

管きよ更生工法

ホースライニング工法

技 術 資 料

— 下水道編 —
(自然流下)

まえがき

下水道管きょは長年の使用でその管が腐食して強度が低下したり，地震，地盤沈下，道路工事，通行車輛の荷重などで，管の離脱や破損などが生じたりしています。また，記憶に新しい事例としては，阪神・淡路大震災後の管路調査により，管路の欠落や割れ，クラックの発生などの被害が確認されたこともあります。そのため，下水道管きょの維持管理の重要性が強く認識されるようになってきました。

ホースライニング工法は，強靱で水密性を有するシールホースを，掘削せずにマンホール内から空気圧によって管内に反転挿入し，管きょ内面に圧着させ，シールホース内に均一に塗布した硬化性樹脂を蒸気により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。本工法は既に25年以上の実績があり，耐久性，施工性，水理特性，水密性，耐震性および経済性に優れた工法との評価を得ています。

パルテム技術協会

目 次

1. 工法の特長	1
2. 適用範囲	1
3. 主要材料	2
4. 施工工程	3
5. シールパイプ S F の特性	5
(1) 平板の短期強度	5
1) 曲げ特性	6
2) 引張特性	6
3) 圧縮特性	7
(2) 更生管の短期強度	7
1) 曲げ特性	7
(3) 長期特性	9
1) 曲げクリープ特性	9
2) 長期耐硫酸特性	12
3) 長期耐振動特性	13
(4) 耐薬品性	15
(5) 耐摩耗性	16
1) 摩耗輪による耐摩耗性	16
2) 落砂試験による耐摩耗性	17
3) サンドスラリー試験による耐摩耗性	18
4) 耐摩耗試験まとめ	18
(6) 水密性	19
1) 外水圧による	19
2) 内水圧による	20
(7) 耐劣化性	21
(8) 耐震性	25
1) 耐衝撃性	25
2) 既設管への追従性	27
(9) 耐高圧洗浄性	30
(10) 成形後収縮性 1	31
(11) 成形後収縮性 2	34
(12) 水理特性	36
6. 施工後の追跡調査	39
7. 阪神・淡路大震災でのホースライニング管の被害調査	39
8. シールホース S F の厚み設計	41
8-1 自立管設計	41
8-2 二層構造管設計	45

1. 工法の特長

(1) 耐薬品性，耐摩耗性を有します

シールパイプ S F（硬化したシールホース S F）は，下水・排水管路用として開発したもので，耐水性，耐薬品性，耐摩耗性に優れています。

(2) 浸入水，流出水が防止できます

完全水密で継ぎ目のないシールホース S F を管内面に圧着させて新しいパイプを形成しますので，地下水や雨水の浸入，汚水の流出を防止します。

(3) 管きよの流下能力が向上します

新しく形成されたパイプは薄肉のため管径縮小が少なく，表面が滑らかなため流下能力を向上させます。

(4) 本管と取付け管の一体化が可能です

本管と一体型の取付け管ライニング(パルテム取付け管工法)を行うことにより，下水道の面整備が可能です。

(5) 施工性に優れ，経済的です

車載化された機動性のある設備を用いてマンホールから複数スパンを一度に連続して施工でき，交通障害を最小限に抑えることができます。

2. 適用範囲

(1) 適用口径

反転方式・・・φ 150～1500

(2) 施工延長

反転方式・・・150m（複数スパン施工可能）

(3) 適用管種

鉄筋コンクリート管，コンクリート管，陶管，鋼管，鋳鉄管

(4) 適用可能範囲

適用可能範囲を表 1 に示します。

表 1 適用可能範囲

段差・管ズレ	40mm 未満	
折れ角度	10° 以内	
滞留水	呼び径 150～250 未満	150mm
	呼び径 250～1200	240mm
管の隙間	100mm 未満	
浸入水	0.05MPa、2ℓ/min 以下	

3. 主要材料

ホースライニング工法では硬化前のライニング材をシールホース，硬化後のライニング材をシールパイプと呼んで区別しています。主要材料であるシールホース S F は，強靱なベースホースの内側にポリエステル製の不織布を引き込んだものです。ベースホースとは，ポリエステル繊維を用いて継ぎ目のない円筒状に製織した織物(ジャケット)にポリエステルエラストマーを被覆したものです。不織布は硬化性樹脂の含浸性が良く，耐圧縮性に優れています。また，円周および筒長方向にあまり伸びないように工夫された特殊なもので，特別な縫い方によって筒状に縫製されています。

写真 1 にシールホース S F ，図 1 にシールホースの構造および図 2 にライニング後の更生管の構造をそれぞれ示します。

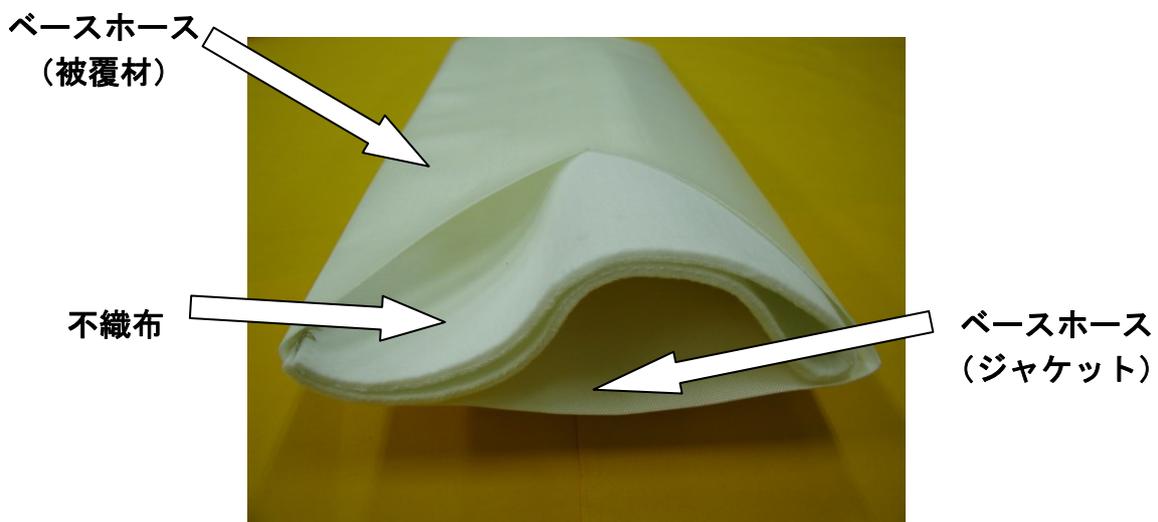


写真 1 シールホース S F

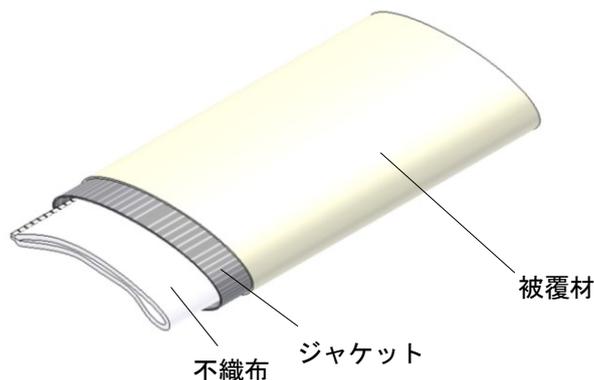


図 1 シールホースの構造

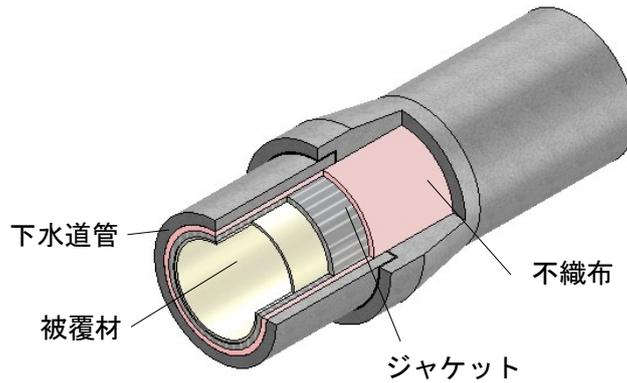


図2 ライニング後の更生管の構造

4. 施工工程

(1) 洗浄，調査工

施工管の洗浄とTVカメラ調査を行い、ライニング前の管内状況を確認します。

(2) ライニング工

反転機車を所定の位置に設置し、エアーホース、電源コード、蒸気ホースなどを接続します。反転機内に圧縮空気を供給し、シールホースSFをマンホールから管口に挿入します。シールホースSFは施工管内に反転挿入され管内に圧着していきます。

(3) 加熱冷却工

シールホースSF反転完了後、サーモホースを通じて、または直接シールホースSF内に蒸気を供給し、硬化性樹脂を加熱硬化させます。図3にサーモホースを使用して加熱硬化を行う場合の模式図を示します。加熱終了後、シールホースSF内を圧縮空気や水を導入して冷却します。

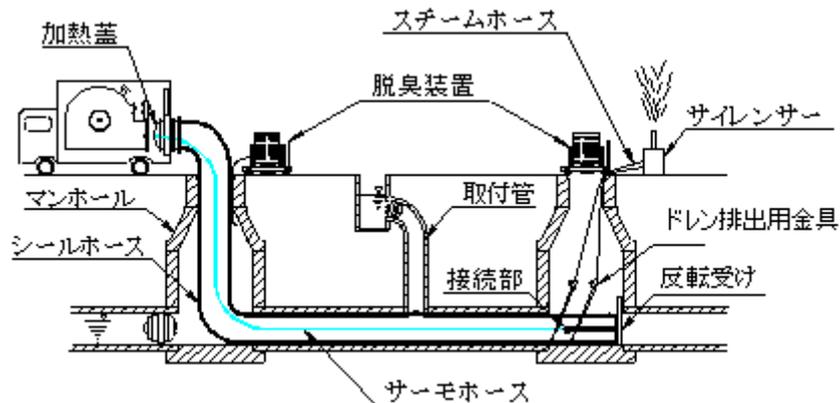


図3 加熱冷却工

(4) 管口切断工

発進側マンホール・到達側マンホール・中間マンホールのシールパイプ S F を管口で切断します。

(5) 取付け管口穿孔工

シールパイプ S F により閉塞した取付け管口を, TVカメラと穿孔機を用いて穿孔します。図 4 に取付け管口穿孔工の模式図を示します。

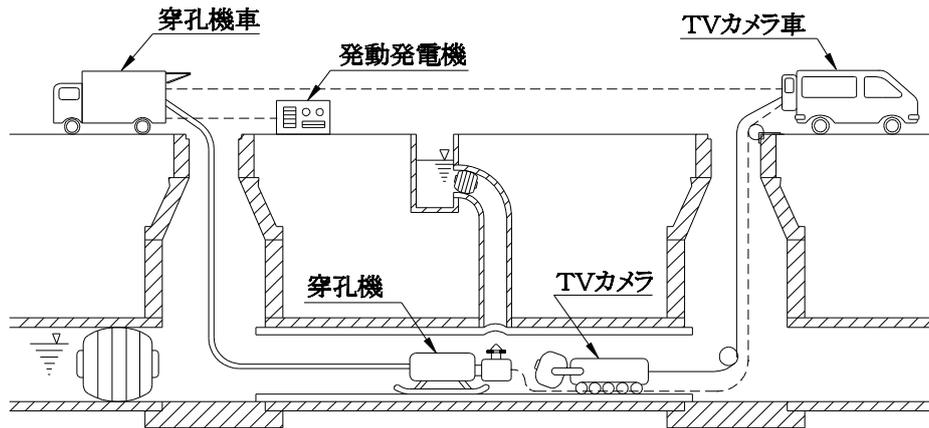


図 4 取付け管口穿孔工

5. シールパイプ S F の特性

(1) 平板による短期強度

1) 曲げ特性

① 試験方法

JIS K 7171 「プラスチック—曲げ特性の試験方法」に準拠しました。

② 試料作製

不飽和ポリエステル樹脂を塗布したシールホース S F を図 5 に示す平面サンプル作製ジグにセットし、ライニング時と同等の圧力で締め付けました。その後、平面サンプル作製ジグをサイレンサー（図 3 参照）内にセットした後、ライニング時に到達側から排出される蒸気をこのサイレンサーに入れ、シールホース S F を硬化させました。

