

シールドトンネル間をつなぐ避難連絡坑の施工実績 Construction Records of Cross Passages Connecting TBM

杉山 桃香*
Momoka Sugiyama
浅野 貴弘*
Takahiro Asano

齊藤 一男*
Kazuo Saito

要 約

横浜湘南道路は、首都圏3環状道路の一番外側に位置する首都圏中央連絡自動車道（圏央道）の一部であり、本工事は藤沢IC～栄IC（仮称）間を結ぶ7.5kmのうち、5.4kmの上下線をシールド工法により築造するものである。

このうち避難連絡坑は、1号機シールドトンネルと2号機シールドトンネル間をつなぐ延長約7m、掘削幅約7.5mの矩形の小断面トンネルである。避難連絡坑の施工にあたり、既設シールドトンネルの鋼製セグメントの開口面積は避難連絡坑の躯体仕上がり内面に合わせて狭くなっている。さらに、開口面積を超えるサイズの支保工を避難連絡坑に設置する必要がある、狭隘な空間での施工が必要となる。これにより、狭隘な空間に適した施工機械の選定が本施工の重要な課題となった。

本稿ではシールドトンネル間をつなぐ避難連絡坑の施工実績について報告する。

目 次

§ 1. 工事概要

§ 2. 避難連絡坑について

§ 3. 施工における課題と対策

§ 4. 施工実績と計測結果

§ 5. まとめ

§ 1. 工事概要

横浜湘南道路位置を図－1、工事概要を表－1に示す。シールド1号機は外径φ13.59m、2号機は外径φ13.24mである。シールド1号機は発進立坑より発進後、曲線半径99.5mの曲線施工を行い、回転立坑に向けて、上り線約2.7kmを掘進する。回転立坑に到達後、掘進方向を180°変更し、横浜坑口に向けて、下り線約5.4kmを掘進する。シールド2号機は、横浜坑口から回転立坑に向けて掘進後、1号機が通過した曲線区間のセグメントを直接切削し、地中接合することで上り線の道路トンネルを築造する計画となっている。また、避難連絡坑はシールドトンネル間をつなぐものであり、本工事で合計4箇所計画されている。



図－1 横浜湘南道路位置図

表－1 工事概要

工事件名	横浜湘南道路トンネルその3工事 横浜湘南道路トンネルその4工事
発注者	国土交通省関東地方整備局
工事個所	自) 横浜市戸塚区小雀町 至) 藤沢市城南4丁目
工 期	2021年3月27日～2028年9月30日
受注者	西松・戸田・奥村 JV

* 関東土木（支）横浜湘南道路（工）

§2. 避難連絡坑について

本工事では、1号機シールド（急曲線）と2号機シールド（上り線）を接続する避難連絡坑を施工する。2号機のシールド到達後に、急曲線側の1号機シールドからシールドトンネル間の掘削を行い、最終的には内部に鉄筋コンクリート構造体の構築を行う。施工箇所はN値50以上の洪積層（上総層砂岩及び泥岩）である。なお、この連絡坑は、次工程の1号機下り線掘削に必要なベルトコンベヤ等のライフライン設備の敷設経路としても活用する計画である。避難連絡坑の位置図を図-2に示す。

§3. 施工における課題と対策

3-1 施工における課題

既設のシールドトンネルの鋼製セグメントの開口範囲は、避難連絡坑の躯体仕上がり内面に合わせた設計となっており、セグメントの撤去範囲が限定される（開口高さ2.5m、幅4.0m）。一方で、連絡通路内では開口部を上回る範囲（掘削高さ5.8m、幅7.65m）を掘削し、支保工の設置を行う必要がある（図-3）。

このように、施工空間が極めて狭隘であることから、施工に適した機械の選定が重要な課題となった。

3-2 対策

前述の課題の対策として、本工事ではBrokk 500（ブロック 500）を選定した（写真-1）。選定理由としては同機が運転席を有さずコンパクトで、リモコンによる遠隔操作が可能である点が挙げられる。このため、狭隘空間や危険箇所においても安全かつ柔軟な作業が可能となる。さらに、アーム先端に装着されるアタッチメントを交換することで、1台のベースマシンで多様な作業が可能となる利点がある。

