

粒子追跡による段落ち流れの渦構造について

西日本工業大学 正員○石川 誠

西日本工業大学 正員 赤司 信義

山口大学工学部 正員 斉藤 隆

1. はじめに

これまでに著者らは段落ち上の流れを壁面噴流とした場合と一様流とした場合の段落ち下流を可視化して検討してきたが、前者においては壁面噴流の主流の自由せん断層や壁面での乱流境界層ならびに段落ち付近の剥離せん断層等によって組織構造が非常に複雑であったため十分考察できなかった。後者においては段落ち下流で発生するスパン方向に軸を持つ渦(横渦)の発生位置を調べると共に、再付着点下流で渦構造がどのように形成するのかを可視化を行って明らかにしてきた。

本研究は、染料注入法と粒子追跡を同時に可視化する方法と画像処理を用いて段落ち下流の縦断面の瞬間の速度場を測定した結果について報告するものである。

2. 実験装置及び実験方法

実験に用いた水路は、長さ 3m、高さ 0.3m、幅 0.3m のアクリル製開水路で、その上流端には整水槽として長さ 2m、高さ 0.5m、幅 0.6m の鋼枠製水槽が接続されている。水路流入部より下流側 60cm の位置に 2cm の段差を設け、下流端には水位調節用堰板が設置された。又、段落ち部より上流側 25cm の位置と水路流入部上流側 80cm の位置にハニカムがそれぞれ設置された。実験は、流量(Q)を $320 \sim 660 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、段落ち部水深(h_d)を 2.4cm として行われた。撮影方法を図 1 に概略的に示しているように水路中央上部からレーザーを照射し、その前面からビデオカメラで撮影した。トレーサーには、微細粒子と蛍光染料が用いられた。

3. 実験結果とその考察

図 2～6-a, b は、実験条件を $Q=660 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $Re=1852$ 、 $h_d=4 \text{ cm}$ 、段落ち部平均流速 $\bar{u}=5.50 \text{ cm/s}$ で、撮影条件をシャッター速度 $1/1000$ で行った結果を示したものである。図 2 は、撮影された画像の 2 枚 ($1/60 \text{ sec}$ 間隔) を重ね合わせた時の粒子の始点、終点座標をデジタイザを用いて読み取り、この流跡の長さから撮影時間から求められたものである。読み取りデータ個数は 876 個である。剥離域内では、粒子の挙動が非常に複雑であるため主流域の流跡に比べると少なくなっていることが分かる。

