

パルテム H L 工法
(上水道用管路の自立型更生工法)

技 術 資 料

2022年度版

はじめに

水道施設は水質基準を満足させ、供給するために必要不可欠なライフラインであることは周知のとおりです。しかしながら、水道施設はさまざまなリスクを抱えており水道水の安全確保は恒久的な課題といえます。一方、水道施設は数々の大震災で甚大な被害を受け、水道施設の耐震化は安定した水道水の供給体制を構築するために急務の課題となっております。その中で日本国内を網の目のように張り巡らされた既設の上水道管路のリニューアルも例外ではなく、耐震化のための布設替えが急がれていますが、なかなか進まないのが現状です。

そこで、既設の上水道管路を有効に生かす『パイプの中でパイプをつくる』新たなリニューアル工法が望まれます。既に、1981年に生まれた上水道管路用のホースライニング工法が生まれ活用されてきましたが、より高強度で高耐内圧の更生工法として『パルテムHL工法』が生まれました。

パルテムHL工法は、更新・耐震化が必要な既設の上水道管路の両端部だけを開削し、円筒状にオーバーラップさせたガラスマット（配向性ガラス繊維）とベースホース（円筒補強織物+被覆材）からなるパルライナーに空気圧を加えて、上水道管路内に反転しながら挿入し、硬化性樹脂を硬化させて、既設の上水道管路の中に新たなパイプを形成する工法です。

今までのホースライニング工法は、既設上水道管内を内張りすることで経年劣化による赤水の発生防止や漏水防止というのが主な目的であり、管路の補強という点で充分でなかったといえます。そこで、あらたに構成材料の1つにガラスマットを用いたパルライナーにより既設管内に高強度・高耐内圧力を有するパイプを形成することを実現し、従来のホースライニング工法では適用が難しかった上水道管路にも適用が可能となりました。

また、耐震性については新たに金沢大学教授宮島昌克氏のご指導を仰ぎ、耐震性の検証・評価として、2016年3月に『HLパイプ耐震性能検証報告書』を取り纏めることができました。従来の性能である赤水の防止、漏水の防止等に加え、高強度・長期性能・耐震性能を有した『パルテムHL工法』を既設管路のリニューアル技術としてご活用をお願いいたします。

パルテム技術協会

目 次

1.	工法の概要	1
2.	反転の原理	1
3.	工法の特長	2
4.	適用範囲	3
5.	主要材料	5
5-1.	パルライナー	5
5-2.	硬化性樹脂	6
5-3.	管端リング	6
5-4.	ゴムパッキン	7
6.	施工	8
6-1.	標準立坑寸法	8
6-2.	車両配置図	8
6-3.	施工工程	9
7.	HLパイプの特性	12
7-1.	HLパイプの厚さ	12
7-2.	短期曲げ特性	13
7-3.	短期引張特性	15
7-4.	長期特性	17
1)	曲げクリープ特性 (曲げ弾性率)	17
2)	引張クリープ特性 (引張強さ)	19
7-5.	設計水圧	22
7-6.	耐震特性	23
7-7.	水質試験	27
7-8.	耐塩素水試験	29
7-9.	水理特性	30
8.	施工管の性能	33
8-1.	耐圧力試験	33
8-2.	長期間繰返し水圧試験	34
8-3.	施工管の水質試験	36
8-4.	管端処理部の耐久性試験	38
参考資料		
1.	耐薬品性試験	40
2.	耐摩耗性試験	41
3.	HLパイプの管厚計算例	42
4.	HLパイプの耐震計算例	45

1. 工法の概要

パルテムHL工法は、既設管の両端部だけを開削し既設管を切断した後、更生材料（パルライナーと呼ぶ）に空気圧を加えて既設管内に反転挿入し、加圧した状態で硬化させて既設管の内面に新しいパイプを形成する工法です。シールホースは内面に硬化性樹脂を含浸させて用います。

2. 反転の原理

パルテムHL工法は、「反転」技術を用いてパルライナーを既設管内に挿入・布設着します。「反転」とは、例えば靴下などの裏と表をひっくり返すようにパルライナーの内外面を裏返す状態を指します。その原理を図1-1に基づいて説明します。

反 転 前：パルライナーを圧力容器（反転機）内のリールに巻取り、パルライナーの先端を圧力容器の口金に環状に固定します。

反転始め：圧力容器内に圧縮空気を供給しますと、口金に固定されたパルライナーの折り返し部に空気圧が作用し、折り返し部は右方へと前進します。

反 転 中：パルライナーは裏返す前の状態では外面が気密性を有する被覆材となりますが、反転にて内外面が裏返った状態では内面が被覆材となります。この被覆材によりパルライナー内の圧力が保持されるため、反転を連続的に続けることが可能になります。

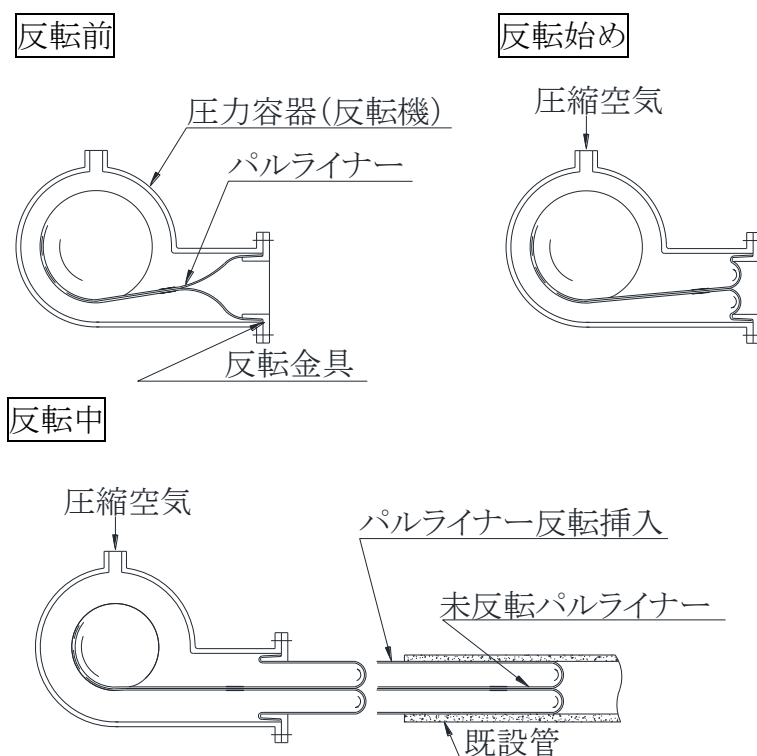


図 1-1 反転の原理

3. 工法の特長

1) 管路条件に合わせた設計が可能です

管種や設計条件に合わせてパルライナーの厚さが選定できるため、管路に耐圧力を与え、管路を補強更生します。

2) 管路に耐震性を付与します

HLパイプ（パルライナーが硬化性樹脂により硬化した状態）は、地震時に発生する地盤歪みに対して十分な機械的性質を有しており、地震に脆弱な管路の耐震性を向上させます。また、「水道施設耐震工法指針・解説－2009－：（社）日本水道協会発行」に基づいた耐震設計が可能です。

3) 赤水、漏水を同時に防止します

HLパイプが管壁と水とを完全に遮断するため、赤水を防止し、錆の再発生を防ぎます。また、HLパイプは気密性、水密性が優れているため、既設管の継ぎ手部などからの漏水も完全に防止します。

4) 通水能力が新管と同程度まで甦ります

HLパイプは口径に対して非常に薄肉で内面は非常に滑らかなため、通水能力は新管と同程度まで甦ります。しかも、経年による通水能力の低下は皆無となります。流速係数C値は、 $C = 150$ になります。

5) HLパイプは、水質に無害であり耐用年数は100年を想定しています。

パルライナーと硬化性樹脂は、日本水道協会規格の JWWA Z 108:2016「水道用資機材－浸出試験方法」および JWWA K 143:2017「水道用コンクリート水槽内面エポキシ樹脂塗料」に適合しており、水質に無害です。

また、耐水性、耐薬品性に優れており、耐用年数は100年を想定しています。

6) 両端を掘削するだけでロングスパンの施工が可能です

発進側と到達側に2カ所の立坑を掘削するだけで、一度に標準150mの施工が可能です。

7) ベンドを含む管路も施工が可能です

45° ベントまたは90° ベンドを含む複雑な管路も施工が可能です。（目安としてベンド部の総和が180°）ただし、曲がり部の内側にシワが発生します。

8) 安全確実な施工が可能です経済的にも優れています

パルライナーは、工場で十分な品質管理のもとで製造されており、品質的に安定した確実な施工が可能です。また、掘削箇所が少なく短時間で施工が可能のため、交通障害も少なく経済的に優れています。

4. 適用範囲

1) 適用呼び径

φ 200～φ 1000

2) 適用管種

鋼管、鋳鉄管、ダクタイル鋳鉄管、モルタルライニング管、塩化ビニル管、強化プラスチック管、ヒューム管、石綿管

3) 標準施工延長

機械式クリーニング及び反転挿入における標準施工延長を表4-1、表4-2に示します。ただし、反転挿入における長さを施工延長とします。

また、以下の条件の場合は、別途協議とします。

- ・ 曲管を含む配管形状の場合
- ・ 機械式クリーニングとは別の方法の場合

表 4-1 機械式クリーニングにおける標準施工延長

呼び径	施工延長 (m)
200	160
250	180
300	
350	200
400	
450	250
500	
600	
700	
800	
900	
1000	

※：φ 800 以上は人力クリーニングと併用

表 4-2 反転挿入における標準施工延長

呼び径	ガラスマット 厚さ(例) (mm)	施工延長 (m)	適用反転機車
200	3.0	140	中型反転機
250	4.0	170	
300	4.0	170	
350	4.0	200	大型反転機
400	5.0	200	
450	5.0	200	
500	6.0	200	
600	6.0	200	超大型反転機
700	7.0	120	
800	8.0	100	
900	9.0	80	
1000	10.0	80	

5. 主要材料

5-1. パルライナーWHM

ポリエステル繊維を環状織機で継ぎ目の無い円筒状に製織された円筒補強織物の表面に樹脂を被覆した耐圧、耐久性に優れたパルテムHL工法用更生材です。

パルライナーWHMは、口径より大きく製織した円筒補強織物を前処理により小さく収縮させ押出成形を行っています。そのため、既設管に反転挿入するときには反転時の圧力により径膨張し管内面に完全に密着します。また、地震時に発生する地盤歪みに対して十分な機械的性質を有しており、地震に脆弱な管路の耐震性を向上させます。

このパルライナーWHMの更生は、内面から円筒補強織物、円筒状にオーバーラップさせたガラスマット（配向性ガラス繊維）、ベースホース（円筒補強織物+被覆材）の構造です。ガラスマットに硬化性樹脂を含浸硬化させて、既設の上水道管路内に高耐圧力で自立性を有するパイプを形成します。図5-1にパルライナーWHMの構造図、表5-1にパルライナーWHMの仕様を示します。

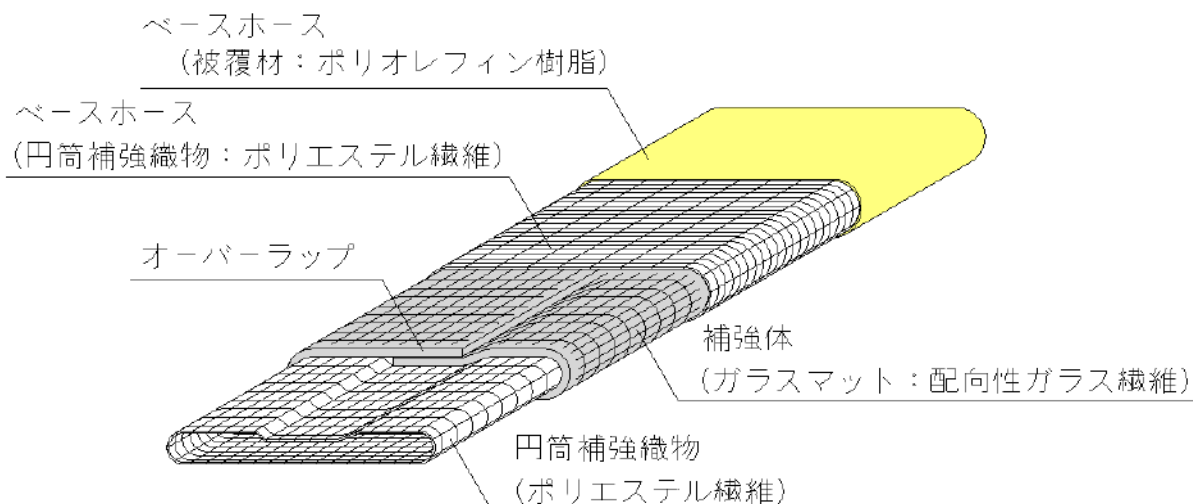


図5-1 パルライナーWHMの構造

表5-1 パルライナーWHMの仕様

項 目	パルライナーWHM	
適用呼び径	200～1000	
構造体	繊維層	円筒補強織物（ポリエステル繊維）
	補強体	ガラスマット（配向性ガラス繊維）
被 覆 材	ポリオレフィン樹脂	
水 質 試 験	JWWA Z 108:2016 に適合	
特 長	耐震性、更新管、漏水防止、赤水対策、防錆・防食	

5-2. 硬化性樹脂

パルテムHL工法用に開発されたエポキシ系樹脂で、耐水性があり、接着強さが高く安全衛生上無害です。硬化性樹脂の仕様を表5-2に示します。

表 5-2 硬化性樹脂の標準仕様

項 目		パルテムレジンWDL			
		常温硬化タイプ		加熱硬化タイプ	
組 成	主 剤	変性エポキシ樹脂			
	硬化剤	変性脂肪族ポリアミン			
	促進剤	変性脂肪族ポリアミン		—	
外 観		赤色半透明液体			
可使時間(20℃) ^{※1}		18hr		47hr	
硬化時間 ^{※2} (ショアD硬度)		10℃	168hr	20℃	120hr
		15℃	120hr	30℃	96hr
		20℃	96hr	70℃	3hr
水 質 試 験		JWWA K 143:2017 に適合			

