

## 液状ガスケットの耐圧機構

### On the Pressure-Tight Mechanism of Fluidal Gasket

野 崎 弘\*

Hiroshi NOZAKI

100 気圧程度の流体（液体またはガス体）を含む容器や管の接合部からの漏れ止めに固形ガスケットにかわって液状ガスケットが使われる。この程度の内圧になると固形ガスケットでは必ずもれるという宿命を克服し、一般車輛の油送管から航空機、ロケットに至るまでそのもれどめの役をつとめる。その液状ガスケットの耐圧機構は何か。それをほり下げることによって液状ガスケットの構造と特性はいかにあるべきかを解説した。

#### 液状ガスケットとは

液状ガスケットとは何か。ひとくちにそれは油、水、ガス体などの輸送または貯蔵用の機械器具、容器の接合部に介在し、それら液体、ガス体の内圧に耐えて漏れどめの役を果しうる粘弾性液状物質であるということになる。一般に間隙や空隙の充填材をシール材 Sealant と称するが、液状ガスケットは 1 種のシール材である。このほかにシール材には通称パテといわれるコーキング caulking 材も含まれるが液状ガスケットはこれと区別される。液状ガスケットはあくまで名のごとく液状態を保持し、シール空間に変形あるいは拡大があっても、その変形や拡大に追従して、その空隙をうずめる能力をもっている。これに対してパテ状のものはこのような変形、拡大に応ずることの不完全なものとして前者と区別される。後にはわかるように液状ガスケットにはいろいろな物理的、化学的性格が要求されるが、ともかく空隙における変形が自在でその接面との密着がよいものでなければならぬ。

液状ガスケットは別に慣用語として液状パッキンともいわれる。しかしガスケットとパッキンとは元来区別されている。パッキン Packing とは回転または往復運動などの動的作用をするポンプ、かくはん機などのロッドの周辺に接触して、漏れどめをする場合に用いられ、ガスケットは配管ジョイント部、フランジ面のように静的接合面の間にあって漏れどめすることを意味する。ここで問題にするのは接合部分が静的状態にある場合で、このときのシール材は Fluidal Gasket というのが正式の名称である。

液状ガスケットは主として戦後、それも昭和 30 年頃より、にわかに使われだしたものである。しかしある種の液状ガスケットはすでに昭和 16 年頃仏国より輸入されたことがあるという。それでは液体シール材の着想は佛国にあるかというところともいえず、デンケーターの

蓋と容器との接触面、ガラスコックの摺り合せ面にグリースをぬって密封やもれどめに常日頃使っていたことになる。つまりこの液状、ペースト状物質を漏れどめの効果のあるシール材として理論はともかく直観的に取上げて実用に供して今日に至ったと解せられる。

現在使用されている市販の液状ガスケットはおおよそ次のごときものである。製品は基材、充填材、溶剤その他の助剤からなる、これらを混和して充填材を均一に分散させた液状物質を形成せしめる。基材は天然または合成の樹脂、ゴム、繊維素などが用いられる。

では良好なる液状ガスケットとはどのような性質をもつべきかについては、まず耐圧が高く、使用中劣化がないこと、温度変化がない上に、使用上の付着作業性がよいことなどあげよう。次にこのような性質性能を出すための液状物質の組成、構造はどうあるべきかということになる。これは経験的事実の積み重ねと耐圧機構の解明とから共々に次第に明かになってゆく性格のものである。

経験によると使われる樹脂の分子量に適當の大きさがあり、溶剤が飛散したとき液状態を保持する分子量であること、また液状態であっても分子量があまり大きすぎてもよくないし、低分子量でも不適當である。また分子は枝分れしている分子構造がよいとされている。充填材とは無機、有機の顔料などで一般には微細な固形物でガスケット組成としては均一分散状態におかれる。どのような形状大きさでどのような分布がよいか、充填材の表面とか内部の構造が樹脂基材とどのような親和力をもつのがよいか。詳細は今後の問題であるが、後に述べる耐圧機構に関する諸実験から、概略の指針は得られる。充填材は始めは単に増量剤のごとく考えられたこともあったが、これらの有無によって耐圧性、耐熱性が向上する事実があり、液状ガスケットの構成要素として重要視されてよい。溶剤は水とか有機溶剤のことである。ガスケットの構成要素である。その作用は主として塗布作業性をととのえるためである。しかしそれだけではない。溶

\* 東京大学生産技術研究所 第 4 部

剤が蒸発飛散後も一部はガスケット内に残留するものであり、蒸発速度によって表面だけが乾き内部がそのままであるような乾燥の仕方はよくない。塗布層全体が均一に乾燥することが望ましい。これには数種溶媒の混合系で作られる共沸混合溶剤がよいとされる。また溶剤の蒸発には、溶剤単独でこの性格がきまるのではなく、前述の充填材も興味ある作用がある。すなわち充填材が分散状態にある流動系では乾燥が表面だけでなく体積的、全体が均一的におこなわれるという事実がある。全体的乾燥を助成するという充填材との関連性を考慮した溶剤が望ましい。

