

K3-51

小型垂直軸風車軸出力の相似性

Similarity of Shaft Output of the Small Vertical Axis Wind Turbine

○松山健太郎¹, 竹本龍樹¹, 関谷直樹²*Kentarō Matsuyama¹, Ryuki Takemoto¹, Naoki Sekiya²

Several models have been proposed to predict the shaft output characteristics of the vertical axis wind turbine from the aerodynamic characteristics of the blade. However, it has not predict the output characteristics of the small wind turbine even the multiple stream tube model included effect of the momentum reduction. Therefore, the purpose of this study was to find out a similarity parameter of the shaft output characteristics based on blade wake interference to establish a prediction model for the small wind turbine. From the measurement of the blade wake using the turbine model with single blade, the scale of the blade wake depends on the ratio of the rotational speed to the free stream velocity. The shaft output characteristics of the small wind turbine indicate good similarity for the parameter, $\lambda^3 \sigma / D$, based on interference of blade wake.

1. 緒言

揚力型垂直軸風車は指向性が無く、風エネルギーの変換効率が良いとされているが、ソリディティ σ が高い小型の風車では、現在提案されている軸出力特性の予測モデルと実機の軸出力特性がかけ離れ、未だに予測は困難である。両者の最大の違いは、最大出力を得る周速比 λ が理論モデルでは $\lambda > 3$ であるのに対し、小型のモデルでは $\lambda \approx 1$ まで低下することである。渡辺らは、小型風車の軸出力特性と風車後流の速度場との関係を指摘しており、ブレード伴流の干渉と出力特性が関係することを示している^[1]。そこで、本研究は小型風車に対応した予測モデルの確立を目指し、ブレード伴流干渉に基づいた軸出力特性の相似パラメータを求めることを目的とした。

2. 実験装置および方法

実験は日本大学理工学研究所所有の大型低速風洞を使用して行った。ブレードには NACA0018 翼型（コード長 $c = 50\text{mm}$ 、スパン長 200mm ）を用い、回転円周に対し 5° だけ迎角をつけて取り付けた。軸出力特性は複数枚のブレードを取り付けて評価し、ブレード伴流の特性実験では、他のブレードから放出された伴流との干渉を避けるために図 1 に示す単一ブレードモデルを用いた。速度データの採取は風車モデル下部に設置したフォトセンサからの信号をトリガーとしたトリガーサンプリングで行った。データは 0.25° 間隔で 630° 、256 組のデータを採取し位相平均処理を施した。座標系は原点を風車回転軸の長手方向中央に採り、流れ方向を x 軸、横幅方向を y 軸、そして回転軸方向を z 軸とし

た。なお、風車回転角 ϕ の原点は、上流よどみ点を原点としている。

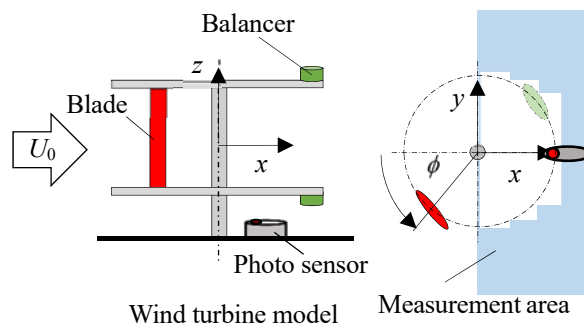
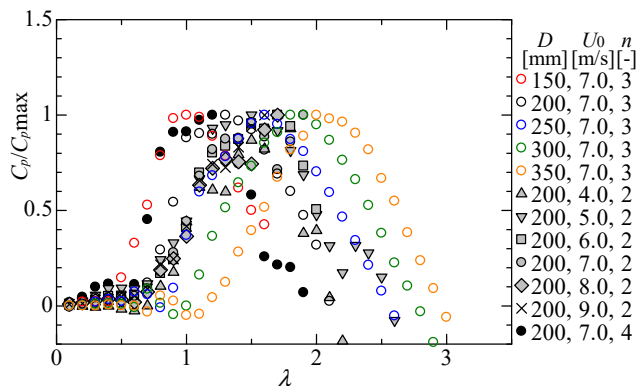


Figure 1 Wind turbine model and coordinate system

3. 実験結果および考察

図 2 に λ で整理したパワーカーブを示す。軸出力は各モデルの最大パワー係数 $C_{p\max}$ で規格化して示している。パワーカーブに相似性は無く、 λ だけをパラメータとした整理では相似性を見出すことは出来ない。そこで、ブレード伴流の干渉に基づいたパラメータで整理することを試みた。

Figure 2 Variation of C_p arranged by λ

ブレード伴流の干渉は伴流のスケール, 移流速度, ブレードの移動速度の関係により生じる. はじめに伴流スケールを調べた結果を示す. 位相平均処理による乱れ強さ u'_p が強く現れる領域をブレード伴流と定義し評価を行った. 図3に得られた u'_p の等値線図を示す. 横軸は経過時間 t と主流速度 U_0 の積で表した長さスケールで整理している. λ の増加に伴い u'_p/U_0 の強い領域が拡大している. ブレード回転直径 D および U_0 が同一条件のため, この結果は角速度 ω の増加に伴いスケールが拡大すること示している. D で比較すると u'_p/U_0 の分布形状はほぼ等しく, 50% C_{pmax} といったパワーカーブの同様な箇所では伴流スケールが等しいことがわかる. ここで, ω がほぼ等しいことに注目されたい. 直径による比較もまた, 伴流スケールが ω に依存することを示唆している. U_0 による違いを比較した結果を図4に示す. D および λ が等しい条件では分布形状がよく一致している. 直径が等しいため ω/U_0 が一定であり, この結果はブレード伴流のスケールが ω/U_0 に依存することを示している.

