世界初「2本のトンネルを地中で1本に！？」横浜湘南道路トンネル２号機シールド工事の掘削完了について

山﨑　遥士[1]・香田　晃宏

[1]関東地方整備局 横浜国道事務所 計画課 （〒231-0001 神奈川県横浜市中区新港1-6-1）

都市トンネルの建設にあたっては、地上の道路交通及び周辺の建物や構造物への影響を最小限に抑制し掘削する技術が求められ、開削工法からシールド工法へ変わってきている。

シールド工法における立坑構築は、都市部では用地の取得が困難な場合があるため、立坑を省略し相互のトンネルを直接接合する方法が採用されつつある。

当事務所で事業を進めている「横浜湘南道路」のトンネル区間の工事でも、前工事で構築した既設トンネル躯体を後方から連続して直接切削し１本のトンネルとする地中接合を実施した。

本稿では工事全般の工夫点及び地中接合での取り組みについて述べる。

キーワード　トンネル、シールド工法、大断面シールド、地中接合

1.　はじめに

神奈川県の東西方向の交通は、東名・保土ヶ谷バイパスなどに頼っているのが現状で、渋滞が慢性化している。

横浜湘南道路は、「高速横浜環状南線」「さがみ縦貫道路」「新湘南バイパス」と一体となって首都圏中央連絡自動車道の一部を形成し、国道1号等の交通混雑の緩和を目的とした延長約7.5kmの自動車専用道路である。（仮）栄IC・JCTを起点とし、藤沢市城南の藤沢ICにおいて新湘南バイパス及び国道1号と接続する。延長約7.5kmのうち約5.6kmがトンネル区間となっている。

図-1　横浜湘南道路

2.　横浜湘南道路トンネル工事の概要

トンネル区間では、シールドマシン1号機(以下、1号機)とシールドマシン2号機(以下、2号機)の2機を使用し、掘削工事を行っている。

1号機は大鋸発進立坑から出発し、国道1号の直下を掘進し、藤沢回転立坑へ到達。その後、シールドマシンの向きを変え横浜坑口に向け掘進を行う。

また、2号機は横浜坑口の地上より発進し、土被り約20mの住宅地を抜け、すでに1号機で掘り終えたトンネルと地中で接合する計画である。

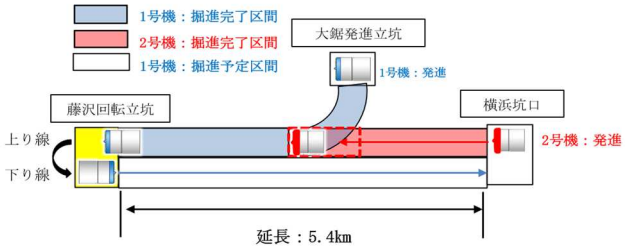


図-2　掘進計画図

3.　横浜湘南道路トンネル工事の特徴

(1)　シールドマシンの特徴

1号機及び2号機の諸元について、表-1に示す。1号機は2号機と比較し、長距離掘進を行うため、掘進中に装備や設備の摩耗や消耗に対応できるよう、坑内からカッタビットを交換可能な構造を採用している。

2号機は、地中接合に備え「レスキュービット」をカッター最外周部に装備している。

表-1　シールドマシンの諸元

	形式	掘削外径	機長	総重量
1号機	泥土圧シールド	13.6m	約14.5m	約2,700ﾄﾝ
2号機	泥土圧シールド	13.2m	約14.0m	約2,100ﾄﾝ

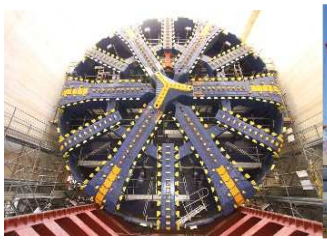


写真-1　1号機

写真-2　2号機

(2)　近接施工区間での工夫

道路用地の制限上、横浜湘南道路トンネル区間約5.4kmのうち、No.13+80～No.32+60の約1.9km区間は、上下線のトンネル離隔が1m以下の超近接施工が計画されている。

