

# 天ヶ瀬ダム再開発事業における特徴的な技術及びその継承

宇津 悠祐<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 工務課 (〒520-2279滋賀県大津市黒津4-5-1)。

天ヶ瀬ダム再開発事業は、既設天ヶ瀬ダムが持つ放流能力増強を目的として、ダム左岸側に全長617mのトンネル式放流設備を建設する事業である。

天ヶ瀬ダム再開発事業は、1998年度に建設着手してからこれまで30年以上をかけて実施中の事業であり、2021年度に概成する運びとなった。

本論文では、天ヶ瀬ダム再開発事業において施工した、日本最大級の大断面であり類似の施工実績が無い水路トンネル等の設計、施工の特徴的な技術について紹介する。

キーワード ダム再開発, トンネル, 設計, 施工

## 1. はじめに

天ヶ瀬ダムは京都府宇治市に位置するドーム型のアーチ式コンクリートダムであり、洪水調節や水道供給、発電に用いられる多目的ダムである。(図-1) 周辺には平等院や宇治上神社等があり、多くの観光客で賑わう。



図-1 天ヶ瀬ダム位置図

天ヶ瀬ダム再開発事業は既設天ヶ瀬ダムが持つ放流量の増強を目的として、ダムの左岸側に全長617mのトンネル式放流設備を建設する事業である。現状、900m<sup>3</sup>/sの放流能力であるが、再開発後は1500m<sup>3</sup>/sの放流が可能となり、治水及び利水(水道・発電)の能力増強が可能となる。



図-2 トンネル式放流設備の配置図

本論文では、天ヶ瀬ダム再開発事業において施工した日本最大級の大断面である水路トンネル等の設計、施工の特徴的な技術について紹介する。

## 2. 天ヶ瀬ダム再開発事業の概要

### (1) 放流能力増強方式決定の経緯

放流能力の増強方法がトンネル式放流設備に決定するまで当初様々な選択枝が検討された。天ヶ瀬ダム本体を活用する案や現存する旧志津川発電所導水路を活用する案や宇治川発電所導水路を活用する案、更には琵琶湖疏水を活用する案が候補となった。技術課題に対する検討時間やコスト面や水理効果の優位性効果に加え、天ヶ瀬ダム本体への影響評価を考慮し、ダム左岸側にバイパス放水路を新たに作る「トンネル式放流設備案」が採用されることとなった。

### (2) トンネル式放流設備の構成

天ヶ瀬ダム再開発事業におけるトンネル式放流設備は図-2に示すとおり、流入部・導流部・ゲート室部・減勢池部及び吐口部の5つの施設から構成される。

#### a) 流入部

トンネル式放流設備の入り口であり、緊急時や修理時に流水を遮断する幅10.5m×高さ12.3mの修理用ゲートを設置している。

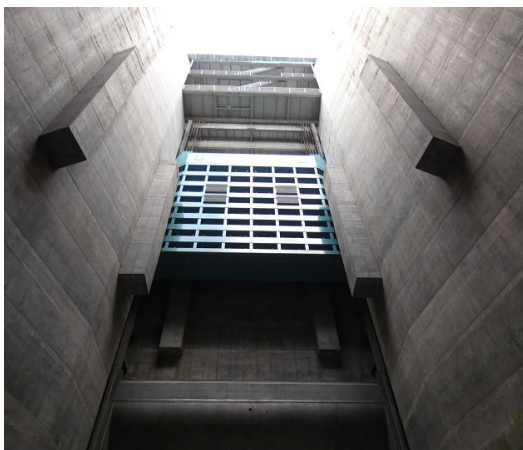


図-3 流入部修理用ゲート (2021年9月撮影)

#### b) 導流部

内径10.3mの大規模円形トンネルであり、流水を下流に導く。



図-4 導流部 (2021年9月撮影)

