

部材の老朽化がトラス橋の固有振動特性に及ぼす影響

東海大学大学院 学生会員 ○清水 雅樹
 東海大学 正会員 三神 厚
 東海大学大学院 学生会員 海野 晃司

1. はじめに

我が国では高度経済成長期に建設された橋梁などのインフラが老朽化している。国土交通省は橋梁の管理者に対し、5年に一度以上の橋梁の近接目視点検を義務付けている¹⁾。老朽化した橋梁には維持管理が必要であり、それには費用と人的労力が必要であるが、技術者不足のため十分な維持管理ができない可能性がある。1つの解決策として、センサーを利用して損傷箇所と損傷の程度を特定することが考えられる。橋梁の振動モニタリングに関するいくつかの研究については、損傷による剛性の低下とトラスの固有振動数の変化との関係を検討している例が見られる。例えば吉岡ら²⁾は鋼トラス橋の振動特性が部材の損傷によってどのように変化するかを調べ、斜材の部分的な損傷によって面内方向のモード特性が変化することを示した。

本研究ではトラス橋の部材の損傷検出に振動信号を利用することを想定している。振動論に基づく方法では、構造物の固有振動特性（固有振動数と固有振動モード）が重要な要素になる。ここでは部材の弾性率の低減によって構造物の損傷を表現することとして、多数の部材からなるトラス構造物のどの部材が固有振動数および固有振動モードに対してより感度が高いかということを見出すために固有値解析を実施する。本研究から得られた知見は、今後センサデータをを用いた構造物の損傷検出のため、例えば、最適なセンサー位置の決定などに寄与することが期待される。

2. 研究対象としたトラス橋

本研究で対象としたトラスはワーレントラス³⁾、2径間トラス、プラットトラスである。ワーレントラスとしては早川橋梁をモデル化した。図1に早川橋梁の概要を示す。この橋は1888年に建設された長さ約63mのダブルワーレントラス橋で、日本の典型的な老朽化した鉄道橋である。材料には錬鉄を使用している。なお、ここでは紙面の都合により、早川橋梁以外の2つのトラス橋の検討結果についての報告は割愛する。



図1 早川橋梁概要図

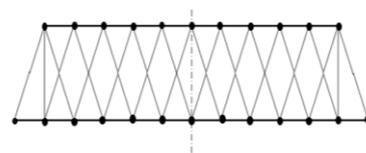


図2 早川橋梁の有限要素モデル

3. モデル化と固有値解析

本研究ではトラス構造物の部材が損傷したと仮定した場合の振動特性の変化に着目した。研究にあたり構造解析ソフトウェア TDAPIII⁴⁾を使用した。研究で対象としたトラス橋をもとに、トラスモデルを2次元有限要素で作成した。早川橋梁の有限要素モデルを図2に示す。トラス部材は46個の棒要素と24個の節点からなる。解析に使用したパラメータを表1に示す。

表1 早川橋梁パラメータ

| パラメータ | 幅 | 高さ | 断面積 | ポアソン比 | 弾性係数 | 質量密度 |
|-------|-------|-------|----------------------|-------|--------|----------------------|
| 単位 | 500mm | 500mm | 20000mm ² | 0.3 | 206GPa | 7.8g/cm ³ |

キーワード

損傷検知、トラス橋、固有振動数、振動モード

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 学校法人東海大学 TEL : 0463-58-1211 E-mail: 7bckm013@cc.u-tokai.ac.jp

4. 結果

4.1 基本振動特性

トラス橋の固有振動数とともに固有振動モードを図3に示す。一般に、高次モードは検出しにくいいため、本研究では1次の振動モードに着目する。

4.2 一部材の損傷が固有振動数に及ぼす影響

トラス部材の損傷は、部材の弾性率を下げることによって近似的に表現する。上弦材、斜材及び垂直材、下弦材のいずれかの部材の弾性係数が損傷によって低下しているものとして固有値解析を実施する。本研究では部材損傷による弾性率の減少度は50%と仮定した。

図4は、上弦材に関して部材ごとの損傷による固有振動数の減少率を示しており、縦軸は、損傷を受けていない構造物の固有振動数に対する固有振動数の減少の比率を示す。したがって、その値が最も大きいトラス中央の部材が固有振動数の減少に最も大きな影響を与えていることがわかる。図5にトラス橋の斜材及び垂直材の固有振動数の減少率を示す。この図から両端の部材は固有振動数の減少に最も重要な影響を与えることが推察される。一方で、トラスの中心付近では、固有振動数を低下させる効果は少ない。図6に下弦材の損傷による固有振動数の減少率を示す。上弦材の場合と同様に、トラス中央付近の部材の損傷は固有振動数に大きな影響を与えることがわかる。

5. まとめ

振動論に基づいて老朽化したトラス構造物の損傷検知のために、本研究ではセンサデータ（振動信号）を利用することを前提として、対象構造物の固有値解析を行った。構造部材の劣化は、その弾性率の低減によって表現した。その結果は、トラス構造物の中心付近の上下弦材の構造的損傷が1次振動モードの固有振動数に対して最も影響が大きいことがわかった。一方で、高次モードに着目した場合には、振動の節の近くの部材の損傷は当該モードに対する固有振動数に対して鈍感であった。これらの結果は、トラス部材の損傷が部材の固有振動特性に及ぼす影響は着目する振動モードに依存することを表している。したがって、着目する振動モードに応じたセンサー配置を考慮することにより、損傷部材のより良好な検知につながる可能性がある。このように、本研究から得られた知見は、センサデータを用いた構造物の損傷検知に貢献することが期待される。

参考文献

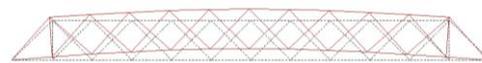
1) 国土交通省：道路の老朽化対策老朽化の取り組み，2018.8.

<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>

2) 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, 2008, pp.199-208.

3) 関野 昌丈：箱根登山早川橋梁, 橋梁と基礎, トラス橋特集, 建設図書, Vol.27, No.8, 1993, p.167.

4) アーク情報システム：TDAP III 使用手引書, 2017.



1次=3.2065Hz

図3 1次モードの固有振動特性

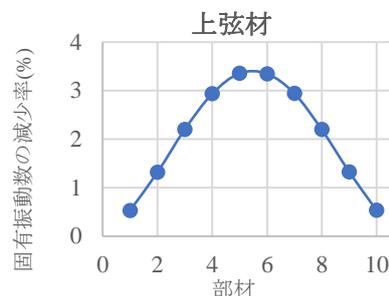


図4 部材ごとの損傷による固有振動数の減少率

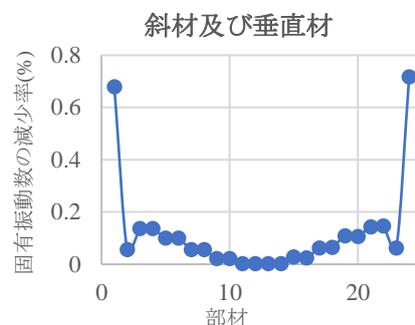


図5 部材ごとの損傷による固有振動数の減少率

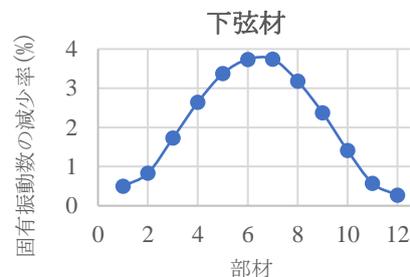


図6 部材ごとの損傷による固有振動数の減少率