

デジタルカメラ画像を用いた コンクリート構造物のひび割れ幅検出手法の構築

1160044 金子 貴之

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

近年、デジタルカメラ画像を用いてひび割れ幅の計測を行う研究・開発が多く行われている。だがカメラの撮像素子(CMOS)や、レンズの違いによる精度検証は行われていない。よって本研究では、室内実験により得られたデジタルカメラ画像を用いて、コンクリート構造物のひび割れ幅検出手法を構築し、カメラ内部の撮像素子(CMOS)とレンズ、カメラ設定による精度検証を行った。結果は、静止状態においてレンズ焦点距離55mmで画素の密度が5200DPIの時、約5mの距離から0.1mm~0.15mmのひび割れを検出したところ、最大誤差0.13mm、RMSE0.07という精度を示した。また、ISOを6400まで上げて精度に違いがないこと、画像の重ね合わせにより精度を上げられることが分かった。今後は望遠レンズにより焦点距離を長くすることで撮影距離を伸ばし、精度を上げることが可能になると考えられる。

Key Words: 橋梁点検, ひび割れ幅検出, デジタルカメラ, バイヤー配列

1. はじめに

橋梁の老朽化が進み維持管理の重要性が高まっている。橋梁の評価基準としてひび割れ幅の計測は、重要な要素の一つである。近年では、点検にかかる作業時間とコストを削減するため、遠方から撮影したデジタルカメラ画像を用いて、ひび割れ幅の計測を行う研究・開発が多く行われている。竹田¹⁾では、19mの距離から0.1mm幅のひび割れを検出している。このように、現在のひび割れ検出技術はかなり進んでいる。だがそれらの研究では、カメラの撮像素子(CMOS)やレンズの違いによる精度検証は十分に行われていない。よって本研究では、室内実験により得られたデジタルカメラ画像を用いて、コンクリート構造物のひび割れ幅検出手法を構築し、カメラ内部の撮像素子(CMOS)とレンズ、カメラ設定による精度の比較を行う。そして、ひび割れ検出の能力を、カメラとレンズの仕様からある程度予測できることを目的とした。なお、研究の最終目標はドローンを用いた橋梁点検である。

2. ひび割れ幅計測手法

(1) 撮影

撮影は2種類のカメラと1種類のレンズを使用す

る。カメラの仕様を図-1に示す。カメラ設定はマニュアルモードで、f値:5.6, シャッタースピード:1/250で固定した。撮影時は三脚を使用し、手ブレを抑えるためタイマーコントローラーを使用した。また、複数の画像を重ね合わせてノイズの除去を行うために5枚~50枚ほど撮影した。



本体名	SONYα 7
記録サイズ	6000×4000pixel
センササイズ	35.8×23.9mm
rawビット数	14bit



レンズ名	SMC PENTAX
焦点距離	55mm
口径比	1.1.8
最短撮影距離	0.45m

本体名	PENTAX K-30
記録サイズ	4928×3264pixel
センササイズ	23.7×15.7mm
rawビット数	12bit

図-1 カメラとレンズの仕様

(2) 画像解析

まず、RAW画像を16bitのTIFF画像にデジタル現像した。現像に使うソフトウェアは、α7はImage Data Converter, K-30はSILKYPIXである。次に、画像解析ソフトHyperCubeを使用し、撮影した複数の画像を重ね合わせた後、グレースケール変換を行った。HyperCubeは解析後も画像のピクセル座標や輝度を調べるために使用した。

(3) ひび割れ幅算出手法

利用したカメラの CMOS 内部にあるカラーフィルターの配列パターンはベイヤー配列で、それぞれの素子が独立して並んでいる。赤や青よりも緑の数が多いため、人間の眼が特に緑に反応する感度が高いからである。図-2 に CMOS とベイヤー配列のイメージ図を示す。

