

洋上風力発電設備支持物モニタリングデータの加速度変位分析とFEM 動的解析

電源開発 株式会社
株式会社 TTES

正会員 吉岡 健, 中嶋 周作
正会員 ○勝山 真規, 梅川 雄太郎

1. はじめに

本稿は、洋上風力発電の導入普及に必要な技術の確立を目指し、北九州市沖海域で NEDO と電源開発株式会社が共同で平成 28 年度まで実施していた洋上風力発電システム実証研究の成果の一端を紹介するものである。

洋上風力発電の場合、発電設備支持物は風作用に加えて波浪作用を受けることから、設計段階では両作用による支持物の動的応答特性の把握および疲労設計が重要となる。著者らはこれまでに、実構造物に設置したセンサから得られたデータを ERA や FFT により処理・解析し、支持物の振動特性を把握した¹⁾。続いて ERA を用いて算出したレーリー減衰マトリックスと実測の風況・波浪データから作成した風力・波力データを用いた FEM 動的解析を行い、実測ひずみと比較した。また、ジャケット部主管を CFT と中空にした比較解析により CFT 効果を明らかにした²⁾。

本論では、動的解析手法の妥当性検証を目的にタワーの変位およびタワー底部、ジャケット主管の応力(ひずみ)それぞれと FEM 解析結果の比較を行った。タワーの変位は加速度データを用いて算出した(以下、加速度変位分析)。FEM 解析パラメータはレーリー減衰係数とした。

2. 構造物概要およびセンサ設置位置

対象とした構造物および設置した主なセンサ配置図を図 1 に示す。構造物は約 25m のハイブリッド重力式支持構造物(ジャケット(鋼製)+基礎(コンクリート重力式))、約 65m のタワー(鋼製)および風車(ナセル、ブレード等)により構成されている。加速度変位分析で使用したセンサは、タワー部 6 箇所の有線式加速度計、ひずみはタワー底部およびジャケット下部の格点部近傍の主管ひずみゲージとした。ひずみの応力への変換はひずみに鋼材のヤング係数を乗じることで行った。対象とした実測データ処理期間は風車運転中の平成 27 年 12 月 11 日の 20 分間であり、平均風速は定格付近の約 14m/s、有義波高は約 290cm であった。

3. 加速度変位分析手法

加速度変位分析は、卓越振動モードの確認後、加速度データを 2 階積分し、基線補正およびフィルタリングによる積分誤差を除去することで行った。

4. FEM モデルと解析パラメータ

主管は支管と交差する格点部は鋼・コンクリート部ともソリッド要素でモデル化し、その他の箇所は計算負荷軽減のためにバー要素でモデル化した。タワー部はシェル要素、ナセルおよびブレードはポイント要素

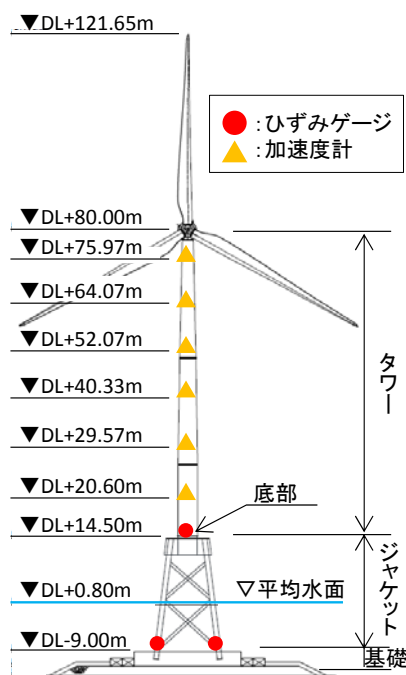


図 1 構造物概要および主なセンサ配置

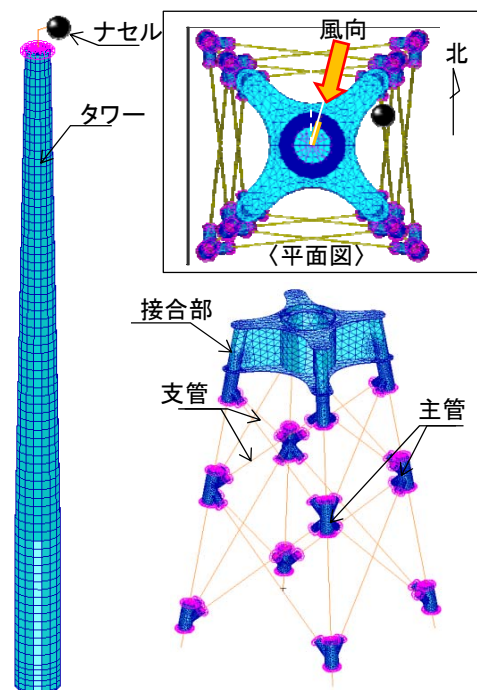


図 2 FEM モデル概要

キーワード 洋上風力発電, モニタリング, 減衰定数, FEM, ERA, レーリー減衰, CFT

連絡先 〒153-0051 東京都目黒区上目黒 3-30-8 (株)TTES TEL:03-5724-4011

として質量および偏心を考慮した(図 2). 支持条件は主管下端を完全固定とした. 入力荷重は, 当該支持物近傍の観測塔で計測された水平風速・波高データ等からナセルやタワー, 主管, 支管等, 各部の風荷重・波荷重を算出し, 対応する節点にそれぞれ入力した. 観測時の風向, 波向は両者ともほぼ南北方向であり, 解析中の荷重載荷方向は変化しないこととした. 応答計算は 0.05 秒刻みで 24,000 ステップ(20 分間)行った. 解析パラメータはレーリー減衰係数とし, 設計指針から算出したもの(ケース 1)と実測データを ERA 処理して得られた固有振動数と減衰定数から下記式より算出したもの(ケース2)の2種類を比較した(表 1).

