

# 繊維質シートガスケット

高 行男・宇田川恒和

## 1. 諸 言

ガスケットは接合面に挟んで所要の流体をシールするものである。ガスケットは構成材料により、金属ガスケット、金属と非金属を組合せた複合ガスケット、そして非金属ガスケットに大別される。非金属ガスケットはその名が示すように、非金属の材料から構成され、中温(80~130℃)、低中圧力(0.1~0.8 MPa)の使用条件で、ガス、水、油、化学液などの流通経路の接合部のシールやそれら流体の容器の密封に用いられる部品である。化学プラントやエンジンのシールに多く使用され、一般家庭でも水道の蛇口などのシールに使われ、シール部品としては使用範囲が広い。

非金属ガスケットには、シート状の材料を打抜いてガスケット形状に加工した繊維質シートガスケット(以降繊維質ガスケット)と、ゴムや合成樹脂を成型加工したOリングなどの成型ガスケットがあるが、現在最も多く用いられているのは、処理紙、ビータシート、コンプレッドシートなどの繊維質ガスケットである。主原料に植物繊維や人造繊維を使い、補強材として樹脂やゴムなどを用いて造るシートを主体としたガスケットである。その歴史は古く、鉄管が初めて用いられた時代の配管工事やエンジンの創成期に既にシール部に使用されていたと伝えられている。勿論、当時のガスケットに比べ材質などはかなり進歩しているが、基本構造は変わっていない。現在でも化学プラントの配管用やエンジンの冷却水やオイルおよび燃料などの液体シール部に多く用いられている。その使用度は非金属ガスケットの中でも随一である。本稿では広く使われているにも拘らず、認識度が低い繊維質ガスケットの概要を述べる。

## 2. 繊維質ガスケットとその生産方式

繊維質ガスケットは材料の種類や用途などで分類されるが、使用される繊維や補強材(結合・充填材)の種類によって、その性状やシール性能が大きく異なる。ここではその代表的なものを取上げる。ガスケットの製造はシート状の材料を所要形状にプレス機により抜き加工するのみであるが、大量生産か少量生産かによって生産方式は異なる。

### 2.1 繊維質ガスケットの種類

#### (1) 処理紙ガスケット

処理紙製ガスケットは厚さ0.5~1.5 mmが主に用いられるが、厚さは圧縮性や浸透性を左右する。

厚さが増すと圧縮性は増加するので、シール面との密着が良好になる。反面、吸液性が大きくなり、浸透漏れが生じやすくなる。特に、シール幅が狭い箇所では不具合が起りやすい。処理紙ガスケットは、エンジンに多く用いられるが、シール条件のあまり厳しくない（80℃以下、内圧0.5MPa以下）冷却水やオイルのシール箇所、例えば、ウォーターポンプやオイルパンのガスケットに用いられている。一般的に処理紙ガスケットはコストが廉価であるので、そのシール条件により性能とコストのバランスからこのガスケットが選択されることが多い。

### (2) ビータシートガスケット

ビータシートガスケットは圧縮性に富んでいるので、締付けが弱く、ガスケット装着面に剛性が低い箇所（板金製のフランジ）に適している。通常、厚さ1 mm程度のもので多く使用されるが、密度が小さい（0.8～1.0g/cm<sup>3</sup>）ので、吸液性が大きく浸透漏れが生じやすい短所がある。したがって、内圧の高い液体のシールやシール幅の狭いシール部の使用は適切ではない。しかし、処理紙ガスケットより耐久性に優れているので、エンジンのシール条件の厳しくない冷却水系や潤滑油系および燃料系のシールに用いられている。

