

# 角形エレメント推進工法による 大断面馬蹄形トンネルの施工

小泉 大哉<sup>1</sup>・立石 和秀<sup>2</sup>・下津 達也<sup>3</sup>・田中 孝<sup>4</sup>

<sup>1</sup> (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 東京支社 新横浜鉄道建設所  
(〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-15-16 NMF 新横浜ビル 4F)  
E-mail: koizumi.dai-b8wm@jrtr.go.jp

<sup>2</sup> 正会員 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 東京支社 工事部  
(〒105-0011 東京都港区芝公園 2-4-1)  
E-mail: tateishi.kaz-u7gk@jrtr.go.jp

<sup>3</sup> (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 東京支社 新横浜鉄道建設所  
(〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-15-16 NMF 新横浜ビル 4F)  
E-mail: shimotsu.tat-wb57@jrtr.go.jp

<sup>4</sup> 正会員 戸田建設(株) 技術研究所 社会基盤構築部  
(〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-9-1 RBM 新八重洲ビル 6F)  
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 層を基本とした構造の地下駅である。駅全長 240m のうち日吉駅側 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 224m<sup>2</sup> (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、全体は N 値 50 以上の強固な上総層群であるが、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工法を採用した 1), 2), 3)。本稿では、採用した上記工法の改良および施工実績等について報告する。

**Key Words:** horseshoe-shaped, trenchless tunneling, digging accuracy

## 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 のうち日吉駅側 34.5m は非開削工法を選定しており、本稿では、当該区間に採用した角形エレメント推進工法の改良、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 層を基本とした構造の地下駅である。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している。

また、非開削区間はホームを設置するため内空 224m<sup>2</sup> (H=14m, B=19m) 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、地



図-1 路線図

表-1 神奈川東部方面線の概要

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)
事業内容	鉄道の種類	普通鉄道
	延長	約10.0km
	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
	駅的位置	羽沢横浜国大駅(横浜市神奈川区)
		新綱島駅(仮称, 横浜市港北区)

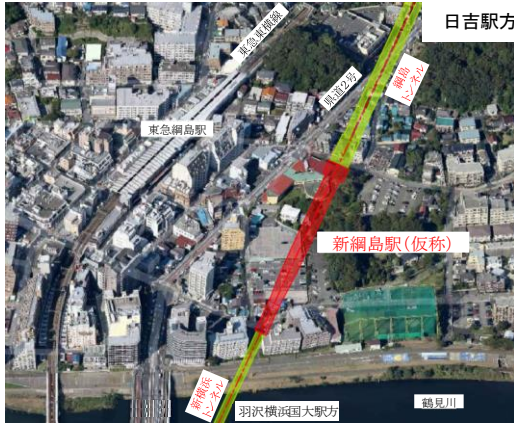


写真-1 新綱島駅(仮称)付近航空写真

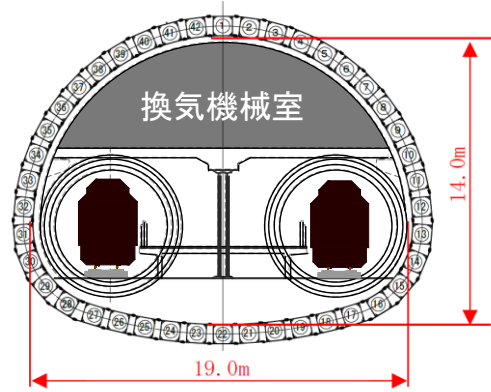


図-3 非開削部断面図

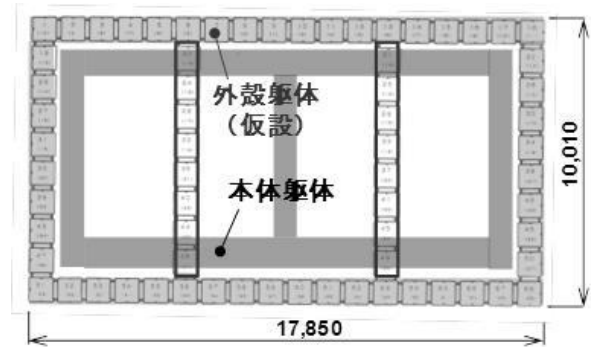


図-4 つくばエクスプレス線六町駅構築断面図

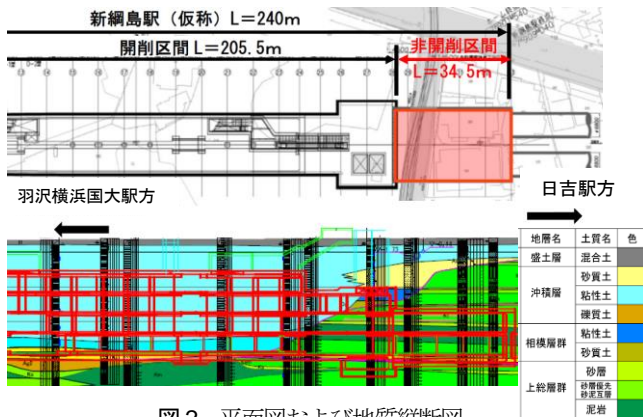


図-2 平面図および地質縦断面図

砂層分布は不明確で豊富な地下水を有している(図-2)

### (3) 非開削部の構造

トンネル断面形状は、従来の施工実績で用いられている長方形断面よりも構造的に有利な馬蹄形断面を採用した。非開削区間は内空幅 19.0m、高さ 14.0m、断面積 224m<sup>2</sup>、延長 34.5m の大規模地下空間となる(図-3)。

### 3. 角形エレメント推進工法の改良を必要とした課題

長方形断面の施工実績の一例を(図-4)に示す。つくばエクスプレス六町駅工事における非開削区間の横断面図を示したものであり、当該区間の施工延長は約 15m、掘削対象地盤の N 値は 1～10 程度であった。今回の非開削区間は、従来の施工実績と比較して固い地盤内での施工であること、砂岩層は豊富な地下水を有していること、大断面で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、角形エレメント推進工法の改良を検討した。工法の改良においては、①到達立坑が無い場合、推進機を発進側から回収する方法、②角形鋼管を閉合させるための新たな継手構造の採用、③長距離(35m)推進のため、ローリング対策も含めた高い推進精度の確保、④被圧地下水等の施工中の継手間と発進立坑内への流入の防止が課題であった<sup>2)3)</sup>。

