

# ポリリング工法の開発

## —シールドトンネルの薄肉二次覆工工法—

川畑雅隆\* 佐藤和夫\*\*

### 1. はじめに

下水道工事におけるコスト削減のため、シールド工法では、二次覆工の省略や覆工厚を薄くすることによる掘削断面の縮小化が求められている。コンクリートセグメントでは平板形を基本として、ハニカムセグメント等のようにセグメントの形状や継ぎ手の改良によって雨水管や雨水貯留管の二次覆工省略が可能となっている。

しかし、鋼製セグメントでは内面平滑性の確保や防食の観点から二次覆工を省略できないのが現状である。これらを解決するため、高密度ポリエチレン製の帯状ライニング材による鋼製セグメント用の耐摩耗性及耐薬品性に優れた薄肉二次覆工工法を開発した。

### 2. 工法の概要

強化プラスチック複合管による内挿管や現場打ちコンクリート等の従来の二次覆工では、以下の施工上の理由から、構造上から必要な覆工厚さ以上にせざるを得なかった。

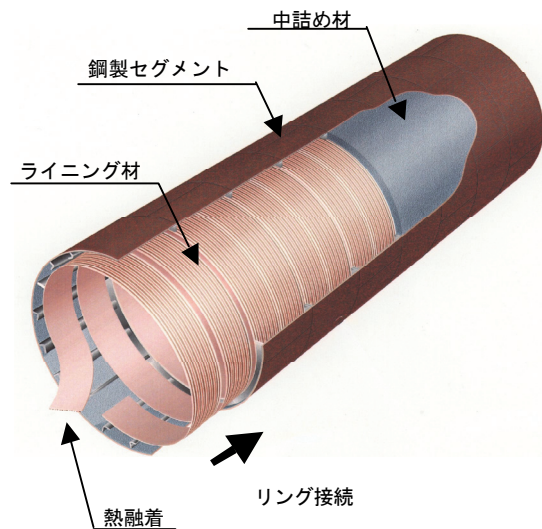


図-1 ポリリング工法の概要

i. 内挿管を坑内に搬入するための空間が必要  
ii. コンクリートの充填性の確保と型枠の移動、清掃剥離剤塗布の作業を行うための空間が必要  
本工法では、これらの問題点を解決し、覆工厚さを必要最小限にした薄肉二次覆工にするため施工方法を以下のようにした。

- i. 帯状のライニング材を坑内でリング成形し、リングを順次接続して覆工体を形成し、覆工体とセグメントとの間隔を必要最小限とする
- ii. 管渠は流動性の良いセメント系中詰め材で固定する

以上のポリリング工法の概要を図-1に、覆工断面の形状を図-2に示す。

### 2.1 工法の特長

従来のコンクリートによる二次覆工に比べて以下の特長がある。

- i. 覆工厚さが薄く、シールドの掘削断面径を 350mm～400mm 程度縮小できる
- ii. 曲線部の覆工も直線部と同等の進捗で施工できる
- iii. 掘削断面の縮小と二次覆工の工期短縮により、シールドトンネルのコストダウンができる
- iv. 耐食性、耐摩耗性に優れた下水道管渠を築造できる

