

## 垂直軸型風車モデルの伴流計測

### Wake-flow Measurement of Vertical Wind Turbine Model

○中村辰也<sup>1</sup>, 寺内涼<sup>1</sup>, 箕輪翔吾<sup>1</sup>, 深澤勇斗<sup>2</sup>, 関谷直樹<sup>3</sup>, 松本彰<sup>3</sup>

Tatsuya Nakamura, Ryo Terauchi, Syougo Minowa, Yuto Fukazawa, Naoki Sekiya, Akira Matsumoto

The wind energy has been used in various forms for a long time. Recently, a wind turbine is in the limelight as a device that produces renewable energy. Although the vertical axis types are in development still on the way, it is possible to install them in sites where the wind direction is highly variable. However, many of studies were concerned with the improvement of the aerodynamic characteristics of their blades. The problems that the wind-environment is greatly influenced by the wind turbine as a rotating body are overlooked. Therefore, we pay attention to relationship between the turbine efficiency and the velocity field around the turbine and proceed with the velocity measurement of the wake flow now.

#### 1. はじめに

風エネルギーは古くから用いられ、多種多様な形態で利用されてきた。最近では再生可能エネルギーとして脚光を浴びている風力発電がある。商業的には専ら水平軸風車が多く使用されているが、騒音や立地条件等問題も多い。一方、まだ開発途上にあるものの、垂直軸風車は、風に対する指向性がないため、小型のものであれば街中での立地も十分可能である。これまでの研究の多くは垂直軸風車ブレードの空力的特性の向上<sup>(1),(2)</sup>に関するものであった。しかしながら、回転体としての風車のまわりの風環境が大きく変わるといふ問題は見過ごされているようである。そこで我々は、風車効率と風車まわりの速度場との関連性に着目して、研究を計画した。本報告はこの研究の第一段階として、風車の伴流の速度場を、X型熱線風速計を用いて調べた結果である。

#### 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。測定部は2[m]×2[m]の正方形断面を持ち、長さは5.3[m]である。供試模型は、半径Rが100[mm]で、NACA0012翼型を持つブレードは、スパン長Lが200[mm]、コード長cが50[mm]の揚力型垂直軸風車タイプのモデルで、上下の薄い円盤でブレードを固定した。実験はX型の熱線風速計を用いて、風車モデル伴流の主流方向速度成分Uと横幅方向成分Vの分布を測定した。実験方法は、まず、伴流測定の前に風車の影響のない位置に熱線プローブを置いて、風速を2.5, 5, 10[m/s]と変化させ、熱線風速計の較正を行なう。その後、主流風速を $U_0=5$ [m/s]に設定する。計測はPCに接続したAD変換器によって行った。変換開始トリガーは、Fig.1に黒で示したブレードの1/4cが光センサーを通過した点とした。また、回転角の原点 $\phi=0$ [deg]もこの位置とし、 $\phi=0$ [deg]から630[deg]まで0.125[deg]間隔で5040点、256組のデータをサンプルする。その後、これらのデータをもとに、時間平均速度、位相平均速度を算出する。今回の実験では風車特性に関わるパラメータとしては周速比 $\lambda$ (=風車外縁の周速度/主流風速)の

みを変え、ブレード枚数 $n=3$ 、取り付け角 $\alpha=5^\circ$ で全ての実験を通して一定とした。 $\lambda$ は主流風速を一定とし、風車回転数によって $\lambda=0.4$ (190[rpm])から2.4(1145[rpm])と変えた。

座標原点は風車回転軸の長手方向中央に採り、主流方向をx軸、横幅方向をy軸、そして、長手方向をz軸とした。測定位置はブレードの長手方向中央位置( $z=0$ )で固定し、 $x=200 \sim 600$ [mm]の範囲で5点、 $y=\pm 700$ [mm]の範囲で約45点とした。

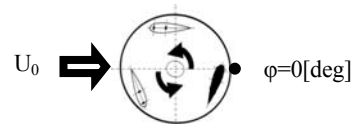


Fig.1 Trigger point of AD convertor

#### 3. 実験結果および考察

##### 3.1 時間平均速度分布

周速比 $\lambda$ の違いによる平均的速度場の変化を見るために特定の $\lambda$ において、 $x=200$ mmにおける時間平均速度 $\bar{U}/U_0$ と $\bar{V}/U_0$ のy方向分布をFig.2に示した。