本機1台でNATM工法（New Austrian Tunneling Method）における全ての主要工程への対応が可能である。本工事においては、以下の4種のアタッチメントを使用した。支保工設置にはビームグラップル（写真-2）、吹付けにはショットクリート（写真-3）、掘削にはブレイカ（写真-4）、ズリ出しにはバケット（写真-5）をそれぞれ使用する計画とした。



図-2 避難連絡坑位置図

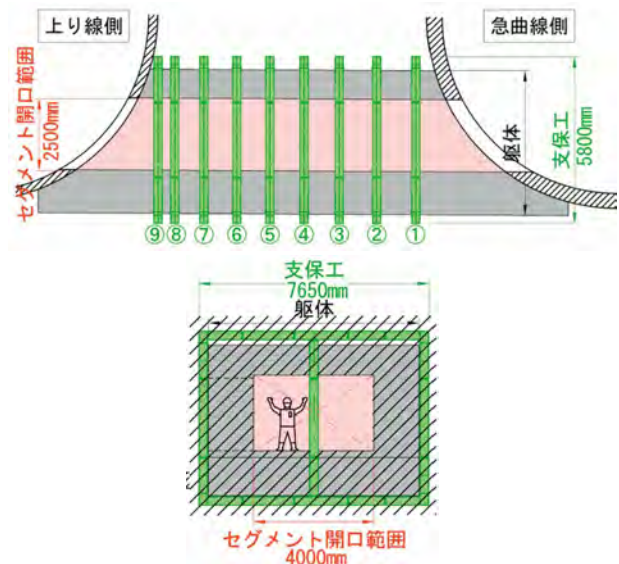


図-3 避難連絡坑断面図



写真-1 Brokk500¹⁾

表-2 重機寸法比較表

	重機名	用途	重機寸法 (mm)		
			高さ	幅	奥行
主要機械	BROKK500	掘削	2072	1600	4499
		支保工建込			
		ズリだし			
予備機械	ブレイカー	掘削	2460	1550	4410
	バックホウ	支保工建込	2460	1550	4410
		ズリ出し			
	吹付機	吹付	2220	1280	5135



写真-2 ビームグラップル



写真-3 ショットクリート



写真-4 ブレイカ



写真-5 バケット

3-3 施工手順および施工実績

(1) 施工手順

施工手順は、以下の通りである。本稿では、NATM工法（掘削、建込、吹付）の施工実績を報告する。

① 鋼製セグメント撤去

急曲線区間における鋼製セグメントは、縦リブ、主桁、スキンPLの順にガス切断することにより坑口を開口した（図-4）。撤去対象となるセグメントについては、4.9 tクロラクレーンにより揚重可能となるよう、あらかじめ玉掛を行った状態で切断作業を実施する。撤去したセグメントは、本坑構台上に配置した搬出車に積載し、地上へ搬出する。



図-4 セグメント撤去施工

② 仮支保工（馬蹄形）掘削、建込、吹付

掘削、吹付、およびズリ出しには遠隔施工ロボット Brokk500 を用いる。掘削はブレーカのアタッチメントを装着した Brokk500 にて行い、掘削発生土はバケットのアタッチメントを用いて連絡坑口付近に集積し、0.4 m³ タイヤショベルにより 4 t ダンプトラックへ積み込み、立坑リフターを用いて地上の土砂ピットへ仮置きした後、産業廃棄物として搬出する（図-5）。

一次吹付（鏡吹付）は掘削の進捗に合わせて、切羽鏡面のみならず周辺面に対しても実施する。生コンクリート車を坑内へ搬入し、本坑構台上に設置したコンクリートポンプへ荷下ろしを行う。コンクリート配管を本坑から避難連絡坑まで約 30 m 敷設して吹き付けアタッチメント（ショットクリート）を装着した Brokk500 にコンクリートを供給し、吹き付け作業を行う。

