

反応型液状ガスケットの耐圧機構 《その1》

はじめに

自動車をはじめ、建設機械や農機、船舶、電気機器等多くの機械の接合部に液状ガスケットが使用されるようになってから20年以上になります。この間、液状ガスケットの性能は向上し、シール材料として多大の信頼を得てきました。

近年、アッセンブリーラインでの使用に適した塗布機や塗布ロボットの開発も進み、液状ガスケットと合わせて、オンラインガスケットシステム、On Line Gaskets System(O.L.G.S)として採用が広まりつゝあります。

即ち、オールグシステム(O.L.G.S)とは特別に開発された液状ガスケットと、これをラインで自動的に塗布するための「塗布ロボット」を組合せてフランジ面からの「もれ」を確実に防止する「もれ防止」のトータルシステムです。

オールグシステムの採用により、下記のように大幅なコストダウンを可能にします。

- | | |
|----------------|------------|
| 1 ガスケット材料費の削減 | 4 加工工数の削減 |
| 2 軽量化、安価な部品の使用 | 5 設計時間の短縮 |
| 3 部品の節減、工数の削減 | 6 在庫管理の合理化 |

O.L.G.S材料として使用されている液状ガスケットには、シリコンRTV系や嫌気性アクリル系の反応型が多く、接合部を充填した後、縮合や重合が起こり、接合部間に弾性接着層を形成し、その機能を発揮します。

この度はその耐圧機構について、2回にわたってその考察の一部を紹介いたします。

目次

はじめに.....	1	4. 反応型液状ガスケットの耐圧機構.....	6
1. 液状ガスケットの分類.....	2	4-1 不乾性の耐圧機構.....	6
2. フランジシステム.....	2	4-2 反応型の基礎理論.....	7
2-1 フランジシステムの要素.....	2	4-3 反応型ガスケット層の破壊機構.....	7
2-2 接合限界圧.....	3	5. 耐圧試験と破壊式.....	9
2-3 接合限界圧の測定.....	3	5-1 反応型ガスケットの物性.....	9
2-4 フランジシステムのシール性決定要因.....	4	5-2 ガスケット物性と破壊式.....	9
3. 耐圧試験.....	4	5-3 理論値と実測値.....	9
3-1 反応型と不乾性の性能.....	4	OLGと固形ガスケットとの比較.....	11
3-2 試験条件と接合限界圧.....	5	塗布ロボットおよび塗布機一覧表.....	12

1. 液状ガスケットの分類

現在商品化されている液状ガスケットを分類すると、表1のようになる。それぞれ、使用目的や使用条件に対しては特長を持っているが、シール性能については、乾性無溶剤型すなわち反応型と他の非反応型では、その耐圧機構の上からも明らかな違いがある。

不乾性の耐圧機構は、流動性の小さい液状物質を接合部の隙間に充填し、その流れにくさでシールするものであり、隙間が大きくなった場合は容易に漏洩が起こる。不乾性の漏洩機構は層流理論で説明される。

表1 液状ガスケットの分類表

		不乾性	乾性		
無溶剤型		TB1101 TB1121	(反応型) TB1212 TB1215 TB1207B TB1207C TB1110B TB1131		
			溶剤型	有機溶剤 TB*1102 TB1107	TB1103 TB1104 TB1105 TB*21201
					水溶性

※1. TB1102は、使用条件により長期間を経て乾性となる。

※2. TB1201はシリコーンRTV溶剤タイプ。

(注) TBはThree Bondの略

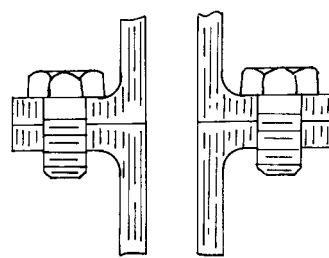
乾性溶剤型は、溶剤が揮散した後は、反応型と同じ耐圧機構を示すはずである。しかし溶剤の揮散速度が遅く、半乾性粘着状態の期間が長く、さらに硬化時の収縮が大きく、接着力も低いものが多いので、その耐圧性は乾性よりも不乾性に近い。したがって、その適用も不乾性と同じ扱いが多く、乾性溶剤型に対する理論も明確なものはない。

シリコーンRTVや嫌気性アクリルのような反応型では、接合部を充填したあと縮合や重合が起こり、接合面間に弾性体接着層を形成しシールするのである。したがって、接合面間の大間隙に対しての耐圧性は高い。しかし接合限界圧(2-2)以上の圧力に対しては、シール剤の弾性(伸び)がシール保持に影響する。

2. フランジシステム

2-1. フランジシステムの要素

ボルト締めフランジ部の漏洩要素としては、仕上精度、クリアランスおよび稼動時の振動などがあげられるが、シール保持に最も影響の大きいものは、タタキ、ズレ等のフランジ面相互の挙動である。以下に個々の漏洩要素について述べる。



1図 フランジシステム

1) 仕上精度

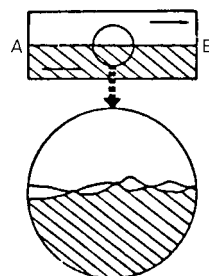
フランジ面は、一般に10~20μ以上の最大凹凸を持つ。精密仕上加工を行い、ポリッシングした面でも0.1μ(1000)の凹凸がある。



2図 精密旋削した銅面の斜め切断面。凹凸の高さは約5μ

2) インナースペース(金属間微細隙間)

金属のフランジ面同士を接合させた場合、平面度が良ければフランジ面全体が接触しているように見えるが、本当に両面が触れている部分は、見かけの接触面積よりはるかに少ない。たとえば、20cm²の鋼平面を接触させて、荷重1tonをかけた場合でも真の接触面積は0.1cm²である。(表2)



みかけの接触はABのように見えるが、真の接触面積はもっと小さい。

3図 金属平面接触

表2 真の接触面積

面圧 kg/cm ²	見かけの接触面積	真の接触面積
50	20cm ²	10 mm ²
25		5 mm ²
5		1 mm ²
1		0.2mm ²

※ 0.1S、鋼平面での実験

また、金属内部が塑性変形するほどの荷重をかけた場合でも、表面凹凸は依然として残っている。したがって、どんなに良い仕上精度および平面度を持つフランジ面同士が高面圧で接触していても、インナースペースが存在する。

一般的な機械部品の接合部では、インナースペースの大きさが内部流体の分子の大きさはもちろん、その自由体積よりもはるかに大きい。

3) 平面度

切削加工した、一般のフランジ面では比較的平面度が良いが、プレス加工された板金部分では100 μ 以上のうねりを持つ場合がある。

4) クリアランス

二つの接合面の片方でも平面度の悪い接合部は、クリアランスを持つことになる。接合時の締付過多によるフランジのたわみもクリアランスを作る原因となる場合がある。

5) ボルトおよび外部要因

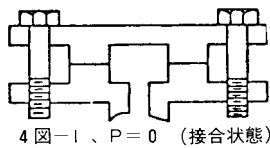
一般に、固形ガスケットを使用したフランジシステムでは、接面圧によるシールを得るためにボルトの締付力が必要である。そして、その初期締付力の決定には、ガスケットの応力緩和や、外部要因によるボルトの緩みも考慮されなければならない。

