

ステレオによるコンクリート表面のひび割れ幅計測

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○山下 大道
 芝浦工業大学 正会員 中川 雅史
 芝浦工業大学 正会員 勝木 太

1.はじめに

近年、コンクリート構造物のひび割れ点検には簡便で技術者の技量によらない単眼デジタルカメラを用いたひび割れ検出技術が提案されている。しかし、この計測は、間接計測である上に、撮影に関して数点の制約条件が伴うため、ひび割れ幅計測に必要な精度を安定的に確保できず、結果として、現場での運用には至っていない¹⁾。

そこで本研究では、撮影条件や環境条件に制約がなく、三次元座標値の直接計測が可能なステレオ計測に着眼した。本研究の目的は、コンクリート表面上のひび割れ領域を自動で検出し、ひび割れ幅を三次元計測する手法を開発することである。さらに、本研究の実験で得られた、コンクリート表面の計測に適したステレオ計測の各パラメータについても報告する。

2.手法

2.1 ひび割れ幅の定義

現状の目視計測では、ひび割れ幅自体の定義が曖昧であり、厳密な定義がない。そこで、本手法では、まず撮影されたひび割れ画像を2値化処理し、境界線追跡処理を行うことで、ひび割れ境界を決定する。さらに、任意の局所領域におけるひび割れ境界間を結ぶ直線群を生成する。ここで、従来の目視計測における定義にもとづき、これらの直線群の中で最短となる直線の長さを、本研究ではひび割れ幅と暫定的に定義した。

2.2 テンプレートマッチング¹⁾

ステレオカメラで撮影した左右の画像上の対応点を用いると、三角測量の原理により三次元計測が可能になる。本研究では、この対応点を、エピポーラ拘束条件を用いたテンプレートマッチングにより取得する。エピポーラ拘束条件とは、カメラキャリブレーションにより設定できるものである。また、テンプレートマッチングは、ある任意の対応点を左右の画像（基準画像と参照画像）から検出する手法である。基準画像上の任意の点周辺をテンプレートとして切り出し、テンプレートを参照画像上

に重ね合わせ、両者の一致度が最も高くなる箇所を逐次的に探索することで、対応点を決定する方法である。本研究では、テンプレートマッチングの3式（輝度差の総和(SAD)、輝度差の二乗和(SSD)、正規化相互相関関数(NCC)）を利用して一致度を評価する。

2.3 サブピクセル推定²⁾

一般に対応点はピクセル間に存在する。三次元計測の精度向上にはピクセル単位以下のサブピクセル単位での対応点の検出が必要になる。本研究では、以下の2つの手法を用いてサブピクセル推定を行う。

- (1) テンプレートマッチングを行い、一致度が最大となる箇所の周囲1ピクセルの範囲で超解像画像を生成し、再度テンプレートマッチングを行う方法。
- (2) 類似度補間法を用いてサブピクセル推定を行う方法。

3.実験概要

本研究では、全長250cm、幅15cm、高さ20cmの鉄筋コンクリート供試体に発生したひび割れ箇所を対象として、以下の実験を行った。

3.1 ひび割れ幅領域の自動検出

一般的に使用されているCCDイメージ・センサのデジタルカメラで撮影した画像を用いた。撮影環境は、撮影角度0度、撮影距離0.5mと設定した。

また、非破壊検査においてひび割れ箇所の厳密な定義が必要であることを示すために、目視抽出と自動抽出の比較実験を行った。自動抽出したひび割れ幅の値(pixel)とマイクロスコープの測定値の値(mm)を比較するため、以下の式を使用して1ピクセルをmm単位で評価した。

$$\text{水平位置の精度} = \frac{H}{f} \sigma_p \quad (1)$$

ここで、 $f(\text{mm})$ は焦点距離、 $H(\text{m})$ は被写体までの距離、 $\sigma_p(\mu\text{m})$ は座標測定精度である。

図-1にマイクロスコープで計測したひび割れ箇所を示す。マイクロスコープの計測では、個人差を考慮し、各箇所とも5人の計測値の平均値をひび割れ幅測定値とし

キーワード 非破壊検査 デジタルカメラ法 相関法 テンプレートマッチング サブピクセル推定

連絡先 〒135-8545 東京都江東区豊洲 3-7-5 TEL03-5859-7000 E-mail:m510097@shibaura-it.ac.jp

た.

3.2 ひび割れ幅領域のステレオ計測

撮影距離を 100cm とし、空間解像度を 1 ピクセルあたり 0.3mm, キャリブレーション精度を 0.033mm に設定した. 実験で用いたカメラの緒元を表-1 に示す.

