

玉川第二発電所新設工事のうちオープン型 TBM による導水路掘削

東北自然エネルギー株式会社 正会員 ○菅生 俊樹
 東北電力フロンティア株式会社 非会員 保坂 俊輔
 株式会社大林組 正会員 堤 哲平

1. はじめに

玉川第二発電所は、上流に位置する既設玉川発電所からの放流水と新たに設ける取水堰からの取水とを合わせた最大 25 m³/s の水を新設導水路でヘッドタンクへ導き、最大 14,600 kW の発電を行う水路式発電所であり、2022 年 11 月に運転開始した。導水路延長は 5,662m あり、そのうち 4,890m をオープン型 TBM（トンネルボーリングマシン）により掘削を行った。TBM は本来硬質な地山掘削に適している工法であるが、実際に掘削すると軟弱な地質が広く分布しており、掘削に様々な対策を要し、最終的には掘進が困難となり、到達立坑側からの迎掘りを実施している。本稿では、軟弱地山掘削に施した主な対策や、不良地山の地質把握のために実施した空中電磁探査について報告する。

2. 工事概要

表-1 と図-1 に、工事概要と導水路/TBM 概要図を示す。トンネル総延長 5,662m のうち TBM 施工延長は 4,890m（当初計画は 5,552m、迎掘り実施により減）、その他トンネルは NATM 工法により施工した。本工事で採用した TBM は、オープン型メインビーム式であり、ロックボルトや長尺鋼管先受け工が施工可能である。

3. 掘進実績

本工事における TBM 掘進実績は、最大月進行 443m、最大日進行 40m であった。一方、平均月進行は 140m 程度であり、計画時の目標月進行 400m を大きく下回った。大幅な工程遅延は不良地山に起因する数々の地質トラブルによるものである。設計における掘進パターン④種（鋼製支保工設置）区間は、TBM 施工延長の 3.6% であるのに対し、実績は 80.3% と大きく上回った。

4. 地質トラブル事象と対策

TBM 掘削区間の地質は、新第三紀の流紋岩、凝灰角礫岩、凝灰岩が主体であり、比較的硬質な区間も出現したものの、多くの区間は一軸圧縮強度 10N/mm²程度であり、熱水変質の影響を強く受けた箇所や粘土鉱物を多く含む区間も存在した。

図-2 に、地質トラブル事象を示す。本工事における地質トラブルには、崩落に起因する事象と、粘土卓越に起因する事象がある。前者には、ルーフサポート後方における崩落やカッターヘッド前方における崩落、グリッパー部や掘削済み区間における崩落などがあり、後者には、カッターヘッド内（チャンパー内）における付着による閉塞やローラーカッターの偏摩耗、掘削済み区間における変状（吹付けクラックや押し出し）などがある。

崩落に対しては、長尺鋼管先受け工やフォアポーリング、鏡ボルト、ロックボルト、増吹付け等で対応した。また、粘土卓越に対しては、チャンパー内への高分子凝集剤の添加や、カッターの種類をチップインサート型へ変更する等で対応した。掘削済み区間の変状に対しては、追加補強支保工と金網・増吹付け等で対応した。これらの事象が局所的でなく、連続的に継続するため、TBM 貫通時期の予測が立たず、全体工期に大きな影響が生じていたことから、前方地質と TBM 掘削工程の把握を目的として、空中電磁探査を実施した。

表-1 工事概要

位置	山形県西置賜郡小国町
水系河川	一級河川 荒川水系玉川
使用水量	(最大) 25.00 m ³ /s (常時) 3.64 m ³ /s
発電出力	(最大) 14,600 kW (常時) 1,480 kW
工期	着工：2016年6月 運転開始：2022年11月
主要工種	【導水路トンネル（3号トンネル）：TBM工法】 掘削方式：オープン型メインビーム式TBM 掘削外径：φ4,550mm、トンネル延長：4889m 掘進パターン
数量	①種 ②種 ③種 ④種 インパートコンクリート インパートブロック 【その他トンネル：NATM工法】

