

自由断面分割施工方法によるトンネル構築技術

志 農 和 啓・宮 元 克 洋・日 野 義 嗣

東関東自動車道谷津船橋インターチェンジのオフランプトンネルは、平面曲線・縦断曲線を複合した三次元に变化する線形であり、12万台/日以上 of 非常に交通量のある高速道路直下を土被り約3mでアンダーパスする。施工方法には、地表面への影響低減、建設汚泥量低減などから、本体構造物の断面を小分割した先行シールドトンネルを利用する構築方法（自由断面分割施工方法）が採用された。本稿では、シールド1台で小断面分割施工により地表面への影響を与えず施工したトンネル工事について紹介する。

キーワード：地表面変状抑制、アンダーパス、シールド、トンネル、地下構造物、環境負荷低減

1. はじめに

谷津船橋インターチェンジ工事は、千葉県船橋・習志野市域の国道357号の交通を東関東自動車道（以下、東関東道）に誘導し、慢性的な交通渋滞を緩和することを目的に、地域活性化インターチェンジ制度を活用して新たなインターチェンジを構築する工事である（図-1）。東関東道下り（千葉方面行）から県道千葉船橋海浜線および国道357号（千葉方面行）に接続するオフランプ（出口）と県道千葉船橋海浜線から東関東道上り（東京方面行）に接続するオンランプ（入口）により構成される（図-2）。このうち、オフランプは東関東道をアンダーパスするトンネル構造であり、非開削工法にて施工した。施工方法には、先行してシールドトンネルを施工し、そのトンネル内で躯体を構築する自由断面分割施工方法を採用した。本稿で

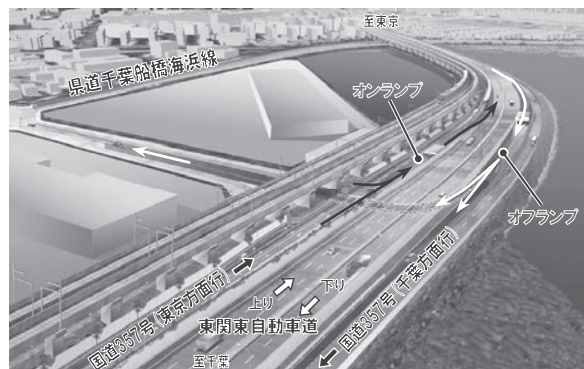


図-2 工事概要

は、供用中の高速道路直下において小土被りで施工したトンネル構築工事について報告する。

2. 工事概要

(1) 全体工事概要

全体工事概要を表-1に示す。本工事は、主に東関東道横断部のトンネルを施工する非開削区間、U型擁壁やL型擁壁によるランプ部を施工する開削区間、および既設橋梁を拡幅して東関東道との分合流部を施工する橋梁区間からなる。

(2) 非開削区間の工事概要

非開削区間のトンネルは、施工延長約70mの一車線道路断面であり、平面曲線（最小曲線半径50m）と縦断曲線（曲線半径R=790m、最大勾配6%）が複合した三次元線形である。さらに、平面線形では、全線が曲線区間であり、単曲線と緩和曲線で構成され

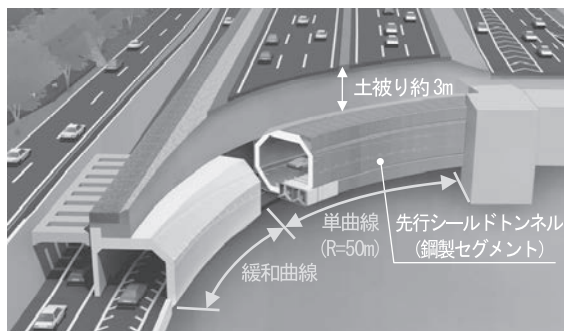


図-1 工事位置図

表—1 全体工事概要

工事名称	東関東自動車道谷津船橋インターチェンジ工事
発注者	東日本高速道路(株) 関東支社
工期	平成21年6月19日～平成25年5月17日
工事場所	自) 千葉県習志野市谷津4丁目 至) 千葉県習志野市秋津5丁目
主要数量	非開削函渠工 L = 70 m 開削溝渠工 : 425 m, 開削函渠工 : 16 m 橋梁下部工 : 橋台1基, 橋脚11基 橋梁上部工 : PC3径間, RC4径間 土工 : 約56 km ³

