

# 輝度と幾何学的特性を用いたひび割れ画像計測手法の開発

野間康隆<sup>\*1</sup>・澤田純之<sup>\*1</sup>・西村 毅<sup>\*1</sup>・佐藤祐子<sup>\*2</sup>・渡辺 健<sup>\*2</sup>

本研究では、新たに考案した幾何学的パラメータを使用したひび割れ抽出手法、および輝度と背景輝度の差分からカメラの分解能以下のひび割れ幅の推定を試みる手法からなる「ひび割れ画像計測手法」を開発し、実構造物での実証実験を行った。その結果、この提案手法を使用することで、幅0.2mmのひび割れを確実に抽出でき、80%の確率で幅の推定誤差が分解能の20~30%以内となるように幅を推定できることが明らかとなった。

キーワード：画像計測、輝度、幾何学的特性、ひび割れ抽出、ひび割れ幅推定

## 1. はじめに

限られた財政や技術者が不足するなかで経年劣化が進行した老朽化社会インフラの維持管理を効率的に実施する技術が求められている。維持更新のために実施されるインフラ点検業務では大規模な足場設置や高所作業車を用いた作業が伴う場合もあり、墜落等の危険性が問題となる上、これらの作業にはコスト、人手、手間がかかることが課題となっている。このような近接目視が困難な社会インフラを効率的に点検することを目的として、市販の一眼レフデジタルカメラを用いて点検対象構造物のひび割れを撮影し、撮影画像から抽出やその幅の推定が可能な「ひび割れ画像計測手法」を開発した。ひび割れ抽出は、輝度や幾何学的特性を元に実施し、幅推定は、輝度の変化、角度等を考慮して分解能以下での精度での推定ができる手法構築を目指している。本画像計測手法

を用いて実際の RC 桁での現地実験を行い、抽出や幅推定の精度を確認した<sup>1)</sup>。補修の要否を判定するために要求される 0.2mm 以上の幅のひび割れの抽出精度や撮影条件におけるカメラの分解能以下の幅推定精度に関して、様々な分解能の画像を使用した検証を実施したので報告する。

## 2. 輝度と幾何学的特性を用いたひび割れ画像計測手法

### (1) ひび割れ画像計測手法の概要

図-1 に本稿で提案するひび割れ抽出と幅推定に関する画像解析計測手法の構成を示す。本画像解析計測手法は、3つの工程からなるひび割れ抽出手法と1つの工程からなるひび割れ幅推定手法から構成されている。図-1 には使用するパラメータも示しており、抽出手法で

