

第 I 部門 各種マーキングを利用した画像解析によるひずみ計測方法に関する実験的研究

京都大学工学部 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課題がある。それらの問題を解消するために、ひずみゲージに代わる計測法の一つとしてデジタル画像相関法(DIC)を用いたひずみ計測法が提案されている。この計測法は、対象物をカメラで撮影し、画像を解析することで特徴点の変位を同定し、その変位からひずみの算出を行う手法である。この手法を実構造物のひずみ計測に用いることが出来れば、構造物の点検において非常に有効なひずみの計測手法になり得る。

本論文では、実構造物の長期計測にも利用しやすい刻印を用いたマーキングやエーミングターゲットとしてシールによるマーキングを試験体に施し、引張試験、圧縮試験、曲げ試験といった荷重状態の違う実験を行い、軸ひずみとせん断ひずみの計測精度を比較、評価し、DIC によるひずみ計測において有効なマーキング方法を検討した。

2. デジタル画像相関法の原理¹⁾

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、図 1 に示すように、任意の点を中心としたテンプレートを指定する。そして、変形後の画像におい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、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を求める。

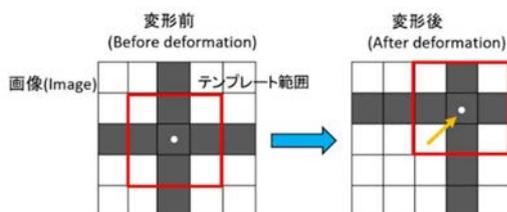


図 1 画像相関法のテンプレート

3. 実験

3.1 引張試験と圧縮試験

3.1.1 マーキング

マーキングは以下の図 2 に示すように大きさ 10mm×10mm の 6 つのマーキングを試した。四分円や同心円のよう明暗や幾何的に特徴のあるマークに加え、情報を入れる用途で用いられる QR コードがひずみ計測のためのマーキングとしても用いることが可能かを検討した。四分円、同心円については、刻印のマーキングに加え、色や線が明瞭に表現できるシールによるマーキングを試し、結果を比較した。また、比較のために画像相関法による計測のマーキングとして一般的に用いられるランダムパターンも試した。

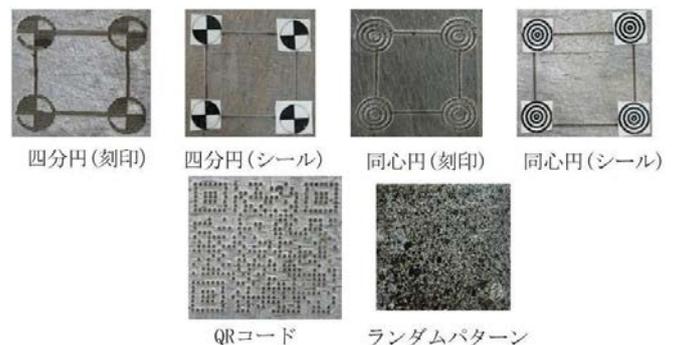


図 2 マーキングの種類

3.1.2 試験体と実験方法

試験体の寸法を図 3 に示す。試験体は SS400 鋼材であり、引張試験と圧縮試験で同じ試験体を用いた。試験体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央付近に施した。計測精度の確認のためにひずみゲージによる計測も同時に行い、その値との比較により精度を確認した。ひずみゲージはゲージ長 5mm のものを使用し、マーキング

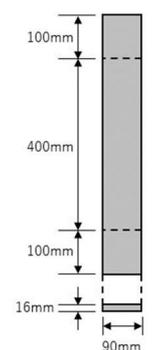


図 3 試験体

のすぐ下の位置に設置した。引張試験と圧縮試験には、MTS 材料試験機(最大荷重 500kN)を用いて行い、引張試験は載荷荷重 0kN~220kN の範囲で 20kN ずつ載荷し、20kN 毎にカメラでマーキングを撮影し、ひずみゲージによる計測を

