

ダム湖における水質挙動解析に適した湖内流動モデルの開発

○東北大学大学院 学生会員 柴田 光彦
東北大学大学院 正会員 梅田 信
東北大学大学院 フェロー会員 田中 仁

1. はじめに

ダム湖の水質は、洪水時に多量の負荷（濁質及び栄養塩）が流入することによって、大きな影響を受けることが多い。濁水長期化や富栄養化現象などが、典型的なものである。これらの問題への対策等については、かなり以前（例えば文献^{1), 2)}など）から近年（文献³⁾⁻⁶⁾など）まで、様々な視点から検討がなされてきた。濁水・富栄養化現象の対策には、種々のものがあるが、湖内対策としては、貯水池内の流動制御によるものが有力とされている。例えば、選択取水設備^{5), 6)}や曝気循環施設^{2), 4)}が挙げられる。このような水質保全施設は、現在では多くのダムに設置され、適切な運用を行うことにより、一定の効果が上がっているようである⁷⁾。これらは、貯水池内の流動を制御することによる保全策であることから、設置・運用について検討を実施する際には、主として、流動シミュレーションによることとなる。したがって、このような解析モデルに求められる点として、貯水池の水理学的及び水質的な特性を考慮に入れた解析手法が取り入れられることが重要である。

本研究では、富栄養化現象の一つであるアオコの挙動解析に効率的に行なうことを目指したダム湖内流動解析モデルの検討を行なった。

2. 湖内流動モデルの概要

(1) 湖内流動モデルの概要

ダム湖の水質及び水理構造を考える際、最も重要な要素は、鉛直的な水質構造(成層)である。そのため、解析モデルでは、鉛直方向の変化を十分な精度で把握できる必要がある。

また、本研究で、解析を目指すアオコの挙動は、特に表層における時空間的な変化が大きい。

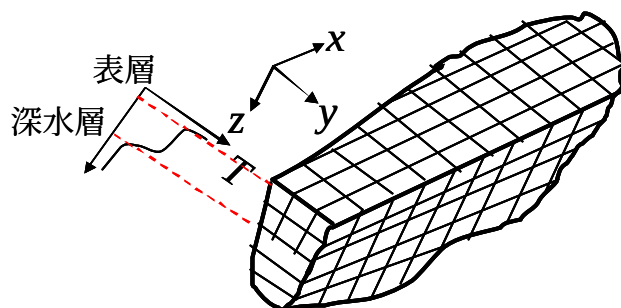


図-1 計算格子の概略図

アオコの挙動の特徴として、発生したアオコが、例えば、ダム湖の入り江に集積するといったような空間的のパッチを生じることが多い。さらに、この植物プランクトンの集積現象の特徴として、瞬間的に(日ごとに)集積パッチの生じる場所が変化することが挙げられる。この理由のひとつに、吹送流という水理的な作用が大きく関与していると考えられる。

以上の観点から、実用的にはダム湖全体を3次元的に解析することが望ましいと考えられる。しかし、実用的な観点からは、できる限り解析の計算負荷が低いほうがよい。そこで、本稿では、ダム湖における鉛直的な水温水質構造(成層化)と平面的な流動構造(吹送流など)を効率よく表現するために、表層を3次元、深水層を鉛直2次元で解析を行うハイブリッド型の数値解析モデルを検討した。模式的には図-1に示すような空間構造を想定したものである。

また、近年、陸水域の流動解析に非静水圧のモデルが比較的多く用いられるようになってきた。これに対して、本研究では、上述のように効率性を重視することから、静水圧近似による流動解析を行うことにした。

