

感潮河川における塩水遡上の数値シミュレーション

九州大学大学院 学生員○安達 貴浩
九州大学工学部 正 員 小松 利光
九州大学工学部 正 員 朝位 孝二
九州大学大学院 学生員 矢野真一郎

1. 緒言

筑後川にみられるような感潮河川域では、河川上流からの淡水流入と、潮汐運動による海域からの塩水の侵入により複雑な密度流場を形成している。その独特な水理条件によって形成される自然形態は貴重種を含む種々の生物にとって不可欠な生活環境水圏にもなっている。また、水資源を有効に利用するために河口域に堰が建設されることも多いため、今後の水資源開発が生態系に与える影響を考える上でも、感潮河川域の塩分分布の挙動を正確に予測することは重要である。

強混合型、緩混合型、弱混合型といった感潮河川の混合形態の変遷を同時に再現できる鉛直2次元拡散数値モデルを構築することを本研究の目的とし、ここではその第一段階としてモデル河口での計算を行った。

2. 基礎方程式

図-1に示すような河床が平坦なモデル河口についての計算を行った。河床に沿って河川上流方向にx軸を、それと垂直かつ上方にy軸をとり、ブシネスク近似、静水圧近似、境界層近似を適用すると、基礎式は以下になる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial(UU)}{\partial x} + \frac{\partial(VU)}{\partial y} &= -(1+R)g_x - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right\} \\ \frac{P}{\rho_0} &= g_y(h-y) + g_y \int_y^h R dy \\ \frac{\partial R}{\partial t} + \frac{\partial(UR)}{\partial x} + \frac{\partial(VR)}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial R}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial R}{\partial y} \right) \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} &= 0 \end{aligned}$$

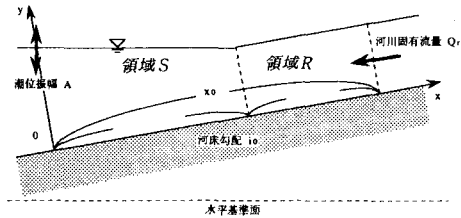


図-1 モデル感潮河川の模式図と座標系

ただし、U,Vはx,y方向の流速成分、 g_x, g_y はそれぞれ重力加速度のx,y方向成分、 ρ_0 は基準密度、Rは相対密度差、Pは圧力、hは水深、 σ_t は乱流シュミット数、 ν_t は渦動粘性係数である。

3. 渦動粘性モデル

密度の非一様性から生じる浮力の効果を考慮して、以下のような渦動粘性モデル¹⁾を用いる。

$$\nu_t = \begin{cases} \nu_{tN}(1+2.5R_i)^{-1} & (R_i > 0) \\ \nu_{tN}(1-2.5R_i)^{1/3} & (R_i < 0) \end{cases} \quad \text{ここで、} \quad \nu_{tN} = l^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right|, \quad l = ky, \quad R_i = -\frac{g_y}{\rho} \frac{\partial \rho / \partial y}{(\partial U / \partial y)^2} = -\frac{g_y}{1+R} \frac{\partial R / \partial y}{(\partial U / \partial y)^2}$$

ただし、 R_i は局所勾配型リチャードソン数、 ν_{tN} は中立状態における渦動粘性係数である。

4. 数値計算

以上のような基礎式を用い、満潮時を初期条件とし、モデル河口における数値シミュレーションを行った。

格子系にはスタッガード格子を用い、移流項の差分には、運動方程式では2次精度ドナー・セル法を、拡散方程式では1次精度風上差分を採用した。解析の際に用いる諸条件は、表-1、表-2、表-3に示す。

表-1 境界条件

(上流端)	(下流端)	(水表面)	(底壁面)
$q(x=x_0) = q_t = 1.15(m^2/sec.)$ $h(x=x_0) = h_0 = 4.0(m)$ $R(x=x_0) = 0.00$	$h(x=0) = h_m(x=0) - A \left\{ 1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right\}$ (T:M2潮潮流周期, A:潮流振幅) $\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial x} = 0$ $R(x=0, y) = 0.02 \quad (U(x=0, y) > 0)$ $\frac{\partial R}{\partial x} = 0 \quad (U(x=0, y) < 0)$	$\frac{\partial U}{\partial n \text{ surface}} = 0$ n: 水表面に対して法線方向	$U_{y=0} = V_{y=0} = 0$ $\frac{\partial R}{\partial y} = 0$

5. 結果の考察

河口下流端における潮位振幅を $A=1.0\text{ (m)}$ として計算を行った。計算時間短縮のため、不安定な成層 ($Ri<0$) では、中立状態の渦動粘性係数を採用した。計算結果の例として、6周期目の満潮時、最大下げ潮時、干潮時、最大上げ潮時における流速ベクトル図 (図-2) を示す。上流からの淡水流入が比較的大きいため、下げ潮時の流速はほぼ相似的な分布を示すが、上げ潮時において、河口境界付近の流速は密度効果により変形する。

