

大断面内水圧型シールドトンネル工事と民家に近接した大深度立坑工事の施工

大成建設株式会社	正会員	○麻 泰宏
東京都第四建設事務所 工事第二課		渡辺 修
東京都建設局 河川部改修課		立澤 延泰
東京都第四建設事務所 工事第二課		池田 健
東京都第四建設事務所 工事第二課		味吉 修一
大成建設株式会社	正会員	土橋 功
大成建設株式会社	正会員	新井 昌一

1. はじめに

白子川は東京都練馬区西部の大泉井頭公園を源とし、埼玉県和光市との都県境を経て、新河岸川へと注ぐ、河川延長約 10km、流域面積約 25km² の一級河川である（図-1）。

白子川流域は、昭和 30 年代頃からの急速な都市化に伴い、雨水が地下に浸透せず、地表面を流れて一気に河川に流入するいわゆる「都市型水害」が頻発している。水害による被害から流域の街を守るために、まずは 1 時間 50mm の降雨に対応する整備を確実に進めていく必要がある。

しかし、中流域の埼玉県施工区間(東埼橋～芝屋橋区間の約 1.4km)については、当面の間、整備が見込めない状況にある。このことから、その上流の比丘尼橋付近に白子川調節池群を整備し、下流の洪水に対して安全を確保するとともに、調節池から上流に向けて、河道拡幅等の護岸整備を行っている。白子川調節池群は、図-2 に示す 3 つの施設から構成され、このうち、「比丘尼橋上流調節池」「比丘尼橋下流調節池」は、平成 14 年度までに完成している。本稿では、「白子川地下調節池群」の基幹的な施設であるトンネル及び到達立坑築造にあたって、大規模、高水圧下で施工を行ったシールド工事およびニューマチックケーソン工法による立坑築造工事の概要および施工実績について報告する。

2. 工事の概要

本工事は、練馬区大泉町二丁目地内に存する東京外環道路大泉ジャンクション内に既に設置済の発進立坑（内径 21.0m、深さ 47.3m）を起点とした延長 3.2km のシールドトンネルの構築と、その終点となる石神井川と都道環状八号線の交差部付近、同区高松三丁目に到達立坑（内径 19.5m、深さ 46.5m）の構築を行う工事である（図－3）。



图-1 白子川流域图

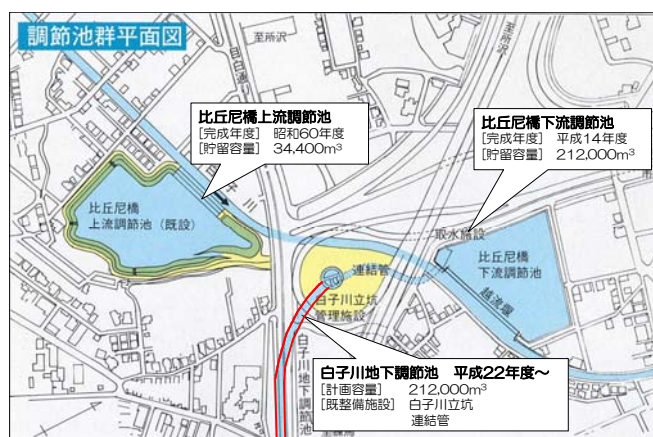
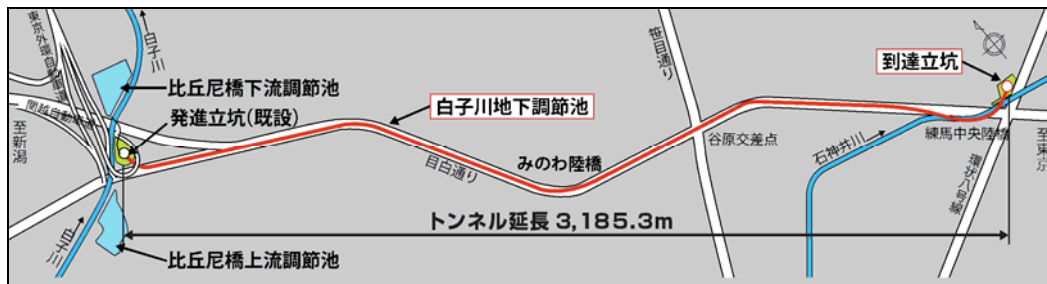