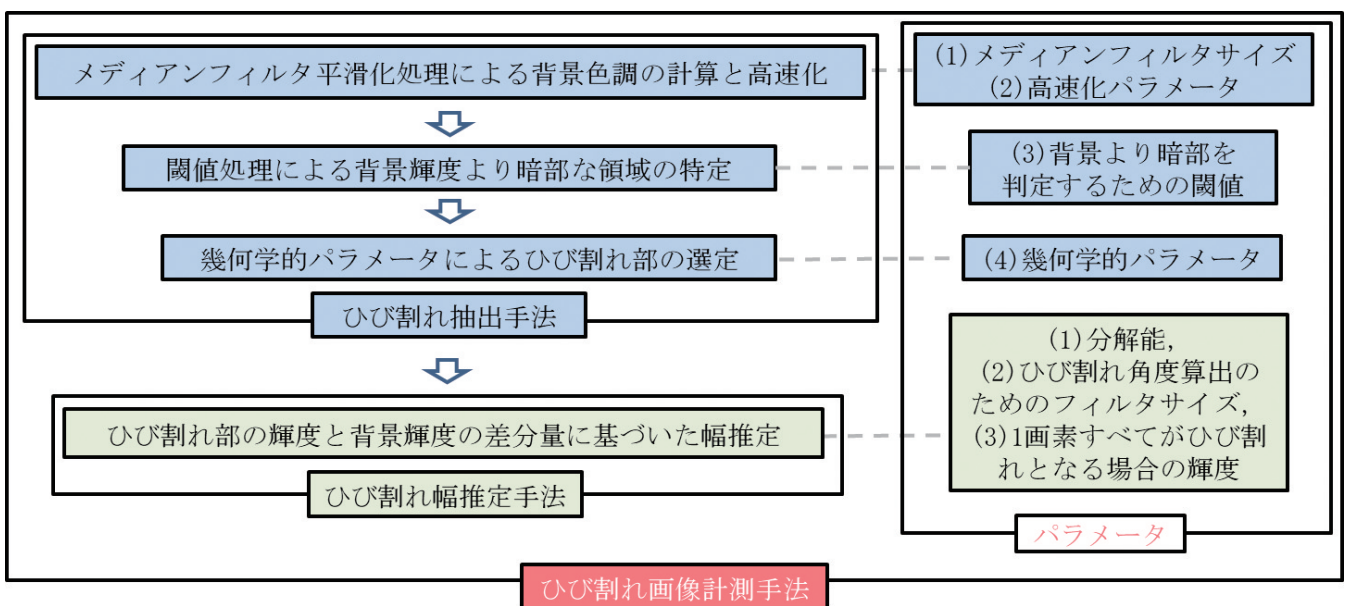


図-1 本稿で提案するひび割れ画像計測手法の構成

\*1 土木研究部 \*2 公益財団法人鉄道総合技術研究所

は4つ、幅推定手法では3つのパラメータのみで、撮影画像からのひび割れ抽出と幅推定を行うことが可能である。これらの詳細に関しては次節の2. (2), (3)にて説明を行う。図-2には、本ひび割れ画像処理手法の詳細を示す。

(2) ひび割れ抽出手法の詳細

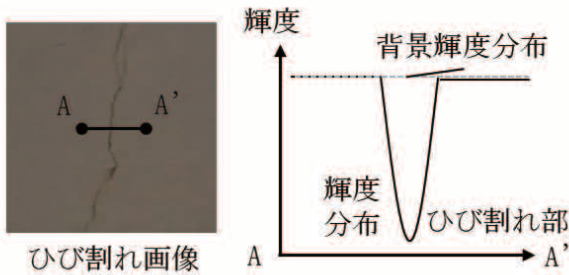
a) メディアンフィルタ平滑化処理による背景輝度の計算と高速化

図-2 (a) に示すようにひび割れ部における輝度は背景輝度より暗部になると考えられる。そのため、本手法ではまず、藤田らの研究<sup>2)</sup>を参考にしてフィルタサイズをパラメータとしたフィルタ平滑化処理を行うことで背

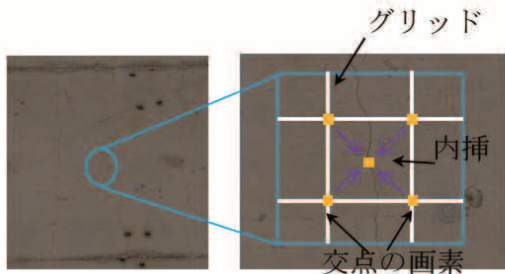
景輝度を計算している。ここで、フィルタサイズとは、対象画素を中心としたメディアンフィルタで処理する正方形領域のサイズである。すべての画素でこの処理を実施すると計算時間が増大することから、図-2 (b) に示すように画像上に仮想的にグリッドを想定し、この交点の画素にて上記処理を行い4つの交点の画素で計算した背景輝度からこれらが囲む内部の画素における背景輝度を内挿する処理を行った。この際、画素単位で示される解析範囲の辺長とグリッドの幅の比を高速化パラメータとした。

b) 閾値処理による背景輝度より暗部な領域の特定

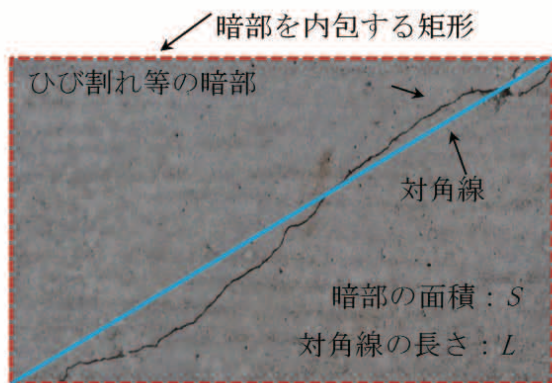
任意の画素において、輝度が上記で算出した背景輝度より一定値以上小さい部分を背景輝度より暗部の領域と



