

弁用グランドパッキンの緊塞

Sealing Characteristics of Gland Packing for Valves

河 口 義 人* 満 谷 隆**
Yoshito Kawaguchi Takashi Mitsutani

要 旨

弁の故障件数中に占めるグランドパッキン漏えい事故の割合はきわめて大きい、その取扱いは主として従来の経験に頼っており、緊塞に関するパッキンの物理的性質や、装着法などについての実測データはほとんどみあたらず、合理的な設計を行なう資料が不足している現状である。

筆者らは日立金属工業株式会社桑名工場で製作している各種の弁に使用するグランドパッキンについて、二、三の基礎的実験を行ない従来の通説と比較検討した。

1. 緒 言

長期連続運転を行なう電力、鉄鋼、化学、石油などの各種プラントに使用される弁に対しては、その動作、機能が長期間にわたり確実に信頼度が高いことが要求される。

弁の故障件数中に占めるグランドパッキン漏えい事故の割合はきわめて大きく、高温高压流体あるいは引火性物質の輸送回路に設けた弁においては、ひとたびこれが破損すれば危険であるとともにその損害も大きい。一方、低温弁のパッキンの故障によりプラントの稼働率が落ち効率が低下した例も多い。したがって、弁製造者、使用者ともに弁用グランドパッキンの特性を十分に握し、事故の絶無を期さなければならない。しかるに、グランドパッキンの漏えいは影響する因子も多く複雑で、実測に基づく関係資料が極端に不足している現状である。

そこで、筆者らは日立金属工業株式会社桑名工場で製作している各種の弁に使用されるグランドパッキンの物理的特性、装着法と圧力分布およびパッキン寿命などについて検討しているが、ここではその結果の一部について述べる。

供試パッキンを図1に、その仕様を表1に示す。パッキンは一卷ずつ所定寸法に成形してある。

2. パッキンの物理的特性

2.1 締め圧と縮み量

図2~5は各品種のパッキンにつき、一卷ごとに締め圧と圧縮率を測定した結果を示す。試料をアクリル樹脂製透明パッキン箱内に入れ圧縮率を求めたが、パッキン押え輪をのせた状態におけるパッキン厚さを基準にとり、基準値に対する縮み量の割合を圧縮率とした。

測定は同一品種、同一寸法のものにつき6回ずつ行なったが、図にみられるように同一締め圧に対し圧縮率は大幅に変動している。

2.2 供試パッキンの厚さと重量の偏差

同一品種のパッキンでもその締め圧と圧縮率特性には大きな差があることがわかったが、その原因は各巻ごとの仕上がり寸法や重量の差にあるものと考えた。

同一品種の資料30個ずつを取り出し、その厚さと重量を測定し統計的に処理したものは表2に示すとおりであるが、重量差が約10%あり、これが図2~5に示したような物理的性質のばらつきをなすものと考えられる。なおパッキンリング厚さおよび内外径の偏差は少ない。

2.3 パッキンの弾性復元率

パッキンの緊塞力はその弾性復元力が大きいほど大きいと考えら

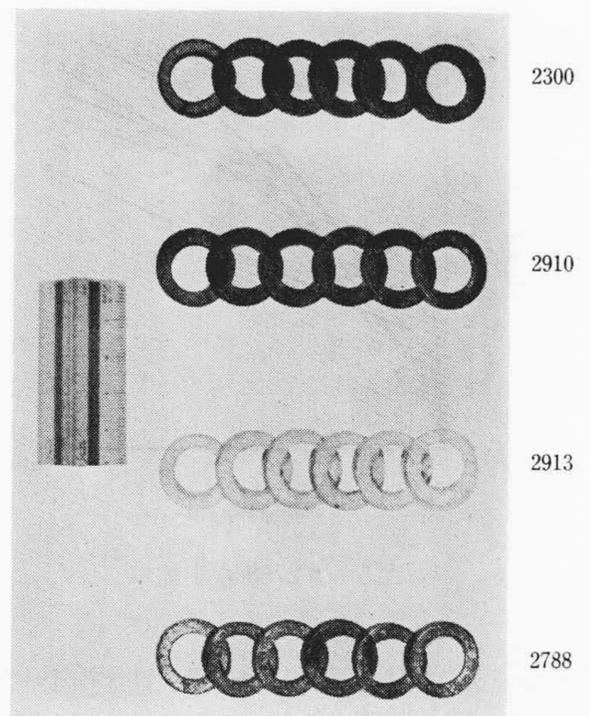


図1 試験パッキン

表1 試験パッキンの仕様

メーカー	パッキン No.	組 成	寸 法
日本アスベスト株式会社	2300	シリンダオイルを含染した石綿糸に黒鉛と二硫化モリブデンの混合物を付着させたものを、ハツ打または格子編としてリング成形する。	21φ×13φ 26φ×16φ
	132		54φ×32φ
日本アスベスト株式会社	2910	アスベスト糸に黒鉛とネオプレーンを特殊バインダで付着させたものを編組し表面を黒鉛仕上げしたものをリング成形する。	21φ×13φ 26φ×16φ 54φ×32φ
日本アスベスト株式会社	2913	モネル線入高級石綿糸をマイカ処理して編組し、リング成形する。	21φ×13φ 26φ×16φ 54φ×32φ
日本アスベスト株式会社	2788	潤滑剤を含ませた数本のアスベスト糸を心とし、ちぢらしたアルミ箔に炭素粉を付着させたものをその周囲に巻付け、ねじり合せたものをリング成形する。	21φ×13φ 26φ×16φ 54φ×32φ

