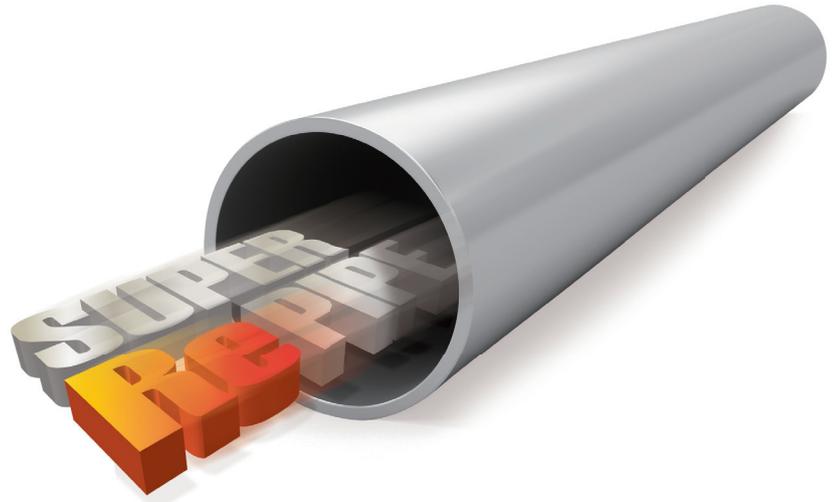


内圧管更生・更新工法

スーパーReパイプH工法

〈呼び径200～1100適用〉

高強度タイプ



技術資料

日本内圧管更生工法協会

はじめに

日本の近代水道は明治時代から、井戸水の汚染防止や衛生の確保のために上水道や下水道が整備されはじめました。また、昭和に入り、産業の発展とともに地盤沈下対策として、工業用水道が整備されました。

現在の水道は、水処理設備の浄水場、水を輸送する管路と膨大な設備になってきております。特に管路は、高度経済成長および人口増加により埋設している延長も増え、既に耐用年数を経過した管路が多く存在し、漏水事故の原因となっており、近年の地震や豪雨等による管路被害も増えてきております。

老朽管路の更新を進めるためには、従来の布設替えによる更新工法に加え、更生(スーパーReパイプH工法)を追加することにより、老朽管路の早期解消を実現することができます。

スーパーReパイプH工法は、その中でも管径 ϕ 200~1100mmの管路を施工環境に配慮しつつ効率よく経済的にリニューアルし、自立管を既設管内に形成することにより、管路性能を最大限に向上させ安心して使用できる水道管路とすることができ、耐用年数100年を想定している工法です。

本工法の原理・特長をご理解いただき、上水道・工業用水・農業用水・工場等の民間施設の管路更生・更新や維持管理に少しでも役立てていただければ幸いです。

目次

CONTENTS

I	工法の概要	1 工法の原理	1
		2 反転の原理	1
		3 施工手順	3
II	工法の特長	1 更生管の特長	6
		2 施工上の特長	6
III	基本仕様	1 目的	7
		2 適用範囲	7
IV	主要材料	1 更生材	8
		2 プリライナー	8
		3 管口仕上げ材	8
V	材料の材質・構成	1 材質	9
		2 構成	9
VI	施工に関して	1 主要施工機器	11
		2 施工時の占有面積	11
		3 作業坑の寸法と既設管切断長さ	12
		4 施工時期	12
		5 施工日数	13
VII	試験結果	1 材料物性	16
		2 長期曲げ強さ試験	16
		3 長期曲げ弾性率試験	18
		4 長期引張強さ試験	20
		5 静水圧破壊試験	22
		6 脈動水圧試験	24
		7 浸出試験	25
		8 水理特性	27
VIII	構造計算	1 設計厚み計算	28
		2 耐震性評価	33

I

工法の概要

1 工法の原理

スーパーReパイプH工法(以下、「当工法」という)は、更生材を反転させながら既設管内に新たな自立管を形成する「反転工法」である。

熱硬化性樹脂を含浸した更生材を「シューター」と呼ばれる機材に巻き取り、更生する既設管の片側の開口部から材料を反転挿入する。

次に、蒸気配管を接続し、ボイラーユニットから蒸気を供給して更生材内部から加圧・加熱し、更生材を既設管内面に密着させた状態で樹脂を硬化させる。樹脂の硬化後、加圧蒸気を圧縮空気に切り替えて更生材を冷却させる。

その後、管端部を切断し、止水処理を施して更生・更新が完了する。

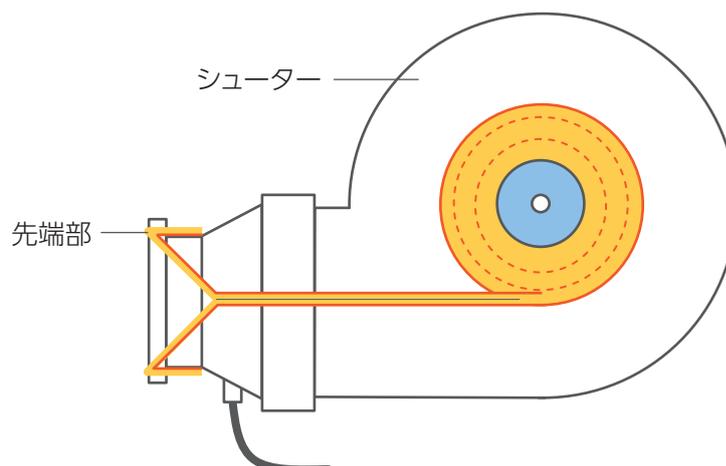


2 反転の原理

当工法は、空気圧を利用し、材料を反転させて施工を行う。その原理を図に基づいて説明する。

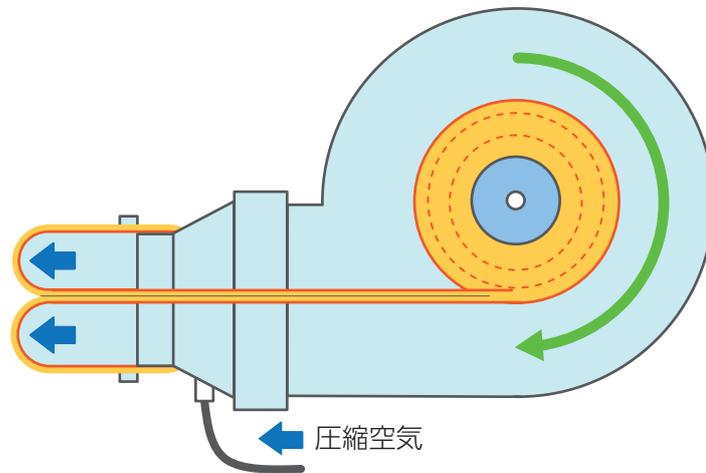


シューター内のリールに更生材を巻き取り、シューター先端の金具に固定する。



II
反転開始

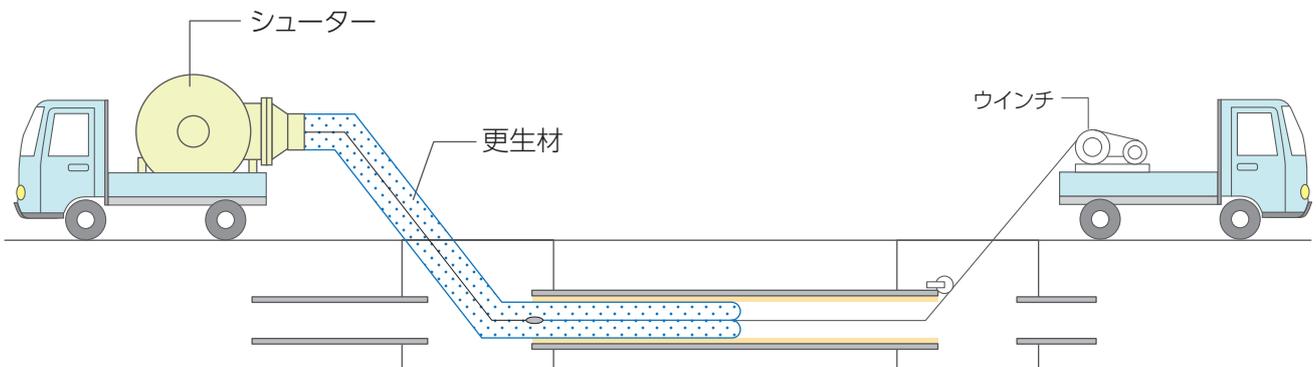
シューター内に圧縮空気を入れると、先端部に固定された更生材が空気圧により、押し出され、前進する。

III
反転中

シューター内の圧力を保った状態で巻き取られた更生材を送り出すと、連続的に反転が進行していく。

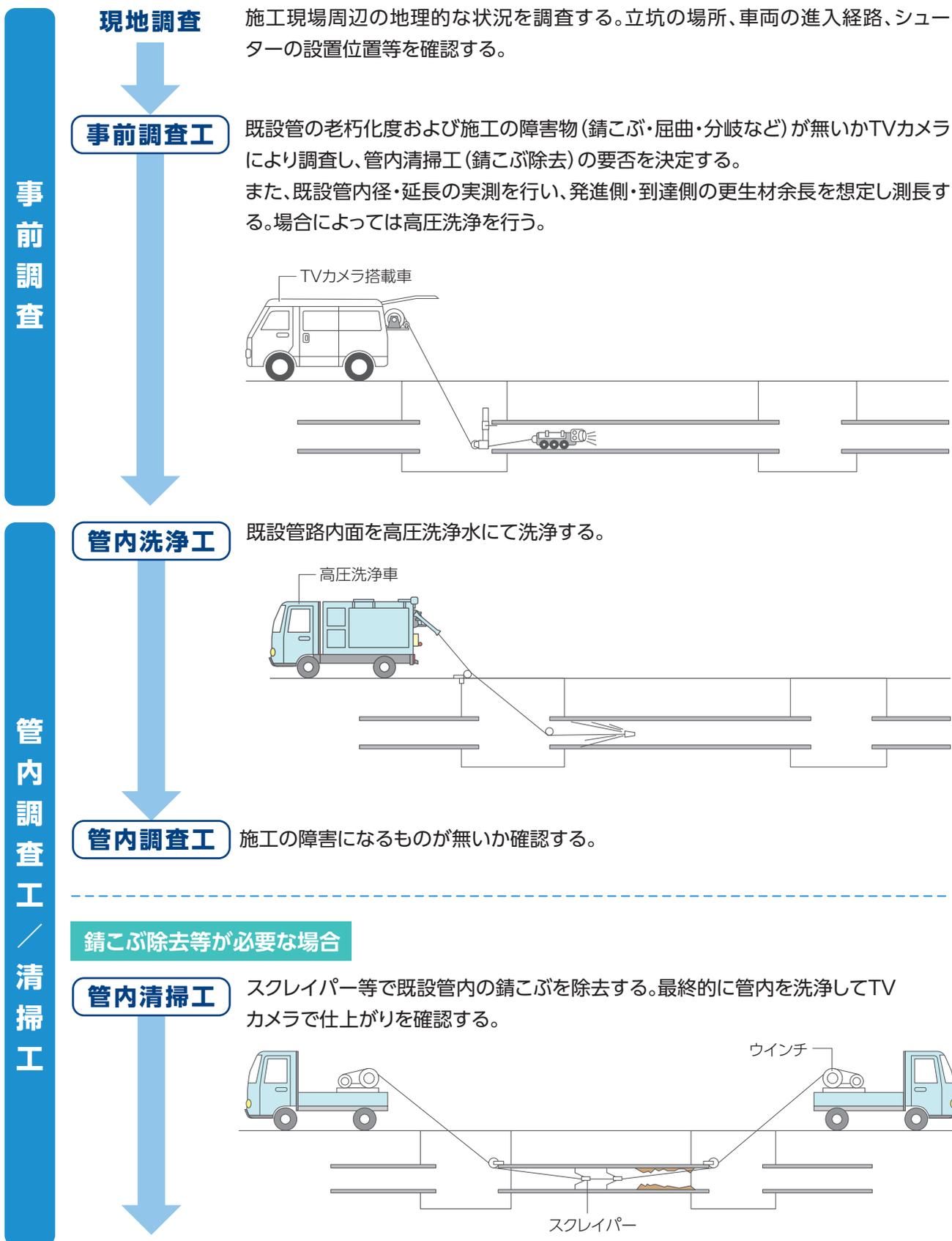
更生材は気密性に優れた被覆材で構成され、反転前は外側にあるが反転後は内側に配置される。