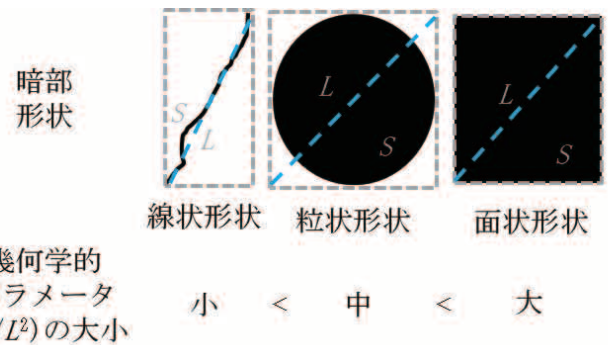
(a) ひび割れ近傍の輝度と背景輝度



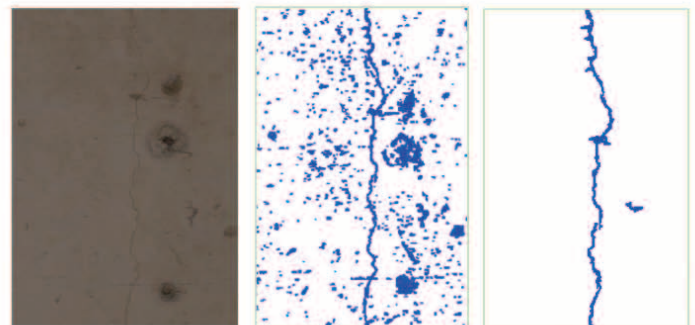
(b) 背景輝度計算時の高速化方法



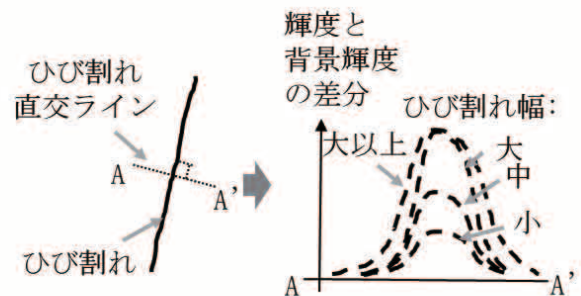
幾何学的パラメータ:  $S/L^2$   
(c) 幾何学的パラメータ



(d) 暗部形状と幾何学的パラメータの関係



(e) 幾何学的パラメータによるひび割れ抽出効果



(f) ひび割れ幅推定手法の概略

図-2 ひび割れ画像計測手法の詳細

特定した。この際の、輝度と背景輝度の差分の閾値をパラメータとしている。

c) 幾何学的パラメータによるひび割れ部の選定

全らの研究<sup>3)</sup>では、ひび割れ抽出に幾何学的特徴を使用している。本研究では、図-2(c)に示す既往の研究では使用されていない新規の線状構造を特定するための簡易的な幾何学的パラメータを使用して、上記で算出した暗部領域よりひび割れを抽出している。この幾何学的パラメータは、ひび割れ等の暗部を構成する画素の面積の和をS、これを内包する矩形の対角線の長さをLとすると、 $S/L^2$ で示される。この幾何学的パラメータは図-2(d)に示すように線状形状となるほど値が小さくなる性質があり、この値を閾値としてひび割れを抽出する。図-2(e)に示すようにa), b)の処理を実施した後に、c)の処理を実施することで、線状構造のひび割れを高速かつ効率的に抽出することができる。

