

機械学習の方法を適用したトラス構造物の損傷検知

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

1. 目的

我が国では、高度経済成長期に集中的に整備された社会資本が、建設後すでに 30～50 年の期間を経過していることから、今後急速に老朽化が進行するものと考え、20 年後には、建設後 50 年以上経過した構造物の割合が、6 割になると見込まれている¹⁾。そこで国土交通省では、維持管理者に対し、5 年に 1 回の近接目視の点検を義務付けている。しかし、多大なコストを要すばかりか、技術者不足により、老朽化した構造物をすべて点検することは難しい。1 つの解決方法として、センサー及び信号処理技術を使用して、損傷した部材の位置及び損傷程度を検出する方法が考えられる。本研究ではインフラに設置したセンサーによって振動データが得られることを想定して、老朽化した構造物の損傷検知の自動化を目指している。ここでは特に、機械学習の方法を適用しトラス橋の損傷検知を試みた結果について報告する。

2. 解析概要

今回の研究に用いる橋梁は、箱根登山鉄道株式会社が管理する早川橋梁²⁾を参考にモデル化したものである(図 1)。このモデルを二次元有限要素法にて時刻歴解析するにあたっては、TDAPIII³⁾を用いた。構造諸元を表 1 に示す。本研究では構造物モデルの基盤に入力波として図 2 に示す定常ランダム波を与えた場合の時刻歴応答を求め、それを橋梁に振動を計測するセンサーが設置された場合に得られるものとして利用し、構造部材の損傷検知を行った。ここでは、図 1 の○印での応答をセンサーデータとして扱う。損傷した橋梁と損傷していない橋梁のモデルを用意し、大量の応答データを作成する。次に、AR モデルを時刻歴信号に適用して、構造物の特性を抽出した。さらに、得られた AR 係数に主成分分析を行うことで特徴量を 2 次元まで削減する。それに、機械学習⁴⁾として、決定木を AR 係数に適用して、部材を損傷した橋梁と損傷していない橋梁に分類した。

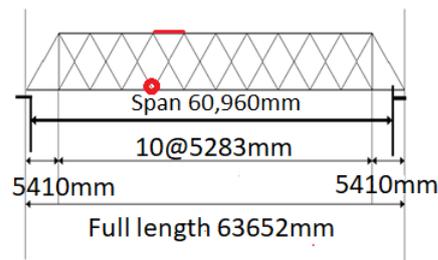


図 1 早川橋梁

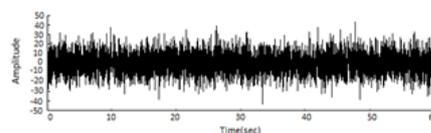


図 2 入力波

表 1 構造緒元

Parameter	長さ	重さ	断面積	ポアソン比	弾性係数
Unit	400mm	500mm	20000mm ²	0.3	206GPa

3. 解析結果

3.1 各部材ごとの損傷の検出

対象の橋梁の特定の上弦材、斜材、下弦材のそれぞれの損傷を考慮した場合の時刻歴応答の特徴量に主成分分析を行った結果を図 3 に示す。なお、ここでは、清水ら⁵⁾の検討に基づき、1 次の振動モードに最も影響が大きい部材に着目している。図では部材の損傷を考慮した場合と損傷を考慮していない場合の主成分分析結果の比較を示しているが、閾値を適切に設定することで、これらの図から、損傷した構造と損傷していない構造を区別できる。これに決定木を適用することにより自動的に閾値を決定する。表 2～4 は決定木による評価結果で、例えば、表 2 では、被害ありの 19 ケースの被害なしの 21 ケースを適切に分類(判定)できていることがわかる。

キーワード 損傷検知, 機械学習, AR モデル, 決定木

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

3.2 特定の部材の損傷が変化した場合の損傷検出

ここまでの検討では、ある部材に損傷があるか否かの評価を行ってきたが、次に、部材損傷の程度について検討する。部材の損傷の程度として 10%、50%、90% の 3 ケースを考慮し、同じく定常ランダム波を入力した場合の構造物の応答データに前節と同様の手順を適用し、損傷検知を試みた。ここでは図 1 の赤線の部材の損傷程度を 10%、50%、90% と変化させ、赤丸の節点で得られる応答データを使用した。各損傷度のそれぞれに主成分分析を適用した結果を図 4 に示す。その結果、表 5~7 に示すように、損傷の程度が小さくなると被害の分類が難しくなるという結果が得られた。

