

# 軸力とトルクを同時に負荷する組合せ荷重下におけるストレインゲージによるひずみの測定法

谷 本 昇\*

The method of strain measurement under the simultaneously combined loading of axial force and torque

Noboru TANIMOTO

## Abstract

This paper presents the new method of measurements by means of strain gages for the torsional shear strain and axial strain on surface of solid bar with circular cross section or cylinder which is simultaneously subjected to combined loading of axial force and torque. In the new method, strain gages mounted in the direction parallel to its axis, in the direction inclined to the axis by  $45^\circ$  and in the direction inclined to the axis by  $90^\circ$  are cemented.

## 1 緒 言

固体材料の変形挙動の研究におけるひずみの測定は、その研究の基本的な、基礎的な作業の1つである。ひずみの測定方法は種々有り、それらの特徴が考慮され採用されている。これらのひずみ測定法の中で、ストレインゲージを用いるひずみ測定法は、多くの生産現場で、あるいは多くの研究室で採用されているひずみ測定法の1つである。

固体材料の一般的変形挙動の解明のために非常に重要な研究課題の1つは、薄肉円管の材料が軸力とトルクの組合せ荷重を受ける場合におけるその材料の変形挙動の解明である。ストレインゲージ出力の測定結果から、例えば非弾性域でのひずみの値を算出する。そしてひずみ径路を求めたり、その形や大きさなどを判断する。さらに、応力、ひずみ、そしてひずみ速度などの関係を求めたりする。応力測定、あるいは荷重測定のために、試験棒に直接ストレインゲージを接着したり、あるいはストレインゲージを組み込んだロードセルを試験棒に直列接続したりして行われる。

ひずみの測定にしても、応力測定にしても、あるいは荷重測定にしても、まず、ひずみの測定から始めること

になる。そして、そのひずみはストレインゲージ出力から計算によって求めることになる。

このように、ストレインゲージ出力からのひずみの算出方法は、基本的であると同時に、非常に重要な課題である。しかし、ストレインゲージを用いて、軸力とトルクの組合せ荷重下におけるひずみの求め方は十分に解明されていない<sup>[1]~[7]</sup>。また、軸力とトルクの組合せ荷重下における材料の変形挙動についての実験的研究報告において、試験片に負荷されている荷重測定は、ストレインゲージを組み込んだロードセルを試験片に直列接続したり、あるいはストレインゲージを、試験片に直列接続した弾性棒に直接接着して行っているし、試験片そのもののひずみ測定はストレインゲージを試験片に直接接着して行っているが、ストレインゲージ出力から、軸力、トルクあるいは軸ひずみ、ねじりせん断ひずみを算出するとき、どのような算出方法、計算式によって行ったか必ずしも明確にされていない<sup>[8]~[13]</sup>。

最近、軸力とトルクの組合せ荷重下において、ストレインゲージを用いて、ストレインゲージ出力から試験棒表面の軸ひずみと試験棒表面のねじりせん断ひずみを求める計算式について、軸力を負荷しさらにトルクを負荷した場合と、トルクを負荷しさらに軸力を負荷した場合について解析された<sup>[14]~[15]</sup>。

\* 宇部工業高等専門学校機械工学科

本論文では、丸棒あるいは円管に軸力とトルクが同時に負荷される組合せ荷重下において、ストレインゲージ出力から試験片表面の軸ひずみと試験片表面のねじりせん断ひずみを求める計算式を導出する。

本論文での解析結果、したがって測定法は静的な変形挙動から動的な変形挙動の場合まで適用可能である。

ストレインゲージによるひずみ、あるいは応力、荷重の測定法は、ストレインゲージ自身が単純であること、直線性が優れていることなどのため、広く採用されているが、ここでは、ストレインゲージそのものの性質等については問わない。

以下、軸力負荷に伴う試験棒の半径方向変化を無視した場合の解析、そしてそれを考慮した場合の解析を行う。

## 2 軸力負荷に伴う半径方向変化を無視した場合

軸力、あるいはトルクがそれぞれ単独で負荷されている場合、軸方向に接着したストレインゲージ出力、軸方向に対して45°方向に接着したストレインゲージ出力には、それぞれの負荷荷重の影響だけがおよぶ。

