

ダム放流設備増強と水理設計技術

石神孝之・櫻井寿之

1. はじめに

日本では、これまでに整備されてきたダムが、治水・利水の両面から大きな役割を果たしてきている。一方で厳しい財政状況や生産年齢人口の減少などの状況の中、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重要になってきている。このような認識のもと、既設ダムを有効活用するダム再生をより一層推進する方策を示した「ダム再生ビジョン」¹⁾が国土交通省によってとりまとめられ、平成29年6月に公表された。

ダム再生を推進する方策の一つとして挙げられている「高機能化のための施設改良」については、ダムの施設改良として既設ダムのかさ上げや放流設備の増強等が実施された事例がある。

ダム再生における放流設備の改良や増設における水理設計では、新規のダム建設とは異なる課題がある場合があり、水理模型実験等によって課題への対応が検討されてきている。本報告では、これらのダム再生における主要な放流設備増強技術の概要を述べるとともに、代表事例として長安ロダム改造事業を取り上げて、再開発事業の水理設計技術の内容を報告する。

2. ダム放流設備増強技術

既存ダムの施設改良において、治水計画の変更、利水計画の変更、機能改善等の様々な理由から放流設備増強やダムのかさ上げ等が実施されてきている。比較的大容量の放流能力を有する放流設備を増強する場合の代表的な手法として、堤頂放流設備の改良・増設、堤体放流設備の改良・増設、トンネル洪水吐きの新設の3つの技術（図-1参照）の概要を述べる。

2.1 堤頂放流設備の改良・増設（堤体切削）

堤頂に設置される越流形式の放流設備や作用水頭が25m以下のオリフィス形式の放流設備等を改良・増設するものであり、堤体を上部から開削し

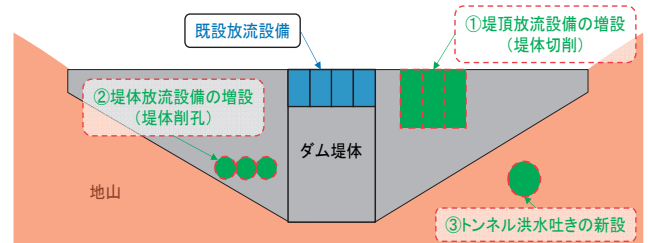


図-1 代表的なダム放流設備増強技術

て施工する手法がよく用いられる。改造部分が堤頂付近の施工となるため大きな水圧への対応に関する課題は少ない。さらに、貯水位を低下させることなどで仮締切等の対応が不要となる場合には、比較的施工が容易となる場合もある。

比較的初期に建設されたダムでは、常用洪水吐きと非常用洪水吐きのどちらもゲート調節型式の放流設備が採用されていることがあり、そのようなダムで、集水面積が小さく洪水時の流量増加が早い場合には、洪水調節機能の確実性を向上させるために、放流設備をゲートレス化する場合がある。ゲートレス化は維持管理の負担を軽減することにもつながる。非常用洪水吐きをゲートレス化するためには、越流幅を拡大することが多く、堤頂部に配置することができるか、放流される水脈を減勢して安全に下流河道に流下できるかといった点が課題になる。これらを解決するために、貯水池内の湖岸に新たな非常用洪水吐きを設置したり、堤頂部の越流幅の拡大と合わせてダム下流面に堤趾導流壁を設置したりする工夫がされている。

放流能力増強以外の目的を持った事例として、宮崎県の山須原ダム、西郷ダム（九州電力）では、土砂を通過させる機能を高めるため、既設の堤頂部放流設備について堤体を切り下げて大きなゲート放流設備とする改造が行われている。

堤体を開削する手法については、現在改造工事を施工中の徳島県の長安ロダム（国土交通省）がその開削深さにおいて既往最大規模の事例である。最大で深さ約37mの開削が行われており、2つの大規模ローラーゲートを有する放流設備が増設される予定である。長安ロダムについては3章にて水理設計の内容を報告する。

2.2 堤体放流設備の改良・増設（堤体削孔）

堤体放流設備の改良・増設は、既設のダム堤体に穴をあけ、放流設備を増設する手法で、基本的には重力式コンクリートダムに適用される。

作用水頭が25mを超える放流設備は高圧放流設備と定義され、放流時に流れが高速となるため、局所的な負圧の発生等によるキャビテーション損傷を防止する必要がある。そのためには管内流速を小さくする必要があるが、堤体にあけることができる穴の大きさや数はダムの構造により制約があるため、経済性からは流速を大きくして放流能力を増加させることが有利である。さらに、増設放流設備では、既設の放流設備の配置との関係から放流管の呑口と出口を直線上に配置することが困難なことがある。その場合、複雑に湾曲する形状が採用されるが、大口径放流管の湾曲部では局所的な圧力低下が生じやすくなる。こうした課題に対して、水理模型実験による湾曲部の壁面作用圧力に関する検討によって²⁾、現在では合理的な設計が可能となっている。

