

TBM による長距離導水路トンネル掘削設備

清水建設（株） 正会員 ○白崎 耕平、秦 健二、戸舘 拓也
三菱マテリアル（株） 東北電力所 近藤 智也

1. はじめに

三菱マテリアル(株)小又川新発電所¹⁾は、秋田県北秋田市の阿仁川支川小又川に位置する新設水力発電所である。2019 年 4 月に着工し、2022 年 12 月に完成した。森吉ダム直下の小又川第四発電所の放流庭から直接取水を行い、下流に設けた新発電所に導水し、有効落差 91.5m を確保して最大出力 10,326kW、年間発電量約 48,500MWh の発電を行う。この導水路トンネルは、延長 8,492.1m、水路勾配は 1/1,210～1/1,300 である。TBM 工法により掘削する第二工区は、作業横坑②からアクセスし、延長 7,658.4m を施工した(図-1)。

2. TBM 工法の選定

第二工区の掘削に TBM 工法を選定した第一の理由は、高速施工を行うことにより、水力発電所の早期操業を実現するためであった。7,658.4m の導水路を 22 か月で掘削を完了させるためには、平均月進 347m 以上が必要であった。また、地山の性状が全線にわたって掘削面が自立する良好な岩盤の分布が予想されたため、硬岩～軟岩を高速掘削することが可能な TBM 工法が最適であると判断した。TBM 掘削機はオープンタイプを採用し、支保工の早期施工を可能とした。掘進精度は±150mm が確保でき、不良地山が出現した場合にカッタヘッド周辺の地山補強対策を行うための削岩機も搭載した（写真-1、表-1）。



写真-1 TBM 組立完了写真



写真-2 坑内状況

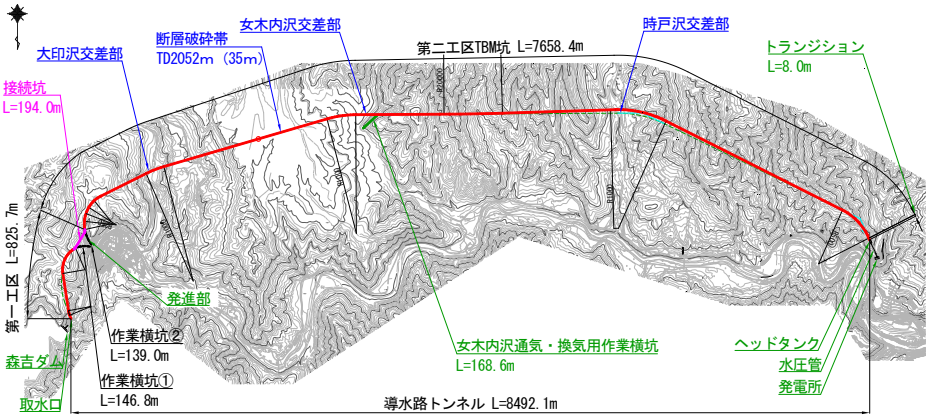


図-1 小又川新発電所平面図

表-1 TBM 主要諸元

① TBM 型式	オープンタイプ
② 掘削外径、機長	φ3.52 m (最大 3.54m), 15.2m, 全長 (129.5m)
③ 最小曲率半径	R=250m (右カーブ)
④ カッタ	
・カッタ径	17 インチ
・カッタ数	24 リング (センタ 8, インナー 15, ゲージ 1)
⑤ カッタヘッド駆動装置	
・電動機出力	150 kw×4
・トルク	max. 902 kNm
・回転速度	1.3～11.0 rpm
・駆動方式	インバータモータ
・カッタ取付	内取り付け
⑥ スラスト装置	
・総推力	7,056 kN
・スラストジャッキ	3,528 kN×2
・伸張速度	max 6.0 m/hr (10cm/min)
・掘進ストローク	1,600 mm
⑦ メイングリッパ装置	
・総押付力	左右各 7,350 kN
・シュー張出力	+150～+250 mm
・接地圧	max 4.1 N/mm ²
⑧ ルーフサポート	天端プロテクター
・シュー覆い角度	約 110°
・シュー支持力	7.84 kN

3. 導水路トンネルの構造

TBM 掘削による小断面トンネルの支保構造は、薄肉ファイバー入りモルタル吹付け (PF モルタル、 $f'_{ck}=36\text{N/mm}^2$) と鋼リング支保工 (H-100) を主要支保部材とし、地山性状に応じて支保タイプを選択した(写真-2、表-2)。底盤にはコンクリート二次製品のインバートブロック (RC 構造、 $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$) を採用した。

キーワード トンネル、TBM、施工設備、導水路、水力発電所

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設(株) TEL:03-3561-1111, E-mail:k.shirasaki@shimz.co.jp

表 2-導水路トンネル構造諸元(TBM 坑)

