

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏 名 (ふりがな)		所 属	役 職
	やじま ひろし 矢島 啓		鳥取大学大学院工学研究科	准教授
②研究 テーマ	名称	殿ダム貯水池における異高同時取水による選択取水設備の効率的運用		
	政策 領域	[分野] 地域課題分野 (河川)	融合 技術	(リモートセンシング、非破壊 検査、認知行動学 等)
		[公募課題]		
③研究経費 (単位: 万円)	平成26年度	平成27年度	平成 年度	総 合 計
※端数切り捨て。	2 6 7	2 3 1		4 9 8
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏 名		所属・役職 (※平成28年3月31日現在)		
梶川勇樹		鳥取大学大学院工学研究科・助教		
⑤研究の目的・目標 (申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)				
【目的】				
平成 23 年度から運用が開始された殿ダム (鳥取市東部に位置) は、国土交通省が管理する複数のダムでの導入事例がある連続サイフォン式選択取水設備を備えている。連続サイフォンの一つのメリットに、さまざまな水深からの取水を同時に行うことができることがあげられている。しかし鳥取大学が行ってきた研究によると、水温成層形成下における複数のゲートを用いた取水は、より深い水深からの取水量が大きくなることが示唆されている。ゲートからの取水量は特に水温管理に重要であり、適切な選択取水設備の運用にはゲートからの取水量を正確に算定する必要がある。				
そこで、各ゲートでの取水量と貯水池内の水温分布との関係を明らかにするとともに、数値シミュレーションを用いた検討により、水質保全の観点から、異なった水深からの同時取水 (異高同時取水) を効率的に行う手法を検討する。				
【目標】				
貯水池内での複数の水温成層下における現地観測を行い、取水塔前面での流速分布、取水塔内での水温分布、放流水温のデータを取得することにより、貯水池内の水温分布を考慮した異高同時取水時の取水量の定式化を行う。また、定式化された取水量推定式を3次元貯水池水温予測計算モデルに組み込み、貯水池全体の水温予測についてモデルの検証を行う。さらに同モデルにより、水温管理のための効率的な選択取水設備の運用方法を明らかにする。				

⑥研究成果

(様式 E-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

(1) 取水塔前面における流速分布計測結果

例として2014年9月26日と11月14日の取水塔前面における流速分布の観測結果を示す(図-1)。両日とも異高同時取水を行っており、9月26日は7段目と10段目の取水(0.9m³/s)で上段と下段の流入水温差は5.7℃、11月14日は9段目と12段目の取水(1.8m³/s)で流入水温差は1.0℃であった。

図中左側に示す水平方向流速からは、両日とも各取水管中心付近で最大流速となり、上段よりも下段の流速が大きい。また、取水量が多いほど最大流速も大きい。

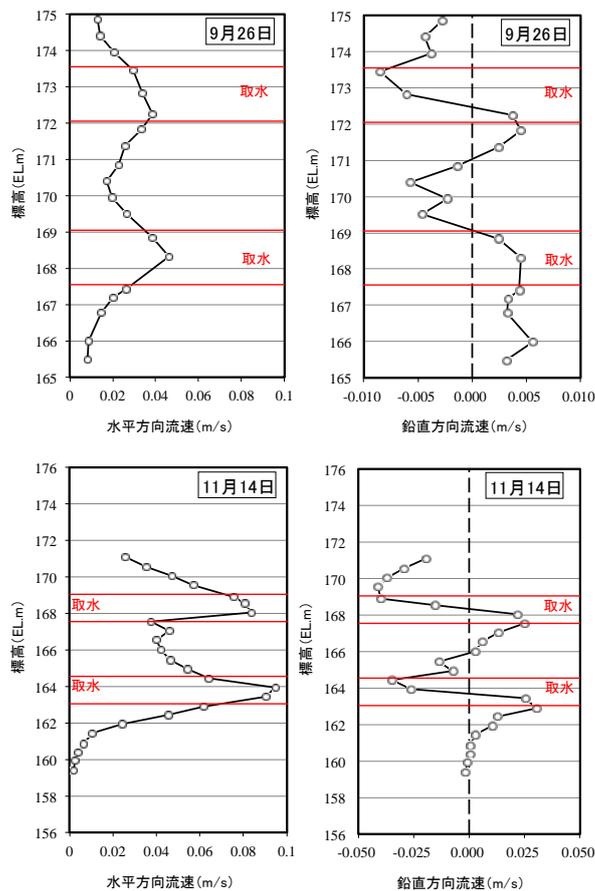


図-1 取水塔前面における水平及び鉛直方向の流速分布

(2) 放流口における水温観測結果

2014年における選択取水設備の運用実績及び放流水温、取水管の流入水温(最上段、最下段、各取水管の単純平均水温)の観測結果を示す(図-2、図-3)。

図-2に示すように殿ダムでは、最上段から最下段まで全ての取水管を運用しており、4月から9月までは概ね複数段連続した取水、10月から12月までは概ね2つの取水管による異高同時取水の運用となっている。

