

土木構造物の維持管理のための画像計測法の研究

京都大学大学院	学生会員	○金澤 彬
京都大学大学院	正会員	西山 哲
京都大学大学院	正会員	矢野 隆夫
(株) つくばソフトウェアエンジニアリング	非会員	村上 治
(株) 開発設計コンサルタント	非会員	菊地 輝行

1 はじめに

我が国の土木構造物は現在その多くが老朽化しているため、これらの構造物の維持管理が重要視されている。維持管理としては特に、構造物の表面等に発生したひび割れの幅を、日常点検においてノギス等を用い目視により計測しているのが現状である。ところが、この目視による計測は定量的ではなく、点検者の経験に基づくため客観的な評価が困難であるといった問題が指摘されている。このような背景から本研究ではデジタル画像を利用したひび割れ幅の計測手法を開発し、計測精度を検証した。

2 デジタル単写真測量の基礎理論

本計測手法の最大の特徴は、ひび割れを斜めから撮影した画像を正面から撮影した画像に変換し（以下、正射影変換とよぶ）、ひび割れ幅を高精度で計測可能にすることである。本計測手法では、図 1 に示すコード付きターゲットをひび割れの左右（または上下）に設置する。

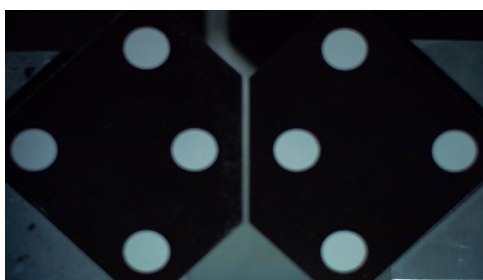


図 1 コードつきターゲット

1 枚のターゲットには 4 つの白円が印刷されている。一般的にデジタル画像では、光の信号の強度を 1 画素あたり 256 段階に数値化して画像に表現し、この数値を明度とよぶ。本研究では、円の中心座標をこの明度分布を用いてする重心とした。つまり、図 2 に示すように、4 つの円の明度分布において適当な閾値を定め、閾値以下の明度の画素については明度

をゼロとし、閾値以上の明度の画素については、明度を重みとして重心計算する。正射影変換は、以下に示す射影変換式²⁾を用いる。この射影変換式は、ある平面 L 上の点 (x, y) を他の平面 L' 上の点 (x', y') に変換する式であるが、未知係数 b が 8 個存在する。この 8 個の未知係数を決定するために、4 つの円を既知の間隔で正確に印刷する。

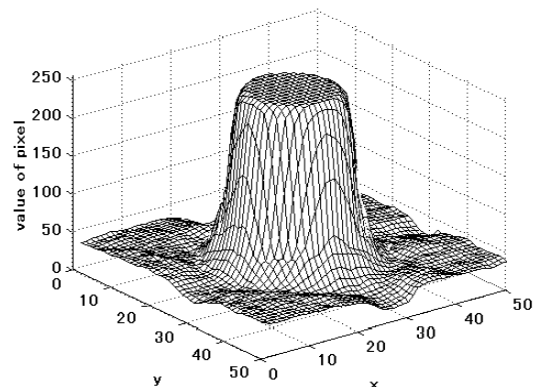


図 2 円の明度分布

この 4 点の基準点の先述した重心計算により求めた写真座標 (x, y) に対して最小二乗法をはめることにより決定する。

$$x' = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{b_7x + b_8y + 1} \quad y' = \frac{b_4x + b_5y + b_6}{b_7x + b_8y + 1}$$

3 撮影角度・撮影距離の変化に伴う精度検証

本計測手法は正射影変換という大きな特徴を備えており、これは斜めからの撮影に対して精度が低下することを抑えることを目的としている。従って、撮影距離を 0.36m で一定とし、撮影角度を変化させて計測精度を検証した。撮影角度は図 3 のように定義し、実験結果を図 4 に示す。計測値－真値＝誤差として誤差の平均値を外精度と定義し、誤差の標準偏差を内精度と定義し、撮影角度と精度の関係を表 1 に示す。

