

営業線高架橋直下でのシールドトンネル工事 (東横線渋谷～代官山駅間)

津守 澄男¹・角田 貴昭²・山崎 仁³・諸橋 敏夫⁴

¹非会員 東京急行電鉄株式会社 鉄道事業本部工務部第一工事事務所長

²非会員 東京急行電鉄株式会社 鉄道事業本部工務部第一工事事務所課長補佐

³非会員 東京急行電鉄株式会社 鉄道事業本部工務部第一工事事務所主事
(〒150-0021東京都渋谷区恵比寿西2-20-3代官山CAビル)

hitoshi.yamazaki@tkk.tokyu.co.jp

⁴正会員 鹿島・西松・鉄建建設共同企業体 東急渋谷工事事務所工事課長

東京急行電鉄株式会社では、2012年度の東急東横線と東京メトロ副都心線との相互直通運転開始を目指し、渋谷から代官山駅までの約1.5kmの区間で地下化工事を進めている。本稿で述べるシールドトンネルは本地下化工事において渋谷駅端部からJR山手線・埼京線交差部手前までの約508mの区間に構築するものである。本シールド工事は営業線高架橋の直下を低土盛りのもと、2連矩形断面で掘進する特異な工事であるが、2010年1月に営業線の運行を支障させることなく掘進を完了したところである。本稿では本シールド掘進管理を中心に紹介したい。

Key Words : tokyu-toyoko line, railway construction, shield tunneling, aporo-cutter, underpinning

1. はじめに

東急東横線は渋谷～横浜間を結ぶ延長 24.2kmの路線で、2009年度は1日あたり約113万人のお客様にご利用いただいております。田園都市線と並ぶ東急線の基幹路線である。

東横線と他社線との相互乗り入れの歴史は古く、1964年に東京メトロ日比谷線との相互直通運転を開始し、2004年には横浜～桜木町間を廃止するとともに横浜高速鉄道みなとみらい線との相互直通運転を開始して、鉄道ネットワークの拡充を図ってきた。

また一方では東横線の混雑緩和を目的として1987年には特定都市鉄道整備事業計画の認定を受けて東横線複々線化工事に着手した。2000年に目黒線の運行システムを目黒～多摩川～武蔵小杉間の目黒線と多摩川～蒲田間の多摩川線の2系統とし、目黒線と東京メトロ南北線・都営地下鉄三田線との相互直通運転を開始し、2008年には目黒線を日吉まで延伸している。

東京急行電鉄では、東横線のさらなる混雑緩和と利便性向上を図るべく、運輸政策審議会答申第18号の整備路線の一つとして盛り込まれた東横線と東京メトロ副都心線との相互直通運転を行うため、2005年に東横線渋谷～横浜間改良工事の特定都市鉄道整備事業計画の認定を受けて、本稿で述べる東横線渋谷駅～代官山駅間地下化工事を進めている。

谷～横浜間改良工事の特定都市鉄道整備事業計画の認定を受けて、本稿で述べる東横線渋谷駅～代官山駅間地下化工事を進めている。

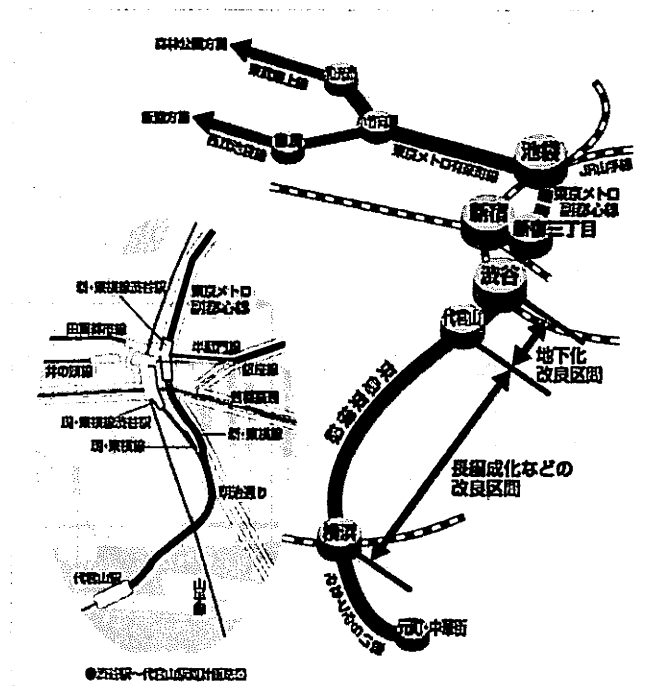


図-1 ネットワーク図

東横線が東京メトロ副都心線と相互直通運転を開始すると、東武東上線・西武池袋線から東京メトロ副都心線を経て、東横線および横浜高速鉄道みなとみらい線までがひとつの路線として結ばれることとなり、東横線は新たな首都圏の広域的な鉄道ネットワークの一翼を担うこととなる。

