

河口堰下流域における流れと塩分変動の数値解析

中部大学 ○横井雅子 神谷智沙貴 山田 誠

中部大学 正会員 武田 誠

中部大学 フェロー 松尾直規

1. はじめに

長良川河口堰の建設に伴い堰上下流域ともに水質問題が懸念され、近年では特に堰下流域の溶存酸素の低下や低泥のヘドロ化などが問題視されている。本研究では、水質変動に大きな影響を与える流動特性および塩分変動を解析するための数値解析モデルを構築し、それらの再現を目指した。なお、長良川・揖斐川では、水質監視を目的として国土交通省・水資源開発公団により水質監視装置が設置され、毎時の観測が行われている。本研究ではそれらのデータを境界条件および比較検討資料として用いている。

2. 数値解析

用いた支配方程式は以下に示す連続式、運動方程式、塩分の収支式である。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad \dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad \dots (3) \end{aligned}$$

$$p = \int_z^s \rho g dz \quad \dots (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} + \frac{\partial wS}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad \dots (5)$$

ここに、 x, y, z : 平面方向 (南、東) および鉛直方向の座標、 u, v, w : それぞれ x, y および z 方向の流速、 S : 塩分、 ρ : 密度、 p : 圧力、 g : 重力加速度、 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$: それぞれ x, y および z 方向の渦動粘性係数、 k_x, k_y, k_z : それぞれ x, y 及び z 方向の渦動拡散係数、 z_s : 水位、 t : 時間である。ただし、 z 方向の運動量方程式は、 w に関する項が重力加速度 g よりもはるかに小さいものとみなし、上記の静水圧近似の式を用いる。密度には水温一定 (17°C) とした場合の状態方程式 (knudsen の式) を用いて求めた。

数値解析には差分法を用い、時間項には前進差分、移流項には DONOR スキーム、その他の項には中央差分を用いた。また、潮汐変動を考慮するため、表層層厚の最小値が基準層厚の 1.6 倍の場合は表層を一つ増やし、0.4 倍の場合は表層を一つ減らして水位に応じて計算格子を増減させた。さらに、対象とする領域には河口堰が存在し、その上下流では堰の運用に伴い水面が二つに分断される。この場合、堰操作がオーバーフ

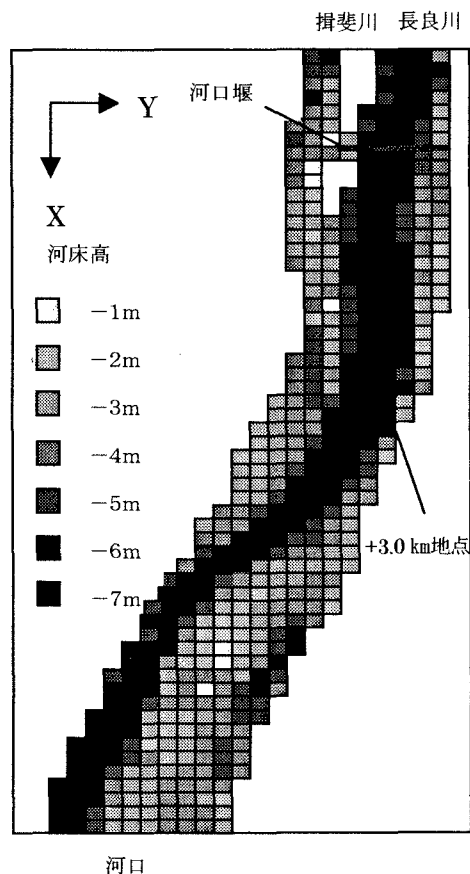


図1 領域図

ローの場合は、堰天端から越流する流速を本間の越流公式で算出しその流量を堰直下流の表層格子に与えた。また、堰操作がアンダーフローの場合には、式(2)の運動方程式を直接解いている。洪水時には堰を全開するため、このときは堰がないものとして解析を行った。

3. 計算領域と計算条件

対象とした長良川と揖斐川の計算領域を図1に示す。この領域を x 、 y 方向共に 100m の格子で分割した。水平方向の渦動粘性係数、渦動拡散係数は試行錯誤的に $0.1\text{m}^2/\text{s}$ を、鉛直方向のそれらにはリチャードソン数 (R_i) の関数として $0.001\exp(-0.5R_i)+0.000001\text{m}^2/\text{s}$ を与えた。解析期間は洪水が生じた平成10年5月12日7時～5月21日0時までである。塩分濃度の初期値を堰上流側 0 PSAL、下流側 20PSAL とし、初期水位には堰管理所で計測された値を用いた。さらに、境界条件には図2に示す堰管理所で計られた長良川河川流量、堰下流水位を与えた。また、長良川上流からは淡水が流入するものとし、下流端の塩分には水質自動監視装置ジョーくん(河口から -0.5km)で計られた図3の値を水深方向に補正して与えた。揖斐川における境界条件は水位と流速の勾配をゼロとし、そのままでは不安定な解析となったため流量の上限値を $400\text{m}^3/\text{s}$ とした。なお、図2から5月13日20時から5月14日15時の間、堰上流水位も堰下流水位と同じく潮汐の影響を受けて変動していることが分かる。

