

圧力遠隔測定の一方法

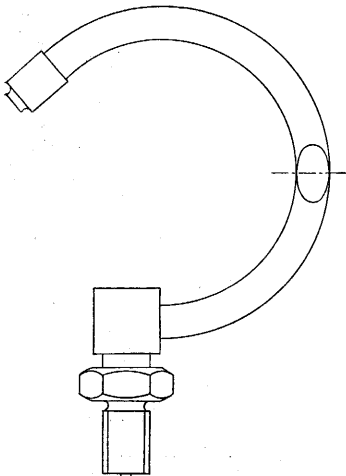
大井光四郎・浅野 六郎・小倉 公達

1. はし が き

当研究所の浅原研究室から 100kg/cm^2 程度の圧力の遠隔測定法について次のような要旨の相談を受けた。有機合成の実験においては、温度の測定とともに圧力の測定が大切である。今まではこのような実験において圧力を測定するには一応ブルドン管を用いてきた。しかし研究の必要上条件を色々変えて実験するから、異状反応が起って容器が爆発する危険が絶対には断言できない。それゆえ危害防止のために厚いコンクリートの隔壁を設けて実験をする。ブルドン管は隔壁の内側にあるから、合わせ鏡のようにして数回反射させて隔壁の外から計器の指示を読んできた。これでは読みにくくて困る。場合によっては容器をゆすぶる必要があるが、このときには一層読みづらくなる。これを何とか簡単に読めるようにできないものか。ただしブルドン管の部分の温度は室温より少し高くなる。指示の応答速度はあまり問題でない。精度はなるべく1%以内、また遠隔測定といっても距離は高々数m程度でよい等であった。筆者も圧力の測定には興味があったので少し考えることにした。

2. ブルドン管

もっとも広く用いられている圧力の測定法はブルドン管によるものである。これは周知のように扁平な断面を持つ中空の曲管が主体である(第1図)。これに内圧が掛ると管の断面は円形に近づく。もし曲管の曲率が変わらないとすると、曲管の外周側は伸び、内周側は縮むことになる。しかしブルドン管においては曲管の一端は固定さ



第 1 図

れ、他端は自由であるため、上に述べたことは主として管全体の曲率が変わることによって実現されて、管の外周および内周の材料そのものはあまり引張り・圧縮の歪を受けない。ただ管の曲率が変わるため、その側面の部分には著しい曲げ応力が生ずる。そして管の外周・内周の部分にはこの曲げモーメントと釣合うに足りる引張り・圧縮の応力を生ずるだけである。曲管の曲率が変わるので、自由端は頭を持ちあげる。この運動を回転軸につたえて指針を回転させる。

かりに測定すべき圧力を 100 気圧としても、この値は、ブルドン管を構成している金属の弾性率に比べれば遙かに小さい。この小さな圧力によって、極めて簡単な機構で目に見えるほどの変位を起させる点でブルドン管のアイデアは素晴らしいものである。しかしその反面次のような欠点もある。第一には指示が非直線的であること、第二には曲管の応力分布に上記のような無理があることである。前者に対しては曲管の自由端と指針との間の機構に種々の工夫がこらされているが、それでも不十分である。場合によっては、非直線的指示の方が好都合のこともあるが、ここではそれは問題外とする。応力分布の点はさらに根本的な問題である。ブルドン管を作るときに材質の吟味、熱処理の条件等が慎重に考慮されていることはこの点から考えて当然必要なことであるが、なお時々零点が狂うことを経験するのは応力分布に宿命的な無理があることが原因であろう。

