

風向急変時に風車に作用する風荷重の特性解明に関する研究

九州工業大学大学院 学生員 ○松田 三央子

九州工業大学 学生員 才木 孝裕

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洞²⁾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14.0Hz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作用方向とその大きさを求めた。

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。

実験ケースは、風車の設置方向を図2に示すケースa～dの4パターン、風向のケースを表1に示す6パターン、計24ケースについて実験を行った。風向が定常なケースでは2回、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。

キーワード：風車、風荷重、風向変化、オーバーシュート

連絡先 〒804-0092 北九州市戸畑区仙水町1-1 TEL093-884-3466 FAX093-884-3100

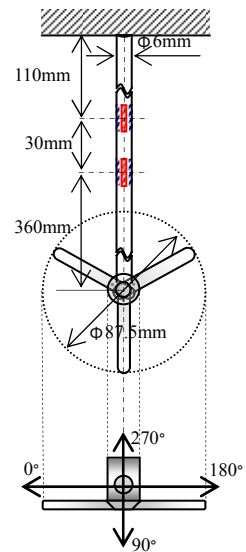


図1 風車模型の緒言と角度の定義

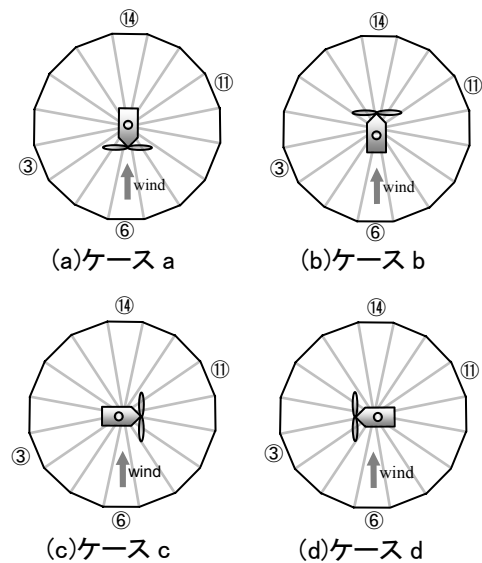


図2 実験ケース

表1 風向変化パターン

ケース番号	使用する風路	風向状態	繰返し回数
1)	⑥-⑭	定常 (風向変化なし)	2回
2)	③-⑪		
3)	⑥-⑭→③-⑪	67.5°の風向変化	5回
4)	③-⑪→⑥-⑭		
5)	⑥-⑭→③-⑪→⑥-⑭	67.5°の往復風向変化	
6)	③-⑪→⑥-⑭→③-⑪		

3. 実験結果と考察

支持点から 110mm の位置と 140mm の位置のひずみとそれらの点回りのモーメント M_{up} , M_{down} の関係をキャリブレーションにより求めておき動ひずみ計の出力から作用しているモーメント及び作用する方向 θ_{up} , θ_{down} を求めた. なお, 測定データに含まれる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以下では示している.

3.1 風向変化を急変させた場合の空気力の時刻歴

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. ケース a について, 風向を急変させた時に作用するモーメントとその作用角度の時刻歴を図 3~図 6 に示す. 図 3, 図 5 は風向変化させる前の風向きが翼に垂直に当たるケースで, 図 4, 図 6 は風向変化前の風向きがロータに斜めに当たるケースである. いずれのケースにおいても風向変化時に定常状態とは異なる空気力が作用するオーバーシュートが生じることが多かった. 図 3 と図 4 はケース a-3, a-4 でオーバーシュートが生じたものであり, オーバーシュートの大きさは a-3 のケースの方が大きい傾向にあった. さらに, 風向を 0.35 秒間だけ変化させてまた元に戻す「往復の風向変化」をさせたケース a-5, a-6 (図 5, 図 6) でもケース a-3, a-4 と同様にオーバーシュートが見られた. モーメントの作用方向のオーバーシュートについては, 往復の風向変化においての方が観測される割合が高く, ケース a-3 と a-4 では, それぞれ 0 回と 2 回であるのに対し, a-5, a-6 では 5 回で見られた. なおオーバーシュートの大きさは同じケースでも測定毎に大きく変化しておりその一般的な傾向についてはさらに検討していく必要がある.

