

静翼付抗力形多翼垂直軸風車における風下側の動翼に発生するトルクの影響を考慮した風車出力の検討

Investigation into wind turbine output by effect of torque in leeward's rotational blades about drag-type multi-bladed vertical axis with stationary multi-vanes

○布施諒仁¹, 直井和久², 塩野光弘², 柳平和寛³, 鈴木勝行²

Ryoji Fuse¹, Kazuhisa Naoi², Mitsuhiro Shiono², Kazuhiro Yanagidaira³, Katsuyuki Suzuki²

Abstract: In order to analyze the output power of the drag type multi-blades wind turbine with stationary multi-vanes, we consider the method of used wind speed among stationary multi-vanes. But we considered the torque that the rotational blades rotates at windward side, without the condition of the torque at leeward. So we suppose wind speed at rotational blades at leeward side, and calculate load torque with supposed wind speed. As a result, we showed that consider leeward side torque, the calculated load torque is near for experiment value.

1. はじめに

これまで静翼付抗力形多翼垂直軸風車における負荷トルクを理論的に算出する方法として、静翼流路間風速を用いる方法⁽¹⁾を検討してきた。しかし動翼が風上側に位置するときのみを考慮し、風下側に位置する動翼で発生するトルクは考慮していない。

そこで本稿では、風洞実験により測定した静翼間流路風速を用いて、風下側に位置する動翼に作用する風速を推定し、風上側及び風下側で得られる負荷トルクを算出した。また負荷トルクと実験値を比較したので、報告する。

2. 風車の概要及び実験方法

2-1. 多翼垂直軸風車

図 1 に抗力形多翼垂直軸風車の平面図を示す。風車の構造は回転する動翼及び、動翼に対して一定の角度で風を整流する、回転しない静翼で構成されている。動翼は $N_r=30$ 枚、静翼は $N_s=70$ 枚である。また静翼間流路において、風向に対し時計回りに 90deg の位置にある流路を $m=1$ 、以降反時計回りに $m=1\sim 70$ と付番した。ここで $m=1\sim 35$ を風上側、 $m=36\sim 70$ を風下側と定義する。

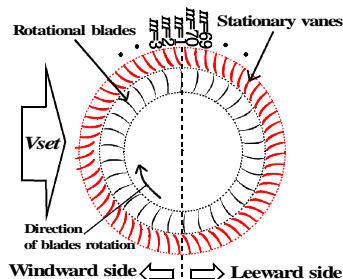


Fig.1. Plan view of wind turbine

2-2. 静翼流路間風速の測定

風洞実験施設からの設定風速 V_{set} を 12m/s とし、動翼の回転速度 N を、無負荷回転速度まで 5min^{-1} 毎に設定する。流路 m における静翼間風速 V_m ($m=1\sim 70$) は熱線式の多点風速計により測定する。このときトルク及び回転速度をそれぞれトルク検出器、回転検出器で測定する。

3. 風速の推定方法

3-1. 風上側の動翼に作用する風速の推定⁽¹⁾

測定した静翼流路風速 V_m より、周速度 V_i で回転している動翼に作用する相対風速 W_{wm} ($m=1\sim 35$) を推定する。図 2 に V_m 、 V_i 及び W_{wm} の関係図を示す。但し V_m の入射角 β

は静翼の設計値より 61.3deg とする。

W_{wm} は式(1)となる。

$$W_{wm} = \frac{V_m \cos \beta}{\cos \alpha_{wm}} \quad (1)$$

3-2. 風下側の動翼に作用する風速の推定^{(1), (2)}

風下側に位置する動翼に作用する風速は、以下のように推定する。風上側の動翼における風の持つエネルギー P_w 、風車の上下面から流出して失われる風の持つエネルギー P_e 、風車軸出力 P_T より風下側に位置する動翼における風の持つエネルギー P_L を求め、その関係は式(2)が成立する。

$$P_L = P_w - P_e - P_T \quad (2)$$

ここで実験で測定した V_m を使い、 $m=1\sim 35$ に位置する動翼における風の持つエネルギー P_{wm} を式(3)により求め、 P_w は式(4)となる。

