

加速度計測に基づく送電鉄塔の基礎変位検知の検討

東京理科大学 学生員 ○高橋 一乃介
東電設計（株） 正会員 栗原 幸也
東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. 研究の背景と目的

本研究の目的は、加速度計を用いて送電鉄塔の基礎変位を検知する手法を検討することである。基礎変位は、送電鉄塔の耐力低下が最も懸念される現象であるが、その診断方法は、目視点検や測量、部材応力の測定など、対象鉄塔に近接する必要がある。しかしながら、対象となる送電鉄塔は山間部の傾斜地に設置されているものも多く、緊急時に現地へ移動することが困難なケースや、災害に巻き込まれるリスクも大きい。

そこで、著者らは、送電鉄塔の異常を振動特性の変化から検知する手法の開発を試みている。著者の一人は、基礎変位の有無が送電鉄塔全体の固有振動数に影響を与えることを数値シミュレーションにより確認している²⁾。本研究では、加速度計の設置位置と、計測される固有振動数の関係を把握するべく、試験鉄塔を用いて振動実験を実施し、その振動モードを推定した。このとき、実務における安全性・効率性の観点から、センサの設置位置は昇塔の必要のない高さに設置することを想定した。

2. 送電鉄塔の固有振動数の推定

(1) 塔体曲げ一次振動の観測実験

まず、鉄塔の振動として最も振幅が大きいと考えられる塔体曲げ一次振動の固有振動数の推定を試みた。対象鉄塔の塔高は 26.1 m である。図-1 に示すよ

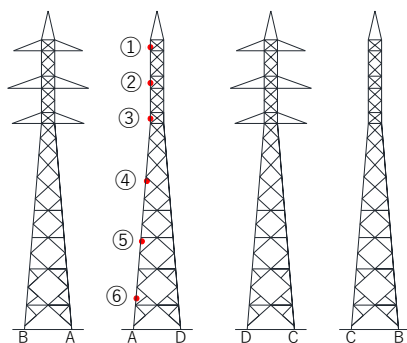


図-1 昇塔加振試験の概要

うに 6 つの加速度計を固定し、250 Hz で計測した。この実験では、塔体曲げ一次振動を励起するために技術者がセンサ①付近まで昇塔し、線路方向、線路直交方向に加振した。それぞれのセンサで得られた加速度波形からパワースペクトルを計算し、共通して現れるピークのうち最も小さな固有振動数を曲げ一次振動とした。その固有振動数は、線路方向が 2.06 Hz、線路直交方向が 2.35 Hz であった。

次に、常時微振動でこれらの固有振動数の観測を試みた。しかし、最下位置であるセンサ⑥では、線路方向、線路直交方向ともに、塔体曲げ一次振動の存在は確認できなかった。これにより、塔体曲げ一次の固有振動数を特定するには、昇塔してセンサを設置する必要があることが確認された。

(2) 鉄塔下部から得られる振動の調査

次に、昇塔の必要のない位置で得られる有意な振動を探すため、A-B 面最下パネルの水平材中央に人の手で衝撃力を与え、その減衰振動を計測した。このとき、4 つの加速度計を最下パネルの 4 つの水平材中央にそれぞれ取り付けた。

その結果、図-2 に示すようにパネルが面外振動をしている可能性が確認された。図-2 は最下パネルの水平材の位置における平面図である。これはパネル 4 面が連成したものであり、向かい合う面は同位相、隣り合う面は逆位相で振動していることが目視で確認

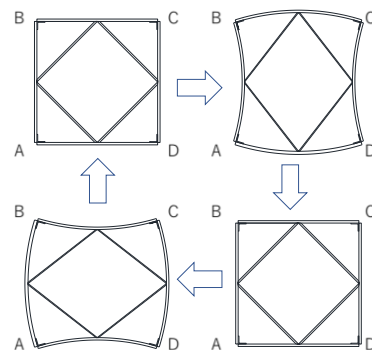


図-2 パネ連成振動のモード

キーワード 送電鉄塔, 基礎変位, 固有振動数

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学野田キャンパス TEL04-7124-1501

できた。加速度波形からフーリエスペクトルを算出し、この固有振動数を推定したところ 5.62 Hz であった。基礎変位が生じた際、トラスを構成する部材軸力や境界条件などが変化し、連成振動の固有振動数も変化すると考えられる。この予想が正しいならば、昇塔を要さずに異常として検知できる可能性がある。

