

ひび割れ画像解析技術 (t.WAVE) を活用したコンクリート構造物のひび割れ点検

大成建設(株)	正会員	○上村	勇太
同	上	正会員	本澤 昌美
同	上		野村 侖生
同	上	正会員	堀口 賢一

1. はじめに

近年、我が国の社会インフラ施設や建築物の老朽化対策は喫緊の課題であり、その対策を検討するために必要な現況調査の迅速化や効率化、調査結果の定量化などの要求が高まっている。コンクリート構造物の点検では、コンクリートのひび割れの有無の確認や、発生しているひび割れの位置や長さ、幅を記録することが基本とされて



図-1 近接目視によるコンクリート構造物のひび割れ点検状況

いる。これは、コンクリート構造物の劣化の兆候やその程度が、構造物表面にひび割れやその変化として現れることが多いためである。図-1 に近接目視によるコンクリート構造物のひび割れ点検状況を示す。ひび割れの点検は従来から点検員が調査箇所へ近接して目視によりその有無を確認し、幅や長さを測定して、手書きで図面に記録する手法がとられている。しかし、このような方法には次のような課題が出てきている。①点検業務に従事する人員の確保が困難であること、②点検結果が点検員の技量や特徴に依存し、点検記録にばらつきが生じること、③高所や狭隘な箇所での作業に危険性や苦痛を伴うことがあることである。これらの課題の解決を目的として、著者らはデジタル画像からひび割れを自動で検出し、幅や長さも自動で定量的に評価できるウェーブレット変換を用いたコンクリートのひび割れ画像解析技術¹⁾ (以下、ひび割れ画像解析技術)を開発し、実際のコンクリート構造物の点検に適用してきた。本稿では、ひび割れ解析技術の概要と開発経緯および近接目視や他社類似技術との比較、さらに適用事例について示す。

2. ひび割れ画像解析技術の概要と開発経緯

(1) ひび割れ画像解析の実施手順

図-2 にひび割れ画像解析の実施手順を示す。本ひび割れ画像解析技術は、クラウド上で稼働する画像分析および画像解析のプログラムで構成されている。まず、工程①でクラウドにデジタル画像(図-2a)をアップロードし、工程②でAIによりひび割れの自動検出²⁾ (トレース)を行う。次に、工程③でトレース範囲の画素単位でウェーブレット変換を実行し、得られるウェーブレット係数からひび割れ幅を推定して、画素毎のひび割れ幅に応じて色分け表示した(図-2c)のようなひび割れ画像を出力する。次に、工程④でひび割れ幅ごとの長さを集計処理することで、(図-2d)に示すひび割れ幅ごとの長さ分布図が得られる。最後に、工程⑤でひび割れ1本毎の最大幅と長さを出力するセグメンテーションを行い、(図-2e)に示すセグメンテーション画像が得られる。工程③の前に、工程②でひび割れの自動トレースを行う理由は、その領域に限定してウェーブレット変換を行うことで、解析時間を短縮でき、また、ひび割れでない箇所の除去が不要となり、画像全体をウェーブレット変換するよりも効率的なためである。

