

九州大学 工学部 正員 椿 東一郎
九州大学 工学部 正員 小松 利光
九州大学 工学部 正員 ○後藤 俊一

1. まえがき

乱流が従来から言われていたような統計的にランダムな渦だけの集合でなく、規則性をもったスケールの大きい渦運動からも構成されていることが注目されはじめて以来、境界層乱流・自由乱流・混合層流における組織渦について種々の立場から研究が行われてきた。しかしながら組織渦に伴う乱流特性・周囲水の混入量及び運動量や物質の拡散に果たす組織渦の役割についてはまだ明らかではない。今回著者は、2次元鉛直乱流及び浮カプルームについて実験を行ない、組織渦の特性と連行メカニズムに関する若干の知見を得たので報告する。

2. 実験装置及び方法

実験に用いた水槽は長さ2m、深さ1.3m、幅20cmの前面アクリル製水槽で、淡水中に幅 $B_0=0.5, 2, 5$ cmのスリットから淡水及び塩水を下方に噴出させて行なった。測定は2方向V型 hot-film 流速計を2個結合して3方向流速 U, V, W を、また塩分濃度計及び差圧計を用いて塩分濃度と圧力をほぼ同一点・同時測定した。一方組織渦の動きを追うため、VTTR装置とモータードライブカメラによる連続写真撮影により可視化測定を行なった。表-1に実験条件を示す。なお $Fr_{0.10} = \frac{U}{\sqrt{gB_0}}$ で定義される内部Froude数である。 $(\epsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho_0})$

RUN	Q_0 (cm^3/s)	$\Delta \rho$ (g/cm^3)	B_0 (cm)	U_0 (cm/s)	Fr
1	53.9	0.0098	0.5	10.80	4.93
2	95.9	0.0098	5	1.92	0.277
3	124.1	0.0070	2	6.20	1.67
4	120.7	0.0125	0.5	24.13	9.75
5	106.7	0	0.5	21.34	∞
6	108.1	0.0125	5	2.16	0.276

表-1 実験条件

3. 実験結果とその考察

hot-film流速計より得られた流速変動データにローパスフィルターをかけて高周波成分を除去し、組織渦の通過に伴う大きな流速変動のみを記録したものを図-1に示す。渦の周期 T として変動のピークからピークまでの時間の平均値を求めた。 T の無次元表示であるストローハル数 $St (= \delta/L_m T)$ と噴出口からの距離 X との関係を図-2に示す。均一噴流であるRUN 5は X の増加と共に St 数を一様に増加していくが、浮力をもつ場合はいずれも最終的には $St=0.1$ に収束しており、plume like flowでは $L_m = \text{const.}$ となることから $\delta \propto T$ となり、噴流幅と組織渦の周期の間に比例関係が存在することになる。

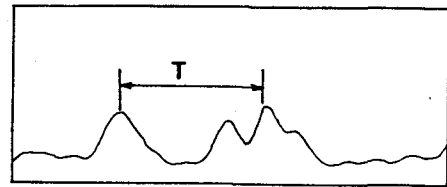


図-1 流速変動記録

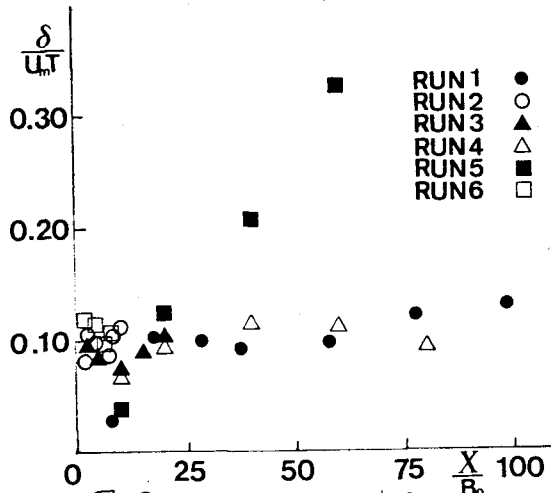


図-2 ストローハル数と X の関係

が得られ興味深い。また渦同士の合体及び周囲水の連行により、 L_x は流下方向に増大し V_x は減少している。 L_x と V_x より得られる渦の周期を $T_v (=L_x/V_x)$ とする。一方、周囲水に注入されたトレーサーが噴流に巻き込まれる時間間隔 T_v をVTRにより測定した。表-2に T_v と T_s の比数を示す。 T_v と T_s は大きく異なっており、連行現象が必ずしも交互に左右に配置された組織渦のpairにより引き起こされるものではないということを示している。