以上述べた基材、充填剤、溶剤、助剤を混合融和せしめ液状分散系を形成せしめガスケット製品とする。従来実用に供せられている製品としてエポキシ系、セルローズ系、ポリエステル系、合成ゴム系、ビニル系、シリコン油系、金属コロイド系などがある。比重は通常 1.2~1.4 で大きいもので 2 以上のものもある。色は不透明で顔料の色とか故意に着色した有色のものが多い。粘度はポイズで計って常温で 30~70 の範囲のものが多くまたペースト状で 1,200 程度のものもある。

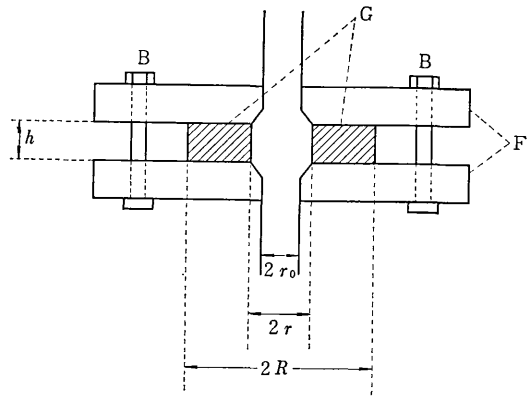
要するに液状ガスケットは液状態を保持し、接合面に密着するが固着はしない。変形自在で複雑な空隙、凹凸をすきまなく充填して、液状態でありながら内圧 100 気圧を越える圧力に耐えられる。ところがなぜこのような優れた耐圧と漏えい防止をつとめうるかとなると、この理論が意外にも内外とも示されていない。一方製品の性能向上が諸点望まれている。たとえば耐圧の温度依存性を少なくする組成物は何か。ガスケットの厚みが大きでも、また振動や衝撃などの機械作用がはげしいときでも耐圧の低下がないなどの対策は何か。これらの諸問題を解決するためにも耐圧機構の解明は重要である。

### 固形ガスケット

固形ガスケットには革、ゴム、コルク、フェルト、アスベスト、布、紙、金属などが用いられる。液状ガスケットの前身が固形ガスケットである。液状ガスケットの耐圧をしらべる上に固形ガスケットは、非常に参考になる。また両者の優劣がわかる。このような意味から固形ガスケットの耐圧理論を概観する。

図 1 のごとく、フランジ F の間にガスケット G がおかれたとする。はじめガスケットの厚さを  $h$  とする。このとき中央の管の内部には液体はなく、ガスケットの内側にも外側にも圧力が加わらない状態でボルト B によってガスケットを締めつける。ガスケットは  $-\Delta h$  だけ圧縮をうける。ボルト  $l$  は  $\Delta l$  だけ伸びて力のバランスがなりたつ。

$$\frac{\pi(R^2-r^2)}{\pi n b^2} \frac{\Delta l}{l} = E_B \quad (1)$$



B: ボルト G: ガスケット F: フランジ

図 1 固形ガスケット

ここに  $r$ ,  $R$  はそれぞれガスケットの内側半径、外側半径である。 $b$  はボルトの半径、 $n$  はボルトの数、 $E_B$  はボルトの弾性常数。

上式はガスケットに加わる圧力はすべてボルトの締めつけによる伸びにて引き受けたときの力のバランスを示している。一方ガスケットの圧縮について次式がなりたつ。

$$P_G \left/ -\frac{\Delta h}{h} \right. = E_G \quad (2)$$

ここに  $P_G$  はガスケットの単位面積に加わる圧力、 $E_G$  はガスケットの弾性常数。上式は  $-\Delta h$  のひずみが弾性限界内でおこなわれたと仮定している。またそのような状態を考えることにする。(1)と(2)は共通の  $P_G$  で釣合いがなりたっている状態における式である。この状態に内圧  $P_i$  が加わったとする。 $P_i$  は内部流体圧力で流体のどの点に対しても一様な圧力が伝達されているとしてよい。

いまガスケットの始めの釣合いの圧力  $P_G$  よりも  $P_i$  が小さいうちは接面にすきまがない限り、これに流体が入りこまず、したがって内側流体の及ぼす力は図の  $2r$  空間に限られる。このとき内部流体は両フランジの間隔を広げるように作用する。この作用はボルトに対しては(1)の  $\Delta L$  がさらに大きく伸びるように働き、ガスケットに対してはフランジの圧縮をゆるめる方向に作用する。このとき固形ガスケットに復元力がなければ、隙間ができて漏えいにみちびく。内圧  $P_i$  によるフランジに加わる全圧を  $F$  とすれば

$$F = \pi(R^2 - r^2)P_i \quad (3)$$

この  $F$  の力のもとにガスケットが復元したとき、その面に加えられるフランジの圧力はもとの  $P_G$  ではない。 $P_G$  よりも小さい  $P'_G$  である。この  $P'_G$  が  $P_i$  より大きいうちはガスケットとフランジの接面に流体がはいりこむことはむずかしく、まず漏えいはない。ところが

$$P'_G \leq P_i \quad (4)$$

となったときが問題である。(4)がなりたつような状態

ではガスケットとフランジ間の微細なすきまに内側の流体が入りこんでくる。その流体はフランジからガスケットを離す方向に力がはたらく、すなわち両フランジの間隔はさらに広くなり、ガスケットはさらに締めつけられ厚さは薄くなる。このときフランジに加わる力は  $\pi(R^2 - r_0^2)P_i$ 、ガスケットに対しては  $\pi(R^2 - r^2)P_i$  となる。 $r_0 < r$  (図1) で  $r_0$  と  $r$  との差が大きいほど (4) の状態があらわれやすくなり、接面の空隙が発生する。このとき接面からの漏れいはまったくさげられない。液状ガスケットではガスケットおよび圧力媒体がともに流体であるため、一般に  $P_i$  と  $P_G$  とはひとしい。この点液状ガスケットと固形ガスケットの内圧の伝達形式が根本的に異なるところである。固形ガスケットの宿命ともいべき  $P'_G < P_i$  となり、結局漏洩にみちびくこの欠陥を液状ガスケットは巧みに避けえたものである。

