

画像相関法におけるひずみ計測精度のばらつきに関する基礎的研究

茨城大学 学生会員 ○龍頭 正幸 茨城大学 学生会員 会田 涼太
茨城大学 学生会員 橋口 和哉 茨城大学 正会員 車谷 麻緒

1. 研究の背景と目的

近年、材料の破壊挙動やひずみを算出する手法の一つとして、画像解析手法が用いられる。この手法では、画像範囲内の表面全体でひずみを算出できるため、局所的な測定しか行えなかったひずみゲージに代わる手法として注目されている。主な画像解析の手法として、デジタル画像相関法が挙げられる。

デジタル画像相関法(以下 DIC と表記)は、デジタルカメラで撮影した変形前後の画像を用いて、模様の変化から変位とひずみを算出する手法である。本手法はデジタルカメラと解析用 PC があれば測定可能であり、試験体材料の性質にも依存しないため、環境に依存せずに試験を行うことができる。しかし、いくら計測器が発達しても計測結果からは誤差は生じるため、DIC の計測精度は継続的に管理・分析する必要がある。

車谷ら¹⁾の研究では、コンクリートの圧縮試験から、ひずみゲージによる計測値と、DIC による計測値を比較し、DIC におけるひずみ計測条件の違いによる計測精度を検討した。しかし、この手法では画像相関法は供試体の表側、ひずみゲージは供試体の裏側で計測しているため、これらのひずみは厳密には一対一に対応しない比較となってしまっている。それは、ひずみ計測精度に誤差伝播され、またひずみ計測精度のばらつきにも影響を及ぼしている可能性がある。

そこで本研究では、ひずみを与えない条件下で DIC ひずみ計測を行い、そのひずみ分布を求めることで、DIC の解析条件がもたらすひずみ計測精度のばらつきを調査することを目的とする。

2. デジタル画像相関法(DIC)

2.1 DIC の原理

本研究で用いる DIC は、画像の模様パターンの類似度を相互相関で評価し、変位量を算出する方法である。本手法では、画像を検査領域と呼ばれる小領域ごとに

分割し、変形前画像の検査領域の模様パターンが、変形後画像のどの位置に移動したかを、次式に示す相互相関関数 R を用いて算出する。

$$R(\Delta X, \Delta Y) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{f(X_i, Y_j)\} \{g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y)\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{f(X_i, Y_j)\}^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y)\}^2}} \quad (1)$$

ここで、変形前画像の模様分布を $f(X_i, Y_j)$ 、変形後画像の模様分布 $g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y)$ 、 N は 検査領域の一辺の長さを表す。 $(\Delta X, \Delta Y)$ は元の検査領域の位置からの移動量を表し、検査領域の周辺の取りうる移動量すべてで計算を行い、それぞれの移動量における相関値 R を算出する。

これにより得られた相関値は 0~1 の範囲をとり、 R が 1 に近いほど画像の模様パターンが類似していることを示す。式(1)で得られた R が最も 1 に近い値を示す時の $(\Delta X, \Delta Y)$ をその検査領域の変位量とする。この流れを計測対象全域で行い、得られた変位量 u_e と四角形状関数である B マトリックス B_e を用いた式(2)変位-ひずみ関係式から、ひずみ ϵ_e を算出する。

$$\epsilon_e = B_e u_e \quad (2)$$

2.2 検査領域の並べ方

検査領域の配置方法として、重複なしで隙間なく並べる方法と、半領域ずつ重複させて並べる方法の 2 種類がある。

重複なしで並べる場合、検査領域と同じサイズの要素が定義される。この方法は検査領域と定義される要素の大きさが同じになるため、計測点は多く取ることができない。ただし、模様パターンが独立しているため、誤ベクトルを取りにくくなり、変位の計測精度が良い傾向がある。

対して半領域ずつ重複させて並べる方法は、検査領域の 1/2 サイズの要素が定義されるため、計測点が多く取ることができる。しかし、重複している分模様パター

キーワード デジタル画像相関法, 検査領域, ひずみ計測精度, 誤差伝播

ンの独立性が低下するため、変位の誤ベクトルを取りやすくなり、変位の計測精度が落ちる。

3. 鉛直ひずみ計測試験および解析条件

本試験では、カメラの撮影面と試験体平面を平行にし、試験体を鉛直方向に 0.1 mm, 0.5 mm, 1.0 mm に変位させた。このように荷重を受けていない状況を作ること、ひずみが 0 となる条件にて撮影を行うことができる。この方法を用いて、DIC で計測したひずみと理論値ひずみ 0 を比較した。比較手段として鉛直ひずみの標準偏差と鉛直ひずみの確率分布曲線を用いた。