上部の利用に制限があること(写真-1)、また、トンネル上部の強固な地層が薄く、豊富な地下水を有する地質状況を踏まえ、1,000mm×1,000mmの小断面のトンネル外殻部を先行構築し、トンネル掘削時の周辺地盤への影響を最小限とする、到達立坑の設置が不要な角形エレメント推進工法を採用した。なお、NATMやシールド切掘り工法は、周辺地盤の緩みによる地表面沈下や地下水位の低下等、周辺への影響が懸念されたため不採用とした。

### (2) 地質概要

当該箇所地層は、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、

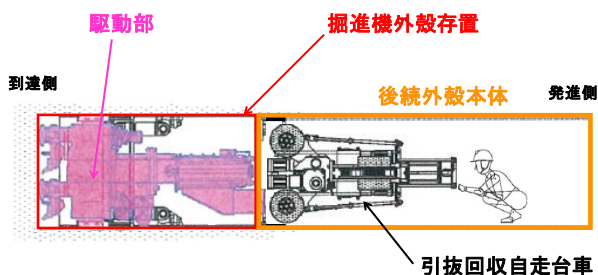


図-5 角形エレメント駆動部引抜概要図

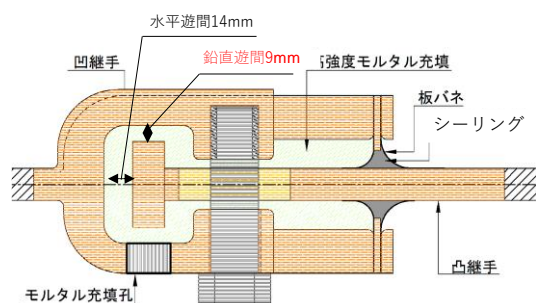


図-6 角形エレメント間継手標準図

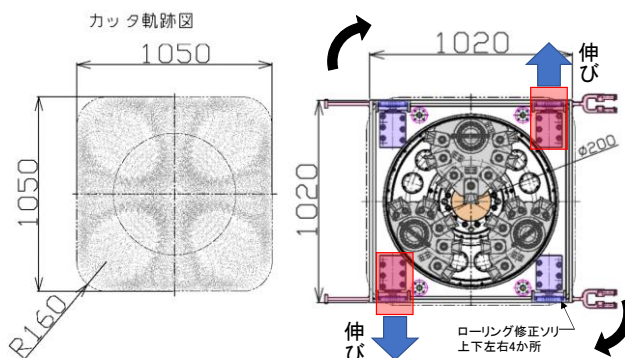


図-7 角形エレメント推進機断面図

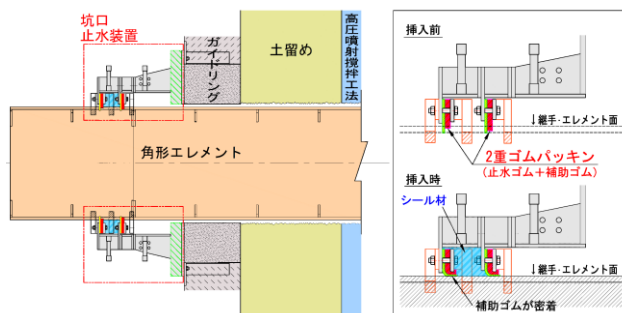


図-8 角形エレメント坑口止水装置概要図

#### 4. 角形エレメント推進工法の改良

##### (1) 推進機の発進側からの回収

到達側は薬液注入により止水性を確保し、推進機外殻は地中に残し推進駆動部のみ回収する機構を採用した。推進機の回収は図-5に示す引き抜き回収台車を開発し駆動部を繰り返し利用することで、合理的・経済的な対応を可能とした。推進機の回収にあたっては確実な止水を行うため、切羽前方の地盤の安定と地下水流入の防止を目的に、推進駆動部を回収した後に推進機到達部をセメントベントナイトで埋め戻すことにした。

##### (2) 新たな継手構造の採用

任意の形状で閉合させるために適度な遊間を確保し、施工中は板バネとシーリングで確実な止水保持が可能な継手を新たに開発した(図-6)。また、従来水平4mm鉛直4mmであった継手内部の遊間を、水平28mm鉛直9mmへと拡大することで推進時の施工誤差の吸収性が向上すると共に、継手内の洗浄およびモルタルの充填性が高まり本体利用における品質向上が図れる。継手形状が大型になったため、継手部を先行推進し良質な低強度のセメントベントナイトで置き換えることで推進時抵抗を低減させることにした。

##### (3) 推進精度確保に新たな制御機構の採用

角形エレメントは本体利用され、推進位置が本体構造位置となるため、厳しい推進精度が求められる。角形エ

レメント端部に設置された継手の位置は、ローリングにより変化することから、ローリングの制御は重要となる。そのため、推進機には中折れジャッキを設置するとともに、推進機の上下に新たにローリングを修正するためのソリを出し入れするジャッキを設置した(図-7)。

##### (4) 施工時の漏水対策

発進坑口からの漏水対策として2種類のゴムを張り合わせた2重のエントランスパッキンを配置した新たな坑口止水装置を開発する<sup>4)</sup>とともに、エレメント余掘り部には、推進後二液性固結型滑剤を注入した。2重のエントランスパッキンの間には、高粘度のシール材によって止水した(図-8)。初採用となる工法であることから大型の実験装置で施工前試験を実施して止水性能を確認したが、施工時においてゴムパッキンが継手の複雑な形状に馴染まず、かつ、推進時にエレメントが動揺することからエントランスパッキンの止水効果が低下して漏水が発生した。推進時に生じる動揺への追従性を高める必要があったことから、施工段階に応じてゴムパッキンの形状変更などの改良を加え、追加試験で改良効果を確認して適用することにした。継手部先行置換工では推進機推進後に引き戻すため、推進管接合部は推進時と引き抜き時の荷重に対応可能なフランジ構造とした。

また、坑口止水装置はフランジ過時および推進管押し込みと引き込みの両方向に対して止水性を確保する必要があることから、引き込み時に反転し難く、止水性能が高いリップシール形式のゴムパッキンを2段配置するこ

とにした。ゴムパッキンの間隔はフランジ接合部の凹み区間(300mm)より大きくすることで、フランジ接合部が片方のゴムパッキンを通る際には、もう片方のゴムパッキンで止水が図れる構造にした(図-9)。2段配置したリップシール間には、給水口を設け水圧の変動を制御すると共に緊急時にシール材を充填できるようにした。

## 5. 非開削部の施工計画

### (1) 非開削部の施工手順

非開削区間の施工手順を図-10に示す。継手部先行置換工の施工後、定規の役割となる基準エレメントを推進工法にて設置し、後続して設置するその他のエレメントの凸継手を既設エレメントの凹継手に嵌合させながら順次推進し接続する。基準エレメント内部のコンクリート充

