

送電鉄塔の劣化事象と振動特性の関係について

東電設計(株) 正会員 ○栗原 幸也
金沢大学 正会員 辻 徳生
東電設計(株) フェロー会員 中村 秀治

1. はじめに

高度経済成長期に建設された社会基盤構造物の経年劣化、老朽化が進行しており、効率的かつ定量的な診断手法が求められているが、塔状トラス構造物の代表例として挙げられる送電用鉄塔においても同様である。

送電用鉄塔では、ボルト緩み、基礎変位、部材腐食などの経年劣化事象が発生している。このような劣化事象を詳細に診断するには、技術者が昇塔して確認するため、安全面に懸念がある上、技術者による診断評価に差が生じる可能性がある。そこで著者等は、客観的かつ定量的に劣化評価を行う簡易な方法として、高解像度カメラを用いた振動特性による評価を提案している¹⁾。本報告では、送電鉄塔の劣化事象である基礎変位および部材腐食による鉄塔の振動特性の変化を確認した。また、高解像度カメラを用いて送電用鉄塔を計測し、鉄塔の振動特性が計測出来るか確認した。



図-1 対処鉄塔

表-1 a脚を基準とした基礎変位量 (単位: mm)

	a 脚	b 脚	c 脚	d 脚
Δx	0.0	-5.22	-3.25	0.71
Δy	0.0	-1.14	3.09	4.63
Δz	0.0	9.80	8.80	0.90

2. 劣化事象による振動特性への影響

2.1 劣化事象について

(1) 基礎変位

送電鉄塔は4脚の主柱材水平断面が正方形になるように建設されている。基礎変位鉄塔は地盤沈下等の影響で4脚の位置が上下左右に動いた状態の鉄塔をいう。この基礎変位鉄塔は近年多数確認されており、その影響により多くの部材・ボルトに強度不足が確認され、補修工事が行われている。

(2) 部材腐食

送電鉄塔は鋼材で形成されているため、海岸近辺では塩害被害による部材腐食が確認されており、その影響による部材取替工事が多数行われている。

2.2 解析モデルについて

図-1 に示すような鉄塔（山形鋼鉄塔、塔高：23.3m、鉄塔重量：7.5ton、電圧：66kV）の固有値解析をADINA (ver.8.9) で行った。解析モデルには荷重径間分の電線重量を各電線支持点部に考慮した。

図-1 に作成した当該鉄塔のモデルを示す。固有値解析の結果、1次固有振動数は4.484Hzであった。一般的に送電用鉄塔の固有周期はH/100と言われており、当該鉄塔の鉄塔高では約4.30Hzとなるため、解析モデルはおおよそ一致している。

2.3. 劣化事象による振動特性の変化

(1) 基礎変位

解析上で基礎変位と1次固有振動数の関係を確認したところ、ある1脚の鉛直方向に5mm変位することで1次固有振動数が約1.7%変化し、相対変位量に比例して固有振動数が減少することを確認した。

キーワード 送電用鉄塔、高解像度カメラ、固有振動モード、維持管理

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 東電設計株式会社 PS 本部 Tel. 03-6372-5510

E-mail: t.kurihara@tepsco.co.jp

当該鉄塔で計測された基礎変位を表-1に示す。表-1の基礎変位を対象鉄塔に考慮して固有値解析を実施した結果、1次固有振動数は4.130Hzと、基礎変位により固有振動数は約7.89%変化した。環境ノイズによる影響を考慮しても十分にこの変化を捉えられると考えられる。今回考慮した基礎変位量では約7.89%変化であったが、基礎変位の組み合わせ次第ではより大きく1次固有振動数に影響を与える可能性があると考えられる。

(2) 部材腐食

腐食部材を模擬するために部材剛性を10%、20%減少させて固有値解析を実施した。なお、剛性を減少させた部材は主に取替対象となる上部パネル部材とし、トラス材の場合と上部全部材を対象とした場合の2パターン実施した。その結果を表-2に示す。表-1より、部材剛性を低下しても1次固有振動数にはほとんど影響がないことがわかる。また、2次固有振動数は1次よりも敏感に変化しているおり、2次固有周期が確認できれば鉄塔の腐食劣化を診断できる可能性を確認した。

