

LES による円柱まわりの流れ計算

Numerical Computation for Flow around a Circular Cylinder by LES

○池田晃太郎¹, 近藤典夫²
Kotaro Ikeda¹, Norio Kondo²

In this paper, we present flow profiles around a circular cylinder by LES, which is known as one of turbulent models. The cylinder is arranged in the smooth flow at the in-let boundary. The flow of the out-put boundary is free. The Reynolds number is ser as 10,000..

1. はじめに

円柱に流体が流れると円柱の表面に圧力が発生し、その合力としての抗力や揚力が生じる。本研究では数値計算によってその圧力、抗力及び揚力を捉え、実験結果と比較することにより、本計算手法の妥当性を検証する。

本研究では流体の数値計算に LES 法を用いて乱流シミュレーションを行う。また、空間の離散化には有限要素法を適用している。

2. 計算モデル

計算で想定する円柱は以下の通りである。流体が流れる際に生じる抗力係数、揚力係数、モーメント係数、背圧係数はそれぞれ C_D , C_L , C_M , C_{pb} で表している。

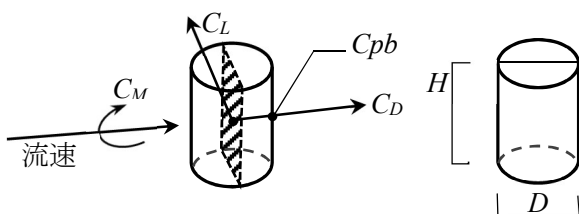


図 1.1 円柱モデルの全体図

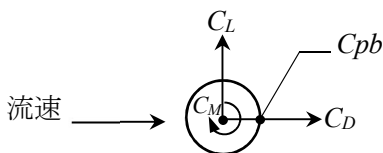


図 1.2 円柱モデルを上から見た図

本計算では $Re=10^4$ に設定し、無次元時間で $t=500$ まで計算を行った。円柱は直径 D , 高さ $H=2D$ で与えた。

圧力係数に関して過去に行われた実験結果と比較する。

2.1 3次元有限要素法メッシュ

本研究で使用したメッシュは以下の図の通りである。上が2次元で表示された全体図、下が円柱をより見せるために拡大した3次元に表示された図である。

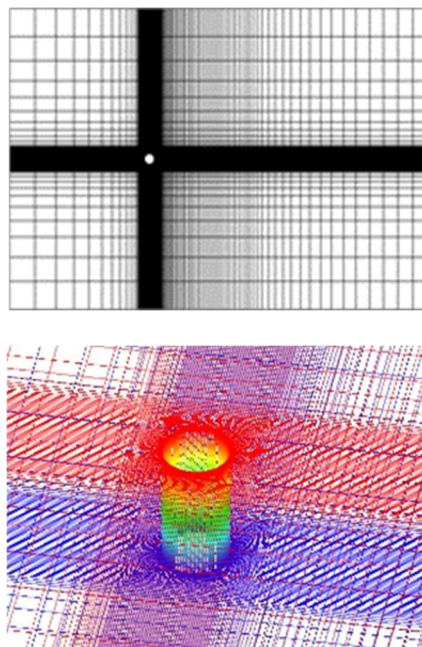


図 2 メッシュ

3. 基礎方程式

円柱まわりの流体計算に用いる式は以下の二つの式である。なお、本計算では、乱流解析を行うために、LES (Large eddy simulation) を使用して計算することとした。

- ・ナビエ・ストークス方程式 (LES モデル)

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i u_{i,j} = -P_{,i} + \left(\frac{1}{Re} + v_T\right) u_{i,jj}$$

$$v_T = (C_s \Delta)^2 (2S_{ij} S_{ij})^2$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$$

ここで C_s はパラメータ, Δ はフィルタスケール

- 流体の非圧縮性を示す連続方程式

$$u_{i,i} = 0$$

空間方向には3次精度の上流化手法を組み込んだ有限要素法で離散化し、時間方向にはクランク・ニコルソン法を適用している。

3. 計算結果

図3に円柱表面に作用する圧力係数 C_p と流体力の時刻歴曲線を示す。

図3.1において Farell らによって行われた実験値と LES モデルによる数値結果を比較すると、全体的には良く一致しているが、 180° の前後で僅かな差が見られる。

図3.2の流体力の時刻歴曲線では、抗力係数 C_D の結果を見ると、その振動振幅は小さく、平均抗力係数は1.19である。揚力係数 C_L の時間変化ではその振幅が大きくなっていることがわかる。 C_L の r.m.s.値は0.52で

