

K5-34

画像解析に基づく有限歪の計測に関する研究 (剪断の予変形後の引張の変形過程で生じる局部変形の進行に及ぼす剪断と引張の比率の影響)

Study on Finite Strain Measurements Based on Image Analysis

(Effect of ratio of shear deformation on progression of local deformation generated under tensile deformation after applying shear)

○椿原 成佳¹, 加藤 保之²* Seika TSUBAKIHARA¹, Yasuyuki KATO²

Abstract: The purpose of this study is to elucidate the validity of image analysis proposed in this research and to reveal the developmental process of local deformation. The local deformation generated under the tensile deformation is examined by using the test pieces, which are applied the simple shear deformation in advance. Especially, the experiments are conducted with the different size of shear deformation, and the effects of work-hardening due to shear deformation on the progress of local deformation during tensile deformation are revealed.

1. 緒 言

画像解析を用いた測定は、歪ゲージを用いた測定とは異なり測定範囲に限界が存在しないため、微小変形から大変形に亘って広範囲の測定が可能である。また、変位計の様に間接的な測定ではなく画像が撮影されている箇所の歪を直接測定できる特長を有する。そのため、画像解析を用いた測定は、大変形下の歪の測定に極めて有効であると考えられる。

本研究の目的は、自然歪理論に基づく本画像解析の妥当性を明らかにすると共に、大変形下の局部変形の発達状況を調査することである。

本研究では、予め剪断変形を与えて歪硬化させた試験片に対して、標点間の表面の上部から中央部にわたる微小要素の画像の測定を行うことで、その後の引張変形を与える過程で生じる局部変形の発達状況を調査する。特に本報では、順方向に与える剪断の予変形量を様々に変えて与え、その後の引張の変形過程で生じる局部変形の発達状況を調査し、剪断の予変形時に生成される歪硬化などの材料の性質の変化が局部変形の発達に与える影響を解明する。

2. 画像解析手法ならびに変形経路

2. 1 3本の線素の伸び歪と変形勾配の関係

自然歪理論に基づき基底面からそれぞれ $\beta_{oa}, \beta_{ob}, \beta_{oc}$ の方位に位置する3本の線素 l_{oa}, l_{ob}, l_{oc} の伸び歪 $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_c$ の値より、変形勾配 D_{11}, D_{12}, D_{22} を求め、更に、極分解により変形の主値 λ を算出し、主歪を求める^[1]。なお、詳しい誘導過程については紙面の都合上省略する。

2. 2 変形経路について

本研究では、剪断の予変形を与えることで予め歪硬化させた試験片に、更に引張変形を与える過程で発生する局部変形の発達状況を調査して行く。ここで与える剪断の予変形は、図1に示す様に、順方向のみに大きさを変えて与える場合である。また、図2にはその

