

画像解析を用いたアスペクト比の異なる矩形断面軸の断面内の剪断歪の計測
(引張後の大きな振りで得られる剪断歪の分布とアスペクト比の関係)

Shear Strain Measurements using Image Analysis for Rectangular Cross-section Shaft with Different Aspect Ratio
Relation between Aspect Ratio and Shear Strain Distributions generated after applying Large Torsion after Tension

○渡邊健太¹, 清水凱斗², 加藤保之³

* KentaWatanabe¹, Kaito Shimizu², Yasuyuki Kato³

Abstract: This paper describes the distribution feature of shear strain in a rectangular cross-section shaft made of rubber that is derived by using the image analysis based on Natural Strain theory. In our previous study, the distributions of shear strain along a cross section at front and side face that is measured during large torsion after compression have been investigated. In the present study, the strain distributions measured during a large torsion after tension is examined, and these strain distributions in a rectangular cross-section are compared under different aspect ratio.

1. 緒言

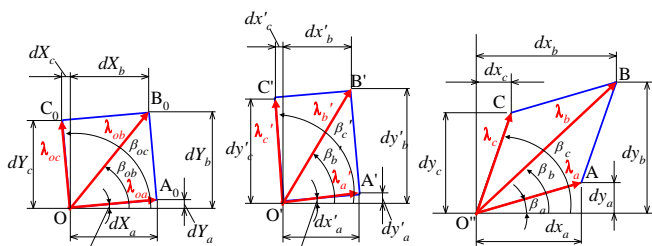
本研究の目的は、ゴム製の長方形断面の試験片に大きな振りを加えた際に断面内で生じる剪断歪の分布を自然歪理論による本画像解析手法を用いて測定し、その分布の特徴を明らかにすることである。この一連の研究の初期段階では、正方形断面軸に対し、また、次の研究の段階では長方形断面に対して大変形下の振り実験を行ってきた。

一般に軸荷重を与えることで試験片の断面の寸法が変わり、その後の振り変形に影響を及ぼすことが予想される。そのため、前報までの研究では圧縮後に振りを与える場合が検討されてきた。

本研究では、更に引張後の大きな振りについて検討する。特に、長方形断面のアスペクト比(縦横比)を変えて、正面ならびに側面の剪断歪の分布の測定を行い、それらの特徴を明らかにする。

2. 画像解析手法

図1は、試験片の表面に罫書いた微小要素の変形状態((a)無変形の状態、(b)引張後の状態、(c)引張後に振りを加えた状態)を表している。本研究では、3本の線素 λ_{oa} , λ_{ob} , λ_{oc} の伸び歪の値 ϵ_a , ϵ_b , ϵ_c を求め、



(a) Initial configuration (b) Tension (c) Torsion after tension

Fig.1. Deformations of infinitesimal elements

変形勾配の成分 D_{11} , D_{22} , D_{12} , D_{21} が導出される(それらの誘導過程については、紙面の都合上省略する)。

主軸のストレッチ量ならびに変形前後の主軸の方位、剛体回転は、以下のように導かれる。

$$\lambda_1 = \frac{\sqrt{(D_{11} + D_{22})^2 + (D_{12} - D_{21})^2} + \sqrt{(D_{11} - D_{22})^2 + (D_{12} + D_{21})^2}}{2} \quad (1)$$

$$\theta_m = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{D_{11}^2 + D_{12}^2 - D_{21}^2 - D_{22}^2}{2(D_{11}D_{21} + D_{12}D_{22})} \right\} \quad (2)$$

$$\theta_o = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{D_{11}^2 - D_{12}^2 + D_{21}^2 - D_{22}^2}{2(D_{11}D_{12} + D_{21}D_{22})} \right\} \quad (3)$$