この被覆材の性能により、圧縮空気は漏れることなく、更生材が連続的に反転を続けることが可能となる。



3 施工手順

■スーパーReパイプH工法の事前準備



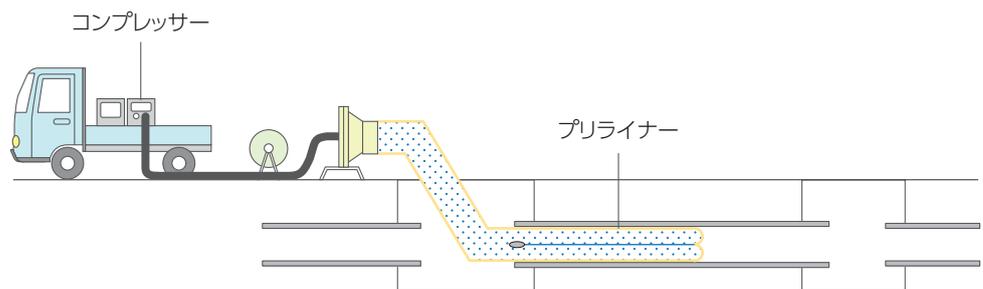
■スーパーReパイプH工法の施工手順

材料巻取工

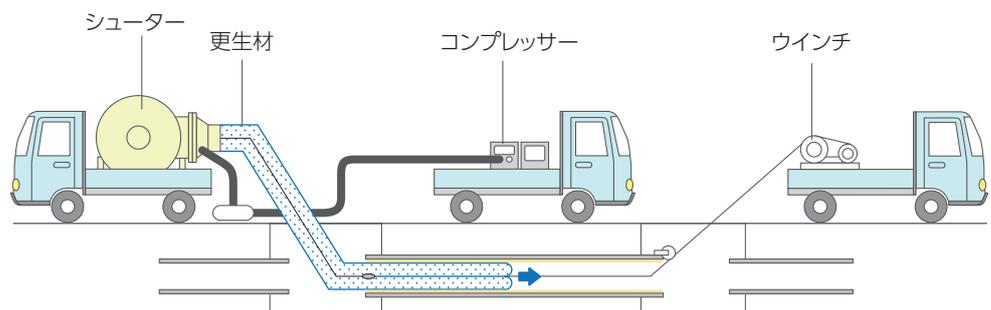
材料巻取工 更生材をシューターに巻き取る。

設備設置工 スーパーReパイプHを行うための設備の設置を行う。

プリライナー挿入工 準備が完了したら、圧縮空気によりプリライナーを挿入する。



反転挿入工 シューターに圧縮空気を供給し、既設管内に更生材を反転挿入する。

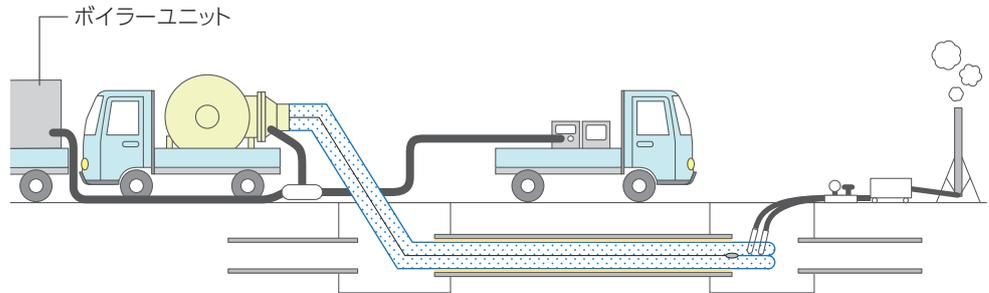


スーパーReパイプH工

ス
ー
パ
ー
R
e
パ
イ
プ
H
工

加熱硬化工

更生材を加圧により拡径し、既設管に密着させた状態で蒸気を送り込み、加熱・硬化させる。



冷却工

加圧蒸気を圧縮空気に切り替え、冷却を行う。

管口切断工

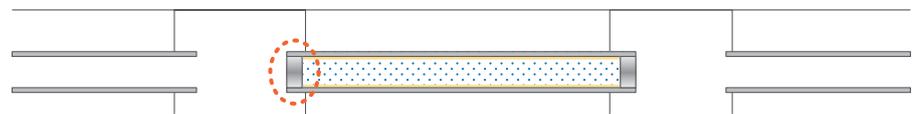
更生材の両端部を切断する。

設備撤去工

設備の撤去を行う。

管口処理工

管口内面で管端を切断し、管口仕上げ材により止水処理をする。



管内検査工

施工後の管内面の状況を確認・記録する。

完了

II

工法の特長

1 更生材の特長

1 管路強度の復元

老朽化し、強度が低下した既設管内に新管同等の耐外圧・耐内水圧力をもった自立管を形成する。

2 通水能力の向上

更生材の内面は滑らかなため、内面が錆こぶの付着等により通水能力が劣っていた管路が新管と同等以上まで向上する。

3 赤水、錆の発生や、漏水を防止する

水密性、耐久性に優れた更生材が既設管と水とを遮断するために、赤水、錆の発生および継手部等からの漏水を防ぐことができる。

4 水質が安全である

更生材は、内面から溶出する物質が上水の水質基準を満たしていることを確認しており、安全な水を供給できる。

5 耐震性を向上させる

更生材はレベル2の地震動で生じる地盤ひずみに追従し、耐震性を向上させる。

2 施工上の特長

1 経済的である

施工条件により、工期・工事費が開削工法よりも削減でき、経済的である。

2 社会活動への影響が最小限に抑えられる

開削が必要なのは原則として発進と到達側とし、地上の施工機器もコンパクトで施工スペースも最小限なため、交通規制などの社会活動への影響を最小限に抑えられる。

3 曲がりがある管路でも開削せず施工できる

45°バンドを含む管路も施工可能。
(曲がり部にはシワが発生します)

III

基本仕様

1 目的

当工法は以下のことを目的とする。

- 1 管路強度の復元
- 2 漏水止水
- 3 赤水・錆の防止

2 適用範囲

1 対象管路

- I 鋳鉄管 II 鋼管 III ヒューム管

2 施工可能延長

施工可能延長は、管径・更生材の厚みによって異なるため、現場条件毎に検討を行う。参考として、右表に各管径の標準材厚における直線管路での施工可能延長を示す。

参考 管径別の施工可能延長※

管径(mm)	更生材厚(mm)	施工延長(m)
φ200	4.4 mm	300
φ250	4.4 mm	300
φ300	4.4 mm	300
φ350	5.4 mm	300
φ400	5.4 mm	300
φ450	5.4 mm	300
φ500	5.4 mm	300
φ600	6.4 mm	280
φ700	8.8 mm	200
φ800	8.8 mm	190
φ900	9.8 mm	180
φ1000	9.8 mm	170
φ1100	10.8 mm	160

※途中に分岐がある場合は立坑の増設、分岐処理について協議が必要となる

3 設計水圧

1.0MPaまで(設計条件により対応可能)

4 曲がり対応範囲

45°バンドを含む管路も施工可能(45°曲がり×2の90°、45°曲がり×4の形状に対応可能)

