

AIを活用した橋梁維持管理の効率化に関する研究(2)

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 30～令 3

担当チーム：材料資源研究グループ

研究担当者：古賀裕久、櫻庭浩樹、小沢拓弥

【要旨】

近年、ロボットやAIを活用して、コンクリート構造物に生じたひび割れ等の変状を自動的に抽出・記録する技術が提案されている。一方で、取得されたひび割れ図等を活用して、劣化要因を推定するなど構造物の診断に役立つ所見を得る方法は、十分に確立されていない。本研究では、道路橋 RC 床版を対象として、診断や措置を行う際に診断技術者の参考となる情報を画像から定量的に抽出する手法を検討した。具体的には、RC 床版の疲労で見られるひび割れパターンを画像から定量的に抽出する手法の例示や、AI などの画像解析技術を用いてひび割れ幅を測定する際の留意点の整理を行った。

キーワード：定期点検、RC 床版、画像解析、ひび割れパターン、ひび割れ幅

1. はじめに

近年、既設構造物の老朽化、点検に携わる技術者不足などの背景から、ロボットや AI を活用した構造物の点検・診断が着目されている。例えば、ドローンなどで撮影したコンクリート構造物の近接写真から、表面に現れたひび割れ等の変状を AI で自動的に抽出し、三次元的にその位置を記録する技術などの研究・開発が進んでいる¹⁾²⁾。

このような技術を用いることで、点検作業の省力化が期待されているが、得られた情報の活用には、点検技術者や診断技術者の経験や知見が必要である。ドローン等を用いて点検を行う場合、膨大な画像データが取得されることが想定されるが、診断に資する情報（劣化の兆候を捉えるような重要な情報）の抽出に要する時間も増加するため、本来期待した省力化が進まない恐れもある。

今後、点検時に得られた膨大な情報を活用し、かつ、省力化を進めるためには、点検技術者の経験に基づいて抽出されていた情報の特徴の具体化や定量的な指標の検討、ならびに、画像解析技術による変状抽出を行

う上での留意点などを整理し、これらを踏まえて技術を開発する必要があると考える。

本研究では、道路橋鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）を対象として、診断や措置を行う際に診断技術者の参考となる情報を画像から定量的に抽出する手法を検討した。まず、2 章では、点検技術者の経験に基づいて抽出されていた情報を定量化する技術を例示するため、ひび割れパターンに着目した手法を提案した。次に、3 章では、ひび割れ幅を多数点で取得できる市販のひび割れ幅測定器を用いて、AI などの画像解析技術によってひび割れ幅を測定する際の留意点を整理した。最後に、4 章では、本研究のまとめを示した。

2. ひび割れパターンの定量化

2.1 検討の概要

道路橋 RC 床版の劣化要因の一つに疲労がある。新設橋においては、過去の損傷事例や研究を踏まえ、疲労に対して十分な耐久性を有するように設計・施工されているが、既設橋では、疲労による損傷が見られる事例もある。疲労による劣化過程の概念図³⁾とひび割

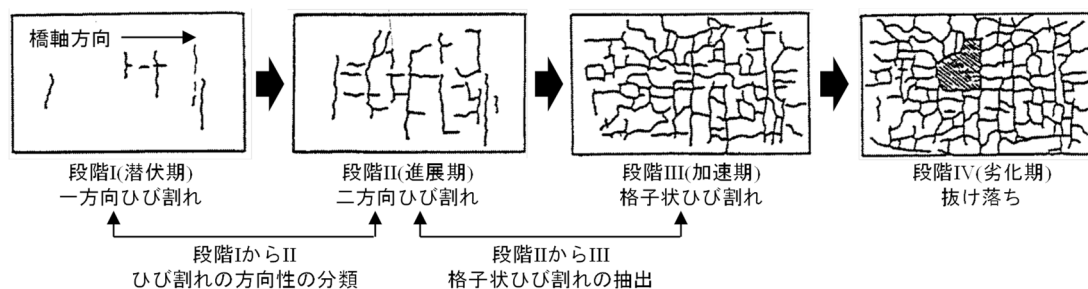


図1 道路橋 RC 床版の疲労劣化の概念図³⁾とひび割れパターンとの関係

れパターンとの関係を図-1に示す。段階Ⅰでは、乾燥収縮などにより橋軸と直交方向の一方方向ひび割れが発生する。段階Ⅱでは、活荷重による曲げひび割れが発生し、二方向ひび割れへと進展する。段階Ⅲでは、繰返し荷重によりひび割れ密度が増大し、格子状ひび割れに進展する。段階Ⅳでは、種々の要因によりひび割れが貫通し、押し抜きせん断破壊が生じる³⁾⁴⁾。

このように整理された知見に基づき、熟練した点検技術者は、経験的に劣化の程度を判断している。一方で、この判断は、点検技術者の主観に頼る部分がある。そこで、ひび割れパターンを画像から抽出可能な指標で表すことにより、点検技術者の知識や経験に依存せず、ひび割れの特徴を機械的に記録する方法について検討した。本検討では、図-1に示すRC床版の診断で参考にされている、段階ⅠからⅡを捉えるためのひび割れの方向性、段階ⅡからⅢを捉えるための格子状ひび割れという観点で分析を行った。

2.2 ひび割れの方向性の評価

2.2.1 方向性の分析方法

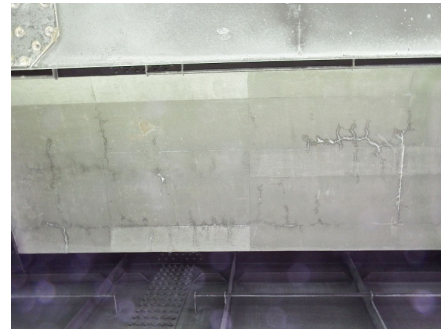
ひび割れの方向性は、ひび割れの原因や損傷の程度を考える上で重要な情報である。例えば、図-1に示したRC床版の疲労劣化の場合、その進展の程度を評価する目安となる。また、橋梁定期点検要領⁵⁾においては、ひび割れの方向性を区分し記録する必要があり、ひび割れの方向性で損傷程度の評価が変わる場合もある。しかし、実際に発生するひび割れは、一方方向または二方向に整然とそろっているものとは限らない。一例として、選定した画像の中から方向性の判断が難しいと考えられる事例を写真-1に示す。

