

駅非開削部の大断面馬蹄形トンネルを角形エレメント推進工法により施工

藤川 博樹¹・立石 和秀²・堀口 知巳³・田中 孝⁴

¹ (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 東京支社 工事第二部 工事第四課
(〒105-0011 東京都港区芝公園 2-4-1)

E-mail: fujikawa.hir-w2rc@jrnt.go.jp

² 正会員 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 東京支社 工事第二部
(〒105-0011 東京都港区芝公園 2-4-1)

E-mail: tateishi.kaz-u7gk@jrnt.go.jp

³ 正会員 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 技術企画部
(〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1)

E-mail: horiguchi.tom-g4im@jrnt.go.jp

⁴ 正会員 戸田建設(株) 価値創造推進室 技術開発センター 社会基盤構築ユニット
(〒104-8388 東京都中央区京橋 1-18-1)

E-mail: takashi.tanaka@toda.co.jp

新綱島駅(仮称)は、相鉄・東急直通線羽沢横浜国大駅起点 7k800m に位置し、深さ約 35m、幅員約 14～25m の島式ホームを有する地下 4 層を基本とした地下駅である。当該駅の始末端部はシールドトンネルの発進立坑として利用する計画である。駅全長 240m のうち日吉側 34.5m は非開削工法を選定している。

また、非開削区間はホームを設置するため内空 224m² (H=14m, B=19m) を有した大断面が必要となる。当該箇所の地層は、全体としては N 値 50 以上の強固な上総層群となっているが、砂層と泥岩の互層であり、砂層分布は不明確で豊富な地下水を有している。地上部は、病院および商業ビルなど堅牢な建物が密集し、地上部の利用に制限があること、また地質状況を踏まえて、非開削工法で到達立坑の設置不要な角形エレメント推進工法を採用した。

本稿では、非開削工法の検討経緯、施工計画および施工実績について報告する。

Key Words: rectangular element jacking method, horseshoe-shaped, trenchless tunneling

1. はじめに

相鉄・東急直通線は、神奈川東部方面線の一部として、相鉄・JR直通線羽沢横浜国大駅から新横浜駅(仮称)を経由し、東急東横線・目黒線日吉駅までの区間に延長約 10km の連絡線を整備するものであり(図-1)(表-1)、平成 24 年 10 月に工事施行認可を受けている。

相鉄・東急直通線、新綱島駅(仮称)は、駅全長 240m のうち日吉側 34.5m は非開削工法を選定しており、本稿では、非開削工法の検討経緯、施工計画および施工実績について報告する。

2. 工事概要

(1) 新綱島駅(仮称)の概要

新綱島駅(仮称)は、相鉄・東急直通線羽沢横浜国大駅起点 7k800m に位置し、深さ約 35m、幅員約 14～25m の島式ホームを有する地下 4 層を基本とした地下駅である。当該駅の始末端部はシールドトンネルの発進立坑として利用する計画である。



図-1 路線図

表-1 事業概要

路線名	相鉄・JR直通線	相鉄・東急直通線
整備区間	相鉄本線西谷駅～JR東日本東海道貨物線横浜羽沢駅付近	JR東日本東海道貨物線横浜羽沢駅付近～東急東横線日吉駅
事業者	建設主体	鉄道・運輸機構
	営業主体	相模鉄道(株)、東京急行電鉄(株)
事業内容	鉄道の種類	普通鉄道
	延長	約2.7km
	軌間	1,067mm
	運行区間	海老名駅・湘南台駅～西谷駅～羽沢横浜国大駅～新宿方面
	駅の位置	羽沢横浜国大駅(横浜市神奈川区)



写真-1 新綱島駅(仮称)付近航空写真

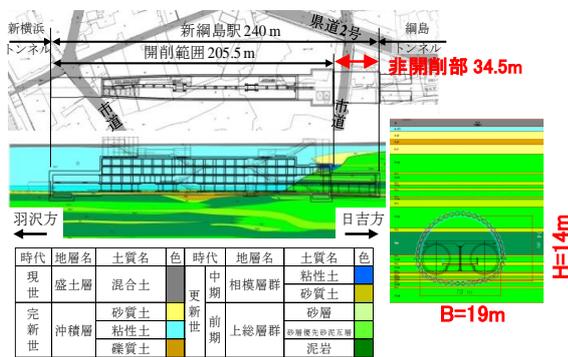


図-2 平面図および地質縦断面図

また、非開削区間はホームを設置するため内空 224m^2 ($H=14\text{m}$, $B=19\text{m}$) を有した大断面が必要となる。地上部は、病院および商業ビルなど堅牢な建物が密集し(写真-1)、地上部の利用に制限があること、また地質状況を踏まえて、非開削工法で到達立坑の設置不要な角形エレメント推進工法を採用した。