掘削・吹付の進捗に応じて、アーチ型仮支保工（全 8 基）を順次設置する。支保工資材は 4 t ユニック車で運搬・荷下ろしを行う。仮支保工の設置は、Brokk500 のビームグラップルで仮支保工を把持して固定姿勢を維持し、高所作業車を用いてボルト締結を行う。

仮支保工の設置完了後、二次吹付（ $t = 150 \text{ mm}$ ）を実施する。

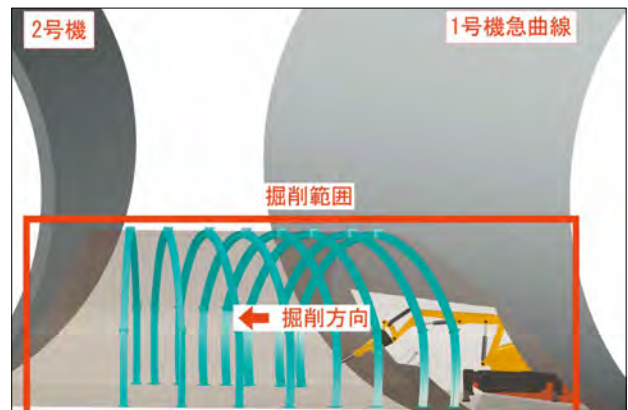


図-5 仮支保工掘削施工図

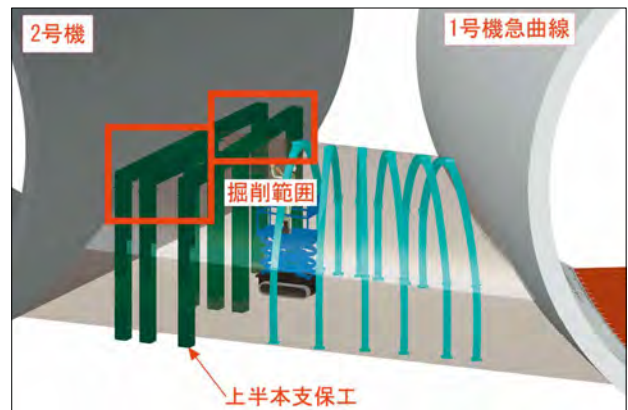


図-6 上半本支保工建込施工

③ 上半本支保工掘削、建込、吹付

2号機トンネル側から上半本支保工の設置空間を確保するため上部隅角部の掘削を行い、仮支保工を撤去しつつ、上半本支保工を全 9 基設置し、吹付を行う（図-6）。吹付厚は 300 mm とする。

④ 下半本支保工掘削、建込、吹付

2号機トンネル側から下半本支保工の設置空間を確保するため下部隅角部を掘削し、鏡吹付を行った後、下半本支保工を順次設置する（図-7）。なお、上半支保工に沈下が生じないように、1基のスパンごとに施工する。

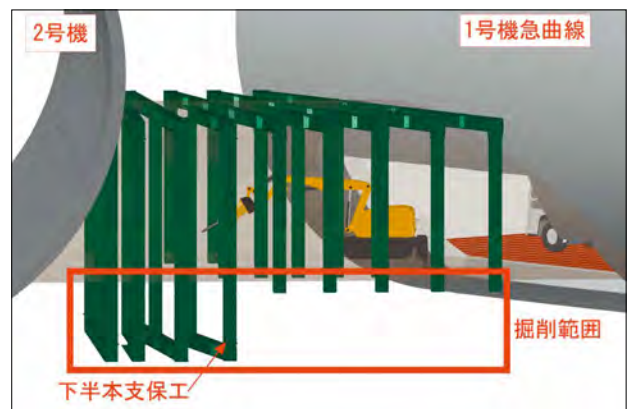
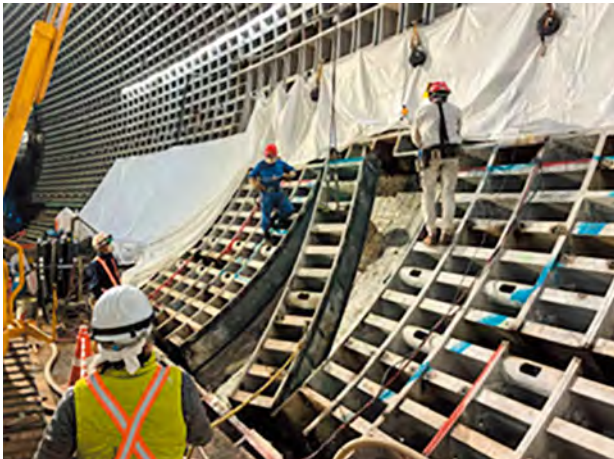


