安藤ハザマ	正会員	○野間	康隆,	澤田	純之
安藤ハザマ	正会員	西村	毅		
公益財団法人鉄道総合技術研究所	正会員	佐藤	祐子,	渡辺	健

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ことが可能となる技術が求められている.維持更新のため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い,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.このように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遠隔で点検対象構造物のひび割れを撮影し,撮影画像からひび割れ抽出や幅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する.また,ひび割れ幅推定は,輝度の変化,ひび割れ角度等を考慮して分解能以下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¹⁾.補修の要否を判定するための0.2mm以上の幅のひび割れの抽出精度や分解能以下のひび割れ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-1 本稿で提案するひび割れ画像計測手法の構成

キーワード 輝度,幾何学的特性,ひび割れ,画像計測,RC桁,現地実験 連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市苅間 515-1 安藤ハザマ技術研究所 TEL 029-858-8813 図-2に、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²⁾を参考にしてフィルタサイズをパラメータとしたメディアン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掛かることから, 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,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³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ひび割れ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*,ひび割れ等を内包する矩形の対角線の長さを*L*とすると,*S/L*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,この値に閾値を設け





(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

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ひび割れ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、分解能およびひび割れ角度を使用した ひび割れ幅推定式を用いて分解能以下のひび割れ幅の推定を行う.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、ビスに引っ掛けたゴム紐を配置し、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



(a)対象構造物







(c)高所作業車を用いた計測



(d) 画像撮影状況

図-3 実験概要

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, プログラムオートの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(分解能 0.35mm),4 枚分(分解能 0.70mm),8 枚分(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 を使用して 1~2 分程度であった.ひび割れ抽出時に,型枠跡等も誤っ て抽出されたが,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	0.35,0.70,1.05		
	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)

図-5 ひび割れ抽出結果





(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.画像処理 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)で示したひび割れ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ひび 割れ幅ごとの計測点数に対する存在確率とした.この図では、ひび割れ抽出精度が100%に達する際の最小 ひび割れ幅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減少 が確認でき、分解能 0.35mm で 100%、分解能 0.70mm で 96%、分解能 1.05mm で 81%の精度で補修の要否を判断 する際使用される幅 0.2mm⁴⁾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)に示すように,抽出処理を行ったひび割れ上で,3.(1)で 示したひび割れ幅計測点と一致するような画像上の位置で図-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,相関係数が小 さく推定誤差が顕著に大きい推定値等は、考慮しないことにした.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、ひび割れ幅推定誤差の分布を図-6(c)に、ひび割れ幅誤差の発生確率を図-6(d)に示す.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.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0.1mm~0.2mmの誤差でひび割れ幅推定ができているのが確認できた.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%の推定誤差でひび割れ幅の計測を実施できたと考えることができる.

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や輝度と背景輝度の差分から分解 能以下のひび割れ幅の推定を試みるひび割れ幅推定手法からなるひび割れ画像計測手法を開発し、ひび割れを 有する実構造物での実証実験を行った.その結果、撮影範囲によっては、幅0.2mm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%となるようにひび割れ幅を推定できることが明らかと なった.

参考文献

- 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,pp.1221-1222,2018
- 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