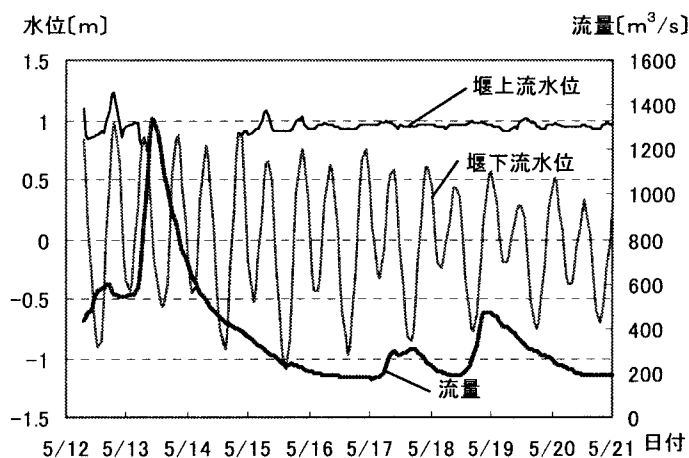


図2 長良川河川流量と堰上下流水位

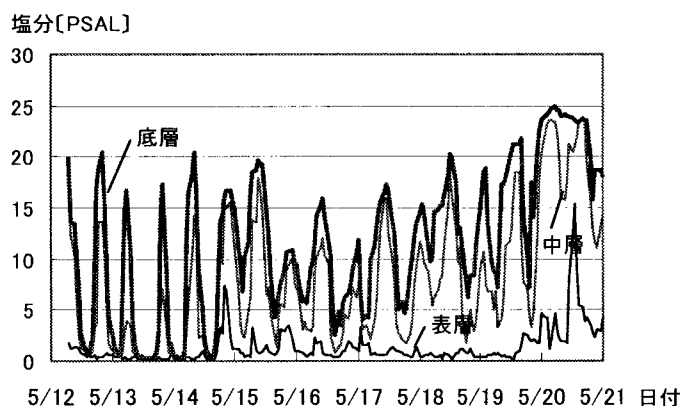


図3 水質自動監視装置ジョーくんにおける塩分値

4. 長良川河口堰下流域における洪水後の塩分変動

本解析により河口堰下流域図4に河口から +3.0km 地点における塩分と同地点の水質監視装置イーナちゃんにおける塩分の時間変化を示す。本図から計算値は観測値と同様に洪水直後に低下し、流量が約 $400\text{m}^3/\text{s}$ に低下しゲートが閉められた時期に塩分値が高くなっていることが分かる。その後の解析結果の全体的な塩分の変動傾向は観測値と類似しているが、観測値にみられる周期的な塩分の変動が解析値では再現されておらず、今後の検討課題として残った。

5. おわりに

本研究では、長良川河口堰下流域における流れと塩分変動の数値解析を行い、概ね良好な結果を得た。ただし、潮汐変動に起因する塩分変動が再現されておらず引き続き検討していく予定である。さらに、実際に問題となる DO 変動についても解析モデルに組み込んで詳細な検討を行いたいと考えている。

参考文献 1)建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社：平成10年度長良川河口堰モニタリング年報。2)武田・松尾・酒井・吉戸：長良川河口堰下流域の流動特性とDO変動に関する研究，海岸工学論文集，第48巻、pp.426-439，2001。

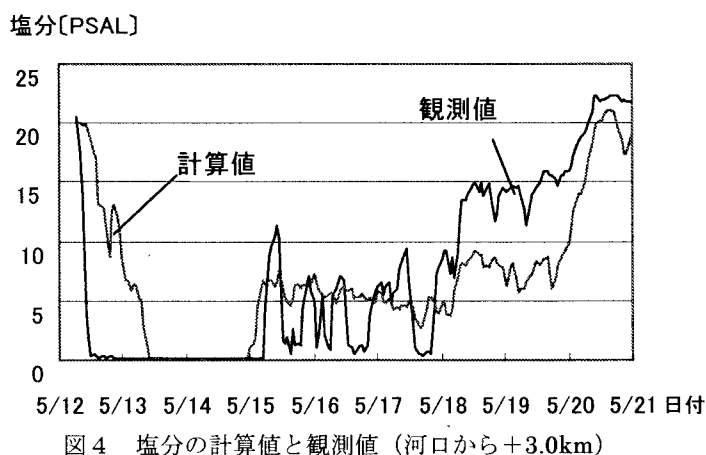


図4 塩分の計算値と観測値(河口から+3.0km)