

ダム再開発工事における洪水吐増設時の 仮締切設備合理化を実現

仮締切としての機能を持つ予備ゲート設備の製作・施工

白川 豪人・椿 治彦・坂上 幸謙

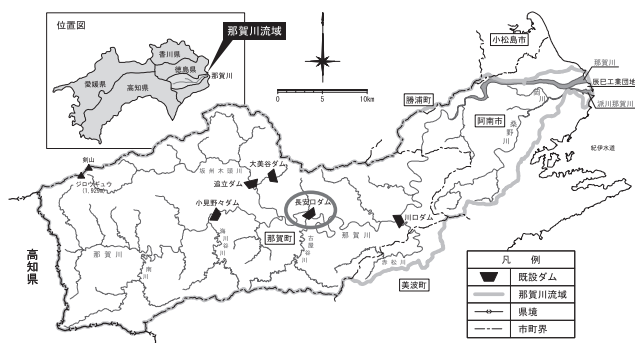
近年、既設ダムを有効活用し、治水・利水機能を強化するダム再開発事業が脚光を浴びている。ダムを運用しながらの施工が求められるため、堤体上流面に仮締切を設置し、その内部の水を抜くことでドライな環境を確保して各種作業を実施する場合が多い。従来の仮締切は、支持仮構や台座コンクリート上にチャンネル型の扉体を設置する方式が主流となっているが、本工事では、本設の予備ゲート設備を先行設置し、既設堤体切削時の仮締切として利用する新たな施工方法が採用されている。

本設の構造物を仮締切として利用することで、大規模堤体切削の際に、大きな仮設備を設ける必要がないため、工期とコストの両面において仮締切の合理化が図られた。本稿では、改造事業の一環である洪水調節容量増強を行う施設改造工事のうち、予備ゲート設備の設計・製作と一連の施工方法について紹介する。

キーワード：ダム再開発，底部架台，仮締切，予備ゲート

1. はじめに

長安口ダムは、徳島県那賀郡那賀町、一級河川那賀川本川上流部（河口から約 64 km）に位置し、洪水調節・発電・灌漑を目的とした那賀川水系唯一の多目的ダムで、昭和 31 年に徳島県により建設された高さ 85.5 m、総貯水量 5,427 万 m^3 の重力式コンクリートダムである。長安口ダムの位置を図—1 に、ダムの諸元を表—1 に示す。



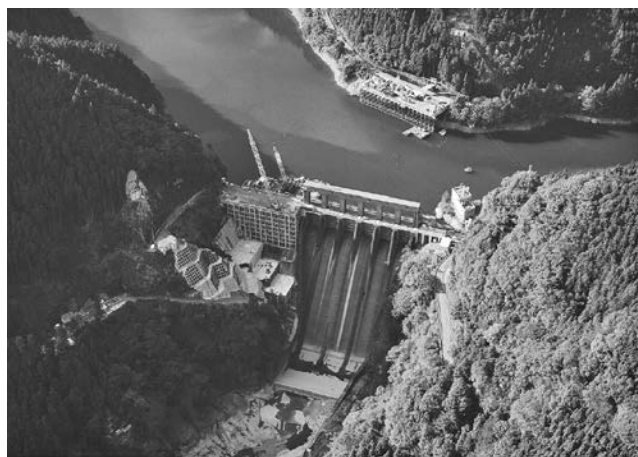
図一 1 長安口ダム位置図（那賀川流域図）

表一 1 ダム諸元

	諸元
形式	重力式コンクリートダム
堤高	85.5 m
堤頂長	200.7 m
堤体積	283,000 m ³

那賀川上流域は年間降水量 3,000 mm を超える日本有数の多雨地帯であり、流域では度重なる洪水による浸水被害が発生する一方、平成 7 年度以降ほぼ毎年のように取水制限が実施されるなど渇水被害も頻発している。