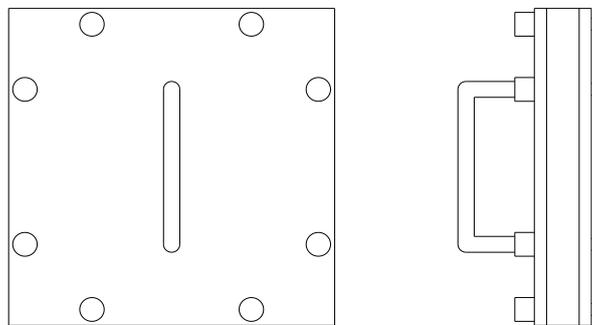


図 5 平面サンプル作製ジグ

③ 試験結果

シールパイプ S F の曲げ試験結果から統計処理をし、その結果を表 2 に示します。

表 2 統計処理結果

	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ弾性係数 (N/mm ²)
平均値	83.8	3368.4
標準偏差 (σ)	7.1	70.8
平均値 - 1.96σ	69.9	3229.7

④ 考察

統計処理を行いますと、曲げ強度は69.9(N/mm²)、曲げ弾性係数は3229.7(N/mm²)となります。

何れも平板の目標値（規格値）を上回っておりますので、平板から試験片を作製して試験する場合は、曲げ強度59(N/mm²)、曲げ弾性係

数2600(N/mm²)を規格値とします。

表3に平板試験片を使用する場合の規格値を示します。

表3 平板試験片を使用する場合の規格値

	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ弾性係数 (N/mm ²)
規格値	59	2600

2) 引張特性

① 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。

② 試料作製

各試料は曲げ特性試験と同様に試料を作製しました。

③ 試験結果

シールパイプ S F の引張試験結果から統計処理をし、その結果を表4に示します。

表4 統計処理結果

	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性係数 (N/mm ²)
平均値	32.8	4249.4
標準偏差 (σ)	1.6	165.8
平均-1.96σ	29.7	3924.4

④ 考察

統計処理を行いますと、引張強度は29.7(N/mm²)、引張弾性係数は3924.4(N/mm²)となります。

何れも平板の目標値(規格値)を上回っておりますので、平板から試験片を作製して試験する場合は、引張強度20(N/mm²)、引張弾性係数2450(N/mm²)を規格値とします。

表5に平板試験片を使用する場合の規格値を示します。

表5 平板試験片を使用する場合の規格値

	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性係数 (N/mm ²)
規格値	20	2450

3) 圧縮特性

① 試験方法

JIS K 7181「プラスチック-圧縮特性の試験方法」に準拠しました。

② 試料作製

各試料は曲げ特性試験と同様に試料を作製しました。

③ 試験結果

シールパイプ S F の圧縮試験結果から統計処理をし、その結果を表 6 に示します。

表 6 統計処理結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮弾性係数 (N/mm ²)
平均値	132.8	3155.4
標準偏差 (σ)	1.5	41.8
平均-1.96σ	129.9	3073.5

④ 考察

統計処理を行いますと、圧縮強度は129.9(N/mm²)、圧縮弾性係数は3073.5(N/mm²)となります。

何れも平板の目標値(規格値)を上回っておりますので、平板から試験片を作製して試験する場合は、圧縮強度60(N/mm²)、圧縮弾性係数2100(N/mm²)を規格値とします。

表 7 に平板試験片を使用する場合の規格値を示します。

表 7 平板試験片を使用する場合の規格値

	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮弾性係数 (N/mm ²)
規格値	60	2100

(2) 更生管のサンプル試験による短期強度

1) 曲げ特性

① 試験方法

JIS K 7171「プラスチック-曲げ特性の試験方法」に準拠しました。

② 試料作製

写真 2 に示します成形後収縮性試験にて成形した更生管から、管軸方向に試験片を切り出し、試料を作製しました。その試験片を写真 3 に示

します。



写真2 試験片採取用更生管

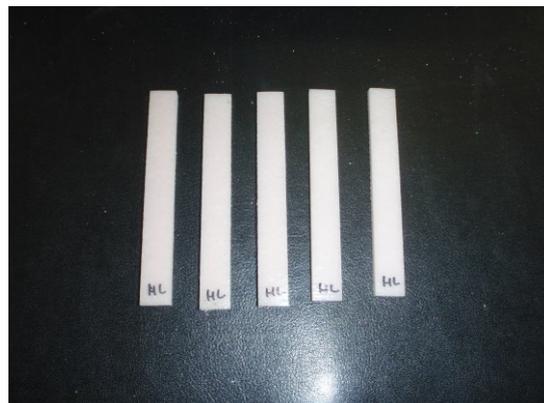


写真3 曲げ特性試験片

③試験結果

シールパイプSFの曲げ試験結果から統計処理をし、その結果を表8に示します。

表8 統計処理結果

	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ弾性係数 (N/mm ²)
平均値	97.0	3531.2
標準偏差 (σ)	6.6	201.8
平均値-1.96σ	84.0	3135.7

④考察

統計処理を行いますと、曲げ強度は84.0(N/mm²)、曲げ弾性係数は3135.7(N/mm²)となります。

何れも円弧状更生管から試料を作成して試験する場合の目標値(規格値)を上回っておりますので、曲げ強度47(N/mm²)曲げ弾性係数2080(N/mm²)を規格値とします。

表9に円弧状更生管から試料を作成して試験する場合の規格値を示します。

表9 円弧状試験片を使用して試験する場合の規格値

	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ弾性係数 (N/mm ²)
規格値	47	2080

(3) 長期特性

1) 曲げクリープ特性

① 試験方法

JIS K 7116「プラスチックークリープ特性の試験方法—第2部：3点負荷による曲げクリープ」に準拠しました。得られたクリープたわみから曲げ弾性係数を算出し、回帰分析することにより50年後の曲げ弾性係数を外挿します。試料数はn=3で行いました。

曲げ弾性係数の計算は式(1)の計算式により行いました。

$$E_t = L^3 \cdot F / 4b \cdot h^3 \cdot S_t \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

- E_t : 曲げ弾性率 (N/mm²)
- L : 支点間距離 (16×試験片の厚みh : mm)
- F : 試験荷重 (N)
- b : 試験片の幅 (mm)
- h : 試験片の厚み (mm)
- S_t : 時間tでの支点間中央のたわみ (mm)

② 試料作製

各試料は曲げ特性試験と同様に試料を作製しました。

③ 試験結果

表10に試験結果を示します。また、表11に回帰分析結果を示し、図6に曲げ弾性係数と経過時間の関係を示します。

表 10 試験結果 (たわみ量) (mm)

測定時間	たわみ量		
	No.1	No.2	No.3
1分	0.570	0.570	0.575
3分	0.580	0.575	0.585
6分	0.600	0.605	0.610
12分	0.610	0.605	0.615
30分	0.610	0.610	0.620
1時間	0.620	0.620	0.625
2時間	0.625	0.625	0.630
5時間	0.640	0.645	0.650
10時間	0.660	0.660	0.665
20時間	0.680	0.680	0.690
50時間	0.745	0.745	0.730
100時間	0.765	0.770	0.760
200時間	0.830	0.830	0.810
501時間	0.895	0.895	0.890
1005時間	0.950	0.950	0.950

表 11 回帰分析結果

試料No	1分後の曲げ弾性係数 (N/mm ²)	50年後の曲げ弾性係数 (N/mm ²)
	推定値	推定値
1	3919	1648
2	3903	1627
3	3758	1672
平均値	3860	1649

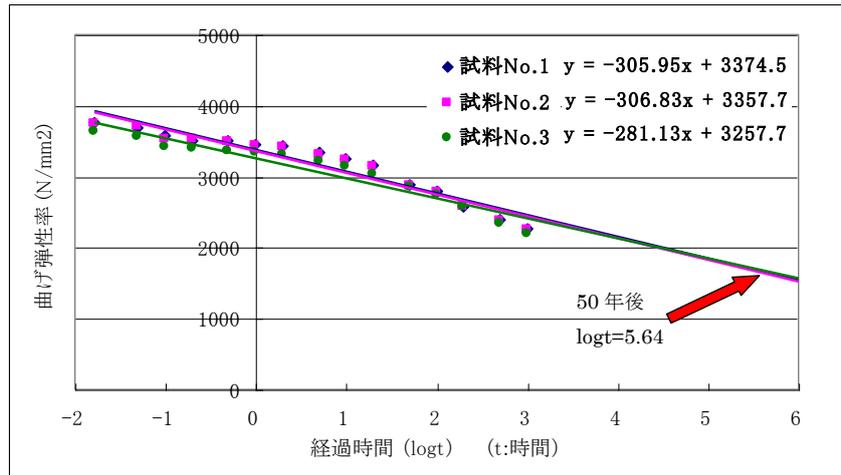


図6 経過時間に対する曲げ弾性係数の変化

④考察

本試験より、50年後の推定曲げ弾性係数の外挿式を以下に示します。

$$y = -305.95x + 3374.5$$

$$y = -306.83x + 3357.7$$

$$y = -281.13x + 3257.7$$

ここに、x : 時間logt(hour)

y : 曲げ弾性係数(N/mm²)

外挿式から50年後の曲げ弾性係数を算出しますと、最低値1627(N/mm²)、最高値1672(N/mm²)、平均値1649(N/mm²)となりました。シールパイプSFの長期設計値は安全側をみて1600(N/mm²)とします。

