

サボニウス風車の数値解析による性能予測

松下精工株式会社

クリエイティブセンター*

まる新事業部**

○長田

篤*

久保 吉人*

松本 一則**

1. はじめに

近年、自然エネルギーとしての風力が注目される中、低騒音・高安全性・低風速起動性・設置容易性という特長から、当社では、小型風力発電システムに、サボニウス(Savonius)風車を選択している。

このサボニウス風車は、羽根断面形状、羽根の配置、流れについて多くの研究がなされている。実験では、過去より性能向上を目的とした形状の検討^{(1),(2)}、近年では PIV による羽根間流れの可視化⁽³⁾が行われている。これにより、形状が性能に及ぼす影響、基本的な形状の流れの挙動が明らかにされつつある。一方、数値解析においては、二次元、または三次元非定常解析で流れの挙動に関する研究^{(4),(5)}が報告されているものの、3次元空間での羽根形状に関する性能評価についての報告はみられない。

そこで、今回は、羽根形状に関して、数値解析による性能予測の可能性を調べるため、非定常性を考慮した解析を行ったので、その事例を紹介する。

2. 記号

A:風車投影面積

D:風車直径

T:軸トルク

V:風速

ρ :空気密度

AR:アスペクト比 $=H/C$

C_T :トルク係数 $=T/(1/2)\rho V^2(D/2)A$

C:バケット弦長

H:バケット高さ

U:風車周速

λ :周速比 $=U/V$

θ :迎角

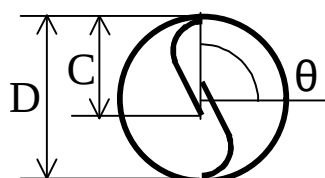


Fig.1 Schematic of Bach type Savonius rotor

3. Bach⁽¹⁾型サボニウス風車の性能予測

3.1 解析条件

解析は、市販の非構造格子系流体解析ソフト SCRYU/Tetra for Windows((株)ソフトウェアクレイドル製)を用いて行った。

解析対象は、 $D=0.6\text{m}$ 、 $H=0.6\text{m}$ の Bach 型の羽根形状を持つ風車を2段重ね、位相を 90° ずらしたものとした。代表長さの D が 0.6m 、風速が $6\sim 8\text{m/s}$ 、最大回転数が約 300rpm であることから、非圧縮の乱流解析とした。また、乱流モデルには標準 $k-\epsilon$ モデルを用いた。

解析領域とそのメッシュを Fig.2 に示す。解析空間は、風車に対して十分に広い外部静止領域と、風車周りの内部回転領域とを設定した。これらは不連続なメッシュで接合され、各変数は境界面で補間される。内部領域内の風車羽根面の境界条件として、壁関数を適用した。外部領域での境界条件は、上流境界で一様流入、下流境界で圧力規定($p=0$)、その他の面は Slip 条件とした。また、領域全体の初期条件として $V=0$ を与えた。

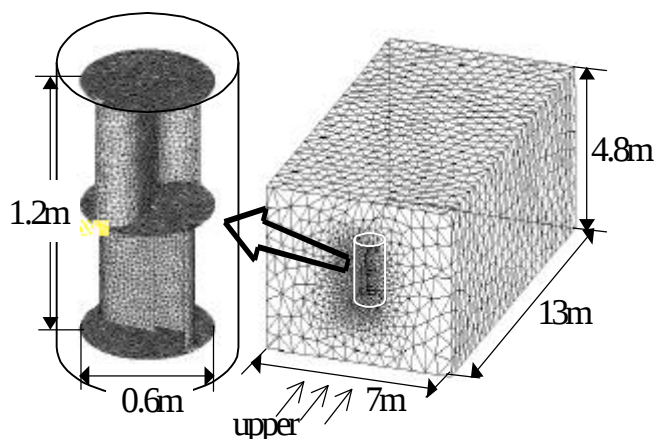


Fig.2 Computational domain & Grid system

3.2 風車回転のモデル化

風車の性能評価をするにあたって、回転数、トルクを得る必要がある。

実際の風車では、風車が風を受けて回転し、発電機等の負荷(トルク)がかかることで、その回転数が決定する。しかし、解析では、風力による風車の回転を再現できない。そこで本解析では、上流境界に一定風速を与え、風車のある回転数で強制回転させることでモデル化している。このモデル化によって、回転中に羽根面が受ける風圧から風車のトルクを算出した。

