L−20

静翼付抗力形多翼垂直軸風車におけるトルク特性の検討

～測定方法の異なるトルク係数が風車特性に及ぼす影響～

Study on the torque characteristics for the drag-type multi-blades vertical axis wind turbine with stationary multi-vanes

~Influence of the turbine characteristics with the torque coefficient of the different measurement method~

○丹代祥平[1]，辻健太郎[2]，直井和久[2]，柳平和寛[3]，塩野光弘[2]

Shohei Tandai[1],Kentaro Tsuji[2],Kazuhisa Naoi[2],Kazuhiro Yanagidaira[3],Mitsuhiro Shiono[2]

Abstract: Drag-type multi-blades vertical axis wind turbine with stationary multi-vanes generates large torque at low rotational speed in other vertical axis wind turbines. We noticed to the torque coefficient of an important parameter when the characteristics of turbine torque were calculated. We compared the experimental value of the torque with the calculation value using torque coefficients got by different measuring methods.

１．はじめに

我々は，垂直軸風車の中でも低回転数域でのトルクが大きい特徴を持つ，静翼付抗力形多翼垂直軸風車の性能解析にあたり，これまでに静翼流路の風速から風上及び風下側のトルクを算出し，実験値と比較した[1]．

本稿では，風車のトルクを算出する際に用いるトルク係数に着目し，条件の異なる測定方法で得たトルク係数を用いてトルクを計算し，実験値と比較検討を行ったので報告する．

２．風車の概要

本稿で使用する静翼付抗力形多翼垂直軸風車の平面図を図 1 に示す．風車の構造は風を受けて回転する動翼と，動翼に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．静翼間を静翼流路と定義し，風向に対して時計回りに 90deg の位置にある流路を m=1，以降を反時計回りに m=1~70 と付番した．ここで m=1~35 を風上側，m=36~70 を風下側と定義する．

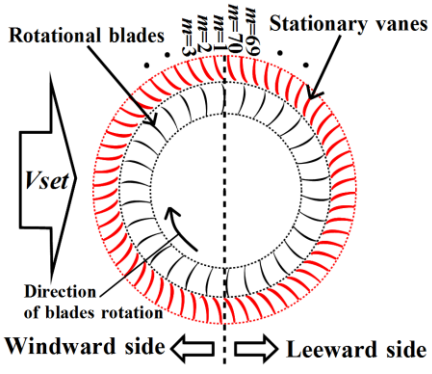

Fig.1 Plan view of wind turbine

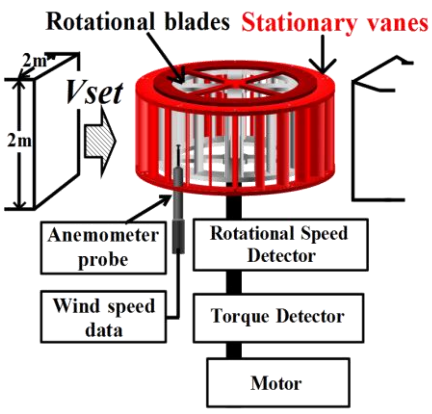

Fig.2 Experimental equipment

３．実験方法

風洞実験は図 2 に示す装置を用いて行う．風洞実験施設の設定風速V_{set}を 6~18m/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．各回転速度において，回転検出器，トルク検出器でそれぞれ回転速度及びトルクを測定する．同時に静翼流路m毎の静翼流路風速V_m(m=1~70)を，熱線式の多点風速計により測定し，次章に述べるトルクの算出に用いる．

４．トルクの算出方法[1],[2]

４－１．翼に発生するトルク

図 1 より風は風上側から流入し，風下側へと流出するものと仮定する．

風上側に位置する動翼のトルクは以下のように算出する．各静翼流路風速V_mを動翼に対する入力風速とし，動翼が周速度V_tで回転している場合，動翼に作用する風速は図 3 に示すように相対風速W_mとなり，式(1)で求められる．