フランジシステムは、温度、振動、機械的応力などの外部要因が原因で、複雑な挙動を示す。自動車の例をあげると、シリンダーヘッド接合面では、3~5 μ の振幅でタタキがあり、ディファレンシャルハウジング接合部では、50 μ 以上のズレ挙動が報告されている。

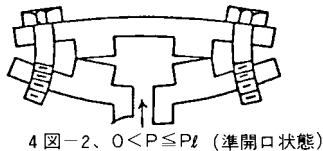
2 - 2 . 接合限界圧

1) フランジシステムの三態

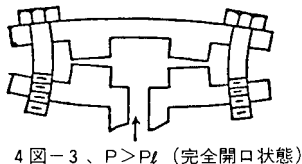
流体圧力による試験フランジシステムの挙動を考察した時、流体圧力が、フランジの受圧面積とボルト締付力から決まる一定値(接合限界圧)以上になると、二接合面は接触面積をまったく持たず、フランジシステムは完全開口状態(4図-3)となる。



4図-1、 $P=0$ (接合状態)



4図-2、 $0 < P \leq P_l$ (準開口状態)



4図-3、 $P > P_l$ (完全開口状態)

4図 試験フランジの三態

流体圧力が、全くかからない場合には、完全接合状態である(4図-1)。接合限界圧(P_l)以下の圧力が加えられた時は、接合面の内側ではすでに開口状態となるが、外側は接合状態を保つ(4図-2)。

2) 接合限界圧(P_l)

5図に示すようなフランジシステムにおいて

上側カバーフランジ : A

下側本体フランジ : B

流体圧力 : P (kg/cm^2)

ボルト締付力 : F_b (kg)

受圧面積 : S_p (cm^2)

とすれば、AとBを接合させている力は F_b であり、AとBを離そうとする力、すなわち開口力は $P(\text{kg}/\text{cm}^2) \times S_p(\text{cm}^2)$ であるから、接合部の接合条件(4図-1、2状態)は、

$$F_b \geq P \cdot S_p \quad (2.1)$$

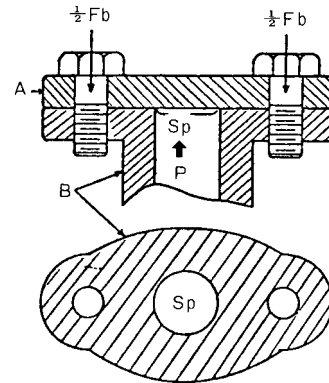
となる。また、完全開口条件(4図-3)は、

$$F_b < P \cdot S_p \quad (2.2)$$

となる。ここで、接合力と開口力が等しい即ち $F_b = P \cdot S_p$ の時の流体圧力値を、そのフランジシステムの接合限界圧と呼び P_l で表わす。したがって

$$P_l = F_b / S_p \quad (2.3)$$

であり、接合限界圧は、締付力(接合力)に比例し、受圧面積に反比例する。



5図 締付力と受圧面積

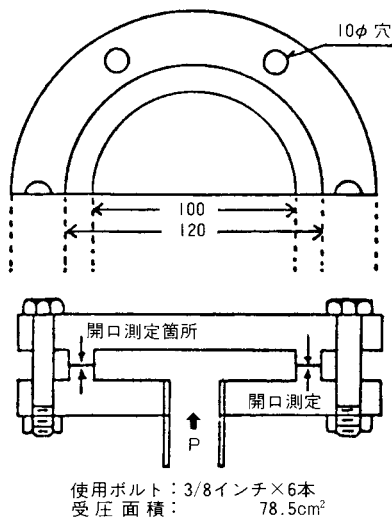
接合限界圧を計算で求める場合は、次の三点に注意を要する。

1. 固形ガスケットを使用した場合、 F_b は有効締付力としなければならない。
2. 引張り強さおよび接着力が無視できない程度に大きい液状ガスケットを使用した場合は、接合力を $F_b +$ 引張り強さまたは接着力としなければならない。
3. 高弾性液状ガスケットを使用した場合、準開口状態において、 S_p が増加することになるので、実際の P_l は下がる。

2 - 3 . 接合限界圧の測定

6図に示すようなフランジシステムを使用し、JIS・K6820耐圧試験機にて、徐々に流体圧力を加え、各加圧段

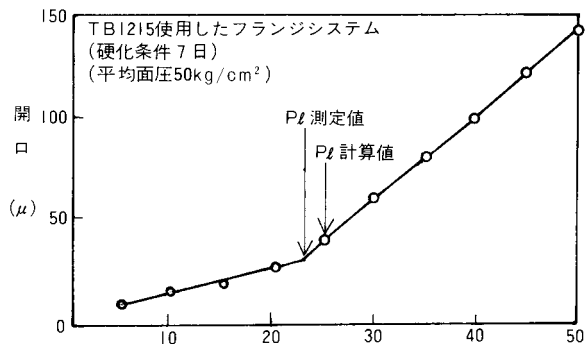
階ごとに接合部の開口を測定した。試験結果から、 $P\ell$ 以下ではフランジのひずみを示す直線が得られ $P\ell$ 以上では、フランジ開口(ボルトおよびガスケット材の伸び)が流体圧力に比例することがわかる。



6図 試験フランジシステム

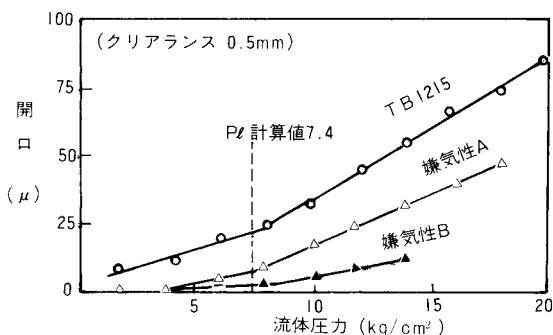
7図は、各ボルトの締付トルクが90kg-cmで試験した結果である。Fbは慣用の方法で求めると1980kgであり、 $P\ell$ 計算値は、25.2kg/cm²となる。

グラフから求めた $P\ell$ 測定値は、23.4kg/cm²となり、理論値よりわずかに低い。この原因は、2-2.2) 3によるものである。 $P\ell$ 値以下での開口は、準開口状態を示すものであり、フランジの剛性により変わる。 $P\ell$ 値以上の開口は、圧力に比例している。