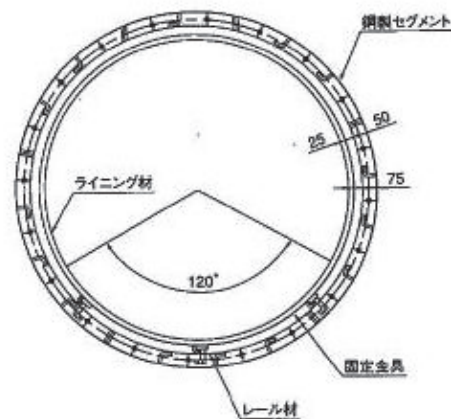


図-2 覆工断面図

\*本社土木部 \*\*関西支社土木技術部

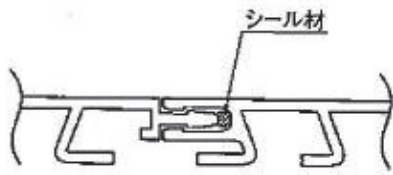


図-3 ライニング材の継ぎ手部構造

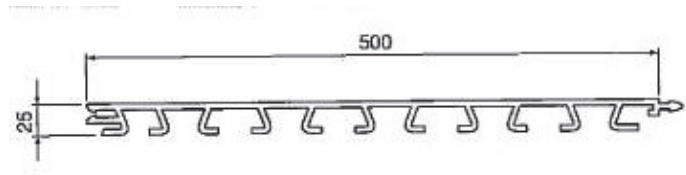


図-4 ライニング材の断面形状

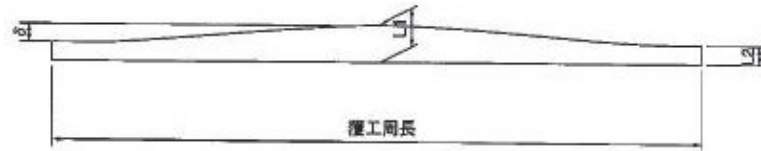


図-5 テーパーライニング材の展開図

凡例

$\delta$  : テーパー量 =  $L1 - L2$

L1 : 最大幅

L2 : 最小幅

## 2.2 工法の適用条件

ポリリング工法は以下の条件に適用できる。

- i. 用途 : 鋼製セグメントの二次覆工、管渠の更生
- ii. 断面形状 : 円形、矩形、馬蹄形
- iii. 仕上がり内径 : 1,000 mm 以上
- iv. 曲線覆工 : 半径 10 m 以上

## 3. 使用材料

### 3.1 ライニング材

ライニング材の材質は、耐摩耗性及耐薬品性に優れた下水管渠を築造するために高密度のポリエチレンとした。

#### a. 標準ライニング材

標準ライニング材の断面形状は、中詰め材との附着性能と施工に支障を与えない剛性の確保を考慮し、図-3に示すようなL型リブを配置した厚さ 25mm とした。ライニング材の幅は、坑内における施工性と製造技術の制約から 500mm とし、長さは仕上がり内径の周長とした。

ライニング材の両端には、リングの接続を容易に施工できるように嵌合継ぎ手を配置し、また、継ぎ手部の止水性を保つために止水シール材を使用した。継ぎ手の構造を図-4に示す。

#### b. 曲線覆工用ライニング材

曲線部の覆工は、一次覆工と同様にテーパーライニング材と標準ライニング材の組み合わせによって所要の曲線半径を形成している。テーパーライニング材は、図-5に示す展開図のような帯状の形状である。継ぎ手部の構造は標準ライニング材と同じである。

#### c. 材質

高密度ポリエチレンは、耐摩擦性及耐薬品性に優れており、下水道の覆工材として優れた性状を有している。これらの性状を確認した試験結果は以下の通りである。

#### (a) 物性

物性値は、JIS に準拠した試験方法にて確認した。その結果を表-1に示す。

表-1 ライニング材の物性値<sup>1)</sup>

試験項目	単位	物性値	
		規格値	試験値
密度	kg/m <sup>3</sup>	945~965	955
引張強さ	N/mm <sup>2</sup>	20 以上	40.2
伸び	%	350 以上	840
曲げ弾性率	N/mm <sup>2</sup>	900~1,200	1,066
アイゾット衝撃値	kJ/m <sup>2</sup>	10 以上	21.1

#### (b) 耐摩耗性

耐摩耗性は、JIS K 7204 の摩耗輪によるプラスチックの摩耗試験に準拠し、試験片をライニング材と硬質塩化ビニル管として、それぞれの摩耗量を比較することにより確認した。その結果、ライニング材は表-2に示すように塩化ビニル管の 1/3 以下の摩耗量で、優れた耐摩耗性を確認した。

表-2 ライニング材の耐摩耗性試験結果<sup>1)</sup>

供試体	ライニング材 (mg/1000 回)	硬質塩化 ビニル管 (mg/1000 回)
No. 1	9.4	14.4
No. 2	14.5	44.8
No. 3	10.2	58.5
平均摩耗量	11	39

