

# 画像解析から得られるコンクリート表面のひび割れ幅の特徴

櫻庭浩樹・古賀裕久

## 1. はじめに

近年、AIを用いた画像解析技術により、コンクリート表面を撮影した画像データから構造物に生じたひび割れ等の変状を自動かつ迅速に検出、記録する技術が提案されている(例えば<sup>1)</sup>)。このような技術は点検作業における効率化、省人化に資すると考えられる。一方で、点検技術者による従来の近接目視から取得される情報と画像解析技術により取得される情報に乖離が生じた場合、診断の際に誤った判断がなされるおそれもある。

AIを用いた画像解析技術によるひび割れ幅の分析では、高性能カメラ等を用いてコンクリート構造物に生じたひび割れの画像を取得した後、ひび割れ箇所を自動で検出し、種々の分析方法によってひび割れ幅を推定する(図-1)。

ひび割れ幅を推定する技術としては、撮影した画像中のひび割れを構成する画素数からひび割れ幅を推定する手法等が提案されている。この手法ではある程度細かいひび割れに対応するためには高解像度の画像データを用いる。また、その画像データでひび割れを局所的に見ると、目視では意識しなかった微細な特徴まで抽出する可能性がある。このため、目視により測定されるひび割れ幅との特徴の相違を明確にした上で活用する必要があると考えられる。

そこで、画像解析から得られるひび割れ情報の特徴を把握するための基礎的な検討を行った。

## 2. ひび割れ幅の特徴に関する検討方法

### 2.1 試験体

本検討では、疲労とアルカリシリカ反応(以下「ASR」という。)によるひび割れを導入したRC床版試験体(写真-1)を用いた<sup>2)</sup>。ひび割れ幅を検討する上では、実際の構造物と同様なメカニズムで生じたひび割れを用いることが望ましいため、下記のようにひび割れの入った試験体を製作した。

試験体の形状と配筋は、疲労の劣化事例が多く確認されている昭和39年道路橋示方書に準拠してい

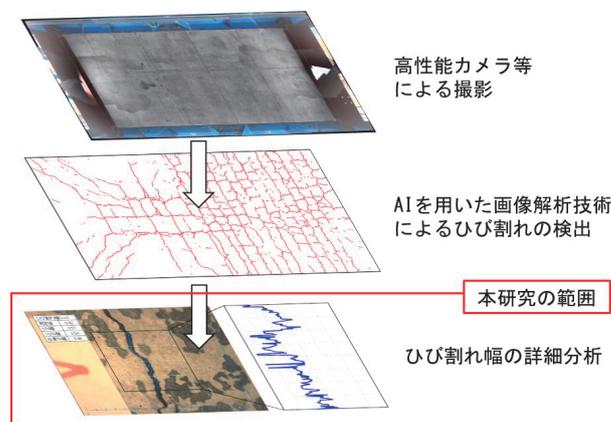


図-1 本研究の範囲



写真-1 RC床版試験体

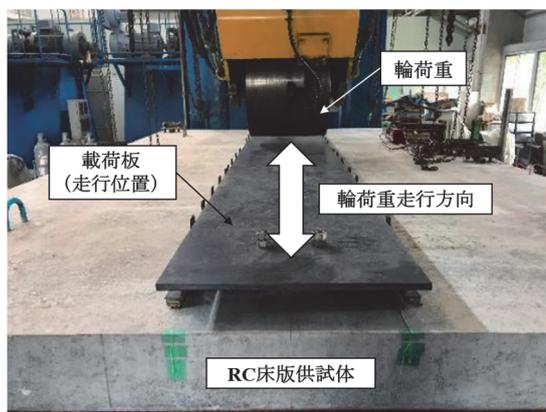


写真-2 輪荷重走行試験の状況

る。ASRと疲労によるひび割れを発生させる部位には反応性骨材を含むコンクリートを用い、ASRを促進させるために、練混ぜ水に塩化ナトリウムを

混入した。疲労単独のひび割れを発生させる部位にはJIS A 5308に適合するコンクリートを用いた。

試験体は、ASRを発生させるため、雨掛りのある屋外環境に約1年間暴露し、この時点でASRによると見られるひび割れの発生を確認していた。次に、疲労によるひび割れを発生させるため、輪荷重走行試験を実施した(写真-2)。載荷条件は、道路橋における自動車の輪荷重を想定し、157kN一定、走行回数を15万回とした。輪荷重走行試験後、さらに約1年間、雨掛りのある屋外環境に暴露した。