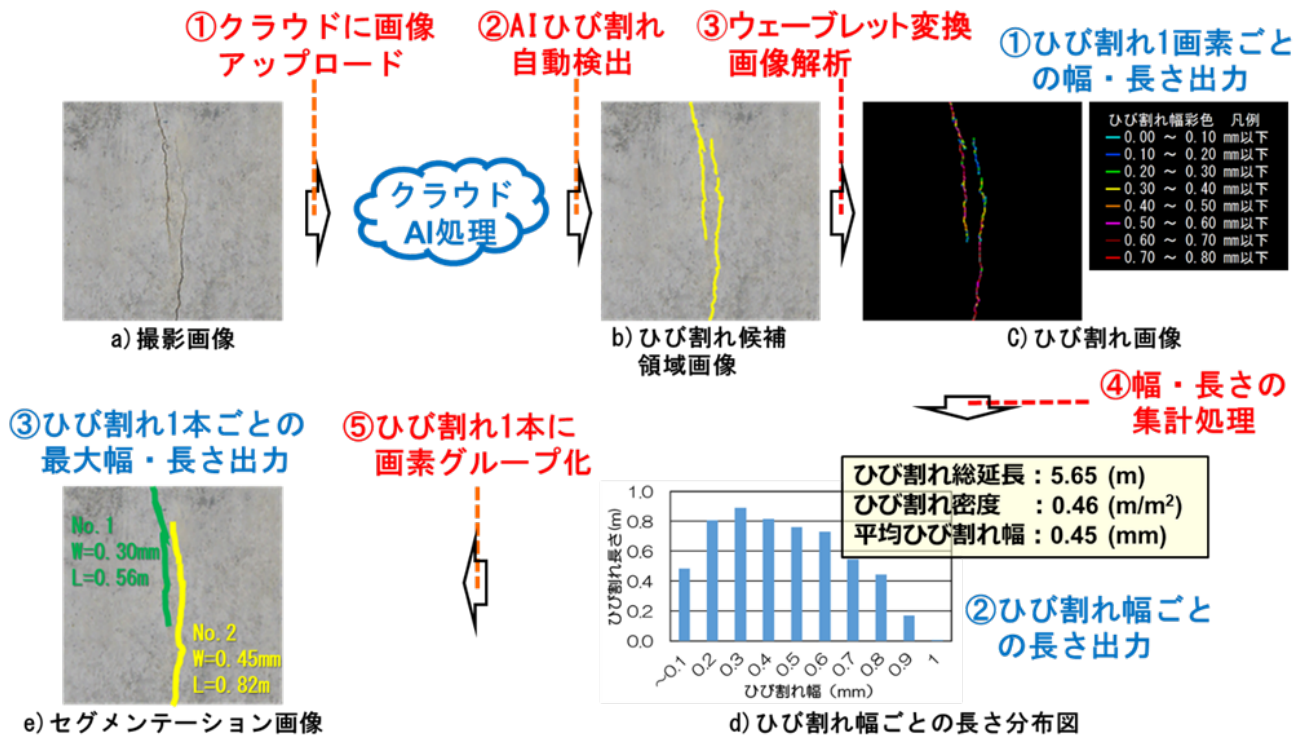


図-2 ひび割れ画像解析の実施手順

(2) 開発経緯

本ひび割れ画像解析技術は、2003年から開発に着手し、まずウェーブレット変換を用いた画像解析によるひび割れ幅算定技術を開発した。当初は、AIによるひび割れ自動検出機能は付与されておらず、ひび割れの直上を人が大まかにトレースして、その範囲においてひび割れ位置を抽出し、ひび割れの幅や長さを定量的に評価する方法を取っていた。このため、トレース作業に膨大な労力がかかっており、実際の構造物での適用は開発者社内での点検業務に限られていた。

また、2014年～2018年の5か年においては、第1期SIP（戦略イノベーション戦略プログラム）において課題採択され、ドローン撮影技術との連携を通じた使用性やひび割れ幅の評価精度の向上に取り組んだ。この中では、琉球大学が中心となって取り組んだ沖縄県内での地域実装で協働し、離島海上橋の効率的な点検に活用できることを実証した。

さらに、2019年から2020年上期にかけて、AIを用いたひび割れの自動検出技術²⁾（以下、本開発AI技術）を開発し、2020年7月からは個別PCにプログラムをインストールする形式で点検事業者らに提供し、社内の点検業務以外でも活用され始めた。さらに、2023年10月からはクラウド上でシステムが稼働する運用体制に移行している。表-1に示すように2020年7月から2023年12月までの間において、104件の構造物に適用されており、適用面積の合計は187,736m²である。

表-1 本ひび割れ解析技術の適用実績
(2020年7月～2023年12月)

構造物種別	適用面積m ²	適用箇所数
1. 橋梁	136,171	76件
2. トンネル	25,306	16件
3. ボックスカルパート	160	1件
4. 建屋	25,459	7件
5. その他	640	4件
合計	187,736	104件