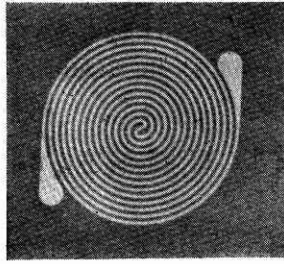
ブルドン管を用いた圧力遠隔測定装置として現在では管の自由端に差動変圧器を取りつけたものや、指針の回転軸にセルシンを直結したものなどが用いられている。ブルドン管の性能が十分に満足できる程度のものであれば、このような仕組みでも問題はない。しかしもしその性能に多少でも問題があるとしたならば、それに大掛りな遠隔計測の装置を取りつけることは、装置全体の費用のバランスの点で疑問が生ずる。

3. 抵抗線歪計型圧力測定装置

抵抗線歪計を用いた圧力の測定装置は、今までにも各種あって相当広く実用に供されている。その形式を大別すると次の a), b), c) の 3 種類になる。次にそれらの利害得失を考えてみる。

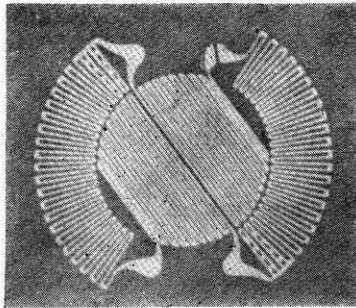
a) 第一の形式として受圧板に直接ゲージをはったも

のがある。このためには箔ゲージが適当で種々のパタンのものが用意されている（第2図，第3図）。第2図の



第 2 図

ものは温度補償の点で問題があるので特別の場合のほかは使うことができない。第3図のものは温度補償の点は解決しているが、ほかにも問題がある。



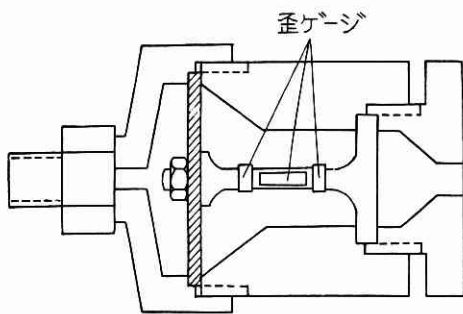
第 3 図

一般に周辺が固定された平らな受圧板に圧力が

作用するとき、圧力が小さいうちは板は主として曲げを受ける。圧力が増してたわみが大きくなると、周辺が固定されているために二次的な影響として板

の面内に引張力が現われて、これが無視できなくなる。第3図のゲージは板の曲げを検出するわけであるから、その適用範囲には自然制限がある。また周辺固定の平板は熱応力が存在するときには弾性的に不安定である。これらのことを考え合わせてこの形式は採用しないことにした。

b) 第4図のものの特徴は、周辺固定の受圧板に受け

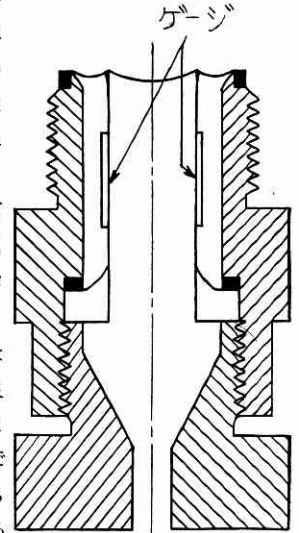


第 4 図

た力を薄肉の受歪筒に伝えて、その歪を測定することにより圧力を知ることにある。この形式では熱応力による弾性不安定問題は著しく軽減される。しかし受圧板の片側から測定する関係上、熱応力の問題は依然として残っている。しかしこの型においては問題はむしろ周辺の固定方法にある。厳密な意味で周辺を固定することは決して簡単なことではない。この形式のように受圧板が受ける圧力を周辺と受歪筒とが分担している場合には、周辺固定の条件の変化が直ちに感度の変化を意味する。

