

K-4

画像解析を用いたゴムの正三角形断面軸の有限歪の計測
(圧縮後の大きな捩り下で得られる断面に沿う歪分布)

Finite Strain Measurements using Image Analysis for Rubber Shaft having Equilateral Triangle Cross-section
(Strain Distributions along Cross-section obtained under a Large Torsion after Compression)

○岩佐 宣宏¹, 加藤 保之²

* Nobuhiro Iwasa¹, Yasuyuki Kato²

Abstract: This paper describes the strain distributions in a cross section, which is obtained by using the image analysis based on the Natural Strain theory, when the large torsion is applied to the rubber shaft having equilateral triangle-section. In particular, the experiments with respect to the large torsion after applying compression are conducted in the present study, and effect of initial compression will be compared with the experimental results in case of rubber shaft having square cross-section that have been already revealed in our previous researches.

1. 緒言

円形断面以外の一般断面形状の捩りに関しては、平面保持の仮定が成立しないため Saint-Venant の捩り理論が広く採用されている。しかし、この理論は微小変形下では成立するが、大変形下では必ずしも実際の変形挙動を表現しきれない。そこで、自然歪理論に基づく本画像解析を用いて、大変形下の捩りで発生する断面内の歪の分布を調査することが本研究の目的である。

辺の数が増え多角形になるほど円形断面に近づくことから、最も辺の数の少ない正三角形の断面に着目して断面内の伸び歪ならび剪断歪の分布を調査する。

特に本研究では、圧縮後に大きな捩りを加える場合について検討する。初期圧縮により、断面が膨張し、辺の長さが増加しその後に加える捩りに影響を与えることが考えられる。ここでは、先行研究の正方形断面の結果と比較することで、最初に与える圧縮がその後の大きな捩りの過程で断面内に発生する歪分布に及ぼす影響を明らかにする。

2. 画像解析手法

図1には圧縮後の捩りを与える場合について、試験片の表面に罫書いた微小要素の変形前後の状態(即ち、(a)無変形の状態、(b)圧縮の状態、(c)捩りを加えた状態)を表す。本研究では、3本の線素 l_{oa}, l_{ob}, l_{oc} の伸び歪の値 $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_c$ を求め、圧縮とその後の変形時における変形勾配の垂直成分 D_{11}, D_{22} と剪断成分 D_{12}, D_{21} が導かれる。更に、変形勾配の極分解により主

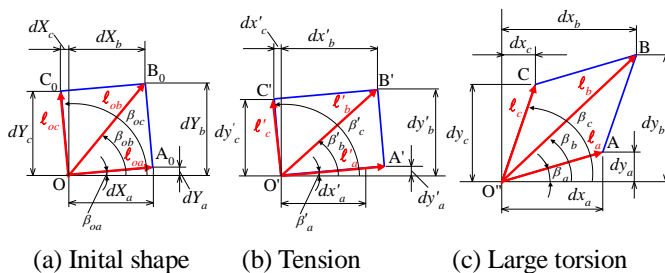


Fig.1. Deformations of three line elements.

軸のストレッチ量ならびに変形前後の主軸の方位と剛体回転 θ_R が導かれる(ただし、紙面の都合上ここでは誘導過程を省略する)。鉛直方向の線素 l_{oc} の剪断歪 γ は、式(1)の様に表される。

$$\gamma = \beta_{oc} - \beta_c - \theta_R \quad (1)$$

但し、変形前後の線素の方位は以下の通りである。

$$\beta_{oc} = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left\{ \frac{dX_c}{dY_c} \right\}, \quad \beta_c = \tan^{-1} \left\{ \frac{dy_c}{dx_c} \right\} = \tan^{-1} \left\{ \frac{D_{21} dX_c + D_{22} dY_c}{D_{11} dX_c + D_{12} dY_c} \right\} \quad (2)$$

3. 実験方法

3.1 実験装置について

圧縮後に捩りを加えることから、軸荷重と捩りに関する多軸負荷試験機を用いる。また、画像の撮影では、最大有効画素 5060 万画素のカメラに 65[mm] (微小要素の撮影) と 100[mm] のレンズを装着して行う。

