

河川内構造物による密度成層の破壊に関する数値計算

中央大学大学院 学生員 ○小澁 晴信

中央大学大学院 学生員 五十嵐 剛

中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

網走湖は河口から約 7km に位置する下層の塩水層と上層の淡水層を持つ汽水湖である。無酸素状態である下層の塩水層が強風によって湧昇現象を起こし青潮が発生し漁業被害が報告されている。網走湖の流入部には滞筋が形成されており、網走川を遡上してきた塩水は滞筋に沿って塩水層まで流入していると考えられる。本論文は、滞筋部分に構造物を設けることにより遡上塩水の塩水層への流入を阻害し塩水の流入を抑制すること、また、上流端から流量を与え塩水を吸出し塩淡水境界を下げることをそれぞれ目的とした数値計算を行い、その結果を示すものである。

2. 網走湖仮想プールにおける滞筋内構造物の影響評価

2. 1 基本式

図-1 は計算に用いた網走湖を想定した擬似湖の概要の平面図と縦断面図である。計算で用いた基礎式は(1), (2), (3), (4)式である。数値解放には ADI 法を用い、乱流モデルは鉛直方向に 1 次元の $k-\varepsilon$ モデル、水平方向には Smagorinsky モデルを使用した。浮力による効果としては(5)式、乱流シュミット数は(6)式、局所リチャードソン数は(7)式をそれぞれ用いた。

2. 2 計算条件

$\Delta x=50\text{m}$, $\Delta y=50\text{m}$, $\Delta z=0.5\text{m}$, $\Delta t=5\text{s}$, マニングの粗度係数 0.03(底面, 壁面一定)を与え、初期条件として初期塩分濃度を水深 5m 地点に塩淡水境界層を設け上層の淡水層に 7[psu](淡水層鉛直方向一定), 下層の塩水層に 25[psu](塩水層鉛直方向一定)を湖内一定で与えた。境界条件は上流端に $v=0.03 [\text{m/s}]$ (断面一様), $Q=30[\text{m}^3/\text{s}]$, 塩分濃度 0[psu](断面一様), 下流端には潮位(潮位変動 1m), 塩分濃度を淡水と塩水の二層構造とし塩淡水境界を水深 2.5m 地点に設け淡水層に 7[psu](淡水層鉛直方向一定), 下層の塩水層に 25[psu](塩水層鉛直方向一定)をそれぞれ与えた。

2. 3 計算ケース

滞筋がない場合を Case1 とし、滞筋がある場合を Case2, 滞筋があり、且つ滞筋内に構造物を設けその形状により Case3 ~ Case6 までの計算を行った。滞筋は図 1 に示すとおりであり、Case2~Case6 には同形状の滞筋を用いた。Case3 は下流端から 1.5km 地点に高さ 1.5m(滞筋の深さと同じ高さ), 幅 50m(滞筋と同じ幅)の構造物を配置したものとし、以後 Case4 ~ Case6 の構造物幅は Case3 と同じである。Case4 は高さ 1m の構造物を下流端から 1km の地点に、Case5 は高さ 2.5m の構造物を下流端から 1.5km の地点に、Case6 は 2 つの構造物を下流端から 1.5km の地点に高さ 2.5m 下流端から 1km の地点に高さ 1.0m の構造物をそれぞれ設けたものとする。

2. 4 計算結果

図 2-1, 2, 3, 4 は下流端から塩水が遡上してくる様子を Case1 ~ Case6 で同時刻に比した図である。滞筋内構造物は図中の白塗り部分である。図 2-1 は潮位が上がり始めてから 90 分後の鉛直方向の塩分濃度分布コンター図である。この図から Case1 と Case2~Case6 を比べると滞筋の有無によって塩水の流入速度に違いが見られる。滞筋のある Case2~Case6 では滞筋が無い Case1 に比べ塩水が早く高濃度で流入する。図 2-2 は潮位が上昇し始めてから 120 分後の鉛直方向の塩分濃度分布コンター図である。この図から滞筋に設けた構造物の位置や高さの違いによって塩水の流入の仕方に違いがあることが分かる。構造物を設けていない Case2 では最も早く塩水が流入している。また Case4 は Case2 と比べ塩水の流入の仕方に殆ど差は見られず塩水の流入を抑制する効果はあまり見られない。Case5 と Case6 が最も塩水の流入を抑制しており、この Case5 と Case6 間の塩水流入形態に差異はあまり見られない。図 2-3 は潮位が上昇し始めてから 150 分後

