

# 道路橋RC床版のひび割れパターン分析による診断補助技術

小沢拓弥・櫻庭浩樹・古賀裕久

## 1. はじめに

近年、既設構造物の老朽化や、点検に携わる技術者不足などの背景から、構造物の点検・診断へのロボットやAIの活用が注目されている。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、外観に現れた変状を自動的に抽出し、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。

一方で、取得されたデータから劣化の兆候を捉える重要な情報を抽出して、構造物の健全度診断に役立てる技術については、十分に確立されていない。従来は、点検技術者が構造物の特徴を踏まえた上で、これまでの経験や知識に基づき重要な変状を抽出していた。今後、ロボット等で取得可能なデータが増えることを活用し、かつ省力化を進めるためには、抽出した変状から特徴を分析し、診断の参考にできる情報を提示する技術の発展が期待される。

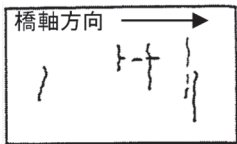
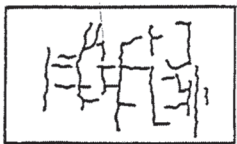
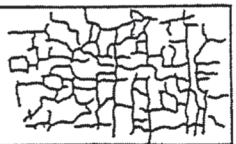

土木研究所は、2018年から、25者の共同研究者と「AIを活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究」を実施している。iMaRRCでは、CAESARや技術推進本部と連携して、コンクリート構造物に現れる変状の特徴や抽出方法、データの活用方法についての検討を行っている。本稿では、その取り組みの一つとして、道路橋鉄筋コンクリート床版（以下「RC床版」という。）で見られたひび割れのパターンについて分析した検討結果を紹介する。

## 2. ひび割れのパターン分析における着目点

RC床版は、車両による繰返し荷重を受ける部材であり、疲労に対する耐久性が求められる。新設橋では、過去の損傷事例や研究を踏まえ疲労に対し十分な耐久性を有するように設計・施工されているが、既設橋のRC床版には、疲労による損傷が見られる事例もある。ここで、RC床版の疲労による劣化過程の概念図<sup>1)</sup>と点検技術者の着目点との関係を表-1に示す。段階Iでは、乾燥収縮により橋軸方向と直角の一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となる<sup>2)</sup>。

点検技術者が劣化要因や進行具合を判断する上で、表-1のようにひび割れパターンや発生状況が変化するため、目視による情報は重要である。ただし、ひび割れの特徴のとらえ方は、点検技術者の主観的な部分もある。そこで、iMaRRCでは、ひび割れの方向性などの幾何学的な特徴について、従来の経験知を機械で抽出可能な形式知として表すことが可能か検討した。これにより、点検技術者の知識や経験に依存しないひび割れの見た目の特徴が取得可能となる。まずは、RC床版の診断で参考にされている、ひび割れの方向性、格子状ひび割れという特徴について、ひび割れのパターン分析を行った。

表-1 道路橋RC床版における疲労劣化の概念図<sup>1)</sup>と点検技術者の着目点との関係

概念図 (床版下面)				
劣化の 状態	段階I(潜伏期) 一方向ひび割れ	段階II(進展期) 二方向ひび割れ	段階III(加速期) 格子状ひび割れ	段階IV(劣化期) 抜け落ち
点検技術者 の着目点	ひび割れパターンや発生状況などの目視による情報			
パターン分析 を行った情報	ひび割れの方向性		格子状ひび割れの抽出	

### 3. ひび割れの方向性

#### 3.1 概要

ひび割れの方向性は、ひび割れの原因を考える上で重要な情報である。例えば、表-1 に示した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。しかし、実際の構造物に現れるひび割れは、一方向または二方向に整然とそろっているものではなく、点検技術者が経験的に判断している。ここでは、幾何学的な特徴からひび割れの方向性を定量的に分類する手法を検討した。