2. 東横線地下化工事概要

本工事は新設する渋谷駅から国道 246 号線、民有地、渋谷川および J R 線と交差し、現東横線の高架橋及び盛土直下を通過して代官山駅にて現在線と接続する工事総延長約 1.5 km の大規模改良工事である。なお、渋谷駅～代官山駅間の唯一の踏切である渋谷 1 号踏切道は、東横線が地下化されることにより除却される。

東京急行電鉄と東京メトロの共同使用駅となる渋谷駅は東急文化会館跡地前の明治通り下に位置し、2008 年 6

月から東京メトロ副都心線渋谷駅として供用を開始している。なお、駅の運営管理業務は東京急行電鉄が行っている。

渋谷駅建設工事はホーム中心を境に東京メトロと事業範囲を分けており、当社事業範囲は 311m でホーム中心から 89m の範囲はすでに供用を開始し、残りの 222m の範囲が建設中であり、2012 年度の東横線と東京メトロ副都心線との相互直通運転時に供用を開始する範囲である。

代官山駅までの駅間工事は、渋谷駅建設工事端部の発進立坑から J R 線交差部手前の到達立坑までのシールド工事区間約 508m、シールド到達部から J R 線交差部までの開削工事区間約 80m、東横線の軌道を仮受けする代官山駅までの開削工事約 600m に分けられる。地下躯体構築後に渋谷 1 号踏切道から代官山駅の範囲に地下切替設備を設置し、一晩で軌道を地下に切替える予定である。本稿では今年 1 月に掘進が完了したシールド工事の報告を中心に記述する。

