

# 下水道管渠の二次覆工への TDR ショットライニングシステムの適用

## Application of the TDR Shot Lining System to the Inner Lining of Sewer Conduit

立石 久 弥<sup>\*1</sup> 上 田 徹<sup>\*2</sup> 荒 川 康 広<sup>\*1</sup>  
Hisaya Tateishi Toru Ueda Yasuhiro Arakawa  
恩 地 研 輔<sup>\*3</sup> 川 端 康 夫<sup>\*4</sup> 平 間 昭 信<sup>\*5</sup>  
Kensuke Onji Yasuo Kawabata Akinobu Hirama

【キーワード】 二次覆工一体型セグメント 鋼製セグメント 吹付けライニング工法 耐硫酸性モルタル

### 1. はじめに

近年、シールドトンネルでは、シールド機の性能向上や、セグメントの品質向上に伴い、経済性を考慮して、二次覆工を省略した、二次覆工一体型・省略型セグメントの適用が主流になりつつある。このような中でも偏心荷重を受ける急曲線部や、分岐合流部では、鋼製セグメントが使用され、二次覆工が必要とされる。これらの鋼製セグメント区間は、覆工仕上がり面と主桁の間隔は40～80mmと小さく、補強リブも複雑で、従来の二次覆工の施工（コンクリート打設）が難しく、これらを完全に充填し、被覆する覆工技術が求められている。このよう

な中、当社保有技術の TDR ショット工法（劣化したコンクリートの断面修復工法）をベースにした、新たな吹付けライニング工法を開発し、「目黒川右岸低地部排水施設整備工事」に適用した。特に本工事は、洪水時の貯留槽を構築する工事で、下水道施設としての性能が求められた。ここでは、工法概要と実施工での成果を報告する。

### 2. 工事概要

工事件名：目黒川右岸低地部排水施設整備工事

施工場所：東京都品川区大崎5丁目2番先～西五反田三丁目16番地



図-1 二次覆工施工位置図

1. 関東土木事業部 新児玉シールド作業所 2. 関東土木事業部 多摩シールド作業所 3. 関東土木事業部 国立シールド作業所  
4. 土木事業本部 土木技術部 5. 技術研究所 第三研究室

工期：平成18年4月～平成21年3月  
 発注者：東京都品川区  
 施工者：飛島・大旺建設共同企業体  
 諸元：コンパクト泥土圧シールド工法，内径  
 φ2,600mm，トンネル延長1,320.25m  
 適用箇所：曲線部（最小15R，9箇所），流入取込部（8  
 箇所），延長235.3m，面積1,502m<sup>2</sup>，図-1参照

### 3. 工法概要

#### 3.1 特殊二次覆工の要求性能

本工事は，下水施設型のトンネルで，一般部は，防食層を有する二次覆工一体型のRCセグメントを使用し，鋼製セグメント区間の特殊二次覆工においても，50mmの防食層と，RCセグメントと同等以上の硫酸に対する抵抗性が求められた（表-1参照）．さらに供用時には，0.25MPaの内水圧が作用することに対する耐荷力と，流水取込部の衝撃圧に対する耐久性，洗掘防止用補強材の取付け易さ，メンテナンスの容易さが求められた．

表-1 鋼製セグメント区間の二次覆工の要求性能<sup>1) 2)</sup>

項目	要求性能	具体的な要求項目，留意事項
防食性	塩害，中性化，化学的な浸食などの劣化外力に対する抵抗性を有すること．	①密実性：覆工材料が鋼製セグメント内に充填され，セグメントと密着していること． ②耐久性：覆工材料が想定される劣化外力に対し，抵抗性を有していること． 通常は，塩害や中性化などによる鋼製セグメントや補強材の発錆腐蝕が求められるが，下水施設では特に硫酸に対する抵抗性が求められる．
平滑性	流下能力確保のための平滑性を有すること．	コンクリート覆工の仕上がり面と同等の平滑性（粗度係数）が求められる．
内空確保	所定の内空寸法を確保していること．	曲線部において，覆工施工時の型枠や埋込み型枠の寸法によっては，内空寸法やかぶりか確保し難いことに留意する．
内水圧	内水圧に対する耐荷力を有していること．	覆工材料単独での耐荷力有すること，または補強筋を配置しても所定の耐久性を確保できること．
メンテナンス	メンテナンスフリー，メンテナンスの容易さを有していること．	一定期間メンテナンスフリーの耐久性を有すること．また，何らかの要因で損傷が発生しても修補が容易であること．
その他	経済性，工期に優れていること．	工事費，ライフサイクルコストも含めた経済性に優れていること，覆工は単独で施工されることが多く，工期の短縮が求められる．

