

二次覆工一体型シールド切替型推進工法の開発

デュアルシールド工法

南 雲 重 孝・中 村 浩・小野塚 良 明

大都市部の下水道管渠事業は、ゲリラ豪雨や合流改善等により管路の再構築事業が盛んに実施されている。このような中、管路施工における選択枝は、推進工法 or シールド工法であったが、これを推進工法 and シールド工法にすることで「より良い工法ができるのではないか？」という発想により本工法は開発され、現在、9件の施工実績を積み上げた。今回、「さらなる工期の短縮とコスト縮減」を指すとともに、本工法の多様化を図るため、二次覆工一体型シールド切替型推進工法を開発した。具体的には、RC内面平滑型セグメント（被覆層 $t = 50 \text{ mm}$ ）を使用することにより、「工期・コストの縮減」を図った。本稿では、シールド切替型推進工法の概要と特徴を紹介するとともに、新たに開発したRC内面平滑型セグメントおよびセグメント搬送システムについて報告する。

キーワード：シールド切替型推進工法、二次覆工一体型工法、デュアルシールド工法

1. はじめに

大都市部の下水道管渠の施工に当たり、非開削工法の果たしてきた役割は大きい。とりわけ推進工法やシールド工法の技術がなければ、現在の下水道管渠の普及はないものと想定される。

しかし、この両工法は掘進機等の機械・設備の仕様原理・原則は同じであるのに、どちらか一方の選択が常であり、両工法が両立するケースはなかった。

このため、推進工法とシールド工法を融合させた新たな発想のトンネル工法を開発し9件の実績を積み上げた。

今回、施工環境の多様化に対応すると共に地域住民の環境負荷の低減を目指し、「工期の短縮」に特化した二次覆工一体型を開発した。本稿では、シールド切替型推進工法の概要と特徴を紹介するとともに、新たに開発したRC内面平滑型セグメントおよびセグメント搬送システムについて報告する。

2. シールド切替型推進工法

(1) 概要

「推進工法」の利点である簡便性・経済性を取り入れるとともに「シールド工法」の施工の確実性・信頼性を担保した工法であり、両工法の利点を最大限に活用し、全体コストと工期を大幅に縮減した工法である。

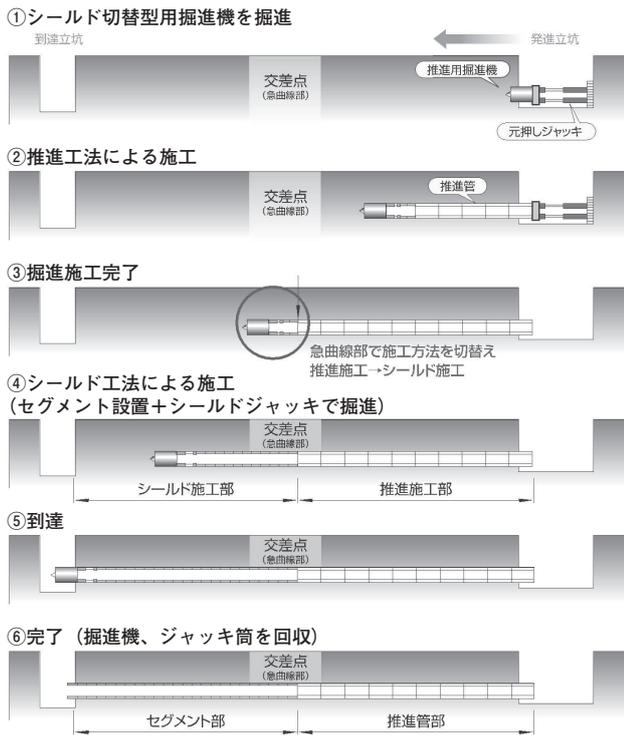
具体的な施工方法は、事前に掘削機内部にセグメントとアダプターリング（セグメントと推進管の接続リング）を設置し、その後方に推進管を設置する。この状態で推進工法と同様に元押しジャッキによって掘進機を所定の切替位置まで掘進させる。

