

抵抗線歪計に就いて

前 田 庸*

The Resistance Strain Meters

By Yō Maeda

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The resistance strain meter provides a new type of strain measuring method having a lot of features never found in the old types. The field of application of this new meter covers a wide variety of industries. The principle, construction and application of this apparatus are detailed in the article.

〔I〕 緒 言

炭素線の電気抵抗が圧力に依つて変化する事は、早くから知られていた。この性質を利用して、炭素片は歪乃至応力の測定器として使用されて来た。これは歪力に対する感度は良いが、温度、湿度等の影響を受け易く、感度を一定に保つことが困難なため、精密な測定には適さない。

金属線を引張れば、伸びると同時に細くなり、その電気抵抗は増す。これは周知の事柄であつたが、炭素線のように顕著でないため、従来顧られなかつた。この効果を歪の測定に実際に応用する方法の研究は、1938年頃 California Institute of Technology の E. C. Simmons 及び Massachusetts Institute of Technology の Ruge 及び De Forest に依つてほぼ同時に独立して始められた。その後間もなくこの原理を利用した歪計が Baldwin Locomotive Works に依つて製作され、振動及び応力測定に広汎に使用されるようになった。この計器は被測定物に取り付けるゲージが非常に小型で殆ど重量がないため、如何なる箇所にも取り付けることが出来、慣性効果を考えなくてよいこと、感度が安定で、動的歪を測定する場合周波数特性を持たない等の利点を有している。特にタービン翼或はプロペラの回転中の振動応力の正確な測定は、これに依つて始めて可能となつたものである。

我国に於ても、この新しい測定法は最近各所に於て注目され、実際の測定に応用されつゝある。我々は最初、日立製作所振動委員会の要請に依つてこの計器を試作

* 日立製作所日立中央研究所

し、実用に供して来たが、更に広く各方面に利用されるべきものと思われるので、こゝにその概要を紹介したいと思う。

〔II〕 ゲ ー ジ

(1) ゲージの抵抗変化

抵抗線歪計に使用するゲージは、紙に貼つた細い抵抗線を被測定物に固着し、その歪が線に抵抗変化を生ずるようにしたものである。一般に線の抵抗を R 長さを l 、断面積を A 、比抵抗を ρ とすれば

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots \dots \dots (1)$$

なる関係がある。両辺の対数をとつて微分すれば

$$\frac{\delta R}{R} = \frac{\delta \rho}{\rho} + \frac{\delta l}{l} - \frac{\delta A}{A} \dots \dots \dots (2)$$

となる。ポアソン比を N とすれば $\frac{\delta A}{A} = -2N \frac{\delta l}{l}$ であるから、これを(2)式に代入し、両辺を $\frac{\delta l}{l}$ で割れば結局

$$\frac{\delta R}{R} / \frac{\delta l}{l} = 1 + 2N + \frac{\delta \rho}{\rho} / \frac{\delta l}{l} \dots \dots \dots (3)$$

なる関係が得られる。この式の左辺は長さの変化即ち歪に対する抵抗変化を表わすもので、ゲージ係数と呼ばれ、 η で表わされる。 η の値は線の材料に依つて異なる。

ゲージによく使用される Advance, Nichrome, Isoelastic に就いて測定された結果は、それぞれ約 2.1, 2.6 及び 3.6 である。このように大きい η の値を示すのは、線が歪を受ける場合、比抵抗の変化を生ずるためと考え

られている。Advance線は温度変化に依つて歪を生ずることが少いため、静的歪の測定に適し、Nichrome線は比抵抗が大なるため同じ長さで抵抗の大きなものが作れ又 Isoelastic は η の値が大きいため共に感度を上げることが出来るので、動的な歪の測定に適している。

(2) ゲージの構造

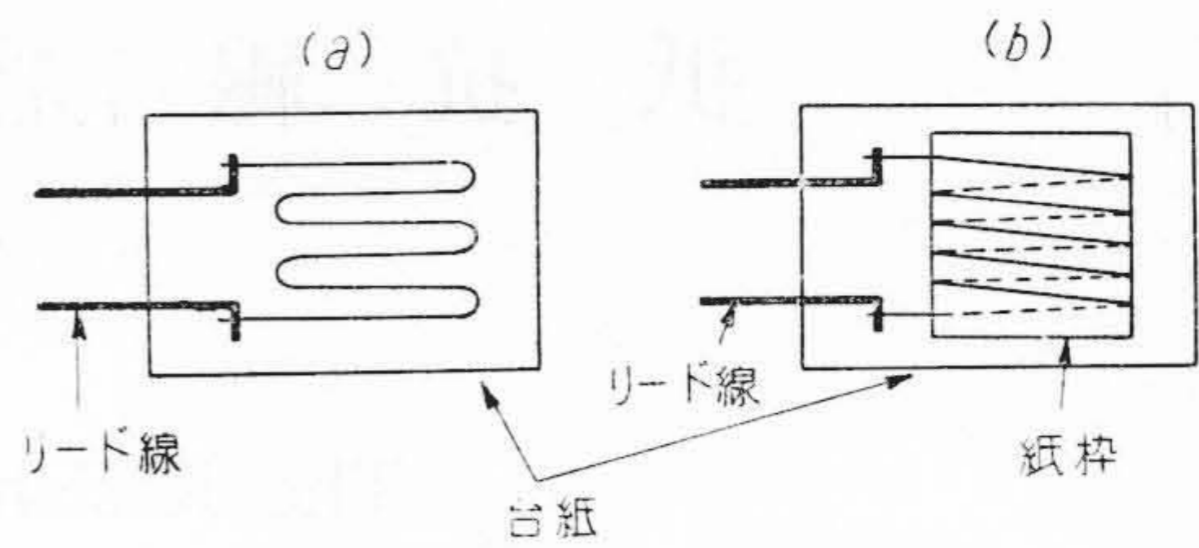
ゲージを作るには、通常 0.02 mm 位の径の細い抵抗線を使用する。これを紙に貼りつけるのに、第1図のような二通りの方法が用いられる。(a) は格子型と呼ばれ Boldwin で製作されている型である。平行に並んだピンの出る治具を使い、線とその間に往復させ最後に下から紙を押し当て、セルローズ系の接着剤で接着する。線の上には通常保護のためにフェルトが貼られる。(b) は巻線型と呼ばれ主として英国で製作されている型である。これはコンデンサーペーパーのような薄い紙にベークライトワニスを含浸させたもので予め円筒をつくり、その上に一定の長さの線を巻きつける。同じワニスで線を接着した後これを押しつぶして平らにし、二枚の紙の間にサンドイッチのようにはさんでリード線を出すのである。リード線はハンダ付又は熔接されるが、線を腐蝕させる心配のない点で熔接の方が優つている。これらのゲージは用途に依つて 3~25 mm 位の大きさに作られ、抵抗値も 100 Ω から数 k Ω 迄各種のものが作られている。又格子型のものでは、二種の金属を使用して抵抗の温度係数を零にしたもの、或は二つ以上のゲージを組合せて一つのゲージで二方向以上の歪の測定出来るもの等特殊なゲージも作られている。

(3) ゲージの接着

ゲージを貼りつける接着剤としては、大きな歪に対して十分に接着を保つこと即ち大なる剪断強度を有すること、常温で接着出来ること高温多湿の所でも電氣的絶縁の良好なこと、金属を腐蝕しないこと等が一般に要求される性質である。しかしながら適当な接着剤はゲージの構造に依つても異なる。例えば格子型のものは、常温で乾燥するセルローズ系のもので十分良好な結果が得られるに反し、巻線型のものにはこれは不適當である。巻線型のものはその構造上格子型に較べてスチフネスが大きいため更に強い接着剤を必要とする。一般にフェノール系の樹脂が用いられるが、これは加熱を必要とするためエディカレント或は赤外線等に依つて局部的に加熱する方法がとられている。

(4) 測定可能な歪の範囲

歪計で測定出来る歪の範囲は線の材料よりもむしろ接着剤に依つてきまる。ゲージを貼りつけた試料の引張り試験に於て、歪が線の弾性限界を越えたときにも感度に変化のなかつたことが報告されている。上に述べたよう



第1図 ゲージの構造
Fig. 1. Construction of Gauges

なゲージでは、鋼或はデュラルミンでは 0.1% 或はそれ以上の歪まで測定可能である。他の物質に対しては適当な接着剤を見出すことが問題である。測定可能な歪の下限は精巧な装置を使えば 10^{-7} 程度になるようであるが通常の歪計では 5×10^{-5} 程度である。動的歪に対する感度は少くとも 1,000 c/s 位迄は静的なものと同様のことが判つている。