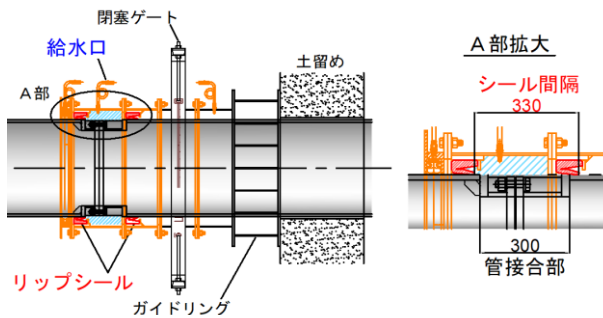


図-9 継手部推進坑口止水装置概要図  
非開削部断面

填、隣接するエレメント間の掘削、嵌合した継手内の洗浄、モルタル充填、エレメント間およびエレメント内へのコンクリート充填を繰り返し行いながら全ての角形エレメントを施工して閉合させ、大断面馬蹄形の内部掘削を行った後、ホーム等を構築する。

### (2) 継手部先行置換工

エレメント間の継手は図-11に示すように矩形推進機の掘削範囲から突出しており、N値50以上の上総層を推進する際、継手部が地盤から受ける抵抗を小さくすることで推進精度を確保する必要がある。このため、角形エレメントの施工に先立ち、継手が通過する範囲を小口径推進工法(φ600mm)によりセメントベントナイト(低強度充填材)に置き換えた。セメントベントナイトの固化強度、流動性、材料不分離性、非圧縮性等の性能を確認する試験を実施し、強度は一軸圧縮強度(28日)0.08N/mm<sup>2</sup>以下とし、表-2に示す配合を決定した。

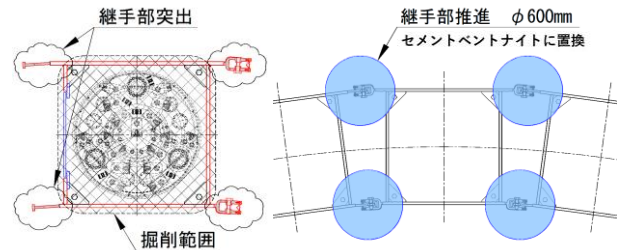


図-11 継手部先行置換工概要図

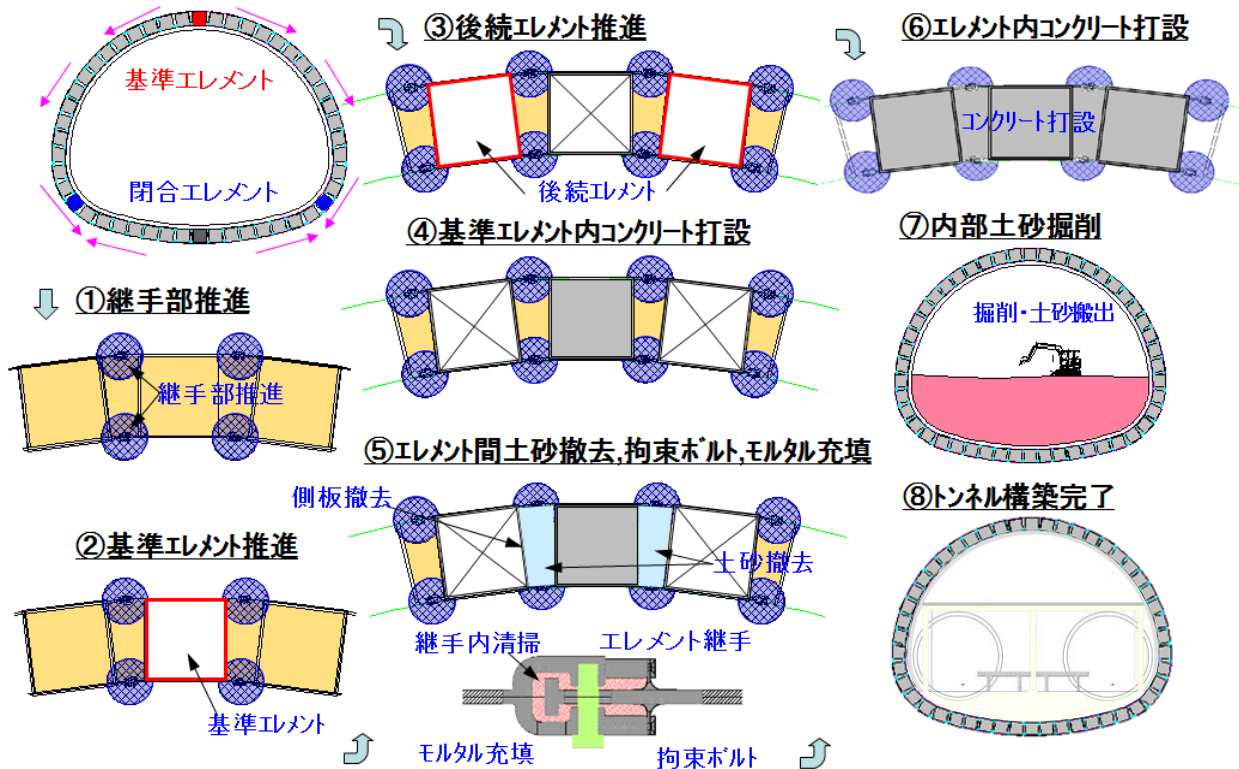


図-10 非開削部施工ステップ図

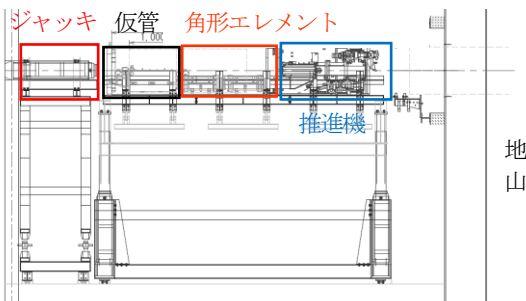
### (3) 角形エレメント推進工

発進立坑内の元押しジャッキを伸長させて推進機を地山に貫入させ(図-12), 後続のエレメントを順次接続していく手順で施工した. 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, 高い推進精度が求められる. そこで, 推進機については, 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高精度で制御・管理できるように, 新たに

表-2 セメントベントナイト配合表 (1m<sup>3</sup>当り)

A液 (クレーサンド溶液)			B液 (特殊水ガラス)
タックメント (硬化剤)	TAC- $\alpha$ (助材)	水	TAC-3G号 (塑強調整材)
120.2kg	60.1kg	929.9L	9L

