

大阪市 正員○大久保忠彦
大阪工業大学 正員 綾 史 郎
京都大学防災研究所 正員 井上 和也

1.はじめに 本研究は一般曲線座標系を用いた鉛直二次元モデルを用いて、河口密度流の数値解析を実行したものである。以下、基礎式の簡単な説明を行い、次に、対象とした手取川河口密度流の観測結果について説明し、最後に数値解析結果について述べる。

2.基礎方程式と数値解析法 鉛直方向の加速度成分が小さいことから静水圧仮定を用い、二次元非圧縮性流体に対する時間平均されたReynoldsの運動方程式の水平方向成分、連続方程式、塩分濃度の乱流拡散方程式及び塩分濃度と密度の関係式を基礎方程式系として用いる。これらをデカルト座標系から一般座標系上に $\xi_i = \xi_i(x_1, x_2, t) \quad (i = 1, 2)$ を用いて座標変換を行うと、以下の式になる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} u_1 \\ 0 \\ c \end{pmatrix} + \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} u_1 \cdot \partial \xi_i / \partial t \\ 0 \\ c \cdot \partial \xi_i / \partial t \end{pmatrix} + \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} u^i u_1 \\ u^i \\ u^i c \end{pmatrix} = \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} \tau^{11} / \rho_0 \\ 0 \\ s^i \end{pmatrix} + \frac{1}{J} \begin{pmatrix} -g \cdot \partial \xi_i / \partial x_1 \cdot \partial \zeta / \partial \xi_i + g \cdot \partial \xi_i / \partial x_1 \cdot \partial D / \partial \xi_i \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

ここに、 u_1 : 流下方向の流速成分、 u_2 : 鉛直方向の流速成分、 c : 塩分濃度、 J : Transformation Jacobian、 u^i : 流速ベクトルの反変ベクトル成分、 s^i : 勾配輸送型フラックスの反変ベクトル成分であって、各々次式で示される。

$$J = \left| \frac{\partial \xi_i}{\partial x_j} \right| \quad u^i = \frac{\partial \xi_i}{\partial x_j} u_j \quad s^i = \frac{\partial \xi_i}{\partial x_j} s_j$$

数値計算法は鉛直方向の運動方程式を用いた場合¹⁾に準ずるが、 u_2 の計算法が異なっている。

3.手取川河口密度流の観測結果 現地観測は大潮時の満潮時をはさむ1992年7月29日AM11:00からPM3:00にかけて行われた。得られた観測結果を流速分布及び密度分布としてFig.1に示す。密度分布より塩水くさびによる二層流が存在する弱混合型の密度流であることが分かる。

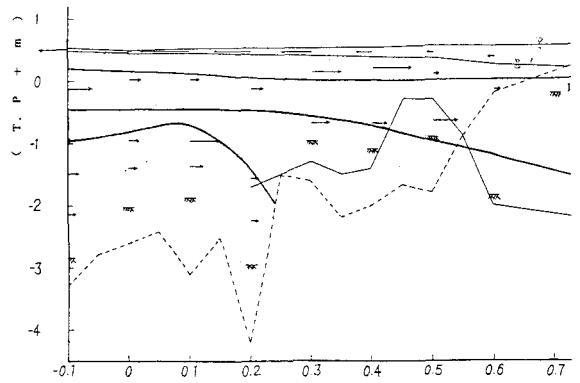


Fig.1 現地観測結果における流速分布と等密度線

4.計算条件と計算結果 (1) 計算条件 計算対象領域は手取川河口付近約750mの区間とした。縦断面図をもとに作成されたメッシュで表すとFig.2のようである。左端が河口、右端が上流端であり、各々河床高はT.P.-3.3m、-0.4mである。河床は①と③で浅く、②と④では深くっており河床高は各々、T.P.-2.4m、-1.5m、-3.1m、-2.2mとなっている。

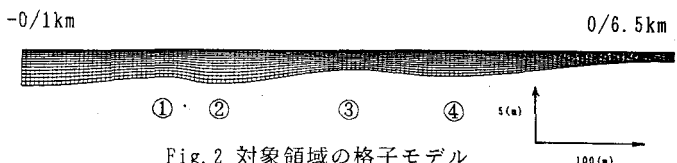


Fig.2 対象領域の格子モデル

数値解析の実行期間は、現地観測が行われた期間を含む7月29日AM9:00から7月30日PM3:00までの30時間とした。初期条件の設定に当たっては、7月22日AM0:00において表1に示す条件を与え、以後、下流端では12時間周期でT.P.+0.7m~T.P.+0.5mの範囲で潮位変動を与え、上流端で流速を以下に示す単位幅流量より、一様分布を仮定して与えた。

$$q = \begin{cases} q_0/2 \cdot (\cos((\frac{t}{T})\pi) + 1) & (0 \leq t \leq T) \\ q_0 & (T \leq t) \end{cases}$$