(2) 地質概要

当該箇所の地層は、全体としては N 値 50 以上の強固な上総層群となっているが、砂層と泥岩の互層であり、砂層分布は不明確で豊富な地下水を有している(図-2)。

3. 工法検討

(1) 非開削工法の選定

上記の立地・地質条件に基づき、NATM、シールド切広げ工法、角形鋼管推進工法および外殻先行構築型工法(HEP&JES 工法など)を比較対象工法として本区間への適用性の検討を行った。

a) NATM

トンネル上部の上総層群の被りが 1D 以下と小さく、介在する砂層が豊富な地下水を有することなどから、掘削時の地表面沈下や地下水位の低下など、周辺への影響が懸念される。

b) シールド切広げ工法

当該工区のように、土被りが約 23m となる大きい深度での施工例が無く、新たに構造検討や実証実験が必要となる。また、切広げに際してセグメント変形防止とセグメント間掘削を組み合わせた複雑かつ慎重な支保が必要であり、経済性・施工性に劣る。

c) 外殻先行構築型工法(HEP&JES 工法など)

地上部への影響が少なく、止水注入範囲も小さくできるなど合理的な工法であるが、当該工区のように、土被りが約 23m となる大きい深度での施工例が無く、新たに構造検討や実証実験が必要となる。

また、既存の外殻先行構築型工法(HEP&JES 工法など)は推進機がけん引式であるため、到達側に立坑を構築する必要があることから、当該現地条件(到達立坑の構築と、堅牢な建物の撤去が不可)では適用できない。

a)~c)の一般的な非開削工法は、いずれも採用が困難であったが、検討案の中では、最も合理的な非開削工法である外殻先行構築型工法を採用することとし、到達立坑を不要とする工法を開発・検討することとした。