※1：硬化性樹脂温度 20℃での最高発熱温度到達時間 (3.7kg スケール)

※2：硬化性樹脂各温度でのショアD硬度 50 発現時間

5-3. 管端リング

HLパイプの端部を既設管と密着させるための金属製リングの総称を管端リングと呼んでいます。一例としてステンレス製の管端リングを示します。

- 1) 材質 SUS304又はSUS316
- 2) 形状 コッターを打ち込んで固定するもので、寸法は口径毎に異なります。各々の形状を図5-2に示します。

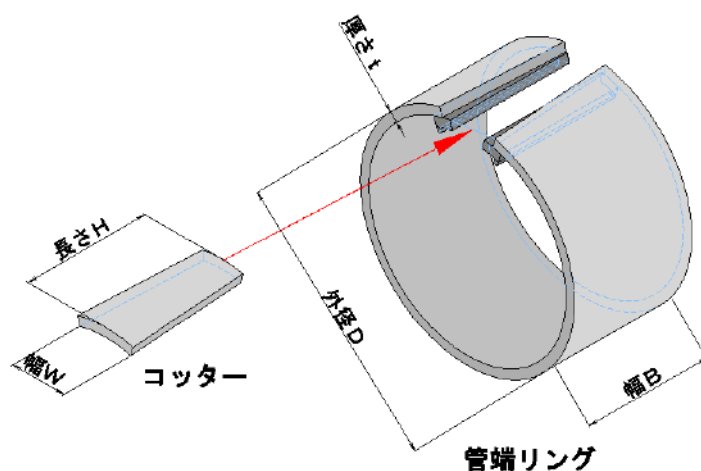


図 5-2 管端リングの形状

5-4. ゴムパッキン

HLパイプと既設管の間に水が浸入しないよう、管端リングとHLパイプの間にリング状のゴムパッキンを装着します。

- 1) 材質 SBR (スチレンブタジエンゴム)

6. 施工

6-1. 標準立坑寸法

幅、長さ、管切断長を図6-1および表6-1に示します。

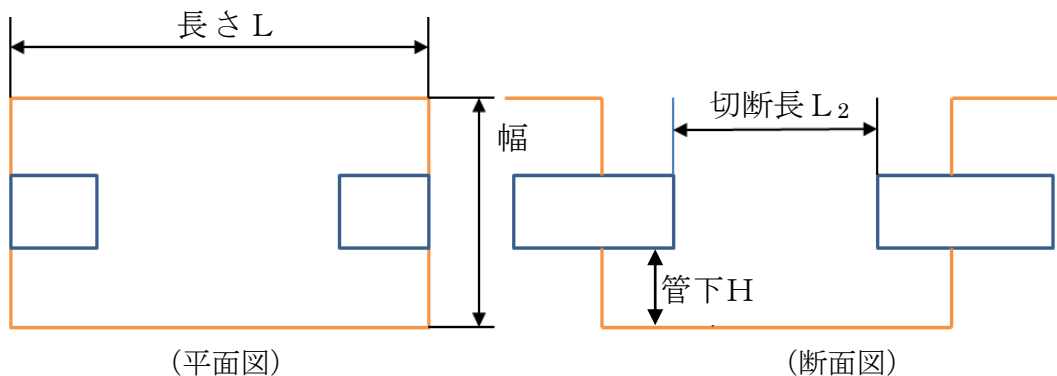


図6-1 立坑の大きさ

表6-1 標準立坑寸法 (単位:mm)

呼び径	立坑寸法			管切断長さ (L ₂)
	幅(W)	長さ(L ₁)	管下(H)	
200~250	1,250	2,500	500	1,500
300~350	1,350	3,000	500	2,000
400~450	1,650	3,500	500	2,500
500~550	1,750	3,500	500	2,500
600	1,800	4,000	500	3,000
700	1,900	4,500	500	3,500
800	2,000	5,000	500	3,500
900	2,100	5,000	500	3,500
1000	2,200	5,500	500	4,000

6-2. 車両配置図

常温硬化法と加熱硬化法があり、標準は常温硬化法になります。常温硬化法を図6-2に、加熱硬化法を図6-3に示します。

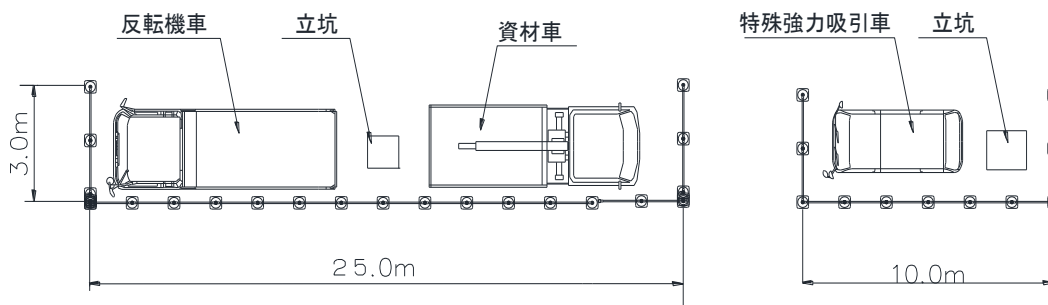


図6-2 車両配置図 (常温硬化法)

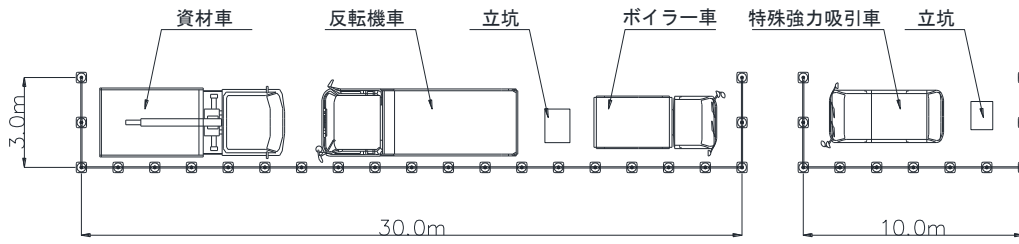


図 6-3 車両配置図 (加熱硬化法)

6-3. 施工工程

1) クリーニング工

クリーニング方法としては機械式と高圧洗浄、人力があります。ここでは機械式を図 6-4 に示します。

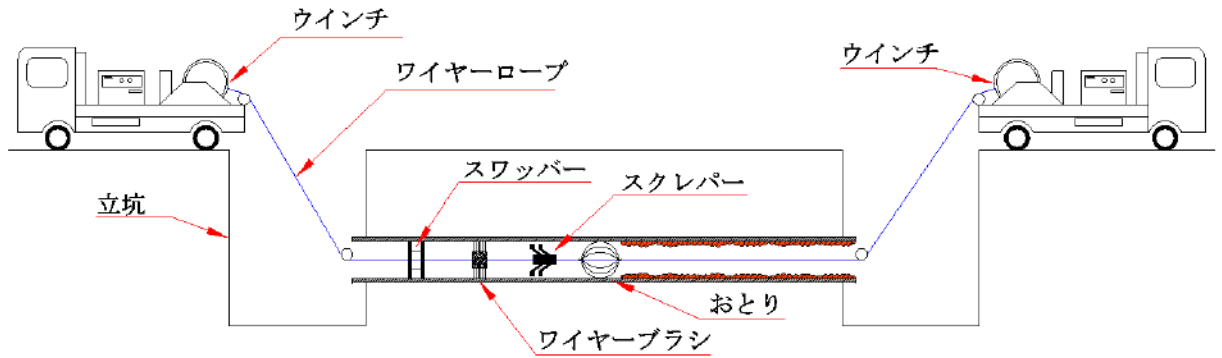


図 6-4 機械式によるクリーニング工の模式図

2) 反転挿入工

含浸させたパルライナーWHMを管内に反転挿入します。反転挿入工の模式図を図 6-5 に示します。

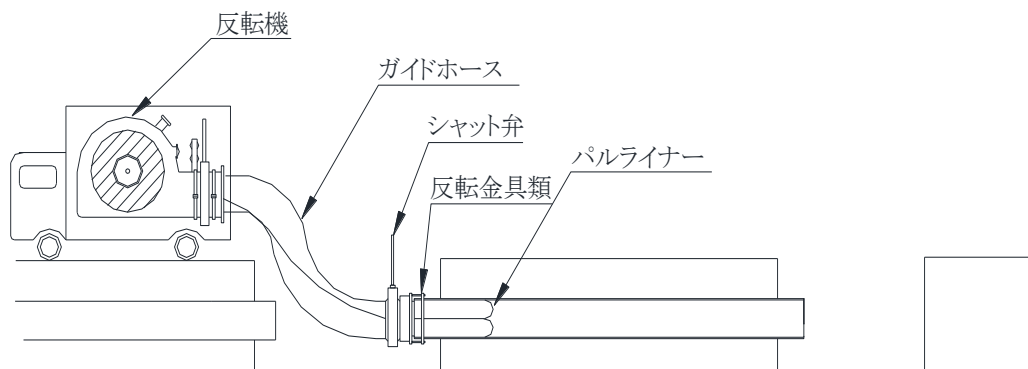


図 6-5 反転挿入工の模式図

3) 硬化工

常温硬化法と加熱硬化法があり、標準は常温硬化法になります。常温硬化法の模式図を図6-6、加熱硬化法の模式図を図6-7に示します。

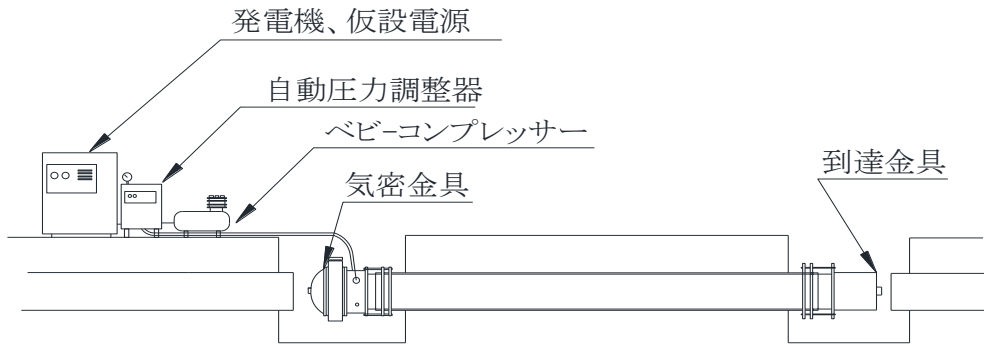


図 6-6 常温硬化法の模式図

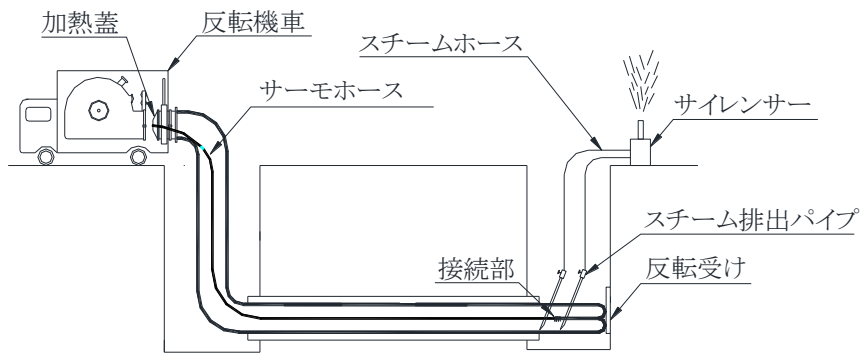


図 6-7 加熱硬化法の模式図

4) 管端処理工

硬化したHLパイプを切断し、その部分で管端処理を行います。ここでは管端処理の模式図を図6-8に示します。

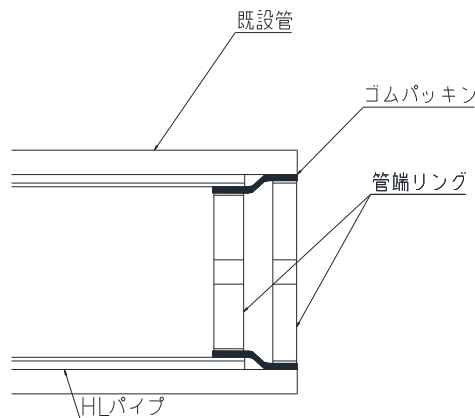


図 6-8 管端処理の施工事例

5) 分岐部処理工

分岐部は既設管と同様に腐食・劣化していることが多く、特に分岐首部は更生後も劣化した状態での残置となるため、撤去・新設を推奨いたします。

分岐部の新設を行う際には、次のような処理を行います。

・分岐部を新設する場合

分岐部で既設管を撤去した後にダミー管等を設置し、撤去部を通過させて反転挿入を行い、硬化後にHLパイプを切断します。

HLパイプの切断箇所に管端処理を行った後、新設の分岐管を取付け復旧します。

その模式図を図6-9に示します。

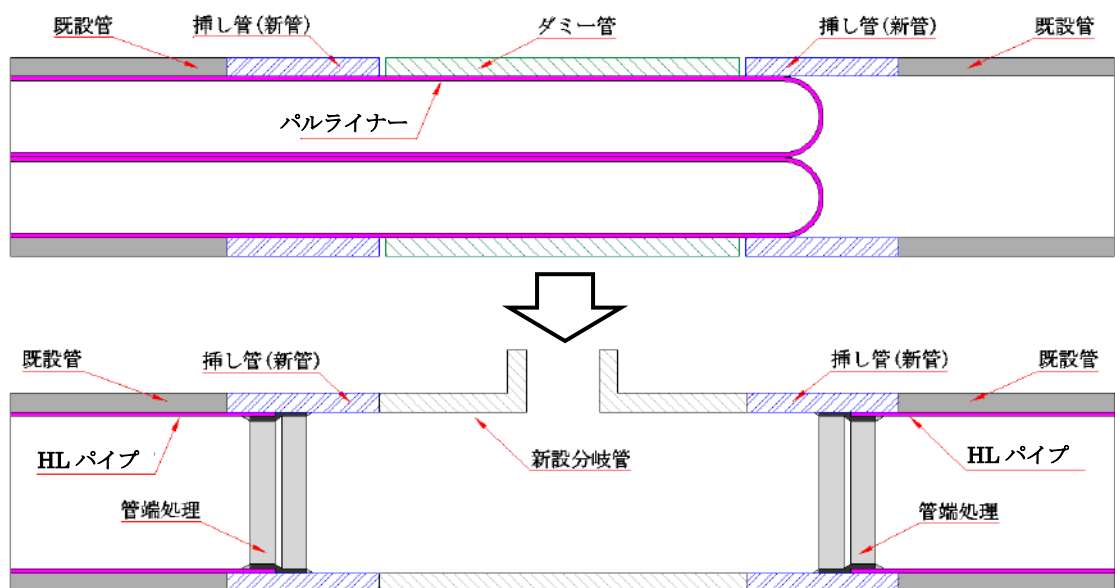


図 6-9 分岐部処理工 (新設の場合)

