

二次元表層密度流の流動形態について

大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学工学部 正員 中辻 啓二
 大阪大学大学院 学生員 橋本 長幸

1. まえがき

著者らは第23回水講で有限な二次元水路における表層密度流は放流口水理条件ならびに水路条件(とくに下流側堰高さ)により流動形態および混合特性までも規定されてしまうことを指摘した¹⁾。この種の実験は数多くの研究者によって行なわれているが、実験対象とした密度噴流が果たして再現されているのかは疑問の多いところである。ことに、近年Chuら²⁾は連行係数の算出で有名な実験であるEllisonとTurnerの結果³⁾に対しても疑問を呈しており、混合機構の解明に際しては流動形態の識別が要求される。そこで、本報では下流側堰高さを種種変化させた追加実験を行ない、可視化観測から流動形態、とくに内部跳水現象の特性を定性的に把握し密度噴流との相違を明らかにしようとした。

2. 実験内容

所定濃度の塩水を貯留した水路(長さ10m, 高さ0.2m, 幅0.1m)において高さ0.152mの放流口模型から淡水を表層放流する実験を行なった。下流側堰高との差 Δh を0.~18mmの範囲に設定し、放流口で定義した密度フルード数 F_{i0} 、レイノルズ数 Re_0 はそれぞれ0.84~6.19, 1,000~4,900である。可視化はメチレンブルーで着色した淡水層の拡がり、ならびに流程方向の任意地点で鉛直方向に張った白金線からの水素気泡列を連続撮影することによった。観測は、放流水が下流側堰に到達し限界水深を形成してから、その反射波が放流口に達するまでの範囲で行なった。

3. 実験結果とその考察

図-1は成層状態に達した淡水層水深 H_d (すなわち、 $dH_d/dx=0$)と放流口水深 H_0 との比 H_d/H_0 と F_{i0} 数との関係とパラメーターとして Δh を選び示したものであり、流動形態の分類はStefan⁴⁾に倣った。図中の実線は内部跳水の共役水深 $H_d/H_0 = \frac{1}{2}(\sqrt{1+8F_{i0}^2}-1)$ と、また鎖線は内部限界水深 $(H_d/H_0)^{3/2} = 1.35/F_{i0}$ を示す曲線であり、潜り跳水0-3, 内部跳水0-2および密度噴流0-1は図に示すように二曲線により類別できる。また、観測ならびに流速の鉛直方向分布から判定した流動形態と図-1はほぼ対応しているといえる。今回の実験において下流側堰高さを変化させたにもかかわらず、予想に反して内部跳水あるいは潜り跳水の形態を示し流速の最も小さい黒丸印を除いて密度噴流の観察

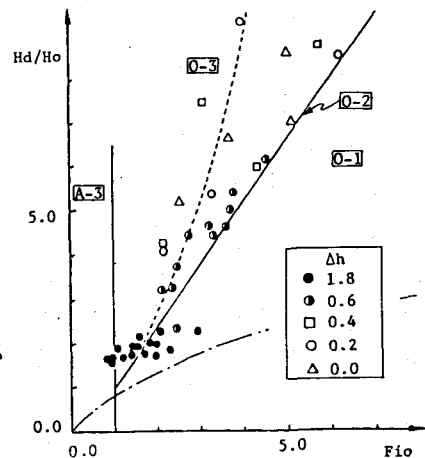


図-1 H_d/H_0 と F_{i0} 数との関係

されない結果となった。

この原因としては水路の水深が有限であることが考えられる。すなわち、supercriticalな流れとして噴出された密度噴流は共役水深を満ちず水深まで下層塩水を連行加入しながら流動することになり、 F_{io} 数が大きい程、連行量が過大になり、かつ、また共役水深までの流程が長くなる。したがって、淡水上層と水路壁面で囲まれる連行層が有限であれば塩水深の急激な減少を呼び起し内部跳水の発生原因になると考えられる。 $F_{io} = 1.5 \sim 3.0$ の範囲で密度噴流の形態が観察されるのは、流速が 10 cm/sec 以下で小さいゆえに連行量が少ないためであろう。これはStefanの言及とも合致し、放流流速と水路の有限長さとの関係よりもむしろ淡水層への連行量と塩水の供給量との均衡により流動形態が規定されるものと考えられる。密度噴流の再現にはより水深の深い水路と適切な塩水塊の供給が必要となる。

内部跳水が発生した場合には先に述べたような急激な水深変化が現われる傾向にあるがそれにもよって特徴的な性質は内部跳水の下層部に観られる反転流域(渦領域)が挙げられる。この反転流域の代表例を示したのが写真-1である。写真は $Re_o = 1000$, $F_{io} = 2.48$, $x/H_o = 60$ での水素気泡列を発生間隔 $\Delta t = 0.3$ 秒で示したものであり、染料で識別した内部境界面の位置と比較した場合この反転流域は上層淡水層内の界面付近に存在していることがわかる。水素気泡列から観測される反転流域の長さは約 $10 \sim 30 \text{ cm}$ の範囲であり、またその流速は噴流の最大流速の 10% 程度までにもなるが、内部境界面での乱れの成長を抑制するような効果をもたし混合への実質的な貢献はほとんどないと考えてよい。

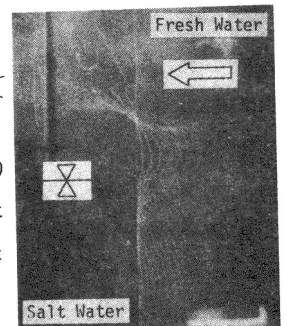


写真1 内部跳水

つぎに、水素気泡列から読みとった流速を鉛直方向に積分して求めた上層断面流量の流程方向変化を図-2に示す。断面流量は反転流域の効果を含んでいるために流下にもなっているように通減する傾向を示しており、連行加入により流量が増大する密度噴流の場合とは著しく異なっている。この放流口極く近傍での流量通減は内部跳水によるエネルギー損失の影響と、反転流域において噴流域への有意な連行が生じていないことのあらわれであると考えられる。反転流域での渦動のいま一つの寄与は、渦動の盛衰にともなう不規則な振動があり、このため跳水後の内部境界面に長い周期の波動を伝播させることになる。この波動は混合層の発達に寄与する連行渦ならびに密度差により生じるバイサラ振動に比較して長い周期（4～5秒）を有しており、連行加入にはほとんど寄与しないようである。

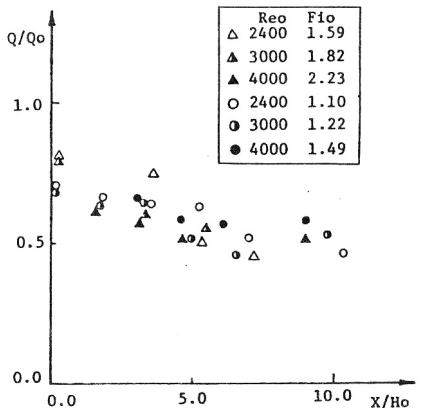


図-2 断面流量の流程方向変化

- 参考文献 1) 空田・中辻・橋本(1979), 第23回水講, 2) Chu T. H. & M. R. Vanvari (1976), ASCE, vol. 102 Hy 6
3) Ellison T. H. & J. S. Turner (1959), JFM, vol. 6 4) Stefan H (1970), ASCE, vol. 94, Hy 7