

# 水圧変動下での鋼管矢板による 大水深締切について

加藤 達也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 浪速国道事務所 工務課 (〒573-0094 大阪府枚方市南中振3-2-3)

天ヶ瀬ダム再開発事業は既設天ヶ瀬ダムが持つ治水・利水の機能を向上するために、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。ダム湖を運用しながら、ダム湖からトンネルへ水を取り入れる流入部を施工する必要があるため、鋼管矢板により締切を行っている。鋼管矢板はダム湖水位（最大水深約40m）による水圧及び水位変動（最大水位差約20m）による圧力変動に耐える必要がある。本報告では、今後の同種事業の参考となるよう、本事業における鋼管矢板締切の補強方法や止水処理など、この課題を解決するために講じた対策を紹介する。

キーワード 締切, 鋼管矢板, 止水, 天ヶ瀬ダム, ダム再生

## 1. はじめに

厳しい財政状況等の社会経済情勢、洪水・渇水被害の頻発化、既設ダムの有効活用の様々な特長やこれまでの事例の積み重ねによる知見の蓄積、これを支える各種技術の進展等を踏まえれば、ソフト・ハード対策の両面から既設ダムを運用しながら機能向上を図るダム再生の重要性はますます高まっている。

平成30年7月豪雨がきっかけとなってまとめられた「異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会」（事務局：国土交通省水管理・国土保全局河川環境課流水管理室）の提言においては、ダム再生の推進や加速化を図る施工に係る技術の開発・導入を促進することとされている。天ヶ瀬ダム再開発事業においても、先端的な技術の開発・導入、官民連携した技術開発によりダム再生に取り組んでいる。

## 2. 天ヶ瀬ダム再開発事業の概要

天ヶ瀬ダムは京都府南部の淀川水系宇治川に位置する昭和39年に完成したダムで、治水・水道用水補給・発電に用いられている多目的ダムである。位置及び集水域を図-1に示す。本事業は、天ヶ瀬ダム下流の宇治川・淀川の洪水調節及び琵琶湖周辺の浸水被害軽減、水道用水の安定供給、発電機能増強を目的として、天ヶ瀬ダムの放流能力を600m<sup>3</sup>/s増強させるため、ダムの左岸側に

全長617mのトンネル式放流設備（図-2）を建設する事業である。トンネル式放流設備は、流入部、導流部、ゲート室部、減勢池部、吐口部で構成される。そのうち流入部においては、揚水発電や洪水調節等の影響により水位変動が大きいダム湖において、最大水深約40mという厳しい環境下にもかかわらず内径28mという規模で締切を行っており、実績が少ない貴重な施工事例といえる。

