

橋梁画像を用いた深層学習による コンクリートひび割れ自動検出システム に関する考察

福岡 知隆¹・南 貴大²・浦田 渡³・藤生 慎⁴・須田 信也⁵・高山 純一⁶

¹正会員 金沢大学博士研究員 理工研究域地球社会基盤学系（〒920-1192 金沢市角間町）

E-mail:tfukuoka@se.kanazawa-u.ac.jp

²学生会員 金沢大学大学院 環境デザイン学専攻（〒920-1192 金沢市角間町）

E-mail:taketaka0503@stu.kanazawa-u.ac.jp

³学生会員 金沢大学 環境デザイン学類（〒920-1192 金沢市角間町）

E-mail:superw7@stu.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学助教 理工研究域地球社会基盤学系（〒920-1192 金沢市角間町）

E-mail:fujii@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵非会員 株式会社 WorldLink&Company SkyLink Japan（〒603-8053 京都市北区上賀茂岩ヶ垣内町98-2-2F）

E-mail:s.suda@skylinkjapan.com

⁶正会員 金沢大学教授 理工研究域地球社会基盤学系（〒920-1192 金沢市角間町）

E-mail:takayama@se.kanazawa-u.ac.jp

橋梁の保守点検作業は多大な労力を要しており、技術者不足や予算の問題で十分な保守点検作業が行われていない。近年ではこの問題に対して、これまで人手で行ってきた作業を自動化する様々な取り組みが研究されている。本稿では、近接目視点検に代替する手法の開発に向けて、超高解像度カメラで撮影された橋梁画像を用いた橋梁点検システムの要素技術の一つとして、橋脚コンクリートのひび割れ検出に焦点を当てたシステムを提案する。提案システムでは橋脚の一枚画像を入力とし、深層学習によるひび割れ判定モデルを用い、任意のピクセル長の正方形のメッシュ単位にひび割れ判定結果を付与した橋脚画像を出力する。本稿では提案システムの概要、モジュールの詳細、解決すべき問題点について報告する。

Key Words : *super high resolution camera, bridge inspection, aggressive preventive maintenance, crack detection on concrete surfaces, deep learning*

1. はじめに

日本には橋長2m以上の橋梁が約73万橋あり、その多くが高度経済成長期に建設されている。そのため、今後高齢橋の割合は加速度的に高くなるが見込まれており、一斉に老朽化するインフラを戦略的に維持管理・更新することは喫緊の課題である¹⁾。

現在の橋梁維持管理は、定期的な点検により損傷が軽微なうちに対策を講じる予防保全的な考えが主流である。2014年には、国が定める統一的な基準により、5年に一度の頻度で近接目視による全数監視が道路管理者に義務づけられている。しかし、橋梁を管理する地方公共団体

の人材や財源の不足により、十全な点検が行われていない橋梁が一定数存在している²⁾。また、今後も継続的に予防保全的な維持管理を行っていくことが困難であると予想される。

この問題の原因の一つに、近接目視点検を行うためのコストが高い点が挙げられる。橋梁の環境によっては近接目視点検を行うために足場の建設や高価な専用車両を使用する必要があり、近接目視点検にかかる費用を増加させている。また、交通規制を伴うため、経済損失の問題も生じる。そのため、より経済的で且つ汎用性の高い近接目視点検手法の開発が求められている。

これまでの近接目視点検に代替する手法の開発に向け

て、南らは超高解像度カメラで撮影された橋梁画像を用いた橋梁点検の実施可能性について検証を行っている³⁾。超高解像度カメラを用いた点検手法では、近接目視が困難な橋梁においても遠距離から詳細な画像を取得することが可能となり、専用車両や交通規制を必要とせず、点検の低コスト化が期待できる。この検証では得られた画像のみを用いたひび割れ診断結果が、おおむね近接目視によるひび割れ診断結果と類似した結果となることが報告された。

本稿では、超高解像度カメラで撮影された橋梁画像を用いた橋梁点検システムの開発のため、コンクリートひび割れを対象とした深層学習を用いた自動検出システムについて、提案システムの概要、システムのモジュールの詳細、予想される問題点について述べる。