## 2.2 ひび割れ幅の測定方法

試験体のひび割れスケッチ図とひび割れ幅の測定位置を選定した範囲を図-2に示す。ひび割れ幅の測定位置は、輪荷重が作用する直下の試験体下面で、輪荷重走行方向に対してほぼ等間隔で選定した。加えて、比較的幅の大きいひび割れが発生していた走行方向の中央付近においてもランダムに位置を選定し、合計52点で測定した。

ひび割れ幅の測定方法は、一般的なクラックスケールを用いた近接目視による測定と、画像解析技術によるひび割れ幅の推定を想定し、ひび割れ幅測定器(表-1)を用いた機械的な測定の2種類とした。後者の測定器は、ひび割れを多点で測定したデータをそのまま出力できるものを選定した。ひび割れを含むカラー画像から2値化処理によりひび割れを検

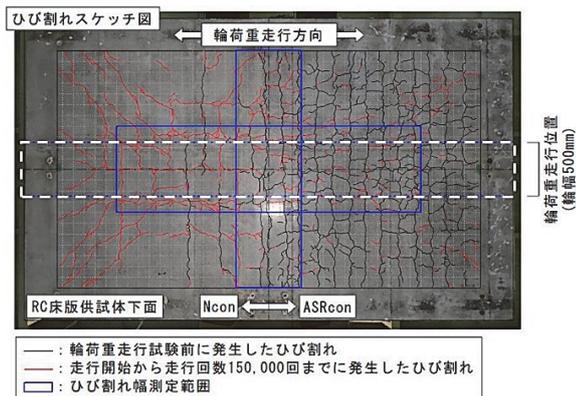


図-2 ひび割れスケッチ図とひび割れ幅測定範囲

表-1 ひび割れ幅測定器の仕様

ひび割れ検出範囲	0.05~2.0mm
ひび割れ表示	0.01mm単位
ひび割れ検出精度	±0.02mm以下
ひび割れ測定範囲	8×8mm(縦×横)または任意の範囲
撮影センサ	140万画素CCD(Color) 撮影範囲:1024×1024画素
カメラ外形寸法	150mm(長さ)×72mm(幅)×60mm(高さ)
カメラ重量	約300g

出し、ひび割れに沿った多点でひび割れ幅を取得した。

近接目視の測定は、すべての位置で同一の測定者が行っており、ひび割れ幅が比較的均一な(欠けなどのない)位置を目視で判断し、選定した。選定したひび割れに対して、機械的な測定の情報が近接目視の測定結果に影響を与えないように、近接目視の測定を行ったのちに機械的な測定を行った。

機械的な測定によるひび割れ幅の取得範囲は、長辺方向では測定可能な限界の長さ、短辺方向では対象とするひび割れが収まる長さとして、約14mm×7mmとした。この取得範囲から、対象とするひび割れに沿って400~500点程度(約0.025mmピッチ)でひび割れ幅のデータが得られた。以下、近接目視で得られたひび割れ幅を「目視ひび割れ幅」、機械的な測定で得られた多点のひび割れ幅を「機械ひび割れ幅」とする。

## 3. ひび割れ幅の測定結果と考察

### 3.1 機械的測定の読み取り例

機械ひび割れ幅の分布を図-3に示す。近接目視を行った位置では、目視ひび割れ幅と機械ひび割れ幅が概ね一致した。一方で、ひび割れの微細な欠けによる幅の広がりや局所的な折れによる細り(図-3の赤丸)などの不均一性の影響でひび割れ幅は一様ではないため、機械ひび割れ幅の平均値を求めると目視ひび割れ幅と差が生じた。

