

UDC 539.3.082

731.004.12

航空宇宙技術研究所資料

TM-41

抵抗線歪ゲージのゲージ率測定

田畑浄治・大坪孔治・滝沢 実

1964 年 10 月

航空宇宙技術研究所

77
77
77

抵抗線歪ゲージのゲージ率測定*

田畑 浄 治**・大坪 孔 治**・滝 沢 実**

1. ま え が き

抵抗線歪ゲージはきわめて小形軽量で、使用のさい被測定物体にほとんど影響を及ぼすことがなく、また用法が簡便で、しかも精度が高いなどの幾多の利点を有するがゆえに、今日応力・歪測定分野で最も数多く使用され、各種変換器への応用の道も広い。このゲージの精度に関しては、いわゆるゲージ率とその基本的因子と見なされ、製品について表示された値の確度と、表示値に対する個々のばらつきの程度がしばしば問題となる。ばらつきについては、かなり良好であることが先に報告されているが¹⁾、ゲージ率の確度については検定装置そのものの精度が不十分であるために、明確な結論が得られていない。製造者においても逐次本格的な検定機を整備し、検定精度の向上に努めているが、その結果の報告はまだ公になされていない。われわれは、現在の歪ゲージのゲージ率についてその実態を確認して、歪ゲージ利用者の参考に供するとともに、変換器等への応用における基礎資料とする目的で、できるだけ高い精度でゲージ率の測定を行なうことにした。

歪ゲージのゲージ率 K は次式で定義される。

$$K = (\Delta R/R)/\epsilon \quad (1)$$

ただし R : ゲージの抵抗値

ΔR : 歪みによるゲージの抵抗変化量

ϵ : 被測定物体の歪量

したがってゲージ率の測定法としては、ゲージをはりつけた矩形断面の両端支持の梁に単純曲げを与え、梁表面の歪量 ϵ と、それに対応するゲージの抵抗変化率 $\Delta R/R$ を測定し K を求める方法が一般にとられる。ゲージ製造者によるゲージ率検定値は精度 1% 程度と称せられているので、われわれはその一桁上の測定精度を目標とすることとした。

対象として採りあげたゲージは、一般的な形として国内主要 3 社の製品のうち、普通の種類（高温用、塑性用等特殊なものは含めない）、中程度の大きさ（ゲージ長さがだいたい 10 mm 前後）

* 昭和39年10月5日受付

** 計測部

のものに限ってサンプルとすることにした。

2. 歪の測定（歪ゲージ校正試験機）

図1は歪量の測定に用いた歪ゲージ校正試験機で、その機構を図2に示す。ゲージをはる測定用梁(1)は一組のモーメントアーム(2)に取り付けられており、モーメントアームの両端はそれぞれ固定ナイフエッジ(3)と左右方向に自由な揺動ナイフエッジ(4)とによって支持されている。ハンドルジャッキ(5)を回転させると、ナイフエッジ(6)が下に押し下げられ、それを受けるイクォライザビーム(7)、ナイフエッジ(8)、引張り板(9)、ナイフエッジ(10)の順に力が伝えられて、両方のモーメントアームの内側の端に下向きの等しい荷重が加えられる。したがって、それに結合されている測定用梁の両端に等しい曲げモーメントが生じ、梁は単純曲げの状態となり、たわんで表面に歪みを生ずる。ハンドルジャッキの回転の際、摩擦力によるイクォライザビームの回転はスラストベアリング(11)と上下方向のガイド(12)によって防ぐ。ナイフエッジ(8)と(10)の力を受けまたは力を伝える軸受けの部分は横方向荷重や捩り荷重を伝えないようにボールベアリングを使用し、それぞれイクォライザビーム軸およびモーメントアーム軸に対して自由となっており、測定用梁のたわみに伴うモーメントアームの変位は揺動ナイフエッジ(4)によって自由とされているので、軸方向の引張り荷重は梁にかからない。梁表面の歪みを求めるためには梁のたわみ量を測定しなければならないが、それには測定フレーム(13)を用いる。測定フレームの一端は固定された

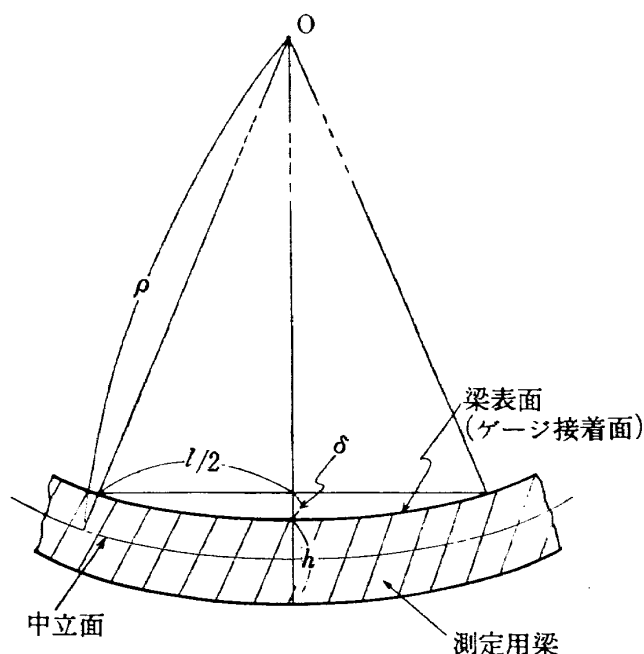


図3 歪測定原理図

ナイフエッジでたち、他端には高感度のダイヤルゲージ(1目盛0.001mm)(15)が取り付けられてそのスピンドルでたっている。フレーム中央に最小目盛0.001mmのミクロン形マイクロメータヘッド(16)を垂直に取り付け、たわみがないときおよびたわみを生じた時、常にダイヤルゲージが零を指すようにマイクロメータのスピンドルを調節すれば、その読みの差がたわみ量となる。