(3) ひび割れ幅推定手法の詳細

図-2(f)に示すように、ひび割れ幅推定を実施しているが、詳細を以下に示す。

a) ひび割れ角度の推定

ひび割れ角度算出用のフィルタサイズを設定し、対象とするひび割れと判定された画素を中心とし、フィルタサイズを一辺とした正方形領域に分布する抽出された画素の画素座標群を最小二乗法で直線近似することで、ひび割れの角度を求める。

b) 輝度と背景輝度の差分を用いたひび割れ幅推定

1画素すべてがひび割れとなる輝度を与え、輝度と背景輝度の差分の最大値を求める。この値、図-2(f)右図に示すようなひび割れに直交する方向の輝度と背景輝度の差分の和、分解能および角度を使用した幅の推定式を用いて、分解能以下の幅の推定を行う。ここで、分解能とは画像上で1画素あたりの幅に相当する長さである。

3. 開発手法を用いたRC桁での現地実験

(1) 実験概要

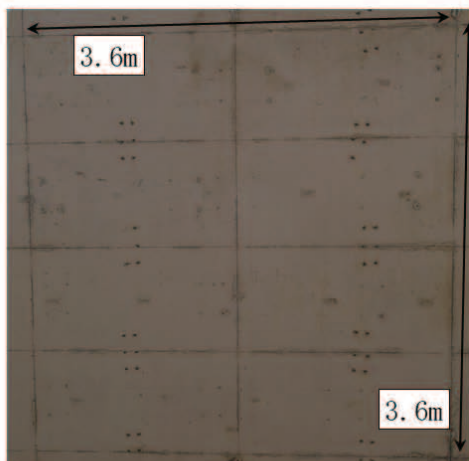
図-3に実験概要を示す。図-3(a)に示すような建設後40年が経過した高架橋構造物の一径間内の床版を使用して実験を実施した。床版と地上の距離は7m程度



(a) 対象構造物



(c) 高所作業車を用いた計測



(b) 調査範囲



(d) 画像撮影状況

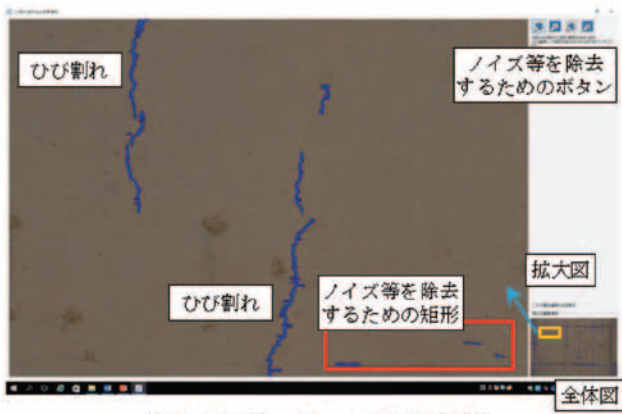
図-3 実験概要

で、約 15m × 5m の床版のうち、型枠 8 枚分となる 3.6m × 3.6m の範囲を調査範囲とした (図-3 (b))。図-3 (c) のように高所作業車を用いた近接目視による調査を行った。この調査では、ビスに固定したゴム紐を調査範囲の床板表面に配置し、これらの位置関係を利用して、ひび割れ分布を得るとともに、このゴム紐とひび割れとの交点のひび割れ幅計測を実施した (図-3 (c))。ビスの間隔は基本的に 200mm で、型枠跡をまたぐ際は 100mm とした。調査範囲内の総計測点数は 316 点であり、調査範囲のひび割れ幅は 0.05 未満 ~ 0.7mm であった。図-3 (d) に示すように三脚と一眼レフデジタルカメラ (Canon EOS 5D Mark III, 解像度 5760 × 3840 画素) を使用し、ISO 感度 100, プログラムオート機能で撮影を行った。ズーム機能を使用して、撮影範囲を調整しながら型枠 1 枚

