

I-A130

写真測量を用いた鋼材座屈部のひずみ計測

東大生研 正会員 館石和雄
電気化学工業(株) 正会員 荒木昭俊

1. はじめに

鋼材に座屈が生じたときのひずみを、画像解析によって測定することを試みた。市販のデジタルカメラを用いてシステムを構築し、得られた画像データに写真測量の技術を適用することによって、ひずみを定量化する。計測結果をひずみゲージによる測定値と比較することにより、その精度を検証した。

2. 計測システム

計測システムを図1に示す。用いたカメラは市販の一般撮影用デジタルカメラ2台であり、その仕様は表1に示すとおりである。カメラはパーソナルコンピュータに SCSI 接続されており、高速データ転送が可能である他、撮影作業をコンピュータ側から制御することができる。

3. 標定計算および精度の検証

本研究では内部標定要素として、写真中心と主点のずれ、画面距離、レンズディストーションを考慮した。この場合、図2に示す点Pの地上座標 $P(X, Y, Z)$ と、それを撮影した写真上の座標 $p(x, y)$ との間には次の関係がある¹⁾。

$$x = -f \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} + x_p - \bar{x}(k_1 r^2 + k_2 r^4) \quad (1a)$$

$$y = -f \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} + y_p - \bar{y}(k_1 r^2 + k_2 r^4) \quad (1b)$$

ここに、 (X_0, Y_0, Z_0) : 投影中心、 f : 画面距離、 a_{ij} : (ω, ϕ, κ) からなる回転行列、 (ω, ϕ, κ) : (X, Y, Z) 軸まわりの回転角、 (x_p, y_p) : 主点のずれ、 (k_1, k_2) : ディストーション補正のための係数、 $\bar{x} = x - x_p$, $\bar{y} = y - y_p$, $r^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2$, である。

試験体の計測に先立って、地上座標 (X, Y, Z) が既知の検証点を設けたテストモデル(検証点数 23)を撮影し、上式に最小二乗法を適用することによって標定要素を定めた。標定要素計算結果を表2に示す。2台のカメラは同一のモデルであるが、内部標定要素の値は若干異なった結果となった。表3に検証点に対する誤差の平均値を示す。平面方向に 0.04mm 程度の誤差が生じており、これは例えば 5mm の標点距離を想定した場合、0.8%のひずみに相当する。しかしひずみの計算には標点間の相対位置のみが必要であることから、系統的誤差である場合にはその影響が小さくなることも考えられ、この値がそのままひずみの計測結果の精度を表わすものではない。

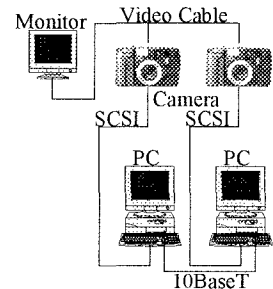


図1. 計測システム

表1. カメラの仕様

撮像素子	2/3inch 単板 有効画素数 130 万
画像サイズ	1280×1000
焦点距離	9.2~25.8mm

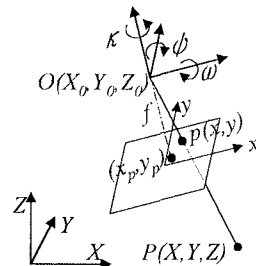


図2. 座標系

表2. 標定結果

	Camera1	Camera2
X_0 (mm)	-126.97	55.84
Y_0 (mm)	-11.18	-10.78
Z_0 (mm)	328.71	352.20
ω (rad.)	0.0111	0.0046
ϕ (rad.)	0.1769	-0.2340
κ (rad.)	-0.0231	-0.0182
x_p (μ m)	-137	-26
y_p (μ m)	177	195
k_1 (mm^{-2})	0.000901	0.000800
k_2 (mm^{-4})	-0.0000206	-0.0000217
f (mm)	16.35	17.69