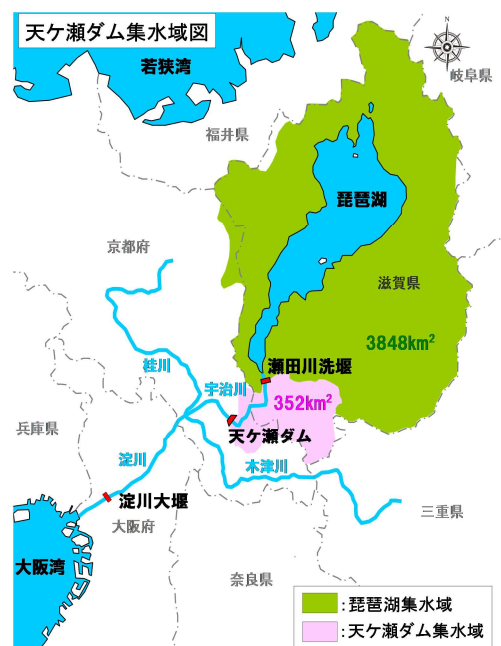


図-1 天ヶ瀬ダム集水域図



図-2 トンネル式放流設備のイメージ図

流入部側面図 S=1:500

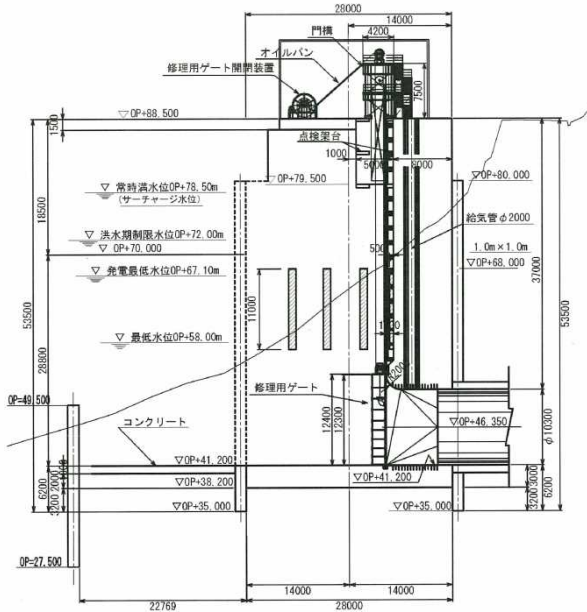


図-3 流入部側面図

そこで本稿では、今後の運用中のダム湖における締切を行う上での参考となるよう、本事業において鋼管矢板締切が水圧及び圧力変動に耐えられるよう設計上の工夫、施工段階で講じた対策を報告する。

### 3. 流入部建設工事の概要

流入部はトンネル放流設備の最上流部に位置するダム湖からの取水口となるもので、安定してトンネルに水を取り込めるよう最大水深約40mとなる位置にある。側面図を図-3 に示す。流入部本体はコンクリート構造物であり、次のようなステップで構築する。まず、ダム湖上に作業ヤードを確保するための仮設栈橋を設置。岩盤を掘削して砂に置換してから鋼管矢板を打ち込む。岩盤を含む地盤の掘削（掘削土量約17,000 m<sup>3</sup>）を効率よく行えるように、ダム湖内を締切る。そして縦坑を掘削、流入部本体を構築する。トンネル式放流設備全体が完成後、

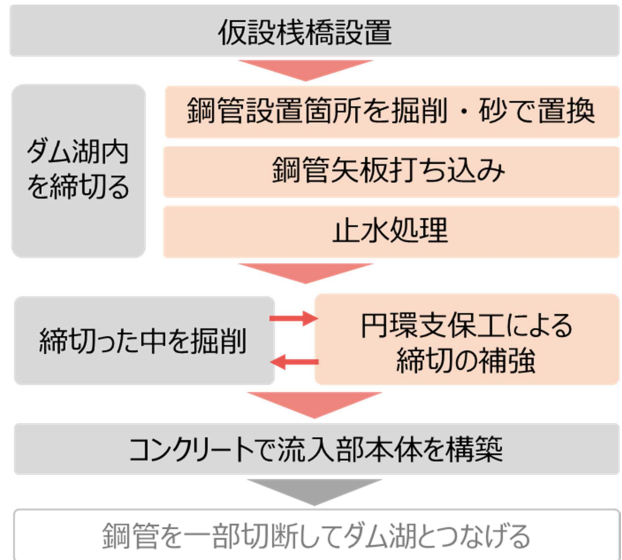


図-4 施工フロー



図-5 流入部の施工状況（平成31年3月）

鋼管矢板を一部切断してトンネルへ通水する。図-4 に施工フローを示す。鋼管矢板は耐震上本体と一体化させることから、撤去は水の呑口として必要な範囲のみとしている。平成31年3月現在、流入部は本体構築まで完了している（図-5）。

### 4. 設計上の工夫

鋼管矢板締切は運用中のダム貯水池の水圧及び水位変動による圧力に耐える必要がある。締切の方法は、RC連続地中壁工法と鋼管矢板による締切を比較し、施工性・経済性に優れた後者を選定した。本事業では（φ1,500 mm、L=45m）の鋼管53本で円形状に打ち込んで締切を行い、ドライな状況の中で鉛直方向に約40m掘削する。

