

特集>>> 都市環境向上、都市基盤整備、まちづくり

川崎五反田川放水路整備事業における高水圧下大断面放水路トンネル築造工事

細井元規・後藤徹

川崎市の北西部（内陸部）に位置する五反田川では、近年多発するゲリラ豪雨等による流域周辺での浸水被害が発生している。この改善等を目的として、洪水を多摩川へ放流する五反田川放水路事業が計画され、五反田川と多摩川を結ぶ放水路トンネルをシールド工法で施工した。

本稿は高水圧下での大断面トンネル築造を、泥水式シールド工法で施工した実績を報告するものである。
キーワード：高水圧、大断面、泥水式シールド

1. はじめに

五反田川は、麻生区細山地内を源とし、細山調節池を経て小田急線に沿って蛇行しながら流下し、東生田地内で二ヶ領本川に合流する流路延長48 km、流域面積80 km²の都市河川である（図-1）。五反田川は、洪水時には下流まで約20分で流化する高低差の著し

い河川であることから、近年多発するゲリラ豪雨等による流域周辺での浸水被害が発生している。この改善および下流河川の計画高水流量負荷低減を目的とした、五反田川の洪水を直接多摩川へ放流する五反田川放水路事業が計画された。

放水路事業は五反田川の洪水を取り込む①沈砂池部、②分流立坑までの導水路部、③トンネル部および④放流立坑から多摩川への放流部からなる（図-2）。

当JVが施工した区分はトンネル部である。

2. 工事概要

主な工事数量を下記に示す。

- ・路線延長L = 2,025 m、最小曲率半径70 m。
- ・仕上がり内径Φ87 m、二次覆工省略型セグメント使用。曲線部は、中詰めセグメント使用。
- ・泥水式シールド機外径9.5 m、機長16.27 m。
- ・凍結工（発進防護1,200 m³、到達防護550 m³）。



図-1 全体位置図

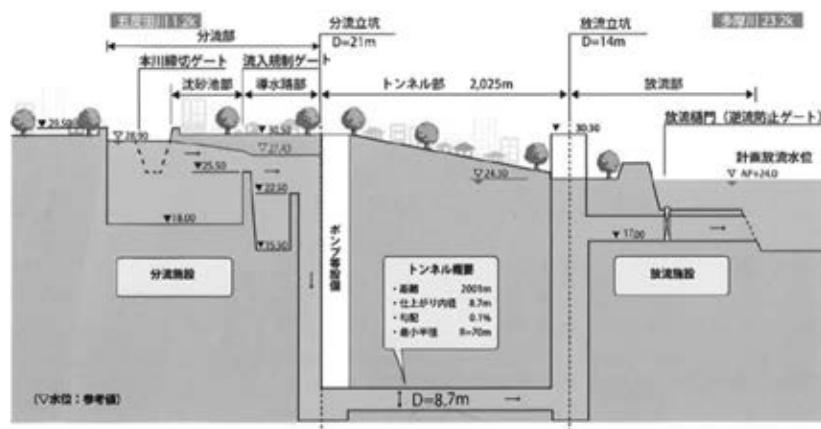


図-2 五反田川放水路事業概要図

3. 地質概要

掘削地山の地質は、上総層群生田層で基盤をなす地層で砂質泥岩層 (M_s)、砂層 (S_m)、軽石質・凝灰質泥岩層 (P_m) からなり、泥岩に介在する砂は未固結～半固結状で帶水層となっている。

砂質泥岩 (M_s) は、全体に砂を混入する不均質な砂質泥岩を主体とし、 N 値は50 以上を示す。未固結砂 (S_m) は、全体に未固結あるいは半固結状で、粒子はほぼ均一な細砂を主体とする。層厚02 ～50 m 程度で不規則に M_s 層中に存在し、連続性は不明瞭である。軽石質・凝灰質泥岩 (P_m) は、砂質泥岩および砂層の中に5 ～30 cm 程度の厚さで分布する。