#### 1. 角形エレメント推進前



#### 2. 角形エレメント推進後

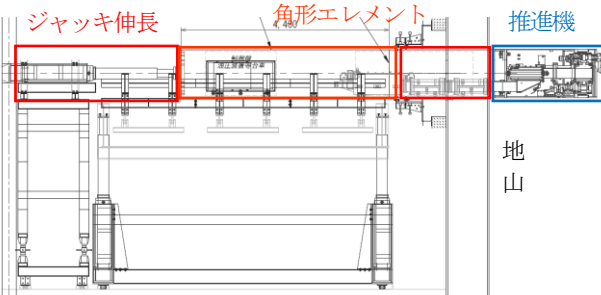


図-12 角形エレメント推進概要図

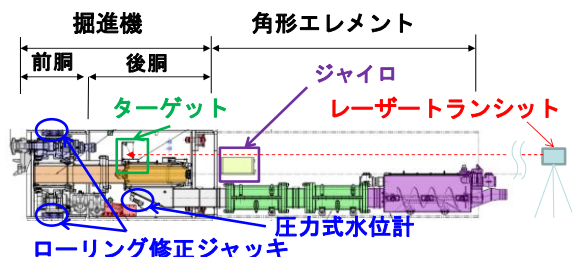


図-13 角形エレメント推進精度管理概要図

ローリング修正ジャッキを推進機の前胴部に追加するとともに, 推進機に圧力式水位計 (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, 推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エレメントとその他のエレメントの管理目標値を表-3に示す. 角形エレメント推進工で用いる推進機は, 推進駆動部と共に回収し再利用を可能とした. 坑口止水装置は事前の止水試験に基づき構造を設定し, 2重のエントランスパッキンにて推進時にエレメントが動揺しても想定される最大水圧 0.35MPa に対して, 安全率 1.2 を考慮した 0.45MPa に対して漏水を抑制することにした.

### (4) 内部掘削工

エレメント内にコンクリートを充填して外殻部が構築されたトンネルの内部掘削は, 非開削区間先端に逆巻きで妻壁を構築することと解放空間の急激な拡大による地盤の緩みを考慮し, 断面を3分割して順次安全を確保しながら施工する計画とした(図-14). 駅開削区間端部の土留めを撤去後, バックホウにて非開削部断面頂部から掘削を開始し, トンネル天端の基準エレメント下面にターゲットを取り付けて, トータルステーションで変位計測を実施すると共に, 地上部では非開削部を横断する市道に沈下計測用のポイントを設けて, 掘削に伴う周辺地盤への影響を把握しつつ掘削を進めることにした.

### (5) 非開削部事前変状解析による推定

非開削部は継手部先行置換工の後にトンネル頂部から

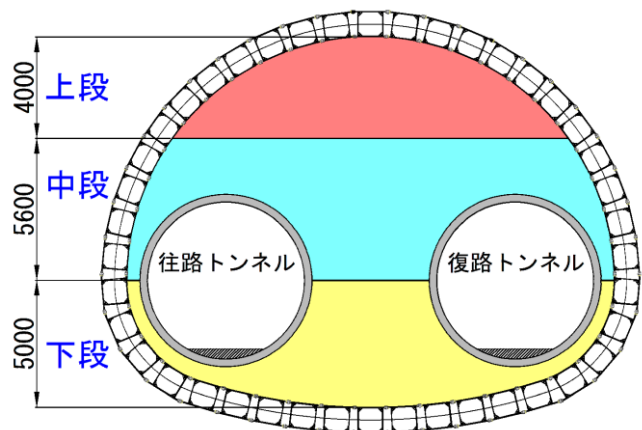


図-14 非開削トンネル内部掘削概要図

表-3 角形エレメント管理目標値

方向	基準エレメント	その他エレメント	設定根拠	備考
水平	±10mm	±25mm	※1	従来の施工実績に基づき, 推進精度確保のため, 方向ごとの目標値を決定 ※1: 基準エレメントは, 非開削断面の定規の役割となるため, 目標値を±10mm程度とより厳しい目標値を設定。 その他エレメントは, 嵌合できる遊間を考慮し, ±25mmと設定。 ※2: 回転角度が±0.8°を上回ると, 上記目標値である±10mmを超過してしまい, ±0.8°と設定。
鉛直	±10mm	±25mm	※1	
回転	±0.8°	±0.8°	※2	

順次継手を連結しながら角形エレメントを推進して閉合し、内部掘削を行うことから、各施工段階での周辺地盤への影響が積み重なり地盤変状として現れる。非開削部上部の市道にはガス管等のインフラ施設も敷設されているため、2次元有限要素法によるステップ解析を実施して、施工に伴う地盤変状を事前に把握することにした。

トンネル外殻部で施工する42本の角形エレメント推進と同時施工となる単線トンネルの施工、および内部掘削を対象にステップ解析で再現してトンネル外殻部の変状とガス管の沈下量を求めた。解析モデルを図-15、解析結果を表-4に示す。内部掘削後の非開削部トンネル天端の鉛直変位は10.8mm、(内部掘削による変位5.8mm)、ガス管の最大沈下量は6.0mm(内部掘削による沈下量2.6mm)であり、埋設管理者との協議により定められた管理値以内に収まる解析結果となった。

## 6. 施工実績

角形エレメント推進工の発進基地となる立坑は、日吉駅方に向かって施工するシールドトンネル工事と競合しているため、施工空間に制約があった。施工空間確保のために、図-16に示すように角形エレメント全42本について、上部17本(以下、「上半」という)と下部25本(以下、「下半」という)の2段階に分けて施工した。

### (1) 継手部先行置換工

上半施工では継手部の推進中に傾斜した砂層と泥岩の

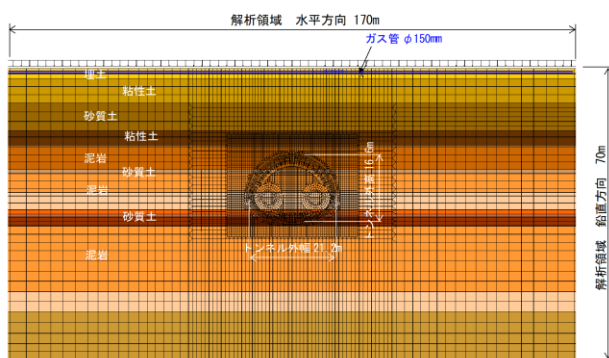


図-15 2次元 FEM 解析モデル図

表-4 FEM 解析結果表 (沈下量・鉛直変位)

