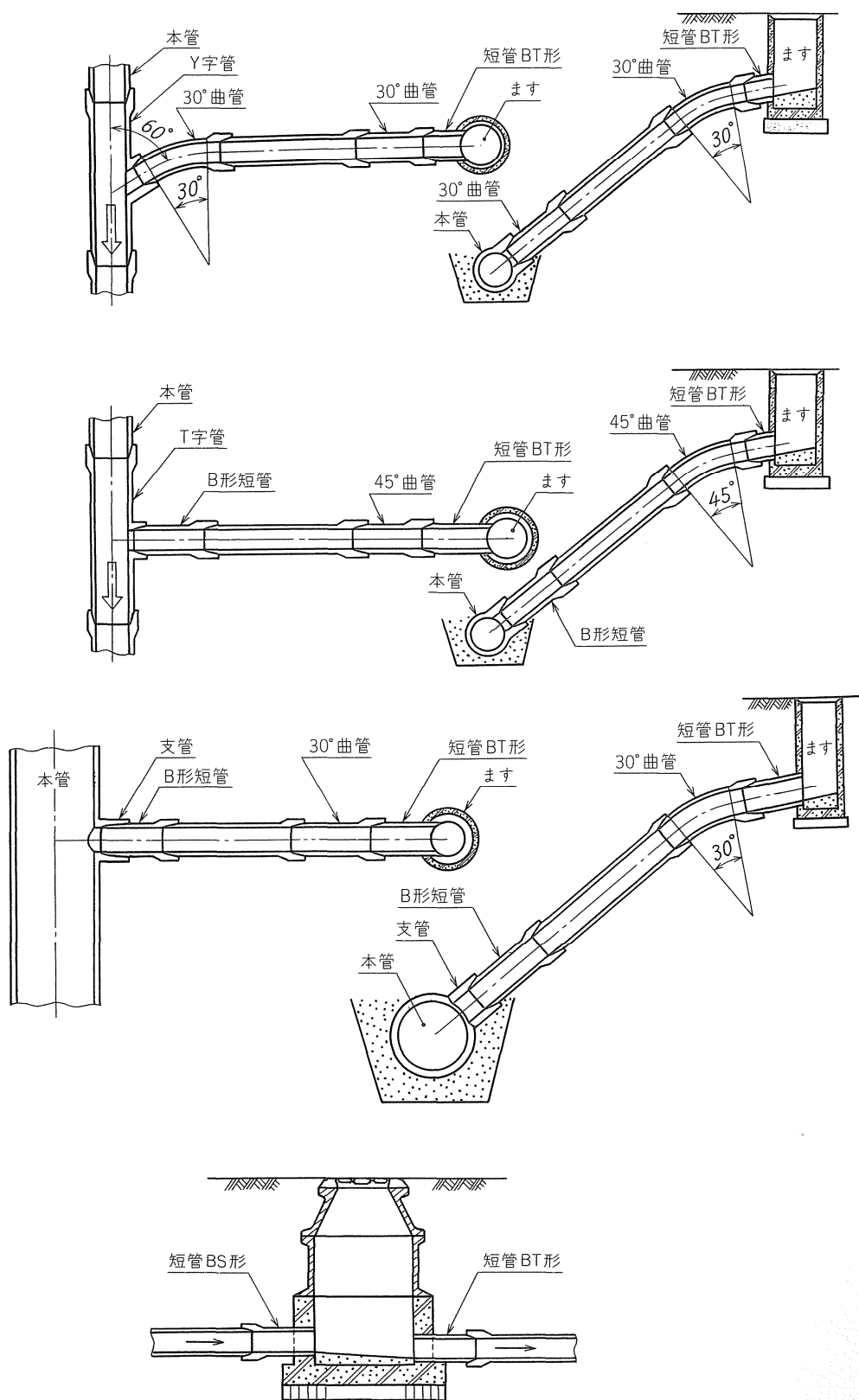


図 3. 1. 4. 5-2 異形管の使用例

1.4.6 管の布設歩掛り

ヒューム管の標準的な布設歩掛りを、表 3.1.4.6-1 に示す。

表 3.1.4.6-1 ヒューム管の布設歩掛り（標準管長）

（10m 当り）

呼び径	機 械 布 設						
	世話役	特 殊 作業員	普 通 作業員	トラッククレーン		諸雑費	
				賃料	規 格		
150	0.30	0.60	0.60	0.30	油圧伸縮 ジブ型 4.9t 吊	労務費 の1%	
200	0.31	0.62	0.62	0.31			
250	0.32	0.64	0.64	0.32			
300	0.33	0.66	0.66	0.33			
350	0.34	0.68	0.68	0.34			
400	0.35	0.70	0.70	0.35			
450	0.36	0.72	0.72	0.36			
500	0.37	0.74	0.74	0.37			
600	0.39	0.78	1.17	0.39			
700	0.41	0.82	1.23	0.41			
800	0.43	0.86	1.29	0.43	油圧伸縮 ジブ型 16t 吊		
900	0.45	0.90	1.35	0.45			
1 000	0.48	0.96	1.44	0.48			
1 100	0.50	1.00	1.50	0.50			
1 200	0.53	1.06	1.59	0.53			
1 350	0.57	1.14	1.71	0.57			
1 500	0.62	1.24	1.86	0.62			
1 650	0.67	1.34	2.01	0.67			
1 800	0.72	1.44	2.16	0.72			
2 000	0.80	1.60	2.40	0.80			
2 200	0.89	1.78	2.67	0.89			
2 400	0.99	1.98	2.97	0.99			
2 600	1.11	2.22	3.33	1.11			油圧式 25t 吊
2 800	1.22	2.44	3.66	1.22			
3 000	1.35	2.70	4.05	1.35			

注：1）本表は、国土交通省下水道用設計標準歩掛表による。ただし、呼び径 150 及び

2600～3000 については、国土交通省歩掛表に準じて当協会で定めた。

2）本表は、下水道用鉄筋コンクリート管に適用する。

3）歩掛りは、運搬距離 20m 程度の小運搬及び管の接合据付け作業であり、床掘り、基礎、埋戻し及び水替え等は含まない。

4）諸経費は、滑材及びレバールブロック等の費用であり、労務費の合計に上表の諸雑費率を乗じた金額を上限とする。但し、管切断費用及び鉄筋コンクリート管損失費用は含まない。

5）急斜面、サイホン等の場合は別途考慮する。

第2章 推進工法

第2章 推進工法

推進工法は、一種のトンネル工法であって、開削工法や盛土工法に比べると、その施工方法には基本的な相違点がある。

この工法が開発された当初においては、軌道や道路の横断が主たるものであって、推進距離も比較的短く、その用途も水道管やガス管のさや管として施工されるケースが多かった。その後、推進技術の急速な進歩により、長大な下水管路の埋設に利用されるようになった。昭和48年に「下水道推進工法用鉄筋コンクリート管」が、日本下水道協会規格として制定され、平成11年、平成12年の改正を経て今日に至っている。

ヒューム管は他の管種に比べて剛性が大きく、荷重による変形がほとんどないという長所とともに小口径から大口径まで施工が可能で、また、管体コンクリートの圧縮強度が高いので、大きな推進力に耐えることができる。しかし、管体が地盤中を複雑な挙動をしながら進み、管に作用する荷重や管体に生ずる応力の状態を予測することは極めて困難なことであるから、推進工法に使用する管材は、他の工法に比べて十分安全側に設計されたものを使用しなくてはならない。

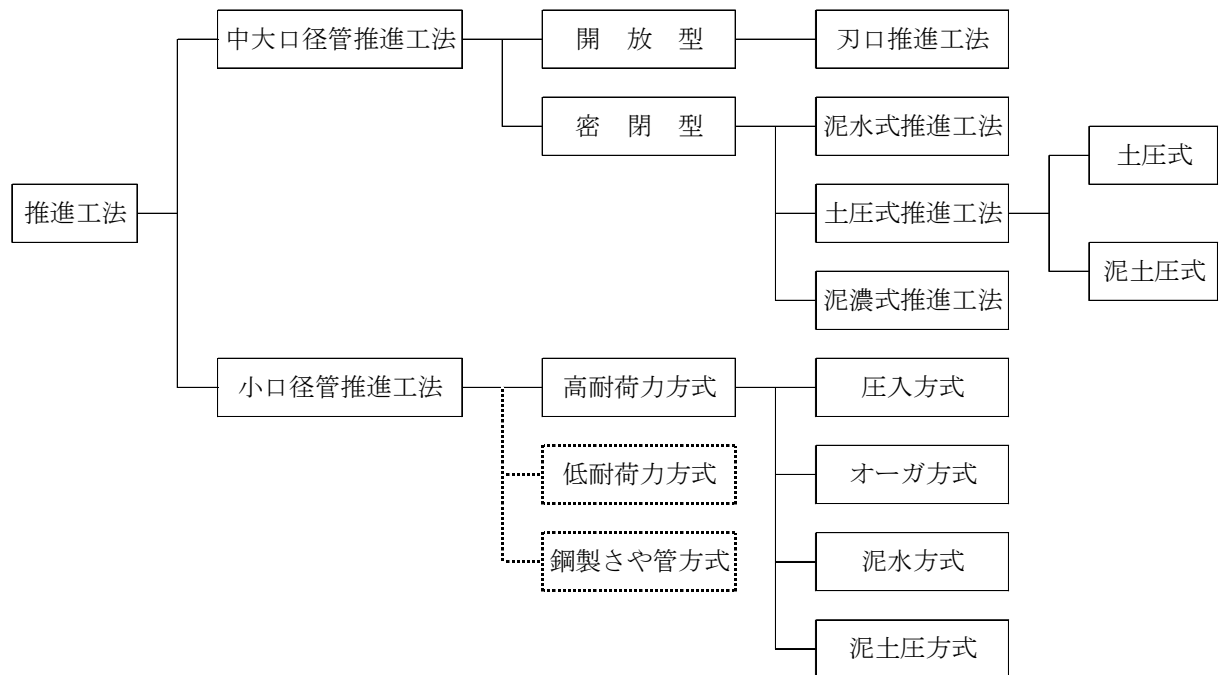
2.1 推進工法の分類

推進工法は、切羽の安定方法、掘削工法、推力の伝達方法、土砂の搬出方法等により工法の種類は多様であるが、使用する推進管の呼び径により分類される。

呼び径の範囲については、昭和50年4月7日付け、労働省基発第204号「下水道整備工事、電気通信施設建設工事等における労働災害の防止について」の通達により、管内有人作業は口径800mm以上を原則とすること、更に管内無人作業を前提にした「下水道小口径管推進工法用鉄筋コンクリート管(JSWAS A-6-1989)」の制定により呼び径の範囲が規格されたことに基づくものである。

特殊な工法を除いた推進工法の分類を図3.2.1-1に示す。

図 3.2.1-1 推進工法の分類



2.2 適用土質

刃口推進工法、セミシールド工法及び小口径管推進工法と適用土質の関係を表 3.2.2-1～3 に示す。

表 3.2.2-1 刃口の形式と切羽安定機構と適用土質

刃口形式	フードの形状	切羽安定機構	適用土質
全面開放型	直 型	ジャッキ式 た な 式	普 通 土 砂 質 土
	段 切 り 型 スランテッド型	ジャッキ式 た な 式 角 落 式	砂層、砂礫および玉石混じり
部分開放型	直 型	ジャッキ式 角 落 式	軟 弱 土

表 3.2.2-2 密閉型推進工法の機構方式と適用土質

工法分類		切羽安定方式	土砂運搬方式	適用土質	補助工法
密閉型	泥水式	泥水圧	流体輸送	砂礫土、砂質土、粘性土等	比較的不要
	土圧式	土圧	とろバケット 圧送	粘土、シルト含有率が 30%以上の粘性土	同上
	泥土圧式	泥土圧		砂礫土、砂質土、粘性土等	
	泥濃式	高濃度泥水圧	吸引	同上	同上

表 3.2.2-3 小口径推進工法の方式と土質の関係

方式	特徴	適用土質
圧入方式	第一工程で鋼製仮管を圧密推進により布設した後、第二工程では仮管を案内管としてコンクリート管を排土しながら圧入する。	一般に軟弱地盤に多用される。 N 値 0～15 程度。
オーガ方式	オーガで掘削し、管内に組み込んだスクリーコンベアで土砂を搬出する。一般に一工程式である。	粘土、シルト、砂、小礫の土質で、玉石、礫層には専用ビットを装備した機種が用いられる。
泥水方式	泥水式掘進機を先導体として、遠隔操作により推進する。一工程式と二工程式に分類される。	一般的に軟弱土、耐水性砂質土、砂礫土等であるが、玉石、転石、岩盤対応の専用機もある。
泥土圧方式	泥土圧式先導体を装備し、掘削土砂の塑性流動化を促進させて切羽土圧を調整しながら推進する方式で一工程式である。	粘性土・砂質土の帯水層、硬質土、先導体の装備に応じて礫、玉石混じり土まで対応できる。

2.3 推進方向の管の耐荷力

2.3.1 コンクリートの許容平均圧縮応力度

(1) コンクリートの許容圧縮応力度

コンクリートの許容圧縮応力度は、式 3.2.3.1-1 で表される。

$$\sigma_{ca} = \frac{\sigma_c}{2} \dots\dots\dots (3.2.3.1-1)$$

ここに、

σ_{ca} : コンクリートの許容圧縮応力度(N/mm²)

σ_c : コンクリートの圧縮応力度(N/mm²)

(2) コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係

コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、式 3.2.3.1-2 のように 3 次式で表される。

$$\sigma = 3.72 \times 10^4 \varepsilon + 0.611 \times 10^7 \varepsilon^2 - 6.322 \times 10^9 \varepsilon^3 \dots\dots\dots (3.2.3.1-2)$$

ここに、

σ : コンクリートの圧縮応力度(N/mm²)

ε : コンクリートのひずみ

(3) 管体に生じる応力

管体に生じる応力集中は、ひずみの集中という形でとらえ、実験値から式 3.2.3.1-3 で表される。

$$\varepsilon_{max} = 1.872 \times \varepsilon_{mean} + 19.1 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (3.2.3.1-3)$$

ここに、

ε_{max} : 管の断面に生じる最大ひずみ

ε_{mean} : 管の断面に生じるひずみの平均値

推進管相互の継手部分(管端面)に、木材などのクッション材を挿入することによって、応力集中を分散させる方法がとられているが、全国ヒューム管協会においても、押し輪と管端面の間に合板製リング(厚さ 15mm 程度)を挿入した実物実験において、応力集中を半分程度に減少させることができたことを確認している。

(4) コンクリートの許容平均圧縮応力度

推進管の管体コンクリートの圧縮強度 σ_c については、50N/mm² 以上と 70N/mm² 以上、さらに 90N/mm² 以上が規定されている。

$\sigma_c = 50\text{N/mm}^2$ の場合、 $\sigma_{ca} = 25\text{N/mm}^2$ となる。式 3.2.3.1-2 の圧縮応力度とひずみの関係に σ_{ca} を代入してひずみを求めると、 $\varepsilon = 649 \times 10^{-6}$ となる。このひずみを式 3.2.3.1-3 の ε_{max} に入れて ε_{mean} を求めると、 $\varepsilon_{mean} = 336 \times 10^{-6}$ となる。 ε_{mean} を式 3.2.3.1-2 に入れて応力に変換すると、許容平均圧縮応力度 $\sigma_{mean} = 13 \text{ N/mm}^2$ が求まる。また、 $\sigma_c = 70\text{N/mm}^2$ 、 $\sigma_c = 90\text{N/mm}^2$ の場合についても同様に計算すると 18.9 N/mm²、26.5 N/mm² となるが、軸方向強度実験結果等を考慮してそれぞれ $\sigma_{mean} = 17.5 \text{ N/mm}^2$ 、 $\sigma_{mean} = 22.5 \text{ N/mm}^2$ とした。

$\sigma_c = 50\text{N/mm}^2$ の場合、 $\sigma_{mean} = 13\text{N/mm}^2$

$\sigma_c = 70\text{N/mm}^2$ の場合、 $\sigma_{mean} = 17.5 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_c = 90\text{N/mm}^2$ の場合、 $\sigma_{mean} = 22.5 \text{ N/mm}^2$

2.3.2 管の有効断面積

設計に用いる管の有効断面積 A_e は、管端部における管の断面積とする。

2.3.3 管の許容耐荷力

管の許容耐荷力は、式 3.2.3.3-1 で表され、その計算結果を示すと表 3.2.3.3-1 のようになる。

$$F_a = 1000 \cdot \sigma_{\text{mean}} \cdot A_e \quad \dots\dots\dots (3.2.3.3-1)$$

ここに、

F_a : 管の許容耐荷力 (kN)

σ_{mean} : コンクリートの許容平均圧縮応力度 (N/mm²)

A_e : 管の有効断面積 (m²)

表 3. 2. 3. 3－1 管の許容耐荷力

呼び径	A_e (m ²)	W (kN/m)	$Fa5$ (kN)	$Fa7$ (kN)	$Fa9$ (kN)
200	0.03693	1.15	480	646	831
250	0.04011	1.26	521	702	902
300	0.04939	1.53	642	864	1 111
350	0.06072	1.85	789	1 063	1 366
400	0.07305	2.20	950	1 278	1 644
450	0.08814	2.61	1 146	1 542	1 983
500	0.10264	3.01	1 334	1 796	2 309
600	0.13694	4.10	1 780	2 396	3 081
700	0.18394	5.36	2 391	3 219	4 139
800	0.17664	5.31	2 296	3 091	3 974
900	0.22973	6.72	2 986	4 020	5 169
1 000	0.28973	8.29	3 767	5 070	6 519
1 100	0.33646	9.54	4 374	5 888	7 570
1 200	0.40841	11.40	5 309	7 147	9 189
1 350	0.47996	13.90	6 239	8 399	10 799
1 500	0.61073	17.31	7 939	10 688	13 741
1 650	0.72696	20.36	9 451	12 722	16 357
1 800	0.85326	23.64	11 092	14 932	19 198
2 000	1.04937	28.70	13 642	18 364	23 611
2 200	1.26575	34.24	16 455	22 151	28 479
2 400	1.45896	40.26	18 966	25 532	32 827
2 600	1.71225	46.78	22 259	29 964	38 526
2 800	1.98580	53.78	25 815	34 752	44 681
3 000	2.27962	61.26	29 635	39 893	51 291

備考 表中、 W は中央断面で求めた重量で $W = \pi(D+T)T \times 24.0$ で計算した。 F_a の計算に用いた許容平均圧縮応力度 σ_{mean} は、2. 3. 1 に示した数値を使用した。

2. 3. 4 曲線推進の許容耐荷力

直線推進での推進方向の許容耐荷力は、表 3. 2. 3. 3－1 管の許容耐荷力によるが、曲線推進における推進方向の耐荷力は、管の曲げ角度やクッション材など、推力の伝達方法により検討を行う必要がある。

2.4 推進力に対する検討

2.4.1 直線推進

(1) 基本式

1) 管と土の摩擦係数

管と土の摩擦係数は、式 3.2.4.1-1 で表される。

$$\mu' = \tan \delta = \tan(\phi/2) \cdots \cdots (3.2.4.1-1)$$

ここに、

μ' : 管と土の摩擦係数

δ : 管と土の摩擦角 (度) (全断面加圧では $\delta = \phi/2$ と仮定する。)

ϕ : 土の内部摩擦角 (度)

上記の摩擦係数は刃口又はシールド機械によって原地盤を掘削し、そのままの状態で推進を行う場合であるが、推進中に管の外周に滑材を注入することによって摩擦力を大幅に減少させることができる。この場合の摩擦係数の値は、滑材の種類及び注入量によって異なるが、最近滑材を使用する例が多くなっているため、これらの実績を十分に調査して定めるのがよい。

2) 管と土の付着力

管と土の付着力 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減じてくる。一般に管と土の付着力は、大きくとも 10kN/m²程度と考えてよい。

3) 標準的な土質

推進管に対する土の摩擦力及び粘着力は土質によって異なるので、標準的な 4 種類の土質を表 3.2.4.1-1 に示す。

3.2.4.1-1 標準的な土質とその特性値

土 質 \ 特性値	ϕ (度)	N	C' (kN/m ²)	$K_0 \cdot \mu$	μ'
軟 弱 土	15	4	10	0.2679	0.1317
普 通 土	20	10	5	0.3640	0.1763
普 通 土	30	15	0	0.5774	0.2679
硬 質 土	40	30	0	0.8391	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' は管と土の付着力、 K_0 は水平土圧と鉛直土圧の比 ($K_0=1$)、 μ は土の摩擦係数 ($=\tan \phi$)、 μ' は管と土との摩擦係数 ($=\tan \phi/2$) を示す。

4) 先端抵抗力

先端抵抗力は、一般に先端刃先抵抗力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 3.2.4.1-2 を用いる。

$$F_0 = 10.0 \times 1.32 \pi \cdot B_c \cdot N \cdots \cdots (3.2.4.1-2)$$

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

5) 総推進力

総推進力は、式 3.2.4.1-3 に示す推進諸抵抗の総和で表される。

$$F = F_0 + \{(\pi \cdot B_c \cdot p + W)\mu' + \pi \cdot B_c \cdot C'\}L \dots\dots\dots (3.2.4.1-3)$$

ここに、

- F : 総推進力 (kN)
- F_0 : 先端抵抗 (kN)
- B_c : 管外径 (m)
- p : 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)

総推進力 F の算定については、管の周囲 $\pi \cdot B_c$ に等分布荷重 p が働き、さらに管と土の付着力 C' は、管の周囲 $\pi \cdot B_c$ 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及び先端抵抗が加わるものとして計算する。

(2) 下水道協会式

式 3.2.4.1-4 は、式 3.2.4.1-3 の修正式であり、自立可能な地山における刃口推進工法に適用する。

$$F = F_0 + \alpha \cdot \pi \cdot B_c \cdot \tau_a \cdot L + W\mu' \cdot L \dots\dots\dots (3.2.4.1-4)$$

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

$$\sigma = \beta \cdot p$$

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

$$F_0 = 10.0 \times 1.32 \pi \cdot B_s \cdot N'$$

ここに、

- F : 総推進力 (kN)
- F_0 : 先端抵抗 (kN)
- 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)
- B_c : 管の外径 (m)
- B_s : 先導体 (刃口・掘進機) の外径 (m)
- τ_a : 管と土とのせん断力 (kN/m²)
- L : 推進延長 (m)
- W : 管の単位重量 (kN/m)
- μ' : 管と土との摩擦係数
- σ : 管にかかる周辺荷重 (kN/m²)
- β : 管にかかる周辺荷重の係数 (=1.0~1.5)

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

C' : 管と土との付着力 (kN/m²)

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

p : 管にかかる等分布荷重 (kN/m²)

(3) 修正式 (I)

本式は、中大口径管の泥水・土圧式推進工法に適用する。

((財) 下水道新技術推進機構と (社) 日本下水道管渠推進技術協会の共同研究により提案されたものである。)

$$F = F_0 + f_0 \cdot L \cdots \cdots (3.2.4.1-5)$$

$$F_0 = (P_w + P_e) \cdot \pi \cdot \left[\frac{B_s}{2} \right]^2$$

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

ここに、

F : 総推進力 (kN)

F_0 : 先端抵抗 (kN)

f_0 : 周面抵抗 (kN/m)

L : 推進延長 (m)

P_w : チャンバ内圧力 (kN/m²)

泥水式 $P_w = \text{地下水圧} + 20.0$ (kN/m²)

土圧式 (砂質土の場合)

$P_w = \text{主働土圧} + \text{地下水圧} + P$ ($P = 20 \sim 50$ kN/m²)

(粘性土の場合)

$P_w = \text{静止土圧}$ を用いる。

P_e : 切削抵抗 (kN/m²)

N 値より、次のとおりとする。

$P_e = \text{N 値} \times 10.0$ (kN/m²)

ただし、N < 15 の場合は $P_e = 150$ (kN/m²) とする。

N > 50 の場合は $P_e = 500$ (kN/m²) とする。

B_s : 掘削機の外径 (m)

B_c : 管外径 (m)

p : 管にかかる等分布荷重 (kN/m²)

W : 管の単位重量 (kN/m)

μ' : 管と土の摩擦係数

$\mu' = \tan (\phi/2)$

ϕ : 内部摩擦角

C' : 管と土の付着力 (kN/m²)

粘性土 ($N < 10$) : $C' = 8$

固結土 ($N \geq 10$) : $C' = 5$

β : 推進力低減係数

表 3.2.4.1-2 土質別の β 標準値

土 質	推進力低減係数 β (注)
粘 性 土	0.35
砂 質 土	0.45
砂 礫 土	0.60
固 結 土	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。

(4) 提案式 (I)

本式は、高耐荷力方式小口径管の密閉型推進工法に適用することを標準とする。

本式は、設計に際し、採用する管の耐荷力を確認するためのものである。

$$F = F_0 + F_1 \cdots \cdots \cdots (3.2.4.1-6)$$

$$F_0 = \alpha \cdot (B_c / 2)^2 \cdot \pi$$

$$F_1 = f_0 \cdot S \cdot L$$

ここに、

F : 総推進力 (kN)

F_0 : 先端抵抗力 (kN)

α : 先端抵抗力係数 (kN/m²)

f_0 : 周面抵抗力係数 (kN/m²)

S : 管外周長 (m)

B_c : 管外径 (m)

L : 推進延長 (m)

表 3.2.4.1-3 土質別 α , f_0 (kN/m²)

密 閉 型	普通土	砂礫土	硬質土
先端抵抗力係数 α	1,200	1,750	1,500
周面抵抗力係数 f_0	3.0	4.5	2.5

施工可能延長については、各工法の特徴や土質等の施工条件により異なるため、十分な調査と比較検討を踏まえて判断する必要がある。

(5) 修正式 (II)

本式は、泥濃式推進工法に適用する。

((社) 日本下水道管渠推進技術協会により提案されたものである。)

$$F = F_0 + f \cdot S \cdot L \cdots \cdots (3.2.4.1-7)$$

$$F_0 = (P_e + P_w) \cdot (B_s/2)^2 \cdot \pi$$

$$f = \{0.2 + 0.3 \cdot (G/100)^2 + 2.7 \cdot (G/100) \cdot M^2\} 10.0$$

ここに、

F : 総推進力 (kN)

F_0 : 先端抵抗 (kN)

S : 管外周長 (m)

L : 推進延長 (m)

P_e : 切羽単位面積当り推力 (kN/m²)

$$P_e = 4.0 \times N \text{ 値}$$

P_w : 掘削室内泥水圧力 (kN/m²)

$$P_w = (\text{地下水圧} + 20.0) \text{ kN/m}^2$$

B_s : 掘進機外径 (m)

f : 周面抵抗 (kN/m²)

G : 礫率 (%)

M : 最大礫長径／管外径

なお、曲線推進においては、一般の推進工法と同様に、直線推進における推進抵抗の他に管後方からの曲線外側方向への分力による管外壁面との摩擦抵抗が負荷されるので、その分推進力は増加する。

2.4.2 曲線推進

推進工事では、地形や環境条件又は交通事情等により、曲線推進を施工せざるを得ない場合があり、慎重に諸条件を検討して設計しなければならない。

曲線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）等がある。これらの要素により推進可能な曲線半径は異なるが、管材についても NS 推進管の様に継手の長い管、または有効長の短い管を使用することにより、20R 程度の急曲線推進も施工されるようになってきた。

(1) 曲線推進抵抗

曲線推進は、直線推進における推進抵抗のほかに、管後方からの曲線の外側方向への分力による管外壁面との摩擦抵抗が負荷されるので、その分推進力が増加する。

曲線推進抵抗の計算は、管周囲の地山が自立しており、かつ、管が自由に曲げられるだけの拡張をされている場合は次式が一般によく用いられている。

図 3.2.4.2-1 に於いて、 F_0 : 刃口の推進抵抗(kN)、 F_1 : 第 1 本目の管の直線推進抵抗(kN)、 F_2 : 第 2 本目より第 1 本目に加わる推力(kN)、 α : 第 1 本目と第 2 本目の折れ角 (度)、 T_1 : 法線方向の推力 ($=F_2 \sin \alpha$)、 $k T_1$: T_1 の法線力により生じる推進抵抗 (k : 法線力による管と地山との間のせん断抵抗率 0.5~0.7、一般に 0.5 とする。)

