

出水時のゲート操作を伴うダム湖内の流動と 土砂挙動観測

OBSERVATION OF FLOW CHARACTERISTICS AND SEDIMENT
BEHAVIOR IN A DAM RESERVOIR AT FLOOD WITH A GATE

(独) 土木研究所寒地土木研究所 ○正会員 島田 友典 (Tomonori SHIMADA)
(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 渡邊 康玄 (Yasuharu WATANABE)

1. はじめに

河川にダム湖が存在する場合，下流の河床低下やダム湖内の堆砂が問題となる．特にダム湖における過度な堆砂の進行は，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．これらの問題を解決するには，特に出水時に移動が顕著となる湖内の土粒子の挙動と流動特性を把握する必要がある．寒地土木研究所では湖内流動把握のためダム湖底に ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler: 音響ドップラー流速計) を，また湖内土砂挙動把握のため自記濁度計を設置し継続的に観測を行っている¹⁾．本論文はこれらの観測により得られたデータを用いて，湖内の流動特性と土砂挙動の解析を行なったものである．

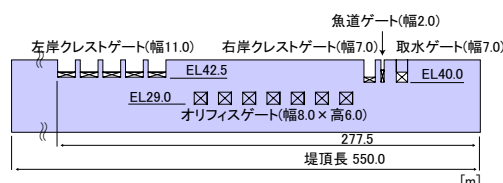


図-1 ダム上流正面図

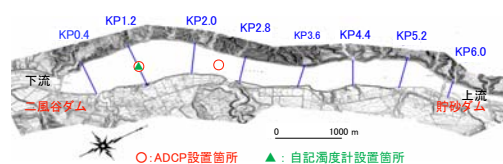


図-2 ダム湖平面図

2. 観測概要

観測対象とした二風谷ダムの上流正面図を図-1，観測に用いた ADCP (RD Instruments 社) の設置箇所を図-2，図-3 に示す (KP1.2 に 1200kHz，KP2.4 に 2400kHz を設置)．データは 10 分毎に超音波を 1 ビング/秒で 60 秒間連続観測し，60 ビングのアンサンブル平均を 1 データとしている．自記濁度計は長期設置型データ内蔵記録方式の高濃度ワイパー式濁度計 (ATU3-8M; アレック電子株式会社) を用いている．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 箇所としている (図-2，図-3)．データ取得はインターバル 10 分で，連続 10 バーストの平均を 1 データとしている．

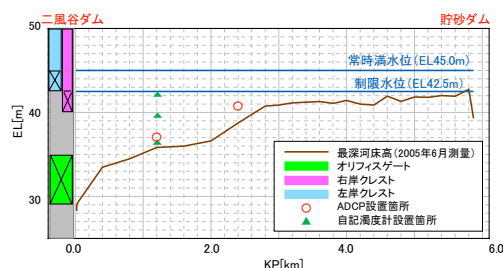


図-3 ダム湖縦断面図

3. 観測結果

ADCP と自記濁度計のデータ解析にあたり，複数の機器を用いて詳細に観測を行った 2005 年度以降の内，2005 年 8 月の中規模出水を対象とした．出水概要と観測結果を図-4 に示す．図の中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．上段は KP2.4 地点の ADCP の観測結果を，下段は KP1.2 地点の ADCP と自記濁度計の結果を示す．ADCP の結果は流下方向流速と鉛直方向流速の合成ベクトルで表示している．また流向については下段右の流向区分に示したように，流下方向に対して角度の振れ幅でベクトルを色分けをしている．