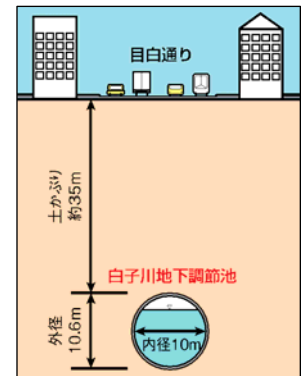
圖-2 白子川調節池群

キーワード 地下調節池，泥水式シールド，内水圧，ニューマチックケーソン

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社土木本部土木設計部 TEL03-5381-5417



図－3 白子川地下調節池ルート図



工事の概要は以下のとおりである。
 工事件名：白子川地下調節池工事（その５）
 工事期間：平成 23 年 2 月 24 日
 ～平成 26 年 1 月 27 日

【シールドトンネル】

内 径：10.0m
 外 径：10.6m
 延 長：3,185.3m
 平面線形：直線および曲線
 (R=124m, 140m, 300m, 318.5m)
 土かぶり：約 34～47m
 工 法：泥水式シールド工法
 覆 工：合成セグメント, 鋼製セグメント

【到達立坑】

立坑内径：19.5m
 立坑外径：25.1m
 立坑深さ：GL－54.0m（ケーソン刃口先端）
 工 法：ニューマチックケーソン工法

2. 地質概要

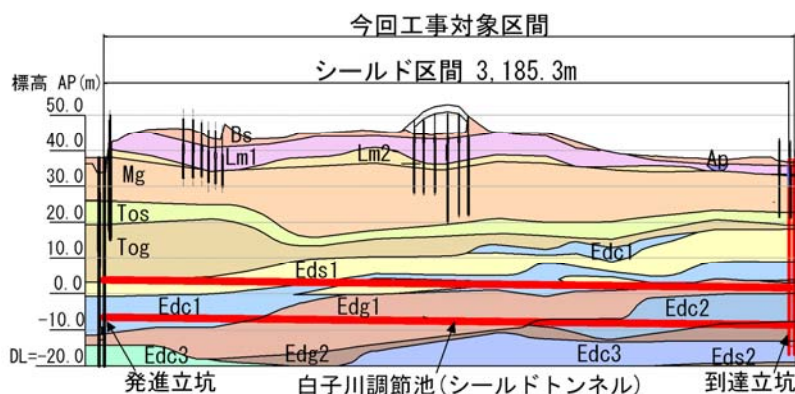
土質縦断図を図－4 に示す。シールド掘削対象地盤は、全線にわたり江戸川層であり、

粘性土, 砂質土, 砂礫土の互層となっている。土質については非常に硬く、あるいは非常によく締まった地層からなっている。江戸川層第 1 粘性土層は、硬質固結シルトで、N 値は 11～50 以上である。また、江戸川層第 1 砂質土層は、均一な細砂で、N 値は 16～50 以上である。江戸川層第 1 砂礫層は、礫径は 2～50 mm だが所々 100 mm 程度の玉石が混じり、N 値は 50 以上である。江戸川層第 2 粘性土層は、砂質固結シルトで N 値は 50 以上と堅固である。

地下水位は、おおむね GL-5m(シールド中心水圧で 0.30MPa)である。

3. シールドトンネル工事

本工事のシールド掘削断面は N 値 50 以上の硬質地盤であり、土質は粘性土、砂質土、砂礫と様々な土層を掘削する。また、全線にわたり土かぶり約 35m の高水圧下での長距離掘削となることから、様々な土質に適合し、高水圧下でも切羽の安定性が優れている泥水式シールド工法を採用した。



図－4 土質縦断図

時代	地層区分	地層名	記号
完新世	二次堆積土層	埋土層	Bs
	腐植土層	腐植土層	Ap
	関東ローム層	ローム層	Lm1
		凝灰質粘土層	Lm2
更新世	武蔵野レキ層	砂レキ層	Mg
	東京層	砂質土層	Tos
	東京レキ層	砂レキ層	Tog
	江戸川層	第1粘性土層	Edc1
		第1砂質土層	Eds1
		第1砂レキ層	Edg1
		第2粘性土層	Edc2
		第2砂質土層	Eds2
		第3粘性土層	Edc3
		第2砂レキ層	Edg2

3-1 シールドの仕様

本工事で使用した泥水式シールドの構造図を図-5に、仕様を表-1に示す。

カッターヘッドは、粘性土層掘削時の面板閉塞が発生しないように開口率を37.5%と大きくして取り込みを良くするが、一方で、巨礫による配管閉塞が発生しないようにスリット幅を350mm以下とした。硬質地盤を長距離掘削することから、掘進効率を向上させるため、強化先行ビットを内周2パス、外周3パス配置するとともに、カッタートルクは計算による所要トルクの2.7倍(α値13)とした。