れるが、パッキン繊維の材質、編組方式、寸法などにより違った値を示す。

筆者らは透明なパッキン箱内に資料パッキン6巻を同時に装着し、圧縮したときの縮み量と圧力を除去したときの復元量を測定し、その比を弾性復元率とした。

各品種のものについての測定結果を図6に示す。締め圧が増すにつれ弾性復元率はいずれも減少し高圧では一定となる。600 kg/cm²の高圧においても10~20%の復元率がみられる。

3. 装着法によるパッキン箱内の圧力分布

3.1 パッキン箱内のパッキンの圧縮状況

従来箱内にパッキンを充てんし圧縮した場合、パッキン押え付近

* 日立製作所日立研究所

** 日立金属工業株式会社桑名工場

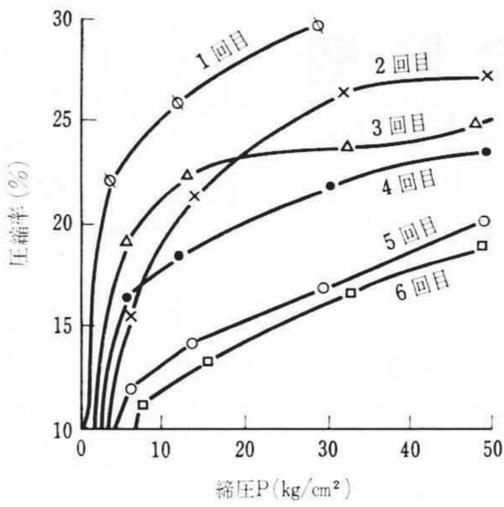


図2 #2300の圧縮率

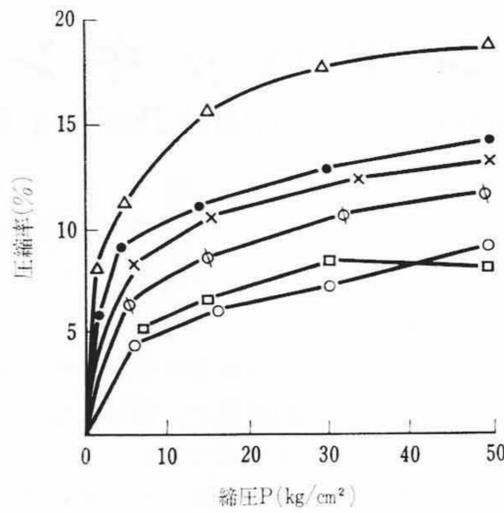


図3 #2913の圧縮率

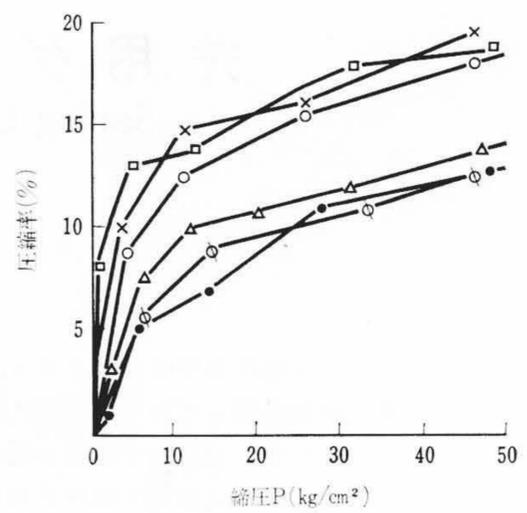


図4 #2910の圧縮率

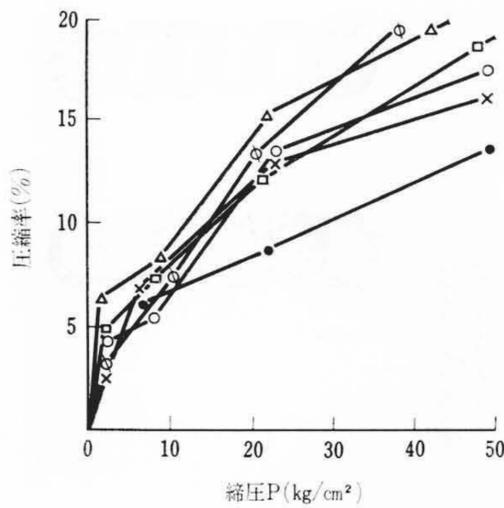


図5 #2788の圧縮率

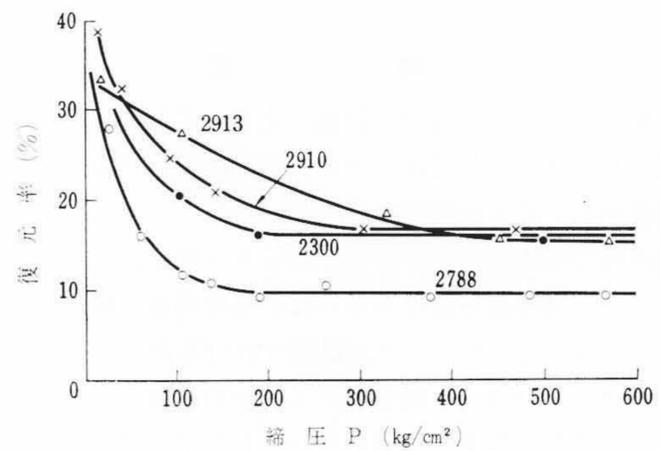


図6 パッキンの弾性復元率

のもののみが主として圧縮され、箱の奥では圧縮不十分で緊塞作用をあまり果していないと考えられていた。この点を確かめるため透明模型によりその状況を観察した。内径13φ、外径21φのパッキン箱内に4mm角の成形パッキン#2300を6巻同時に装着したときの状況を図7に示す。ここでNo.6パッキンが箱の一番奥にそう入されている。

