

出水時のゲート操作を伴うダム湖内の流動観測

OBSERVATIONS OF FLOW IN A DAM RESERVOIR WITH A GATE

北海道開発土木研究所 正会員 島田 友典 (Tomonori SHIMADA)
 北海道開発土木研究所 正会員 渡邊 康玄 (Yasuharu WATANABE)

1. はじめに

河川にダムが存在する場合、下流の河床低下やダム湖内の堆砂が発生する。とくにダム湖内の堆砂において計画を上回る場合、貯水容量に影響を与える可能性があり、治水・利水機能に支障をきたす場合もある。これらの課題解決にはダム湖内における堆砂現象の解明や排砂手法の検討など、土粒子の挙動把握が重要である。この土粒子の挙動は水の流れに大きく依存していることから、湖内流動特性について実現象の解明が不可欠である。

北海道開発土木研究所では北海道日高地方に存在する一級河川沙流川にある二風谷ダム湖内に ADCP を設置し(図-1)、2003 年度から長期にわたり湖内の流動観測を行っている。本論文では様々な出水パターンに注目し観測データの解析を行った。

2. 二風谷ダムの諸元と ADCP 設置箇所

(1) 二風谷ダムの諸元¹⁾

表-1 に二風谷ダムの諸元を、図-2 に各放流ゲートの配置としてダム上流正面図を、図-3 に年間貯水位を示す。各ゲートの詳細は以下に述べるとおりである。

a) 取水ゲート

利水放流設備は主に取水設備と、その直下流にある放流設備、大容量低落差の発電所で構成されている。取水設備の最大取水量は $40\text{m}^3/\text{s}$ である。なお取水範囲は EL45.0 ~ EL40.0 である。

b) オリフィスゲート

洪水流入量が $80\text{m}^3/\text{s}$ を超えたとき、洪水制限水位 (EL42.5m) を維持しながら、利水放流設備及び右岸クレストゲートと合わせて、流入量が $1,900\text{m}^3/\text{s}$ になるまで流入量と放流量が同じになるようなゲート操作を行うものである。洪水流入量が $1,900\text{m}^3/\text{s}$ を超えたときはゲート開度を固定して自然調節を行う。更に貯水位がただし書き操作開始水位 (EL47.7m) を超えたときは再度、ゲート操作によって洪水を調節する。

c) 右岸クレストゲート

右岸クレストはオリフィス規模が大きいため、小流量放流時に微小開度となりオリフィスゲート開度誤差による流量誤差の懸念や、小流量放流頻度が高く大規模なゲート操作回数が多くなり、操作ミスが生じる危険性を避ける目的で計画されたものである。

右岸クレストゲートは、洪水初期流入量が $35\text{m}^3/\text{s}$ (利水放流設備最大放流量) を超えたとき、扉体天端からの越流により、洪水期制限水位 (EL42.5m) を保持しながら最大 $45\text{m}^3/\text{s}$ までの調節放流を行う目的で設置して

表-1 二風谷ダム諸元

堤高	32.0m
堤頂長	550.0m
集水面積	1,215km ²
湛水面積	4.3km ²
総貯水容量	31,500 千 m ³
有効貯水容量	26,000 千 m ³
計画最大放流量	3,850m ³ /s
計画最大流入量	4,100m ³ /s
ダム設計洪水流量	6,200m ³ /s

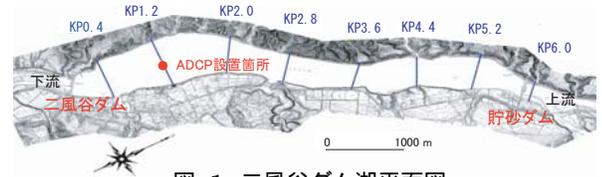


図-1 二風谷ダム湖平面図



図-2 二風谷ダム上流正面図 [m]

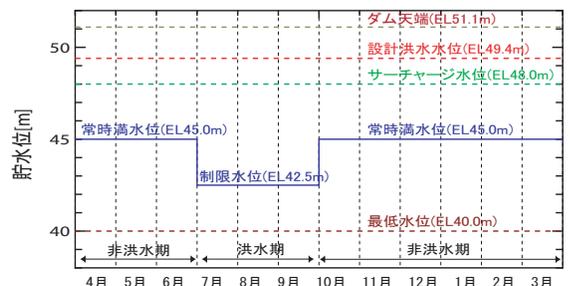


図-3 年間貯水位

いる。全閉時における扉体天端標高は洪水期制限水位 (EL42.5m) とし、全開時には EL40.0m となる。ただし非洪水期には常時満水位 (EL45.0m) を確保出来ないため、前面にある副ゲートを降下させ右岸クレストからの放流は行われない。

