

可とう性継手による曲げ配管工法

—パイプラインの曲線状敷設による効率的な路線選定と配管—

設計・施工指針（案）

農林水産省官民連携新技術研究開発事業

（独）農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所

社団法人 農業農村整備情報総合センター

はじめに

官民連携新技術研究開発事業は、近年の公共事業の効率化への強い要請や公共事業の品質確保のため、事業現場において一層の事業費の低コスト化、管理コストの低減等に資する技術の開発を平成9年度から官民の密接な連携の下に実施してきているところです。

平成18年度末現在までに開発を了した技術は36件あり、当該技術を採用した事業現場においては、コスト縮減等効率的な事業執行に貢献してきているところです。

一方、新技術を採用する場合における「設計の考え方」、「歩掛」、「施工管理の行い方」等が明確でないこと、新技術に関する情報の不足により、事業現場において作業負担の増という状況もあります。

このため、これら諸問題を解消し、更なる新技術の普及・啓発を図るため、開発された技術の設計・施工にかかるデータを収集・分析し、技術指針の作成を行い、国、県、民間企業等へ幅広く開発された新技術の情報提供等を行うことにより、農業農村整備事業の一層効率的な推進に資することを目的として、本書を作成しました。

作成にあたっては、農林水産省農村振興局整備部設計課施工企画調整室、並びに新技術研究開発組合の関係の皆様にご多大なご指導・ご協力を賜わり感謝を申し上げます。

平成19年3月

社団法人 農業農村整備情報総合センター

目次

【総論】

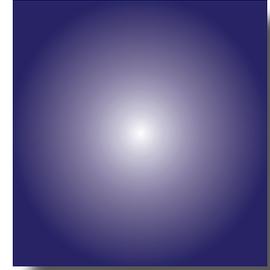
1 総論	6
1.1 マニュアルの位置づけ	7
1.2 適用範囲	9

【設計編】

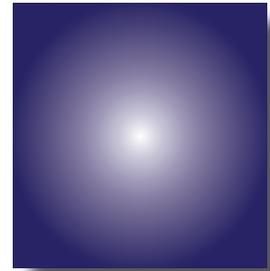
2 設計	12
2.1 曲げ配管工法の考え方	12
2.2 線形計画	13
2.3 設計曲げ角度	14
2.4 管長と曲率半径	15
2.5 配管計画	17
2.6 曲げ配管工法のスラスト力の検討	19
3 設計例	27
3.1 曲げ配管の路線設計例	27
3.1.1 水平方向に屈曲する場合	27
3.1.2 鉛直方向のS字曲線の場合	30
3.2 曲げ配管のスラスト力の計算例	32
3.2.1 水平スラスト力の計算例	32
3.2.2 鉛直上向きスラスト力の計算例	34
3.2.3 鉛直下向きスラスト力の計算例	38
3.2.4 スラスト防護の要否一覧表	42
3.3 耐震設計の計算例	48
3.3.1 一般事項	48
3.3.2 FRPM管の耐震設計例	49
4 モデル管路における経済性比較例	66

【施工編】

5 施工	72
5.1 一般事項	72
5.2 施工方法	72
5.3 施工の留意点	78
5.4 施工管理基準	80
5.5 施工実績	87
5.6 施工歩掛	88



【総論】



1 総論

農業用水路の維持管理・改修は、灌漑水の効率的な確保と将来にわたる安全性を確保するためにますます重要となっており、多くの事業が進められてきているところである。

パイプラインの配管は、曲管と直管を組み合わせて路線を構築しているが、開水路の改修によってパイプラインを敷設する場合や大口径のパイプラインを新たに埋設する場合には、必ずしも経済的な路線を選定することができない場合がある。

このため、効率的なパイプラインの路線選定と配管を実現するために、「可とう性継手による曲げ配管工法の研究開発」を実施した。

本曲げ配管工法は、パイプラインの継手部の伸縮機能を利用して曲線状に敷設する配管手法を提示するものである。

本指針では、パイプの曲げ角度や施工方法について記述しており、運用に当たっては、土地改良事業計画設計基準「パイプライン」に示されているパイプラインの構造設計を参考にし、継手を有するパイプラインの特性を十分理解して設計・施工を行うことが重要である。

本工法は、官民連携新技術研究開発事業（農林水産省農村振興局）における、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所と新技術研究開発組合〔(株)クボタ、栗本化成工業(株)、積水化学工業(株)、日本ホーバス(株)、内外エンジニアリング(株)〕の共同研究の成果である。

※本工法は、次の新技術データベースに登録されている。

農業農村整備新技術データベース

<参考> 社団法人農業農村整備情報総合センター ARIC Web サイト http://www.nn-newtech.jp/ndb_web/top.do

※今回、社団法人農業農村整備情報総合センターが発行する本指針は、農林水産省が農業農村整備事業を効率的に推進するため、新技術啓発普及の一環として行うものである。

※積算に当たっては、「農林水産省土地改良工事積算基準（土木工事）」7. 管水路工の従来工法（直線配管）を準用するものとし、工法の目的と特性を十分に理解の上、行うこと。

※本指針の内容については、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所まで照会ください。

1.1 マニュアルの位置づけ

本マニュアルは、土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」(平成10年3月31日改定)に基づいて、パイプラインの建設コスト縮減、設計・施工上の自由度向上のため、可とう性継手を用いた曲げ配管工法の設計及び施工について遵守すべき一般的な事項を示したものである。

[解説]

継手構造のパイプラインの屈曲部においては、原則として、その屈曲角度に応じた曲管を使用することとされている(図1.1)。しかしながら曲管は直管と比べて重量・継手形状・材質等が異なり、特に大口径パイプでは施工時の取扱いが煩雑となる。また、緩やかな湾曲に沿って布設する箇所などでは小屈折の変化点が多数存在することになり、建設工事費が大きなものとなる。

本工法は、管路線形の変化が小さい屈曲点などにおいて、直管部に用いられている通常の単位管継手の可とう性を活用し、曲げ配管や連続的な曲げ配管(曲線布設)を適用することにより、屈曲角度の小さな曲管を省略して管路コストを縮減する。また、管路線形を直線の組み合わせだけでなく、道路・河川・既設水路などの緩やかなカーブに沿った曲線布設とすることが可能となり、建設用地の有効利用を図ることが可能であるなど、設計施工上の自由度を拡大することを目的とした工法である(図1.2)。

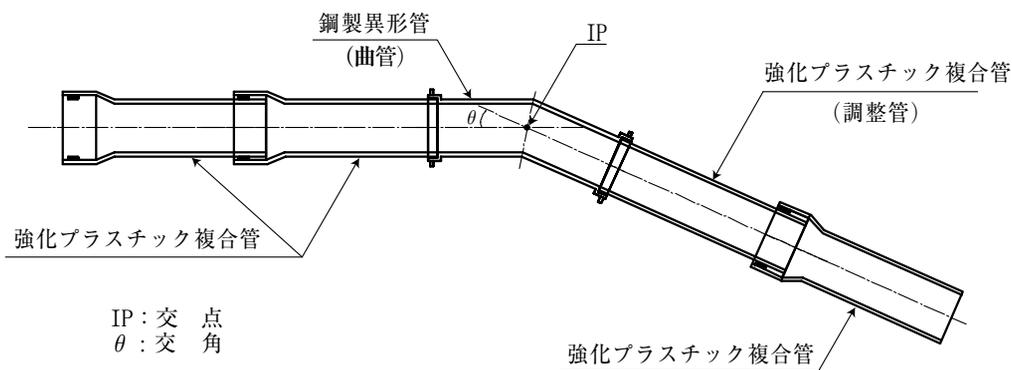


図 1.1 従来工法(管路の屈曲点に、屈曲角度に合わせた異形管を配置した配管)

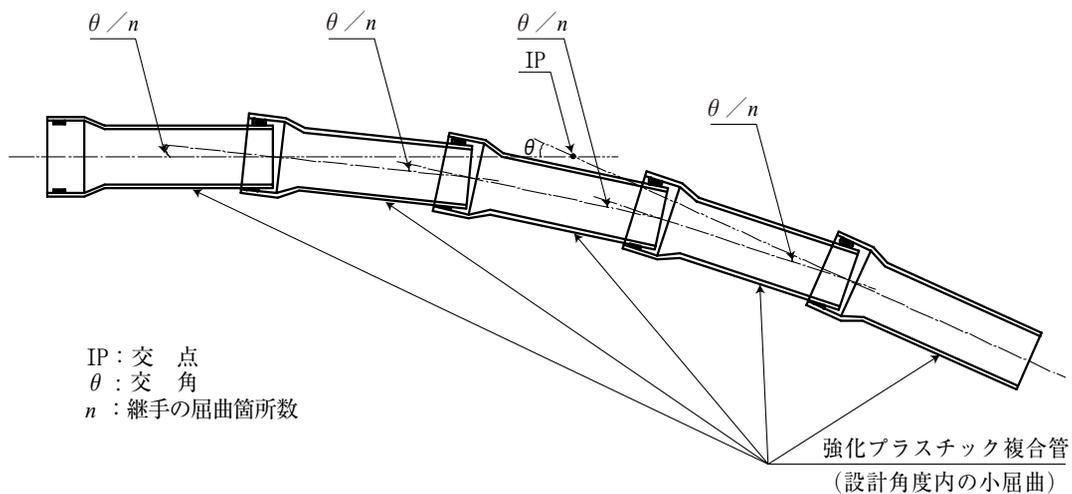


図 1.2 曲げ配管工法 (各継手の持つ設計曲げ角度の範囲内で曲線布設を行う配管)

1.2 適用範囲

本マニュアルは、農業用パイプラインにおいて、強化プラスチック複合管（以下、FRPM管）継手の可とう性を利用した曲げ配管工法の設計に適用する。

管体及び継手等は、農業用水の送配水のために必要な水理条件、構造条件及び施工条件を満足する必要がある。本マニュアルで対象とする管種は、実証実験等により安全を確認されたFRPM管とする。

[解説]

農業用パイプラインとは既製管を埋設して構成する圧力管路によって、農業用水を送配水する水路組織であり、管路とその付帯施設から構成される。従って、既製管以外のもの及び農業用水以外の水利用目的で設置されるものについては適用外とする。

曲げ配管工法に適用するFRPM管の継手構造は、水密性・耐震性等に配慮し、受口部寸法（P寸法）は表 1.1 のものとする。B形、C形、T形継手についてはJISA5350「強化プラスチック複合管」の規格寸法であり、D形継手については曲げ配管工法用として定めた寸法である。

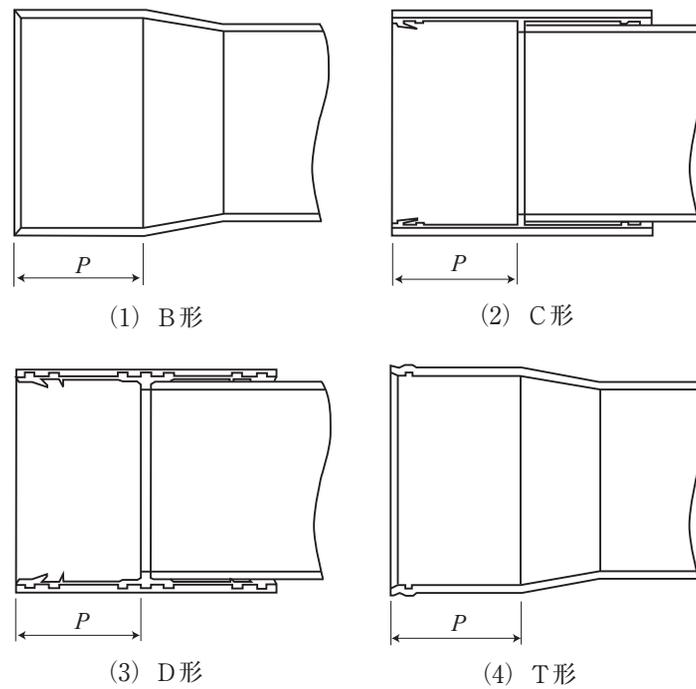
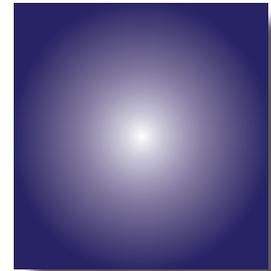


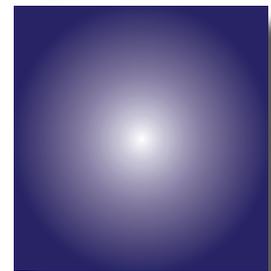
図 1.3 受口呑込み寸法 (P寸法) の参考図

表 1.1 受口部寸法 (P寸法)

呼び径	継手型式				備考
	B形	C形	D形	T形	
200	140	140	140	-	
250	140	140	140	-	
300	150	150	150	-	
350	150	150	150	-	
400	160	160	160	-	
450	160	160	160	-	
500	200	200	200	200	
600	200	200	200	200	
700	200	200	200	200	
800	220	220	220	220	
900	220	220	220	220	
1,000	220	220	220	220	
1,100	220	220	220	220	
1,200	220	220	220	220	
1,350	220	220	220	220	
1,500	250	250	250	250	
1,650	300	300	300	300	
1,800	300	300	300	300	
2,000	330	330	330	330	
2,200	330	330	330	330	
2,400	400	400	400	400	
2,600	400	-	-	400	
2,800	430	-	-	430	
3,000	430	-	-	430	



【設計編】



2 設 計

2.1 曲げ配管工法の考え方

曲げ配管工法は、継手の許容屈曲角度に対して安全性を確保した範囲内で屈曲させ、各継手部に作用する不平均力（スラスト力）に対しても安全な構造でなければならない。

[解説]

曲げ配管工法は、模型管路実験、現地実証試験、数値解析の結果により、曲げ配管部の不平均力に対する安全性が曲管使用時と同等以上であることを検証した工法である。

曲げ配管工法を採用する場合、継手1箇所当たりの曲げ角度は設計曲げ角度（許容曲げ角度の1/2）以内とし、スラスト力の検討を行う必要がある（図2.1）。

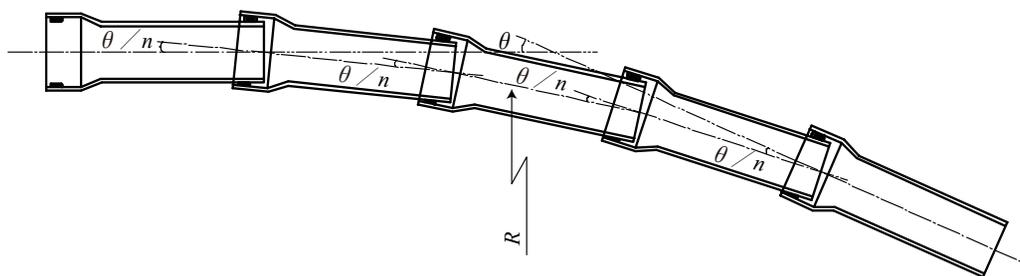


図 2.1 曲げ配管

2.2 線形計画

曲げ配管工法を適用する区間は、路線計画で設定した屈折角（IP 点）について、設計条件を満足する曲率半径を設定し、円弧による曲線設置を行う。

[解説]

曲げ配管工法の線形計画は、現地条件から管路の交角（ θ ）、曲率半径（ R ）を設定し、図 2.2 に示す円弧の A 点（B.C）、B 点（E.C）を決定する。

設定された曲率半径にあわせて FRPM 管を布設する際には、2.5 配管計画（p.17）にしたがって検討する。逆に、FRPM 管の継手性能をもとにして曲率半径を決定する場合には、表 2.3 を参考に、管長との関係を考慮して決定する。

円弧上の配管は始点（B.C）から終点（E.C）間に均等な長さの管を配置し、始点と終点を除く各継手を均等な曲げ角度に屈曲させることを原則とする。

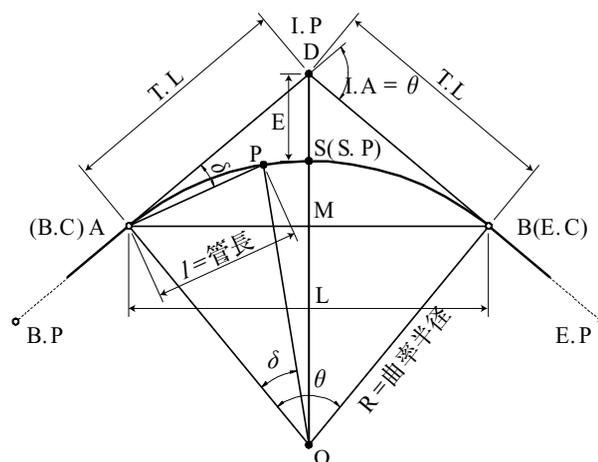


図 2.2 線形計画の概念図

2.3 設計曲げ角度

可とう性継手を用いた曲げ配管は、施工誤差、布設後の沈下、耐震性等を考慮し、水平方向および鉛直方向とも継手1箇所あたりの屈曲角は設計曲げ角度以内とする。

[解説]

FRPM管の継手は、図2.3に示すように水密性を保持できる限界状態まで屈曲したときの受口、挿口およびゴム輪の位置関係を最大屈曲状態とし、その約1/2を許容曲げ角度 (θ_a)、さらに許容曲げ角度の1/2を設計曲げ角度 (θ_d) としている。

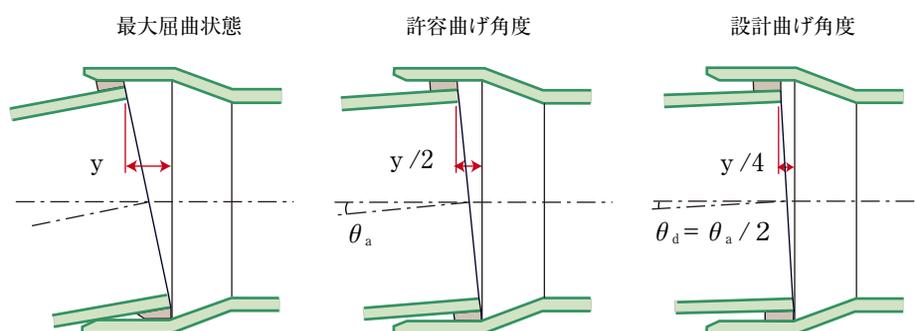


図 2.3 継手の屈曲状態

曲げ配管工法を行う場合の各継手の曲げ角度は、表 2.1 に示す設計曲げ角度以下とする。

表 2.1 FRPM管継手の曲げ角度

呼び径	許容曲げ角度 θ_a (°)	設計曲げ角度 θ_d (°) ¹⁾
200 ~ 250	6° 00′	3° 00′
300	5° 00′	2° 30′
350 ~ 400	4° 30′	2° 15′
450 ~ 800	4° 00′	2° 00′
900 ~ 1,000	3° 30′	1° 45′
1,100	3° 00′	1° 30′
1,200	2° 50′	1° 25′
1,350	2° 40′	1° 20′
1,500 ~ 3,000	2° 30′	1° 15′

注 1) 設計曲げ角度は一般的な布設後の沈下も考慮した値であるが、大きな不同沈下が予測されるなど、より安全性に配慮を要すると判断される場合には、曲げ角度の設定値等減じるなどの対策を講じるものとする。

2.4 管長と曲率半径

FRPM管は、呼び径ごとに設計曲げ角度および管の最小長さが異なるため、曲げ配管を行うにあたり適切な曲率半径を設定する必要がある。

[解説]

(1) 最小管長

FRPM管の最小長さは、管布設時の作業性を考慮して表2.2のとおりである。

表 2.2 FRPM管の最小長さ

呼び径	最小管長 (mm)
200 ~ 350	500
400 ~ 700	750
800 ~ 2,000	1D [*]
2,200 ~ 3,000	2,000

※ D は呼び径を表す。

(2) 管長と曲率半径

呼び径ごとの継手の設計曲げ角度と管長より、施工可能な曲線布設の曲率半径は表 2.3 のとおりである。

表 2.3 管長と曲率半径

呼び径	設計曲げ角度 θ_d (度)	曲率半径 R (m) ¹⁾			
		4.0 m管	3.0 m管	2.0 m管	最小長さ ²⁾
200	3° 00′	115	57	38	10 (0.50)
250		115	57	38	10 (0.50)
300	2° 30′	138	69	46	11 (0.50)
350	2° 15′	153	76	51	13 (0.50)
400		153	76	51	19 (0.75)
450	2° 00′	172	86	57	21 (0.75)
500		172	86	57	21 (0.75)
600		172	86	57	21 (0.75)
700		172	86	57	21 (0.75)
800		172	86	57	23 (0.80)
900	1° 45′	196	98	65	29 (0.90)
1,000		196	98	65	33 (1.00)
1,100	1° 30′	229	115	76	42 (1.10)
1,200	1° 25′	243	121	81	49 (1.20)
1,350	1° 20′	258	129	86	58 (1.35)
1,500	1° 15′	275	138	92	69 (1.50)
1,650		275	138	92	76 (1.65)
1,800		275	138	92	83 (1.80)
2,000		275	138	92	92 (2.00)
2,200		275	138	92	92 (2.00)
2,400		275	138	92	92 (2.00)
2,600		—	138	92	92 (2.00)
2,800		—	138	92	92 (2.00)
3,000		—	138	92	92 (2.00)

注 1) 曲率半径 $R = \frac{L}{2} \div \sin \frac{\theta_d}{2}$

ここに、 R ：曲率半径、 L ：管長、 θ_d ：設計曲げ角度

注 2) () 内数字は、最小管長を示す。

2.5 配管計画

屈曲部に曲げ配管工法を適用する場合には、路線計画にしたがって、曲げ配管の必要本数と継手1箇所あたりの曲げ角度とを決定する。

また、曲管を用いる場合と比べて管中心線が曲率の内側に移動するため、必要に応じて偏心量を考慮した設計・施工を行う。

[解説]

(1) 配管計画

①線形計画から次の計算条件を決定する (図2.4)。

管路の曲線半径 (R)、交角 (θ)

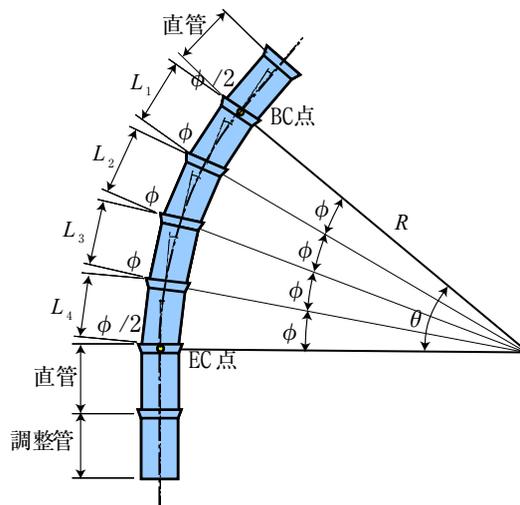


図2.4 水平曲線

②定尺短管の本数 (n) の計算

与えられた円弧に内接するよう、BC点～EC点間に定尺短管を配置する。

定尺短管 (管中心線) を弦とみなせば、管1本の曲り角度 ϕ は、

$$\frac{L/2}{R} = \sin \left(\frac{\phi}{2} \right) \quad (L = L_1 = L_2 = L_3 = L_4 : \text{短管の長さ})$$

定尺短管の本数 (n) は、

$$n = \frac{\theta}{\phi} \quad (\text{端数は切り上げる})$$

③継手1箇所ごとの曲げ角度

曲げ配管を行う継手は $(n + 1)$ 箇所であり、継手1箇所ごとの曲げ角度は ϕ とする。

ただし、カーブ両端 (BC 点、EC 点) に位置する継手の曲げ角度は、直線部と曲線部が滑らかに接続されるよう $\phi / 2$ とする。

(2) 屈曲部の偏芯量

屈曲部に曲げ配管工法を適用する場合と曲管を用いる場合とを比べると、管中心線のずれは図 2.5 に示される状態となり、その偏芯量 (D) は交角 (θ) と曲率半径 (R) によって決まる。

$$D = R \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) - 1}$$

一例として、 $R = 183 \text{ m}$ 、 $\theta = 7^\circ 30'$ の場合を考えると、 $D = 0.39 \text{ m}$ となる。

曲げ配管の採用によって路線計画や掘削断面が変更となる場合には、この偏芯量を考慮した設計・施工が必要である。

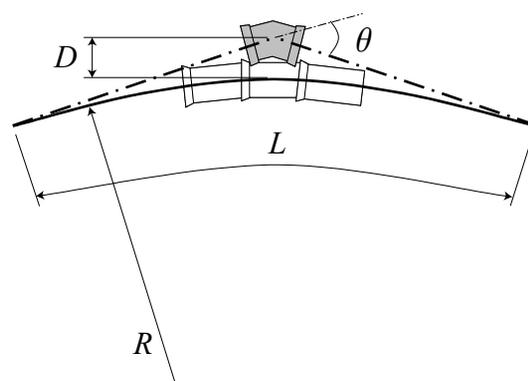


図 2.5 偏芯量の模式図

2.6 曲げ配管工法のスラスト力の検討

パイプラインの曲げ配管部（屈曲部）は、水流による遠心力や水圧によるスラスト力に対して安全でなければならない。

曲げ配管部のスラスト力の検討は、土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」に基づき、曲管と同じ計算式を用いて1屈折箇所ごとに検討することとする。

[解説]

(1) 一般事項

パイプラインの屈曲部等には、水流による遠心力や水圧の不均衡等によってスラスト力が発生するため、管体が移動する恐れのある箇所には、スラスト力に抵抗する構造物を設置する必要がある。

しかし、屈曲部の角度を数箇所に分散して大きな曲線半径とする路線選定を行い、小屈折の曲管を用いたり、パイプラインを曲げ配管したりすることにより、構造物を省略することができる。

曲げ配管を行う場合のスラスト力は曲線部全体に作用し、模型管路実験^{1)、2)}によって地盤からの抵抗力も均等に作用することが確認されている。

したがって曲げ配管部のスラスト力の検討は、図2.6に示すように継手1箇所ごとに曲管と同じ計算式を用いて行うものとする。

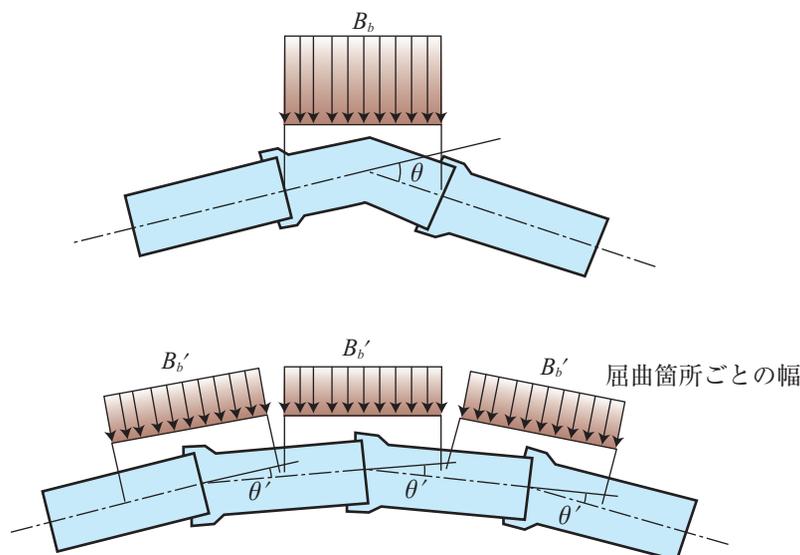


図2.6 スラスト力

- 1) 毛利他、可とう性継手による曲線配管部の内圧負荷試験、平成17年度農業土木学会大会講演会
- 2) 藤田他、曲線布設された継手管路の埋設実験と解析、平成18年度農業土木学会大会講演会