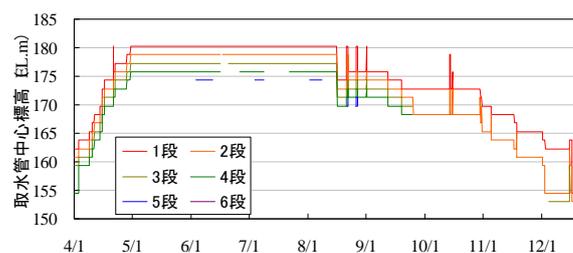


図-2 選択取水設備の運用実績

⑥研究成果 (つづき)

図-3 に示すように5月下旬から10月上旬にかけて取水範囲の最上段と最下段との流入水温差が顕著となる。また、複数段連続して取水している時期では、放流水温が各取水管の平均した流入水温を最大3.6℃下回っている。このことから、流入水温の低い下段からの取水量が多いことが分かる。

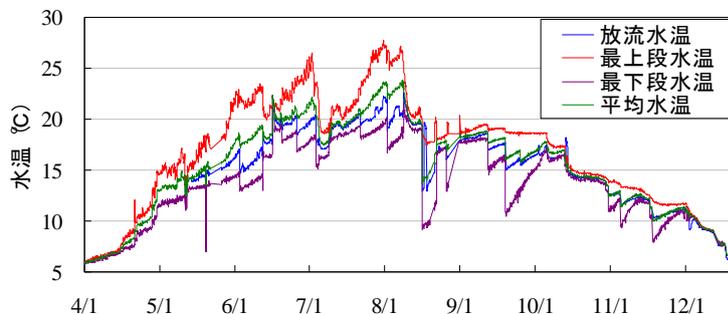


図-3 放流口における水温観測結果

(3) 貯水池及び取水塔内における水温観測結果

最も密度成層が発達していた9月26日の貯水池及び取水塔内における鉛直方向水温分布の観測結果を示す(図-4)。取水管からの流入水温は上段18.7℃、下段13.0℃であり、取水塔内では上段からの温かい水が下段からの冷たい水と混合しながら、取水塔底部の放流管に向かって流れている。一方、下段からの冷たい水の一部は、上段からの温かい水と完全には混合しない状態で、取水塔内の壁面に沿って、取水塔底部の放流管に向かって流れている。このように取水塔内における温かい水と冷たい水との混合状態により、冷たい水が完全に混合しない場合には、冷たい水がより取水され、放流水温に影響する可能性がある。

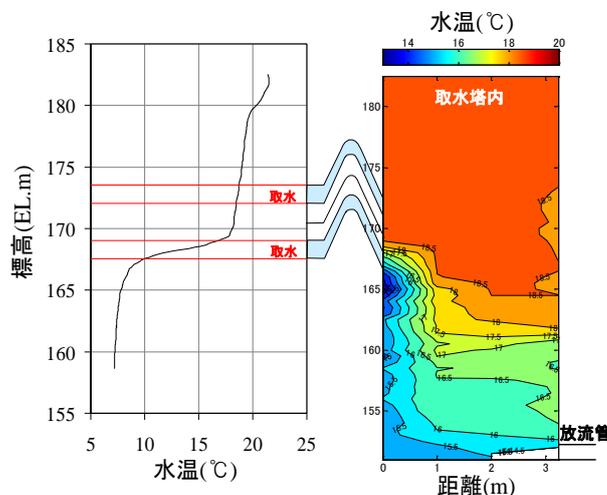


図-4 貯水池及び取水塔内における水温の観測結果 (9月26日)

(4) 運動量式及びエネルギー式による異高同時選択取水の取水量式の導出

密度成層を考慮した異高同時選択取水の取水特性を検討するためには、各取水管の取水率を推定する必要がある。ここでは、柏井らによる推定式(以下、「既往式」)に、連続サイフォン式取水設備の特性を考慮し、取水量改良式の導出を行った。柏井らは、多重式ゲートの選択取水特性の把握を目的としており、貯水池から取水塔内への流入は水平方向の流れを仮定している。一方、連続サイフォン式取水設備では、逆V字形のサイフォン管を通じて水平方向から斜め60°の角度で取水塔内へ流入するため、この運動量の鉛直方向分力を付加した。また、逆V字形のサイフォン管の形状から、取水管の呑口側中心標高が吐口側中心標高よりも高い(0.55m)ため、この標高差も位置エネルギーとして考慮することにより、取水量の改良式の導出を行った。