いま図3に示すように矩形断面をもつ測定用梁が曲げモーメントによって δ だけたわんだ時、梁表面の歪 ϵ は次式で計算される。

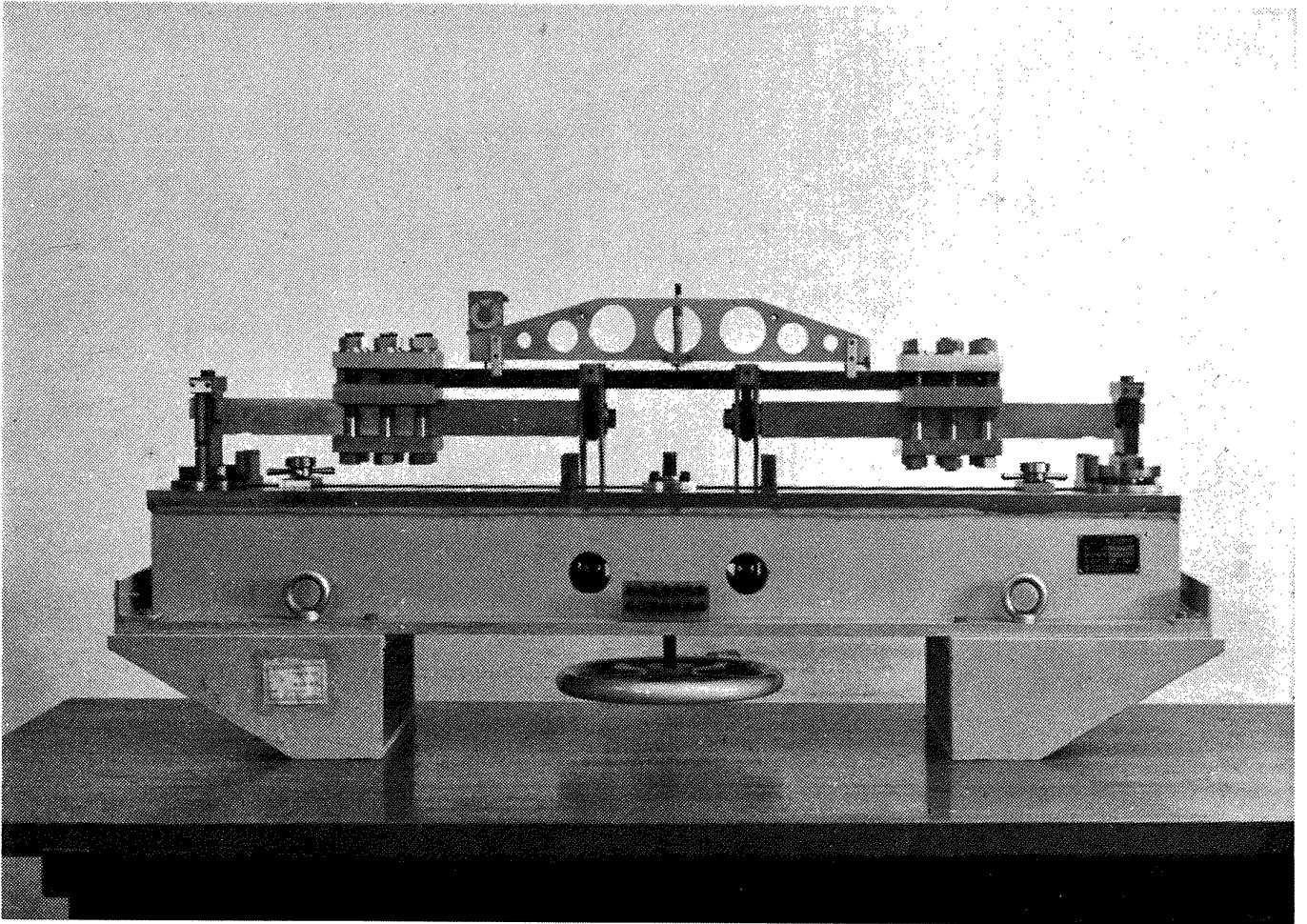


図 1 歪ゲージ校正試験機

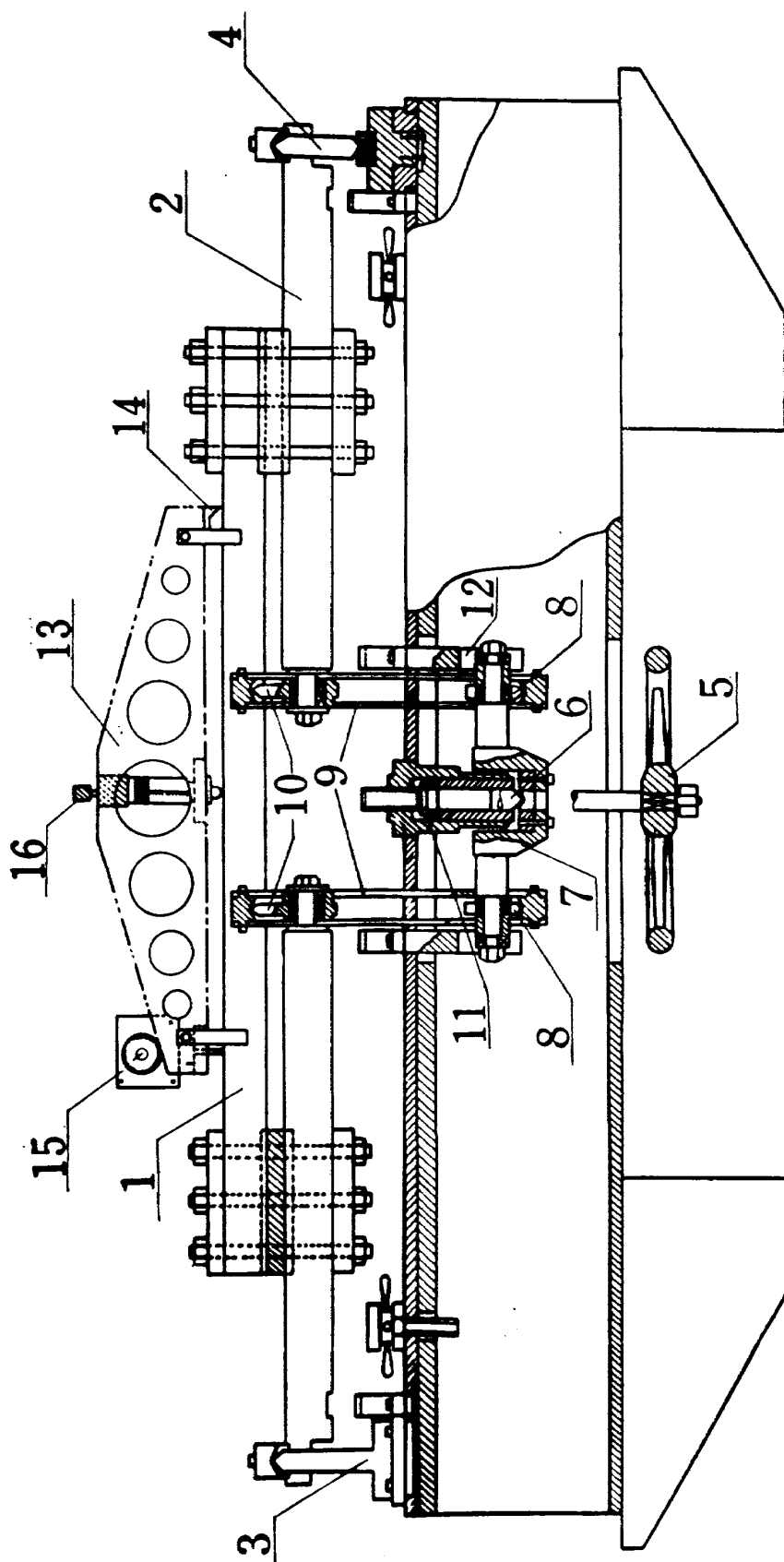


図 2 歪ゲージ校正試験機機構図

$$\epsilon = \frac{(h/2)}{\rho} = \frac{\delta}{(l^2/4h) + \delta + (\delta^2/h)}$$

$$\approx \frac{\delta}{(l^2/4h) + \delta} \quad (2)$$

ただし ρ : 梁の中立線の曲率半径

h : 梁の厚さ

l : 梁の測定部分の長さ

本測定で使用した梁は、860×50×25 mm のニッケルクロム鋼 (SNC-2) で、 $l=500.40$ mm, $h=25.04$ mm であるが、これは $\delta=3.75$ mm で $\epsilon=1500 \mu$ strain の歪量になる。測定用梁は同材質のもの3本を製作し、そのうち1本は温度補償用(ダミー)ゲージを接着するのに用いた。梁の寸法および精度は表1のとおりである。

表 1 測定用梁寸法

(単位 mm)

ビーム	材 質	長 さ	幅	厚 さ	面 精 度
No. 1	SNC-2	860	50±0.05	25.038	±0.004
