

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
 電源開発(株) 正員 橋本 長幸

1. まえがき ; 剪断乱流場における数多くの可視観測から大規模な粗織だった渦動の存在が認識され、混合層の広がり、あるいは連行機構は渦動間の合体現象と密接な繋がりをもつことが明らかになりつつある。著者らも二次元表層密度噴流場で合体する渦動を見出しその基本特性について既に報告したが、¹⁾本報では個々の渦動の軌跡から合体過程を概観し、その発生原因について基礎的な考察を試みる。

2. 実験装置および実験方法 ; 実験は長さ6m, 幅0.15m, 高さ0.5mの両側面アクリル製水槽を用い、放流口水深約2cmで淡水を表層放流すると同時に下層から塩水を調整しながら補給し、水質連行を伴う密度噴流を発生させた。放流口での水理条件は、密度差 $\Delta\rho_0 = 0.0 \sim 0.01 \text{ g/cm}^3$, 流速 $U_0 = 10.5 \sim 29.0 \text{ cm/sec}$, レイノルズ数 $Re_0 = 2,300 \sim 6,200$ の範囲である。放流口先端から注射針で注入したウラニンを光束幅0.5cmの二次元スリット光束で発光させ、それをビデオ装置および16mm高速シネカメラで撮影することにより可視観測を行なった。また同時に、定点計測も併用して噴流場の流れ・乱れ特性の把握も行なった。

3. 渦動の合体現象 ; 注入された染料雲は鮮明な横S字型のパターンを示し、流下とともに徐々に離散的な塊となり渦動としての挙動を呈する。Brown-Roshko²⁾にならない、渦動の発生・発達を個々に追跡して流程距離-時間(x-t)平面に渦動の中心位置の変化を克明に記したのが図-1である。同図には $\Delta\rho_0 = 0.01$, $Re_0 = 5,810$ の実験例を示したが、渦動の平均的な特性を概観するとつぎのようである。

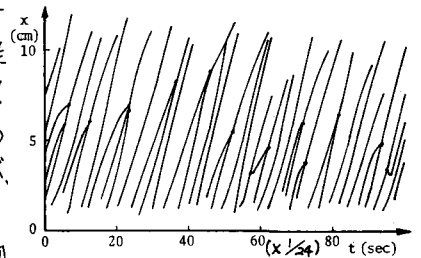


図-1 渦動の軌跡 (x-t平面)

(1) 渦動間隔および渦動規模は流下にとまない線形的に増加する傾向にあり、混合層厚に関係する。(2) 渦動の移流速度はほぼ一定で $0.61 \sim 0.66 U_0$ である。(3) 二つの渦動が一つとなる合体現象あるいは一つの渦動が分裂する現象が頻繁に生じ、渦動は活発に挙動する。(4) 合体過程において先行する渦動の移流速度は小さく、また後続する渦動のそれは大きい。

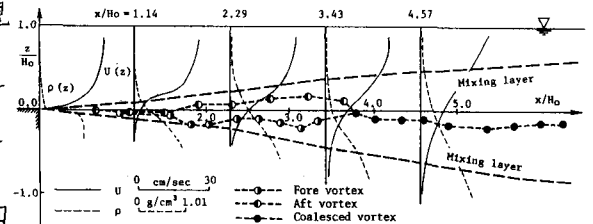


図-2 渦動の軌跡 (x-z平面)と噴流場の特性

図-2は、図-1の合体する渦動の軌跡をx-z平面にプロットしたものである。渦動の時間間隔は1/24秒であり、また比較のために流程方向流速Uと密度 ρ の鉛直方向分布ならびに渦動の外縁で定義した混合層厚を同図に載せた。先行する渦動(●)は $z < 0$ の領域を流下しその移流速度は小さいのに対し、後続する渦動(○)は $z > 0$ の領域を流下(移流速度は大きい)。この移流速度差により両渦動は $x = 6 \sim 8 \text{ cm}$ の位置で第一回目の合体を行なう。そこで、図-1の渦動を合体する渦動と合体しない渦動に、さらに前者を先行する渦動と後続する渦動とに分類し、各渦動の移流速度の頻度分布を調べた。また図-3に示すように各流下地点での渦動の移流速度 U_c と定点計測から得られる流速 U との比較を行なった。その結果、先行する渦動と後続する渦動との移流速度差は平均的に $0.21 U_0$