$$P_{wm} = 0.5\rho L_r H V_m^3 \quad (3)$$

$$P_w = \sum_{m=1}^{35} P_{wm} \quad (4)$$

但し ρ : 空気密度 [kg/m^3], L_r : 翼弦長 [m], H : 風車の高さ [m], とする。また P_e は風車上下面から流出する風量 Q_e から、以下の様に算出する。 Q_e は風上側静翼流路における風量から、風下側静翼流路における風量を引き、式(5)となる。

$$Q_e = \sum_{m=1}^{35} V_m A - \sum_{m=36}^{70} V_m A \quad (5)$$

但し A : 静翼流路の受風面積 [m^2] とする。また Q_e と風車上下面それぞれの流出面積 S より、流出する風速 V_e は式(6)となる。

$$V_e = \frac{Q_e}{2S} \quad (6)$$

P_e は上下面から風が流出することから、式(7)となる。

$$P_e = 2(0.5\rho S V_e^3) \quad (7)$$

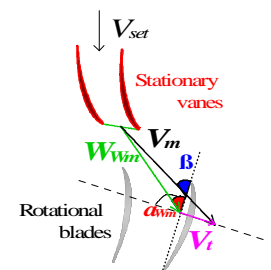


Fig.2. Relative velocity at windward

1: 日大理工・院(前)・電気

2: 日大理工・教員・電気

3: 日大理工・教員・機械

P_T は式(8)となる。

$$P_T = \omega T \tag{8}$$

但し ω : 角速度[rad/s], T : トルク[Nm]とする。

風下側の動翼に作用する風速 V_{Lm} ($m=36\sim70$)を推定するために、風下側の静翼流路風速との比率を導入する。ここで風下側静翼全体における風を持つエネルギー P_r は式(9)となる。

$$P_r = \sum_{m=36}^{70} 0.5\rho AV_m^3 \tag{9}$$

また風下側の動翼における風を持つエネルギー P_{Lm} を、 V_{Lm} を用いて表すと式(10)となる。

$$P_{Lm} = 0.5\rho L_r H V_{Lm}^3 \tag{10}$$

ここで P_L と風下側の動翼における風を持つエネルギー P_r の比率 k をとると式(11)となる。

$$\frac{P_L}{P_r} = \frac{P_w - P_e - P_T}{P_r} = k \tag{11}$$

さらに各流路においても式(11)の比率が成り立つとすれば、式(12)の比率と等しくなる。

$$\frac{P_{Lm}}{P_{rm}} = \frac{0.5\rho L_r H V_{Lm}^3}{0.5\rho AV_m^3} = \frac{L_r H V_{Lm}^3}{AV_m^3} = k \tag{12}$$

式(12)を変形すると、 V_{Lm} と V_m の関係は式(13)となる。

$$V_{Lm} = \sqrt[3]{k \frac{A}{L_r H}} V_m \tag{13}$$

4. 負荷トルクの算出⁴⁾

4.1. 風上側に動翼が位置するときの迎角 α_{Wm}

図 2 より風上側における迎角 α_{Wm} は、動翼の翼弦線と W_{Wm} のなす角とする。動翼が $m=1\sim35$ に位置する場合、 α_{Lm} は式(14)となる。

$$\alpha_{Wm} = \tan^{-1} \left(\frac{V_m \sin \beta - V_t}{V_m \cos \beta} \right) \tag{14}$$

4.2. 風下側に動翼が位置するときの迎角 α_{Lm}

図 3 に風下側に位置する動翼に対し、作用する風速のベクトル図を示す。風下側の動翼に流入する風速 V_{Lm} の流向は、風上側の動翼による影響を受けないとし、風向 V_{set} と同じ方向とする。図 3 のように動翼に流入する風速 V_{Lm} と、動翼の翼弦線とのなす角 α_{Lm} は、式(15)となる。

