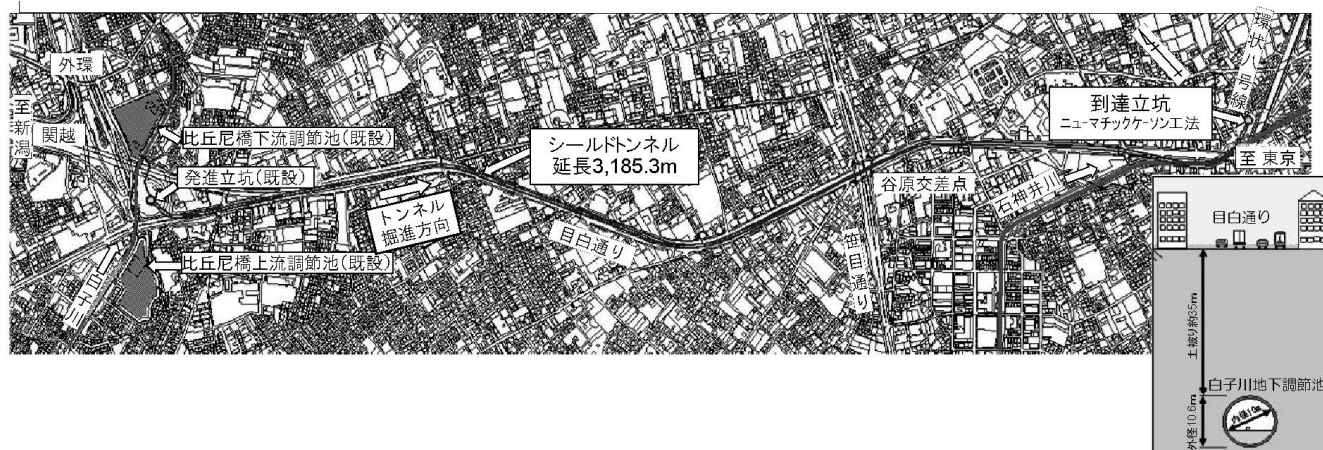




図－3 地下調節池ルート図

2. 白子川地下調節池工事（その5）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 21.0 m、深さ 47.3 m）を起点とした延長 3.2 km 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点付近、同区高松三丁目に到達立坑（内径 19.5 m、深さ 46.5 m）の構築を行う工事である。

(1) 工事概要

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：10.0 m

外 径：10.6 m

延 長：3,185.3 m

平面線形：直線および曲線

(R=124 m, 140 m, 300 m, 3,185.3 m)

土かぶり：約 34～47 m

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：19.5 m

立坑外径：25.1 m

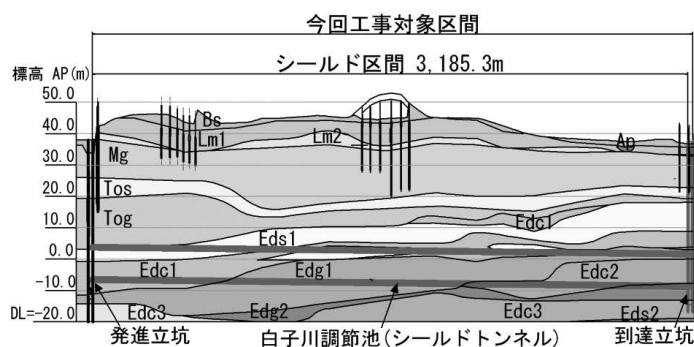
立坑深さ：GL-54.0 m（ケーソン刃口先端）

工 法：ニューマチックケーソン工法

(2) 地質概要

土質縦断面図を図－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-5 m（シールド中心水深で 0.30 MPa）である。



図－4 土質縦断面図

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. 施工計画

(1) 泥水式シールド工法の採用

本工事は、全線にわたり土かぶり約 35 m での長距離掘削となることから、さまざまな土質に適合し、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。

(2) シールドの仕様

本工事で使用する泥水式シールドの構造図を図一5に、仕様を表一に示す。

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 350 mm 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、装備推力についても、計算による所要推力の 2.2 倍とした。

(3) シールド設備

(a) 流体輸送設備

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 25 m³/min）を使用した。送排泥管は送泥 16B（400 mm）、排泥 14B（350 mm）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（11.1 mm）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。

