

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

電源開発 株式会社
株式会社 TTES

正会員 川崎 昌三, 吉岡 健, 中嶋 周作
正会員 ○勝山 真規, 菅沼 久忠, 小原 良子

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実施している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。過年度は設計検証の第一ステップとして, 実構造物に設置したセンサから得られたデータを ERA(Eigensystem Realization Algorithm¹⁾)や FFT により処理・解析し, 支持物の振動特性を把握した²⁾。本年度はまず, ERA で算出した固有振動数と減衰定数から減衰マトリックスを求めた。続いて実測の風況・波浪データから作成した風力・波力データをジャケット+タワー一体型の FEM モデルに入力し動的解析を行い, 実測ひずみとの比較を行った。FEM モデルは実構造物と同じ主管 CFT と主管中空の 2 モデルを用い, CFT 効果の確認も行った。

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

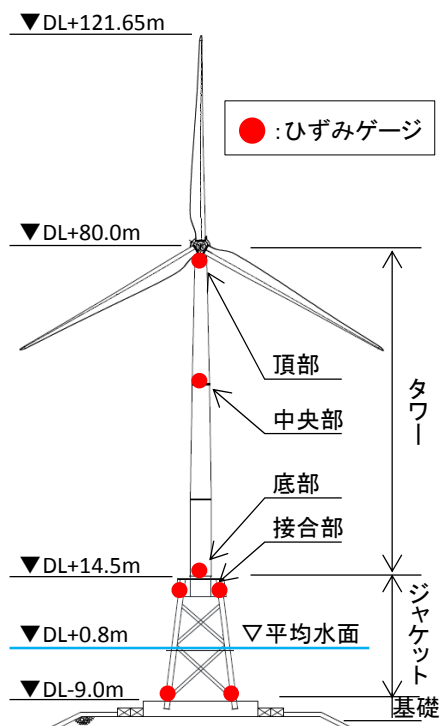


図 1 構造物概要および主なセンサ配置

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。ERA で使用したセンサは, タワー部は頂部・中央部・底部の 3 高さの電気式ひずみゲージ, ジャケット部は主管との接合部 4 箇所および基礎コンクリート近くの 4 本の主管にそれぞれ 4 箇所の計 32 個の光ひずみゲージとした。

3. ERA を用いたレーリー減衰マトリックスの算出

実測データ処理期間は平成 26 年 10 月 13 日 台風 19 号通過時の 10 分間データである。当該データを ERA 処理し固有振動数とモードごとの減衰定数を算出し, 下記式よりレーリー減衰係数を算出した(表 1)。

$$\alpha = 4\pi f_i f_j (h_i f_j - h_j f_i) / (f_j^2 - f_i^2) \quad : \text{質量比例型}$$

$$\beta = 2(h_j f_j - h_i f_i) / (f_j^2 - f_i^2) \quad : \text{剛性比例型}$$

4. FEM モデルと解析手法

主管は CFT 構造であるため実測ひずみと比較する着目部は鋼・コンクリート部ともソリッド要素でモデル化

表 1 レーリー減衰マトリックス

モード	固有振動数 (Hz)	減衰定数	レーリー減衰係数	
			α	β
1次	0.38	0.0130	0.0554	0.0074
2次	2.93	0.0123		

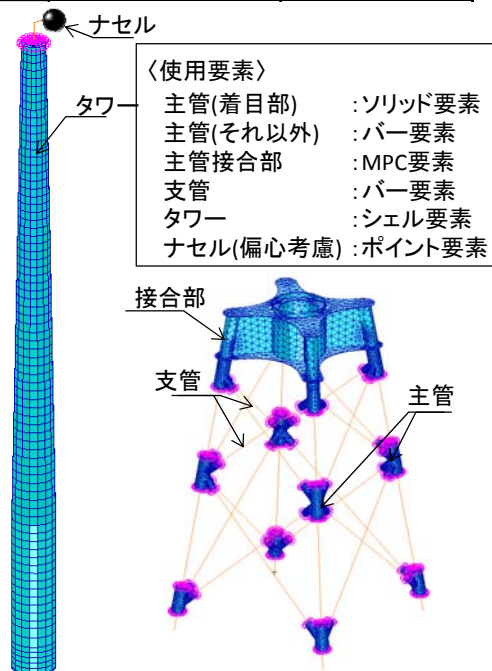


図 2 FEM モデル概要

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

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

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(図 3)し、対応する節点にそれぞれ入力した。応答計算は 0.05 秒刻みで 12,000 ステップ行い、過渡応答の含まれる初期 2,000 ステップを省いた 500 秒間を結果の評価時間とした。