ここに、 $T=45\text{min}$ 、 $q_0=0.03(\text{m}^3/\text{s}/\text{m})$ とした。以上の条件で1週間の予備計算を行い、7月29日AM0:00からAM9:00の間にT.P.+0.7mからT.P.+0.55mに潮位を変化させて初期条件の設定を終了した。境界条件としては、上流端では一定流量($q_0=0.03\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 一定一様流速分布)を、下流端では潮位変化(Fig. 4)を与えた。

(2) 計算結果 計算結果のうち、塩分濃度の分布をFig. 3. a~Fig. 3. fに示した。これらは7月29日AM9:00から7月30日PM3:00までの潮の干満を考慮して、特徴が表れ易い時刻の塩分濃度に関するものである。

まず上げ潮となる7月29日AM9:00からPM0:00の計算結果を比較すると、塩分濃度の高い領域が満潮に近いFig. 3. bの方が上流まで広がっていることが分かる。次に、PM1:00からPM9:00までの下げ潮時は、Fig. 3. bとFig. 3. cを比較するとFig. 3. cでは塩分濃度の高い領域が下流端付近まで後退しているが、一部、塩分濃度の高い領域が河床の低い部分(Fig. 2の④付近)に滞留していることが分かる。つぎに7月30日AM4:00頃に満潮となるのでFig. 3. cとFig. 3. dとを比較すると、Fig. 3. dでの塩分濃度の高い、特に10(%)から15(%)の領域がかなり上流まで広がっていることが分かる。この原因としてはこの間の潮位上昇が他の場合よりも急であることに起因するものと思われる。つぎに7月30日AM10:30頃に干潮となるので、Fig. 3. dとFig. 3. eとを比較すると、干潮に近いFig. 3. eでは、この期間の潮位変動は比較的小さいにもかかわらず、塩分濃度の高い部分の領域が下流端付近にまで後退していることが分かる。次に、PM4:30頃が満潮となるが、Fig. 3. eとFig. 3. fとを比較すると両者では大きな相違は見られなかった。

5. おわりに 以上のことより、潮汐によって生じる塩分濃度分布の変化については一応の成果が得られたが、観測結果と比較すると、上げ潮時の高濃度の塩分濃度の遡上が十分再現できなかった点など、計算法等の改善を行う余地があると思われる。

最後に、手取川の現地観測を行っていただいた大阪工業大学土木工学科河川研究室の諸兄に感謝の意を表します。

表1 予備計算開始時の計算条件

開始日時	7月22日 AM0:00
上流端流量	$q_0 = 0.0(\text{m}^3/\text{s}/\text{m})$
水位	T.P. + 0.7 (m)
C1-濃度	18.8 (‰)(全領域)

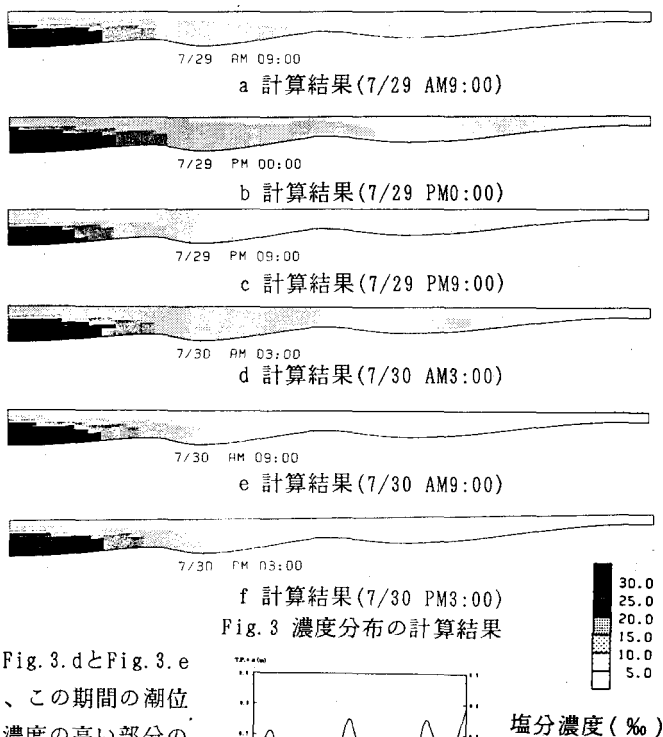


Fig. 3 濃度分布の計算結果

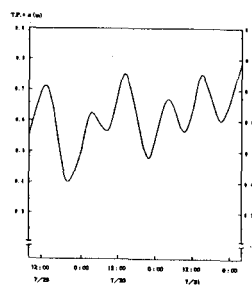


Fig. 4 金沢港における潮位変化

参考文献 1) 岩佐義朗・綾史郎・大久保忠彦：一般曲線座標系による鉛直二次元流れの解析、土木学会関西支部年次学術講演会、1991。