行った。圧縮試験も引張試験と同様の要領で行った。

3.1.3 実験結果と考察

表1に引張・圧縮試験における各マーキングからDICにより同定したひずみのひずみゲージ測定値に対する計測誤差を220kNまでの平均値で示した。四分円、同心円の刻印とシールのマーキングでは、誤差の平均が4%~10%ほどの範囲の精度で安定して計測が行えており、明暗や幾何的に特徴のあるマークによるマーキングの有効性を確認出来た。また、刻印とシールでは、どちらかの計測精度が良いと言えるほどの差は確認できず、シールに比べ明暗や線を明瞭に表現できない刻印でもマーキングとして効果的に機能しうると考えられる。一方、QRコードは誤差の平均が18%ほどになり、それらに比べ精度を欠いた結果となった。これは、打刻点の集合で作ったQRコードのマーキングが、四分円、同心円に比べ、線や明暗の特徴が少ないことや、打刻点が細かく、それぞれがはっきりとした模様ではないため、载荷ごとの撮影間の時間差における撮影環境(実験室の明るさ等)や撮影条件(カメラのフォーカス等)のわずかな違いでも打刻点の映り方(明瞭度など)が微妙に変わってしまうことなどが画像相関法による計測精度に影響したと考えられる。ランダムパターンは、特に引張試験において計測結果にばらつきがあり誤差が大きくなった。解析時に選んだ任意の追跡点まわりのランダム性の強弱の違いにより、引張、圧縮試験で計測精度に差が出たのではないかと考えられる。

表1 引張・圧縮試験における誤差の平均(%)

	引張試験	圧縮試験
四分円(刻印)	10.7	10.5
四分円(シール)	11.4	8.07
同心円(刻印)	8.17	4.80
同心円(シール)	4.61	9.59
QRコード	18.4	17.8
ランダムパターン	15.1	9.45

3.2 曲げ試験

3.2.1 試験体と実験方法

曲げ試験では、せん断ひずみの計測精度の確認を行った。せん断ひずみの計測には、四分円の刻印と四分円のシールのマーキングを試した。曲げ試験は、図4に示すようなH形断面のSS400鋼材の試験体を用いて行い、長さ500mmの両端から50mmの位置を支点とし、支間中央に载荷する3点曲げ試験を行った。計測精度の確認のためにひずみゲージによる計測も行い、ゲージ長3mmの3軸ゲージ

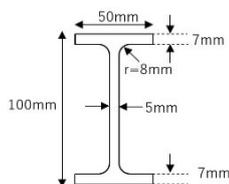


図4 試験体断面

を、マーキングを行った面の裏面のウェブのマーキングの中心と同じ位置に設置した。計測点位置(マーキング位置)と計測点番号を図5に示す。対称性を利用し、左側に刻印によるマーキング、右側にシールによるマーキングを行った。中央荷重を0kN~50kNまでの範囲で10kNずつ载荷し、10kN毎にカメラでマーキングを撮影し、ひずみゲージによる計測を行った。

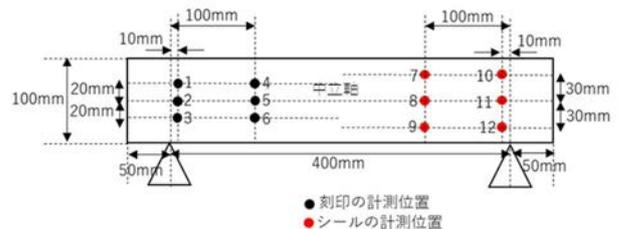


図5 曲げ試験の計測位置と計測点番号

3.2.2 実験結果と考察

表2に各計測点におけるDICにより同定したせん断ひずみのひずみゲージ測定値に対する計測誤差を50kNまでの平均値で示した。刻印の四分円(計測点2~計測点6)では誤差の平均が4%~8%ほどに抑えられ、せん断ひずみにおいてもマーキングの有効性を確認出来た。一方で、シールの四分円(計測点7~計測点12)においては刻印の結果と比べると計測精度を欠いた結果となった。曲げ試験において、試験体の複雑な変形により、シール自体に変形やゆがみなどがあつたのではないかと考えられ、今後その理由を検討する必要がある。

表2 誤差の平均(%)

計測点1	25.9
計測点2	3.97
計測点3	6.30
計測点4	7.83
計測点5	4.18
計測点6	7.11
計測点7	13.5
計測点8	7.84
計測点9	4.61
計測点10	31.4
計測点11	42.8
計測点12	26.1

4. まとめ

本論文では、複数のマーキングに対し、画像相関法による軸ひずみの計測精度を比較、評価し、特に四分円や同心円のマーキングで精度の高い計測結果が得られ、その有効性を確認出来た。また、せん断ひずみの計測も行った刻印の四分円のマーキングでは、せん断ひずみにおいても精度の高い計測結果が確認出来た。

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.