

ウエイク中に設置された複数円柱の空気力評価に関する数値流体解析

日本大学大学院 学生会員 ○徳田翔也
日本大学 正会員 長谷部寛

1. はじめに

現在、風力発電の方式はプロペラ型風車によるものが主流である。しかし、プロペラ型風車以外にも多種多様な発電方式が提案されている。本研究室では、斜張橋のケーブルなどで生じるウエイクギャロッピング現象¹⁾を活用し、円柱のウエイク中に設置された複数の円柱を振動させることにより、効率的にエネルギーを回収する方法を検討している²⁾。この発電方法のポイントは円柱が効率よく振動する条件を知ることにある。本研究室ではこれまで風洞実験により、円柱本数や円柱配置間隔を変えて、効率良く振動する設置条件を検討してきたが、その際の流れの状況を把握するまでには至らなかった。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。そこで、数値流体解析を用いて発電効率の良い円柱配置条件を見出したい。

本報告では、その第一歩として実施した層流域での静止複数円柱まわりの流れ解析と空気力評価の2次元解析結果を報告する。円柱が発散的に振動する条件は複雑であるが、揚力変動が大きいことが振動しやすい条件の一つである。そのため、特に円柱配置間隔に着目し、揚力変動の大きい条件を模索した。

2. 解析手法

流体解析には、書籍³⁾付属の非圧縮粘性流体解析プログラムを用いた。本解析プログラムの支配方程式は以下の式(1)および(2)に示す無次元化した連続条件式と Navier-Stokes 方程式である。

$$\text{Navier-Stokes 方程式: } \rho \frac{\partial u_i}{\partial t} - u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial x_j} - \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} = b_i \quad (1)$$

$$\text{連続条件式: } \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

ここで、 u_i は*i*方向の速度成分、 p は圧力、 ρ は密度、 Re はレイノルズ数、 b_i は物体力である。これらの支配方程式を SUPG/PSPG 法に基づく安定化有限要素法により離散化し、連立1次方程式は GPBi-CG 法を用いて解く。

3. 解析条件

流れに対し直列に複数の円柱を配置した解析を行った。円柱配置本数は1本と4本とした。円柱配置間隔は2Dと4Dの場合を検討した。配置間隔が4Dの場合の解析領域および境界条件を図1に示す。配置間隔2Dの場合も同じ領域サイズである。円柱の直径はDである。境界条件として上下境界をslip条件とし、流出境界でtraction free条件を与えた。流入境界でレイノルズ数100となる一様流を与えた。時間増分量は0.01を用いた。

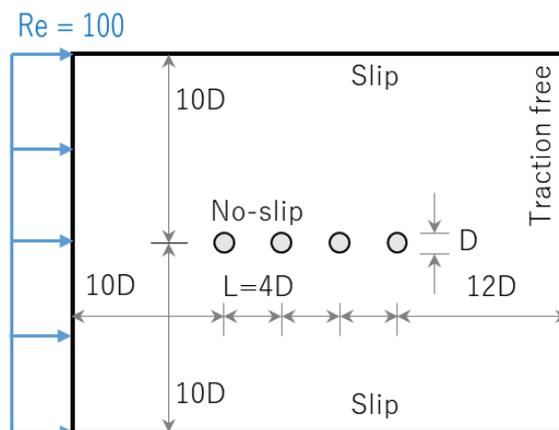


図-1 円柱の配置図 (4本の場合)