〔III〕 測定回路

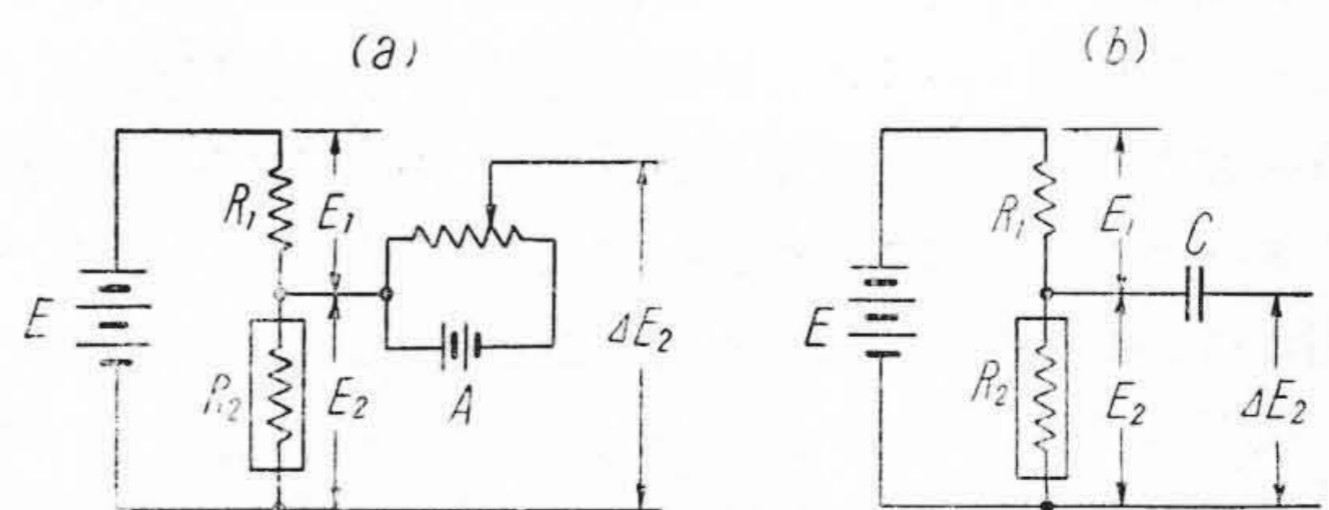
歪によつてゲージに生じた抵抗変化は、通常電気回路に生ずる電圧の変化として測定される。この電圧の変化を生ぜしむる回路が測定回路であり、ポテンシオメータ回路とブリッジ回路が一般に用いられる。第2図はそのうちのポテンシオメータ回路を示したものである。これに依つてゲージ抵抗 R_2 が ΔR_2 だけ変化した場合に生ずる電圧 E_2 の変化 ΔE_2 を測定する。(a) は直流増幅器に結合するような場合に用いられ、静的歪の測定に適している。 E_2 は別の電源 A に依つてバランスされ、変化 ΔE_2 だけが取り出される。(b) は動的歪或は過渡現象の測定に使用されるもので E_2 は結合コンデンサーに依つて消され、その変化だけが取り出される。

今 R_2 の変化 ΔR_2 が小さいとすれば

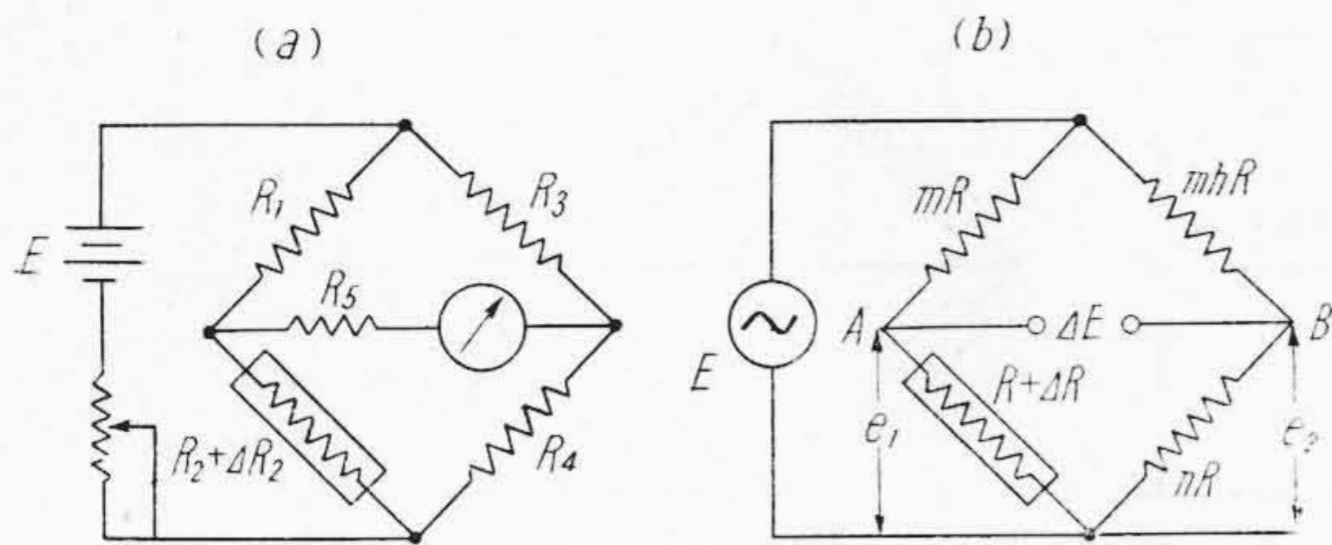
$$\Delta E_2 = ER_1 \frac{\Delta R_2}{(R_1 + R_2)^2} \dots \dots \dots (4)$$

なる関係がある。又 $R_1 = mR_2$ とすれば (4) 式より

$$\frac{\Delta E_2}{E} = \frac{m}{(m+1)^2} \frac{\Delta R_2}{R_2} \dots \dots \dots (5)$$



第2図 ポテンシオメータ回路
Fig. 2. Potentiometer Circuits



第3図 ブリッジ回路
Fig. 3. Bridge Circuits

となる。この式から歪を ϵ とすれば、前に定義した η を使つて

$$\epsilon = \frac{(m+1)^2}{\eta m} \left(\frac{\Delta E_2}{E} \right) \dots \dots \dots (6)$$

となる。 m の値は少くとも 3 以上にとらねばならない。

第3図はブリッジ回路を示したもので、その一つの分枝にゲージを用いる。温度に依る抵抗変化の影響を避けるため R_4 の所に R_2 と同じものをダミ・ゲージとして用いることもある。(a) は静的な測定に使用されるもので、直流電源を使用し、測定には感度の良いガルバノメータを用いる。ブリッジが平衡しているとき、ゲージの抵抗 R_2 が ΔR_2 だけ変化したためにガルバノメータを流れる電流 I_5 は

$$I_5 = \frac{E}{\delta} R_3 \cdot \Delta R_2 \dots \dots \dots (7)$$

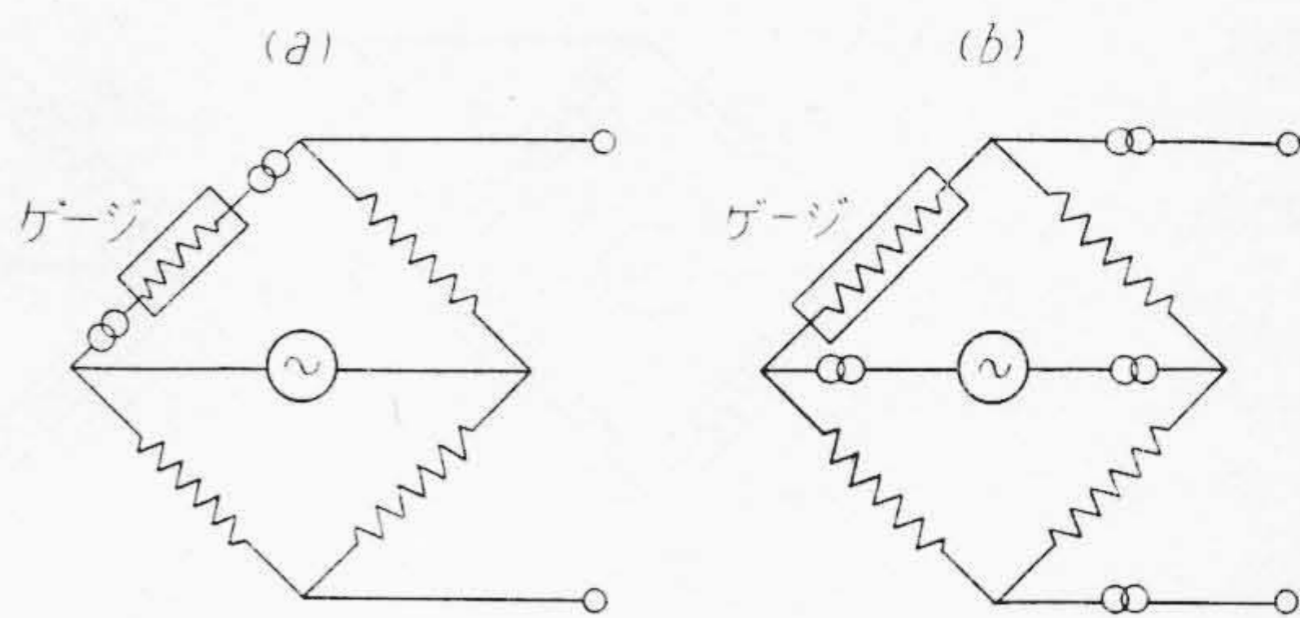
となる。但し

$$\delta = \begin{vmatrix} -R_2, & -(R_1+R_2), & (R_1+R_2) \\ -R_5, & (R_1+R_3), & -R_1 \\ (R_2+R_4+R_5), & (R_2+R_4), & -R_2 \end{vmatrix} \quad (7a)$$

例えば、 $E=6$ ボルト、 $R_1=R_2=R_3=R_4=120$ オーム、 $R_5=500$ オーム、 $\eta=2.1$ とすれば、 0.001 の歪に対して $\Delta R_2=0.25$ オームとなり、ガルバノメータを流れる電流 I_5 は 5.04×10^{-6} アムペアとなる。 2×10^{-5} の歪まで測定するためには 0.1×10^{-6} アムペア迄読み得る事が必要である。

(b) 図はガルバノメータの替りに増幅器を使用するような場合に用いられる回路である。直流電源の替りに交流電源を用いて搬送波増幅の形にすれば、静的並びに動的な歪が測定出来る。搬送波の周波数としては、情況に依り 50 c/s から数千サイクル迄のものが使用される。真空管のグリッドにつなぐ場合のように AB 間のインピーダンスが十分大きい場合には、不平衡電圧 ΔE は、 ΔR を小さいとして