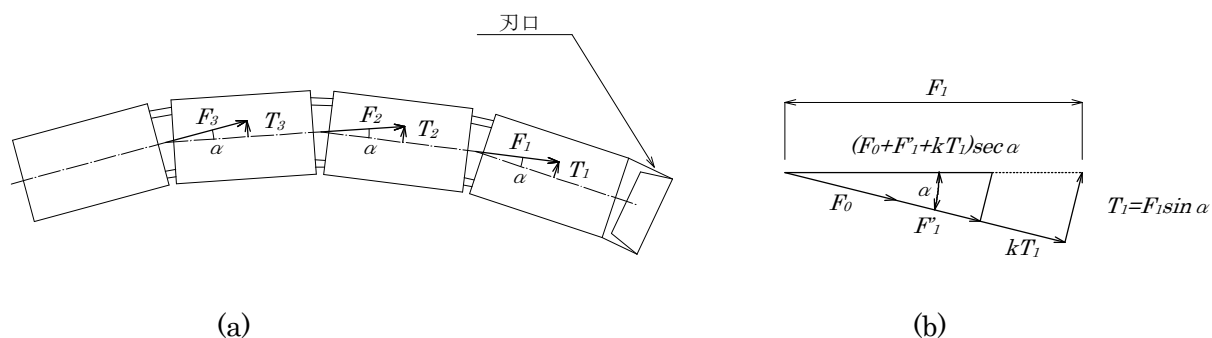


図 3.2.4.2-1 曲線推進抵抗

図 3.2.4.2-1(b)より

$$F_1 = (F_0 + F'_1 + kF_1 \sin \alpha) \sec \alpha \cdots \cdots (3.2.4.2-1)$$

同様に

$$F_2 = (F_1 + F'_2 + kF_2 \sin \alpha) \sec \alpha \cdots \cdots (3.2.4.2-2)$$

$$F_3 = (F_2 + F'_3 + kF_3 \sin \alpha) \sec \alpha \cdots \cdots (3.2.4.2-3)$$

式 3.2.4.2-1 より

$$F_1 = \frac{(F_0 + F'_1) \sec \alpha}{1 - k \sin \alpha \sec \alpha}$$

式 3.2.4.2-2 より

$$F_2 = \frac{(F_1 + F'_2) \sec \alpha}{1 - k \sin \alpha \sec \alpha}$$

$$K = \frac{\sec \alpha}{1 - k \sin \alpha \sec \alpha} = \frac{1}{\cos \alpha - k \sin \alpha} \cdots \cdots (3.2.4.2-4)$$

とすれば

$$F_2 = \{ K(F_0 + F'_1) + F'_2 \} K = K^2(F_0 + F'_1) + KF'_2$$

同様に

$$F_3 = K^3(F_0 + F'_1) + K^2F'_2 + KF'_3$$

$$F_n = K^n(F_0 + F'_1) + K^{n-1}F'_2 + \cdots + KF'_n$$

$F' = F'_1 = F'_2 = F'_3 = F'_n$ とすれば

$$F_n = K^n F_0 + F' \frac{K^{n+1} - K}{K - 1} \cdots \cdots (3.2.4.2-5)$$

今、曲線部の推進抵抗と直線部の推進抵抗の比率を λ とすると

$$\lambda = \frac{K^{n+1} - K}{n(K - 1)}$$

n : 曲線部の推進管本数 [$n \doteq CL/l$ 、 CL : 曲線長(m)、 l : 推進管 1 本の長さ(m)]

曲線推進後に直線推進する場合の一般式を式 3.2.4.2-6 に示す。

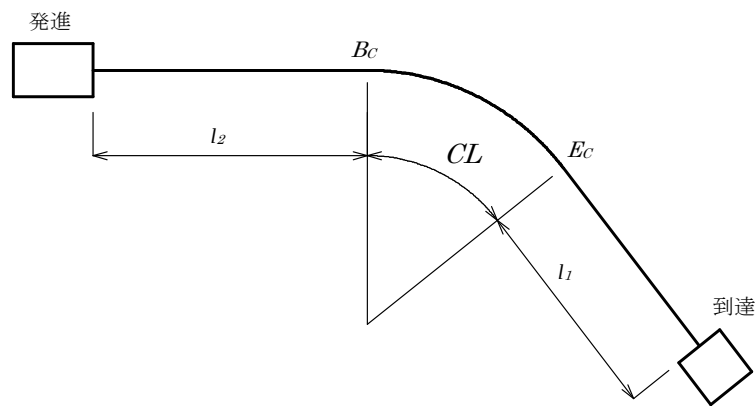


図 3.2.4.2-2 推進路線

図 3.2.4.2-2 に示される管路の推進抵抗 F

$$F = [F_0 + f \cdot l_1] K^n + \lambda \cdot f \cdot CL + f \cdot l_2 \dots\dots\dots (3.2.4.2-6)$$

f : 1m 当たりの直線推進の抵抗(kN/m)

F_0 : 初期抵抗(kN)

(2) 曲線部の許容推進力

曲線部では、管列が外側に膨れ出す現象により、管は地盤反力による背面からの力を受ける。この背面からの抵抗力は曲線区間で推進力が最も大きくなる曲進開始点(BC 点)で最大となる。曲線部では推進管が折れ線状になっているため、背面からの抵抗力は管の継手部に集中することとなる。この曲進開始点(BC 点)での作用荷重の模式図を図 3.2.4.2-3 に示す。図に示すように、地盤反力は管外径の 90° に分布すると仮定している。また、管端部にかかる偏圧の分布形状を三角形とし、その分布範囲長を L_a とすると、(BC 点)での推進力 F_{BC} と分布荷重 R_g の関係は式 3.2.4.2-7 で与えられる。

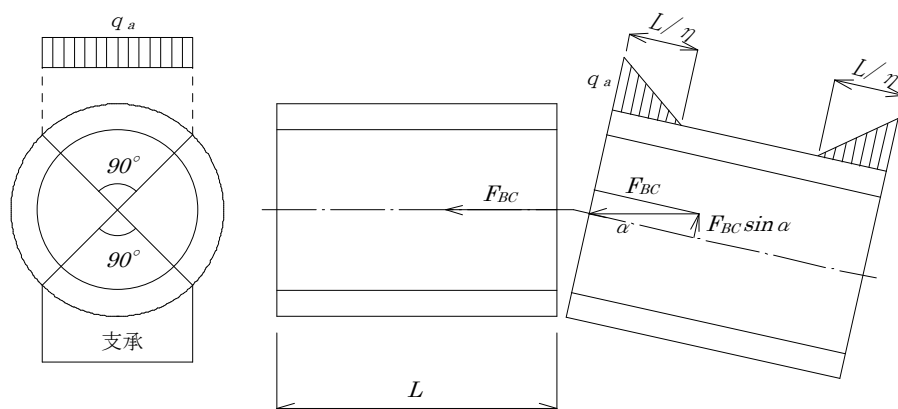


図 3.2.4.2-3 推進力と地盤反力の模式図

$$F_{aBC} \cdot \sin \alpha = R_g = 2 \cdot (1/2) \cdot L_a \cdot \sqrt{2} \cdot r \cdot q_a \dots\dots\dots(3.2.4.2-7)$$

曲線推進における推進管の安全率 γ (≈ 1.5) を考慮した BC 点における許容推進力 F_{aBC} は、

$$F_{aBC} = \frac{\sqrt{2} \cdot L_a \cdot r \cdot q_a}{\gamma \cdot \sin \alpha} \dots\dots\dots(3.2.4.2-8)$$

ここに、 F_{aBC} : B C 点における許容推力 (kN)

R_g : 許容地盤反力(kN)

α : 管 1 本当たりの折れ角 (°)

$$\alpha = 2 \sin^{-1} \left[\frac{L}{2(R - D/2)} \right]$$

R : 曲線半径(m)

D : 管外径(m)

L_a : 地盤反力に対する影響範囲長(m)

$$= L / \eta$$

L : 推進管の有効長 (m/本)

η : 推進管の影響範囲係数 (≥ 1.0) (分布範囲 90° の場合)

$$\eta = -13.917R_t - 0.579R_L + 10.506R_t \cdot R_L + 2.033$$

表 3.2.4.2-1 影響範囲係数 η

呼び径 (mm)	管の有効長 L (m)		呼び径 (mm)	管の有効長 L (m)	
	2.43	1.20		2.43	1.20
800	2.074	1.349	1 800	1.275	1.033
900	1.915	1.270	2 000	1.229	1.019
1 000	1.787	1.207	2 200	1.194	1.010
1 100	1.641	1.167	2 400	1.167	1.003
1 200	1.566	1.127	2 600	1.145	1.000
1 350	1.453	1.094	2 800	1.128	1.000
1 500	1.385	1.055	3 000	1.113	1.000
1 650	1.322	1.041			

R_t	: 管厚比 = t / D_i
R_L	: 管長比 = L / D_i
D_i	: 推進管の内径(m)
t	: 推進管の管厚(m)
r	: 管厚中心半径(m)
q_a	: 管の許容等分布側圧(kN/m ²) = $M_a / (0.239r^2)$ (90° 分布と仮定)
M_a	: 管のひび割れ抵抗曲げモーメント(kN・m) = $0.318P \cdot r + 0.239W \cdot r$
P	: ひび割れ試験荷重(kN/m)
W	: 管の自重(kN/m)

管の強度試験に基づいて定められた許容等分布荷重を、式 3.2.4.2-8 の q_a に代入して算出した推力 F_a が許容推進力である。また、曲線区間において最も推進抵抗力の大きくなる(BC 点)の抵抗力を式 3.2.4.2-6 により算出する。この抵抗力和上記の許容推進力を比較することにより、側方分布荷重に対する推進管の強度安全性を確認する。表 3.2.4.2-2 に許容等分布側圧 q_a を、表 3.2.4.2-3 に継手の抜け出し量 30mm (E 形管) の場合の F_{aBC} (B C 点における許容推進力) をそれぞれ示す。

表 3.2.4.2-2 許容等分布側圧 q_a

管種	呼び径	t (mm)	r (m)	W (kN/m)	P (kN/m)	M _a (kN・m)	q _a (kN/m ²)
1 種	800	80	0.4400	5.31	35.4	5.511	119.126
	900	90	0.4950	6.72	38.3	6.824	116.545
	1 000	100	0.5500	8.29	41.2	8.296	114.762
	1 100	105	0.6025	9.54	42.7	9.555	110.145
	1 200	115	0.6575	11.40	44.2	11.033	106.803
	1 350	125	0.7375	13.90	47.1	13.497	103.851
	1 500	140	0.8200	17.31	50.1	16.457	102.425
	1 650	150	0.9000	20.36	53.0	19.548	100.997
	1 800	160	0.9800	23.64	55.9	22.959	100.050
	2 000	175	1.0875	28.70	58.9	27.828	98.481
	2 200	190	1.1950	34.24	61.8	33.263	97.495
	2 400	205	1.3025	40.26	64.8	39.374	97.143
	2 600	220	1.4100	46.78	67.7	46.119	97.099
	2 800	235	1.5175	53.78	70.7	53.621	97.463
	3 000	250	1.6250	61.26	73.6	61.825	98.005
2 種	800	80	0.4400	5.31	70.7	10.451	225.868
	900	90	0.4950	6.72	76.5	12.837	219.207
	1 000	100	0.5500	8.29	82.4	15.501	214.406
	1 100	105	0.6025	9.54	85.4	17.736	204.263
	1 200	115	0.6575	11.40	88.3	20.254	195.877
	1 350	125	0.7375	13.90	94.2	24.542	188.669
	1 500	140	0.8200	17.31	101	29.729	184.993
	1 650	150	0.9000	20.36	106	34.717	179.333
	1 800	160	0.9800	23.64	112	40.441	176.186
	2 000	175	1.0875	28.70	118	48.267	170.684
	2 200	190	1.1950	34.24	124	56.900	166.716
	2 400	205	1.3025	40.26	130	66.378	163.647
	2 600	220	1.4100	46.78	136	76.744	161.513
	2 800	235	1.5175	53.78	142	88.029	159.892
	3 000	250	1.6250	61.26	148	100.271	158.881

表 3. 2. 4. 2-3 曲線部 B C 点の許容推進力 (F_a)

(kN)

管種	呼び径	q _a (kN/m ²)	曲線半径 R(m) と折れ角 α (°)						
			50	75	100	150	200	250	300
			2°47'	1°51'	1°24'	55'	42'	33'	28'
1 種 50	800	119.126	1,814	1,776	2,296	←	←	←	←
	900	116.545	2,118	2,986	2,825	2,986	←	←	←
	1 000	114.762	2,436	3,668	3,310	3,767	←	←	←
	1 100	110.145		3,986	4,374	←	←	←	←
	1 200	106.803		4,363	5,309	←	←	←	←
	1 350	103.851		4,897	6,239	←	←	←	←
	1 500	102.425		5,562	7,438	7,939	←	←	←
	1 650	100.997			8,150	9,451	←	←	←
	1 800	100.050			8,852	11,092	←	←	←
	2 000	98.481			9,790	13,642	←	←	←
	2 200	97.495			10,732	16,168	16,455	←	←
	2 400	97.143				17,667	18,966	←	←
	2 600	97.099				19,158	22,259	←	←
	2 800	97.463				20,681	25,815	←	←
	3 000	98.005				22,250	29,635	←	←
2 種 50	800	119.126	2,296	←	←	←	←	←	←
	900	116.545	2,986	←	←	←	←	←	←
	1 000	114.762	2,436	←	←	←	←	←	←
	1 100	110.145		4,374	←	←	←	←	←
	1 200	106.803		5,309	←	←	←	←	←
	1 350	103.851		6,239	←	←	←	←	←
	1 500	102.425		7,939	←	←	←	←	←
	1 650	100.997			9,451	←	←	←	←
	1 800	100.050			11,092	←	←	←	←
	2 000	98.481			13,642	←	←	←	←
	2 200	97.495				16,455	←	←	←
	2 400	97.143				18,966	←	←	←
	2 600	97.099				22,259	←	←	←
	2 800	97.463				25,815	←	←	←
	3 000	98.005				29,635	←	←	←

(kN)

管種	呼び径	q_a (kN/m ²)	曲線半径 R(m) と折れ角 α (°)						
			50	75	100	150	200	250	300
			2°47'	1°51'	1°24'	55'	42'	33'	28'
1 種 70	800	119.126	1,814	1,776	2,371	3,091	←	←	←
	900	116.545	2,118	3,188	2,825	4,020	←	←	←
	1 000	114.762	2,436	3,668	3,310	4,975	5,070	←	←
	1 100	110.145		3,986	5,326	5,964	5,888	←	←
	1 200	106.803		4,363	5,832	6,311	7,147	←	←
	1 350	103.851		4,897	6,546	7,413	8,399	←	←
	1 500	102.425		5,562	7,438	8,524	10,688	←	←
	1 650	100.997			8,150	12,266	12,722	←	←
	1 800	100.050			8,852	13,325	14,420	14,932	←
	2 000	98.481			9,790	14,743	16,331	18,364	←
	2 200	97.495			10,732	16,168	21,603	22,151	←
	2 400	97.143				17,667	23,612	25,403	25,532
	2 600	97.099				19,158	25,610	28,001	29,964
	2 800	97.463				20,681	27,650	34,620	34,752
	3 000	98.005				22,250	29,754	37,259	39,893

備考 1. $Fa = \sqrt{2} \cdot La \cdot r \cdot qa / (1.5 \cdot \sin \alpha)$ とし、少数以下は切り捨てる。

2.  は標準管 (L=2.43m)、 は半管 (L=1.20m) を用いた場合の限界値。

3.  部は、管の許容耐荷力の適用範囲を示す。

(3) 管継手部の開口長

管が曲線推進される場合、図 3.2.4.2-4 に示すように曲線の外側の目地が開口する。開口長は曲線の外側部、内側部、あるいは管の外側、内側によって異なる。この開口長 S_1 (曲線の外側部で管の外側)、 S_2 (曲線の外側部で管の内側)、 S_3 (曲線の内側部で管の内側)、 S_4 (曲線の内側部で管の外側) は、図 3.2.4.2-4 より式 3.2.4.2-9～式 3.2.4.2-11 で示される。

$$S_1 \doteq \frac{ID_0}{R_0 - D_0 / 2} + S_4 \dots\dots\dots (3.2.4.2-9)$$

$$S_2 \doteq \frac{l(D_0 - t)}{R_0 - D_0 / 2} + S_4 \dots\dots\dots (3.2.4.2-10)$$

$$S_3 \doteq \frac{lt}{R_0 - D_0 / 2} + S_4 \dots\dots\dots (3.2.4.2-11)$$

なお、 S_4 は管端部が直接接触して応力集中による管の破損を防止するためのクッション材の厚さである。

曲線管路の管目地開口長 (S_1) の値を表 3.2.4.2-4 に示す。

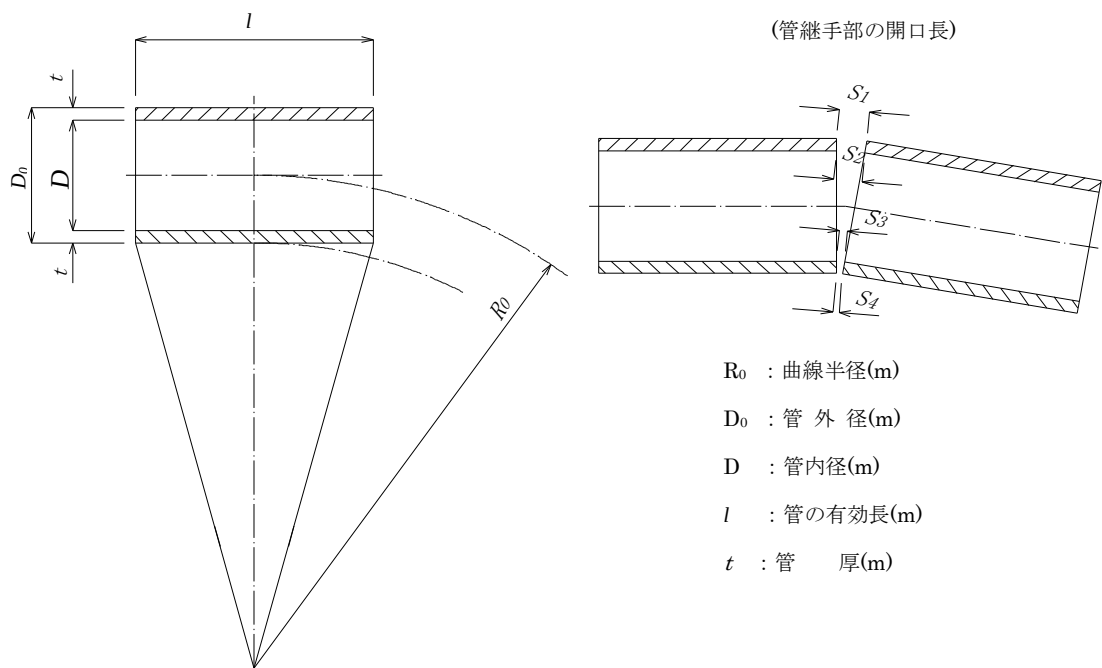


図 3. 2. 4. 2-4 曲線推進に伴う管継手部の開口長

表 3.2.4.2-4 曲線管路の管目地部開口長 S_1

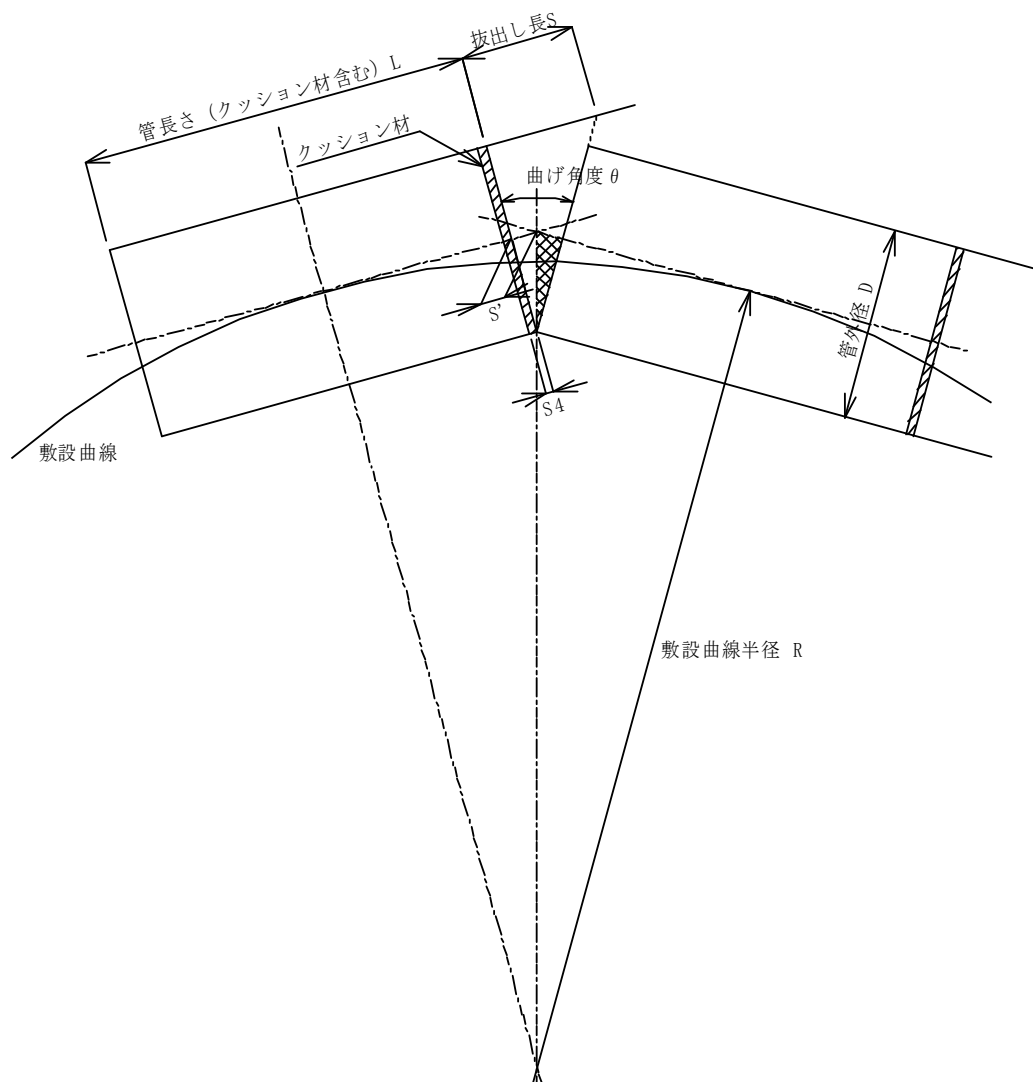
単位:mm

$R_0(m)$ 呼び径	40	60	80	100	120	150	200	300	400	500	600
800	59	39	29	23	20	16	12	8	6	5	4
900		44	33	26	22	18	13	9	7	5	4
1 000		49	37	29	24	20	15	10	7	6	5
1 100		54	40	32	27	21	16	11	8	6	5
1 200		59	44	35	29	23	17	12	9	7	6
1 350			49	39	33	26	20	13	10	8	7
1 500			55	44	36	29	22	14	11	9	8
1 650				48	40	32	24	16	12	9	8
1 800				52	43	35	26	17	13	10	9
2 000				58	48	38	29	19	14	11	10
2 200					53	42	32	21	16	13	10
2 400					58	46	34	23	17	14	11
2 600						50	37	25	17	15	12
2 800						54	40	27	20	16	13
3 000						57	43	29	21	17	14

備考 管の有効長(l)は 2.43m、 $S_4=0$ として計算している。管の有効長(l)が 1.20m の場合は、 S_1 の値が約 1/2 となる。

(4) 管の拔出長

拔出し長から計算した曲げ角度および曲線半径の値を表 3.2.4.2-5~8 に示す。



$$R = \frac{\left(S' + \frac{L}{2}\right) \cdot \left(\frac{D}{2}\right)}{S'}$$

$$S' = \tan \left\{ \frac{1}{2} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{S}{D} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D}{2} \right)$$

$$S = 2 \cdot D \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\frac{L}{2}}{\left(R - \frac{D}{2}\right)} \right)$$

R : 敷設曲線半径 (m)

S' : 管中心線上補助線長さ (m)

L : 管長さ (クッション材厚さ S_4 を含む) (m)
(小口径は 3mm、中大口径は 10mm を考慮した)

D : 管外径 (m)

S : 拔出し長 (m)

図 3.2.4.2-1 曲げ角度の計算方法

表 3. 2. 4. 2－5 小口径推進管 E 形 (SJS) の曲げ角度及び曲線半径

呼び径	拔出し長 (mm)	曲げ角度 (度)
200	10	1° 48′
250	10	1° 35′
300	10	1° 23′
350	10	1° 13′
400	10	1° 05′
450	10	59′
500	10	54′
600	10	45′
700	10	39′

表 3. 2. 4. 2－6 小口径推進管 NS 形 (SJB) の曲げ角度及び曲線半径

呼び径	拔出し長 (mm)	曲げ角度 (度)	曲線半径 (m)
200	20	3° 36′	33
250	20	3° 11′	37
300	20	2° 46′	42
350	20	2° 26′	58
400	20	2° 11′	65
450	20	1° 58′	72
500	20	1° 47′	79
600	20	1° 30′	93
700	20	1° 18′	108

表 3.2.4.2-7 E形推進管の曲げ角度及び曲線半径

呼び径	拔出し長 (mm)	曲げ角度 (度)	曲線半径 (m)
800	30	1°47'	79
900	30	1°35'	89
1 000	30	1°26'	99
1 100	30	1°19'	108
1 200	30	1°12'	118
1 350	30	1°04'	131
1 500	30	58'	146
1 650	30	53'	160
1 800	30	49'	174
2 000	30	44'	193
2 200	30	40'	212
2 400	30	37'	230
2 600	30	34'	249
2 800	30	32'	268
3 000	30	29'	287

表 3.2.4.2-8 NS推進管の曲げ角度及び曲線半径

呼び径	拔出し長 (mm)	曲げ角度 (度)	曲線半径 (m)
800	60	3°35'	40
900	60	3°11'	45
1 000	60	2°52'	50
1 100	60	2°37'	54
1 200	60	2°24'	59
1 350	60	2°09'	66
1 500	60	1°56'	74
1 650	60	1°46'	81
1 800	60	1°37'	88
2 000	60	1°28'	97
2 200	60	1°20'	107
2 400	60	1°13'	116
2 600	60	1°08'	126
2 800	60	1°03'	135
3 000	60	59'	145

2.4.3 許容推進延長

管の許容耐荷力から求まる許容推進延長は、式 3.2.4.3-1 から求めると、式 3.2.4.3-2 で表される。

$$L = \frac{F - F_0}{(\pi \cdot Bc \cdot p + W) \mu' + \pi \cdot Bc \cdot C'} \dots\dots\dots (3.2.4.3-1)$$

この式 3.2.4.3-1 の総推進力 F の代わりに管の許容耐荷力 F_a を用いれば、推進延長 L は許容推進延長 L_a となり式 3.2.4.3-2 で表される。

$$L_a = \frac{F_a - F_0}{(\pi \cdot Bc \cdot p + W) \mu' + \pi \cdot Bc \cdot C'} \dots\dots\dots (3.2.4.3-2)$$

ここに、

- L_a : 許容推進延長 (m)
- F_a : 管の許容耐荷力 (kN)
- F_0 : 先端抵抗 (kN)
- μ' : 管と土の摩擦係数
- C' : 管と土の付着力 (kN/m²)
- Bc : 管外径 (m)
- W : 管の自重 (kN/m)
- p : 等分布荷重 (kN/m²)

その他の式を用いる場合も、同様に計算すればよい。例えば、修正式 (I) を用いる場合の許容推進延長を示すと、式 3.2.4.3-3 のようになる。

$$L_a = \frac{F_a - F_0}{f_0} \dots\dots\dots (3.2.4.3-3)$$

2.4.4 中押し工法

中押し工法は、許容推進延長が耐荷力の大きい管を用いても計画推進延長に及ばない場合や、立坑設置の関係で推進スパンが長くなり、元押し装置だけでは推進が不可能な場合に、推進管の途中の適当な箇所に中押し装置を配置し、推進抵抗を分割して、元押しの推進力を軽減させる工法である。

2.5 その他

2.5.1 クッション材

管と管が点接触となると、その部分の応力が非常に大きくなり、許容応力度を超え、部分的な破壊に至ることがある。これを防ぐため、適切なクッション材などを用いて、応力が集中するのを防ぐ必要がある。