ここでは、ひび割れの幾何学的な形状の特徴から、方向性を定量的に分類する手法を検討するため、図-2に示すひび割れの特徴点を定義⁶⁾した。ひび割れには必ず始点と終点が存在するため、この始点と終点を端点とし、二方向のひび割れには必ず分岐する箇所が存在するため、この分岐する箇所を分岐点とした。ひび割れが一方方向から二方向に進展すると、図-2(b)で示した分岐点が生じる。したがって、分岐点が多いひび割れは、二方向である可能性が高いと考えられる。

特徴点の抽出には、チョーク線やエフロレッセンスにより強調される場合も含め、画像からひび割れと認識できるものを対象に行った。一例として、特徴点を抽出した事例を図-3に示す。

2.2.2 分析画像の選定

平成29年度に定期点検が行われた64の直轄道路橋から、149件の写真を抽出し分析画像とした。画像の



(a) 点検技術者によって一方方向と評価されたひび割れ



(b) 点検技術者によって二方向と評価されたひび割れ

写真-1 方向性の判断が難しいと考えられる事例

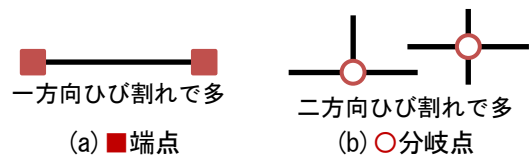
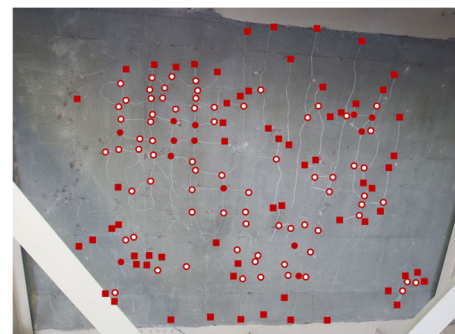
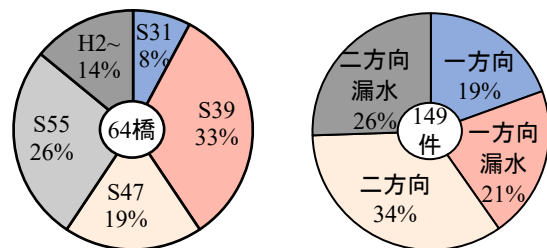


図-2 定義したひび割れの特徴点



(■端点:63個、○分岐点:87個)
図-3 特徴点を抽出した分析事例



(a) 道示の区分 (b) 方向性の区分
図-4 選定した直轄道路橋と分析画像の諸元

分類を図-4に示す。画像は、なるべくRC床版の区画全体に正対して撮影されているものを抽出した。選定した画像は、点検技術者の所見として、ひび割れの方向性が一方向のものが60件、二方向のもの（格子状を含む）が89件あった。

2.2.3 方向性の分析結果

各画像について、特徴点に占める分岐点の割合に着目して整理した相対度数分布を図-5に示す。階級の数は、スタージェスの公式により算出し、画像数が149に対し8とした。階級の幅は、分岐点の割合の最小値が0%、最大値が93.2%であったことから、区間(12%)が整数で表せる0~96%とした。また、同図の凡例に表記されているひび割れの方向性は、定期点検の結果において、点検技術者が評価したものである。

図-5より、点検技術者が一方向と判断したひび割れの分岐点の割合は、0~12%で度数が高く、0~36%で全体の約9割を占めていた。一方で、点検技術者が二方向と判断したひび割れの分岐点の割合は、60~72%で度数が高く、36~96%で全体の約9割を占めていた。分岐点の割合が36%を閾値とすると、点検技術者によって一方向と評価された画像の60件中54件、二方向と評価された画像の89件中82件を分類できた。

このように、本検討の範囲では、特徴点に占める分岐点の割合を指標として36%を閾値にすることで、点検技術者による方向性の評価と約9割が整合することがわかった。

2.3 格子状ひび割れの評価

2.3.1 格子状ひび割れの分析方法

定期点検の所見から、疲労によるひび割れと見られる事例（E橋）と乾燥収縮などに起因する表層のひび割れと見られる事例（M橋）を写真-2に示す。両者のひび割れは、いずれも区画全体に二方向に広がっているという点では共通している。しかし、M橋のひび割れパターンには歪みが見られ、図-1の格子状ひび割れには該当しないと考えられる。このような判断は、点検技術者の経験に基づいているため、ひび割れの幾何学的な形状の特徴から分類できる指標を検討した。

疲労により発生する格子状ひび割れは、活荷重の作用による曲げひび割れであるため、ひび割れの方向や間隔に規則性が生じやすい。一方で、乾燥収縮などにより発生する表層のひび割れは、局所的な環境やコンクリートの不均質性の影響を受けやすく、方向や間隔がより不規則になりやすいと考えられる。そこで、二方向のひび割れで囲まれた領域（以下、閉領域）の形状がどの程度規則的であるかを数値化し、床版区画あ

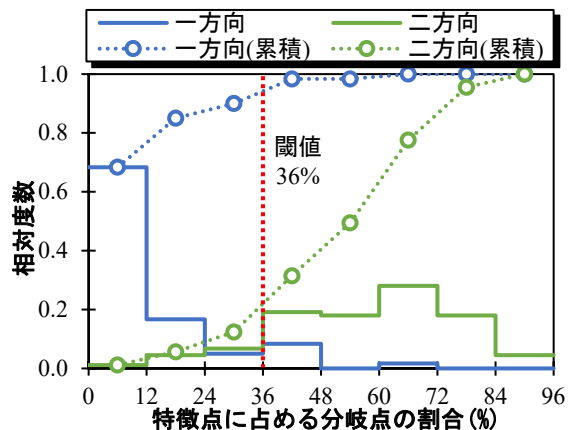


図-5 特徴点に占める分岐点の割合 (定期点検から抽出した149件の分析画像)



