

貯水池における洪水時の平面二次元流動解析

Numerical study on dam reservoir during flood by 2-dimensial shallow water

Equation

株式会社リブテック	正会員	平野 孝雪 (Takayuki HIRANO)
独立行政法人寒地土木研究所	正会員	安田 浩保 (Hiroyasu YASUDA)
独立行政法人寒地土木研究所	正会員	渡邊 康玄 (Yasuharu WATANABE)
独立行政法人寒地土木研究所	正会員	島田 友典 (Tomonori SHIMADA)

1. はじめに

土砂動態や水質の問題と密接に関連しているにも関わらず、出水時におけるダム湖など貯水池内の流動特性はあまり解明されていない。本研究では、その第一段階として流動のみに着目した浅水理論式に基づく平面二次元解析を行う。

解析の対象とした二風谷ダムは北海道日高地方に存在する一級河川沙流川河口から約20kmの位置にあり、ダム湖延長は約6kmである。詳細は表1に記す。またダム平面図を図-3に記す。図中のダム湖内は二風谷ダムの距離標成果表と横断深浅測量成果表のデータを内層補完によって平面的な地形を生成した等高線である。またこのデータを用いて平面二次元解析にて二風谷ダム湖の河床とした。(図-4)は2005年7月横断深浅測量成果表より、図中に記したKP点の横断測線上である。

2. 対象とする出水イベント

二風谷ダムにおいて、2005年9月7日~同9日までの平均雨量121mm、最大流入量669.4m³/s、最大放流量629.1m³/sの中規模出水を取り上げた。(図-1)本出水時では、KP1.2横断測線上においてADCP(Acoustic Doppler Current Profiler:音響ドップラー流速計)を搭載したRCボートを走行させ、湖内の流動観測とデータ解析をおこなった(流量約510m³.s時)。この結果図-2より、右岸付近で流下方向に対して負の流速を確認した。この原因がなんであるかを解明したい。

3. 解析手法

湖内の流動特性を明らかにするために用いた数値計算には、浅水理論式に基づく平面二次元解析を用いた。また、初期水位を求めるため、一次元漸変流解析を用いた。

この原因が流量500m³/sに近い時のみに発生するのか、または出水時のような非定常流動にて発生するのか、比較するため、非定常流量数値解析として図-1に示す流入量のハイドロを与える計算を行った。また定常流数値解析において、倍の流量1000m³/s、及び5分の1の流量100m³/s、また2003年7月におこった大出水の最大流量5980m³/sにおいても発生するのか比較を行うため、あわせて4パターン行った。その結果を図5図

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	31,100 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

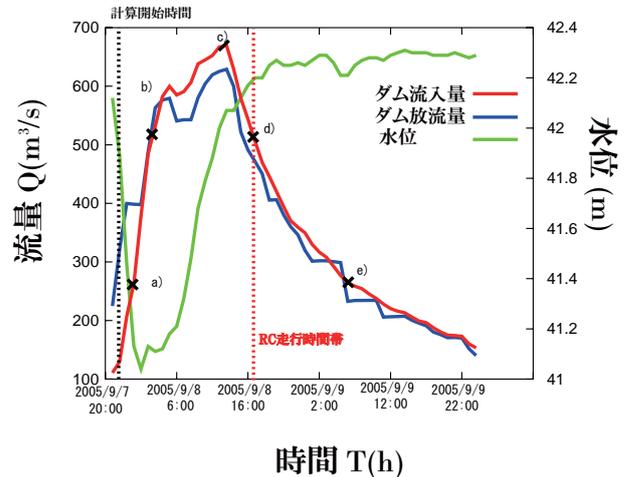


図-1 2005年9月出水

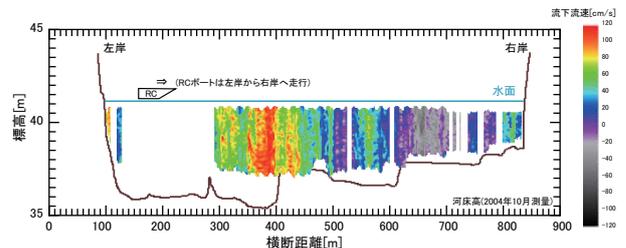


図-2 KP1.2 横断測線上の流動特性

6に記す。

(1) 数理モデル

平面二次元解析に用いた支配方程式を(1),(2)、連続の式を(3)とした。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{M^2}{D} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{MN}{D} \right] + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = - \frac{gn^2 M}{D^{7/3}} \sqrt{M+N} \quad (1)$$