上記の処理を推奨いたしますが、分岐管の撤去が行えない場合の分岐部処理につきましては、別途協議いたします。

7. HLパイプの特性

HLパイプWHMとは、硬化性樹脂を含浸させたパルライナーWHMを常温硬化法または加熱硬化法で硬化させたものを指します。

7-1. HLパイプの厚さ

HLパイプWHMの構造を図7-1に示す。HLパイプWHMの厚さは、円筒補強織物、ガラスマット、ベースホースの厚さの総和になります。各部の厚さを表7-1、表7-2、表7-3に示します。

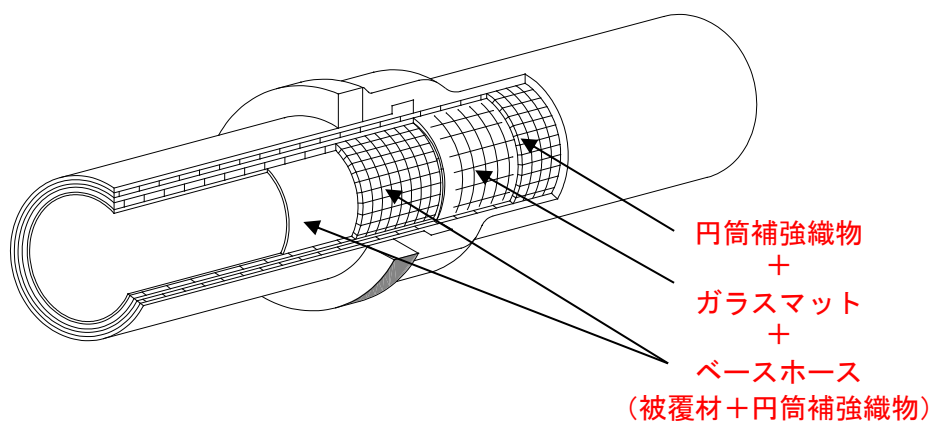


図7-1 HLパイプWHMの構造

表7-1 円筒補強織物の厚さ

呼び径	厚さ (mm)
200~1000	1.2

表7-2 ガラスマットの厚さ (1mm 毎に選択可能)

呼び径	厚さ (mm)
200~1000	3.0~10.0

表7-3 ベースホースの厚さ

呼び径	厚さ (mm)
200~300	1.4
350~500	1.6
600	2.0
700~900	3.0
1000	3.2

7-2. 短期曲げ特性

1) 試料作製

硬化性樹脂を含浸させたパルライナーWHMを**図7-2**に示す平面サンプル作製ジグにセットし、反転挿入時と同等の圧力で締め付けました。その後、常温にて硬化性樹脂を含浸させたパルライナーWHMを硬化させ、試料を作製しました。

硬化した平板サンプルより短冊状の試験片を作製しました。試験片の形状を**写真7-1**に示します。

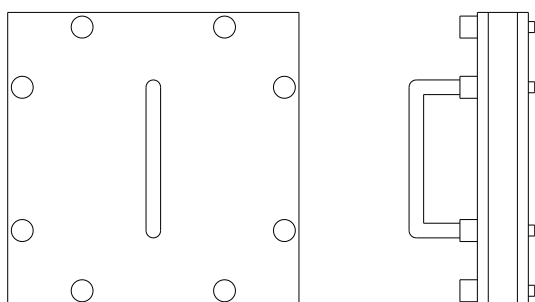


図7-2 平面サンプル作製ジグ



写真7-1 曲げ試験片

2) 試験方法

JIS K 7171「プラスチックー曲げ特性の試験方法」に準拠しました。その試験方法を**写真7-2**に示します。



写真7-2 曲げ試験方法

3) 試験結果

曲げ試験結果から統計処理しました。統計処理結果を**表7-4**に示します。

表 7-4 統計処理結果

厚さ (mm)	項 目	短期曲げ強さ (MPa)	短期曲げ弾性率 (MPa)
3.0	平均値	442.8	15,940.9
	標準偏差 (σ)	26.2	915.2
	平均値 - 1.96 σ	391.4	14,147.2
4.0	平均値	457.6	15,666.0
	標準偏差 (σ)	26.8	1,132.1
	平均値 - 1.96 σ	405.1	13,447.0
5.0	平均値	393.4	16,864.7
	標準偏差 (σ)	20.8	718.7
	平均値 - 1.96 σ	352.7	15,456.0
7.0	平均値	352.1	19,978.9
	標準偏差 (σ)	12.0	574.9
	平均値 - 1.96 σ	328.5	18,852.1
10.0	平均値	449.6	19,717.0
	標準偏差 (σ)	22.6	507.7
	平均値 - 1.96 σ	404.3	18,701.6

4) 規格値設定

統計処理結果を基に、施工時のバラツキを考慮して安全側となるように規格値を設定します。HLパイプWHMの規格値を表 7-5 に示します。

表 7-5 HLパイプWHMの規格値

	短期曲げ強さ (MPa)	短期曲げ弾性率 (MPa)
規格値	230	13,000

7-3. 短期引張特性

1) 試料作製

各試料は平板の短期曲げ特性試験と同様に作製しました。その試験片の形状を写真7-3に示します。

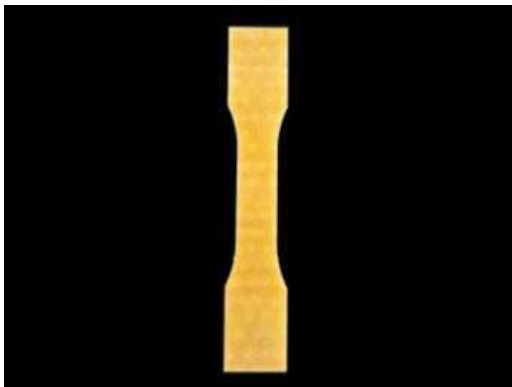


写真 7-3 引張試験片

2) 試験方法

JIS K 7161「プラスチックー引張特性の試験方法」に準拠しました。その試験方法を写真7-4に示します。



写真 7-4 引張試験方法

3) 試験結果

引張試験結果を統計処理しました。統計処理結果を表7-6および表7-7に示します。

表 7-6 統計処理結果（短期引張強さ）

厚さ (mm)	項 目	短期引張強さ (MPa)
3.0	平均値	310.5
	標準偏差 (σ)	17.3
	平均値-1.96 σ	270.6
4.0	平均値	349.5
	標準偏差 (σ)	23.3
	平均値-1.96 σ	303.9
5.0	平均値	336.6
	標準偏差 (σ)	21.9
	平均値-1.96 σ	293.7
7.0	平均値	331.9
	標準偏差 (σ)	11.5
	平均値-1.96 σ	309.4
10.0	平均値	373.0
	標準偏差 (σ)	19.7
	平均値-1.96 σ	333.6

表 7-7 統計処理結果（短期引張弾性率）

項 目	短期引張弾性率 (MPa)
平均値	11130.0
標準偏差 (σ)	283.0
平均値-1.96 σ	10575.2

4) 規格値設定

統計処理結果を基に、施工時のバラツキを考慮して安全側となるように規格値を設定します。HLパイプWHMの規格値を表 7-8 に示します。

表 7-8 HLパイプWHMの規格値

	短期引張強さ (MPa)	短期引張弾性率(管長方向) (MPa)
規格値	210	9,500

7-4. 長期特性

1) 曲げクリープ特性 (曲げ弾性率)

(1) 試料作製

呼び径300、厚さ4mmのHLパイプWHMを円形型枠内に形成した後に、型枠からHLパイプWHMを取り出し、長さ100mmに切断して試料としました。

(2) 試験方法

試験方法は、JIS K 7035「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偏平剛性の求め方」に準拠しました。試験状況を写真7-5に示します。

試験装置にHLパイプWHMをセットして一定の荷重を加え、時間の経過に伴うHLパイプWHMの変位量を測定しました。長期偏平剛性 S_{100} は、変位量と経過の関係からなる回帰式を用いて100年後の変位量外挿値を導出し、①式に外挿値を代入して算出しました。

$$S_{x,1,wet} = \frac{f \times F}{L \times y_{x,1,wet}} \dots\dots\dots \text{①}$$

$S_{x,1,wet}$: x 年後の偏平剛性 (N/m²)

$$f : \text{変位係数} \left[= \left\{ 1,860 + \left(2,500 \times \frac{y_{x,1,wet}}{d_m} \right) \right\} \times 10^{-5} \right]$$

F : 一定荷重 (N)

L : 試験片の平均長さ (m)

$y_{x,1,wet}$: 湿潤条件下での x 年後の変位の外挿値 (m)

d_m : HLパイプWHMの平均直径



写真 7-5 試験状況

(3) 試験結果

試験結果を図7-3に示します。

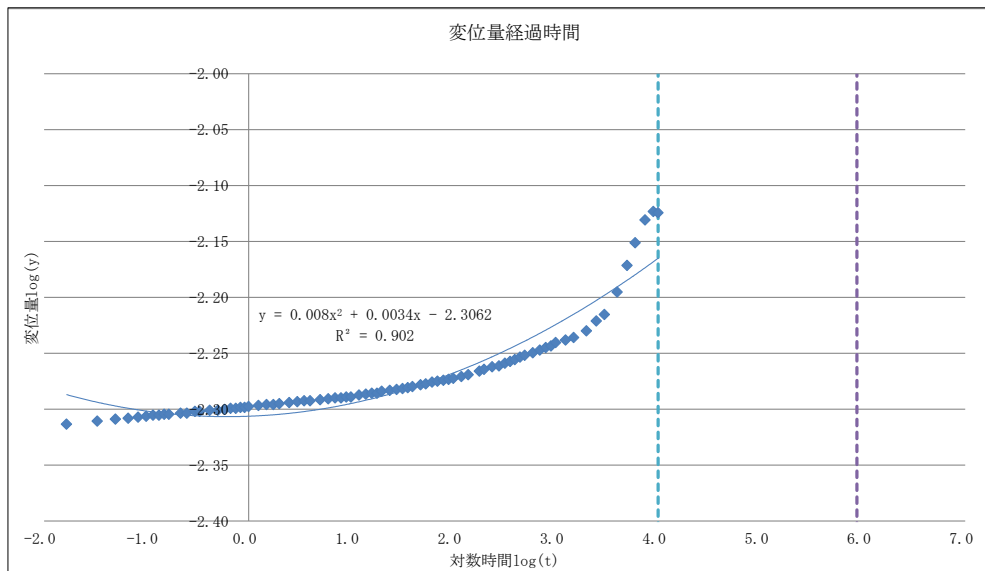


図 7-3 変位量と時間の相関図

(4) 考察

①推定変位量 y_{100}

試験結果より導出された回帰式②式を用い、100年後の推定変位量 y_{100} を求めます。

$$y_{100} = -2.3062 + 0.0034x + 0.0080x^2 \quad \dots\dots\dots \text{②}$$

y : 100 年後の推定変位量 ($=y_{100}$)

x : 時間 ($\log(t) = 5.94 = 876,000 \text{ hour}$)

100 年後の推定変位量は、0.009905 m となります。

②変位係数 f

算出された100年後の推定変位量 y_{100} を用い、③式より変位係数 f を求めます。

$$f = \left\{ 1860 + \left(2500 \times \frac{y_{100}}{d_m} \right) \right\} \times 10^{-5} \quad \dots\dots\dots \text{③}$$

f : 変位係数

d_m : HLパイプWHMの平均直径 ($=295.10\text{mm}$)

変位係数は、0.01944 となります。

③長期偏平剛性 S_{100}

これらの数値から④式より、100年後の長期偏平剛性 S_{100} を求めます。

$$S_{100} = \frac{f \times F}{L \times y_{100}} \quad \dots\dots\dots \text{④}$$

S_{100} : 100 年後を想定した長期偏平剛性

f : 変位係数 (=0.01944)
 F : 一定荷重 (=175.8N)
 L : 試験片の平均長さ (=101.64mm)
 y_{100} : 100年後の推定変位量 (=0.009905m)

100年後の推定長期偏平剛性は、3,394 N/m²となります。

④クリープファクタ α_{100}

算出された長期偏平剛性 S_{100} と初期偏平剛性 S_0 から、⑤式を用い、クリープファクタを求めます。

$$\alpha_{100} = \frac{S_{100}}{S_0} \quad \dots\dots\dots \text{⑤}$$

α_{100} : 100年後を想定したクリープファクタ

S_{100} : 100年後を想定した長期偏平剛性

S_0 : JIS K 7032 に従って求めた初期偏平剛性 (=6,376N/m²)

