

II-59

二次元噴流における組織渦の構造と界面変動

九州大学工学部 正員 小松 利光
九州工業大学 正員 浦 勝
九州大学工学部 正員 松永 信博
九州大学大学院 学生員 〇・小坪 洋巳

1. まえがき

乱流において、いわゆる秩序立った大規模渦運動の存在が明らかにされて以来、境界層乱流や自由乱流、混合層流についていろいろな研究がなされてきた。特に二次元噴流は、連行現象が組織渦と密接に関連していることもあり、盛んに研究されている。著者らは従来より二次元噴流について研究してきたが、今回ホットフィルム流速計、濃度計、差圧計による多変量の同一点同時測定及び可視化法による空間的な多点測定を行なった。本文ではこれらの実験結果を記し、二次元噴流における組織渦の構造と界面変動について考察を加えている。

2. 実験方法とデータ解析

図-1は、実験装置の概略図を示している。水槽は、長さ2m、幅20cm、高さ1.3mで片面がクリル板の鋼製水槽を用い、水槽内の淡水中に幅 $B_0 = 0.5, 2, 5$ cmのスリットから塩水を下方に噴出させて二次元噴流の流れを作った。表-1に実験条件を示すが、ここで初期内部フルード数 Fr_0 は $Fr_0 = U_0 / \sqrt{\epsilon_0 g B_0}$ で定義されている。流速・圧力密度の同一点同時測定では、V型2方向ホットフィルム2個、塩分濃度計及び差圧計を用い、また可視化法による測定では、噴出塩水をフルオレセインで着色しVTRで連続撮影した。

3. 実験結果とその考察

3-1 組織渦列の空間的特性

ホットフィルム流速計、差圧計より得られた変動成分 u, v, w, p の自己相関関数 $R_{uu}, R_{vv}, R_{ww}, R_{pp}$ のうち代表例としてRUN IVの $x = 10$ cm, $x = 40$ cm, $y = 8$ (断面最大流速 U_m の1/2の流速をもつ点までの噴流中心からの距離(半値半幅))とする)における相関を図-2に示す。 $x = 10$ cmにおける R_{uu}, R_{vv} は $t = 0.8 \sim 0.9$ secに可視化法から得られた組織渦の周期に対応する最初のピークを示すが、 R_{ww}, R_{pp} では $t = 0.45$ sec付近に最初のピークがみられ、番目のピークが $t = 0.8$ secで組織渦に対応している。即ち、組織渦の約半分の周期の変動が w 及び p に生じている。これは図-3のスペクトル図において w, p のスペクトルにだけ明確な2つのピークがみられることからわかる。渦の合体が激しく起っている噴出口付近では二次元流れにもかかわらず、圧力変動を媒介として進行方向に変化をもつ三次元構造の渦が生じているものと思われる。一方、 $x = 40$ cmの相関では u, v, w, p いずれも $t = 3 \sim 5$ secで組織渦の周期に対応するピークをもっている。これは渦が流下するにつれて

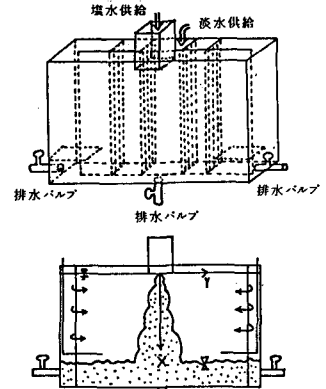


図-1 実験装置

表-1 実験条件

Run	初期流速 U_0 (cm/s)	無次元密度差 $(\rho_a - \rho_0) / \rho_0$	噴出口幅 B_0 (cm)	初期流速 U_0 (cm/s)	初期内部フルード数 Fr_0
I	53.9	0.0098	0.5	10.78	4.93
II	95.9	0.0098	5.0	1.92	0.277
III	124.1	0.0070	2.0	6.21	1.68
IV	120.7	0.0125	0.5	24.14	9.75
V	106.1	0.0125	5.0	2.16	0.276

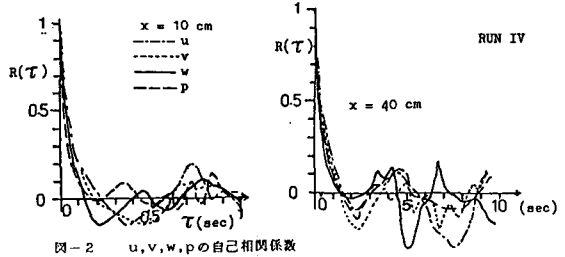


図-2 u, v, w, p の自己相関係数

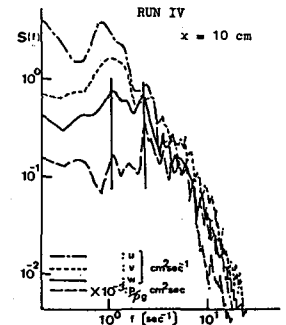


図-3 u, v, w, p のスペクトル

渦径が増大するが、 z 方向には実験水槽幅の抑制を受けて、強制的に二次元化させられていると解釈される。

3-2 組織渦の合体機構 可視化法のデータを用いて界面変動を求め、組織渦の合体の様子を調べた。界面の変動量は図-4のように基準線を選び、そこから距離を読み取って求めたものである。

