

堤体付近の堆砂抑制を目指したダム放流操作の評価シミュレーション

効率的・効果的なダム放流操作方法の策定に向けて

Evaluation Simulation of Dam Discharge Operations to Control Sediment in the Vicinity of the Dam Body

Aiming Towards Efficient and Effective Dam Discharge Operations

(電力技術研究所 土木G)

(Civil Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

上流域に崩落地を有する水力発電所のダム貯水池では、出水時などに流入する土砂による堆砂の進行の抑制が課題となっている。そこで、堤体付近の堆砂抑制に着目し、主要因となる河川水に含まれる細粒土砂（濁質）を、出水時に効率的に放流する操作方法について、数値シミュレーションにより比較評価した。その結果、放流濁質量を現行操作よりも2割程度増加できることがわかった。

In hydroelectric power dam reservoirs with landslide areas upstream, controlling the accumulation of sediment due to flooding is an issue. Therefore, to focus on the control of sediment in the vicinity of the dam body, we conducted a numerical simulation on the operation method for efficiently discharging the fine-grained soil (turbidity) in the river water, which is the primary factor when discharge operations are conducted during flooding. As a result, we found that we could increase the turbid mass released by about 20% compared to that of the current operations.

1 はじめに

ダム式の水力発電所は、発電出力を稼ぐために貯水池と発電所間の有効落差を大きくとれる急峻な場所に建設されているのが一般的である。その中には、ダム貯水池に流れ込む河川の上流域に脆弱な地質の崩壊地が存在し、出水時にダム貯水池へ流入する土砂による堆砂の進行が大きな課題となっている地点もある。

当社にも、堆砂の進行が全国平均よりも非常に早く、かつ建設後60年程度経過したダム貯水池があり、このペースで堆砂が進めば、堤体に付帯する土木設備や電気設備の埋没や損傷が懸念されるため、将来、定期的な浚渫工事や大規模な排砂設備の改修工事を行う必要が生じる。しかし、進行する堆砂量に対し、定期的に浚渫できる土量には限界があること、また大規模な排砂設備を設置するには、多額の費用や工事中の利水の運用方法など、多くの課題がある。

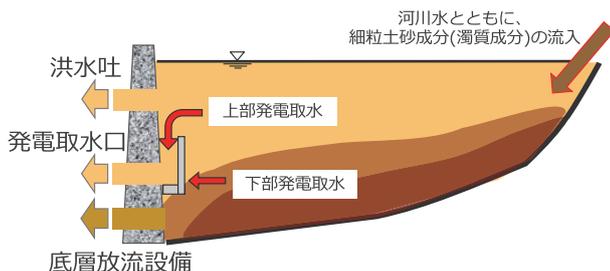
そこで、発電取水口や底層放流設備（第1図参照）付近の堆砂の主要因である出水時に流入する細粒土砂（濁質）を、既存設備の操作方法により抑制する方法について検討することとした。検討では、出水時の洪水吐、発電取水口、底層放流設備などの操作を組み合わせた放流操作案を考え、各案における濁質の排出量を、数値シミュレーション手法を用いて比較、評価することとした。

2 モデルダム貯水池と放流操作案

水力発電所は、同一河川に複数箇所建設されている地点が多い。上下流で貯水池が連続するようなところでは、上流側の放流操作が下流側の貯水池の状態（水温や濁質濃度の分布）に影響を与え、それが下流側の放流操作および放流濁質濃度に影響する可能性がある。そこで、複数のダムが存在する河川の中から、同一水系で貯水容量が大きく、かつダム堆砂の進行が早いダム貯水池の2箇所を対象とした。ここでは、上流側ダムをAダム、下流側ダムをBダムと呼ぶこととする。

第1図にBダム（下流側ダム）を貯水池側方から見た状態のイメージ図を示す。ダムからの放流は、発電のために発電取水口が優先的に使用され、上層から取水する場合と下層から取水する場合とが選択できるようになっている。また、底層放流設備は水位が極端に低下したときなど非常時に使用される。一方、Aダム（上流側ダム）も基本的な構造は同じではあるが、発電所取水口が選択取水ではなく下層に固定されている点が異なる。

第1表に放流操作案を示す。夏季出水時の放流操作において、Aダムでは底層放流設備からの放流無し、Bダムでは底層放流設備からの放流無し、発電取水位置を上層取水とするのが一般的である。この3箇所の設備の操作および組み合わせをもとに、5つの新しい放流操作案を考案した。



第1図 Bダムの流下方向断面のイメージ図

第1表 ダム放流操作案

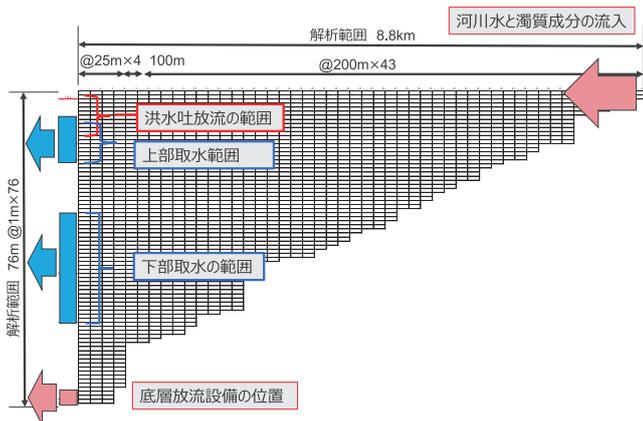
操作案	Aダム		Bダム
	底層放流設備	底層放流設備	発電取水位置
操作案1	放流有	放流有	上部から下部に切替後継続
操作案2	放流有	放流有	上部→下部→上部に切替
操作案3	放流有	放流無	上部→下部→上部に切替
操作案4	放流有	放流有	上部取水継続
操作案5	放流有	放流無	上部取水継続
操作案6(現行操作)	放流無	放流無	上部取水継続

