

B-15

高レイノルズ数域の2円柱の流力振動に関する数値解析

Numerical Analysis for Vortex-Induced Vibrations of Two Circular Cylinders at a High Reynolds Number

○佐藤拓己¹, 近藤典夫²

*Takumi Sato¹, Norio Kondo²

When considering the effects of fluid flow on a structure, it is generally not the case that the structure exists alone, but rather that there are multiple structures. Therefore, it is necessary to consider the effect of vibrations generated in a structure on adjacent structures.

In this study, the flow-induced vibration characteristics of two cylinders placed in a uniform flow of the fluid are numerically analyzed by assuming static and oscillatory states at a high Reynolds number range.

1. はじめに

流体の流れが構造物に与える影響を考えると、一般的には単独で存在していることは少なく、複数の構造物が存在している場合が多い。ゆえに、1つの構造物で生じる振動が、隣接している構造物へ及ぼす影響を考慮しなければならない。

そこで、本研究では流体に対して直列に配置された2本の円柱に対し高レイノルズ数域におけるの静止状態および振動状態を想定し、数値解析により2円柱の流力振動特性を捉える研究を行った。

2. 基礎方程式

本研究では、3次元ナビエ・ストークス方程式と連続方程式を用い、円柱の振動を捉えるために剛体モデルの1質点2自由度モデルを想定した。方程式の詳細を以下に示す。

- ・3次元ナビエ・ストークス方程式

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{i,j} = -p_i + \frac{1}{Re} u_{i,jj}$$

- ・流体の非圧縮を示す連続方程式

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

- ・円柱の振動方程式

$$\frac{d^2 X_i}{dt^2} + \frac{4\pi h}{U_r} \frac{dX_i}{dt} + \left(\frac{2\pi}{U_r}\right)^2 X_i = \frac{1}{2\chi} C_{Di}$$

$$\frac{d^2 Y_i}{dt^2} + \frac{4\pi h}{U_r} \frac{dY_i}{dt} + \left(\frac{2\pi}{U_r}\right)^2 Y_i = \frac{1}{2\chi} C_{Li}$$

式中に表れるパラメータは以下の通りである。

t : 無次元時間, u_i : 無次元流速, p : 無次元圧力

Re : レイノルズ数, $\chi = \frac{m}{\rho_f D^2 H}$: 質量比, h : 減衰定数

ρ_f : 流体密度, m : 円柱の質量, $U_r = \frac{U}{Df}$: 換算速度

f : 円柱の固有振動数, C_D : 抗力係数, C_L : 揚力係数

X_i, Y_i : 円柱のインライン, クロスフロー変位

また、今回のシミュレーションでは $Re = 10^6$, $\chi =$

10, $h = 0.007958$ とした。

3. 計算モデル

本研究では、Figure1に示した1質点2自由度の剛体モデルを使用し、円柱に作用する流体力と2円柱周りの流れについての計算を行う。本計算では直径を D とし、 $H/D=1.0$, 円柱の間隔比は $S/D=3.0$ とした。

また、 θ はFigure2のように定義した。

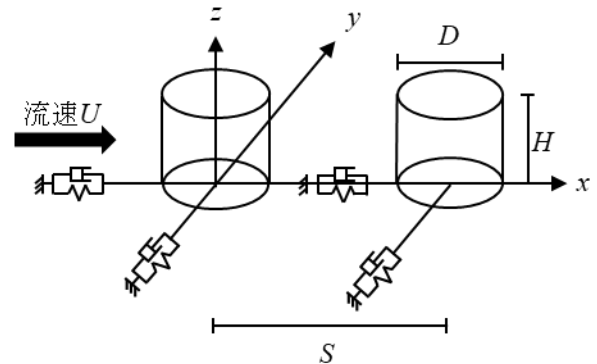


Figure1. Computation model of circular cylinders

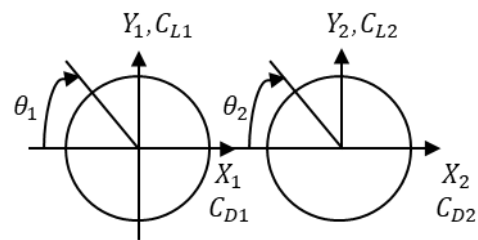


Figure2. Definition of symbols

4. 計算結果

$U_r = 2.0$ で振動する際の円柱表面上の平均圧力係数 C_p をFigure3に、上流と下流円柱の X_i 変位をFigure4に、 Y_i 変位をFigure5に示す。またFigures6と7に円柱が振動する際の圧力分布を示す。赤は正圧を、青は負圧を表す。