7図 フランジ開口の測定

8図は、Fb : 580kg(締付トルク30kg-cm)で、クリアランス : 0.5での結果である。 $P\ell$ 計算値は、7.4kg/cm²であり、



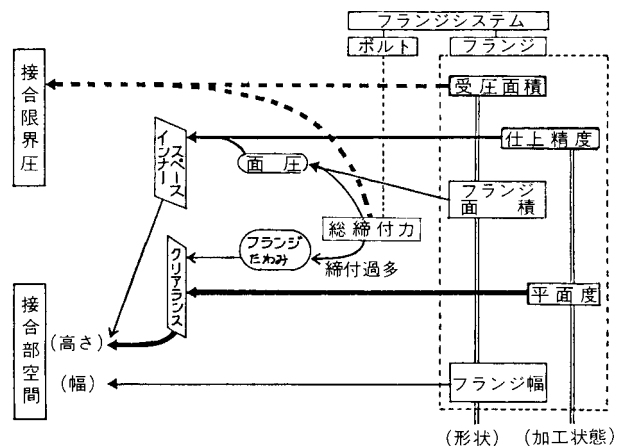
8図 液体ガスケットによるフランジ開口差

測定結果のグラフから見ると、Three Bond 1215(シリコンRTV)が理論値よりわずかに低く、嫌気性Aと嫌気性Bは、ほぼ計算通りの結果となった。

2-4. フランジシステムのシール性決定要因

フランジシステムは、ガスケットとフランジおよびボルトから構成されている。フランジの受圧面積とボルト締付力は、フランジシステムのシール性を左右する $P\ell$ 値を決定し、仕上精度と平面度およびボルト締付力から、接合部空間の初期高さ(ガスケット層の初期厚み)が決定されるのである。

フランジ面加工状態とフランジ形状およびボルト締付力は、 $P\ell$ 値と接合部初期空間(初期ガスケット層形状)を、それぞれの相互関係から決定するのである。それらの関連を9図に示す。



9図 フランジシステムのシール性決定要因

3. 耐圧試験

液状ガスケットの基礎耐圧試験は、一般に円形の試験フランジで行われ、流体圧力を徐々に上げて行き、漏洩の有無を確認する方法がとられている。さらに、フランジシステムの要素を変化させた時の漏洩圧試験を、性能試験として行っている。

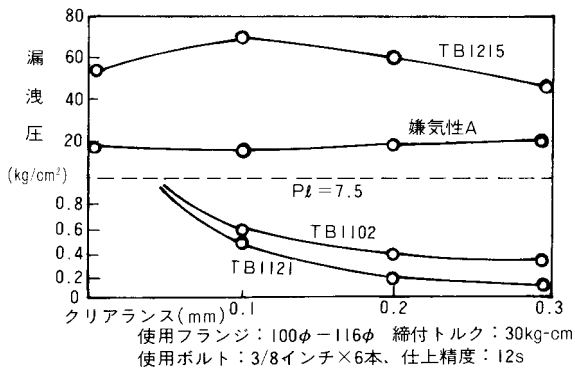
ここでは、耐圧試験結果から、反応型と不乾性の性能および耐圧試験と $P\ell$ 値の関係について考察する。

試験条件については各図に付記したが、10~12図については、液状ガスケット塗布直後に接合し、放置時間はThree Bond 1215(シリコンRTV)を7日間、嫌気性AとThree Bond 1102およびThree Bond 1121を24時間とした。

3-1. 反応型と不乾性の性能

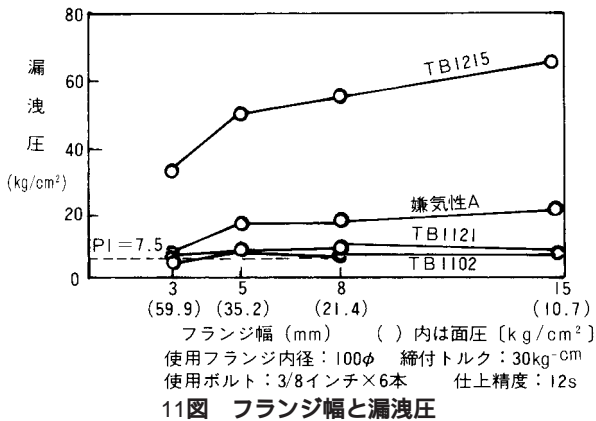
10図は、クリアランス時の耐圧試験結果であるが、反応型と不乾性の差が大きくでている。不乾性は、クリアランスに対しては、液体であるための凝集力の低さから、そのシール性が失われ、流体圧により容易に押し流される。反応型は、クリアランスの増大に対してのシール性のみで

なく、 $P\ell$ 以上のフランジ開口に対しても、その接着力と伸びで追従し、シールを保持していると考えられる。



10図 クリアランスと漏洩圧

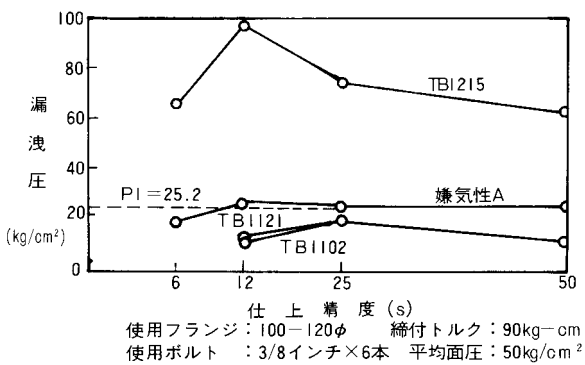
11図は、フランジ幅を変化させた時の試験結果であるが $P\ell$ 値の変化をなくすため、締付力を一定としているので、フランジ幅の増大にともない、面圧は低くなる。したがってフランジ幅と面圧の同時変化と耐圧性の関係を示すのであるが、ガスケット層の破壊(4-3)から考えると、フランジ幅変化より、むしろ $P\ell$ 値一定での面圧変化と見るべきであろう。



11図 フランジ幅と漏洩圧

結果は、反応型では面圧が低い程シール性を増しており、初期ガスケット層厚み(インナースペース)の増加により、フランジ開口に対する追従性が増したためと考えられる。

12図は、仕上精度による変化であるが、これは接合部空間の縦方向変化であり、基本的には、10図のクリアランスに対する傾向と同じ要因による変化と思われる。



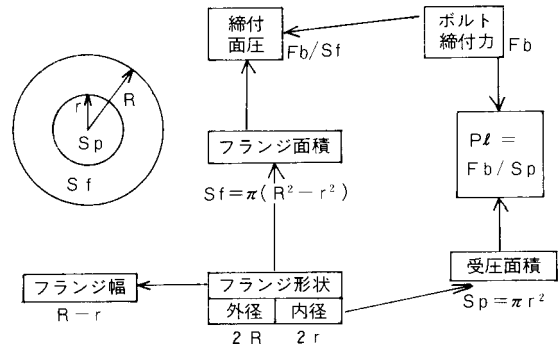
12図 仕上精度と漏洩圧

10~12図で注意すべき点は初期接合部空間の高さ(ガスケットの初期厚み)が小さくなると、いずれのガスケットも、漏洩圧が近づいてくる傾向にあるといえる。これは、

ガスケット層の初期厚み(インナースペース)がきわめて薄い場合、各加圧段階での縦方変化が、初期厚みに対し、ガスケットの接着力や凝集力の高低による追従性の差以上に大きい変化となり、ガスケット物性の差が現われにくくなると考えられる。