$$\alpha = 4\pi f_i f_j (h_i f_j - h_j f_i) / (f_j^2 - f_i^2)$$

：質量比例型

$$\beta = 2(h_j f_j - h_i f_i) / (f_j^2 - f_i^2)$$

：剛性比例型

5.結果

a) タワー変位の比較

図 3 にタワーの最大・最小変位比較図を示す. 南北方向, 東西方向とも加速度変位分析の値が最も小さく, FEM 動的(ケース 1), FEM 動的(ケース 2)の順に大きい値となった. 変位モードを確認すると, FEM では 1 次モードが卓越していたが, 加速度変位分析では 2 次モード等の高次モードも確認された. FEM では荷

表 1 レーリー減衰マトリクス

解析ケース		レーリー減衰係数	
		質量比例型	剛性比例型
		α	β
ケース1	設計指針	0.023	0.00042
ケース2	実測+ERA	0.074	-0.00021

重載荷方向が一定だが, 実際には時々刻々と風向・波向が変化していることが影響していると考えられる.

b) タワー底部・ジャケット主管応力の比較

図 4 にタワー底部, 図 5 にジャケット主管の応力波形比較結果を示す. 参考のため当該解析期間での最大波荷重, 最大風荷重を静的に載荷した結果も併せて示す. 解析結果のオーダーは全て実測値に近いものとなり, 値の大小は, タワー底部, ジャケット主管とも FEM 静的>FEM 動的(ケース 1)>FEM 動的(ケース 2)>実測値の順となり, タワー変位と同様の結果となった. FEM 動的解析結果同士を比較すると設計指針に則ったケース 1 の方が安全側の結果となった.

6. 今後の予定

今後は, 荷重載荷方向の時系列変化を反映させる等, 解析精度を高めたいと考えている.

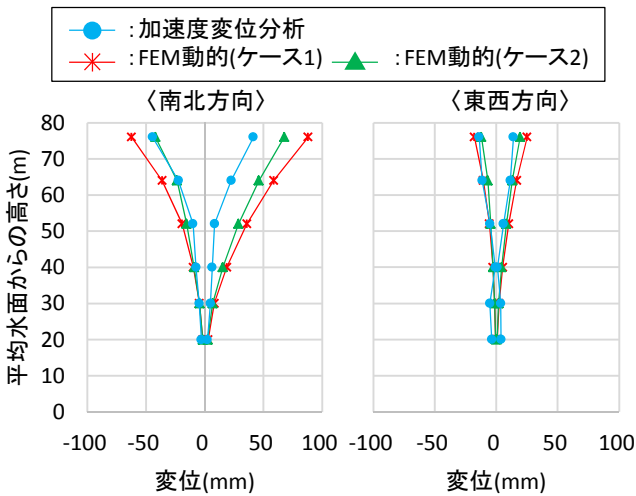


図 3 タワー最大・最小変位比較

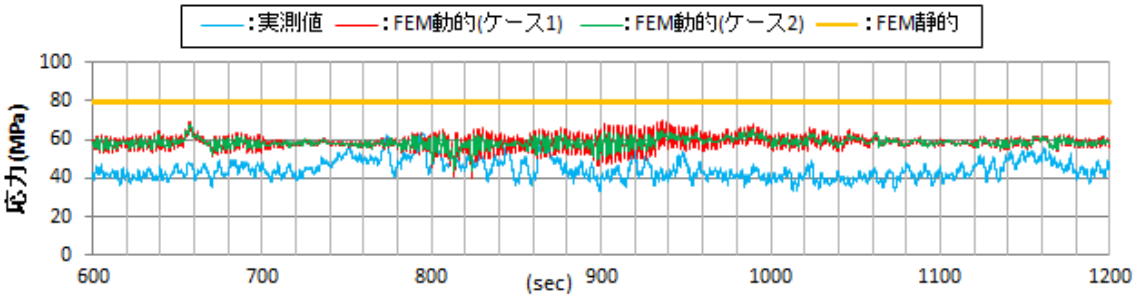


図 4 タワー底部(北側) 応力比較

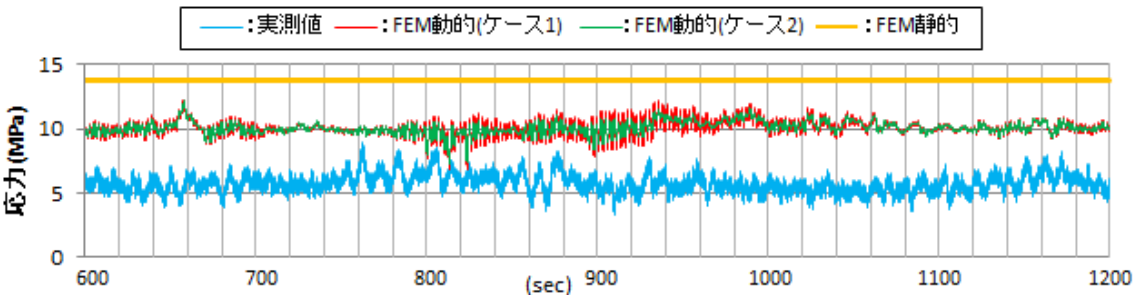


図 5 ジャケット主管(北側) 応力比較

参考文献: 1) 勝山ら:”洋上風力発電設備支持物モニタリングデータと FEM 解析による振動特性の把握”, 土木学会第 70 回年次学術講演会, I-349, 2015.9, 2) 吉岡ら:”洋上風力発電設備支持物モニタリングデータと FEM 動的解析結果の比較”,土木学会第 71 回年次学術講演会, I-120, 2016.9