

打音探査への機械学習の適用について

法政大学大学院 学生会員○新保 弘
法政大学大学院 正会員 溝渕 利明

1. はじめに

打音探査はコンクリート構造物の簡便な診断手法として実用に供されているが、その精度は検査者の技量に依存すること、またエキスパートでも深い空隙を探査することは難しい。打音探査の定量評価についてはこれまでも様々な手法による検討・技術開発が多数行われている¹⁾。ここでは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に伴う欠陥の深さや広がりについて、より詳細な状況を簡便かつ定量的に把握することを目標として、打音のスペクトログラム画像を機械学習する方法の可能性について検討する。

2. 試験方法

打音探査の高精度化・定量化に向けた機械学習へのスペクトログラムの適用性を確認するため、内部空隙を備えた打音試験用のコンクリート試験体を製作した。ここでは幅 850mm×850mm、厚さ 300mm のコンクリートブロックの打設時に、厚さ 10mm の発泡スチロール円盤の深さを変えて埋設することにより一定の空隙を設けた。試験体内の空隙配置を図-1に示す。空隙径 D は 250mm、試験体表面から空隙上面までの深さ d を 20mm, 35mm, 65mm, 80mm とした。打撃には小型のテストハンマー（質量約 400g, 長さ約 600mm）を使用し、打点の近傍でデジタルレコーダー（ZOOM 社製 H6, 付属マイクロフォンを使用）により打撃音を収録した。教師データ用の打音として、空隙部の打撃音は各空隙直上の直径内の範囲を打撃、充実部の打撃音は設置した空隙の影響および試験体周辺が解放されていることによる影響を念頭に置き、試験体の中央付近で空隙から比較的離れた位置（図-1の G7~J10）および試験体縁端部の充実部分（図-1の 1, 16 行, A,P 列）を打撃し、録音した。試験時のコンクリート強度は 47~55N/mm² の範囲であった。

図-2に打撃音の入力データ処理の一例を示す。打音はスペクトログラムの周波数方向と時間方向のグラデーション変化の比較的大きいエリアとして、データ取得開始から約 125ms, 周波数で 0~5.5kHz の範囲を 28×28 ピクセルのグレイスケール画像に変換した。ここに示したものは比較的浅い空隙（深さ 20mm）と空隙なしのデータであるが、スペクトログラムに見られるように、打音の特徴は周波数領域だけでなく時間領域にも表れている。この方法で4種類の空隙深さと2種類の充実部（試験体中央部, 端部）の6ケースについて、それぞれ 200 個の打音データを取得した。各 200 データのうちランダムに抽出した 15% を検証用データとして留保し、残りの 85% を教師データとして機械学習を行なった。学習に用いない検証用データによる最終的な正答率は、複数回の学習で平均 97%前後と非常に高いものとなった。また、学習中に定期的な実施した検証では学習と検証による正答率はほぼ一致していたことから、この観点からは過学習は生じていないと言える。