丸棒、あるいは円管に軸力とトルクを同時に負荷する組合せ荷重下において、ストレインゲージを用いて、試験片表面のねじりせん断ひずみと試験棒表面の軸ひずみを求める場合、トルクが軸方向に接着したストレインゲージに及ぼす影響と、軸力が軸方向に対して45°方向に接着したストレインゲージ出力に及ぼす影響を考慮しなければならない。

本節の場合、試験棒表面のねじりせん断ひずみと試験棒表面の軸ひずみを測定するために、普通、図1のように、試験片軸方向と、軸方向に対して45°方向に2枚のストレインゲージを接着する。

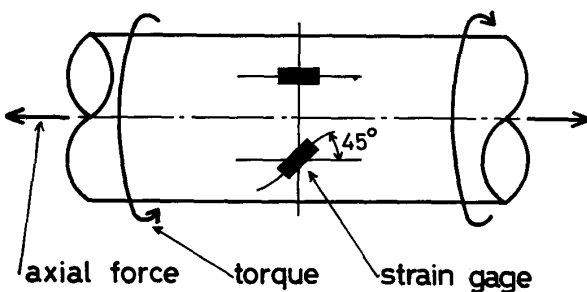


図1 ストレインゲージの接着位置と方向

図2に、軸力とトルクを同時に負荷した場合、試験片外表面とそれに接着したストレインゲージの変形の様子

を示す。

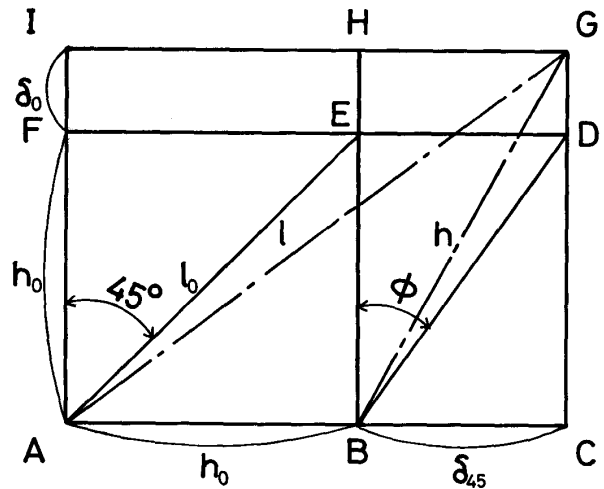


図2 試験片表面とストレインゲージの変形の様子

使用する記号とそれらの関係を定義すると次のようになる。

$l_0$  : 軸方向に対して45°方向に接着したストレインゲージの変形前の長さ

$l$  : 軸方向に対し45°方向に接着したストレインゲージの変形後の長さ

$h_0$  : 軸方向に接着したストレインゲージの変形前の長さ  
 $h_0 = l_0 / \sqrt{2}$  (1)

$h$  : 軸方向に接着したストレインゲージの変形後の長さ

$\delta_0$  : 軸力負荷による試験片の軸方向変位

$\delta_{45}$  : トルク負荷による、軸方向に接着したストレインゲージ両端の周方向上での相対変位

$\phi$  : トルク負荷による、軸方向に接着したストレインゲージの変形前と変形後における角度

$\epsilon_{45}$  : 軸方向に対して45°方向に接着したストレインゲージ出力 (公称ひずみ)

$$\epsilon_{44} = l/l_0 - 1 \quad (2)$$

$\bar{\epsilon}_{45}$  : 軸方向に対して45°方向に接着したストレインゲージ出力 (真ひずみ)

$$\bar{\epsilon}_{45} = \ln(1 + \epsilon_{45}) \quad (3)$$

$\epsilon_0$  : 軸方向に接着したストレインゲージ出力 (公称ひずみ) .  $\epsilon_0 = h/h_0 - 1$  (4)

$\bar{\epsilon}_0$  : 軸方向に接着したストレインゲージ出力 (真ひずみ) .  $\bar{\epsilon}_0 = \ln(1 + \epsilon_0)$  (5)

$\gamma$  : トルク負荷による試験片表面の公称ねじりせん断ひずみ.  $\gamma = \phi$  (6)

$\bar{\gamma}$  : トルク負荷による試験片表面の真のねじりせん断

$$\begin{aligned} \text{ひずみ, } \bar{r} &= \tan \phi \\ &= \delta_{45}/h_0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon : \text{軸力負荷による試験片表面の公称軸ひずみ,} \\ \varepsilon &= \delta_0/h_0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon} : \text{軸力負荷による試験片表面の真の軸ひずみ,} \\ \bar{\varepsilon} &= \ln(1 + \varepsilon) \end{aligned} \quad (9)$$