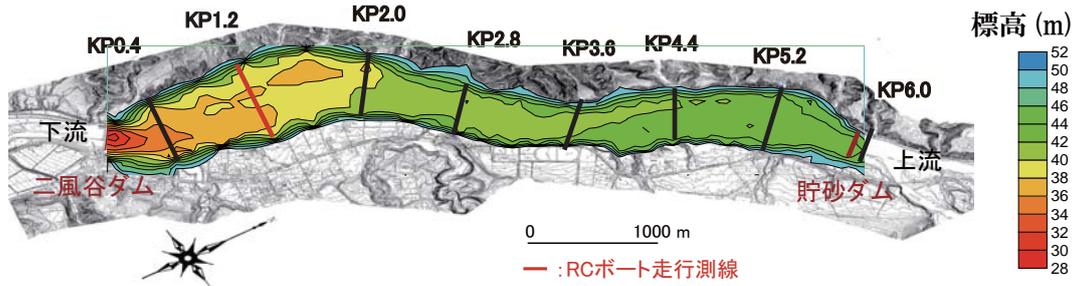


図-3 ダム平面図

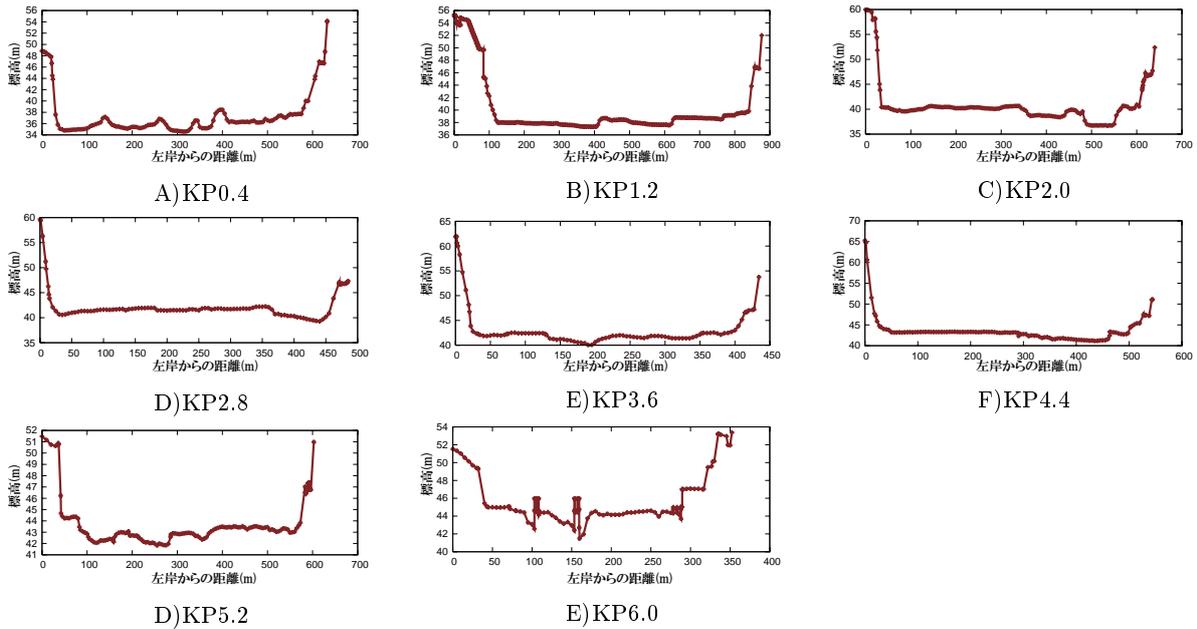


図-4 各 KP の横断面図

(2) 初期条件と境界条件

定常流数値解析において、各断面の最深河床高を河床高とし、各パターンの流量 Q に応じて1次元漸辺流解析を行い、水位を求めた。また、求められた水位から x 方向の流量フラックスを初期条件として与え、平面二次元計算にて安定するまで充分な時間を計算した。

