

K5-22

画像解析を用いた有限歪の計測に関する研究 (剪断の予変形が引張変形下で発生する局部変形に与える影響)

Study on Finite Strain Measurements using Image Analysis

(Effect of Pre-deformation concerning Shear on Local Deformation generated under Tension)

○柳沢 仁¹, 吉田 隆太², 加藤 保之³

Hitoshi YANAGISAWA¹, Ryuta YOSHIDA², Yasuyuki KATO³

Abstract: The purpose of this study is to verify the validity of the image analysis based on Natural strain theory. In order to make clear the effect of the change of material properties on the progress of local deformation, the developments of local deformation under tensile tests are investigated by using the test pieces, which is preliminary applied a simple shear. As for the pre-deformation of simple shear, different deformation paths, i.e., the simple shear in the forward direction and the simple shear in the reversed direction after forward direction, are examined in this study. Then, the effects of these pre-deformations on the progress of local deformation are revealed by comparing these experimental results.

1. 緒言

画像解析を用いた歪の測定は、歪ゲージを用いた測定の場合の様に測定範囲に限界が存在せず、広範囲の測定が可能である。そのため、大変形の歪の測定には極めて有効である。本研究の目的は、剛体回転が明確に分離でき、また、歪の加法則が成立する自然歪理論の特徴を画像解析の手法に有効利用し、本研究の画像解析の妥当性を明らかにしていくことである。

本研究では、変形に伴う材料の性質の変化が局部変形の発達状況に及ぼす影響を明らかにするために、単純剪断変形の予変形を与えてひずみ硬化させた試験片を用いて引張試験を行い、その変形の過程で生じる局部変形の発達状況を試験片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調査する。特に本報では、剪断の予変形を 2 通りの異なる変形経路で与え、予変形が局部変形の発達に与える影響を明らかにする。

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

上述したように本研究では、自然歪理論に基づき、画像解析を行う。画像解析の方法としては、基底面（水平軸）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、極分解により変形の主値 λ を算出し、更に、主歪を求めることができる。なお、それらの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

緒言でも述べたように、予め単純剪断の変形を与えることで歪硬化させた試験片に、更に引張変形を与え、その間の変形過程で発生する局部変形を調査する。本報では、以下の 2 通りの異なる変形経路について実験を行う。

図 1 (a) は、順方向に単純剪断を一定量与えた後に引張を加える場合、図 1 (b) は、順方向に単純剪断を一定量与えた後に、順方向の剪断変形量の 2 倍の大きさで、逆方向に単純剪断を与え、その後引張を加える場合をそれぞれ表している。

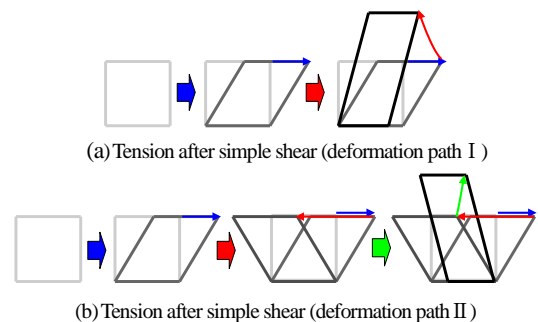


Fig.1. Three types of different deformation path

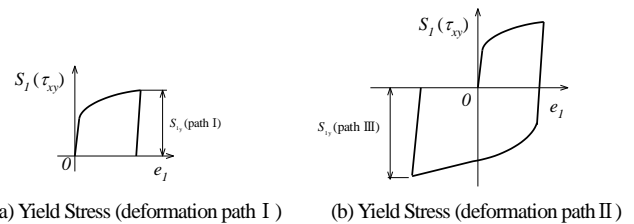


Fig.2. Yield Stress in each deformation path

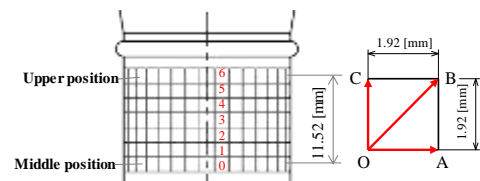


Fig.3 Specimen and position of small elements

また、図 2 (a), (b) にそれぞれの変形経路の応力状態が示されている。これらの予変形を与えることで、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（なお、図 1 (a) と図 1 (b) は、逆向きで同一量の剪断変形でありながら、降伏応力の大きさは異なる）。

3. 実験方法

本実験では、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、実験で用いた試験片は、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 に示すように試

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ている。また、画像の測定は、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 ($N=0\sim 6$) に対して行う。

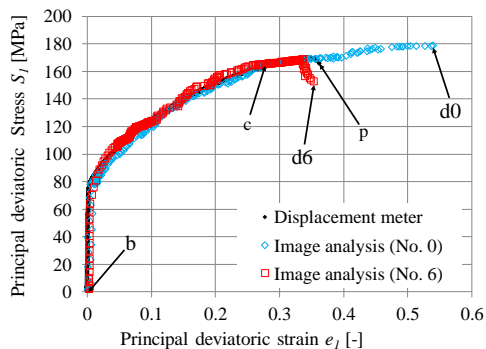
画像の測定に使用したカメラは、Canon 製の高画素カメラ (最大画素 2110 万画素) である。