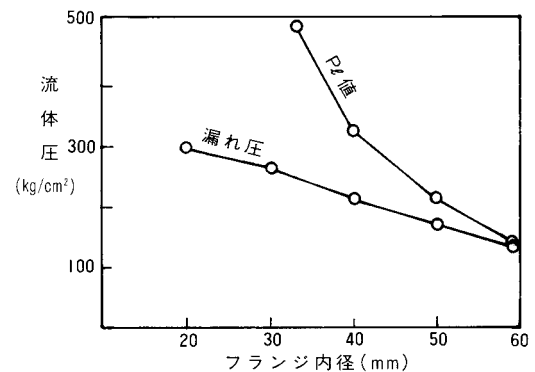
3-2. 試験条件と接合限界圧

いま、6図のような試験フランジを考えた時、フランジ形状およびボルト締付力から決まる試験条件は、13図のような関係にある。



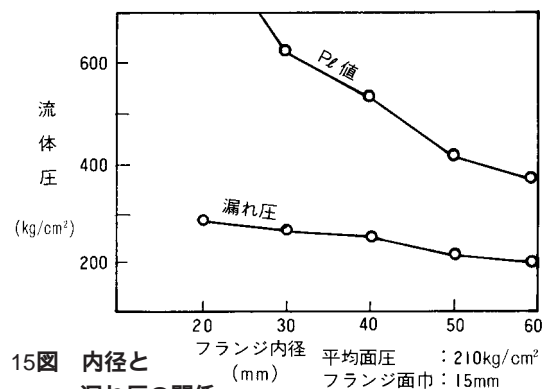
13図 試験条件と $P\ell$ 値

試験条件の変化は、 $P\ell$ 値の変化をともなう場合が多いので耐圧試験結果を液状ガスケット性能の判断材料とする場合は、フランジシステムの接合限界圧を考慮しなければならない。



14図 内径と漏れ圧の関係 締付トルク : 200kg-cm フランジ面巾 : 15mm

14図の試験では、内径を増加させた時の漏洩圧変化を見ているが、面幅が一定であるので、フランジ面積を増加している。そして、締付力は一定であるから、内径の増加にともない締付面圧は減少し、 $P\ell$ 値も減少する。

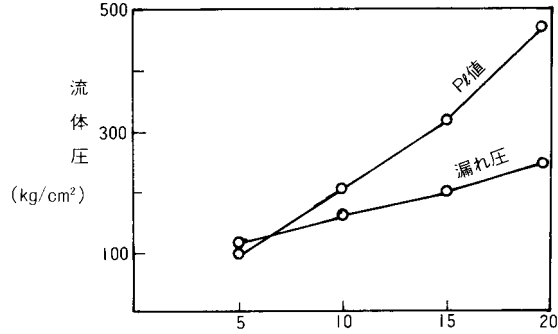


15図 内径と漏れ圧の関係 平均面圧 : 210kg/cm² フランジ面巾 : 15mm

15図の試験は、14図と同様に内径を増加させ面幅を一定としているが、この場合は締付面圧を一定にするために、フランジ面積の増加とともに、締付力を増している。

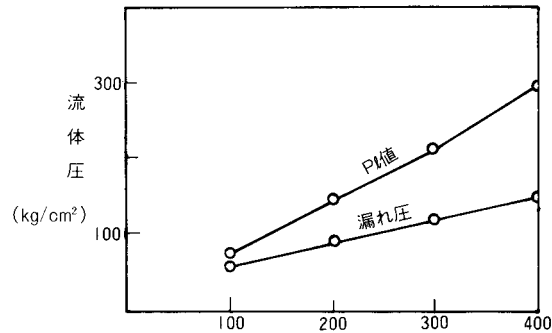
しかし、締付力の増加率より、受圧面積の増加率のほうが高いのでPℓ値は下がる。

16図は、内径を一定とし、面幅を増加させた試験であるが、締付面圧を一定とするために、締付力を増しているためPℓ値は増加する。



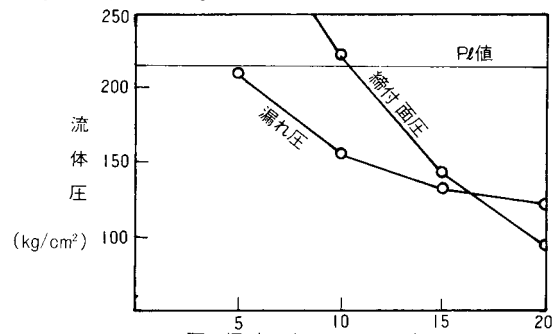
16図 面幅と漏れ圧の関係
フランジ内径：50mm
平均面圧：210kg/cm²

17図では、フランジ形状の変化はないので、Pℓ値は締付力とともに増加する。



17図 締付力と漏れ圧の関係
使用フランジ：60-90φ

18図は、締付力および内径を一定としているので、Pℓ値は一定である。



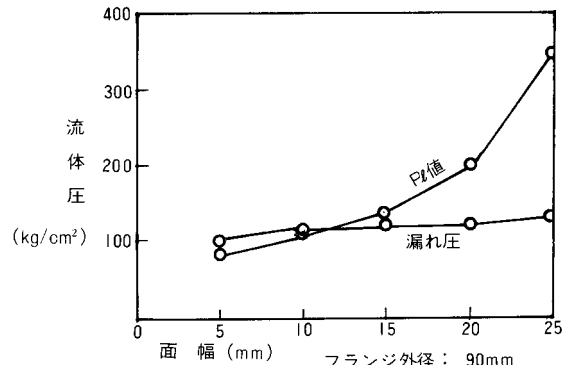
18図 面幅と漏れ圧
フランジ内径：50mm
締付トルク：200kg-cm

フランジ面積の増加による締付面圧低下とフランジ幅の増加を同時に見ていることになる。

19図は、外径を一定とし、面幅を増加(内径を減少)させているので、締付力が一定でもPℓ値は増していく。締付面圧は、フランジ面積の増加にともない低下している。

14～19図の耐圧試験は、不乾性溶剤型ガスケットを使用

したものであり、そのシール性は、加圧時の接合部空間の縦方向変化に大きく左右される。したがって、耐圧性はPℓ値の変化と関係する。Pℓ値が一定の場合(18図)には初期ガスケット層(インナースペース)の初期厚みを決める締付面圧が、その耐圧性に影響する。