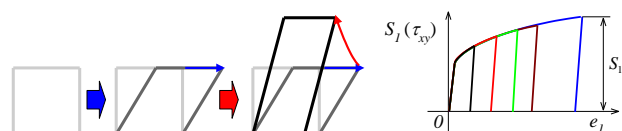


Fig.1. Deformation path

Fig.2. Yield Stress

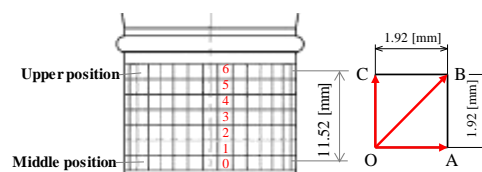


Fig.3 Test piece and position of small elements

異なる大きさの5通りの予変形に対する応力状態が示されている。したがって、この図の様に剪断の予変形の過程で異なる歪硬化を試験片に与えることができる。

3. 実験方法

本実験は、前述した様に剪断の予変形と大きな引張の変形の2段階で構成されている。そのため、軸方向変位と剪断変位を同時に作用させることのできる多軸負荷試験機を用いて実験を行う。また本実験では、延性材料の中でも特に純度の高いタフピッチ銅（純度 99.99%）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]）を用いる。また、図3のように試験片の表面には、画像測定のために予め、等間隔（1.92[mm]）に格子状の罫書き線が描かれ、試験片の中央部から 11.52[mm]離れた上部までの計7カ所の微小要素（ $N=0\sim 6$ ）に対して測定を行う。測定に使用したカメラは、Canon製の高画素カメラ（最大画素 2110万画素）であり、同一微小要素の刻々の変化を測定するために、2台のカメラを治具に装着し、治具を回転させ、また、中央部から上部までの各要素の測定を行うために上下に移動させながら画像の撮影を行う。測定した画像から図3に示した微小要素の4点の座標位置OABCを測定し、3本の線素の伸び歪を自然歪理論に基づき求める。

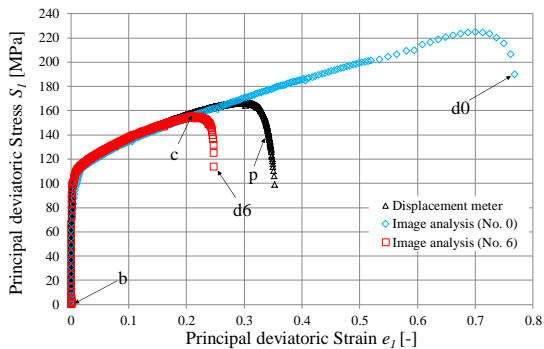


Fig.4 Principal deviatoric stress and strain diagram (path ①)

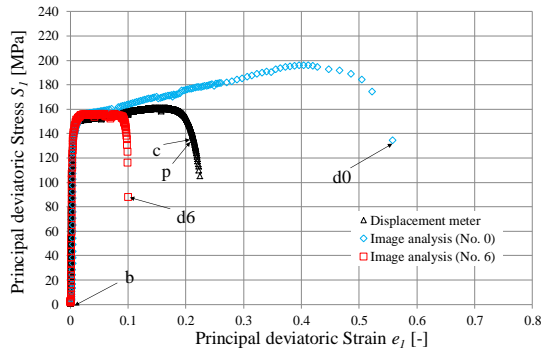


Fig.5 Principal deviatoric stress and strain diagram (path ④)

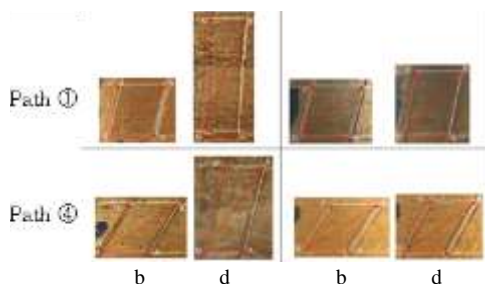


Fig.6 Photograph of each location at point b and d

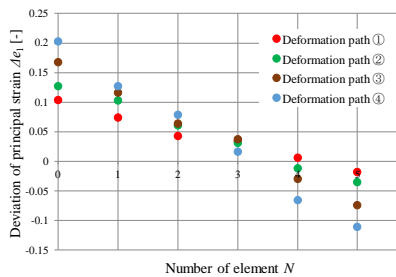


Fig.7 Local deformation measured at $e_I = -0.217 [-]$ (path ①~④)

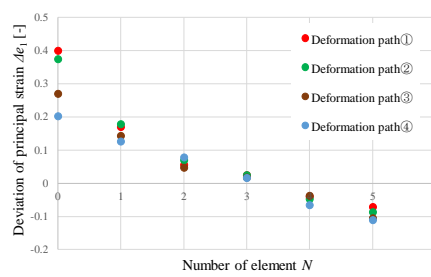


Fig.8 Local deformation measured at $e_I = -0.489 [-]$ (path ①~④)

実験条件については、以下の 5 通りの異なる経路である。

- ①単純剪断 ($D_{12}=0.1[-]$, $\lambda=1.05[-]$)→引張
- ②単純剪断 ($D_{12}=0.19[-]$, $\lambda=1.1[-]$)→引張 ($e_I = 0.35 [-]$, $\lambda=1.42[-]$)
- ③単純剪断 ($D_{12}=0.28[-]$, $\lambda=1.15[-]$)→引張 ($e_I = 0.31 [-]$, $\lambda=1.36[-]$)
- ④単純剪断 ($D_{12}=0.37[-]$, $\lambda=1.2[-]$)→引張 ($e_I = 0.27 [-]$, $\lambda=1.31[-]$)
- ⑤単純剪断 ($D_{12}=0.53[-]$, $\lambda=1.3[-]$)→引張 ($e_I = 0.22 [-]$, $\lambda=1.25[-]$)

