

II-370

多点同時測定による3次元乱流構造の可視化

東京工業大学 学生員 孟 岩

東京工業大学 正員 日野幹雄

1. はじめに

実験的に、流れ場の全体像を認識する方法は可視化法とプローブ計測法などに大別される。可視化法は、流れ場の中の広い範囲に亘る情報を得れるが、詳しい測定ができない。一方、精密な測定ができるプローブ計測法は、層流流れやTriggerにより発生する乱流遷移現象の測定に適用できるが、乱流のような繰り返し測定が出来ない流れ場に使用できない。そのために、乱流の中に存在する組織的構造の全体像を平均操作によらずに実験的に把握することはきわめて困難である。そこで、本研究では、プローブ計測法の長所を生かし、多点同時測定による3次元乱流場の全体像を見る方法を開発した。

2. 実験装置及び測定方法

実験は断面26cm×10cm、長さ14mの振動流風洞で行った。壁面に鉛直方向はY軸で、スパン方向はZ軸で、ピストンの運動方向をX軸に取る。本研究の実験条件は参考文献2と同じに設定した。測定は自作の定温度方式X型プローブの熱線風速計で行い、熱線の出力はレーザー・ドップラー流速計を用いて、キャリブレーションした。本研究で用いたA/D変換器は最大24チャンネルの信号を同時刻にサンプリングでき、周波数1KHzで使用した。

3次元空間内の速度を計測するために、11本のX型熱線プローブを図1に示したように主流に垂直な面内に配置し、瞬間的な速度 U , V を連続測定した。中央部の1本のプローブはdetector probeとして設置し、大きいレイノルズ応力のピークを検出した時に、検出時点の前後それぞれ50msずつのデータを収集した。図2はその一つの例であり、11本の熱線プローブから得られた速度変動 u , v を示している。縦の点線は大きなレイノルズ応力が検出された瞬間を示している。

3. データ解析手法

実験から得られた11点での速度 U , V のデータから3次元空間内の速度 U , V , W を求めるために、本研究では、我々が最近開発したデータ解析手法を用いた¹⁾。具体的に、まず、Taylorの渦凍結仮説を用いて、速度変動 u , v の時系列を検出点の前後それぞれ50mmずつの空間に変換する。そして、それぞれのYZ面内の11点での実験データからその断面内の速度変動 u , v を内挿する。内挿方法としては仮想荷重法³⁾(virtual plate/load)を用いた。最後に、MASCONモデル⁴⁾を用いてもう一つ速度成分 w を推定する。図3は11本のプローブから得られた速度変動 u , v から推定した瞬間的な速度変動の空間分布を示している。

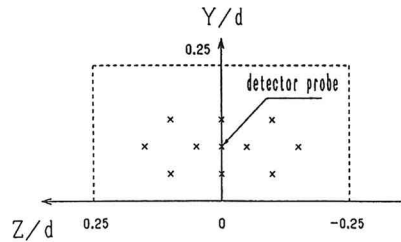
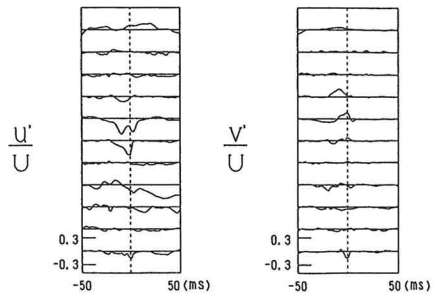
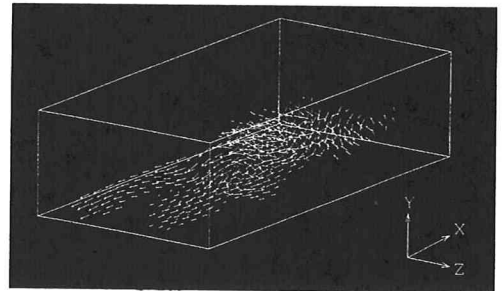


図1 11本のプローブの配置図

図2 11本の熱線プローブから得られた速度変動 u , v 図3 速度変動 u , v , w の3次元ベクトル図

4. 実験結果及び考察

3次元乱流構造によって引き起こされる流れを可視化するために、コンピュータ・シミュレーション技術を用いて、水素気泡法と同じようにtime lineとstreak lineを造った。時刻 t_0 、座標 $\mathbf{x}_0$ の所に発生したトレーサーは時刻 t に、 $\mathbf{x}(t; \mathbf{x}_0, t_0)$ の位置に達する。トレーサー位置の時間変化は $d\mathbf{x}/dt = \mathbf{v}(t, \mathbf{x})$ である。ここで、 $\mathbf{v}(t, \mathbf{x})$ は時刻 t 、座標 $\mathbf{x}$ での速度ベクトルを表しており、3節の方法で求められている。上の式を数値積分すれば、トレーサーの位置が求まる。

