

垂直風車の空力特性の検討

酒 井 謙 二

第一工業大学 航空工学科 (〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail:k-sakai@daiichi-koudai.ac.jp

The Study about the Aerodynamic Characteristics of the Vertical Wind Mill

Daiichi Institute of Technology
Kenji SAKAI

The aerodynamic characteristics of the vertical wind mill have been studied.
Some design points have been studied to improve the performance of the vertical wind mill power generation.

Key Words: Vertical wind mill, Improvement of the performance, Aerodynamic characteristics

1. はじめに

ある風速の中に置かれた垂直風車が、どのような空力メカニズムで一定の回転数で回り続けるのかを検討し、高効率の垂直風車の設計指針を得る。



図1 垂直風車写真

2. 解析方法

垂直風車が上から見て左回転しているとした時の速度成分を図2. 1に示す。この図に示すように、ブレードの位置と一様流速度と回転周速度との関係で、ブレード翼にあたる有効迎角が計算できる。その迎角に対応する揚力と抗力が分かれば、その成分として回転方向に働く力が計算できる。

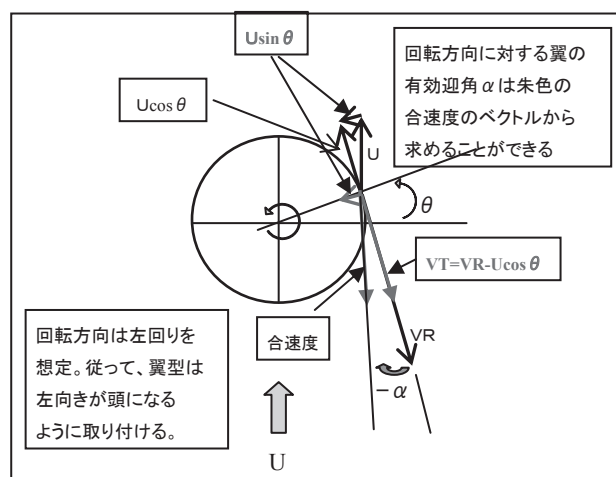


図2. 1 解析説明図

計算は周方向に 10° ピッチに分割して、そこでの値の和から回転力を計算した。回転力に垂直風車の半径を掛ければ回転トルクとなる。

今回の検討では、問題を簡単にするために、翼特性として、NACA0012翼特性とし、参考文献(1)を参考に、揚力係数と抵抗係数を推算した。揚力係数は最大迎角 $\alpha_{max} =$

16°とし、最大揚力係数1.6まで直線的に増加し、そのあとは風洞試験結果に合うように直線的に減少すると近似した。

風洞試験結果との比較を図2.2に示す。

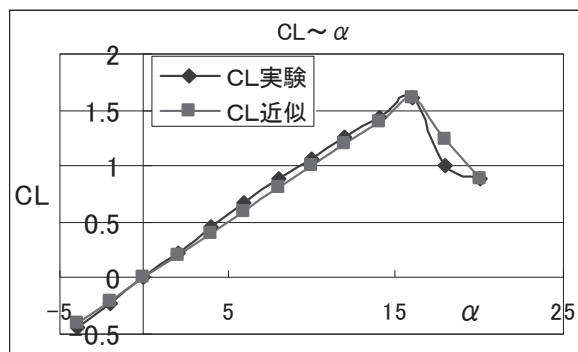


図2.2 揚力係数の実験と近似との比較

また、抵抗係数 C_D は、参考文献(1)をベースに揚力係数の関数として近似式で求めた。ただし、失速後の抵抗係数 C_D については、失速後も揚力が線形で増えると仮定した CL を使って、推算した。

$$C_D = 0.0058 \times 0.0036 \times CL^2$$

この抵抗係数の近似式と風洞試験結果との比較を図2.3に示す。両者は良い一致を示す。

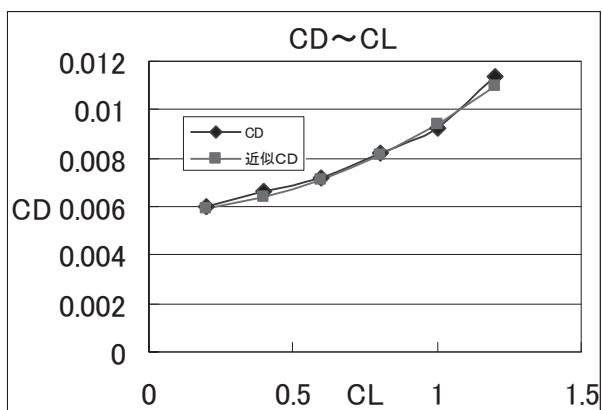


図2.3 抵抗係数の実験値と近似値との比較

3. 計算結果

一様流速度は7.5 m/s、10 m/s、12.5 m/s、15 m/sの4種類とし、その各々で回転周速度を振って、ブレード単位面積あたりの回転力 T (以後、回転力と表示)を計算した。各速度の計算結果を図3.1～3.4に示す。

