

建築物を利用した風力発電技術に関する研究(その8) プロペラに作用する風力の検討

正会員 ○中山 昌尚*1 同 野々村 善民*1
同 平原 裕行*2 同 小林 信行*3

風車 風力発電 風荷重
風洞実験

§ 1 はじめに

マイクロ風車^{x1}に関するプロペラへの耐風性能を検討した。耐風性能は、本システムが設置された場合に支持骨組みの設計風荷重問題にも関連する。ここで示す検討内容は以下である。

①プロペラ全体に作用する風力の実験による把握(プロペラ回転時、固定時)

②プロペラ回転時に生じる応力などのFEMに解析的把握

§ 2 風力検討実験概要

風力検討に用いた風洞は (株)フジタ技術センターの大型境界層風洞(3m'W)*1.8m(H)である。定格25m/sであるが、測定胴内に縮流胴(1.5m*1.5m)を設置して約風速35m/sまで増速した。縮流胴出口断面内の風速の偏差は、中心から±0.6mの範囲で断面中心風速の約2%以下である。写真1に示す荷重計の上に風車・発電機1台を取り付けて(時間)平均風力を計測した。計測した力成分は図1に示す風方向力(抗力: Drag)、風直角方向水平力(揚力: Lift)、Z方向力: Fzの3成分である。主実験パラメータは風向(図1)、風速、プロペラの状態(固定時、回転時)である。回転時に負荷抵抗を1-300Ωの範囲で変えてみたが風速ではとプロペラ回転数の関係に大きな違いが見られなかった。なお、回転時には測定風力時刻歴にプロペラ回転数に対応したリップル波形が認められた。基準力を次で定義し、時間平均風力係数: Cd(抗力係数)、Cl(揚力係数)、Cz(Z方向空力係数)を定義した。当然ながらCzは零ではないがCdに比べ非常に小さい値である。ここではCdのみを扱う。

$$F_{ref} = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot V^2 \cdot \pi R^2 \quad \text{Eq. (1)}$$

但し、 ρ : 単位体積当たり空気重量、 g : 重力加速度、 V : 風速、 R : プロペラ半径(=25cm)である。

図2は風向0度の場合について抗力係数の風速(規準力)依存性(回転時、固定時)を示したものである。両場合とも抗力係数の風速依存性は小さく、固定時0.75、回転時0.71程度である。なお2次元翼型性能^{x2}からStrip理論により計算される抗力係数は風速15m/s前後で1.5程度であり測定値よりもかなり大きい結果となっている。プロペラ周り流れの3次元性によると考えられる。図3は風向角を変化させた場合の抗力係数の変化である。

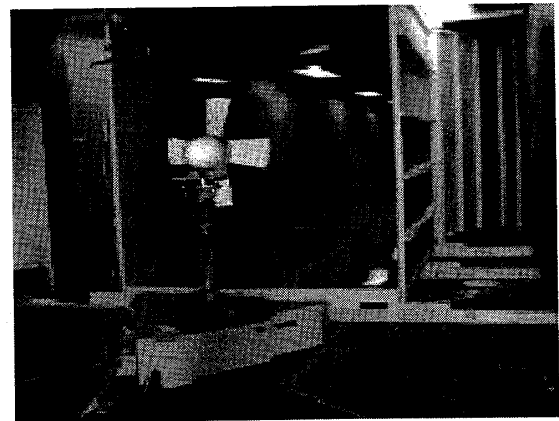


写真1 風力計測状況 縮流胴と荷重計

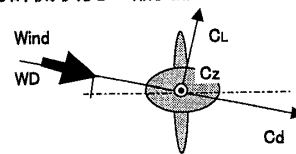


図1 力成分・風向角の定義(平面図) 紙面直角: Cz

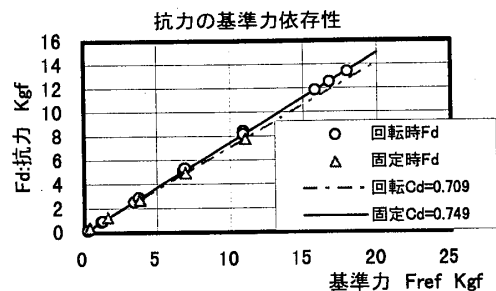


図2 風向0度の場合の風力係数の規準力依存性

結果的に風向角0度の場合が最大である。なお、別途プロペラをはずして、前後のキャップおよび大である。び発電機本体のみを付けた状態(カプセル状態)でも同様の空力係数を測定し、風向0度で抗力係数が0.16であることを確認した。この情報より回転時、固定時にプロペラ1枚にのみ作用する抗力を概略見積もることができる。プロペラ1枚の見付け面積(約0.020m²)を用いて定義した抗力係数(風向0度)の値は、1.50(固定時)、1.42(回転時)となった。この固定時の1.50という抗力係数は、プロペラ1枚を有限長さの平板とみなした場合の抗力係数相当の値になっている。

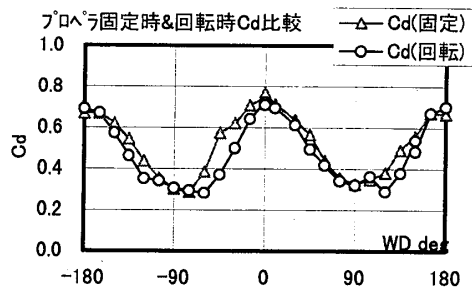


図3 抗力係数の風向角依存性

なお、風洞実験でプロペラ回転状態で確認している最大風速は約 33m/s であり、この風速では特にプロペラに異常は発生していない。

§ 3 回転時にプロペラ基部に生じる応力

耐風性を検討するために風向 0 度の場合についてプロペラ 1 枚を取り出し四角形板要素を用いた幾何学的非線形性考慮を考慮した FEM 解析を実施した。NACA240*系列²の翼厚比 0.034 の断面形とした。主要諸元を下に示す。

