

ダム湖流入部温度密度流のシミュレーション

福岡大学	正員	山崎惟義
(株)建設技術研究所	正員	中山比佐雄
ジオスコ	正員	堤敦
九州共立大学	正員	栗谷陽一

はじめに

いくつかのダム湖においてペリディニウムによる淡水赤潮が発生することはよく知られている。この淡水赤潮は秋季から冬期にかけてダム湖の流入端に見られ、その後春季にダム付近へと移動することが多い。また、一般的には表面付に分布しており水深が深くなるに従って急に濃度が減少する。以上のことは次の様に説明されている。すなわち、秋季から冬期にかけて湖内の水温の方が流入水よりも高いため、流入水は沈み込み底に添って流れる。これによる循環流が発生し水面付近には上流に向かった流れが生じ、表面付近のペリディニウムが上流へ輸送される。上流端へ輸送されたペリディニウムは下降流に巻き込まれて一旦は深い所へ輸送されるが、藻類の走光性によって再浮上する。このような運動を繰り返すことによって上流端に集積濃縮される。一方、春季のある時期に流入水の水温が上昇し湖内より高くなると流入水は表面に添って流れる。これによって流入端付近の表層に集積されていたペリディニウムは一気に下流へ押し流され、流入端には見られなくなる。

本研究では上記のペリディニウムの移動集積を温度密度流のシミュレーションによって検証しようと試みたもので、その内今回は循環流の計算を行なった。

支配方程式

ここではダム湖流入端付近の循環流を検討するため、奥行きを考慮した鉛直断面2次元流れを考えたが、岩佐ら¹⁾にならい、鉛直方向の圧力分布は静水圧分布とした。温度と密度の関係はブシネスク近似とし、テーブルを内挿した。また、奥行きの導入は森北ら²⁾にならった。

以上より連続の式は

$$\partial Bu / \partial x + \partial Bv / \partial y = 0 \quad (1)$$

運動方程式は

$$\partial Bu / \partial t + \partial Bu^2 / \partial x + \partial BuV / \partial y$$

$$= -(\rho_0)^{-1} \partial pB / \partial x + R(\partial^2 Bu / \partial x^2 + \partial^2 Bv / \partial y^2) \quad (2)$$

$$p = \rho_0 gh - \int \Delta \rho g dy \quad (3)$$

温度(熱)収支式は

$$\partial BT / \partial t + \partial BuT / \partial x + \partial BvT / \partial y = K(\partial^2 BT / \partial x^2 + \partial^2 BT / \partial y^2) \quad (4)$$

温度と密度の関係は

$$\rho = \rho_0 + \Delta \rho(T) \quad (5)$$

$\Delta \rho(T)$ は数表³⁾の内挿によった。

上記の式を次式⁴⁾によって一般座標に変換した。

$$\partial F / \partial x = [\partial(F \partial y / \partial \eta) / \partial \xi - \partial(F \partial y / \partial \xi) / \partial \eta] / (\partial x / \partial \xi \partial y / \partial \eta - \partial x / \partial \eta \partial y / \partial \xi)$$

$$\partial F / \partial y = [\partial(F \partial x / \partial \xi) / \partial \eta - \partial(F \partial x / \partial \eta) / \partial \xi] / (\partial x / \partial \xi \partial y / \partial \eta - \partial x / \partial \eta \partial y / \partial \xi)$$

ここで F は任意関数である。上記の変換を行い、図1に示した格子に基づいて差分化した。

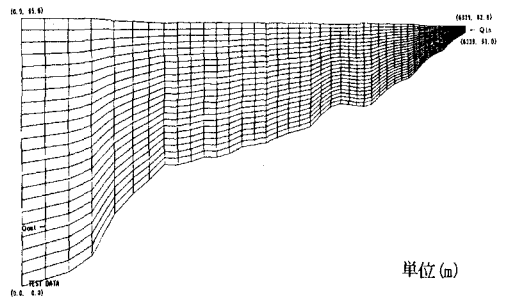


図1 計算に用いた格子分割(52×22)

境界条件

底、ダム壁は滑り壁、断熱とし、表面は $u = \partial h / \partial t$ 温度 20℃とし、下から5番目のセルのみから流出し、流入はダム流入水路からとし、流量は 7.0 m³/s とした。