3.2 風車模型の設置方向の違いの影響

ケース a~d の各モーメントのオーバーシュートが生じる頻度は, それぞれ 30/40 回, 33/40 回, 34/40 回, 28/40 回とほぼ同じ頻度で生じている. また, モーメントの作用方向のオーバーシュートについても, 27/40 回, 29/40 回, 25/40 回, 23/40 回とほぼ同頻度で生じている.

4. まとめ

風向変動風洞を用いて, 急激な風向変動時に風車に作用する空気力と特性を測定した風向急変時に, 定常状態とは異なる空気力のオーバーシュートが見られた. その特性についてはさらに検討していく予定である.

参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会: 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説, 土木学会, 2007
- 2) 中島, 豊田, 木村, 久保, 加藤: 土木学会全国大会第 63 回, I-289, 2008.

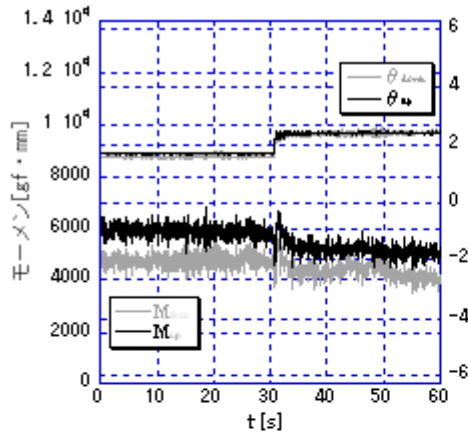


図3 ケース a-3

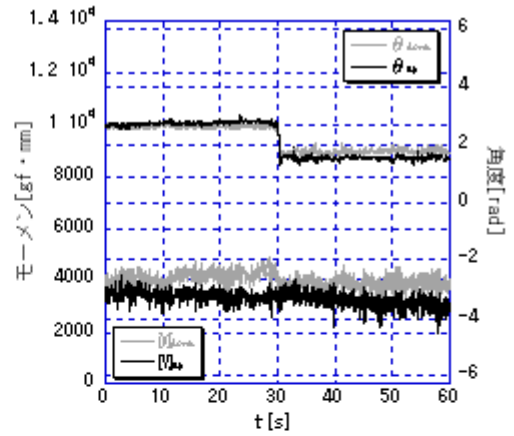


図4 ケース a-4

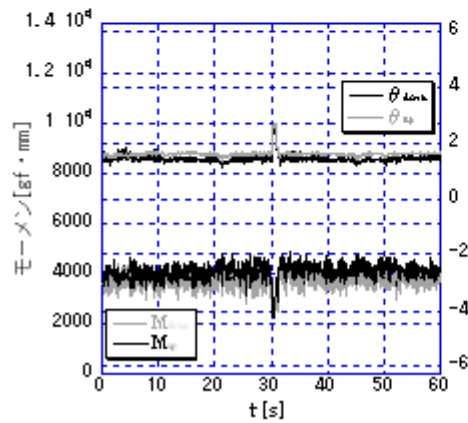


図5 ケース a-5

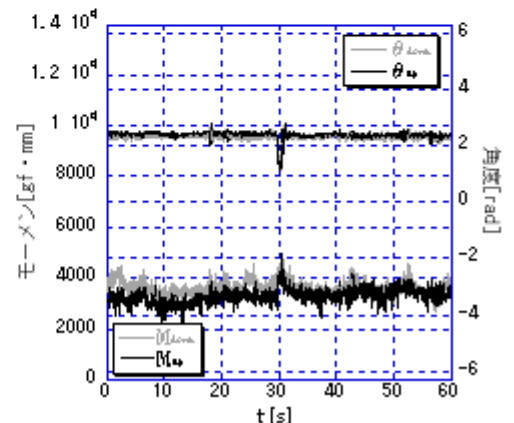


図6 ケース a-6