

既設塔状鋼管トラス構造物の腐食劣化部材検出の試み

東電設計(株) フェロー会員 ○中村 秀治

東電設計(株) 本郷栄次郎

1. 目 的

塔状トラス構造物の代表例として無線鉄塔、送電用鉄塔などがあげられるが、大別して山形鋼鉄塔と鋼管鉄塔に分けられる。一般的に規模が小さい場合、全ての部材を等辺山形鋼で構成した山形鋼鉄塔を使用し、一方、大型鉄塔においては主柱材・腹材などの主要部材を中空鋼管で構成した鋼管鉄塔が使用されている。鋼管鉄塔の場合、鋼管部材に孔があいたり、減厚により断面欠損が生じた場合に、残存強度を的確に評価して対策を施す必要があるが¹⁾、内面の腐食進行状態の正確な把握が難しいので、最初のスクリーニングで対策を要する劣化部材の絞り込みを行う作業が重要である。ここでは、鋼管鉄塔を対象に劣化程度の順位付けが可能で、且つ、劣化部材の存在箇所を大まかに検出できる診断技術の一つとして、経年劣化に伴う振動特性の変化を階層型ニューラルネットワークで検出する方法を選択し、基礎的検討を行ったので、その概略について報告する。

2. 鋼管鉄塔の劣化部位を大まかに検出する基本的考え方

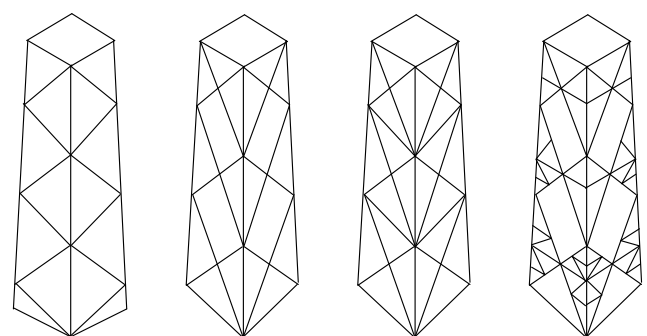
無線加速度センサを用いた橋梁振動モニタリングが多数報告されているが^{2)~5)}、既設構造物の健全性モニタリングにおいて、配線が不要でコストを抑えて測点数を増やせることなど利点が多いと思われる。鉄塔においては同型の構造が多く、鋼管トラス鉄塔部材の腐食特性などを考慮すれば、次の組合せが有効と考えられる。

- 診断対象鉄塔の健全状態および種々の腐食劣化状態を想定した固有振動解析を行い、水平2方向の曲げ固有振動モード1~3次、振り固有振動モード1, 2次、および固有振動数、モード減衰比を求める。
- 固有振動解析結果のうち、学習の入力データに固有振動モードを用い、教師データに劣化部材の存在位置(パネルNo.)を用いた階層型ニューラルネットワークを構築し、劣化部材位置の検出精度を確認する。
- 診断対象鉄塔の上下方向に無線加速度センサを設置し(4~10箇所程度)、常時微動観測あるいは地震時、強風時に観測して、高次固有振動数と対応する固有振動モード、モード減衰比を算出する。
- 測定値から得た高次固有振動モードを、固有振動解析結果に基づいて作られた階層型ニューラルネットワークに入力し、劣化部位と劣化程度を推定する。

ただし、上記a)~d)における問題は、塔状トラス構造に限らず全ての既設構造物に共通することではあるが、比較すべき健全時の実測値が無いことであり、初期応力・初期形状不整の影響、腐食以外の基礎不同変位などの振動特性に及ぼす影響評価が難しいことである。

3. 階層型ニューラルネットワークによる劣化部材の検出例

塔状トラスの骨組形式の多くは4本の主柱材と、腹材で構成されている(図1)。鋼管内部の腐食は、(i)溶融亜鉛めっき時に端部継手形状により不めつきを生じ、(ii)部材配置により水が溜り易く、流路ができ易くなり、(iii)腹材(斜材、水平材)内面が腐食すると元厚が薄いので孔を生じることがある、等である。このような実態を踏まえて、図2に示す鉄塔の固有振動解析を健全時1ケース、腐食劣化時58ケース行った。腐食部材数は鉄塔当たり1~3本として腐食部材の断面欠損率は50%(一律)とした。



(a)シングルワーレン (b)ダブルワーレン (c)プラット (d)ブライヒ

図1 鉄塔の骨組形式

キーワード 塔状トラス構造物、固有振動モード、階層型ニューラルネットワーク、無線加速度センサ
連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野3丁目3番3号 東電設計株式会社電気本部 TEL 03-6372-5720