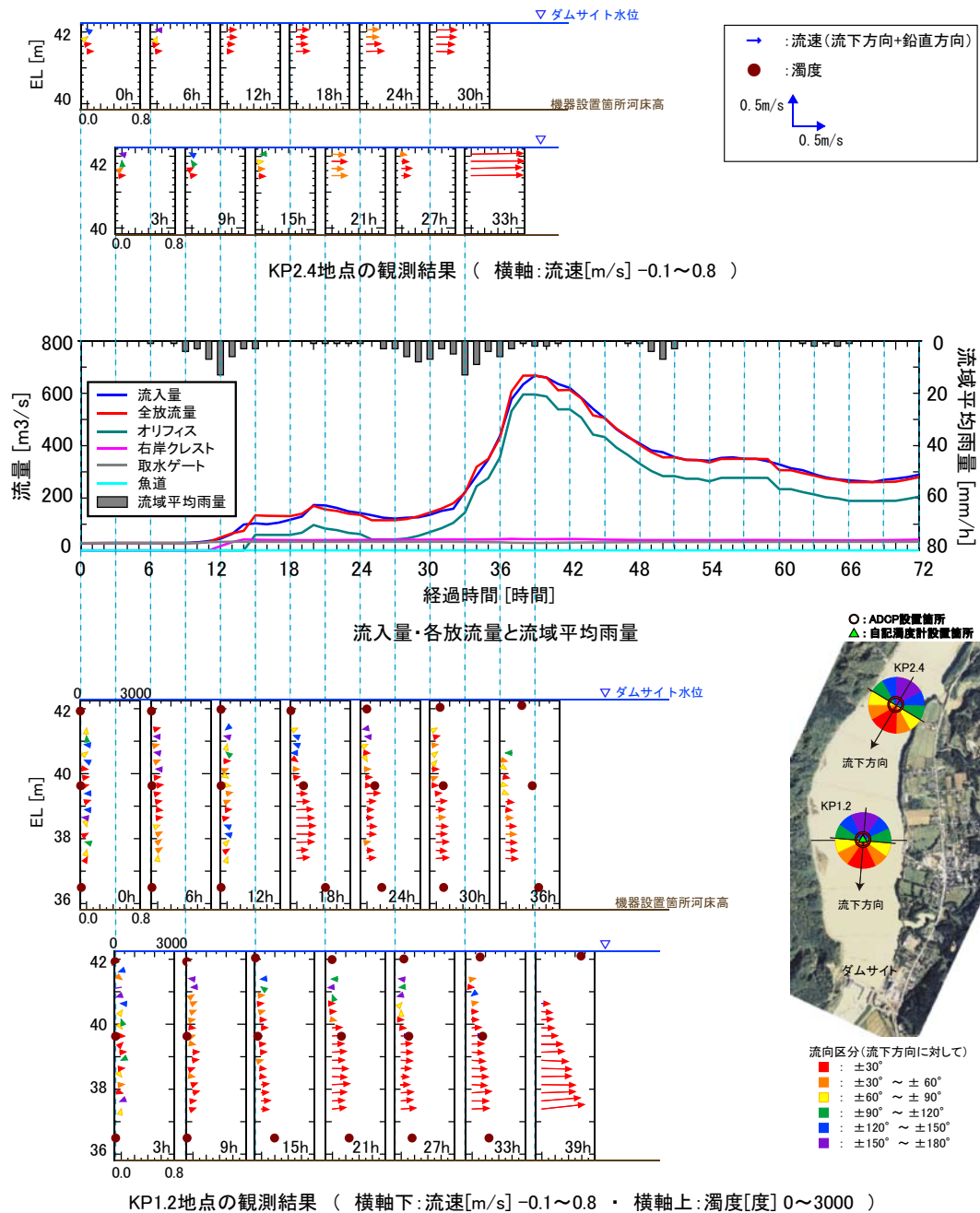
(1) 観測結果 (KP2.4 地点)

イベント初期は放流入量がほぼ一定であり，流速はほとんど発生しておらず，流向も一定方向ではない．12 時間後になると放流入量が増加をはじめ，それとともに

に流速が発生し流向は流下方向となっている．15 時間後は流入量が放流量を下回っている時間帯であり，流速は 12 時間後と比較すると減少している．また流向もばらつきが確認される．これは KP2.4 地点での流速・流向はゲート放流ではなく，流入量の影響を受けている可能性があるかと推定できる．18 時間以降は放流入量の増減とともに，流速も増減し流向もすべてが流下方向である．なお 33 時間後以降はデータ欠測となっている．洪水後の土砂堆積状況から判断して，これはイベント中に土砂の堆積により機器が埋没してしまったものと考えられる．

(2) 観測結果 (KP1.2 地点)