(b) 泥水処理設備

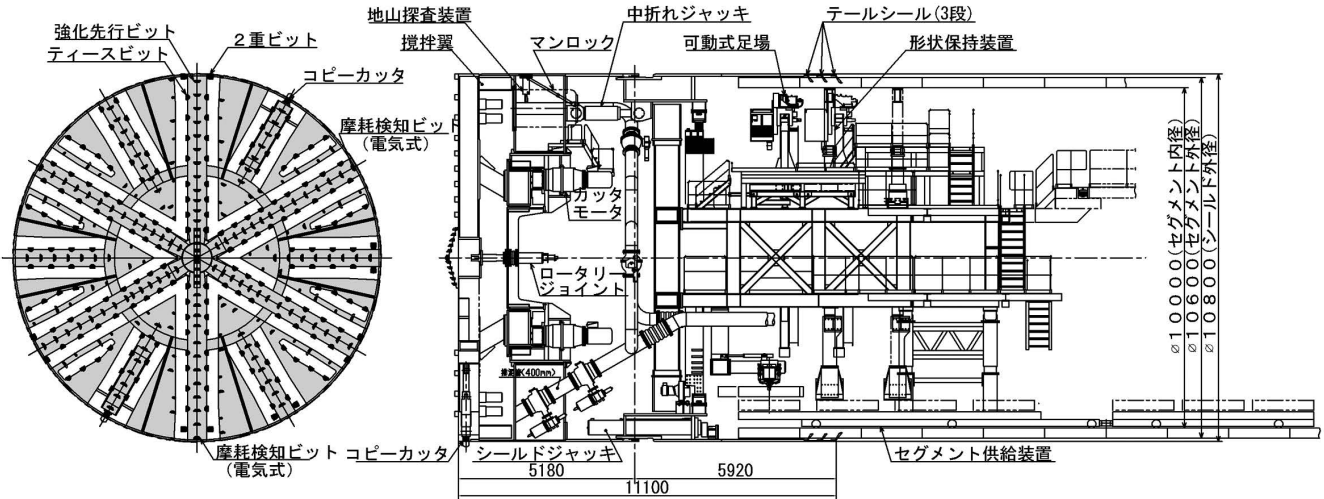
泥水処理設備は、砂礫層が卓越する断面および粘性土が卓越する断面それぞれにおいて高速施工に対応する必要があったことから、一次処理機（振動ふるい×4 基）、二次処理機（フィルタープレス×9 基）およびタンク類を狭い地上ヤードに 2 階建てで配置し、効率良く土砂を排出する設備とした。

(c) 土砂搬出設備

掘削土は 1.4 m³ 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め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。

表一 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	φ 10,800 mm
	機長	11,100 mm
	テールシール	ワイヤブラシ 3 段
推進装置	シールドジャッキ	3,500 kN × 36 本 総推力 126,000 kN
中折れ装置	機構	X 型（球面中折れ）
	中折れジャッキ	3,000 kN × 30 本
掘削装置	装備トルク	16,500 kN-m
	カッター回転速度	0.6 min ⁻¹
	カッター支持方式	中間支持方式
	カッターモータ	75 kw × 40 P × 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	コピーカッター 2 基
	攪拌装置	攪拌翼 10 本



図一5 シールド構造図

4. 施工実績

(1) シールド掘進工

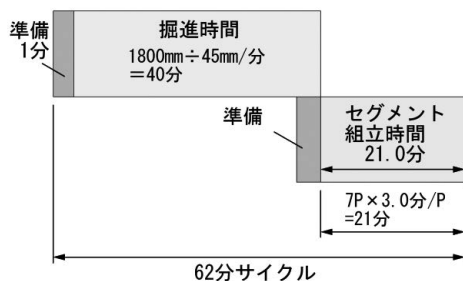
(a) 掘進実績

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、周辺交通に支障を与えることなく、最大搬出量 2,200 m³/日、ダンプ延台数 430 台/日を実現した。その結果、最大月進量 324 m (掘進日数 20 日) を達成することができた。

(b) 掘進・組立サイクル

本掘進において、最大日進量 30.6 m を実施した際の掘進・組立サイクルを図—6 に示す。1,800 mm セグメントに対して、平均速度 45 mm/分で掘進し、7 分割のセグメントをおよそ 21～22 分 (3 分/ピース) で組立を行った。平均で 62 分サイクルにより、その他配管延長等も併せて 17 リングの掘進・組立を行う事ができた。



図—6 掘進・組立サイクル (1 リング)

セグメントの組立について、1 ピース 3 分と早い組立時間を実現できた要因の 1 つとして、セグメントのリング間に備えている嵌合継手がガイドとなり、組み立てたセグメントの真円度が高く、最終の軸方向挿入型の K セグメントの位置合わせも容易にできたことが挙げられる。

(c) 掘進トラブル対策

① 固結粘性土区間対策

粘性土を主体とする区間において、送泥比重としては低めの 1.15 以下で管理していたが、一部チャンバ内閉塞が発生し、カットトルクおよび推力の上昇がみられた。そこで水圧計を増設することでチャンバ内を可視化するとともに、粘性土が付着しやすい中心付近に設けた注入孔からチャンバ内へ高圧水を噴射する対

