

ステレオマッチングに基づく 3D-DIC 計測システムの構築に関する基礎的研究

茨城大学大学院 学生会員 ○橋口和哉
 茨城大学大学院 学生会員 小坏祐輔
 茨城大学大学院 正会員 車谷麻緒

1. はじめに

コンクリートは、セメントと骨材から成る複合材料であるため破壊進展の段階で複雑にひび割れが発生・進展する。コンクリートのひび割れは構造物の力学性能や耐久性に影響を及ぼすため、コンクリートの破壊過程を解明することは重要な課題となっている。

近年、非接触で部材全域のひずみ計測が可能な計測方法としてデジタル画像相関法(DIC)が注目されている。

DICとは、変形前後のデジタル画像を撮影し、その相関を利用して変位量を求める方法である。車谷ら¹⁾は、DICを利用して、圧縮試験下で発生した詳細なひずみ分布を計測し、目視できない段階のひび割れ計測が可能であることを示している。しかし、DICは画像内の変位量しか計測できないため、2次元でのひずみ計測しか行うことができない。そのため、計測物がカメラの光軸方向(Z方向)に変位すると、撮影画像中において計測物が拡大あるいは縮小することに起因し、本来は発生していない変位が計測されてしまう可能性がある。また、2次元計測では、カメラに対して平行な表面を有する計測対象のみに限定されてしまうため、曲面など複雑な形状となる計測物のひび割れ計測に、DICを適用することを困難にしている要因となっている。

そこで、近年、レーザーやカメラなどの光学技術を用いた3次元計測手法が注目されており、その適用が有効であると考えられる。カメラを用いた3次元計測では、ステレオマッチングと呼ばれる、異なる位置のカメラで撮影したときの計測対象のズレからZ方向距離を計測する手法が代表的である。畷田ら²⁾はステレオマッチングに基づくDICを用いてRCはりの曲げ試験中に発生した試験体のZ方向変位を計測し、見かけ上のひずみを除去する研究を行っている。しかし、畷田らの結果は計測のオーダーが大きく、ひずみの計測結果もひび割れの兆候を示すのみで、形状や進展過程までを正確には捉えられていない。

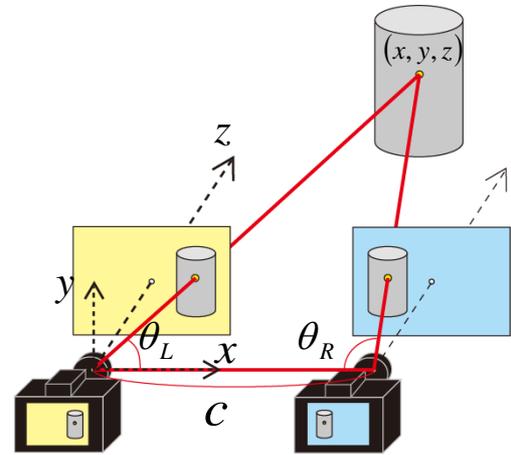


図-1 ステレオマッチングの3次元座標系

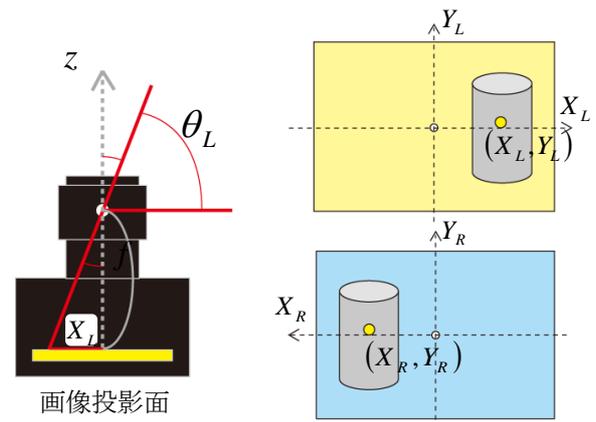


図-2 デジタル画像座標系と角度 θ の概要

そこで、本研究では車谷らの目視できない段階のひび割れ計測が可能である高精度な2D-DIC手法とステレオマッチングに基づく3次元計測手法を組み合わせた3次元画像相関法(3D-DIC)の計測システムを構築した。そして、その手法をコンクリートの角柱試験体および円柱試験体に適用し、Z座標の計測精度および3次元形状の計測精度について検討を行った。

2. 3D-DIC手法

本研究で開発した3D-DIC手法は、車谷らの開発した2D-DIC手法とステレオマッチングを組み合わせることで3次元方向のZ座標を計測している。

キーワード 画像相関法, ステレオマッチング, 3次元計測, コンクリート

連絡先 〒316-8511茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学工学部 TEL.0294-38-5151 FAX.0294-38-5268

