

超臨界レイノルズ数域の2次元円柱の渦励振解析

Vortex excitation analysis of a two-dimensional cylinder in the supercritical Reynolds number region

○山田涼介¹, 近藤典夫²*Ryosuke Yamada¹, Norio Kondo²

Vortex excitation is a phenomenon in which a structure vibrates violently in a direction orthogonal to a fast fluid flow. It is caused by the mutual interference between the periodic vortex generated in the wake of the cylindrical structure and the vibration of the cylinder itself, and it is important to understand the vibration properties. The purpose of this study is to capture fluid force characteristics around a cylindrical structure and flow vibration of the cylinder at low scruton numbers for the Reynolds number in the subcritical to supercritical region where the drag coefficient changes rapidly.

1. はじめに

渦励振とは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のことであり、その振動性状を把握することが重要である。本研究は数値シミュレーションにより、抗力係数 C_D が急激に変化する亜臨界域から超臨界域でのレイノルズ数 Re を対象に円柱構造物の周りの流体力特性と低スクラ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

本研究で使用した計算モデルを Fig.1 に示す。円柱の直径 D 、高さ H とし、渦励振解析では $H = 2D$ 、静止円柱は $H = 4D$ に設定した円柱構造物で、流速 U_0 の中に置かれている。角度 θ は Fig.1 のように定義する。メッシュの分割数は静止円柱の $Re = 10^5$ のみ円柱周りを320分割、その他は400分割に設定した。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。また、円柱構造物が移動したときにメッシュも動くALE法を使用して計算した。

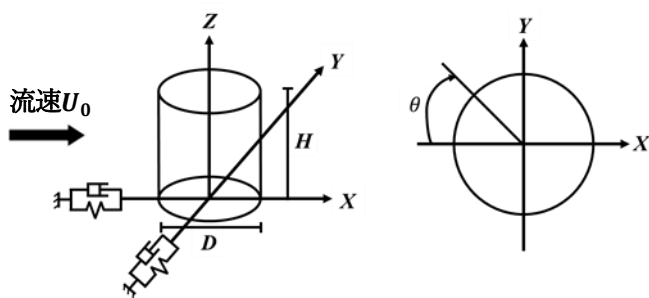


Figure1. Computation model of a circular cylinder

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

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。時間増分 Δt は $Re = 10^5$ は0.005、 $Re = 2 \times 10^5$ 、 10^6 は0.001、 $Re = 4 \times 10^5$ 、 6×10^5 では0.002に設定した。

レイノルズ数ごとの円柱に作用する抗力係数 C_D の変化と比較と Fig.2 に示す。 $Re = 10^6$ のみスクラトン数 $S_c = 1.0$ 、換算速度 $U_r = 22$ のときの渦励振解析の結果を示す。

実験値との差が多少みられたものの本数値計算結果は、実験で示された抗力係数 C_D の低下現象をよく追従して捉えられていることがわかる。また、静止円柱と渦励振解析の結果ではほとんど差は見られなかった。

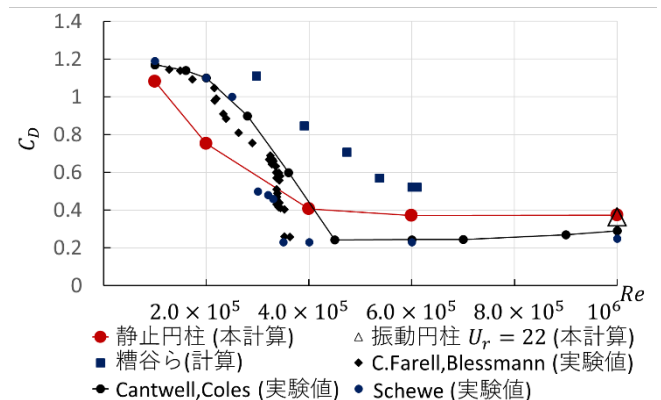


Figure2. Transition of drag coefficient acting on a cylinder

次に、レイノルズ数 $Re = 10^6$ に対しての円柱の渦励振結果を示す。2 ケースのスクルートン数で換算速度を変化させ振動の変化を捉えることを目的とした。スクルートン数 $S_c = 1.0$ では質量比 $\chi = 10$ ，減衰定数 $h = 0.007958$ ，換算速度 $U_r = 2 \sim 22$ に設定した。時間増分 Δt は $U_r = 7, 10, 13 \sim 22$ は 0.001，他は 0.002 である。 $S_c = 0.5$ では質量比 $\chi = 5$ ，減衰定数 $h = 0.007958$ ，換算速度 $U_r = 1 \sim 10$ に設定した。時間増分 Δt は 0.001 である。このように小さなスクルートン数では，海中構造物が対象となる。