3. 本開発ひび割れ解析技術と近接目視や他社類似技術との比較

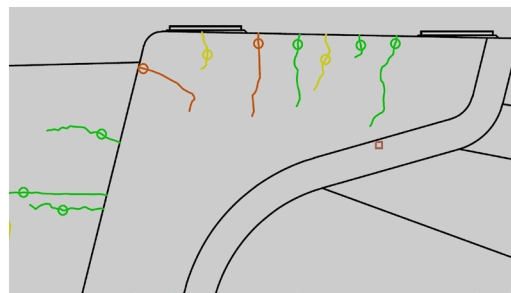
(1) AI によるひび割れトレース精度

a) 近接目視点検結果との比較

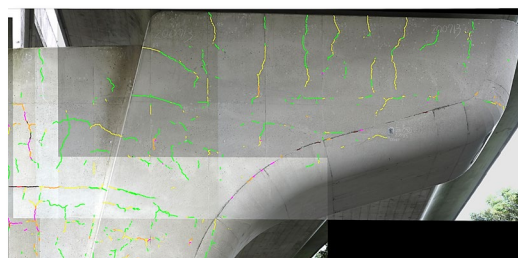
図-3c) に近接目視によるひび割れスケッチ図と本開発AI技術によるひび割れ自動検出結果の重ね合わせ図を示す。赤丸で囲った部分において、近接目視により確認されたひび割れは本開発AI技術でも全て自動で検出されている。さらに、近接目視により人が見逃したひび割れについても、本開発AI技術では検出出来ていることがわかる。

b) 他社類似 AI 技術との比較

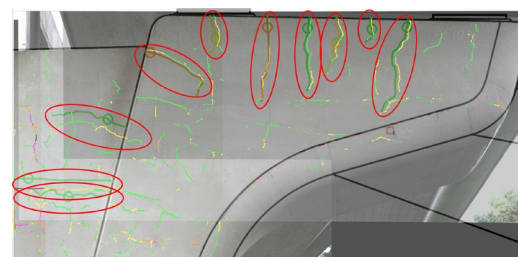
図-4 に本開発AI技術と他社類似AI技術によるひび割れ検出精度の比較結果を示す。同じ撮影画像図-4a) を対象に、図-4b) の人が画像上でひび割れをトレースしたものを正解画像として、AIによるひび割れの検出率を算出した。検出率は、人がひび割れと判別した画素に対して、AIもひび割れと判別した画素の割合を示すものである。撮影画像のコンクリート面に対する本開発AI技術によるひび割れの検出率が96.9%に対して、A社類似AI技術では、66.8%、B社類似AI技術では77.8%であった。このように、本開発AI技術は他社類似技術と比べてひび割れの検出精度が高く、ひび割れの検出漏れが少ない特徴を有している。



a) 近接目視によるスケッチ

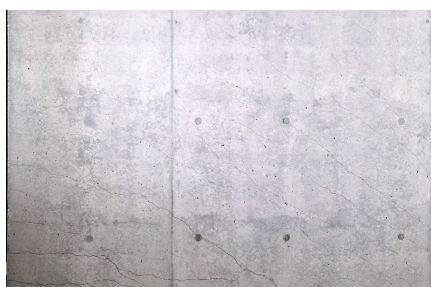


b) 本AI技術による自動検出結果

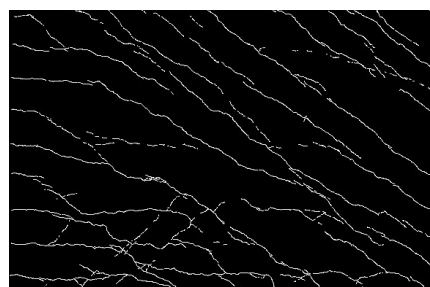


c) a) と b) の重ね合わせ図

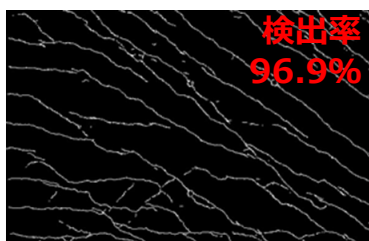
図-3 近接目視でのスケッチとAI自動検出結果の比較



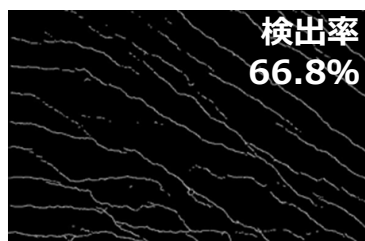
a) 撮影画像



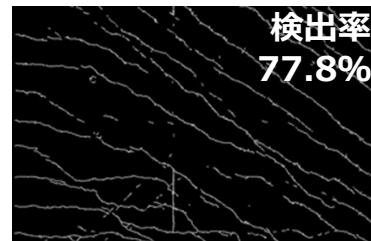
b) 正解ひび割れ画像 (人によるトレース)



c) 本開発AI技術によるひび割れ画像



d) A社類似AI技術によるひび割れ画像



e) B社類似AI技術によるひび割れ画像

図-4 本開発AI技術と他社類似AI技術によるひび割れ検出精度の比較結果

(2) ひび割れ幅の定量評価精度

図-5、表-1 に最大ひび割れ幅比較用のひび割れ番号と位置図及び、近接目視と本ひび割れ解析技術での最大ひび割れ幅比較表を示す。近接目視による人の最大ひび割れ幅の計測結果と本ひび割れ解析技術による最大ひび割れ幅の測定結果の差異は最大0.1mm程度であり、近接目視での人による計測時の誤差範囲であることが確認された。このようにひび割れの幅を正確かつ詳細に定量化出来るのは、ウェーブレット変換を用いた画像解析技術を用いているからである。本手法の特徴として、コンクリートの色合いや明るさの影響を受けにくく、幅広い環境で正確に幅を定量評価できることが挙げられる。