(2) 非開削部の構造と推進機および角形鋼管の改良

外殻施工構築工法の実績として、つくばエクスプレス線六町駅工事で採用された仮設工法の実績を図-3に示す。

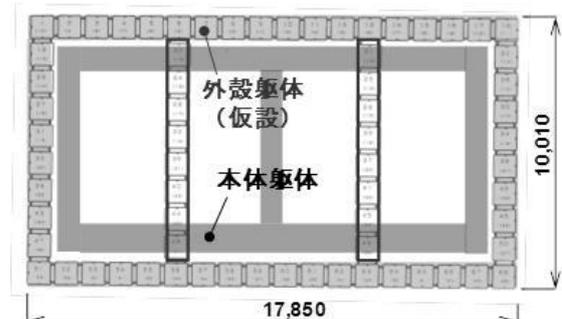


図-3 つくばエクスプレス線六町駅構築断面図

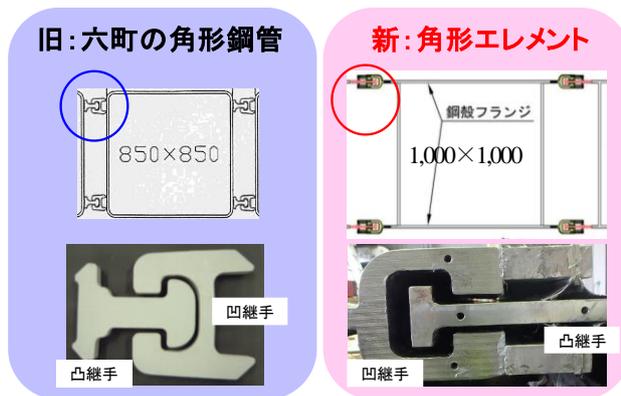


図-4 角形鋼管および角形エレメントの継手概要

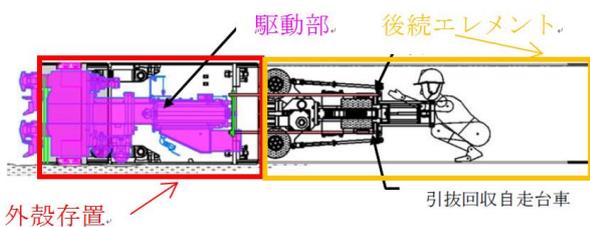


図-5 角形エレメント駆動部引抜概要図

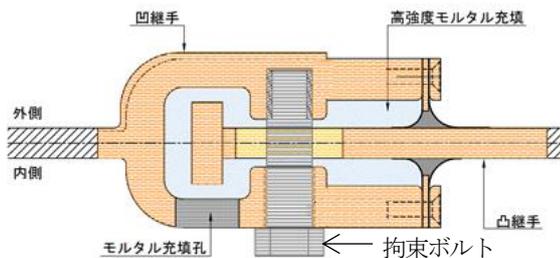


図-6 角形エレメント間継手標準図

トンネル断面形状は、従来実績で用いられる長方形よりも構造的に有利な馬蹄形断面を採用した。今回の施工は、実績と比較して固い地盤内の施工であること、施工延長が長いこと、および本設部材とすることなどから、角形鋼管や推進機に以下の改良を行った。

角形鋼管については、従来実績より施工延長が長くなること、本体利用することおよび馬蹄形断面を採用したことなどから、推進時継手抵抗力の低減、継手品質向上のためのモルタル充填の確実性、および確実な継手閉合のための施工誤差の吸収性向上が課題であった。そのため、形状に変更を加え新たに角形エレメントを開発した(図-4)。すなわち、鋼板を溶接で接合した1000mm×1000mmの箱型断面を1エレメントとし、凹形状と凸形状の継手を嵌合させ推進し、ボルトで拘束することで、継手の必要耐力を確保する構造である。

推進機については、到達立坑を構築できない当該工区では、従来の実績のように到達側から駆動部などを回収することは不可能であったため、新たに引抜き回収自走台車(図-5)を開発し、駆動装置などを再利用すること

とした。

また、経済性から外殻を本体構造部材とするため、エレメント内をコンクリートで充填する一体化構造とする。同時に、継手は約60kN(トルク約288N・m)の軸力を導入して拘束ボルトで締め付け、内部をモルタルで充填することとした(図-6)。

4. 非開削部の施工計画

(1) 施工フローおよび事前試験

非開削部の施工ステップ図を図-7に示す。施工ステップ各段階における本工法の有効性を確認するため、施工

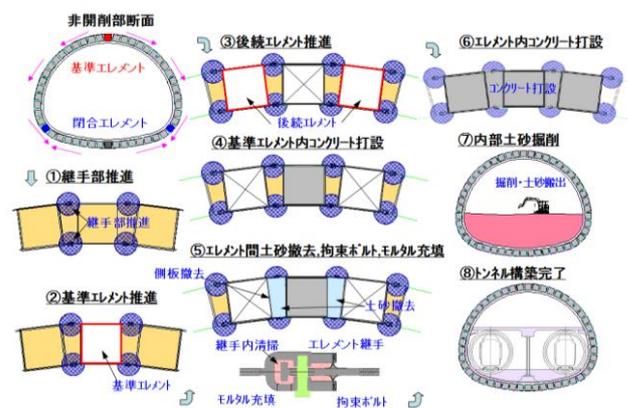


図-7 非開削部施工ステップ図

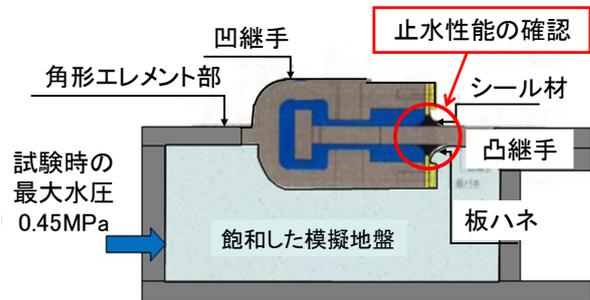


図-8 継手部板ハネ止水性能確認試験装置(断面)