#### (1) 貯水池条件と鋼管矢板締切の設計

天ヶ瀬ダムの貯水池運用条件は、最高水位0.P. 78.5 m、最低水位0.P. 58.0 mであり、最大水位差は約20 mを想定



した。貯水池運用実績（2000年～2009年）を図-6に示す。施工時制限水位を設定して貯水池水位を低減させることで仮設備費用のコスト削減が可能であるが、1ヶ月当たり12.5億円の発電補償が発生することが見込まれたため、本事業では設定できない。

作用する圧力から許容応力度計算を行い、最大部材厚37mmの鋼管矢板を選定した。これは一般的に製造されている鋼管矢板（最大部材厚25mm）の約1.5倍の厚さのものである。鋼管矢板に作用する圧力を支えるため、締切の内側にリング状の支保工（円環支保工）を設置する（図-7）。円環支保工は締切内を約3～5m掘削するごとに設置する（図-7）。円環支保工に使用したH型鋼は一般に流通する大きさのものでは設計条件を満たせないため、厚さ90mmの鋼板を溶接して製作した。支保工の段数は11段、重量は合計約1,000tにもなる（図-8）。

**(2) 鋼管矢板と本体構造物の一体化による耐震性確保**

流入部本体のL2地震への対応を考える際に、鋼管矢板の剛性を利用し、経済的な設計とした。コンクリートと鋼管矢板の一体化の方法は、施工性の良さから鉄筋を現場でスタッド溶接する方式を採用した。流入部本体と鋼管矢板を一体化する範囲はシミュレーションによりO.P. 55 m以下と設定した。全体を一体化する案と比べて、初期費用および鋼管の維持管理費用（50年分）の合計で、約2.5億円のコスト削減となる。

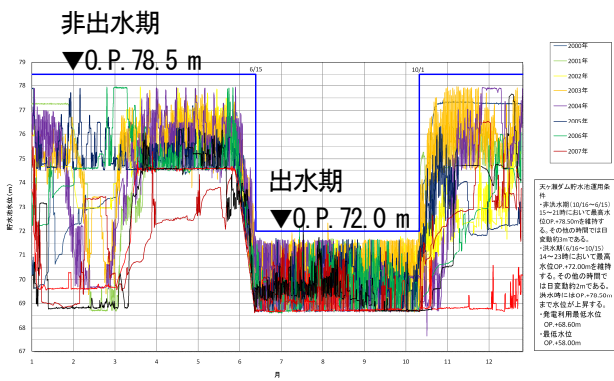


図-6 天ヶ瀬ダム貯水池運用実績



図-7 円環支保工設置の様子

鋼管矢板を本体構造物と一体化させるにあたって、鋼管内側の防食性を高めるためにモルタルによる充填を行った。充填範囲は、一体化範囲と同様にO.P. 55 m以下とした。

**(3) 施工時の安全確保のための止水計画**

締切内では確実な止水性が求められる。本事業においては、鋼管内カーテングラウチング、継ぎ手モルタル注入、鋼管背面薬液注入を行うことで、止水性を高めている（図-10）。

鋼管内カーテングラウチングは、立坑底盤側からの貯水の浸入を防止する目的で実施する。施工は、鋼管矢板建て込み後、鋼管内より実施した。

継ぎ手には止水モルタルを注入して止水性を高めた。このことは、継ぎ手部のせん断応力に対する強さも向上させている。

流入部締切の鋼管矢板は、全周回転掘削により掘削し、岩盤を砂に置換された孔に建込んでいるため、その砂が水みちとなる恐れがある。そのため、鋼管背面に薬液注入を行った（図-9）。

