

洋上風力発電用構造物の信頼性評価に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院	学生会員	○黒瀬 亮太
鹿児島大学工学部	正会員	河野 健二
鹿児島大学工学部	正会員	木村 至伸

1. はじめに

近年、クリーンエネルギーと言われる自然エネルギーなどを利用した発電の開発が世界各国で進められている。しかし、国土の狭い我が国において、安定した風力エネルギーを活用できる場所は内陸部では少ないのが現状である。我が国で今後さらに風力発電を発展させていくためには洋上へのシフトが必要である。また、海洋環境は自然条件が厳しく、風力に加えて、波力、地震力等の動的外力を受けるため、その特性を評価しておくことが重要になる。本研究では、海洋構造物が動的な外力である地震力を受ける場合についての動的応答解析を行った。ここでは、地震力を受ける場合のタワー部の応答低減を図るため、免震の影響を考慮した動的応答解析を行った。さらに、地震力の不確定性の影響や、部材の物性値が有する不確定性の影響を把握するために、モンテカルロシミュレーションを行い、信頼性指標を用いてその影響を評価した。

2. 解析概要

本研究では、図-1 に示すようなジャケット式風力発電用海洋構造物を解析モデルとして、動的応答特性を評価する。解析モデルは二次元モデルで表し、節点数 89、要素数 178、全幅 138m、全長 90.0m、水深 50.0mである。上載荷重はタワートップにブレードとナセルの質量として 700kN、デッキ部にタワーとデッキの質量として 500kN をそれぞれ載荷させた。各部材は全て鋼材とし、断面は円形中空断面となっている。また免震については、下部構造物上部とデッキ部の間に免震支承として鉛入り積層ゴムを導入した。解析法としては時間刻みを 0.005(sec)として増分法により時刻歴応答解析を行った。ここでの入力地震動はⅡ-Ⅱ-1（表記名：TakaNS とする）を用いている。

3. 応答評価

免震導入時と非免震時との場合の比較をし、応答評価を行った。免震特性値として、目標固有周期 1.5 s、降伏変位 0.01 m、目標変位 0.4m、初期剛性 28930 kN/mとなっている。

図-2 にタワー基部の免震支承における復元力特性を示す。免震支承の履歴によるエネルギー吸収が示されており、構造物に免震支承を導入した効果を確認することができる。

図-3 はタワー頂点における時刻歴応答変位である。非免震時の応答は約 0.35mだったのに対して、免震導入時では約 0.25mと応答が小さくなっており、免震の効果を確認することができる。

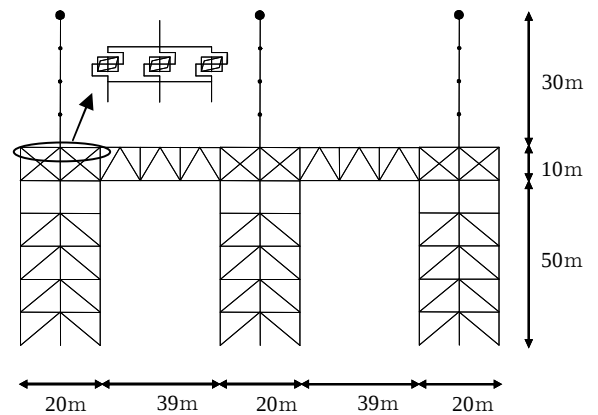


図-1 海洋構造物の解析モデル

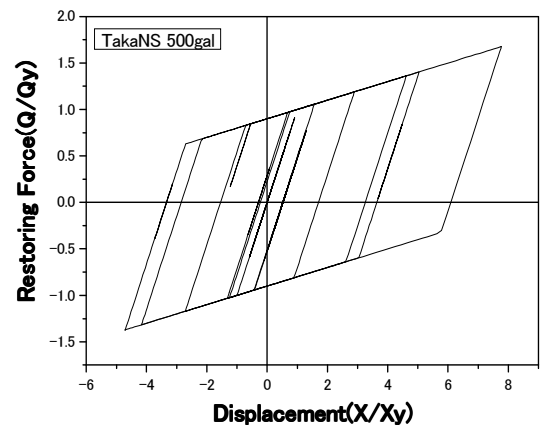


図-2 復元力特性

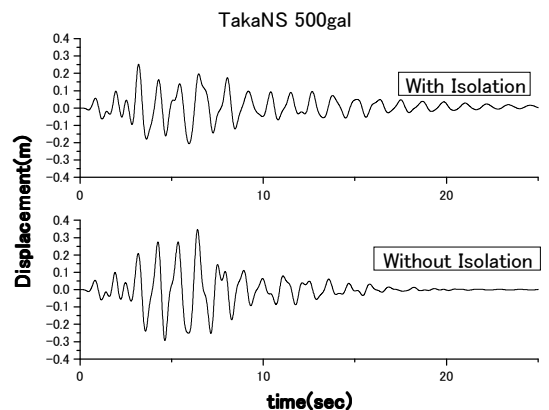


図-3 時刻歴応答変位

図-4は免震導入時と非免震時の主要部材の曲げ応力の最大応答の比較である。タワー基部で最も大きな曲げ応力となっている。免震支承導入により、地震力において最も大きな値を示していたタワー基部での応答が大きく低減しており、免震支承による応答低減の効果が大きいことが分かる。

