

## AI 画像解析による豆板補修要否判定の実現可能性検討

大澤 淳司 山田 亮\* 眞下 美紅\*  
Atsushi Ohzawa, Ryo Yamada, Miku Mashimo

### 概 要

建物の品質検査において、コンクリートの仕上がり検査があるが、検査の際は現場での目視確認が基本とされている。その仕上がり検査のひとつである豆板については、豆板の面積・深さの計測結果と粗骨材の結合状態などから豆板の程度を 5 つの等級に判定し、結果に応じて適切な補修を行うことが推奨されているが、面積・深さを一つ一つ計測して判定するには時間と手間がかかる。品質検査には他にも多数の検査項目があるため、できるだけ簡易に判定できることが望ましい。

画像のみから豆板の等級が判定できれば検査の補助や遠隔から検査が可能となるなど現場作業の省力化に貢献でき、働き方改革の一助になると考えられる。

筆者らは、5 つの等級のうち、まずは補修要否の判定が AI 画像解析により画像のみから実現可能か検討した。当社の建設現場等でコンクリート表面を撮影した画像と各画像に補修要否のラベルを付与したデータを教師データとして学習を行い、F1 値 93%以上で補修要否を判定可能であることを確認した。また、学習済み AI を組み込んだ簡易アプリを用いて現場での検証を行い、補修要否の判定が短時間で容易に実施可能であることを確認した。本報ではその詳細について報告する。

### Feasibility Study to Determine the Necessity of Repair to Concrete Honeycombing

#### Abstract

One of the basic building quality inspections is to visually check for honeycombing in concrete. For visual inspection of honeycombing, the following steps are recommended: (i) measure the area and depth of the honeycombing, and check the bonding state of the coarse aggregate, (ii) judge the honeycombing into 5 grades, and (iii) select the appropriate repair method according to the grade. However, it takes time and effort to measure and make judgments one by one, and there are many other items in a quality inspection, so it is desirable that judgment can be made as simple as possible.

On the other hand, it is considered that if it is possible to determine honeycombing grades using images, it will contribute to labor saving in inspection work, and help to reform working methods.

The authors evaluated the feasibility of determining whether or not honeycombing in concrete needs to be repaired by using AI image analysis only. From the results it was confirmed that this can be determined with high accuracy (F1 value 93% or higher). In this report, the details of AI image analysis and the evaluation results at the construction site are reported.

キーワード：品質検査, 豆板, AI 画像解析

\*株式会社 SCREEN アドバンスト  
システムソリューションズ

## 1. はじめに

建物の品質検査において、コンクリートの仕上がりが検査があるが、検査の際は現場での目視確認が基本とされている。その仕上がり検査のひとつである豆板については、豆板の面積・深さの計測結果と粗骨材の結合状態などから豆板の程度を5つの等級に判定し、結果に応じて適切な補修を行うことが推奨されている<sup>2)</sup>が、面積・深さを一つ一つ計測して判定するには時間と手間がかかる。品質検査には他にも多数の検査項目があるため、できるだけ簡易に判定できることが求められる。また、これまでに画像内の豆板などの変状範囲をAI画像解析により検出可能か検討されている<sup>3)</sup>が、適切な補修を行うためには豆板の等級が判定できることが望ましい。

画像のみから豆板の等級が判定できれば検査の補助や遠隔から検査が可能となるなど現場作業の省力化に貢献でき、働き方改革の一助になると考えられる。AI画像解析による判定のイメージを図1に示す。

筆者らは、5つの等級のうち、まずは補修が不要な等級1と補修が必要な等級2以上を判定する補修要否の判定がAI画像解析により画像のみから実現可能か検討し、高い精度でこれを判定できる結果を得た。本報ではその詳細と、現場で検証した結果について報告する。

表1 AIの概要及び撮影条件

項目	内容
検出可能な変状	基礎コンクリートの豆板の補修要否
変状検出の原理・アルゴリズム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・畳み込みニューラルネットワークによる自動検出</li> <li>・入力は基礎コンクリート表面の撮影画像</li> <li>・出力は補修必要、又は補修不要を示す数値ラベル（補修必要を1、補修不要を0とした。）</li> <li>・全ての画像に補修不要、又は補修必要のいずれかのラベルを付与し、画像とラベルの組み合わせを教師データに用いた教師あり学習</li> </ul>
撮影条件	撮影機器：携帯端末 カメラの焦点距離：24~26 mm（35 mm 判換算） 撮影距離：300 mm±100 mm あおり角度：±10°以内