図 3.2.5.1-1 及び表 3.2.5.1-1~2 に E 形推進管、NS 推進管に使用するクッション材の形状と寸法を示す。クッション材の材質としては、合板、発泡性スチロール樹脂、パーティクルボード、硬質ポリウレタン樹脂などがある。

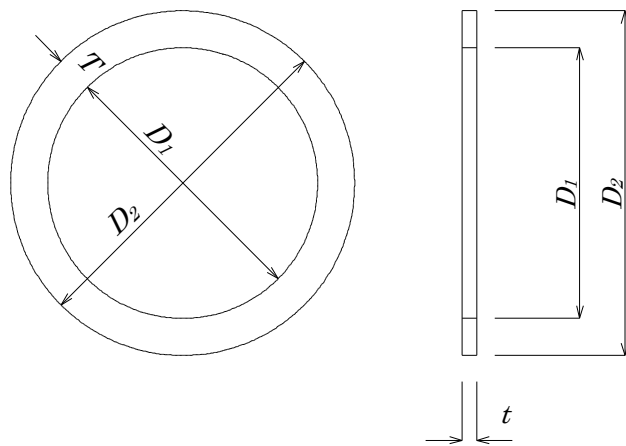


図 3.2.5.1-1 クッション材の形状

表 3.2.5.1-1 E形推進管に使用するクッション材の寸法

単位:mm

呼び径	内径 D_1	外径 D_2	幅 T	厚さ t	呼び径	内径 D_1	外径 D_2	幅 T	厚さ t
200	210	288	39	3~4.5	1 100	1 130	1 294	82	8~12
250	260	330	35		1 200	1 230	1 414	92	
300	310	384	37		1 350	1 380	1 578	99	
350	360	440	40		1 500	1 530	1 758	114	
400	410	496	43		1 650	1 680	1 928	124	
450	460	554	47		1 800	1 830	2 098	134	
500	510	610	50		2 000	2 030	2 328	149	
600	610	726	58	6~10	2 200	2 230	2 558	164	
700	710	846	68		2 400	2 430	2 780	175	
800	830	944	57	8~12	2 600	2 630	3 010	190	
900	930	1 064	67		2 800	2 830	3 240	205	
1 000	1 030	1 184	77		3 000	3 030	3 470	220	

備考 1) クッション材は、適当な数に分割出来る。

2) 厚さ t は、一般的な数値を示す。

表 3.2.5.1-2 N S 推進管に使用するクッション材の形状及び寸法

単位:mm

呼び径	内径 D ₁	外径 D ₂	幅 T	厚さ t	呼び径	内径 D ₁	外径 D ₂	幅 T	厚さ t
200	210	288	39	3~4.5	1 100	1 130	1 270	70	8~12
250	260	330	35		1 200	1 230	1 390	80	
300	310	384	37		1 350	1 380	1 554	87	
350	360	440	40		1 500	1 530	1 734	102	
400	410	496	43		1 650	1 680	1 904	112	
450	460	554	47		1 800	1 830	2 074	122	
500	510	610	50		2 000	2 030	2 304	137	
600	610	726	58	6~10	2 200	2 230	2 534	152	
700	710	846	68		2 400	2 430	2 756	163	
800	830	920	45	8~12	2 600	2 630	2 986	178	
900	930	1 040	55		2 800	2 830	3 216	193	
1 000	1 030	1 160	65		3 000	3 030	3 446	208	

備考 1) クッション材は、適当な数に分割出来る。

2) 厚さ t は、一般的な数値を示す。

2.5.2 立坑内に埋設される管

推進完了後、前後の管路を連結するために立坑内に埋設される管には、開削工法と同様な埋め戻し土圧が作用する。したがって、土被り、土質、矢板引抜きの影響等を考慮して、管種及び基礎（180° コンクリート基礎或いは 360° コンクリート巻立てなど）を検討する。

2.5.3 拡幅掘削

管列が曲線を描くためには、図 3.2.5.3-1 に示すように拡幅余堀りが必要である。拡幅余堀り幅は、式 3.2.5.3-1 で計算される。

$$m = \left(R - \frac{D_0}{2} \right) - \sqrt{\left(R - \frac{D_0}{2} \right)^2 - \left(\frac{l}{2} \right)^2} \dots\dots\dots (3.2.5.3-1)$$

ここに、 m : 拡幅余堀り幅(m)

R : 曲線半径(m)

D_0 : 管外径(m)

l : 管 1 本の長さ(m)

管列がオーバーカットされた内側を進む間、地山が崩壊すると管列の移動や推進抵抗が大きくなるので、この拡幅した空隙はできるだけ保持することが大切であり、そのために管周囲に滑材を充分注入するか、土質条件によっては地盤改良が必要となる。

曲線半径と折れ角度、拡幅余堀り幅の関係を表 3.2.5.3-1 に示す。

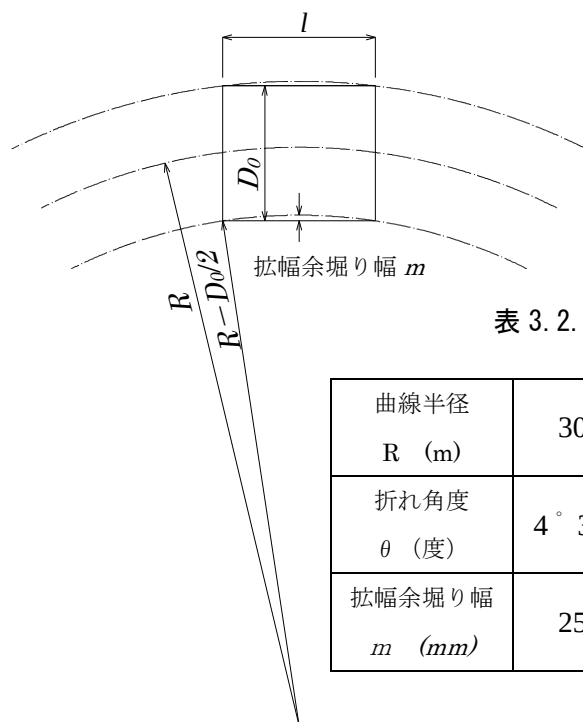


表 3.2.5.3-1 曲線半径と折れ角度、拡幅余堀り幅の関係

曲線半径 R (m)	30	40	50	60	80	100	150
折れ角度 θ (度)	4° 38'	3° 28'	2° 47'	2° 19'	1° 44'	1° 23'	0° 55'
拡幅余堀り幅 m (mm)	25	19	15	12	9	7	5

図 3.2.5.3-1 拡幅余堀り説明図

2.6 管の取扱い

2.6.1 標準管

(1) 管の運搬及び保管

管の運搬は、カラーの変形、破損を生じないように注意して行う。現場で保管する場合は、管が直接地面に接しないように必ず台木上に置き、特にカラー部分が台木や地面に直接あたらないようにしなければならない。

(2) 管の吊りおろし

呼び径 200～700 の場合は、ロープを 2 本使用し、管頂でしぼって吊りおろす。

呼び径 800 以上の場合は、図 3.2.6.1-1 に示すように注入孔を利用し、専用の吊具を用いて行う。管に直接ワイヤーをかけて吊りおろす方法はできるだけさけ、特に管の中にワイヤーを通して吊りおろす方法はカラー部に損傷を与えるので絶対にしてはならない。

吊具は、十分安全であるものとし、その一例を図 3.2.6.1-2 に示す。

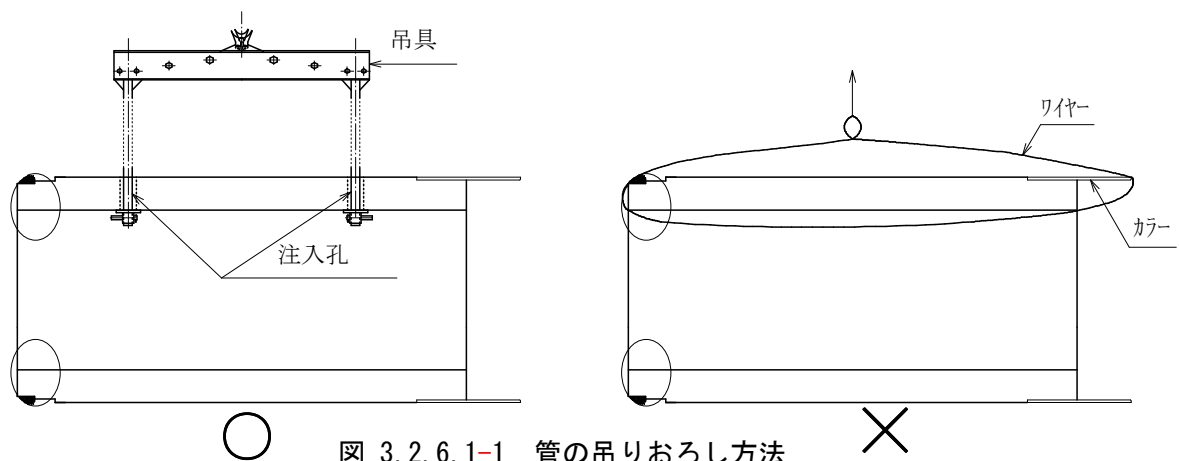


図 3.2.6.1-1 管の吊りおろし方法

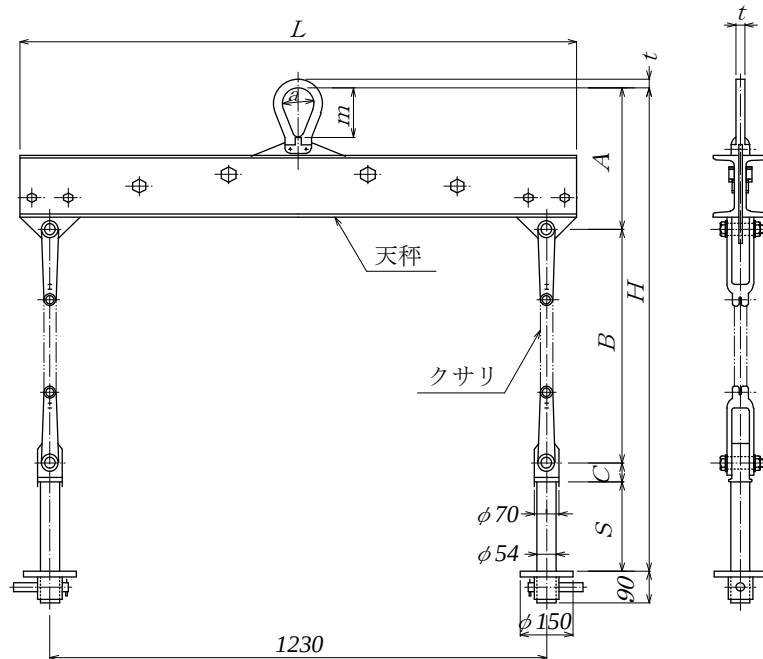


図 3.2.6.1-2 吊具の一例

単位：mm

容量 (tf)	対象管呼び径	a	m	t	A	B	C	S	H	L	クサリ 線径	天秤部材	参考重量 (kg)
1.7	800～900	71	110	17	281	337	30	100	748	1330	6.3	〕〔-100×50×5×7.5	約 50
3.5	1000～1350	80	125	21	335	348	35	135	853	1350	8	〕〔-125×65×6×8	約 70
9	1500～2200	112	180	32	499	524	45	200	1268	1380	12.5	〕〔-200×80×7.5×10	約 130
16	2400～3000	180	280	50	713	663	55	260	1691	1410	16	〕〔-250×90×9×13	約 190

(3) 先導体又は刃口への取付け

使用する先導体や刃口によっては、先頭管等の特殊管を用いなければならない場合がある。
NS推進管では表 1.3.8.2-4、E形小口径推進管では表 1.3.8.3-3、NS小口径推進管では表 1.3.8.4-3 に示す先頭管を使用する。

(4) 管の接合

管の接合は、図 3.2.6.1-3 に示すように、推進方向に対しカラーを後部にして行い、ゴム輪のめくれ等の異状がないかどうか確認しながら接合する。

接合に当たっては、ゴム輪及びその接触面にヒューム管用滑剤を塗布する。

継手 1 ヶ所当たりの滑剤の標準的な使用量を表 3.2.6.1-1 に示す。

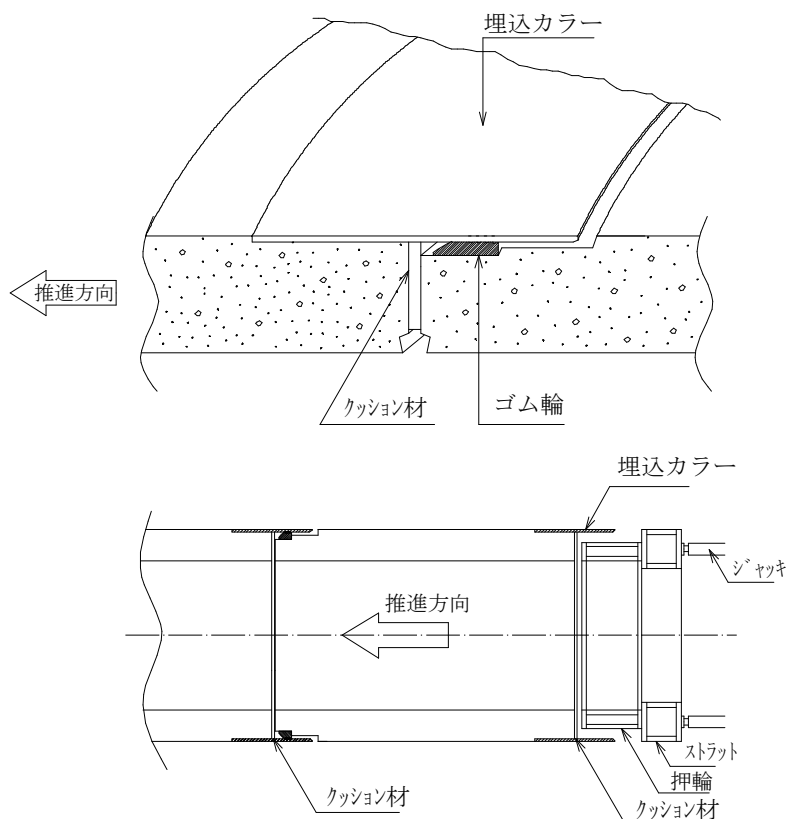
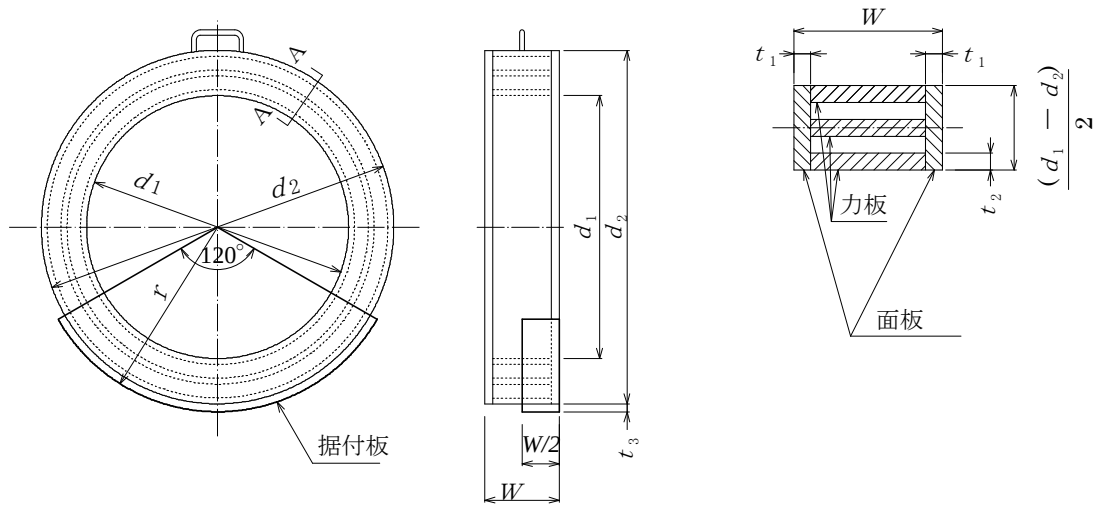


図 3.2.6.1-3 管の接合方法の例

表 3.2.6.1-1 滑剤の標準的な使用量（接合部 1 箇所当たり）

単位:g								
呼び径	使用量		呼び径	使用量		呼び径	使用量	
	E 形	N S 形		E 形	N S 形		E 形	N S 形
200	45	60	700	125	160	1 650	290	340
250	50	80	800	140	190	1 800	320	365
300	60	85	900	160	210	2 000	350	400
350	70	90	1 000	180	230	2 200	390	435
400	85	100	1 100	200	245	2 400	420	470
450	90	105	1 200	210	260	2 600	460	505
500	95	110	1 350	240	285	2 800	490	535
600	110	140	1 500	270	315	3 000	520	570

押輪は埋込カラー内に挿入し、カラー部分を保護できる形状のものであることが必要であり、十分な剛性のあるものを使用する。押輪の形状及び寸法の一例を図 3.2.6.1-4 に示す。



単位：mm

呼び径	内径 d_1	外径 d_2	幅 W	面板厚さ t_1	力板厚さ t_2	力板枚数 (枚)	据付半径 r	据付板厚 t_3	
200	200	289	60 (200)	—	—	—	—	—	
250	250	331							
300	300	385							
350	350	441							
400	400	497							
450	450	545	200	32	25	2	380	18	
500	500	611					440	(23)	
600	600	724					480	9 (24)	
700	700	844					300～390 (380)		540
800	800	942 (913)							600
900	900	1 062 (1 033)	655						
1 000	1 000	1 182 (1 153)	715						
1 100	1 100	1 292 (1 263)	800		12 (32)				
1 200	1 200	1 412 (1 383)	890						
1 350	1 350	1 577 (1 536)	975						
1 500	1 500	1 757 (1 716)	1 060						
1 650	1 650	1 927 (1 886)	1 175						
1 800	1 800	2 097 (2 056)	22	3	1 290	16 (40)			
2 000	2 000	2 327 (2 286)			4				
2 200	2 200	2 557 (2 516)							
2 400	2 400	2 779 (2 731)		350～410 (380)	4		1 405		
2 600	2 600	3 009 (2 961)					1 520		
2 800	2 800	3 239 (3 191)	1 635						
3 000	3 000	3 469 (3 421)	1 750						

注：（ ）内は、NS推進管、またはNS小口径推進管の場合とする。

図 3.2.6.1-4 押輪の形状寸法の一例

2.6.2 中押管

(1) 中押管の組立

中押管を用いる場合は、中押管 S に所定の中押ジャッキと当輪をセットして推進立坑内に吊りおろし、次に中押管 T を吊りおろして図 3.2.6.2-1 のように組み立てる。

中押ジャッキ及び当輪の一般的な寸法を表 3.2.6.2-1 に示す。

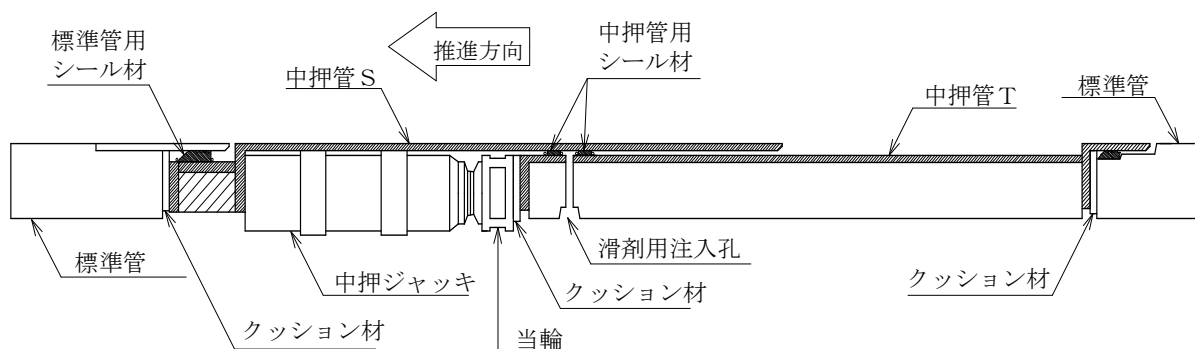


図 3.2.6.2-1 推進中の中押管

表 3.2.6.2-1 中押ジャッキの諸元及び当輪の厚さ

呼び径	ジャッキ				当輪の厚さ (mm)
	推 力 (kN)	ストローク (mm)	外 径 (mm)	長 さ (mm)	
900 ～ 1 200	300		135	525	70
1 350 ～ 2 200	500	300	165	550	82
2 400 ～ 3 000	1 000		225	580	94

注：1) ジャッキの寸法は、メーカーによって多少異なるので、最大のものを示す。

2) 当輪の厚さは標準的寸法を示す。

(2) 滑剤の注入

中押装置を作動させる場合、中押管用シール材の摩耗を防ぐため、中押管Tの滑剤注入孔より滑剤を適宜注入する。使用する滑剤は、シール材に悪影響を与えないものを用いる。

(3) 中押装置の撤去と内面仕上げ

推進終了後、中押ジャッキ及び当輪を取りはずして、元押しジャッキにより、図 3.2.6.2-2 のように中押管SとTの間をつめると共に、Sはモルタル等により管内面と同径に仕上げをする。

なお、中押管の継手部から侵入水等がある場合は、滑剤注入孔より止水滑剤等を注入して止水することができる。

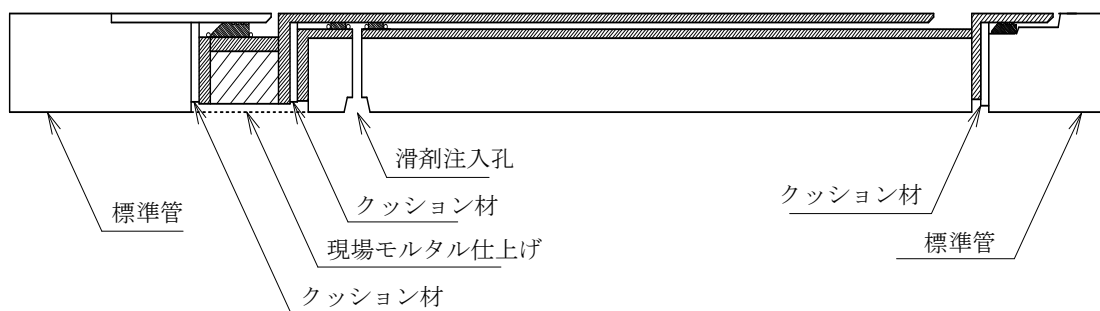


図 3.2.6.2-2 推進完了後の中押管

2.7 施工上の留意点

推進管が施工中に破損する原因は種々なものがあり、いくつかの原因が重なって生じることがある。破損がひどくなると修正が困難となるので、常にその防止に努めなければならない。

推進管が施工中に破損する主な原因としては、次のようなものがある。

2.7.1 推進力によるもの

(1) 加圧方法

変形した押輪や剛性不足の押輪を用いた場合には、管端に加わる荷重が均等とならないため、管の破損を生じることがある。

また、推進力の方向が片寄っていると偏圧力となり、同様に管破損の原因ともなる。特に、管径が大きくなると、偏圧力等によって管軸方向にひび割れが生じることがあるので、注意が必要である。

(2) 方向修正

方向修正等によって、管と管との接触面積が小さくなり、荷重が集中するのでこの箇所には破損が生じる場合がある。方向修正にあたっては急激な修正を避けなければならない。

なお、小口径管では胴折れを生じることがあるので注意が必要である。

(3) 刃口の変形

推進施工中に先導体が外圧等によって変形を起こすことがある。変形した刃口をそのまま用いると、図 3.2.7.1-1 に示すように管に土圧が加わり破損する。使用前に点検、整備を行うことが大切である。

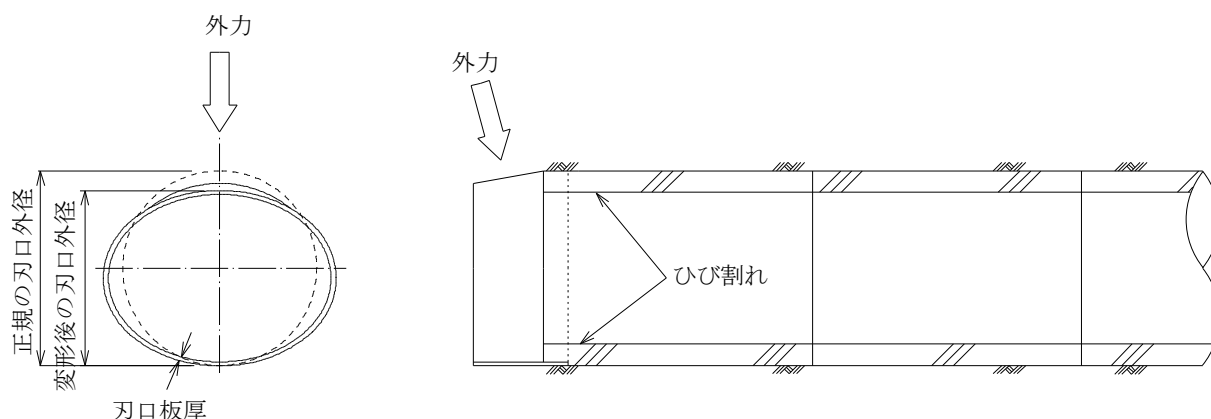


図 3.2.7.1-1 刃口の変形による破損

2.7.2 外圧によるもの

(1) 土圧荷重

推進工法の場合、管の有効支承角は 120 度程度と考えられているが、先掘り、余掘りなどの影響によってこの支承角が小さくなり、外力が管の許容耐荷力を上回ると、破損が生じることがある。

(2) 障害物

推進路線は、あらかじめ土質調査や地下埋設物の調査を行うが、転石や構造物の残がい等に遭遇し、集中荷重が生じ管が破損することがある。(図 3.2.7.2-1 参照)

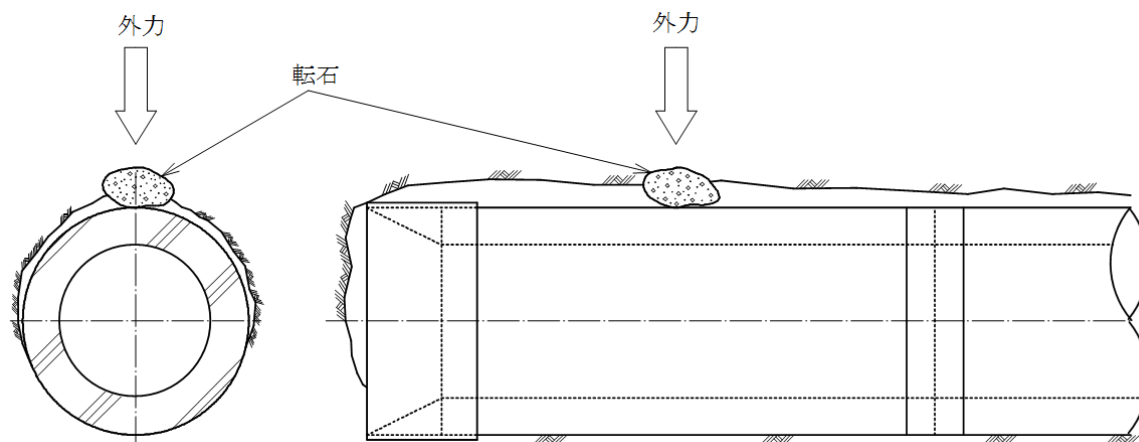


図 3.2.7.2-1 転石による管の破損

第3章 管路の補修方法

3.1 管体

3.1.1 外圧管路

外圧管路では、特別な場合を除いて、管を取り替える必要のない場合がほとんどである。重要性の高い管路やひび割れ幅が極めて大きい場合は、コンクリート巻き立てなどによる補強を行うこともある。ひび割れ幅が小さい場合には、簡単な補修を行うことが多い。補修方法には、ひび割れ被覆工法、注入工法および充てん工法などがあり、それらの概要を参考として本編の末尾に示した。また、ひび割れと耐久性などについても、参考として示した。

3.1.2 推進工法による管路

推進工法における事故のうち、管体のひび割れについては外圧管路の場合と同様に取り扱ってよいが、推進途中において管端に座屈の生じた場合は、その管を解体して撤去することもある。

3.1.3 内圧管路

内圧管路においてひび割れの生じた場合は、原則として、事故の発生した管の取り替えを行うことが望ましい。

B形およびNC形の場合は、破損管を切断して取り除いた後、新しい短管と鋼製バンドの組み合わせによって置き換える方法がとられる。図 3.3.1.3-1 に補修の一例を示す。