(a) 疲労によるひび割れと見られる事例 (E橋)



(b) 表層のひび割れと見られる事例 (M橋)
写真-2 パターンの異なる二方向ひび割れ



図-6 格子状ひび割れの分析フロー

たりの相対度数分布を求めることで分析を試みた。

分析方法を図-6に示す。まず、ひび割れから閉領域と認識できるものを手作業によりトレースして抜き出した。次に、抽出した閉領域について後述する種々の回転させた画像を作成し、元の画像と一致する面積の割合をそれぞれ求め平均を算出した。この平均値を「形状の整合度」と定義し、分析に用いた。画像処理には、汎用的な数値解析ソフト MATLAB を使用した。

形状の整合度を算定する基本的な形状分析として、画像を回転させる手法を採用した。矩形は、図形の性質を考えると、180度または反転させても元の形状と一致する。したがって、形状の整合度を算出するための回転操作は、矩形の性質から180度間隔の回転操作と反転操作を組み合わせた3通りを考えた。3通りを組み合わせたのは、閉領域の形状がいびつな場合に対応するためである。なお、矩形の性質を表現できれば、回転させる手法以外でも適用可能と考える。

表-1に、抽出した閉領域を形状の整合度で分類して示した。一例として、整合度60~70%と80~90%の形

状を比較すると、整合度の値が高いほど整った矩形になることを確認した。

2.3.2 分析画像の選定

分析画像は、点検技術者の所見（ひび割れパターンだけでなく、交通量や適用設計基準等が考慮されると推察される）で疲労が疑われている5件（昭和39年道示が3件、昭和47年道示が2件）、と疲労以外の要因（乾燥収縮等の影響）が疑われている3件（昭和39年道示）を抽出した。閉領域は、一枚の分析画像あ

表-1 形状の整合度に対応した閉領域の例

形状の整合度 (%)				
50~60	60~70	70~80	80~90	90~100

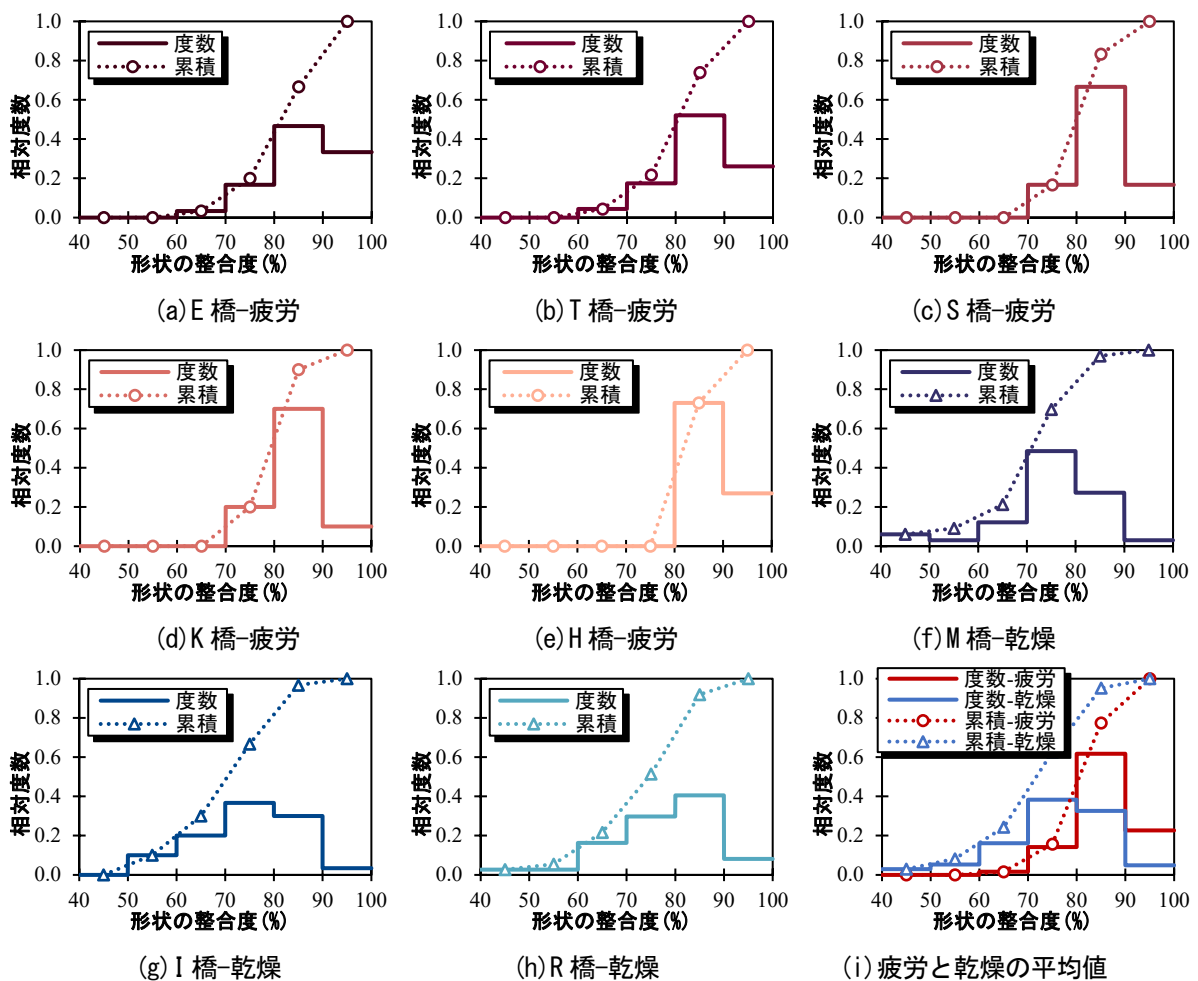


図-7 格子状ひび割れを分析する相対度数分布（点検技術者の所見から抽出した8の実橋）

たり 30 個前後（ひび割れが生じている範囲の 50%以上を占める割合）であった。

2.3.3 格子状ひび割れの分析結果

疲労と見られる 5 件の実橋の分析結果について、形状の整合度の相対度数分布を図-7(a)から(e)に示す。同様に、乾燥収縮とみられる 3 件の実橋の分析結果について、図-7(f)から(h)に示す。また、図-7(i)には、両者の平均値から求めた相対度数分布を示す。階級数は、スタージェスの公式により算出し、抜き出した閉領域が床版あたり最大 37 個に対し 6 とした。階級の幅は、整合度の最小値と最大値から 40~100%とした。