堤体削孔の事例としては、鹿児島県川内川の鶴田ダム（国土交通省）にて、増設放流管3条（直径4.8m、削孔断面：高さ6.0m×幅6.0m）、付替発電管2条（直径5.2m、削孔断面：高さ6.4m×幅6.4m）を増設したものが既往最大規模である（表紙写真参照）。日本では、利水目的の貯水池運用上の制約から貯水位を大きく低下させることが難しい場合があり、大水深条件での施工が求められるため、ダム堤体上流側の仮締切の技術が重要となる。鶴田ダム増設放流設備の施工における仮締切では、ダム上流の水中に台座コンクリートを設置後、鋼製の仮締切扉体を組み上げる従来の工法の他に、台座が不要な浮体式仮締切の新技术が開発され、大深度潜水作業を軽減し、コスト縮減や安全性向上が実現された。

堤体放流設備は流量が小さければ、既設の減勢工に放流する形式とすることができるが、鶴田ダムのように大規模な場合には専用の減勢工が新設される。鶴田ダムについても長安口ダム同様に水理模型実験で流況を確認しながら設計形状が検討された（表紙写真参照）。

2.3 トンネル洪水吐きの新設

大容量の放流設備を増設する際にダム型式やダムの構造上の制約から既設ダム堤体を切削または



図-2 鹿野川ダムトンネル洪水吐きの水理模型実験状況
削孔することが困難な場合には、ダム堤体周囲の地山内にトンネル洪水吐きが新設される。事例としては、現在施工中の愛媛県肱川の鹿野川ダム（国土交通省）と京都府淀川の天ヶ瀬ダム（国土交通省）の2つがある。

鹿野川ダムのトンネル洪水吐きは、トンネル直径11.5m、延長457m、放流量約1,000m³/s、天ヶ瀬ダムは、トンネル直径10.3m、延長617m、放流量約600m³/sである。比較的大きな水圧の作用する延長の長い設備となるため、トンネル水路の断面が大きく、流速を10m/s程度に抑えた管路流の施設として設計されている。管路流のため、流入部で空気を吸い込むと出口でのゲートの振動や流況の乱れを招く懸念がある。空気混入を減らすには流入部の位置を水面から深くする必要があるが、大規模な施設であり、そのような配置が難しいため、水理模型実験によって吸い込み渦の発生を抑える流入部形状が検討された。

天ヶ瀬ダムの貯水池内流入部施設の施工においては、民間企業が開発した陸上から遠隔操作で水中の掘削等の作業が行えるシャフト式水中作業機が採用された。

両ダムとも放流量が大きく、減勢工が必要になるが、河道内の配置の制約があり、鹿野川ダムでは段差やバップルピアを配置することでコンパクトな減勢池形状とし（図-2参照）、天ヶ瀬ダムでは地山内に減勢工を設置する工夫がされている。

3. 長安口ダム改造事業における水理設計

3.1 長安口ダム改造事業の概要

長安口ダムは、那賀川水系那賀川に、洪水調節、発電、かんがい用水の補給を目的として、1956年（昭和31年）に建設された多目的ダムである。ダム形式は、重力式コンクリートダムであり、堤高85.5m、総貯水容量54,278,000m³、有効貯水容量

43,497,000m³、流域面積538.9km²である。長安ロダム改造事業は、長安ロダムの洪水調節能力の増強、那賀川における流水の正常な機能の維持及び放流水の水質改善を目的としてダム改造を行うものである³⁾。洪水調節能力の増強については、那賀川水系の治水計画に基づき、長安ロダムに要求される洪水調節能力を確保するため、堤体の右岸の一部を切り欠いて2門の新設洪水吐きの増設を行うものである（図-3参照）。

3.2 水理模型実験による水理設計

長安ロダム改造事業に関して、土木研究所にて2008年度から2012年度に、水理模型実験により新設洪水吐き等の水理設計が実施された。所定の水位・流量等の条件において、求められる放流能力が確保されているか、導流部や減勢工等の施設に作用する水圧が許容される範囲内か、安定した流れが形成されているかなど、必要とされる機能や安全性が確保されていることを確認し、確保されていない場合は施設の形状等が修正された。

