

風車発電時に支持構造物に作用する風荷重の予測と実測による検証 Load estimation of a wind turbine support structure during operation and validation

山口 敦¹⁾ プラサンティ ウィディヤシ サリ²⁾ 石原 孟³⁾
Atsushi Yamaguchi¹⁾ Prasanti Widyasih Sarli²⁾ Takeshi ISHIHARA³⁾

1. はじめに

風力発電設備支持物の設計においては、発電時の荷重は最も重要な荷重ケースの一つである。風車は発電出力を一定にするためのピッチ制御を行うため、最大風速時に必ずしも最大荷重とはならず、支持構造物の部位により最大荷重となる風速が異なるという特徴がある。

本研究では、発電時に支持物に作用する荷重を再現するための風車のモデルを作成し、実測により検証を行うとともに風車タワー各部に作用する荷重の特性を明らかにする。

2. 風力発電設備の荷重シミュレーションモデル

本研究では応答解析ソフトウェア、GH Bladed を用いて図1に示す銚子沖風力発電設備を対象として応答解析を行った。

乱流強度は IEC61400-1¹⁾に規定されているモデルを用い I_{ref} は観測値に基づき 7%を用いた。乱流の乱流統計量は IEC61400-1 Annex C¹⁾に規定されている Kaimal スペクトルを用いた。平均風速の鉛直分布としては $\alpha = 0.15$ のべき則を用いた。

風車タワーは断面2次モーメント、断面積および質量が実際の筒身と一致するようにモデル化した。また、塔内の踊り場や梯子などの付属物や、フランジは集中質量としてタワー質量に加えた。また、タワーの1次および2次の構造減衰は実測²⁾から求め、3次の構造減衰はレイリー減衰を仮定して推定した。ブレードは、標準風車モデルを参考に、1次固有周期が実測と一致するように断面2次モーメントを微修正した。ブレードのねじり角、コーン角については実際の風車の値を用いた。ピッチ制御とトルク制御のモデルについては、吉田³⁾に従った。

3. 実測による検証

前章で構築したモデルを検証するために、銚子沖洋上風力発電設備における実測データを用いて、検証を行った。

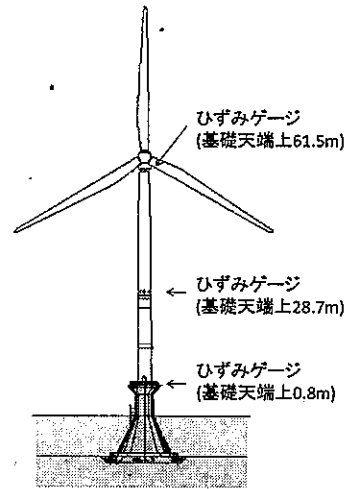


図1 本研究で対象とした風車

図2には平均風速別の風方向のタワー基部モーメントの平均値を示す。ピッチ制御が始まる定格風速以降で荷重が減少していることが再現されていることがわかる。

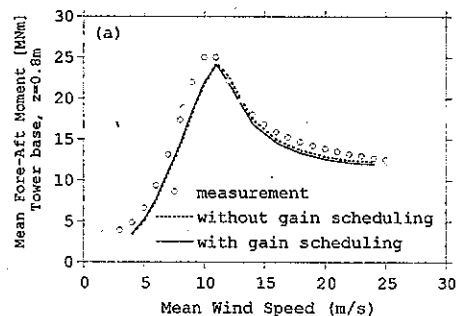


図2 タワー基部風方向曲げモーメントの平均値

図3には風車のタワーの各高さにおける風方向モーメントの最大値を示す。風力発電設備に作用する最大荷重は乱流場により大きな影響を受ける。このため、シミュレーションにおいては、各平均風速ごとに35種類の異なる乱流シードを用いてそれぞれ10分間の解析を行い、35ケースの最大値の平均値を取ることにより、各風速別の最大荷重とした。また、観測値については4か月間の観測データから、風速階級別に10分間の最大荷重の平均値を求めた。

1) 東京大学大学院工学系研究科 講師
Assistant Professor, The University of Tokyo
2) 東京大学大学院工学系研究科 大学院生
School of Engineering, The University of Tokyo