次に、固有振動解析結果の内、水平2方向の曲げ1次～3次モード、振り1次、2次モードの高さ方向に4箇所、主柱材の水平2方向(図2中矢印)のモード変位を階層型ニューラルネットワークの学習データ(入力データ項目数64、データセット数59)とし、腐食部材を有するパネル位置を教師データ(データ項目数18)とすることで、階層型ニューラルネットワークの構築を試みた(学習回数500,000回)。さらに、作成されたニューラルネットワークに新たな腐食部材配置に対応するモード変位を入力して腐食劣化部位の検出を10ケース試みた結果は、表1に示した通りである。

表1 階層型ニューラルネットワークによる腐食劣化箇所の検出例

未学習	鉄塔のパネル No.																	
ケースNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	* 1.00	0.01	-0.01	0.00	* 1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.02
2	* 1.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	* 0.98	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	-0.01
3	* 1.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01	0.01	-0.01	* 1.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00
4	* 1.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	* 1.01	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	* 0.99	0.00	0.00	0.00	* 1.00	0.00	0.01	-0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01	-0.01
6	0.00	0.00	0.00	0.00	* 0.99	-0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	* 0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	-0.01	0.00	* 1.00	0.01	0.00	0.01	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	* 1.00	0.01
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	* 1.00	0.00	0.00	-0.01	* 1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	* 1.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	* 1.00	0.01
10	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	* 1.00	0.00	0.00	-0.01	* 1.00	0.01

表中で、赤字は腐食箇所となり、他は0.00が正解であるが、若干の推定誤差が認められる。腹材の中から斜材1～3部材を取り出して、断面を50%に減少させた程度では、構造全体の振動特性の変化はわずかであり、それが実態に近いのであるが、階層型ニューラルネットワークを活用することで検出できることが確認できた。

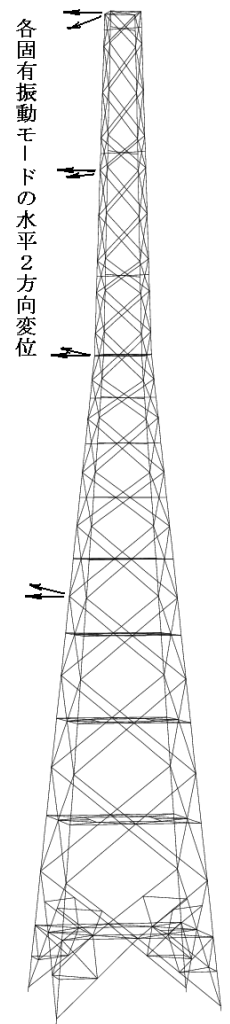


図2 固有振動解析モデル

4. さらに検討すべき課題

(1) 鉄塔診断用ニューラルネットワークの構築に向けての詳細検討

a) 腐食実態に即した固有振動のパラメータ解析ケースの最適設定. b) 固有振動解析結果の中から学習データとして用いる物理量の最適な選択. c) 学習データ項目数, データセット数, ネットワーク構築のための学習回数と, ニューラルネットワークの推定精度の関係. d) 鉄塔の各パネルにおける劣化部材の有無だけでなく, 劣化程度まで推定対象とする可能性の検討.

(2) 健全時の実測値の欠落を補うための解析的方法の検討.

(3) 無線加速度センサによる観測値に基づく固有振動モード, 固有振動数, モード減衰比の精度, および架渉線の影響評価など, 既設鉄塔の劣化診断への実用化に向けた実証的検討.

5. 結 び

本検討においては、既設鉄塔の腐食劣化対策が重要になって来ており、立地特性等から無線加速度センサを用いた計測と、腐食劣化状態に対応する固有振動のパラメータ解析、および階層型ニューラルネットワークを組合せた腐食部材検出方法を示し、検討結果の一部を述べた。詳細は講演会の当日示す予定である。

参考文献 1) 西村宜男, 竹内修治, 村上茂之, 田淵敦彦, 伏見義仁: 断面に欠損を生じた円形鋼管部材の残存強度の評価法, 鋼構造年次論文報告集, 第9号, pp. 489-496, 2001. 11. 2) 高田知典, 石間計夫: 無線センサネットワークの建設分野への利用と課題, 土木学会第60回年次学術講演会概要集, CS12-010, 2005. 9. 3) 川谷充郎, 金哲佑, 藤本達貴, 塚本昌彦, 藤田直生, 南靖彦: 橋梁振動モニタリング用MEMS無線センサノードの開発と実橋適用性検討, 土木学会第63回年次学術講演会概要集, 1-571, 2008. 9. 4) 吉岡勉, 原田政彦, 山口宏樹, 伊藤信: 斜材の実損傷による鋼トラス橋の振動特性変化に関する一検討, 構造工学論文集 Vol. 54A, pp. 199-208, 2008. 3. 5) 三木千寿, 山口浩, 判治剛, 田辺篤史: 無線センサネットワークによる鋼橋部材の疲労損傷原因の特定を試み, 構造工学論文集 Vol. 56A, pp. 671-679, 2010. 3.