

風速の速度比を用いた多翼垂直軸風車の風車トルクに関する基礎検討 Fundamental study of the Turbine Torque by use of wind speed ratio about multi-bladed vertical axis wind turbine

○高橋寛孝¹ 直井和久² 塩野光弘² 柳平和寛³ 鈴木勝行²

*Hiroataka Takahashi¹, Kazuhisa Naoi², Mitsuhiro Shiono², Kazuhiro Yanagidaira³, Katsuyuki Suzuki²

Abstract: We have examined calculation method of the output characteristics of multi-blade vertical axis wind turbine. We were investigated wind speed of stationary multi-vanes, the ratio between the wind speed of stationary multi-vanes and setting wind speed was almost same in case of same tip speed ratio and same duct number. It is possible to estimate arbitrarily the wind speed of stationary multi-vanes. In this paper, the wind turbine torque was calculated by use of arbitrarily estimated wind speed of stationary multi-vanes, and we verify calculation result and experimental result.

1. はじめに

多翼垂直軸風車の性能解析に当たり、これまでに風洞実験による出力特性の測定⁽¹⁾、静翼流路風速を用いた出力特性の算出方法⁽²⁾について検討してきた。また、静翼流路風速について検討したところ、同一周速比に対して静翼流路風速と設定風速との比を用いると、同一静翼流路においてその比は風速によらずほぼ一致した⁽³⁾。このことから任意の風速における静翼流路風速を推定することが可能になると考えられる。

本稿では、推定した静翼流路風速を風車出力の算出方法⁽²⁾に適用し、任意の風速での風車トルクを算出した。その結果について実験値⁽¹⁾との検証を行ったので報告する。

2. 多翼垂直軸風車

図 1 に多翼垂直軸風車の平面図を示す。供試風車は、動翼

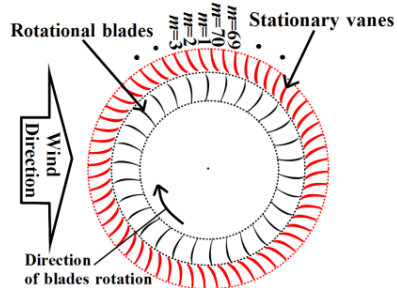


Fig1. Plan view of wind turbine

3. 風車トルクの算出方法⁽²⁾

動翼が流路 m に位置するときに発生するトルクは以下のように求められる。任意の風速 V_{set} 、動翼の回転速度 N における静翼流路 m の風速を V_m とおくと、風向に対して風上側となる流路 $m=1\sim 35$ における V_m が動翼に対する入力風速とし、図 2 に V_m 、動翼の周速度 V_t および相対速度 W_m の関係を示す。動翼への V_m の入射角 β は静翼の設計値である 61.3deg とした⁽⁴⁾。図 2 より W_m を求めると式(1)となる。

$$W_m = \frac{V_m \cos \beta}{\cos \alpha_m} \quad (1)$$

ここで、図 2 より流路 m に位置する動翼の空力中心にお

る W_m と翼弦線とのなす角、迎角 α_m は式(2)となる。

$$\alpha_m = \tan^{-1} \left(\frac{V_m \sin \beta - V_t}{V_m \cos \beta} \right) \quad (2)$$

