

風車のドライブレーンモデルの高度化による風応答予測精度の向上

東京大学 学生会員 ○新井 進太郎
 東京大学 学生会員 福王 翔
 東京大学 正会員 石原 孟

1. はじめに

現在風車の状態監視手法として、空力弾性モデルと SCADA データを用いた物が提案されている¹⁾。この手法では、風車の各部分における応答を正確に予測できるモデルが必要になる。従来風車の応答予測には、風車内部のドライブレーン部を低速シャフトと高速シャフトの2つの要素で構成したモデルが用いられ、このシャフトの剛性をシステム同定することによって風応答予測精度の向上を図ってきた¹⁾。しかし、この手法で同定された剛性の値は設計値と異なり、またドライブレーンにおける各部材に作用する荷重を正確に評価出来ない等の問題がある。

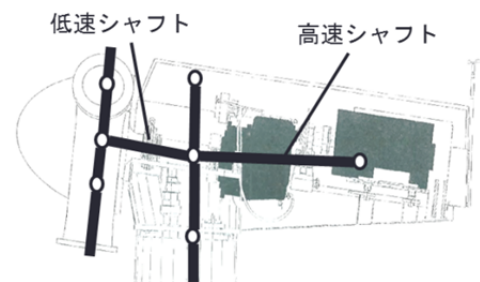
そこで、本研究では、風車のドライブレーンを厳密に再現したモデルを作成し、加速度応答の実測データから求めたパワースペクトルと比較し、モデルの妥当性を検証する。また、作成したモデルを用いて、タワー基部およびベアリング部に作用する荷重を求め、荷重予測におけるモデルの精緻化の効果を定量的に評価する。

2. 解析モデル

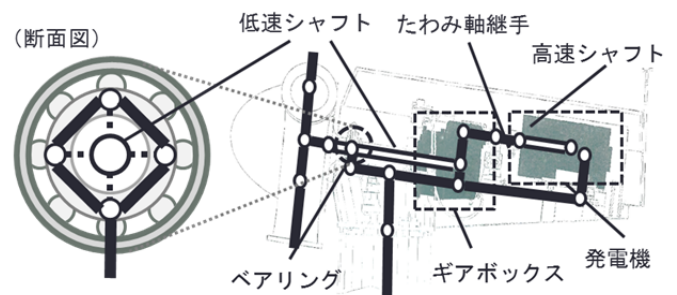
風車の風応答解析には、風車のローター、ドライブレーン、タワーの連成応答解析を行うことが出来る CAsT(Computer-Aided Aerodynamic and Aeroelastic Technology)を用いた²⁾。このプログラムでは、風車に作用する抗力と揚力を、風速と各部材の相対速度を用いて計算することが出来る。また、入力する風速場は WND3D を用いて製作した。

本研究では NEG Micon の 400kW ストール制御型風車に基づいてモデルの製作を行った。風車のブレード、タワー、ドライブレーン部はそれぞれ分散質量とビーム要素によってモデル化をした。この中でも、ドライブレーンの内部に存在するシャフト、ベアリング、発電機等といった各種部材は、風車の

高次モードの振動数に大きな影響を与える。既往研究では、図 1(a)のように、ドライブレーン部を2本のシャフトで再現していた。このモデルを Initial Model とする。本研究では図 1(b)のように低速シャフト、高速シャフトに加え、低速シャフトを支えるベアリング、ギアボックスと発電機を接続するたわみ軸継手、ドライブレーン全体を支持する床を表す要素を追加し、実構造を再現したモデルを製作した。これらの各要素の寸法・剛性は設計図より求められる値を利用した。新しいモデルを Updated Model と呼ぶ。



(a) 従来のドライブレーンモデル (Initial Model)



(b) 精緻化したドライブレーンモデル (Updated Model)

図1 ドライブレーンのモデル化

また、ベアリング部は、シャフトの変位を拘束する必要があるため、図 1(b)の断面図にあるモデルで再現した。太線が剛な要素、点線が弾性体の要素を表しており、シャフトの軸方向・軸回転方向の運動を許容しつつ、シャフト軸直交方向の運動を拘束した。このベアリングモデルでは、シャフトがベアリ

キーワード 風車, 風応答解析, ドライブレーン, 空力弾性モデル, モニタリング

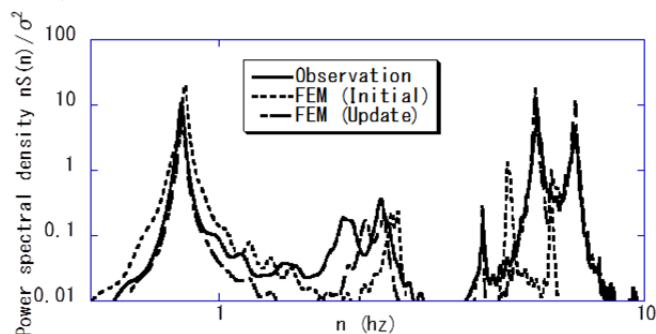
連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 03-5841-1146