3.3 解析結果

Fig.3 に代表的なトルク変動を示す。Fig.3 に示すように、トルクは迎角の位相により大きく異なっている。また、風車を2段にして90°位相を変えているために、1周あたりに4つのピークを確認できる。

次に、羽根水平断面において、特徴的である、迎角120°の速度ベクトル図をFig.4に、迎角60°の等渦度分布図をFig.5に示す。Fig.4では、隙間を持つサボニウス風車で過去に報告⁽³⁾⁽⁵⁾されているような、羽根間の上流側への逆流が確認できる。Fig.5に関しても、石松の報告⁽⁴⁾にあるように、渦が羽根先端だけでなく羽根の背面(凹部)にも存在し、さらに、隙間がある場合の風車軸付近の複雑な渦も確認できる。以上より、サボニウス風車における流れ場が再現できたといえる。

Fig.6に、風車付近の流跡線図を示す。ある水平面上から風車に到達した流れが、風車付近で増速され、左右、または上下に分かれる。その後、風車後流との速度差により、3次元的な複雑な流れが誘起されている様子がわかる。

3.4 実測との比較

次に、当社風洞で行った実測値より算出したトルク係数と、解析値より算出したトルク係数との比較を行う。実測では、Fig.2と同一の形状を対象とし、トルク計を用い計測した。一方、解析では、各変数の値が周期的になった2回転

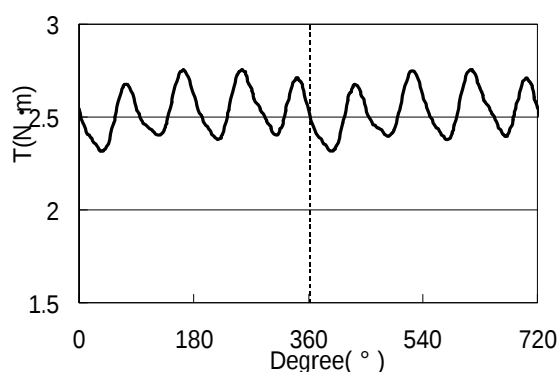


Fig.3 Time history of torque

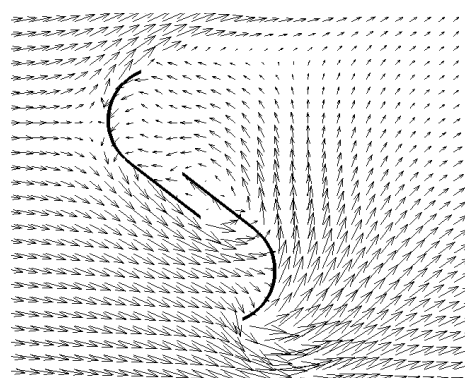


Fig.4 Velocity vectors($\theta = 120^\circ$)

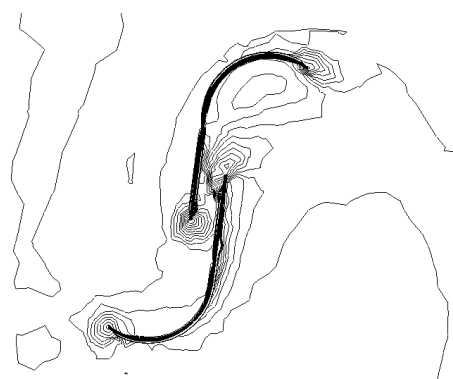


Fig.5 Vorticity contour($\theta = 60^\circ$)

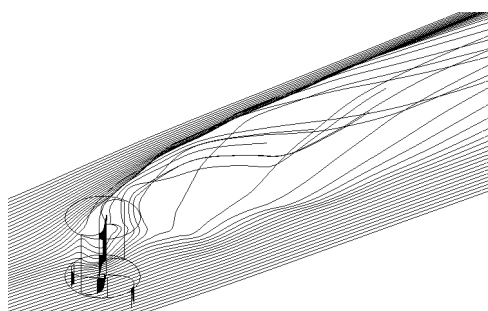


Fig.6 Streak lines of fluid

分の値を平均してトルクを算出した。

Fig.7 に周速比とトルク係数の関係を示す。Fig.7 において、実測と解析の絶対値について差がみられる。この要因として、解析では、測定のために設置した風車周りの障害物(測定台や支柱)を考慮していないこと、実測では、ベアリング、測定器などに機械損失が生じることが考えられる。しかし、両結果は、傾きがほぼ等しく、定性的には良い一致を示しているといえる。また、実測値、解析値を個別にみると、風速が異なっているにもかかわらず、無次元化したことにより一様な関係を示している。以上のことから、1 サボニウス風車における、風速、周速比変化による性能の相対的評価は可能であると判断できる。