**(4) 円環支保工切断時における課題と対応策**

流入部施工の最終ステップとして、鋼管矢板及び円環支保工を切断し、トンネルへダム湖の水を取り入れることとなる。

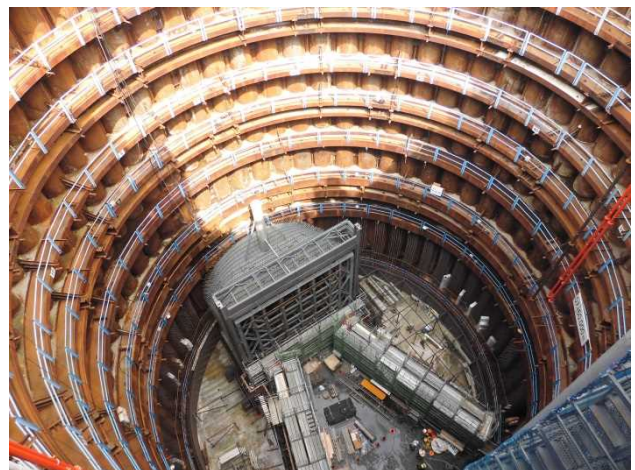


図-8 締切内の様子（平成29年8月）

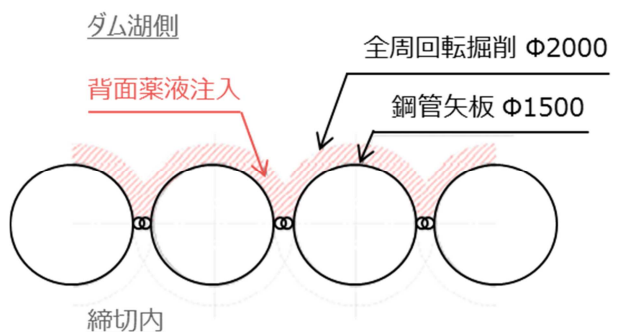


図-9 鋼管背面に薬液注入

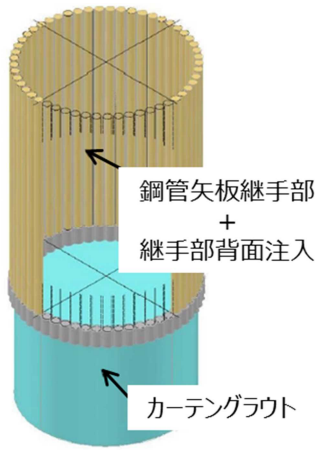


図-10 止水計画図

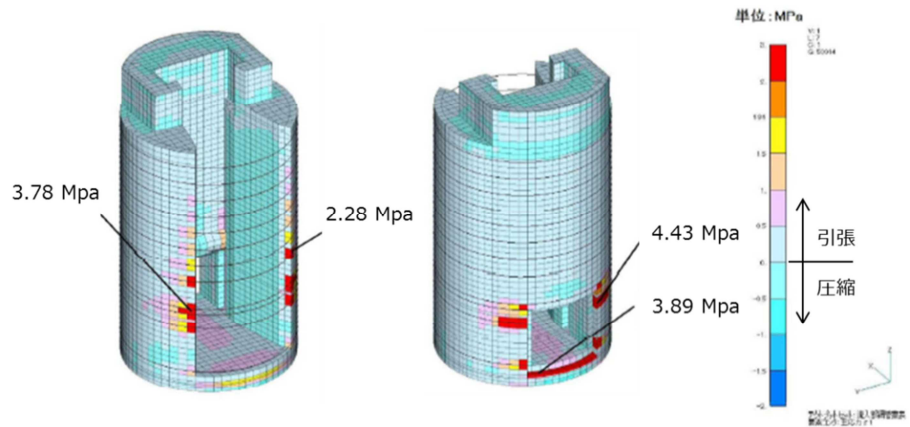


図-11 円管切断時のコンクリートに作用する応力の解析結果

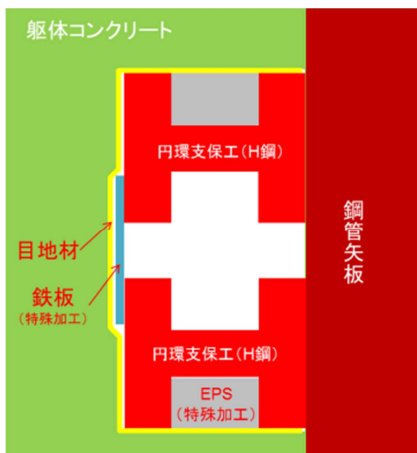


図-12縁切のイメージ



図-13 円周回転掘削機



図-14 IHCハンマ

鋼管矢板を支えている円環支保工は、ダム湖の水圧や地山の土圧によって圧縮ひずみが生じているため、切断時の応力解放によって変位が生じ、接合しているコンクリート躯体が引っ張られ、ひび割れが発生するおそれがある。