ングに作用する荷重を評価することが出来る。これと同様に可動部の一つであるたわみ軸継手に関して、詳細にモデル再現をした。

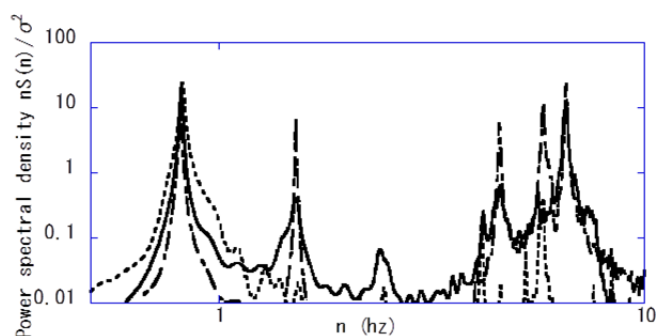
3. モデルの精度検証

3. 1 加速度の予測

本研究のモデルを用いて風応答解析を行い、実際に観測して得られたデータと比較してモデルの精度を検証した。今回対象とした風車は宮古島狩俣にある 400kW ストール制御型風車で、風車タワー頂上 (35.1m) と 2/3 高さ (26.4m) に設置された加速度計のデータを用いた。その中でも特に風の強かった 2004 年 1 月 21 日午前 3 時 40 分から 3 時 50 分までのデータを用いてモデルの精度を検証した。風応答スペクトルは、最大エントロピー法 (MEM) により求めた。図 2 に、風車 2/3 高さにおける加速度応答の、観測値と解析結果の比較を示す。モデルの精緻化により、従来再現できていなかったピークが再現でき、高次モードの振動数の精度も向上した。



(a) ナセル軸方向



(b) ナセル軸直交方向

図 2 風車 2/3 高さにおける加速度応答の、観測値と解析結果の比較

3. 2 荷重の予測

次に、タワー基部に作用するモーメントと低速シャフト部に作用するせん断力を評価した。解析には、風速 12m/s 以上の観測データを対象とし、風速の異なる 10 ケースのシミュレーションを行った。図 3 と

図 4 には、それぞれの荷重予測結果を示す。タワー基部に作用するモーメントの最大値の予測精度が従来のモデルと比べて向上していることが分かる。一方、シャフトに作用するせん断力は、平均値に関しては 2 つのモデルが同じ値を示すが、最大値に関しては従来モデルの過小評価が改善されていることが分かる。

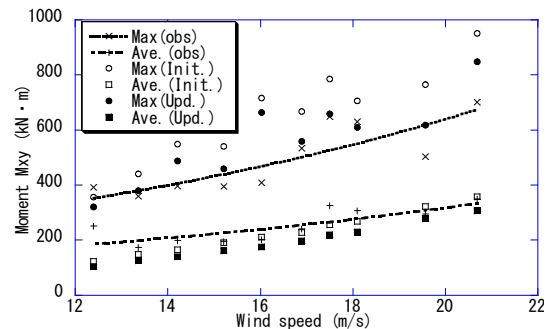


図 3 風車タワー基部に作用する転倒モーメントの解析結果の比較

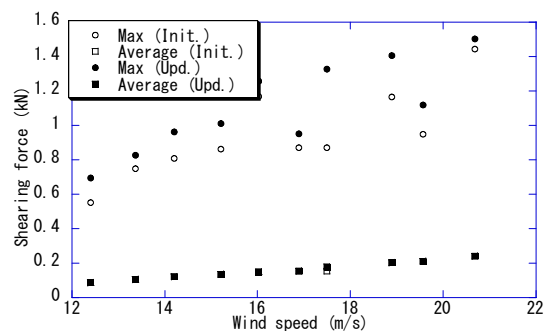


図 4 低速シャフト部に作用するせん断力の解析結果の比較

4. まとめ

本研究ではドライブトレイン部を厳密に再現した風車モデルを作成し、以下の結論を得た。

- (1) 加速度の予測値は観測値とよく合致し、これまで再現が出来なかったピークも再現出来た。
- (2) 従来モデルに比べ、タワー基部の転倒モーメントの最大値の予測精度が向上し、シャフトに作用するせん断力の最大値の過小評価が改善された。

参考文献

- 1) 石原孟, ユン・ジェソン, 福王翔: SCADA データと空力弾性モデルを用いた風力発電設備の風応答の予測, 第 22 回風工学シンポジウム論文集, pp.281-286, 2012
- 2) 石原孟, ファバンフック, 高原景滋, 銘苅壮宏: 風力発電設備の風応答予測に関する研究, 第 19 回風工学シンポジウム論文集, pp.121-126, 2006