#### 3.2 システムの概要

本工事における二次覆工の断面構成を図-2に示す．まず，鋼製セグメント内にプライマーを塗布し，硬化促進剤を用いた高性能な無機系モルタル（以降，充填モルタル）を吹付け，充填する．続いて，剥落防止やひび割れ防止を目的とした補強材を配置し，仕上げ層にトンネルの用途に適合する耐硫酸モルタルを吹付け，左官仕上げを行う．最後に表層に養生剤を塗布する．図-3に施工システムを示す．

充填モルタルは，液体の硬化促進剤を添加した圧縮空気により，ノズル先端でほぐされ，吹付け箇所へ吹付けられる．硬化促進剤の効果により，吹付け後直ちに材料

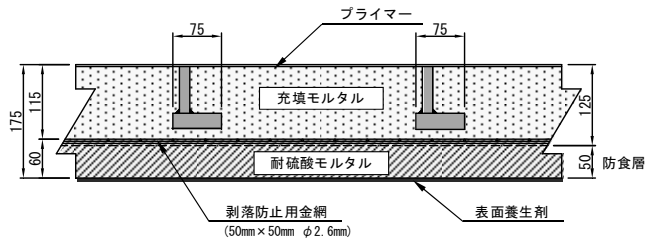


図-2 二次覆工の断面構成

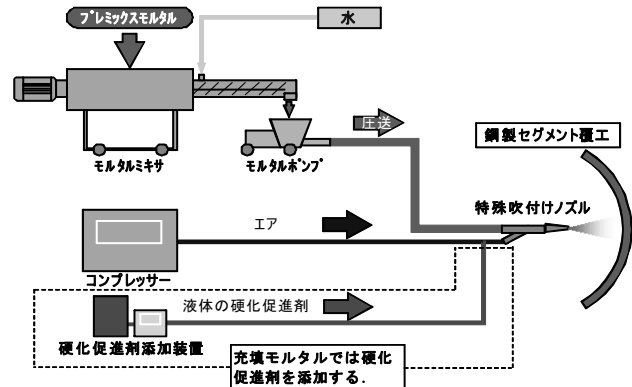


図-3 吹付けシステム

が締め始めるため，吹付け箇所からダレることなく，連続して充填することができる．モルタルの練混ぜ・圧送は，連続練りミキサとスネーク式の圧送ポンプを用いることで，最大2.0m<sup>3</sup>/hr吐出量を確保できる．但し，実際の吐出量は，充填性を考慮し，1.0～1.5m<sup>3</sup>/hrで施工する．また，鋼製セグメントのリブ裏が完全に充填できるよう，専用の吹付けノズルの開発を行うとともに，圧縮空気の量を流量計で管理し，作業員が充填状況を目視で確認しながら，ノズルワークを行う．

#### 3.3 使用材料の性能

使用材料は，主に充填モルタルと耐硫酸性モルタルからなる．

##### (1) 充填モルタルの配合及び性能

鋼製セグメントの形状は，曲線部の厳しい箇所でも，写真-1のように縦リブ間隔で幅30cm，横リブ間隔で高さ40cm程度であり，充填モルタルをリブ内に充填したのち，



写真-1 鋼製セグメント区間の全景

表-2 充填モルタルの配合 (m<sup>3</sup>当たり)

充填モルタル	水	硬化促進剤	ミニスランプ
1825kg	315kg	37kg	75±30mm

表-3 充填モルタルの性能

項目	材齢28日試験値	試験方法
圧縮強度	58.6 N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1171
曲げ強度	9.5 N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1171
付着強度	2.4 N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1171
乾燥収縮量	0.06%	JIS A 1171