図2を参照して、直角三角形ACGとBCGそれぞれにピタゴラスの定理を適用し、(1)~(9)式を用いると、ストレインゲージ出力 $\bar{\varepsilon}_0$ 、 $\bar{\varepsilon}_{45}$ と試験片表面のねじりせん断ひずみ $\bar{r}$ 、軸ひずみ $\bar{\varepsilon}$ の関係式を得る。

$$\begin{aligned} 2 \text{EXP}(2\bar{\varepsilon}_{45}) - \text{EXP}(2\bar{\varepsilon}) \\ - (1 + \bar{r})^2 = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{EXP}(2\bar{\varepsilon}_0) - \text{EXP}(2\bar{\varepsilon}) - (\bar{r})^2 = 0 \quad (11)$$

公称ひずみ $\varepsilon_{45}$ 、 $\varepsilon_0$ 、 $\varepsilon$ を用いると、(10)、(11)式は、

$$(\bar{r})^2 + 2\bar{r} + \varepsilon^2 + 2\varepsilon - 2\varepsilon_{45}^2 - 4\varepsilon_{45} = 0 \quad (12)$$

$$(\bar{r})^2 + \varepsilon^2 + 2\varepsilon - \varepsilon_0^2 - 2\varepsilon_0 = 0 \quad (13)$$

となる。

(10)、(11)式あるいは(12)、(13)式が、軸方向に接着したストレインゲージ出力と、軸方向に対して $45^\circ$ 方向に接着したストレインゲージ出力から、試験片表面のねじりせん断ひずみと試験片表面の軸ひずみを求める基礎式である。

(10)、(11)式を $\bar{r}$ 、 $\bar{\varepsilon}$ について解くと、

$$\bar{r} = \{ 2 \text{EXP}(2\bar{\varepsilon}_{45}) - \text{EXP}(2\bar{\varepsilon}_0) - 1 \} / 2 \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon} = \ln \{ \text{EXP}(2\bar{\varepsilon}_0) - \{ 2 \text{EXP}(2\bar{\varepsilon}_{45}) \\ - \text{EXP}(2\bar{\varepsilon}_0) - 1 \}^2 / 4 \}^{1/2} \end{aligned} \quad (15)$$

を得る。

(14)、(15)式は、試験片表面の真のねじりせん断ひずみ $\bar{r}$ と試験片表面の真の軸ひずみ $\bar{\varepsilon}$ を、軸方向に接着したストレインゲージの真のひずみ $\bar{\varepsilon}_0$ と軸方向に対して $45^\circ$ 方向に接着したストレインゲージの真のひずみ $\bar{\varepsilon}_{45}$ で表わしている。

(14)、(15)式から(3)、(5)式を用いると、試験片表面の真のねじりせん断ひずみ $\bar{r}$ と試験片表面の真の軸ひずみは、2方向のストレインゲージの公称ひずみ $\varepsilon_0$ 、 $\varepsilon_{45}$ で表わされる。

$$\bar{r} = 2\varepsilon_{45} - \varepsilon_0 + \varepsilon_{45}^2 - \frac{1}{2}\varepsilon_0^2 \quad (16)$$

$$\bar{\varepsilon} = \ln \left\{ (1 + \varepsilon_0)^2 - \left( 2\varepsilon_{45} - \varepsilon_0 + \varepsilon_{45}^2 - \frac{1}{2}\varepsilon_0^2 \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (17)$$

次に、軸力とトルクを同時に負荷する組合せ荷重下において、軸力負荷に伴う半径方向変化を無視した場合、

試験片表面のねじりせん断ひずみと試験片表面の軸ひずみを求める近似式を算出する。

(12)、(13)式において、各ひずみの2次以上の項を省略すると

$$\bar{r} \approx 2\varepsilon_{45} - \varepsilon_0 \quad (18)$$

$$\varepsilon \approx \varepsilon_0 \quad (19)$$

を得る。

(18)式は、軸方向及び軸方向に対して $45^\circ$ 方向に接着したストレインゲージの出力を含んでいる。(19)式は、軸方向ストレインゲージの出力だけで表現されている。

