

柳瀬ダム堰堤改良事業における水理模型実験効果について

國見 早紀

四国地方整備局 吉野川ダム統合管理事務所 調査・品質確保課

(〒778-0040徳島県三好市池田町西谷山尻4235-1)

柳瀬ダム堰堤改良事業における新設洪水吐きの水理機能について、水理模型実験を用いて放流水の流水処理について検討した。この結果、水理的問題の解決及び構造物規模の縮小、コスト削減に繋がることが示され、横越流方式（減勢と同時に河道内に放流する方式）が最適であることが分かった。

キーワード 堰堤改良, 新設洪水吐き, 水理模型実験, 横越流方式

1. はじめに

柳瀬ダムは、昭和29年に愛媛県四国中央市に建設された四国で初めての多目的ダムである。柳瀬ダムの建設以降、昭和50年に新宮ダム、平成13年に富郷ダムが完成し、これら銅山川ダム群の統合管理により流域の治水・利水に大きく貢献している。

(1) 事業実施の背景

柳瀬ダムの洪水放流設備はダム頂部のクレストゲートのみであるため、迎洪水位が低い場合には放流できず、貯水池の容量を有効に活用できないといった治水上の課題を抱えている。さらに、富郷ダム完成以降、上流ダム優先貯留、下流ダム先行取水の統合運用を行っているため、柳瀬ダムはもとより下流の新宮ダムにおいても、貯水位が低い状態が常態化している。

このため、放流能力の制約に伴うダム群のパンクや、放流の遅れに伴う急激放流による下流河川での急激な水位上昇等の危険が高まっている。

このような治水上の課題を解消するために、平成17年度から柳瀬ダム堰堤改良事業として、新設洪水吐きの検討に着手した。その結果、予備放流水位で150 m³/sの放流量を確保する放流管（オリフィス）の設置により、柳瀬ダムを始め銅山川ダム群としての治水能力の向上を確認している。

(2) 事業における問題点

新設洪水吐きより放流される放流水は、直接河道へ放流すると、河道での局所洗掘や既設洪水吐きへの影響等が懸念される。一般的なダムの場合、新設洪水吐きにより放流された放流水は、既設洪水吐きの減勢池を利用し



写真-1 柳瀬ダムを左岸上空より望む

て流水処理する方法が考えられるが、柳瀬ダムは減勢施設を有していないダムであり、減勢機能を全く持たないダムへの新設洪水吐きの設置は、全国的にも事例が無いことから、新設洪水吐きの流水処理が課題となっていた。

2. 水理模型実験の概要

水理模型実験は、新設洪水吐きの水理機能調査及び最適な流水処理方法を提案し、実施設計に必要な資料収集を目的に実施した。

本論文においては、オリフィス放流水の流水処理方法について検討し、水理的問題の解決のみならず、コスト削減に繋がる提案を行った、抽出模型による水理模型実験について説明する。

(1) 模型実験の行程

本検討では、新設洪水吐きの放流量の流水処理に着目して検討する放流管抽出模型と、既設洪水吐きの放流水への影響、及び河道を含む評価を行う全体模型により実

施した。

模型実験の行程は、抽出模型によるオリフィス形状の検討、流水処理方法の検討を実施した後、全体模型実験による新設洪水吐き放流水の下流河道への影響、既設洪水吐きとの同時放流による合流部の流況及び下流河道への影響を調査することとした。

(2) 模型の構成

a) 放流管抽出水理模型

放流管抽出水理模型は、縮尺効果の影響を受けない、水深1mが3cm以下とならない1/20を選定した。

また、対象とする現象が放流能力、放流水の流水処理であることから、貯水池を模した水槽から河道への合流部までを再現し、数m³/sから200m³/s程度の流量を放流可能な構造とした。(写真-2)

b) 全体水理模型

全体水理模型は模型縮尺を1/40とし、河道の自然背水による再現性を考慮し、ダム下流300m付近までを再現した。(写真-3)