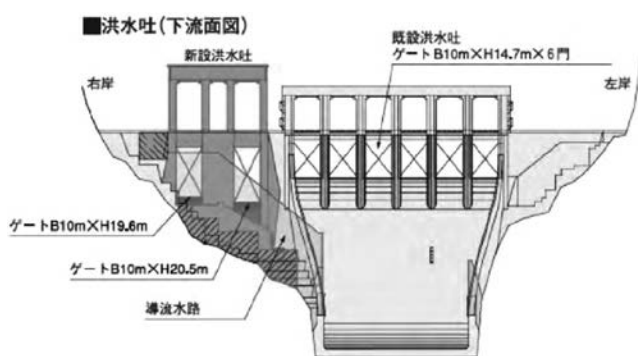
これらの問題と降雨後の河川濁水の長期化、有効貯水容量内に土砂が堆積するなどの諸問題を解消するため、平成 19 年度からダムを国土交通省に移管し、治水・利水・環境面におけるダム機能向上を目的とした長安口ダム改造事業に着手した。工事現況を写真－1 に示す。



写真—1 2015年12月全景

2. 長安口ダム改造事業の概要

現在、長安口ダムでは、洪水調節容量の全量を予備放流により確保する運用を行っている。本改造事業では洪水調節容量を約 100 万 m^3 増加させるため、現在よりも予備放流水位を 1 m 下げるとともに、洪水調節機能の向上を図るために、既設ダム堤体を切削して洪水吐 2 門を増設する（図—2）。同時に新たな予備放流水位における放流能力の増強と新たに設定するダム設計洪水流量に対応するために、減勢工も改造する。



図—2 洪水吐下流面図

3. 長安口ダム施設改造工事の概要

(1) 工事の概要

改造事業に伴うダム施設改造工事の施工範囲を図—3に示す。現在のダム運用を継続しながら、洪水吐 2 門を増設するための底部架台、仮締切及び予備ゲート等を設置する 1 期工事（平成 24 - 28 年度長安口ダム施設改造工事：鹿島・日立造船 JV 施工）、堤体切削に代表される洪水吐の増設、減勢工の改造等を行う 2 期工事（平成 26 - 30 年度長安口ダム施設改造工事：鹿島建設施工）、洪水吐ゲートを新設する 3 期工事（平成 27 - 30 年度長安口ダム洪水吐ゲート設備工事：



図—3 改造事業 工事施工範囲

IHI インフラシステム施工）に分割発注されている。施設改造工事の主要工事数量を表—2に示す。

(2) 洪水吐増設の手順

洪水吐の増設については、図—4に示す手順に従い、仮締切となる予備ゲートを先行設置し、同時に堤体下流に堤体切削により重量が減少する影響を補うマットコンクリートを打設した後に、切削を行い、洪水吐を構築しゲートを設置する計画である。

予備ゲートを先行設置する 1 期工事の施工順序は以下のとおりである。これら作業のうち、予備ゲートピアの構築以外は、全て潜土工による水中施工である。いずれも水深約 30 m 下での作業で、貯水池の濁りなどによる視界の制限を受ける中、潜土工が交代しながら一連の作業を行う本工事は高い精度が要求され、品質・安全全てにおいて難易度が高い。

- ①堤体上流面の凹凸やコンクリート表面の劣化部分を切削除去し、平滑で一様な面を構築
- ②鋼・コンクリート（水中不分離性コンクリート）複合形式の底部架台を構築

表—2 施設改造工事 主要工事数量

工 事	工 種	細 別	単 位	数 量	備考
1 期	底部架台	製作・据付	式	1	2 基
		水中不分離性コンクリート	m³	308	
	仮締切設備	製作・据付・撤去	式	1	転用
	予備ゲート設備	製作・据付	式	1	
		高流動コンクリート	m³	1,028	
2 期	掘削工	土石・岩石	m³	45,300	
	洪水吐工	堤体切削	m³	8,300	
		コンクリート	m³	46,000	
	減勢工	コンクリート	m³	74,000	
		CSG	m³	90,000	
3 期	洪水吐ゲート設備等	製作・据付	式	1	2 門