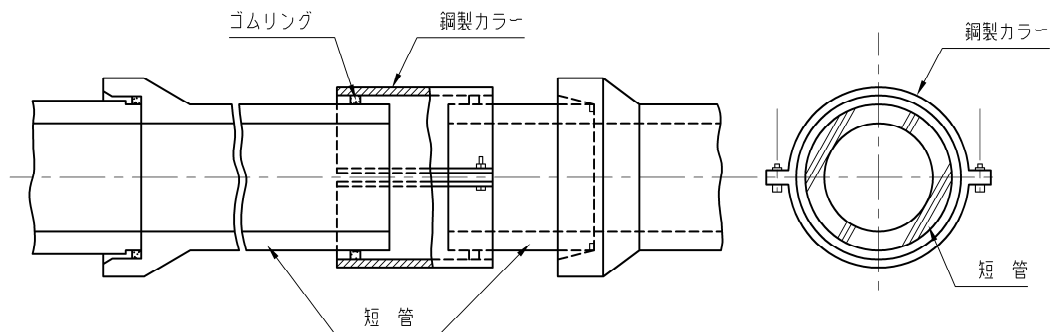


図 3.3.1.3-1 管路補修例

取り替えの困難な場合には、十分な補強を行う必要がある。

管を取り替えずに補強を行う場合、管軸方向のひび割れに対しては、管体全体をコンクリートによって巻き立てるか、鋼製バンドによってたが状に締め付ける。大口径の場合は、ひび割れの部分をUカットし、エポキシ樹脂や樹脂モルタルを充填して修理するのがよい。

円周方向のひび割れに対しては、鋼製リングを外周にはめてカラーとし、管体との隙間（A形のランニングスペースと同程度）をコンポーキングを行って、補強及び止水を行う。特殊な例としては、管の内面に鋼製リングを入れ、上記と同じ方法によってコーキングすることがある。

3.2 継手

3.2.1 外圧管

- (1) 外圧管では、地下水の浸入に対して継手部にモルタルを充てんする補修方法が最も一般的であるが、地下水位が高く止水がなかなか困難な場合には、図 3.3.2.1-1 のように継手の内側から弾性シーリング材をつめた後、内面まで樹脂モルタルを充てんして仕上げる方法が一般的に行われる。
- (2) 継手の拔出量が許容値をこえているような時には、侵入水が認められない場合でも、図 3.3.2.1-2 に示すような措置をしておくのがよいが、この場合のモルタルは貧配合のものでよい。

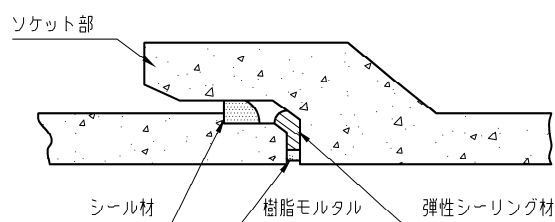


図 3.3.2.1-1 継ぎ手部止水方法

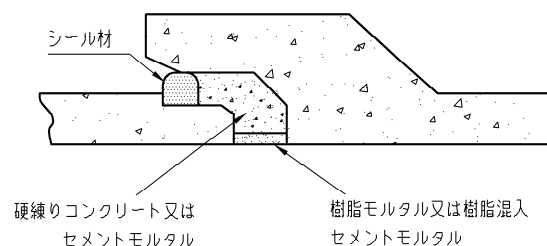


図 3.3.2.1-2 継ぎ手部拔出しの場合の止水方法

3.2.1 内圧管

内圧管の場合は、継手部試験により漏水が判明するが、その場合には、図 3.3.2.1-1 のように継手の内側から弾性シーリング材をつめた後、内面まで樹脂モルタルを充てんして仕上げる方法が一般的に行われる。

管内作業のできない小・中口径管の場合には、漏水箇所を掘削して、外面から同じように行う。圧力が高く、上記の補修程度で不十分な場合には、継手部外周をコンクリートで巻く方法も用いられる。

「参考」コンクリートのひび割れの補修方法および耐久性について

1. ひび割れの補修工法

ひび割れ補修の目的は、ひび割れによるコンクリート構造物の性能低下を回復させることである。そのため、ひび割れ調査の結果に基づいて、ひび割れの原因、進行の程度などを十分に検討し、補修の目的に最も適した補修工法を選定することが肝要である。

ひび割れの補修は、主として防水性、耐久性の回復を目的として行う。また、補修の範囲・規模などは補修の目的を満足する範囲で経済性を考慮して決定する必要がある、補修工法には以下の方法がある。

(1) ひび割れ被覆工法

ひび割れ被覆工法とは、微細なひび割れ（一般に幅 0.2mm以下）の上に塗膜を構成させ、防水性、耐久性を向上させる目的で行われる工法で、ひび割れ部分のみを被覆する方法である。

(2) 注入工法

注入工法とは、ひび割れに樹脂系あるいはセメント系の材料を注入して、防水性、耐久性を向上させるものであり、仕上げ材がコンクリートの躯体から浮いている場合の補修にも採用される。現在では、低圧低速注入工法として器具を用いて注入圧力 0.4MPa 以下の低圧で、かつ低速で注入する工法が主流となっており、ひび割れ深部のひび割れ幅が 0.05mm と狭い場合でも、確実に注入することが可能となっている。

(3) 充てん工法

充てん工法とは、0.5mm以上の比較的大きな幅のひび割れ、かつ、鉄筋が腐食していない場合の補修に適する工法で、ひび割れに沿ってU字形にコンクリートをカットし、その部分に補修材を充てんする方法である。

ひび割れに沿って約 10mmの幅でコンクリートをU字形にカットした後、このカットした部分にシーリング材、可とう性エポキシ樹脂、ポリマーセメントモルタルなどを充てんし、ひび割れを補修する。

これらひび割れ補修工法以外コンクリートの補修工法として断面修復工法、表面被覆工法、はく落防止工法などがある。

2. ひび割れの補修材料

補修材料の種類として、有機系材料（合成樹脂、合成ゴム、合成繊維）、ポリマーセメント系材料（モルタルの練混ぜ水の一部を合成樹脂エマルジョンなどに置換したもの）、セメント系材料（セメントをベースにしたプレミックス材料）および繊維系材料（炭素繊維、ガラス繊維などの無機系繊維とポリアミド系などの有機系繊維）などがある。

補修工法に適した補修材料および特徴は以下のとおりである。

(1) ひび割れ被覆材料

ひび割れ被覆工法に用いられる材料は塗膜弾性防水材、ポリマーセメントペースト、セメントフィラーなどが用いられる。

施工に当たってはコンクリート表面をワイヤブラシ等で目荒らしし、表面の付着物を取り除き、水洗い乾燥後補修材料にてひび割れ部分を被覆する。

この方法は被覆材の厚みが小さいので経年劣化、仕上げ材との付着力、色違い、色むらなどに配慮する必要がある。

(2) ひび割れ補修用の注入材

ひび割れ補修用の注入材には、エポキシ樹脂やアクリル樹脂などの有機系、セメント系、ポリマーセメント系がある。

エポキシ樹脂系注入材の品質規格は J I S A 6024「建築補修用注入エポキシ樹脂」に規定され、強度、性状および施工時期による区分がある。

注入に当たってはひび割れが湿潤している場合には、水によって硬化阻害を生じたり、接着性が劣るなどの問題がある。

セメント系やポリマーセメント系注入材では、超微粒子セメントをベースにした注入材が開発され、微細なひび割れにも注入が可能となっている。注入に当たってはひび割れが乾燥している場合には湿潤させることが重要となる。

(3) ひび割れ補修用の充てん材

ひび割れ補修用の充てん材は、ひび割れに動きがある場合とない場合で使い分ける必要がある。動きのある場合には、ウレタン樹脂やシリコン樹脂などのシーリング材や可とうエポキシ樹脂を使用する。動きのない場合には、ポリマーセメントモルタルを充てんする場合が多い。

3. ひび割れ幅による補修と耐久性

(1) ひび割れ幅による補修の要否

一般論としてコンクリート構造物に要求される性能を考慮すると、ひび割れ幅による補修の要否は、本来、構造物の重要性、環境条件および供用年数に応じて技術者が判断すべきものであるが、拠り所のない場合、調査によって得られたひび割れ幅を表 1 と照合して補修の要否の判定を行う。また、この場合はひび割れの幅だけでなく、原因、深さ、密度およびパターンを総合して判定する。

表 1 耐久性または防水性からみた補修の要否に関するひび割れ幅の限度

区分		耐久性からみた場合			防水性からみた場合
	その他の 要因 ^(注1)	環 境 ^(注2)			
		きびしい	中間	ゆるやか	—
補修を必要とするひび割れ幅 (mm)	大	0.4 以上	0.4 以上	0.6 以上	0.2 以上
	中	0.4 以上	0.6 以上	0.8 以上	0.2 以上
	小	0.6 以上	0.8 以上	1.0 以上	0.2 以上
補修を必要としないひび割れ幅 (mm)	大	0.1 以下	0.2 以下	0.2 以下	0.05 以下
	中	0.1 以下	0.2 以下	0.3 以下	0.05 以下
	小	0.2 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.05 以下

注 1 その他の要因とは、コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害の程度

注 2 環境とは、主として鋼材のさびの発生条件からみた環境条件

(2) ひび割れ幅と鉄筋の腐食の関係

コンクリートにひび割れが生じると、ひび割れを介して水分、酸素などの腐食に影響する因子が鉄筋まで容易に到達するようになるため、ひび割れと鉄筋腐食の関係は比較的古くから研究されている。表 2 は既往の調査・試験における鉄筋コンクリートのひび割れと鉄筋の腐食の結果を取りまとめたものである。これらの結果は一般に暴露試験終了時の一時点での鉄筋腐食状況の観察によって結論が導かれており、ひび割れと鉄筋腐食の関係は必ずしも十分に把握されていない。

表 2 ひび割れ幅と鉄筋の腐食に関する試験結果

研究者	供試体形状	暴露条件	試験結果
Tremper	形状：20.3×20.3×3.8 c m 鉄筋：焼なまし鉄線（φ 1.6mm） 冷間引抜き鋼線（φ 6mm） 異形丸鋼（φ 4.5mm） コンクリート：W/C=0.40,0.58,0.76 かぶり：2.9,3.0,3.1 c m 供試体にひび割れを発生させボルトで固定 持続ひび割れ幅 0.13,0.25,0.50,1.3mm	10 年間屋外（海岸線）に 暴露 気候温暖 雨量 1295mm/年	ひび割れ幅が 0.13～1.3mmではすべての鉄筋が腐食腐食そのものは重大なものではない。 コンクリートの品質やひび割れ幅と腐食に明確な関係は認められない。
Shalon& Raphael	形状：7×7×14 c m、かぶり 2 c m 形状：10×10×50 c m、かぶり 2,4 c m 鉄筋：軟鋼 φ 6mm コンクリート：W/C=0.60 C=300kg/m ³	5 ヲ所（Israel）に暴露 A：高温、高湿 B：砂漠 C：高温、高湿（昼夜を問わず） D：温度、湿度変化大 E：地中海沿岸	ひび割れ幅が 0.15mm以上で鉄筋が腐食 雨量、温度、相対湿度のうち、もっとも腐食に影響するのは相対湿度。ひび割れ幅が大きいほど腐食は進行する。 ひび割れ幅と孔食に関係はない。

研究者	供試体形状	暴露条件	試験結果
神山	形状：両引き供試体 (l=60 c m) 鉄筋：SR35,SD35 φ 13、φ 16、φ 19、φ 25mm コンクリート：W/C=0.55 かぶり：2.5、3.0、5.0、7.5 c m 載荷したのち荷重を解放	6～8 年間東京の屋外に暴露	かぶり 2.5 c mのものは 137N/mm ² 、残留ひび割れ幅 0.01m mでも腐食する。かぶり 5.0、7.5 c mのものは 255N/mm ² の後の残留ひび割れ幅でも腐食を生じない。 かぶりがさび発生に重要な関連
関・丸山	RC はり供試体 形状：15×30×180 c m 鉄筋：丸鋼 φ 13mm コンクリート：W/C=0.44～0.78 かぶり：1.5 c m 載荷したのち荷重を解放	9 年間暴露 感潮部、海水中を再現した水槽に浸漬 気候は温和	鉄筋の引張耐力にたいする影響は軽微であり、顕著な腐食は生じないひび割れ幅の限界は、感潮部浸漬：0.15mm 海水中浸漬：0.20mm
西山・秋元・富沢	RC はり供試体 ひび割れ (0.1、0.2,0.3mm) 持続載荷してひび割れ幅を保持	東京の屋外に 2 年間暴露	同一ひび割れでも、かぶりが大きくなると腐食は生じない。 暴露 1～2 年でははりの耐力低下はない。
片脇ほか	形状：20×20×75、20×20×150、30×30×150 鉄筋：SR24、φ 16mm 持続載荷してひび割れ幅を保持	3 年間経過 東京湾上の暴露台、大気暴露、大気～海中暴露などの条件	ひび割れ幅が大きいほど腐食しやすい傾向。 軽微な腐食にとどまるひび割れ幅の値は 0.1mm 程度。
西田・杉木・富山	形状：22×20×5 c m (φ 6mm埋込) 22×20×6 c m (φ 13mm埋込) かぶり：φ 6mmで 1.3,2.0 c m φ 13mmで 2.0,2.5 c m 供試体にひび割れを発生させボルトで固定 持続ひび割れ幅：0.05～0.5mm	降雪地帯に 20 年間暴露	ひび割れ幅が 0.1mm以下では鉄筋の腐食程度は軽度である。 ひび割れ幅が 0.2～0.3mmでは、腐食は進行するが鉄筋の断面減少による鉄筋耐力への影響は小さい。

研究者	供試体形状	暴露条件	試験結果
鳥取・土田・宮川	形状：22×20×5 c m（φ 6mm埋込） 22×20×6 c m（φ 13mm埋込） かぶり：φ 6mmで 1.3、2.0 c m φ 13mmで 2.0、2.5 c m 供試体にひび割れを発生させボルトで固定 持続ひび割れ幅：0.05～0.5mm	降雪地帯に 42 年間暴露	ひび割れ幅が 0.2mm以下では鉄筋の腐食程度はやや軽微であるものの、いずれのひび割れ幅のレベルにおいても鉄筋の腐食の程度は同じ。 ひび割れ幅と鉄筋腐食の程度とは関係がない

暴露試験終了時の一時点のみでなく、経時的に鉄筋腐食状況が調査された事例として、首都高速道路公団によって行われた暴露試験が挙げられる。この試験においては、経年 1,2,5,10,15,20 年の時点で調査が行われており、鉄筋の発せい時期が表 3 のようにまとめられている。この結果より、同一のひび割れ幅ならばかぶり（厚さ）が大きいほど鉄筋の発せいが遅くなり、同一のかぶり（厚さ）の場合にはひび割れ幅が小さいほど発せいが遅くなることが示されている。すなわち、腐食の開始時期にはかぶり（厚さ）とひび割れ幅が関係する結果となっている。

表 3 鉄筋の発せい時期

暴露年数	発せいした鉄筋のかぶりおよびひび割れ幅
1 年	ひび割れ幅 0.3mm、かぶり 2 c mが発せい
2 年	ひび割れ幅 0.3mm、かぶり 3 c mが発せい
5 年	ひび割れ幅 0.3mm、かぶり 6.5 c mが発せい ひび割れ幅 0.2mm、かぶり 3 c mが発せい
10 年	ひび割れ幅 0.1mm、かぶり 3 c mが発せい

4. 許容ひび割れ幅

コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針および土木学会コンクリート標準仕様書では、表 4 のとおり、かぶり（厚さ）がおおきくなれば許容ひび割れ幅は大きくなると考えて、許容ひび割れ幅をかぶり（厚さ）C の関数として示している。

表 4 許容ひび割れ幅

(単位mm)

環境条件の区分	指針	厳しい		中間	ゆるやか
	土木学会	特に厳しい 腐食性環境	腐食性環境	一般の環境	(屋内等)
土木学会による許容ひび割れ幅		0.0035C	0.004C	0.005C	—
かぶり	小 (40mm以下)	0.1 (0.14以下) (0.14以下)		0.2 (0.20以下)	0.2 (—)
	中 (40～70mm)	0.1 (0.14～0.25) (0.16～0.28)		0.2 (0.2～0.35)	0.3 (—)
	大 (70～100mm)	0.2 (0.25～0.35) (0.28～0.40)		0.3 (0.35～0.50)	0.3 (—)

備考 特に厳しい腐食環境

1. 鋼材の腐食に著しく有害な影響を与える場合等
2. 海洋コンクリート構造物で干満帯や飛沫帯にある場合、および激しい潮風を受ける場合等

腐食性環境

1. 一般の環境に比較し、乾湿の繰返しが多い場合、および特に有害な物質を含む地下水位以下の土中
の場合など鋼材の腐食に有害な影響を与える場合等
2. 海洋コンクリート構造物で、海水中や特に厳しくない海洋環境下にある場合等

一般の環境

通常の屋外の場合、土中の場合等

C:かぶり (mm)

() 内は土木学会コンクリート標準仕様書によって計算した許容ひび割れ幅

以上「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針・2003-」(社)日本コンクリート工学協会より抜粋

J I S A5303-1993 遠心力鉄筋コンクリート管解説によると、「一般に、管きょに用いられる鉄筋コンクリート管では、幅 0.25mm程度のひび割れがあっても、鉄筋は容易に腐食しないことが内外の実績から判明しているので、許されるひび割れ幅は、0.25mm程度とされている。」とある。また、曲げ試験のひび割れ判定基準である幅 0.05mmは目視限界であり、許容ひび割れ幅が 0.05mmではない。

計 算 例

1. マーストンの式（正の突出型）による呼び径 1000 の検討

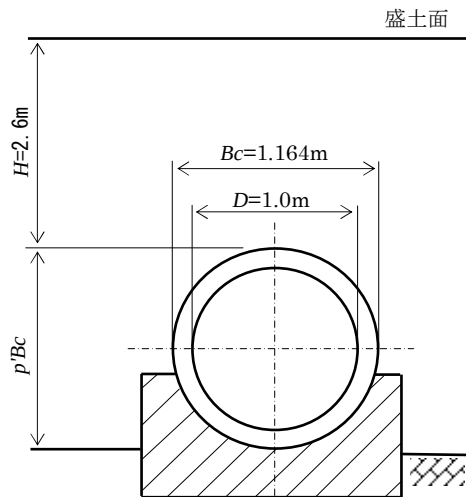


図 2. 2. 1. 5-1

設計条件

埋設形式：盛土

土かぶり：H=2.6 m

管の内径：D=1000 mm

管の外径：Bc=1.164 m

基礎：120° コンクリート基礎

埋戻し土の単位体積重量：γ = 18 kN/m³

埋戻し土の内部摩擦角度：φ = 30°

活荷重：T荷重（後輪荷重 100 kN）

沈下比：δ = 0.7

突出比：p' = 1.0

1) 管に作用する鉛直土厚の算定

式 2. 2. 3. 1. 1-3 により等沈下面の位置 H_e を求める。沈下比 δ = 0.7、突出比 p' = 1.0 のため、表 2. 2. 3. 1. 1-1 より、

$$H_e \doteq 1.7 \times B_c = 1.7 \times 1.164 = 1.979 \text{ m}$$

となる。

したがって、 $H > H_e$ となり、式 2. 2. 3. 1. 1-2 より

$$\beta = \frac{2k \cdot \mu}{B_c}$$

ここに $\mu = \tan \phi = \tan 30^\circ = 0.5774$

$$K = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu} = 0.3333$$

$$K \cdot \mu = 0.1924$$

$$\beta = \frac{2 \times 0.1924}{1.164} = 0.331$$

$$C_c = \frac{e^{\beta \cdot H_e} - 1}{2K \cdot \mu} + \left(\frac{H - H_e}{B_c} \right) e^{\beta \cdot H_e}$$

$$= \frac{e^{(0.331 \times 1.979)} - 1}{2 \times 0.1924} + \left(\frac{2.6 - 1.979}{1.164} \right) e^{(0.331 \times 1.979)}$$

$$= 2.404 + 1.027 = 3.431$$

鉛直土圧は

$$P_e = C_c \cdot \gamma \cdot B_c = 3.431 \times 18 \times 1.164 = 71.89 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

となる。

2) 管に作用する活荷重の算定

式 2.2.2.1-1 より

$$P_l = \frac{2 \times 100 \times (1+i) \times \beta}{2.75 \times (2 \times 2.6 + 0.2)}$$

ここで 表 2.2.2.1-1 より $i = 0.65 - 0.1 \times 2.6 = 0.39$ 、

表 2.2.2.1-2 より $\beta = 0.9$

$$= \frac{2 \times 100 \times 1.39 \times 0.9}{2.75 \times (5.2 + 0.2)} = 16.85 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

となる。

3) 埋設管の耐荷力の算定

式 2.2.1-4 より埋設管の耐荷力 Pr は求まる。

$$Pr = \frac{0.318 P_c \cdot r + 0.239 W \cdot r}{k \cdot r^2}$$

ここに

Pr : 埋設管の耐荷力 (kN/m²)

P_c : ひび割れ試験荷重 = 41.3 kN/m (1 種管)

r : 管厚中心までの半径 = $\frac{1.0 + 0.082}{2} = 0.541 \text{ m}$

W : 管の自重 = $\pi \times (1.0 + 0.082) \times 0.082 \times 24.0 = 6.69 \text{ kN/m}$

k : 支承条件による係数 = 0.243 (表 2.2.1-1 より)

$$Pr = \frac{0.318 \times 41.3 \times 0.541 + 0.239 \times 6.69 \times 0.541}{0.243 \times 0.541^2}$$

$$= 112.06 \text{ kN/m}^2$$

4) 安全性の確認

管に作用する鉛直土圧 Pe と活荷重 P_l の和を管の耐荷力 Pr と比較すると

$$Pe + P_l = 71.89 + 16.85 = 88.74 \text{ kN/m}^2$$

となる。

安全率は

$$S = \frac{Pr}{Pe + P_l} = 1.26$$

となる。

2. 下水道協会式による呼び径 400 の検討

設計条件

埋設形式 : 溝型, 矢板引抜き行う場合

土かぶり : $H=3.0\text{m}$

堀削幅 : $B_d=1.6\text{m}$

管の内径 : $D=400\text{mm}$

管の外径 : $B_c=0.47\text{m}$

基礎 : 180° コンクリート基礎

基礎幅 : $B_b=0.7\text{m}$

基礎高さ : $C_h=0.39\text{m}$

θ : 有効支承角の $1/2=90^\circ$

埋戻し土の単位体積重量 : $\gamma=18\text{kN/m}^3$

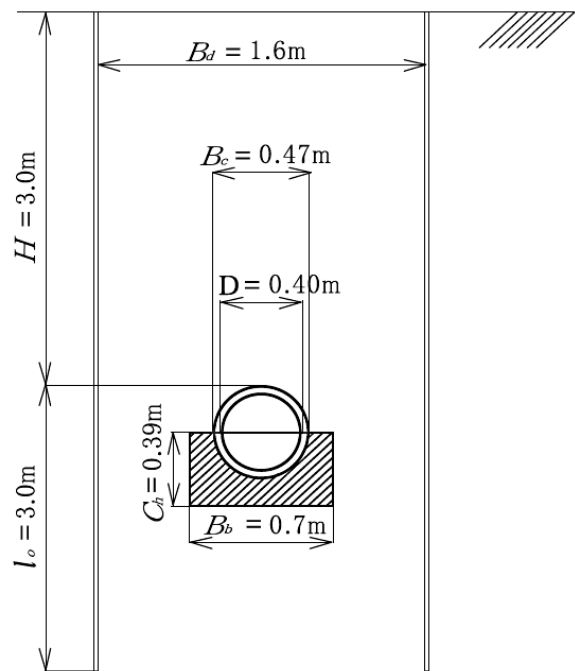
埋戻し土の内部摩擦角 : $\phi=35^\circ$

埋もどし土の変形係数 : $E_1=19600\text{ kN/m}^2$

地盤の変形係数 : $E_0=9800\text{ kN/m}^2$

管頂から矢板先端までの長さ : $l_0=3.0\text{m}$

活荷重 : T 荷重 (後輪荷重 100kN)



1) 管に作用する鉛直土圧の算定

$$B_b = 0.7\text{m} > B_c = 0.47\text{m}$$

式 2.2.3.1.2-8, 式 2.2.3.1.2-9 及び式 2.2.3.1.2-10 より

$$B_{e1} = l_0 \tan(45^\circ - \phi/2) = 3.0 \times \tan 27.5^\circ = 1.562\text{m}$$

$$\begin{aligned} B_{e2} &= \frac{B_d - B_c \tan\{(45^\circ + \phi/2)/2\}}{2} \\ &= \frac{1.6 - 0.47 \times \tan 31.25^\circ}{2} = 0.657\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{e3} &= \frac{B_d - B_b + B_c (1 + \cos \theta) \tan(45^\circ - \phi/2)}{2} \\ &= \frac{1.6 - 0.7 + 0.47 \times (1 + \cos 90^\circ) \tan 27.5^\circ}{2} = 0.572\text{m} \end{aligned}$$

したがって B_e は $B_{e1} \sim B_{e3}$ の最小値より

$$B_e = 0.572\text{m} \quad \text{となる。}$$

次に、基礎コンクリート下部基礎地盤の反力係数 K_{01} と基礎コンクリート側部下部地盤の反力係数 K_{02} を求める。

$$K_{01} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{B_b}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}} = \frac{9800}{0.3} \left(\frac{0.7}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}} = 17303 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$A_{c2} \text{ に対して} \quad K_{02} = \frac{E_0}{0.3} \left\{ \frac{(H_1 - H_B) \tan \phi}{0.3} \right\}^{-\frac{3}{4}}$$

$$\text{ここに} \quad H_1 = \frac{B_d - B_c}{2 \tan \phi} = \frac{1.6 - 0.47}{2 \tan 35^\circ} = 0.807 \text{ m}$$

$$H_B = \frac{B_b - B_c}{2 \tan \phi} = \frac{0.7 - 0.47}{2 \tan 35^\circ} = 0.164 \text{ m}$$

$$K_{02} = \frac{9800}{0.3} \left\{ \frac{(0.807 - 0.164) * \tan 35^\circ}{0.3} \right\}^{-\frac{3}{4}} = 24097 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$A_{c3} \text{ に対して} \quad K_{02} = \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{B_d - B_b}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

$$= \frac{9800}{0.3} \times \left(\frac{1.6 - 0.7}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}} = 14331 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$A_{c2} = \frac{1}{K_{02}} + \frac{1}{E_g} \left\{ \frac{B_c}{2} (1 + \cos \phi) + C_h \right\}$$

$$= \frac{1}{24097} + \frac{1}{19600} \left\{ \frac{0.47}{2} (1 + \cos 90^\circ) + 0.39 \right\} = 0.0000734$$

$$A_{c3} = \frac{1}{K_{02}} + \frac{1}{E_g} \left\{ \frac{B_c}{2} (1 + \cos \phi) + C_h \right\}$$

$$= \frac{1}{14331} + \frac{1}{19600} \left\{ \frac{0.47}{2} (1 + \cos 90^\circ) + 0.39 \right\} = 0.000102$$

次に土圧分担係数 ψ_{c2}, ψ_{c3} を求める

$$\begin{aligned}\psi_{c2} &= \frac{A_{c2}}{A_{c2} + (H_1 - H_B) \tan \phi / (K_{01} B_b)} \\ &= \frac{0.0000734}{0.0000734 + (0.807 - 0.164) \tan 35^\circ / (17303 \times 0.7)} = 0.664\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\psi_{c3} &= \frac{A_{c3}}{A_{c3} + (B_d - B_b) / (K_{01} B_b)} \\ &= \frac{0.000102}{0.000102 + (1.6 - 0.7) / (17303 \times 0.7)} = 0.578\end{aligned}$$