実験条件については、以下の二通りの経路である。

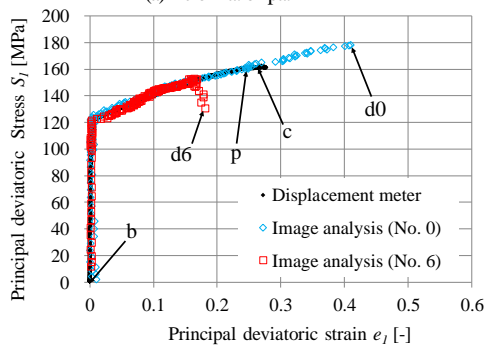
- I 単純剪断 ($D_{I2}=0.1[-]$, $\lambda=1.05[-]$) \rightarrow 引張 ($e_I = 0.38 [-]$, $\lambda=1.46[-]$)
- II 単純剪断 ($D_{II2}=0.1 [-]$, $\lambda=1.05 [-]$) \rightarrow 逆剪断 ($D_{II2}= -0.1[-]$, $\lambda=1.05 [-]$) \rightarrow 引張 ($e_I = 0.29 [-]$, $\lambda=1.36[-]$)

4. 実験結果と考察

図 4 は、前述の 2 通りの経路におい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、それぞれの経路の結果を比較したものである。図中の (a), (b) は、経路 I, II の結果をそれぞれ表している。これらの図中の点 b は、順方向剪断または順方向剪断後に逆方向剪断を与えた直後の状態を、また、点 d は、引張の最終変形の状態をそれぞれ表している。一方で図 5 は、この時の上部から中央部までの画像の中で特に上部(6)と中央部(0)の画像の測定結果を経路 I



(a) Deformation path I



(b) Deformation path II

Fig.4 Principal deviatoric stress and strain diagram

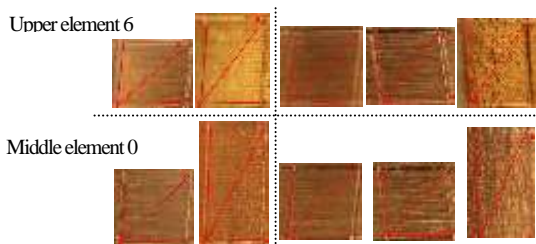


Fig.5 Photograph of each location (deformation path I and II)

と II に対して表したものである。

次に、局部変形の発達状況を定量的に確認するために、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、また縦軸に式 (1) に示した各要素の画像データから得られる偏差主歪 e_{li} と変位計の偏差主歪 e_{ld} の差分 Δe_I をとって調査していくことにする。

$$\Delta e_I = e_{li} - e_{ld} \quad (1)$$

図 6 は、経路 I, II に対して引張変形における局部変形の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 (図 4 中の点 c) で上部から中央部までの微小要素で発生する Δe_I の結果を比較したものである。この図より、経路 I の Δe_I の分布が、経路 II の結果に比べ大きくなっていることから、剪断の予変形の履歴が大きい程、局部変形の発生が早まる傾向が確認できる。図 7 は、各経路の歪履歴の合計と局部変形の発達の関係を更に調べるために、全変形経路の延べの塑性歪の値が、ほぼ同一となる点 p で、2 つの経路の Δe_I の分布を比較したものである。両経路とも、局部変形が大きく発生していることがこの図から確認できる。また、経路 I と経路 II の結果がほぼ一致していることから、履歴にわたって積分して得られる塑性歪の大きさが局部変形の発達状況に密接に関係していることがわかる。

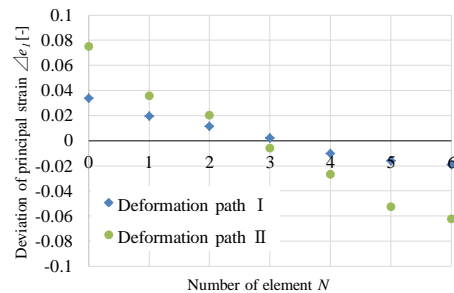


Fig.6 Local deformation measured at point c

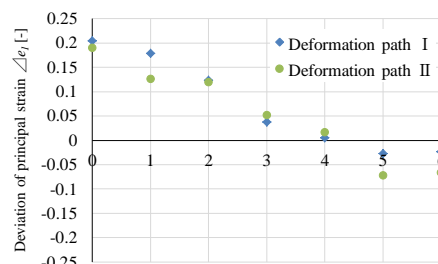


Fig.7 Local deformation measured at point p

5. 結言

単純剪断の予変形後の引張の変形の過程で発生す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) 経路 I, II の順に画像データから得られる偏差主歪 e_{li} と変位計の偏差主歪 e_{ld} の差 Δe_I の分布が大きくなっていることから、剪断の変形履歴が大きい順に、局部変形の発達が早まる傾向が確認できた。このことから、予変形で与えられた塑性歪の大きさがその後の局部変形の発達に影響を与えていることが明らかとなった。
- (2) 延べの塑性歪の値が、同一となる点 p で、2 つの経路の Δe_I の結果を比較した結果、経路 I と経路 II の結果がほぼ一致し、変形の経路にわたって積分して得られる塑性歪の大きさが局部変形の発達と密接に関係することが確認できた。