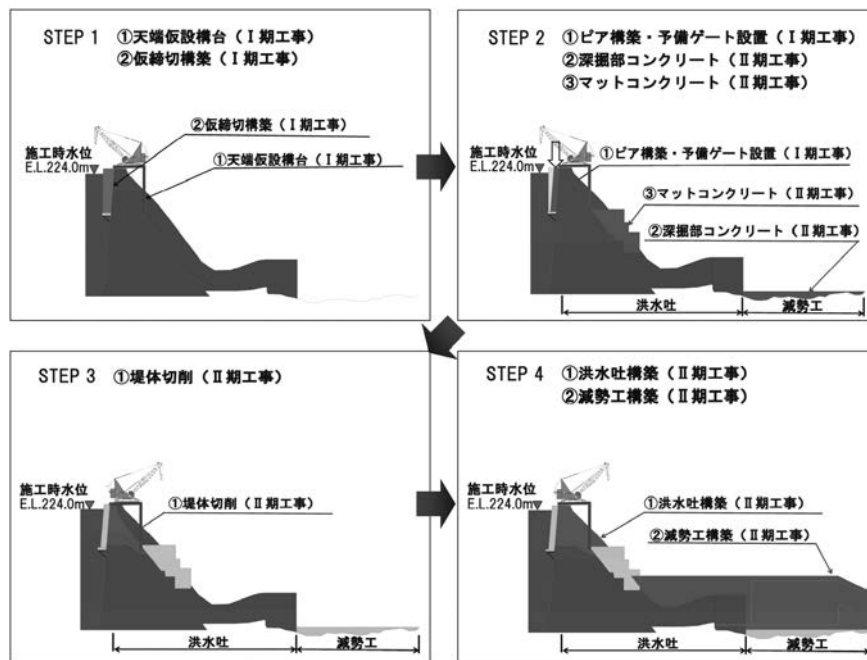


図-4 施工手順図

- ③底部架台の上部に仮締切を据付
- ④仮締切内に、予備ゲートピア（高流動コンクリート）を構築
- ⑤仮締切を撤去し、予備ゲートピアに予備ゲートを差し込む

4. 予備ゲート設備の施工

(1) 不陸整正工

長安口ダムは完成から約60年が経過しており、堤体上流面は経年劣化とともにコンクリートの中酸化が確認されていた。1期工事において構築する予備ゲート設備は、堤体上流面と一定の離隔を持って設置する必要があることから、構造物が堤体と接合する範囲について、表面の劣化部を除去するとともに、均一な面に平滑化する不陸整正を実施した。

当初、不陸整正は潜水士による人力はつりで計画されており、多大な時間と労力がかかることが予想された。そこで減圧症発症リスクの低減と施工効率向上を図るため、水中ツインヘッドによる機械化施工とした。

水中ツインヘッドは鋼製フレームと切削機から構成され、自重により切削反力を得る（重量10.2t）。これをダム天端仮設構台上の大型クローラクレーンを用いて揚重し、施工範囲を上下に動かすことで、既設堤体コンクリート表面の切削を行った（写真-2）。なお、水中ツインヘッドには水中カメラや水中マイク、水深計を装備しており、機械の操作員が安全な台船上から切削位置と状況をリアルタイムに確認することが



写真-2 水中ツインヘッドによる施工状況

できた。

この機械化施工により、当初計画に比べ潜水士の延べ作業時間を削減でき、減圧症発症リスクの低減を図ることができた。

(2) 予備ゲートの底部架台

底部架台は、予備ゲートや仮締切設備を支持する長さ43m、高さ7m、奥行き6mの永久構造物である。その構造は、堤体上流面にアンカーボルト548本で固定するブラケット形式の鋼製架台と水中不分離性コンクリートの床版からなる鋼・コンクリート複合形式を採用している。図-5に底部架台の構造を示す。