### 3.2 機械ひび割れ幅の相対度数分布の特徴

目視ひび割れ幅ごとに整理した機械ひび割れ幅の相対度数分布を図-4に示す。

図-4(a)より、目視ひび割れ幅が0.1mmおよび0.2mmと測定された場合に注目すると、目視ひび割れ幅が0.1mmと測定された機械ひび割れ幅の相対度数分布は、0.1mmを軸に概ね左右対称であることが確認された。変動幅も小さく、目視ひび割れ幅が0.2mmと測定されたひび割れと明確に区別できた。

一方、図-4(b)より、目視ひび割れ幅が0.3mm~0.5mmと測定された場合に注目すると、ひび割れ幅が0.1mmの場合と比べてひび割れ幅の相対度数分布が平坦になる傾向が確認された。また、目視ひび割れ幅が0.4mmと測定されたひび割れの機械ひび割れ幅の相対度数分布と、目視ひび割れ幅が0.3mmまたは0.5mmと測定されたひび割れの相対度数分布は重なる範囲も広く、0.1mm程度以上の

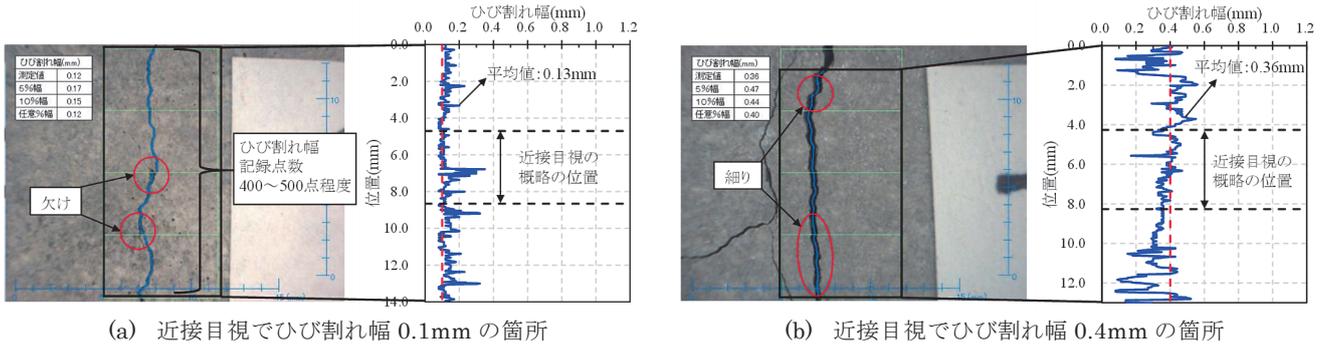
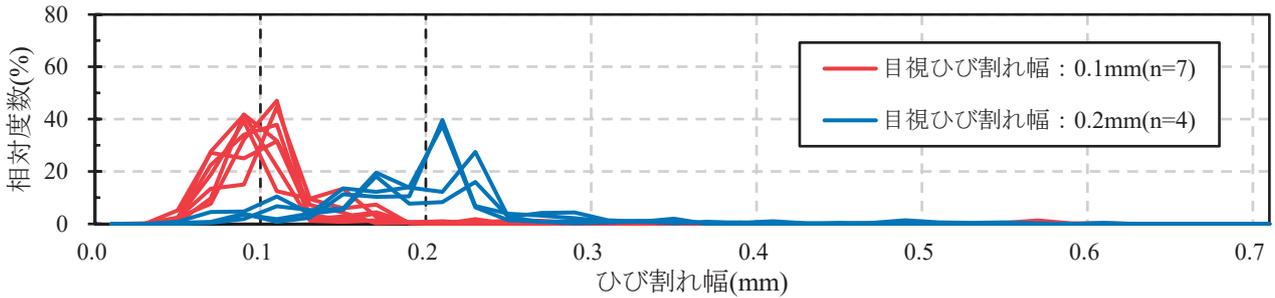
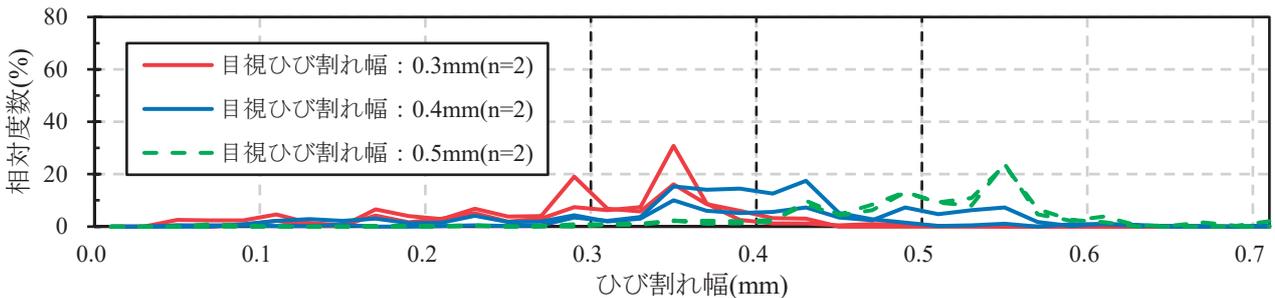