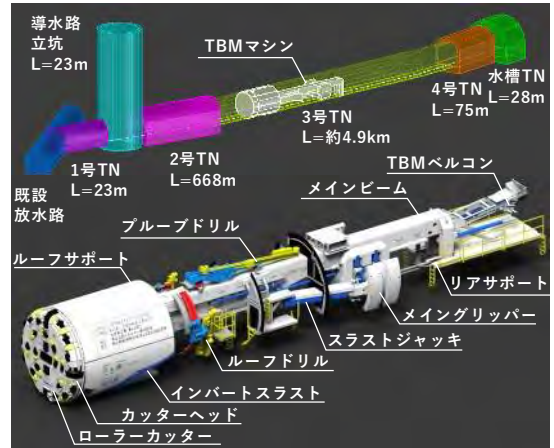


図-1 導水路/TBM概要図

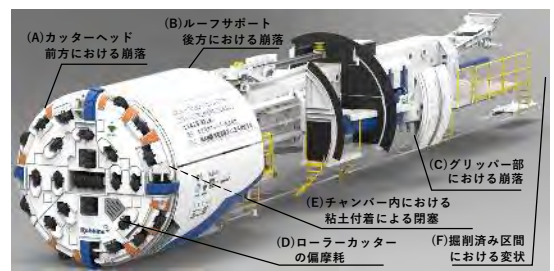


図-2 地質トラブル事象

キーワード 山岳トンネル, オープン型 TBM, 空中電磁探査

連絡先 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町 3-7-1 TEL 022-799-3993

5. 空中電磁探査

TBM の前方地質把握のために、地表踏査を実施したものの、地上部と地下部の岩質には相違があり、詳細把握には限界があった。一方、TBM 切羽からの水平ボーリングは、確認可能な距離に制限があり、全体把握には適さない。また、施工場所は国内有数の豪雪地帯であり、冬季でも実施可能な物理探査を検討した結果、空中から探査が可能である空中電磁探査を採用した。

図-3、4に、空中電磁探査概要と比抵抗相関図を示す。空中電磁探査は、ヘリコプターを用いて空中から人工的に発生させた交流磁場が地盤中を透過する際に生じる電磁誘導現象を利用して、地盤の比抵抗を測定する物理探査である。空中電磁探査により得られる比抵抗は、相対的な高低と変化の分布に着目するのが一般的である。比抵抗により得られる情報は、亀裂や含水率、粘土鉱物の定性的な多寡であり、TBM 掘削においては非常に有益な情報である。

図-5に、探査結果と TBM 掘削データを示す。比抵抗は体積含水率または粘土鉱物が多い場合、赤・橙・黄などの暖色系（比較的比抵抗）を示す。比抵抗変化は赤・白・青の濃淡で色別され、評価する格子の比抵抗が上下左右に隣接する格子と比較して低い場合、赤色（比抵抗変化が低下側⇨周辺よりも電気が流れやすい⇨不良地山）を示す。TBM 掘進距離 2,000m 以降は、概ね比抵抗かつ比抵抗変化が低下側であり、掘削データからも、シュミットによる強度が低く、掘削ずりの性状も不健全（粘土卓越）、また、粘土付着によるチャンバー内閉塞により掘削ずり排出が不安定（取込み不良）となり掘進速度が低下していることより、空中電磁探査結果の粘土卓越予測と概ね一致し、探査結果の信頼性が確認できた。

