

# ゴムのパッキンについて

材料研究所第二課 佐倉 武久

## Rubber Gaskets

By Takehisa Sakura

(Materials Research Laboratory, 2nd Div.)

### Synopsis

There is a large number of electrical apparatus which is filled with insulating liquid and gas and sealed with gaskets. In recent years, gaskets made of synthetic rubber have been used for the necessity of resisting high temperature, insulating oil or outdoor exposure, etc. In this report, we discuss how to use rubber gaskets, especially considering elasticity, stress relaxation, deformation by pressure and gasket form.

### I. 序 論

パッキンは各種工業において随所に使用されている。すなわち機械工業において高圧水蒸気、油圧関係装置等の各部分には必ずパッキンの特性が問題になり、あるいは化学工業では高圧、真空、耐薬品用等のパッキンが常に検討される課題となっている。その材質も多岐にわたり、革あり、石綿あり、あるいは銅、鉄等の金属あり、あるいはゴムの場合もある。これらはそれぞれ所要の目的によって使い分けがおこなわれていることは申すまでもないが、特に最近の顕著な事実は合成ゴムあるいは合成樹脂等がこの方面に進出してきていることである。この傾向は電気機器製造工業、航空機工業、化学工業分野に著しい。この理由は特にこれら工業分野ではパッキンに対し特殊な性能が要求されることが多いことによるのであろう。

電気機器工業におけるパッキンの例では、例えば変圧器のパッキンは古くはフェルト類が使用されていたこともあるが、これは勿論油面がパッキン部分まで昇らない時のむしろクッション作用のような目的で適用されていたのであるが、近時は絶縁油の劣化防止、湿気の滲透防止という観点からはほとんど窒素充填になっているため、完全なシールが必要であるところからコルクゴム系パッキンから合成ゴムパッキンに移行してきているし、また他の例では水素充填の場合のパッキン、真空用パッキン、耐化学薬品用のパッキン、あるいは特殊な耐熱のパッキン等と各種の用途のもの使用例は枚挙にいとまがない状態である。これらはパッキン作用の内容から考えてゴム製品が適当している場合が多く、また部分的には特殊な合成樹脂が使用されている。

本文に記載する内容は主としてゴムのパッキンについ

て触れることとする。

### II. ゴムの顕著な性質

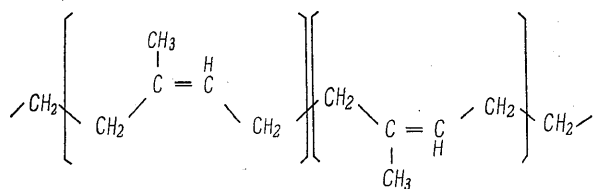
ゴムが他の物質と異なる著しい特長は一般的な固体に比しヤング率が著しく小さいこと、すなわち伸長の時小さい力で伸ばすことが可能であること、破壊に到るまでの変形が著しく大きくかつこれが可逆的におこなわれることである。この性質は一般にゴムと称する高弾性物質の顕著な特性であって、化学的に何であろうと常温あるいは常温付近でこのような性質を発揮する物質をゴムと称してよいわけである。

合成ゴムが出現するまではゴムの木のラテックスから採取したイソプレン重合体を処理し加硫してゴムを得ていたからゴムといえばこの天然ゴム、化学的にいえばイソプレン重合体に配合剤を添加して加硫したものと解してよかつたのであるが現在では各種ブタジエン重合体、ポリアクリルエステル、珪素化合物等で高弾性体が得られるにおよび、ゴムの中には化学的には各種の成分のものがあるようになり、ゴムとは上記特性を示す物質の総称ということになってきている。この文でゴムという場合の定義は一般的にこの意味を示すものとすると同時に、高弾性物質といった場合も同意義とする。

高弾性物質の力学的性質および弾性理論については実験と相まって研究が進められ、あるいは統計力学的な取扱いがおこなわれ、その特性についての解釈が分子論的におこなわれてきており、またモデルを使用しての粘弾性理論の展開も進んでいる。これらの内容の詳細は直接関係がないからその一部の、特にパッキンとしてのゴムの特性に関連ある部分について定性的に触れることとする。

