フーチングータワー直接接合形式風車の振動特性分析と基礎破壊形態の推定

法政大学 学生会員 〇下舘 啓人 法政大学 正会員 藤山知加子 日本大学 正会員 子田 康弘 日揮株式会社 正会員 門 万寿男

研究の目的と対象風車の特徴 1.

本研究の目的は、フーチングータワー直接接合形式風車において振動特性 分析と基礎破壊形態の推定を行うことである.

本研究で対象とする風力発電設備は、東伊豆にあるハブ高さ 37m、ロータ 直径 45m, 定格出力 600kW の風車である.図-1 に対象風車の全景を示す.一 般的な風車はタワーとフーチングの間に接合部(ペデスタル)が設けられるが、 本研究の対象風車は接合部がなくタワーとフーチングが直接接合されている 形式となっている.また、基礎の形態は杭基礎である.

5 D 59

2. 振動計測

(1) 計測概要

振動特性の把握を目的として長期振動計測を行った.計測項目は,加速度 計によるタワー加速度計測,長尺光学ストランドセンサによるタワー基部ひず み計測,パイ型変位計による基部コンクリート表面ひびわれ変位計測である.

加速度計測では、タワー内の頂部と中部に加速度計を 2 つずつ設置し、水 平方向の東西南北方向4成分を計測した.設置状況を図-2に示す.計測条件 は、相対加速度±0.5(m/s²)記録時に、前後合計5分間計測するトリガー計測と した. 収集したデータ総数は804 データであった. 対象風車の故障等により風 車が常に停止している期間があったため、データの分類を表-1に示す.

(2) 分析結果

表-1の分類 A と分類 C を比較すると、同じ風速の下では、風車稼働時は風 車停止時の約 5~7 倍の応答加速度を示した. また,稼働時はタワーの応答加 速度の中にブレードとロータ回転の振動数が確認された.タワーの振動方向は、 風車停止時は風に対して直交方向に振動し、風車稼動時は風方向に振動した. また, 楕円を描きながら振動していることが分かった. 計測期間中のタワー頂 部の応答加速度より求めた最大応答変位は、6.37cm であった.

解析モデルの検討 3.

杭基礎モデル化手法の検討を目的として,対象風車の設計計算書および設計 図面をもとに、風車タワーのみのモデルと、フーチングと杭基礎および周辺地 盤バネを含んだモデルの2種類を作成し、固有値解析を行った.その結果、表 -2 に示すように 2 種類の各振動モードにほとんど変化が見られなかったこと から、地盤と杭が振動モードに与える影響が小さいと判断した.なお、いずれ のモデルも固有周期は計測値で得られたタワー加速度のものとほぼ一致した.

4. 解析モデル構築

3次元非線形有限要素解析コード COM3D を用いて対象風車のモデルを構築 した. 固有値解析の結果から, 地盤による影響は少ないと判断し杭部はモデル

キーワード:フーチング-タワー直接接合形式風車,基礎破壊機形態,ペデスタル,杭,アンカーボルト :〒162-0843 東京都新宿区市ヶ谷田町 2-33 E-mail: hiroto.shimodate.4h@stu.hosei.ac.jp 連絡先





図-2 加速度計設置状況(頂部)

表-1 計測データ分類

贫類	計測日	風車の運転	データ数
A	6/19 · 6/20	×(停止)	36
В	6/20	×(無風)	1
Α	6/27~7/14	×(停止)	255
С	8/6	0	2
С	8/6~8/9	0	255
Α	10/9~10/12	× (停止)	255

表-2 固有值解析結果

振動モード	タワーモデル 固有振動数(Hz)	タワー+基礎モデル 固有振動数(Hz)
1次モード	1.031	0.970
2次モード	9.066	8.775
3次モード	19.922	17.855



土木学会第71回年次学術講演会(平成28年9月)

化せず,鋼製タワーおよびフーチング部をモデル化の対象とした.図-3 にモ デル全体とアンカーボルトの割付を示す.アンカーボルトは線要素でモデル化 した.ナセルとブレードについては偏心を考慮せずタワー頂部に質量を与えた.

また,既往の研究¹よりアンカープレート及びアンカープレート周辺に応力 が集中することが想定されたため,該当部の要素分割を細かく設定した.基礎 部の断面図を図-4に示す.拘束条件はフーチング下面を全方向拘束とした.

このモデルで自由振動解析を行ったところ,固有振動数が対象風車と一致 し、構造減衰比がタワー設計に用いられる 0.8%に近い値²⁾をとったため、モ デルが精度よく構築できていると判断した.

5. 単調載荷による基礎破壊形態の推定

構成したモデルのタワー頂部水平方向に強制変位 0.5cm/step を与え, 基礎破 壊機形態の推定を行った. 破壊形態を明らかにするため, 図-5 に示す M-φ関 係図の勾配変化の点(a),(b),(c),(d)に着目し, 変形やひずみ分布を確認した. 図 -6 に各点での主ひずみ分布を, また図-7 に点(b)でのコンクリート上面の主ひ ずみを示す.

まず、点(a) (頂部変位 8.0cm(5272.794kN))で、引張側のアンカープレート 水平方向に水平ひびわれが生じた.その後、点(b)(頂部変位 21.5cm(13877.28kN)) で、水平ひび割れが進行し、さらに引張側の上面コンクリートに割裂ひび割れ が生じた(図-7). M- φ 図(図-5)で勾配が大きく変化した点(c)(頂部変位 30cm (19162.97kN))では、水平ひび割れがフーチング端部まで進行した.最後に、 点(d)(頂部変位 45.5cm (27252.47kN))で、引張側フーチング底面要素のコン クリートが大きく変形し、その後は M- φ 図(図-5)での勾配はほぼ水平とな った.その後、回転角が 0.002 となるまで載荷を続けたが、最後までアンカー ボルトも主鉄筋も降伏はしなかった.本研究対象では、ペデスタルを有する一 般的な風車基礎の最終的な破壊モード²⁾とは異なる、特有の破壊形態を示した.

なお、計測期間中のタワー頂部の最大応答変位 6.37cm に対し、解析で基礎 コンクリートに水平ひび割れが生じると予測される頂部変位は 8.0cm である ことから、計測期間中の強風によって基礎に損傷が生じた可能性は低い.

6. 結論

フーチング―タワー直接接合式の実風車において長期計測による振動特性 分析と,解析モデルでの単調載荷による破壊形態の推定を行った.

- 1) 本形式特有の破壊形態が存在する可能性を示した.
- 2) 強風によるタワー振動に関して、計測期間中ではフーチング内コンクリー トに損傷を与える可能性のあるデータは確認されなかった.

今後は杭基礎のモデルを構築し、フーチング下面の拘束条件が異なる場合に ついても破壊形態を検討する必要がある.

謝辞 本研究においてご協力を頂きました東伊豆町役場企画調整課の梅原巧 氏,田村貴行氏,日揮株式会社の阿南誠一氏に深く御礼申し上げます.

参考文献

- 1) 米津薫,藤山知加子,門万寿男,前島拓,子田康弘:風車 RC 基礎部の実測及 び非線形有限要素解析に基づく疲労評価,土木学会論文集 E2, Vol.72 (掲載決定)
- 2) 風力発電設備支持構造物設計指針·同解説,土木学会,2010



図-4 基礎部断面図



ひずみ(b)点