

3D-DIC によるコンクリート供試体の変位計測精度に関する検討

茨城大学 学生会員 ○橋口和哉
 茨城大学 学生会員 会田涼太
 茨城大学 正会員 車谷麻緒

1. はじめに

近年、流れ場の計測や材料に生じる変形・ひずみなど、目視では測ることができない現象を、定量的に計測・可視化する手法として、デジタル画像を利用した画像解析手法が注目され、研究開発が進められている。

画像解析の代表的な手法の1つであるデジタル画像相関法 (DIC) は、計測物の撮影画像のみを用いて計測を行うことが可能であるため、その計測システムの簡便さや汎用性の高さから、様々な分野で幅広く用いられている。DIC は、画像中の計測物の輝度値がランダムに分布していることを利用しており、主に物体表面の変形計測に用いられることが多い。そのため、DIC を用いて金属や木材、コンクリートといった様々な材料の変形・ひずみ計測を行い、損傷評価や破壊挙動の検討に適用されている。

しかし、DIC をはじめとする画像解析手法の多くは、撮影画像といった平面 (2次元) 情報を用いて計測を行うといった特徴から、計測結果も平面内に限られてしまうといった課題がある。そのため、3次元形状を有する計測物や、カメラの奥行き方向 (z 方向) への変形を生じる計測物へ適用することができない。

そこで本研究では、DIC の課題である3次元計測を可能にするために、写真測量の分野で用いられている三角測量の原理に基づいた3次元計測手法に注目し、その手法に DIC を組み合わせた3次元画像相関法 (3D-DIC) を用いて3次元計測を行った。本研究での3D-DIC 手法は、著者らが独自に開発した DIC 手法¹⁾に、ステレオマッチング²⁾と呼ばれる3次元計測手法を付与することで3次元計測を可能にしている。そして、提案する3D-DIC 手法の計測精度を示すために、計測物の z 方向変位並びに3次元形状の計測を行った。さらに、3D-DIC を円柱コンクリート供試体の圧縮試験に適用し、ひずみ分布を計測し、ひび割れ進展挙動の可視化を試みる。

2. 3D-DIC 手法

本研究での3D-DIC 手法は、筆者らの開発した DIC 手法¹⁾とステレオマッチング²⁾を組み合わせることで3次元方向の変位を計測している。

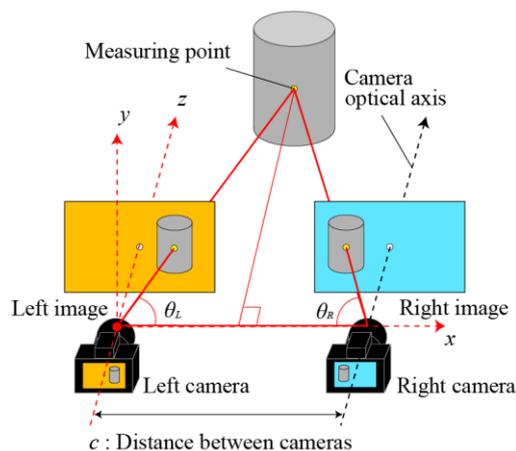
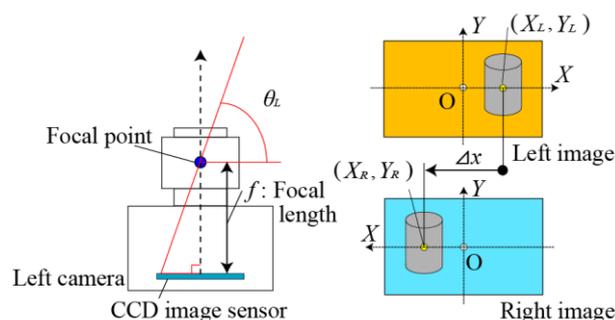


図-1 3D-DIC の3次元座標系

図-2 デジタル画像座標系と角度 θ の概要

2.1 ステレオマッチング

ステレオマッチングとは、左右の異なる位置におけるカメラの画像間で撮影物がずれて写ることを利用して、三角測量の原理を用いてカメラと撮影物との z 方向距離を計測する手法である。3D-DIC の計測システムの概略を図-1、図-2 に示す。ここで、3次元座標系を左カメラの焦点位置を原点とする x - y - z 座標軸、左右画像におけるデジタル画像内の平面座標系を画像の中心を原点とする X - Y 座標軸と定義する。デジタル画像座標系の x 軸は、図-1 に示す三角形の内側を正として定めている。

本手法では2台のカメラの角度を平行に設置する方法で計測する。2台のカメラの焦点位置と計測点を結んだ三角形において、角度 θ 及びカメラ間距離 c が求まれば、三角測量の原理により次式で z 方向距離を求めることができる。

