

# デジタル画像相関法を用いたひずみ計測精度の比較

朝倉 悠太<sup>\*1</sup> 佐藤 満<sup>\*2</sup> 及川 秀行<sup>\*3</sup>  
*Asakura Yuta Sato Mitsuru Oikawa Hideyuki*

非接触で変位やひずみの分布が計測可能なデジタル画像相関法 (Digital Image Correlation) を用いて、静ひずみ計測および 1Hz の sin 波の変動荷重を与えた際の動ひずみ計測を実施し、デジタル画像相関法とひずみゲージとの精度を比較したので紹介する。

キーワード：デジタル画像相関法 (DIC)、ひずみ分布計測、非接触、画像解析

## 1. はじめに

デジタル画像相関法 (Digital Image Correlation、以下 DIC 法と記載)とは、試験体表面に塗装された白と黒から構成されるスペckルパターンを撮影することで、荷重負荷後の試験体表面の変位やひずみ分布を画像解析から算出する手法である<sup>(1)</sup>。DIC 法はひずみ分布をカラーコンタで表示できるため、視覚的にひずみの大きい箇所を特定することができる。また、非接触での計測のため、ひずみゲージでは計測が難しい高温環境下のひずみ計測に適用可能な技術として注目されている<sup>(2)</sup>。しかしながら、DIC 法はひずみゲージとは異なり、カメラでの撮影のため、床面からの振動やライティングなどの環境条件の影響を受けることから、ひずみゲージと比較して精度が劣る可能性がある<sup>(3)</sup>。今回は、引張試験機を用いた静ひずみおよび動ひずみ計測を実施し、ひずみゲージとの誤差を比較したので紹介する。

## 2. 実験方法

### 2.1 静ひずみ計測

引張試験では、JIS 1B 号試験片 (材質 SCM440、標点距離 200mm、幅 25mm、厚さ 3mm) および疲労試験機 (型式：EHF-ED10-20L) を使用した。試験片中央の幅 25mm、長さ 30mm の範囲にスペckルパターンを塗装し、単軸ひずみゲージ (ゲージ長 2mm) をスペckルパターンの上下に貼付けた。図 1 に試験片の塗装部を示す。DIC には、カ

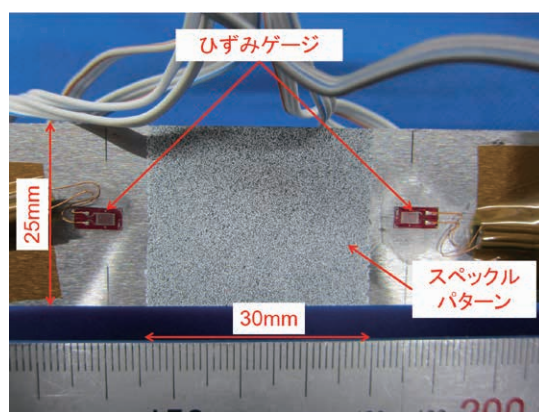


図 1 試験片塗装部

\*1：計測事業部 計測技術部 磯子グループ 一般計量士 環境計量士 (騒音・振動関係)  
 \*2：計測事業部 計測技術部 磯子グループ 課長  
 \*3：計測事業部 計測技術部 福浦グループ 次長

メラ1台を用いた面内のひずみ分布が計測可能な Correlated Solutions 社製の VIC-2D コリレーションシステムを使用した。図2にDIC装置設置時の全体を示す。DICシステムは、カメラ、レンズ、光源および制御PCから構成される。



図2 DIC装置設置全体

試験条件として、試験荷重は、図3に示すようにプリロードを2kNとし、6~32kNまでステップ状に増加させた。DICの視野範囲は約42×35mm(分解能0.017mm/pixel)、フレームレートは2fps(1秒間に2frame撮影)とし、各荷重につき100frame(50秒間)撮影した。

