

下水道管きよの更生工法－形成工法－

パルテムS Z工法

技 術 資 料

まえがき

我が国では、これまでの社会資本整備によって、上・下水道管を始めとした様々な分野の管路が埋設され、そのストックは長大なものとなっています。それら管路の中には、既に耐用年数を経過し老朽化したものも相当あり、現在、そのリニューアルを実施する時期を本格的に迎えています。加えて、近未来発生すると想定される巨大地震に備え、既設管路の耐震化を図ることも緊急かつ重要な課題です。

そのような状況の下、老朽管路のリニューアルや既設管路の耐震化では、「管きよ更生工法」の採用が増加しています。

パルテムSZ工法は、1994年3月に日本下水道新技術機構の建設技術審査証明を取得し、これまで下水道管路を中心に数多くの実績を積んでまいりました。また、先の東日本大震災の被災地(宮城県仙台市)で行った追跡調査では、パルテムSZ工法による更生管に損傷や漏水は生じておらず、パルテムSZ工法の優れた耐震性が実証されました。

パルテムSZ工法は、既設管路内にガラス繊維強化プラスチックパイプを形成する工法であり、複雑な施工設備を用いることなく短時間施工が可能という特徴を有しています。

パルテムSZ工法が、老朽管路のリニューアルや既設管路の耐震化に、必ずやお役に立てるものと確信しています。

パルテム技術協会

目 次

1. パルテムSZ工法の特長	1
2. 適用範囲	2
3. 主要材料	2
4. 管口仕上げ剤	5
5. 副資材	5
6. SZパイプの性能	6
6. 1. 耐荷性能	6
6. 1. 1. 偏平強さおよび外圧強さ	6
6. 1. 2. 曲げ強さ(短期試験)	10
6. 1. 3. 曲げ強さ(長期試験)	11
6. 1. 4. 曲げ弾性率(短期試験)	14
6. 1. 5. 曲げ弾性率(長期試験)	16
6. 2. 耐久性能	19
6. 2. 1. 耐薬品性	19
6. 2. 2. 耐摩耗性	25
6. 2. 3. 耐ストレインコロージョン性試験	26
6. 2. 4. 水密性	29
6. 3. 耐震性能	31
6. 3. 1. 曲げ強さ	31
6. 3. 2. 引張強さ	32
6. 3. 3. 引張弾性率	33
6. 3. 4. 引張伸び率	34
6. 3. 5. 圧縮強さ	35
6. 3. 6. 圧縮弾性率	36
6. 4. 水理性能	37
6. 4. 1. 粗度係数	37
6. 4. 2. 成形後収縮性	40
6. 5. 材料特性	44
6. 5. 1. 曲げ強さの短期試験値(樹脂平板)	44
6. 5. 2. 破断時の引張伸び率(樹脂平板)	44
6. 5. 3. 負荷時のたわみ温度(樹脂平板)	45
6. 6. 耐高圧洗浄性	46
6. 7. 耐衝撃性	47
6. 8. 既設管への追従性	49
6. 9. 硬質塩化ビニルへの施工性	52
7. SZパイプの厚さ設計	55
7. 1. 自立管として設計	55
7. 2. 二層構造管として設計	60
8. 施工工程	62

1. パルテムSZ工法の特長

- (1) パルテムSZ工法は、高強度で優れた耐久性を持っています。

『管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン：(公社)日本下水道協会』に規定される自立管の耐荷性能、耐久性能を全て満足しています。

- (2) パルテムSZ工法は、地震時の地盤変動に追従する優れた耐震性能を持っています。

『管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン：(公社)日本下水道協会』に基づく耐震設計が可能です。仙台市における、東日本大震災で被災した管路の調査結果でも、パルテムSZ工法で施工した更生管には損傷や漏水は生じていないことが確認されています。なお、日本下水道新技術機構の建設技術審査証明では、パルテムSZ工法の地盤変位に伴う既設管への追従性が証明されています。

- (3) パルテムSZ工法は、優れた流下能力を発揮します。

パルテムSZ工法で施工した更生管の内面は、平滑で継ぎ目がなく、粗度係数を $n=0.010$ 以下に確保することが可能です。このため、既設管の内径が縮小しても流下能力が低下することはありません。

- (4) パルテムSZ工法は、安定した品質を確保します。

SZライナーは、厳しい品質管理のもとで製造され、現場では綿密な施工管理が行われますので、均一で安定した品質を得ることができます。

なお、温度管理のためのセンサーをあらかじめSZライナーに取り付けてありますので、施工現場での温度管理が確実に行えます。

- (5) SZライナーは、Ⅱ類資器材登録材料(JSWA 認定工場制度)です。

SZライナーは、(公社)日本下水道協会(JSWA)認定工場制度のⅡ類資器材登録材料であり、曲げ試験以外のしゅん工時の試験が協議に基づき免除されます。

- (6) パルテムSZ工法は、二層構造管にも対応可能です。

SZライナーの厚さを薄くすることにより、経済的に管きょの更生を行うことができます。

2. 適用範囲

(1) 適用口径

φ 150～φ 800(下水道本管)

(2) 標準施工延長

協会標準厚さによる標準施工延長は以下の通りです。

自立管:100m 以下

二層構造管:100m 以下

※ ただし、口径およびSZライナーの厚さにより施工可能延長は異なります。

(3) 適用管種

鉄筋コンクリート管、コンクリート管、陶管、硬質塩化ビニル管

(4) 適用可能範囲

標準材料であるSZライナー-SHCの適用可能範囲を表 1 に示します。

表 1 SZライナー-SHCの適用可能範囲

項 目	適 用 可 能 範 囲
破 損	適 用 可 能 ※
ク ラ ッ ク	適 用 可 能 ※
継 手 段 差	3 0 m m 以 下
曲 が り	1 0 ° 以 下
滞 留 水	5 0 m m 以 下
継 手 隙 間	5 0 m m 以 下
モルタル付着	事 前 に 除 去
取付管の突出	事 前 に 除 去
浸 入 水	水 圧 0.05MPa 以 下、流 量 2ℓ/min 以 下
流下下水の処置方法	完 全 に 止 水 ま た は バ イ パ ス 設 置

※ 破損やクラックの程度により、対応方法を別途協議します。

3. 主要材料

パルテムSZ工法では、硬化前の更生材をSZライナー、硬化後の更生管をSZパイプと呼んでいます。SZライナー-SHCは、内側から drenロープ、ベースホース、熱硬化性樹脂シート、保護クロス、梱包フィルム、カバークロスで構成されており、ベースホース、熱硬化性樹脂シート、保護クロスの 3 層が硬化してSZパイプとなります。また、φ 610 を超えるライナーには施工時に使用する円筒補強織物と拡張チューブが追加されます。SZライナー-SHCの構造図を図 1、2 に示します。また、SZライナーの口径別の施工延長における適用範囲を表 2 に示します。

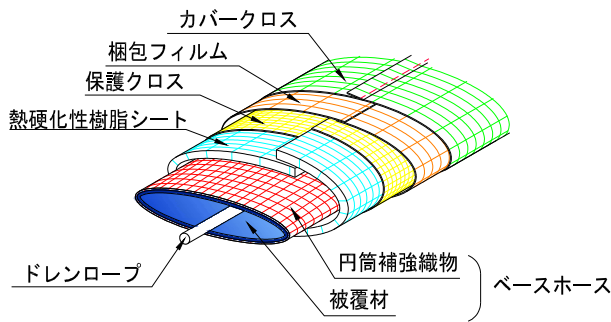


図1 SZライナー-SHC (φ610以下)の構造

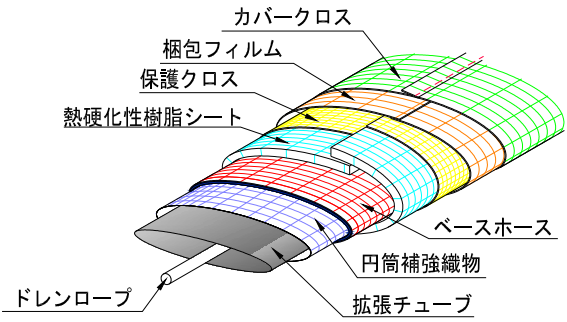


図2 SZライナー-SHC (φ610超)の構造

表2 口径別の施工延長と適用可能範囲

口径 (mm)	管路長									
	~10m	~20m	~30m	~40m	~50m	~60m	~70m	~80m	~90m	~100m
φ150										
φ200										
φ250										
φ300										
φ350										
φ400										
φ450										
φ500										
φ550										
φ600										
φ700										
φ800										

※ この表の範囲を超えるものについてはメーカーにご相談ください。

SZライナー-SHは、内側からドレンロープ、ベースホース、熱硬化性樹脂シート、保護クロスで構成されています。SZライナー-SHCから梱包フィルムとカバークロスを省略した構成であり、浸入水や滞留水および損傷が無く、表2に水色で示すような下水道管きよの管体延長が短い場合に選択可能としています。SZライナー-SHの構造図を図3に示します。

すべてのSZライナーには温度管理用として予め温度センサーが取り付けられています。温度センサーの取り付け位置を図4に示します。また、SZライナーの構成材料を表3に示します。

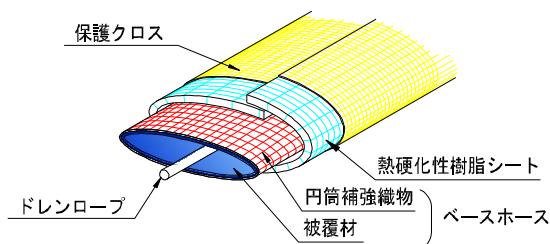


図3 SZライナー-SHの構造

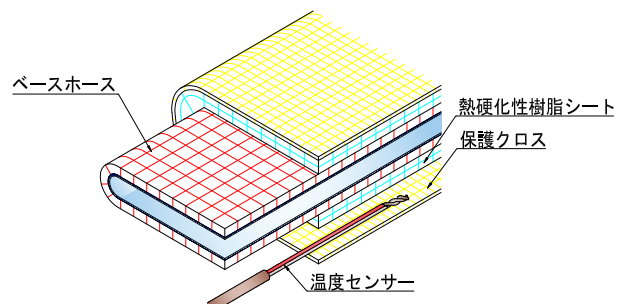


図4 温度センサー取り付け状況

表3 SZライナーの構成材料

項 目	SHC φ 610 以下	SHC φ 610 超	SH
ドレンロープ	○	○	○
拡張チューブ	—	○	—
円筒補強織物	—	○	—
ベースホース	○	○	○
熱硬化性樹脂シート	○	○	○
保護クロス	○	○	○
梱包フィルム	○	○	○
カバークロス	○	○	—

(1)材料の形状

SZライナーは主に、ベースホース、熱硬化性樹脂シート、保護クロスおよびカバークロスで構成されます。また、φ 610 超の場合は施工工程で必要な拡張チューブ・円筒補強織物が追加されます。以下に使用材料について示します。

1)ドレンロープ

ナイロン繊維製のねじれにくいロープで、施工時に管内に発生するドレン水を管外に排出するためにSZピローに結んで使用します。

2)拡張チューブ

スチレンを管内に排出させないためのポリエチレン樹脂とナイロン樹脂の積層チューブです。

3)円筒補強織物

拡張チューブを保護するための継ぎ目のないポリエステル繊維製筒状織物です。

4)ベースホース

円筒補強織物にポリオレフィン樹脂を被覆した構造で、地震時の地盤変位に追従する強靱なホースです。

5)熱硬化性樹脂シート

SZパイプの主要な強度部材で、ガラス繊維に不飽和ポリエステル樹脂を含浸させて、取り扱いの良い粘度に増粘させたシートです。

6)保護クロス

熱硬化性樹脂シートの重ね合わせ部をスムーズにスライドさせるための織物で、引込時の引込荷重に耐える強度を有しています。

7)梱包フィルム

SZライナーから発生するスチレンの拡散を防止するためのポリエチレン樹脂とナイロン樹脂の積層フィルムです。

8)カバークロス

管きょが欠損している場所などで、SZライナーの重ね合わせ部がスライドしすぎないようにするための筒状に縫合された織物です。

4. 管口仕上げ材

管口仕上げ材は急結セメント、または二液混合型樹脂モルタル(エポキシ系モルタル)を使用します。

5. 副資材

パルテムSZ工法に使用する主な副資材を表4に示します。

表4 副資材

副資材	用途
通線ロープ	ワイヤーロープの引込
ワイヤーロープ	SZライナーの引込
接続ベルト	引込時のSZライナーねじれ防止
SZピロー	SZライナー内のドレン水抜き
アンダーシート	SZライナーの引込荷重低減
管口カバー	マンホール内でのSZライナー径膨張規制

6. SZパイプの性能

6. 1. 耐荷性能

6. 1. 1. 偏平強さおよび外圧強さ

6. 1. 1. 1. 呼び径 600 以下

(1) 試験方法

「下水道用硬質塩化ビニル管 (JSWAS K-1)」に定めた試験を実施しました。呼び径ごとに所定の圧縮量までSZパイプを変形させたときの荷重から長さ 1m 当たりの線荷重を算出しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

模擬配管を使用し、各口径のSZパイプを成形しました。SZパイプを取り出して一定長さに切り出し、試験片としました。

(3) 試験結果

試験状況を写真 1 に、試験結果を表 5 に示します。SZパイプは下水道用硬質塩化ビニル管と同等以上の偏平強さを有することを確認しました。



呼び径 150



呼び径 400

写真 1 偏平強さ測定試験

表 5 偏平強さ試験結果

呼び径 (mm)	呼び厚さ (mm)	圧縮量 (mm)	偏平強さ (kN/m)	
			JSWAS K-1 の性能	更生管の線荷重
150	4	8	3.38 以上	15.0
	5			30.6
200	4	11	4.28 以上	9.48
	5			16.5
250	4	13	4.61 以上	5.57
	5			9.47
300	6	16	5.52 以上	12.2
350	7	19	6.17 以上	16.7
400	8	21	6.61 以上	17.0
450	9	24	7.55 以上	16.5
500	10	26	8.18 以上	20.1
600	12	32	10.2 以上	19.9

6. 1. 1. 2. 呼び径 700 以上

(1) 試験方法

「下水道用強化プラスチック複合管(JSWAS K-2)」に定めた試験を実施しました。呼び径ごとに所定の圧縮量までSZパイプを変形させたときの荷重から長さ 1m 当たりの基準たわみ外圧と破壊外圧を算出しました。試験は一般財団法人化学物質評価研究機構で実施しました。

(2) 試験片作製

模擬配管を使用し、各口径のSZパイプを成形しました。SZパイプを取り出して一定長さに切り出し、試験片としました。

(3) 試験結果

試験状況を写真 2 に、試験結果を表 7 に示します。SZパイプは下水道用強化プラスチック複合管(2 種)と同等以上の外圧強さを有することを確認しました。



写真 2 外圧強さ測定試験

表 6 外圧強さ試験結果

呼び径 (mm)	呼び厚さ (mm)	基準たわみ量 (mm)	基準たわみ外圧 (kN/m)		破壊外圧 (kN/m)	
			JSWAS K-2 の 性能	更生管の 線荷重	JSWAS K-2 の 性能	更生管の 線荷重
700	14	36	17.8 以上	34.6	62.2 以上	79.9
800	16	41	20.3 以上	40.2	71.0 以上	81.9

6. 1. 1. 3. 継手段差部

(1) 試験方法

継手段差を有するSZパイプを使用し、「下水道用硬質塩化ビニル管(JSWAS K-1)」に定めた偏平試験を実施しました。通常と同様に所定の圧縮量までSZパイプを変形させ、そのときの荷重から試験体長さ1m当たりの線荷重を算出しました。

(2) 試験片作製

呼び径 250 の既設管内径に対して 10%の継手段差をつけた模擬配管にSZパイプを成形しました。SZパイプを取り出し、継手段差部を中心に長さ 300mm に切り出し、試験片としました。

(3) 試験結果

試験状況を写真 3 に、試験結果を表 7 に示します。写真 3 のように継手段差部が中央となるように試験片を設置し、通常と同様に試験を実施しました。既設管路の内径に対して 10%の継手段差が生じている管路にパルテムSZ工法を施工しても、成形されたSZパイプは下水道用硬質塩化ビニル管と同等以上の偏平強さを有することを確認しました。

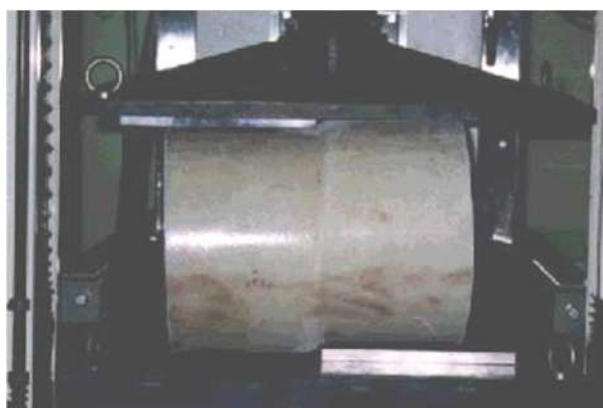


写真 3 継手段差部の偏平試験

表 7 継手段差部の偏平強さ試験結果

呼び径 (mm)	呼び厚さ (mm)	圧縮量 (mm)	偏平強さ (kN/m)		
			JSWAS K-1 の性能	更生管の線荷重	試験片採取位置
250	5	13	4.61 以上	8.07	継手段差部 (管内径の 10%)
				9.47	通常

6. 1. 1. 4. 曲がり部

(1) 試験方法

曲がり部を有するSZパイプを使用し、「下水道用硬質塩化ビニル管(JSWAS K-1)」に定めた偏平試験を実施しました。通常と同様に所定の圧縮量までSZパイプを変形させ、そのときの荷重から試験体長さ1m 当たりの線荷重を算出しました。

(2) 試験片作製

呼び径 250 の既設管内径に対して 10° の曲がり角度をつけた模擬配管にSZパイプを成形しました。SZパイプを取り出し、曲がり部を中心に長さ 300mm に切り出し、試験片としました。

(3) 試験結果

試験状況を図 5 に、試験結果を表 8 に示します。図 5 のように曲がり部が中央となるように試験片を設置し、通常と同様に試験を実施しました。10° の曲がり角度のある管路にパルテムSZ工法を施工しても、成形されたSZパイプは下水道用硬質塩化ビニル管と同等以上の偏平強さを有することを確認しました。

