

デジタルカメラ画像を用いた コンクリート構造物の面的変位状況の把握手法

1180127 野田 靖仁

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、コンクリート構造物の点検にかかる作業時間とコストを削減するため、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・開発が行われている。本研究室では、本光¹⁾が基準点を用いたひび割れ幅の計測手法を構築した。しかし、実際のコンクリート構造物の点検において、基準点が設置困難な場合もある。本研究では、基準点を用いた手法において、安定した結果が得られなかったため、改良を行った。手持ち撮影で約7mの距離からひび割れを計測したところ、最大誤差0.06mm、RMSE0.06mmとなり、本光が示した結果が安定して得られるようになった。また、基準点を用いない手法についても検討した。コンクリート表面の気泡による穴を特徴点とすることで、特徴点の変位状況を面的に把握することができた。

Key Words: コンクリート構造物, デジタルカメラ, 変位状況

1. はじめに

現在、コンクリート構造物の老朽化が進み、維持管理の重要性が高まっている。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、デジタルカメラ画像により、ひび割れ幅を計測する研究・開発が行われている。本研究室では、本光¹⁾が、UAV搭載を想定した手持ち撮影で約7mの距離からひび割れを計測したところ、最大誤差0.04mm RMSE0.06mmという精度を示した。本研究では、まず、本光の計測手法の検証を行った。また、基準点を用いた計測手法を提案してきたが、基準点は、設置困難な場合がある事や、別途高精度で基準点を計測する必要があるため、そこが実際のコンクリート構造物の点検において大きな課題となる。そこで、基準点を使用しない手法についても検討を行った。

2. 基準点を用いたひび割れ幅計測手法の改良

(1) パイリニア法による高分解能化と図心の抽出

本光の手法は、同じ対象物を複数回撮影して重ね

合わせることである。図-1に重ね合わせ処理の精度検証を行うために用いた基準点と検証点の位置を示す。基準点・検証点ともにクラックスケールの特徴点の中心座標を用いた。また、クラックスケールはCADを用いて作成しており、CAD座標と画像座標を比較することでmm単位での精度検証を行った。

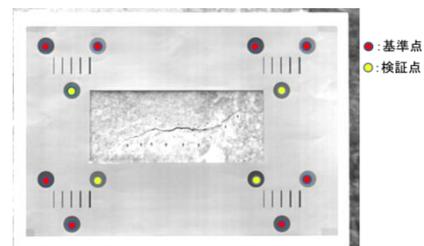


図-1 基準点と検証点の位置

本光¹⁾はSSDA法を用いて画像マッチングを行い図-2の座標 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) を算出した。この2点の座標を用いて式(a)で中心座標 (X, Y) 求めている。

$$X = x_2 - x_1 \quad Y = y_2 - y_1 \quad (a)$$

検証点のRMSEの結果を表-1に示す。コンクリート構造物の鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値は、

0.5mm と定められているため精度を高める必要がある。

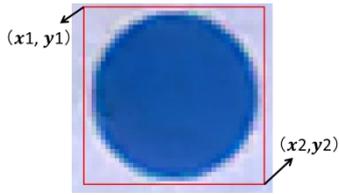


図-2 SSDA 法の座標算出

表-1 SSDA 法の検証点の RMSE

検証点のRMSE (mm)		
	x	y
平均	1.101	0.903
最大誤差	4.356	3.418

そこで本研究では、バイリニア法を用いて画像の高分解能化を行った。バイリニア法とは、周囲の4つの画素を利用して、線形近似を行うものである。また、特徴点の範囲を Python の OpenCV の画像マッチング機能を用いて自動抽出した。その範囲を図-3に示す。この範囲の図心を式(b)より算出し中心座標とした。

$$r_c = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i} \quad (b)$$

r_c : 図心(中心座標(x_c, y_c))

m_i : pixel の輝度値

\vec{r}_i : pixel の座標(x_i, y_i)

$\sum m_i$: 輝度値の合計

検証点の RMSE の結果を表-2に示す。重ね合わせ処理の精度が 0.5mm未滿の結果が得られたため、これを用いて画像の射影変換を行い重ね合わせ処理し、ひび割れ幅の計測を行った。