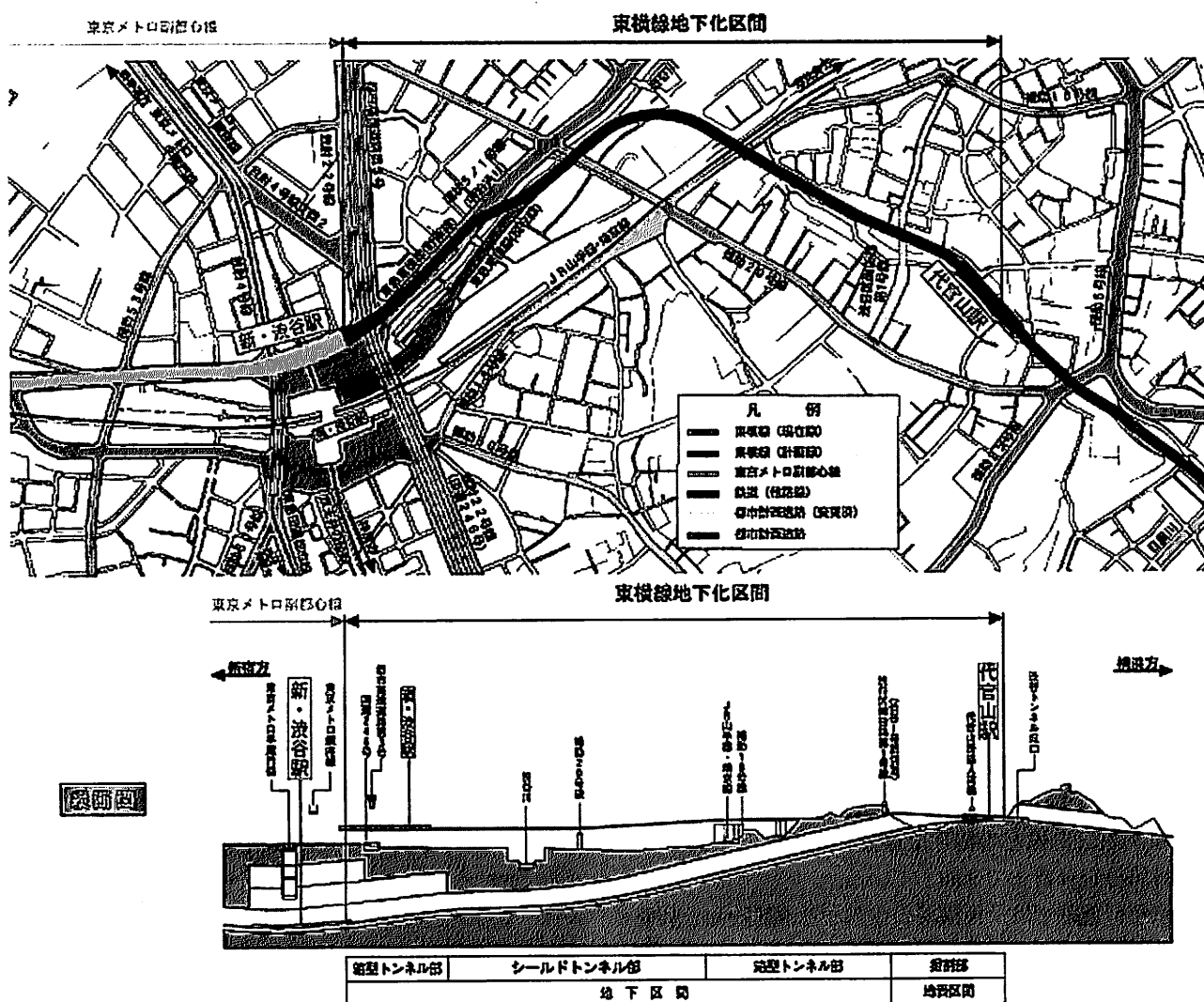


図2 東横線地下化工事概要図

3. シールド工事

本シールド工事は、泥土圧シールド工法による掘進延長約 508m、最大土被り約 15.4m、最小土被りが1 D以下の約 4.5m、最小曲線半径 160m、最急勾配 35‰、掘削断面積 72.1m²（2連矩形断面）の複線トンネルを構築するものである。

新渋谷駅南端の明治通りに位置する発進立坑から代官山に向かって約 350m(320 リング)までの区間には上総層粘性土、残りの区間には想定最大礫径 450 mmの東京層礫層、東京層砂層および粘性土が広がっている。

路線は現東横線の高架橋直下を掘進するため、営業線の運行を妨げることがないように、あらかじめ高架橋の防護工事または仮受工事を施工した上で、シールド掘進を行った。

(1) シールド機

本工事では、低土被り、急曲線、礫層の存在などの条件を考慮して、機長 8,950mm、高さ 7,440mm、幅 10,640mm のシールドに中折れ装置を装備し、掘削機構としてアポロカッター工法（APORO-CUTTER 工法（All [あらゆる] Potential [可能性を秘めた] Rotary [回転式] Cutter [カッター]）を採用した。その掘削機構は、公転ドラムと呼ばれる土台部分が低速で回転し、その上の揺動フレームと呼ばれるアーム部がスイングし、カッタヘッドが 4.7min⁻¹ で高速に自転しながら所要断面を掘削する方式である。

カッタヘッドの形状により、掘削断面の外周部がドーム形状となることで、土被り 1 D以下の施工でもアーチ効果により掘削断面の安定を図ることができる。

公転ドラムは低速で回転するためカッタヘッドの確実な位置制御が可能となり、本工事のような複雑な断面においても、コピーカッタを用いずに通常断面同様に確実な切削ができる。このため、最小曲線半径 160mの急曲線施工も余掘り量を確実に保持でき、無理なく施工できる構造となっている。また回転式のカッタヘッドで余掘り部を掘削するため、伸縮カッタにより掘削する伸縮スポーク方式に比べ、礫により伸縮カッタが縮まないなどの故障や動作不良の影響を受けにくいといった特徴がある。

