

大断面拡大シールドの計画と施工

落合 栄司¹・加藤 瑞穂²・松原 健太³・藤井 剛⁴・津坂 治⁵

¹ 正会員 首都高速道路（株） 神奈川建設局横浜工事事務所

（〒222-0033横浜市港北区新横浜 3-20-8ベネックスS-3 12階）

E-mail: e.ochiai45@shutoko.jp

² 正会員 首都高速道路（株） 神奈川建設局設計課（〒221-0013 横浜市神奈川区新子安1-2-4）

E-mail: m.kato1361@shutoko.jp

³ 正会員 大林・奥村・西武 横浜環状北線シールドトンネル特定建設工事共同企業体

（〒223-0059 横浜市港北区北新横浜2-7-3）

E-mail: matsubara.kenta@obayashi.co.jp

⁴ 正会員 大林・奥村・西武 横浜環状北線シールドトンネル特定建設工事共同企業体

（〒223-0059 横浜市港北区北新横浜2-7-3）

E-mail: fujii.tsuyoshi@obayashi.co.jp

⁵ 大林・奥村・西武 横浜環状北線シールドトンネル特定建設工事共同企業体

（〒223-0059 横浜市港北区北新横浜2-7-3）

E-mail: osamu.tusaka@okumuragumi.jp

都市部のトンネル工事では，地上の建物等の移転の減少や道路規制による渋滞の抑制等を目的として，シールドトンネルや都市NATM等の工法を用いる例が多い．道路トンネルの分合流部の建設においても，シールドトンネルを非開削で切開く施工事例が増加している．

横浜環状北線シールドトンネル工事では，首都高速道路の分合流部を非開削で建設するにあたって，大断面拡大シールドの施工を行った．本稿では，大断面拡大シールドの計画概要と施工結果について報告する．

Key Words : Ramp Structure, Enlargement Shield Tunneling Method

1. 工事概要



図-1 横浜環状北線の概要

現在，首都高速道路株式会社が整備を進めている横浜環状北線（以下，北線）は，横浜市の交通ネットワークの骨格を形成する横浜環状道路の北側区間であり，第三京浜道路「港北インターチェンジ」と首都高速道路横浜羽田空港線「生麦ジャンクション」をつなぐ延長約8.2kmの自動車専用道路である（図-1参照）．北線では，家屋の移転を少なくし，周辺環境を保全するために，全体の約7割をトンネル構造とした．北線のうち，横浜環状北線シールドトンネル工事では，新横浜発進立坑を起点に子安台換気所を終点とする延長約5.5kmの大断面併設トンネルを2台の泥土圧シールド機（外径φ12.49m）によって施工し，シールドトンネル内においては，出入口につながる分合流部を4箇所構築する．本工事では，ほぼ全線にわたって民地の下を施工する．

工事概要を表-1、トンネル地質縦断図を図-2に示す。トンネルの土かぶり厚は11m～57m、分合流部の土かぶり厚は28～54mであり、掘削土層は上総層地盤を主体とした泥岩（Km）、砂質泥岩（Kms）（一軸圧縮強度1,000kN/m²以上）、砂、砂岩（Ks）（N値50以上）の互層で、いずれも硬質な地盤である。しかし、Ks層の水圧は最大0.5MPaであり、均等係数も6.0程度と比較的小さいことから、地下水の流出に伴う流砂現象を生じる可能性が考えられた。また、生麦側地中拡張部に位置するKs層は、近傍の沖積層と水理的につながっている事が懸念され、地下水位が低下した場合、沖積層の圧密沈下を誘発する可能性が考えられた。

表-1 工事概要

工事名		横浜環状北線シールドトンネル工事	
シールド延長		(内回り)5,513m (外回り)5,517m	
シールド		(外径) 12,490mm (工法) 泥土圧シールド	
セグメント外径		12,300mm	
セグメント仕様	シールド区間	RCセグメント 幅2000mm、桁高 400mm	
	鋼製セグメント区間	鋼製セグメント 幅2000、1500、1200、1000mm、桁高400mm	
	切り上げ区間	複合 (RC+合成+鋼製)セグメント 幅2000mm、桁高 400mm 鋼製セグメント 幅2000mm、桁高400mm	
切り上げ区間長		(内回り)Aランプ:約205m、Bランプ:約157m (外回り)Cランプ:約212m、Dランプ:約149m	