### (3) コンプレッドシートガスケット

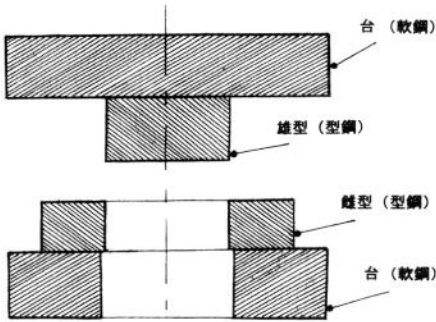
コンプレッドシートガスケット（ジョイントシートガスケット）は、その材料の製造方法からビータシートより高密度（1.2～1.5g/cm<sup>3</sup>）で吸液性が少なく、浸透漏れは殆んど生じない。抗張力性が高いので耐圧性に優れ、耐熱性（耐クリープ・リラクゼーション性）にも優れているので、高温・高圧流体（ガス、液体）のシールに適する。厚さ0.8～1.2 mmのもので多く用いられている。しかし、圧縮性に乏しいので、フランジの剛性が高く、締付けボルトが太いか、本数が多い箇所、つまり、高面圧で装着されるシール箇所に多用される。また、シートの補強材にNBRを使用しているものは、耐化学性に優れているので化学プラントに多用される。繊維質ガスケットの中では高温・高圧の条件下で耐久性が最も優れているので、エンジンにおいても、使用条件の厳しい箇所（高温部や高圧部）に用いられる。特に、エンジン温度の高い空冷エンジンのヘッドカバーやオイルパンなどのシール部に多用されている。

## 2.2 ガスケットの生産方式

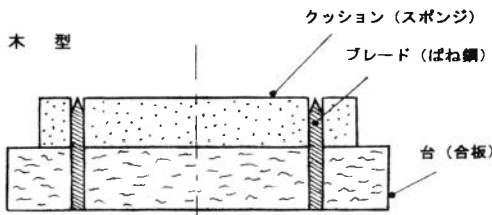
繊維質ガスケットの製造はシート状の材料（ワーク）を抜型でプレスにて打抜くのみである。大量生産のものは金型を用いる。図1に示すように、金型は雄型と雌型が一組で構成され、雄・雌型の部分は型鋼（ダイス鋼）が使われ、台は軟鋼が用いられる（図中A）。少量生産のものは木型を用いる。木型は厚さ約20mmの合板にブレードと呼ばれる、厚さ0.7～0.8mmのばね鋼の刃をガスケットの形状に折り曲げて加工し、合板に埋め込んである。ブレードの間には、型に食込んだワーク（材料）を跳ね上げるためのクッション作用のあるスポンジを配置してある（図中B）。これは型の上に加工したガスケットと抜きくずを型の上に跳ね上げて、取出しやすくするためである。

複雑な形状のものは、図2に示すように、数工程に分けた分割加工を行うが、形状によっては

A 金 型

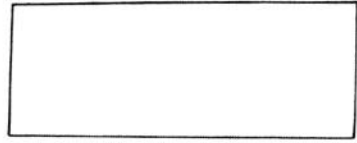


B 木 型

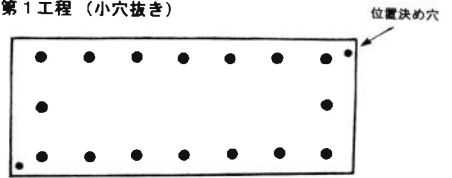


( ) 内：材質

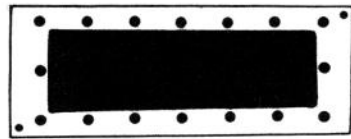
A 材料 (ワーク)



B 第 1 工程 (小穴抜き)



C 第 2 工程 (中穴抜き)



D 第 3 工程 (外形抜き)

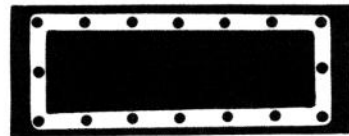
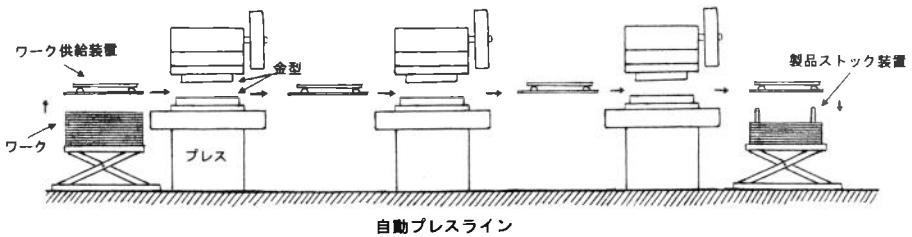


図 1 ガスケットの抜き型

図 2 ガスケットの分割加工工程

A 大量生産 (連続自動生産方式)



B 少量生産 (単発生産方式)

