

供用中の開閉所設備直下での低土被りトンネルの掘削

前田建設工業株式会社 正会員 ○山田 倫

前田建設工業株式会社 正会員 相場 清志

前田建設工業株式会社 田部 隆善

1. はじめに

新姫川第六発電所は新潟県糸魚川市、長野県小谷町を流れる一級河川本川より最大 30m³/s を増量取水し、延長約 4,620m の導水路、水槽を経て延長約 225m の水圧管路より有効落差 102.3m を得て、最大 28,000kw を発電した後、下流の姫川第七発電所沈砂池へ放水する水路式の水力発電所である。放水路トンネルは供用中の開閉所設備の直下を NATM 工法で掘削するものである(図-1)。トンネル掘削が開閉所設備の運転に影響を与えないよう、上方に立地する送電鉄塔および開閉所設備に対して各構造設備の相対変位(鉛直)でそれぞれ 7mm, 5mm を管理値とすることを発注者との協議により設定した。本稿では、送電鉄塔、開閉所設備への影響を最小限に収めるために実施した計測管理および補助工法について報告する。

2. 放水路トンネルの概要

放水路トンネルは延長 L=48.85m, 掘削断面積 A=23.64m²であり、開閉所設備の地盤面までの土被りは 3.8m(0.74D)である(図-2)。全線を通し、土被りが 1D 以下であることから、グラウンドアーチが形成されにくく、掘削に伴う上部の地表面沈下や、地質が未固結の崖錐堆積物、段丘堆積物および旧造成時の埋土から形成された脆弱な地山であることから、支保工脚部の支持力不足による沈下や未固結地山での滞水、地下水流出による切羽崩壊、地下水の影響による支保部材の機能低下が懸念された(図-3)。このような地山の緩みによる沈下は、開閉所設備の変位に直結する。

3. 予測解析

解析は同類地質が分布する国道 148 号線直下の水圧管路、余水路の計測結果再現解析にて設定した地山物性値を使用し、3 次元 FEM 解析にて放水路トンネル施工に伴う近接構造物への影響程度の見直しを行い、変位量予測、計測管理を行った(図-4)。FEM 解析におけるステップとしては、上部構造物荷重載荷、長尺鋼管先受工(AGF 工法)後に全断面掘削で切羽 1m 後方に支保工、ロックボルト施工を繰返すものである。近接構造物への影響評価として、トンネルセンター縦断面における鉛直方向変位については、埋土が分布する区間の変位量が他区間に比べ大きく、約 25~30mm となった。また、鉄塔、発電所構造物への影響評価として、鉄塔の鉛直変位は最大 4.9mm、独立した鉄塔基礎の脚部距離に対する相対変位(鉛直)は 2.6mm、発電所構造物は全体的にやや大きくなり、鉛直変位は最大 20.3mm、各構造物の相対変位(鉛直)は 9.2mm となった。

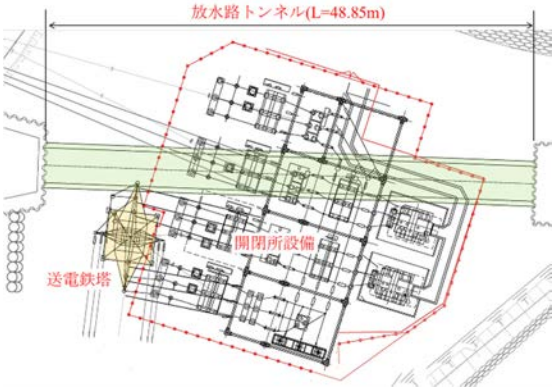


図-1 現場平面図

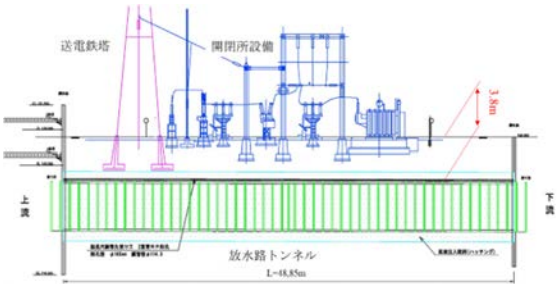
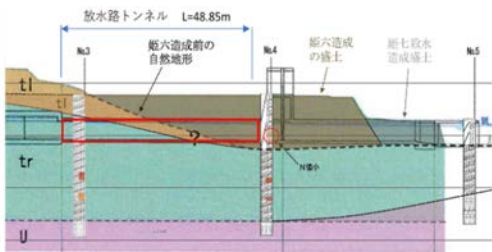


図-2 現場縦断面図



地質時代		地質区分	記号	層相・岩相
新生代	第四紀	土石流堆積物	df	礫混じり粘性土
		崖錐堆積物	tl	礫混じり粘性土
	更新世	低位段丘堆積物	tr	礫混じり砂・砂礫・玉石混じり砂礫
古生代	中須賀層	泥岩	Hm	塊状・硬質な泥岩
	時代未詳	蛇紋岩及びかんらん岩	U	柱状・硬質な蛇紋岩 細片化(葉片状)～粘土化した蛇紋岩を含む