分合流部については、地上が民地であることから全て非開削で地中拡張を行う。施工地盤を考慮するとNATMによる地中拡張も可能と考えられたが、民地の下で施工することを考慮し、流砂現象や圧密沈下現象を防止し地表面への影響を抑制するために、より確実な方法として、以下の基本方針に基づき、施工方法を検討した。

a) 地盤変状の抑制

地山を支保する部材の剛性により地山の変形量を抑制する。また、地山を支保するまでの施工過程においても地山の応力解放を低減する。

b) 施工時の止水性確保

地盤改良により確実に止水を行う。万一の出水に対しても速やかな対応を可能とする。

上記の基本方針のもと検討した分合流部の施工ステップを図-3に示す。同図ステップ2において、地中拡張始端部に拡大シールド機により本線シールドの外周にパイプルーフを施工するための空間を構築する。この拡大シールドは、図-4に示すように、本線シールドの下部に立坑を構築し、その立坑内で拡大シールド機を組み立て、本線シールドの外周を円周方向に掘進を行う。拡大シールド到達後、本線シールドセグメントと拡大シールドセグメントを接続してパイプルーフ施工空間を構築する。その後、当該空間からトンネル軸方向に大口径パイプルーフ（φ1200、27本）を施工する。パイプルーフ間の地山には、パイプルーフ内から薬液注入を行い遮水ゾーンを構築する。遮水ゾーン構築後、トンネル軸方向4.0m幅で、本線シールドを切開き、パイプルーフで囲まれた地山を拡張掘削する。拡張掘削部には、本設構造となる覆工コンクリートを施工し、必要強度が確保された後に隣接する次ブロックの掘削を行う。

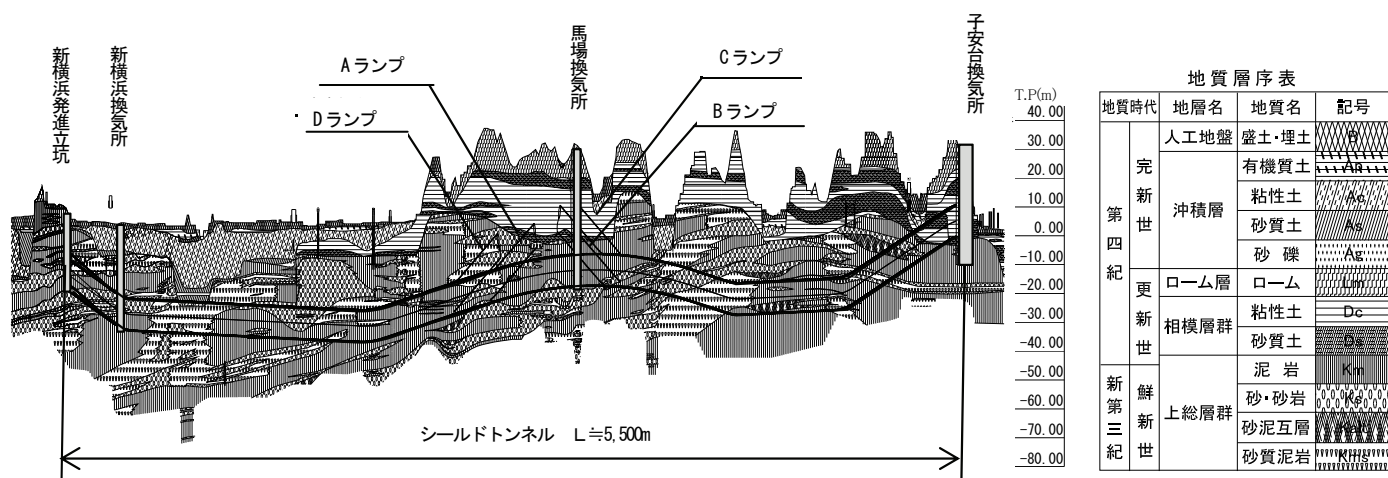
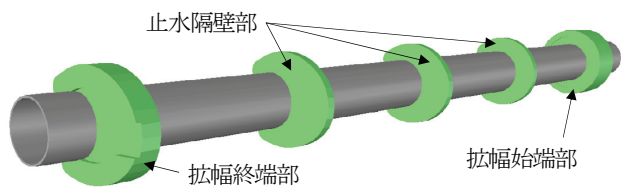
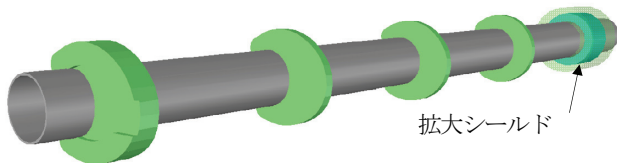


