

B-5

超臨界域のレイノルズ数を対象にした2次元円柱の流体力特性と渦励振解析

Fluid forces and vortex-induced vibration of a circular cylinder in super critical Reynolds number

○山田涼介¹, 近藤典夫²

Ryosuke Yamada¹, Norio Kondo²

The vortex excitation caused by the mutual interference between the periodic vortex generated in the wake of the cylindrical structure and the vibration of the cylinder itself has been studied for a long time. This is a phenomenon in which the structure vibrates violently in a direction orthogonal to a fast fluid flow, and it is necessary to estimate the large amplitude in advance from the viewpoint of wind resistance safety and function maintenance. The purpose of this study is to capture the fluid force characteristics and the hydrodynamic vibration of a cylinder at a low Scruton number for the critical Reynolds number where the drag coefficient of the cylinder rapidly decreases.

1. はじめに

円柱構造物の後流に生じる周期的な渦と円柱自身の振動との相互干渉によって生じる振動の渦励振は古くから研究されてきた。これは構造物が速い流体の流れに対して直交方向に激しく振動する現象で、構造物の耐風安全性や機能維持の観点からあらかじめ大振幅の大きさを見積もっておく必要がある。本研究では、円柱の抗力係数が急激に低下する超臨界域のレイノルズ数を対象にして、流体力特性と低スクルートン数における円柱の流力振動を捉えることを目的としている。

2. 計算モデル

本研究の計算モデルを Figure1 に示す。直径 D 、高さ H とし、 $H = 2D$ 、または $H = 4D$ に設定した円柱構造物で、流速 U_0 の中に置かれている。メッシュの分割数は円柱周りを400分割または320分割、高さ方向を $H = 2D$ のモデルは20分割、 $H = 4D$ では40分割している。 $H = 2D$ で円柱周りが400分割のモデルは3次元の要素数が495000、節点数が530355、 $H = 4D$ で円柱周りが400分割のモデルは要素数990000、節点数1035455である。また、角度 θ は Figure1 のように定義する。

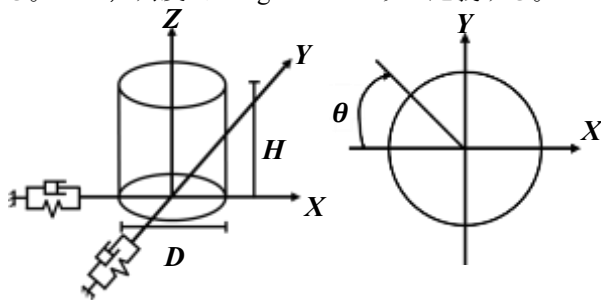


Figure1. Computation model of a circular cylinder

3. 基礎式

本研究では流体の流れは非圧縮ナビエ・ストークス方程式を使い、円柱の振動を捉えるために、剛体モデルの1質点2自由度モデルを採用する。詳しい方程式は参考文献[5]に記述してある。

4. 計算結果

はじめに、円柱周りに作用する流体力を捉えるため、静止円柱モデルに対するシミュレーション結果を示す。この時の計算モデルは $Re = 10^6$ では $H = 2D$ 、他は $H = 4D$ に設定した。 $Re = 10^5$ は円柱周りを320分割、他は400分割した。時間増分 Δt は $Re = 10^5$ は0.005、 $Re = 2.0 \times 10^5$ は0.001、他は0.002である。Figure2はレイノルズ数ごとの円柱に作用する抗力係数 C_D の推移を示す。 $Re = 10^6$ のみ換算速度 $U_r = 15$ のときの渦励振解析の結果を示す。レイノルズ数が増加すると抗力係数は低下し、亜臨界域から超臨界域への推移を捉えられているが、実験値と差がみられた。また、静止円柱と渦励振解析では抗力係数にほとんど差は見られなかった。