そこで、三次元FEM解析により切断時の引張応力の発生箇所やその大きさを特定し、必要な対策工の検討を行った。当初計画（対策なし）での解析結果を図-11に示す。円環支保工切断部周辺にコンクリートの許容引張応力（1.91 MPa）を上回る引張応力が発生していることがわかる。

対策としては、円環支保工と躯体の間に目地材にて縁切りさせ、円環支保工の切断時の変位を躯体に伝達させないこととした（図-12）。目地材の材質は、コンクリート構造物の目地材として使用され加工のしやすい樹脂発泡体目地材を採用し、目地材の背面が空洞になっている部分については、鉄板やEPS材にて間詰めを行った。更に切断時には締切内を充水し、外水圧と内水圧を均等にさせることとした。

## 5. 施工上の対策

### (1) 鋼管矢板の打設

流入部を締切するための鋼管矢板（φ1500）を配置する箇所は地盤が岩盤であるため、直接、鋼管矢板を打込むことが困難であった。そのため、鋼管矢板打設前に仮栈橋上から全周回転掘削機（φ2000）によって岩盤を鋼管矢板施工箇所1本毎に掘削し、砂及び砕石で置き換えを行った（図-13）。

岩盤を精度良く砂に置換られなかった場合は鋼管矢板を打設できない可能性があるため、全周回転掘削の施工は位置及び傾斜の高い精度管理が求められる。そのため、全周回転掘削及び鋼管矢板打設においては、自動測量を実施して施工を行うことで、鋼管矢板締切の閉合を精度良く行うことが可能となった。

掘削する際、ビットの摩耗が著しく工程の遅延が見込まれたが、施工機械を増やし、先端ビットの修理・取り替えを繰り返しながら施工することで対応した。ビット摩耗の原因は当該箇所の岩の強度が想定よりも高かったためである。円周回転掘削機を用いる場合は岩盤の一軸圧縮強さが大きいほど施工日数が増加する。





図-15 継手の変状



図-16 鋼管矢板の変状

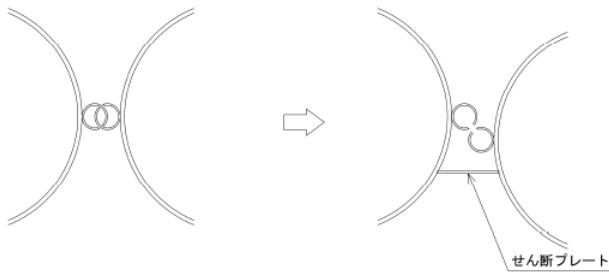


図-17 継手変状への対応

ボーリングデータで岩級区分する場合、岩の亀裂や風化を総合的に判定するが、それに加えて一軸圧縮強さを把握することが重要である。類似の施工を行う場合は岩の強度に注意して計画する事が重要である。

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バイプロハンマを利用して打設する。しかし、バイプロハンマのみでは埋戻砂部及び継手管部の摩擦抵抗により矢板を最終位置まで打ち込めないことが判明したため、高い打撃性能を誇るIHCハンマーを併用して打設した(図-14)。

## (2) 鋼管矢板変状への対応

流入部立坑において、掘削途中の段階(10段支保工設置時)に一部の鋼管矢板の継手が外れて内側に変位していることが確認された(図-15)。また、一部の鋼管矢板が内側に押しつぶされていることも確認された(図-16)。

鋼管矢板継手が外れた位置からの湧水は、ほとんど発生しなかった。これは、継手が外れるリスクや止水の信頼性を考慮して背面側に薬液注入を実施し、止水強化を図った結果と考えられる。