次に、本節における厳密な式(12)、(13)式から、近似式(18)、(19)を導く段階で、(13)式における $\bar{r}^2$ の項を残すと、

$$\bar{r} \approx 2\varepsilon_{45} - \varepsilon \quad (20)$$

$$\varepsilon \approx \varepsilon_0 - \frac{1}{2}(\bar{r})^2 \quad (21)$$

を得る。

(21)式は、文献〔13〕で用いられている。

(20)、(21)式を解くと、

$$\bar{r} \approx 1 - (1 - 4\varepsilon_{45} + 2\varepsilon_0)^{1/2} \quad (22)$$

$$\varepsilon \approx -1 + 2\varepsilon_{45} + (1 - 4\varepsilon_{45} + 2\varepsilon_0)^{1/2} \quad (23)$$

となる。

(22)、(23)式は、それぞれ軸力負荷が、試験片軸方向に対して $45^\circ$ 方向に接着したストレインゲージ出力に及ぼす影響を表わす項と、トルク負荷が、軸方向に接着したストレインゲージ出力に及ぼす影響を表わす項を含んでいる。

近似式(22)、(23)式は、近似式(18)、(19)式より良い近似となる。

軸力とトルクを同時に負荷する組合せ荷重下における実験に際して、(18)、(19)式あるいは(22)、(23)式が用いられているのか明確ではない。あるいは単軸負荷重下で用いられている式

$$\bar{r} \approx 2\varepsilon_{45} \quad (24)$$

$$\varepsilon \approx \varepsilon_0 \quad (25)$$

が用いられているのかも知れない。また、あるいはねじりせん断ひずみに関してはトルク負荷だけの場合に用いる式(24)式を採用し、軸ひずみに関しては(21)式を採用しているのかも知れない。

$$\bar{r} \approx 2\varepsilon_{45} \quad (26)$$

$$\varepsilon \approx \varepsilon_0 - \frac{1}{2}\bar{r}^2$$

$$\approx \varepsilon_0 - 2\varepsilon_{45}^2 \quad (27)$$

いずれにしても、この節の各計算式は軸力負荷に伴う半径方向変化を無視した場合であり、近似式である。

### 3 軸力負荷に伴う半径方向変化を考慮した場合

前節では、軸力負荷に伴う半径方向変化を無視した場合について解析した。しかし、実際には、トルクと軸力の組合せ荷重において、軸力を負荷することによって、丸棒あるいは円管には半径方向の変化が生じる。したがって、この軸力負荷に伴う半径方向変化を考慮しなければ、試験片表面の正確なねじりせん断ひずみと軸ひずみを求めることができない。

ストレインゲージによるひずみの検出について、一般的には、被測定材にどのような様式の負荷荷重が作用しているかということには関係がない。被測定材に軸力だけが作用しておろうとも、あるいはさらに曲げ荷重、トルクが加わっておろうとも、どうでもよいことである。ストレインゲージが接着された方向における被測定材の変形に対応して、ストレインゲージが変形（伸縮）し、その変形がストレインゲージの抵抗変化となり、ホイートストンプリッジ回路、あるいはポテンショメータ回路に関連して、その出力端で電圧変化となり、それらを何らかの計器で読みとり、その電圧変化を用いて、使用したホイートストンプリッジ回路、あるいはポテンショメータ回路に関連させて、ストレインゲージそのもののひずみを算出する。そして、その値が、ストレインゲージの変形と被測定材の変形が同一のとき、すなわちストレインゲージと被測定材の接着が完全であるとき、ストレインゲージが接着された方向における被測定材のひずみとなる。以上のことが、ストレインゲージによるひずみの検出ということの一般的様式である。

測定材と被測定材が接着されている接触方式のひずみ測定法であるストレインゲージによるひずみ測定法は、被測定材そのものの変形を考察しなければならない。ストレインゲージを接着した箇所の被測定材の変形状態すなわち接着したストレインゲージそのものの変形と、被測定材の表面の軸ひずみとねじりせん断ひずみの定義との関係を考察しなければならない。

被測定材に次の仮定を設ける。すなわち、丸棒あるいは円管の長さは、トルク負荷によって変化しない。この仮定は、普通の変形状態では計容できるものと思われる。

本節で解析するひずみの計算式、したがって、ひずみの測定法は、丸棒あるいは円管に軸力とトルクを同時に負荷する組合せ荷重下において、軸力負荷に伴う試験片の半径方向変化を考慮した場合、試験片表面の3方向に接着したストレインゲージの出力（ひずみ）から、試験

