

ダム再生プロジェクト

Upgrading Dam under Operation

| | | | |
|---------|-------------------|------------|----|
| 山 内 一 徳 | 株式会社 IHI インフラシステム | 鉄構技術室水門設計部 | 課長 |
| 福 島 憲 明 | 株式会社 IHI インフラシステム | 鉄構技術室水門設計部 | 部長 |
| 田 村 洋 満 | 株式会社 IHI インフラシステム | 鉄構技術室水門設計部 | 課長 |

近年のインフラ整備では、既存ストックを有効活用することが求められ、治水・利水の分野においては、ダム再生のプロジェクトが多く計画・実施されている。株式会社 IHI インフラシステムも、幾つかのダム再生に参画しており、以降に続くプロジェクトの参考とするため、ダム再生特有の課題に対する技術的な対応事例について紹介する。

In recent infrastructure development, it is required to further utilize existing stocks, and many projects of the upgrading dam are implemented and planned in the water control and water utilization. IHI Infrastructure Systems Co., Ltd. has also participated in several upgrading dam projects and introduces previous experiences from the standpoint peculiar to upgrading dams in order to make reference to similar projects in the future.

1. 緒 言

現在、我が国におけるインフラ整備に当たっては、トータルコストを縮減しつつ、既存ストックを有効活用することが求められており、国を挙げて取り組んでいるところである。このような観点から、治水・利水の課題への対応においては、既設ダムを長期にわたって有効に、かつ持続的に活用を図ることが重要と考えられており、弾力的な運用やダム堤体のかさ上げ、トンネル洪水吐の施工などが多く計画・実施されている。

IHI グループでは、上記方策のカギの一つである鋼構造物の設計・製作・据付けの技術を有しており、方策の実現に多く寄与してきた。

IHI では、大ダム 183 号「最近の水門扉リニューアルの施工例紹介」⁽¹⁾ や大ダム 195 号「高圧ラジアルゲートの水密部改造（圧着式 → 摺動式）に伴う更新ほか近年のゲートリニューアル施工事例紹介」⁽²⁾ など、既存設備の改修についてかねてより報告を重ねてきた。本稿では、単一設備の改修にとどまらない『ダム再生』に着目し、その際ポイントとなる、運用中の既設ダムで施工を行う際の課題に対し、実施してきた技術的な対策について紹介し、以降のダム再生プロジェクトへ参画するうえでの参考とする。

2. 鹿野川ダム低水放流設備工事

工事名 平成 24-25 年度鹿野川ダム低水放流設備工事⁽³⁾

発注者 国土交通省四国地方整備局

工 期 2012 年 10 月 ~ 2014 年 10 月

2.1 再開発事業の経緯と施工上の課題

鹿野川ダムは、^{ひじ} 肱川水系肱川の愛媛県大洲市肱川町山鳥坂地先に、洪水調節と利水（発電）を目的として 1959 年に建設された有効貯水容量 2 980 万 m³ の多目的ダムである。

本工事で設置される低水放流設備は、冷水放流の解消や濁水放流の長期化を防止するとともに、貯水池の富栄養化を抑制することを目的とした。

本設備は、別途新規に設置される選択取水設備（本工事施工範囲外）に導水管で連結され、ダム改良後の最低水位において最大 10 m³/s の放流を可能にするものである。

ダムを運用しながら施工するため、上流ダム湖側は水深約 30 m での潜水作業を伴う難易度の高い工事である。

本工事の特徴の一つであるチャンバは、① 導水管用トンネル掘削作業において、トンネルの貫通時における仮締切の役割 ② 選択取水設備完成後に選択取水設備から主ゲートへ導水する導水管経路の一部を構成する役割、という大きく二つの役割を有している。

課題としては、チャンバは高い水圧を受ける複雑な溶接

構造物であることに加え、輸送の制限から6ブロックに分割する必要があることから、チャンバの現地における高い寸法精度での組立ての実現が挙げられる。また、チャンバ自体の精度確保に加え、現地における高い据付け精度を水中施工で実現する必要があるという課題もあった。第1図にチャンバ外形とチャンバのブロック分割を示す。

