

畳み込みオートエンコーダを用いた打音検査による欠陥面積・深さ検出に関する検討

九州大学大学院 学生会員 ○大庭 巧也
九州大学大学院 非会員 路 馳
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. 目的

近年、経年劣化したコンクリート構造物が急速に増加して、それらの適切な措置の必要性を判断するために、橋梁やトンネルなどの構造物の定期点検が行われている。定期点検の業務内容は近接目視による点検を基本としており、目視だけでは確認することのできない浮き剥離については触診や非破壊検査を併用することで正確な診断を可能にしている。中でも打音検査は点検・診断対象が増加する一方で技術者や点検者が不足しているという現状を踏まえ、低コストかつ効率的に行うことができる非破壊検査法として開発されたものの一つである。しかし、打音検査は打撃音の判断に熟練性を要するほか、欠損部分の定量的評価が困難であることが短所として挙げられる。そこで、本研究では打音検査によるコンクリート構造物に対する劣化診断のさらなる高精度化と効率化を目的として、深層学習の一つである「畳み込みオートエンコーダ (CAE)」を用いた評価手法の開発を試みた。

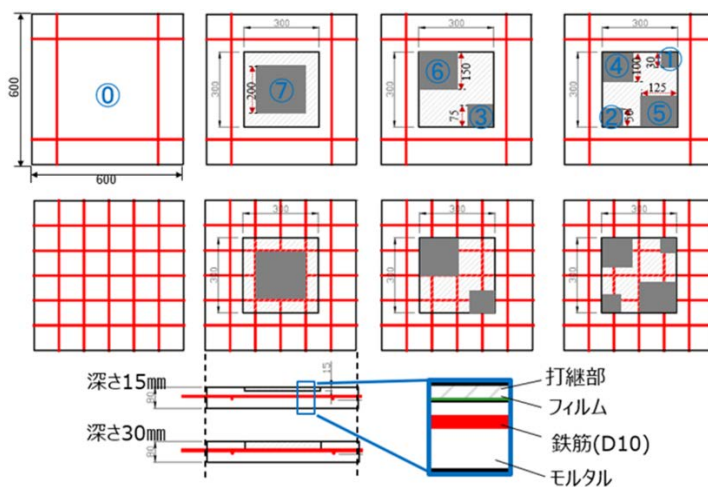


図1 供試体の規格と種類

2. 実験概要

2.1 供試体の製作

本研究では、コンクリート内部の浮き剥離を人工的に模擬するため、図1に示すような縦と横の長さが600mm、厚さが80mmのモルタル供試体に打継部を設け、その底面に薄さが0.3mmのクリアファイルを埋設した。また、欠陥面積が打音に与える影響を調べるために、供試体内部に埋設したフィルム面積の辺長を30mm、50mm、75mm、100mm、125mm、150mm、200mmの7種類の異なる欠陥面積を設け、打継部のない健全供試体を含めた合計8ケースの供試体を用意した。また、欠陥深さが打音に与える影響についても調べるために、フィルムの埋設深さとして15mmと30mmの2種類を設けた。さらに、コンクリート構造物内部に存在する鉄筋が打音に与える影響についても調べるために、図1に示す各諸元毎に鉄筋を配置した供試体も製作した。

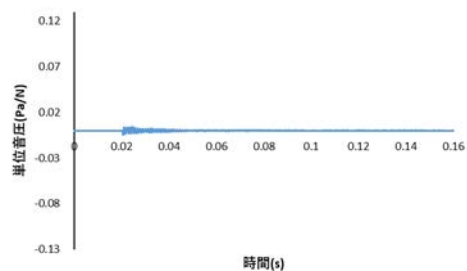


図2 単位荷重音圧の時間的变化（健全）

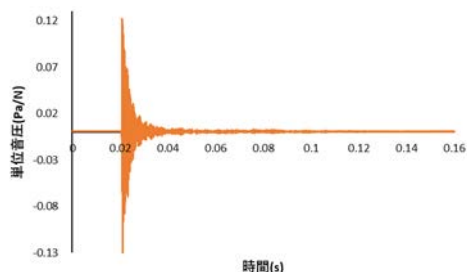


図3 単位荷重音圧の時間的变化（欠陥）

キーワード 打音検査、浮き剥離、畳み込みオートエンコーダ

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 TEL:092-802-3370

2.2. 入力データの作成

本研究では、計測された音圧をインパルスハンマーで求めた打撃力で除すことで、単位荷重当たりの音圧波形を算出した。図2および図3に本研究で利用した単位荷重音圧のデータの一部を例として示す。その後、単位荷重当たりの音圧波形に短時間フーリエ変換を行い、図4に示すようなスペクトログラムを作成した。スペクトログラムの横軸は時間、縦軸は周波数を表している。そのスペクトログラムを画像として使用し、CAEモデルの入力データとした。

