

2次元柱状物体まわりにおける流れの数値シミュレーション —媒質形状に対するカルマン渦列の基礎検討—

Numerical Simulation of Flow around a Two-Dimensional Cylinders —Basic Study of Karman Vortex Street for Medium Shape—

○楠本尚己¹, 谷口宣明², 大貫進一郎³*Naoki Kusumoto¹, Nobuaki Taniguchi², Shinichiro Ohnuki³

Abstract: In recent years, computational fluid dynamics plays an important role in aeronautical engineering and marine engineering. Numerical simulation using on computer enables reproduction of physical phenomena without experiment, so reduction in development cost can be expected. In this report, we investigate the Navier-Stokes equations and reproduce the motion of the fluid using a finite difference scheme. In addition, we perform a fundamental study of the relationship between the shape of the medium and the occurrence of Karman vortex street.

1. はじめに

近年, 航空工学や船舶工学において数値流体力学 (CFD: Computational Fluid Dynamics) の重要性が高まっている^[1-2]. コンピュータ上で数値計算を行うことで, 実証実験を行わずに物理現象の再現が可能となるため, 開発コストの削減等が期待できる.

本報告では, Navier-Stokes 方程式を差分近似し, 流体の運動の様子を再現する. また, 媒質形状とカルマン渦列発生の関係について基礎検討を行う.

2. 解析手法

2.1. Navier-Stokes 方程式

Navier-Stokes 方程式は, 以下に示す運動量保存則と質量保存則により構成されている^[3].

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \cdot \nabla \mathbf{p} + \nu \Delta \mathbf{v} + \mathbf{f} \quad (1)$$

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

ここで, \mathbf{v} は速度[m/s], ν は動粘性係数[Pa·s], ρ は密度[kg/m³], \mathbf{p} は圧力[Pa], \mathbf{f} は外力項である. 運動量保存則において, 左辺第二項は移流項, 右辺第一項は圧力項, 右辺第二項は粘性項, 右辺第三項は外力項を表す.

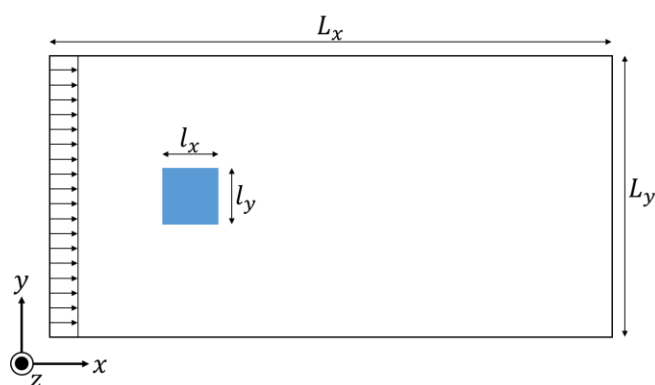
2.2. 中心差分法

移流項は, 次式に示す 4 次精度の中心差分により離散化を行った.

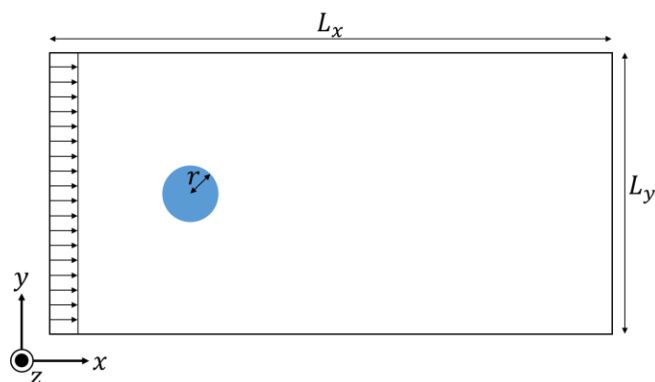
$$u \frac{\partial f}{\partial x} \approx u_i \frac{-f_{i+2} + 8(f_{i+1} - f_{i-1}) + f_{i-2}}{12\Delta x} \quad (3)$$

更に, 次式に示す人工粘性 q_i を加えることで, 差分近似による界の振動を防ぐ.

$$q_i \approx |u_i| \frac{f_{i+2} - 4f_{i+1} + 6f_i - 4f_{i-1} + f_{i-2}}{4\Delta x} \quad (4)$$



(a) 角柱



(b) 円柱

図 1 流体の解析モデル

3. 解析結果

本報告における解析モデルを図 1 に示す. $L_x \times L_y$ [m] の解析領域内に $l_x \times l_y$ [m] の角柱もしくは半径 r [m] の円柱を置き, 流体の様子を観察する. また, $x = 0$ m の地点で流入, $x = L_x$ [m] の地点で流出が起こっているものとする. また, 領域内が等温かつ重力や磁力などの外力が影響を及ぼさないものを想定し, 非圧縮性のニュートン流体を想定しているため, 加える力の大きさに関わらず粘度は一定である. 今回は, $L_x = 40$ m, $L_y = 20$ m, $l_x = l_y = 1$ m, $r = 0.5$ m とした.

