

短基線ステレオ計測を用いた RC 構造物のひび割れ抽出

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○鎌田 知久

芝浦工業大学 学生会員 磯松 祐一郎

芝浦工業大学 正会員 勝木 太

芝浦工業大学 正会員 中川 雅史

1. はじめに

コンクリート構造物を維持管理する上で劣化箇所（特にひび割れ）のスケッチや写真は、後に同現場の劣化の進行を把握するために大変重要なデータとなる。しかし、現在の目視点検では測定における個人誤差によって計測精度に大きなばらつきが生じてしまう上、昇降車などを用いなければならない。そこで既往の研究では、この個人誤差の影響を回避するために、計測の自動化などが試みられている¹⁾。筆者らは安価で設置が簡便なステレオ計測に着目し、これによる目視点検の研究²⁾を進めてきた。この研究成果から、近接目視に相当する三次元計測が可能であることを確認したが、さらに遠望目視点検に相当する三次元計測が可能となれば、点検作業の迅速化を図ることができる。そこで、本研究では、撮影対象から離れた位置からの三次元計測でも、ひび割れを精度よく抽出できるかを検証した。

2. 手法

本研究の流れを図 1 に示す。

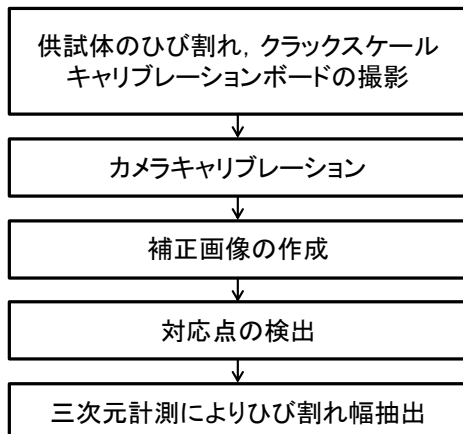


図 1 ひび割れ抽出までのフローチャート

2.1 カメラキャリブレーション

本研究では、計測対象に基準点を設置しない固定基線でのステレオ計測を行うために、Zhang の手法³⁾によるカメラキャリブレーションを行った。この手法は、

後述した式を最小化することで、カメラの内部パラメータ ($\mathbf{A}$, k_1 , k_2) およびカメラの位置姿勢パラメータ ($\mathbf{R}_i$, $\mathbf{t}_i$) を得るものである。

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \|\mathbf{m}_{ij} - \check{\mathbf{m}}(\mathbf{A}, k_1, k_2, \mathbf{R}_i, \mathbf{t}_i, M_j)\|^2$$

得られた2つのカメラのパラメータと、2つのカメラ画像上で対応する画像座標値を用いることで、対象点の位置を求める手法がステレオ計測である (図2)。

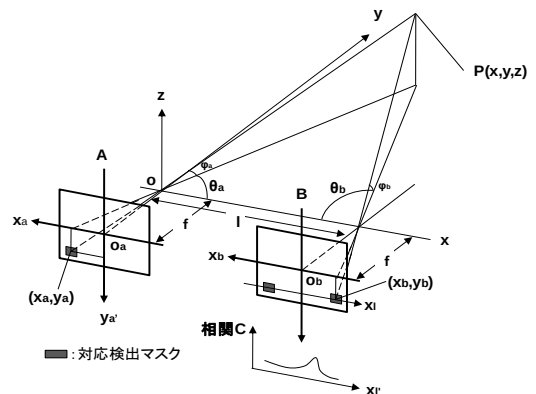


図 2 ステレオ計測

2.2 遠望目視

遠望目視とは、カメラ等を活用した近接目視を含む目視のことである。ステレオカメラを用いて行う場合は、カメラの姿勢（向き）や基線長（カメラ間の距離）が重要となってくる。これらが変化することでステレオ計測の性能に影響してくる。

3. 実験

ひび割れを捉えるには、 $\pm 0.1\text{mm}$ 程度の精度で計測することが求められる。そこで、5m 先の対象をステレオ計測する上で、その精度を $\pm 0.1\text{mm}$ 以内にできるかを検証するため、基線長、カメラの向きをパラメータとして設定し、それぞれの精度を求めた。また、撮影距離 5m における空間解像度を、 $0.3\text{mm}/\text{ピクセル}$ 程度に設定した。さらに、この撮影距離においてひび割れを計