#### 3.2 ひび割れの方向性の分類方法

ひび割れの特徴を表すため図-1に示す特徴点を定義した。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<sup>2)</sup>とした。次に、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<sup>2)</sup>とした。ひび割れのパターン分析は、各特徴点の数や割合を算出することで行った。

分析画像は、定期点検等で得られたものから、なるべく床版の区画全体に正対して撮影されているものを選定した。点検技術者の所見としては一方向に分類されるものが10件、二方向に分類されるものが15件の計25件である。特徴点を抽出した例を図-2に示す。

#### 3.3 結果と考察

定期点検において、点検技術者がひび割れの方向性を評価した結果と、特徴点に占める端点の割合の関係を図-3 に示す。一方向と評価された画像の10件中9件は、端点の割合が約60%以上と多かった。一方で、二方向と評価された画像では、25件中21件は、端点の割合が約60%以下であった。すなわち、本検討の範囲では、端点の割合で約60%を境界に分けることで、点検技術者による一方向または二方向の評価を模擬できることがわかった。

### 4. 格子状ひび割れの抽出

#### 4.1 概要

定期点検の記録から、疲労による二方向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）を抽出した（図-4）。両者のひび割れはいずれも二方向に進展しているように見える点では共通している。しかし、M橋でのひび割れには歪みが見られ、表-1でいう格

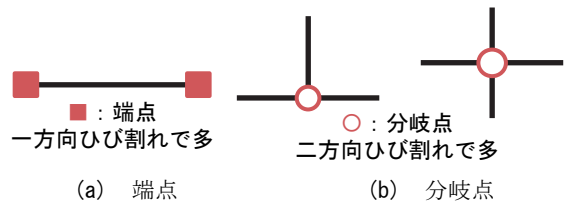
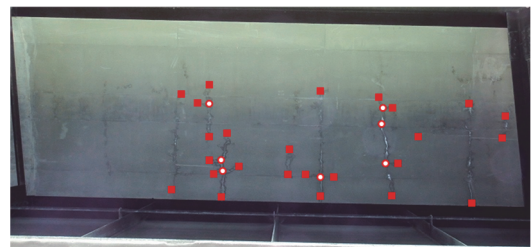
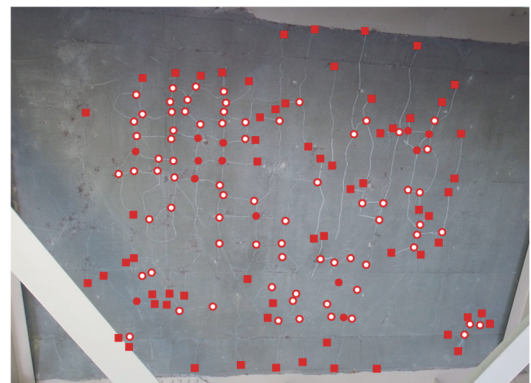


図-1 定義したひび割れの特徴点



(a) 一方向と評価された画像  
(端点:25個、分岐点:7個)



(b) 二方向と評価された画像  
(端点:63個、分岐点:87個)

図-2 特徴点の分析事例

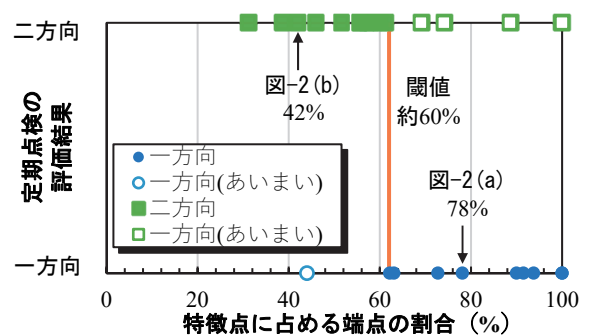


図-3 ひび割れの方向性と端点の割合の関係

子状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おり、これらのひび割れパターンの特徴を分析することで定量的な表現を試みた。検討にあたり、まずは確実に輪荷重の影響が主とした格子状ひび割れの分析を行うため、輪荷重走行試験が実施されたRC床版供試体を対象とし、その後、実橋においても同様の分析を行った。

