

## 局所損傷を有する構造部材の性能評価に向けた画像ひずみ計測の適用とデータ同化

筑波大学大学院 学生会員 ○佐藤 開  
筑波大学 正会員 西尾 真由子

### 1. はじめに

老朽化が進む既存橋梁の耐荷性能評価のため、センシングで得る応答から実際の劣化損傷状態を反映する数値解析モデルを構築して用いるデータ同化を考える。ひずみゲージや加速度センサなどを用いた構造モニタリングに関する既往研究は多数あるが、その多くの場合で取得データは構造物の全体的な応答である。一方で、例えば鋼製桁橋の耐荷性能は桁端部の腐食など局所的な損傷が影響していることが指摘されており<sup>1)</sup>、このような実構造物で耐荷性能解析を行うには局所的な劣化損傷の影響のセンシングが必要である。解決方法の一つとして非接触で高密度にひずみ分布を計測できる画像計測法で、各分野で適用例も多いデジタル画像相関法(以下 DIC)が挙げられる。本研究では局所損傷を有する構造部材を模擬した鋼製平板供試体を製作し、DICにより引張試験のひずみ分布計測を行った。また、計測したひずみ分布をもとに数値解析モデルのパラメータ推定に取り組み、局所損傷を有する構造部材の耐荷性能評価に DIC で取得するひずみ分布でのデータ同化が有効であるか検証した。

### 2. デジタル画像相関法

デジタル画像相関法(DIC)は、スペックルパターンと呼ばれる模様を施した構造物の表面をカメラで撮影し、その画像をサブセットと呼ばれる小領域に分割しその移動量を相互相関関数により算出することで、供試体の変位及びひずみを計測する手法である。本研究では、Matlab で動作するフリーウェアの MultiDIC<sup>2)</sup> を用いて計測を実施した。DIC では、サブセットのサイズを大きくして間隔を短くするとひずみの分散誤差が低減され高い計測精度が得られるが、計算負荷も増加するうえ、ひずみ分布の過剰な平滑化により定常誤差が増え局所損傷の評価が困難となる<sup>3)</sup>。また、スペックルパターンや撮影条件も精度や解像度に影響を与える重要な因子である。本研究の実験では事前検討によって、サブセット半径 30 px, サブセット間隔 10 px として検証を行った。

### 3. 鋼製部材引張試験と有限要素モデルの概要

本研究では鋼構造部材の応答における局所損傷の影響を評価するため、平板部材の供試体と引張試験装置を製作して実験を行った。引張試験装置の外観を図-1 に示す。試験装置は供試体を設置する鋼製フレームに油圧ジャッキとロードセル、変位計測用のレーザー変位計が設置されており、手動で静的载荷を行う。また、供試体の上部 1.0 m に DIC 計測用の CMOS カメラ (510 万画素, レンズ焦点距離 35 mm, 解像度 2592×2048 px, 分解能約 0.13 mm/px) を供試体中央から 15 cm 離して左右 2 個設置した。供試体の外観を図-2 に示す。供試体は寸法が長さ 300 mm, 幅 250 mm, 厚さ 3.2 mm の SPCC の板材の左右を SS400 のアダプタで上下から挟み込み, SCM435 製の φ12 段付きボルト 22 個で試験機に固定する構造である。赤丸部分のボルトを 3 個撤去することで境界条件の変状を模擬した。供試体表面にスプレー塗料で黒色の下地と白色のスペックルパターンを塗装した。裏面にはひずみゲージ (ゲージ長 2mm) を引張方向に 10 点貼り付け, DIC 計測との妥当性を検証できるようにした。