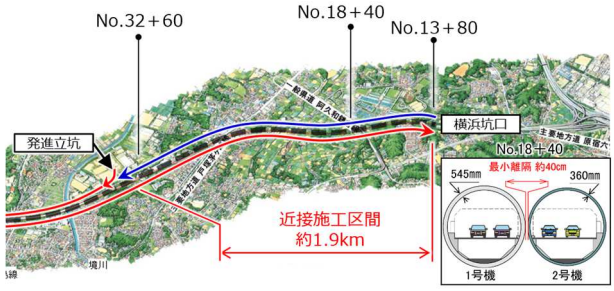


図-3 近接区間平面図

線形及び構造検討の結果、大口径道路トンネルに適用性が高く、最も経済的である「RCセグメント」では、上下線のトンネルが干渉する部分があることが判明した。

また、後行（1号機）シールド掘進により、先行（2号機）セグメント覆工に対する応力が増加する可能性があり、セグメントの変形（真円度の低下）が懸念された。

この問題を解消するため、当該区間においてはトンネル覆工厚さを薄く出来、かつ剛性の高い「合成セグメント」を採用することとした。

なお、No.18＋40付近では、合成セグメントを使用しても最小離隔が約44cmの設計となっている。

合わせて、後行（1号機）シールド掘進時、先行（2号機）セグメントの変形を防止する移動式内部支保工を設置する計画となっている。

写真-3　合成セグメント
（嵌合方式）

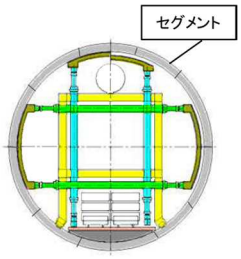


図-4　移動式内部支保工
（正面図）

4.　2号機シールド工事について

(1) 2号機シールドの掘進について

2号機は横浜坑口から2022年1月26日に掘進を開始し、5月12日に約180mの初期掘進が完了した後、掘進設備の段取替えを終え、2023年6月19日に本掘進（月進約240m）を開始。

既に1号機で構築済みのセグメントの切削を2024年7月8日から9月13日まで実施し、約2.7kmの掘進が完了した。

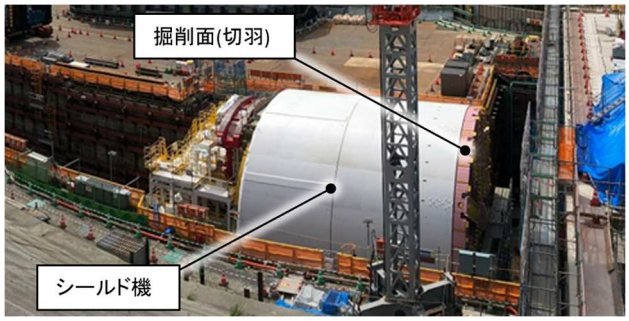


写真-4　2号機組立状況

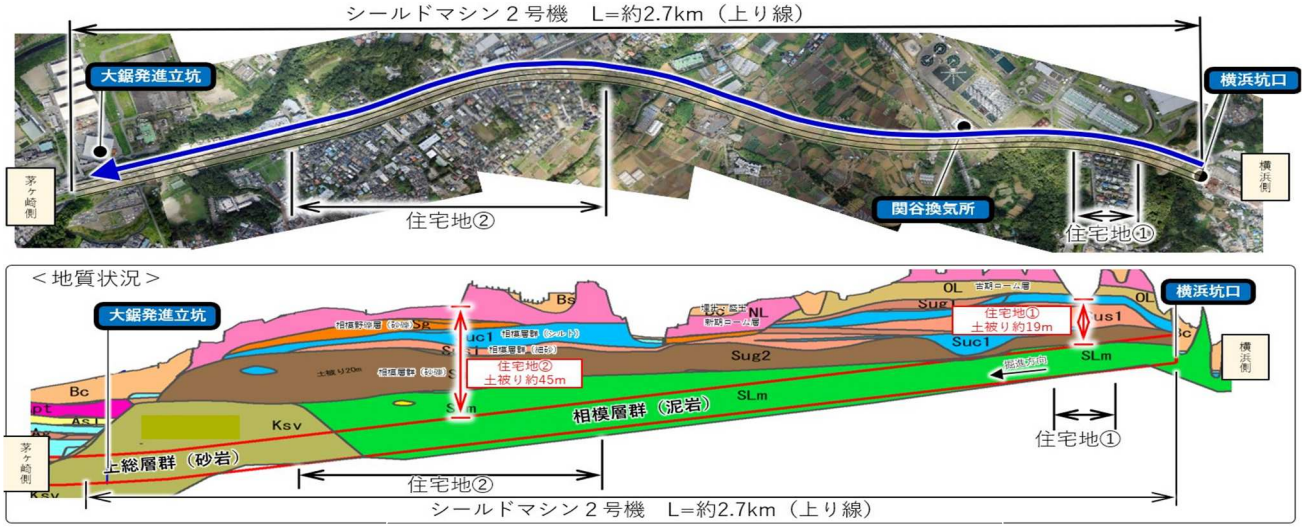


図-5　２号機掘進範囲及び地質状況

(2) 2号機シールドの掘進管理について

2021年3月に策定された「シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン」や横浜湘南道路トンネル技術検討会を開催し、安全かつ確実な施工を実施した。