3-2 シールド設備

流体輸送設備は、砂礫層卓越区間での高速施工に対応するため、国内最大級の泥水ポンプ(吐出量25m³/min)を使用した。送排泥管は送泥16B(400mm)、排泥14B(350mm)を使用することとし、排泥管は長距離掘進および砂礫層掘進時の摩耗対策として厚肉管(11.1mm)とした。また、クラッシャーは効率的な破碎が可能な直列2台方式とし、礫の破碎量を向上させることにより閉塞を防止することとした。

泥水処理設備は、砂礫層が卓越する断面および粘性土が卓越する断面それぞれにおいて高速施工に対応する必要があったことから、一次処理機(振動ふるい×4基)、二次処理機(フィルタープレス×9基)およびタンク類を狭い地上ヤードに2階建てで配置し、効率良く土砂を排出する設備とした。

掘削土は1.4m³級のバックホウ5台により

ダンプトラックへ積み込み、場外へと搬出する。一次処理土については積み込みサイクルを早めるために計量土砂ホッパーを使用し、一方で、二次処理土については粘土分が付着する可能性のあるホッパーではなく埋込み式のトラックスケールを使用することで、過積載の防止に努めながら、効率良く搬出する設備とした。



写真-1 シールドマシン

表-1 シールド仕様

項目	詳細項目	仕様
シールドマシン本体	外径	φ10,800 mm
	機長	11,100 mm
	テールシール	ワイアプーラシ3段
推進装置	シールドジャッキ	3,500kN×36本 総推力 126,000kN
中折れ装置	機構	X型(球面中折れ)
	中折れジャッキ	3,000 k N×30本
掘削装置	装備トルク	16,500kN-m
	カッター回転速度	0.6min ⁻¹
	カッター支持方式	中間支持方式
	カッターモータ	75kw×40P×14台
	カッターヘッド	スポーク主6、副6 開口率 37.5%
	余掘り装置	コピ-カッタ2基
	攪拌装置	攪拌翼 10本

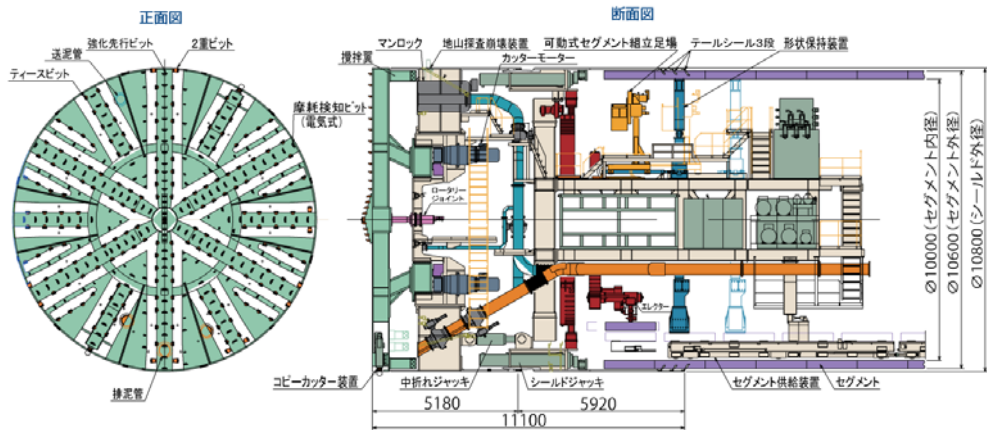


図-5 シールド構造図

3-3 覆工構造

本工事に用いるセグメントは、地下調節池トンネルのため内水圧に対応する必要がある。このため、高い耐荷性を有する嵌合方式合成セグメント、粗度係数を抑えるための内面平滑性、シール材の膨張圧による割れ欠けを防止するため継手面にコンクリートが露出しない構造とする必要がある。これらの条件を満足する覆工構造として、嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメントを採用した（図-6、表-2）。コンクリート一体型鋼製セグメントは、道路トンネルや共同溝への採用実績はあったが、内水圧が作用するトンネルには初めて採用した。したがって製作を開始するにあたっては、軸方向引張力下での実物大継手試験および実構造系内水圧载荷試験を実施し、内水圧に対応できることを確認している（写真-2 および写真-3）。