STEP 番号	解析STEP内容	沈下量・鉛直変位 (mm)	
		ガス管	基準管
26	上半角形エレメント施工完了時	0.98	1.54
28	山側シールドトンネル通過時	1.70	2.67
32	下半角形エレメント施工完了時	3.23	4.86
34	海側シールドトンネル到達時	3.48	5.00
35	内部掘削完了時	6.03	10.80

互層区間では傾斜した層境で推進機が下方へ下がる傾向が生じたため、推進速度を低下させて慎重に施工した(図-17)。

上記の対策を講じて管理目標値(水平鉛直±50mm)内で推進ができない場合は、引抜きと再推進を実施するとともに、次の先行置換工の施工前に推進機のオーバーカット量を減らして余掘り量を狭める(11mm→7mm)など、最終的には推進精度を全て管理目標値内に収めることができた(図-18)。

下半の継手部先行置換工においては、角形エレメント推進時の止水や地山の崩落を防ぐために改良したトンネル断面周縁部(以下、「改良体」とする)において、セメントベントナイト置換用の推進管が上部へ反り管理目標値を超過した箇所があり、一部引抜き・再推進を行った。当該箇所は砂層部が硬質であり、改良体の区間を推進する際、改良体はカッター強度が変化する部分で、その破碎した改良体の一部が塊の状態为推进機の下に潜り込み、推進機が乗り上げたことが原因と考えられる。対策として、改良体付近で速度を低下させて改良体を細かく破碎するような推進をすることにより、最終的には推進精度を全て管理目標値内に収めることができた。

### (2) 角形エレメント推進工

#### a) 上半施工実績

推進機および角形エレメントに発生した変位を図-19と図-20に示す。

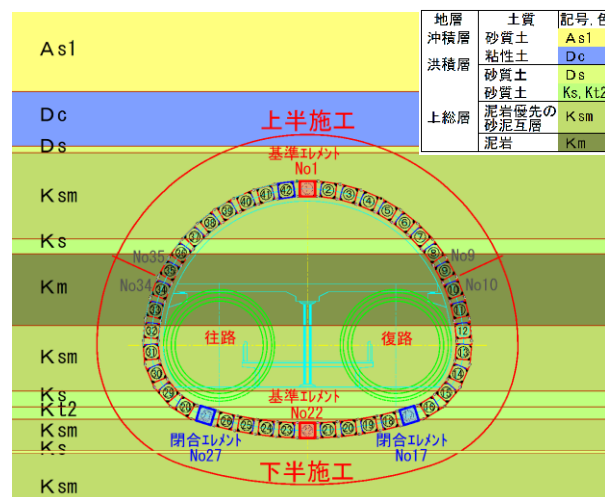


図-16 角形エレメント推進工施工分割図

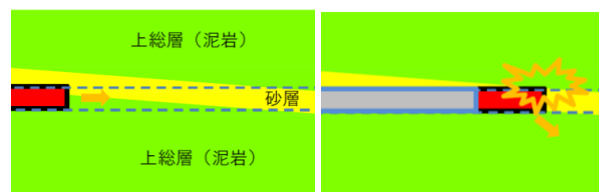


図-17 推進速度低下概念図

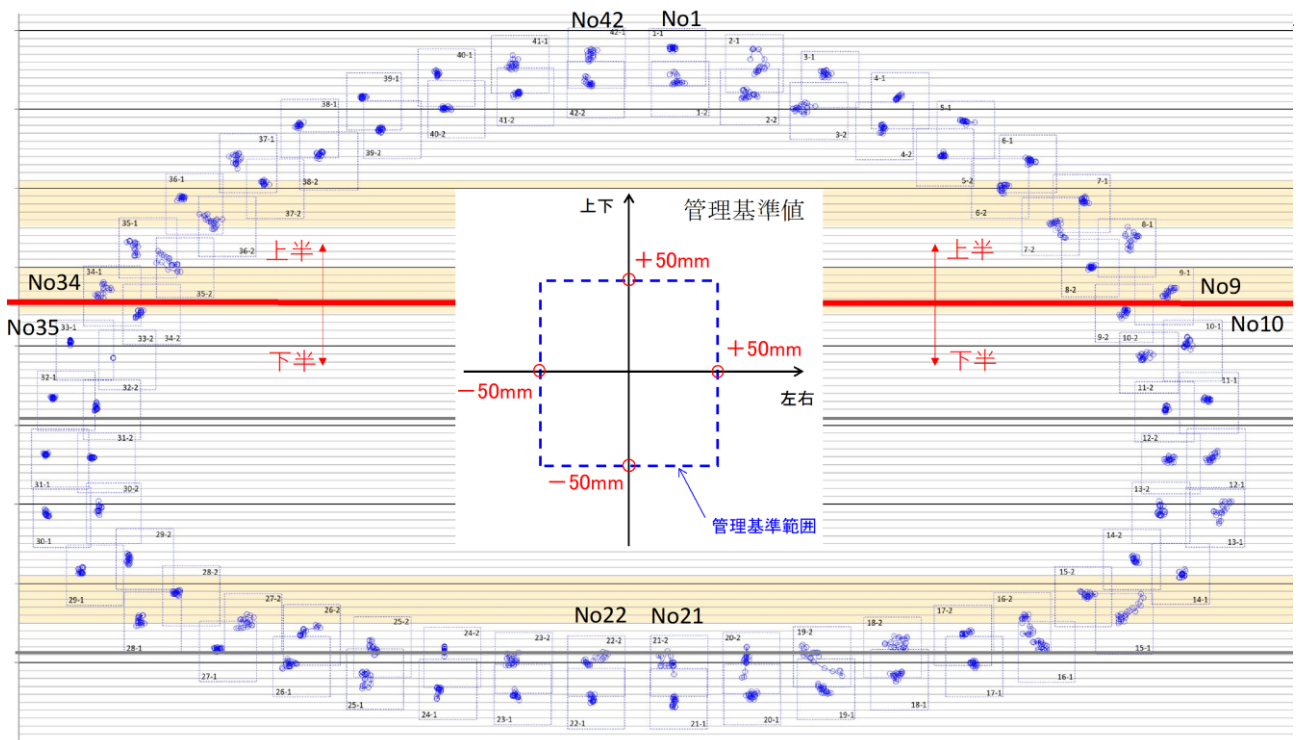


図-18 継手部先行置換工施工管理図

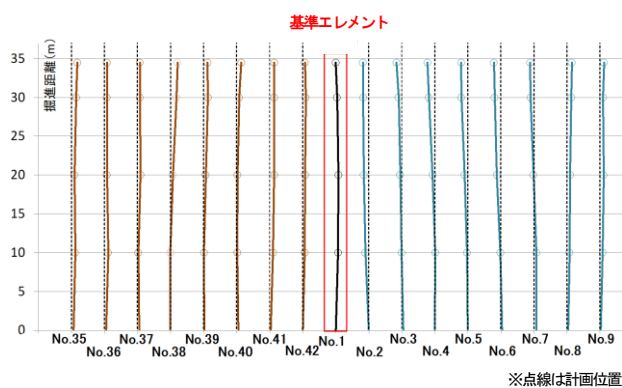


図-19 角形エレメント推進工水平方向変位図 (上半)