d) 左岸クレストゲート

左岸クレスト部 (EL42.5) は、洪水期には全開し制限水位 EL42.5 の維持、及び洪水流入量が $1,900\text{m}^3/\text{s}$ を超えたとき越流により洪水を自然調節する設備である。非洪水期には全閉して常時満水位 (EL45.0) を確保する。

e) 魚道 (制水) ゲート

魚道 (制水) ゲートは冬期間の水路遮断、魚道ゲートの点検・保守時・故障時の水路遮断、貯水位が EL46.0m 以上に上昇する場合の水路遮断を目的としている。

表-3 選定イベント概要

イベント	対象期間	最大流入量 [m ³ /s]	最大放流量 [m ³ /s]	放流ゲート 1				
				オリ	右岸	左岸	取水	魚道
(1)	2003年 8月 9日~10日	6,119.20	5,492.69					
(2)	2004年 5月 4日~5日	547.40	538.70		-	-		
(3)	2004年 9月 19日~20日	143.38	153.60					
(4)	2004年 11月 12日~13日	103.42	52.86	-	-	-		

1 オリ:オリフィス, 右岸:右岸クレスト, 左岸:左岸クレスト, 取水:取水ゲート, 魚道:魚道ゲートを表す.
また「-」はゲートからの放流有, 「」はゲートからの放流無しを表す.

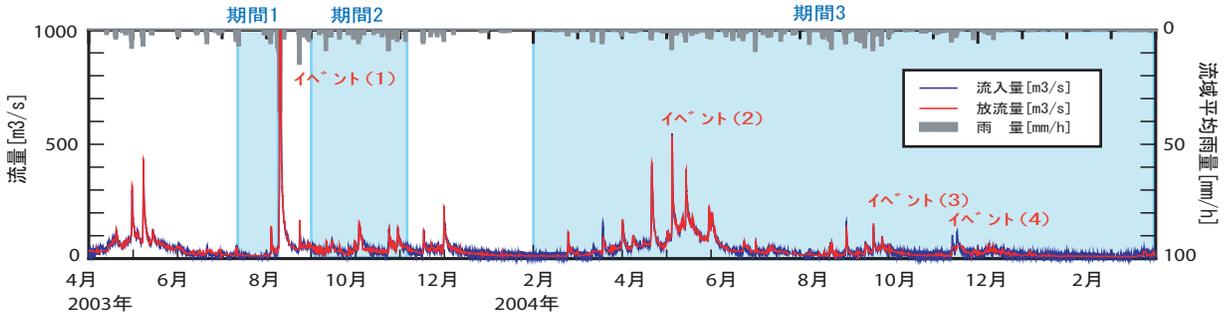


図-5 期間中のイベント

表-2 ADCP 諸元

機器名	ADCP ワークホースセンサネル
社名	RD Instruments 社
発振周波数	1200kHz
ビーム角	30°
1層目距離	0.55m
設定層厚	0.25m
設定最大層数	40層
データ取得間隔	10分インターバル

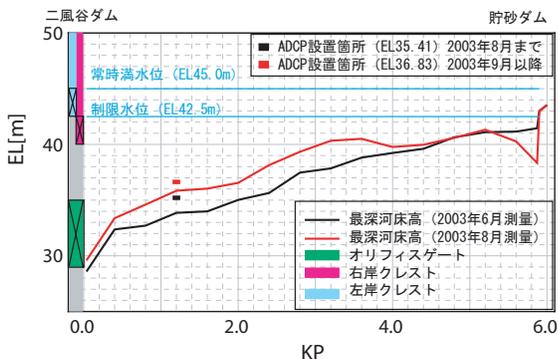


図-4 ダム縦断面図

(2) ADCP の設置箇所

観測に用いた ADCP の仕様と設定内容を表-2 に示す。データ取得は 10 分毎に超音波を 1 ピング/秒で 60 秒間連続観測し, 60 ピングのアンサンブル平均を 1 データとしている。湖内流動観測のためダムサイトから上流へ 1.2km の湖底近傍に ADCP を設置している (図-1)。図-4 に ADCP 設置高 (ADCP 本体天端高) と洪水吐ゲートの位置を, 図-5 に ADCP 観測期間におけるダムの放流量と流域平均雨量を示す。なお ADCP の設置高は 2003 年 8 月台風 11 号に生じた既往最大の出水により湖内に大量の土砂が堆積したため, 期間 1 と比べると期間 2・3 では設置高が 1.5m 程高くなっている。