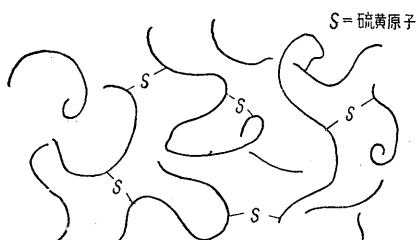
まず第1はゴム原料の構造であるが、代表例として天

然ゴムについていえば、これはすでに述べたように化学的に第1図のようなイソプレンの重合体より成立っている。



第1図 イソプレン重合体  
Fig. 1. Isopren polymer

る。この場合イソプレンの重合によって生ずる長い鎖状の巨大分子は、イソプレン単位に着目するとそれぞれの二重結合に対し、主鎖の方向がツス関係になっていることによって、同じくイソプレン重合体でありながらトランス関係になっているグッタペルカ等に比し、立体的に分子内回転の自由度が多くなり、後者が結晶型に近い硬い構造をとると対照的に、弾性変型の可能性の多い無定型構造に近い。すなわち巨大分子についていえばそれは分子内回転の多い長鎖のちじまったらせん状構造になっていて、これらは加硫によりゴム製品になる時、部分的に分子間あるいは分子内で束縛された構造になる。これは第2図の模型のような状態であって実際のゴム製品



第2図 加硫ゴム分子構造模型  
Fig. 2. A model of vulcanized rubber molecules

では多くの場合カーボン、亜鉛華等の充填材もまた加硫の場合の硫黄等の束縛点と同様な作用をなすものと考えられる。結局ゴムの構造は規則正しい分子配列をなす結晶型ではなく、また液体のように分子相互に完全な移動が可能な構造でもなく、更にいわゆる無定型構造でもなく、分子が部分的に相互に、あるいは分子内で束縛され束縛点間にはかなり多い運動の自由度を有している構造になっている。このことは一言にしていえば非常に大きなマイクロブラウン運動をしている構造といえる。このような分子構造をしているゴムに対して外から力を加えられた場合、部分的に束縛点が移行するが主として力によって自由度の多い束縛点間の部分の移行がおこなわれ例えば伸長する際には長い炭素鎖のらせん状構造から自

由度の少ないジグザグの結晶構造に近い構造をとるようになる。このようにして外力によって起きられた変形は外力が除かれた時より自由度の多いすなわちエントロピーの大きい元のらせん状構造にもどってゆく。これがゴムの弾性変形および回復の内容であって、金属結晶、イオン結晶等の弾性が原子間距離の伸縮によることによるエネルギー的なものであるのに対して、ゴム弾性がエントロピー的であるといわれるところである。かくてゴムの弾性に関係するエネルギーは主として炭素原子間の回転エネルギーおよびファンデルワールスカで原子間隔の伸縮に要するエネルギーに比し非常に小さく、事実ゴムのヤング率が 20°C 付近で約 10~30 kg/cm<sup>2</sup> であるのに対し、鉄等が 20×10<sup>8</sup>kg/cm<sup>2</sup> の大きな値を示すことは定性的に上記考察により肯定される次第である。すなわちすでに述べたようにゴムを引伸ばすに要する力は非常に小さいのである。またゴム弾性が上記マイクロブラウン運動と関連していること等によって、ゴム弾性が温度に関連が深いことにも注目しておくてはならない。

第2にゴムの圧縮率は水の 46×10<sup>-12</sup> cm<sup>2</sup>/dyne に近い 53×10<sup>-12</sup> cm<sup>2</sup>/dyne を示し、鉄の 0.6×10<sup>-12</sup> cm<sup>2</sup>/dyne と較べ、やや大きいことはゴムをエンクローズされた内で全面的に圧縮させるような場合、液体の圧縮の場合のように大きな力を必要とすることを注意しなければならない。

第3にはゴムのポアソン比が0.5に近いことは他の物質例えば鉄等では 0.3~0.4, ガラス等で0.2~0.3等の値を示すことと大きく相違するところであって、このことはゴムに一方向または二方向のみからの外力が加わる場合、つまり一方向でも自由な場合、体積変化がほとんどないことがゴムの特長の一つである。

以上の外にゴムは実際に当たってわれわれが期待したい理想的な高弾性と異なって外力を除去しても永久変形が残るような性質すなわち塑性変型が起るし、弾性回復が瞬時におこなわれない弾性部分があり、あるいは履歴現象もある。これらは温度、時間等の要素と相関連して使用上考慮を要する点である。