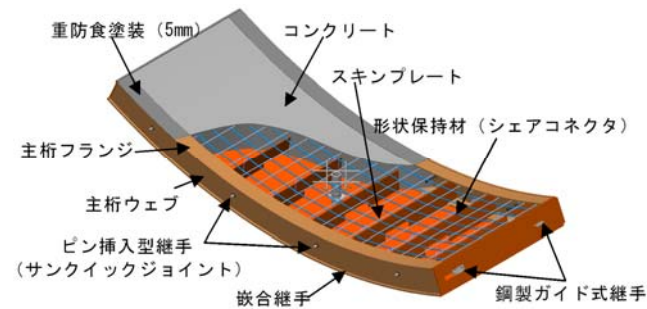


図-6 嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメント概要図

表-2 覆工仕様

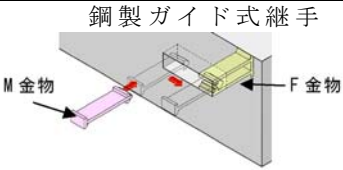
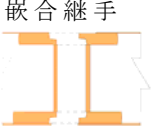
		一般部 (R=300m 以上)	急曲線部 (R=124m, 140m)
内径		10,000mm	
外径		10,600mm	
幅		1,800mm	1,200mm
桁高		300mm	
セグメント分割		7分割 (K縮小)	
継手形式	セグメント継手		
	リング継手		



写真-2 実物大継手試験

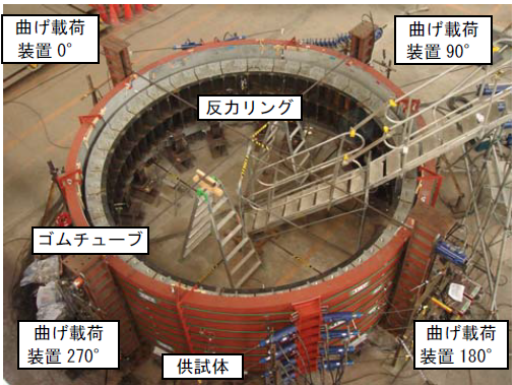


写真-3 実構造系载荷試験

3-4 シールド掘進工

シールド掘進は平成 24 年 3 月に発進し、平成 25 年 8 月に到達を迎えた。大断面シールドでは、掘削土の搬出によって掘進量が制限される。また本工事場所は市街地であることから土砂搬出は昼間 8:30～16:00 だけに限られた。そのことから、工程短縮の対策として、積込みサイクルの短縮、ダンプ台数の増強や仮置場確保による処分地までの回転数の増加を図り、周辺交通に支障きたすことなく、最大搬出量 2,200m³/日、ダンプ延台数 430 台/日を実現した。その結果、最大月進量 324m（掘進日数 20 日）を達成することができた。



写真-4 シールドトンネル坑内

4. 到達立坑工事

到達立坑は、掘削深さが約 GL-54m の大深度立坑であり、狭隘な施工ヤード、周辺環境等を考慮し、ニューマチックケーソン工法により施工した。

4-1 立坑構造

立坑設置位置は、地下水位が高く、躯体形状も外径 25.1m、深さ GL-54m と大断面・大深度であり、浮上りによる安定を確保するため側壁部材厚が 2.8m となり、マスコンクリート対策を行う必要が生じた。このため、低発熱・収縮抑制型高炉セメント(MKC-Ⅲ)を用いることでひびわれ抑制を図った。また、本立坑の躯体ロット数は、温度応力解析結果に基づき 10 ロットと設定した。

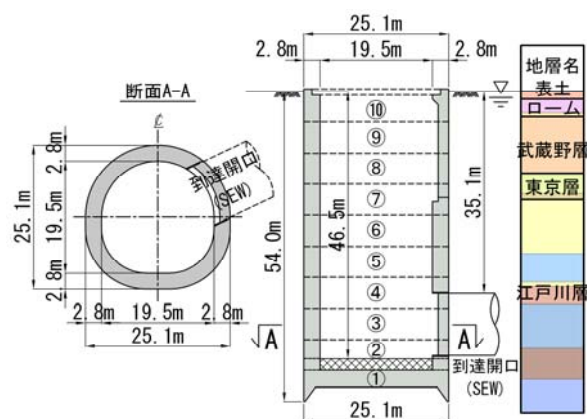
4-2 民家に近接した大規模・大深度ニューマチックケーソン工事

ケーソン工事は、平成 23 年 10 月に着手し、平成 25 年 6 月に完成した。

沈下掘削作業は大深度となるため、作業室内の気圧 **0.18MPa** 以上からは遠隔操作による無人掘削作業とした。また、**0.39MPa** 以上のメンテナンス作業時は、ヘリウム混合ガスを使用し作業の安全を厳格に管理した。