上重要となる継手部の止水性能や掘進精度などの確認のため事前試験を実施した。

継手部の止水性能を満足しない場合、エレメント内に水が浸入し継手内の施工が困難となる。継手が嵌合した状態で継手内にモルタルを充填するまで、板ハネとシール材で所定の止水性が確保できるかを実物大の模擬試験装置により確認することとした(図-8)。試験においては、施工に伴う板ハネとシール材の設置状況の変形による止水性能の変化を確認した結果、止水性能を保持できることを確認した。

掘進精度については、後述する新たに追加したローリング(回転角度)修正ジャッキの効果などを確認するため、模擬土層を造成し、実際に使用する推進機を用いて

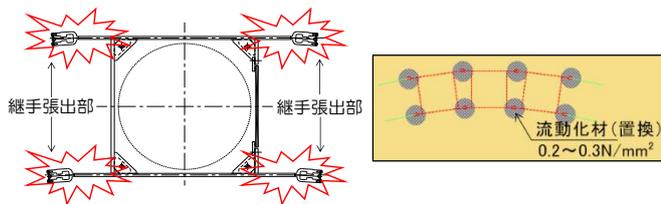
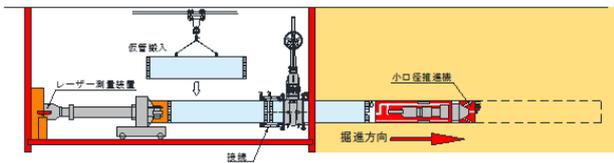


図-9 継手部先行置換工概要 (断面図)

1.掘進工



2.置換工

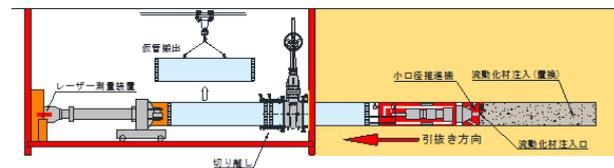


図-10 継手部先行置換工概要 (縦断面図)

試験を行い、所定の鉛直・水平精度 ($\pm 0.8^\circ$) を確保できることを確認した。この結果から、所定のローリングや方向の制御・管理により、本体利用や長大化に向けた精度の確保が可能であることを確認した。

(2) 継手部先行置換工

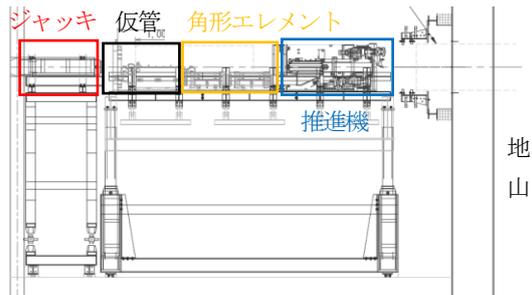
図-9, 10 に示す継手部先行置換工とは、角形エレメントを立坑側から終点側に向かって施工する際に、N値50以上の上総層群の中に角形エレメントが構築されることから、エレメントから張り出した継手が推進時の抵抗となり、推進不能となる可能性が大きいことから、先行して推進工法にて継手部を地山よりも軟らかい流動化材に置き換えるものである。

この工法により、角形エレメントをより精度良く設計位置に構築することが可能となる。この改良は、角形エレメントの継手位置に確実に配置する必要があるため、継手部先行置換工の掘進精度は、鉛直・水平方向に管理目標値 ($\pm 50\text{mm}$ 以内) を設定した。

(3) 角形エレメント推進工

発進立坑内の元押しジャッキを伸長させて推進機 (図-11) を地山に貫入させ、後続のエレメントを順次接続していく手順で施工する。角形エレメント推進にあたっては、推進位置がそのまま本体構造位置となるため、継手部先行置換工よりも高い掘進精度が求められる。そこで、推進機について、従来管理していた鉛直・水平変位だけでなく、ローリングについても制御・管理できるよ