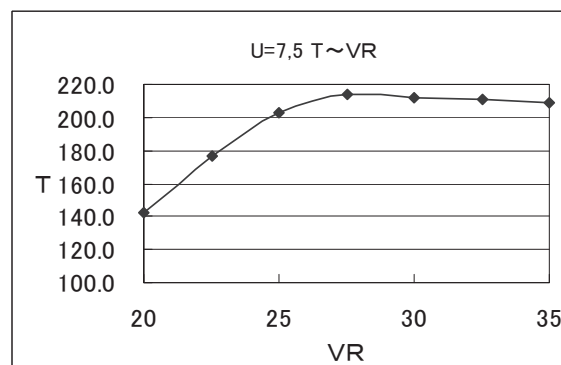


図3.1 $T \sim VR$ ($U = 7.5 \text{ m/s}$)

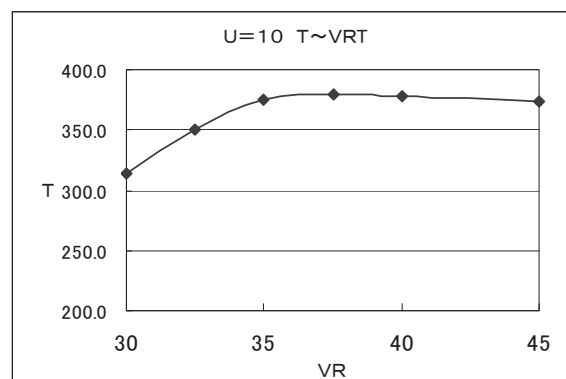


図3.2 $T \sim VR$ ($U = 10 \text{ m/s}$)

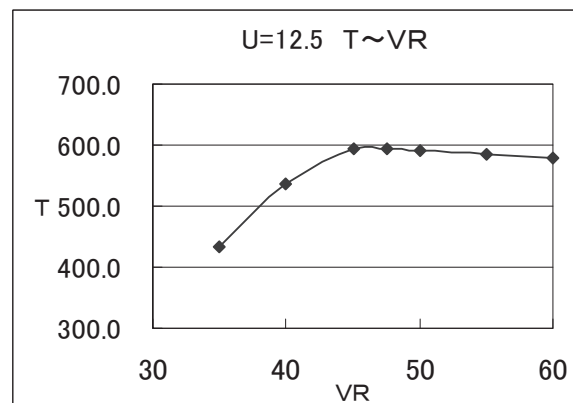


図3.3 $T \sim VR$ ($U = 12.5 \text{ m/s}$)

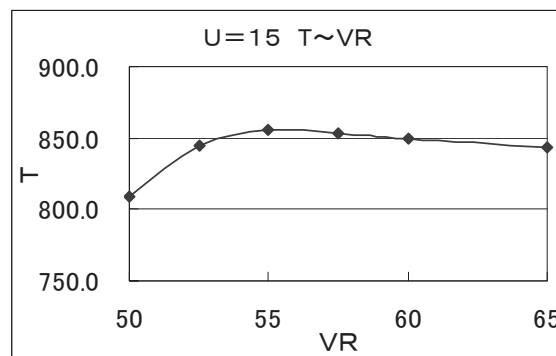


図3.4 $T \sim VR$ ($U = 15 \text{ m/s}$)

傾向に多少の差はあるが、ある一様流速度に対応して、ある周速度 VR で回転力 T が最大となり、それ以上では回転力は徐々に減少する。すなわち、一様流が与えられると、最大回転力に達する周速度で回り続けると考えられる。最大回転力を発生する周速度と一様流速度 U との関係結果を図 3. 5 に示す。

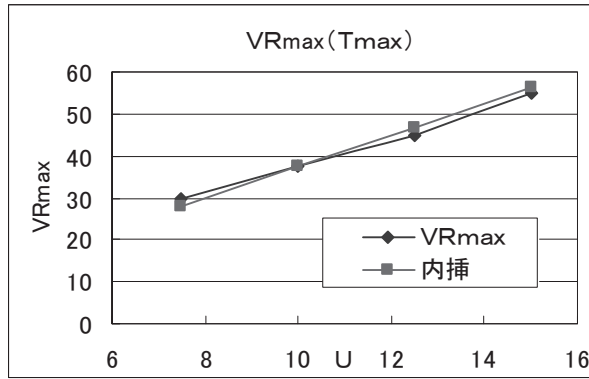


図 3. 5 $VR_{max}(T_{max}) \sim U$

一様流流速と最大回転力を出す周速度とはほぼ比例すると考えられる。

現在の検討では、垂直風車の半径はパラメータとしては入れていないが、一様流速度によって最大回転力を出す周速度が決まるということは、大きな風車ほどゆっくり回り、小さい風車ほど速く回ると考えられる。通常のプロペラ型風車でも、その傾向は観察できる。