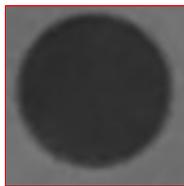


図-3 画像マッチングで抽出した範囲

表-2 図心の検証点の RMSE

検証点のRMSE (mm)		
	x	y
平均	0.197	0.198
最大誤差	0.380	0.284

(2) 計測結果

本光¹⁾の計測手法で計測した結果を図-4に示し、

改良した手法で計測した結果を図-5に示す。結果、バイリニア法と重ね合わせ処理を組み合わせることで、誤差を小さくすることができ、ひび割れ幅の計測結果も撮影距離 7m で最大誤差 0.06 mm, RMSE 0.06 mm となり、本光¹⁾が示した結果が安定して得られるようになった。

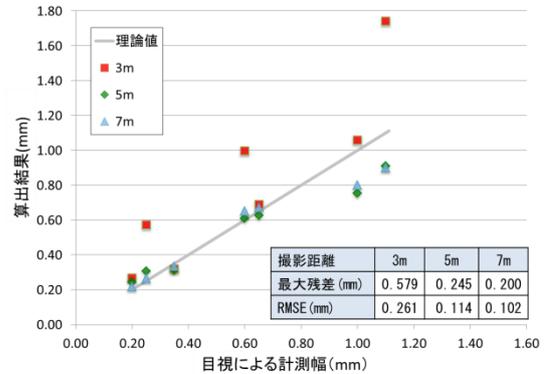


図-4 本光手法の計測結果

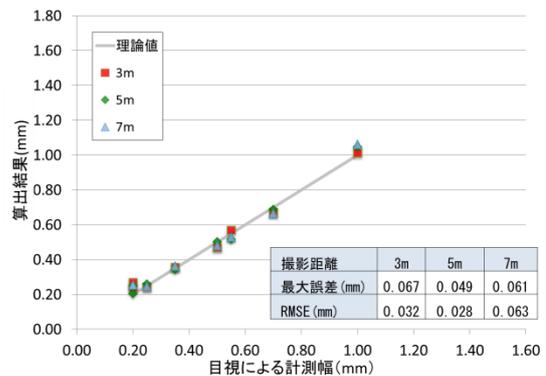


図-5 計測手法の改良後の計測結果

3. 基準点を用いない変位状況の把握手法

(1) 使用した画像

金子²⁾がコンクリート圧縮強度試験機を用いてコンクリートのひび割れを撮影した画像を使用する。撮影方法は、三脚とリモートコントローラーを用いて撮影距離を 3m に固定したものである。ひび割れ画像は荷重をかけていった段階が 4 種類あり、それぞれを 1 段階目, 2 段階目, 3 段階目, 4 段階目とする。

(2) 画像の前処理

画像の前処理として、バイリニア法と重ね合わせ処理を行った。バイリニア法は、2 倍と 4 倍の処理をした。重ね合わせ処理は、10 枚と 30 枚で行った。カメラを固定して撮影されたものであるため、重ね合わせ処理前の幾何変換は行わなかった。

(3) Hugin を用いた特徴点の抽出

Hugin はパノラマ画像を作る時に用いられる特徴点の自動マッチングを行うフリーソフトである。Hugin を用いて、コンクリート表面の気泡による穴を特徴点とし、抽出を行った。図-6 に、Hugin で抽出した特徴点を示す。左側の画像から特徴点を選ぶと、右側の画像で相関が高いところを自動で抽出できる。図-6 の下側に特徴点の番号・左側の特徴点の座標・右側の特徴点の座標があり、この座標を用いて変位量計算を行う。



図-6 Hugin の特徴点抽出

(4) 特徴点の変位量計算

Hugin から得られた各特徴点の座標を用いて変位量計算を行う。変位量計算は、1段階目と2段階目、2段階目と3段階目、3段階目と4段階目のそれぞれで行った。Hugin で得られた特徴点の座標を $(x_{n,m}, y_{n,m})$ とする。 n は特徴点の番号、 m はひび割れの段階を示す。ここでは、1段階目 $(x_{n,1}, y_{n,1})$ と2段階目 $(x_{n,2}, y_{n,2})$ の計算を例として示す。まず、特徴点の差を $(\delta x_n, \delta y_n)$ を式(c)で算出する。

$$\delta x_n = x_{n,2} - x_{n,1}, \quad \delta y_n = y_{n,2} - y_{n,1} \quad (c)$$

