

実風車における現地観測とその振動特性に関する一考察

○ 東京大学 学生会員 Pham Van Phuc
 東京大学 正会員 石原 孟
 東京大学 フェロー会員 藤野 陽三
 東京電力 正会員 福本 幸成

1. はじめに

近年、新エネルギーの導入促進により風力発電設備が急速に増えている。一方、風力発電設備の被害も報告され、風車の耐風安全性の向上が緊急の課題となっている¹⁾。風車を設置する際には、風車のタワーと基礎に作用する風荷重を厳密に評価する必要がある。しかし、風車のブレード、ナセル、制御機構などに関する詳細データはメーカーの秘密事項となっているため、風車の耐風設計に必要な情報が不足しているのが現状である。また、日本においては実風車の挙動に関する観測例が少なく、風車の固有振動数、構造減衰については不明な点が多く残されている²⁾。

本研究では、500kW ピッチ制御の風車を対象に風向・風速、ナセルの方位、ローター回転数、タワー頂部の応答加速度、タワー脚部の動歪みの計測を実施し、応答加速度の観測データに基づき風車の固有振動数、構造減衰を推定するとともに、固有値解析により風車の固有振動数を求め、観測から得られた振動数との比較により風車の振動特性を明らかにする。

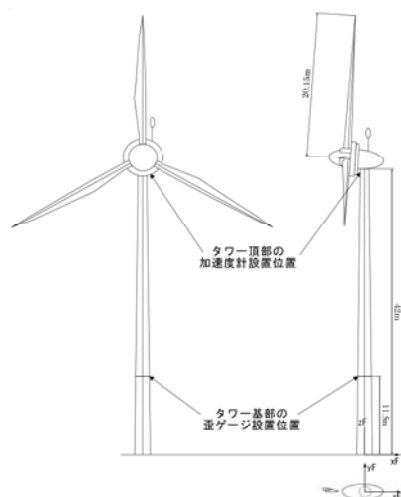


図1 風車の全体図と計測機器の設置位置

2. 現地観測の概要

現地観測は八丈島にある東京電力が所有する 500kW 風車を対象に、2004 年 5 月 12 日から 2005 年 3 月 7 日にかけての 10 ヶ月にわたり実施した。図 1 には風車の全体図と各計測装置の設置位置を示す。観測項目は風車ナセル方位、ローター回転数、風向・風速、風車タワーの頂部(40.1m)における応答加速度、タワー脚部(11.5m)における動ひずみ変位である。加速度の計測には 2 台のサーボ型加速度計(サンシステム SS-500)を採用し、東西と南北方向の応答加速度を測定するように設置した。また風荷重を評価するためにタワーの基部には東、西、南、北方向のタワー内壁の4個所に圧縮引張用歪みゲージを設置し、動歪み計測を行った。本研究では、紙面の関係で、風車の応答加速度の解析結果のみを示す。

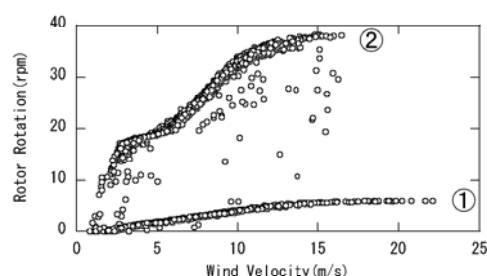


図2 風車ローター回転数の風速による変化

3. 風車の振動特性

3.1 風車の回転数 ピッチ制御風車においては風向の変化を追従するように、ナセルを常に風に正対するように制御されている。本研究では、風の強かった 10 月の観測データを用い、解析を行った。図 2 にはローターの回転数と風速との関係を示す。ローター回転数は風速により変化し、二つの曲線によって近似することが可能である。この二つの曲線はそれぞれ風車の運転時とアイドリング時に対応している。風車の振動特性を調べるために、計測された東西と南北方向の応答加速度をナセル方位に基づき、ナセル方向(X方向)とナセル直交方向(Y方向)に変換した。暴風時には風

キーワード: ピッチ制御風車、回転数、固有振動数、減衰、固有値解析

連絡先 : 〒113-8056 東京都文京区弥生 2-11-16 email:ishihara@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

車が停止し、アイドリングの状態になるため、本研究では回転数の低い観測データを解析した。

3.2 風車の振動数 図3には観測により得られた応答加速度の波形から求めたパワースペクトル密度を示し、0.5Hz、2.0Hz、6.8Hz、8.9Hz付近にははっきりしたピークが見られている。低い振動数0.5Hzと2.0Hzは風車タワーの1次固有振動数と風車ブレードの1次固有振動数に対応し、その他の振動数はブレード、タワーの高次固有振動数、又はブレードとタワーとの連成振動モードの固有振動数に対応していると思われる³⁾。

