

愛媛大学工学部 正 員 伊福 誠
愛媛大学大学院 学生員 〇楠 芳洋
(株) 同和工営 木戸義文

1. はじめに

従来、河川における塩水の浸入の現象の再現は、二層流モデルを用いてきた。しかしながら、蛇行部や砂州が形成されているような場所では、河川の横断方向への勾配は一樣ではなく、河床地形はより複雑なものではないかと考える。さらに、感潮河川では潮汐波の伝播に伴って河道内の水位は時間的に変動する。

こうしたことから、本研究では潮汐の伝播を考慮した河口密度流の流速場の2次元数値モデルを構築し、既存の実験結果に基づく解析を行い、その有用性を検証しようとしたものである。

2. 数値計算

解析対象領域を矩形として取り扱うと、境界における取り扱いが容易になり、領域内の流れ場を記述するのに好都合である。そこで、支配方程式であるレイノルズ方程式、連続の式、水面形の方程式および乱流拡散方程式に対して座標変換を行い、流れ場や塩分の分布を計算した。なお、渦動粘性係数は、SGS(subgrid-system)を用いた。また、乱流拡散係数は、水平および鉛直方向の速度成分に依存すると仮定する。

図1は、境界条件を示したものである。

水平方向は80分割、鉛直方向は10分割し、時間刻み Δt は潮汐の周期を1,000等分し、20周期間計算した。

$$\begin{aligned} & p=0 \\ & \partial u / \partial z = 0 \\ & w_{\xi} = \partial \xi / \partial t + u_{\xi} (\partial \xi / \partial x) \\ & w_{\xi} S - K_{zz} (\partial S / \partial z) = 0 \\ & \xi: \text{正弦型} \\ & \partial^2 u / \partial x^2 = 0 \\ & \text{flood: } u > 0 \\ & S = \text{正弦型} \\ & \text{ebb: } u < 0 \\ & \partial^2 S / \partial x^2 = 0 \end{aligned} \quad \begin{array}{c} \text{自由水面 } z=\xi \\ \text{下流} \quad \text{上流} \\ \text{河床 } z=z_b \end{array} \quad \begin{array}{l} u: \text{放物型} \\ S=0 \end{array}$$
$$\begin{aligned} & \partial p / \partial z = -\rho g + \partial \tau_{xz} / \partial x + \partial \tau_{zx} / \partial z \\ & \partial S / \partial z = 0 \\ & \text{slip} \\ & \partial u / \partial z = 0, \quad w = 0 \end{aligned}$$

図1 境界条件

3. 解析結果

(1) 小松ら(1996)の実験結果との比較

(a) 塩分の鉛直分布

図2(a)は、河口からの距離が3 mの地点における塩分の鉛直分布を示したものである。また、図中の黒丸、黒矩形および黒三角と白丸、白矩形および白三角は、それぞれ満潮時、一潮汐平均および干潮時の実験結果と計算結果である。なお、 S_0 は下流境界における塩分の最大値(海域の塩分)である。満潮時において底面で

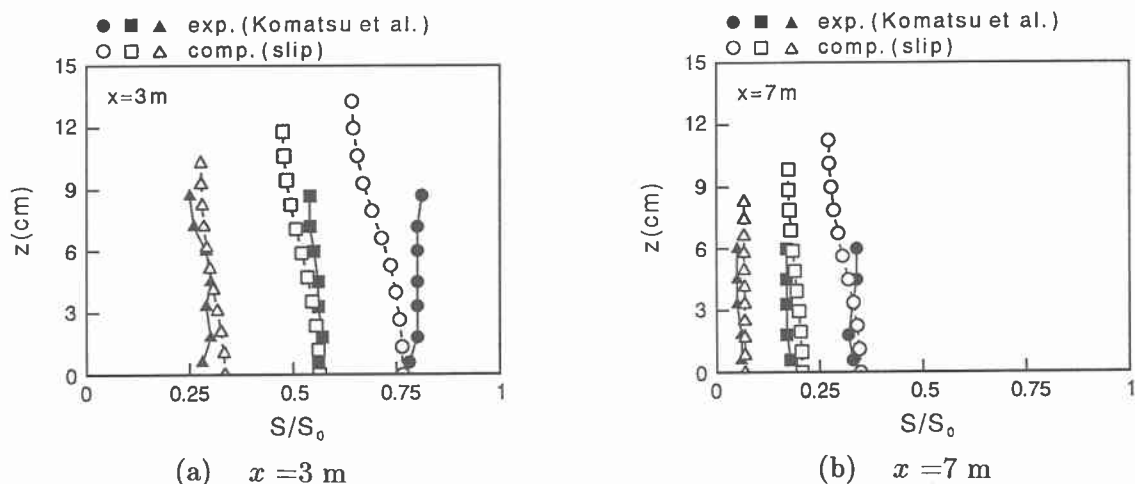


図2 塩分の鉛直分布

の差はないものの上層付近では鉛直勾配が大きく実験結果と計算結果との差は大きい。一方、一潮汐平均および干潮時においては実験結果と計算結果はよく符合する。

図2(b)は、河口からの距離が7 mの地点における塩分の鉛直分布を示したものである。全体的に実験結果と計算結果はよく符合している。

強混合の実験結果を比較的うまく再現し得た乱流拡散係数を評価する際に用いた各係数の値は、それぞれ $\gamma_x = 0.001$, $\gamma_z = 0.015$ および $c_1 = 100$ であった。これらの係数をコントロールすることによって種々の混合形態を再現することが可能である。

