119101 風車用厚翼における失速前後の翼まわりの流れの挙動

Flow Behavior around the Thick Blade of Wind Turbine before and after the Stall

○学 高橋正旭(東京高専) 学 岩村拓哉(東京高専)
 竹下恵一朗(東京高専) 学 高橋賢羽(東京高専) 正 斉藤純夫(東京高専)

Masaaki TAKAHASHI, Takuya IWAMURA, Keiichiro TAKESHITA, Kenu TAKAHASHI, Sumio SAITO,
 Tokyo National College of Technology,
 Kunugida-machi 1220-2, Hachioji-shi, 193-0997, Tokyo

In recent years, public concern about environmental affair is growing at the same time, wind power generation systems have been common, it is required to improve the efficiency of wind turbine blades, leading to its operational stability and high efficiency. In this study, it is examined if the blade surface roughness affects the flow condition around the wind turbine blades to control the blade performance. Specifically, the flow velocity around blades are measured by using the hot-wire anemometer, so as to identify the flow behavior on the blade surface and behind the blades. As a result, flow separation is decreased because of contain roughness on the blade, and it is clarified that flow behavior on the blade surface and behind the blades is changed due to the blade surface roughness.

Keywords: Wind Turbine Blade, Flow Separation, Surface Roughness, Wake, Velocity Distribution, Pressure Distribution

1. 緒言

近年、地球規模で環境問題やエネルギー問題が深刻化している中、自然エネルギー技術に注目が集まっている。中でも風力発電システムにおいては、発電量の安定化や更なる高効率化が望まれており、風力発電機の主要部品である風車翼まわりの流れを制御し、失速の抑制や揚力係数の増大といった翼性能向上を図ることが、発電システム全体の改善のためにも重要な課題といえる。

そこで本報では、前報⁽¹⁾と同様、翼性能に大きく影響を及ぼす翼面の粗さに着目し、それが流体力学的特性および翼まわりの流れに及ぼす影響について実験的に検討した。

その結果、翼面の粗さの変化による翼まわりの速度分布および圧力分布を測定し、翼性能との関係を明らかにした。

2. 実験装置および供試翼型

2.1 実験装置

Fig.1 に、今回の実験で使用した風洞装置を示す。風洞①は、小型のエッフェル型風洞であり、最大風速 20[m/s]までの範囲で実験を行うことができる。風洞吸い込み口に取り付けられたダンパ②で風速調整を行い、多分力検出器③に供試翼型④を取り付け、揚力 L および抗力 D を測定した。

また、翼面上の圧力分布と翼まわりの流速分布を、それぞれ傾斜マノメータと熱線流速計により測定した。

Fig.1 Experimental apparatus

2.2 供試翼型

本研究では、風車翼の翼根元部に採用されている厚翼を対象として、オランダのデルフト工科大学で開発された「DU97-W-300」を供試翼型として採用した。その厚み比 δ (翼弦長 C に対する厚み T の比) は 30%、翼弦長 C は 120[mm]、スパン方向の長さ S は 298[mm]、また最大厚み T は 36[mm] である。その翼型形状を Fig.2 に示す。上記の翼型を光造形機で製作し、造形時に積層幅に応じて生成されるスパン方向の積層痕を持つ翼型と、その積層痕を研磨し、表面を滑らかにした翼型の二つを比較検討した。以後、積

Fig.2 Airfoil (DU97-W-300)

層痕を有する表面粗さの状態を「粗い翼(Rough)」と称し、研磨後の状態を「滑らかな翼(Smooth)」と呼ぶ。

積層痕を有する翼面の粗さと、研磨後の翼面の粗さを、表面粗さ値で評価することとし、表 1 に翼の上面と下面で測定した算術平均粗さ Ra の平均値を、翼の流れ方向とスパン方向について示す。

Table 1 Blade roughness

Roughness Ra	Flow Direction	Span Direction
Rough	23.3[μ m]	1.3[μ m]
Smooth	0.7[μ m]	0.7[μ m]

3. 供試翼型の流体力学的特性

翼型特性の把握に際しては、中～大型風車よりレイノルズ数が一桁ほど小さい小型風車に適用することを考慮し、レイノルズ数 $Re=1.4 \times 10^5$ の条件で実験を行い、揚力 L および抗力 D を、迎え角 $\alpha=0^\circ$ から 30° までの範囲で測定した。

Fig.3 は、粗い翼と滑らかな翼における迎え角 α と、揚力係数 C_L および抗力係数 C_D との関係を表したものである。

粗い翼については、迎え角の増加によって揚力係数 C_L 、

Fig.3 Aerodynamic characteristics

抗力係数 C_D ともに増加し、 $\alpha=24^\circ$ で揚力係数が最大となるが、その後 $\alpha=26^\circ$ において揚力係数 C_L が大きく減少し、抗力係数 C_D が増加する失速が発生する。

一方、滑らかな翼については、迎え角 $\alpha=10^\circ$ において一度失速し、その後再び揚力係数 C_L 、抗力係数 C_D ともに迎え角の増加に伴って大きくなるが、粗い翼と同様に $\alpha=24^\circ$ において揚力係数が最大となり、 $\alpha=26^\circ$ で再び失速する。迎え角の全領域において、翼型特性を比較すると、迎え角 α が小さい $\alpha=0^\circ$ から 8° までの範囲では、滑らかな翼よりも粗い翼の揚力係数 C_L の方が大きい、 $\alpha=10^\circ$ 以上の範囲では、粗い翼の揚力係数 C_L が、滑らかな翼の揚力係数 C_L より高い値を示し、失速後もその傾向は変わらない。