(a) 鋼製架台固定用アンカーボルトの施工

堤体上流面に鋼製架台固定用のアンカーボルト（M48：SUS304N2）を先行設置する。アンカーボルト

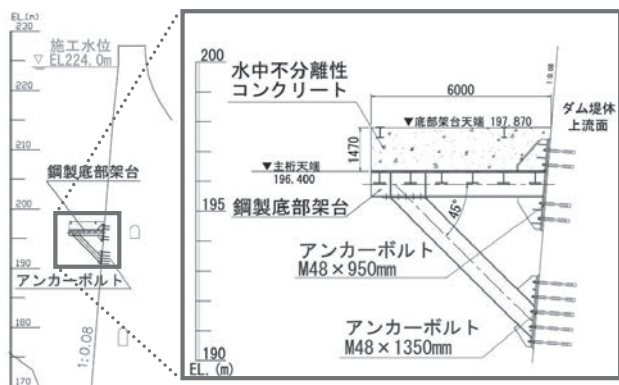


図-5 底部架台構造図

トは注入式とし、水中作業により削孔・据付、注入を行う。鋼製架台の据付には非常に高い精度が求められるため、設置するアンカーボルトも同様の高い設置精度（±5mm）が必要となる。通常的水中測量では精度の確保が困難と考えられたため、本工事ではアンカーボルトの配列パターンに応じて組替え可能な削孔用と据付用の2種類の高精度大型テンプレートを工場製作した（図-6）。

気中で地組立てを行った大型テンプレートは、クローラクレーンを使用し、ダム上流面の水中で所定の位置に設置した。削孔用・据付用テンプレートを転用しながら、総数548本のアンカーボルトを施工した（写真-3）。これらテンプレートを使用することで、アンカーボルトのコア削孔からモルタル注入に至るまで一連の施工精度が保たれた。モルタル充填後のアンカーボルトの設置精度は、偏心量が最大2mmと極めて高い精度を確保することができた。

また、品質面においては、底部架台に作用する荷重を全てアンカーボルトで支えるため、ボルトの定着強度の確保が重要となる。そのため水中で充填作業を行



写真-3 アンカーボルト削孔状況（水中）

うモルタルには、無収縮かつ水中不分離性を有し、ボルト設置孔の隅々まで充填できる性状が求められた。

これらの条件を満足するモルタルの配合は、事前の室内実験によって選定し、現場で水中注入実験を行うとともに、アンカーボルトの引抜試験を実施して、設計引張力の5倍以上の耐力があることを確認した後、実施工を行った。

こうした大型テンプレートの採用と適切なモルタル配合の使用により、大水深下においても極めて高い精度で、かつ良質なアンカーボルトを設置できた。

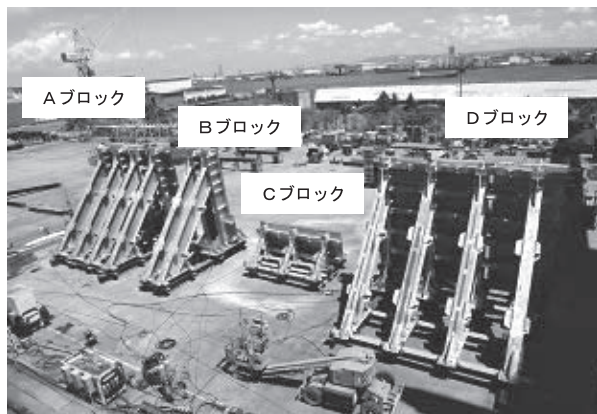
(b) 鋼製底部架台の据付

鋼製架台部分は、永久構造物として水中に残ることから、ステンレス製とし、将来の維持管理を容易にしている。さらに施工時・完成後の水圧・浮力、自重等の荷重作用ケースを考慮し、材質は高強度なSUS304N2材を使用した。なお、左岸側を10BL、右岸側を11BLとして、全2組の製作・据付を行った。