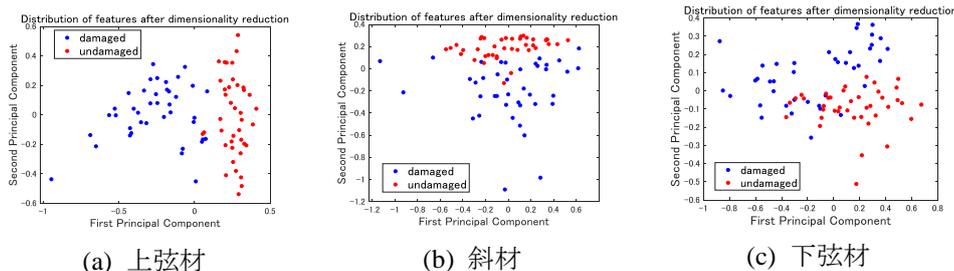


図 3 各部材の主成分分析結果

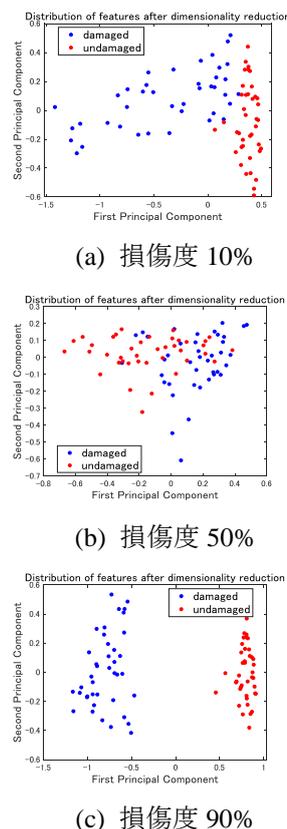


図 4 各損傷度での主成分分析結果（上弦材）

Items	Estimate_damaged	Estimate_undamaged
damaged	19	0
undamaged	0	21

Items	Estimate_damaged	Estimate_undamaged
damaged	20	2
undamaged	2	16

Items	Estimate_damaged	Estimate_undamaged
damaged	21	0
undamaged	0	19

Items	Estimate_damaged	Estimate_undamaged
damaged	20	2
undamaged	2	16

Items	Estimate_damaged	Estimate_undamaged
damaged	16	4
undamaged	8	16

Items	Estimate_damaged	Estimate_undamaged
damaged	24	0
undamaged	0	16

4. 結論

この研究は、トラス橋の部材の損傷検出のために、橋梁に設置されたセンサーから振動データが得られるという想定のもと、構造部材の損傷検知を行った。損傷した橋梁と損傷していない橋梁のモデルを用意し、それぞれの時刻歴応答を細分化することで多くのサンプルを作成する。次に、AR モデルを時刻歴信号に適用して、構造物の特性を抽出した。さらに、得られた AR 係数に主成分分析を行うことで特徴量を 2 次元まで削減する。その上で、機械学習として、決定木を AR 係数に適用して、部材を損傷した橋梁と損傷していない橋梁に分類した。その結果、決定木法により、損傷の程度によるが、概ねトラス部材の損傷を検出できた。この方法は老朽化したトラス橋の部材の劣化をより少ないコストと労力で自動的に検知することに寄与するものと期待される。

参考文献

- 国土交通省, 国土交通白書, 2018.
- 関野昌丈, 箱根登山鉄道早川橋梁, 橋梁と基礎 トラス橋梁特集, 建設図書, Vol. 27, No. 8, 1993, p.167.
- アーク情報システム, TDAPIII, 使用手引書, 2017.
- Math Works, センサーデータ解析と機械学習 ~振動データからの異常検出~ホームページ: <https://jp.mathworks.com/videos/sensor-data-analysis-and-machine-learning-anomaly-detection-using-vibration-data-100241.html> (2018 年 5 月 20 日閲覧)
- Shimizu, M., Mikami, A. and Unno, K., Damage Detection of Truss Structures Based on Vibration Characteristics, 4th International Conference on Science, Engineering and Environment(SEE), 2018, pp. 752-757