キーワード 3D-DIC, デジタル画像相関法 (DIC), ステレオマッチング, コンクリート, 圧縮試験

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

$$z = \frac{c \sin \theta_L \sin \theta_R}{\sin(\theta_L + \theta_R)} \quad (1)$$

(1)式で用いる角度は、図-2に示すカメラと光線の幾何関係を用いて次式により求めることができる。

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

ここで、 f は焦点距離、 X_L は図-2に示す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DICを用いて探索を行う。得られた X_R から(2)式と同様にして θ_R を求め、(1)式によりz方向距離を求めることができる。

3. 3D-DICの計測精度検証

3D-DICの計測精度を確認するため、3次元形状及びz方向変位の計測を行った。そして、最後に円柱供試体の圧縮試験を3D-DICによって計測し、その3次元形状と発生したひび割れを可視化した結果を示す。

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は、直径100mmのコンクリート円柱供試体を用いて、3D-DICによる円柱の側面のカーブの計測結果と直径100mm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比較結果と計測結果を立体的に表示した図を図-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方向変位の計測精度

z方向変位の計測精度の検証には、角柱供試体をz方向に並進移動が可能な変位ステージに取り付け、0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mmのz方向変位を与えて計測を行い、変位計との計測値と比較することで行った。結果をまとめたものを表-1に示す。結果は誤差5.0%以下であり、0.05 mm程度の計測精度であることが確認できた。

3.3 圧縮試験のひび割れの可視化

最後に、コンクリート円柱供試体の圧縮試験に対して、3D-DICを適用して最大主ひずみの分布を計測し、発生したひび割れの進展を可視化した結果を示す。図-4に破壊直前の撮影画像と各Stepでの可視化結果を示す。撮影画像からは目視で確認することができないひび割れの進展を計測することができており、3D-DICによって、形状が3次元的な計測物でも、微小なひび割れの計測・可視化が可能であることを示している。

4. おわりに

3D-DICの計測システムの構築を行い、3次元形状とz方向変位の計測精度の検証を行った。加えて、3次元形状を有しているコンクリート円柱供試体の圧縮試験を3D-DICで計測し、発生したひび割れを可視化すること

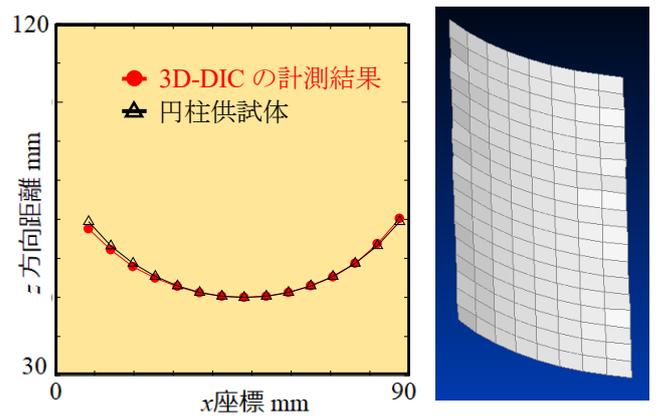


図-3 3次元形状の計測結果

表-1 z方向変位の計測結果

変位計 mm	3D-DIC 計測値 mm	誤差 %
0.5	0.503	0.6
1.0	1.05	5.0
1.5	1.52	1.3
2.0	1.99	0.5

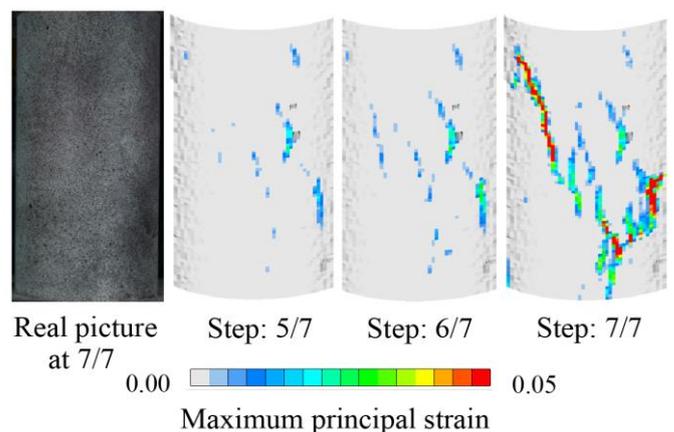


図-4 撮影画像と可視化結果

ができた。今後の予定は、z方向変位の計測精度をさらに向上させていくことと、z方向変位により面内の変位・ひずみの計測結果に、計測誤差として潜在してしまうひずみ値を明らかにし、その補正方法を検討することである。

参考文献

- 1) 車谷麻緒, 邊見哲一, 小坪祐輔, 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検討, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.73, No.2 (応用力学論文集 Vol.20), I_447-I_454, 2017.
- 2) デジタル画像処理編集委員会, デジタル画像処理, pp. 318-325, 2015, 画像情報教育振興協会.