

マーキングを利用した画像解析による構造物内のひずみ計測方法に関する実験的研究

京都大学大学院 学生員 ○清水 厚佑 京都大学大学院 正会員 北根 安雄
 京都大学大学院 正会員 有馬 博人 京都大学大学院 正会員 五井 良直
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. はじめに

構造物のひずみを計測し、状態把握を行うことは構造物の安全性を確保するうえで重要になる。現在、そのようなひずみ計測の手段としては、ひずみゲージを用いた計測が一般的である。ひずみゲージによる計測は、精度良く計測が行える一方で、計測器への複雑な配線作業が必要になることや、ひずみゲージを直接貼り付けることが出来ないところでは計測が行えないなどの問題がある。それらの問題を解消するために、ひずみゲージに代わるひずみ計測法の一つとして提案されているデジタル画像相関法(DIC)を用いた計測法は、計測に際し、対象物をカメラで撮影し画像を解析するだけで簡易にひずみ計測が行える手法である。この手法を実構造物の点検時に撮影した画像に適用出来れば有効なひずみの計測手法になる。そこで本論文では、DIC によるひずみ計測法の長期計測での利用を想定して、長期保存が可能な刻印のマーキングをターゲットとし、再設置が容易な 1 台のカメラを用いたシンプルな計測システムにより DIC によるひずみ計測を行い、その計測精度を検証した。

2. デジタル画像相関法の原理

画像相関法では、画像の画素一つ一つに座標を与え、変形前後の画像で輝度の相関の高い座標を探索し、画像内の任意の点の移動量を算出する。解析原理としては、まず変形前の画像に対し、任意の点を中心とした任意領域であるテンプレートを指定する。そして、変形前のテンプレートと輝度値分布の相関が高いテンプレートを数値解析で探索し、変形前後の画像においてテンプレートの中心点を追跡することでテンプレートの中心点の変位量、変位方向を求める¹⁾。

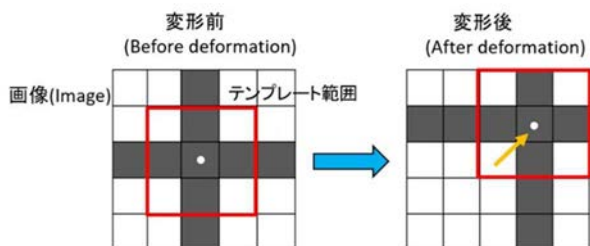


図 2-1 画像相関法の原理

3. 実験

3.1 カメラ再設置による撮影

計測対象部のマーキングは図 3-1 に示すように、大きさ $5 \times 5\text{mm}$ の正方形の 4 隅にマークを施したものをを用いた。この 4 隅のマークの中心をターゲットとして DIC により追跡し、ひずみを算出する。また、図 3-2 に示す $10 \times 10\text{mm}$ のガラス製のルーラーをマグネットでマーキング上に取り付け、ルーラーをマーキングと一緒に撮影することで画素(pixel)から長さ(mm)への換算を行った。

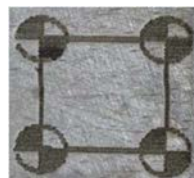


図 3-1 マーキング



図 3-2 ルーラー

実験では、長さ $400 \times$ 断面 $90 \times 16(\text{mm})$ の SS400 鋼材を用いて一軸引張試験を行い、ひずみゲージと DIC の計測値を比較することにより精度の検証を行った。



図 3-3 試験体



図 3-4 試験の様子

試験体の寸法を図 3-3 に示す。試験体の端部から破線部までの 100mm は試験機のつかみ部とした。マーキングは試験体の中心付近に刻印し、ひずみゲージは、ゲージ長 5mm のものをマーキングのすぐ下の位置に設置した。引張試験は、無載荷時から 200kN の範囲で、 20kN 毎の計 11 の荷重段階において、ひずみゲージと DIC の計測をそれぞれ行った。また、カメラの固定が困難な現場での長期計測を想定し、載荷段階ごとにカメラを設置し直して撮影を行った。

計測結果を図 3-5 に示す。DIC 計測値の計測結果はひずみゲージ計測値と比較して大幅にばらつき、大きく計測精

度を欠いた。図 3-6 は、各载荷段階の計測誤差、図 3-7 は初期画像を 1 とした時の各载荷段階の画像の分解能の変化率である。二つのグラフを比べると、誤差と分解能の変化率がよく対応していることが分かる。この結果から、カメラの再設置により撮影間で撮影距離が変化し、画像内のターゲットを構成する画素数が変化すること、つまり、各撮影間で撮影画像の分解能が変化することが計測精度の低下の原因ではないかと考えられる。

