

畳み込みオートエンコーダを用いた打音検査によるコンクリート内部の欠陥検出に関する検討

九州大学大学院 学生会員 ○馬 奔

九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

## 1. 目的

コンクリートの表層近傍の浮き・剥離の有無を把握する打音検査は、簡易かつ低コストで実施可能であるが、浮き・剥離の有無の判断は検査者の熟練性に依存することから、より合理的に検査するために、コンクリート内部の欠陥状態の評価を打音データで定量化する試みが求められている。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、コンクリート内部の損傷状態が変化していく過程を評価するために繰り返し衝撃実験を行い、深層学習の一つである「畳み込みオートエンコーダ(CAE)」を用いた打音検査で損傷状態の変化を精度良く評価可能な手法の開発を試みた。

### 2.1. 実験概要

本研究で用いた供試体は、図1に示すような600×600×80(mm)の矩形モルタル供試体で、打ち継ぎ部のない健全な供試体と250×250×9(mm)の寸法の打ち継ぎ部のある欠陥供試体を用いて比較検討した。打ち継ぎ部のある供試体には、薄さ1(mm)のクリアファイルを打継部底面の中央位置に埋設し、剥離状態を再現したものとファイルを埋設しないものの2種類を製作し、図2に示すように供試体に埋め込むファイルの大きさには、62.5×62.5(mm)、125×125(mm)、250×250(mm)の合計3種類を準備した。それぞれの打ち継ぎ欠陥を有する供試体は、打ち継ぎ部領域に対するファイル面積を基準に9mm0%、9mm25%、9mm50%、9mm100%と呼ぶこととし、打音の計測は、図2でオレンジ色で示す箇所とした。

実験の手順は、供試体を平らな床に設置し、供試体上面中央に130×130×10(mm)の鉄板を置き、鉄板から高さ200(mm)の位置より重さ6(kg)の鉄球を自由落下させ、その後に鉄板を外して所定の打撃点にインパルスハンマーで打撃を3回行い、打音データを計測した。本研究では、この手順を160回繰り返し、鉄球の衝突回数が増加とともに進展する損傷が打音に与える影響について考察した。

### 2.2. 入力データの作成

図3に単一打撃による0.16(s)間の音圧の時刻歴波形を示すが、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。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、色は音圧の大きさをそれぞれ表している。

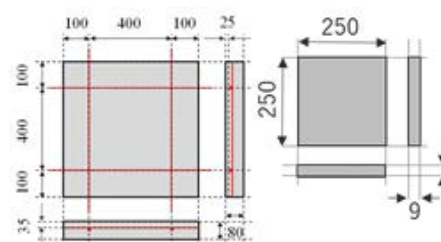


図1 供試体と打ち継ぎ部の寸法

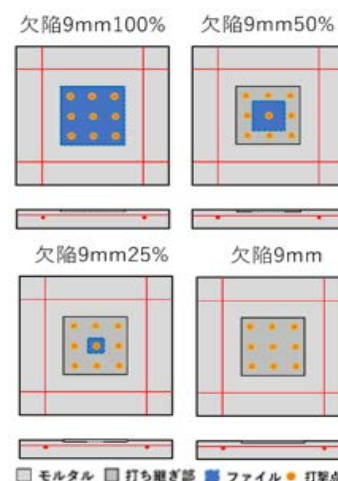


図2 欠陥供試体の種類

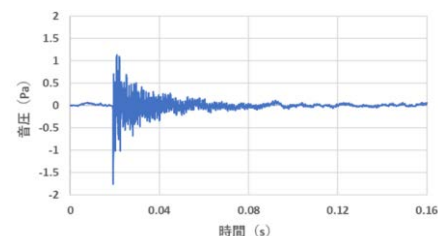


図3 音圧の時刻歴波形

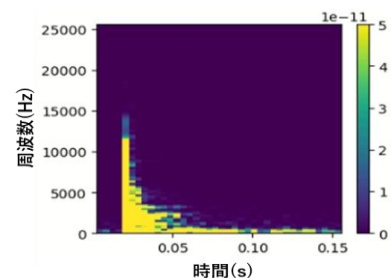


図4 スペクトログラムの例

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

### 2.3. 量み込みオートエンコーダ (CAE) モデルの作成

CAE モデルは、高次元の入力データから次元の小さい中間層まで重要な情報だけを残しながらデータを圧縮するエンコーダネットワークと、エンコーダで圧縮されたデータを受け取り、元の入力データと同じ次元になるまで戻し、復元データを生産するデコーダネットワークで構成される。本研究における学習の流れは、まず健全の打音データから得られたスペクトログラム画像を CAE の学習データとして、CAE で学習を行い、出力値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誤差の和を計算し、最適化処理を行うことでモデルの重みの値を更新する。