1組の鋼製架台は4ブロックに分かれており、更に、A、Dブロックの水平部については、輸送寸法を考慮して3分割とした。現地ではこの大型構造物を先行設置したアンカーボルトに水中で固定するため、高い製

	削孔	据付・モルタル注入
概要	アンカーボルトの配列パターンにあわせた大型の削孔用テンプレートを製作。テンプレートには油圧コアドリルを固定して、潜水士による削孔。	アンカーボルトの配列パターンにあわせた大型の据付用テンプレートを製作。テンプレートはアンカーボルトの据付位置と方向を定めるとともに、モルタルの型枠の一部となる。
略図及び写真		

図-6 高精度大型テンプレートの概要



写真—4 工場での底部架台の仮組立状況

作精度が求められる。よって工場仮組立では、各ブロックを一体とし、ベースプレート面を下面にして、レベルを出した定盤上で水平部と斜材を一体組立し、現地での地組立ブロック単位で仮組立することで、高い製作精度を確保した（写真—4）。

一方で現地に搬入した鋼製架台は、ダム上流の貯水池内仮設構台（現地組立ヤード）で据付用の地組立ブロックへと溶接により完成させる。悪天候時の影響を受けないよう設置した可動式テント内で組立、溶接接合作業を行う。そのため、現場溶接の溶接熱による変形を予め見込んで製作することが、据付時の精度向上につながる。ただし、SUS304N2材はあまり汎用性がない材料であり、多層溶接に関する溶接変形データは不足しているため、工場製作前に変形量を確認するためのモックアップ試験を実施することにより、据付時の精度管理の向上を図った。組立・溶接後は、組立ヤードに設置した150tクローラークレーンにて運搬用台船に積み込み、ダム側まで曳航して、ダム天端仮設構台上に設置している200tクローラークレーンで吊り込

み、据付を行った。

底部架台の斜材は13本あり、水深30m付近の潜水作業による据付であることから、貯水池仮設構台にて各斜材をH鋼で横つなぎに連結し、一体吊り込みとすることで、底部架台全体の据付精度の向上を図った（写真—5）。またダム堤体と底部架台ベースプレートの接続面には、堤体不陸の調整用の隙間が設けられており、据付後、その隙間に水中不分離性モルタルを注入し、堤体と一体化させた。ただし、モルタルが流出しないようにダム堤体の不陸形状に合わせた端部処理を行う必要があった。そこで、堤体の不陸に追従しやすく、モルタルとも相性の良いブチルゴム系の止水材を、予め陸上でベースプレート裏面に貼り付けることで、水中での端部処理作業を無くした。

（c）水中不分離性コンクリートの施工

底部架台の上部に厚さ1.5mの床版を水中不分離性コンクリートで構築する。事前に温度応力解析を行い、温度応力低減のために液化窒素を用いてコンクリートのプレクーリング（写真—5）を行うとともに、低熱ポルトランドセメントを使用した。ダム湖内の水深約30mで、潜水士が特殊トレミー管を使用して水中不分離性コンクリートの打ち込みを行った（写真—6、7）。

この底部架台の施工は、水深が30mを超え非常に深いことに加え、延べ潜水作業時間も長いため、減圧症の発症リスクが高い。機械化施工の採用や、アンカーボルトテンプレートの使用により、水中作業を単純化することで、陸上と同程度の施工精度を確保するとともに、潜水士の述べ作業時間を削減できることから、減圧症等の高気圧障害発症リスクを低減することができた。



