

混合せん断流における大規模渦運動に関する実験的研究

九州大学大学院○学生員 山本 賢一

九州大学工学部 正 員 小松 利光

九州大学工学部 正 員 柴田 敏彦

九州大学工学部 正 員 栗谷 陽一

1. まえがき 著者らは混合せん断流における大規模渦の可視化観測と仮想界面変位の同時測定を行うことにより、大規模渦の生成や合体時の仮想界面変位の検出基準を新たに導き出した。本文ではこの新しい基準に基づいた解析を行い、大規模渦と乱流特性との関係について考察を加えている。

2. 実験方法・実験条件 実験は長さ5m、幅15cm、高さ40cmの二次元水路を用い、混合層流れを作るため水平の仕切り板を水路底より25cmの所に設置した。上下層の流体は仕切り板の末端（この点を座標原点とし、流下水平方向にx軸、鉛直上向きにy軸、奥行き方向にz軸をとる）で初めて接触し、流速差により渦動状態が引き起こされ、混合せん断流が形成される。Exp.Aでは、流速の測定は2方向x型 hot film 流速計（TS I製）、密度の測定には電気電導度計、界面変動には内部波高計を用いた。内部波高計を $x=7\text{cm}$ に固定し、ほぼ同一点として結合した電導度計と hot film 流速計を内部波高計から Δx だけ離し、各々の Δx に対し鉛直方向に測線を取り、内部波高と流速と密度を同時測定した。得られたデータはデータレコーダに収録し、A-D変換の後統計処理を行った。サンプリング間隔は $\Delta t=1/125(\text{sec})$ 、データ個数は1測点につき $N=16,384$ 個である。Exp.Bでは、可視化法と内部波高計を用いて、渦の運動と仮想界面変位の同時測定を行った。これは大規模渦の生成や合体などの挙動に伴う仮想界面変動の対応を明らかにすることを目的としている。Exp.Aと全く同じ水理条件のもとで、 $x=y=0$ の点から上・下層水のほぼ中間の密度をもつフルオレセインナトリウム溶液を細管を通して注入し、上方からスリット光を当てて可視化した。また $x=7\text{cm}, 10\text{cm}, 15\text{cm}$ に順次内部波高計を挿入し、可視化された渦とペン書きオシロに出力された仮想界面変動の時系列を同時にビデオ撮影した。これにより大規模渦の生成や崩壊、また2つ以上の渦の合体などが起こっている時の仮想界面の変動パターンを調べることが可能となった。

3. 実験結果とその考察

（1）大規模渦の生成・合体・崩壊の過程；従来より、比較的低いReynolds数の混合せん断流では大規模渦は合体を繰り返しながら流下し、そのスケールと周期を増大させていく（process-I）ことが報告されている。また、一方では著者らが以前行った可視化実験から、“せん断層厚程度のスケールをもって発生した大規模渦は強い平均せん断流によってすぐに引き伸ばされて、大規模渦の下部は取り残され上部は引きちぎられるようにして流下する。取り残された下部は後発の渦の上部と、また渦の上部は先行した渦の取り残された下部と新たに大規模渦を生成するか、もしくはその上を素通りして流下する。以上のprocessを繰り返しており、大規模渦の生成・崩壊は局所的で、一つの大規模渦の寿命時間は短い”（process-II）と報告している。今回の詳細なExp.Bの可視化観測からこの両方のprocessが存在することが改めて確認された。Reynolds数が小さいときはprocess-Iが、Reynolds数が大きくなるとprocess-IIが卓越してくるものと思われる。写真-1にprocess-IIを示す。先行する大規模渦が平均せん断により引き伸ばされ、その結果取り残された下部の部分が後続の2つの渦と合体する様子がよく示されている。

（2）大規模渦の生成・合体時の時空間特性；可視化により、大規模渦の生成・合体時における仮想界面の変化に典型的なpatternが存在するかどうか検討した。その結果、単独渦の生成時や2つ以上の渦の合体時は強い回転を伴うために、仮想界面は図-1に示すように、強い回転渦の通過に伴いまず極小値を示し、その後

すぐに極大値を示すことになり、その振幅は大きい。渦は生成時や合体時は真円に近い形を持つため平均仮想界面からの極大値と極小値までの値 H_1, H_2 は、ほぼ等しく振動の半周期 T_1, T_2 もほぼ等しくなることが明らかになった。そこで、この変動 pattern を利用して Exp. A のデータから仮想界面変位 η を検出指標とした、条件付きサンプリングによるアンサンブル平均を行い、生成・合体時の渦の定量的空間構造の時間変化を求めた。その際、 η の時系列において大規模渦の発生・合体時の条件として、 $T_1/T_2=1/1.6\sim 1.6$ 、 $H_1/H_2=1/1.6\sim 1.6$ を満足する極小・極大のペアを H の大きいものから順に25個を選び出し、この25個について各変動諸量のアンサンブル平均を取ることにした（以後アンサンブル平均値には $\sim$ を付ける）。