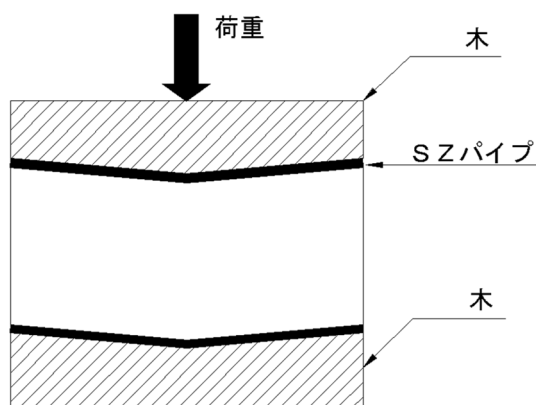


図 5 曲がり部の偏平試験

表 8 曲がり部の偏平強さ試験結果

呼び径 (mm)	呼び厚さ (mm)	圧縮量 (mm)	偏平強さ (kN/m)		
			JSWAS K-1 の性能	更生管の線荷重	試験片採取位置
250	5	13	4.61 以上	6.89	曲がり部(10°)
				9.47	通常

6. 1. 2. 曲げ強さ(短期試験)

6. 1. 2. 1. 第一破壊時の曲げ応力度の短期試験値(平板)

6. 1. 2. 2. 第一破壊時の曲げひずみの短期試験値(平板)

(1) 試験方法

SZ平板から管軸方向に試験片を切り出し、「JIS K 7171 プラスチックー曲げ特性の求め方」に定めた曲げ試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

SZライナーの平板サンプル作製用材料を、図 6 の平板サンプル作製ジグに入れ、規定トルクで締付けました。写真 4 のように加熱ボックスに設置した後、施工時の排出蒸気を加熱ボックスに送り込んで硬化させ、写真 5 のようにSZ平板を製作しました。

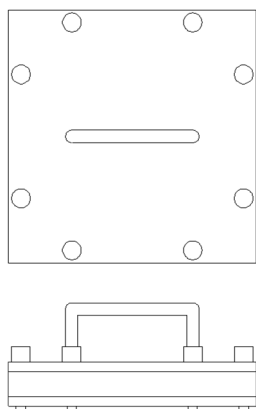


図 6 平板サンプル作製ジグ

写真 4 加熱ボックス内設置状況

写真 5 SZ平板

(3) 試験結果

曲げ応力と曲げひずみを式(ア)、(イ)より算出した試験結果を表 9 に示します。SZ平板は規定の曲げ強さと曲げひずみを有することを確認しました。

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \dots \dots \dots \text{(ア)}$$

$$\epsilon_f = \frac{6sh}{L^2} \dots \dots \dots \text{(イ)}$$

σ_f : 曲げ応力 (MPa)

ϵ_f : 曲げひずみ (%)

F : 力 (N)

s : たわみ (mm)

L : 支点間距離 (mm)

h : 試験片の平均厚さ (mm)

b : 試験片の平均幅 (mm)

L : 支点間距離 (mm)

h : 試験片の平均厚さ (mm)

表 9 第一破壊時の曲げ応力度と曲げひずみの短期試験値(平板)試験結果

試験片寸法 (mm)				試験条件 (mm)		第一破壊時の曲げ応力度 (MPa)		第一破壊時の曲げひずみ (%)	
呼び径	呼び厚さ	幅	長さ	支点間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	平板	目標値	平板
150	4	10	100	70	2	25 以上	216	0.75 以上	3.32
	5	15	106	86	2		183		2.40
500	10	20	215	172	5		136		2.42
800	20	35	433	346	10		153		2.33

6. 1. 3. 曲げ強さ(長期試験)

6. 1. 3. 1. 曲げ強さの長期試験値(リング)

(1) 試験方法

更生管から試験片を切り出し、「JIS K 7038 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」に定めた短期試験を、写真 6 と写真 7 に示すように「JIS K 7039 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—湿潤状態下における管の長期間極限曲げひずみ及び長期間極限相対変位の求め方」に定めた長期試験を実施し、長期曲げ強さを算出しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。



写真 6 長期曲げ強さ試験実施状況



写真 7 長期曲げ強さ試験载荷状況

(2) 試験片作製

SZパイプ φ 300(t-6)を成形し、長さ 25mm で切り出し、試験片としました。

(3) 試験結果

試験結果を表 10、表 11、図 7 に示します。曲げ強さは以下の式(ウ)より算出しました。

$$V = \frac{0.318 \times Q \times r_m}{Z \times 10^3} \dots\dots\dots (ウ)$$

V: 曲げ強さ (MPa)

Q: 破壊外圧 (kN/m)

$$Z: \text{断面係数 (m}^3) = \frac{e^2}{6}$$

$$r_m: \text{管厚中心半径 (m)} = \frac{d_m}{2}$$

d_m : 管厚中心直径 (m) = $d - e$

d: 平均外径 (m)

e: 平均厚さ (m)

表 10 初期の曲げ強さの標準偏差の算出

No.	試験片寸法 (mm)			荷重 (N)	曲げ強さ (MPa)		
	平均厚さ	平均径	平均長さ		測定値 V	平均値 V_0	標準偏差 σ
1	6.25	293.20	25.0	464.9	140.2	141	0.6
2	6.33	293.44	24.9	366.0	141.3		
3	6.41	293.15	25.0	366.9	140.5		

表 11 曲げ強さの長期試験値(リング)試験結果

No.	試験片寸法 (mm)			荷重 (N)	曲げ強さ (MPa)		破壊時間 (hr)	
	平均厚さ	平均径	平均長さ		V	$\log V$	t	$\log t$
4	6.31	293.39	25.0	464.9	130.7	2.116	504	2.702
8	6.42	293.18	25.1	366.0	99.2	1.997	5,592	3.748
9	6.37	293.23	24.9	366.9	101.6	2.007	1,656	3.219
10	6.42	293.00	24.9	317.4	86.6	1.938	10,000	4.000
11	6.31	293.39	24.6	365.9	104.8	2.020	6,360	3.803
12	6.10	293.80	24.6	317.0	97.1	1.987	1,248	3.096
13	6.12	293.38	25.0	513.5	153.5	2.186	3	0.477
14	6.22	293.38	25.1	513.2	147.9	2.170	4	0.602
15	6.28	293.02	25.1	562.0	158.7	2.201	1	0.000
16	6.32	293.28	25.1	562.0	156.8	2.195	0.1	-1.000
17	6.38	293.02	25.0	466.0	128.0	2.107	168	2.225
18	6.71	292.79	25.1	562.9	139.4	2.144	96	1.982
23	6.12	293.58	24.8	470.9	142.3	2.153	96	1.982
24	6.23	293.67	24.7	471.3	137.7	2.139	96	1.982
25	6.28	293.62	24.9	471.3	134.7	2.129	96	1.982
26	6.41	293.39	25.1	421.3	114.6	2.059	72	1.857
27	6.28	293.42	25.2	420.6	118.5	2.074	192	2.283
28	6.34	293.46	25.2	420.0	116.3	2.066	144	2.158

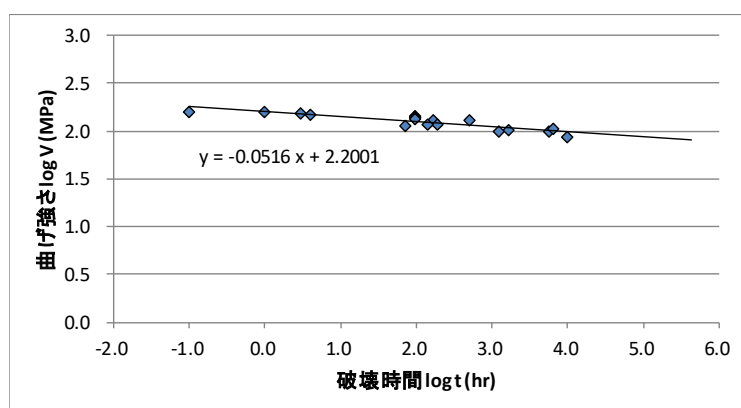


図 7 曲げ強さの長期試験値(リング)測定試験結果

図 7 において、近似式を「JIS K 7020 ガラス強化熱硬化性プラスチック(GRP)管及び継手一回帰分析法及びその使用」に従って導きました。よって本試験より、曲げ強さの外挿式は式(エ)になりました。

$$y = -0.0516x + 2.2001 \dots \dots \dots (\text{エ})$$

これより、以下の手順に従い曲げ強さの長期試験値を算出しました。

1) 計算

①50年後 ($\log t \text{ (hr)} = 5.64$) の曲げ強さ (V_{50}) は、

$$\begin{aligned} V_{50} &= 10^{-0.0516 \times 5.64 + 2.2001} \\ &= 81 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

②初期特性の最小値 ($V_{0,\min}$) は、

$$\begin{aligned} V_{0,\min} &= V_0 - 1.96 \sigma \\ &= 141 - 1.96 \times 0.6 \\ &= 140 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

③長期曲げ強さの最小値 ($V_{50,\min}$) は、

$$\begin{aligned} V_{50,\min} &= \frac{R_R}{C} \times V_{0,\min} = \frac{V_{50}/V_6}{V_0/V_6} \times V_{0,\min} = \frac{V_{50}}{V_0} \times V_{0,\min} \\ &= \frac{81}{141} \times 140 \\ &= 80 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

長期曲げ強さ試験より得た曲げ強さの長期試験値を表 12 に示します。これより、SZパイプは規定の長期曲げ強さを有することを確認しました。

表 12 曲げ強さの長期試験値(リング)試験結果

試験項目	試験方法	目標値 (MPa)	試験結果 (MPa)
曲げ強さの長期試験値(リング)	JIS K 7039	50	80

6. 1. 4. 曲げ弾性率(短期試験)

6. 1. 4. 1. 曲げ弾性率の短期試験値(平板)

6. 1. 4. 2. 曲げ弾性率の短期試験値(円弧)

(1) 試験方法

SZ平板とSZパイプから管軸方向に試験片を切り出し、「JIS K 7171 プラスチックー曲げ特性の求め方」に定めた曲げ試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

平板サンプル作製ジグと模擬配管を使用して各口径と厚さのSZ平板とSZパイプを製作し、それぞれ写真 8 のように管軸方向に切り出して、写真 9 のように平板試験片と円弧試験片としました。



写真 8 曲げ試験片作製状況

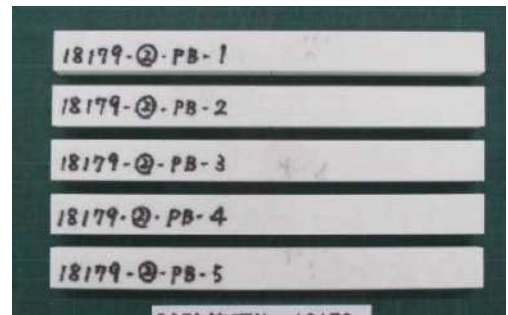


写真 9 曲げ試験片

(3) 試験結果

以下の式(オ)、(カ)より曲げ弾性率を算出しました。試験状況を写真 10 に示します。

$$s_i = \frac{\varepsilon_{fi} L^2}{6h} \quad (i = 1 \text{ または } 2) \dots \dots \dots \text{(オ)}$$

s_i : たわみ (mm)

ε_{fi} : ε_{f1} および ε_{f2} に相当する曲げひずみ

$$\varepsilon_{f1} = 0.05(\%)$$

$$\varepsilon_{f2} = 0.25(\%)$$

L : 支点間距離 (mm)

h : 試験片の厚さ (mm)

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \dots \dots \dots \text{(カ)}$$

E_f : 曲げ弾性率 (MPa)

σ_{f1} : たわみ s_1 で測定した曲げ応力 (MPa)

σ_{f2} : たわみ s_2 で測定した曲げ応力 (MPa)

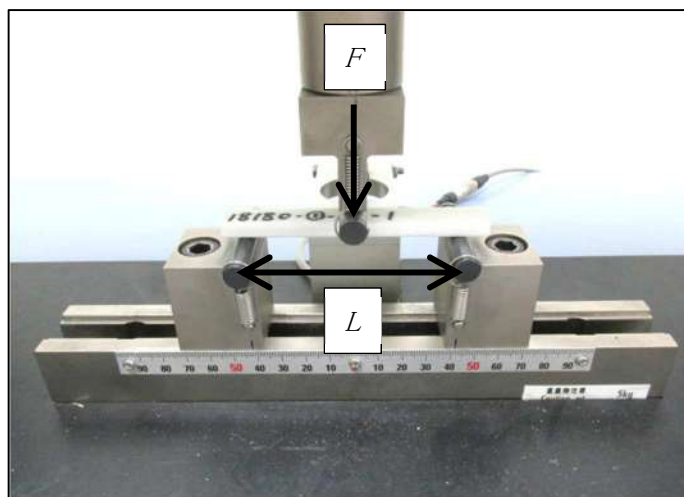


写真 10 曲げ試験状況

表 13 に平板の、表 14 に円弧の試験結果を示します。SZ平板とSZパイプは、規定の曲げ弾性率を有することを確認しました。

表 13 曲げ弾性率の短期試験値(平板)試験結果

試験片寸法 (mm)				試験条件 (mm)		曲げ弾性率 (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	幅	長さ	支点間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	平板
150	4	10	100	70	2	6,700 以上	10,300
	5	15	106	86	2		10,800
500	10	20	215	172	5		9,320
800	20	35	433	346	10		10,200

表 14 曲げ弾性率の短期試験値(円弧)試験結果

試験片寸法 (mm)				試験条件 (mm)		曲げ弾性率 (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	幅	長さ	支点間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	平板
150	4	10	100	76	2	5,300 以上	8,180
	5	15	104	84	2		8,930
500	10	20	211	168	5		10,400
800	20	35	445	356	10		10,400

6. 1. 5. 曲げ弾性率(長期試験)

6. 1. 5. 1. 曲げ弾性率の長期試験値(リング)

(1) 試験方法

更生管から試験片を切り出し、写真 11 のように「JIS K 7032 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」に定めた短期試験を、写真 12 のように「JIS K 7035 ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管—湿潤条件下での長期偏平クリープ剛性の求め方及び湿潤クリープファクタの計算法」に定めた長期試験を実施し、長期曲げ弾性率を算出しました。試験は一般財団法人化学物質評価研究機構で実施しました。

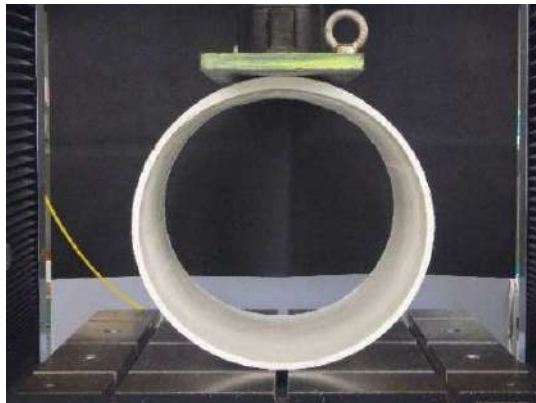


写真 11 短期曲げ弾性率試験状況



写真 12 長期曲げ弾性率試験状況

(2) 試験片作製

SZパイプ φ 300(t-6)を成形し、長さ 300mm で切り出し、試験片としました。

(3) 試験結果

以下の式(キ)、(ク)より偏平剛性と曲げ弾性率を算出しました。試験結果を図 7 および表 15～19 に示します。

$$S_x = \frac{f \times F}{L \times y_x} \dots \dots \dots (\text{キ})$$

S_x : 偏平剛性 (N/m²)

$$f: \text{変位係数} = \left\{ 1860 + \left(2500 \times \frac{y_x}{d_m} \right) \right\} \times 10^{-5}$$

d_m : 管厚中心直径 (m) = $d - e$ F: 荷重 (N)

d : 平均外径 (m) L: 平均長さ (m)

e : 平均厚さ (m) y_x : 変位 (m)

$$E_x = \frac{S_x \times d_m^3}{I} \dots \dots \dots (\text{ク})$$

E_x : 曲げ弾性率 (MPa)

$$I: \text{断面 2 次モーメント (m}^4/\text{m)} = \frac{e^3}{12}$$

表 15 初期の曲げ弾性率の標準偏差の算出

No.	平均径 d _m (m)	平均厚 e (m)	平均長さ L (m)	荷重 F (N)	初期剛性 S ₀ (N/m ²)	曲げ弾性率 (MPa)		
						測定値 E	平均値 E ₀	標準偏差 σ
1	0.2937	0.0061	0.2989	1,796	15,603	21,393	21,320	576
2	0.2937	0.0061	0.2992	1,902	16,504	21,985		
3	0.2936	0.0062	0.2994	1,836	15,920	20,581		

表 16 初期の曲げ弾性率試験結果

項目		測定値	
		試料①	試料②
平均径	d _m (m)	0.2938	0.2930
平均厚	e (m)	0.0061	0.0063
平均長さ	L (m)	0.2997	0.2999
初期剛性	S ₀ (N/m ²)	18,526	17,682
初期曲げ弾性率	E ₀ (MPa)	24,961	21,530
試験荷重	F (N)	1,279	1,178

表 17 長期曲げ弾性率試験結果

試料①				試料②			
測定時間 (hr)		偏平剛性 (N/m ²)		測定時間 (hr)		偏平剛性 (N/m ²)	
t	log t	S _x	log S _x	t	log t	S _x	log S _x
10.00	1.00	29,995	4.48	19.95	1.30	26,198	4.42
19.95	1.30	28,938	4.46	39.82	1.60	25,096	4.40
50.12	1.70	27,027	4.43	79.43	1.90	23,675	4.37
100.00	2.00	25,533	4.41	158.48	2.20	22,325	4.35
199.53	2.30	23,464	4.37	251.18	2.40	21,327	4.33
501.18	2.70	20,255	4.31	630.95	2.80	19,720	4.29
1000.00	3.00	18,241	4.26	1000.00	3.00	19,344	4.29
1258.93	3.10	17,852	4.25	1258.93	3.10	19,284	4.29
1584.89	3.20	17,509	4.24	1584.89	3.20	19,283	4.29
1995.26	3.30	17,277	4.24	1995.26	3.30	18,781	4.27
2511.89	3.40	16,836	4.23	2511.89	3.40	18,361	4.26
3162.28	3.50	16,417	4.22	3162.28	3.50	17,745	4.25
3981.07	3.60	15,897	4.20	3981.07	3.60	17,147	4.23
5022.15	3.70	15,397	4.19	5022.03	3.70	16,571	4.22
6308.65	3.80	15,063	4.18	6308.53	3.80	15,913	4.20
7878.82	3.90	14,769	4.17	7878.70	3.90	15,095	4.18
10005.32	4.00	14,614	4.16	10005.20	4.00	14,522	4.16