疲労と見られるひび割れの整合度は、80~90%で度数が高く、60~100%の範囲で分布していた。一方で、乾燥収縮と見られるひび割れの整合度は、70~80%または 80~90%で度数が高く、整合度が 60%以下のいびつな閉領域もあった。図-7(i)より、それぞれの相対度数分布の平均値から傾向を比較すると、疲労の事例では、形状の整合度が 60~100%の範囲かつ度数が 80~90%で最も高くなる傾向を確認し、乾燥収縮の事例では、上記傾向と異なることを確認した。

以上より、提案した形状の整合度を算出し、その相対度数分布を求めることで、疲労の影響により発生したと考えられる格子状ひび割れと、乾燥収縮の影響と見られる歪んだ二方向のひび割れを定量的に分類できることを示した。

3. 画像解析技術でひび割れ幅を測定する際の留意点

3.1 検討の概要

従来の近接目視による点検では、ひび割れ幅を目安として損傷程度を評価する場合がある。近年、AIによる画像解析技術でコンクリート表面に生じたひび割れの幅を自動で測定できる技術が提案されているが、近接目視と画像解析技術で得ら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可能性もある。

ひび割れ幅を測定する技術としては、コンクリート表面を撮影した画像からひび割れを自動で検出し、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⁸⁾や、対象とする画像を二次元ガボールウェーブレット変換することにより得られるウェーブレット係数とひび割れ幅の関係から、ひび割れ幅を推定する手法⁹⁾等が提案されている。しかし、得られたデータを整理する手法の標準化はされておらず、手法により生じる誤差や従来の近接目視によるひび割れ幅との関係は明らかではない。

そこで、RC 床版供試体（以下、供試体）の下面に生

じた個々のひび割れを対象に、対象とするひび割れの幅を多数点で取得できる市販のひび割れ幅測定器¹⁰⁾を用いてひび割れ幅を測定し、技術者が近接目視により測定したひび割れ幅との関係を整理した。そして、技術者による測定と機械的な測定の特徴を考察した。次に、ひび割れ幅の測定を床版全体に適用した場合を想定し、近接目視により測定したひび割れ幅と、一般に公開されている AI（畳み込みニューラルネットワーク）による画像解析技術¹¹⁾で取得したひび割れ幅を比較した。本検討の概要を図-8 に示す。

3.2 RC 床版供試体

3.2.1 形状と寸法

供試体の形状と寸法は、図-9 に示すように、疲労の損傷事例が多く確認されている昭和 39 道示に準拠した。ひび割れの発生要因は疲労とアルカリシリカ反応（以下、ASR）である。ASR によるひび割れを発生させる部位（図中では、ASRcon）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、練混ぜ水中に塩化ナトリウムを混入した。発生させない部位には JIS A 5308 に適合するコンクリート（図中では、Ncon）を用いた。

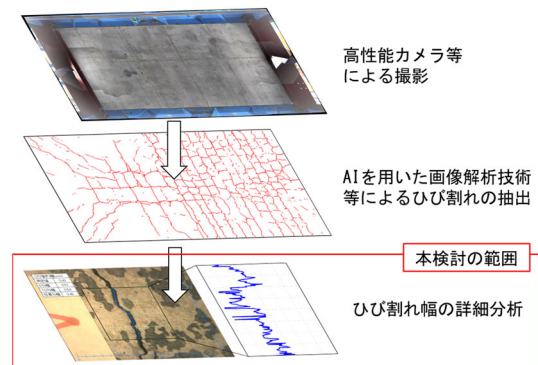


図-8 画像解析技術によるひび割れ測定の概要

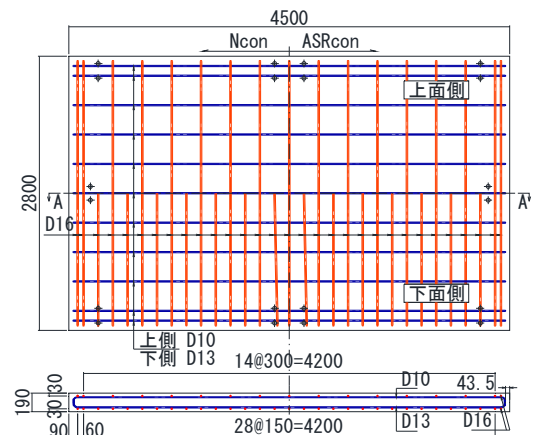


図-9 RC 床版供試体の形状と寸法

3.2.2 ひび割れの導入方法

製作後の供試体は、ASR を発生させるため、写真-3 に示す、雨掛りのある屋外環境に約1年間暴露され、この時点で ASR によると見られるひび割れの発生が確認されていた。次に、疲労によるひび割れを発生させるため、写真-4 に示す、輪荷重走行試験が実施された。載荷条件は、走行回数が15万回、荷重が157kN一定、走行速度が10rpmとした。輪荷重走行試験後、雨掛りのある屋外環境にさらに約1年2ヶ月暴露した。

3.2.3 ひび割れ幅の測定位置

ひび割れ幅の測定範囲を図-10 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供試体下面で、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、50点程度の箇所を測定した。