本シールド機は矩形断面のため、特にローリング制御が重要であるが、そのためローリング修正用の可動ソリを2基装備している。

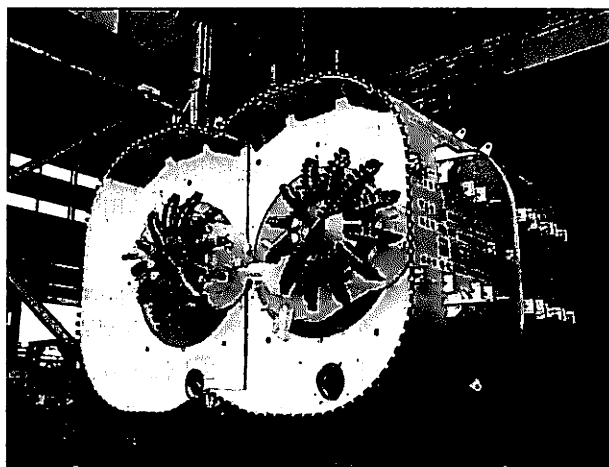


写真-1 シールド機

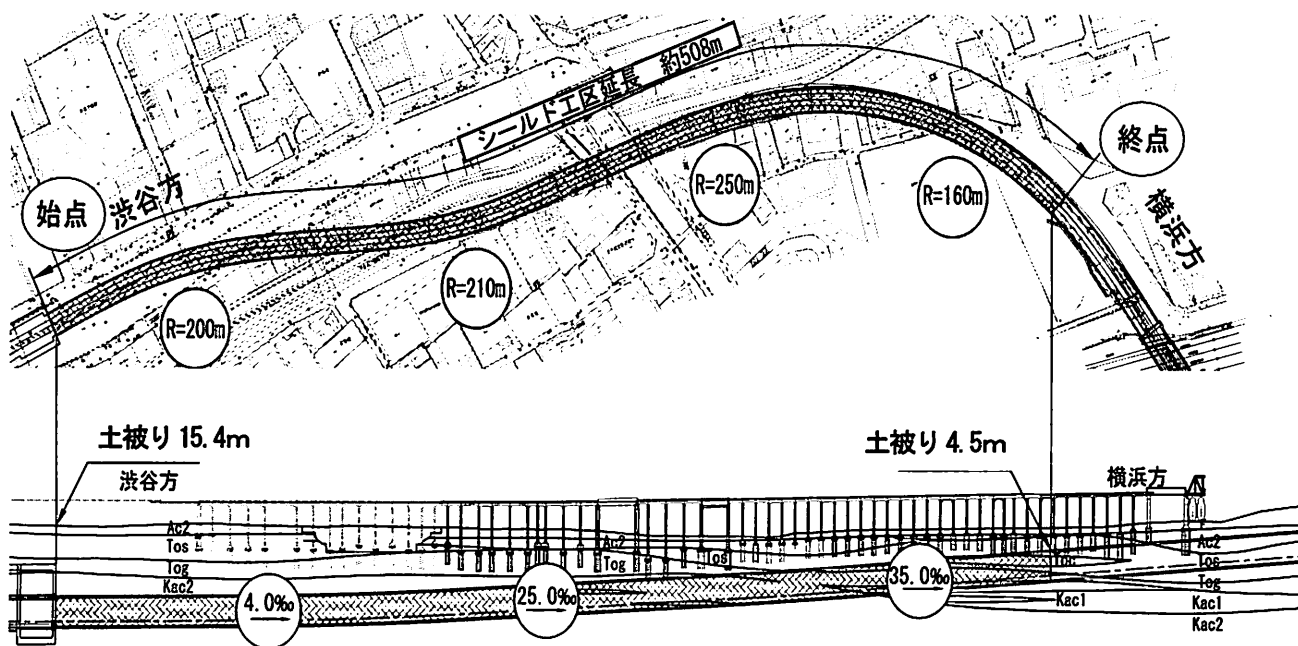
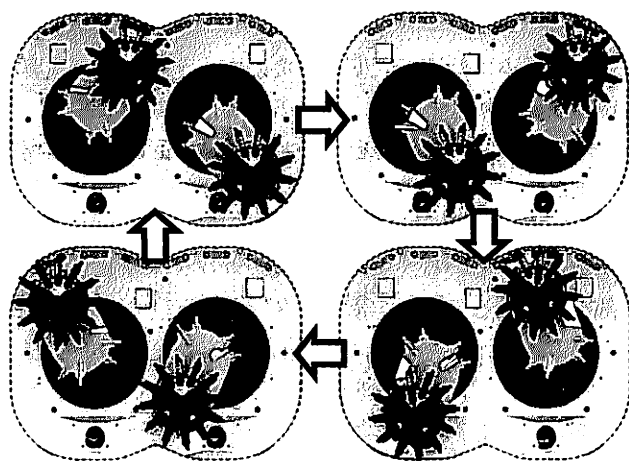