#### (c) 耐薬品性

ライニング材の耐薬品性は、JIS K 6761 (一般用ポリ

エチレン管)の浸せき試験に準拠し、各試験片について計測した単位表面積当たりの質量変化率を規格値と比較することにより確認した。試験結果は表-3に示すとおりになり、ライニング材は耐薬品性試験の規格に適合し、硫化水素が発生する等の環境にある下水道のライニング材としても適していることが認められた。

表-3 ライニング材の耐薬品性試験結果<sup>1)</sup>

試薬の種類	質量変化量	
	規格値 (mg/cm <sup>2</sup> )	計測値 (mg/cm <sup>2</sup> )
塩化ナトリウム (10%)	±0.05	+0.02
硫酸 (30%)	±0.05	+0.01
硝酸 (40%)	±0.10	+0.05
水酸化ナトリウム(40%)	±0.05	±0.00
エタノール	±0.40	+0.07

### 3.2 固定金具

固定金具は、中詰め材の充填によって覆工体に発生する浮力に対応する目的で設置する。固定金物は、図-2に示すように浮力が最も大きい管体の下部 120° を固定し、トンネル軸方向に 1.0m の間隔での設置を標準とした。

### 3.3 レール材

レール材は、覆工体の位置を決める定規、施工機器の移動用軌条、そして固定金具の固定を目的として図-2に示すように3本設置しセグメントに固定する。レール材の設置高の調整により、上方に 50mm、下方に 20mm までの蛇行修正が可能である。

### 3.4 中詰め材

鋼製セグメントと覆工体の間には、充填孔より中詰め材を充填する。

中詰め材の配合例を表-4に示す。中詰め材の配合は、施工性や外水圧の有無を検討して決定する。

表-4 中詰め材の配合例 (単位 kg/m<sup>3</sup>)

一軸圧縮強度 (28日強度)	セメント	ベントナイト	水
15 N/mm <sup>2</sup>	850	20	722

## 4. 施工手順

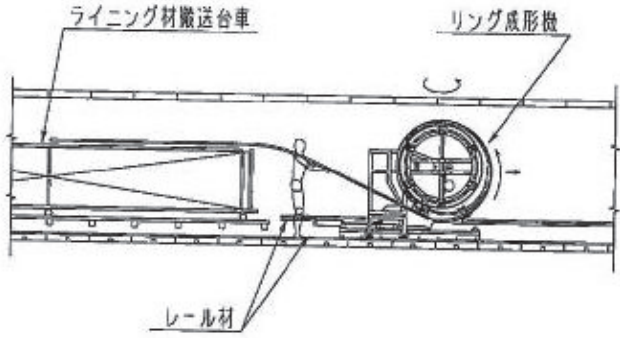
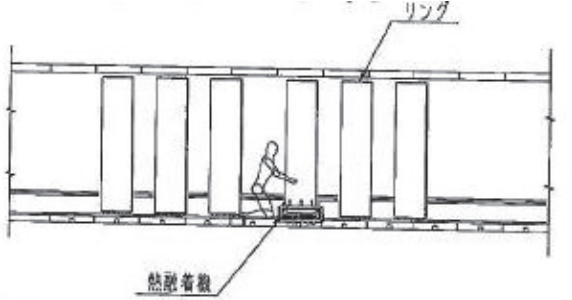
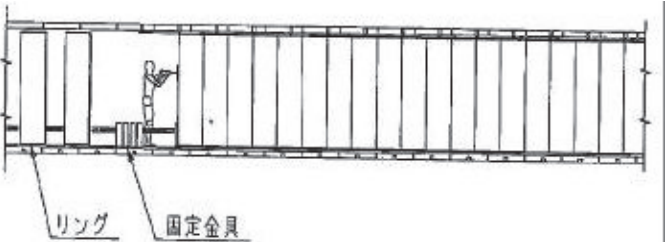
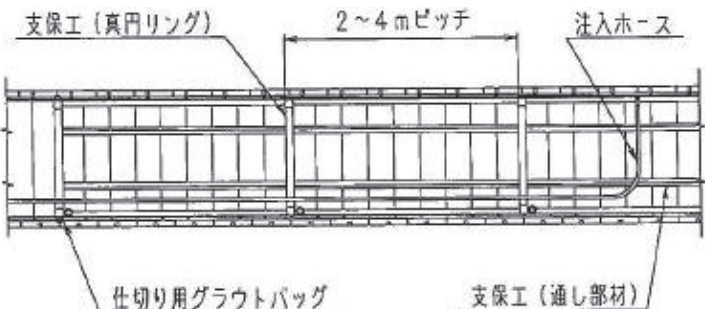
ライニング材の曲げ加工、リング成形、リング接合および支保工の組立は並行作業として同時に行われる。

