

陸上風車基礎における振動計測とひび割れ調査

法政大学大学院 学生会員 ○大川 正紀 法政大学 正会員 藤山知加子 日本大学 正会員 仙頭 紀明

1. 研究目的

本研究は、数値解析を行う際の地盤と構造物の境界条件を設定するため、既設陸上風車フーチング上面及び端部の振動計測を行った。同時に、フーチング上面のひび割れ調査を実施した。

2. 対象風車概要

振動計測の対象風車は静岡県賀茂郡東伊豆町が運営する同形同規模風力発電設備 3 基のうち 2 号機を対象とする。また、1・2 号機を対象にフーチング上面のひび割れ調査を行った。対象風車の定格出力は 600kW、ハブ高さ 37m、ロータ直径 45m であり、3 枚翼ブレードアップウィンド型である。タワー構造はモノポール式、ブレード材質は GFRE（ガラス繊維強化エポキシ）である。一般的な風車はタワーとフーチングの間にペデスタルが設けられているが、対象風車はペデスタルを介することなく、アンカーボルト方式で直接フーチングに接合されている。また、基礎は杭基礎である。

3. 実風車による振動計測とひび割れ調査概要

3.1 フーチング端部の振動計測

既往の研究¹⁾²⁾によって行われている 2 号機のタワー頂部・中部、フーチング上面の加速度計測に加え、フーチング端部にて、加速度計と変位計を用いた計測を実施した。フーチング端部上面(A-HET-V、D-HET-V)及び側面(D-HES-H)の計測状況を図 1 に示す。フーチング中央上面南北方向(A-HCT-NS) およびフーチング端部の計測位置の計測位置を図 2 に示す。フーチング端部の計測位置は風車稼働中であつたため、風向が南西方向であり、ナセルが向く南西の風上位置に設置した。図 3、4 に簡易的な平面図及び断面図の計測位置を示す。加速度計は□、変位計は矢印及び○で表しており、赤色は鉛直方向、緑色は水平方向を表す。また、計測項目名を図 5 に示す。変位計はマグネットベースを用いて、地盤に打込んだ L 字型の鋼板に設置した。その際、フーチングの振動が地盤に影響することが考えられる。そこで、変位計の値を修正するため、地盤に打込んだ鋼板に加速度計(A-G-H、A-G-V)を設置した。計測方法は 1 データ 5 分計測とし、サンプリング周波数を 200Hz で計測を行った。2017 年 8 月 22 日 11 時 03 分～14 時 30 分まで、計 37 データが計測された。計測時の平均風速は 6～8m/s であり、対象風車の定格風速 13.5m/s より弱い風速であつた。

3.2 フーチング上面のひび割れ調査

ひび割れ調査はフーチング上面を方角毎に 6 ブロックに分けて行った。調査項目としてひび割れ位置の把握、写真撮影、ひび割れ幅・長さ計測を実施した。ひび割れはフーチング上面をブラシでならし、目視できるひび割れを計測し、ひび割れ幅の計測にはクラックスケールを用いた。

キーワード：陸上風車、振動計測、ひび割れ調査

連絡先：〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 TEL 03-5228-1406



図 1 計測状況

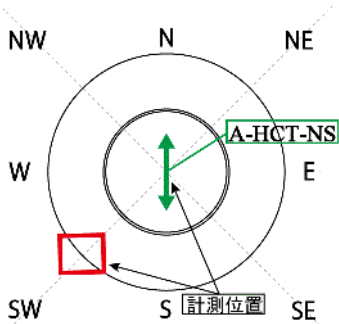


図 2 振動計測位置

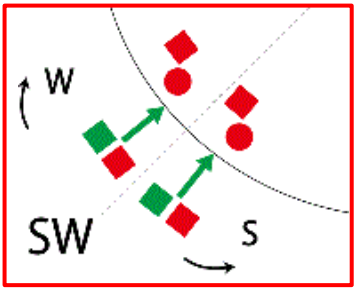


図 3 計測位置平面図

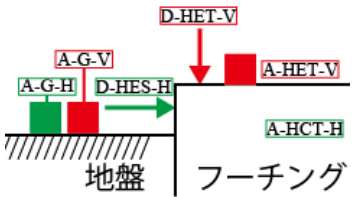


図 4 計測位置断面図

計測項目		
計測機器	計測箇所	計測方向
A 加速度計	HCT	フーチング中央上面
D 変位計	HET	フーチング端部上面
	HES	フーチング端部側面
	G	地盤
	NS	南北方向
	H	水平方向
	V	垂直方向

図 5 計測項目

4. 調査結果

4.1 フーチング端部の振動計測

本論文ではデータの一例として「平均風速：7.39m/s、最大風速：9.71m/s、風向：南西」のデータを示す。図6にフーチング中央上面で計測された、東西方向の加速度を二階積分して求められた変位を示す。また、水平方向のフーチング端部側面の変位及び地盤の加速度を二階積分して得られた変位を図7、8に、鉛直方向のフーチング端部上面の変位を図9に示す。

