

鹿野川ダムトンネル洪水吐完成

山鳥坂ダム工事事務所 工務課 西山 雄祐
山鳥坂ダム工事事務所 事業対策官 江口 正則
山鳥坂ダム工事事務所 工務課長 新川 和之

鹿野川ダムでは、治水機能の増強及び河川環境の改善を目的として改造事業を進めていた。本稿は、令和元年6月9日に鹿野川ダム改造事業が完成したことに伴い、トンネル洪水吐の工事及び試験運用の実施についての報告を行う。

キーワード トンネル洪水吐、呑口仮設構台、水圧鉄管、減勢工

1. はじめに

鹿野川ダムは、愛媛県西南部を流れる一級河川・肱川の河口から上流約41kmに位置する重力式コンクリートダムである。

本ダムでの改造事業は、肱川水系河川整備計画に基づき、治水機能の増強及び河川環境の改善を目的に改造事業（ダム容量配分の再編）を進めていた。

河川環境の改善を目的に設置する低水放流設備が平成26年に、選択取水設備が平成28年に完成している。治水機能の増強を目的とするトンネル洪水吐については、吐口ゲート設備が平成29年9月に、呑口ゲート設備が平成30年7月に完成し、その後減勢工等を施工し、令和元年6月に完成を迎えた(図-1)。

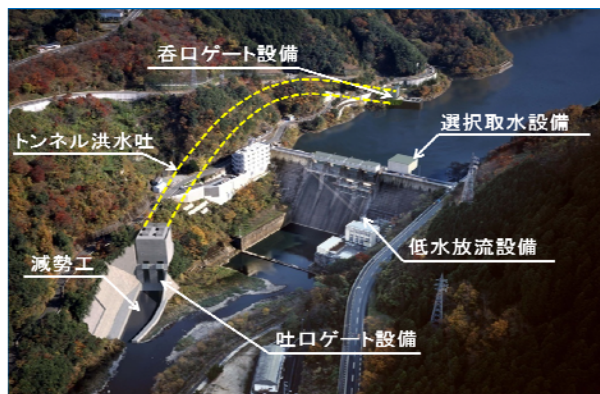


図-1 鹿野川ダム改造事業完成後イメージ

2. トンネル洪水吐の概要

既設の鹿野川ダムのクレストゲート（敷高EL.76.0m）は高い位置にあり、低い水位の時には貯める必要のない水を下流側に流すことができず、洪水調節容量を有効に活用することができないという課題があった。このため、貯水池内の低い位置（EL.53.0m）にトンネル洪水吐を設置し、低い水位での放流能力を高めることにより、洪水

調節容量を現況（1,650万m³）の約1.4倍（2,390万m³）に増やすことで、治水機能の増強を図ることとした（図-2）。

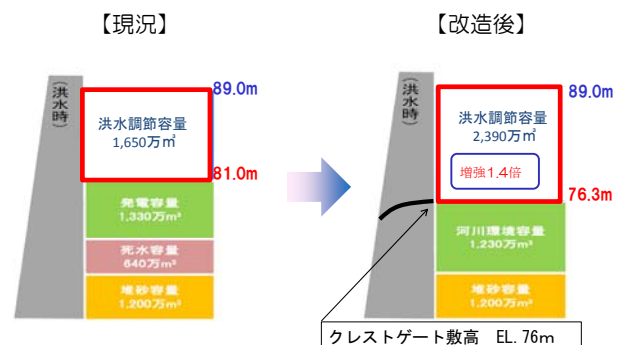


図-2 ダム容量配分図

トンネル洪水吐はダムサイト右岸側に構築し、上流側から流入水路（延長47m）、呑口立坑（内径17m）、トンネル部（全長約457m・トンネル内径11.5m）および吐口部、減勢工より構成される（図-3）。