イベント初期では流速はほとんどなく，流向についてもばらついており，濁度についてもほとんど値を観測していない．オリフィス放流が始まった直後の 15 時間後，水深下層を中心とした流速が発生し，流向は流下方向となっている．それと同時に下層の濁度が急激に増加をしているが，中層・上層の濁度に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。また濁度に関しても下層の値が更に大きくなり、中層の濁度も増加を始めている。27時間以降、ピークに向かって放流量が増加をはじめ、下層を中心として流速が増加するとともに、水深方向にその範囲がより中・上層へと広がっている。また濁度についても下層が高いことには変わらないが、上層でも増加が見られる。なお、39時間以降はKP2.4と同様の理由でデータが欠測となっている。

オリフィスからの放流が始まる時間帯から、水深下層で流下方向への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

じていたと考えられる。この観測結果より、ゲート放流の影響が、ゲート近傍だけでなくダムサイトから上流へ1.2km程度まで及んでいると判断される。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。

4. 土砂輸送量の推定

ここでは前述で得られたKP1.2地点の流速と濁度の観測結果を用いて、土砂輸送量とゲート放流の関係について考察を行なう。

(1) 濁度 (Tb) とSS濃度の関係

土砂輸送量としてSS負荷量を求めるにあたり、はじめに自記濁度計の結果からSS濃度を推定する。

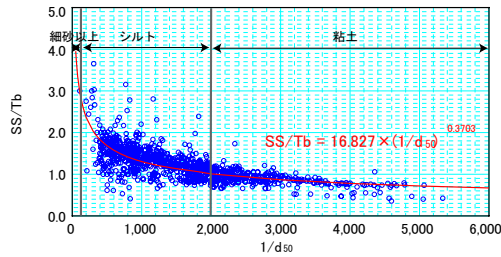
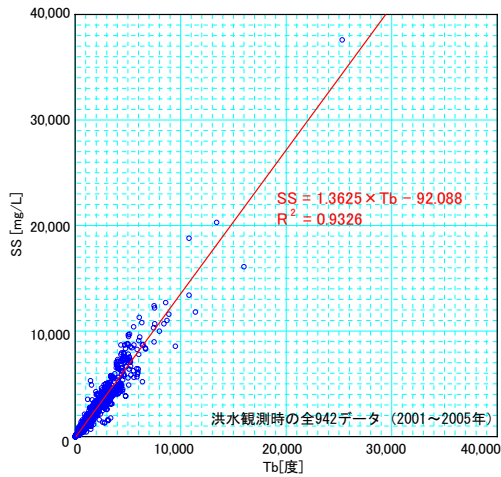
図-5 SS/Tb と $1/d_{50}$ の関係

図-6 SS と Tb の関係

寒地土木研究所では出水時に沙流川流域において流量観測、採水・水質分析を行なっており、二風谷ダム湖においても放流入部やダム湖内において実施している²⁾。図-5はダム湖内・ダム放流入部において採水・水質分析を行なった結果を用いて濁度係数(SS/Tb)と中央粒径(d_{50})の関係を示したものである。ダム湖内で観測された土粒子の粒度成分は、大半が粘土・シルトである。濁度(Tb)とSS濃度の関係は土粒子密度や粒径に依存すると言われているが、この結果よりダム湖内における土粒子の性質はほぼ同一として扱って良いと言える。

この結果から粒径の違いを考慮せず、単純にSSと濁度の関係について検討を行なうこととする。図-6はこれらの採水・水質分析の結果を用いて、濁度とSSの関係を示したものであり高い相関が見られる。(1)式は最小二乗法により回帰式を求めたものであり、二風谷ダム湖におけるSSと濁度の関係を表すものである。

$$SS = 1.3625Tb - 92.088 \quad (1)$$

ここでSS:SS濃度[mg/L], Tb:濁度[度]を表す。

(2) SS負荷量の推定

SS負荷量の推定は水深別による土砂輸送量把握を目的とすることから、図-7に示したようにADCPでの観測範囲を下層(hz1~hz2)・中層(hz2~hz3)・上層(hz3~hz4)と水深方向に3分割して算出比較する。各層のSS負荷量はADCPの観測層毎(0.25m)の流速と濁度を用いて算出したものを合計することとする。

