

V-59

オープン型TBMによる導水路トンネルの高速施工

清水建設㈱ 東北支店 正会員 ○清水 邦英
 東星興業㈱ 正会員 大村 英昭
 東星興業㈱ 佐々木 千好

1. はじめに

新下平・新小荒発電所は、新潟県東蒲原郡鹿瀬町に位置し、阿賀野川水系実川に建設を進めている流れ込み式発電所である。発電所建設工事のうち当第3工区は、新小荒発電所上流側の合流槽（取水口）からヘッドタンク（水槽）に至る導水路トンネル（掘削径 $\phi 3,520\text{mm}$ 、延長 $L=4,493\text{m}$ 、上り勾配 $1/1,000$ ）の掘進工事である。掘進工事には、写真-1のTBM（トンネルボーリングマシン、愛称：こあらくん）を使用した。本稿では、平均月進日本記録を更新したオープン型TBMの設備、施工実績について報告する。

2. 地形・地質概要

新小荒導水路トンネル建設地点は、新潟ー福島県境の越後山地飯豊山(2,105m)山塊の南麓に位置し、実川溪谷として比高 $200\sim 300\text{m}$ の狭く深い急峻な山狭をなしている。実川の地形は、標高 $500\sim 700\text{m}$ の急峻な山地と、この間を流下して実川に合流する枝沢から形成されている。枝沢の中では、カクレ沢とハツ目沢が比較的大きなもので、沢床の幅は $5\text{m}\sim 10\text{m}$ 程度である。山地斜面は傾斜が概ね $40\sim 50^\circ$ の急斜面であり、斜面下方から河床にかけては、岩盤が露呈している所が多い。

地質縦断面図を図-1に示す。基盤岩は白亜紀～古第三紀の花崗岩類（花崗閃緑岩）からなり、やや節理が多いものの硬質岩から構成され、河床部や沢部では節理が良く密着している。尾根部や斜面上部では風化が進んでいるが、風化深度はそれほど深くなく、トンネル全長にわたり幅 $10\sim 20\text{m}$ 程度の断層が7ヶ所推定された。

3. TBM工法の設備

3-1. TBM工法の選定

当トンネルの特徴は、

- ①円形小断面の長距離導水路トンネルであること。
- ②地質状況はほぼ全線にわたり強固なCH級の硬岩地山と想定されていること。
- ③工期短縮を求められていること。

以上から、施工速度が速く、小断面でも掘削が可能なTBM工法を採用した。TBM型式の選定においては、高速施工を目指すべく「切羽近くで早期の支保（ファイバーモルタル吹付）が可能」及び「ループ内で安全かつ確実に支保工の組立が可能」なオープン型TBMを採用することとした。

3-2. TBMの特徴

当トンネルで使用了TBMは、高速施工対応を可能とするため以下のような特徴を備えている。

- ①掘削屑の搬出は、効率性及び安全性を考慮して連続延伸ベルトコンベヤを採用した。
- ②カット交換の頻度を減らすため、ディスクカットの材質を標準のSNCM鋼からダイス鋼へ変更した。
- ③ファイバーモルタルのサイロ、吹付設備をTBM後続台車先頭に配置し、掘進中も常時吹付を可能とした。
- ④支保工組立作業の効率化をはかるため、支保工組立用旋回式エレクタを装備した。
- ⑤上部の作業空間に余裕を持たせるため、メインビームの位置を下げて作業効率を上げた。
- ⑥グリッパシユアの押付力は、切換スイッチ方式とし弱層部での坑壁の傷みを最小限に抑えた。
- ⑦起動電流を抑え、低回転域における高トルク運転、高回転域における低トルク運転を可能にするためにカットモータ駆動にインバータ制御を用いた。