流路 m に位置する動翼に作用するトルク係数 C_{Tm} は式(3)より求めた。

$$C_{Tm} = C_L \cos \alpha_m + C_D \sin \alpha_m \quad (3)$$

C_L : 動翼の揚力係数, C_D : 動翼の抗力係数
ただし、式(3)の C_L , C_D は図 3 に示す風洞実験で測定したものをを用いた⁽⁵⁾。

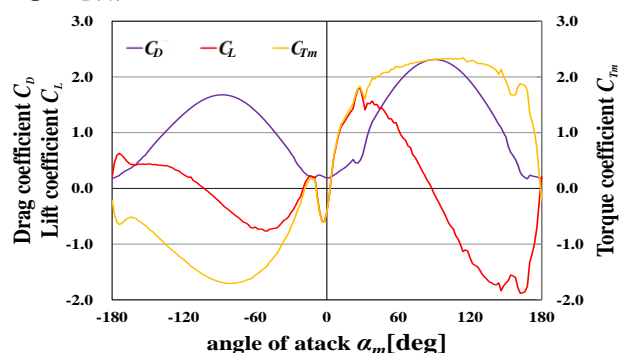


Fig3. Characteristics of α_m - C_D , C_L and C_{Tm}

流路 m に位置する動翼に作用するトルク T_m は、 C_{Tm} を用いると式(4)となる。

$$T_m = 0.5 C_{Tm} \rho L_r H W_m^2 R_{ac} \quad (4)$$

ρ : 空気密度 [kg/m^3], L_r : 動翼の翼弦長 (=0.1m),

H : 風車の高さ (=0.4m),

R_{ac} : 風車の中心から動翼の空力中心までの距離 (=0.425m)

風車トルク T の算出は風上側における流路 $m=1\sim 35$ における各動翼のトルク T_m の総和から動翼と静翼の翼枚数を考慮して、式(5)により求める。

$$T = \frac{N_r/2}{N_s/2} \sum_{m=1}^{N_s/2} T_m \quad (5)$$

4. 風速の速度比による検討⁽³⁾

風洞実験により設定風速 $V=9, 12, 15\text{m/s}$ における静翼流路風速 V_m の測定を行った。一例として図 4 に $V=12\text{m/s}$ における回転速度 $N=10\sim 160, 30\text{min}^{-1}$ 毎の静翼流路風速 V_m を示す。図 4 より測定された風速 V_m は流路ごとに大きさが異なり、さらに、回転速度の増加とともに変化した。また、 $V=9, 15\text{m/s}$ においても同様に V_m は設定風速、回転速度により V_m の大きさが変化した。

Rotational speed N [min^{-1}] \blacktriangle 10 \square 40 \blacklozenge 70 \blacktimes 100 \blackstar 130 \blacklozenge 160

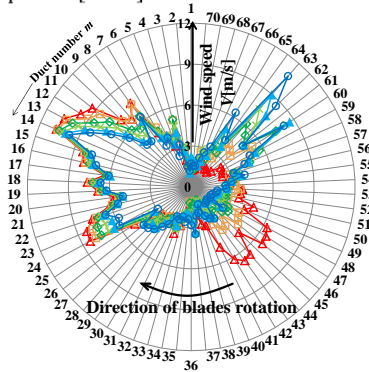


Fig4. Wind speed characteristic in duct number m ($V=12\text{m/s}$)

文献(2)での風車トルクの算出は、上記で示した設定風速で測定された静翼流路風速 V_m を用いた。このため、風洞実験で V_m を測定した、風速 V 以外の任意の風速ではトルクを算出することはできない。そこで、設定風速 V に対する静翼流路風速 V_m の比である速度比 C_{Vm} を用いて検討を行う。式(6)に風速の速度比 C_{Vm} を示す。

$$C_{Vm} = \frac{V_m}{V} \quad (6)$$

また、同一周速比ごとに静翼流路の風速の速度比 C_{Vm} を検討する。周速比 λ は式(7)で表される。

$$\lambda = \frac{2\pi NR_{ro}}{60V} \quad (7)$$

R_{ro} : 風車中心から動翼の前縁までの距離(=0.45m)

図 5 に周速比 $\lambda=0.3$ における設定風速 $V=9, 12, 15\text{m/s}$ の速度比 C_{Vm} を示す。

Wind speed \square $V=9\text{m/s}$ \blacktriangle $V=12\text{m/s}$ \blacklozenge $V=15\text{m/s}$

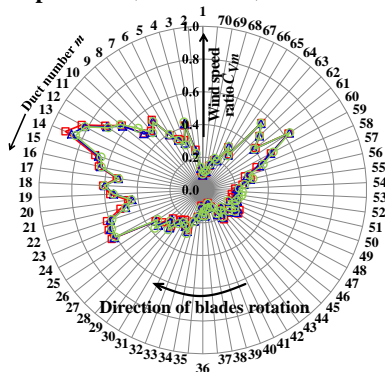


Fig5. Wind speed characteristic in duct number m ($\lambda=0.3$)

