

II-262

河口流動特性の数学モデルの開発

大阪大学大学院 学生会員 山本多成

大阪大学大学院 学生会員 安田幸司

建設技術研究所 正会員 大屋敬之

大阪大学工学部 正会員 中辻啓二

1. はじめに

河口密度流はその混合形態により、強・緩・弱混合の3タイプに分類することができる。その密度流を再現するモデルも実際の混合形態に対応して異なる。塩水楔が発達する弱混合では2層モデルでまかなえるが、強混合を扱うには多層位モデルが必要とされる。現在、弱混合から強混合まで連続的に表現できるモデルは存在しない。そこで本研究では、流れと密度分布を支配する方程式を解くことによって、普遍的な数値モデルの開発をめざす。

2. 基礎方程式

基礎方程式として、連続式、水平および鉛直方向の運動方程式、塩分の拡散方程式、密度の状態方程式を用いる。一般には静水圧近似が適用されるが、ここでは非静水圧と扱う。非線形項の扱いについては、流速の変動の大きさを平均流速の空間的な勾配に比例すると考え、乱流モデルの導入を行う。本研究では、中立状態の渦動粘性係数と渦拡散係数を定数として代表値を与え、成層状態下における鉛直方向の渦動粘性係数と渦動拡散係数をリチャードソン数による成層化関数を用いて求めてみる。

3. 離散化

離散化に際し、本研究ではSIMPLE法を適用した。SIMPLE法は計算の際、圧力そのものでなく、その補正量を従属変数とする圧力補正式を質量保存式の変形として扱っている。例えば、圧力が既知の境界では圧力の補正値が0、速度が既知の境界では補正値の勾配が0というように、圧力に関する境界条件の設定が極めて容易になっている点にこの手法の大きな利点がある。

また、基礎方程式をすべて一般形保存式、

$$\frac{\partial \Phi^*}{\partial t^*} + \frac{\partial}{\partial x^*} \left(U^* \Phi^* - \Gamma_x^* \frac{\partial \Phi^*}{\partial x^*} \right) + \frac{\partial}{\partial z^*} \left(W^* \Phi^* - \Gamma_z^* \frac{\partial \Phi^*}{\partial z^*} \right) = S^*$$

のような形で変換することにより、プログラミングにおいて都合が良く、汎用性のあるものとなる。各基礎方程式ごとに対応する各項を下に示す。

表-1 各支配方程式の対応表

支配方程式	ϕ^*	Γ_x^*	Γ_z^*	S^* (生成項)
連続方程式	1	0	0	0
x方向運動方程式	$U^* = \frac{U}{U_{ref}}$	$\frac{\nu + \nu_{tx}}{U_{ref}}$	$\frac{\nu + \nu_{tz}}{U_{ref} L_{ref}}$	$-\frac{\partial P^*}{\partial x^*}$
z方向運動方程式	$W^* = \frac{W}{U_{ref}}$	$\frac{\nu + \nu_{tx}}{U_{ref} L_{ref}}$	$\frac{\nu + \nu_{tz}}{U_{ref} L_{ref}}$	$-\frac{\partial P^*}{\partial z^*} - \rho^* R_i$
拡散方程式	C^*	$\frac{K + D_x}{U_{ref} L_{ref}}$	$\frac{K + D_z}{U_{ref} L_{ref}}$	0

4. 計算領域

シミュレーションにあたっては、水深10mの河口で、河口端より20km上流までを対象とした2次元水路を扱った。勾配は1/3000としている。計算のための格子網は水平(x)方向に100、鉛直(z)方向に31に分割している（図-1参照）。

無次元化に際し、特性長さ L_{ref} は河口水深の 10m とし、特性速度 U_{ref} は河口における流入口での平均速度 0.1m/s を、特性密度 ρ_{ref} は淡水密度 1.0g/cm^3 を用いた。境界条件については、上流端で水の密度 1.0g/cm^3 を与え、河口での塩分濃度を 3.5‰ とした。潮汐変動については、河口での流速を変化させることにより表した。

5. 数値計算

上の境界条件のもとで、渦動粘性係数と渦動拡散係数の値による流速分布および混合形態の変化を再現する。そこで、水平および鉛直方向の渦動粘性係数と渦動拡散係数を表-2 のように設定し、数値実験を行った。

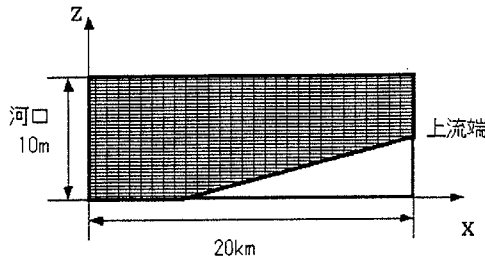


図-1 格子網

表-2 パラメーターの値 (cm^2/sec)

	ν_{tx}	ν_{tz}	D_x	D_z
Case1	10^4	1	10^4	10
Case2	10^4	10	10^4	10
Case3	10^4	10	10^4	1
Case4	10^4	10	10^4	100

6. 計算結果

計算が定常に変化した後の結果を下の図-2 に示す。いずれも下げ潮時の状態を表し、ベクトルはその位置での流速、曲線は塩分濃度を表している。(a)～(d) はそれぞれ Case 1～Case 4 についての結果である。(a) と (b) から鉛直方向渦動粘性係数の値が小さくなれば強混合状態に、大きくなれば成層状態に変遷することがわかる。また、(c) と (d) から鉛直方向渦動拡散係数の値が小さくなれば成層状態に、大きくなれば強混合状態に変遷することがわかる。

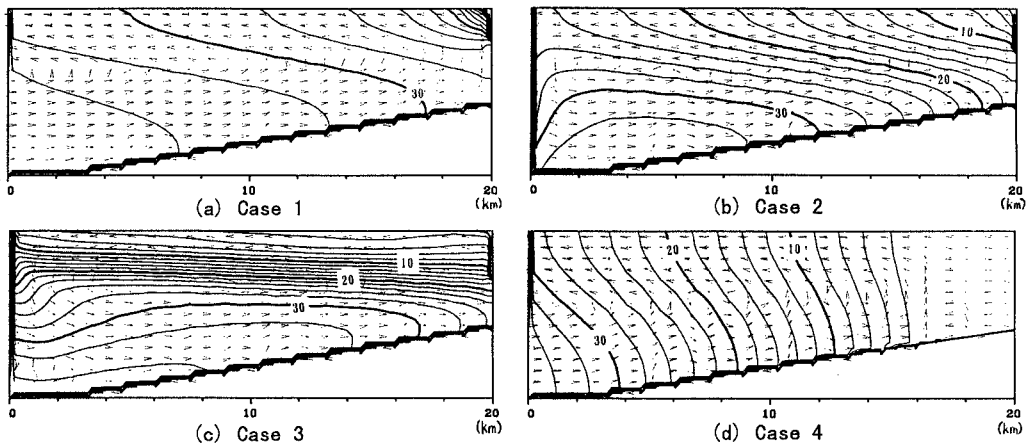


図-2 計算結果

7. まとめ

今回、鉛直方向の運動方程式を計算に適用する際に、静水圧近似を行わずにそのまま計算に用いた。計算は煩雑化せず、且つ妥当な結果が得られた。しかし、それによる特徴は現段階では得られていない。また、実際の流れの現象では、渦動拡散係数の値は流れの状態に依存するにも関わらず、定数として与えてしまうのはいささか大まかすぎる。根本的な改良が必要とされる。

参考文献

香月正司, 中山顕: 熱流動の数値シミュレーション, 森北出版