写真-2 放流管抽出水理模型



写真-3 全体水理模型

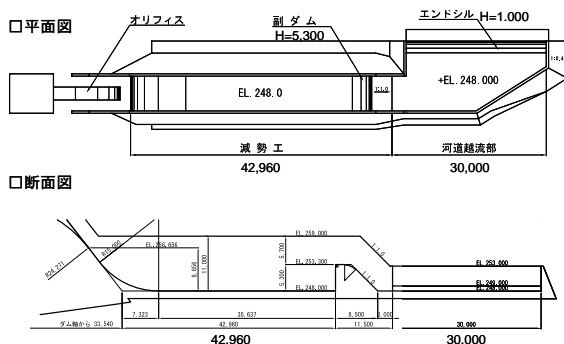


図-1 河道越流方式の概要

3. 河道越流方式の検討

(1) 河道越流方式の概要

オリフィス放流水の流水処理は、副ダム跳水式の一次減勢工により放流水を減勢し、河道越流部により放流水を拡散させ、河道に放流させる形状とした。

河道越流方式の概要を図-1に記す。

(2) 河道越流方式における流況

河道越流方式の水理模型実験の結果、以下の問題点が抽出された。

- ・放流水脈が水路底面に沿って流下せず、底面から剥離した流況となり、減勢工始端で一様に拡散せず、集中した水塊で減勢工に突入する
- ・集中した放流水塊は減勢工底面に直接落下し、落下地点で水流を大きく上昇させ減勢効果を低減させる(写真-4)
- ・副ダムを越流した流水に対し、エンドシルによる水位の確保が期待できず、高速な射流で下流側に大きく偏っているため(写真-5)、河道浸食への影響を増大させる危険がある

このような流況の要因としては、下記の内容が考えられる。

- ・オリフィスの放流水脈が底面形状に沿って流下しないため減勢工始端で水脈が一様に拡散しない
- ・河道越流部では越流部側を開口面としているためエンドシルによる背水が期待できず、計画上の水位が得られない

このため、減勢工及び河道越流部の流況改善のための改良検討を実施した。

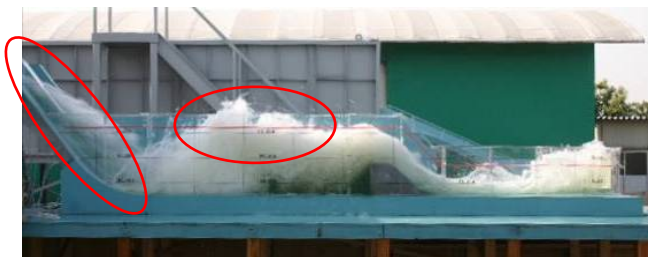


写真-4 河道越流方式減勢工部の流況



写真-5 河道越流方式河道越流部の流況

(3)減勢工の改良

減勢工については、オリフィス放流水脈の突入流況の改良、副ダムの検討を実施した。

(a)オリフィス突入流況の改良

オリフィス放流水脈の流況の改善については、水脈を平滑化し、下流へ向ける目的で、水脈の落下地点にブロックを設置し、突入水脈の改良を行った。

ブロック形状、大きさ、勾配を変化させながら検討を実施した結果、オリフィス終端位置からバケット終端部まで傾斜ブロックを設置することで、水脈が減勢工底面沿いに流下し、安定した流況が得られた。(写真-6)

しかし、これにより減勢工始端に露出射流が見られたため、副ダム高の調整により、より安定した流況の検討を行うこととした。

(b)副ダムの検討

副ダム高を0.5mピッチで上昇させ検討した結果、1.0m嵩上げした場合、跳水始端が傾斜ブロック上まで移動するため、露出射流は見られなくなり、減勢工の流況は安定した。(写真-7)

(4)河道越流部の改良

副ダムを含む減勢工形状が得られたことから、副ダム下流に接続する河道越流部について検討した。

(a)エンドシル規模の検討

河道越流部内で安定した跳水を形成させ、下流河道に対し、河道越流部で一様に拡散し流下させる形状について検討を行った。

結果、エンドシル高としては、河道部への越水状況を



写真-6 傾斜ブロック設置後の流況



写真-7 副ダム嵩上げ後の流況

もとに、副ダムと同程度の5mの高さとした場合、河道越流部内での外わん側への偏りの減少及び、越流水を比較的フラットに近い越流状況とすることが可能となった。

(写真-8)

(b)代替案の検討

エンドシルによる減勢は、エンドシル高が5mに及ぶことから、より簡素な形状で流水処理が可能となる方法について検討を行った。検討では、河道越流部に階段状のブロックを配置することとし、最も安定した流況が得られる形状を検討した。

結果、導水路内を7.5m間隔の階段形状にすることにより、河道へ流下する水脈はある程度分散されるものの、各段差部での外わん側への這い上がりは解消されなかった。(写真-9)

(5)河道越流方式における課題

河道越流方式に改良を加えた結果、ある程度河道へ流下する水脈は分散化されるものの、段差部での這い上がりや導水路内の水面変動が大きいといった課題の解消には至らなかった。また、放流水の河道への影響を軽減するための河道部の保護が必要となる等、流水処理上の課題に加え、施工性、経済性においても課題を残す結果となった。



