

UDC 620.05  
620.08

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-144

真ひずみ計の試作

竹中幸彦・朝田洋雄  
野口義男

1968年8月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

TM-92	リフトジェットエンジン試験設備(I) —台上運転設備—	1966年10月	大山耕一, 吉田晃昇 中山晋, 菅原昇 五味光男
TM-94	J-3ジェットエンジン用タービン動翼 の固有振動特性	1966年11月	武内澄夫, 宮地敏雄 星谷昌二
TM-95	超軽量軸流圧縮機動翼の固有振動特性	1966年11月	武内澄夫, 宮地敏雄 星谷昌二
TM-96	2024-T4および7075-T6有孔平板の曲 げ疲労試験と2025-T4平滑丸棒の軸 荷重疲労試験	1966年11月	佐野政明, 瓠岡一洋
TM-97	高マッハ数風洞について(II)	1967年1月	吉永崇, 井上建二 広田正行, 楯篤志
TM-98	40kWプラズマ発生装置の諸特性	1967年1月	野村茂昭, 相原康彦
TM-99	搭載機器用環境試験装置の特性	1967年2月	大月正男, 鈴木孝雄 田畑浄治, 円居繁治
TM-100	二連型リフトエンジンの吸込み抵抗	1967年3月	近藤博, 大城章一郎
TM-101	低圧環境下における固体ロケットモ ータの性能	1967年3月	望月昌, 斎藤信弥 五代富文, 伊藤克弥 湯沢克宜
TM-102	弾性支持片持板の振動	1967年3月	塙武敏, 築地恒夫 越出慎一, 林洋一
TM-103	給合梁の振動について	1967年3月	築地恒夫, 林洋一
TM-104	平板翼模型の固有振動モードの測定	1967年4月	中井暎一, 森田甫之
TM-105	非定常境界層方程式を含む放物型微積 分方程式の数値解法	1967年4月	関口清子
TM-106	動安定微係数測定用風洞天秤について	1967年5月	高島一明, 榊原盛三 高原亘利, 北出大三 金正好
TM-107	プロペラ後流偏向型STOL機の風洞 試験(II)	1967年6月	犬丸矩夫, 岡部祐二郎 北村清美, 川幡長勝 高橋侔, 木村友昭
TM-108	インダクタンス型小型圧力変換器の試 作とその応用	1967年7月	長洲秀夫, 柳沢三憲
TM-109	ロケットの飛しょう径路計算のための プログラム	1967年7月	戸川隼人, 石黒登美子
TM-110	二次元スラットおよびスロツテッドフ ラップの実験的研究(I)	1967年8月	犬丸矩夫, 北村清美 川幡長勝
TM-111	リフトジェットVTOL機の離陸径路 に関する近似解	1967年8月	西村博史
TM-112	極超音速風洞用ペブル加熱器の特性	1967年8月	橋爪宏, 橋本登
TM-113	リフトジェットエンジン試験設備(II)	1967年9月	森田光男, 岩部柱相 関根静雄, 武田克己
TM-114	五段遷音速軸流圧縮機の空力設計	1967年9月	藤井昭一, 松木正勝 五味光男
TM-115	燃料蒸発管に関する研究(I)	1967年9月	大塚貞吉, 鈴木邦男 田丸卓, 乙幡安雄
TM-116	高負荷燃焼器の空気孔からの流れにつ いて(I)	1967年9月	鈴木邦男, 相波哲朗
TM-117	ロケット用テレメータ機上装置の集積 回路化	1967年9月	新田慶治, 松崎良継
TM-118	操縦桿レート信号によるアイアンバー ド制御の安定効果とパイロットのモ デルについて	1967年9月	村上力, 真柳光美
TM-119	ベーン型気流方向検出器の特性	1967年11月	田畑浄治, 松島弘一 成田健一, 塚本憲男
TM-120	円錐管レンズの設計とその応用	1967年11月	山中龍夫, 奥岨澄男

# 真ひずみ計の試作\*

竹中幸彦\*\*・朝田洋雄\*\*・野口義男\*\*

## New-Type Strain-Measuring Devices Capable of Measuring Large-True Strains

By

Yukihiko TAKENAKA, Hiroo ASADA and Yoshio NOGUCHI

### Abstract

For the purpose of measuring large-true strains up to 50% or more, two new-type strain-measuring devices were fabricated and tested. One was applied to measure large tensile and compressive strain and the other to measure large torsional shearing strain. Both devices are able to measure true (natural or logarithmic) large strains mechanically and convert them into usable electric signals, which are recorded on a pen-recorder. It is found from the test results that the new-type strain-measuring devices are able to measure large true strains up to several tens of percent stably and precisely similarly to electric wire resistance strain gages.