3. 湖内流動特性

湖内流動特性の解析にあたり, ADCP 設置期間中から放流量の規模, 放流ゲートの相違などを考慮し特徴的なイベントを取り上げる。取り上げたイベントは図-5 中の (1)~(4) であり, その概要を表-3 に示す。なおイベント (3)(4) については図-3 に示すように非洪水期であるが, 2004 年度についてはダム湖内の土砂掘削工事のため 10 月以降も制限水位 (EL42.5) を維持した状態であった。

(1) イベント (1)

本イベントは 2003 年 8 月 9 日深夜から未明にかけて, 台風 10 号の接近に伴う豪雨により洪水ピーク時の水位が計画高水位を上回った既往最大の洪水である²⁾。

イベント (1) における出水特性と湖内流動特性を図-6 に示す。この図の上段は対象イベント期間の流入量と各ゲートからの放流量, 流域平均雨量を, 中段・下段のコンター図は ADCP 観測データの内, 絶対流速と流向 (0 度がダムサイト方向), 併せて参考値としてダムサイトでの水位を示している (以下, 他のイベントも同様)。また水位ラインとコンター間のグレー着色部は, データ欠測を表している。

a) 出水特性

イベント初期の放流量は 100m³/s 以下であり, 9 日 9 時以降 200m³/s を超えている。この時オリフィスゲートからは 150m³/s 程度, 右岸クレストからは 30m³/s 程度が放流されている。9 日 16 時から放流量が大幅に増加し, 9 日 22 時には流入量が自然調節の開始される 1,900m³/s を超え左岸クレストからも放流が始まった。10 日 2 時には流入量ピークをむかえ, さらにただし書き水位 (EL47.7m) を超えゲート開操作による洪水調節が開始された。また 10 日 3 時には放流量ピークをむかえている。

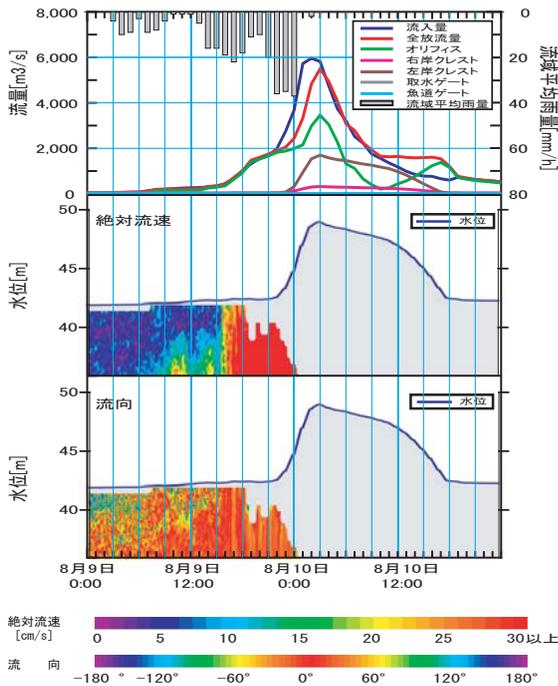


図-6 イベント1の出水特性と湖内流動特性

b) 湖内流動特性

イベント初期では湖内流速はほとんどなく、流向にも目立った特徴は見られない。9日9時以降、湖底を中心としてEL40.0より下層に10cm~20cm程度の流速が発生している。流向も同様に下層においてダムサイトへの流れが観測されている。オリフィスからの放流がほとんどであることから、オリフィスゲートへ流れが引っ張られていると考えられる。9日16時を過ぎると、全層において20cm以上の流速が発生している。その後、流量の増加とともに非常に速い流速が観測されている。図-6では流速30cm/sをすべて赤色表示しているが、18時頃には流速50cm/s程度、それ以降は流速100cm/s以上の流速が観測されている。

しかし、左岸クレスト放流が開始される9日22時以降は、急速にADCP設置箇所に土砂堆積がすすみ、水位上昇が始まるころには完全に土砂に埋もれたため、観測データは得られなかった。

このイベントは二風谷ダムにおいて左岸クレストから放流があった唯一のデータであり、且つクレストゲートからの放流が始まるあたりでは1m以上の土砂が堆積したことがわかっているため、土砂堆積傾向を知る意味でも有効なデータであると言える。

(2) イベント(2)