No. 2	SNC-2	860	50±0.05	25.037	±0.005
No. 3	SNC-2	860	50±0.05	25.036	±0.005

3. 抵抗変化の測定

ゲージの抵抗変化を測定するには図4のように2ゲージ温度補償法を用いたホイートストンブリッジ回路を用いる。図4において、 R_1 がアクチブゲージ、 R_2 はダミーゲージであり、 R_3, R_4 は精密級の可変抵抗器および固定抵抗器を組み合わせたものである。 R_3 は測定前にあらかじめダミーゲージ R_2 と等しくなるよう調整し測定中は固定しておく。 R_4 は (イ)、(ロ)、(ハ) の3部分よりなり、(ロ)と(ハ)が調整部で、その合成抵抗値は 1Ω 以下である。(ロ)は粗調整部で $0.1 \sim 1 \Omega$ の可変抵抗2個を並列につなぎ、 50μ strain 以上の歪量を調整する。(ハ)は微調整部で固定抵抗2個と $0.01 \sim 100 \Omega$ の可変抵抗を並列につなぎ、最小 0.5μ strain まで調整できる。測定にあたっては、あらかじめ $R_2 = R_3 = R_1 = R_4$ に設定しておく。ゲージ R_1 の抵抗変化に対して R_4 を調整してバランスをとると、 $\Delta R_1 = \Delta R_4$ となるから調整量 ΔR_4 をケルビンのダブルブリッジで $10^{-4} \Omega$ まで測定し、ゲージの抵抗変化を求める。

