

# 動的外力を受ける海上風力発電用海洋構造物の応答評価に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院 学生会員 ○高橋 克也  
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への感心が高まってきている。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、福島第一原子力発電所事故が発生し、再生可能なエネルギーの開発について関心が高まっている。そこで、クリーンエネルギーの一つとして、海上風力発電が注目されている。日本は、国土が狭く海に囲まれているため、海洋空間を有効に利用することができる。しかし、海洋環境は特性の異なる波力、風力、地震力などの不規則な外力を受けるため、構造物の設計においてはその不規則な外力の特性を明確にし、構造物の動的応答に及ぼす影響を把握することが重要である。さらに、海洋環境下では経年変化により応答特性は大きな影響を受けることが考えられる。本研究では、海上風力発電用を想定した海洋構造物を解析モデルとして扱い、海洋構造物が動的外力を受ける場合の応答特性について検討した。ここでは影響の大きい地震力が作用する場合の動的応答について示した。免震を導入した場合、部材の経年変化を考慮した場合についての入力地震波の最大加速度を不確定量として扱い、信頼性指標を用いて構造物の安全性の評価を行った。

## 2. 解析概要

本研究で用いた解析モデルを図-1に示す。節点数25、要素数46、全高90m(タワー部30m、ジャケット部60m)、全幅20mの構造物とする。基礎は固定で水深は50mとする。各部材は、全て鋼材とし断面は円形中空断面となっており単位体積重量 $78.0 \text{ kN/m}^3$ 、弾性係数 $21 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ 、せん断弾性係数 $81 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ 、減衰定数0.02としている。また、付加重量としてタワートップに700kN、デッキの3点に500kNをそれぞれ裁荷させた。動的応力として地震力を考慮し、時刻歴応答解析法のNewmarkの $\beta$ 法により応答解析を行う。また応答の低減を図るため、免震を考え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。また、海洋環境による部材の剛性の経年変化を考え、各部材の径が定量的に減少しているものと考え、その径の減少は表-1に表す。入力地震動は、兵庫県南部地震で観測されたタイプII地震動のKobe-NSを用い、最大加速度を500galで基準化した。

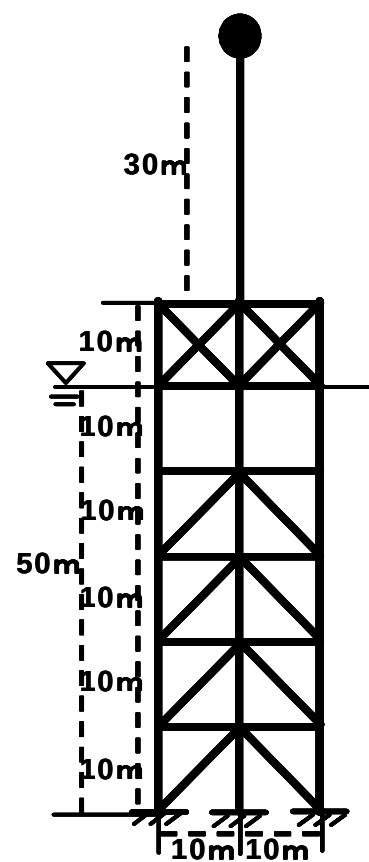


図-1 解析モデル

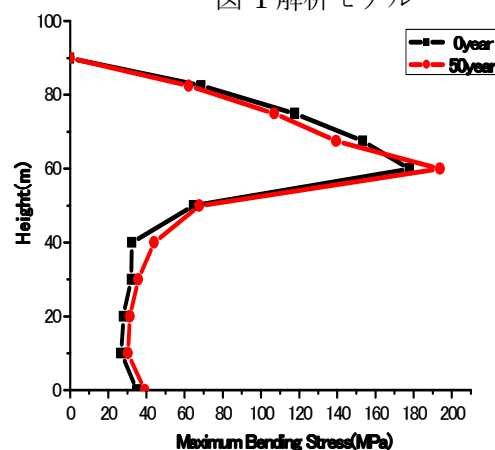


図-2 最大曲げ応力の比較(経年比較)

## 3. 応答評価

図-2に最大加速度を500galに基準化したとき、部材の経年劣化を考慮したときの曲げ応力の最大応答を示している。そして、部材の経年変化として現時点(0年)と50年後を比較した。図-2の曲げ応力の最大応答では、タワーデッキ部の60mの地点でモデルの中で最大の応答を示し、部材の経年変化が進むにつれその箇所では、最大応答が大きくなってきている。また、曲げ応力に関しては、現時点(0年)の時点で約180MPaと大きな応答を示して