図-3 シールド工事区間平面・縦断面図



(2) セグメント

本工事で使用するセグメントはRCおよびSRCで製作した。形状は、幅 10,300mm、高さ 7,100mm、桁高 400mm、セグメント幅 1,100mm、分割数 10 分割で合成鋼角柱の中柱を有する。また、将来的なセグメントの「割れ」や「欠け」による剥落を確実に防止するために、EXPセグメントを上部5ピースに採用することとした。

EXPセグメント (Exfoliation Prevention Segment) は、製作時に繊維シートをあらかじめセグメント型枠内表面に敷設し、コンクリートを打設することにより、セグメント内表面が繊維シートで覆われるため、コンクリートにクラックが生じた場合でも、コンクリート片の剥落を防止することができる。

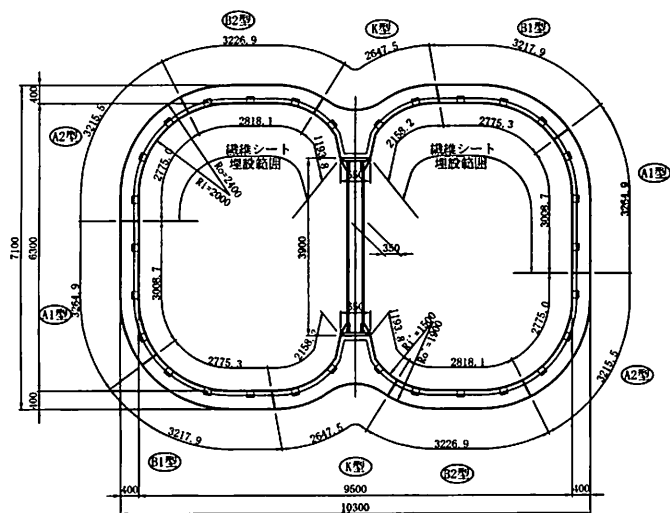


図-5 セグメント全体構造図

(3) 発進防護・到達防護

発進防護としては、鏡切り時の地山崩壊防止と介在層からの湧水防止を目的として土留壁背面に薬液注入を施工し、あわせて薬液注入時の注入圧による土留壁の変形を抑えるために、土留の補強を行っている。

到達防護としては、到達部土留壁の背面にφ1.8mのコ

ラムジェットグラウト工法とφ3.2mのSuperjet-midi工法にて地盤改良を行うと共に、シールド到達位置でのテール部から1.5mの範囲までの止水薬液注入工を行った。その後、ソケット部に鋼製隔壁を設置して土留壁を撤去し、地盤改良体と鋼製隔壁の間に流動化処理土を打設する作業を下段・中段・上段の順に行い、シールド到達を迎える。シールド到達時にはシールド機からの裏込め注入及び止水注入を行い、チャンバー内の止水を確認し、上段から順に構成隔壁の撤去とチャンバー内土砂の清掃を行う。

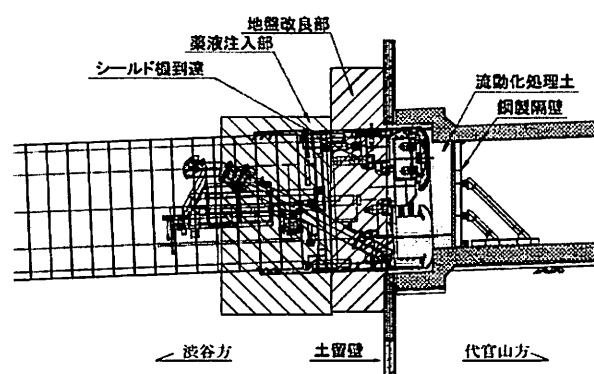


図-6 到達防護概要図

4. 高架橋防護・仮設工事

本シールド工事の最大の特徴でもある現東横線高架橋の真下を約300mに渡って掘進することは、前例の少ない工事と考えられるが、シールド工事で現東横線の運行に影響を与えることがないように、シールド工事に先立ち、現東横線高架橋下を掘進する区間で、場所に応じて3ブロックに分けて防護工事を実施している。①シールド通過部が硬質地盤で、かつ土被りが大きいところでは、高架橋の地上部に連続した基礎スラブを構築し、その上部に高架橋荷重を支持する仮受鋼材（ベント）を設置して高架橋を補強した。②礫層が存在する箇所では上述の基礎スラブ・仮受鋼材に加え、礫・砂層の崩壊を防ぐため、シールド通過上部にφ3.2mのSuperjet-midi工法による地盤改良を連続的に実施した。③到達立坑付近は土被りが小さく、仮受杭を打設するための用地の確保が可能であるところでは、仮受杭を打設し、その上部に添え梁を構築し、高架橋の仮受を行った。