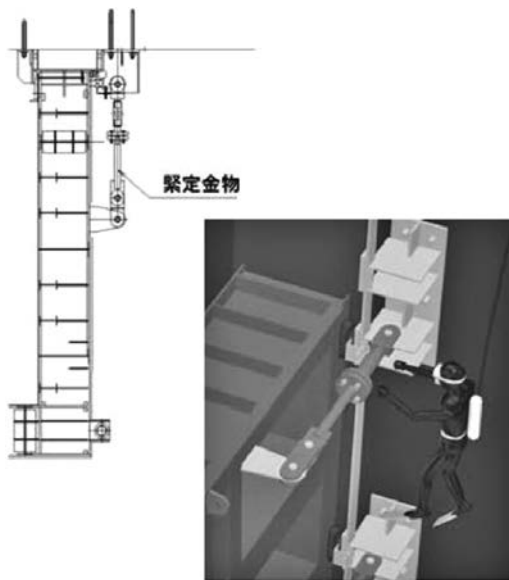
写真—5 鋼製架台（斜材）吊り込み状況



写真—6 液化窒素によるコンクリートのプレクーリング



写真一8 仮締切扉体吊り込み状況



図一8 直方式緊定金物



写真一9 仮締切設備据付完了

び側部水密ゴムとのゴム当り状況の確認、緊定金物の取付、排水ポンプによる仮締切内の排水後、排水設備の撤去、緊定金物の張力の調整を行い、本設の排水設備を設置して仮締切内での施工ができる(写真一9)。なお、漏水量は、0.4 l/minと非常に少ない値であった。

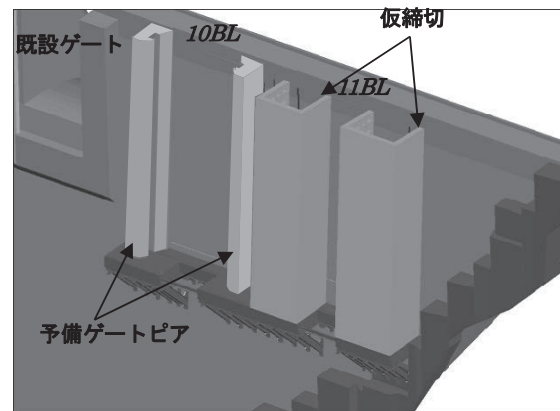
予備ゲートピアの構築完了後、仮締切設備を撤去す

る。その手順は、①仮締切内充水、②緊定金物等の撤去、③扉体撤去、④側部戸当り撤去 である。

据付時同様、底部架台に偏った荷重が作用しないように左右の扉体を上段から交互に撤去し、運搬用台船に積み込み、貯水池仮設構台まで曳航した。仮締切設備の撤去は、200 tクローラークレーン付台船を使用した。なお、仮締切扉体は、10BLの予備ゲートピア構築後に撤去し、11BLに転用する。

(4) 予備ゲートピアの施工

仮締切内部の排水完了後、予備ゲートピアを施工する。予備ゲートピアは、作業空間の狭い仮締切内で構築される幅2.5 m、奥行き4.0 m、高さ29.6 mの構造物であり、1BLあたり2基の門柱から構成される(図一9)。



図一9 予備ゲートピア施工のイメージ

また、施工の簡素化と支持構造の確実性に配慮して、写真一10に示すようなH鋼を主部材とする堤体上流面に支持された片持ち梁構造を採用するとともに、型枠や鋼材の隅々まで密実なコンクリートを構築するために高流動コンクリートで計画されていた。

ピア躯体は、内部に鋼材が多数配置されていること



写真一10 予備ゲートピア施工状況

に加え、既設堤体に拘束される細長い壁状構造物であることから、温度ひび割れの発生が懸念された。そこで、温度応力解析の結果から、膨張材を用いた配合を採用し、ひび割れ指数の改善を図った。さらに、埋設鋼材と既設堤体のあきが小さいことから、スランプロー 65 cm の高流動コンクリートを使用し、1 リフトあたりの打設高さを 3.0 m とした。型枠は、側圧（液圧）に耐え得る構造で、かつ形状が不変であることから、鋼製スライド型枠形式を採用した。しかし、仮締切内は極めて狭所で躯体と足場の離隔が狭く、通常の外部支保方式のスライド型枠が採用できない。さらに、品質面から戸当り等の埋設鋼材を利用することができないため、仮設鋼材を埋設した内部支保方式を採用した。