液状ガスケットによる耐圧実験

耐圧の実験条件および観察方法を次のごとくした。図2のフランジFの間に液状ガスケットが塗布されているものとする。まず最初にフランジの内部に圧力が加えられていない状態で等間隔に配置された6本のボルトBに

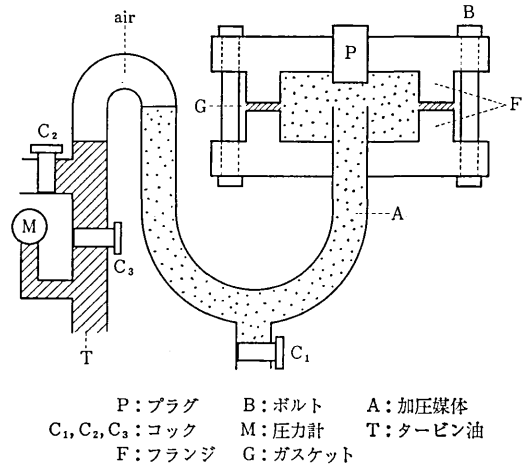
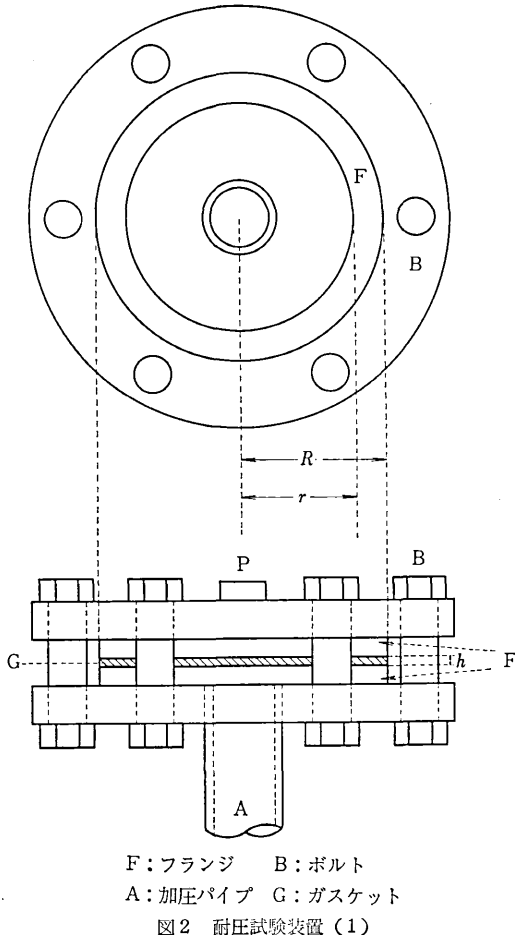


図3 耐圧試験装置 (2)

より均一にある一定圧力でフランジを締めつける。ついでフランジ内部を圧力媒体で満し、徐々に加圧し、フランジ間隙から漏れいの起こる最初の圧を限界耐圧力  $P^*$  と呼ぶ。本研究では液状ガスケットについての充填剤の影響を調べる場合をのぞいては、問題の簡単化のため単一成分の高分子 (エポキシ樹脂, シリコン樹脂, ポリアミド樹脂) を用いた。フランジの材質はアクリル樹脂, 鉄およびアルミである。フランジの外径  $R$  はすべての測定で一定である。それに対して内径  $r$  を変化する実験をおこなった。圧力媒体も限界耐圧力に影響を与えるので種々異ったものを用いた。ガスケット用樹脂, フランジ材質および形状, 充填材などの組合せを表1, 表2に命名法と共に示す。実験装置の概略は図3に示される。図2または図3のプラグPのところから加圧媒体を入れAの部分で満し、つぎにコック  $C_2$  からタービン油が流れ出るまでポンプによりタービン油を上げる。コック  $C_2$  およびPを閉じてポンプにより加圧する。タービン油と加圧媒体の間には空気の部分があるので両者の混合はない。加圧媒体を変える場合はコック  $C_1$  から元のものを流し出し、エタノールで洗滌し乾燥してから新たな加圧媒体をPより入れる。内圧はフランジと並列につながれた圧力計 M (西野ゲージ製) により測定される。圧力計の精度は  $\pm 1 \text{ kg/cm}^2$  である。加圧は手動式加圧ポンプにより 15 分間隔で  $1 \text{ kg/cm}^2$  づつ増加しフランジ間隙から液状ガスケットが漏れ出たのが認められた最初の圧力を限界耐圧力とした。フランジ, ガスケット, 加圧媒体の各組合せに対して実験を3回繰り返したが実験誤差は3%以内であったので, 3回の平均値をもって限界耐圧力  $P^*$  とした。なおフランジ面の表面仕上げの状態も  $P^*$  に影響を与えるので, これを一定にするため各フランジ共にその仕上げ度は3Sとした。フランジ面のよごれを除くためにガスケット塗布前にエタノールで洗滌し十分乾燥させた面を用いた。測定温度は全測定とも室温

