

出水時のゲート放流が与える ダム湖内の流動と濁度の観測について

OBSERVATION OF FLOW AND TURBIDITY IN A RESERVOIR DURING FLOOD WITH A GATE

島田 友典¹・渡邊 康玄²
Tomonori SHIMADA and Yasuharu WATANABE

¹ 正会員 独立行政法人 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒062-7602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)
² 正会員 工博 独立行政法人 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒062-7602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

Key Words : Dam reservoir, Observed flow and turbidity, Orifice gate

1. はじめに

近年、梅雨前線や上陸する台風の増加による記録的な豪雨が起因となり、全国各地において土砂災害や水害が多発している。北海道においても2003年8月、前線と台風10号の影響により北海道全域に大雨をもたらした。特に日高地方の沙流川流域(図-1, 図-2)では既往最大の豪雨により、死者・行方不明者を伴った深刻な被害が発生している。

このイベントにより流域では大量の土砂崩壊が発生し、その一部が沙流川中流域に存在する二風谷ダム湖に流入し、ダム湖内には通常年の2年分に相当する240万 m^3 (堆砂測量結果)もの土砂が堆積したことがわかっている。またダム上流河道内には様々な形の不安定土砂が残留していると考えられ、今後の出水によりダム湖内に流入する可能性もあると考えられる¹⁾。

ダム湖内における過度の堆砂の進行は、貯水容量に影響を与える可能性があり、治水・利水機能を計画通りに果たせなくなる危険性もある。このような状況の中、特に出水時におけるダム湖内の土砂の挙動を把握することは急務である。

著者らは二風谷ダム湖に堆積する土砂のうち、大部分を占める未解明部分の多い非常に粒径の細かい土粒子を対象に、土粒子の沈降・浮上実験を行いその結果より沈降速度式・浮上速度式の推定を行なった。この式を用いることで粒径別1次元不定流河床変動計算ながら、堆砂量について良好に再現することが出来た²⁾³⁾。しかしながらダム湖内は水深が大きく、流速について鉛直分布を持っていると考えられ、かつ土粒子の挙動



図-1 箇所図



図-2 沙流川流域図

は水の流れに大きく依存しているにもかかわらず、湖内の流動特性について実現象の解明が十分に行なわれていない。これらを明らかにするため、寒地土木研究所では2003年度から継続的に二風谷ダム湖底(図-3)にADCP(Acoustic Doppler Current Profiler:音響ドップラー流速計)、自記濁度計を設置し湖内の流動観測と濁度観測を行っている。本論文ではその最新の観測結果を報告するものである。

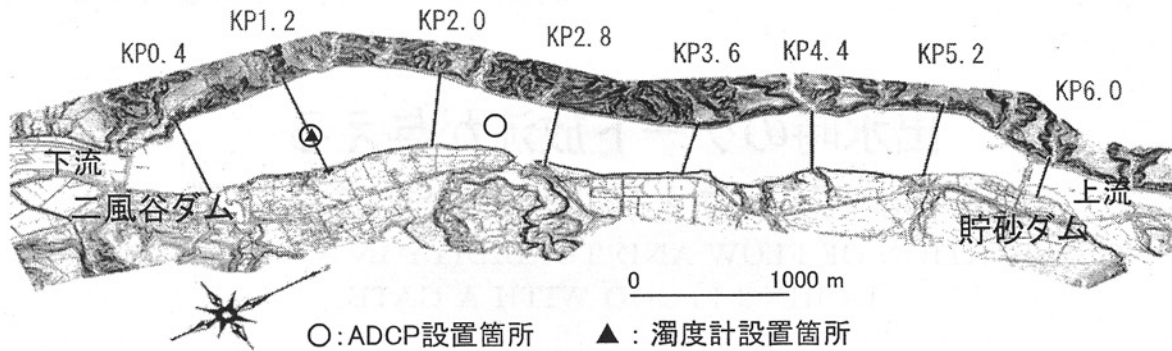


図-3 二風谷ダム湖平面図

2. 二風谷ダムの諸元と観測概要

(1) 二風谷ダムの諸元⁴⁾

二風谷ダムは沙流川河口から上流へ約 20km の位置にあり、ダム湖延長は約 6km である。二風谷ダムの諸元を表-1 に示す。ダム湖内の流況はダムによる放流の影響を受けると考えられるため、出水時に用いられる放流ゲートについて整理することとする。