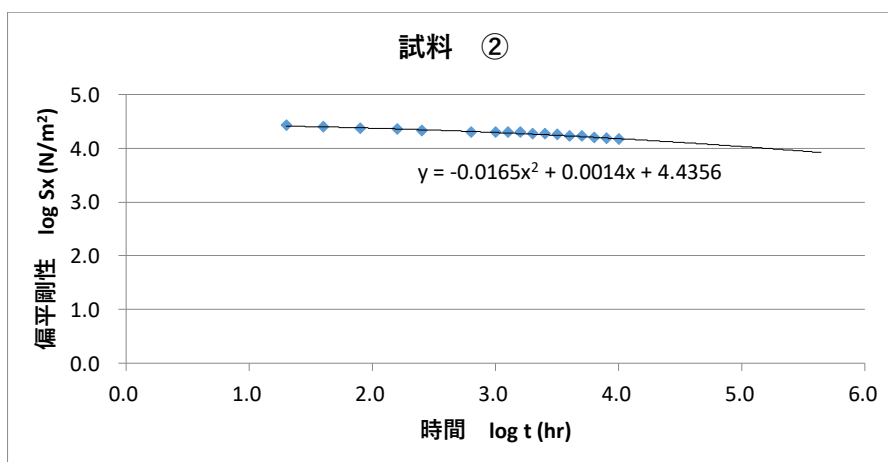
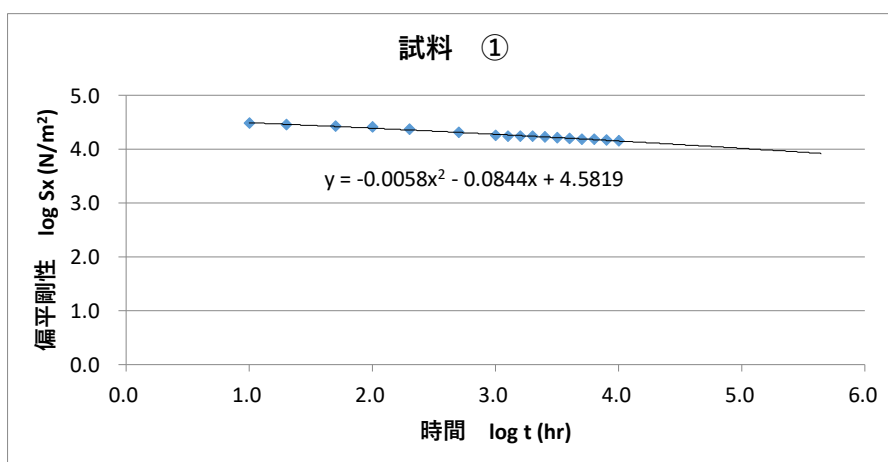


図 7 曲げ弾性率の長期試験値(リング)測定試験結果

表 18 50 年後の長期曲げ弾性率と初期曲げ弾性率最小値の算出

項目		測定値		平均値
		試料①	試料②	
6 分後の初期剛性	S_6 (N/m ²)	45,761	26,164	35,963
6 分後の初期曲げ弾性率	E_6 (MPa)	61,354	31,584	46,469
50 年後の長期剛性	S_{50} (N/m ²)	8,340	8,286	8,313
50 年後の長期曲げ弾性率	E_{50} (MPa)	11,182	10,002	10,592
要因	C	0.407	0.682	0.545
回帰比	R_R	0.182	0.317	0.250
標準偏差	σ_E	576		
初期曲げ弾性率最小値	$E_{0,min}$ (MPa)	23,832	20,401	22,117

表 19 50 年後の長期曲げ弾性率最小値

曲げ弾性率の長期試験値 (MPa)		目標値	測定値		
			試料①	試料②	平均値
50 年後の長期曲げ弾性率最小値	$E_{50,min}$	8,500 以上	10,657	9,483	10,070

6. 2. 耐久性能

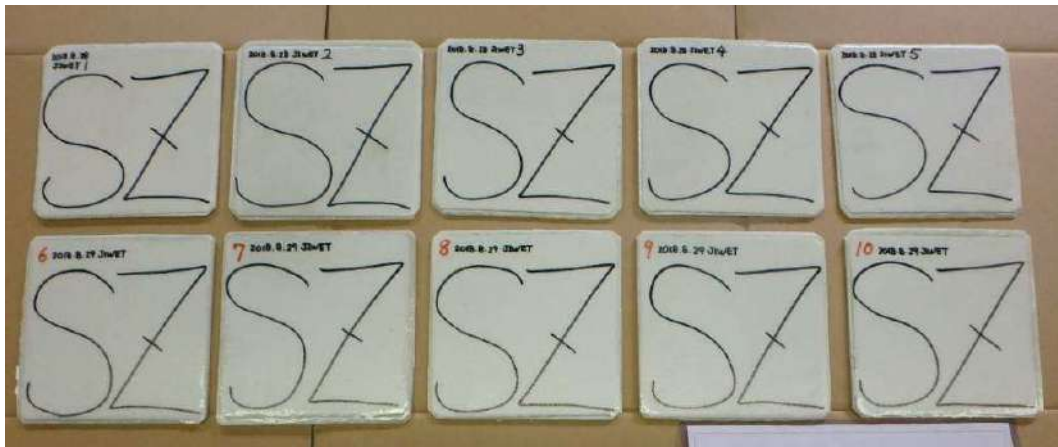
6. 2. 1. 耐薬品性

6. 2. 1. 1. 浸漬後曲げ試験

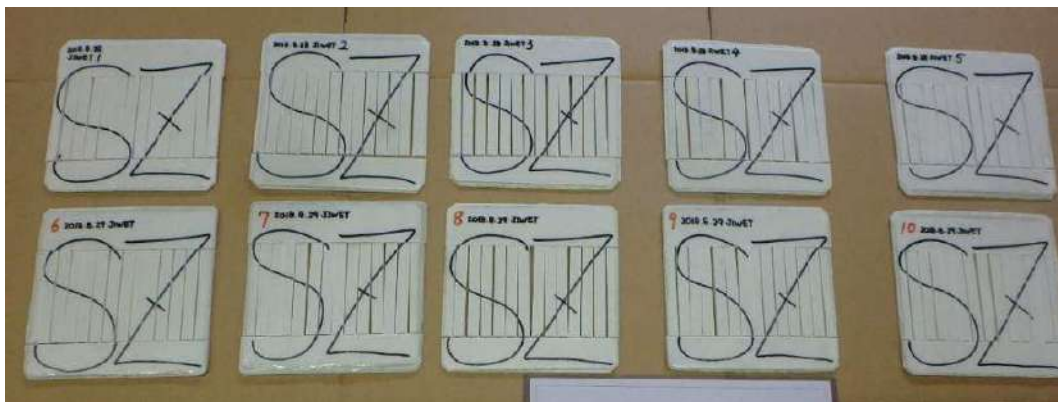
(1) 試験方法

写真 13 のようにSZ平板から管軸方向に試験片を切り出し、「浸漬後曲げ試験」と「JIS K 7171 プラスチックー曲げ特性の求め方」に定めた浸漬試験と曲げ試験を行い、強度面から耐薬品性を確認しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

- 1) 基本試験 : 23℃で28日間、8種の試験液に浸漬し、浸漬前後の曲げ強さと曲げ弾性率の保持率を求めました。
- 2) 常温試験 : 23℃で6ヵ月間と1年間、2種の試験液に浸漬し、浸漬前後の曲げ弾性率保持率を求めました。
- 3) 促進試験 : 60℃で28日間、6ヵ月間、1年間、2種の試験液に浸漬し、浸漬前後の曲げ弾性率保持率を求めました。
- 4) 長期曲げ弾性率推定 : 1)～3)で計測した曲げ弾性率より、50年後の曲げ弾性率の推定値を求めました。



切り出し前



切り出し後

写真 13 浸漬後曲げ試験体作製状況

(2) 試験片作製

SZ平板 φ 300(t-6)を成形し、曲げ試験片を作製しました。

(3) 試験結果

試験状況を写真 14～19 に、試験結果を表 20～23、図 7 に示す。

1) 基本試験 (8液、23℃)

試験液浸漬28日後の曲げ強さ保持率および曲げ弾性率保持率 : 80%

表 20 23℃浸漬 28 日後の曲げ強さ保持率および曲げ弾性率保持率

試験液	曲げ強さ				曲げ弾性率			
	規格値 (%)	ブランク (MPa)	浸漬後 (MPa)	保持率 (%)	規格値 (%)	浸漬前 (MPa)	浸漬後 (MPa)	保持率 (%)
蒸留水	80 以上	143	166	116	80 以上	9,480	8,550	90
10%硫酸		143	172	120		8,460	7,940	94
10%硝酸		143	155	108		8,790	8,610	98
1%水酸化 ナトリウム水溶液		143	146	102		9,430	8,970	95
5%酢酸		143	185	129		9,780	9,930	102
植物油		143	175	122		9,980	9,840	99
0.1%食器用 合成洗剤		143	170	119		10,100	10,100	100
5%次亜塩素酸 ナトリウム水溶液		143	175	122		9,800	9,650	99

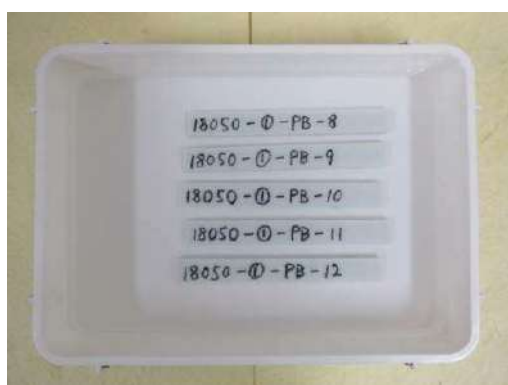


写真 14 浸漬状況(蒸留水常温)



写真 15 曲げ試験状況(蒸留水 28 日浸漬後)

2) 常温試験 (2液、23℃)

試験液浸漬1年後の曲げ弾性率保持率 : 70%以上

表 21 23℃浸漬1年後の曲げ弾性率保持率

試験液	浸漬期間	規格値 (%)	浸漬前 (MPa)	浸漬後 (MPa)	保持率 (%)
10%硫酸	28日	-	8,700	8,180	94
	6ヵ月	-	8,700	7,640	88
	1年	70以上	8,700	7,140	82
1%水酸化 ナトリウム水溶液	28日	-	9,400	8,990	96
	6ヵ月	-	9,400	8,400	89
	1年	70以上	9,400	8,040	86

3) 促進試験 (2液、60℃)

試験液浸漬28日後の曲げ弾性率保持率 : 70%以上

表 22 60℃浸漬 28 日後の曲げ弾性率保持率

試験液	浸漬期間	規格値 (%)	浸漬前 (MPa)	浸漬後 (MPa)	保持率 (%)
10%硫酸	28日	70以上	8,240	7,060	86
	6ヵ月	-	8,240	6,770	83
	1年	-	8,240	6,190	77
1%水酸化 ナトリウム水溶液	28日	70以上	7,400	6,110	83
	6ヵ月	-	7,400	6,040	82
	1年	-	7,400	5,450	74



写真 16 浸漬状況(硫酸 60℃)



写真 17 曲げ試験状況(硫酸 60℃、1年浸漬後)

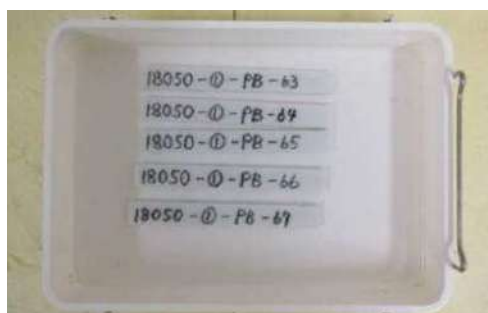


写真 18 浸漬状況

(水酸化ナトリウム水溶液 60℃)



写真 19 曲げ試験状況

(水酸化ナトリウム水溶液 60℃、1年浸漬後)

4) 長期曲げ弾性率推定値

50年後の長期曲げ弾性率推定値：設計換算値 1,027MPa 以上

長期曲げ弾性率の設計換算値は以下の式により算出する。

$$\text{設計換算値} = \text{設計値} \times \frac{\text{平板ブランク平均値}}{\text{短期値平均値(JIS K 7035 6min)}}$$

ここで

$$\text{設計値} = \frac{\text{長期曲げ弾性率目標値}}{1.5}$$

長期曲げ弾性率目標値：8,500(MPa)

平板ブランク平均値：8,420(MPa)

短期値平均値：46,469(MPa)

よって、

$$\text{設計換算値} = \frac{8,500}{1.5} \times \frac{8,420}{46,469} = 1,027 \text{ (MPa)}$$

図7より50年後の曲げ弾性率保持率は、

$$\text{硫酸} \quad y_{50} = -3.025 \ln(50) + 85.554 = 74(\%)$$

$$\text{水酸化ナトリウム} \quad y_{50} = -3.966 \ln(50) + 85.726 = 70(\%)$$

ここで、 $E_{50} = E_0 \times 50$ 年後の曲げ弾性率保持率 より、

$$\text{硫酸} \quad E_{50} = 8,420 \times 0.74 = 6,230(\text{MPa})$$

$$\text{水酸化ナトリウム} \quad E_{50} = 8,420 \times 0.70 = 5,890(\text{MPa})$$

よって、50年後の長期曲げ弾性率推定値は設計値(換算値)を下回らないことを確認しました。

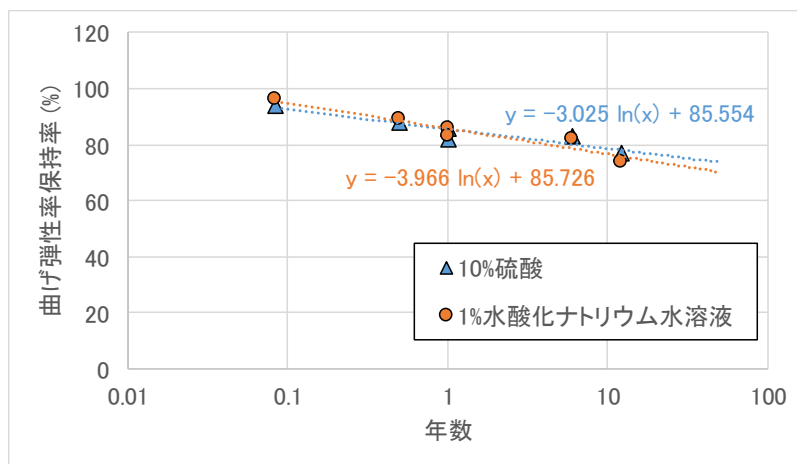


図7 50年後の長期曲げ弾性率の推定

表23 50年後の長期曲げ弾性率を推定

試験液	目標値(MPa)	50年後の曲げ弾性率保持率(%)	50年後の曲げ弾性率(MPa)
10%硫酸	1,027 以上	74	6,230
1%水酸化ナトリウム水溶液		70	5,890

6. 2. 1. 2. K-2 規格耐薬品性試験

(1) 試験方法

写真 20、21 に示すように「下水道用強化プラスチック複合管(JSWAS K-2)」に定めた耐薬品性試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

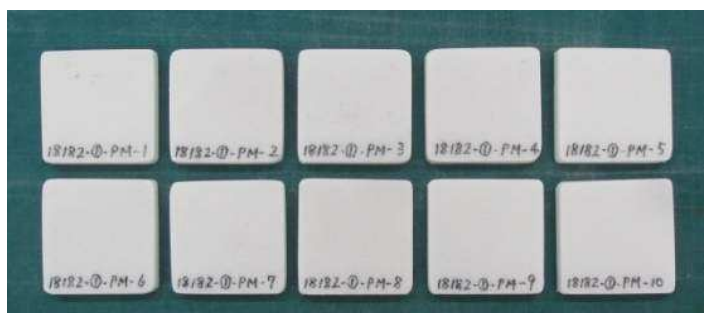


写真 20 耐薬品性試験片 (n2×5 液)



写真 21 浸漬状況

(2) 試験片作製

SZ平板 φ 300(t-6)を成形し、50mm 角の試験片を 10 枚製作しました。

(3) 試験結果

試験前の試験片の質量を測定したのち、各試験液に 60±2℃で 5 時間浸漬し、水に浸漬をした試験片以外は流水中で 5 秒間洗浄した後、乾いた布で表面の水分を拭き取ってから、質量を測定しました。式(ケ)により質量変化率 d(%)を算出しました。

$$d = \frac{m_b - m_a}{m_a} \times 100(\%) \dots\dots (ケ)$$

m_a : 試験片の浸漬前の質量(mg)

m_b : 試験片の浸漬後の質量(mg)

試験結果を表 24 に示します。SZ平板は耐薬品性を有することを確認しました。

表 24 耐薬品性試験結果

浸漬溶液	質量変化率 (%)			
	規格値	測定値	平均値	
蒸留水	± 0.3 以内	No.1	+ 0.11	+ 0.12
		No.2	+ 0.13	
10%塩化ナトリウム水溶液		No.1	+ 0.10	+ 0.09
		No.2	+ 0.08	
30%硫酸		No.1	- 0.13	- 0.13
		No.2	- 0.12	
40%硝酸	No.1	+ 0.20	+ 0.24	
	No.2	+ 0.27		
40%水酸化ナトリウム水溶液	No.1	- 0.22	- 0.20	
	No.2	- 0.18		

6. 2. 1. 3. 5 時間浸漬後の強度特性

(1) 試験方法

SZ平板とSZパイプから管軸方向に試験片を切り出し、「下水道用強化プラスチック複合管 (JSWAS K-2)」に定めた 60±2℃の各試験液に 5 時間浸漬し、「JIS K 7171 プラスチックー 曲げ特性の求め方」に定めた曲げ試験を実施し、曲げ強さと曲げ弾性率を測定しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

φ 300(t-6)のSZ平板とSZパイプを成形し、軸方向に曲げ試験片を切り出しました。

(3) 試験結果

表 25 に曲げ強さを、表 26 に曲げ弾性率を示します。SZ平板とSZパイプは、5 時間浸漬後も規定の曲げ強さと曲げ弾性率を有することを確認しました。

表 25 5 時間浸漬後の曲げによる耐薬品性試験結果(曲げ強さ)

浸漬溶液	曲げ強さ (MPa)			
	目標値	平板	目標値	円弧
蒸留水	110 以上	146	80 以上	157
10%塩化ナトリウム水溶液		154		164
30%硫酸		159		154
40%硝酸		168		151
40%水酸化ナトリウム水溶液		166		161

表 26 5 時間浸漬後の曲げによる耐薬品性試験結果(曲げ弾性率)