次に、全特徴点の差の平均を式(d)で算出する。

$$\left(\frac{\sum \delta x_n}{n}, \frac{\sum \delta y_n}{n} \right) \quad (d)$$

この差の平均を使って2段階目の特徴点の座標変換を式(e)で行う。

$$X_{n,2} = x_{n,2} - \frac{\sum \delta x_n}{n}, \quad Y_{n,2} = y_{n,2} - \frac{\sum \delta y_n}{n} \quad (e)$$

最後に、式(f)により特徴点の変位量 $(\Delta x_n, \Delta y_n)$ が算出できる。

$$\Delta x_n = X_{n,2} - x_{n,1}, \quad \Delta y_n = Y_{n,2} - y_{n,1} \quad (f)$$

特徴点の変位量をベクトルで示したものを図-7～図-9に示す。ひび割れが大きくなるにつれ特徴点の変位が大きくなっている。コンクリート下側は、圧縮による引っ張りが顕著にみられる。

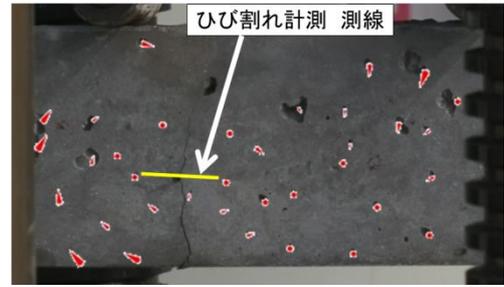


図-7 1段階目と2段階目の変位量ベクトル

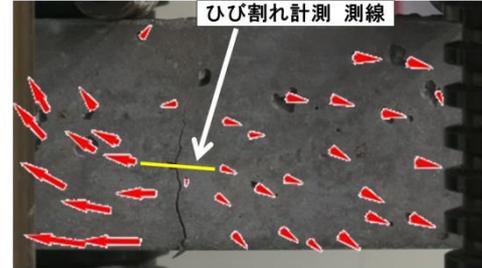


図-8 2段階目と3段階目の変位量ベクトル

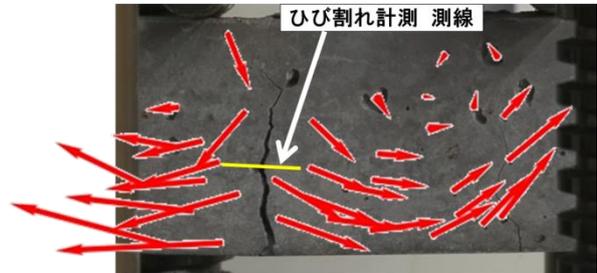


図-9 3段階目と4段階目の変位量ベクトル

(5) 2点間の距離の変化とひび割れ幅の変化の比較

ひび割れを挟んだ特徴点2点を図-7～図-9の測線で結び、1段階目の2点間の距離を式(g)で、2段階目を式(h)でそれぞれ算出した。この2点の特徴点の番号が1と2と仮定して説明する。図-10は、コンクリートひび割れを撮影する際に、メジャーをあてた画像から切り取ったものである。縮尺係数 w は1mmあたりのpixel数であり、図-10より決めた。

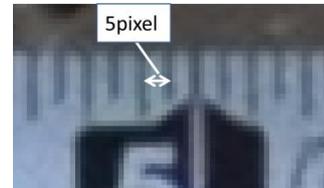


図-10 メジャーの目盛り

$$Lx_1 = (x_{1,2} - x_{1,1})/w \quad (g)$$

$$Lx_2 = (x_{2,2} - x_{1,2})/w \quad (h)$$

また、1段階目と2段階目の、2点間の距離の差を式(i)で算出する。

$$\Delta Lx = Lx_2 - Lx_1 \quad (i)$$

今回はクラックスケールがないため2点の間のひ

ひび割れ幅を目視でひび割れの位置 pixel を見て式(j)で算出した。

$$C_n = (x_2 - x_1) / w \quad (j)$$

C_n : ひび割れ幅(mm)

