

機械学習によるコンクリート構造物内部の空隙箇所の判定

東北大学 学生会員 ○村川達郎

東北大学 学生会員 藤咲友輔

東北大学 正会員 内藤英樹

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 稲葉紅子

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 高橋貴蔵

1. はじめに

著者らは、コンクリート構造物の検査の効率化を目的として、小型加振器とレーザー振動計を搭載した非破壊検査装置の開発に取り組んでいる。本研究では、空隙を埋め込んだコンクリート試験体を作製し、この装置を用いて局所振動試験¹⁾を行った。そして、従来のモードパラメータ (e.g. 共振周波数) による評価方法に代わり、振動試験によって得られる周波数応答関数を学習データとした機械学習により、コンクリート内部の空隙箇所の判定を試みた。

2. 局所振動試験

図-1 に示すような、幅 150 mm × 高さ 150 mm × 長さ 550 mm のコンクリート試験体を作製した。厚さ 5 mm のポリエチレンフォームを幅 150 mm × 長さ 100 mm に加工し、打設前に供試体中央部に埋め込んで空隙を模

擬した。試験体の外観写真を図-2 に示す。

図-1 および図-2 に示すように、試験体上面から健全箇所と空隙箇所の中央部において、それぞれ 5 回ずつ局所振動試験を行った。小型加振器とドップラー式レーザー振動計を搭載した検査装置を図-3 に示す。車輪を取り付けた加振器を試験体上面に接触させて、ホワイトノイズを鉛直方向に入力し、レーザー振動計によって加振点付近の応答速度を測定した。図-3 に示すように、レーザーの照射点には反射テープを貼付した。加振器の設定は、周波数帯域 300~20,000 Hz に渡ってパワースペクトル密度 (PSD) を $0.5 \text{ (m/s}^2\text{)}^2/\text{Hz}$ に一定制御した。このとき、加速度波形の振幅の実効値 (RMS) は 99 m/s^2 である。レーザー振動計のサンプリング時間刻みは $20 \mu\text{s}$ とし、10 秒間の応答を記録した。

3. 機械学習

3.1 波形データの処理とデータセットの作成

レーザー振動計によって得られた速度波形に対して、高速フーリエ解析を行い、機械学習に用いるデータセットを作成した。本実験では、1 回の局所振動試験ごとに 10 秒間の速度波形が得られる。この時刻歴波形を

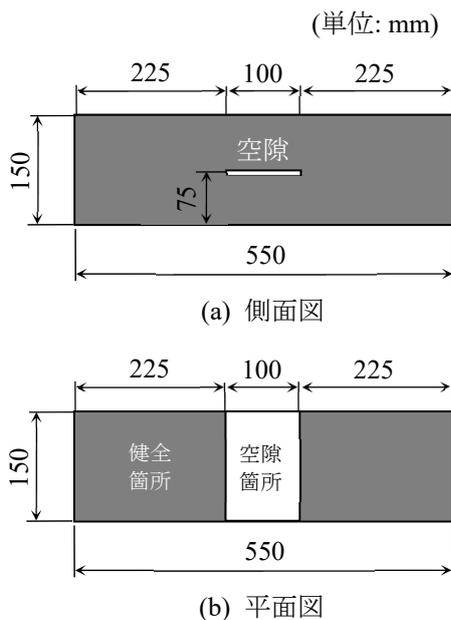


図-1 試験体の概略図



図-2 試験体の外観

キーワード：コンクリート構造物、健全度評価、機械学習、振動試験

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL：022-795-7449 FAX：022-795-7448