(b) 断面平均した塩分の空間分布

図3は、断面平均した塩分の空間分布を示したものである。なお、図中の黒丸、黒矩形および黒菱形は、それぞれ潮汐の振幅が0.5, 0.85および1.5 cmの実験値、実線、点線および破線は、それぞれ振幅が0.5, 0.85および1.5 cmの計算値である。振幅が0.5 cmの場合(強混合)における河口から3および7 m地点では実験値より計算値の方が小さな値を示している。また、河口から10 mをこえた地点では僅かながら実験値より計算値の方が大きな値を示している。振幅が0.85 cmの場合(緩混合)には、河口から5 mの地点まではよい一致を示しているが、河口から7 mの地点では実験値より計算値の方が大きな値を示している。また、振幅が1.5 cmの場合(弱混合)には、河口から3 mの地点において実験値と計算値の間に僅かな差違はみられるものの全体的には良く一致している。

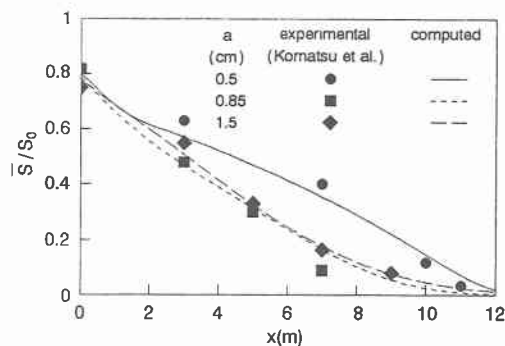


図3 断面平均した塩分の空間分布

(2) 塩水侵入の特性

(a) 乱流拡散係数を評価する係数

図3の3つの混合形態を再現する際に用いた乱流拡散係数中の係数について示したのが図4である。解析では γ_x は0.001に固定した。なお、 R_{iE}^* は、Fischer(1979)による modified estuarine Richardson 数である。潮汐の振幅が大きい強混合の場合 ($R_{iE}^* \approx 5$) には γ_z/γ_x は最大であり、 R_{iE}^* が増大する、すなわち混合形態が緩混合や弱混合になるにつれて γ_z/γ_x は減少する。

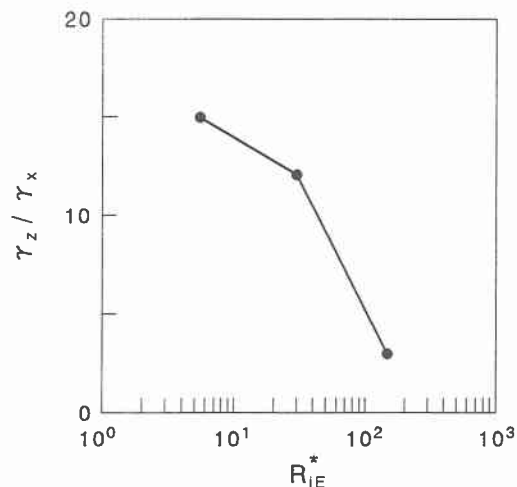


図4 γ_z/γ_x と R_{iE}^*

(b) 塩水侵入距離

図5は、塩水侵入距離の位相変化を示したものである。強混合から緩混合に変化する場合、すなわち R_{iE}^* が3.5~5.5に変化する場合、侵入距離は急激に減少し、その変化量は約2 m程度である。また、侵入距離が最小となる R_{iE}^* は、30~70の範囲にある。なお、これらの範囲の混合形態は緩混合である。緩混合から弱混合に変化する領域、すなわち R_{iE}^* が68~150では、塩水侵入距離は約1.5 m程度増大している。また、位相ごとの変化をみると塩水侵入距離は位相が0.25の場合に最大となり、位相が0.75で最小となる。この塩水侵入距離の挙動は、河口部で正弦波として与えている潮汐変動と対応している。

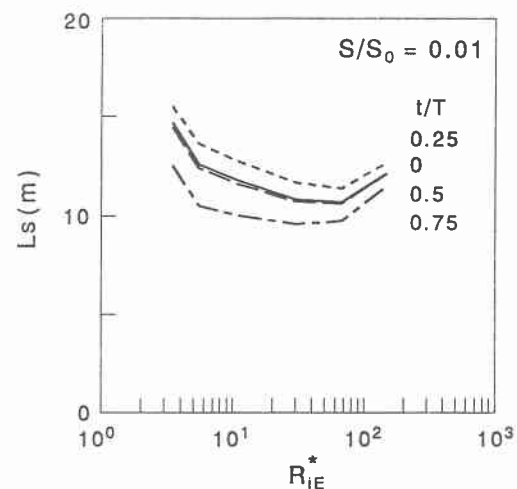


図5 塩水侵入距離と R_{iE}^*