n : ひび割れの段階($n:1\sim4$)

x_1 : ひび割れの左端の x 座標

x_2 : ひび割れの右端の x 座標

また、ひび割れの変位量を(k)で算出する。

$$\Delta C = C_{n+1} - C_n \quad (n:1\sim3) \quad (k)$$

ΔLx と ΔC を比較することで特徴点の変位状況とひび割れ幅の関係を参考値として捉えることができる。

(6) 計測結果

計測には、原画像と2倍、4倍に高分解能化した画像をそれぞれ重ね合わせ処理なし、重ね合わせ処理10枚、30枚で行った。2点間の距離の差 ΔLx とひび割れ幅の差 ΔC の残差とバイリニア法による高分解能化、重ね合わせ処理の枚数の比較を図-11～図-13に示す。重ね合わせ処理をしない場合 Hugin での特徴点の自動抽出が少なかった。また、重ね合わせ処理なしの1段階目の画像から目視でひび割れ幅を計測できなかつた。重ね合わせ処理枚数10枚と30枚で大きな差はなく、バイリニア法の2倍と4倍でも大きな違いはなかつた。

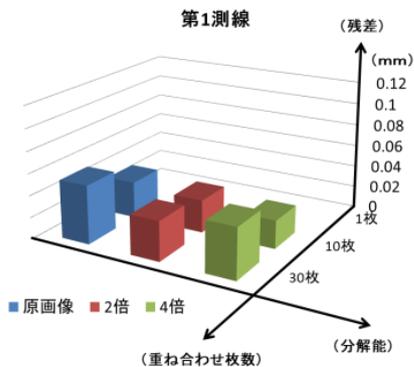


図-11 1段階目と2段階目

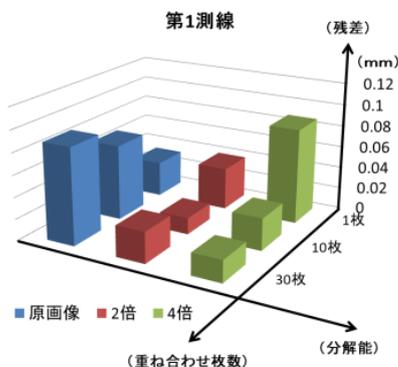


図-12 2段階目と3段階目

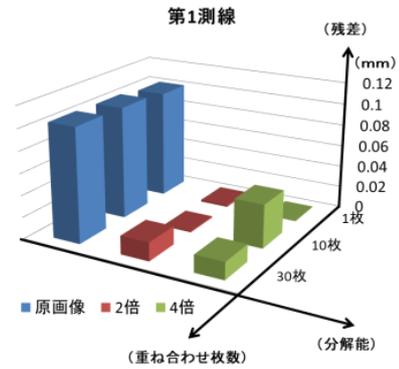


図-13 3段階目と4段階目

4. 考察

コンクリート表面の特徴点を用いることで、面的に変位状況が把握できるため、ひび割れの状況とともに点検結果として変位状況を記録する価値はあると考えられる。特徴点を用いた変位量抽出は、画像の前処理において、重ね合わせ処理10枚、バイリニア法は2倍が適切であると考えられた。しかし、本研究で用いた画像には、コンクリート表面の気泡による穴を特徴点することができたが、実際のコンクリート構造物に特徴点となるものがない場合、どのように計測するか今後の課題である。

基準点を用いない変位状況の把握手法では、同一地点からの撮影が困難である場合と、ひび割れによる動きから不動点がないため、それぞれの段階のコンクリート平面を幾何変換により同一平面に投影することができていない。しかし、コンクリート構造物の平面を撮影しSfMを用いて3Dモデルを作ることによって変化前と変化後を重ね合わせることができれば、変化を画像で見ることが可能ではないかと期待される。

参考文献

- 1) 本光 利章：UAV を用いたデジタルカメラ画像によるひび割れ幅計測手法の構築(2016 年度学士論文)
- 2) 金子 貴之：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(2015 年度学士論文)
- 3) 2012 年制定 コンクリート標準示方書 [設計編] pp.144
- 4) 高木 方隆：国土を測る技術の基礎 pp.286-287, 公益社団法人 日本測量協会