

CNN モデル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基礎的考察

九州大学 学生会員 ○川上 強志
九州大学 非会員 路 馳
九州大学 フェロー会員 園田 佳巨

1. 目的

近年，高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の多くが老朽化しており定期的な点検が求められている．コンクリート内部の健全度の評価が可能な非破壊検査は多くの点検の現場で用いられている．特に，点検を必要とする構造物が急増する一方で技術者が不足している現状において，低コストかつ効率的に行うことができる打音検査は時代に適した手法であるといえる．しかし，打音検査はその判断が点検者の主観や感覚によるため，熟練性を要すほか，欠陥の定量的評価が困難である．これまで，打音検査を用いたコンクリート構造物の健全度評価に関する研究は複数行われているが，打音による定量的かつ効率的な評価方法の確立はいまだ困難であるといえる．

そこで本研究では，様々な欠陥状態を模擬した供試体を用いて行われた実験結果から，深層学習モデルの一つである CNN(畳み込みニューラルネットワーク)を用いて内部欠陥状態を予測し，損傷検出の深層学習モデルについて考察した．

2. 実験

2.1. 使用したコンクリート供試体

本研究で用いたコンクリート供試体を図 1 に示す．打音検査に影響を及ぼす要因として，鉄筋の有無，欠陥部面積，欠陥部の表面からの深さの条件が異なる供試体を製作した．欠陥部は供試体に打ち継ぎ部を設け，そこにフィルムを埋設することで再現した．欠陥部面積は一辺が 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200mm と設定し，欠陥部深さは 15, 30mm と設定した．また欠陥部を持たない供試体を健全供試体として製作した．

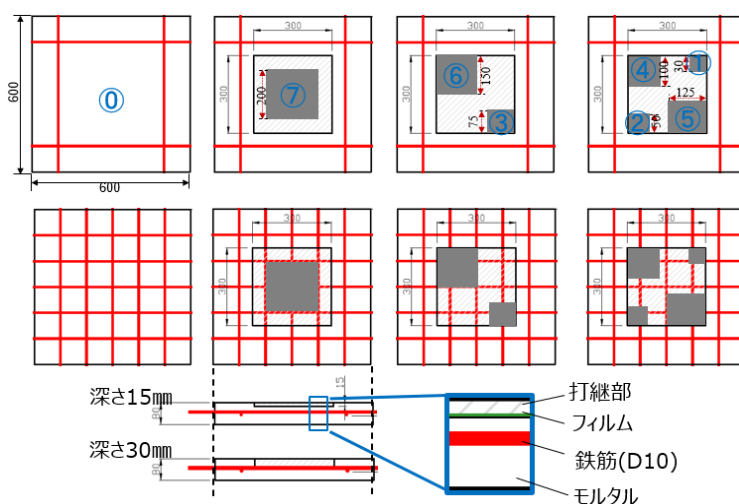


図 1：使用した供試体

2.2. 打音計測方法

欠陥部を持つ供試体は欠陥部の中心を，健全供試体は供試体の中心を計測点とした．計測点をインパルスハンマーで打撃し，その際の打撃荷重および打音の音圧の時刻歴を同時に記録した．これを健全供試体では 1000 回，欠陥供試体は測定点 1 つにつき 500 回測定を行った．

2.3. データ処理

ハンマーで供試体を打撃する際の荷重は検査員によって個人差が生じる．この差を小さくするために音圧を最大打撃荷重で除した振幅比が有用な特徴量であることが提案されている．そこで本研究では，式(3.1)によって音圧を単位荷重音圧 $\hat{P}$ としている．

$$\hat{P} = P / F_{max} \quad (3.1)$$

ここで P は音圧， F_{max} は最大打撃荷重を表している．また，図 2 に単位荷重音圧の時刻歴波形の例を示す．

単位荷重音圧へ変換したデータを短時間フーリエ変換による時間-周波数解析を行い，図 3 に示すような時間，振幅，周波数の情報を持つスペクトログラムを生成した．スペクトログラムのサイズは 256×256 ピクセルである．