3. パネルの振動数を用いた基礎変位検知の検討

(1) 最下パネルの固有振動数とモード形状の同定

先にも述べた通り、送電鉄塔下部で得られる有意な振動として、パネルの連成振動が考えられた。しかし、目視での確認であったため、位相と振幅を調査することでモード形状の推定を試みた。本実験では、図-3 に示した送電鉄塔最下部の模型に加速度計を設置し、パネルに衝撃力をわずかに与え、500 Hz で計測した。

それぞれのセンサで得られた加速度波形からフーリエスペクトルを算出し、共通して現れるピークのうち、最も振幅が大きくなったのは 12.6 Hz であった。本実験で用いた模型は試験鉄塔よりも小規模であるため、パネルの固有振動数が高くなったと考えられる。この固有振動数を対象に、パネル中央と任意の点において振幅と位相を比較し、モード形状を推定した。この固有振動は、パネル中央に近づくほど振幅が大きくなり、かつ同位相で振動していることが確認された。また、その他の面と比較すると、振幅はほぼ等しく、向かい合う面では同位相、隣り合う面とは逆位相で振動することも確認された。したがって、送電鉄塔の最下パネルは目視で確認された図-2 に示すような連成振動をしていることが明らかとなった。

(2) パネルの固有振動数と基礎変位量の関係調査

次に、基礎変位を与えた際にパネルの連成振動の固有振動数がどのように変化するか調査した。先ほどと同じ模型の1脚と地面の間に厚さ 1 mm の鉄板を数枚挟むことで変位を与え、変位量と固有振動数の関係を調査した。加速度計は、パネル中央に設置し、500 Hz で計測した。

その結果、図-4 に示すように基礎変位を与えると固有振動数が変化することが確認された。しかし、変位量と固有振動数に比例関係は見られなかった。これは、基礎が固定されていないため、初期状態が変位のない状態でなかったことや鉛直変位を与えた際に

水平にも変位が発生してしまったことなどが考えられるが、主たる要因を断言することはできない。

4. まとめ

加速度計を用いた送電鉄塔の基礎変位の検知手法について検討した。

- 1) 鉄塔下部に設置した加速度計から塔体曲げ一次振動を特定することは困難である。
- 2) 鉄塔下部から得られる振動として、パネルの連成振動が存在し、基礎変位によって固有振動数が変化することが確認された。
- 3) 今後は、固有振動数が変化する要因やモデルの妥当性などを調査・検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 山崎智之, 本郷榮次郎, 中村秀治: ボルト滑りを考慮し応力測定値との整合に留意した基礎変位鉄塔の実用的耐荷力解析について, 構造工学論文集 Vol.59A, pp.131~142, 2013
- 2) 栗原幸也, 辻徳生: 送電鉄塔基礎変位に伴う異常検出に向けた検討, 土木学会論文集, A2(応用力学), Vol.75, No.2(応用力学論文集)Vol.22, I_63-I_70, 2019



図-3 送電鉄塔最下の模型

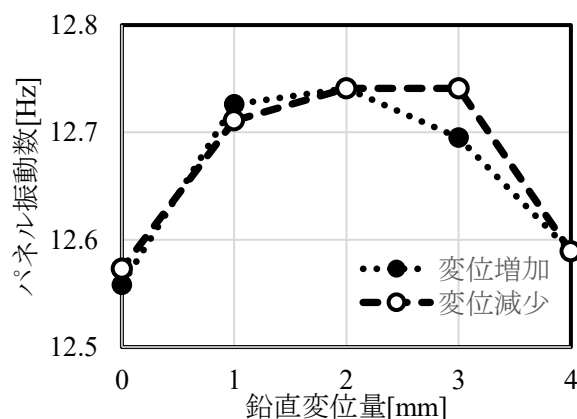


図-4 パネル振動数-鉛直変位量グラフ