

多点センサを用いた局所振動試験によるコンクリート部材の健全性診断

東北大学 学生会員 ○安川 悠

東北大学 正会員 内藤 英樹

1. はじめに

著者らは RC 構造物の地震時損傷評価を目的として、加振器および加速度センサを用いた局所振動試験と、機械学習を利用した異常検知の適用性を検討してきた¹⁾。従来の目視による評価と比較して点検の高精度化が期待されている。しかし、これまでの手法では、ひとつのセンサを加振点と同じ位置に設定するため、広い範囲を調査対象とした場合には、多くの労力と時間が必要であった。

そこで本研究では点検の効率化を図るために、加振器の周りに複数の加速度センサを配置し、機械学習で評価することを考えた。空隙を含むコンクリート試験体により、その可能性を検討した。

2. 実験概要

2.1 局所振動試験

図-1 および図-2 に示した中央に空隙を含む C 試験体と端部に空隙を含む E 試験体を使用した。図-2 では、加振点を赤点、および 8 つのセンサを青点で示した。空隙は水色箇所を示している。C 試験体および E 試験体の上面から局所振動試験を行い、加速度センサによる時刻歴波形を取り出し、高速フーリエ変換 (FFT) することにより、各センサにおける周波数応答関数を得た。加振条件はランダム加振とし、周波数帯域 1000-20,000Hz にわたり、パワースペクトル密度 (PSD) を $0.5(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ に制御した。このときの加速度波形の振幅の実効値 (RMS) は 97.6m/s^2 であった。

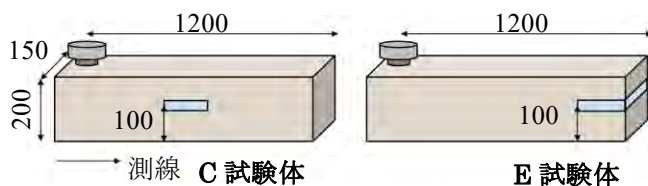


図-1 コンクリート試験体 (側面図)

2.2 機械学習

センサ設置箇所に空隙を含まない E 試験体を健全体と位置付ける。E 試験体の周波数応答関数を学習し、C 試験体の各センサ地点の異常度を算出した。学習モデルの構築はニューラルネットワークの数理モデルであるオートエンコーダを用いた²⁾。本実験では周波数分解能 97.7Hz の 194 パラメータを 1 次元データとして与えているため、オートエンコーダの入力層および出力層は 194、中間層は 5 層、エポック数は 30、バッチサイズは 16 とした。健全データを学習したモデルをオートエンコーダにより構築し、 $1 \leq i \leq 194$ においてモデルに入力する周波数応答関数を f_i 、モデルから出力される周波数応答関数を g_i として、異常度 e を次式により定義した²⁾。異常度が大きい程、 f_i と g_i 間に差が見られ、不健全であることが示される。

$$e = \frac{\sum_{i=1}^{194} |f_i - g_i|}{\sum_{i=1}^{194} g_i} \quad (1)$$

C 試験体および E 試験体から取得した周波数応答関数のデータ数を表-1 に示す。本検討では、得られた異常度のある閾値を基準として正規化するための新たな異常度 e_T を定義し、異常度 e_T を求めるための学習データおよびテストデータの組み合わせを変更させた。C 試験体のセンサ番号が j ($1 \leq j \leq 8$) の地点をテストするとき、E 試験体のセンサ番号 j を学習データにする検討 1 と、センサ番号が 1~8 の全データを使用する検討 2 を行った。

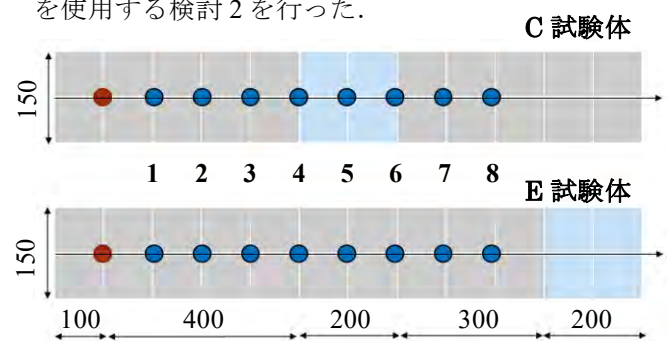


図-2 コンクリート試験体 (平面図)

キーワード 振動試験, コンクリート, 機械学習, 多点センサ, 異常検知

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

検討1では、異常度の算定において、センサ番号がjであるE試験体のデータをそれぞれ8:2に分割し、前者を学習データ、後者を閾値設定用のテストデータとした。検討2では、E試験体のch1~8のデータをまとめて8:2に分割し、前者を学習データ、後者を閾値設定用のテストデータとした。

表-1 周波数応答関数 データ数

	データ数		データ数
E試験体 ch1	194	C試験体 ch1	120
E試験体 ch2	192	C試験体 ch2	120
E試験体 ch3	190	C試験体 ch3	119
E試験体 ch4	193	C試験体 ch4	123
E試験体 ch5	202	C試験体 ch5	120
E試験体 ch6	193	C試験体 ch6	124
E試験体 ch7	192	C試験体 ch7	123
E試験体 ch8	196	C試験体 ch8	118