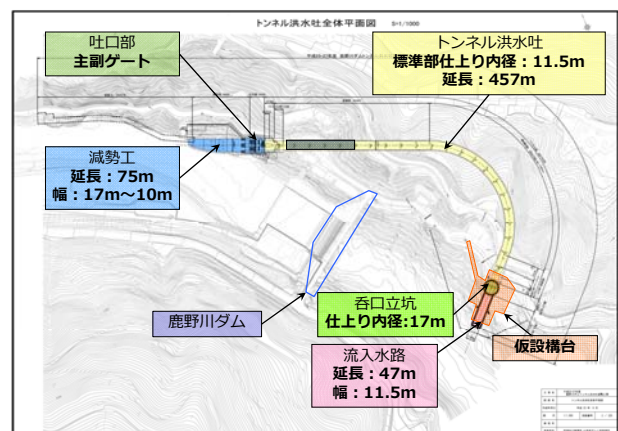


図-3 トンネル洪水吐全体平面図

3. トンネル洪水吐の施工手順について

トンネル洪水吐の施工は以下の手順で行った。

- ①ダム上流部の立坑の構築
- ②ダム下流側からダム貯水池内に構築する立坑に向かってトンネル部の掘削
- ③トンネル呑口・吐口のゲート設備の設置及び減勢工の施工

4. トンネル洪水吐呑口部の施工について

(1) 呑口側仮設工台の選定

トンネル洪水吐を施工する上で、上流呑口立坑及び流入水路工事に先立ち、約 4,500m²の仮設構台を設置した。本工事では、水中での鋼管矢板掘削作業など潜水作業が発生する。このことから、気中上の足場で仮組みしたブレースを水中部へスライドさせ設置させることのできる LIBRA-S 工法を選定した。これにより潜水作業を約 55%減らすことができ、施工効率を約 2 倍に高め工期短縮にも大きく貢献した(図-4)。

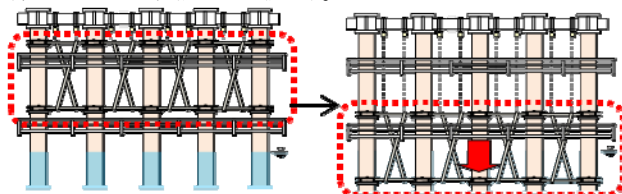


図-4 LIBRA-S工法

(2) 仮設構台における鋼管杭の打ち込み

呑口部立坑の構築は鋼管矢板 (φ1,500mm・L=44.0m) 34本を平面図形上内径17mの円形状に配置して締め切る構造であり、その内側を底部EL.50m (平常時最高貯水位より水深で約36m下) まで支保工を設置しながら掘削して呑口立坑を構築する計画とした(写真-1)。

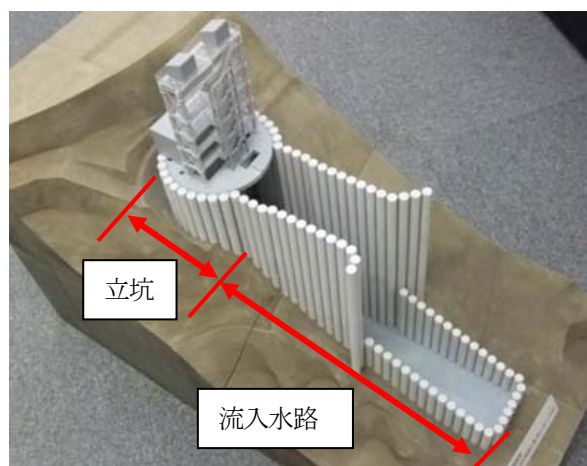


写真-1 呑口模型 3D-CAD

なお、鋼管矢板施工については鋼管矢板 (Φ1,500mm) を立て込む前段階として全周回転掘削機により円柱状 (Φ2,000mm・平均掘削長35m) に岩盤掘削を行った。掘削完了後に、その空洞内に鋼管矢板を150tクローラークレーンで吊込み、パイプロハンマー (PTC-

100) と油圧ハンマ (S-280) で順番に建込んだ。呑口立坑部周辺の地質は、CM級・CH級が主体の砂岩と粘板岩の互層である。全周回転掘削機を用いて、岩盤をφ2,000mmで深さ30m以上掘削する事例は少なく、周面摩擦による掘削途中の回転不能(ケーシングロック)となった。そこで、高トルクのφ3000クラスの掘削機を導入しさらに、掘削外周面にダウンザホールハンマにてφ600の先行削孔を行い、外周面の摩擦抵抗を低減させて掘削を行ったことから、当初計画より大幅に施工日数を要した(写真-2)。



写真-2 岩盤掘削状況

先行掘削途中の岩盤の緩みによる孔壁崩壊を防ぐため、一つの孔の掘削を終了するごとに掘削部分を砕石で置換した。置換材料は、孔壁保持しながら締固効果が小さく根固・中詰工施工時の注入を考慮して粒子間の空隙が大きい単粒砕石(2.5~5.0mm)を使用した(図-6)。

