

東京工業大学大学院 学生会員 守屋 祥一
東京工業大学工学部 正会員 福岡 捷二
東京工業大学工学部 正会員 福岡 祐介

1. はじめに 河口密度流は、三次元性の強い流れである。淡水の流れは、河口をすぎると急変流となり、水平方向に拡がりながら淡水深を急激に減じていく。このため、流れは河口付近で常流から射流に遷移する。そこで、本研究は、河口内外で流動形態が急変する密度流の特性を明らかにするため、河口付近の界面形状、淡水の拡がり、表面流速分布などを測定し、水理条件との関係について検討を行なったものである。

2. 実験装置、測定方法、及び、実験条件 実験装置は、図-1に示すような、1/50勾配をもった $6 \times 25 \times 600 \text{ cm}$ のアクリル製水路（河川部）と、 $200 \times 200 \times 100 \text{ cm}$ の防水ベニア板製の水槽（海部）から成っている。水槽には写真撮影用の窓と、淡水の排水ぜきが設けられている。実験中、一定量の塩水を水槽の底部から供給し、中間層の発生を極力おさえた。水路上流端から、淡水をできるだけ乱れの生じないように流した。流速は水素気泡法、淡水深は写真撮影、密度分布はサイホン原理による乾燥法または電導度計を用いて測定した。実験は表-1に示したように、内部限界水深と水路幅の比 h_c/B と、レイノルズ数 Re をいくつか変化させて行なった。ここで、 $h_c/B = (Q^2/\varepsilon g B^3)^{1/3}$ 、 $Re = Q/\nu B$ 、 $\varepsilon = (\rho_s - \rho_0)/\rho_0$ 、 h_c ：淡水の内部限界水深、 B ：水路幅、 Q ：流量、 ρ_s 、 ρ_0 ：塩水・淡水の密度である。

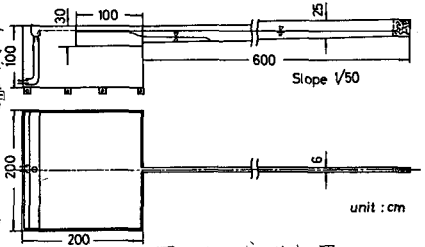


図-1 実験装置

Run	Q cm ³ /s	ρ g/cm ³	ρ_w g/cm ³	$\varepsilon \times 10^3$	h_c/B	Re
1	96.9	1.00464	0.99981	4.83	0.634	1615
2	196.1	1.00505	0.99983	5.22	0.989	3268
3	301.3	1.00457	0.99970	4.87	1.347	5022
4	196.1	1.00925	0.99989	9.36	0.814	3268
5	196.1	1.01910	0.99975	19.35	0.639	3268

3. 実験結果とその考察 図-2は、河口を流出した淡水の中心軸縦断面の流速分布、密度分布と目視界面形状の一例を表わしている。流速分布は相似形を呈していない。これは、流れの三次元性と界面の曲率の影響が重要となるためと考えられる。吉田らの示した「まき波」の発生が顕著となる領域は、Run 4で $x = 8 \text{ cm}$ より下流側、他の実験条件でも $x = 7 \sim 10 \text{ cm}$ より下流側であり、本実験の測定領域は、これより河口側である。この領域では、界面の変動は比較的小さく、淡水による塩水の進行は小さい。

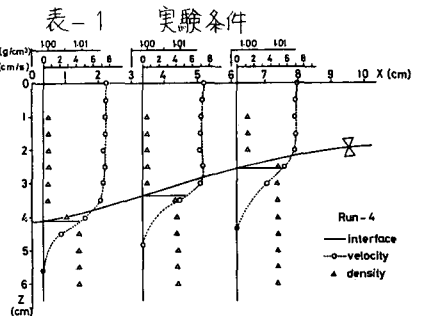


図-2 河口密度流の一例

図-3は、河口水深で無次元化した界面形状を示したものである。河口の近傍に限ってみると、水路内での界面形状はすべての実験条件に対して、ほぼ相似形をなしていることがわかる。この違いは主に、河口での条件 h_c/B の大きさによっている。すなわち、 h_c/B の値がほぼ等しい Run 1 と Run 5 の界面形状を比較すると、流量、密度がかなり違うにもかかわらず、界面形状はほぼ等しい。また、 h_c/B が大きくなるほど淡水深の変化は急になっている。

図-4は、中心軸に沿った内部フルード数 Fi の変化を示している。ここで、 $Fi = (Q^2/\varepsilon g B^3 h_i^3)^{1/3}$ 、 h_i ：淡水深、である。Stommel⁴⁾は、水路に塩水くさびが存在するかぎり、水路内では $Fi < 1$ であること