2.1 ステレオマッチング

ステレオマッチングとは、左右の異なる位置から撮影した画像間で撮影物がズレて写ることを利用し、三角測量の原理を用いてカメラと撮影物との距離を計測する手法である。ステレオマッチングによる測定原理の概略を図-1、図-2に示す。本手法では2台のカメラを平行に設置する方法で計測する。図-1の3次元座標系は左カメラの焦点を原点とする。また、図-2のデジタル画像座標系は画像の中心を原点にし、y方向を上向きが正、x方向を図-1の三角形の内側を正とする。まず、距離を求めるために2台のカメラと計測対象からなる三角形の角度 θ を次式で求める。

$$\theta_L = \pi/2 - \tan^{-1}(X_L/f)$$

ここで、 f は焦点距離、 X_L はデジタル画像座標系での計測点のX座標を示す。 X_L の位置は任意に設定し、その X_L に対応する X_R は2D-DICに用いた直接相互相関係数により探索する。得られた X_R から上式で θ_R を求め、三角測量の原理から次式によりZ座標が求められる。

$$z = \frac{c \sin \theta_L \sin \theta_R}{\sin(\theta_L + \theta_R)}$$

ここで、 c は2台のカメラ間距離を示す。

3. 検証試験

本研究では、コンクリートの100×200×40 mmの角柱供試体と直径100 mmの円柱供試体を対象とし検証を行った。検証は3D-DICで得られるZ座標や3次元形状が精度よく計測できているかを検証する。

3.1 3次元形状の計測精度

3次元形状の計測精度の検証では、直径100 mmの円柱を用いて、その円柱の側面のカーブの計測結果と直径100 mmの円を比較することで行った。グラフ上に計測結果と円をプロットしたものと計測結果を立体的に表示したものを図-3に示す。計測結果は円の位置とよく一致しており、円柱の形状が精度よく計測できていることが立体的に表示した結果からも確認できる。

3.2 Z座標の計測精度

Z座標の計測精度の検証にはカメラとの距離が既知の位置に角柱を設置し計測することで行った。計測は角柱を変えながら3回行い、角柱の複数箇所計測した結果の最大値と最小値をまとめたものを表-1に示す。実際の距離は1020 mmであり、3回の計測で7%程度の誤差が発生している。Z座標の誤差の原因として、カメラの設

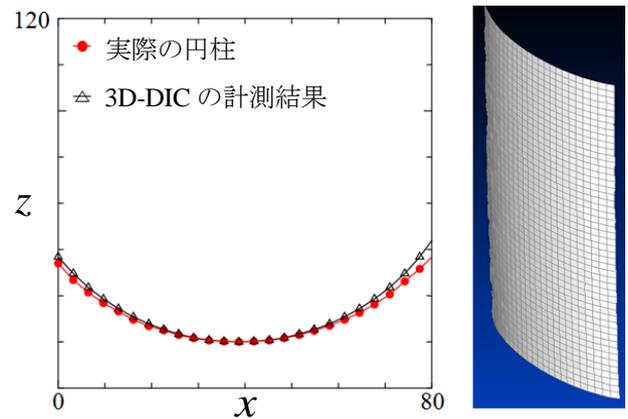


図-3 3次元形状の計測結果

表-1 Z座標の計測結果

回数		3D-DICの結果	誤差%
1	最大値	949.3 mm	7.1
	最小値	948.7 mm	7.2
2	最大値	951.2 mm	6.9
	最小値	950.7 mm	7.0
3	最大値	950.2 mm	6.9
	最小値	949.6 mm	7.0

置段階で平行に置かれるはずの2台のカメラに角度のズレが生じてしまい、図-1で示したような理想的な三角形を形成していなかったことが考えられる。

4. おわりに

本研究ではステレオマッチングを用いた3D-DIC手法の開発を行い、3次元形状、Z座標の計測精度の検証を行った。その結果、3次元形状を精度よく計測できたが、Z座標の計測結果に誤差がみられた。この誤差はカメラの設置方法が主な原因であると考えられる。今後は設置方法の改善を行い、円柱供試体の破壊挙動の計測と可視化を行う。

参考文献

- 1) 車谷麻緒, 邊見哲一, 小塚祐輔, 橋口和哉: コンクリート供試体の圧縮試験に対するデジタル画像相関法の計測精度に関する基礎的研究, 土木学会論文集A2(応用力学), 73巻, 2号, pp.447-454, 2017.
- 2) 畝田道雄, 戸島幹夫, 佃善彦, ステレオ方式三次元形状計測法を併用したデジタル画像相関法による鉄筋コンクリート構造物のひび割れ発生検知手法の研究, 日本機械学会論文集(C編), vol78, pp.3483-3494, 2012.