ここで、試験から求めたシールパイプSFの測定値と、厚み設計および耐震設計で使用する規格値を表12にまとめます。

表12 シールパイプSFの測定値と規格値 (N/mm²)

			測定値	規格値
短期	平板	曲げ強度	83.8	59
		曲げ弾性係数	3368.4	2600
		引張強度	32.8	20
		引張弾性係数	4249.4	2450
		圧縮強度	132.8	60
		圧縮弾性係数	3155.4	2100
	円弧	曲げ強度	97.0	47
		曲げ弾性係数	3531.2	2080
長期	平板	曲げ強度	—	11.8
		曲げ弾性係数	1649.0	1600

2) 長期耐硫酸特性

① 試験方法

下水道管きよ内には、有機物の分解による硫化水素が発生します。この硫化水素はバクテリアにより硫酸に変化し、コンクリート管を劣化させます。シールパイプを強酸の存在下で浸せきさせて促進実験を行うことで、シールパイプ S F の寿命を推定しました。シールパイプ S F は $40 \pm 2^\circ\text{C}$ で 30% の硫酸溶液に浸せきさせた時の曲げ弾性係数の保持率を求めました。

② 試料作製

各試料は曲げ特性試験と同様に試料を作製しました。

③ 試験結果

シールパイプ S F の曲げ弾性係数保持率を図 7 に示します。各測定値について回帰分析を用いて求めた外挿式を以下に示します。外挿式より、50年後の各試料の曲げ弾性係数の保持率を求めます。

すなわち、 $x = \log(24\text{時間} \times 365\text{日} \times 50\text{年}) \div 5.64$ を代入し、50年後の曲げ弾性係数保持率を求めました。

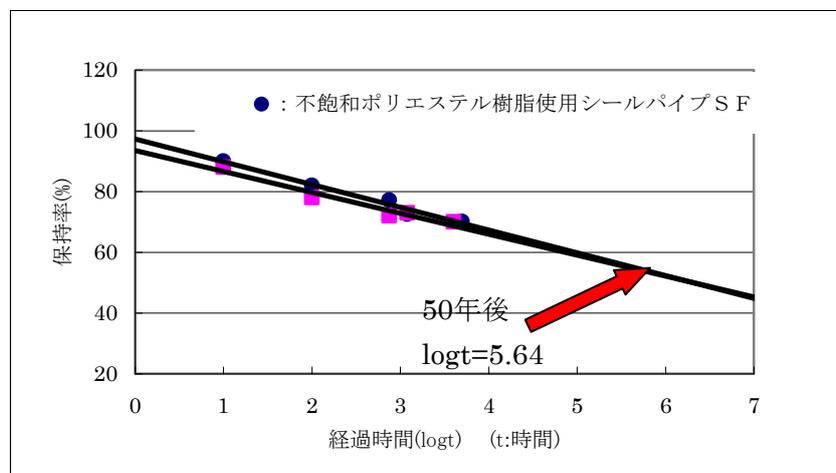


図 7 シールパイプ S F の曲げ弾性係数保持率

$$y = -7.49x + 97.3 = 55.1(\%)$$

ここに、 y : 曲げ弾性係数の保持率(%),

x : 経過時間(logt)

④ 考察

以上の試験結果から、50年後もシールパイプ S F の曲げ弾性係数保持率が50%以上あることが確認されました。

3) 継手部にシールホース S F をライニングした施工管の長期耐振動特性

①試験方法

車輛の走行振動による継手部への影響を想定して、強制振動を加え、シールパイプ S F への影響を調べました。

試料の両端を固定して軸方向の変位を規制して、管軸に対して鉛直方向に強制振動を付加しました。強制振動力を一定時間付加した後、試料に外水圧を加え、シールパイプ S F の耐外水圧特性を測定しました。試験装置を図 8 に示します。

強制振動回数より試験時間は式(2)を用いて算出しました。

$$Y = \frac{3600 \times f \times H}{365 \times n \times N} \times C \dots\dots\dots(2)$$

ここに、Y：推定される耐用年数（年）

f：強制振動（20Hz）

H：強制振動をかける時間（時間）

n：車輛走行によって埋設管に附加された振動回数（4回/車）

N：車輛台数

C：振動加速度比 $\left(\frac{\text{強制振動加速度}}{\text{推定加速度}} \right)$

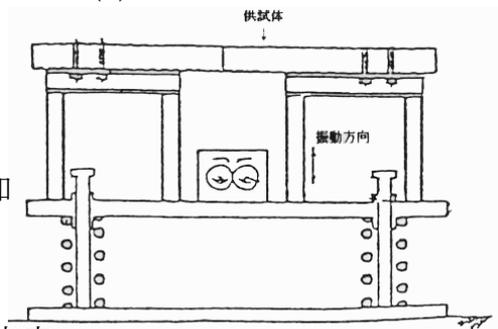


図 8 振動試験装置

②試料作製

2本のヒューム管を突き合わせた管内にシールホース S F をライニングしたものを試料としました。

③試験結果

ライニング管に $F=f \times \cos(\omega t + \phi)$ の周期的外力を付加したシールパイプ S F に外水圧を加えました。図 9 に推定年数振動をかけた時の潰れ外水圧を示します。得られた試験結果から長年の車輛の走行振動によって埋設されたライニング管のシールパイプ S F が、どの程度劣化するのかを推定しました。推定年数は式(1)によって求めました。ただし、地盤中の振動加速度の大きさが車輛走行時の路面状態の大きさ、台車の大きさ、積荷の有無、土質状態によって変化するために大きさを限定することは困難です。したがって、車輛を全て大型車両とし、振動加速比 C の値については大型車両の段差走行によって、土被り 1m 以下の管体に附加される推定加速度 6.6gal と、強制振動加速度 6450.48gal との単純比として求めました。

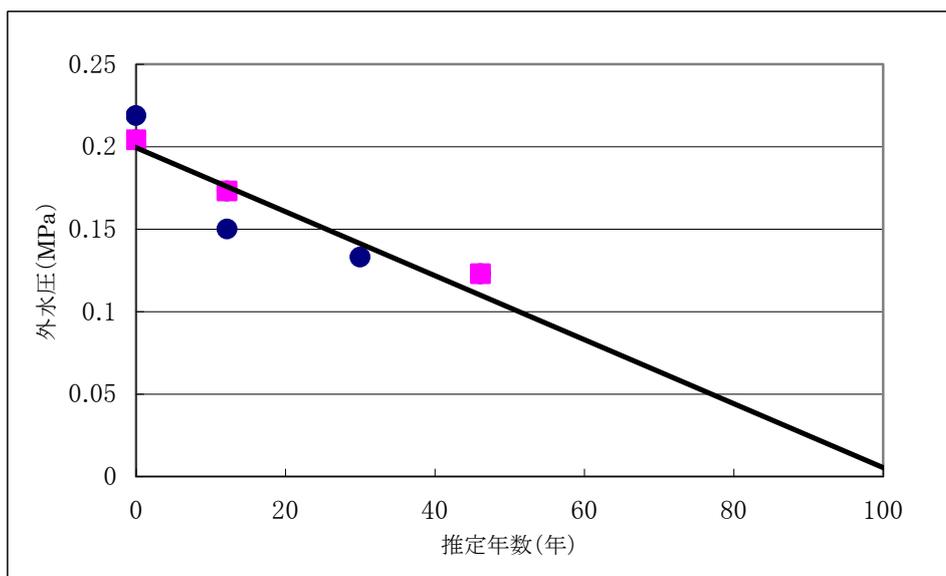


図9 振動試験後の推定潰れ外水圧力

④考察

シールパイプ S F は、ほぼ50年経過後に外水圧による潰れ圧力は50%程度に低下する傾向があると推定できます。

(4) シールパイプ S F の耐薬品性

1) 試験方法

シールパイプ S F の耐薬品性を JSWAS K-2 「下水道強化プラスチック複合管」の耐薬品性試験に準拠して行いました。

試料を $60 \pm 2^\circ\text{C}$ の各試験液に 5 時間浸せきした後の質量変化率 (%) を測定し、規格値と比較することにより耐薬品性を確認しました。

2) 試料作製

成形後収縮性に関する審査証明にて成形した更生管から、50mm 角の試験体を切り出しました。ライニング状況および更生管から切り出した耐薬品性試験片を写真 4、5 に示します。



写真4 ライニング状況



写真5 耐薬品性試験片

3) 試験結果

耐薬品性試験の状況を写真 6 に、結果を表 1 3 に示します。

浸せき液に 5 時間浸せきした後の質量変化率は、規格値以内でした。

ただし、試験片は端面処理を施しています。



写真6 耐薬品性試験の状況

表 1 3 耐薬品性試験結果

浸せき液	質量変化率 (%)
蒸留水	+0.06
10 % 塩化ナトリウム	+0.11
30 % 硫酸	-0.10
40 % 硝酸	+0.18
40 % 水酸化ナトリウム	+0.01

4) 考察

試験結果より、シールパイプ S F の耐薬品性は、JSWAS K-2 「下水道強化プラスチック複合管」と同等以上の耐薬品性があることが確認できました。

(5) 耐摩耗性

1) 摩耗輪による耐摩耗性

① 試験方法

JIS K 7204「プラスチックー摩耗輪による摩耗試験法」に準拠し、最大荷重 9.8N、試験回数 1000 回、摩耗輪は GC150H で行いました。写真 7 に耐摩耗性試験状況を示します。

② 試料作製

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。比較のため、下水道用硬質塩化ビニル管を平面プレス機で60℃に加熱し、圧力を加えた状態で冷却して平面にした後、120mm角に加工しました。



写真 7 耐摩耗性試験状況

③ 試験結果

試験結果を表 1 4 に示します。

表 1 4 耐摩耗性試験結果

名称	摩耗質量 (mg)
シールパイプSF	130.0
下水道用硬質塩化ビニル管	236.9

④ 考察

シールパイプ S F 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、耐摩耗性を有していることが確認できました。

2) 落砂試験による耐摩耗性

①試験方法

JIS A 1452「建築材料及び建築構成部分の摩耗試験方法（落砂法）」に準拠しました。試験条件を表15に、試験方法を図10に示します。

表 15 試験条件

項 目	条 件
石（玄武岩）	1個の重さ 12～35g
1回の落下量	8kg
落下回数	20回
落下高さ	3m

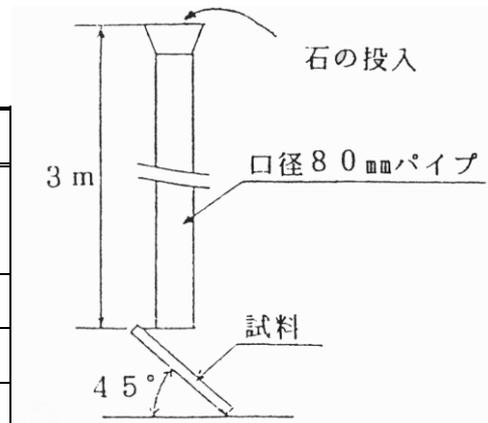


図10 試験方法

②試料作製

曲げ特性と同じように試料を作製し、50mm角に加工しました。比較のため、下水道用硬質塩化ビニル管を平面プレス機で60℃に加熱し、圧力を加えた状態で冷却して平面にした後、50mm角に加工しました。