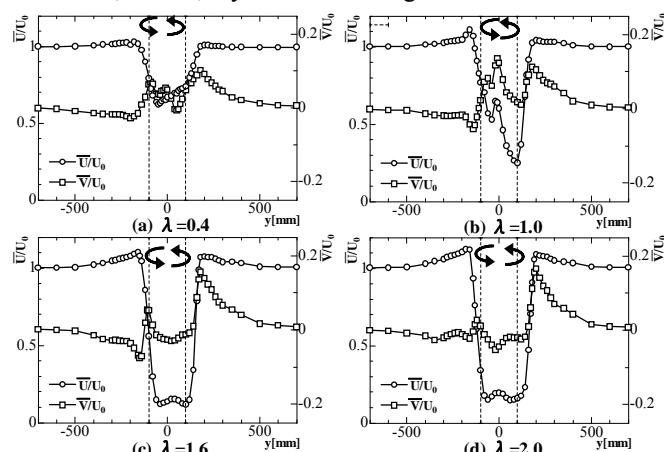


Fig.2 Distribution of the time averaged velocity component  $\bar{U}/U_0$  and  $\bar{V}/U_0$  ( $x=200$ [mm])

ここで、図中の破線は風車外縁位置を、そして矢印は風車回転方向を表している。ここで、 $y>0$ の領域は主流と風車の回転方向が逆向き、すなわち向か

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

い風の領域,  $y < 0$  の領域は同じ向き, すなわち追い風の領域である.  $\lambda=0.4$  の  $\bar{U}/U_0$  分布を見ると, 伴流内の減速は他の  $\lambda$  に比べ小さく, 風車内部を通過する流れがあると推測できる.  $\lambda=1.0$  においてもまた,  $y=0$  [mm] 付近で  $\bar{U}/U_0$  の回復が見られるが, これは風車内部への風の通り抜けを表わしていると考えられる. これに対して  $\lambda > 1.6$  では速度回復はなく, 完全な死水領域を形成している. 一方  $\bar{V}/U_0$  の分布は,  $\lambda=1.0$  の  $\bar{U}/U_0$  の速度回復が見られた  $y=0$  [mm] でわずかに負の値をとるが,  $\lambda > 1.6$  ではほぼ 0 である. また,  $\lambda$  の値に関係なく, 風車直径に相当する  $y=200$  [mm] において  $\bar{V}/U_0 > 0$  で大きく, 流体を外側に掃き出している. Fig.3 は  $\lambda$  の変化による  $\bar{U}/U_0$  分布の変化をまとめたものである.  $\lambda$  が大きくなるにつれて,  $y=\pm 100$  [mm] 付近の速度勾配が急激になっていく. また, ①の太線で示すように伴流幅が広がり, 伴流中心が  $y > 0$  の方向へずれていく. Fig.4 に示す  $\bar{V}/U_0$  分布も同様に,  $y$  方

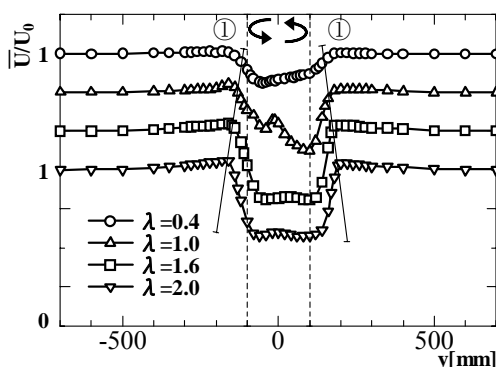


Fig.3 Variation of  $\bar{U}/U_0$  profiles to  $\lambda$  ( $x=200$  [mm])

向に広がり,  $\lambda$  が大きくなるにつれ,  $y=200$  [mm] 付近の値は徐々に大きくなっていく.

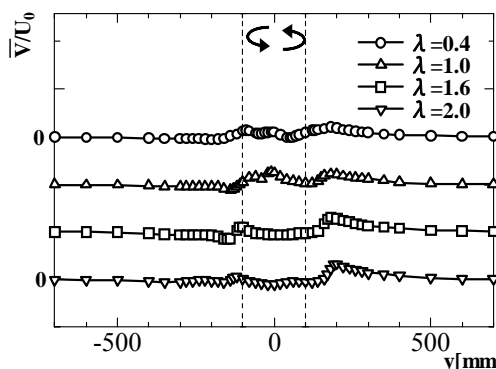


Fig.4 Variation of  $\bar{V}/U_0$  profiles to  $\lambda$  ( $x=200$  [mm])