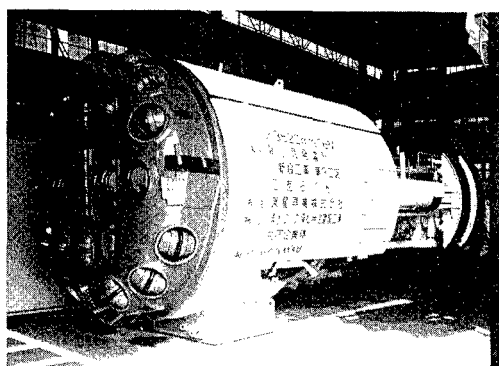


写真-1 TBM（こあらくん）の外観

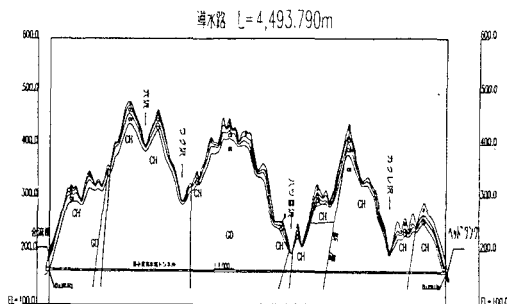


図-1 地質縦断面図

⑧切羽前方地山探査及び水抜きボーリングを行うためにガータ上に油圧削岩機を設置した。

⑨削孔の位置決めを容易にするためにルーフサポート内側に削孔用スリットを設けた。

表-1にTBMの仕様を、表-2に連続ベルトコンベヤの仕様を示す。

表-1 TBMの仕様

形式	全断面トンネル掘削機
掘削径	φ3,520mm
機長	11,600mm
全長	89,000mm
総重量	約170t(本体:115t 台車:55t)
総出力	約800kW
電源	AC6,600V 3φ 50Hz
カッタ	
カッタ径	φ394mm(15.5インチ)
材質	SNCM鋼/ダイス鋼
カッタ数	26個
カッタ駆動装置	
カッタ用電動機出力	600kW(150kW×4台)
カッタヘッドトルク	872kNm(89tfm 4.6rpm)
カッタ回転速度	1.3rpm～11.4rpm(5段変速)
スラスト装置	
総推力	5,880kN(600tf)
スラストジャッキ	2,940kN(300tf)×2本
推進ストローク	1,500mm
伸長速度	最大6.0m/h(10cm/min)
後続台車	8台

表-2 連続ベルトコンベヤの仕様

システム全長	約4,401.14m (ヘッド～テールプーリ)
搬送容量	
装備能力	293m ³ /h(469t/h)
想定実運搬量	96m ³ /h(154t/h)
ベルト幅	610mm
ベルト速度	90～150m/min(3段変速)
メインドライブ	
駆動形式・数量	タンデム駆動・1基
電動機出力・起動方式	110kW・インバータ起動
ブーストドライブ	
駆動形式・数量	タンデム駆動・1基
電動機出力・起動方式	110kW・インバータ起動
設置位置	メインドライブより約2,250m
キャリヤローラ	
径×トラフ角×ピッチ	φ101.6mm×27°×1.5m
リターンローラ	
径×ピッチ	φ101.6mm×3.0m

4. TBMの施工

4-1. 1次支保パターン

施工の安全性確保と崩落防止のため、TBMのルーフ部で坑壁を確認、状況に応じて掘削直後に支保を行った。1次支保パターンは、図-2に示すように地質性状に応じて4種類とした。

当初計画では、A種、B種が全体の約95%と想定されていたが、実績では約75%となった。また、当初懸念されていたD種区間断層層破碎帯での切羽大規模崩落や沢部直下での大量出水に遭遇することもなく、長期にわたるTBM掘削の停止は無く順調に掘進した。

4-2. 掘削実績

工事着手前の地質調査から掘削対象岩盤は、ほぼ全線にわたり一軸圧縮強度が100N/mm²程度で亀裂・断層が少ない花崗閃緑岩と予想されたことから、TBM掘削に適した岩盤・岩質であると判断、工期短縮を求められていることから目標平均月進は409mと設定した。

平成13年1月の本掘進開始時から2月中旬までは、機械トラブルのため、特に掘削ずり搬出用の坑外ベルコン設備が凍結のため稼働率が低下し、目標月進を達成することができなかった。しかし、その後は作業開始前及び段取替時の機械設備点検・整備・清掃の実施を徹底することにより、トラブルの予兆を早期に把握・対応するように心掛け、かつ地山不良部にTBM掘進と並行しながらファイバーモルタル吹付を施工することにより安定した掘進を行うことができた。

この実施工程のなかで、3月8日から3月9日にかけては最大日進62.9m、3月5日から4月4日にかけては最大月進802.7m(暦日31日)、初期掘進開始時から貫通までの平均月進は449m(本掘進のみでは523m)の進行を記録、その結果当初予定より約1.5ヶ月の工期短縮をはかることができた。

5. おわりに

今回、円形の小断面長距離導水路トンネルの掘削にTBM工法を採用し、平均月進の日本記録を更新する高速施工を達成することができた。TBMが備えている高速掘進性能を可能な限り発揮させるには、地山性状に応じた支保パターンの選定と、TBM機械能力を最大限に生かしたマシンオペレーション及びTBM稼働率向上のための機械点検、メンテナンスが重要であるといえる。

最後に、本工事の実績が類似工事の参考になれば幸いであると考えている。

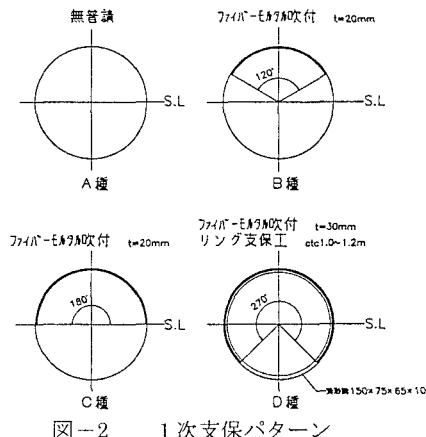


図-2 1次支保パターン