本イベントは積雪寒冷地特有の融雪出水である。2日間での総雨量が42mm、最大放流量は550m³/s程度であり、放流量のほとんどがオリフィスゲートからのものである。イベント(2)における出水特性と湖内流動特性を図-7に示す

a) 出水特性

イベント初期の放流量は100m³/s程度であり、オリフィスゲートからの放流は60m³/s程度である。4日

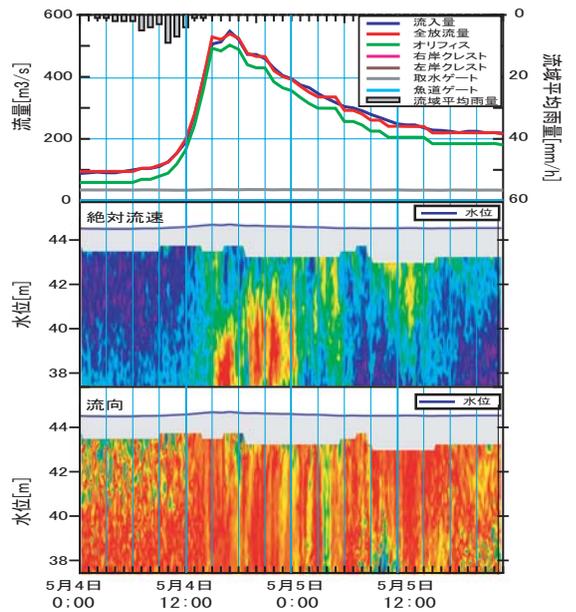


図-7 イベント2の出水特性と湖内流動特性

7時以降から放流量が増え始め、4日12時以降は1時間に100³/s程度づつ増加、4日17時には放流量ともにピークをむかえている。また5日6時以降は全放流量に対して平均10m³/s程度であるが、流入量が上回っている時間帯が続いている。

b) 湖内流動特性

4日7時まではEL40.0mより下層を中心に10cm前後の流速が発生している。流向についても下層においてダムサイトへの流れが観測されている。上層についてはほとんど流速は観測されておらず、流向にも特徴が見られない。4日7時以降は放流量増加に伴い流速が増加し、ピークである4日17時にはEL40.0以下を中心として流速30cm/s程度が発生している。ピークを過ぎるとほぼ全層で流速が発生している。いずれも流向はダムサイトに向かっており、オリフィスからの放流が大半を占めることから、イベント(1)と同様にオリフィス放流に引っ張られていると考えられる。しかし4日19時頃に全層で一時的に流速が遅くなっている時間帯がある。これはオリフィス各ゲートからの放流が影響している可能性があると考えられるが、この現象の解明は今後の課題である。それ以降は流速は全体に遅くなっていくが、5日6時以降は上層で最大で20cm/s程度の流速が発生しEL40.0以下の下層での流速はほとんどなくなっている。これは放流量に対して流入量が多いため、ゲート放流とは別に上流からの影響が考えられる。

(3) イベント(3)

2日間の総雨量が36mm、最大流入量が143.38m³/s、最大放流量が153.60m³/sと小規模出水である。放流はほぼ一定量で取水ゲートからと、オリフィス・右岸クレストからである。イベント(3)における出水特性と湖内流動特性を図-8に示す。

