豊実発電所改修工事における放水路トンネルの施工について

東北電力株式会社　豊実・鹿瀬発電所工事所　正　員　○永井　志功
東北電力株式会社　豊実・鹿瀬発電所工事所　正　員　　小林　正樹

１．はじめに

一級河川阿賀野川水系阿賀野川に位置する豊実発電所は昭和 4 年に運転を開始したダム式発電所（最大使用水量 270m^3/s，最大出力 56,400kW）であり，経年劣化が進行していることから平成 20 年 11 月より改修工事を実施している．

本報告では，この改修工事のうち放水路トンネルの掘削方法や補助工法および施工管理について報告するものである．

２．放水路トンネルの計画概要

(1) 放水路トンネルの諸元と特徴

放水路トンネルの諸元を表－1 に示す．また縦断面図を図－1 に示す．

(2) 放水路トンネルの掘削手順

放水路トンネルの掘削手順，工程は以下のとおりである．現在は，洪水時のトンネルならびに発電所の浸水対策として，放水口側のトンネルにプラグ（未掘削部）を約 5.3m～最大 9.0m残し，一次掘削を完了している．今後，プラグ部を除くトンネルおよび立坑下部の覆工完了後，放水路ゲートを設置し，プラグ部の貫通掘削を行う予定である．

＜放水路トンネルの施工手順＞

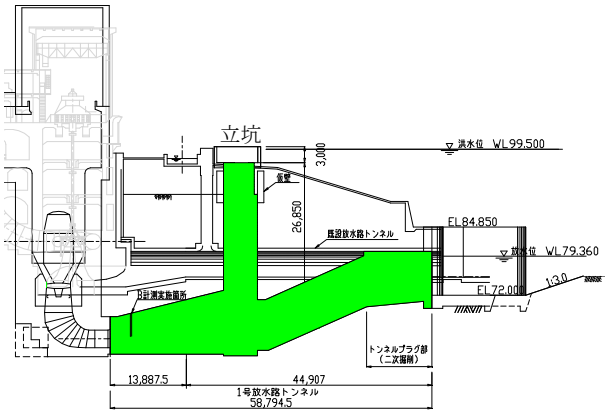
① 放水路立坑の掘削（H21/2 着手）
② 既設放水路トンネルからの補助工法の施工
③ 既設放水路トンネルの再生骨材コンクリート充填
④ 放水路トンネルの一次掘削（H22/8 完了）
⑤ 放水路トンネル・立坑の覆工（H22/9 着手）
⑥ 放水路ゲートの設置（H23/10 予定）
⑦ トンネルプラグ部の貫通二次掘削（H23/11 予定）
⑧ 貫通部の覆工（H24/6 予定）

３．既設放水路トンネルからの補助工法

既設放水路トンネルと新設トンネルの土被りは最大でも約 4.5m程度と小さく，トンネル掘削時に天端部の崩落が考えられた．そこで，既設トンネル（3 号および

表－1　放水路トンネル諸元

1. 構　造	鉄筋コンクリート造
2. 延　長	1号トンネル　58.7945m （ドラフトトンネル：13.8875m　，放水路トンネル：44.907m）
	2号トンネル　61.7115m （ドラフトトンネル：13.8875m　，放水路トンネル：47.824m）
3. 勾　配	1号機　1：2.187
	2号機　1：2.729
4. 形　状	円形部直径　8.000m
	矩形部幅　8.000m～13.400m
	矩形部高さ　6.960m～12.850m



図－1　放水路トンネル縦断面図

5 号）から，予め縫地ボルト（直径 25mm）を施工した．なお，新設トンネルの掘削範囲に干渉する箇所には FRP ボルトを使用した．また，縫地ボルト施工後，既設放水路トンネル内を再生骨材コンクリートで充填し，地山との一体化を図った．

４．放水路トンネルの施工

(1) 掘削工法および支保工について

放水路トンネルは大断面であることから，上半，下半部に分けて掘削することとし，ドラフトに近い扁平断面部の上半については中壁分割工法を採用した．

地山は主に CM，CL 級の花崗閃緑岩および角礫岩で構成されており，掘削方法は発破を用い，NATM 工法を採用した．ロックボルト（D25）は長さ 4.0m を周方向 1.2m ピッチ，延長方向 1.2m ピッチとし，地山の安定を図った．なお，鋼製支保工は H-200×200 と H-150×150 を併用し，それぞれ延長方向に 1.2m ピッチとした．

キーワード：水力発電，再開発，トンネル，補助工法
連　絡　先：〒959-4302 新潟県東蒲原郡阿賀町鹿瀬字松ヶ崎 11540-10・TEL0254-92-0673・Fax0254-92-0675

（2）縫地ボルトの効果について

既設放水路トンネルから施工した縫地ボルトは新設トンネル掘削時に確認することができ，土被りが小さい箇所においても大きな天端部の崩落は発生しなかった．これは縫地ボルトによる地山補強が有効に機能していたものと判断される．