図7-(1)ではパッキン押えのすぐ下の2巻がとくに強く圧縮され、従来の通説と一致するが、図7-(2)では箱の一番奥と入口のパッキンが著しく圧縮され、中間パッキンの圧縮が少ない。両実験は十分な注意のもとに、できるだけ均一条件で装着加圧した。

このように同一箱に同一品種のパッキンを同一方法で装着しても違った結果がでるのは、パッキン個々の物理的特性の違いによるものと考えられる。

3.2 装着法と箱内の圧力分布

パッキン箱内にパッキンを装着する場合、従来は各パッキンに均等に緊塞作用を分担させる目的で、一卷ごとにそう入加圧してゆくことが推奨されていた。しかし、この方法は手順が面倒であり時間もかかる。弁用グランドパッキンのように、箱の深さの浅い場合も

このようにしなければならないものかどうか検討する必要がある。そこで、一卷ごとに装着加圧した場合と多数のパッキンを同時に装着、加圧した場合につき、パッキン各層の圧力分布を比較した。

測定装置の概要は図8に示すとおりである。作動流体として水またはガスを使用し、パッキン各層の軸方向圧力は中間にそう入した圧力変換装置により測定するようになっている。

図9-(1)は#2300パッキン6巻を同時に装着し、パッキン押えの圧力を次第に増していった場合のパッキン各層の圧力分布を示す。図においてNo.6パッキンは箱の一番奥にそう入したものである。これに対し図9-(2)は6巻を分割して装着、加圧した場合を示す。装着にあたってはまずNo.6パッキンを一卷のみそう入加圧する。そのときの圧力はカーブ6のようになる。次にパッキンの圧縮を止めパッキン押えを取はずしてNo.5パッキンを追加し、最初と同じ圧力21kg/cm²にて両パッキンを同時に加圧する。このときの圧力分布はカーブ5のようになり、No.6パッキンの圧力は6'のように低下する。

同様にしてNo.4パッキンを追加し締め圧10.5kg/cm²にて圧縮すればカーブ4の圧力分布となり、No.6、No.5パッキンはそれぞれ6''、5'のように圧力が下がる。さらにNo.3パッキンを追加し10.5kg/cm²にて圧縮すればカーブ3の圧力分布を得る。

表2 供試パッキンの母集団推定値(危険率5%)

統計量	分類	(21φ×13φ, 4mm角)				(26φ×16φ, 5mm角)			
		2300	2910	2913	2788	2300	2910	2913	2788
分散	厚さ	0.00327	0.00576	0.01045	0.00717	0.00322	0.00556	0.00960	0.01356
	重さ	0.02960	0.05846	0.00394	0.00493	0.04776	0.00361	0.01360	0.10056
標準偏差	厚さ	0.0572	0.0759	0.1023	0.0846	0.0567	0.0745	0.0979	0.1164
	重さ	0.1719	0.2415	0.0627	0.0702	0.2181	0.0600	0.1161	0.3170
平均値	厚さ	3.99±0.02	4.25±0.027	4.13±0.037	4.06±0.03	4.96±0.02	5.34±0.027	5.27±0.035	5.19±0.042
	重さ	1.65±0.062	1.52±0.086	1.63±0.022	1.13±0.025	2.61±0.078	2.61±0.021	3.22±0.041	2.24±0.113