19図 面幅と漏れ圧の関係
フランジ外径：90mm
締付トルク：200kg-cm

14～19図 共通条件
※使用ボルト：1/2in×6本
※仕上精度：6S
※使用液状ガスケット：不乾性タイプ

4. 反応型液状ガスケットの耐圧機構

4-1. 不乾性の耐圧機構

不乾性液状ガスケットの耐圧機構は、表面効果、密着効果、薄層効果、層流理論などで説明されている。

1) 表面効果

投緘効果または鍵作用とも呼ばれ、表面荒さによる液状ガスケットと接合面との接触面積の増加およびぬれ性向上の効果で、接着理論でも説明されている。

2) 密着効果

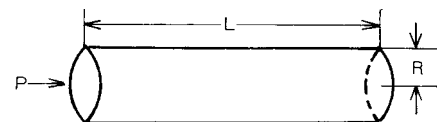
液状ガスケットのぬれの問題であり、表面張力および粘性による凝着の理論が適用されている。

3) 層流理論

不乾性液状ガスケットが接合部において示す挙動は、ニュートンの粘性法則を毛細管内の層流理論に適用して得られる次式より説明される。

$$Q = \frac{R^4}{8} \cdot \frac{P}{L} \quad (4.1)$$

P：管両端の圧力差。 Q：単位時間に流出する液体の体積。
η：液体の粘性率。 L：管の長さ。 R：管の半径。



20図 毛細管内の層流

この式は、“一定時間に流出する液体の体積Qは、内外両端における圧力差Pと、管半径Rに比例し、内外の距離長さLと粘性率に反比例する。”ことを示している。したがって耐圧性が良い条件は、1. 内圧(P)が低い 2. フランジ幅(L)が大きい 3. 接合面間の距離(R)は小さいとなる。

この他に、不乾性ガスケットの耐圧機構は、流体力学における『粘性流体の二平行板間の定常流れ』の理論でも説明される。

4 - 2 . 反応型の基礎理論

反応型液状ガスケットを持つフランジシステムに流体圧力が加えられた時、ガスケット層に直接作用する圧力Pと、受圧面積とボルト強度およびフランジ剛性などのシステム条件と圧力Pとの関係により決まる開口力Fとが働く。ガスケット層の耐圧機構は、FとPによる合力と、ガスケット層とフランジ面の密着力またはガスケット材凝集力との関係で説明される。

FおよびPが働いた時、ガスケット層は弾性挙動を示しそのシールを保持する。

1) フックの法則

フックの法則は、“弾性変形の範囲内では、外力(応力)とひずみが比例する”というもので、この関係は、伸び、圧縮、ずれ、ねじれ、のいずれの場合でも成り立ち、一般に次式で表わされる。

$$\text{外力(応力)} = \text{弾性率} \times \text{ひずみ} \quad (4.2)$$

この式は、すべての種類の外力(応力)とひずみの関係において成立する。

2) 物性による弾性率の違い

ゴムの示す弾性は金属などのそれとはヤング率Eやポアソン比を比較してみると著しく異なることが明らかである。金属ではEは $10^{11} \sim 10^{12} \text{ dyn/cm}^2$ であるが、ゴムでは $10^6 \sim 10^7 \text{ dyn/cm}^2$ である。可逆的な弾性域すなわちフックの法則が成立する範囲は金属では1%以下であるが、ゴムでは200%以上に引き延ばしても成立する。

表3 弾性率の表

物質	E (dyn·cm ⁻²)	σ	K (dyn·cm ⁻²)	n (dyn·cm ⁻²)
鉄	20×10^{11}	0.25~0.33	18×10^{11}	$7.9 \sim 8.9 \times 10^{11}$
銅	13 "	0.26~0.34	14 "	$3.9 \sim 4.6 \times "$
ニッケル	20 "	0.31	18 "	7.7 "
鉛	1.6 "	0.45	5 "	0.56 "
弾性ゴム	$1.5 \sim 5.0 \times 10^7$	0.46~0.49	—	$5 \sim 15 \times 10^6$

E……ヤング率 σ……ポアソン比 K……体積弾性率
n……ずれ弾性率

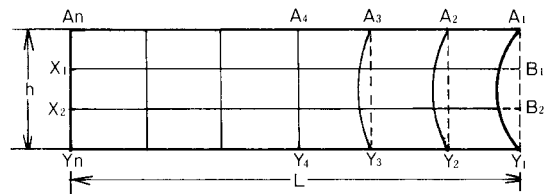
4 - 3 . ガスケット層の破壊機構

接合面が水平なフランジシステムを考えた時、ガスケット層にかかる外力を、水平方向の流体圧直接力Pと、垂直

方向の開口力(流体圧間接力)Fとに分けるとすれば、PとFはガスケット層の弾性変形により、大きさあるいは方向を変えて内部応力pおよびfとして作用する。fとpの合力がガスケットの凝集力F_sあるいは接着力F_a以上になった時、ガスケット層の破壊が始まる。

1) 流体圧力による変形と内部応力

ガスケット層に流体圧力Pがかかる時、層の長さ(フランジ幅)Lが、層の厚みhに対し十分長ければ、その変形は21図に示すようになる。(21図中のAYは垂直方向、BXは水平方向の断面を表わす。)



21図 Pによる変形

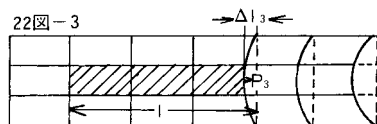
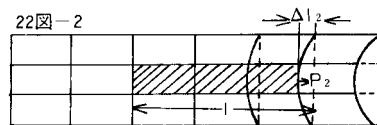
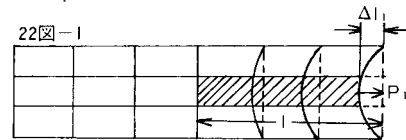
21図の内部層(B₁X₁~B₂X₂間の層)における変形を、22図の各部分について考える。各部分の内部応力は、

$$(22\text{図}-1\text{部分}) \quad p_1 = E \frac{l_1}{l} \quad (4.3)$$

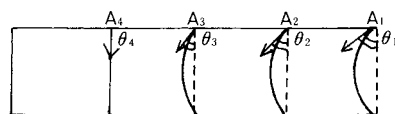
$$(22\text{図}-2\text{部分}) \quad p_2 = E \frac{l_2}{l} \quad (4.4)$$

$$(22\text{図}-3\text{部分}) \quad p_3 = E \frac{l_3}{l} \quad (4.5)$$

と表わせる。(Eはガスケットのヤング率)ここで、 $l_1 > l_2 > l_3$ であるから、 $p_1 > p_2 > p_3$ であり、このとき $p_1 = P, p_{4-n} = 0$ である。