### 1. は し が き

最近抵抗線または抵抗箔ひずみゲージの開発が進み、測定ひずみ限界の高いいわゆる塑性ひずみゲージが実用されるようになった。しかしながら現在のところ、その測定範囲は高々10%程度のひずみまでであり、かつ同一種類のゲージでもその測定限界にかなりのばらつきがあって安定して測定できるひずみ範囲はさらに低いものとなっている。そのため延性材料の材料試験には数十パーセントにおよぶ大塑性ひずみを正確かつ安定して計測できるひずみ計が必要である。

一方また、工学的には公称応力と公称ひずみ (engineering stress and strain) が用いられるが、塑性変形の理論的解析などには真応力 (true stress) と真ひずみ (true strain, natural strain or logarithmic strain) が用いられる<sup>1)</sup>。

筆者の一人はすでに、引張と捩りの組合せ応力状態における塑性ひずみ測定用として、引張真ひずみと捩

り真ひずみとを同時にかつ分離して測定できる機械的ひずみ計を考案して数多くの実験を行なった<sup>2)</sup>。今回われわれはこのひずみ計の原理に基づいて、抵抗線ひずみゲージで計測できない大きな塑性変形まで安定してひずみ計測のできる引張圧縮試験用および捩り試験用真ひずみ計を試作した。これらはいずれも機械的に真ひずみを計測し、これを電気量に変換してひずみ量を自記記録する方式のもので、以前の読み取り方式のものに比べて精度的にもまた機構的にも格段に改善されたものである。その測定結果によれば、数十パーセントにおよぶ大きなひずみを高精度にかつ安定して測定することができ、実用価値の高いことが証明された。

ここではこの2種類の試作真ひずみ計の原理、機構およびそれによる測定結果について述べる。

### 2. 真ひずみ計の原理および機構

#### [1] 引張圧縮試験用真ひずみ計

原理 図1において  $AB=l_0$  は試験片の基準長さである。いま  $A$  点が固定されたままでこの試験片が伸ばされ、試験片上の  $B$  点が  $B'$  点に移動し  $AB'=l'$

\* 昭和43年7月13日受付

\*\* 機体第一部

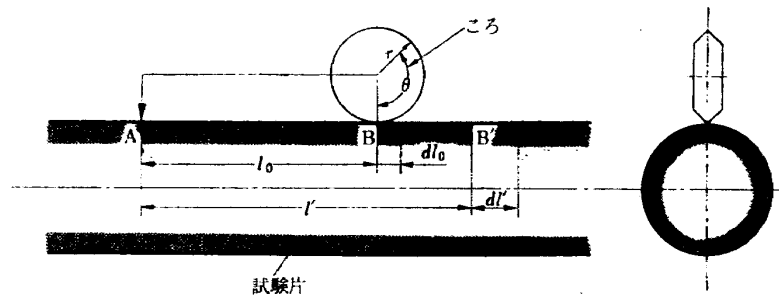


図1 真ひずみ計 (引張圧縮用) 原理図

となったとし、その次の瞬間に  $l'$  がさらに微小長さ  $dl'$  だけ伸ばされたとすれば、この間の真ひずみの微小増分は

$$d\varepsilon = dl'/l'$$

である。したがって、最初  $l_0$  の長さの部分が  $dl$  だけ伸ばされて  $l = l_0 + dl$  の長さになった場合の全真ひずみは

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \int d\varepsilon = \int_{l_0}^{l'} dl'/l' = \ln(l/l_0) \\ &= \ln\{(l_0 + dl)/l_0\} = \ln(1 + \bar{\varepsilon}) \quad (1) \end{aligned}$$

となる。ここで  $\bar{\varepsilon} = dl/l_0$  で、いわゆる公称ひずみを表わす。

さて図1で、 $B$  上に半径  $r$  の“ころ”が接触しており、この“ころ”の中心と  $A$  点との距離  $l_0$  は固定されていて、試験片が伸縮するとそれに応じて“ころ”は試験片の表面を滑ることなしに回転するものとする。いま  $l'$  が  $dl'$  だけ伸びたとき基準長さ  $l_0$  の部分が  $dl_0$  だけ伸びかつ変形が試験片の長さ方向に一様であると仮定すれば、

$$dl'/l' = dl_0/l_0 \quad (2)$$

であり、このときの“ころ”の回転角を  $d\theta$  とすれば、

$$dl_0 = r d\theta \quad (3)$$

である。したがって、全真ひずみは

$$\varepsilon = \int_{l_0}^{l'} dl'/l' = \int d l_0/l_0 = \int_0^{\theta} r d\theta/l_0 = \theta r/l_0 \quad (4)$$

(1) および (4) 式より

$$\varepsilon = \ln l/l_0 = \theta r/l_0 \quad (5)$$

となる。 $r$  および  $l_0$  は一定であるから、全真ひずみ  $\varepsilon$  は“ころ”の全回転角  $\theta$  に比例することになる。すなわち“ころ”の回転角  $\theta$  の値から真ひずみ  $\varepsilon$  を求めることができる。圧縮ひずみの場合にも伸びひずみの場合と全く同様にして求めることができる。