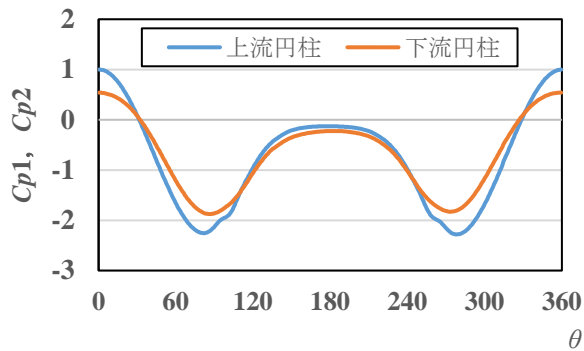


Figure3. Average pressure coefficient

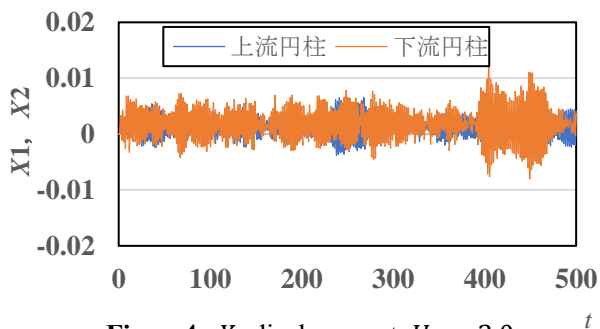


Figure4. X_i -displacement $U_r = 2.0$

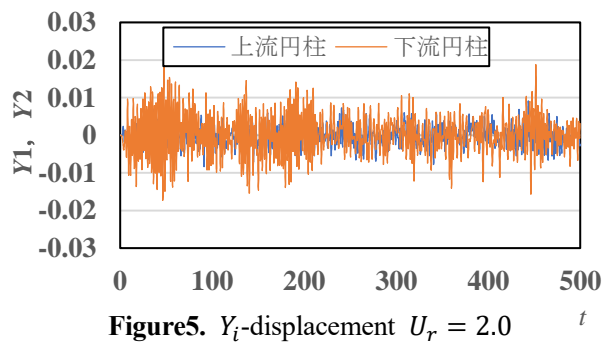


Figure5. Y_i -displacement $U_r = 2.0$

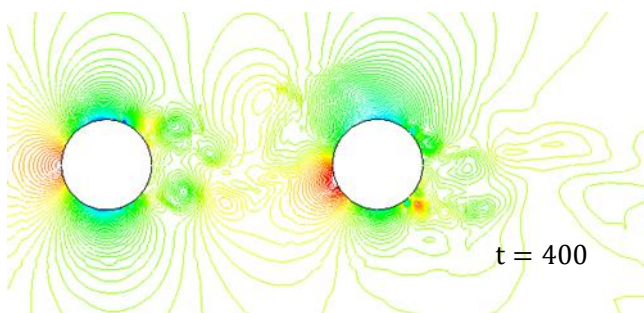


Figure6. Pressure distribution $t = 400 U_r = 2.0$

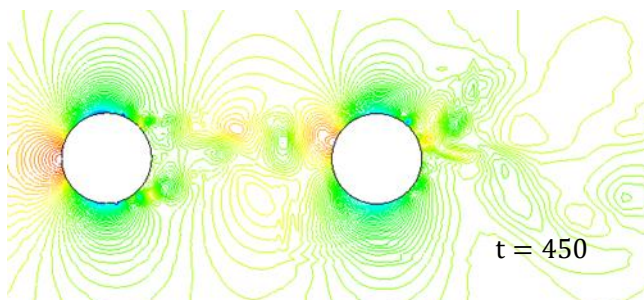


Figure7. Pressure distribution $t = 450 U_r = 2.0$

5. 考察

Figure3 より、上流円柱と下流円柱ともにおよそ $\theta = 30^\circ \sim 330^\circ$ の範囲で負圧になっていることがわかる。

Figures4 と 5 より、 X_i 方向、 Y_i 方向のどちらに關しても下流円柱のほうが上流円柱より変位が大きいことがわかる。これは、上流円柱が振動した際に起こるはく離渦が主な原因である。超臨界レイノルズ数域では、はく離渦は円柱の背後付近で生じ小さな渦列を形成する。このような渦列が下流円柱に衝突することにより、下流円柱の振動が大きくなったと考えられる。

Figures6 と 7 より、振動する円柱周りの圧力分布が時間によってどのように変化しているかがわかる。上流円柱前面では時間による変化が大きいことを示しているが、先に述べたように下流円柱前面では、はく離渦の衝突によって正圧となる位置が変化していることがわかる。これは、はく離渦が上流円柱後方でそれぞれ逆回転をしながら交互に発生し下流円柱に衝突し、正圧となる位置が時間経過に伴い変化しているためである。

また、上流円柱と同様に下流円柱後方でも剥離波が発生していることや、正圧になっている箇所が発生していることもわかる。

6. まとめ

今回は2円柱の低換算速度での振動状態を想定しシミュレーションを行ったが、 X_i 方向、 Y_i 方向ともに上流円柱に対し下流円柱の変位が大きくなるということが分かった。

また、直列円柱周りの流れの圧力分布を可視化することにより、実際にカルマン渦が発生していることが確認できた。

7. 参考文献

- [1] 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
- [2] 河村勉, 中尾峻次, 高橋正典, 林正明, 後藤伸徳, 超臨界レイノルズ数領域における円柱の超励起振動, 日本機械学会論文集 (B編) 65 巻 635 号, 1999
- [3] 河村勉, 中尾峻次, 高橋正典, 林正明, 村山貢一, 超臨界レイノルズ数領域における直交流中の静止円柱からの渦放出特性, 日本機械学会論文集 (B編) 65 巻 635 号, 1999