

## 画像解析を用いた有限歪の計測に関する基礎研究 大変形下での単純剪断の測定

### Fundamental Study on Finite Strain Measurements using Image Analysis Measurement of Simple Shear under Large Deformation

高橋 亨<sup>1</sup>, 二見 将弘<sup>1</sup>, 青木 頌太<sup>2</sup>, 加藤 保之<sup>3</sup>Toru TAKAHASHI<sup>1</sup>, Masahiro FUTAMI<sup>1</sup>, Shota AOKI<sup>2</sup>, Yasuyuki KATO<sup>3</sup>

Abstract: The finite strain measurement based on the image analysis is suggested by using the Natural Strain theory. The effectiveness of this method is verified by comparing the image analysis with the conventional method based on the displacement meter. In our previous report, the large uni-axial tension was chosen as themes and the effectiveness of this method was verified in the range of a large deformation. In this paper, the simple shear, which the large rigid body rotation occurs, is investigated and the experimental results based on the image analysis are compared with the results for the displacement meter.

#### 1. 緒言

これまでの研究では、有限歪の領域ではあるが、局所変形がまだ生じない一様変形場の範囲であり、局所変形が発生した後の更に大きな変形についてはまだ検討を行っていない。

そこで、前報では最も基本的な変形である単軸引張を研究対象に選び、局所変形が生じる更に大きな変形に対して、画像処理に基づく測定を行った。その結果、局所変形が生じ始めると画像解析と変位計を用いた測定結果に差異が生じることが明らかになった。また、試験片の上部と中央部の画像を比較することによって局所変形が顕著に発達する中央部画像の結果が最も現実的な挙動を表していることを確認してきた。

本報では、剛体回転が発生する単純剪断に着目し、これまでまだ検証していない更に大きな変形領域に対して、本画像解析手法の有効性を確認する。

#### 2. 局所変形下の単軸引張の実験方法

実験では、延性材料の中でも特に純度の高いタフピッチ銅（純度 99.999%）の焼き鈍し円筒試験片（外径 22[mm]、内径 16[mm]、標点間距離 30[mm]）を採用する。試験片の表面には、画像測定のために予め等間隔(1.92[mm])に罫書き線を描き、その円筒試験片を多軸負荷試験機に装着した後、剪断の荷重を加えながら画像の測定を行う。ここで、画像の測定は、試験片の標点間の中央と、中央から上方に 11.52[mm] 離れた位置の微小要素に対して行う(図 1 参照)。なお、本実験で試験片に与える単純剪断の最大ストレッチ量は、約  $\lambda = 2.6 [-]$  (剪断変形量 約  $K = 2.2 [-]$ ) である。

測定に使用したカメラは Canon 製の高画素カメラ(最大

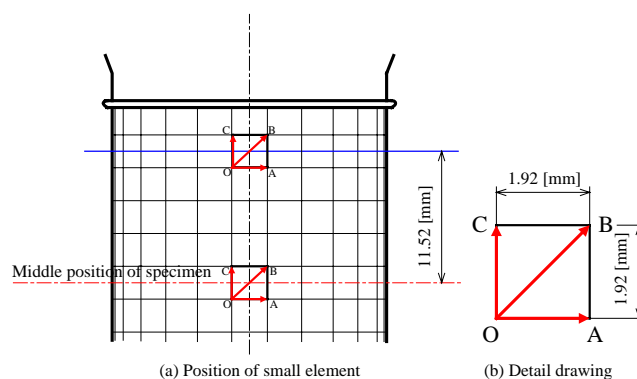


Fig.1 Specimen and position of small elements

画素 2110 万画素)であり、上下の微小要素の表面形状の刻々の変化を測定するために 2 台のカメラを同一距離 ( $L=275$ [mm]) に設置して測定を行う(図 2 参照)。そして撮影した画像から微小要素の 4 点の座標位置 OABC(図 1(b)参照)を測定し、3 本の線素(水平方向に位置する線素 OA、対角線上に位置する線素 OB、鉛直方向に位置する線素 OC)のそれぞれの伸び歪を自然歪理論に基づき求める。

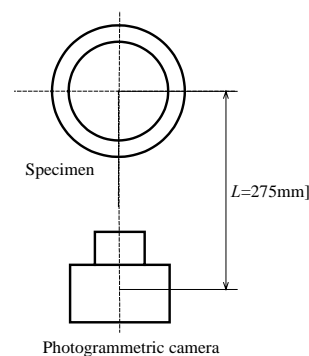


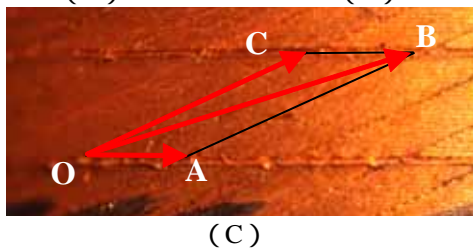
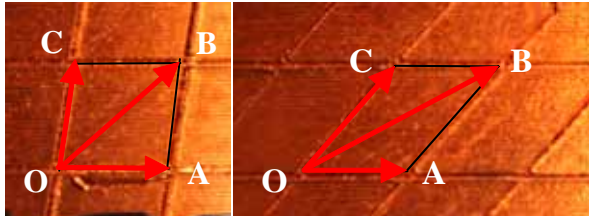
Fig.2 Experimental device