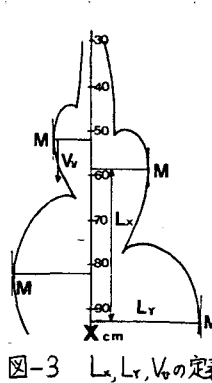


図-3 L_x, L_r, V_x の定義

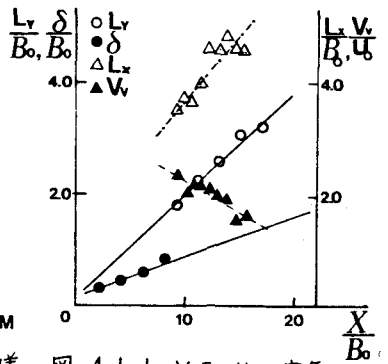


図-4 L_x, L_r, V_x, δ の X との関係

4. 連行メカニズム

噴流及びplumeでは、組織渦はそれぞれ両側に交互に逆方向に回転しており、その間を主流が流下している。図-5(a)では①と②、(b)では③と④で主流と渦に挟み込まれるような形で連行が生じている。(a)図では渦(I)と主流により②で連行が生じるが、同時に主流により渦(II)は渦度を増大させている。この後、渦(I)は連行により渦度を消耗し(b)図のように外側に押しのけられて下降速度が減少し、渦と渦の角度も鋭くなりもはや連行を維持できなくなる。一方主流によって成長した渦(II)は(b)図に示すように新たに主流と共に連行を引き起こす。このとき主流により渦(I)、(III)は渦度を新しく与えられるが、②と③の高さが接近するため渦により生じる流れの向きが②において渦(I)と逆になり、この時点では②において連行は生じない。このように組織渦は合体及び主流により成長し、主流と共に連行を引き起こした後衰弱するという過程を繰り返しながら流下している。したがって連行が起こっているのは左右どちらか一方でそれが交互に起こっているのである。先の T_v/T_s の値が1.4~1.8倍程度になったのは以上の理由によるものであろう。

X cm	40	50	60	70
T_v (VIDEO)	5.82	6.70	7.49	8.18
T_s (SLIDE)	3.13	3.80	4.63	5.69
T_v/T_s	1.86	1.76	1.62	1.44

表-2 T_v と T_s の比較

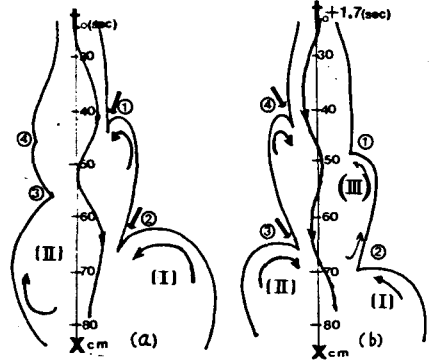


図-5 渦と主流による連行状況

同一点・同時測定を行なった変動記録にコーパスフィルターをかけたものを図-6に示す。これによると p' と v' の間の負の相関が強いが若干位相のずれがあり v' が早い。一方、 p' と w' の間にも負の相関があり位相は p' が早くなっている。このことから圧力が下がるるとそこに連行が起こり、周囲水が巻き込まれて濃度が小さくなる。また u' と w' の間には正の相関がみられるが、これは密度が大きい時には密度効果により流速が加速されることも意味している。最後に本研究遂行にあたり助成願った西村義君に深甚なる謝意を表します。

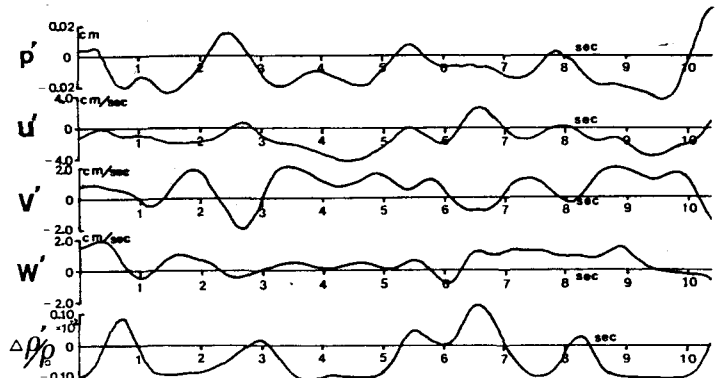


図-6 圧力・流速・濃度の変動記録

ずれがあり v' が早い。一方、 p' と w' の間にも負の相関があり位相は p' が早くなっている。このことから圧力が下がるるとそこに連行が起こり、周囲水が巻き込まれて濃度が小さくなる。また u' と w' の間には正の相関がみられるが、これは密度が大きい時には密度効果により流速が加速されることも意味している。最後に本研究遂行にあたり助成願った西村義君に深甚なる謝意を表します。