## 2. 豆板補修要否判定 AI の開発

### 2.1 AI の概要・教師データについて

各画像が補修不要又は補修必要のいずれかを判定する2クラス分類問題としてAIの開発を行った。表1にAIの概要及び撮影条件を、表2にAIの学習に利用した画像の枚数を示す。教師データとして、当社の建設現場や当社施設内の教育・試験用建物でコンクリート表面を撮影した画像と、各画像

表2 教師データの概要

画像のラベル	画像数 [枚]
補修必要	241
補修不要	241

にラベルを付与したデータを組み合わせたデータを用いた。AIの判定がいずれかに偏ることのないよう、各ラベルの画像数を揃えた。



図1 AI画像解析による判定の流れ

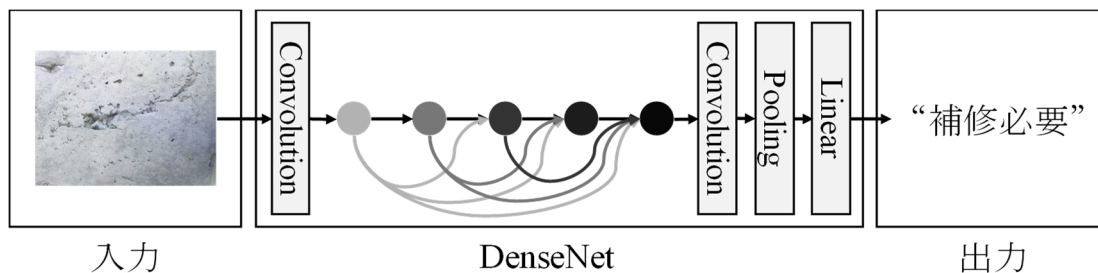


図2 予測モデルの概要

## 2.2 予測モデル及び学習方法

AIの予測モデルには DenseNet<sup>4)</sup>を利用した。予測モデルの概要を図2に示す。DenseNetはある層から複数の別の層の間にショートカット構造を設けることで精度の向上と軽量化を図ったモデルである。AIの判定に強く影響した部分(以下、特徴量という)の可視化を行うため、DenseNetの事前学習済みモデルの出力層の前に畳み込み層及びプーリング層を追加している。

入力画像の前処理として、画像サイズを幅400×高さ300ピクセルに縮小し、RGBチャンネルごとに平均が0、分散が1となるようデータ正規化を行った。出力層の活性化関数にsoftmax関数を、損失関数にはCross-entropyを用い、最適化アルゴリズムをRMSProp、学習率を0.0005、エポック数を300回として学習を行った。学習データの数が少ないため、クロスバリデーションにより妥当性を確認した上で全てのデータを利用して学習を行った。具体的には、10フォールドクロスバリデーションにより、学習と性能評価に利用する教師データの組み合わせを10パターン用意してAIの学習を行い、各パターンの性能評価結果を確認した。

## 2.3 学習結果

学習したAIによる判定精度は式(1)、式(2)及び式(3)に示す適合率*P* [%]、再現率*R* [%]及び*F*<sub>1</sub>値 [%]により評価した。表3に付与されたラベルとAIの判定結果の関係を示す。適合率はAIが補修必要と判定した結果のうち実際に補修必要な画像の割合であり、判定の正確さを示している。再現率は実際に補修必要な画像のうち、AIが補修必要と判定した画像の割合であり、見落としの少なさを示している。*F*<sub>1</sub>値は適合率と再現率の調和平均であり、AIの判定の総合的な精度を示している。各評価指標の結果を表4に示す。AI画像解析を用いることで画像のみでも補修要否を*F*<sub>1</sub>値93%以上で判定可能である。

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$F_1 \text{ 値} = \frac{2 \times (P \times R)}{P + R} \quad (3)$$

記号

*TP* : 補修必要の画像の中でAIが補修必要と判定した画像数

*FP* : 補修不要の画像の中でAIが補修必要と判定した画像数

*FN* : 補修必要の画像の中でAIが補修不要と判定した画像数

*TN* : 補修不要の画像の中でAIが補修不要と判定した画像数

図3(a)に補修が必要な豆板の画像例を、(b)に特徴量を可視化した結果を示す。特徴量の可視化にはGrad-CAM<sup>5)</sup>を用い、赤色に近いほど判定への影響が大きく、青色に近いほど判定への影響が小さいこと

