構造物端壁部に設置したクロスフロー風車の翼枚数と 偏流板設定角度が出力特性に及ぼす影響

Influence of the Blade Numbers on the Performance of a Cross-flow Wind Turbine with the Flow Deflector near a Structure

正 谷野 忠和 (長総大) 正 仲尾 晋一郎 (長総大)
○学 川崎 智史 (長総大 院)

Tadakazu TANINO, Nagasaki Institute of Applied Science, 536, Aba-machi, Nagasaki, 851-0193

Shinichiro NAKAO, Nagasaki Institute of Applied Science.

Satoshi KAWASAKI, Nagasaki Institute of Applied Science.

A cross-flow wind turbine near a structure with a Flow Deflector (FD) is able to get higher performance than without FD. In this paper, we tried to get optimum conditions of blade number, blade pitch angle and setting angle of Flow Deflector for the performance of a cross-flow wind turbine. The compared conditions of blade number were 10, 12 and 16, blade pitch angle were 30, 45 and 60 [deg] and setting angle of Flow Deflector were 30, 40 and 50 [deg]. The condition of blade number 12, blade pitch angle 45 [deg] and setting angle 40 [deg] of Flow Deflector showed the highest performance of a cross-flow wind turbine near a structure.

Key Words: Cross-flow Wind Turbine, Flow Deflector, Performance, Wind Power

1. 緒言

本研究では、ビル風に代表される構造物近傍で生じる風を有効に利用でき、環境調和型の風力発電機としての可能性が期待できるクロスフロー風車を用いた局所利用可能な風車の研究・開発を行っている。これまでにクロスフロー風車を用いた実験により、構造物端壁部で生じた剥離を有した流れを風車に適した流れに改善するための誘導板および偏流板を導入し、風速変化等の影響を低減し、より高い出力特性が得られることを明らかにしてきた⁽¹⁾。その中で特に偏流板の効果が顕著であった。しかし、翼枚数および偏流板角度との関連性を把握していない。そこで、本研究では、翼枚数および偏流板角度が出力係数に及ぼす影響を評価するため、翼枚数 10~16 枚、偏流板の設定角度 30~50°、さらに翼のピッチ角 30~60°を加えた条件を種々組み合わせて出力性能試験を行い、その結果を考察した。

2. 実験装置および方法

本研究で使用したクロスフロー風車の供試模型を図1に示す。供試風車は、代表直径 $D=100\text{mm}$ 、風車長さ $L=250\text{mm}$ である。翼断面形状は、翼弦長 20mm、中心反り線が半径 20mm の円弧翼とし、最大翼厚 4mm、前・後縁半径 1mm である中心反り線に翼厚分布を持たせた形状であり、一般的な薄い円弧翼とは異なる。また、図1では、基準となる翼枚数 12 枚、ピッチ角 45°の供試風車を代表として図示している。

風車出力性能試験は、図2に示す吐出型風洞下流部にて行った。供試風車は風洞出口から流れ方向 500mm の位置に固定された。

図3では、構造物上の流れを模擬した構造物端壁モデルを

設置した条件による風車設置環境を示している。L字型の構造物端壁モデルに対する風車設置高さは、風車軸中心が端壁モデル上面から 110mm となる位置とした。偏流板(長さ 100mm、厚さ 0.6mm)は風車軸から風車上部 70mm の位置にその前縁部がくるようにし、前縁部を中心に取付角 30°~50°の範囲で固定した。

翼枚数およびピッチ角については、それぞれ翼枚数が 10, 12 および 16 枚、ピッチ角は 30, 45, および 60°の各 3 通りの条件を種々組み合わせて出力性能試験を行った。また、設定風速は 8m/s とした。