その後、シールド工法と同様に掘進機内部に設置されたシールドジャッキを用いて掘進させ、セグメントを継ぎ足して掘進を続行させる工法である（施工手順参照）。



写真-1 推進工法とシールド工法の切替状況

(2) 施工手順



(3) 型式

セグメントの材質によって、「従来型」と「二次覆工一体型」の二つの型式に分けている。

①従来型（一次覆工+二次覆工型）

従来型は、一次覆工に鋼製セグメントを使用し、到達後二次覆工を施工する二工程方式である。二次覆工には表面被覆工法を用いて仕上げる。

②二次覆工一体型

二次覆工一体型は被覆層 50 mm、本体構造層 125 mm の RC セグメントを使用し、完全内面平滑型で仕上げるタイプであり、二次覆工を必要としない一工程方式である。このため、工期の短縮が図れる。

(4) 特徴

本工法の最大の特徴は、前述したように「推進工法」と「シールド工法」を融合させた点である。

・具体的な特徴

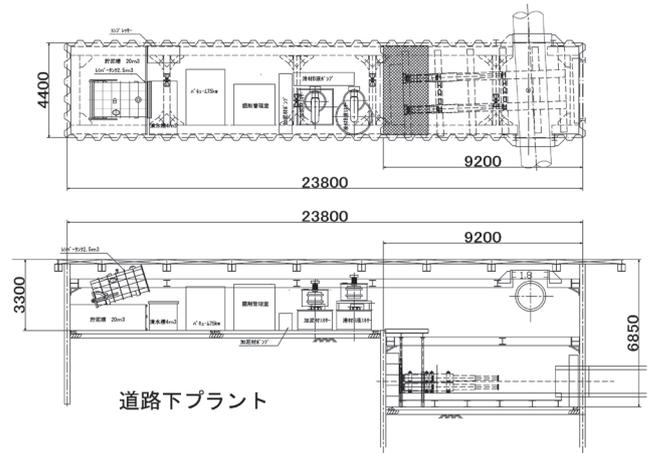
①急曲線・長距離施工が可能

曲線半径 $R = 10 \text{ m}$ までの急曲線施工への対応が可能であると同時に、超長距離施工への対応も可能である。

②発進設備（プラント・立坑設備）の簡素化

プラント・立坑設備に関しては、下記の 3 タイプがあり、現場環境への多様化が図れる。

- ・定置式プラント
- ・車上式プラント



図一 道路下式プラント図

・道路下式プラント

③経済性の優位性（シールド工法との比較）

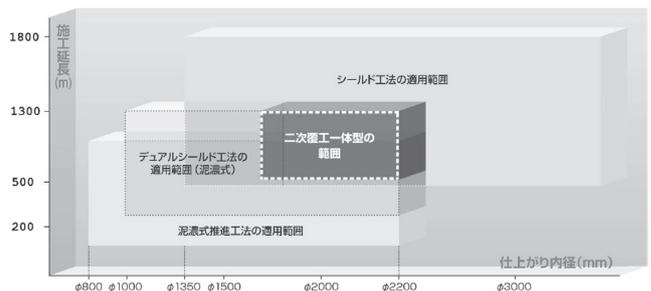
「推進区間」では、推進管を使用するため「セグメント」に比較して安価である。従って、推進区間延長が長くなるほど経済性で優位となる。

④二次覆工一体型による工期の短縮

完全内面平滑型の二次覆工一体型 RC セグメントを使用することで、二次覆工を必要としないため、工期の大幅な短縮が図れる。

(5) 適用範囲

- ・仕上内径： $\Phi 1000 \sim \Phi 2200 \text{ mm}$
(二次覆工一体型は $\Phi 1650 \text{ mm}$ 以上)
- ・施工延長： $L = 1300 \text{ m}$ 程度まで
(上記は要検討とする)



図二 適用範囲（延長と仕上内径の関係）

3. 二次覆工一体型の開発における課題と解決策

この開発に当たって、以下の二点の課題を解消する必要があった。

【課題】

- ①掘進機テール（エレクタ注①）後方部の空間確保
セグメント組立は、掘進機テール（エレクタ部）で

行われるが、その際、セグメントは搬入時方向から90度回転させる必要があり、このための回転空間と吊りしろの確保が困難である。(仕上内径φ1650mm程度想定した場合)

②後方設備(注②)とセグメントの「すれ違い」空間確保

後方設備は掘進機と一緒に進むため、掘進機の後方に常時設置される。このため、セグメントの搬入時は、設備と「すれ違い」空間の確保が必要となるが、その空間確保が困難である。