4．羽根形状の異なる風車の性能予測

4．1 解析条件

ここでは、異なる羽根形状を持つサボニウス風車を解析した際の、性能差の予測について検討した。検討は牛山らの行ったアスペクト比の影響を調べた実測値⁽²⁾を参考にした。解析対象は、Fig.8 に示す 2 種のものである。また、解析手法は 3.1、3.2 と同様の手法を適用した。

4．2 実測⁽²⁾との比較

Fig.9 は周速比に対するトルク係数である。3.4 の結果同様、絶対値は異なるものの、相対的には実測値と解析値に同様な傾向がみられる。以上より、異なる羽根形状を持つ風車に関して、優劣判断などの評価は可能であるといえる。

5．まとめ

Bach 型羽根形状を有するサボニウス風車を対象として、3 次元非定常数値解析を行い、その風車性能予測の可能性を検討した。その結果、羽根形状の異なるサボニウス風車に関して、今回紹介した手法を用いることで、数値解析による性能予測が充分可能であると考えられる。

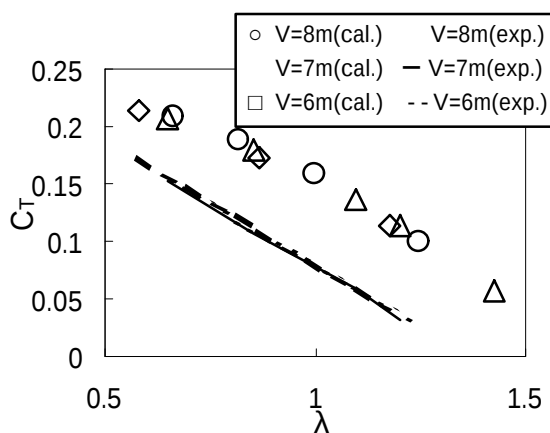


Fig.7 Tip speed vs. Torque coefficient

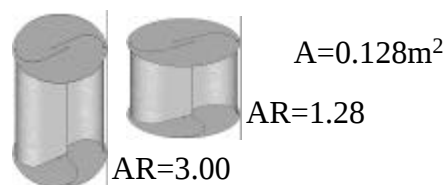


Fig.8 Aspect ratio of model rotors

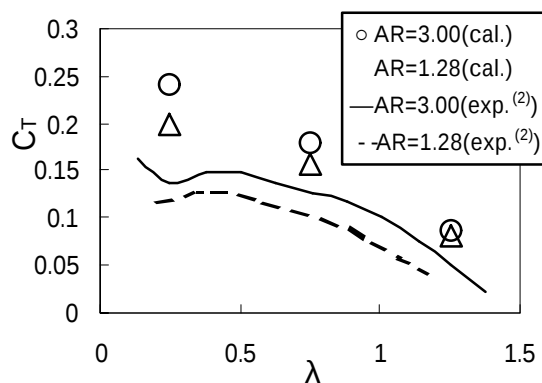


Fig.9 Tip speed vs. Torque coefficient

参考文献

- (1)Bach, G., Forschung, 2-6 (1931), 218-231
- (2)牛山、他 2 名、サボニウス風車の最適設計形状に関する研究、機論 B、52-480、(1986)、2973-2982
- (3)西沢、牛山、垂直軸抗力型風車の内部流れの可視化による性能評価、日本機学会 2000 年度次大会講演()、(2000)、1-2
- (4)石松、他 2 名、サボニウス風車に関する数値計算(運転特性と流れ場)、機論 B、60-569、(1994)、154-160
- (5)石松、他 3 名、サボニウス風車の三次元流れ解析、第 12 回数値流体力学シンポジウム講演、(1998)、273-274