100年後を推定したクリープファクタは、0.53となります。

⑤長期曲げ弾性率

短期曲げ弾性率の規格は、13,000MPa ですので、クリープファクタ 0.53 を掛け、HLパイプWHMの長期規格値は、6,500 MPa とします。

2) 引張クリープ特性 (引張強さ)

(1) 試料作製

試料は、平板の短期引張特性試験と同様の方法で作製しました。試験片形状を図7-4に示します。試験片形状は、JIS K 7113 4号試験片としました。尚、試験片幅については材料構造および試験装置の載荷限界を考慮し、10mm としました。

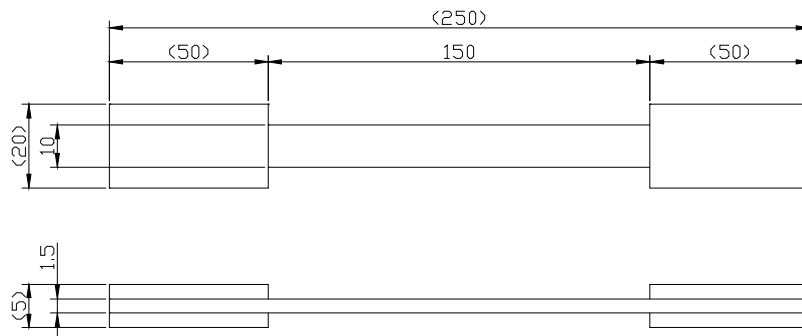


図 7-4 試験片形状

(2) 試験方法

試験方法は、JIS K 7115「プラスチックークリップ特性の試験方法―第1部：引張クリープ」に準拠しました。試験状況を写真7-6に示します。100年後の引張破壊強さ V_{100} は、各試験体の引張強さと破壊時間の関係（常用対数値）からなる回帰式を用いて算出します。



写真 7-6 試験状況

(3) 試験結果

試験結果を表7-9、引張強さと破壊時間の相関図を図7-5に示します。

表 7-9 試験結果（各荷重における破壊時間と引張強さ）

試験荷重 (N)	破壊時間 (hour)	引張強さ (MPa)
2,434.0	0.97	204.5
2,434.0	1.05	204.5
2,297.7	2.83	193.1
2,297.7	2.85	193.1
2,297.7	4.30	193.1
2,297.7	4.53	193.1
2,297.7	5.50	193.1
2,297.7	15.48	193.1
2,297.7	25.08	193.1
2,297.7	35.43	193.1
2,297.7	52.53	193.1
2,163.0	64.70	181.8
2,163.0	68.15	181.8
2,163.0	128.33	181.8

2,163.0	364.40	181.8
2,163.0	417.62	181.8
2,163.0	628.55	181.8
2,028.0	7,339.52	170.4
2,027.0	106.88	170.3
1,892.7	1,768.47	159.1
1,892.6	10,000 時間経過	159.0

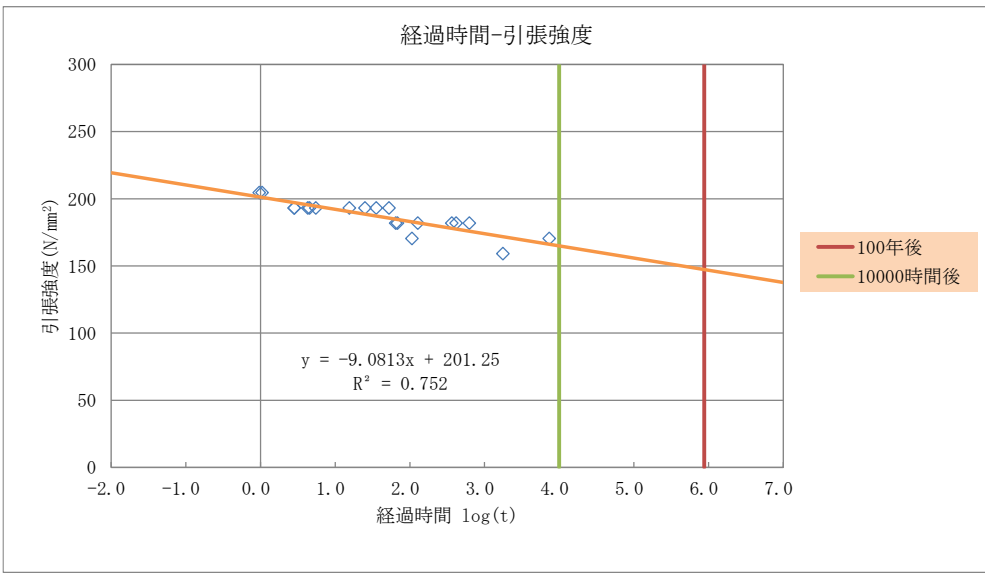


図 7-5 引張強さと破壊時間の相関図

(4) 考察

①推定引張強さ V_{100}

試験結果より導出された回帰式⑧式を用い、100年後の推定引張強さ V_{100} を算出します。

$$y = 201.245 - 9.08131x \quad \dots\dots\dots \textcircled{8}$$

y : 100 年後の推定引張強さ (= V_{100})
 x : 時間 (876,000= hour)

100 年後の推定引張強さは、147.3MPa となります。

②クリープ係数 K

算出された100年後の推定引張強さ V_{100} を用い、⑨式よりクリープ係数 K を求めます。

$$K = V_{100}/V_0 \quad \dots\dots\dots \textcircled{9}$$

K : クリープ値

V_{100} : 100年後の引張強さ (=147.3 MPa)

V_0 : 初期の引張強さ (=227.2 MPa)

100年後を想定したクリープ係数は、0.65となります。

③長期引張強さ V_L

100年後を想定したクリープ係数Kを用い、⑩式より長期引張強さ V_L を求めます。

$$V_L = \sigma \times K \quad \dots\dots\dots \text{⑩}$$

V_L : 長期引張強さ

σ : 短期引張強さ保証値 (=210 MPa)

100年後を想定した長期引張強さは、138.6 MPa となります。

安全側を考慮してHLパイプWHMの長期規格値は、130 MPa とします。

7 - 5. 設計水圧

HLパイプWHMの長期引張強さ130 MPa により呼び径ごとの設計水圧を求め、表7-10に示します。

表 7-10 呼び径ごとの設計水圧 (単位 : MPa)

呼び径	ガラスマット厚さ(mm)							
	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
200	2.01							
250	1.59	2.14						
300	1.32	1.78						
350	1.13	1.52	1.91					
400	0.99	1.32	1.66					
450		1.17	1.47	1.78				
500		1.05	1.32	1.59	1.87			
600			1.10	1.32	1.55	1.78		
700			0.94	1.13	1.32	1.52	1.71	
800				0.98	1.15	1.32	1.49	1.66
900					1.02	1.17	1.32	1.47
1000						1.05	1.19	1.32

7-6. 耐震特性（許容歪み）

1) レベル1地震動

「水道施設耐震工法指針・解説 2009年版」に示される埋設管路の各限界状態には、レベル1地震動の要求性能として、「力学的特性が弾性域を超えない限界の状態」との記載があります。一般的な鋼材等は降伏点を境界として、弾性域と塑性域の範囲が明確ですが、HLパイプWHMの応力-歪み曲線は図7-6に示すとおり、直線的な線形となるため弾性域を読み取ることが困難です。したがって、HLパイプWHMの弾性域判断指標として、繰返し歪み作用による残留歪み測定試験を実施し、弾性限度範囲内でHLパイプWHMのレベル1許容歪みの設定を行いました。

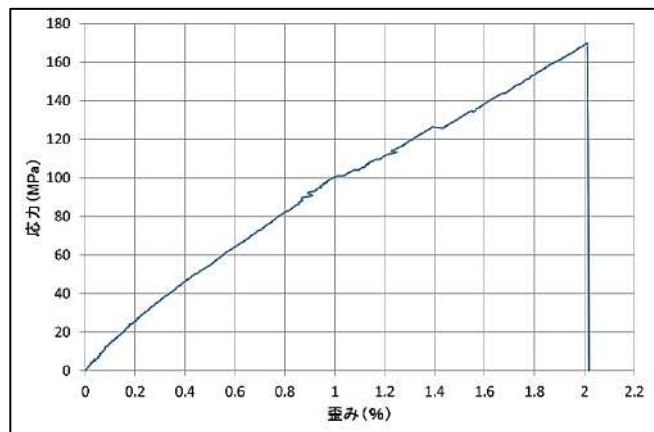


図7-6 HLパイプWHMの応力-歪み曲線

(1) 試料作製

平板の短期引張特性試験と同様の方法で同形状の試料を作製しました。

(2) 試験方法

5 mm/minの速度で歪みを300回繰返し作用させ、応力-歪み曲線にて残留歪みを確認しました。作用する歪みは、表7-11に示すとおり、破壊歪みに3以上の安全率を考慮した0.6%としました。

また、300回繰返し後の破断強さを測定し、繰返し歪み作用による強度低下が無いことを確認しました。試験状況を写真7-7に示します。

表7-11 試験採用歪みの設定

試験名	N数	破壊歪み 平均値 (%)	安全率3を 考慮した歪み (%)
圧縮試験	10	2.20	0.73
引張試験	10	2.07	0.69
試験採用歪み			0.60



写真 7-7 試験状況

(3) 試験結果

試験結果を表 7-12 に示します。図 7-7 に示すとおり、繰返し歪み作用後の応力 0 MPa 時の残留歪みは 0.1 % 以下であることが確認されました。また、応力-歪み曲線の傾きがほぼ一定であることから、力学的特性には変化が無いと推察されます。

繰返し歪み作用後の引張強さについては、いずれの供試体においても、歪みを作用していない供試体 No. 4 と同程度でした。

表 7-12 試験結果

作用歪み (%)	供試体 No.	繰返し後 残留歪み (%)	繰返し後 引張強さ (MPa)
0.60	1	0.07	160.6
	2	0.09	157.4
	3	0.07	163.2
無し	4	-	159.0

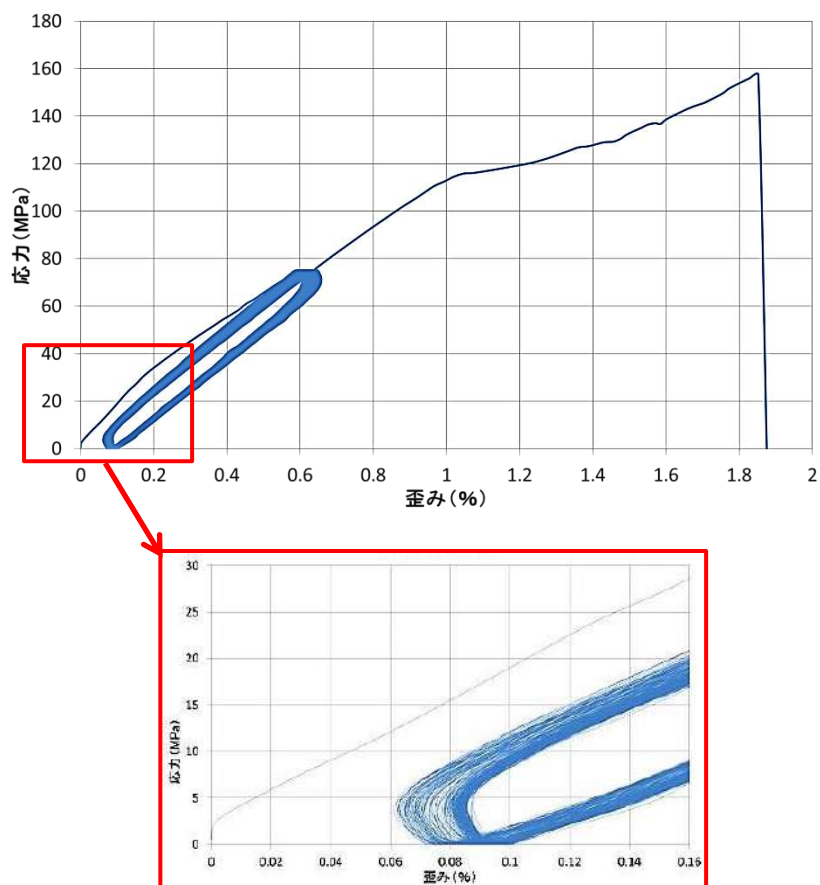


図 7-7 HLパイプWHMの残留歪み測定試験結果（供試体 No. 2）

(4) 結論

一般的に、降伏点を持たない脆性材料（ガラス、コンクリート等）や延性材料（プラスチック、ゴム等）では、0.2%の残留歪みが残る応力を降伏応力と同等に扱います。今回確認されたHLパイプWHMの残留歪みは0.1%以下であることから、十分な安全性を確保していると言えます。

また、繰返し後の強度低下もみられないことから、レベル1地震時の要求性能を満足していると判断し、HLパイプWHMのレベル1地震時許容歪みは0.6%と設定します。

2) レベル2地震動

「水道施設耐震工法指針・解説 2009年版」に示される埋設管路の各限界状態には、レベル2地震動の要求性能として、「部分的に塑性化しても漏水が発生しない限界の状態」との記載があります。前項と同じく明確な検証方法が無いため、レベル2地震動を想定した歪みを動的に作用し、地震時挙動におけるHLパイプWHMの健全性を確認することで、レベル2許容歪みの設定を行います。

(1) 試料作製

平板の短期引張試験と同様の方法で試料を作製しました。試験片形状は、

長さ150mm、幅10mmとしました。

(2) 試験方法

1. 2%の歪みを周波数5 Hzで500回繰返し作用させ、供試体に破断等の損傷が生じないかを確認しました。作用する歪みは、表7-13に示すとおり、破壊歪みに1.5以上の安全率を考慮した1.2%としました。また、500回繰返し後の引張強さを測定し、繰返し歪み作用による強度低下が無いことを確認しました。試験状況を写真7-8に示します。

