

K3-52

## 垂直軸風車モデルのブレード枚数が後流の速度分布に及ぼす影響

## Wake-flow velocity profiles affected by the number of blades of the vertical axis wind turbine model

○渡辺真巳<sup>1</sup>, 菊地勇貴<sup>1</sup>, 本間琢也<sup>1</sup>, 関谷直樹<sup>2</sup>, 松本彰<sup>2</sup>Mami Watanabe<sup>1</sup> Yuuki Kikuti<sup>1</sup>, Takuya Honma<sup>1</sup> Naoki Sekiya<sup>3</sup>, Akira Matsumoto<sup>3</sup>

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 wind environment around the model. From these experimental data, the integral quantities of mean velocity in the wake flow, fluctuation energy, flow-rate loss, were compared with three and five pieces of model-turbine blades. Results obtained showed that the change of flow-rate loss to tip speed exhibited considerable difference between them and the minimum value of fluctuation energy moved toward the low tip speed along with the maximum value of shaft power of 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着目して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<sup>(1)</sup>している。昨年度は風車にとっての重要なパラメータである周速比(ブレードの先端速度と主流速度の比)のみを変化させ、風車モデル後流の平均速度場を詳しく測定した。今年度は、ブレード枚数を昨年度の3枚から5枚に変え、後流の平均速度分布の変化から風車周りの風環境の影響を探ることを目的とした。

## 2. 実験装置および実験方法

本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。Fig.1に風洞内部の概略図を示した。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、直径Dが200[mm]で、NACA0018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、風車モデル後流の主流方向速度成分Uと横幅方向速度成分Vの分布を測定した。計測方法は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.2に示す黒の特定の翼の1/4cが光センサー(図の黒丸)で感知されてから180[deg]回転した上流淀み点を通じた瞬間とした。また、回転角の原点 $\varphi=0[\text{deg}]$ はこの位置とし、 $\varphi=0[\text{deg}]$ から360[deg]まで0.125[deg]間隔で2880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、時間平均速度分布、位相平均速度分布、さらに速度分布の積分特性量を算出する。今回の実験では昨年度のブレード枚数n=3からn=5に変えてソリディティを変化させた。取付け角は $\alpha=5^\circ$ 周速比範囲 $\lambda=0.4\sim 2.0$ 、主流速度 $U_0=5[\text{m/s}]$ など他のパラメータは昨年度と同様であ

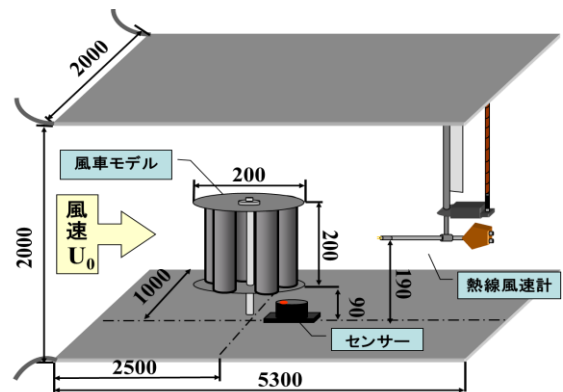


Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

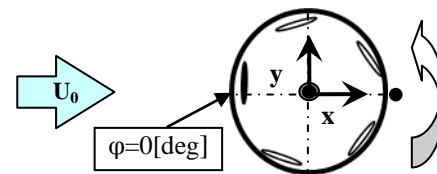


Fig.2 Trigger point of AD convertor

る。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 $z=0[\text{mm}]$ に固定し、x位置は $x=300[\text{mm}]$ ,  $400[\text{mm}]$ ,  $600[\text{mm}]$ の3箇所、y位置は $y=-700[\text{mm}]$ から $700[\text{mm}]$ の範囲で約50箇所とした。

## 3. 実験結果および考察

## 3.1 時間平均速度分布

ブレード枚数nの違いによる平均速度場の変化を見るために、 $x=400[\text{mm}]$ において無次元の時間平均速度 $\bar{U}/U_0$ と変動速度の実効値 $u'/U_0$ のy方向分布をn=5の場合をFig.3に、n=3の場合をFig.4に示した。図中の破線は風車外縁位置を表している。3枚ブレードに比べて5枚ブレードの $\bar{U}/U_0$ の欠損は、 $\lambda=0.4$ の場合を除き、小さく死水領域を形成しない。また、最大欠損位置はyの正方向へのずれが大きく、平均的な横流れが大きくなっていることを示している。一方 $u'/U_0$ 分布は、両者で大きな違いは見られない。

1: 日大理工・学部・機械 2: 日大理工・教員・機械

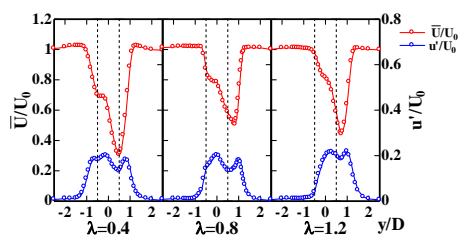


Fig.3 Distribution of the time averaged velocity  $\bar{U}/U_0$  and fluctuation velocity  $u'/U_0$  ( $x=400$ [mm],  $n=5$ )

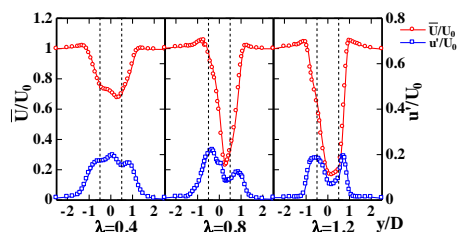


Fig.4 Distribution of the time averaged velocity  $\bar{U}/U_0$  and fluctuation velocity  $u'/U_0$  ( $x=400$ [mm],  $n=3$ )