砂質泥岩層中に介在する砂層が多いため、一次処理のふるいから出てくる砂分が非常に多く、一次処理土は当初想定していた数量の約2 倍であった(図—3)。

4. 施工設備

(1) シールド機

シールドジャッキ3000 kN を32 本装備し、テールシールは3 段である。また、急曲線 $R = 70$ m を掘進するため、中折角度左右5 度の装置を装備した。急曲線部ではセグメント幅600 mm の中詰セグメントをテール内の後端で組立てるようにエレクターの把持部を交換できる装置にして対応した。シールド機は6 分割して現場に搬入し、立坑下で組立てた(写真—1, 2)。

また、シールド機の作業デッキに油圧ユニットを搭載する事で、後続台車数を削減した。

大断面シールドであるため、組立用の旋回足場、セグメントの変形を防止するための形状保持機および、形状保持機を移動させる際の盛替用形状保持機を装備している。

シールド機の主な仕様を、表—1 に示す。



写真-1 シールド機全景

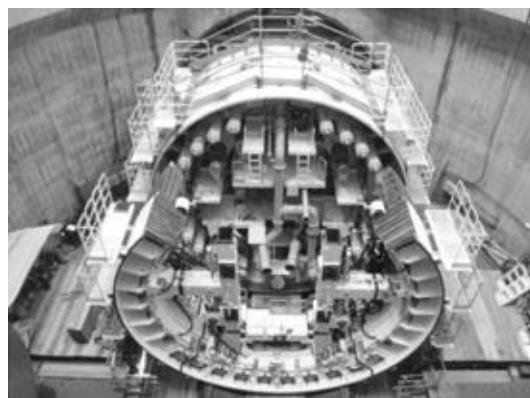


写真-2 シールド機組立て状況（後胴）

表-1 シールド機の主な仕様

シールド仕様	
シールド外径	Φ 9500mm
全長	16270mm
スキンプレート全長	9725mm
シールドジャッキ	3000kN × 34.3MPa × 2350mm × 22本(上部) 3000kN × 34.3MPa × 1800mm × 10本(下部)
中折れジャッキ	3500kN × 34.3MPa × 760mm × 20本
シールドジャッキ伸長速度	45mm/min(全数作動時)
カッタ駆動装置	常用 10378kN·m ($\alpha=12.1$)
	最大 12453kN·m ($\alpha=14.5$)
回転数	0.5rpm
駆動用電動機	55kW × 4P × 400V × 10台
コピーカッタジャッキ	195kN × 20.6MPa × 150mm(余掘量) × 2本
アジテータ	電動用モータ
	6.1kN·m × 20.6MPa × 1台 × 2基
回転数	43rpm × 2基

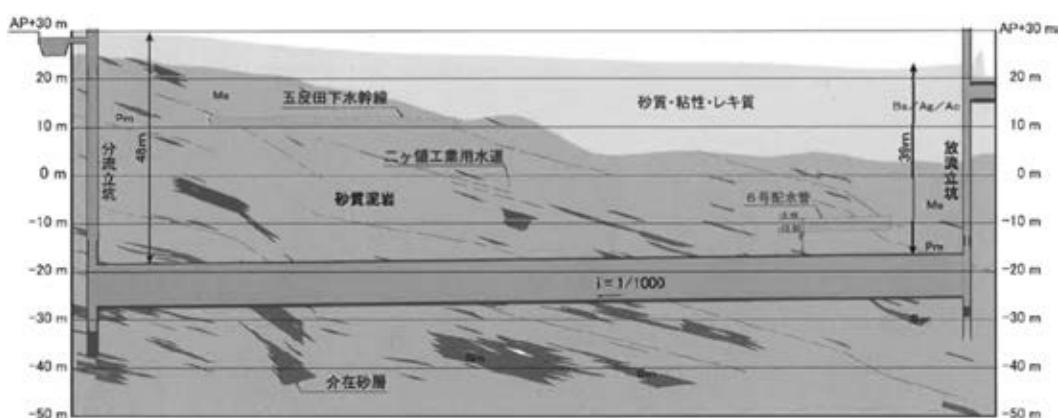


図-3 地質概要図

(2) 坑外設備

(a) タワークレーン

地上ヤードは形状がいびつで面積が約3,800 m²（立坑含む）と狭いことから、有効に地上ヤードを使用するために、90t-m タワークレーンを採用した。作業半径35 m で定格荷重は23t である。