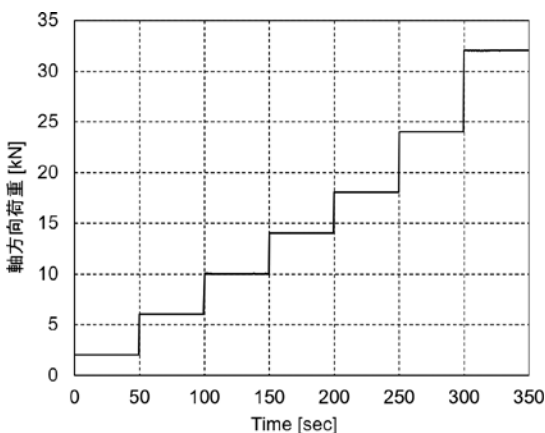


図3 荷重負荷パターン

## 2.2 動ひずみ計測

2.1節で使用した試験片および試験機を用いて、変動荷重を与えた試験を実施した。試験条件として、DICの視野範囲は約72×60mm(分解能0.029mm/pixel)、フレームレートは10fpsとした。データロガーのサンプリングレートは50Hzとした。試験機変位は、図4に示すように、±0.5mmの変位を1Hzのsin波で10波与えた。

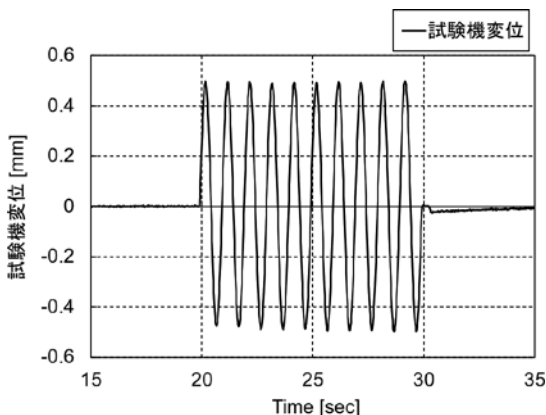


図4 試験機変位パターン

## 3. 試験結果

### 3.1 静ひずみ計測結果

図5にDICの軸方向ひずみの時刻歴、図6に32kN時の軸方向ひずみの時間変化を示す。DICのひずみ値は、図7に示すように、ひずみゲージの

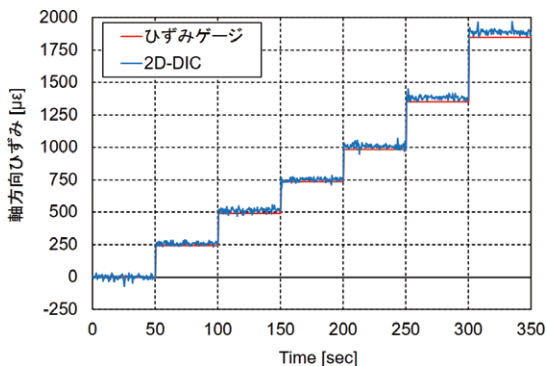


図5 DICの軸方向ひずみの時刻歴

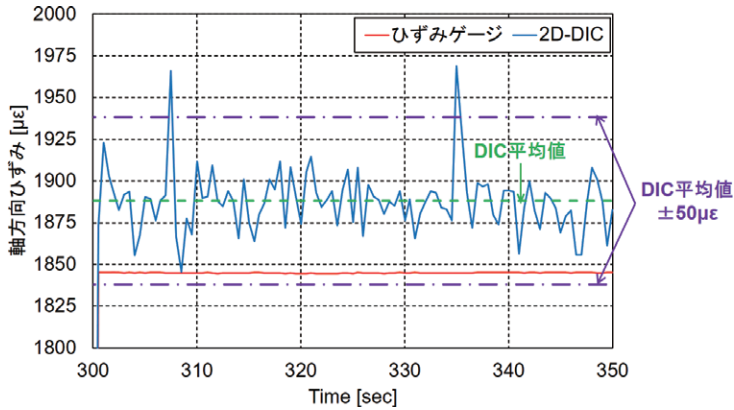


図6 荷重32kN時におけるDIC軸方向ひずみの時間変化

受感部面積 ( $2 \times 1.5\text{mm} = 3\text{mm}^2$ ) と同等の面積の平均ひずみ値とし、ひずみゲージ値はスペクルパターン上下2枚の平均値とした。また、DICでは初期の軸方向ひずみのドリフト分を補正するため、各計測点のひずみ値は、無負荷(プリロード2kN)時の100frame(50秒間)の平均ひずみ値との差をとった値とした。図6からDICのひずみ値はひずみゲージとは異なり、時間的に変動することがわかる。本結果では、100frame(50秒間)の平均ひずみ値から $\pm 50\mu\epsilon$ 程度の変動で計測できた。図8に各荷重において、100frame(50秒間)の平均軸方向ひずみ値を用いて、ひずみゲージとDICとを比較した結果を示す。理論値とは、試験機荷重、試験片断面積(幅25mm×厚さ3mm)およびヤング率210GPaを用いて算出したひずみ値である。図8から、DICの結果はひずみゲージ値や理論値とほぼ同等の結果が得られた。