具体的には、図-4の平面図（原案形状（左））に示す新設洪水吐きの越流部、導流部、既設及び新設洪水吐きからの放流水が合流する減勢工及び下流河道を対象に検討された。

最初に机上設計による原案形状の縮小模型が製

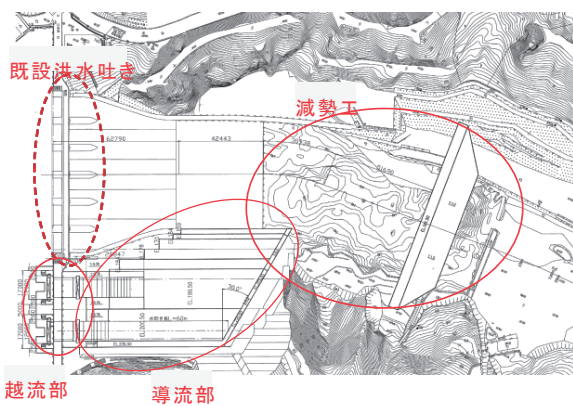


図-4 平面図（原案形状（左）と最終形状（右））

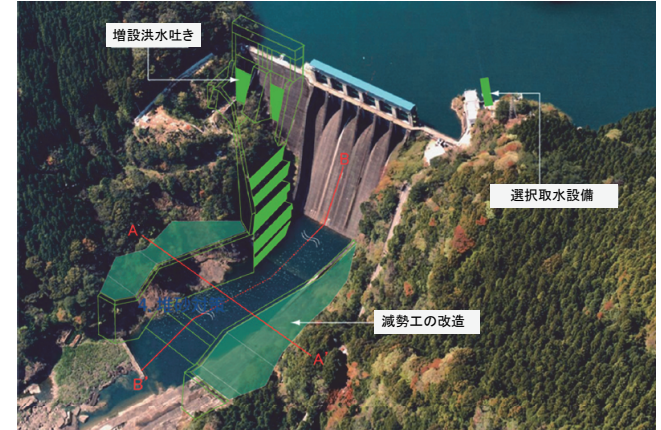


図-3 長安ロダム改造事業の概要

作され、所定の水位・流量等の条件で通水され、流況等が確認された。手順としては、上流から越流部、導流部、減勢工、下流河道の順に機能が確認される。ここで、越流部はダムの洪水調節機能を決定する重要なもので、所定の水位で所定の流量が流れるかを確認し、水位と放流量の関係式を導く必要があり、多くの場合は、他の減勢工等の部分と合わせた全体模型（図-5（左）参照）とは別に、越流部のみを抽出した大きな縮尺の抽出模型（図-5（右）参照）で検討される。

長安ロダムで実施した原案形状及び最終形状での水理模型実験の状況を図-6に示す。

原案形状の越流部では所定の水位での放流量が

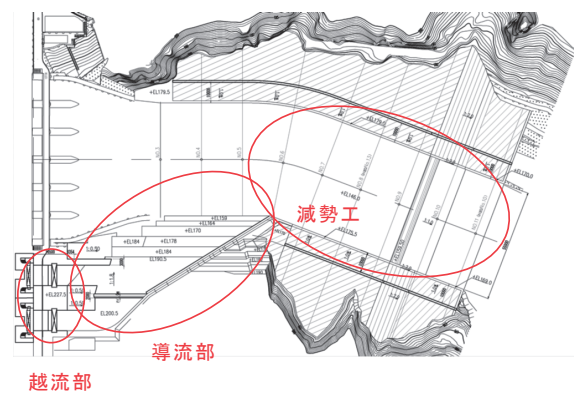


図-5 全体模型（縮尺 1/62.5）（左）と越流部抽出模型（縮尺 1/40）（右）



図-6 水理模型実験での流況（導流部：原案形状（左）、最終形状（右））

不足していた。導流部については越流部からの水流が勢いを持ったまま導流壁に当たり、さらに減勢することなく減勢工（減勢池）に落下していた（図-6（左）参照）。副ダムのみを設置した減勢工の原案形状では、既設洪水吐き及び新設洪水吐きからの水流が合流する領域で左岸側の水脈が大きく這い上がる状況となった。

これらの原案形状での課題に対して、越流部については、川側の越流頂標高を低くし、越流頂の形状を台形越流頂から標準越流頂に変更することで、必要な放流量が確保された。

導流部については、導流壁の位置・角度の変更、スロープの設置など様々な形状が試行錯誤的に検討され、山側と川側の両者の洪水吐きからの水脈を分離・拡散する形状が考案された。その結果、導流部の水位を低く抑えることができ、導流壁の高さを低くすることが可能になった（図-6（右）参照）。

減勢工については、平面形状の修正や側壁天端の水路壁の設置により、一部減勢工側壁を越水する場合があるが、側壁高を低く抑えることができ、下流河道に対しては十分な安全性を確保することができた。

図-4（右）に修正した最終的な形状の平面図を示す。

4. おわりに

ダム再生における水理設計上の留意点は、必要な放流機能の確保と放流機能の増強によって大きく変化するダム下流の流況について、ダム堤体と

下流河道の安全性を確保することである。このため、水理模型実験による確認が重要と考えられる。

また、既設のダムを運用しながら施工する必要があり、施工中の既設ダムの機能をいかに確保するか、また既設ダムからの放流が工事に及ぼす影響をいかに小さくするかの検討が重要になる。

日本のダムの放流設備増強に関しては、この数年の間に、堤体切削、堤体削孔、トンネル洪水吐きの代表的な3つの手法について、それぞれ既往最大規模の工事が開始され、施工が進められている。これらの設計や施工を実施する中で多くの技術的な知見が各分野で蓄積されてきており、今後のダム再生への活用が期待される。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：ダム再生ビジョン、2017
- 2) 柏井条介、宮脇千晴：円形放流管湾曲部の圧力特性、ダム工学、Vol.9、No.4、pp.245～252、1999
- 3) 国土交通省那賀川河川事務所ホームページ（長安口ダム改造事業）

石神孝之



土木研究所水工研究グループ水理チーム 上席研究員
Takayuki ISHIGAMI

櫻井寿之



研究当時 土木研究所水工研究グループ水理チーム主任研究員、現（一財）ダム技術センター 首席研究員
Toshiyuki SAKURAI