2.2 主要設備の概略仕様

各設備の概略仕様を次に示す。

(1) 主ゲート

| | |
|-----|------------|
| 形式 | ジェットフローゲート |
| 有効径 | φ 1.200 m |

(2) 導水管

| | |
|---------|-----------------------|
| 構造 | 鋼製スティフナ方式 |
| ベルマウス管径 | φ 1.950 m ~ φ 1.500 m |
| 導水管径 | φ 1.500 m |
| 漸縮管径 | φ 1.500 m ~ φ 1.440 m |
| 整流管径 | φ 1.700 m |

(3) 予備ゲート

| | |
|-----|-------------|
| 形式 | 板構造鋼製ローラゲート |
| 純径間 | 1.950 m |
| 有効高 | 1.950 m |

(4) チャンバ

| | |
|------|-----------------|
| 形式 | 内面スキンプレート鋼製箱桁構造 |
| 内空幅 | 4.000 m |
| 内空高 | 4.000 m |
| 内空奥行 | 3.200 m |

2.3 課題対応におけるポイント

チャンバ自体の寸法精度を確保するため、ブロック間の

不整合を回避することが重要であった。このため、一度全ブロックを仮組して加工面の芯出しを行った後、解体して各ブロックの接合面を機械加工するなどして精度確保に努めた。

水中における据付け精度確保対策としては、予備ゲート戸当りと一体となったチャンバの据付けにおいて、高い精度のテンプレートを駆使するなどして、限られた施工可能時間のなかで高い据付け精度の確保を実現した。第2図にテンプレートを利用したチャンバの据付けステップを示す。

