

## トラス部材の損傷同定手法の数値的検討

愛媛大学工学部環境建設工学科  
愛媛大学  
愛媛大学

学生会員 ○石水 貴久  
正会員 大賀 水田生  
正会員 全 邦釘

### 1. 背景

近年、わが国の橋梁は耐用年数の目安とされる建設後 50 年を超えるものが急激に増加している。その中でこれらの橋梁を安全で長期的に使用するためには適切な維持管理が必要である。現在行っている点検手法は、点検者による目視で損傷程度を判断するものである。しかし、点検者によって損傷に対する判断基準が異なるため、損傷箇所の見落としの危険性がある。このような見落としを防ぐには損傷・劣化状況を定量的に評価する点検手法の確立が必要となる。

そこで、本研究では橋梁の損傷による加速度応答の変化を利用する。これらの関係に対して機械学習を用いることにより、損傷推定アルゴリズムを作成し、損傷箇所を推定する手法を構築した。

### 2. 有限要素解析による加速度応答の取得

#### 2.1 解析モデル概要

本研究ではトラス模型に対しての損傷同定を行う。モデル作成及び解析は Abaqus/Explicit で行った。トラス模型の寸法及び使用した材料定数を図-1、表-1 に示し、作成した解析モデルを図-2 に示す。要素タイプには 3 次元 4 節点低減積分シェル要素(S4R)を用いた。節点数は 15,444、要素数は 14,520 である。

表-1 トラス模型の解析に用いた材料定数

	アルミニウム
ヤング率(GPa)	70
ポアソン比	0.34
密度(kg/m <sup>3</sup> )(×10 <sup>3</sup> )	2.6

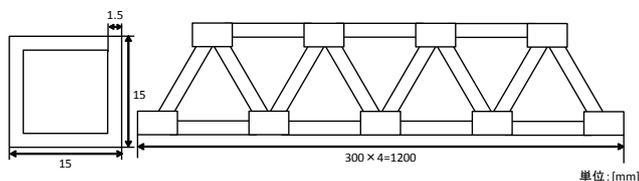


図-1 トラス模型の寸法

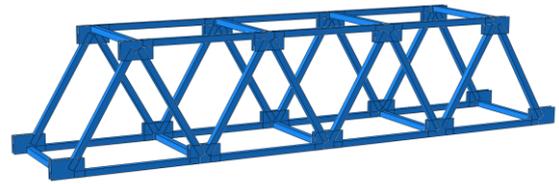


図-2 解析モデル

#### 2.2 加速度応答の取得

加速度応答を取得するために作成したトラス模型の有限要素模型に対して 1 次曲げモードで振動する衝撃荷重を与える。加速度応答を取得する位置は各斜材の中央部とし、手前と奥を合わせて 16 点の加速度応答の取得を行う。荷重位置は手前と奥の上弦材の中央部いずれかとし、両上弦材に対して同時に荷重を与える。

#### 2.3 想定する損傷パターン

解析モデルへの損傷の与え方は木曾川大橋の斜材破断の事例を参考にした<sup>1)</sup>。腐食による損傷の途中経過を想定し、斜材の下部に部材の半分を切り取る損傷を各斜材に与えた。損傷した斜材を導入した解析モデルを図-3 に示す。

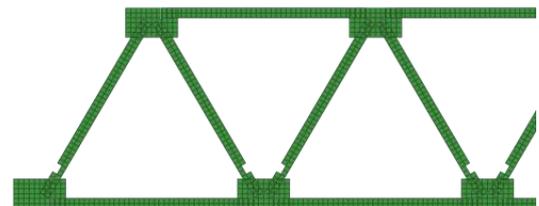


図-3 損傷を導入した解析モデル

また、実際には多くの斜材に同時に致命的な損傷が生じないことを鑑み、斜材に対して損傷を与える本数を合計 2 本までと仮定する。手前と奥の斜材を合わせた 16 本のうち損傷した本数を 1 本とすると

16通りの損傷の組み合わせがあり、損傷した本数を2本とすると120通りの損傷の組み合わせがある。よって、健全な状態を合わせ、合計137個の解析モデルを作成した。

### 3. 損傷推定アルゴリズムの構築

前述の137個の解析モデルを用いて、加速度応答と損傷位置の関係を学習し、損傷推定アルゴリズムを作成する。機械学習に用いる教師データとして、入力データは各計測点の加速度最大値、または加速度応答の波形にフーリエ変換を行い、1次曲げモードの最大振幅スペクトルとその時の周波数を用いた。また、出力データは手前と奥の斜材16本に対して損傷の有無のデータを用いた。