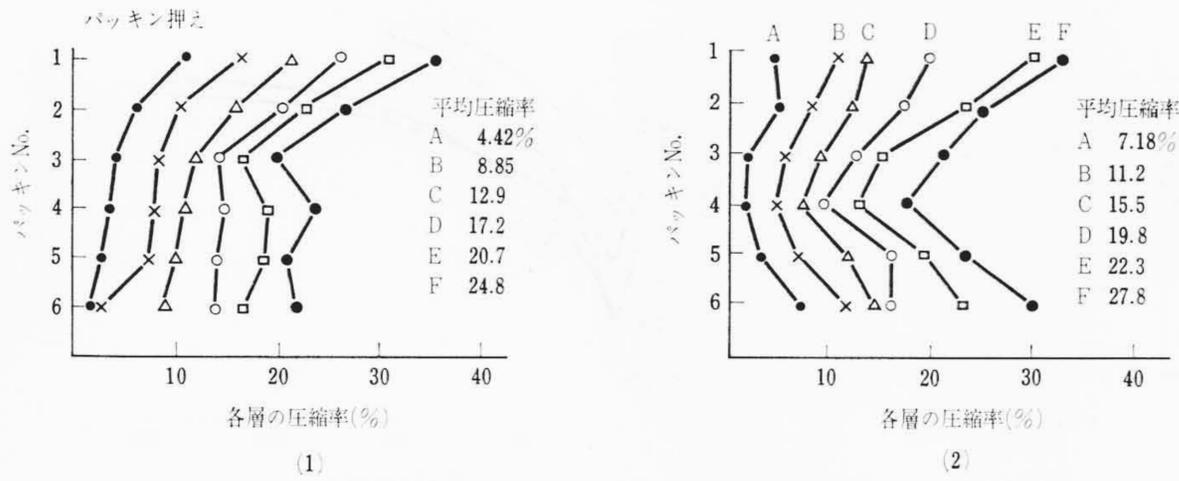


図7 #2300 パッキンを6巻同時装着時の圧縮状況

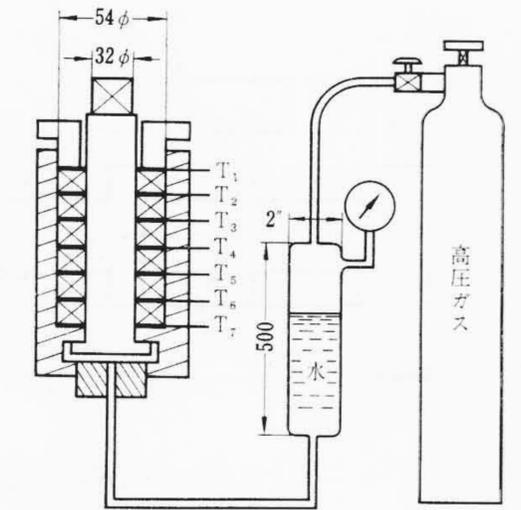


図8 圧力分布測定装置

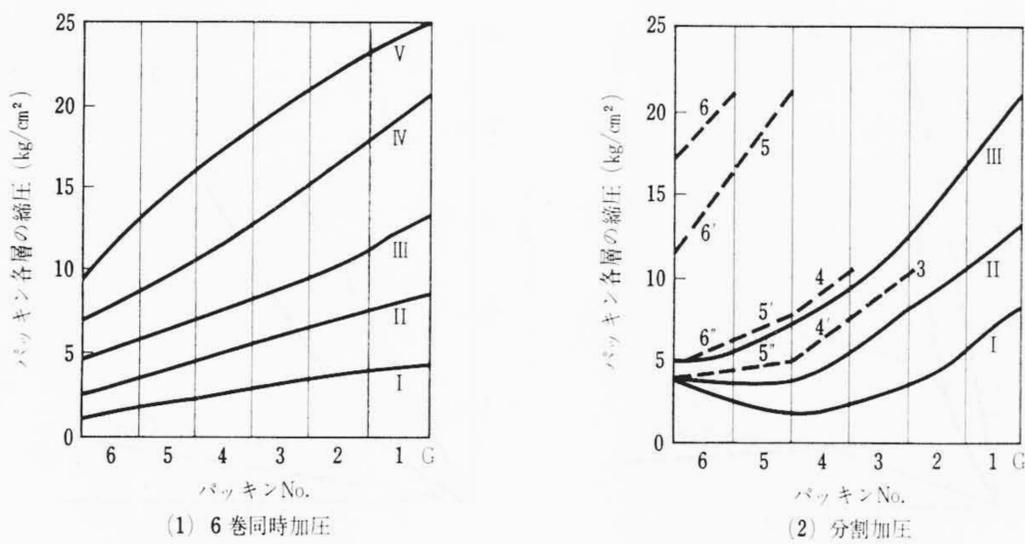


図9 #2300 の装着法による圧力分布の比較

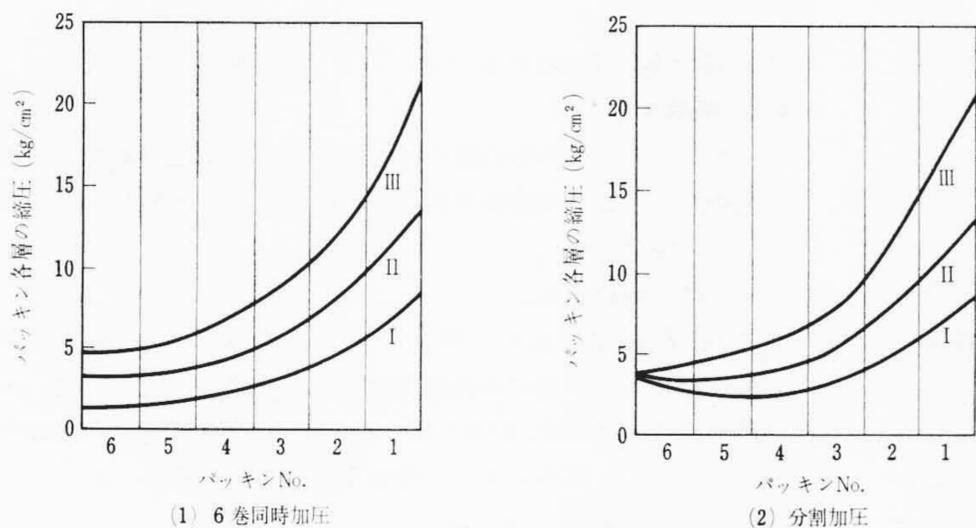


図10 #2913 の装着法による圧力分布の比較

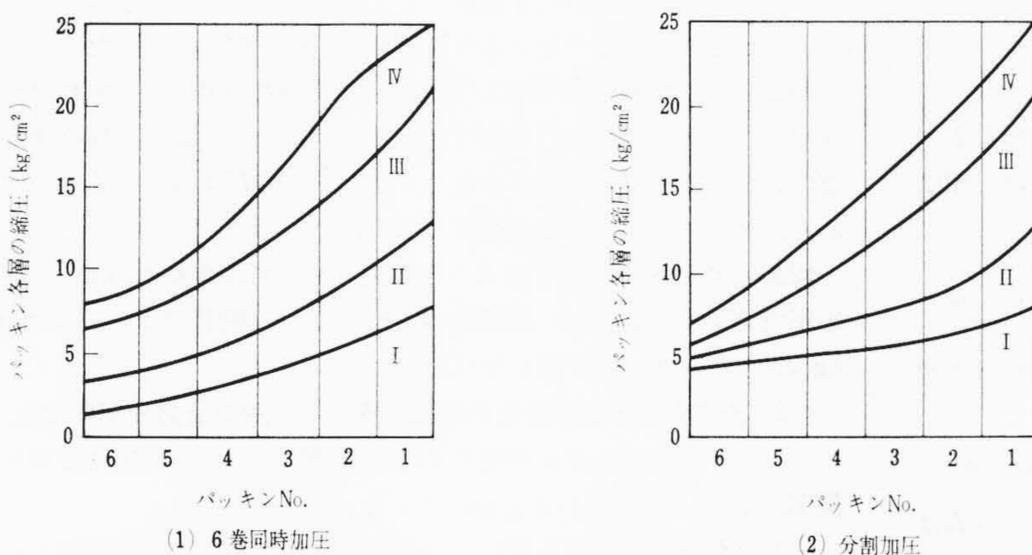


図11 #131 の装着法による圧力分布の比較

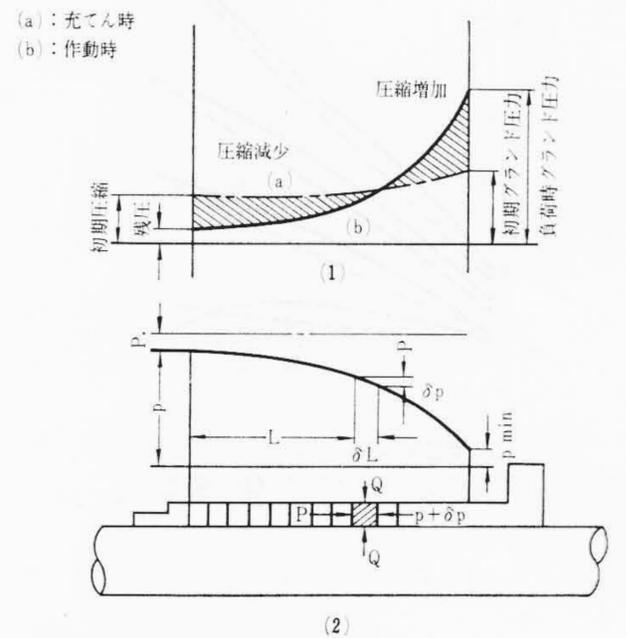


図12 スタッフィングボックス内のパッキンの圧力分布

ここで No.2, No.1 パッキンを2巻同時に追加し締め圧を増してゆけば、圧力分布はカーブ I, II, III のようになる。この場合カーブIIIのときのパッキン押えの締め圧は6巻を同時に装着、加圧した図9-(1)のカーブIVのときの締め圧に等しい。

いま両カーブの圧力分布を比較するに、パッキン箱奥部のパッキン圧力は、分割加圧した図9-(2)の方が低い。

パッキンの緊塞力はパッキンリングの内外径両面と弁棒あるいは箱内壁面との接触圧力 Q (kg/cm^2) に比例するものと考えられている。また、筆者らの測定によればパッキンの弁棒軸方向の締め圧 P (kg/cm^2) が大きいほど接触圧力 Q は大きい。すなわち締め圧 P が大きいほど緊塞力は大きいと考えられる。したがって、分割加圧した図9-(2)のカーブIIIの場合より、同時加圧した図9-(1)のカーブIVの方が緊塞力がすぐれているように思われる。

#2913, #132 パッキンについて同様な実験を行なった結果は図10~11に示すとおりであるが、#2300 パッキンとほぼ同様な傾向を示しており、パッキン箱の深さが浅く、6巻程度のパッキンを装着する場合は、分割加圧する必要はなく6巻同時に装着加圧