ているため、トンネルの必要内空幅が道路線形（曲線半径）に応じて変化する。このような複雑な線形を有するトンネルを、本体構造物の形状に合わせて小さな断面に分割した先行シールドトンネルを用いる、自由断面分割施工方法にて施工した（図—3）。



図—3 非開削区間のトンネルイメージ

3. 自由断面分割施工方法

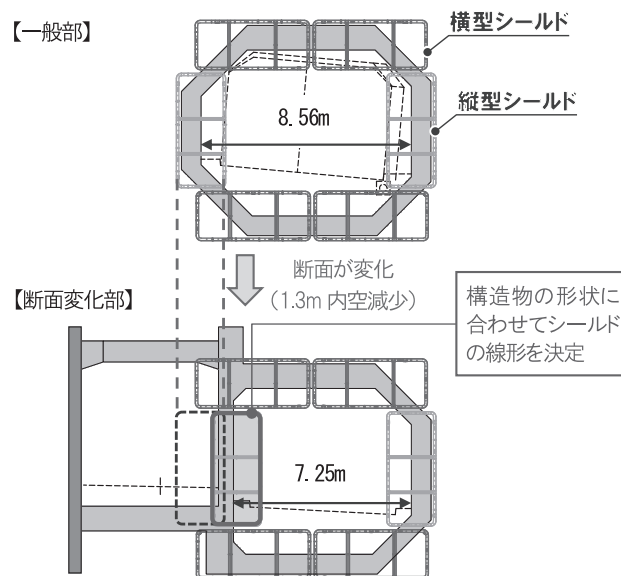
(1) 施工概要

トンネルの構築は、まず、本体構造物を包含するよう小さく断面を分割し、先行シールドトンネルを施工する。本工事では、6つの断面に分割した先行シールドトンネルとした。次に、各先行シールドトンネル間を接続し、現場打ちコンクリートにて躯体を構築する。最後に、躯体内部の掘削および内側に残ったセグメントの撤去を行い、完成となる。トンネル断面を一

度に掘削するのではなく、小断面に分割して掘削することにより、掘削時の地表面への影響を抑制できる（図—4）。

(2) 断面変化への対応

トンネル内空幅が最大で1.3 m 変化するトンネル構造に対し、側壁部分に位置する縦型シールドの位置を側壁の位置に合わせた線形とした。これにより、構造物に必要な部分のみの掘削で施工が可能となり、掘削範囲を最小限にできる。このように、掘削断面を小分割した先行シールドトンネルを採用し、各々の線形を構造物の形状に合わせて決定することで、断面が変化する構造に対しても柔軟な対応ができる（図—5）。

