

II-243 河口二層流の流動構造の三次元数値実験

大阪大学大学院 学生員 湯浅楠勝
 大阪大学工学部 正 員 中辻啓二
 大阪大学工学部 正 員 室田 明

1 はじめに： 河川ブルームの拡がり、淡水と海水の密度差による水面上昇および水平圧力勾配、運動量流束および断面の急拡大によって大きく変化する。近年、湾岸の埋立や人工島の建設が活発に行われており、埋立形状によっては河川水の流出を妨げたり、密度構造の変化や河口水位の上昇を引き起こす原因にもなる。そこで、本研究では三次元数値実験を実施して、河口二層流の流動構造を検討した。実験的研究および現地観測に関しては吉田らの豊富なデータがある。三次元数値モデルは第32回水講で発表したものと同一であり、新たに河道部を付け加えた。海域（長さ400cm、幅300cm、水深23.8cm）の中央に、河道（長さ60cm、幅8cm、水深2.8cm）を設置した河口を想定し、計算はその対称性から片側半領域とした。相対密度差は $\varepsilon=0.003$ の一定値とし、放流条件は河道部上流端で表層0.9cmを放流口とし、流速および密度を矩形分布として与えた。放流流量を4ケース変化させた。数値計算で得られた河口での表層平均した密度フルード数 F_{do} は、0.83, 1.17, 1.51, 2.01であり、吉田らの実験範囲に対応している。

2 計算結果および考察： 図1は $F_{do}=1.51$ の実験で得られた流速の鉛直分布の流下方向変化を示す。河道の上流端で放流された流動は、運動量流束が浮力流束より優るため($F_d > 1$)下層塩水を連行加入し、上層厚は流下方向に次第に増大する。しかし、河口に近づくとも上層厚は増大をやめ、河口を出ると断面の急拡大と浮力効果により、上層厚は逆に急激に減少する傾向を示す。河口での上層厚は $H_o=1.7\text{cm}$ であった。

図2は全実験ケースの表層流速 U_s の流下方向変化を示す。縦軸は U_s を河口での流速値 U_{so} で、横軸は河口からの距離 x を河口水深 H_o で無次元表示したものである。河口密度フルード数の増加にともなってピークの生じる位置が沖側に移動する傾向は吉田・柏村(1981)の実験結果と一致する。また、河口密度フルード数が1近傍の流れにおいて、 $U_s/U_{so} > 1.0$ となる加速現象が顕著に現れることがわかる。

図3(a)(b)は $F_{do}=1.51$ のケースの表層と第2層($Z=0.45\text{cm}$)での等密度差線と流速ベクトルの水平分布を示す。表層での河川水の流動はブルーム的な流動を呈し、 y 方向への拡がりは予想以上に大きい。例えば、初期密度差の1/2の等密度差線は河口から約30度の角度で拡がっているのが分かる。これは建設省河川砂防基準(案)に示される11度の角度で拡がる仮想河口形状と比較して非常に大きい。第2層では等密度差線が、中心軸から分岐して y 方向に拡がっているのが特徴的に見られる。このような分岐現象は、信濃川、Chesap

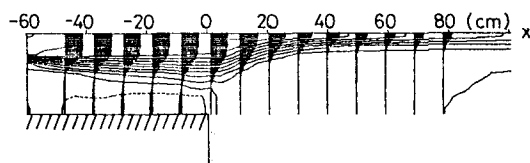


図1 鉛直方向流速分布

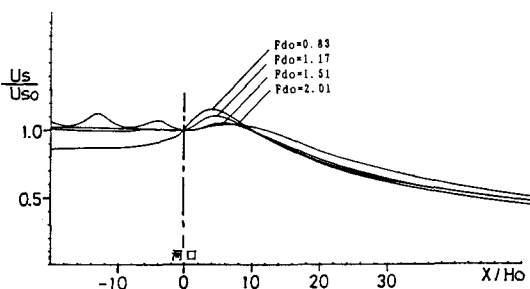


図2 表層流速の流下方向変化

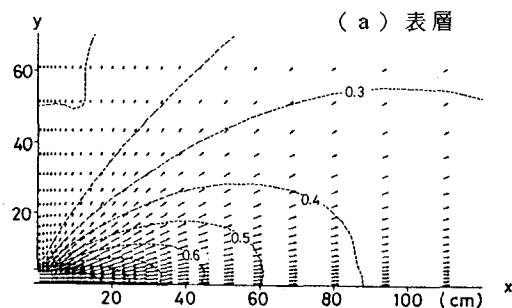


図3 等密度差線・流速ベクトル図

peak湾 などでも観測されており、また、Wangら(1986)の水利実験によっても同様の現象が認められている。それは、図4の $x=60\text{cm}$ の位置での $y-z$ 鉛直断面の流動に示されるように、 $y=20\text{cm}$ 付近の上層で y 方向の流速ベクトルが水平方向の圧力勾配により大きくなっていることに原因している。この水平方向の流動を補償するように下層塩水の上層への上向きの流動が中心軸付近でみられる。

