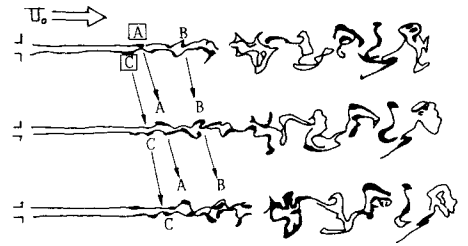


大阪大学工学部 正員 中辻 啓二
大阪大学工学部 正員 室田 明
奥村組(株) 正員 栗本 雅裕

1. まえがき ; 剪断流あるいは密度成層流の混合層の拡がりや変化的な水理量として、不規則な乱れ変動のなかには存在する秩序に、たいてい進行渦の役割が重要視され、種々の研究が試みられる動向にある。本文は三次元水平密度噴流の水表面における流脈線、流跡線および流線、可視化実験より大スケールの渦動を抽出してその挙動特性を明らかにするとともに、進行加入現象に及ぼす剪断効果ならぬに密度差の影響を考察したものである。

2. 実験条件および方法 ; 所定濃度の塩水を貯留した拡散水槽(1m×1.5m×0.8m)の短辺中央の放流口(幅 $B_0=1$ cm)から淡水を表面噴出する三次元密度噴流の実験を行った。放流口での水理量で定義される内部フルード数 F_{i0} 、レイノルズ数 Re_0 は放流口水深を1.5cmに保ち、塩水濃度と放流流速 U_0 を変えることにより制御した。その範囲は $F_{i0}=0.72\sim 4.10$ および ∞ 、 $Re_0=370\sim 7440$ である。可視化観測は、注射針から水表面に噴出した比重0.96の染料ローダミンBの流脈線を16mm高速度カメラで撮影する方法と、アルミ箔あるいは蛍光塗料を塗布したパンチ屑を水表面に撒き露出時間を随時変えて35mmカメラで連写撮影して流跡線・流線をとめる方法である。



3. 流脈線による放流口近傍の渦動特性 ; 放流口両端に設置した注射針から噴出する染料の流脈線の時間変化の一例($Re_0=867$, $F_{i0}=1.94$)を模写して示したのが図-1である。染料の流脈

図-1 流脈線の時間変化(0.25秒間隔)

は最初は真直に二条の筋を描きながら流動するが、図中A点、B点位置において染料の集中が非対称に生じ流脈線は屈曲して膨らみ始める。流下とともにこの波状の不安定性は増幅しながら流動し、噴流の全幅にわたる程度の散乱が観測される。この発生位置および不安定性は Re_0 数、密度差 $\Delta\rho$ により影響を受け、 Re_0 数が大きい程不安定となる傾向が強く、しばしば染料塊が一つ前の染料塊を捕らえて合体する現象が観測される。また、 $\Delta\rho$ が大きい場合には脈動の発生位置は放流口から遠ざかり、脈動は流れとともに増幅しない傾向を有しているようである。

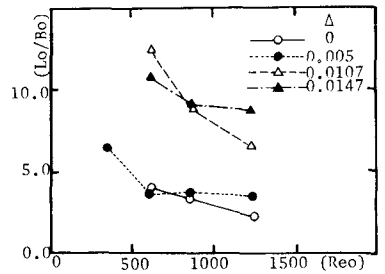


図-2 脈動の発生位置 L_0

これらの渦動を特徴づける物理量として、脈動の発生位置 L_0 と発生周波数 f が考えられ、 Re_0 数および密度差 $\Delta\rho$ との関係を示したのが図-2, 3である。 L_0 は噴流が不安定になる位置、換言すればポテンシャル・コアの終端を示すものであり、 $\Delta\rho$ あるいは Re_0 数の増大にともなうコアの持続距離は短くなることとわかる。また、 $\Delta\rho$ によりその勾配は異なるが発生周波数 f と Re_0 数とはほぼ線型関係にあり、 $\Delta\rho$ が大きい程その勾配は大きい。図中の破線はBeaver & Wilson (1970)の二次元スリット実験の結果を示したものであり、パラメータ d はスリット幅(cm)を示している。今回用いた放流口幅 B_0 は1cmであることを考えると、密度差が大きくなるにつれ二次元噴流の実験値に近い

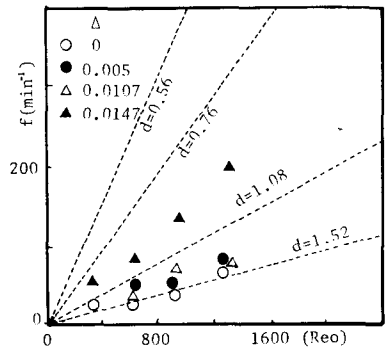


図-3 脈動の発生周波数 f

ていくことを示している。また、 $\Delta S = 0.015$ の場合のストローハル数 B_0/Γ_0 を求めると、図より容易に予想できるように Re_0 数に無関係にほぼ 0.28 の一定値となり、Sato (1960) の二次元噴流の実験値 0.23 に近づく。以上のことから、 ΔS が大きい場合には水平二次元的噴流の挙動を呈していることが予想される。等密度噴流の B_0/Γ_0 の値はほぼ 0.1 程度であり、三次元円管噴流の 0.68 と傾向が異なるのは興味深い。つぎに、噴流の不安定性を表現する指標として無次元破波長 L_0/Γ_0 があり、脈動発生時間の移動距離入と L_0 との比を表わす。 $L_0/\lambda < 1.0$ において下流側で脈動が追いつき合体することから、脈動の不安定性は助長されることを意味している。 $\Delta S = 0.015$ に対応する値は各々約 0.3, 2.4 程度であり、密度差が大きい横脈動は安定であることがわかる。また、両無次元数ともに Re_0 数に影響は殆んどみられなく、現象は相似である。