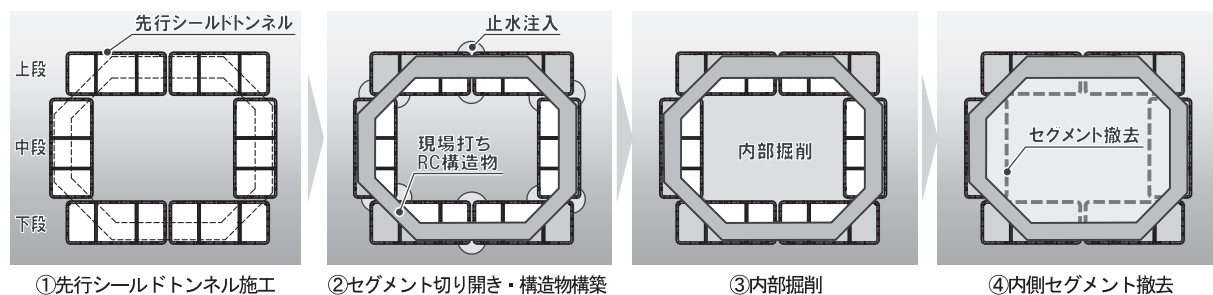


図—5 断面変化への対応

4. 先行シールドトンネル工事

(1) シールド工事概要

当初、6本のシールドはすべて密閉型シールドとし、上段から掘削する計画であった。しかし、シールド施工前の地盤調査の結果、上段シールドの対象地盤である盛土層において、残置物の存在が確認された。



図—4 施工手順

密閉型シールドでは、その支障物に対応できないため、シールド掘削と支障物撤去を同時に行うことができる開放型シールド（地盤改良併用）へ変更した。また、上段シールドの工法変更に伴うシールド改造や地盤改良の工程が追加になることから、施工順序を下段シールド→中段シールド→上段シールドの順とした。Uターン方式にて各々の立坑で発進・到達を繰り返し、6本の先行シールドトンネルを構築した。

(2) シールド仕様

シールドの主な仕様を表―2に示す。下段シールドは密閉型シールド（横）であり、中段シールドは下段シールド施工後、90度回転させ、縦シールドとした。上段シールドは、中段シールド施工後、前胴部を開放型に取り替える改造を行い、開放型シールド（横）とした（写真―1）。本工事では、線形の大部分が半径 $R = 50\text{ m}$ の曲線であるため、シールドには固定のテーパ胴を設け、あらかじめ曲線半径にあわせた中折れ構造とした。

表―2 シールドの主な仕様

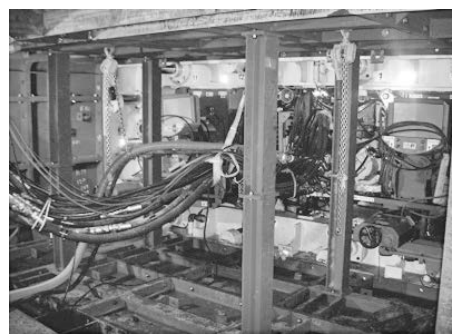
路 線	下段・中段	上段
形 式	密閉型	開放型
マ シ ン 寸 法	4,800 mm × 2,150 mm	
掘 削 機 構	偏芯軸回転矩形掘削 カッター	・ブレイカー ・バックホウ(0.03 m ³)
総 推 力	7,200 kN	
シールドジャッキ	600 kN/本 × 12 本	
中折れジャッキ	600 kN/本 × 10 本	
左右	固定	横型：3.15° 縦型：2.75°
中折れ角	可動	横型：1.10° 縦型：1.50°



写真―1 シールド（左：密閉型、右：開放型前胴部）

(3) 覆工構造

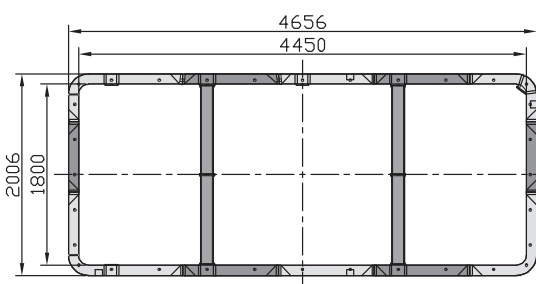
セグメントは先行シールドトンネル接続時の切断・加工が容易な鋼製セグメントとした（写真―2）。甲組・乙組の千鳥組構造とし、2機の横行、旋回およびスイングアーム式のエレクターにて組み立てた。表―3にセグメントの仕様を、図―6にセグメント構造図を示す。