なお本高架橋のほとんどは枕木の下にバラストを敷設した有道床橋梁で、バラストの突き固めにより異常時に対応することが可能であるが、一部の架道橋部が無道床橋梁のため、あらかじめ主桁を扛上扛下できるように橋梁の省座を改造している。

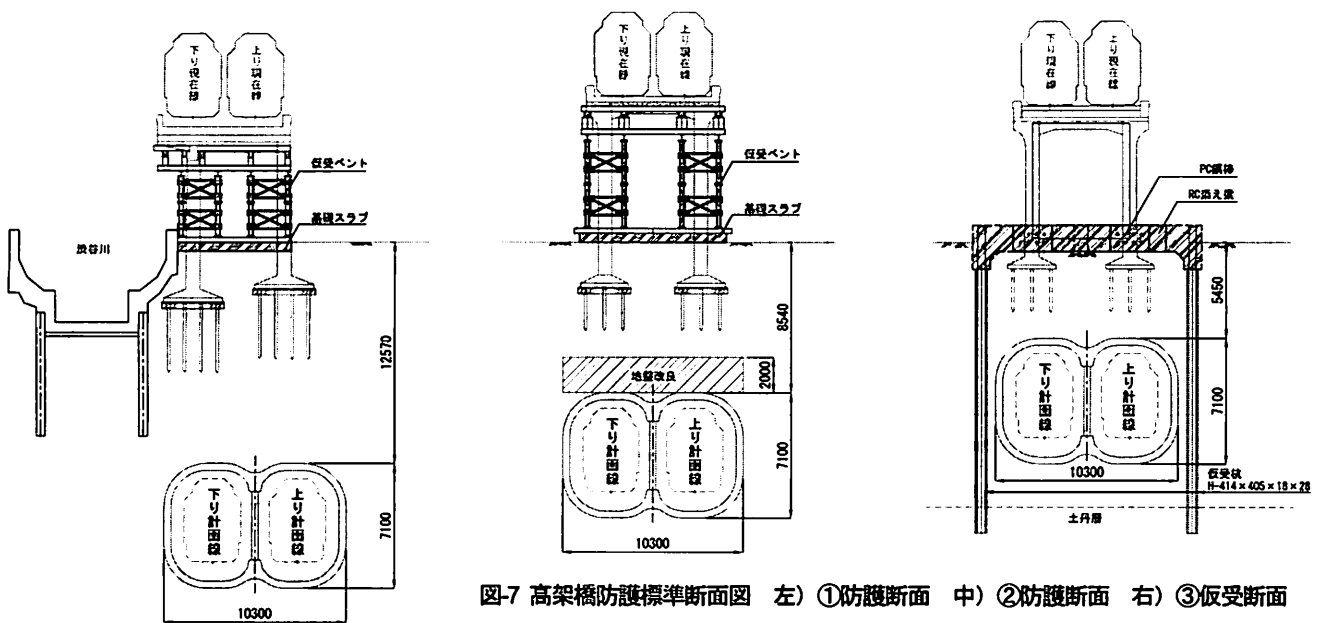


図-7 高架橋防護標準断面図 左) ①防護断面 中) ②防護断面 右) ③仮受断面

5. 施工実績

(1) 切羽土圧管理

掘進時の切羽管理土圧の範囲は、静止土圧に間隙水圧と予備圧 (20KN/m²) を加えた値を上限値とし、主働土圧に間隙水圧と予備圧を加えた値を下限値として、各土質条件により区間ごとに設定した。切羽土圧計測はシールドチャンパ内に設置した10個の土圧計のうち、揺動フレームの移動の影響を受けない土圧計の平均値で土圧管理を行った。土圧管理は、発進時は間隙水圧を下回らないように、また上総層粘性土層を通過する明治通りでは、管理土圧範囲の中間値から上限値の間で土圧管理した。明治通りを通過した後の切羽土圧は、民地ビルや東横線高架橋等の重要構造物の直下を掘進することから、各変状計測結果に基づき沈下等を抑制するように管理土圧を設定している。

