

京都大学大学院 学生員 吉田 大
 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 本研究は手取川河口における密度流現象について、現地観測の結果と数値解析結果について述べたものである。すなわち、まず初めに1992年7月手取川河口において観測した密度および流速分布についてまとめ、手取川河口密度流の特性について述べる。次に、静水圧仮定を用いた一般曲線座標系による鉛直2次元モデルについて説明すると共に、手取川河口密度流の数値解析を実行した結果について述べる。

2. 手取川河口密度流の観測 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、手取川河口-0/1kmを下流端測線とし、0/7kmを上流端測線とする区間で観測を行った。この間に約100m間隔で計9測線を設定し、測線上の最深点で、水深方向に多点測定した。観測項目は、下流端測線で河口潮位を、上流端測線上流で流量を計測したほか、上流端測線より下流に向かって順番に各測点で水位、流速、電気電導度、水温等を計測した。得られた結果には、観測時間のずれがあるが、これを無視して同一時間のものとして

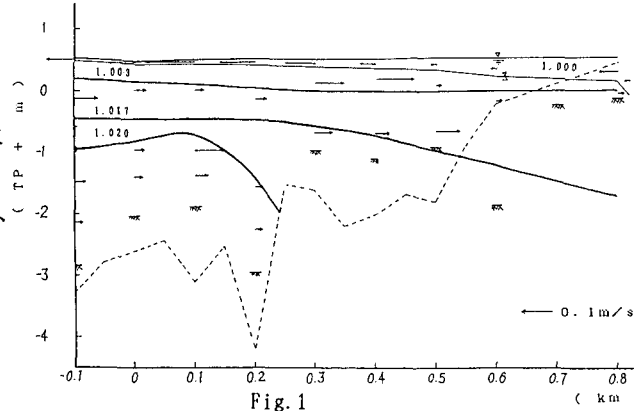


Fig. 1

扱い、流速及び密度(電気電導度から変換して求めた)の水深方向、流下方向の2次元分布として、Fig. 1に示した。密度分布より日本海側でよくみられるような塩水くさびが生じる弱混合型河口であることがわかる。一方、流速分布は上層では下流へ流れるが、下層にも上流へ向かう流れがあることがわかる。

3. 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、2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

$\xi_i = \xi_i(x_1, x_2, t)$ ($i = 1, 2$) を用いて座標変換を行うと、以下の式になる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} u_1 \\ 0 \\ c \end{pmatrix} + \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} u_1 \cdot \partial \xi_i / \partial t \\ 0 \\ c \cdot \partial \xi_i / \partial t \end{pmatrix} + \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} u^i u_1 \\ u^i \\ u^i c \end{pmatrix} = \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} \tau^{1i} / \rho_0 \\ 0 \\ s^i \end{pmatrix} + \frac{1}{J} \begin{pmatrix} -g \cdot \partial \xi_i / \partial x_1 \cdot \partial \xi_i / \partial \xi_i + g \cdot \partial \xi_i / \partial x_2 \cdot \partial D / \partial \xi_i \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

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。

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

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。

4. 計算条件と計算結果 (1) 計算条件 計算領域を手取川河口付近約750mの区間とし、水深方向20、流れ方向51の非直交メッシュを用いた。数値解析は、1週間程度の予備計算により初期条件の設定を行い、現地観測が行われた期間を含む7月29日AM9:00から8月1日AM0:00までの63時間とした。境界条件として、上流端では一定流量($q_0 = 0.015 \text{ m}^3/\text{s/m}$ 一定一様流速分布)を、下流端では潮位変化(Fig. 2)を与えた。

(2) 計算結果 計算結果を、7月31日PM0:00から8月1日AM0:00までの3時間毎の流速ベクトル図(Fig. 3)と塩分濃度分布図(Fig. 4)として示す。これらの図より、観測結果(Fig. 1)に示されているように塩水と淡水のはっ

