

VI-139

TBMによる送水路トンネルの施工

(株)熊谷組 正会員 松尾 勉* 組田 道樹** 梶川 隆司**
阪神水道企業団 秋山 嘉雄*** 西 修平***

1. はじめに

神戸送水路は、阪神間4市（神戸・尼崎・西宮・芦屋）の将来の水需要の増加に備えて、1日最大給水量 321,900m³ の増強を図る事業の一環として猪名川浄水場から甲東ポンプ場を中継して芦部谷接合井（標高 100m）へ圧送された浄水を自然流下で送水するものである。そのうち1工区トンネル工事は、芦部谷を起点に甲山森林公園を抜け夙川を横断して県道大沢・西宮線に至る延長2,000mを、ダブルシールド式TBM工法（掘削外径3,370mm）で掘削し、ダクタイル鋳鉄管および鋼管（内径2,400mm）を設置した後、中詰モルタルを充填し送水路を築造するものである。

2. 地形・地質概要

当工区は六甲山地の東縁にあたり、南西方向に支尾根が発達し六甲山地～六甲南東山麓台地につながる地形になっている。地質は主に六甲花崗岩類が分布し、一部甲山では安山岩の貫入岩体が見られる。土被りは20～90m（沢通過部では最小3m）で、掘削対象となる地山は約50m南に位置する既設送水路トンネルの施工実績により、一軸圧縮強度が100MPa以上の硬岩

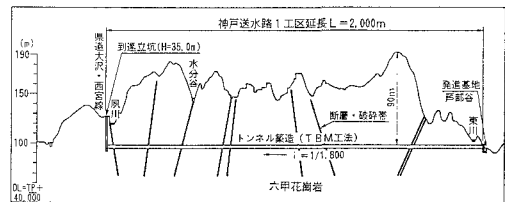


図-1 地質縦断面

～中硬岩（岩盤等級B～C_M）が大部分を占め、部分的に幅10m程度の地質不良部（断層破砕帯・変質帯）が数ヶ所に存在すると想定されている（図-1）。

3. 施工

施工は、①住宅地に近接していること、②小断面であること、③100MPa以上の岩盤が主たる掘削対象地質であることからTBM工法によるものとし、④断層破砕帯等の地質不良部が合計約70mあることから全地質対応型（ダブルシールドタイプ）の機種を選定した。

（1）掘削管理システム

TBMの掘削管理システムとして、ジオジメータとジャイロコンパスを併用しTBM本体に取付けた視準ターゲットを自動追尾装置で追跡し、マシンの位置、姿勢および制御状況等をリアルタイムに把握する。さらに、有毒ガス・粉塵も同時に計測記録できるトータルシステムとしている。

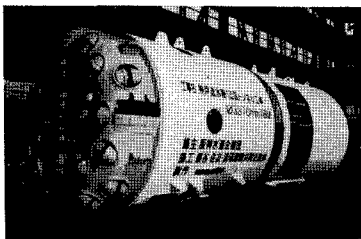


写真-1 ダブルシールド式TBM

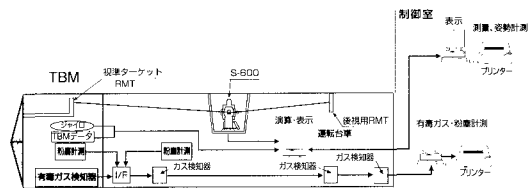


図-2 掘削管理システム

キーワード：送水路，TBM，前方探査，簡易セグメント，鋼繊維補強コンクリート

- * 東京都新宿区津久戸町 2-1 ・TEL 03-3235-8649 ・FAX 03-3266-8525
- ** 西宮市甲山町 42 ・TEL 0798-51-8877 ・FAX 0798-51-8864
- *** 神戸市東灘区西岡本 3-20-1 ・TEL 078-431-4351 ・FAX 078-431-4375

