

高速カメラを活用した送電鉄塔のボルト緩み箇所特定の試み

九州大学 正会員 ○辻 徳生

東電設計(株) フェロー会員 中村 秀治

東京電力(株) 能勢晃太郎

1. はじめに

橋梁をはじめとした多くの社会基盤施設の経年劣化が進行しており、効率的かつ精度良く構造物の劣化状況を把握するための構造物ごとの診断技術が検討されている。鉄塔、電柱、煙突などの片持ち梁形式については、主要な固有モードの分離が、実験・実測的にも解析的にも比較的容易で、固有モードの経年劣化に伴う変化に着目した検討がなされている^{1),2)}。

ここでは、経年鉄塔の劣化診断技術の確立に資するため、実鉄塔に加速度センサおよびカラーマーカを取付けて人力加振試験を行い、①固有モード算出における高速カメラ、および無線機付き加速度計の適用性、②鉄塔の劣化診断のための数値処理技術についての検討結果を報告する。

2. 計測対象鉄塔の固有振動特性解析と特性変化部位の推定

加速度や変位の振動波形から AR 法により固有振動モードを計算する。「部材が劣化する」、あるいは、「ボルトが緩む」などの変化があれば、振動モードが変化するはずである。正常な状態と比較して、劣化が起こった層は変位が大きくなると考えられる。ここで、「層間差分」を振動モードの鉛直方向隣接節点間の差分と定義し、「層間差分の相対比率」を求める。層間差分 a_i ($1 \leq i \leq n$) に対し、劣化なしの層間の相対比率を $r_{ij} = a_i / a_j$ とし、劣化後の相対比率を r'_{ij} とする。相対比率の比 r_{ij} / r'_{ij} の j を 1 から n まで変化させたときの中間値 $e_i = \text{med}_j(r_{ij} / r'_{ij})$ を層 i の劣化評価値 e_i と定義する。中間値は相対値の過半数の値の結果を示し、劣化した部分では値が大きくなる。一方、劣化していない部分では互いの相対値の大多数が変化しないため、その値は 1 のままとなる。この評価値が大きくなった場合、他の層に比べて変位が大きくなり劣化したことを示す。

3. 計測実験

試験用の鉄塔を用いて計測実験を行った。最初に図-1 の青丸で示す 5 箇所に無線式加速度計 (ZMP:IMU-Z2) と球状のカラーマーカをそれぞれ近接させて設置した。図-3 に示す通り、カメラ (Canon:PowerShot SX50-HS) を鉄塔下部におき、1000mm 相当の焦点距離で動画を撮影する。カメラによる計測画像を図-4 に示す。

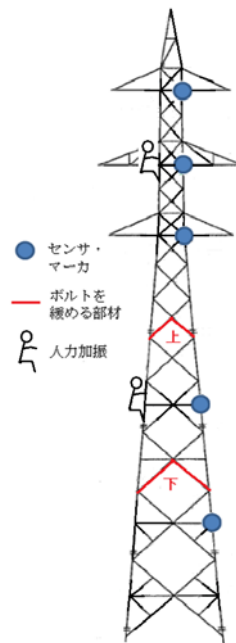


図-1 実験模式図



図-2 人力加振状況



図-3 高速カメラによる計測状況



図-4 マーカ計測

キーワード 送電鉄塔, 高速カメラ, 固有振動モード, 維持管理, ボルト緩み

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 九州大学大学院システム情報科学研究院情報知能工学部門

TEL: 092-802-3597

E-mail: tsuji@ait.kyushu-u.ac.jp

図-1 の人マークの点2箇所において、図-2 示す通り人力で加振する．さらに変化をつけるために、図-1 中、赤で示した部材のボルトを緩めて計測し、ボルトを緩めた箇所が検知できるか検証する．最初にボルトを緩めずに計測した状態を劣化なしとし、下側の部材のボルトを緩めた状態を“2 層劣化”，上側の部材のボルトを緩めた状態を“3 層劣化”とする．また両方のボルトを緩めた状態を“3 層・2 層劣化”と呼ぶ．

4. 計測結果と層間差分に基づく考察

加速度計で計測された各計測点の加速度と高速カメラで計測された各マーカの変位を図-5 (a), (b)に示す．計測対象が違いため波形が一致することはないが大局的な変化の傾向は一致していることが確認できる．変位に対し、AR 法に基づき振動モード解析を行った結果を図-6 に示す．ボルトを緩めた箇所の層間差分が大きくなっていることが確認できる．