a) 土質性状

掘進区間の地質はボーリング調査の結果から、主に泥岩や砂岩の安定した地盤が予測されていた。排土性状（手触、目視）及び粒度分布試験結果から、想定地質のとおり相模層群（泥岩）から徐々に上総層群（砂岩）に変化したことを確認した。2号機の本掘進にあたっては、既往土質調査結果を踏まえた配合試験により、地盤に適した添加剤の調整と管理を実施した。

b) 切羽土圧の管理

切羽土圧の管理として、チャンバー(切羽の裏に設けられた空間)内土砂性状及び圧力・圧力勾配の可視化・監視を行った。

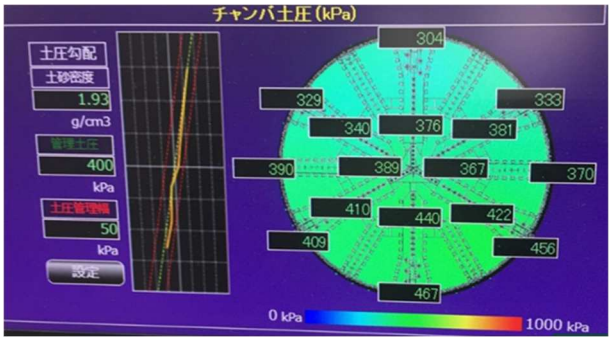


写真-5 チャンバー内圧力監視画面

管理土圧（上限土圧、下限土圧、目標土圧）は、掘削断面の土質条件、地下水位等を考慮し、あらかじめ計画しており、掘進中はマシン停止中の静止土圧等を基に適宜設定。目標土圧を調整しながら安全に施工を行った。

c) 排土量管理

排土量の管理値は一次管理値を前15リング平均の±7.5%以内、二次管理値を前15リング平均の±15%以内とし、ベルトスケールで排土重量を計測。バルクスキャナで排土容積をリアルタイムに計測を行った。

大きなばらつきは無く、管理値内で掘進できた。

(3) 低土被り及び住宅地直下での掘進について

本掘進開始直後に、宅地直下の土被りが約19mの低土被り区間住を掘進する計画となっており、昼間施工により、周辺環境に十分な配慮した。

また、「横浜湘南道路トンネル技術検討会」を開催し、「掘進中のデータや地表面変位等のモニタリング結果を十分に注視する」、「掘進に伴う騒音振動に十分配慮し、掘進速度を調整する」等の意見を頂き、合わせて、工事中の安全対策や施工管理について周辺住民へ丁寧な説明を行い、工事実施への理解を得た上で、工事に臨み安全かつ慎重な施工を行った。

工事中は、進捗に合わせてシールドマシン直上付近の公道や公共空間に計測器を設置し、騒音・振動の測定を実施。計測結果はリアルタイムで現地付近に設置した電光掲示板に表示した。

掘進速度約20mm/minの低速（管理値：40mm/min以内）で掘進することにより騒音や振動抑制に努め、環境基準（65dB(昼)、60dB(夜間)）内で掘進することができた。また、地表面の変位も基準値内であった。

5 地中接合について

(1) 本工事で採用した地中接合の特徴

地中接合は、2台のシールドが接合地点で正面接合する場合と、既設トンネル側面にシールドが接合する場合（側面接合）が一般的である。（図-6）

図-6 地中接合方法

通常、本線上に立坑を構築し発進・到達を行うが、本トンネルでは、用地に制約がある国道1号線の直下に発進立坑の構築が困難であった。

そのため、本線外に発進立坑を設置し、1号機で施工した既設トンネル躯体を2号機が後方から連続して直接切削することで、1本のトンネルにするという極めて特殊な計画となっている。

(2) 地中接合のステップ

a) 接続部外周の地盤改良

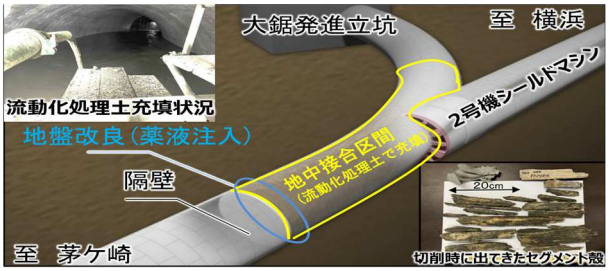
地中接合の準備として、地下水の止水を目的とした接続部外周の地盤改良（薬液注入）を実施した。

b) 地中接合区間内部の充填

続いて、既設トンネルを切削するための準備として、周辺地山と一体化させ、既設トンネルの安定を確保するため、地山と同程度の強度を有する流動化処理土を地中接合区間内部に充填した。

c) ２号機による既設トンネルの切削

地中接合区間を充填後、地中接合区間を切削した。



図－7 地中接合イメージ図

d) 今後の予定

切削完了後、シールドマシンを解体し坑外へ搬出する。その後、作業構台に積載したハンドリングマシン(セグメントを把持可能なアタッチメントに換えた油圧ショベル)にて機内覆工を実施する。

