

整 理 番 号 2024M-488

補 助 事 業 名 2024年度 コンクリート構造物を撮影した画像から3次元モデルを作成し、
モデルに発生した変状をAIによって自動検出・記録できる新技術 補助事業

補助事業者名 鹿児島工業高等専門学校 都市環境デザイン工学科

1 研究の概要

コンクリート構造物の点検作業は近接目視で行うことから、点検業務の効率化に向けた点検手法が求められている。コンクリート構造物の損傷は、ひび割れ幅とも密接に関係しており、構造物の画像からひび割れ有無の検出に加え、ひび割れ幅を把握することは重要である。本研究は、構造物に生じた変状を効率的に把握することを目的に、まず教師データを作成し、YOLOv8 にひび割れ検出を学習させた。次に、検出したひび割れに基づいて、畳み込みフィルターを用いたひび割れ幅の推定を行った。本研究の結果、YOLOv8 と畳み込みフィルターを組み合わせることで、ひび割れ画像から効率的にひび割れ幅の推定ができるこことを明らかにした。

2 研究の目的と背景

橋梁やトンネルなどのコンクリート構造物の長寿命化が求められており、5年に1回の定期点検において、ひび割れや剥離などの変状を把握し、変状の進展に応じて補修や補強といった劣化対策が進められている。その一方で、点検作業は近接目視で行うことから、点検業務の効率化に向けた点検手法が求められている。

既往の研究では、点検時に撮影したコンクリート画像から深層学習を用いたひび割れの検出や、点検用足場を組む必要のないドローンを活用した点検などの研究開発が進められている。深層学習では、高速処理とセグメンテーション（ピクセル単位の検出）に優れた YOLO (You Only Look Once) v8による画像からひび割れの自動検出に関する報告はあるものの、ひび割れ幅の測定にYOLOv8を応用した例はない。コンクリート構造物の損傷は、ひび割れ幅とも密接に関係しており、ひび割れ幅が0.3 mm以上になると損傷が大きく進むため、構造物の画像からひび割れ有無の検出に加え、ひび割れ幅を把握することは重要である。

本研究は、コンクリート構造物の効率的な変状把握を目的に、YOLOv8を用いたひび割れの検出を行うとともに、抽出したひび割れに基づく、ひび割れ幅の推定について検討した。

3 研究内容

まず、教師データを作成するために、図-1に示す鉄筋コンクリート供試体の作製後に4点曲げを実施し、ひび割れを発生させた。その後、表-1、図-2に示す撮影条件及びカメラ固定治具でひび割れ箇所の撮影を行い、写真のひび割れ部分に対して、アノテーションツール (CVAT)を用いて、ひび割れ部分にマーキングを行うことで教師データを作成した。

次に、ひび割れの検出を行うために、図-3に示す学習手順に従いオープンソース、もしく

は自作のひび割れ写真の教師データを用いてYOLOv8にひび割れ検出を学習させた。なお、学習には自作のひび割れ写真を1728枚使用し、学習後のテストには自作のひび割れ写真を352枚使用した。

最後に、ひび割れ幅推定には 31×31 pixelの畳み込みフィルターを用いた。ここで、畳み込みフィルターは中心列の要素のみが1でそれ以外は0を考え、これを時計回りに $\theta=0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ だけ回転させた4種類を用いた。画像処理を用いたひび割れ幅推定の流れを以下に示す。検出されたひび割れ領域に細線処理等を適用し、ひび割れの中心画素の集合 C を決定した。中心画素 $(x, y) \in C$ を中心とする領域に、4種類の畳み込みフィルターを適用し、回転角 θ のフィルターで得られた畳み込みの値を $k_\theta(x, y)$ とした。中心画素 $(x, y) \in C$ におけるひび割れの線幅を最小値である $\min_\theta \alpha_\theta k_\theta(x, y) [\text{mm}]$ に決定した。なお、 α_θ は回転角 θ ごとに決まる係数とした。

本研究の結果と考察をまとめると、表-2に自作のひび割れ写真の学習用データを用いて学習したYOLOv8の、ひび割れ検出の精度を示す。適合率と再現率を共に考慮し評価する指標であるF1スコアは0.796(1に近いほど推定精度が高い)であるため、概ね高い精度でひび割れの検出ができた。この精度は学習用データの量を増やすことで向上できるものと考えられる。