3. 畳み込みオートエンコーダ (CAE) モデル

3.1. CAEモデルの作成

本研究で行った CAE による打音データ学習の流れは、図5に示すように健全箇所の打音の音圧-時間曲線から求めたスペクトログラムを入力データとして学習を行い、出力として入力画像の復元画像を得る。そして復元画像データと入力画像データとのピクセル

ごとの復元誤差の和を計算し、復元画像を元の入力画像にピクセル単位で一致させるような最適化処理を行うことで CAE モデルの重み値を更新する。

3.2. 異常検知の評価

ここでは、入力データと CAE モデルによる出力データの復元誤差を Loss 値と称する。図5に示す手順で健全箇所の打音データを学習した CAE モデルは、健全箇所における他の打音データに対して

は Loss 値が小さいが、欠損箇所の打音に対しては Loss 値が大きくなることが認められる。また、欠陥深さが 15 mm・埋め込み鉄筋なし供試体の打音を用いて評価した Loss 値の分布を図6に示すが、欠陥面積が大きくなるに従って Loss 値も増加する傾向を示すなど、欠陥面積も推定できる可能性があることが分かる。しかし、欠陥深さが 15 mm・埋め込み鉄筋あり供試体の場合、図7に示すように健全と欠陥の両方で Loss 値には明確な差があるが、Y15S75、Y15S100 の Loss 値が下がるなど欠陥面積の推定は困難であると言える。また、図8および図9には、欠陥深さが 30 mmで埋め込み鉄筋なしと有りの2種類の供試体の Loss 値分布を示しているが、欠陥深さが 15 mmと浅い場合と比べてどちらも欠陥面積別の Loss 値の相対差が小さくなり、推定精度は落ちる傾向にあることが推察された。

4. 結論

本研究では、人工欠陥を有する供試体を用いて収録した打音データに対して CAE による評価を試みた。その結果、欠陥の有無は明確に識別できるが、面積の推定には更なる検討が必要であることが認められた。

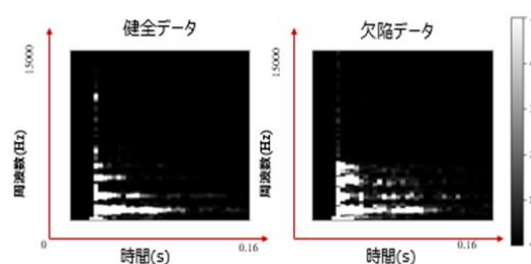


図4 スペクトログラム

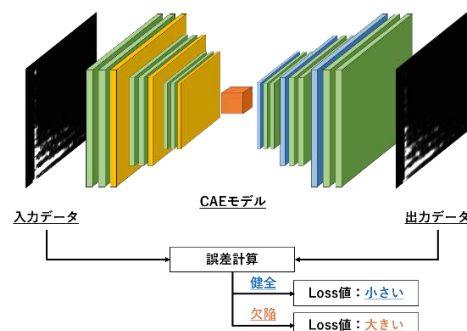


図5 CAEモデルの異常検知の評価

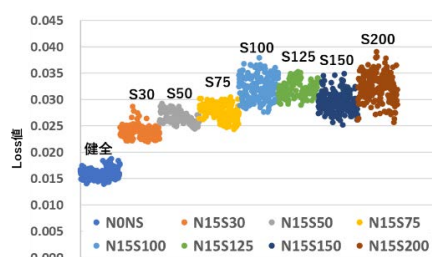


図6 Loss 値の分布 (N15)

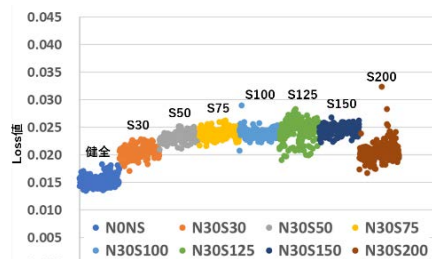


図8 Loss 値の分布 (N30)

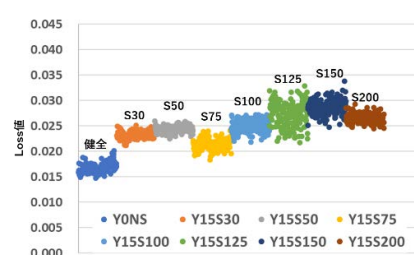


図7 Loss 値の分布 (Y15)

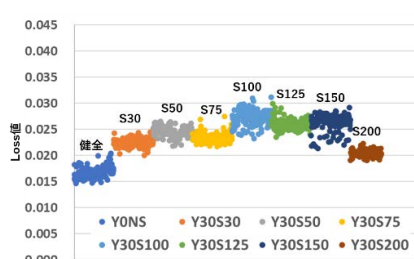


図9 Loss 値の分布 (Y30)