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{MN}{D} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{N^2}{D} \right] + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{gn^2 N}{D^{7/3}} \sqrt{M+N} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \quad (3)$$

ここで x, y は平面での座標、 M, N はそれぞれ x, y 方向の流量フラックス、 t は時間座標、 g は重力加速度、 η は水位、 D は水深である。

また、初期水位を求めるために用いた一次元漸変流の支配方程式は、

$$\frac{\partial}{\partial s} \left[\frac{Q^2}{A} \right] + gA \frac{\partial \eta}{\partial s} = -\frac{gn^2 Q |Q|}{AR^{4/3}} \quad (4)$$

で示される不等流の式である。

ここで s は河道の流心に沿った座標系、 Q は s 方向の流量、 A は流積、 n は Manning の粗度係数である。この常微分方程式の数値解析にあたっては、緩和法を適用し、その数値解を得た。

非定常数値解析においては、初期流量を $129.72 \text{ m}^3/\text{s}$ 、初期水位を 41.89 m とし、平面二次元計算にて流動が安定するまで十分に計算し、その後上流端の流量、及び下流端水位を変動させた。

計算メッシュは、 dx, dy とともに、 50 m メッシュとした。

4. 計算結果と考察

定常流量の結果図-5 より、各流量にて KP1.2 付近にて滞留と思える流動を確認した。また最大流量の $5980 \text{ m}^3/\text{s}$ 以外の3パターンにおいて、左岸側にも滞留が確認された(図中の青色の実線は水域、茶色の点線はダム湖域及び、KP1.2 横断測線である。また、ベクトルは流量フラックスを表している。)

