

大振幅でねじれ振動する平板の数値流体解析

Numerical Fluid Simulation of a Flat Plate Under Large-Amplitude Torsional Vibration

○鈴木望美¹, 長谷部寛²* Nozomi Suzuki¹, Hiroshi Hasebe²

Abstract: Propeller-type wind turbines are widely used for wind power generation. However, blade rotation creates a wake flow which has a highly turbulent flow. In this study, we focused on the flutter vibrations of multiple flat plates to restrict the vibration mode to torsional motions. Previously, three flat plates arranged in series showed flutter in all plates. The oscillating multiple flat plates and piezoelectric elements could achieve power generation. In the experiment, the torsional amplitudes of the first and second flat plates were equal to or greater than that of a single flat plate. However, the torsional amplitude of the third flat plate was approximately half that of a single plate. Therefore, we used CFD analysis to study the flow patterns of oscillating flat plates.

1. 研究背景

現在広く用いられている風力発電はプロペラ式である。しかし、ブレードの回転に伴い後流にウェイクと呼ばれる乱れが強い流れが形成され、ウェイク中に近接配置された風車の発電効率の大幅な低下を招く。そのため、広大な敷地が必要となり、都市域での設置は困難である。一方で、工場のダクトや地下鉄ホームなど都市でも風が生成される場所は数多く存在するが、都市域での風力エネルギーの多くは利用されていない。

そこで、本研究室ではウェイク中でも発電可能な風力発電システムの構築に取り組んできた^[1]。本研究で着目したのは複数平板のフラッター現象である。発電システムの設置イメージを figure 1 に示す。発電デバイスには圧電素子を使用し、フラッターが生じた平板振動子が圧電素子に接触し、素子に変形することで電気が発生する。風洞断面内に発電デバイスを設置すると流れを乱す恐れがあったため、角棒を用いて流れの外側に設置した。

これまでの検討で、複数平板がウェイク内でフラッター振動することを確認した^[2]。figure 2 に流れの可視化実験の様子を示す。平板 2 体目には周期的にスケールの大きい渦が形成されるが、平板 3 体目にはスケールの大きい渦が形成されないことが分かった。figure 3 に平板 3 体での風速とねじれ振幅の関係を示す。ここで、 V_r は無次元風速 $V_r = U/f_\theta B$ である。 U は風速、 f_θ は固有振動数、 B は平板幅である。1 体目と 2 体目の平板の振幅は、1 体目の平板の振幅と同等であった。しかし、3 体目の平板を直列に並べた場合、3 体目の平板も振動するものの 1 体目と 2 体目の平板の振幅の半分程度にとどまった。そこで、振動する平板の特性を調べるために CFD 解析を用いた。

2. 数値流体解析を用いた検討

数値流体解析を用いて複数平板の振動メカニズムを

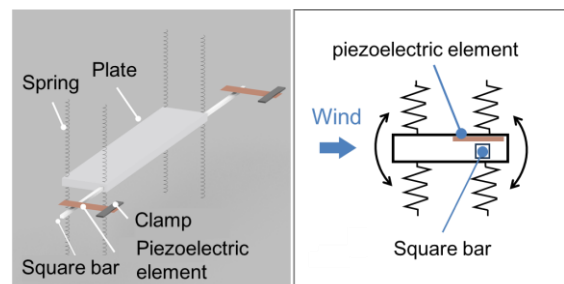


Figure 1. Overview of the Power Generation System



Figure 2. Flow Visualization

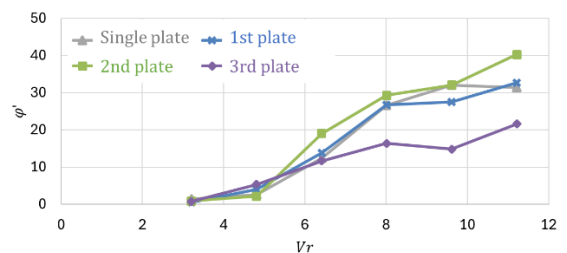


Figure 3. Relationship Between Wind Speed and Torsional Amplitude (Three Flat Plates)