(2) 検討順序

スラスト力の検討順序は、設計基準「パイプライン」と同様、図 2.7 に示すとおりである。

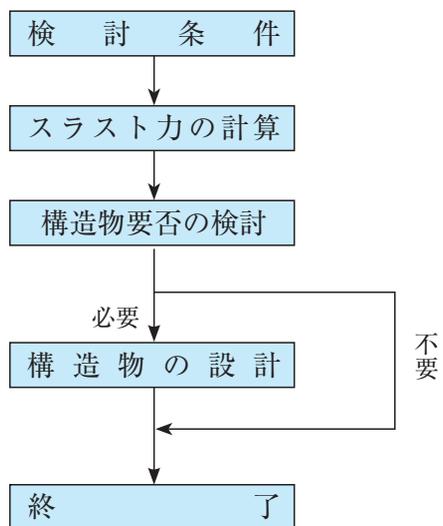


図 2.7 スラスト力の検討順序

(3) スラスト力の検討

管体がスラスト力によって移動するか否かは、以下の検討を行って判定する。

曲げ配管の継手部に作用するスラスト力は図 2.8、図 2.9 のように曲管と同様に考える。またスラスト力に対して抵抗力を受ける背面幅は、図 2.10 に示すとおり、屈曲した継手 1 箇所につき前後の管の 1 / 2 づつとする。

スラスト力に対する安全率は、表 2.4 に示すとおりである。

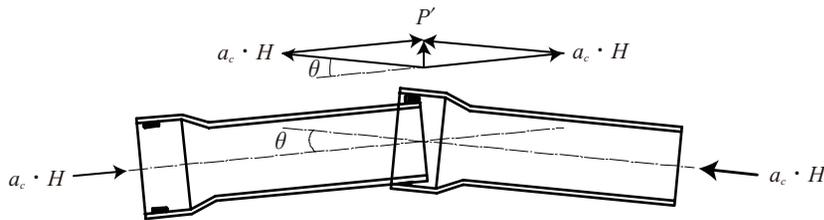


図 2.8 スラスト力の考え方

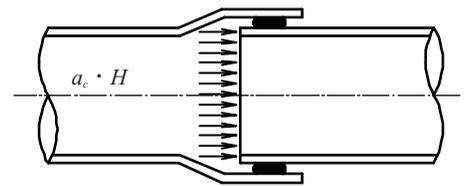
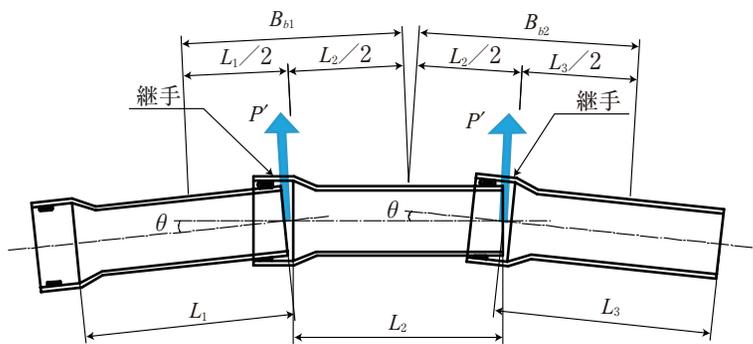


図 2.9 管の継手での水圧の作用範囲



ここに、 $B_{b1} = (L_1 + L_2) / 2$ 、 $B_{b2} = (L_2 + L_3) / 2$
 L_1 、 L_2 、 L_3 ：曲げ配管を行う管の長さ (m)

図 2.10 管背面の幅

表 2.4 安全率 S

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

注) 滑動の検討にあたり、FRPM管の摩擦係数は0.3を標準とする。

a. 管が水平方向に屈曲する場合

①滑動に対する検討

$$R_h \geq S \cdot P' \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、

R_h : 水平方向抵抗力 (管背面の受働土圧) (kN)

P' : スラスト力 (kN)

S : 安全率 (1.5 以上)

スラスト力 P' は、式 (2.2) により求める。

$$P' = 2 \left(H \cdot a_c + \frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g} \right) \sin \frac{\theta}{2} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、

H : 設計水圧 (静水圧 + 水撃圧) (kN/m²)

a_c : 設計水圧が作用する範囲の断面積 (m²)

図 2.9 のような継手構造の管では挿口外径の断面積とする。

a : 流水断面積 (m²)

w_0 : 管内水の単位体積重量 (9.8 kN/m³)

V : 管内平均流速 (m/s)

g : 重力の加速度 (m/s²)

θ : 曲管の曲がり角度 (°)

ただし、 $\frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g}$ については、通常の場合無視してよい。

水平方向抵抗力 (管背面の受働土圧) R_h は、式 (2.3) により求める。

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} w \cdot B_b (H_2^2 - H_1^2) \tan^2 (45^\circ + \phi / 2) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

ここに、

F : 曲面の受働土圧の補正係数 (0.65 とする)

w : 土の単位体積重量 (kN/m³)

B_b : 1 屈折箇所あたりのスラスト力を受ける管背面の幅 (m) 図 2.10 参照。

H_1 : 地表面から管頂面までの深さ (m)

H_2 : 地表面から管底面までの深さ (m)

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

ϕ : 土の内部摩擦角 (°)

b. 管が鉛直方向に屈曲する場合

① 滑動に対する検討

$$R_h \geq S \cdot P_h \dots\dots\dots (2.4)$$

② 浮上に対する検討

上向きスラストを受ける場合のみ考慮する。

$$\left. \begin{aligned} R_v + W &\geq S \cdot P_v \text{ (一般の場合)} \\ R_v + W - U &\geq S \cdot P_v \text{ (地下水位が管頂上にあり管の浮上を考慮する場合)} \end{aligned} \right\} (2.5)$$

③ 沈下に対する検討

下向きスラストを受ける場合のみ考慮する。

$$\sigma_{rv} \geq S \cdot \sigma_v \dots\dots\dots (2.6)$$

ここに、

R_h : 水平方向抵抗力 (管背面の受働土圧) (kN)

P_h : スラストの水平分力 (kN)

R_v : 管側面の主働土圧による摩擦抵抗力 (kN)

W : 管底面に加わる全荷重 (kN)

P_v : スラストの鉛直分力 (kN)

σ_{rv} : 管底面の地盤の許容支持力度 (kN/m²)

σ_v : 管底面に加わる荷重強度 (kN/m²)

S : 安全率 (表 2.4 参照)

U : 管の浮力 (kN)、 $U = (\pi / 4) \cdot D_c^2 \cdot w_0 \cdot L$

L : 1 屈折箇所あたりの管長 (m) $\frac{L_1 + L_2}{2}$

D_c : 管外径 (m)

w_0 : 水の単位体積重量 (9.8 kN/m³)

スラストの水平分力 P_h および鉛直分力 P_v は、式 (2.7)、式 (2.8) により求める。

$$P_h = P' \cdot \sin (\theta / 2 \pm \beta) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$P_v = P' \cdot \cos (\theta / 2 \pm \beta) \dots\dots\dots (2.8)$$

ここに、

θ : 曲管の曲がり角度 (°)

β : 曲折部と水平とのなす角度 (°)

P' : スラスト力 (kN) [式 (2.2) による]

式中の記号は図 2.11、図 2.12 による。

Case 1 (+) の場合

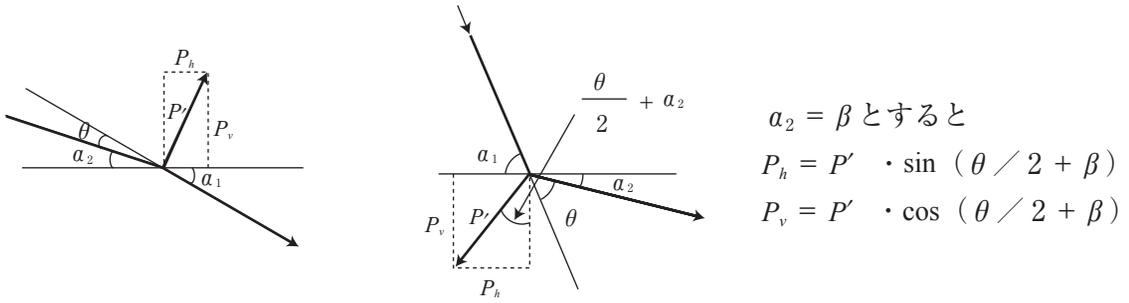


図 2.11

Case 2 (-) の場合

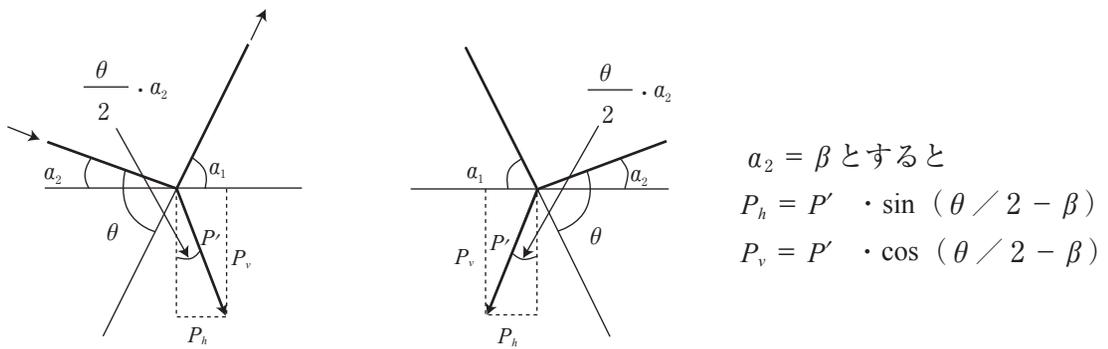


図 2.12

水平方向抵抗力 (管背面の受働土圧) R_{h2} は、式 (2.9) により求める。

$$R_{h2} = F \cdot \frac{1}{2} w \cdot B_b (H_2^2 - H_1^2) \tan^2 (45^\circ + \phi / 2) \dots\dots\dots (2.9)$$

ここに、

- F : 曲面の受働土圧の補正 (0.65 とする)
 - w : 土の単位体積重量 (kN/m^3)
 - B_b : 管背面の幅 (m)、 $B_b = D_c$
 - H_2 : 地表面から管底面までの深さ (m)
 - H_1 : 地表面から管頂面までの深さ (m)
 - $\tan^2 (45^\circ + \phi / 2)$: 受働土圧係数
 - ϕ : 土の内部摩擦角 ($^\circ$)
 - D_c : 管外径 (m)
- } (図 2.13 参照)

管側面の主働土圧による摩擦抵抗力 R_v は、式 (2.10) により求める。

$$R_v = \frac{1}{2} w \cdot L \cdot \mu (H_2^2 - H_1^2) \tan^2 (45^\circ - \phi / 2) \dots\dots\dots (2.10)$$

ここに、

- L : 1 屈折箇所あたりの摩擦を受ける管側面長さ (m) $\frac{L_1 + L_2}{2}$ (図 2.13 参照)
- μ : 管側面と土の摩擦係数

- ϕ : 土の内部摩擦角 (°)
- H_1 : 地表面から管頂面までの深さ (m)
- H_2 : 地表面から管底面までの深さ (m)
- w : 土の単位体積重量 (kN/m³)

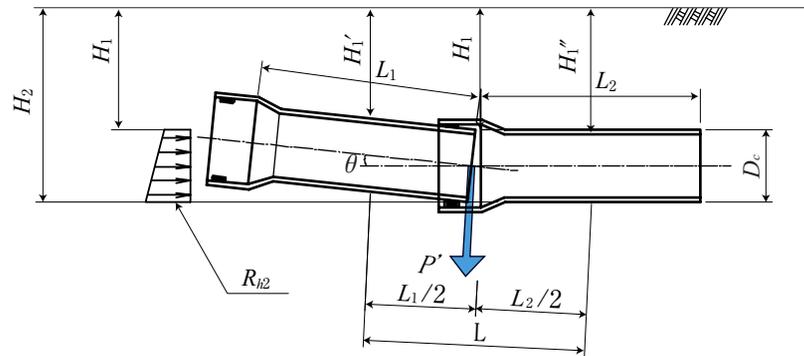


図 2.13

管底面に加わる全荷重 W は、式 (2.11) により求める。

$$W = W_1 + W_2 \dots\dots\dots (1.11)$$

$$W_1 = w \cdot H_m \cdot A \dots\dots\dots (1.12)$$

$$W_2 = W_f + (\pi / 4) \cdot D^2 \cdot L \cdot w_0 \dots\dots\dots (1.13)$$

ここに、

- W_1 : 管上の埋戻し土による鉛直土圧 (kN)
- W_2 : 直管類の重量および管内水重 (kN)
- A : 管底面積 (m²)、 $A = D_c \cdot L$ (図 2.13 参照)
- H_m : 地表面からの平均深さ (m)
- w : 土の単位体積重量 (kN/m³)
- W_f : 直管類の重量 (kN)
- D : 管内径 (m)
- D_c : 管外径 (m)

$$L : 1 \text{ 屈折箇所あたりの管自重および管内水重を考慮する長さ (m) } L = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

w_0 : 水の単位体積重量 (9.8 kN/m³)

管底面に加わる荷重強度 σ_v は、式 (2.14) により求める。

$$\sigma_v = \frac{W + P_v - R_v}{A} \dots\dots\dots (2.14)$$

ここに、

- W : 管底面に加わる全荷重 (kN) [式 (2.11) による]
- P_v : スラスト力の鉛直分力 (kN) [式 (2.8) による]

R_v : 管側面の主働土圧による摩擦抵抗力 (kN) [式 (2.10) による]

A : 管底面積 (m^2)、 $A = D_c \cdot L$ (図 2.13 参照)

(4) スラスト力の対策

スラスト力が管に作用する抵抗力より大きい場合は、コンクリートによる巻立て (スラストブロック)、杭、矢板等を用いて管体が移動を起こさないようにしなければならない。

スラスト力の対策工の計算等は、土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」基準書・技術書平成 10 年 3 月農林水産省構造改善局による。

3 設計例

曲げ配管工法を適用する際に検討を行う以下の3項目について、計算例を示す。

- 3.1 路線設計例
- 3.2 スラスト力の計算例
- 3.3 耐震計算例

3.1 曲げ配管の路線設計例

曲げ配管を行うときの路線設計について、①水平方向に屈曲する場合、②鉛直方向のS字曲線の場合を考え、各々の計算例を示す。

なお、ここではFRPM管の定尺管(4.0 m)を適用することを前提に、継手の屈曲角度から曲率半径を決定する手順について示す。

3.1.1 水平方向に屈曲する場合

(1) 設計条件

屈曲の方向	水平方向
IP点の屈曲角度 (α)	6° 30'
管路勾配	1 / 200
呼び径	2,000 (挿口部外径 $D_c = 2,085 \text{ mm} = 2.085 \text{ m}$)
管の設計曲げ角度 (θ_d)	1° 15'
管長 (L_p)	4.0 (m)

(2) 平面図・縦断図

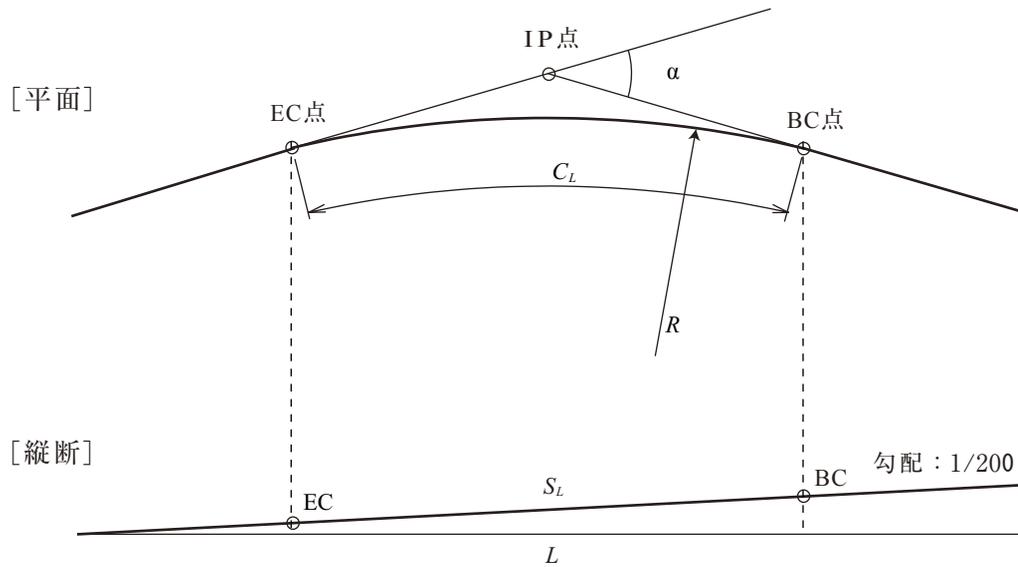


図 3.1 平面・縦断線形

(3) 必要本数および継手 1箇所あたりの曲げ角度

必要本数 (n) = IP 点の屈曲角度 (α) \div 管の設計曲げ角度 (θ_d)

$$n = 6.5 / 1.25$$

$$= 5.2 \rightarrow 6 \text{ 本 (切り上げ)}$$

したがって継手箇所 ($n + 1$) は、

$$n + 1 = 7 \text{ 箇所}$$

継手 1箇所あたり (曲線上の 5箇所) の曲げ角度 (ϕ) は

$$\phi = 6.5 / 6 = 1^\circ 05'$$

BC 点・EC 点 (曲線の両端 2箇所) の曲げ角度は、 $\phi / 2 = 0^\circ 32' 30''$

(4) 継手間隔の算定

屈曲に伴う継手 1箇所あたりの伸出し量 (δ) は

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot D_c \cdot \sin \phi = 2.085 \times \sin (1.08333^\circ) / 2 = 0.020 \text{ m}$$

(5) 曲率半径の決定

継手の伸出し量を含む単位管の長さ $L' = L_p + \delta = 4.000 + 0.020 = 4.020 \text{ m}$ より、

曲率半径は

$$\begin{aligned} R &= (L' / 2) \div \sin (\phi / 2) \\ &= (4.020 / 2) / \sin (1.08333^\circ / 2) \\ &= 212.6 \text{ m} \end{aligned}$$

(6) 配管

管路勾配 $1/200$ より、管路傾斜角 θ_v は

$$\theta_v = \tan^{-1} (1/200) = 0.286^\circ$$

斜距離を考慮して管路長を求めると、

$$\begin{aligned} S_L &= 4.020 \times 6 / \cos (0.286^\circ) \\ &= 24.120 \text{ m (小数第3位まで変化なし)} \end{aligned}$$

配管図を図 3.2 に示す。

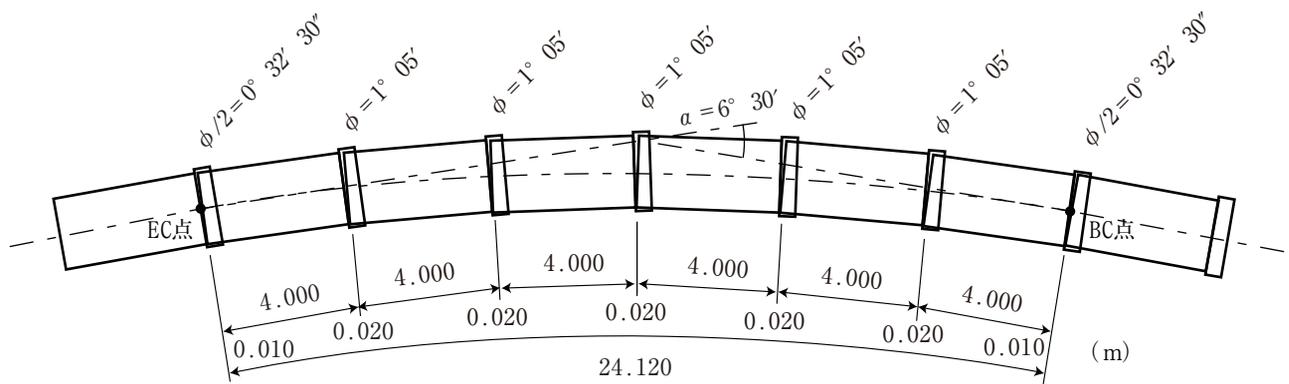


図 3.2 水平方向屈曲の曲げ配管図

3.1.2 鉛直方向のS字曲線の場合

(1) 設計条件

屈曲の方向	鉛直方向S字曲線
管路の落差 (H)	0.5 (m)
落差を吸収する区間の水平距離 (L)	24.0 (m)
呼び径	2,000 (挿口部外径 $D_c = 2,085\text{mm} = 2.085\text{ m}$)
管の設計曲げ角度 (θ_d)	$1^\circ 15'$
管長 (L_p)	4.0 (m)

(2) 平面図・縦断面

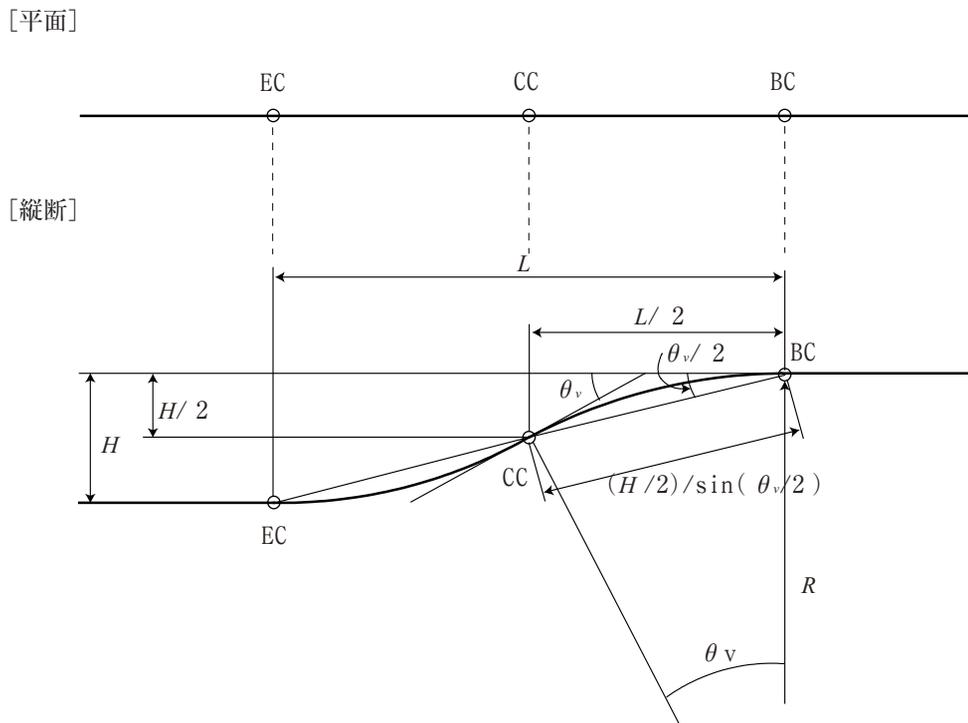


図 3.3 平面・縦断線形

(3) 鉛直方向の屈曲角度

S字配管の「上に凸」部分 (BC ~ CC) を考え、鉛直方向の屈曲角 θ_v を求める。

$$\begin{aligned} \tan (\theta_v / 2) &= (H / 2) / (L / 2) \\ \theta_v &= 2 \times \tan^{-1} ((H / 2) / (L / 2)) \\ &= 2 \times \tan^{-1} (0.25 / 12) = 2.387^\circ \end{aligned}$$

(4) 必要本数および継手 1箇所あたりの曲げ角度

水平距離から「上に凸」部分の必要本数を概定すると、

$$\text{必要本数 } (n) = \text{水平距離 } (L / 2) \div \text{管長 } (L_p)$$

$$n = 12 / 4$$

$$= 3 \text{ 本}$$

したがって継手箇所 ($n + 1$) は、

$$n + 1 = 4 \text{ 箇所}$$

継手1箇所あたり (曲線中央部の2箇所) の曲げ角度 (ϕ) は

$$\phi = 2.387 / 3 = 0^\circ 47' 44''$$

BC点 (曲線の始点1箇所) の曲げ角度は、 $\phi / 2 = 0^\circ 23' 52''$

CC点 (曲線の変曲点1箇所) の曲げ角度は 0°

(5) 継手間隔の算定

屈曲に伴う継手1箇所あたりの伸出し量 (δ) は

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot D_c \cdot \sin \phi = 2.085 \times \sin (0.795667^\circ) / 2 = 0.014 \text{ m}$$

(6) 曲率半径の決定

継手の伸出し量を含む単位管の長さ $L' = L_p + \delta = 4.000 + 0.014 = 4.014 \text{ m}$ より、
曲率半径は

$$R = (L' / 2) \div \sin (\phi / 2)$$

$$= (4.014 / 2) / \sin (0.795667^\circ / 2)$$

$$= 289.0 \text{ m}$$

(7) 配管

「下に凸」部分は「上に凸」部分と対称であるから同様に考えて、配管図を図3.4に示す。

S字曲線の中央部 (CC点) の継手は、それぞれの曲線に対する $\phi / 2$ づつの屈曲が相殺され、
屈曲角度は 0° となる。

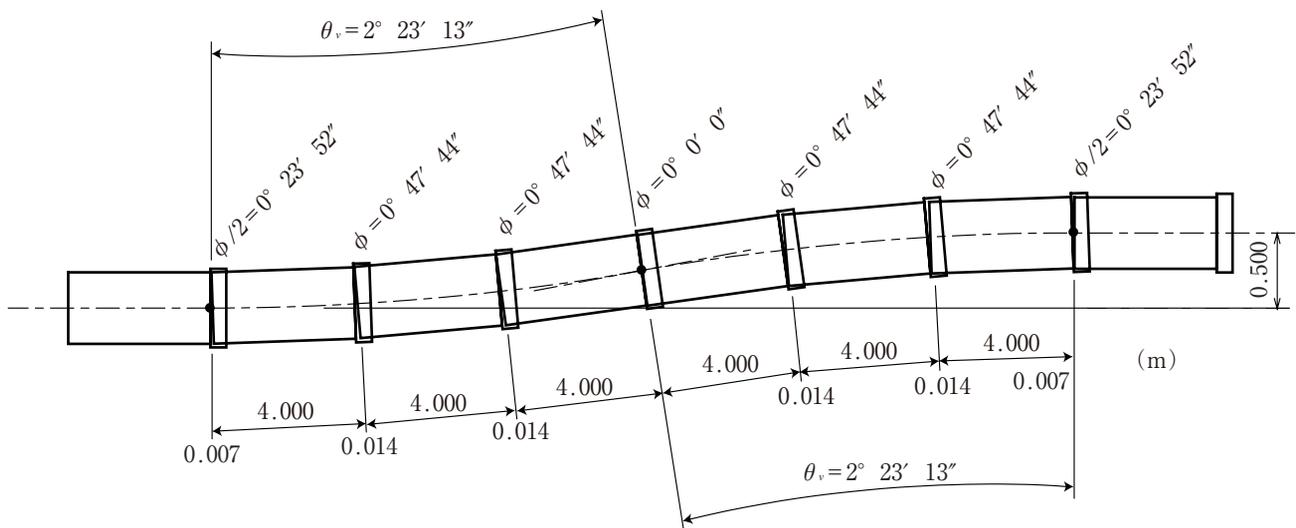


図 3.4 鉛直方向S字曲線の曲げ配管図

3.2 曲げ配管のスラスト力の計算例

曲げ配管を行った場合の、水平スラスト及び鉛直スラスト（上向き、下向き）の計算例を示す。

3.2.1 水平スラスト力の計算例

(1) 計算条件

スラスト型式……………水平スラスト
 管種、呼び径……………FRPM管φ1100（外径 $D_c = 1,144 \text{ mm} = 1.144 \text{ m}$ ）
 設計水圧……………0.30 (MPa) = 300 (kN/m²)
 屈曲角度……………1° 30′
 土の単位体積重量……………18 (kN/m³)
 土の内部摩擦角……………25 (°)
 土かぶり……………1.2 (m)
 短管長 $L_1 = L_2$ ……………2.0 (m)