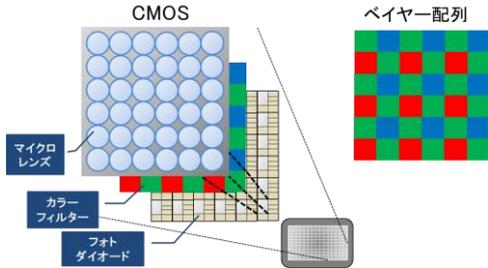


図-2 CMOS とベイヤー配列

ベイヤー配列では1つの画素で1つの色しか記録できない。よって、1つのピクセル情報 (R, G, B) を作り出すのに、周辺の複数の画素情報を重複させながら利用している。この性質を利用してひび割れ幅の算出手法を構築しなければならない (図-3)。



図-3 ピクセル情報の生成

したがって、あるピクセルがひび割れの影響をどの程度受けているか推測する必要がある。図-4 は、クラックスケールを撮影した画像と、2つのスケールにおける輝度の変化イメージ図を示す。1ピクセルがひび割れの影響を受けている割合: $s(i)$ は、ひび割れの影響を最も受けているピクセルの輝度: b_{min} 、受けていないピクセルの輝度: b_{max} 、対象とするピクセルの輝度: $b(i)$ を用いて式 (a) で算出した。

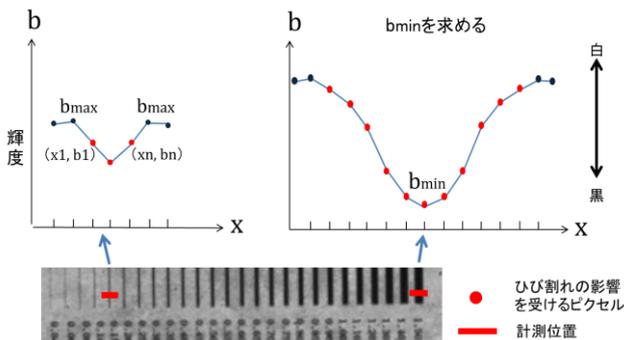


図-4 輝度のイメージ図

$$s(i) = 1 - \frac{b(i) - b_{min}}{b_{max} - b_{min}} \quad (a)$$

これをひび割れの影響を受けているピクセル ($b_1 \sim b_n$) に行き、それらの和と 1mmあたりのピクセル数: w を用いて、式 (b) でひび割れ幅: $W(\text{mm})$ を算出した。図-5 に算出イメージを示す。

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n s(i)}{w} \quad (b)$$

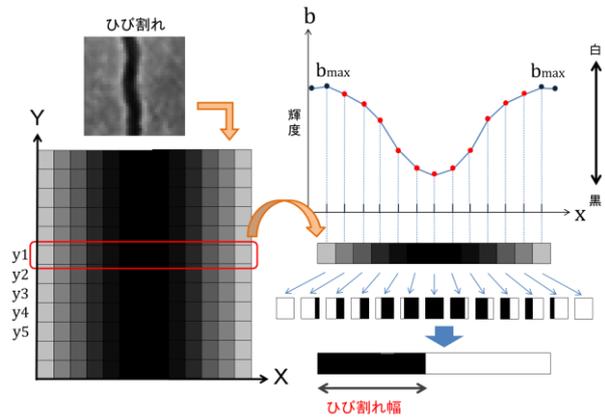


図-5 ひび割れ幅算出イメージ

ひび割れ幅 W は、1測線では算出結果にばらつきがあるため、同じひび割れ幅の測線で $y_1 \sim y_5$ でも算出し、その平均をとって最終的なひび割れ幅 $Wave$ とした。

(4) Python によるプログラム化

Python によりひび割れ幅の算出方法のプログラム化を行った。入力値は b_{min} を読み取るために、クラックスケール 1.5mm エッジ両端の (x_1, y_1) (x_2, y_2) 座標、1mmあたりのピクセル数を算出するための 1mm幅エッジ両端の (x_3, y_3) (x_4, y_4) 座標、計測するひび割れエッジ両端の (x_5, y_5) (x_6, y_6) 座標である。各座標はひび割れ幅のエッジと思われるピクセルから、2ピクセル程度余裕をもって選択した。図-6 にプログラムの流れを示す。