$H > H_1$ ($H = 3.00m, H_1 = 0.807m$) のため

$$\begin{aligned}q_1 &= \frac{\gamma [H_B (B_c + H_B \tan \phi) + (H_1 - H_B) \{B_c + (H_B + H_1) \tan \phi\} \psi_{c2} + (H - H_1) B_d \psi_{c3}]}{B_c} \\ &= \frac{18 \times \left[0.164 \times (0.470 + 0.164 \times \tan 35^\circ) + (0.807 - 0.164) \times \{ (0.47 + (0.164 + 0.807) \times \tan 35^\circ) \} \times 0.664 + (3.0 - 0.807) \times 1.6 \times 0.578 \right]}{0.470} \\ &= 100.11 kN / m^2\end{aligned}$$

$$q_2 = \frac{\gamma H_B}{2} = \frac{18 \times 0.164}{2} = 1.48 kN / m^2$$

$$\begin{aligned}q_3 &= \frac{\gamma (H_1 - H_B) [B_d - \{B_c + (H_B + H_1) \tan \phi\} \psi_{c2}] + \gamma (H - H_1) B_d (1 - \psi_{c3})}{B_d - B_b} + \gamma H_B \\ &= \frac{18 \times (0.807 - 0.164) \times [1.6 - \{0.47 + (0.164 + 0.807) \times \tan 35^\circ\} \times 0.664]}{1.6 - 0.7} \\ &\quad + \frac{18 \times (3.0 - 0.807) \times 1.6 \times (1 - 0.578)}{1.6 - 0.7} + 18 \times 0.164 = 43.34 kN/m\end{aligned}$$

となる。

したがって、管に作用する鉛直土圧 p_e は、

$$\frac{B_d - B_b}{2} = 0.45m, B_e = 0.572m, \frac{B_d - B_c}{2} = 0.565m$$

より $B_e > \frac{B_d - B_c}{2}$ となり、式 2.2.3.1.2.-13 より求める。

$$P_e = \frac{\alpha \gamma H B_d}{B_d - B_e - \left\{ (1 - \xi)(B_d - B_c)^2 + (\xi - \zeta)(B_d - B_b)^2 \right\} / 4 B_e}$$

ここに

$$\xi = \frac{q_2}{q_1} = \frac{1.48}{100.81} = 0.0148$$

$$\zeta = \frac{q_3}{q_1} = \frac{43.34}{100.11} = 0.433$$

α : 補正係数 = 1.1

$$P_e = \frac{1.1 \times 18 \times 3.0 \times 1.6}{1.6 - 0.572 - \frac{\left\{ (1 - 0.0148)(1.6 - 0.47)^2 + (0.0148 - 0.433)(1.6 - 0.7)^2 \right\}}{4 \times 0.572}} = 151.80 \text{ kN} / \text{m}^2$$

2) 管に作用する活荷重の算定

(2.26) 式より

$$\begin{aligned} P_l &= \frac{2 \times 100 \times (1 + i) \times \beta}{2.75 \times (2 \times 3.0 + 0.2)} \\ &= \frac{2 \times 100 \times 1.35 \times 0.9}{2.75 \times (6.0 + 0.2)} = 14.252 \text{ kN} / \text{m}^2 \end{aligned}$$

ここに 表 2.2.2.1-1 より $i = 0.65 - 0.1 \times 3.0 = 0.35$ 、表 2.2.2.1-2 より $\beta = 0.9$ となる。

3) 埋設管の耐荷力の算定

式 2.2.1-4 より、埋設管の耐荷力 P_r を求める。

$$P_r = \frac{0.318 \cdot P_c \cdot r + 0.239 \cdot W \cdot r}{k \cdot r^2}$$

ここに

P_r : 埋設管の耐荷力 (kN/m^2)

P_c : ひび割れ試験荷重 = $32.4 kN/m$ (2 種管)

r : 管厚中心までの半径 = $\frac{0.4 + 0.035}{2} = 0.2175m$

W : 管の自重 = $\pi \times (0.4 + 0.035) \times 0.035 \times 24.0 = 1.15kN / m$

k : 支承条件による係数 = 0.220 (表 2. 2. 1-1 より)

$$P_r = \frac{0.318 \times 32.4 \times 0.2175 + 0.239 \times 1.15 \times 0.2175}{0.22 \times 0.2175^2}$$
$$= 221.07kN / m^2$$

4) 安全性の確認

管に作用する鉛直土圧 P_e と活荷重 P_l の和は

$$P_e + P_l = 151.80 + 14.25 = 166.05kN / m^2$$

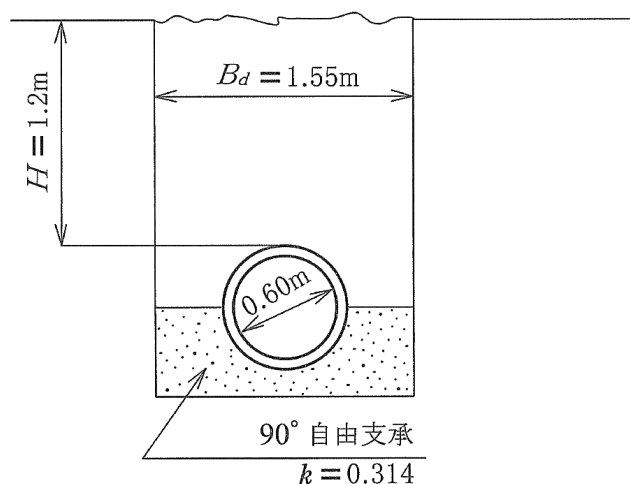
となる。

安全率は

$$s = \frac{P_r}{P_e + P_l} = 1.33$$

となる。

3. マーストンの式(溝型)による呼び径 600 内圧管の検討



設計条件

設計内圧	: $H_{pd} = 0.2 \text{ MPa}$
埋設形式	: 溝型
土かぶり	: $H = 1.2m$
掘削幅	: $B_d = 1.55m$
土の単位重量	: $\gamma = 18kN/m^3$
内部摩擦角	: $\phi = 30^\circ$
$K\mu'$	: 0.1924
活荷重	: なし

基礎条件

90° 自由支承	: $k = 0.314$
-----------------	---------------

1) 管種の仮定

設計内圧 H_{pd} に安全率 S_H を乗じて、管の規格試験水圧を選定し、予め管種を仮定する。

$$H_{pd} \times S_H = 0.2 \times 1.5 = 0.3 \text{ MPa}$$

表 1.4.3.1-1 及び表 1.4.3.2-1 より

仮定管種を 4K 管 ($H_C = 0.4 \text{ MPa}$, $P_C = 32.4 \text{ kN/m}$) とする。

2) 許容外圧線荷重 P_{Ha}

仮定した管種 (4K) から P_{Ha} を算定する。

$$P_{Ha} = \frac{P_c}{S_p} \sqrt[3]{\left[1 - \frac{H_{pd}}{H_C/S_H}\right]^2} = \frac{32.4}{1.5} \sqrt[3]{\left[1 - \frac{0.2}{0.4/1.5}\right]^2} = 8.57kN/m$$

3) 埋設管に生じる曲げモーメント M

マーストンの式(溝型)より、管にかかる鉛直土圧 P_e は

$$p_e = C_d \gamma \frac{B_d^2}{B_c}$$

$$C_d = 0.67$$

$$P_e = 0.67 \times 18 \times \frac{1.55^2}{0.7} = 41.39kN/m^2$$

となる。

埋設管に生じる曲げモーメント M は

$$M = k p_e r^2 \quad (r = 0.325m)$$

$$= 0.314 \times 41.39 \times 0.325^2 = 1.373 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

となる。

4) 埋設管に生じる曲げモーメントの線荷重への換算

$$P = \frac{M}{0.318r} = \frac{1.373}{0.318 \times 0.325} = 13.28 \text{ kN} / \text{m}$$

5) 安全性の確認

埋設管に生じる曲げモーメントの線荷重 P と許容外圧線荷重 P_{Ha} を比較すると

$$P = 13.28 \text{ kN/m} > P_{Ha} = 8.57 \text{ kN/m} \quad \text{となり再検討を行う。}$$

6) 再検討

埋設条件を変更せず行う。

仮定管種を 6K 管にて検討を行う。

仮定管種を 6K 管 ($H_C = 0.6 \text{ MPa}$ 、 $P_C = 36.3 \text{ kN/m}$) として再検討を行うと以下の通りとなる。

① 許容外圧線荷重 P_{Ha}

$$P_{Ha} = \frac{36.3}{1.5} \sqrt[3]{\left[1 - \frac{0.2}{0.6/1.5}\right]^2} = 15.25 \text{ kN} / \text{m}$$

② 安全性の確認

$$P = 13.28 \text{ kN/m} \leq P_{Ha} = 15.25 \text{ kN/m} \quad \text{となり、6K 管とする。}$$

4. 360° コンクリート巻立ての計算例

4.1. 設計条件

1) 管にかかる外圧荷重

呼び径 600、巻立て厚さ 150mm

管頂からの土かぶり $H_0 = 10.00m$

巻立て管の土かぶり $H = 9.85m$

マーストンの式(正の突出型)により鉛直荷重を求める。

土かぶり $H = 9.85m$

土の単位重量 $\gamma = 18kN/m^3$

土の内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$

沈下比、突出比 $\delta \cdot p' = 0.7$

鉛直土圧 $p_e = 330.21kN/m^2$

活荷重 $p_l = 3.29kN/m^2$ (T荷重 後輪荷重100kN)

外圧荷重 $p = 333.50kN/m^2$

2) ヒューム管：呼び径 600 種類 外圧管 1種

管内径 $d_h = 600mm$

厚さ $t_h = 50mm$

管のひび割れ試験荷重 $P_t = 29.5kN/m$

管の単位長さ当たり自重 $W_h = 2.45kN/m$

管厚中心半径 $r = 0.3250m$

管の保証モーメント $M = 0.318P_t \cdot r + 0.239W_h \cdot r = 3.2392kN \cdot m/m$

コンクリート

設計基準強度 $f'_{ckh} = 50N/mm^2$

ヤング係数 $E_h = 33kN/mm^2$

圧縮破壊ひずみ $\epsilon'_{cuh} = 0.0035$

比重(密度) $\rho_h = 24.0kN/m^3$

設計曲げ強度 $f_{bh} = M/Z_n = 7.77N/mm^2$

管の断面係数 $Z_h = b \cdot t_h^2 / 6 = 1000 \times 50^2 / 6 = 416667mm^3$

ヒューム管の主筋

$$\text{鉄筋比} \quad (p + p') = 0.45\%$$

$$\text{鉄筋の降伏点} \quad f_{ykh} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{鉄筋のヤング係数} \quad E_{sh} = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

3) 巻立て部

$$\text{巻立て厚さ} \quad t_c = 150 \text{ mm}$$

コンクリート

$$\text{設計基準強度} \quad f'_{ckc} = 18 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{ヤング係数} \quad E_c = 22 \text{ kN/mm}^2$$

$$\text{圧縮破壊ひずみ} \quad \epsilon'_{cuc} = 0.0035$$

$$\text{比重（密度）} \quad p_c = 23.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{設計曲げ強度} \quad f_{bc} = 2.885 \text{ N/mm}^2 (f_{bc} = 0.42 f'_{ckc}{}^{2/3})$$

巻立て部の鉄筋 (SD295A)

$$\text{鉄筋の径} \quad D13$$

$$\text{ピッチ} \quad 200 \text{ mm}$$

$$\text{鉄筋のかぶり} \quad d_0 = 50 \text{ mm}$$

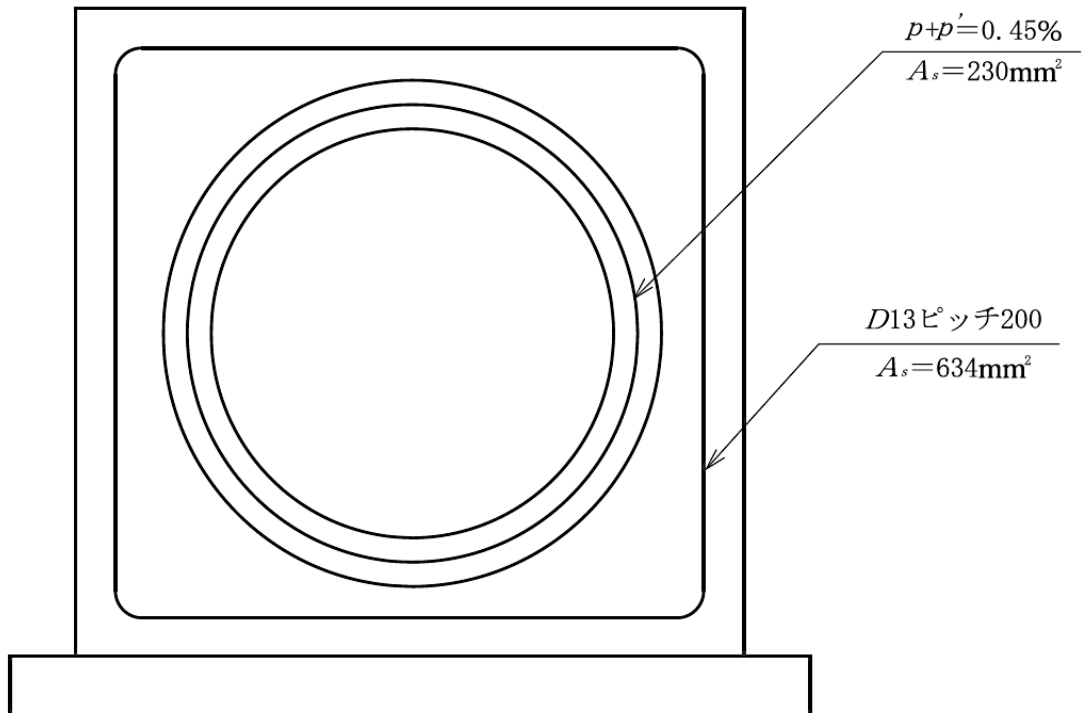
$$\text{鉄筋の降伏点} \quad f_{ykc} = 295 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{鉄筋のヤング係数} \quad E_{sc} = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$R_h = \frac{t_h}{d_h} = \frac{50}{600} = 0.083$$

$$R_c = \frac{t_c}{d_h} = \frac{150}{600} = 0.250$$

$$R_E = \frac{E_c}{E_h} = \frac{22}{33} = 0.667$$



以下、本文 2.7 に従い計算を行う。

4.2. 下部の検討

4.2.1 設計曲げモーメント M_d の計算

1) K 値の算定

$$K_p = 0.236 - 0.237R_c + 0.017R_E - 0.153R_h + 0.094R_c \cdot R_E + 0.143R_E \cdot R_h - 0.637R_c \cdot R_h$$

$$= 0.186$$

$$K_w = 0.0671 - 0.0935R_c + 0.0097R_E - 0.0653R_h + 0.0182R_c \cdot R_E$$

$$= 0.0478$$

2) 設計曲げモーメントの算定

$$R = (d_h + t_h + t_c) / 2000 = (600 + 50 + 150) / 2000 = 0.400\text{m}$$

$$M_{pd} = K_p \cdot P \cdot R^2 = 0.186 \times 333.50 \times 0.400^2 = 9.92\text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

自重

$$\text{ヒューム管 } W_h = 2.45\text{kN} / \text{m}$$

$$\text{巻き立て部 } W_c = 14.453\text{kN} / \text{m}$$

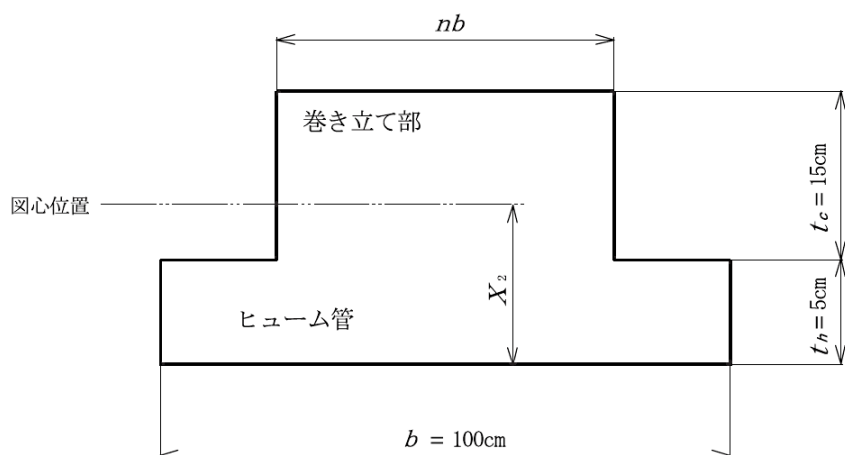
$$W = W_h + W_c = 2.45 + 14.453 = 16.903\text{kN} / \text{m}$$

$$M_{wd} = K_w \cdot W \cdot R = 0.0478 \times 16.903 \times 0.400 = 0.32\text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$M_d = M_{pd} + M_{wd} = 9.92 + 0.32 = 10.24\text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

4.2.2 使用限界状態に対する検討

(下部内面のひび割れ発生に対する安全性の検討)



$$n = R_E = 0.667$$

$$A = b \cdot t_h + n \cdot b \cdot t_c = 1000 \times 50 + 0.667 \times 1000 \times 150 = 1.5005 \times 10^5 \text{ mm}^2 / m$$

$$X_2 = \frac{(b \cdot t_h^3 / 12) + n \cdot b \cdot t_c (t_h + t_c / 2)}{A} = 92 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \cdot t_h^3}{12} + b \cdot t_h \left(X_2 - \frac{t_h}{2} \right)^2 + \frac{n \cdot b \cdot t_c^3}{12} + n \cdot b \cdot t_c (t_h + t_c / 2 - X_2)^2 = 5.314 \times 10^8 \text{ mm}^4 / m$$

$$M_d = 10.24 \text{ kN} \cdot m / m = 1.02 \times 10^7 \text{ N} \cdot mm / m$$

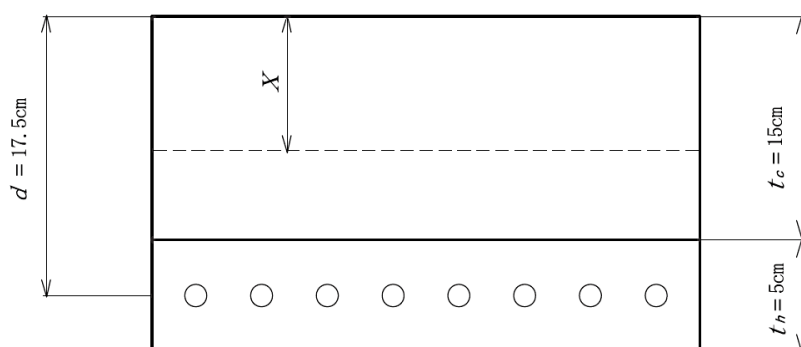
$$\sigma_{dh} = \frac{M_d}{I} X_2 = 1.77 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$\frac{f_{bh}}{\sigma_{dh}} = \frac{7.77}{1.75} = 4.39$$

4.2.3 終局限界状態に対する検討

(破壊に対する安全性の検討)

X : 中立軸迄の距離



ヒューム管の鉄筋断面積 $A_{sh} = 230mm^2$

ヒューム管の鉄筋比 p

$$p = \frac{A_{sh}}{b \cdot d} = \frac{230}{1000 \times 175} = 0.00131$$

つり合い鉄筋比 p_b

$$p_b = \frac{0.68 f'_{ckc}}{f_{ykh} (1 + \epsilon_{yh} / \epsilon'_{cuh})} = 0.01280 (\epsilon_{yh} = f_{ykh} / E_{sh} = 0.00270)$$

$p < p_b$ なので、曲げ引張破壊となる。

曲げ耐力 M_u

中立軸までの距離 X

$$C' = 0.85 f'_{ckc} \cdot b \cdot 0.8X = 68 f'_{ckc} X = 680 \times 18 \times X = 12240 X$$

$$T = A_{sh} \cdot f_{ykh} = 230 \times 540 = 1.242 \times 10^5 N / m$$

$C' = T$ より

$$X = 1.242 \times 10^5 / 12240 = 10.1mm$$

$$M_u = T(d - 0.4X) = 1.242 \times 10^5 \times (175 - 0.4 \times 10.1) = 21233232 N \cdot mm / m = 21.23 kN \cdot m / m$$

4.3. 側面部の検討

4.3.1 設計軸力 N_d 、設計曲げモーメント M_d' の計算

1) 設計軸力の算定

$$\begin{aligned} N_{pd} &= -P(d_h + 2t_h + 2t_c) / 2 \\ &= -333.50(0.600 + 2 \times 0.05 + 2 \times 0.15) / 2 = -166.75 kN / m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{wd} &= -(W_h + W_c) / 4 \\ &= -(2.45 + 14.453) / 4 = -4.23 kN / m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_d &= N_{pd} + N_{wd} \\ &= -166.75 - 4.23 = -170.98 kN / m \end{aligned}$$

2) K値の算定

$$\begin{aligned} K_p' &= -0.228 + 0.050R_c + 0.013R_E + 0.356R_h - 0.107R_c \cdot R_E - 0.350R_E \cdot R_h \\ &= -0.214 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_w' &= -0.0524 + 0.0223R_c + 0.0017R_E + 0.0878R_h - 0.0142R_c \cdot R_E - 0.0668R_E \cdot R_h \\ &= -0.0445 \end{aligned}$$

3) 設計曲げモーメントの算定

$$M'_{pd} = K'_p \cdot P \cdot R^2 \\ = -0.214 \times 333.50 \times 0.400^2 = -11.42 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$M'_{wd} = K'_w \times W \times R \\ = -0.045 \times 16.903 \times 0.400 = -0.304 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$M'_d = M'_{pd} + M'_{wd} \\ = -11.42 - 0.304 = -11.72 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$e_d = M'_d / N_d = -11.72 / -170.98 = 0.069 \text{ m} = 69 \text{ mm}$$

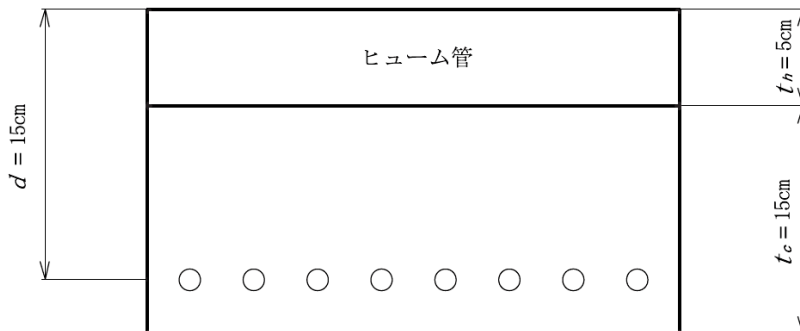
4. 3. 2 使用限界状態に対する検討

(ひび割れ発生に対する安全性の検討)

$$\sigma_{dc} = n \left\{ \frac{N_d}{A} - \frac{M'_d}{I} (t_c + t_h - X_2) \right\} = 0.83 \text{ N} / \text{mm}^2 \\ f_{bc} / \sigma_{dc} = 2.885 / 0.83 = 3.48$$

4. 3. 3 終局限界状態に対する検討

(破壊に対する安全性の検討)



圧縮鉄筋は無視し、図心は断面の中央と仮定する。

$$\text{鉄筋断面積 } A_{sc} = 634 \text{ mm}^2$$

$$p = \frac{A_{sc}}{b \cdot d} = \frac{634}{100 \times 150} = 0.00423$$

$$p_b = \frac{0.68 f'_{ckh}}{f_{yk} (1 + \epsilon_{yc} / \epsilon'_{cuc})} = 0.08232$$

$$(\epsilon_{yc} = f_{yk} / E_{sc} = 0.00140)$$

鉄筋比 p はつりあい鉄筋比 p_b 以下なので安全である。

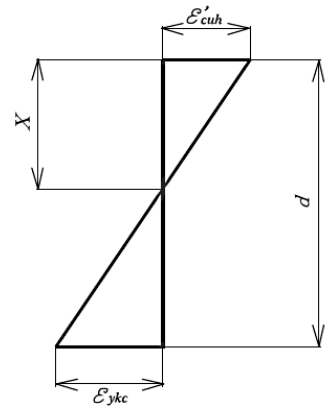
つりあい偏心率 e_b

$$\varepsilon'_{cuh} : X = (\varepsilon'_{cuh} + \varepsilon_{yc}) : d$$

$$\varepsilon'_{cuh} = 0.00350$$

$$\varepsilon_{yc} = 0.00140$$

$$X = \frac{\varepsilon'_{cuh}}{(\varepsilon'_{cuh} + \varepsilon_{yc})} \cdot d = 107\text{mm}$$



$$N'_{ub} = C'_c - T = 0.85 f'_{ckh} \cdot b \cdot 0.8X - A_{sc} \cdot f_{ykc}$$

$$= 3638000 - 187030 = 3450970\text{N} / \text{m}$$

$$M_{ub} = N'_{ub} \cdot e_b = C'_c (y_0 - 0.4X) + T(d - y_0)$$

$$y_0 = h/2 = (50 + 150)/2 = 100\text{mm}$$

$$e_b = \{C'_c (y_0 - 0.4X) + T(d - y_0)\} / N'_{ub}$$

$$= \{3638000 \times 57.2 + 187030 \times 50\} / 3450970 = 63\text{mm}$$

$$e_d = 69\text{mm} > e_b = 63\text{mm} \text{ なので鉄筋の降伏が先行する。}$$

$$N'_u = C'_c - T = 0.85 f'_{ckh} \cdot b \cdot 0.8X - A_{sc} \cdot f_{ykc} \text{ ----- (1)}$$

$$M'_u = N'_u \cdot e_d = C'_c (y_0 - 0.4X) + T(d - y_0)$$

$$N'_u = \{C'_c (y_0 - 0.4X) + T(d - y_0)\} / e_d \text{ ----- (2)}$$

(1) = (2) として、 X を求める。

同様に

$$C'_c - T = \{C'_c (y_0 - 0.4X) + T(d - y_0)\} / e_d$$

$$C'_c = 0.85 f'_{ckh} \cdot b \cdot 0.8X = 0.85 \times 50 \times 1000 \times 0.8 \cdot X = 34000X$$

$$T = 634 \times 295 = 187030\text{N} / \text{m} \quad e_d = 69\text{mm}$$

$$0.4C'_c \cdot X + C'_c (e_d - y_0) - T(e_d + d - y_0) = 0$$

$$X^2 - 77.5X - 1636.51 = 0$$

$$X = 95\text{mm}$$

$$N'_u = C'_c - T = 34000X - 187030 = 3042970\text{N} / \text{m}$$

$$M'_u = N'_u \cdot e = 3042970 \times 0.069 = 209965\text{N} \cdot \text{m} / \text{m} = 209.965\text{kN} / \text{m}$$

$$M'_u / M'_d = 209.965 / 11.72 = 17.92$$

4.4.まとめ

ヒューム管：外圧管 1 種 呼び径 600

巻立て厚さ： $t_c = 150 \text{ mm}$

荷 重： $P = 333.50 \text{ k N/m}^2$

下部の検討

設計曲げモーメント $M_d = 10.24 \text{ k N} \cdot \text{m/m}$

使用限界 $f_{bh} / \sigma_{dh} = 4.39$

終局限界 $M_u / M_d = 2.07$

側面部の検討

設計軸力 $N_d = -170.98 \text{ k N/m}$

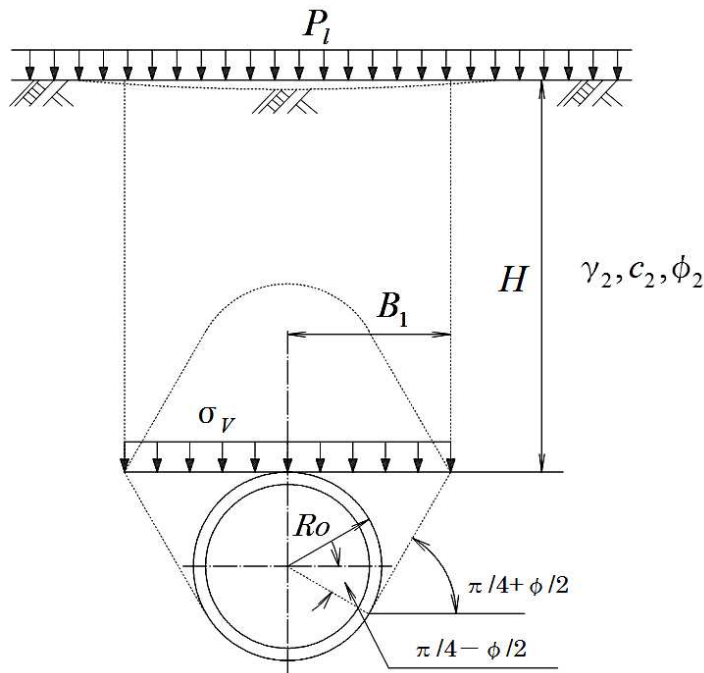
設計曲げモーメント $M_d' = -11.72 \text{ k N} \cdot \text{m/m}$