なお、ピア内部に埋め込むピア補強鋼材と予備ゲート側部戸当りの据付に当っては、貯水池内仮設構台において、ピア補強鋼材と側部戸当りを連結材にて一体に組み立てて 4 分割で据付を行った。

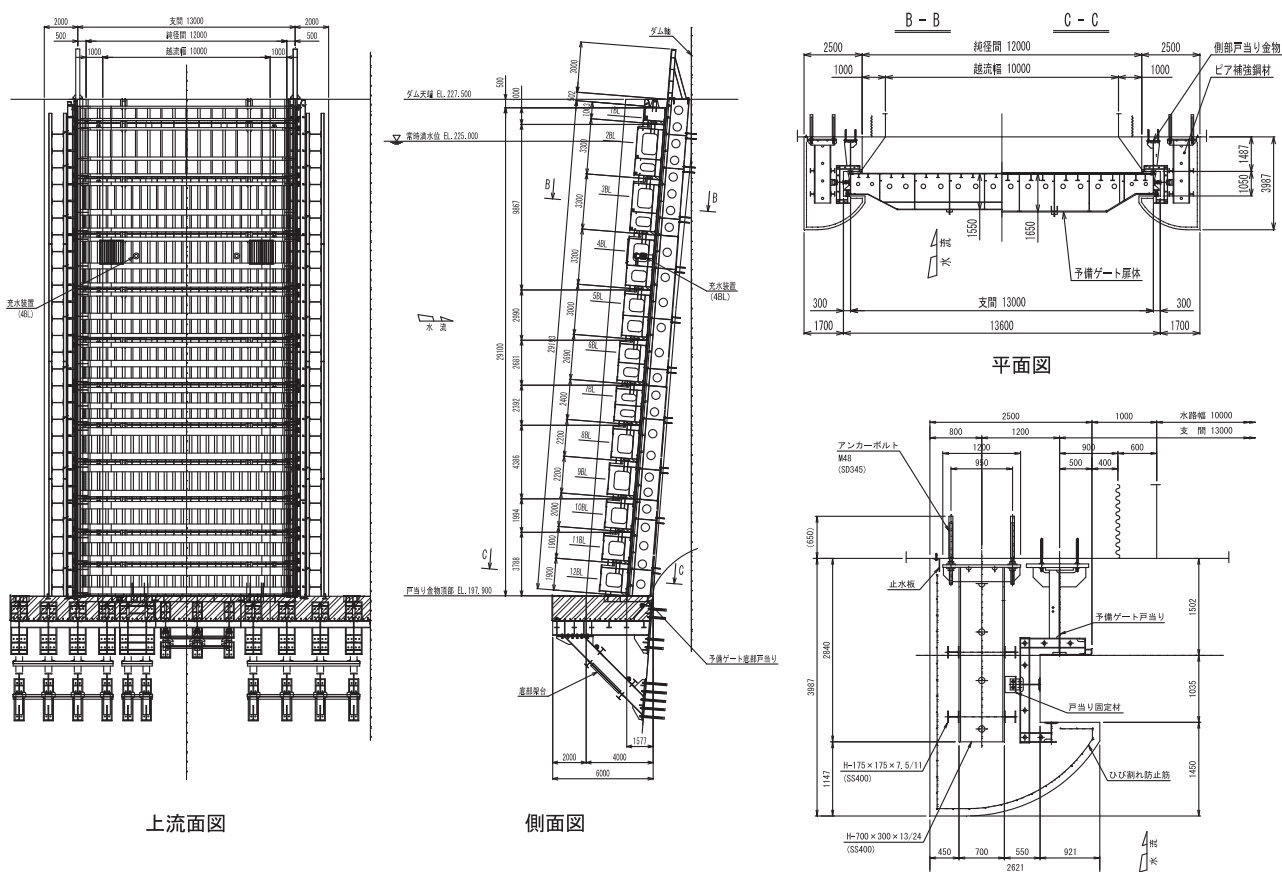
高流動コンクリート打設は、コンクリートポンプ車による圧送とし、埋設鋼材の据付精度を維持しながら、狭所において密実なコンクリートを構築することができた。