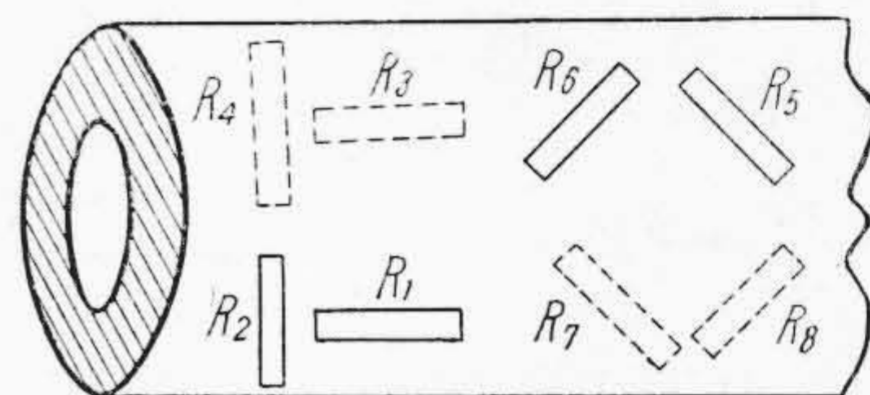
$$\begin{aligned} \Delta E = e_1 - e_2 &= \frac{R + \Delta R}{R + \Delta R + mR} E - \frac{nR}{nR + mnR} E \\ &= E \cdot \frac{m}{(m+1)^2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$



∞ スリップリング

第4図 ブリッジ回路に於けるスリップリングの位置

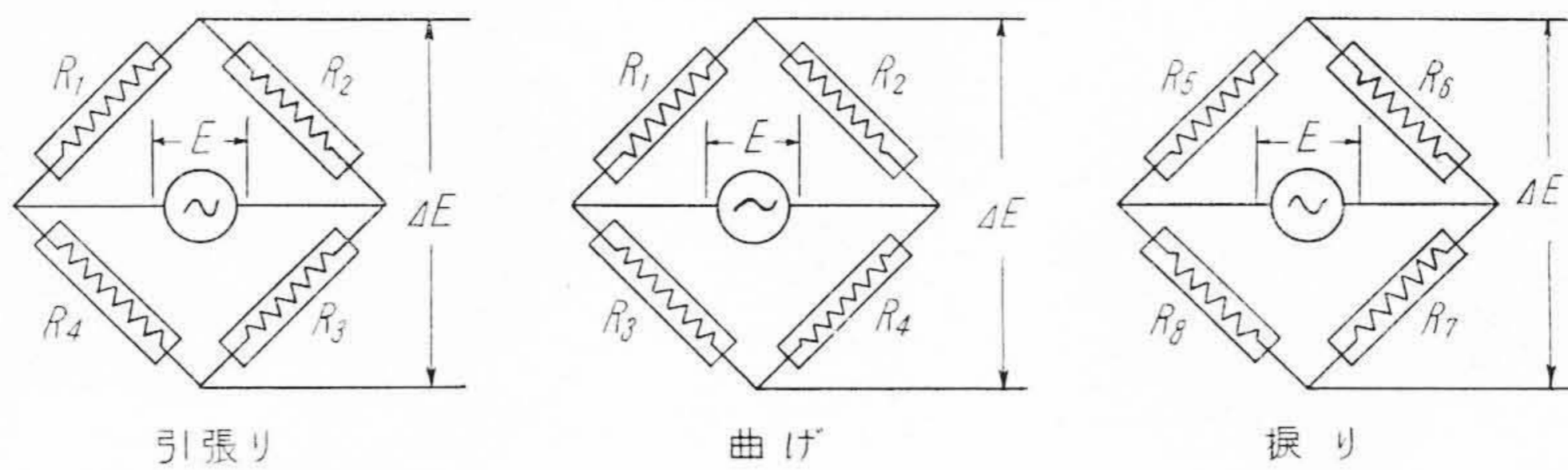
Fig. 4. Slip Rings in Bridge Circuits



第5図 軸上のゲージの位置
Fig. 5. Positions of Gauges on a Shaft

となる。従つて E を一定とすれば、 $m=1$ のとき電圧感度が最もよい。これから歪は (6) 式と同様にして求まる。

回転体の歪を測定する場合ゲージからの信号は、スリップリングを通して取出さねばならない。第4図はその二つの方法を示したものである。(a) の場合には、スリップリングがブリッジ自体の中にあるため接触抵抗の影響を受けやすい。(b) のようにスリップリングをブリッジの外側に置けば、接触抵抗の変化はそれほど重要でなくなる。この場合にはブリッジ全体を回転体に付けることになる。このためには4箇のゲージを使つてブリッジに組むのが最も便利であるが、この際ゲージは総て歪をうけるためその貼付位置には適当な注意が必要である。以下特に重要と思われる回転軸の場合について述べる。第5図は軸の三つの主応力を測定するためのゲージの位置を示したものである。 R_1, R_3 は軸と同一方向、 R_2, R_4 は軸と直角方向でそれぞれ反対側に貼られている。 R_5, R_6, R_7, R_8 は総て軸方向と 45° の方向に貼られており、 R_5, R_6 と R_7, R_8 とは反対側に貼られている。この内 R_1, R_2, R_3, R_4 は引張り及び曲げ応力の測定に使用され、 R_5, R_6, R_7, R_8 は振り応力を測定するのに使用される。これをブリッジに組むとき、相隣るゲージの抵抗変化は互に反対になるようにしなければならないから、引張り、曲げ、振りの応力を測定するためのブリッジ回路は第6図のようになる。以下 R_1, R_2, \dots, R_8 は総て等しい抵抗



第 6 図 引張り、曲げ及び振り応力を測定するブリッジ回路
 Fig. 6. Bridge Circuits for Thrust, Bending and Torque Measurements

値 R を有するものとする。今断面積 $A \text{ cm}^2$ 、ヤング率 $Y \text{ kg/cm}^2$ の軸が $T \text{ kg}$ の引張りの力を受けたとすれば、ゲージ R_1, R_3 は $\frac{T}{AY}$ なる歪をうける。従つてその抵抗変化 ΔR は

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\eta T}{AY} = \frac{\eta \sigma_T}{Y} \dots\dots\dots (9)$$

となる。但し σ_T は引張りの力 T に依つて軸の表面に生ずる応力である。ポアソン比を N とすれば、ゲージ R_2, R_4 は $-\frac{NT}{AY}$ なる大きさの歪をうけるからその抵抗変化 $\Delta R'$ は

$$\frac{\Delta R'}{R} = -\frac{N\eta T}{AY} = -\frac{N\Delta R}{R} \dots\dots\dots (10)$$

となる。従つてゲージ R_1, R_2, R_3, R_4 の抵抗はそれぞれ $R + \Delta R, R - N\Delta R, R + \Delta R, R - N\Delta R$ となる。ゲージの抵抗変化が判れば、ブリッジの電圧は (8) 式と同様の計算で求まる。その結果は

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{2}{1+N} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \dots\dots\dots (11)$$

となる。この式と (9) 及び (10) 式とから、 σ_T 及び T として

$$\left. \begin{aligned} \sigma_T &= \frac{2Y}{(1+N)\eta} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \\ T &= \frac{2AY}{(1+N)\eta} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

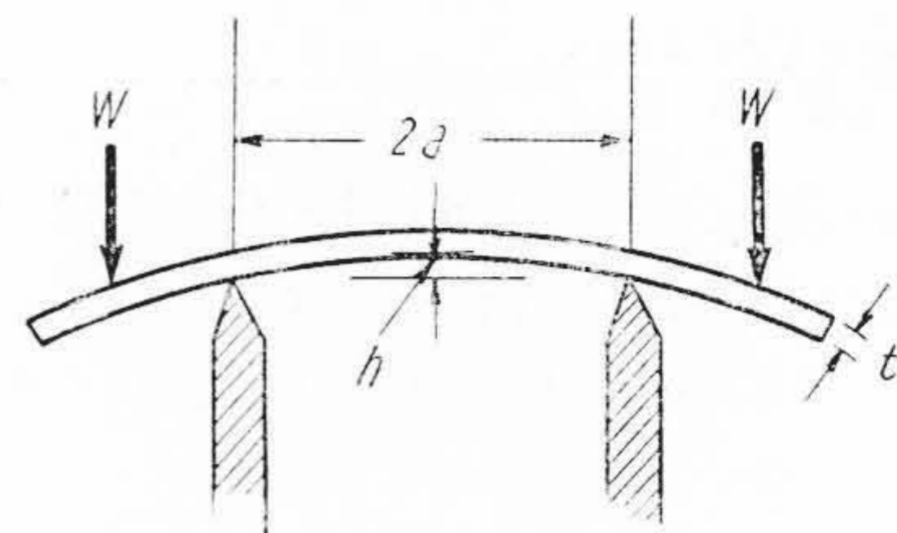
が得られる。

同様な方法で曲げ及び振りの場合も求めることが出来る。簡単のために結果だけを記せば

曲げの場合

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta R}{R} &= \frac{2}{1+N} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \\ \sigma_B &= \frac{2Y}{(1+N)\eta} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \\ M &= \frac{\pi Y (D^4 - d^4)}{16 (1+N)\eta D} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

振りの場合



第 7 図 ケー ジ 係 数 η の 測 定 装 置
 Fig. 7. Apparatus for Measurement of Gauge Factor η

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta R}{R} &= \frac{\Delta E}{E} \\ \sigma_V &= \frac{2G}{\eta} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \\ Q &= \frac{\pi G (D^4 - d^4)}{8 \eta D} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

となる。但し、 σ_B 及び σ_V は曲げ及び振りに依つて軸表面に生ずる応力、 M 及び Q は軸に加わる曲げモーメント及びトルク、 G は剛性率、 D 及び d は軸の外径及び内径を表わす。