2. 関連研究

コンクリート画像を対象としたひび割れ検出の既存研究について述べる。

コンクリート画像のひび割れ検出手法として、教師あり機械学習を用いた手法がいくつか提案されている。Buらは橋の画像から特徴量を抽出する手法としてZenkiモーメント、ガボールフィルタ、Wavelet変換をそれぞれ用いてSVMによる機械学習手法を提案した。三つの特徴量ごとにひび割れの有無の二値分類精度を比較し、Wavelet変換を用いた場合に最も高い92%の精度となった³⁾。全らはRandomForestを用いた手法を提案し、その手法は正解率約99.6%でひび割れを検出するが、適合率は約53%、F値は約64.5%である⁴⁾。

また、深層学習を用いた手法として、CNNを用いた手法がよく利用されている。全らは既存手法⁴⁾の前処理にCNNを用いる手法を提案している。画像の回転や反転などで水増しした2300000枚の画像データを訓練データとして、ひび割れと誤判定されやすい型枠の除去を行う手法を提案し、F値を約70.5%に向上させた⁵⁾。ChaらはCNNにより、直接画像内のひび割れ箇所を検出する手法を提案している⁶⁾。CNNによるひび割れ識別モデルの学習のため、40000枚の画像を訓練データとし、98%の精度でひび割れを検出する結果を出した。

3. 提案システム概要

提案システムではひび割れを検出したい橋脚の一枚画像を入力とする。システムは入力画像に対して任意のピクセル長の正方形によるメッシュ分割を行い、ひび割れの有無はメッシュ単位で判定する。それぞれメッシュに

おけるひび割れ判定が完了したら、システムはメッシュ画像を結合し、入力一枚画像にひび割れ判定情報が付加された画像を出力する(図-1)。

既存研究の多くの出力は、ピクセル単位でひび割れの有無を判定するが、提案システムはメッシュ単位で画像ファイルに対するひび割れの有無を出力する。これは画素単位でのひび割れ判定には教師データの作成コストが大きくなる点、現状の橋梁の点検作業における実用性を考えると画素単位でのひび割れ情報の必要性が薄い点、画素単位での検出は処理時間が増加する点に鑑みた結果である。本稿の提案システムの目的は、画像内のある程度広さの領域にひび割れがあるかを判定することにより、将来的なピクセル単位でのひび割れ検出システムの処理対象領域を限定し、処理速度を向上させることである。

本章ではシステムの処理モジュールの詳細を以降に記す。

(1) 画像分割

提案システムは入力画像を任意のピクセル長の正方形に分割する。これはひび割れ判定に最適な画像サイズが入力画像の大きさによって異なることが予想され、個々の画像における最適な分割サイズに適応させるためである。任意のピクセル長にするため、画像サイズによっては端数の長さとなる画像が存在してしまうが、今回の提案では端数にあたる画像ファイルは対象外とする。