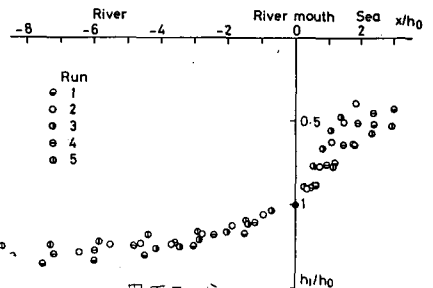


図-3 界面形状

を報告している。しかし、本実験では水路内で $Fi = 1$ が生じており、河口では、 $Fi > 1$ となっている。Stommelらの理論は、圧力として静水圧分布を仮定している。一方、図-3で示したように、水路内の界面形状は河口付近で急激に変化しており、この領域では圧力の静水圧からのずれを無視し得ない。河口付近の界面形状は、下向きに凸の曲率をもっており、このとき、圧力は静水圧よりも大きくなる。このような圧力分布を考慮すると、内部フルード数は通常の静水圧を仮定した値に比べ小さくなる。塩水くさびの支配断面は、圧力分布の変形を考慮した内部フルード数が1となる位置で与えられ、通常の内部フルード数が1となる位置よりも下流に生ずる。したがって、河口近傍の密度流の流動形態を解析するためには、流れの曲率を考慮した解析が必要である。

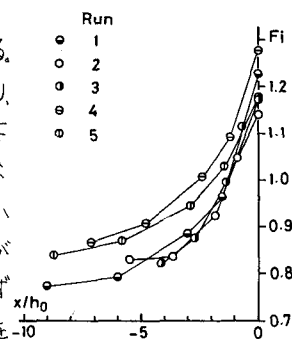


図-4 Fi 数の変化

図-5は、河口密度流の水面での流線の拡がりを示す。 hc/B のほぼ等しいRun1とRun5を比較すると、 Re 数の小さいRun1の方が拡がり易い事がわかる。また、 Re 数が等しく、 hc/B の異なるRun2,4,5を比較すると、 hc/B の小さい方が拡がっている。Run1とRun5の拡がりの差と、Run2,4,5の拡がりの差を比較すると、前者の方が後者に比べはるかに大きいことから、この範囲の Re 数での拡がり特性は、 hc/B よりも Re 数の影響を強く受けていると考えられる。柏村らは、海での

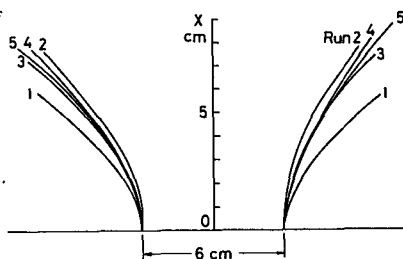


図-5 河口密度流の拡がり

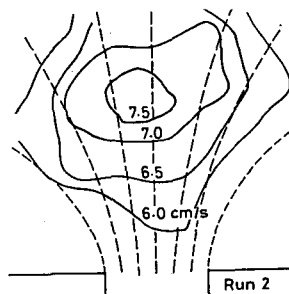
拡がり率がクーリーガン数と水路幅を用いたレイノルズ数で分類できると報告している。河口では、クーリーガン数は水深を用いたレイノルズ数 Re の関数、水路幅を用いたレイノルズ数は Re 数と hc/B の関数となり、本研究で用いた無次元量は、彼らのものと本質的に違いはない。本実験結果は、彼らの結果と定性的に一致している。

図-6は、水槽内の河口密度流の三次元的な界面形状 $X=0.3\text{ cm}$ を表わしている。中央部分の界面形状は、 $X=2\text{ cm}$ では台形とみなせうるほど、横方向に一樣となっている。

図-6 界面の三次元的構造 (Run 2)

$X=4, 6\text{ cm}$ と河口から遠ざかるにつれて、しだいにレンズ状の断面形になっていく。流動領域の外側の水面付近には、排除しきれない混合層が存在している。このため、密度測定だけでは、淡水の拡がりの外縁を明確に知ることはできず、図-5の結果を併用し界面の外縁を定めた。

図-7は、河口を流出した所の表面流速の等流速線を示している。柏村らは中心軸に沿って一時加速域が現われ、その位置が Re 数の増加にともなって河口から遠ざかる事を示した。本実験では、一時加速域は彼らの実験より沖側 $X=28$ 付近に現われている。Run2は彼らの実験の Re 数よりも大きな Re 数で行われているため淡水の流れは拡がりにくく、水深が浅くなる位置はより沖側になる。このため、図-7 等流速線一時加速域は、彼らの実験よりもより沖側に生じたものと考えられる。



4. おわりに 本研究では河口密度流の流動形態を実験的に調べこれが河口での Re 数、 hc/B によって支配されていることを示した。しかし、河口付近の三次元的流れを定量的に把握するまでにはいたっておらず今後の検討課題とした。D. Stommelら; J.M.R. Val H. N. 2, 1952 ② 柏村ら; 13回海講 1966 ③ 吉田ら; 26回海講 1979 ④ 柏村ら; 17回海講 1970