

## II-360 水平没水円柱周りの流れの可視化

大同工業大学大学院 学生員 豊田敏文  
 大同工業大学 正員 久保田稔  
 大同工業大学大学院 学生員 山本純悟

1. はじめに これまで行われた円柱周りの流れの可視化実験は円柱周りの流れが境界壁の影響を受けない場合あるいは、鉛直円柱(橋脚等のモデル)周りの流れ等に対して精力的に行われてきた。一方、最近増えてきた海洋構造物の建設あるいは海底パイプラインの設置問題を考える場合には、境界(路床)の影響を受ける水平円柱周りの流れの性格を詳細に知る必要がある。そこで今回著者らは、水平円柱周りの流れの可視化を行い、渦度分布を求めたので報告する。

2. 実験方法 幅50 cm、高さ50 cm、長さ25 mの可変勾配式実験水路内に、図-1の直径 $D=3$  cmの亚克力製円柱を流れに対し直角に取り付けた台を挿入した。路床と円柱との間隔 $e$ は、0 cm、1.5 cmおよび3 cmの3種類とし、直径5 mmのプロペラ流速計で円柱前後の水路中央部で、流速分布を測定するとともに、比重1.07、平均直径0.57 mmのトレーサ(アクリルの微粉末)を用いて、円柱まわりの流れを可視化した。

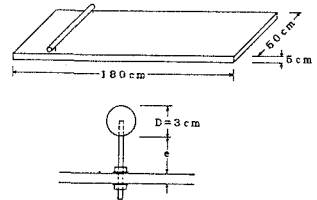


図-1 円柱設置説明図

3. 可視化手法 水路の上より、円柱の上下流2方向から250 Wのスライドプロジェクターを2台使い、幅約5 mmの光シートを円柱に直角に当て、水路側面よりCCDビデオカメラ(SONY, AVC-D1)で流れを撮影した。図-2は、シャッタースピード1/60秒、しぼり1.4の写真であり、同図のようなビデオ画面上のトレーサ粒子の軌跡を画像解析装置(PIPSLA 555)を用いて求めた。画像処理の手法としては、連続する3枚の瞬間ビデオ画像を用いて以下のように処理した。

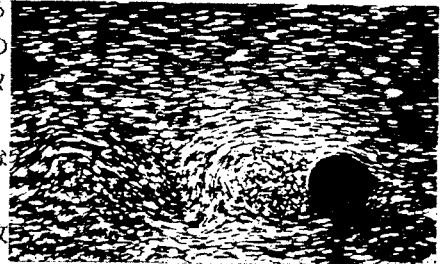


図-2 流れの可視化写真

(1) 速度ベクトルについて、 $\Delta t$  ( $=0.03$ 秒) 時間間隔で3画面を取り込み、 $t$ と $t+\Delta t$ の2つの画面をそれぞれ2値化してから一枚の画面に表示し、 $t$ と $t+\Delta t$ でのそれぞれ対応している粒子の座標 $(x_1, y_1)$ と $(x_2, y_2)$ を読み取る。同様の操作を $t+\Delta t$ と $t+2\Delta t$ の画面に対しても行い、粒子座標 $(x_2, y_2)$ と $(x_3, y_3)$ を読み取り、 $x_2 \equiv x_2, y_2 \equiv y_2$ を満たす粒子に対して、座標 $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ よりそれぞれの速度ベクトルを求め、速度ベクトルの位置 $(X, Y)$ は $X = (x_1 + x_2) / 2, Y = (y_1 + y_2) / 2$ とした。なお、光シート外からシート内(あるいはその逆)に入り込んだ粒子をも読み取っている可能性があると考え、粒子の加速度が $100 \text{ cm/s}^2$ 以上の場合には、その一組の粒子を破棄した。データの読み取り個数は、例えば図-3の実験( $e=1.5 \text{ cm}$ )の場合、 $t$ と $t+\Delta t$ での読み取り個数は2571個、 $t+\Delta t$ と $t+2\Delta t$ での個数は2398個であり、最終の速度ベクトルの個数はそれぞれ1948個であった。

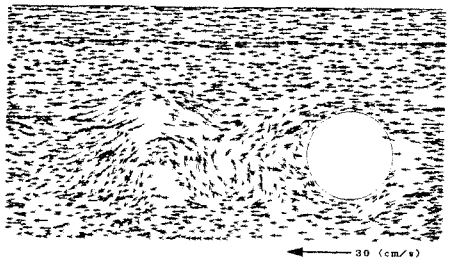


図-3 速度ベクトル

(2) 格子点上の速度ベクトルは、Imaichiらの手法によった。つまり、相対的な原点 $(0, 0)$ における未知の流速 $(u, v)$ と任意座標 $(\xi_k, \eta_k)$ において測定した流速 $(u_k, v_k)$ の間に次ページのような線形関係を仮定して、格子点上における未知量 $(u, \partial u / \partial x, \partial u / \partial y, v, \partial v / \partial x,$