表1 フ ラ ン ジ

| フランジ名    | A-1    | A-2 | A-3 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 | Fe-1 | Fe-2 | Fe-3 | Fe-4 | Al-1 |
|----------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 材 質      | アクリル樹脂 | 〃   | 〃   | 〃   | 〃   | 〃   | 〃   | 鉄    | 〃    | 〃    | 〃    | アルミ  |
| 内 径 (cm) | 0.3    | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 0.3  | 0.8  | 1.2  | 2.0  | 0.8  |
| 表面仕上     | 3S     | 〃   | 〃   | 〃   | 〃   | 〃   | 〃   | 〃    | 〃    | 〃    | 〃    | 〃    |

注 フランジの外径はすべて 3.8 cm

表2 ガasketおよび充填材

| ガスケット名 | 材 質     | 粘度*(cp)       | 慣用名      | メーカー       |
|--------|---------|---------------|----------|------------|
| E-1    | エポキシ樹脂  | 860           | EPON 815 | シェル石油      |
| E-2    | 〃       | 2,040         | UNOX 201 | U. C. C.   |
| E-3    | 〃       | 4,250         | DER 332  | ダウケミカル     |
| E-4    | 〃       | 11,800        | EPON 828 | シェル石油      |
| E-5    | 〃       | 68,000        | DEN 431  | ダウケミカル     |
| S-1    | シリコン樹脂  | 10,000 (cs)   | TSF 451  | 東 芝        |
| S-2    | 〃       | 100,000 (〃)   | KF 961   | 信越化学       |
| S-3    | 〃       | 1,000,000 (〃) | KF 96 H  | 信越化学       |
| A-1    | ポリアミド樹脂 | 20,000        | ODG 142  | 日本ライヒスホールド |
| B-1    | ポリブテン樹脂 | —             | —        | —          |
| M-1    | 高分子混体   | —             | 3B No. 2 | スリーボンド     |

| 充填材名 | 材 質 | 粒 度                   | 慣用名       | メーカー    |
|------|-----|-----------------------|-----------|---------|
| T-1  | タルク | $D < 5 \mu$           | $P_{\mu}$ | Tカオリン工業 |
| T-2  | タルク | $10 \mu < D < 20 \mu$ | R         | Tカオリン工業 |

\* 注 粘度は 25°C における値, cs は動粘度センチストークス

である。

以上のような条件で得られた実験結果を次に示す。

1. 締付面圧と耐圧力の関係

フランジはアクリル樹脂の A-3 (表1), ガasketはエポキシ樹脂の E-4 (表2), 加圧媒体としてタービン油を用いた場合の締付面圧と限界耐圧力  $P^*$  の関係を図4に示した。締付面圧はボルトの締付トルクから慣用の方法で計算されたものである。図では限界耐圧力  $P^*$  と締付面圧とが、ほぼ直線関係をなすことが示されている。これは耐圧がいかにしてなされるかの議論において一つの重要な実験的根拠を提供している。

2. 液状ガasketの粘度と耐圧力との関係

加圧媒体としてはタービン油を用い、フランジやガasketのいろいろの組合せについて液状ガasketの粘度と限界耐圧力  $P^*$  との関係を求めたのが図5, 6, 7である。用いたフランジは表1の A-3, Fe-2, Al-1 をそれぞれの場合に使用した。図5はガasketとしてエポキシ樹脂で締付面圧 50, 70, 100 kg/cm<sup>2</sup> での限界耐圧力  $P^*$  とガasketの粘度の関係を示している。各締付面圧とも  $P^*$  の粘度依存性は  $10^3 \sim 10^5$  cp の粘度範囲では大きな差は認められない。これは耐圧機構上興味ある結果である。

図6, 図7にはそれぞれエポキシ系樹脂およびシリコン系樹脂を用いた場合の  $P^*$  と粘度の関係を3種の材質のフランジについて示してある。各系とも  $P^*$  は粘度  $\eta$  の増加に伴いわずかに増加しているにすぎない。 $\eta$  による  $P^*$  が大きい変化がないことはガasketの形成にお