５．放水路トンネルの施工管理

（1）観察・計測項目の計画

今回採用したトンネルならびに周辺地山を対象とした観察・計測項目は以下のとおりである．

① 地山の安定性に関する観察・計測項目（A 計測）

・切羽観察記録の作成・内空変位，天端沈下測定

② 支保工機能に関する計測項目（B 計測）

・吹付コンクリート，鋼製支保工応力測定

（2）A 計測の結果および管理方法

切羽観察はトンネル全長にわたって地山の風化・変質の程度や割目の状態および湧水有無等を確認した．

観察結果を受け，地山の風化等が著しい箇所については切羽の安定を図るため，鏡吹付けコンクリートや鏡ボルトを施工した．

内空変位測定および天端沈下測定については， 5.0m 間隔を目安に実施し管理する計画とした。管理基準値は地山の強度特性に基づいた限界ひずみによる方法により算出し，管理レベルを 4 段階に設け管理体制を設定した．（図－2）

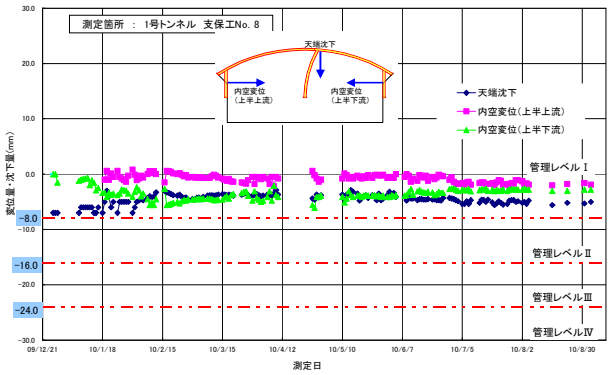
今回の掘削では日常点検の範囲内である管理レベルⅠを超える値は確認されず，地山の安定は確保されていたものと判断される．

（3）B 計測の結果および管理体制

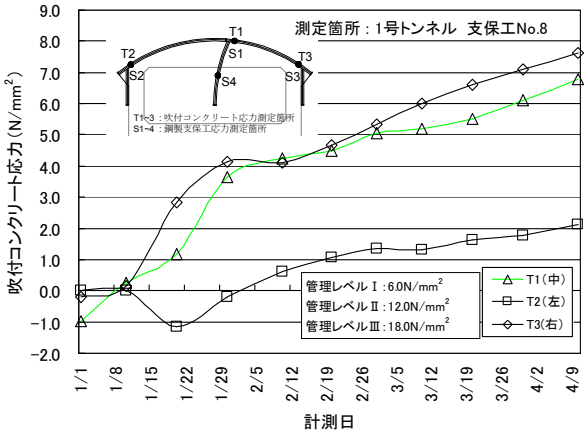
吹付コンクリート応力測定および鋼製支保工応力測定は 1 号トンネルのドラフトに近く最も扁平であり，かつ土被りが小さい一断面において実施した．（図－3,4 参照）

吹付コンクリートは設計強度が 18.0N/mm^2 以上になるように配合し，安全率を考慮して管理レベルを設定した．管理レベルⅡ（応力値 12.0N/mm^2）以上になった場合，対策工法として増しボルトや増し吹付けを実施する計画とした．

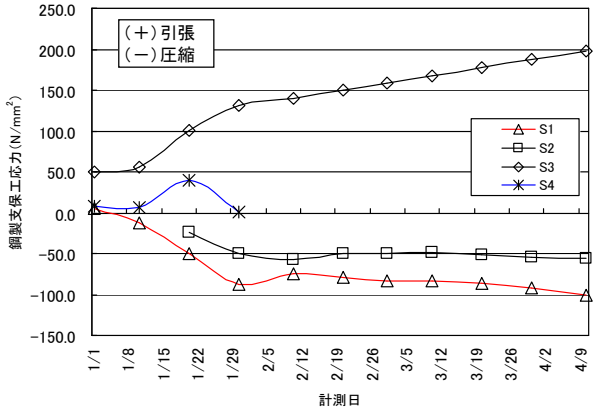
鋼製支保工は許容応力度（140.0N/mm^2）を越えた場合，点検強化などの対策を講じる計画とした。施工中に鋼製支保工右端における応力値が管理レベルを超えたが，A 計測で大きな変化が見られなかったため，点検を強化



図－2 内空変位測定および天端沈下測定結果(A 計測)



図－3 吹付コンクリート応力測定結果（B 計測）



図－4 鋼製支保工応力測定結果（B 計測）

しながら作業を継続し，問題なく掘削を完了した。

今回実施した B 計測の結果から，一部のデータを除いては，吹付コンクリートや鋼製支保工が応力を確実に負担し，機能を発揮していることが確認できた．

５．おわりに

既設放水路トンネルの直下に大断面の新設トンネルを掘削するという施工を安全最優先として進めることが重要課題であったが，無事に掘削が完了した．今回の施工内容や施工管理方法が他現場にて参考になれば幸いである．

最後に，改修工事にご尽力いただいている関係者の方々に厚く感謝申し上げる．