### 3.2 位相平均速度分布

ブレードの相対位置が風車後流の速度分布にどのような影響をおよぼすかを見るために、回転角  $\varphi=0$ [deg] から  $360$ [deg] までに対応した位相平均速度  $U_p/U_0$  分布を Fig.5 ( $n=5$ ), Fig.6 ( $n=3$ ) に示す。黒円部分に示すブレード枚数に対応した繰り返し分布がどちらの場合も見られる。 $\lambda=0.4$  では、 $n=3$  の場合は  $y/D=\pm 1.0$  の平均速度分布欠損部の平坦な範囲であるのに対して、 $n=5$  の場合は  $y/D=0$  から  $y/D=-0.5$  の範囲と欠損部分の両端の加速領域で見られる。周速比を増加させると、 $n=5$  の場合は、周期性は消滅していく。一方  $n=3$  の場合は、 $\lambda=0.8$  において風車外縁位置の  $y/D=-0.5$  において周期的な激しい増減があり、 $\lambda=1.2$  では完全に周期性は消えいく。

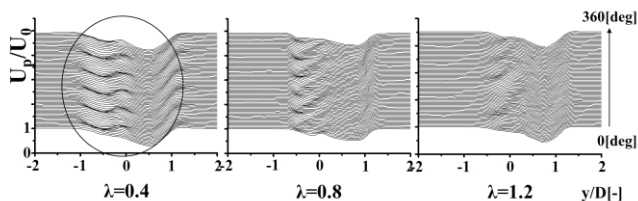


Fig.5 Profiles of phase locked averaging velocity  $U_p/U_0$  ( $x=400$ [mm],  $n=5$ )

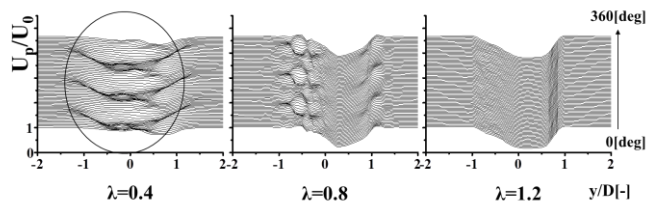


Fig.6 Profiles of phase locked averaging velocity  $U_p/U_0$  ( $x=400$ [mm],  $n=3$ )

### 3.3 後流速度分布の積分特性量

ブレード枚数による流れ場の違いを見るために、

次式で定義される後流の変動エネルギーの平均値  $TEq'$ ,  $x$  方向および  $y$  方向の流量損失の平均値  $Q_U$  と  $Q_V$  を導入する。

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

$$Q_U = \frac{1}{2L} \int_{-\infty}^{\infty} \left( 1 - \frac{\bar{U}}{U_0} \right) dy, \quad Q_V = \frac{1}{2L} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\bar{V}}{U_0} dy$$

ここで、 $2L=1400$ [mm] は  $y$  方向の測定範囲である。

Fig.7 は  $\lambda$  に対する  $Q_U$ ,  $Q_V$  の変化である。ブレード枚数によって変化は大きく異なり、 $n=5$  の場合は、

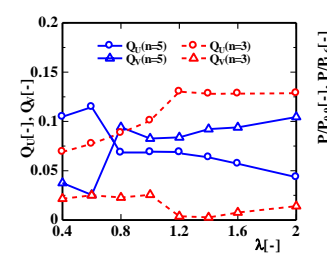


Fig.7 Comparison of flow-rate loss versus tip speed

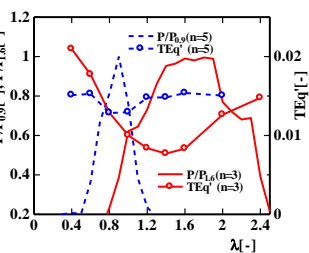


Fig.8 Fluctuation energy and Shaft power versus tip speed

$Q_U$  は  $\lambda$  に対して急減少し、 $\lambda \approx 0.8$  付近で減少率は緩やかになる。一方  $n=3$  の場合は、はじめ増加し、 $\lambda \approx 1.2$  以上でほぼ一定値をとる。 $Q_V$  は  $n=3$  の場合には  $Q_U$  に比べて小さい。これは、 $\lambda \approx 1.2$  以上で後流は死水領域を形成するためである。 $n=5$  の場合は、 $\lambda$  に対する変化は  $Q_U$  とは逆である。 $y$  の全域で  $+V$  成分が大きいいため、大きさの程度は  $Q_U$  と同じとなる。

Fig.8 は  $\lambda$  に対する  $TEq'$  の変化を風車の軸出力  $P$  (最大軸出力で無次元化してある) をあわせて示した。 $n=5$  の場合は  $TEq'$  が小さくなる  $\lambda$  の領域は狭い。これは、 $P$  が大きな領域が狭くなっていることに起因しているように見える。これに対して、 $n=3$  の場合は  $TEq'$  は  $\lambda \approx 1.2$  で最小値をとり、 $P$  が大きな値をとる  $\lambda$  の領域も広がっている。

### 4. まとめ

5 枚ブレードの垂直軸風車モデルの後流速度分布とその積分特性量を求め、3 枚ブレードのそれらと比較した結果、以下のことがわかった。

- (1) 3 枚ブレードに比べて 5 枚ブレードの周速比に対する速度分布のパターンの変化は小さい。
- (2) 5 枚ブレードの  $Q_U$  と  $Q_V$  の大きさはほぼ同程度である。この結果は 3 枚ブレードの場合と大きく異なる。
- (2)  $TEq'$  の最小値はブレード枚数が増えると、 $P$  の最大値とともに低周速比側に移動する。

### 参考文献

- (1) 深澤勇斗：機械工学専攻修士論文、平成 23