アンサンブル平均により得られた結果の一部を図-2, 3に示す。明瞭な回転渦形とそれに伴う密度変動 $\tilde{\rho}$ の様子がわかる。比較のため、測定データ中に存在するすべての大規模渦についてアンサンブル平均をした場合に得られる $\tilde{\rho}$ を図-4に示す。全体的に輪郭がぼやけており、生成もしくは合体のとき以外の大規模渦は回転運動も比較的弱く、そのため下層水の巻き上げもそれ程大きくないことがわかる。

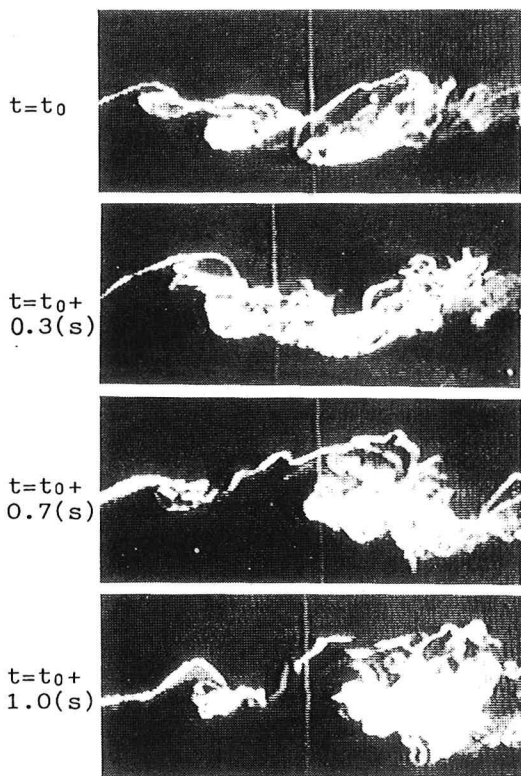


写真-1 渦の生成・合体 (process-II)

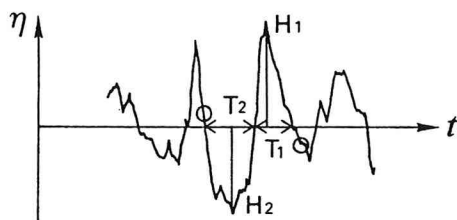


図-1 渦の合体時の仮想界面

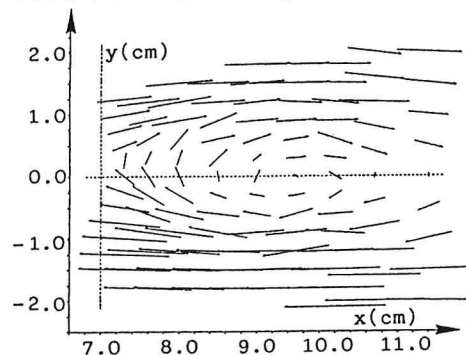


図-2 大規模渦像

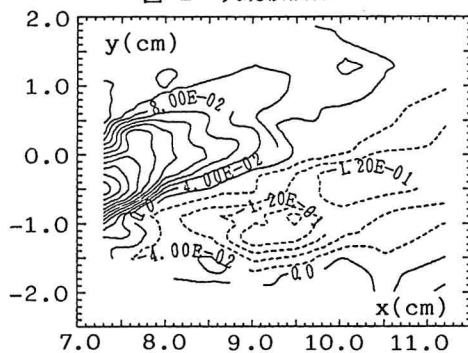


図-3 密度変動 $\tilde{\rho}$
(生成・合体時の大規模渦による)

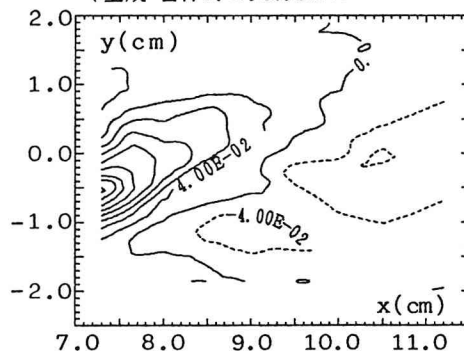


図-4 密度変動 $\tilde{\rho}$
(全ての大規模渦による)