分 (1.8 × 0.9m の範囲, 分解能 0.35mm), 4 枚分 (3.6 × 1.8m の範囲, 分解能 0.70mm), 8 枚分 (3.6 × 3.6m の範囲, 分解能 1.05mm) の床版の画像を地上から撮影した。

(2) 画像解析概要

画像解析の概要を図-4 に示す。開発したプログラムを元にインターフェイス (図-4 (a)) を製作し、これを用いてひび割れ抽出、幅推定に関する処理を行った。この際、図-4 (b) に示す画像解析パラメータを使用して行った。各画像の処理時間は、汎用 PC (64bit オペレーティングシステム, プロセッサ Intel (R) Core i3, 実装メモリ 8GB) を使用して 1 ~ 2 分程度であった。ひび割れ抽出時に、型枠跡等も抽出されたが、目視でひび割れとの相違を判断し、手動で除去する作業を行った。



(a) インターフェイスの外観

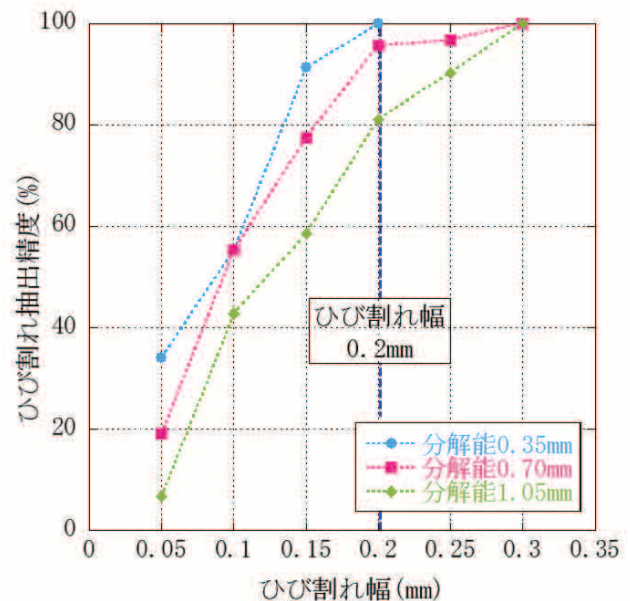
(b) 画像解析パラメータ

パラメータ		値
抽出	メディアンフィルタサイズ	21
	高速化パラメータ	400
	背景より暗部を判定するための閾値	1
	幾何学的パラメータ	0.1
幅推定	分解能	0.34, 0.70, 1.05
	ひび割れ角度算出のためのフィルタサイズ	101, 151, 301
	1 画素すべてがひび割れとなる場合の色調	10

図-4 画像解析概要



(a) 抽出したひび割れ分布図 (分解能 1.05mm)