4. 噴流外縁部の渦動特性； 噴流外縁部に発達する渦動を明らかにするために、水表面に散布したアルミ屑の軌跡を露出時間 0.5 秒で撮影したのが写真 1, 2 である。写真 1 の等密度噴流においては、遷移領域の終端と考えられる英図近傍 ($x/B_0 = 10$) から噴流域への連行を示す軌跡が見られ、下流下にては下流噴流外縁部に渦動が対称に現われているのが明確に観測される。この渦動は主流方向に背を向けるような回転を示し、流線は渦動の上流側で密に、また下流側で疎になっている。(英図近傍) をなわね渦動が上流側では流速が速くなり周囲水を噴流内へ巻き込み、下流側では乱流塊を噴流外部へ運び出しながら、渦動が噴流域を拡大しているようである。また、英図近傍においては渦が合体して流動する pairing 現象が認められ、噴流域の拡大、周囲水の連行にはこの渦の合体が関与しているものと予想される。

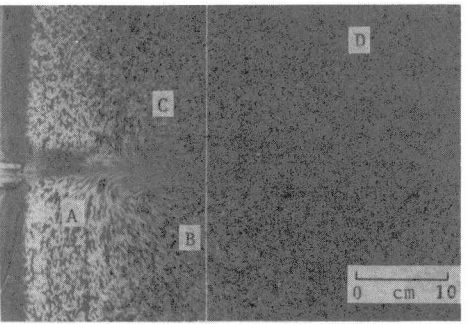


写真-1 等密度噴流 ($Re_0=240, F_{10}=\infty$)

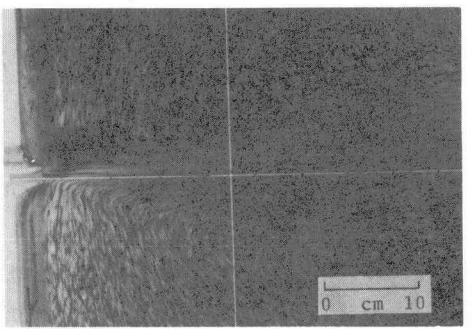


写真-2 密度噴流 ($Re_0=1240, F_{10}=2.39$)

同一条件での密度噴流の軌跡を示したのが写真 2 であり、等密度噴流のパターンとは著しく異なっている。すなわち、密度噴流では水平方向からの連行は放出口極く近傍の形成領域において強く生じており、また 0.5 秒の時間スケールでは外縁部において渦動がほとんど観測されない。しかし、噴流外部では噴流軸に直交するように接近する移流効果が観測され、流線の歪曲と定義される振が振幅も実験した流速の半値半幅、および等密度噴流のそれと比較してかなり大きい。密度差が大きい横、換言すれば F_{10} 数が小さい程、この傾向は強いようである。この原因としてすでに述べた密度差に基づく重力安定効果による水平二次元噴流への移行と渦動の安定性の他に、表層の密度欠損比 $\Delta S/\rho$ による圧力勾配が存在することが考えられる。

図 4 は F_{10} 数 ($=1/\sqrt{Ri}$)、 Re_0 数を種々変えた場合の噴流外縁部における渦動の有無を調べたもので、時間スケールは 0.5 秒である。 Re_0 数の増大、 ΔS の減小にともなう密度噴流であっても渦動の存在が認められる。それゆえ、上記に示した密度差による圧力勾配、重力安定効果と混合層の拡大渦動の平衡関係が、密度噴流の連行機構を支配しているものと考えられ、これらの実験事実に基づくモデル化を今後検討していきたい。最後に、本実験には保崎康夫氏 (理、道路公団) の多大な協力を得た。記して謝意を表す。

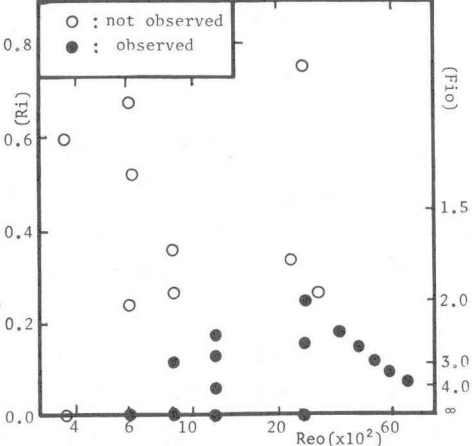


図-4 外縁部の渦動の有無