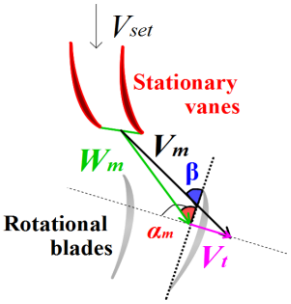

Fig.3 Relative velocity at windward

$$W_m = \frac{V_m \cos\beta}{\cos\alpha_m} \tag{1}$$

ただし，β:入射角(=61.3deg)，α_m:迎角[deg]．風上側の動翼によるトルクT_{Wm}は式(2)となる．

$$T_{Wm} = 0.5 C_T \rho C_r H_r {W_m}^2 R \tag{2}$$

ただし，C_T:トルク係数,ρ:空気密度[kg/m^3],C_r:動翼の翼弦長(=0.1m), H_r:動翼の高さ(=0.4m),R:風車の中心から空力中心までの距離(=0.425m)．動翼,静翼の翼枚数を考慮し，風上側の動翼全体のトルクT_Wは式(3)となる．

$$T_W = \frac{N_r/2}{N_s/2} \sum_{m=1}^{35} T_{Wm} \tag{3}$$

ただし,N_r:動翼の枚数(=30 枚), N_s:静翼の枚数(=70 枚).

風下側に位置する動翼のトルクは，以下のように風

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

速を推定することで算出する．風上側の動翼における風のエネルギーP_W，風車の上下面から流出するエネルギーP_e，風車軸出力P_Tより風下側の動翼全体における風のエネルギーP_iを求めると式(4)となる．

$$P_i = P_W - P_e - P_T \tag{4}$$

風下側の静翼全体における風のエネルギーP_oは式(5)で表せる．

$$P_o = \sum_{m=36}^{70} 0.5\rho L_s H_s {V_m}^3 \tag{5}$$

ただし，L_s:静翼間隔(=0.047m), H_s:静翼の高さ(=0.45m)．また風下側の動翼における風のエネルギーP_{im}は，風下側の動翼流入風速V_{im}を用いて表すと式(6)となる．

$$P_{im} = 0.5\rho L_r H_r {V_{im}}^3 \tag{6}$$

ただし，L_r:動翼間隔(=0.074m)．ここでP_iとP_oのエネルギー比率kを取ると式(7)となる．

$$\frac{P_i}{P_o} = \frac{P_W - P_e - P_T}{P_o} = k \tag{7}$$

式(7)が各流路でも成立すると仮定し，V_{im}をV_mにより表すとその関係は式(8)となる．また式(8)から風下側の動翼によるトルクT_{Lm}は式(9)となる．

$$V_{im} = \sqrt[3]{k\frac{L_s H_s}{L_r H_r}} V_m \tag{8}$$

$$T_{Lm} = 0.5 C_T \rho C_r H_r {V_{im}}^2 R \tag{9}$$

ここで動翼と静翼の翼枚数を考慮すると式(9)を用いて，風下側の動翼全体のトルクT_Lは式(10)となる．

$$T_L = \frac{N_r/2}{N_s/2} \sum_{m=36}^{70} T_{Lm} \tag{10}$$

式(3),(10)より翼に発生するトルクTは式(11)となる．

$$T = T_W + T_L \tag{11}$$

４－２．トルク係数の測定方法

前節で述べた動翼のトルク係数C_Tは，以下に述べる 2 つの方法による測定値を用いた．

①水平式閉鎖回流型風洞

測定には翼幅H_1(=0.45m)，翼弦長C_r(=0.1m)の翼を使用し，測定部断面が高さ 2.0m×幅 2.0m の水平式閉鎖回流型風洞施設(大風洞)にて行った．設定風速V_1は 6,12,18m/s とし，迎角α_mは 0deg から 4deg 毎に 360deg まで設定した．翼が設定風速を受けた際に発生するトルクT_1をトルク検出器にて取得し，トルク係数C_{T1}として式(12)で求めた．