3.3 ひび割れ幅のデータ分布

対象とするひび割れの幅を多数点で取得できる市販のひび割れ幅測定器¹⁰⁾を用いて、ひび割れ幅を測定し、技術者が近接目視により測定したひび割れ幅との関係

を整理した。そして、技術者による測定と機械的な測定の特徴を考察した。

3.3.1 ひび割れ幅のデータ分布の算出方法

ひび割れ幅のデータ分布の算出は、輪荷重走行試験の終了後、約1年2ヶ月経過後の供試体で行った。ひび割れ幅の測定方法は、クラックスケール(目盛幅0.05mm)を用いた近接目視と、表-2 に示す市販のひび割れ幅測定器¹¹⁾を用いた測定(以下、機械測定)の2種類とした。機械測定の情報が近接目視による測定結果に影響を与えないように、近接目視による測定を行った後、機械測定を行った。また、本測定は、すべての測定位置を同一の測定者が行っており、目視でひび割れ幅が比較的均一な(欠け等がない)位置を判断して、選定した。

機械測定によるひび割れ幅の測定範囲は、長辺方向では測定器の限界長さ、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×6.6mmとした。データ点数は、対象とするひび割れに沿って400~500点程度(約0.025mmピッチ)で得られた。



写真-3 暴露試験



写真-4 輪荷重走行試験

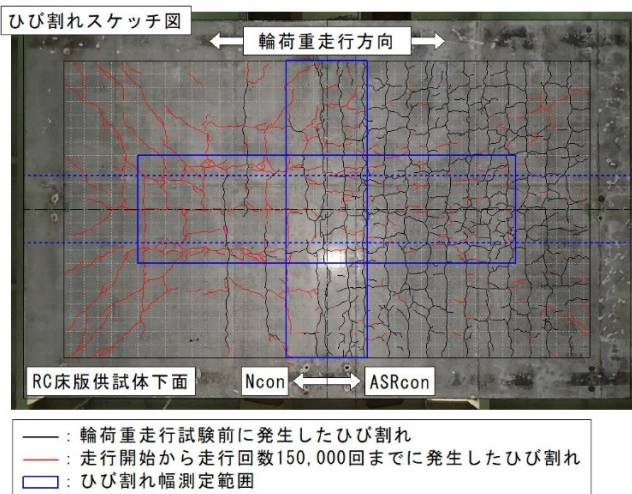


図-10 ひび割れ幅の測定範囲

項目	概要
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	150(長さ)×72(幅)×89(高さ) ケーブルを除く
カメラ重量	約300g

3.3.2 ひび割れ幅の測定結果

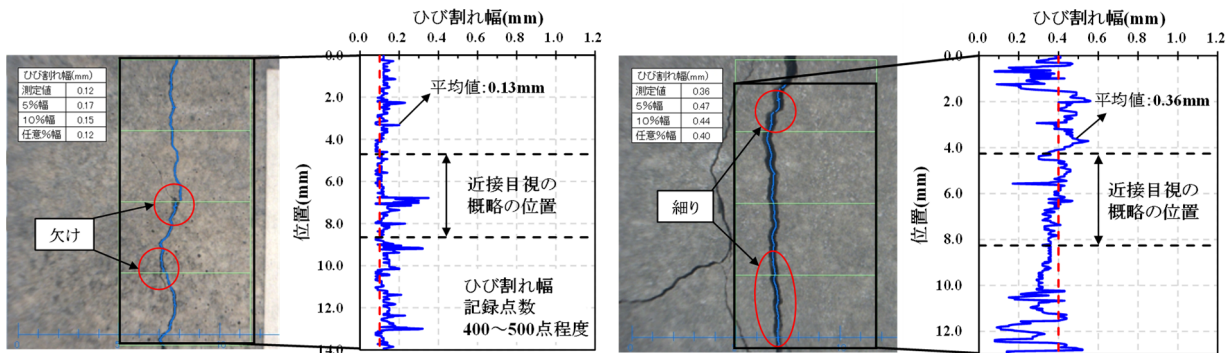
図-11 に、測定したひび割れの画像と、機械測定で得られたひび割れ幅の測定結果を示す。図中には、近接目視を行った位置、機械測定で得られた約 500 点のひび割れ幅の平均値も併記した。以下、近接目視で得られたひび割れ幅を「目視ひび割れ幅」、機械測定で得られたひび割れ幅を「機械ひび割れ幅」とする。

図-11 の 2 事例の近接目視を行った位置では、目視ひび割れ幅の平均値と機械ひび割れ幅の平均値は概ね一致した。一方で、ひび割れの微小な欠けや細り等 (図-11 中赤丸) の局所的な不均一性により、ひび割れ幅はひび割れに沿って一様とはならず、局所的にひび割

れ幅が変化する箇所が確認された。測定範囲全体での機械ひび割れ幅の平均値と目視ひび割れ幅に差が生じた原因は、この不均一性のためと考えられる。

3.3.3 ひび割れ幅のデータ分布の特徴

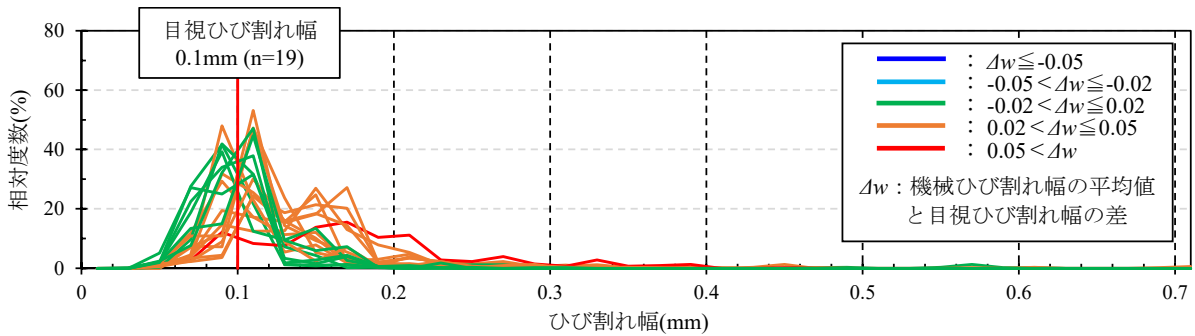
一例として、図-12 に、目視ひび割れ幅が 0.1mm と 0.4mm の機械ひび割れ幅の分布を示す。なお、機械ひび割れ幅の平均値から目視ひび割れ幅を引いた差を Δw とし、その大小に応じて色分けして整理した。ここで、 $\Delta w = \pm 0.02\text{mm}$ は、本検討で用いたひび割れ幅測定器の測定精度、 $\Delta w = \pm 0.05\text{mm}$ は、一般的なクラックスケールが 0.05mm の目盛幅で示されている場合が多いことを参考に分類した。