(2) 設計断面

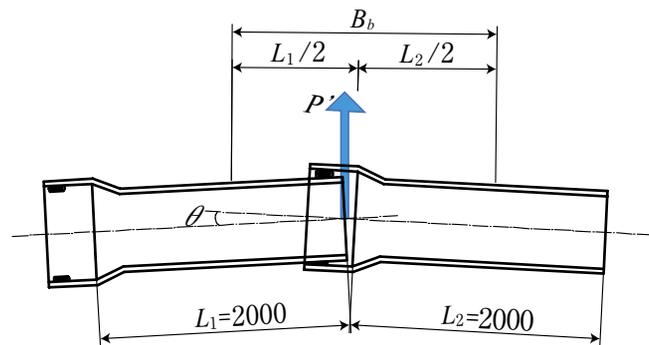


図 3.5 設計断面（水平）

(3) スラスト力（「設計基準」 p.319）

スラスト力は次式で算出されるが、通常の場合 $\frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g}$ については無視してよいので、これを省略し算出する。

$$P' = 2 \left(H \cdot a_c + \frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g} \right) \sin (\theta / 2) \doteq 2H \cdot a_c \cdot \sin (\theta / 2)$$

ここに、

P' : スラスト力 (kN)

H : 設計水圧（静水圧 + 水撃圧）300 (kN/m²)

a_c : 設計水圧が作用する範囲の断面積 $1.144^2 \times \pi / 4 = 1.03$ (m²)

a : 流水断面積 (m²)

w_0 : 管内水の単位体積重量 9.8 (kN/m³)

V : 管内平均流速 (m/s)

g : 重力の加速度 9.8 (m/s²)

θ : 曲管の曲がり角度 1° 30′ (°)

$P' = 2 \times 300 \times 1.03 \times \sin (1^\circ 30' / 2) = 8.09$ (kN)

(4) 水平方向抵抗力

水平方向抵抗力 (管背面の受働土圧) は、次式より求める。

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} w \cdot B_b \cdot (H_2^2 - H_1^2) \tan^2 (45^\circ + \phi / 2)$$

ここに、

R_h : 水平方向抵抗力 (管背面の受働土圧) (kN)

F : 曲面の受働土圧の補正係数 (0.65 とする)

w : 土の単位体積重量 18 (kN/m³)

D_c : 管外径 1.144 (m)

B_b : 管背面の幅 (m) 両側の直管 (L_1 , L_2) の $1 / 2$ ずつ

$B_b = 2 \cdot L / 2 \cdot \cos (\theta / 2) = 2 \times 2 / 2 \times \cos (1^\circ 30' / 2) = 2.00$ (m)

H_1 : 地表面から管頂面までの深さ 1.20 (m)

H_2 : 地表面から管底面までの深さ $1.20 + 1.144 = 2.344$ (m)

$\tan^2 (45 + \phi / 2)$: 受働土圧係数

ϕ : 土の内部摩擦角 25 (°)

$$R_h = 0.65 \times \frac{1}{2} \times 18 \times 2.00 \times (2.344^2 - 1.20^2) \times \tan^2 (45^\circ + 25^\circ / 2) = 116.88$$
 (kN)

(5) 滑動に対する検討

滑動に対する検討は、「設計基準パイプライン」p.319の式(9.8.1)を変形した次式により行う。

$$S = R_h / P' \geq S_a = 1.5$$

ここに、

S : 滑動に対する安全率

R_h : 水平方向抵抗力 (管背面の受働土圧) 116.87 (kN)

P' : スラストの水平分力 8.09 (kN)

S_a : 許容安全率 1.5

$$S = 116.88 / 8.09 = 14.4 > 1.5$$

よって、管背面の受働土圧のみで安定する。

以上の計算の結果、滑動に対する安全率が 1.5 以上あるため、スラストブロック等の構造物の設

置は不要である。

3.2.2 鉛直上向きスラスト力の計算例

(1) 計算条件

スラスト型式	鉛直スラスト (上向き)
管種、呼び径	F R P M管 ϕ 1100 (外径 $D_c = 1,144 \text{ mm} = 1.144 \text{ m}$)
設計水圧	0.30 (MPa) = 300 (kN/m ²)
屈曲角度	1° 30′
土の単位体積重量	18 (kN/m ³)
土の内部摩擦角	25 (°)
土かぶり	1.2 (m)
短管長 $L_1 = L_2$	2.0 (m)

(2) 設計断面

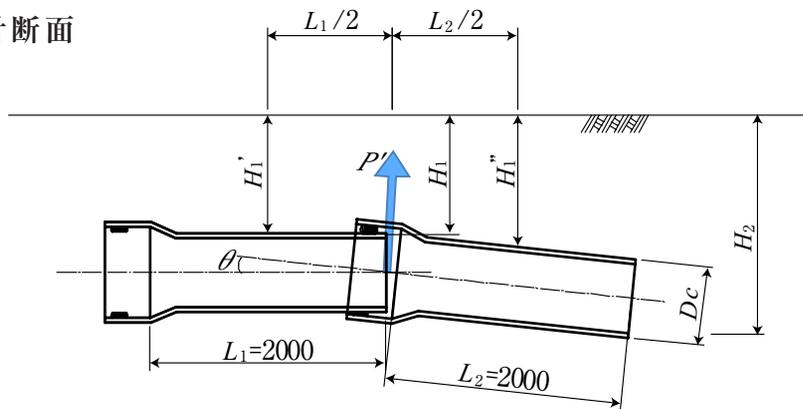


図 3.6 設計断面 (鉛直上向き)

(3) スラスト力 (「設計基準」 p.319)

スラスト力は次式で算出されるが、通常の場合 $\frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g}$ については無視してよいので、これを省略し算出する。

$$P' = 2 \left(H \cdot a_c + \frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g} \right) \sin (\theta / 2) \doteq 2H \cdot a_c \cdot \sin (\theta / 2)$$

ここに、

P' : スラスト力 (kN)

H : 設計水圧 (静水圧 + 水撃圧) 300 (kN/m²)

a_c : 設計水圧が作用する範囲の断面積 $1.144^2 \times \pi / 4 = 1.03 \text{ (m}^2\text{)}$

- a : 流水断面積 (m²)
 w_0 : 管内水の単位体積重量 9.8 (kN/m³)
 V : 管内平均流速 (m/s)
 g : 重力の加速度 9.8 (m/s²)
 θ : 曲管の曲がり角度 1° 30'

$$P' = 2 \times 300 \times 1.03 \times \sin (1^\circ 30' / 2) = 8.09 \text{ (kN)}$$

(4) スラストの水平分力、鉛直分力

a. 水平分力

$$P_h = P' \cdot \sin \left(\frac{\theta}{2} + \beta \right)$$

- ここで、 P' : スラスト力 (kN) [式 (1.2) による] = 8.09 (kN)
 θ : 曲管の曲がり角度 = 1° 30'
 β : 曲折部と水平とのなす角 [図 2.11 参照] = 0°

$$\begin{aligned}
 P_h &= 8.09 \times \sin \left(\frac{1^\circ 30'}{2} + 0 \right) \\
 &= 0.11 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

b. 鉛直分力

$$P_v = P' \cdot \cos \left(\frac{\theta}{2} + \beta \right)$$

- ここで、 P' : スラスト力 (kN) [式 (1.2) による] = 8.09 (kN)
 θ : 曲管の曲がり角度 = 1° 30'
 β : 曲折部と水平とのなす角 [図 1.14 参照] = 0°

$$\begin{aligned}
 P_v &= 8.09 \times \cos \left(\frac{1^\circ 30'}{2} + 0 \right) \\
 &= 8.09 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

(5) 管底面に加わる全荷重

a. 管上の埋戻し土による鉛直土圧

この設計断面では次の式が成り立つ

$$W_1 = w \cdot \frac{H_1 + H_1'}{2} \cdot \frac{L_1}{2} \cdot D_c + w \cdot \frac{H_1 + H_1''}{2} \cdot \frac{L_2}{2} \cdot D_c$$

- ここで、 w : 土の単位体積重量 (kN/m³) = 18 (kN/m³)
 H_1 : 地表面から管頂面までの深さ (m) = 1.200 (m)

$$H_1' : \text{地表面から管頂面までの深さ (m)} = 1.200 \text{ (m)}$$

$$H_1'' : \text{地表面から管頂面までの深さ (m)} = 1.226 \text{ (m)}$$

$$L_1 : \text{短管長 (m)} = 2.00 \text{ (m)}$$

$$L_2 : \text{短管長 (m)} = 2.00 \text{ (m)}$$

$$D_c : \text{管外径 (m)} = 1.144 \text{ (m)}$$

$$\begin{aligned} W_1 &= 18 \times 1.20 \times \frac{2.00}{2} \times 1.144 + 18 \times \frac{1.200+1.226}{2} \times \frac{2.00}{2} \times 1.144 \\ &= 49.69 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

b. 管重及び水重

$$W_2 = W_f + \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot w_0$$

ここで、 W_f : 直管の重量 (kN) 0.358 tf/本 (ϕ 1100 × 2 m/本)

$$= 0.358 \times 9.81 \times 1 / 2 \times 2 = 3.51 \text{ (kN)}$$

$$D : \text{管内径 (m)} = 1.100 \text{ (m)}$$

w_0 : 管内水の単位体積重量 9.8 (kN/m³)

L : 1 屈折箇所あたりの管自重および管内水重を考慮する長さ = 2.00 (m)

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} = 2.00 \text{ (m)}$$

$$\begin{aligned} W_2 &= 3.51 + \frac{\pi \cdot 1.100^2}{4} \times 2.0 \times 9.8 \\ &= 3.51 + 18.63 = 22.14 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

c. 管底面に加わる全荷重

$$W = W_1 + W_2$$

ここで、 W_1 : 管上の埋戻し土による鉛直土圧 (kN) = 49.69 (kN)

W_2 : 曲管類の重量および管内水重 (kN) = 22.14 (kN)

$$W = 49.69 + 22.14$$

$$= 71.83 \text{ (kN)}$$

(6) 水平方向抵抗力

a. 管底面の摩擦抵抗力

$$R_H = \mu \cdot W$$

ここで、 μ : 管底面と土の摩擦係数 = 0.5

W : 管底面に加わる全荷重 (kN) = 71.83 (kN)

$$R_H = 0.5 \times 71.83$$

$$= 35.91 \text{ (kN)}$$

(7) 管側面の主働土圧による摩擦抵抗

$$R_v = \frac{1}{2} w \cdot L \cdot \mu (H_2^2 - H_1^2) \tan^2 \left(45^\circ - \phi / 2 \right)$$

ここで、 w : 土の単位体積重量 (kN/m³) = 18 (kN/m³)

L : 1 屈折箇所あたりの摩擦を受ける管側面長さ (m)

$$L = 2 \times \ell' = 2 \times 1.00 = 2.00 \text{ (m)}$$

μ : 管側面と土の摩擦係数 = 0.5

H_1 : 地表面から管頂面までの深さ (m) = 1.20 (m)

H_2 : 地表面から管底面までの深さ (m) = 2.344 (m)

ϕ : 土の内部摩擦角 (°) = 25 (°)

$$R_v = \frac{1}{2} \times 18 \times 2.00 \times 0.5 \times (2.344^2 - 1.20^2) \times \tan^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right)$$

$$= 14.81 \text{ (kN)}$$

(8) 滑動に対する検討

$$R_H \geq S \cdot P_H$$

ここで、 R_H : 水平方向抵抗力 (管体底面の摩擦抵抗) (kN) = 35.91 (kN)

P_H : スラストの水平分力 (kN) = 0.11 (kN)

$$S = 35.91 / 0.11$$

$$= 326 \geq 1.5$$

(9) 浮上に対する検討

$$R_v + W \geq S \cdot P_v$$

ここで、 R_v : 管側面の主働土圧による摩擦抵抗力 (kN) = 14.81 (kN)

W : 管底面に加わる全荷重 (kN) = 71.56 (kN)

P_v : スラスト力の鉛直分力 (kN) = 8.09 (kN)

$$S = (14.81 + 71.83) / 8.09$$

$$= 10.7 > 1.2$$

以上の計算の結果、滑動に対する安全率が 1.5 以上、浮上に対する安全率が 1.2 以上あるためスラストブロック等の構造物の設置は不要である。

なお、地下水位が管頂上にあり管の浮上を考慮する必要がある場合は、抵抗力から管の浮力を差し引いた計算を行う。

3.2.3 鉛直下向きスラスト力の計算例

(1) 計算条件

スラスト型式	鉛直スラスト（下向き）
管種、呼び径	F R P M管φ 1100（外径 $D_c = 1144 \text{ mm} = 1.144 \text{ m}$ ）
設計水圧	0.30（MPa） = 300（ kN/m^2 ）
屈曲角度	$1^\circ 30'$
土の単位体積重量	18（ kN/m^3 ）
土の内部摩擦角	25°
土かぶり	1.50（m）
短管長 $L_1 = L_2$	2.0（m）

(2) 設計断面

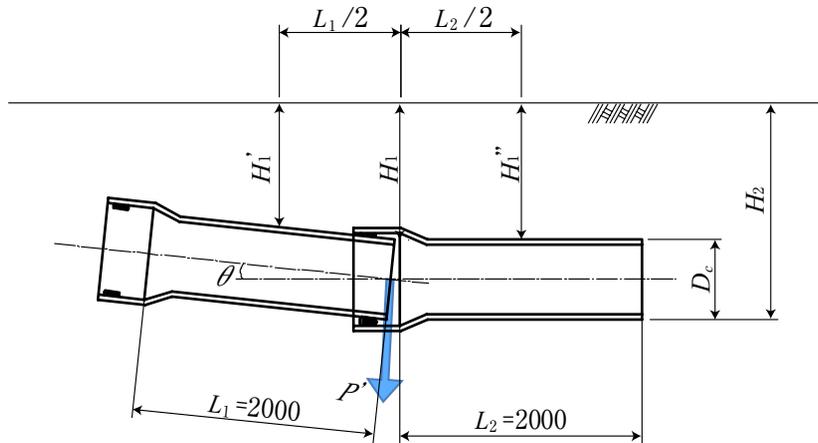


図 3.7 設計断面（鉛直下向き）

(3) スラスト力（「設計基準」 p.319）

スラスト力は次式で算出されるが、通常の場合 $\frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g}$ については無視してよいので、これを省略し算出する。

$$P' = 2 \left(H \cdot a_c + \frac{a \cdot w_0 \cdot V^2}{g} \right) \sin (\theta / 2) \approx 2H \cdot a_c \cdot \sin (\theta / 2)$$

ここに、

P' : スラスト力 (kN)

H : 設計水圧（静水圧 + 水撃圧）300 (kN/m^2)

a_c : 設計水圧が作用する範囲の断面積 $1.1442 \times \pi \times 1 / 4 = 1.03 \text{ (m}^2\text{)}$

a : 流水断面積 (m^2)

w_0 : 管内水の単位体積重量 9.8 (kN/m^3)

V : 管内平均流速 (m/s)

g : 重力の加速度 $9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$

θ : 曲管の曲がり角度 $1^\circ 30'$ ($^\circ$)

$$P' = 2 \times 300 \times 1.03 \times \sin (1^\circ 30' / 2) = 8.09 \text{ (kN)}$$

(4) スラストの水平分力、鉛直分力

a. 水平分力

$$P_h = P' \cdot \sin \left(\frac{\theta}{2} + \beta \right)$$

ここで、 P' : スラスト力 (kN) [式 (1.2) による] = 8.09 (kN)

θ : 曲管の曲がり角度 = $1^\circ 30'$

β : 曲折部と水平とのなす角 [図 2.11 参照] = 0°

$$P_h = 8.09 \times \sin \left(\frac{1^\circ 30'}{2} + 0 \right)$$

$$= 0.11 \text{ (kN)}$$

b. 鉛直分力

$$P_v = P' \cdot \cos \left(\frac{\theta}{2} + \beta \right)$$

ここで、 P' : スラスト力 (kN) [式 (1.2) による] = 8.09 (kN)

θ : 曲管の曲がり角度 = 45°

β : 曲折部と水平とのなす角 [図 2.11 参照] = 0°

$$P_v = 8.09 \times \cos \left(\frac{1^\circ 30'}{2} + \beta \right)$$

$$= 8.09 \text{ (kN)}$$

(5) 管底面に加わる全荷重

a. 管上の埋戻土による鉛直土圧

この設計断面では次の式が成り立つ

$$W_1 = w \cdot \frac{H_1 + H_1'}{2} \cdot \frac{L_1}{2} \cdot D_c + w \cdot \frac{H_1 + H_1''}{2} \cdot \frac{L_2}{2} \cdot D_c$$

ここで、 w : 土の単位体積重量 (kN/m^3) = 18 (kN/m^3)

H_1 : 地表面から管頂面までの深さ (m) = 1.474 (m)

H_1' : 地表面から管頂面までの深さ (m) = 1.500 (m)

H_1'' : 地表面から管頂面までの深さ (m) = 1.500 (m)

$$L_1 : \text{短管長 (m)} = 2.00 \text{ (m)}$$

$$L_2 : \text{短管長 (m)} = 2.00 \text{ (m)}$$

$$W_1 = 18 \times \frac{1.500 + 1.474}{2} \times \frac{2.00}{2} \times 1.144 + 18 \times 1.50 \times \frac{2.00}{2} \times 1.144$$

$$= 61.50 \text{ (kN)}$$

b. 管重及び水重

$$W_2 = W_f + \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot w_0$$

ここで、 W_f : 直管の重量 (kN) 0.358 tf/本 (ϕ 1100 × 2 m / 本)

$$= 0.358 \times 9.81 \times 1 / 2 \times \text{両側} 2 = 3.51 \text{ (kN)}$$

$$D : \text{管内径 (m)} = 1.100 \text{ (m)}$$

$$w_0 : \text{管内水の単位体積重量 } 9.8 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

L : 1 屈折箇所あたりの管自重および管内水重を考慮する長さ

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} = 2.00 \text{ (m)}$$

$$W_2 = 3.51 + \frac{\pi \cdot 1.100^2}{4} \times 2.0 \times 9.8$$

$$= 3.51 + 18.63 = 22.14 \text{ (kN)}$$

c. 管底面に加わる全荷重

$$W = W_1 + W_2$$

ここで、 W_1 : 管上の埋戻し土による鉛直土圧 (kN) = 61.78 (kN)

W_2 : 曲管類の重量および管内水重 (kN) = 22.14 (kN)

$$W = 61.50 + 22.14$$

$$= 83.64 \text{ (kN)}$$

(6) 水平方向抵抗力

a. 管底面の摩擦抵抗力

$$R_H = \mu \cdot W$$

ここで、 μ : 管底面と土の摩擦係数 = 0.5

W : 管底面に加わる全荷重 (kN) = 83.64 (kN)

$$R_H = 0.5 \times 83.64 = 41.82 \text{ (kN)}$$

(7) 管側面の主働土圧による摩擦抵抗

$$R_v = \frac{1}{2} w \cdot L \cdot \mu (H_2^2 - H_1^2) \tan^2 (45^\circ - \phi / 2)$$

ここで、 w : 土の単位体積重量 (kN/m³) = 18 (kN/m³)

L : 1 屈折箇所あたりの摩擦を受ける管側面長さ (m)

$$L = 2 \times \ell' = 2 \times 1.00 = 2.00 \text{ (m)}$$

$$\mu : \text{管側面と土の摩擦係数} = 0.5$$

$$H_1 : \text{地表面から管頂面までの深さ (m)} = 1.50 \text{ (m)}$$

$$H_2 : \text{地表面から管底面までの深さ (m)} = 2.644 \text{ (m)}$$

$$\phi : \text{土の内部摩擦角 (°)} = 25 \text{ (°)}$$

$$\begin{aligned} R_v &= \frac{1}{2} \times 18 \times 2.00 \times 0.5 \times (2.644^2 - 1.50^2) \times \tan^2 (45 - 25 / 2) \\ &= 17.32 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

(8) 管底面に加わる荷重

$$\sigma_v = \frac{W + P_v + R_v}{A}$$

$$\text{ここで、} W : \text{管底面に加わる全荷重 (kN)} = 83.64 \text{ (kN)}$$

$$P_v : \text{スラスト力の鉛直分力 (kN)} = 8.09 \text{ (kN)}$$

$$R_v : \text{管側面の主働土圧による摩擦抵抗力 (kN)} = 17.32 \text{ (kN)}$$

$$A : \text{管底面積 (m}^2\text{)} = 1.144 \times 2.00 = 2.288 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \frac{83.64 + 8.09 - 17.32}{2.288} \\ &= 32.52 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(9) 滑動に対する検討

$$R_H \geq S \cdot P_H$$

$$\text{ここで、} R_H : \text{水平方向抵抗力 (管背面の受働土圧) (kN)} = 41.82 \text{ (kN)}$$

$$P_H : \text{スラストの水平分力 (kN)} = 0.11 \text{ (kN)}$$

$$S = 41.82 / 0.11$$

$$= 380 \geq 1.5$$

以上の計算の結果、滑動に対する安全率が1.5以上あるため、スラストブロック等の構造物の設置は不要である。

(10) 沈下に対する検討

$$\sigma_{rv} \geq S \cdot \sigma_v$$

$$\text{ここで、} \sigma_{rv} : \text{管底面の地盤の許容支持力度 (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_v : \text{管底面に加わる荷重強度} = 32.52 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$S : \text{安全率} = 1.5$$

$$\begin{aligned} \sigma_{rv} &\geq 1.5 \times 32.52 \\ &= 48.78 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

以上の計算の結果、地盤の許容支持力度は、48.78(kN/m²)以上であることを確認する必要がある。

3.2.4 スラスト防護の要否一覧表

曲げ配管により、水平方向または鉛直方向（上向き）に屈曲した継手部に作用するスラスト力に対して、防護工の要否を計算し、以下の一覧表に示す。

結果をまとめると、「標準的な施工断面の場合、ほとんどのケースでスラスト防護工は不要」である。

例外的にスラスト防護を検討すべき条件とは、「内圧 2 種（1.05 MPa）以上の設計内圧で、呼び径 1,000 以下で、かつ最小管長に近い短管を用いて曲げ配管する場合」等である。

(1) 水平方向屈曲の場合

スラスト方向……………水平スラスト

呼び径…………… ϕ 200 ～ ϕ 3000

設計水圧（管種） ……1.30 MPa（内圧 1 種）、1.05 MPa（内圧 2 種）、0.70 MPa（内圧 3 種）

屈曲角度……………呼び径ごとの設計曲げ角度

土の単位体積重量……………16 (kN/m³)

土の内部摩擦角……………25 (°)

土被り……………1.20 (m)：大口径においても浅埋設施工を考慮して 1.20 m で計算

管長……………4.0 (m)、3.0 (m)、2.0 (m)、最小管長 (m)*

* 最小管長は表 2.2 参照。

表 3.1 内圧 1.3 MPa 作用時の水平方向（滑動）に対する安全率

呼び径	管外径 D_c (m)	許容曲げ 角度 θ_a	設計曲げ 角度 θ_d	滑動に対する安全率				計算条件
				4m 管	3m 管	2m 管	最小長さ	
200	0.217	6° 0′	3° 0′	11.56	8.67	5.78	1.45	設計水圧（内圧 1 種相当） $P = 1.30\text{MPa}$ 土被り $H = 1.2\text{ m}$ 土の単位体積重量 $\gamma = 16\text{ kN/m}^3$ 土の内部摩擦角 $\phi = 25^\circ$ 滑動に対する安全率 $S_f = 1.5$
250	0.268	6° 0′	3° 0′	9.54	7.16	4.77	1.19	
300	0.319	5° 0′	2° 30′	9.81	7.35	4.90	1.23	
350	0.370	4° 30′	2° 15′	9.57	7.18	4.78	1.20	
400	0.421	4° 30′	2° 15′	8.57	6.42	4.28	1.61	
450	0.472	4° 0′	2° 0′	8.75	6.56	4.38	1.64	
500	0.523	4° 0′	2° 0′	8.04	6.03	4.02	1.51	
600	0.627	4° 0′	2° 0′	6.94	5.21	3.47	1.30	
700	0.731	4° 0′	2° 0′	6.16	4.62	3.08	1.15	
800	0.835	4° 0′	2° 0′	5.57	4.18	2.79	1.11	
900	0.939	3° 30′	1° 45′	5.84	4.38	2.92	1.31	
1,000	1.043	3° 30′	1° 45′	5.43	4.07	2.71	1.36	
1,100	1.147	3° 0′	1° 30′	5.93	4.45	2.96	1.63	
1,200	1.251	2° 50′	1° 25′	5.92	4.44	2.96	1.78	
1,350	1.407	2° 40′	1° 20′	5.84	4.38	2.92	1.97	
1,500	1.563	2° 30′	1° 15′	5.83	4.38	2.92	2.19	
1,650	1.721	2° 30′	1° 15′	5.51	4.13	2.75	2.27	
1,800	1.877	2° 30′	1° 15′	5.24	3.93	2.62	2.36	
2,000	2.085	2° 30′	1° 15′	4.95	3.71	2.47	2.47	
2,200	2.293	2° 30′	1° 15′	4.71	3.53	2.35	2.35	
2,400	2.502	2° 30′	1° 15′	4.51	3.38	2.25	2.25	
2,600	2.710	2° 30′	1° 15′	4.34	3.25	2.17	2.17	
2,800	2.918	2° 30′	1° 15′	4.19	3.14	2.10	2.10	
3,000	3.126	2° 30′	1° 15′	4.07	3.05	2.03	2.03	

表 3.2 内圧 1.05 MPa 作用時の水平方向（滑動）に対する安全率

呼び径	管外径 D_c (m)	許容曲げ 角度 θ_a	設計曲げ 角度 θ_d	滑動に対する安全率				計算条件
				4m 管	3m 管	2m 管	最小長さ	
200	0.217	6° 0′	3° 0′	14.32	10.74	7.16	1.79	設計水圧（内圧 2 種相当） $P = 1.05\text{MPa}$ 土被り $H = 1.2\text{ m}$ 土の単位体積重量 $\gamma = 16\text{ kN/m}^3$ 土の内部摩擦角 $\phi = 25^\circ$ 滑動に対する安全率 $S_f = 1.5$
250	0.268	6° 0′	3° 0′	11.82	8.86	5.91	1.48	
300	0.319	5° 0′	2° 30′	12.14	9.11	6.07	1.52	
350	0.370	4° 30′	2° 15′	11.85	8.89	5.92	1.48	
400	0.421	4° 30′	2° 15′	10.60	7.95	5.30	1.99	
450	0.472	4° 0′	2° 0′	10.83	8.13	5.42	2.03	
500	0.523	4° 0′	2° 0′	9.95	7.46	4.98	1.87	
600	0.627	4° 0′	2° 0′	8.60	6.45	4.30	1.61	
700	0.731	4° 0′	2° 0′	7.63	5.72	3.81	1.43	
800	0.835	4° 0′	2° 0′	6.90	5.17	3.45	1.38	
900	0.939	3° 30′	1° 45′	7.24	5.43	3.62	1.63	
1,000	1.043	3° 30′	1° 45′	6.72	5.04	3.36	1.68	
1,100	1.147	3° 0′	1° 30′	7.34	5.51	3.67	2.02	
1,200	1.251	2° 50′	1° 25′	7.34	5.50	3.67	2.20	
1,350	1.407	2° 40′	1° 20′	7.23	5.42	3.61	2.44	
1,500	1.563	2° 30′	1° 15′	7.22	5.42	3.61	2.71	
1,650	1.721	2° 30′	1° 15′	6.82	5.12	3.41	2.81	
1,800	1.877	2° 30′	1° 15′	6.49	4.87	3.25	2.92	
2,000	2.085	2° 30′	1° 15′	6.13	4.60	3.06	3.06	
2,200	2.293	2° 30′	1° 15′	5.83	4.37	2.92	2.92	
2,400	2.502	2° 30′	1° 15′	5.58	4.19	2.79	2.79	
2,600	2.710	2° 30′	1° 15′	5.37	4.03	2.69	2.69	
2,800	2.918	2° 30′	1° 15′	5.19	3.89	2.60	2.60	
3,000	3.126	2° 30′	1° 15′	5.04	3.78	2.52	2.52	