機構 図2はこのようなひずみ計の構造を示し、図3は丸棒試験片に取り付けた状態を示す。図2によ

てその機構を説明しよう。①は取付けリングで周辺に埋め込まれた4本のねじ②によってひずみ計を試験片に取り付ける。②のねじにはスプリングが内蔵されており、それによって試験中の試験片の断面減少または増加に対してもひずみ計は常に正しく保持される。③および④は上下のL字形アームでその先端には半径5mmの“ころ”⑤が付いている。ねじ②の先端と“ころ”⑤の中心との距離  $l_0 = 25\text{mm}$  は基準長さとして固定されている。ひずみ計を試験片に取り付ける時には、ねじ②により上下のアームを押し広げる。試験中はこのねじをはずし上下の“ころ”は⑦のスプリングによって常に一定圧力で試験表面に押し付けられており、試験片の断面変化に対して“ころ”は十分追従することができる。⑧は③のアーム軸に固定された半円板で、この周辺に円弧状の抵抗板⑨(抵抗値1.45Ω)が基板と電氣的に絶縁されて接着されている。⑩は“ころ”に固定された回転針でその先端は⑨の抵抗板上を摺動する。⑨の両端③および④にはそれぞれ20Ωの固定抵抗が接続され、これらの両抵抗の端子間に図4に示すように直流2.6Vの電圧が加えられる。回転針の回転角 $\theta$ に対応する回転針の接点と④または③間の電位差は、図4に示すようにして取り出されて記録計に与えられる。このひずみ計の主要寸法は図に示すとおりで、直径8mm~18mmの丸棒または円筒試験片の引張および圧縮ひずみを測定することができる。またこの回転針の最大回転角は約150°で、ひずみとしては±52%のひずみ量が連続的に記録できる。さらに回転針を再セットすることによって原理的には無限のひずみを計測することができる。

## [2] 捩り試験用真ひずみ計

原理 図5において  $AB = l_0$  は半径  $R$  の円筒試験片の基準長さである。いまその一端  $B$  上に半径  $r$  の“ころ”が軸に垂直に接触しており、この“ころ”の中

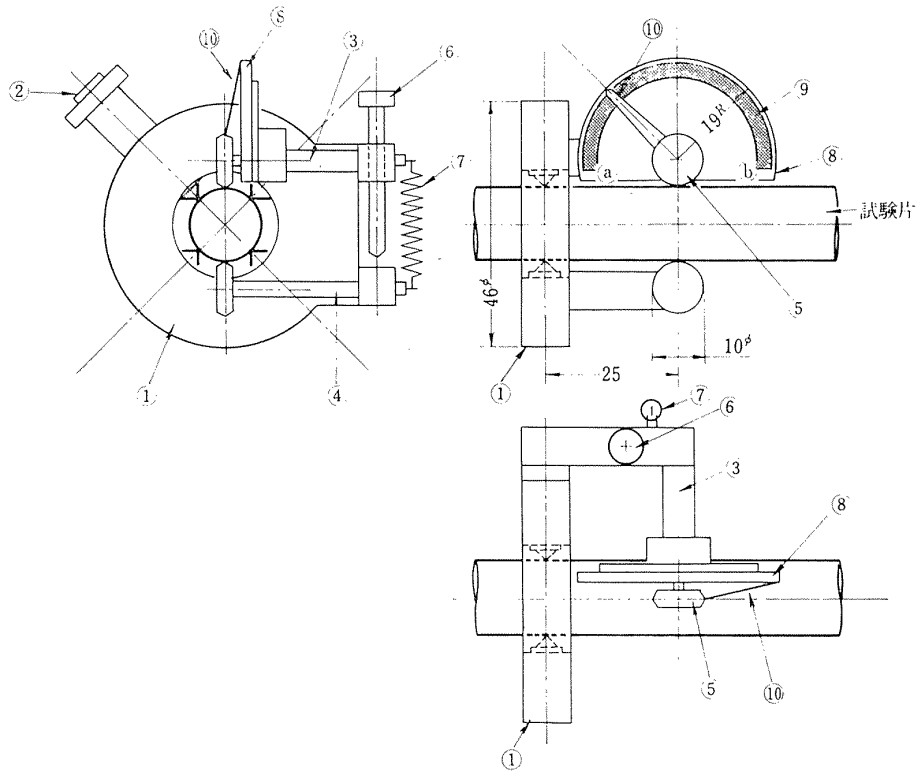


図 2 引張圧縮用真ひずみ計の構造(寸法mm)