(b) ひび割れ抽出精度

図-5 ひび割れ抽出結果

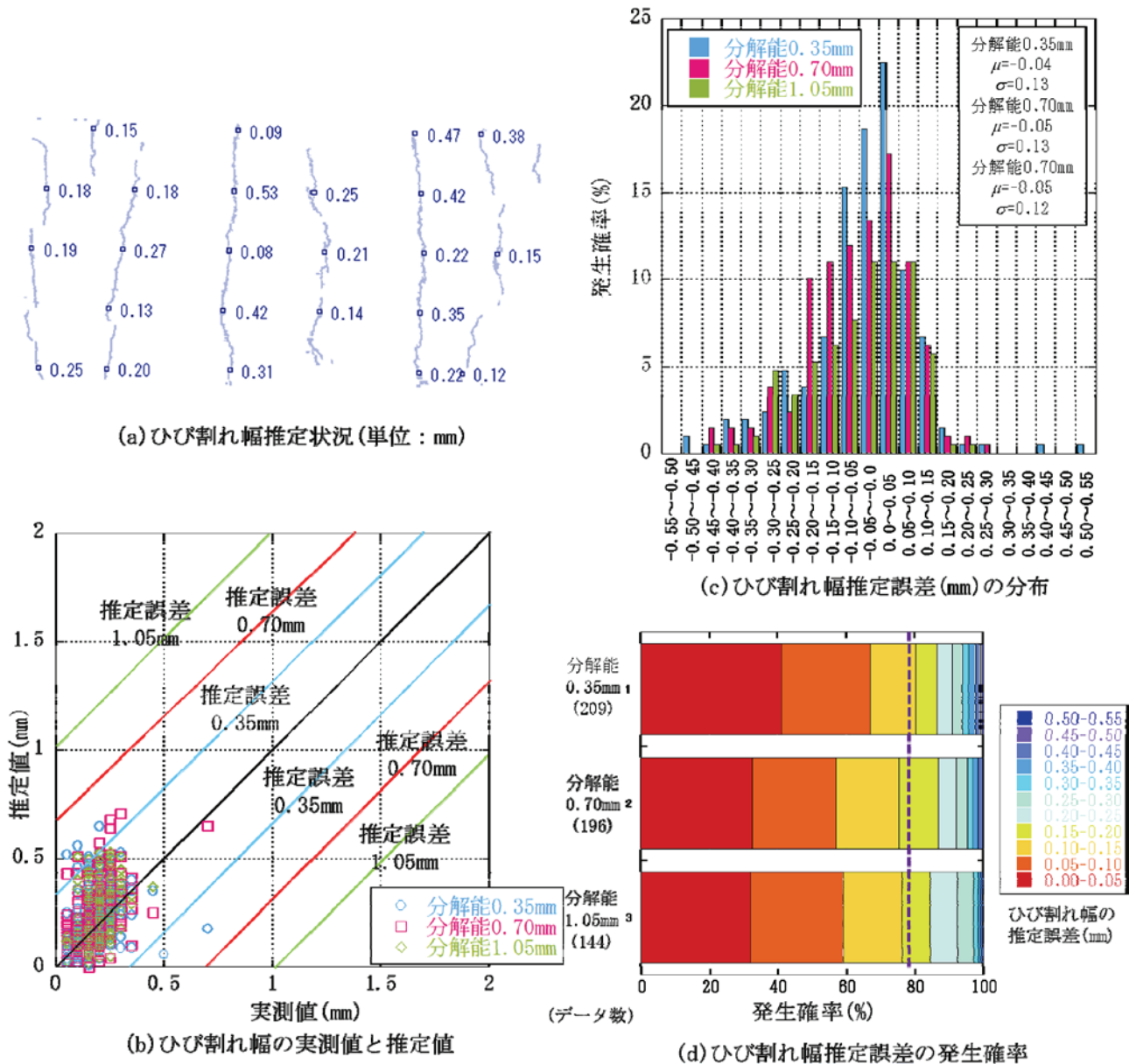


図-6 ひび割れ幅推定結果

(3) ひび割れ抽出精度

ひび割れ抽出結果を図-5に示す。画像処理により抽出したひび割れ分布の例を図-5(a)に示す。このように本手法により簡易的にひび割れ分布を取得できることが確認できた。ひび割れ抽出精度を図-5(b)に示す。この抽出精度は、3.(1)で示した幅計測点において画像処理により抽出したひび割れが存在した場合のその幅ごとの計測点数に対する存在確率とした。この図では、抽出精度が100%に達するまでのデータを示している。今回の画像処理による検討では、分解能の低下による抽出精度の低下が確認され、分解能0.35mmで100%、分解能0.70mmで96%、分解能1.05mmで81%の精度で幅0.2mm<sup>d)</sup>のひび割れを抽出できることが確認できた。