図-7 下半本支保工掘削施工

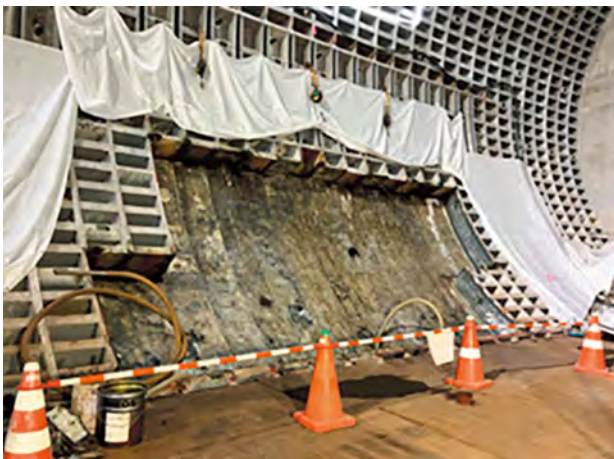
(2) 施工実績

① 鋼製セグメント撤去

既設のセグメントに対して鏡切を行うに先立ち、1号機シールドより作業を実施した。写真―6にセグメントの撤去施工状況、写真―7にセグメント撤去完了後の写真を示す。



写真―6 セグメント撤去施工状況



写真―7 セグメント撤去完了

② 仮支保工（馬蹄形）掘削，建込，吹付

本施工においては、本支保工の掘削断面よりもセグメント開口が小さいため、セグメント背面隅角部の掘削作業が困難であった。このため、まず小断面による先行掘削を実施し、その後に馬蹄形断面に対応した仮支保工を建込む施工手順を採用した。また、吹付コンクリートの製造に関しては、仮設ヤード内にコンクリートモービルを設置し、現場内での製造体制を構築した。写真―8に仮支保工断面掘削状況、写真―9に仮支保工設置完了後の写真を示す。