そこで劣化なし状況を基準として、ボルトを緩めた箇所の推定実験を行い、評価を行った．表-1 に示す通り劣化している部分の評価値が 1 よりも大きくなっていることから、ボルトを緩めた箇所が推定できていると考えられる．一方で劣化していない部分に関して値が減少している場合があり、ボルト緩みによるモード形の変化は想定したモデルよりは複雑であると考えられる．

5. むすび

経年鉄塔の劣化診断のためのシステムの提案と確認実験を行った．加速度計と高速カメラによる計測の両方で劣化診断が可能であることが確認できた．カメラを用いた手法は、一旦マーカを設置するか、あるいはマーカレスのシステムを開発すれば地上から観測でき、メンテナンスの必要性もないため有効である．一方、今回は人力加振しており、人が登らなくてよくなるという利点を示せていない．今後、僅かな振動変位から振動モードを推定できるか検証し、その有効性を確認するとともに、より感度の高い計測法や解析法を検討する予定である．

参考文献

- (1) 由良慎弥, 中村秀治, 藤井堅: 階層型ニューラルネットワークを用いた構造物の損傷部材推定システムの実験的検討”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, I-548, 2011.
- (2) 辻徳生, 中村秀治, 藤井堅, 由良慎弥: カメラを用いた変位計測と振動モード解析に基づく鋼構造物の劣化部位推定, 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2013, 2a2-3, 2013.12.

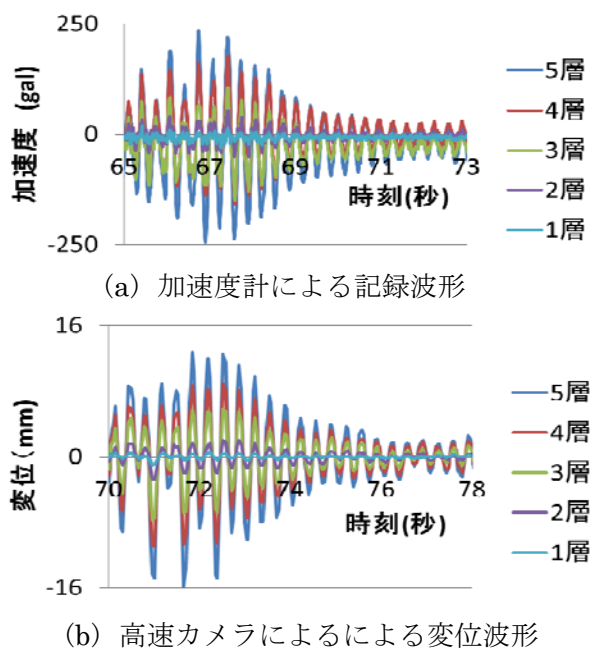
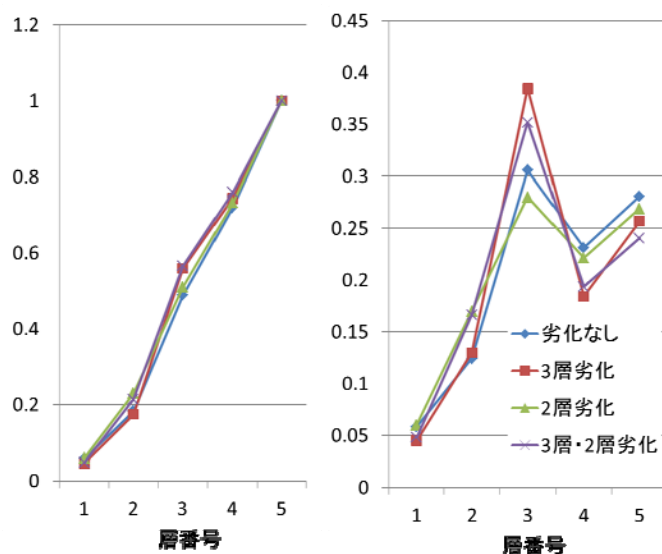


図-5 加速度計と高速カメラによる計測波形



(a) 振動モード (b) 層間差分

図-6 劣化時の振動モードの比較

表-1 劣化診断結果
(黄色の部分がボルト緩み箇所)

	劣化なし	3層劣化	2層劣化	3層・2層劣化
第5層	1.00	0.80	0.91	0.95
第4層	1.00	0.92	1.01	0.93
第3層	1.00	1.22	0.91	1.18
第2層	1.00	1.00	1.21	1.40
第1層	1.00	1.04	1.00	1.00