1.角形エレメント推進前



2.角形エレメント推進後

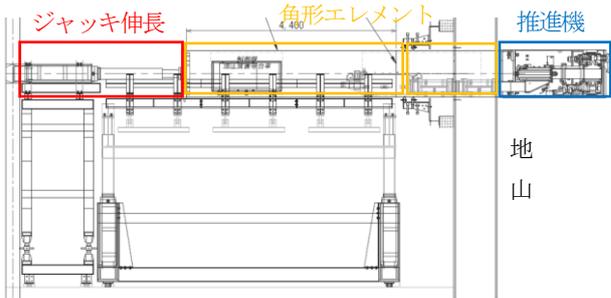


図-11 角形エレメント推進概要図

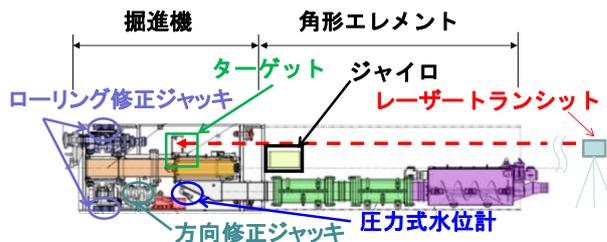


図-12 角形エレメント推進精度管理概要図

う、新たに油圧式修正ジャッキを追加した。推進機 (図-12) に圧力式水位計 (鉛直変位) およびターゲット (水平変位)、後続のエレメントにジャイロ計 (ローリング) を設置し、各変位を常時モニタリングし、掘進精度を管理する計画とした。なお、定規の役割となる基準管 (No.1 エレメント) の鉛直・水平変位の管理目標値は $\pm 10\text{mm}$ 、その他一般管については $\pm 25\text{mm}$ の管理目標値を設定した。

5. 施工実績 (上半)

(1) 継手部先行置換工

継手部掘進中、傾斜した砂層と泥岩の境目で推進機が下方へ下がる傾向が生じたが、掘進速度を低下させて慎

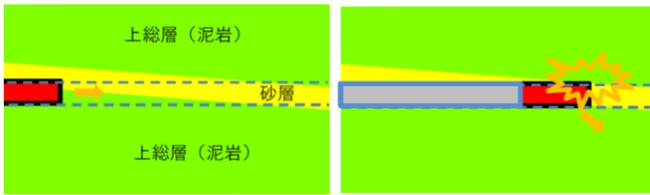


図-13 掘進速度低下概念図

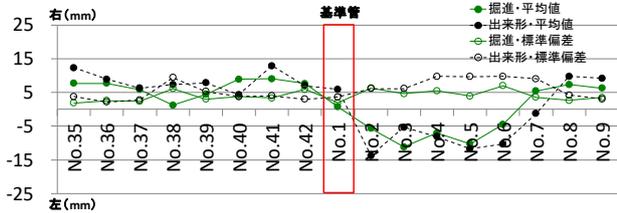


図-14 角形エレメント推進と出来形の平均水平変位・標準偏差

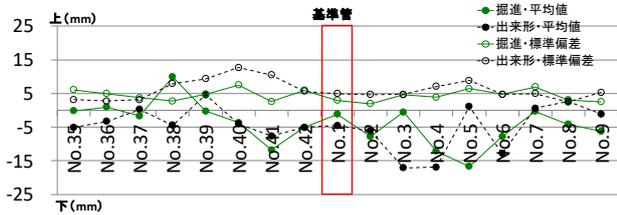


図-15 角形エレメント推進と出来形の平均鉛直変位・標準偏差

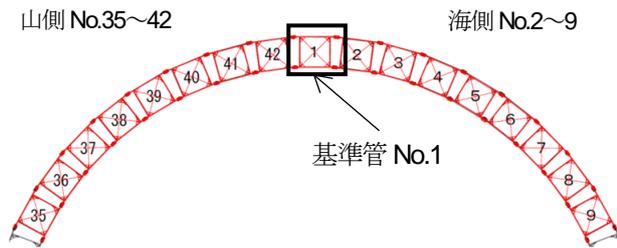


図-16 上半角形エレメント施工断面図 (概要図)

慎重に施工した (図-13)。

上記の対策を講じても、一部引抜き・再掘進が必要となる箇所があったが、次の先行置換工前にオーバーカット量を減らす (11mm→7mm) など、推進機の改造を実施し、最終的には掘進精度をすべて管理基準値内に収めることができた。