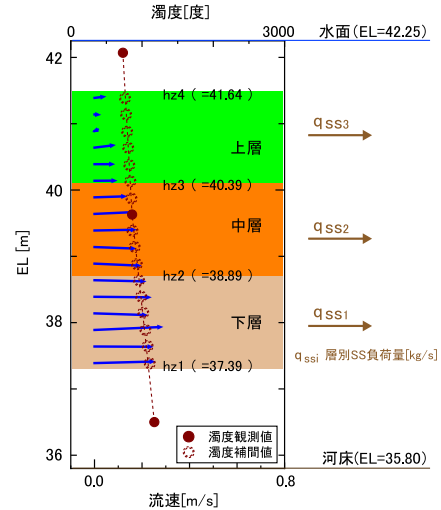


図-7 単位幅SS負荷量算出(例として図は33時間後)

はじめに(1)式を用いて、今回の自記濁度計の観測結果からSS濃度を推定する。自記濁度計は3箇所の設置であるため、観測値がない所については図-7のように直線補間を行なっている。

次にADCP観測層毎の単位幅流量を(2)式により算出する。

$$q_{(hz)} = u_{(hz)} dz B \quad (2)$$

ここで $q_{(hz)}$:ADCP観測層別1層当たりの単位幅流量 [m^3/s], $u_{(hz)}$:ADCPの観測結果(水平方向流速 [m/s]), dz :ADCP設定層厚(0.25m), B :横断幅(ここでは単位幅1.0m)を表す。

最後に水深方向に3分割(下層・中層・上層)したSS負荷量を(3)式により算出する。

$$q_{ss_i} = \int_{hz_i}^{hz_{i+1}} \frac{q_{(hz)} SS_{(hz)}}{1000} dz \quad (i = 1 \sim 3) \quad (3)$$

ここで q_{ss_i} : i 層における単位幅SS負荷量 [kg/s], $SS_{(hz)}$:SS濃度 [mg/L]を表す。

下層・中層・上層それぞれの単位幅SS負荷量を求めた結果が図-8である。図-8は上段が放流入量、2段目が単位幅SS負荷量の時系列を示している。なお観測機器の埋没による欠測以降についてはグラフを省略している。出水初期では全層ともSS負荷量の増加がほとんど見られない。オリフィスからの放流が始まる14時間後から、前述の通り下層流速の増加と下層濁度の増加によりSS負荷量が急激に上昇している。中層については下層の増加後、下層のSS負荷量に対して1/3~1/2程度の量が増加している。その後、流量の増減とともに、下層・中層ともにSS負荷量も増減するが、今回の分析を行なった期間に関しては常時、下層のSS負荷量が中層を上回っていた。なお上層についてはこの期間を通じて大きな変化は見られない。

湖内の土砂輸送現象を明らかにするにはゲート放流時のSS負荷量増加の要因が、河川からダム湖へ流入し

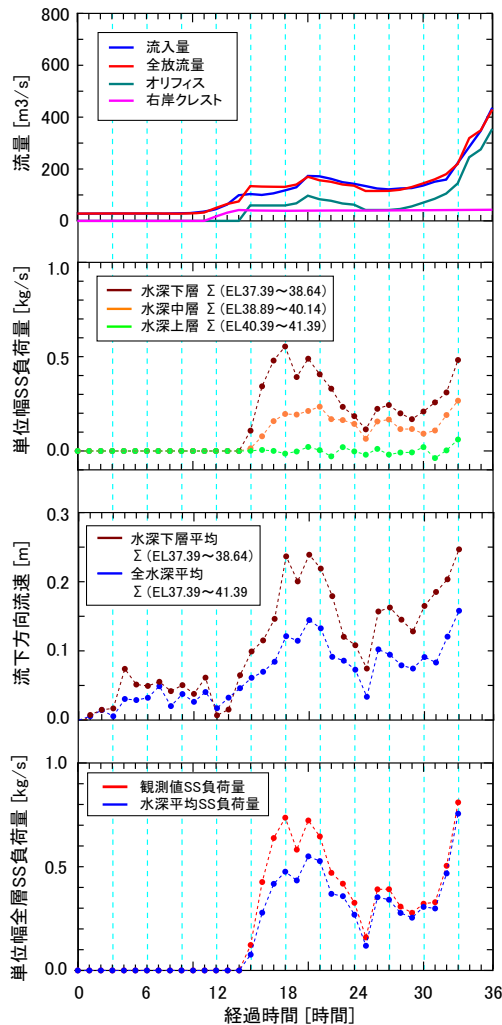


図-8 単位幅 SS 負荷量と流速の関係

たものか、湖底から巻き上がったものか、またはダム湖内上流で巻き上がったものが下流へ輸送されたものか明らかにする必要がある。しかし、これらの推定を行なうには、洪水時にダム湖内や放流入箇所での流量観測・採水・水質分析を行なう必要があるが、今回の出水ではこれらの観測を行っていないため、明確には出来ていない。