各ゲージの抵抗値は、接着処理が完了した後同じ長さのリード線を取りつけ、ホイートストンブリッジで5桁まで測定し、リード線の抵抗値をさし引いた値を用いた。

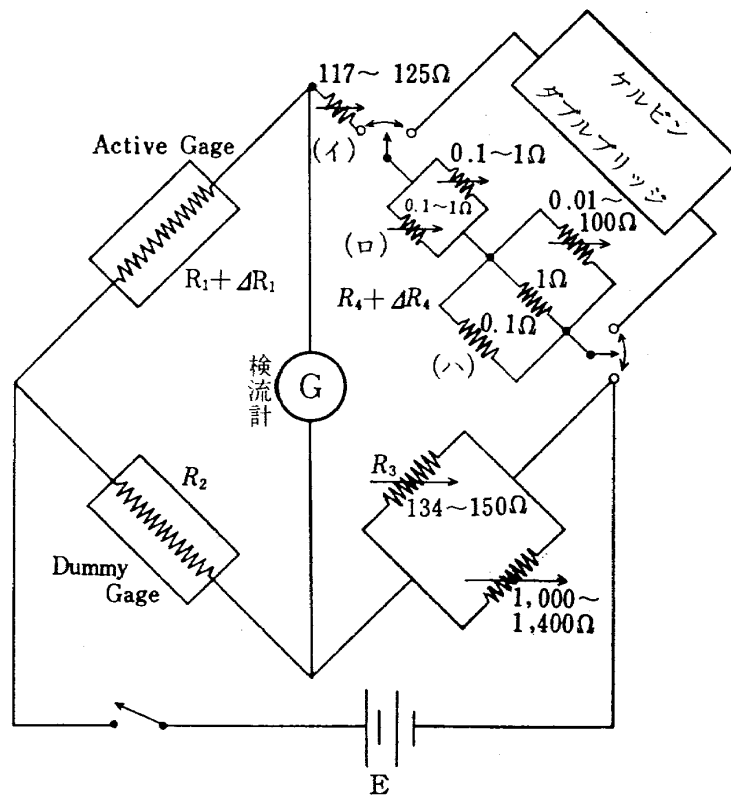


図 4 抵抗変化測定回路

4. 補 正 量

上記の 2. および 3. によってゲージ率が求められるが、そのさい測定時の条件によって次のような補正を行なわなければならない。

(1) 測定用梁のポアソン比による補正

ゲージには横方向感度があるために、測定に用いる梁のポアソン比が異なると測定値が変わる。ポアソン比がそれぞれ ν, ν' の梁を用いて測定したゲージ率を K, K' 、また、ゲージの縦方向および横方向の感度係数をそれぞれ α, β 、ゲージ線材の歪感度を F とすると、実効的なゲージ率は

$$K = F(\alpha - \nu\beta) = F\{1 - (1 + \nu)\beta\} \quad (3)$$

ただし

$$\alpha + \beta = 1$$

したがって

$$\frac{K'}{K} = \frac{F\{1 - (1 + \nu')\beta\}}{F\{1 - (1 + \nu)\beta\}} \div 1 + (\nu - \nu')\beta \quad (4)$$

ただし

$$\beta^2 \ll 1$$

測定に用いた折返し半円形のゲージについては、ゲージ全長を L 、ゲージ幅を w とすれば

$$\beta = \pi w / 4L^{2)} \quad \text{であるから}$$

$$\frac{K'}{K} \neq 1 + \frac{\pi w}{4L}(\nu - \nu') \quad (5)$$

ポアソン比 ν なる梁を用いて得た値 K は、 ν' なる梁で測った値と比較するために、(5) 式を用いて K' に直さなければならない。われわれの場合 $\nu = 0.31$ で、 ν' は各製造会社で使用している梁の値を用いる。

なお箔ゲージでは $\beta \neq 0$ ゆえ

$$\frac{K'}{K} \neq 1$$

したがって、補正を加える必要はない。

(2) 歪方向に偏角してはった場合の誤差

平面歪において、ある xy 直交座標軸について垂直歪を $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ 、剪断歪を γ_{xy} とし、これに対して逆時計回りに θ だけ回転させた座標軸 $x'y'$ についての歪成分を $\varepsilon_{x'}, \varepsilon_{y'}, \gamma_{x'y'}$ とすると、一般にその関係式は次のごとくなる³⁾。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{x'} &= \varepsilon_x \cos^2 \theta + \varepsilon_y \sin^2 \theta + \gamma_{xy} \cos \theta \sin \theta \\ \varepsilon_{y'} &= \varepsilon_x \sin^2 \theta + \varepsilon_y \cos^2 \theta - \gamma_{xy} \cos \theta \sin \theta \\ \gamma_{x'y'} &= 2(\varepsilon_y - \varepsilon_x) \cos \theta \sin \theta + \gamma_{xy}(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

x, y を主歪軸方向にとると $\gamma_{xy} = 0$ ゆえ

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{x'} &= \varepsilon_x \cos^2 \theta + \varepsilon_y \sin^2 \theta \\ \varepsilon_{y'} &= \varepsilon_x \sin^2 \theta + \varepsilon_y \cos^2 \theta \\ \gamma_{x'y'} &= 2(\varepsilon_y - \varepsilon_x) \cos \theta \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

いま ε_x を測定しようとする場合、 x' 方向に歪ゲージをはったとする。剪断歪は問題にしなくてよいから、ポアソン比を ν とすれば、 $\varepsilon_y = -\nu \varepsilon_x$ ゆえ上式に代入して整理すると

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{x'} &= \varepsilon_x \cos^2 \theta - \nu \varepsilon_x \sin^2 \theta = \varepsilon_x \{1 - (1 + \nu) \sin^2 \theta\} \\ \varepsilon_{y'} &= \varepsilon_x \sin^2 \theta - \nu \varepsilon_x \cos^2 \theta = -\varepsilon_x \{\nu - (1 + \nu) \sin^2 \theta\} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

これによってゲージが実際に感ずる歪みは

$$\begin{aligned} \varepsilon_\theta &= \alpha \varepsilon_{x'} + \beta \varepsilon_{y'} \\ &= \alpha \{1 - (1 + \nu) \sin^2 \theta\} \varepsilon_x - \beta \{\nu - (1 + \nu) \sin^2 \theta\} \varepsilon_x \end{aligned} \quad (9)$$