(3) 地中接合における工夫点

a) 既設トンネルの確実な切削

地中接合は、2号機の掘進約2.7kmの最後に計画されているため、ビットの摩耗等があった場合には、切削時に振動等の問題が発生することが考えられた。

この課題に対応し確実に既設トンネルの切削ができるよう、カッター最外周部に切削用のビットとして、レスキュービットを装備した。

b) 地中接合区のセグメント構造

地中接合区間には、切削可能なコンクリート系のセグメント（切削セグメント）を用いた。この切削セグメントは、骨格となる筋材には硬質ウレタン樹脂をガラス繊維で強化した素材を用い、コンクリート骨材には、多孔質で切削しやすい軽量骨材を使用した。

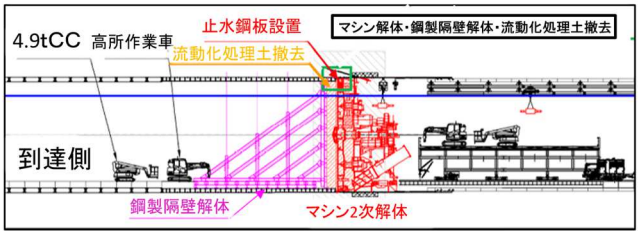
c) 流動化処理土について

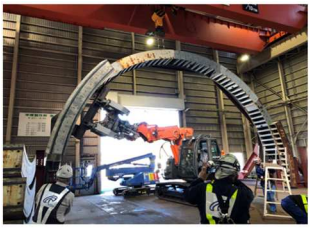
地中接合区間に充填する流動化処理土は現場発生土を利用し、現場にて製造した。

安全な掘進を行うには、地山と急変のないように流動化処理土の強度を地山強度と同等にする必要があることから表-2のように流動化処理土の仕様を設定した。

表-2 流動化処理土仕様

フロー値	200㎜以上
ブリーディング率	3%未満
処理土の湿潤密度	1.4g/cm3
一軸圧縮強さ	1900kN/m2





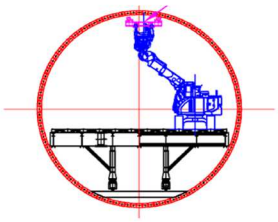


図-8 マシン解体・鋼製隔壁解体・流動化処理土撤去ハンドリングマシン

d) 施工管理について

掘進速度を通常の１／８程度まで遅くし、ビットの切込み量を最小限に抑える事で、セグメントの大割れを防ぐこととし、下記施工管理基準の確認を行い基準値で施工を終えた。

表-3 管理基準

管理科目	通常時の監視・推定項目	地中接合時の監視・推定項目
カッタートルク	管理値:装備トルクの70%以下(2号機)	通常時の施工管理の他、以下項目を実施 ●切削開始の１リング手前より低速掘進を実施しデータを収集する。 ●切削開始後の変動状況と対比を行うことで、各計測データの変化がセグメントに起因するものかを考察・判断して評価を行う。
	管理方法:モニターでリアルタイムで管理	
推力	推力:装備推力の60%以下(2号機)	
	管理方法:モニターでリアルタイムで管理	
掘進速度	掘進速度：40㎜/min以内	掘進速度: 5㎜/min以内、切込み量1～2㎜(セグメントが大きく割れてしまうことを防ぐため)

(4) 横浜国道事務所での取り組み

a) 事務所体制

地中接合掘削作業期間中は、異常事態の発生に備え、平日夜間は事務所職員を出張所に配置し24時間体制を取るとともに、土日・祝日も職員による連絡体制を構築することで、速やかな初期対応が取れる体制で臨んだ。

b) ホームページ・SNSを活用した工事紹介

これまで、事務所ＨＰにて公表していたシールドマシンの位置情報に加え、地中接合の進捗状況が分かりやすいステップ図を追加し、Ｘにて進捗状況を投稿した。

6. 終わりに

2号機の掘進については、2023年6月19日に本掘進を開始し2024年9月13日に接合区間の切削完了まで、約450日間を要した。

掘進中は周辺の生活環境への影響モニタリングとして、地表面監視、騒音・振動の測定、地下水位の観測を実施。

その結果、全て基準値内・管理値内であり、地表面に異常は生じていない。また住民からのご意見も無かった。

既設トンネルの後ろから接合し、1本のトンネルにするという前例のない試みもあったが、適切な材料選定及び施工管理の基、2.7kmの掘進を無事終えることが出来た。今後は、2号機トンネルの貫通や1号機の再発進が控えているため、さらなる安全施工に努めていきたい。

参考文献

1) 土木学会:2016年度制定 トンネル標準示方書[シールド工法編] 2)公益社団法人 地盤工学会:地盤工学・実務シリーズ29 シールド工法