

ピッチ制御とロータ重心偏差を考慮した洋上風力発電設備の荷重評価

東京大学大学院工学系研究科 総合研究機構 正会員 ○山口 敦
 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 正会員 石原 孟

1. はじめに

2013年には風車の重大事故が3件発生しており、今後風力発電設備を安全に運転していくために、状態監視システム(Condition Monitoring System—CMS)が求められている。いくつかのモニタリング手法が提案されているが、その中でも物理モデルに基づくモニタリングは、風車に標準的に搭載されているセンサのみを用いてモニタリングが可能という長所を有している。この手法では、ナセルで計測された風速に基づき、風車の動解析を実施し、風車各部に作用する荷重の時系列を推定する。この手法を用いるために、風車の高精度なモデル化が重要である。

本研究では、東京電力(株)と新エネルギー産業開発機構が所有する定格出力 2.4MW の洋上風車を対象に、風車制御モデルとロータの重心偏差がタワー基部モーメントの応答に与える影響を明らかにし、実測値を用いて検証した。

2. 風車のモデル化

図1に本研究で用いた風車の概略図を示す。本風車は洋上風車であるが、剛性の高い重力式基礎上に設置されているため、風車タワーに波荷重による影響をほとんど受けず、陸上風車と同様の動的特性を持っていると考えられる。風車タワーの各高度において加速度計による水平加速度と、ひずみゲージによるタワーモーメントの計測が行われている。

本研究では、タワー基部モーメントを推定するために、GH Bladed 4.4 を用いた。GH Bladed はモーダル法を用いているが、本研究では、ブレードは2次モードまで、タワーは主軸方向・主軸直角方向ともに3次モードまでを考慮した。ブレードは1次モードの固有周期が実測と一致するようにモデル化し、タワーは実際のタワー断面形状と梯子・フランジ等の集中質量を用いてモデル化した。減衰比については、加振実験[1]から求めたタワー1次モード・2次モードの減衰比を用いた。

ロータのモデル化に際し、重心偏差を考慮するために、追加質量を追加した。実際の3枚のブレードはわずかに重量が異なるため、ロータの重心はハブ中心からわずかにずれる。表1に3枚のブレードの重心移置と重量の実測値と、それから求めたロータ重量とロータ重心位置を、モデル化したブレードの重量・重心位置とともに示す。3枚のブレードが等しいと仮定して求めたロータの重量と重心位置は実際のものと異なる。本研究では、32kkg の付加質量をロータちゅうしんから 3.204m の位置に追加することによりロータ重心位置と重量を実測値と一致させるようにした。この重心偏差の考慮がタワー基部モーメントに与える影響に

ついては、3節で議論する。

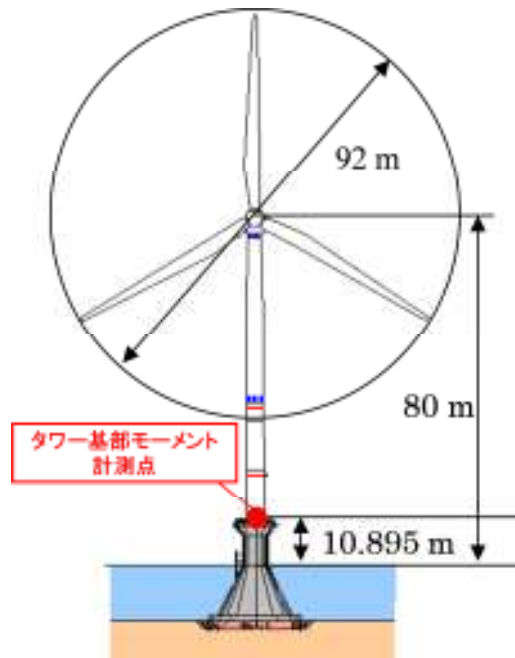


図1 本研究で対象とした風車

表1 各ブレードの重量と重心位置

項目		実機	モデル	
			重心偏差 考慮せず	重心偏 差考慮
ブレード1	重量(kg)	10,108	10,000	10,000
	重心(m)	14.378	12.43479	12.43479
ブレード2	重量(kg)	10,138	10,000	10,000
	重心(m)	14.297	12.43479	12.43479
ブレード3	重量(kg)	10,082	10,000	10,000
	重心(m)	14.297	12.43479	12.43479
付加質量	重量(kg)	---	---	328
	重心(m)	---	---	3.204
ロータ全体	重量(kg)	30,328	30,000	30,328
	重心(m)	0.034662	0.00	0.034662

風車制御モデルは風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[2]に従った。なお、ピッチ角制御においては、式(1)に示すゲインスケジューリングを適用した。

$$\kappa = \min \left(\frac{1}{\frac{\xi}{K_{out}} + (1 - \xi)}, 1 \right) \quad (1)$$