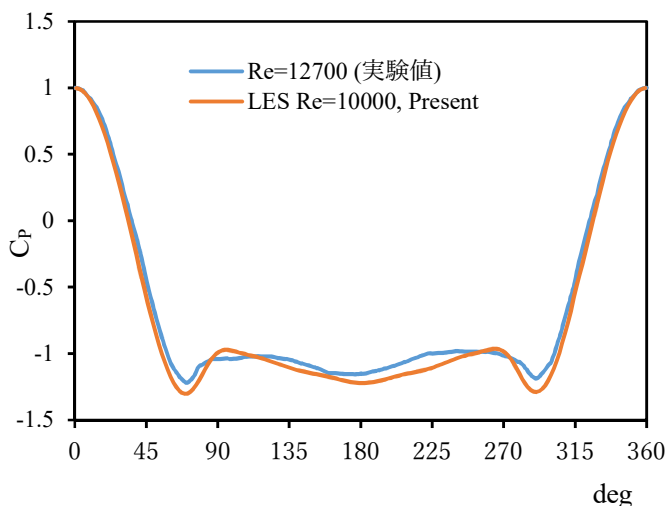


図3.1 円柱表面の圧力係数 C_p

ある。また、背圧係数 C_{pb} に関しては振動振幅はさほど大きくはない。平均背圧係数は-1.22である。

図3.3は数値計算した結果を可視化したものである。青色は時計回りの渦の流れを、赤色は反時計回りの渦の流れを表示している。円柱表面からの渦の剥離の様子がわかる。

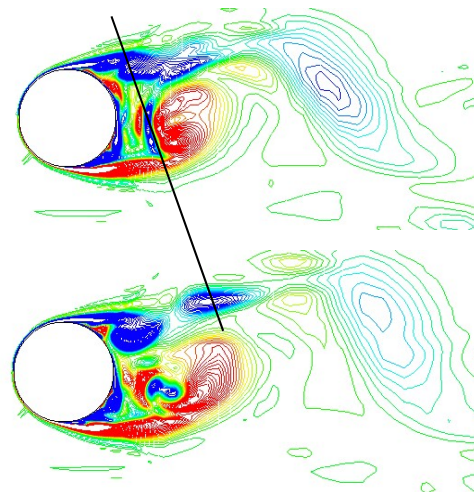


図3.3 円柱まわりの流れの瞬間図

4. おわりに

本研究で $Re=10^4$ に対して、円柱に作用する流体力を捉えるために、LESを用いた乱流計算結果を敷いた。本計算では1つのレイノルズ数に対しての結果であるが、実験結果をよく再現していることが確かめられた。

今後は $Re=10^5$ から $Re=10^6$ までの超臨界レイノルズ数域で C_D の著しい変化が捉えられるのかを検証する予定である。

参考文献

[1] C. Farell and J. Blessmann, On critical flow around smooth circular cylinders, Vol.136, pp375-391, 1983

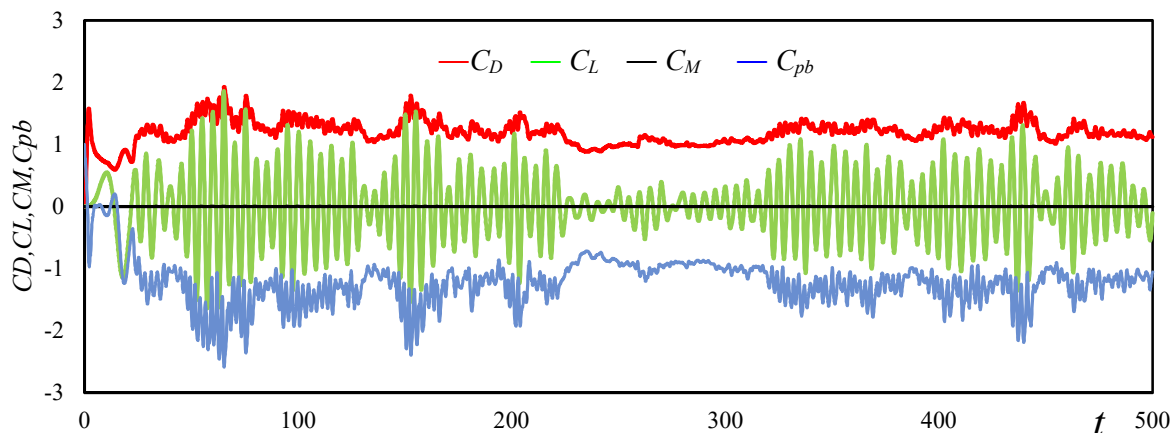


図3.2 流体力の時刻歴曲線