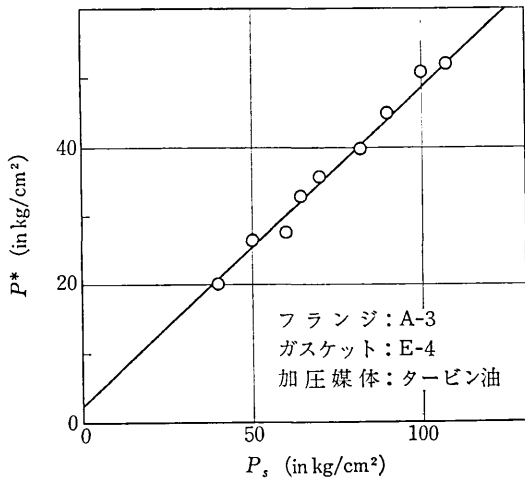


図4 締付面圧と限界耐圧力の関係

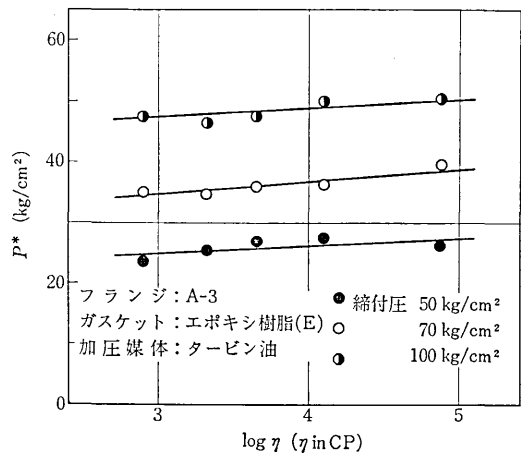


図5 限界耐圧力と粘度の関係

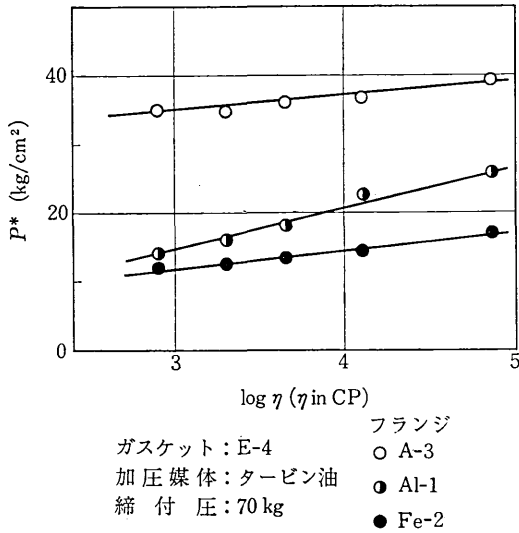


図6 限界耐圧力と粘度の関係

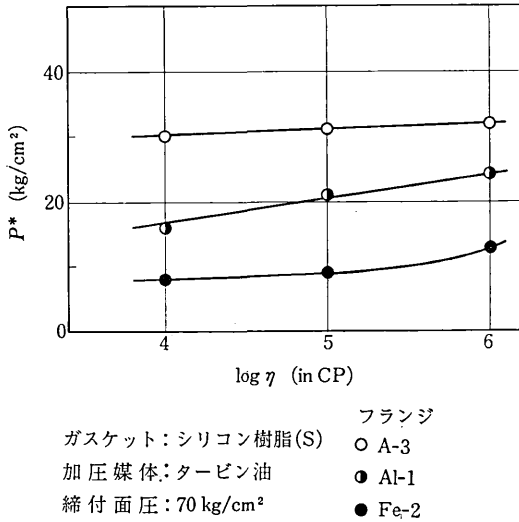


図7 限界耐圧力と粘度の関係

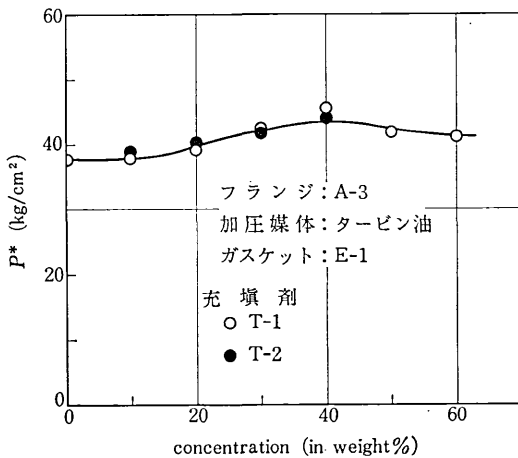


図8 限界耐圧力に対する充填剤濃度の影響

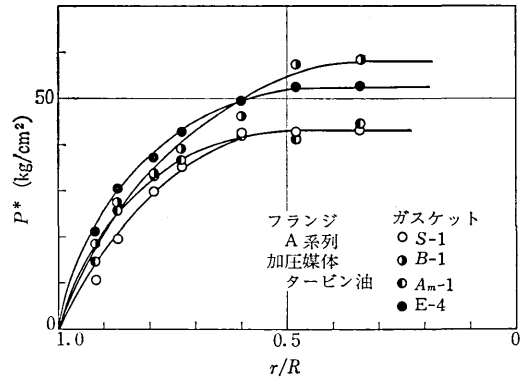


図9 限界耐圧力と面幅の関係

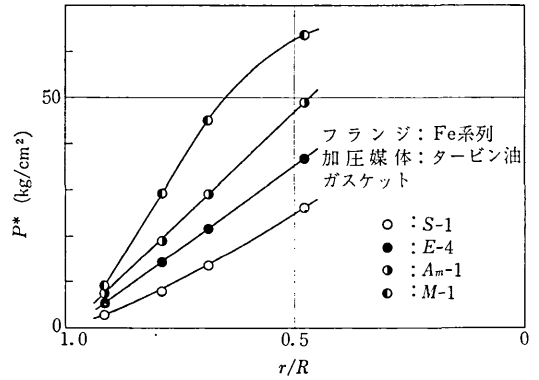


図10 限界耐圧力と面幅の関係

ける組成、状態、作業性および耐圧の温度依存性などにも関連する重要な実験結果である。図5, 6, 7の実験で締付面圧はいずれも 70 kg/cm<sup>2</sup> である。