したがって θ だけ偏角してはった場合の歪みは、偏角のない場合の歪 ε_0 に対して次式の割合になる。

$$\frac{\varepsilon_\theta}{\varepsilon_0} = \frac{\alpha \{1 - (1 + \nu) \sin^2 \theta\} - \beta \{\nu - (1 + \nu) \sin^2 \theta\}}{(\alpha - \beta \nu)} \quad (10)$$

折返し半円形型のゲージでは

$$\beta = \frac{\pi w}{4L}, \quad \alpha = 1 - \frac{\pi w}{4L} \quad \text{であるからこれを}$$

(10) 式に代入すれば

$$\frac{\varepsilon_\theta}{\varepsilon_0} = \frac{4L \{1 - (1+\nu) \sin^2 \theta\} - \pi w (1+\nu) (1 - 2 \sin^2 \theta)}{4L - (1+\nu) \pi w} \\ \approx 1 - (1+\nu) \left\{1 - \frac{\pi w}{4L} (1-\nu)\right\} \sin^2 \theta \quad (11)$$

ただし $(\pi w/4L)^2 \ll 1$

また、箔ゲージでは横方向感度はほとんどないので、 $\beta=0$ とすれば

$$\frac{\varepsilon_\theta}{\varepsilon_0} = 1 - (1+\nu) \sin^2 \theta \quad (12)$$

(11), (12) 式を用いてあらかじめ θ に関する補正表を作っておき、各ゲージの偏角 θ を実測して、ゲージに実際に加えられた歪量となるよう補正を行なう。

(3) 梁の側方曲がりによる誤差

このゲージ校正試験機では、製作上の誤差によって荷重状態の梁に側方の曲がりが生じ、その量は中央部で 0.05 mm 程度であるが、そのため梁の中心線よりずれた位置にはったゲージには余分な歪み加わる。その値を (2) 式を利用して求めて、与えた歪みに加え合わせ実際の歪みとする。ただし、(2) 式において、 $l=600$ mm, $\delta=0.05$ mm, $h/2$ =中心線よりゲージまでの距離とおく。

(図 5)

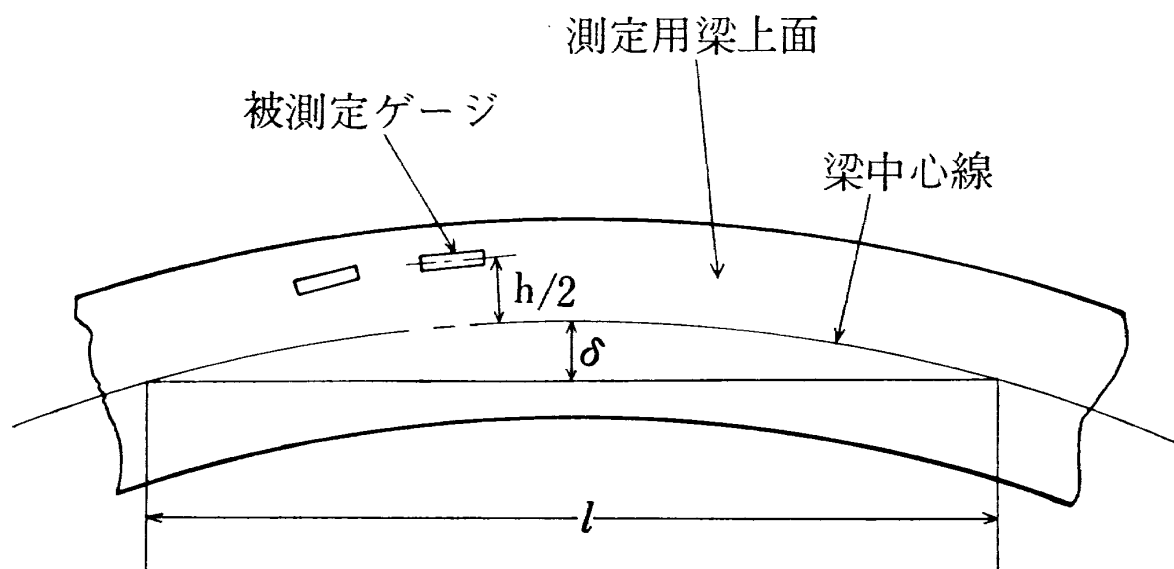


図 5 測定用梁の側方曲がり

5. 測定精度

この測定法における各部分の精度は次のように考えられる。

(1) 歪ゲージ校正試験機の精度

歪ゲージ校正試験機は精度上十分な注意を払って製作されたが、部品工作および組立における誤差により単純曲げ以外の歪みを生ずる可能性がある。その一部は上記の 4. (3) の側方曲がりとなって現われ、補正を加えなければならないが、補正不可能なものは測定誤差の要因となる。主なものとして、(イ) 図 2 に示す荷重を伝えるナイフエッジの間隔 ((6) と (8), (10) と (3) および (4)) の左右の不同による不均一歪、(ロ) モーメントアーム (2) を支える両端のナイフエッジ (3), (4) の不平行のため作用モーメントが測定用梁 (1) の慣性主軸と喰い違うことによる歪、(ハ) イクォライザビーム (7) の上下移動用ガイド (12) の溝の振分け不等のため、作用モーメントが測定用梁の慣性主軸と喰い違うことによる歪、などが考えられる。これら各部の製作時における許容誤差は、(イ) におけるナイフエッジ間寸法の左右差がそれぞれ 0.1 mm, (ロ) におけるナイフエッジの平行度はエッジ長 96 mm に対し 0.1 mm, (ハ) におけるガイド溝の振分け不等は 0.2 mm であって、これらに起因する不等曲げモーメントおよび余分の曲げ応力を計算すると、負荷荷重に対する誤差分が合計 0.07 % となる。