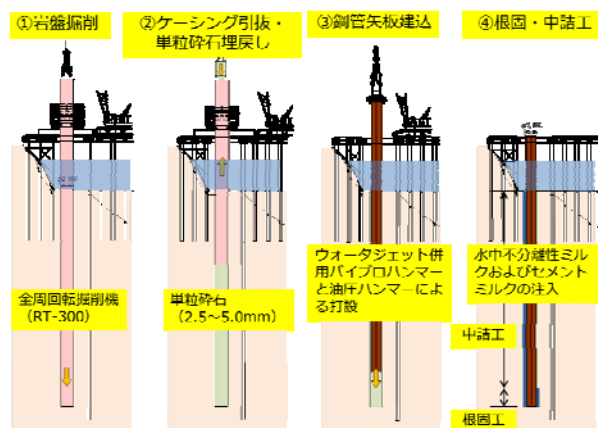


図-5 鋼管矢板打込手順

5. トンネル洪水吐の施工について

(1) トンネル掘削

トンネル洪水吐は地山への漏水を防止すること及び土被りが薄い部分はトンネル内の水圧による地山崩壊を防ぐことを目的とし、水圧鉄管によりトンネルの水密性、を確保する設計であった。なお、内・外荷重は放流管が

負担し、岩盤（支保）との隙間はコンクリート充填することとしており、水圧鉄管（ $L=90\text{m}$ 、 $\phi 11500$ ）としては、世界最大級の構造物となる。放流管の据付にあたっては、重量180tの放流管をトンネル内に200m移動する必要があり、岩盤との隙間が $W=50\sim 60\text{cm}$ と狭隘な中で正確な据付が必要なため、15mの放流管を計6回、レール上を油圧ジャッキにより送り出す方法を採用し、トンネル内で溶接により接続した(写真-3)。



写真-3 水圧鉄管の水平ジャッキによるスライド状況

(2) トンネル覆工

トンネル洪水吐（全長約 457m）のうち約 320m は鉄筋コンクリート構造であり、放流時に内側からの水圧が大きいと、鉄筋コンクリート構造部の覆工圧は 800mm および 600mm、鉄筋は最大 $D29@150$ の複鉄筋で、通常のトンネルに比べ水密性の高い過密配筋構造とした。また、鉄筋コンクリート区間は、全周防水シートによって漏水対策を施すウォータータイトトンネルの設計とした。施工に当たっては、防水シートに損傷を与えないように、鉄筋組立を確実に保持できる独立した支保工が必要であり、鉄筋吊支保工（H-125）にプレート付ボルトを取り付け、その反力により鉄筋を組立てた(写真-4)。



写真-4 トンネル内鉄筋組立状況

通常のトンネルの場合、覆工コンクリート天端部が吹上打設での圧入となるため、コンクリートのスランプは 15cm あるいは 18cm とするのが一般的である。しかし、本トンネルの場合、過密配筋であること、鉄筋吊支保工の存在に起因して、コンクリート流動性の阻害による充

填不足や天端部での配管の閉塞などが懸念された。そこで、覆工厚 800mm 区間では $SL=21\text{cm}$ とし、流動性を得るために高性能 AE 減水剤を使用する配合とした。さらに、巻厚が小さくなる 600mm 区間では $SLF=50\text{cm}$ の中流動コンクリートを使用して覆工コンクリート打設を行った(写真-5)。