浸漬溶液	曲げ弾性率 (MPa)			
	目標値	平板	目標値	円弧
蒸留水	6,700 以上	9,110	5,300 以上	8,740
10%塩化ナトリウム水溶液		9,210		9,200
30%硫酸		9,620		9,030
40%硝酸		9,460		8,030
40%水酸化ナトリウム水溶液		9,410		8,790

6. 2. 2. 耐摩耗性

(1) 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」に定めた摩耗試験を実施しました。試験前の試験片の質量を測定し、試験機に取り付けました。摩耗輪の外周をダイヤモンドドレッサでドレスして試験機に取り付けました。試験片の上に摩耗輪をおろし、上記の条件で試験しました。試験状況を写真 22 に示します。試験終了後、試験片を取り出して清浄な布で異物を除去し、試験後の試験片の質量を測定し摩耗量を求めました。試験は一般財団法人化学物質評価研究機構で実施しました。



写真 22 耐摩耗性試験状況

(2) 試験片作製

試験片はSZ平板と下水道用硬質塩化ビニル管の 2 種類を使用しました。SZ平板は 4mm の試験片を成形し、100mm×100mm に加工しました。

(3) 試験結果

試験条件は以下の通りとしました。

- ・試験荷重：JIS K 7204 に規定されている最大荷重である 9.8N としました。
- ・試験回数：JIS K 7204 に規定されている 1,000 回 としました。
- ・摩耗輪：H-18 としました。

試験結果を表 27 に示します。SZ平板の摩耗減量 117.6 (mg)、下水道用硬質塩化ビニル管の摩耗減量は 236.9 (mg)となり、SZ平板は下水道用硬質塩化ビニル管よりも耐摩耗性を有することを確認しました。

表 27 耐摩耗性試験結果

試験片	摩耗質量 (mg)
SZ平板(t-6)	117.6
下水道用硬質塩化ビニル管	236.9

6. 2. 3. 耐ストレインコロージョン性

(1) 試験方法

SZパイプから試験片を切り出し、「JIS K 7034 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)管及び継手—扁平下における管内面の耐薬品性の求め方」に定めた耐ストレインコロージョン性試験を実施し、50年後の最小外挿破壊ひずみ $\geq 0.45\%$ かつJSWAS K-2で求められる値を下回らないことを確認しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

SZパイプの被覆材は耐薬品性が高く、耐ストレインコロージョン性試験においては漏れ破壊(パイプから薬液が染み出して漏れる現象)が発生しないため、本試験では被覆材を有さないSZパイプ $\phi 300(t-6)$ を長さ250mmで切り出し、試験片としました。

(3) 試験結果

図8に示すようにジグを使用して試験片を一定量たわませ、SZパイプの両端部にシール剤を塗布してせき板を貼り付けて硬化させた後、試験液(0.5mol/lの硫酸)を深さ25~50mmとなるよう注入しました。

写真23と写真24に試験状況を示します。時間経過に伴う、漏れ破壊の発生の有無を目視により確認しました。

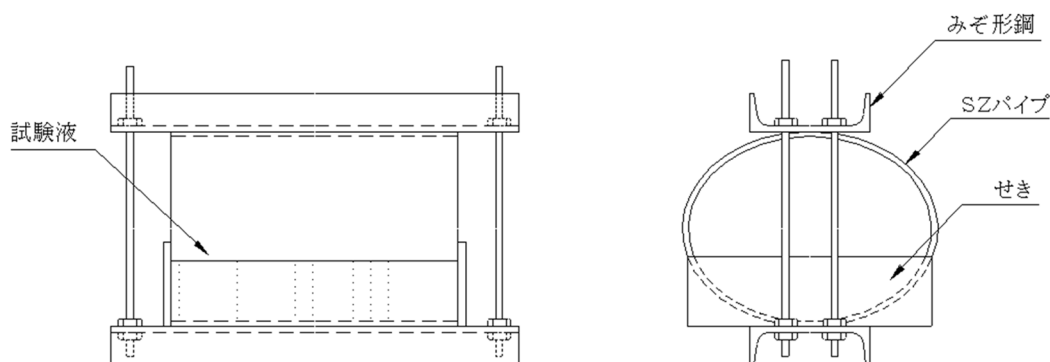


図8 耐ストレインコロージョン試験図

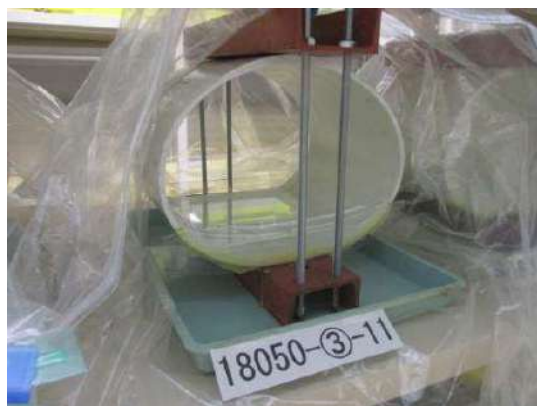


写真23 耐ストレインコロージョン性試験片設置状況



写真24 耐ストレインコロージョン性試験状況

表 28 耐ストレインコーロージョン性試験結果

No.	試験片寸法 (mm)			たわみ量 (mm)		ひずみ量 (%)		破壊時間 (hr)	
	厚さ	外径	平均直径	V	log V	σ	log σ	t	log t
11	5.93	299.2	293.27	45.12	1.65	1.148	0.060	10,000	4.000
12	5.89	299.3	293.41	48.35	1.68	1.208	0.082	8,520	3.930
13	5.95	298.7	292.75	89.50	1.95	2.001	0.301	69	1.839
14	6.02	299.2	293.18	99.34	2.00	2.177	0.338	21	1.322
15	6.26	299.3	293.04	95.87	1.98	2.209	0.344	45	1.653
16	6.47	299.5	293.03	91.11	1.96	2.201	0.343	141	2.149
19	6.33	299.8	293.47	60.00	1.78	1.554	0.191	1,656	3.219
20	6.45	255.2	293.65	50.00	1.70	1.359	0.133	1,992	3.299
21	6.39	300.1	293.71	76.00	1.88	1.889	0.276	1,008	3.003
22	6.40	300.2	293.80	78.00	1.89	1.929	0.285	120	2.079
23	6.66	300.4	293.74	75.32	1.88	1.955	0.291	144	2.158
24	7.04	300.4	293.36	75.08	1.88	2.066	0.315	144	2.158
26	6.46	300.0	293.54	71.98	1.86	1.833	0.263	48	1.681
27	6.34	300.0	293.66	72.65	1.86	1.810	0.258	336	2.526
28	6.19	299.9	293.71	80.20	1.90	1.907	0.280	72	1.857
29	6.36	300.2	293.84	79.02	1.90	1.936	0.287	48	1.681
30	6.61	300.4	293.79	79.10	1.90	2.014	0.304	24	1.380
31	7.01	300.4	293.39	79.30	1.90	2.145	0.331	2	0.301

*SZパイプの耐ストレインコーロージョン性試験において漏れ破壊は発生しなかったため、試験片に亀裂が見られた時間を破壊時間としました。

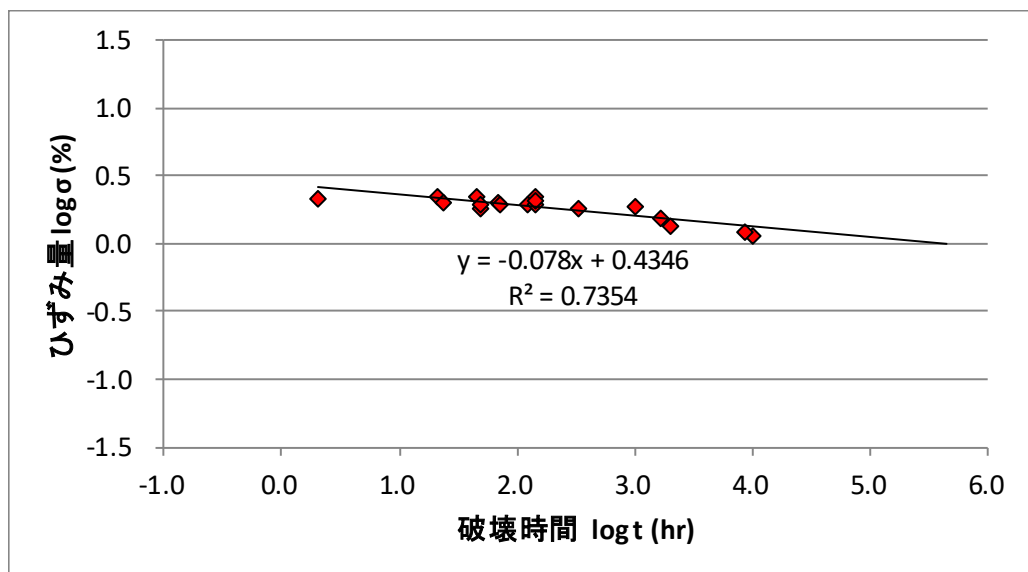


図 9 耐ストレインコーロージョン性試験外挿図

試験結果を表 28 と図 9 に示します。図9の近似式より、50 年後の推定変位は、

$$y_{50} = -0.078 \times x_{50} + 0.4346$$

よって 50 年後の曲げひずみ ε_{50} は、

$$\begin{aligned} \varepsilon_{50} &= 10^{-0.078 \times 5.64147 + 0.4346} \\ &= 0.988(\%) \end{aligned}$$

ここで、

基本となる管の耐酸試験のたわみ率	V_{t2}	: 9.0(%)
補正対象となる管の弾性率	E_1	: 6,700(MPa)
基本となる管の弾性率	E_2	: 14,700(MPa)
補正対象となる管の外圧剛性	SN_1	: 0.00574(MPa)
基本となる管の外圧剛性	SN_2	: 0.01(MPa)
補正対象となる管の許容たわみ率	V_{a1}	: 5.0(%)
基本となる管の許容たわみ率	V_{a2}	: 5.0(%)

であるから、補正対象となる管の耐酸試験のたわみ率 V_{t1} は

$$\begin{aligned} V_{t1} &= \left(\frac{E_1 \times SN_2}{E_2 \times SN_1} \right)^{\frac{1}{3}} \times \frac{V_{a1}}{V_{a2}} \times V_{t2} \\ &= \left(\frac{6,700 \times 0.01}{14,700 \times 0.00574} \right)^{\frac{1}{3}} \times \frac{5}{5} \times 9 \\ &= 8.33(\%) \end{aligned}$$

また、

平均厚さ	T_1	: 6.38(mm)
外径	D	: 297.34(mm)
平均外径	D_1	: 293.46(mm)

であるから、JSWAS K-2 で要求される基準ひずみ値 ε は、

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{42800 \times T_1 \times V_{t1}}{D_1 \times (100 + 0.5 \times V_{t1})^2} \\ &= \frac{42800 \times 6.38 \times 8.33}{293.46 \times (100 + 0.5 \times 8.33)^2} \\ &= 0.714(\%) \end{aligned}$$

よって表 29 のように 50 年後を外挿した時の推定極限曲げひずみ $\varepsilon_{50} = 0.988(\%)$ は、 $\geq 0.45\%$ かつ JSWAS K-2 で求められている値 $\varepsilon = 0.714(\%)$ を下回らないことを確認しました。

表 29 耐ストレインコロージョン性試験結果

試験項目	試験方法	目標値 ε	試験結果 ε_{50}
耐ストレインコロージョン性	JIS K 7034	0.714 %以上	0.988 %

6. 2. 4. 水密性

6. 2. 4. 1. 内水圧に対する水密性

(1) 試験方法

「下水道用強化プラスチック複合管(JSWAS K-2)」に定めた水密性試験を実施しました。図 10 に示すように、ヒューム管の間を 50mm 開けた状態で更生した更生管(呼び径 250、管長 2m)の両端部に止水プラグをセットします。更生管内に注水し、所定の水圧(0.1MPa)を負荷させ、保持時間内(3 分間)で圧力が低下するかどうかを確認しました。試験状況を写真 25 と写真 26 に示します。

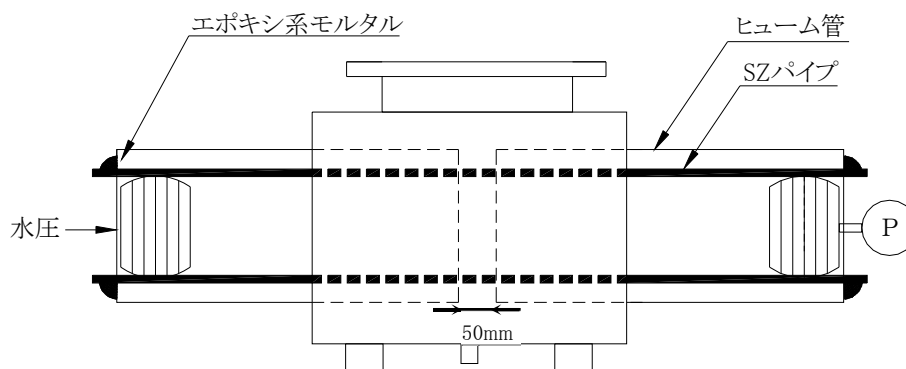


図 10 内水圧試験装置



写真 25 内水圧試験装置



写真 26 内水圧試験状況

(2) 試験結果

内水圧試験結果を表 30 に示します。SZパイプは、0.1MPa の内水圧に耐える水密性を有することを確認しました。

表 30 内水圧試験結果

試験項目	条件	結果
内水圧	内水圧:0.1MPa 負荷時間:3分間	漏水は認められなかった。

6. 2. 4. 2. 外水圧に対する水密性

(1) 試験方法

「下水道用強化プラスチック複合管(JSWAS K-2)」に定めた水密性試験を実施しました。図 11 に示すように、ヒューム管の間を 50mm 開けた状態で更生した更生管(呼び径 250、管長 2m)を外水圧試験機にセットしました。外水圧試験機の上蓋を閉めて、所定の水圧(0.1MPa)を負荷させ、保持時間内(3 分間)に更生管内の漏水の有無を目視により確認しました。試験状況を写真 27 と写真 28 に示します。

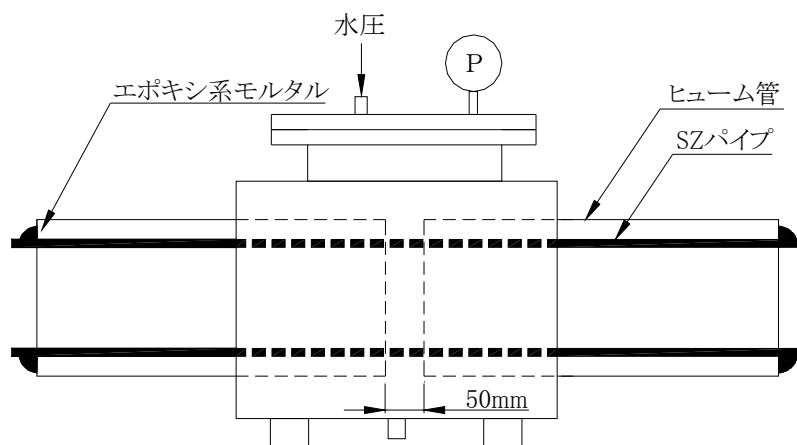


図 11 外水圧試験装置



写真 27 外水圧試験装置



写真 28 外水圧試験状況

(2) 試験結果

外水圧試験結果を表 31 に示します。SZパイプは、0.1MPa の外水圧に耐える水密性を有することを確認しました。

表 31 外水圧試験結果

試験項目	条件	結果
外水圧	外水圧:0.1MPa 負荷時間:3分間	漏水は認められなかった。

6. 3. 耐震性能

6. 3. 1. 曲げ強さ

6. 3. 1. 1. 最大荷重時の曲げ応力度の短期試験値(平板)

6. 3. 1. 2. 最大荷重時の曲げ応力度の短期試験値(円弧)

(1) 試験方法

SZ平板とSZパイプから管軸方向に試験片を切り出し、「JIS K 7171 プラスチックー曲げ特性の求め方」に定めた曲げ試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

平板サンプル作製ジグと模擬配管を使用して各口径と厚さのSZ平板とSZパイプを製作し、それぞれ管軸方向に切り出して平板試験片と円弧試験片としました。

(3) 試験結果

P10 の前述式(ア)より、最大荷重時の曲げ応力度を算出しました。表 32 に平板の試験結果を、表 33 に円弧の試験結果を示します。SZ平板とSZパイプは、規定の曲げ応力度を有することを確認しました。

表 32 最大荷重時の曲げ応力度の短期試験値(平板)試験結果

試験片寸法 (mm)				試験条件 (mm)		最大荷重時の曲げ応力度 (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	幅	長さ	支点間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	平板
150	4	10	100	70	2	110 以上	216
	5	15	106	86	2		199
500	10	20	215	172	5		145
800	20	35	433	346	10		157

表 33 最大荷重時の曲げ応力度の短期試験値(円弧)試験結果

試験片寸法 (mm)				試験条件 (mm)		最大荷重時の曲げ応力度 (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	幅	長さ	支点間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	円弧
150	4	10	100	76	2	80 以上	165
	5	15	104	84	2		170
500	10	20	211	168	5		165
800	20	35	445	356	10		178

6.3.2. 引張強さ

6.3.2.1. 引張強さの短期試験値(平板)

6.3.2.2. 引張強さの短期試験値(円弧)

(1) 試験方法

SZ平板とSZパイプから管軸方向に試験片を切り出し、「JIS K 7161-1 プラスチックー引張特性の求め方ー第1部:通則」に定めた引張試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

平板サンプル作製ジグと模擬配管を使用して各口径と厚さのSZ平板とSZパイプを製作し、それぞれ管軸方向に切り出して平板試験片と円弧試験片としました。

(3) 試験結果

引張強さを算出し、表 34 に平板の試験結果を、表 35 に円弧の試験結果を示します。SZ平板とSZパイプは、規定の引張強さを有することを確認しました。

表 34 引張強さの短期試験値(平板)試験結果

試験片寸法 (mm)			試験条件 (mm)			引張強さ (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	標線部幅	標線間距離	掴み具間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	平板
150	4	25	50	115	5	60 以上	91.0
	5	25	50	115	5		93.4
500	10	25	50	115	5		90.1
800	20	25	50	115	5		87.9

表 35 引張強さの短期試験値(円弧)試験結果

試験片寸法 (mm)			試験条件 (mm)			引張強さ (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	標線部幅	標線間距離	掴み具間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	円弧
150	4	25	50	115	5	55 以上	81.9
	5	25	50	115	5		84.7
500	10	25	50	115	5		96.9
800	20	25	50	115	5		98.2