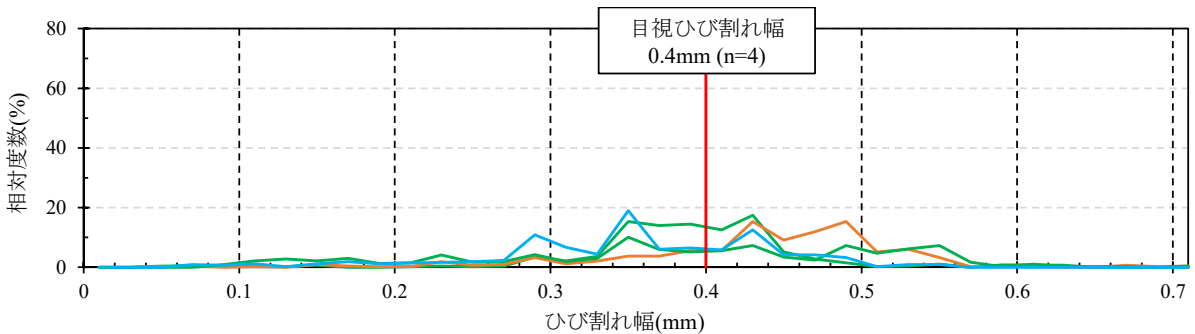
(a) 近接目視でひび割れ幅 0.1mm と測定した箇所

(b) 近接目視でひび割れ幅 0.4mm と測定した箇所

図-11 測定したひび割れの画像と、機械測定で得られたひび割れ幅



(a) 目視ひび割れ幅が 0.1mm の分布



(b) 目視ひび割れ幅が 0.4mm の分布

図-12 機械測定で得られたひび割れ幅のデータ分布

図-12(a)より、目視ひび割れ幅が0.1mmでは、機械ひび割れ幅の分布のピークが目視ひび割れ幅に一致した場合と、目視ひび割れ幅よりもピークが大きくなる場合で傾向が二分された。差がない($-0.02\text{mm} < \Delta w \leq 0.02\text{mm}$)場合に着目すると、ひび割れ幅の分布は、0.1mmを軸に概ね左右対称となっていた。次に、機械ひび割れ幅の分布のピークが目視ひび割れ幅よりも大きい($0.02\text{mm} < \Delta w \leq 0.05\text{mm}$)場合に着目すると、機械的測定でも0.1mm近傍の幅である点が多いものの、ひび割れ幅の分布は左右非対称で、ひび割れ幅が大きくなる方向に裾が長い分布となっていた。図-11で示したように、ひび割れの各所に欠けが生じており、この影響で局所的にひび割れ幅が大きく測定されていたと考えられる。

図-12(b)より、目視ひび割れ幅が0.4mmでは、4事例とも、目視ひび割れ幅が0.1mmと測定された場合に比べ、ひび割れ幅の分布が平坦になる傾向が確認された。つまり、ひび割れ幅の分布の形状に着目すると、目視ひび割れ幅が大きいものほど、機械ひび割れ幅の

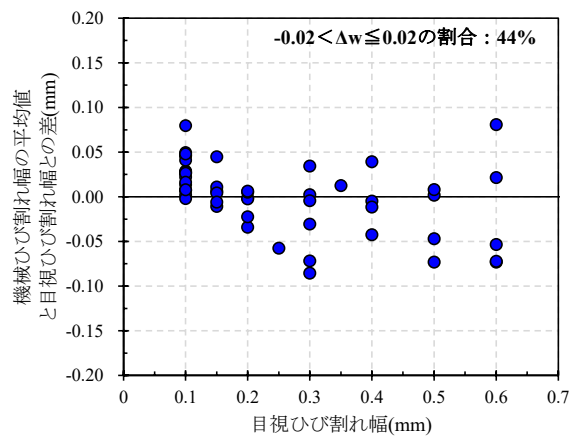
分布が平坦となり、分布のピークが明確に現れない傾向が確認された。

3.3.4 機械ひび割れ幅の代表値

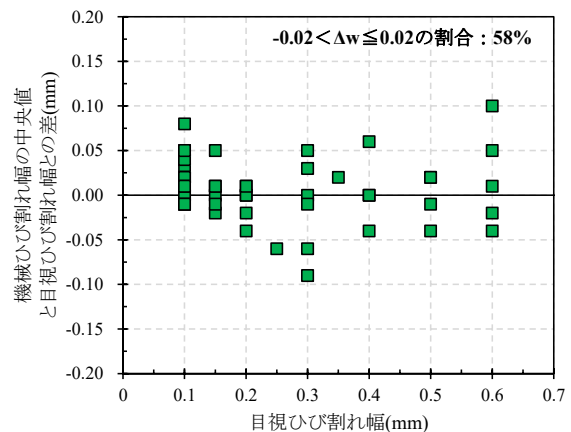
種々の方法で機械ひび割れ幅の代表値を算出し、目視ひび割れ幅と比較した。まず、機械ひび割れ幅の平均値または中央値を算出し、得られた代表値と目視ひび割れ幅の差を図-13(a)および(b)に示す。図中には、全データ(52個)のうち、目視ひび割れ幅と機械ひび割れ幅の代表値が概ね一致($-0.02 < \Delta w \leq 0.02$)したデータの割合も併記した。この結果、目視ひび割れ幅と機械ひび割れ幅の代表値が一致した割合は44%または58%であり、最大で約0.1mmの差異が見られた。