3. 充填材の影響

液状ガスケットに充填材を加えた場合の P\* と充填材濃度および粒度の関係を求めた。充填材は平均 5 μ 以下のタルク T-1 および径 10~20° の T-2(表2)であり、樹脂との混合は 50°C 1時間攪拌しておこった。結果を図8に示す。用いたフランジおよびガスケットはそれぞれ A-3, E-1 である。この実験では充填材の有無は限界耐圧 P\* には影響をほとんど与えないように出ている。しかし一方において樹脂と充填材との組合せによっては両者の混合分散系の性格が大きく変化する事実があり、充填材の種類とそれぞれの生い立ちからくる物理的、化学的性質を変化した場合の実験がまだ多く残されている。図8はある条件下における炭酸カルシウムを用いたときの1つの事実と了解される。

4. 限界耐圧力に対するフランジ面幅の影響

フランジの外径を一定にして、締付面圧を一定の 70 kg/cm<sup>2</sup> とした条件のもとで、内径をいろいろにかえてその耐圧力を測定した。ガスケットの種々の組合せについて、実験をおここのほかに加圧媒体をタービン油から水、エタノールおよびガスケットに用いた樹脂液そのものにかえて加圧媒体の影響をしらべた。結果を図9から

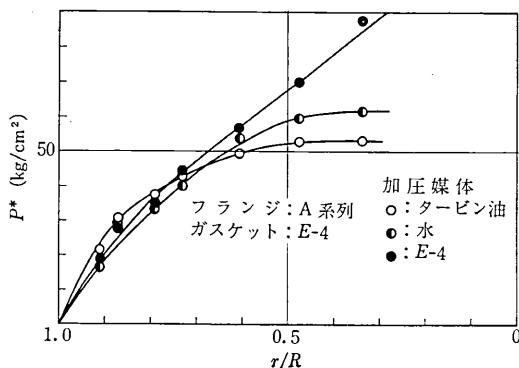


図 11 限界耐圧力と面幅の関係

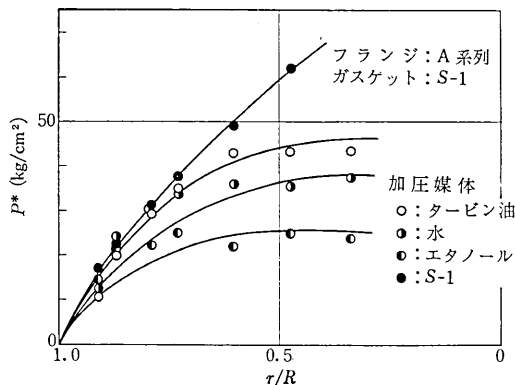


図 12 限界耐圧力と面幅の関係

図 12 までに示す。これらの図で横軸は  $r/R$  である。図から明らかのように  $r/R$  が 1 に近いところで、つまりフランジ面幅の小さい領域では  $P^*$  は  $r/R$  の増加と共に増加するが一定面幅を越えると一般に放物線的な耐圧値をとる。

ただし加圧媒体とガスケットとが同一の樹脂液であるときはこの放物線からはずれることが多い。これらのときは  $r/R$  と共につまり面幅の増加と共に  $P^*$  は単調に増加するごとく認められた。この事実も耐圧機構上興味ある結果である。なおこれらの測定では面幅をかえていく。このためフランジ接面積はことなってくるが締付面圧としては一定となるようトルク締付力を調整した。

耐 圧 機 構

液状ガスケットの耐圧は前述のごとく実験した範囲だけでもフランジ接面の締付圧、フランジ材質、ガスケット材質、面幅の影響を受ける。このほかにもたとえば温度、ガスケットの組成など耐圧要因はいくつかさらに存在する。耐圧理論はこれらすべてを満足以説明するものでなければならぬ。

さて平板内にはさまれた液状ガスケットがその耐圧機能を果す場合 2 種類の基本的変形とそれに伴う力のバランスが考えられる。その 1 つは平板に直角方向の変形による耐圧であり、も 1 つは平板間に水平方向の変形によ

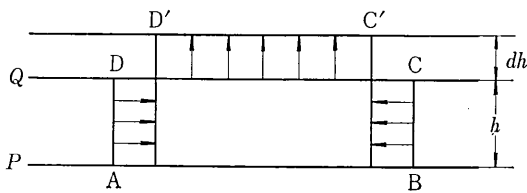


図 13 平板に垂直方向の変形

る耐圧である。

1. 平板に垂直方向の変形の場合

図 13 のごとく PQ 平板間の ABCD 領域に液状ガスケットが存在するとする。平板 PQ 間はすき間なく充填されている。P 板は固定し Q 板に矢印のごとき力がはたらくとする。このような状態で PQ 間の距離  $h$  を  $dh$  だけ広げたとする。このとき液状ガスケットは ABCD の形状から A'B'C'D' の形状に変化する。しかも体積は全体として一定に保たれているとしてよい。この変形において各部分にはたらく力は、複雑な分布をとるであろう。しかし液状態であることから力の分布は均一にはたらくこと、および変形に際して AD, BC の移動方向、つまり図で矢印で示すごとく周辺から中心に向って力がはたらくとしてよい。これは平板に垂直方向の力が液状ガスケットの媒体を通じて水平方向の中心に向う力に変換されたものである。変形によるこのような力の方向変換作用をおこうことが液状ガスケットの 1 つの役目と考えられる。P, Q 板それぞれのガスケットとの接面において変形によるエネルギーの吸収もあるが、この種の変形では小なるものとして無視しうる。外力による変形とそのエネルギー吸収との関係を実際に図 2 のフランジにおける  $R$  と  $r$  との間にガスケットが存在する場合を考えてみる。