使用限界 $f_{bc} / \sigma_{dc} = 3.48$

終局限界 $M_u' / M_d' = 17.92$

以上のとおりとなる。

5. 呼び径 1350 の推進管の外圧荷重及び推進力の検討



設計条件

管内径	: $D=1350\text{mm}$
管厚	: $T=125\text{mm}$
管外径	: $B_c=1600\text{mm}$
管種	: 1 種、50N
管のひび割れ	: $Pe=47.1\text{kN/m}$
試験荷重	
土質名	: 粘性土
土の内部摩擦角	: $\phi=20^\circ$
土の粘着力	: $C=5\text{kN/m}^2$
土の N 値	: $N=10$
土の単位体積重量	: $\gamma=18\text{kN/m}^3$
土かぶり	: $H=5\text{m}$
上載荷重	: $P_l=10\text{kN/m}^2$
計画推進延長	: $L=80\text{m}$
施工方法	: 泥水式

5.1 外圧荷重に対する検討

式 2.2.1.-4 より、埋設管の耐荷力 P_r は、

鉛直方向の管の耐荷力は 120° 自由支承($k=0.275$ を考慮し

$$P_r = \frac{0.318 P_c \cdot r + 0.239 W \cdot r}{k \cdot r^2}$$

$$= \frac{0.318 \times 47.1 \times 0.7375 + 0.239 \times 13.96 \times 0.7375}{0.275 \times 0.7375^2} = 90.301 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

式 2.2.3.2.-1 より、管にかかる等分布荷重 P は

$$p = \sigma_v = \frac{B_1 \left(\gamma - \frac{c}{B_1} \right)}{K_o \cdot \tan \phi} \left(1 - e^{-K_o \cdot \tan \phi \cdot \frac{H}{B_1}} \right) + P_o \cdot e^{-K_o \cdot \tan \phi \cdot \frac{H}{B_1}}$$

$K_o=1.0$ (水平土圧と鉛直土圧の比)

$$B_1 = R_o \cdot \cot \left(\frac{\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}}{2} \right)$$

$$R_0 = \frac{B_c + 0.1}{2}$$

$$= \frac{1.6 + 0.1}{2} = 0.85 \quad (\text{m})$$

$$B_1 = 0.85 \cdot \cot \left(\frac{45^\circ + \frac{20^\circ}{2}}{2} \right) = 1.633 \quad (\text{m})$$

N 値 ≥ 25 の基盤層と判断される粘性土地盤ではないので、土の粘着力 C を安全率 $S_f(2.0)$ で除した値を計算式に用いる。

$$p = \sigma_v = \frac{1.633(18 - \frac{2.5}{1.633})}{1 \cdot \tan 20} \left(1 - e^{-1 \cdot \tan 20 \cdot \frac{5}{1.633}} \right) + 10 \cdot e^{-1 \cdot \tan 20 \cdot \frac{5}{1.633}} = 52.928 \quad (\text{kN/m}^2)$$

従って、等分布荷重に対する安全率 S は、

$$S = \frac{P_r}{P} = \frac{90.301}{52.928} = 1.71 > 1.2$$

となり、外圧荷重に対して安全である。

5.2 推進力の検討

式 3.2.4.1-5 より推進力は

$$F = F_0 + f_0 \cdot L$$

$$F_0 = (P_w + P_e) \cdot \pi \cdot \left(\frac{B_s}{2} \right) = (40 + 150) \times \pi \times \left(\frac{1.64}{2} \right)^2 = 401.357 \quad (\text{kN})$$

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

$$= 0.35 \times \{ (\pi \times 1.60 \times 52.928 + 13.96) \times 0.176 + \pi \times 1.60 \times 5 \} = 26.045 \quad (\text{kN/m})$$

$$F = 401.357 + 26.045 \times 80 = 2485 \quad (\text{kN})$$

ここに	F	: 推進力 kN
	F_0	: 先端抵抗 kN
	f_0	: 周面抵抗 kN/m
	P_w	: チャンバ内圧力 kN/m ²
	P_w : 地下水圧+20=20+20=40 kN/m ²	
	P_e	: 切削抵抗 (150 kN/m ²)
	B_s	: 掘進機外径 (1.64m)
	W	: 管の単位重量 kN/m

μ' : 管と土との摩擦係数

$$\mu' : \tan(\phi/2) = 0.1763$$

C' : 管と土との付着力 (=5kN/m²)

β : 推進力低減係数 (0.35 粘性土)

式 3.2.3.3.-1 より、推進方向の管の許容耐荷力は

$$Fa = 1000\sigma_{mean} \cdot Ae = 1000 \times 13 \times 0.47996 = 6239 \text{ (kN)}$$

$F=2485\text{kN} < Fa=6239\text{kN}$ となり、推進力についても安全である

資 料

資料 1 埋設管の耐荷力

外圧管 1 種 (A形、B形、NB形、C形)

呼び径	P (kN/m)	W (kN/m)	r (m)	M (kN・m)	埋設管の耐荷力 (kN/m ²)				
					砂 k=0.377 (60°)	又は土基礎		コンクリート基礎	
						k=0.314 (90°)	k=0.275 (120°)	k=0.303 (90°)	k=0.243 (120°)
150	16.7	0.35	0.0880	0.475	163	195	223	202	252
200	16.7	0.46	0.1135	0.615	127	152	174	158	197
250	16.7	0.59	0.1390	0.758	104	125	143	129	161
300	17.7	0.75	0.1650	0.958	93.4	112	128	116	145
350	19.7	0.92	0.1910	1.239	90.1	108	123	112	140
400	21.6	1.15	0.2175	1.554	87.1	105	119	108	135
450	23.6	1.40	0.2440	1.913	85.2	102	117	106	132
500	25.6	1.72	0.2710	2.317	83.7	100	115	104	130
600	29.5	2.45	0.3250	3.239	81.3	97.7	112	101	126
700	32.4	3.31	0.3790	4.205	77.7	93.2	106	96.6	120
800	35.4	4.31	0.4330	5.320	75.3	90.4	103	93.7	117
900	38.3	5.51	0.4875	6.580	73.4	88.2	101	91.4	114
1 000	41.3	6.69	0.5410	7.970	72.2	86.7	99.0	89.9	112
1 100	43.2	7.88	0.5940	9.279	69.8	83.8	95.6	86.8	108
1 200	45.2	9.28	0.6475	10.742	68.0	81.6	93.2	84.6	105
1 350	47.1	11.28	0.7265	12.841	64.5	77.5	88.5	80.3	100
1 500	50.1	13.61	0.8060	15.463	63.1	75.8	86.6	78.6	98.0
1 650	53.0	16.01	0.8850	18.303	62.0	74.4	85.0	77.1	96.2
1 800	56.0	18.45	0.9635	21.407	61.2	73.4	83.9	76.1	94.9
2 000	58.9	23.45	1.0725	26.099	60.2	72.3	82.5	74.9	93.4
2 200	61.9	28.47	1.1800	31.257	59.5	71.5	81.6	74.1	92.4
2 400	64.8	33.98	1.2875	36.986	59.2	71.1	81.1	73.6	91.8
2 600	67.7	39.97	1.3950	43.358	59.1	71.0	81.0	73.5	91.7
2 800	70.7	46.45	1.5025	50.459	59.3	71.2	81.3	73.8	92.0
3 000	73.6	53.41	1.6100	58.234	59.6	71.5	81.7	74.1	92.5

注) M : ひび割れ保障モーメント (=0.318Pr+0.239Wr) r : 管厚中心までの半径

P : ひび割れ試験荷重

D : 内径 (m)

W : 管の自重 (=3.1416×(D+T)×T×24.0)

T : 管厚 (m)

外圧管 1 種 (NC 形)

呼び径	P (kN/m)	W (kN/m)	r (m)	M (kN・m)	埋 設 管 の 耐 荷 力 (kN/㎡)					
					砂 又 は 土 基 礎		コ ン ク リ ー ト 基 礎			
					k=0.377 (60°)	k=0.314 (90°)	k=0.275 (120°)	k=0.303 (90°)	k=0.243 (120°)	k=0.220 (180°)
1 500	50.1	17.31	0.8200	16.457	64.9	77.9	89.0	80.8	101	111
1 650	53.0	20.36	0.9000	19.548	64.0	76.9	87.8	79.6	99.3	110
1 800	56.0	23.64	0.9800	22.990	63.5	76.2	87.0	79.0	98.5	109
2 000	58.9	28.70	1.0875	27.828	62.4	74.9	85.6	77.7	96.8	107
2 200	61.9	34.24	1.1950	33.301	61.9	74.3	84.8	77.0	96.0	106
2 400	64.8	40.26	1.3025	39.374	61.6	73.9	84.4	76.6	95.5	105
2 600	67.7	46.78	1.4100	46.119	61.5	73.9	84.4	76.6	95.5	105
2 800	70.7	53.78	1.5175	53.621	61.8	74.2	84.7	76.8	95.8	106
3 000	73.6	61.26	1.6250	61.825	62.1	74.6	85.1	77.3	96.3	106

外圧管2種 (A形、B形、NB形、C形)

呼び径	P (kN/m)	W (kN/m)	r (m)	M (kN・m)	埋 設 管 の 耐 荷 力 (kN/㎡)					
					砂 又 は 土 基 礎		コ ン ク リ ー ト 基 礎			
					k=0.377 (60°)	k=0.314 (90°)	k=0.275 (120°)	k=0.303 (90°)	k=0.243 (120°)	k=0.220 (180°)
150	23.6	0.35	0.0880	0.668	229	275	314	285	355	392
200	23.6	0.49	0.1135	0.864	178	214	244	221	276	305
250	23.6	0.59	0.1390	1.063	146	175	200	182	226	250
300	25.6	0.75	0.1650	1.373	134	161	183	166	207	229
350	27.5	0.92	0.1910	1.712	125	149	171	155	193	213
400	32.4	1.15	0.2175	2.301	129	155	177	161	200	221
450	36.3	1.40	0.2440	2.898	129	155	177	161	200	221
500	41.3	1.72	0.2710	3.670	133	159	182	165	206	227
600	49.1	2.45	0.3250	5.265	132	159	181	165	205	227
700	54.0	3.31	0.3790	6.808	126	151	172	156	195	215
800	58.9	4.31	0.4330	8.556	121	145	166	151	188	207
900	63.8	5.51	0.4875	10.533	118	141	161	146	182	201
1 000	68.7	6.69	0.5410	12.684	115	138	158	143	178	197
1 100	72.6	7.88	0.5940	14.833	112	134	153	139	173	191
1 200	75.6	9.28	0.6457	17.002	108	129	147	134	167	184
1 350	79.5	11.28	0.7265	20.326	102	123	140	127	158	175
1 500	83.4	13.61	0.8060	23.998	98.0	118	134	122	152	168
1 650	88.3	16.01	0.8850	28.238	95.6	115	131	119	148	164
1 800	93.2	18.45	0.9635	32.805	93.7	113	128	117	145	161
2 000	98.1	23.45	1.0725	39.469	91.0	109	125	113	141	156
2 200	104	28.47	1.1800	47.054	89.6	108	123	112	139	154
2 400	108	33.98	1.2875	54.673	87.5	105	120	109	136	150
2 600	113	39.97	1.3950	63.454	86.5	104	119	108	134	148
2 800	118	46.45	1.5020	73.059	85.8	103	118	107	133	147
3 000	123	53.41	1.6100	83.526	85.5	103	117	106	133	146

外圧管2種 (NC形)

呼び径	P (kN/m)	W (kN/m)	r (m)	M (kN・m)	埋 設 管 の 耐 荷 力 (kN/㎡)					
					砂 又 は 土 基 礎		コ ン ク リ ー ト 基 礎			
					k=0.377 (60°)	k=0.314 (90°)	k=0.275 (120°)	k=0.303 (90°)	k=0.243 (120°)	k=0.220 (180°)
1 500	83.4	17.31	0.8200	25.140	99.2	119	136	123	154	170
1 650	88.3	20.36	0.9000	29.650	97.1	117	133	121	151	166
1 800	93.2	23.64	0.9800	34.583	95.5	115	131	119	148	164
2 000	98.1	28.70	1.0875	41.385	92.8	111	127	115	144	159
2 200	104	34.24	1.1950	49.300	91.6	110	126	114	142	157
2 400	108	40.26	1.3025	57.267	89.5	108	123	111	139	153
2 600	113	46.78	1.4100	66.430	88.6	106	122	110	138	152
2 800	118	53.78	1.5175	76.446	88.1	106	121	110	137	151
3 000	123	61.26	1.6250	87.353	87.7	105	120	109	136	150

外圧管3種 (NE形、NL形、NC形)

呼び径	P (kN/m)	W (kN/m)	r (m)	M (kN・m)	埋設管の耐力 (kN/㎡)					
					砂又は土基礎		コンクリート基礎			
					k=0.377 (60°)	k=0.314 (90°)	k=0.275 (120°)	k=0.303 (90°)	k=0.243 (120°)	k=0.220 (180°)
200	62.8	1.15	0.1295	2.622	415	498	569	516	643	711
250	64.8	1.26	0.1525	3.189	364	437	499	452	564	623
300	68.7	1.53	0.1785	3.965	330	396	453	411	512	566
350	74.6	1.85	0.2050	4.954	313	375	429	389	485	536
400	78.5	2.20	0.2315	5.901	292	351	400	363	453	500
450	84.4	2.61	0.2585	7.099	282	338	386	351	437	483
500	88.3	3.01	0.2850	8.208	268	322	367	333	416	459
600	92.2	4.10	0.3400	10.302	236	284	324	294	367	405
700	96.2	5.36	0.3950	12.590	214	257	293	266	332	367
800	70.7	5.31	0.4400	10.451	143	172	196	178	222	245
900	76.5	6.72	0.4950	12.837	139	167	191	173	216	238
1 000	82.4	8.29	0.5500	15.502	136	163	186	169	211	233
1 100	85.4	9.54	0.6025	17.736	130	156	178	161	201	222
1 200	88.3	11.40	0.6575	20.254	124	149	170	155	193	213
1 350	94.2	13.90	0.7375	24.543	120	144	164	149	186	205
1 500	110	17.31	0.8200	32.076	127	152	173	157	196	217
1 650	117	20.36	0.9000	37.864	124	149	170	154	192	212
1 800	123	23.64	0.9800	43.870	121	145	166	151	188	208
2 000	130	28.70	1.0875	52.416	118	141	161	146	182	201
2 200	137	34.24	1.1950	61.840	115	138	157	143	178	197
2 400	143	40.26	1.3025	71.764	112	135	154	140	174	192
2 600	150	46.78	1.4100	83.020	111	133	152	138	172	190
2 800	155	53.78	1.5175	94.301	109	130	149	135	169	186
3 000	162	61.26	1.6250	107.506	108	130	148	134	168	185

注) 呼び径200～1350はJHPAS-24に規定するNE形及びNL形を指す。

推進管1種

呼び径	P (kN/m)	W (kN/m)	r (m)	M (kN・m)	耐荷力 (kN/m ²) k=0.275 (120° 自由支承)
200	31.4	1.15	0.1295	1.329	288
250	32.4	1.26	0.1525	1.617	253
300	34.4	1.53	0.1785	2.018	230
350	37.3	1.85	0.2050	2.522	218
400	39.3	2.20	0.2315	3.015	205
450	42.2	2.61	0.2585	3.630	198
500	44.2	3.01	0.2850	4.211	189
600	46.1	4.10	0.3400	5.318	167
700	48.1	5.36	0.3950	6.548	153
800	35.4	5.31	0.4400	5.511	104
900	38.3	6.72	0.4950	6.824	101
1 000	41.2	8.29	0.5500	8.296	100
1 100	42.7	9.54	0.6025	9.555	95.7
1 200	44.2	11.40	0.6575	11.033	92.8
1 350	47.1	13.90	0.7375	13.496	90.2
1 500	50.1	17.31	0.8200	16.457	89.0
1 650	53.0	20.36	0.9000	19.548	87.8
1 800	55.9	23.64	0.9800	22.959	86.9
2 000	58.9	28.70	1.0875	27.828	85.6
2 200	61.8	34.24	1.1950	33.263	84.7
2 400	64.8	40.26	1.3025	39.374	84.4
2 600	67.7	46.78	1.4100	46.119	84.4
2 800	70.7	53.78	1.5175	53.621	84.7
3 000	73.6	61.26	1.6250	61.825	85.1

推進管2種

呼び径	P (kN/m)	W (kN/m)	r (m)	M (kN・m)	耐荷力 (kN/m ²) k=0.275 (120° 自由支承)
200	62.8	1.15	0.1295	2.622	568
250	64.8	1.26	0.1525	3.188	499
300	68.7	1.53	0.1785	3.965	453
350	74.6	1.85	0.2050	4.954	429
400	78.5	2.20	0.2315	5.901	400
450	84.4	2.61	0.2585	7.099	386
500	88.3	3.01	0.2850	8.208	367
600	92.2	4.10	0.3400	10.302	324
700	96.2	5.36	0.3950	12.590	293
800	70.7	5.31	0.4400	10.451	196
900	76.5	6.72	0.4950	12.837	191
1 000	82.4	8.29	0.5500	15.501	186
1 100	85.4	9.54	0.6025	17.736	178
1 200	88.3	11.40	0.6575	20.254	170
1 350	94.2	13.90	0.7375	24.542	164
1 500	101	17.31	0.8200	29.729	161
1 650	106	20.36	0.9000	34.717	156
1 800	112	23.64	0.9800	40.441	153
2 000	118	28.70	1.0875	48.267	148
2 200	124	34.24	1.1950	56.900	145
2 400	130	40.26	1.3025	66.378	142
2 600	136	46.78	1.4100	76.744	140
2 800	142	53.78	1.5175	88.029	139
3 000	148	61.26	1.6250	100.271	138

資料2 土圧一覧表 (r=18kN/m²)

マーストンの式 (溝型) $K\mu' = 0.1924$

単位 : kN/m²

呼び径	土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧 土 圧																			
	り																			
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
150	38.3	69.6	95.2	116	133	147	158	168	175	181	186	191	194	197	199	201	202	203	204	205
200	32.2	58.8	80.8	98.9	114	126	136	145	152	157	162	166	169	172	174	176	177	178	179	180
250	28.2	51.7	71.3	87.5	101	112	122	130	136	142	146	150	153	156	158	160	161	162	163	164
300	25.2	46.4	64.2	79.1	91.6	102	111	118	125	130	134	138	141	144	146	148	149	150	152	152
350	23.0	42.5	59.0	72.9	84.7	94.7	103	110	116	121	126	129	132	135	137	139	141	142	143	144
400	22.2	41.2	57.5	71.5	83.5	93.7	103	110	117	122	127	131	134	137	140	142	144	146	147	148
450	20.7	38.5	53.9	67.1	78.6	88.4	96.9	104	111	116	121	125	128	131	134	136	138	140	141	142
500	19.4	36.2	50.8	63.4	74.4	83.9	92.1	99.3	105	111	116	120	123	126	129	131	133	135	136	138
600	18.7	35.3	49.9	62.8	74.2	84.3	93.2	101	108	114	120	124	129	132	136	138	141	143	145	147
700	17.2	32.5	46.1	58.2	68.9	78.5	87.1	94.7	101	107	113	118	122	126	129	132	135	137	139	141
800	16.5	31.3	44.6	56.6	67.3	77.0	85.7	93.5	100	107	112	118	122	126	130	133	136	139	141	143
900	15.9	30.3	43.4	55.2	66.0	75.7	84.5	92.5	100	106	112	118	122	127	131	134	138	141	143	146
1 000	15.1	28.9	41.4	52.9	63.3	72.7	81.3	89.2	96.3	103	109	114	119	123	128	131	135	138	140	143
1 100	15.2	29.2	42.0	53.8	64.6	74.5	83.6	91.9	100	107	113	119	125	130	134	138	142	146	149	152
1 200	14.9	28.7	41.4	53.2	64.0	74.0	83.2	91.8	100	107	114	120	125	131	136	140	144	148	152	155
1 350	14.2	27.4	39.6	50.9	61.4	71.2	80.2	88.6	96.3	104	110	116	122	127	132	137	141	145	149	152
1 500	14.4	27.8	40.4	52.2	63.1	73.4	83.0	92.0	100	108	116	122	129	135	140	146	150	155	159	163
1 650	14.1	27.3	39.7	51.3	62.3	72.5	82.2	91.2	100	108	115	122	129	135	141	146	151	156	161	165
1 800	13.8	26.9	39.1	50.7	61.6	71.9	81.6	90.7	99.4	107	115	122	129	136	142	147	153	158	162	167
2 000	13.8	26.8	39.2	51.0	62.1	72.6	82.6	92.1	101	110	118	125	133	139	146	152	158	164	169	174
2 200	12.9	25.1	36.7	47.7	58.2	68.1	77.5	86.5	95.0	103	111	118	125	131	138	144	149	154	159	164
2 400	12.6	24.6	36.1	47.0	57.4	67.3	76.7	85.6	94.2	102	110	117	124	131	138	144	149	155	160	165
2 600	12.4	24.2	35.6	46.4	56.7	66.5	76.0	85.0	93.5	102	110	117	124	131	138	144	150	155	161	166
2 800	12.1	23.6	34.7	45.3	55.4	65.1	74.4	83.3	91.8	100	108	115	122	129	136	142	148	154	159	164
3 000	11.9	23.4	34.3	44.8	54.9	64.6	73.9	82.9	91.4	100	108	115	122	129	136	142	148	154	160	165

注) 呼び径1500～3000はC形

掘削溝幅は資料3の砂基礎IIとした。

マーストンの式（正の突出型） $K\mu=0.1924$ $\delta=0.7$ $\rho'=1.0$ 単位：kN/m²

呼び径	土 質										深 さ (m)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
150	14.1	31.5	48.8	66.1	83.4	101	118	135	153	170	187	205	222	239	257	274	291	308	326	343
200	13.3	30.6	48.0	65.3	82.6	100	117	135	152	169	186	204	224	238	256	273	290	308	325	342
250	12.5	29.8	47.1	64.5	81.8	99.1	116	134	151	168	186	203	220	238	255	272	290	307	324	341
300	11.9	29.0	46.3	63.6	80.9	98.3	116	133	150	168	185	202	219	237	254	271	289	306	323	341
350	11.5	28.1	45.5	62.8	80.1	97.4	115	132	149	167	184	201	219	236	253	271	288	305	322	340
400	11.1	27.3	44.6	61.9	79.2	96.5	114	131	148	166	183	200	218	235	252	270	287	304	322	339
450	10.9	26.4	43.7	61.0	78.3	95.6	113	130	148	165	182	200	217	234	251	269	286	303	321	338
500	10.7	25.5	42.8	60.1	77.4	94.7	112	129	147	164	181	199	216	233	251	268	285	303	320	337
600	10.4	24.0	41.0	58.3	75.6	92.9	110	128	145	162	179	197	214	231	249	266	283	301	318	335
700	10.2	23.0	39.2	56.5	73.8	91.1	108	126	143	160	178	195	212	230	247	264	282	299	316	334
800	10.0	22.3	37.4	54.7	72.0	89.3	107	124	141	159	176	193	210	228	245	262	280	297	314	332
900	9.88	21.7	36.0	52.8	70.1	87.5	105	122	139	157	174	191	209	226	243	261	278	295	313	330
1 000	9.79	21.3	35.0	51.0	68.3	85.7	103	120	138	155	172	190	207	224	242	259	276	293	311	328
1 100	9.71	21.0	34.1	49.4	66.6	83.9	101	119	136	153	170	188	205	222	240	257	274	292	309	326
1 200	9.65	20.7	33.5	48.1	64.8	82.1	99.4	117	134	151	169	186	203	221	238	255	273	290	307	325
1 350	9.58	20.4	32.7	46.6	62.3	79.5	96.8	114	131	149	166	183	201	218	235	253	270	287	305	322
1 500	9.52	20.2	32.1	45.4	60.3	76.9	94.2	112	129	146	163	181	198	215	233	250	267	285	302	319
1 650	9.48	20.0	31.6	44.4	58.7	74.4	91.6	109	126	143	161	178	195	213	230	247	265	282	299	317
1 800	9.43	19.8	31.2	43.7	57.4	72.5	89.0	106	124	141	158	176	193	210	228	245	262	279	297	314
2 000	9.39	19.6	30.7	42.8	55.9	70.2	85.8	103	120	137	155	172	189	207	224	241	259	276	293	310
2 200	9.35	19.4	30.3	42.1	54.8	68.5	83.3	99.2	116	134	151	168	186	203	220	237	255	272	289	307
2 400	9.32	19.3	30.1	41.6	53.9	67.1	81.3	96.5	113	130	147	165	182	199	217	234	251	269	286	303
2 600	9.30	19.2	29.8	41.1	53.1	66.0	79.7	94.3	110	127	144	161	178	196	213	230	248	265	282	300
2 800	9.28	19.1	29.6	40.7	52.5	65.0	78.3	92.4	107	123	140	157	175	192	209	227	244	261	279	296
3 000	9.25	19.0	29.4	40.3	51.9	64.2	77.1	90.8	105	121	137	154	171	189	206	223	240	258	275	292

注) 呼び径1500～3000はC形

マーストンの式 (負の突出型) $B_c=B_o+0.7$ $K\mu=0.130$ $\delta=0.3$ $p'=1.0$ 単位: kN/m²

呼び径	土 質										(m)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
150	69.8	97.9	122	143	164	187	210	233	256	279	302	326	349	372	395	418	441	464	487	
200	59.2	83.2	104	123	139	159	178	197	217	236	256	275	294	314	333	353	372	392	411	
250		73.6	92.4	109	124	140	157	174	191	208	225	242	259	276	293	310	327	344	361	
300		66.5	83.8	99.0	113	126	142	157	172	187	202	218	233	248	263	279	294	309	324	
350		61.3	77.4	91.7	104	117	130	144	158	172	186	200	214	228	241	255	269	283	297	
400		57.2	72.4	85.9	98.1	109	121	134	147	160	173	186	199	211	224	237	250	263	276	
450		53.9	68.4	81.4	93.1	104	115	127	139	151	163	175	187	199	211	223	235	247	259	
500		51.2	65.1	77.6	89.0	99.2	109	120	132	143	154	166	177	188	200	211	222	234	245	
600		47.1	60.1	72.0	82.8	92.6	102	111	121	131	142	152	162	173	183	193	204	214	224	
700			56.6	68.0	78.4	88.0	96.8	105	114	123	133	143	152	162	171	181	191	200	210	
800			54.0	65.0	75.2	84.6	93.2	101	109	118	127	136	145	154	163	172	181	190	199	
900			51.9	62.6	72.6	81.9	90.5	98.4	106	113	122	130	139	148	156	165	173	182	191	
1 000			50.3	60.8	70.7	79.8	88.4	96.3	104	111	118	127	135	143	151	160	168	176	184	
1 100			49.0	59.4	69.1	78.2	86.7	94.7	102	109	116	124	131	139	147	155	163	171	179	
1 200				58.2	67.8	76.8	85.3	93.3	101	108	114	121	129	137	144	152	160	167	175	
1 350				56.5	66.2	75.2	83.6	91.6	99.2	106	113	119	126	133	141	148	156	163	171	
1 500				55.5	64.9	73.9	82.3	90.3	97.9	105	112	118	125	131	138	145	152	160	167	
1 650					63.9	72.8	81.3	89.3	97.0	104	111	118	124	130	136	143	150	157	164	
1 800					63.1	71.9	80.4	88.5	96.2	104	111	117	124	130	136	142	148	155	162	
2 000					62.1	70.9	79.4	87.5	95.3	103	110	117	123	129	135	141	147	153	160	
2 200						70.1	78.6	86.8	94.6	102	109	116	123	129	136	141	147	153	158	
2 400						69.5	78.0	86.2	94.1	102	109	116	123	129	136	142	148	153	159	
2 600							77.5	85.7	93.6	101	109	116	123	129	136	142	148	154	159	
2 800							77.0	85.3	93.3	101	108	116	123	129	136	142	148	154	160	
3 000								84.9	93.0	101	108	116	123	130	136	143	149	155	161	