いる。そこで、タワーデッキ部に免震支承を導入して曲げ応力の低減を考える。免震特性値として、目標固有周期を 1.5 s、降伏変位 0.01mとした。図-3 にタワー基部に設置した免震支承における復元力特性を示す。これより、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できる。図-4 は現時点(0 年)での免震導入時と非免震時の曲げ応力の最大応答の比較である。免震支承を導入することで全ての節点で曲げ応力を低減することができ、特にタワーデッキより上部で大きな効果が現れていることが分かる。また、応答の大きいタワーデッキ部においても曲げ応力の低減を確認することができる。図-5 は、免震支承を導入時の部材の経年変化を考慮したときの曲げ応力の最大応答を示している。部材の経年変化が進むにつれてタワーデッキ部より上部のタワー部で応答が減少していくということが分かる。これは、部材の経年変化が進むにつれて、構造物の固有周期が変化し、入力地震動の影響が減少したことによるものである。

図-6 は、入力地震波の最大加速度を不確定要因として考慮し、変動係数を 10%とし、モンテカルロシミュレーション法による結果を信頼性指標を用いて信頼性を示した。図は、免震支承導入時と非免震時で最も曲げ応力応答が大きくなるタワーデッキ部について示している。このときの許容応力は 240MPa と設定した。一般に海洋構造物では、信頼性指標  $\beta$  が 3.0 以上であれば安全であるといわれる。非免震時では、現時点(0 年)で  $\beta$  が 3.0 を下回り、部材の経年変化が進むにつれてさらに減少していく結果となった。しかし、免震支承を導入することで  $\beta$  は増加しており、免震による効果が経年変化に対して表れることが分かる。経年変化が信頼性評価に及ぼす影響については、入力地震波の動的特性の影響もあり今後検討する必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では、部材の経年変化が風力発電用海洋構造物に及ぼす影響について検討してきた。その結果、地震力を受ける場合、タワー基部では応答が大きくなるため免震を用いることで、応答の低減を図ることができることを示した。また、部材の経年変化による減少は、部材の剛性を変化させ構造物の振動特性を変化させることで応答に大きく影響を与えることが分かった。

入力地震波の最大加速度の不確定性を考慮した場合、経年による影響は免震の有無によって異なる傾向を示すことが分かった。しかしながら、これらの影響は入力地震波の特性に大きく依存すると考えられるので、今後の検討が必要と思われる。

#### 5. 参考文献

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

表-1 各部材径の減少の割合

|     |              |
|-----|--------------|
| 空中部 | 0.002mm/year |
| 飛沫部 | 0.03mm/year  |
| 干満部 | 0.02mm/year  |
| 海中部 | 0.02mm/year  |

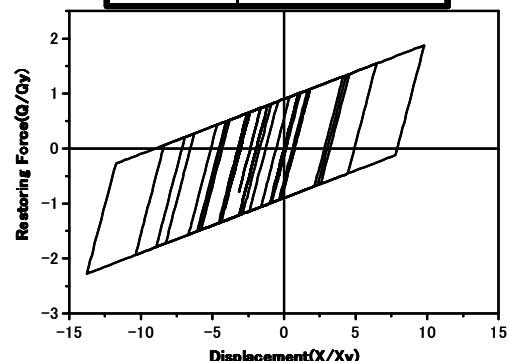


図-3 復元力特性

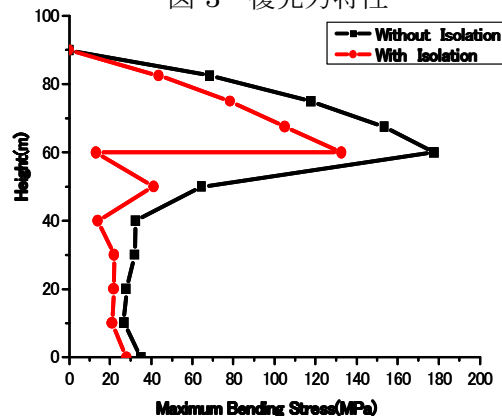


図-4 最大曲げ応力の比較(免震考慮)

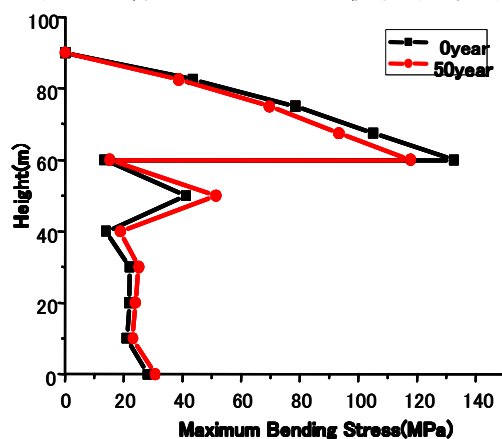


図-5 免震導入時の最大曲げ応力の比較

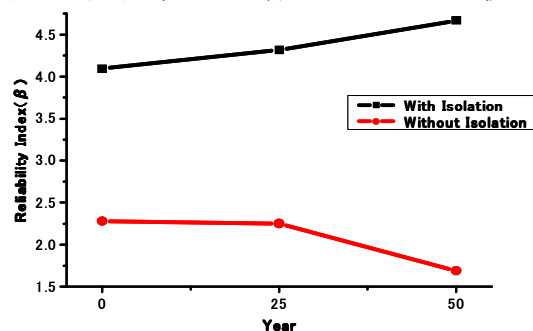


図-6 経年による信頼性指標