(b) 泥水輸送設備

掘進延長約2 km と長距離であるため、送泥側には中継ポンプを3 台使用した。排泥側では、掘削地山がN 値50 以上の泥岩層であるため、後続台車内にカッティングインペラを装備した破碎ポンプを設置し、排泥管内に取り込んだ泥岩の塊を破碎し、排泥ポンプの負荷を低減した。

(c) 泥水処理プラント

泥水処理プラント配置図を図-4 に示す。一次処理設備、二次処理設備をタワークレーンの作業範囲内に配置し、一次処理設備の屋根部を資材置き場として利用した。そのため、一次処理後の残土を残土ピットまでベルトコンベアで移送した。

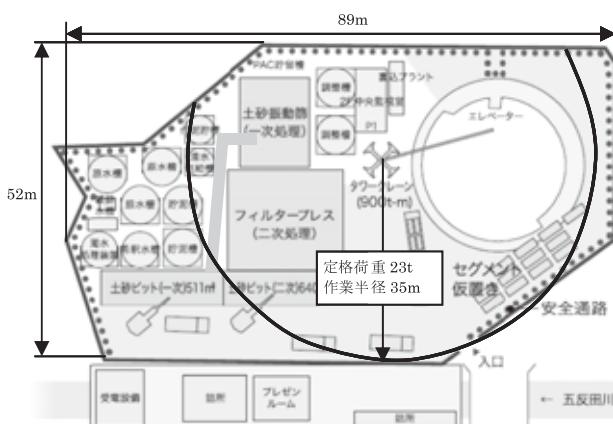


図-4 作業ヤード図

(3) 坑内設備

(a) セグメントガイド

立坑では約60 m の高低で揚重を行う必要があり、セグメントを投入する際の位置を一定にするために、セグメント荷降し用のガイドを設置した（写真-3）。

(b) 天井クレーン

立坑中段部にある框部に天井クレーンを設置し、立坑下にも資材置場を設けた（写真-4）。

(c) 作業台車

工程確保のため、掘進中にセグメントボルトの増締めおよびボルトボックス充填作業を並行して行えるように、作業台車を組立てて使用した。ボルトボックス充填材の混練は、作業台車の中段の作業床で行った（写真-5）。



写真-3 セグメントガイド



写真-4 立坑下資材置き場



写真-5 作業台車



写真-6 坑内資材置き場

(d) 坑口置場

地上ヤードが狭く、立坑も円形のためデッドスペースが多く、立坑下の資材置場も狭いため、坑口にも資材置場を設置した。置場での揚重はスライドレール式クレーンを設置し使用した(写真-6)。

5. セグメント

(1) 一般部セグメント

鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)セグメントを採用し、薄型で高強度のセグメントを使用した。桁高は300 mm、セグメント幅は1,500 mm、7等分割とした。重量は47t／ピースである。セグメントに使用するコンクリートの設計基準強度は、 54 N/mm^2 と高強度であり、PET再生繊維($\phi 07 \text{ mm L45 mm}$)をコンクリート体積に対して0.5%混合して韌性と耐衝撃性を高め、掘進中の割れ欠けを最小限にする構造とした。継手形式は、セグメント間とリング間共に、後のボックス充填作業を低減するため片側を埋込みインサートとした長ボルト式とした(写真-7)。