収縮によって端部の縁切れや表面にひび割れが生じないような材料設計が求められた。また、モルタル圧送時の流動性や吹付け時の粉じんの低減などを目標とした。

表-2に充填モルタルの配合を、表-3に吹付け後の各種試験結果の一覧を示す。充填モルタルは、各強度特性が高く、収縮量は、通常のセメント/砂比=1/3のモルタルに比べ、1/2程度に抑制できている。

(2) 耐硫酸モルタルの配合及び性能

下水道施設では、硫酸還元菌によって、硫化水素が硫酸に還元されるため、通常のセメント系の材料では、硫酸劣化が生ずる。本工法で使用する耐硫酸モルタルは、アルミナセメントを主成分としたポリマーセメントモルタルで、東京都下水道局の下水施設に適用する断面修復材の基準を満足している。元々はコテ塗り用の材料であったが、ここでは吹付け用に改良した。なお、耐硫酸モ

表-4 耐硫酸モルタルの配合 (m<sup>3</sup>当たり)

耐硫酸モルタル	水	ミニスランプ
1850kg	275kg	40±30mm

表-5 耐硫酸モルタルの性能

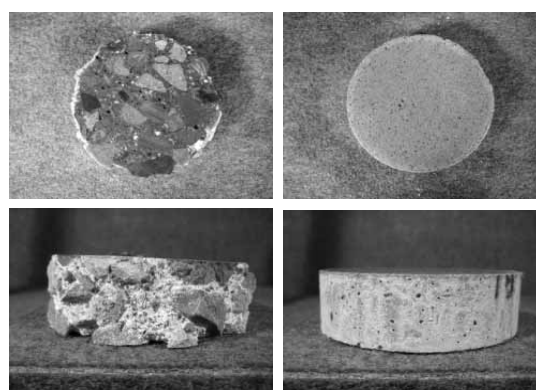
項目	材齢28日試験値	試験方法
圧縮強度	55.0 N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1171
曲げ強度	7.9 N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1171
付着強度	1.9 N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1171
長さ変化率	0.04%	JIS A 1171

表-6 耐硫酸モルタルの耐久性

項目	試験結果
中性化抵抗性	W/C=40%コンクリート → 6.5mm 耐硫酸モルタル → 6.7mm ※試験方法：JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠し、30°C、60%RH、CO <sub>2</sub> 濃度5%の環境で、4週後の中性化深さを測定した。
硫酸抵抗性	【硫酸浸透深さ】 W/C=40%コンクリート → 5.0mm 耐硫酸モルタル → 2.0mm 【重量変化率】 W/C=40%コンクリート → -3.3% セグメント用コンクリート → -2.3% 耐硫酸モルタル → 0.0% ※試験方法：日本下水道事業団試験法に準拠し、5%硫酸水溶液に4週間浸せきし、測定した。

ルタルは、硬化促進剤を使用せず、充填モルタル施工後の壁面に層状に吹付け、最後にコテ仕上げを行う。

表-4に耐硫酸モルタルの配合を、表-5、表-6に吹付け後の各種試験結果の一覧を示す。耐硫酸モルタルは、高い強度特性、収縮抵抗性を有しており、さらに中性化抵抗性は、W/C=40%のコンクリートと同等で、耐硫酸酸性に関しては、W/C=40%のコンクリートやセグメント用コンクリートと比較しても高い性能が確認できる。写真-2に硫酸水溶液浸せき試験の結果を示す。コンクリートは、表面のモルタル分が酸に浸食されボロボロとなり、径が100mmから90~95mm程度に縮小している。これに対し、耐硫酸モルタルは殆ど浸食されていない。



W/C=40%コンクリート 耐硫酸モルタル

写真-2 硫酸水溶液浸せき試験結果

4. 工法変更による現場適用

本工事では施工環境上、流入用立坑用地の確保ができないため、図-4に示す直接流入方式が採用されており、当初より初期流入水の衝撃圧と洗掘を問題視していた。当初設計の覆工は、樹脂部材による管更生工法が指定されていたが、これらに対する構造上の課題があり、TDR

