

大阪大学大学院 学生員○安田幸司[†]大阪大学大学院 学生員 山本多成[‡]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、従来から、強・緩・弱混合の3タイプに分類して取り扱われており、その解析法も個々により異なっていた。つまり、強混合では、いわゆる多層流モデル、塩水くさびが発達する弱混合では二層モデルが用いられてきた。両者を一貫して表現できるモデルは存在していない。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行う。

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。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(ν_{tN})と渦動拡散係数(D_N)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拡散係数(ν_{tz})と渦動拡散係数(D_z)をリチャードソン数(R_i)による成層化関数を用いて求めている。

3. 離散化 離散化に際し本研究ではSIMPLE法を適用した。SIMPLE法とは、圧力そのものではなく、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。たとえば、圧力が既知の境界では圧力の補正値が0、また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きわ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、プログラミングに際し都合がよく、汎用性のあるものとなる。各基礎方程式ごとに対応する Φ^* 、 Γ^* および生成項 S^* を表に示す。

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. 計算領域について シミュレーションにあたっては、水深10mの河口で、下流端より20km上流までを対象とした2次元水路を扱う。勾配は1/3000としている。そして、コントロールボリューム(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)

無次元化に際し、特性長さ L_{ref} は水深10mとし、特性速度 U_{ref} は一般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} は水の密度1.0g/cm³を用いている。境界条件については、上流端で水の密度1.0g/cm³を与え、河口で塩分濃度3.5%としている。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ている。

[†]koji YASUDA[‡]kazunari YAMAMOTO[§]yosiyuki OOYA[¶]keiji NAKATUJI

$$U^* = U_f^* \sin \left\{ \frac{2.0\pi}{12 \times 60 \times 60 / t_{ref}} t^* \right\}$$

5. 数値シミュレーション 上述の境界条件の下で、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状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 (ν_{tx} , ν_{tz}) と渦動拡散係数 (D_x , D_z) を表-2のように設定し、数値実験を行う。

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

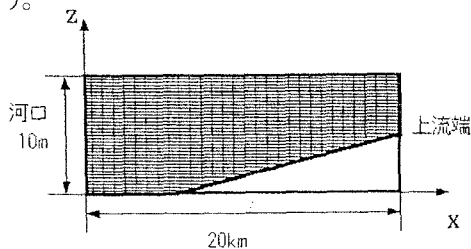


図-1 格子網

6. 計算結果 ほぼ計算が定常となった時の、下げ潮時の流速の各点におけるベクトル表示と塩分の等値線を示す。図-2から図-5は、それぞれCase1からCase4についての結果である。図-2と図-3を比較すると鉛直方向渦動粘性係数 (ν_{tz}) の値が小さくなれば強混合状態へと近づき、 ν_{tz} が大きくなれば成層状態に近づいていることが分かる。また、図-4と図-5を比較することにより鉛直方向渦動拡散係数 (D_z) の値が小さくなれば成層状態へと近づき、 D_z が大きくなれば強混合状態に近づいていることが明らかとなっている。

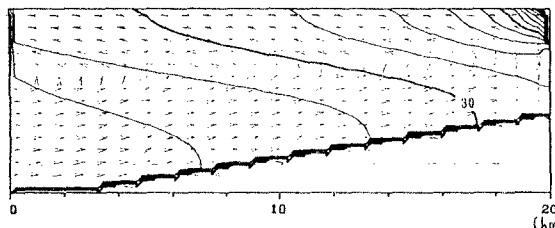


図-2 Case 1

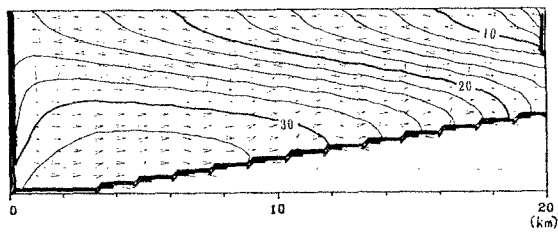


図-3 Case 2

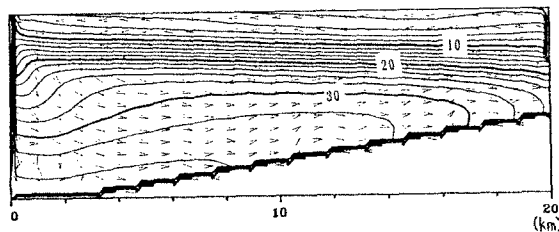


図-4 Case 3

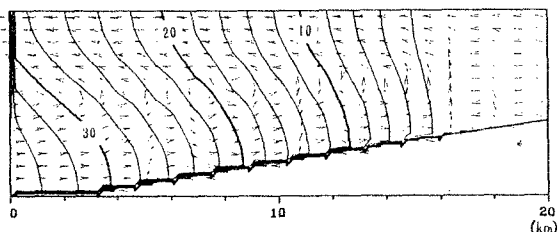


図-5 Case 4

7. まとめ ν_{tz} と D_z の関係は、両者の比であるプラントル数 ($= \nu_{tz}/D_z$) という指標で表すことができる。したがって、本モデルにおいても、密度の成層状態はプラントル数に依存しているということが確認できる。これにより、本研究で用いたモデルは混合形態の変遷が可能なモデルであることが示された。今後の課題としてこれをさらに改良し、実際の感潮河川への適用を試みる。