

# 機械学習による RC はりの振動試験データの分析とひび割れ評価

東北大学 学生会員 ○藤咲 友輔  
東北大学 正会員 内藤 英樹

## 1. はじめに

近年、社会基盤構造物の老朽化に伴い、構造物の健全性を評価する非破壊検査手法の開発が必要とされている。また、Society 5.0 などの施策では、人工知能といった先端技術による課題解決を目指している。このような中で、Naito et al.<sup>1)</sup>は構造物内部に局所的な振動を励起することで健全性を評価する局所振動試験の開発を行っており、実際の RC 構造物内部の損傷検出に有用であることが示されている。しかしながら、得られたデータの利活用には発展の余地がある。

本研究では RC はりに損傷を与え、局所振動試験を行うことで得られた振動特性をもとに、深層学習モデルによるひび割れ評価を検討した。なお、本研究は参考文献 2)の結果を参照し、さらなるデータ利活用の高度化を試みた。

## 2. 実験概要

### 2.1 載荷試験概要

図-1 に示すように、曲げ破壊先行型の RC はり供試体を用いた。コンクリートの材料特性は、圧縮強度 37.6 MPa、静弾性係数 27,200 MPa、動弾性係数 30,200 MPa、質量密度 2,200kg/m<sup>3</sup>である。試験において、降伏変位  $\delta_y$  は引張鉄筋が降伏した時点での変位とする。変位が  $n\delta_y$  ( $n=1,2,\dots,5$ )に達した時点で除荷し、再度載荷するサイクルを  $6\delta_y$ に達するまで繰り返した。

### 2.2 局所振動試験概要

図-2 に示すように局所振動試験を実施した。測定は供試体圧縮面上の中央の測線を 50mm 間隔で行った。載荷前に各測点に対し 10 回ずつ測定を行った。その後、変位が  $n\delta_y$  ( $n=1,2,\dots,6$ )に達した時点で除荷した状態にて局所振動試験を行った。振動試験の条件はパワースペクトル密度 0.5(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz、周波数範囲 1,000-20,000Hz、振幅の実効値は 97.6(m/s<sup>2</sup>)とした。

### 2.3 機械学習概要

損傷の評価手法として、ひび割れ図再現を試みた。

図-2 に示すように、ある測点で得られた振幅スペクトルから、赤枠内のひび割れ図を再現することを学習させる。入力特徴量として局所振動試験により得られた振幅スペクトルを最小最大スケージング(正規化)した各周波数振幅を用いた。周波数分解能約 49Hz としたため、入力サイズは 389 パラメータである。機械学習モデルの構築には TensorFlow を用いた。図-3 に機械学習モデルの概略図を示す。機械学習モデルには畳み込みニューラルネットワークを用いた。途中でひび割れ描画の下地となりうる供試体測定面、下面、端部付近の場合は端部の境界線を示した測定位置画像を結合した。なお、出力に対応するひび割れ図は参考文献 3)より、局所振動試験の影響範囲を考慮して加振点の左右 200mm を一辺とする正方形とした。学習に当たってはテストに用いる載荷ステップのデータ以外の全データを訓練データとし、交差検証を行った。隠れ層の活性化関数は