写真-5 覆工コンクリート充填状況

6. トンネル減勢工の施工について

(1) シュート部について

減勢工はトンネル洪水吐下流部に位置し、ゲートを設置する吐口部および水叩き部とシュート部で構成される(図-6)、(写真-6)。

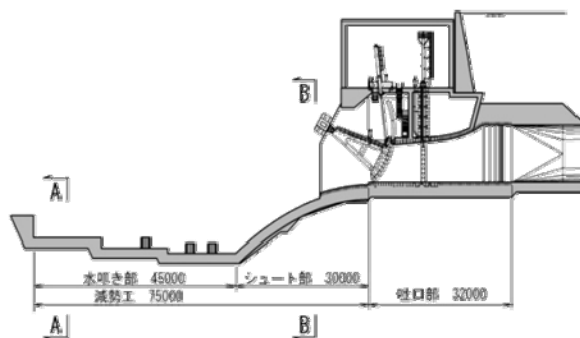


図-6 減勢工および吐口部断面図



写真-6 減勢工シュート部

シュート部は延長 30.0m、幅 17.0m、高低差 14.1m であり、そのうち下流側の延長 19.0m 区間が現場打ちコン

クリート区間となっている。通常ではコンクリート打設時に棒状バイブレータを用いて締め固めを行うが、シュート曲面部は型枠で全面を覆ってからコンクリート打設をするため、棒状バイブレータが挿入困難である。そこで、バイブレータ挿入ガイド（アングル材L-75×75）を型枠から300mmの位置に設置する。設置間隔はシュート曲面部全幅に亘り、棒状バイブレータの挿入間隔である500mmピッチとする。これにより、シュート曲面部の表面コンクリートの締め固めが確実に実施でき、充填性・密実性が向上する（図-7）。

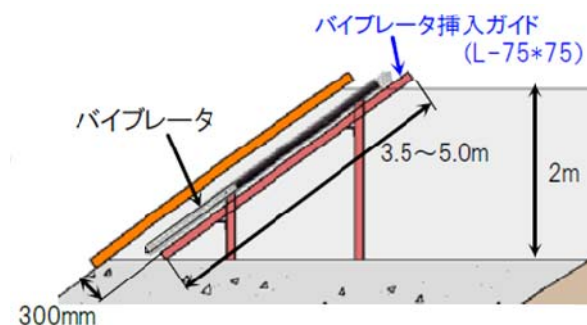


図-7 バイブレータ挿入ガイド設置イメージ

また、現場打ちコンクリート区間の問題として、勾配が 30° より緩やかな区間があり、コンクリート打設時に気泡が抜けきれない可能性がある箇所が存在する。対策として、型枠に透水性型枠シートを使用し、型枠近傍の気泡と余剰水を透過させた。それでも気泡が抜けきれない部分については、コンクリートが固まる前に脱型し、コテ仕上げとすることでアバタ等のない仕上げ面とした。

7. トンネル洪水吐の運用に向けて

(1) トンネル洪水吐の試験放流

平成31年3月12日、トンネル洪水吐の完成間近となったことから、放流試験を最大 $38 \text{ m}^3/\text{s}$ で実施した。試験はまず、クレストゲートより試験放流で予定されている最大 $38 \text{ m}^3/\text{s}$ を放流し、徐々に放流をトンネル洪水吐へと移行させる方法で実施した（写真-8）。

また、試験当日はトンネル洪水吐の初の通水であり、一般の方を招き仮設構台から放流の様子を見学していただけの見学コーナーを設置した（写真-9）。



写真-8 トンネル洪水吐放流状況



写真-9 見学コーナー様子

(2) 鹿野川ダム改造事業完成式

令和元年6月9日、鹿野川ダム改造事業完成式を開催した。完成式当日は、地元肱川小学校の児童を招き、くす玉開披に参加して頂いた。鹿野川ダム改造事業は本式をもって正式に完成し、トンネル洪水吐は施工に当たって様々な課題があったが、本年の出水期より前に運用を開始することができた（写真-10）（写真-11）。

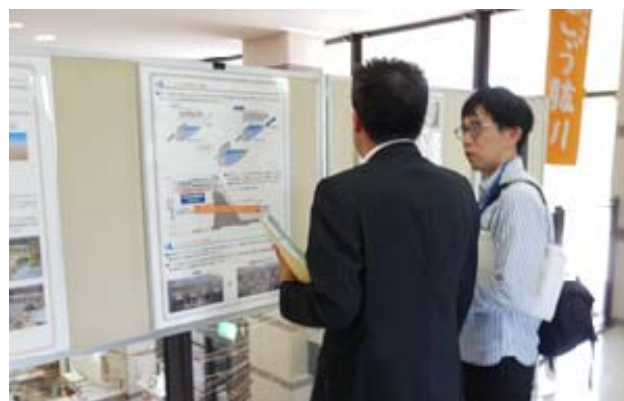


写真-10 式典会場パネル説明様子



写真-11 鹿野川ダム改造事業完成式くす玉開披様子

8. おわりに

トンネル洪水吐は平成23年にトンネル本体工事に着手し、地域住民のみなさまや施工業者の方を始め、多くの人のご支援とご協力があった本年度に完成しました。

また、本論文を執筆するに当たって、清水建設（株）の方のご協力を頂いたことに感謝いたします。ありがとうございました。