図-2 トンネル地質縦断図

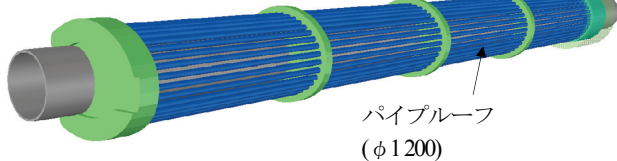
Step1 拡幅始端部, 止水隔壁部, 拡幅終端部薬液注入工



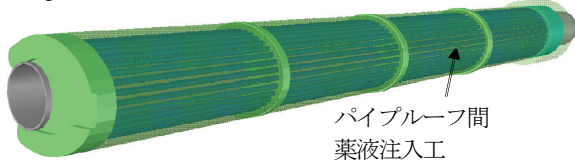
Step2 拡幅始端部パイプルーフ発進基地



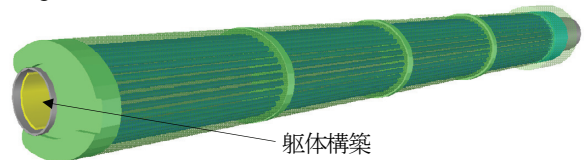
Step3 パイプルーフ (φ1 200) 施工



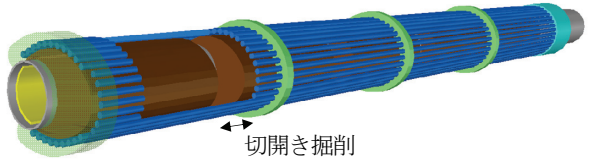
Step4 パイプルーフ間薬液注入工



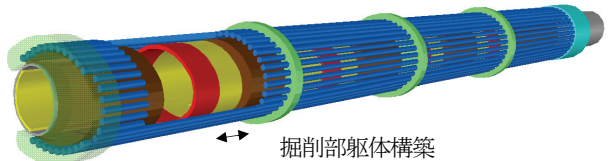
Step5 本線側躯体構築



Step6 切開き掘削 (幅 4.0m)