写真-8 エンドシル規模修正後の流況



写真-9 階段ブロック配置後の流況

4.横越流方式の検討

(1)横越流方式の概要

河道越流方式では、前述のとおり多くの課題を残す結果となった。このため、流水処理形状の考え方を見直し、横越流方式について検討を行うこととした。

横越流方式の形状は、河道越流方式における流水を十分に減勢させた後に放流させる形状から、減勢工の一部を切り欠き、放流水を減勢と同時に河道内に放流させる形状へと修正を行った。

(2)切り欠き形状の検討

まず、減勢工の切り欠き幅を決定するにあたり、河道越流方式で得られた減勢工の流況より、減勢工の水面形が比較的フラットな範囲を基本とし、切り欠き幅、切り欠き高をパラメータに検討を実施した。

結果、越流水深を小さくすることにより、減勢工内の水深を大きくした場合、安定した跳水を発生させることが可能となった。最も安定した流況が得られた形状は、切り欠き幅25m、切り欠き高3.5mの時であったが、低水位時に減勢工始端部において不安定流況が確認された。(写真-10)

(3)補助構造物の検討

低水位時の不安定流況解消のため、補助構造物として高さ1.0mのバップルピアを設置し、減勢工の流況を安定を図った。

減勢工横断方向に4基のバップルピアを設置した場合には、減勢工側壁部の流れが強く、バップルピアによる水位上昇が見られた。このためバップルピアの個数を3基に変更し再度検討を実施した結果、小流量時から設計洪水水位まで、全ての流量下において安定した流況を得ることが可能となった。(写真-11)



写真-10 横越流方式の流況
(切り欠き幅25m, 切り欠き高3.5m)

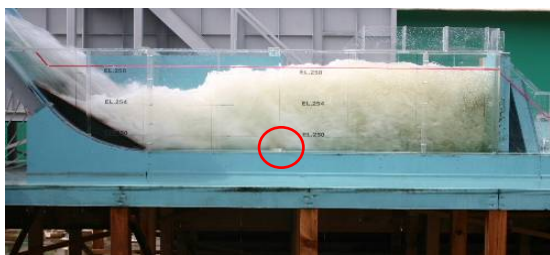


写真-11 補助構造物設置後の流況

(4)横越流方式の利点

横越流方式では、減勢工内の水深を大きくし、越流水深を小さくすることで、河道越流方式において課題であった、流況の安定及び放流水脈の分散が可能となった上、構造の延長を30m程度短縮することが可能となった。また、構造物延長の短縮に伴い、越流水を既設床板上へ放流することが可能となり、河道の浸食対策が不要となる副次的効果も上げられ、河道越流方式と比較し大幅なコスト縮減が可能である。

5.流水処理形状の提案

(1)河道越流方式と横越流方式の比較

河道越流方式、横越流方式の検討の結果を比較してみると、河道越流方式に比べ、横越流方式は下記の点で有利であることが確認できた。

- 安定した流況を得ることができ、現況河道への影響を軽減できる (写真-12, 13)