策を実施した。併せて、休日等の掘進停止時には粘性を低下させる効果のある分散剤をチャンバ内に定期的に投入することで、正常な掘進を維持した。

② 砂礫層区間対策

砂礫層を主体とする区間において、粒径 100 mm の礫を含む一次処理土の想定土量はおよそ 10 万 m³ にも及んだ。そのため、排泥管に厚肉管を使用することにより、礫による掘進時のトラブルに備えたが、想定を上回る一次処理土量の排出 (1.2 倍以上) と、硬質な礫を多く含んでいたことから、排泥管、排泥ポンプおよび一次処理機等の損耗が激しかった (写真—2～4)。排泥管については、曲がり管はもとより直線部においても摩耗がひどく、延長 3,200 m のトンネルに対して、1,200 m 分の排泥管を交換することとなった。排泥ポンプについては、インペラの摩耗によってポンプ性能の低下を引き起こし、掘進速度の低下にも繋がった。また、坑内は排泥管を通過する礫によって騒音が激しく、坑内作業員へは耳栓着用を義務化せざるを得ない状況であった。このような礫層掘進への対応として、昼夜 2 交代制としていた掘進工を 3 交代制へ



写真—1 シールドトンネル



写真—2 排泥管摩耗状況



未使用

摩耗後

写真—3 排泥ポンプ インペラ摩耗状況



写真-4 一次処理機 振動ふるい網損傷状況

シフトし、1方は配管交換等のメンテナンス作業に専念した。また、配管摩耗量を計測管理して、交換の優先順位を明確にすることで日々の掘進量を維持した。

(d) ビット摩耗計測結果

シールド到達後、強化先行ビットの摩耗量を測定した。測定結果を図-7に示す。横軸にビット取付位置を、縦軸に計測した摩耗量を示す。大半のビットは許容摩耗量 50 mm 以内であり、その摩耗量は取付位置(摺動距離に相当)に応じて比例的に増加している。データが比例直線から散っているものは、ビットの欠けによるものである(写真-5)。また、ティースビット

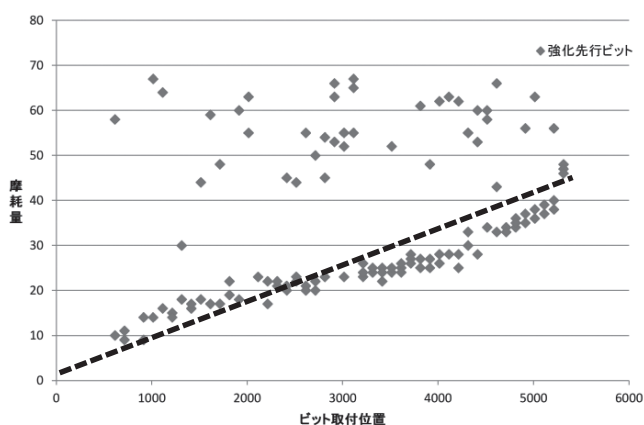


図-7 強化先行ビット摩耗計測結果



写真-5 強化先行ビット摩耗状況



欠けあり



欠けなし

写真-6 ティースビット摩耗状況

トの摩耗はほとんどないが、全数 190 個のうち、欠けによる計測不能なものが約 15%あり、計測可能なものについても大半が部分的に欠けており、想定をはるかに超える礫量の掘進であったと言える(写真-6)。

5. おわりに

本シールド工事は大断面・高水圧・長距離に加え、延長 1 km 以上に及ぶ砂礫層掘進、高水圧下の到達などの過酷な条件での施工であったため、排泥管の厚肉化などのさまざまな対策を講じていた。しかし、想定外の礫量排出による泥水輸送設備の損耗など度重なる課題が発生した。これらの課題に対しては、発注者・受注業者・関連業者が一体となって議論や試行錯誤を行うことで乗り越えることができた。あわせて、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、またトンネル構造物の品質を確保し、安全かつ早期に工事を完成させることができた。

今後は、トンネル内インバート、立坑内部構築等の土木工事や、設備・建築等の維持管理施設工事を実施し、平成 28 年度末完了に向けて事業を推進していく所存である。

謝 辞

最後に、本工事の着手から完了まで、ご指導、ご支援を頂いた関係各所の皆様に深く感謝の意を表する次第である。

J C M A

【筆者紹介】

笠井 和俊 (かさい かずとし)
大成建設㈱
東京支店土木部 白子川その6工事作業所
監理技術者