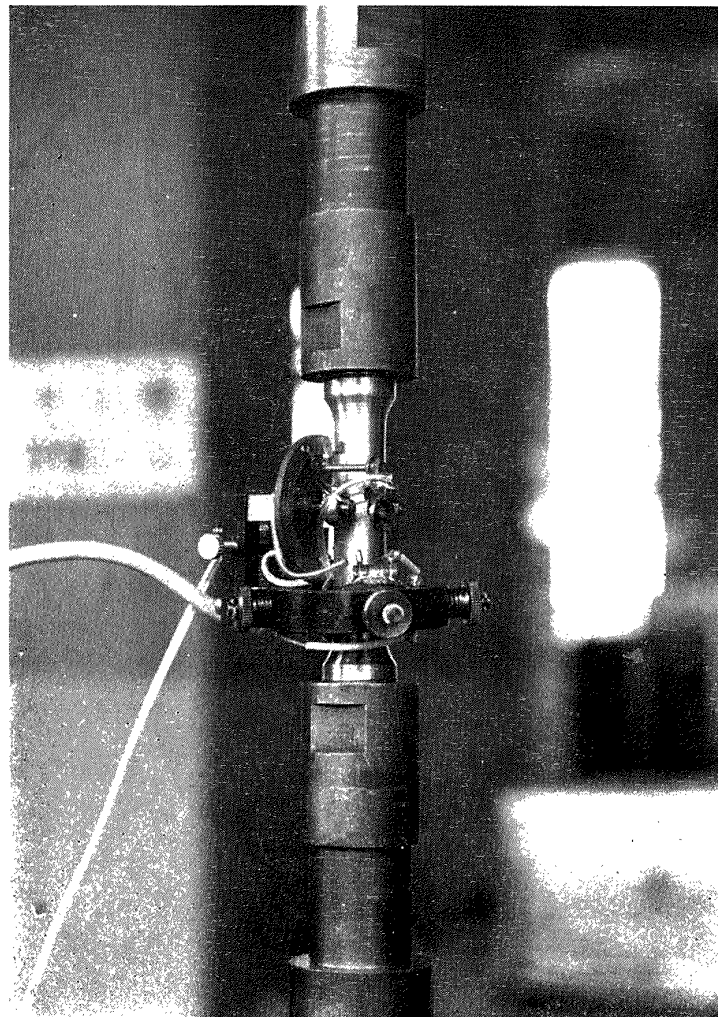


図 3 引張圧縮用真ひずみ計

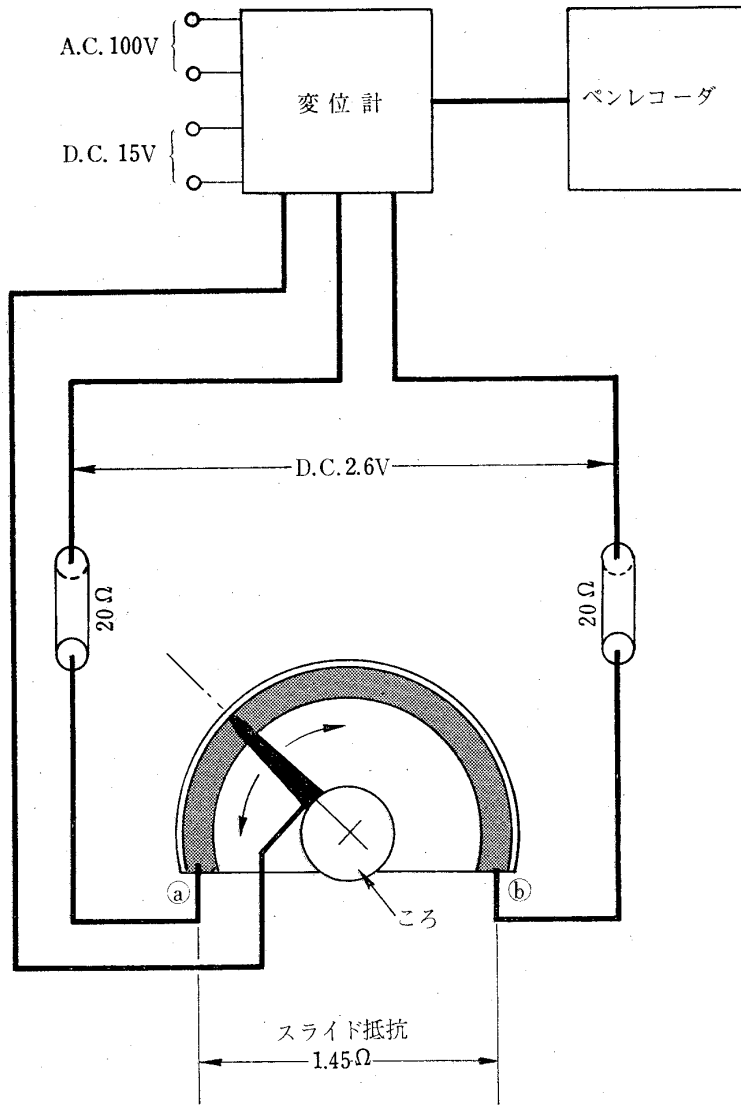


図 4 ひずみ測定回路図

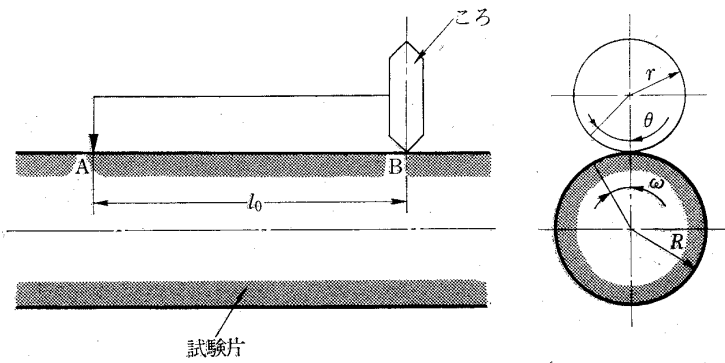


図 5 真ひずみ計(捩り用)原理図

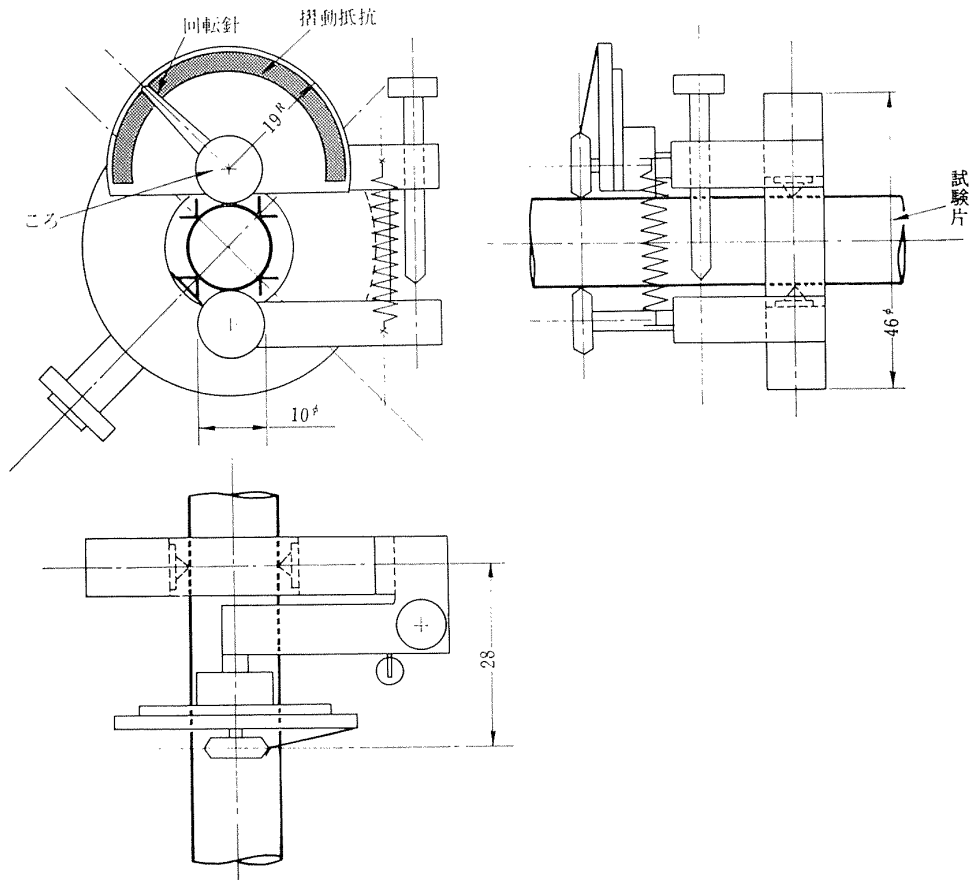


図 6 振り試験用真ひずみ計の構造(寸法mm)

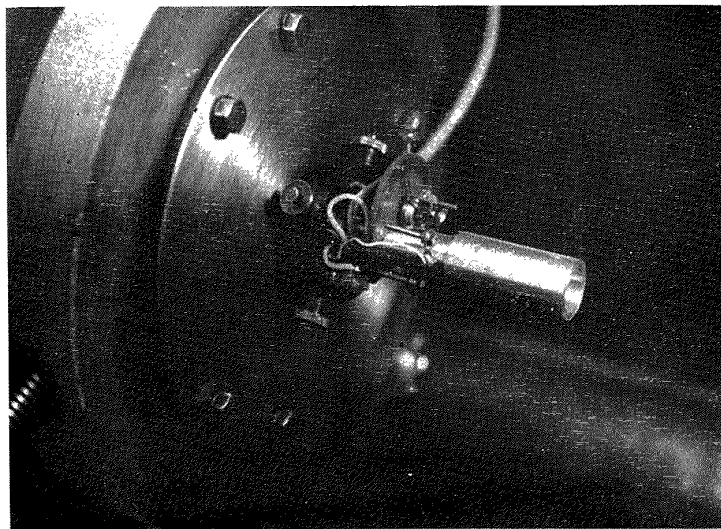


図 7 振り用真ひずみ計

心と  $A$  点間の距離  $l_0$  は固定されていて、試験片が振られると、“ころ”は試験片の表面を滑ることなしに回転するものとする。このような状態で試験片が振られ、 $AB$  間の振り角が  $\omega'$  となり、“ころ”は  $\theta'$  回転したとする。その次の瞬間振り角の微小増分  $d\omega'$  が生じ、それに対応した“ころ”の回転角の微小増分が  $d\theta$  であったとすれば

$$R d\omega' = r d\theta' \quad (6)$$

であり、この場合のひずみの微小増分は

$$d\gamma = R d\omega' / l_0 = r d\theta' / l_0 \quad (7)$$

となる。したがって、振り角が  $0$  から  $\omega$  まで変化した場合の全真ひずみは、

$$\gamma = \int d\gamma = \int_0^\omega R d\omega' / l_0 = \int_0^\theta r d\theta' / l_0 = \theta r / l_0 \quad (8)$$

となる。すなわち伸びひずみの場合の(5)式と全く同様な関係が得られ、剪断真ひずみ  $\gamma$  は“ころ”の回転角  $\theta$  から求めることができる。

機構 図6はこのひずみ計の構造を示し、図7は試験片に取り付けた状態を示す。図6を見てもわかるように引張圧縮用ひずみ計と構造上異なる点は、“ころ”の軸が試験片の軸と平行に取り付けられているというのみでその他の部分は同一である。