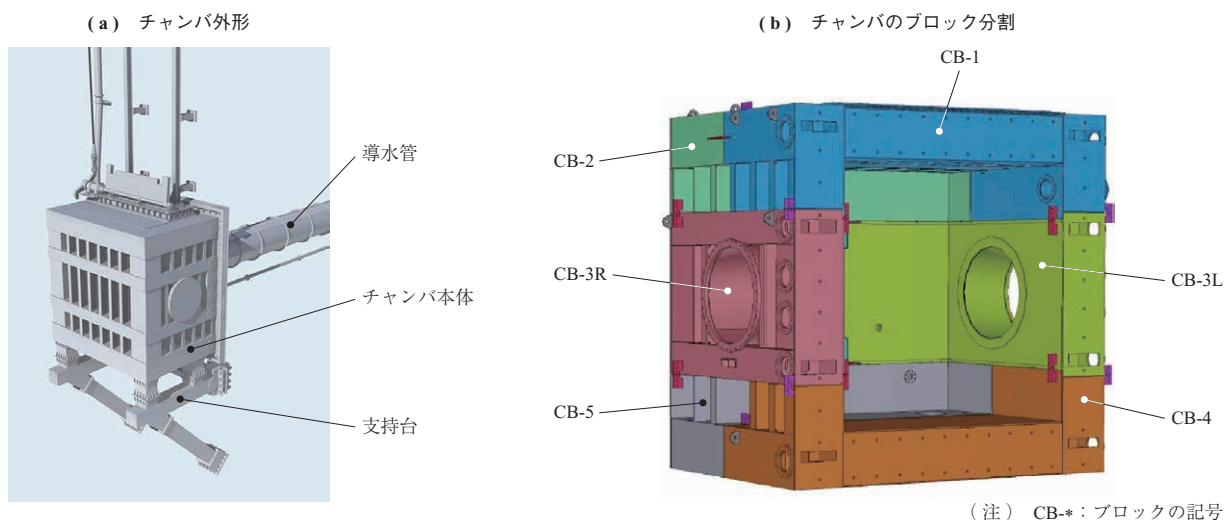
3. 鶴田ダム増設放流設備

3.1 再開発事業の経緯と施工上の課題

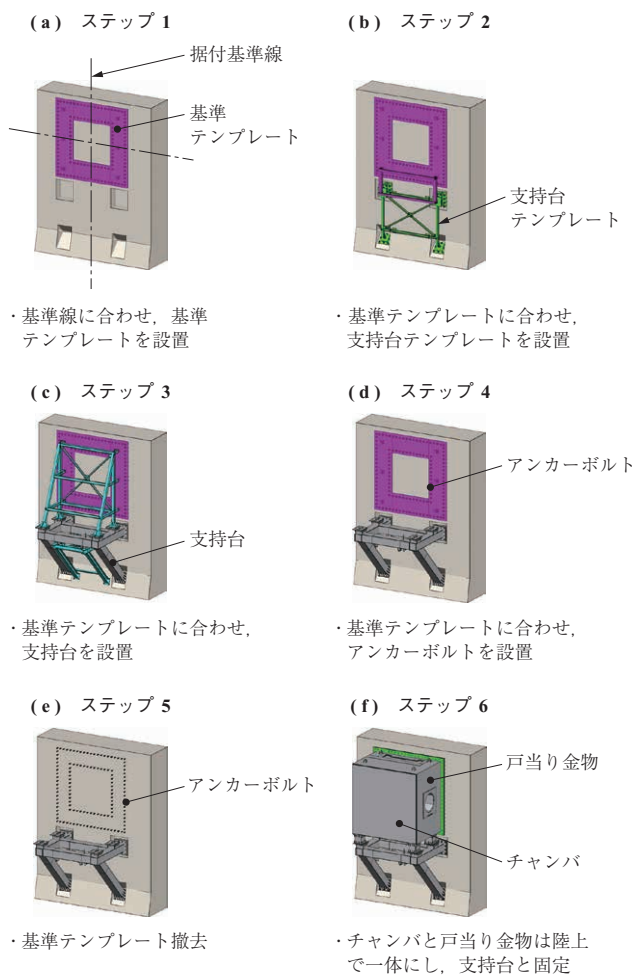
鶴田ダム（鹿児島県）は、川内川の中流域に位置し、洪水調節と利水（発電）を目的として1966年に建設された有効貯水容量7750万m³の多目的ダムである。第3図に鶴田ダムの全景を示す。

2006年7月の鹿児島県北部を中心とした記録的な豪雨による大洪水によって甚大な被害が発生し、鶴田ダム再開発事業が計画された。この計画では、洪水被害を軽減する目的として、洪水調節容量を最大7500万m³から最大9800万m³に増やすことが計画された。その計画の一環として、ダムを運用しながら堤体に5本の削孔を行い、放流設備を増設するという国内最大規模のダム再開発事業の一部を株式会社IHIインフラシステムが施工した。

課題としては、放流管を設置する削孔されたトンネル内における関連工事との輻輳作業の軽減や、狭あいな場所での作業を回避するためのトンネル内作業の削減などが求め



第1図 チャンバ外形とチャンバのブロック分割
Fig. 1 Outline of the chamber and block arrangement for transportation



第 2 図 テンプレートを利用したチャンバの据付けステップ
Fig. 2 Installation procedure using the original steel templates

られた。放流ゲートも同様に、余裕のない工程のなか、狭い施工場所での関連工事との輻輳作業が多く、綿密な関連工事との調整や工期短縮が求められた。また、放流ゲートでは近年の維持管理性向上の観点から、材料に SUS304 を多く用いており、強度上重要な部分における現地での溶接について、その健全性を確認する方策についても施工上の課題となっていた。



第 3 図 鶴田ダム全景
Fig. 3 Panoramic view of Tsuruda dam

3.2 主要設備の概略仕様

3.2.1 増設放流管

工事名 鶴田ダム増設放流管製作据付工事⁽⁴⁾

発注者 国土交通省九州地方整備局

工期 2012年10月～2016年3月

第 1 表に増設放流管主要諸元を示す。

3.2.2 増設放流ゲート

工事名 鶴田ダム増設放流ゲート製作据付工事⁽⁴⁾

発注者 国土交通省九州地方整備局

工期 2013年2月～2016年3月

第 2 表に増設放流ゲートの主ゲート主要諸元を、第 3 表に副ゲート主要諸元を示す。

3.3 課題対応におけるポイント

3.3.1 増設放流管

関連工事との輻輳作業や、狭い場所での作業を減らすため、放流管の据付け計画を工夫した。まず、工場で作成した放流管は、工場から現地までの輸送制限を考慮して管長 3 m の半割形状で現地へ搬入し、ダム外部に設けた地組立てヤードにおいて、半割管を 6 m の長尺管（円筒）に組み立てた。その後、一般道の一部通行することから、全面通行止めするなどして、長尺管を据付け場所ま

