

座標系を用いたダム貯水池の数値シミュレーション

水工学研究室 仲野 達朗

指導教員 細山田 得三

1. はじめに

ダム貯水池のような閉鎖施水域では、流れを駆動する力が小さいため、温度躍層（密度躍層）が形成される。この成層化によって富栄養化現象や濁水長期化問題などの水質汚染問題が重要な課題である。

ダム貯水池の水質汚染問題に有効な対策として、循環装置や、流入端フェンス、選択取水施設などが挙げられる。これらの対策を選定・設計、あるいは施策後の評価をする際に、貯水池内の流動挙動を把握する必要がある。そのためにこれまで数値シミュレーションが行われている。しかし、従来の数値シミュレーションにはデカルト座標系が多く用いられており、これでは底面を階段状にしか表現できなかった。そこで本研究では、底面と水位の変動を滑らかに取り扱うことができる座標系を用いたダム貯水池の数値シミュレーションプログラムの開発を目的とする。

2 研究内容

2.1 座標系

座標系とは、地形と水面の形状に沿った表現ができる座標系であり、以下の式によって鉛直座標 Z を σ に変換する。

$$\sigma = \frac{z - \eta}{\eta - z_b} \quad (2.1.1)$$

このとき Z : 水位、 Z_b : 底面位、 η : 水面変位となる。(2.1.1)式より、 $\sigma = 0$ となる面が水面、 $\sigma = -1$ となる面が底面である。

座標系の場合、座標変換後の基礎方程式がデカルト座標系と比べて大きく変化しないことから、複雑に変化する境界条件を数値計算上簡便かつ合理的に表現することが可能な座標系である。

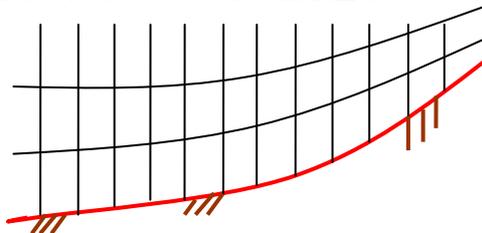


図 1. 座標系イメージ図（底面付近）

2.2 計算方法

ダム貯水池は、一般に横断方向のスケールが流下

方向に比べて小さい。このことから上下流方向および鉛直方向の変化が大きいと考えられる。このことを考慮して 2 次元的なモデルを用いることが多い。本研究でもこの考え方を採用することとする。

今回の計算での算出項目は、流速変位と密度変位とした。座標系を用いるにあたって、非線形波長方程式をデカルト座標系から座標系に変換した。算出に使用する基礎方程式は以下のとおりである。

1) 連続式

$$\frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (2.2.1)$$

2) 運動方程式

$$\frac{\partial uD}{\partial t} + \frac{\partial u^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \omega u}{\partial \sigma} = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + FD \quad (2.2.2)$$

このときの u : 水平流速、 ω : 面から見た垂直流速、 g : 重力加速度、 FD : 粘性項である。

またデカルト座標系における鉛直流速成分 w と面から見た垂直流速成分 ω の関係式は以下のとおりである。

$$w = \omega + u \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} + \sigma \frac{\partial D}{\partial x} \right) + \frac{\partial \eta}{\partial t} + \sigma \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.2.3)$$

2.3 初期条件

計算領域は、最深部 50m、表層水路長 2000m とし、 $\sigma = 0$ となる面を水面、 $\sigma = -1$ となる面を底面とする。

メッシュの分割数は水平方向に 100 分割、 σ 方向に 20 分割とする。タイムステップは $\Delta t = 0.02$ s とした。

2.4 境界条件

境界条件は以下のとおりである。

- 1) 河川流入流量
- 2) 放流流出流量
- 3) 循環装置
- 4) 湖面風
- 5) 底面摩擦係数

このモデルでは仮定の循環施設を考え、底面 2 箇所に計算値よりも低い密度を与える。

2.5 計算ケース

流出条件と循環施設の設置箇所を変えて、それによる流動挙動の変化を比較する。組み合わせは表1の通りで、循環施設の設置位置は図2に示す。また、流出状態の通常とは、流入1に対して流出0.1とし、放流は流入1に対して流出5の状態とする。

