

深層学習を用いた削孔位置の検出方法に関する検討

(株)奥村組 正会員 ○三澤 孝史, 正会員 山口 治
(株)奥村組 正会員 川澄 悠馬, 石井 敏之

1. 目的

既設コンクリート構造物の補強工事では、壁等の増厚工法やあと施工せん断補強工法等の補強工法が実施される。増厚工法において既設コンクリートとの一体性を高めるあと施工アンカー筋やあと施工せん断補強筋を挿入するために削孔される挿入孔は、工事によっては、数千以上の挿入孔となるため、削孔出来形（削孔位置）の計測の効率化が求められる。そこで筆者らは、画像から削孔位置を自動検出する方法の開発に取り組んでいる¹⁾。これまで、撮影した複数の画像を SfM 処理して作成した3次元点群データから孔位置を自動抽出する方法を試みた。しかし、複数の画像から点群データを作成する手間がかかり、また、比較的大容量のデータとなるため取り扱いに時間を要す。そこで、より効率的な検出方法として、適用可能性を確認するために、深層学習による孔の検出を試みたので、その結果を報告する。

2. 深層学習による孔位置の検出方法の概要

学習に用いた入力画像は、写真1に示すようなRC壁試験体を削孔（削孔径 $\Phi 20\sim 40\text{mm}$ ）した複数の撮影画像から、孔が1個あるいは2個入るように画像サイズ $500\times 500\text{px}$ で切り出し、さらに、学習効率を考慮して孔の判別に影響しない範囲で $125\times 125\text{px}$ にリサイズした400枚の画像（写真2参照）を用いた。教師画像は、写真2に示すように画像編集ソフトにより、孔の輪郭に合わせて円を描画した画像を作成した。学習後の推論に用いた画像は、壁を削孔した複数の撮影画像から、同じように $500\times 500\text{px}$ で切り出し、 $125\times 125\text{px}$ にリサイズした、学習に用いた画像とは異なる画像50枚を用いた。

深層学習モデルには、Semantic Segmentation（ピクセル毎にどのクラスかを推定する）でよく利用される FCN（Fully Convolutional Network）を用いた。Semantic Segmentation では Vgg16 や U-Net 等のモデルが開発されているが、今回の検討では対象画像を分割して画像サイズを小さくして処理する前提で、先ず、図1に示すようにシンプルなモデルを試した。学習に用いる入力画像サイズを考慮して多層の畳み込み層で構成され、全結合層がないモデルである。畳み込み層にはバッチ正規化（Batch Normalization）を導入した。

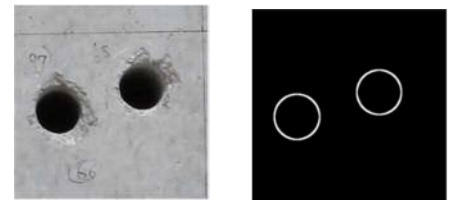
3. 検出結果

表1に推論結果の一例を、推論結果の画像を元の画像に重ね合わせた画像と合わせて示す。この例以外の画像についても、孔を全く検出できなかったものではなく、おおむね良好に孔を検出できている。

検出結果の評価として一致率を算出した。ここで求めた一致率とは、推論に用いた画像について、教師画像の作成と同じく、予め、画像編集ソフトで孔の輪郭を円としてラベリングした画像を作成し、この画像の円を構成するピクセルに対し、検出結果画像の同じ位置のピクセルの値が0以外であれば正とした。そして、円としてラベリングした画像において円を構成するピクセル総数により、正としたピクセルの合計数を除して一致率とした。推論に用いた50枚の画像における一致率は、0.53~0.97となり、平均値は0.82と高い精度であった。



写真1 RC壁試験体の画像例



抜き出した画像

教師画像

写真2 学習に使用した画像例

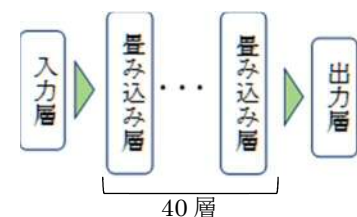


図1 学習モデルの概略構造

キーワード 削孔, 深層学習, あと施工アンカー, あと施工せん断補強

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株)奥村組 技術研究所 TEL 029-865-1521

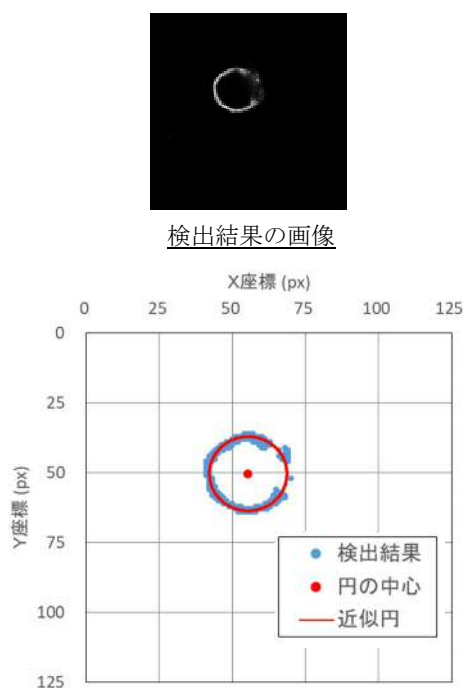


図2 検出結果より算出した近似円

孔位置の算出方法として、深層学習により検出した孔の輪郭画像を最小二乗法により円で近似し、その近似した円の中心位置を算出することで孔の位置を求めることを考えている。

検出結果をみると、入力画像において孔とコンクリート表面の境界のコントラストが明確でない部分は、円の一部が明瞭ではなかったり、欠けたような検出結果となっているものがある。このような一部が欠けた画像を用い、式(1)に示すように、最小二乗法により円の中心および半径の算出を試みた。

算出結果の一例を図2に示す。図2より、完全な円として検出できなくても、最小二乗法により円（孔）の中心位置および半径を算出できることがわかる。

$$(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 = r^2 \quad \text{式(1)}$$

ここで、 x_i, y_i : 検出された孔を構成する任意の画素のX軸およびY軸のピクセル位置の値
 a, b : 円の中心のX軸およびY軸のピクセル位置の値、 r : 円の半径

4. おわりに

あと施工アンカー筋等の挿入孔を自動検出する方法として、深層学習による孔検出方法の適用可能性を検討した。今回の検討では、おおむね良好に孔を検出でき、この検出結果から最小二乗法により孔の中心位置を算出できることが確認できた。ただし、学習に用いた画像数は十分ではなく、今後、さらに様々な学習用の画像を収集し検討する必要があると考える。また、この孔位置の検出方法を実適用するには、検出対象画像の分割方法や画像に物理的な距離情報を与える方法等も検討していく必要があると考えている。

【参考文献】

- 1) 三澤孝史, 山口 治, 川澄悠馬, 石井敏之: 狭隘な撮影箇所における UAV による撮影画像を用いた削孔位置の自動抽出, 土木学会第 76 回年次学術講演会概要集, VI-269, 2021.9

表1 検出結果例

入力画像	検出結果	入力画像と検出結果の重ね合わせ