	先端	基部
プロペラ半径	25cm	8.5cm
翼弦長先端	15cm	9.6cm
取り付け角	10°	28°

材料(ポリアーボネイト)定数はヤング率 $2.1 \times 10^8 \text{Kgf/m}^2$ ポアソン比 0.3 線形、比重 1.23 とした。プロペラ回転数と風速の関係は風洞実験結果より次式とした。

$$RPM = 1806 \cdot V - 63.6 \quad \text{Eq. (2)}$$

但し、RPM：プロペラ回転数 V：風速

荷重は遠心力とプロペラ面への垂直圧力(実験結果よりプロペラ 1 枚に作用する抗力荷重の均等分布)とした。

解析精度確認の目的で、プロペラ固定時の基部に生じる半径方向歪 ϵ_r について測定値と解析結果のキャリブレーションを行った。図 4 にその結果を示す。解析結果はやや歪を大きめに評価しているくらいはあるが両者は概ね対応していると言える。図 5 は風速 50m/s、回転数 8365.RPM (Eq.2)の場合の表面における Von Mises 相当応力分布である。基部付け根で最大となっている。図 6 は風速と最大 Von Mises 相当応力の関係を示している。プロペラ材料の 1 軸引張試験での応力レベル(図 7 参照)も描いてある。この図によれば風速約 41m/s で弾性限界に達し 50m/s で滑り限界に達することになる。図 7 はプロペラ材料の歪応力関係を示した。紫外線劣化促進 3000 時間は約 22 年自然暴露に相当している。ここで解析により示された強度的な耐風性能の確認は今後実施して行く必要がある。

参考文献

- 1)野々村、中山、平原、小林他、建築物を利用した風力発電技術に関する研究(その1)~(その7) AIJ 大会梗概 環境 2001-2003
- 2)NACA 4Digit Data Base

謝辞 本研究の一部は、平成 12 年度革新的技術開発研究推進費補助金(環境分野)、「建築物を利用した風力発電技術に関する研究」(代

表者 川橋正昭教授 埼玉大学)によるものである。研究実施に当たって、埼玉大学の佐藤克典君(当時、大学院生)と藤原 徹君(同卒論生)に多大な協力を得ました。ここに記して謝意を表します

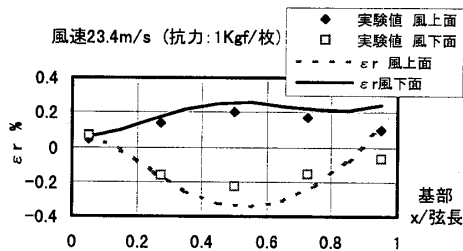


図4 プロペラ固定時の基部歪(半径方向)の解析値との比較 V=23.4m/s

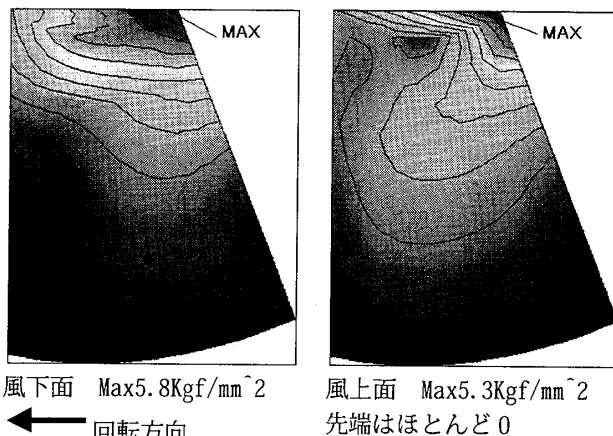


図5 風速 50m/s 時の Von Mises 相当応力分布 風向 0 度

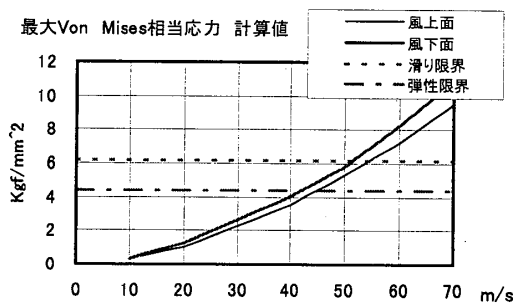


図6 最大 Von Mises 相当応力(計算値)と風速関係 風向 0 度

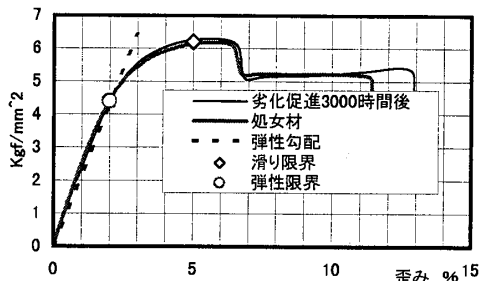


図7 プロペラ材料の応力・歪関係(1 軸引張試験結果)

*1(株)フジタ 技術センター *2 埼玉大学機械工学科 助教授
*3 東京工芸大学 教授

*1 Fujita Corporation, *2 Saitama University
,*3 Tokyo Polytechnic University