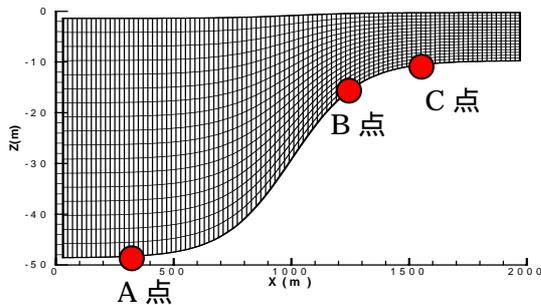


図2 循環施設位置

表1 計算ケース

	流出状態	循環施設
Case1	通常	なし
Case2	通常	B点、C点
Case3	通常	A点、C点
Case4	放流	なし
Case5	放流	B点、C点
Case6	放流	A点、C点

3. 結果

図3.1より、座標系を用いたダム貯水池の数値シミュレーションプログラムを作成し、貯水池内の成層を表現することができた。また、底面に循環施設（密度差）を設置することで成層を破壊できる可能性が示唆された。また、図3.1と図3.2を比較すると、循環施設はその設置位置によって効果が異なることがわかる。水深の浅いところでは成層が薄いため、循環による効果はあまり見られないが、水深の深いところほど密度の大きい層が厚いため、効果的に成層を破壊することができ、それに伴った大きな流動を与えることが可能だとわかった。

図3.3を見ると、放流することで大きな流動が発生していることがわかる。流動は表層だけでなく、ダム堤体付近の低層でも発生している。このことから、放流によっても成層が破壊されることが確認できた。

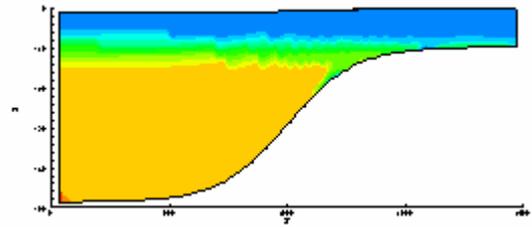


図 3.1 密度分布 (Case 2)

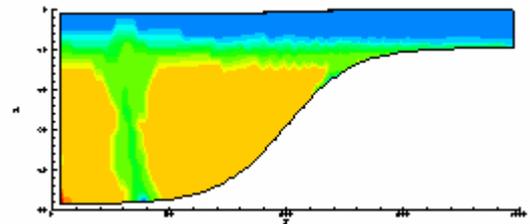


図 3.2 密度分布 (Case 3)

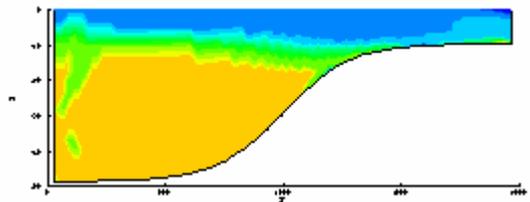


図 3.3 密度分布 (Case 5)

4. 今後の課題

今回は水温やSS、太陽光などは考慮していないため、今後はさらに多くのパラメータを導入する必要がある。さらに、今回は2次元で計算したが、より詳細な流動を把握するため、3次元による計算も検討する必要がある。

また、このプログラムの妥当性を検証するため、実際の地形データを入力し、実測地との比較が必要である。

5. 参考文献

- [1] 梅田信・池上迅・石川忠晴・富岡誠司：
「ダム貯水池における洪水時濁水挙動に関する数値解析」
水工学論文集、第48巻、2004年2月
- [2] 岩佐義明『数値水理学』丸善 1995年