表 3.3 内圧 0.7 MPa 作用時の水平方向（滑動）に対する安全率

呼び径	管外径 D_c (m)	許容曲げ 角度 θ_a	設計曲げ 角度 θ_d	滑動に対する安全率				計算条件
				4m 管	3m 管	2m 管	最小長さ	
200	0.217	6° 0′	3° 0′	21.47	16.10	10.74	2.68	設計水圧（内圧 3 種相当） $P = 0.70\text{MPa}$ 土被り $H = 1.2\text{ m}$ 土の単位体積重量 $\gamma = 16\text{ kN/m}^3$ 土の内部摩擦角 $\phi = 25^\circ$ 滑動に対する安全率 $S_f = 1.5$
250	0.268	6° 0′	3° 0′	17.73	13.29	8.86	2.22	
300	0.319	5° 0′	2° 30′	18.21	13.66	9.11	2.28	
350	0.370	4° 30′	2° 15′	17.77	13.33	8.89	2.22	
400	0.421	4° 30′	2° 15′	15.91	11.93	7.95	2.98	
450	0.472	4° 0′	2° 0′	16.25	12.19	8.13	3.05	
500	0.523	4° 0′	2° 0′	14.93	11.19	7.46	2.80	
600	0.627	4° 0′	2° 0′	12.89	9.67	6.45	2.42	
700	0.731	4° 0′	2° 0′	11.44	8.58	5.72	2.14	
800	0.835	4° 0′	2° 0′	10.35	7.76	5.17	2.07	
900	0.939	3° 30′	1° 45′	10.85	8.14	5.43	2.44	
1,000	1.043	3° 30′	1° 45′	10.08	7.56	5.04	2.52	
1,100	1.147	3° 0′	1° 30′	11.01	8.26	5.51	3.03	
1,200	1.251	2° 50′	1° 25′	11.00	8.25	5.50	3.30	
1,350	1.407	2° 40′	1° 20′	10.84	8.13	5.42	3.66	
1,500	1.563	2° 30′	1° 15′	10.83	8.13	5.42	4.06	
1,650	1.721	2° 30′	1° 15′	10.23	7.67	5.12	4.22	
1,800	1.877	2° 30′	1° 15′	9.74	7.30	4.87	4.38	
2,000	2.085	2° 30′	1° 15′	9.19	6.89	4.60	4.60	
2,200	2.293	2° 30′	1° 15′	8.75	6.56	4.37	4.37	
2,400	2.502	2° 30′	1° 15′	8.37	6.28	4.19	4.19	
2,600	2.710	2° 30′	1° 15′	8.06	6.04	4.03	4.03	
2,800	2.918	2° 30′	1° 15′	7.79	5.84	3.89	3.89	
3,000	3.126	2° 30′	1° 15′	7.55	5.67	3.78	3.78	

$\theta =$ 設計曲げ角度、 $P=1.3$ MPa、 $H=1.2$ m、 $\gamma = 16$ kN/m³、 $\phi = 25^\circ$

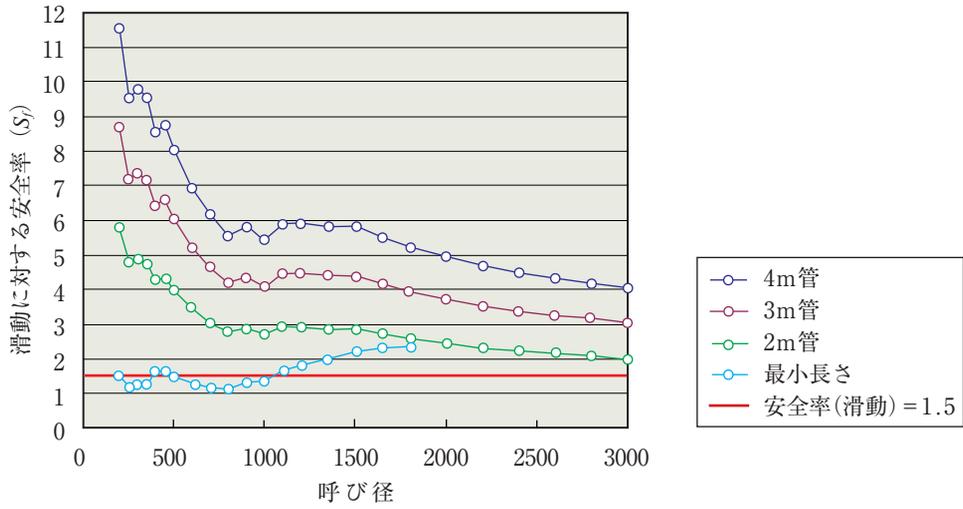


図 3.8 内圧 1.3 MPa 作用時の水平方向（滑動）に対する安全率

$\theta =$ 設計曲げ角度、 $P=1.05$ MPa、 $H=1.2$ m、 $\gamma = 16$ kN/m³、 $\phi = 25^\circ$

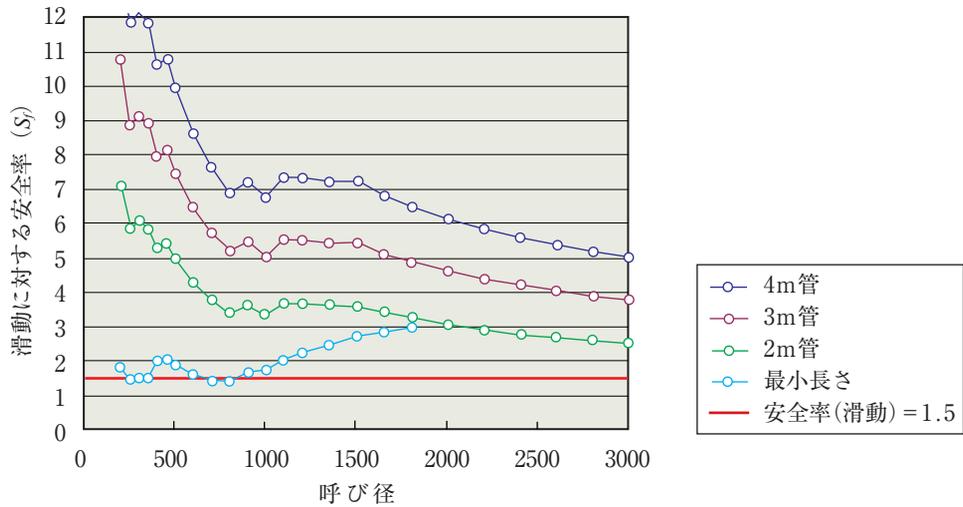


図 3.9 内圧 1.05 MPa 作用時の水平方向（滑動）に対する安全率

$\theta =$ 設計曲げ角度、 $P=0.7$ MPa、 $H=1.2$ m、 $\gamma = 16$ kN/m³、 $\phi = 25^\circ$

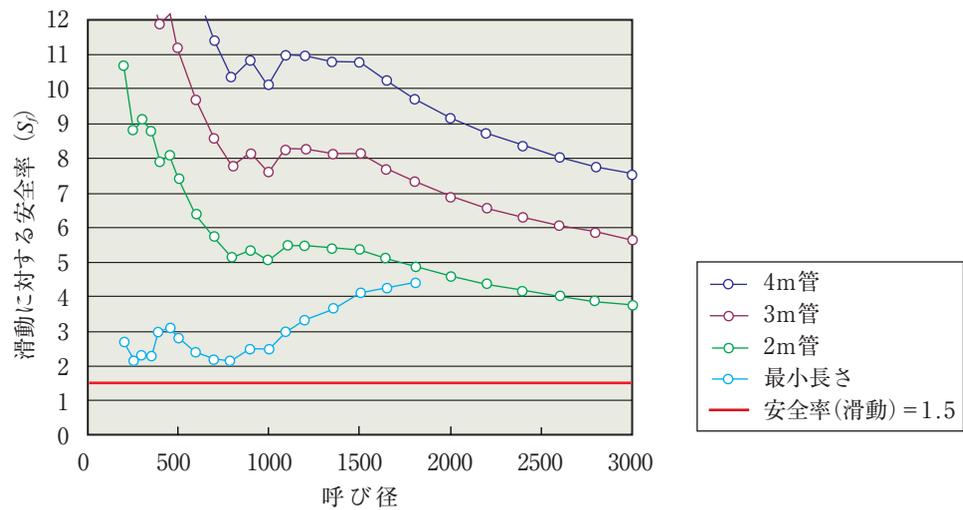


図 3.10 内圧 0.7 MPa 作用時の水平方向（滑動）に対する安全率

(2) 鉛直方向屈曲の場合

- スラスト方向…………… 鉛直スラスト (上向き)
- 呼び径…………… $\phi 200 \sim \phi 3000$
- 設計水圧 (管種) …… 1.30 MPa (内圧 1 種)、1.05 MPa (内圧 2 種)、0.70 MPa (内圧 3 種)
- 屈曲角度…………… 呼び径ごとの設計曲げ角度
- 土の単位体積重量…………… 16 (kN/m³)
- 土の内部摩擦角…………… 25 (°)
- 土被り…………… 1.2 (m) : 大口径においても浅埋設施工を考慮して 1.2 m で計算
- 管 長…………… 4.0 (m)、3.0 (m)、2.0 (m)、最小管長 (m)
- 地下水位…………… 考慮しない

表 3.4 内圧 1.3 MPa 作用時の浮上に対する安全率

呼び径	管外径 D_c (m)	許容曲げ 角度 θ_a	設計曲げ 角度 θ_d	1 屈折あたりのスラスト力 (kN)			管長 1 m あたりの抵抗力 (kN/m)					浮上に対する安全率 $(W + R_v) \cdot L / P_v$			
				スラス ト力 P'	水平分 力 P_h	鉛直分 力 P_v	管上土 圧 W_1	自重水 重 W_2	全荷重 W	管底摩 擦 R_h	側面摩 擦 R_v	4 m 管	3 m 管	2 m 管	最小 長さ
200	0.217	6° 0'	3° 0'	2.517	0.066	2.516	4.166	0.403	4.570	2.285	0.922	8.73	6.55	4.37	1.09
250	0.268	6° 0'	3° 0'	3.839	0.101	3.838	5.146	0.608	5.754	2.877	1.161	7.21	5.41	3.60	0.90
300	0.319	5° 0'	2° 30'	4.533	0.099	4.532	6.125	0.854	6.979	3.490	1.408	7.40	5.55	3.70	0.93
350	0.370	4° 30'	2° 15'	5.489	0.108	5.488	7.104	1.144	8.248	4.124	1.664	7.22	5.42	3.61	0.90
400	0.421	4° 30'	2° 15'	7.106	0.140	7.105	8.083	1.472	9.555	4.777	1.928	6.46	4.85	3.23	1.21
450	0.472	4° 0'	2° 0'	7.940	0.139	7.938	9.062	1.848	10.910	5.455	2.201	6.61	4.95	3.30	1.24
500	0.523	4° 0'	2° 0'	9.748	0.170	9.747	10.042	2.267	12.309	6.154	2.482	6.07	4.55	3.04	1.14
600	0.627	4° 0'	2° 0'	14.010	0.245	14.008	12.038	3.266	15.304	7.652	3.081	5.25	3.94	2.62	0.98
700	0.731	4° 0'	2° 0'	19.044	0.332	19.041	14.035	4.443	18.478	9.239	3.716	4.66	3.50	2.33	0.87
800	0.835	4° 0'	2° 0'	24.848	0.434	24.844	16.032	5.806	21.838	10.919	4.385	4.22	3.17	2.11	0.84
900	0.939	3° 30'	1° 45'	27.496	0.420	27.492	18.029	7.347	25.376	12.688	5.090	4.43	3.32	2.22	1.00
1,000	1.043	3° 30'	1° 45'	33.923	0.518	33.920	20.026	9.076	29.102	14.551	5.830	4.12	3.09	2.06	1.03
1,100	1.147	3° 0'	1° 30'	35.165	0.460	35.162	22.022	10.984	33.007	16.503	6.605	4.51	3.38	2.25	1.24
1,200	1.251	2° 50'	1° 25'	39.508	0.488	39.505	24.019	13.070	37.090	18.545	7.415	4.51	3.38	2.25	1.35
1,350	1.407	2° 40'	1° 20'	47.036	0.547	47.032	27.014	16.551	43.566	21.783	8.696	4.44	3.33	2.22	1.50
1,500	1.563	2° 30'	1° 15'	54.416	0.594	54.413	30.010	20.454	50.464	25.232	10.056	4.45	3.34	2.22	1.67
1,650	1.721	2° 30'	1° 15'	65.974	0.720	65.970	33.043	24.801	57.845	28.922	11.514	4.21	3.15	2.10	1.73
1,800	1.877	2° 30'	1° 15'	78.477	0.856	78.472	36.038	29.519	65.558	32.779	13.033	4.01	3.00	2.00	1.80
2,000	2.085	2° 30'	1° 15'	96.833	1.056	96.827	40.032	36.472	76.504	38.252	15.181	3.79	2.84	1.89	1.89
2,200	2.293	2° 30'	1° 15'	117.117	1.278	117.110	44.026	44.138	88.163	44.082	17.470	3.61	2.71	1.80	1.80
2,400	2.502	2° 30'	1° 15'	139.440	1.521	139.431	48.038	52.664	100.703	50.351	19.911	3.46	2.60	1.73	1.73
2,600	2.710	2° 30'	1° 15'	163.588	1.784	163.578	52.032	61.807	113.839	56.919	22.481	3.33	2.50	1.67	1.67
2,800	2.918	2° 30'	1° 15'	189.663	2.069	189.652	56.026	71.761	127.786	63.893	25.192	3.23	2.42	1.61	1.61
3,000	3.126	2° 30'	1° 15'	217.666	2.374	217.653	60.019	82.380	142.399	71.199	28.044	3.13	2.35	1.57	1.57

表 3.5 内圧 1.05 MPa 作用時の浮上に対する安全率

呼び径	管外径 D_c (m)	許容曲げ 角度 θ_a	設計曲げ 角度 θ_d	1 屈折あたりのスラスト力 (kN)			管長 1 m あたりの抵抗力 (kN/m)					浮上に対する安全率 $(W + R_v) \cdot L / P_v$			
				スラスト力 P'	水平分力 P_h	鉛直分力 P_v	管上土圧 W_1	自重水重 W_2	全荷重 W	管底摩擦 R_h	側面摩擦 R_v	4 m 管	3 m 管	2 m 管	最小長さ
200	0.217	6° 0'	3° 0'	2.033	0.053	2.032	4.166	0.403	4.570	2.285	0.922	10.81	8.11	5.40	1.35
250	0.268	6° 0'	3° 0'	3.101	0.081	3.100	5.146	0.608	5.754	2.877	1.161	8.92	6.69	4.46	1.12
300	0.319	5° 0'	2° 30'	3.661	0.080	3.660	6.125	0.854	6.979	3.490	1.408	9.17	6.87	4.58	1.15
350	0.370	4° 30'	2° 15'	4.433	0.087	4.432	7.104	1.144	8.248	4.124	1.664	8.94	6.71	4.47	1.12
400	0.421	4° 30'	2° 15'	5.740	0.113	5.738	8.083	1.472	9.555	4.777	1.928	8.00	6.00	4.00	1.50
450	0.472	4° 0'	2° 0'	6.413	0.112	6.412	9.062	1.848	10.910	5.455	2.201	8.18	6.13	4.09	1.53
500	0.523	4° 0'	2° 0'	7.874	0.137	7.872	10.042	2.267	12.309	6.154	2.482	7.52	5.64	3.76	1.41
600	0.627	4° 0'	2° 0'	11.316	0.197	11.314	12.038	3.266	15.304	7.652	3.081	6.50	4.87	3.25	1.22
700	0.731	4° 0'	2° 0'	15.382	0.268	15.379	14.035	4.443	18.478	9.239	3.716	5.77	4.33	2.89	1.08
800	0.835	4° 0'	2° 0'	20.070	0.350	20.066	16.032	5.806	21.838	10.919	4.385	5.23	3.92	2.61	1.05
900	0.939	3° 30'	1° 45'	22.208	0.339	22.205	18.029	7.347	25.376	12.688	5.090	5.49	4.12	2.74	1.23
1,000	1.043	3° 30'	1° 45'	27.400	0.418	27.397	20.026	9.076	29.102	14.551	5.830	5.10	3.83	2.55	1.28
1,100	1.147	3° 0'	1° 30'	28.403	0.372	28.400	22.022	10.984	33.007	16.503	6.605	5.58	4.18	2.79	1.53
1,200	1.251	2° 50'	1° 25'	31.910	0.394	31.907	24.019	13.070	37.090	18.545	7.415	5.58	4.18	2.79	1.67
1,350	1.407	2° 40'	1° 20'	37.990	0.442	37.988	27.014	16.551	43.566	21.783	8.696	5.50	4.13	2.75	1.86
1,500	1.563	2° 30'	1° 15'	43.952	0.479	43.949	30.010	20.454	50.464	25.232	10.056	5.51	4.13	2.75	2.07
1,650	1.721	2° 30'	1° 15'	53.287	0.581	53.284	33.043	24.801	57.845	28.922	11.514	5.21	3.91	2.60	2.15
1,800	1.877	2° 30'	1° 15'	63.385	0.691	63.381	36.038	29.519	65.558	32.779	13.033	4.96	3.72	2.48	2.23
2,000	2.085	2° 30'	1° 15'	78.211	0.853	78.207	40.032	36.472	76.504	38.252	15.181	4.69	3.52	2.34	2.34
2,200	2.293	2° 30'	1° 15'	94.595	1.032	94.589	44.026	44.138	88.163	44.082	17.470	4.47	3.35	2.23	2.23
2,400	2.502	2° 30'	1° 15'	112.624	1.229	112.618	48.038	52.664	100.703	50.351	19.911	4.28	3.21	2.14	2.14
2,600	2.710	2° 30'	1° 15'	132.129	1.441	132.121	52.032	61.807	113.839	56.919	22.481	4.13	3.10	2.06	2.06
2,800	2.918	2° 30'	1° 15'	153.189	1.671	153.180	56.026	71.761	127.786	63.893	25.192	3.99	3.00	2.00	2.00
3,000	3.126	2° 30'	1° 15'	175.807	1.918	175.796	60.019	82.380	142.399	71.199	28.044	3.88	2.91	1.94	1.94

表 3.6 内圧 0.7 MPa 作用時の浮上に対する安全率

呼び径	管外径 D_c (m)	許容曲げ 角度 θ_a	設計曲げ 角度 θ_d	1 屈折あたりのスラスト力 (kN)			管長 1 m あたりの抵抗力 (kN/m)					浮上に対する安全率 $(W + R_v) \cdot L / P_v$			
				スラスト力 P'	水平分力 P_h	鉛直分力 P_v	管上土圧 W_1	自重水重 W_2	全荷重 W	管底摩擦 R_h	側面摩擦 R_v	4 m 管	3 m 管	2 m 管	最小長さ
200	0.217	6° 0'	3° 0'	1.355	0.035	1.355	4.166	0.403	4.570	2.285	0.922	16.21	12.16	8.11	2.03
250	0.268	6° 0'	3° 0'	2.067	0.054	2.067	5.146	0.608	5.754	2.877	1.161	13.38	10.04	6.69	1.67
300	0.319	5° 0'	2° 30'	2.441	0.053	2.440	6.125	0.854	6.979	3.490	1.408	13.75	10.31	6.87	1.72
350	0.370	4° 30'	2° 15'	2.955	0.058	2.955	7.104	1.144	8.248	4.124	1.664	13.42	10.06	6.71	1.68
400	0.421	4° 30'	2° 15'	3.826	0.075	3.826	8.083	1.472	9.555	4.777	1.928	12.01	9.00	6.00	2.25
450	0.472	4° 0'	2° 0'	4.275	0.075	4.275	9.062	1.848	10.910	5.455	2.201	12.27	9.20	6.13	2.30
500	0.523	4° 0'	2° 0'	5.249	0.092	5.248	10.042	2.267	12.309	6.154	2.482	11.27	8.45	5.64	2.11
600	0.627	4° 0'	2° 0'	7.544	0.132	7.543	12.038	3.266	15.304	7.652	3.081	9.75	7.31	4.87	1.83
700	0.731	4° 0'	2° 0'	10.254	0.179	10.253	14.035	4.443	18.478	9.239	3.716	8.66	6.49	4.33	1.62
800	0.835	4° 0'	2° 0'	13.380	0.234	13.378	16.032	5.806	21.838	10.919	4.385	7.84	5.88	3.92	1.57
900	0.939	3° 30'	1° 45'	14.805	0.226	14.804	18.029	7.347	25.376	12.688	5.090	8.23	6.17	4.12	1.85
1,000	1.043	3° 30'	1° 45'	18.266	0.279	18.264	20.026	9.076	29.102	14.551	5.830	7.65	5.74	3.83	1.91
1,100	1.147	3° 0'	1° 30'	18.935	0.248	18.934	22.022	10.984	33.007	16.503	6.605	8.37	6.28	4.18	2.30
1,200	1.251	2° 50'	1° 25'	21.273	0.263	21.272	24.019	13.070	37.090	18.545	7.415	8.37	6.28	4.18	2.51
1,350	1.407	2° 40'	1° 20'	25.327	0.295	25.325	27.014	16.551	43.566	21.783	8.696	8.25	6.19	4.13	2.79
1,500	1.563	2° 30'	1° 15'	29.301	0.320	29.299	30.010	20.454	50.464	25.232	10.056	8.26	6.20	4.13	3.10
1,650	1.721	2° 30'	1° 15'	35.525	0.388	35.522	33.043	24.801	57.845	28.922	11.514	7.81	5.86	3.91	3.22
1,800	1.877	2° 30'	1° 15'	42.257	0.461	42.254	36.038	29.519	65.558	32.779	13.033	7.44	5.58	3.72	3.35
2,000	2.085	2° 30'	1° 15'	52.141	0.569	52.138	40.032	36.472	76.504	38.252	15.181	7.03	5.28	3.52	3.52
2,200	2.293	2° 30'	1° 15'	63.063	0.688	63.059	44.026	44.138	88.163	44.082	17.470	6.70	5.03	3.35	3.35
2,400	2.502	2° 30'	1° 15'	75.083	0.819	75.078	48.038	52.664	100.703	50.351	19.911	6.43	4.82	3.21	3.21
2,600	2.710	2° 30'	1° 15'	88.086	0.961	88.080	52.032	61.807	113.839	56.919	22.481	6.19	4.64	3.10	3.10
2,800	2.918	2° 30'	1° 15'	102.126	1.114	102.120	56.026	71.761	127.786	63.893	25.192	5.99	4.49	3.00	3.00
3,000	3.126	2° 30'	1° 15'	117.205	1.278	117.198	60.019	82.380	142.399	71.199	28.044	5.82	4.36	2.91	2.91

$\theta =$ 設計曲げ角度、 $P=1.3$ MPa、 $H=1.2$ m、 $\gamma = 16$ kN/m³、 $\phi = 25^\circ$

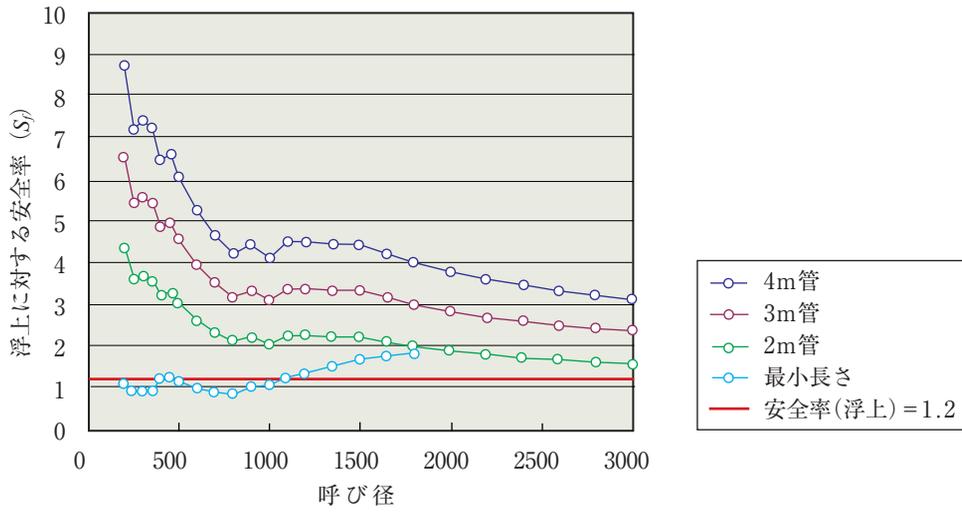


図 3.11 内圧 1.3 MPa 作用時の鉛直上向き（浮上）に対する安全率

$\theta =$ 設計曲げ角度、 $P=1.05$ MPa、 $H=1.2$ m、 $\gamma = 16$ kN/m³、 $\phi = 25^\circ$

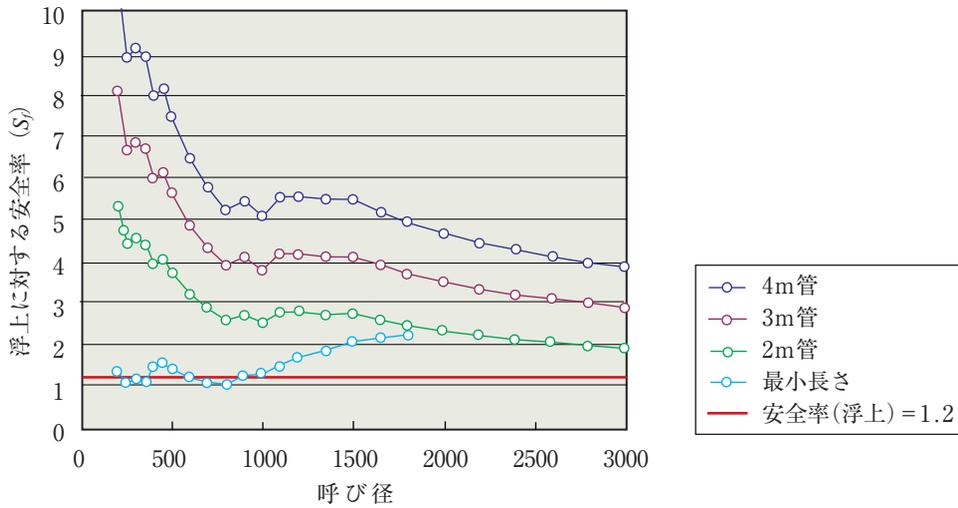


図 3.12 内圧 1.05 MPa 作用時の鉛直上向き（浮上）に対する安全率

$\theta =$ 設計曲げ角度、 $P=0.7$ MPa、 $H=1.2$ m、 $\gamma = 16$ kN/m³、 $\phi = 25^\circ$