各放流ゲートの配置として図-4 にダム上流正面図を示す。各ゲートの詳細は以下に述べるとおりである。

a) オリフィスゲート

オリフィスゲートは洪水流入量が $80\text{m}^3/\text{s}$ 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。

b) 右岸クレストゲート

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。

c) 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。

表-1 二風谷ダム諸元

目的	洪水調整 洪水の正常な機能の維持 利水の補給と供給・発電
堤高	32.0m
堤頂長	550.0m
集水面積	1,215 km^2
湛水面積	4.3 km^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	3,850 m^3/s
計画最大流入量	4,100 m^3/s
ダム設計洪水流量	6,200 m^3/s
計画堆砂量	5,500 千 m^3

表-2 ADCP 諸元 () 内は KP2.4 の諸元

機器名	ADCP ワークホースセンチネル
社名	RD Instruments 社
発振周波数	1200kHz(2400kHz)
ビーム角	30°
1 層目距離	0.55m(0.40m)
設定層厚	0.25m(0.20m)
設定最大層数	40 層 (30 層)
データ取得間隔	10 分インターバル

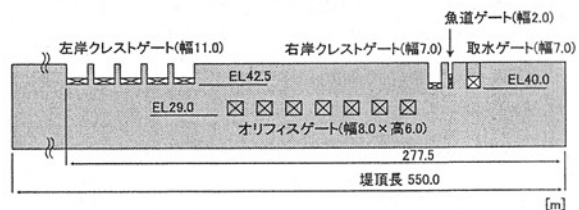


図-4 ダム上流正面図

(2) 観測の概要

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。設置箇所はダムサイトから上流へ 1.2km と 2.4km の湖底近傍である。