表 7-13 試験採用歪みの設定

試験名	N数	破壊歪み 平均値 (%)	安全率1.5を 考慮した歪み (%)
圧縮試験	10	2.20	1.46
引張試験	10	2.07	1.38
試験採用歪み			1.20



写真 7-8 試験状況

(3) 試験結果

試験結果を表7-14に示します。すべての供試体において、繰返し試験時および試験後に破損は生じませんでした。

また、繰返し歪み作用後の引張強さについては、すべての供試体においても、歪みを作用していない供試体No. 4と同程度でした。

なお、標準の引張試験とは供試体形状が異なるため、本試験による引張強さはすべて参考値扱いとします。

表 7-14 試験結果

作用歪 (%)	供試体 No.	繰返し後 試験片状態	繰返し後 引張強さ (MPa)
1.20	1	破損無し	平均 137*
	2		
	3		
無し	4	-	140*

※つかみ部で破壊

(4) 結論

繰返し後に破断等の損傷も確認されず、また、繰返し後の強度低下もみられないことから、レベル2地震時の要求性能を満足していると判断し、HLパイプWHMのレベル2地震時許容歪みは1.2%と設定します。

7-7. 水質試験

1) 目的

上水道管に使用される流体は、飲料水等に用いられますので、管路更生工事においても、所定の水質基準を満足する材料を選定する必要があります。そのため、パルライナーの水質試験を行いました。

2) 試料作製

パルライナーを図7-8のように2枚のパルライナーの円筒補強織物面どうしを貼り合わせた後、被覆材どうしを電子シーラーで融着した試験片を作製しました。

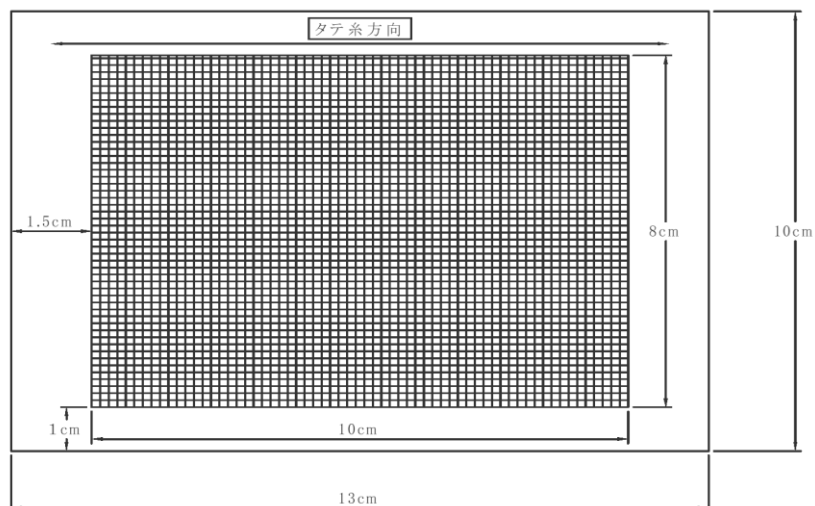


図7-8 試料片の形状

3) 試験方法

作製しました試料を用いて、JWWA Z 108:2016（水道用資機材—浸出試験方法）に準拠し行いました。浸出基準項目および浸出基準を表7-15に示します。

なお、溶解試験の試験温度は常温23℃、浸出日数は3日としました。

表7-15 浸出基目および浸出基準

浸出基準項目	単位	浸出基準
カドミウム及びその化合物	Mg/L	0.0003以下
水銀及びその化合物	Mg/L	0.00005以下
セレン及びその化合物	Mg/L	0.001以下
鉛及びその化合物	Mg/L	0.001以下
ヒ素及びその化合物	Mg/L	0.001以下
六価クロム化合物	Mg/L	0.005以下

浸出基準項目	単位	浸出基準
シアン化物イオン及び塩化シオン	Mg/L	0.001以下
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	Mg/L	1.0以下
フッ素及びその化合物	Mg/L	0.08以下
ホウ素及びその化合物	Mg/L	0.1以下
四塩化炭素	Mg/L	0.0002以下
1,4-ジオキサン	Mg/L	0.005以下
1,2-ジクロロエタン	Mg/L	0.0004以下
ジス-1,2-ジクロロエタン及びオクス-1,2-ジクロロエタン	Mg/L	0.004以下
ジクロロメタン	Mg/L	0.002以下
テトラクロロエチレン	Mg/L	0.001以下
トリクロロエチレン	Mg/L	0.001以下
ベンゼン	Mg/L	0.001以下
ホルムアルデヒド	Mg/L	0.008以下
アルミニウム及びその化合物	Mg/L	0.02以下
鉄及びその化合物	Mg/L	0.03以下
亜鉛及びその化合物	Mg/L	0.1以下
銅及びその化合物	Mg/L	0.1以下
ナトリウム及びその化合物	Mg/L	20以下
マンガン及びその化合物	Mg/L	0.005以下
塩化物イオン	Mg/L	20以下
蒸留残渣物	Mg/L	50以下
陰イオン界面活性剤	Mg/L	0.02以下
非イオン界面活性剤	Mg/L	0.005以下
フェノール類	Mg/L	0.0005以下
有機物全有機炭素 (TOC) の量	Mg/L	0.5以下
味	—	異常でないこと
臭気	—	異常でないこと
色度	度	0.5以下
濁度	度	0.2以下
残留塩素の減量	Mg/L	0.7以下
エピクロロヒドリン	Mg/L	0.01以下
アミン類	Mg/L	0.01以下
2,4-トルエンジアミン	Mg/L	0.002以下
2,6-トルエンジアミン	Mg/L	0.001以下
酢酸ビニル	Mg/L	0.01以下
スチレン	Mg/L	0.002以下
1,2-ブタジエン	Mg/L	0.001以下
1,3-ブタジエン	Mg/L	0.001以下
N,N-ジメチルアニリン	Mg/L	0.01以下
ヒドラジン	Mg/L	0.005以下
アクリル酸	Mg/L	0.002以下
トルエン	Mg/L	0.2以下
キシレン	Mg/L	0.4以下
亜硝酸態窒素	Mg/L	0.004以下
pH値の増加量	Mg/L	1以下

4) 考察

全ての項目について基準以下の結果を得られたため、水質基準に適合していることが確認されました。

7 - 8 . 耐塩素水試験

1) 試料作製

各試料は平板の短期曲げ特性試験と同様に作製しました。試験片の形状を写真7-9に示します。



写真 7-9 曲げ試験片の形状

2) 試験方法

(社)日本下水道協会「管きょ更生工法における設計・施工管理のガイドライン(案)」に示す耐薬品性試験(平成28年度改訂予定)に準拠します。

試験条件

- ・ 試験溶液 5%次亜塩素酸ナトリウム溶液
- ・ 試験期間 28日
- ・ 試験温度 23℃
- ・ 曲げ試験 曲げ強さ保持率及び曲げ弾性率保持率80%以上確保

浸漬の状況を写真7-10に、曲げ試験の状況を写真7-11に示します。



写真 7-10 浸漬の状況



写真 7-11 曲げ試験の状況

3) 試験結果

曲げ強さの試験結果を表7-16に、曲げ弾性率の試験結果を表7-17に示します。

表 7-16 曲げ強さの試験結果

	厚さ (mm)	浸漬前 (MPa)	浸漬前 平均	厚さ (mm)	浸漬後 (MPa)	浸漬後 平均
1	4.06	366	380	4.12	342	371
2	4.10	372		4.05	358	
3	4.33	393		4.15	383	
4	4.10	403		4.11	386	
5	4.11	366		4.22	387	
曲げ強さ保持率(%)						97.6

表 7-17 曲げ弾性率の試験結果

	厚さ (mm)	浸漬前 (MPa)	浸漬後 (MPa)	保持率 (%)
1	4.12	16,953	16,019	94.5
2	4.05	17,165	16,583	96.6
3	4.15	16,681	15,719	94.2
4	4.11	17,900	17,133	95.7
5	4.22	18,102	16,720	92.4
平均				94.7

4) 考察

本試験から常温浸漬の場合におけるHLパイプWHMの耐塩素水性は、評価基準を満足する結果となりました。

7 - 9. 水理特性

1) 目的

パルテムHL施工管と同等の被覆材を使用しているパルテムHL工法（ホースライニング工法上水道）施工管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しました。

2) 試験概要

試験用の循環水路上に供試体を仮設し、適当な勾配を設定して、バルブ操作により流量を変化させ、通過する流量と水位を正確に計測する方法で粗度係数および流速係数を計算します。

勾配はレベル測量，流量は電磁流量計，水位はポイントゲージまたは金尺で正確に計測します。流速係数はヘーゼン・ウィリアムス式で計算しました。

3) 試験装置（循環水路装置）

- ①通水能力 最大 110m³/h
- ②揚水ポンプ EBARA PUMP(MODEL 150SEM) 5.5kw

- ③流量調整バルブ $\phi 150$
- ④基準流量計 形式；UEFVF-IX
製造；1992年度
精度； $\pm 0.5\%RS$
- ⑤試験水路 短形開水路；高さ40cm、幅40cm、長さ10m

試験状況を写真7-12、試験装置の概要を図7-9に示します。



写真7-12 試験状況

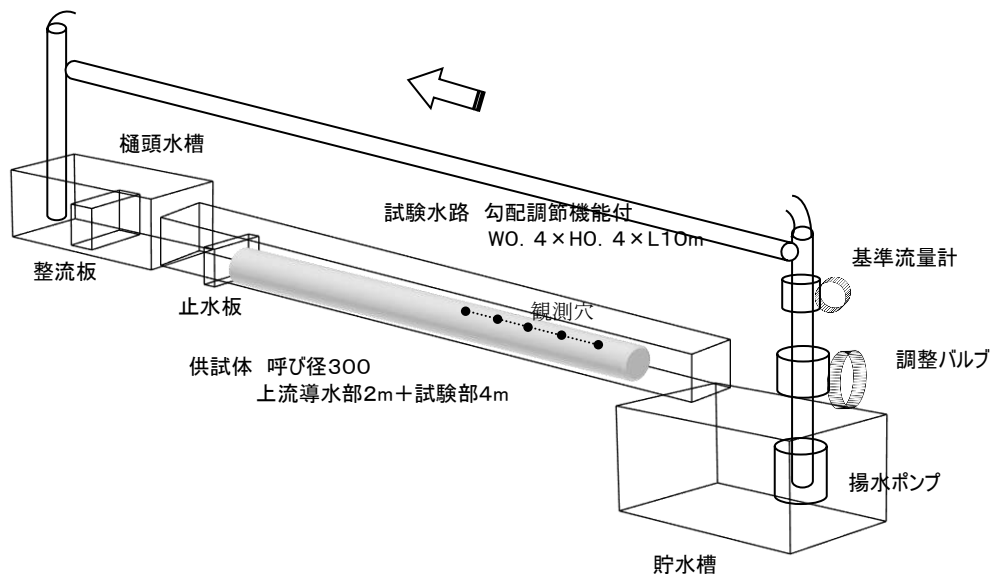


図7-9 試験装置概要図

4) 供試体

- ①呼び径： $\phi 300$
- ②実内径：283.75mm (JIS金尺による。両端垂直・水平の4点平均)
- ③管長：6m (試験部4m + 上流導水部2m)

5) 試験結果

流速及び動水勾配を⑪式に示すヘーゼンウィリアムの公式に代入して、流速係数C値を算出しました。その結果を表7-18に示します。

$$V=0.849C \cdot R^{0.63} \cdot I^{0.54} \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

ここに、V：流速 (m/sec)

C：流速係数

R：径深 (m)

I：動水勾配 (m)

表 7-18 流速係数

測定番号	動水勾配 I=3‰		
	平均流速 V (m/sec)	径深 R (m)	流速係数 C
1	0.659	0.027	174
2	0.788	0.038	167
3	0.865	0.045	165
4	0.928	0.052	162
5	1.011	0.056	168
6	1.066	0.061	168
7	1.098	0.065	166

6) 考察

この試験結果から流速係数は166～174であることが確認できました。HLパイプWHMの内面は全口径とも同じ熱可塑性樹脂層であり、施工後の状況も同じであるため、この試験結果は全口径に適用が可能です。以上により、塩化ビニル管やポリエチレン管と同様に流速係数は150としました。

8. 施工管の性能

8-1. 耐圧力試験

1) 目的

施工から経年後に既設管の残存強度がなくなり、内水圧がHLパイプWHMに直接作用することを想定し、HLパイプWHMの耐圧力を確認しました。

2) 試験方法

ある一定の間隔をあけた試験治具に、パルライナーを反転挿入した後、硬化させます。HLパイプWHMに水圧を作用させ、破断する時の圧力を測定しました。

供試体の状況を図8-1に、試験状況を写真8-1に示します。

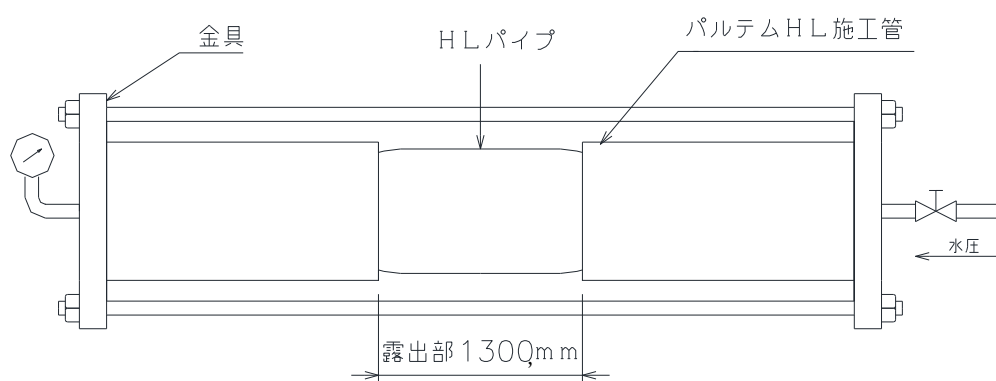


図 8-1 供試体の状況



写真 8-1 HLパイプWHMの試験状況

3) 試験結果

HLパイプWHMの試験結果を表8-1に示します。

表 8-1 HLパイプWHMの破断圧力

呼び径	厚さ (mm)	破断圧力 (MPa)
300	3.0	5.7
	4.0	6.2
	4.0	6.0
	4.0	6.4
	4.0	7.0

4) 考察

HLパイプWHMの厚さを変更することにより、耐圧力を計算することが可能で、設計水圧1.3MPa（静水圧0.75+水撃圧0.55）に耐えられる更生材になっています。