次に、欠けなどの局所的な要因を排除するために、最大値から上位5~20%順位までのデータを除いた上で平均値または最大値を算出した。得られた代表値と目視ひび割れ幅の差を図-13(c)および(d)に示す。この場合でも、目視ひび割れ幅とは必ずしも一致せず、最大で約0.2mmの差異が生じた。

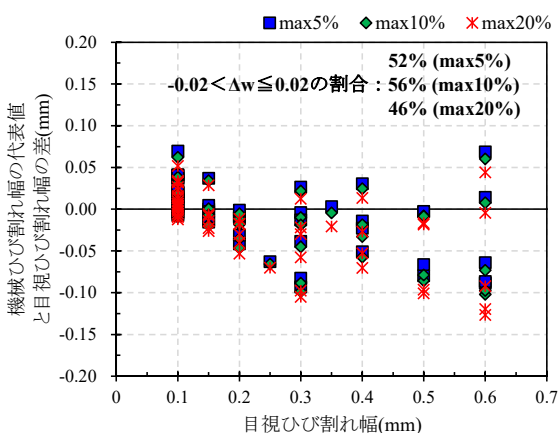
以上のように、機械ひび割れ幅の代表値を算出する



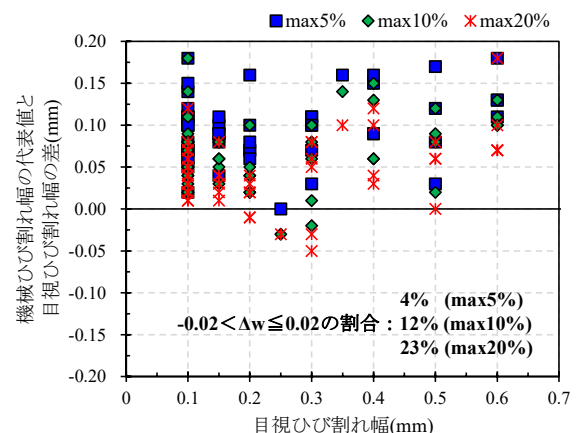
(a) 平均値



(b) 中央値



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



(d) 最大値から上位5~20%までのひび割れ幅を除いた内の最大値と目視ひび割れ幅との差

図-13 機械ひび割れ幅の代表値と目視ひび割れ幅の差

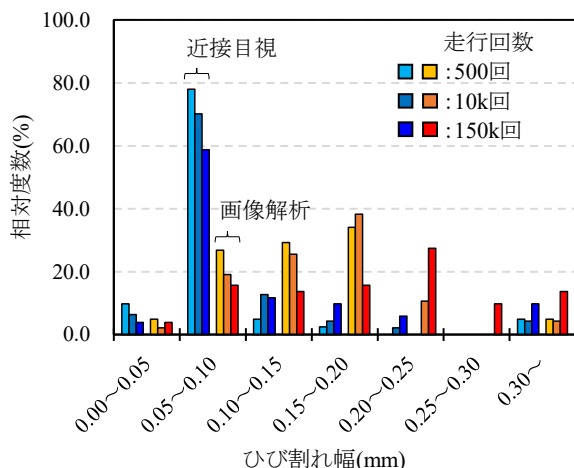


図-14 近接目視と AI による画像解析技術で得られたひび割れ幅の分布の比較

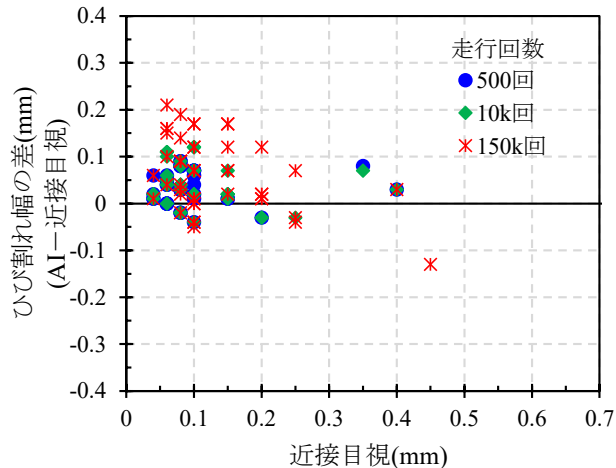


図-15 近接目視と AI による画像解析技術で得られたひび割れ幅の差

方法を考察したが、いずれの方法を用いても最大で 0.1mm 程度の差が生じることはやむを得ないと考えられる。なお、本検討で測定した範囲内においては、機械ひび割れ幅の中央値を代表値とすることで、目視ひび割れ幅と一致する ($-0.02 < \Delta w \leq 0.02$) 割合が比較的大きくなった。

3.4 AI による既往の画像解析技術によるひび割れ幅

3.3 節では、個々のひび割れ幅のデータ分布から、目視ひび割れ幅と整合するような機械ひび割れ幅の代表値の算出方法を一律に決定することは困難であることを示した。ここでは、ひび割れ幅の測定を床版全体に適用した場合を想定し、目視により得られたひび割れ幅と一般に公開されている AI による画像解析技術¹⁾で得られたひび割れ幅の関係について考察する。

3.4.1 ひび割れ幅の測定方法

ひび割れ幅の測定は、輪荷重走行試験において走行回数が 500 回、10k ($k=10^3$) 回、150k 回の時点において実施した。近接目視による測定では、クラックスケール (目盛幅 0.05mm) を用いた。AI による画像解析技術の測定では、高性能なカメラで供試体下面を 16 分割で撮影し、その画像から AI が生成したひび割れの CAD 図を確認して、近接目視で測定した箇所と同じ位置のひび割れ幅を抽出した。なお、今回用いた AI による画像解析技術では、対象とするひび割れの幅の最大値から上位 20%を除いた内の最大値を、ひび割れ幅の代表値 (以下、AI ひび割れ幅) としている。