ガスケットの体積を  $V$  とすれば

$$V = \pi(R^2 - r^2)h \tag{5}$$

上式で  $V, r$  は一定とし、変形は  $h$  と  $R$  によるとする。よって (5) より  $2RhdR + (R^2 - r^2)dh = 0$  となり

$$dR = -\frac{R^2 - r^2}{2Rh} dh \tag{6}$$

ガスケット間隙を  $dh$  だけひろげたときの単位面積あたりの限界圧力を  $P_{\lambda}^*$  とすると概略つぎのエネルギーバランスがなりたつ。

$$\pi R^2 P_{\lambda}^* dh = -f_{\lambda} 2\pi R h dR \tag{7}$$

(6) と (7) から

$$P_{\lambda}^* = f_{\lambda} \frac{R^2 - r^2}{R^2} \tag{8}$$

ここに  $f_{\lambda}$  はガスケットの変形における力のバランスの比例恒数で圧力のジメンションをもつ。(7)の左辺は平板間隙を  $dh$  だけ変化させようとするときのエネルギー、右辺がそのエネルギーを吸収した量である。外側半径  $R$  のガスケットが  $dR$  だけ中心に向って縮むその変形におい

て側面積が  $2\pi R h$  で  $f_b 2\pi R h$  は側面全体に加わる力となる。  $f_b$  は単位面積あたりに変形でガスケットが示すガスケット分子間の相互結合力である。(8)で  $r=0$  とすれば

$$P_h^* = f_b \quad (9)$$

上式は平板間に円板状にガスケットをぬりつけ、これを引き離す力から  $f_b$  が求まることを示している。

2. 平板に水平方向の変形

図 14 のごとく P, Q 平板間に円筒状 (内径  $r$ , 外径  $R$ ) にガスケットが存在するとする。平板間の距離  $h$  は一定とする。  $h$  が一定のままガスケットは内圧をうけて水平方向に移動する。このときはフランジとガスケット

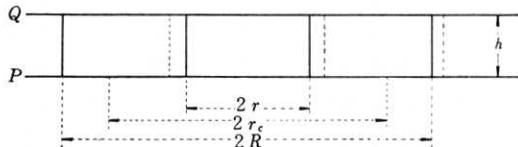


図 14 平板に水平方向の変形

の接面でエネルギーの大部分が吸収されると考える。

前例と同様にして変形によるエネルギーバランスを考えると、ガスケットが  $r$  方向に動き出そうとする限界圧力を  $P_r^*$  とすれば

$$2\pi P_r^* r h dr = 2 f_b \pi (R^2 - r^2) dr_c \quad (10)$$

ここに  $f_b$  はガスケットの変形における接面の単位面積に加わる力。よって  $2 f_b \pi (R^2 - r^2)$  は上下接面において水平方向の変形にて発生する全側面力である。上式左辺は内圧  $P_r^*$  によってガスケットを外側の方へ押しつけるようとするときのエネルギーである。右辺の  $r_c$  は接面積の重心の位置の半径である。したがって  $dr_c$  はガスケットの重心の外側方向への微小移動距離である。重心  $r_c$  は  $\pi(r_c^2 - r^2) = \pi(R^2 - r_c^2)$  から容易に次式となる。

$$r_c = \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}} \quad (11)$$

よって

$$2 r_c dr_c = R dr + r dr \quad (12)$$

また  $V = \pi h (R^2 - r^2)$  において  $V, h$  が一定であるゆえ

$$R dr = r dr \quad (13)$$

(11) (12) (13) を (10) に代入して

$$P_r^* = f_b \frac{R^2 - r^2}{\sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}}} \cdot \frac{1}{h} \quad (14)$$

I および II の変形で留意すべきことがある。外力による変形でガスケットに吸収されるエネルギーはすべて有効エネルギーつまり可逆的エネルギーとして吸収されねばならない。たとえばバネまたはゴムの伸びのような変形でエネルギーは吸収されることである。摩擦エネルギーのごとく無効エネルギーとして消費されてしまうのでは耐圧には役立たない。耐圧に役立つエネルギーの吸収は弾性的可逆的

I の (7), II の (10) はすべてこのような状態でのエネルギーバランスを考えている。それからガスケットは前述のようにすきまをくまなく充填する作用をもちしかも変形に対しては体積一定である。さらにこのような変形に対して全体が一体となって行動し、他物がこれに侵入することを許さず、またこれと反対にガスケットの自己領域から外部へ構成成分が出たり、一部分が離れて出てゆくようなことはない。このような性格は液状ガスケットの領域保存性と名づけられ、液状ガスケットのガスケットたるためのもっとも重要な性質である。圧力媒体と界面をつくって耐圧作用をなすがこれは領域保存性があったはじめて役目を果しうる。上述の耐圧の式がなりたつのも、領域保存性を具備する条件のもとに可能なのである。