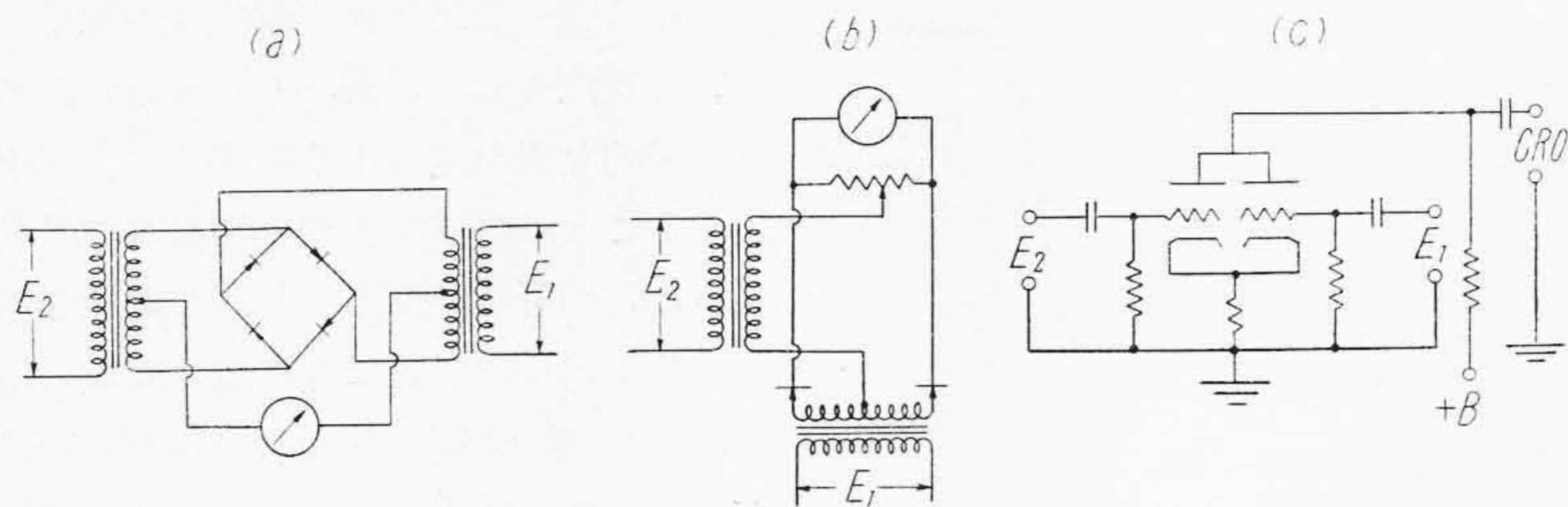
上に述べたように、ブリッジの電圧変化 ΔE を測定することに依つて ΔR が判れば、歪 ϵ は

$$\epsilon = \frac{\Delta R}{\eta R} \dots\dots\dots (15)$$

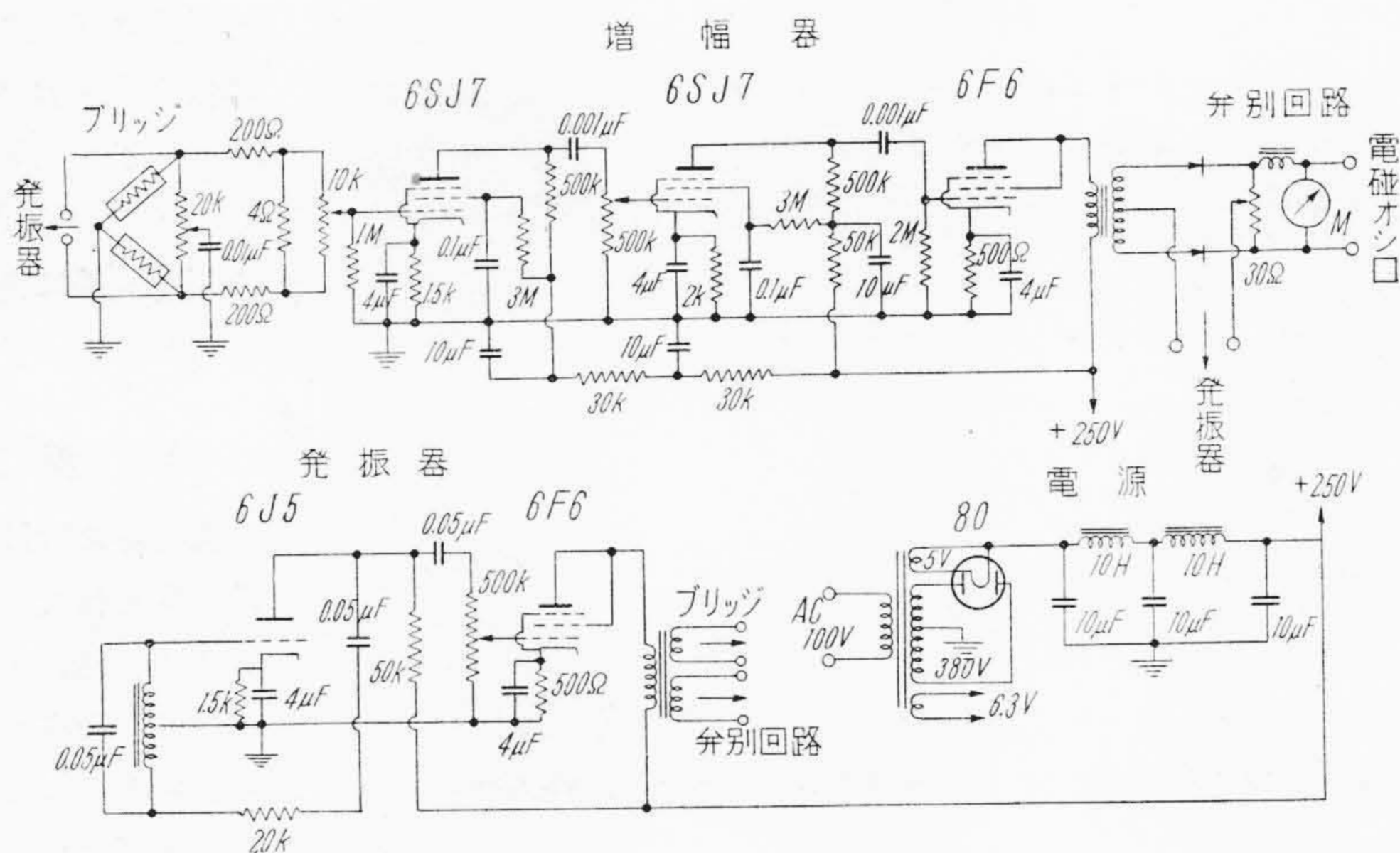
に依つて求まるが、更に別の方法で ϵ も測定出来れば、 η の値を較正することが出来る。第 7 図は η の測定装置を示したものである。矩形断面の板を二つのナイフエッジで支え、支点の外側に等しい荷重を加えるようにしたもので、支点の内側では一定の曲げモーメントが枳らく。即ち、こゝでは一様な歪が生ずるから、この所に測定せんとするゲージを貼る。板の厚さを t 、支点間の距離を $2a$ 、中心の撓みを h とすれば、板の表面の歪 ϵ は