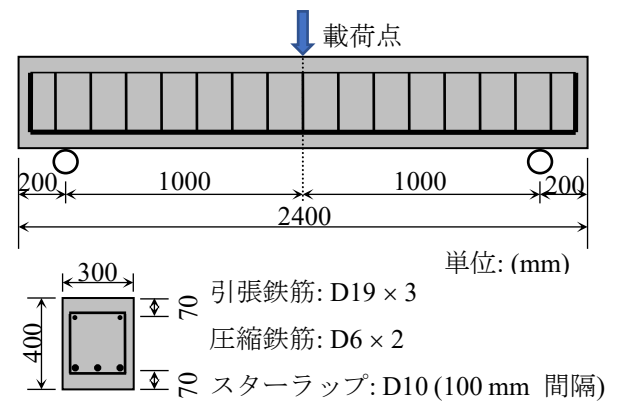


図-1 供試体諸元

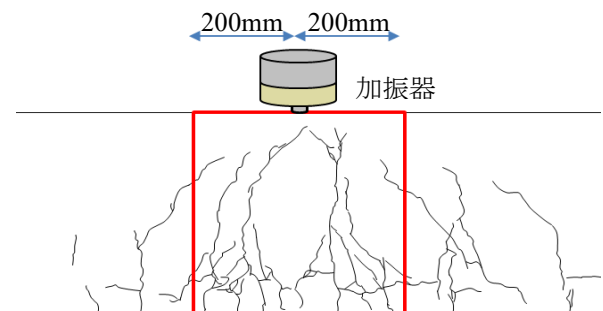


図-2 加振点-ひび割れ図対応図

キーワード RC はり, 機械学習, 非破壊検査, 損傷検知, 振動試験

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06, TEL:022-795-7449

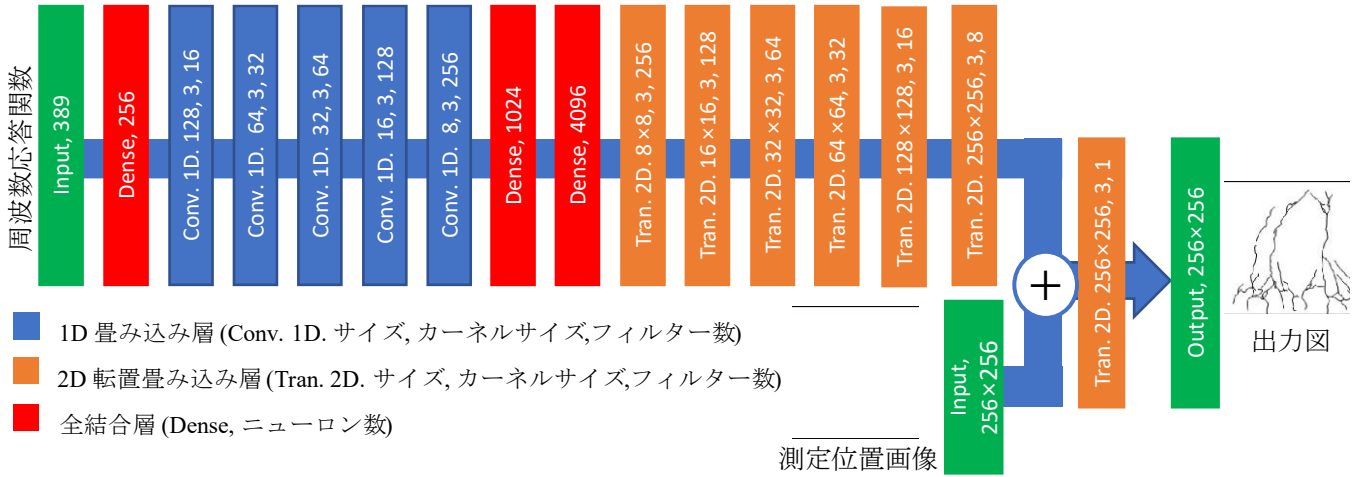


図-3 機械学習モデル概要

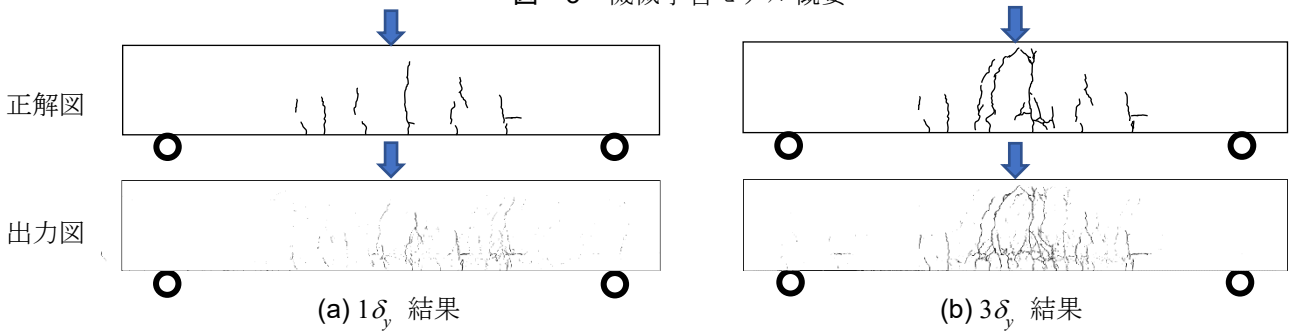


図-4 ひび割れ推定結果

ELU 関数，出力層の活性化関数は Sigmoid 関数，最適化手法は Adam，学習率は 0.001~0.0001 で性能スケジューリングを行い，バッチサイズは 16，学習回数は最大 200 回とした早期打ち切りを導入して学習を行った。

### 3. 結果と考察

機械学習によって再現されたひび割れ図を結合した結果を図-4 に示す。1 $\delta_y$ の結果では，全体が淡いひび割れで表されているが，実際にひび割れが発生している範囲でひび割れの予想が出力されている。淡くひび割れが表れている原因は，テストデータに近似したデータが訓練データ内にあまり存在していなかったことと考えられる。1 $\delta_y$ の最大ひび割れ幅が 0.4mm だったのに対し，2 $\delta_y$ の最大ひび割れ幅は 3.1mm であり，1 $\delta_y$ と 2 $\delta_y$ の測定間に大きく損傷が進行したことが推察される。3 $\delta_y$ の結果では，ひび割れの位置，形状ともに近似した出力が得られている。これは 1 $\delta_y$ の場合と対照的に，2 $\delta_y$ や 3 $\delta_y$ 以降のデータと類似性を見出すことができたものと考えられる。なお，3 $\delta_y$ 以降についてはひび割れ出力図に大きな変化は見られなかった。これは正解図においても 3 $\delta_y$ までには主な損傷が生じていたことと考える。以上のことから，様々な損傷パターンの教師データの拡充により実用に耐えるひび割れ描画による評価を行

いうる可能性が示された。

### 4. まとめ

本研究においては RC はりにおける載荷試験で振動試験を行った。得られた振動特性と機械学習を用いてひび割れ画像の再現を行い，健全性診断の高度化を試みた。結果として，局所振動試験で得られた振動特性を用いて，ひび割れ図の再現を行うことができる可能性が示唆された。教師データの拡充により，道路橋床版等に対する局所振動試験において内部損傷状態の可視化につながる可能性が示された。

#### 【参考文献】

- 1) Hideki Naito, Ryosuke Sugiyama, John E. Bolander: Local Vibration Testing and Damage Evaluation for RC Bridge Decks, *Journal of Structural Engineering*, 146 (9), 04020168, 2020.
- 2) Yusuke Fujisaku, Hideki Naito, Kohko Inaba: Damage Evaluation of Concrete Beams Using Forced Vibration Testing and Machine Learning, *Proceedings of the 11th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*, pp. 1213-1219, 2022.
- 3) Hideki Naito, John E. Bolander: Damage Detection Method for RC Members Using Local Vibration Testing, *Engineering Structures*, 178, pp. 361-374, 2019.