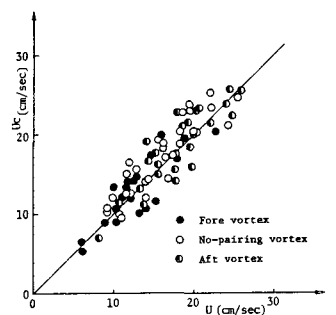


図-3 移流速度と流程方向流速

であり、各渦動の移流速度は剪断乱流場の平均流速分布により決定されることが判明した。

つぎに、合体過程での二つの渦動の相対位置の時間的変化を1/24秒毎に示したのが図-4である。座標系は同図に示すように先行する渦動を原点に選び、鉛直方向(Z軸)向上きに正、流程方向(X軸)の上流方向を正とした。同図より、渦動の相対的位置はXの減少とともにZが徐々に増大して最大となり、その後減少して原点に近づく。すなわち、合体して一つの渦動になることがわかる。この過程においてXが負となる場合、換言すれば後続する渦動が先行する渦動を追い越してから合体する例も観測される。

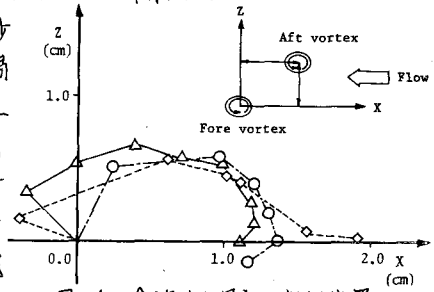


図-4 合体する渦動の相対位置

同じ方向の循環を有する二つの渦糸間の相互作用を完全流体における渦糸群の運動方程式に基づいて同図に示すならば、それは原点を中心とした反時計まわりの等速円運動となる。この相互作用と上述の移流速度が平均流速分布により決定されることを考え合わせることで、図-4の相対的位置の変化が明瞭に説明できる。

すなわち、渦動間の相互作用によって先行する渦動は下方へ、後続する渦動は上方へと移動し、鉛直方向の位置に差異が生じる。そして、各々の渦動はその位置での流速Uで移流し、移流速度差により渦動間隔を縮める。この間にも渦動間の相互作用は影響し続け、後続した渦動は先行した渦動に巻き込まれるかのようにして二つの渦動は合体する。図-4において第一象限から第二象限へと相対的位置が変化する場合、第一象限のみの場合と比較して渦動間の相互作用がより強く現われているためであると考えられる。また、流速分布の勾配が小さい場合には相互作用が優り、相対的位置は第一象限から第四象限まで反時計まわりに変位しながららせん形を描くように原点に近づく傾向にある。

4. 初期条件の影響；合体現象は上述の機構により説明できるが、発生した渦動は必ず合体するわけではない。他方、渦糸モデルにより循環の方向と大きさの等しい無限個の渦糸が等間隔に並んだ渦列を考えるならば、個々の相互作用は互いに打ち消され渦糸は元の状態を保つ。このことは放流口近傍で発生する渦動の位置・周期・強度が渦動の発生・合体過程に強い影響を及ぼすことを示唆している。

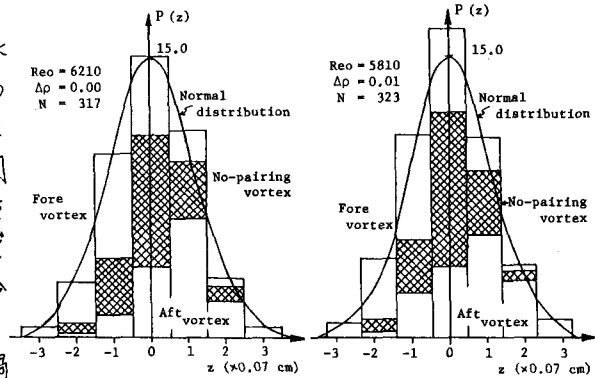


図-5 渦動の発生位置の頻度分布

図-5に渦動の発生位置の頻度分布を分類した渦動列に示した。渦動全体については確率密度分布は同図に示すように正規分布で近似できる程度にランダムであるが、合体する渦動については先行する渦動は $z > 0$ で、後続する渦動は $z < 0$ で発生する確率が高いことが明瞭にわかる。また、渦動の発生周期に関しても発生位置と同様の傾向を示し、周期が平均周期よりも短い場合に合体する確率がより高く、また全体としては正規分布に従う。

このように渦動の発生位置と周期との組み合わせがランダムな合体現象を支配する直接的な要因になると推量されるが、図-5に示されるように両者の頻度分布には密度差あるいはレイノルズ数の影響はほとんどみられない。それらの影響は発生周期の逆数で表わされる渦動の発生個数に現われており、表-1からわかるように、レイノルズ数が大きいく程、また密度差が小さい程、発生個数は多くなる傾向にある。この傾向は初期不安定に及ぼす慣性効果ならびに成層安定効果を顕著に反映しており、モデル化を考えるうえで興味深い。【参考文献】1) 室田 中江・橋本；関西交響年講、1980。2) Brown・Roshko；JFM, Vol.64, 1974。

Re \ Δρ	2400	4060	5890
0.0000	3.79	5.71	9.90
0.0050	3.76	5.00	8.33
0.0075	3.60	4.76	7.81
0.0100	3.57	4.76	7.63

表-1 渦動の発生個数