Step7 切開き掘削部躯体構築, (次ブロック掘削(3.5m), 掘削部躯体構築)※



※繰り返し

Step8 完成

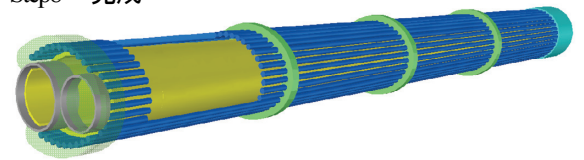


図-3 分合流施工ステップ図

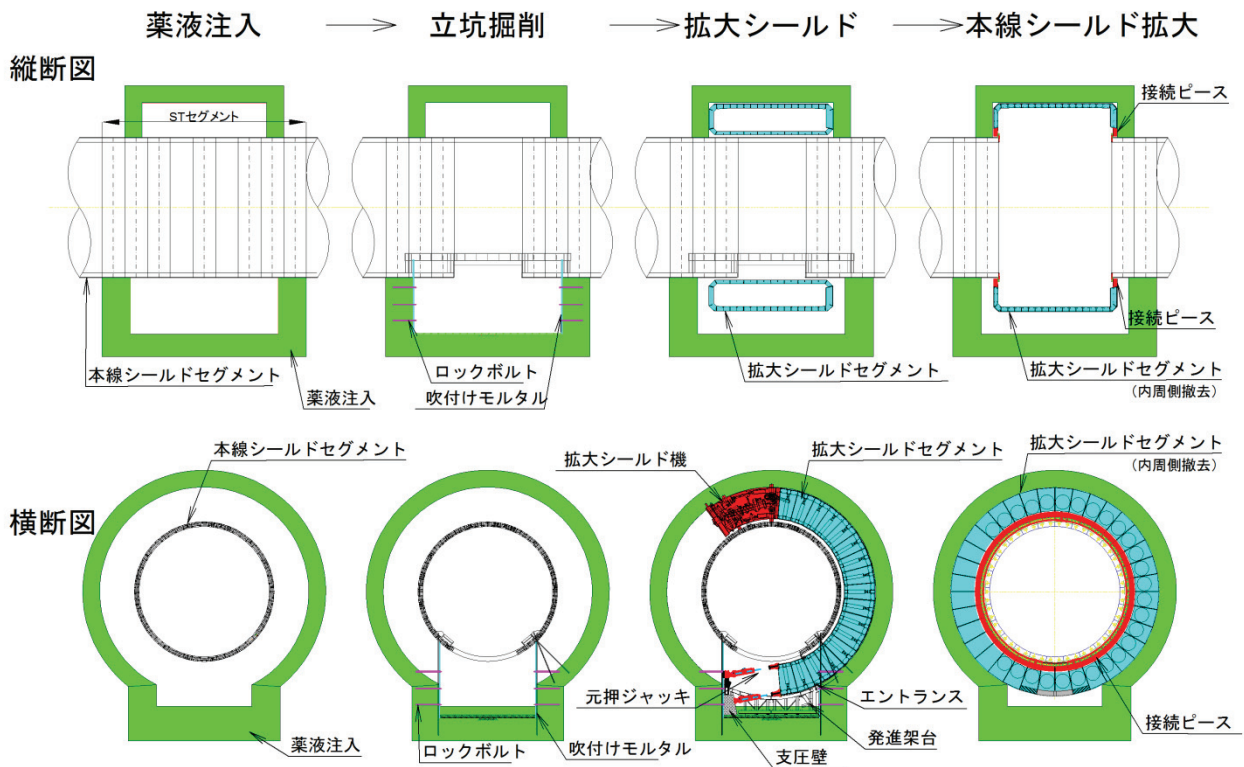


図-4 拡大シールドステップ図

2. 拡大シールドにおける課題

拡大シールドは、分合流部の構築にあたってパイプルーフの施工空間を設けるために、本線シールドトンネル（外径φ12.3m）を外径φ18.3m、拡大幅11mに拡張するために使用する。本工事では、分合流部は4箇所あるが、拡大シールド機の製作数は1機として、各分合流部に転用することにした。

拡大シールドの施工にあたって留意した課題を以下に示す。

(1) 地盤変状や地下水低下による影響を抑制

分合流部の施工にあたっては、地上が民地であるため、地盤変状や地下水低下による影響を最小限に抑制することが重要であり、そのため、図-3に示す施工方法を採用した。拡大シールドの施工にあっても、本件に対して、十分に配慮した計画と施工が重要であった。

(2) 大断面拡大シールドの確実な施工

拡大シールドは、本線シールドに沿って円周方向に掘進することから、セグメント組立作業時の姿勢が毎リング変わる。また、掘進線形は急曲線で、通常のシールドと違い上向き掘進や下向き掘進を行う。拡大シールドは多数の施工実績があるものの、今回のような大断面の施工は初めてである。そのため、セグメント組立時の作業性確保や、確実な方向制御方法については綿密な検討を行う必要があった。

3. 拡大シールドの計画

前述の課題に対して立案した拡大シールドの計画を以下に示す。

(1) 地盤変状および地下水低下の抑制対策

拡大シールド発進立坑の施工時と、拡大シールド到達後に本線シールドセグメントと拡大シールドセグメントとを接続する際は、地山が露出するため、湧水を止める必要がある。そのため、あらかじめシールド坑内から、図-4に示す範囲に対して薬液注入を行うことにした。