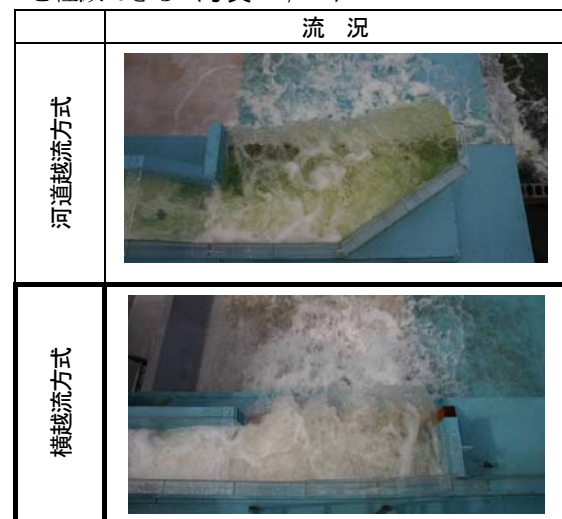


写真-12 河道越流方式と横越流方式の流況比較
上空より確認

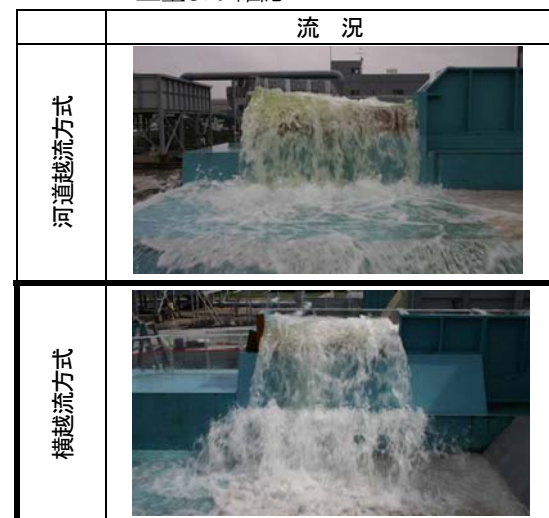


写真-13 河道越流方式と横越流方式の流況比較
側面より確認

- ・構造物の延長を30m程度短縮でき、既設床板上への放流が可能となるため、既設構造物の有効活用が可能となる。また、工事影響範囲の軽減にも繋がる。（図-2）
- ・コンクリート量を30%削減でき、約70%の工事費で施工可能。

以上のことから、本事業における流水処理方法は横越流方式を採用することが、流水処理上及び現地条件において有利であることが判断でき、横越流方式を提案形状とすることとした。

(2)提案形状の概要

河道越流方式、横越流方式の検討の結果、流水処理形状の最終提案形状は、図-3、4のとおりとした。

6.総合検討

新設洪水吐き運用後の下流河道への影響等を把握するために、新設洪水吐き単独運用時および既設洪水吐き（クレストゲート）・新設洪水吐き同時運用時について、全体水理模型実験により調査を実施した。

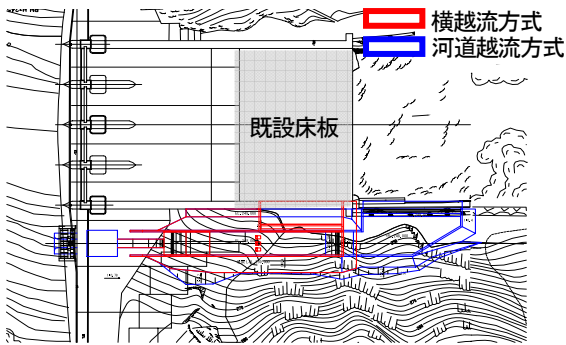


図-2 河道越流方式と横越流方式の配置比較

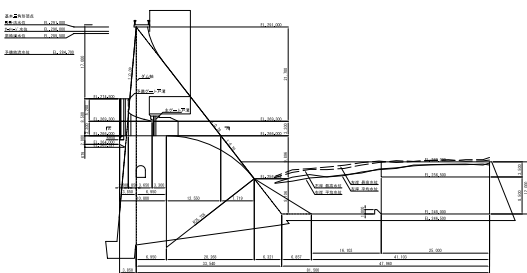


図-3 最終提案形状（平面図）

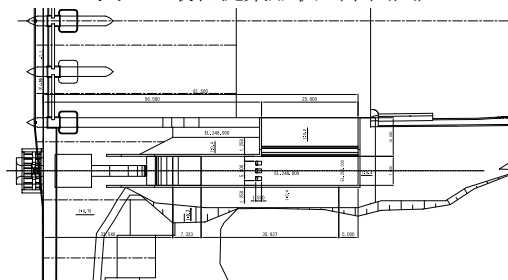


図-4 最終提案形状（標準断面図）

(1)新設洪水吐き単独運用

横越流方式による新設洪水履き単独運用においては、洪水吐きからの水脈は既設床板上に落下するため、十分に減勢し下流河道へと流下しており、水理的に安定した流況となることが確認できた。（写真-14）

(2)既設・新設洪水吐き同時運用

既設・新設洪水吐き同時運用を想定した全体水理模型実験においては、既設単独運用と比較した結果、基本的な流れは既設洪水吐き単独運用時と大きな差は無く、河道内に発生する水衝部の位置や這い上がりによる水面高も変化は確認されなかった。（写真-15）