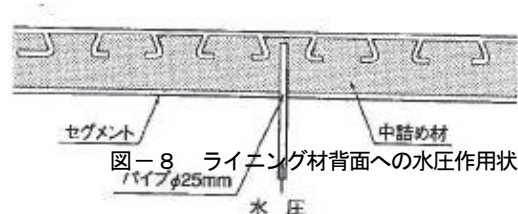
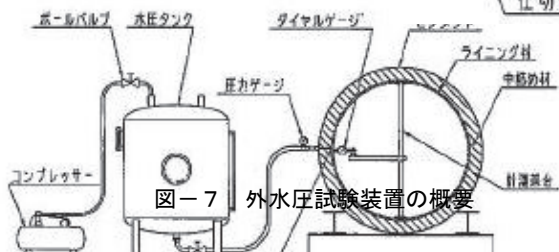
施工作業は、100m~130m を1スパンとして繰り返す。1スパンの標準施工サイクルの施工手順を図-6に示す。

工程	解説
1. 準備工	①セグメント内面の堆積物および付着物の洗浄を行う ②中詰め材の充填設備を地上に設置する ③リング成形機、熱融着機、接続機等の施工設備を搬入する
2. レール材の設置	①施工箇所の軌条を撤去する ②二次覆工の計画線形にしたがって、所定の位置にレール材をセグメントに設置する
3. ライニング材の搬入	①運搬ケースに収納されたライニング材を立坑下のライニング運搬台車に載せる ②運搬ケースを機関車にて坑内に搬入する

The diagram shows a cross-section of a tunnel under construction. A worker is seated on a track labeled '軌道' (Track). To the right, a 'ライニング材搬送台車' (Lining material transport car) is positioned on the track. The car is a rectangular frame with a central section where the lining material is stored. The track is supported by a structure above the tunnel.

図-6 施工順序<sup>2)</sup> (1)

工 程	解 説
4. ライニング材の曲げ加工	<p>①ライニング材をリング成形機に供給する ②ライニング材を曲げ加工する</p> 
5. リングの成形	<p>①曲げ加工したライニング材を熱融着機に組み込む ②ライニング材の端部を熱融着してリングにする</p> 
6. リングの接続	<p>①リングを順次に接続し覆工体を築造する ②リングは1 m 毎に固定金具にてレール材に固定する</p> 
7. 支保工組立 中詰め材充填	<p>①支保工を組み立てる ②中詰め材充填の配管を行う ③中詰め材を充填する ④支保工を撤去する</p> 



二次覆工内径		1,350	1,500	1,650	1,800	2,000	2,200	2,400	2,600	2800
二次覆工工法		表-6 ポリリング工法の施工事例 <sup>1)</sup>				施工概要				
事例		目的・用途				概要				
一次覆工内径	コンクリート	1,850	1,950	2,150	2,350	2,550	2,750	2,950	3,100	3,300
	ポリリング工法	No. 1 鋼製セグメントの二次覆工 1,500	1,650	1,800	1,950	2,150	覆工延長: 2,350m 曲線部: 半径20m、 曲線長さ22m	2,550	2,750	2,950
一次覆工内径の縮小量		No. 2 鋼製セグメントの二次覆工 350	300	350	400	400	仕上がり内径: 400mm 覆工延長: 227m	仕上がり内径: 3,000mm 覆工延長: 350m	350	350
5. 管渠の性能						曲線部:半径120m、曲線長さ90m				
No. 3		伏越し管路の補修(硫化水素による劣化開				仕上がり形状:矩形1,850mm×1,350mm 覆工延長:25m×2列 中詰め材の厚さを50mmとした厚さ の厚さを25mm、仕上がり内径を3,500mm とした厚さの薄肉の二次覆工の 二次覆工が可能とされた。本工法は、従 来のコンクリート管渠の二次覆工 にて表-5に示すように内径を380mm~400mm縮小でき				
No. 5		T. B. M. で施工したトンネルの二次覆工				仕上がり内径を380mm~400mm縮小でき				