※配管条件により協議が必要

IV

主要材料

1 更生材

更生材は、円筒状に縫製加工した不織布を熱可塑性樹脂であるポリエチレンで被覆し、熱硬化性樹脂を含浸させたものである。

熱硬化性樹脂

熱硬化性樹脂は、加熱によって反応をするエポキシ樹脂を採用している。

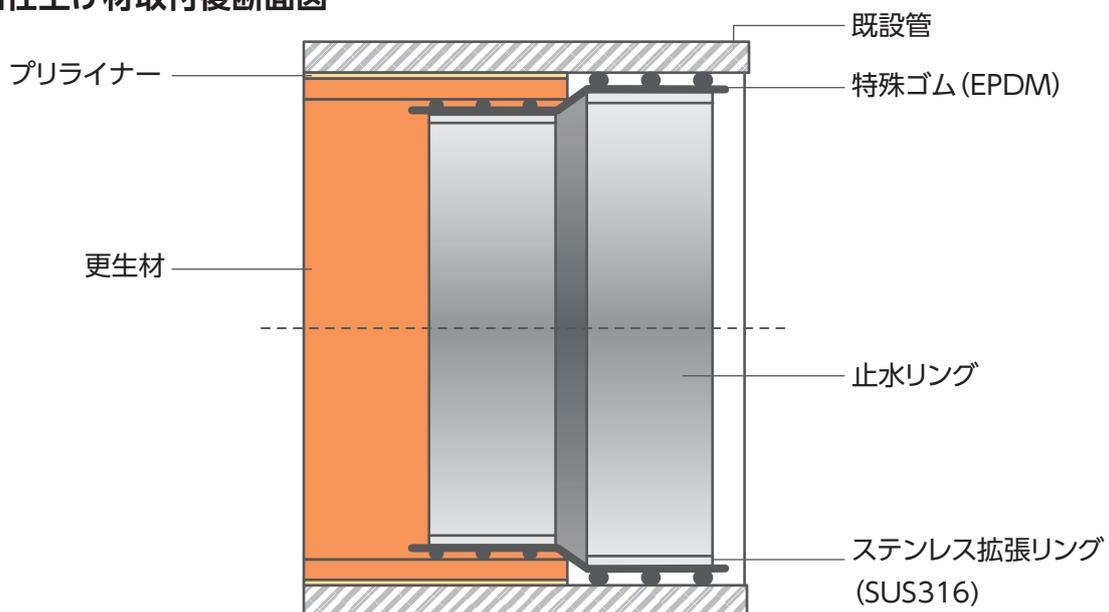
2 プライナー

プライナーは、既設管と更生材の間に挿入し、すべりを生じさせることにより、耐震性を向上させることを目的として使用する「薄肉円筒状フィルム」である。

3 管口仕上げ材

施工完了後、圧力水が既設管の間に浸入しないように、端部にステンレス製の拡張リングと特殊ゴムからなる管口仕上げ材を装着する。装着後の断面図を下図に示す。

■管口仕上げ材取付後断面図



V

材料の材質・構成

1 材質

更生材を構成する材質は下表および下図の通り。

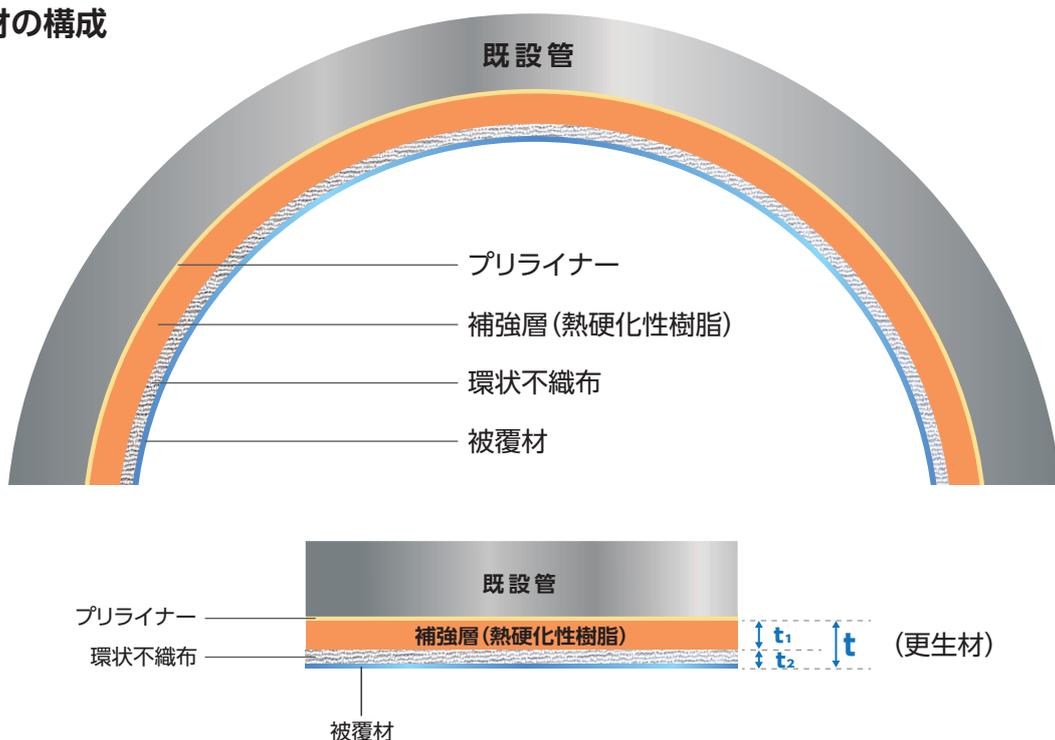
■更生材の材質

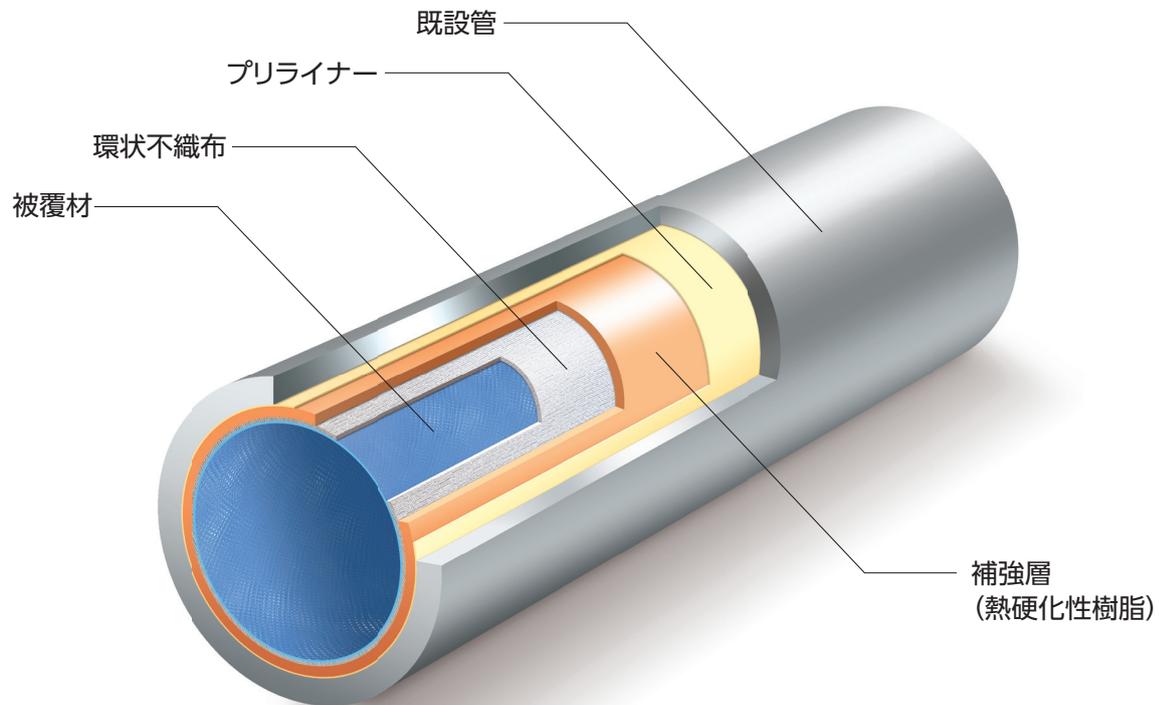
項目	材質	機能
被覆材	ポリエチレン	水密性を発現する
環状不織布	ポリエステル	被覆材を保護する
補強層 (熱硬化性樹脂)	ガラス繊維+エポキシ樹脂	材料を一体化し 強度を高める

2 構成

更生材の材厚構成について下図および下表に示す。

■更生材の構成





■更生材の厚み

管径 (mm)	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	更生材=t (mm)
φ200	3.0	1.40	4.4
φ250	3.0	1.40	4.4
φ300	3.0	1.40	4.4
φ350	3.0	2.40	5.4
φ400	3.0	2.40	5.4
φ450	3.0	2.40	5.4
φ500	3.0	2.40	5.4
φ600	4.0	2.40	6.4
φ700	5.0	3.80	8.8
φ800	5.0	3.80	8.8
φ900	6.0	3.80	9.8
φ1000	6.0	3.80	9.8
φ1100	7.0	3.80	10.8

※1 t₁は代表値(設計水圧:1.0Mpa、土被り:1.8m、T荷重:T-25)

※2 t₂は参考値であり、製造ロット毎に変わる。

VI

施工に関して

1 主要施工機器

●シューター

リールに巻き取られた更生材を空気圧により反転させながら、既設管内へ挿入するための装置。なお、管径・施工延長により搭載する車両が異なる。

●ボイラーユニット車

蒸気ボイラーを搭載したトラック車であり、更生材の加熱硬化に使用する。

●その他

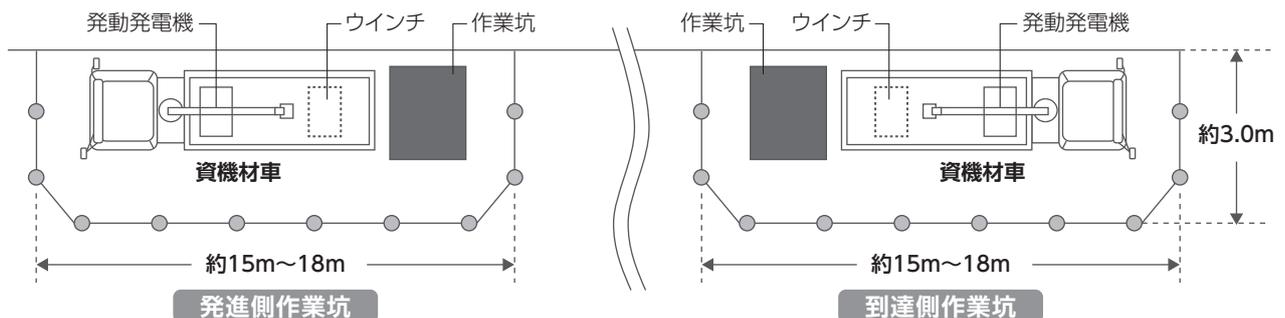
発動発電機、コンプレッサー、反転後の設置機材、クリーニング機材等。

2 施工時の占有面積

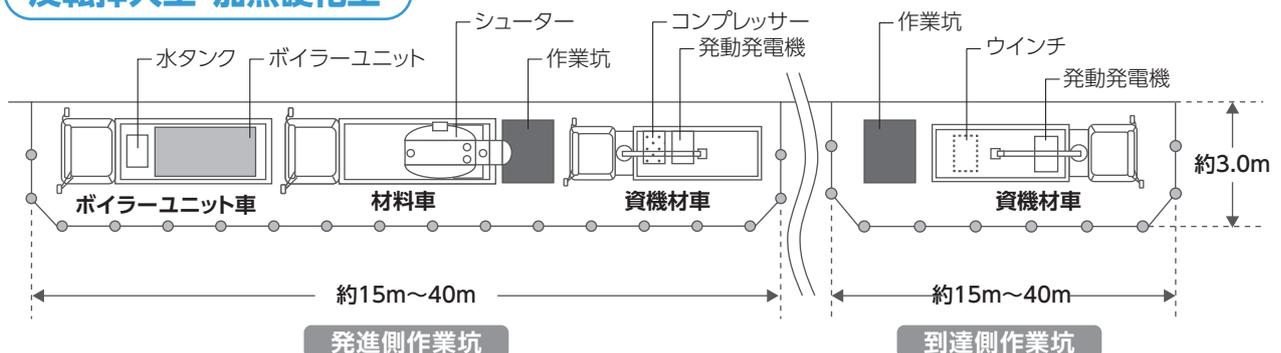
■施工時車両配置

管内清掃工(クリーニング工)

※スクレイパー洗浄時



反転挿入工・加熱硬化工



※ボイラーユニット車および発動発電機は、作業坑から配管および電源ケーブルが届く範囲内(30~50m程度)に設置することができる。

3 作業坑の寸法と既設管切断長さ

更生材を挿入するための作業可能な作業坑がある場合を除き、作業坑を設け、既設管路を切断する必要がある。以下に必要な作業坑の寸法と既設管切断長さを示す。

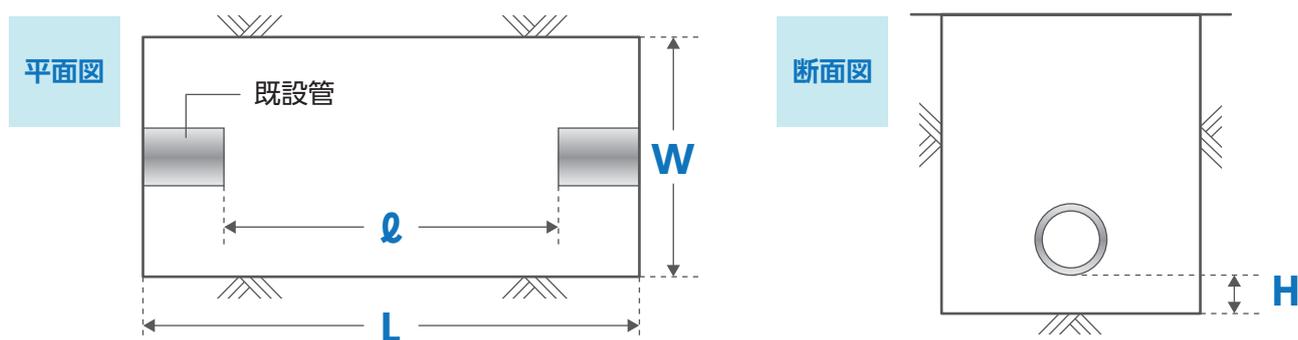
■立坑標準寸法表

項目 管径(mm)	作業坑寸法(mm)			既設管切断長さ \varnothing (mm)
	幅(W)	長さ(L)	管底下(H)	
200	1250	2500	300	1500
250	1250	2500	300	1500
300	1350	3000	500	2000
350	1450	3000	500	2000
400	1650	3500	500	2500
450	1700	3500	500	2500
500	1750	3500	500	2500
600	1800	4000	500	3000
700	1900	4500	500	3500
800	2000	5000	500	3500
900	2000	5000	500	3500
1000	2000	5000	500	3500
1100	2000	5000	500	3500

※1 既設管の土被り等の条件により、作業坑の寸法は異なる。

※2 到達側作業坑の寸法は、現場状況によっては縮小が可能。

■立坑寸法図



4 施工時期

施工時期については、通年施工とする。

5 施工日数

当工法の標準的な施工日数・施工時間を以下に示す。

条件 施工区分: 昼間 既設管径: φ500 施工延長: 100m

■標準施工日数

工事種目	日数										
	1	約1.5ヶ月			2	3	4	5	6	7	8
(立坑設置工)※1											
(既設管切断工)※1											
事前調査工	■										
材料製作(工場)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
管内清掃工※2					■	■	■	■			
スーパーReパイプH工									■		
管口処理工										■	
管内検査工											■
(既設管復旧工)※1											
(埋戻・復旧工)※1											
断水期間	■				■	■	■	■	■	■	■

※1 施工条件により異なるため、別途工事とする。

※2 錆ごび除去等が不要な場合は管内調査工となり、日数は1日程度となる。

■標準施工時間

作業工程	時間				
	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00
朝礼・安全ミーティング	■				
作業帯設置	■				
設備設置工		■			
プライナー挿入工		■			
反転挿入工		■	■		
加熱硬化工			■	■	■
冷却工					■
管口切断工					■
設備撤去工					■

※管口処理工は、後日作業とする

VII

試験結果

試験項目		試験結果
短期試験	曲げ強さ	300MPa
	曲げ弾性率	11000MPa
	引張強さ	235MPa
	引張弾性率	10500MPa
	圧縮弾性率	8880MPa
長期試験	曲げ強さ	クリープ係数0.64
	曲げ弾性率	クリープ係数0.76
	引張強さ	クリープ係数0.72
静水圧破壊試験		破壊水圧4.28MPa
脈動水圧試験		100万回脈動後、漏水・破壊等無し
ヒステリシス曲線		残留ひずみ発生後も初期と同じ傾きである
浸出試験		JWWA Z-108に適合
耐塩素水試験		耐塩素水性は、評価基準を満たす
水理特性		塩化ビニル管・ポリエチレン管と同等の流速係数となった(実測値)
構造計算		耐内水圧、耐外圧強度の照査方法について記載する
耐震性評価		耐震レベル1・レベル2の照査方法について記載する