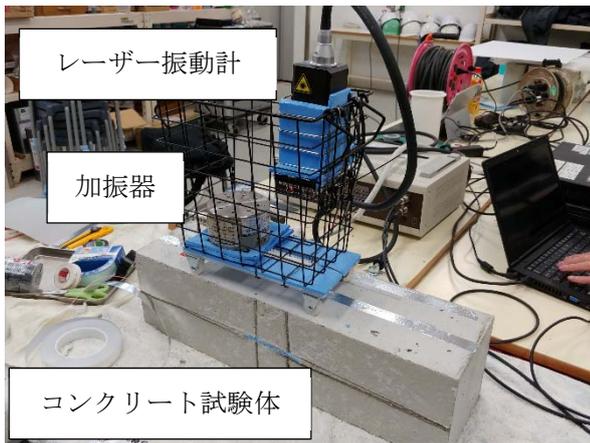


図-3 局所振動試験の状況

50,000 個の区間に分けて、それぞれの区間において 1024 個の速度データを高速フーリエ解析した。高速フーリエ解析によって得られる周波数応答関数をそのまま学習データの特徴量とした。すなわち、学習データの特徴量サイズは 512 であり、具体的には 48.8 Hz から 25,000 Hz までの 48.8 Hz 刻みのフーリエ振幅を特徴量として与えた。

本実験では、試験体の健全および空隙箇所の 2 箇所において、それぞれ 5 回ずつ局所振動試験を行っている。上記の手順により、周波数応答関数の数は、健全と空隙箇所を合わせて 500,000 個 (=2 箇所 × 5 回 × 50,000 個) にも及ぶ。この巨大なデータセットが本手法の機械学習における強みとなる。

以降では、教師あり学習により、健全および空隙箇所の判定を試みる。データのラベルは、健全箇所の周波数応答関数には“ラベル 1”，空隙箇所には“ラベル 2”を付けて、二値問題とした。

3.2 結果

計算には、オープンソースの機械学習ライブラリである Scikit-learn を使用した²⁾。クラス分類の手法として、ニューラルネットワークを選択した。パラメータチューニングの検討では、中間層を 1 層あるいは 2 層とし、ニューロン数を 4~96 個まで 4 個刻みで増加させていき、機械学習の正解率を比較した。

データセットの 80% を学習用、20% を検証用としてランダムに分けた。学習済モデルの検証結果を図-4 に示す。図より、中間層が 1 層かつニューロン数が 4 個の単純なモデルであっても、学習済モデルは 90% 程度の高い正解率を示した。これは、i) 局所振動試験による

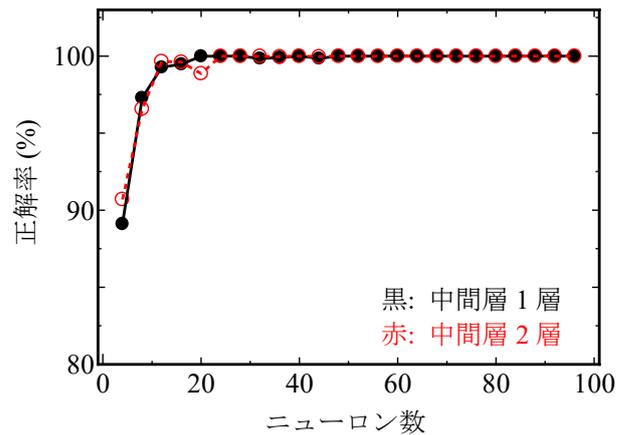


図-4 機械学習の正解率

周波数応答関数は比較的単純なスペクトル形状をしており、空隙に対して敏感に変化すること、および ii) 400,000 個にも及ぶ膨大な数の学習データを与えたことにより、機械学習は健全と空隙箇所を高い正解率によって判定できたと考えられる。

さらに、ニューロン数が 28 個以上になると、中間層の数に依らず、正解率はほぼ 100% に達することが示された。このことから、加振器とレーザー振動計を用いた局所振動試験に対して、機械学習によるデータ処理は有用であり、コンクリート内部の空隙の有無を精度良く判定できることが示唆された。

4. まとめ

本研究では、コンクリート構造物を対象として、小型加振器とレーザー振動計を組み合わせた非破壊検査装置を検討した。コンクリート試験体を用いた基礎検討では、レーザー振動計による周波数応答関数を学習データにすることで、ニューラルネットワークを用いてコンクリート試験体の健全および空隙箇所を高精度に判定できることが示された。今度は、この装置を走行させながら検査することや、実大構造物への適用性を検討する予定である。

参考文献

- 1) Hideki Naito, John E. Bolander: Damage detection method for RC members using local vibration testing, *Engineering Structures*, Vol. 178, pp. 361-374, 2019.
- 2) 秋庭伸也ほか: 見て試してわかる機械学習アルゴリズムの仕組み 機械学習図鑑, 翔泳社, 2019.