表3 真値と推定値の関係

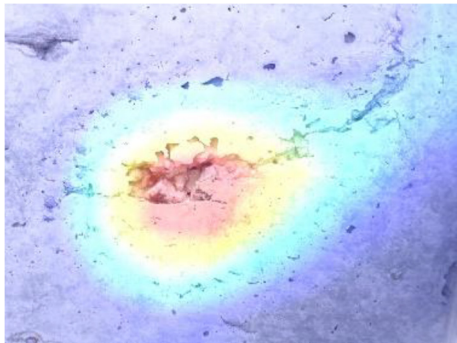
		ラベル	
		補修必要	補修不要
AIの判定	補修必要	<i>TP</i>	<i>FP</i>
	補修不要	<i>FN</i>	<i>TN</i>

表4 AIの判定精度

評価指標	適合率	再現率	<i>F</i> <sub>1</sub> 値
結果	93.3%	93.7%	93.5%



(a) 補修が必要な画像の例



(b) 特徴量の可視化結果

図3 撮影画像と特徴量の可視化結果

を示している。この可視化結果から、AIが豆板やその周辺部分を根拠として補修要否を判定していることが示されており、適切に学習されていると考えられる。

### 3. 現場での評価及び今後の課題

現場での評価を行うため、学習済み AI を組み込んだ簡易アプリを作成し、実際の現場で活用の可能性を検証した。図4にアプリの操作画面を示す。このアプリは携帯端末で動作する。はじめに「画像」ボタンを押下して検査する豆板の写真を撮影、又は「ファイル選択」ボタンを押下して携帯端末に保存された豆板の画像を選択し、次に「補修要否判定」ボタンを押下することで AI の判定が開始され結果が表示される。判定結果として「補修不要」又は「補修必要」のいずれかが表示され、更に「補修必要」な場合は特徴量の可視化結果が表示される。

このアプリを利用した場合、撮影から判定結果の確認までに必要な時間は約 15 秒であり、迅速に判定できる。

写真1に現場検証の様子を示す。品質検査を担当する社員にこのアプリを利用いただき、ヒアリングを実施した。

期待される効果として次のような意見があった。

- ・経験の少ない社員でも判定を迅速かつ容易に行える
- ・経験によらず一定の基準で判定できる

一方で次のような要望・意見があった。



図4 簡易アプリの操作画面

- ・補修要否ではなく、豆板の程度を5つの等級に判定できるようにする必要がある
- ・表1に示す撮影条件から外れる撮影画像では間違っただ判定となる場合がある
- ・図5に示すように背景が部分的に映り込み、判定に影響を及ぼす場合がある
- ・豆板は検査員が探す必要がある
- ・豆板の位置や大きさは別途記録が必要である

要望・意見を踏まえ、今後は豆板の程度を5つの等級に判定できるAIの開発や、判定精度向上・撮影条件の緩和に向けた開発を予定している。



写真1 現場検証の様子



(a) あおり角度の大きい画像の例



(b) 特徴量の可視化結果

(左側に写り込んだ背景を豆板と誤判定)

図5 誤判定した画像の例

## 4. まとめ

AI画像解析により画像のみで豆板の補修要否を判定できるかどうかを検討し、一定の撮影条件下において、F1値93%以上で判定可能であることを確認した。また、学習済みAIを組み込んだ簡易アプリを用いて現場での検証を行い、補修要否の判定が短時間で容易に実施可能であることを確認した。

今後は要望・意見を踏まえたアプリの改善を検討予定である。

### 謝辞

本研究にあたり、本社法令遵守・品質保証推進本部品質保証統括部、及び本社CS企画部の皆様には画像の収集やラベルの付与、現場での検証に多大なるご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2022, pp.424-425, 2022
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'17[基礎編], pp.7-9, 2017
- 3) 佐藤佑香, 成田正則, 六浦和明：AI機能による画像認識技術を用いた河川管理施設の変状確認・評価について—樋門函体内を対象に活用した事例と今後の展開—, 第66回(2022年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集, pp.655-659, 2023
- 4) G. Huang, Z. Liu, L. V. D. Maaten, et al. : Densely Connected Convolutional Networks, IEEE CVPR 2017, pp.2261-2269, 2017
- 5) R. R. Selvaraju, M. Cogswell, A. Das, et al. : Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization, IEEE ICCV 2017, pp.618-626, 2017

### 執筆者紹介



大澤 淳司  
修士(工学)

#### ひとこと

社会課題の解決や業務の効率化に貢献できるように、研究開発に励みます。