### III. パッキン用ゴム

パッキンとして使用されるゴムの種類はそれぞれの目的によって使い分けられる。もちろん一定のゴム質であっても所期目的すなわちパッキンの型体、荷重等によって配合剤を変えて加硫されなければならないが、それは別として目的によりゴムの種類を選定しなければならない

い。ここではゴムの種類をあげてその特長について述べる。

#### A 天 然 ゴ ム

一般目的のパッキンの場合には塑性変形が合成ゴム類に比し少なく良好な弾性体であるという意味で天然ゴムは好ましい。これはパッキンとして大切な点は荷重がかかった時塑性変形が少なく、すなわち荷重を除いた時に回復が完全に近いことであるからである。天然ゴムは欠点としては主として電気機器工業においては鉱物性油による膨潤が大きく、弾性を喪失すること、オゾン等の存在がイソプレンの二重結合に作用して分解を起し亀裂を起しやすいこと、耐熱性としては連続使用限界が  $60\sim 70^{\circ}\text{C}$  迄であってこれ以上の温度になると酸素が全然ない場合は別として急激に弾性を失うこと等であってこれらによって使用が制限されている。

#### B アクリルニトリル、ブタディエン系ゴム

ドイツのブナ N、米国の GR-A 等の合成ゴムであって鉱物油に対して膨潤性が極めて少なく、同様耐油性の GR-P に比しゴム弾性内容が良好であるために油を使用する電気機器のパッキンとして使用される場合が多い。また耐熱度も天然ゴムよりやや高いので温度上昇の高い機器にも使用される。耐久性もまた油のかかる個所ではもちろん一般的に天然ゴムに比し良好である。

#### C クロロブレン系ゴム

このゴムは塩素原子が入っていて多くの特長を有している。主な特長は耐薬品性であること、耐候性、耐久力の良好であること、耐燃性であること、アクリルニトリル系ゴムには劣るが耐油性であること、天然ゴムより耐熱性であること等好ましい点が多い。したがってこれらを要求されるパッキンとして愛用されている。米国の GR-M がこれに相当している。

#### D スチレン、ブタディエン系ゴム

米国の GR-S であって耐久性があり、耐熱度等が天然ゴムに比し良好で電気機器にこの種のパッキンが使用される例が少なくない。

#### E イソブチレン、イソプレン系ゴム

このゴムの特長は酸化作用に弱い二重結合が非常に少ないので、酸素および薬品類に対する抵抗が非常に強くまたガス体の透過が少ない点にある。これらの点を利用して耐薬品性パッキン、ガス体の遮断等のパッキンとして使用されている。米国での GR-I である。

#### F 有機珪素ゴム

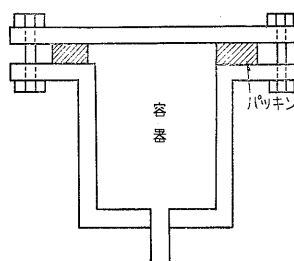
このゴムの特長は申すまでもなく他のゴムに比し耐熱性が圧倒的によいことであって、これを利用したパッキンが多くなってきている。またこのゴムはある種の液体に対して他のゴムのおよばぬ抵抗を示し、そのパッキンとしても良好である。

主として使用されるパッキン用ゴムは上記の各種であって、この外にアクリルエステル系ゴム等も検討されているが、合成ゴムは一般にゴム弾性が天然ゴムにはおよばない点および温度による弾性の変化が大きいこと等でパッキンとして使用する上に考慮が必要である。しかし合成ゴムの進出はパッキンとしてのゴムの用途を非常に開拓しつつあり、より良好な合成ゴムの研究を期待したい。

### IV. ゴムパッキンの考え方

ゴムパッキンの目的は多くの場合容器類の 2 部品、例えば函と蓋といったような部品の間にスペーサーのように挿入し、かつその場所における函の内外のガス—ガス液体—ガスあるいは液体—液体の流通を止めることにある。このようなパッキンのためにゴムを使用することはその弾性内容から考え適当なことであるが、この際どのような条件が考えられなければならないであろうか。