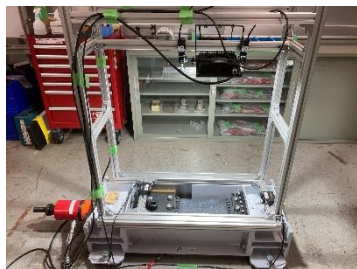


図-1 引張試験装置

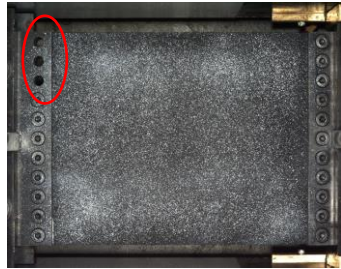


図-2 境界条件変状供試体 表面

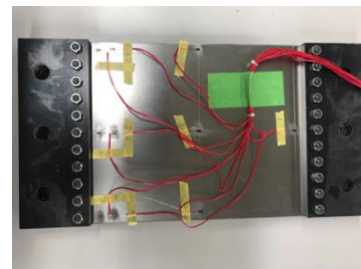


図-3 供試体裏面

キーワード 鋼部材 局所損傷 デジタル画像相関法 ひずみ分布計測 有限要素モデル データ同化

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 TEL 029-853-6192

#### 4. ひずみ分布計測結果と考察

図-4 に約 80 kN 載荷時の DIC 計測による相当ひずみの計測結果と荷重—変位関係および荷重—軸ひずみ関係を示す。図-5 に FEM 解析結果を示す。FEM は汎用の有限要素解析ソフト Abaqus を利用しモデルの作成と解析を行った。モデルの総要素数は 539103 要素で、諸元を表-1 に示す。解析ではアダプタの左端に 1.0 mm の強制変位を導入し、右端を完全固定して荷重を作用させた。またボルトには軸力は与えずリベットとしてモデル化し、すべての接触面に摩擦係数 0.05 を与えた。赤丸に示す部分がボルト撤去により境界条件変状を模擬した部分である。ひずみ分布とその部分に設置したひずみゲージを比較すると、ボルトを撤去した部分のひずみ(ひずみ 7,10)は軸力が作用しないためほぼ  $0 \mu$  で推移していることが分かる。また、相当ひずみ分布はスペックルパターンやカメラの解像度などの撮影条件のため値が振動しているが、FEM の応力分布と分布形状はおおむね符合していることが分かる。これらの結果を踏まえ、モデルのヤング率、ポアソン比、板厚や接触面の摩擦係数について不確定性定量化をおこなうため事後分布の推定を行う。ここではひずみ分布に対する各パラメータの感度解析を行ったうえで、事後分布を推定して部材の耐荷力を損傷状態の不確定性を考慮したうえで評価するデータ同化を検証する。

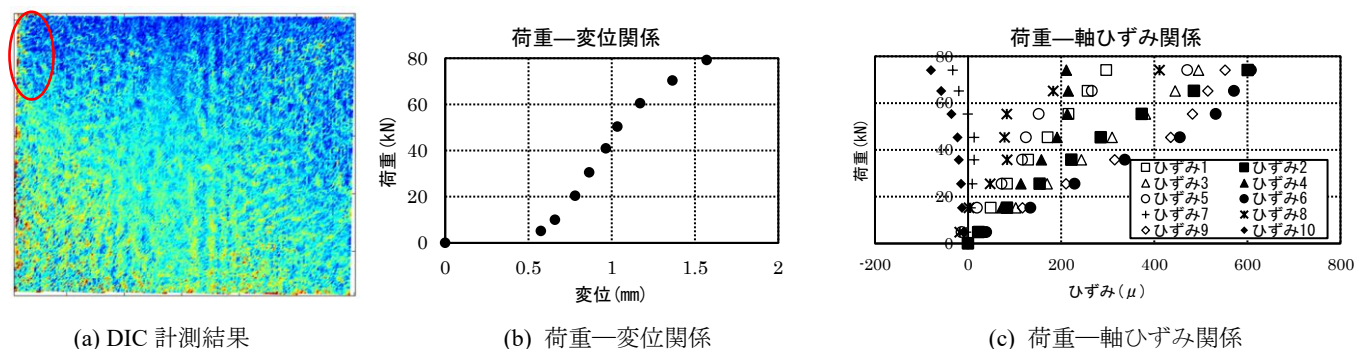


図-4 境界条件変状供試体の引張試験結果

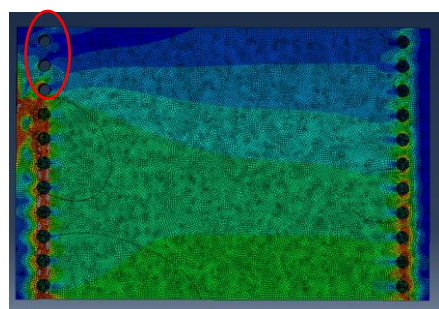


図-5 FEM 解析結果

表-1 解析モデル 諸元

	材質	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	降伏応力 (MPa)	要素	要素数	構成則
供試体	SPCC	206	0.3	200	6 面体 1 次非適合	60426	完全弾塑性
アダプタ	SS400	206	0.3	245		16698	
ボルト	SCM435	210	0.28	785	4 面体 1 次非適合	21615	

#### 5. 結論

本稿では構造部材の応答における局所損傷の影響をひずみ分布で捉えて評価することを目指し、平板部材供試体の引張試験によって DIC の適用性を検討した。その結果、DIC ではひずみの値が振動する傾向にあったが、部材全体のひずみ分布は FEM 解析と符合することが確認できた。これにより、局所的な境界条件変状による不均一なひずみ分布の計測可能性を認識できた。今後は腐食供試体についても引張試験を行い、局所損傷を有する部材の耐荷力評価のためのデータ同化を行っていく。そしてこのように高密度で得られるひずみ分布の特性が、局所損傷を有する構造部材の性能評価のデータ同化に有効であるか検証する。

**謝辞** 本研究は JST 創発的研究支援事業 JPMJFR205T の支援を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 有村ら: 桁端部に腐食劣化の生じた鋼 I 桁橋の耐荷性能評価に関する解析的検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol73. P232-247, 2017.
- 2) Dana Solav, et al.: MultiDIC: an Open-Source Toolbox for Multi-View 3D Digital Image Correlation, 2018.
- 3) International Digital Image Correlation society: A Good Practices Guide for Digital Image Correlation, 2018.