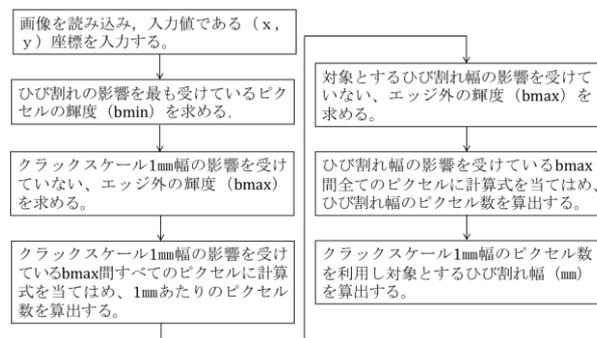


図-6 プログラムの流れ

3. クラックスケールを用いた計測手法の検証

画像解析方法やカメラの種類や設定の違いによる精度検証を行った。撮影方法はコンクリート壁面にクラックスケールを貼り付け、2mから5mまで1mごとに後退して撮影した。図-7に撮影方法のイメージと使用したクラックスケールの計測位置を示す。

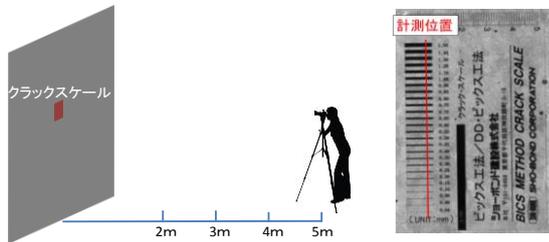


図-7 撮影方法とクラックスケール

(1) 画像重ね合わせ枚数の違いによる精度検証

検証はカメラ： $\alpha 7$ 、撮影距離：3m、ISO：1600で、重ね合わせ枚数を1枚と5枚で比較した。検出結果を図-8に示す。結果は5枚重ねの方が良い精度になった。また1枚のみの方は、計測の際に算出した5測線のひび割れ幅のバラツキが大きい結果となり、5枚重ねの方は小さいという結果になった。よって、重ね合わせ枚数を増やすことで、1測線だけでもある程度良い精度を出すことができること分かった。なお、50枚でも検証を行ったが、大きな精度の違いは見られなかった。

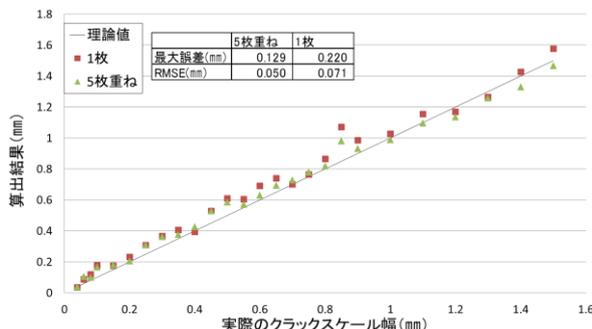


図-8 画像重ね合わせ枚数別算出結果

(2) ISO感度の違いによる精度検証

ISO感度とはカメラの設定の1つで、光を捉える能力を表す値である。ISOを高くすることで暗い場所での撮影が可能になる。だがISOを上げることで、画像にざらつきやノイズが発生する。検証はカメラ： $\alpha 7$ 、撮影距離：3m、重ね合わせ枚数5枚で行い、ISO100、400、800、1600の4種で比較した。検出結果を図-9に示す。結果はISO1600が最も精度が悪くはなったが、すべてのISOに大きな違いはなかったため、暗い場所での撮影はISOをあげての撮影が可能であると考えられる。