⑥研究成果 (つづき)

具体的には、図-5に示す*i*及び*i+1*の検査面（取水管の吐き出し側中心標高に設定）で挟まれた鉛直方向の運動量式とエネルギー保存式を連立することにより導いた。

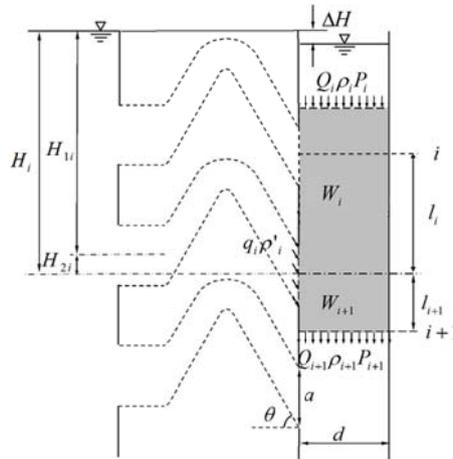


図-5 取水量改良式のモデル概要図

(5) 取水量改良式を用いた異高同時選択取水時の放流水温

取水量改良式、既往式、各取水管の流入水温を単純平均した平均式による推定放流水温と観測値との比較結果を表-1に示す。ただし、取水範囲の水温差が大きいと取水量が少なく、また複数取水管から取水する条件で、最上段から取水がほぼ無くなり、全取水量が観測値と一致する解が求まらない条件が発生した。この場合には最上段の取水量をゼロと仮定し、再度各管の取水量を推定した。

表-1では、観測全期間の放流水温は、改良式の平均2乗誤差RMSE0.11℃（平均誤差ME0.23℃）、既往式RMSE0.16℃（ME0.28℃）であり、改良式による放流水温の推定精度が良いことが分かる。また、異高同時取水では上段と下段の水温差が大きい条件での運用が重要となるため、水温差に着目すると、水温差4℃以上では、既往式RMSE0.34℃（ME0.49℃）と比較して、改良式RMSE0.16℃（ME0.29℃）の推定精度が向上していることが明らかとなった。

表-1 観測値と比較した放流水温推定値の精度結果
（最上段と最下段との水温差，（サンプル数），赤字：推定値の誤差最小箇所）

水温差(℃)	推定式	RMSE(℃)	ME(℃)
0 ≤ T < 2 (1394)	改良式	0.08	0.20
	既往式	0.07	0.18
	平均式	0.09	0.22
2 ≤ T < 4 (769)	改良式	0.07	0.20
	既往式	0.07	0.17
	平均式	0.19	0.37
T > 4 (826)	改良式	0.16	0.29
	既往式	0.34	0.49
	平均式	2.55	1.40
全データ (2989)	改良式	0.11	0.23
	既往式	0.16	0.28
	平均式	0.93	0.65

⑥研究成果 (つづき)

(6) 選択取水設備の弾力的運用の方針

異高同時取水を積極的に行うことにより、冷水・温水放流をどれだけ避けられるかの検討を行った。ここでは、選択取水設備の弾力的運用と称し、次のような方針での運用を検討した。

図-6 に示すように、1月から2月末までは、貯水池底部にたまる水質の悪い水を放流するため、最下段のゲートを用いる。3月以降は10日ごとに取水深を3m, 6m と深くし、それ以降は水深3mに相当するゲートと水温障害ができるだけ起きない水深のもう1つゲートの合計2つのゲートを用いる異高同時取水を12月上旬まで行い、それ以後は再び一番底部のゲートを用いる運用とする。数値計算を行うにあたって、数日毎に区切った計算を行い、放流水温に問題がある場合、異高同時取水の深い方の位置にあるゲート位置を調整することにより、常に適当な水温を放流するよう修正した。ただし、ゲート操作は1日単位で行うこととした。また、計算対象年として、弾力的運用が特に求められる渇水年である2013年を対象とした。

選択取水設備の弾力的運用による放流水温の変化を図-7 に、流入水温と常時取水深3mでの運用時の放流水温と比較して示す。これにより、弾力的運用を行うことにより、ほぼ流入水温に近い水温を放流することが可能となることが分かる。これは表-2からも分かるように、弾力的運用は、取水深が3m, 7.5m, 3+12m(異高同時取水)の年間一定で運用するケースと比較し、冷水放流、温水放流ともにその日数を大きく減少させている(日平均水温での差が2℃以上の場合に水温障害とした)。このように、日本で一般的に行われている表層取水ではなく、今後は弾力的運用を積極的に行うことが放流水温を管理する上で望ましいと考えられる。