4. 翼面粗さおよび迎え角 α による翼まわりの流速分布の変化

粗い翼および滑らかな翼がともに失速する迎え角 $\alpha=24^\circ$ から 26° の領域で、翼面の粗さが流れに及ぼす影響を把握するため、Fig.4 および Fig.5 に示すように、翼面上の流速分布と翼後方の後流分布を測定した。

翼面上の流速分布については、翼のスパン方向の中心において、上下面それぞれ 5 か所の点で、熱線プローブを y 方向に移動し測定した。翼後方の後流分布については、翼のスパン方向の中心において、翼後縁から翼弦長 20% の位置にて、熱線プローブを y 方向に移動し測定した。流速分布は、基準流速 U_∞ に対する測定流速 u の比 u/U_∞ で表す。

Fig.4 より、失速前の迎え角 $\alpha=24^\circ$ における翼まわりの流速分布を翼面の粗さにより比較する。

翼上面をみると、丸いプロットで示す滑らかな翼は、翼弦長 20% において、翼面に近いほど流速比 u/U_∞ が増大する傾向を示し、翼面に流れが付着していることが分かる。しかし翼弦長の 40% では、翼面に近づくにつれて流速比が減

Fig.4 Flow velocity ratio at $\alpha=24^\circ$

Fig.5 Flow velocity ratio at $\alpha=26^\circ$

少し、翼面付近では流速比 $u/U_\infty=0.2$ ほど値となり、その付近から流れははく離している。

これに対し、四角いプロットで示した粗い翼は、滑らかな翼と同様に翼弦長 40% から流速比が減少するが、その減少は翼面付近に限定され、翼面の粗さによってははく離が抑制されていることが分かる。その影響により翼後方の後流域も、翼上面側において粗い翼のほうが減少し、後流渦の発生が抑制されたことが確認できる。

翼下面を比較すると、上面に比べ粗さによる流れの挙動の変化は小さいが、滑らかな翼では翼弦長 60% から翼後縁にいたるまで、翼面に近いほど流速比が減少している。

Fig.5 に示す、失速後の迎え角 $\alpha=26^\circ$ の場合についてみると、翼上面では翼面の粗さによらず同様の分布となり、翼弦長 20% から後方において翼面の流速が大きく減少することから、翼前縁で流れははく離し、失速を引き起こしていることが分かる。そのため、翼後方の後流域も失速後の $\alpha=26^\circ$ のほうが失速前の $\alpha=24^\circ$ より拡大している。

一方翼下面をみると、滑らかな翼では不規則に流れが変化しているのに対し、粗い翼では翼弦および y 方向の位置によっても、流速の変化はほとんど見られない。

5. 翼面粗さおよび迎え角 α による翼面の圧力分布の変化

Fig.6 は、失速前後の迎え角 $\alpha=24^\circ$ と 26° において、粗さにより翼面の圧力分布を比較したものである。Fig.6(a) に示す、失速前の $\alpha=24^\circ$ における圧力分布を比較すると、滑らかな翼よりも粗い翼のほうが翼前縁の負圧の値が大きく、負圧領域も翼弦長の 50% 付近まで拡大している。これにより、Fig.4 に示したように、翼面の粗さによってははく離を抑制し、 $\alpha=24^\circ$ における性能が向上していることが確認できる。

Fig.6(b) の失速後における圧力分布は、翼上面側では粗さによらず前縁から後縁までほぼ一定の値となり、Fig.5 に示したように翼前縁から流れが剥離している。下面側では、翼前縁と後縁付近における粗い翼の圧力係数が滑らかな翼より若干大きく、滑らかな翼を上回る失速後の揚力係数の値に、ある程度影響を及ぼしているものと考えられる。

(a) Before stall ($\alpha=24^\circ$) (b) After stall ($\alpha=26^\circ$)

Fig.6 Pressure distribution on blade surface

6. 結言

- (1) 揚力係数 C_L および抗力係数 C_D の比較により、翼面の粗さにより翼性能が変化し、迎え角 $\alpha=10^\circ$ 以上の領域では、粗い翼が滑らかな翼の揚力係数を上回る。
- (2) 翼まわりの流速分布測定により、失速前の迎え角 $\alpha=24^\circ$ の翼上面において、粗い翼では滑らかな翼に比べ翼弦長 40% 付近のはく離を抑制し、翼面上の流れが良好となる。
- (3) 翼面の圧力分布測定により、失速前の迎え角 $\alpha=24^\circ$ における翼前縁上面側の負圧領域は粗い翼のほうが大きく、流速分布から得られた翼面の流動状態との相関が認められる。

参考文献

- (1) 高橋正旭, 岩村拓哉, 高橋賢羽, 竹下恵一朗, 齊藤純夫, 風車用厚翼における低迎え角領域での翼まわりの流速分布, 第 2 回大学コンソーシアム八王子学生発表会, (2010), pp.186-187.