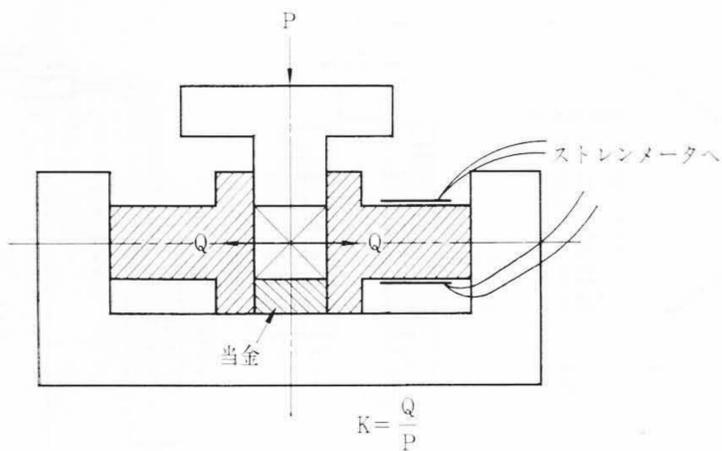


図 13 係数 K の測定装置

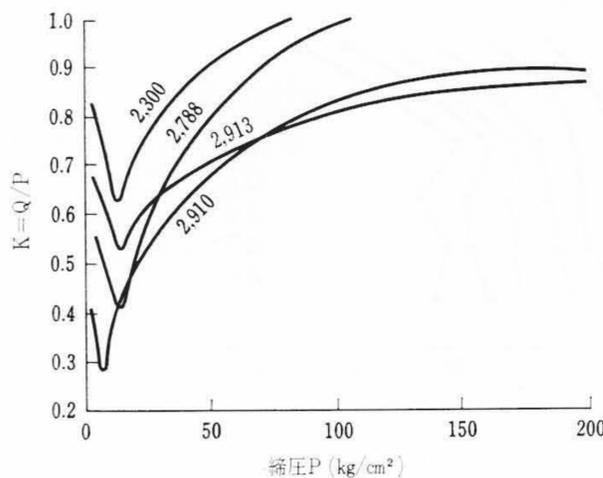


図 14 締圧に対する係数 K の変化

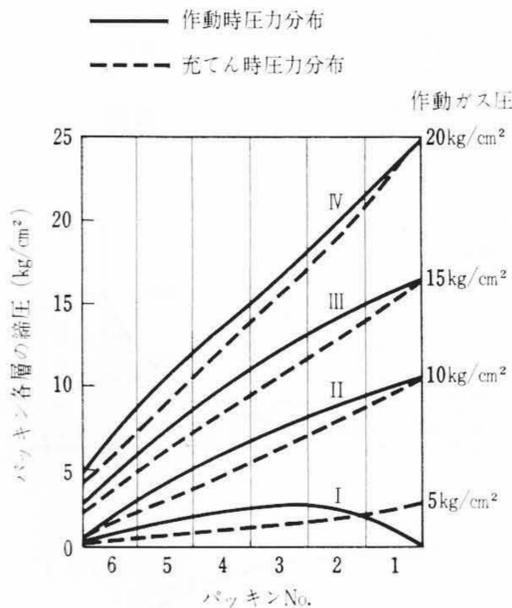


図 15 #2300, 6 巻同時加圧における気体圧による締圧分布の変化

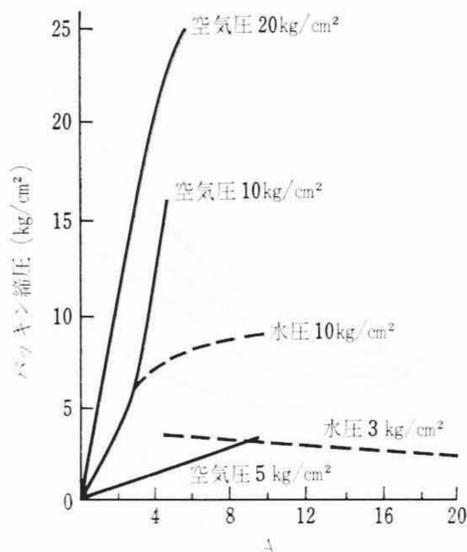


図 16 パッキンの締圧と係数 A の関係

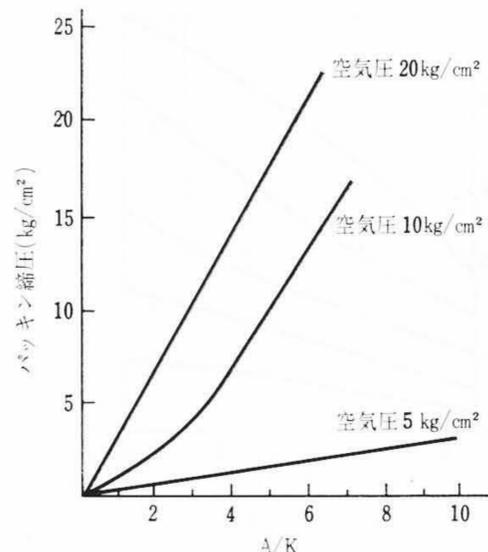


図 17 パッキンの締圧と係数 A/K の関係

してさしつかえないものとする。

4. パッキンの緊塞に関するトムソンの理論についての検討

4.1 トムソンの理論⁽¹⁾

トムソン氏によればパッキンの緊塞作用は次のようにして行なわれる。図 12-(1)において最初パッキンはカーブ(a)のように締め込まれていたものとする。使用状態では箱の奥から流体圧力 p がかかり、この圧力はパッキン要素により絞られて図 12-(2) のように次第に低下してくる。このためパッキン要素には流体から圧縮力 P が加わり、これは図 12-(2) のように集積してパッキン押えで最大となる。

この圧縮の結果として弁棒面には Q なる接触圧力が作用し、シールが行なわれると同時にパッキンの圧力分布は図 12-(1) のカーブ(b)のようになる。

ここでトムソン氏は次のような二つの仮定を行なっている。

$$Q = KP \dots\dots\dots (1) \text{ 仮定 1}$$

ここに、 K はやわらかいパッキンでは 1 に近く、かたいほど値は小さくなる。

$$\frac{dP}{dL} = \frac{1}{A} Q \dots\dots\dots (2) \text{ 仮定 2}$$

ここで、 A はパッキンのなじみ、軸面の平滑さ、流体の粘度と表面張力などにより変わる係数である。(1)式と(2)式より

$$\frac{dP}{dL} = \frac{K}{A} P \dots\dots\dots (3)$$

K/A を常数と仮定して積分すれば、パッキン箱の所要深さ L は

$$L = \frac{A}{K} \ln \frac{P}{P_0} \dots\dots\dots (4)$$

P_0 は箱の奥の $L=0$ におけるパッキンの残圧である。

4.2 係数 K の測定

パッキングランドからの漏えいを 0 とするには、図 12 においてパッキン押えのときの流体圧力 $p_{\min}=0$ でなければならない。すなわち、この場合は

$$P_{\max} = P_0 + p_{\max} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 P_{\max} はパッキン押えのときのパッキンの軸方向の圧力、 p_{\max} はボックス奥にかかる流体圧力である。したがって、 A 、 K 、 P_0 がわかっておれば(6)式により使用流体圧力 p_{\max} に対する必要スタッフィングボックスの深さ L が与えられる。

$$L = \frac{A}{K} \ln \left(\frac{P_0 + p_{\max}}{P_0} \right) \dots\dots\dots (6)$$

しかし、係数 A 、 K や P_0 の実際のパッキンについての測定値は見あたらない。また A/K を常数として取扱うことの正当性についての実験的証明は十分でないように思われるので検討してみた。

測定装置の概要を図 13 に、測定結果を図 14 に示す。いずれのパッキンも最初パッキン内の空げきが埋めつくされるまで、締め圧 P を増しても側圧 Q の増加が少なく、したがって K は減少するが、ある点以後は増加傾向に転じ高圧では 1 に近づく。

#2300, #2788 パッキンのような軟式のものでは 100 kg/cm^2 の締め圧で $K=1$ になるが、#2910, #2913 のような硬質のものでは 200 kg/cm^2 でも $K=1$ に達しない。