### 3.2 位相平均速度分布

3枚のブレードの相対位置が風車後方の流れにどのような影響をおよぼすかを見るために,  $\varphi$  に対する位相平均速度  $U_p/U_0$  と  $V_p/U_0$  の分布を  $\varphi=0$  [deg] から  $360$  [deg] まで  $5.0$  [deg] 間隔で Fig.5 と Fig.6 に示す. 縦軸は  $U_p/U_0$  は  $0.05$ ,  $V_p/U_0$  は  $0.03$  ずらしてある. 特徴的な時間平均分布が見られた  $\lambda=1.0$  では, 風車が1回転する間に黒円で示す特徴的な分布が周期的に3回繰り返して見られた.  $U_p/U_0$  と  $V_p/U_0$  分布を対比して見ると,  $y=-100$  [mm] 付近で  $U_p/U_0$  が加速を示す  $\varphi$  で

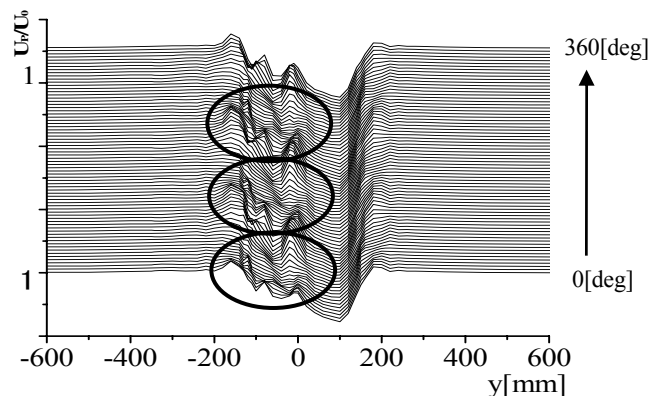


Fig.5 Profiles of phase locked averaging velocity  $U_p/U_0$  ( $x=200$  [mm],  $\lambda=1.0$ )

は,  $V_p/U_0$  は正の値をとる. また,  $U_p/U_0$  の加速が弱まるにつれ,  $V_p/U_0$  は負の値をとるようになる. そして, この分布を周期的に3回繰り返している. この結果は,  $y=0$  [mm] に向かって流体を運ぶ流れ ( $V_p/U_0 > 0$ ) と風車の外側へ流体を吐き出す流れ ( $V_p/U_0 < 0$ ) がそれぞれ交互に  $U_p/U_0$  の加減速によって生じていることを示している.

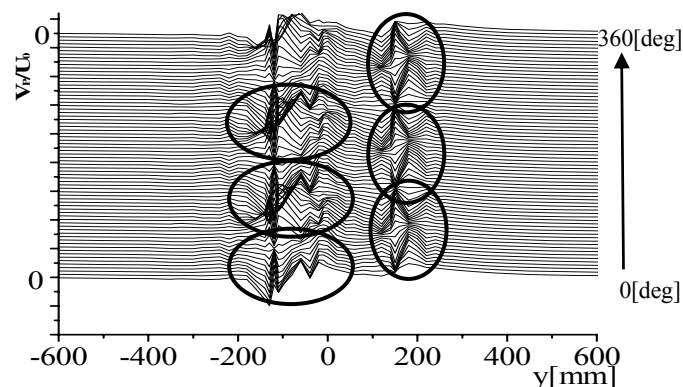


Fig.6 Profiles of phase locked averaging velocity  $V_p/U_0$  ( $x=200$  [mm],  $\lambda=1.0$ )

### 4. まとめ

3枚のブレードをもつ垂直軸風車モデルの伴流を測定した結果, 以下のことがわかった.

- (1) 周速比が  $\lambda=0.4$  から  $1.6$  へ増加すると, 風車のすぐ近くの伴流の速度の時間平均分布は, 大きく変化した. しかし,  $\lambda > 1.6$  になると平均速度場に大きな変化はほとんど見られなくなった.
- (2) 周速比  $\lambda=1.0$  の位相平均速度  $U_p/U_0$  と  $V_p/U_0$  の分布から, 3枚のブレードの失速渦の影響が風車回転に同期して現れるのがわかった.

今後は, 風車効率と失速渦の関係, さらに外部の風環境への影響を調べていく予定である.

### 参考文献

- (1) 関和市, 機論(B), 57-536(1991), 1297.
- (2) 西沢良史, 他3名, 機論(B), 75-751(2009), 550.