キーワード 打音，CNN

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

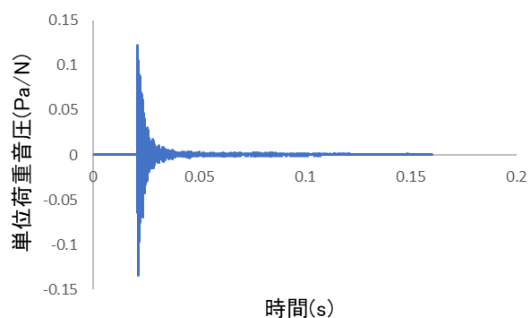


図 2 : 単位荷重音圧の時刻歴波形

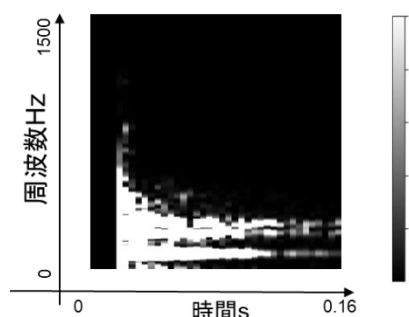


図 3 : スペクトログラム

3. 1. CNN モデルの構造

CNN(畳み込みニューラルネットワーク)は、入力されたデータから重要な特徴量を抽出し、それに基づいてデータの回帰・分類を行うアルゴリズムである。本研究では、4 図に示す欠陥面積の予測と欠陥深さの分類を行うことができるモデルを適用した。畳み込み層では、データから欠陥面積・深さによる特徴の抽出を行う。回帰層では、そこから欠陥面積に関わると特徴を抽出し、欠陥面積の大きさを出力し、分類層では欠陥深さに関する特徴を抽出し、欠陥深さの分類を行う。

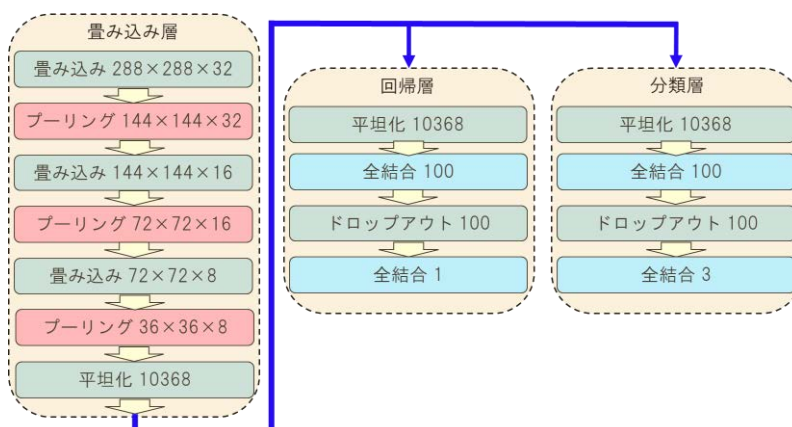


図 4 : 使用した CNN モデル

3. 2. CNN モデルによる欠陥評価

図 5 に CNN モデルによる欠陥面積の予測の分を示す。健全、欠陥深さ 15 mm、欠陥深さ 30 mm がそれぞれ、緑、赤、青でプロットされている。また、黒の点線が欠陥面積の真値を示す。予測値は、例えば欠陥部一辺が 50 mm のデータの場合、一辺の長さはおおよそ 30 mm から 75 mm の範囲に分布しているが、真値の 50 mm 付近で色が濃くなっており、予測されている割合が高いことがわかる。その他の欠陥面積においても、予測値は真値付近に分布し、また予測割合も真値で高くなる傾向が見て取れる。しかし、欠陥深さ 15 mm と比べると 30 mm では分布する範囲が広がっており、欠陥深さが深くなると予測精度が低下する傾向があることがわかる。

また図 6 に欠陥深さを分類した際の正答率を示す。正答率は約 94% に達しており、正確な予測がなされていることがわかる。

4. 結果

CNN モデルを用いて、コンクリート供試体の欠陥部面積および深さの予測を行い、両方の予測が可能であることが確認できた。また、欠陥深さが CNN モデルによる欠陥面積予測の精度に影響を与えることが確認された。

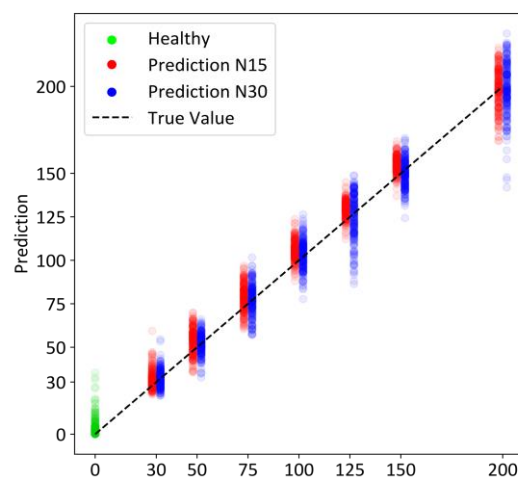


図 5 : 欠陥面積の予測値の分布

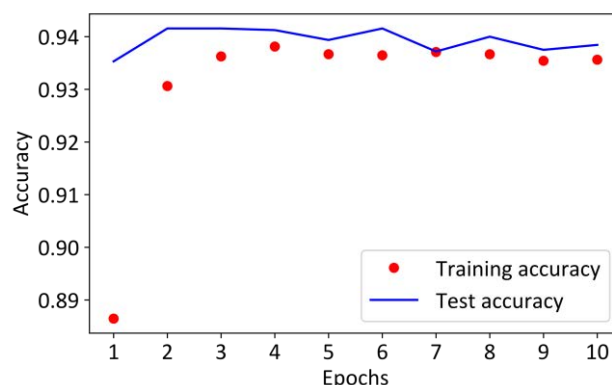


図 6 : 欠陥深さ予測の正答率