受圧板の周辺および中心におけるパッキングのことも考え合わせると長期間の安定な測定を第一義とする今回の場合にはこの形式を採用することはためられた。

c) 第5図のものは受圧板が平板でなくカタナリ型をしていることが特徴である。受圧板が受ける圧力を板の周辺と薄肉の受歪筒とが分担することは第4図のものと同様である。この型では受圧板と受歪筒とは特に固定されていなくて、板の弾性を利用して押しつけられているだけである。この型は元来内燃機関の示圧器として作られたものであって、特に周波数特性が高い点において優れている。この型では低圧力用のものは作り難いが、現在問題になっている 100 kg/cm^2 程度の圧力にはちょうど適当であって、市販品もある。受圧板は周辺にロウづけされているから、パッキングの問題はない。これを採用しても良いと思ったが、受圧板とゲージの関係が間接的である点で少し不満があり、予算上の制限もあるので別の方法をとることにした。

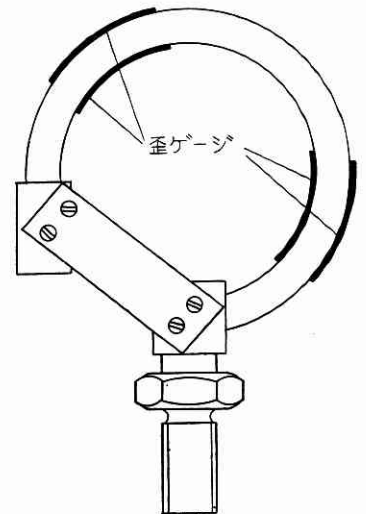


第 5 図

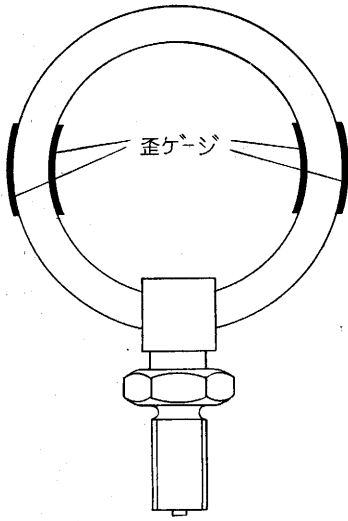
4. 新しい圧力測定ヘッド

前々節で考えたブルドン管の動作の原理について再考

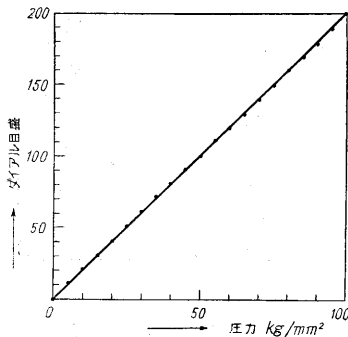
する。曲管の曲率が変わらないようにすると管の外周および内周に引張りおよび圧縮の歪が生ずる。そこで第6図のような方法が考えられる。理想的には第7図の形の方が好ましい。これらの方法によれば管の応力分布に無理が無くなり、歪ゲージの温度補償の問題も改善される。



第 6 図



第 7 図



第 8 図

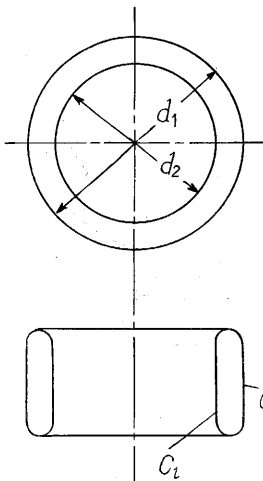
試作した測定ヘッドは、容量 300kg/cm^2 のブルドン管の頭の部分を固定して、 120Ω のゲージを4枚はり四ゲージ法にした。検定は 100kg/cm^2 の圧力まで行ったが、第8図の通りほぼ直線的である。また零点への復帰は 0.1% 以内であった。

100kg/cm^2 のときの曲管の歪は $\pm 2 \times 10^{-4}$ であるから、 500kg/cm^2 程度までは楽に使用しうるのである。それゆえ 100kg/cm^2 の程度の圧力を測定するときには $50\sim 70\text{kg/cm}^2$ の容量のブルドン管を用いれば足り