③ 上半本支保工掘削，建込，吹付

仮支保工掘削による2号機トンネル側到達後、上部隅角部の掘削、上半本支保工の建込、吹付を実施した。



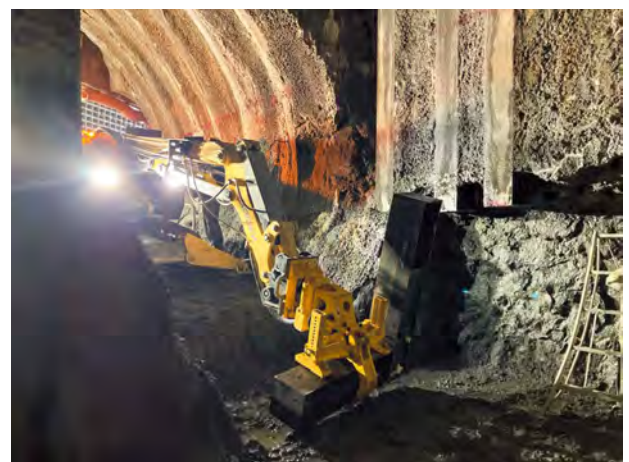
写真―8 仮支保工断面掘削状況



写真―9 仮支保工設置完了

④ 下半本支保工掘削，建込，吹付

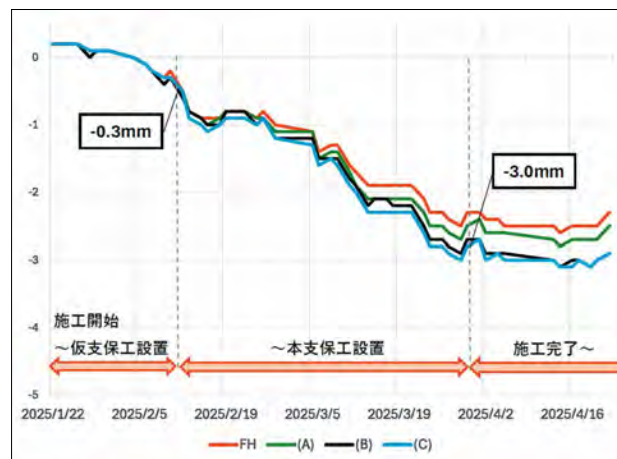
盤下げとして、下半部に対して約1,500mmの掘削を実施した。この掘削は、1号機側セグメント開口の作業床より下部にあたり、重機退避が困難となるため2号機トンネル側から後退しながらの施工とした。写真―10に下半本支保工建込状況、写真―11に上下半本支保工設置完了後の写真を示す。



写真―10 下半本支保工建込状況



写真一11 上下半本支保工設置完了



図一9 沈下計測結果

3-4 計測管理

避難連絡坑掘削時の地表面および周辺への影響を把握するため、層別沈下計による計測管理を実施した。層別沈下計測の計測位置は、施工箇所の直上部において薬液注入区間の上部（A）と鋼製支保工の設計において作用する緩み土圧が発生する上端（C）および上記ACの中間（B）の3点で行った（図一8）。表一3に沈下量の一次管理値、図一9に沈下量計測結果を示す。層別沈下計の測定値には3点間では大きな差異は見られず、変動傾向も概ね一致していた。掘削開始から仮支保工設置完了までの沈下量は0.3mm、本支保工の掘削開始から施工完了までの沈下量は3.0mmであり、全期間において一次管理値内に収まることを確認した。

坑内及び施工に関する計測管理は以下の通りである。

坑内に関しては、開口前後および掘削完了後における開口部セグメントの変位量、ならびに開口補強桁の応力状態を把握することを目的として、① TSによる既設セグメントの動態観測、② セグメント開口付近のひずみ計

測を実施し、どちらの測定値も管理値の範囲内に収まった。

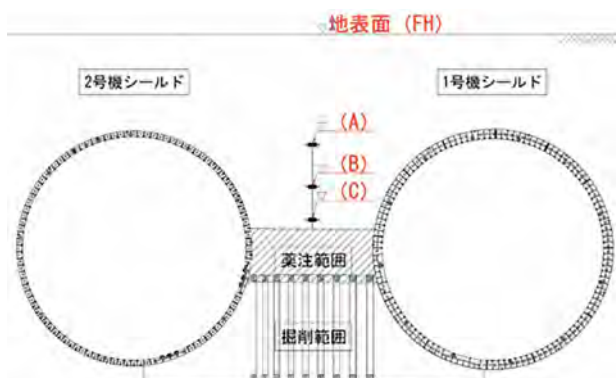
施工時においては坑内A計測を実施し、仮支保工および本支保工の各段階において挙動を把握した。管理項目として天端沈下量および内空変位量を設定し、継続的な計測を行った結果、これらについてもすべて管理値内に収まることを確認した。

3-5 成果と得られた知見

本工事の吹付け、ズリ出し、掘削の各作業にBrokk500を使用した。結果として、危険な施工領域への人の立ち入りが不要になることで安全を確保でき、さらに、狭隘な施工スペースでも十分な品質を確保した施工が可能となった。しかし一方で、本施工を通じて以下の3点の課題が明らかとなった。