$$\theta_R = \theta_o - \theta_m \quad (4)$$

更に、鉛直方向の線素 λ_{oc} の剪断歪 γ は、自然歪理論では変形前後の線素の回転角から剛体回転 θ_R を除去し、

$$\gamma = \beta_{oc} - \beta_c - \theta_R \quad (5)$$

と表される。ただし、鉛直方向の線素の変形前後の方位、 β_{oc} と β_c は、以下の式(6)で表される。

$$\beta_{oc} = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left\{ \frac{dX_c}{dY_c} \right\} \quad (6)$$

$$\beta_c = \tan^{-1} \left\{ \frac{dy_c}{dx_c} \right\} = \tan^{-1} \left\{ \frac{D_{21} dX_c + D_{22} dY_c}{D_{11} dX_c + D_{12} dY_c} \right\}$$

3. 実験方法

3.1 実験装置

本実験は軸方向変位ならびに剪断変位を同時に加えることのできる多軸負荷試験機を用いる。また、Canon製の高画質カメラ(最大画素5060万)を用い、65[mm](微小要素の撮影)、100[mm](試験片全体の撮影)のレンズを使用して撮影を行う。また、画像の撮影は、試験機に装着した2台のカメラを上下左右に移動させて行う。

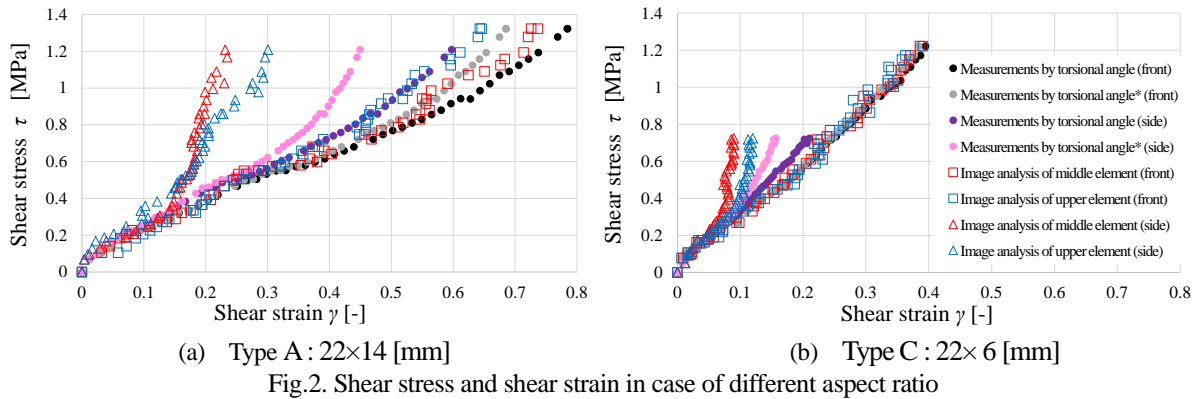


Fig.2. Shear stress and shear strain in case of different aspect ratio

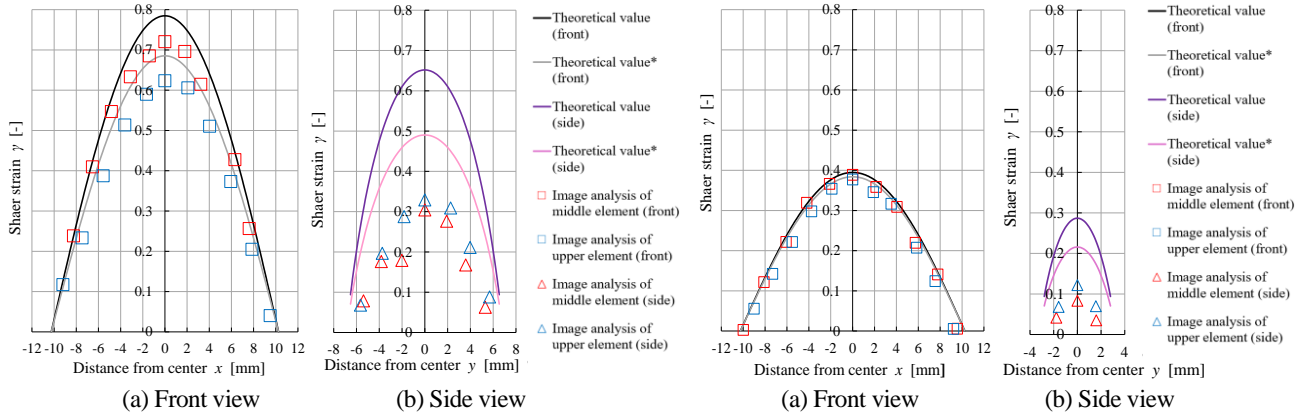


Fig.3. Distribution of shear strain : Type A : 22×14 [mm]

Fig.4. Distribution of shear strain : Type C : 22×6 [mm]

3・2 試験片ならびに実験条件

天然ゴム (硬度 $H_s = 60$) 製の3種類の縦横比の異なる長方形断面の試験片 (A : 22×14 [mm], B : 22×10 [mm], C : 22×6 [mm], 標点間距離 40[mm]) を用い, その表面に等間隔 (2.0[mm]) に格子状の罫書き線を予め描く.