まず第 1 の考慮はこの容器類の内外の圧の差とパッキンを圧縮する圧との関係である。いま容器ならびにパッキンの入れ方を第 3 図のごときものとして一応次の各仮

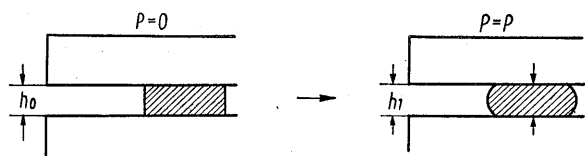


第 3 図 パッキン使用模型

Fig. 3. A model of gasket application

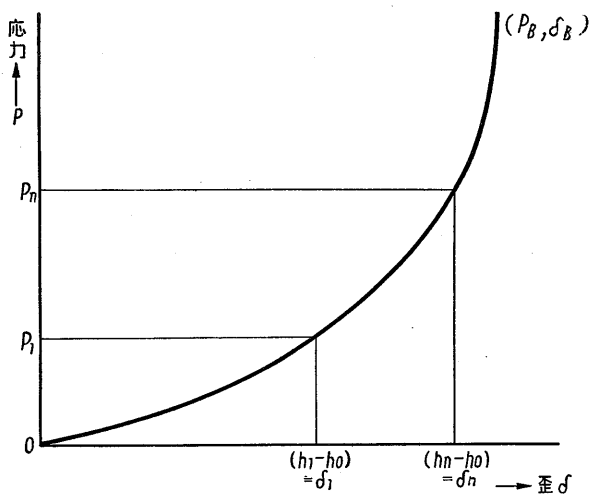
定を設ける。(1)容器内は液体としてその圧力は  $P_i$  とする。液体はパッキンをしてから容器に入れるものとする。(2)容器外はガス体としてその圧力を  $P_g$  とする。(3)  $P_i > P_g$  とする。(4)容器および蓋のパッキンの当る面は完全に平滑とする。(5)パッキンの容器および蓋の当る面もまた完全に平滑とする。(6)上記二つの平滑面すなわち容器または蓋とパッキン面間の摩擦係数は極めて大きく、この部分に平滑面に沿う方向に力がかかっても、全く滑りがないものとする。(7)パッキンは良好なゴム弾性体であって塑性変形、弾性余効、および経時変化は全く

ないものとする。またゴムのポアソン比は 0.5 とする。これ以外の特性は実存のゴムと同様とする。(8)パッキン容器および蓋を透過する気体および液体はないものとする。(9)パッキンを圧縮してゆく際容器蓋の変形は全くないものとする。(10)容器、パッキン等の寸法は一定のものとする。この条件は後で記すように繰返して加圧する際に形体的要素が一定ということは必要である。このような条件でパッキンをしめつけてゆく場合、パッキンの断面は第4図のごとく型が変わってくる。この場合上記



(1) しめつけない場合 (2) しめつけた場合  
第4図 ゴムパッキンしめつけによる断面の変形  
Fig. 4. Deformation of the compressed gasket

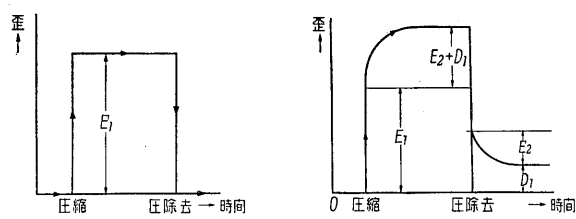
(6)の仮定によりしめつけ前としめつけ後のパッキンと容器あるいは蓋との接触している部分の長さ  $a$  は変化せず、しめつけ前のパッキンの高さ  $h_0$  がしめつけた後  $h_1$  になっても図中の斜線の入った断面積は(7)の仮定によって変化なく等しい。今しめつけによりパッキンの高さ  $h_0$  が  $h_1$  になるためにパッキン面にかかる単位面積当りの圧



第5図 応力—歪 関係 図  
Fig. 5. Stress—strain curve of the compressed rubber gasket

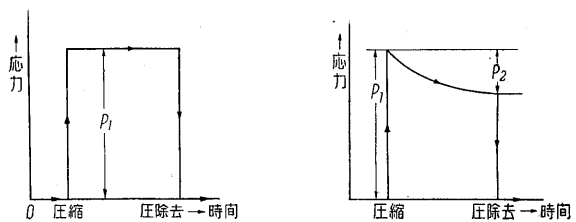
力を  $P_1$  とする。かくして圧力をいろいろ変化させた場合この圧力とパッキン高さの変化  $\delta$  (一般に  $h_n - h_0$ ) との間は第5図のごとき関係となり、先の  $[h_1 - h_0, P_1]$  点はこの関係曲線の上の一点となる。この曲線は前記の各仮定が成立する限り一義的に定まるものであって、パッキンにかかる圧力としてはこの曲線の立ち上るとこ

