

## 三次元水平密度噴流の水表面における渦の挙動について

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  
 奥村組(株) 正員 〇栗本 雅裕

## 1. まえがき

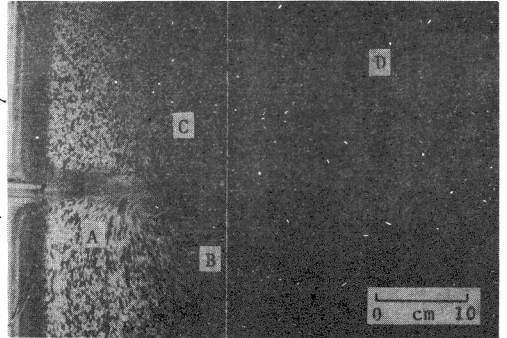
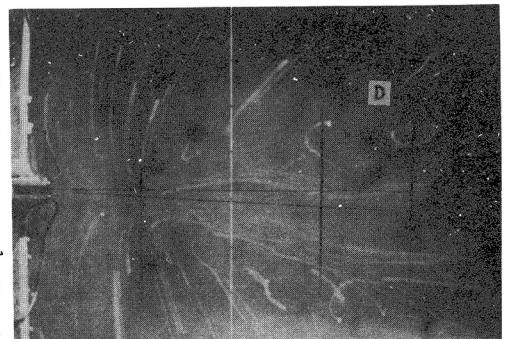
着者の一人は31回年講において水平密度噴流内へ連行される周囲水の接近流況はレイノルズ数により三形態に分類され、接近流速は内部フルード数により規定されるのに対し、等密度噴流の接近流況はレイノルズ数による差異は殆んど見られなことを指摘した。水表面における渦度の分布から考えると、この接近流況の相異は噴流外縁部に発達する渦動がimplicitに影響を及ぼしていると考えられる。本報では可視化観測から水表面における大規模渦の特性を抽出し、連行機構との関連で考察したものでここに報告する。

## 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)の一端に設置した放流口(幅 $B_0=1\text{cm}$ )から淡水を放流する密度噴流の実験を行なった。放流口で定義される内部フルード数 $Fr_0$ 、レイノルズ数 $Re_0$ は水深を一定にし、塩水濃度および放流流速を変えることにより制御した。その範囲は $Fr_0=0.72\sim 4.10$  および  $\infty$ ,  $Re_0=370\sim 2480$  である。可視化の方法はアルミ箔および蛍光塗料を塗布したパンテ屑を水面に撒き、露出時間を随時変えて撮影することにより噴流外縁部での流動を観測した。

## 3. 実験結果と考察

等密度噴流( $Fr_0=\infty$ ,  $Re_0=1240$ )の外縁部に発達する渦動を捉えるために、水面に散布したアルミ屑の軌跡を求めたのが写真-1である。露出時間 $\Delta T$ は0.5秒であり、噴流外部では $\Delta T$ の微小ベクトルで表示される流線を示し、また噴流域では流跡線を示すことになる。同写真から、遷移領域の終端と考えられる点A近傍( $x/B_0=10$ )から噴流域への連行が生じ、さらに流下にはとない渦動が噴流外縁部に沿って対称に現われているのが観察される。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、また下流側では逆に疎になっている。(点A付近)すなわち、渦動の上流側では流速が早くなり外部の非乱流周囲水を噴流内へ巻き込み、下流側では乱流体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、点A近傍においては渦が合体して流動する

写真-1 等密度噴流( $Re_0=1240$ ,  $\Delta T=0.5\text{秒}$ )写真-2 等密度噴流( $Re_0=1240$ ,  $\Delta T=20\text{秒}$ )

pairing現象が明確に認められ、噴流の拡がりにはこの渦動の合体、崩壊等が関与しているものと予想される。この合体が間歇的に発生しているのかどうかは同写真からだけでは不明であるが、Lauter等の指摘する混合層の発達過程に観測される秩序立った大規模渦であろう。実測した噴流流速の半値半幅の拡がり、渦動の内径を連ねた線にほぼ一致し、流下距離に比例して増大するのはコヒーレントな乱れ特性を考察するうえで興味深い。写真-2は同一条件下で散布したパンナ屑の蛍光を露出時間20秒で撮影したものであり、流跡線の濃淡は流速の大きさを示す。 $x/B_0 = 30 \sim 40$  の点D近傍において流跡が渦巻いているのは、写真-1 Dで認められる渦動の影響が積分された移動軌跡としてimplicitに現われてくるためである。また、噴流外部での移流は混合層での渦動に誘起されたものであろう。