(2) 歪みの測定精度

式 (2) より歪みを求める場合、各量の測定誤差を調べると、

$l=500.40 \text{ mm}$ に対しその誤差は、 $\Delta l=\pm 0.015 \text{ mm}$ 。

$h=25.04 \text{ mm}$ に対しては、厚さの測定精度 $\pm 0.005 \text{ mm}$ と、接着剤層の厚みが $0.06\sim 0.09 \text{ mm}$ の間にばらつくことを考慮すると、

$$\Delta h=\pm \{0.005+(0.09-0.06)\times \frac{1}{2}\times 2\} \text{ mm}=0.035 \text{ mm},$$

$$\delta=3.75 \text{ mm} (1,500 \mu \text{ strain}) \text{ に対し } \Delta \delta=0.001 \text{ mm}$$

したがって、歪みの誤差としてこれらの平均自乗誤差をとると、

$$\left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)_{1,500}=\pm 0.14\%$$

(3) ホイーストンブリッジの検流計の感度

ゲージ出力の最小検出値は測定回路 (図 4) 中の検流計の感度によって定まる。いま検流計に流れる電流を i_a とすると、

$$i_a=\frac{e_0}{R_G+R_B} \quad (13)$$

ただし e_0 : ブリッジ出力電圧 (出力端開放時)

R_G : 検流計の線輪抵抗

R_B : 出力端よりみたブリッジ回路の抵抗

$R_1=R_2=R_3=R_4$ とすれば,

$$R_B = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{R_1/R_4 + R_4/R_1 + 2} = R_1 \quad (14)$$

$$e_0 = E \frac{\Delta R_1 / R_1}{2 + R_2/R_3 + R_3/R_2} = \frac{E}{4} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \quad (15)$$

ただし E : ブリッジ電源電圧

(14), (15) 式を (13) 式に代入すると

$$i_G = \frac{E}{4} \cdot \frac{1}{R_G + R_1} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \quad (16)$$

i_G が検流計の電流感度 S_i に等しいとき, これに相当する歪量 $\Delta \varepsilon$ は,

$$\Delta \varepsilon = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{1}{K} \cdot \frac{4(R_1 + R_G)}{E} S_i \quad (17)$$

ここに, $R_1=120\Omega$, $R_G=57\Omega$, $E=4V$, $S_i=25 \times 10^{-10}A$, $K=2.0$, とおくと

$$\Delta \varepsilon = 0.22 \times 10^{-6}$$

1,500 μ strain に対して

$$\left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \right)_{1,500} = 0.015\%$$

(4) ケルビンダブルブリッジの測定精度

ダブルブリッジの最小読取値は $1 \times 10^{-4}\Omega$ で, 120Ω のストレインゲージでは 0.42 μ strain の歪量に相当する。これは 1,500 μ strain に対して

$$\left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \right)_{1,500} = 0.028\%$$

以上 (1)~(4) を総合して平均自乗誤差を計算すると,

$$\left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \right)_{1,500} = \pm 0.16\%$$

この値は, 第 (2) 項における接着剤層の厚みのばらつきが最も大きく影響しており, はりつけ操作の熟練によっていくぶん小さくすることができよう。

6. 測定結果

測定には、A, B, C 3 社の製品各 4 種類 (C 社はフォイルゲージを製作していないのでこれを除く) を 2 包装 (1 包装 10 枚入) ずつ採って行なった。ダミーゲージは 1 包装ごとに 1 枚採り、予備の測定用梁にはって試験機のすぐそばにおいた。したがって、被測定ゲージは 1 包装につき 9 枚である。実験室内は空調されており、その温度範囲は 16~23°C, 1 枚のゲージ測定中の温度変化は最大 3°C で、また、湿度は通常 30~50% の範囲内にあり、特に 55% を越すおそれのあるときは防湿処理を施した。測定ははりつけてから 3~4 日以内に完了させたが、湿度 50% 以下では 10 日近く放置しても各ゲージの絶縁抵抗は 1,000 M Ω を下らなかった。測定は初期クリーブを除くため、最大 1,800 μ 程度の歪みを 3~4 回繰り返してかけ、ゲージおよび回路が十分安定してから約 1,500 μ の歪みを与えて行なった。その結果を表 2 に示す。これより、ゲージ率のばらつきについては、A 社と B 社はともに標準偏差が 4 種のゲージともに小さく、平均値に対するばらつきが 5% の危険率

表 2 ゲージ率測定結果

製造者	種 類	ゲージ長	ゲージ幅	表示値 A	枚数	測定平均値 M	標準偏差	$\frac{A-M}{M} \times 100\%$
A	ペーパー ゲージ	10 ^{mm}	2.8 ^{mm}	2.01	9 9	2.030 2.031	0.004 0.005	-1.0 -1.0
	ポリエステル ゲージ	10	3.3	2.05	9 9	2.058 2.064	0.008 0.006	-0.4 -0.7
	ベークライト ゲージ	10	2.2	2.00	9 9	2.033 2.038	0.012 0.005	-1.7 -1.9
		10	3.3	1.98 1.96	9 9	2.041 2.034	0.004 0.007	-3.0 -3.4
	フォイル ゲージ(単軸)	10	0.7	2.11	9 9	2.128 2.126	0.011 0.009	-0.7 -0.7
B	ペーパー ゲージ	4	3	2.01	9 9	2.004 2.001	0.012 0.012	+0.3 +0.5
	ポリエステル ゲージ	8	3	2.09	9 9	2.052 2.048	0.009 0.009	+1.9 +2.1
	ベークライト ゲージ	8	3	2.04	9 9	2.063 2.057	0.008 0.004	-1.1 -0.8
	フォイル ゲージ(単軸)	15	2	2.17 2.15	9 9	2.171 2.165	0.010 0.006	-0.04 -0.7
C	ペーパー ゲージ	7	2	2.05	9 9	2.002 2.003	0.017 0.011	+2.5 +2.5
	ポリエステル ゲージ	15	2	2.14	9 9	2.076 2.073	0.017 0.015	+3.1 +3.2
	ベークライト ゲージ	15	2	2.17	9 9	2.079 2.070	0.028 0.014	+4.2 +4.7