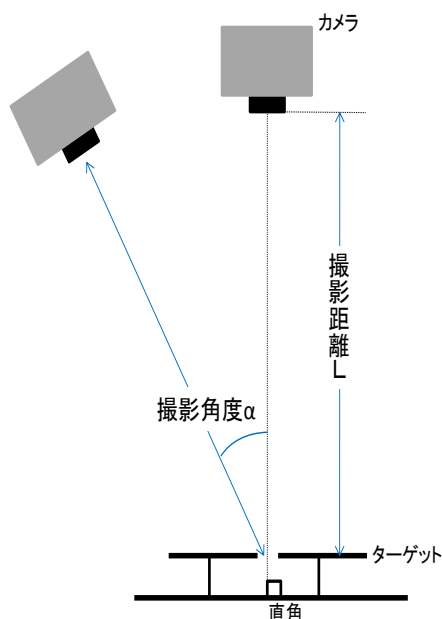


図3 撮影角度と撮影距離

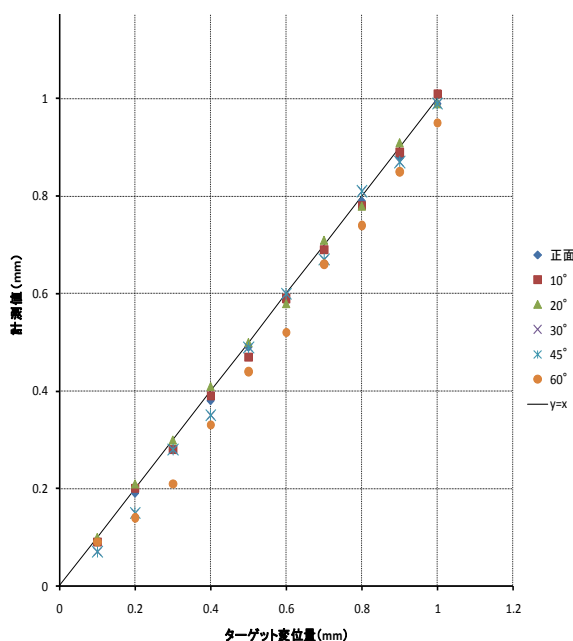


図4 撮影角度と計測結果

表1 撮影角度と精度 (単位: mm)

撮影角度	0	10	20	30	45	60
外的精度	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.06
内的精度	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02

撮影角度が 30° 以内で精度の低下はほとんど見られず、撮影角度が 60° の場合でも、正面から撮影した場合に比べ外的精度が 0.05mm 、内的精度が 0.01mm 低下するにとどまっている。また、同じ変位パターンで撮影角度を 0° で一定とし、撮影距離を変化させて精度を検証した結果が表2である。

表2 撮影距離と精度 (単位: mm)

撮影距離	0.5m	1m	1.5m
外的精度	0.02	0.04	0.08
内的精度	0.01	0.02	0.04

計測精度は撮影距離に依存するが、撮影距離が 1.5m の場合でも、外的精度が 0.08mm 、内的精度が 0.04mm での計測が可能であることがわかる。

4 2方向変位に対する計測

x方向（亀裂が開く方向）とy方向（亀裂がずれる方向）それぞれにターゲットを強制変位させ、本計測手法がこれら2方向の変位を同時計測可能かどうか検証した。撮影角度 0° 、撮影距離は 0.5m で固定し結果を表3に示す。

表3 2方向の変位と精度

	x方向	y方向
外的精度mm	0.03	0.02
内的精度mm	0.04	0.02

1方向のみの変位検証と同等の精度で2方向の変位を計測することが可能であることがわかる。

5 まとめ

本計測手法は「ターゲット円の中心を明度分布により決定し重心とする」、「正射影変換により斜めからの撮影でも計測可能とする」という2つの大きな特徴をもつ。この開発技術により、撮影角度による精度の低下は 60° の場合、正面からの撮影と比較して 0.1mm 以内に抑えることが可能である。また、撮影距離が 1.5m の場合計測精度は $\pm 0.1\text{mm}$ である。また、亀裂が同時に2方向に変位した場合でも、1方向に変位した場合と同等の精度で2方向それぞれの変位量を計測することが可能であることを示した。今後は、橋梁などの土木構造物の計測を目的とした遠距離撮影の計測精度の向上が求められる。

参考文献

- 1) 龍明治, 大西有三, 西山哲, 中井卓巳: デジタル画像による斜面モニタリングシステムの研究, 地盤工学ジャーナル, Vol.3, No.2, pp109-119, 2008
- 2) 日本写真測量学会: 解析写真測量 (改訂版)