③試験結果

20回落砂後の各試料の摩耗質量、体積変化量およびそれらより求まる厚みの変化を表16に示します。

表 16 落砂による変化量

試 料	摩耗質量 (mg)	体積変化量 (mm ³)	厚み変化 (mm)
シールパイプSF	450	380	0.14
下水道用 硬質塩化ビニル管	1160	830	0.30

④考察

シールパイプSF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、耐摩耗性を有していることが確認できました。

3) サンドスラリー試験による耐摩耗性

①試験方法

サンドスラリー試験機内に試料を入れて、一定時間経過後の質量変化を測定しました。試験条件を表 1 7 に、試験方法を図 1 1 に示します。

項目	条件
組成	砂5g, 水9kg
試験回転数	100rpm
試験時間	20時間

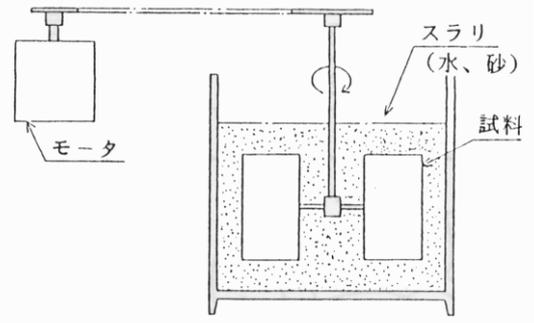


図 1 1 試験方法

②試料作製

曲げ特性と同じように試料を作製し、150mm×50mmに加工しました。比較のため、ポリエチレン管および下水道用硬質塩化ビニル管を平面プレス機で60℃に加熱し、圧力を加えた状態で冷却して平面にした後、150mm×50mmに加工しました。

③試験結果

20時間経過後の各試料の摩耗質量を表 1 8 に示します。

試料	摩耗質量(mg/20hr)
シールパイプ S F	0.5
ポリエチレン管	1.0
下水道用硬質塩化ビニル管	1.0

④考察

シールパイプ S F の摩耗質量はポリエチレン管や下水道用硬質塩化ビニル管などと比較しても優れており、耐摩耗性については実用上問題ないといえます。

4) 耐摩耗試験まとめ

摩耗輪による耐摩耗性、落砂による耐摩耗性およびサンドスラリー試験による耐摩耗性試験結果より、下水道用硬質塩化ビニル管より優れた耐摩耗性を有していることを確認しました。

(6) 水密性

1) 外水圧に対する水密性

① 試験方法

図 1 2 に示すように、ケーシングの内側にライニング管単体（呼び径 300，管長 1 m）を挿入して両端部にゴムパッキンを介してフランジで固定します。ケーシングとライニング管の間に注水し、手動ポンプで所定の水圧 (0.1 MPa) を加え、3 分間の保持時間内にライニング管内の漏水の有無を確認しました。

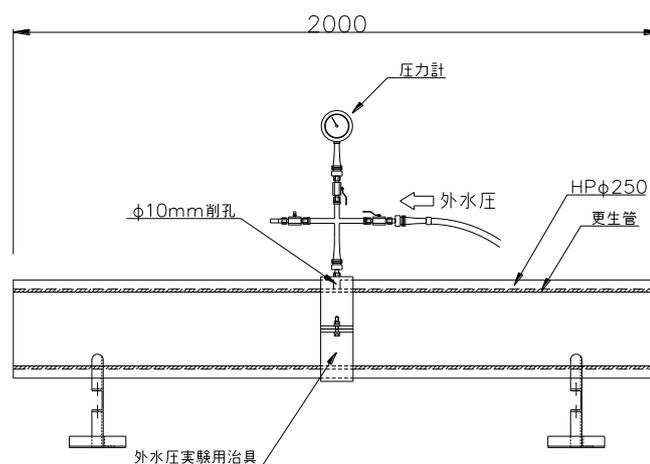


図 1 2 外水圧試験装置

② 試料作製

更生管のサンプル試験と同じようにライニング管を作製しました。

③ 試験結果

表 1 9 に外水圧試験結果を示します。

表 1 9 外水圧試験結果

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

④ 考察

シールパイプは、0.1 MPaの外水圧に耐える水密性を有することを確認しました。

2) 内水圧に対する水密性

①試験方法

図 1 3 に示すように、ライニング管単体（呼び径 300，管長 1 m）の両端部にゴムパッキンを介してフランジで固定します。ライニング管内に注水し，手動ポンプで所定の水圧（0.1 MPa）を負荷させ，3 分間の保持時間内にライニング管外側からの漏水の有無を確認しました。

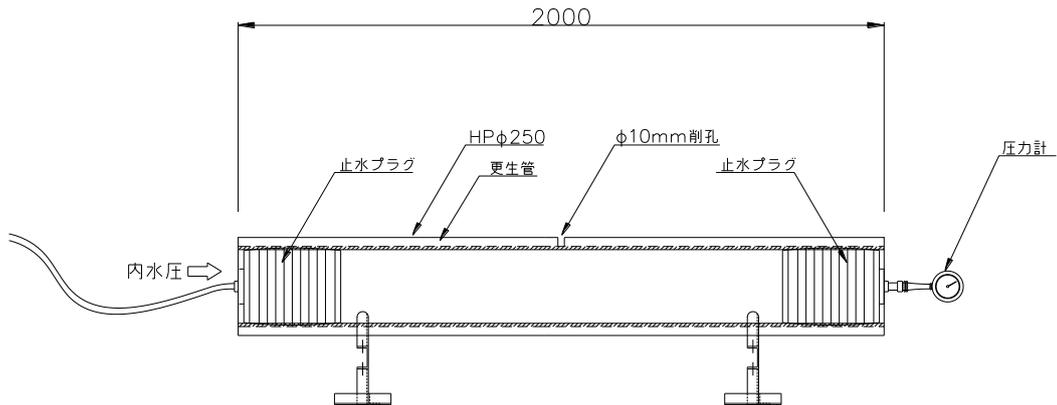


図 1 3 内水圧試験装置

②試料作製

更生管のサンプル試験と同じようにライニング管を作製しました。

③試験結果

表 2 0 に内水圧試験結果を示します。

表 2 0 内水圧試験結果

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

④考察

シールパイプは，0.1 MPaの内水圧に耐える水密性を有することを確認しました。

(7) 耐劣化性

1) 試験方法

JIS K 7161「プラスチック引張特性の試験方法」に準じた試験片を切り出します。採取した試験片を用いて JIS K 7115「プラスチッククリープ特性の試験方法—第1部引張クリープ」に準じた長期水中引張クリープ試験を公的機関にて行い、得られた試験結果から回帰分析により50年後の引張強度を算出します。

試験片を引張クリープ破壊試験装置に取り付け、水中に浸漬した後に短期の引張試験から想定した荷重を負荷し、試験片が破壊するまでの時間を測定します。なお、負荷する荷重は15水準としました。表2-1に試験片の寸法及び試験荷重(試験荷重順とする)を、写真8に試験片の形状、写真9に試験状況を示します。

表 2-1 試験条件

試料No.	幅 (mm)	厚み (mm)	試験荷重 (N)
4	10.11	4.79	761.7
6	10.13	4.74	945.6
3	10.11	4.78	1041.5
15	10.14	4.81	1155.3
14	10.14	4.76	1192.4
13	10.12	4.81	1230.6
12	10.12	4.74	1266.7
11	10.11	4.77	1304.2
10	10.11	4.75	1372.5
9	10.13	4.75	1410.3
8	10.12	4.79	1443.4
7	10.12	4.74	1482.1
5	10.13	4.76	1527.9
2	10.11	4.73	1639.7
1	10.12	4.80	1676.8



写真8 耐劣化性試験片



写真9 耐劣化性試験状況

②試料作製

曲げ特性試験と同様に試料を作製しました。

③試験結果

表22に試験結果を示します。また、図14に引張強度と破壊時間の関係を示します。

表22 試験結果 (1000時間)

試料 No.	破壊時間		引張強度 (N/mm ²)	試験荷重 (N)	1000時間まで の破断の有無
	t (時間)	Log(t)			
4	—	—	15.73	761.7	無破壊
6	—	—	19.69	945.6	無破壊
3	—	—	21.55	1041.5	無破壊
15	1.32	0.12	23.69	1155.3	破壊
14	—	—	24.70	1192.4	無破壊
13	1.33	0.12	25.28	1230.6	破壊
12	70.78	1.85	26.41	1266.7	破壊
11	17.15	1.23	27.04	1304.2	破壊
10	15.67	1.19	28.58	1372.5	破壊
9	1以下	—	29.31	1410.3	破壊
8	0.03	-1.78	29.78	1443.4	破壊
7	0.02	-1.48	30.90	1482.1	破壊
5	0.01以下	—	31.69	1527.9	破壊
2	0.01以下	—	34.29	1639.7	破壊
1	0.01以下	—	34.52	1676.8	破壊

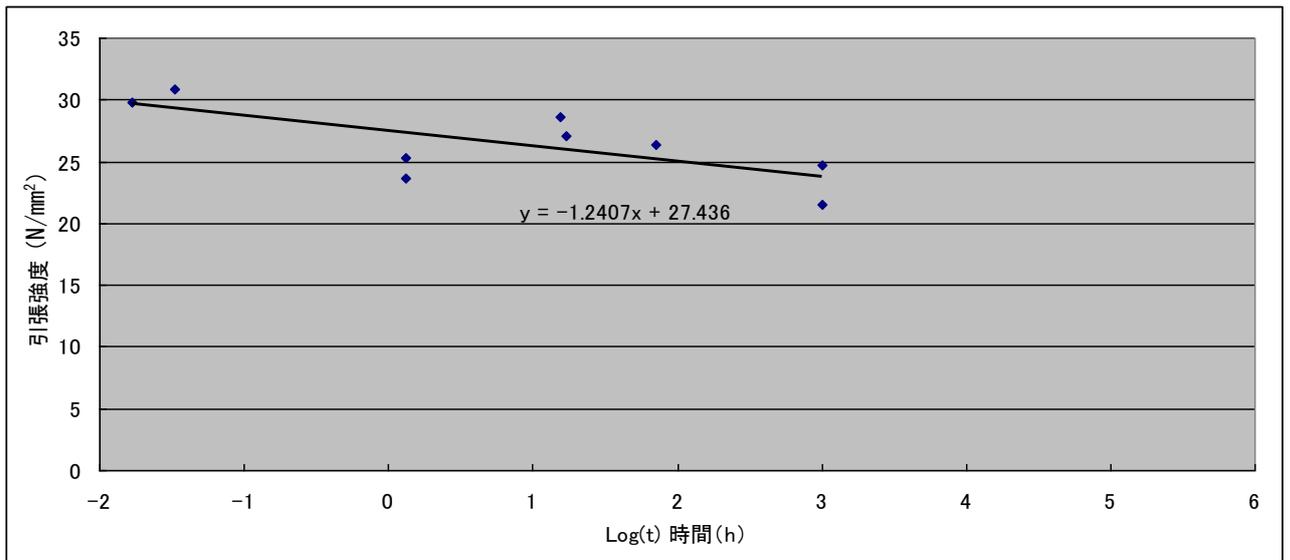


図 1 4 引張強度と破壊時間の関係

a. 推計

図 1 4 から得られた結果をもとに50年後の引張強度を推計します。また、引張強度の低下率（クリープ係数）を用いて50年後の曲げ強度推計値を算出します。表 2 3 に計算結果を示します。