注) 呼び径1500～3000はC形

基礎地盤の変形係数 $E_o=9\ 800\text{kN/m}^2$
 埋戻し土の変形係数 $E_g=9\ 800\text{kN/m}^2$

単位 : kN/m^2

下水道協会式 (矢板引抜き有) 90° 砂基礎埋戻し土の内部摩擦角 $\phi=25^\circ$

呼び径	土 質														(m)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
150	21.6	52.0	83.3	115	146	177	208	239	270	301	332	363	395	426	457	488	519	550	581	612
200	20.2	46.9	74.5	102	129	157	184	212	239	267	294	321	349	376	403	431	458	486	513	540
250	19.2	43.6	68.6	93.6	119	144	168	193	218	243	268	293	318	343	368	393	418	443	468	493
300	18.4	41.0	64.2	87.4	110	134	157	180	203	226	249	272	295	318	341	364	387	410	433	457
350	17.9	39.2	60.9	82.7	104	126	148	170	191	213	235	256	278	300	321	343	365	386	408	430
400	17.5	38.1	59.4	80.6	102	123	144	165	186	207	229	250	271	292	313	334	355	376	398	419
450	17.1	36.9	57.2	77.4	97.6	118	138	158	178	199	219	239	259	279	300	320	340	360	380	401
500	16.8	35.8	55.3	74.7	94.1	114	133	152	172	191	210	230	249	269	288	307	327	346	366	385
600	16.5	34.9	53.9	72.9	91.9	111	130	149	168	187	206	225	243	262	281	300	319	338	357	376
700	16.1	33.6	51.7	69.7	87.7	106	124	142	160	178	196	214	231	249	267	285	303	321	339	357
800	15.9	33.0	50.5	68.1	85.6	103	121	138	156	173	191	208	226	243	261	279	296	314	331	349
900	15.7	32.4	49.6	66.8	84.0	101	118	136	153	170	187	204	221	239	256	273	290	307	324	342
1 000	15.4	31.8	48.5	65.2	81.8	98.5	115	132	149	165	182	199	215	232	249	265	282	299	315	332
1 100	15.4	31.7	48.4	65.1	81.9	98.6	115	132	149	165	182	199	216	232	249	266	283	299	316	333
1 200	15.3	31.4	47.9	64.5	81.0	97.6	114	131	147	164	180	197	213	230	246	263	280	296	313	329
1 350	15.1	30.8	46.9	63.0	79.1	95.2	111	127	143	160	176	192	208	224	240	256	272	288	304	320
1 500	15.0	30.7	46.9	63.2	79.4	95.6	112	128	144	160	177	193	209	225	241	258	274	290	306	322
1 650	14.8	30.4	46.4	62.5	78.5	94.5	110	126	142	158	174	190	206	222	238	254	270	286	302	318
1 800	14.7	30.2	46.0	61.9	77.8	93.6	109	125	141	157	173	189	205	220	236	252	268	284	300	315
2 000	14.7	30.0	45.8	61.7	77.5	93.3	109	125	141	157	172	188	204	220	236	251	267	283	299	315
2 200	14.5	29.4	44.7	59.9	75.2	90.4	106	121	136	151	167	182	197	212	228	243	258	273	289	304
2 400	14.4	29.2	44.3	59.4	74.4	89.5	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	286	301
2 600	14.3	29.0	43.9	58.9	73.8	88.8	104	119	134	149	163	178	193	208	223	238	253	268	283	298
2 800	14.2	28.7	43.4	58.2	72.9	87.6	102	117	132	147	161	176	191	205	220	235	250	264	279	294
3 000	14.1	28.5	43.2	57.8	72.5	87.1	102	116	131	146	160	175	190	204	219	233	248	263	277	292

基礎地盤の変形係数 $E_0=9\ 800\text{kN}/\text{m}^2$
 埋戻し土の変形係数 $E_g=9\ 800\text{kN}/\text{m}^2$
 基礎埋戻し土の内部摩擦角 $\phi=25^\circ$

下水道協会式 (矢板引抜き有) 120° コンクリート基礎

単位 : kN/m^2

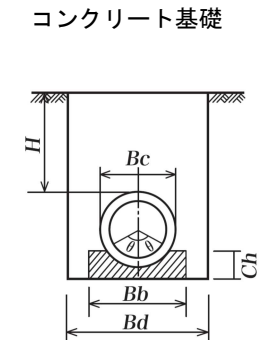
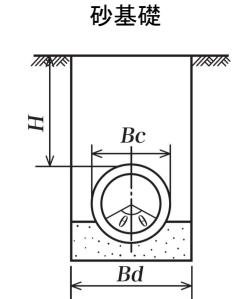
呼び径	土 質										ふ					り					(m)				
	か										さ					り					(m)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0					
150	30.1	70.6	116	161	206	250	295	340	384	429	474	518	563	607	652	696	741	786	830	875					
200	27.2	62.3	101	139	178	216	254	293	331	369	407	445	483	522	560	598	636	674	712	751					
250	25.3	57.0	91.5	126	160	194	228	262	297	331	365	399	433	467	501	535	569	603	637	671					
300	24.0	53.1	84.6	116	147	178	210	241	272	303	334	365	397	428	459	490	521	552	583	614					
350	23.1	50.8	81.3	112	142	172	202	233	263	293	323	353	384	414	444	474	504	534	565	595					
400	22.1	48.1	76.5	105	133	161	189	218	246	274	302	330	358	386	415	443	471	499	527	555					
450	21.1	45.7	72.3	98.8	125	152	178	205	231	257	284	310	337	363	389	416	442	468	495	521					
500	20.3	43.6	68.6	93.6	119	143	168	193	218	243	268	293	318	342	367	392	417	442	467	491					
600	19.1	40.5	63.2	85.8	108	131	154	176	199	221	244	267	289	312	334	357	380	402	425	447					
700	18.2	38.2	59.4	80.5	102	123	144	165	186	207	228	249	270	291	312	333	354	375	396	417					
800	17.8	37.3	57.7	78.2	98.5	119	139	160	180	200	221	241	261	282	302	322	343	363	384	404					
900	17.2	35.8	55.1	74.5	93.8	113	132	152	171	190	210	229	248	267	287	306	325	345	364	383					
1 000	17.0	35.3	54.3	73.3	92.2	111	130	149	168	187	206	225	244	263	282	301	320	339	357	376					
1 100	16.8	34.8	53.6	72.5	91.3	110	129	148	167	185	204	223	242	261	279	298	317	336	355	374					
1 200	16.7	34.5	53.0	71.6	90.2	109	127	146	164	183	202	220	239	257	276	294	313	331	350	369					
1 350	16.3	33.4	51.2	69.0	86.9	105	122	140	158	176	194	212	229	247	265	283	301	318	336	354					
1 500	16.1	33.0	50.4	67.9	85.4	103	120	138	155	173	190	208	225	243	260	278	295	313	330	347					
1 650	15.9	32.6	49.8	67.0	84.2	101	119	136	153	170	188	205	222	239	257	274	291	308	325	343					
1 800	15.8	32.3	49.3	66.4	83.5	101	118	135	152	169	186	203	220	237	255	272	289	306	323	340					
2 000	15.6	31.8	48.5	65.4	82.2	99.0	116	133	150	166	183	200	217	234	250	267	284	301	318	335					
2 200	15.5	31.6	48.2	64.9	81.6	98.3	115	132	148	165	182	199	215	232	249	265	282	299	315	332					
2 400	15.2	31.0	47.1	63.4	79.6	95.9	112	128	145	161	177	193	210	226	242	258	275	291	307	323					
2 600	15.1	30.7	46.5	62.6	78.6	94.6	111	127	143	159	175	191	207	223	239	255	271	287	303	319					
2 800	15.1	30.6	46.5	62.5	78.5	94.6	111	127	143	159	175	191	207	223	239	255	271	287	303	319					
3 000	14.9	30.4	46.0	61.9	77.7	93.6	109	125	141	157	173	189	205	220	236	252	268	284	300	315					

資料 3

掘削溝幅とコンクリート基礎の寸法

単位：mm

呼び 径	管の外径 (A,B,NC形) B_c	砂基礎		コンクリート基礎											
		掘削溝幅(B_d)		基礎寸法						掘削溝幅 (B_d)					
		I	II	$2\theta=90^\circ$		$2\theta=120^\circ$		$2\theta=180^\circ$		$2\theta=90^\circ$		$2\theta=120^\circ$		$2\theta=180^\circ$	
				B_b	Ch	B_b	Ch	B_b	Ch	I	II	I	II	I	II
150	202	750	950	350	130	400	160	450	210	950	1150	1000	1200	1150	1350
200	254	800	1000	400	140	450	170	500	230	1000	1200	1050	1250	1200	1400
250	306	850	1050	450	150	500	180	550	260	1050	1250	1100	1300	1250	1450
300	360	900	1100	500	160	550	190	600	280	1100	1300	1150	1350	1300	1500
350	414	950	1150	550	170	600	210	650	310	1150	1350	1300	1500	1350	1550
400	470	1050	1250	550	220	650	270	700	390	1250	1450	1350	1550	1400	1600
450	526	1100	1300	600	230	700	290	750	420	1300	1500	1400	1600	1450	1650
500	584	1150	1350	650	240	750	300	800	450	1350	1550	1450	1650	1500	1700
600	700	1350	1550	750	260	850	330	900	500	1450	1650	1550	1750	1600	1800
700	816	1450	1650	850	320	950	410	1050	610	1550	1750	1650	1850	1850	2050
800	932	1600	1800	950	340	1100	440	1200	670	1650	1850	1800	2000	2000	2200
900	1050	1750	1950	1050	360	1200	470	1350	730	1750	1950	1900	2100	2150	2350
1 000	1164	1850	2050	1200	380	1350	500	1450	790	1900	2100	2050	2250	2250	2450
1 100	1276	2050	2250	1300	440	1450	570	1600	890	2050	2250	2250	2450	2500	2700
1 200	1390	2200	2400	1400	460	1600	600	1750	950	2200	2400	2400	2600	2650	2850
1 350	1556	2350	2550	1600	480	1750	640	1900	1030	2350	2550	2550	2750	2800	3000
1 500	1780	2650	2850	1750	510	1950	690	2100	1120	2650	2850	2750	2950	3100	3300
1 650	1950	2850	3050	1900	580	2150	780	2350	1250	2850	3050	2950	3150	3350	3550
1 800	2120	3050	3250	2100	610	2300	820	2500	1330	3050	3250	3200	3400	3500	3700
2 000	2350	3350	3600	2300	640	2550	880	2800	1450	3350	3600	3450	3700	3800	4050
2 200	2580	3450	3700	2550	670	2850	930	3100	1560	3450	3700	3750	4000	4100	4350
2 400	2810	3700	3950	2750	760	3050	1040	3350	1730	3700	3950	3950	4200	4350	4600
2 600	3040	3900	4200	3000	790	3300	1100	3600	1840	3950	4200	4200	4450	4600	4850
2 800	3270	4150	4400	3200	830	3550	1160	3900	1960	4150	4400	4550	4800	4900	5150
3 000	3500	4400	4650	3450	860	3800	1210	4150	2070	4400	4650	4800	5050	5150	5400



注) I は矢板引抜きを行わない場合、II は矢板引抜きを行う場合を示す。

資料4 流量表マニングの式、 $n=0.013$

呼び径	150		200		250		300		350	
A (㎡)	0.01767		0.03142		0.04909		0.07069		0.09621	
P (m)	0.4712		0.6283		0.7851		0.9425		1.0996	
R (m)	0.0375		0.0500		0.0625		0.0750		0.0875	
I (‰)	V (m/s)	Q (㎡/s)	V (m/s)	Q (㎡/s)	V (m/s)	Q (㎡/s)	V (m/s)	Q (㎡/s)	V (m/s)	Q (㎡/s)
0.2	0.122	0.002	0.148	0.005	0.171	0.008	0.193	0.014	0.214	0.021
0.4	0.172	0.003	0.209	0.006	0.242	0.012	0.274	0.019	0.303	0.029
0.6	0.211	0.004	0.256	0.008	0.297	0.015	0.335	0.024	0.371	0.036
0.8	0.244	0.004	0.295	0.009	0.343	0.017	0.387	0.027	0.429	0.041
1.0	0.273	0.005	0.330	0.010	0.383	0.019	0.433	0.031	0.479	0.046
1.2	0.299	0.005	0.362	0.011	0.420	0.021	0.474	0.033	0.525	0.051
1.4	0.322	0.006	0.391	0.012	0.453	0.022	0.512	0.036	0.567	0.055
1.6	0.345	0.006	0.418	0.013	0.485	0.024	0.547	0.039	0.606	0.058
1.8	0.366	0.006	0.443	0.014	0.514	0.025	0.580	0.041	0.643	0.062
2.0	0.385	0.007	0.467	0.015	0.542	0.027	0.612	0.043	0.678	0.065
2.2	0.404	0.007	0.490	0.015	0.568	0.028	0.642	0.045	0.711	0.068
2.4	0.422	0.007	0.511	0.016	0.593	0.029	0.670	0.047	0.743	0.071
2.6	0.439	0.008	0.532	0.017	0.618	0.030	0.698	0.049	0.773	0.074
2.8	0.456	0.008	0.552	0.017	0.641	0.031	0.724	0.051	0.802	0.077
3.0	0.472	0.008	0.572	0.018	0.664	0.033	0.749	0.053	0.830	0.080
3.5	0.510	0.009	0.618	0.019	0.717	0.035	0.809	0.057	0.897	0.086
4.0	0.545	0.010	0.660	0.021	0.766	0.038	0.865	0.061	0.959	0.092
4.5	0.578	0.010	0.700	0.022	0.813	0.040	0.918	0.065	1.017	0.098
5.0	0.609	0.011	0.738	0.023	0.857	0.042	0.967	0.068	1.072	0.103
5.5	0.639	0.011	0.774	0.024	0.896	0.044	1.015	0.072	1.124	0.108
6.0	0.668	0.012	0.809	0.025	0.938	0.046	1.060	0.075	1.174	0.113
6.5	0.695	0.012	0.842	0.026	0.977	0.048	1.103	0.078	1.222	0.118
7.0	0.721	0.013	0.873	0.027	1.014	0.050	1.145	0.081	1.266	0.122
7.5	0.746	0.013	0.904	0.028	1.049	0.052	1.185	0.084	1.313	0.126
8.0	0.771	0.014	0.934	0.029	1.084	0.053	1.224	0.086	1.356	0.130
8.5	0.795	0.014	0.963	0.030	1.117	0.055	1.261	0.089	1.398	0.134
9.0	0.818	0.014	0.990	0.031	1.149	0.056	1.298	0.092	1.438	0.138
9.5	0.840	0.015	1.018	0.032	1.181	0.058	1.333	0.094	1.478	0.142
10.0	0.862	0.015	1.044	0.033	1.211	0.059	1.368	0.097	1.516	0.146
11.0	0.904	0.016	1.095	0.034	1.271	0.062	1.435	0.101	1.590	0.153
12.0	0.944	0.017	1.144	0.036	1.327	0.065	1.499	0.106	1.661	0.160
13.0	0.983	0.017	1.190	0.037	1.381	0.068	1.560	0.110	1.729	0.166
14.0	1.020	0.018	1.235	0.039	1.433	0.070	1.619	0.114	1.794	0.173
15.0	1.055	0.019	1.279	0.040	1.484	0.073	1.675	0.118	1.857	0.179
16.0	1.090	0.019	1.321	0.041	1.532	0.075	1.730	0.122	1.918	0.185
17.0	1.124	0.020	1.361	0.043	1.580	0.078	1.784	0.126	1.977	0.190
18.0	1.156	0.020	1.401	0.044	1.625	0.080	1.835	0.130	2.034	0.196
19.0	1.188	0.021	1.439	0.045	1.670	0.082	1.866	0.133	2.090	0.201
20.0	1.219	0.022	1.476	0.046	1.713	0.084	1.935	0.137	2.144	0.206
22.0	1.278	0.023	1.549	0.049	1.797	0.088	2.029	0.143	2.249	0.216
24.0	1.335	0.024	1.617	0.051	1.877	0.092	2.119	0.150	2.349	0.226
26.0	1.390	0.025	1.683	0.053	1.953	0.096	2.206	0.156	2.445	0.235
28.0	1.442	0.025	1.747	0.055	2.027	0.100	2.289	0.162	2.537	0.244
30.0	1.493	0.026	1.808	0.057	2.098	0.103	2.370	0.167	2.626	0.253
32.0	1.542	0.027	1.868	0.059	2.167	0.106	2.447	0.173	2.712	0.261
34.0	1.589	0.028	1.925	0.060	2.234	0.110	2.523	0.178	2.796	0.269
36.0	1.635	0.029	1.981	0.062	2.299	0.113	2.596	0.183	2.877	0.277
38.0	1.680	0.030	2.035	0.064	2.362	0.116	2.667	0.189	2.955	0.284
40.0	1.724	0.030	2.088	0.066	2.423	0.119	2.736	0.193	3.032	0.292
45.0	1.828	0.032	2.215	0.070	2.570	0.126	2.902	0.205	3.216	0.309
50.0	1.927	0.034	2.334	0.073	2.709	0.133	3.059	0.216	3.390	0.326
55.0	2.021	0.036	2.448	0.077	2.841	0.139	3.208	0.227	3.556	0.342
60.0	2.111	0.037	2.557	0.080	2.967	0.146	3.351	0.237	3.714	0.357
65.0	2.197	0.039	2.662	0.084	3.089	0.152	3.488	0.247	3.855	0.372
70.0	2.280	0.040	2.762	0.087	3.205	0.157	3.619	0.256	4.011	0.386
75.0	2.360	0.042	2.859	0.090	3.318	0.163	3.747	0.265	4.152	0.399
80.0	2.438	0.043	2.953	0.093	3.427	0.168	3.869	0.274	4.288	0.413
85.0	2.513	0.044	3.044	0.096	3.532	0.173	3.988	0.282	4.420	0.425
90.0	2.585	0.046	3.132	0.098	3.634	0.178	4.104	0.290	4.548	0.438
95.0	2.656	0.047	3.218	0.101	3.734	0.183	4.217	0.296	4.673	0.450

呼び径	400		450		500		600		700	
A (m)	0.12566		0.15904		0.19635		0.28274		0.38485	
P (m)	1.2566		1.4137		1.5708		1.8850		2.1991	
R (m)	0.1000		0.1125		0.1250		0.1500		0.1750	
I (%)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
0.1	0.166	0.021	0.179	0.029	0.192	0.038	0.217	0.061	0.241	0.093
0.2	0.234	0.029	0.254	0.040	0.272	0.053	0.307	0.087	0.340	0.131
0.3	0.287	0.036	0.310	0.049	0.333	0.065	0.376	0.106	0.417	0.160
0.4	0.331	0.042	0.359	0.057	0.385	0.076	0.434	0.123	0.481	0.185
0.5	0.371	0.047	0.401	0.064	0.430	0.084	0.486	0.137	0.538	0.207
0.6	0.406	0.051	0.439	0.070	0.471	0.092	0.532	0.150	0.590	0.227
0.7	0.438	0.055	0.474	0.075	0.509	0.100	0.575	0.162	0.637	0.245
0.8	0.469	0.059	0.507	0.081	0.544	0.107	0.614	0.174	0.681	0.262
0.9	0.497	0.062	0.538	0.086	0.577	0.113	0.651	0.184	0.722	0.278
1.0	0.524	0.066	0.567	0.090	0.608	0.119	0.687	0.194	0.761	0.293
1.1	0.550	0.069	0.595	0.095	0.638	0.125	0.720	0.204	0.798	0.307
1.2	0.574	0.072	0.621	0.099	0.666	0.131	0.752	0.213	0.834	0.321
1.3	0.598	0.075	0.646	0.103	0.693	0.136	0.783	0.221	0.868	0.334
1.4	0.620	0.078	0.671	0.107	0.720	0.141	0.813	0.230	0.900	0.347
1.5	0.642	0.081	0.694	0.110	0.745	0.146	0.841	0.238	0.932	0.359
1.6	0.663	0.083	0.717	0.114	0.769	0.151	0.869	0.246	0.963	0.370
1.7	0.683	0.086	0.739	0.118	0.793	0.156	0.895	0.253	0.992	0.382
1.8	0.703	0.088	0.761	0.121	0.816	0.160	0.921	0.261	1.021	0.393
1.9	0.722	0.091	0.781	0.124	0.838	0.165	0.947	0.268	1.049	0.404
2.0	0.741	0.093	0.802	0.128	0.860	0.169	0.971	0.275	1.076	0.414
2.2	0.777	0.098	0.841	0.134	0.902	0.177	1.019	0.288	1.129	0.434
2.4	0.812	0.102	0.878	0.140	0.942	0.185	1.064	0.301	1.179	0.454
2.6	0.845	0.106	0.914	0.145	0.981	0.193	1.107	0.313	1.227	0.472
2.8	0.877	0.110	0.949	0.151	1.018	0.200	1.149	0.325	1.273	0.490
3.0	0.908	0.114	0.982	0.156	1.053	0.207	1.189	0.336	1.318	0.507
3.2	0.937	0.118	1.014	0.161	1.088	0.214	1.228	0.347	1.361	0.524
3.4	0.966	0.121	1.045	0.166	1.121	0.220	1.266	0.358	1.403	0.540
3.6	0.994	0.125	1.076	0.171	1.154	0.227	1.303	0.368	1.444	0.556
3.8	1.022	0.128	1.105	0.176	1.185	0.233	1.339	0.379	1.484	0.571
4.0	1.048	0.132	1.134	0.180	1.216	0.239	1.373	0.388	1.522	0.586
4.2	1.074	0.135	1.162	0.185	1.246	0.245	1.407	0.398	1.560	0.600
4.4	1.099	0.138	1.189	0.189	1.276	0.250	1.440	0.407	1.596	0.614
4.6	1.124	0.141	1.216	0.193	1.304	0.256	1.473	0.416	1.632	0.628
4.8	1.148	0.144	1.242	0.198	1.332	0.262	1.505	0.425	1.667	0.642
5.0	1.172	0.147	1.268	0.202	1.360	0.267	1.536	0.434	1.702	0.655
5.5	1.229	0.154	1.329	0.211	1.426	0.280	1.611	0.455	1.785	0.687
6.0	1.284	0.161	1.389	0.221	1.490	0.292	1.682	0.476	1.864	0.717
6.5	1.336	0.168	1.445	0.230	1.550	0.304	1.751	0.495	1.940	0.747
7.0	1.387	0.174	1.500	0.239	1.609	0.316	1.817	0.514	2.014	0.775
7.5	1.435	0.180	1.552	0.247	1.665	0.327	1.881	0.532	2.084	0.802
8.0	1.482	0.186	1.603	0.255	1.720	0.338	1.942	0.549	2.153	0.828
8.5	1.528	0.192	1.653	0.263	1.773	0.348	2.002	0.566	2.219	0.854
9.0	1.572	0.198	1.701	0.270	1.824	0.358	2.060	0.583	2.283	0.879
9.5	1.615	0.203	1.747	0.278	1.874	0.368	2.117	0.598	2.346	0.903
10.0	1.657	0.208	1.793	0.285	1.923	0.378	2.172	0.614	2.407	0.926
11.0	1.738	0.218	1.880	0.299	2.017	0.396	2.278	0.644	2.524	0.971
12.0	1.815	0.228	1.964	0.312	2.107	0.414	2.379	0.673	2.636	1.015
13.0	1.890	0.237	2.044	0.325	2.193	0.431	2.476	0.700	2.744	1.056
14.0	1.961	0.246	2.121	0.337	2.275	0.447	2.569	0.727	2.848	1.096
15.0	2.030	0.255	2.196	0.349	2.355	0.462	2.660	0.752	2.948	1.134
16.0	2.096	0.263	2.268	0.361	2.433	0.478	2.747	0.777	3.044	1.172
17.0	2.161	0.272	2.337	0.372	2.507	0.492	2.831	0.801	3.138	1.208
18.0	2.223	0.279	2.405	0.383	2.580	0.507	2.914	0.824	3.229	1.243
19.0	2.284	0.287	2.471	0.393	2.651	0.520	2.993	0.846	3.317	1.277
20.0	2.344	0.295	2.535	0.403	2.720	0.534	3.071	0.868	3.404	1.310
25.0	2.620	0.329	2.834	0.451	3.041	0.597	3.434	0.971	3.805	1.464
30.0	2.870	0.361	3.105	0.494	3.331	0.654	3.761	1.063	4.168	1.604
35.0	3.100	0.390	3.354	0.533	3.598	0.706	4.063	1.149	4.502	1.733
40.0	3.315	0.417	3.585	0.570	3.846	0.755	4.343	1.228	4.813	1.852
45.0	3.516	0.442	3.803	0.605	4.079	0.801	4.607	1.303	5.105	1.965

呼び径	800		900		1 000		1 100		1 200	
A (mm)	0.50265		0.63617		0.78540		0.95033		1.13097	
P (mm)	2.5133		2.8274		3.1416		3.4558		3.7699	
R (mm)	0.2000		0.2250		0.2500		0.2750		0.3000	
I (%)	V (m/s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Q (m³/s)
0.05	0.186	0.094	0.201	0.128	0.216	0.170	0.230	0.219	0.244	0.276
0.10	0.263	0.132	0.285	0.181	0.305	0.240	0.325	0.309	0.345	0.390
0.15	0.322	0.162	0.349	0.222	0.374	0.294	0.398	0.379	0.422	0.477
0.20	0.372	0.187	0.402	0.256	0.432	0.339	0.460	0.437	0.488	0.551
0.25	0.416	0.209	0.450	0.286	0.483	0.379	0.514	0.489	0.545	0.616
0.30	0.456	0.229	0.493	0.314	0.529	0.415	0.563	0.535	0.597	0.675
0.35	0.492	0.247	0.532	0.339	0.571	0.449	0.609	0.578	0.645	0.729
0.40	0.526	0.264	0.569	0.362	0.611	0.480	0.651	0.618	0.689	0.780
0.45	0.558	0.281	0.604	0.384	0.648	0.509	0.690	0.656	0.731	0.827
0.50	0.588	0.296	0.636	0.405	0.683	0.536	0.727	0.691	0.771	0.872
0.55	0.617	0.310	0.667	0.425	0.716	0.562	0.763	0.725	0.808	0.914
0.60	0.644	0.324	0.697	0.443	0.748	0.587	0.797	0.757	0.844	0.955
0.65	0.671	0.337	0.725	0.462	0.778	0.611	0.829	0.788	0.879	0.994
0.70	0.696	0.350	0.753	0.479	0.808	0.634	0.861	0.818	0.912	1.032
0.75	0.720	0.362	0.779	0.496	0.836	0.657	0.891	0.847	0.944	1.068
0.80	0.744	0.374	0.805	0.512	0.863	0.678	0.920	0.874	0.975	1.103
0.85	0.767	0.386	0.830	0.528	0.890	0.699	0.948	0.901	1.005	1.137
0.90	0.789	0.397	0.854	0.543	0.916	0.719	0.976	0.927	1.034	1.170
0.95	0.811	0.408	0.877	0.558	0.941	0.739	1.003	0.953	1.063	1.202
1.00	0.832	0.418	0.900	0.572	0.965	0.758	1.029	0.978	1.090	1.233
1.10	0.873	0.439	0.944	0.600	1.012	0.795	1.079	1.025	1.143	1.293
1.20	0.911	0.458	0.986	0.627	1.057	0.831	1.127	1.071	1.194	1.351
1.30	0.949	0.477	1.026	0.653	1.101	0.864	1.173	1.115	1.243	1.406
1.40	0.984	0.495	1.065	0.677	1.142	0.897	1.217	1.157	1.290	1.459
1.50	1.019	0.512	1.102	0.701	1.182	0.929	1.260	1.197	1.335	1.510
1.60	1.052	0.529	1.138	0.724	1.221	0.959	1.301	1.237	1.379	1.559
1.70	1.085	0.545	1.173	0.746	1.259	0.989	1.341	1.275	1.421	1.607
1.80	1.116	0.561	1.207	0.768	1.295	1.017	1.380	1.312	1.463	1.654
1.90	1.147	0.576	1.240	0.789	1.331	1.045	1.418	1.348	1.503	1.699
2.00	1.176	0.591	1.273	0.810	1.365	1.072	1.455	1.383	1.542	1.744
2.20	1.234	0.620	1.335	0.849	1.432	1.125	1.526	1.450	1.617	1.829
2.40	1.289	0.648	1.394	0.887	1.496	1.175	1.594	1.514	1.689	1.910
2.60	1.341	0.674	1.451	0.923	1.557	1.223	1.659	1.576	1.758	1.988
2.80	1.392	0.700	1.506	0.958	1.615	1.269	1.721	1.636	1.824	2.063
3.00	1.441	0.724	1.559	0.992	1.672	1.313	1.782	1.693	1.888	2.135
3.20	1.488	0.748	1.610	1.024	1.727	1.356	1.840	1.749	1.950	2.205
3.40	1.534	0.771	1.659	1.056	1.780	1.398	1.897	1.803	2.010	2.273
3.60	1.578	0.793	1.707	1.086	1.832	1.439	1.952	1.855	2.068	2.339
3.80	1.622	0.815	1.754	1.116	1.882	1.478	2.005	1.906	2.125	2.403
4.00	1.664	0.836	1.800	1.145	1.931	1.516	2.057	1.955	2.180	2.466
4.50	1.765	0.887	1.909	1.214	2.048	1.608	2.182	2.074	2.312	2.615
5.00	1.860	0.935	2.012	1.280	2.159	1.695	2.300	2.186	2.438	2.757
5.50	1.951	0.981	2.110	1.343	2.264	1.778	2.412	2.293	2.557	2.891
6.00	2.038	1.024	2.204	1.402	2.365	1.857	2.520	2.395	2.670	3.020
6.50	2.121	1.066	2.294	1.460	2.461	1.933	2.623	2.492	2.779	3.143
7.00	2.201	1.106	2.381	1.515	2.554	2.006	2.722	2.586	2.884	3.262
7.50	2.278	1.145	2.464	1.568	2.644	2.076	2.817	2.677	2.985	3.376
8.00	2.353	1.183	2.545	1.619	2.730	2.144	2.910	2.765	3.083	3.487
8.50	2.425	1.219	2.624	1.669	2.814	2.210	2.999	2.850	3.178	3.594
9.00	2.496	1.254	2.700	1.717	2.896	2.275	3.086	2.933	3.270	3.699
9.50	2.564	1.289	2.774	1.764	2.975	2.337	3.171	3.013	3.360	3.800
10.00	2.631	1.322	2.846	1.810	3.053	2.398	3.253	3.091	3.447	3.899
10.50	2.696	1.355	2.916	1.855	3.128	2.457	3.333	3.168	3.532	3.995
11.00	2.759	1.387	2.985	1.899	3.202	2.515	3.412	3.242	3.615	4.089
11.50	2.821	1.418	3.052	1.941	3.274	2.571	3.488	3.315	3.697	4.181
12.00	2.882	1.449	3.117	1.983	3.344	2.626	3.563	3.386	3.776	4.271
12.50	2.941	1.478	3.182	2.024	3.413	2.681	3.637	3.456	3.854	4.359
13.00	2.999	1.508	3.245	2.064	3.481	2.734	3.709	3.525	3.930	4.445
13.50	3.057	1.536	3.306	2.103	3.547	2.786	3.780	3.592	4.005	4.530
14.00	3.113	1.565	3.367	2.142	3.612	2.837	3.849	3.658	4.079	4.613