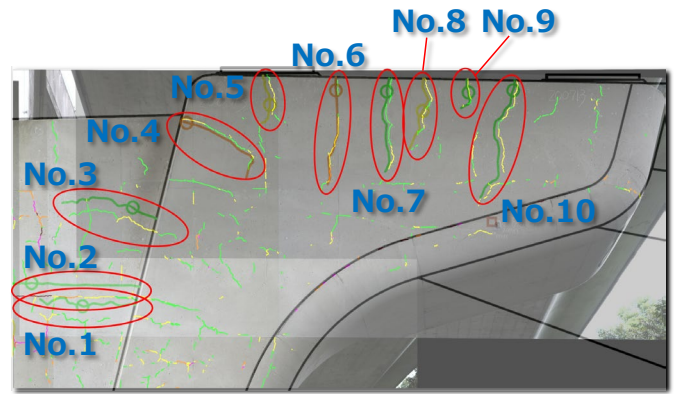


図-5 最大ひび割れ幅比較用のひび割れ番号と位置図

表-1 近接目視と本ひび割れ解析技術での最大ひび割れ幅比較表

ひび割れNo.	最大ひび割れ幅 (mm)	
	近接目視	本ひび割れ画像解析技術
1	0.2-0.3	0.2-0.3
2	0.2-0.3	0.4-0.5
3	0.2-0.3	0.3-0.4
4	0.4-0.5	0.3-0.4
5	0.3-0.4	0.3-0.4
6	0.4-0.5	0.4-0.5
7	0.2-0.3	0.2-0.3
8	0.3-0.4	0.3-0.4
9	0.2-0.3	0.3-0.4
10	0.2-0.3	0.3-0.4

4. 本ひび割れ画像解析技術の適用事例

図-6 には、本ひび割れ解析技術を適用した高架橋橋脚におけるドローンでの撮影状況と、3次元表示したひび割れ画像を示す。対象の橋脚は、地上から高さが6.5m~7.5m、正面の幅が5.0~16.5m、側面の幅が3.0mである。ドローンでの撮影により、通常の近接目視点検では足場が必要な箇所においても容易に点検が出来る。また、ひび割れの撮影と同時に3次元計測も行い、本ひび割れ解析技術を活用して得られたひび割れ図を3次元モデルに貼り付けることで、ひび割れ分布を3次元で可視化することも可能である。

5. まとめ

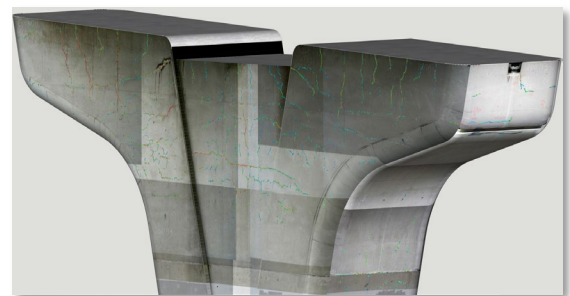
本稿では、ひび割れ解析技術の概要と開発経緯および近接目視や他社類似技術との比較、さらに適用事例について示した。今後は、さらなる利用促進に向けてひび割れ以外の劣化への対応及び、劣化度の自動評価などの付加価値の追加を検討する。

参考文献

- 1) 小山哲, 丸屋剛, 堀口賢一, 澤健男: ガボールウェーブレット変換を用いたコンクリートのひび割れ画像解析技術の開発, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.68, No.3, pp.178-194, 2012.
- 2) 堀口賢一, 本澤昌美, 野村侖生, 北原剛: AIを用いたコンクリートのひび割れ自動検出技術の実用化に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.1277-1282, 2021.



a) ドローンでの撮影状況



b) 3次元表示したひび割れ画像

図-6 ドローンでの撮影状況と3次元表示したひび割れ解析結果