写真―2 セグメント

表―3 セグメント仕様

セグメント寸法	4,656 mm × 2,006 mm
セグメント幅	1,000 mm
主桁高	100 mm
主桁厚	14 ~ 28 mm
スキンプレート厚	3 mm
分割数	12 分割、中柱 2 本
テーパ量	最大 114 mm



図―6 セグメント構造図

(4) 密閉型シールド（写真―3, 4）

(a) チャンバー内土砂流動状態管理技術の採用

泥土圧シールドでは、チャンバー内泥土の流動性が悪いと圧力伝播が悪くなり、天端付近の切羽圧が低くなる傾向がある。特に、中段シールドは、シールド高さが2.15 m から 4.80 m になるため、上記現象がより顕著になり、天端付近の切羽圧が管理値に対し不足する可能性があった。

また、横シールドでは隔壁の下段の中心に配置されている土砂取り込み口が、縦シールドでは中段の側部に位置することになり、チャンバー内泥土を良好な塑性流動状態に維持しなければ、排土効率が悪く、閉塞により切羽圧が上昇する可能性があった。

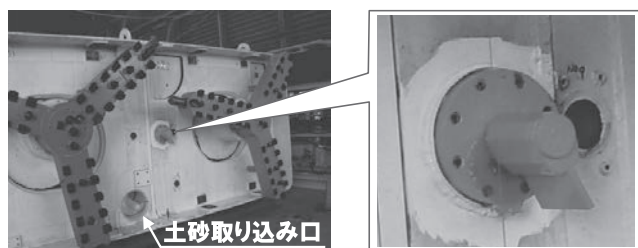
そこで、フラッパー装置（写真―5）により掘削土砂の流れに対する回転抵抗を計測することで塑性流動状態を定量的に評価できるチャンバー内土砂流動状態管理技術を採用し、チャンバー内の泥土の良好な塑性流動状態を維持しながら施工した。



写真—3 下段シールド（横・密閉型）



写真—4 中段シールド（縦・密閉型）



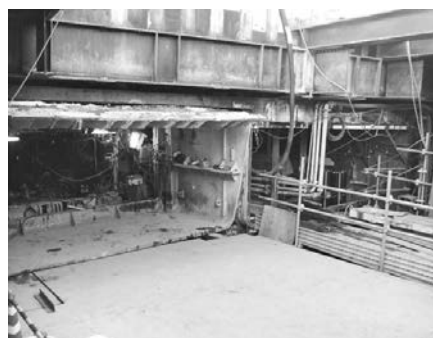
写真—5 フラッパー装置

(5) 開放型シールド（写真—6）

(a) 硬化促進型 JSG 工による地盤改良

上段の開放型シールドでは、切羽を開放するため、路線全体にわたり補助工法として地盤改良が必要であった。東関東道を一部規制し、路上からの施工となるが、規制内の実作業時間が6時間と短いため、道路開放時に改良体が交通荷重を十分支持できるように早期の強度発現が可能な工法と材料を選定する必要があった。

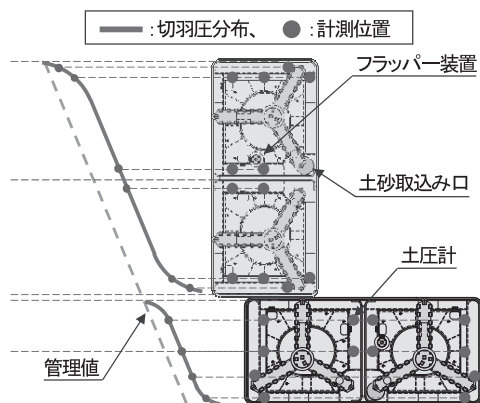
地盤改良工法として、JSG 工法を選定したが、従来の JSG 改良体（セメントミルク＋現地盤土）では、一般のモルタルなどと同様に、早期強度発現は期待できない。そこで、本工事では、JSG 改良体に硬化促進材として3号ケイ酸ソーダを添加することによって改良体の早期強度発現が可能となる硬化促進型 JSG 工法を開発した。試験施工にて、改良体の出来形および強度確認を行い、改良体の均一性、強度発現性、施工