(2) 鉛直2次元モデルの概要

本研究で用いた基礎方程式は以下の通りである。

keywords: 貯水池, 数値シミュレーション

連絡先: 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 環境水理学研究室 Tel 022-795-7453 :Fax 022-795-7453

a) 連続の式

$$\frac{\partial(Bu)}{\partial x} + \frac{\partial(Bw)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

b) 運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(Bu)}{\partial t} + \frac{\partial(Bu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(Buw)}{\partial z} \\ &= -\frac{B}{r} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(n_x B \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(n_z B \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$P = \int_z^{z_0} r g dz \quad (3)$$

c) 水温の輸送方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(BT)}{\partial t} + \frac{\partial(BTu)}{\partial x} + \frac{\partial(BTw)}{\partial z} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{Tx} B \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{Tz} B \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{H}{rc_w} \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 t ：時刻、 x ：流下方向の水平座標、 z ：鉛直上向き座標、 B ：ダム湖横断幅、 u ： x 方向流速、 w ： z 方向流速、 T ：水温、 g ：重力加速度、 r ：水の密度、 e ：相対密度差、 P ：圧力、 n_i ： i 方向における渦動粘性係数、 K_{Ti} ：拡散係数である。

(3) 準3次元モデルの概要

本研究では、文献⁹⁾で開発された準3次元モデルを基礎とする。

a) 運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + g \frac{\partial h}{\partial x} = A_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \\ & A_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{(t_{xz})_{k-1/2} - (t_{xz})_{k+1/2}}{r(\Delta z)_k} + \frac{g}{r_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_z^h r' dz' \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + g \frac{\partial h}{\partial y} = A_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \\ & A_y \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{(t_{yz})_{k-1/2} - (t_{yz})_{k+1/2}}{r(\Delta z)_k} + \frac{g}{r_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_z^h r' dz' \end{aligned} \quad (6)$$

b) 連続式

$$w + \frac{\partial}{\partial x} \sum_{m=k}^K (\Delta z)_m u + \frac{\partial}{\partial y} \sum_{m=k}^K (\Delta z)_m v = 0 \quad (7)$$

ここに、 y ：横断方向の水平座標、 v ： y 方向流速、 h ：

自由水面の静水面からの高さ、 A_i ： i 方向の渦動粘性係数、 Δz ：層間の厚さ、 t_{iz} ：層間に作用する i 方向のせん断応力である。

(4) まとめ

本研究では、ダム湖における水質及びアオコ挙動解析に適した湖内流動モデルの基礎的検討を行なった。ただし、ダム湖の形状などについて、簡略化した扱いを考えており、実際のダム湖で実用的に用いるためには、いまだ過大は多い。

参考文献

- (1) 中村昭, 今村瑞穂, 横道雅己：多目的ダム貯水池における濁水長期化調査, 水理講演会論文集, 第24巻, pp.259-264, 1980.
- (2) 小島貞男：カビ臭対策としての湖水人工循環法の経験, 用水と廃水, Vol.26, pp837-844, 1984.
- (3) 工藤勝弘, 河上智行, 山田正：ダム貯水池におけるフォルミディウムとかび臭, 水文・水資源学会誌 第17巻4号, pp.331-342, 2004.
- (4) 梅田信, 宮崎貴紅子, 富岡誠司：曝気式循環施設により生じる貯水池内流動の現地観測, 土木学会論文集, 775, pp55-68, 2004.
- (5) 堀田哲夫, 東海林光, 山下芳浩, 陳 飛勇, 伊藤英夫：選択取水設備の取水性能と水質への影響に関する一考察, ダム工学, Vol.15, pp.28-36, 2005.
- (6) 牧野育代, 寶 馨, 立川康人：流入河川の水質特性と冷水対策が貯水池水質に及ぼす影響, 水工学論文集, 第50巻, pp.1369-1374, 2006.
- (7) 岡村幸弘：ダム貯水池における水質保全施設の運用方法, 河川, No.713, pp.45-48, 2005.
- (8) 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, pp.1363-1368, 2004
- (9) 金山進, 田中仁, 首藤伸夫：非線形分散多層波動モデルの改良と準3次元波動場への適用, 土木学会論文集, No.642, pp.77-86, 2000