

ひび割れコンクリートを対象としたステレオ計測の高精度化

芝浦工業大学 学生会員 ○山下 直哉
 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

コンクリート構造物の主な日常点検は目視により点検されているが、目視点検では技術者の技量や経験に左右され、結果を定量的に記録することが困難であるといった問題点が挙げられる。その対応策としてデジタルカメラを用いた点検方法が考えられている。しかし、単カメラを用いた点検では角度や照明などの撮影時の制約が多く、ピクセルからミリへと単位変換する際に誤差が生じるなどの問題がある。

そこで、ステレオカメラを用いてひび割れ幅を三次元計測することにより、単位変換することなくひび割れ幅をミリで出すことを考えた。三次元計測する際に、ひび割れとしてどこを選択するか、どのように対応点を検出するかなどの課題がある。そこで、本研究ではコンクリートのひび割れに適した対応点の検出方法の検討を行った。ひび割れの抽出ができれば、本研究で分かった対応点の検出方法を用い、コンクリートに適した三次元計測が可能になる。

2.手法

図-1 に全体の流れを示す。ステレオカメラで撮影した左右の画像の対応点を検出されると、三角測量の原理により三次元計測が可能になる。対応点はテンプレートマッチングと呼ばれる方法で検出した。

2.1 テンプレートマッチング

テンプレートマッチング¹⁾は、ある対象を画像中から検出したい場合、その対象のパターンをテンプレートとして用意し、対象画像とテンプレートを移動しながら重ね合わせ、両者の一致度（相関係数）により対象の識別を行う方法である。本研究では以下の相関法の3式を利用して一致度を評価した。相関係数が最小(NCCは最大)となる一致度に対応する部分が対応点となる。

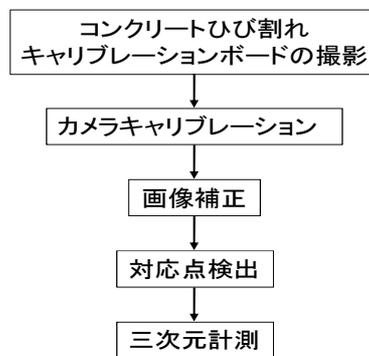


図-1 全体の流れ

- (1) 輝度差の総和(SAD)

$$R_{SAD}(s) = \sum_{i \in W} |I_1(i) - I_2(i+s)|$$

- (2) 輝度差の二乗和(SSD)

$$R_{SSD}(s) = \sum_{i \in W} (I_1(i) - I_2(i+s))^2$$

- (3) 正規化相互相関関数(NCC)

$$R_{NCC}(s) = \frac{\sum_{i \in W} I_1(i) I_2(i+s)}{\sqrt{\sum_{i \in W} I_1(i)^2 I_2(i+s)^2}}$$

2.2 サブピクセル推定

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検出が必要になる。サブピクセルで推定する方法にはいくつかあるが、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最小及び最大となる一致度の-1から+1ピクセルの範囲で高解像度画像を生成し、もう一度テンプレートマッチングを行う方法
 (2) 類似度補間法²⁾と呼ばれる手法を用いてサブピクセル推定を行う方法。図-2に代表的なフィッティング関数を示す。それぞれの計算方法は以下の通りである。

キーワード デジタルカメラ法, テンプレートマッチング, サブピクセル推定

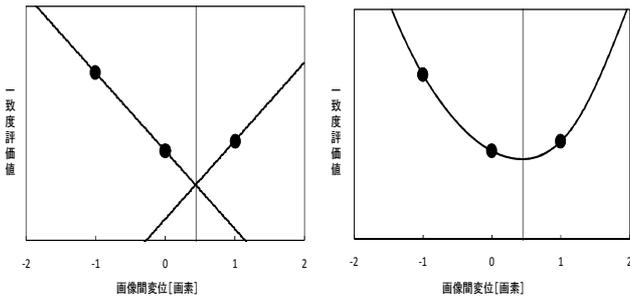
連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 TEL03-5859-8359 E-mail : h07098@shibaura-it.ac.jp

(a) 等角直線フィッティング

$$e = \begin{cases} \frac{1 R(1)-R(-1)}{2 R(0)-R(-1)} & (\text{if } R(1)<R(-1)) \\ \frac{1 R(1)-R(-1)}{2 R(0)-R(1)} & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

(b) パラボラフィッティング

$$e = \frac{R(-1)-R(1)}{2R(-1)-4R(0)+2R(1)}$$



(a)等角直線フィッティング (b)パラボラフィッティング
図-2 代表的なフィッティング関数

3.実験

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, 計測を行った. 撮影は表-1 に示す設定のカメラを用いて撮影距離 100cm とし, 本研究における空間解像度は, 計測面において 1 ピクセルあたり 0.3mm に設定した. また, 三次元計測を行うのに必要なキャリブレーションボードを 50cm と 150cm の距離で撮影した.

さらに, 図-3 に示すような供試体の上に貼った線上の 10 点のひび割れ部分を, マイクロスコープを用いて計測した. マイクロスコープで計測したひび割れ部分を, ひび割れ幅とし, 左側と右側でマッチングを行った. 今回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.

4.結果

マイクロスコープで計測したひび割れ幅は, 表-2 に示す結果となった.

キャリブレーションの精度は, 0.01 ピクセルずれると三次元座標で(0.000681,0.000109,0.000201)ずれる.

サブピクセル推定法を使うことにより, 1 ピクセル間隔で対応点を検出していたものを, 0.01 ピクセル間隔で対応点を検出することができた.

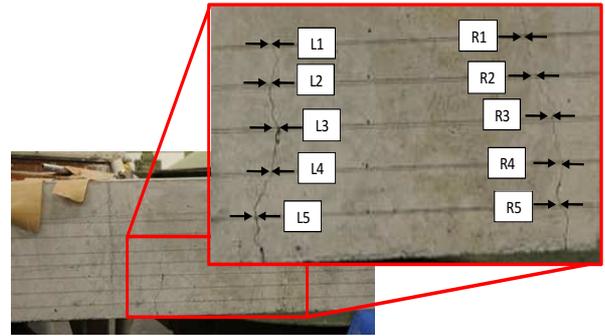


図-3 対象とするひび割れ幅

表-1 カメラ仕様

使用カメラ	Nikon D300
焦点距離	35mm
基線長	15cm
画像サイズ	2144 x 1424
記録方式	JPG

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

L3~L5 のポイントでのマッチングは, どの組み合わせでも成功率は高かった.

5.考察

同じひび割れ部分をマッチングしても, テンプレートサイズにより一致する場所が変わる. サイズが大きいが, 成功率が高くなっていた. しかし, 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, テンプレート内に不要なノイズを含まないためだと考えられる.

6.まとめ

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, パラボラフィッティングの組み合わせであった. 2 値化などを行い, ひび割れ部分を明確にすることでマッチングの精度が上がる可能性がある.

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