

風向急変時に風車に作用する風荷重の特性の一検討

九州工業大学大学院 学生員 ○才木 孝裕

九州工業大学大学院 学生員 (研究当時) 松田 三央子

九州工業大学 正会員 木村吉郎 フェロー 久保喜延 正会員 加藤九州男

1. はじめに

近年我が国でも、風車の増加及び大型化に伴い強風によるタワーの倒壊や翼の破損などの問題が表面化しており、安全性・経済性の面から風車の耐風性を確保することは必要不可欠である。しかし、風向の急激な変化により生じる空気力特性については十分考慮されていない。本研究では、風向の急激な変化時に風車に作用する空気力特性を明らかにすることを目的とし、風向変動風洞を用いて風車模型に作用する風荷重を測定した。風車の設計用風荷重はロータ静止時（設計で設定する最大風速時の風荷重）とロータ回転時（地震荷重と組み合わせた風荷重）が考えられるが、本研究ではまずは風荷重に重点を置くこととし、ロータ静止時の実験を行った。

2. 実験概要

実験には、九州工業大学で試作した風向変動風洞¹⁾を用いた。風向変動風洞は放射状に設置した16個の風路で構成されており、①～⑧は流入風路、⑨～⑬は流出風路である。図1に風車模型を示す。風向変動風洞の風

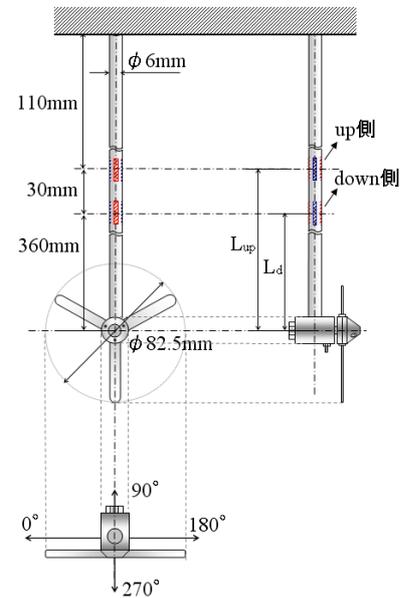


図1 風車模型のゲージ位置と角度の定義

路幅が195mm、高さが150mmと小さく、その中に設置するために、風車模型のブレードの大きさはナセルやハブの大きさと比べて小さなものとしている。縮尺は、中規模風車（駒井鉄工 KWT300）の約1/400である。風車模型は直径6mmのステンレス棒で片持ち支持した。風車軸から支持点までの距離は450mmで、最低次の固有振動数は約14Hzである。

風車模型に作用する空気力は、支持点から110mm及び140mmの位置で支持棒に貼付した半導体ゲージと動ひずみ計により測定した。半導体ゲージはそれぞれの位置に4枚ずつ、図1の0°、90°、180°、270°の角度で貼付し、2ゲージ法に基づいて0°-180°と90°-270°方向の曲げひずみを測定し、キャリブレーションに基づいてそれらから曲げモーメントの大きさと作用方向を求めた。

模型風車のハブの設置位置（風路高さの中心位置）での乱れ強さは14%で、風速は $U \approx 3\text{m/s}$ とし、サンプリング周波数500Hzで風向変化前後の60秒間測定した。測定データにはノイズがやや大きかったため、50点の移動平均をとったものを示している。

実験ケースは、表1に示す通常運転時とフェザリング時で風車の設置向きを図2に示す(a)と(b)の2パターン設定し、風向変化のケースを表2に示す6パターンについて実験を行った。また、風向が定常なケースでは2回、67.5°風向変化させたケースでは5回同じケースでの測定を繰り返し、再現性を検討した。

表1 実験ケース

	翼の向き	風の向き
ア.通常運転時		(a)正面
		(b)横風
イ.フェザリング時 (ロータ回転をピ スで固定)		(a)正面
		(b)横風

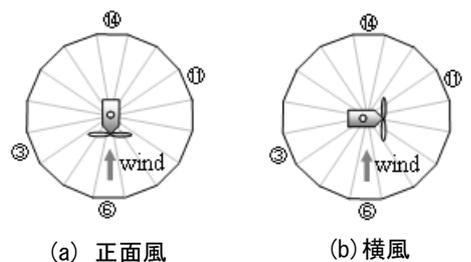


図2 風車設置向き

表2 風向変化のパターン

ケース	使用する風路	風向変化	繰返し数
1	⑥-⑭	定常 (風向変化なし)	2回
2	③-⑪		
3	⑥-⑭→③-⑪	1回風向変化	5回
4	③-⑪→⑥-⑭		
5	⑥-⑭→③-⑪→⑥-⑭	往復風向変化	
6	③-⑪→⑥-⑭→③-⑪		

キーワード 風向変化, オーバーシュート, 風車, 耐風設計

連絡先: 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学 TEL 093-884-3466 FAX 093-884-3100

