

実送電用鉄塔を対象とした動態観測（その2） 部材振動に着目した観測と分析

(財) 電力中央研究所 正会員 ○高畠 大輔
 (財) 電力中央研究所 正会員 佐藤 雄亮
 (財) 電力中央研究所 正会員 石川 智巳

1. はじめに

送電用鉄塔の部材は、発生頻度の高い低風速領域で風により振動が発生することが知られている。このため、部材継手部の亀裂発生やボルト緩みなど、繰返し応力による影響が懸念される。しかし、送電用鉄塔は、様々な径、断面、継手形状や傾斜角などを持つ多くの部材で構成されていること、鉄塔立地位置ごとに風の性質が大きく異なることなどから、部材振動発生メカニズムやそれに伴う影響は、十分に把握されていない。

そのため、まず送電用鉄塔における部材振動の現状を把握することを目的とし、観測を進めている。本論では、観測概要と現在までに取得した観測記録に基づく分析結果について述べる。

2. 観測概要

観測対象部材は、最下節パネル(地上高約 30m) の 4 本の突上げ材であり、表 1 に径、厚み、長さ、1 次固有振動数、図 1 は部材の位置と加速度計の取付け状況を示す。ただし、部材①と③、②と④は、同じ形状である。固有振動数は、両端完全固定の条件下における梁の固有振動数として、次式を用いて算出した。

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\lambda}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (1)$$

ここで、 f_1 :部材の 1 次固有振動数、 λ :振動モードによって決まる定数で、1 次モードでは 3.730、 L :部材の長さ、 E :部材のヤング係数、 I :部材の断面 2 次モーメント、 ρ :部材の密度、 A :部材の断面積である。亜臨界領域での 2 次元円柱のストローハル数 0.2^[2]とし、次式より共振風速を計算すると、表 1 に示すようになる。

$$S_t = \frac{f_1 D}{U_1} \quad (2)$$

ここに、 S_t :ストローハル数、 D :部材の直径、 U_1 :は共振風速である。表 1 から、低風速領域で部材振動が発生する可能性があることがわかる。

計測項目は、部材近傍の風速・風向と、各部材の加速度であり、風速計は超音波型風速計(ソニック製:SAT-550)、加速度計はひずみ式加速度計(共和電業製:AS-2TG)を用いた。全て 100Hz の連続サンプリングで、時刻歴波形、10 分間毎の統計値を取得した。

3. 観測結果

3.1 風向・風速分布

2011 年 1 月 19 日～3 月 16 日までの期間を分析対象とした。10 分間の平均風向(以下、風向)別の平均風速(以下、風速)の頻度分布は、文献[1]に示す通りであり、鉄塔建設位置は、西方向からの風が多く、また

表 1 観測対象部材

部材番号	径 [mm]	厚み [mm]	長さ [m]	固有振動数 [Hz]	共振風速 [m/s]
①, ③	114.3	3.5	9.64	3.40	1.94
②, ④	101.6	3.2	8.05	3.87	1.97

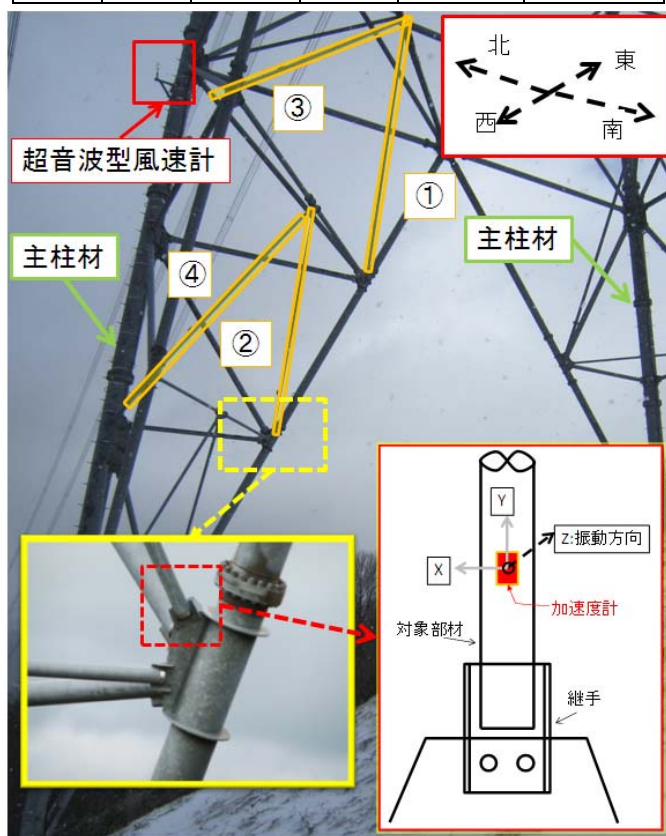


図 1 対象部材の位置と加速度計の感度方向

キーワード 実送電用鉄塔、動態観測、部材振動、疲労、風応答

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財) 電力中央研究所 地球工学研究所 TEL 04-7182-1181