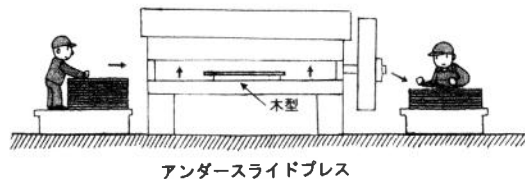


図 3 ガスケットの生産

その順序は変わる場合もある。シンプルな形状のものは一工程で加工する。図3に示すように、大量生産では自動プレスライン(図中A)を用いる。予め所定のサイズに裁断されたワークをワークストック装置の上に積上げ、そこからバキューム式供給装置にてプレス内に供給される。少量生産(図中B)では、作業員が所定のサイズに裁断されたワークをアンダーテーブルスライドプレス内の型の上に置き、アンダーテーブルを上昇させて加工する。

### 3. 繊維質ガスケット材料の特性

繊維質材料は繊維材をベースとして補強材によりその強度や緻密性を補ったガスケット材である。繊維質の組織を補強材で空隙を充填したもので、図4は材料の組織構造を模式的に示している。補強材が繊維組織内に入り込んで、繊維同士を接着強化すると共に空隙を充填して緻密にする。材料の性質は繊維や補強材の種類(樹脂, ゴム)により異なる。

代表的な繊維質材料が、処理紙、ピータシート、コンプレストシート(ジョイントシート)である。各材料について、ASTM(American Society for Testing Materials, アメリカ材料試験協会)の試験方法による物性値を表1に示したが、その中より特に、シール性能に密接な関係を持つ性質について述べる。

表1 繊維質ガスケット材料の特性

項目		測定値	備考		
処理紙	厚さ (mm)	0.8	セキネシール工業(株)カタログ		
	圧縮特性 P=34.5MPa	圧縮率 (%)		26	
		復元率 (%)		40	
	抗強さ (MPa)			24	
	吸液性	ASTM No.3 Oil 150℃×5hr		厚さ変化率 (%)	1
				重量変化率 (%)	13
		ASTM FuelB 室温×5hr		厚さ変化率 (%)	1
				重量変化率 (%)	18
		蒸留水 室温×22hr		厚さ変化率 (%)	18
				重量変化率 (%)	80
ピータシート	厚さ (mm)	0.8	煙台石川(公司)資料		
	圧縮特性 P=34.5MPa	圧縮率 (%)		14	
		復元率 (%)		64	
	抗強さ (MPa)			19	
	応力緩和率 (%)			19	
	吸液性	ASTM No.3 Oil 150℃×5hr		厚さ変化率 (%)	25
				重量変化率 (%)	29
		ASTM FuelB 室温×5hr		厚さ変化率 (%)	17
				重量変化率 (%)	20
	コンプレストシート	厚さ (mm)		0.8	煙台石川(公司)資料
圧縮特性 P=34.5MPa		圧縮率 (%)	8		
		復元率 (%)	66		
抗強さ (MPa)		24			
応力緩和率 (%)		18			
吸液性		ASTM No.3 Oil 150℃×5hr	厚さ変化率 (%)	5	
			重量変化率 (%)	15	
		ASTM FuelB 室温×5hr	厚さ変化率 (%)	4	
			重量変化率 (%)	11	

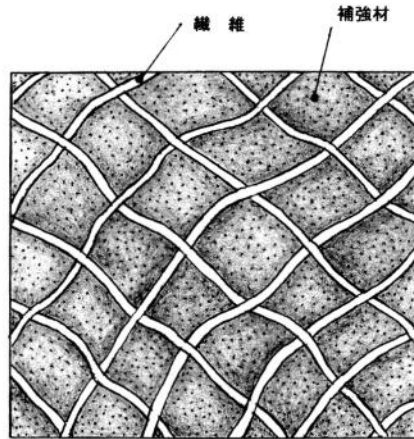


図4 材料組織の模式による表示

### 3. 1 圧縮復元性

ガスケット材が荷重を受けた時に圧縮され、荷重を除いた時に戻る性質を圧縮復元性と言う。図5は弾性体と圧縮体（ガスケット材）の圧縮復元性の違いを表したものである。弾性体は荷重を増加させると圧縮量は直線的（比例的）に進行し、荷重を除々に軽減すると直線状に復元する。圧縮体は初期では小さい荷重で大きく圧縮され次第に圧縮され難くなり、独特の圧縮曲線を描く。