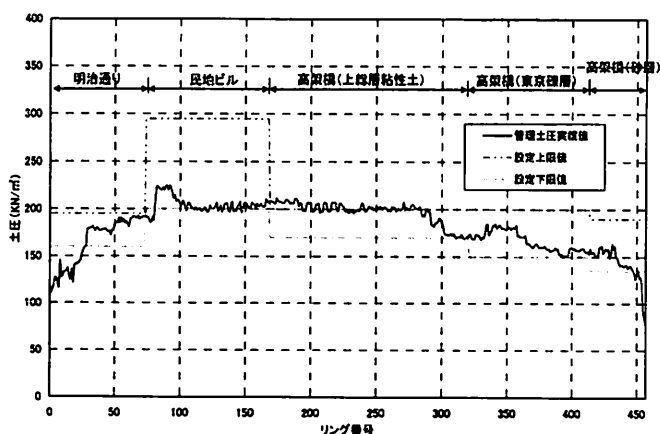


図-8 切羽土圧管理結果

(2) 排土管理

初期掘進区間 (88m) の排土量管理は、ベルトスケールおよびダンプスケールによる重量型管理を採用した。本掘進からは、トンネルの上昇に伴い土層が変化するため、レーザースキャナによる容積型計測管理も併用することとした。掘進開始当初20リングまではベルトコンベアを積む後続台車をS字状に配置していたため、ベルトスケールの計測誤差が発生していたが、後続台車がシールド坑内に入り直線状になるにつれて、安定した計測結果が得られるようになり、計測排土量を理論排土量で除した値は平均1.03であった。また、ダンプスケールの同値も平均1.02といった結果で、良好な排土管理を行うことができています。

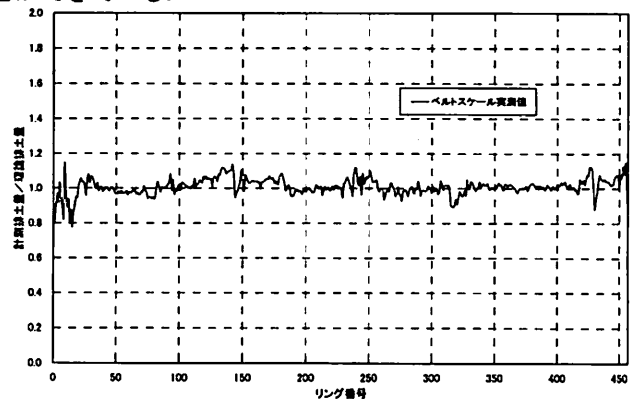


図-9 排土管理結果

(3) 裏込注入

今回のシールド機には、沈下抑制のため同時裏込注入装置を採用している。注入量管理としては、オーバーカット量20mmのテールボイドを考慮して上総層粘性土層は100%以上、東京礫層・砂層では110%以上の注入率を確保した。注入圧は裏込注入口横に装備した土圧計で計測し、圧力制御を行った。

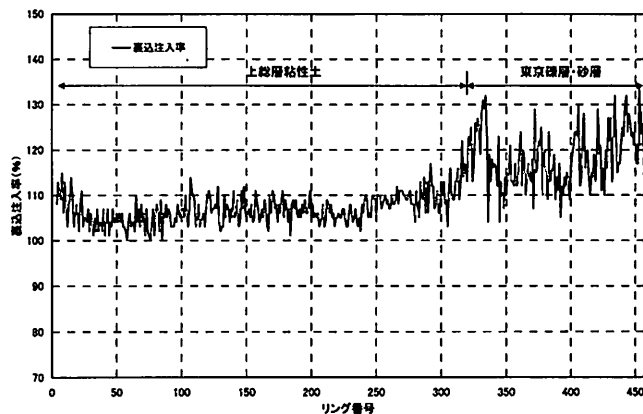


図-10 裏込注入実績

(4) 加泥注入

切羽安定のためには、チャンバ内の塑性流動性の確保が重要になる。上総層粘性土の掘進時は気泡材を30%添加する予定であったが、地山の粘性が想定以上であったため、気泡材の使用と併用して加水を実施した。東京礫層・砂層においては、ベントナイト系加泥材とポリマー系加泥材を使用し、設計注入率を27%と設定した。結果としては、上総層粘性土では加水が寄与し、また東京礫層では地盤改良体部の掘進に伴う粘性の増加により実績注入率約20%で塑性流動性を確保できている。