※ 現行操作と異なる操作

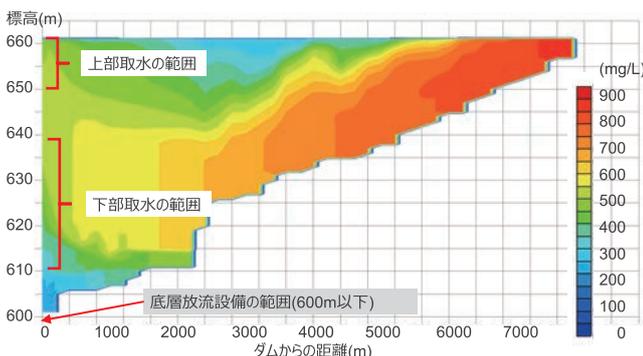
3 ダム放流操作シミュレーションの結果

放流設備からの放流に伴い、貯水池の中で濁質の拡散が進むと、上流と下流、水深方向で水温や濁質濃度の変化が顕著に現れる。そのため、流下方向と鉛直方向を考慮した鉛直2次元解析モデルを用いてダム下流の放流水質（濁質濃度・水温）をシミュレーションし、放流操作案の比較をおこなった。第2図にBダム（下流側のダム）の鉛直2次元シミュレーションに用いた解析格子を示す。

第3図は、解析モデルの適用性を再現解析により評価した結果（Bダムにおける2011年9月4日の再現）であり、貯水池を側方から見た濁質の濃度分布である。濃度の高い濁質が上流から下流に流れ込み、堤体付近で標高620m～640m付近に浸入していることがわかる。濃度の高い濁質は密度が大きく貯水池の底層に浸入する傾向にあるものの、堤体付近ではより密度の大きい冷水が底層に滞留しているために、標高が620m以下には浸入しにくいことが再現できた。



第2図 Bダム（下流側ダム）の解析格子概要図

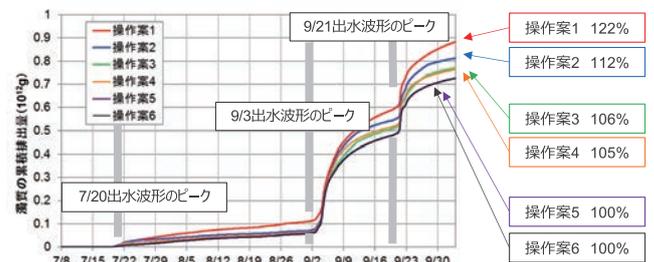


第3図 再現解析の結果（Bダム、2011年9月）

第4図に、2011年7月～10月までの期間を対象としたBダムからの濁質の累積排出量のシミュレーション結果を示す。第1表に示す操作案1～6を比較すると、発電取水口の位置を切り替える操作では、下部取水に切り替えた操作（操作案1、操作案2、操作案3）が切り替えしない操作（操作案4、操作案5、操作案6）よりも累積排出量が大きいことがわかる。さらに、底層放流設備から放流する操作（操作案1、操作案2、操作案4）は、底層放流設備が

ら放流しない操作（操作案3、操作案5、操作案6）よりも全体的に濁質の累積排出量が大きいことがわかる。また、時間的な変化に着目すると、7/20の梅雨期の出水後では放流操作による累積排出量の差は小さいものの、9/3と9/21の秋季台風による出水後では、その差は時間の経過とともに大きくなる傾向にあることがわかった。

解析シミュレーションの終了時刻（10月5日）において、濁質の累積排出量を比較すると、操作案1は現行操作（操作案6）に対して22%多く濁質を下流に排出できることがわかり、堤体付近の堆砂抑制に大きく寄与すると考えられる。反対に操作案5（Aダムで底層放流設備の放流のみを実施した操作）の場合、Bダムの下流では現行操作とほとんど変わらない結果となった。



第4図 濁質の累積排出量の変化（Bダム）

第2表は、先の2011年の出水に加え、水文資料、水質資料が収集できた2004年、2015年、2017年の4つの出水を対象に、数値シミュレーションを実施して濁質の総排出量を求め、現行操作に対する差分と放流開始時刻の検討を含めた最適操作案を取りまとめたものである。上下流で連続するダム貯水池において、堆砂抑制を目指したダム放流操作という観点から判断すると、3つの放流設備（AダムとBダムの底層放流設備、Bダムの選択取水設備）のなかで、Bダムの選択取水設備の位置を下部で運用することが最も効果が高いことがわかった。反対に、Aダムの底層放流設備の操作・運用については効果が低いことがわかった。

第2表 放流設備ごとの最適操作案と総排出量の比較

ダム名	Aダム(上流側)		Bダム(下流側)	
	底層放流設備	底層放流設備	発電取水口位置	
現行操作に対する濁質の総排出量の差	1%	5%~10%	15%~40%	
最適操作案	流入量最大から3時間後に開放	流入量最大から3時間後に開放	下部取水を継続	

4 おわりに

今回、ダム貯水地の堤体付近の細粒土砂（濁質）による堆砂の抑制方法として、出水時の既存放流設備のダム放流操作について検討した結果、モデル貯水池群において、現行操作よりも放流濁質量を2割程度多く排出できることがわかった。今後、下流への影響を考慮しながら、適切な放流操作方法の策定に結びつけていきたいと考える。



執筆者／後藤孝臣