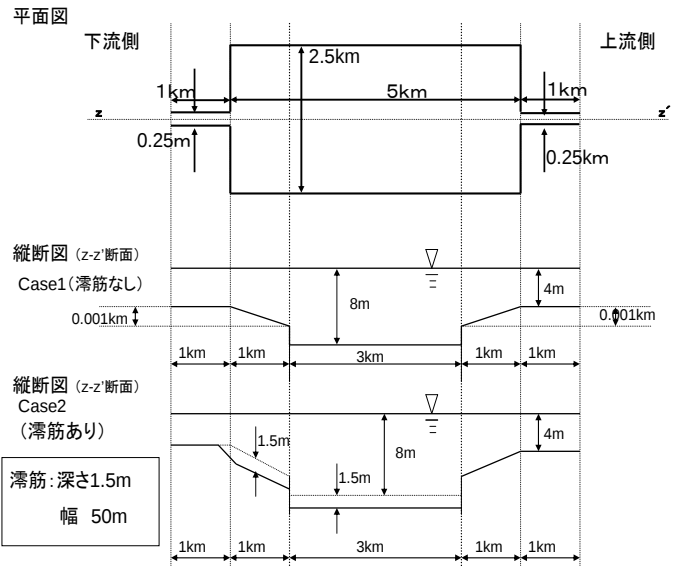


図-1 網走湖を想定した擬似湖の概要

・連続式	$\frac{1}{\rho_s^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j} = SS \quad (1)$
・運動方程式	$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \nu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \right\} + u_i SS \quad (2)$
・移流拡散方程式	$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (S u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D_s \frac{\partial S}{\partial x_j} \right) + SS \quad (3)$
	$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (T u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D_t \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + SS \quad (4)$
・浮力による生成	$G = \frac{g}{\rho} \frac{\nu_T}{\sigma_T} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (5)$
・シュミット数	$\sigma_T = \frac{\left(1 + \frac{10}{3} R_i \right)^{3/2}}{1 + 10 R_i} \quad (6)$
・局所リチャードソン係数	$R_i = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right\}^{-1} \quad (7)$
ρ : 密度	ν_T : 渦動粘性係数 [m^2/s]
c_s : 塩水での音速	δ : クロネッカーのデルタ
u_i : x_i 方向の流速	k : 乱流の変動エネルギー
P : 圧力	D_s : 塩分の拡散係数 [m^2/s]
g_i : 重力加速度	D_t : 温度の拡散係数 [m^2/s]
S : 塩分濃度	k : 単位質量当たりの乱流変動エネルギー
T : 温度	ε : エネルギー散逸率
	C_M : 経験的に決定される定数

キーワード: 塩水遡上, 滞筋

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL03-3817-1805 E-mail:h-k@civil.chuo-u.ac.jp