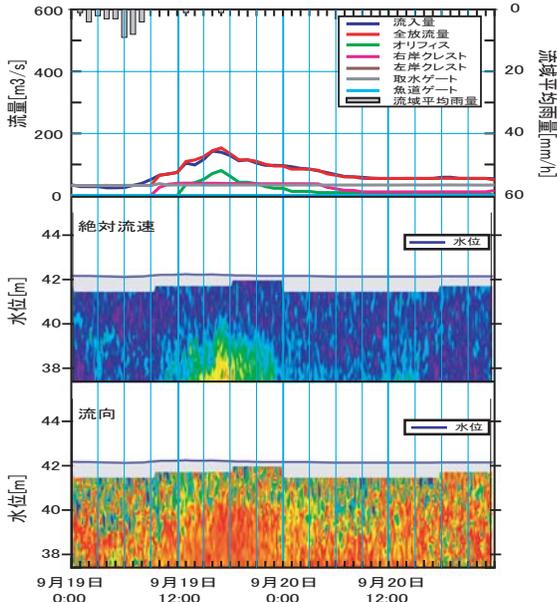


図-8 イベント3の出水特性と湖内流動特性

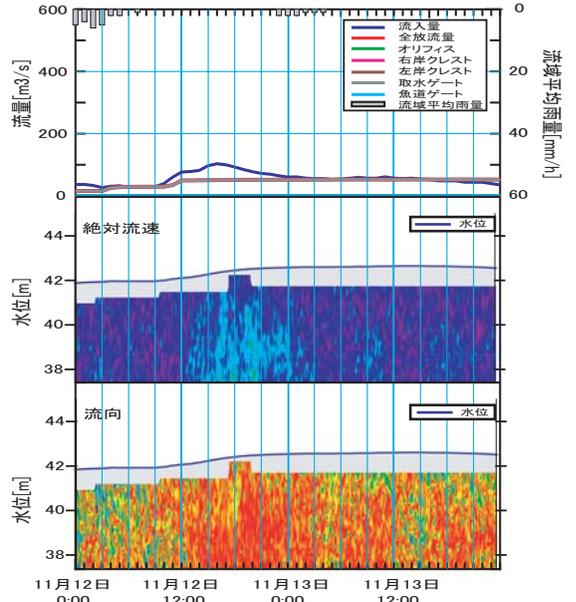


図-9 イベント4の出水特性と湖内流動特性

a) 出水特性

イベント初期の放流量は $30\text{m}^3/\text{s}$ 程度である。流入量は19日7時以降に増え始め19日16:00にピークをむかえている。また放流量は取水ゲートによるもので常時 $30\text{m}^3/\text{s}$ 程度が放流されており、19日9時以降に右岸クレストから、19日12時以降にオリフィスから放流が開始され19日17時にピークをむかえている。

b) 湖内流動特性

19日9時頃までは湖内流速はほとんどなく、流向にも目立った特長は見られない。放流量が増え始めオリフィスから放流が始まるとEL40.0以下の下層で $15\text{cm}/\text{s}$ 程度の流速が発生しており、流向も下層を中心にオリフィスに引っ張られるようにダムサイトに向かっている。放流入ピーク付近では、下層において流速 $20\text{cm}/\text{s}$ 程度も観測されているが上層については、流速はほとんどなく流向にも特徴が見られない。放流量ピークを過ぎると下層での流速も遅くなり、イベント後半ではほとんど湖内流速が観測されていない。

(4) イベント(4)

2日間の総雨量が 29mm 、最大流入量が $103.42\text{m}^3/\text{s}$ 、最大放流量が $53.86\text{m}^3/\text{s}$ である非常に小規模な出水である。放流は取水ゲートによるもののみであり、洪水吐ゲートは可動していない。出水特性と湖内流動特性を図-9に示す。

a) 出水特性

非常に小規模な出水であり、流入ピークは12日16時である。放流については常時、取水ゲートによるもので $30\text{m}^3/\text{s}$ 程度である。12日12時には $50\text{m}^3/\text{s}$ 程度に増えおり、12日16時に流入量ピークをむかえている。13日1時以降は放流量はほぼ同じである。

b) 湖内流動特性

イベント初期では流速はほとんどなく、流向にも特徴がみられない。12日14時以降にほぼ全層で $10\text{cm}/\text{s}$ 程度の流速が観測されている。放流量が同じになる

につれ流速はほとんどなくなり、流向も目立った特長はなくなる。全期間において、イベント(1)~(3)のようなゲート操作による顕著な影響は見られなかった。

4. おわりに

本研究は様々な出水規模におけるダム湖内の流動特性を把握することを目的に、長期間にわたってダム湖内に設置した ADCP のデータのうち、特徴的な出水をピックアップして解析を行った。結果は出水の規模にかかわらずオリフィスゲートからの放流があると、湖内水深 EL40.0m 以下の下層を中心にダムサイト方向へ流速を持つことがわかった。これはダム湖内の土砂挙動の把握を行ううえで、小規模出水であってもオリフィスゲートが可動する場合には、ダム湖内に堆積した土粒子の挙動に大きな影響を与えていることが予想される。

しかし本研究では KP1.2 地点1箇所のみでの解析であり、この結果のみではダムサイト近傍以外の湖内全体の流動特性を推測することは容易ではない。しかしながら、同様の観測を2005年度も継続しており、さらに夏期の4ヶ月間においては、KP2.2に ADCP を追加設置、特に9月の台風14号に生じた出水時には KP1.2 横断測線とダム湖内縦断測線に ADCP を搭載した RC ボートを走行させ湖内全体での観測を行っている。現在、これらのデータを解析中であるが、今回の解析結果と併せることで湖内全体の流動特性が明らかになると考える。

謝辞：本研究は、国土交通省北海道開発局の受託業務による補助を受けて行ったものである。また現地での作業は福田水文の方々によって行われた。併せて記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 北海道開発局室蘭開発建設部：二風谷ダム建設の記録、2000。
- 2) 土木学会水工学委員会：平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団報告書、2004。