表-2 腐食と固有振動数の関係（解析値）

	1次固有振動数	2次固有振動数
健全時	4.484 Hz	14.37 Hz
全トラス材 剛性 10%低下	4.478 Hz (変化率: 0.1%)	14.13 Hz (変化率: 1.7%)
全トラス材 剛性 20%低下	4.470 Hz (変化率: 0.3%)	13.81 Hz (変化率: 3.8%)
上部全部材 剛性 10%低下	4.467 Hz (変化率: 0.4%)	13.92 Hz (変化率: 3.1%)
上部全部材 剛性 20%低下	4.446 Hz (変化率: 0.8%)	13.44 Hz (変化率: 6.5%)



図-2 対象鉄塔の写真

3. 鉄塔の実測結果

3.1 試験概要

図-2に計測対象鉄塔（山形鋼鉄塔，塔高：23.3m，鉄塔重量：7.5ton，電圧：66kV，基礎変位無し）を，図-3に試験概要図を示す。高解像度カメラは鉄塔と正対するように鉄塔中心から約15m離れた位置に設置した。高解像度カメラの設定はフレームレート 30Hz，解像度 4K（2160×3840）とし，鉄塔頂部を拡大して約5分間を2回計測した。このとき，1ピクセルあたりの長さは約0.35mmであった。なお，対象鉄塔は2階建ての住宅に囲まれており，外力となる季節風はビューフォート風力階級表で表すと風力階級2の軽風（風速：1.6～3.3m/s）程度で，線路に対して45°～60°風向の風が時折吹いていた。

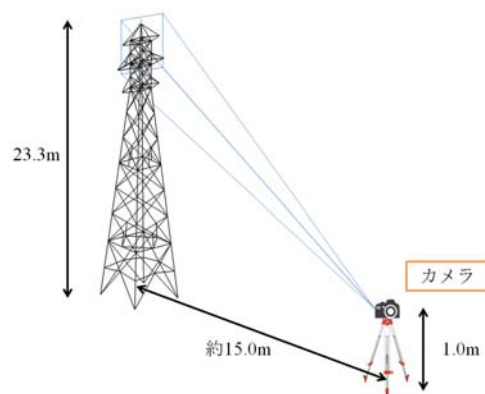


図-3 試験概要図

3.2. 実測結果と考察

計測の結果得られた時系列波形を高速フーリエ変換で振動解析し，得られたスペクトル振幅を平均した結果を図-4に示す。図-4の縦軸はスペクトル比（ピーク周波数の振幅を1としたスペクトル），横軸は周波数である。

図-4より，対象鉄塔の1次固有振動数は4.64Hzであった。1次固有値解析との誤差は約3.3%程度のため，比較的精度よく計測できていると考える。

また，図-4より，最大ピーク近傍に同等程度のスペクトル比を持つピークが確認された。以前計測した架線がない鉄塔では上記のような現象は起こらなかったことから，この要因は架線による影響と考えられる。鉄塔と架線が連成されることで，架線による復元力が鉄塔に加わるため，上記の現象が起こっていると考えている。この現象については解析や実験等で今後検討していく予定である。

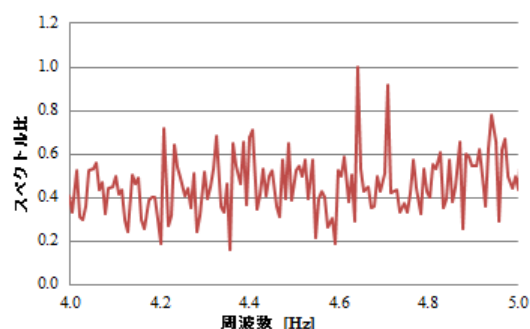


図-4 振動特性（実測値）

4. まとめ

本手法を用いて鉄塔の1次固有振動数を確認することが出来た。また，解析での基礎変位有無による固有振動数の差は7.89%であったため，計測精度が向上すれば基礎変位による異常を検出できると考えている。

謝辞： 現場計測にあたり東京電力パワーグリッド(株)に御協力いただきました。ここに深謝いたします。

参考文献1) 辻徳生，山崎智之，中村秀治，栗原幸也，関英俊，高解像度カメラを用いた経年送電鉄塔の劣化診断に関する検討，土木学会 構造工学論文集Vol.63A，9-0012，2017。