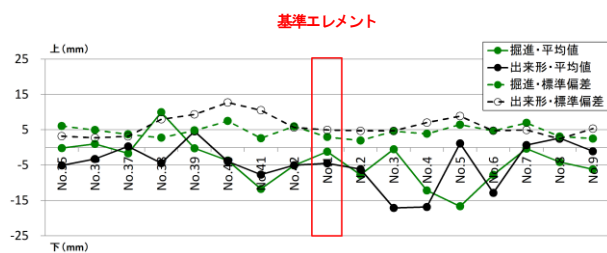


図-20 角形エレメント推進工鉛直方向平均変位図 (上半)

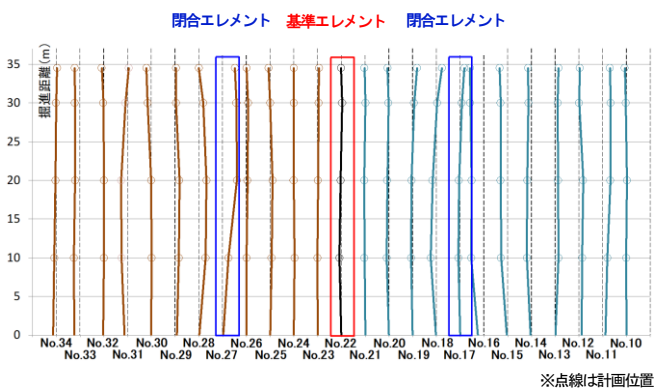


図-21 角形エレメント推進工水平方向変位図 (下半)

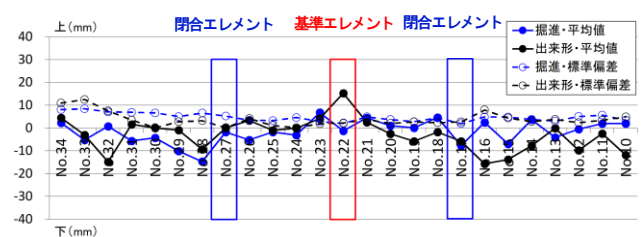


図-22 角形エレメント推進工鉛直方向平均変位図 (下半)

なお、図-20の鉛直変位は推進距離1mおきに計測し平均した値であり、凡例の「掘進」は、推進直後のマシンの位置を測定したものであり、「出来形」は、設置後のエレメントの位置を測定したものである。

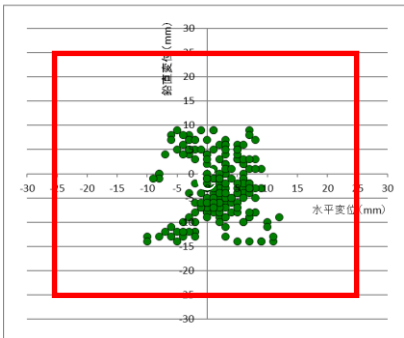
角形エレメントの水平方向の変位は全て管理目標値±25mm内に収まった。エレメントに発生した変位の傾向としては、先行して設置したエレメント側に変位していることが確認された。これは先行して設置したエレメン

ト側の地山に推進により緩みが生じたためと推測される。

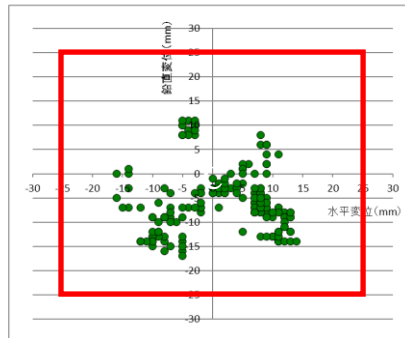
平均鉛直変位については概ね±15mmであり、標準偏差は10mm程度であった。基本的に、推進機の推進精度とエレメントの出来形精度は同じ傾向を示しているため、推進機の推進精度が管理目標値を満足していれば、追従する角形エレメントの位置も管理目標値内に収まることが確認された。

推進距離1mごとに発生した推進機の変位を推進距離

推進距離 0~12m



推進距離 13~24m



推進距離 25~36.9m

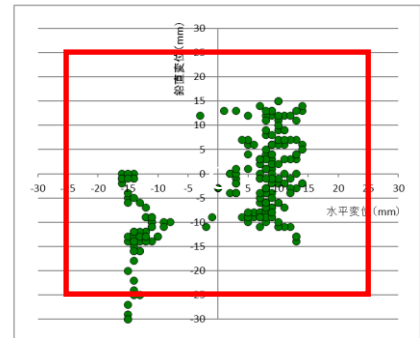
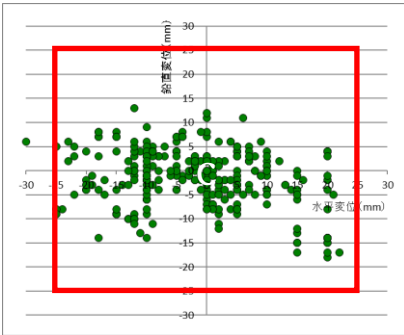
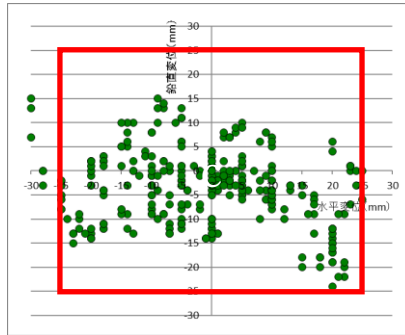


図-23 推進距離 1 m ごとの水平鉛直変位図 (上半)

推進距離 0~12m



推進距離 13~24m



推進距離 25~36.9m

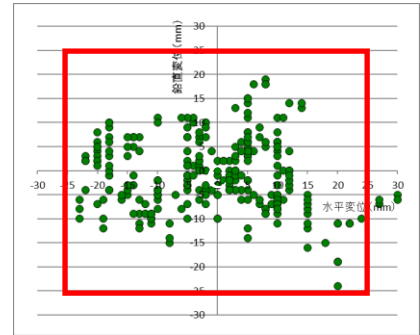


図-24 推進距離 1 m ごとの水平鉛直変位図 (下半)