#### c) ゲート室部

幅3.6m×高さ4.9mの主ゲートと幅3.6m×高さ12.3mの副ゲートを各2門設置しており、放流量を調節する。

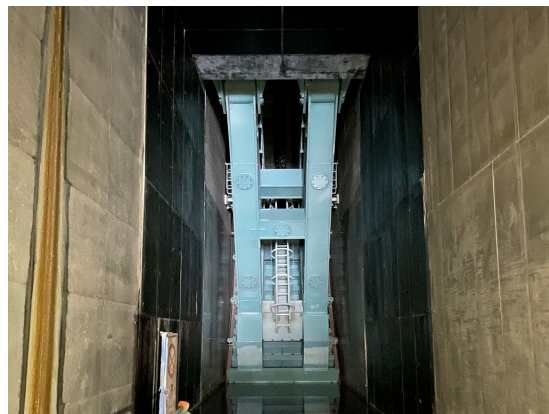


図-5 主ゲート (2022年1月撮影)

#### d) 減勢池部

全長169.5mであり、幅22.8m×高さ25.5mの水路トンネルでは日本最大級の内空断面を保有し、放流水の勢いを緩める。



図-6 減勢池部シュート部付近 (2022年2月撮影)

#### e) 吐口部

トンネル式放流設備の出口であり、減勢池部で勢いが緩んだ水を安全に宇治川に流す。



図-7 吐口部 (2022年5月撮影)

### 3. 流入部における特徴的な技術

#### (1) 施工概要

流入部は、施工ヤードの確保が困難なことから、仮栈橋を設置した。その後、仮栈橋の上から鋼管矢板を打設し仮締切を行った上で、立坑内部を掘削し躯体を構築した。

前庭部は、流入部の施工と同時に水上から施工した。水上から超大型クレーン台船により鋼管矢板を打設した後、所定の深度で鋼管矢板を水中切断した。水上から超大型のクレーン台船により鋼管矢板を水中切断した。その後、所定の深度で切断された鋼管矢板内を新工法により水中掘削を行った。

#### (2) 鋼管矢板工

鋼管矢板工は、硬い岩盤に鋼管矢板（Φ1500）を施工する必要があるため、SEP台船、または仮栈橋上から全周回転掘削機（Φ2000）により、鋼管矢板施工箇所を1本毎に掘削を行い、掘削箇所を砂及び砕石で置換した。鋼管矢板は、超大型機械である200tクレーン、世界最大級の振動力を誇るパイロハンマー及び高い打撃性能を誇るIHCハンマーを使用して打設を行った。

#### (3) 立坑掘削及び躯体構築

立坑の掘削は、鋼管矢板に囲まれた空間の中で、ドライ掘削により行われた。立坑は、直径28m、深さ41m、掘削土量は約17000m<sup>3</sup>の大深度掘削となる。掘削は150tクレーン、大型ブレイカー及び20m<sup>3</sup>ベッセル等、大型機械を用いることで作業効率の向上を図った。



図-8 立坑内掘削状況

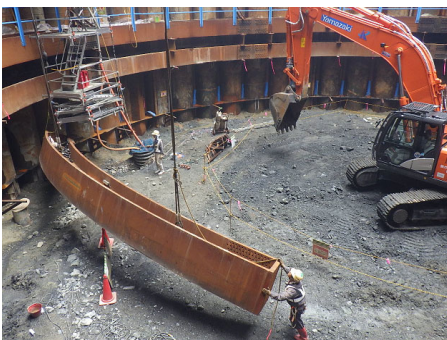


図-9 円環支保工設置状況

#### (4) 新工法「T-iROBOUW」を活用した水中掘削

流入部立坑は、鋼管矢板によりドライ掘削となるが、前庭部は水中掘削となる。岩盤を水中掘削するのは既往の施工方法では難しく、工期を要するため、新工法のT-iROBOUW（遠隔操縦式多機能水中施工機械）を使用して掘削を行った。