でほとんどが $\pm 1\%$ 以内に十分入っており、良好であるが、C社の製品は約 $\pm 1.5\%$ 前後の範囲にある。

ゲージ率表示値の測定値に対する誤差 $((A-M)/M \times 100\%)$ については、A、Bのいずれも一部を除いて 1% 以下に十分納まって、良い成績を示している。しかしA社のベークライトゲージのある時期の製品には、検定不十分なものが見いだされた。また、B社のポリエステルゲージもやや誤差が大きい、これに用いた接着剤が非常にはがれやすかったことが測定値に影響している可能性がある。C社の表示値は、全体として大きく一方にずれており、社内検定装置の改善が望まれる。

なお、表2の値は歪量 $1,500\mu$ におけるものであるが、荷重増加および減少の途中で、 400μ 、 800μ 、 $1,200\mu$ の各点でも測定を行なってみた。これらの結果より、ゲージ率は 400μ 付近では 800μ 付近にくらべて高めの傾向を示すが、 800μ 付近と $1,500\mu$ 付近とでは、ほとんど違いがない。またヒステリシスについては、接着が良好であると思われるゲージでは、負荷の往復においてゲージ率はほぼ同一曲線上をたどり、問題とするほどのヒステリシス量は認められなかった。

接着剤は製造会社指定のものを使用した。常温硬化用接着剤は指定どおりの使用法では、高い歪量($1,000\mu$ 以上)に対して多少クリープ現象をおこし、良い結果が得られないものが多かったが、接着後 $50\sim 70^\circ\text{C}$ で $1\sim 2$ 時間加熱することによって、接着効果を非常に上げることができ、確実な測定値が得られることがわかった。

7. む す び

以上、新たに製作した抵抗線歪ゲージのゲージ率測定装置によって、高精度でゲージ率を求め得ることを確認し、これを用いて市販の歪ゲージについて測定を行ない、そのゲージ率表示値の信頼性について有用な結果を得た。これより、一般に使用されている製品のすべてが、必ずしも正確な表示値を持ってはいないことが明らかとなり、測定精度を特に要求する用途に対しては、事前の較正が必要であることがわかる。

歪ゲージ較正試験機の製作にあたって榊日立製作所富田忠二氏より種々御教示いただいたことに厚くお礼申し上げますとともに、当所計測部機器研究室大月正男技官の協力を感謝するものである。

文 献

- 1) 非破壊検査協会小委員会；国産抵抗線歪計ゲージ率のばらつき，非破壊検査，7巻6号（昭和33）p. 284—.
- 2) 青柳鷹之介；ワイヤ・ストレイン・ゲージ，（昭和34）p. 37，日刊工業新聞社
- 3) 応力測定技術研究会；応力測定法，（昭和36）p. 28，朝倉書店

<p>NAL TM-41 航空宇宙技術研究所 抵抗線歪ゲージのゲージ率測定</p> <p>1964年10月 11ページ</p> <p>高精度を目標とした歪ゲージ校正試験機を製作し、これによりゲージ率の測定が 0.16% 以内の精度で行なえることを確かめた。これを用いて、国産の抵抗線歪ゲージの代表的なものについてゲージ率を測定し、表示値の信頼度を調べた。</p>	<p>I. 田畑 浄 治 大 坪 孔 治 滝 沢 実 NAL TM-41 539.3.082 731.004.12</p> <p>II. NAL TM-41 539.3.082</p> <p>III. 731.004.12</p>
<p>NAL TM-41 航空宇宙技術研究所 抵抗線歪ゲージのゲージ率測定</p> <p>1964年10月 11ページ</p> <p>高精度を目標とした歪ゲージ校正試験機を製作し、これによりゲージ率の測定が 0.16% 以内の精度で行なえることを確かめた。これを用いて、国産の抵抗線歪ゲージの代表的なものについてゲージ率を測定し、表示値の信頼度を調べた。</p>	<p>I. 田畑 浄 治 大 坪 孔 治 滝 沢 実 NAL TM-41 539.3.082 731.004.12</p> <p>II. NAL TM-41 539.3.082</p> <p>III. 731.004.12</p>
<p>NAL TM-41 航空宇宙技術研究所 抵抗線歪ゲージのゲージ率測定</p> <p>1964年10月 11ページ</p> <p>高精度を目標とした歪ゲージ校正試験機を製作し、これによりゲージ率の測定が 0.16% 以内の精度で行なえることを確かめた。これを用いて、国産の抵抗線歪ゲージの代表的なものについてゲージ率を測定し、表示値の信頼度を調べた。</p>	<p>I. 田畑 浄 治 大 坪 孔 治 滝 沢 実 NAL TM-41 539.3.082 731.004.12</p> <p>II. NAL TM-41 539.3.082</p> <p>III. 731.004.12</p>
<p>NAL TM-41 航空宇宙技術研究所 抵抗線歪ゲージのゲージ率測定</p> <p>1964年10月 11ページ</p> <p>高精度を目標とした歪ゲージ校正試験機を製作し、これによりゲージ率の測定が 0.16% 以内の精度で行なえることを確かめた。これを用いて、国産の抵抗線歪ゲージの代表的なものについてゲージ率を測定し、表示値の信頼度を調べた。</p>	<p>I. 田畑 浄 治 大 坪 孔 治 滝 沢 実 NAL TM-41 539.3.082 731.004.12</p> <p>II. NAL TM-41 539.3.082</p> <p>III. 731.004.12</p>