$$\epsilon = \frac{h \cdot t}{a^2} \dots\dots\dots (16)$$

となるから、 h を測定することに依つて ϵ が求まる。



第8図 弁別回路 Fig. 8. Discriminator Circuits

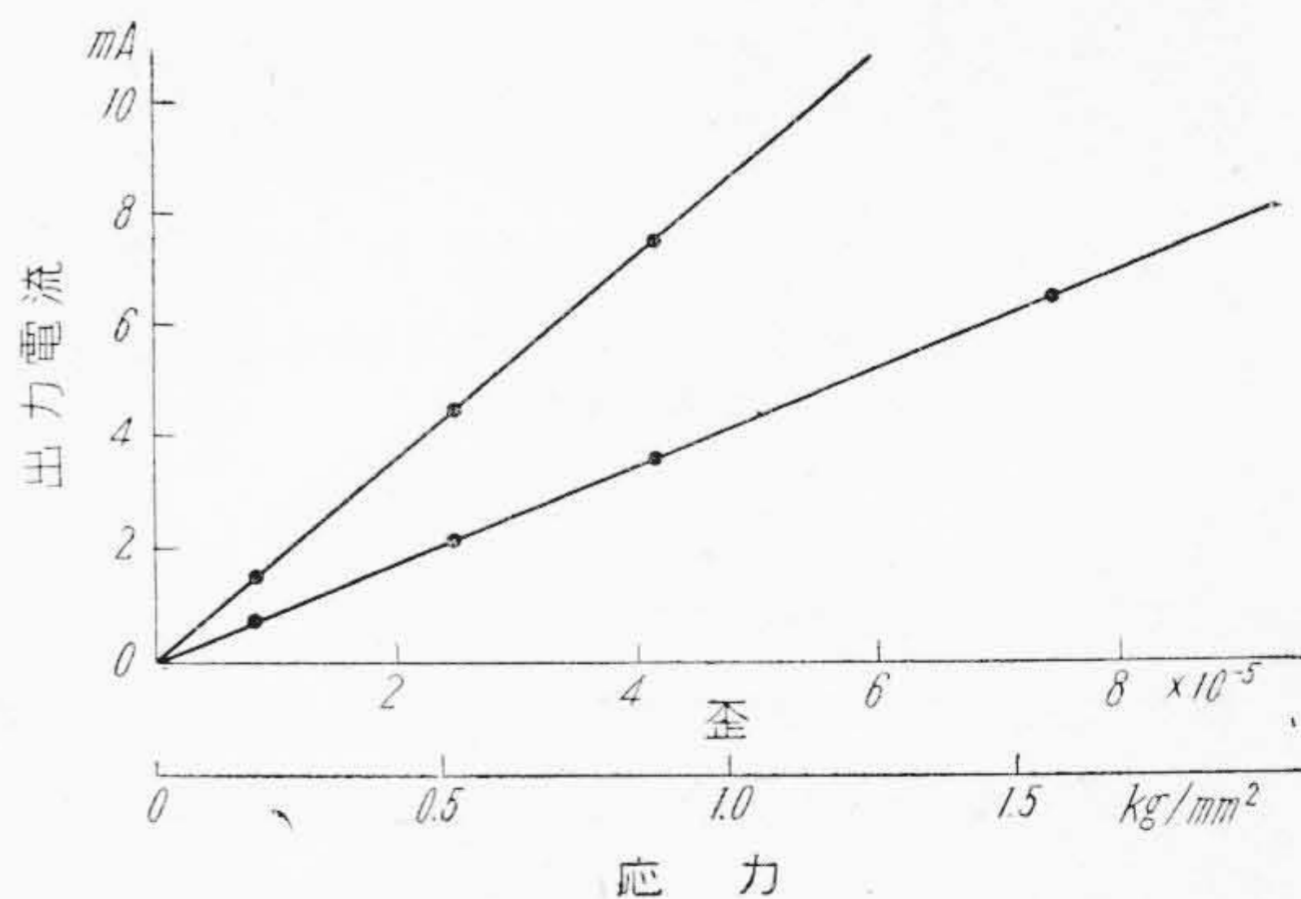


第9図 歪計の回路 Fig. 9. Circuit Diagram of Strain Meter

〔IV〕 増幅器及び弁別回路

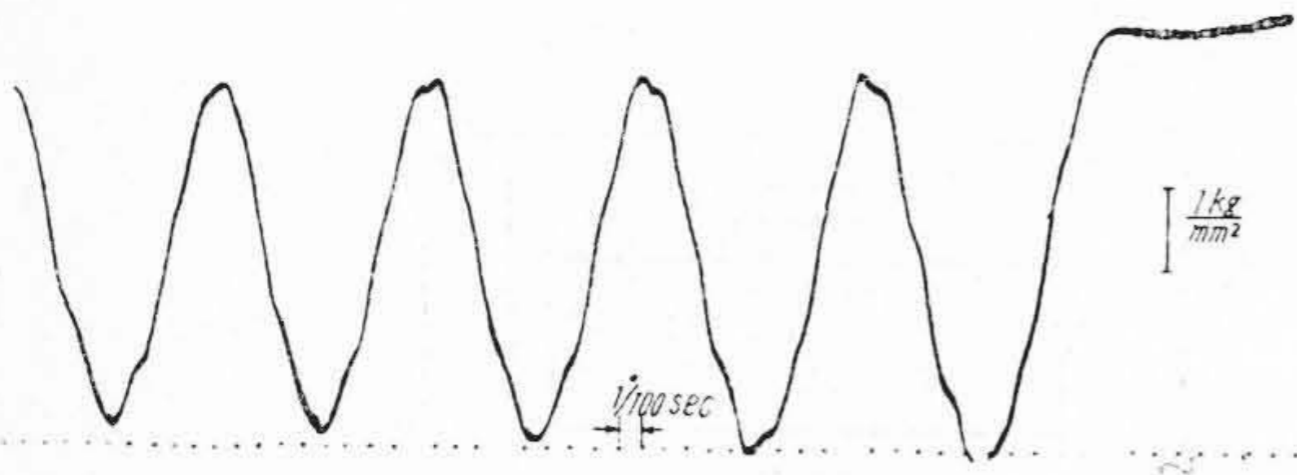
測定回路で得られた電圧は、電流計を偏らせ、或はオシログラフを動かせるために増幅する必要がある。直流増幅器は 0 から 30,000 c/s 位迄の現象が増幅出来、静的並びに動的歪の測定に最も適している。しかし高利得の直流増幅器は電源その他の変動の影響を受け易く、装置も大きくなるので、可能なかぎり抵抗・容量結合の増幅器が用いられる。即ち、数百サイクル迄の現象には搬送波を用いて増幅し、過渡現象その他の速い現象は出来るだけ低周波から高周波迄一様に増幅する増幅器が使用される。今ゲージ係数 $\eta=2.0$ とすれば、歪 $\epsilon=10^{-4}$ に対して、抵抗変化 $\frac{\Delta R}{R}=2 \times 10^{-4}$ となる。従つて (8) 式から、ブリッジ電圧 1V に対して 0.05 mV の不平衡電圧が生ずることが判る。これを指示計器が妨らく迄増幅すればよいのである。

搬送波を用いて増幅した場合、変調波を直接オシログラフに入れるか、整流して電流計に入れたのでは、歪が伸びであるか圧縮であるかを知ることが出来ない。これ

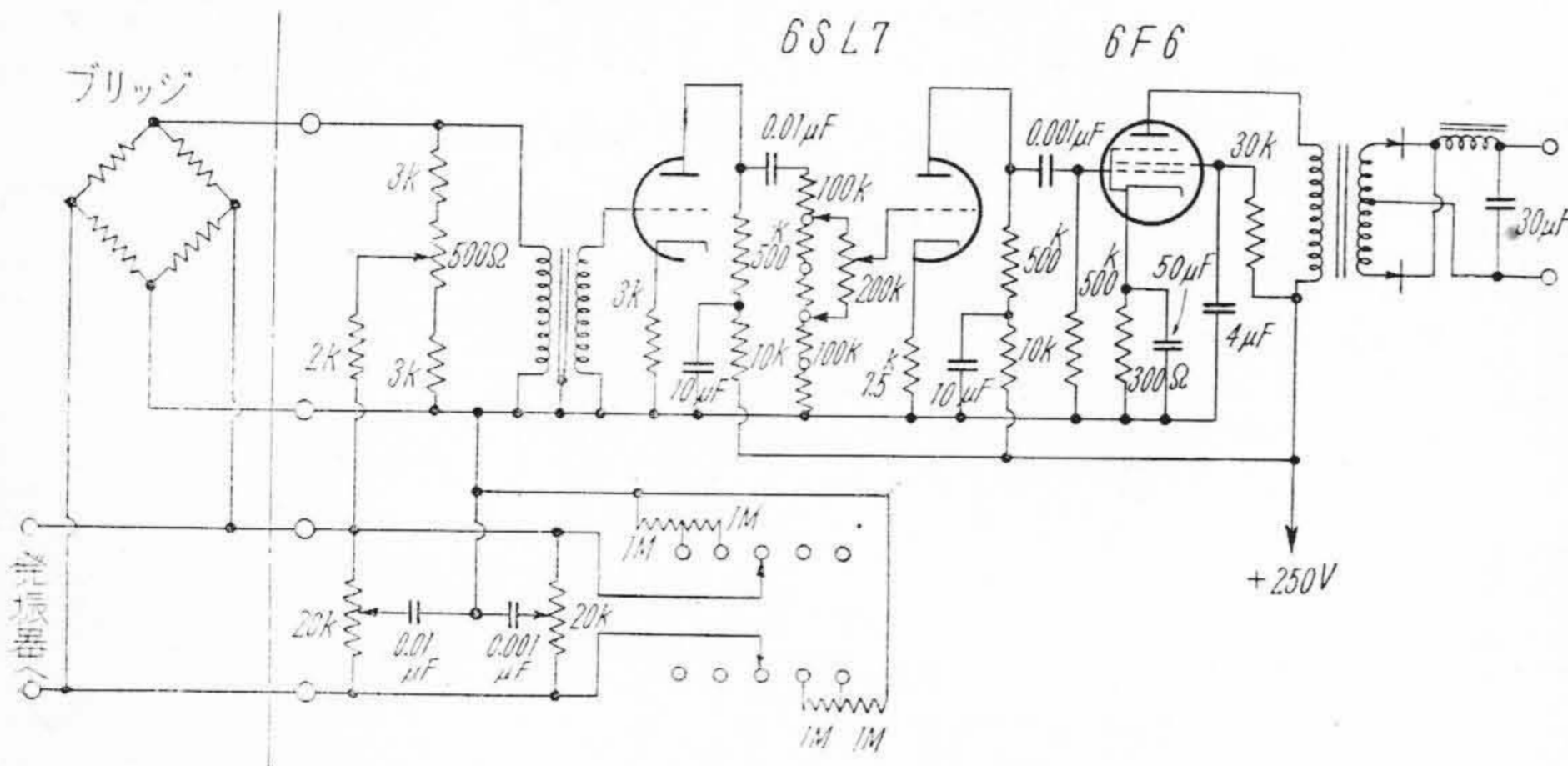


第10図 歪乃至応力と歪計の出力電流 Fig. 10. Output Current Versus Strain or Stress for Strain Meter