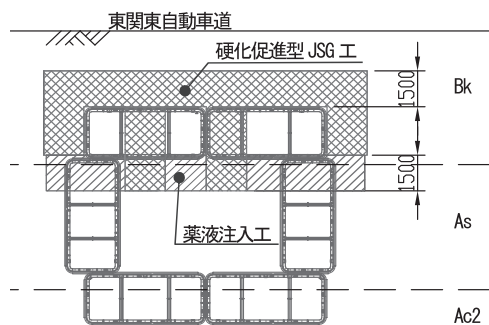
写真—6 上段シールド（横・開放型）

(b) 土圧計の多段配置による切羽圧管理

チャンバー内の上下方向の土圧分布を把握するため、土圧計を横シールドでも縦シールドでも多段配置となるよう12個配置し、切羽全体で切羽圧が管理値以上となるよう切羽圧管理を行った（図—7）。



図—7 切羽圧管理位置



図—8 改良断面図



写真—7 地盤改良施工状況

時の地表面への影響等、実施工に適用可能であることを検証後、実工事に適用した。上段シールドの地盤改良の改良断面図およびその施工状況をそれぞれ図—8、写真—7に示す。

(b) 掘削・支障物撤去

シールド切羽面の掘削・支障物撤去は、前胴内に配置したブレイカーとバックホウにて行った。支障物として、 $\phi 90 \sim 200$ mm の木杭、コンクリート塊、鉄筋等が確認された（写真—8、9）。



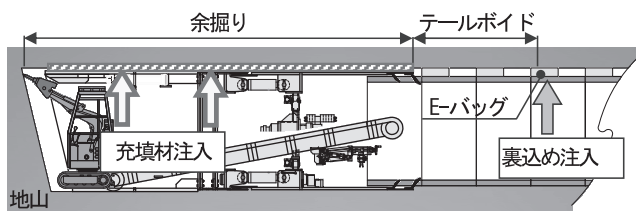
写真—8 ブレイカー



写真—9 支障物（木杭）

(c) 余掘り充填材とEバッグによる地山保持

泥土圧シールドでは、カッターヘッドの回転にて掘削するため余掘り量は少なく、その余掘り部には、塑性流動化した泥土が充填される。また、シールド通過後のテールボイドに速やかに裏込め注入材を加圧充填することで地山は保持される。一方、開放型シールドでは、ブレイカーにて掘削するため余掘り量は大きく、その余掘りは空隙となる。さらに、その空隙に裏込め注入材が逸走し、裏込め注入材を加圧充填できない。そのため、地山を保持できない懸念があった。そこで、本工事では、シールドの余掘りに対しては、水ガラス系の充填材をシールド天端から注入を行い、裏込め注入材の逸走に対しては、局所的な限定注入が可能なセグメント背面充填膨張袋(Eバッグ)を使用し、地山を保持した（図—9）。



図—9 充填材とEバッグ

5. 躯体構築工事

(1) セグメント切り開き工

セグメント切り開き部の止水と地盤強化を目的として、低圧浸透注入（ステップ注入）工法による薬液注

入を行った後、セグメントの主桁およびスキンプレートをガス切断により撤去した。その後、切り開き部の措置として、土留め・止水用鉄板をセグメントに全周溶接するとともに、鉄板背面にLW材を注入することでセグメント切り開きに伴う漏水と地盤変状を防止した。

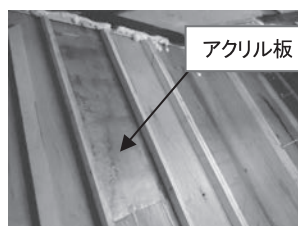
(2) 内部構築工

類似の施工実績と狭小な施工空間における施工性を考慮し、1ブロックを10mとした7つのブロックに分け、コンクリート打設は、底版→下ハンチ→側壁→上ハンチ→上床版の順とした。コンクリートには、バイブレーターを使用する作業空間がないことから、自己充填性を有する高流動コンクリートを採用した。

