

大断面放水路トンネルにおける NATM による円形掘削実績 —天ヶ瀬ダム再開発トンネル放流設備ゲート室部他建設工事—

鹿島建設(株) 正会員 山本明雄 小林茂和
鹿島建設(株) 正会員 ○秋山崇裕 藤原浩一
鹿島建設(株) 正会員 升元一彦

1. はじめに

天ヶ瀬ダム再開発事業は、貯水池の効率的な運用を図ることを目的として、既設天ヶ瀬ダム近傍に新たにトンネル式放流設備を建設し、機能の増強を行うものである。このうち、放流調整用の油圧式ゲートより上流側に位置する導流部（図-1）は、掘削外径 12m、延長 340m の円形トンネル構造となる。また、供用期間中にはゲート設備閉塞時において、ダム湖の水位に応じた水圧が常時作用する内圧トンネルとなるため、「放水路トンネルから地中への漏水防止（水密性）」および「内水圧に対する地盤反力の確保」の2つの観点から、トンネル掘削時の緩みを極力低減する施工方法が求められた。本稿では、掘削時の緩みを低減するために採用した掘削方法（円形掘削）について述べるとともに、坑壁弾性波探査により、掘削後に発生した緩み領域を実測した結果について報告する。

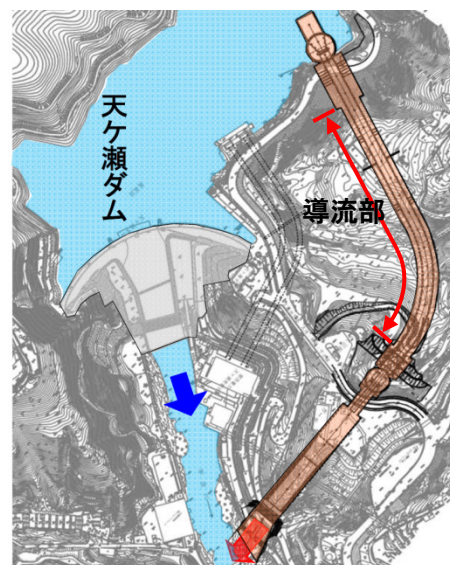


図-1 全体平面図

2. トンネル掘削形状

地質は丹波帯の泥岩を主体とし、一部にひん岩の岩脈を伴う。岩級は CM 級主体であるが、断層やひん岩の貫入箇所においては破碎が進行し、CL～D 級の岩盤が分布する（図-2）

当初計画では、下半掘削時における施工機械の移動およびすれ違いに配慮して、馬蹄形の断面形状で掘削した後に脚部をコンクリートにて埋戻し、真円形の覆工を構築する計画であった。しかし、掘削対象地質である泥岩は薄くはがれやすい性質があり、掘削により緩みが生じやすい。そのため、特に応力が集中すると予想される脚部に過大な緩みが発生し、周辺岩盤の透水性増大や地盤反力の低下が懸念された。

そこで、下半盤を 1.15m 上方に移動し、施工機械の通行に必要な施工基面を確保したうえで、真円形にトンネル掘削を行う加背割りに変更した。これにより、地山の応力が均等に分散し、局所的な応力集中による地山の緩みを抑制することが可能となる。掘削断面形状の違いに応じた緩み領域を FEM 解析により試算したところ、円形掘削によって脚部の緩みが抑制できることが確認された（表-1）。また、さらなる緩み抑制のために、施工時には以下の配慮を行った。

1) 加背割りの変更により掘削深度が増加した底盤掘削においては、掘削後に吹付けコンクリートにより閉合することで、

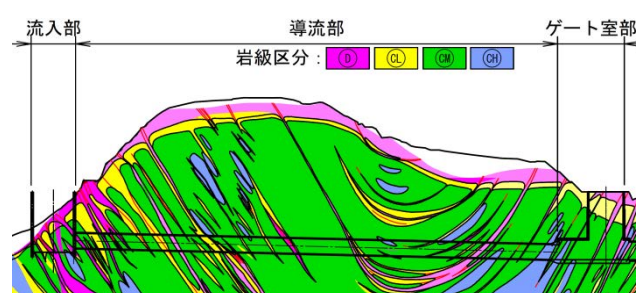


図-2 地質縦断面図

表-1 トンネル掘削形状比較

	当初計画	緩み抑制の変更計画
加背割図		
FEM 解析結果		

キーワード 円形掘削、放水路トンネル、泥岩、坑壁弾性波探査、緩み領域

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部 Tel : 03-6229-6717 Fax : 03-5561-2156

時間の経過に伴う緩みの進展を防止するとともに、施工水による地山の劣化（泥濘化）を防止した。

2) 発破掘削時の外周孔はスムースブラスティングを用いるとともに、仕上げ掘削を大型ブレイカで行うことで、掘削面の平滑性を確保し、周辺地山の損傷を低減した。

3. 計測データに基づく円形トンネル掘削の評価

ここでは、トンネル掘削時の A 計測データおよび掘削完了後に上半脚部近傍にて実施した坑壁弾性波探査の結果から、円形トンネル掘削により発生した周辺地山の緩みを評価する。

掘削時に確認された坑内変位は、多少のバラつきはあるものの地山等級との相関が得られており、平均的には C I : 5.6mm, C II : 6.4mm, D I : 11.6mm であった (図-3)。先行変位率を 50% と仮定した場合、地山ひずみは C I : 0.09%, C II : 0.11%, D I : 0.19% となり、事前の試験で確認した限界ひずみと比較しても微小であることがわかる。