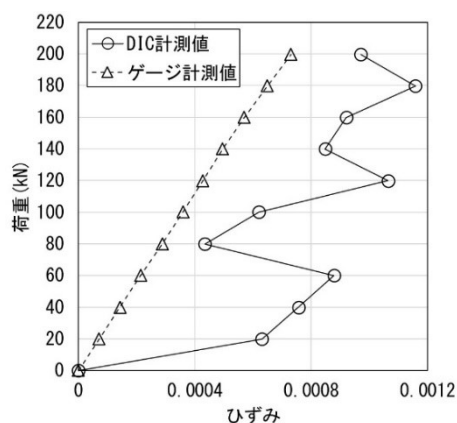


図 3-5 荷重-ひずみ関係

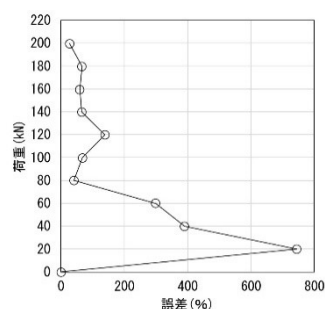


図 3-6 誤差(%)

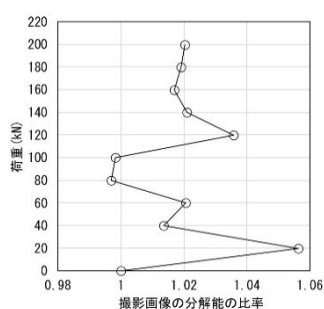


図 3-7 分解能の変化比率

3.2 接写撮影

前節の実験で、撮影毎にカメラを再設置することにより撮影画像間で分解能が変化することが計測精度の低下の原因であると考察した。そこで図 3-8 のように、カメラのレンズ先端に筒状のアタッチメントを取り付け、撮影の度にアタッチメントを試験体と接着させることで撮影ごとのカメラと試験体との距離をほぼ一定に保ち、画像内のターゲットを構成する画素数が大きく変わらないようにする接写撮影を検討し、検証実験を行った。検証実験は前節と同様の試験体と試験方法で、撮影方



図 3-8 接写撮影の様子

法のみを上記した方法に変更して行った。この撮影間でルーラーは常に同じ位置に固定して撮影を行った。また、画像間の明るさを揃えるために、アタッチメントの内部にはテープ状の照明を取り付けて撮影を行った。

得られた荷重-ひずみ関係を図 3-9 に示す。この実験での DIC 計測値は、ひずみゲージ計測値と比較して誤差の平均が 5.6% となり、前節の実験よりも大きく計測精度が改善した。各载荷段階の画像間の分解能の変化率は最大で 0.006 程となっており、前節の実験に比べ画像ごとの分解能の変化も抑えられていた。この結果から、カメラの先端にアタッチメントを取り付け、撮影毎に画像の分解能を大きく変えない接写撮影により、計測精度が改善することが確認できた。

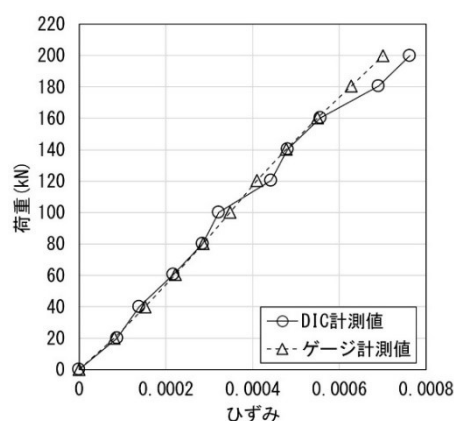


図 3-9 荷重-ひずみ関係

4. まとめ

本論文では、DIC によるひずみ計測法の長期計測での利用を想定して、長期保存が可能な刻印のマーキングをターゲットとし、再設置が容易な 1 台のカメラを用いたシンプルな計測システムによって検証実験を行った。検証実験の結果から、撮影毎にカメラを再設置することにより撮影画像間で分解能が大きく変化することが計測精度低下をもたらす原因と考えられた。そこで、撮影間で分解能を大きく変えない接写撮影による撮影方法を検討し、その検証実験では計測精度の改善が確認できた。しかし、本論文で提案した接写撮影は、計測対象面が平面のものにしか適用できない点や、非接触での計測が可能な画像計測の利点が失われてしまう点などの問題点があり、これらの問題に対して有効な計測方法を更に検討することが今後の課題となる。

参考文献

- 1) 出水享, 松田浩, 戸次翔, 森崎雅俊, 内野正和, 伊藤幸広, 森田千尋; デジタル画像相関法のひずみ計測向上に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.68, No.2(応用力学論文集 Vol.15), pp.I_683-I_690, 2012.