4. 実験結果と考察

図 4 と図 5 は、前述の 5 種類の経路のうち、①と④に対して、引張の変形過程のみを抽出して偏差主応力-偏差主歪線図を描き、2 つの経路の結果を比較したものである。図中の点 b と点 d は、引張変形の開始と最終の状態を表している。これらの図から、局部変形が発生して以降は、中央部画像の実験値が上部画像の実験値に比べ大きくなり、また、変位計の結果がそれらの中間に存在する。ここで、経路①と④の結果を比較すると、剪断の予変形量の大きい経路④は、引張変形過程の伸び歪の小さい初期の段階から局部変形が発生しているのに対し、剪断の予変形量の小さい経路①の結果は、大きな伸び歪の状態でも局部変形が発生していることが確認できる。

一方で図 6 は、上部 (6) と中央部 (0) の画像の測定結果を経路 ①、④のそれぞれに対して表したものである。点 b においては、上部(6)と中央部(0)の画像がほぼ一致していることから剪断の予変形を与える過程ではまだ一様変形であり、一方で、点 d においては、上部に比べて中央部の伸び変形が大きくなり中央部で局部変形が発生していることが画像からも確認できる。

次に、試験片の各場所の局部変形の発達状況を調べるために、横軸に上部から中央の微小要素の番号 N (但し、等間隔であるので中央からの距離に相当する) をとり、縦軸は、式(1)の様に各要素の画像データから得られる偏差主歪 e_{II} と変位計の偏差主歪 e_{Id} の差 Δe_I をとり、局部変形の発達の傾向を調査する。

$$\Delta e_I = e_{II} - e_{Id} \quad (1)$$

まず、引張変形における局部変形発達の傾向を確認するために、引張の変形過程のみを抽出して、塑性歪の値が同一となる点で上部から中央部までの微小要素で発生する Δe_I の結果を比較する。図 7 は、前述の 5 種類の経路の内、①~④に対して、引張変形の塑性歪の値が同一となる点 c ($e_I = 0.217 [-]$) で Δe_I の値を比較した結果である。経路 ①、②、③、④ の順に、 Δe_I の分布が大きくなっていくことから、剪断変形量が多い順に、局部変形の発生が早まる傾向が確認できる。

最後に、更に各実験条件の歪履歴の合計と局部変形の発達の間接関係を調べるために、各経路の履歴にわたって得られる延べの塑性歪の値が、ほぼ同一となる点 p ($e_I = 0.485 [-]$) で、経路①~④に対して Δe_I の結果を比較したものを図 8 に示す。この図で、赤、緑、茶、青色のプロットの順に Δe_I 分布が小さくなることから、予変形時に加える剪断変形量が小さい程、 Δe_I 分布が大きくなる傾向を示す。

5. 結言

本研究では、剪断の予変形を与えて歪硬化させた試験片に、その後の引張変形を与える過程で生じる局部変形の発達状況を調査し、以下のことが明らかとなった。

- (1) 引張の変形過程のみに着目し、塑性歪の値が同一となる点 c で比較した結果、剪断の予変形量が多い程、 Δe_I が大きいことから、剪断変形量が多い順に、局部変形の発生が早まる。
- (2) 予変形時に加える剪断変形量が小さい程、 Δe_I 分布が大きくなる傾向が得られたことから、剪断変形と引張の比率が局部変形の発達状況に影響を与える。

文献

- [1] 加藤保之, 吉田隆太, “画像解析を用いた有限歪の計測に関する基礎研究 (剪断の予変形後の引張試験で生じる局部変形の進行状況について)”, 日本機械学会 2017 年度年次大会講演論文集, No.17-1 (2017), GS030075