4.3 充てん時と流体圧をかけたときのパッキン圧力分布の変化

トムソン氏はパッキンの充てん時と作動時で、箱内の圧力分布が図 12-(1) のように変わるといっている。

作動流体として空気をを用い、この点を図 8 の装置により検討した結果は図 15 のようになる。圧力の低い(1)の場合ではトムソン氏

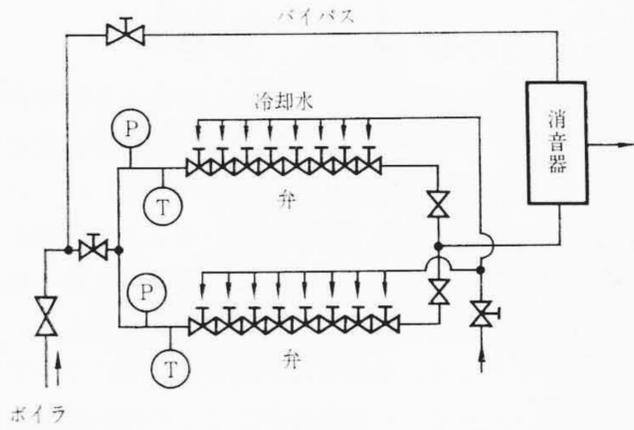


図18 パッキン寿命テストの系統

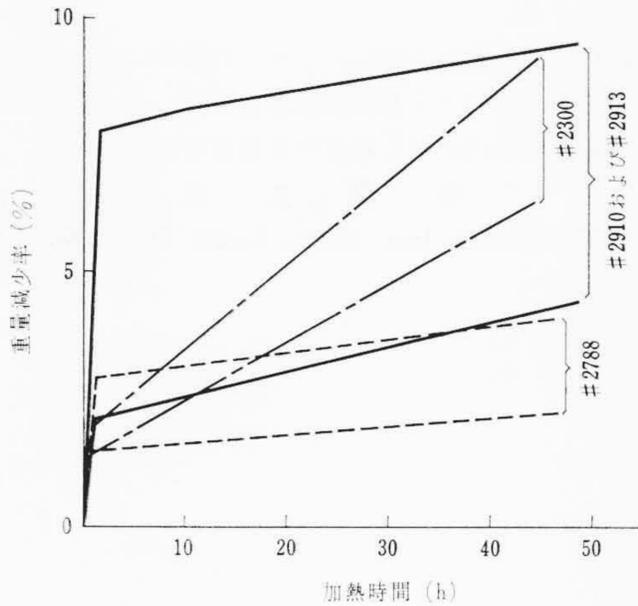


図20 加熱のみによるパッキンの重量減少 (加熱温度 200°C)

のいっているような現象を生ずるが、圧力が高くなると充てん時と作動時の違いは少なくなってくる。

図では示していないが、作動流体として水を使用したところ、作動時圧力分布は充てん時に比べて全パッキンとも著しく高くなった。これは水がパッキンに浸透しパッキンが膨張するためと考えられる。

以上のように、作動時のパッキン各層の圧力は流体の種類や圧力状態によっても大きな違いが生ずるようである。

図15の測定結果と図14のKの測定値を使って(2)式の係数(A)を求め、圧縮力Pについてプロットすれば図16のようになる。作動流体として水を使用した場合も一緒に示してある。

次にA/Kを計算しPに対してプロットすれば図17のようになる。図16~17に示すようにA、A/KともにPに対して変化しておりこれをトムソン氏のように常数として取り扱い、積分を進めることには問題があるように思われる。

5. パッキンの寿命試験

パッキンの性能低下は主としてパッキン中に含まれる潤滑剤や揮発分の脱出によって起こるものと考えられる。その原因として(1)温度上昇によりパッキン体積変化が生じ、また分子運動が活発化し潤滑剤や揮発分が浸出する。(2)作動流体の圧力がかかっているとき、かかっていないときではパッキンの圧力分布が変わり、その結果スポンジ作用がパッキンに加わり潤滑剤が浸出する。このほか弁棒の運動による接面シールの破壊などが考えられる。

これらについて多少検討した結果を紹介する。試験はパッキンに熱と圧力の両方をくり返し作用させるため、20 kg/cm²、300°Cの蒸気を30分間弁内を通し、パッキン部が十分定常温度まで加熱されたのち、冷却水によりパッキン箱外周面を7分間冷却しパッキンを

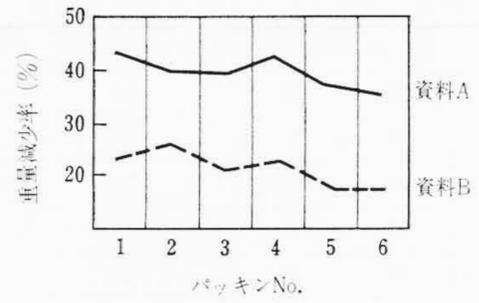


図19 100サイクル後の各層パッキンの重量減少 (#2300パッキン)