(2) 角形エレメント推進工

a) 掘進精度

角形エレメント構築の実績を図-14～16 に示す。推進機と後続エレメントの出来形の精度については、平均水平変位は±15mm、平均鉛直変位は±20mm 程度であり、標準偏差については 10mm 程度であった。掘進精度は推進機、角形エレメントともに、概ね掘進精度管理値内に収まった。基本的には、推進機の掘進精度が管理目標値を満足していれば、追従する角形エレメントの位置も管理目標値内に収まることが確認された。なお、今回、新たに油圧式修正ジャッキを追加したことにより、事前確

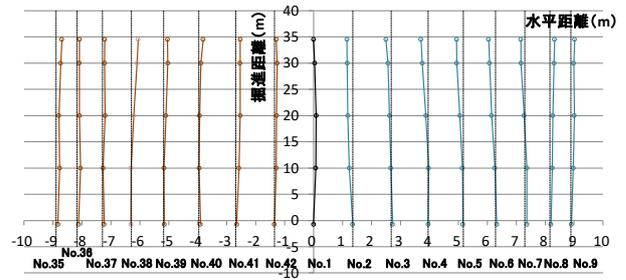


図-17 角形エレメント水平方向変位図

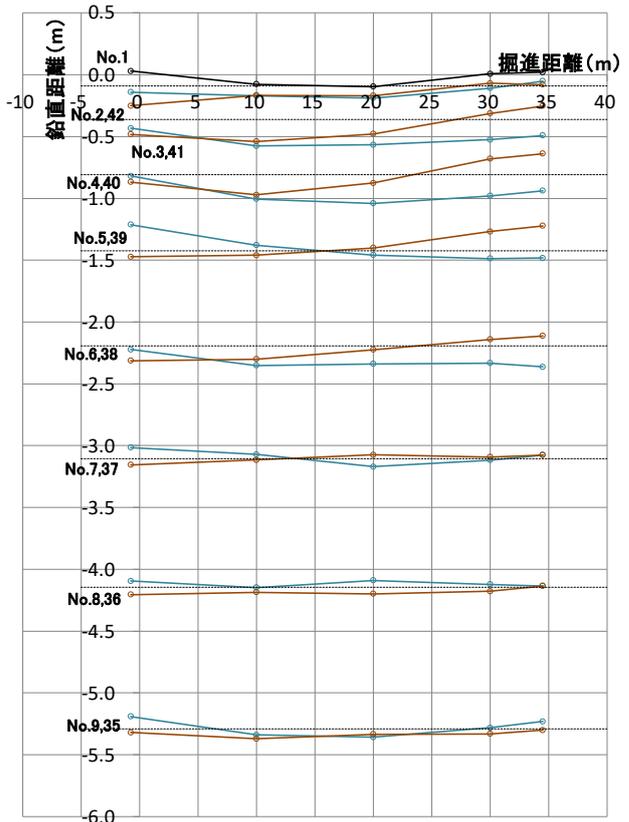


図-18 角形エレメント鉛直方向変位図

認試験と同様に、管理目標値内のローリング角度で制御・管理が実現できたと考えている。

また、基準管の隣接管については、図-17 に示すとおり、概ね先行して掘削したエレメントの方に偏移していることが確認された。水平方向の精度は、No.2～No.4 (断面右) は左側に、No.39～No.42 (断面左) は右側に動く傾向を示している。これらは、既設角形エレメント側の地山が掘削されて、緩んだ状態になっているために生じたと考えられる。

鉛直方向のエレメントの出来形は図-18 に示すとおり、中央部が大きく沈み込む傾向が見取れる。各推進個所の地層構成が異なることなどが原因として挙げられるが、掘進中の排土性状から原因として特定には至らなかった。なお、図-17,18 の変位は 10 倍に強調しており、点線は計画位置を表している。

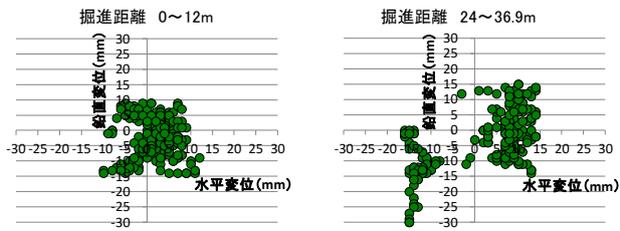


図-19 掘進距離 1m 毎の水平変位と鉛直変位

今後、下半の施工データなども分析して考察を加えたいと考えている。推進機の挙動は、図-19 に示すとおり、掘進到達距離別の結果を見ると、掘進距離が長くなるにつれて、掘進精度のばらつきが大きくなることがわかった。