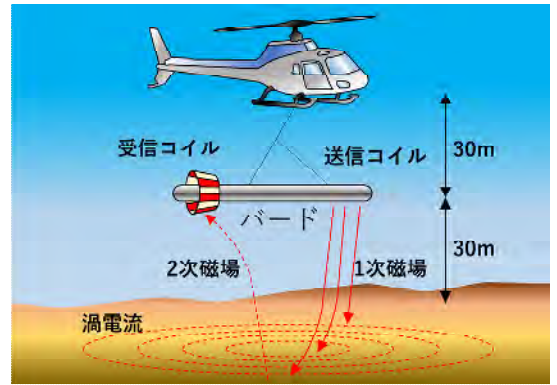


図-3 空中電磁探査概要

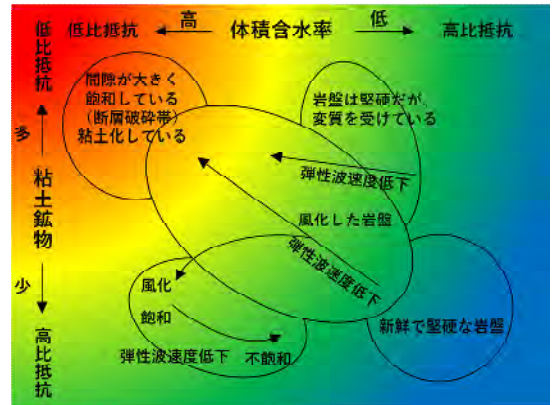


図-4 比抵抗相関図

6. おわりに

本工事は、当初 5,552m を TBM で掘削する計画であったが、度重なる地質トラブルの結果、4,890m 地点で掘削を断念（2020 年 11 月）し、到達立坑側からの迎掘りにより、無事貫通（2021 年 6 月）することができた。

約 1,300m 地点で実施した空中電磁探査結果により前方地質を把握し、これまでの掘削データと対比することで、探査箇所以降の TBM 掘削工程や掘進パターンについて、より詳細に検討を進めることができた。空中電磁探査は、掘進作業に影響なく実施できる探査であり、探査日数 1 日と解析作業 1 週間程度で広範囲における結果が得られるため、掘削開始後に切羽前方の地質探査を目的に実施する地表踏査や TBM 切羽からの前方探査の代替案として提案されることを期待する。

最後に、本工事の施工者である大林組・熊谷組共同企業体の努力により、導水路トンネル貫通および営業運転開始を迎えることができ、この場を借りて深く感謝を申し上げます。

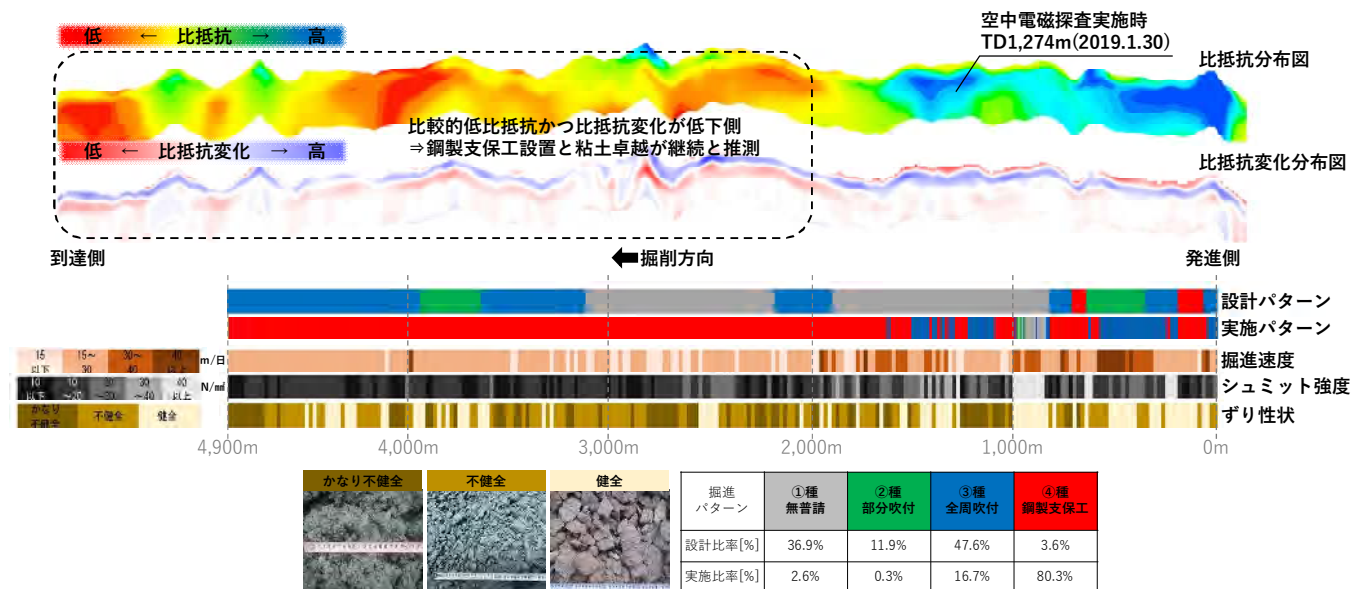


図-5 探査結果とTBM掘進データ