

TBMによる長距離導水路トンネルの高速施工

清水建設（株） 正会員 ○高篠 良太，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月に完成している。森吉ダム直下にある小又川第四発電所の放流口から直接取水し、下流に設けた新発電所に導水、有効落差 91.5m を確保し最大出力 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 8492.1m、水路勾配は 1/1210～1/1300 である。第二工区の TBM 坑は、作業横坑②からアクセスし、TBM で延長 7658.4m を施工した(図-1)。

2. 導水路トンネル構造

TBM 工法は、無支保での高速掘進を基本とし、必要設計内空断面と供用期間のトンネルの安定を確保する。これらを満たす小断面トンネル支保構造は、薄肉ファイバー入りモルタル吹付け(PFモルタル、 $f'_{ck}=36N/mm^2$)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、これらの組合せによる標準的な支保パターンを採用した(表-1、図-2)。底盤コンクリートは、トンネル延長が長いため、インバートブロック(RC構造、 $f'_{ck}=18N/mm^2$)を採用した。

3. TBM仕様

地山性状は、全線にわたって掘削面が自立する良好な岩盤が分布すると予想されたため、薄肉支保工の早期施工、掘進精度±150mmの確保、カッターヘッド周辺地山補強が可能なオープンタイプTBMを採用した(写真-1)。

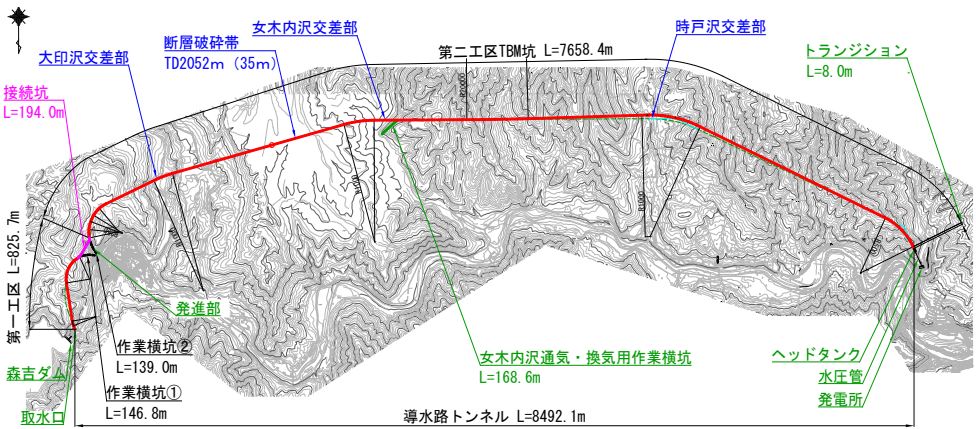


図-1 小又川新発電所平面図

表-1 導水路トンネル構造諸元 (TBM)

支保タイプ	B1	B2	C	D1
1 掘進長(m)	1.5	1.5	1.5	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	100	100



写真-1 TBM 外観



写真-2 坑外ベルトコンベヤ



写真-3 ブースタドライブ



写真-4 TBM 坑内離合箇所

キーワード トンネル，TBM，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 03-3561-3896

4. 施工計画概要

(1) 掘進計画は TBM 機械能力の上限状態を基本とし、平均月進 347m で計画した。地質不良部では、地山性状に応じて、低回転速度の高トルク、低スラスト推力運転により、TBM 掘進を確実にし、計画工程を確保した。

(2) ずり運搬は、連続ベルトコンベヤ方式(写真-2)とした。長いトンネルの計画ベルト速度 150m/min の変動抑制から、坑内 2 箇所にブースタドライブ(写真-3)とリターンドライブを設け、ずり運搬能力 230t/h を確保した。

(3) 坑内軌条は単線とした。トンネル延長が 7658.4m と長い小断面トンネルの資機材運搬は、坑内運搬速度 8km/h の制限が TBM 掘進速度に影響するため、資機材待ち時間が生じないように坑内 2 箇所分離合箇所(写真-4)を設け、計画 TBM 掘進サイクルタイムを確保した。