$$C_{T1} = \frac{T_1}{0.5\rho C_r H_1 {V_1}^2 R} \tag{12}$$

②三次元煙風洞

測定には翼幅H_2(=0.295m)，翼弦長C_r(=0.1m)の翼を使用し，測定部断面が高さ 0.6m×幅 0.3m の三次元煙風洞(小風洞)で行った．設定風速V_2は 3~9m/s とし，迎角α_mは 0deg から 2deg 毎に 360deg まで設定した．翼に働く抗力D及び揚力Lを 3 分力検出器により測定し，式(13),(14)により抗力係数C_Dと揚力係数C_Lを求め，トルク係数C_{T2}として式(15)で求めた．

$$C_D = D/(0.5\rho C_r H_2 {V_2}^2) \tag{13}$$

$$C_L = L/(0.5\rho C_r H_2 {V_2}^2) \tag{14}$$

$$C_{T2} = C_L \cos\alpha_m + C_D \sin\alpha_m \tag{15}$$

また，小風洞におけるトルク係数は各風速においてほぼ同値を示したため，平均値とした．

以上，迎角α_mに対する 2 つの方法における動翼 1 枚のC_{T1}及びC_{T2}を図 4 に示す．

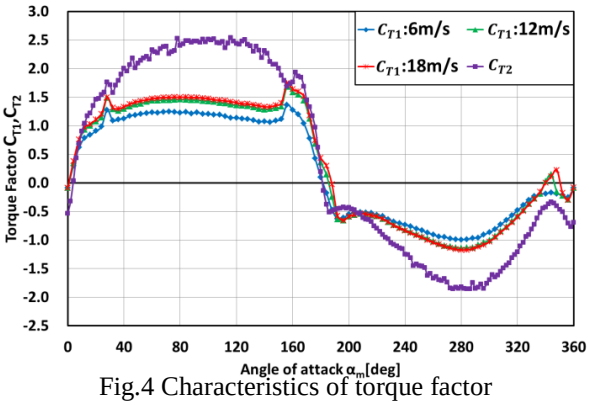

Fig.4 Characteristics of torque factor

５．結果

図 5 に設定風速 6,12,18m/s における算出値と実験値の N-T 特性を示す．図 5 より，風速によらず高回転速度になるほどトルクが低下する傾向が得られた．また，設定風速 6m/s の場合はC_{T1}のトルクは実験値とほぼ一致したが，C_{T2}は実験値を上回る結果を示した．設定風速 12m/s においてC_{T1}は 140min^{-1} 以降，C_{T2}は 70~120min^{-1}の範囲でそれぞれ実験値とほぼ一致した．設定風速 18m/s では 20min^{-1}までの範囲でC_{T2}のトルクが実験値を上回ったが，以降はC_{T1}, C_{T2}いずれのトルクも実験値を下回る結果が得られた．

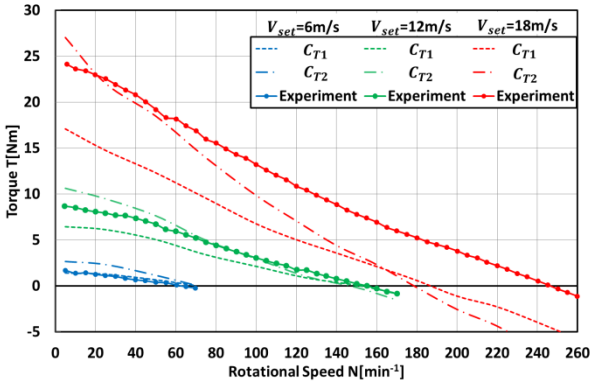

Fig.5 Characteristics of N-T(V_{set}=6,12,18m/s)

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トルクを，測定方法の異なるトルク係数を用いて求め，実験値と比較検討を行った．結果より，設定風速 6m/s においてはトルク係数にC_{T1}を用いると実験値とほぼ一致したが，風速 12,18m/s ではC_{T1}, C_{T2}いずれのトルク係数を用いても実験値を概ね下回る結果を示した．

参考文献

[1]布施ほか,「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」,第 57 回日本大学理工学部学術講演会論文誌,pp959-960(2013)

[2]丹代ほか,「静翼付抗力形多翼垂直軸風車における負荷トルクに関する検討」,2014 年電気設備学会論文集,A-4,pp7-8(2014)