1 材料物性

更生材の物性について、下表に示す。

■ 更生材の物性値

短期曲げ強さ (MPa)	短期曲げ弾性率 (MPa)	短期引張強さ (MPa)	短期引張弾性率 (MPa)
300	11000	235	10500

2 長期曲げ強さ試験

① 試験目的

長期曲げ強さ(JIS K7039)の試験を行い、100年後の長期曲げ強さクリープ係数を決定する。

② 試験方法

JIS K7039 「プラスチック配管系—ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管—湿潤条件下における管の長期間極限曲げひずみおよび長期間極限相対変位の求め方」に準拠する。

JIS K7038 「プラスチック配管系—ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管—リングの初期変位に対する破壊強さの試験方法」に準拠する。

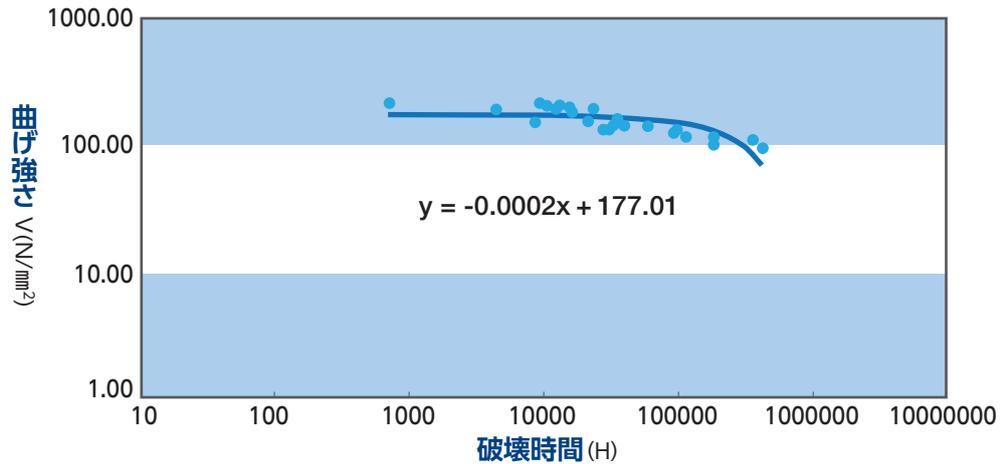


長期曲げ強さ試験状況

3 試験結果

試験 No.	平均厚み e(mm)	外径 de(mm)	圧縮荷重 (N)	圧縮荷重 (kgf)	単位長さ当たり破壊荷重 O(N/mm)	管厚中心半径 R(mm)	断面係数 Z(mm ³ /m)	曲げ強さ V(N/mm ²)
1	4.52	246.01	1137	116.02	21.70	120.74	3.41	244.72
2	4.52	246.00	1293	131.94	25.52	120.80	3.23	303.86
					23.61			274.29

■ 曲げ強さと破壊時間の関係



$y=0.002x+177.01$ 、両辺に対数をとると、 $\log y=\log 177.01-0.0002\log x$ の形になる。
よって、回帰式は、 $\log(V(t))=\log 177.01-0.0002\times\log(t)$ となる。

100年後 (min)	log (100year)	log177.1	log(V(100year))	V(100year)
52560000	7.720655357	2.247997802	2.246453671	176.3817597

上記、試験結果より、100年後を推定した曲げ強さクリープ係数は、0.64となる。

$$\text{曲げ強さクリープ係数} = \text{100年後曲げ強さ} / \text{初期曲げ曲げ強さ}$$

3 長期曲げ弾性率試験

1 試験目的

長期曲げ弾性率 (JIS K7035) の試験を行い、10000時間以上の結果データから100年後の曲げ弾性率クリープ係数を決定する。

2 試験方法

JIS K7035 「プラスチック配管系—ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管—湿潤条件下でのクリープファクター及び長期扁平剛性の求め方」に準拠する。

JIS K7032 「プラスチック配管系—ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管—管の初期剛性の求め方」に準拠する。

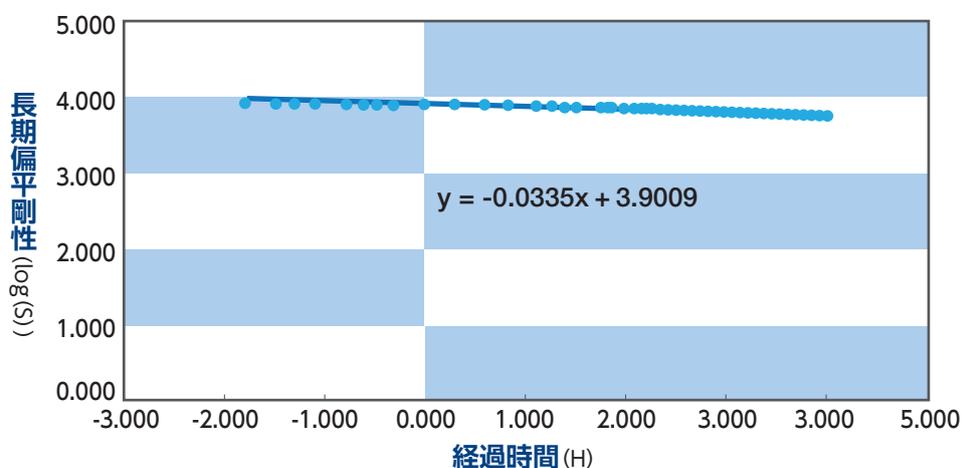
試験装置に更生材をセットして一定の荷重を加え、時間の経過に伴う変位量を測定し、回帰式を用い100年後の曲げ弾性率を算出し曲げ弾性率クリープ係数を設定する。



長期曲げ弾性率試験状況

3 試験結果

■ 長期扁平剛性試験結果



■ 回帰式

$$y = -0.0335x + 3.9009$$

経過時間	X	y	$S_{50,wet}$ (N / m ²)	初期剛性 (S_0)
6分	-1	3.9344	8598	6308
100年	5.9425	3.70182625	5033	

■ 回帰比 (R_R)

$R_R = S_{100,wet} / S_{6,wet}$	0.585	$S_{6,wet}$: 6分後編成剛生 $S_{100,wet}$: 100年後編成剛生
---------------------------------	-------	--

■ 要因 (C)

$C = S_0 / S_{6,wet}$	0.734	S_0 : 初期剛生 $S_{6,wet}$: 6分後編成剛生
-----------------------	-------	---------------------------------------

■ 標準偏差 (σ)

位置1初期剛性	位置2初期剛性	位置3初期剛性	標準偏差 (σ)
6193	6465	6265	115

■ 初期特性の最小値 (S_{0min})

$S_{0min} = S_0 - 1.96\sigma$	6082	S_0 : 初期剛生 σ : 標準偏差
-------------------------------	------	---------------------------------

■ 長期特性の最小値 (S_{100min})

$S_{50min} = S_{0min} \times R_R / C$	4853	S_{0min} : 初期特性の最小値 R_R : 回帰比 C : 要因
---------------------------------------	------	--

■ 弾性率の算出

100年後弾性率	初期弾性率
$E = S_{50min} \times dm^3 / l$	$E_0 = S_0 \times dm^3 / l$
9025	11730

$\text{曲げ弾性率クリープ係数} = 100\text{年後曲げ弾性率} / \text{初期曲げ弾性率}$

上記、試験結果より、100年後を推定した曲げ弾性率クリープ係数は、0.76となる。

4 長期引張強さ試験

① 試験目的

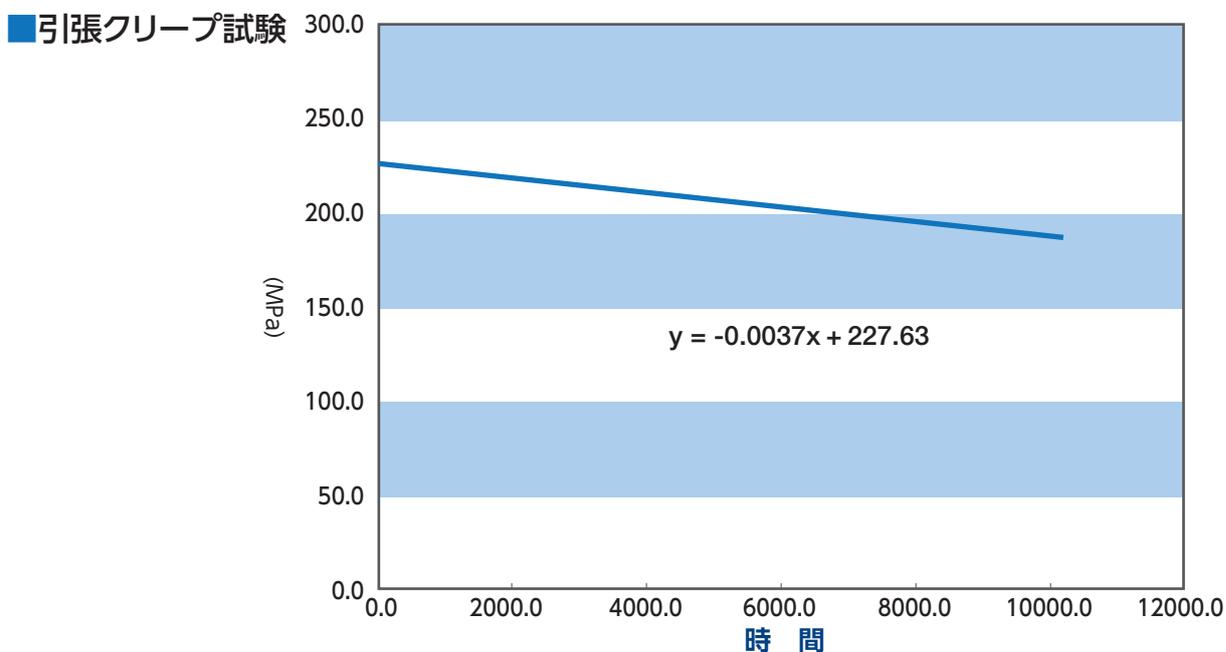
長期引張強さ(JIS K7115)の試験を行い、100年後の長期引張強さクリープ係数を決定する。

② 試験方法

JIS K7115 「プラスチッククリープ特性の試験方法—第1部：引張クリープ」に準拠する。

試験装置に更生材をセットして個々の荷重を加え、破壊までの経過時間を測定し、回帰式を用い100年後の引張強さを算出し引張強さクリープ係数を設定する。

③ 試験グラフ



④ 試験データ

荷重(N)	応力(MPa)	破壊時間(hr)
12402	266.5	0.1
10326	236.9	5.3
9485	207.3	384.1
9190	270.3	362.5
8866	200.0	1144.3
8454	200.0	204.9
9070	200.0	360.7
8406	192.7	10215.0 ^{*1}

*1：未破壊

5 試験結果

■ 短期引張強さ

引張強さ (MPa)	平均
305.7	300
283.3	
299.2	
310.3	
302.6	

■ 100年後引張強さ

100年後 (hr)	log (100year)	log227.63	log(100year)	100year
876000	5.9425041	2.3572295	2.3352422	216

上記、試験グラフの回帰式をもとに、
100年後を推定した引張強さクリープ係数は、0.72となる。

引張強さクリープ係数=100年後引張強さ / 短期引張強さ

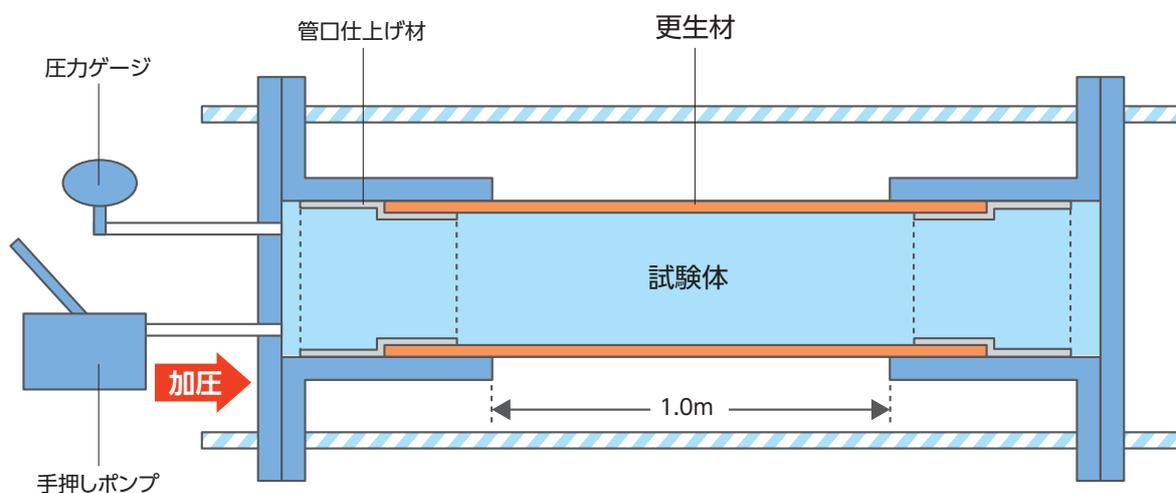
5 静水圧破壊試験

① 試験目的

施工から経年後、既設管の残存強度がなくなり、内水圧が更生材に直接作用することを想定し、更生材の破壊圧力を確認する。

② 試験方法

繊維強化プラスチック管 JIS K7013 9.8 「短期静水圧試験」に準拠する。静水圧破壊試験治具内に更生材を施工し、治具の端面を切出し管口仕上げ材を設置した後、更生材内部を満水にし更生材が破壊するまで加圧する。