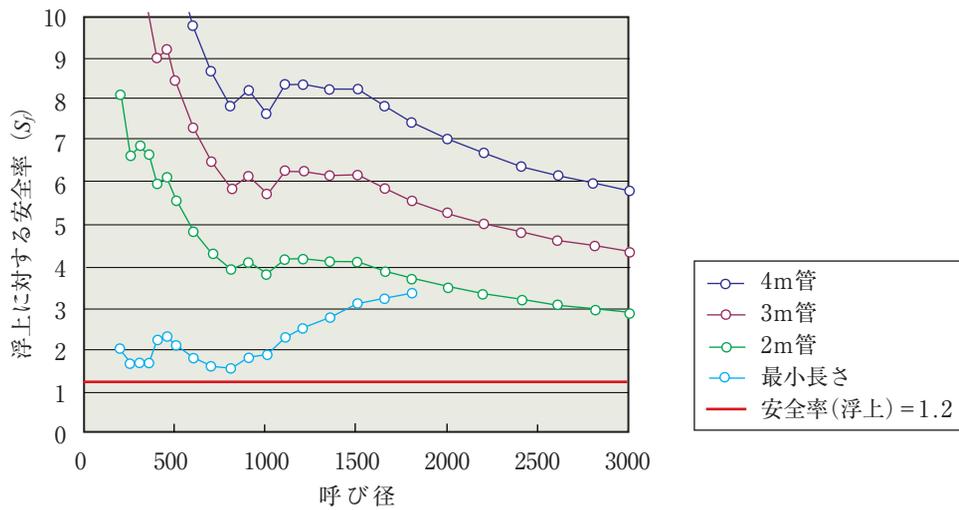


図 3.13 内圧 0.7 MPa 作用時の鉛直上向き（浮上）に対する安全率

3.3 耐震設計の計算例

パイプラインの耐震設計は、「土地改良施設耐震設計の手引き」（平成 16 年 3 月）に従う。
 曲げ配管を実施した区間においても、一般の継手構造管路と同様に検討する。ただし、継手伸縮量、継手屈曲角の安全性照査にあたっては、曲げ配管による屈曲角度を考慮して評価するものとする。

[解説]

3.3.1 一般事項

(1) 検討内容

1) 重要度、地震動レベル及び耐震性能

耐震設計を行うのは、重要度 A, B であるが B 種にあっては可とう継手、緊急遮断弁等の対策を行うことによって、耐震設計を省略することができるものとする。A 種は二次災害の被害が極めて大きいものとする。A 種について、レベル 1 地震動及びレベル 2 地震動の両方について耐震設計を行う。

2) 地震動の評価

地震動の評価は応答変位法を用いて、速度応答スペクトルにより評価し、水平変位振幅を算定する。なお、レベル 1 地震動では、水平変位振幅の算定に、基盤面における設計水平震度の標準値 $K'_{h10} = 0.15$ を用いる。

3) 地震の影響

地震の影響については、地震時における地盤変位を求め、これを地盤—管路間の静的な相互作用を表す地盤ばね（地盤の剛性係数）を介して管路に伝播する。

すなわち、地盤の水平変位振幅から地盤のひずみを求め、地盤ひずみに伝達係数を乗じて管体ひずみを求める。

4) 構造計算法

パイプラインは、継手の変位、管体応力及びひずみについて計算する。

レベル 1 地震動に対しては、地盤と管路のすべりを考慮しない耐震計算法を適用する。

また、レベル 2 地震動に対しては、地震と管路のすべりを考慮した耐震計算式を適用する。

5) 照査法

FRPM管は管体応力が許容応力（耐力）の値を満足するか、さらに継手伸縮量、継手屈曲角度が許容値を満足するかの照査を行い、安全性を確かめる。

また、地盤が塑性状態となる地割れや側方流動など大きな地盤変状の発生が予想される箇所では、その地盤の動きに管路が追従できるかという面からも安全性の照査を行う。

(2) 耐震設計の基本

- 1) パイプラインの耐震計算は応答変位法により管体に発生する応力、ひずみを求め、安全性を照査する。また、埋設管路継手部における管軸方向伸縮量及び屈曲角度の耐震計算も応答変位法によることを原則とする。
- 2) パイプラインの管路は一般に断面の外周の長さと比較して構造物軸方向の長さが長く、かつ、見かけの単位体積重量も周辺地盤と比較して相対的に軽いために、地震時に独自の振動をすることはなく、周辺地盤の動きに支配されるものと考えられる。管路の耐震計算は応答変位法によることを原則とし、計算される管体発生応力、ひずみ等により安全性を照査する。
- 3) 応答変位法によって、埋設管に沿っての地震波動の伝播に伴い強制変形を受ける管体や継手応力や変形の評価が可能となる。すなわち、応答変位法によって発生応力や変形を求め、それらの許容値と比較し安全性を照査することがパイプラインの耐震設計の基本である。
- 4) 応答変位法で設定する地盤ひずみは、通常、弾性波の伝播によるものであり、その振幅は表層地盤の地震動増幅を算定することに基づく。
- 5) パイプラインの耐震設計は、一体構造管路・継手構造管路の分類、重要度、設計状況、周辺の地盤の特性を考慮して、設計した地震動レベルに対して、それらに適合した耐震計算法、計算モデルにより、地震時にパイプラインが保持すべき機能を確保できるか安全性を照査する。

(3) パイプラインの耐震設計

パイプラインの耐震設計は縦断方向について行う。管の構造は横断方向の設計で決まることが多く、耐震設計は主に地震時の軸方向の応力、ひずみ、伸縮量、屈曲角などに対する照査を目的として行うものである。

3.3.2 FRPM管の耐震計算例

(1) 設計条件

1) 管体仕様	
呼び径	: 2,000 mm
管種	: 内圧5種管
管の外径	: $D = 2,080$ mm
規格管厚	: $t = 40$ mm
管長	: $l = 4.0$ m
継手の設計照査用最大伸び量	: $\delta_0 = 99$ mm
継手の接合時の許容屈曲角度	: $\theta_0 = 2^\circ 30'$
FRPM管の許容応力 (軸方向)	: $\sigma_0 = 7.35$ N/mm ²
FRPM管のヤング係数 (軸方向)	: $E = 8.8 \times 10^6$ kN/m ²
FRPM管のポアソン比	: $\nu = 0.3$
FRPM管の線膨張係数 (軸方向)	: $\alpha = 0.00003$ /°C

2) 埋設条件

土かぶり : $h = 3.0 \text{ m}$
 道路の状態 : アスファルト舗装道路
 温度変化 : $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

3) 荷重条件

表層地盤の厚さ : $H = 30.0 \text{ m}$
 土の単位体積重量 : $\gamma_t = 17 \text{ kN/m}^3$
 鉛直方向地盤反力係数 : $k_v = 9,800 \text{ kN/m}^3$
 重畳係数 : $\gamma = (1.00 \sim 3.12 \text{ 本計算例ではレベル1で} \\ 3.12、\text{レベル2で}1.00 \text{ を用いる。})$
 設計内圧 : $P_i = 0.2 \text{ N/mm}^2$
 自動車荷重 : $P_m = 100 \text{ kN/輪}$

4) 地震力条件

構造物の重要度区分 : A 種
 基盤面における設計水平震度の標準値 : $K'_{h10} = 0.15$ (レベル1地震動)
 地域別補正係数 : $C_z = 1.0$ (地域区分A)

5) 地盤条件とせん断弾性波速度 V_s の計算式

表 3.7 地盤条件

層	層厚 H_i (m)	土質		平均 N 値
1	25.0	T	S	2
2	5.0	T	N	5
計 (H_s)	30.0			
基盤		K	S	50

* 土質分類 S: 砂質土 N: 粘性土
 T: 沖積層 K: 洪積層

6) 管路の地盤モデル

図 3.14 に示すとおりである。

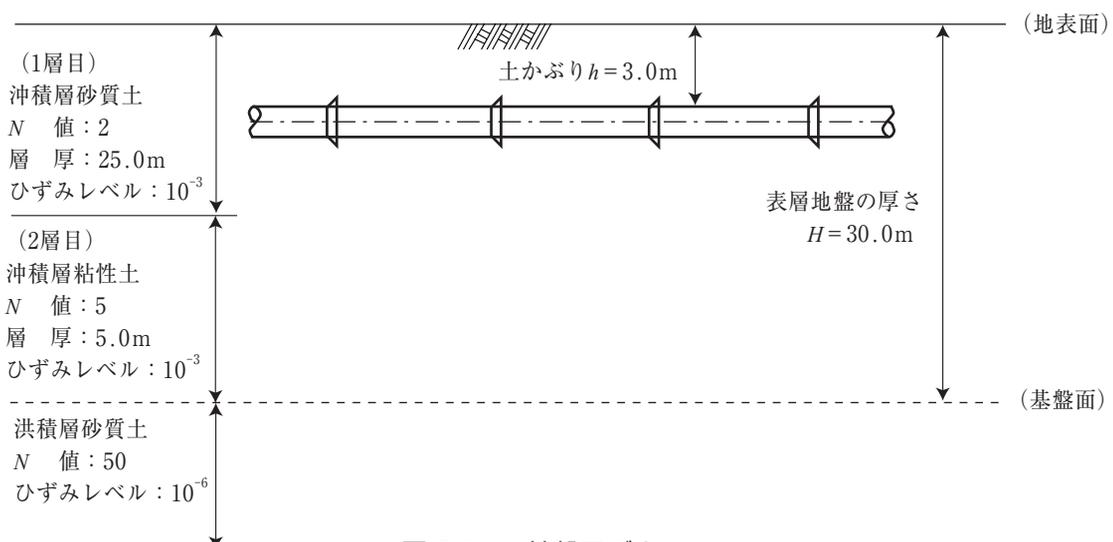


図 3.14 地盤モデル

(2) 管体発生応力

1) 常時荷重による管体発生応力

a. 内圧による軸方向応力 (σ_{pi})

$$\sigma_{pi} = \nu \cdot \frac{P_i \cdot (D - t)}{2 \cdot t} = 0.3 \times \frac{0.2 \times (2,080 - 40)}{2 \times 40} = 1.530 \text{ N/mm}^2$$

ここに、 σ_{pi} : 内圧による管軸方向応力 (N/mm²)

ν : ポアソン比 (0.3)

P_i : 内圧 (0.2 N/mm²)

D : 管外径 (2,080 mm)

t : 管厚 (40 mm)

b. 自動車荷重による軸方向応力 (σ_{p0})

$$\begin{aligned} \sigma_{p0} &= \frac{0.322 \cdot W_m}{Z_p} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_p}{k_v \cdot D}} = \frac{0.322 \times 24.15}{0.128} \times \sqrt{\frac{8.8 \times 10^6 \times 0.133}{9,800 \times 2.08}} \\ &= 460.35 \text{ kN/m}^2 = 0.460 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

ここに、 σ_{p0} : 自動車荷重による軸方向応力 (N/mm²)

W_m : 自動車荷重 (24.15 kN/m)

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{2 \cdot P_m \cdot D}{2.75 \cdot (a + 2 \cdot h \cdot \tan \phi)} \cdot (1 + i) \cdot \beta \\ &= \frac{2 \times 100 \times 2.08}{2.75 \times (0.2 + 2 \times 3.00 \times \tan 45^\circ)} \times (1 + 0.1) \times 0.9 \\ &= 24.15 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

P_m : 自動車後輪1輪当たりの荷重 (100 kN)

a : 接地幅 (0.2 m)

h : 土かぶり (3.0 m)

ϕ : 荷重分布角 (45°)

i : 衝撃係数 (0.1、表3.8参照)

k_v : 鉛直方向地盤反力係数 (9,800 kN/m³)

E : 管のヤング係数 (軸方向、 8.8×10^6 kN/m²)

I_p : 断面二次モーメント (0.133 m⁴)

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{\pi \cdot \{D^4 - (D - 2 \times 0.04)^4\}}{64} \\ &= \frac{\pi \cdot \{2.08^4 - (2.08 - 2 \times 0.04)^4\}}{64} = 0.133 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

t : 管厚 (40 mm = 0.04 m)

Z_p : 断面係数 (0.128 m³)

$$Z_p = \frac{2 \cdot I_p}{D} = \frac{2 \times 0.133}{2.08} = 0.128 \text{ m}^3$$

D : 管外径 (2.08 m)

表 3.8 衝撃係数 (自動車荷重) i の標準値

道路の状態	土かぶり深さ(m)	1.5 未満	1.5 ~ 2.5 未満	2.5 以上
	未 舗 装 道 路		0.4	0.3
コ ン ク リ ー ト 及 び ア ス フ ェ ル ト 舗 装 道 路		0.3	0.2	0.1

2) 地震時の管体発生応力

図 3.14 のように、表層と基盤層の二層系モデルに置き換えて、軸方向応力を計算する。

a. 地盤のせん断弾性波速度

地盤のせん断弾性波速度は、表 3.9 によって N 値から推定する。

表 3.9 地盤のせん断弾性波速度 (せん断ひずみとの関係)

堆積時代別土質		V_s (m/s)		
		10^{-3}	10^{-4}	10^{-6}
洪積層	粘性土	$129 N^{0.183}$ (1)	$156 N^{0.183}$ (2)	$172 N^{0.183}$ (3)
	砂質土	$123 N^{0.125}$ (4)	$200 N^{0.125}$ (5)	$205 N^{0.125}$ (6)
沖積層	粘性土	$122 N^{0.0777}$ (7)	$142 N^{0.0777}$ (8)	$143 N^{0.0777}$ (9)
	砂質土	$61.8 N^{0.211}$ (10)	$90 N^{0.211}$ (11)	$103 N^{0.211}$ (12)

(a) 1 番目の地層の平均せん断弾性波速度

表 3.9 の (10) 式より、

$$V_{s1} = 61.8 \times 2^{0.211} = 71.5 \text{ m/s}$$

ここに、 V_{s1} : 1 番目の地盤の平均せん断弾性波速度 (m/s)

N : 1 番目の地層の N 値 (2)

せん断ひずみレベル : 10^{-3}

(b) 2 番目の地層の平均せん断弾性波速度

表 3.9 の (7) 式より、

$$V_{s2} = 122 \times 5^{0.0777} = 138.3 \text{ m/s}$$

ここに、 V_{s2} : 2 番目の地盤の平均せん断弾性波速度 (m/s)

N : 2 番目の地層の N 値 (5)

せん断ひずみレベル : 10^{-3}

これより、表層地盤の平均せん断弾性波速度は以下のように求まる。

$$V_{DS} = \frac{\sum H_i}{\sum \frac{H_i}{V_{si}}} = \frac{H}{\left(\frac{H_1}{V_{s1}} + \frac{H_2}{V_{s2}}\right)} = \frac{30.0}{\left(\frac{25.0}{71.5} + \frac{5.0}{138.3}\right)} = 77.7 \text{ m/s}$$

ここに、 V_{DS} : 表層地盤の平均せん断弾性波速度 (m/s)

H : 表層地盤の厚さ ($\sum H_s = 30.0 \text{ m}$)

H_1 : 1 番目の地層の厚さ (25.0 m)

H_2 : 2 番目の地層の厚さ (5.0 m)

V_{s1} : 1 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (71.5 m/s)

V_{s2} : 2 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (138.3 m/s)

b. 表層地盤の特性値

表層地盤の特性値は次式で計算される。

$$T_G = 4 \sum \frac{H_i}{V_{si}} = 4 \cdot \left(\frac{H_1}{V_{s1}} + \frac{H_2}{V_{s2}}\right) = 4 \times \left(\frac{25.0}{71.5} + \frac{5.0}{138.3}\right) = 1.54 \text{ s}$$

ここに、 T_G : 表層地盤の特性値 (s)

H_1 : 1 番目の地層の厚さ (25.0 m)

H_2 : 2 番目の地層の厚さ (5.0 m)

V_{s1} : 1 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (71.5 m/s)

V_{s2} : 2 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (138.3 m/s)

c. 地震時の波長

地震時の波長は、表層地盤のせん断震動により地盤変位が最大となる時の波長と表層地盤の固有周期に相当する時間に基盤内を伝播するせん断波動が進む距離の調和平均をとり、次式で求められる。

$$L_1 = V_{DS} \cdot T_G = 77.7 \times 1.54 = 119.7 \text{ m}$$

$$L_2 = V_{BS} \cdot T_G = 334.3 \times 1.54 = 514.8 \text{ m}$$

ここに、 V_{DS} : 表層地盤の平均せん断弾性波速度 (77.7 m/s)

V_{BS} : 基盤のせん断弾性波速度 (334.3 m/s、表 3.9 の (6) 式参照)

$$V_{BS} = 205 \cdot N^{0.125} = 205 \times 50^{0.125} = 334.3 \text{ m/s}$$

T_G : 表層地盤の特性値 (1.54 s)

これより、

$$L = \frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} = \frac{2 \times 119.7 \times 514.8}{119.7 + 514.8} = 194.2 \text{ m}$$

ここに、 L : 地震動の波長 (m)

また、見かけの波長は次式で求まる。

$$L' = \sqrt{2} \cdot L = \sqrt{2} \times 194.2 = 274.6 \text{ m}$$

ここに、 L' : 見かけの波長 (m)

d. 地盤の剛性係数

$$K_{g1} = C_1 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 = 1.5 \times \frac{17}{9.8} \times 71.5^2 = 13,302.3 \text{ kN/m}^2$$

$$K_{g2} = C_2 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 = 3.0 \times \frac{17}{9.8} \times 71.5^2 = 26,604.6 \text{ kN/m}^2$$

ここに、 k_{g1} : 管軸方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数 (kN/m²)

k_{g2} : 管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数 (kN/m²)

γ_t : 土の単位体積重量 (17 kN/m³)

g : 重力加速度 (9.8 m/s²)

V_s : 管路位置での表層地盤のせん断弾性波速度 (71.5 m/s)

C_1 、 C_2 : 埋設管路の管軸及び管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数に対する定数であり、一般には概ね $C_1 = 1.5$ 前後、 $C_2 = 3$ 前後の値になると想定される。

e. 速度応答スペクトル

(a) レベル 1 地震動

表層下面から単位震度 1.0 を与えた場合の表層上面の応答速度は、表層地盤の固有周期に応じて図 3.15 から求める。この図は地震動の速度応答スペクトルと呼ばれるものである。

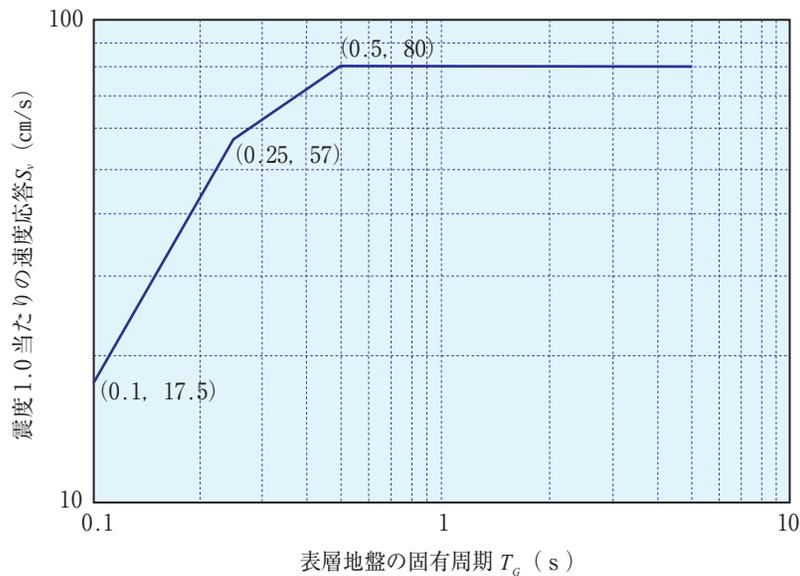


図 3.15 設計用速度応答スペクトル S_v (レベル 1 地震動)

これより、表層地盤の特性値 $T_G = 1.54$ s の場合の速度応答は、以下のように求まる。

$$S_v = 0.8 \text{ m/s}$$

ここに、 S_v : 基盤地震動の単位震度当たりの速度応答スペクトル (m/s)

(b) レベル 2 地震動

レベル 2 地震動に対する継手構造管路の軸応力は、管と地盤のすべりによる非線形応答を考慮した簡便計算法により求める。この方法は、まずすべりを考慮した非線形応答解析によ

って管体応力を求め、これがすべりを考慮しない式による管体応力と等価となるような見かけ上の応答速度を求めて、すべりを考慮しない式によって計算を行うものである。この見かけの応答速度は、管路の重要度ごとに、呼び径 1,500 mm 以下と、呼び径 1,600 mm 以上に分けて合計 4 種類が求められている。本管路の呼び径 (2,000 mm) の場合の応答速度は、表層地盤の固有周期に応じてこれらのうちの図 3.16 に示すものから求めるものとする。

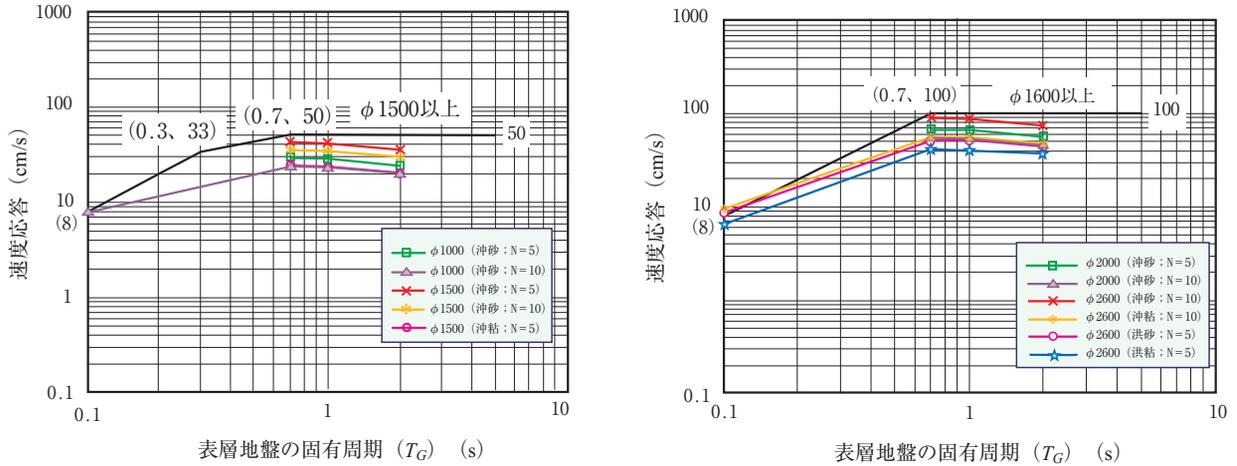


図 3.16 設計用速度応答スペクトル S'_{v1} (レベル 2 地震動、軸応力検討用)

一方、曲げ強度と継手の伸縮量及び屈曲角度については、兵庫県南部地震の記録波形から得られた図 3.17 に示す速度応答スペクトルより求める。ここには、最大値として 100 cm/s (上限) と 70 cm/s (下限) の 2 種類が示されている。本管路の場合の応答速度は、これらのうち、上限側のスペクトル線図を使用するものとする。

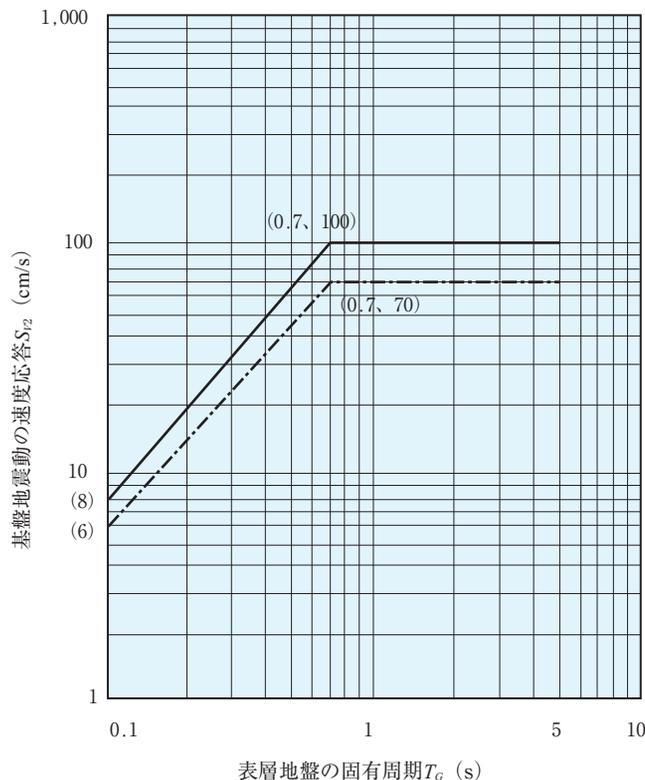


図 3.17 設計用速度応答スペクトル S'_{v1} (レベル 2 地震動、その他の検討用)

これより、表層地盤の固有周期 T_G が 1.54 s の場合の応答速度は、以下のように求まる。

$$S'_{v1} = 1.0 \text{ m/s}$$

$$S'_{v2} = 1.0 \text{ m/s}$$

ここに、 S'_{v1} : 基盤地震動の速度応答スペクトル (m/s、軸応力検討用)

S'_{v2} : 基盤地震動の速度応答スペクトル (m/s、その他の検討用)

f. 管軸上の地盤の水平変位振幅

(a) レベル 1 地震動

$$\begin{aligned} U_{h1} &= \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K'_{h1} \cdot \cos \frac{\pi \cdot h'}{2 \cdot H} \\ &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.8 \times 1.54 \times 0.15 \times \cos \frac{\pi \times 4.04}{2 \times 30.0} = 0.037 \text{ m} \end{aligned}$$

ここに、 U_{h1} : 管軸上の (管中心高さにおける) 地盤の水平変位振幅 (m)

S_v : 基盤地震動の単位震度当たりの速度応答スペクトル (0.8 m/s)

T_G : 表層地盤の特性値 (1.54 s)

K'_{h1} : 基盤面における設計水平震度 (0.15)

h' : 管中心土かぶり ($h' = h + D / 2 = 4.04 \text{ m}$)

D : 管外径 (2.08 m)

H : 表層地盤の厚さ (30.0 m)

(b) レベル 2 地震動

$$\begin{aligned} U_{h21} &= \frac{2}{\pi^2} \cdot S'_{v1} \cdot T_G \cdot \cos \frac{\pi \cdot h'}{2 \cdot H} \\ &= \frac{2}{\pi^2} \times 1.0 \times 1.54 \times \cos \frac{\pi \times 4.04}{2 \times 30.0} = 0.305 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{h22} &= \frac{2}{\pi^2} \cdot S'_{v2} \cdot T_G \cdot \cos \frac{\pi \cdot h'}{2 \cdot H} \\ &= \frac{2}{\pi^2} \times 1.0 \times 1.54 \times \cos \frac{\pi \times 4.04}{2 \times 30.0} = 0.305 \text{ m} \end{aligned}$$

ここに、 U_{h21} : 管軸上の (管中心高さにおける) 地盤の水平変位振幅 (m、軸応力検討用)

U_{h22} : 管軸上の (管中心高さにおける) 地盤の水平変位振幅 (m、その他検討用)

S'_{v1} : 基盤地震動の速度応答スペクトル (1.0 m/s)

S'_{v2} : 基盤地震動の速度応答スペクトル (1.0 m/s)

T_G : 表層地盤の特性値 (1.54 s)

h' : 管中心土かぶり ($h' = h + D / 2 = 4.04 \text{ m}$)

H : 表層地盤の厚さ (30.0 m)

g. 管軸方向の地盤ひずみ

(a) レベル 1 地震動

$$\varepsilon_{G1} = \frac{\pi \cdot U_{h1}}{L} \cdot 100 = \frac{\pi \times 0.037}{194.2} \times 100 = 0.060\%$$

ここに、 ε_{G1} ：管軸方向の地盤ひずみ（％）

U_{h1} ：管軸上の地盤の水平変位振幅（0.037 m）

L ：波長（194.2 m）

(b) レベル 2 地震動

$$\varepsilon_{G2} = \frac{\pi \cdot U_{h22}}{L} \cdot 100 = \frac{\pi \times 0.305}{194.2} \times 100 = 0.493\%$$

ここに、 ε_{G2} ：管軸方向の地盤ひずみ（％）

U_{h22} ：管軸上の地盤の水平変位振幅（0.305 m）

L ：波長（194.2 m）

h. 地盤変位の管路に対する伝達係数

地盤変位の伝達係数に係わる係数 λ_1 、 λ_2 は次式で決まる。

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E \cdot A}} = \sqrt{\frac{13,302.3}{8.8 \times 10^6 \times 0.256}} = 0.0768 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{E \cdot I_p}} = \sqrt[4]{\frac{26,604.6}{8.8 \times 10^6 \times 0.133}} = 0.3883 \text{ m}^{-1}$$

