

下り勾配のシールドで掘進が困難となった高水圧が作用する大量湧水地盤の克服

— 豊平川水道水源水質保全 導水路新設工事その2—② —

(株)鴻池組土木技術部 正会員 ○桶川 宏司 (株)鴻池組東京本店 樋口 伸朗
(株)鴻池組土木技術部 正会員 加藤 卓男 (株)鴻池組東京本店 深井 正行
(株)鴻池組東京本店 小澤 伶和 札幌市水道局 高田 洋治

1. はじめに

札幌市では、水道水源の98%を担う豊平川の水源水質を将来にわたって保全するため、取水堰から白川浄水場間に全長約10kmにわたる導水トンネルが計画された。本工事は、定山溪温泉東1丁目の豊平川に隣接する発進基地から、隣接工区との地中接合地点まで仕上がり内径2200mm、延長3286mのシールドトンネルを構築したものである(図-1)。全線にわたり二次覆工省略型RCセグメントが採用され、地中接合部のシールド鋼殻内部はTDRショットライニングシステムにより二次覆工を行った。

掘進開始直後は湧水の少ない安山岩の掘進であったが、凝灰角礫岩に変化した最初の沢下通過以降は、地下水の存在が確認された。さらに、その湧水量は徐々に増加し、土被りの増加とともに地下水圧も上昇した。切羽の湧水量は最大 $582\text{m}^3/\text{日}$ 、水圧は最大0.5MPaを確認した。そのため、泥土圧シールド工法では掘進が困難となり、掘削ずりの排土・運搬方式を泥水式シールド工法で採用される流体輸送方式に変更し、切羽の高水圧・大量湧水地盤の掘進を行った。(変更後には湧水量 $920\text{m}^3/\text{日}$ を記録した。)

2. 地質概要およびシールド機の仕様

図-2に地質縦断面図を示す。トンネル路線の最大土被りは257mで、掘削対象地盤は安山岩、凝灰角礫岩、石英斑岩、砂岩頁岩互層、火山礫凝灰岩などの岩盤区間が大半を占めていた。到達前の沢直下を土被り30mで通過することから湧水の影響が懸念されたため、想定水圧0.3MPaに対応する岩盤対応型泥土圧シールド機で掘削を開始した。

3. 泥土圧式シールド工法での掘進中断

トンネルの縦断勾配は下り1.0%のため、切羽に滞留した湧水によるシールド機の水没を避けることも重要な課題であった。そのため、湧水量が増えるたびに、地上の濁水処理設備の増強を実施するとともに、トンネル外周に沿って切羽に回り込む湧水量を低下させるため、シールド機後方で裏込め注入による二次注入に加え発泡ウレタンの注入も試みた。しかし、切羽前方の新しい水脈に遭遇すると湧水量は増えるため根本的な解決とはならなかった。1226m地点において、ベルトコンベヤーから溢れ出す湧水の処理が間に合わずシールド掘進を中断した(図-4)。さらにシールド機駆動部の土キーワード 岩盤掘進、泥土圧シールド、高水圧、大量湧水、流体輸送

連絡先 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町 1-9-1 (株)鴻池組 土木事業総轄本部 技術本部 土木技術部 TEL03-5201-7910



図-1 導水路位置図

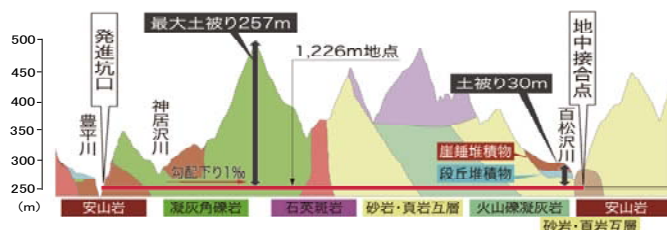


図-2 地質縦断面図

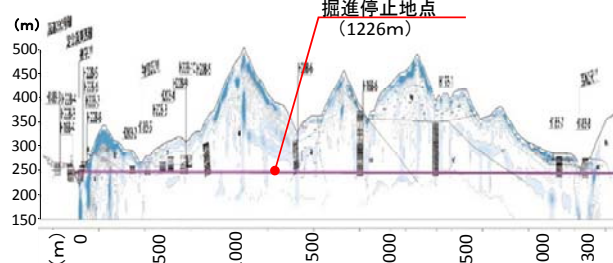


図-3 比抵抗エッジ縦断面図



図-4 泥土圧式シールド施工時の湧水状況

砂シールの耐水压を超えるおそれもあり、切羽の高水压かつ大量湧水への対応が課題となった。

本来の泥土圧シールドのように、高濃度の掘削添加材を切羽に注入し、塑性流動化した掘削土で高水压に対抗した切羽圧を保持して掘進することも考えられた。しかし、切羽後方300mの裏込め注入孔において1.29 MPaの高い水压が確認され、切羽圧が装備ジャッキ推力以上となるため適用は困難であった。