図 5 より周速比を同一とした場合、設定風速に関わらず同一静翼流路の風速の速度比はほぼ一致した。この関係は他の周速比においても同様の結果となった。周速比を同一とした場合の C_{Vm} が設定風速 9, 12, 15m/s 以外の風速にも成り立てば、任意の風速 V_{set} における風速分布の推定が式(8)によって可能となる。

$$V_m = V_{set} C_{Vm} \quad (8)$$

式(8)で求めた風速分布を用いて式(1)~(5)よりトルク T_m を求める。ただし、式(8)で使用する C_{Vm} は各設定風速の C_{Vm} を平均したものを使用した。

5. 結果

図 6 に設定風速 $V=9, 12, 15\text{m/s}$ における測定した流路風速

を用いて算出した λ - T 特性⁽²⁾、本検討により求めた任意の風速 $V_{set}=9, 10, 12, 14, 15\text{m/s}$ における λ - T 特性を示す。また比較のために実験値⁽¹⁾も示す。図 6 より、トルクは低い周速比において大きい、周速比の増加に伴い小さくなる傾向となった。また、トルクが 0 となる無負荷周速比はどの風速においても、実験値では $\lambda=0.6$ 付近、文献(2)および本検討では $\lambda=0.42$ 付近になった。文献(2)と本検討を比較すると、 $V=9, 12, 15\text{m/s}$ のトルク特性はほぼ一致することがわかる。

次に、実験値を真値とした本検討で求めたトルクの誤差率を表 1 に示す。表 1 より本検討による風速 9, 12, 15, 10, 14m/s での誤差率は 31.0~34.3% となり、誤差率はほぼ同程度の値となった。

以上の結果より C_{Vm} を用いた V_m を推定することで、本稿で検討した風速 9~15m/s の範囲において風車トルクを算出できると考えられる。

実験値と算出した結果の差は、本稿では風向に対して風上側となる $m=1\sim 35$ までを範囲として検討したため、風下側を考慮していないことや、風洞実験で測定した抗力係数 C_{Tm} の推定精度などが原因であると考えられる。

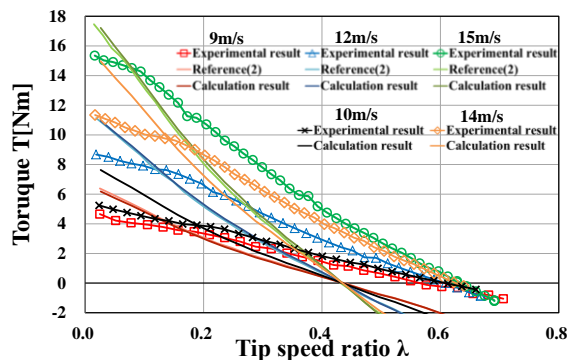


Fig6. Characteristics of λ - T

Table1. Error rate

Wind speed[m/s]	9	12	15	10	14
Calculation result[%]	31.6	32.6	31.0	34.3	33.5

6. まとめ

本稿では、同一周速比における風速の速度比から任意の風速における静翼流路風速を求めて、風車トルクを算出した。その結果について文献(2)および実験値との比較をしたところ、文献(2)と本検討によるトルク特性はほぼ一致した。また本検討における実験値との誤差率は風速 9~15m/s の範囲においてほぼ同程度の値となった。以上の結果から、本検討で用いた算出方法を用いれば、風洞実験で設定風速として静翼流路風速を測定していない任意の風速においても風車トルクを算出できると考えられる。今後は風下側における流路 m を考慮した風車トルク算出方法の検討や、より実験値に近いトルク係数 C_{Tm} の推定方法などの検討を行う。

参考文献

- (1)石川ほか・直井ほか、電気学会 B 部門大会、Y-5(2006)
- (2)新田ほか、「静翼付抗力形多翼垂直軸風車における静翼間流路の風速分布を用いた風車出力の検討」、平成 23 年度終始論文集、pp.953-954、L-17、(2011)
- (3)高橋ほか、「風速の速度比を考慮した多翼垂直軸風車の静翼流路の風速特性」、電気学会全国大会、pp.96(2012)
- (4)下牧ほか、「南極用風力発電装置の試作と実験」、1975 年日本大学理工学部機械工学科卒業実験報告書、pp.2-13(1975)
- (5)高橋ほか、「静翼付抗力形多翼風車に用いる動翼の空力特性」、第 54 回日本大学理工学部学術講演会論文集、pp.1023-1024(2010)