注①：エレクタ

セグメントの組立装置の名称。掘進機のテール部に設置されており、ここまでセグメントを搬送する必要がある。

注②：後方設備

掘進機の駆動操作に必要な設備(油圧ポンプ等)をエレクタの後方に台車を設置し、その上に乗せ、掘進機と一緒に進む装置。セグメントはエレクタまで搬送するため、この装置と「すれ違い」必要がある。一般的には軌条を複線とする。

【解決策(a)】掘進機テール後方部空間確保の解決策

○セグメントの搬送方向と設置高さの変更

搬送方向は、セグメントの長辺部を掘進方向と直角(セグメント組立の際、90度回転する必要のない方向)とし、設置高さは、坑内配管(排泥管、電線等)に支障とならず、同時に非常時には避難路として使用できる高さを設定した。このため、セグメント搬送は1ピース、1台車とした。

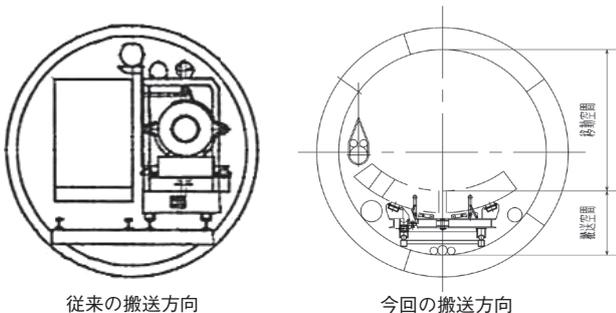


図-3 セグメント搬送方向図

○搬送システムの開発(図-4参照)

搬送時の高さは上記の条件で設定され、組立時の高さは、エレクタのアームによって設定させる。

このため、両者の設置高さに相違が生じる。この高低差解決策としてコンベア台車とセグメント搬送台車の間にリフト台車を設置し、コンベア台車およびリフト台車に勾配を設けることでエレクタ把持部とセグメントの高低差を解消した。

[構成]

搬送システムは下記の部分より構成されている。

名称	台数
電機軌条車	1台
セグメント搬送台車	5台
リフト台車	1台
コンベア台車	4台
脱着式補助コンベア	1台

[施工手順]

- ①発進立坑内でセグメント搬送台車にセグメント1リング分(5ピース)を各台車に乗せる。
- ②電機軌条車によりセグメント搬送台車(5台)を搬送し、リフト台車に近接させる。
- ③電機軌条車の運転手がセグメント搬送台車まで移動し、最先端のセグメントを手動にてリフト台車に移動する。
- ④セグメント移動完了後、リフトを昇降させコンベア台車と同じ高さまで下ろす。
- ⑤手動にてリフト台車からコンベア台車へとセグメントを移動する。
- ⑥この作業の繰り返しにより1リング分(5ピース)をコンベア台車に移動する。
- ⑦電機軌条車およびセグメント搬送台車は発進立坑に戻り、新たなセグメントを積み込む。
- ⑧コンベア台車上のセグメントは切羽側の作業員によって、1ピースずつ脱着式補助コンベア上に移動されエレクタにより組み立てられる。