4. 「地山湧水クローズドシステム」への変更

中断地点以降の地下水の賦存状況を把握するため空中電磁探査を行ったところ、残りの区間においても万遍なく地下水の賦存が確認された（図-3）。今後の掘進においても、大量の地下水に遭遇することが予想されたため、切羽の湧水対策は、高水压地盤の掘進に優れた泥水式シールド工法における流体輸送を選定し、シールド機の改造を実施した。スクリーコンベヤーの端部に密閉型のゲートと混合槽を接続し、泥水循環方式による排土方式とすることで、掘削土砂と地下水を送泥水と混合し、排泥管によるトンネル坑外までの連続搬送が可能となった。湧水を閉回路の状態で排出できるため、「地山湧水クローズドシステム」と命名した（図-5）。

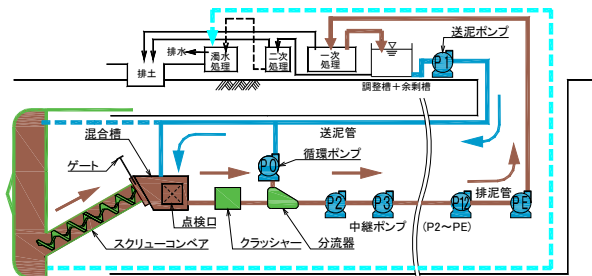


図-5 地山湧水クローズドシステムにおける泥水循環概要

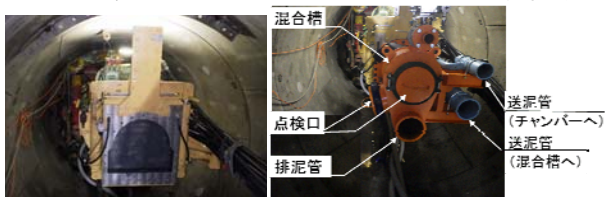


図-6 交換後のゲート

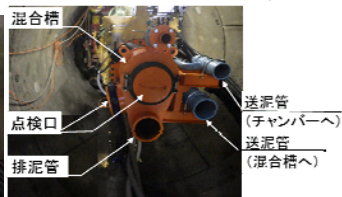


図-7 混合槽

シールド掘進中は大量の地下水を処理するため、20m³タンク2基と50m³タンク2基の計140m³の余剰槽でストックし、100m³/hrの濁水処理設備と4m³のフィルタープレスを設置して掘進時の泥水増加に対応した。

5. 掘進管理と泥水循環方法の変更

切羽の地山は岩盤のため泥膜形成の必要は無く作泥槽を設置しなかったが、掘削時の泥水比重は1.1t/m³であった。シールド機の坑内運転は止め、シールド機の操作や泥水輸送・泥水処理の運転管理は地上の中央管理室で集中制御した。



図-8 中央管理室における掘進管理システム

シールド掘進は、混合槽バイパス運転が安定した後、スクリーコンベヤーゲートを開放し泥水循環による排土を試みたが、排泥ラインが不安定となった。これは、流入する地下水の圧力や流量が変動し不安定なため泥水循環のバランス確保が難しいことと、掘削土砂は大小様々な岩塊のためリボン式スクリーでは混合槽内に掘削土砂を定量供給できないこと

によるものであった。そのため、送泥水を通常の泥水シールドのようにチャンバー内へ直接送り、泥水をチャンバー内で循環させることで高水压の大量湧水とともに掘削土砂を安定して排土することができた。なお、掘進時以外はスクリーコンベヤー

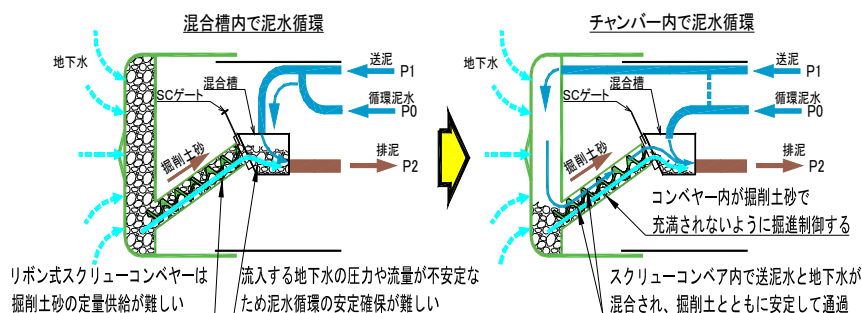


図-9 泥水循環方法の変更

ゲートを閉鎖し、濁度の低い湧水をシールド機から直接排水して切羽水压を0.3 MPa以下に制御した。

6. まとめ

シールド機で取り込んだ湧水を流体輸送によって地上設備に直接搬出することで坑内水没のおそれなくなり、安全かつスムーズなシールド掘進ができた。当初坑内搬送は坑内離合箇所を設けず鋼車2編成による搬送を計画していたが、ずり運搬作業が不要となったため、到達直前の3000m地点でも1編成で10R/日（203m/月）の進捗を確保でき、設備変更後の2011mを15ヶ月（平均134m/月）で掘進できた。掘進途中で工法変更という前例の無い工事となったが、無事導水トンネルを完成することができた。今回報告した施工事例が今後の類似工事における参考になれば幸いである。