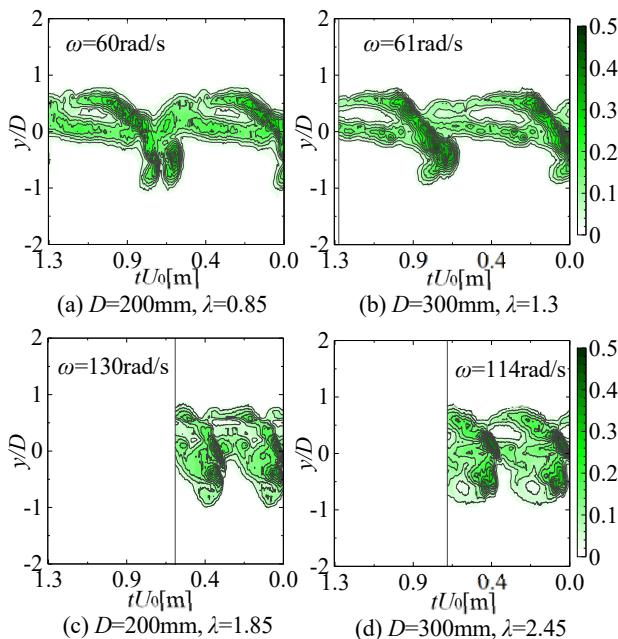


Figure 3 Contour maps of u'_p/U_0 at $x/D=0.6$ ($U_0=7.0\text{m/s}$)

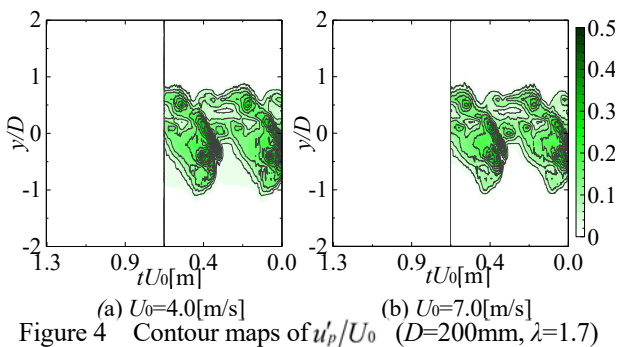


Figure 4 Contour maps of u'_p/U_0 ($D=200\text{mm}$, $\lambda=1.7$)

次に伴流の移流速度 U_a を評価した結果を示す. 図5は U_0 に対して移流速度を整理したグラフである. 干渉に関する伴流後縁の移流速度は U_0 に比例し, D および ω に対しては変わらないという結果が得られた.

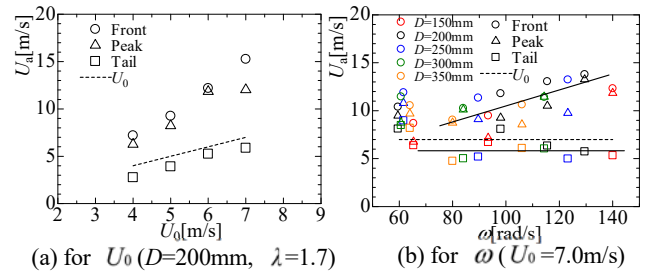


Figure 5 Variation of advection velocity

本研究で得られた伴流スケール・移流速度の特徴とブレードの移動速度から式(1)の伴流干渉を特徴づけるパラメータを提案する.

$$\frac{\lambda^3 \sigma n}{D} = \frac{1}{8\pi} \left(\frac{\omega}{U_0} \right)^2 \left(\frac{D\omega}{U_0} \right) n^2 c \quad (1)$$

このパラメータには L^{-1} の次元が残るがコード長 c の影響を考慮していないため, 長さの次元が残っている. 図6に式(1)で整理したパワーカーブを示す. U_0 の違いを除いてよく一致しており, 伴流干渉モデルが妥当であることを示している. しかしながら, 主流風速に対しては再度検討する必要がある.

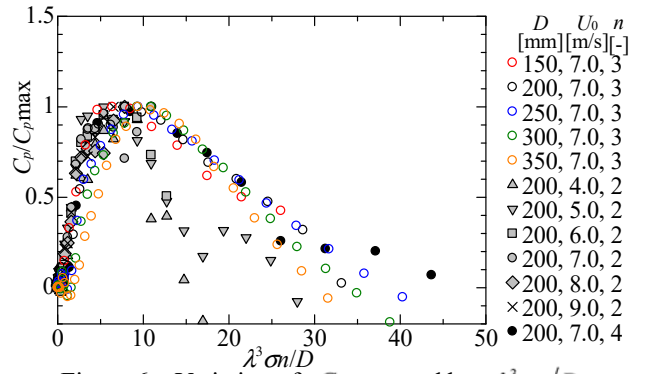


Figure 6 Variation of C_p arranged by $\lambda^3 \sigma n / D$

4. 結言

- (1) ブレード伴流のスケールは速度比 ω/U_0 に依存し, ブレード回転直径には依存しない
- (2) ブレード伴流の後縁の移流速度は, 主流速度に比例する結果を示したが, 再度検証が必要である.
- (3) 伴流のスケールおよび移流速度から考案したパラメータにより軸出力特性に相似性が見いだせた.

5. 参考文献

- [1] 渡辺真己 他: 「垂直軸風車が後流に及ぼす影響」, 日本機械学会論文集, Vol.80, No.812, 2014