（２）前方探査

TBM掘進を効率的に行うためには、地質情報を正確に把握しそれに応じた支保を的確に設置する必要がある。また、地質不良部ではTBMの推進反力を一次支保工（後述のライナー）にとる必要から反力受けとしてのライナーの設置必要区間長を地質不良部の手前20mとしている。このため地質不良部の位置を前もって特定しておく必要がある。今回はこのための切羽前方地山探査法として、TSPおよび先進ボーリングを適用した。a) TSP（Tunnel Seismic Prediction）は、坑内から発振した弾性波のうち地層境界面で反射した波をトンネル側壁に設けた受振器で捕らえることにより、切羽前方にある断層等地層の変化に関する情報を把握するものである。b) 先進ボーリング調査は、TSPを実施した箇所についてその結果を確認する必要がある場合に実施することとし、TBMカッターヘッドのセンタービットの一つを取り外し、その空間を利用して二重管（削孔径101mm、インナービット径60mm）ノンコアタイプのボーリングマシンにより切羽前方に向けて水平に50m削孔する。ボーリング時にはトルクや掘進力等の掘進データを記録し、これらのデータとスライム排出状況などから地質不良部の位置を特定する。

（３）SFRCライナー

岩塊の肌落ちや小崩落に対して従来の鋼製あるいはRC製のセグメントと同様の支保機能を有し、かつ組立時間の短縮化を図るスチールファイバー補強コンクリート製ボルトレスの簡易セグメント（以下、SFRCライナーという）を適用した。SFRCライナーは鋼繊維補強コンクリートを本体部材とし、1リング4ピースで構成される。ピース間継手はナックルジョイント構造を採用しており、これに伴ってキーライナーは軸挿入方式をとっている。また、リング間は端部が平面形状でボルトレス接合となっており各リングはそれぞれが独立している。

ライナーに要求される機能としては、「一次支保機能」および「シールドジャッキ反力機能」である。一次支保機能の確保は、所定の地山荷重（図-3）に対して、ピース間継手をヒンジとする「多ヒンジ系はり-バネモデル」により軸力と曲げモーメントを算定し「鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル（トンネル編）」における限界状態IIにより耐力を算定した（図-4）。継手部のせん断強度については継手せん断試験により必要な強度が確保できることを確認した。また、シールドジャッキ反力機能としては推力試験により所定のTBM推進反力（6400kN/8本）を満足することを確認した。以上より設定したSFRCライナーの仕様を表-2に示す。

4. おわりに

前方探査、地質不良部でのSFRCライナーの設置などを含むTBMの掘進結果については、講演時に報告する。SFRCライナーは今後、継手部に止水機能を付加することなどで一次支保と永久覆工を兼用するワンパスライニングへの適用も可能と思われ、掘削断面縮小などコスト低減の一方策としても有効な手段になりうると考えられる。

表-1 SFRCライナーの特長

①ナックルジョイントの採用により、ボルト接合の手間が省け、組立時間の短縮が図れる。
②鋼繊維が部材端部まで分散して補強効果が均一化するため、所定の地山荷重に対抗するだけでなく運搬・組立時の衝撃による部材端部などの破壊などを防止できる。
③ライナーの製作は鉄筋組立ての手間がなく、省力化が図れる。

【荷重の組合せ】

上載荷重：①

偏荷重：①+②

等分布荷重：①+②+③

天端荷重：④

斜め荷重：⑤

側方荷重：⑥

【荷重高さのパラメータ】

①：鉛直荷重高さ 1.0, 2.0, 3.0m

②・③：水平荷重 0.5, 1.0（対鉛直荷重比）

④・⑤・⑥：荷重高さ 1.0m

図-3 設計荷重の作用状態

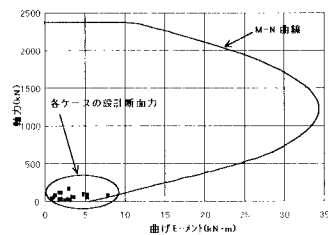


図-4 M-N性能曲線

表-2 SFRCライナーの仕様

項目	仕様
形状寸法	外径 3,150mm
	内径 2,950mm
	厚さ 100mm
コンクリート配合	1リング長 1,000mm
	水セメント比 35%
	鋼繊維混入率 0.75% (60kg/m³)
設計強度	鋼繊維長 60mm
	圧縮強度 47MPa
	引張強度 2.3MPa
	継手せん断強度 65kN
	シールドジャッキ反力 800kN