③ 試験条件

試験条件は、JIS K7013 9.8 「短期静水圧試験」に準拠する。

更生材		試験体有効長 _(mm) ^{※1}	試験回数
管径 _(mm)	補強層厚み _(mm)		
250	3.0	1000	5

※1 繊維強化プラスチック管 JIS K7013 9.8 「短期静水圧試験」より試験片の有効長 = 3D+250mmとする。

4 試験結果

試験結果を下表「短期静水圧試験結果」に示す。

試験No.	破壊水圧 (MPa)	更生材 (mm)
1	3.800	4.52
2	4.000	4.50
3	4.726	4.72
4	4.023	4.42
5	4.288	4.42
平均	4.167	4.52

※ No.1～4: 社内試験
No.5: 公的機関立会試験

5 考察

更生材は設計水圧1.0MPaに耐えられ、管口仕上げ材周囲からの漏水も確認できなかった。

6 脈動水圧試験

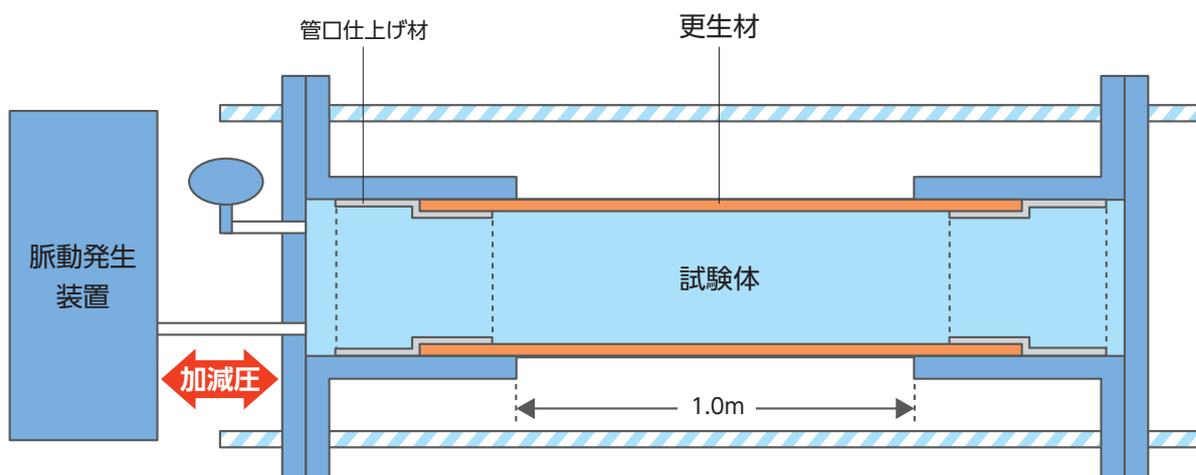
① 試験目的

更生材が長期間における繰返し水撃圧に耐える性能を有することを確認する。

② 試験方法

繊維強化プラスチック管 JIS K7013 9.9「長期間繰返し水圧試験」に準拠する。

脈動水圧試験治具内に更生材を施工し、治具の端面を切出し管口仕上げ材を設置した後、更生材内部を満水にし所定の脈動水圧を負荷し続ける。



脈動水圧試験状況

③ 試験条件

試験圧力は、最小動水圧を 0.25MPa、常時の設計水圧を1.05MPaとし、脈動回数は、100万回とした。これは、100年で計算すると、1日あたり約27回の脈動回数となる。決定した脈動回数を下表に示す。

管径(mm)	長さ(mm)	脈動圧力 (MPa)	脈動回数	脈動周期
250	1000	0.25 ↔ 1.05	100万回	2.5 秒/回

※ 繊維強化プラスチック管JIS K7013 9.9「長期間繰返し水圧試験」より試験片の有効長さは3D+250mm以上とした。

④ 試験結果

脈動、100万回実施後、漏水・破損・割れ等の異常の無いことを確認した。

更生材は、上水道用途として圧力変動に伴う水撃圧に十分耐えることができる。

7 浸出試験

① 試験目的

更生材内面から浸出する物質が上水道の水質基準を満たしていることを確認する。

② 試験方法

JWWA Z108 「水道用資機材—浸出試験方法」に準拠する。

③ 試験結果

下表に示すとおり、全51項目に対して基準値を満たす結果となり、更生材は水質に問題がないことを確認した。

番号	分析の対象	基準値	結果	定量下限
1	カドミウムおよびその化合物	0.0003mg/L以下	検出せず	0.0003 mg/L
2	水銀およびその化合物	0.00005mg/L以下	検出せず	0.00005mg/L
3	セレンおよびその化合物	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
4	鉛およびその化合物	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
5	ヒ素およびその化合物	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
6	六価クロム化合物	0.002mg/L以下	検出せず	0.002mg/L
7	亜硝酸態窒素	0.004mg/L以下	検出せず	0.004mg/L
8	シアン化物イオンおよび塩化シアン	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
9	硝酸態窒素および亜硝酸態窒素	1.0mg/L以下	検出せず	0.1mg/L
10	フッ素およびその化合物	0.08mg/L以下	検出せず	0.05mg/L
11	ホウ素およびその化合物	0.1mg/L以下	検出せず	0.1mg/L
12	四塩化炭素	0.0002mg/L以下	検出せず	0.0002mg/L
13	1,4-ジオキサン	0.005mg/L以下	検出せず	0.005mg/L
14	シス-1,2-ジクロロエチレンおよびトランス-1,2-ジクロロエチレン	0.004mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
15	ジクロロメタン	0.002mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
16	テトラクロロエチレン	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
17	トリクロロエチレン	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
18	ベンゼン	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
19	ホルムアルデヒド	0.008mg/L以下	検出せず	0.008mg/L
20	亜鉛およびその化合物	0.1mg/L以下	検出せず	0.01mg/L

番号	分析の対象	基準値	結果	定量下限
21	アルミニウムおよびその化合物	0.02mg/L以下	検出せず	0.01mg/L
22	鉄およびその化合物	0.03mg/L以下	検出せず	0.03mg/L
23	銅およびその化合物	0.1mg/L以下	検出せず	0.01mg/L
24	ナトリウムおよびその化合物	20mg/L以下	検出せず	1mg/L
25	マンガンおよびその化合物	0.005mg/L以下	検出せず	0.005mg/L
26	塩化物イオン	20mg/L以下	検出せず	5mg/L
27	蒸発残留物	50mg/L以下	10 mg/L以下	10mg/L
28	陰イオン界面活性剤	0.02mg/L以下	検出せず	0.02mg/L
29	非イオン界面活性剤	0.005mg/L以下	検出せず	0.005mg/L
30	フェノール類	0.0005mg/L以下	検出せず	0.0005mg/L
31	有機物[全有機炭素(TOC)の量]	0.5mg/L以下	検出せず	0.3mg/L
32	味	異常でないこと	異常なし	***
33	臭気	異常でないこと	異常なし	***
34	色度	0.5度以下	0.5度以下	0.5度
35	濁度	0.2度以下	0.05度以下	0.05度
36	1,2-ジクロロエタン	0.0004mg/L以下	検出せず	0.0002mg/L
37	アミン類	0.01mg/L以下	検出せず	0.01mg/L
38	エピクロロヒドリン	0.01mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
39	酢酸ビニル	0.01mg/L以下	検出せず	0.01mg/L
40	N,N-ジメチルアニリン	0.01mg/L以下	検出せず	0.01mg/L
41	スチレン	0.002mg/L以下	検出せず	0.002mg/L
42	2,4-トルエンジアミン	0.002mg/L以下	検出せず	0.002mg/L
43	2,6-トルエンジアミン	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
44	1,2-ブタジエン	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
45	1,3-ブタジエン	0.001mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
46	ヒドラジン	0.005mg/L以下	検出せず	0.005mg/L
47	アクリル酸	0.002mg/L以下	検出せず	0.002mg/L
48	トルエン	0.2mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
49	キシレン	0.4mg/L以下	検出せず	0.001mg/L
50	残留塩素の減量	0.7mg/L以下	0.2mg/L	0.1mg/L
51	pH値の増加量	1以下	0.1以下	0.1

8 水理特性

1 試験目的

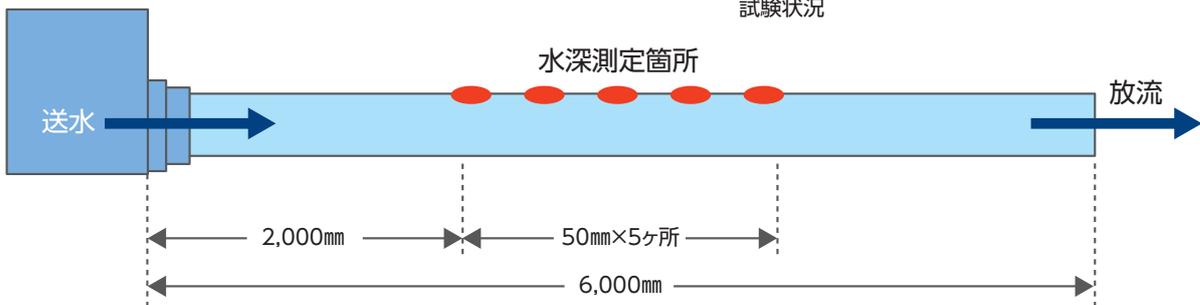
更生材の流水抵抗を測定し、通水能力を確認するため、流速係数を算出する。

2 試験方法

試験用の循環水路に試験体を設置し、バルブ操作により流速を変化させ、通過する流量と水位を計測しヘーゼン・ウィリアムスの公式を用いて流速係数を算出する。



試験状況



3 流速係数 計算式

■ヘーゼン・ウィリアムスの式

$$V = 0.849 \times C \times R^{0.63} \times I^{0.54} \quad \text{①}$$

▼式①より

$$C = \frac{V}{0.849 \times R^{0.63} \times I^{0.54}}$$

- V : 流速(m/S)
- C : 流速係数
- R : 径深(m)
- I : 動水勾配(=0.003)

4 試験結果

試験結果を、下表「流速係数」に示す。

流速(V) (m/sec)	径深(R) (m)	流速係数(C)
0.688	0.036	152
0.755	0.039	158
0.790	0.041	161
0.826	0.042	164
0.935	0.050	167

左記の結果から、更生材の流速係数は152～167であることが確認できた。更生材の内面は、全管径とも同じ素材を使用しており、施工後の状況も同じであるため、この試験結果は全管径に適用が可能である。

以上の結果より、流速係数は150とした。

※流速係数(C) 塩ビ管：140 / 鋼管：130

VIII

構造計算

1 設計厚み計算

「水道施設設計指針2012」(日本水道協会)に記載のある管厚計算式に準拠して内圧および外圧について検討を行う。

① 設計条件 参考例として、条件設定を行う。

既設管内径	D : 250(mm)
設計内圧	P : 1.0(MPa)
更生材の土被り	H : 1.8(m)
土の単位体積重量	γ : 18.0(kN/m ³)
後輪荷重	(T-25=100, T-20=80, T-14=56, T-10=40)
活荷重	(T-25) P : 100(kN)

② 内圧に対する検討

▼内圧による円周方向応力度は、次式により求める。

$$\sigma_t = \frac{P \times D}{2t} \leq \sigma_{a1} \quad \text{①}$$

▼管厚は、ナダイ式を変形した次式により求める。

$$t' = \frac{P \times D}{2\sigma_{a1} + P} \leq t \quad \text{②}$$

σ_t : 内圧による円周方向応力度 (MPa)