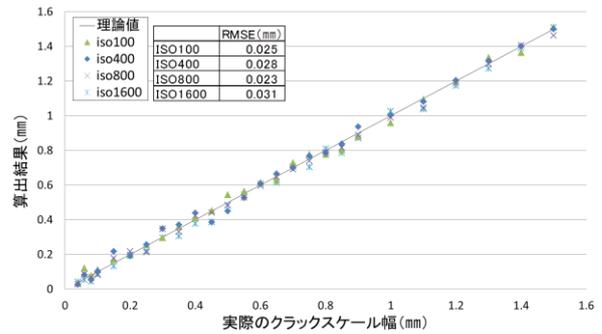


図-9 ISO別算出結果

(3) 各色別による精度検証

赤・青・緑、各色の画像で精度検証を行った。ベイヤー配列は緑の要素が青や赤と比べて多い。よってこの検証では、緑の精度が最も良くなると予想される。検証はカメラ： $\alpha 7$ 、撮影距離：3m、重ね合わせ枚数：5枚、ISO1600で行った。検出結果を図-10に示す。結果は、わずかな差ではあるが、緑の画像が最も良い精度になった。よって本算出方法がベイヤー配列に強く影響していることが確認できた。

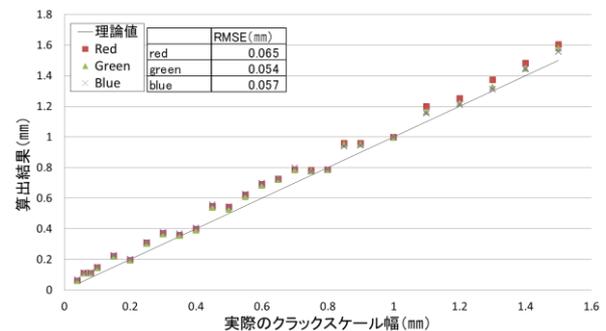


図-10 各色別算出結果

(4) カメラの違いによる距離別精度検証

$\alpha 7$ とK-30との比較を行う。撮影距離：2m～5m、重ね合わせ枚数：5枚、ISO1600で行った。検出結果を図-11、図-12、表-13に記す。結果はK-30の方が良い精度となった。原因としてCMOSの画素間の距離が $\alpha 7$ よりもK-30の方が細かいことが考えられる。 $\alpha 7$ は0.005966mm(4190DPI)で、K-30は0.004809mm(5198DPI)であった。

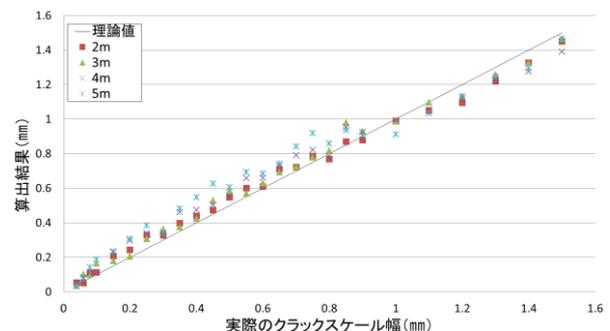


図-11 $\alpha 7$ の距離別算出結果

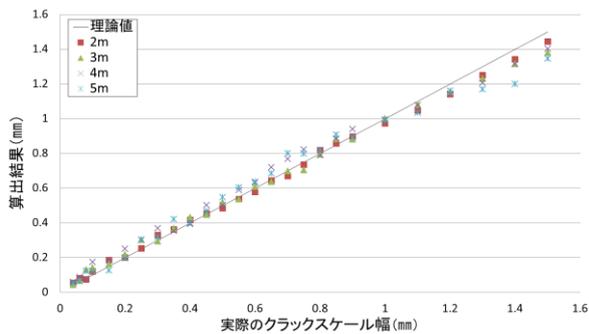


図-12 K-30 の距離別算出結果

表-13 $\alpha 7$ と K-30 の距離別算出結果

	2m		3m		4m		5m	
	$\alpha 7$	K-30						
最大誤差(mm)	0.106	0.061	0.129	0.122	0.125	0.099	0.177	0.202
RMSE(mm)	0.033	0.030	0.050	0.041	0.073	0.052	0.100	0.069