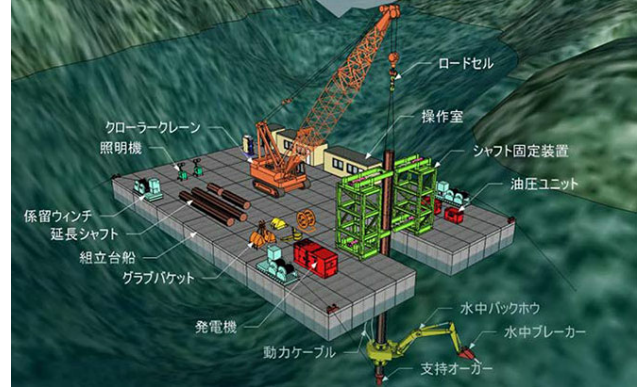


図-10 T-iROBOUWの構成

水中の各種作業を、ダイバーを使わずに遠隔操縦による施工をするために開発された機械で、ダム湖が深く急峻で視界の悪い場所での施工に威力を発揮する。T-iROBOUWによる岩盤掘削は、湖面に設置した台船から昇降用のシャフトを湖底に降ろし、先端をオーガで掘削して固定し、このシャフトをガイドしながら水中作業機をダム湖に沈めて、岩盤部をブレイカーで砕いて施工した。この機械は、先端のアタッチメントを交換できるため、ブレイカーをバケットに変えれば、土砂のかき集めが可能となる。掘削土砂は、台船上のクレーンからクラムシェルで引き上げた。その他、代表的な技術は、水中作業を可視化する装置がある。ダム湖の底は濁っており、視界は約20cmである。固定の岩盤形状を三次元画像として捉えられる「マルチファンビーム」と呼ばれるソナーや超音波カメラなどを導入し、台船上で操作するオペレーターが画像をもとに作業できるようにした。

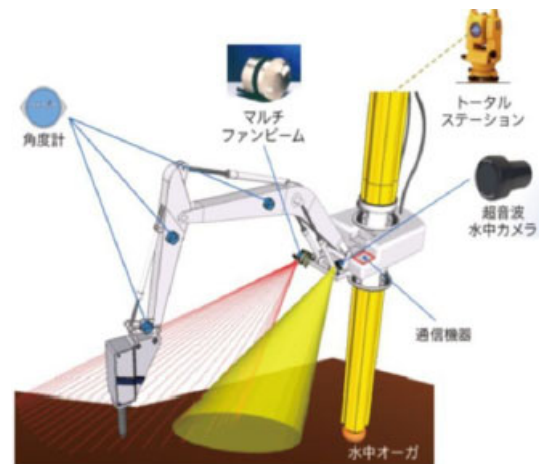


図-11 水中作業可視化装置の構成

(5) ワイヤソーでの鋼管矢板水中切断

鋼管矢板の切断は鋼管内を満水にして、水圧の均衡を保った状態で行う必要がある。水中での鋼管矢板切断については、当初潜水士による人力切断を検討していた。しかし、潜水深度30mを超える潜水は危険性が非常に高い作業となる。そこで、水中での作業を極力削減するため、水中での鋼管矢板及び円環支保工の切断にワイヤソーを活用した。

ワイヤソーは縦切り用と横切り用の2種類用意した。縦切り用のワイヤソーでは鋼管矢板継手部付近・円環支保工・間詰コンクリートを一括で切断を行う。横切り用のワイヤソーでは鋼管矢板本管と継手部を一括で切断し上下の縁切りを行う。