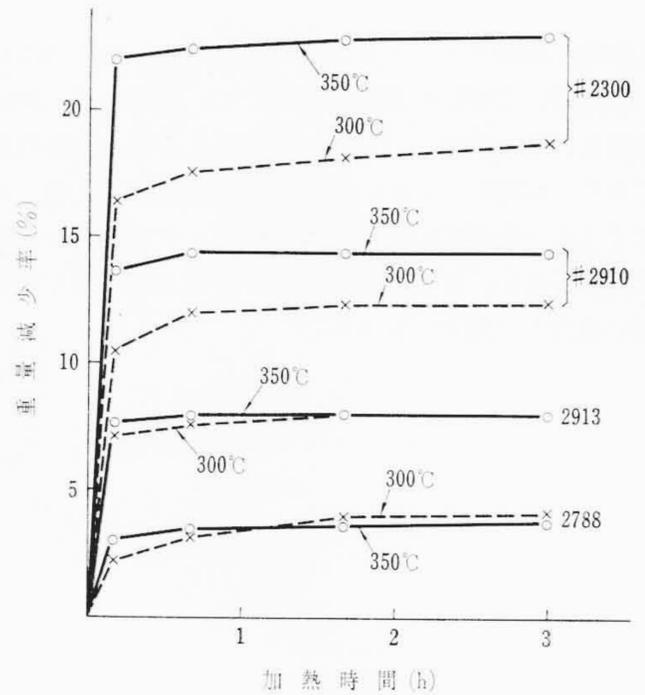


図21 加熱のみによるパッキンの重量減少

常温に戻す。この操作を1サイクルとし、これを長時間くり返し漏えい量とパッキン各層の重量減少状況を調べた。

実験装置の系統は図18に示すとおりである。実験に際しては同一品種のパッキンを同一品種の弁2個にそれぞれ装着し、弁棒を開位置に固定したまま加熱・冷却をくり返した場合と、加熱・冷却の1サイクルごとに弁棒を動かし開閉した場合の二つについて比較ができるようにした。#2300パッキンの100サイクル後の箱内パッキン各層の重量減少量を図19に示す。この場合No.6パッキンは箱の一番奥にあるものを指す。図19からわかるようにパッキンの重量減少は箱の奥ほど大きく、パッキン交換は箱の奥のものほど必要なのであるが、現場では往々にして上部のみを交換している。これは改めなければならない。

次にパッキンの重量減少に及ぼす加熱のみの影響を求めため、200°Cの恒温炉に入れ、加熱時間に対する各パッキンの重量減少を求めた。図20はその結果であるが、いずれの品種においても加熱後1~2時間の間に揮発分や潤滑剤が盛んに流出し重量減少が著しい。したがって、新たにパッキンを装着した弁においては、使用開始後1~2時間程度経過したとき増し締めしてやる必要がある。なお、弁用パッキン箱部の温度は筆者らの実験によれば、弁を通過する蒸気温度の60~50%程度であるので、図20の実験結果は400°C程度の蒸気配管に使用する場合に相当すると考えられる。

恒温炉の温度を300~350°Cに上げ同様の測定をした結果を図21に示す。これでは各品種間の優劣がはっきり出ており、図20~21の結果よりみて、箱部温度が200°C程度までの低温弁では#2300および#2910パッキンでまにあうが、高温弁には#2913パッキンが適当と思う。またメタルパッキン#2788を2~3巻箱の奥にそう入し、それより上部には他のパッキンを使用すれば耐熱性のパッキングランドを得ることができる。

表 3 300 サイクル時点の漏えい量

パッキン名	弁操作方法	漏えい量	成績順位
2300	開 閉	1.2	3
	開 の み	0.9	
2910	開 閉	5.0	4
	開 の み	1.2	
2913	開 閉	0.6	2
	開 の み	0	
2300 } 組合 2788 }	開 閉	0.4	1
	開 の み	0	

表 3 は加熱、冷却サイクルを 300 回くり返した時点において、弁に 20 kg/cm^2 、 300°C の蒸気を通気している際のパッキングランドからの漏えい量を示す。パッキン品種による漏えい量の差ははっきり出ており、#2788 パッキンをパッキン箱奥部に 2 巻、パッキン押えのすぐ下に 1 巻配し、中間に #2300 パッキン 3 巻を装着したものが最も成績がよい。また弁を 1 サイクルごとに開閉したものは、操作しない場合より漏えいが多い。

6. 結 言

日立金属工業株式会社桑名工場で製作している各種の弁に装着するグランドパッキンについて、その物理的特性、装着法と圧力分布ならびにパッキン寿命について検討し、その取扱いについての参考資料を得た。同時に従来業界でいわれている 2, 3 の通説についても実験的に検討してみたが、必ずしも一致しない点もあった。これについては今後なお十分な検討を重ねてゆくつもりである。

今回は主としてパッキンそのものに関する事項について検討した結果を述べたが、パッキンの緊塞作用にはこのほか緊塞装置設計の適否、部品の加工精度、組立の良否など多くの影響因子があり、それらについても十分な吟味を加え、信頼度の高い弁を製作してゆきたいと考えている。

終わりにのぞみ本実験に際しパッキンの製作について種々ご協力いただいた日本アスベスト株式会社ならびにいろいろとご指導いただいた社内の関係各位に対し深甚なる謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) J. L. Thomson: Inst. Mech. Eng. Proc. No. 12 (1958)

第 28 卷

日 立
目 次

第 7 号

- 随 筆「文 明 と 礼 儀」
- 漆 黒 の 瞳 の エ ン ジ ニ ア た ち
- エレクトロニクス革新のにないて集積回路
- 伸銅製品に革命をよぶ無酸素銅の量産設備
- 粒 の 大 き さ が 質 を 変 え る
- 成果のかげに「850mm タービン長翼の開発」
- トピック「アルミでよそおうロケット基地」

- 話 の ロ ビ ー 「噴 水 の 話」
- 田 ん ぼ の 中 の じ ん 芥 焼 却 工 場
- テ ニ ス コ ー ト の あ る 処 理 場
- 電 子 計 算 機 の 話 ① 能 力 と 役 割
- サ イ エ ン ス ジ ョ ッ キ ー 「リモコン時代」
- ニ ュ ー ス
- ハ イ ラ イ ト 「奥 利 根 に 大 容 量 の 揚 水 発 電」

発行所 日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番地

取次店 株式会社 オーム社書店

振替口座 東京 71824 番

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地

振替口座 東京 20018 番