スクルートン数 $S_c = 1.0$ での換算速度 U_r ごとのインライン方向 x とクロスフロー方向 y の変位の時刻歴曲線を Fig.3 に示す。ただし， x_{mean} は x 方向の振幅の平均値， y_{amp} ， x_{amp} は変位のピークの平均値から振幅の平均値を引いた値であり，どれだけ揺れたかを表している。 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。

換算速度 U_r が大きくなるにつれ x 方向， y 方向ともに振幅が大きくなっていくのを捉えられている。また，振動円柱に対するストローハル数が無次元固有振動数と一致し，ロックインが起きていることが捉えられている。

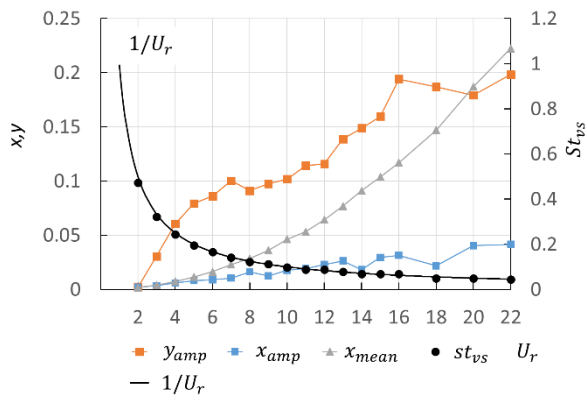


Figure3. Transition of amplitude of x, y ($S_c = 1.0$)

スクルートン数 $S_c = 0.5$ での換算速度 U_r ごとのインライン方向 x とクロスフロー方向 y の変位の時刻歴曲線を Fig.4 に示す。ただし， $y_{amp}(S_c = 1.0)$ はスクルートン数 $S_c = 1.0$ での y 方向の変位のピークの平均値から振幅の平均値を引いたものである。

スクルートン数の低下により， y 方向の振幅はどの換算速度でも増加していることがわかる。また， $S_c = 1.0$ では換算速度が増加するにつれて緩やかに振幅が大きくなっていったのに対して $S_c = 0.5$ では換算速度 $U_r = 6$ のときにピークをむかえ以降の振幅は減少していった。

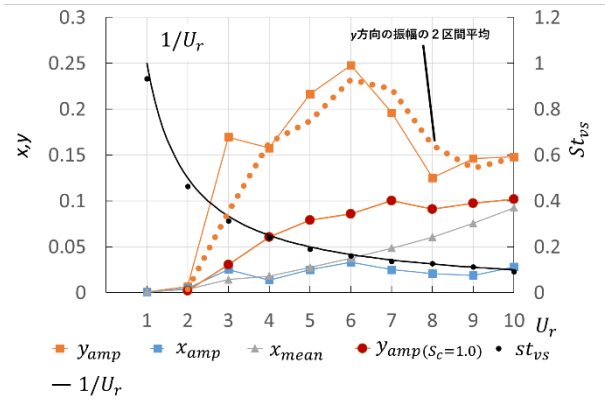


Figure4. Transition of amplitude of x, y ($S_c = 0.5$)

5. 結語

静止円柱では時間増分を細かくしてもレイノルズ数 $Re = 2 \times 10^5$ では実験値と差が多少みられた。そのため今後はメッシュをより細かくして計算を進める。また， $Re = 10^6$ では静止円柱と渦励振解析の結果の抗力係数に差はほとんどなかった。今後レイノルズ数 $Re = 10^5$ ，スクルートン数 $S_c = 1.0$ での渦励振解析を進め抗力係数が変化するか，亜臨界域においてどのような振動性状をするか捉える。

渦励振解析に関してはスクルートン数 $S_c = 0.5$ にて換算速度 $U_r = 6$ 以降では $S_c = 1.0$ の結果と振幅の差が小さくなっていった。今後換算速度をより大きくしてどのように振幅が推移していくか検証していく。また，スクルートン数が大きくなると振幅が大きくなるだけでなく換算速度増加による推移にも変化がおきたためスクルートン数 $S_c = 0.1$ での計算も進めていく。

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 cylimder”,*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