

機械学習を用いた打音による浮き判定に関する研究

法政大学 学生会員 ○ 松下 凌大
 法政大学大学院 学生会員 新保 弘
 (株) 開発設計コンサルタント 正会員 野嶋 純一郎
 法政大学 正会員 溝渕 利明

1. 研究背景・目的

現在、1 次検査において広く用いられている打音検査法は、構造物の浮きや剥離などの欠陥部の診断を簡便に行うことが可能である一方、欠陥判定において検査員の熟練度を要する点や検出精度に課題がある。これらの課題を解決するために、本研究では、Long Short-Term Memory(LSTM) 法を用いて深層学習による検討を行い、鉄筋の腐食膨張によってコンクリート内部に生じる劣化初期の微細ひび割れや浮きの早期発見の検討を行った。

2. 研究概要

(1) 供試体

縦 650mm×横 650mm×高さ 200mm の直方体で、内部に D10 の異形鉄筋で作製した鉄筋カゴ（かぶり厚 40mm、鉄筋間隔 50mm）を配置した供試体を作製した。図-1 に供試体概要を示す。ひび割れを生じさせる目的のため、内在塩分として塩水練りを行った。本研究では、ひび割れが入る過程の打音を教師データとして使用するために、電食試験中に供試体をテストハンマーで打撃し、得られた打音データから学習モデルを作成し判定を実施した。図-2 に直接電流法による電食試験概要を示す。供試体内部の鉄筋を陽極、かぶり面のチタン板を陰極とする事で、コンクリート表面から塩化物イオンを内部の陽極に向かって浸透させ鉄筋を腐食させた。打撃範囲は縦方向・横方向ともに 50mm 間隔の鉄筋直上に引いた線の交点 81 点においてテストハンマーで表面打撃をし、発生する打音を録音機で取得した。電食試験終了後、ひび割れの確認のためコア抜きを行い、ひび割れ範囲の確認のため 22 本抜いた。

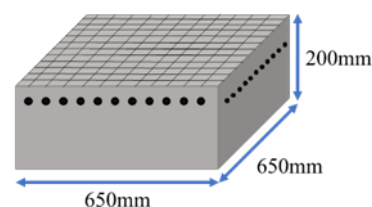


図-1 供試体概要

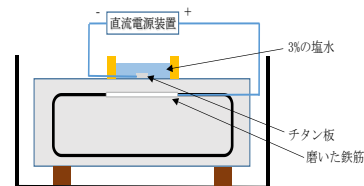


図-2 電食試験概要

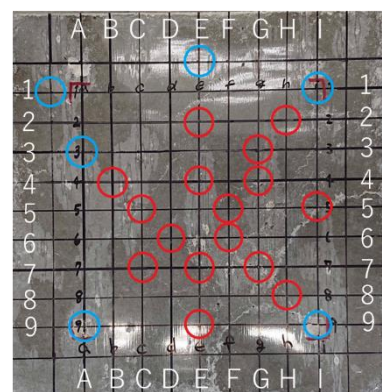


写真-1 コア抜き箇所

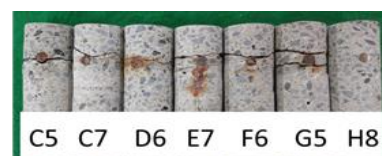


写真-2 抜き取りコア

(2) 機械学習

機械学習には MathWorks 社の MATLAB ver.R2019a を使用し Deep Learning Toolbox を用いて LSTM ネットワークを定義した。LSTM は、再帰型ニューラルネットワーク(RNN)の 1 種で、既存の RNN より時系列データの予測・分類に強いネットワークになっている。機械学習率は初期学習率を 0.1、エポック数を 200、ミニバッチサイズを 128 とした。

3. 実験結果及び考察

(1) 電食試験結果

写真-1 にコア採取箇所、写真-2 に抜き取りコアを示す。青丸がひび割れなし、赤丸がひび割れありの箇所を示す。鉄筋直上に広い範囲で水平ひび割れが確認された。ひび割れ幅は、マイクロスコープで確認したところ 0.1mm～0.5mm

キーワード 非破壊検査, 劣化評価, 打音探査, 機械学習, LSTM

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 TEL 042-387-6124

のひび割れであり、本研究の目的にあたる劣化初期の微細ひび割れに該当すると思われることから、教師データとして用いることとした。

(2) ひび割れの判定

電食試験によって生じたひび割れを推定可能か検討を行った。打音の発音時間が1msと5msの打音データを用意し、打音箇所の状態が分かっている7776データを約8:2の6318データと1458データに分け教師データ・検証データとした。検証結果を図-3に示す。行列の縦軸が学習した正解ラベル、横軸を予測したラベルとし、対角要素に正しく分類された観測値を表している。両者ともに検証精度は88%, 91%と精度よく判定することができた。また、1msの方が検証精度の高い結果となったため、打撃直後の音に判定に有効な特徴量が多いと推察される。

