

下笠ダム湖の流動特性とその数値解析

中部大学大学院 学生員○加藤 正治
 (財)九州産業衛生協会 児玉 麻衣子
 中部大学 正会員 武田 誠
 中部大学 正会員 松尾 直規

1. はじめに 福岡県に位置する下笠ダム湖では peridinium による淡水赤潮の発生が問題となっており、現在、フェンスを用いた赤潮対策が講じられている。また、下笠ダム湖では上流部に取水堰も存在するため、その流れは複雑である。本研究では、赤潮対策を検討する第1段階として、数値解析を用いて下笠ダムの流動特性を検討する。さらに流れに対する取水堰とフェンスの影響を検討した。

2. 数値解析法 湖沼における流れ場は、水平方向よりも鉛直方向に顕著に変動するため、支配方程式には一次元多層モデルにおける以下の連続式、運動量方程式および水温収支式を用いた。

$$|uB\Delta z|_i^{i+1} + |wB\Delta x|_k^{k+1} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{B\Delta x} |uuB|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} |uwB|_k^{k+1} = -\frac{1}{\Delta x} \left| \frac{p}{\rho} \right|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta x} \left| K_x B \frac{\partial u}{\partial x} \right|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} \left| K_z B \frac{\partial u}{\partial z} \right|_k^{k+1} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{B\Delta x} |TuB|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} |TwB|_k^{k+1} = \frac{1}{B\Delta x} \left| D_x B \frac{\partial T}{\partial x} \right|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} \left| D_z B \frac{\partial T}{\partial z} \right|_k^{k+1} - \frac{1}{\rho C_w B \Delta x \Delta z} |\phi B \Delta x|_k^{k+1} \quad (3)$$

ここに、 i : 流下方向の格子番号、 k : 鉛直上向きを正とする格子番号、 u : x 方向の流速、 w : z 方向の流速、 T : 水温、 B : 河川幅、 p : 圧力、 ρ : 密度、 C_w : 水の比熱、 ϕ : 日射量、 K_x 、 K_z : それぞれ流下方向、鉛直方向の渦動粘性係数、 D_x 、 D_z : それぞれ流下方向、鉛直方向の渦動拡散係数である。なお、水平方向の渦動粘性係数・渦動拡散係数には $0.001l^{4/3}$ (ここに、 $l = \sqrt{\Delta x \cdot \Delta y}$) を、鉛直方向の渦動粘性係数・渦動拡散係数にはリチャードソン数 (R_i) の関数 ($0.001 \exp(-0.5R_i) + 0.000001$) (m^2/s) を与える。

また、今回取り扱った下笠ダム湖は上流域で2つの河川が合流する。そこで、合流地点の運動量輸送については、本川の流下方向に対する支川の合流角度(θ)を考慮してモデル化を行った。

3. 計算条件 本研究では、下笠ダム湖の定性的な流動特性を検討するため、淡水赤潮の発生時期である11月の平均的な諸量を用いて解析を行う。初期条件として水位 328.0m、水温 16°Cの静止状態の場に、河川流量 $5.0m^3/s$ 、流入水温 10.5°C、放水流量 $5.0m^3/s$ 、気温 25°C、日射量は昼夜を考慮し $3MJ/m^3$ が最大となる sin curve で与え、夜は0とした。計算は10日間行い、10日目の結果を用いて検討する。なお、10日目の計算結果をみると、流れにおいてはほぼ定常状態となっていた。

4. 実測値と計算結果との比較 解析モデルの妥当性を検証するために、九州産業衛生協会が行った実測結果と比較する。なお、この実測では淡水赤潮発生時における水理・水質観測を行っており、ダム湖上流域のデータしかない。そこで、図1に示す3箇所のデータを用いて実測値と解析値の比較を行う。それぞれの比較を図2に示す。この図から、流速の鉛直分布が比較的よく類似している場所もあれば類似していない場所もあることが分かる。本研究では、実際の気象データを使用しておらず、11月の平均値を用いている。このことから、実測値と計算値の一致を望むには無理があるが、少なくとも平均的な流れ場の定性的傾向が、実測結果と比較的一致したことから本モデルのある程度の妥当性が言えよう。

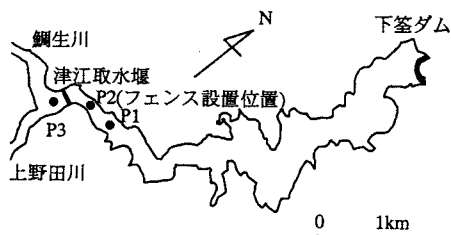


図1 領域図

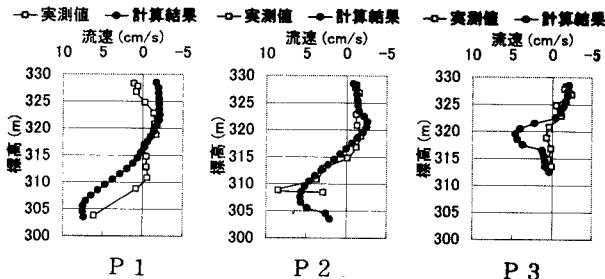


図2 実測値と計算結果との比較

5. 取水堰およびフェンスの流れへの影響

取水堰とフェンス(5m)が無い場合を「Case A」、取水堰がありフェンスが無い場合を「Case B」、取水堰とフェンスがある場合を「Case C」し、それぞれの解析を行うことで、取水堰とフェンスが流れ場に与える影響を検討する。

まず、図3(1)に Case A の解析結果を示す。同図からダム湖内で大規模な循環流が発生しており、河川水は密度が重いため湖底を這うようにして流下していることが分かる。また、表層の補償流は上流の上野田川、鋼生川まで進行している。

つぎに、図3(2)に Case B の解析結果を示す。同図と図3(1)を比較すると、上流部の補償流が減少していることが分かる。流下する下層の流れは堰へ衝突し上昇流を発生させる。そのとき、その上昇流は下流からの補償流と衝突するため、堰より上流域の補償流が抑制されているものと考えられる。

最後に、図3(3)に Case C の解析結果を示す。同図と図3(2)を比較すると、取水堰より上流域の補償流は大きな変化を示していないものの、フェンス付近の流動は大きく変化している。補償流がフェンスと衝突して潜り込みの流れが生じ、その後、浮力効果で上昇する流れが生じており、その場合の流速は大きく減衰していることが分かる。なお、これらの流動特性は、現地観測による知見と定性的に一致しており、このことから本解析モデルの妥当性が言える。

取水堰は上流域の補償流を抑制させる効果があり、それゆえ、淡水赤潮の集積効果も軽減することが予想される。また、フェンスの存在は、補償流を潜り込ませるという効果がある。これは、集積しようとする植物プランクトンを下層へ追いやることとなり、その一部は順流に乗りダム湖底層まで輸送される。一旦、日射の届かない底層に追いやられた植物プランクトンは、上昇して再び日射を受けない限り死滅またはシスト化するであろう。従って、淡水赤潮におけるフェンスによる対策も効果的であろうと考えられる。ただし、十分な効果を得るためには、設置位置の検討、長さの検討を行う必要があと考えられる。

6. おわりに 本研究により、下笠ダム湖の流動特性が定性的に把握でき、流れに及ぼす取水堰およびフェンスの効果が示された。今後は定量的解析を目指し、実際の気象データを用いて解析することと、水質モデルを組み込み検討することで、赤潮対策の検討を行っていきたいと考えている。