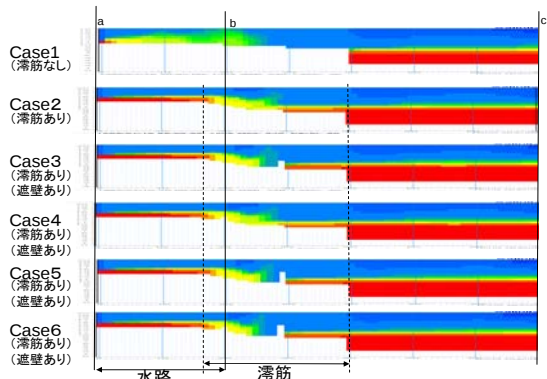


図 2-1 潮位上昇開始から 90 分後の鉛直方向の塩分濃度

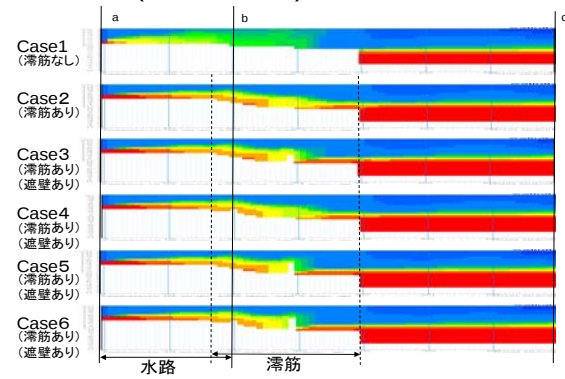


図 2-2 潮位上昇開始から 120 分後の鉛直方向の塩分濃度

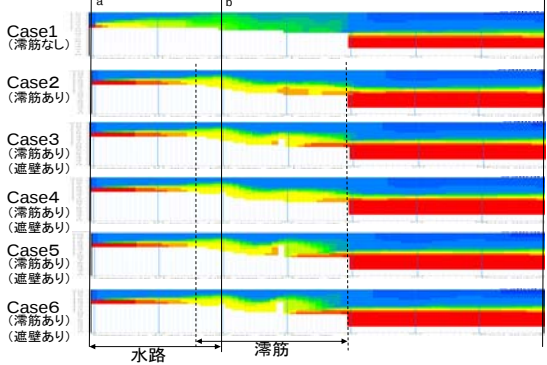


図 2-3 潮位上昇開始から 150 分後の鉛直方向塩分濃度

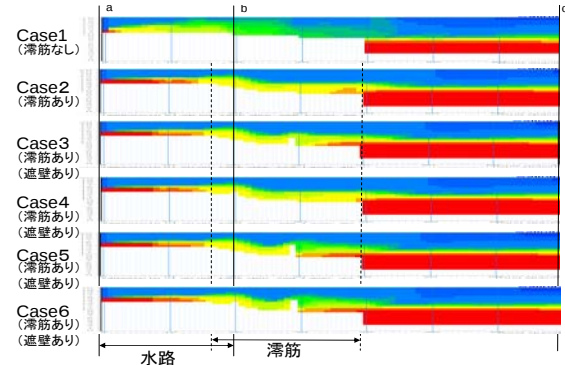


図 2-4 潮位上昇開始から 180 分後の鉛直方向の塩分濃度

の鉛直方向の塩分濃度分布コンター図である。Case3,5,6 において構造物の下流側に流入してきた塩水が高濃度で溜まっている。また構造物によって流入してきた塩水の塞き上げが見られる。図 2-4 は潮位が上昇始めてから 180 分後の鉛直方向の塩分濃度分布コンター図である。この図より滞筋に構造物を設けることにより構造物の上流側で最大 5[psu]程度の塩分濃度の差が見られる。

3. 網走湖仮想モデルにおける塩水吸出し計算

3. 1 基本式

基本式は 2. 1 で示したものと同様の式を使用した。

3. 2 計算条件

Δx , Δy , Δz , Δt , マニングの粗度係数及び初期条件は 2. 2 で用いた条件を使用した。境界条件は図 3-1 に示しているような実際に網走湖で観測された流量を上流端に与え上流端境界条件とし、下流端には同時刻の網走湖の下流約 7km 地点の実測水位を与え、塩分濃度は上流端及び下流端共に 2. 2 で用いたのと同様の分布を持つ塩分濃度を与えこれを下流淡境界条件とした。

3. 3 計算結果

図 3-2 は出水の前と後で塩分濃度のコンター図を比較した図である。コンターは図 2 と同じものを使用した。①が出水前で②が出水後のコンター図である。この図より出水の前と後で塩淡境界は図 3-3 より約 1m 下がり、塩淡境界より上層の淡水層の塩分濃度は約 5 [psu] 減少した。これは出水と共に塩水よりも比重の軽い上流端から流入した淡水が塩水層の上を滑るようにして塩淡境界付近の塩水を下流へ押し流していったものだと考えられる。また塩淡境界層より下層の塩水層の塩分濃度の変化は見られない。

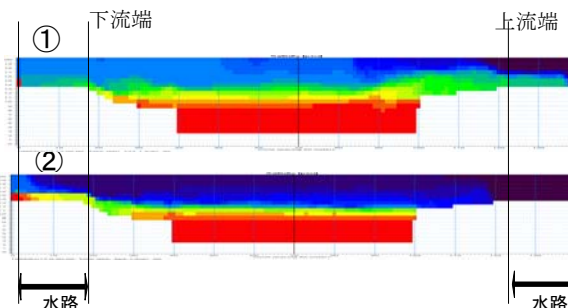


図 3-2 出水の前後の塩分濃度分

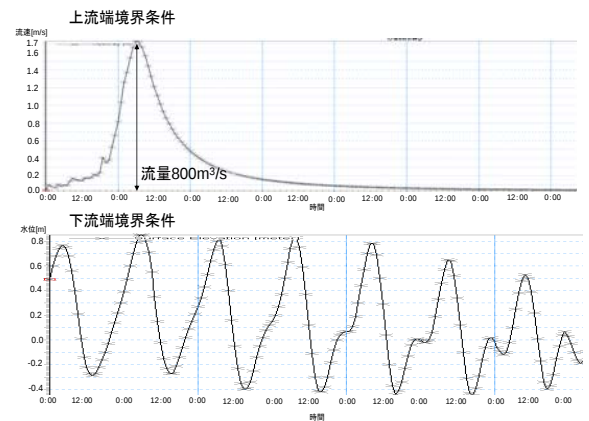


図 3-1 実測の流量及び潮位

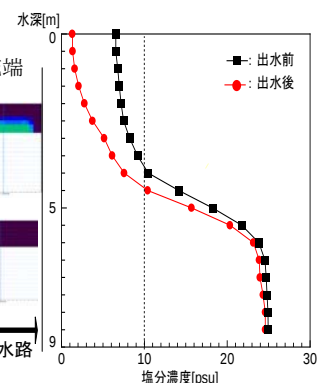


図 3-3 湖心での塩分濃度分布

4. まとめ

- (1) 滞筋の有無によって塩水の遡上速度及び湖内への塩水の流入量に差が見られる。
- (2) 滞筋内の構造物の有無によって塩水の流入の仕方に違いが見られる。最も塩水の流入量を抑制しているのは Case5, 6 であり滞筋内に構造物の無い Case2 と比べ構造物の上流側で 3~5[psu]程度の塩分濃度の上昇抑制効果が見られた。
- (3) 塩水の吸出し計算では出水の前後で塩淡境界が出水の前に比べ出水の後では約 1m 低下した。また塩淡境界よりも上層の塩分濃度は上流側に与えた塩分濃度が低く塩水よりも比重の軽い淡水が塩水層の上層を滑るようにして流下したために塩分濃度の低下が見られた。