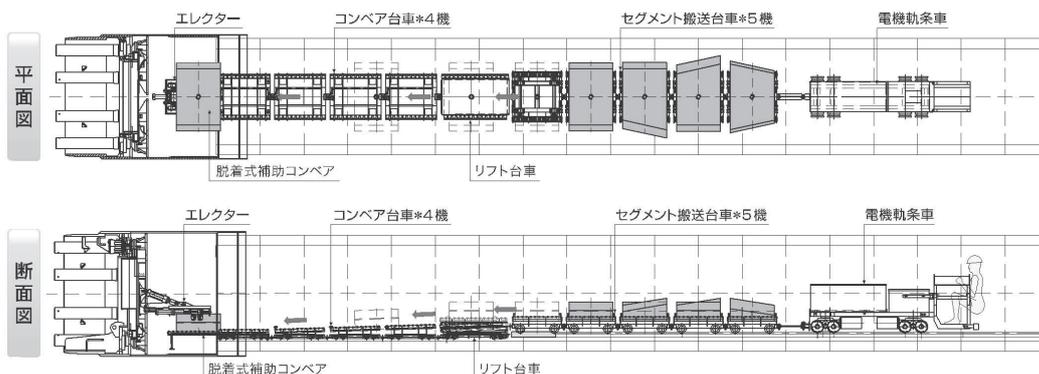
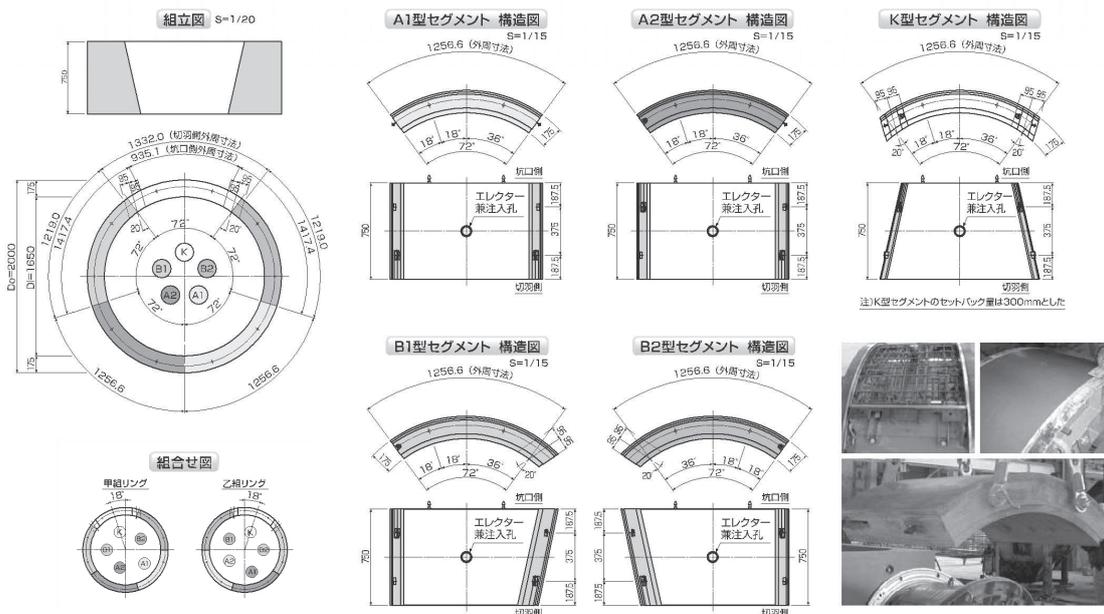


図-4 セグメント搬送システム全体図



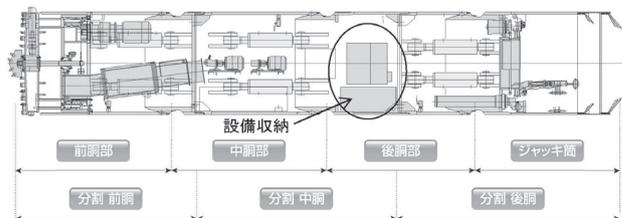
図一五 セグメント図



写真一 二 セグメント組立状況



図一六 シールド切替型掘進機



図一七 掘進機図

○セグメントの開発 (図一五 参照)

[構造]

- ・ RC 構造 (被覆層 50 mm, 本体構造 125 mm)
- ・ 内面平滑型
- ・ 継ぎ手構造は剛継ぎ手 (リング間はプッシュグリップ, ピース間はスライド式コッター)
- ・ 均等 5 分割方式

なお, 以上は「トンネル標準示方書 (シールド工法編)・同解説」(土木学会) および「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」(東京都下水道局編集) の基準に準拠している。

【解決策 (b)】 後方設備とセグメントの「すれ違い」空間確保の解決策

シールド切替型推進工法用掘進機は, 「前胴部」「中胴部」「後胴部」および「ジャッキ筒」により構成され, 「3 胴 3 折れ」タイプとなり約 10 m の機長である。こ