到達立坑ヤードは、環八通り、石神井川、マンション、戸建住宅に周囲を囲われ、立坑位置は、戸建住宅との境界から離隔 2m と非常に厳しい条件であった。これに対して、次のような対策を実施することで、周辺地盤や近接する構造物、住宅への影響を発生させず、周辺の生活環境を確保しながらの沈下掘削を完了させることが出来た。

- ・ケーソンの外周約 1.5m 離れた位置に防護鋼矢板を GL-9.0m まで打設し、周辺地盤との縁を切って沈設することで地盤変状を防止
- ・1 回の沈下掘削でのケーソン沈下量を 30cm 以内で施工管理することにより、沈下時に発生する振動を最小限に抑制
- ・施工時の騒音・振動対策として、電気駆動により音の発生が小さいタワークレーンの活用
- ・施工ヤードのマンション、戸建て住宅との境界に採光型防音パネルを採用
- ・ケーソン施工設備のマテリアルロックのワイヤーボックス消音装置、消音マフラーを装備



圖一7 到達立坑構造圖



図-8 到達立坑施工ヤード



写真-5 ケーソン施工時の周辺環境対策例

5. シールド到達工

シールドトンネルの到達工法として、仮壁切削工法および水中到達工法を採用した。

5-1 仮壁切削工法

到達開口の仮壁には、大断面・大深度下では初めての適用となる SEW 工法 (Shield Earth Retaining Wall System) を採用した (写真-6)。到達掘進時は、掘進速度を 1~3mm/min で仮壁を切削した。その結果、カットトルクや推力に異常はなく、大きな騒音・振動は発生しなかった。

5-2 水中到達工

到達掘進は高水圧下 (最大 0.4MPa) であることから、立坑内への出水を防止するため、自然水位まで立坑内に水を溜めた水中到達工法を採用した (図-9)。事前に到達開口部にチューブを設置し、水中到達したシールドにチューブを加圧して押し当てる。そしてシールドと立坑の背面を止水注入した後、立坑内を排水した (写真-7, 写真-8)。

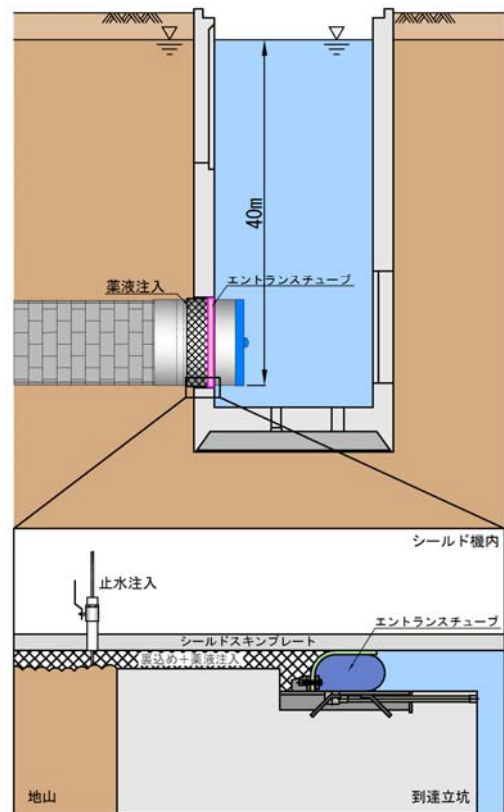


図-9 水中到達方法



SEW 工法とは、FFU (Fiber Reinforced Foamed Urethane) をシールド通過部に組み込んだ工法である。

写真-6 SEW 工法施工状況



写真-8 シールド到達状況



写真-7 立坑内排水状況

6. おわりに

本工事のシールドトンネル工事は、大断面・大深度・長距離の条件に加え、延長 1km 以上に及ぶ砂礫層掘進、高水圧下での仮壁切削による水中到達など、厳しい条件での施工であった。また、ニューマチックケーソン工事においても、狭隘な施工エリアで民家に近接した位置での大深度立坑の沈設であった。

これら課題に対して、事前のリスク管理を確実にを行い適切な施工管理のもと、周辺環境へ影響を与えることなく、安全かつ早期に工事を遂行することができた。本工事の着手から完了まで、ご指導、ご協力を頂いた関係者の皆様に深く感謝の意を表する次第である。