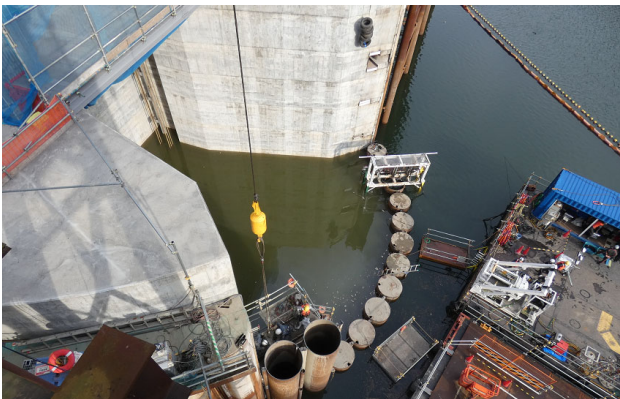


図-12 鋼管矢板切断

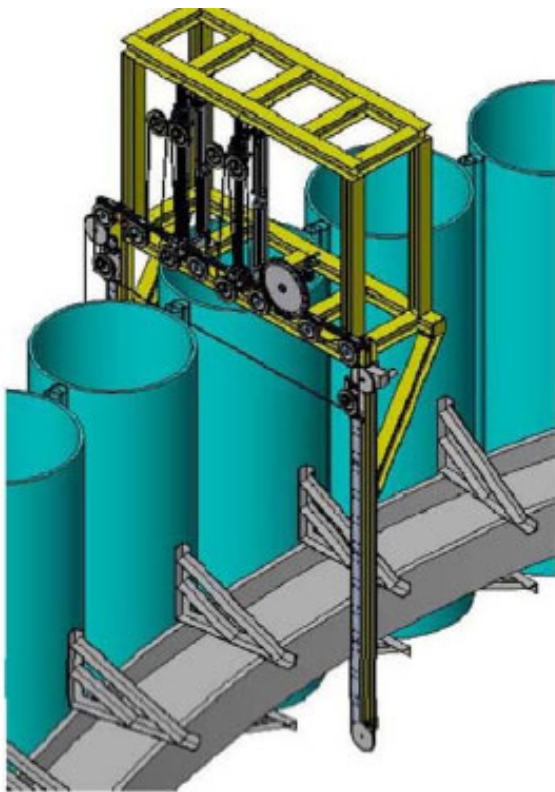


図-13 鋼管矢板切断縦切り イメージ図

4. 減勢池部における特徴的な技術

(1) トンネル減勢方式の決定

トンネルの減勢方式は、地山内減勢方式と半管路方式がある。地山内減勢方式は、流入部直下に減勢池部を設けるため、地山内に大断面部の延長が長くなり、曲線部に開水路の減勢池を設けることになる。それに対し半管路方式は、直線部において開水路で減勢池を確保できる。水理性及び経済性の観点から、半管路方式に決定した。

表-1 減勢池部トンネル方式の比較

項目	地山内減勢方式	半管路方式
概要図		

(2) トンネル断面形状の決定

トンネル断面は卵型断面及びきのこ型断面で比較検討した。卵型断面はアーチ脚部側壁導坑を掘削し、アーチ脚部側壁アバットを施工した後、頂部より順次切り上がっていく工法である。きのこ型断面は頂設部を導坑断面で掘削した後、両側を切り上げ、アーチコンクリートを同時併進で早期に打設する工法である。環境面に与える影響や施工性、経済性とも卵型断面・きのこ型断面と大差ない。しかし、きのこ型断面に関して、直高20m以上の鉛直側壁を有することから坑口部における安定性が優位な卵型断面を採用した。

表-2 減勢池部トンネル断面形状の比較

	卵型断面形状	きのこ型断面形状
概要図		

(3) 減勢池部掘削及び覆工

減勢池部の掘削はNATMを採用して行った。工法としては、側壁導坑・中央導坑先進多段ベンチカット工法を採用した。施工手順としては、まず、側壁導坑掘削を行い、更に中央導坑掘削を行った。その後RC円柱支保工を施工するための側壁導坑拡幅掘削を行い、RC円柱支保工とシート部上半掘削を同時に施工した。その後、側壁導坑コンクリートの施工を行った。側壁導坑コンクリートの施工が完了した段階で、上半掘削（アーチ部）掘削を行い、アーチコンクリートを打設した。その後は、下半部はベンチ掘削（H=3.0m）で、情報化施工・ステージ管理により進

め、底版コンクリート及び側壁コンクリートの施工を行った。

#### (4) 減勢池部のF-0破砕帯対策

坑口から約90m奥にD級のF-0破砕帯が横断する。当初の調査では、幅9m前後の破砕帯で、その周辺にはCL～CM級の泥岩が分布するが、そのほかはCM～CH級の砂岩で構成されていると想定していた。

