

平面噴流の平均量特性について

大阪大学工学部 正員 室田 明

大阪大学工学部 正員 の中辻 啓二

1. まえがき ; 表層密度噴流の重要な特性の一つに、わずかな密度差においてさえ成層安定効果が有効に働いて噴流域の鉛直下方への拡がりや抑制されることがある。換言すれば、成層界面を通しての連行加入が生じないことになり、表層密度噴流は放流口から遠ざかるにつれ速やかに二次元平面噴流に移行することが予想される。(33周年講参照)

そこで、表層密度流の流れの構造との比較を目的に平面噴流の実験を行い、噴流外縁部に発達する渦動の可視観測より平面噴流の水理特性を把握したのでここに報告する。

2. 実験内容 ; 実験は $1.6\text{m} \times 1.6\text{m} \times 0.04\text{m}$ の木製平面水槽を作製して行ない、水理条件および計測方法は33周年講と合致させた。すなわち、放流口(幅 $B_0 = 1.0\text{cm}$)の水理量で定義されるレイノルズ数 Re_0 は $350 \sim 1,340$ の範囲である。また、自己保水性の検証のための流速測定は直径 5mm 羽根の超小型プロペラ流速計(計測技術製)を用いた。

3. 実験結果と考察 ; 流速の半値半幅で無次元化した断面内平均流速分布を図-1に示す。比較のためにBradburyの実験曲線も示したが、 $x/B_0 = 4 \sim 12$ の流速測定可能な範囲では相似な流速分布形がほぼ成立している。また、噴流軸上の流速減衰特性も $-1/2$ 乗則を満たしており、測定精度はよくないものの自己保水性が成り立つことが確認できた。

噴流域への連行を引き起す要因として水面圧力勾配と混合層の発達に關する渦動とが考えられる。前者は微弱で測定は不可能であるが、後者は水表面でのトレーサの挙動を種々の時間スケールで観察することにより抽出可能となる。露出時間 ΔT を変えて写真撮影した渦動の一例を示したのが図-2、3であり、 Re_0 数が $1,160$ の場合の観測結果を三次元表層密度噴流との比較で考察するとつぎのようである。

(i) $\Delta T = 1/8$ 秒では噴流内部での流動が捉えられており、放流口から数条の筋をなしたアルミ箔が $x/B_0 = 4.5$ 近傍で屈曲しながら拡がる傾向にある。また、外縁部に発達する渦

の存在は不確かでスケールを抽出することはできない

(ii) $\Delta T = 1/4$ 秒では外縁部での渦動の存在がより明確になる。特に注目すべきことは渦動の発生位置が三次元表層噴流に観られるような対を形成するのではなく、左右非対称に互い違いになっていることである。この渦動の影響を受けて噴流内部の流線は蛇行しながら流下しているのがよく観てとれる。

(iii) さらに、 ΔT を $5 \sim 20$ 秒と選ぶと渦動の影響

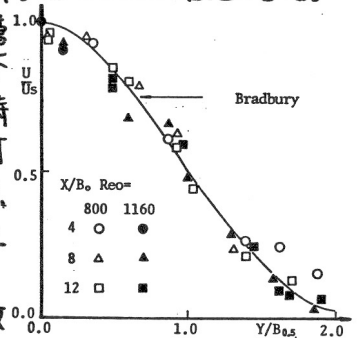


図-1 平均流速分布

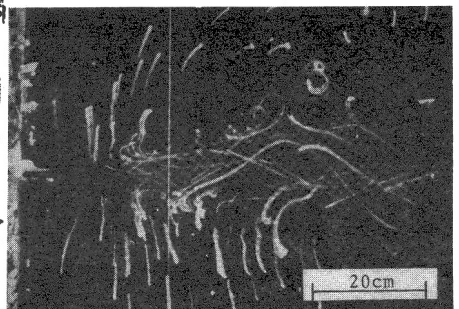


図-2 流線線 ($Re_0 = 1,160, \Delta T = 20$)