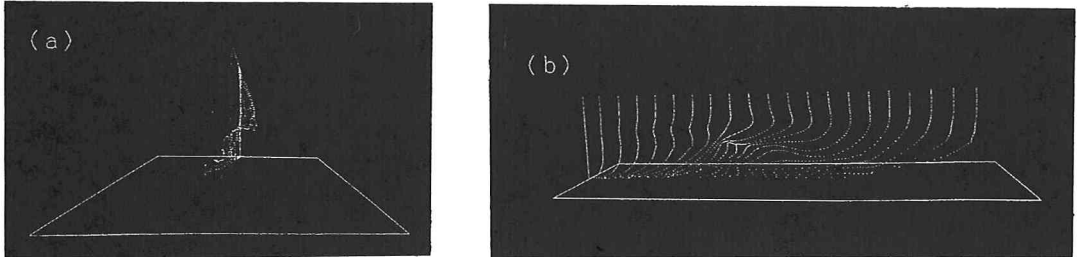


図4 壁面と垂直な断面内に発生したtime line

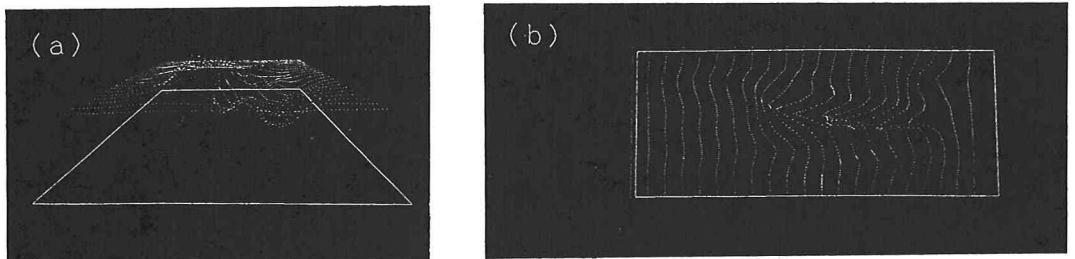


図5 壁面と水平な断面内に発生したtime line

図4は壁面と垂直な断面内に発生したトレーサーのtime lineを示しており、時間間隔 Δt は2.5msとなっている。図4(a)は下流側から見た絵で、右側に存在する強い渦によってtime lineが捻り曲げられていることがよくわかる。図4(b)は横から見た絵で、トレーサーが低速上昇流によって持ち上げられている様子がはっきり見える。図5は壁面と水平な断面内に発生したトレーサーのtime lineを示しており、まんなかの所での低速流れが写っていることが分かる。図6は垂直断面と水平断面内に発生したトレーサーのstreak lineを示している。これらの図を見て分かるように、今回開発した方法は、従来の可視化法と同様に、3次元渦構造の振舞いを見ることができ、しかも、可視化写真から得られない渦運動の実体も把握できる。

5. おわりに 11本のX型の熱線プローブの同時測定データから、3次元乱流構造の瞬間像を推定し、そして、これらのデータに基づき、コンピュータ・画像解析技術を用いて、この3次元乱流構造によって引き起こされる流れ場を可視化した。

参考文献

- 1) 孟岩・村山雅昭・日野幹雄：水工学論文集。Vol.35, pp.513-518, 1991.
- 2) Hino, M., Fukunishi, Y. and Meng, Y. : Fluid Dynamic Research. Vol.6, pp.261-275, 1990.
- 3) 日野幹雄：東京工業大学土木工学科研究報告。No18, 1975.
- 4) Sasaki, Y. : J. Meteor. Soc. Japan. Vol.36, pp.77-88, 1958.

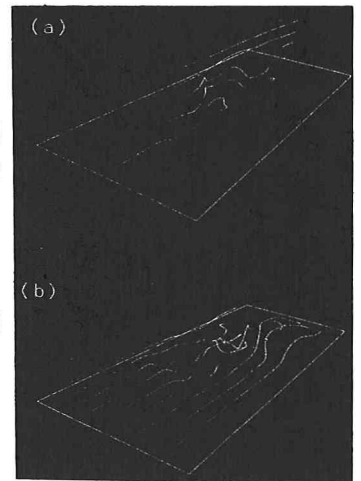


図6 垂直断面と水平断面内に発生したstreak line