風が強い場所である。

3.2 観測記録による固有振動数の同定

図 2(a)に、部材①における加速度のパワースペクトル密度関数を示す。同図より、3.9Hz 付近にピークが確認でき、特に発振時はより明瞭である。これは表 1 の値よりも大きく、両端部の境界条件などの影響が考えられる。また、他の部材についても同様の傾向を示し、部材②のピークは 5.3Hz 付近であった(図 2(b)参照)。

3.3 部材振動発生時の風向・風速の傾向

図 3 は、部材①について横軸に風速を、縦軸に標準偏差をとったものである。同図より、風速 3m/sec 付近にピークが確認でき、風速領域が限定的であるので、部材振動の発生によるものと推察できる。高風速領域では、バフティングによるものと考えられる、風速に比例した標準偏差の増加が確認できる。これらより、標準偏差では、渦励振とバフティングの発生が判別できない可能性がある。

一方、部材振動発生時は固有振動数付近のピークが大きくなることから、部材①において、 $3.9\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ 間のパワースペクトル密度の積分値 G_{f_1} を縦軸に、風速及び風向を横軸にとりこれらの関係を図 4 に示す。同図(a)より、図 3 と同様に風速 3m/sec 付近にピークを確

認でき、高風速領域では増加が見られない。これより、 G_{f_1} による部材振動発振の検知が可能であると考えられる。同図(b)は、東及び西からの風で G_{f_1} が大きいことを示しており、風向と部材の振動方向面(図 1 の YZ 面)が直交すると、部材振動が発生しやすいこと、また、部材振動発生時の風向は限定的であることがわかる。なお、この傾向は他の部材でも同様であった。

4. まとめ

本論で得られた知見を以下に示す。

1. 日常的な風環境下で部材振動が頻繁に観測されることを確認した。
2. 部材振動発生時の風向や風速は限定的であることを確認した。

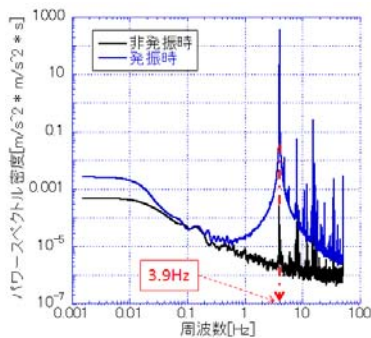
今後も観測を継続的に実施し、送電用鉄塔部材特有の部材振動発生メカニズムの解明を目指す。

謝辞

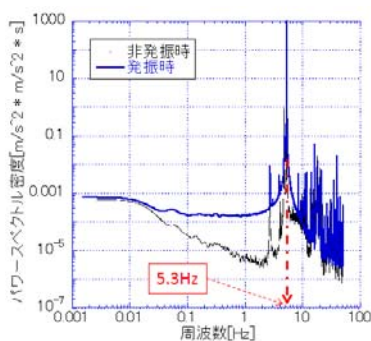
本観測を実施するにあたり、東京電力(株) 殿、(株) ジェイ・パワーシステムズ殿には多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 実送電用鉄塔を対象とした動態観測(その 1), 佐藤雄亮他, 第 66 回土木学会年次学術講演大会概要集, 2011
- [2] 建築物の耐風設計, 大熊武司他, 鹿島出版会, 1996



(a)部材①



(b)部材②

図 2 加速度のパワースペクトル密度

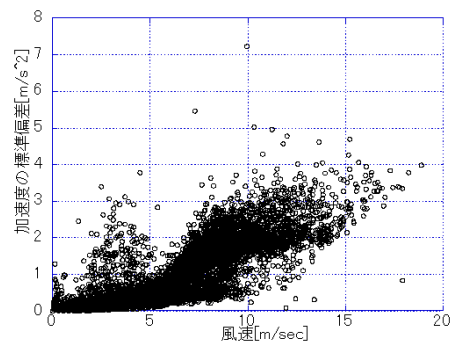
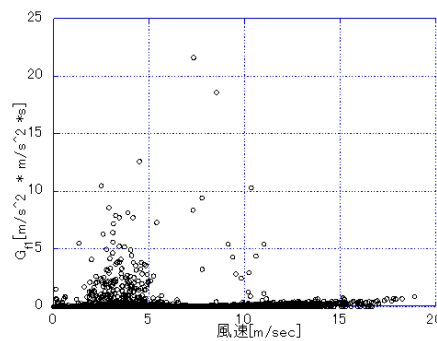
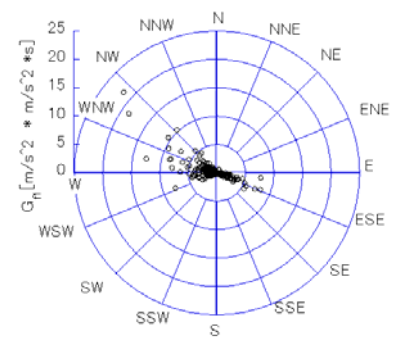


図 3 風速に対する標準偏差の分布 (部材①)



(a)風速



(b)風向

図 4 風向・風速に対する G_{f_1} の分布 (部材①)