

浮体式洋上風力発電設備の荷重予測（その2） 支持構造物のモデル化

東京大学 正会員 ○山口 敦
東京大学 非会員 スパナポン ダヌボン
東京大学 正会員 石原 孟

1. はじめに

浮体式洋上風力発電設備の支持構造物の設計では、着床式洋上風力発電設備にも作用する風荷重・波荷重に加えて浮体の動揺による荷重も考慮する必要がある。設計時にこれらの荷重を推定するために、動解析が行われているが、問題点も残されている。

Ishihara and Zhang¹⁾ はセミサブ浮体に搭載した2MW 風車を対象とした動解析を実施した。しかしながら浮体に搭載された風車では、浮体の弾性変形のため固有周期がもとの風車タワーの固有周期より長くなるという問題が知られており、疲労荷重の高精度な同定のためにはこの効果を考慮したモデルが必要とされている。Robertson et al.²⁾は、種々の動揺解析モデルを用いて NREL 5MW 風車を搭載したセミサブ式浮体の動揺解析を行い水槽実験により検証したが、すべての動揺解析が、水槽実験で計測される浮体の固有周期近傍の浮体動揺応答を過小評価するという問題点を指摘した。しかしながら、水槽実験では計測ケーブル等が浮体動揺に影響を与えることが避けられず、実機による検証が必要とされている。



図1 福島沖 2MW 風車搭載セミサブ浮体

そこで本研究では福島県沖に設置された 2MW ダウンウィンド風車を搭載したセミサブ浮体式風力発電設備(図1)を対象とした解析を実施する。2020年度の全国大会で発表した当報告その1³⁾ではダウンウィンド標準風車モデルを搭載した浮体式洋上風力

発電設備のモデル化について説明した。本報告(その2)では支持構造物のモデル化について説明し、続いて(その3)で支持構造物に作用する荷重を予測し、実測により検証するとともに、支持構造物に作用する荷重の成因を分析する。

2. 浮体と外部環境条件のモデル化

浮体式洋上風力発電設備の動解析を行うためには、風車モデルに加えて、浮体・係留のモデル化を行う必要がある。本研究では浮体は剛体と仮定し、図2に示すような6自由度を持つものとした。浮体に作用する流体力係数はLiu and Ishihara⁴⁾に従い設定した。また波強制力についてはポテンシャル理論に基づく数値解析により求めた。

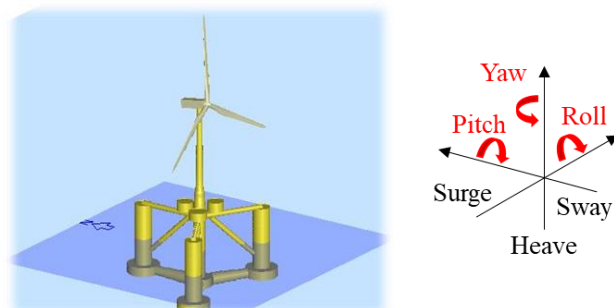


図2 浮体式風車モデルのイメージと自由度方向の定義

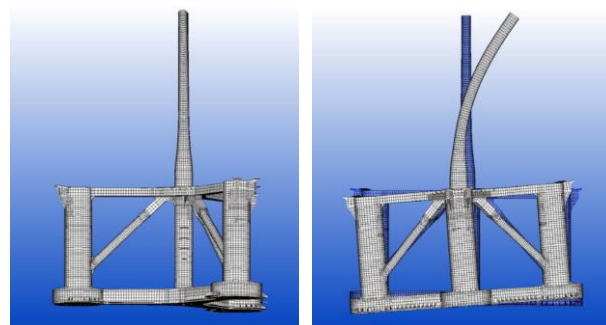


図3 浮体式風車の FEM モデルとタワー 1 次モード

また、浮体に搭載された風車では浮体の弾性変形が全体の固有モードに影響するため、浮体を剛体と

してモデル化する場合には風車タワーの固有周期がずれることが指摘されている。このため、本研究では浮体を FEM によりモデル化し、境界条件を自由端とした固有値解析を行い (図 3)、浮体式洋上風力発電設備全体の固有モードと固有振動数を求めることによりタワーの 1 次モードに相当する固有周期を求め、この固有周期に一致するようにタワーの剛性を調整した。この効果については次節で説明する。