測できるかを確認するために、0.3mm 程度のひび割れを発生させたコンクリート供試体を計測対象として作製した。撮影環境、対象を図 3 に示す。また、使用機材を表 1 に示す。



図 3 撮影環境および対象

表 1. 使用機材およびカメラ設定

使用カメラ	NIKON D300 (2台)
使用レンズ	AF-S NIKKOR 200mm
使用サイズ	2144×1424px
記録形式	TIFF形式

4. 結果

ステレオカメラ基線長およびカメラの向きと計測精度の検証結果を表 2 に示す。さらに、5m 先において、コンクリートひび割れ幅を自動抽出可能であることも確認した (図 4)。

表 2 基線長、カメラの向きと計測精度の検証結果

基線長[cm]	カメラの向き	RMSE (全方向) [mm]
16	平行	0.116
21	平行	0.139
16	注視	0.097
21	注視	0.099
26	注視	0.085
36	注視	0.089

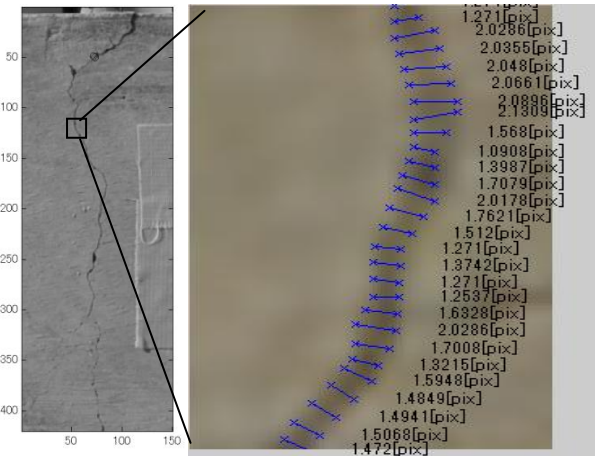


図 4 5m 先におけるコンクリートひび割れ幅抽出画像

5. 考察

表 2 に示したとおり、カメラの向きが計測対象へ注視した形であれば、 $\pm 0.1\text{mm}$ 以下の精度を出すことができた。カメラの向きが計測対象へ注視した形と比較して、カメラの向きが平行な場合は、 $\pm 0.1\text{mm}$ 以下の精度を達成しなかった。これは、ステレオ画像のオーバーラップ率が低下し、Zhang の手法におけるレンズ歪みの除去が不十分となったことが原因として挙げられる。また、理論上、基線長を長くするほど精度が良くなると予想できたが、本実験においては、計測精度に顕著な変化がなかった。

さらに、撮影距離 5m における撮影画像で、空間解像度が 0.3mm/ピクセル程度であったとしても、サブピクセル処理によりステレオ計測の精度は $\pm 0.1\text{mm}$ 以下を実現できた。また、図 4 に示したとおり、三次元計測により抽出したひび割れに対して、閾値を調節した上で、直行した線分を抽出することで、ひび割れ幅として計測可能になった。しかし、閾値が僅かに変化するだけで、抽出できるひび割れの形状が大きく異なってしまう。また、現状では、ひび割れとコンクリートの境界の定義が存在しないため、明確な閾値を設定できていない。そのため、どこまでをひび割れとするかの定義を決めることが今後の課題である。

6. まとめ

本研究では、撮影距離を 5m に設定し、カメラの向きを計測対象へ注視した形にすることで、 $\pm 0.1\text{mm}$ 以下の精度で計測することができた。また、画像上においてひび割れ幅を詳細に把握できることも確認できた。

参考文献

(1) 西村正三ほか, 3D レーザ・デジタル画像を用いた軍艦島計測と損傷図作成 -3D 点群のレンダリング・ひび割れ描画支援システム-, 日本写真測量学会 “写真測量とリモートセンシング”, pp46-53, 2012.

(2) 小林潤一ほか, ステレオカメラを用いたコンクリートひび割れ進展の把握, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会, I-44, 2011.

(3) Zhengyou Zhang, “A Flexible New Technique for Camera Calibration”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330–1334, 2000.