拡大シールドの掘削断面は、薬液注入により止水されているため、拡大シールド機については、開放型シールドにすることも可能であったが、地盤変状の抑制と万一の出水時への対応に配慮して密閉型シールドとし、泥土圧シールドを採用した。拡大シールド機のパルクヘッドには土圧計を2箇所装備し、切羽圧を管理して掘進することにした。

施工にあたっては、地表面の変状をレベル計測で、地中変位、拡大シールド施工箇所の本線シールドセグメントの応力と変位を自動計測し、掘進管理に反映することにした。

(2) セグメント組立方法

拡大シールドの場合、セグメント組立作業時の姿勢が毎リング変わるため、作業性の低下が懸念された。そこで、セグメントをシールド機内で組むことをやめて発進立坑で組み、推進工法と同様に元押ジャッキを使って掘進する方式を考えた（図-5）。

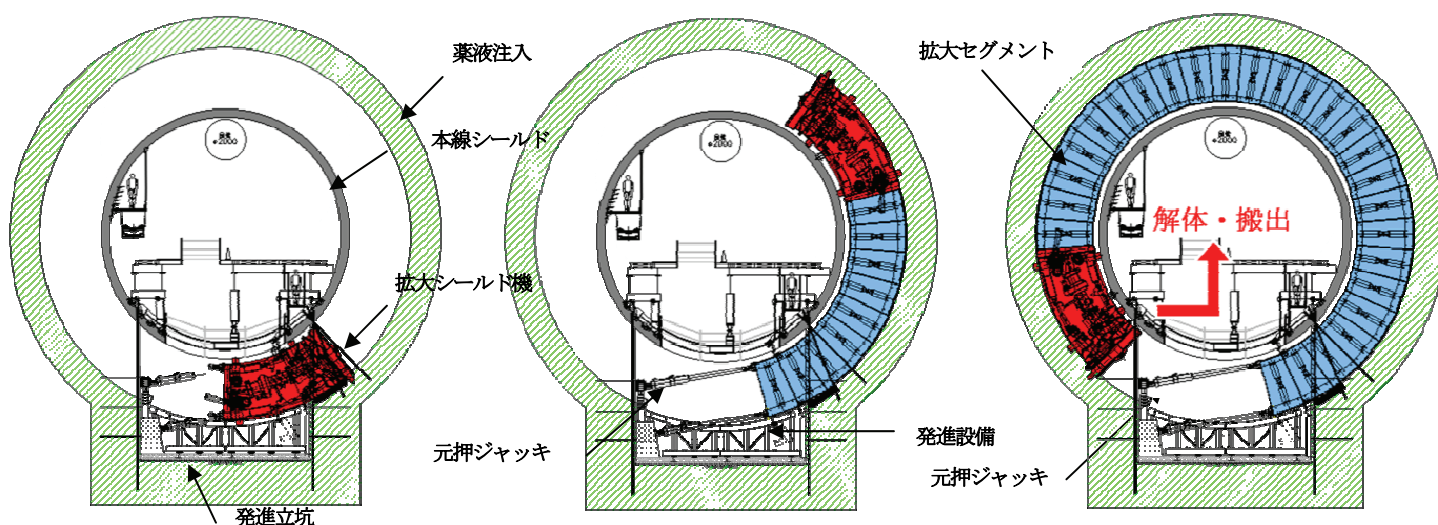


図-5 拡大シールド施工概要図

(3) 方向制御方法

シールド機は、円周方向に掘進することを考慮して、**写真-1**に示す形状とした。元押しジャッキのみを使った掘進であると方向制御が難しいと考え、シールド機を複胴式として方向制御ジャッキ、可動そり、グリッパーを装備した。

掘進方法は、まず元押しジャッキを使わず方向制御ジャッキを使って所定のストロークまで前胴のみを方向制御を行いながら掘進し、その後、方向制御ジャッキを縮めながら元押しジャッキを使って後胴とセグメントを推す方法とした。

線形管理については、2回/日程度の頻度で、トータルステーションによる三次元測量を行うことにした。また、今回は、拡大シールド機と本線シールドセグメントとの位置関係を適宜確認できるように、シールド機に本線シールドセグメントとのクリアランスを検知する装置を装備した。