更に、密度が流れ場に与える影響を考察するため、均一密度流場における往復流のシミュレーションとの比較を行った。両者の違いが顕著である $x=2\text{ (km)}$ 地点の満潮時における流速分布を図-3に示す。密度流では、流下方向の密度差により下層部の流速が増加していることが確認できた。

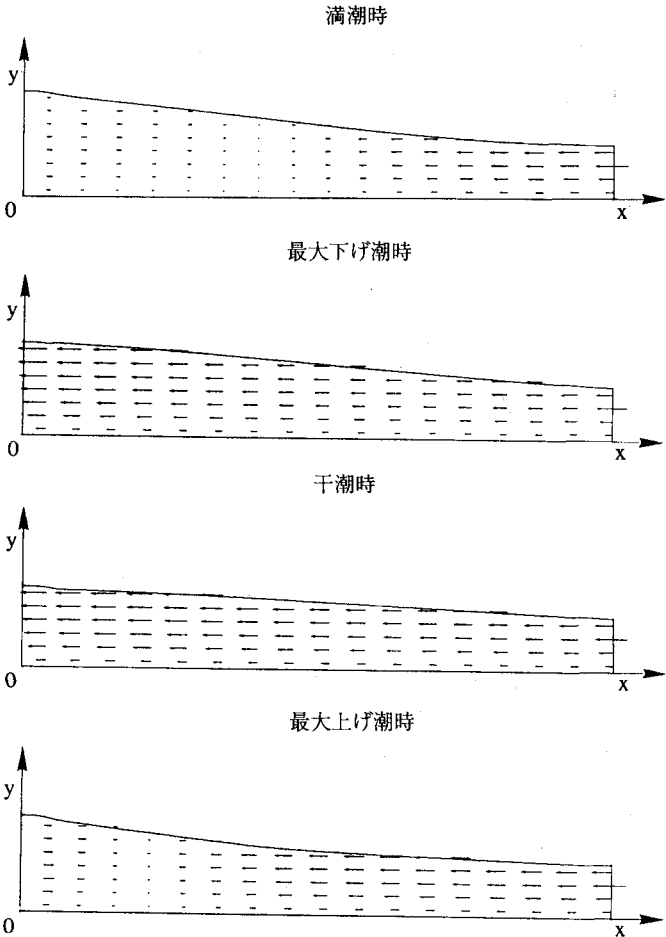


図-2 潮汐運動に伴う流速分布の変遷

6. 終わりに

今回は、幅方向に現象が一様であると思なしたモデル河口を対象に計算を行ったが、今後、実際の河口域についてもシミュレーションを行い、幅方向の分散効果などを組み込んだ2次元モデルの完成を目指したい。

7. 参考文献

(1) HIROMASA UEDA, SHIGEKI MITSUMOTO and SATORU KOMORI : Buoyancy effects on the turbulent transport processes in the lower atmosphere、Quart.J.Met.Soc.、P.P.561-578,1981

表-2 初期条件

S領域の長さ
$L_s = 40000\text{ (m)}$
初期水深
$h_{in}(x) = \begin{cases} h_0 + (L_s - x) i_0 & (0 \leq x \leq L_s) \\ h_0 & (L_s \leq x \leq x_0) \end{cases}$ $h_0 = 4.0\text{ (m)}$
初期流速
$U_{in}(x) = \begin{cases} 0 & (0 \leq x \leq L_s) \\ U_0(y) & (L_s \leq x \leq x_0) \end{cases}$ $U_0(y)$; 対数分布

表-2 計算条件

時間格子間隔	$\Delta t = 1.0\text{ (sec.)}$
計算格子間隔	$\Delta x = 1000\text{ (m)}$ $\Delta y = 1\text{ (m)}$
乱流シュミット数	$\sigma_t = 1.0$
計算対象領域の長さ	$x_0 = 50000\text{ (m)}$
河床勾配	$i_0 = 1/10000$

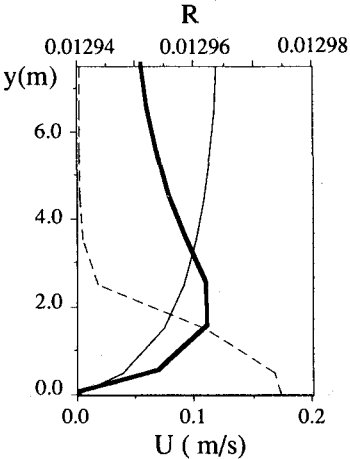
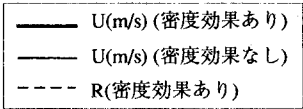


図-3 密度効果の有無による流速分布の違い