具体的には、荷重6kNでは、DICで258 $\mu\epsilon$ 、ひずみゲージで246 $\mu\epsilon$ であり相対誤差は5%、荷重18kNでは、DICで1009 $\mu\epsilon$ 、ひずみゲージで982 $\mu\epsilon$ であり相対誤差は2.8%、荷重32kNでは、DICで1888 $\mu\epsilon$ 、ひずみゲージで1845 $\mu\epsilon$ であり相対誤差は2.3%であった。このことから、約2000 $\mu\epsilon$ 以下のひずみ計測では、5%以内の誤差で計測が可能であることを確認した。

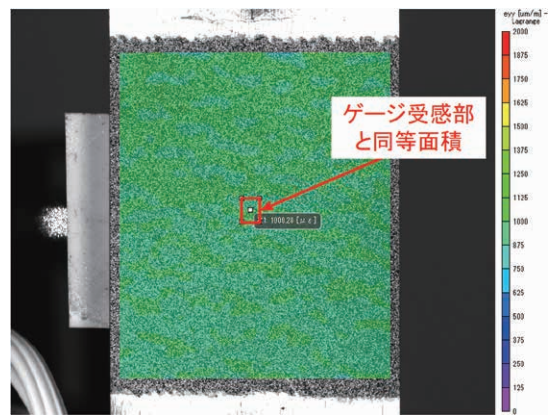


図7 DICひずみ算出面積

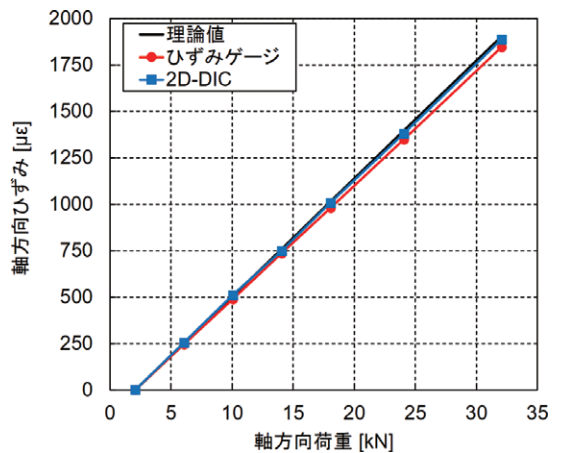


図8 各荷重におけるひずみゲージとDICの平均軸方向ひずみ比較結果

### 3.2 動ひずみ計測結果

図9に試験機変位 -0.5mm、0mm、+0.5mm のときの軸方向ひずみ分布の例、および、図10に2枚のひずみゲージの平均値とDICから算出した軸方向ひずみ値の時刻歴を示す。図9に示した通り、±0.5mmの最大変位時の軸方向ひずみ分布はコンタの色にほぼ差がなく、解析範囲全体でほぼ一様に計測できていることを確認した。図10に示した通り、ひずみゲージとDICで軸方向ひずみのピーク値はよく一致していることがわかる。表1にDICとひずみゲージの10波のピークの平均値

およびDICとひずみゲージの差の二乗平均平方根 (Root Mean Square、以下 RMS と記載) をまとめた表を示す。RMS は以下の式より算出した。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (\varepsilon_{di} - \varepsilon_{gi})^2} \quad (1)$$

ここで、 $N$  はデータ数、 $\varepsilon_{di}$  は DIC の計測値、 $\varepsilon_{gi}$  はひずみゲージの計測値である。データ数  $N$  は 10 波より  $N=10$  とした。この表から、DIC はひずみゲージと比較して  $30\mu\text{e}$  以下の RMS であったことから、ひずみゲージの値と比較して約 2% の RMS で計測できた。したがって、今回の計測では、前