(1) アタッチメント交換時間の短縮

アタッチメントの交換に時間を要する点が課題である。アタッチメント交換時には、Brokk500のアームとアタッチメントを同軸上に置いて装着するが、取り付け精度がシビアである（写真一12）。現場での交換時には取付け治具がなかったためアタッチメント姿勢が不安定になりやすく、スムーズに装着できないことで交換に時間を要してしまった。最終的には、揚重機によりアタッチメントを吊り下げて姿勢を安定させた上で交換作業を行ったが、完了までに約1時間を要した。今後の対策としては、アタッチメント固定用の架台の製作や、Brokk500へのアタッチメント自動脱着機構の搭載が有効と考える。



図一8 計測器設置箇所

表一3 管理値

計測対象	一次管理値 (限界値×80%)	二次管理値 (限界値×90%)
地表面沈下(mm)	8.0	9.0
層別沈下(mm)	16.0	18.0



写真-12 アタッチメント装着部

(2) 支保工把持の工夫

今回、L字型のピースを組み合わせて中柱を形成する矩形構造の支保工を使用した。作業効率や施工性に課題が見られた。写真-13に示すように、本施工での支保工設置にはBrokk500のビームグラップルを使用した。この構成では支保工を一点で支持することになり、L字形の支保工の場合、重心を把持することが困難であるため、把持した支保工の姿勢が不安定になってしまう現象が見られた。今後の対策としては、支保工のアーチ形状への変更や、L字形の支保工の把持に適したグラップルアタッチメントの製作が有効と考えられる。



写真-13 鋼製支保工把持状態

(3) ビームグラップルの施工性向上

当該施工条件下ではビームグラップルの操作性に課題があった。図-3に示すように狭隘な施工スペースであったことに加え、中柱を有する支保工形状であったため、重機の進入および旋回可能な角度が大きく制限された。重機の仕様上は、Brokk500本体上部の旋回およびビームグラップルの角度操作が可能であるものの、当該施工条件下においては、これらの操作のみで施工品質を確保した支保工の設置作業を行うことに時間を要した。対策としては、グラップル部の把持機構の細分化を行うことで、把持対象の位置微調整や姿勢制御が容易になり、設置時

の位置合わせ精度向上効果が期待できる。

§ 5. まとめ

本稿は、本工事のうち、1号機シールドトンネルと2号機シールドトンネルをつなぐ避難連絡坑について述べたものであり、NATM工法により掘削を行った後、内部に鉄筋コンクリート構造体を構築する工事内容である。施工にあたっては、既設シールドトンネルの鋼製セグメントの開口面積は避難連絡坑の躯体仕上がり内面に合わせて狭くなっている。さらに、開口面積を超えるサイズの支保工を避難連絡坑に設置する必要があり、狭隘な空間での作業となった。このため、狭隘な空間に適した施工機械の選定が、本工事における重要な課題となった。本工事では、コンパクトで遠隔操作可能且つアタッチメントが充実したBrokk500を選定し、狭隘な施工空間であってもアタッチメントの交換によりNATM工法の全工程に対応可能であることを確認した。施工に際しては計測管理を実施し、既設セグメントおよび地表面変位は微小で安定しており、既設セグメントと地表面への影響は認められなかった。

本施工を通じて、(1)アタッチメント交換作業の時間短縮、(2)支保工把持の工夫、(3)ビームグラップルの施工性向上の3点が課題として明らかとなった。今後は、これらの課題に対する技術的検討を進めることで、Brokk500を用いた施工のさらなる効率化および安全性の向上を図りたいと考える。

謝辞。本工事の円滑な施工に際し、国土交通省関東地方整備局横浜国道事務所様をはじめ、シールド委員会、トンネル委員会、本社土木設計部、機材部関係各位には多大なご支援を賜りました。ここに改めて感謝の意を表します。



写真-14 躯体打設完了

参考文献

- 1) ガデリウス・インダストリー製品情報