3) 東京大学大学院工学系研究科 教授
Professor, The University of Tokyo

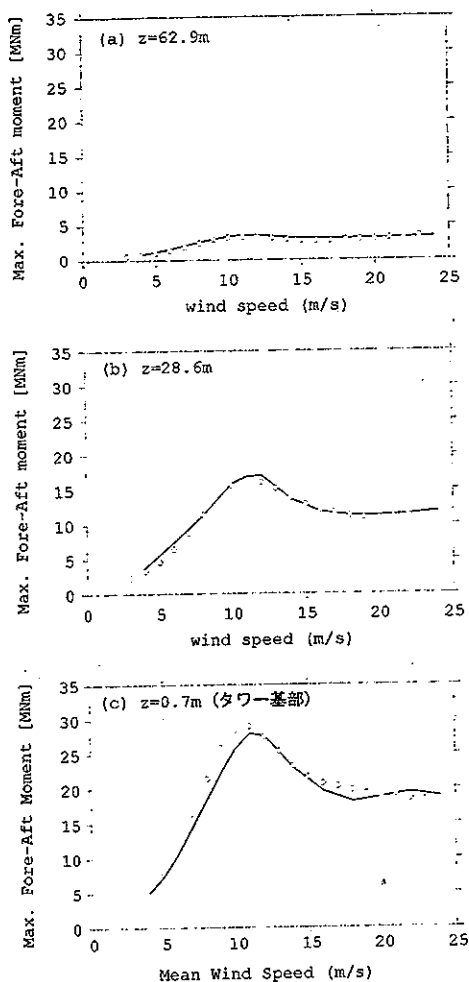


図3 タワー各高度に作用する風方向曲げモーメントの最大値

風方向の曲げモーメントは高度が高くなるにつれ値が小さくなるが、平均風速別の分布特性は高度によって異なる。タワー基部では定格風速時にモーメントの最大値が発生するが、タワー頂上ではカットアウト風速時にモーメントの最大値が発生する。これは、タワー基部と頂上ではモーメントの成因が異なることにより説明できる。タワーに作用する曲げモーメントは、風車ロータに作用するスラスト力とモーメントに起因する成分に分けられる。ロータに作用するモーメントはタワーの上から下までそのまま伝わるため高さによって変化しないが、スラスト力により発生するモーメントは高さの効果が影響するため、タワー基部に近づくにつれ大きな値を示す。このため、風車タワー頂上においては、風車ロータに作用するモーメントが支配的である一方で、風車基部ではスラスト力に起因するモーメントが支配的であると考えられる。風車ロータに作用するモーメントはカットアウト風速時に最

大となるが、スラスト力は定格風速付近で最大となるため、風車タワー頂上においては、カットアウト時に荷重が最大となる一方で、風車タワー基部においては定格風速付近で荷重が最大になることがわかる。

まとめ

本研究では、銚子沖洋上風力発電設備を対象として、荷重シミュレーションを行い、風車発電時のタワーの荷重特性を明らかにするとともに、実測データを用いて検証を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 風力発電設備の支持構造物に作用する荷重を精度よく再現可能なモデルを構築し、シミュレーションにより求めた風方向のモーメントが実測値と一致することを示した。
- 2) 風方向のモーメントは、タワーの大部分で定格風速時に最大荷重となるが、タワー頂上ではカットアウト風速時に最大荷重となる。これは、タワー頂上ではカットアウト時に最大荷重となるロータに作用するモーメントが支配的であるのに対し、それ以外の場所では、定格風速時に最大荷重となるロータに作用するスラスト力が支配的であるためである。

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実施したものである。また、風車観測に当たっては、東京電力(株)および鹿島建設(株)に協力を頂いた。また、風車のモデル化に際しては三菱重工業(株)に協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) IEC61400-1 Edition 3, Wind turbines - Part 1: Design requirements, 2005.
- 2) 山口敦, 福王翔, 石原孟, 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, 第35回風力エネルギー利用シンポジウム, 264-267, 2013.
- 3) 吉田茂雄, 風車支持物の空力弾性シミュレーションのための可変速・ピッチ制御パラメータ, 風力エネルギー, 33, 4, 104-111, 2009.