上床版構築時は、上面がセグメントで閉鎖された型枠内に逆巻き状態で区間10mのコンクリートを打設するため、コンクリートが材料分離せず、奥部および上部の充填を確実に打設方法を決定する必要がある。そこで、施工条件を模擬した実規模の流動距離確認試験を行い、打設配管位置等を決定した。また、型枠材にアクリル板（写真—10）を使用し、確実にコンクリートが充填されていることを目視にて確認しながら施工した。

(3) 内部掘削工

バックホウ（0.25 m³級ショートリーチ）を使用し、掘削・集土を行った。FEMによる事前の解析では高速道路面に最大5mmの変状が予測されたが、路面変状なく施工できた（写真—11）。



写真—10 アクリル板の型枠



写真—11 内部掘削状況

(4) セグメント撤去工

内部掘削完了後、高所作業車を使用して、上段から順にセグメントを撤去した。工程短縮のため、セグメントを大分割で撤去できるよう、フォーク型のアタッチメントを取り付け、セグメントを掴みながらガス切断を行った。セグメント撤去中も路面変状や、上床版や壁に有害なひび割れは確認されなかった（写真—12）。



写真-12 セグメント撤去状況



写真-13 トンネル完成



写真-15 完成トンネル内



写真-16 完成トンネル坑口

6. 地表面計測管理

本工事では、東関東道の地表面計測として、トータルステーションによる自動計測を行った。本線道路脇に高さ12mの観測櫓を設置し、通行車両の支障とならない場所（車線区画線、中央分離帯）に設けた計測点を、24時間自動計測した。計測データを事務所およびシールド掘進管理室へリアルタイムに送信し、地表面変状の有無を確認しながら施工した。また、これらの自動計測システムによる計測に加え、遠隔操作が可能なWEBカメラや目視により、本線地表面状況や通行車両の走行を監視した。シールド施工から最終工程のセグメント撤去完了まで、高速道路面に影響を与えることなく安全に施工できた。

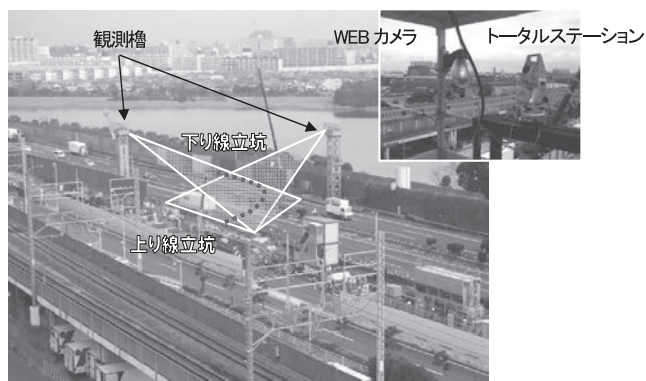


写真-14 路面監視状況

7. おわりに

供用中の高速道路直下の小土被り・断面変化のあるトンネル形状という施工条件であったが、高速道路に影響を与えることなく無事に施工することができた（写真-15, 16）。本工法は、分割する断面の組み合わせにより、道路トンネルのみならず、様々な断面および線形を有するトンネルへ対応できる工法と考えている。今回の報告が類似の工事の参考になれば幸いである。

J C M A

【筆者紹介】

志農 和啓（しのう かずひろ）
東日本高速道路㈱
関東支社 管理事業部 保全課
課長



宮元 克洋（みやもと かつひろ）
㈱大林組
大断面道路トンネルプロジェクト・チーム
部長



日野 義嗣（ひの よしつぐ）
㈱大林組
土木本部生産技術本部シールド技術部技術第二課
副課長