時刻 200s における角柱の解析結果を図 2 に示す. 図 2(a) は速度場のフィールド分布を, 図 2(b) は圧力場のフィールド分布を表している. 解析結果を見ると, 速度, 圧力ともに角柱の右側において上下非対称となるような変化をしており, カルマン渦列が確認できる. これは, 物体遠方における流速と物体近傍における流速の速度差により剥離が起こるためである.

円柱における解析結果を図 3 に示す. 角柱の結果と同様, 速度, 圧力ともに円柱の右側にて上下非対称な界が発生している. 角柱の解析結果と比較すると, 速度場, 圧力場ともに円柱の場合の方が値が小さくなっていることが分かる. これは, 円柱よりも角柱の方が剥離が起こりやすく, カルマン渦列による影響が大きくなるためであると考えられる.

4. まとめ

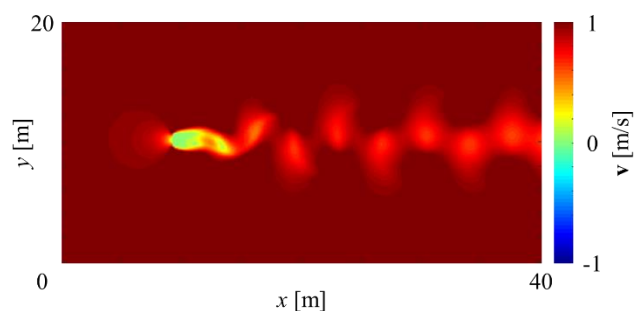
本報告では, 2 次元非圧縮性流体の一様流中に角柱や円柱のような障害物を配置した場合の数値シミュレーションを行った. 今回の解析結果より, 剥離が起こりやすい角柱はカルマン渦による影響により, 速度, 圧力ともに大きくなるのに対し, 円柱は剥離が発生しづらいため, その影響が小さいことが分かった.

5. 謝辞

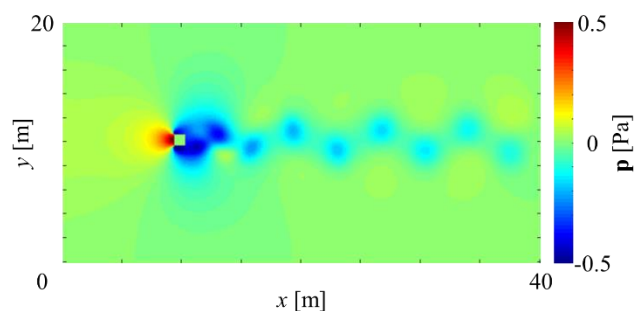
本研究の一部は, 科研費基盤(C)17K06401, 及び理工学部プロジェクト研究助成の援助を受けて行われた.

参考文献

- [1] 河村哲也:「流れのシミュレーションの基礎!」, 2002.
- [2] 桑原邦郎, 河村哲也:「流体計算と差分法」, 2005.
- [3] 藤井孝蔵:「流体力学の数値計算法」, 1994.

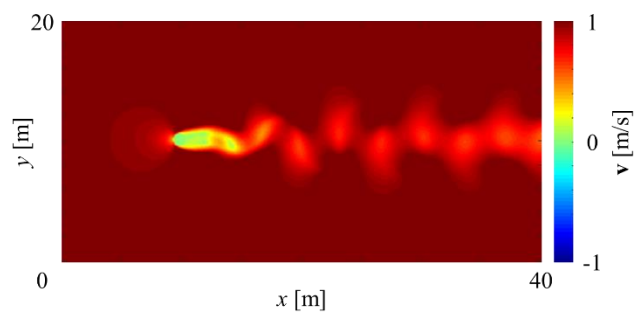


(a) 速度場

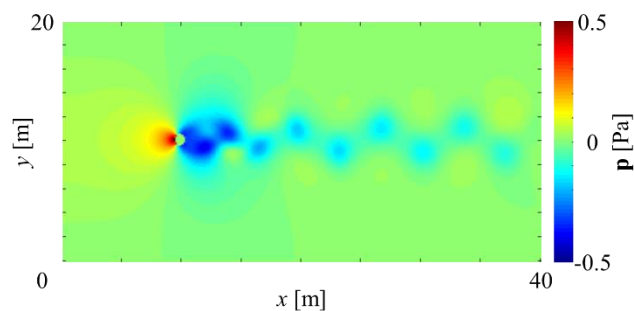


(b) 圧力場

図 2 角柱における解析結果



(a) 速度場



(b) 圧力場

図 3 円柱における解析結果