22図 Pによる内部応力



23図 界面の応力

また、界面層の変形には、ずれの弾性率を適用し、23図のA₁～A₄各点における内部応力は、

$$\left. \begin{aligned} p_{A1} &= n_1 \\ p_{A2} &= n_2 \\ p_{A3} &= n_3 \\ p_{A4} &= n_4 = 0 \end{aligned} \right\} (4.6)$$

と表わせる。そして、 $n_1 > n_2 > n_3 > n_4$ であるから、 $p_{A1} > p_{A2} > p_{A3} > p_{A4}$ である。(nはガスケットのずれ弾性率)

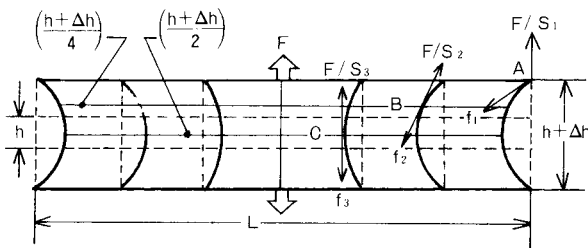
以上のことから、Pによる内部応力は流体接触面(21図、A₁Y₁面)が最大であることが分かる。

2) 開口力による変形と内部応力

24図で、開口力Fによりガスケット層の厚みが、hからh+Δhとなった時、接合面の面積(ガスケットと接合部の接着面積)をS₁とすれば、

$$F/S_1 = E \frac{h}{h} \quad (4.7)$$

である。(Eはガスケットのヤング率)



24図 Fによる変形と内部応力

また、垂直方向の各断面は、それぞれ異なった曲率を持って変形している(接合部中央L/2面は、垂直方向のみに変形)。F/Sとガスケットの内部応力fは、各断面の接線方向で釣り合っている。

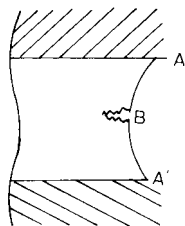
24図において、接合面と平行なガスケット層断面、 $\frac{1}{4}(h + \Delta h)$ 及び $\frac{1}{2}(h + \Delta h)$ の面積を、S₂及びS₃とすれば、それぞれの面と接合面の内部応力fは、

$$\left. \begin{aligned} \text{【接合面】} & f_1 = F/S_1 \\ \text{【}\frac{1}{4}(h + \Delta h)\text{面】} & f_2 = F/S_2 \\ \text{【}\frac{1}{2}(h + \Delta h)\text{面】} & f_3 = F/S_3 \end{aligned} \right\} (4.8)$$

である。S₁ > S₂ > S₃であるから、f₁ < f₂ < f₃となり、開口力Fに対するガスケット層の引張応力fは、 $\frac{1}{2}(h + \Delta h)$ 断面が最大となる。(ただし各断面全体にかかる応力はFで、どの断面も等しい。)

3) 破壊式

Pによるガスケット層の応力は、21図A₁Y₁面が最大であ



25図 ガスケット層の破壊

り、Fによる応力は24図 $\frac{1}{2}(h + \Delta h)$ 面が最大であるからガスケット層の界面破壊はAまたはA'点より始まり、凝集破壊はB点より起こる。(25図)

開口力Fと流体圧Pによる破壊力について、それぞれX軸方向(水平方向)とY軸方向(垂直方向)に分けて考える。

26図において開口力Fが働くとA、B点では、ガスケット層の曲線ABの接線方向に、内部応力f₁、f₂が発生する。f₁を分解すると、

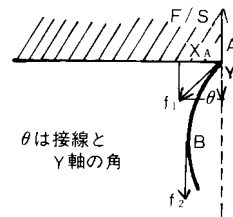
A点では

$$\left. \begin{aligned} X_A &= f_1 \sin \theta \\ Y_A &= f_1 \cos \theta \end{aligned} \right\} (4.9)$$

B点では

$$\left. \begin{aligned} X_B &= 0 \\ Y_B &= f_2 \end{aligned} \right\} (4.10)$$

となる。



26図 fの分解

27図において流体圧力Pは、曲線ABの法線方向に作用しA点においてのY軸方向分力(Y_A)は、非破壊力となる。

Pを分解すると、

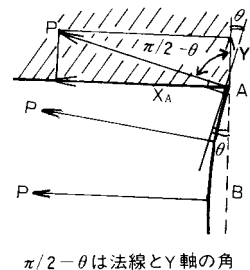
A点では

$$\left. \begin{aligned} X_A &= P \sin(\frac{\pi}{2} - \theta) = P \cos \theta \\ Y_A &= -P \cos(\frac{\pi}{2} - \theta) = -P \sin \theta \end{aligned} \right\} (4.11)$$

B点では、

$$\left. \begin{aligned} X_B &= P \\ Y_B &= 0 \end{aligned} \right\} (4.12)$$

となる。



27図 Pの分解

界面破壊は、A点の合力すなわち(4.9)式と(4.11)式の和で起こる故、界面破壊の条件は、

$$f(\sin \theta + \cos \theta) + P(\cos \theta - \sin \theta) > F_a \quad (4.13)$$

または、

$$f_1 \sin \theta + P \cos \theta + f_1 \cos \theta - P \sin \theta > F_a \quad (4.14)$$

(f_1 は接着力、 P は圧力)

となる。(F_a はガスケット接着力)

凝集破壊は、B 点の合力すなわち(4.10)式と(4.12)

式の和で起る故、凝集破壊の条件は、

$$f_2 + P > F_s \quad (4.15)$$

となる。(F_s はガスケット凝集力)

5 . 耐圧試験と破壊式

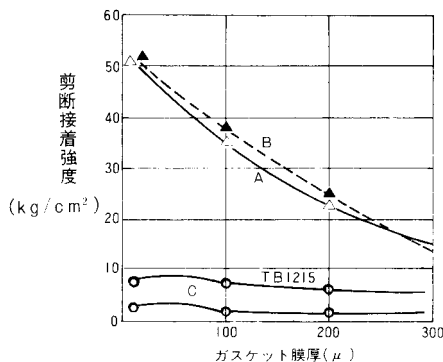
5 - 1 . 反応型ガスケットの物性

反応型ガスケットとして多く使用される、嫌気性アクリル(フレキシブルタイプ)、シリコンRTV(液状ガスケット用Three Bond 1215及び低モジュラスタイプ)について硬化時の物性を表4に、接着強度を28、29図に示す。

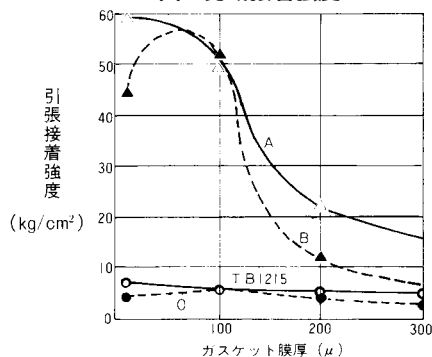
表4 液状ガスケット硬化時の物性

項目	種類			
	A*	B	C	TB1215
	嫌気性アクリル フレキシブルタイプ		シリコン RTV 低モジュラス	シリコン RTV
硬化時の線収縮率(%)	3		0.3	
硬 度 (JIS-A)	90	90	10	45
引張強さ (kg/cm ²)	150% モジュラス 破断時	—	1.5	5.3
伸 び (%)	37	30	1500	400
剝離接着強度(kg/25mm)	0.8	0.6	0.9	2.0
剪断接着強度	28 図			
引張接着強度	29 図			