表3. 誤差の平均値

$X(\text{mm})$	$Y(\text{mm})$	$Z(\text{mm})$
0.031	0.043	0.074

キーワード：写真測量、ひずみ、座屈

連絡先：〒106-0032 港区六本木 7-22-1 TEL.03-3402-6231 FAX.03-3470-0759

4. 試験体のひずみ計測

試験体は幅 25mm，厚さ 4.5mm の SS400 鋼板である．図 3 に示すように，大ひずみ用ゲージ（ベース長 20mm，ゲージ長 10mm）を貼り付け，それを中心に約 5mm ピッチで円形の標点を設けた．载荷中に随時試験体を撮影し，(1)式を用いて最小二乗法により各標点の 3 次元座標(X,Y,Z)を求めて変位を計算し，さらにそれに変位－ひずみマトリクスを乗じることによりひずみを計算した．なお，ここでは一次の変位関数を仮定した．カメラと試験体との距離は約 28cm である．

図 4 に試験終了後の試験体の形状を示す．ひずみが約 10%程度に達したところでゲージの指示値が不安定となったため，試験を終了した．最終的に鋼板には約 30mm の面外変形が生じていた．また，ゲージ中心位置は座屈の頂部から若干下側に位置している．

図 5 にゲージによるひずみ測定値と写真測量により求めたひずみとの比較を示す．図中の①～④の番号は，図 3 に示す 5mm 四方の領域に対応している．また，図中には①～④の 4 つの領域に対して求められたひずみの平均値もともに示した．

座屈頂部のやや下側にある領域①，②では，写真測量結果はゲージ値よりも小さく，ほぼ座屈頂部にある領域③，④では写真測量結果がゲージ値よりも大きくなっており，合理的な結果となっている．またひずみゲージによる測定値は領域①～④の平均的なひずみを示していると考えられるが，写真測量から求められた①～④のひずみの平均値はゲージによる値とほぼ一致している．図 6 に，写真測量により求められた①～④のひずみの平均値とゲージ測定値との比を示すが，両者はひずみが 0.02 以上からよく一致していることがわかる．ひずみが 0.07 以上では写真測量結果はゲージ値よりも若干小さめとなるが，これは変形が進み標点間の曲率が大きくなるため，領域③，④においてひずみを過小評価するためであると考えられる．しかしその差は小さいことから，座屈などの著しい面外変形が生じる場合においても，写真測量によって実用上十分な精度でひずみを計測することが可能であるといえる．また，写真測量によるひずみ計測は，ひずみゲージ長である 10mm よりも短い標点間のひずみを測定可能であること，ゲージでは測定できない大ひずみも測定可能であることなどの点で，比較的大きなひずみを対象とする場合には極めて有効な手法であるといえる．

参考文献

- 1) 村井，奥田，中村：非測定用カメラを用いた解析的写真測量に関する研究，東京大学生産技術研究所報告，Vol.29, No.6, 1981.

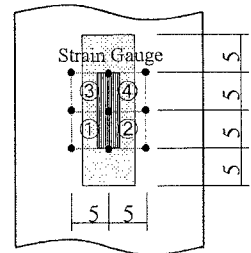


図 3. 標点の配置

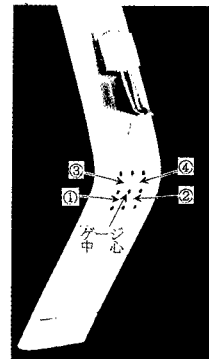


図 4. 試験体の最終変形形状

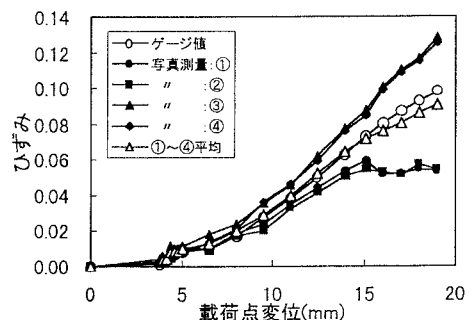


図 5. ひずみ測定結果

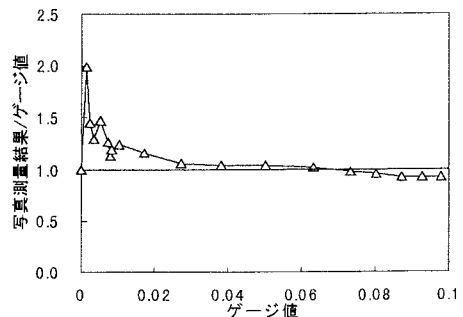


図 6. ひずみの比較