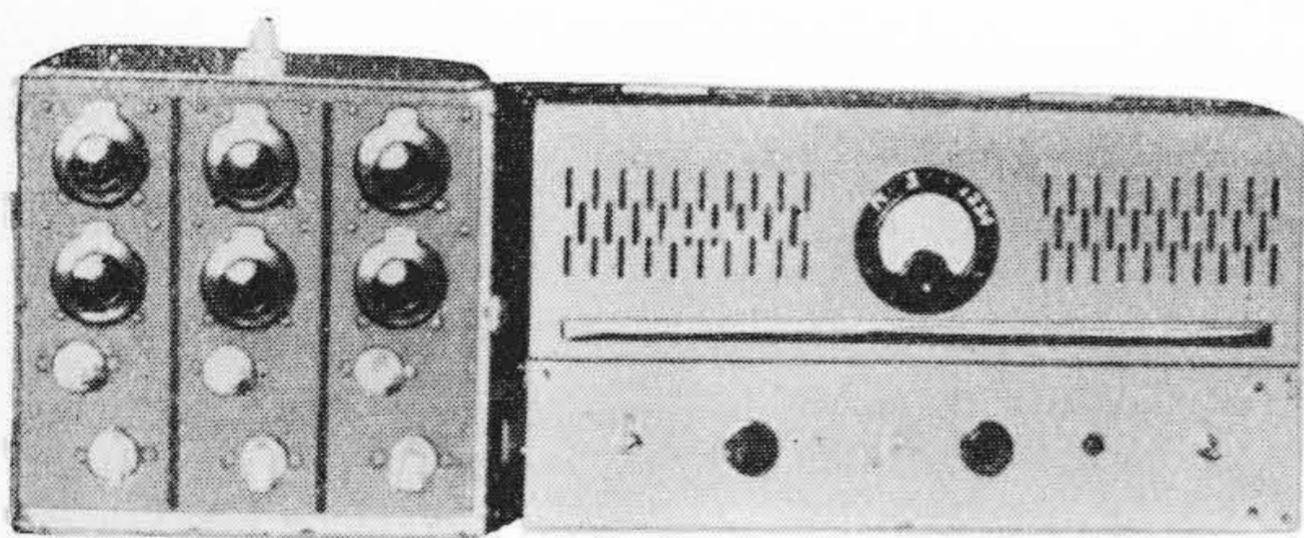
を知るためには第8図にその二三の例を示したような弁別回路が使用される。この回路に増幅された波と搬送波とを加えれば、その位相の相異から歪の正負が識別される。図の E_1 及び E_2 の何れか一方に増幅器からの出力を入れ、他方にブリッジに入れたのと同じ交流電圧を加



第 11 図 動的応力の測定例
Fig. 11. Sample Oscillogram of Dynamic Stress Measurements



第 12 図 3 チャンネル歪計の増巾回路
Fig. 12. Amplifier Circuit of Three Channel Strain Meter



第 13 図 3 チャンネル歪計の外観
Fig. 13. Outside View of Three Channel Strain Meter

える。(a), (b) の電流計には通常両偏れのものを用いられ、偏れの方向に依つて歪の正負が識別される。

我々は動的並びに静的の歪の測定が出来る歪計を試作した。第 9 図はその回路である。搬送波には 3,000 \sim を使用し、その発振にはハートレー回路を用いた。ブリッジ回路の平衡は抵抗だけでは十分でないため、リアクタンス・バランスを附加した。増幅器の利得は約 80 db である。第 10 図は第 7 図のような装置を用いて、この歪計で測定した歪と出力電流との関係である。二つの直線は最大感度の附近で利得を変えた場合のものである。これからこの装置で 1×10^{-5} 以上の歪の測定が可能であることが判る。応力 σ の値はヤング率を 21,000 kg/mm² としたときのものである。第 11 図は鋼板の一端を万力にく

わえて振らせたときの動的歪の測定で、H型振動子を用いて電磁オシロで画かせたものである。

静的な歪を測定する場合には、切換えスイッチを使用することに依り、一つの増幅器で多数の点の歪を測定することが可能である。しかし動的な歪を同時に多数測定するためには一般に測定点と同数の増幅器が必要になる。(16) 第 12 図は 3 箇所を同時に測定するために作った歪計の増幅器の回路である。第 13 図はその外観で、右は共通の電源と発振器、左は 3 箇所の同じ増幅器を収めたものである。尚最近では回転する

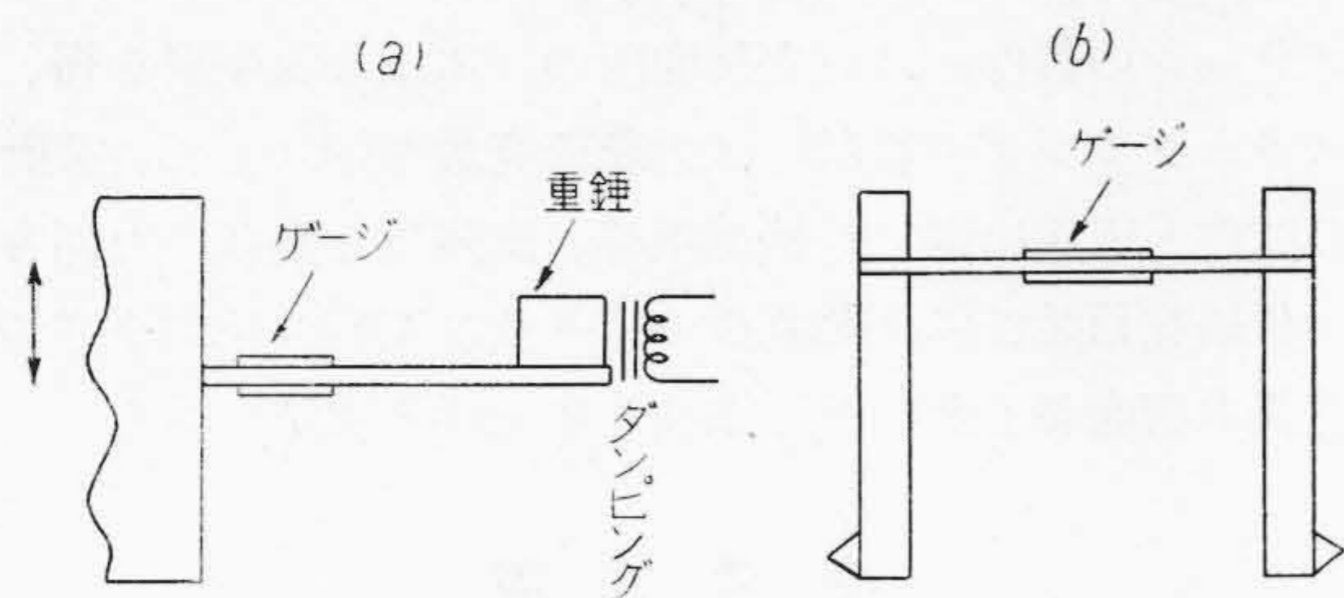
切換スイッチ或は矩形波パルスに依る電子管スイッチに依つて各ブリッジからの信号を迅速に切換え、一つの増幅に依つて多数の点の歪を同時に測定出来る装置も考えられている。(18)

〔V〕 歪計の応用

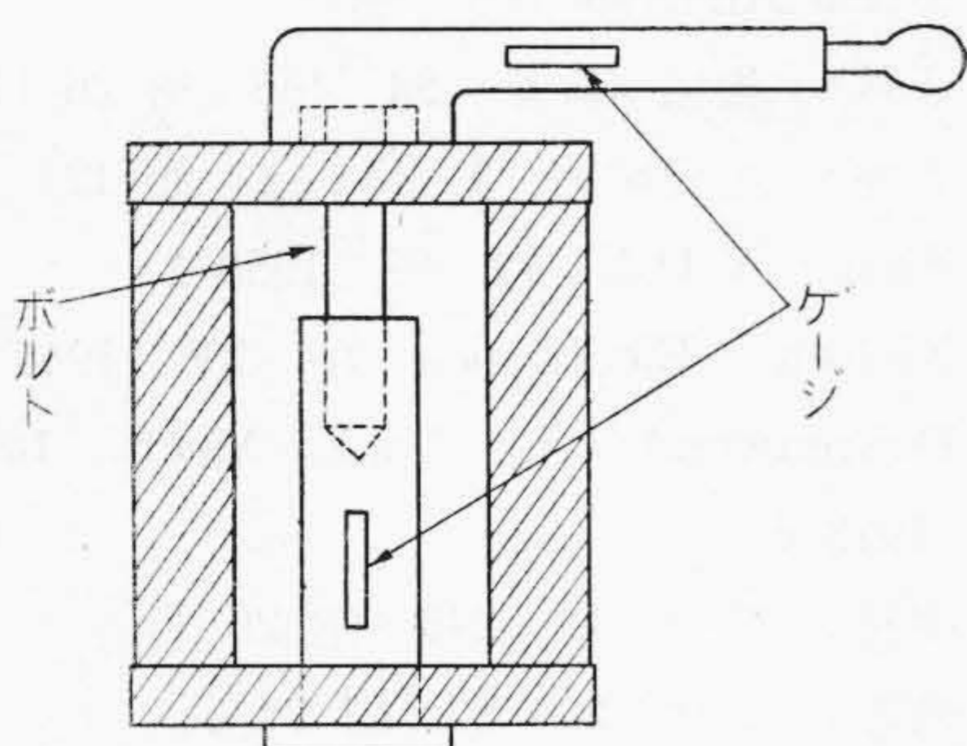
抵抗線歪計は、この種の他の計器に見られない多くの特長を有するため、殆ど工業の凡ゆる部門に亘つて、現在も益々その応用の範囲を拡大しつつある。しかし、これを大別すれば、直接的な利用即ちゲージを取付けた部分の歪乃至応力を測定するものと、間接的な利用即ちその歪に関する他の物理的量を測定するものがある。

直接的な利用は、車軸、船舶、航空機、起重機、橋梁等の構造部材のように、それにかゝる力ないし歪を知ることが、設計上必要な凡ゆる方面に利用されている。特に航空機のように最小の重量で強度をもたせる必要がある場合、この歪計に依る応力の解析は特に便利であり、凡ゆる桁材、フレーム、外板等について行われている。又圧力の加わつた時のタンク或はバルブの応力解析、力の加わつた時のエンジンの連結桿の応力測定等、この種の応用は枚挙に暇のない程である。尚このゲージは鋼材だけでなく、例えば建築に使用するコンクリート・ブロックの試験等にも使用される。その他興味ある応用としては溶接作業中に材料に生ずる応力の測定、色々なタービンバケット材料の減衰係数の測定、衝撃に対する強さの測定等がある。特に減衰係数の測定に於ては試験温度として 1,200°F 迄使用されている。(10)(11)(12)