本工法によって築造した下水道管渠は以下のような性能を有する。

5.1 耐外水圧

一次覆工からの漏水に対する覆工体の耐外水圧性能は、図-7に示す仕上がり内径 1,840mm の試験装置にて、ライニング材背面に図-8に示すように水圧を作用させて確認した。その結果、0.2MPa までの耐外水圧の性能を確認した。耐外水圧は、ライニング材の背面に配置したL型リブ材に発生する中詰め材との附着力によって対応しており、中詰め材の強度を高めることにより耐外水圧の調整が可能である。今回の外水圧試験に用いた中詰め材は、表-4に示す配合であった。

5.2 耐内水圧

覆工体の耐内水圧性能は、仕上がり内径 1,840mm のライニング材継ぎ手部に、水圧テストバンドを使用して0.2MPa まで加圧して確認した。

継ぎ手部の止水性を確保するためにφ5mm の水膨潤性ゴムシールを止水シール材として採用した。

5.3 流下性能

本工法による管渠の流下性能は、可変勾配水路の水理試験装置に流した水の流速、水位、水路勾配を計測し、粗度係数を得て確認した。ライニング材の幅は500mmと短いので、継ぎ手部も見込んだ粗度係数を確認した。

試験の結果から 0.00817~0.0095 の粗度係数を得たので、管渠の設計では強化プラスチック複合管等のプラスチック系管材と同等の粗度係数 0.010 とする。

6. 覆工断面の縮小

薄肉の二次覆工によって、セグメントやシールド機の縮径とそれともなう掘削土量の軽減ができ、シールドトンネル工事のコスト縮減や環境負荷の軽減も可能となった。

7. 施工事例

写真-1 ライニング材の熱融着(リング成形)



ポリリング工法の施工事例を表-6に示す。施工事例 No.2 についての施工状況を写真-1、写真-2および写真-3に示す。写真-1は、帯状のライニング材を熱融着にてリングに成形している状況である。

写真-2は、リングにされたライニング材を油圧ジャッキにて接続している状況である。



写真-2 ライニング材の接続（内径 3,000mm）



写真-3 支保工の設置状況

写真-3は、リング支保工を3m間隔で設置した状況である。

## 8. おわりに

ポリリング工法の開発により、シールドトンネルの薄肉二次覆工が施工可能になり、一次覆工を含めたトータルコストの縮減を達成することができた。

コンクリートセグメントでの二次覆工が省略された場合で急曲線部で鋼製セグメントが採用された場合、その区間では二次覆工の覆工厚さが制限される。このようなケースでは、本工法の特長が生かされる。

また、薄肉の覆工厚とライニング材の優れた耐薬品性等の特長を生かして、管渠の更生工法への適用も可能である。なお、ポリリング工法は、平成12年12月に（財）下水道新技術推進機構にてシールドトンネルの薄肉二次覆工工法として下水道技術・技術審査証明<sup>1)</sup>がなされた。

本工法は、（株）大阪防水建設社との共同開発である。

### 【参考文献】

- 1) 「ポリリング工法—シールドトンネルの薄肉二次覆工工法」、（財）下水道新技術推進機構、下水道技術・審査証明報告書、2000.12
- 2) 川畑雅隆、「下水道新技術」、東京都下水道局、研修テキスト、pp.1-7、2001.1