写真-7 一般部セグメント

(2) 曲線部セグメント

桁高は300 mm、セグメント幅600 mm、7等分割である。鋼製の枠にコンクリートを流し込んだコンクリート中詰セグメントを採用した。重量は23t／ピースである(写真-8)。

6. 施工状況

(1) 発進防護工

発進防護工を図-5に示す。

(a) 膨張圧対策工(砂置換)

凍結工に先立ち、凍土による膨張圧を軽減するため、オールケーシングにより掘削し砂置換した変位



写真-8 曲線部セグメント

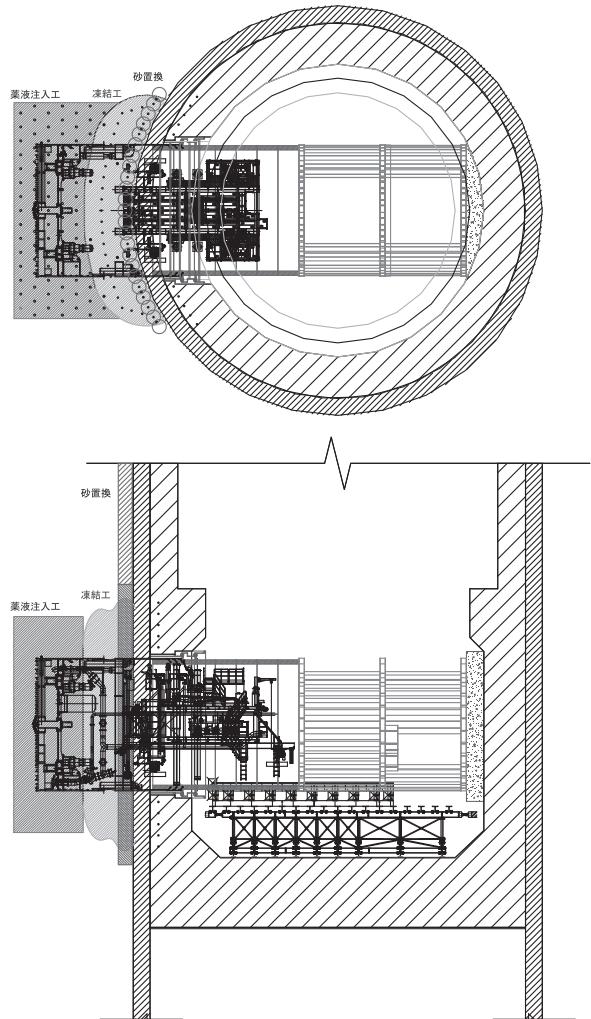


図-5 発進防護工

吸溝を設置した($\phi 1000 \text{ mm}$, 23本)。

(b) 薬液注入工

シールド機発進に伴う発進部の防護を図るために二重管ダブルパッカー工法で止水を行った(87本)。

(c) 凍結工

凍土壁を造り薬液注入工との併用により地下水の止水を行った。

(2) シールド工

a) 鏡切工

鏡切りは、騒音の低減を図る事を目的とし、発進立坑の壁を連続コアで分割してブロック状で取り除く工法を採用した（写真—9）。



写真-9 発進部鏡切り

b) 掘進工

初期掘進開始時、掘削地山が土丹層であることから、切羽水圧を400 kPa 程度と想定し、支圧壁鋼材の耐力をシールド機の装備能力の40 %で設計していた。しかし、凍結工と薬液注入工の境界を掘削中に切羽水圧が470 kPa と上昇したため、支圧壁鋼材を補強して掘進した。初期掘進は165 m の直線の後、 $R = 100$ m の曲線が61.3 m の線形であり、慎重に掘進・組立を行ったため、進捗は4 R／日であった。

本掘進は一般部セグメント部で平均7R／日（105 m／日）、最大で12 R／日（18 m／日）であった。平均推力は40 000 kN、平均カッタートルク値は3 200 kN·m、平均掘進速度は25 mm／分であった。1R のサイクルは掘進60 分、組立60 分の120 分であった。大断面の掘進であるため、残土搬出ダンプ台数は延べ200 台／日（搬出先、片道26 km）、セグメント搬入トローラーは10 台／日そして、裏込め材量のローリー車が2 台／日と現場搬入出入口が1 ヶ所の調整は非常に困難なものであった。