継手の嵌合精度については、エレメント推進時のジャッキ推力が概ね計画値内であること、後述する継手部の拘束ボルトが問題なく嵌合できたこと、継手部のモルタル充填量としては設計値以上に充填されていることなどから、問題なかったと考えている。

b) 施工状況

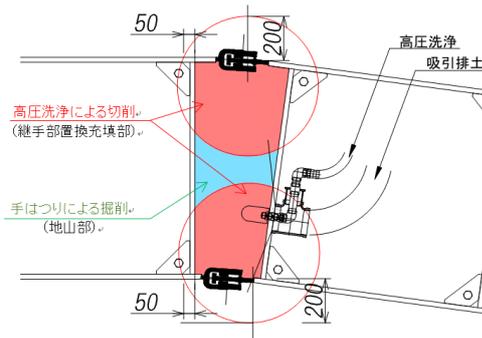


図-20 継手間掘削範囲概要図

角形エレメント推進完了後、角形エレメントの開口蓋を撤去し、図-20 に示す継手間の土砂の撤去を行った。

角形エレメント間の掘削は、高圧洗浄装置で継手部置換充填部の土砂を切削し、地山部は人力による手はつりで掘削した。撤去した土砂はバキュームで吸引し、坑内配管から地上へ搬送した。これら一連の作業は、支障なく施工できた。



写真-4 角形エレメント上半部掘進完了状況

また、継手内部からの土砂流入はなく、継手先端部の蓋及びシール材の有効性が確認できた。

さらに、拘束ボルトは全数挿入でき、締め付けまでの確認も行え、かつ設計数量以上のモルタル注入が確認できたことから、継手部の充填も確実に行えたものと考えている。角形エレメント上半部の掘進完了後の状況を写真-4 に示す。

6. まとめ

到達立坑が無くても所定の位置に推進させることが可能な角形エレメント推進工法は、上半の施工結果から所定の掘進精度が確保されており、計画位置に断面を構築することが可能であることがわかった。本工法は、自由に断面形状を設定できることから、大断面でも施工可能であり、掘削断面形状の自由度が高く、汎用性が高い。

また、到達前方地山の止水性と自立性が確保できれば、大断面地下空間の構築も可能である。今後は下半の施工において、これまでと同様に角形エレメントの掘進精度を確保し、計画通りの完成を目指すとともに、さらなる長大化に向けたデータを蓄積していく所存である。

参考文献

- 1) 江戸清・半田卓・斉藤道真：角形鋼管推進工法で大口径下水管を貫く、つくばエクスプレス六町駅、トンネルと地下, vol34, No11, pp.23-30, 2003.11

(2019. 8. 9 受付)

LARGE HORSSHOE-SHAPED TUNNEL IN STATION BUILT WITH RECTANGULAR ELEMENTJACKING

Hiroki FUJIKAWA, Kazuhide TATEISHI, Tomomi HORIGUCHI and Takashi
TANAKA

Shin Tsunashima Station (tentative name) is located at the 7k800m from starting point of the Sotetsu-Tokyu Through Railway Hazawa Yokohama Kokudai Station, and is a four story underground railway station that contains an island-type platform with a width of approximately 14-25m at depth of about 35 meters. Both ends of station are planned to be used as the starting and arrival shaft for the shield TBMs. Of the 240m total length of the station, a trenchless tunneling was selected for the 34.5m section along the Hiyoshi side. Also, the trenchless section requires a large cross section that carries a 224m² inner space (H=14m, B=19m) in order to install the platform. The geological condition of the site consists of hard Kazusa Formation with an N value over 50, but it has alternating strata with sand and mudstone, and distribution of sand which contains abundant groundwater is unclear. Based on the fact that the aboveground site is built-up with robust buildings such as hospitals and commercial buildings, restrictions on the use of the aboveground site and the geological conditions, rectangular element jacking method as the trenchless technique that doesn't require the installation of an arrival shaft was adopted. In this document, we report on the examination process, construction plans and construction results of the trenchless tunneling.