ここに、 λ_1 、 λ_2 ：地盤変位の伝達係数に係わる係数（ m^{-1} ）

K_{g1} ：管軸方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数（13,302.3 kN/m²）

K_{g2} ：管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数（26,604.6 kN/m²）

E ：管のヤング係数（軸方向、 8.8×10^6 kN/m²）

A ：管の断面積（0.256 m²）

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} \{D^2 - (D - 2 \cdot t)^2\} \\ &= \frac{\pi}{4} \times \{2.08^2 - (2.08 - 2 \times 0.04)^2\} \\ &= 0.256 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

I_p ：管の断面二次モーメント（0.133 m⁴）

これより、地盤変位の伝達係数は以下のように計算される。

$$a_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_1 \cdot L'}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \times \pi}{0.0768 \times 274.6}\right)^2} = 0.918$$

$$a_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_2 \cdot L'}\right)^4} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \times \pi}{0.3883 \times 194.2}\right)^4} = 1.000$$

- ここに、 a_1 : 軸方向の地盤変位の伝達係数
 a_2 : 軸直角方向の地盤変位の伝達係数
 λ_1 : 地盤変位の伝達係数に係わる係数 (0.0768 m^{-1})
 λ_2 : 地盤変位の伝達係数に係わる係数 (0.3883 m^{-1})
 L' : みかけの波長 (274.6 m)
 L : 波長 (194.2 m)

i. 埋設管路を連続とした場合の管体応力

(a) レベル 1 地震動

$$\begin{aligned} \sigma_{1L} &= a_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_{h1}}{L} \cdot E = 0.918 \times \frac{\pi \times 0.037}{194.2} \times 8.8 \times 10^6 \\ &= 4,835.3 \text{ kN/m}^2 = 4.835 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{1B} &= a_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot U_{h1}}{L^2} \cdot E = 1.000 \times \frac{2 \times \pi^2 \times 2.08 \times 0.037}{194.2^2} \times 8.8 \times 10^6 \\ &= 354.5 \text{ kN/m}^2 = 0.355 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- ここに、 σ_{1L} : 埋設管路の軸応力 (N/mm^2)
 σ_{1B} : 埋設管路の曲げ応力 (N/mm^2)
 a_1 : 管軸方向の地盤変位の伝達係数 (0.918)
 a_2 : 管軸直角方向の地盤変位の伝達係数 (1.000)
 U_{h1} : 管軸上の地盤の水平変位振幅 (0.037 m)
 L : 波長 (194.2 m)
 D : 管外径 (2.08 m)
 E : 管のヤング係数 (軸方向) ($8.8 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$)

(b) レベル 2 地震動

$$\begin{aligned} \sigma_{2L} &= a_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_{h21}}{L} \cdot E = 0.918 \times \frac{\pi \times 0.305}{194.2} \times 8.8 \times 10^6 \\ &= 39,858.9 \text{ kN/m}^2 = 39.859 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2B} &= a_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot U_{h22}}{L^2} \cdot E = 1.000 \times \frac{2 \times \pi^2 \times 2.08 \times 0.305}{194.2^2} \times 8.8 \times 10^6 \\ &= 2,922.0 \text{ kN/m}^2 = 2.922 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- ここに、 σ_{2L} : 埋設管路の軸応力 (N/mm²)
 σ_{2B} : 埋設管路の曲げ応力 (N/mm²)
 a_1 : 管軸方向の地盤変位の伝達係数 (0.918)
 a_2 : 管軸直角方向の地盤変位の伝達係数 (1.000)
 U_{h21} : 管軸上の地盤の水平変位振幅 (0.305 m)
 U_{h22} : 管軸上の地盤の水平変位振幅 (0.305 m)
 L : 波長 (194.2 m)
 D : 管外径 (2.08 m)
 E : 管のヤング係数 (軸方向、 8.8×10^6 kN/m²)

j. 継手構造管路の管体応力

(a) 継手構造管路の場合の応力補正係数

$$\xi_1(x) = \frac{\sqrt{\phi_1(x)^2}}{\exp(\nu' \cdot \lambda \cdot L') - \exp(-\nu' \cdot \lambda \cdot L')} = 0.014$$

$$\xi_1(x) = \sqrt{\phi_3(x) + \phi_4(x)} = 0.017$$

- ここに、 $\xi_1(x)$: 伸縮可とう継手がある場合の軸応力補正係数
 $\xi_2(x)$: 伸縮可とう継手がある場合の曲げ応力補正係数
 l : 伸縮可とう継手間の長さ (4.0 m、管長相当)
 K_{g2} : 管軸直交方向の地盤の剛性係数 (26,604.6 kN/m²)
 E : 管のヤング係数 (軸方向、 8.8×10^6 kN/m²)
 I_p : 断面二次モーメント (0.133 m⁴)
 L : 波長 (194.2 m)
 L' : みかけの波長 (274.6 m)
 λ_1, λ_2 : 伝達係数

$x = l / 2 = 2.0$ (伸縮可とう継手間の中央で応力が最大となるため)

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{K_{g2}}{4 \cdot E \cdot I_p}} = 4 \sqrt{\frac{26,604.6}{4 \times 8.8 \times 10^6 \times 0.133}} = 0.275$$

$$\nu = l / L = \frac{4.00}{194.2} = 0.021$$

$$\nu' = l / L' = \frac{4.00}{274.6} = 0.015$$

$$\mu = x / L = \frac{2.00}{194.2} = 0.010$$

$$\mu' = x / L' = \frac{2.00}{274.6} = 0.007$$

$$C_1 = \sin(\nu \beta L) \cdot \sin h(\nu \beta L) = 1.237$$

$$C_2 = \sin(v\beta L) \cdot \cos h(v\beta L) = 1.530$$

$$C_3 = \cos(v\beta L) \cdot \sin h(v\beta L) = 0.596$$

$$C_4 = \cos(v\beta L) \cdot \cos h(v\beta L) = 0.737$$

$$e_1 = \sin(\mu\beta L) \cdot \sin h(\mu\beta L) = 0.285$$

$$e_2 = \sin(\mu\beta L) \cdot \cos h(\mu\beta L) = 0.583$$

$$e_3 = \cos(\mu\beta L) \cdot \sin h(\mu\beta L) = 0.482$$

$$e_4 = \cos(\mu\beta L) \cdot \cos h(\mu\beta L) = 0.986$$

$$\Delta = (C_3 + C_2) \cdot (C_3 - C_2) + 2C_1^2 = 1.075$$

$$f_1 = \frac{1}{\Delta} \left[\{C_1 \cdot (C_4 - C_1) - C_3 \cdot (C_3 + C_2) - C_1 \cdot \cos(2\pi v)\} \cdot \frac{2\pi}{\beta L} + (C_3 + C_2) \cdot \sin(2\pi v) \right] = -0.080$$

$$f_2 = \frac{1}{\Delta} \left\{ C_1 \cdot (C_3 - C_2) - C_4 \cdot (C_3 + C_2) + (C_3 + C_2) \cdot \cos(2\pi v) + C_1 \cdot \frac{2\pi}{\beta L} \cdot \sin(2\pi v) \right\} = -0.554$$

$$f_3 = \frac{1}{\Delta} \left[\{C_1 \cdot (C_4 + C_1) - C_2 \cdot (C_3 + C_2) - C_1 \cdot \cos(2\pi v)\} \cdot \frac{2\pi}{\beta L} + (C_3 + C_2) \cdot \sin(2\pi v) \right] = 0.037$$

$$f_4 = \frac{1}{\Delta} \left[\{C_3 \cdot (C_4 + C_1) - C_2 \cdot (C_4 - C_1) + (C_2 - C_3) \cdot \cos(2\pi v)\} \cdot \frac{2\pi}{\beta L} - 2C_1 \cdot \sin(2\pi v) \right] = 0.011$$

$$f_5 = \frac{1}{\Delta} \left\{ (C_3 - C_2)^2 + 2C_1 \cdot C_4 - 2C_1 \cdot \cos(2\pi v) - (C_2 - C_3) \cdot \frac{2\pi}{\beta L} \cdot \sin(2\pi v) \right\} = 0.213$$

$$\begin{aligned} \phi_1(x) &= \{\exp(-v'\lambda_1 L') - \cos(2\pi v')\} \cdot \exp(\mu'\lambda_1 L') \\ &\quad - \{\exp(v'\lambda_1 L') - \cos(2\pi v')\} \cdot \exp(-\mu'\lambda_1 L') \\ &\quad + 2\sinh(v'\lambda_1 L') \cdot \cos(2\pi\mu') = 0.009 \end{aligned}$$

$$\phi_2(x) = 2\sin(2\pi v') \cdot \sin h(\mu'\lambda_1 L') - 2\sin(2\pi\mu') \cdot \sin h(v'\lambda_1 L') = -0.0004$$

$$\phi_3(x) = f_3 \cdot e_3 - f_1 \cdot e_2 - f_4 \cdot e_1 - \sin(2\pi\mu) = -0.002$$

$$\phi_4(x) = e_4 + f_2 \cdot e_3 - f_2 \cdot e_2 - f_5 \cdot e_1 - \cos(2\pi\mu) = -0.017$$

(b) 管体応力 (レベル 1 地震動)

$$\sigma'_{1L}(x) = \xi_1(x) \cdot \sigma_{1L} = 0.068 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma'_{1B}(x) = \xi_2(x) \cdot \sigma_{1B} = 0.006 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma'_{1L}(x) = \sqrt{\gamma \cdot \{\sigma'_{1L}(x)\}^2 + \{\sigma'_{1B}(x)\}^2} = \sqrt{3.12 \times 0.068^2 + 0.006^2} = 0.120 \text{ N/mm}^2$$

ここに、 $\sigma'_{1L}(x)$: 継手間の中央部における軸応力 (N/mm²)

$\sigma'_{1B}(x)$: 継手間の中央部における曲げ応力 (N/mm²)

σ'_{1LC} : 継手間の中央部における軸応力と曲げ応力の合成応力 (N/mm²)

$\xi_1(x)$: 継手管路の場合の補正係数 (0.014)

$\xi_2(x)$: 継手管路の場合の補正係数 (0.017)

σ_{1L} : 埋設管路を連続とした場合の軸応力 (4.835 N/mm²)

σ_{1B} : 埋設管路を連続とした場合の曲げ応力 (0.355 N/mm²)

γ : 重畳係数 (3.12)

(c) 管体応力 (レベル 2 地震動)

$$\sigma'_{2L}(x) = \xi_1(x) \cdot \sigma_{2L} = 0.558 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma'_{2B}(x) = \xi_2(x) \cdot \sigma_{2B} = 0.050 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma'_{1x}(x) = \sqrt{\gamma \cdot \{\sigma'_{2L}(x)\}^2 + \{\sigma'_{2B}(x)\}^2} = \sqrt{1.00 \times 0.558^2 + 0.050^2} = 0.560 \text{ N/mm}^2$$

ここに、 $\sigma'_{2L}(x)$: 継手間の中央部における軸応力 (N/mm²)

$\sigma'_{2B}(x)$: 継手間の中央部における曲げ応力 (N/mm²)

$\sigma'_{1x}(x)$: 継手間の中央部における軸応力と曲げ応力の合成応力 (N/mm²)

$\xi_1(x)$: 継手管路の場合の補正係数 (0.014)

$\xi_2(x)$: 継手管路の場合の補正係数 (0.017)

σ_{2L} : 埋設管路を連続とした場合の軸応力 (39.859 N/mm²)

σ_{2B} : 埋設管路を連続とした場合の曲げ応力 (2.922 N/mm²)

γ : 重畳係数 (1.00)

(3) 継手の伸縮量及び屈曲角度

1) 常時荷重による継手の伸縮量

a. 内圧による継手伸縮量

$$e_i = \frac{l \cdot \sigma_{pi}}{E} = \frac{4,000 \times 1.530}{8.8 \times 10^3} = 0.70 \text{ mm}$$

ここに、 e_i : 内圧による継手伸縮量 (mm)

l : 管長 (4.0 m = 4,000 mm)

σ_{pi} : 内圧による軸方向応力 (1.530 N/mm²)

E : 管のヤング係数 (軸方向、 $8.8 \times 10^6 \text{ kN/m}^2 = 8.8 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$)

b. 自動車荷重による継手伸縮量

$$e_0 = \frac{l \cdot \sigma_{p0}}{E} = \frac{4,000 \times 0.460}{8.8 \times 10^3} = 0.21 \text{ mm}$$

ここに、 e_0 : 自動車荷重による継手伸縮量 (mm)

l : 管長 (4.0 m = 4,000 mm)

σ_{p0} : 自動車荷重による軸方向応力 (0.460 N/mm²)

E : 管のヤング係数 (軸方向、 $8.8 \times 10^6 \text{ kN/m}^2 = 8.8 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$)

c. 温度変化による継手伸縮量

$$e_t = a \cdot \Delta T \cdot l = 0.00003 \times 20 \times 4,000 = 2.40 \text{ mm}$$

ここに、 e_t : 温度変化による継手伸縮量 (mm)

a : 管の線膨張係数 (軸方向、0.00003)

ΔT : 温度変化 (20 °C)

l : 管長 (4.0 m = 4,000 mm)

d. 不同沈下による継手伸縮量

不同沈下による継手伸縮量は、図 3.18 のような状態を想定して算出する。

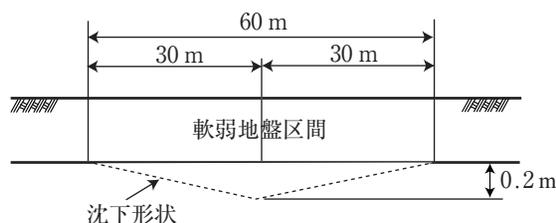


図 3.18 不同沈下想定図

軟弱地盤区間 60 m において、その中央部が 0.2 m の不同沈下を生じたと想定すると、 $l = 30$ m の区間における軸心の伸び Δl は、

$$\Delta l = \sqrt{30^2 + 0.2^2} - 30 = 0.000667 \text{ m} = 0.67 \text{ mm}$$

この伸び Δl は、30 m 区間の複数の継手に分散吸収されるが、ここでは 1 箇所の継手に集中したときを仮定すると、不同沈下による継手伸縮量は以下のように求まる。

$$e_d = 0.67 \text{ mm}$$

ここに、 e_d : 不同沈下による継手吸収量 (mm)

2) 地震時の継手伸縮量

a. レベル 1 地震動

地盤の管軸方向の水平振幅は、次式で求まる。

$$U_{a1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_{h1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 0.037 = 0.026 \text{ m}$$

ここに、 U_{a1} : 地盤の管軸方向の水平変位振幅 (mm)

U_{h1} : 管軸上の地盤の水平変位振幅 (0.037 m)

また、

$$\gamma_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{L'} = \frac{2 \times \pi \cdot 4.00}{274.6} = 0.092$$

$$\beta_1 (= \lambda_1 \cdot l) = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E \cdot A}} \cdot l = \sqrt{\frac{13,302.3}{8.8 \times 10^6 \times 0.256}} \times 4.00 = 0.307$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma_1}{\beta_1}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{0.092}{0.307}\right)^2} = 0.918$$

ここに、 l : 継手間の長さ (4.0 m、管長相当)

L' : 見かけの波長 (274.6 m)

K_{g1} : 管軸方向の地盤の剛性係数 (13,302.3 kN/m²)

E : 管のヤング係数 (軸方向、 8.8×10^6 kN/m²)

A : 管の断面積 (0.256 m²)

さらに、

$$\begin{aligned}\bar{u}_j &= \frac{2 \cdot \gamma_1 \cdot |\cos h(\beta_1) - \cos(\gamma_1)|}{\beta_1 \cdot \sin h(\beta_1)} = \frac{2 \times 0.092 \times |\cos h(0.307) - \cos(0.092)|}{0.307 \times \sin h(0.307)} \\ &= 0.099\end{aligned}$$

これより、管路を無限連続はりとした場合のはりの管軸方向相対変位量は、次式で計算される。

$$u_{01} = a \cdot U_{a1} = 0.9180 \cdot 0.026 = 0.024$$

ここに、 u_{01} ：無限連続はりとした場合のはりの管軸方向相対変位量 (m)

a_1 ：前述の値 (0.918)

U_{a1} ：地盤の管軸方向の水平変位振幅 (0.026 m)

したがって、継手の管軸方向の伸縮量は以下のように求まる。

$$|u_{j1}| = u_{01} \cdot \bar{u}_j = 0.024 \times 0.099 = 0.00238 \text{ m} = 2.38 \text{ mm}$$

ここに、 $|u_{j1}|$ ：管軸方向継手伸縮量 (mm)

u_{01} ：無限連続はりとした場合のはりの管軸方向相対変位量 (0.024 m)

\bar{u}_j ：前述の値 (0.099)

b. レベル2地震動

地盤の管軸方向の水平振幅は次式で決まる。

$$U_{a2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_{h22} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 0.305 = 0.216 \text{ m}$$

ここに、 U_{a2} ：地盤の管軸方向の水平変位振幅 (m)

U_{h22} ：管軸上の地盤の水平変位振幅 (0.305 m)

これより、管路を無限連続はりとした場合のはりの管軸方向相対変位量は次式で計算される。

$$u_{02} = a_1 \cdot U_{a2} = 0.91 \times 0.216 = 0.198 \text{ m}$$

ここに、 u_{02} ：無限連続はりとした場合のはりの管軸方向相対変位量 (m)

a_1 ：前述の値 (0.918)

U_{a2} ：地盤の管軸方向の水平変位振幅 (0.216 m)

したがって継手の管軸方向の伸縮量は以下のように求まる。

$$|u_{j2}| = u_{02} \cdot \bar{u}_j = 0.198 \times 0.099 = 0.0196 \text{ m} = 19.60 \text{ mm}$$

ここに、 $|u_{j2}|$ ：管軸方向継手伸縮量 (mm)

u_{02} ：無限連続はりとした場合の管軸方向相対変位量 (0.198 m)

\bar{u}_j ：前述の値 (0.099)

3) 地震時の継手の屈曲角度

a. レベル 1 地震動

$$\theta_1 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l \cdot U_{h1}}{L^2} = \frac{4 \times \pi^2 \times 4.0 \times 0.037}{194.2^2}$$

$$= 0.000155 \text{ (rad)} = 0^\circ 0' 32''$$

ここに、 θ_1 : 継手の屈曲角度 (°)

l : 継手間の長さ (4.0 m、管長相当)

U_{h1} : 管軸上の地盤の水平変位振幅 (0.037 m)

L : 波長 (194.2 m)

b. レベル 2 地震動

$$\theta_2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l \cdot U_{h22}}{L^2} = \frac{4 \times \pi^2 \times 4.0 \times 0.305}{194.2^2}$$

$$= 0.001277 \text{ (rad)} = 0^\circ 4' 23''$$

ここに、 θ_2 : 継手の屈曲角度 (°)

l : 継手間の長さ (4.0 m、管長相当)

U_{h22} : 管軸上の地盤の水平変位振幅 (0.305 m)

L : 波長 (194.2 m)

(4) 安全性の照査

レベル 1 地震動、レベル 2 地震動のそれぞれについて、常時と地震時の管体応力、継手部の伸縮量及び屈曲角度の結果を、表 3.10 に示す。発生応力、継手伸縮量及び継手屈曲角度はすべて許容範囲以下である。

表 3.10 照査結果

項		目	レベル 1	レベル 2	
管体応力 (N/mm ²)	常時	設計内圧によるもの	σ_{pi}	1.530	1.530
		自動車荷重 (T-25) によるもの	σ_{po}	0.460	0.460
	地震時		σ'_x	0.120	0.560
	発生応力合計			2.110	2.550
	許容応力 ^{*1}		σ_a	7.35	7.35
	安全率			3.48	2.88
継手伸縮量 (mm)	常時	設計内圧によるもの	e_i	0.70	0.70
		自動車荷重によるもの	e_o	0.21	0.21
		温度変化によるもの	e_t	2.40	2.40
		不同沈下によるもの		0.67	0.67
	地震時	$ u_{j1} $	2.38	19.60	
	発生伸縮量合計			6.36	23.58
	設計照査用最大伸び量 ^{*2}		δ_a	99	99
安全率			15.56	4.19	
継手屈曲角度	地震時	θ	0° 0' 32''	0° 4' 23''	
	(参考) 接合時の許容曲げ角度	θ_a	2° 30'	2° 30'	

※1 土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」表-9.5. 参2の値を、安全率=2で除した数値を許容応力とした。

※2 FRPM管の継手の最大抜け出し量から許容曲げ角度屈曲時の抜け出し量を差し引いた値。(表3.11 参照)

表 3.11 設計照査用最大伸び量の許容値

呼び径	管外径 D_c ※1	継手の最大抜け出し量 X ※2	継手の許容曲げ角度 θ_a ※3	設計照査用最大伸び量 δ_a ※4
200	217	75	6° 00′	52
250	268	75	6° 00′	47
300	319	85	5° 00′	57
350	370	85	4° 30′	56
400	421	95	4° 30′	62
450	472	95	4° 00′	62
500	523	105	4° 00′	69
600	627	105	4° 00′	61
700	731	105	4° 00′	54
800	835	125	4° 00′	67
900	939	125	3° 30′	68
1,000	1,043	105	3° 30′	41
1,100	1,147	105	3° 00′	45
1,200	1,251	105	2° 50′	43
1,350	1,407	105	2° 40′	40
1,500	1,563	135	2° 30′	67
1,650	1,721	160	2° 30′	85
1,800	1,877	160	2° 30′	78
2,000	2,085	190	2° 30′	99
2,200	2,293	190	2° 30′	90
2,400	2,502	225	2° 30′	116
2,600	2,710	225	2° 30′	107
2,800	2,918	255	2° 30′	128
3,000	3,126	255	2° 30′	119

※1： D_c 寸法は、C形およびT形継手の挿口部外径による。

※2： X 寸法は、強化プラスチック複合管協会「圧力管路用技術資料（H18.11）」の値による。

※3： θ_a は、設計曲げ角度の2倍の値。

※4： δ_a は、 $\delta_a = X - D_c \times \sin(\theta_a)$

4 モデル管路における経済性比較例

曲げ配管を行うことにより、屈曲角度の小さな曲管を省略する場合の管路コスト縮減効果について、モデル管路による経済比較の例を示す。

(1) モデル管路条件

水平方向の屈曲点を対象として、従来工法と曲げ配管工法とで管路モデルを構成し、コスト比較を行った。比較に際して下記の条件を設定した。

1) 屈曲部の条件：

従来工法では、IP 点に両受けタイプの鋼製曲管を用いる。

曲げ配管工法では、直管継手を設計曲げ角度以内で均等に屈曲させ、曲線布設する。

2) 対象区間の管路長：曲げ配管工法に必要な長さを求め、同一長さの従来工法区間と比較する。

3) 管の呼び径：1,000、2,000 の2通り。

4) 屈曲点の曲げ角度 I_A ：5 - 5/8 度、11 - 1/4 度、22 - 1/2 度の3通り。

5) 曲げ配管の管長：2.0 m / 本、3.0 m / 本、4.0 m / 本の3通り。

上記を組み合わせた 18 通りの比較条件を表 4.1 に示す。

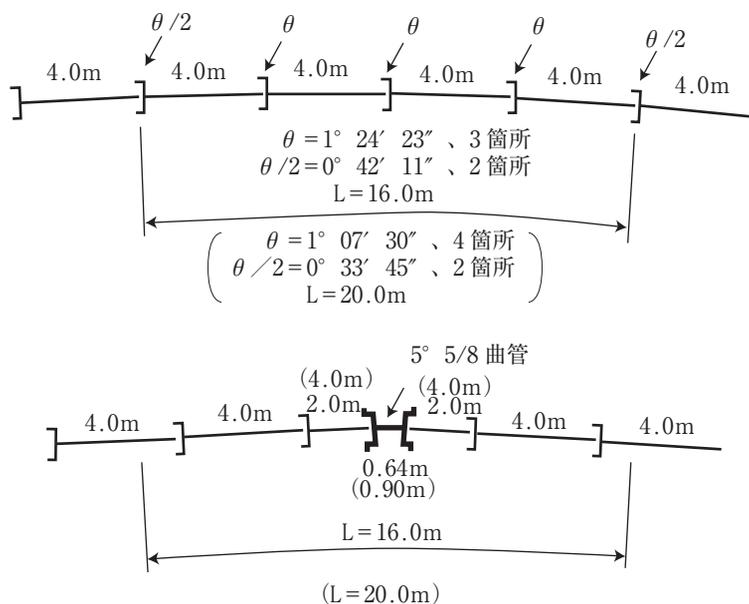
表 4.1 コスト比較条件

呼び径	ケース	曲げ角度 I_A	曲げ配管部の仕様	曲げ配管部の 単位管長さ	対象区間長
1,000 設計曲げ角度 $\delta = 1^\circ 45'$	CASE 1	5° 5/8	屈曲継手数：5 箇所 1 箇所あたりの曲げ角度： 1° 24' 23" (0° 42' 11")	4.0 m	16.0 m
				3.0 m	12.0 m
				2.0 m	8.0 m
	CASE 2	11° 1/4	屈曲継手数：8 箇所 1 箇所あたりの曲げ角度： 1° 36' 26" (0° 48' 13")	4.0 m	28.0 m
				3.0 m	21.0 m
				2.0 m	14.0 m
CASE 3	22° 1/2	屈曲継手数：14 箇所 1 箇所あたりの曲げ角度： 1° 43' 51" (0° 51' 55")	4.0 m	52.0 m	
			3.0 m	39.0 m	
			2.0 m	26.0 m	
2,000 設計曲げ角度 $\delta = 1^\circ 15'$	CASE 4	5° 5/8	屈曲継手数：6 箇所 1 箇所あたりの曲げ角度： 1° 07' 30" (0° 33' 45")	4.0 m	20.0 m
				3.0 m	15.0 m
				2.0 m	10.0 m
	CASE 5	11° 1/4	屈曲継手数：10 箇所 1 箇所あたりの曲げ角度： 1° 15' 00" (0° 37' 30")	4.0 m	36.0 m
				3.0 m	27.0 m
				2.0 m	18.0 m
CASE 6	22° 1/2	屈曲継手数：19 箇所 1 箇所あたりの曲げ角度： 1° 15' 00" (0° 37' 30")	4.0 m	72.0 m	
			3.0 m	54.0 m	
			2.0 m	36.0 m	