別に 3 つの範囲に分類して整理した結果を図-23 に示す。この図より、推進距離が長くなるにつれて推進精度にばらつきが大きくなる傾向がみられた。

推進時の坑口部に作用する被圧地下水に対しては、2 段のゴムパッキンとその間に充填した高粘度のシール材により止水を図ることにしたが、漏水が生じ、その漏水が原因と考えられる地表面沈下が発生した。下半施工では、上半施工時より施工深度が大きく、高い水圧が作用するため、2 種類のゴムパッキンを貼り合わせた 2 重のエントランスパッキンとすることで止水性能を高め、被圧地下水の流入を防止することにした。

#### b) 下半施工実績

角形エレメントに発生した水平変位を図-21 に、掘進機とエレメントの平均鉛直変位を図-22 に示す。

角形エレメントの水平方向の変位は閉合部を除き管理目標値 $\pm 25\text{mm}$ 内に収まった。閉合部においては、左右の各エレメントの変位を吸収して継手を嵌合する必要があった。対策としては、凹継手の内空を大きくし、かつ、凸継手の先端形状と長さを変更して、継手を確実に嵌合させることとした(図-25)。結果として、閉合部の推進は円滑に行えたが、推進時の継手による拘束が解放され自由度が大きくなったことから閉合時の変位が大きくなり、管理目標値をやや上回った。エレメントの姿勢が水平に近い No.16~No.28 については、先行して設置する基準エレメント方向に変位する傾向が確認されたが、継手位置が鉛直方向から水平方向になる No.10~No.15 と

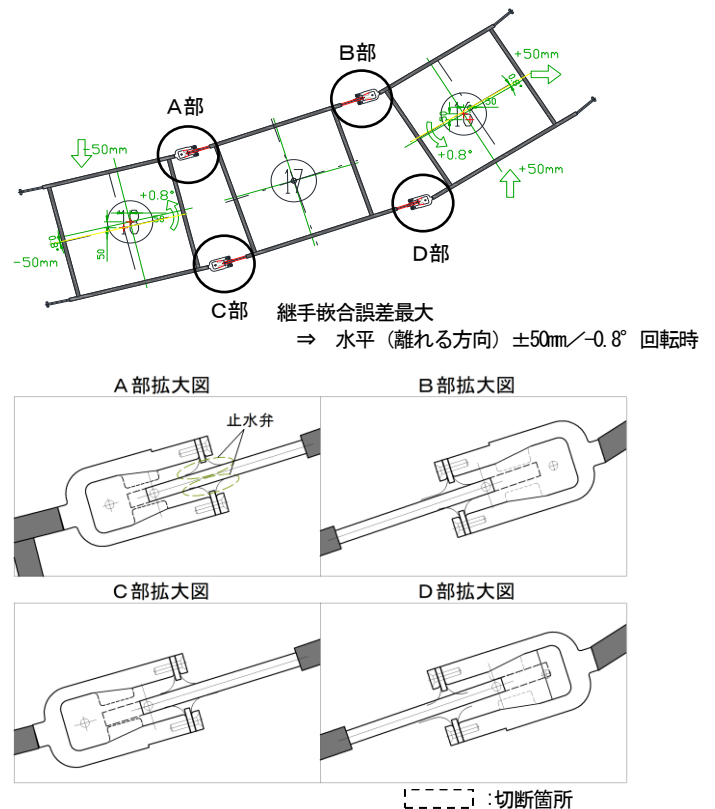


図-25 閉合管凸継手切断および凹継手形状変更箇所

No.29~No.34 については、変位方向に明確な傾向は確認されなかった。

平均鉛直変位・標準偏差は概ね管理目標値内に収まった。推進精度とエレメントの出来形精度は上半と同様に

同じ傾向であり、推進機の精度管理が重要と言える。

推進距離 1 m ごとに発生した推進機の変位を推進距離別に 3 つの範囲に分類して整理した結果 (図-24) では、推進距離が長くなるにつれて変位のばらつきが大きくなるような傾向は見られなかった。これは下半の地質が泥岩と砂層の互層であり、層境が推進時の姿勢制御に影響を及ぼしたと推測され、推進距離に関係なく変位が生じたものと考えている。

坑口止水装置の組み換えやシール材の流出が一部見られたこと、さらに坑口部に設置した鋼製のガイドリングの変形により、20L/min 程度の漏水が発生したが、坑口部の止水については、ゴムパッキンの改良によりエレメントおよび継手周囲からの漏水をほぼ止めることができた。

### c) 回転角度に関する考察

角形エレメント推進における回転角度の実績を図-26 に示す。上半の角形エレメント出来形の回転角度の平均値は $-0.4^{\circ} \sim +0.6^{\circ}$  程度、下半の回転角度の平均値は $-0.6^{\circ} \sim +0.7^{\circ}$  程度であり (正の方向: 時計回り, 負の方向: 反時計回り), 推進精度管理値内 ( $\pm 0.8^{\circ}$ ) に収まった。これは推進機の前胴に油圧式ローリング修正ジャッキを新たに追加したことにより、推進中のローリングを即時に修正が可能であったため、ローリング角度を管理目標値内で制御、管理できたと言える。

角形エレメント上半部および下半部の推進完了後の状況を写真-2 と写真-3 に示す。

### (3) 内部掘削工

角形エレメントの推進と共に継手内へのモルタル充填およびエレメント内へのコンクリート充填の後、内部掘削

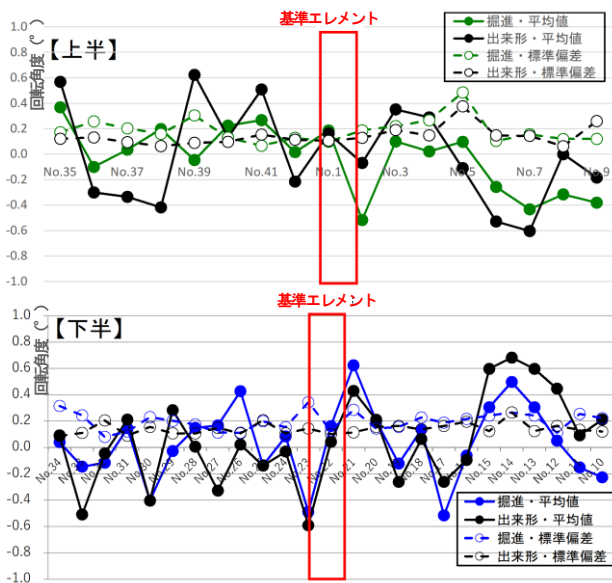


図-26 掘進機と角形エレメントの平均回転角と標準偏差

を天端から開始した。上段施工時に基準エレメントである No.1 エレメント内面側に変位計測用のターゲットを取り付け、レーザートランシットによりエレメント変位を計測すると共に、地上部に設けた計測点の沈下量を確認しつつ掘削を進めた。

