

水平没水円柱周りの流れの可視化

大同工業大学 正員 久保田稔
 福井工業高等専門学校 正員 前島正彦
 大同工業大学大学院 学生員 ○豊田敏文

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。そこで今回著者は、水平円柱（海底パイプラインのモデル）周りの流れの可視化を行い、流れ関数と渦度分布と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の流速分布を測定するとともに、比重1.07、平均直径0.57 mmのトレーサー（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。

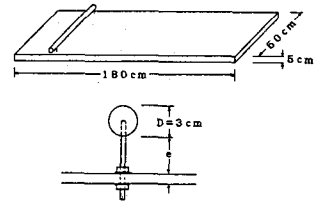


図-1 円柱設置説明図

3. 可視化手法 水路の上より、円柱の上下流2方向から250w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-01)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ー粒子の軌跡を画像解析装置(ビ77LA555)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。

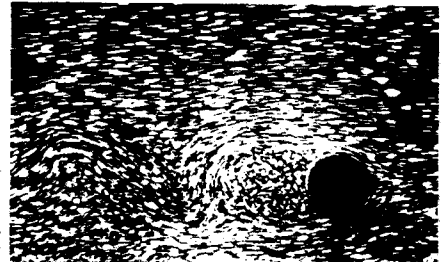


図-2 トレーサー粒子の軌跡

(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。データの読み取り個数は、例えば図-3の

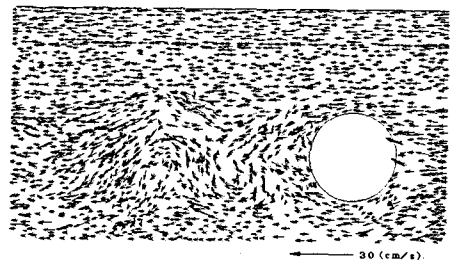


図-3 速度ベクトル

実験 ($e=1.5$ 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、速度ベクトルを求めるのに用いた最終の個数は2143個であった。

(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 (ξ_k, η_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、格子上の半径 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。

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

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

4. 計算手法

(i) 流れ関数 格子点 P 上の流れ関数 ψ_P は測定誤差を緩和するために、次のように2つの積分経路に沿って計算した値として求める (図-5参照)。

$$\psi_P = \int_0^P (u dy - v dx) + \psi_0$$

ここに、 u, v は格子点流速、 ψ_0 は基準点 O の流れ関数の値である。なお流れ関数の境界条件としては、円柱が路床に接触していない場合には、路床上では流れ関数の値をゼロおよび円柱上では一定値とし、路床に接触している場合には、円柱上も路床上も流れ関数の値をゼロとした。図-6は図-4より求めた流れ関数である。

(ii) 渦度分布 渦度 ω 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、滑り無しのWOODSの式

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

を用いた (図-7参照)。図-8も図-4から求めた渦度分布である。

5. おわりに 著者らは、上記の可視化実験を行い、流れ関数と渦度分布を求めたが、圧力分布に関しては、良い精度で圧力の値を求めたいために、現在、検討中である。

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) P.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。

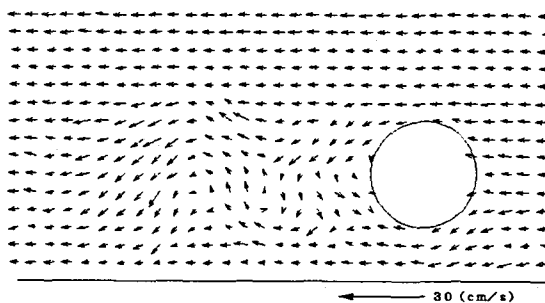


図-4 格子点上速度ベクトル

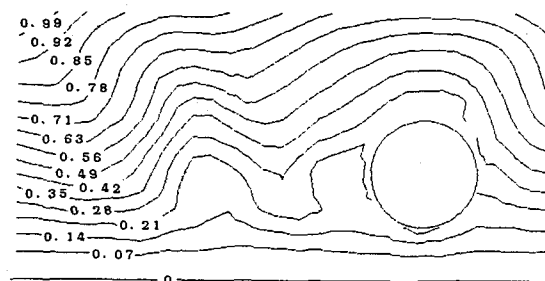


図-6 流れ関数

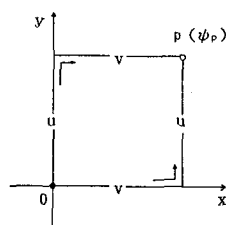


図-5 積分経路

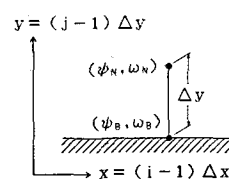


図-7
境界条件

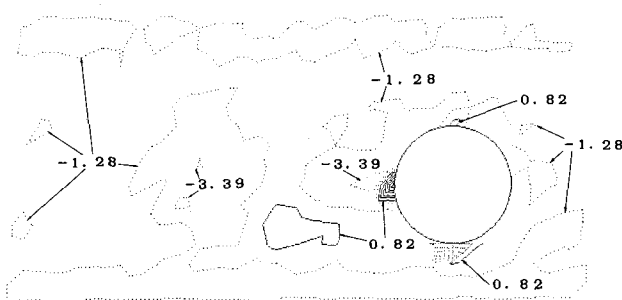


図-8 渦度分布