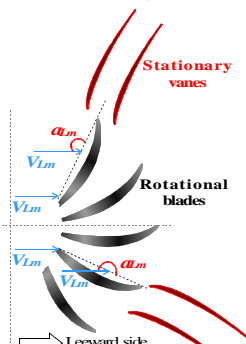


Fig3. Relative velocity at leeward

$$\alpha_{Lm} = 450 - \left\{ \frac{360}{70} (m - 1) \right\} \tag{15}$$

但し $m=36\sim70$ ($90 \leq \alpha_{Lm} \leq 270$)とする。

4.3. 翼に作用するトルク

動翼 1 枚に作用するトルク T_m は、3-1 で求めた風上側に位置する動翼に作用する相対風速と、3-2 で求めた風下側に位置する動翼に作用する風速を F_m に代入し、前節で算出した迎角に対応する C_{Tm} を図 4 から用いて、式(16)により算出する。

$$T_m = 0.5 C_{Tm} \rho L_r H F_m^2 R_{ac} \tag{16}$$

但し R_{ac} : 風車の中心から動翼の空力中心までの距離[m]とする。ここで α_m に対する C_{Tm} は、風洞実験により求めた。 α_m の測定範囲は、 $m=17$ を基準として時計回りに $0\sim360^\circ$ の 4deg 間隔としてこれを図 4 に示す。

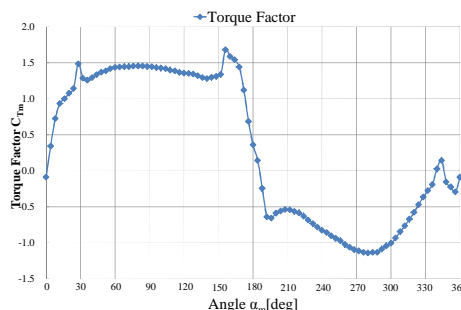


Fig4. Torque factor

を考慮すると、式(17)となる。

$$T = \frac{N_r/2}{N_s/2} \sum_{m=1}^{N_s} T_m \tag{17}$$

5. 結果

図 5 に設定風速 12m/s における、実験値と計算値の回転速度に対する負荷トルクのグラフを示す。ここで T は式(17)により求めた値であり、風上側の動翼で発生するトルク T_w と、風下側の動翼で発生するトルク T_L を足しあわせたもの、 T_E は風車出力をトルク検出器により求めた実験値である。 T は T_E と同じく N が上昇すると、減少する傾向となった。また T と T_E は、 T_L を考慮した結果、 T_w のみの場合と比較し、 T は T_E に近づいた。しかし T と T_E は一致しなかった。これは T_E を算出する際、 V_t を考慮せず算出を行ったことが考えられる。

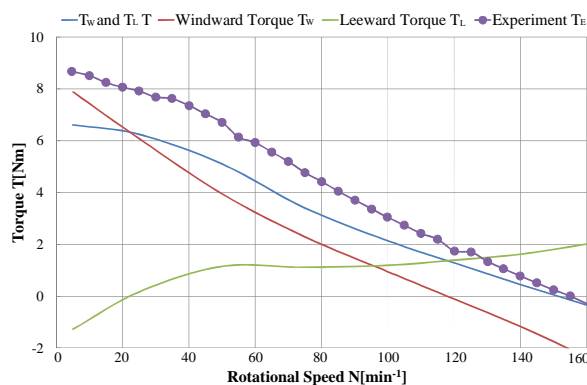


Fig5. Characteristics of N-T

6. まとめ

本稿では静翼付抗力形多翼垂直軸風車における負荷トルクを、風下側に位置する動翼の発生するトルクの影響を考慮して、算出した。その結果風下側で発生するトルクを考慮した場合、風上側のみ考慮した場合と比べ、計算値は実験値に近づいた。

参考文献

- 高橋ほか、「静翼流路における風量を考慮した多翼垂直軸風車の出力特性に関する検討」、平成 24 年度修士論文集
- 布施ほか、「静翼付多翼垂直軸風車における静翼流路の風量と風車出力に関する検討」、2012 年電気設備学会論文集 pp127-128