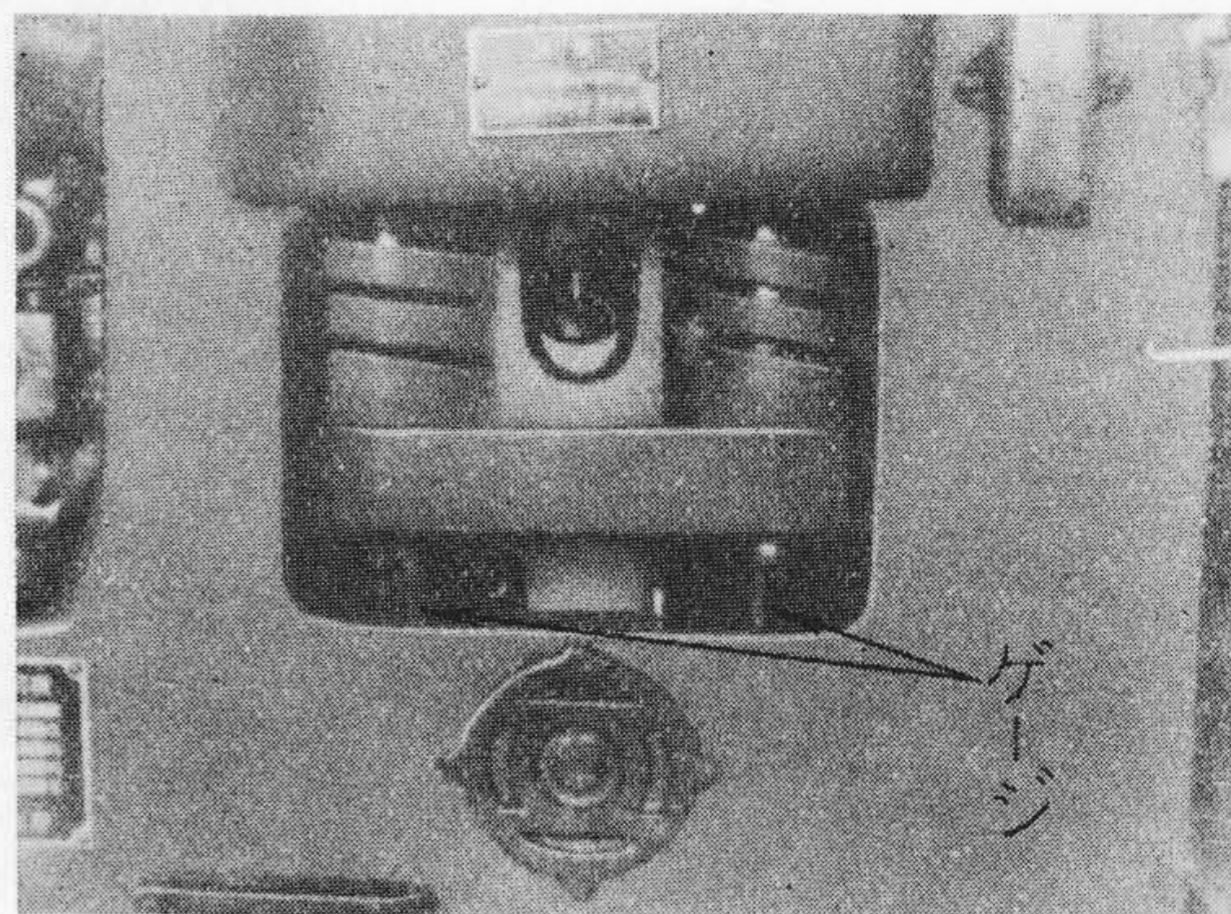
間接的な利用としては重量、圧力、変位、温度、加速度等の歪に関係づけることの出来る、他の物理的量の測定に利用されている。第 14 図 (a) は、左の支点が上下に振動するとき、片持梁に生ずる歪から支点の加速度を測



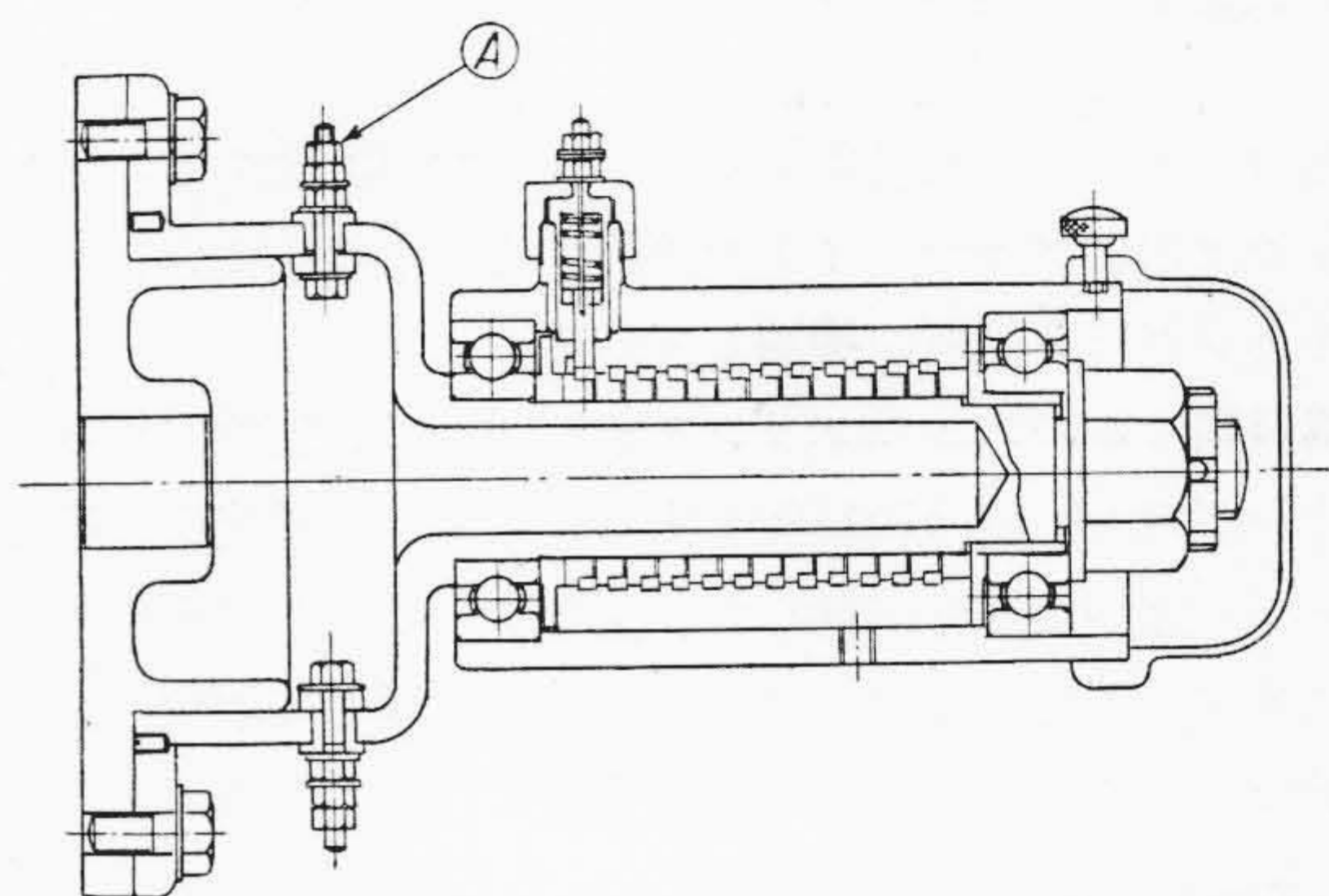
第14図 加速度計(a)とコンパレーター(b)
Fig. 14. Accelerometer (a) and Comparator (b)



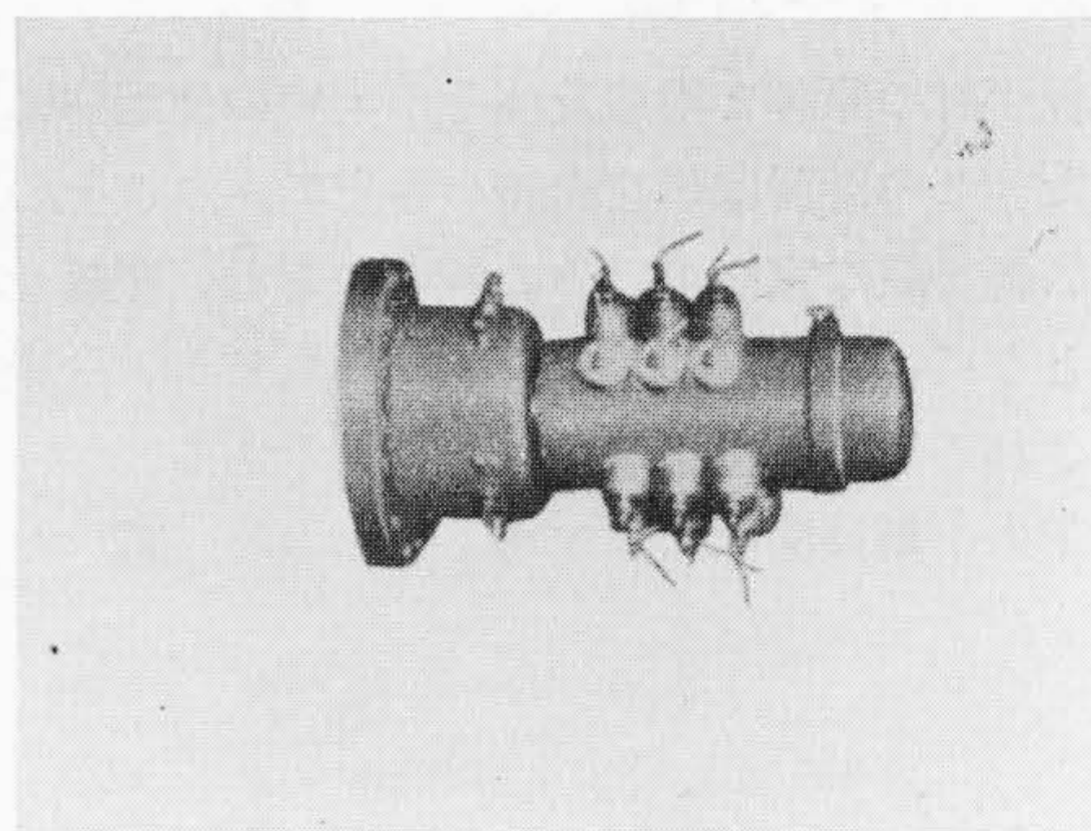
第15図 締め付ける力とボルトの応力との関係を調べる装置
Fig. 15. Apparatus for Measuring Tensile Stress to Bolting Torque