6.3.3. 引張弾性率

6.3.3.1. 引張弾性率の短期試験値(平板)

6.3.3.2. 引張弾性率の短期試験値(円弧)

(1) 試験方法

SZ平板とSZパイプから管軸方向に試験片を切り出し、「JIS K 7161-1 プラスチックー引張特性の求め方ー第1部:通則」に定めた引張試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

平板サンプル作製ジグと模擬配管を使用して各口径と厚さのSZ平板とSZパイプを製作し、それぞれ管軸方向に切り出して平板試験片と円弧試験片としました。

(3) 試験結果

引張弾性率を算出し、表 36 に平板の試験結果を、表 37 に円弧の試験結果を示します。SZ平板とSZパイプは、規定の引張弾性率を有することを確認しました。

表 36 引張弾性率の短期試験値(平板)試験結果

試験片寸法 (mm)			試験条件 (mm)			引張弾性率 (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	標線部幅	標線間距離	掴み具間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	平板
150	4	25	50	115	1	6,000 以上	12,800
	5	25	50	115	1		10,600
500	10	25	50	115	1		9,970
800	20	25	50	115	1		9,510

表 37 引張弾性率の短期試験値(円弧)試験結果

試験片寸法 (mm)			試験条件 (mm)			引張弾性率 (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	標線部幅	標線間距離	掴み具間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	平板
150	4	25	50	115	1	5,000 以上	10,700
	5	25	50	115	1		10,100
500	10	25	50	115	1		10,300
800	20	25	50	115	1		11,800

6. 3. 4. 引張伸び率

6. 3. 4. 1. 引張伸び率の短期試験値(平板)

(1) 試験方法

SZ平板から管軸方向に試験片を切り出し、「JIS K 7161-1 プラスチックー引張特性の求め方ー第1部:通則」に定めた引張試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

平板サンプル作製ジグを使用して各口径と厚さのSZ平板を製作し、写真 29 のように管軸方向に切り出して、写真 30 のように平板試験片としました。



写真 29 引張試験片切り出し状況



写真 30 引張試験片

(3) 試験結果

引張伸び率を算出し、表 38 に試験結果を示します。写真 31 に引張弾性率の測定状況を、写真 32 に引張強さと引張伸び率の測定状況を示します。SZ平板は、規定の引張伸び率を有することを確認しました。

表 38 引張伸び率の短期試験値(平板)試験結果

試験片寸法 (mm)			試験条件 (mm)			引張伸び率 (%)	
呼び径	呼び厚さ	標線部幅	標線間距離	掴み具間距離	試験速度 (mm/min)	目標値	平板
150	4	25	50	115	10	0.5 以上	1.6
	5	25	50	115	5		2.0
500	10	25	50	115	5		2.2
800	20	25	50	115	5		2.0

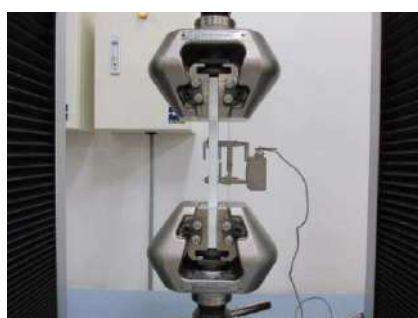


写真 31 引張弾性率測定状況



写真 32 引張強さ、引張伸び率測定状況

6. 3. 5. 圧縮強さ

6. 3. 5. 1. 圧縮強さの短期試験値(平板)

6. 3. 5. 2. 圧縮強さの短期試験値(円弧)

(1) 試験方法

SZ平板とSZパイプから管軸方向に試験片を切り出し、「JIS K 7181 プラスチック—圧縮特性の求め方」に定めた圧縮試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

平板サンプル作製ジグと模擬配管を使用して各口径と厚さのSZ平板とSZパイプを製作し、それぞれ管軸方向に切り出して写真 33 のように平板試験片と円弧試験片としました。「厚さ加工」の試験片は、平板試験片のベースホースと保護クロスを剥がして厚さ方向の表面を研磨し、熱硬化性樹脂シート部分のみとしました。

(3) 試験結果

写真 34 に示す試験から圧縮強さを算出し、表 39 に平板の試験結果を、表 40 に円弧の試験結果を示します。SZ平板とSZパイプは、規定の圧縮強さを有することを確認しました。

表 39 圧縮強さの短期試験値(平板)試験結果

試験片寸法 (mm)				試験条件	圧縮強さ (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	幅	長さ	試験速度 (mm/min)	目標値	平板
厚さ加工	4(加工後)	10	10	1	110 以上	159
150	4	10	10	1		211
	5	10	10	1		183
500	10	10	10	1		170
800	20	10	10	1		177

表 40 圧縮強さの短期試験値(円弧)試験結果

試験片寸法 (mm)				試験条件	圧縮強さ (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	幅	長さ	試験速度 (mm/min)	目標値	円弧
150	4	10	10	1	100 以上	179
	5	10	10	1		130
500	10	10	10	1		164
800	20	10	10	1		218

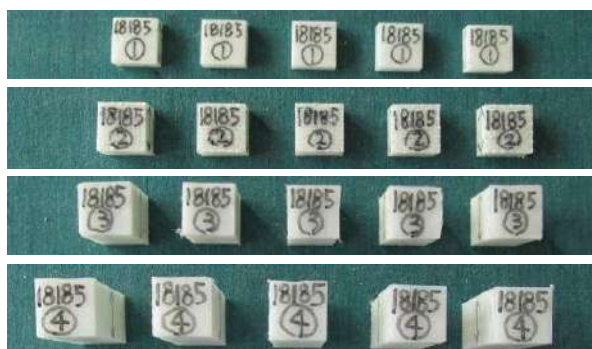


写真 33 圧縮強さ試験片(平板 4 種)



写真 34 圧縮強さ測定状況

6. 3. 6. 圧縮弾性率

6. 3. 6. 1. 圧縮弾性率の短期試験値(平板)

6. 3. 6. 2. 圧縮弾性率の短期試験値(円弧)

(1) 試験方法

SZ平板とSZパイプから管軸方向に試験片を切り出し、「JIS K 7181 プラスチックー圧縮特性の求め方」に定めた圧縮試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験片作製

平板サンプル作製ジグと模擬配管を使用して各口径と厚さのSZ平板とSZパイプを製作し、それぞれ管軸方向に切り出して写真 35 のように平板試験片と円弧試験片としました。「厚さ加工」の試験片は、平板試験片のベースホースと保護クロスを剥がして厚さ方向の表面を研磨し、熱硬化性樹脂シート部分のみとしました。

(3) 試験結果

写真 36 に示す試験から圧縮弾性率を算出し、表 41 に平板の試験結果を、表 42 に円弧の試験結果を示します。SZ平板とSZパイプは、規定の圧縮弾性率を有することを確認しました。

表 41 圧縮弾性率の短期試験値(平板)試験結果

試験片寸法 (mm)				試験条件	圧縮弾性率 (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	幅	長さ	試験速度 (mm/min)	目標値	平板
厚さ加工	4(加工後)	10	50	1	6,000 以上	12,600
150	4	10	50	1		11,000
	5	10	50	1		12,900
500	10	10	50	1		13,100
800	20	10	50	1		11,800

表 42 圧縮弾性率の短期試験値(円弧)試験結果

試験片寸法 (mm)				試験条件	圧縮弾性率 (MPa)	
呼び径	呼び厚さ	幅	長さ	試験速度 (mm/min)	目標値	円弧
150	4	10	50	1	4,500 以上	10,400
	5	10	50	1		10,800
500	10	10	50	1		11,500
800	20	10	50	1		12,200

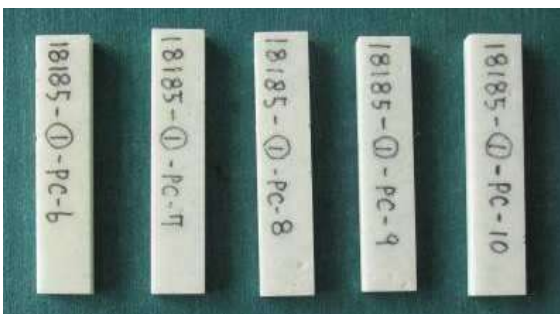


写真 35 圧縮強さ試験片(平板厚さ加工)

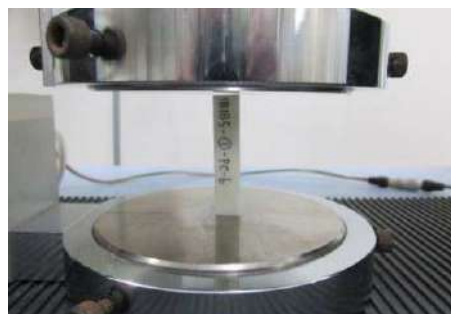


写真 36 圧縮弾性率測定状況(平板厚さ加工)

6. 4. 水理性能

6. 4. 1. 粗度係数

(1) 試験概要

試験用の循環水路に供試体を仮設し、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を計算しました。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した。粗度係数はマニングおよび、ガンギレー・クッターの平均流速公式の両方で計算しました。

(2) 試験装置(循環水路装置)

試験装置の模式図を図 12 に示します。

通水能力	: 最大 110m ³ /h
揚水ポンプ	: EBARA PUMP、MODEL 150SEM、5.5kw、1500rpm
流量調整バルブ	: φ 150
基準流量計	: 形式;UEFVF-IX、製造;1992 年度、精度;±0.5%RS
試験水路	: 短形開水路;高さ 40cm、幅 40cm、長さ 10m

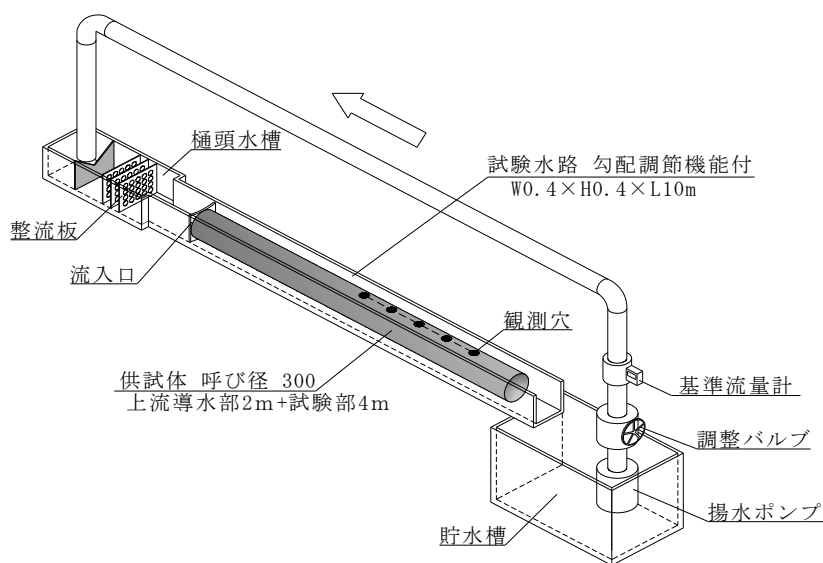


図 12 試験概要図

(3) 試験方法

- 1) 中・小口径の開水路下水管勾配としては一般的な 3‰と 5‰の 2 勾配としました。
- 2) 水位および水面形観測用に、供試体に観測用穴を 5 箇所開けました。
(下端から軸方向に 50cm 間隔)
- 3) 水面形を安定させるため、観測用の上流端の穴から上流側へ 3.5m の直管導水部を設置しました。(同材質導水管 2m + 供試体上流側 1.5m)
- 4) 供試体と上流導水管との結合部は、隙間をパテ埋めし、外部からテープを巻いて止水しました。
- 5) 導水部上流端は周囲から水が漏出しないように止水板とパテで固定しました。
- 6) 揚水ポンプを稼働させ、調整バルブで流量を調節しながら、概ね 15m³/h ごとに 105m³/h までの 7 段階で、安定した読み値を基準流量として試験を行いました。
- 7) 供試体の水位観測用穴から、水面形が安定していることを確認し、ポイントゲージまたは金尺を使って水位を計測しました。各回の測定は特異値は除き 5 箇所の平均値を代表値としました。
- 8) 安定した水面形を条件に、基準流量と平均水位、動水勾配とみなした設定勾配から、マニングとガンギレー・クッターの平均流速公式を用いて粗度係数を計算しました。
- 9) 計算方法は次の通りです。

マニング式

$$Q = A \cdot V$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

ここに、

Q: 流量(m³/sec)

V: 断面平均流速(m/sec)

A: 断面積(m²)

R: 径深(m) = A/P

P: 流水の潤辺長(m)

I: 動水勾配(1/1000)

n: 粗度係数

クッター式

$$Q = A \cdot V$$

$$V = N \cdot R / (R^{1/2} + D)$$

ここに、

Q: 流量(m³/sec)

V: 断面平均流速(m/sec)

A: 断面積(m²)

$N = (23 + 1/n + 0.00155/I)I^{1/2}$

$D = (23 + 0.00155/I)n$

R: 径深(m) = A/P

P: 流水の潤辺長(m)

I: 動水勾配(1/1000)

n: 粗度係数

- 10) 参考として、段差 9mm を設けた場合の粗度係数を計算しました。

(4) 供試体

- 1) 呼び径: φ 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

マニング式による算出結果を表 43、クッター式による算出結果を表 44 に示します。また、段差 9mm を設けた場合の粗度係数算出結果を表 45 に示します。

表 43 施工管の粗度係数(マンニング式による算出結果)

測定番号	動水勾配 I=3.0‰			動水勾配 I=5.0‰		
	平均流速 V(m/sec)	径 深 R(m)	粗度係数 n	平均流速 V(m/sec)	径 深 R(m)	粗度係数 n
1	0.659	0.027	0.008	0.686	0.027	0.009
2	0.788	0.038	0.008	0.824	0.036	0.009
3	0.865	0.045	0.008	0.910	0.044	0.010
4	0.928	0.052	0.008	0.928	0.050	0.010
5	1.011	0.056	0.008	1.051	0.055	0.010
6	1.066	0.061	0.008	1.113	0.059	0.010
7	1.098	0.065	0.008	1.224	0.061	0.009

表 44 施工管の粗度係数(クッター式による算出結果)

測定番号	動水勾配 I=3.0‰			動水勾配 I=5.0‰		
	平均流速 V(m/sec)	径 深 R(m)	粗度係数 n	平均流速 V(m/sec)	径 深 R(m)	粗度係数 n
1	0.659	0.027	0.008	0.686	0.027	0.009
2	0.788	0.038	0.008	0.824	0.036	0.009
3	0.865	0.045	0.008	0.910	0.044	0.010
4	0.928	0.052	0.009	0.928	0.050	0.010
5	1.011	0.056	0.008	1.051	0.055	0.010
6	1.066	0.061	0.008	1.113	0.059	0.010
7	1.098	0.065	0.009	1.224	0.061	0.009

表 45 施工管の粗度係数(段差 9mm を設けた場合の粗度係数)

測定番号	マンニング式			クッター式		
	平均流速 V(m/sec)	径 深 R(m)	粗度係数 n	平均流速 V(m/sec)	径 深 R(m)	粗度係数 n
1	0.837	0.036	0.009	0.837	0.036	0.009
2	0.956	0.051	0.010	0.956	0.051	0.010

(6) 考察

この試験結果からSZパイプの粗度係数は、0.008～0.010 であることを確認しました。SZパイプの内面は全口径とも熱可塑性樹脂層であり、施工後の状況も同じですので、この試験結果は全口径に適用が可能です。以上より、SZパイプの粗度係数は0.010 としました。

6. 4. 2. 成形後収縮性

(1) 試験方法

- 1) 図 13 のように半割れのヒューム管に更生しました。
- 2) 冷却中に 300mm のヒューム管を外し、図 14 のように半割れのヒューム管より外側の全長約 2,200mm 以上の付近に、直円周方向に 3 箇所マーキングしました。
- 3) 冷却完了後、半割れのヒューム管を外して更生管を取り出しました。鋼製 JIS メジャーを使用し、マーキング間の長さ(L_S)を 3 箇所測定しました。また、マーキングした箇所の更生管外径(D_S)を 0.1mm 以下の精度のπゲージで 2 箇所測定しました。測定時間も計測しました。
- 4) 更生管をマーキングの外側で切断しました。
- 5) 各更生管が外気温まで冷却され、内部歪みがすべてとれた状態(測定寸法が収束する)まで、マーキング長さ(L)、更生管の外径(D)を図 15 のように測定しました。測定時間は、冷却完了後に長さ(L_S)と管径(D_S)を測定した時間を基準に 1 時間後(L₁,D₁)、2 時間後(L₂,D₂)、3 時間後(L₃,D₃)、24 時間後(L₂₄,D₂₄)としました。

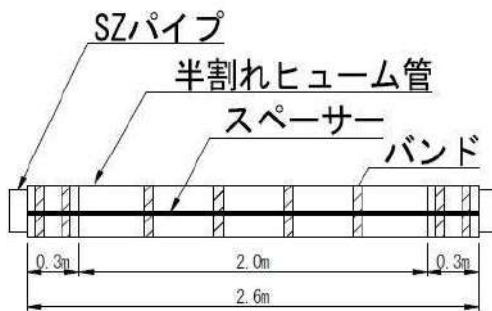


図 13 更生状況



図 14 定位置マーキング状況

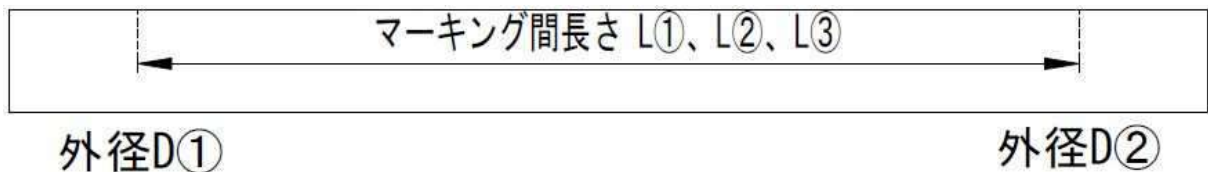


図 15 測定状況

(2) 計算方法

それぞれの値は、測定精度を考慮し、平均値を求めました。

1) 長さ方向の更生管の成形後収縮率(L_R)

$$L_R = \frac{\text{冷却直後の長さ} - \text{各測定時の長さ}}{\text{冷却直後の長さ}} = \frac{L_S - L_{1\sim 24}}{L_S}$$

