

審査の結果の要旨

氏名 プラサンティ ウィディヤシー サルリ

風力発電設備支持物を設置する際には、建設地点における外部環境条件に対して安全であることを示すサイト適合性評価が不可欠である。強風に対する荷重評価方法については多くの研究が行われてきたが、風力発電設備支持物の設計において重要な荷重ケースである発電時最大荷重と疲労荷重に関しては、検証が不十分であるか、風車タワー頂部に適用できないという問題点が残されていた。本論文は、風力発電設備の動解析モデルを構築し動解析を実施するとともに観測データを用いた検証を行い、その結果に基づいて風力発電設備の運転中に風車タワーに作用する発電時最大荷重と疲労荷重の特性を明らかにするとともに、タワー内の全ての位置で発電時最大荷重と疲労荷重を推定するモデルを提案することを目的としている。

まず、銚子沖風力発電設備における観測データに基づき、風車タワーに作用する荷重特性について議論した。銚子沖風力発電設備では風車タワーの3高度においてひずみゲージを用い、タワーに作用するモーメントの計測を実施し、風車 SCADA の運転情報データに基づき、運転時のデータのみを抽出した。抽出したデータからタワーモーメントの各風速別の10分平均モーメント、10分最大モーメント、10分間のモーメント、それぞれのビン平均値を求め、風速の関数として荷重特性を求めた。その結果、風車基部では定格風速付近で最大荷重が生じるが、風車頂部ではカットアウト付近で最大荷重が生じることを明らかにした。これは風車基部ではロータに作用するスラスト力がタワーモーメントの主要因であるのに対し、風車頂部ではロータに作用するモーメントがタワーモーメントの主要因であることによる。

次に、風力発電設備の動解析モデルを構築し、実測データを用いて検証を行った。風力発電設備のタワーは風車メーカーによる詳細図面に基づきモデル化した。ナセル、ブレード、ハブの重量と重心、またブレードのねじり角についても風車メーカーが提供したデータに基づきモデル化した。ブレードの空力特性については従来用いられてきた標準的な風車モデルと同様にモデル化するとともに、ピッチおよびトルク制御のアルゴリズムについては既往の設計指針に基づいてモデル化した。このようにして構築したモデルを用いて風車の動解析を実施するとともに、制御モデルや乱流モデルが風車応答に与える影響について研究を行った。その結果、ピッチ制御モデルとしてゲインスケジューリングを用いない場合には高風速時のタワーの応答を過大評価したが、ゲインスケジューリングを用いることにより応答の最大値の過大評価が改善され、実測とよく一致した。また、乱流のモデルとして、Kaimal モデルを用いた場合と比較して、Mann モデルを用いた方が荷重の平均値の予測精度が向上することがわかった。また、等価疲労荷重と最大荷重の頻度分布についても観測を用いて検証し、観測値とよく一致した。

この結果を用いて、風車発電時最大荷重のモデル化を行った。最大荷重の平均値については、従来のロータに作用するスラスト力やタワーに作用する抗力を考慮するモデルに加え、新たにロータに作用するモーメントを考慮するモデルを提案することにより、タワーの各高度で使用

可能なモデルを構築した。このモデルによって推定したタワー各高度のモーメントは観測値とよく一致した。また、統計的外挿に関しては、計算点と同定した分布関数の間の誤差を用いた新しい収束条件を提案した。この結果、発電時最大荷重の50年再現期待値の変動係数を減少させることに成功した。さらに、従来は50年再現期待値の簡易推定手法として、50年再現期待値と発電時最大荷重の平均値の比が外挿係数としてモデル化されていたが、本研究では新たにそれぞれから平均値を差し引いたものに対する係数を用いることを提案した。従来の外挿係数は乱流強度、年平均風速、風車タワー位置の関数であったのに対し、新たに提案した係数は乱流強度、年平均風速、風車タワー位置にかかわらず単一の値を示すことを示した。これにより、従来と比較してより一般的な50年再現期待値の推定手法を提案した。

最後に、疲労荷重のモデル化を行った。異なる乱流強度、ワイブル分布の形状係数、べき指数、年平均風速が風車タワー各部に作用する等価疲労荷重に与える影響を調べた結果、乱流強度が疲労荷重に与える影響が最も大きく、年平均風速、形状係数、べき指数が疲労荷重に与える影響は比較的小さいことを明らかにした。また、発電時最大荷重とは異なり、タワー内の位置による影響もほとんどないことを明らかにした。これは、疲労荷重に対しては変動荷重が支配的であるが、変動荷重の性質はタワー内の位置には影響されないためである。これらの結果に基づき、疲労荷重を評価する経験式を提案した。

本研究により、詳細な動解析を行わずに風力発電設備支持物のサイト適合性を評価が可能になった。このことから本論文は学術的な価値のみならず実務的な価値も非常に高いと言える。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認める。