第 1 表 増設放流管主要諸元
Table 1 Additional discharge pipe characteristic

| 項目 | 単位 | 主要諸元 | |
|----------|----|---------------------|---------------------|
| | | 1号・2号 | 3号 |
| 形式 | — | 円形断面コンクリート埋設鋼管 | |
| 数量 | 条 | 2 | 1 |
| 口径 | m | φ 4.8 | |
| トランジション部 | m | 4.80 (H) × 3.40 (W) | 3.80 (H) × 2.80 (W) |
| 呑口中心標高 | m | EL. 95.0 | EL. 107.5 |
| 吐口中心標高 | m | EL. 82.0 | EL. 87.0 |

(注) H : 高さ
W : 幅
EL. : 標高

第2表 主ゲート主要諸元
Table 2 Main control gate characteristic

| 項目 | 単位 | 主要諸元 | |
|---------|-------|-----------|-----------|
| | | 1号・2号 | 3号 |
| 形式 | - | 高压ローラゲート | |
| 数量 | 門 | 2 | 1 |
| 純径間×有効高 | m | 3.40×4.80 | 2.80×3.80 |
| 開閉方式 | - | 油圧シリンダ式 | |
| 開閉速度 | m/min | 0.3 | |
| 水密方式 | - | 前面4方ゴム水密 | |

第3表 副ゲート主要諸元
Table 3 Guard gate characteristic

| 項目 | 単位 | 主要諸元 | |
|---------|-------|-----------|-----------|
| | | 1号・2号 | 3号 |
| 形式 | - | 高压スライドゲート | |
| 数量 | 門 | 2 | 1 |
| 純径間×有効高 | m | 3.40×4.80 | 2.80×3.80 |
| 開閉方式 | - | 油圧シリンダ式 | |
| 開閉速度 | m/min | 0.3 | |
| 水密方式 | - | 後面4方金属水密 | |

で運搬した。第4図に増設放流管の輸送状況を示す。

さらに、削孔トンネル内の狭所での作業を減らすため、仮設構台上で2本の長尺管を接合した後、チルトバンク、電動ウインチを用いて堤内に引き込んだ。第5図に増設放流管の構台上での接合状況を示す。以上のような配慮によって、輸送から据付け完了までの全体工程を効率化し、放流管の据付け工程の短縮に努めた。

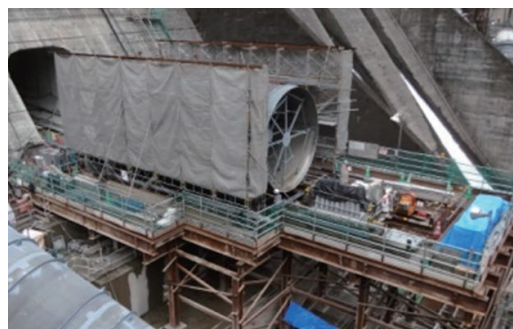
3.3.2 増設放流ゲート

工期の厳しい再開発工事であり、狭あいな施工場所に多くの施工業者が同時期に施工する必要があったため、監督職員、関係請負者との工程調整を密に行い、詳細施工の計画立案および工程管理を実施した。

吊り込み時の位置決めでは、ブロックの正確な位置への迅速な案内とフランジ面の損傷防止を目的として、取り外



第4図 増設放流管の輸送状況
Fig. 4 Transportation of the additional discharge pipe



第5図 増設放流管の構台上での接合状況
Fig. 5 Coupling of the additional discharge pipes on the temporary steel stage

し可能なガイド金物を使用するなど、施工性の向上に配慮した。

また、主ゲートの端縦桁 (SUS304) の現地接合は、裏当て金を使用した全断面溶込み溶接であり、従来の方法では溶接金属内部の健全性確認が困難であった。そこで、IHI との共同研究によって開発した超音波フェーズドアレイ法を用いたオーステナイト系ステンレス鋼溶接部の検査手法を適用して、接合部の健全性確認を可能にした。