きりとした二層流が再現されていることがわかる。次に各時間ごとの計算結果について考察を行う。(a)(7/31. PM0:00)は、潮位上昇期であるが、塩分がかなり上流の方にまで上がってきていることが塩分濃度分布図より分かる。流れは上層は下流に向かい、逆に下層は上流へと向かっている。(b)(7/31. PM3:00)は、満潮時を少し過ぎた時であるが、流れは上層、下層とも(a)とは逆向きに生じている。これは、潮位がピークに達したときの影響がまだ残っており、上層が上流へ向かっているのに対し、下層は連行により下流へと流れているように見える。上流からの淡水は上流端付近で海水と混合し、塩分遡上距離は(a)より短くなっている。(c)(7/31. PM6:00)は、(b)からさらに潮位が下がった時であり、塩分遡上距離はさらに短くなっているとともに、上層水は、順流に変わっている。(d)(7/31. PM9:00)は潮位が干潮を過ぎ上がりはじめている時であるが、(c)と比べると塩分は上流へとより遡上し、流速は、同じ潮位の上昇時である(a)と似たような分布となっている。(e)(8/1. AM0:00)は、(d)からさらに潮位が上がった状態であり、塩分はさらに上流へと上っている。流速分布は、上層流速がやや小さくなっており潮位の上昇の影響がみられる。観測結果との直接的な比較は観測と計算の日時が同じでないのでできないが、高濃度の塩分の上流への遡上現象と互いに逆向きの方向を持った二層流の流れが再現できたものと思われる。また、数値解析結果よりは下層の流れは主として上層の連行により生じているようである。

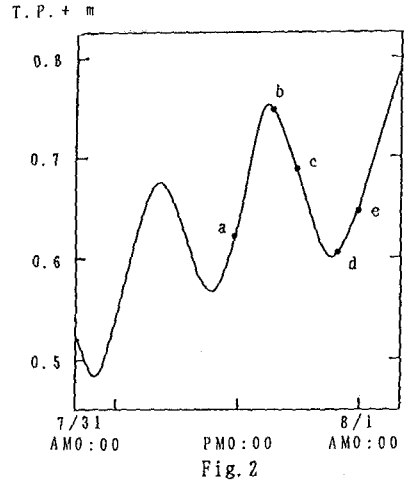


Fig. 2

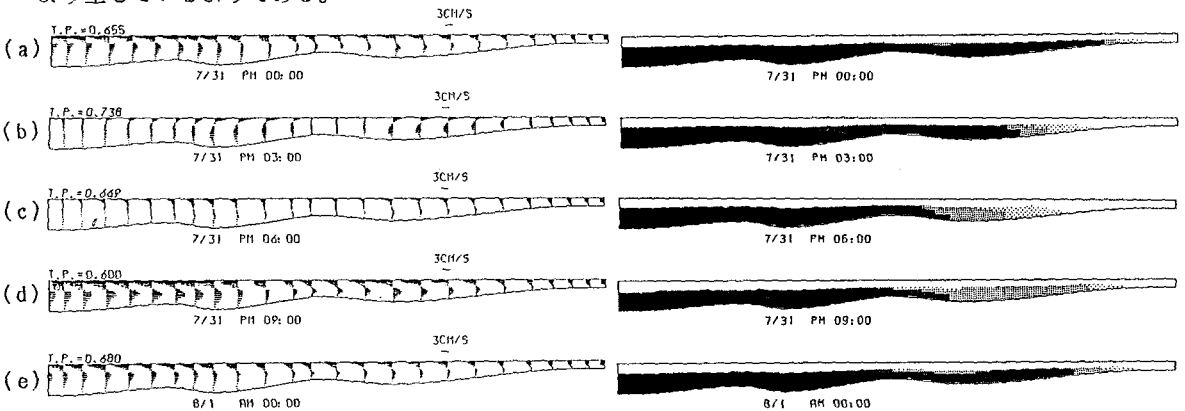


Fig. 3

Fig. 4

5. おわりに 手取川河口における塩分遡上現象と流れについて、現地観測と数値解析により検討した。観測によると手取川河口は典型的な弱混合型に分類されるが、数値解析結果では、微少な潮位変動により、かなり複雑な流動形態が生じている。十分な観測結果が得られなかったため実際にこのような流動が生じているのかどうか不明であるが、今後の課題としたい。

最後に、数値解析プログラムの開発に御協力頂いた元京都大学大学院（現大阪市）大久保忠彦氏、ならび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卒研学生諸氏に謝意を表します。

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。