

振動する複数円柱の変動空気力に関する数値流体解析

CFD of fluctuating aerodynamics forces of multiple oscillating circular cylinders

○徳田翔也¹, 長谷部寛²
Shoya Tokuda¹, Hiroshi Hasebe²

Abstract : Numerical simulation on the flow around multiple circular cylinders was conducted to investigate effective position of them for our wind-power generation system using wake galloping. First, we evaluated aerodynamic forces acting on fixed multiple circular cylinders. Maximum fluctuating lift force occurred on the second cylinder. Then we calculated oscillating multiple cylinders. As a result, the amplitude of second cylinder was larger than one of the first cylinder.

1. はじめに

近年, 世界的な気候変動のため, 再生可能エネルギーの重要性が高まり, 風力発電が注目されている. 風力発電はプロペラ型風車が多く採用されており, 多量の発電が見込める.

一方で, 風車以外にも多種多様な方法が提案されている. ウェイクギャロッピングを利用した発電方法もそのうちの1つである. ウェイクギャロッピングとは, 斜張橋のケーブルなどが, 流れに対し直列に配置されている場合, 上流側のケーブルからはく離れた流れの影響で, 後流側のケーブルが激しく振動する現象である[1]. 本研究室では, 複数円柱振動子を用いたウェイクギャロッピング現象に着目し発電法を検討している[2]. この発電方法の提案には, 円柱が効率よく振動する円柱本数や配置間隔の情報が必要となる. 風洞実験では可視化実験により流れの特性を知る方法はあるが, 高風速域で精度よく実施することは難しい. そのため, 数値流体解析により効率的な複数円柱の配置パターンを研究している.

本研究では, 流れに対し直列に配置された2本の円柱を対象に, 固定時と振動時の空気力を比較し検討した. ウェイクギャロッピング現象は, 空気力の変動特性と構造系の振動特性が複雑に関係したものであるが, ここでは振動を発生する要因である空気力に着目し考察した.

2. 解析手法

本研究では, 書籍[3]に付属されている非圧縮粘性流体解析プログラムを改良して用いた. 支配方程式には以下の無次元した連続条件式と ALE 表記に基づく Navier-Stokes 方程式を用いた.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + (u_j - \hat{u}_j) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} = b_i \quad (2)$$

ここで, u_i は流速, \hat{u}_j はメッシュ速度, p は圧力, Re はレイノルズ数, b_i は物体力である. これらの方程式を空間方向は SUPG/PSPG 法, 時間方向は Crank-Nicolson 法で離散化している. 要素は三角形一次要素を用い, 連続1次方程式の解法には GPBi-CG 法が用いられている. 円柱の振動方程式は変位を未知数とした Newmark- β 法を用いて解いた.

3. 解析条件

本研究では円柱を流れに対し直列に2本配置し解析した. 解析領域及び境界条件を figure1 に示す. また, 解析に用いたメッシュを figure2 に示す. 円柱直径は D とし, 閉塞率は5%とした. 下流側の円柱の後方に十分な領域を確保した. 配置間隔は $4D$ とした.

境界条件として, 上下境界に slip 条件を与え, 流入部の流入境界はレイノルズ数 100 に相当する一様流を与え, 流出境界で traction free 条件を与えた. 時間増分量は 0.01 として, 揚力変動が生じた場合は, 振幅が一定になってから 20 波以上解析し, 空気力を評価した.

Newmark- β 法の条件として, 質量 m は 1, ばね係数 k は 0.1, 減衰係数 c は 5, $\gamma=1/2$, $\beta=1/4$ を与えて解析を行った

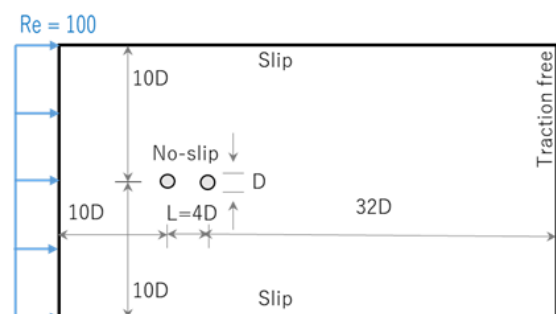


Figure1. Computational domain and Boundary condition

4. 解析結果

円柱が固定されたケースと振動可能なケースの解析結果の流線図を figure3, figure4 に示す. また円柱に作用する空気力をまとめ, figure5 に平均抗力係数の結果を, figure6 に揚力係数の標準偏差を示す.

(1) 固定された円柱の空気力特性

固定された円柱の場合 figure3 より, 円柱間に流れが入り込み 2 本目付近で変動が継続することが確認された.

Figure5 から平均抗力係数は, 1 本目より 2 本目の値が減少する結果となった. また, figure6 から揚力係数の標準偏差は 1 本目より 2 本目が大きくなることが確認された. 振動する要因を空気力のみに着目した場合, 1 本目より 2 本目の円柱で大きく振動が発現すると考察できる.