出力性能試験については、風車供試模型の風車軸に、トルク・回転検出器および回転制御用サーボモータを接続し、実

Fig.1 Cross-Flow Wind Turbine Test Model

Fig.2 Schematic of Wind Tunnel Test Facility

験では、無負荷状態付近の回転数から徐々にモータ回転数を減少させ各回転数における風車のトルク、回転数を測定した。また、軸摩擦の影響を除去し、風車翼のみの空力的な仕事を評価するために、風車翼を取り外した風車軸のみのトルク・回転数計測を予め実施し、風車出力測定の結果に加味して風車出力を導出した。風車出力特性の評価については測定したトルク・回転数を入口風速および風車直径で無次元化した出力係数および周速比を用いた。出力係数 C_w および周速比 λ の定義式を次式に示す。

$$\text{周速比} \quad : \quad \lambda = \frac{r\omega}{V} \quad \cdots (1)$$

$$\text{出力係数} \quad : \quad C_w = \frac{T\omega}{1/2\rho V^3 A} \quad \cdots (2)$$

ここで、 r : 風車代表半径、 ω : 回転角速度、 V : 入口風速、 T : 風車トルク、 ρ : 空気密度、 A : 風車断面積($D \times L$)である。

3. 実験結果および考察

図 4(a)~(c)に、偏流板の設定角度が出力性能に及ぼす影響を調べるために、偏流板角度 30, 40 および 50° における出力性能曲線を比較した。図(a)~(c)はそれぞれピッチ角を 45° に固定し、翼枚数 10, 12 および 16 枚について偏流板の設定角度ごとに比較してプロットした図である。偏流板無しの場合では、翼枚数の違いによる影響は少なく、出力特性曲線は出力係数の最大値がほぼ等しい。ただし、翼枚数の増加に伴いピーク付近でわずかに緩やかな分布となっている。偏流板無しに比べると、翼枚数 10 枚では、偏流板の効果はわずかにしか見られないが、翼枚数 12 枚および 16 枚では明らかに偏流板を用いることで出力特性は向上している。翼枚数同士で比較すると、翼枚数 10 枚が他の 2 つの条件に比べて出力特性は低く、翼枚数 12 枚と 16 枚がほぼ同等の高い出力特性となった。翼枚数 10 枚と 12 枚では、低い周速比の範囲で偏流板角度 40° と 50° が特性曲線の立ち上がりが早く、出力係数は高い値で推移しているが、周速比が高くなるに従って設定角度 30° が逆転し、高い値を示す結果となった。これに対し翼枚数 16 枚では、どの周速比においても偏流板角度 40° と 50° の出力特性が高く、偏流板角度 30° がわずかに低い結果となった。

各翼枚数について偏流板の影響を比較すると、基準である翼枚数 12 枚では、偏流板無しでは、周速比 0.4 付近で特性曲線はピークとなっているが、偏流板を付加すると設定角度に関係なく高い周速比である周速比 0.5 付近でピークとなり、出力が得られる周速比の範囲も広がっている。翼枚数 10 枚では、出力係数の最大値では違いはないが、偏流板無しの条件に比べ、特性曲線は最大値付近で緩やかに変化し、周速比の広い範囲で高い出力が得られている。また、偏流板角度 40° と 50° では、特性曲線のピークは周速比 0.3 と周速比の低い方へ変化し、設定角度 30° では、周速比の高い 0.5 付近

Fig3. Schematic of Test Section for Wind Turbine above Structure

でピークを示し、偏流板の設定角度の変化による影響が大きかった。翼枚数 16 枚では、偏流板無しの特性曲線のピークは周速比 0.4 付近であるが、偏流板を付加すると、どの設定角度も出力特性曲線のピークが 0.3~0.4 付近とやや低い周速比側に変化し、出力特性が向上した。ただし、出力が得られる周速比の範囲は他の翼枚数の条件とは異なり、広がってはいない。

次に、それぞれピッチ角を 30° に固定し、翼枚数 10, 12 および 16 枚について偏流板の設定角度ごとに比較してプロットした結果を図 5(a)~(c)に示す。ピッチ角 30° では、偏

(a) 10 blades

(b) 12 blades

(c) 16 blades

Fig4 Performance Characteristics with pitch angle 45 deg.(8m/s)