(4) 拡大シールド機の構造

拡大シールド機は、立坑への搬入（本線シールドセグメント開口部からの投入）や立坑内での組立を考慮し、1ピースの大きさを最大3m×3mに、重量を最大22 tに制限し、26分割とした。また、4回転用することを考慮し、各ピースの接合は組立・解体が容易なボルト接合とした。



写真-1 拡大シールド機

4. 拡大シールドの施工結果

(1) 施工手順

① 立坑構築および発進設備設置

拡大シールドの発進基地となる立坑（立坑寸法：幅8.4m×奥行き13.0m×本線セグメント下端から深さ5m）を本線シールド下部に設けた。事前に本線シールドセグメントを補強したのち、立坑部のセグメントを撤去し、掘削を行った。掘削はバックホウにて行い、土留めとして吹付けモルタルとロックボルトを施工した。その後、拡大シールドを発進させるための立坑設備（発進架台、支圧壁、エントランス等）を設置した。立坑掘削状況を**写真-2**に示す。

② 拡大シールド機の搬入・組立

③ 拡大シールド掘進

拡大シールドセグメントの分割構成は、円周方向10°ピッチに36リングとした。拡大シールド発進前の状況を**写真-3**に、拡大シールドの到達状況を**写真-4**に示す。

④ 拡大シールド機の搬出・解体

拡大シールド機を所定の位置まで推進した後、シールド前方から順に解体搬出した。搬出したシールド機は、次の施工箇所へ順次移動し組立を行った。

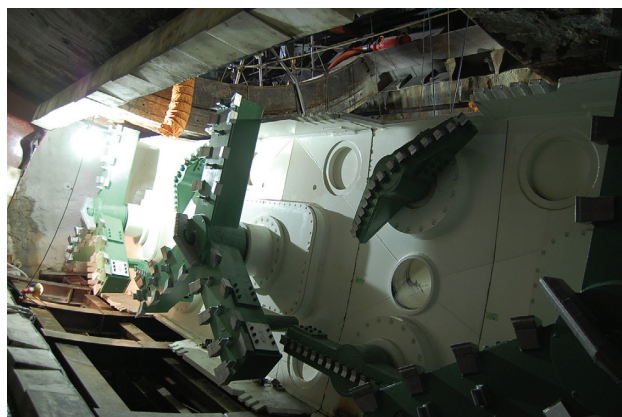


写真-3 拡大シールド発進前

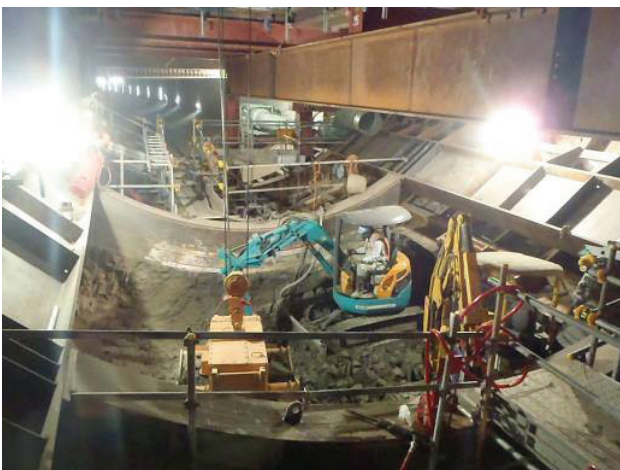


写真-2 立坑掘削状況



写真-4 拡大シールド到達状況

⑤ 本線セグメントとの接続

到達後、本線シールドセグメントと拡大シールドセグメントの内周側を撤去し、拡大シールドセグメント側面部と本線シールドセグメントを接続した（写真-5）。これにより、トンネル全周にわたって拡大された空間を構築した。

(2) 掘進管理状況

拡大シールドを4箇所施工した結果、拡大シールドの蛇行量は、上下、左右方向のいずれも管理値内（±100mm内）であった。

切羽圧、カッタートルク、推力の実績を図-6に示す。今回、薬液注入により地盤改良された地盤を掘進するため、切羽圧については、スクリーコンベアからの排土を円滑に行える程度に作用させた。