また、流入水の温度は 15℃とした。

初期の流速は 0 とし、温度は 20℃とした。動粘性係数は岩佐¹⁾らと同様に 0.001

m^2/s 、温度拡散係数は $0.0001 \text{ m}^2/\text{s}$ とした。
計算の時間ステップは 1 s で行なった。

計算結果と考察

10000 秒後の計算例の上流端付近のみを図 2, 3 に示した。これらの図から流入水が下層

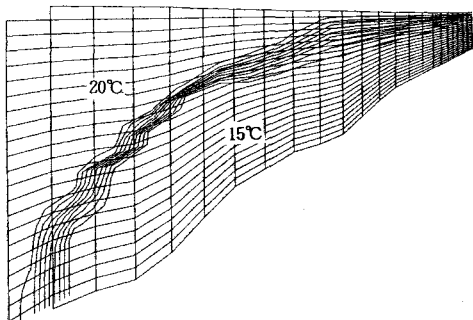


図2 計算結果 (10000秒後における温度分布)

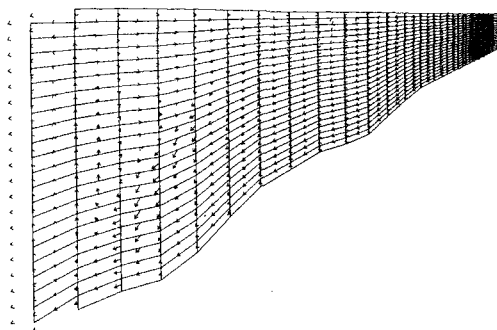


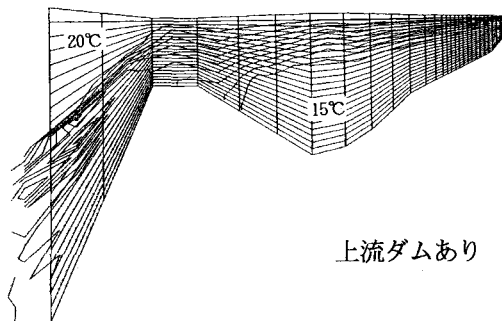
図3 計算結果 (10000秒後における流速)

に侵入し、これによって流入端付近に循環流を生じている様子が分かる。

また、流入端付近に堰を設けたケースについて 25000 秒後の計算結果を図 4, 5 に示した。これらによって循環流が堰によって遮られる様子が分かる。

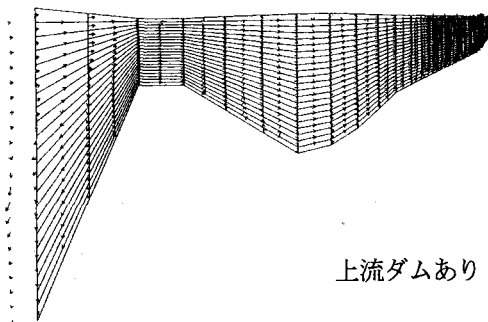
結論

温度密度流によってダム流入端付近の循環流を数値的に計算することができた。また、上流端付近に堰を設けることによって循環流を遮ることができることを示すことができた。今後ペリディニュウムの浮上沈降特性を考慮して淡水赤潮の集積拡散過程のシミュレーションを行ないたい。



上流ダムあり

図4 計算結果 (10000秒後における温度分布)



上流ダムあり

図5 計算結果 (10000秒後における流速)

記号

x, y 水平、鉛直上向座標、 t 時間 u, v 水平、鉛直流速、 B 幅、 ρ 密度、 ρ_0 基準密度、 $\Delta \rho$ 密度変動、 h 水位変動、 g 重力加速度、 T 温度、 ξ, η 一般座標、 R 動粘性係数、 K 温度拡散係数

参考文献

- 1) 岩佐義朗、井上和也、劉樹坤、阿部徹: 琵琶湖湖流の三次元的な解析、京大防災研究所年報、第26号、B-2、1982
- 2) 森北佳昭、畑孝治、三浦進: 貯水池の冷濁水ならびに富栄養化現象の数値解析モデル (その2)、土木研究所資料第2443号、1987
- 3) 理科年表、国立天文台編、丸善、p. 442 (1991)
- 4) Numerical Grid Generation: Joe F. Thompson, Z. U. A. Warsi, C. Wayne Mastin, Elsevier Science Publishing (1985)