### 4.2 格子状ひび割れの抽出方法

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予想される。そこで、ひび割れで囲まれた閉領域の形状が矩形としてどのくらい整っているかを数値化（以下「形状の整合度」という。）し、床版区画あたりの度数分布を求めることで分析を試みた。その方法を図-5に示す。

まず、RC床版のひび割れ図から、閉領域と認識できるものを抜き出した。次に、その閉領域を180度、鏡映、鏡映後180度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、その平均を算出した。これを形状の整合度とした。

### 4.3 格子状ひび割れの分析結果と考察

分析画像は、輪荷重走行試験が実施された7体のRC床版供試体（昭和39年道示に基づいた諸元）のひび割れ図とした<sup>3)-4)</sup>。抜き出した閉領域は、車輪が走行した位置から、1つのひび割れ図あたり40個前後（走行範囲の約80%を占める割合）とした。

形状の整合度と、ひび割れの出現度数の関係を図-6に示す。まず、同図に示した整合度60-70%と80-90%の形状を比較すると、整合度の値が高いほ



(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)

図-4 パターンの異なる二方向ひび割れ

ど整った矩形になることを確認した。次に、それぞれの度数分布の傾向を比較すると、整合度が60%以下ではほとんど分布しておらず、整合度80-90%が最も多かった。以上より、整合度60%-100%の範囲で整合度80-90%が最も多くなる度数分布を、疲労により発生した格子状ひび割れとした。

### 4.4 実橋における格子状ひび割れの抽出結果

分析画像は、定期点検の記録から疲労と見られる5橋（昭和39年道示が3橋、昭和47年同示が2橋）、表層の乾燥収縮の影響と見られる3橋（昭和39年道示が3橋）を抽出した。抜き出した閉領域は、一つの画像あたり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）とした。

形状の整合度と、閉領域の個数の関係を図-7に示す。図中の実線は、輪荷重走行試験の事例、疲労と見られる事例、乾燥収縮と見られる事例に分けた場合のそれぞれの平均値である。疲労の事例は、輪荷重走行試験の事例と傾向が同様であり、前節で定義した整合度60%-100%の範囲で整合度80-90%が最

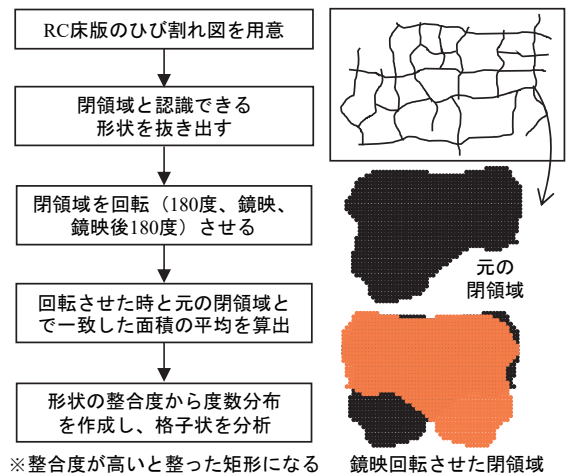


図-5 分析の方法

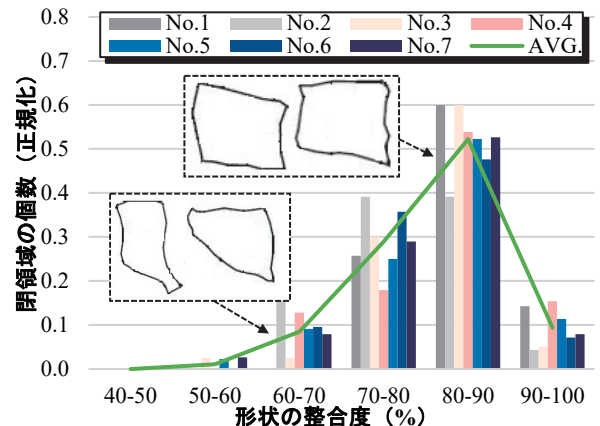


図-6 格子状ひび割れを分析する度数分布 (輪荷重走行試験が実施されたRC床版試験体)