8-2. 長期間繰返し水圧試験

1) 目的

HLパイプWHMが長期の水圧に耐える性能があるか、長期繰返し水圧試験（脈動水圧試験）を実施することにより確認し、併せて試験後の耐圧力試験を実施することで強度低下の有無を確認します。

2) 供試体の作製

呼び径φ200、厚さ3mmのパルライナーWHMを試験治具に装着したものを供試体とします。

3) 試験方法

供試体に0～1.30MPaの圧力を100万回繰返し作用させて漏水の有無を確認します。その状況を写真8-2に示します。

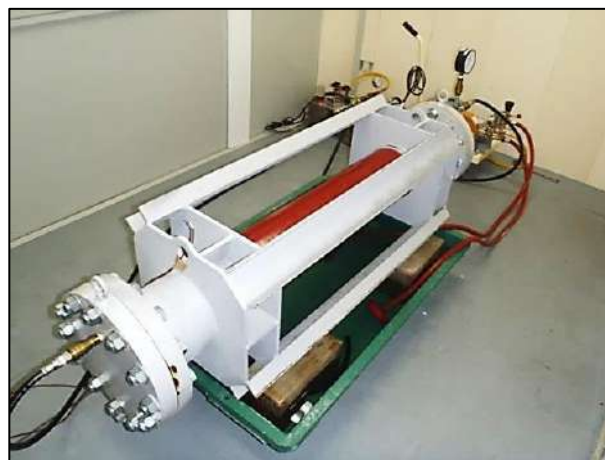


写真 8-2 試験の状況

試験条件

- ・試験圧力 0～1.30MPa
0MPa：最小動水圧（水道施設設計指針）0.15MPa以下
1.30MPa：最高使用圧力（0.75MPa）
+水撃圧（0.55MPa）
- ・脈動周期 2.4秒/回（28日間）
- ・脈動回数 100万回

4) 試験結果

① 長期繰返し水圧試験結果

100万回繰返し後も漏水はなく、外観、内面および管端処理部も異常は確認されませんでした。試験後の供試体の状況を写真8-3、写真8-4に示します。



写真 8-3 供試体の外観



写真 8-4 供試体の内面

② 試験後の耐圧力試験結果

設計耐圧力と同等の6.3MPaの破断圧力を得られたことにより、HLパイプWHMが長期の水圧に耐える性能を有することが確認できました。耐圧力試験の状況を写真8-5に示します。



写真 8-5 耐圧力試験状況①



耐圧力試験状況②

8-3. 施工管の水質試験

1) 目的

施工管において、水質試験に適合するのかわ確認するため試験を実施しました。

2) 試料作製

呼び径φ200の鋼管に厚さ3mmのHLパイプWHMを装着したものを供試体とします。

作製状況を写真8-6に、供試体を写真8-7に示します。



写真 8-6 供試体作製状況



写真 8-7 供試体

3) 試験方法

供試体を用いて、JWWA Z 108:2016（水道用資機材—浸出試験方法）に準拠し行いました。

試験条件

- ・接触面積比：210 cm²/L
- ・浸出時間：16時間
- ・浸出温度：23℃

浸出液充てん状況を写真8-8に、浸出試験の状況を写真8-9に示します。



写真 8-8 浸出液充てん状況

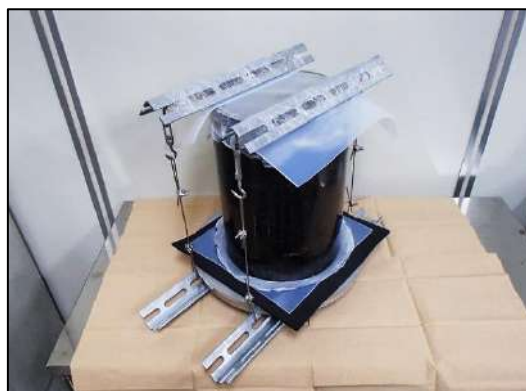


写真 8-9 浸出試験の状況

また、浸出基準項目および浸出基準を表8-2に示します。

表 8-2 試験結果

浸出基準項目	単位	浸出基準
カドミウム及びその化合物	Mg/L	0.0003以下
水銀及びその化合物	Mg/L	0.00005以下
セレン及びその化合物	Mg/L	0.001以下
鉛及びその化合物	Mg/L	0.001以下
ヒ素及びその化合物	Mg/L	0.001以下
六価クロム化合物	Mg/L	0.005以下
シアン化物イオン及び塩化シオン	Mg/L	0.001以下
硝酸窒素及び亜硝酸窒素	Mg/L	1.0以下
フッ素及びその化合物	Mg/L	0.08以下
ホウ素及びその化合物	Mg/L	0.1以下
四塩化炭素	Mg/L	0.0002以下
1,4-ジオキサン	Mg/L	0.005以下
1,2-ジクロロエタン	Mg/L	0.0004以下
ジス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン	Mg/L	0.004以下
ジクロロメタン	Mg/L	0.002以下
テトラクロロエチレン	Mg/L	0.001以下
トリクロロエチレン	Mg/L	0.001以下
ベンゼン	Mg/L	0.001以下
ホルムアルデヒド	Mg/L	0.008以下
アルミニウム及びその化合物	Mg/L	0.02以下
鉄及びその化合物	Mg/L	0.03以下
亜鉛及びその化合物	Mg/L	0.1以下
銅及びその化合物	Mg/L	0.1以下
ナトリウム及びその化合物	Mg/L	20以下
マンガン及びその化合物	Mg/L	0.005以下
塩化物イオン	Mg/L	20以下
蒸留残渣物	Mg/L	50以下
陰イオン界面活性剤	Mg/L	0.02以下
非イオン界面活性剤	Mg/L	0.005以下
フェノール類	Mg/L	0.0005以下
有機物全有機炭素 (TOC) の量	Mg/L	0.5以下
味	—	異常でないこと
臭気	—	異常でないこと
色度	度	0.5以下
濁度	度	0.2以下
残留塩素の減量	Mg/L	0.7以下
エピクロロヒドリン	Mg/L	0.01以下
アミン類	Mg/L	0.01以下
2,4-トルエンジアミン	Mg/L	0.002以下
2,6-トルエンジアミン	Mg/L	0.001以下
酢酸ビニル	Mg/L	0.01以下
スチレン	Mg/L	0.002以下
1,2-ブタジエン	Mg/L	0.001以下
1,3-ブタジエン	Mg/L	0.001以下
N,N-ジメチルアニリン	Mg/L	0.01以下
ヒドランジ	Mg/L	0.005以下
アクリル酸	Mg/L	0.002以下
トルエン	Mg/L	0.2以下
キシレン	Mg/L	0.4以下
亜硝酸窒素	Mg/L	0.004以下
pH値の増加量	Mg/L	1以下

4) 考察

全ての項目について基準以下の結果を得られたため、施工管においても水質基準に適合していることが確認されました。

8-4. 管端処理部の耐久性試験

1) 目的

既設管と更生材との間に水が浸入することがないように管端処理を行います。そのため短期での漏水確認および長期での漏水確認を行い、耐久性の検証を行いました。

2) 試験方法

呼び径φ300、厚さ4mmのHLパイプWHMに管端処理を施し、耐久性の検証を行いました。管端処理の状態を写真8-10に、試験状況を写真8-11に示します。



写真 8-10 管端処理の状態



写真 8-11 試験の状況

①短期

「給水装置の構造及び材質の基準に関する省令一厚生省令第十四号」の耐圧に関する基準に準拠し、水圧1.75MPaを作用させて30分間保持し漏水の有無を確認しました。

②長期

水圧を0→1.0MPa→0と脈動試験を10万回行い漏水の有無を確認しました。その後、水圧を1.75MPaに昇圧させて30分間保持し、漏水の有無を確認しました。

3) 試験結果

試験結果を表 8-3 に示します。

表 8-3 試験結果

試験条件		試験結果
短期	1.75MPa × 30 分	漏水なし
長期	0→1.0MPa→0(脈動試験) × 10 万回	漏水なし
	脈動試験後、1.75MPa × 30 分	漏水なし

参考資料

1. 耐薬品性試験

1) 目的

被覆材に使用しているオレフィン系樹脂は、プラスチック材料の中でも耐薬品性に優れた材料で各種用途に広く使用されています。

被覆材の薬品による耐久性を確認するため、耐水、耐塩素水、耐酸、耐アルカリについて行いました。

2) 試験方法

被覆材を各溶液に浸漬させ、一定時間後に取り上げた後、JIS K-6251「加硫ゴム及び熱可塑性ゴム - 引張特性の求め方」に準拠し引張特性を測定しました。

3) 試験結果

引張強さ、伸びの結果を表 1-1 に示します。

表 1-1 耐薬品性試験結果

浸漬溶液	経過時間	0	100	300	500	1,000
	測定項目					
水道水 (20°C)	引張強さ(N/mm)	229	228	231	223	232
	伸び (%)	820	790	790	790	780
40ppm 塩素水 (20°C)	引張強さ(N/mm)	229	224	229	233	230
	伸び (%)	820	760	750	800	810
2,000ppm 塩素水 (20°C)	引張強さ(N/mm)	214	215	215	215	215
	伸び (%)	860	850	850	860	850
PH1 硫酸溶液 (20°C)	引張強さ(N/mm)	229	229	225	210	210
	伸び (%)	820	780	780	780	780
PH14 水酸化ナトリウム溶液 (20°C)	引張強さ(N/mm)	229	225	217	204	227
	伸び (%)	820	800	780	770	830

4) 考察

試験結果より、各溶液に1,000時間浸漬後の引張強さ及び伸びの低下は認められませんでした。従って、被覆材は耐水性、耐塩素性、耐酸性、耐アルカリ性に優れていることが確認されました。

2. 耐摩耗性試験

1) 試料作製

パルライナーWHMの平板の短期曲げ特性と同じように試料を作製し、120mm角に加工しました。

試験状況を写真2-1に示します。



写真 2-1 耐摩耗試験状況

2) 試験方法

JIS K 7204「摩耗輪によるプラスチックの摩耗試験方法」に準拠し、最大荷重9.8N、試験回数1,000回、摩耗輪はH-18で行いました。

3) 試験結果及び考察

試験結果を表2-1に示します。HLパイプWHMは下水道用硬質塩化ビニル管より少ない摩耗質量を示し、優れた耐摩耗性を有していることが確認できました。

表 2-1 摩耗試験結果

	試験前重量 (g)	試験後重量 (g)	摩耗量 (mg)	硬質塩化ビニル管 (mg)
1	28.2098	28.0756	134.2	236.9
2	28.9326	28.7731	159.5	
3	28.7468	28.5784	168.4	
平均	—	—	154.0	

3. HLパイプの管厚計算例

1) はじめに

基本的に既設管の残存強度を期待せず、更生したHLパイプで強度を保持する考え方です。上水道の更生工法に用いる管厚計算式に決められたものではなく、「水道施設設計指針」((社)日本水道協会)と「ASTM F 1216」(米国材料試験協会)があります。

上水道管は、水管橋の添架管を除いて地中に埋設されていることを考慮し、当協会では「ASTM F 1216」の完全劣化の設計式を用いて管厚計算を行います。

また、基本的には内圧が作用している状態ですが、ポンプ停止等により内圧が作用しなくなった場合には、HLパイプに外圧が生じることも想定されます。

そのため、内圧、外圧それぞれが作用している状態において管厚の検討を行い、必要管厚が大きい方の値を採用しています。

2) 設計条件

- ①更生管外径 300 (mm)
- ②設計水圧 1.3 MPa(静水圧: 0.75 MPa、水撃圧: 0.55 MPa)
- ③土被り 2,000 (mm)
- ④地下水位 GL-0 (mm)
- ⑤土の単位体積重量 0.000018 (MPa)
- ⑥活荷重(T-25) 100,000 (N)

3) 内圧に対する検討

薄肉円筒式のNaday式の変形でありそれを採用します。

$$P_i = \frac{2\sigma_{TL}}{(SDR - 2)N} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

- ここに、 P_i : 設計水圧 (MPa)
- σ_{TL} : 長期引張強さ (MPa)
- SDR : 既設管内径と厚さの比 (=D/t)
- D : 既設管内径 (mm)
- N : 安全率 (=2)

式①を展開し、式②を導きます。

$$t_i = \frac{D}{2 + \frac{2\sigma_{TL}}{N \cdot P_i}} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

式②により、

$$t_i = \frac{300}{2 + \frac{2 \times 130}{2 \times 1.3}} = \frac{300}{1.02} = 2.941 \text{ mm}$$

4) 外圧に対する検討

基礎式であるラスチャーの座屈荷重解析式に、浮力係数、安全率、楕円変形率、更生材の長期曲げ弾性率を考慮し設計します。

$$q_t = \frac{1}{N} \sqrt{32R_w \cdot B' \cdot E'_S \cdot C \cdot \left[E_L \cdot \frac{I}{D^3} \right]} \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