表-1 撮影条件

| 項目 | 詳細 |
|---------|--|
| カメラ | Canon EOS R7 画像サイズ : 6960×4640 画素 ISO 感度 : 100 F 値 : 4.5 |
| レンズ | Canon RF 16 mm F2.8 STM |
| 被写体との距離 | 300 mm |

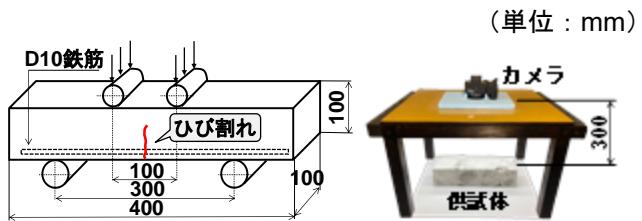


図-1 鉄筋コンクリート供試体

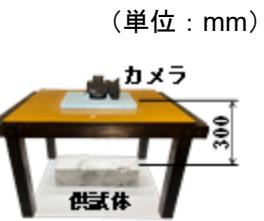


図-2 カメラ固定治具

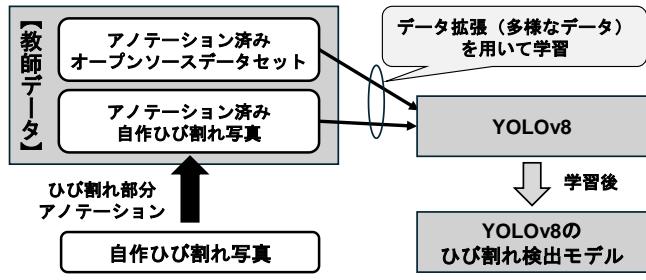


図-3 教師データ作成から学習までの手順

表-2 ひび割れ検出の精度

| Mask (P ^{※1}) | Mask (R ^{※2}) | F1 (Mask) |
|-------------------------|-------------------------|-----------|
| 0.926 | 0.697 | 0.796 |

※1適合率(Precision) : 正解と予測されたもののうち、実際に正解であった割合(誤検出に着目)

※2再現率(Recall) : 実際に正解であるもののうち、正解と予測された割合(未検出に着目)

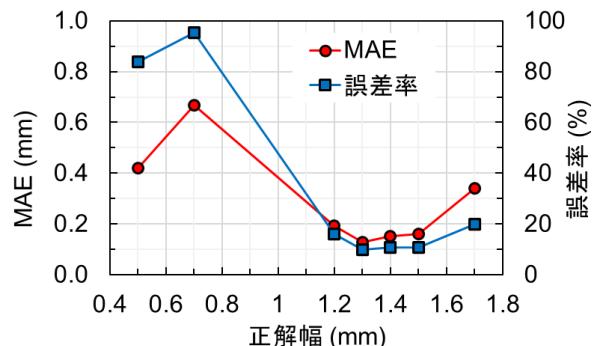


図-4 正解幅と MAE および誤差率

図-4に1枚のテスト画像における各実測ひび割れ幅(正解幅)に対するMAE(絶対平均誤差)と誤差率を示す。全正解幅におけるMAEと誤差率の平均はそれぞれ0.29 mmと35.3 %であった。正解幅が1.2~1.5 mmの範囲では、MAEは0.1~0.2 mm程度、誤差率は10 %程度であり、高い精度で推定できた。しかし、正解幅0.7 mm, 1.7 mmに着目すると、MAEは0.3~0.7 mmに上昇し推定精度が低下した。これはYOLOv8のひび割れ検出が正確に行えていない箇所があることに起因すると考えられる。

図-5にYOLOv8の検出(青色)したひび割れに正解マスク(赤色)を重ねた画像を示す。幅が0.5 mmのひび割れ箇所では正解よりも大きく検出されており、正解幅が1.7 mmのひび割れ箇所では正解よりも小さく検出されている。ひび割れの誤検出に関しては、学習用データの量を増やし多様な状態のひび割れに対応できるようにすることで改善されるものと考える。

図-6に実構造物のひび割れ写真から本提案手法でひび割れ幅を推定した際の検出イメージを示す。Pythonスクリプトを用いることで、PDFファイル上にひび割れ幅の推定値、及びひび割れ幅ごとの色分けが示され、報告書の作成まで自動的に行えるように計画している。なお、研究当初はコンクリート構造物を撮影した複数枚の写真から3次元モデルを復元後に、そのモデルからひび割れの検出を試みたが、YOLOv8がモデル内のひび割れに対して正対していない場合は、ひび割れの検出、及び幅測定の精度が低下した。そのため、道路管理者が変状データを管理する方法としては、図-6に示すようにひび割れ幅の推定値を撮影画像に組み込み、この画像を3次元モデルのひび割れ箇所に紐づけする方法が現実的ではないかと考える。