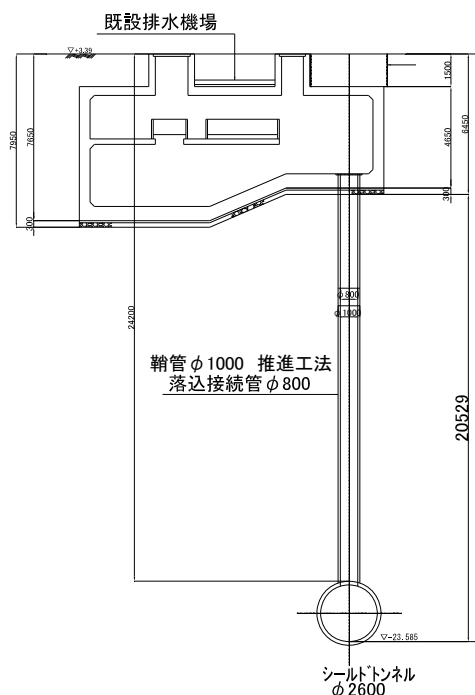


図-4 直接流入方式 断面図

ショットライニングシステムの適用を検討した。結果、下水道管渠のメンテナンスを行う、下水道局管理事務所の同意を得て、承諾による工法変更を獲得した。

要求性能を満足するために、鋼製セグメント内を充填モルタルで、表層の防食層を耐硫酸モルタルで施工した。補強材として、防食層 50mm を避けて、補強金網を配置した。また、表面養生材として、撥水機能や中性化抵抗性を付与できるシラン系の養生材を適用した。

写真-3 に充填モルタルの吹付け状況を、写真-4 に耐硫酸モルタルの吹付け状況を示す。何れの吹付けにおいても粉じんが少なく、作業員が充填状況や吹付け面の仕上がり状況を目視で確認しながら施工することができた。充填モルタルでは、ノズルワークにより、リップ内にモルタルを充填しており、耐硫酸モルタルでは、ノズル先端から一定の離隔距離を取ることで、満遍なく行き渡るように吹付けることができた。



写真-3 充填モルタルの吹付け状況



写真-4 耐硫酸モルタルの吹付け状況

本工事では、トンネル最深部より施工を開始した。また、工期短縮のため、充填モルタルと耐硫酸モルタルを同時に2箇所施工しており、先行する充填モルタルの吹付けプラント設備を毎日立坑まで引き出し、その後、耐硫酸モルタルの材料搬入を行い、順次充填モルタル吹付けプラント、材料を搬入している。吹付けプラントが

台車1台に乗るコンパクトな仕様であるのも利点である。写真-5 に完成後の全景を示す。仕上がり面が平滑で粗度係数も抑制でき、ひび割れの発生もなく、期待した仕上がり状態が得られた。



写真-5 完成後の全景

## 5. おわりに

シールドトンネルの用途は、鉄道、道路、共同溝、下水道、水路など多岐に渡っており、覆工に求められる要求性能もそれぞれ異なっている。また、断面寸法も工事中の仮設条件も種々多様である。本工法は、可能な限り、各種ニーズに応えられるよう、用途に合わせ、使用材料が変更でき、狭隘な環境化でも対応できる施工システムとし、実施工でその効果を確認できた。

今後、本工法の課題として、以下を考えている。

- ①表層の仕上げモルタルのコストが高い。反面、性能が高く 20~30mm の厚さで期待する効果が得られる。
- ②充填モルタルの硬化促進剤の急硬性が高く、左官仕上げが難しい。仕上げモルタルを薄肉にするためには、充填モルタルの施工段階で粗仕上げが求められる。
- ③補強材に補強金網を用いる場合は、一定のかぶりが必要で、これが仕上げモルタルを厚くする要因ともなっている。

シールドトンネルでは、今後も二次覆工一体型のセグメントの適用や二次覆工省略型のトンネル仕様が標準になっていくことが予想される。このような中、急曲線部や分岐合流部の特殊二次覆工の性能、施工品質に対しても、厳しい目が向けられており、本工法は、その期待に応えて行くことが可能であると考えている。

## 【参考文献】

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書「シールド工法・同解説」, pp.114-116, 2006.
- 2) 東京都下水道サービス株式会社：下水道シールド工事用二次覆工一体型セグメント設計・施工指針, pp.7-13, pp.48-50, 2009.