(3) 流動・濁度の鉛直 2 次元性

著者らは実現象を明らかにするために、1 次元不定流計算により水深平均化した流速や SS 濃度などを用いることで堆積量などを良好に再現してきた³⁾。しかしながら、今回の観測より水深方向に大きく流速分布が異なることが明らかとなったため、観測結果より求めた水深平均値を用いて流速・SS 負荷量を算出し、実現象との比較を行なうこととする。

図-8 の 3 段目のグラフは ADCP の観測結果を用いた水深平均流速と下層平均流速を比較したものである。オリフィスゲート放流が始まるまでは両者に大きな違いは見られないが、オリフィスゲート放流開始直後から下層平均流速は急速に増加をしている。今回の観測期間では、その差は最大で 2 倍程度であることが確認される。これは湖底に堆積した土砂の浮上に関して、水

深平均化した流速を用いた場合、実現象と比較すると過少に評価することになると言える。

図-8 の 4 段目のグラフは KP1.2 における ADCP 観測範囲 (EL37.39 ~ 41.64) について単位幅 SS 負荷量の時系列を示したものである。観測値 SS 負荷量は次のように算出している。図-7 に示すように観測水深各層の流速とそれに対応する濁度の値を用いて、水深各層の SS 負荷量を算出し、それを合計したものである。また水深平均 SS 負荷量は次のように算出している。観測水深各層の流速、濁度をそれぞれ平均し、その平均値を用いて SS 負荷量を算出したものである。

観測期間を通して観測値 SS 負荷量は水深平均 SS 負荷量よりも大きな値を示している。特にオリフィスゲート放流開始後などではその差が最大で 5 割程度となっている。これは二風谷ダム湖内において SS 負荷量の算出において、水深平均した流速や濁度を用いて SS 負荷量を算出すると、実現象より過少に評価することになる。

5. おわりに

本論文は出水時にゲート放流がある際の湖内流動特性と土粒子挙動を把握することを目的に、ダム湖内に設置した ADCP・自記濁度計の観測結果を用いてそのデータ解析を行なった。

KP2.4 地点は、オリフィスゲートに起因するような流動は観測されず、また水深鉛直方向の流速分布も見られなかった。この地点での流速は流入量に依存していると考えられる。

KP1.2 地点は、オリフィスゲートに起因して水深下層を中心としてダムサイト方向への流速を持つことがわかり、またダム湖底に堆積している土粒子を巻き上げている可能性があると考えられる。巻き上がった土粒子は湖内での下流への移動、更にはオリフィスゲートからの土粒子放流の可能性もあると考えられる。

今回の観測結果より、特にオリフィスゲート放流を伴う出水時にはダムサイトから上流へ 1.2km 地点においても平均流速と湖底近傍流速の相違が確認されることから、平均流速を用いる 1 次元計算では特に湖底に堆積した土砂の浮上量等を過小に評価することが考えられる。湖内の土砂輸送をより明確に把握するためには鉛直 2 次元土砂挙動シミュレーションモデルを構築することが重要であり、今後は新たなモデルを構築することでゲート放流に伴う出水時の湖内の土砂移動量や、湖内に存在する土砂の内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予定である。

参考文献

- 1) 島田友典・渡邊康玄：出水時のゲート操作を伴うダム湖内の流動観測、北海道支部年次学術研究発表会、vol.62、2005
- 2) 小川長宏・渡邊康玄：二風谷ダムでの 2003 年台風 10 号における SS の挙動、河川技術論文集、vol.10、2004
- 3) Tomonori SHIMADA・Yasuharu WATANABE・Hiroyasu YASUDA: Fine-grained Sand Behavior in a Dam Reservoir at the Middle Reaches of a River、RCEM2005.