

垂直軸型風車モデルまわりの後流速度分布特性 Velocity Profiles of Wake-Flow behind a Vertical Wind Turbine Model

○ 岡田昌己¹, 小林海¹, 渡辺真巳², 関谷直樹³, 松本彰³

*Masaki Okada¹, Kai Kobayashi¹, Mami Watanabe², Naoki Sekiya³, Akira Matsumoto³

Measurements were made of U and V components of instantaneous velocity in the wake of vertical axis wind turbine model using X type hot-wire, focusing on the issue of change of wind environment around the model. The instantaneous data obtained were used to determine time mean velocities and turbulence intensities, and examined some influences that the number of the blades exerted on the flow field around the wind turbine. From the results obtained, it is found that relations between the characteristic quantities in the wake and turbine power depend strongly on solidity of wind turbine.

1. はじめに

現在、我々の研究室では風車まわりの風環境が大きく変わるといふ問題に視点をおき、垂直軸風車をモデルとした回転体の後ろの流れ場を研究⁽¹⁾している。本報告は、風車の性能を決める要素の1つであるブレード数(ソリディティ)に着目し、一定の周速比 λ (ブレードの周速度と主流速度の比)に対して後流の平均速度分布を測定し、ブレード数(ソリディティ)の違いが速度場におよぼす影響を調べたものである。

2. 実験装置および実験方法

実験は日本大学理工学研究所の大型低速風洞を使用して行った。実験方法は昨年度と同様で、X型熱線風速計を用いた風車モデル後流の主流方向速度成分Uと横幅方向速度成分Vの測定と風車に作用するトルクの測定である。それぞれの測定は、ブレード数のみを $n=2,3,4,5$ および7と変えてソリディティ $\sigma = nc/\pi D$ の変化を0.16 から0.56に変えた場合、 $n=3,4,5$ とし、風車直径Dを変えて、 $\sigma=0.40$ に固定した場合、そして $n=3$ に固定してDを変えることによって、 $\sigma=0.24, 0.32, 0.40$ と変化させた場合の3つのケースで行った。

3. 実験結果

3-1. 時間平均速度分布

ブレード数 n の違いによる平均的な流れ場の変化を見るために、Fig.1に $\lambda=0.6, 1.0$ および 1.4 における $n=2\sim 7$ と変化させた場合と Fig.2には、 σ を0.40と固定して、ブレード数 n が流れ場におよぼす影響を見るために $n=3\sim 5$ と変化させた場合、そして、Fig.3には、 n を3と固定して、ソリディティ σ の違いによる流れ場の変化を見るために、 $\sigma=0.24\sim 0.40$ のときの主流速度で無次元化した時間平均速度 \bar{U}/U_0 の y 方向分布を示す。風車の回転方向は $y/D > 0$ で主流と逆向き(迎え風側)、 $y/D < 0$ で同じ向き(追い風側)となる。

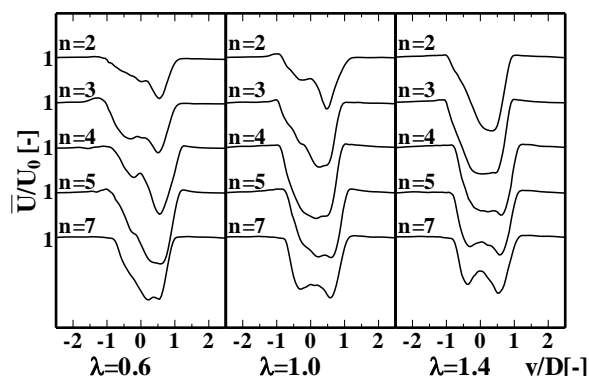


Figure 1. Variation of the time averaged velocity \bar{U}/U_0 to the number of the blades

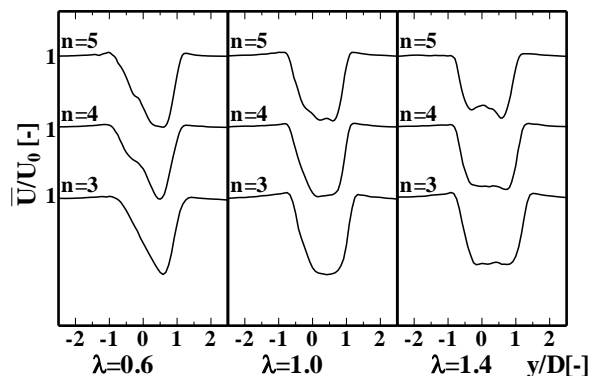


Figure 2. Variation of the time averaged velocity \bar{U}/U_0 to the number of the blades under the condition of $\sigma=0.40$

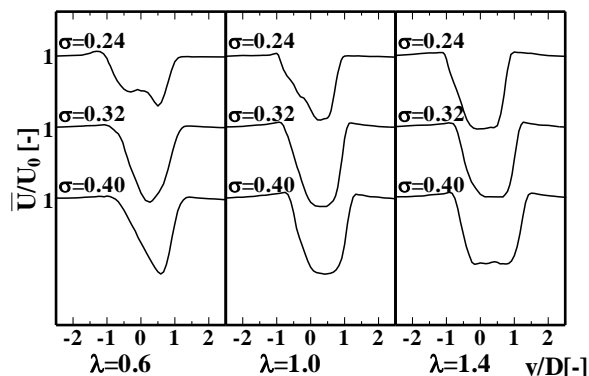


Figure 3. Variation of the time averaged velocity \bar{U}/U_0 to the solidity under the condition of $n=3$