動解析の入力の一つである風速場は国際標準 IEC61400-1 で定められている Kaimal モデルを用い、乱流強度は同標準で定められた標準乱流モデルを用いた。また風速の鉛直分布を規定すべき指数は 0.1 とした。もう一つの重要な入力である波は JONSWAP スペクトルモデルに従う不規則波を用い、形状パラメータは 2.87 とした。

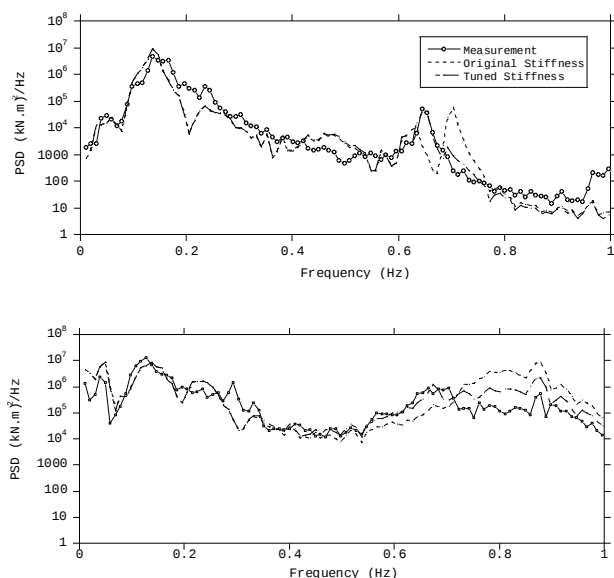


図 4 タワー基部モーメントのパワースペクトル密度: (a) 停止時; (b) 運転時

3. 風車タワーのモデル化

前節で述べたように、浮体を剛体としてモデル化するとタワー 1 次固有周波数が実際より高くなる。本研究では剛体の浮体上に設置された風車タワーの剛性を調整することによりこの問題を解決した。表 1 に示す風車停止時および運転時を対象として、浮体動揺シミュレーションを行った結果から求めたタワー基部モーメントのパワースペクトル密度を観測値とともに図 4 に示す。風車運転時、停止時ともに見られる 0.2Hz 以下の低周波域のピークは浮体の剛

体運動の固有周波数に相当するものである。また風車停止時には 0.6Hz 付近にピークが見られるが、これはタワー 1 次モードのピークである。当初モデルではこのピークが 0.7Hz 付近に見られるが、これは浮体を剛体と仮定した際のタワー 1 次固有周期である。実際の浮体は弾性体であるため、タワーの 1 次固有周期は低周波側に少し移動するが、本研究で提案したモデルではこの現象が再現できていることがわかる。

5. まとめ

本研究では、浮体式洋上風力発電設備の浮体とタワーのモデル化を行い、浮体の弾性変形を考慮するために風車タワーの剛性を調整する方法を提案した。提案した手法を用いて予測した浮体搭載風車のタワーモーメントは実測とよく一致した。

謝辞

本研究は経済産業省の委託事業である福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業 (Fukushima FOWarD) の一部として実施された。ここに記して関係者の皆様へ感謝の意を表す。

参考文献

- 1) T. Ishihara and S. Zhang, Prediction of dynamic response of semi- submersible floating offshore wind turbine using augmented Morison's equation with frequency dependent hydrodynamic coefficients, *Renewable Energy*, 131, 1186-1207, 2019.
- 2) A. Robertson et al., OC5 Project Phase II: Validation of Global Loads of the DeepCwind Floating Semisubmersible Wind Turbine, *Energy Procedia*, 137, 38-57, 2017.
- 3) 山口敦・林岑蔚・石原孟, 浮体式洋上風車風力発電支持構造物の荷重予測 (その 1) 2MW ダウンウィンド標準風車モデルの作成と実測による検証, 土木学会第回年次学術講演会, 2020.
- 4) Y. Liu. and T. Ishihara, Prediction of dynamic response of semi-submersible floating offshore wind turbines by novel hydrodynamic coefficient model, *Journal of Physics: Conference Series*, 1356(1), 2019.