図-3 機械的測定により得られるひび割れ幅の分布



(a) 目視ひび割れ幅 0.1mm および 0.2mm



(b) 目視ひび割れ幅 0.3mm, 0.4mm および 0.5mm

図-4 機械ひび割れ幅の相対度数分布

変動が生じることが確認された。

以上より、ひび割れ幅が0.4mm程度のひび割れの場合、目視でひび割れ幅を測定する位置のわずかな違いにより、測定結果が相違する可能性が示唆された。このため、例えばひび割れ幅が0.4mmのひび割れを0.3mmまたは0.5mmのひび割れと区別することは、原理的に容易ではないと考えられる。

### 3.3 機械ひび割れ幅の代表値

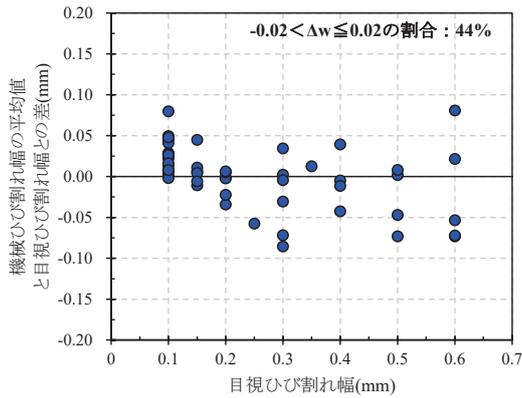
前述のように、機械的に多数点を測定したひび割れ幅の相対度数の分布傾向は、目視ひび割れ幅の大小によって異なることから、機械的に得たひび割れ幅データの代表値の算出方法によって代表値が異なり得ると考えられる。そこで、算出方法が異なる機械ひび割れ幅の代表値を求め、目視ひび割れ幅と比較した。

機械ひび割れ幅の平均値または中央値を算出して得られた代表値から目視ひび割れ幅を減算した値を

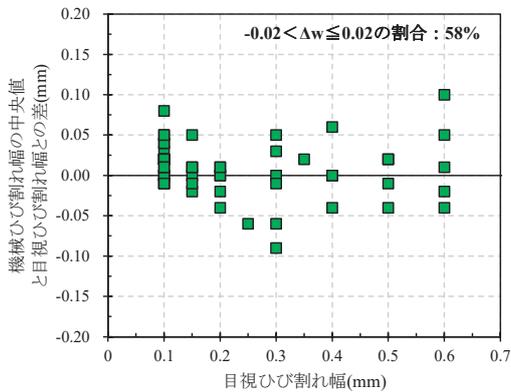
図-5に示す。図中には、全データ（52点）のうち目視ひび割れ幅と機械ひび割れ幅の代表値が概ね一致（測定器の検出精度を考慮して差が±0.02mmの範囲内）したデータの割合も記載した。この結果、目視ひび割れ幅と機械ひび割れ幅の代表値が概ね一致した割合は、平均値で算出した場合（図-5(a)）では44%、中央値で算出した場合（図-5(b)）では58%であり、後者の方が対応はよい。

次に、欠けなどの局所的な要因の影響を小さくすることを想定し、上位5～20%順位までのデータを除いた機械ひび割れ幅の平均値または最大値を代表値とし、目視ひび割れ幅を減算した値を図-6に示す。いずれの場合でも、中央値で算出した場合よりも劣ると判断される結果であった。