σ_{a1} : 更生管材の長期許容引張応力度(内圧) 84.6(MPa)

P : 設計内圧 1.0(MPa)

D : 更生管外径 250.0(mm)

t' : 最小管厚 (mm)

t : 補強層厚 3.0(mm)

▼式②より

$$t' = \frac{1 \times 250}{2 \times 84.6 + 1} = 1.469(\text{mm}) \leq 3.0(\text{mm})^{*1}$$
$$\sigma_t = \frac{1 \times 250}{2 \times 3.0} = 41.667 \leq 84.6(\sigma_{a1})$$

※1 スーパーReパイプH工法で採用する補強層の最小厚みは、3.0mmとする。

③ 外圧に関する検討

1 鉛直荷重

埋設物の敷設替えなどによる状況の変化を考慮し、土被り2.0m未満は鉛直土圧公式を採用し、土被り2.0m以上の場合は、土被り2.0mの直土圧とヤンセン公式による鉛直土圧のうち大なる値を用いる。

■鉛直土圧公式

$$W_{v1} = \gamma \times H = 18.0 \times 1.8 = 32.4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

W_{v1} : 土による鉛直土圧	(kN/m ²)
γ : 土の単位体積重量	18.0 (kN/m ³)
H : 更生材の土被り	1.8 (m)

■ヤンセン土圧公式(参考値)

$$W_{v2} = \left(\frac{\gamma \times Bd}{2} - f \right) \times \left(\frac{1 - e^{-2K \times \mu \times H / Bd}}{K \times \mu} \right)$$

$$= \left(\frac{18.0 \times 0.90}{2} - 0.0 \right) \times \left(\frac{1 - e^{(-2 \times 0.334 \times 0.577 \times 1.8 / 0.90)}}{0.334 \times 0.577} \right)$$

$$= 22.582 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$K = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu} = \frac{\sqrt{0.577^2 + 1} - 0.577}{\sqrt{0.577^2 + 1} + 0.577} = 0.334$$

W_{v2} : 土による鉛直土圧	(kN/m ²)
γ : 土の単位体積重量	18.0 (kN/m ³)
K : 土の手動土圧係数	$\frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu}$
μ : 埋戻し土と側壁との摩擦係数	$\tan \phi = 0.577$
ϕ : 埋戻し土の内部摩擦角	30 (°)
f : 埋戻し土の粘着力	0.0 (kN/m ²)
Bd : 掘削面における溝幅	0.90 (m)
H : 更生材の土被り	1.8 (m)

以上から、鉛直土圧公式の $W_v = 32.4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ を用いる。

$$W_v = 32.4 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 0.0324 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

2 活荷重

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

W_t : 活荷重による鉛直等土圧	(kN/m ²)
H : 更生管の土被り	1.8(m)
P : 後輪荷重 T-25	100(kN)
i : 衝撃係数	0.47
土被りH(m)	H ≤ 1.5 1.5 < H < 6.5 6.5 ≤ H
衝撃係数i	0.5 0.65-0.1×H 0

C : 車体占有幅	2.75(m)
a : タイヤの接地長さ	0.2(m)
θ : 荷重の分散度	45(°)
β : 断面力の低減係数	0.9
	H ≤ 1.0mかつ管内径D ≥ 4.0m 左記以外
低減係数 β	1.0 0.9

$$W_t = \frac{2 \times 100 \times (1 + 0.47) \times 0.9}{2.75 \times (0.2 + 2 \times 1.8 \times \tan 45^\circ)} = 25.320574 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$= 0.0253206 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

3 発生曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{2}{f \cdot Z} (W_v + W_t) \times \frac{K_b \times R^2 \times E \times I + (0.06146K_b - 0.08303K_x) E' \times R^5}{E \times I + 0.06146 \times E' \times R^3}$$

σ_b : 外圧による管底部発生曲げ応力度	(MPa)
σ_{a2} : 更生管材の長期許容曲げ応力度(外圧)	96.0(MPa)
$\sigma_{a2} = 300 \times 0.64 / 2.0$	
f : 形状係数	1.5
Z : 管の単位幅の断面係数	1.5(mm ²)
$Z = \frac{t^2}{6} = \frac{3.0^2}{6}$	
t は管厚(mm)	3.0(mm)
W_v : 鉛直土荷重強度	0.0324(N/mm ²)
W_t : 活荷重強度	0.0253206(N/mm ²)
R : 更生管材の管厚中心半径	123.5(mm)
E : 更生管材の長期許容曲げ弾性係数	4180(N/mm ²)
$E = 11000 \times 0.76 / 2.0$	
I : 更生管の単位幅の断面二次モーメント	2.25(mm ⁴ /mm)
$E = t^3 / 12 = 3.0^3 / 12 = 2.25$ (mm ⁴ /mm)	
K_b : 管底における曲げモーメント係数(表3)	0.15699
K_x : 水平方向変形係数(表3)	0.09559
E' : 土の反力係数	2.8(N/mm ²)

土の反力係数E'の標準値における締固め程度と施工方法は関係は通常、通常表1、表2のように考える。設計に用いるE'は、締固めI(軽度の締固め)を用い、2.8を採用する。

表1. 土の反力係数E'

土の種類	締固め度によるE' (N/mm ²)		
	締固めなし	軽度の締固め プロクター密度で<85% 相対密度で<40%	中度の締固め プロクター密度で ≥85~95% 相対密度で≥40~70%
細粒土(LL>50) 中程度の塑性から高塑性までの 土CH、MH、CH-MH	利用できるデータがない:有資格の土質技術者に相談その他の場合は E'=0を使用		
細粒土(LL≤50) 中程度の塑性から塑性のない土まで CL、ML、ML-CL(粗粒部分25%以下)	0.35	1.4	2.8
細粒土(LL≤50) 中程度の塑性から塑性のない土まで CL、ML、ML-CL (粗粒部分25%以下)細粒土を含む 粗粒土GW、GC、SM、SC (12%以上の細粒土を含む)	0.7	2.8	7
細粒土をほとんど含まないか 全く含まない粗粒土GW、GP、SW、SP (12%以下の細粒土を含む)	1.4	7	14

表2. 締固め程度と施工方法

締固め程度	管体側面の締固め方法
締固めなし	(タコ突+突棒)で一層仕上げり厚30cm程度
締固めI(軽度の締固め)	(タンパまたはコンパクタ+突棒)で3回以上、一層仕上げり厚が30cm程度
締固めII(中程度の締固め)	過去の実績や現地試験等により施工方法とそれに伴うE'の値が確実に期待できる場合

表3. 管底支持角によって定まる係数締固め程度

基礎支持角	K _b	K _x	(0.06146K _b -0.08303K _x)
60°	0.18859	0.10258	0.00307
90°	0.15699	0.09559	0.00171
120°	0.13770	0.08910	0.00107
150°	0.12790	0.08478	0.00082

$$\sigma_b = \frac{2}{f \times Z} (W_v + W_t) \times \frac{K_b \times R^2 \times E \times I + (0.06146K_b - 0.08303K_x) E' \times R^5}{E \times I + 0.06146 \times E' \times R^3}$$

$$\sigma_b = \frac{2}{1.5 \times 1.5} \times (0.0324 + 0.025321) \times \frac{0.15699 \times 123.5^2 \times 4180 \times 2.25 + (0.06146 \times 0.15699 - 0.08303 \times 0.09559) \times 2.8 \times 123.5^5}{4180 \times 2.25 + 0.06146 \times 2.8 \times 123.5^3}$$

$$= 24.645 \leq 96.0 (\sigma_{a2})$$

4 変形率

■変形量・変形率は、次式により求める。

$$\Delta X = \frac{2K_x \times (W_v + W_t) \times R^4}{E \times I + 0.06146 \times E' \times R^3}$$

$$V = \frac{\Delta X}{D_m} \times 100 \leq \Delta X_a$$

ΔX : 水平方向の変形量(直径分)	(mm)
V : 変形率	(%)
ΔX_a : 許容変形率	5.0 (%)
D_m : 管の平均径 $2 \times R$	(mm)
K_x : 水平方向変形係数(表4)	0.09559

$$\Delta X = \frac{2 \times 0.09559 \times (0.0324 + 0.0253) \times 123.5^4}{4180 \times 2.25 + 0.06146 \times 2.8 \times 123.5^3} = 7.696$$

$$V = \frac{7.696}{2 \times 123.5} \times 100 = 3.116 \leq 5.0 (\Delta X_a)$$

4 管厚の設定

■内圧に関する検討結果

発生引張応力度 (MPa)	長期許容引張応力度 (MPa)	判定
41.667	84.6	OK
必要管厚 (mm)	更生管厚 (mm)	判定
1.469	3.0	OK

■外圧に関する検討結果

許容応力度は、曲げ強度に対して安全率2.0を見込んだ値とする。許容変形率は、塩ビ管同様とし5%とする。

発生曲げ応力度 (MPa)	長期許容曲げ応力度 (MPa)	判定
24.645	96.0	OK
変形率 (%)	許容変形率 (%)	判定
3.116	5.0	OK

内圧における発生引張応力度は41.667MPaであり、長期許容引張応力度84.6MPa以下であるので安全である。内圧により必要となる管厚は1.469mmであり、更生材の管厚3.0mm以下であるので安全である。

外圧における発生曲げ応力度は24.645MPaであり、長期許容曲げ応力度96.0MPa以下であるので安全である。

変形率は3.116%であり、許容変形率5.0%以下であるので安全である。よって、当該設計管厚で、安全に使用できる。

2 耐震性評価

「水道施設耐震工法指針・解説(2009)」に準拠し、耐震評価を行う。

① はじめに

水道施設は、耐震設計に用いる地震動のレベルおよび施設の重要度の組合せに対して、地震時にそれぞれの施設が保持すべき性能を確保できるように設計しなければならない。

また、耐震設計にあたっては、施設の構造特性、周辺の地盤特性等を考慮し、それらに適合した耐震設計法を用いるものとする。

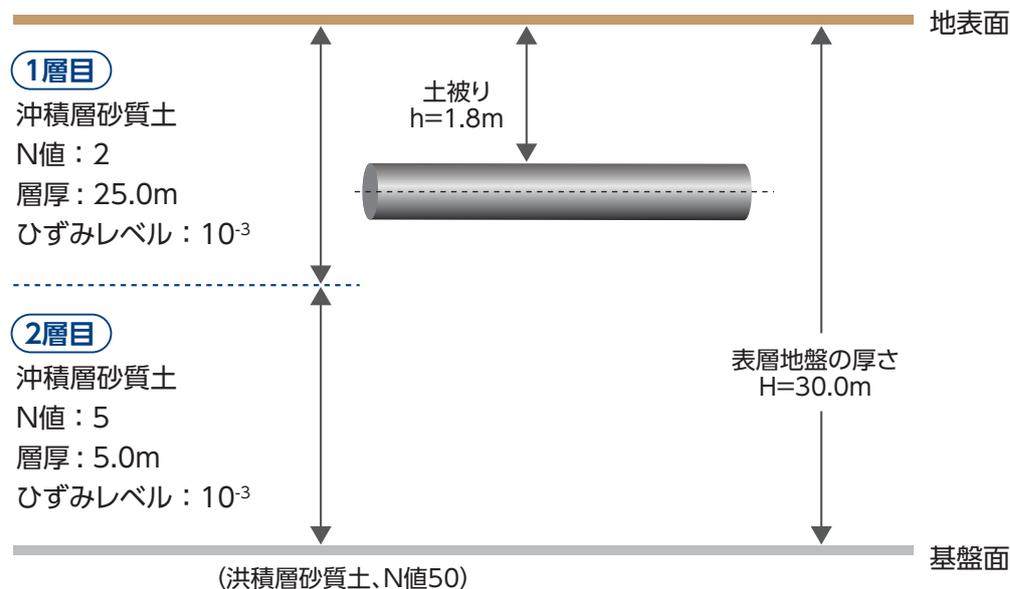
耐震設計では、施設の併用期間中に1～2回発生する確率を有する地震動レベル1、および発生確率は低いが大きな地震動レベル2を考慮する。