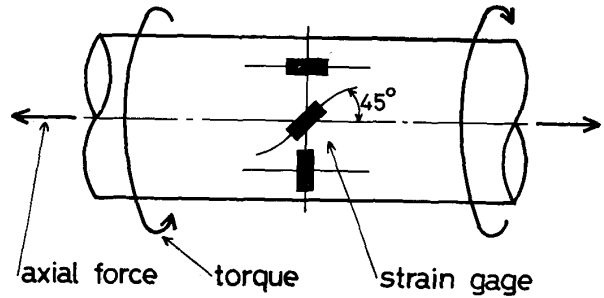


図3 ストレインゲージの接着位置と方向

片表面の軸ひずみと試験片表面のねじりせん断ひずみを求める方法である(図3)。それは、試験片軸方向に接着したストレインゲージの出力、軸方向に対して45°方向に接着したストレインゲージの出力、そして試験片軸方向に対して90°方向、すなわち周方向に接着したストレインゲージの出力から、試験片表面のねじりせん断ひずみと軸ひずみを求める方法である。

本節で使用する記号、及びそれらの間の関係式は、大部分、前節で用いたものと重なるが、記号 $\delta_{45}$ と $\phi$ は、図4で示されたところを表わす。さらに、周方向に接着したストレインゲージの出力（公称ひずみ）を $\epsilon_{90}$ 、その真ひずみを $\bar{\epsilon}_{90}$ で表わすことにする。

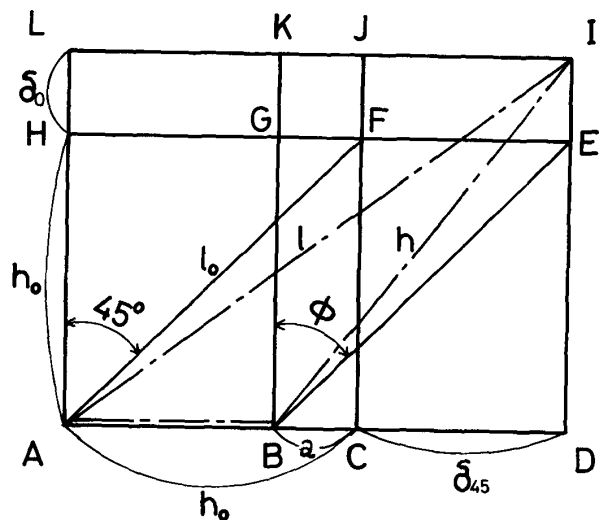


図4 試験片表面とストレインゲージの変形の様子

図4は、試験片表面とストレインゲージの変形の様子を示す。

図4を参照して、CF、AFそしてACが、それぞれ軸方向、軸方向に対して45°方向、そして周方向に接着したストレインゲージであり、変形前の状態を示す。

軸力とトルクを同時に負荷すると、軸力のため、CFは、図4では軸力として引張りの場合であるが、BGの

方へ平行移動し、かつ J の方へ伸びようとする。一方、トルクのため、CF の F は、C に対して相対的に回転し、E の方へ移動しようとする。この 2 つの動きが重なって、CF は、変形後 BI となる。

AF の F は、A に対して、引張りに対して伸びようとし、トルクに対して相対的に回転し、変形後は I に行く。

AC は、軸力、ここでは引張りの場合を示しているが、この軸力のため、試験片は細くなり、変形後は AB となる。トルクによる回転の影響は原理的には受けない。

直角三角形 ADI, BDI それぞれにピタゴラスの定理を適用し、(1)~(9)式を用いると、

$$2 \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_{45}) - \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}) - \{ \bar{\gamma} + \text{EXP} (\bar{\epsilon}_{90}) \}^2 = 0 \quad (28)$$

$$\text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_0) - \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}) - (\bar{\gamma})^2 = 0 \quad (29)$$

を得る。

(28), (29)式は試験片表面の真の軸ひずみ  $\bar{\epsilon}$ 、試験片表面の真のねじりせん断ひずみ  $\bar{\gamma}$ 、軸方向に接着したストレインゲージの真ひずみ  $\bar{\epsilon}_0$ 、軸方向に対して  $45^\circ$  方向に接着したストレインゲージの真ひずみ  $\bar{\epsilon}_{45}$ 、そして軸方向に対し  $90^\circ$  方向に接着したストレインゲージの真ひずみ  $\bar{\epsilon}_{90}$  の間の関係式である。