注) 曲げ配管部の仕様で、カッコ内の角度はカーブ両端 (BC 点, EC 点) の継手曲げ角度を示す。

コスト比較の対象としたモデル管路を図 4.1、図 4.2 に示す。

< CASE および CASE 4 >



< CASE 2 および CASE 5 >

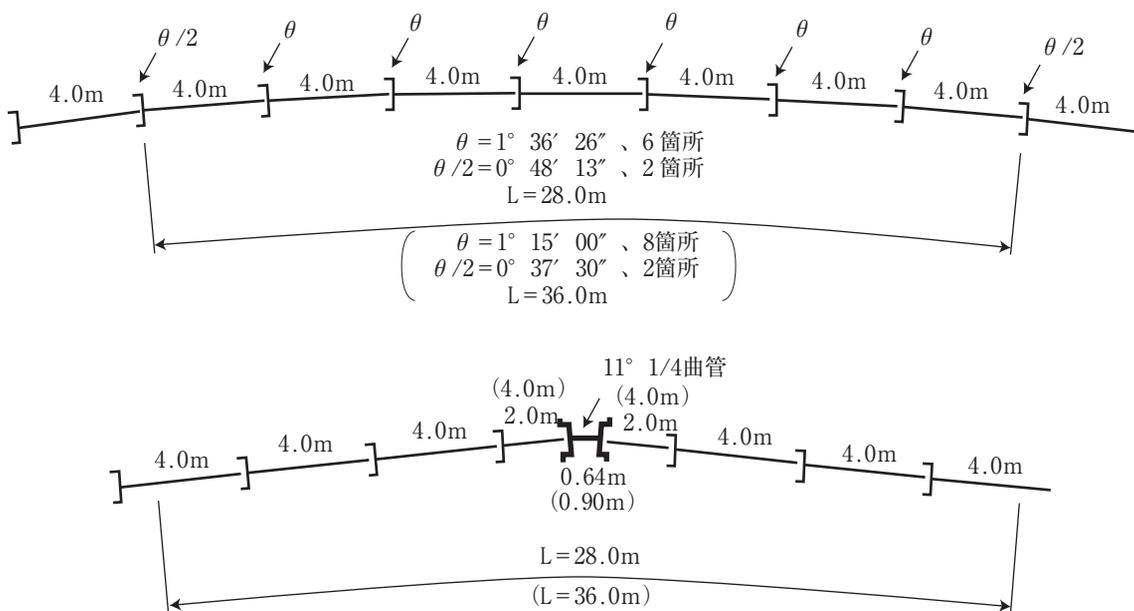
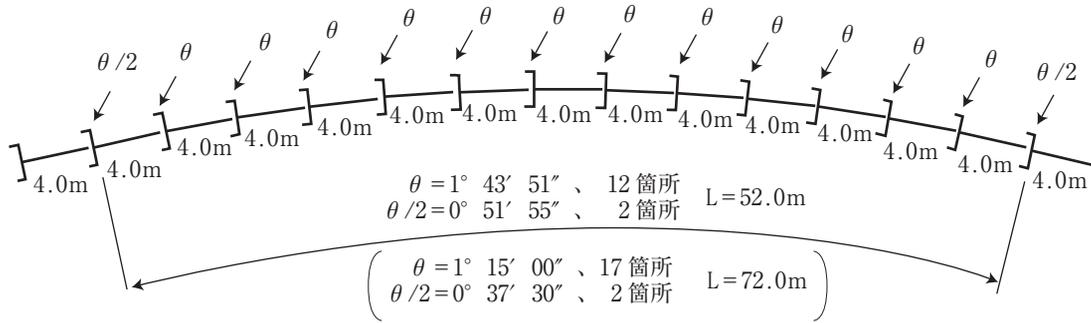


図 4.1 コスト比較対象管路（曲げ配管：4m管の場合）

注) 図中のカッコ内数字は呼び径 2,000 の場合を示す。

< CASE 3 および CASE 6 >

曲げ配管 (22° 1/2)



従来工法 (22° 1/2)

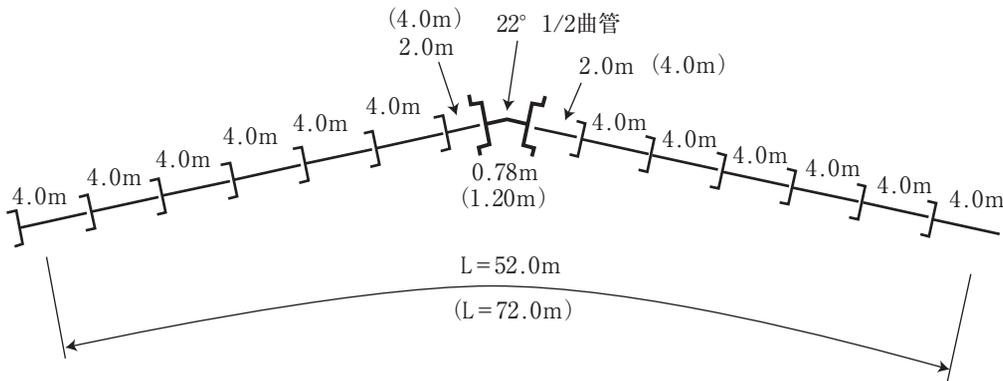


図 4.2 コスト比較対象管路 (曲げ配管：4 m管の場合)

注) 図中のカッコ内数字は呼び径 2,000 の場合を示す。

(2) 比較結果

上記のケースによる概算工事費（資材単価+布設単価）を示すと表 4.2 のとおりである。

曲げ角度 I_A が小さいほど、曲げ配管の布設本数が少なくなるため、従来工法に占める鋼製曲管の価格割合が増大しコスト縮減効果は大きくなる。また曲げ配管を行う単位管長が短いほど曲率半径と曲線長が小さくなるため、鋼製曲管の価格割合が増加する。

全般に大きなコスト縮減効果が得られており、一例として 4 m 管を用いて $I_A = 11 - 1/4^\circ$ に曲げ配管を適用した場合、呼び径 1,000 で 42%、呼び径 2,000 で 26% のコスト縮減となる。

表 4.2 従来工法と曲げ配管工法による概算工事費 [資材費+布設費] (参考)

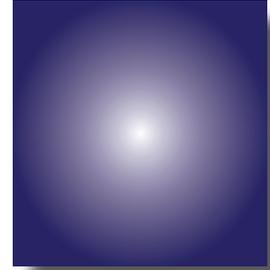
呼び径	Case	曲げ角度 I_A	曲げ配管の管長	コスト比較区間長	従来工法 (円)	曲げ配管工法 (円)
1,000	CASE 1	5 - 5/8°	4.0 m	16.0 m	1,664,274 (1.00)	731,492 (0.44)
			3.0 m	12.0 m	1,481,401 (1.00)	555,316 (0.37)
			2.0 m	8.0 m	1,298,528 (1.00)	414,376 (0.32)
	CASE 2	11 - 1/4°	4.0 m	28.0 m	2,212,893 (1.00)	1,280,111 (0.58)
			3.0 m	21.0 m	1,892,866 (1.00)	971,803 (0.51)
			2.0 m	14.0 m	1,572,838 (1.00)	725,158 (0.46)
	CASE 3	22 - 1/2°	4.0 m	52.0 m	3,316,143 (1.00)	2,377,349 (0.72)
			3.0 m	39.0 m	2,721,806 (1.00)	1,804,777 (0.66)
			2.0 m	26.0 m	2,127,468 (1.00)	1,346,722 (0.63)
2,000	CASE 4	5 - 5/8°	4.0 m	20.0 m	5,407,575 (1.00)	3,279,790 (0.61)
			3.0 m	15.0 m	4,587,628 (1.00)	2,481,490 (0.54)
			2.0 m	10.0 m	3,767,680 (1.00)	1,842,855 (0.49)
	CASE 5	11 - 1/4°	4.0 m	36.0 m	8,031,407 (1.00)	5,903,622 (0.74)
			3.0 m	27.0 m	6,555,502 (1.00)	4,466,682 (0.68)
			2.0 m	18.0 m	5,079,596 (1.00)	3,317,139 (0.65)
	CASE 6	22 - 1/2°	4.0 m	72.0 m	13,985,232 (1.00)	11,807,244 (0.84)
			3.0 m	54.0 m	11,033,421 (1.00)	8,933,364 (0.81)
			2.0 m	36.0 m	8,081,610 (1.00)	6,634,278 (0.82)

注1) () 内の数字は、従来工法の金額を 1 とした時の従来工法と曲げ配管工法のコスト比率を示す。

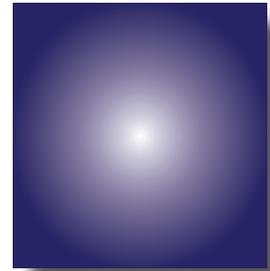
注2) 資材費は、FRPM管の金額は建設物価 (2006.5) ベース、鋼製曲管の金額は見積による。

注3) 布設費は、平成 17 年度土地改良工事積算基準 (土木工事) に従い、労務単価は建設物価 (2006.2) による。

注4) 従来工法の対象区間の両端部で乱寸法となる管のコストについては、単位長さあたりの FRPM管資材費・布設費に管長を乗じて求めた。



【施工編】



5 施 工

5.1 一 般 事 項

曲げ配管の施工にあたっては、屈曲した継手部に内水圧によるスラスト力が作用することから、設計条件、施工条件等を満足する埋戻し土の土質及び締固めに留意して実施する。

[解説]

曲げ配管工法を用いた管路においても、通常の管路布設と同じく、設計条件、施工条件等を考慮した施工計画に基づき、その安全性が十分高められるように入念に行わなければならない。

F R P M管はとう性管であり、土の抵抗力によって管体の耐荷力が発揮されるものであり、埋戻し材、締固め等に留意することが重要である。

5.2 施 工 方 法

曲げ配管の施工では、以下の項目について直線配管の場合と手順・内容が若干異なるため、留意する必要がある。

- (1) 継手の接合作業
- (2) 管軸の心出し作業
- (3) 接合済み管の固定作業

[解説]

F R P M管の布設は、一般に図 5.1 に示す作業フローによって行われる。

曲げ配管を実施する場合においても、基本的な作業の流れは変わらないが、3つの工程で直線配管の場合と手順・内容が若干異なる。

- (1) 曲げ配管を行う継手の接合は、直線配管と同様の手順で途中までまっすぐ引込み、その後、所定の角度までレバーブロックを調整して屈曲させる。
- (2) 接合（曲げ配管）が完了した管の心出し作業は、水ジャッキ等を用いて微調整し、位置決めを行う。

(3) 位置決めの完了した接合済み管は、管底部への置き砂と必要に応じて設ける横ばりにより、横移動を防止する。

以下ではこれらの項目について説明する。

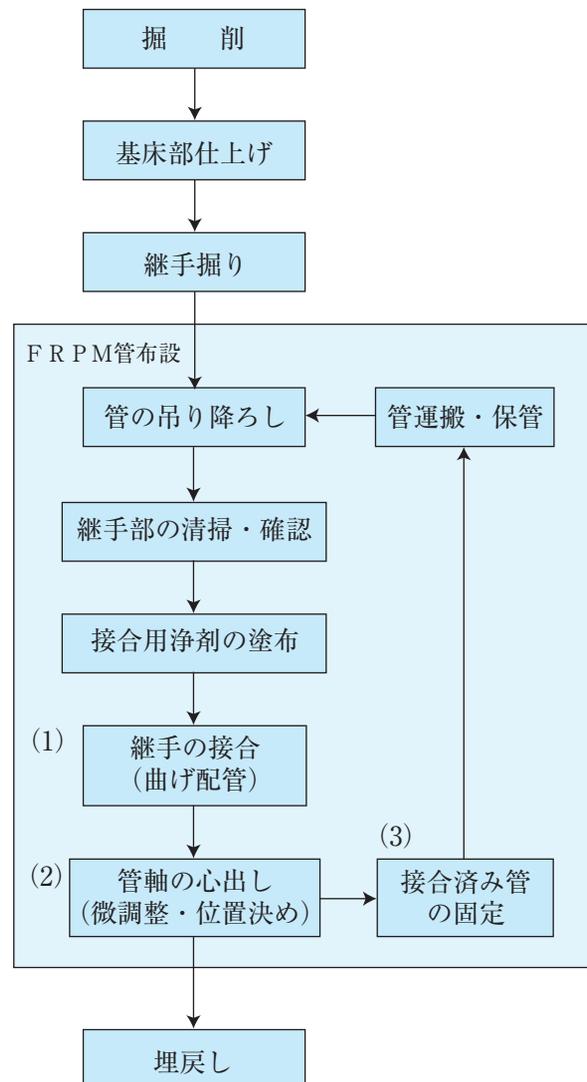


図 5.1 曲げ配管の施工手順

(1) 継手の接合作業

FRP管継手の引込み作業は、口径により、管内面から接合する方法と、管外面から接合する方法がある。一例を示すと図5.2のとおりであり、ワイヤーロープ、レバブロック、接合用角材または内面接合治具などを用いて引込み作業を行う。

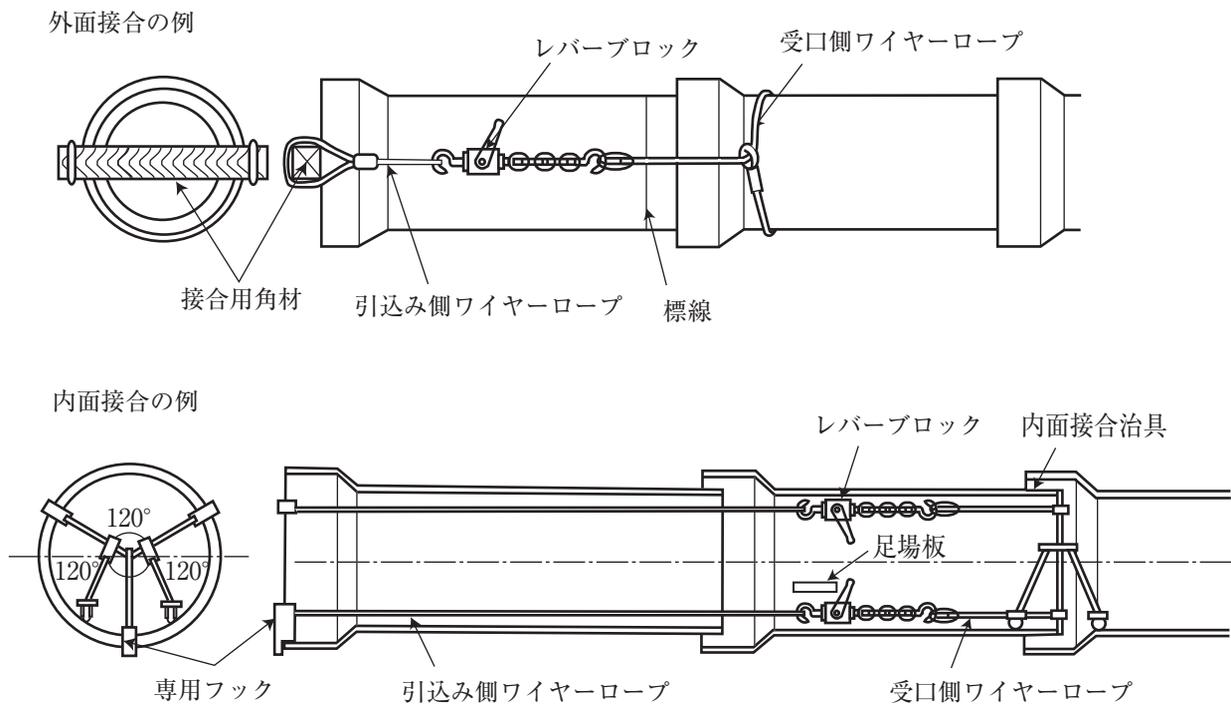


図 5.2 継手の接合作業

直線配管の場合、引込み作業は挿口部外面に表示している標線が受口部の端面に一致するまで行う。

挿入機を行う作業者の他に、標線の動きを見ながら、挿入機操作者に合図を行う指示者が必要である。呼び径 800 以上は管内面からジョイント間隔の測定を行う。

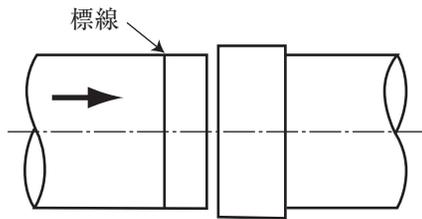


図 5.3 挿口部外面の標線

曲げ配管の場合、接合作業は下記の手順で行う。

- ① 図 5.4 に示すようにまっすぐ引込み、所定の曲げ角度に屈曲させたときに屈曲外側で開く最大寸法よりも少し手前 (20 ~ 30mm) で、一旦引込みを停止する。

【参考】
呼び径ごとの設計曲げ角度による継手の開き (継手間隔の差) は、p. 70 の表 5.2 を参照。

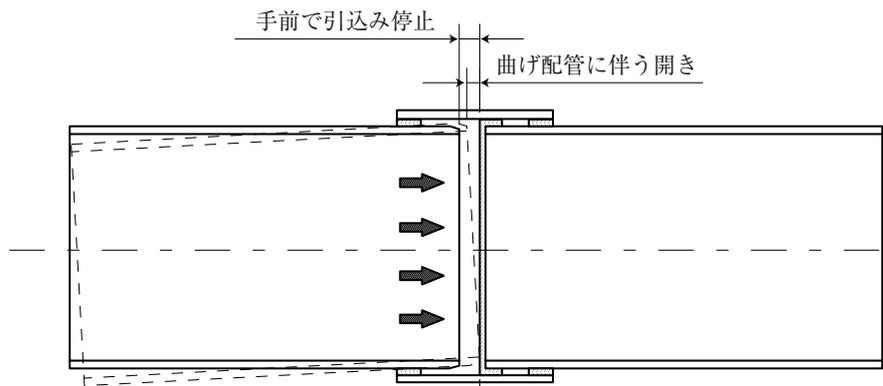


図 5.4 屈曲に伴って継手が開く寸法の手前で接合を一度停止

②継手の屈曲外側にあたるレバーブロックをゆるめる。

③屈曲させる方（内側）のレバーブロックをゆっくり引込む。このとき管内面ではジョイント間隔を、管外面では標線を確認しながら行う。

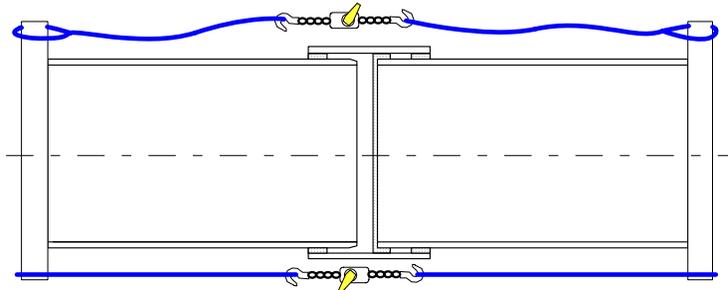


図 5.5 屈曲内側のレバーブロック引込み

④屈曲の内側・外側両方のレバーブロックを調整しながら引込んで所定の位置（角度）まで挿入する。また呼び径 800 以上でカラー型式の継手の場合、受口奥にあらかじめ屈曲角度に合わせて寸法を調整したスペーサを挟んで接合することにより、継手の入り込みを防止することができる。

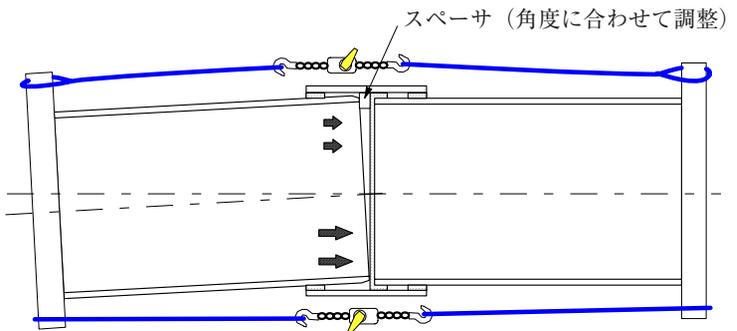


図 5.6 所定の位置（角度）まで引込み

なお、スペーサは接合が完了した後に除去する。

⑤挿入した管の管芯をトランシットで確認しながら据付け位置の微調整を行う。微調整を行うにはレバーブロックをゆるめ、水ジャッキなどを利用して左右方向の位置合わせを行う。

(2) 管軸の心出し作業

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

いずれも、接合時には管の位置測量とジョイント間隔の測定を行い、施工管理基準の範囲内に納まっていることを確認する。すなわち、曲線配管部については図 5.7 に示すように全ての管（通常は最も手前の受口）について接合完了時の位置を測量し、あらかじめ設定した位置にあることを確認する。これによりジョイント間隔等の施工誤差が次のパイプに累積していかないようにする必要がある。

心出しの微調整が必要となった場合には、図 5.8 に示すように水ジャッキなどを用いて、最も手前の受口端部の位置決めを行う。

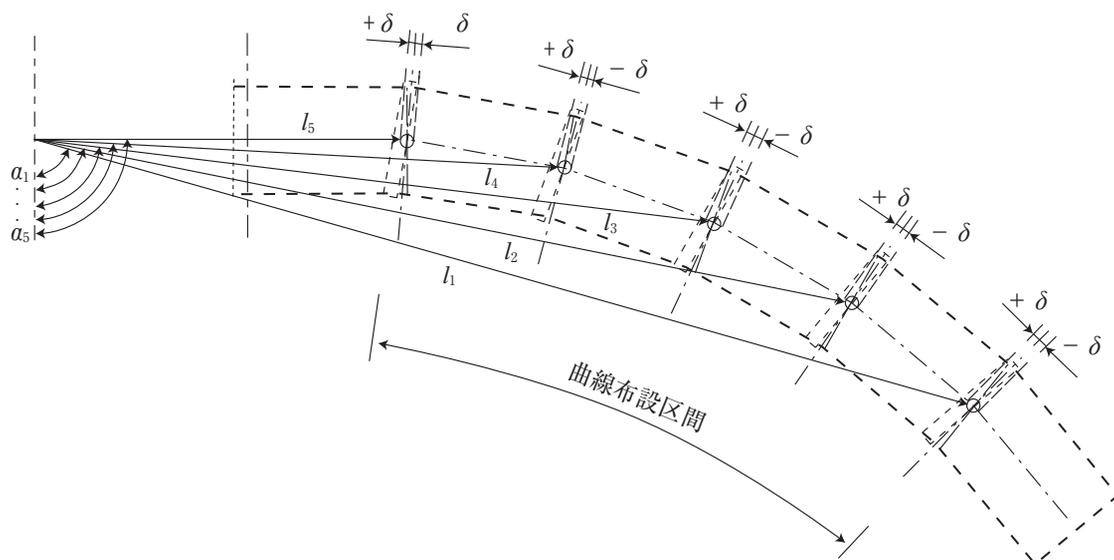


図 5.7 管受口位置の測定の例

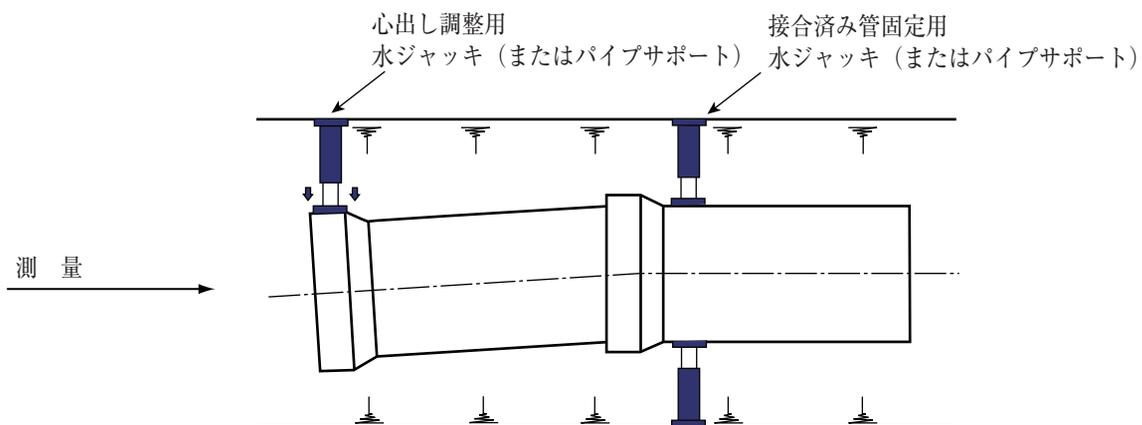


図 5.8 心出し調整の例

(3) 接合済み管の固定作業

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

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

〈外面接合の場合〉

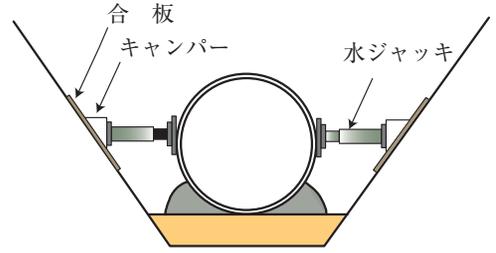
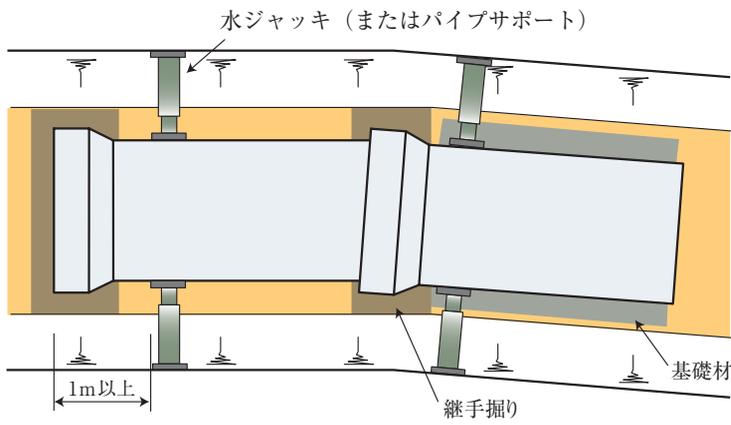


図 5.9 接合済みの管固定に横ばりを用いる場合

〈内面接合の場合〉

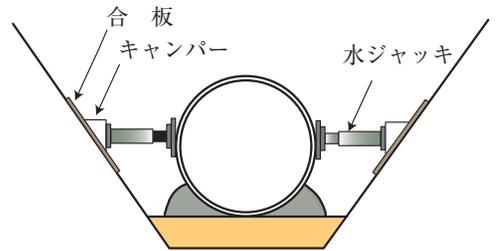
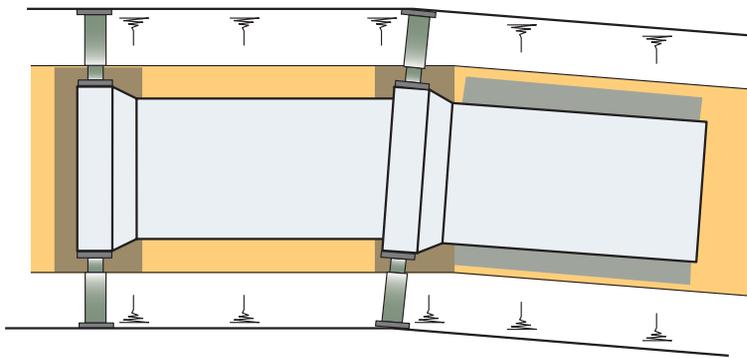


図 5.10 接合済みの管固定に横ばりを用いる場合

5.3 施工の留意点

曲げ配管の施工にあたっては、設計曲げ角度の範囲内で、継手の水密性を確保するための正しい接合手順に従い、設計上の円弧に沿った管布設を行う

[解説]

- (1) 内圧管の曲げ配管を実施する場合は、埋戻し時や埋戻し後の管の移動、内圧によるスラスト力などを考慮して、設計曲げ角度は、許容曲げ角度に対して安全率2をとる。

表 5.1 許容曲げ角度と設計曲げ角度

呼び径	200～250	300	350～450	600～800	900～1,000	1,100	1,200	1,350	1,500～3,000
許容曲げ角度	6° 00′	5° 00′	4° 30′	4° 00′	3° 30′	3° 00′	2° 50′	2° 40′	2° 30′
設計曲げ角度 (設計上限値)	3° 00′	2° 30′	2° 15′	2° 00′	1° 45′	1° 30′	1° 25′	1° 20′	1° 15′

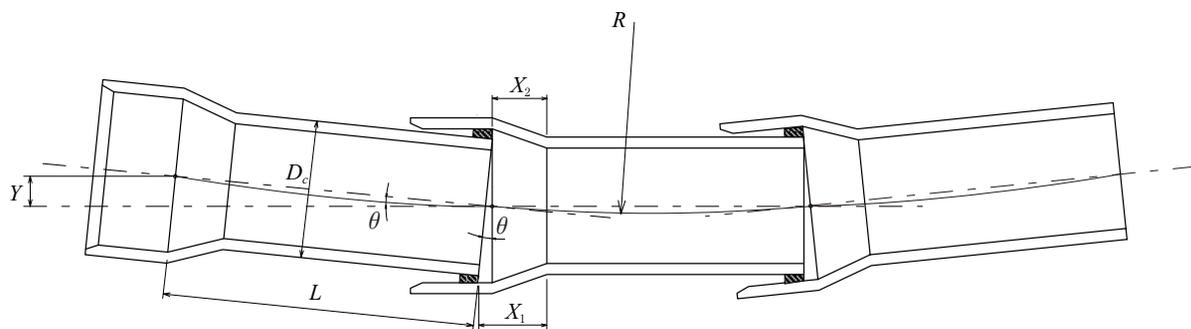
- (2) 大口径FRPM管では、設計曲げ角度以内の曲げ配管であっても、土木工事施工管理基準に規定されたジョイント間隔の管理基準値（上下左右4箇所の平均値）を超える場合がある。事前に発注者の承認を受けてから施工する必要がある。