### 3. ひずみ測定結果

ひずみ測定に先立って、図8に示すようにマイクロメータ式伸び測定器によってこれらのひずみ針の校正試験を行なった。その結果を図9および図10に示す。

図に示すように真ひずみと記録計の読みとの真線性はきわめて良好である。

次にひずみ測定結果の数例について述べる。引張ひずみ測定試験片には  $14\text{ mm}\phi$  の軟鋼丸棒を用い、これに真ひずみ計および塑性ひずみゲージ(昭和測器, YF-8)を取り付け、ひずみ測定を行なった。図3は、真ひずみ計を試験片に取り付けた状態を示し、図11は記録計などを含めた全装置を示す。図12は真ひずみ計と塑性ひずみゲージによる測定値の比較を示したもので、両者のひずみ測定値はよく一致している。また真ひずみ計と読み取り望遠鏡による測定値の比較も行なった。その結果は図13および図14に示すように、多少のばらつきはあるが両測定値はほぼよい一致を示している。

振り試験には  $14\text{ mm}\phi$  のアルミ合金(2024-T4)薄肉円筒試験片を用い、中に芯がねを入れて試験した。このような試験片を用いたのはトルクから簡単に剪断応力が求められるからである。ひずみ測定は真ひずみ計によるほかに、両チャック間の振り角の測定から求めた。その結果を図15および図16に示す。この場合、チャック間の角度変化から求めたひずみが全般的にやや高めにしているが、これは試験片の握み部などの変形が加算されて測定されているためである。真ひずみ計の計測が正確であることを示している。振り試験の場合、塑性変形が大きくなるとひずみゲージによる計測はその試験片軸との角度変化が大となって意味のない値が測定されることになる。したがってこの真ひずみ計は振り試験には特にその威力を発揮することになる。

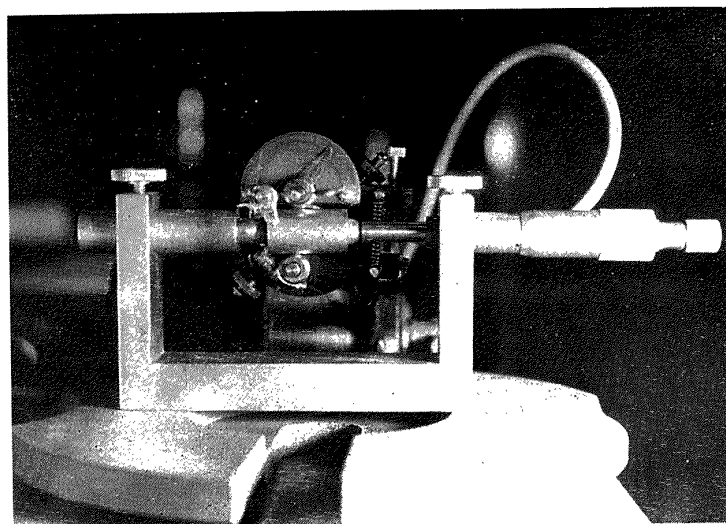


図8 マイクロメータ式伸び測定器による真ひずみ計の校正



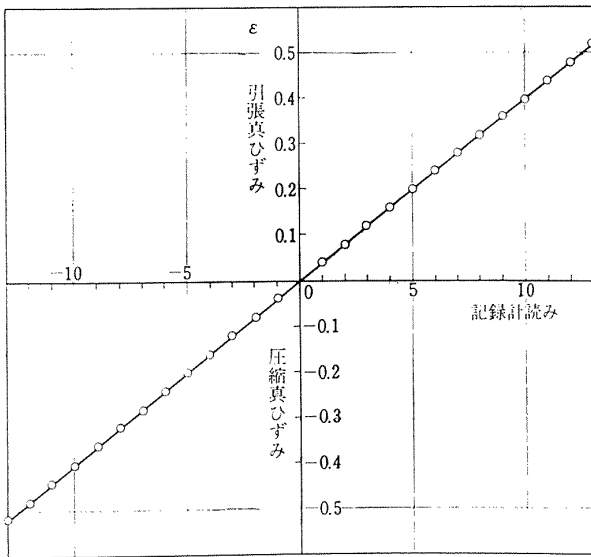


図 9 記録計の読みと真ひずみとの関係  
(引張圧縮用ひずみ計の校正曲線)

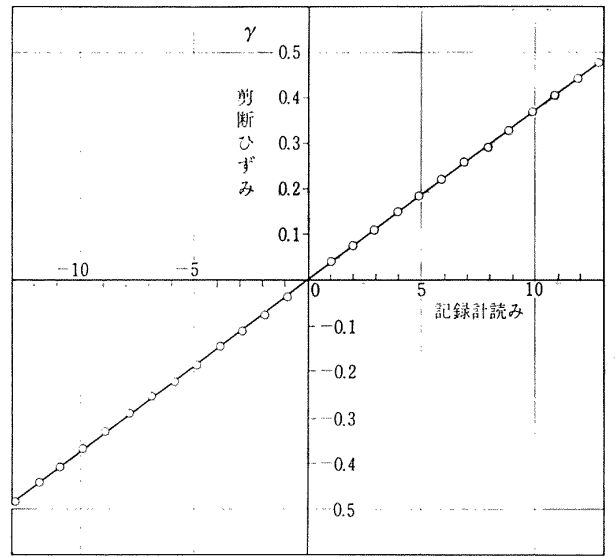


図 10 記録計の読みと真ひずみとの関係  
(振り試験用ひずみ計の校正曲線)