流板無しの条件において、ピッチ角 45° の場合と比較すると、出力特性は低く、加えて翼枚数の増加に伴い低下する傾向が示された。偏流板を設置した条件では、ピッチ角 45° の場合よりも明らかに、どの偏流板角度も出力特性は向上し、翼枚数の少ない 10 枚の条件では、出力が得られる周速比の範囲は広範囲となった。翼枚数同士の比較では、ピッチ角 45° とは異なり翼枚数 16 枚が他の 2 つの条件に比べて最も低い出力特性となり、翼枚数が減少するに従って出力特性は高くなる傾向が示された。翼枚数 16 枚では、他の条件に比べ偏流板角度による出力特性の差が明確に現れ、偏流板角度 50° が最も高い出力特性を示し、偏流板の設定角度が低くなるに伴い出力特性は低下した。翼枚数 10 枚と 12 枚ではピッチ角 45° と同様に低い周速比の範囲で偏流板角度 40° と 50° が出力特性の立ち上がりが高く、出力係数は高い値を示した。しかし、周速比が高い範囲では、ピッチ角 45° とは異なり、偏流板角度 30° が高くなることはなく、最も高い出力特性を示したのは、偏流板角度 50° の条件であった。

ピッチ角 30° では、偏流板を付加することで、全ての条件において偏流板無しの条件よりも出力特性は改善されているが、ピッチ角 45° の翼枚数 12, 16 枚で得られたような高い出力特性は得られなかった。また、ピッチ角の減少により出力特性曲線の最大値が高い周速比側へ移動し、出力が得られる周速比の範囲が広がる傾向は、翼枚数 10 枚の条件でのみ確かめられ、翼枚数 10, 12 枚の条件で示されたピッチ角 45° の場合よりも翼枚数の少ない側へ変化していた。

図 6(a)~(c)では、それぞれピッチ角を 60° に固定し、翼枚数 10, 12 および 16 枚について偏流板の設定角度ごとに比較してプロットした結果を示している。ピッチ角 60° では、偏流板無しの条件において、ピッチ角 45° の場合と比較して、低い周速比側での出力係数の立ち上がりが高く、特性曲線は周速比の広い範囲で最高出力点付近で推移している。また、翼枚数の増加に伴い、出力係数が高く、翼枚数 16 枚の条件では、偏流板無しの条件で最も高い出力特性が得られている。偏流板を付加すると、他のピッチ角の条件とは異なり、明確な偏流板の優位性は示されず、特に翼枚数 10, 12 枚では、出力特性は低下していた。すなわち、ピッチ角 60° では、他のピッチ角の条件と比べ、翼枚数 10, 12 枚において偏流板を付加することで全体的に周速比の低い $0.2 \sim 0.3$ 付近でピークを持つ鋭い分布になる傾向が示された。これに対し、翼枚数が最も多い翼枚数 16 枚では、翼枚数 10 枚と 12 枚に比べ滑らかな分布になった。翼枚数で比較すると、偏流板を設置した条件では、翼枚数 16 枚が最も高い出力特性を示し、翼枚数が減少するにつれ出力特性は低下し、翼枚数 10 枚が最も低い出力特性を示した。また、偏流板無しの条件と比較して、翼枚数 16 枚で偏流板角度 30° の場合を除いて、最高出力点で最も高い値を示すことはあっても、全体として高い周速比側での出力係数の低下が大きく、偏流板による効果は得られなかった。さらにピッチ角 45° では、翼枚数 10 枚と 12 枚で偏流板角度 40° と 50° が低い周速比の範囲で高い値を示し、高い周速比の範囲では偏流板角度 30° が逆転し、高い出力特性を示したが、ピッチ角 60° では、どの翼枚数においても同様の傾向が見られ、周速比 0.4 以上の範囲では、偏流板角度による差が顕著に現れている。

ピッチ角 60° では、翼枚数 10 枚と 12 枚では、偏流板角度 40° と 50° が周速比 0.3 付近で特性曲線はピークとなり、その後、出力係数の低下は早い。また、偏流板角度 30° は、周速比 0.3 付近でピークとなっているが、一旦出力が低下し、高い周速比の位置(周速比 0.5 および 0.6)で再びピークが存在している。翼枚数 12 枚でも、偏流板角度 40° と 50° の鋭い分布に対し、偏流板角度 30° では、周速比 0.3 付近と周速比 0.5 付近に二つのピークが現れていた。翼枚数 16 枚では、偏流板角度 50° のみ鋭い分布となり、偏流板角度 30° と 40°