キーワード 風力発電, ウエイクギャロッピング, 円柱, 風洞実験

〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14

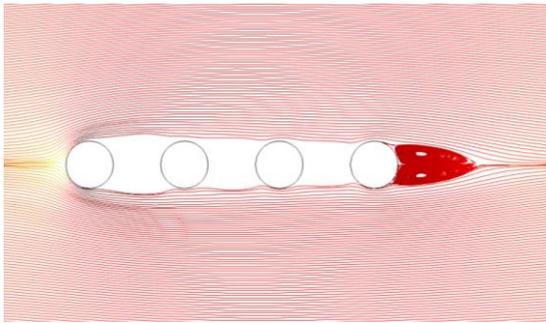


図-2 配置間隔 2D の流線図

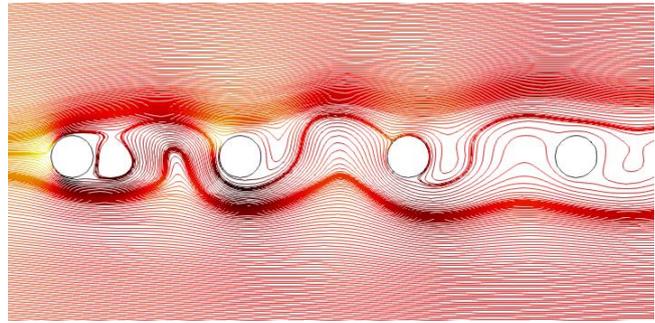


図-3 配置間隔 4D の流線図

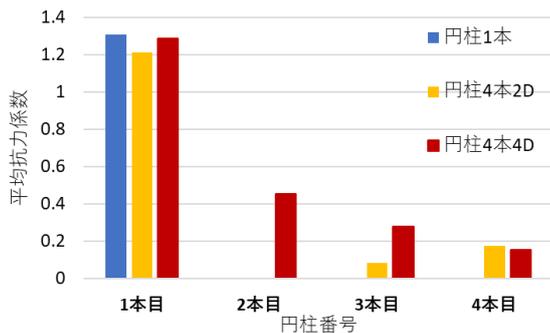


図-3 平均抗力係数

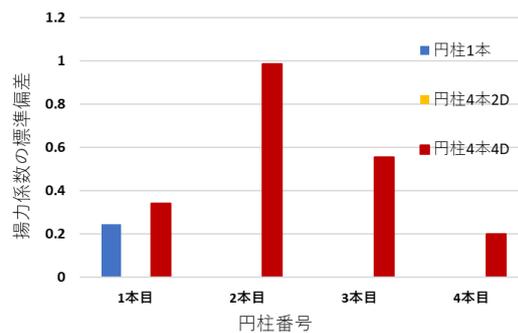


図-4 揚力係数の標準偏差

4. 解析結果

円柱本数を4本として、配置間隔2Dと4Dの2パターンの比較をする。それぞれの解析結果の流線図を図-2, 3に示す。また各円柱配置間隔における抗力係数の平均値と揚力係数の標準偏差を図-4, 5に示す。平均抗力係数では配置間隔4Dの場合、下流側に移るにつれ減少しているが、配置間隔2Dの場合、2本目の値が非常に小さくなり、3本目4本目では増加している。揚力係数の標準偏差では、配置間隔4Dの場合2本目が最大値となり3本目4本目は減少している。また円柱1本目から3本目は単独円柱より大きい結果となった。配置間隔2Dの場合2本目以降は非常に小さい値となった。空気力のみ注目すれば、この解析条件では4Dの場合揚力変動は大きくなり、単独円柱より大きくなるため十分振動が発現されるが、配置間隔2Dの場合、揚力変動は小さくなり振動は発現しないと考えられる。

5. まとめ

本研究では数値流体解析により、ウエイク中に配置された複数円柱の空気力特性を検討した。円柱配置間隔2Dでは流れの変動は非常に小さく、4Dの場合は円柱1本より複数本配置した場合流れの変動が大きくなることを確認できた。今後は配置間隔を変更した場合の検討や、メッシュや諸条件の改良を行った上で、流体構造連成解析を実施する予定である。

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論文集，vol, 22 p245-250, 2012
- 3) 高橋優，比江島慎二：「平板併進加振による円柱流力振動のフィードバック増幅」風工学シンポジウム論文集，vol, 23 p319-324, 2014
- 4) 檜山和男，野村卓史，田中聖三，長谷部寛：「第3版 有限要素法による流れのシミュレーション 日本計算工学編」丸善出版，2017