3.2 試験片ならびに実験条件

正三角形断面の天然ゴム製の試験片(硬度 $H_s = 70$, 一辺の長さ 22[mm], 標点間距離 40[mm])を用いる。試験片は、予め等間隔 (2.0[mm]) に格子状の罫書線が描かれ、また、標点間の外側が捩じれないようにアルミ治具で拘束されている。

試験機にこの試験片を装着して圧縮を軸方向変位量が 6[mm]まで与え、その後、大きな捩りを最大捩れ角 $\varphi_{deg} = 315[\text{deg}]$ まで加える。なお、画像の撮影箇所は、図2(a)の標点間の中央部と上部の要素 f で行う。また、断面内の分布の撮影には、図中の中央部(0)と上部(7)の水平方向の微小要素 ($a \sim k$) に対して行う。

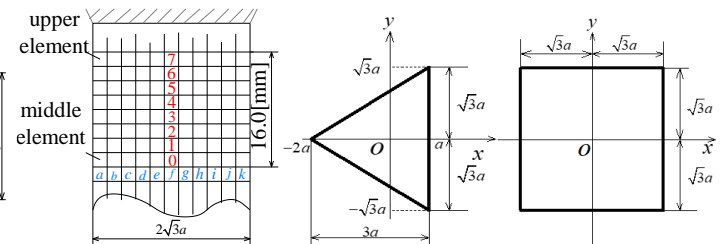


Fig.2. Scribed line and the shapes of triangle and square cross-section.

1 : 日大理工・学部・機械、2 : 日大理工・教員・機械

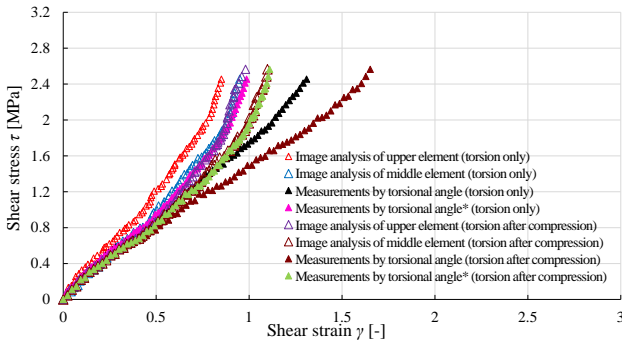


Fig.3. Shear stress-shear strain diagram (triangle section).

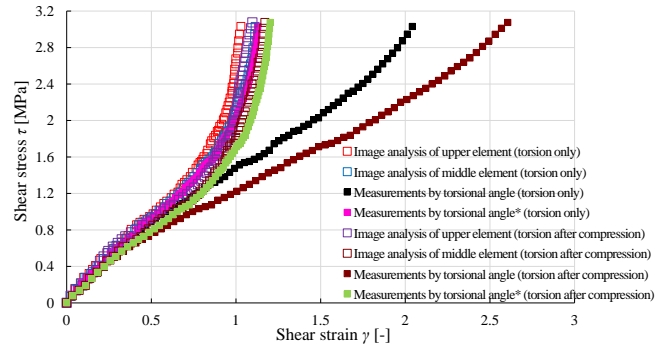


Fig.4. Shear stress-shear strain diagram (square section).

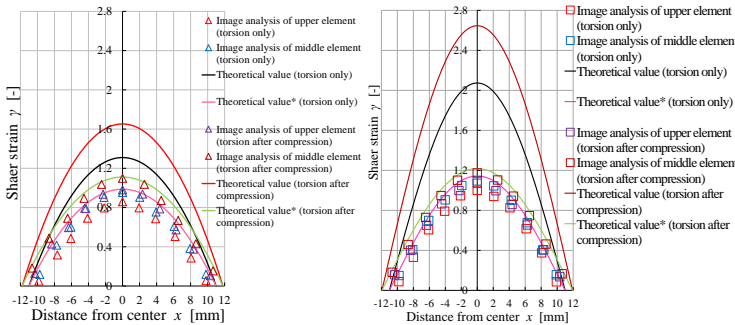


Fig.5. Distributions of shear strain (triangle section).

Fig.6. Distributions of shear strain (square section).