れは, 「後胴部」に後方設備を収納し, エレクター後方の設備をなくして, 上記の課題を解決するためである。

4. 二次覆工一体型施工の利点

表一 1 に「従来型シールド工法 (一次覆工 + 二次覆工)」と「本工法」を比較した。

【総合評価】

二次覆工一体型にすることにより 1 工程省略でき格段の工期短縮となると同時に, 掘削断面の縮小や 1 工程省略したことによるコスト縮減が可能となる。

また, 作業環境面では, 二次覆工が省略できることで, 狭隘な坑内での苦渋作業の省略にもつながり, 非常に大きな作業環境改善となる。

表一 比較表

	1. 従来型シールド工法 (一次覆工+二次覆工)	2. シールド切替型推進工法(従来型) (一次覆工+内面被覆工法)	3. シールド切替型推進工法(二次覆工一体型) (RCセグメント・被覆層50mm)
【概要図】			
	外径：2350mm 大きい	外径：1956mm 小さい	外径：2000 (1950) mm 中位
【日進量】	シールド日進量 = 8.4m/16H 普通	【シールド+推進】シールド工法より推進工法の方が日進量が多いため併用することで施工期間が短縮 推進日進量 = 9.2m/16H シールド日進量 = 8.4m/16H 推進分大きい	
【プラント用地】	700㎡ 大きい	400㎡ 小さい	500㎡ 中位
【材料費】 (セグメント+二次覆工)	—	③RCセグメントとの比較 やや高価	②スチールセグメント+内面被覆との比較 安価
【二次覆工】	従来型の二次覆工のため施工期間が長い(全区間現場打ち) 時間が掛る	二次覆工はセグメント部のみ(推進管部ナシ) 内面被覆工法のため従来工法より早い(半工場生産) 中位	全区間二次覆工ナシ(推進管+RCセグメント 二次覆工一体型) ②に対し工程省略 早い
【コスト面】	—	①従来型シールド工法と比較) 推進を併用するため、掘削断面の縮小、日進量の差・管材費の差等の分安価となる。また、プラント設備面では移動式等を併用することで利便性が向上	①シールド切替型推進工法(従来型と比較) ②のコスト面での弱点である内面被覆仕様をRCセグメント(二次覆工一体型)仕様にする事でコスト縮減が図れる。
【施工期間】	—	推進管部は二次覆工を省略でき、シールド部は内面被覆を使用することで工期短縮が図れる。	シールド部をRCセグメント(二次覆工一体型)仕様にする事で工程省略
【評価】	—	○	◎

5. 施工実績

番号	件名	発注者	仕上内径	延長 最少曲線
①	谷川幹線その15工事	東京都下水道局	φ1800	277.4m R=12
②	豊島区西く原再構築	東京都下水道局	φ1650	402.3m R=10
③	豊島区駒込四再構築	東京都下水道局	φ1350	745.1m R=12
④	足立区千住再構築	東京都下水道局	φ1100	627.2m R=10
⑤	豊島区南池袋再構築	東京都下水道局	φ1350	684.9m R=10
⑥	豊島区駒込五再構築	東京都下水道局	φ1100	894.6m R=13
⑦	雨水貯留取水工事	東京都下水道局	φ1500	176.3m R=10
⑧	荒川区南千住再構築	東京都下水道局	φ1350	252.8m R=12
⑨	北区中十条二再構築	東京都下水道局	φ1100	667.4m R=12

6. おわりに

本工法は推進工法とシールド工法を融合させた非開削の管路構築工法であり、両者の利点を最大限に取り入れることで、全体コストの縮減・工期短縮を可能とした新たな発想のシールド工法であり、「デュアルシールド工法」と登録した。本工法は開発されて日も浅く、なお一層の工法技術の向上および研究開発に努めているところである。本工法は平成16年3月に工法協会を発足させ、工法の普及活動を行った結果、現在東京都下水道局管内において9件、5000mの施工実績がある。

また、平成23年5月に神奈川県厚木市で行った二次覆工一体型のセグメント組立公開実験に際して、発

注者、設計コンサルタント等多数ご参加いただいたことに対してこの誌面を借りてお礼を申し上げます。

今後、社会のニーズを踏まえ住民環境への負荷の少ない工法を目指し、開発研究に努める所存である。

JICMA

【参考文献】

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説
- 2) 東京都下水道サービス(株)：下水道シールド工用二次覆工一体型セグメント設計・施工指針
- 3) (株)日本下水道協会：シールド工用標準セグメント(下水道シールド工用セグメント)
- 4) (株)日本下水道協会：下水道用設計積算要領(管路施設推進工法編)

【筆者紹介】

南雲 重孝(なぐも しげたか)
デュアルシールド工法協会
会長



中村 浩(なかむら ひろし)
デュアルシールド工法協会
事務局長



小野塚 良明(おのづか よしあき)
デュアルシールド工法協会
事務局