が積分された形でフロートの軌跡に現れており、興味深いことは渦動によって噴流内へ進行された流体塊が噴流内部を横切って反対側外縁部にまで輸送されることである。

上記傾向は Re_o 数が大きい程強く現れ、その比較を図-3に示す。 $Re_o = 400$ の層流の場合を除いて外縁部において渦動の存在が認められ、また、 Re_o 数の増大とともに渦動の循環が強くなっており、噴流内部での流動が渦動に引きつけられて蛇行しているのが観察される。また、渦動の中心の相対的位置の時間変化を $1/4$ 秒間隔で追跡した結果、流速経路の変化から混合層の発達には渦動の合体現象が主要な役割を果たしているのが分った。

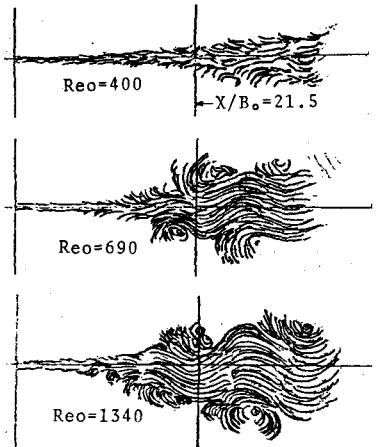


図-3 流線 ($\Delta T = 1/4$ 秒)

渦動の存在による拡がりと比較するために、渦の外縁・内縁および半値半幅 $B_{0.5}$ 、2% 拡散幅 $B_{0.02}$ の流れ方向変化を示したのが図-4 である。渦の外縁の拡がりにはほぼ直線的で、 Re_o 数の増大とともにその勾配は大きくなり、また仮想原点は放流口に近づくようである。いずれの場合も流速の半値半幅から算出した $B_{0.5}$ の拡がり勾配 $dB_{0.5}/dx = 0.176$ よりも概ね大きい。

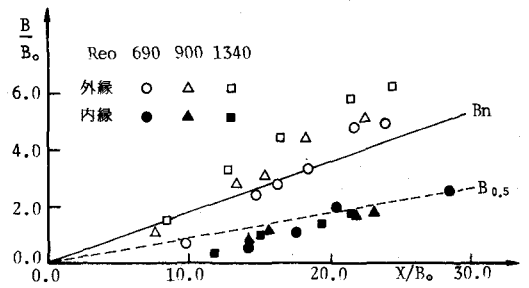


図-4 拡散幅の流程方向変化

進行形態を特徴づける物理量として進行開始位置までの距離 L_F 、接近流速 U_{ap} および噴流軸とのなす角 θ とがあり、 U_{ap}/U_o 、 θ の流れ方向変化を図-5に示す。 L_F は噴流の剪断層の不安定性により決まり図-3に示されるように Re_o 数の増大とともに減少する傾向にある。噴流外部領域でのフロートは進行開始と共に収束するように流動するため放流口近傍では θ は $\pi/4$ よりも大きくなり Re_o 数の影響を多分に受けるが、 $X/B_o > 10$ の領域においては U_{ap}/U_o および θ は Re_o 数とは無関係にそれぞれ 0.41 、 85° の値を取り相似となる。

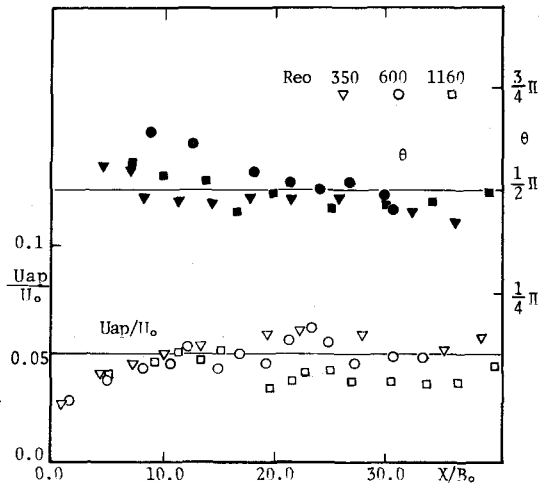


図-5 接近角度 θ と接近流速 U_{ap}

つまり、外縁部の渦動を介した非定常な進行加入現象も時間平均された平均量特性にはほとんど影響を及ぼすことなく、噴流内流速の自己保存性はほぼ成立すると考えてよい。しかし、これは渦動の影響を強く受け相似性が満足するとは思えない。このことはフロートの噴流内での軌跡、ならびに渦動が非軸線に出現することからも類推できよう。

最後に、本研究には特別研究学生の合田 隆二 氏に協力を得た。記して謝意を表す。