図 1 4 から得られた外挿式を式(3)に示します。

$$V = -1.2407x + 27.436 \dots \dots \dots (3)$$

ここに V : 引張強度 (N/mm²)

x : 対数時間 (log(t)) (時間)

式(3)から50年後の引張強度を求めますと、

$$\begin{aligned} V_{50} &= -1.2407x + 27.436 \\ &= -1.2407 \times 5.64 + 27.436 \\ &= 20.66(\text{N/mm}^2) \text{ となります。} \end{aligned}$$

また、短期引張強度の測定値 V₀ は、表 4 より 32.8(N/mm²) でしたので、引張強度の低下率 α は

$$\alpha = V_{50} / V_0 = 20.66 / 32.8 = 0.63 \text{ となります。}$$

引張強度の低下率（クリープ係数）を用いまして50年後の曲げ強度推計値を算出しますと、以下のようになります。なお、短期曲げ強度 σ₀ は 59(N/mm²) とします。

$$\sigma_{50} = 59 \times 0.63 = 37.17(\text{N/mm}^2)$$

表 2 3 計算結果

	短期強度 σ_0 (N/mm ²)	50年後の推定値 σ_{50} (N/mm ²)	規格値 (N/mm ²)
長期曲げ強度 σ	59	37.17	11.8以上 (59÷5)

④考察

ライニング管の50年後の曲げ強度の推計値は規格値(短期曲げ強度÷5)以上であることを確認しました。

(8) 耐震性

1) 耐衝撃性

① 試験方法

図15に示すように、2本の下水道用鉄筋コンクリート管にライニングしたシールパイプを衝撃試験機にセットします。次に、図16、写真10に示すように高さ2mの位置から100kgの錘を落下させ、ライニング管を屈曲させます。ライニング管を10°屈曲させた後、図17、写真11に示すように両端部に止水プラグを取り付け、ライニング管内に水を注水して0.1MPaの水圧を3分間作用させ、漏水の有無を確認しました。

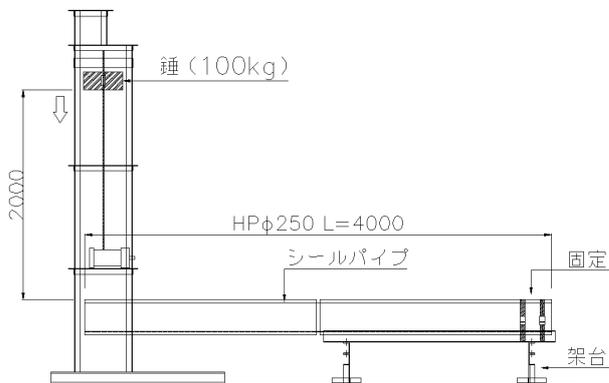


図15 耐衝撃性試験概要図

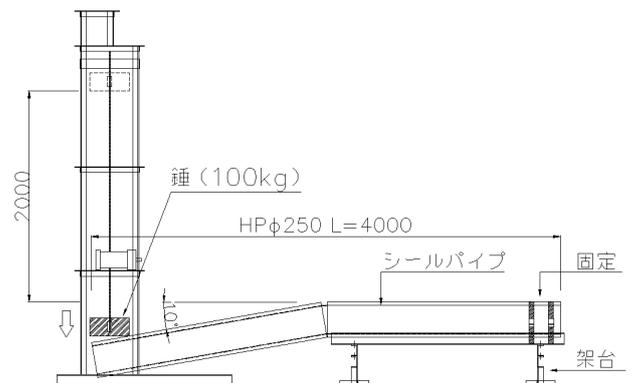


図16 衝撃による屈曲



写真10 10°屈曲させた状況

a. 試験条件

「下水道施設耐震計算例」（社団法人日本下水道協会 2001年度版前編）によりますと、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曲げ角度は表 2 4 に示すとおりです。

表 2 4 抜け出し量と最大曲げ角度

口径 (mm)	最大抜け出し量 (mm)	最大曲げ角度 (°)	備 考
φ 150	33	9 ° 16 ′	B形管
φ 200	33	7 ° 24 ′	B形管
φ 250	33	6 ° 11 ′	B形管
φ 300	29	4 ° 36 ′	B形管
φ 350	29	4 ° 00 ′	B形管
φ 400	34	4 ° 08 ′	B形管
φ 450	34	3 ° 41 ′	B形管
φ 500	34	3 ° 19 ′	B形管
φ 600	39	3 ° 11 ′	B形管
φ 700	35	2 ° 27 ′	B形管
φ 800	40	2 ° 27 ′	B形管
φ 900	45	2 ° 27 ′	B形管
φ 1000	56	2 ° 45 ′	B形管
φ 1100	58	2 ° 36 ′	B形管
φ 1200	62	2 ° 33 ′	B形管
φ 1350	66	2 ° 25 ′	B形管
φ 1500	18	38 ′	C形管

ホースライニング工法の適用口径は200～1500mmであり、適用範囲内で対象とします下水道用鉄筋コンクリート管の最大曲げ角度は表 2 4 に示しますように、口径1350mmで2° 25” ，口径150mmで 9° 16” です。その最大値を越える10° を試験の屈曲角としました。

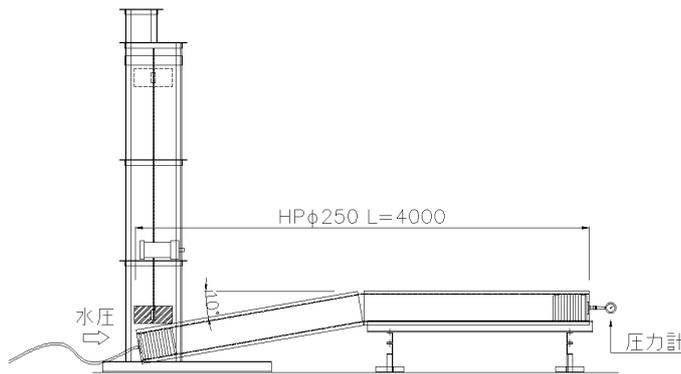


図 1 7 屈曲後の水圧試験



写真 1 1 水圧試験状況

②試料作製

口径φ250のヒューム管を2本突き合わせ、そのヒューム管内にシールホースSFを装着しました、ライニング管を試料としました。

③試験結果

耐衝撃性試験結果を表 2 5 に示します。

表 2 5 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。

④考察

シールパイプは耐衝撃性を有することが確認できました。

2) 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、ライニング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、シール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す。

①試験方法

図 1 8, 写真 1 1 に示すように突き合わせた 1 m の鋼管にライニングしたライニング管を試験機にセットします。ライニング管に 70 mm の軸方向変位を与えた後 (図 1 9), ライニング管に 0.1 MPa の内水圧を作用させて (図 2 0) 3 分間保持し、漏水の有無を確認します。その状態で 10° の屈曲を作用させ (図 2 1), 0.1 MPa 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 (図 2 2)。

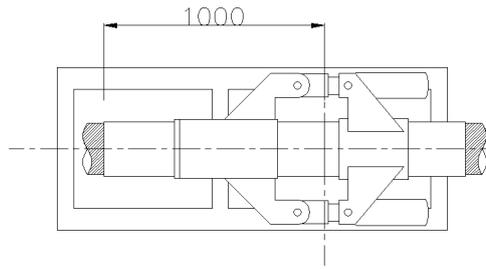


図 18 試験機



写真 12 地盤追従性試験状況

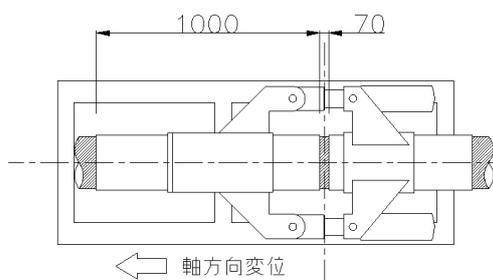


図 19 軸方向変位

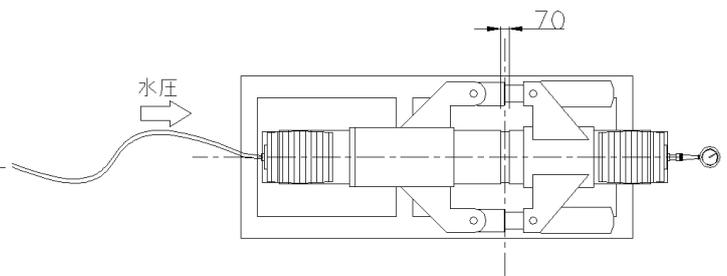


図 20 変位後の水圧試験

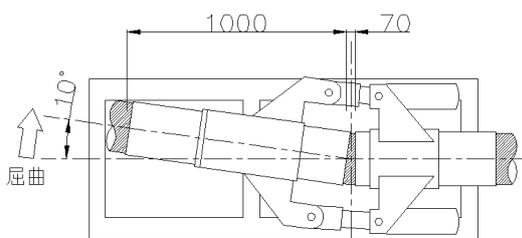


図 21 10° 屈曲

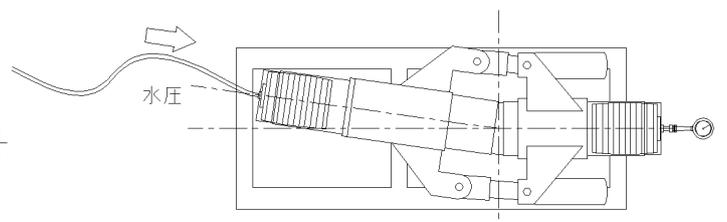


図 22 屈曲後の水圧試験

a. 試験条件

ホースライニング工法の適用範囲内での抜け出し量の最大値は口径1350mmで66mm, 適用範囲内での曲げ角度の最大値は口径150mmで9°16” ですので, 試験条件として軸方向変位は70mm, 屈曲角は10° とし, これらをライニング管に同時に作用させました。