4. 室内実験によるひび割れ計測

指標としてクラックスケールを張り付けたコンクリート共試体で曲げ試験を行い、撮影を行った。荷重をかけ、ある程度のひび割れ幅が現れたところで荷重を止め撮影した。その後再び荷重をかけ、ひび割れの進行状況を見て2回目の撮影を行った。精度検証は、算出結果とクラックスケールでの実測値を用いて行った。撮影はカメラ:K-30、撮影距離:2m~5m、重ね合わせ枚数5枚、また、曲げ試験機の影でひび割れが暗かったためISOを6400で行った。図-14に実験の様子、図-15に撮影したひび割れを示す。



図-14 曲げ試験機と共試体

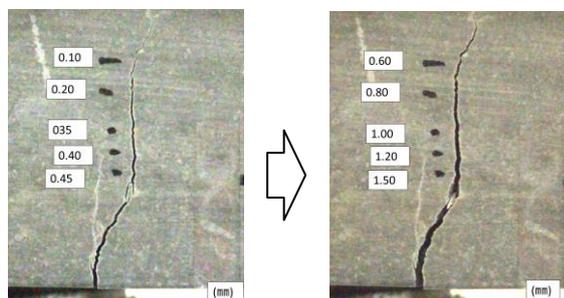


図-15 撮影したひび割れ

検出結果を図-16に示す。結果、5mの距離からの最大残差が0.13 mm、RMSEが0.07になった。だが、最大残差とRMSEともに、撮影距離2mからの撮影が最も良いという結果にはならなかった。原因として算出結果と比較したクラックスケールでの実測値が正確でない事が考えられる。

以上の実験結果から、0.1 mm~1.5 mm程度のひび割れを検出する場合、カメラ:K-30、レンズ:SMC PENTAX、f値:5.6、シャッタースピード:1/250で静止状態という条件下において、撮影距離が5m程度以下であれば検出可能であることが分かった。

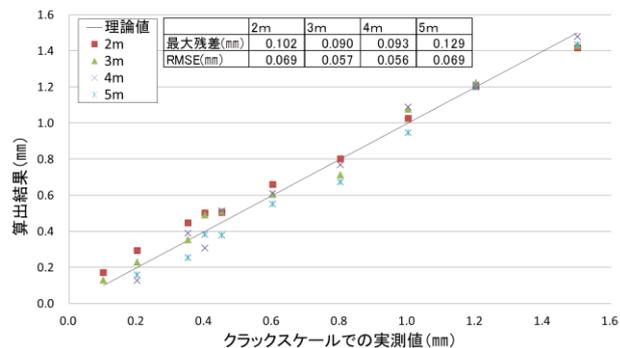


図-16. ひび割れ幅算出結果

5. 考察

コンクリート構造物のひび割れ幅検出手法を構築し、ひび割れ幅の計測を行った。デジタルカメラ画像のRaw現像と重ね合わせ処理は解析ソフトを使用し、ひび割れ幅算出はPythonプログラムを構築した。計測結果は、静止状態において焦点距離55 mmで画素の密度が5200DPIの時、約5mの距離から0.1 mm~0.15 mmのひび割れを検出したところ、最大誤差0.13 mm RMSE0.07という精度を示した。よって、カメラ内部のCMOSセンサーの画素間の距離が細かい方が、精度が良いことが分かった。また、ISOを6400まで上げても精度の違いがないこと、画像を5枚重ね合わせることで精度を上げられることが分かった。レンズ焦点距離を長くすれば撮影距離を伸ばすことが可能と考えられる。今回の結果から推測すれば、4倍の焦点距離である220 mm以上のレンズを使うことで、竹田¹⁾と同等の20mの距離から0.1 mmのひび割れを検出する事が可能になると予想される。今後は最終目標であるドローンによる橋梁点検を実現したい。

謝辞：本研究において実験を協力して頂いた大内研究室に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 竹田宜典：画像処理によるコンクリート構造物のひび割れ計測 (2015)
- 2) 伊藤 厚史：画像処理を用いた高精度なコンクリート部材表面のひび割れ抽出とその解析 (2002)
- 3) 岡林隆敏：高解像度デジタルカメラによるコンクリートクラック幅検出法 (2003)