非定常流量数値解析において流量が増加傾向にある時

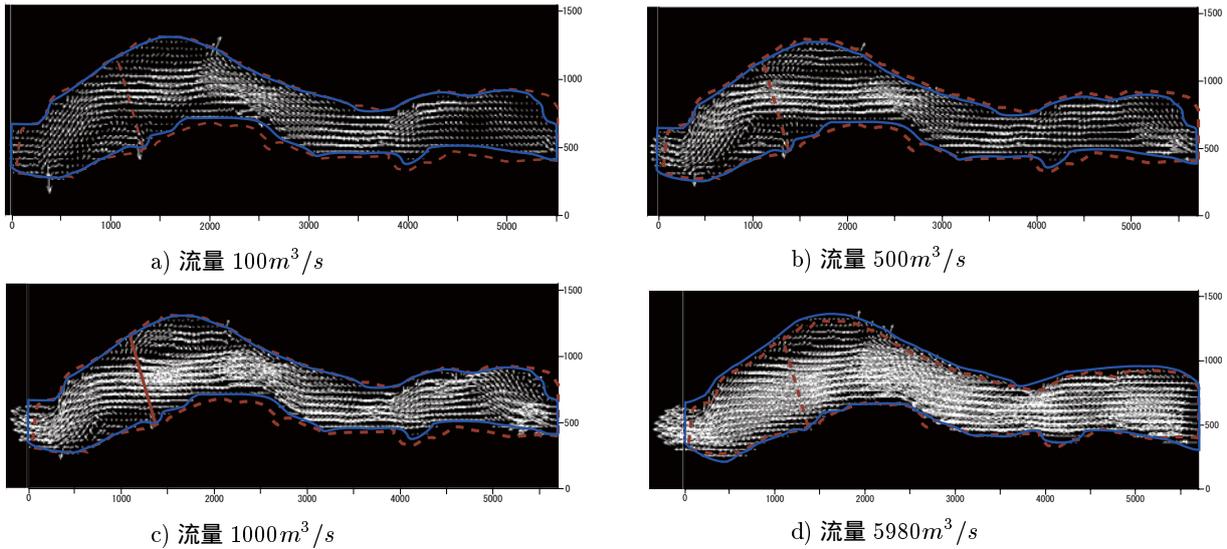


図-5 定常流量別の比較

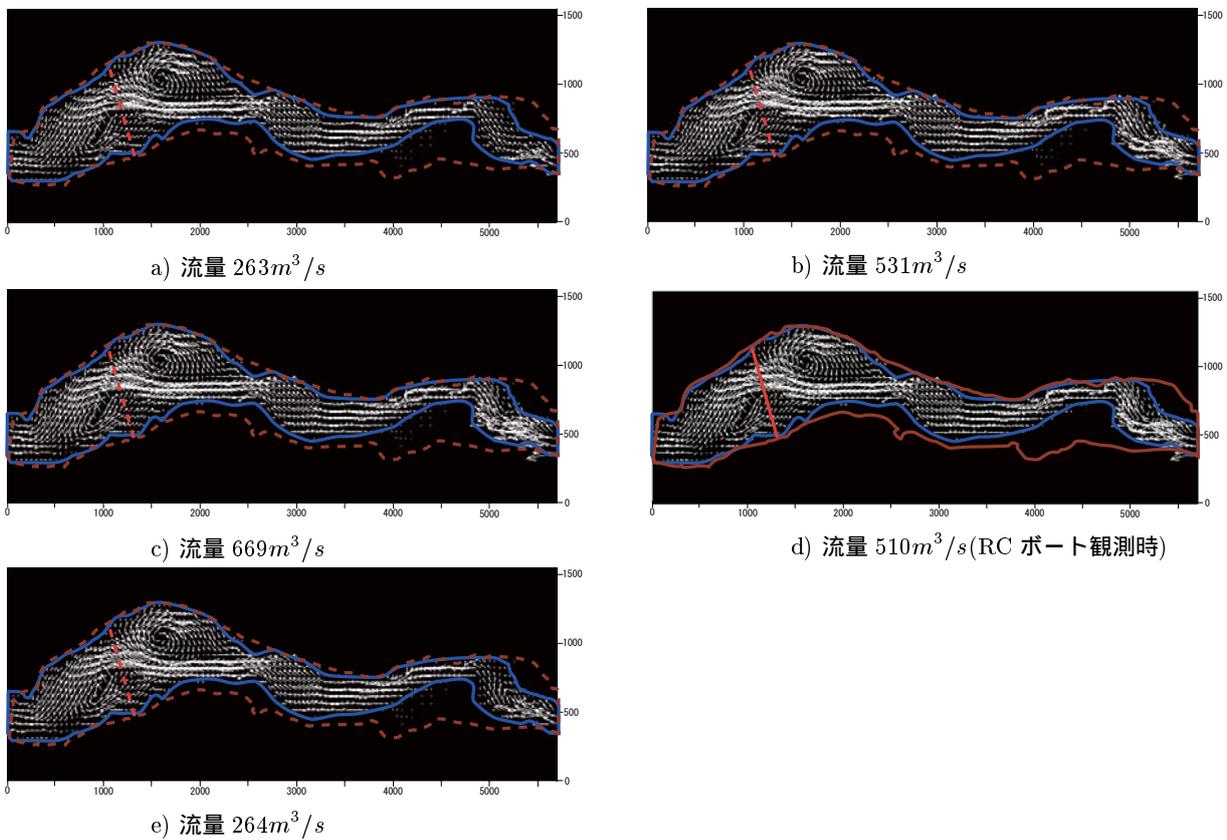


図-6 非定常流量の流量比較

と減少傾向にある時．また RC ボート観測時が流量急減少時なので，同程度の流量の増加傾向の時をそれぞれ比較．また最大流量とも比較を行った．各流量時においても，右岸側，及び左岸側にて滞留が確認された．

右岸での滞留を確認する一手法として堆積物を調査した．図-7は二風谷ダム湖内において粒径の細かい土砂と一定の相関がある全窒素の濃度を示したものである．左図は2005年6月(制限水位移行前)で右図は2005年7月(夏期出水前)である．地質調査を行った結果，

土砂が堆積しているのがわかる．出水がないにも関わらず土砂が堆積している要因としては，右岸側での滞留が原因だと思われる．

KP1.2 横断測線上にて，ADCP により得られた流速データを計算メッシュにあわせ，メッシュごとの平均値を出し，その値と数値解析によって求められた流速を比較した．(図-8) 赤色のデータが数値解析によって求められた流速，緑色のデータがADCPによって求められたデータである．横軸に流下方向に対する流速 (m/s)，縦軸に左岸からの距離 (m) をおいた．