ろ、すなわち圧力が急激に大となり歪  $\delta$  がこれ以上変形すれば元の型に戻れぬ点、すなわちゴムパッキンが破壊する圧縮強度の限界 ( $P_B, \delta_B$ ) までの個所のいずれの点に対応する圧力、歪の条件でも使用可能である。この場合容器内に液体を入れ圧力関係に上記(1), (2)および(3)の各仮定を入れたときパッキンによって内の液が漏洩しないための条件は次のようになる。 $P_1 \geq P_i - P_g$  この際に  $P_1 \gg P_i - P_g$  の必要はないのであって  $[P_1 - (P_i - P_g)] \geq 0, P_1 < P_B$  の条件さえ満足していればよいのである。この際の外からの圧力  $P_1$  はパッキンのゴムに伝えられ、内部応力として内外の圧差に対してパッキンの効力を発揮していることとなる。以下の説明では圧力はゴムの応力として考えることとする。上記関係は一応ガス—液体の例として述べたが勿論ガス体—ガス体、液体—液体の場合にもあてはまることである。これは理想的な場合であるが実際にはこれと異なっていくつかの要素が入ることとなる。その第1はすでに部分的に述べたところであるが、実際のゴムによる効果である。すなわちパッキン用ゴムは理想的なゴム弾性体と異なって塑性変形、弾性余効等の現象があり、またこれらが温度によって影響を受ける。例えば理想的なゴム弾性体と実際のゴムとを二つの平板間で圧縮し、圧力を一定に保った後、圧を除去した場合、および同じく平板間で圧縮して歪を一定に保った後、圧を除去した場合の歪および応力の時間的変化は第6図、第7図のように極めて明瞭な差を示



(a) 理想的な弾性ゴム (b) 実際のゴム  
第6図 圧力一定の場合の歪の時間的変化

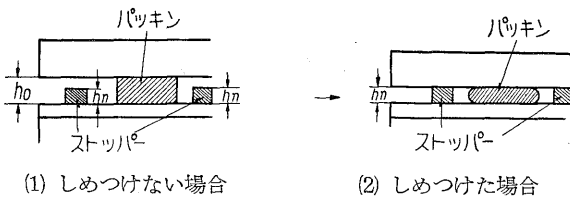
Fig. 6. Variation of the deflection at constant pressure



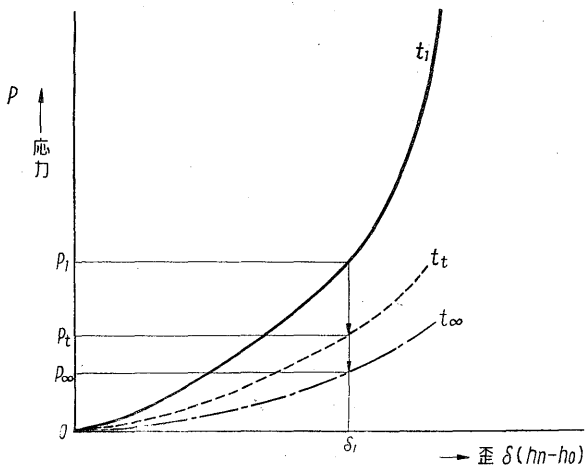
(a) 理想的な弾性ゴム (b) 実際のゴム  
第7図 歪一定の場合の圧力の時間的変化

Fig. 7. Variation of the stress at constant deflection

す。第 6 図の場合実際のゴムで  $E_1$  は弾性歪、 $E_2$  は弾性余効の歪、 $D_1$  は塑性変形分である。第 7 図の  $P_2$  は応力の緩和による力の低下分である。つまり初め時間  $t_1$  で圧を  $P_1$  として置いてもこれに対する応力は時間  $t_2$  で  $P_1 - P_2$  になっているわけである。かつまたこれらの特性の温度依存性は顕著であって申すまでもなく温度が上昇するにしたがって塑性変形、応力の緩和現象は著るしくなってくる。以上のような現象を考慮して応力—歪関係曲線の時間的変化を前と同じく二平板間に圧縮されたゴムの平パッキンに関して考えてみることにしよう。まず歪が一定の場合、すなわちパッキンとして第 8 図のごとくストッパーが入った場合はこの関係曲線は第 9 図