既 刊 資 料

TM- 1	高マッハ数風洞について (I)	1961年 11 月	平 木 一, 清水 福寿 橋 本 登
TM- 2	航空技術研究所計数型電子計算機設備 プログラムライブラリー (I)	1962年 2 月	樋 口 一雄, 戸 川 隼 人 三 好 甫, 高 橋 利 之 能 美 力, 板 垣 芳 雄 鳥 海 良 三, 佐 藤 保 子 長 洲 秀 夫, 伝 田 幸 雄
TM- 4	18 cm×20 cm超音速風洞について	1962年 5 月	長 洲 秀 夫, 伝 田 幸 雄
TM- 5	遷音速流の線型理論	1962年 8 月	細 川 巖
TM- 6	18 cm×18 cm遷音速風洞整備試験	1962年 8 月	橋 本 登, 井 上 政 一
TM- 7	慣性力形疲労試験機	1962年 8 月	竹 内 和 之, 山 根 皓 三 郎
TM- 8	アルミ合金の前歴が疲れ寿命に およぼす実験的研究	1962年 9 月	池 田 為 治, 坂 元 思 無 邪
TM- 9	方向性次元解析と相似解に関する覚書	1963年 2 月	甲 藤 好 郎, 小 出 勉
TM-10	DATATRON 205 用 ALGOL 58 使用法について	1963年 2 月	高 橋 利 之
TM-11	光弾性による高速車盤の縞模様	1963年 2 月	永 井 文 雄
TM-12	コーティングの断熱効果に関する実験	1963年 3 月	竹 中 幸 彦, 小 川 幸 一 林 洋 一
TM-13	遷音速における45° 後退角の予備的実験	1963年 3 月	中 井 暎 一, 小 原 英
TM-14	変断面片持梁固有振動数の一計算方法 について	1963年 3 月	中 井 暎 一, 小 原 英 鳥 海 良 三, 安 藤 泰 勝
TM-16	フラッタ試験設備測定部交換ノズルの 予備試験	1963年 4 月	中 井 暎 一, 橋 爪 宏 高 木 俊 朗, 橋 本 登
TM-17	VTOL 機用 Jet Lift Engine に関する 一考察	1963年 5 月	鳥 崎 忠 雄, 松 木 正 勝 山 中 竜 夫, 藤 井 昭 一
TM-18	ヘリコプター振動のパワースペクトル 解析	1963年 6 月	小 野 幸 一
TM-19	吹出式超音速風洞による実験データの 処理方式について (I)	1963年 6 月	新 井 忠, 原 亘 利
TM-20	1 m×1 m吹出式超音速風洞における AGARD 標準模型 B の三分力試験	1963年 7 月	高 木 廣 治, 谷 喬 夫 斎 藤 秀 夫, 新 井 忠
TM-21	国産中型輸送機 YS-11 主翼疲労試験 (第 1 報)	1963年 9 月	竹 内 和 之, 飯 田 宗 四 郎 北 谷 虔 勇, 中 井 治 夫
TM-24	円輪と薄肉円筒の回転強度の関係	1963年 11 月	永 井 文 雄
TM-25	DATATRON 205 用 ALGOL 58の Procedures ライブラリ	1964年 1 月	高 橋 利 之
TM-26	吹出式風洞の圧力制御 (フラッタ試験 設備の場合)	1964年 1 月	橋 爪 宏, 中 井 暎 一
TM-28	一段式観測ロケットの超音速風洞試験	1964年 1 月	谷 喬 夫, 原 亘 利 柳 原 盛 三, 外 立 政 隆
TM-29	遷音速フラッタ試験設備の改造および 整備試験	1964年 2 月	中 井 暎 一, 橋 爪 宏 安 藤 泰 勝, 高 木 俊 朗
TM-30	二段式ロケット飛しょう体の揚力およ び圧力中心推定法	1964年 3 月	小 橋 安 次 郎, 宮 沢 政 文
TM-31	亜音速ジェット輸送機の遷音速風洞に おける試験	1964年 3 月	河 崎 俊 夫, 竹 内 理
TM-32	遷音速風洞の防音	1964年 4 月	牛 田 健 二, 高 橋 宏
TM-33	非定常境界層の遷移の研究に使用され た定温度型熱線風速計について	1964年 4 月	榎 並 敬 之, 山 本 稀 義
TM-34	極超音速風洞ノズルの境界層補正につ いて	1964年 5 月	長 洲 秀 夫
TM-37	気体の不完全性を考慮した極超音速風 洞ノズルの設計計算法	1964年 5 月	毛 利 浩
TM-38	AGARD-A 標準模型の超音速三分力 試験	1964年 5 月	高 木 廣 治, 斎 藤 秀 夫 石 原 久 蔵
TM-39	相似極超音速流中におかれた半球面上 の境界層の遷移におよぼす粗さと冷 却の結合影響	1964年 7 月	石 井 孝 雄
TM-40	国産中型輸送機 YS-11 胴体疲労試験 (I)	1964年 9 月	竹 内 和 之, 川 島 矩 郎

注: 欠番は配布先を限定したもの

航空宇宙技術研究所資料 41 号

昭和 39 年 10 月 発行

発 行 所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町 1880
電話武蔵野(0422)(3)5171(代表)
印 刷 所 奥村印刷株式会社
東京都千代田区西神田 1-10