図-3 地質縦断面図

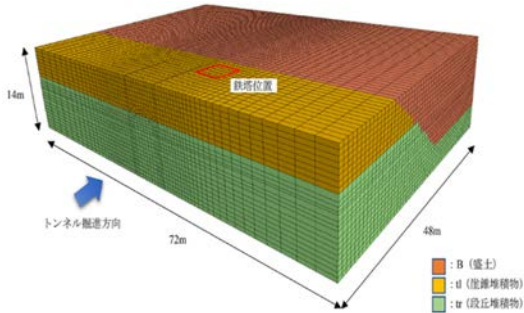


図-4 3次元解析モデル図

4. 計測管理

土被りが小さいことから、掘削はもとより、切羽安定対策として行う補助工法や薬液注入工法が逆に地表に影響を及ぼす懸念があるため、坑外からトンネル天端付近にボーリングマシンにより水平孔を削孔(2重菅削孔, AGF 兼用)し、その内部に3次元地中変位計(Shape Accel Array, $\phi 25$, 図-5)を設置し、50cm 間隔で連続高精度変位測定を行った。設定した管理レベル(Lev1~3)に達すると、全職員の携帯電話に異常を通報するシステムを導入し、地表面変位に先行する地中変位をリアルタイムで監視し、施工時の変状をリアルタイムでモニタリングし計測管理に活用した。また、施工中は3次元地中変位計を開閉所設備内の地上に設置し、送電鉄塔および開閉所設備内構造物に計測点を設けた計測と合わせて実施した(図-6)。

5. 実施結果

地盤改良を2019年7月に開始し、10月完了後、超長尺先受工を施工し、事前の予測解析の結果を踏まえ、想定事象に対する類似実績に基づいた設計として早期閉合、先受け工の長尺化、地盤改良、トンネル形状の変更、摩擦式鋼管膨張型ロックボルトを併用しながら掘削を開始した。鉄塔に関しては最大7mmで管理値内に収まったが、開閉所設備に関しては管理値超過が続いたため、発注者協力のもと開閉所設備の点検、高低差の修正を行いながら、以下の工法を追加で実施した。

- ① 鋼製支保工の建込間隔の変更(1.0m→0.8m)
- ② 長尺鏡ボルト
- ③ 注入式フォアポーリング
- ④ 開閉所設備内から直下へ周辺地山の地盤改良

掘削延長 $L=23.0\text{m}$ からは切羽開放時間の短縮による早期閉合および剛な支保工構造による変位抑制のため、①の対策を実施した。また、掘削延長 $L=25.4\text{m}$ からは応力開放面である切羽鏡面から切羽前方の地山補強による先行変位抑制のため、②の対策を実施した。しかし、開閉設備直下の掘削においては管理値に近づく傾向が確認されたため、さらなる地山補強を目的に掘削延長 $L=27.0\text{m}$ からは③の対策を実施した。

しかし、面的な広がりを持つ開閉設備基礎においては変位の増加が続き、相対変位が最大で14mmに達したことを受け、①~③による応力開放の低減に加え、面的な地耐力の確保による荷重の分散が有効と判断し、④の対策を実施した(図-7)。開閉所設備内には小型のボーリングマシン等の機器搬入による削孔ができないため、人力削孔による注入式自穿孔ロックボルトを注入パイプの代用として構造物基礎周辺に打設し、構造物基礎地盤の強化およびトンネル上部の未改良地盤に対して改良を行った(図-8)。その結果、掘削再開後の相対変位の進行は最大5mmに抑制され、2020年2月に掘削を完了した。

6. おわりに

本工事では、FEM解析の結果をふまえて事前に補助工法を含む対策を検討し、多数の補助工法を行いながら掘削を進めた。その結果、送電鉄塔、開閉所設備への影響を最小限に収めることができたと言える。最後に、本工事を施工するに当たり、多大なご協力を頂いた黒部川電力株式会社をはじめ、関係者に感謝すると共に、施工事例が今後の類似工事を進める上で一助となれば幸いである。

キーワード NATM, 近接構造物, 補助工法, 変位量予測, 計測管理

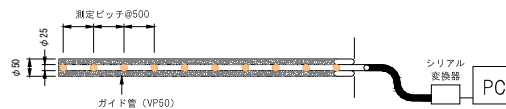


図-5 3次元地中変位計 概要図

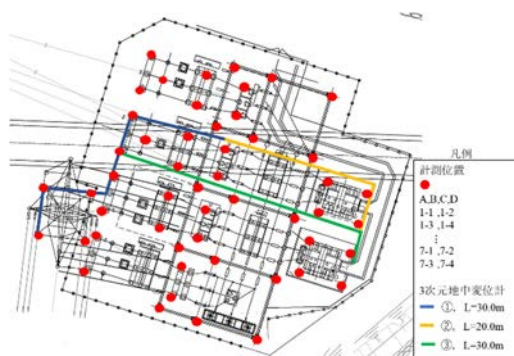


図-6 沈下量計測位置図

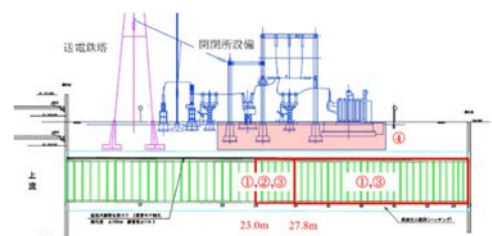


図-7 補助工法実施範囲図



図-8 改良位置図