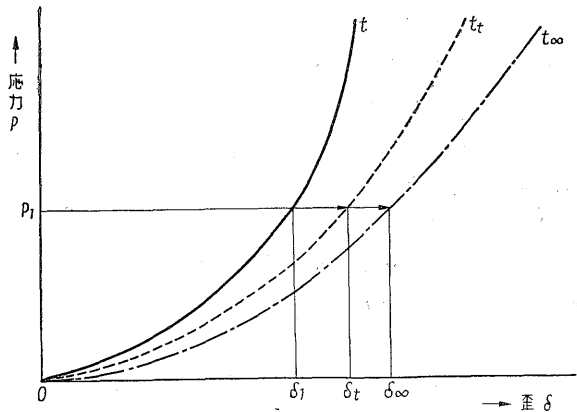
第 8 図 ストッパーを入れた場合のパッキン  
Fig. 8. Gasket with stopper



第 9 図 圧縮歪一定の時の圧力—歪関係の時間的変化  
Fig. 9. Stress-strain curve at constant deflection

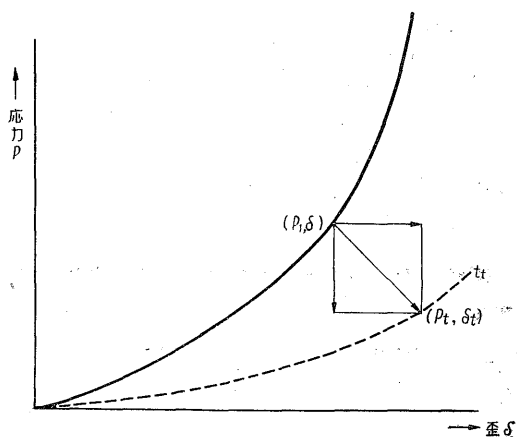
のようになる。第 9 図の場合  $\delta_1$  がストッパー高さ  $h_n$  と圧縮される前のパッキン高さ  $h_0$  との差であるとするとき、歪  $\delta_1$  は時間的に変化しないからこれに応ずる応力  $P_1$  は加圧した時間  $t_1$  から時間的に緩和されて、時間  $t_t$  においては  $P_t$  に変化してゆく。このようにして各種の  $h_n$  のものを用いたとして時間  $t_1$  における応力  $P$ —歪  $\delta$  関係は点線のように変化する。しかして時間がたつにつれ、ほぼ飽和の位置  $t_\infty$  のような関係となる。いま  $\delta_1$  なる圧縮歪になるように初めのパッキンをしめつけたとしたならば、最後にはパッキンの有する応力は  $P_\infty$  となり

前に掲げた液体—気体のパッキンの場合  $P_\infty \geq P_t - P_g$  になるようにしめつけ条件— $P$  または  $\delta$ —を決めればよい。この型のパッキンはよく用いられるところである。これと逆に例えばスプリングをかって圧力一定にした場合の応力—歪関係の時間的変化は第 10 図のようになる。



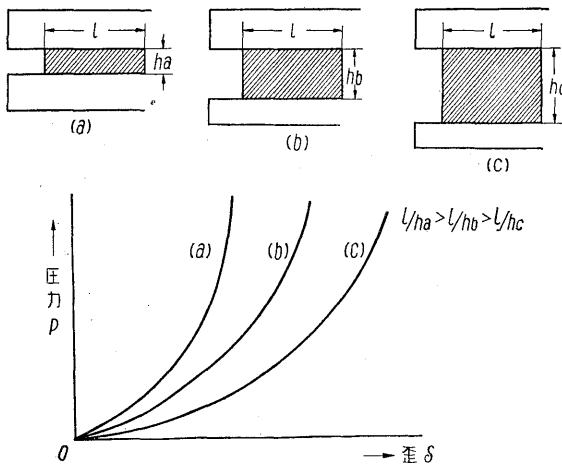
第 10 図 応力一定の時の応力—歪関係の時間的変化  
Fig. 10. Stress-strain curve at constant pressure