②試料作製

口径φ300, 長さ1mの鋼管を2本突き合わせ, その鋼管内にシールホースSFを装着しました, ライニング管を試料としました。

③試験結果

既設管への追従性試験結果を表26に示します。また, 試験後の管内面状態を写真13に示します。試験時, 管内面の状態に全く異常が見受けられませんでした。

表26 既設管への追従性試験結果

試験項目	条件	結果
70 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
70 mmの軸方向変位 10° 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13 最大軸方向変位量と最大屈曲角での管内状態

④考察

シール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。

(9) 耐高圧洗浄性

1) 試験方法

図23に示しますように、施工性確認試験（引込方式）に使用したライニングされた模擬管路に、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す。洗浄後に管内カメラを使用し、管内面に剥離や損傷などの異常がないか確認します。

洗浄に使用したノズルを写真14に、試験状況を写真15に示します。

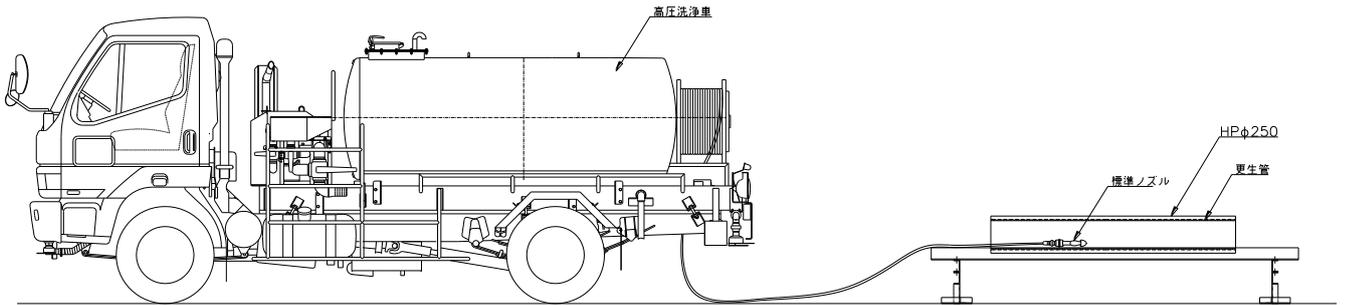


図23 耐高圧洗浄性確認試験



写真14 ノズルの形状



写真15 耐高圧洗浄性試験状況

②試料作製

施工性確認試験を行いました模擬管路を試料としました。

③試験結果

ライニング後の更生管は、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、内面に剥離や損傷などの異常がないことが確認できました。

④考察

シールパイプSFは15MPaの高圧洗浄で、剥離や損傷がないことを確認しました。

(10) 成形後収縮性 1 (φ250)

1) 試験方法

- ①半割れのヒューム管にライニングし, 更に半割れのヒューム管の両端部にも長さ 250 mm の半割れのヒューム管を設置します。
- ②冷却中に 250 mm のヒューム管を外し, 図 24 に示しますように半割れのヒューム管より外の全長約 2,200 mm 以上付近に, 直円周方向に 3 箇所マーキングします。
- ③冷却完了後, 半割れのヒューム管を外してライニング管を取り出し, 鋼製 JIS メジャーを使用してマーキング間の長さ (L_S) を 3 箇所測定します。また, マーキングした箇所のライニング管外径 (D_S) を 0.1 mm 以下の精度の π ゲージで 2 箇所測定します。

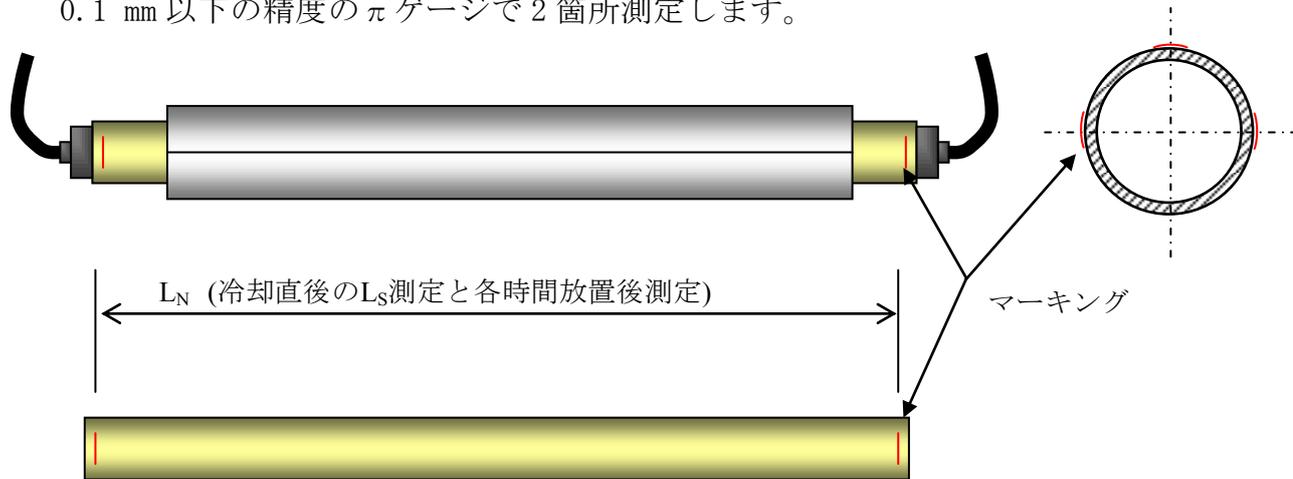


図 24 成形後収縮性試験概要図

- ④ライニング管をマーキングの外側で切断します。
- ⑤各ライニング管が外気温まで冷却され, 内部歪みが全てとれた状態 (測定寸法が収束する) まで, マーキング長さ (L) とライニング管の外径 (D) を測定します。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 (L_1, D_1), 2 時間後 (L_2, D_2), 3 時間後 (L_3, D_3), 24 時間後 (L_{24}, D_{24}) とします。

a. 算出方法

- i. 長さ方向のライニング管の成形後収縮率 (L_R) は,

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

- ii. 径方向のライニング管の成形後収縮率 (D_R) は,

$$D_R = \frac{(\text{冷却直後の外径} - \text{各測定時の外径})}{(\text{冷却直後の外径})} = \frac{(D_S - D_{1 \sim 24})}{D_S}$$

2) 試料作製

口径φ250のヒューム管を二つ割りにして重ね、更に両端に長さ300mmの二つ割りヒューム管を設置した後、施工性試験と同条件でライニングしたライニング管を試料としました。試料作製状況を写真16に、測定状況を写真17に示します。

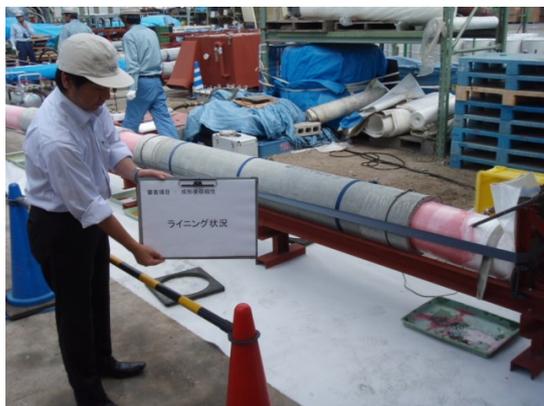


写真16 試料作製状況



写真17 測定状況

3) 試験結果

シールパイプの成形後収縮性試験結果を表27、収縮率と時間の関係を図25に示します。

表27 成形後収縮性試験結果

経過時間 (hr)	軸方向		内径方向	
	実測値 (mm)	収縮率 (%)	実測値 (mm)	収縮率 (%)
0.0	2202	0.00	247.1	0.00
0.5	2201	0.06	247.0	0.04
1.0	2201	0.06	246.9	0.08
2.0	2201	0.06	246.9	0.08
3.0	2201	0.06	246.9	0.08
24.0	2201	0.06	246.9	0.08

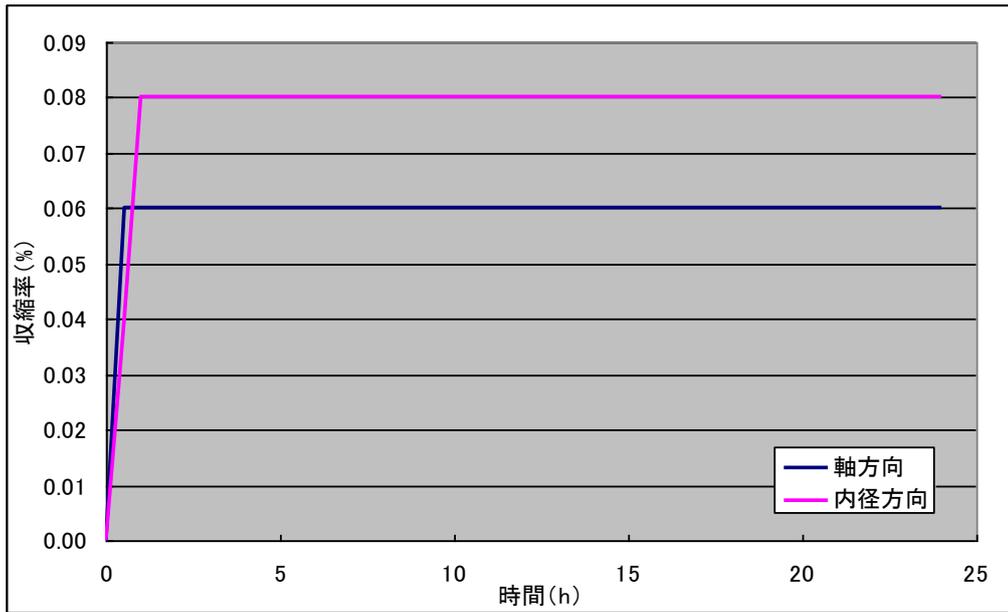


図 2 5 収縮率と時間の関係

4) 考察

ライニング管は成形後、3.0 時間以内に収縮がなく安定することを確認しました。

(1 1) 成形後収縮性 2 (φ 600、450)

φ 250と同様にφ 600、φ 450の径における収縮量の測定試験を行いました。

1) 試験方法

φ 250と同様の方法で試験を実施しました。

2) 試料作製

φ 600、450の半割感に施工性試験と同条件にてライニングしたライニング管を試料としました。試料作製状況を写真18、19に、測定状況を写真20、21に示します。