表-1. 実験で用いたカメラの緒元

カメラ	Nikon D300
焦点距離	35mm
基線長	15cm
画像サイズ	2144×1424

さらに, 図-2 に示すような供試体の上に貼った線上のひび割れ部分を, マイクロスコープを用いて計測し, その計測値をひび割れ幅の真値とし, 左側と右側でマッチングを行った. 対応点が正確に取得された場合は, マッチング成功とし, 全対応点数に占めるマッチング成功数の割合をマッチング成功率と定義した.

本研究のテンプレートのサイズは 11×11, 21×21, 31×31, 41×41 ピクセルと設定した. また, テンプレートマッチングに関しては, SSD, SAD, NCC を比較した. さらに, サブピクセル推定に関しては, 超解像画像を生成する方法と類似度補間法を比較した.

4. 結果

4.1 ひび割れ幅領域の自動検出

表-2, 3 には, マイクロスコープによる測定値および式(1)より評価された 1pixel の長さ (0.04mm) を用いて自動抽出されたひび割れ幅の最大値を示す. なお, マイクロスコープの最小目盛りは 0.02mm, プログラム上の 1pixel の精度は $0.04\text{mm} \pm 0.0004\text{mm}$ である. 自動抽出したひび割れ幅とマイクロスコープで計測された値の差は, 最大 0.18mm と大きな差異が生じた. この差異に関しては, ひび割れ箇所の厳密な定義自体がないために, 目視抽出と自動抽出の計測箇所が厳密に合致しないことを示している. したがって, ひび割れ箇所の厳密な定義が必要であると確認することができた.

4.2 ひび割れ幅領域のステレオ計測

サブピクセル推定法を適用することにより, 0.01 ピクセル間隔で対応点を検出することができた. 各ポイントでのマッチングは, どの組み合わせもマッチングの成功率は高かった. また, テンプレートサイズが大きいほうが, 成功率が高くなっていたが, ひび割れ幅が小さいポイントでは, サイズが小さい方が成功していた. これは,

テンプレート内においてマッチングに不要なノイズを含まないためだと考えられる.

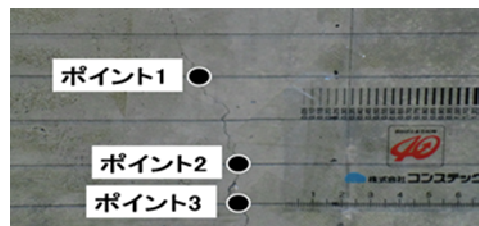


図-1 対象となるひび割れ箇所

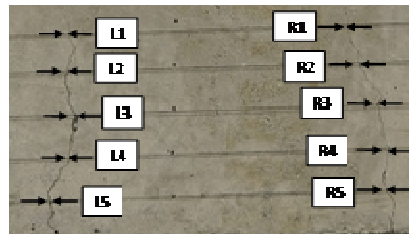


図-2 対象とするひび割れ箇所

表-2 マイクロスコープの平均計測値

計測ポイント	平均ひび割れ幅 (mm)	計測ポイント	平均ひび割れ幅 (mm)
L1	0.14	R1	0.11
L2	0.39	R2	0.25
L3	0.41	R3	0.25
L4	0.39	R4	0.25
L5	0.63	R5	0.36

表-3 比較実験 計測結果

マイクロスコープ 測定値(単位 mm)							
クラック箇所	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均	平均二乗誤差
ポイント1	0.34	0.39	0.32	0.36	0.34	0.35	0.0237
ポイント2	0.36	0.36	0.18	0.24	0.22	0.27	0.0744
ポイント3	0.36	0.26	0.26	0.24	0.28	0.28	0.0420
自動抽出 結果(単位 mm)				マイクロスコープ平均値と自動抽出結果との差(単位 mm)			
クラック箇所	ひび割れ幅			クラック箇所	差		
ポイント1	0.53			ポイント1	0.18		
ポイント2	0.39			ポイント2	0.12		
ポイント3	0.35			ポイント3	0.07		

5. まとめ

ひび割れ箇所の自動抽出においては, まず, 暫定的にひび割れ幅の定義を行い, この定義に則ったひび割れ箇所を自動抽出できることを確認した. また, $0.0004\text{mm}/0.01\text{pixel}$ と高い空間解像度で, コンクリート表面のひび割れ箇所を計測できることを確認することができた.

三次元計測で最もマッチングの成功率が良かったのは, テンプレートサイズ 41×41, SSD, 類似度補間法の組み合わせであった.

また, 今後の非破壊検査においては, ひび割れ箇所の厳密な定義の設定が必要であることを本研究で示した.

参考文献

- 1) 精密工学会画像応用技術専門委員会, 画像処理応用システム: 基礎から応用まで, 2000 年 7 月, pp.193-194
- 2) 清水雅夫, 奥富正敏, 画像のマッチングにおける推定の意味と性質, 2002 年 12 月, 電子情報通信学会論文誌 D-II vol.j85-D-II No.12 pp.1791-1800