#### 3. 実験結果と考察

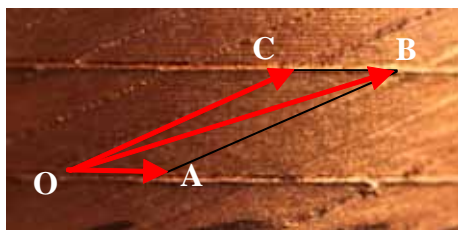
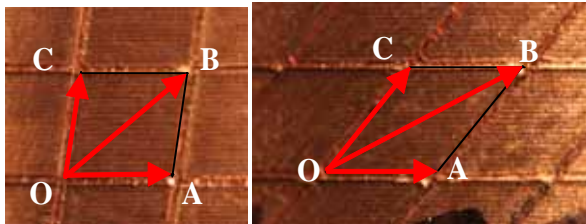
##### 3・1 試験片の上部画像と中央部画像の比較

実験で撮影した変形途中の画像の一例を図 3 に示す。ここで、( ) は、試験片の標点間の中央から上方に 11.52[mm]離れた位置の微小要素、( ) は、標点間の中央

の微小要素に対し 同一の剪断応力(A は 80.7[MPa], B は 151.6[MPa], C は 179.2[MPa])が作用するときの画像を比較したものである。これらの画像から、微小要素の高さが、一定のもとで(A),(B),(C)の順に剪断変形(り変形)が進行していく様子が確認できる。



( i ) Photographic images at the upper position



( ii ) Photographic images at the middle position

Fig.3. Comparison of photograph in each small element

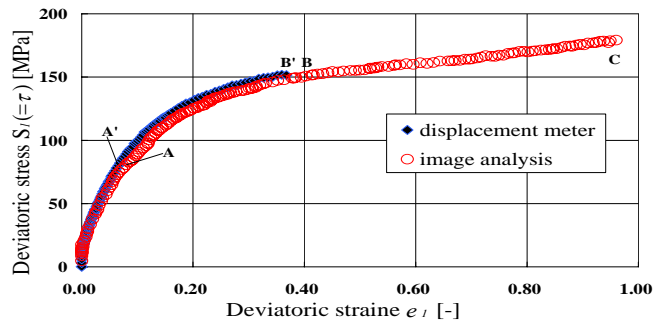
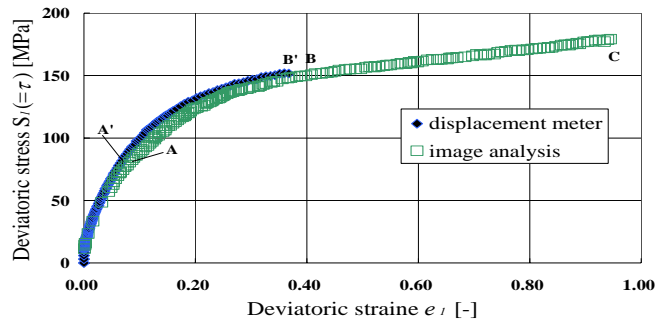
### 3・2 偏差主応力 $S_1$ と偏差主歪 $e_1$ の関係

次に、図 4 は、上部の微小要素の画像から求めた偏差主応力  $S_1$  (剪断応力  $\tau$ ) と偏差主歪  $e_1$  の関係を従来の変位計を用いた測定結果と比較したものである。ここで図中のプロット が変位計を用いた測定結果であり、 が画像から得られた測定結果である。なお、図中の A, B, C は上述の画像が測定された箇所に対応している。

この図の A 点では両測定の結果に差異が生じ始め、ロータリーエンコーダーによる変位計の測定限界値である B 点では、画像解析から得られた測定値が変位計の測定値に比べ大きくなる。また、この図の C 点は画像解析に

より得られた最終測定値である。

一方で、図 5 は、中央部の微小要素の画像から求めた偏差主応力  $S_1$  と偏差主歪  $e_1$  の関係を従来の変位計を用いた測定結果と比較したものである。ここで既に述べたように図中のプロット が変位計を用いた測定結果であり、 が画像解析から得られた測定結果である。この図に関しても A 点以降で差異が生じ始め、B 点では、画像解析から得られた測定値が変位計の測定値に比べて大きくなる。次にこの図の C 点の測定値を上部画像の C 点の測定値と比べた場合、中央部画像から得られる測定値はわずかに大きな値となるがほぼ近い値(上部  $e_1 = 0.945$  , 中央部  $e_1 = 0.960$ )となり、一様場の変形が保たれていることがわかる。



## 4. 結言

単純剪断を研究対象に選び、大変形の領域に対して、画像処理による歪の測定を自然歪理論に基づき実行し、従来の変位計による測定結果と比較した。その結果、変形の初期段階では両測定値は一致するが、変位計の測定限界値では、画像解析から得られた測定値が変位計の測定値に比べて大きくなることが明らかとなった。

また、画像解析による最終測定値は、上部より中央部の測定値がわずかに大きくなるがほぼ一致し、当初の予想に反して一様場の変形が生じていることが確認できた。今後の展望としては、局部変形が伴う引張りと剪断の複合変形に対して更に本解析手法の有効性を確認していく予定である。