1: 日大理工・学部・機械 2: 日大理工・院(前)・機械 3: 日大理工・教員・機械

Fig.1において、 $\lambda=0.6$ では $y/D<0$ でブレードの動的失速による大きな渦の放出による変曲点型分布⁽¹⁾が見られるが、 $\lambda=1.0$ になるとこの分布は n が大きいほうから消えていき、 $\lambda=1.6$ では完全に消滅している。Fig.2の σ を固定したときは、ブレード数 n に関係なく、どの λ においても速度分布は、ほぼ相似形を示しているのが特徴である。Fig.3の n を固定したときは、 σ が変化するため流れ場は相似形を示さず、低周速比の $\lambda=0.6$ においてさえ、変曲点型分布をとるのは $\sigma=0.24$ のときのみである。これらの結果から、低 λ 域において変曲点型分布をとるのは n ではなく σ による影響と考えられる。

3-2. 時間平均速度分布の積分特性量とパワー係数

ブレード数による風車効率の違いを見るために風車モデルが風から得たトルクから算出したパワー P を空気密度 ρ 、風車の前方投影面積 A そして主流速度 U_0 を用いて無次元化したパワー係数 C_p を式(1)に定義する。また、流れ場の積分特性量の違いを見るために x 方向の平均流の変動エネルギーの平均値 TEq' を式(2)に定義する。

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho AU_0^3} \quad (1)$$

$$TEq' = \frac{1}{2L} \int_{-L}^L \left[\left(\frac{u'}{U_0} \right)^2 + \left(\frac{v'}{U_0} \right)^2 \right] dy \quad (2)$$

Fig.4 は n をパラメータとした C_p の変化を示したものである。 n が小さいほど大きな C_p が得られ、 n の増加とともに減少し、最大値は低 λ 側に移ってくるが、 $n=7$ では十分な C_p が得られていないように見える。

Fig.5 は $\sigma=0.40$ に固定して $n=3,4$ および 5 と変えたときの λ に対する C_p/C_{pmax} と TEq' の変化である。この結果は D が異なるため、縦軸は最大値 C_{pmax} で規格化した。 n に関係なく λ に対する C_p の変化はほぼ同じである。これに対応して、 TEq' の λ に対する変化も n に関係なくほぼ相似となっている。

Fig.6 は $n=3$ に固定して $\sigma=0.24,0.32$ および 0.40 と変えたときの λ に対する C_p/C_{pmax} と TEq' の変化である。 σ が大きくなると C_p/C_{pmax} 曲線は低 λ 側に移動し、有効な C_p/C_{pmax} 値の λ の範囲も狭まる。これに対応して、 TEq' の λ に対する変化も σ が大きくなると低 λ 側に移動し、その最小値も下がってくる。

これらの結果から、 C_p が最大となる λ および有効な C_p 値を得る λ の範囲は、単に n ではなく σ によって決定され、これに対応して、 TEq' の最小となる λ の範囲

も決まると考えられる。

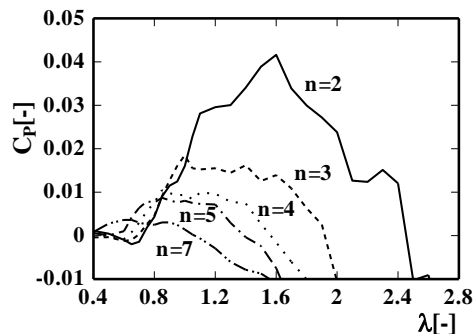


Figure 4. Variation of C_p to the number of the blades

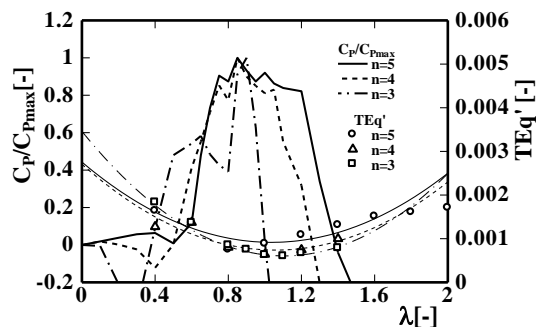


Figure 5. Variation of C_p and TEq' to the number of the blades under the condition of $\sigma=0.40$

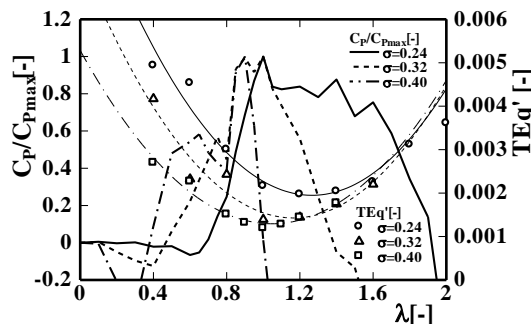


Figure 6. Variation of C_p and TEq' to the solidity under the condition of $n=3$

4. まとめ

n を変え、垂直軸風車モデルの後流の速度分布と C_p を測定した結果、以下のことがわかった。

- (1) \bar{U}/U_0 分布はブレードの動的失速による後流への大きな渦放出のために、低 λ の追い風側で変曲点型分布をとる。この分布は σ の影響によるものである。
- (2) 風車が風から有効な C_p 値を得る λ の範囲は σ に依存し、後流の TEq' も小さく抑えられている。
- (3) TEq' と C_p の λ に対する変化は、 σ が固定されていれば、 n によらずほぼ同じである。

参考文献

- (1) 渡辺 真巳他: 日本機械学会論文集, Vol. 80 (2014) No. 812