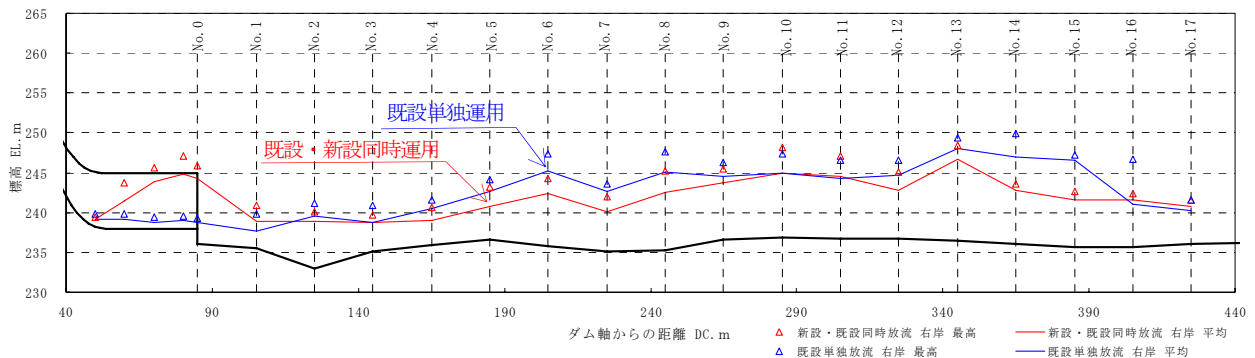
写真-14 新設洪水吐き単独放流時の流況



写真-15 既設・新設洪水吐き同時放流時の流況

また、新設洪水吐きからの流水による減勢効果により、下流河道右岸側の流速が低下し、既設洪水吐き単独運用と比較し、若干の水位低下が見られた。(図-5)

□下流河道右岸水面形



□下流河道流速分布

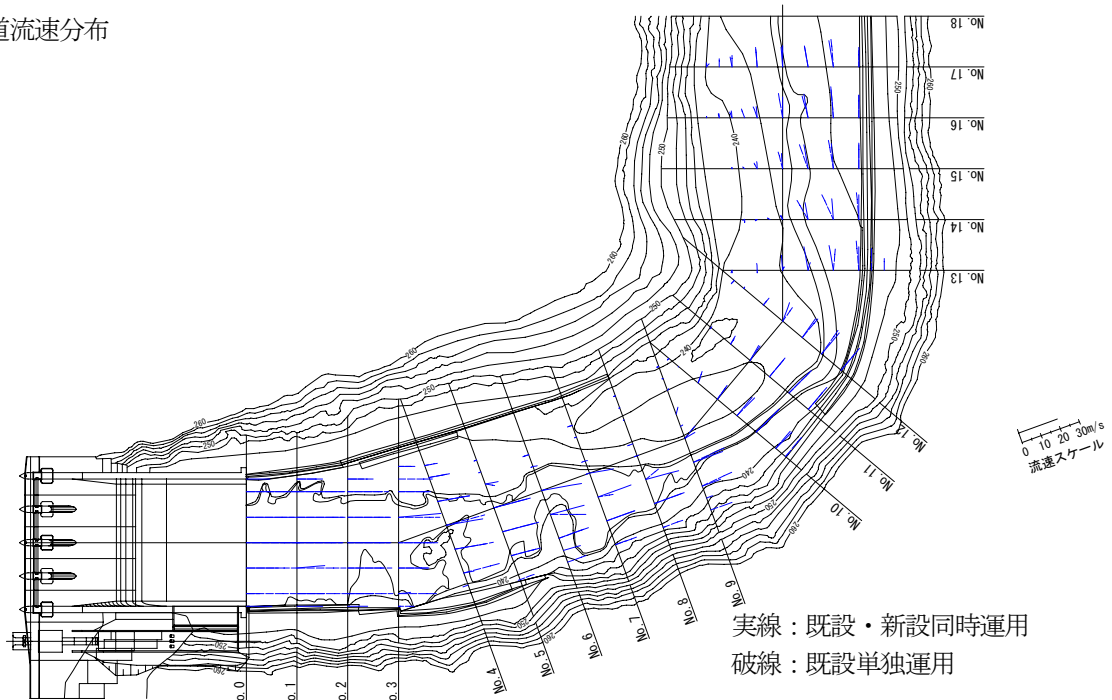


図-5 既設単独運用時と既設・新設同時運用時の比較

(3)新設洪水吐きの運用方法検討

柳瀬ダムの新設洪水吐きの設置による放流能力の増強に併せて洪水調節ルールを見直すことにより、治水容量を有効に活用でき銅山川ダム群のパンクが回避できることも確認されている。

今後、新設洪水吐きの運用方法の検討も含め、効果的な洪水調節ルールについて検討していく予定である。

7.まとめ

本実験により得られた流水処理の提案形状は、放流水を十分減勢させた後に河道へ放流するという考え方を、減勢と同時に河道へ放流させるという発想に転換するこ

とで、安定した流況による流水処理の実現はもとより、既設構造物の有効活用、現地影響範囲の縮減、コスト縮減を可能とする有益な提案となった。

提案形状である横越流方式は、減勢された流水を任意な方向へ放流することが可能であることから、今後の既設洪水吐きの改良に伴う様々な放流設備の検討において、本実験で得られた提案形状が、減勢工終端の新たな流水処理方法のひとつとして検討に加えられることを期待する。

謝辞：水理模型実験の実施に当たり、ご意見・ご指導をいただいた、独立行政法人 土木研究所の皆様には厚くお礼申し上げます。