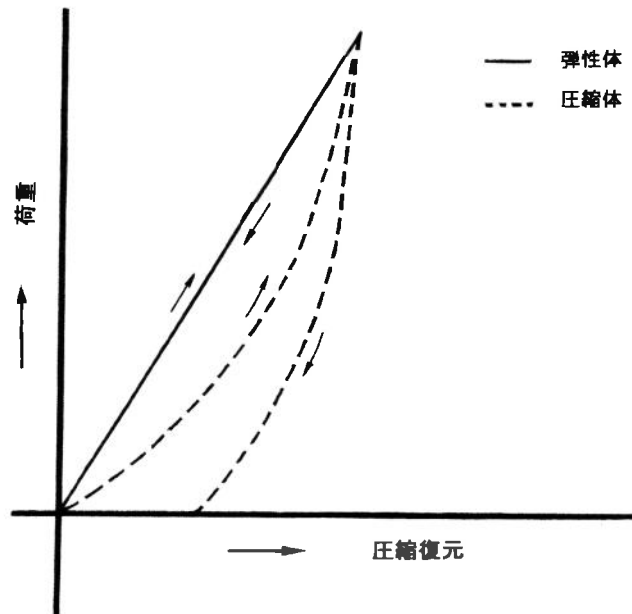


図5 弾性体と圧縮体の圧縮復元特性

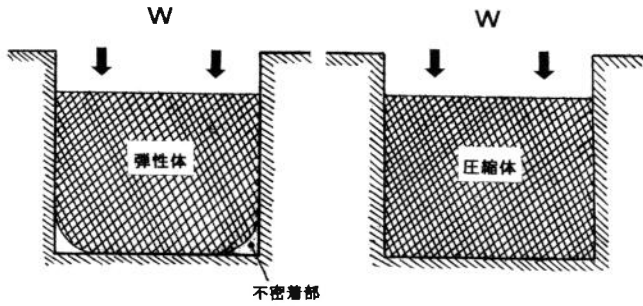


図6 弾性体と圧縮体の密着性

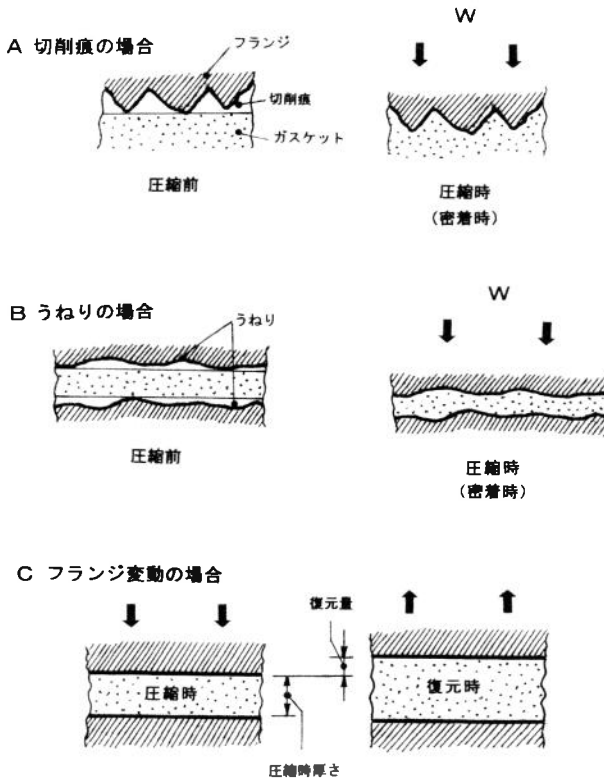


図7 ガスケットの圧縮復元の役割

また、荷重を除々に軽減させると元に戻ろうとするが、弾性体のように直線的に、完全には復元しない。特に、両者における大きな違いは、圧縮特性による密着機能（なじみ性）である。図6は弾性体と圧縮体における密着機能の違いを角形の溝を用いて表したものである。弾性体は小さい荷重では凹みに完全に密着せず不密着部ができるが、圧縮体は完全に密着する。

図7は圧縮復元性の役割を模式的に示したものである。圧縮性はガスケット圧縮時にフランジ

面（シール面）との密着を良好にして、マイクロシールを構築する（図中 A）。また、フランジ面のうねりになじんで密着する（図中 B）。つまり、圧縮性はガスケットの取り付け面のうねりや凹凸に良くなじんで、密着性を果たす重要な性質である。一方、復元性はシール面の動的変化に追従してシールを確保するのに必要な性質である。つまり、復元性はフランジが動的に変化した場合に、その変動に追従してシールを保持する（図中 C）。このように、ガスケットのシール性は圧縮復元性の良否により影響を受ける。