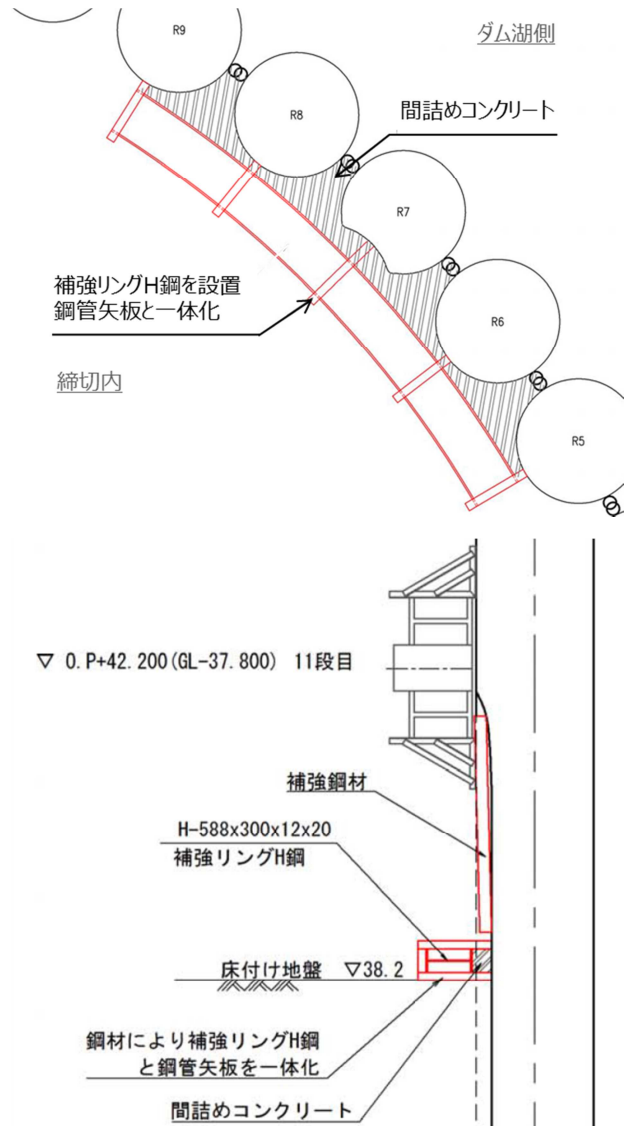


図-18 鋼管矢板変状への対応

この事象が発生してから本体の構築が完了するまで1年以上かかることから、継手が完全に外れているところに関しては、背面止水再注入を行い、確実な止水を確保した。継手にはせん断抵抗力を期待する設計となっているため、継手が外れた部分はせん断抵抗力の不足部分を補うために追加せん断プレートを設置した(図-17)。

鋼管矢板のつぶれた箇所は鋼管の断面が小さくなっており、鋼管の鉛直方向の曲げ剛性が低下していると考えられるため、鋼材を用いて鋼管矢板の補強を行った。使用した補強リングH鋼により隣接する杭と一体化させることで、剛性が低下した鋼管矢板の補強を図った。これにより、立坑内側への鋼管矢板の変形を抑えることができる。これらの鋼管矢板への補強を図-18に示す。

## 7. おわりに

本工事ではダム湖水位による水圧及び水位変動による

圧力変動に耐える鋼管矢板締切を選定し、入念な止水処理を施したことで、施工時に大きな問題が生じることはなく、鋼管矢板への補強で対応できた。

今後大まかなステップとして流入部では、トンネル式放流設備の完成を待ってから鋼管矢板を一部切断してトンネルへ通水する。本事業が早期に完了し、広く淀川流域の治水、利水に資することを願っている。

※本稿の内容は筆者の前所属である琵琶湖河川事務所工務課の所掌である。

謝辞：本稿の執筆にあたっては施工業者である大成建設の方々から資料提供等でご協力いただきました。また、本工事を担当しているいないにかかわらず職員の方々からは助言をいただき、おかげで本稿を作成することができました。末筆ながら、深く感謝の意を表します。