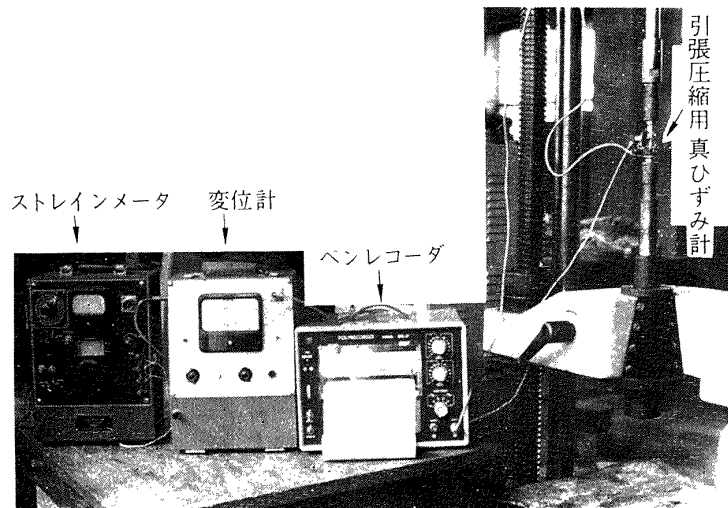


図 11 引張圧縮用真ひずみ計の試験片

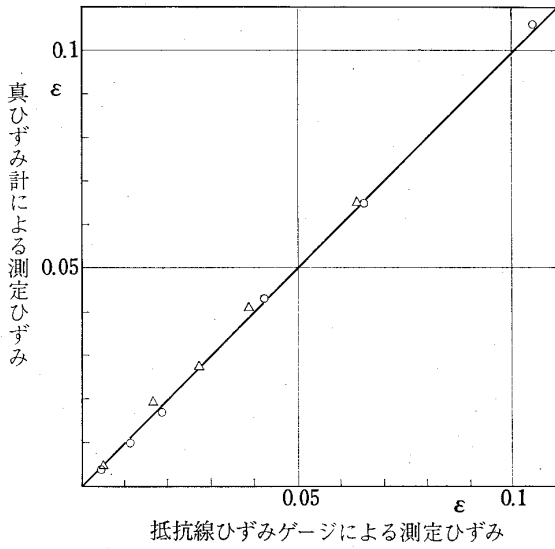


図 12 真ひずみ計とひずみゲージによる測定値の比較

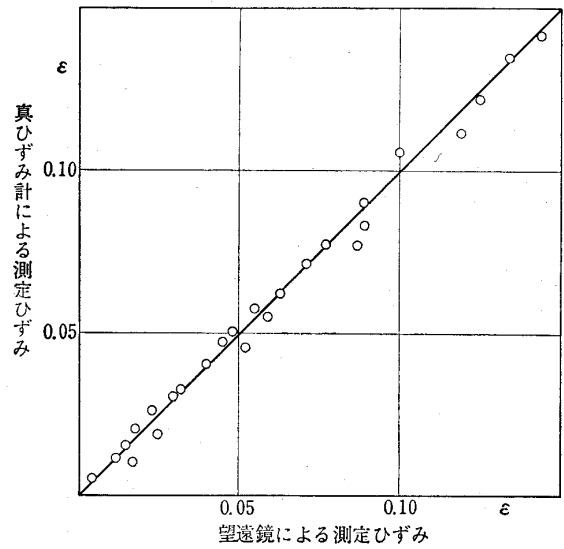


図 13 真ひずみ計と読み取り望遠鏡による測定ひずみの比較

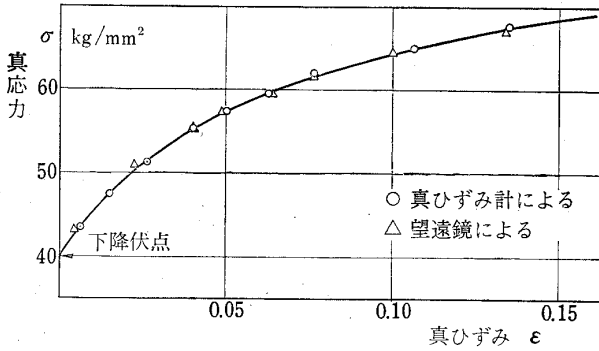


図14 軟鋼(S15C)の真応力~真ひずみ曲線

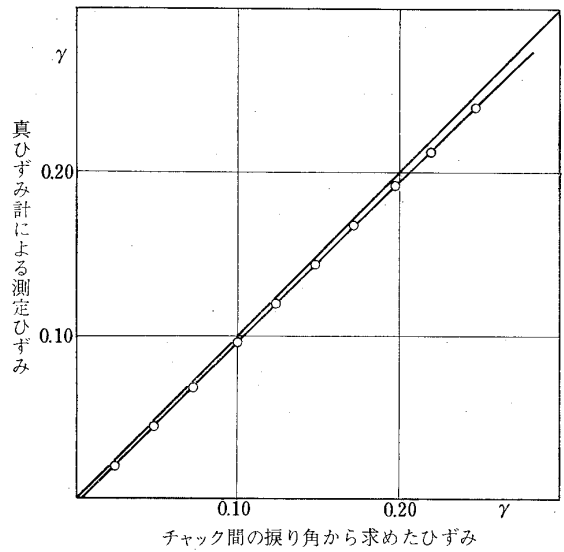


図 15 振り用真ひずみ計とチャック間の振り角から求めた測定ひずみの比較

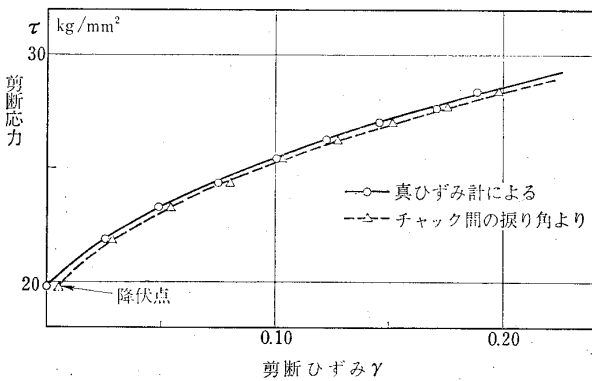


図 16 アルミ合金(2024-T4)丸棒の振りによる応力~ひずみ曲線

#### 4. ま と め

抵抗線ひずみゲージで計測できない大きな塑性変形まで、安定してひずみ測定のできる引張圧縮用および捩り試験用真ひずみ計を試作し、その原理、機構ならびに計測結果について述べた。

測定結果によれば、他の方法でのひずみ測定値との一致も良好で十分実用価値のあることが認められた。このひずみ計の特徴を一括して示すと次のようになる。

- 1) 数十パーセントにおよぶ大きな塑性ひずみを正確にかつ安定して測定できる。特に捩りによる剪断ひずみ測定の場合、抵抗線ひずみゲージでは測定できない塑性ひずみを容易に測定できる。
- 2) 測定値が真ひずみで示される。
- 3) 他の機械的ひずみ計と異なり、ひずみ量を電気量に変換して自記記録できるので実用上便利である。

- 4) 抵抗線ひずみゲージのように一回限りの消耗品でなく、繰返し使用が可能である。

終りに当り、ひずみ計の製作に尽力された昭和測器(株)の石山一郎氏に深甚なる感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) たとえば、  
R. Hill; 塑性学 培風館,  
A. Nadai; Theory of Flow and Fracture of Solids, McGraw-Hill  
山田嘉昭; 塑性力学, 日刊工業新聞
- 2) 吉村, 竹中, 阿部; 金属の固有の降伏条件および加工硬化率とそれに対する伸びおよびねじりのひずみ履歴の影響 (第2報), 日本機械学会論文集 vol. 25, No. 151 (昭和34年3月) pp. 140~147.

TM-121	大きなマトリクスの逆行列計算および連立一次方程式の計算のためのプログラミング技術	1967年11月	戸川 隼人, 戸川 保子