以上から、高解像度の画像データに基づき多点のひび割れ幅を測定した場合、測定で得たデータの中央値を代表値とすることで目視ひび割れ幅との対応

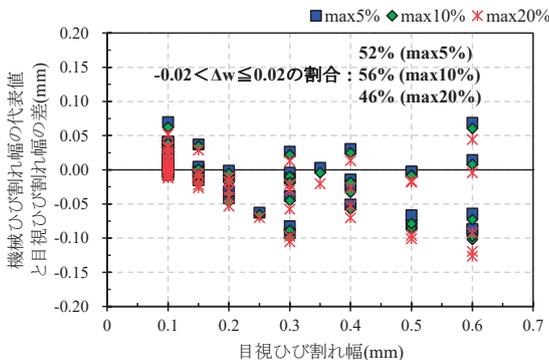


(a) 平均値

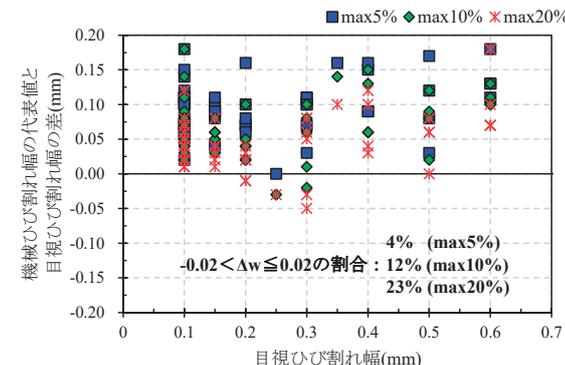


(b) 中央値

図-5 機械ひび割れ幅の代表値と目視ひび割れ幅の差



(a) 最大値から上位 5%~20%までのひび割れ幅を除いたデータの平均値と目視ひび割れ幅との差



(b) 最大値から上位 5%~20%までのひび割れ幅を除いたデータの最大値と目視ひび割れ幅との差

図-6 機械ひび割れ幅の代表値と目視ひび割れ幅の差

がよいことが確認されたが、その場合でもある程度の差異は認められた。これは、実際のひび割れの幅が一定でないことに起因するため、機械ひび割れ幅を参考にコンクリート部材の劣化の程度を評価する場合には、目視によるひび割れと特徴が異なることを考慮する必要があると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 高解像度の画像データから機械的に多数取得したひび割れ幅は、幅が大きいものほどひび割れの微細な欠けによる幅の広がりや局所的な折れによる細りの影響が強くなり、測定位置のわずかな違いにより目視ひび割れの測定結果と相違する可能性が示唆された。
- 2) 機械的に多数取得したひび割れ幅の測定値は、その中央値を代表値として用いると、目視ひび割れとの対応が最もよかった。
- 3) 1)、2)の結果を踏まえると、機械ひび割れ幅を参考にコンクリート部材の劣化の程度を評価する場合には、目視によるひび割れと特徴が異なることを考慮した診断等が必要と考えられる。

なお、本研究は、土木研究所と25者として実施した共同研究での成果の一部である<sup>3)</sup>。

#### 参考文献

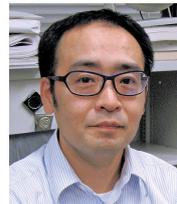
- 1) 中村秀明、山本拓海、青島亘佐：コンクリート道路橋の点検省力化に向けた変状領域の自動抽出、インフラメンテナンス実践研究論文集、Vol.1、No.1、pp.386~393、2022
- 2) 小沢拓弥、角田貴也、櫻庭浩樹、古賀裕久：ひび割れの幾何学的な特徴を用いた道路橋RC床版の経時変化の評価、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第22巻、pp.291~296、2022.10
- 3) 土木研究所他：AIを活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究報告書(Ⅲ-1)-橋梁点検支援技術総論、第565号、2022.6

櫻庭浩樹



土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 主任研究員、博士(工学)  
Dr. SAKURABA Hiroki

古賀裕久



土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員、博士(工学)  
Dr. KOGA Hirohisa