4. 信頼性評価

本研究では、モンテカルロシミュレーション法を用いて信頼性評価を行った。入力地震動の最大加速度と部材の物性値を不確定要因として考慮した。入力地震動の最大加速度を不確定量とした場合では変動係数を 53%とした対数正規分布で、また、部材の物性値を不確定量とした場合では変動係数10%の正規分布で検討した。ここでは、試行回数を 300 回とし、曲げ応答の許容値を 240MPa とした場合の信頼性指標について示す。ここで、この構造物に対し信頼性指標が 3 以上のとき安全として外力の評価を行うことにする。

図-5は入力地震動の最大加速度を不確定量とした場合のタワー基部の免震導入時、非免震時の曲げ応力応答における信頼性指標を比較したものである。免震導入時では 600gal から 3 を下回っているのに対して、非免震時は 300gal から下回っている。

図-6は部材の物性値を不確定量とした場合のタワー基部の免震導入時、非免震時の曲げ応力応答における信頼性指標を比較したものである。ここで、部材の特性値はヤング率を不確定量としている。免震導入時に比べて非免震時は最大加速度が大きくなると急激に信頼性が低下していることがわかる。

図-7 は入力地震動の最大加速度と材料の不確定量を同時に考慮した場合のタワー基部の免震導入時の曲げ応力応答における信頼性指標である。ここでの部材の物性値は変動係数を 10%としたときのヤング率の最大値 280GPa、平均値 210GPa、最小値 140GPa を示した。この図より、ヤング率が小さい時に信頼性が増加していることがわかる。これは入力地震動の振動特性の影響が大きく表れたものと考ええる。また、ヤング率の増減によって各部材にかかる応力が変化することも要因であると思われる。

5. まとめ

タワー基部の応答低減を図る上で免震支承による効果は大いに期待でき、安全性向上を可能とする際には有用な方法と考えられる。また、構造物の信頼性は不確定要因によって全く異なるため、構造物の設計を行う際にはそれらの影響を明確にしておく必要がある。

参考文献

Kawano, K, et.al: Reliability on Offshore Wind Energy Platform to Dynamic forces ,proc 21st ISOPE , pp. 471-478 , 2011

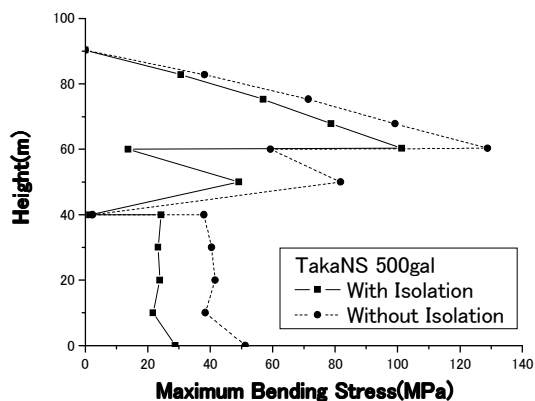


図-4 曲げ応力の最大応答（免震考慮）

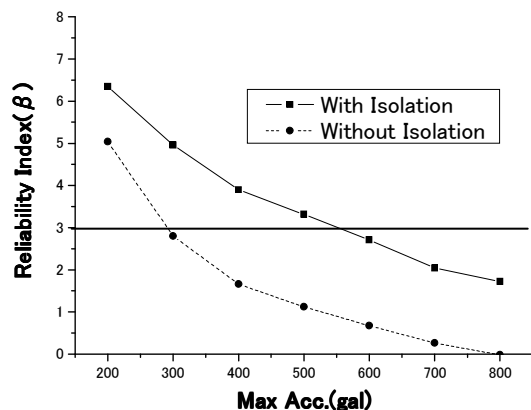


図-5 信頼性指標（最大加速度）

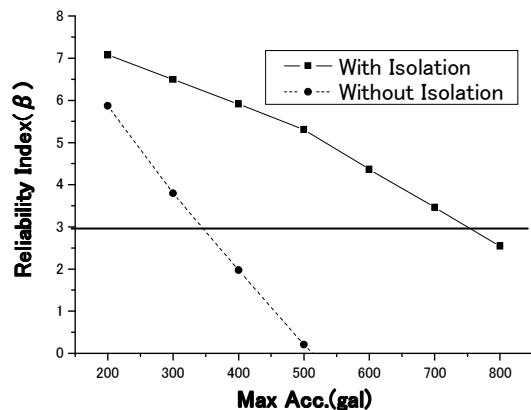


図-6 信頼性指標（部材の物性値）

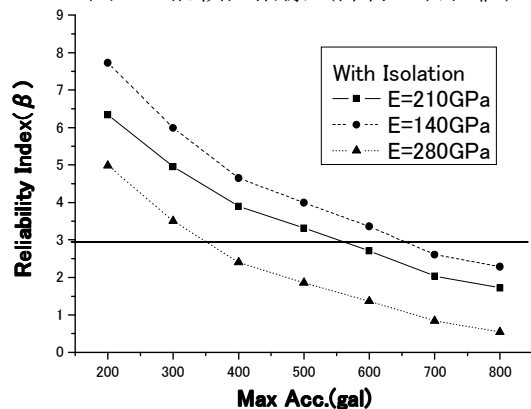


図-7 信頼性指標
（最大加速度・部材の特性値）