### 3. 2 吸液性

一般的には材料の内部（層間）に液体を吸込む性質を言う。この性質は浸透漏れに直接関係するので、シール上重要な性質である。繊維をベースとした材料では繊維の間に充填された補強材の充填割合が、吸収性に大きく影響する。一般的には密度が高い程、吸液性は低い。吸液性を簡単に知る方法には、一定サイズの材料の重量を予め計測しておき、シールする液体中に一定時間内浸漬して、どれくらいの液体を吸い込んだかを重量率で表す方法や体積の膨張率で表す方法が用いられる。

### 3. 3 抗張力性

材料の引張り強度を言う。この性質は主にガスケットの耐圧性を維持するために必要な性質であり、特に、高圧の流体をシールするには欠かせないものである。抗張力性は材料繊維の種類や長さ、補強材などの性質に関係する。シート材の製造方法によって、縦と横方向の強度が大きく異なる場合があるので、弱い方向で抗張力性を表示するのが一般的である。これはシート材の製造時の繊維の配列が要因と考えられているが、繊維質ガスケット材の独特の性質である。

### 3. 4 耐化学性

材料がシールする流体に溶解したり、侵食されたりせず、化学的に安定していることを言う。特に化学プラントに用いられるガスケットは、この性質を重視する。最も簡易的な試験は、テストピースをシールする液に一定時間浸漬して、溶解の状態や重量の増減などの変化を調べる。

## 4. 繊維質ガスケット材料の製造方法

繊維質ガスケットは材料をガスケット形状に加工した単一の構造のため、シール機能は材料を構成する繊維と補強材の性質により大きく左右されるが、その製造方法にも深い係わりがある。つまり、シート製造工程はシート材の圧縮復元性、耐圧性、耐液体性、耐熱性などの性質に大きな影響を及ぼし、シール性能と密接な関係がある。

### 4. 1 処理紙

処理紙は紙製ガスケット材の主流で、原紙（未処理紙）を補強処理したものである。米国では処理紙（トリートメントペーパー）と称される<sup>2)</sup>が、日本ではオイルシートと呼ばれている<sup>1)</sup>。オイルをシールするのに多用されていたことが呼ばれる由縁であると思われる。