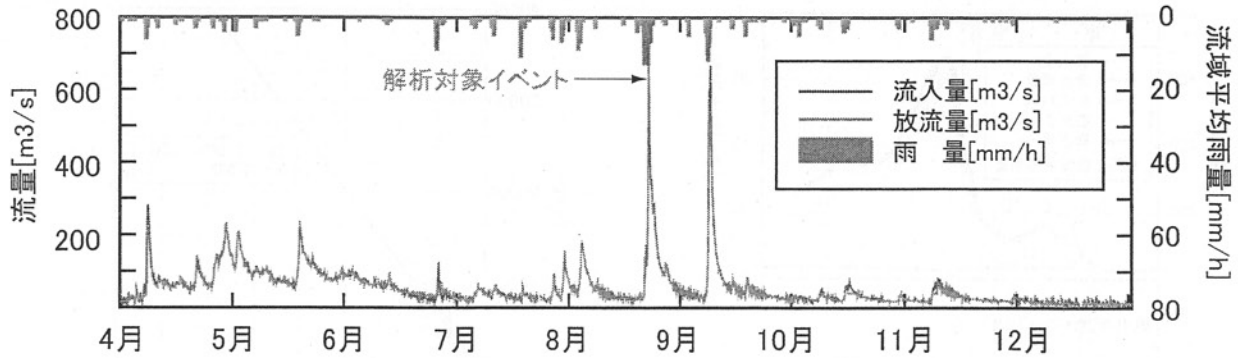


図-6 期間中のイベント

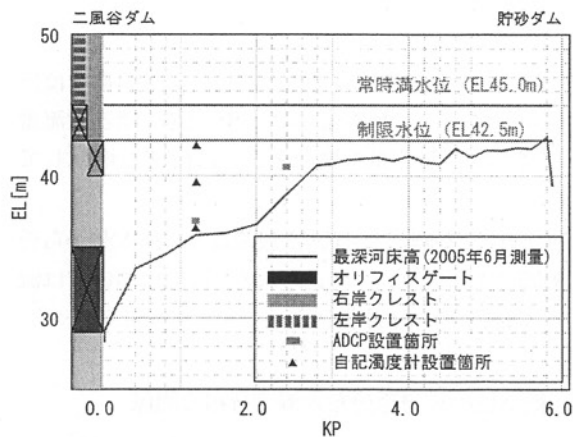


図-5 ダム縦断面図

濁度計は高濃度濁度計(測定レンジ 20,000ppm まで)を用いている。データ取得はインターバル 10 分でデータを取得し、連続 10 パーストの平均を 1 データとしている。設置箇所はダムサイトから上流へ 1.2km 地点で水深方向に 3 層としている。図-3、図-5 に機器設置箇所を示す。なおこれらのデータ回収は月に 1 度、機器を引き上げて行なっている。

3. 観測結果

ADCP と自記濁度計のデータ解析にあたり、2005 年度の出水から放流入量の規模などを考慮して特長的なイベントを取り上げる。図-6 は期間中のダム放流入量と流域平均雨量を示したものであり、取り上げるイベントは図中に示した 8 月 21 日から 23 日の 3 日間とする。

本イベントは 3 日間の流域平均雨量が 145mm、最大流入量 $667.5\text{m}^3/\text{s}$ 、最大放流量 $667.6\text{m}^3/\text{s}$ と中規模出水である。出水概要と ADCP の観測結果を図-7 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、流域平均雨量を示す。2 段目、3 段目

のコンター図は KP1.2 に設置した ADCP 観測データのうち絶対流速と流向 (0 度がダムサイト方向)、4 段目、5 段目のコンター図は KP2.4 に設置した ADCP 観測データのうち絶対流速と流向を示している。併せて参考値としてダムサイトの水位を示しており、水位ラインとコンター間のグレー着色部は ADCP が持つ特性である不感帯を示し、水面から 50cm 程度が観測されていない。

(1) 出水特性

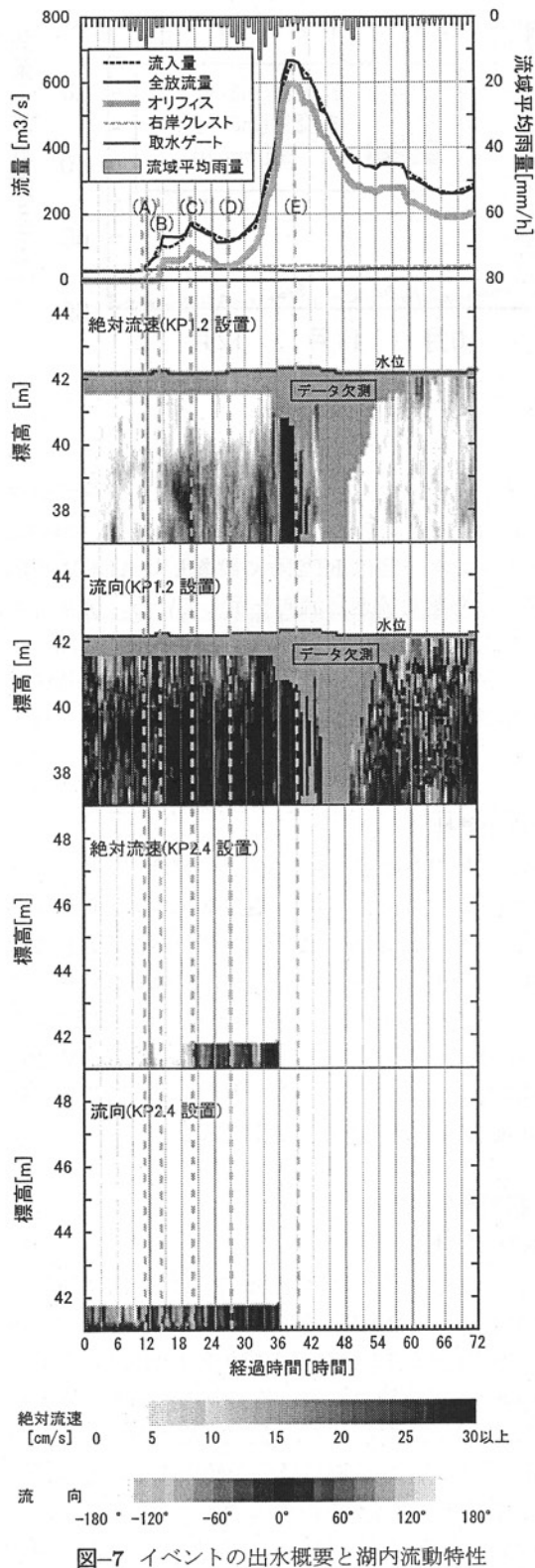
イベント初期の放流入量は $30\text{m}^3/\text{s}$ 程度である。イベント開始から 11 時間 (A) 以降右岸クレストから放流が始まり、その後 $40\text{m}^3/\text{s}$ 程度の一定流量が放流されている。14 時間 (B) 以降オリフィスからの放流が始まっている。放流入量、オリフィス放流ともに 20 時間後 (C) に一旦流量が減少をはじめ、27 時間 (D) 以降に急激に流量が増加している。流入量、オリフィス放流ともに 39 時間後 (E) にピークをむかえている。

