

京都大学大学院 学生員 樋口 義弘
 石川島播磨重工業 正員 畑 英也
 群馬大学工学部 正員 富永 晃宏

1. まえがき

噴流出口近傍において確認されている組織立った渦運動は、噴流の初期の進行や乱れ発生に重要な役割を演ずるとともに、十分に発達した乱流領域への遷移過程を解く鍵とされている。本研究は、渦の通過時における流速パターンを計測することにより、その内部構造の解明を図るとともに、組織渦の検出基準を定め、合理的な条件付点計測法を確立することを目的としたものである。

2. 実験方法

$200 \times 50 \times 100$ mm の両側面ガラス張りの水槽に、 50 mm 径の円型ノズルを取り付け噴流を水平に放流させた。実験条件を表1に示す。Case RL-50では前方散乱型の構成レーザードップラ流速計を用いて流速を測定し、Case SM-50では上述のレーザードップラ流速計による流速測定と、染料による可視化法とを併用した。可視化された結果はディジタイザによって解析され、両者の時間軸を一致させることにより、可視化及び点計測から求められた結果の比較検討が行えるようにした。なお点計測については両ケースともにサンプリング周波数は 200 Hz であり、可視化結果は 30% でビデオ録画された。

表1 実験条件表

CASE NUMBER	DIAMETER D (mm)	INITIAL VELOCITY V_0 (cm/sec)	WATER TEMPERATURE T_w (°C)	KINEMATIC VISCOSITY ν (10^{-4}) (cm ² /sec)	REYNOLDS NUMBER Re
SM-50	50.0	17.2	16.2	1.053	4900
RL-50	50.0	17.3	19.1	1.029	5000

3. 実験結果

点計測と可視化の結果は次のようにして結びつけられた。まずビデオ画像から、渦の先端・後端・次の渦の先端が測定点を通過する時刻 t_1, t_2, t_3 (s) を記録し、平均流速と乱れ強度で無次元化した点計測で求められた流速信号から t_1, t_2 間のデータを抽出する。両区間のデータ長を別々にその平均値に統一し、データの補間を行って集計し、流下方向流速、半径方向流速、レイノルズ応力のパターン $\bar{U}, \bar{V}, \bar{W}$ を求める。これと同時にレイノルズ応力については領域区分を行い、第1-4象限について強度と出現確率を求めた。

図1にその結果を示す。ここで、1, 2段目のグラフは $\bar{U}, \bar{V}$ 及び $\bar{W}$ のパターン、3, 4段目は領域区分した $\bar{W}$ に関する強度と出現確率を示しており、矢印は測定位置を示す。この図より次のことが認められる。

(a) $\bar{W}$ のパターンについて

軸上ではパターンは乱れているが、それ以外では渦先端部に正のピークを示し、後端部に負のピークを示す

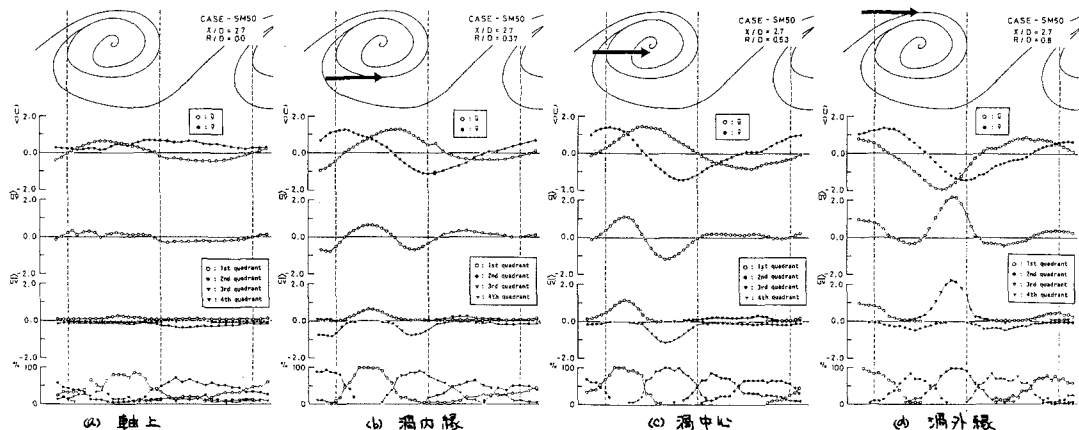


図1 渦通過時の流速パターン

というパターンが渦の中心、内縁、外縁に共通して見られている。

(ii) のパターンについて

- ・軸上、内縁中心 --- 渦の内部（ほぼ中心）で正のピークを示し、次の渦との間で負のピークを示す。
- ・外縁 --- 渦の内部（ほぼ中心）で負のピークを示し、次の渦との間で正のピークを示す。