(28), (29)式で、試験片表面の真のねじりせん断ひずみを  $\bar{\gamma}$  除いて、各ひずみを公称ひずみで表わすと、

$$4 \epsilon_{45} + 2 \epsilon_{45}^2 - \epsilon^2 - 2 \epsilon - \bar{\gamma}^2 - 2 \bar{\gamma} - \epsilon_{90}^2 - 2 \epsilon_{90} - 2 \bar{\gamma} \epsilon_{90} = 0 \quad (30)$$

$$2 \epsilon_0 - \epsilon_0^2 - 2 \epsilon - \epsilon^2 - \bar{\gamma}^2 = 0 \quad (31)$$

となる。

(28), (29)式を、 $\bar{\epsilon}$ ,  $\bar{\gamma}$  について解くと、

$$\bar{\gamma} = \{ 2 \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_{45}) - \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_0) - \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_{90}) \} / \{ 2 \text{EXP} (\bar{\epsilon}_{90}) \} \quad (32)$$

$$\bar{\epsilon} = \ln \left[ \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_0) - \{ 2 \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_{45}) - \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_0) - \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_{90}) \}^2 / \{ 4 \text{EXP} (2 \bar{\epsilon}_{90}) \} \right]^{1/2} \quad (33)$$

を得る。

(32), (33)式が、丸棒あるいは円管に軸力とトルクを同時に負荷する組合せ荷重下において、試験片表面の 3 方向に接着したストレインゲージの真ひずみ  $\bar{\epsilon}_0, \bar{\epsilon}_{45}, \bar{\epsilon}_{90}$  から、試験片表面の真のねじりせん断ひずみ  $\bar{\gamma}$  と試験片表面の真の軸ひずみ  $\bar{\epsilon}$  を求めるための式である。

(32), (33)式の右辺の各ひずみを公称ひずみで表わすと、

$$\bar{\gamma} = \{ 2 (1 + \epsilon_{45})^2 - (1 + \epsilon_0)^2 - (1 + \epsilon_{90})^2 \}$$

$$/ \{ 2 (1 + \epsilon_{90}) \} \quad (34)$$

$$\bar{\epsilon} = \ln \left[ (1 + \epsilon_0)^2 - \{ 2 (1 + \epsilon_{45})^2 - (1 + \epsilon_0)^2 - (1 + \epsilon_{90})^2 \}^2 / \{ 4 (1 + \epsilon_{90})^2 \} \right]^{1/2} \quad (35)$$

となる。

軸力負荷に伴う試験片半径方向変化を考慮した式(28)と(29)式、(30)と(31)式、(32)と(33)式、そして(34)と(35)式において、

$$\bar{\epsilon}_{90} = 0 \quad \text{or} \quad \epsilon = 0 \quad (36)$$

とおくと、それぞれは、軸力負荷に伴う試験片半径方向変化を無視した式(10)と(11)式、(12)と(13)式、(14)と(15)式、そして(16)と(17)式に一致する。

次に、丸棒あるいは円管に軸力とトルクを同時に負荷する組合せ荷重下で、軸力負荷に伴う試験片半径方向変化を考慮した場合、試験片表面のねじりせん断ひずみと試験片表面の軸ひずみを求める近似式を導出する。

(30), (31)式において、各ひずみの 2 次以上の項を省略すると、

$$\bar{\gamma} \approx 2 \epsilon_{45} - \epsilon_0 - \epsilon_{90} \quad (37)$$

$$\epsilon \approx \epsilon_0 \quad (38)$$

を得る。

試験片表面のねじりせん断ひずみを求める近似式(37)式では、試験片の 3 方向に接着したストレインゲージの出力を含んでいる。一方、試験片表面の軸ひずみを求める近似式(38)式には、トルクが軸方向に接着したストレインゲージの出力に及ぼす影響を表わす項が含まれていない。