も多くなることを確認した。一方で、表層の乾燥収縮の事例は、整合度が60%以下のいびつな閉領域もあり、整合度70-80%の閉領域が最も多かった。以上より、今回提案した形状の整合度の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二方向のひび割れを機械的に分類することができた。

### 5. 活用イメージ

今回着目したひび割れの方向性と格子状ひび割れの情報を表示した点検記録のイメージを図-8に示す。例えば、ドローンなどで撮影した画像から抽出した変状の特徴を自動的に分類し、特に留意すべきひび割れパターンを強調表示することが考えられる。

従来の経験知を機械で抽出できる形式知として表すことで、点検技術者の経験値や知識量に依存しないある一定レベルのデータの提示が可能となる。また、このような情報と図面情報等を結びつけて示すと、例えば二方向ひび割れの発生位置と橋梁構造の関係を分析しやすくなるなど、より多角的に情報をとらえることが可能になり、ロボットやAIを活用した点検の有用性が高まると期待される。

### 6. まとめ

本稿では、道路橋RC床版のひび割れを例に、ひび割れパターンの違いを定量的に表す方法について検討した。以下に知見をまとめる。

- 1) ひび割れの幾何学的な特徴として、端点と分岐点の割合を捉えると、ひび割れの方向性が分類できることを示した。
- 2) 二方向のひび割れで囲まれた閉領域の形状の整合度から、疲労により発生したと考えられる格子状ひび割れとそれ以外のひび割れパターン进行分类できることを示した。

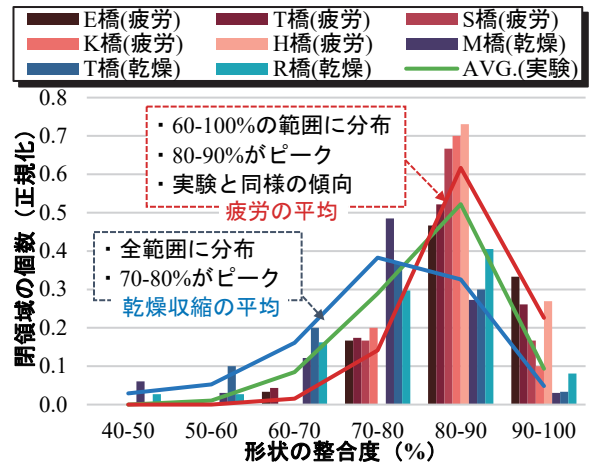
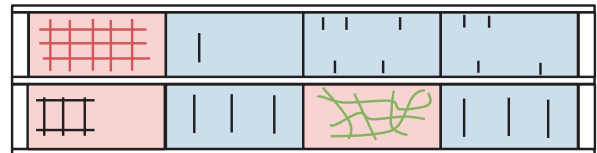


図-7 格子状ひび割れを抽出する度数分布 (実橋)



青の区画：一方向ひび割れ、赤の区画：二方向ひび割れ  
赤線：格子状のひびわれ、緑線：不規則なひび割れ

図-8 点検記録のイメージ図 (床版下面のひび割れ図)

引き続き、今回検討した以外の部位やひび割れパターンについても検討を行う予定である。また、抽出した診断につながる情報の活用方法についても併せて検討を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 中谷昌一、内田賢一、西川和廣、神田昌幸、宮崎和彦、川間重一、松尾伸二：道路橋床版の疲労耐久性に関する試験、国土技術政策総合研究所資料 28号、2002
- 4) 田中良樹、村越潤、長屋優子、吉田英二：鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性に関する最近の研究、土木技術資料、第56巻、第3号、pp.30~35、2014

小沢拓弥



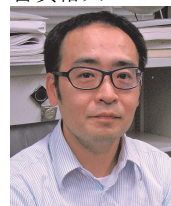
土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 研究員  
OZAWA Takumi

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