(2) 振動する円柱の空気力特性

Figure4 より, 振動する円柱の場合も固定された円柱と同じく 2 本目付近で流れの変動が大きくなることが確認された.

空気力では, 平均抗力係数と揚力係数の標準偏差は固定円柱と同じ推移をしているが, 1 本目と 2 本目共に固定円柱より大きい結果となった.

円柱の振幅は可視化した結果から 1 本目より 2 本目が大きく振動していることが確認できる.

5. 結論

本研究では, 流れに直列配置された 2 本の固定された円柱と振動する円柱の空気力特性を検討した. 今回の条件では, 固定された円柱の場合 2 本目の揚力係数の標準偏差が大きいことが分かった. また振動する円柱の場合, 固定された円柱の解析結果から推測したように 2 本目の円柱の振動が大きくなることが分かった. 今後は円柱の配置間隔を狭くした場合の解析と円柱本数を増やした場合の解析を行い, 空気力特性を検討する.

参考文献

- [1] 社団法人日本鋼構造協会(編):「構造物の耐風設計」, 東京電機大学出版, 1997
- [2] 野村卓史, 三枝成彰, 長谷部寛:「固定円柱の後流に直列配置された複数円柱の振動に関する基礎実験」, 風工学シンポジウム, Vol.22, pp.245-250, 2012
- [3] 日本計算工学編:「第三版有限要素法による流れのシミュレーション」, 丸善出版, 2017

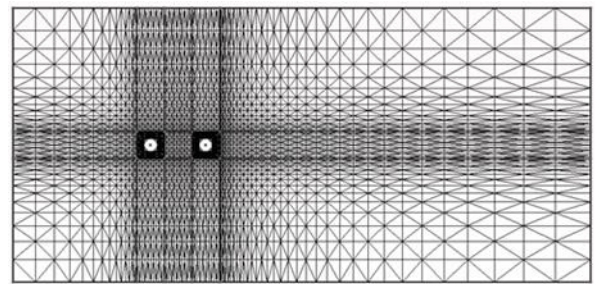


Figure2. Computational mesh

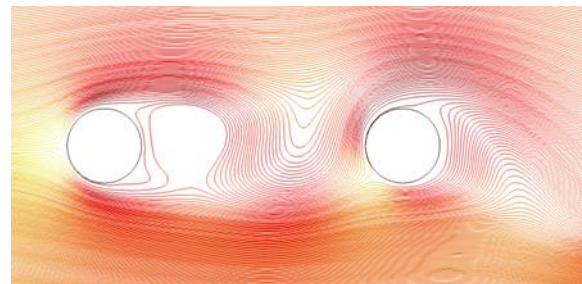


Figure3. Streamline around fixed cylinders

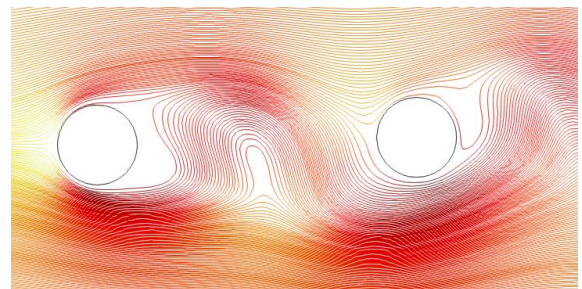


Figure4. Streamline around oscillating cylinders

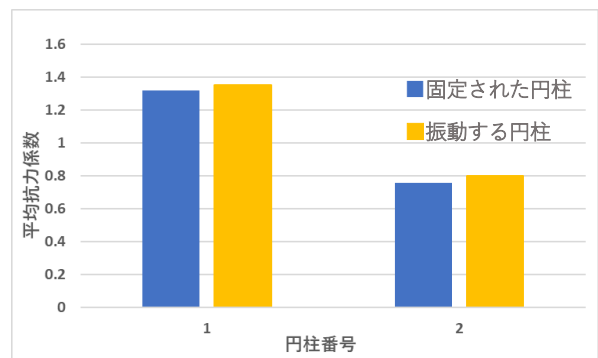


Figure5. Averaged drag coefficient

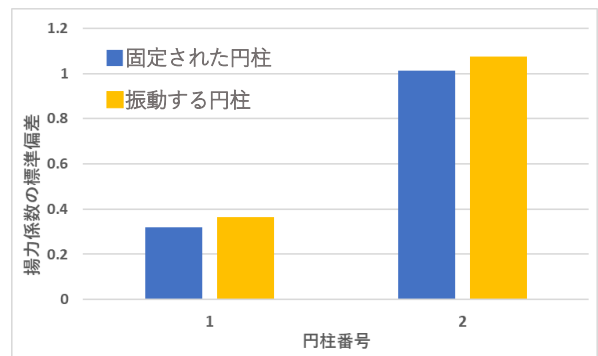


Figure6. Standard deviation of lift coefficient