(2) 観測結果～流速

a) KP1.2 地点

イベント開始から 11 時間 (A) までは湖内流速に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 14 時間 (B) 後から EL40.0 以下の下層を中心として流速が発生しており、流向も下層を中心にダムサイトに向かっている。20 時間後 (C) から放流入量、オリフィス放流が減少を始めると流速も減少し、27 時間 (D) 以降から放流入量、オリフィス放流が急増すると流速も下層を中心に増加している。その後、ピーク付近では設置した ADCP に土砂が堆積したと考えられ欠測期間が続いている。

本出水ではオリフィスからの放流が始まる時間帯から下層で流速が発生していること、また放流量の大半をオリフィスからの放流が占めることから、オリフィス放流に起因して下層を中心とした流速が生じている



と考えられる。

b) KP2.4 地点

イベント開始から 11 時間 (A) 以降、流入量と放流量が増え始めると流速が増加している。しかし 14 時間

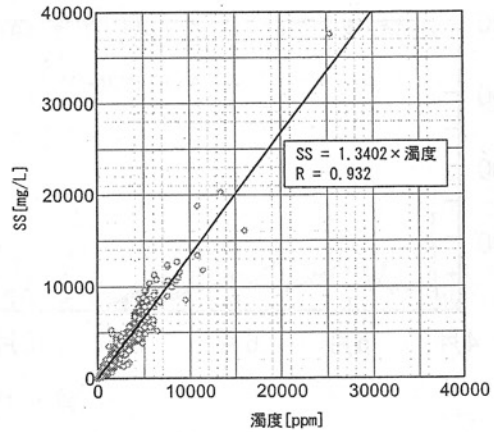


図-8 SS と濁度の相関

(B)以降、流入量が放流量を下回っている時間帯では流速が減少している。20 時間 (C) 以降、流入量と放流量がほぼ同じであり流量の増減とともに流速も増減している。

これよりこの地点での流速は放流量より流入量から受ける影響がより大きいと考えられる。流向については流速がほぼ 0cm/s の時間帯を除いては流下方向であった。

(3) 観測結果～流速分布と濁度分布の関係

自記濁度計は KP1.2 地点に鉛直方向に 3 層設置しているが、ADCP の観測結果と同様にイベントピークを迎える 39 時間 (E) 以降で下層・中層が欠測となっている。ここでは濁度の鉛直分布を見る意味からも、イベント開始からピークまでの 39 時間を取り上げることとする。

なお土砂輸送の把握にあたり、二風谷ダムでは平成 13 年から出水時においてダム流入部、放流部及びダム湖内において採水・水質分析を行なっている¹⁾。湖内の位置によって粒径等が異なるが、同一流域ではその特性は概ね同じと考えられ、平成 13～17 年の出水時に採水・水質分析を行なった結果を用いて、参考として図-8 二風谷ダム湖における SS と濁度の相関図を示す。