ここでは応力  $P_1$  により歪  $\delta_1$  であったものが前述のように  $\delta_t \rightarrow \delta_\infty$  と変化してゆく。このような方法では  $P_1 > P_t - P_g$  になっていればパッキン作用は果しているがパッキン自体は経時的に変形してゆく。実際には  $\delta$  が変化しても  $P_1$  一定のような構造は採用し難いので、この型のものは使用例が少ない。最も普通の場合はこの中間の型のもの、すなわちフランジ面で初めある圧でしめてそのままにされる。この時にはパッキンの挙動は上記二つの場合の中間のものであって歪、応力相伴って変化してくる。すなわち歪が大となるとともに応力もまた減



第 11 図 平パッキンを平面でしめつけておいた時の応力—歪関係の時間的変化  
Fig. 11. Stress-strain curve of the gasket being compressed between plates

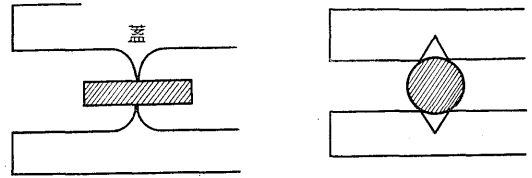
少し、いずれもある時間で飽和に近い点にくる。この場合の状態を第11図に示す。これらの応力—歪関係曲線はその立ち上り、すなわち歪の変化にともなう応力の変化の急激に大きくなる点付近から歪あるいは応力の時間的変化が大きくなり、また圧縮強度を超えてパッキンの破壊が起ることとなるので、パッキンの実際使用に際しては立ち上りより下側で使用しなければならない。以上が初めにあげた(7)の仮定を実際のものに直した場合に起る問題である。次の問題はパッキンの型体要素である。これまでは型を平板間の平パッキンに制限してきた。これは応力—歪関係曲線がパッキンの型体によって大いに影響されるからである。すなわち同材質で同じく矩形であるが、矩形の形の異なる断面の平パッキンを平板間で圧縮した場合を考えてみた場合、第12図の(a)、(b)、(c)のように平板に当たる長さ  $l$  は総て同じでその高さ  $h$  の



第12図 矩形断面の相違による応力—歪関係の相違  
Fig. 12. Stress-strain relation of the different form of gaskets

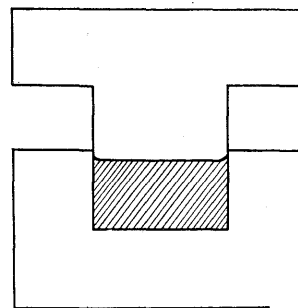
異なる3型体によって応力—歪関係には第12図曲線のように差が現われる。定性的にいえば、 $l/h$  が大きいほど僅かの歪で単位面積当りの応力は大きくなる。したがって  $l/h$  が大きいほど僅かの変形で大きな圧が出る反面、微小な歪の差が大きな圧をかける結果になり、パッキンを傷め、またパッキンの塑性変形を大にする可能性が大きい。極端に  $l/h$  の大きいものは避けるべきである。これに関連して大切なことはすでに述べたように  $P \geq P_i - P_g$  といった関係をいずれの個所で満足すべきかということである。すなわちこの関係はパッキンが容器または蓋のパッキンの当たる面のいずれの個所でもあてはまらなければならないのであるが、これは単位面積当りについてのことで、それは何も広い面積に当り、そうである必要はない。すなわち例えば完全な平面の間にパッキンが

入る第12図(a)の場合に、容器のフランジ面でパッキンの当たる面積を  $W$  とした場合  $P \geq P_i - P_g$  を満足する  $P$  の値の一つを  $P_a$  とすれば、フランジをしめつけるに要する全圧力は明かに  $P \times W$  である。ところがこの場合にフランジ面でパッキンの当たる面積を  $\frac{1}{2} W$  とすれば、しめつけ圧は  $\frac{1}{2} P \times W$  で済み、ボルトでしめるにしても力が少なくてよいことになる。これを更に極端に



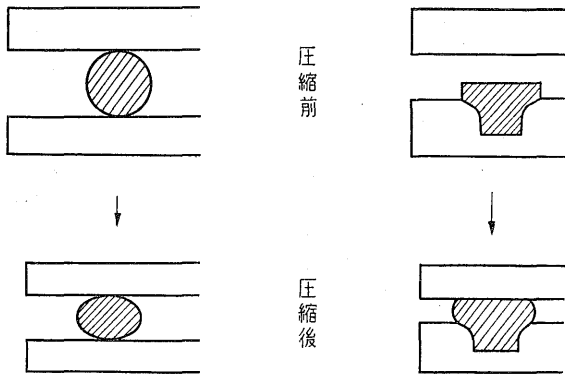
第13図 パッキンに当たる面積を極度に少くした例  
Fig. 13. Examples of the minimum touching area of gaskets