② 設計条件

■ 使用材料

既設管内径	D	250(mm)	設計内圧	P_i	1.0(MPa)
設計厚み(補強層)	t	3.0(mm)	後輪荷重	P_m T-25	100000(N)
土被り	h	1800(mm)	温度変化	Δt	15(°C)
盛土高さ	h''	1000(mm)	更生区間延長		100,000(mm)
土の単位体積重量	γ_t	0.000018(N/mm ³)	軟弱地盤区間延長	L	15,000(mm)

■ 地表面から管路の中心位置までの深さ



■ 地盤モデル

層	層厚(m)	土質		N 値
1	25	沖積層	砂質土	2
2	5	沖積層	粘性土	5
計	30	—	—	—

3 常時荷重による管体発生ひずみ

1 内圧による管軸方向ひずみ

地中埋設で管軸方向の変化が拘束されている更生材では、

$$\epsilon_{li} = \frac{P_i(D-t)}{2t \times E} \times \nu \quad \text{①}$$

ϵ_{li} : 内圧による管軸方向ひずみ	
ν : ポアソン比	0.19
P_i : 内圧	1.0 (MPa)
D : 既設管内径	250 (mm)
t : 設計厚み(補強層)	3.0 (mm)
E : 圧縮弾性係数	8880 (N/mm ²)
E_t : 引張弾性係数	10500 (N/mm ²)
E_m : 曲げ弾性係数	11000 (N/mm ²)

▼式①より

$$\epsilon_{li} = \frac{1.0(250-3.0)}{2 \times 3.0 \times 8880} \times 0.19 = 0.00088$$

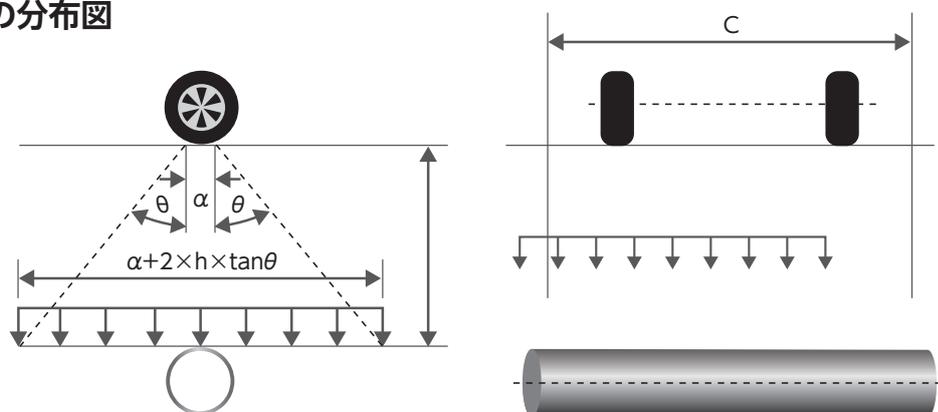
よって、内圧による管軸方向ひずみは **0.088%** となる。

2 活荷重による管軸方向ひずみ

活荷重による埋設更生材の管軸方向ひずみは、

$$\epsilon_{lo} = \frac{0.322 \times W_m}{Z \times E_m} \times \sqrt{\frac{E_m \times I}{K_v \times D}} \quad \text{②}$$

■活荷重の分布図



ϵ_{10} : 自動車による管軸方向ひずみ		D : 既設管内径	250(mm)								
W_m : 活荷重	7.033(N/mm)	K_v : 鉛直方向地盤反力係数	0.01(N/mm ³)								
$W_m = \frac{2P_m \times D}{C \times (\alpha + 2h \times \tan \theta)} \times (1+i)$		E_m : 曲げ弾性係数	11,000(N/mm ²)								
$W_m = \frac{2 \times 100000 \times 250}{2750 \times (200 + 2 \times 1800 \times \tan 45^\circ) \times (1 + 0.47)} = 7.033$		Z : 断面係数	142,045(mm ³ /mm)								
P_m : 後輪荷重(T-25)	100000(N)	$Z = \frac{2 \cdot I}{D} = \frac{2 \times 17,755,629}{250} = 142,045$									
C : 車両占有幅	2750(mm)	t : 更生管厚	3.0(mm)								
α : 設置幅	200(mm)	I : 断面二次モーメント	17,755,629(mm ⁴ /mm)								
h : 土被り	1800(mm)	$I = \frac{\pi \{D^4 - (D - 2t)^4\}}{64}$									
θ : 荷重分布角	45(°)	$= \frac{\pi \{250^4 - (250 - 2 \times 3.0)^4\}}{64}$									
i : 衝撃係数	0.47	$= 17,755,629$									
<table border="1"> <tr> <td>h</td> <td>$h \leq 1,500$</td> <td>$1,500 < h < 6,500$</td> <td>$6,500 \geq h$</td> </tr> <tr> <td>i</td> <td>0.5</td> <td>$0.65 - (h/10,000)$</td> <td>0</td> </tr> </table>	h	$h \leq 1,500$	$1,500 < h < 6,500$	$6,500 \geq h$	i	0.5	$0.65 - (h/10,000)$	0			
h	$h \leq 1,500$	$1,500 < h < 6,500$	$6,500 \geq h$								
i	0.5	$0.65 - (h/10,000)$	0								

▼式②より

$$\epsilon_{10} = \frac{0.322 \times 7.033}{142,045 \times 11000} \times \sqrt{\frac{11000 \times 17,755,629}{0.01 \times 250}} = 0.00041$$

よって、活荷重による管軸方向ひずみは **0.041%** となる。

3 温度変化による管軸方向ひずみ

更生材の温度変化による管軸方向ひずみは

$$\epsilon_{1t} = a \times \Delta t$$

ϵ_{1t} : 温度変化による管軸方向ひずみ	
a : 線膨張係数	0.000016
Δt : 温度変化	15(°C)

▼式③より

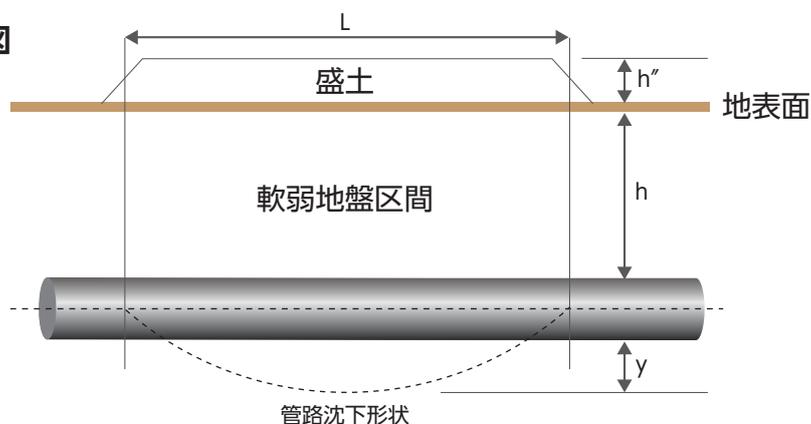
$$\epsilon_{1t} = 0.000016 \times 15 = 0.00024$$

よって、温度変化による管軸方向ひずみは **0.024%** となる。

4 不同沈下による管軸方向ひずみ

不同沈下によって更生材に発生する管軸方向のひずみの計算に際しては、盛土による地盤の沈下を対象とした計算を行う。

■ 不同沈下想定図



更生材を弾性床上的の梁とし、最大曲げモーメントは、「構造力学公式集」(土木学会)によると、以下の M_1 または M_2 の大きな値によって、安全側に近似することができる。

$$\epsilon = \frac{M}{E_m \times I} \times \frac{D}{2} \quad 4$$

$$M_1 = \frac{W_d}{2\beta^2} e^{-2\beta L/2} \sin \frac{\beta L}{2} \quad 5$$

$$M_2 = 0.3877 \frac{W_d}{\beta^2} \{0.2079 + e^{-\beta L} (\sin \beta L - \cos \beta L)\} \quad 6$$

ϵ : 不同沈下による管軸方向ひずみ	
M_1 : 曲げモーメント	
M_2 : 曲げモーメント	
L : 軟弱地盤区間	15,000 (mm)
W_d : 鉛直土荷重	12.6 (N/mm ²)
$W_d = \gamma_t \times (h+h'') \times D$	$0.000018 \times (1800+1000) \times 250 = 12.6$
γ_t : 土の単位体積重量	0.000018 (N/mm ²)
h : 土被り	1800 (mm)
h'' : 盛土の高さ	1000 (mm)
D : 既設管内径	250 (mm)

E_m : 曲げ弾性係数	11000 (N/mm ²)
I : 断面二次モーメント	17,755,629 (mm ⁴ /mm)
K_{g2} : 軸直角方向に関する地盤の剛性係数	28.2 (mm ²)
β : 弾性床上的の梁の相対的曲げ剛度	0.002451 (1/mm)
$\beta = 4 \sqrt{\frac{K_{g2}}{4 \times E_m \times I}} = 4 \sqrt{\frac{28.2}{4 \times 11000 \times 17,755,629}}$	= 0.002451
$\beta L = \beta \times L = 0.002451 \times 15,000 = 36.765$	

▼式⑤⑥より

$$M_1 = \frac{12.6}{2 \times 0.002451^2} \times e^{-2 \times 36.765/2} \times \sin \frac{36.765}{2} = 0.0$$

$$M_2 = 0.3877 \times \frac{12.6}{0.002451^2} \times \{0.2079 + e^{-36.765} (\sin 36.765 - \cos 36.765)\} = 169,057$$

よって、採用する曲げモーメントは $M = 169,057 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ となる。

▼式④より

$$\epsilon = \frac{169,057}{11000 \times 17,755,629} \times \frac{250}{2} = 0.00011$$

よって、不同沈下による管軸方向ひずみは 0.011% となる。

④ 地震動レベル 1 による管軸方向ひずみ

1 表層地盤の固有周期

$$T_G = 4 \sum \frac{H_i}{V_{si}} \quad \text{⑦}$$

T_G : 表層地盤の固有周期 (s)

H_i : 第 1 層の厚さ (mm)

V_{si} : 第 1 層の剪断弾性波速度 (mm/s)

■ 剪断弾性波速度

層	層厚(H_i) (m)	土質		N 値	V_s	V_{si}	H_i/V_{si}
1	25	沖積層	砂質土	2	$61,800N^{0.211}$	71,533	0.3495
2	5	沖積層	粘性土	5	$122,000N^{0.0777}$	138,251	0.0362
計	30	-	-	-			0.3857

▼式⑦より

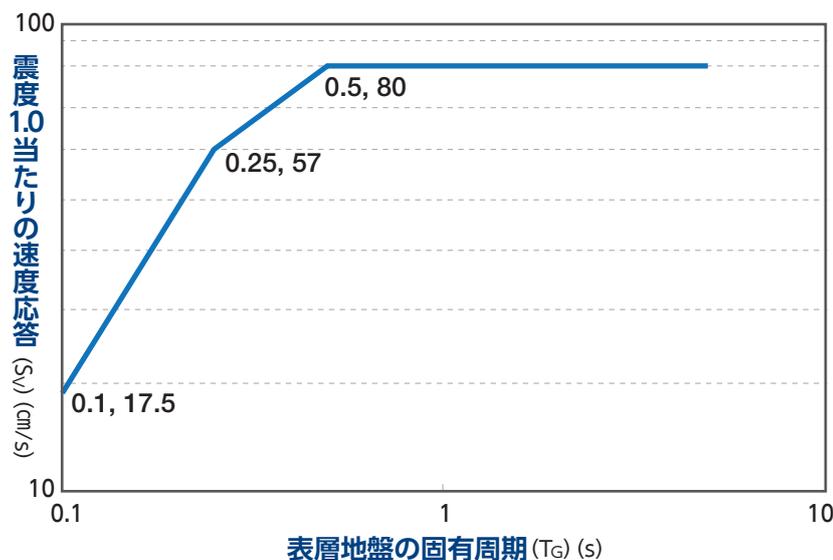
$$T_G = 4 \times 0.3857 = 1.5428 \text{ (s)}$$

2 管軸位置の地盤の水平変位振幅

$$U_{h1} = \frac{2}{\pi^2} \times S_v \times T_G \times K'_{h1} \times \cos \frac{\pi \cdot h'}{2H} \quad \text{⑧}$$

U_{h1} : 管軸位置の地盤の水平変位振幅 (mm)	
T_G : 表面地盤の固有周期	1.5428(s)
S_v : 速度応答スペクトル	800(mm/s)

■速度応答スペクトル S_v (地震レベル1)