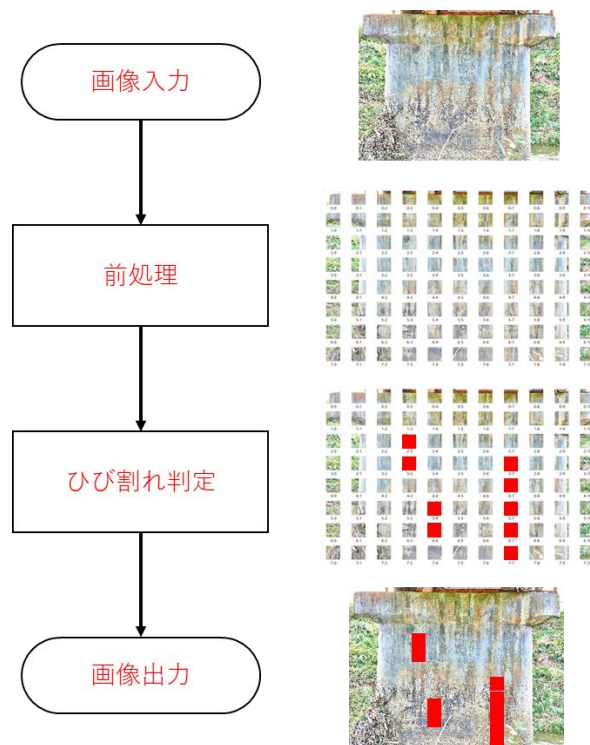


図-1 ひび割れ検出システムの処理フロー

(2) フィルタリング

橋脚にはひび割れ以外に腐食、欠落、苔などが生じている場合がある。これらの要素は画像処理においてはノイズとなり、ひび割れ判定の精度を低下させる要因となるためフィルタリングによるノイズ除去を行う。提案システムでは、全らが提案した画像をグレースケール化してmedianフィルタリングを用いる手法³⁾を前処理として行うことで、画像からこれらのノイズを除去する。

この手法では、元画像のフィルタ対象画素をmedianフィルタを行って得られた画素情報で割ることにより、ひび割れ情報を強く残している。medianフィルタのサイズがフィルタ結果に大きな影響を与えており、フィルタサイズを大きくするとひび割れが太くなるがノイズも残りやすく、フィルタサイズを小さくするとノイズは消えるがひび割れが細くなる傾向がある(図-2)。よって、最適なフィルタサイズを求める必要があり、これは実験的に評価を行うことで求める。

(3) ひび割れ検出

提案システムはフィルタリングが施されたメッシュ画像一枚ごとにひび割れを検出する。ひび割れ検出はディープラーニングの一種であるCNNを用いたモデルで行う。CNNのモデル作成には畳み込み層、プーリング層、各層のパラメータ設定し、問題ごとに最適値を設定しなければならないが、本研究では既存の画像分類問題で有用性が認められているネットワークを用いることとする。既存のネットワークとして公開されているLeNet²⁾、AlexNet³⁾、GoogleNet⁴⁾それぞれでモデルを学習し、検出結果を比較して設定する。

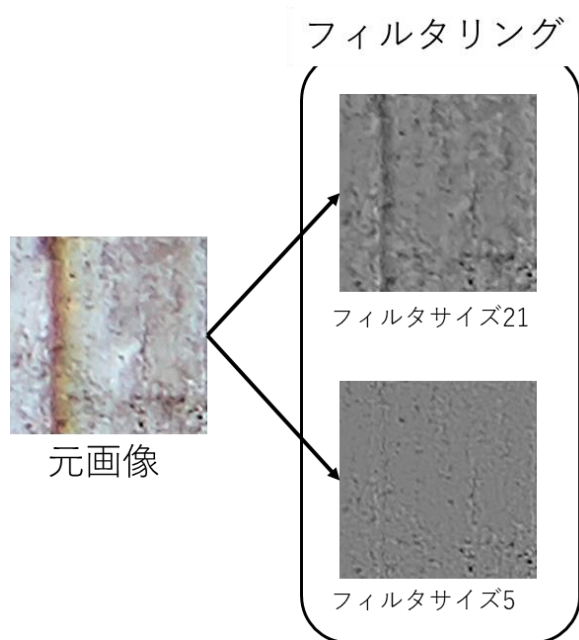


図-2 メディアンフィルタのサイズごとのノイズ除去

(4) 検出結果の出力

提案システムはCNNにより得られたメッシュ画像一枚ごとのひび割れ検出結果を入力画像中の同じ座標に付与し出力する。出力結果は単純なひび割れの有無による検出結果ではなく、検出精度に基づき出力結果を段階的に変化させる。最適な出力クラス数の設定は評価実験の結果に基づいて決定する。

4. システムの実現への課題

提案システムの実現に向けた主要な課題として、以下の課題について述べる。

(1) 境界メッシュの処理

提案システムが入力としている画像は橋脚全体を含む一枚画像である。そのため入力画像の中には橋脚以外の背景情報が含まれる。橋脚と背景の境界線はエッジとなるため、フィルタリングを施すと黒い直線として残り、ひび割れと誤検出されやすい。そのため、橋脚と背景が両方含まれる境界メッシュに対しては異なる検出モデルが必要と考えられる。

