

画像処理による塑性ひずみ及び3次元変形の測定

愛知工業大学 学生会員 ○劉 陽

愛知工業大学 正会員 青木徹彦

1. はじめに

1995年1月に発生した兵庫県南部地震により多くの鋼製橋脚が被害を受けた。その一部には図-1(a)のような隅角部等の形状不連続部におけるひずみ集中部により、脆性破壊または低サイクル疲労と呼ぶ損傷、また図-1(b)のような鋼製橋脚基部の座屈による変形が発見された。鋼構造物の耐震性能向上を目指す上で、低サイクル疲労および座屈発生メカニズムを解明することは重要な課題の一つである。

そのメカニズムを研究する上で、亀裂が発生する場所の周辺のひずみ分布状況を調べ、変形を量的に計測することが重要となる。本研究では、画像処理技術を用いて繰り返し塑性ひずみおよび座屈による変形を把握するための新たに開発した計測システムを述べる。

2. 画像計測方法及び評価

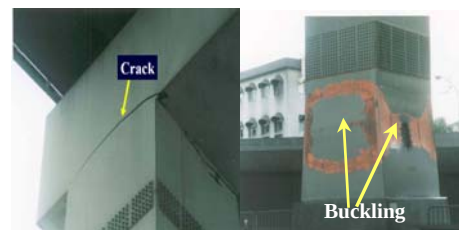
1) 計測方法

計測システムは、デジタルカメラ、画像処理プログラム、実験載荷装置で構成されている。塑性ひずみ及び3次元変形の画像計測の流れを図-2に示す。最初にデジタルカメラにより対象物を撮影し、画像をパソコンに入力する。画像は塑性ひずみ算出のためには1枚、3次元変形を再現するためには最低2枚必要となる。次に、画像を二値化、ノイズ成分除去、ラベリングによって標点の重心の画像座標算出し、各標点間の距離を計算する。変形前後の距離から、各標点間のひずみを求める。立体計測の場合、標点の画像座標を3次元座標変換し、標点の世界座標を計算する。対象物を記録する2つカメラ画像の標点の世界座標により対象物の標点を2次元から3次元へ復元して、最後に3Dモデリングにより対象物の3次元形状を復元する。

2) ひずみ計測のテスト

計測システムの精度を確認するため、実際の実験体を計測する前に、テストを行った。

塑性ひずみの画像処理結果の精度をテストするために、図-4に示すように塑性ひずみゲージ(東京測器製)を実験体の画像処理用標点から約5mmの位置に貼付し、ひずみゲージが剥離しない範囲で鋼板の単調引張実験を行った。画像計測による標点抽出を容易にするため、標点は赤色とした。変形中に標点が剥離しないように実験体の表面を入念に研磨した後、白色スプレーをかけた。テストにおける標点間隔は約2~3mmであり、ゲージの長さは10mmである。画像処理値はゲージ測定範囲とほぼ同範囲におけるひずみの平均値とした。比較結果を図-5に示す。今回のひずみゲージに測定したひずみの範囲は0~10%、その範囲内で両者は良く一致した。これにより、この画像計測システムを用いて亀裂が発生する前の大ひずみを計測することができると考えられる。



(a) クラック (b) 座屈による変形
図-1 被害の様子

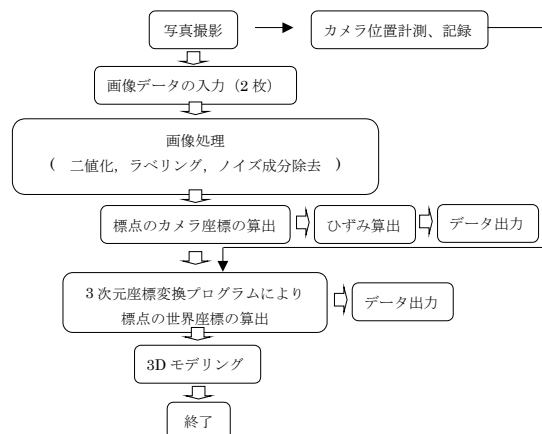


図-2 画像計測の流れ

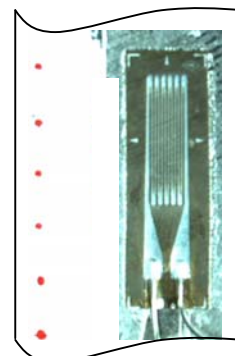


図-4 ひずみ計測のテスト

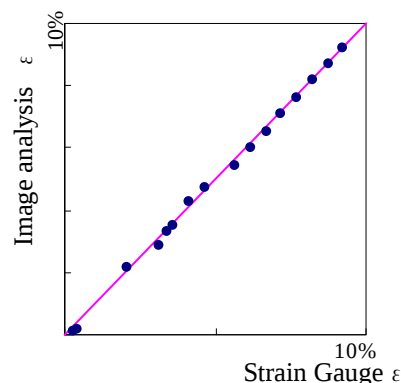


図-5 画像計測結果とひずみゲージ値の比較

キーワード 画像処理, ひずみ測定, 3次元変形測定

連絡先: 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 TEL: 0565-48-8121, FAX: 0565-48-0030

(3) 3次元変形計測のテスト

3次元変形計測のテスト方法を図-6に示す. 二つカメラ F_1 , F_2 が撮影する計測対象を平面 P とし, 画像平面 P_1 , P_2 に計測平面上の計測用標点を投影する. 前述の計測システムにより, 二つ画像平面から計測平面 P を復元する. 世界座標系の Z 軸を計測平面 P と垂直に設定し, XY 面を計測平面 P とすると, 計測平面上の標点座標の Z 軸方向量は0であるから, 復元された計測平面上の標点座標の Z 軸方向測定量が誤差と考えられる. 計測された誤差を図-7に示す. 計測面上, 中心部の標点の計測誤差が約-0.5~0.1 mm, 両端部の誤差がやや多く, 幅に対する誤差はさい大 1/400 である.