2) 径方向の更生管の成形後収縮率(D_R)

$$D_R = \frac{\text{冷却直後の更生管外径} - \text{各測定時の更生管外径}}{\text{冷却直後の更生管外径}} = \frac{D_S - D_{1\sim 24}}{D_S}$$

(3) 試験結果

成形後収縮試験結果を写真 37～40、表 46～49 に示します。更生管は成形後 1.5 時間以内に収縮が収まり安定することを確認しました。



写真 37 長さ測定状況



写真 38 外径測定状況



写真 39 1.5 時間後確認状況



写真 40 24 時間後確認状況

表 46 成形後収縮性試験結果(呼び径 250, 呼び厚さ 5 mm)

経過 時間	長さ (mm)					外径 (mm)				表面 温度 (°C)
	L1	L2	L3	平均	収縮率	D1	D2	平均	収縮率	
0 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	20.3
10 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.4	247.50	0.00%	21.3
20 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	21.3
30 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	21.6
40 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	21.4
50 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	21.6
60 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	21.4
90 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	21.8
120 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	21.8
180 分	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	21.9
24 時間	2209.5	2210.0	2209.5	2209.67	0.00%	247.6	247.3	247.45	0.00%	22.4

表 47 成形後収縮性試験結果(呼び径 150, 呼び厚さ 4 mm)

経過 時間	長さ (mm)					外径 (mm)				表面 温度 (°C)
	L1	L2	L3	平均	収縮率	D1	D2	平均	収縮率	
0 分	2199	2199	2198	2198.7	—	148.3	150.2	149.3	—	58.0
10 分	2199	2199	2198	2198.7	0.00%	148.3	150.2	149.3	0.02%	41.9
20 分	2199	2199	2198	2198.7	0.00%	148.3	150.2	149.3	0.00%	33.4
30 分	2199	2199	2198	2198.7	0.00%	148.3	150.2	149.3	0.00%	28.2
40 分	2199	2198	2198	2198.3	0.02%	148.3	150.2	149.3	0.00%	24.9
50 分	2199	2198	2197	2198.0	0.03%	148.3	150.2	149.3	0.00%	23.7
60 分	2199	2198	2197	2198.0	0.03%	148.3	150.2	149.3	0.00%	22.4
90 分	2199	2198	2197	2198.0	0.03%	148.3	150.2	149.3	0.00%	21.9
150 分	2199	2198	2197	2198.0	0.03%	148.3	150.2	149.3	0.00%	22.0
24 時間	2199	2198	2197	2198.0	0.03%	148.3	150.2	149.3	0.00%	22.0

表 48 成形後収縮性試験結果(呼び径 200, 呼び厚さ 4 mm)

経過 時間	長さ (mm)					外径 (mm)				表面 温度 (°C)
	L1	L2	L3	平均	収縮率	D1	D2	平均	収縮率	
0 分	2200	2202	2201	2201.0	—	196.4	199.6	198.0	—	58.9
10 分	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20 分	2200	2201	2200	2200.3	0.03%	196.4	199.6	198.0	0.00%	33.3
30 分	2199	2200	2200	2199.7	0.06%	196.4	199.6	198.0	0.00%	28.9
40 分	2199	2200	2200	2199.7	0.06%	196.4	199.6	198.0	0.00%	25.8
50 分	2199	2200	2200	2199.7	0.06%	196.4	199.6	198.0	0.00%	23.9
60 分	2199	2200	2200	2199.7	0.06%	196.4	199.6	198.0	0.00%	23.3
90 分	2199	2200	2200	2199.7	0.06%	196.4	199.6	198.0	0.00%	21.9
150 分	2199	2200	2200	2199.7	0.06%	196.4	199.6	198.0	0.00%	22.4
24 時間	2199	2200	2200	2199.7	0.06%	196.4	199.6	198.0	0.00%	19.9

表 49 成形後収縮性試験結果(呼び径 250, 呼び厚さ 4 mm)

経過 時間	長さ (mm)					外径 (mm)				表面 温度 (°C)
	L1	L2	L3	平均	収縮率	D1	D2	平均	収縮率	
0 分	2200	2202	2199	2199.7	—	250.5	252.1	251.3	—	52.0
10 分	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20 分	2199	2199	2198	2198.7	0.05%	250.2	252.4	251.3	0.00%	31.6
30 分	2199	2199	2198	2198.7	0.05%	250.2	252.1	251.2	0.04%	25.6
40 分	2199	2199	2198	2198.7	0.05%	250.2	252.1	251.2	0.04%	23.5
50 分	2199	2199	2198	2198.7	0.05%	250.2	252.1	251.2	0.04%	22.5
60 分	2199	2199	2198	2198.7	0.05%	250.2	252.1	251.2	0.04%	21.5
90 分	2199	2199	2198	2198.7	0.05%	250.2	252.1	251.2	0.04%	22.0
150 分	2199	2199	2198	2198.7	0.05%	250.2	252.1	251.2	0.04%	21.6
24 時間	2199	2199	2198	2198.7	0.05%	250.2	252.1	251.2	0.04%	20.7

6. 5. 材料特性

本技術で使用される樹脂材料で作製した樹脂平板が、製造段階の要求性能において各試験規格に定める規格値と同等以上であることを確認しました。

6. 5. 1. 曲げ強さの短期試験値(樹脂平板)

(1) 試験方法

樹脂平板から試験片を切り出し、「JIS K 7171 プラスチックー曲げ特性の求め方」に定めた曲げ試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験結果

写真 41 に曲げ試験片を、写真 42 に試験状況を、表 50 に曲げ強さの試験結果を示します。樹脂平板は、規定の曲げ強さを有することを確認しました。

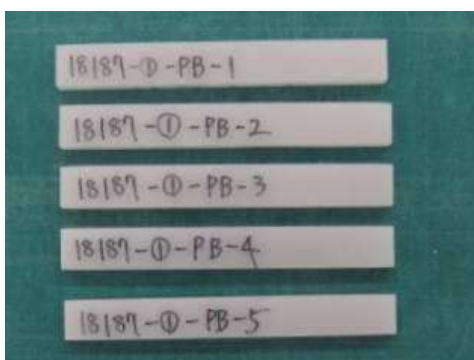


写真 41 曲げ試験片(樹脂平板)

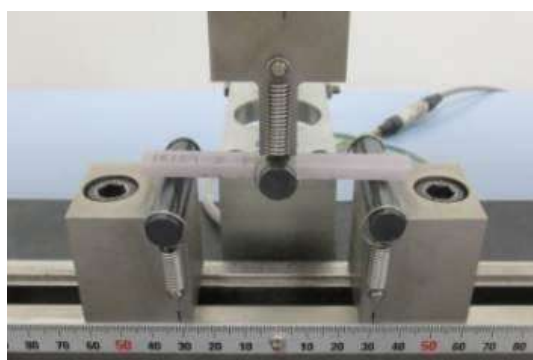


写真 42 曲げ試験状況(樹脂平板)

表 50 曲げ強さの短期試験値試験結果(樹脂平板)

目標値(MPa)	平均値(MPa)
100	111

6. 5. 2. 破断時の引張伸び率(樹脂平板)

(1) 試験方法

樹脂平板から試験片を切り出し、「JIS K 7162 プラスチックー引張特性の試験方法第 2 部：型成形、押出成形及び注型プラスチックの試験条件」に定めた引張試験を実施しました。試験は株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験結果

写真 43 に引張試験片を、写真 44 に試験状況を、表 51 に引張伸び率の試験結果を示します。樹脂平板は、規定の引張伸び率を有することを確認しました。



写真 43 引張試験片(樹脂平板)

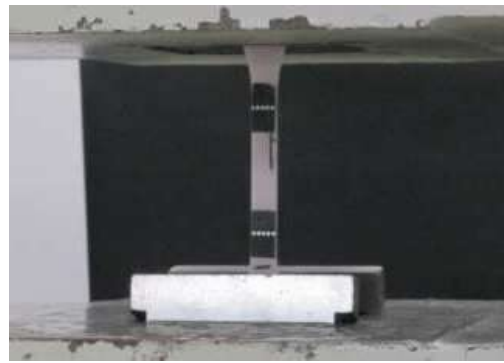


写真 44 引張試験状況(樹脂平板)

表 51 破断時の引張伸び率の短期試験値試験結果(樹脂平板)

目標値(%)	平均値(%)
2	2.5

6. 5. 3. 負荷時のたわみ温度(樹脂平板)

(1) 試験方法

樹脂平板から試験片を切り出し、「JIS K 7191-2:2015 プラスチックー荷重たわみ温度の求め方ー第 2 部:プラスチック及びエポナイト」(附属書 A)に定めた負荷時のたわみ温度試験(曲げ試験)を実施しました。試験は、株式会社G&U技術研究センターで実施しました。

(2) 試験結果

写真 45 に負荷時のたわみ温度試験片(曲げ試験片)を、写真 46 と写真 47 に試験状況を、表 52 に負荷時のたわみ温度試験結果を示します。樹脂平板は、規定の負荷時のたわみ温度を有することを確認しました。

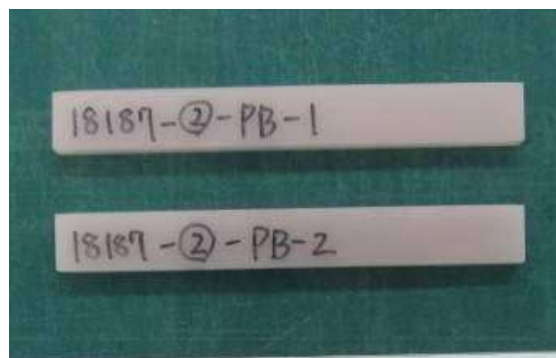


写真 45 負荷時のたわみ温度試験片(樹脂平板)



写真 46 負荷時のたわみ温度試験状況
(樹脂平板)



写真 47 負荷時のたわみ温度試験状況
(樹脂平板)

表 52 負荷時のたわみ温度試験結果(樹脂平板)

目標値(°C)	平均値(°C)
85	108

6. 6. 耐高圧洗浄性

更生管は、15 MPa の高圧洗浄で、剥離・破損がないことを確認しました。

(1) 試験方法

施工性確認試験と同じ配管に更生し、ポンプ圧力 15MPa で 7 孔×15° のノズルにより連続で 3 分間の洗浄を行いました。洗浄に使用したノズルを写真 48 に、試験状況を写真 49 に示します。



写真 48 ノズル



写真 49 耐高圧洗浄性試験状況

(2) 試験結果

試験結果を表 53 に示します。更生管は、ポンプ圧力 15MPa で 7 孔×15° のノズルにより連続で 3 分間の洗浄を行っても、内面に剥離や破損等の異常がないことを確認しました。

表 53 耐高圧洗浄性試験結果

試験項目	目標値	試験結果
耐高圧洗浄性	内面に剥離や破損等の異常がないこと	内面に剥離や破損等の異常なし

6. 7. 耐衝撃性

2mの高さから100kgの錘を更生管に落下させ、更生管中央部を10°屈曲させた状態で0.1MPaの内水圧を3分間作用させて漏水の有無を調べ、SZパイプの耐衝撃性を確認しました。

(1) 試験条件

地盤永久ひずみ1.5%による抜け出し量および下水道施設耐震計算例により、下水道用鉄筋コンクリート管の軸方向最大抜け出し量と最大屈曲角を求め、その結果を表54に示します。

パルテムSZ工法の適用範囲は呼び径150～800であり、適用範囲内で対象とする下水道用鉄筋コンクリート管の最大屈曲角は、呼び径800で2°27'、呼び径150で9°16'ですので、その最大値を越える10°を試験の屈曲角としました。

表54 抜け出し量と最大屈曲角

呼び径 (mm)	1.5%による抜け出し量 (mm)	最大抜け出し量(mm) (下水道用鉄筋コンクリート管)	最大 屈曲角
150	30	33	9° 16'
200	30	33	7° 24'
250	30	33	6° 11'
300	30	29	4° 36'
350	30	29	4° 00'
400	37	34	4° 08'
450	37	34	3° 41'
500	37	34	3° 19'
600	37	39	3° 11'
700	37	35	2° 27'
800	37	40	2° 27'

(2) 試験方法

図16、写真50に示すように、2本の下水道用鉄筋コンクリート管を更生し、衝撃試験機にセットしました。その後、高さ約2mの位置から100kgの錘を落下させ、SZパイプを屈曲させました。その状況を図17、写真51、写真52に示します。10°折れ曲がった状態で、写真に示すように更生管の両端部に止水プラグを取り付け、更生管内に0.1MPaの水圧を3分間加え、更生管内の漏水の有無を確認しました。

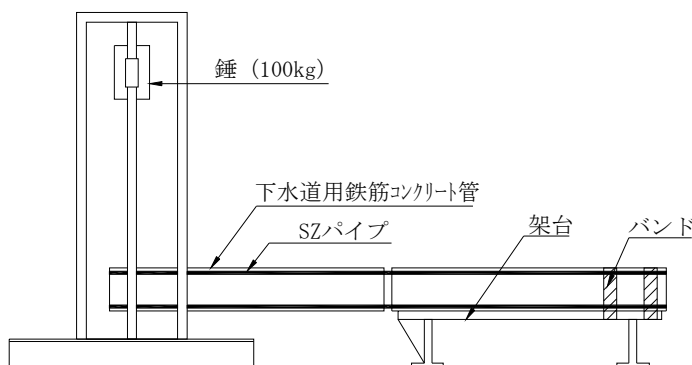


図16 耐衝撃性試験概要図



写真50 耐衝撃性試験状況

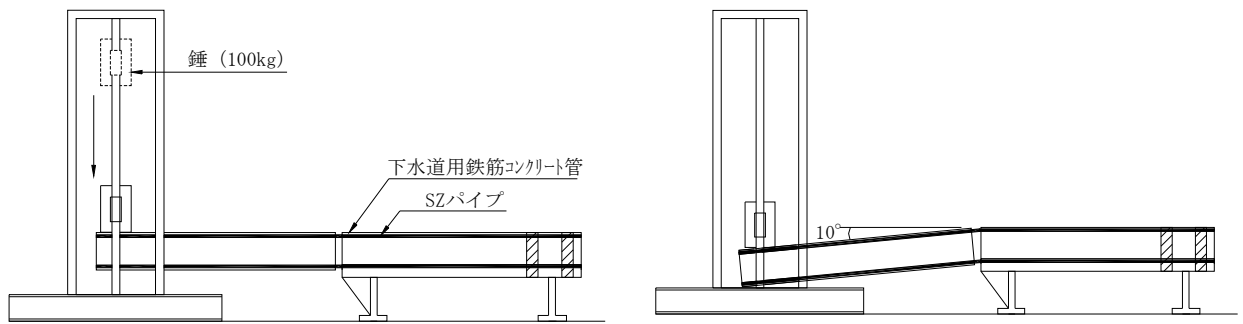


図 17 耐衝撃性試験概要図



写真 51 耐衝撃性試験状況



写真 52 耐衝撃性試験状況(内水圧 0.10MPa)

(3) 試験結果

耐衝撃性試験結果を表 55 に示します。SZパイプは耐衝撃性を有することを確認しました。

表 55 耐衝撃性試験結果

試験項目	条件	結果
内水圧	内水圧:0.1 MPa 負荷時間:3 分間	漏水は認められなかった。

6. 8. 既設管への追従性

地震時には管路に引張単独や屈曲単独の力が作用するのではなくて複合した力が作用します。そこで、更生管に引張と屈曲を同時に作用させ、その状態で漏水がないことを確認し、SZパイプが地盤変位に伴う既設管への追従性を有することを確認しました。

(1) 試験条件

試験体は呼び径 250 を用いており、呼び径 250 における最大抜け出し量 33mm を上回る 40mm、最大屈曲角 $6^{\circ} 11'$ を上回る 8° とし、これらを更生管に同時に作用させました。

(2) 試験方法

図 18 に示すように 1m の鋼管を更生し、試験機にセットしました。更生管に 40mm の軸方向変位を与えた後(図 19)、0.1MPa の内水圧を 3 分間作用させて(図 20)、漏水の有無を確認しました。さらに、その状態で 8° の屈曲を作用させ、0.1MPa の内水圧で 3 分間保持し、漏水の有無を確認しました(図 21)。

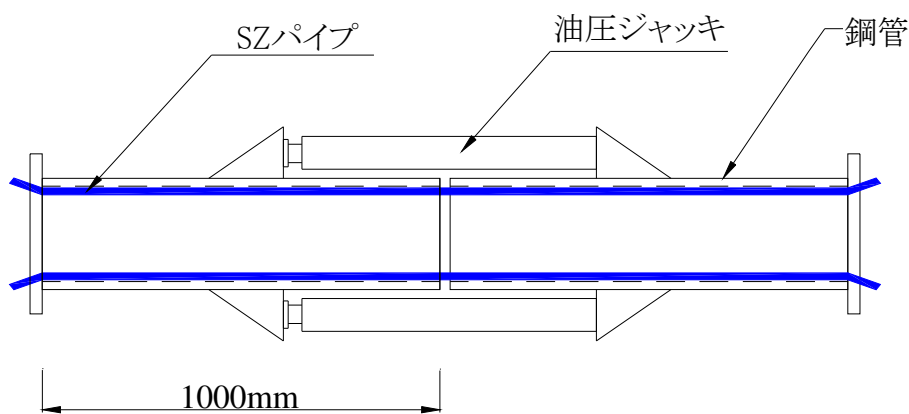


図 18 試験機

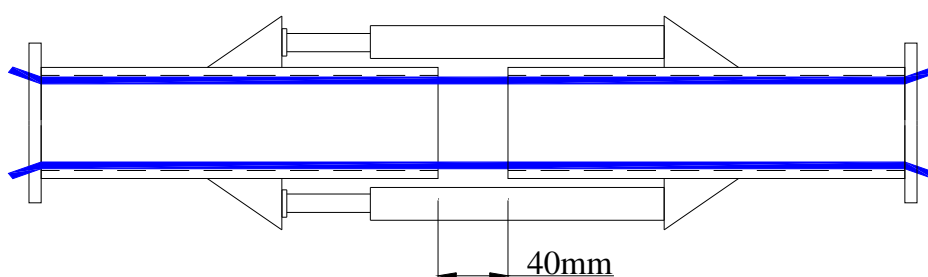


図 19 軸方向変位

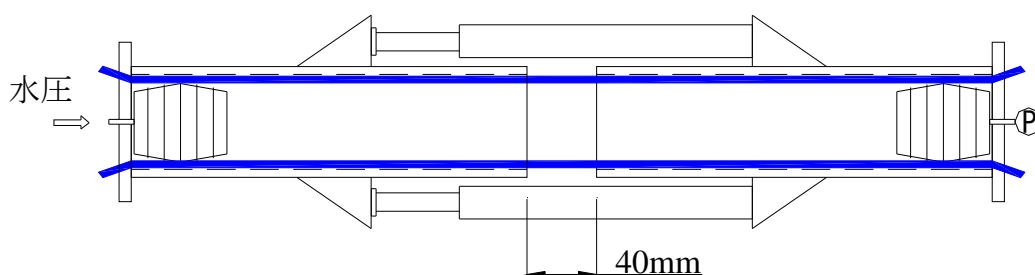


図 20 水圧試験

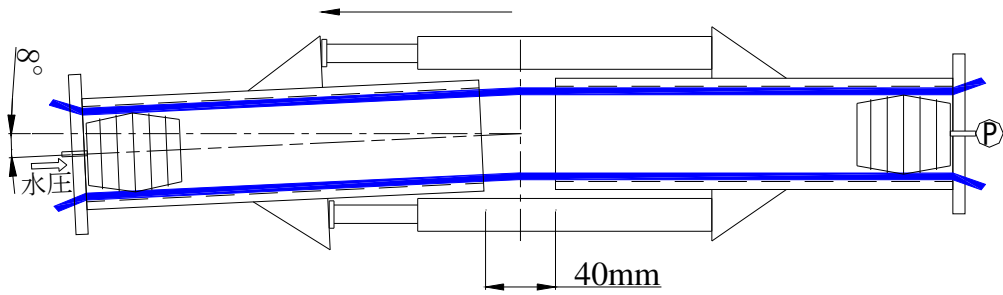


図 21 屈曲後の水圧試験

1) 軸方向変位

写真 53 に示すように更生管を試験機にセットし、更生管に 40mm の軸方向変位を与えました (写真 54)。その状態で更生管に 0.1MPa の内水圧を作用させて 3 分間保持し、漏水の有無を確認しました (写真 55)。