* Three Bond 1131相当品



28図 剪断接着強度



29図 引張接着強度

5 - 2 . ガスケット物性と破壊式

1) 界面破壊式(4.13)式への適用

f_1 については、(4.7)式と(4.8)式から

$$f_1 = E \times \frac{\text{ガスケットの伸び(フランジ開口)}}{\text{ガスケットの初期厚さ(接合部の初期高さ)}} \quad (4.16)$$

となる。Eは、ガスケットの弾性変形範囲内での伸びと引張強さの関係から求まる。

F_a については、フランジ面とガスケット層の接着力であるが、接着力は厳密には接着剤分子と被着体分子間の結合力である。これは測定により求めることができない。接着強度は実際の接合部の破壊強さであり、被着体が破壊する場合を除いて接着力、接着剤の凝集力、破壊の条件などに支配される。

したがって、フランジ面とガスケット層の真の接着力は求められないので、引張接着強度を近似値として適用する。

については、ガスケット層形状及びその変化と流体圧力から決定され、実験で求めることも可能であるが、ここでは硬度および伸びから推定する。

2) 凝集破壊式(4.15)式への適用

凝集力 F_s は、ガスケットの分子間結合力であり引張強さ、圧縮強さで判断できるが、内部応力の分解(26・27図)から見れば引張強さは f に圧縮強さは P に対応するものと考えられる。さらに27図のB点における P は、そのほとんどがガスケット層の圧縮応力で緩和されると考えられるので、(4.15)式は近似的に

$$f > F_s(f) \quad (4.17)$$

とする。 $F_s(f)$ はガスケットの破断時の引張強さ]

(4.8)式から、界面の f_1 と $\frac{1}{2}(h + h)$ 面の f_3 は異なる。実際の接合部はガスケットの厚み h に対し、層の長さ(フランジ幅)は十分大きいので、(4.8)式の S_1 と S_3 の差は無視できる。したがって(4.17)式の f は、(4.16)式の f_1 と同じとする。

5 - 3 . 理論値と実測値

Three Bond 1215および嫌気性Aを使用した耐圧試験について、理論値と実測値を比較する。(試験条件は、8図と同じ、ただしクリアランスは0.1mm)

1) 理論値の計算

(4.13)式と(4.16)式からの

$$E \frac{h}{h} (\sin \theta + \cos \theta) + P (\cos \theta - \sin \theta) > F_a \quad (4.18)$$

(4.17)式からの

$$E \frac{h}{h} > F_s(f) \quad (4.19)$$

を理論値の計算に使用する。各項についての計算と、限界耐圧力(破壊圧)理論値を表5に示す。(θ は表中の範囲を推定した。)

表5 理論値の算出

項	備考	TB1215		嫌気性 A	
E (kg/cm ²)	TB1215: 表5の150%モジュラス値を(4・16)式に適用。 嫌気性A: 8図のTB1215とAの開口差から求めた。	3.533		43.57	
Δh (μ)	P _l 値以上では、ガスケット層の伸びΔh(開口長)は、圧力Pと比例するので、Δh=kpとし、8図からkを求めた。 (P _l 以下ではΔh=0とした)	Δh=5(P-P _l) =5p-37.50	Δh=4.25(P-P _l) =4.25p-31.0		
h(μ)	条件より	100		100	
$E \frac{\Delta h}{h}$ (kg/cm ²)		0.176p-1.32		1.85p-13.89	
Fa (kg/cm ²)	29図の、膜厚100μ時の引張接着強度	5.6		50	
Fs (kg/cm ²)	表4の引張り強さ(破断時)	10		105	
θ	TB1215: 45°~50° A: 20°~30°	45°	50°	20°	30°
	sinθ+cosθ	1.414	1.409	1.2817	1.3660
	cosθ-sinθ	0	0.123	0.5977	0.3660
限界耐圧力 (kg/cm ²)	界面破壊	29.90	59.26	22.82	23.82
	凝集破壊	64.09		64.19	

2) 理論値と実測値

表5の結果と耐圧試験結果を比較すると、

理論値 TB1215 : 29.90 ~ 59.26kg/cm²
嫌気性A : 22.82 ~ 23.82kg/cm²

実測値 TB1215 : 39kg/cm²(ハミ出し除去)
嫌気性A : 20kg/cm²

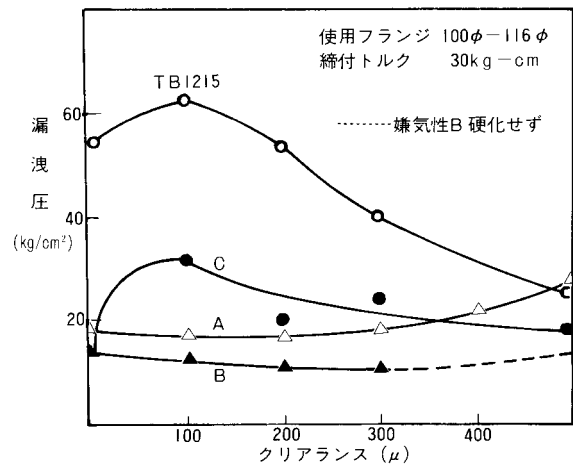
と、ほぼ一致した結果を示す。

界面破壊が凝集破壊かの判断は、実験的には困難であるが、理論値の計算結果は界面破壊を示している。

3) ガスケット物性による耐圧性の特長

TB1215は弾性効果により、高い耐圧性を示すが、の大きさによって耐圧性が大きく変化する。表5の場合では、

を45°~50°にした時に約30~60kg/cm²と倍増している。
TB1215の実験ではクリアランスを大きくした(が小



30図 クリアランスと漏洩圧

さくなる)時耐圧性の低下を示すが、これは理論値計算結果の傾向と一致する。多くの耐圧試験結果で、高弾性ガスケット材料ほどバラツキが大きいのは、はみ出しその他の不確定要素によりが変化するためと考えられる。

嫌気性Aは比較的弾性の少ないガスケット材料であるが、実用上問題のない耐圧性を示す。の変化による耐圧性への影響が少なく、比較的一定した結果を示す。このことは、理論的(表5)にも実験的(10.12.30図)にも確認できる。

ガスケット材料に必要な接着力について、たびたび問題になるが、理論破壊式からも明らかのように、fがh/h(開口率)から決定される場合は、弾性の少ない材料ほど、大きい接着力が必要である。(実際のボルト締めフランジ部では開口(h)によるfが破壊の主要因となる。)