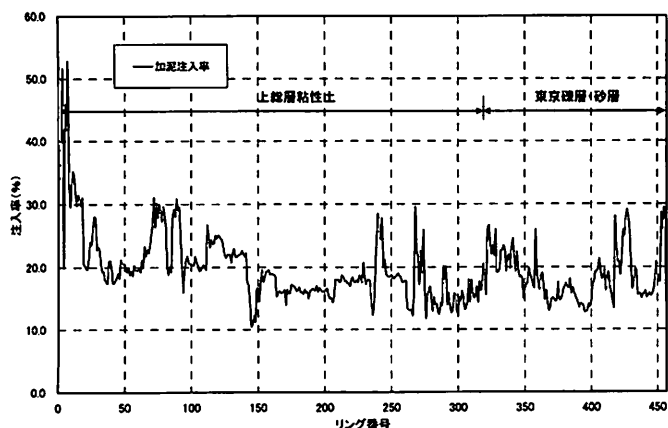


図-11 加泥注入実績

(5) カッタートルクと推力管理

設計カッタートルクは $450\text{kN}\cdot\text{m}$ で装備カッタートルクに対して 1.60 の安全率を有している。掘進時のカッタートルク平均値は $272\text{kN}\cdot\text{m}$ であったが、東京礫層の地盤改良部では礫強度によりカッタートルク高で掘進停止することもあった。

設計ジャッキ推力は $61,048\text{kN}$ で装備ジャッキ推力に対して 1.46 の安全率を有している。掘進時のジャッキ推力平均は $20,374\text{kN}$ であった。ジャッキ推力平均が設計値

の1/3程度と小さかったのは、設計時に民地ビルの上載荷重を考慮してその荷重を見込んでいたが、実際には切羽土圧を上限值まで上げる必要がなかったためである。

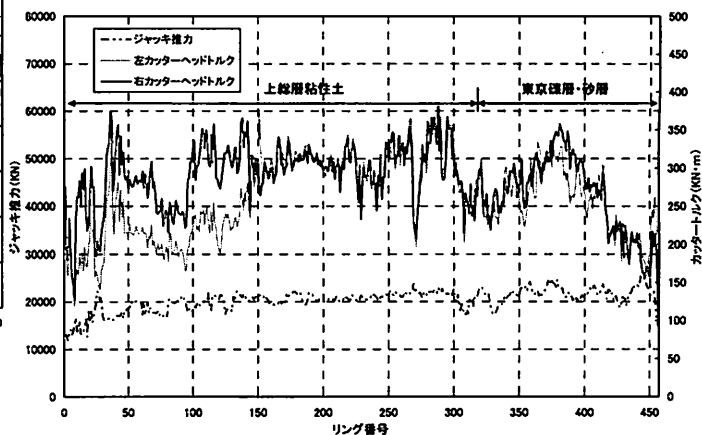


図-12 カッタートルクとジャッキ推力

(6) シールドの姿勢制御

今回のシールドには、ローリング対策として前胴斜め下方向(左右)に可動ソリを装備しており、曲線施工時に、ローリングが最大 0.1° 程度発生したが、可動ソリを使用することで良好に修正することができた。

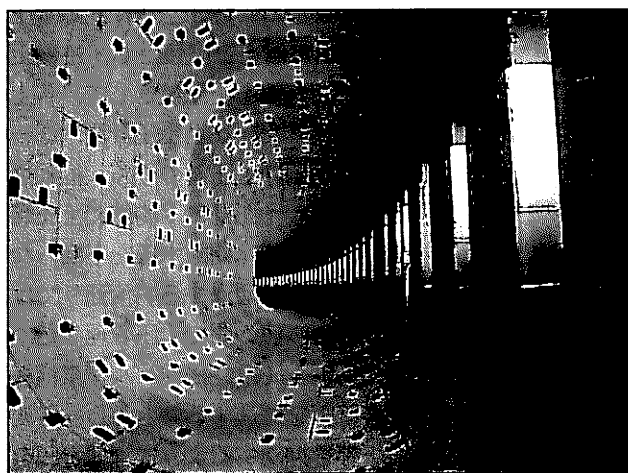


写真2 掘進完了後のシールドトンネル

6. おわりに

本シールド工事は東横線の高架橋直下での掘進や低土被り・急曲線等の条件下での施工であったが、地盤および路上等に大きな変状を発生させることなく、また東横線の運行にも影響を及ぼすことなく掘進を完了することができ、適正な施工管理・防護工事であったと捉えている。現在はシールドトンネル内のインバート打設工事を行っており、今後はレールの敷設や電気設備関係の施工を行う予定である。今後も引き続き、関係各所や近隣の方々のご理解ご協力を賜り、安全第一で施工を進めていきたい。