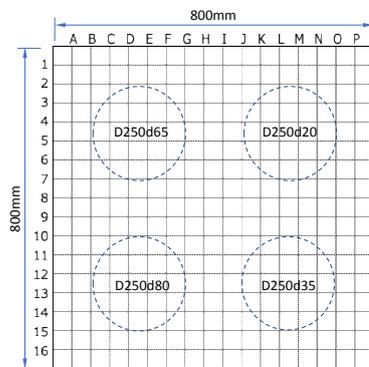


図-1 試験体の空隙配置

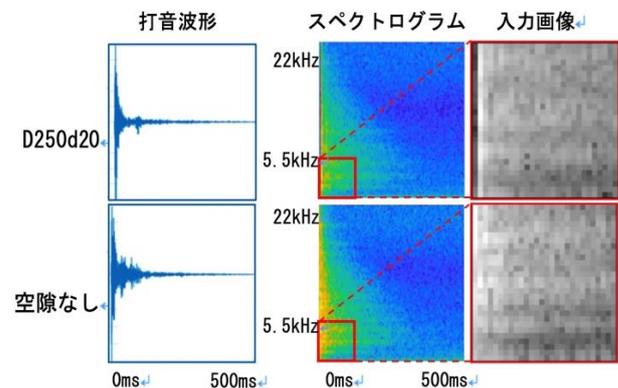


図-2 入力データの処理

キーワード 非破壊検査, 打音探査, 機械学習, スペクトログラム

連絡先 法政大学 デザイン工学部 〒184-8584 東京都小金井市梶野 3-7-2 TEL 042-387-6269

◎：空隙深度を正解，○：空隙有無のみ正解，×：不正解

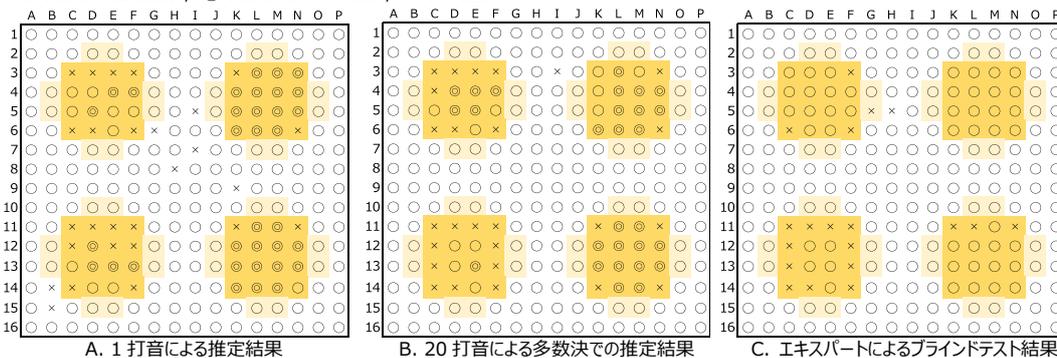


図-3 機械学習による推定結果とブラインドテスト結果

3. 結果と考察

機械学習による推定結果を図-3に示す。濃いハッチング部は直下に空隙がある場所，薄いハッチング部は空隙と充実部の境界にあたる。記号はその位置の推定結果の正解・不正解を示しており，空隙深さを正解した位置は◎，空隙有無のみの正解は○，空隙の有無も不正解の場合は×で表示した。なお空隙の境界部については所定の空隙有、無はいずれも正解とした。

図-3のAは学習で得られたネットワークにより，教師データとは別に収録した一ヶ所あたり1打音のデータで推定した結果を示す。図中右の表に示すように◎と○を合わせた正答率は91%と高い値が得られたが，学習時に検証データで得られた97%前後の正答率よりは低くなっている。この原因としては，教師データの打音は一時期にまとめて収録したため打音のばらつきが非常に小さく，結果的に過学習に近い状態になっている可能性があること，また推定では別の時期に収録した1打音のみで判定していることから，教師データとテストデータの録音状態や音響的な周辺環境が異なるため誤判定している可能性が考えられる。そこで，Bとしてさらに別途収録した一ヶ所あたり20打音を用いて推定を行い，その多数決により得られた推定結果を示す。この場合でも正答率は90%とAと大差なかった。今回のケースでは複数回の推定による方法は正答率向上には効果がなく，教師データにテスト時に起こりうるばらつきを含ませることがより重要であるといえる。

人による探査との比較として，打音探査のエキスパート1名により空隙の有無についてブラインドテストを行った結果をCに示す。結果は機械学習による推定結果A，Bとほぼ同様の傾向であり，正答率で見ると機械学習(◎と○)の91%に対して，エキスパート(○)が93%とほぼ同等の結果であった。個別に見ると，判定が難しい「深い空隙」の部分で，いずれも判定精度が低くなる様子が見られる。

今回の試験で得られた空隙部の打音は，空隙が一様な円盤状であることなどから実際のコンクリートのひび割れや剥離によるものとは聴覚的な特徴がかなり異なる。また空隙位置が浅いものでは明らかに充実部と異なる音で人による判別が容易な一方で，空隙位置が深いものは空隙なしと聴覚では極めて判別がつきにくいものであった。今回の試験体では空隙が単純な円形で，一時期にまとめて録音したため教師データのばらつきが小さいこと，絶対的なデータ数も少ないことから，エキスパートの正答率を上回ることはなかった。しかしながら，機械学習の検証においては，人には打撃音にほぼ違いが感じられない場合でも打音の特徴を認識して判別できる可能性が示された。これより，教師データや学習条件を改善することで，人による判定と同等以上の精度で，定量的にコンクリートの欠陥を推定することも可能になると考えられる。

5. まとめ

本検討により，打音探査におけるスペクトログラムの機械学習によるコンクリートの内部欠陥の状態推定について適用可能性が確認できた。今後はより現実的な欠陥を対象とした検討を行い，探査精度の向上と内部欠陥の定量評価への本手法の適用性についての検討を行う。

参考文献:1) たとえば, 窪田・野添・岩田:AI 打音検査システムの開発, 土木学会第73回年次学術講演会, V-171, 平成30年8月