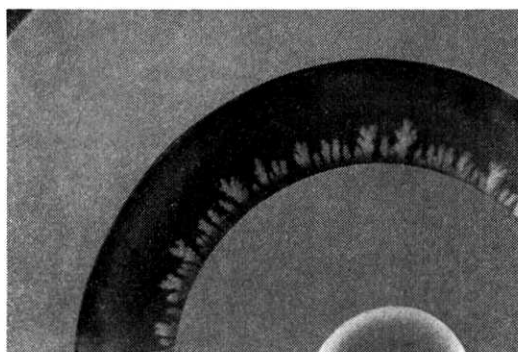


写真 1

写真 1 は耐圧が破れるときの直前の状態を捕えたものである。着色圧力媒体が液状ガスケットの領域保存性を破って侵入するところである。フランジはアクリル透明板を使用している。これからみると耐圧が破れるということは液状ガスケットが一樣に外側に向かって押しやられるというのではなく、むしろ液状ガスケットへの他物の侵入によって、領域保存性が破れたということである。加圧により領域保存性が破れたときが限界耐圧力ということである。

考察と結論

前出のいくつかの実験事実を耐圧機構論からみちびかれた I-(8), または II-(14) にあてはめてみる。まず図 4, 図 5 から締付圧が耐圧に比例する関係にあること、また図 6, 図 7 からフランジ材質が耐圧に影響する事実を認めねばならぬ。これらの事実を含むものは II-(14) である。  $f_b$  はフランジ材質のちがいを説明し、  $1/h$  は締付圧を説明する。

締付圧を  $W$  とすればガスケットの厚さ  $h$  は次のごとくなる。

$$h = h_0 - k W = h_0 \left( 1 - \frac{k}{h_0} W \right) \quad (15)$$

締めつけなくとも上下のフランジの微細な両面の凹凸が

接触している。  $h$  はそれら空隙の平均値である。これを締付圧を  $W$  として、その比例恒数が  $k$  で  $W$  によって  $h$  は変化する。  $kW$  は  $h_0$  に比して十分小さいとしてよい。少なくとも  $h_0$  より大きくならない。よって

$$\frac{1}{h} = \frac{1 + \frac{k}{h_0} W}{h_0} \quad (16)$$

(14)(16) から

$$P_r^* = f_s \frac{R^2 - r^2}{\sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}}} \frac{1 + \frac{k}{h_0} W}{h_0} \quad (17)$$

(a) 上式から締付圧と  $P_r^*$  とが直線比例関係をなすことがわかる。  $W=0$  で  $P_r^*$  は一般には 0 にはならない。図 9 でもその傾向が認められる。

上述の (17) の  $P_r^*$  と  $W$  との比例関係は別の見方をすれば  $W$  が  $h_0$  と共に耐圧に対して増幅作用の役をなしているといえる。また接面材料による差は  $f_s$  に求められるが (17) の  $k/h_0$  にもその影響を求めうる。

(b) つぎに面幅の影響である。この面幅については I-(8) でも II-(14) でも実験結果と近い放物線的曲線をうる。しかし実験上の曲線の一点を用いて、それぞれの式でのパラメーターを求め、それをもとの式に代入していわゆる計算曲線を求めると (14) の方が実験値とよく合致する。

(c) 以上のことから、前出の実験結果はすべて II-(14) で説明されるごとくである。このことから平板間のガスケットの耐圧とはガスケットの水平方向の変形に対する抵抗力であると解釈される。

(d) ただ I-(8) のような形式で耐圧が行なわれないかどうかを見るとき、  $r$  が  $R$  に近い、つまり面幅が

非常にせまいような場合は締付圧やフランジ材質の影響が少ないことから I-(8) の形式の耐圧作用も起こりうる。

## 要 旨

(1) いかにして液状ガスケットは漏れをとめるか。それには次のごとく答える。「液状ガスケットは平板フランジ間のせまい空隙に存在し、平板に垂直方向または水平方向の変形をうけるときの弾性的抵抗力によって漏れをとめる」。なおそのような弾性的変形を可能ならしめるためにはガスケット自体に他成分を引き入れずまた自己成分組成を乱さない領域保存の性格をもつことが必要とされる。

(2) 液状ガスケットそのものの性能を定量的に示す物性値は I-(8) の  $f_b$ 、II-(14) の  $f_s$  で代表される。耐圧に対する温度の影響、衝撃の影響などがある。これらは  $f_b$ 、 $f_s$  の改善に帰着する。おそらくゴム系物質、金属方面に適性を見出すであろう。

(3) 耐圧に対しては液状ガスケットそのものの物性のほかにボルトの締付圧とかフランジの構造材質などの外的条件も考慮する必要がある。

(4) これらの外的条件を除けば液状ガスケットの役目を果たすための本質は前述の液状態でしかも領域保存性をもつことであり、これがその製造法、使用条件、性能向上などの大部分の目標、指針になるものであることをここに重ねて強調する。

本研究はスリーボンド社より当所への国費受託として昭和 40 年以来研究されて来たものである。同社派遣員ならびに当所関係者の協力を得た。これらの方々に厚く謝意を表する。

(1972 年 3 月 10 日受理)