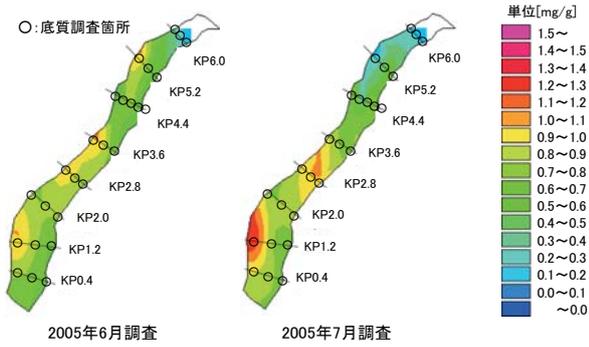


図-7 地質調査結果 (全室素)

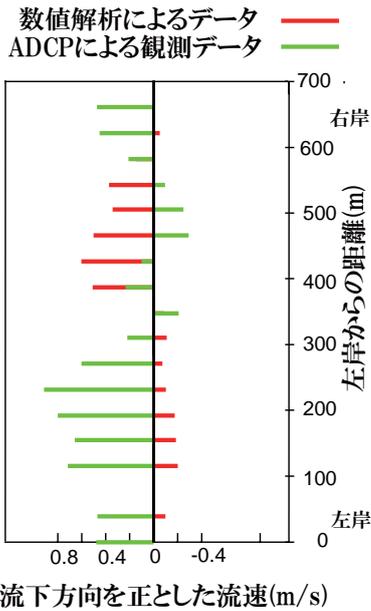


図-8 観測値と計算値の比較

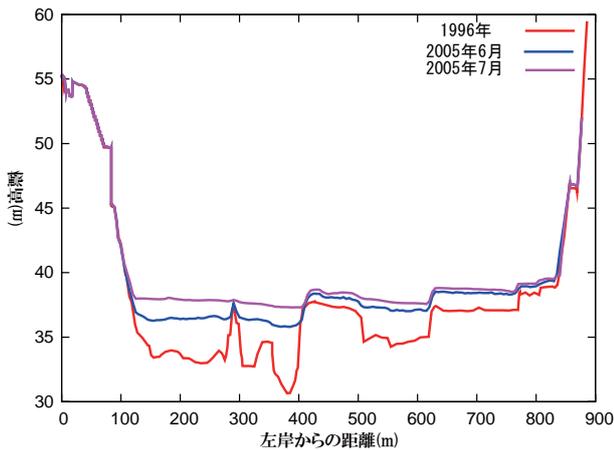


図-9 KP1.2 横断測線上の河床高比較

この結果、数値解析と実測値は同じ値を得ることが出来なかった。しかしながら、左岸からの距離 300m 付近にて流速が共に減少している傾向は同じであった。このことから、KP1.2 付近にて渦を巻くような流動があるのではないかと推測される。

また図-9 にて1996年、2005年6月、2005年7月の横断図より河床高を比較すると、左岸側のほうが河床の

上昇傾向が早いことから、本研究で得られた流動のように、左岸側での滞留もあるように思われる。

5. 結論

貯水池は水深が大きく、水表面から水底までが一様の流速分布を形成してるとは考えにくく、確かに平均流速を用いて流動を記述する浅水理論式を適用するには疑義が残る。しかし、解析の結果、少なくとも水表面近傍の流動に関しては観測地と同様の傾向が示された。

本研究で実施した数値解析は大局的には湖内の流動特性を捉えているだろう。

今後の検討としては、今回のモデルでは導入していなかった渦拡散項の導入したい。また、ADCPによる実測データがKP1.2横断測線上のみだったため、平面的に確認出来るようKP1.2前後を観測し、比較をしたい。

謝辞:本研究は、国土交通省北海道開発局、同省同局室蘭開発建設部からの支援を受けて実施されている。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 島田 友典・渡邊 康玄・吉川 泰弘：2003年8月沙流川洪水時の二風谷ダム湖内の土砂移動特性、北海道開発局技術研究発表会発表論文集、2005。
- 2) 北海道開発局室蘭開発建設部：二風谷ダム建設の記録、2000。
- 3) 島田 友典・渡邊 康玄：出水時のゲート放流が与えるダム湖内の流動について
- 4) 吉川 泰弘・渡邊 康玄：物質輸送に与える大規模洪水の影響、北海道開発土木研究所月報 第628号、2005