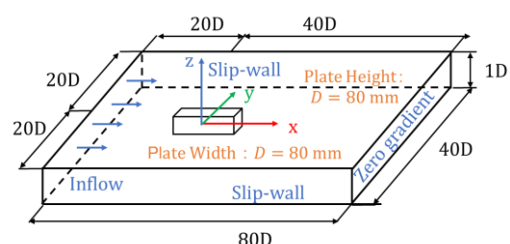


Figure 4. Computational Domain

明らかにすることを目標に、まず平板1体での解析を行った。解析には OpenFoam (v2406) を使用した。figure 4 に解析領域を示す。乱流モデルは標準スマゴリンスキーモデルを用い、初期加振 1° を与えた。figure 5 (a) に解析メッシュ全体を示す。平板高さ D に対して 20 分割した。また、figure 5 (b) に示すように OpenFoam の回転境界である AMI (Arbitrary Mesh Interface) を使用した。時間変化と共に、回転境界の内側が剛体として振動する。これにより、大振幅で振動する平板の解析を実現した。

解析パラメータを table 1 に示す。平板はねじれ 1 自由度の自由振動で、慣性モーメント、減衰係数、質量は表の通りである。風速は $3 \text{ m/s} \sim 7 \text{ m/s}$ の範囲で 1 m/s 刻みで変化させた。

4. 解析結果

Figure 6 に風速が 6 m/s での圧力分布、流速分布を示す。平板の振幅は倍振幅で 5 度程度であった。また、平板後流では渦が放出されるが、流れは大きく変動しなかった。Figure 7 に風速が 7 m/s での圧力分布、流速分布を示す。平板上縁から周期的に渦が放出され、平板が大きく振動することを確認した。また、平板後流では流れが上下に変動し、脈動を形成していることが分かった。平板の振幅は倍振幅で 200 度程度となり、風速 6 m/s と比較して急激に増加していることが分かった。風速 $3 \text{ m/s} \sim 6 \text{ m/s}$ では振幅は数度程度でほとんど変化が無かったのに対して、風速 7 m/s に増加すると振幅が急激に増加することが分かった。

5. まとめ

本研究ではウェイク中での空力弾性振動を利用した新たな風力発電システムの構築を目指し、複数平板の振動メカニズム解明のための初期検討を行った。風速を変化させたときの、平板1体での振動振幅の変化を検討した。今後は、複数体での解析を実施し振動メカニズムを明らかにする予定である。

謝辞：

この研究は公益財団法人前田記念工業振興財団の補助を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 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的実験, 第22回 風工学シンポジウム論文集, pp.245-250, 2012
- [2] 鈴木望美, 長谷部寛: ウェイク中に設置された複数平板の振動特性に関する実験, 第28回 風工学研究論文集, pp.258-266, 2024

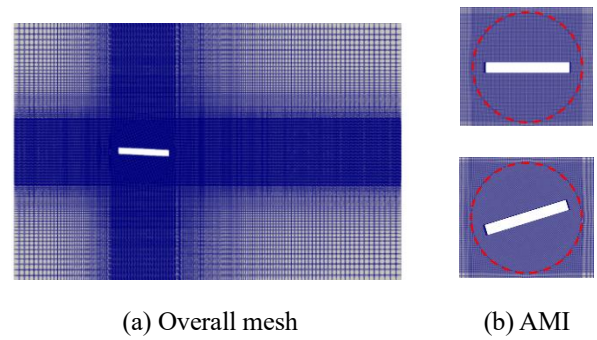


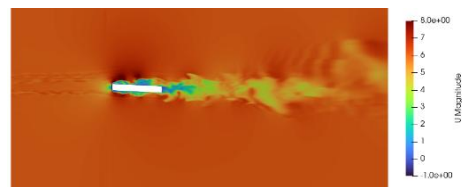
Figure 5. Computational Mesh

Table 1. Computational Parameters

Moment of Inertia	$6.8257 \times 10^{-10} \text{ kg/m}^4$
Damping Coefficient	$1.96 \times 10^{-6} \text{ Nms/rad}$
Mass	$1.27 \times 10^{-3} \text{ kg}$
Degrees of Freedom	Torsional 1-DOF
Wind Speed U	$3 \text{ m/s} \sim 6 \text{ m/s}$
Plate Width	80 mm
Plate Height	10 mm



(a) Pressure Distribution

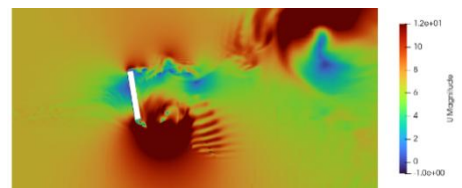


(b) Velocity Distribution

Figure 6. Wind Speed of 6 m/s



(a) Pressure Distribution



(b) Velocity Distribution

Figure 7. Wind Speed of 7 m/s