当初は、破砕帯が想定されていたことから、地表面からの調査ボーリングや下流側坑口からの横坑調査（L=130m）が行われ、地盤の変形・強度特性、透水性、地下水位など十分な調査を行った。特に、破砕帯周辺では、約10～20m格子間隔で調査ボーリングを行い、F-0破砕帯の分布・性状も綿密に調査した。

側壁導坑の掘削を進める中で、更に破砕帯の調査を行った。その結果、右側側壁導坑でF-0破砕帯が当初想定よりも位置が坑口側に約5mずれており、かつ幅が当初の想定よりも1.5倍ほど広い14mであることが確認された。

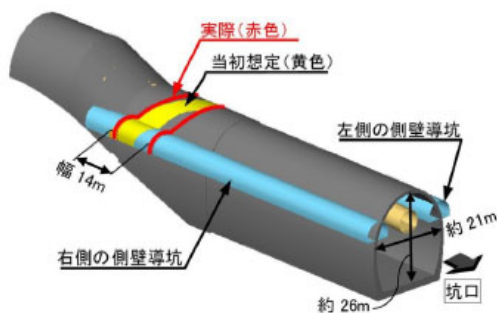


図-14 F-0破砕帯の差異

破砕帯の分布範囲・位置を三次元的により精度よく把握するため、両側壁導坑坑内から地質調査（高品質鉛直ボーリング：L=19m×6本，コア三軸圧縮試験：9本，平板載荷試験：4箇所）を実施した。この調査結果を既往の地質情報に追加した結果、トンネル周辺の破砕帯分布範囲が当初の想定よりも拡大することとともに、粘土層のせん断強度が当初よりも約20%低減することが判明した。

新たな側壁補強対策工として、「RC円柱支保工」を検討した。RC円柱支保工の配置は、破砕帯範囲をカバーするように、右側4本、左側2本とした。その長さは、先受け工として側壁変形抑制効果の発揮に必要な「梁の支点の安定性（円柱上下端の水平地盤反力）の確保」を重視して、断面が閉合するトンネル底版から3m下までを基本とした。

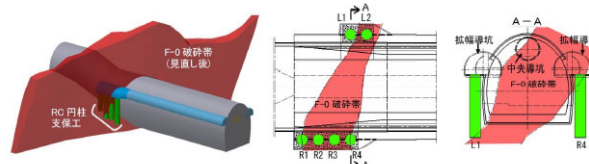


図-15 RC円柱支保工の配置

RC円柱支保工は、狭隘な側壁導坑内空間における施工となるため、安全かつ効率的に施工するためには、限られた施工空間での取扱いが可能で、コンパクトな機械設置が必要となる。そこで、穿孔、ずり積み込み、コンク・研り作業を1台で対応できる小口径深礎掘削機を採用した。



図-16 小口径深礎掘削機

## 5. おわりに

現在、ダム能力向上や機能向上のため、多くのダムにおいて再開発や補強が検討されている。天ヶ瀬ダム再開発事業は放流能力増強のために導水路トンネルを採用した。日本でも導水路トンネルを採用している事例は少なく鹿野川ダムに次ぐ2例目である。トンネル式放流設備を建設する際には周辺環境や地盤条件等を考慮する必要がある。今後、ダムの再開発でトンネル式放流設備を建設する場合には天ヶ瀬ダム再開発事業を参考にされたい。

建設業界ではインフラDX(デジタル・トランスフォーメーション)が推進されている。データとデジタル技術を活用し、現場の安全性や効率性を向上させる。本論文でも紹介した「T-iROBO UW」も水中作業の安全性や効率性を向上させた。今後これらの技術が向上し、作業員の安全性や仕事の効率性に寄与することを期待する。

- 1)大成建設：シャフト式遠隔操縦水中作業機「T-iROBO UW」
- 2)大林・飛島特定建設工事共同企業体：ダムの治水能力を高める日本最大級の水路トンネル