

物体後流の数値シミュレーション

要旨

差分法を用いて、円柱および角柱周りの流れの2次元数値シミュレーションによる可視化を行なった。結果、..であり△△であることが分かった。

1 はじめに

身近な流体の代表例として水や空気がある。これらは日常的に我々の周りに存在しているが、無色透明であるから流れの様子を目の当たりにすることはほぼ無い。流れを目視できるようにする可視化は、川に浮かぶ木の葉や煙突から出る煙が親しみがある。

流れの可視化の手法は、実験的な方法と数値計算による手法がある。近年、コンピュータの急激な進歩により数値シミュレーションの研究が進展している¹⁾。しかしながら、その結果は数値シミュレーションの有利な点と不利な点を理解して取り扱うことが必須である。

本実験では、物体として円柱と角柱を採用し、物体後流の流れの数値シミュレーションを行なう。可視化する諸量としては圧力、流線、渦度、速度がある。

2 目的

差分法を用いた数値シミュレーションによる物体後流の流れの可視化を行ない、○○に注目することによって円柱後流と角柱後流との違いを明らかにする。(目的は「自分が導き出す結論」に対応するものにする)

3 計算方法

計算領域は図1に示すように2次元領域である。座標系は物体中央を原点とし、流れ方向に x 、流れと垂直方向に y とする。格子点数は $N_i \times N_j = 128 \times 64$ である。物体が円柱の場合には円形格子を、角柱の場合には矩形格子を用いる。速度境界条件には、壁面に滑り無し条件を課す。離散化には差分法を用い、移流項には3次の上流差分、その他の項には2次の中心差分を採用する²⁾。

支配方程式は非圧縮性ナビエ・ストークス方程式、連続の式

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

である。ここで、 $\mathbf{u}$ は速度ベクトル、 t [s] は時間、 ρ [kg/m³] は密度、 p [Pa] は圧力、 ν [m²/s] は動粘性係数を示す。

計算条件は、主流速度 $U = 0.5$ m/s そして 5 m/s、円柱直径 $D = 3.024 \times 10^{-3}$ m、角柱一片の長さ $s = 3.024 \times 10^{-3}$ m、作動流体は空気で動粘性係数 $\nu = 1.512 \times 10^{-5}$ m²/s (20 °C, 1 atm) である。計算に用いた時間間隔は $\Delta t = 1.6556$ s である。

3.1 差分法

差分とは微分を離散点で近似する手法である。本計算で用いた2次精度の中心差分は関数 f の1階微分

$$\frac{\partial f}{\partial x} \sim \frac{(f_{n+1} - f_{n-1}))}{2\Delta x}, \quad (3)$$

ここで n は格子点番号を示す。2階微分

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \sim \frac{(f_{n+1} - 2f_n + f_{n-1}))}{\Delta x^2} \quad (4)$$

で近似した．3 次精度上流差分は

$$u \frac{\partial u}{\partial x} \sim u_n \frac{-u_{n+2} + 8(u_{n+1} - u_{n-1}) + u_{n-2}}{12\Delta x} + \frac{|u_n|\Delta x^3}{12} \frac{u_{n-2} - 4u_{n-1} + 6u_n - 4u_{n+1} + u_{n+2}}{\Delta x^4} \quad (5)$$

と近似した．

3.2 レイノルズ数

レイノルズ数は

$$Re = \frac{UL}{\nu} \quad (6)$$

と表わすことができる³⁾．ここで， U [m/s] は代表速度， L [m] は代表長さ， ν [m²/s] は動粘性係数である．

3.3 渦度

渦度は

$$\boldsymbol{\omega} = \text{rot} \boldsymbol{u} \quad (7)$$

である．2 次元流れの場合，

$$\omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad [1/\text{s}] \quad (8)$$

となる．

4 結果

図??に時刻 $t = * \text{ s}$ の圧力場を示す．圧力は物体上流側で高い値を示していることが分かる．図??に時刻 $t = * \text{ s}$ の流線を示す．流線は物体下流側で波うち流れが〇〇であることが分かる．図??に時刻 $t = * \text{ s}$ の渦度場を示す．渦度は物体付近で〇〇であること，また△△が**であることが分かる．図??に時刻 $t = * \text{ s}$ の速度場を示す．速度は物体後流で**と@@が##していることが分かり，…である．

5 課題と考察

5.1 流体の計算法

…

5.2 数値計算と実験の違い

…

5.3 レイノルズ数

…

5.4 渦と渦度

…

5.5 円柱後流と角柱後流との違い

…

5.6 ○○○（オリジナルな考察）

...

質問に対する答え

...

6 結論

差分法を用いて 2 次元数値シミュレーションによる物体後流の流れの可視化を行なった．結果，以下のことが分かった．

- ○○
- △△
- ××

参考文献

- [1] Noro, S., and Depp, J. C., “What is a Vortex”, Journal of Vortex, Vol. 1 (2013), pp. 1-13.
- [2] 野呂秀太, 湯の川学, “論文の例”, 仙台論文集, Vol. 1 (2013), pp. 20-35.
- [3] 野呂秀太, 論文の手引き, 初版 (2013), p. 5, 仙台高専.

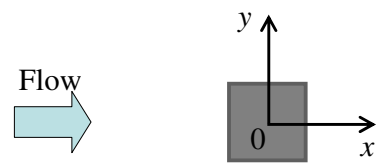


Fig. 1 座標系

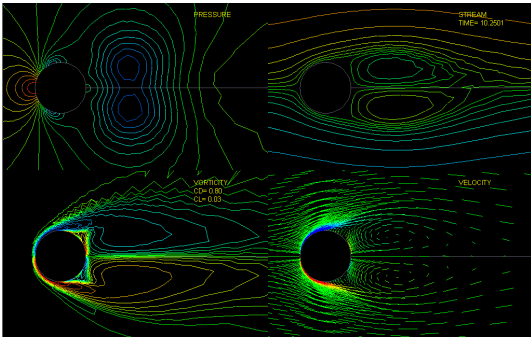


Fig. 2 画面の表示