ここに、 q_t : 外圧の総計 (MPa)

C : 扁平による減少係数

$$C = \left\{ \frac{1-q}{(1+q)^2} \right\}^3 \quad q = \frac{(\text{最大}-\text{平均}) \text{ 直径}}{\text{平均直径}} \text{ or } = \frac{(\text{平均}-\text{最小}) \text{ 直径}}{\text{平均直径}}$$

R_w : 浮力

$$R_w = \left\{ 1 - 0.33 \left(\frac{H_w}{H} \right) \right\}$$

H_w : 地下水位 (mm)

H : 土被り (mm)

B' : 弾性支持係数

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0.002H}}$$

E'_S : 土の反力係数

E_L : 長期曲げ弾性率 (MPa)

I : 断面二次モーメント (mm^3/mm)

$$I = \frac{t^3}{12}$$

D : 既設管内径 (mm)

式③を展開し、式④を導きます。

$$t_o = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot D^3 \cdot (q_t \cdot N)^2}{32 \cdot E_L \cdot R_w \cdot B' \cdot E'_S \cdot C}} \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

式④により

$$t_o = \sqrt[3]{\frac{12 \times 300^3 \times (0.0987 \times 2)^2}{32 \times 6,500 \times 0.67 \times 0.9317 \times 2.8 \times 1.0}} = \sqrt[3]{\frac{12,625,230}{363,556.79}} = 3.263\text{mm}$$

5) 管厚の設定

上記の内圧及び外圧に対する検討の結果より、完全に劣化している管路に施工するパルライナーWHMのガラスマットの必要厚さを設定します。

内圧に対する必要厚さ	t_i	:	2. 9 4 1 mm
外圧に対する必要厚さ	t_o	:	3. 2 6 3 mm
最大必要厚さ	t_{max}	:	3. 2 6 3 mm

パルライナーWHMのガラスマット厚さは1. 0mm刻みとなりますので、設計厚さは4. 0mmになります。

4. HLパイプの耐震計算例

1) はじめに

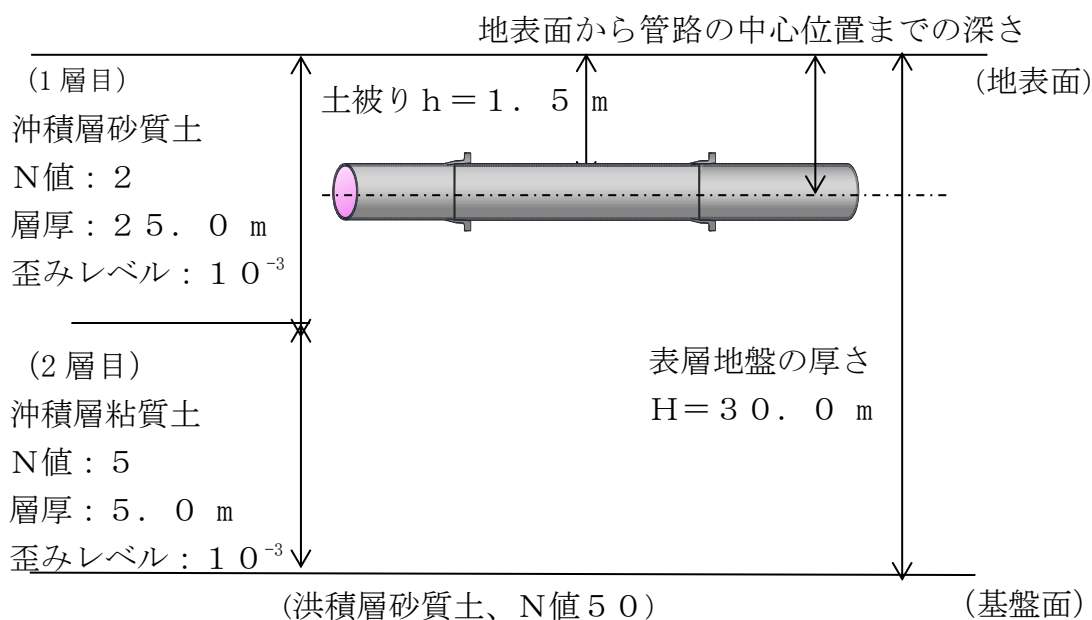
水道施設は、耐震設計に用いる地震動のレベルおよび施設の重要度の組合せに対して、地震時にそれぞれの施設が保持すべき性能を確保できるように設計しなければならない。

また、耐震設計に当たっては、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、施設の供用期間中に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

①使用材料	HLパイプWHM
②更生管外径	300 (mm)
③更生管厚	4.0 (mm)
④土被り	1,500 (mm)
⑤盛土高さ	1,000 (mm)
⑥土の単位体積重量	0.000017 (N/mm ³)
⑦設計内圧	1.30 (MPa)
⑧後輪荷重	100,000 (N)
⑨温度変化	15 (°C)
⑩更生区間延長	100,000 (mm)
⑪軟弱地盤区間延長	15,000 (mm)
⑫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	-	-	-

地盤モデル

3) 常時荷重による管体発生歪み

①内圧による管軸方向歪み

地中埋設更生管で管軸方向の変化が拘束されている更生管では、

$$\varepsilon_{1i} = \frac{P_i (D - t)}{2t \cdot E} \cdot \nu \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

ここに、

ε_{1i}	:	内圧による管軸方向歪み	
ν	:	ポアソン比	0.3
P_i	:	内圧	1.30 (MPa)
D	:	更生管外径	300 (mm)
t	:	更生管厚	4.0 (mm)
E	:	HLパイプの引張弾性率	9,500 (MPa)

式⑤より

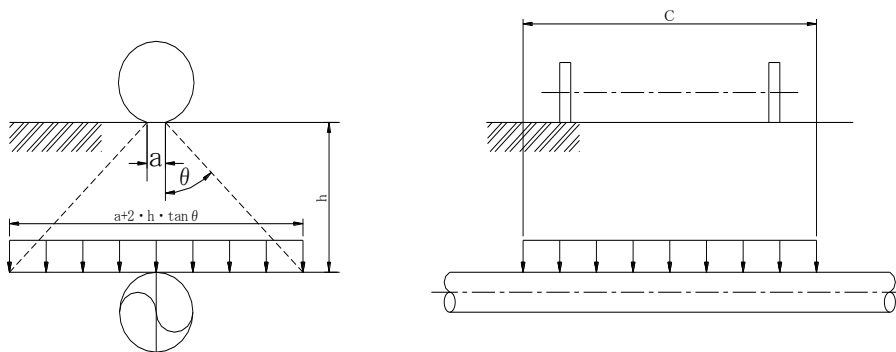
$$\begin{aligned} \varepsilon_{1i} &= \frac{1.30 \times (300 - 4.0)}{2 \times 4.0 \times 9,500} \times 0.3 \\ &= 0.00152 \end{aligned}$$

よって、内圧による管軸方向歪みは0.152%となる。

②自動車荷重による管軸方向歪み

自動車荷重による埋設更生管の管軸方向歪みは、

$$\varepsilon_{1o} = \frac{0.322 \cdot W_m}{Z \cdot E} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{K_v \cdot D}} \dots \dots \dots \textcircled{6}$$



自動車荷重の分布図

ここに、

ε_{1o}	:	自動車による管軸方向歪み	
W_m	:	自動車荷重	10.23 (N/mm)

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{2P_m \cdot D}{2,750 \times (\alpha + 2h \cdot \tan\theta)} \cdot (1 + i) \\ &= \frac{2 \times 100,000 \times 300}{2750 \times (200 + 2 \times 1,500 \times \tan 45^\circ)} \times (1 + 0.50) \\ &= 10.23 \end{aligned}$$

P_m : 後輪荷重 100,000 (N)
 α : 設置幅 200 (mm)
 h : 土被り 1,500 (mm)
 θ : 荷重分布角 45 (°)
 i : 衝撃係数 0.50

h	$h \leq 1,500$	$1,500 < h < 6,500$	$6,500 \geq h$
I	0.5	$0.65 - (h/10,000)$	0

D : 更生管外径 300 (mm)
 k_v : 鉛直方向地盤反力係数 0.0 (N/mm³)
 K : HLパイプの引張弾性率 9,500 (MPa)
 Z : HLパイプの断面係数 0.27×10^6 (mm³/mm)

$$Z = \frac{2 \cdot I}{D} = \frac{2 \times 0.41 \times 10^8}{300} = 0.27 \times 10^6$$

t : 更生管厚 4.0 (mm)

I : HLパイプの断面二次モーメント 0.41×10^8

$$I = \frac{\pi \{D^4 - (D - 2t)^4\}}{64} = \frac{\pi \{300^4 - (300 - 2 \times 4.0)^4\}}{64} = 0.41 \times 10^8$$

式⑥より、

$$\varepsilon_{10} = \frac{0.322 \times 10.23}{0.27 \times 10^6 \times 9,500} \times \sqrt{\frac{9,500 \times 0.41 \times 10^8}{0.01 \times 300}}$$

$$= 0.00046$$

よって、自動車荷重による管軸方向歪みは0.046%となる。

③温度変化による管軸方向歪み

更生管の温度変化による管軸方向歪みは、

$$\varepsilon_{1t} = a \cdot \Delta t \cdots \cdots \cdots \textcircled{7}$$

ここに、 ε_{1t} : 温度変化による管軸方向歪み
 a : HLパイプの線膨張係数 1×10^{-5}
 Δt : 温度変化 15 (°C)

式⑦より、

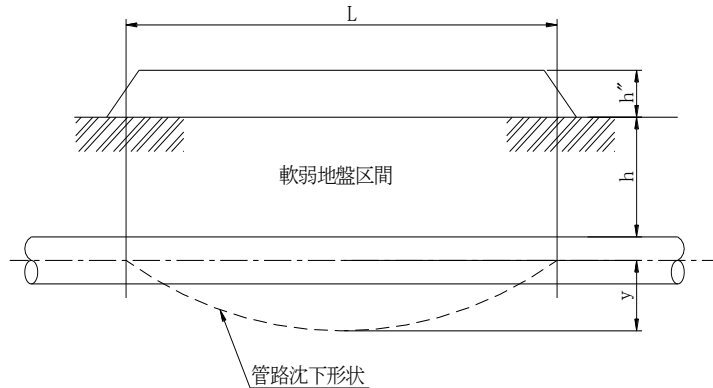
$$\varepsilon_{1t} = 1 \times 10^{-5} \times 15$$

$$= 0.00015$$

よって、温度変化による管軸方向歪みは0.015%となる。

④不同沈下による管軸方向歪み

不同沈下によって更生管に発生する管軸方向の歪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

更生管を弾性床土上の梁とし、最大曲げモーメントは、「構造力学公式集」(土木学会)によると、以下のM₁又はM₂の大きな値によって、安全側に近似することが出来る。

$$\varepsilon = \frac{M}{E \cdot I} \cdot \frac{D}{2} \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

$$M_1 = \frac{W_d}{2\beta^2} e^{-2\beta L/2} \sin \frac{\beta L}{2} \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

$$M_2 = 0.3877 \frac{W_d}{\beta^2} \{0.2079 + e^{-\beta L} (\sin \beta L - \cos \beta L)\} \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

ここに、

- 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 12.75 (MPa)
- $W_d = \gamma_t \cdot (h + h'') \cdot D$
 $= 0.000017 \times (1,500 + 1,000) \times 300 = 12.75$
- γ_t : 土の単位体積重量 0.000017 (MPa)
- h : 土被り 1,500 (mm)
- h'' : 盛土の高さ 1,000 (mm)
- D : 更生管外径 300 (mm)
- E : HLパイプの引張弾性率 9,500 (MPa)
- I : HLパイプの断面二次モーメント 0.41×10^8 (mm⁴/mm)
- K_{g2} : 軸直角方向に関する地盤の剛性係数 26.63 (mm²)
- β : 弾性床土上の梁の相対的曲げ剛度 0.002036 (1/mm)

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{26.63}{4 \times 9,500 \times 0.41 \times 10^8}} = 0.002036$$

$$\beta L = 0.002036 \times 15,000 = 30.54$$

式⑨、⑩より、

$$M_1 = \frac{12.75}{2 \times 0.002036^2} \times e^{-30.54/2} \times \sin \frac{30.54}{2} = 0$$

$$M_2 = 0.3877 \times \frac{12.75}{0.002036^2} \times \{0.2079 + e^{-30.54} \times (\sin 30.54 - \cos 30.54)\}$$

$$= 247,916$$

よって、採用する曲げモーメントは $M = 247,916$ (MPa) となる。

式⑧より、

$$\varepsilon = \frac{247,916}{9,500 \times 0.41 \times 10^8} \times \frac{300}{2}$$

$$= 0.0001$$

よって、曲げモーメントによる管軸方向歪みは 0.01% となる。

4) 地震動レベル 1 による管軸方向歪み

① 表層地盤の固有周期

$$T_G = 4 \sum \frac{H_i}{V_{si}} \dots \dots \dots \text{⑪}$$

ここに、
 T_G : 表層地盤の固有周期 (s)
 H_i : 第 i 層の厚さ (mm)
 V_{si} : 第 i 層の剪断弾性波速度 (mm/s)

剪断弾性波速度

層	層厚	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		粘性土	5	$122,000N^{0.0777}$	138,251	0.0362
計	30						0.3857

式⑪より、

$$T_G = 4 \times 0.3857$$

$$= 1.5428 (s)$$

② 管軸位置の地盤の水平変位振幅

$$U_{h1} = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K'_{h1} \cdot \cos \frac{\pi \cdot h'}{2H} \dots \dots \dots \text{⑫}$$

ここに、
 U_{h1} : 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(図4-1より) 800 (mm/s)