カッタートルクおよび推力については、上向きや下向きなど掘進向きに伴う差異は少なく、装備能力に対して比較的、安定した値であった。

拡大シールドの掘進速度は5～10mm/min程度、セグメント組立時間は約3時間/リングであった。

(3) 拡大シールド掘進による影響

拡大シールド掘進による地中変位および地表面への影響はなかった。

拡大シールド施工箇所の本線シールドセグメントの応力と変位の経時変化を図-7に示す。応力計測についてはセグメント組立前、変位計測については拡大シールドの立坑掘削前を初期値として計測を行った。拡大シールド施工中の本線シールドセグメントの応力変化及び変位は微小であり、拡大シールド掘進による本線シールドセグメントへの影響は軽微であったといえる。

5. まとめ

これまでにない大断面の拡大シールドの施工にあたって、地盤変位の抑制と確実な施工に留意して計画を行った。その結果、地表面等に影響を与えることなく、±100mmの線形精度で本線シールドにそって円周方向に拡大シールドを掘進することができた。

平成26年9月現在、分合流部の施工は、切開き掘削を開始したところである。切開き掘削の状況については、別途、報告したい。

本稿が、今後の非開削によるシールド切開き工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 津野和宏，落合栄司，川田成彦，藤井剛，高浜達矢：民地化に道路トンネル分合流部を構築するための技術的対策，トンネル工学報告集第22巻，p447-454，2012.11
- 2) 遠藤啓一郎，松原健太，藤井剛：地中拡幅による分合流部の施工，土木施工VOL.55No.5，pp.14-17，2014.5

(2014.9.15 受付)



写真-5 拡大シールド部接続完了

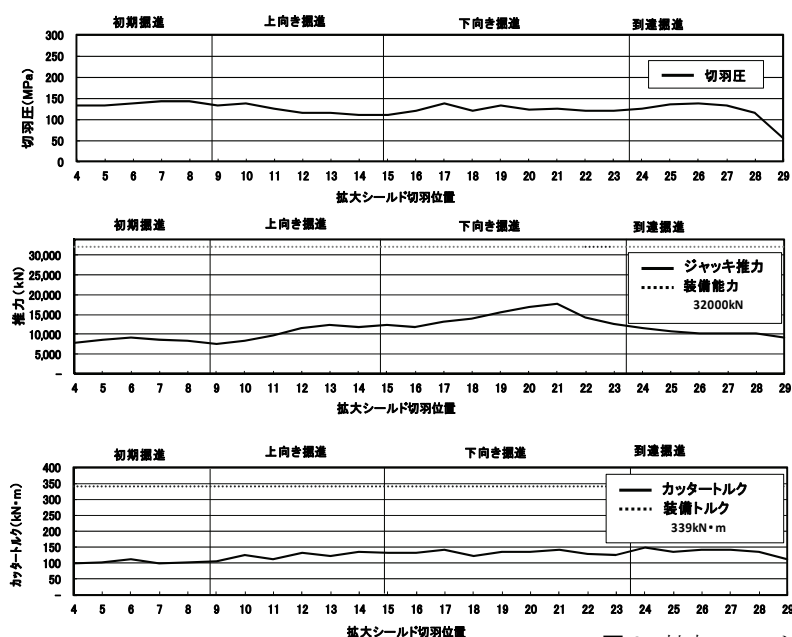
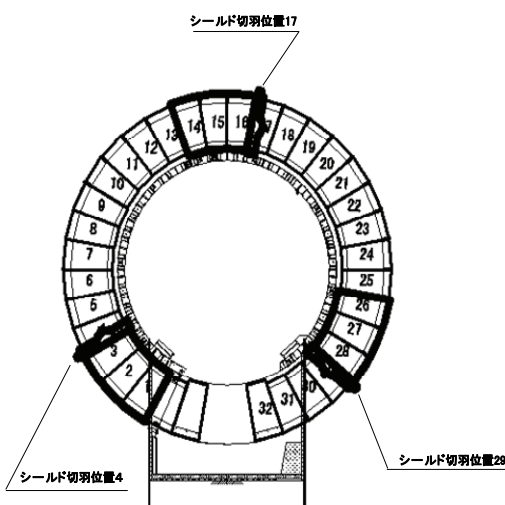