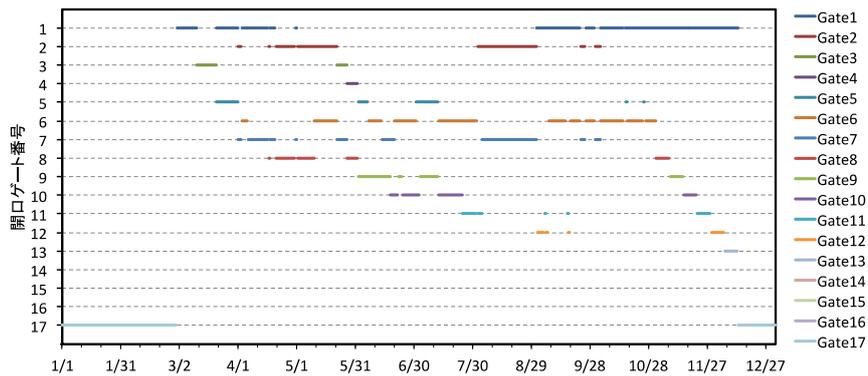


図-6 取水設備の弾力的運用 (2013年)

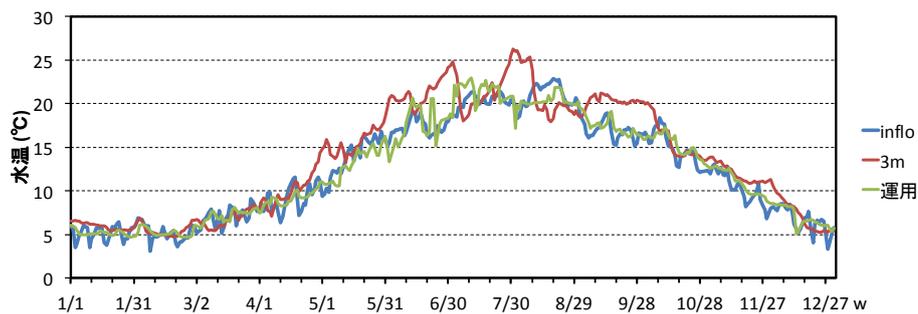


図-7 取水設備の弾力的運用の違いによる水温分布比較 (2013年)

表-2 選択取水設備の運用の違いによる水温障害日数 (2013年)

	3m	7.5m	3+12m	弾力運用
冷水放流	19	34	34	11
温水放流	117	56	51	18
合計	136	90	85	29

⑦研究成果の発表状況

これまでの本研究成果による既論文発表として、以下の 2 本がある。

- 1) 矢島啓, 山本茂友: ダム貯水池における水温予測精度向上のための放射推定, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, pp.I_775-780, 2015.
- 2) 泉谷隆志, 矢島啓, 鈴木伴征: ダム貯水池の異高同時選択取水による取水特性の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No. 4, pp.I_685-690, 2016.

また、上記に示した論文の執筆者の一人である泉谷隆志氏は、殿ダムにおける連続サイフォン式選択取水設備を設計した八千代エンジニアリング株式会社に所属している。そのため、今後、本研究で得られた知見が何らかの形で実施設計にも反映される可能性がある。

⑧研究成果の社会への情報発信

特になし。

⑨表彰、受領歴

特になし。

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

【研究成果の河川政策への貢献展望】

本研究の検討で、例えば、水深 3m と適当な水深での 2 つのゲートを組み合わせて取水する異高同時取水を行うことにより、ダムからの放流水温がより高度に管理できることが明らかとなった。実際にこのような運用ができるダムの数は限られているものの、この成果をダム管理者に対して広く知らせるにより、国内のダム管理技術の向上につながると考えられる。

【研究の今後の課題】

研究当初は予想していなかったことであるが、取水塔内の水温分布がかなり複雑であることが明らかとなった。これをすべて理論的に扱うことは難しいため、今後は、流体 CFD シミュレーションや水理模型実験を併用することにより、貯水池内水温分布および取水量と各ゲートからの取水量の関係を明らかにしていく必要がある。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

平成 28 年 2 月 26 日鳥取河川国道事務所において開催された、鳥取大学・鳥取河川国道事務所共同研究報告会において、同事務所の出張所職員も含む約 10 名の職員参加のもと、本研究の最終成果の説明および討議を行った。

平成 28 年 3 月 2 日中国地方整備局で開催されたダム管理WGにおいて、特別講演「殿ダムにおけるリアルタイム水質予測管理システムと異高同時取水の試み」と題した講演を行い、本研究成果の概要の説明を行った。本会議には地方整備局の担当者だけでなく、中国地方のダム管理者も集まっており、約 17 名の参加があった。本講演により、ダム管理担当職員の技術力と意識向上に役立ったと考えられる。