4. 二瀬ダム選択取水設備新設工事

工事名 二瀬ダム選択取水設備新設工事⁽⁵⁾

発注者 国土交通省関東地方整備局

工期 2014年1月～2016年6月

4.1 再開発事業の経緯と施工上の課題

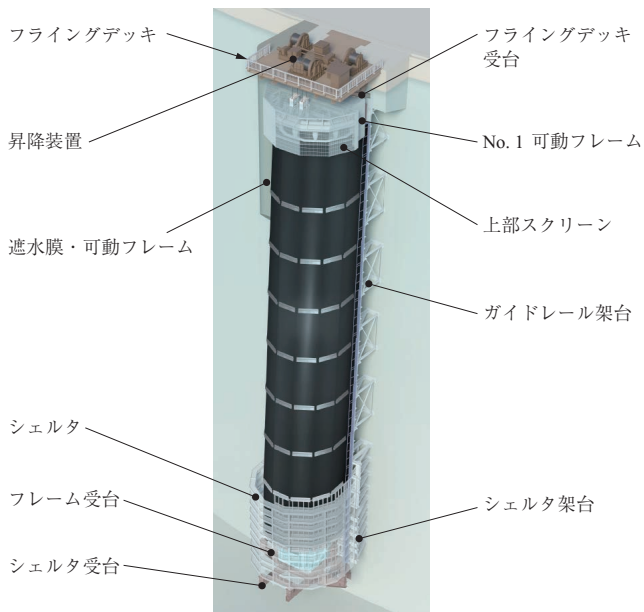
二瀬ダムは1961年に一級河川荒川の最上流部である埼玉県秩父市に建設され、洪水調節と農業用水の確保および県営(後に民間へ譲渡)の水力発電を目的とした、有効貯水容量2180万m³を有する多目的ダムである。

本設備は最大取水量7.5m³/s、最大出力5200kWの水力発電設備の取水部に増設する選択取水設備であり、下流河川への冷水放流や濁水放流の軽減を図るものである。第6図に選択取水設備全体を示す。

設備形式の選定に当たっては、既設堤体への負荷を小さくできる多段フロート膜式選択取水設備が採用されている。

主な課題としては、以下の項目が挙げられる。

- (1) 既設の堤体に設置する設備であり、堤体への影響を極力小さくする必要がある。
- (2) 洪水吐設備に近接して配置されることから、放流時の水流による設備への影響を配慮する。
- (3) 既設堤体はアーチダムであり、堤体上流面への構



第 6 図 選択取水設備全体
Fig. 6 Outline of the whole facility

造物の設置に際しては、精度管理上特別な配慮が必要である。

4.2 取水設備の概略仕様

概略仕様を次に示す。

| | |
|------------|-----------------------|
| 門 数 | 1 門 (8 段) |
| 形 式 | 多段フロート膜式選択取水ゲート |
| 寸 法 | |
| フレーム接線半径 | 4.000 m |
| フレーム間隔 | 5.975 m |
| 最大取水量 | 7.5 m ³ /s |
| フレーム昇降範囲 | |
| 最高高さ | EL. 539.000 m |
| 最低高さ (取水時) | EL. 498.000 m |
| 最低高さ (全縮時) | EL. 497.700 m |

4.3 課題対応におけるポイント

4.3.1 No. 1 可動フレームの設計

昇降装置が負担する荷重を低減することで、既設堤体への影響を最小限にすることを検討し、具体的には、製品質量の軽減や浮力の利用を計画した。製品質量軽減については、主要部材に省合金二相系ステンレス鋼 (SUS821L1) を、上部スクリーンには FRP (Fiber Reinforced Plastics) を採用するなどして対応し、浮力利用については、パイプ部を気密構造にすることで実現している。採用している材料の SUS821L1 は強度が SUS304 の約 2 倍であり、耐食性も優れた材料である。また、No. 1 可動フレームは複

雑な構造であるため、立体骨組解析によって強度照査して部材寸法を決定した。第 7 図に No. 1 可動フレームを示す。

4.3.2 シェルタの設置

今回増設した選択取水設備は既設コンジットゲートに近接しており、コンジットゲートからの放流時に、その呑口^{のみ}に吸い込まれていく流水の影響を受ける。シェルタの設置によって、この流水から選択取水ゲートを保護している。

4.3.3 堤体上流面への据付け精度確保

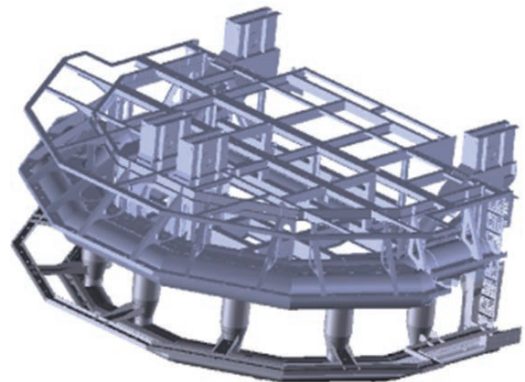
既設堤体面に設置するうえで特に重要になる、据付け基準線および堤体寸法などの測量は、先に設置した基準レールを利用して実寸大の鋼制定規を取り付けて実施し、その結果を各種部材の取り合い寸法に反映した。第 8 図に鋼制定規 (一例) を、第 9 図に基準レールを利用したダム堤体の測量を示す。