3. 実験結果と考察

風向変動風洞では風向は約 0.45 秒で急変させることができる。図 3 に示したモーメント時刻歴の例を見ると、風向変化させた 30 秒付近でオーバーシュートの発生が見られた。オーバーシュートの特性の指標としてオーバーシュート係数 C を次式で定義する。

$$C = \frac{M_{peak} - \overline{M}_{after}}{\overline{M}_{after}}$$

ここで、 M_{peak} ：風向変化時のモーメントのピーク値、 \overline{M}_{after} ：風向変化後のモーメントの平均値である。

1 回の風向変化させたケース 3, 4 の 50 回の試行のうち、33 回については負のオーバーシュート係数 ($C < 0$) であった。以下ではこれらのケースについて、オーバーシュートの正負の特性について検討する。フェザリング時のケース 3, 4 について、オーバーシュート係数を図 4 に示す。正面風と横風を受ける場合の両方において、風向が⑥→③に変化するケース 3 と、③→⑥に変化するケース 4 でオーバーシュート係数の正負が逆になった。フェザリング時、横風のケースのモーメント時刻歴を見ると (図 5)、風向変化前後でモーメントが小から大に変化するときは、 $C > 0$ 、モーメントが大から小に変化するときは $C < 0$ となっており、モーメントの平均値の大小がオーバーシュート係数の正負と対応している。一方、モーメントの平均値にほとんど差がないのにケース 3 と 4 でオーバーシュート係数が逆となる場合 (図 6) もあった。オーバーシュートの正負が決まる要因については、さらに検討が必要と考えられる。

参考文献 1) 中島, 豊田, 木村, 久保, 加藤: 土木学会全国大会第 63 回, I-289, 2008.

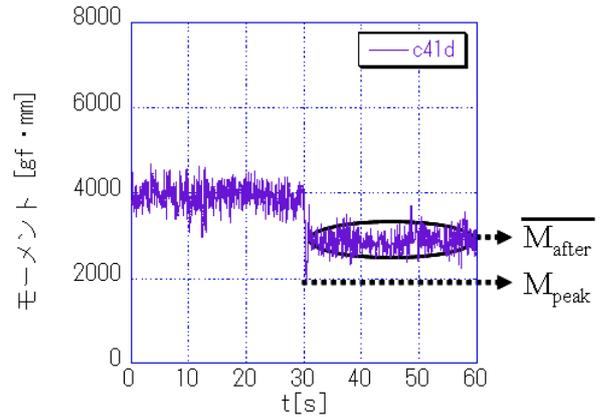


図3 モーメントの時刻歴 (ケース3)

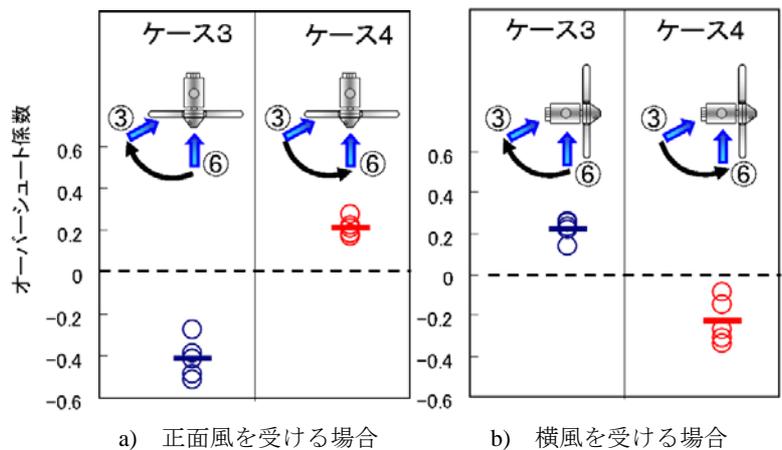


図4 フェザリング時のオーバーシュート係数

(○: オーバーシュート係数 —: オーバーシュート係数の平均値)

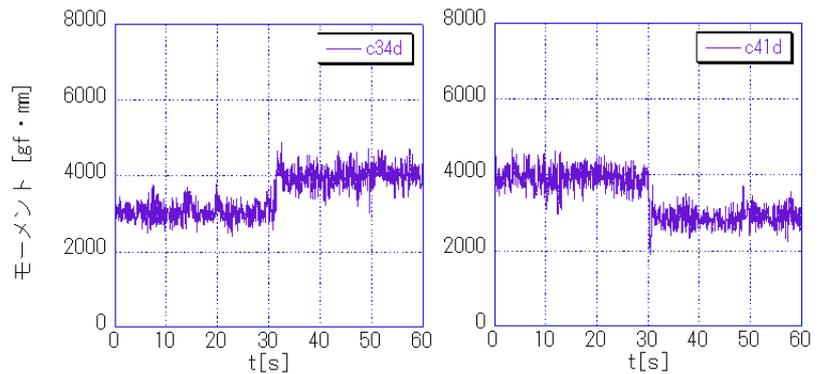


図5 モーメントの時刻歴 (フェザリング, 横風)

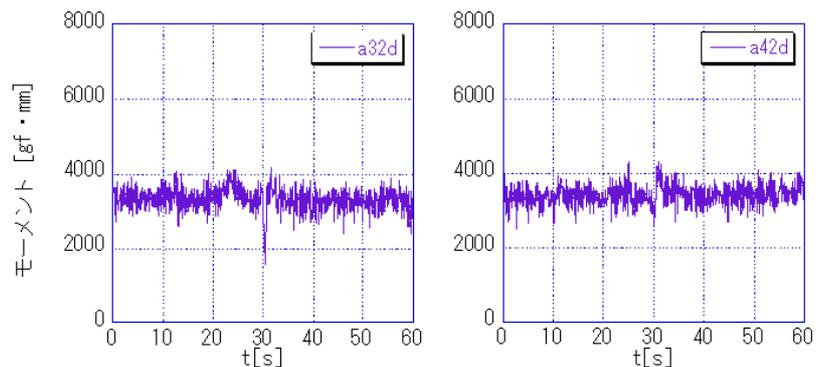


図6 モーメントの時刻歴 (フェザリング, 横風)