トンネル天端部 (No.1 エレメント) の鉛直変位は計測開始から上段掘削完了までで 4mm, 中段掘削完了時に 7mm, 下段掘削完了前で 8mm であった。これは事前に実施した FEM 解析の内部掘削による変位 5.8mm と近似する結果となった。

なお、地表面沈下は内部掘削開始から最大で 13mm であり、内部掘削完了後には変動はなく収束している。トンネル天端の変位より大きい値となっているのは、地下水位の変動などが影響していると考えられる。

また、内部掘削時、妻壁部コンクリートの水平打継面および外殻壁面との境界面に止水注入を要したものの、掘削時に角形エレメントの弾性変形等に起因する漏水は抑制できた。

内空幅 19m, 高さ 14m の大断面トンネルの構築において地表面沈下を 10mm 程度に抑制できたことは、大断面トンネル構築において周辺地盤への影響を最小限に抑制できる外殻先行構築型の角形エレメント推進工を採用したことは適正であったと言える。



写真-2 角形エレメント上半部推進完了状況

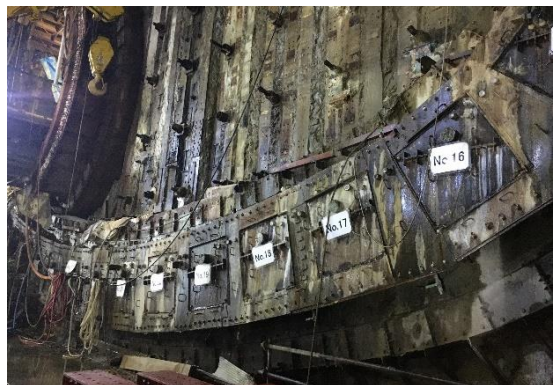


写真-3 角形エレメント下半部推進完了状況

## 7. まとめ

今回、非開削工法として角形エレメント推進工法を採用し、42本のエレメントを連結することで馬蹄形状の大断面トンネルを構築した。それぞれのエレメントは設置位置により角度が異なり、推進延長は既往の施工実績の2倍以上で到達立坑が無く、泥岩と砂層の互層地盤という条件下において、所定の位置に継手を嵌合させながら精度良く推進させることが求められた。また、最大0.45MPaの被圧地下水が作用する状況で施工中の地下水の流入を防止する必要がある。推進機やエレメントに改良を加えると共に、継手部の地盤推進時の抵抗が小さい材料への先行置換、閉合エレメントの継手長や継手形状の変更により、目標管理値内の推進精度を確保し、閉合することができた。新たな坑口止水装置を開発して適用することで被圧地下水の流入の低減を図り、内部掘削

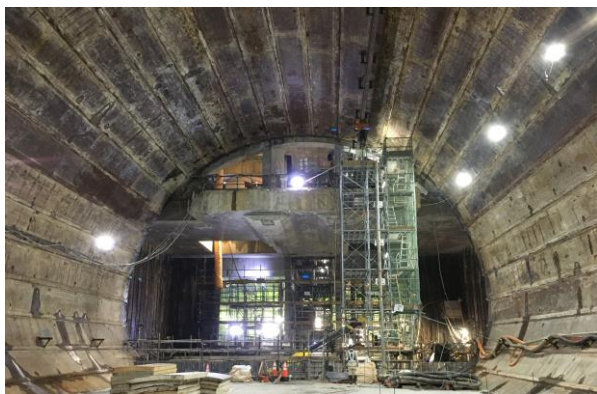


写真-4 非開削トンネル内部掘削完了状況

に伴う周辺地盤の変状も抑制でき、非開削トンネルを構築することができた(写真-4)。

角形エレメント推進工法は、トンネルの断面形状の自由度を高く設定することができ、かつ、所定の精度を確保して構築できることが示された。今後、地上部の制約がある都市部などにおいて、アンダーパスや地下空間等を構築する際に本工法が採用されることが期待される。

### 参考文献

- 1) 江戸清, 半田卓, 齊藤道真: 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, Vol.34, No.11, pp.23-30, 2003.
- 2) 藤川博樹, 長谷川利晴, 大野友和, 田中孝: 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, 相鉄・東急直通線 綱島トンネル, トンネルと地下, Vol.50, No.7, pp.47-55, 2019.
- 3) 小泉大哉, 立石和秀, 下津達也, 田中孝: 大断面馬蹄形トンネルにおける角形エレメント推進工法の精度管理, 相鉄・東急直通線 新綱島駅, トンネルと地下, Vol.53, No.4, pp.43-52, 2022.
- 4) 茶木勇太, 立石和秀, 大野友和, 田中宏典: 駅非開削部の大断面馬蹄形トンネルに採用した角形エレメント推進工法の坑口止水対策, トンネルと地下, Vol.52, No.12, pp.15-22, 2021.

(2022. 8. 26 受付)

## CONSTRUCTION OF LARGE-SECTION HORSESHOE-SHAPED TUNNEL BY THE RECTANGULAR ELEMENT PROPULSION METHOD

Daiya KOIZUMI, Kazuhide TATEISHI, Tatsuya SHIMOTSU and Takashi TANAKA

Shin-Tsunashima Station (tentative name) is situated 7k800m from the southern terminus of Hazawa yokohama-kokudai Station on the Sotetsu Tokyu Link Line, and is located on the fourth underground level. The platform is an island platform and approximately 35m deep and 14 to 25m wide. Both ends of the station are used as the starting shafts of the shield tunnel. Of the total station length of 240 m, the 34.5 m on the Hiyoshi (the northern terminus of the Sotetsu Tokyu Link Line) side was excavated by trenchless tunneling method. The section requires a large cross section with a 224m<sup>2</sup> (H=14 m, B=19 m) inner space to install the platform. The strata in this area consist of the Kazusasou group, which has a high N value of over 50, and is composed of alternating beds of sand and mudstone. The sand layers are alternately layered with sand and mudstone, and the distribution of the sand layers is uncertain and there is abundant groundwater. In this paper, we focus on the measures taken to solve the problems in constructing a large-scale underground space using the above-mentioned method, as well as the implementation of the method.