5.結果

a) ひずみの比較

図 4 に FEM 動的解析から得られたひずみ波形一例を実測値とともに示し、表 2 に各部位のひずみ最大・最小・振幅値を示す。主管は、実測値と FEM 値で

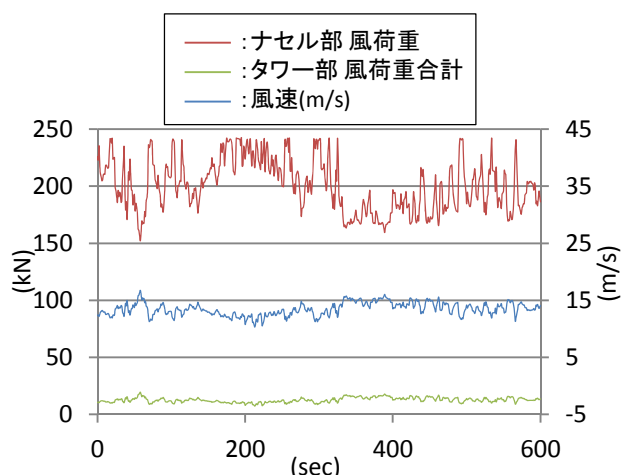


図 3 荷重一例：風速と風荷重

オーダーが一致したが、タワー底部、支管では実測値の方が高い値を示した。主管では FEM(CFT)は FEM(主管中空)よりも 40%程度低い値となっており、CFTによる効果が確認できたが、もともと中空である支管には大きな影響は確認されなかった。

b) 固有振動数の比較

図 5 に図 4 のひずみ波形を FFT 処理した結果を示す。3 ケースとも表 1 で示した 1 次モードと考えられる 0.38Hz 付近にピークが確認できた。

6.今後の予定

今後は、当該結果を用いてレインフロー処理等を行い、疲労照査を行う予定である。

表 2 ひずみの最大・最小値

ひずみ	実測値			FEM(CFT)			FEM(主管中空)		
	Max	Min	振幅	Max	Min	振幅	Max	Min	振幅
タワー	96	-59	155	35	-71	106	35	-56	90
主管	8	-10	18	12	-7	19	19	-13	32
支管	36	-28	64	6	-6	12	6	-7	12

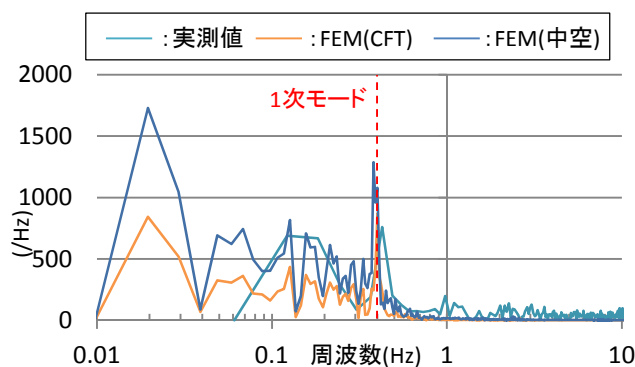


図 5 FFT 結果比較

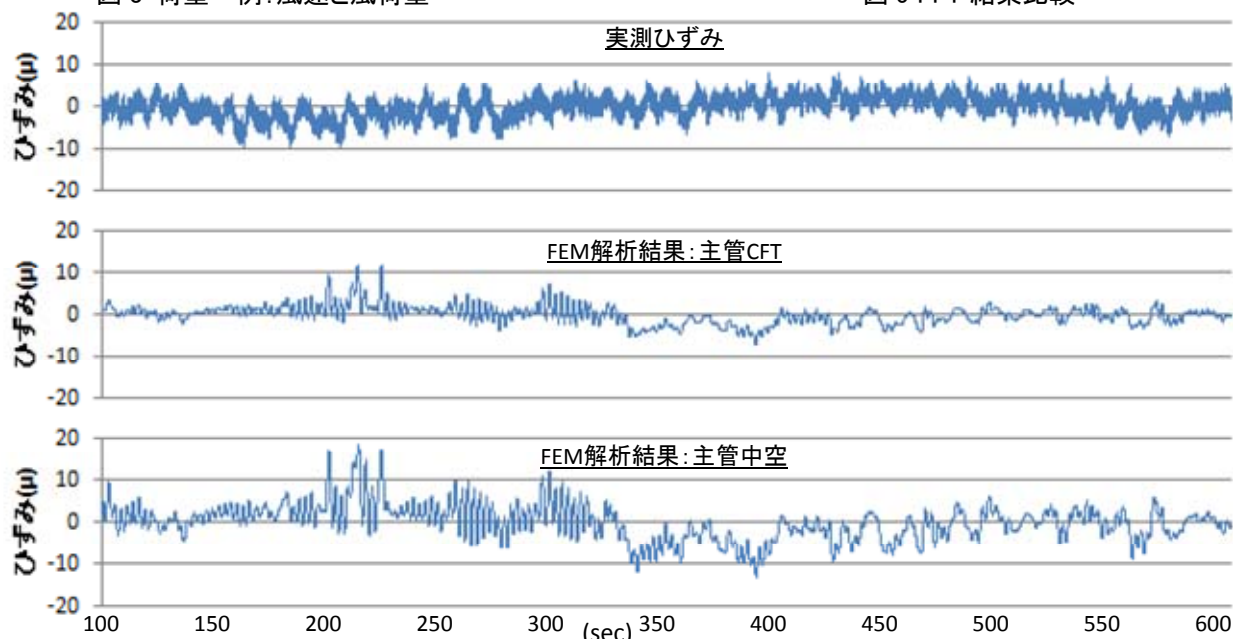


図 4 FEM 解析結果一例：主管 A1

参考文献：1) 長山ら：“常時微動計測に基づく非比例減衰系の非反復構造逆解析と長大吊橋の動特性の理解”，土木学会論文集 No.745/I-65, 155-169, 2003.10, 2) 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