では、最高出力点付近で緩やかに変化する分布ではあるが、周速比 0.3 付近で不連続に変化しているのが確認できる。すなわち、ピッチ角 60° では、偏流板を設置することで特性曲線のピークが周速比の低い位置にある鋭い分布か、複数のピークを持つような分布となる不安定な傾向になる結果となった。

最後に、翼枚数 12 枚、ピッチ角 45° の結果(図 4(b))に代表されるように、偏流板角度が大きいと周速比の低い範囲で出力特性が高く、逆に偏流板角度が小さくなると高い周速比で出力特性が高くなる傾向を考察するために、図 7 にクロス

(a) 10 blades

(b) 12 blades

(c) 16 blades

Fig5 Performance Characteristics with pitch angle 30 deg.(8m/s)

フロー風車の周速比の異なる条件における煙線による可視化写真を示す。図 7(a)は周速比 $\lambda=0.2$, (b)は $\lambda=0.6$ における風速 4m/s(特性曲線は風速 8m/s とほぼ等しい)での結果である。図中には参考のため、風車へ流入する流れが構造物とは異なりほぼ平行であると仮定し、設定角度 10, 20 および 30° とした偏流板⁽²⁾を図示している。クロスフロー風車上部の煙線に着目すると、周速比の異なる条件では明らかに流れの状態が異なる。すなわち、回転数の低い $\lambda=0.2$ では、風車上部へ流れる煙線は風車軸のほぼ真上付近より下流側で、上向き方向に振れ広くばやけているが、 $\lambda=0.6$ の条件では、煙線が拡散されている部分は、風車のごく近傍のみで風車よりわずかに離れた部分では、煙線が拡散されずに、わずかに上向き方向に流れている様子が明確に捉えられている。

風車上部の煙線の傾きを比較すると、周速比 $\lambda=0.2$ に比べ、 $\lambda=0.6$ の方が煙線の上向き方向への傾きが減少している。このことは周速比が変化すると偏流板に流入する流れの向きが変化することを意味しており、このため、周速比の低い場合、風車上部での流れ方向の上向き加減が大きく、偏流板の設定角度が大きい条件で出力特性は高く、逆に、周速比の高い範囲では、風車上部の流れは水平方向に近くなり、設定角度の小さい偏流板で良好な結果が示されたものと考えられる。これらの傾向は、風車へ流入する流れ方向と偏流板の設定角度に最適値が存在するため⁽²⁾である。

4. 結言

翼枚数、ピッチ角および偏流板の設定角度が出力係数に及ぼす影響を調べ以下のような結果を得た。ピッチ角の小さい条件では、構造物上のクロスフロー風車の出力特性が比較的小さいため、偏流板を付加することで出力特性は明らかに改善された。また、翼枚数が少なく偏流板角度が大きい条件ほど出力係数の最大値も高く、出力が得られる周速比の範囲も広い。逆にピッチ角の大きい条件では、偏流板無しの条件における出力特性が高く、偏流板の付加により、逆に出力特性は低下し、不安定な特性となる傾向が示された。また、翼枚数についてもピッチ角が小さい場合とは異なり、翼枚数が多く、偏流板角度が小さい条件であるほど、周速比の広い範囲で高い出力係数となる出力特性が得られた。

全ての条件において、翼枚数 12 枚、ピッチ角 45° とし、偏流板の設定角度 45° とした条件で最も高い出力特性が得

(a) 12 Blades, Tip Speed Ratio $\lambda=0.2$

(b) 12 Blades, Tip Speed Ratio $\lambda=0.6$

Fig7 Streamlines of Cross-flow Wind Turbine

られた。

引用文献

- (1) T.Tanino, S.Nakao, G.Uebayashi, Improving Ambient Wind Environments of a Cross-Flow Wind Turbine near a Structure by using an Inlet Guide Structure and a Flow Deflector, Journal of Thermal Science, Vol.14, No.3 (2005), pp.242-248
- (2) 谷野忠和, 仲尾晋一郎, 構造物端壁部に設置したクロスフロー風車の入口流れモデルによる偏流板効果の検証, 日本機械学会 2006 年次大会講演論文集 (2006), pp.257-258

(a) 10 blades

(b) 12 blades

(c) 16 blades

Fig6 Performance Characteristics with pitch angle 60 deg.(8m/s)