5. 鹿野川ダムトンネル洪水吐吐口ゲート設備工事

工事名 平成 24-27 年度鹿野川ダムトンネル洪水吐吐口ゲート設備工事⁽⁶⁾

発注者 国土交通省四国地方整備局

工 期 2013 年 1 月 ~ 2017 年 9 月



第 7 図 No. 1 可動フレーム
Fig. 7 Movable frame No. 1



第 8 図 鋼制定規 (一例)
Fig. 8 Steel ruler



第 9 図 基準レールを利用したダム堤体の測量
Fig. 9 Survey using the reference rail

5.1 再開発事業の経緯と施工上の課題

鹿野川ダムの概要については、2.1 節で述べている。ダムが設置されている肱川（愛媛県）は、勾配が緩く川幅が狭いなどの地形的特性から、流域では洪水被害を受けやすく、これまでさまざまな洪水対策が行われてきたが、1995 年に大きな洪水が起こるなど、治水安全度が十分とはいえなかった。

この対策として策定された肱川水系河川整備計画（中下流圏域）に基づき、鹿野川ダム改造事業が実施された。本工事はその改造事業のうち、洪水調節機能の増強を目的に新設されるトンネル洪水吐の吐口部に、放流制御用のゲート設備などを新設したものであり、予備放流水位 EL. 76.3 m において 1 000 m³/s を放流する機能を有する。

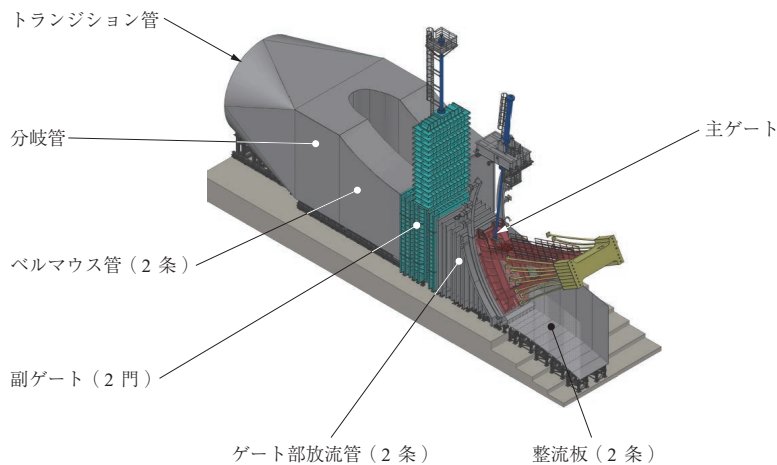
課題としては、トンネル洪水吐特有のトンネル内貯留水の地震時の挙動に対する措置や、大型設備の製作時における性能照査方法（水密性確認他）などがあつた。

5.2 主要設備の概略仕様

第 10 図に設備全体のイメージを、各設備の概略仕様を

次に示す。

| | |
|--------------|---------------------------|
| (1) 主ゲート | |
| 形式 | 高压ラジアルゲート |
| 純径間 | 4.200 m |
| 有効高 | 7.500 m |
| 扉体半径 | 14.000 m |
| 水密方式 | しゅう動式ゴム不連続前面 4 方ゴム水密 (B3) |
| 開閉装置 | 揺動油圧シリンダ式 |
| (2) 副ゲート | |
| 形式 | 高压スライドゲート |
| 純径間 | 4.200 m |
| 有効高 | 8.133 m |
| 水密方式 | 後面金属水密 |
| 開閉装置 | 固定油圧シリンダ式 |
| (3) トランジション管 | |
| 形式 | 鋼製スティフナおよびジベル方式 |