以上の研究結果より、撮影画像から本提案手法は効率的に検出精度の高いひび割れ情報を得られる実用可能な技術であることが示唆された。今後、コンクリートの剥離や鉄筋露出、遊離石灰、漏水といった変状も検出できるように、YOLOv8のインスタンスセグメンテーションを適用することについて検討する予定である。

4 本研究が実社会にどう生かされるか—展望

本研究手法の発展によって、撮影画像を学習済みのソースで処理することで、ひび割れの有無とひび割れ幅推定値が表示されたPDFデータが生成され、このデータにおける変状と次回の点検時における変状を比較することで不具合の進展を把握することが可能となる。つまり、点検作業の大幅な省力化と点検結果に基づく補修計画の策定に活用することが可能である。

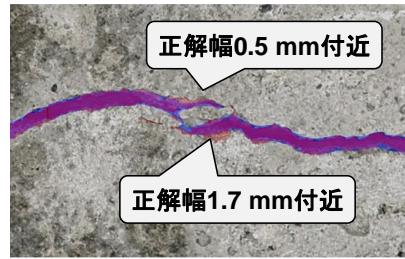


図-5 YOLO の検出と正解

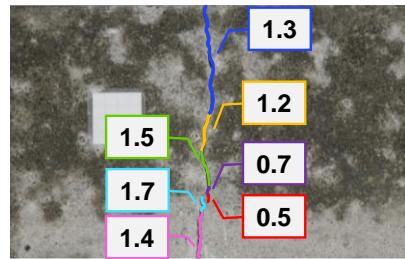


図-6 ひび割れ幅の検出イメージ

5 教歴・研究歴のながれにおける今回研究の位置づけ

これまでの研究では、産業副産物や地域の未利用材料を混合したコンクリートやジオポリマーなどの材料開発に従事し、構造物の材料開発に貢献してきた。しかし、構造物の長寿命化も重要な課題であるため、維持管理技術に視点を広げ、点検技術の革新に取り組むこととなった。特に本研究では、点検作業の省力化を目的として、AIを活用したコンクリート構造物のひび割れ検出技術の開発を進めている。この研究は、材料開発から維持管理への橋渡しをするものであり、構造物の維持管理におけるメンテナンスにおける負担軽減に貢献することが期待される。

6 本研究に関わる知財・発表論文等

知 財：該当なし

発表論文等：学会発表4件

- 1) 重井徳貴, 川畠琉皇, 永田琥太郎, 中丸ゆかり, 安井賢太郎：橋梁コンクリートにおけるひび割れの検出・分類の自動化の検討, 日本知能情報ファジィ学会九州支部夏季ワークショップ, 2024年8月19日
- 2) 川畠琉皇, 永田琥太郎, 中丸ゆかり, 安井賢太郎, 重井徳貴：YOLOv8を用いた橋梁のコンクリートのひび割れ検出における精度改善, 2024年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 2024年9月25日
- 3) Ryu Kawabata, Kotaro Nagata, Yukari Nakamaru, Kentaro Yasui, Chihiro Morita and Noritaka Shigei : Detection of Concrete Cracks Using YOLOv8 and Estimation of Crack Width, International Symposium on Collaborative Informatics (ISCI 2025), March 6, 2025
- 4) 永田琥太郎, 中丸ゆかり, 安井賢太郎, 森田千尋, 川畠琉皇, 重井徳貴：深層学習を用いたコンクリート構造物のひび割れ幅推定, 令和6年度土木学会西部支部研究発表会, 2025年3月8日

7 事業内容についての問い合わせ先

団体名：鹿児島工業高等専門学校（カゴシマコウギョウコウトウセンモンガッコウ）

住所：〒899-5193

鹿児島県霧島市隼人町真孝1460-1

担当部署：都市環境デザイン工学科（トシカンキョウデザインコウガッカ）

担当者名：准教授 安井 賢太郎（ヤスイ ケンタロウ）

電話番号：0995-42-9121

F A X：0995-42-9121

E-mail：yasui@kagoshima-ct.ac.jp

U R L：<https://www1.kagoshima-ct.ac.jp/~yasui/>