ガスケット材料の弾性について注意を要することは、見かけの弾性は破壊(変形)速度により大きく変化するということである。たとえば開口速度が速ければガスケット材料は、硬いものとしての挙動を示し開口がきわめて遅ければ、柔い材料としての対応をするであろう。このことは、レオロジー(固体粘弾性)の問題であるが、理論的な研究もさることながら実用的な研究が、より重要であろう。

---次回掲載予定---

反応型液状ガスケットの耐圧機構
《その2》

6. 評価方法の基本と実際の性能

- 6-1 実際のシール性決定要因
- 6-2 自封作用とはみ出し効果
- 6-3 収縮応力
- 6-4 評価項目

- 1) シール性評価項目
- 2) 総合評価項目

7. 接合部設計の留意点

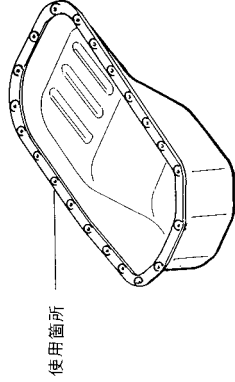
- 7-1 固形ガスケット使用時との違い
 - 1) ボルト締付力と外部要因
 - 2) 接合面の仕上程度
 - 3) フランジ面幅

- 7-2 液状ガスケットの選定
- 7-3 接合部形状

まとめ

OLGと固形ガスケットを比較した場合の総合損益評価表.....自動車のおイルパンにOLGSを採用した場合

項目	内容	項目	内容
1 業種	自動車	15	固形ガスケットは長期使用の場合、永久歪が発生するのでシリコーン系液状ガスケットの使用に移行する方向
2 使用箇所機器名・部品名	オイルパン(乗用車2,000cc)	16	シールは完璧で問題なし 分解性はスリーバンド1207Cの方が良い
3 生産量	月産1万台	17	コストダウンが可能となるため
4 寸法・表面積・重量	22cm×48cm×170mm 2.5kg オイルパン周囲長さ130cm、面幅20mm		
5 材質	冷間プレス(圧延鋳板加工SPC3)		
6 使用商品名・グレード	スリーバンド1212D		
7 使用用量	13g/台		
8 使用商品価格	6,000円/kg		
9 使用金額	6円/g・78円/台		
10 生産台数・総使用量	130kg		
11 総金額	78万円		
12 機器・部品価格	880円/箇所		
13 使用目的・内容	シール性の向上、コストダウン		
14 使用条件	エンジンオイル飛散、温度20℃Max 内圧0.5kg/cm以下、振動加速度4G以下、締付圧30kg/cm ²		



項目	機能		損益		評価		損益評価詳細説明	
	スリーバンド製	従来品	理由	説明	損失	従来品		
材料費	◎	×	価格差	①-1 材料費(ガスケット) ①-2 締付ボルト数の減少 ①-3 フランジ面仕上げ工簡略	コスト	350円 66円 290円	●ボルト(M8)数22本を18本に削減 @ 3円/本 ●オイルパン加工費の削減 ●プレッシャーリッジの省略も可 (ガスケット当り面の補強...しぼり、曲げ加工不要) 880円の30%強削減されるため290円に	
外観	○	○						
取扱い	○	△	人件費	車種別ガスケットの在庫管理不要	時間	18円	●OLG使用の場合1/2人不要/月となる 人件費 30円/分 1,800円/時 14,400円/日 36万円/月 18万円/10,000台=18円	
性能	◎	×	人件費	⑤-1 塗布ロボット使用 ⑤-2 熟練度不要 (教育訓練不要、人件費の10%) ⑤-3 パラつき無し ⑤-4 臭気なく作業環境良好 (やる気向上人件費の50%)	時間	5円 0.50円 2.50円	●ロボットの費用1,000万円/台、5年償却で月額17万円 台当り17万円÷10,000=17円 ●固形ガスケットのセット5円/10秒 人件費 @ 30円/分、@ 0.50円/秒、セット時間10秒	
中心的働き	◎	×	人件費	OLG使用の場合油泥完全シール 固形ガスケットの場合長期使用中に永久歪が発生し油漏れを生ずる。	検査不良率	4.10円 (1% 100台) 136円 (1% 100台)	●分解30秒 ●ガスケットの取替え 350円×100台=(35,000円/10,000台)=3.50円 ●ボルト締付け30秒、再検査1分 30円×2分×100台=6,000円÷10,000台=0.60円 3.50円+0.60円=4.10円 ●使用中不良(完成車)の修理は1台当り2時間かかる ●保証書1台当り1万円 3,600円(2時間分)×100台=360,000円÷10,000台=36円 10,000円×100台÷10,000台=100円 36円+100円=136円	
弊害	◎	△				α	●総合コストダウン金額 ① 1台当り872.10円-149円=723.10円+α ② 月間7,231,000円+α ③ 年間86,772,000円+α	
再使用	×	△						
モデルチェンジ(設計変更)	◎	×		OLGは設計変更があっても使用可	合計	149円	872.10円	

塗布ロボットおよび塗布機一覧表

反応性液状ガスケットの塗布機、塗布ロボットにはつぎのようなタイプがあります。

詳細はカタログがありますので、必要な方はご請求ください。

塗布方式	機種名	駆動原理	概要・主な特長
トレーシング	TRT-22	テンプレート	塗布すべきパターンと同型の鉄製のプレートガイドとして、吐出ノズルを取付けたマグネットローラーを駆動させてトレースする。小型、安価、メンテナンス性に優れている。
	TRT-23		
	TRT-26		
	TRO-92	光電管	塗布すべきパターンの線図を白紙上に描き、これを光電管で読ませ、サーボモーターで吐出ノズルを駆動させてトレースする。小型、安価、パターン互換性に優れている。
	TRC-60	コンピューター	塗布すべき線図の座標値をパンチャーでテープに編集する。このテープからコンピューターに入力し、サーボモーター付直交テーブルで吐出ノズルを駆動させてトレースする。高精度、パターン互換性に優れている。
	TRC-65		吐出ノズルを塗布すべきパターンに沿って、手動で駆動させながらティーチングボックスのキーボードで、コンピューターに入力し、サーボモーター付直交テーブルで、吐出ノズルを駆動させてトレースする。高速、入力しやすい、パターンの互換性良好。
TRC-70	TRC-65と同様に入力し、トレースするが三次元塗布が可能。同時3軸を直線で作動できるため、立体斜線および任意2軸内の円弧が描ける。高速、入力しやすい。パターンの互換性良好。		



ThreeBond
TECHNICAL NEWS

技術と友情で世界をむすぶ

株式会社スリーボンド

本社 〒193 東京都八王子市狭間町1456 電話 0426(61)1333 代

●スリーボンド・テクニカルニュース編集委員会