本実験では, 初めに引張 (変位 $u = 6$ [mm]) を加えて一定値に保持した状態で, 大きな振り (最大振り角 $\varphi_{deg.} = 315$ [deg], 試験片 A については $\varphi_{deg.} = 225$ [deg]) を加えて実験を行う. なお, 画像の撮影は, 標点間の中央部と上部の要素に対し行う. また, 断面内の歪の撮影では, 振り角 $\varphi_{deg.} = 135, 225, 315$ [deg] で, 水平方向の微小要素に対して行う.

4. 実験結果と考察

3種類の長方形断面の中で, 試験片 A と C に対して, 剪断応力と剪断歪の関係を比較したものが図 2 (a) と (b) である. ここで, 図中のプロット (●, ●) がサンプルナの振り理論に基づき試験機の振り角より求めた正面と側面に対する結果を表している. また, 図中のプロット (□, □) が正面側の中央部ならびに上部の本実験の画像の測定結果を, 一方で, プロット (△, △) が側面側の結果をそれぞれ表しており, 正面側に比べて小さいことがこの図より確認できる.

縦横比の大きい試験片 C の側面側の結果は, 縦横比の小さい試験片 A の側面側の結果に比べて剪断歪と剪

断応力が小さいことが確認できる.

次に, 図 3 と図 4 の (a) と (b) は, 試験片 A と C について, 振り角が $\varphi_{deg} = 225$ [deg] のときの正面側 (□, □) と側面側 (△, △) の中央部ならびに上部の画像の断面内の剪断歪の分布を表したものである.

正面側では, 中央部 (□) が上部 (□) に比べて大きく, 側面側では, 中央部 (△) が上部 (△) に比べて小さくなる. なお, 正面側でも側面側でも断面内の周辺に近づく程, 剪断歪が減少する傾向となる.

なお, 図 2 の黒と紫のプロット (●, ●) と, 図 3 と図 4 の黒と紫の曲線は, サンプルナの振り理論の正面と側面の解析結果を示している. これらに対して, 灰色とピンク色のプロット (●, ●) は, 試験片表面における伸びの修正を施した結果であり. この修正後の結果は, 正面側では本画像解析より得られた実験結果に近づくことが確認できる. 一方で, 側面側では, 正面側に比べて十分に近づかないことが確認できる.

5. 結言

引張後の大きな振りを検討し, 以下の結論が得られた.

- (1) アスペクト比が大きい程, 側面側の剪断歪が小さい.
- (2) 画像測定で得られた剪断歪の分布は, 正面側では中央部が上部に比べ大きく, 側面側では, 中央部が上部に比べ小さい.
- (3) サンプルナの理論に試験片表面の伸びを考慮した結果は, 側面側では, 正面側に比べて十分に近づかない.