つぎに、密度差を有した噴流の水面での流況を露出時間 $\Delta T = 0.5$ 秒で撮影したのが、写真-3, 4である。等密度噴流との比較のために $Re_0$ 数を1240と同一にしたが、両者の流跡のパターンは著しく異なっている。すなわち、密度噴流では水平方向の連行は噴流口極く近傍の形成領域から生じており、 $t = \Delta T = 0.5$ 秒の時間スケールでは外縁部において渦動が殆んど観測されない。しかも、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、流跡の巻曲点で定義される拡がり幅も実測した流速の半値半幅、および等密度噴流(写真-1)のそれに比較してかなり大きい。この傾向は密度差が大きい程、換言すれば $Fr_0$ 数が小さい程強いようである。このことは、等密度噴流の混合層の発達とは異なった物理機構に基づいて密度噴流が拡がることを示すものであり、原因として次の二点が考えられる。すなわち、(1)、密度差による重力安定効果のため噴流の鉛直方向への拡がりが抑制される結果、密度差の増大とともに二次元的な水平噴流に移行すること。(2)、噴流軸に直交する方向の運動量方程式を考えた場合、表層の密度欠損比 $\Delta \rho / \rho$ による方向の圧力差 $\Delta P / \Delta y$ が存在すること。

表-1は密度差 $\Delta \rho$ 、 $Re$ 数を変えた場合の噴流外縁部における渦動を観察したものであり、 $\Delta \rho$ の減少、 $Re$ の増大にともなう密度噴流のため、渦動が認められる。それゆえ、上記に示した圧力差と混合層の発達との平衡関係が、密度噴流の連行機構を支配しているものと考えられる。

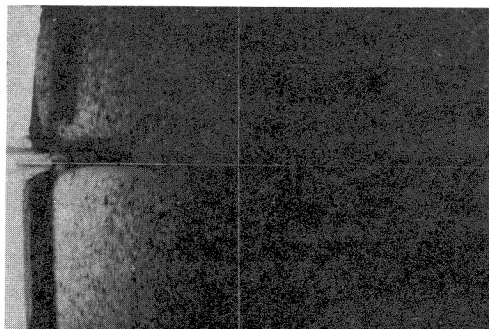


写真-3 密度噴流 ( $Fr_0 = 4.10$ ,  $Re_0 = 1240$ )

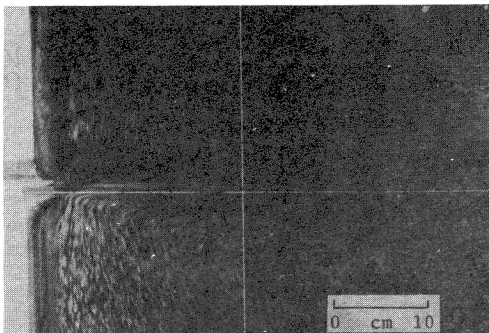


写真-4 密度噴流 ( $Fr_0 = 2.39$ ,  $Re_0 = 1240$ )

| $\Delta \rho$ \ $Re_0$ | 370 | 620 | 870 | 1240 | 2480 |
|------------------------|-----|-----|-----|------|------|
| 0                      | X   | ●   | ●   | ●    | ●    |
| 0.005                  | X   | X   | ○   | ○    | ●    |
| 0.011                  | X   | X   | ○   | ○    | ●    |
| 0.015                  | X   | X   | X   | X    | —    |

注: ●: 強い渦動, ○: 弱い渦動, X: 渦動なし。

表-1 外縁部の渦動と $\Delta \rho$ 、 $Re_0$ との関係。