撮影用デジタルカメラは Nikon D5500(2416 万画素)を使用した。また撮影面の明度を一定にするために、LED 投光器をデジタルカメラの左右に設置した。解析条件は検査領域の大きさ 100×100, 200×200, 400×400 pixel のものをそれぞれ検査領域の重複あり・なしの計 6 パターンにて行った。

4. 試験結果

図-1, 表-1 に検査領域の大きさによるひずみ計測精度のばらつきの違いをみるため変位 0.1 mm で固定して比較した結果を示す。また、変位ごとでも同様に比較するために検査領域 100×100 pixel の結果を図-2, 表-2 に示す。図-1, 表-1 から、検査領域が大きいほど標準偏差が小さくなりひずみ計測精度のばらつきが小さくなっていることが確認できた。また、図-2, 表-2 から、変位が小さいほど標準偏差が与えるひずみ精度のばらつきが小さくなることが確認できた。さらに、図表全体を通じて、検査領域の重複なしで解析を行った方が重複ありに比べ標準偏差が小さくなっており、ひずみ計測精度のばらつきが小さくなっていることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、ひずみを与えない条件下で DIC ひずみ計測を行い、そのひずみ分布を求めることで、DIC の解析条件がもたらすひずみ計測精度のばらつきを調査した。

その結果、検査領域の大きさ・並べ方と変位量の大きさはひずみ精度のばらつきに影響を及ぼすことが確認できた。

表-1 変位 0.1 mm の鉛直ひずみ標準偏差

	N=100	N=200	N=400
重複なし	1.85×10^{-4}	1.07×10^{-4}	8.72×10^{-5}
重複あり	2.81×10^{-4}	1.23×10^{-4}	9.67×10^{-5}

表-2 検査領域 100×100 pixel の鉛直ひずみの標準偏差

	0.1 mm	0.5 mm	1.0 mm
重複なし	1.85×10^{-4}	2.24×10^{-4}	2.70×10^{-4}
重複あり	2.81×10^{-4}	3.34×10^{-4}	4.14×10^{-4}

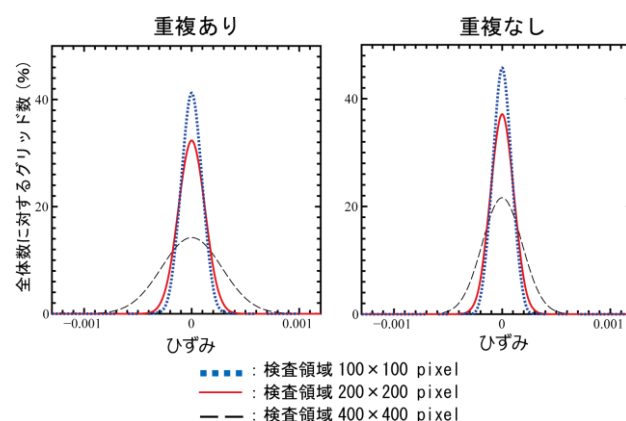


図-1 変位 0.1 mm の確率分布曲線

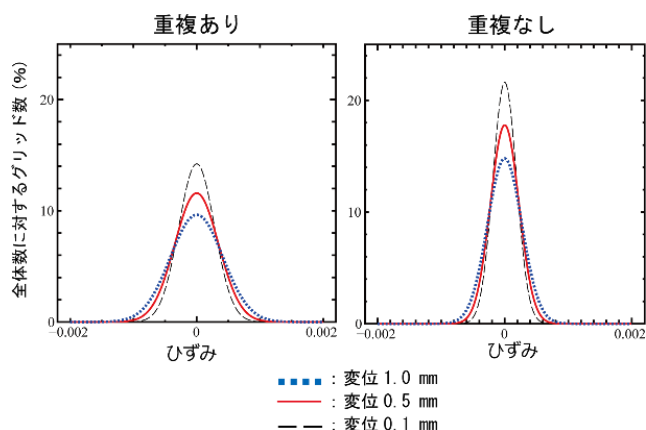


図-2 検査領域 100×100 pixel の確率分布曲線

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) 一般社団法人 可視化情報学会 (編): PIV ハンドブック 第2版, 森北出版, 2002.