図5は密度フルード数 F_d の水平分布を示す。(a)は $F_{d0}=1.17$ ，(b)は $F_{d0}=2.01$ の実験結果である。数値実験では流速が河口の表層流速の5%となる位置を界面と定義した。また、密度フルード数は表層流速を用いて計算した。両ケースとも河口を出てから、密度フルード数は一旦増加する。これは界面の上昇による上層厚の急激な減少によるものだと考えられる。密度フルード数がピークになる位置は、河口密度フルード数の増加にともない沖側に移動する傾向が見られる。しかし、図2に示した表層流速がピークとなる位置より沖側に大きく移っている。数値実験結果のピーク値は北大グループの実験結果と比較して沖側に現れるが、その理由は定かでない。

図6は $F_{d0}=1.51$ のケースの河口から海域にかけての水面形を表わす。同図は、 x 方向に 240cm ， y 方向に 80cm の領域を示す。水面上昇量は河口で 0.0040cm 程度であり、上層厚の2.3%という微小な値である。それは、静水圧近似によって求まる値（上層厚の2.7%）より小さくなっている。しかし、その水面勾配は非常に大きく、図4に示す y 方向流動に加担していると考えられる。次に、全ケースの河口水位の上昇量を表1に示す。比較のため、静水圧近似した η' （流速と密度の分布形を考慮、岸・板倉 1985）および η'' （矩形分布を仮定）も載せた。河口密度フルード数の増加にともなって、水位上昇量は増加する傾向にある。これらの定性的傾向は岸・板倉の水利実験結果と一致する。

表1 河口水位上昇量

F_{d0}	η (cm)	η' (cm)	η'' (cm)
0.83	0.0034	0.0043	0.0048
1.17	0.0038	0.0045	0.0050
1.51	0.0040	0.0046	0.0052
2.01	0.0040	0.0047	0.0052

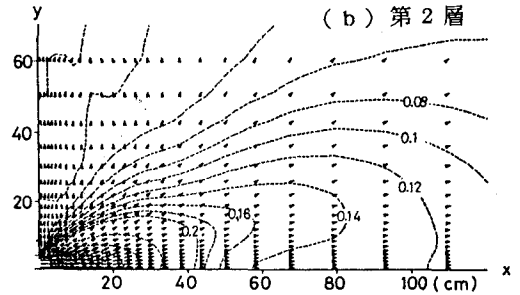


図3 等密度差線・流速ベクトル図

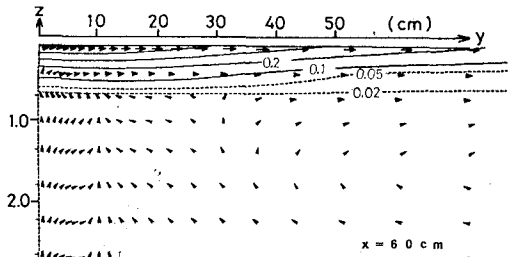


図4 y-z 鉛直断面図

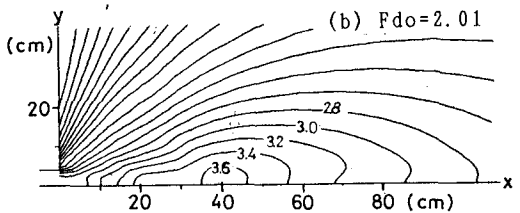
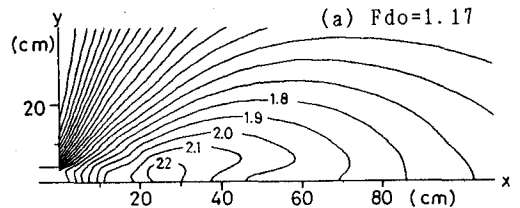


図5 密度フルード数の水平分布図

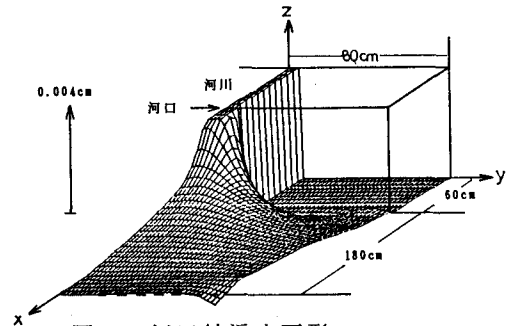


図6 河口付近水面形

参考文献 岸・板倉(1985):土木学会論文集、No. 363, II-4, pp. 145-153. 室田・中辻・許(1988):第32回水利講演会論文集、pp. 233-238 吉田・柏村・西田(1981):第25回水利講演会論文集、pp. 321-326. Wang (1986):International Symposium on Buoyant Flows, pp. 233-241.