TM-122	NAL-7-P ロケットの強度および燃焼試験結果	1967年11月	竹中 幸彦, 古田 敏康, 康雄 小川 敏彦, 田代 洋富, 文弥 湯沢 克久, 伊藤 富克 西村 久男
TM-123	“NAL-16・31” および “NAL-25・31” 二段ロケットの振動試験	1967年11月	中井 暎一, 古関 昌次, 次朗 田寺 木一, 高木 俊甫, 之男 安藤 泰正, 森田 孝 峯 幹雄
TM-124	吹出式超音速風洞の集合胴圧力制御について	1967年12月	外立 政隆, 近藤 洋史 原 亘利
TM-125	航技研 1m×1m吹出式超音速風洞におけるハーフモデル試験について	1968年 2月	石原 久蔵, 原 亘利 榊 盛三, 関 根英夫
TM-127	2024-T3アルミニウム合金の3-bay 有孔補強平板の軸荷重による疲労特性	1968年 4月	飯田 宗四郎, 猿 本光明 斎藤 信一郎
TM-130	リフトエンジンの自然吸込みについて	1968年 4月	近藤 博, 大城 章一郎
TM-131	遷音速タービン翼列二次元試験(Ⅲ)	1968年 5月	近藤 博, 養田 光弘 山崎 紀雄, 古川 昇
TM-132	行列の最小固有値の一計算法	1968年 5月	戸川 隼人, 戸川 保子
TM-133	フィラメント・ワインディング円筒の強度特性に関する研究	1968年 5月	竹中 幸彦, 斉藤 浩一 古田 敏康, 川島 矩一郎 三本 茂夫, 小川 敏彦 越出 慎一, 朝田 洋邦 倉郁 夫, 大竹 邦彦
TM-134	AGARD 標準模型 HB-1, HB-2 の超音速風洞試験	1968年 5月	斉藤 秀夫, 石原 久蔵 原 亘利, 野田 順一 関 根英夫
TM-135	歪ゲージの自己加熱による歪ドリフト	1968年 5月	小川 敏一, 遠藤 修司
TM-136	“NAL-16・31” および “NAL-25・31” 二段ロケット結合部の曲げ剛性試験	1968年 5月	中井 暎一, 飯田 宗四郎 高木 俊朗, 安藤 泰勝 菊 孝男
TM-137	ロケットの三次元の運動の方程式および HITAC 5020 による軌道計算のためのプログラム	1968年 5月	毛利 浩
TM-138	片持板の振動解析に関する考察	1968年 6月	埴 武敏, 越出 慎一 林 洋一

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144号

昭和43年8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  
電話武蔵野三鷹(0422)44-9171 (代表)

印刷所 一誠社総合印刷株式会社  
東京都武蔵野市御殿山1-6-10