$\partial v / \partial y$  を最小自乗法により求める。計算は各格子点を原点とした半径を徐々に大きくし、原点を中心とした4つの象限の中に少なくともデータが各1個存在する場合、あるいは円内の速度ベクトルの個数が8個以上になった場合に最小自乗法を用いている。ここに、 $L (=0.5 \text{ cm})$  を格子間隔とすると、格子上的半径  $r$  は最小  $r_{\min} = 0.6L$  であり、順次  $0.1 \cdot L$  ずつ増加させ、 $r_{\max} = 1.5L$  を最大の半径とした。図-4は図-3に対応した格子点上の速度ベクトルである。

$$u_k = u + \partial u / \partial x \cdot \xi_k + \partial u / \partial y \cdot \eta_k$$

$$v_k = v + \partial v / \partial x \cdot \xi_k + \partial v / \partial y \cdot \eta_k$$

3. 渦度分布 渦度  $\omega$  は格子点の流速を用いて、次の差分近似によって求める。格子点間隔を  $\delta x$ ,  $\delta y$  とすると

$$\omega_{i,j} = (v_{i+1/2,j} - v_{i-1/2,j}) / \delta x - (u_{i,j+1/2} - u_{i,j-1/2}) / \delta y$$

である。なお、渦度の境界条件としては、滑り無し Woods の式

$$\omega_B = -3(\psi_N - \psi_B) / \Delta y^2 - \omega_N / 2$$

を用いた(図-5参照)。図-6は、図-4に対応した無次元渦度分布( $\omega D / U$ )であり、同図より負(時計回り)の渦度が、円柱下方のすぐ後ろにはほぼ同じ形状で分布している。一方、図-7は、メチレンブルーを用いて可視化した、円柱より発生する渦のストローハル数  $S_t$  を示している。同図中には、BEARMAN らのデータも示しており、著者らのデータもほぼ  $e/D \approx 0.5$  程度から  $S_t$  数が減少する傾向を示している。現時点では明確な説明は困難であるが、図-5の渦度分布の上記の特徴と  $S_t$  数の減少との対応関係は、興味ある結果であり、今後の検討課題としたい。

4. おわりに 著者らは、上記の可視化実験を行い、渦度分布を求めた。講演時には、さらに  $e/D = 0$  および  $e/D = 1.0$  の場合の渦度分布についても報告する。

参考文献 1) KENSAKU IMAICHI AND KAZUO OHMI; Numerical processing of flow-visualization pictures measurement of two-dimensional vortex flow, J.F.M., Vol.129, pp.283-311, 1983.

2) 藤田 一郎; 開水路合流部の流れの構造に関する研究, 神戸大学学位論文, 平成2年1月。

3) ハトリック・J・D・フェ 著, 高橋亮一他訳; コンピュータによる流体力学(上), 構造計画研究所刊, 昭和52年。

4) BEARMAN, P.W AND ZDRAVKOVICH, M.M; Flow around a circular cylinder near a plane boundary, J. Fluid Mech. vol.89, part1, pp.33-47, 1978.

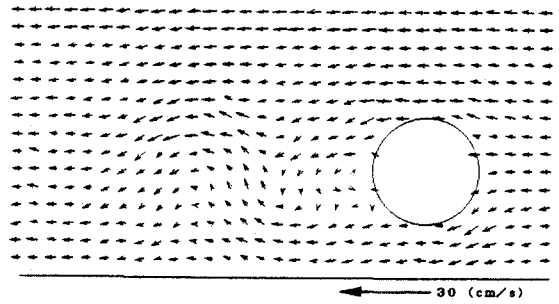


図-4 格子点上速度ベクトル

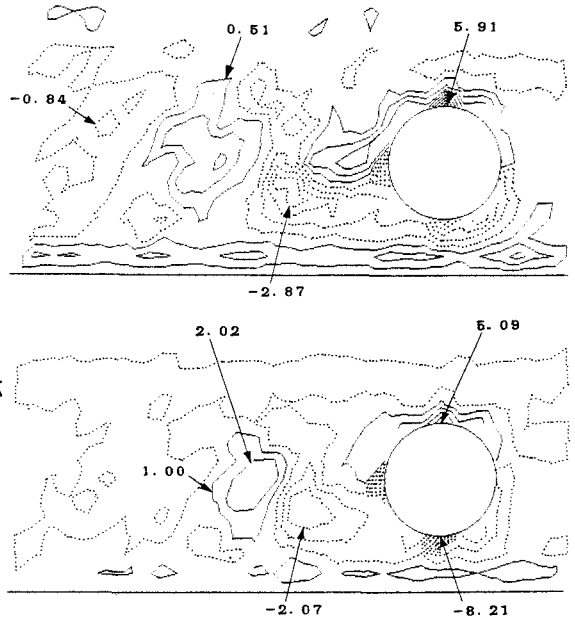


図-6 渦度分布

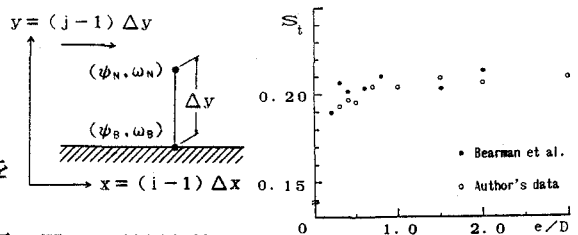


図-7 ストローハル数

図-5 境界条件

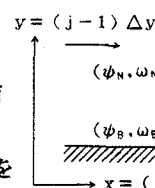


図-5 境界条件