写真18 φ600のライニング状況



写真19 φ450のライニング状況



写真20 軸方向寸法確認状況



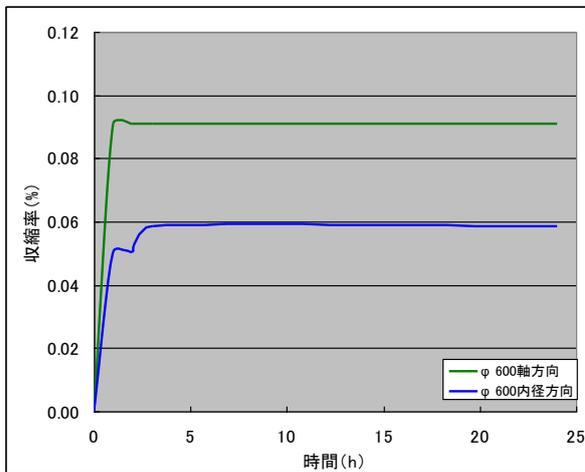
写真21 内径方向寸法確認状況

3) 試験結果

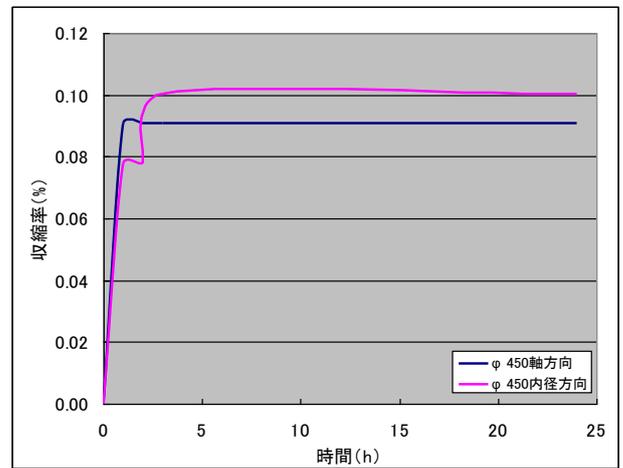
φ 600、450の収縮率測定結果を表28に、収縮率と時間の関係を図26に示します。

表 2 8 各径における収縮量測定結果

経過時間 (hr)	φ 600 mm				φ 450 mm			
	軸方向		内径方向		軸方向		内径方向	
	実測値 (mm)	収縮率 (%)	実測値 (mm)	収縮率 (%)	実測値 (mm)	収縮率 (%)	実測値 (mm)	収縮率 (%)
0.0	2200	0.00	598.45	0.00	2200	0.00	449.20	0.00
1.0	2198	0.09	598.15	0.05	2198	0.09	448.85	0.08
2.0	2198	0.09	598.15	0.05	2198	0.09	448.85	0.08
3.0	2198	0.09	598.10	0.06	2198	0.09	448.75	0.10
24.0	2198	0.09	598.10	0.06	2198	0.09	448.75	0.10



φ 600 mm収縮率



φ 450 mm収縮率

図 2 6 収縮率と時間の関係

4) 考察

24時間経過後の収縮率はφ 600の軸方向で0.09%、内径方向で0.06%、φ 450の軸方向で0.09%、内径方向で0.10%となることを確認しました。また、成形3時間後には収縮がなく安定することを確認しました。

(1 2) 水理特性

1) 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。粗度係数は Manning 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 2 7 に示します。

- 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 φ 150
- ④基準流量計 形式；UEFVF-IX, 製造；1992年度,
精度；± 0.5%RS
- ⑤試験水路 短形開水路；高さ40cm, 幅40cm, 長さ10m

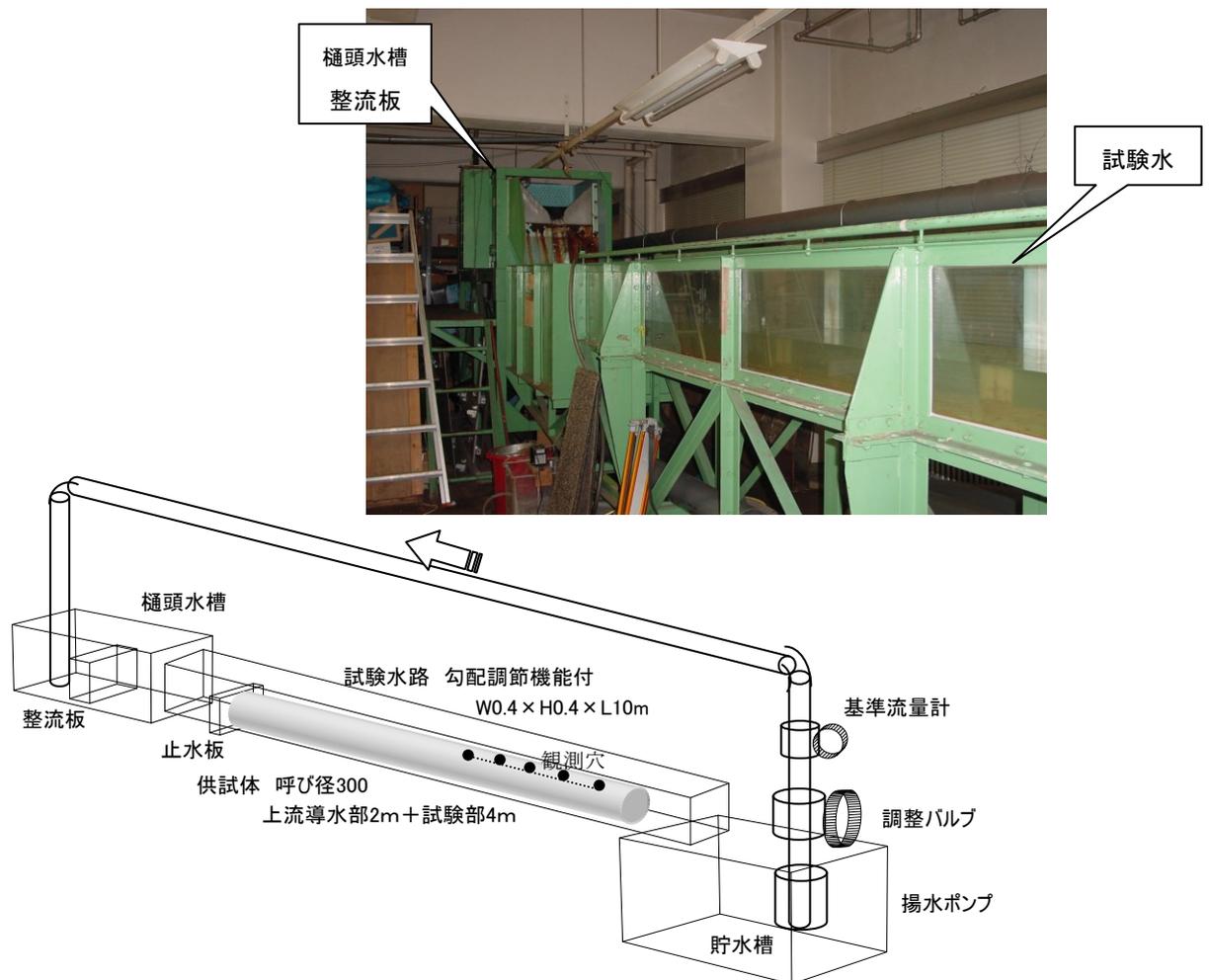


図 2 7 試験概要図

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
- ②水位および水面形観測用に、供試体に観測用穴を 5 箇所開けます(下端から軸方向に 50 cm 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 3.5 m の直管導水部を設営します(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 15 m³/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す。
- 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す。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す。
- 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、マン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す。
- ⑨計算方法は次の通りです。

マンニング式

クッター式

$$Q = A \cdot V \cdots \cdots (4)$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdots \cdots (5)$$

$$Q = A \cdot V \cdots \cdots (4)$$

$$V = N \cdot R / (R^{1/2} + D) \cdots \cdots (6)$$

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

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

4) 供試体

①呼び径：φ300

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29、クッター式による算出結果を表30に示します。

表29 施工管の粗度係数

測定番号	動水勾配 I = 3.0‰			動水勾配 I = 5.0‰		
	平均流速	径 深	粗度係数	平均流速	径 深	粗度係数
	V (m/sec)	R (m)	n	V (m/sec)	R (m)	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30 施工管の粗度係数

測定番号	動水勾配 I = 3.0‰			動水勾配 I = 5.0‰		
	平均流速	径 深	粗度係数	平均流速	径 深	粗度係数
	V (m/sec)	R (m)	n	V (m/sec)	R (m)	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

4) 考察

この試験結果からシールパイプSFの粗度係数は、0.008~0.010であることが確認できました。シールパイプSF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。以上により、シールパイプSFの粗度係数は0.010としました。

6. 施工後の追跡調査

施工後の追跡調査として、ホースライニング工法施工後のTV調査を毎年実施しており、管内面の状態に問題はありません。また、某市からの依頼で、昭和62年(1987年)に施工したシールパイプSF（エポキシ樹脂使用）を一部取り出して物性を確認しました。結果を表31に示します。13年経過後も物性が高く、長期耐久性が実証されたものと言えます。

表31 施工後13年後の物性結果

項目	規格値	13年後
引張強度(N/mm ²)	23	34
曲げ強度(N/mm ²)	69	112
曲げ弾性係数(N/mm ²)	2600	3400

7. 阪神・淡路大震災でのホースライニング施工管の被害調査

1995年1月17日午前5時46分、淡路島北東約3kmを震源として発生した阪神・淡路大震災は、阪神地方に多大の被害をもたらしました。「兵庫県南部地震による管路更生工法施工管の被害調査報告書」（非開削技術）からの地震の被害が多かった地域のライニング管と非ライニング管との被害の対比資料を表32に示します。

下水道管きよは、ガス導管や水道管と比べると埋設深さが深く、かつ、各々の管は継手部に差し込まれているだけですので、地震のエネルギーを各々の継手部で吸収するという特性を有しています。しかし、阪神・淡路大震災の被害は、下水道管きよまで大きくおよんでいました。ライニング管と非ライニング管とを比べると、ライニング管の方が非ライニング管よりも耐震性が優れていることが確認できました。被害の全くなかったホースライニング工法施工管を写真22に示します。

表32 阪神・淡路大震災の被害対比表

管種	延長 (m)	被害箇所数	被害の種類
ホースライニング施工管	712	0	なし
非ライニング管	105	32	クラック28 間隔4

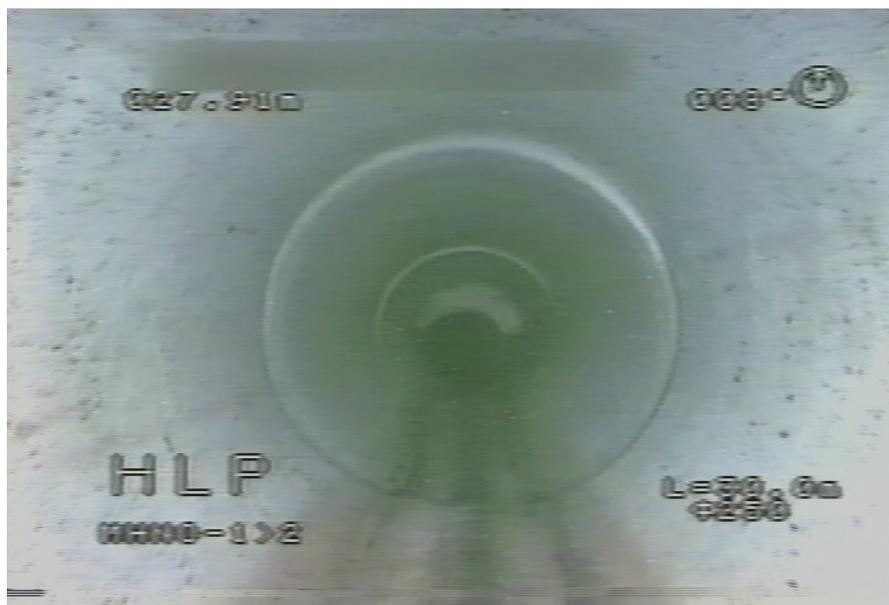


写真 2 2 ホースライニング工法施工管

8. シールパイプSFの厚さ設計

8-1. 自立管として設計

自立管として形成されるシールパイプの厚さを、「管更生のガイドライン案」の自立管の更生厚さ算定例に準じて、シールパイプSF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下記条件で厚さを計算しました。