### 4. 精度検証

損傷推定アルゴリズムに未知の加速度応答を入力することで損傷箇所の推定をどの程度の精度で行うことが可能であるかを交差検定法の1つである、leave-one-out法を用いて検証を行った<sup>2)</sup>。損傷の位置と番号の関係を図-4示す。また、交差検定を行い、異なった入力データを用いた場合の精度を各損傷箇所毎に比較し、高い精度を得られた入力データの種類とその時の精度結果を図-5、図-6に示す。

入力データに加速度の最大値を用いた場合は荷重位置の周辺の精度が高くなる傾向があり、振幅スペクトルと卓越周波数を用いた場合は端部の精度が高くなる傾向があった。両方用いた場合の精度は97.35%の精度を有し、損傷推定アルゴリズムがトラス模型の損傷同定に対して有効であることがいえる。

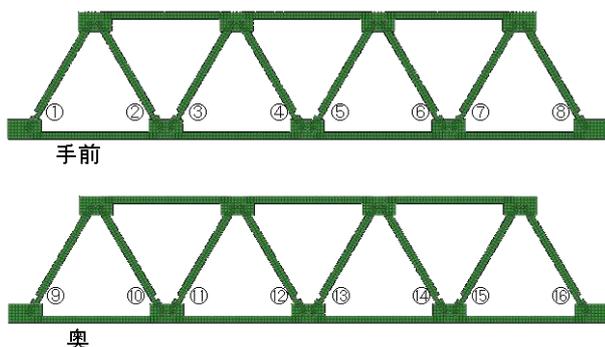


図-4 損傷箇所の位置と番号一覧

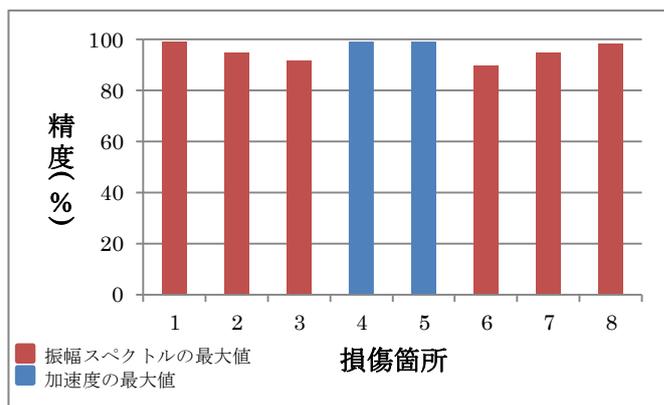


図-5 手前の損傷箇所に対する損傷推定精度

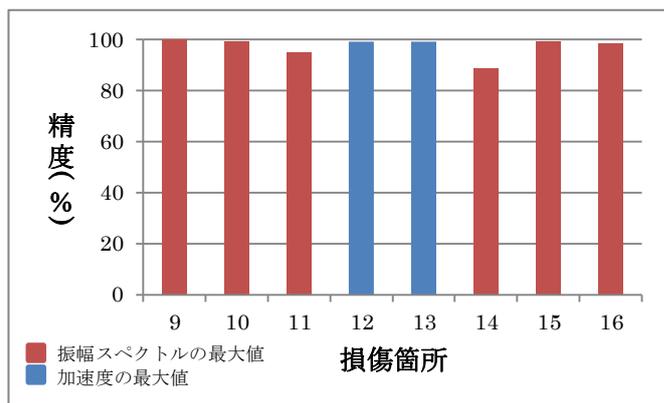


図-6 奥の損傷箇所に対する損傷推定精度

### 5. 結論

以下に本研究で得られた成果を示す。

- 1) 加速度応答と損傷位置の関係を学習させることで損傷推定アルゴリズムを構築し、損傷箇所推定を行うことが出来た。
- 2) 加速度の最大値は荷重位置周辺の損傷に対して有効であり、振幅スペクトルの最大値は端部の損傷に対して有効であった。両者を用いた場合、損傷推定において97.35%の精度を得ることが出来た。

### 参考文献

- 1) 山田健太郎：木曾川大橋の斜材の破断から見えるもの，土木学会誌 Vol.93, No.1, pp29-30, 2008.
- 2) 後藤正幸，小林学：入門パターン認識と機械学習，コロナ社，2014.