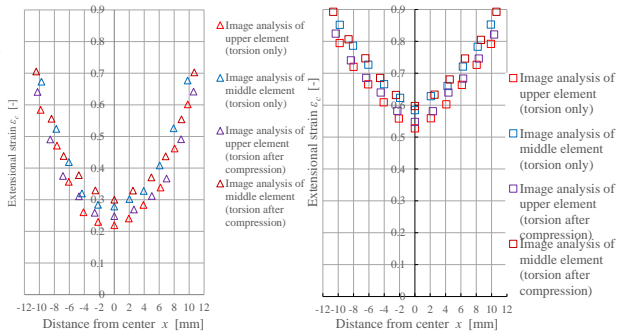


Fig.7. Distributions of extensional strain (triangle section).

Fig.8. Distributions of extensional strain (square section).

4. 実験結果と考察

三角形断面の試験片に対して、振りのみ、圧縮後に振りを加える変形過程で得られる剪断応力-剪断歪線図を図3に示す。なお、この図では、断面内の要素 f に対し試験片上部 (0) と試験片中央部 (7) の要素の画像より求めた実験結果であり、図中の赤の三角形のプロット Δ は試験片上部 (0)、また、青のプロット \triangle は試験片中央部 (7) の振りのみの結果を、茶色のプロット \blacktriangle と紫色のプロット \blacktriangle が圧縮後に振る場合の上部と中央部の結果を表している。振り変形の増加と共に上部が中央部に比べ剪断歪が小さくなる事が確認できる。これは、固定治具に近い上部では、変形が拘束されるためである。また、これらの負荷履歴の結果を比較すると、圧縮後に振りを加える場合が、振りのみの場合に比べて大きいことが分かる。これは圧縮を加える過程で辺の長さが増加し、その後の振りで発生する剪断歪や剪断応力の大きさに影響を与えるためだと考えられる。なお、図中の中実のプロット (\blacktriangle , \blacktriangle) がそれぞれ、振りのみ、圧縮後に振りの Saint Venant の振り理論に基づき得られた剪断応力と剪断歪の関係を表している。本画像解析の結果に比べ剪断歪は大きく、振り変形の進行と共に差異が広がることが確認できる。一方で、図4は、正方形断面の試験片に対する剪断応力-剪断歪線図であり、剪断歪ならびに剪断応力の値が正三角形に比べて大きいことが分かる。これは、試験片の回転中心から要素 f の表面までの距離が正三角形断面に比べ正方形断面の場合が長いためである。

ここで、図5ならびに図6は、捩れ角 $\phi_{deg} = 315$ [deg] での正三角形と正方形の断面内で発生する剪断歪の分布を表している。図6の正方形断面の歪分布は、図5の

正三角形断面の歪分布に比べ大きいことが確認できる。次に、図7ならびに図8は、伸び歪の分布を正三角形と正方形断面に対して比較したものである。正三角形の断面の分布は、断面の中心 (断面内の要素 f) 近くでは小さく中心から遠ざかるほど大きな値となる。また、その傾向は、正方形断面に比べて大きく表れる。最後に前述の図3ならびに図4に試験片表面における標点間距離の修正を Saint Venant の振り理論に加えて得られる剪断応力と剪断歪の関係を図中の中実のプロットで表す (但し、振りのみ (\blacktriangle , \blacktriangle), 圧縮後に振り (\blacktriangle , \blacktriangle)). 同様に、修正後の歪分布を図5ならびに図6中の曲線 (但し、振りのみ (—), 圧縮後に振り (—)) で示す。本画像解析の結果に近づくことが確認できるが、断面の周辺では、正方形断面に比べ正三角形断面の近づく傾向は小さい。

4. 結言

正三角形と正方形の断面軸に対し、歪の分布を比較した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 断面の中心の要素 f における正三角形断面の剪断歪は正方形断面に比べ小さい。
- (2) 圧縮後に振りを加える場合の剪断歪の分布は、振りのみの場合に比べ大きくなる。これは、圧縮を加える過程で断面の寸法が増加するためである。
- (3) 正三角形断面の伸び歪の分布は正方形断面に比べ、断面の中心位置 (f) と周辺位置 (a, k) における伸び歪の差が大きい。
- (4) 標点間距離の修正を加えて得られる剪断歪の分布は、本画像解析の結果に近づく。