ここで、

$$\xi = \frac{\theta - \theta_{Des}}{\theta_{Out} - \theta_{Des}}, \theta_{Des} = 4.5 \text{deg}, \theta_{Out} = 90.0 \text{deg}$$

キーワード 洋上風力発電設備, ピッチ制御, ロータ重心偏差, 荷重

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 03-5841-6217

$$K_{out} = 1/3$$

であり、 θ はピッチ角である。なお、比較のために、ゲインスケジューリングを適用しないケース($\kappa = 1$)の解析を行い、比較を行った。この結果については3節において述べる。

3. ピッチ制御がタワー基部の荷重に与える影響

前節で述べたピッチ制御が、風車タワー基部モーメントに与える影響を明らかにするために、図2に主軸方向のタワー基部モーメントの平均値と最大値を風速別に示す。

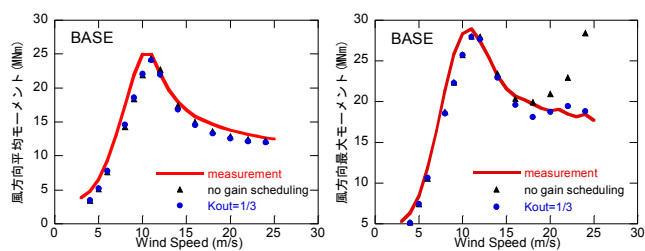


図2 主軸方向タワー基部モーメントの平均値と最大値

平均値に関してはゲインスケジューリングを使用した場合と使用しない場合で違いが見られないが、ゲインスケジューリングを使用しない場合に風速 20m/s 以上の高風速域においてモーメントを大幅に過大評価していることがわかる。また、ゲインスケジューリングを使用した場合には、解析値と実測値がよく一致していることがわかる。

4. ロータ重心偏差の影響

2節で述べたロータ重心偏差のモデル化の違いが解析結果に与える影響を明らかにするために、両方のモデルを用いて主軸直角方向のタワー基部モーメントの解析を行った結果を実測値とともに図3に示す。

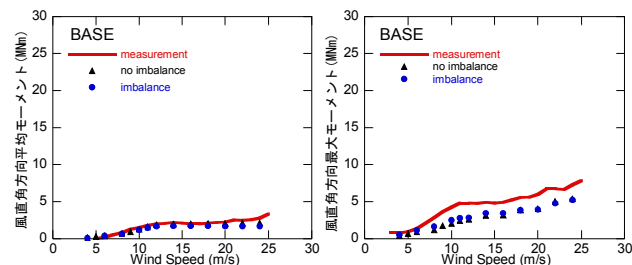


図3 主軸直角方向のタワー基部モーメントの平均と最大値

平均値については、どちらのモデルも実測とほぼ同じ値を示すが、最大値については風速 10m/s 付近でロータの重

心偏差を考慮した場合により実測値に近い結果が得られている。このことをもう少し詳しく見るために、平均風速が 8m/s の時のタワー基部モーメントのパワースペクトル密度の実測値と解析値を比べたものを図4に示す。ロータ重心偏差を考慮することにより、ロータ回転に関する周期のピークが正確に再現されるようになったことがわかり、このことが標準偏差と最大値の過小評価の改善につながったと考えられる。

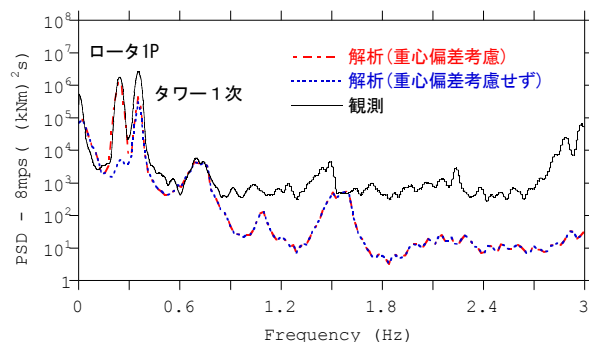


図4 主軸直角方向のタワー基部モーメントのパワースペクトル密度

5. 結論

本研究では、動解析モデルを用いて、風車の発電時と停止時に作用する荷重を評価し、観測データにより検証した。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 風車のピッチ制御においてゲインスケジューリングを考慮することにより、風車主軸方向のタワー基部モーメントの最大値を精度よく再現できる。
- 2) ロータの重心偏差を考慮することにより風車主軸直角方向のタワー基部モーメントの最大値の予測精度が向上する。

謝辞：本研究は NEDO 新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託研究の一部として行われた。また本試験の実施にあたっては、東京電力(株)と三菱重工業(株)に協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献 [1] 山口敦ほか：常時微動と強制加振試験に基づく洋上風力発電設備のシステム同定，風力エネルギー利用シンポジウム，2013. [2] 土木学会：風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[2010年版]，2010.