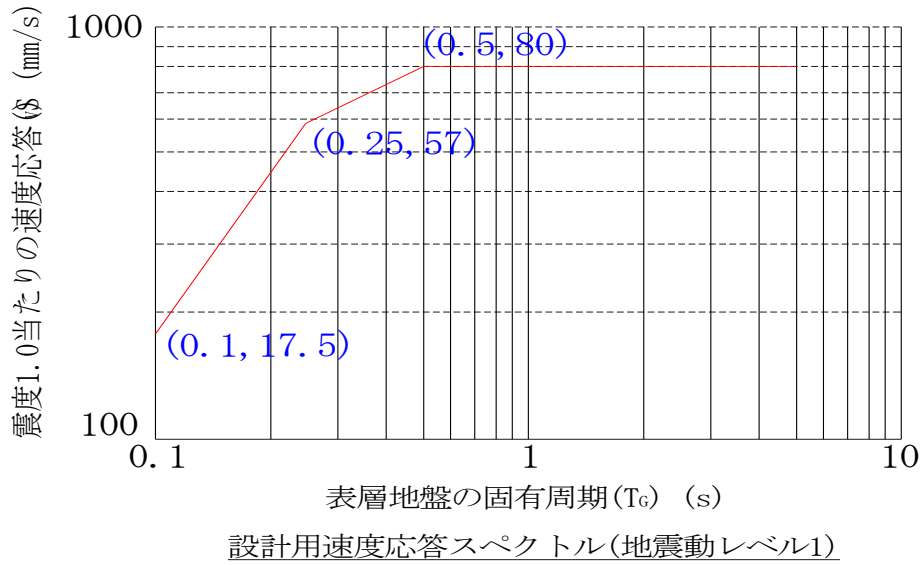


図4-1 速度応答スペクトル Sv

K'_{h1} : 設計基盤面における水平震度 0.15
 $K'_{h1} = C_Z \cdot K'_{h01} = 1.00 \times 0.15 = 0.15$
 C_Z : 地域別補正係数 1.00 (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 1,650 (mm)
 H : 表層地盤の厚さ 30,000 (mm)

式⑫より、

$$U_{h1} = \frac{2}{\pi^2} \times 800 \times 1.54 \times 0.15 \times \cos \frac{1,650 \times \pi}{2 \times 30,000}$$

$$= 37.38 \text{ (mm)}$$

③地震動の波長

地震動の波長 L は、調和平均をとる。

$$L = \frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \dots \dots \dots \textcircled{13}$$

L : 地震動の波長 (mm)
 L_1 : $L_1 = T_G \cdot V_{DS} = 1.54 \times 77,781 = 120,001$ (mm)
 L_2 : $L_2 = T_G \cdot V_{BS} = 1.54 \times 334,291 = 515,744$ (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)

$$V_{DS} = \frac{\Sigma H_1}{\Sigma \frac{H_1}{V_{si}}} = \frac{30,000}{0.3857} = 77,781$$

H_i : 第 i 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⑬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

$$K_{g1} = C_1 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 \dots \dots \dots \textcircled{14}$$

$$K_{g2} = C_2 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 \dots \dots \dots \textcircled{15}$$

ここに、

- K_{g1} : 管軸方向変位に関する地盤の剛性係数 (MPa)
- K_{g2} : 管軸方向変位に関する地盤の剛性係数 (MPa)
- H : 表層地盤の厚さ 30,000 (mm)
- γ_t : 土の単位体積重量 0.000017 (N/mm³)
- V_s : 更生管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/s²)
- C_1 : 管軸方向変位に関する H L パイプの単位
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 H L パイプの単位
体積当たりの地盤の剛性に対する定数 3.0

式⑭、⑮より、

$$K_{g1} = 1.5 \times \frac{0.000017}{9,800} \times 71,533^2$$

$$= 13.31 \text{ (MPa)}$$

$$K_{g2} = 3.0 \times \frac{0.000017}{9,800} \times 71,533^2$$

$$= 26.63 \text{ (MPa)}$$

⑤管体歪み

$$\varepsilon_{1L} = \alpha_1 \cdot \varepsilon_{G1} \dots \dots \dots \textcircled{16}$$

$$\varepsilon_{1B} = \alpha_2 \cdot \frac{2\pi D}{L} \cdot \varepsilon_{G1} \dots \dots \dots \textcircled{17}$$

$$\varepsilon_{1X} = \varepsilon_{1L}^2 + \varepsilon_{1B}^2 \dots \dots \dots \textcircled{18}$$

ここに、

- ε_{1L} : 埋設更生管路の軸歪み
- ε_{1B} : 埋設更生管路の曲げ歪み
- ε_{1X} : 軸歪みと曲げ歪みの合成歪み
- ε_{G1} : 管軸方向の地盤歪み 0.00060

$$\varepsilon_{G1} = \frac{\pi \cdot U_{h1}}{L} = \frac{\pi \times 37.38}{194,700} = 0.00060$$

U_{h1} : 管軸位置の地盤の水平変位振幅 37.38 (mm)

L : 地震動の波長 194,700 (mm)

L' : 見かけの波長 275,347 (mm)

$$L' = \sqrt{2} \cdot L = \sqrt{2} \times 194,700 = 275,347$$

D : 更生管外径

A : HLパイプの断面積 3,720 (mm²)

$$A = \frac{\pi\{D^2 - (D - 2t)^2\}}{4} = \frac{\pi\{300^2 - (300 - 2 \times 4.0)^2\}}{4} = 3720$$

E : HLパイプの引張弾性率 9,500 (MPa)

I : HLパイプの断面二次モーメント 0.41×10^8 (mm⁴/mm)

α_1 : 軸方向の地盤変位の伝達係数 0.998619

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1 \cdot L'}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{0.0006137 \times 275347}\right)^2} = 0.998619$$

α_2 : 軸直角方向の地盤変位の伝達係数 1.0E+00

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_2 \cdot L}\right)^4} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{0.0028800 \times 194700}\right)^4} = 1.0E + 00$$

λ_1 : 地盤変位の伝達係数 0.0006137

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E \cdot A}} = \sqrt{\frac{13.31}{9,500 \times 3720}} = 0.0006317$$

λ_2 : 地盤変位の伝達係数に係る係数 0.00288

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{E \cdot I}} = \sqrt[4]{\frac{26.63}{9,500 \times 0.41 \times 10^8}} = 0.00288$$

K_{g1} : 軸方向変位に関する地盤の剛性係数 13.31 (MPa)

K_{g2} : 軸直角方向変位に関する地盤の剛性係数 26.63 (MPa)

式⑩より、

$$\varepsilon_{1L} = 0.999 \times 0.0006 = 0.00059917$$

式⑪より、

$$\varepsilon_{1B} = 1.000 \times \frac{2\pi}{194,700} \times 0.0006 = 5.809E - 06$$

式⑫より、

$$\varepsilon_{1x} = \sqrt{0.0006^2 + 5.809E - 06^2} = 6E - 04$$

よって、地震動レベル 1 による管軸方向歪みは 0.060% となる。

⑥地震動レベル 1 の耐震性照査
管軸方向歪みの計算結果を表 4-1 にまとめる。

表 4-1 地震動レベル 1 に対する計算結果

名称(条件)	歪み (%)	備考
設計内圧 $P_i=1.30$ (MPa)	0.152	
自動車荷重 T-25	0.046	後輪荷重 $P_m=100,000$ (N)
温度変化 $\Delta t=15$ (°C)	0.015	
不同沈下 $L=1E+05$ (mm)	0.010	$H=30,000$ (mm)、 $h=1,500$ (mm)
地震 $K'_{hl}=0.15$	0.060	
軸方向歪み合計	0.283	降伏点歪み:0.6 (%)

軸方向歪みの合計は 0.283% であり、降伏点歪みの 0.6% 以下であるので安全である。

5) 地震動レベル 2 による管軸方向歪み

①表層地盤の固有周期

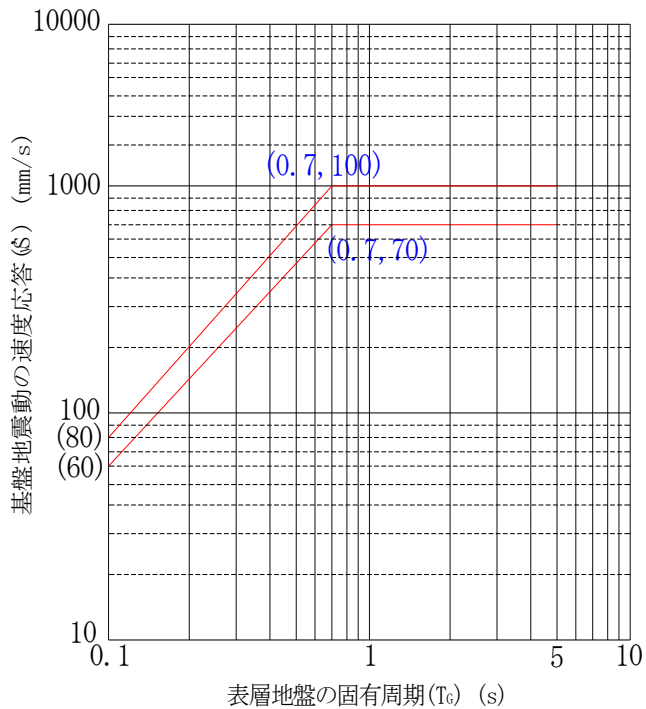
4. 1) 項の地震動レベル 1 と同様となる。

$$T_G : \text{表層地盤の固有周期} \quad 1.5428 \text{ (s)}$$

②管軸位置の地盤の水平変位振幅

$$U_{h2} = \frac{2}{\pi^2} \cdot S'_V \cdot T_G \cdot \cos \frac{\pi \cdot h'}{2H} \dots \dots \dots \textcircled{19}$$

ここに、
 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(図 4-5 より)



設計用速度応答スペクトル(地震動レベル2)

速度応答スペクトル SV'

h' : 地表面から管路中心位置までの深さ 1,650 (mm)
 H : 表層地盤の厚さ 30,000 (mm)

式⑱より、

$$U_{h2} = \frac{2}{\pi^2} \times 1,000 \times 1.54 \times \cos \frac{1650 \times \pi}{2 \times 30,000}$$

$$= 311.47 \text{ (mm)}$$

③地震動の波長

4. 3)項の地震動レベル1と同様となる。

L : 地震動の波長 194,700 (mm)

④管体歪み

管軸方向の地盤歪みは、式⑳により求める。

$$\varepsilon_{G2} = \frac{\pi \cdot U_{h2}}{L} \dots \dots \dots \textcircled{20}$$

ここに、
 ε_{G2} : 管軸方向の地盤歪み 0.00503
 U_{h2} : 管軸位置の地盤の水平変位振幅 311.47 (mm)
 L : 地震動の波長 194,700 (mm)

式⑳より、

$$\begin{aligned}\varepsilon_{G2} &= \frac{\pi \times 311.47}{194,700} \\ &= 0.00503\end{aligned}$$

埋設更生管路の管軸歪み ε_{2L} は式㉑により求める。

$$\varepsilon_{2L} = \alpha_1 \cdot \varepsilon_{G2} \cdots \cdots \cdots \text{㉑}$$

式㉑より、

$$\begin{aligned}\varepsilon_{2L} &= 0.999 \times 0.00503 \\ &= 0.005023\end{aligned}$$

また、HLパイプの曲げ歪み ε_{2B} は式㉒により求める。

$$\varepsilon_{2B} = \alpha_2 \cdot \frac{2\pi D}{L} \cdot \varepsilon_{G2} \cdots \cdots \cdots \text{㉒}$$

- ここに、
- ε_{2B} : 埋設更生管路の曲げ歪み
 - α_2 : 管軸直角方向の地盤変位の伝達係数 1E+00
※管軸直角方向には滑りが発生しないので、 α_2 は
4. 5) 項と同様となる。
 - D : 更生管外径 300 (mm)

式㉒より、

$$\begin{aligned}\varepsilon_{2B} &= 1E + 00 \times \frac{2\pi \times 300}{194,700} \times 0.00503 \\ &= 0.0000487\end{aligned}$$

管軸歪みと曲げ歪みを合成した歪み ε_{2X} を式㉓により求める。

$$\varepsilon_{2X} = \sqrt{\varepsilon_{2L}^2 + \varepsilon_{2B}^2} \cdots \cdots \cdots \text{㉓}$$

ここに、 ε_{2X} : 管軸歪みと曲げ歪みの合成歪み

式㉓より、

$$\begin{aligned}\varepsilon_{2X} &= \sqrt{0.005023^2 + 0.0000487^2} \\ &= 0.00502\end{aligned}$$

よって、地震動レベル 2 による管軸方向歪みは 0. 5 0 2 % となる。

⑤地震動レベル2の耐震性照査

管軸方向歪みの計算結果を表4-2にまとめる。

表4-2 地震動レベル2に対する計算結果

名称(条件)	歪み(%)	備考
設計内圧 $P_i=1.30$ (MPa)	0.152	
自動車荷重 T-25	0.046	後輪荷重 $P_m=100,000$ (N)
温度変化 $\Delta t=15$ (°C)	0.015	
不同沈下 $L=1E+05$ (mm)	0.010	$H=30,000$ (mm)、 $h=1,500$ (mm)
地震	0.502	
管軸方向歪み合計	0.725	許容歪み：1.2(%)

管軸方向歪みの合計は0.725%であり、許容歪み1.2%以下であるので安全である。

パルテムHL工法

技術資料

2022年度版

2017年9月 2017年度版発行
2018年9月 2018年度版発行
2020年7月 2020年度版発行
2023年2月 2022年度版発行

編集・発行 パルテム技術協会

〒101-0032

東京都千代田区岩本町二丁6番9号

佐藤産業ビル4階

TEL. 03-5825-9455

FAX. 03-5825-9456

本書は無断で転載および複写を禁じます。