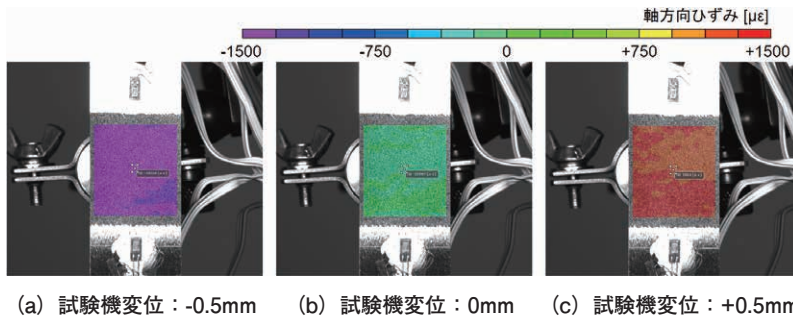


図9 各試験機変位における軸方向ひずみ分布

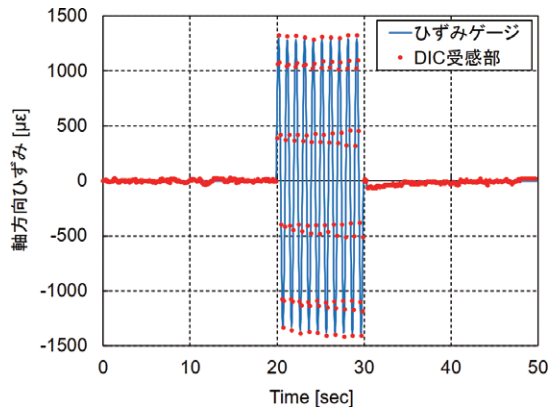


図10 軸方向ひずみの時刻歴

表1 10波のピークの平均軸方向ひずみ値比較

試験機変位 [mm]	ひずみゲージ [μe]	DIC [μe]	平均 RMS [μe]
+0.5	1286	1311	27
-0.5	-1367	-1387	22

述の静ひずみ計測とほぼ同様の精度で計測が可能であった。このことから、DIC は計測可能なサンプリングレートが低いものの、1Hz 以下の低周波数の振動では、ピークの傾向を計測できる可能性があることを確認した。本計測では、使用したカメラのフレームレートが最大 10fps のため、1Hz 以下の試験に制限される。しかしながら、ハイスピードカメラを用いることでより高い周波数の試験にも対応できる可能性がある。

#### 4. まとめ

DIC 法の静ひずみおよび動ひずみ計測の精度について、JIS 1B 号試験片を用いた引張試験から DIC とひずみゲージとの計測結果を比較した。その結果、DIC のひずみゲージ受感部と同等面積における荷重軸方向の平均ひずみは、約 5% 以内の誤差で計測可能であることを確認した。また、1Hz の sin 波の変動荷重を与えた試験における動ひずみ計測においても、最大変位時のピークの軸

方向ひずみ値がひずみゲージと比較して約 2% の RMS で計測可能であることを確認した。

このことから、DIC はひずみゲージとほぼ同等の精度でひずみを計測できることを確認した。今後は、300℃ 程度を目標とした高温環境下でのひずみ分布計測技術の確立に注力していく予定である。

#### 参考文献

- (1) 朝倉悠太、及川秀行：デジタル画像相関法によるひずみ計測技術の紹介、IIC REVIEW、No.65、2021/04、pp.77-79
- (2) 禹明勳：デジタル画像相関法による高温環境下の変位・ひずみ分布計測、第 51 回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム講演論文集、2020、pp.1-4
- (3) 朝倉悠太、及川秀行：デジタル画像相関法を用いたひずみ分布計測、IIC REVIEW、No.64、2020/10、pp.46-51



計測事業部  
計測技術部 磯子グループ  
一般計量士 環境計量士(騒音・  
振動関係)

朝倉 悠太

TEL. 045-759-2085

FAX. 045-759-2119



計測事業部  
計測技術部 磯子グループ  
課長

佐藤 満

TEL. 045-759-2085

FAX. 045-759-2119



計測事業部  
計測技術部 福浦グループ  
次長

及川 秀行

TEL. 045-791-3518

FAX. 045-791-3541