(3) ひび割れ進展の判定

3. (2)の結果を踏まえ、ひび割れの進展を推定精度で表現することを試みた。3. (2)で作成した学習モデルを使用し、打音データ取得日ごとの判定を各交点で行った。全検証データ・テストデータのラベルを健全とすることで、推定精度の増減によって進展を表現することにした。図-4に凡例、写真-3に判定結果を示す。腐食期間が長くなるほど、判定精度が減少していく範囲が増え、ひび割れの進展が目で見えて分かる。また、写真-3(d)に写真-1のコア採取の結果を重ねた結果を示す。判定精度に違いは生じているが、概ね判定精度とコア採取の結果が一致していることが分かる。以上の結果を踏まえ、ひび割れの進展を判定精度で表現できる可能性を見出す事が出来た。

4. 結論

本研究では、電食試験中の供試体に打音試験を行い、得られた打音データを用いて学習モデルを作成し判定精度を求めた。結果、3. (2)(3)より LSTM 法を用いて判定精度の高い手法の確立の可能性を見出すことができた。また、ひび割れの進展を判定精度で表せたことから、鉄筋の腐食膨張によってコンクリート内部に生じる劣化初期の微細ひび割れや浮きの早期発見できる可能性を示すことができた。

参考文献

・打音探査への機械学習の適応に関する基礎的検討 コンクリート工学年次論文集 Vol. 41

新保弘 溝渕利明 野嶋潤一郎

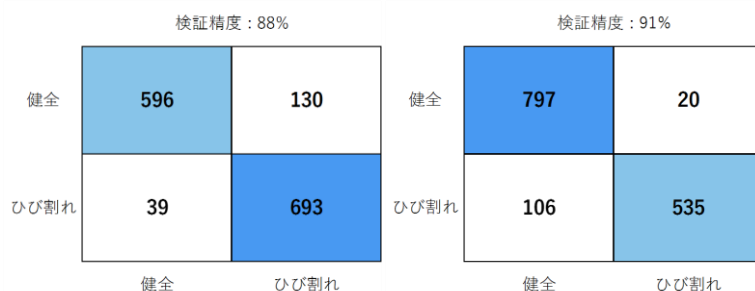


図-3 5ms(左), 1ms(右)の検証結果

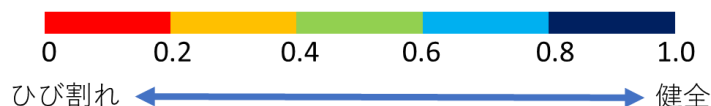


図-4 凡例

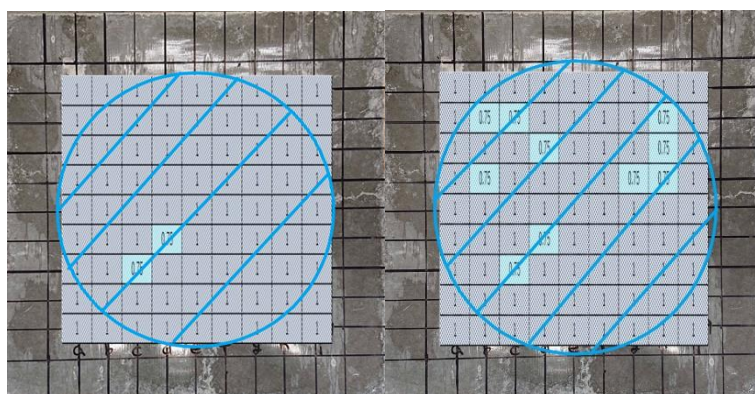


写真-3(a) 0日判定結果

写真-3(b) 39日判定結果

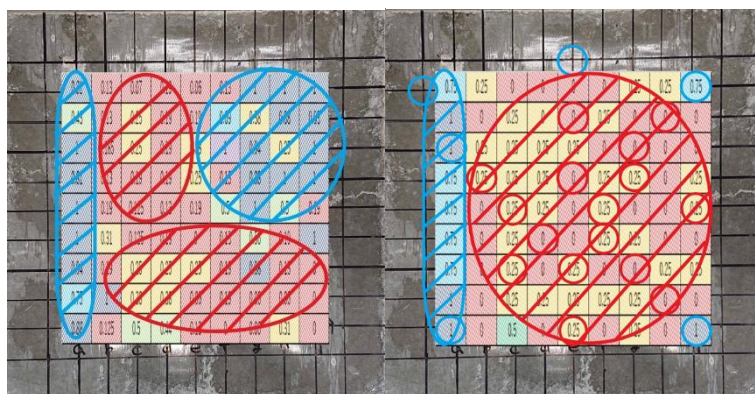


写真-3(c) 55日判定結果

写真-3(d) 70日判定結果