5. TBM 施工実績

2020 年 1 月 13 日より、作業横坑②坑口 139m 位置から TBM 掘進を開始し、2021 年 8 月 24 日に到達、貫通した(図-3)。貫通精度は、鉛直方向上向きに+53mm、水平方向進行方向左側に-140mm の偏差である。最大日進は 64m、最高月進は 821.5m、最大月進は 677.5m である。TBM 掘削開始月から貫通月までの平均月進は 382.9m である。実施した支保タイプ B1 と B2 の全延長比率は 61% であり、計画月進 347m を上回った。全作業日当たりの稼働率は 71.5% である。長い TBM 坑高速施工のためのブースタドライブとリターンドライブおよび 2 箇所の離合箇所設置に全作業日の約 6% を要したが、資機材運搬による TBM 掘削サイクルへの影響を低減し、掘削サイクルタイムを確保した。導水路トンネル掘削に 20 ヶ月(表-2)、その他工事として吹付覆工に 7.5 ヶ月、軌条設備撤去後片付けに 2 ヶ月を要し、導水路トンネルの施工を終えた。

6. まとめ

長い導水路トンネルの高速施工が可能な TBM 工法とこれを支える仮設備を計画し、オープンタイプ TBM を採用し、(4)で述べた施工計画を基本に施工した。TBM 掘削サイクルに与える影響を低減することで、計画を上回る高速施工を実現した。

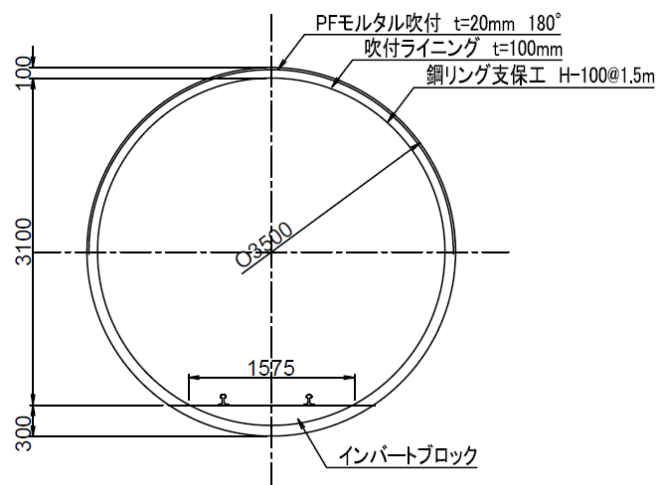


図-2 トンネル構造（支保タイプC）

表-2 TBM 坑掘削実績

項目	実績値	単位	備考
作業月数	20	月	掘削開始月～貫通月
作業日数	425	日	
掘削日	361	日	TBM 稼働日
TBM 坑延長	7658.4	m	
平均日進	21	m/日	掘削日当たり
最大日進	64	m/日	2020/6/15
平均月進 1	382.9	m/月	作業月当たり
所要月	18.5	月	作業日 23 日換算
最高月進	821.5	m/月	2020 年 5～6 月
最大月進	677.5	m/月	2021 年 7 月
平均月進 2	414.5	m/月	所要月換算

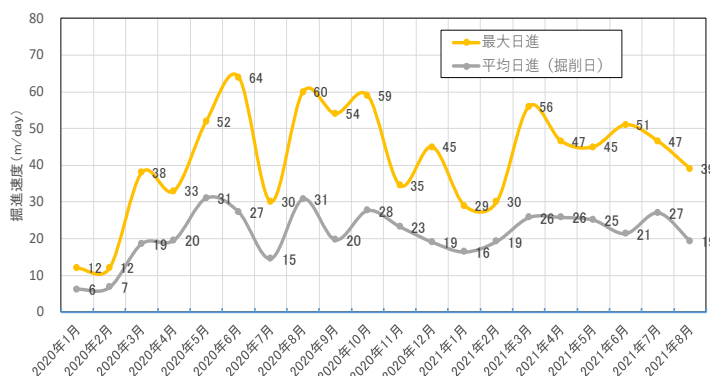


図-3 TBM 掘進速度（掘削日あたり）

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, pp7-18, 土木工学社, 2023 年 1 月.