(iii) のパターンについて

- ・軸上 --- パターンは顕著ではない
- ・内縁中心 --- 渦の中心よりやや前方で第1象限成分により正のピークを示し、中心よりやや後方で第4象限成分により負のピーク、渦通過後はわずかながら第3及び2象限成分が現われる。
- ・外縁 --- 渦の中心よりやや前方で第2象限成分により負のピークを示し、中心よりやや後方で第3象限成分により正のピーク、渦通過後はわずかながら第4及び1象限成分が現われる。

（いずれも中心は内縁と同様の傾向を示しているが、これは中心より少々下側を測定したためと思われる。）

以上の結果より、図2のような渦内部での回転運動及び渦前方部からの進行などが説明できよう。また渦の通過位置を規定できなくとも、半径方向流速を検出基準にすることにより、渦運動を抽出できるのではないかと考えられる。ところが図3に示すように、周波数スペクトルのピーク値より求めたストローハル数と可視化から求めたそれとではかなりの差がある。渦一つにつき同期の流速変動があるならば両者は良く一致するはずである。これより渦を単体とみるだけでなく、渦間の相互作用を考慮に入れる必要があると考えられる。図4はそのような渦間の相互作用が大きくなると考えられる合体、被合体渦の対について、その流速変動を示したものである。ここでは $\hat{u}$ 及び $\hat{v}$ は2つの渦で同期の流速変動を示しているのがわかる。 $\hat{u}$ のパターンは合体渦による大きな変動の上に被合体渦による小さな変動が乗った形になっている。このような渦間の相互作用が大きい場合の検出基準についてはさらに検討が必要であろう。

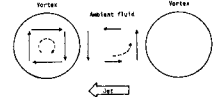


図2 渦運動

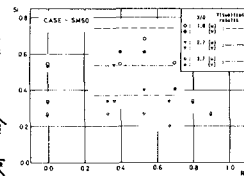


図3 ストローハル数分布

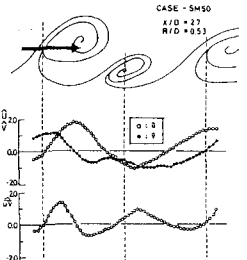


図4 合体、被合体渦の流速パターン

図5はこれらの結果をふまえて、半径方向流速を検出基準にして、パターン認識法を用いて組織渦の流速変動を求めたものである。横軸の0°~60°が渦内部、60°~120°が渦との間であり、縦軸の各流速は時系列に前後11点での移動平均を行うとともに、平均流速、乱れ強度で無次元化したものである。軸上($R/D=0$)ではそれほどパターンが顕著ではないが、 $R/D=0.4, 0.533, 0.8$ のいずれも図1に示された結果と良く一致している。また $R/D=0.667$ では $\hat{u}$ のパターンがなくなり、 0.733 では逆転していることより、平均的にいえば、渦は $R/D=0.667$ 付近を通過しているものと考えられる。

以上により半径方向流速を検出基準にすることにある程度の合理性を見出したといえるが、今後の検出基準についての一層の検討とともに、それを用いて渦構造を抽出し、組織渦及び噴流自体の空間構造、移流過程等にアプローチする必要がある。

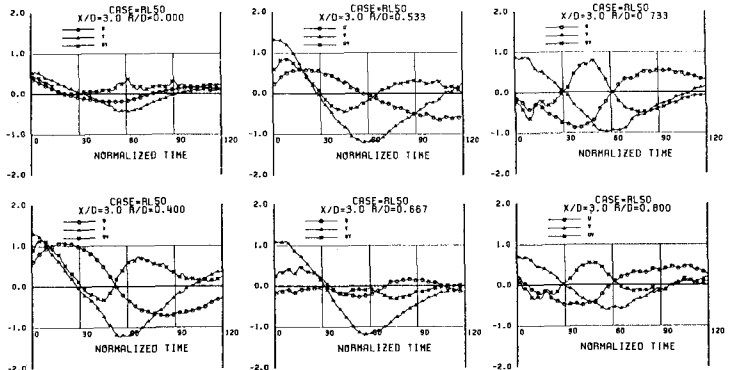


図5 認識されたパターン

（参考文献）1) Wallace, J.M. et al.: Pattern-recognized structures in bounded turbulent shear flows, J.F.M. (1977)