次に、一様流速度に対応する最大回転力を図 3. 6 にプロットする。最大回転力は、一様流速度の 2 乗におおむね比例すると近似できる。

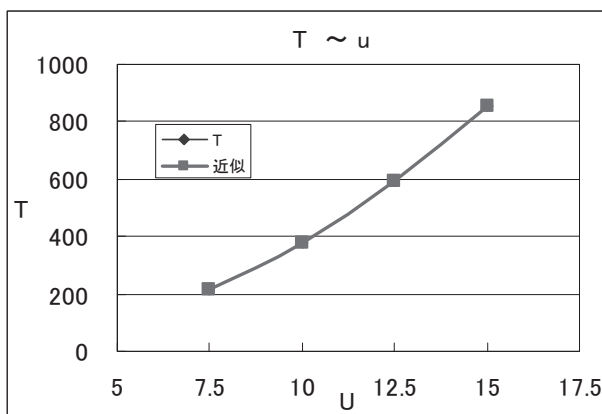


図 3. 6 $T \sim u$

4. 有効迎角分布と回転力分布の検討

一様流速度 7.5 m/s の場合で、最大回転力を出す周速度 $VR = 27.5 \text{ m/s}$ とその前の周速度 $R = 25 \text{ m/s}$ との各回転位置での有効迎角分布と回転力分布の比較 4. 1 ～ 図 4. 4 示す。

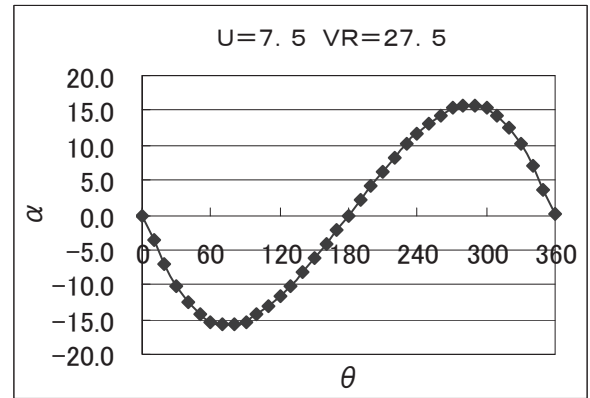


図 4. 1 有効迎角分布 ($VR=27.5 \text{ m/s}$)

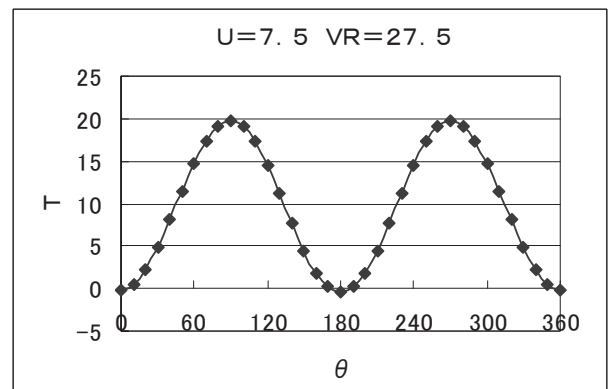


図 4. 2 回転力分布 ($VR=27.5 \text{ m/s}$)

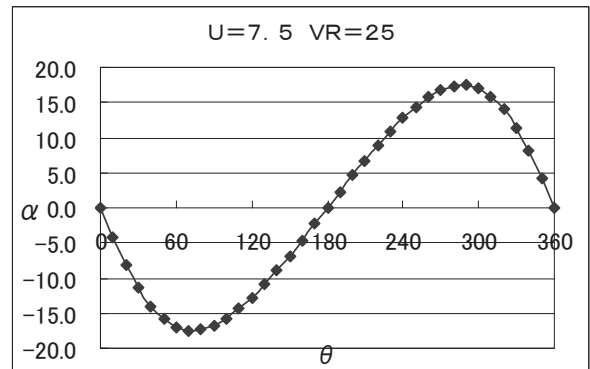


図 4. 3 有効迎角分布 ($VR=25 \text{ m/s}$)