設計条件

- i. 既設管口径 : D=250mm
- ii. 土被り : H=3000mm
- iii. 周辺地盤の乱れ : 有り
- iv. 輪荷重（総重量 T-25 の車輛が走行） : P=100000N
- v. 掘削溝幅 : B_d=1100mm
- vi. 土の単位体積重量 : $\gamma = 0.000018\text{N/mm}^3$
- vii. 安全率 : 1.6

(1) 土による鉛直土圧

土被りが 2.0m 以上であり、管周辺の地盤が乱される場合の鉛直土圧はヤンセン公式と土被り 2.0m での垂直公式のどちらか大きい値を採用します。

1). 垂直公式による鉛直土圧

$$q = \gamma \cdot H \\ = 0.000018 \times 2,000 = 0.036 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

2). ヤンセン公式による鉛直土圧

$$q = \left(\frac{\gamma \cdot B_d}{2} - f \right) \cdot \left(\frac{1 - e^{-2K \cdot \mu \cdot H/B_d}}{K \cdot \mu} \right) \\ = \left(\frac{0.000018 \times 1100}{2} \right) \times \left(\frac{1 - e^{-2 \times 0.334 \times 0.577 \times 3000/1100}}{0.334 \times 0.577} \right) = 0.0334 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

ϕ : 埋戻し土の内部摩擦角 (=30°)

μ : 埋戻し土と側壁との摩擦係数 = $\tan \phi$ 0.577

K: 埋戻し土の主動土圧係数

$$K = \frac{\sqrt{\mu^2+1} - \mu}{\sqrt{\mu^2+1} + \mu} = \frac{\sqrt{\tan 30^2 + 1} - \tan 30}{\sqrt{\tan 30^2 + 1} + \tan 30} = 0.334$$

f:埋戻し土の粘着力 (=0 N/mm²)

土による鉛直土圧は $q=0.036(\text{N/mm}^2)$ を採用します。
 (2)活荷重による鉛直土圧

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

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

p:活荷重による鉛直土圧(N/mm²)

P:後輪荷重(=100000N)

α :車輪接地長さ(=200 mm)

C:車体占有幅(=2750 mm)

θ :分布角(=45°)

i:衝撃係数 (=0.65-3000/10000 = 0.35)

H(mm)	H < 1500	1500 ≤ H ≤ 6500	H > 6500
i	0.50	0.65 - H/10000	0

β :低減係数 (=0.9)

(3) 曲げ強度による更生管厚さの計算

曲げ強度による更生管厚の計算は、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

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

$$= \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 11.8}{3 \times (0.107 \times 0.036 + 0.079 \times 0.0143)}}} = 6.137 \quad (\text{mm})$$

2). 管底部更生管厚さ

$$t_L = \frac{D}{1 + \sqrt{3 \frac{2\sigma}{k_1 \cdot q + k_2 \cdot p}}} = \frac{250}{1 + \sqrt{3 \frac{2 \times 11.8}{0.121 \times 0.036 + 0.011 \times 0.0143}}} = 5.848 \text{ (mm)}$$

σ : 設計曲げ強度

短期曲げ強さ/安全率 = 59/5 = 11.8 N/mm²

k_1 : 鉛直土圧による曲げモーメント係数 (右表による)

k_2 : 活荷重による曲げモーメント係数 (右表による)

	k1	k2
管頂	0.107	0.079
管底	0.121	0.011

(4) たわみによる更生管厚の計算

$$t_t = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{EV}{75(K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}} = \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{1000 \times 5}{75 \times (0.070 \times 0.036 + 0.030 \times 0.0143)}}} = 8.540 \text{ (mm)}$$

※有効支承角 120° のとき

E : 設計曲げ弾性係数

長期曲げ弾性係数/安全率 = 1600/1.6 = 1000 N/mm²

V : 許容たわみ率 = 5 (%)

k_1 : 鉛直土圧によるたわみ係数 = 0.070

k_2 : 活荷重によるたわみ係数 = 0.030

(5) シールパイプ採用厚み

シールパイプ厚みは、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、シールパイプは厚みが 3 mm+1.5 mm 刻みとなるので、計算結果で最も厚いものを 1.5 mm 単位で切り上げた厚みを採用します。

	曲げ(管頂) t_U (mm)	曲げ(管底) t_L (mm)	たわみ t_t (mm)	設計厚み t_{max} (mm)
厚さ	6.137	5.848	8.540	8.540

シールパイプの採用厚みは、シールホースの不織布厚みが加熱硬化時に 90% 程度減少されることを加味し、シールホースのジャケット厚さを加えたものとなります。

$$T = T_f \times 0.9 + T_j$$

T : シールパイプの採用厚み (mm)

T_f : シールホースの不織布厚み 9 (mm)

T_j : シールホースのジャケット厚み 0.6 (mm)

口径	φ 200～φ 360	φ 380～φ 550	φ 600～φ 610	φ 680～φ 1350
ジャケット厚み	0.6	0.8	1.2	2.0

上式より

$$T = 9 \times 0.9 + 0.6 = 8.70 \text{ (mm)}$$

以上の結果より、採用するシールホースはφ 250 (F9.0)となり、採用厚みは8.70 (mm)となります。

8-2. 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と外水圧に対する必要更生管厚から設計更生管厚を決定します。二層構造管として形成されるシールパイプSF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、シール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した

(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 $q=0.036(\text{N}/\text{mm}^2)$ を採用します。

(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。

(3) 曲げ強度による更生管厚さの算定

曲げ強度による更生管厚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

$$\begin{aligned} t_U &= \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3 \cdot \alpha_1 (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}} \\ &= \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 11.8}{3 \times 0.4 \times (0.107 \times 0.036 + 0.079 \times 0.0143)}}} = 3.917 \quad (\text{mm}) \end{aligned}$$

2). 管底部更生管厚さ

$$\begin{aligned} t_L &= \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3 \cdot \alpha_1 (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}} \\ &= \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 11.8}{3 \times 0.4 \times (0.121 \times 0.036 + 0.011 \times 0.0143)}}} = 3.731 \quad (\text{mm}) \end{aligned}$$

α_1 : 管厚低減係数(曲げ強度) = 0.4

(4)たわみによる更生管厚の計算

$$t_t = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{EV}{75 \times \alpha_2 (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}}$$

$$= \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{1000 \times 5}{75 \times 0.2 \times (0.070 \times 0.036 \times 10^{-2} + 0.030 \times 0.0143)}}} = 5.066(\text{mm})$$

α_2 : 管厚低減係数(たわみ) = 0.2

(5)外水圧による更生管厚の計算

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). 既設管厚み; 28(mm)
- 4). 設計水圧; (土被り+既設管厚+更生管直径-地下水位)×0.00001(N/mm³)
 $\{=(3,000+28+250-1000) \times 0.00001=0.0228 \text{ (N/mm}^2)\}$

$$P_a = \frac{2F_e \cdot F_0 \cdot E_L}{(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t_s}{D-t_s} \right)^3 \cdot \frac{1}{N} \rightarrow t_s = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \cdot F_e \cdot F_0 \cdot E_L}{P_a \cdot N \cdot (1-\nu^2)}}}$$

P_a : 外水圧 (=0.0228 N/mm²)

F_e : 支持向上係数 (=7)

$$F_0: \text{楕円変形率} \left[= \left\{ \frac{1-q/100}{(1+q/100)^2} \right\}^3 = 0.64 \right]$$

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 (=1600 N/mm²)

ν : 更生材のポアソン比 (=0.3)

t_s : 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しますと

$$t_s = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \cdot F_c \cdot F_0 \cdot E_L}{P_a \cdot N \cdot (1 - \nu^2)}}} = \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \times 7 \times 0.64 \times 1600}{0.0228 \times 2 \times (1 - 0.3^2)}}} = 3.513(\text{mm})$$

となります。

(6) シールパイプ採用厚み

シールパイプの設計厚みは、上記の計算結果のうちで、最も厚い更生管厚とします。

また、シールパイプは厚みが 3 mm+1.5 mm 刻みとなるので、計算結果で最も厚いものを 1.5 mm 単位で切り上げた厚みを採用します。

	曲げ(管頂) $t_u(\text{mm})$	曲げ(管底) $t_L(\text{mm})$	たわみ $t_t(\text{mm})$	外水圧 $t_s(\text{mm})$	設計厚み $t_{\max}(\text{mm})$
厚さ	3.917	3.731	5.066	3.513	5.066

シールパイプの採用厚みは、シールホースの不織布厚みが加熱硬化時に 90% 程度減少されることを加味し、シールホースのジャケット厚さを加えたものとなります。

$$T = T_f \times 0.9 + T_j$$

T : シールパイプの採用厚み (mm)

T_f : シールホースの不織布厚み 6.0 (mm)

T_j : シールホースのジャケット厚み 0.6 (mm)

口径	$\phi 200 \sim \phi 360$	$\phi 380 \sim \phi 550$	$\phi 600 \sim \phi 610$	$\phi 680 \sim \phi 1350$
ジャケット厚み	0.6	0.8	1.2	2.0

上式より

$$T = 6.0 \times 0.9 + 0.6 = 6.0(\text{mm})$$

以上の結果より、採用するシールホースは $\phi 250$ (F6.0) となり、採用厚みは 6.0 (mm) となります。

ホースライニング工法技術資料（下水道編）

2003年 3月 第1版発行
2004年 7月 第2版発行
2006年 2月 第3版発行
2008年 4月 部分改訂
2009年 4月 第4版発行
2011年 4月 第5版発行
2012年 4月 第6版発行
2013年 4月 第7版発行

編集・発行 パルテム技術協会
〒103-0022

東京都中央区日本橋室町4丁目3番16号
柳屋太洋ビル8F

TEL03-3242-2155 FAX03-3242-2160

本書は無断で転載および複製を禁じます。