第16図 印刷圧の測定
Fig. 16. Measurement of Printing Pressure



第17図 スリップリングの構造と外観
Fig. 17. Construction and Outside View of a Slip Ring

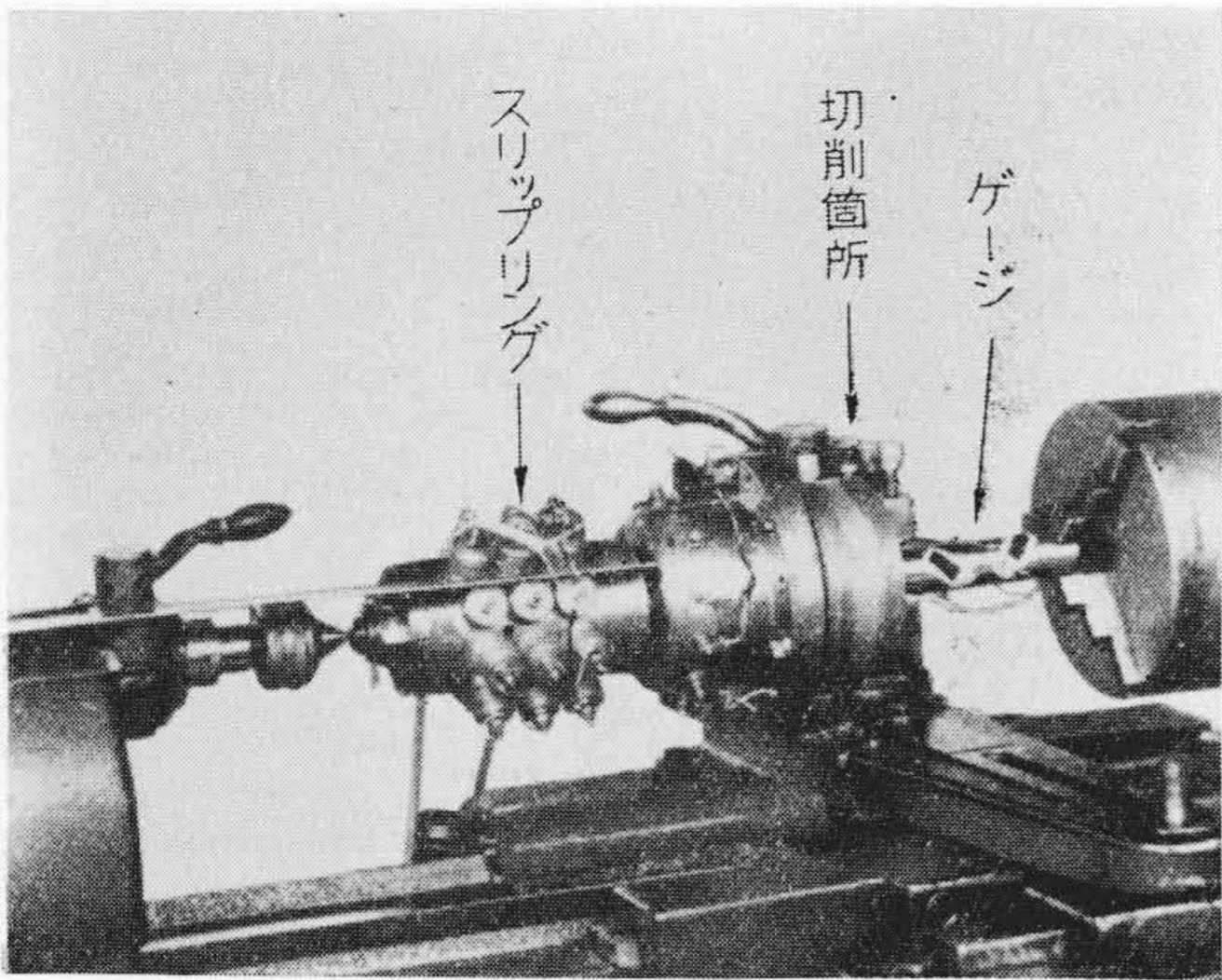


定する装置であり、(b)は穴の径等を測定するのに使用されるコンパレーターである。又薄肉の管の周りにゲージになる線を巻きつけたものは圧力計として利用されている。第15図はナット廻しでボルトを締めつけるとき、締めつける力とボルトに生ずる引張り応力との関係を調べるのに使用した装置である。2箇所に貼りつけたゲージから締めつける力とボルトの応力を前章に述べた歪計で、同時に電磁オシロに画かせることが出来た。第16図は二回転印刷機の運転中の印刷圧の測定法を示したものである。⁽¹⁵⁾ 印刷圧は、写真の下部にあるカム装置からスプリングの中を通っているイムプレッション・ロッドに依つて上部の版胴に伝えられる。写真に見られるように、ゲージはこの2本のロッドの上に貼られている。

前にも述べたように、回転体の歪を測定するにはスリップリングを使用しなければならない。⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ この場合リング表面の凹凸、汚れ、ブラッシとリングの接触圧の変動、リングとリングの間及びリングとアース間の絶縁抵抗の変動、リング表面に生ずる皮膜等は何れもゲージからの信号を不明にする原因となる。銅は容易に強固な酸化皮膜を作るのでリングの材料としては適当でない。止むを得ず銅を使用する場合には絶えずこの皮膜を取り去るようにならなければならない。銀に生ずる酸化皮膜

は軟かく、ブラッシに擦り落とされるためリングの材料としては最も適当である。ブラッシには軟いグラファイトが良いようである。

プロペラ軸のように、軸の一端が利用出来る場合には出来合いのスリップリングを使用することが出来る。第17図はこのような目的で作つたスリップリングの組立図と外観である。ゲージからのリード線は④なる端子に取付けられ、回転体と共に回転する。リングは銀を使用し



第18図 切削抵抗の測定

Fig. 18. Measurement of Cutting Resistance

3箇のブリッジに接続出来るよう全部で12箇ある。ブラシは銀、グラファイトを等量混ぜたものを使い、一つのリングに2箇所で接触している。

第18図はこのスリップリングを利用して、旋盤の切削抵抗を測定した場合の装置である。切削中は抵抗のためゲージを貼つた部分が振られ、歪を生ずる。この歪のために生ずる電圧を左のスリップリングを通して取出し、歪計で電磁オシロに画かせるようにしたものである。

〔VI〕 結 言

抵抗線歪計の原理と構造及びその実際の使用法について述べた。この計器は現在発達の上途にあり、その応用は愈々広範多岐に亘っている。筆者の乏しい経験を以てしてはとうてい十分な紹介は不十分であるが、今後これを利用される方に多少とも役立てば幸である。

尙本報告中第16図は川崎工場より提供して戴いた。又

ブラシの製作には日立研究所の一木氏の御配慮を得、スリップリングの設計には近藤研究員を煩はした。歪計の試作と応用に際し終始御指導、御鞭撻を賜はつた河合主任研究員並びに振動委員の方々及び実験に協力下さつた茂木研究員と共に厚く御礼を申上げる次第である。

参 考 文 献

全般に亘るもの

- (1) J. Yarnell: Resistance Strain Gauges (1951)
- (2) M. Hetenyi: Handbook of Experimental Stress Analysis 160 (1950)
- (3) 小林: 機械学会誌 54 465 (昭26-11)
- (4) 大井: 生産研究 3 454 (昭26-12)
- (5) Fink: V.D.I. 92 89 (1950-2)
- (6) Nielsen: Electronics 16 106 (1943-12)
- (7) Dohrenwend: J. Appl. Mech. 10 A-85 (1943-6)
- (8) 中村: 応物 19 243 (昭26-3)
- (9) 磯部: 応物 20 83 (昭26-6)

特殊な応用に関するもの

- (10) Fehr: J. Appl. Mech. 11 A-65 (1944-6)
- (11) Schabtach-Fehr: J. Appl. Mech. 11 A-86 (1944-6)
- (12) Fehr: Electronics 18 112 (1945-1)
- (13) Curtis: Electronics 18 115 (1945-7)
- (14) 野崎・家坂: 日立評論別冊 No. 1 27 (昭27-11)
- (15) 小川・片山: 日立評論 35 573 (昭28-3)
- (16) Roberts: Electronics 20 92 (1947-5)
- (17) Bierman: R. S. I. 19 707 (1948-10)
- (18) 高木: 生産研究 4 16 (1952-6)