K'_{h1} : 設計基盤面における水平震度	0.15
$K'_{h1} = C_z \times K'_{h01} = 1.0 \times 0.15 = 0.15$	
C_z : 地域別補正係数	1.0(A地域)
K'_{h01} : 基盤面における基準水平震度	0.15
h' : 地表面から管路中心位置までの深さ	1,925 (mm)
H : 表層地盤の厚さ	30,000 (mm)

▼式⑧より

$$U_{h1} = \frac{2}{\pi^2} \times 800 \times 1.5428 \times 0.15 \cos \times \frac{\pi \times 1,925}{2 \times 30,000} = 37.33 \text{ (mm)}$$

3 地震動の波長

地震動の波長Lは、調和平均をとる。

$$L = \frac{2 \times L_1 \times L_2}{L_1 + L_2} \quad \text{⑨}$$

L : 地震動の波長	(mm)
L ₁ : L ₁ = T _G × V _{DS} =	1.5428 × 77,781 = 120,001 (mm)
L ₂ : L ₂ = T _G × V _{BS} =	1.5428 × 334,291 = 515,744 (mm)
T _G : 表層地盤の固有周期	1.5428 (s)
V _{DS} : 表層地盤の剪断弾性波速度	77,781 (mm/s)
$V_{DS} = \frac{\sum H_i}{\sum \frac{H_i}{V_{si}}} = \frac{30,000}{0.3857} = 77,781$	
H _i : 第1層の厚さ	30,000 (mm)
V _{BS} : 基盤面の剪断弾性波速度	334,291 (mm)

基盤	土質	N値	V _s	V _{si}
30	洪積層 砂質土	50	205,000N ^{0.125}	334,291

▼式⑨より

$$L = \frac{2 \times 120,001 \times 515,744}{120,001 + 515,744} = 194,700 \text{ (mm)}$$

4 地盤の剛性係数

$$K_{g1} = C_1 \times \frac{\gamma_t}{g} \times V_s^2 \quad \text{⑩}$$

$$K_{g2} = C_2 \times \frac{\gamma_t}{g} \times V_s^2 \quad \text{⑪}$$

K _{g1} : 管軸方向変位に関する地盤の剛性係数	(N/mm ²)
K _{g2} : 管軸方向変位に関する地盤の剛性係数	(N/mm ²)
H : 表層地盤の厚さ	30,000 (mm)
γ _t : 土の単位体積重量	0.000018 (N/mm ³)
V _s : 更生材位置での表層地盤の剪断弾性波速度	71,533 (mm/s)
g : 重力加速度	9,800 (mm/s ²)
C ₁ : 管軸方向変位に関する単位 体積当たりの地盤の剛性に対する定数	1.5
C ₂ : 管軸方向変位に関する単位 体積当たりの地盤の剛性に対する定数	3.0

▼式⑩⑪より

$$K_{g1} = 1.5 \times \frac{0.000018}{9,800} \times 71,533^2 = 14.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$K_{g2} = 3.0 \times \frac{0.000018}{9,800} \times 71,533^2 = 28.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

5 管体ひずみ

$$\epsilon_{1L} = \alpha_1 \times \epsilon_{G1} \quad (12)$$

$$\epsilon_{1B} = \alpha_2 \times \frac{2\pi D}{L} \times \epsilon_{G1} \quad (13)$$

$$\epsilon_{1X} = \sqrt{\epsilon_{1L}^2 + \epsilon_{1B}^2} \quad (14)$$

ϵ_{1L} : 埋設更生管路の軸ひずみ	
ϵ_{1B} : 埋設更生管路の曲げひずみ	
ϵ_{1X} : 軸歪みと曲げひずみの合成ひずみ	
ϵ_{G1} : 管軸方向の地盤ひずみ	0.0006
$\epsilon_{G1} = \frac{\pi \times U_{h1}}{L} = \frac{\pi \times 37.33}{194,700} = 0.0006$	
U_{h1} : 管軸位置の地盤の水平変位振幅	37.33 (mm)
L : 地震動の波長	194,700 (mm)
L' : 見かけの波長	275,347 (mm)
$L = \sqrt{2} \times L = \sqrt{2} \times 194,700 = 275,347$	
D : 既設管内径	250 (mm)
A : 断面積	2,328 (N/mm ²)
$A = \frac{\pi \{D^2 - (D - 2t)^2\}}{4} = \frac{\pi \{250^2 - (250 - 2 \times 3.0)^2\}}{4} = 2,328$	
E_t : 引張弾性係数	10,500 (N/mm ²)
E_m : 曲げ弾性係数	11,000 (N/mm ²)
I : 断面二次モーメント	17,755,629 (mm ⁴ /mm)
α_1 : 軸方向の地盤変位の伝達係数	0.999098
$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1 \times L'}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left[\frac{2\pi}{0.0007595 \times 275347}\right]^2} = 0.999098$	

α_2 : 軸直角方向の地盤変位の伝達係数	1.0
$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_2 \times L}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left[\frac{2\pi}{0.0034664 \times 194700}\right]^2} = 1.0$	
λ_1 : 地盤変位の伝達係数	0.0007595
$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E_t \times A}} = \sqrt{\frac{14.1}{10500 \times 2,328}} = 0.0007595$	
λ_2 : 地盤変位の伝達係数に係る係数	0.0034664
$\lambda_2 = 4 \sqrt{\frac{K_{g2}}{E_m \times I}} = 4 \sqrt{\frac{28.2}{11000 \times 17,755,629}} = 0.0034664$	
K_{g1} : 軸方向変位に関する地盤の剛性係数	14.1 (N/mm ²)
K_{g2} : 軸直角方向変位に関する地盤の剛性係数	28.2 (N/mm ²)

▼式⑫より

$$\epsilon_{1L} = 0.999098 \times 0.0006 = 0.000599459$$

▼式⑬より

$$\epsilon_{1B} = 1.0 \times \frac{2\pi \times 250}{194,700} \times 0.0006 = 0.0000048407$$

▼式⑭より

$$\epsilon_{1X} = \sqrt{0.000599459^2 + 0.0000048407^2} = 0.000599478$$

よって、地震動レベル1による管軸方向ひずみは **0.06%** となる。

6 地震動レベル1の耐震性照査

管軸方向ひずみの計算結果を下表にまとめる。

■地震動レベル1に対する計算結果

名称(条件)		ひずみ(%)	備考
設計水圧	Pi=1.0(MPa)	0.088	
活荷重	T-25	0.041	後輪荷重 Pm= 10000(N)
温度変化	Δt=15(°C)	0.024	
不同沈下	L=15,000(mm)	0.011	H= 30,000(mm) h= 1,800(mm)
地震	K _{h1} = 0.15	0.06	
軸方向ひずみ合計		0.224	許容ひずみ : 0.56(%)

軸方向ひずみの合計は **0.224%** であり、許容ひずみの **0.56%** 以下であるので安全である。

④ 地震動レベル 2 による管軸方向ひずみ

1 表層地盤の固有周期

P.37の地震動レベル1と同様となる。

T_G : 表層地盤の固有周期 1.5428 (s)

2 管軸位置の地盤の水平変位振幅

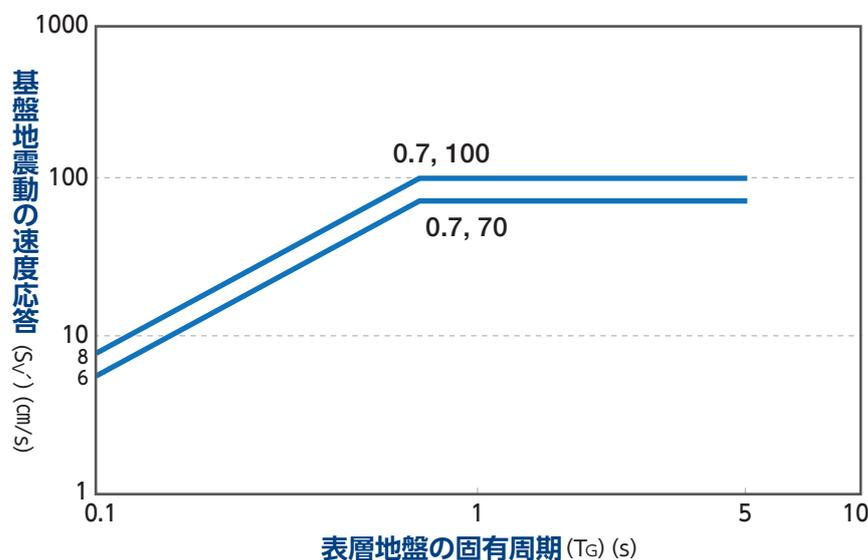
$$U_{h2} = \frac{2}{\pi^2} \times S_v' \times T_G \times \cos \frac{\pi \times h'}{2H} \quad (15)$$

U_{h2} : 管軸位置の地盤の水平変位振幅 (mm)

T_G : 表層地盤の固有周期 1.5428 (s)

S_v' : 速度応答スペクトル 1000 (mm/s)

■ 速度応答スペクトル S_v' (地震レベル2)



h' : 地表面から管路中心位置までの深さ 1,925 (mm)

H : 表層地盤の厚さ 30,000 (mm)

▼ 式⑮より

$$U_{h2} = \frac{2}{\pi^2} \times 1000 \times 1.5428 \times \cos \frac{\pi \times 1,925}{2 \times 30,000} = 311.05 \text{ (mm)}$$

3 地震動の波長

P.39の地震動レベル1と同様となる。

L : 地震動の波長 194,700 (mm)

4 管体歪み

管軸方向の地盤ひずみは式⑯により求める。

$$\varepsilon_{G2} = \frac{\pi \times U_{h2}}{L} \quad \text{⑯}$$

ε_{G2} : 管軸方向の地盤ひずみ	0.00502
U_{h2} : 管軸位置の地盤の水平変位振幅	311.05 (mm)
L : 地震動の波長	194,700 (mm)

▼式⑯より

$$\varepsilon_{G2} = \frac{\pi \times 311.05}{194,700} = 0.00502$$

埋設更生管路の管軸ひずみ ε_{2L} は式⑰により求める。

$$\varepsilon_{2L} = \alpha_1 \times \varepsilon_{G2} \quad \text{⑰}$$

▼式⑰より

$$\varepsilon_{2L} = 0.999098 \times 0.00502 = 0.005015$$

また、曲げひずみ ε_{2B} は式⑱により求める。

$$\varepsilon_{2B} = \alpha_2 \times \frac{2\pi D}{L} \times \varepsilon_{G2} \quad \text{⑱}$$

ε_{2B} : 埋設更生管路の曲げひずみ	
α_2 : 管軸直角方向の地盤変位の伝達係数	1.0
D : 既設管内径	250 (mm)

▼式⑱より

$$\varepsilon_{2B} = 1.0 \times \frac{2\pi \times 250}{194,700} \times 0.00502 = 0.0000405$$

管軸ひずみと曲げひずみを合成したひずみ ε_{2X} は式㉑により求める。

$$\varepsilon_{2X} = \sqrt{\varepsilon_{2L}^2 + \varepsilon_{2B}^2} \quad \text{㉑}$$

ε_{2X} : 管軸ひずみと曲げひずみの合成ひずみ

▼式㉑より

$$\varepsilon_{2X} = \sqrt{0.005015^2 + 0.0000405^2} = 0.005015$$

よって、地震動レベル2による管軸方向ひずみは **0.502%** となる。

5 地震動レベル2の耐震性照査

管軸方向ひずみの計算結果を下表にまとめる。

■地震動レベル2に対する計算結果

名称(条件)		ひずみ(%)	備考
設計水圧	Pi=1.0(MPa)	0.088	
活荷重	T-25	0.041	後輪荷重 Pm= 100000 (N)
温度変化	Δt=15(°C)	0.024	
不同沈下	L=15,000(mm)	0.011	H= 30,000(mm) h= 1,800(mm)
地震		0.502	
軸方向ひずみ合計		0.666	許容ひずみ : 1.12(%)

軸方向ひずみの合計は **0.666%** であり、許容ひずみ **1.12%** 以下であるので安全である。

スーパーReパイプH工法(高強度タイプ) 技術資料

2018年10月11日 初版発行
2019年 6月30日 改訂1版
2022年 9月 1日 改訂2版
2023年 5月 1日 改訂3版

発行者：日本内圧管更生工法協会

日本内圧管
更生工法協会の
ホームページは
こちら