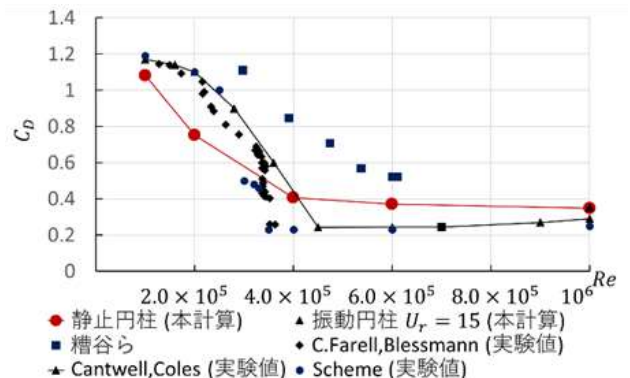


Figure2. Transition of drag coefficient acting on a cylinder

1 : 日大理工・院(前)・海建 2 : 日大理工・教員・海建

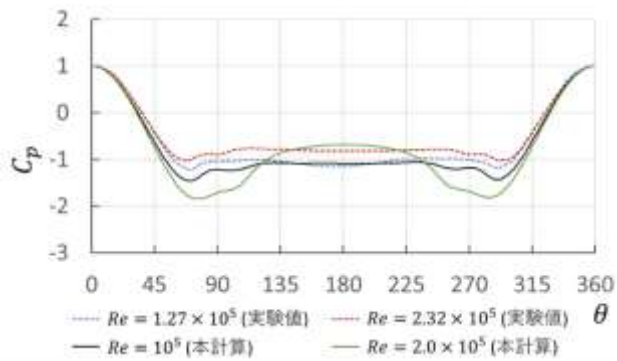


Figure3. Pressure distribution in the subcritical region

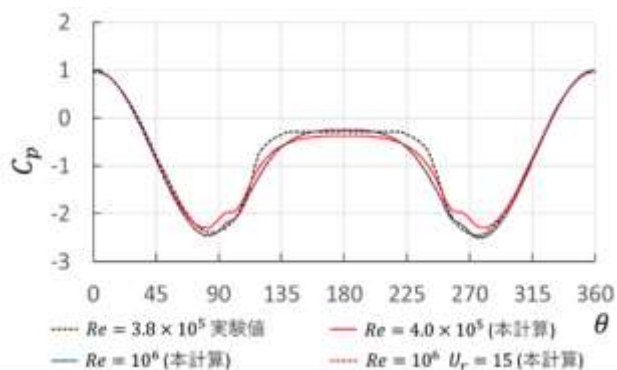


Figure4. Pressure distribution in the supercritical region

Figures3, 4は各々亜臨界域と超臨界域における圧力係数 C_p の実験値との比較を示す。 $Re = 10^6$ のみ換算速度 $U_r = 15$ のときの渦励振解析の結果も示す。亜臨界域では、主に円柱側面にて実験値と差が生じたが、超臨界域では大きな差は見られなかった。また、レイノルズ数が増加するにつれて円柱背面の負圧が小さくなり、円柱側面の負圧は大きくなった。また、静止円柱と渦励振解析の圧力係数はほぼ一致した結果になった。

次に、 $Re = 10^6$ に対しての円柱の渦励振結果を示す。計算モデルは $H = 2D$ 、円柱周りを400分割、時間増分 Δt は $U_r = 7, 13$ は0.001、他は0.002である。質量比 $\chi = 10$ 、減衰定数 $h = 0.007958$ とし、その結果スクリーン数 $S_c = 1.0$ となるように設定した。

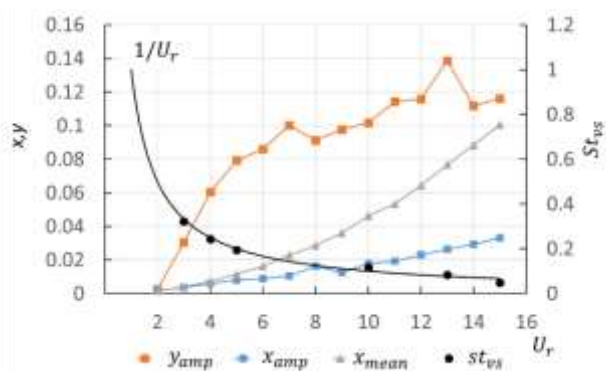
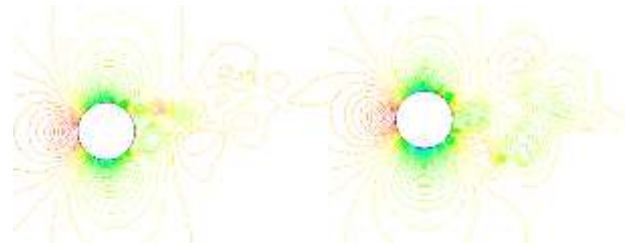


Figure5. Transition of amplitude of x, y

Figure5は換算速度 U_r ごとのインライン方向 x とクロスフロー方向 y の振幅の推移を示す。ただし、 y_{amp} は y 方向の、 x_{amp} は x 方向の振幅、 x_{mean} は x 方向の振幅の平均値、 St_{vs} は振動円柱に対するストローハル数、 $1/U_r$ は無次元固有振動数を示す。



6-1) $U_r = 10$

6-2) $U_r = 15$

Figure6. Flow around the cylinder

Figure6は瞬間圧力表示した円柱周りの流れを示す。円柱から放出される渦の剥離点が円柱後方にあるため超臨界域の特性を捉えられていることがわかる。

5. 結語

臨界域で抗力係数 C_D 低下がよく捉えられていたが、本計算結果と実験値でわずかに差がみられた。また換算速度 U_r が大きくなるごとに x, y 方向どちらも振幅の変化は顕著に現れたが、静止円柱の圧力係数 C_p と $U_r = 15$ のときの渦励振解析での圧力係数 C_p にほとんど差がみられなかった。これは $Re = 10^6$ のとき抗力係数 C_D が非常に小さい値であったことに起因すると考えられる。今後はスクリーン数 S_c を1.0以下に設定し、どのような振動になるかを検討する予定である。

6. 参考文献

[1] C.Farell,J.Blessmann, “On critical flow around smooth circular cylinders”,*J.Fluid Mech*,Vol.136,pp.375-391,1983
 [2] 糟谷直樹, 平野廣和, 丸岡晃, 佐藤尚次, “数値流体解析を用いた臨界領域における円柱まわりの流れの特徴の把握”, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.410-417, 2014.3
 [3] Guter.Schewe, “On the force fluctuations action on a circular cylinder in crossflow from subcritical up to transcritical Reynolds numbers”,*J.Fluid Mech*,Vol.133,pp.265-285,1983
 [4] Brian.Cantwell, Donald Coles, “An experimental study of entrainment and transport in the turbulent near wake of a circular cylinder”,*J.Fluid Mech*,Vol.136,pp.321-374,1983
 [5] 山田涼介, 近藤典夫, “高レイノルズ数における2次元円柱の流れ方向と流れ直交方向の振動解析”, 第32回計算力学講演会講演論文集, 講演番号 126, 2019