図-9 は水平方向流速 (流下方向成分) と濁度の関係性を見るために、イベント開始から 3 時間毎の流速鉛直分布と濁度鉛直分布の結果を時系列で示したものである。またイベント開始から 39 時間までの放流量も併記しておく。

a) 0～12 時間

イベント初期においては前述の通り流速分布に目立った特長はなく、濁度についてもほとんど値を観測していない。

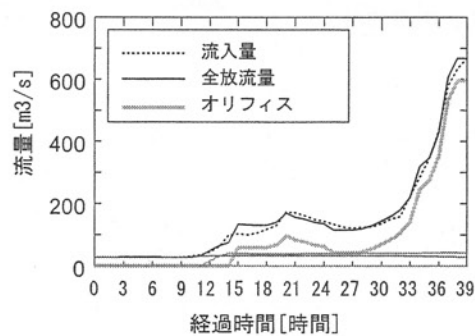
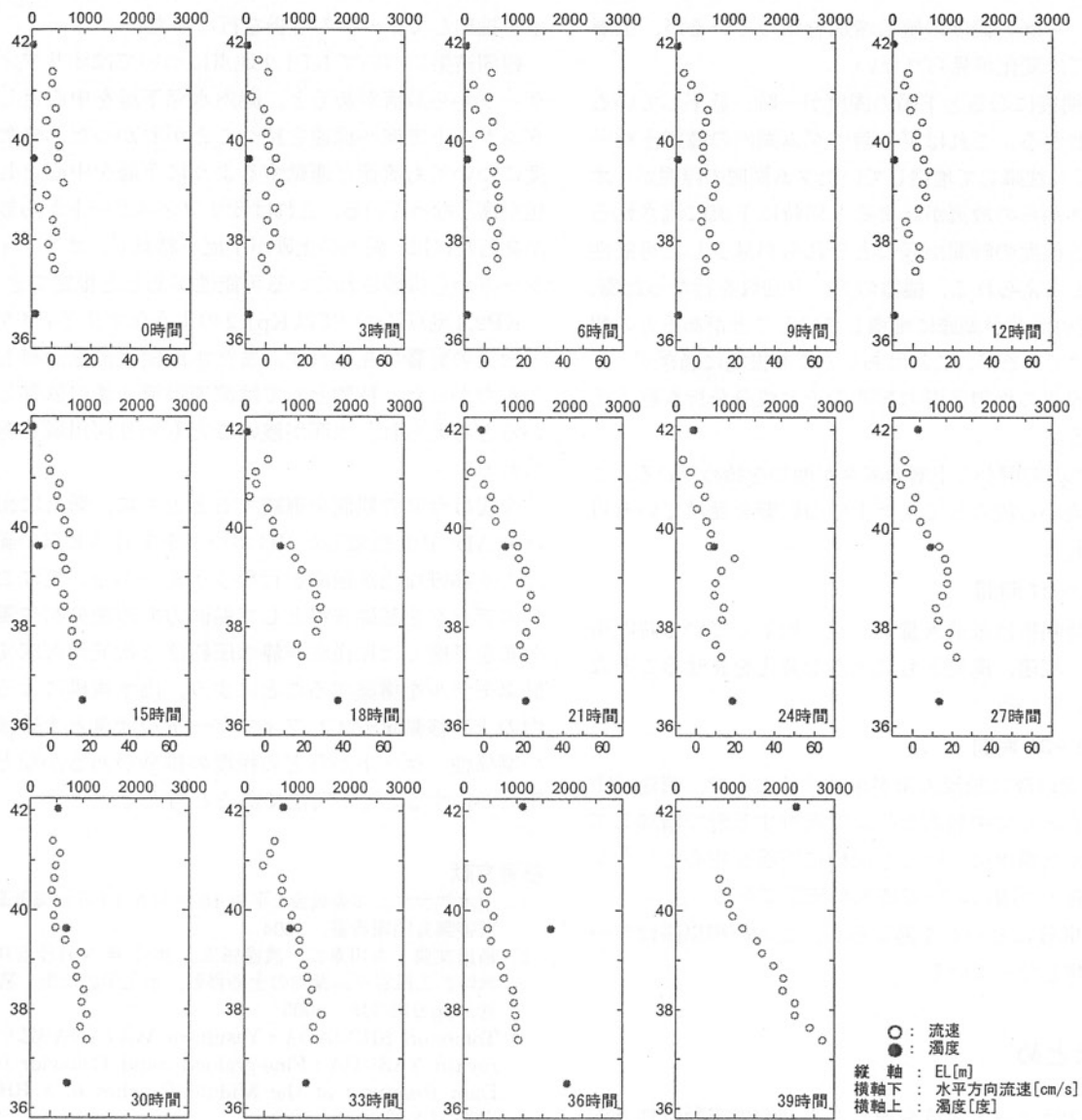


