

II-172

開水路混合層の組織渦とその制御に関する研究

京都大学大学院 学生員 松本 利典

京都大学工学部 正 員 中川 博次

京都大学工学部 正 員 福澤 家久

1. まえがき 乱流構造の中にcoherentな大規模渦運動が存在することが明らかになり、さらにその組織的渦運動が流質の異なる流体の混合に寄与していることがわかって以来、組織渦の挙動の認識及び内部構造の解明が進められてきた¹⁾。本研究は、混合層の初期条件が組織渦の発生・発達・合体機構に及ぼす影響に着目し、特に流速比を変化させたり、外部攪乱を与えた場合の組織渦の変化特性について、可視化法及び点計測法、さらに両者の同時計測を通じて検討し、組織渦に関する制御を試みたものである。

2. 実験装置と方法 長さ15m×幅50cmの水路の中央を厚さ1mmの鉄板で二分し、水路上流端から7.7m下流で合流させた。隔てられた両水路の流量は各々独立して任意に設定できる。外部攪乱を与える場合は合流地点に振動数可変の振動装置を設置した。本実験では、表-1のように流速比及び外部攪乱の周波数を変化させて行った。可視化実験は染料ローダミンBをトレーサとして用いて合流地点から放流し、水路上方からビデオ撮影した。点計測は2成分X型ホットフィルム流速計を用い、測点は各ケース共、合流後80cmまでの約150点である。なお、染料の放流及び点計測の水深方向の高さ z は $z/h=0.8$ と一定にした。また、点計測の結果と可視化された渦運動とを対応させるために同時計測を行い、染料によって可視化された渦がホットフィルム設置断面を通過するのをビデオに録画した。

3. 組織渦の可視化結果 合流後に生じる不安定波から渦が形成され、その渦は成長し、時には合体しながら移流し、やがて崩壊する。この一連の渦の挙動は、従来の研究¹⁾に見られるものと一致する。さらに本実験では、外部攪乱を与えた場合、その振動数によって組織渦が特徴的な変化特性を示すことが認められた。すなわち、低周波振動の場合は自然状態での渦発生を保ちながらその移流経路に長周期の揺らぎを与え、やがて渦列を大規模に巻き込んだ合体を生じて渦塊となる。一方、高周波振動を与えた時は、渦は発生の段階から自然状態とは異なり制御された渦列となる。この渦の発生周波数は完全に強制振動数に支配され、その後移流されても渦間隔は一定で合体は全く行わず、渦径も成長しない。しかも渦の崩壊は比較的早くなる。このような組織渦の挙動を表現する方法として、図-1に走時曲線を示す。これは渦の軌跡をグラフ化したもので、渦の発生・合体の様子がうかがえる。また、図-2に流下方向の渦径の変化を示す。流速比が小さいほど、つまり流速差が大きいほど渦径の増加が著しい。また、外部攪乱を与えると渦径は線形的には成長しない。低周波振動時にはある地点で飛躍的に渦径を増大させるのに対し、高周波振動時は渦径の成長は鈍い。この結果は、前述の渦の挙動から説明できる。

4. 点計測結果 点計測によって得た平均流速分布から混合幅を求めた。本研究では、混合幅として渦度厚さ $\delta=(U_1-U_2)/(\partial U/\partial y)_{\max}$ を用いて評価した。そこで、混合幅 δ の流下方向の変化を図-3に示す。自然状態において混合幅の増加は直線的であり、流速比が小さいほど増加率は大きい。この特性はBrown&Roshko²⁾の結果と一致する。外部攪乱を与えた場合、低周波振動時は大規模な合体と共に混合幅も急増するのに対して、高周波振動時には混合幅の拡がりや自然状態よりも抑制される。これら混合幅の変化は前述の渦径の挙動とよく対応している。図-4にこの混合幅を用いて無次元化した流速分布を示す。合流直後には後流の影響が見られるが、その後自己保存則が成立する混合層型に移行しているのがわかる。次に図-5に横断方向の乱れ強度 v' の等値線図を示す。合流後に発生する不安定波がroll-upし渦を形成する位置に v' の最大となる領域が存在する。さらに、渦運動と対応づけると、低周波振動を与えた場合、渦が合体によって渦径を増大させるにつれて v' も横断方向へ大きな拡がりを持ち、高周波振動時には、渦発生と共に強い v' を示すが、渦径に成長がなく崩壊も早いことから v' も横断方向へは伝わらず流下方向にも持続しないことがわかる。図-6は

流速変動のスペクトルである。一例として0.4Hz 振動を与えた時の流下方向のスペクトル変化を示す。合流直後は渦の自然発生周波数と思われる2～3Hzのピークが存在するが、流下するに従って合体のため0.4Hzのピークに吸収される様子がわかる。