3.4.2 ひび割れ幅の分布の比較

図-14 に、目視ひび割れ幅と AI ひび割れ幅の分布の比較を示す。まず、目視ひび割れ幅の分布に着目すると、ひび割れの幅は走行回数によらず、主として

0.05mm~0.10mm であることが確認された。一方で、AI ひび割れ幅の分布に着目すると、ひび割れ幅は、走行回数が 500 回および 10k 回時点では、主として 0.15mm~0.20mm であり、走行回数が 150k 回時点では 0.20mm~0.25mm が主となった。また、目視ひび割れ幅および AI ひび割れ幅ともに、0.30mm よりも大きいひび割れ幅では相対度数が概ね一致した。

分布の形状に着目すると、目視ひび割れ幅の分布では、0.05mm~0.10mm が卓越しているのに対し、AI ひび割れ幅の分布では、0.05mm~0.25mm の範囲で分布に広がりがあることが確認された。

次に、個々のひび割れに対して両手法を比較する。図-15 に、目視ひび割れ幅と AI ひび割れ幅の差を示す。本検討の範囲では、目視ひび割れ幅に比して、AI ひび割れ幅が大きくなった。また、両手法によるひび割れ幅の差は同一の目視ひび割れ幅に対して一定とはならず、例えば目視ひび割れ幅が 0.10mm の場合は、AI ひび割れ幅が約 0.05mm~0.20mm の範囲に分布していた。

AI ひび割れ幅の代表値の算出方法は、前述の通り、多数点で得られたひび割れ幅の最大値から上位 20%を除いた内の最大値であり、図-13(d)に類似した方法である。類似した方法で代表させた機械ひび割れ幅の代表値は、目視ひび割れ幅よりも大きくなっており、AI ひび割れ幅が目視ひび割れ幅よりも大きくなったのも同様な理由と推察される。また、機械ひび割れ幅の代表値または AI ひび割れ幅と、技術者の近接目視によるひび割れ幅の差異の程度も概ね類似していた。

3.5 ひび割れ幅の分析に関する考察

目視点検では、ひび割れを大局的に見て代表的な位

置を選定してひび割れ幅を測定しているが、そのようにして選定した箇所でも詳細にひび割れ幅の測定を行うとばらつきがあった。ひび割れ幅の測定誤差としてこのようなばらつきを取り除くことは困難であり、ばらつきを考慮したデータの取り扱いが今後必要と考えられる。

また、ひび割れ幅の分布がひび割れ幅の大きさにより異なること、および、ひび割れ幅が大きくなるほどわずかな測定位置の違いによるひび割れ幅の変動範囲が広くなることから、ひび割れ幅を多数点で測定した場合の代表値の算出方法が重要と考える。したがって、使用するひび割れ幅推定技術がどのような手法で代表値を算出しているかを、測定手法の一部として記録しておくことが必要と考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) ひび割れの幾何学的な特徴として端点と分岐点に着目し、特徴点に占める分岐点の割合を指標とすることで、点検技術者が判断した一方向ひび割れと二方向ひび割れの分類と概ね合致する評価ができることを示した。
- 2) ひび割れの閉領域を回転させ、元の閉領域と一致した面積を求めることで、形状の整合度を算出した、形状の整合度から相対度数分布を求めることで、疲労により発生したと考えられる格子状ひび割れとそうでないひび割れを分類できることを示した。
- 3) ひび割れ幅を多数点で測定できる機器を用いて算出したひび割れ幅のデータ分布は、ひび割れの局所的な不均一性（欠け、細り等）により一様とはならず、幅が大きいひび割れほど分布の形状が平坦になる傾向が確認された。
- 4) 目視により測定したひび割れ幅と、機械により多数点で測定した機械ひび割れ幅の代表値が整合する算出方法を一律に決定することは困難であり、代表値の算出方法を把握し、記録しておくことが重要であることを示した。

参考文献

- 1) 全邦釘、片岡望、三輪知寛、橋本和明、大賀水田生：統計的特徴および幾何学的特徴に着目したコンクリート表面ひび割れの画像解析による検出、土木学会論文集 F3、Vol.70、No.2、pp. I_1-I_8、2014。
- 2) 野村泰稔、村尾彩希、阪口幸広、古田均：深層畳み込み

ニューラルネットワークに基づくコンクリート表面のひび割れ検出システム、土木学会論文集 F6、Vol.73、No.2、pp.I_189-I_198、2017。

- 3) 松井繁之編著：道路橋床版設計・施工と維持管理、森北出版、2007。
- 4) 西川和廣、村越潤、山本悟司、杉山純：活荷重による橋梁上部構造の損傷と対策、土木技術資料、第34巻、第8号、pp.58-65、1992。
- 5) 国土交通省 道路局：道路橋定期点検要領、2019。
- 6) 広兼道幸、野村泰稔、楠瀬芳之：コンクリート構造物のひび割れ形状に基づく損傷度分類への線形 SVM の適用、土木学会論文集 A、Vol.64、No.4、pp.739-749、2008。
- 7) 高野英彦：類似形状認識の手法について、バイオメカニズム、5巻、pp.197-207、1980。
- 8) 青柳竜二、榊原優士、原徹、小堀研一：高精細画像を用いたひび割れ自動検出技術の PC 箱桁内部点検への活用事例、令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会、I-346、2020。
- 9) 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。
- 10) 庄野昭、齋藤淳：コンクリート表面のひび割れ評価方法、ハザマ研究年報、Vol.41、pp.1-6、2009。
- 11) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ、pp.2-1-211-219、2021。

STUDY TO PERFORM THE MAINTENANCE OF THE BRIDGE EFFECTIVELY BY UTILIZING AI (2)

Research Period: FY2018-2021

Research Team: Materials and Resources
Research Group

Author: KOGA Hirohisa

SAKURABA Hiroki

OZAWA Takumi

Abstract:

Recording damage in concrete by using image analysis is recently being developed, and in order to help diagnosis, utilizing technique based on the record is needed. This study dealt with RC slabs in road bridges, and crack pattern and crack width were focused on. It was shown that the image of crack patterns on the surface of RC slabs can distinguish whether it is caused by fatigue and that crack width derived from image significantly varies depending on calculating methods such as average and median.

Keywords: Periodic inspection, RC slab, Image analysis, Crack pattern, Crack width