図 3 は、流れ場全体に正方格子を想定し、ここの格子点における瞬間速度ベクトル(図 2)を周囲に存在する数個のベクトルの線形補間により求められた。この時の

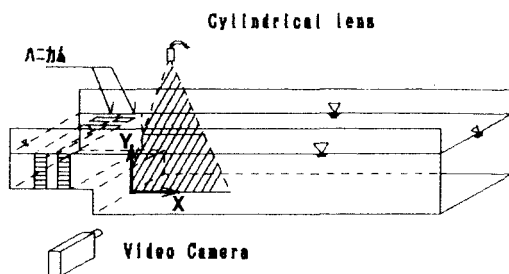


図 1 撮影方法の概略

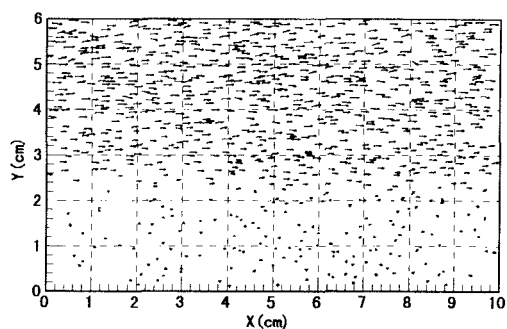


図 2 瞬間速度ベクトル

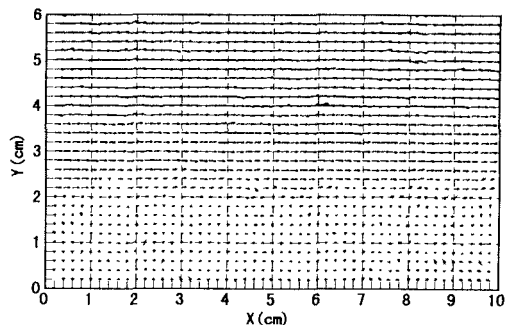


図 3 格子点瞬間速度ベクトル

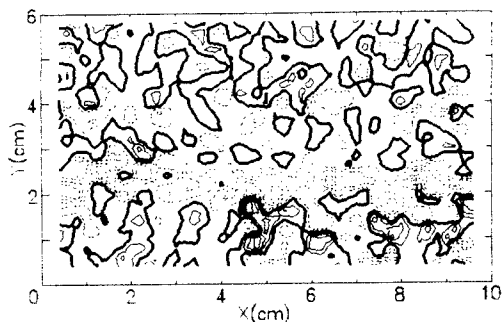


図4-a 等渦度分布

格子点の間隔は 2mm で、格子点数は、X軸方向に 49 点、Y軸方向に 30 点とした。

図4-a, bは、瞬間の各格子点の渦度を求め、等値線図を描いたものである。図中の細い実線は正の渦度（反時計回り）を示し、破線は負の渦度（時計回り）を示し、太い実線は渦度が0の分布線を示している。a 図の $X=0 \sim 10\text{cm}$ の範囲では段落ち部から流下方向に時計回りの渦度が集中していることが分かり、b図においては $X=16\text{cm}$ 付近を境に時計回りの渦度が下降から上昇へと変化していることが分かる。これは、縦断面可視化で観察されるスパン方向に軸を持つ渦が底面に再付着してその後上昇していく過程と似ている。

図5は、等圧力分布図を示したもので、各格子点の圧力は、二次元定常ナビエ・ストークス方程式を差分近似し、画像中央付近の格子点を数値積分の開始点として求められた。圧力0とした基準格子点は、段落ち部水深中央の格子点に最も近い位置とした。破線は基準点圧力より低く、実線は高い圧力であることを示している。剥離域内で若干圧力が低くなっているのが認められる。

図6-a, b は、流れ方向の等速度勾配 (du/dy) 分布について示したものである。図中の細い実線は正の速度勾配を示し、破線は負の速度勾配を示し、太い実線は速度勾配が0の分布線を示している。a 図においては、剥離線付近で、b 図においても $Y=1 \sim 3\text{cm}$ 付近でいずれも正の速度勾配が大きくなっていることが分かる。又、b 図では、底面および水面付近で負の速度勾配となっていることが認められる。

参考文献

- 1) 今市憲作・近江和生: 可視化の画像の数値的处理, 日本機械学会論文集(B編), 48巻436号, pp. 2449-2459, 1982.
- 2) 川西澄・余越正一郎: 段落ち剥離剪断層の非定常特性, 水工論文集, 第34巻, pp. 271-276, 1990.
- 3) 大成博文他: 壁乱流の縦断面せん断構造, 第51回年次学術講演会講演概要集第2部, pp. 398-399, 1996.

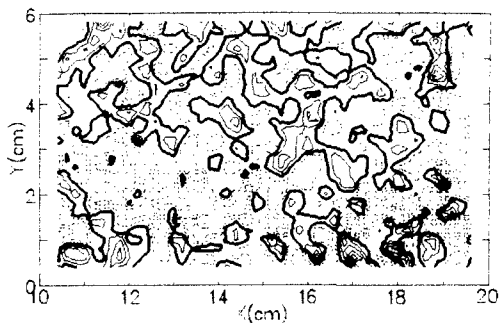


図4-b 等渦度分布

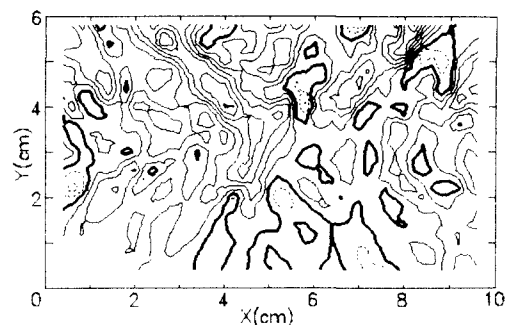


図5 等圧力分布

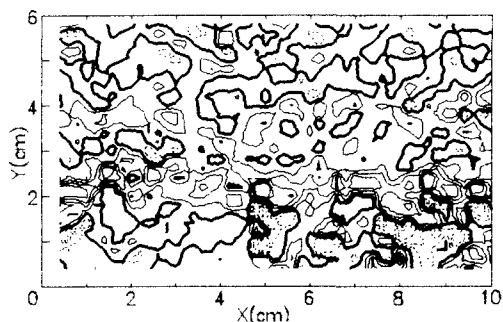


図6-a 流れ方向の等速度勾配分布

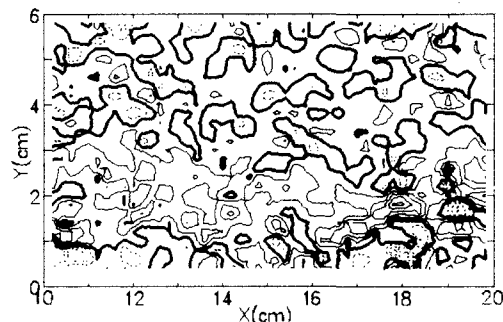


図6-b 流れ方向の等速度勾配分布