写真 53 引張曲げ試験装置



写真 54 軸方向変位量確認



写真 55 最大軸方向変位量での水密性確認

1) 屈曲

写真 56 に示すように、40mm の軸方向変位を与えて 0.1MPa の圧力を作用させた状態の更生管にさらに 8° の屈曲を作用させました。その状態で3分間保持して、漏水の有無を確認しました。



写真 56 軸方向変位量と屈曲角作用後の水密性確認

(3) 試験結果

既設管への追従性試験結果を表 56 に示します。また、試験後の管内面状態を写真 57 に示します。異常は見受けられませんでした。

よって、SZパイプは地盤変位に伴う既設管への追従性を有することを確認しました。

表 56 既設管への追従性試験結果

試験項目	条件	結果
40 mm の軸方向変位	内水圧:0.1 MPa 負荷時間:3 分間	漏水は認められなかった。
40 mm の軸方向変位と 8° の屈曲角	内水圧:0.1 MPa 負荷時間:3 分間	漏水は認められなかった。



写真 57 最大軸方向変位量と最大屈曲角での管内状態

6. 9. 硬質塩化ビニルへの施工性

呼び径 250 の硬質塩化ビニル管(以下、塩ビ管という)の模擬管をもちいて、土圧・水圧・活荷重を合算した外圧に相当する外水圧をかけた状態で施工し、以下の項目を満たすことを確認しました。

- ・ 硬化時の塩ビ管の外面温度がビカット軟化温度を超えないこと。
- ・ 施工後の塩ビ管の外径を計測し、硬化時の温度上昇による形状変化がないこと。
- ・ 施工後の更生管は、所定の厚さを有すること。
- ・ 公的試験機関の試験結果により、扁平強さ、曲げ強さ等が所定の値を有すること。

(1) 試験条件

模擬管 : 新管かつ直線の呼び径 250 の塩ビ管

外水圧 : 最大土被り(5.0m)での土圧・水圧・活荷重を合算した外圧に相当する 0.07MPa

(2) 試験方法

図 22 に示す塩ビ管を呼び径 300 の鋼管内に挿入し、両端にフランジおよびゴムパッキンを取り付けて密閉状態にしました。次に、塩ビ管と鋼管の間に圧力注入口から注水を行い、5.0m の埋設深さ相当の土圧、水圧、活荷重を考慮した外圧 0.07 MPa まで昇圧し、塩ビ管内を更生しました。

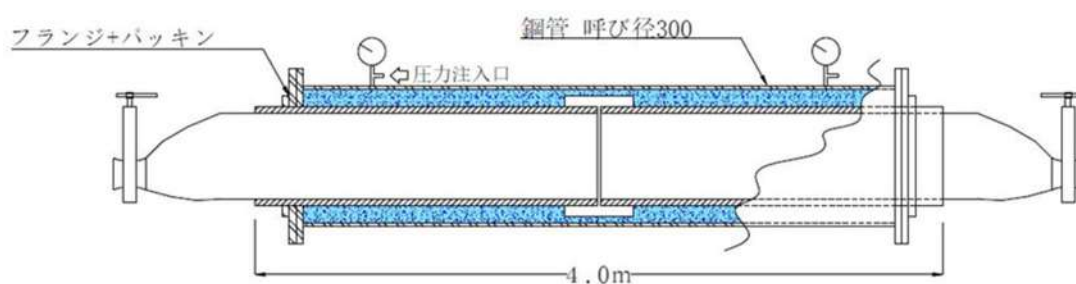


図 22 塩ビ管への施工性試験概要図

1) 塩ビ管の温度測定

図 23 に示す位置に熱電対(①, ④地点)とサーモシール(②, ③地点)を設置し、測定しました。

塩ビ管の外面温度がビカット軟化温度 76.3 °C 以下になることを確認しました。

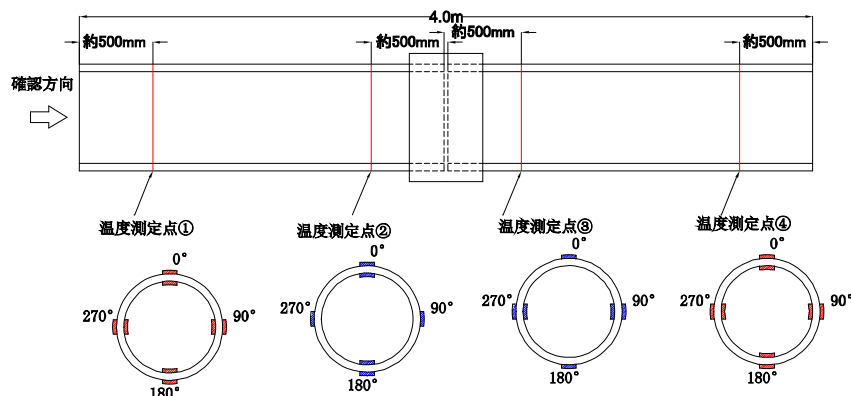


図 23 温度測定箇所

2)水温

塩ビ管に外水圧を作用させる水について、入口側と出口側で水温を測定し、開始温度と最大温度を確認しました。

3)塩ビ管の外径測定

図 21 に示す①～④の 4 箇所て上下、左右の外径を試験前と試験後に測定し、硬化時の温度上昇による形状変化がないことを確認しました。

4)更生管の耐荷強度

図 21 に示す①～④の 4 箇所て試験体を取扱し、公的機関に偏平強さおよび曲げ強さ、曲げ弾性率測定試験を実施しました。

(2)試験結果

限られた模擬管きょ条件において、塩ビ管に施工できることを確認しました。

1)塩ビ管の表面温度と水温、外水圧

塩ビ管の表面温度と水温、外水圧の試験結果を表 57～59、写真 58～61 に示します。硬化時の外面温度がピカット軟化温度(76.3℃)を超えないことを確認しました。

表 57 塩ビ管の表面温度測定(ピーク時)

測定位置		0°	90°	180°	270°
①	内面	90.8℃	94.5℃	93.9℃	93.7℃
	外面	34.8℃	42.1℃	40.9℃	42.0℃
②	内面	99℃未満※	—	104℃未満※	—
	外面	54℃未満※	46℃未満※	43℃未満※	46℃未満※
③	内面	—	110℃未満※	—	110℃未満※
	外面	54℃未満※	46℃未満※	43℃未満※	46℃未満※
④	内面	91.9℃	96.9℃	94.9℃	97.2℃
	外面	45.3℃	42.4℃	40.1℃	43.7℃

※サーモシールの測定値です。

表 58 水温測定

測定位置	入口側	出口側
開始温度	26.0℃	26.2℃
最高温度	37.5℃	36.2℃

表 59 外水圧測定

測定項目	目標値	測定値
外水圧	0.07 MPa 以上	0.07 MPa

2)塩ビ管の外径

外径の試験結果を表 60、写真 62～63 に示します。塩ビ管は、硬化時の温度上昇による形状変化がないことを確認しました。

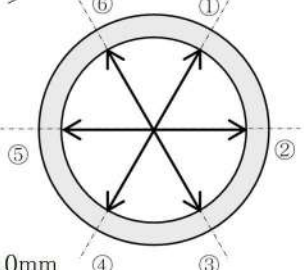
表 60 塩ビ管の外径変化

測定点		外径 (mm)		変化率 (%)
		試験前	試験後	
①	上下	266.4	266.8	+0.15
	左右	267.8	267.2	-0.22
②	上下	267.2	268.4	+0.45
	左右	267.2	266.0	-0.45
③	上下	267.1	267.1	0.00
	左右	267.4	266.9	-0.19
④	上下	267.6	267.4	-0.07
	左右	267.0	266.6	-0.15

3) 更生管の出来形

測定した更生管の管厚の測定結果を表 61、写真 64～65 に示します。施工後の更生管は、所定の厚さを有することを確認しました。

表 61 厚さ測定結果

目標値	厚さ			
	《入口側》		《出口側》	
	箇所	厚さ (mm)	箇所	厚さ (mm)
6 箇所の平均厚さが呼び厚さ以上、 かつ上限値は呼び厚さの+20%以下とし、 測定値の最小厚さは呼び厚さ以上。 <測定箇所>  呼び厚さ: 5.0mm	①	5.18	①	5.26
	②	5.19	②	5.14
	③	5.43	③	5.64
	④	5.25	④	5.44
	⑤	5.28	⑤	5.27
	⑥	5.30	⑥	5.59
	最小	5.18	最小	5.14
	平均	5.27	平均	5.39

4) 更生管の耐荷能力

更生管の試験結果を表 62 に示します。偏平強さ、曲げ強さ、曲げ弾性率が所定の値を有することを確認しました。

表 62 更生管の強度試験結果

測定点	偏平強さ (kN/m)		曲げ強さ (MPa)		曲げ弾性率 (MPa)	
	目標値	測定値	目標値	測定値	目標値	測定値
①	4.61 以上	7.70	80 以上	212	5,300 以上	9,320
②		7.61		219		9,270
③		7.66		185		8,830
④		7.30		192		8,950

7. SZパイプの厚さ設計

7. 1. 自立管として設計

7. 1. 1. はじめに

「管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン：(公社)日本下水道協会」では、パルテムSZ工法は改築の形成工法に分類されています。また、パルテムSZ工法により下水道管内に形成されたSZパイプは、既設管の強度を期待せずにSZパイプ単体で外力に抵抗し、新管と同等以上の耐荷能力及び、耐久性を有する自立管となります。

ここでは自立管として形成するSZライナーの厚さを、「管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン」に準じて計算し、条件にあった厚さを算出します。

7. 1. 2. 厚さ計算手順

パルテムSZ工法の厚さは、「管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン」に則り、図 24 の手順で計算を行います。

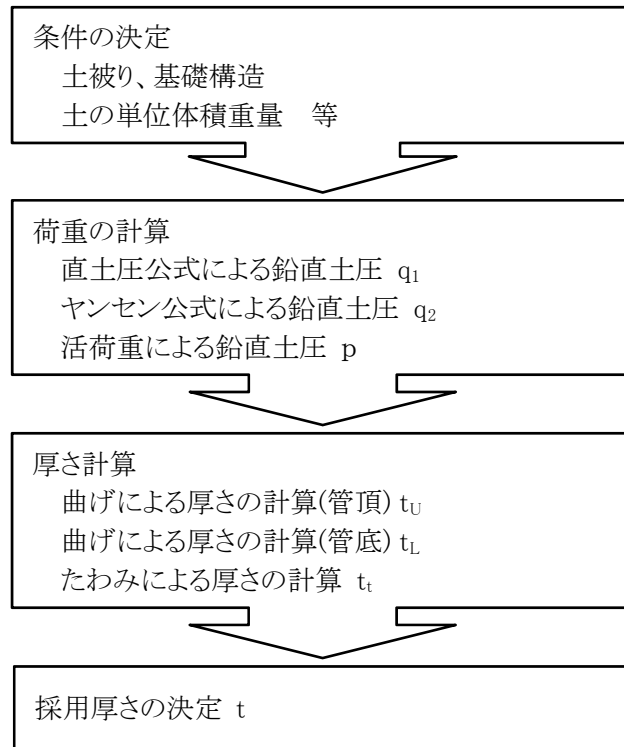


図 24 厚さ計算手順

7. 1. 3. 計算条件

1) 既設管の口径	D =	250 (mm)
2) 更生管の土被り(上流側)	H _A =	3000 (mm)
更生管の土被り(下流側)	H _B =	3000 (mm)
3) 周辺地盤の乱れ		有り
4) 輪荷重 (総重量 T-25の車輛が走行することを前提とします。)	P =	100000 (N)
5) 安全率		1.5
6) 掘削溝幅	B _d =	250 (mm)
7) 土の単位体積重量	γ =	0.000018 (N/mm ³)

7. 1. 4. SZパイプに作用する荷重の計算

7. 1. 4. 1. 土による鉛直土圧

既設管の上部等で他事業により管周辺の地盤が乱される場合の鉛直土圧は、土被りが2.0m 以上ではヤンセン公式と土被り 2.0m での直土圧公式のどちらか大きい方を採用し、土被りが2.0m 以下では直土圧公式による値を採用します。

(1) 直土圧公式による鉛直土圧

$$q_1 = \gamma \cdot H \quad \dots\dots\dots(コ)$$

ここに、 q_1 : 鉛直土圧 (N/mm²)
 γ : 土の単位体積重量 0.000018 (N/mm³)
 H_A : 更生管の土被り(上流側) 2000 (mm)
 H_B : 更生管の土被り(下流側) 2000 (mm)

式(コ)より

・上流側 $q_{1A} = 0.000018 \times 2000 = 0.0360$ (N/mm²)
 ・下流側 $q_{1B} = 0.000018 \times 2000 = 0.0360$ (N/mm²)

(2) ヤンセン公式による鉛直土圧

$$q_2 = \left[\frac{\gamma \cdot B_d}{2} - f \right] \left[\frac{1 - e^{(-2K \cdot \mu \cdot H/B_d)}}{K \cdot \mu} \right] \quad \dots\dots\dots(サ)$$

ここに、 q_2 : 鉛直土圧 (N/mm²)
 γ : 土の単位体積重量 0.000018 (N/mm³)
 B_d : 掘削溝幅 250 (mm)
 μ : 埋戻土と側壁との摩擦係数 (=tan ϕ 、 $\phi = 30^\circ$) 0.577
 K : 埋戻土の手動土圧係数 $\left[= \frac{\sqrt{u^2 + 1} - u}{u^2 + 1 + u} \right]$ 0.334
 H_A : 更生管の土被り(上流側) 3000 (mm)
 H_B : 更生管の土被り(下流側) 3000 (mm)
 f : 埋戻土の粘着力 0 (N/mm²)

式(サ)より

・上流側
 $q_{2A} = \left[\frac{0.000018 \times 250}{2} - 0 \right] \cdot \left[\frac{1 - e^{(-2 \times 0.334 \times 0.577 \times 3000/250)}}{0.334 \times 0.577} \right] = 0.0116$ (N/mm²)
 ・下流側
 $q_{2B} = \left[\frac{0.000018 \times 250}{2} - 0 \right] \cdot \left[\frac{1 - e^{(-2 \times 0.334 \times 0.577 \times 3000/250)}}{0.334 \times 0.577} \right] = 0.0116$ (N/mm²)

○採用土圧

・上流側
 土による鉛直土圧は $q_A = 0.0360$ N/mm²を採用します。
 ・下流側
 土による鉛直土圧は $q_B = 0.0360$ N/mm²を採用します。

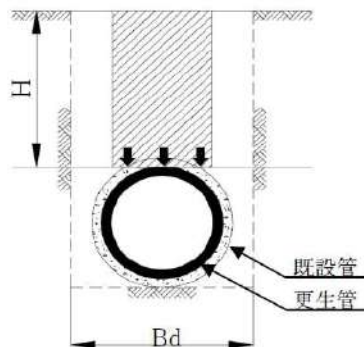


図 25 直土圧公式説明図

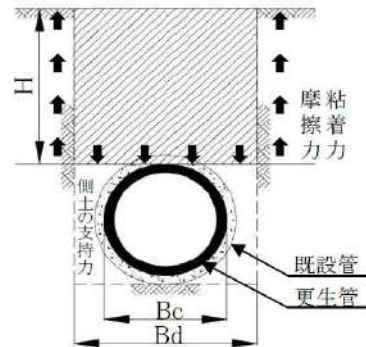


図 26 ヤンセン公式説明図

7. 1. 4. 2. 活荷重による鉛直土圧

活荷重による鉛直土圧の計算は、T-25 の後輪荷重が図 27 に示すように分布するものと想定して、設計荷重を式(シ)より計算します。

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

ここに、 p : 活荷重による鉛直土圧 (N/mm²)
 P : 後輪荷重 100000 (N)
 i_A : 衝撃係数(上流側) (下表より) 0.35
 i_B : 衝撃係数(下流側) 0.35

H	$H \leq 1500$	$1500 < H < 6500$	$6500 \leq H$
i	0.5	$0.65 - \frac{H}{10000}$	0

β : 低減係数 0.9
 C : 車体占有幅 2750 (mm)
 a : タイヤ接地長 200 (mm)
 H_A : 更生管の土被り(上流側) 3000 (mm)
 H_B : 更生管の土被り(下流側) 3000 (mm)
 θ : 荷重分散角 45 (°)

式(シ)より

・上流側

$$p_A = \frac{2 \times 100000 \times (1 + 0.35) \times 0.9}{2750 \times (200 + 2 \times 3000 \cdot \tan 45^\circ)} = 0.0143 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

・下流側

$$p_B = \frac{2 \times 100000 \times (1 + 0.35) \times 0.9}{2750 \times (200 + 2 \times 3000 \cdot \tan 45^\circ)} = 0.0143 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