る。

5. 管に生ずる引張圧縮の歪

管に生ずる応力を完全に解析することは非常に厄介な問題である。ここでは設計の一つの基準として極めて簡単化して計算しておく。



第 9 図

管の断面が著しく偏平であるとする、管は内外二層の薄肉円筒 C_i, C_a から成るものと考えることができる。管の肉厚も薄いものとする (第9図)。

C_a には円周方向に引張力が作用する。応力 $\sigma_{a\theta}$ は、

$$\sigma_{a\theta} = \frac{d_1 p}{2t} \quad (1)$$

C_i には円周方向に圧縮力が作用する。応力 $\sigma_{i\theta}$ は

$$\sigma_{i\theta} = -\frac{d_2 p}{2t} \quad (2)$$

C_a, C_i の軸方向には引張力が作用するが、それを C_a, C_i が分担する比率は明らかでないが、近似的に

$$\sigma_{ax} = \sigma_{ix} = \frac{p(d_1 - d_2)}{4t} \quad (3)$$

とする。管の材料の Young 率を E 、Poisson 比を $1/m$ とすれば、

$$\varepsilon_{a\theta} = \frac{p}{2Et} \left\{ d_1 - \frac{1}{2m} (d_1 - d_2) \right\} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{i\theta} = \frac{p}{2Et} \left\{ -d_2 - \frac{1}{2m} (d_1 - d_2) \right\} \quad (5)$$

よって $d = (d_1 + d_2)/2$ とすると、

$$\varepsilon_{a\theta} - \varepsilon_{i\theta} = \frac{p}{2Et} (d_1 + d_2) = \frac{pd}{Et} \quad (6)$$

すなわちゲージ一枚当り $pd/2Et$ の歪を与えるものと考えてよい。

これは管が内外二層の薄肉円筒から成っているという仮定の下に計算した結果であるから、実際にはこの値よりも感度が低くなるが、第一近似としては役に立つ。

6. 他の形式との比較

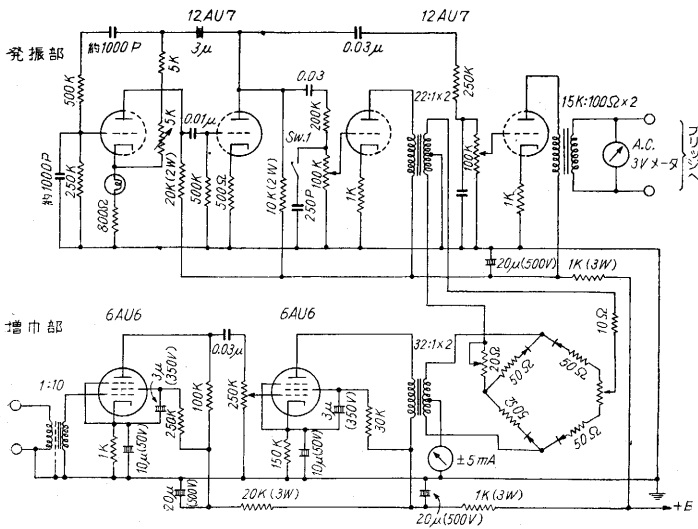
受圧板に直接ゲージをはったものは、難点が多いから比較の対象から除き、他の型のもを比較する。

計器の測定容量の点では §3 b) の型は受圧板と受歪筒の直径の比率を自由に変えられるから、適用範囲が最も広く、次いで本装置、カタナリ・ダイヤフラム型の順である。本器では曲管の直径 d を大きくすれば、感度をいくらかでも増加しうるのであるが、かりに d を 10cm 以内とすれば、容量が $1\text{kg/cm}^2 \sim$ 数百 kg/cm^2 程度の範囲である。