呼び径	1 350		1 500		1 650		1 800		2 000	
A (m)	1.43139		1.76715		2.13825		2.54469		3.14159	
P (m)	4.2412		4.7124		5.1836		5.6549		6.2832	
R (m)	0.3375		0.3750		0.4125		0.4500		0.5000	
I (%)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
0.02	0.167	0.239	0.179	0.316	0.191	0.408	0.202	0.514	0.217	0.681
0.04	0.236	0.338	0.253	0.447	0.270	0.576	0.286	0.727	0.306	0.963
0.06	0.289	0.413	0.310	0.548	0.330	0.706	0.350	0.890	0.375	1.179
0.08	0.334	0.477	0.358	0.632	0.381	0.815	0.404	1.028	0.433	1.362
0.10	0.373	0.534	0.400	0.707	0.426	0.911	0.452	1.149	0.485	1.522
0.12	0.408	0.585	0.438	0.774	0.467	0.998	0.495	1.259	0.531	1.668
0.14	0.441	0.632	0.473	0.836	0.504	1.078	0.534	1.360	0.573	1.801
0.16	0.472	0.675	0.506	0.894	0.539	1.153	0.571	1.454	0.613	1.926
0.18	0.500	0.716	0.537	0.948	0.572	1.223	0.606	1.542	0.650	2.042
0.20	0.527	0.755	0.566	1.000	0.603	1.289	0.639	1.626	0.685	2.153
0.22	0.553	0.792	0.593	1.048	0.632	1.352	0.670	1.705	0.719	2.258
0.24	0.578	0.827	0.620	1.095	0.660	1.412	0.700	1.781	0.751	2.358
0.26	0.601	0.861	0.645	1.140	0.687	1.470	0.728	1.853	0.781	2.455
0.28	0.624	0.893	0.669	1.183	0.713	1.525	0.756	1.923	0.811	2.547
0.30	0.646	0.924	0.693	1.224	0.738	1.579	0.782	1.991	0.839	2.637
0.35	0.698	0.999	0.748	1.322	0.797	1.705	0.845	2.150	0.907	2.848
0.40	0.746	1.067	0.800	1.414	0.853	1.823	0.903	2.299	0.969	3.045
0.45	0.791	1.132	0.849	1.500	0.904	1.933	0.958	2.438	1.028	3.229
0.50	0.834	1.193	0.894	1.581	0.953	2.038	1.010	2.570	1.084	3.404
0.55	0.874	1.252	0.938	1.658	1.000	2.138	1.059	2.696	1.136	3.570
0.60	0.913	1.307	0.980	1.732	1.044	2.233	1.106	2.816	1.187	3.729
0.65	0.951	1.361	1.020	1.802	1.087	2.324	1.152	2.931	1.235	3.811
0.70	0.987	1.412	1.058	1.870	1.128	2.411	1.195	3.041	1.282	4.028
0.75	1.021	1.462	1.095	1.936	1.167	2.496	1.237	3.148	1.327	4.169
0.80	1.055	1.510	1.131	1.999	1.206	2.578	1.278	3.251	1.371	4.306
0.85	1.087	1.556	1.166	2.061	1.243	2.657	1.317	3.351	1.413	4.438
0.90	1.119	1.601	1.200	2.121	1.279	2.734	1.355	3.448	1.454	4.567
0.95	1.149	1.645	1.233	2.179	1.314	2.809	1.392	3.543	1.494	4.692
1.00	1.179	1.688	1.265	2.235	1.348	2.882	1.428	3.635	1.532	4.814
1.10	1.237	1.770	1.327	2.344	1.414	3.023	1.498	3.812	1.607	5.049
1.20	1.292	1.849	1.386	2.449	1.477	3.157	1.565	3.982	1.679	5.274
1.30	1.344	1.924	1.442	2.549	1.537	3.286	1.629	4.144	1.747	5.489
1.40	1.395	1.997	1.497	2.645	1.595	3.410	1.690	4.301	1.813	5.696
1.50	1.444	2.067	1.549	2.738	1.651	3.530	1.749	4.452	1.877	5.896
1.60	1.492	2.135	1.600	2.828	1.705	3.646	1.807	4.598	1.938	6.089
1.70	1.537	2.201	1.649	2.915	1.758	3.758	1.862	4.739	1.998	6.277
1.80	1.582	2.264	1.697	2.999	1.808	3.867	1.916	4.877	2.056	6.459
1.90	1.625	2.327	1.744	3.081	1.858	3.973	1.969	5.010	2.112	6.636
2.00	1.668	2.387	1.789	3.161	1.906	4.076	2.020	5.141	2.167	6.808
2.20	1.749	2.503	1.876	3.316	1.999	4.275	2.119	5.392	2.273	7.141
2.40	1.827	2.615	1.960	3.463	2.088	4.465	2.213	5.631	2.374	7.458
2.60	1.901	2.722	2.040	3.604	2.173	4.647	2.303	5.861	2.471	7.763
2.80	1.973	2.824	2.117	3.740	2.256	4.823	2.390	6.082	2.564	8.056
3.00	2.042	2.923	2.191	3.872	2.335	4.992	2.474	6.296	2.654	8.338
3.20	2.109	3.019	2.263	3.999	2.411	5.156	2.555	6.502	2.741	8.612
3.40	2.174	3.112	2.332	4.122	2.485	5.315	2.634	6.703	2.826	8.877
3.60	2.237	3.202	2.400	4.241	2.558	5.469	2.710	6.897	2.908	9.134
3.80	2.299	3.290	2.466	4.358	2.628	5.619	2.785	7.086	2.987	9.385
4.00	2.358	3.376	2.530	4.471	2.696	5.764	2.857	7.270	3.065	9.628
4.20	2.417	3.459	2.592	4.581	2.762	5.907	2.927	7.449	3.140	9.866
4.40	2.473	3.540	2.653	4.689	2.827	6.046	2.996	7.625	3.214	10.098
4.60	2.529	3.620	2.713	4.794	2.891	6.182	3.064	7.796	3.287	10.325
4.80	2.583	3.698	2.771	4.897	2.953	6.315	3.130	7.964	3.357	10.547
5.00	2.637	3.774	2.829	4.998	3.014	6.445	3.194	8.128	3.427	10.765
5.50	2.765	3.958	2.967	5.242	3.161	6.759	3.350	8.525	3.594	11.290
6.00	2.888	4.134	3.099	5.476	3.302	7.060	3.499	8.904	3.754	11.792
6.50	3.006	4.303	3.225	5.699	3.437	7.348	3.642	9.267	3.907	12.274
7.00	3.120	4.466	3.347	5.914	3.566	7.626	3.779	9.617	4.054	12.737
7.50	3.229	4.622	3.464	6.122	3.692	7.893	3.912	9.955	4.197	13.184
8.00	3.335	4.774	3.578	6.323	3.813	8.152	4.040	10.281	4.334	13.616

呼び径	2 200		2 400		2 600		2 800		3 000	
A (m)	3. 80133		4. 52389		5. 30929		6. 15752		7. 06858	
P (m)	6. 9115		7. 5398		8. 1681		8. 7965		9. 4248	
R (m)	0. 5500		0. 6000		0. 6500		0. 7000		0. 7500	
I (%)	V (m/s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Q (m³/s)
0. 02	0. 231	0. 878	0. 245	1. 107	0. 258	1. 371	0. 271	1. 670	0. 284	2. 007
0. 04	0. 327	1. 241	0. 346	1. 566	0. 365	1. 938	0. 384	2. 362	0. 402	2. 839
0. 06	0. 400	1. 520	0. 424	1. 918	0. 447	2. 374	0. 470	2. 892	0. 492	3. 477
0. 08	0. 462	1. 756	0. 489	2. 214	0. 516	2. 741	0. 542	3. 340	0. 568	4. 015
0. 10	0. 516	1. 963	0. 547	2. 476	0. 577	3. 065	0. 606	3. 734	0. 635	4. 488
0. 12	0. 566	2. 150	0. 599	2. 712	0. 632	3. 357	0. 664	4. 091	0. 696	4. 917
0. 14	0. 611	2. 323	0. 647	2. 929	0. 683	3. 626	0. 718	4. 418	0. 751	5. 311
0. 16	0. 653	2. 483	0. 692	3. 131	0. 730	3. 876	0. 767	4. 723	0. 803	5. 677
0. 18	0. 693	2. 634	0. 734	3. 321	0. 774	4. 112	0. 814	5. 010	0. 852	6. 022
0. 20	0. 730	2. 776	0. 774	3. 501	0. 816	4. 334	0. 858	5. 281	0. 896	6. 348
0. 22	0. 766	2. 911	0. 812	3. 672	0. 856	4. 545	0. 899	5. 539	0. 942	6. 657
0. 24	0. 800	3. 041	0. 848	3. 835	0. 894	4. 748	0. 939	5. 785	0. 984	6. 953
0. 26	0. 833	3. 165	0. 882	3. 992	0. 931	4. 941	0. 978	6. 021	1. 024	7. 237
0. 28	0. 864	3. 285	0. 916	4. 142	0. 966	5. 128	1. 015	6. 248	1. 063	7. 511
0. 30	0. 894	3. 400	0. 948	4. 288	1. 000	5. 308	1. 050	6. 468	1. 100	7. 774
0. 32	0. 924	3. 511	0. 979	4. 428	1. 033	5. 482	1. 085	6. 680	1. 136	8. 029
0. 34	0. 952	3. 619	1. 009	4. 565	1. 064	5. 651	1. 118	6. 885	1. 171	8. 276
0. 36	0. 980	3. 724	1. 038	4. 697	1. 095	5. 815	1. 151	7. 085	1. 205	8. 516
0. 38	1. 007	3. 826	1. 067	4. 826	1. 125	5. 974	1. 182	7. 279	1. 238	8. 750
0. 40	1. 033	3. 926	1. 094	4. 951	1. 154	6. 129	1. 213	7. 468	1. 270	8. 977
0. 42	1. 058	4. 023	1. 121	5. 073	1. 183	6. 280	1. 243	7. 653	1. 301	9. 199
0. 44	1. 083	4. 117	1. 148	5. 193	1. 211	6. 428	1. 272	7. 833	1. 332	9. 415
0. 46	1. 108	4. 210	1. 174	5. 309	1. 238	6. 573	1. 301	8. 009	1. 362	9. 627
0. 48	1. 131	4. 301	1. 199	5. 424	1. 265	6. 714	1. 329	8. 181	1. 391	9. 834
0. 50	1. 155	4. 389	1. 224	5. 535	1. 291	6. 853	1. 356	8. 350	1. 420	10. 036
0. 52	1. 178	4. 476	1. 248	5. 645	1. 316	6. 988	1. 383	8. 515	1. 448	10. 235
0. 54	1. 200	4. 561	1. 272	5. 753	1. 341	7. 121	1. 409	8. 677	1. 476	10. 430
0. 56	1. 222	4. 645	1. 295	5. 858	1. 366	7. 252	1. 435	8. 837	1. 503	10. 622
0. 58	1. 244	4. 727	1. 318	5. 962	1. 390	7. 380	1. 461	8. 993	1. 529	10. 810
0. 60	1. 265	4. 808	1. 340	6. 064	1. 414	7. 507	1. 485	9. 147	1. 555	10. 994
0. 62	1. 286	4. 888	1. 363	6. 164	1. 437	7. 631	1. 510	9. 298	1. 581	11. 176
0. 64	1. 306	4. 966	1. 384	6. 263	1. 460	7. 753	1. 534	9. 447	1. 606	11. 355
0. 66	1. 327	5. 043	1. 406	6. 360	1. 483	7. 873	1. 558	9. 593	1. 631	11. 531
0. 68	1. 347	5. 119	1. 427	6. 455	1. 505	7. 991	1. 581	9. 738	1. 656	11. 704
0. 70	1. 366	5. 193	1. 448	6. 550	1. 527	8. 108	1. 604	9. 880	1. 680	11. 875
0. 72	1. 386	5. 267	1. 468	6. 643	1. 549	8. 223	1. 627	10. 020	1. 704	12. 044
0. 74	1. 405	5. 340	1. 489	6. 734	1. 570	8. 337	1. 650	10. 158	1. 727	12. 210
0. 76	1. 424	5. 411	1. 509	6. 825	1. 591	8. 448	1. 672	10. 294	1. 751	12. 374
0. 78	1. 442	5. 482	1. 528	6. 914	1. 612	8. 559	1. 694	10. 429	1. 773	12. 536
0. 80	1. 461	5. 552	1. 548	7. 002	1. 633	8. 668	1. 715	10. 562	1. 796	12. 695
0. 85	1. 505	5. 723	1. 595	7. 217	1. 683	8. 935	1. 768	10. 887	1. 851	13. 086
0. 90	1. 549	5. 889	1. 642	7. 427	1. 732	9. 194	1. 819	11. 203	1. 905	13. 465
0. 95	1. 592	6. 050	1. 687	7. 630	1. 779	9. 446	1. 869	11. 509	1. 957	13. 834
1. 00	1. 633	6. 207	1. 730	7. 828	1. 825	9. 691	1. 918	11. 808	2. 008	14. 194
1. 20	1. 789	6. 800	1. 896	8. 576	2. 000	10. 616	2. 101	12. 936	2. 200	15. 548
1. 40	1. 932	7. 345	2. 047	9. 263	2. 160	11. 467	2. 269	13. 972	2. 376	16. 794
1. 60	2. 065	7. 852	2. 189	9. 902	2. 309	12. 258	2. 426	14. 937	2. 540	17. 954
1. 80	2. 191	8. 328	2. 322	10. 503	2. 449	13. 002	2. 573	15. 843	2. 694	19. 043
2. 00	2. 309	8. 778	2. 447	11. 071	2. 581	13. 705	2. 712	16. 700	2. 840	20. 073
2. 20	2. 422	9. 207	2. 567	11. 611	2. 707	14. 374	2. 844	17. 515	2. 978	21. 053
2. 40	2. 530	9. 616	2. 681	12. 128	2. 828	15. 013	2. 971	18. 294	3. 111	21. 989
2. 60	2. 633	10. 009	2. 790	12. 623	2. 943	15. 626	3. 092	19. 041	3. 238	22. 887
2. 80	2. 732	10. 387	2. 896	13. 099	3. 054	16. 216	3. 209	19. 759	3. 360	23. 751
3. 00	2. 828	10. 751	2. 997	13. 559	3. 161	16. 785	3. 322	20. 453	3. 478	24. 584
3. 20	2. 921	11. 104	3. 096	14. 004	3. 265	17. 336	3. 431	21. 124	3. 592	25. 391
3. 40	3. 011	11. 446	3. 191	14. 435	3. 366	17. 869	3. 536	21. 774	3. 703	26. 172
3. 60	3. 098	11. 777	3. 283	14. 853	3. 463	18. 387	3. 639	22. 405	3. 810	26. 931
3. 80	3. 183	12. 100	3. 373	15. 260	3. 558	18. 891	3. 738	23. 019	3. 914	27. 669
4. 00	3. 266	12. 415	3. 461	15. 657	3. 651	19. 382	3. 835	23. 617	4. 016	28. 387
4. 20	3. 346	12. 721	3. 546	16. 043	3. 741	19. 861	3. 930	24. 200	4. 115	29. 088

資料5 規格の変遷

1. JIS規格の変遷

昭和25年（1950） JIS A5303規格制定	- 昭和25年3月にヒューム管はJIS A 5303（遠心力鉄筋コンクリート管）としてJIS規格が制定された。 - 管の種類は、内水圧のかからない場合に使用する「普通管」（今で言う外圧管）と内水圧のかかる場合に使用する「圧力管」（今で言う内圧管）の2種類であった。 - 管の形状は、現在の規格の「A形管」のみで、継手はコンクリートカラーを使用している。 - 管の有効長さは呼び径350以下は2000mmであるが、呼び径400以上は2400mmまたは2000mmとしていた。 - 外圧試験のひび割れ荷重（キ裂荷重と呼んでいた）の定義は、管体に1/4mm以上、長さ300mmのキ裂を生じた時の荷重としていた。
昭和31年（1956） 改正	- 昭和31年の改正では、(1) 内圧管の種類が増加した。(2) 呼び径125が追加となった。 - 外圧強さを一部変更している。また、外圧強さのひび割れの定義が「ヒビワレはその幅が1/4mm（0.01インチ）になると、肉眼でもよく見えるが、…。このヒビワレが長さ300mmに及んだときの荷重をもってヒビワレ荷重とする。」と解説に記載された。 - 管の長さは呼び径400以上では2400mmの種類となったが、当分の間2000mm及び2430mmとすることができとなっている。この当時、管の長さについての議論があり、一部では長さ3000mm以上の希望も出ていた。
昭和37年（1962） 改正	- 昭和37年の改正では、呼び径400以上の管の長さが2430mmとなり、当分の間、長さを2400mmとすることができとなった。 - 管の長さは、1956年当時は2400mmに統一していく方向であったが、既存及びその後新設の工場の製造設備及び型枠が2430mmであり、使用者側もその数値が一般的であったことから、実態に合わせている。 - 呼び径1350～1800の外圧強さが増加した。
昭和40年（1965） 改正	- 管の種類は「A形管」のみであったが、この改正で「B形」及び「C形」が追加されている。呼び径の範囲は、A形75～1800、B形75～900、C形900～1800である。 - A形管の管の長さは、この時点で2430mmに統一され、「2400mmでもよい」が削除された。 - ヒビワレ荷重は、管体に0.25mmのひび割れが生じた時の荷重であるが、「普通下水道管路の鉄筋コンクリート管では、幅0.25mmのヒビワレがあっても鉄筋は容易に腐食しないことが数十年の実績から判明しているので、十分な限度として定めたものである。」と解説されている。
昭和47年（1972） 改正	- 普通管の外圧強さが、種及び2種に区分され、従来の外圧強さを1種とし、新たに高強度の2種が追加された。 - 呼び径150未満が削除され、2,000～3,000の特大口径の管が新たに加わった。 - 内圧管は、1kg/cm²～10kg/cm²の8種類であったが、使用の実情に合わせて2K、4K、6Kの3種類のみとなった。 - ひびわれの判定は、従来0.25mmであったが、この改正で肉眼で発見できる限度の0.05mmに変更された。 - B形及びC形は昭和40年（1965）の改正で追加されたが、ゴム輪の規定はなかったが、この改正で、ゴム輪はJIS K 6353（水道用ゴム）の規定（普通管は2種3号乙、内圧管は2種2号乙）に適合するものと規定された。
昭和51年（1976） 改正	昭和51年の改正の目的は国際単位系（SI）の導入併記であり、外圧強さ及び内圧強さがSI単位の併記となった。
昭和54年（1979） 改正	- 種類の名称の変更が行われた。 - 従来普通管、圧力管となっていたのを外圧管及び内圧管にあらためた。 - 理由は、外圧に対して設計された管と内圧に対して設計された管であることを明確にするためである。 - 種管の呼び径の範囲は1000～3000であったが、呼び径150～900が追加となった。
昭和60年（1985） 改正	- 昭和60年の改正は、従来にない大幅な改正が行われた。 - 管種の追加：従来のA形、B形及びC形に加え、継手性能を大きく向上させたNC形が追加された。 - 外圧強さの変更：1種及び2種ともに、従来の外圧強さより1.1～1.5倍程度高め、許容土被りを広くし、施工条件の変化などにも対応できるようにした。 - 呼び径区分の見なおし：B形とC形で呼び径がラップしていたが、B形が1350以下、C形が1500以上とすることで、製品の種類の整理統合が行われた。 - 水道用ゴムの規格改正に伴い、使用するゴムの品質は外圧管はIV類、内圧管はI類A・50となった。
平成2年（1990） 改正	平成2年の改正では、塩化物量の規制及びアルカリシリカ反応抑制対策が追加された。
平成5年（1993） 改正	- 平成5年の改正は、JIS A 5353 として別に規格があった「異形管」をJIS A 5303と統合した。 - SI単位への切替：SI単位への切替の予告をし、その規格値を定めた。 - NC形3種の追加：従来は外圧強さの区分は2種までであったが、より高強度の種管を規定した。 - 呼び径の整理：A形管の呼び径を使用実績から1800までと縮小した。
平成12年（2000） JIS A 5372 制定	- 平成12年に個別製品規定を中心にしたこれまでのJIS体系を改め、基本・共通と製品群規格に統合・再編された。 - ヒューム管はJIS A 5372（プレキャスト鉄筋コンクリート製品）の中に位置付けられ、従来の規定の内容が附属書2に規定された。
平成16年（2004） JIS A 5372 改正	- ヒューム管の規格は附属書2に規定されていたが、附属書3（規定）暗きょ類の推奨仕様3-2に規定された。 - 外圧管にNB形（呼び径150～900）が追加となった。

2. 下水道用鉄筋コンクリート管規格（JSWAS A-1）の変遷

昭和43年（1968） 暫定規格	・下水道用鉄筋コンクリート管暫定規格として制定された。呼び径は1000～2400で、外圧強さは昭和40年改正のJISの約2倍である。
昭和44年（1969） 制定	・暫定規格より本規格となった。 ・管の種類、呼び径の範囲および外圧強さは暫定規格と同じである。
昭和49年（1974） 改正	・呼び径の範囲を200～3000に拡大された。 ・種類の呼称をJIS A 5303に合わせ、「普通管2種」となった。
昭和62年（1987） 改正	・呼び径の範囲を拡大し150mmを追加された。 ・枝付管や曲管を「異形管」として規定し、従来の「管」が「直管」となった。 ・形状では、A形を削除し、NC形を追加し、またB形とC形の呼び径の重複が無くなった。 ・外圧強さは、²種管のみの規定であったが、1種、2種及び3種（NC形のみ）となった。 ・品質に新たに水密性能が規定された。
平成15年（2003） 改正	・継手部の耐震性能を考慮し、NB形を追加された。また、ステンレスカラーのA形管も追加された。 ・A形の呼び径は150～350、NB形の呼び径は150～900。

3. 下水道推進工法用鉄筋コンクリート管規格（JSWAS A-2）の変遷

昭和48年（1973） 規格制定	・推進工法用の管として呼び径600から3000まで規定された。 ・管は標準管のみで、カラーとゴム輪が付属書となっている。 ・外圧強さは標準荷重と破壊荷重があり、標準荷重はひび割れが発生する直前の荷重となっている。
昭和50年（1975） 改正	・中押し管（呼び径1200～3000）が追加された。
昭和59年（1984） 改正	・推進中の蛇行等を防止する目的で、前後の管を緊結するための埋込みナットの有無でF形、H形の区分がされた。 ・施工技術の進歩などから、中押し管の呼び径が1000～3000になった。 ・外圧強さについては、従来の¹種類から1種及び2種の2種類になった。 ・管体コンクリート強度を500kg/cm²以上に規定された。 ・外圧強さの標準荷重がひび割れ荷重となり、幅0.05mmのひび割れを生じさせた時の荷重となった。
平成3年（1991） 改正	・JSWAS A-6規格が制定されたことに伴って、呼び径の範囲が800～3000となった。 ・継手構造は従来のTカラーによる接続から、止水性及び施工性等を考慮し、管体とカラーが一体となった埋込みカラー形としている。 ・コンクリート強度は従来のは500kg/cm²のみであったが、新たに700kg/cm²が追加された。 ・本体が埋込みカラー形になったことに伴い、中押し管も形状を変更し、SとTの組み合わせとなった。 ・また、従来緊結用埋込みナットのあるH形を規定していたが、特殊な施工条件以外では使用されなくなったので、種類から削除された。 ・水密性については、継手部の水密性として1kgf/cm²を規定している。
平成11年（1999） 改正	・従来は継手の形状、寸法等の詳細を規定する内容となっていたが、種々な工夫がなされた管が開発され使用されはじめたため、基本寸法を規定したものとなった。 ・管の種類は標準管と中押し管で、呼び径の範囲の変更はない。 ・継手性能はJA、JB及びJCの3種類に区分され、耐水圧と拔出し長さを規定した。

4. 下水道小口径管推進工法用鉄筋コンクリート管規格（JSWAS A-6）の変遷

平成元年（1989） 規格制定	・小口径推進工法用の管として呼び径250から700まで規定された。 ・管は標準管と短管の2種類で、短管はマンホールとの接続に使用する。 ・コンクリートの圧縮強度によりⅠ類とⅡ類に区分されて、Ⅰ類は500kgf/cm²以上、Ⅱ類は700kgf/cm²以上としている。 ・外圧強さによる区分はなく、ひび割れ荷重と破壊荷重を規定している。 ・標準管の形状は、管とカラーが一体化された埋込みカラー形で、カラーの材質はステンレス鋼製としている。 ・標準管の接続出来ない先導体との接続に使用する先頭管が解説に記載されている。
平成12年（2000） 改正	・JSWAS A-2が性能規定の規格になったことに合わせて、本規格も性能規定となった。 ・あわせて、継手型式検査規定が設けられた。 ・外圧強さは、外圧強さの高い2種が新たに規定され、従来の強さを1種とし、2種類に区分された。 ・継手性能は、耐水圧の他に耐震性を考慮して拔出し長さが規定された。継手性能による区分は、SJS、SJA及びSJBの3種類である。 ・耐水圧は、従来の0.1MPaに加えて0.2MPaが追加され、拔出し長さはSJS、SJAが10mm、SJBが20mmとなっている。 ・呼び径200が追加された。

平成 2 1 年 (2009 年) 以降の規格の変遷

JIS 規格の変遷

平成 22 年 (2010 年) JIS A 5372 改正	C 形は耐震性能が条件によって不足するため、規格から削除された。
-----------------------------------	----------------------------------

下水道用鉄筋コンクリート管規格 (JSWAS A-1) の変遷

平成 23 年 (2011 年) 改正	直管の種類から C 形を削除し NC 形に 1 本化された。
------------------------	--------------------------------