なお本マニュアルでは、曲げ配管を行う際の施工管理方法として、標準値および管理基準値を個別に設定することを提案している。詳細は5.4 施工管理基準を参照。

- (3) 設計曲げ角度で曲げ配管を行うときの継手間隔の差、偏位量、曲率半径を表5.2に示す。
- (4) 曲げ配管を行う場合、受口部と挿口部をまっすぐに合わせて接合作業を行い、止水ゴム輪の圧縮が完了した状態（レバブロックの荷重が軽くなってから）で、曲がりの内側と外側の継手間隔を計測しながら引込み量の調整を行う。
- (5) 最初から受口部と挿口部を斜めに突き合わせて無理に接合作業を始めたり、止水ゴム輪の圧縮が完了する前に受口部と挿口部を曲げて引込んだりしてはならない。特定の引込み点に過大な荷重が加わり、ワイヤーロープの破断や専用フックを設置した受口部の破損などを引き起こし、災害につながる恐れがある。また、ゴム輪の破損や、リップ部の反転（B形）、装着部からの外れ（C形）、装着溝からの外れ（T形）の原因ともなり、漏水を引き起こすことがある。
- (6) 土木工事施工管理基準では、中心線のズレについては直線部で50mに1箇所、曲線部では10mに1箇所（10m未満の場合は2箇所以上）で測定を行うこととされている。しかしながら、曲げ配管区間では、設計上の円弧に沿った精度の良い管布設が求められることから、確実に管1本ごとに測定を行う。

表 5.2 曲げ配管を行った場合の継手間隔の差、変位置、曲率半径

呼び径	外径 D_c (mm)	設計曲げ 角度 θ (度)	4 m 管			3 m 管			2 m 管		
			継手間 隔の差 $X_1 - X_2$ (mm)	変位置 の上限 値 Y (mm)	曲率半 径 R (m)	継手間 隔の差 $X_1 - X_2$ (mm)	変位置 の上限 値 Y (mm)	曲率半 径 R (m)	継手間 隔の差 $X_1 - X_2$ (mm)	変位置 の上限 値 Y (mm)	曲率半 径 R (m)
200	217	3° 00'	11	210	76	11	157	57	11	105	38
250	268	3° 00'	14	210	76	14	157	57	14	105	38
300	319	2° 30'	14	175	92	14	131	69	14	87	46
350	370	2° 15'	15	157	102	15	118	76	15	79	51
400	421	2° 15'	17	157	102	17	118	76	17	79	51
450	472	2° 00'	16	140	115	16	105	86	16	70	57
500	523	2° 00'	18	140	115	18	105	86	18	70	57
600	627	2° 00'	22	140	115	22	105	86	22	70	57
700	731	2° 00'	26	140	115	26	105	86	26	70	57
800	835	2° 00'	29	140	115	29	105	86	29	70	57
900	939	1° 45'	29	122	131	29	92	98	29	61	65
1,000	1,043	1° 45'	32	122	131	32	92	98	32	61	65
1,100	1,147	1° 30'	30	105	153	30	79	115	30	52	76
1,200	1,251	1° 25'	31	99	162	31	74	121	31	49	81
1,350	1,407	1° 20'	33	93	172	33	70	129	33	47	86
1,500	1,563	1° 15'	34	87	183	34	65	138	34	44	92
1,650	1,721	1° 15'	38	87	183	38	65	138	38	44	92
1,800	1,877	1° 15'	41	87	183	41	65	138	41	44	92
2,000	2,085	1° 15'	45	87	183	45	65	138	45	44	92
2,200	2,293	1° 15'	50	87	183	50	65	138	50	44	92
2,400	2,502	1° 15'	55	87	183	55	65	138	55	44	92
2,600	2,710	1° 15'	59	87	183	59	65	138	59	44	92
2,800	2,918	1° 15'	64	87	183	64	65	138	64	44	92
3,000	3,126	1° 15'	68	87	183	68	65	138	68	44	92



継手間隔の差 $\frac{X_1}{X_2} = D_c \cdot \sin \theta$

偏位置 $Y = L \times \tan \theta$

曲率半径 $R = \frac{L}{2} \div \sin \frac{\theta}{2}$

5.4 施工管理基準

F R P M管を用いた曲げ配管の施工管理基準は、直接配管を対象として定められた「土木工事施工管理基準」（平成 17 年 5 月）農林水産省農村振興局整備部設計課 監修を参考とし、継手の曲げ角度に応じて別途定めるものとする。

[解説]

F R P M管のジョイント間隔は、図 5.11 に示す y 寸法を測定して施工管理を行う。

y 寸法は上下左右 4 箇所を測定し、その平均値を図 5.11 に示す標準値と管理基準値の和で照査する。

曲げ配管の施工管理基準においては、この標準値、管理基準値ともに直線配管の場合とは異なる値を新たに定めることとした。以下ではその内容について述べる。

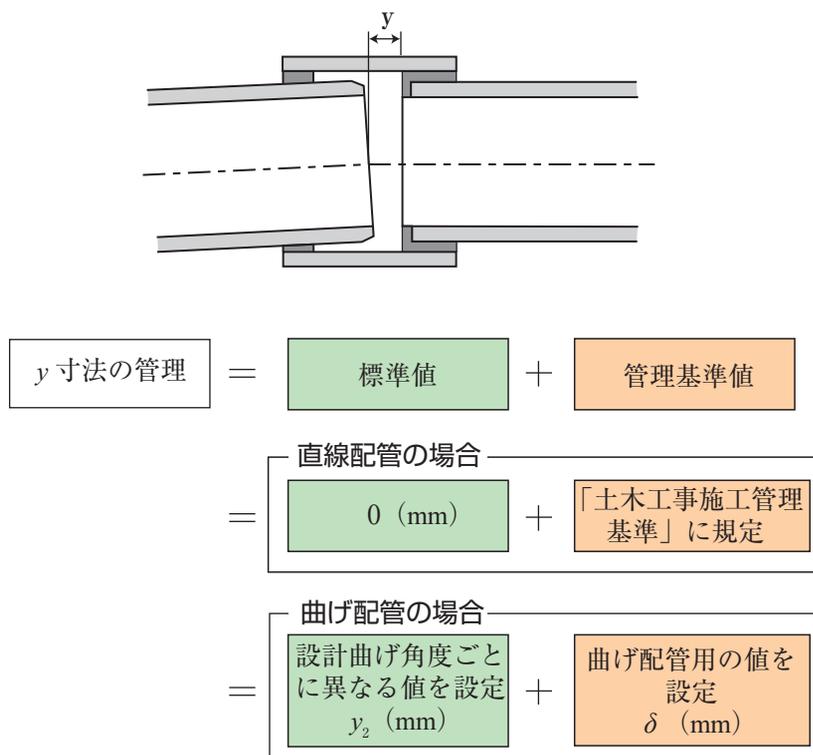


図 5.11 施工管理の考え方

(1) 曲げ配管のときの標準値(案)

「土木工事施工管理基準」によると、F R P M管のジョイント間隔の管理基準は、直線配管を前提としており、標準値は 0 であり、0 を基点として施工誤差を規定した管理基準値が定められている。

しかしながら、曲げ配管（曲線布設）を行う継手については、あらかじめ設定された屈曲角度によって斜めに伸び出した状態になることから、4 箇所の平均は + 側となる。大口径では初期の屈曲

による伸び出しで平均値が「土木工事施工管理基準」の管理基準値を上回る場合もあることから、標準値（案）を個別に設定する。

曲げ配管の場合の標準値（案）は下式で求める。

$$y_2 = \frac{D_c}{2} \sin \theta$$

ここに、 y_2 ：曲げ配管の標準値

D_c ：管外径

θ ：継手の曲げ角度（設計曲げ角度以下の任意の値）

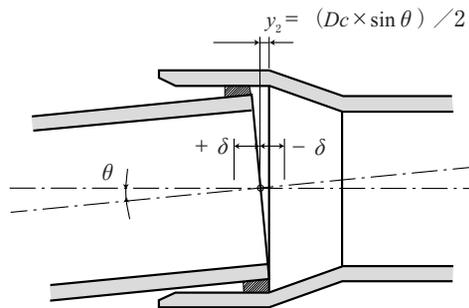


図 5.12 標準値（案）の設定

(2) 曲げ配管のときの管理基準値（案）

管理基準値は、標準値に対する施工誤差の許容範囲を示す値であり、接合時のジョイント間隔4箇所の平均値で照査する。「土木工事施工管理基準」に定められた管理基準値は直線配管の場合を対象としており、施工上のバラツキは継手がまっすぐに伸縮することを想定したものと考えられる。

一方、曲げ配管を行う継手では初期の屈曲角度を考慮して、直線配管とは異なる標準値（案）を設定しているが、布設時には継手の伸縮に加えて屈曲に伴う伸び出し（または入り込み）による誤差も生じる可能性がある。

そこで、曲げ配管のときの管理基準値（案）は、以下の2条件を満足するように定めることとした。

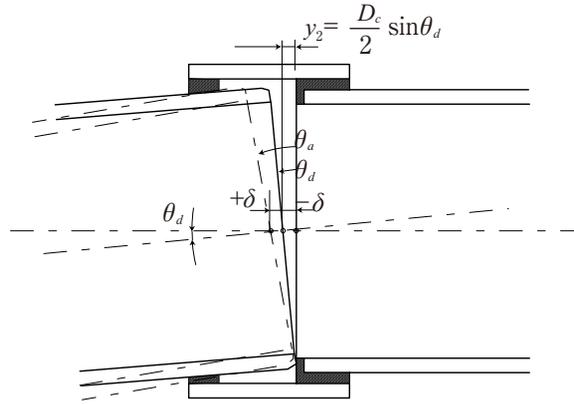
〔条件1〕 図 5.13 に示すように継手が設計曲げ角度に屈曲している状態を考え、施工のバラツキでさらに屈曲しても許容曲げ角度を上回らないようにすること。

〔条件2〕 「土木工事施工管理基準」で定められた管理基準値以内とすること。

すなわち、目標とする設計曲げ角度（ θ_d ）の状態から、施工誤差により許容曲げ角度（ θ_a ）まで屈曲した状態を考えると、バラツキの最大値は（許容曲げ角度時のジョイント間隔平均値－設計曲げ角度時のジョイント間隔平均値）となる。このバラツキの最大値を切り下げて5mm単位に丸めた値と「土木施工管理基準」で定められた値を比較し、小さい方を曲げ配管のときの管理基準値（案）（ $\pm \delta$ ）とする。

なお、FRPM管継手の形状が入り込みを許容しない構造の場合にはy寸法の下限值は0、入り込みを許容する構造の場合は図 5.13 に示すB点を基点にA点が入り込む側に屈曲するものとしてマイナス側も考慮する。

入り込みを許容しない継手構造の場合



入り込みを許容する継手構造の場合

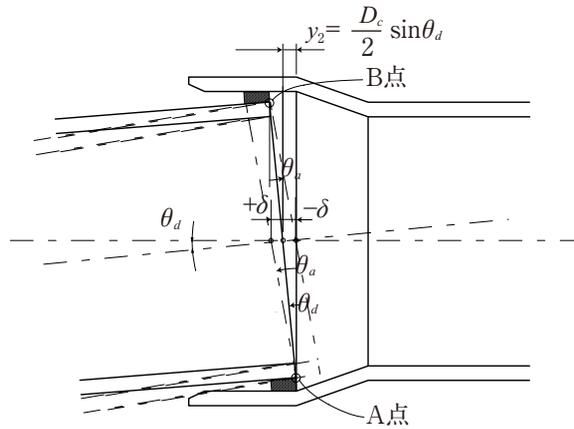


図 5.13 曲げ配管のときの管理基準値の算定

呼び径ごとの「土木工事施工管理基準」と「曲げ配管の管理基準値（案）」を比較して、図 5.14 に示す。

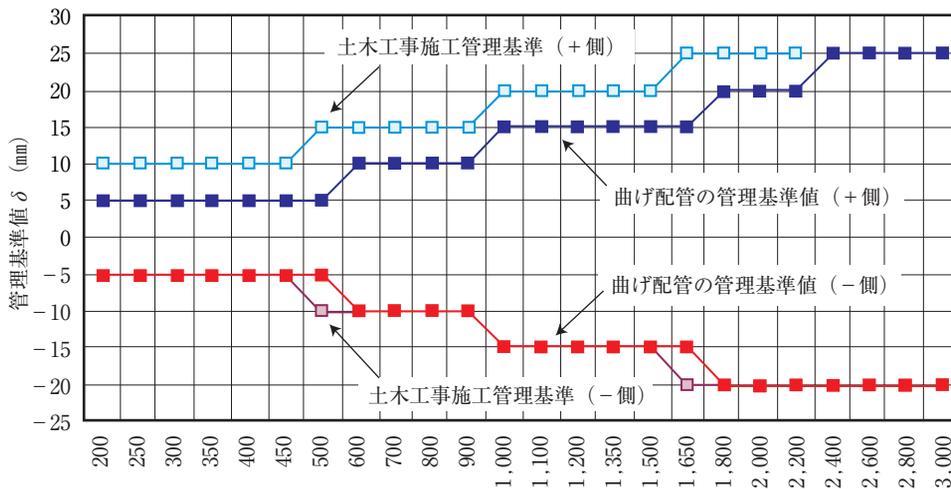


図 5.14 管理基準値の比較

図 5.14 より、曲げ配管の管理基準値（案）の+側については、呼び径 2,200 以下では「土木工事施工管理基準」の値よりも 5mm ~ 10mm 小さくなる。呼び径 2,400 以上については「土木工事施工管理基準」の方が小さくなるため、その値を管理基準値（案）としている。また-側については呼び径 500 と 1,650 で 5mm 小さくなる以外は「土木工事施工管理基準」と一致する。

曲げ配管の管理基準値（案）は、直線配管の管理基準値より全体に小さく、厳しい値となっていることがわかる。

(3) 曲げ配管の管理基準値（案）算定例

p.66 でコスト比較を行った呼び径 1,000 の CASE 1 の場合を例に、施工管理基準を算定した結果を表 5.3 に示す。

表 5.3 施工管理基準の例（B 形、C 形、D 形、T 形継手）

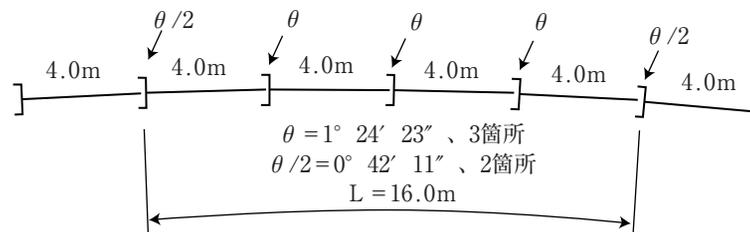
呼び径	1 箇所あたりの 曲げ角度 ³⁾	標準値（案） y_2	管理基準値（案） $\pm \delta$	屈曲部の管理基準 ^{1), 2)} y 寸法
1,000	θ_d	$y_2 = \frac{D_c}{2} \cdot \sin \theta_d$	+ δ - δ	$y_2 + \delta$ $y_2 - \delta$
	$\theta = 1^\circ 24' 23''$	$\frac{D_c}{2} \cdot \sin \theta = 13$	+ 15 - 15	+ 28 - 2 (0)
	$\theta / 2 = 0^\circ 42' 11''$	$\frac{D_c}{2} \cdot \sin \frac{\theta}{2} = 6$	+ 15 - 15	+ 21 - 9 (0)

注 1) 曲げ配管の標準値（案）に管理基準値（案）を加えた値であり、接合時のジョイント間隔平均値がこの範囲内になければならない。

注 2) () 内数値は入り込みを許容しない継手構造の場合の値。

注 3) BC 点および EC 点の継手の屈曲角は $\theta / 2$ とする。

注 4) D_c は管外径を示す。



(4) 曲げ配管のときの規格値

規格値は埋戻し後の値であり、原則としてジョイント間隔 4 箇所のうち 1 箇所でも超えてはならない。曲げ配管のときの規格値は、継手の限界寸法に対しおよそ 2 の安全率を見込んだ値（許容曲げ角度のときのジョイント間隔の最大値に相当）であり、布設地盤に関わりなく適用する。

ジョイント間隔の管理基準値および規格値は表 5.4、表 5.5、表 5.6 を参考とする。

表 5.4 強化プラスチック複合管 (B 形及び T 形継手)

(単位 .mm)

規 格	JIS A 5350		
	B 形及び T 形		
呼び径	標準値	管理基準値	(参考) 規格値
200	y ₂	+ 5 - 5 (0)	+ 33 - 33 (0)
250		+ 5 - 5 (0)	+ 33 - 33 (0)
300		+ 5 - 5 (0)	+ 38 - 38 (0)
350		+ 5 - 5 (0)	+ 38 - 38 (0)
400		+ 5 - 5 (0)	+ 43 - 43 (0)
450		+ 5 - 5 (0)	+ 43 - 43 (0)
500		+ 5 - 5 (0)	+ 53 - 52 (0)
600		+ 10 - 10 (0)	+ 53 - 52 (0)
700		+ 10 - 10 (0)	+ 53 - 52 (0)
800		+ 10 - 10 (0)	+ 53 - 52 (0)
900		+ 10 - 10 (0)	+ 53 - 52 (0)
1,000		+ 15 - 15 (0)	+ 53 - 51 (0)
1,100		+ 15 - 15 (0)	+ 53 - 51 (0)
1,200		+ 15 - 15 (0)	+ 53 - 51 (0)
1,350		+ 15 - 15 (0)	+ 53 - 51 (0)
1,500		+ 15 - 15 (0)	+ 53 - 51 (0)
1,650		+ 15 - 15 (0)	+ 80 - 77 (0)
1,800		+ 20 - 20 (0)	+ 80 - 77 (0)
2,000		+ 20 - 20 (0)	+ 95 - 92 (0)
2,200		+ 20 - 20 (0)	+ 95 - 92 (0)
2,400		+ 25 - 20 (0)	+ 113 - 110 (0)
2,600		+ 25 - 20 (0)	+ 113 - 110 (0)
2,800		+ 25 - 20 (0)	+ 128 - 125 (0)
3,000		+ 25 - 20 (0)	+ 128 - 125 (0)

- 注) 1. 標準値は設定された屈曲角度に伴う伸び出し量であり、継手の曲げ角度に応じて定める。
2. 管理基準値は接合時の値であり、ジョイント間隔 4 箇所 の平均値が標準値と管理基準値を加えた値の範囲内にならなければならない。
3. (参考) 規格値は埋戻し後の値であり、原則として 4 箇所のうち 1 箇所でもこの値を超えてはならない。
4. 接合時の測定は、原則として管の内から測定するものとする。ただし、呼び径 700 以下の場合、管の外から確認してもよい。また、埋戻し後の測定は、原則として呼び径 700 以下の測定は必要ない。
- なお、「埋戻し後」とは、特に指示がない限り、舗装 (表層、上層路盤、下層路盤) を除いた埋戻し完了時点とする。

表 5.5 強化プラスチック複合管 (C 形継手) (単位 :mm)

規格	JIS A 5350				
	C 形				
呼び径	標準値	管理基準値		(参考) 規格値	
200	y_2	+ 5	0	+ 33	0
250		+ 5	0	+ 33	0
300		+ 5	0	+ 38	0
350		+ 5	0	+ 38	0
400		+ 5	0	+ 43	0
450		+ 5	0	+ 43	0
500		+ 5	0	+ 53	0
600		+ 10	0	+ 53	0
700		+ 10	0	+ 53	0
800		+ 10	0	+ 53	0
900		+ 10	0	+ 53	0
1,000		+ 15	0	+ 53	0
1,100		+ 15	0	+ 53	0
1,200		+ 15	0	+ 53	0
1,350		+ 15	0	+ 53	0
1,500		+ 15	0	+ 53	0
1,650		+ 15	0	+ 80	0
1,800		+ 20	0	+ 80	0
2,000		+ 20	0	+ 95	0
2,200		+ 20	0	+ 95	0
2,400		+ 25	0	+ 113	0

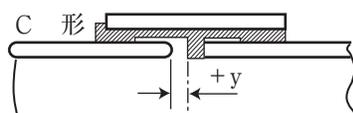
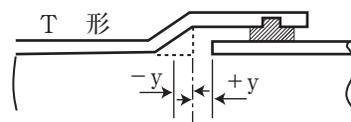
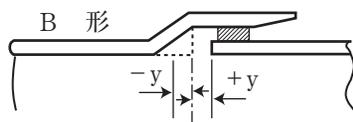
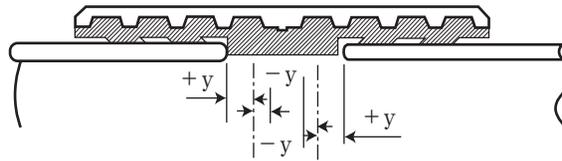


表 5.6 強化プラスチック複合管 (D 形継手) (単位 :mm)

規格	JIS A 5350			
	D 形			
呼び径	標準値	管理基準値		(参考) 規格値
200	y_2	+ 5	0	+ 33 - 3
250		+ 5	0	+ 33 - 3
300		+ 5	0	+ 38 - 3
350		+ 5	0	+ 38 - 3
400		+ 5	0	+ 43 - 3
450		+ 5	0	+ 43 - 3
500		+ 5	0	+ 53 - 3
600		+ 10	0	+ 53 - 3
700		+ 10	0	+ 53 - 3
800		+ 10	0	+ 53 - 5
900		+ 10	0	+ 53 - 5
1,000		+ 15	0	+ 53 - 5
1,100		+ 15	0	+ 53 - 5
1,200		+ 15	0	+ 53 - 5
1,350		+ 15	0	+ 53 - 5
1,500		+ 15	0	+ 53 - 5
1,650		+ 15	0	+ 80 - 5
1,800		+ 20	0	+ 80 - 5
2,000		+ 20	0	+ 95 - 5
2,200		+ 20	0	+ 95 - 5
2,400		+ 25	0	+ 113 - 5

D 形



5.5 施工実績

F R P M管を用いた曲げ配管工法の施工実績を表 5.7 に示す。

表 5.7 F R P M管の曲げ配管工法施工実績

地区	事業体	施工年度	工区	呼び径	管種	水平/横断/合成	屈曲角度			曲げ配管本数(本)	開削/トンネル/シールド	設計内圧(MPa)	土被り(m)	備考	
							°	'	"						
東北	隈戸川農業水利事業所	H18	幹線用水路大屋工区	2400	4種	水平	37	54	0	32	トンネル			2m管	
			幹線用水路矢吹北工区その4	1500	3種	水平	13	27	40	11	開削		1.7	3m管	
				1500	3種	水平	6	27	8	6	開削		1.8		
	新安積農業水利事業所	H15	柱田工区その4	1350	5種	水平	3	49	0	2	トンネル			2m管・60R	
		H15	IP.5	1350	5種	水平	31	2	5	25	トンネル			1.3m管・60R	
	東北地方整備局 長井ダム工事事務所	H19	長井ダム利水設備補償工事	1800	5種	水平	13	3	47	12	開削	0.15	3.5		
東	柏崎周辺農業水利事業所	H15	甲戸導水路その2	600	5種	水平	0	8	58	1	開削				
		H15	甲戸導水路その4	600	4種	水平	0	29	21	1	開削				
東	新濃尾農地防災事業所	H16	野中・その1	2000	4種	水平	6	6	41	6	開削	0.38		150R	
				2000	4種	水平	6	6	41	6	開削			150R	
				1800	4種	水平	6	6	41	5	開削			150R	
				1800	4種	水平	4	23	16	6	開削			250R	
				1800	4種	水平	3	42	12	6	開削			200R	
				1800	4種	水平	3	42	12	6	開削			200R	
		H16	野中・その2	1800	4種	水平	8	52	23	12	開削	0.38			
				1800	4種	水平	3	18	30	5	開削				
		H16	伏屋・その1	1800	4種	水平	3	18	30	5	開削				
				1800	4種	水平	3	18	30	5	開削				
	1800			4種	水平	5	43	56	8	開削					
	1800			4種	水平	5	43	56	8	開削					
	H15	一色・その1	2000	4種	水平	6	52	31	8	開削					
			2000	4種	水平	5	30	2	7	開削					
			2000	4種	水平	5	29	26	7	開削					
			2000	4種	水平	2	51	53	3	開削					
			2000	4種	水平	2	51	53	3	開削					
			2000	4種	水平	2	51	53	3	開削					
	海	新矢作川用水農業水利事業所	H14	米津・その1	1350	内挿4種	水平	0	30	37	1	既設PC管			
					1350	内挿4種	水平	0	49	46	1	既設PC管			
1350					内挿4種	水平	0	7	15	1	既設PC管				
1350					内挿4種	水平	0	3	42	1	既設PC管				
1350					内挿4種	水平	0	2	39	1	既設PC管				
1350					内挿4種	水平	0	8	9	1	既設PC管				
H15		岡崎幹線水路 渡工区その6	2400	5種	水平	3	30	1	5	開削	0.15	3.5			
			2400	5種	水平	1	46	35	2	開削	0.15	3.3			
H15		北野幹線水路 柵塚 M	2800	5種	水平	4	32	11	3	開削	0.15	2.2			
			2800	5種	水平	4	1	19	6	開削	0.15	2.2			
H17		上郷幹線水路 柵塚 M	2600	内挿5種	水平	5	59	52	8	馬蹄暗渠	0.05	1.5			
			2200	内挿5種	水平	1	15	0	1	矩形暗渠	0.05	1.5			
H16		野銭・その2	1650	5種	水平	3	18	47	3	開削	0.1		1.8		
			1650	5種	水平	2	46	31	3	開削			1.8		
	1650		5種	水平	3	57	59	4	開削			1.8			
	1650		5種	水平	9	15	0	10	開削			1.8			
H16	西尾幹線 BC - 13	1500	5種	水平	6	0	0	3	開削						
		1500	5種	水平	4	0	0	2	開削						
		1500	5種	水平	4	0	0	2	開削						
		1500	5種	水平	6	0	0	3	開削						
H16	西尾幹線 BC - 22	1350	5種	水平	4	0	0	2	開削						
		1350	5種	水平	4	0	0	2	開削						
		1350	5種	水平	6	0	0	3	開削						
海部土地改良区	H18	光西支線水路	2200	5種	水平	5	30	20	9	開削	0.1	2.4			
中四	那賀川農地防災事業所	H18	南岸幹線その2	2200	5種	水平	1	37	14	2	開削				
				2200	5種	水平	1	43	0	2	開削				
九州	曾於東部農業水利事業所	H17	中岳ダム放流管	1200	3種	水平	7	27	36	5	トンネル			2.5m管・120R	

注 1) F R P M管協会調べによる。

注 2) トンネル・シールド内における曲げ配管については、上記実績以外にも多くの施工事例がある。

5.6 施工歩掛

曲げ配管工法は、直管の継手において少しずつ曲げる工法であり、直管の歩掛を準用する。

可とう性継手による曲げ配管工法
—パイプラインの曲線状敷設による効率的な路線選定と配管—
設計・施工指針（案）

- 【発行日】 平成19年3月
- 【編集】 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
農村工学研究所 土質研究室
- 【企画・発行】 社団法人 農業農村整備情報総合センター

〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町2-3
電話 03 (5695) 7177
<http://www.aric.or.jp>