3. 結果と考察

各検討に対し、C試験体の各地点における異常度 e と、上位2.5%部分にあたる異常度 e_T の値を閾値とし、異常度 e を e_T で正規化したものを図-3に示す。C試験体において空隙が存在するch4,5,6の箇所は、箱ひげ図を赤く示している。正規化前は、検討2の空隙箇所における異常度が高い傾向を示していた。E試験体ではch1~8のセンサ直下の振動をどの地点も同程度に捉えており、

すべてのデータを合わせることで学習データ数が増え、学習済モデルが強化されたことが推察される。正規化後も、検討2は空隙箇所において異常度が高い傾向を示していた。加振点を1点に対して、多数センサを用いる点検方法では、学習データとして多くの地点の健全データを与えることで、より精度よく空隙を検知できると考えられる。

4. まとめ

加振器による局所振動試験を多点センサに拡張し、機械学習によっておおまかな空隙箇所を検知することが可能であることが示された。今後、寸法の大きなコンクリート部材を対象にして、点検の効率化と高精度化に取り組んでいく。

参考文献

- Hideki Naito, John E. Bolander: Damage detection method for RC members using local vibration testing, *Engineering Structures*, Vol. 178, pp. 361-374, 2019.
- 内藤英樹, 木本智幸, 藤岡光, 藤倉修一, 運上茂樹: 振動測定とオートエンコーダによるRC部材の地震時損傷の検知, AI・データサイエンス論文集 3巻J2号, 2022

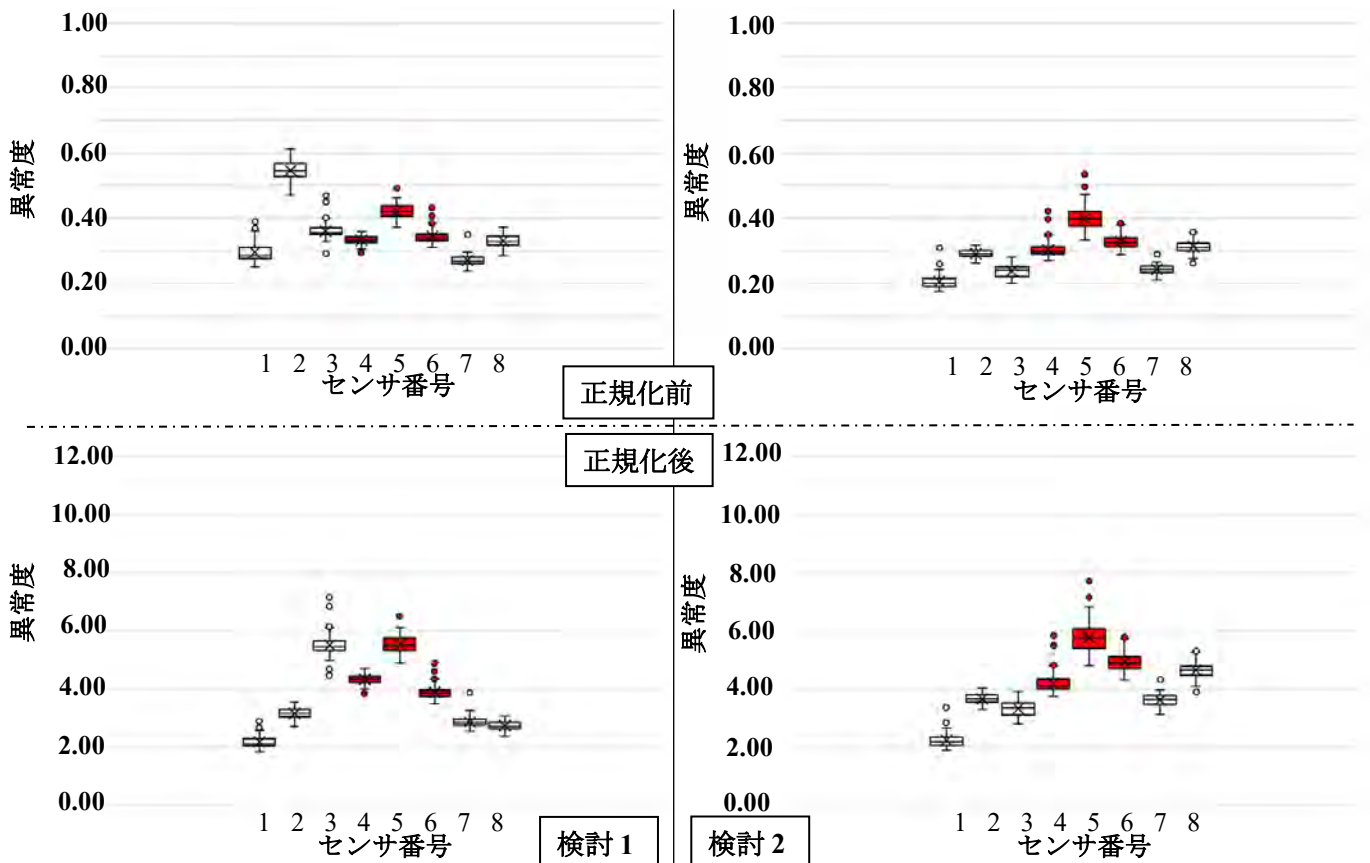


図-3 異常度箱ひげ図出力結果