5. 同時計測 渦の空間構造を把握するために可視化手法によって渦通過の同期を図り、流速変動を得た。つまり、可視化された渦中心が流速測定断面を通過する時刻を $t=0$ として流速変動を集合平均した。流下方向流速 u から移流速度 U_c を引き、ベクトル表示したものが図-7である。外部攪乱を与えた時、制御された渦列となり、渦径・通過位置がほぼ一定でサンプリングが容易であるため、特に鮮明な渦構造が確認される。

6. あとがき 組織渦の挙動は初期条件に支配されるところが大きく、特に外部攪乱を与えた場合の影響はその振動数によって特徴的であることがわかった。すなわち、低周波振動は組織渦の成長を助けて乱流拡散を促進するのに対し、高周波振動は組織渦を抑制するという結果を得た。この結果は、外部攪乱によって組織渦が制御されることを示している。

<参考文献> 1) 中川ら(1986), 土木学会第41回年講, II-158

2) Brown ら(1974), JFM, vol.64, pp775-816

CASE	h (cm)	Q_1 (l/s)	Q_2 (l/s)	U_1 (cm/s)	U_2 (cm/s)	U_1/U_2	f (Hz)
HA-1	10.0	1.50	0.30	10.0	2.0	0.2	
HA-2	10.0	1.50	0.60	10.0	4.0	0.4	
HA-3	10.0	1.50	0.90	10.0	6.0	0.6	
HA-4	10.0	1.50	1.20	10.0	8.0	0.8	
HA-5	10.0	1.50	1.50	10.0	10.0	1.0	
HV-1	10.0	1.50	0.90	10.0	6.0	0.6	0.4
HV-2	10.0	1.50	0.90	10.0	6.0	0.6	0.7
HV-3	10.0	1.50	0.90	10.0	6.0	0.6	1.0
HV-4	10.0	1.50	0.90	10.0	6.0	0.6	1.5
HV-5	10.0	1.50	0.90	10.0	6.0	0.6	2.0

表-1 実験条件表

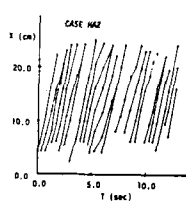


図-1 走時曲線

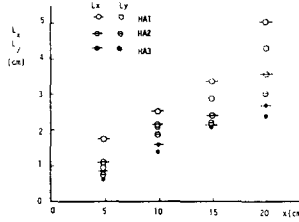


図-2 渦径

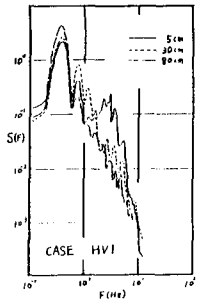


図-3 スペクトル

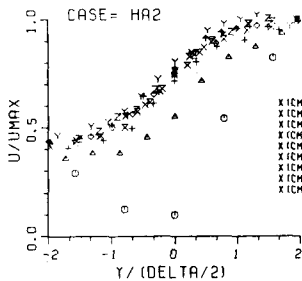


図-4 無次元流速分布

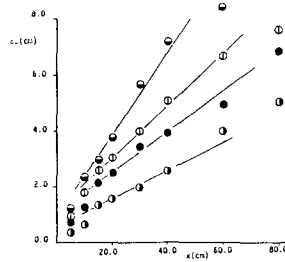


図-5 混合場

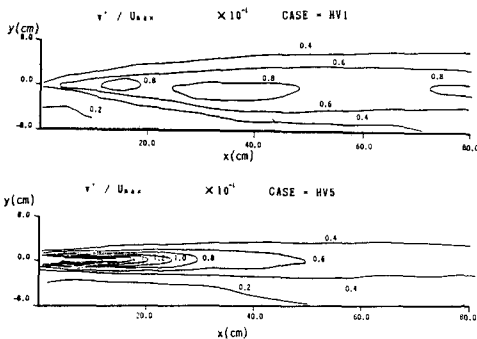
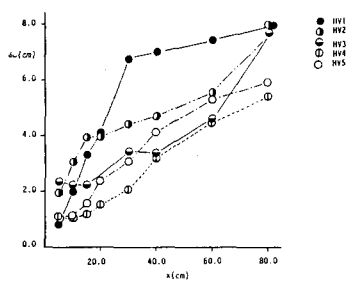


図-7 渦の空間構造

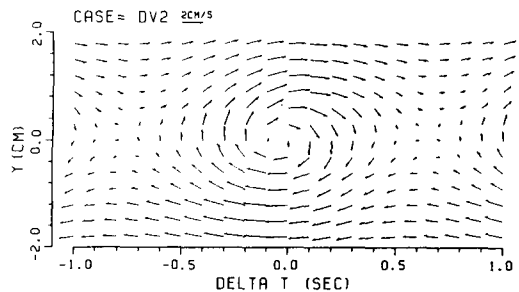


図-8 渦の空間構造