(5) 予備ゲートの据付

予備ゲートは、12 基に分割されたスライドゲート形式の鋼製角落しゲートを、自動脱着式のリフティングビームを介して移動式クレーン（運用後）により底部架台上に段積みする構造である（図—10）。

本ダムは堤体上流面が傾斜しており、鉛直に昇降するゲートとした場合、傾斜がない場合に比べて、仮締切や予備ゲートピアが上部ほど突き出た形状となり、規模が大きくなることから、コスト縮減を目的として傾斜に平行に昇降するゲートとなっている。このため、予備ゲート扉体を吊り下ろす戸溝（戸当り面）も傾斜になっているが、吊り姿勢が鉛直状態のままで戸溝に吊り下ろすと扉体の角が戸溝に片当たりし、スムーズに昇降することができないという課題がある。そこで、扉体が片当たりせず、スムーズに戸溝内を昇降できるようにするため、以下の対策を実施した。

- ①ウェイト载荷による重心位置の調整を行うことにより、扉体と戸当りの傾斜を平行にする
- ②上流側にフロントローラを設置し、戸溝内での姿勢を制御することで、扉体の角が戸当りに当たらないようにする
- ③ピア頂部にガイド戸当りを設置し、扉体を戸溝へ誘導する際の位置合わせを容易にする



図—10 予備ゲート全体図

なお、自動脱着式のリフティングビームは、フックが自動で着側、脱側に作動することを確認するため、工場での扉体ウェイト調整時に、リフティングビームを使用して扉体を吊り下げ、フックの作動状態を確認した。

扉体は、現地での吊り易さを考慮して、製作段階で桁側に立て起こし用の吊ピースを取り付けておき、桁側を天、スキンプレート側を地にして、貯水池内仮設構台に搬入した。搬入後、その吊ピースを用いて荷降し、立て起こしを行い、ダム湖上の運搬用台船に積み込んだ。



写真—11 予備ゲート扉体吊り込み



写真—12 予備ゲート扉体据付完了

扉体の据付は、自動脱着式のリフティングビームを使用して、200tクローラクレーン付台船にて1日2基のサイクルで下段から順に行った（写真—11）。12段の据付完了後、予備ゲート扉体とダム堤体間の水を排水し、水密状況の確認を終え、据付を完了した（写真—12：10BL側のみ部分完成）。

5. おわりに

平成24～28年度長安口ダム施設改造工事における予備ゲート設備は、2015年10月に10BL側が完成し、引き渡しを行った。11BL側は仮締切の据付まで完了し、残り半分の予備ゲートピア施工を残すのみである。

社会資本ストックの有効活用の観点から、供用中ダムの再開発工事が数多く見込まれる中、本工事の実績がこれからの同種他工事の参考となれば幸いである。

J C M A

【筆者紹介】



白川 豪人（しらかわ つよひと）
国土交通省
四国地方整備局 那賀川河川事務所
開発工務課長



椿 治彦（つばき はるひこ）
鹿島建設㈱
四国支店 長安口ダム施設改造JV工事事務所
所長



坂上 幸謙（さかがみ ゆきのり）
日立造船㈱
水門部設計2グループ
グループ長代理