支保タイプ	B1	B2	C	D1
1 掘進長 (m)	1.50	1.50	1.50	1.0
モルタル吹付	厚さ (mm)	—	20	30
	範囲 (°)	—	120	180
鋼リング支保工	—	—	H-100	H-100
吹付覆工	補強	繊維補強	—	—
	厚さ (mm)	75	75	100

4. TBM 掘削用仮設備の概要

ずり運搬は連続ベルトコンベヤ方式(写真-3、表-3)とした。ベルトラインは発進基地のストレージカセットを出ると、R250m でカーブして坑内へ入り、TBM 後方のテールピースまで続く。掘進の進捗にともないベルト延長が増加していくとメインドライブの負荷が増大するため、補助駆動装置であるブースタドライブを坑内に 2 基設置した(写真-3、表-3、図-2)。



写真-3 連続ベルトコンベヤ設備

表-3 連続ベルトコンベヤ主要諸元

	メインドライブ	ブースタドライブ	リターンドライブ
設置場所	坑口部、仮設ヤード	発進基地から 4092m	発進基地から 5992m
動力	200kW	110kW	75kW
駆動方式	インバータ駆動方式		
ベルト速度	150m/min		
搬送能力	230t/h		

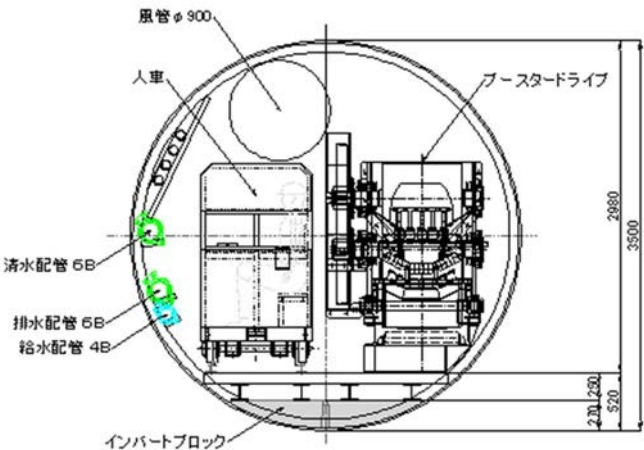


図-2 ブースタドライブ設置断面図

発進基地(図-3)内には連続ベルトコンベヤ設備以外に、土砂ピット、吹付けモルタルサイロ、給水設備、濁水処理設備、高圧受変電設備等を配置した。また、インバートブロックやレール部材等の資材置場を設け、揚重機は主に 4.9t クローラクレーンとし、資材を坑内へ運搬する軌道装置には6tのサーボロコを用いた。

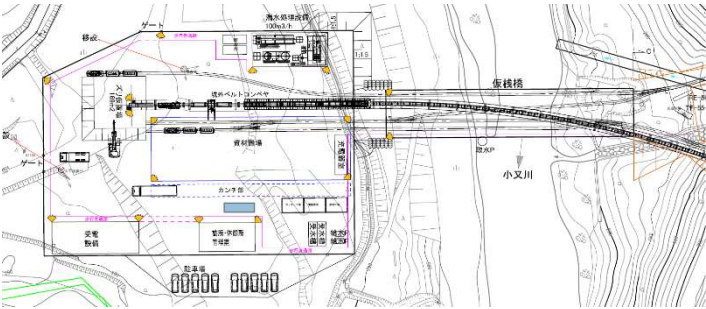


図-3 発進基地平面図

6. ディスクカッタ使用量

ディスクカッタ材質は耐磨耗性に優れるダイス鋼 (SKD11) を採用した。使用量は当初装着の 24 個に交換した 36 個を加え計 60 個であった。このうち軟質地山に起因する偏摩耗交換は 21 個、通常摩耗は 15 個である。

7. まとめ

本 TBM 掘削における掘削開始月から貫通月までの平均月進は 382.9m を記録し、計画よりも 2 カ月短い 20 カ月で導水路トンネルの掘削を完了することができた。また、全作業日当たりの TBM 掘削稼働率は 71.5%であった(表-4)。

表-4 稼働状況

作業項目	割合 (%)	備考
TBM 掘削	71.5	メンテ、カッタ交換含む
連続ベルトコンベヤ延伸加硫	6.6	ベルト長 300m 毎
中間ドライブ設置	3.1	2 箇所 (ブースター、リターン)
離合箇所設置	3.0	2 箇所
地山トラブル	1.6	切羽湧水含む
機械電気トラブル	5.8	
連続ベルトコンベヤトラブル	6.0	曲率半径 R250m
気象制約他	2.4	

参考文献

- 1) 平石浩一・板橋博孝・中村行信・高野浩司:長距離導水路を最大月進 678m のオープンタイプ TBM により施工, トンネルと地下, Vol. 54, No. 1, p7-18, 土木工学社, 2023 年 1 月