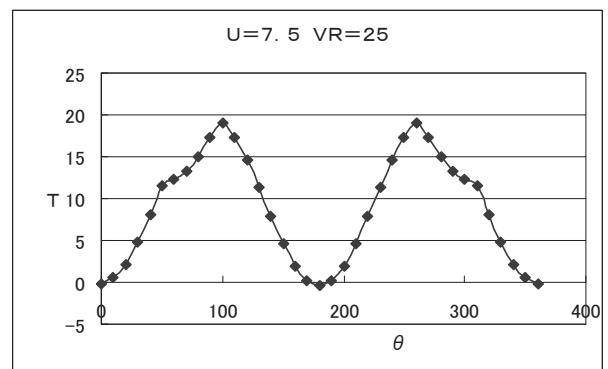


図 4. 4 回転力分布 ($VR=25 \text{ m/s}$)

最大回転力を出す周速度 $VR = 27.5 \text{ m/s}$ では、最大の有効迎角が失速角に近い値であることが分かる。 $VR = 25 \text{ m/s}$ の回転力が減っているのは、部分的にブレード翼が失速しているためと考えられる。

また、最大回転力を出す周速度以上では有効迎角が失速角以下となっていることが確かめられた。

5. 翼型空力特性による効果の検討

ブレード翼型による垂直風車の特性への効果を検討するために、以下の2つの翼型に対して検討を行った。

一様流速度としては 7.5 m/s とする。

(1) 失速角の大きな対称翼の採用

検討例として、失速角が 2° 大きい対称翼を想定して解析した。

(2) キャンバー翼の採用

キャンバー翼特性として、プラス側の失速角を 2° 増加 ($\alpha_{\max} = 18^\circ$) させ、反対にマイナス側の失速角を 2° 減少させたキャンバー翼を想定した。

両者の回転力の比較を図5に示す。

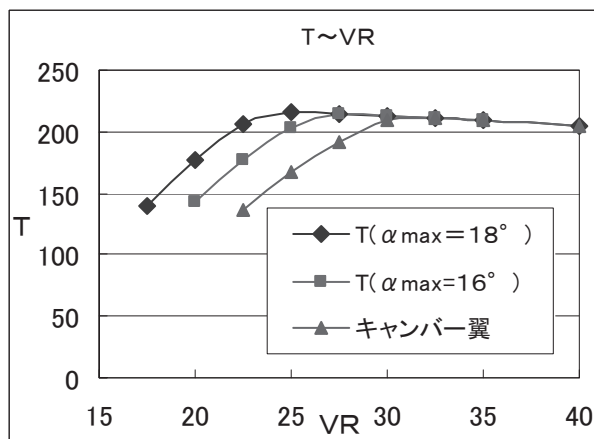


図5 T～VR (翼型効果)

この図から、失速角の大きな対称翼の改善効果が示された。失速角 2° 増加の効果は回転力に対しては 1% 程度であるが、回転速度 VR は 2.5 m/s 早く最大回転力に達することが分かる。また、キャンバー翼 ($\pm 2^\circ$) の採用は回転力で 2% の減少、回転速度 VR は 5 m/s 遅く最大回転力に達するなど、悪化することが分かった。

6. まとめ

一様流速度と回転速度から有効迎角を出して計算する解析から、垂直風車の空力特性について、次の知見を得ることができた。

- (1) 一様流速度が与えられると、最大回転力を出す周速度を求めることができる。すなわち、大きな風車になるほど、ゆっくりとした回転で回ることが説明できる。
- (2) 最大回転力を出す周速度以下で回転すると仮定すると、翼に当たる有効迎角がある回転位置で失速角以上となっていることが分った。また、最大回転力を出す周速度以上で回転すると仮定すると、翼に当たる有効迎角が全てのスパン位置で失速角以下となっている。
- (3) 回転力を大きくするためには、最大揚力係数が大きく、抵抗特性も良好な対称翼型を用いるのが有効と考えられる。仮に、翼型を改良して失速角を 2° 大きい 18° とした計算例では回転力は 1% 弱の改善ではあるが、最大回転を得る回転速度は 2.5 m/s ほど小さい値を示す。
- (4) キャンバー翼型は対称翼に比べ悪化すると推定される。市販の垂直風車の多くはキャンバー翼を採用しているが改善の余地はあると考えられる。
- (5) 垂直風車は回転することで回転力が得られるため、初期速度は必要と考えられる。そのため、微風速から回転させるためには、低速でも稼動するロビン型風車のようものを、初期回転を得るために取り付ける必要があると考えられる。

7. 参考文献

- (1) Abbott, I.H., and von Doenhoff, Theory of Wing Sections, Dover, New York, 1949
- (2) プロペラ理論 (第3版)
日本航空機技術教会