### 2.4. CAE モデルの異常検知の評価

入力データと CAE モデルにより出力された復元データとの復元誤差を Loss 値という。図 5 に示すように、健全箇所データのデータで学習した CAE モデルは、健全箇所データに対しては Loss 値は小さくなるが、欠陥箇所データに対しては Loss 値は大きくなる。ここでは、繰り返し衝撃実験で得られた打音データを用いて、CAE で算出される Loss 値の変化がどのように推移していくかを検討した。なお、今回の欠陥供試体では打音は 9 つの点から得られるが、打ち継ぎ部の境界との位置関係を元に「center」「corner」「border」の 3 グループに分類し、それぞれ、center は 9 つの打撃点の中心点、corner は打ち継ぎ部領域の 4 隅の打撃点データの平均値、border は打ち継ぎ領域 4 辺の打撃点データの平均値とした。

図 6 から、center と border は衝撃回数が増えるにつれて Loss 値も増加していることが確認できるが、corner は衝撃回数が増えても Loss 値に明確な変動はなく横ばいに推移していることから、corner の位置では打ち継ぎ目を起点とする損傷はあまり進行しなかったと考えられる。次に、図 7 に欠陥供試体 9mm25%の結果を示すが、この供試体はファイバー面積が小さいため、Loss 値の推移もファイバーを埋設していない欠陥供試体 9mm と同様の結果となった。図 8 には欠陥供試体 9mm50%の結果を示すが、打ち継ぎ部中央にファイバーを埋設しているため、center の Loss 値は初期段階から大きく、その他の箇所についても、衝撃回数が増えるにつれて Loss 値も次第に増加していく傾向があることが確認できた。図 9 に欠陥供試体 9mm100%の結果を示すが、全箇所 Loss 値は初期段階から大きいこと、衝撃回数が増えても Loss 値はほぼ横ばいに推移しており、今回の Loss 値が単純に損傷度を示す指標とはならないことが認められた。

### 3. 結論

健全箇所の打音のスペクトログラム画像を入力値とした CAE を用いて、Loss 値の大小で欠陥箇所を識別できることが確認されたが、コンクリート内部の損傷状態の変化を把握するには Loss 値の定義を再検討する必要があることが分かった。

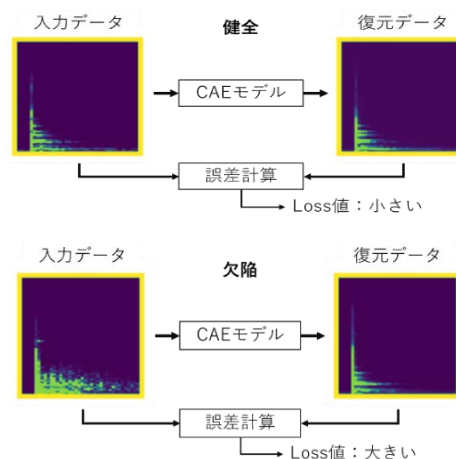


図 5 CAE モデルの異常検知の評価

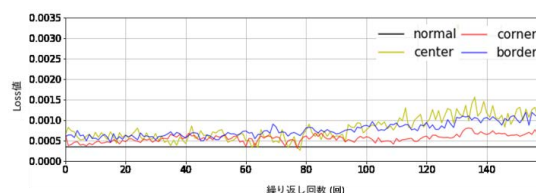


図 6 欠陥供試体 9mm

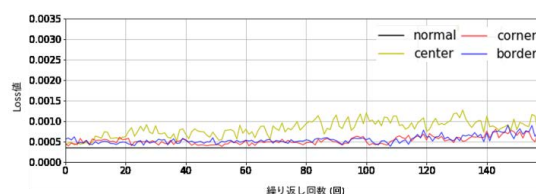


図 7 欠陥供試体 9mm25%

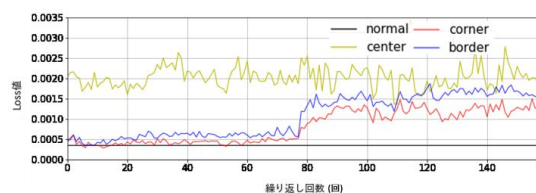


図 8 欠陥供試体 9mm50%

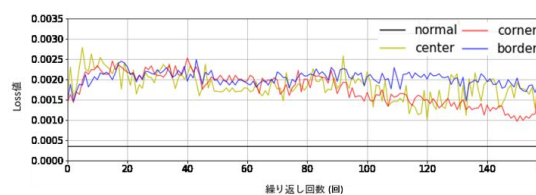


図 9 欠陥供試体 9mm100%