すれば第13図のようにパッキンに当たるフランジの面積をほとんど線に近いごく小面積とすれば、全圧力は僅かでおかつパッキン面で  $P \geq P_i - P_g$  の条件を満足することができる。実際高压の装置にはこのような型が採用されていることが多い。ただし極端にこれをすすめるとパッキンのゴムを破断してしまう危険があり、また同時に特に大型装置で型によっては加工の精度が高い必要がある。またこれらとは全然別に第14図のごとくして僅かの



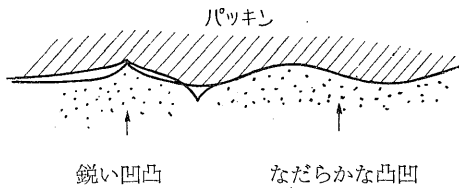
第14図 ゴムパッキン使用の1例  
Fig. 14. An example of the application of gasket

歪で応力を充分とり、液体と異なって流出しないゴムをパッキンとして有効に使用する全面圧縮の方法があるがこの場合は僅かの歪で応力が大きくなるので、容器類の強度を充分考えないと破壊しやすいことと機械加工の精度が必要なことを注意しなければならない。これらの点で第15図のごとき各型体は特に応力が大きいことを必要としない場合、パッキンとして良好な例であってそれぞれ応力—歪関係が割合にゆるくて使いやすい。次にフランジ面およびパッキン面の平滑度の問題がある。



第 15 図 よい パッキンの 例  
 Fig. 15. Good examples of gasket application

これらの面の平滑度は極めて大切で、平滑でない場合はパッキンとフランジ間に漏洩のパスが生ずることは想像に難くない。この場合第 16 図の左側のごとき型の凹凸

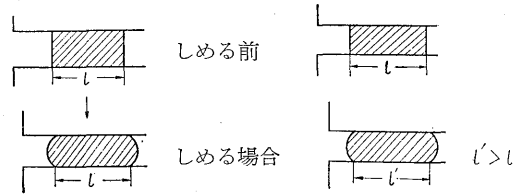


第 16 図 凹凸あるフランジ面に当るパッキンの状況  
 Fig. 16. Gasket applied with uneven surface of flange

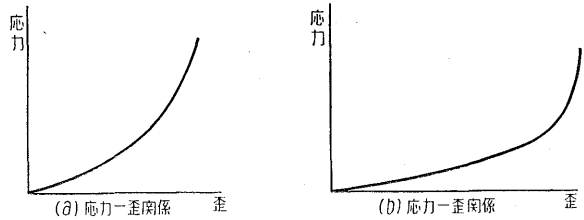
があれば軟いパッキンで余程強圧をかけないと漏洩のパスを潰してしまうことができない。しかし実際に軟いパッキンゴムに強圧をかけることはゴムの破壊を起しやすいので避けるべきである。これとともにフランジ面とパッキン面との摩擦の問題がある。これに関して理想的なことは摩擦係数が極めて大きければ圧した場合滑りがなく第 17 図の例のごとく応力-歪関係曲線が割に平均し、また立上りもさして急激でないで無理がないような

状態になっていることで逆に第 17 図の滑りの例の場合には、所要の圧力がかからず、かかり出すと立ち上りが急すぎパッキンの破壊に到りやすい。この点ですでに述べた第 12 図のような平パッキンは型体的にも滑りがあり問題である。

以上の諸点の外にパッキンを通してのガス体の透過の



(a) 滑りがない場合 (b) 滑りがある場合



第 17 図 パッキンとフランジ面の滑り  
 Fig. 17. Creep of gasket surface along the surface of flange

問題等があるがゴムのパッキンの作用に関する定性的な考え方は一応述べた積りである。これらの定量的な数字はまた別の機会に報告したいと思う。

終りに当りパッキン用ゴムの問題に関し終始御理解を頂いた技術部山本次長、材研山口課長および実験に協力され、また助言を頂いた材研所員森田、興石、小川、高見沢、高木、土屋の各氏および前所員馬場氏の各位に感謝の意を表し、併せて今後の御指導、御協力を願う次第である。



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。