第 10 図 設備全体のイメージ
Fig. 10 Outline of the whole facility

| | |
|----------------|---------------------|
| 呑口径 | φ 11.500 m |
| 吐口径(幅×管高) | 13.400 m×11.500 m |
| 管長 | 11.500 m |
| (4) 分岐管・バルマウス管 | |
| 形式 | 鋼製スティフナおよびジベル方式 |
| 呑口径(幅×管高) | 13.400 m×11.500 m |
| 吐口径(幅×管高) | 4.200 m×8.400 m(2条) |
| 管長 | 16.500 m |
| (5) ゲート部放流管 | |
| 形式 | 鋼製ガーダ式 |
| 呑口径(幅×管高) | 4.200 m×7.9047 m |
| 吐口径(幅×管高) | 4.200 m×7.500 m |
| 管長 | 8.950 m |
| (6) 整流板 | |
| 形式 | 鋼製スティフナおよびジベル方式 |
| 呑口径(幅×管高) | 4.200 m×9.000 m |
| 吐口径(幅×管高) | 4.200 m×7.494 m |
| 流路長 | 11.000 m |

5.3 課題対応におけるポイント

5.3.1 大規模地震動時の設計条件

本設備は、トンネル洪水吐の吐口部に設置される洪水吐ゲート設備であるが、大規模地震動時の検討を行った結果、主ゲートに作用するトンネル内貯留水による動水圧を考慮すると、扉体の剛性を極端に大きくする必要があり、非常に不経済な設計となることが分かった。このため、運用方法を見直し、常時はトンネル洪水吐の呑口部に設置されるゲート(本工事施工範囲外)で止水し、トンネル内をドライ状態で管理することとなった。この結果、トンネル内が常時無水状態となり、地震時の動水圧は設計に考慮していない。

5.3.2 副ゲートの工場耐圧試験

ケーシングやボンネットのブロック間止水は、ゲート寸法も考慮し、現地組立て後にシール溶接で確保する構造であり、工場仮組立て時には耐圧試験を行うことが極めて困難であった。そこで、耐圧試験の代わりにFEM(Finite Element Method)解析を行い、水圧作用下における現地継手部や扉体水密部の変形状態を把握することで、妥当性を担保した(この方法は、3章の鶴田ダム増設放流ゲートでも採用している)。

6. 結 言

本稿では、ダム再生という視点で、これまでの再開発プロジェクトを振り返り、コアとなる技術を紹介した。具体的には、①既設の堤体に大きな負荷を与えない設備の施工②ダム運用中の施工に必要な水中施工技術③輻輳する関連工事と協調した工期短縮技術④厳しい条件下における精度管理技術、などについて記述した。

新設のダム開発事業が減少するなか、既設のダムを再生する需要は今後ますます増えていくことが想定され、将来的には海外展開も視野に入る。

既存設備を有効活用して少ない投資で大きな効果を得ることができるダム再生事業のさらなる推進のため、より厳しい条件に対応できる施工技術の継続的な開発などをおとして、ゲート設備のトップメーカとして今後も貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 林 俊克, 小林徹也, 松川 徹: 最近の水門扉リニューアルの施工例紹介 大ダム Vol. 183 2003年4月 pp. 90 - 108
- (2) 賀谷丈茂, 福島憲明, 山本 覚, 松原重人, 廣田憲治: 高圧ラジアルゲートの水密部改造(圧着式→摺動式)に伴う更新ほか近年のゲートリニューアル施工事例紹介 大ダム Vol. 195 2006年4月 pp. 158 - 167
- (3) 敦賀康裕, 高遠典宏, 達岡正規, 酒井澄人, 石山浩司, 土田孝博: 鹿野川ダム低水放流設備工事報告 IHI インフラ技報 Vol. 4 2015年11月 pp. 50 - 60
- (4) 高野繁昭, 松尾直哉, 東谷俊彦, 酒井澄人, 浅野徹, 河合廣治, 笠原竜介, 佐倉 恵, 福本将希: 鶴田ダム増設放流設備工事報告 IHI インフラ技報 Vol. 5 2016年12月 pp. 63 - 79
- (5) 敦賀康裕, 河合廣治, 森川賢一, 高橋貞仁, 松山晃, 新谷昌之: 二瀬ダム選択取水設備新設工事 IHI インフラ技報 Vol. 5 2016年12月 pp. 90 - 99
- (6) 横山 慎, 堀田 茂, 達岡正規, 酒井澄人: 鹿野川ダムトンネル洪水吐吐口ゲート設備工事 IHI インフラ技報 Vol. 6 2017年12月 pp. 98 - 107