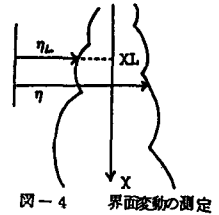


図-4 界面変動の測定

図-5は、 $x = 3 \sim 22 \text{ cm}$ の界面変動のスペクトルを示したもので、図中の縦線はスペクトルピーク位置を表わしている。(イ)図において顕著なピークは $f = 2 \text{ Hz}$ と $f = 1 \text{ Hz}$ にみられ、この2種類の渦が卓越していることがわかる。 $x = 3 \text{ cm}$ から $x = 7 \text{ cm}$ と流下するにしたがい 2 Hz の渦から 1 Hz の渦へとエネルギーが移行しており、 $x = 6 \text{ cm}$ 付近で最も頻りに 2 Hz の渦の合体が起り、その結果 1 Hz の渦が生じている。(ロ)図では 1 Hz の半分の 0.5 Hz 付近に更にピークが発生、成長しており、 1 Hz の渦の合体により 0.5 Hz の渦が生じている。エネルギー-ピークの大小関係から、 $z = 1 \text{ cm}$ 付近で再び合体が激しく起っていることがわかる。(ハ)図では 0.5 Hz のピークとともに 0.32 Hz のピークが現われている。また(ニ)図では 0.5 Hz 、 0.32 Hz に加え 0.25 Hz にもピークが認められる。 0.5 Hz のパワーと 0.25 Hz のパワーは流下とともに変化し、 0.25 Hz のパワーが相対的に大きくなることから $x = 22 \text{ cm}$ 付近で最も盛んに 0.5 Hz の渦が合体して 0.25 Hz の渦を生成していることが明らかである。これに対し、 0.32 Hz の渦と 0.5 Hz の渦のパワーの相対的な大小関係はほとんど変化しないことがわかる。次に図-6は、界面変動の時系列に *Zero up cross* 法を適用して渦の平均周期を求め、得られた周期 T_2 を x に対してプロットしたものである。界面変動のデータはランダムな乱れによる変動を含んでいるので、周期 T_2 は必ずしも組織渦の周期に対応はしないが、周期の変化の大きな目安は得ることができ

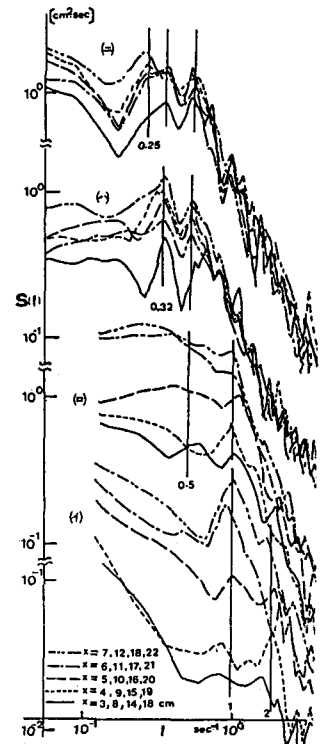


図-5 界面変動スペクトルの流れ方向変化

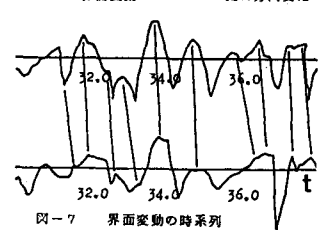


図-7 界面変動の時系列

る。図-6より、周期 T_2 は流下方向に増加しているが、特に $x = 6 \text{ cm}$ 、 12 cm 、 22 cm 付近で急に大きくなっており、組織渦が合体していると思われる。その合体地点は上述の界面変動のスペクトルより得られた地点とほぼ一致している。また図-7に示したように同時に測定したいくつかの地点の界面変動の時系列のデータをを用いて変動のピークを x に沿って

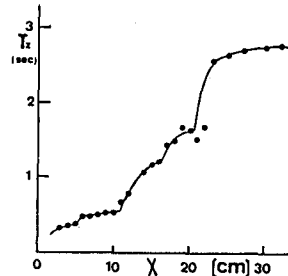


図-6 T_2 の流下方向の変化

追跡して組織渦の挙動を調べた。図-8にその結果を示しており、渦が合体しその個数を減らしていくのがよくわかる。特に $x = 5 \sim 6 \text{ cm}$ 、 $10 \sim 11 \text{ cm}$ 付近で頻りに合体が起っており、スペクトルや周期 T_2 からの考察結果とよく一致している。

4. おわりに

組織渦の合体については合体の発生位置に普遍性をもたせるには、 x を無次元表示しているような実験条件について考察する必要がある。

最後に、本研究に終始御指導いただいた九州大学 橋本一郎教授に厚甚なる謝意を表します。

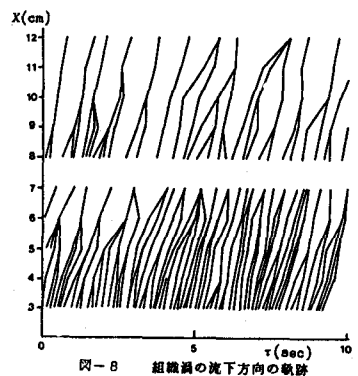


図-8 組織渦の流下方向の軌跡