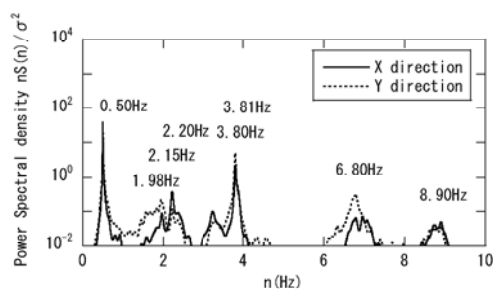


図3 応答加速度のパワースペクトル密度

3.3 風車の減衰 風車の減衰には構造減衰と空力減衰の二つの部分が含まれ、厳密に分けることが難しい。本研究では文献3と同様にRD法を用い、応答加速度から減衰比を求め、ローターの回転数と風速とを一緒に図4に示した。減衰比は風速によりバラツキがあるものの、ナセル方向の減衰比の平均値は約0.5%であるのに対して、ナセル直交方向の減衰比は風速の増大に伴い、大きくなっていることが分かる。風速が増加すると、ローターの回転数とブレードに作用する抗力が増大する。それによりブレードに作用する空力減衰が増大すると思われる。

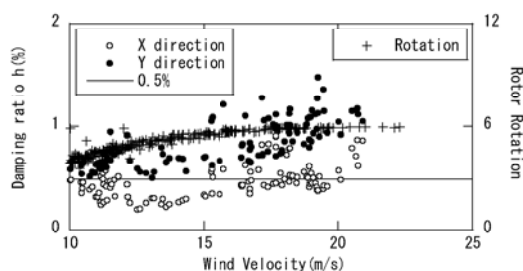


図4 風速による減衰比の変化

4. 風車の固有値解析

風車の固有振動数と振動モードを明らかにするために、文献3と同様、筆者らが開発された多質点風応答解析プログラムを用いて、ブレード(ブレードのみ)、タワー(ブレード、ハブ、ナセルはタワー頂部の集中質量として簡略化)、風車全体(ブレード、ハブ、ナセル、タワーをモデル化)のモデル

を作成し、固有値解析を行った。表1には各モデルの解析結果と観測値との比較を示した。この表から観測により得られた1、2次はタワーモデルの1次モード、3、4、5次モードはブレードの1次モードに対応していることが分かる。また風車全体のモデルは風車の各部分を詳細にモデル化したことにより、観測された風車のすべての振動数を再現することができた。今回の観測では、タワー頂部のみに加速度計を設置したため、固有値解析から得られたすべての高次固有振動数は現地観測データからは見られない。これらの高次固有振動数を観測するため、タワーの中間位置に加速度計を設置する必要があると思われる³⁾。

表1 固有振動数の観測値と予測値との比較

No	観測 (Hz)	固有値解析 (Hz)		
		ブレード	タワー	風車全体
1	0.50	2.19	0.54	0.50
2	0.50	4.73	0.54	0.51
3	1.98	-	4.36	2.10
4	2.15	-	4.36	2.19
5	2.20	-	-	2.20
6	-	-	-	3.26
7	3.80	-	-	3.46
8	3.81	-	-	3.91
9	-	-	-	4.77
10	-	-	-	5.05

5. まとめ

本研究では500kW ピッチ制御の風車を対象に現地観測を行い、実風車の固有振動数及び減衰とローター回転数との関係を明らかにした。また、固有値解析により得られた固有振動数は観測された振動数とよく一致し、風車モデルの妥当性を確立した。今後、観測から得られた歪みデータを解析し、風応答解析の結果と比較することにより、風車フェザリング時における風荷重を評価する。

謝辞 本観測の実施にあたり、サンシステムサプライ(株)岸尚弘氏にご協力を頂いた。ここに記して、謝意を表する。

参考文献 1)石原孟:我が国の風力開発における技術課題と将来展望、電力土木、No.314、pp3-9、2004。2)棚邊隆、他:風力発電設備の動的特性と耐震設計の基礎的考察、NKK 技報、No.177、2002。3)石原孟、他:風力発電設備の風荷重に関する数値的及び理論的研究、その1 実風車における現地観測と風応答解析、日本風工学会誌、Vol.30、No.2、2005。