坑壁弾性波探査では、トンネル縦断方向に 2m 間隔で受振機を地山に挿入し、カケヤによる起振を基に坑壁近傍地山の弾性波速度を測定した。計測は岩盤等級ごとに実施し、計測区間は 20m である。

解析ではまず、「萩原の方法」により層構造解析を実施し、次に、「萩原の方法」による解析結果を初期モデルとし、トモグラフィ解析を実施した。「萩原の方法」による、層構造解析の結果、3 ヶ所とともに、2 つの速度層から構成されると推測された。その 2 つの速度層の境界（実線）と速度値、および、トモグラフィ解析結果の速度コンターを図-4 に重ねて示す。第 2 層の弾性波速度値を既往の弾性波探査と比較した結果、地山等級と整合する弾性波速度値を示す一方で、第 1 層の弾性波速度値は、一般的な弾性波速度値よりも低速度であり、このことから、第 1 層はトンネル掘削により緩んだ領域を示していると判断できる。また、各地山等級における緩み領域幅は、C I および C II で約 0.7m, D I で約 1.2m であり、内空変位の大きい D I において深部まで広がっていることが分かる。一方、トンネルの掘削径が 12m であることを考慮すると、緩み領域は 0.1D (D は掘削径) 未満であり、その規模は小さいと評価することができる。

しかし、今回の評価は円形掘削区間のみを対象とした測定結果であり、当初計画と比較した円形掘削による緩み抑制効果は評価し難い。そのため、今後は各種のトンネル工事において坑壁弾性波探査等の手法により緩み領域を評価し、本検討の妥当性を向上させていきたいと考えている。

しかし、今回の評価は円形掘削区間のみを対象とした測定結果であり、当初計画と比較した円形掘削による緩み抑制効果は評価し難い。そのため、今後は各種のトンネル工事において坑壁弾性波探査等の手法により緩み領域を評価し、本検討の妥当性を向上させていきたいと考えている。

4. まとめ

本稿では、直径 12m の大断面放水路トンネルにおける円形掘削の実績、および緩み領域の評価結果について報告した。工事は、円形掘削に変更したことに伴う工程遅延やトラブルもなく、2015 年 6 月に無事に掘削が完了した。現在は覆工コンクリートの施工を進めており、2016 年 3 月に竣工予定である。本報告が今後の同種工事の参考になれば幸いである。

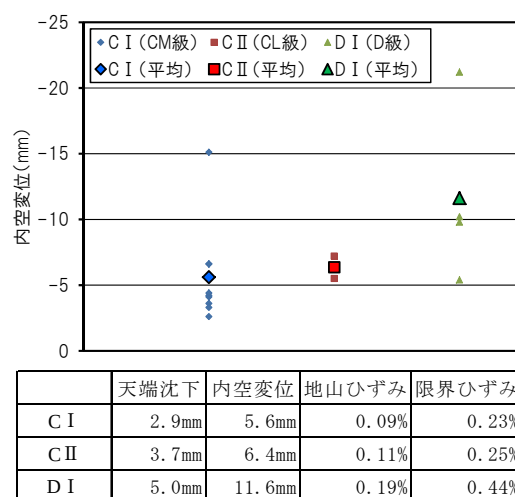


図-3 A 計測結果

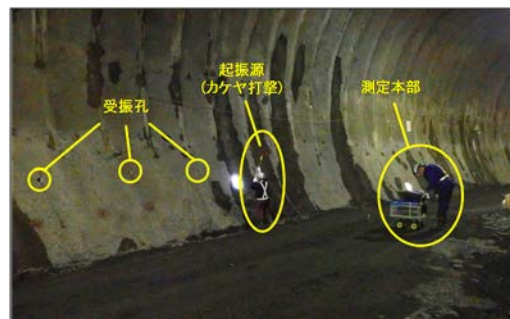


写真-1 坑壁弾性波探査の実施状況

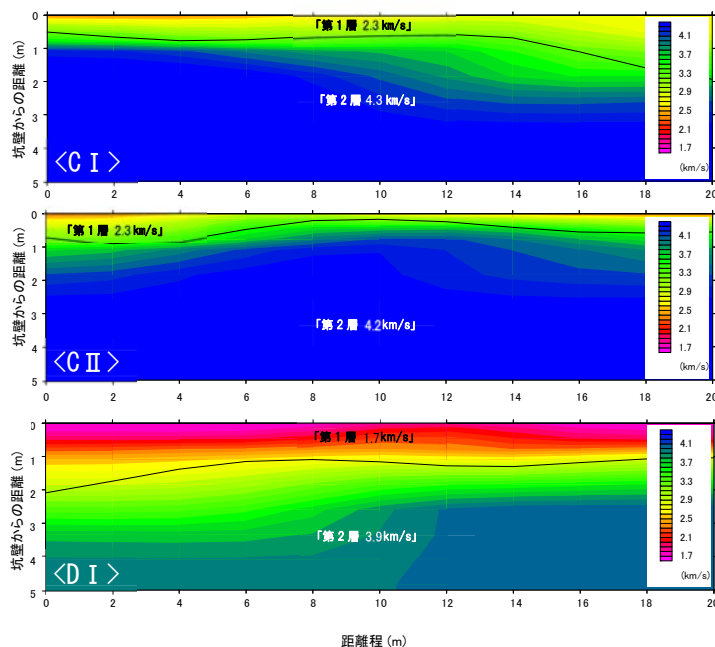


図-4 坑壁弾性波探査結果