図-6 拡大シールド掘進記録



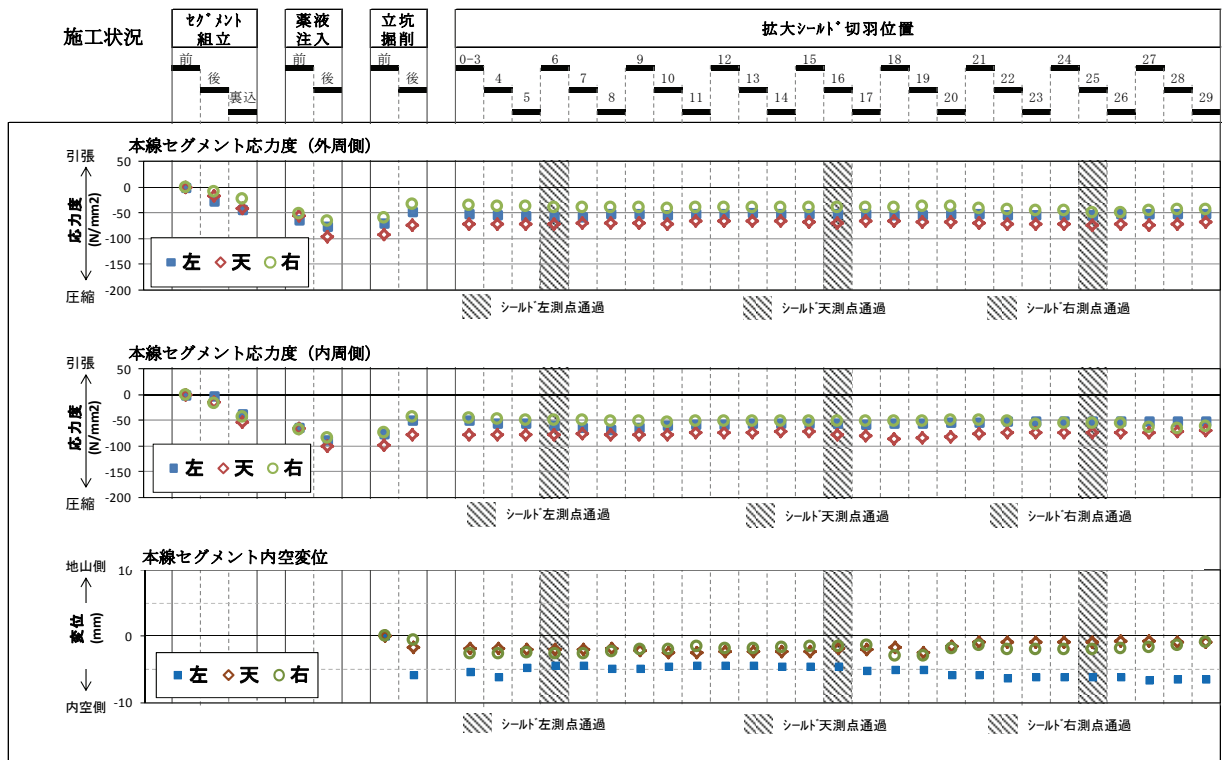


図-7 本線シールドセグメントの応力および変位

WORK PLANS AND PERFORMANCE RESULTS OF LARGE SIZE ENLARGEMENT SHIELD TUNNELING METHOD

Eiji OCHIAI, Mizuho KATO,
Kenta MATSUBARA, Tsuyoshi FUJII and Osamu TSUSAKA

In the urban area, shield tunneling method and urban NATM tunneling method are generally selected to minimize the relocation of dwellings and prevent the traffic congestion. Recently for road tunnel ramp structure, it becomes more common to construct from the shield tunnel side instead of the open cut method.

For the Yokohama-Kanjo-Kitasen Shield Tunnel Project, the large size enlargement shield tunneling method around the main line shield tunnel was used for the part of the ramp structures. This paper describes the work plans and the results of the unique method.