(4) ひび割れ幅推定精度

ひび割れ幅推定結果を図-6に示す。図-6(a)に示す

すように、抽出処理を行ったひび割れ上で、3.(1)で示した幅計測点と一致する画像上の位置で図-2(f)に示す方法を用いてひび割れ幅を推定した。この際、角度算出時にひび割れと判定された画素の座標群と近似直線の相関係数を計算した。相関係数が小さく推定誤差が顕著に大きい推定値(推定誤差0.53~1.65mm)等は、考慮しないことにした。この原因としては、2本のひび割れを1本とみなしたり、ノイズを含むひび割れから幅を算出したり、局所的にひび割れ幅の大小が変化していたりすることが考えられ、今回は適切に幅計測が行われていないと判断したが、取り扱い方法も含めてデータの分析を今後進めていきたい。各分解能での画像での実測値と推定値の比較を図-6(b)に、推定誤差の分布を図-6(c)に、誤差の発生確率を図-6(d)に示す。ここで、幅の推定誤差は、実測値から推定値を差し引くことで算出している。図-6(b)では推定誤差が分解能に相当する範

囲を明示した。この図より概ね分解能以下の推定誤差で幅推定が実施できていることが確認できる。ひび割れの推定誤差の分布に関しては、いずれの分解能においても平均値が  $-0.05$  程度と推定値のほうが大きくなる傾向が伺え、標準偏差は  $0.13$  程度であることが確認できた。図-6 (d) に示すようにひび割れ幅推定誤差の絶対値で誤差の発生確率を整理すると、80%以上の確率で  $0.1\text{mm}$  ~  $0.2\text{mm}$  の誤差推定ができていたことが確認できた。これを分解能の観点から考えると、80%以上の確率で、分解能の 20 ~ 30% のひび割れ幅推定誤差の計測を実施できたものと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、新たに考案した幾何学的パラメータを使用したひび割れ抽出および輝度と背景輝度の差分から撮影条件における分解能以下の幅の推定手法からなる「ひび割れ画像計測手法」を開発し、実構造物での実証実験を行った。その結果、撮影範囲を  $1.8 \times 0.9\text{m}$  程度とすれば、幅  $0.2\text{mm}$  のひび割れを確実に抽出でき、80%以上の確率で幅の推定誤差が分解能の 20 ~ 30% となるようにその幅を推定できることが明らかとなった。

なお、本研究は、公益財団法人鉄道総合技術研究所と

の共同研究として実施したものである。

本研究で開発したひび割れ画像解析技術は、ドローンにより撮影した画像に対しても適用できると考えられ、土木構造物を対象とした検証試験も別途実施している<sup>5)</sup>。

#### 参 考 文 献

- 1) 佐藤祐子, 渡辺健, 野間康隆, 西村毅, 澤田純之: 輝度と幾何学的特性を用いた RC 桁のひび割れ画像計測手法の開発, 土木学会第 73 回年次学術講演会, Vol. 73, V -611, 2018
- 2) 藤田悠介, 中村秀明, 浜本義彦: 画像処理によるコンクリート構造物の高精度なひび割れ自動抽出, 土木学会論文集 F, Vol. 66・No. 3, pp. 459-470, 2010
- 3) 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
- 4) 日本コンクリート工学協会: コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針, 2003, pp. 61, 2003
- 5) 野間康隆, 早川健太郎, 黒台昌弘, 西村毅: UAV マルチコプタ撮影画像を用いたコンクリート構造物のひび割れ画像処理, リモートセンシング学会誌, Vol. 38・No. 3, pp. 234-239, 2018

---

### Development of Crack Image Measurement Method by Using Luminance and Geometric Property and In-Situ Experiment of RC Deck

Yasutaka NOMA, Sumiyuki SAWADA, Tsuyoshi NISHIMURA, Yuko SATO and Ken WATANABE

In the present study, a crack image measurement method including crack extraction using the newly proposed geometric parameter and estimated crack width with an accuracy less than the resolution by using the difference between luminance and background luminance was developed. Verification tests by using an actual cracked and aged structure were performed. As a result, a  $0.2\text{ mm}$  wide crack was certainly detected with the measurement range of  $1.8 \times 0.9\text{ m}$  and crack widths were estimated with an estimation accuracy of 20~30% of resolution at a probability of 80% or more.