図-9 水平方向流速 (流下方向成分) と濁度の鉛直分布

b) 15～21 時間

オリフィス放流が始まってすぐの15時間後は、下層を中心として流速が発生し、それと同時に下層の濁度の値が急激に高くなっているものの、中層・上層の濁

度は大きな変化が見られない。

18時間後になると更に下層流速が増加するとともに、それと連行する形で中層あたりまで流速が増加している。また濁度についても下層の値が更に大きくなると

ともに、中層の濁度の値も増加を始めているが、上層に関しては変化が見られない。

21 時間後になると下層の濁度が一時、低下していることがわかる。これは平水時にダム湖内の微細土粒子がゆっくり沈降して堆積していたダム湖底の浮泥が、オリフィスからの放流が始まると同時に下流に流されるが、ある程度の時間が経つとそれらが減少した可能性があると考えられる。機器のデータ回収を行なった際、1m 程度の浮泥が湖底に堆積していることがあるとの報告も受けているが、これはあくまでも推測に過ぎず、今年度は浮泥の堆積状況の観測やその成分分析も行う予定である。

またこの時間から上層の濁度が増加を始めている。これは上流から流入してきた土砂の影響を受けている可能性がある。

c) 24~27 時間

この時間帯は放流量が一旦、低下している時間帯である。流速、濁度ともに大きな変化を見せることなく推移している。

d) 30~39 時間

30 時間以降は放流量が増加することで、流速は下層を中心として中層あたりまで連行する形で増加している。また濁度についても同様に下層を中心としながら、中層・上層において増加が確認できる。

39 時間後にピークを迎えるが、この時間以降はデータが欠測となっている。

4. まとめ

本論文はゲート放流を伴うダム湖内の流動特性と濁度の関係を把握することを目的に、ダム湖内に設置した ADCP と自記濁度計の観測結果のうち、特徴的な出

水を抽出してデータの解析を行なった。

観測結果について KP1.2 地点についてはオリフィスゲートから放流があると、湖内水深下層を中心としてダムサイト方向へ流速を持つことがわかった。また濁度についても流速と連動するように下層を中心として値が高くなっている。これはオリフィスゲートから放流がある時には、湖内の土砂が下流へ移動し、オリフィスゲートから排砂されている可能性があると推定できる。

KP2.4 地点については Kp1.2 のようなオリフィスゲート放流の影響は見られず、また水深鉛直流速分布も見られなかった。特徴としては流速は流入量に依存していると考えられ、水深が浅いこともあり河川域と考えられる。

今後は今回の観測を継続するとともに、新たに出水時に ADCP を搭載した RC ボートを走行させ広い範囲でより詳細な流況観測を行なう予定である。更にこれらのデータを基礎資料として鉛直方向流速分布や濁度分布を考慮した粒径別非静水圧鉛直 2 次元河床変動計算モデルを構築することにより、出水規模による湖内の土砂移動量やオリフィスゲート放流量と土砂移動の関係性、ゲートからどの程度の排砂があるかなどを明らかにすることが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 島田友典・吉川泰弘・渡邊康玄：2003 年 8 月沙流川洪水時の二風谷ダム湖内の土砂移動，水工学論文集，第 49 巻，pp.913-918，2005。
- 3) Tomonori SHIMADA・Yasuharu WATANABE・Hiroyasu YASUDA：Fine-grained Sand Behavior in a Dam Reservoir at the Middle Reaches of a River，RCEM2005。
- 4) 北海道開発局室蘭開発建設部：二風谷ダム建設の記録，2000。

(2006. 5. 19 受付)