図6、7の水平方向の変位を比較した結果、フーチング端部側面の変位は風向方向にあるため、フーチング中央上面の変位より大きかった。また、図8より、地盤に設置した水平方向の加速度計からは、フーチングの振動の影響により、微かではあるが地盤も振動することが確認された。

図9より、フーチング端部上面の鉛直方向においても、微かではあるが振動を確認した。図7と併せて考えると、風車タワーの振動でタワー基部にモーメントが発生し、フーチング自身がロッキング振動をしていたと推察される。

4.2 フーチング上面のひび割れ調査

1・2号機のフーチング上面のひび割れ状態を図10、11に示す。1・2号機のひび割れ状態を比べると1号機のほうがフーチング全体にひび割れが生じており、2号機より損傷していることがわかる。ひび割れ長さ、風車稼働時間ともに1号機のほうが長く、ひび割れ長さは4.267m、風車稼働時間³⁾は2号機に比べ、1号機の方が約6403時間（平成17年度～平成29年度まで）長いことが明らかになった。よって、稼働時間の長さによってフーチング上面のひび割れが発生する可能性が高いことが考えられる。また、2基の風車に共通することとして、グラウト部において多数のひび割れを確認した。この原因は稼働時間ではない他の可能性が示唆される。

5. 結論

フーチング端部の振動計測によって、風車タワーからの振動の影響により、フーチングにモーメントが発生し、微かなが水平・鉛直方向に振動することが明らかになった。また、フーチングの振動は周辺地盤に影響することが明らかになったことから、数値解析において基礎構造物の周辺地盤もモデル化する必要があると考えられる。フーチング上面のひび割れ調査によって、ひび割れの発生は風車の稼働時間が関係する可能性が高いことが示唆された。

本研究において、計測実施時は風速5～8m/sであり、定格出力13.5m/sより弱かったため、フーチング端部の変位の値が小さかったと考えられる。今後は、風速が強い時にも振動計測をする必要がある。

6. 謝辞

本研究は東伊豆町役場企画調整課の田村貴行氏、日揮株式会社の阿南誠一氏、株式会社インパル及川幸四郎氏のご協力によって調査・計測した。深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 下館哲人, 藤山知加子, 子田康弘, 門万寿男: フーチングータワー直接接合形式風車の振動分析と基礎破壊形態の推定, 土木学会第71回年次学術講演会, 2016.9, pp13-14
- 2) 大川正紀, 藤山知加子, 子田康弘, 門万寿男: 陸上風車における基礎振動特性の分析と破壊形態の予測, 第39回風力エネルギー利用シンポジウム, 2017.12, pp.355-358
- 3) 東伊豆町風力発電所: 運転停止状況, http://www.town.higashiizu.shizuoka.jp/bg/furyoku/cat/165_teishi.html

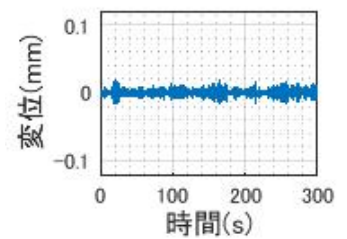


図6 A-HCT-NS 変位図

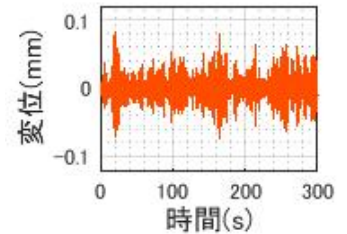


図7 D-HES-H 変位図

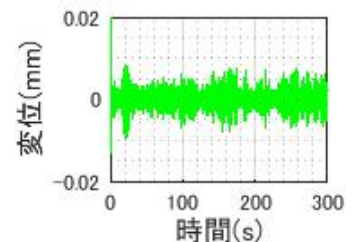


図8 A-G-H 変位図

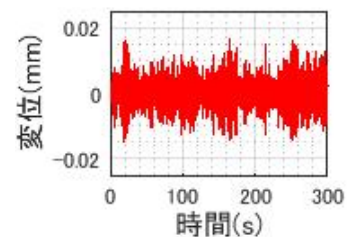


図9 D-HET-V 変位図

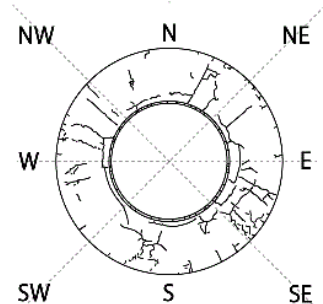


図10 1号機ひび割れ図

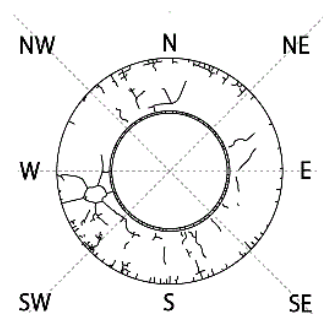


図11 2号機ひび割れ図