ここで、(37), (38)式は、(36)式を用いると、軸力負荷に伴う試験片半径方向変化を無視した場合における近似式の 1 組(18), (19)式と一致する。

次に、(37), (38)式より精度の良い近似式を導出する。

(30), (31)式から(37), (38)式を導く段階で、(31)式において、 $\bar{\gamma}^2$  の項を残すと、

$$2 \epsilon_{45} - \epsilon - \bar{\gamma} - \epsilon_{90} \approx 0 \quad (39)$$

$$2 \epsilon_0 - 2 \epsilon - \bar{\gamma}^2 \approx 0 \quad (40)$$

を得る。

(39), (40)式を  $\bar{\gamma}$ ,  $\epsilon$  について解くと、

$$\bar{\gamma} \approx 1 - (1 - 4 \epsilon_{45} + 2 \epsilon_0 + 2 \epsilon_{90})^{1/2} \quad (41)$$

$$\epsilon \approx -1 + 2 \epsilon_{45} - \epsilon_{90} + (1 - 4 \epsilon_{45} + 2 \epsilon_0 + 2 \epsilon_{90})^{1/2} \quad (42)$$

を得る。

(41), (42)式は、試験片表面のねじりせん断ひずみと試験片表面の軸ひずみとも、試験片表面の 3 方向に接着したストレインゲージの出力を含んでいる。

近似式(41), (42)式は、近似式(39), (40)式により良い精度を

有する。

軸力負荷に伴う半径方向変化を考慮した場合における近似式(39)と(40)式、(41)と(42)式は、(38)式を用いると、軸力負荷に伴う試験片半径方向変化を無視した場合における近似式(20)と(21)式、(22)と(23)式に一致する。

試験片表面に、軸方向に対して $90^\circ$ 方向、すなわち周方向に接着したストレインゲージの出力 $\bar{\epsilon}_{90}$ 、あるいは $\epsilon_{90}$ は、軸方向、あるいは軸方向に対して $45^\circ$ 方向に接着したストレインゲージの出力 $\bar{\epsilon}_0$ あるいは $\epsilon$ 、 $\bar{\epsilon}_{45}$ あるいは $\epsilon_{45}$ と同じオーダーの大きさであるので、軸力とトルクを同時に負荷する組合せ荷重下において、試験片表面のねじりせん断ひずみと試験片表面の軸ひずみを求める場合、軸力負荷に伴う試験片半径方向変化を考慮した本節の解析結果を用いなければならない。

#### 4 結 言

丸棒あるは円管に軸力とトルクを同時に負荷する組合せ荷重下において、ストレインゲージを用いて、試験片表面のねじりせん断ひずみと試験片表面の軸ひずみを求める測定法について、

- 1 軸力に伴う試験片半径方向変化を無視した場合の厳密な式及び近似式を導出した。

次に、

- 2 軸力に伴う試験片半径方向変化を考慮した場合の厳密な式及び近似式を導出し、
- 3 1における計算式には大きな誤差が含まれることを示した。

したがって、

- 4 本論文の3部で示した方法は、新しい測定法と成り得る。
- 5 本論文の結果は、固体材料の静的な変形挙動の場合

にも動的な場合にも適用可能である。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本材料試験協会編，材料試験便覧，（昭32），丸善。
- 2) 中川・盛中・遠藤・光永，材料試験方法，（昭48），養賢堂。
- 3) 日本機械学会編，機械工学便覧（改訂第6版，測定法・自動制御），（昭51），日本機械学会。
- 4) 日本材料学会編，金属材料強度試験便覧，（昭52），養賢堂。
- 5) 川田・松浦・水野・宮川，材料試験，（昭53），共立出版。
- 6) 須藤，材料試験法，（昭55），内田老鶴圃新社。
- 7) 河本，材料試験，（昭55），朝倉書店。
- 8) 大橋・川嶋・徳田，機論，39—318（昭48），534。
- 9) 白鳥・池上・金子，機論，39—318（昭48），458。
- 10) Lindholm, U.S. and Yeakley, L. M., *Exper. Mech.*, 7—1 (1967), 1.
- 11) 谷本・林，第25回塑性加工連合講演会講演論文集，（昭49），431。
- 12) Hayashi, T. and Tanimoto, N., *Proc. 19th Japan Congr. Mat. Rec.*, (1976), 53.
- 13) 放生・茶谷，機論，44—382（昭53—8），2568。
- 14) 谷本，日本機械学会関西支部 第242回講演会発表予定，（昭56—11）。
- 15) 谷本，日本機械学会中国四国支部松山地方講演会発表予定，（昭56—11）。

（昭和56年9月21日受理）