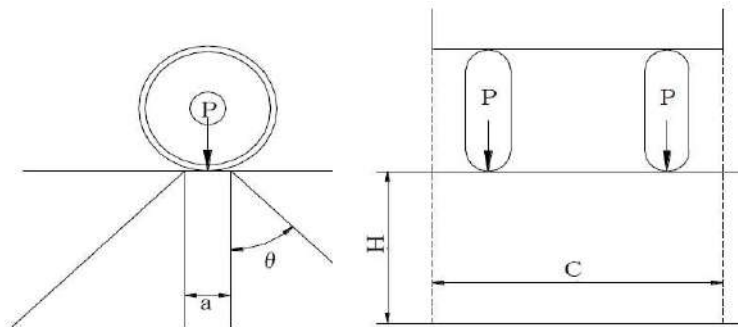


図 27 後輪荷重の分布

7. 1. 4. 3. 更生管に作用する外水圧の計算

外水圧は図 28 に示すように更生管底部に作用するものとして計算します。

$$p_w = (H+T+D-H_w) \times \gamma_w \cdots \cdots \cdots (ス)$$

ここに、 p_w :	地下水による圧力	(MPa)
$HA+T$:	更生管の土被り(上流側)	3000 (mm)
$HB+T$:	更生管の土被り(下流側)	3000 (mm)
D :	更生管外径(計算結果一覧参照)	250 (mm)
H_{WA} :	地下水位(上流側)	0 (mm)
H_{WB} :	地下水位(下流側)	0 (mm)
γ_w :	地下水の単位体積重量	0.000010 (mm)

(ス)式より

・上流側

$$P_{VA} = (3000+0+250-0) \times 0.00001 = 0.0325 \text{ (MPa)}$$

・下流側

$$P_{VB} = (3000+0+250-0) \times 0.00001 = 0.0325 \text{ (MPa)}$$

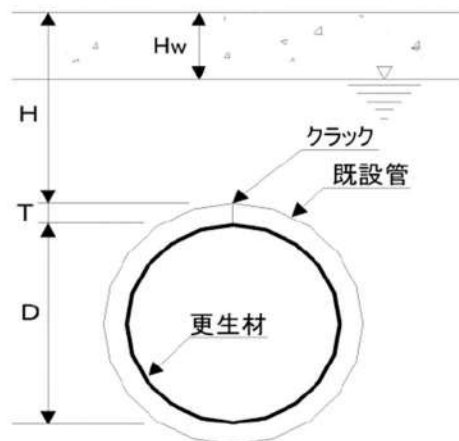


図 28 外水圧の作用

7. 1. 5. 厚さの計算

厚さの計算は、曲げとたわみにより検討を行い、安全側を考慮して計算された厚さのうちで、最も厚いものを採用します。

7. 1. 5. 1. 曲げによる更生管厚の計算

曲げによる更生管厚の計算は式(セ)によって求めます。この場合の管厚は、管頂部(t_U)と管底部(t_L)の両面から検討します。

$$t = \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3(k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}} \dots\dots\dots(セ)$$

ここに、σ : 設計曲げ強度 50.0/1.5 = 33.33 (MPa)
(50年後の長期曲げ強さ 50.0 MPa、安全率 1.5)

k₁ : 埋戻し土による曲げモーメント係数 (下表より)

k₂ : 活荷重による曲げモーメント係数 (下表より)

	k ₁	k ₂
管頂	0.107	0.079
管底	0.121	0.011

※有効支承角120°のとき

- q_A : 土による鉛直土圧(上流側) 0.0360 (N/mm²)
- q_B : 土による鉛直土圧(下流側) 0.0360 (N/mm²)
- p_A : 活荷重による鉛直土圧(上流側) 0.0143 (N/mm²)
- p_B : 活荷重による鉛直土圧(下流側) 0.0143 (N/mm²)
- D : 更生管の外径 250 (mm)

式(セ)より

・上流側

管頂の場合:t_{UA}

$$t_{UA} = \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 33.33}{3 \times (0.107 \times 0.036 + 0.079 \times 0.0143)}}} = 3.689 \text{ (mm)}$$

管底の場合:t_{LA}

$$t_{LA} = \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 33.33}{3 \times (0.121 \times 0.036 + 0.011 \times 0.0143)}}} = 3.513 \text{ (mm)}$$

・下流側

管頂の場合:t_{UB}

$$t_{UB} = \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 33.33}{3 \times (0.107 \times 0.036 + 0.079 \times 0.0143)}}} = 3.689 \text{ (mm)}$$

管底の場合:t_{LB}

$$t_{LB} = \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 33.33}{3 \times (0.121 \times 0.036 + 0.011 \times 0.0143)}}} = 3.513 \text{ (mm)}$$

7. 1. 5. 2. たわみによる更生管厚の計算

たわみによる更生管厚の計算は式(ソ)によって求めます。この場合、更生管の許容たわみ率を5%として計算します。

$$t = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{E \cdot V}{75(k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}} \dots\dots\dots(ソ)$$

- ここに、V : 許容たわみ率 5 (%)
 k₁ : 埋戻し土によるたわみ係数 0.070
 k₂ : 活荷重によるたわみ係数 0.030
 E : 設計曲げ弾性係数 8500/1.5 = 5666 (MPa)
 (50年後の長期曲げ弾性率 8500 MPa、安全率 1.5)
 q_A : 土による鉛直土圧(上流側) 0.0360 (N/mm²)
 q_B : 土による鉛直土圧(下流側) 0.0360 (N/mm²)
 p_A : 活荷重による鉛直土圧(上流側) 0.0143 (N/mm²)
 p_B : 活荷重による鉛直土圧(下流側) 0.0143 (N/mm²)
 D : 更生管の外径 250 (mm)

式(ソ)より

・上流側

$$t_{tA} = \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{5666 \times 5}{75 \times (0.07 \times 0.036 + 0.03 \times 0.0143)}}} = 4.864 \text{ (mm)}$$

・下流側

$$t_{tB} = \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{5666 \times 5}{75 \times (0.07 \times 0.036 + 0.03 \times 0.0143)}}} = 4.864 \text{ (mm)}$$

7. 1. 5. 3. 外水圧に対する必要更生管厚の計算

$$t_w = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \cdot E_L \cdot K \cdot C}{P_W \cdot N \cdot (1 - \nu^2)}}} \dots\dots\dots(タ)$$

- ここに、t_w : 外水圧に対する必要更生管厚 (mm)
 E_L : 更生管材の長期曲げ弾性率 8500 (MPa)
 K : 外水圧による座屈に対する支持向上係数 7.0
 C : 楕円変形率 (下表より) 0.64

条 件	変形率(q)	楕円変形率(C)
更生管も土圧等の荷重を負担する場合	5%	0.64
更生管には外水圧のみが作用する場合	0%	1.00

- N : 外水圧に対する安全率 2.0
 ν : 更生管材のポアソン比 0.3
 P_{WA} : 外水圧(上流側) 0.0325 (MPa)
 P_{WB} : 外水圧(下流側) 0.0325 (MPa)

式(タ)より

・上流側

$$t_{wA} = \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \times 8500 \times 7 \times 0.64}{0.0325 \times 2 \times (1 - 0.3^2)}}} = 2.27 \text{ (mm)}$$

・下流側

$$t_{wB} = \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \times 8500 \times 7 \times 0.64}{0.0325 \times 2 \times (1 - 0.3^2)}}} = 2.278 \text{ (mm)}$$

7. 1. 5. 4. SZライナー採用厚さ

SZライナーの厚さは、上記の計算結果のうちで、最も厚い必要更生管厚を採用します。また、SZライナーは厚さが 1mm 刻みとなるので、計算結果で最も厚いものを1mm 単位で切り上げた厚さを採用します。

表 63 計算結果

種 類	記号	厚さ(mm)
曲げによる必要管厚(上流側:管頂)	t_{uA}	3.689
曲げによる必要管厚(上流側:管底)	t_{LA}	3.513
曲げによる必要管厚(下流側:管頂)	t_{uB}	3.689
曲げによる必要管厚(下流側:管底)	t_{LB}	3.513
たわみによる必要管厚(上流側)	t_{tA}	4.864
たわみによる必要管厚(下流側)	t_{tB}	4.864
外水圧に対する必要管厚(上流側)	t_{WA}	2.278
外水圧に対する必要管厚(下流側)	t_{WB}	2.278
必 要 最 大 管 厚	t_{MAX}	4.864

また、SZライナーは表 64 に示すように、各口径毎に最小厚さが設定されており、それを下回らない厚さを採用します。

表 64 呼び径別最小厚さ (mm)

呼び径	150 ~250	300	350	380 ~400	450 ~460	500	520 ~550	600	680	700	750 ~760	800
厚さ	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	13.0	14.0	15.0	16.0

※ 最小厚さは、 ϕ 600 以下は「JSWAS K-1」による偏平強さ、 ϕ 700 以上は「JSWAS K-2」による基準たわみ外圧及び破壊外圧を満足する厚さとする。

SZライナーの必要最大管厚は $t_{MAX} = 4.864$ mm となり、SZライナーの採用厚さは $t = 5.0$ mm とします。

7. 2. 二層構造管として設計

二層構造管の設計は、既設管の損傷パターンから二層構造管設計の適用性を判定した後、既設管による管厚低減係数を考慮した土圧・活荷重に対する必要更生管厚さと外水圧に対する必要更生管厚さから設計更生管厚さを決定します。二層構造管として形成されるSZパイプの厚さを、「管きよ更生工法(二層構造管)技術資料」の二層構造管の更生厚さ算定例に準じて、SZパイプの厚さ算出の手順を示します。

今回は計算例を示すために、7. 1. 自立管設計と同じ条件で厚さを計算します。

7. 2. 1. 土による鉛直土圧

土による鉛直土圧は自立管での検討と同じで $q=0.0360(\text{N}/\text{mm}^2)$ を採用します。

7. 2. 2. 活荷重による鉛直土圧

活荷重による鉛直土圧は自立管での検討と同じで $p=0.0143(\text{N}/\text{mm}^2)$ を採用します。

7. 2. 3. 厚さの計算

7. 2. 3. 1 曲げによる更生管厚さの計算

曲げによる更生管厚さの計算は自立管での検討と同様に、管頂部(t_U)と管底部(t_L)の両面から検討します。

(1) 管頂部更生管厚さ

$$\begin{aligned} t_U &= \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3 \cdot \alpha_1 (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}} \\ &= \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 33.33}{3 \times 0.4 \times (0.107 \times 0.036 + 0.079 \times 0.0143)}}} = 2.345 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

(2) 管底部更生管厚さ

$$\begin{aligned} t_L &= \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3 \cdot \alpha_1 (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}} \\ &= \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 33.33}{3 \times 0.4 \times (0.121 \times 0.036 + 0.011 \times 0.0143)}}} = 2.233 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

α_1 : 管厚低減係数(曲げ強さ) = 0.4

7. 2. 3. 2 たわみによる更生管厚さの計算

$$\begin{aligned} t_t &= \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{E \cdot V}{75 \cdot \alpha_2 (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}} \\ &= \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{5666 \times 5}{75 \times 0.2 \times (0.07 \times 0.036 + 0.03 \times 0.0143)}}} = 2.868 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

α_2 : 管厚低減係数(たわみ) = 0.2

7. 2. 3. 3 外水圧による更生管厚さの計算

設計条件

- 1) 地下水位: GL-1000(mm)
- 2) 地下水の単位体積重量: 0.00001 (N/mm³)
- 3) 既設管厚さ: 28 (mm)
- 4) 設計水圧: (土被り+既設管厚さ+更生管直径-地下水位)×0.00001(N/mm³)
 {=(3,000+28+250-1000)×0.00001=0.0228 (MPa)}

$$t_w = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \cdot E_L \cdot K \cdot C}{P_w \cdot N \cdot (1 - \nu^2)}}}$$

- P_w : 外水圧 (=0.0228 MPa)
 K : 外水圧による座屈に対する支持向上係数 (=7)
 C : 楕円変形率 $\left[= \left\{ \frac{1 - q/100}{(1 + q/100)^2} \right\}^3 = 0.64 \right]$
 q : 変形率 (=5%)

条件	変形率(q)	楕円変形率(F ₀)
更生管も土圧等の荷重を負担する場合	5%	0.64
更生管には外水圧のみが作用する場合	0%	1.00

- E_L : 長期曲げ弾性率 (=8,500 MPa)
 ν : 更生材のポアソン比 (=0.3)
 t_w : 必要厚さ (mm)
 D : 更生管外径(既設管内径) (=250 mm)
 N : 外水圧に対する安全率 (=2)

前記設計条件により必要厚さを計算すると

$$t_w = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \cdot E_L \cdot K \cdot C}{P_w \cdot N \cdot (1 - \nu^2)}}} = \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \times 8500 \times 7 \times 0.64}{0.0228 \times 2 \times (1 - 0.3^2)}}} = 2.026 \text{ (mm)}$$

となります。

7. 2. 3. 4 SZライナー採用厚さ

SZライナーの厚さは、上記の計算結果のうちで、最も厚い更生管厚さとしします。また、SZライナーの厚さは1mm刻みとなるので設計厚さを1mm単位で切り上げた厚さを採用します。

表 66 計算結果

厚さ計算	曲げ(管頂) t_u (mm)	曲げ(管底) t_L (mm)	たわみ t_t (mm)	外水圧 t_s (mm)	設計厚さ t_{max}
厚さ	2.345	2.233	2.868	2.026	2.868

SZライナーは呼び径ごとに最小厚さが設定されており、それを下回らない厚さを採用して施工します。呼び径 250 の最小厚さは 4.0mm のため、採用厚さは $t=4.0$ mm とします。

表 66 呼び径別最小厚さ (二層構造管) (mm)

呼び径	150~250	300~450	500~550	600~610	680~800
厚さ	4.0	5.0	6.0	7.0	9.0

8. 施工工程

(1) SZライナーの引込み

下水道管内に通線されたワイヤーロープとSZライナーとを接続し、ウインチでワイヤーロープを巻き取ってSZライナーを下水道管きょ内に引込みます。

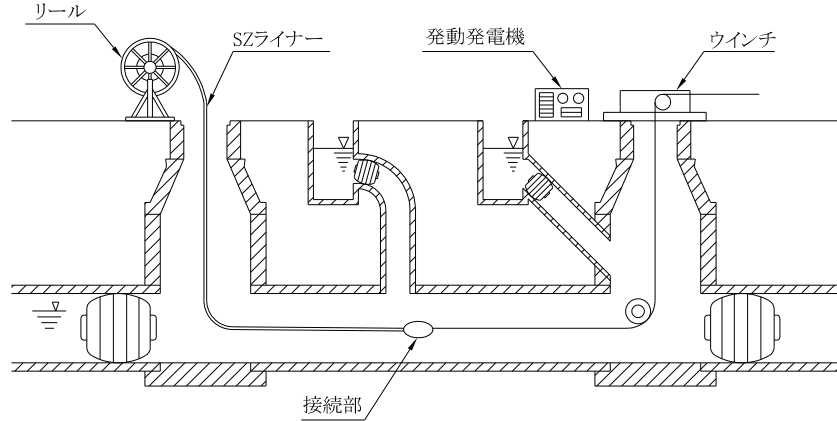


図 29 引込み

(2) 拡張、加熱

SZライナー両端部にSZシーラーを取り付け、SZライナーを膨らませて下水道管内に圧着します。その後、蒸気に切り替えてSZライナーを硬化させます。

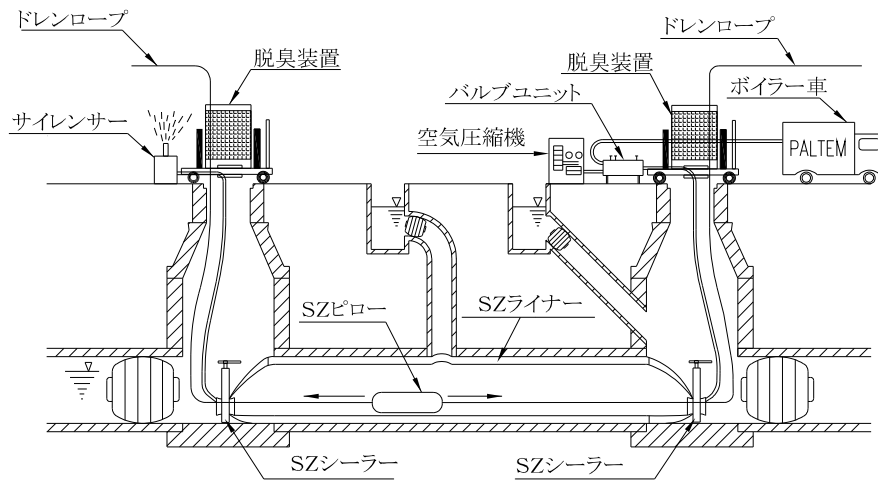


図 30 拡張、加熱

(3) 穿孔

穿孔機を使用して取付管部分を穿孔します。

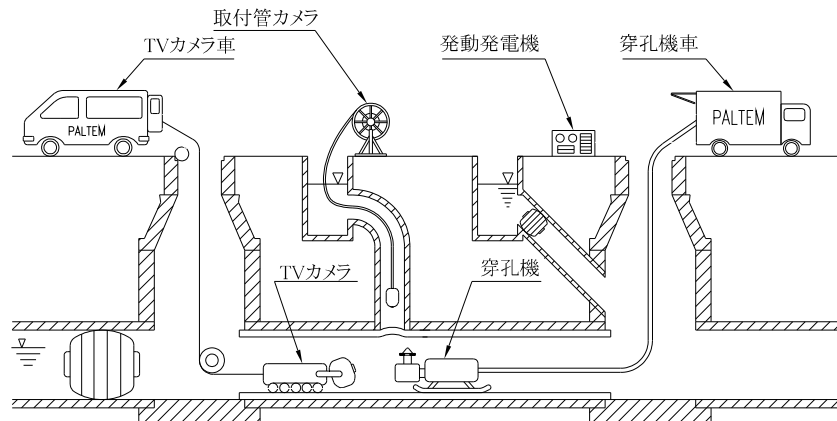


図 31 穿孔

パルテムSZ工法 技術資料

2003年 2月 発行
2003年 8月 発行
2004年 7月 発行
2006年 6月 発行
2007年 3月 部分改訂
2008年 4月 部分改訂
2009年 5月 改訂
2011年 4月 改訂
2012年 4月 改訂
2013年 4月 改訂
2014年 4月 部分改訂
2015年 1月 部分改訂
2017年 5月 部分改訂
2019年 12月 部分改訂
2020年 3月 改訂
2020年 11月 部分改訂
2022年 3月 部分改訂

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目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。