(2) 背景の識別

橋脚と背景の境界線上に存在するメッシュを識別するため、橋脚と背景を識別する前処理が必要である。画像の物体をピクセル単位で検出する手法として、セマンティックセグメンテーションがすでに高い精度を示すことが知られており、本システムでもこの手法を利用する。

(3) モデルの学習データ

CNNによるモデルの学習では、学習データが重要である。これまでの我々の調査では橋脚全体を撮影し、ひび割れ情報や物体境界情報をアノテーションしたデータセットは公開されていないため、学習用データの橋脚画像撮影とアノテーション作業が必要である。

5. おわりに

本稿では、低コストで実現可能な橋梁点検手法として、超高解像度カメラで撮影された橋梁画像を用いた橋梁点検システムの開発のための要素技術として、コンクリートひび割れを対象とした深層学習を用いた自動検出システムについて述べた。

今後は課題として挙げた問題点を解決したシステムの実装を行い、パラメータ最適化、ひび割れ検出の精度評価を行う。

参考文献

- 1) 南 貴大, 藤生 慎, 高山 純一, 須田 信也, 奥村 周也, 渡辺 一生 : 超高解像度カメラで撮影された画像を用いた橋梁点検の実施可能性に関する基礎的検討, 社会技術研究論文集, Vol.15, pp.54-64, 2018.
- 2) 一般社団法人次世代センサ協議会『点検業務の IoT の利活用をめざした 自治体橋梁における橋梁点検業務実態調査報告書【課題・ニーズ調査編】』
http://www.socialinfra.org/p_activity/questionnaire/Bridge_t_enken_Digest.pdf[2017, July 19]
- 3) Bu, G., Chanda, S., Guan, H., Jo, J., Blumenstein, M., & Loo, Y.-C. : Crack detection using a texture analysis-based technique for visual bridge inspection, Electronic Journal of Structural Engineering, Vol.14, No.1, pp.41-48, 2015.
- 4) 全 邦釘, 井後 敦史 : {Random Forest によるコンクリート表面ひび割れの検出, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.71, No.2, pp.I_1-I_8, 2015.
- 5) 全 邦釘, 嶋本 ゆり, 大窪 和明, 三輪 知寛, 大賀 水田生 : {ディープラーニングおよび Random Forest によるコンクリートのひび割れ自動検出手法, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.73, No.2, pp.I_297-I_307, 2017.
- 6) Y.J. Cha, W. Choi, O. Buyukozturk : Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol.32, No.5, pp.361-378, 2017.
- 7) LecCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., and Haffner, P. : Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition, IEEE, Vol.86, No.11, pp.2278-2324, 1998.
- 8) Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G.E. : Imagenet classification with deep convolutional neural networks, Advances in neural information processing systems, pp.1097-1105, 2012.
- 9) C. Szegedy, Wei Liu, Yangqing Jia, P. Sermanet and S. Reed and D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke, and A. Rabinovich. : Going Deeper with Convolutions, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-9, 2015.

(?)

A STUDY ON CONCRETE CRACK DETECTION WITH DEEP NEURAL NETWORK FOR BRIDGE INSPECTION BY IMAGES

Tomotaka Fukuoka, Takahiro Minami, Wataru URATA, Makoto FUJII, Shinya SUDA and Junichi TAKAYAMA

A bridge inspection requires considerable labor. In recentry, that is not performed enough for a lack of an engineer and a budget. To reduce the cost of bridge inspection, many researches proposed methods for automation the task which has been performed by human power. In this paper, we proposed the classification method that focus on a automatic detection of cracks in bridge images. This method constructs the part of alternative method of human work by using super high resolution camera.

Proposed method using Convolutional Neuralnet for training model and using only images of bridge surface for crack detection. We report the overview of proposed method, the detail of modules and an expected problem have to resolve.