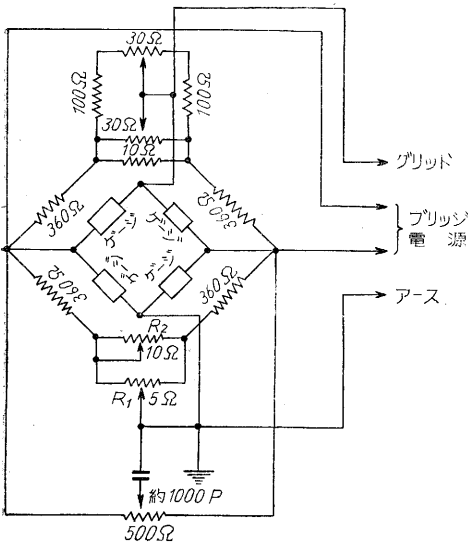
周波数特性については、本器はブルドン管にくらべると運動部分が非常に少ないから、周波数特性はかなり上昇して、b) の形式と同程度であろう。しかし流体が管に出入する必要があるため、カタナリ・ダイヤフラムのものよりも遙かに劣る。とくに管内が空気があり、出入する流体が液体であるときには空気が圧縮されて出入量が多くなるから周波数特性が低下する。このときにはあらかじめ管内に液体を入れておく必要がある。

熱的な影響については、抵抗線型のものの通有性として十分な警戒を要する。他の型式のものについては経験がないが、本器においては必要な注意を払えば、容量の 0.5% 以内に収めることは難事ではない。また零点の変動に関しては筆者の短期間の経験ではほとんど認められなかったが、毎日一度はチェックすることが望ましい。

それゆえ本器は抵抗線型の通有の欠点をまぬがれているわけではなく、また同種のものに比べて決定的に優れているわけでもないが、機構が著しく簡単で、ブルドン



第 10 図



第 11 図

管の製作の高度の技術をそのまま利用しう
る点が有利である。

7. 増幅器

本器と共に第 10 図のような増幅器およ
び第 11 図のブリッジ箱を製作した。形式
は普通の搬送波型のもので、零位法によ
って測定する。搬送波の周波数は商用周波数
の倍数になることを避けて、320 cps を選
んだ。普通の形式とやや異なっている点は
ブリッジのリアクタンス成分の平衡の取り
方で、平衡を取るときには、まずできる
だけ抵抗成分の平衡を取った後、スイッチ
Sw₁ により位相検波部の位相をずらせて容
量のバランスをとり、必要なればこれを数
回繰返すことによっている。またブリッジ

部の可変抵抗 R₂ は測定用抵抗 R₁ のきき方を加減して、
測定用ダイヤルの読みと圧力との関係を簡単な整数比に
するためのものである。なお、電源は B およびヒーター
共に安定化している。

8. むすび

圧力遠隔測定について相談を受けてから考えた筋道、
および試作した一つの例について報告した。筆者にこの
ような機会を与えられた浅原教授、および圧力の検定に
便宜を計られた山田研究室に感謝の意を表する。

(1957. 8. 30)

正誤表 (8月号)

頁	段	行	種別	正	誤
20	左	下 6	本文	5.000g	5,000g
"	"	下 3	" "	2.000g	2,000g
"	右	16	" "	2.000g	2,000g
21	右	27	" "	5.000g	5,000g
"	"	下18	" "	2.000g	2,000g
22	左	下 1	説明	垂直 100V/cm	垂直 85V/cm
表 3	"	12	ニュース	「鉄骨鉄筋コン クリート…」	「鉄筋コンクリ ート…」

次号予告 (10月号)

解 説

アルミニウムのロールボンディング...加藤 正夫
の基礎研究 中村 康治

試作した薄板深絞り試験機について...山田 嘉昭

放射線透過検査法の現状.....一色 貞文

現在の住宅問題.....池辺 陽

速 報

球面 concave 音源による音場.....鳥飼 安生

ラジアルガスタービンの研究

(第 6 報)...水町 長生

—Exducer 内の流れについて—

生研ニュース