到達立坑付近ではJR 南武線の直下を昼夜軌道計測を行いながら掘進したが、異常はなかった。

急曲線の線形では $R = 70$ m の左曲線を18 m 掘進した後、直線を21 m、その後、 $R = 70$ m の右曲線を91.2 m の掘進とS 字線形であり、後続台車の監視に十分注意しながらの急曲線施工であった。そのため、進捗は最大8 R／日（48 m）であった。設計では掘削地山がほぼ砂質泥岩層であり、一次処理土と二次処理土の割合が4 : 6 であったが、実際は6 : 4 と一次処理土の割合が多かった。

曲線部では中詰コンクリートセグメントを使用したが、急曲線では施工時の偏圧によりコンクリートにひび割れが入りやすく、急曲線での使用は今後の課題である。

なお、掘進期間中は大型台風が多い年であり、残土の受入の制限が何度もあり、進捗に大きな影響があった。

(3) 到達工

到達は、円形の到達立坑にシールド機の先端であるカッタービットが到達した時点で、掘進完了という設計である（図-6）。高水圧下における鏡切り作業を伴うことから、到達防護工には凍結工法が採用されている。シールド機が到達する位置に、シールド機を包み込む「凍土の筒」を造成し、シールド機が、この「凍土の筒」の中に貫入し到達した後、シールド機内に搭載された機内貼付凍結管によりシールド機外周を冷却する。このように、シールド機と「凍土の筒」を一体化させること（凍着）により、高水圧下における地下水が完全に遮断されることで、鏡切り作業時の安全性を確保した。

鏡切りは、近隣への騒音の低減を目的とし、コンクリート壁（壁厚12 m）を連続コアで分割し、ブロック状で取除く工法を採用し、施工している（写真—10）。

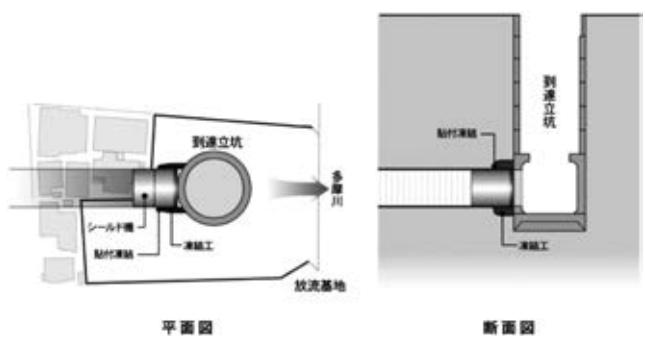


図-6 到達概要図



写真-10 到達部鏡切り

7. おわりに

本工事は高水圧下、大断面シールド工であり、 $R = 70\text{ m}$ の急曲線施工もあり、非常に難易度の高い掘進であった。いくつかのトラブルもあったが、発注者をはじめ現場協力会社と現場が一丸となった結果、無事に到達を迎えることができたと考えている。これからは現在施工している到達鏡切り作業、そして、到達坑からの空伏せセグメント組立と難易度の高い工事が



写真-11 坑内仕上り状況

続くが、掘進と同様に現場が一丸となって無事に施工できるものと考えている（写真-11）。

謝 辞

最後に、当工事において常にご指導、ご協力をいただいたい発注者である川崎市建設緑政局北部都市基盤整備事務所の皆さまをはじめ、関係各位に心から感謝の意を表します。

J C M A

[筆者紹介]

細井 元規（ほそい もとのり）
清水建設㈱
土木横浜支店土木部
工事長



後藤 徹（ごとう とおる）
清水建設㈱
土木技術部シールド統括部
上席エンジニア