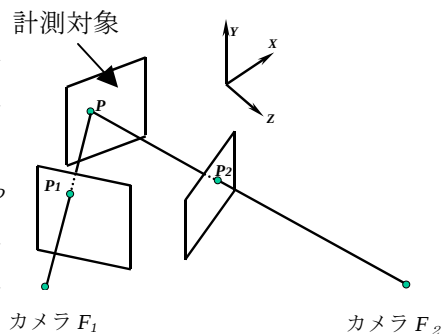


図-6 平面の3次元復元

3 鋼製橋脚試験及び計測結果

実験載荷装置および供試体のセット状況を図-

8(a)に示す. 上部工重量を想定した鉛直荷重は, 供試体上部に載荷梁を設け, 4400kN アクチュエータ2基を鉛直方向に取付け載荷した. アクチュエータの両端はピン構造になっているため, 供試体の大変形にも対応できる. 地震時の上部工重量の慣性力を想定した水平荷重は 2000kN アクチュエータ1基を用いて載荷した. 供試体の基部付近に局部座屈が発生すると予測し, 画像計測の領域は同図(b)に示すように供試体の基部偏心側のフランジ部分(範囲 450 mm×150mm)とした. 実験体基部の角部には塑性ひずみ計測用として左右約約 2.5mm 間隔で点を付け, 変形量計測用としては上下, 25mm 間隔で標点を設けた.

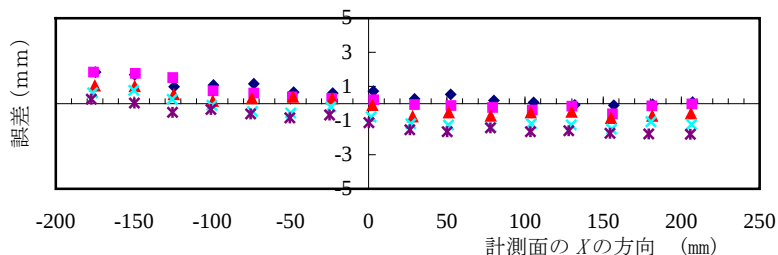


図-7 変形計測のテストの結果

計測結果を図-9に示す. 同図(a)は画像計測による塑性ひずみ値であり, 横軸はひずみ量, 縦軸は実験体の高さ方向を表わす. ゲージ計測値を表わす三角形印が画像計測ひずみ曲線に一致していることが分かる. 図-9(b)は供試体の試験後の座屈変形の様子と画像計測結果を比較したものである.

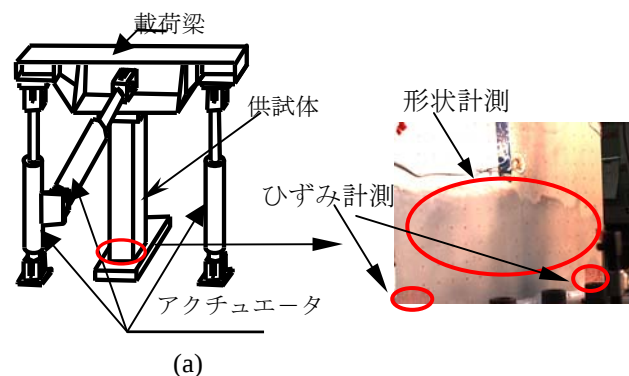


図-8 載荷装置及び計測表面

4. 結論

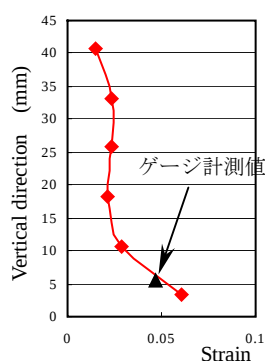
1) 画像計測システムにより求めたひずみと計測標点の近く所に貼付した塑性ひずみゲージの出力値を比較し, 大ひずみ領域において十分な精度でひずみ計測できることを確認した.

2) 画像計測手法により得られた3次元座屈変形から, 従来橋脚耐震実験では得ることが面倒であった載荷途中の座屈変形量を容易に把握することが可能となった.

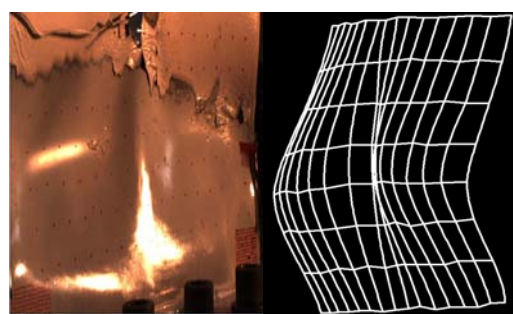
3) 計測システムに画素のより高いデジタルカメラの採用, 固定方式の改良, レンズが持つひずみの補正など工夫により計測精度を向上することが今後の課題となる.

参考文献

- 1) 館石和雄, 判治 剛: 画像計測を用いた実験システムによる突合わせ溶接継手の低サイクル疲労強度の検討, 土木学会論文集, No. 752/I-66, pp. 277-287, 2004-1.
- 2) 酒井理哉他: 画像計測を用いたひずみ制御の低サイクル疲労実験システム, 電力中央研究所報告, U00068, 2001.



(a) 塑性ひずみ



(b) 3次元変形

図-9 画像計測結果