処理方法で最も多く行われているのは、ゼラチンで補強処理を行う方法である。その一例を図

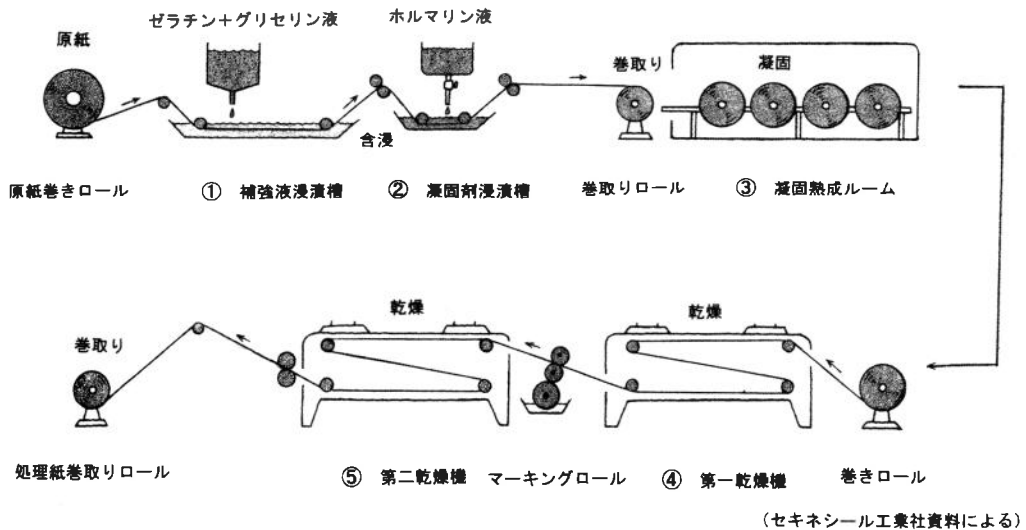


図8 処理紙の製造工程

8に示した<sup>1)</sup>。まず、補強材と柔軟剤であるゼラチンとグリセリンを主成分とした液を入れた槽(図中①)に原紙を浸漬して両剤を含浸させ、処理液が垂れない程度に液を絞り、ホルマリン液を入れた槽(図中②)に浸してゼラチンの凝固および防腐処理を行う。処理した紙を巻取って、熟成(凝固を完結させる作業)させるために熟成ルーム(図中③)に移す。熟成完了後、第一乾燥機(図④)にて一度目の乾燥をする。次に、マーキング(トレードマーク)を施し、第二乾燥機(図中⑤)にて二度目の乾燥(図中⑤)を施して完了とする。処理後は組織が緻密になり、抗張力が向上し、それでいて硬くなく、皮のような柔軟性を有するようになる。処理紙は主に、エンジンの冷却水系や潤滑油系および燃料系のシール用ガスケット材として使われる。

#### 4.2 ビータシート

製造工程にビータ(叩解機:繊維をほぐす機械)を用いるのでその名が付いた。米国ではビータ・アディションシートとも呼ばれる<sup>2)</sup>。もともと繊維にアスベストを用いていたが、アスベストがガン原物質に指定されて使用禁止になったため、代替にアラミド繊維やグラスファイバ等の人造繊維が用いられるようになった。

その製造工程を図9に示す<sup>1)</sup>。5 mm程度の比較的短い人造繊維と適量の水を攪拌槽(図中①)に投入し、両者を攪拌した後に、ビータ(図中②)に移す。ビータ内に設置された水車のような回転羽を持った叩解装置を回転させて繊維を叩解する。次に、ゴムのエマルジョン液(乳濁液)を入れ、ビータ内で攪拌しながらエマルジョン粒子を繊維に吸着させる。液が透明になった時点で吸着が完了したことを知る。この時、繊維はフロックと呼ばれる綿のかたまり状になって水中に分散している。これを水ごとホンプで一旦貯蔵タンク(図中③)に移送して、加硫剤や充填材を加えて攪拌し、漉き機(図中④)で漉き上げシート状にする。漉き上げたビータシートは脱水



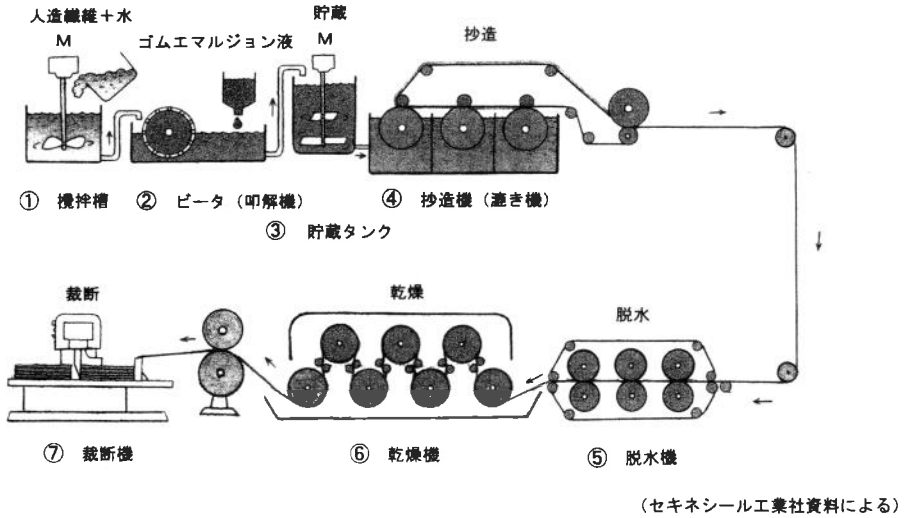


図9 ビータシートの製造工程

機（図中⑤）にて脱水して，乾燥機（図中⑥）を通して乾燥しながら加硫を促進させて巻き取る。

ビータシートは量産性に優れコスト的にメリットがあるが，高密度のシートを造ることが難しい。つまり，シートの圧縮性は優れるが，浸透性に多少難点がある。これらの短所をカバーするために，プレス等で加圧して密度を高めたり，合成樹脂等に浸漬するなど，後処理を施して液体の耐浸透性を高める場合もある。ビータシートは，主にエンジンのウォータポンプなどの液体シール用ガスケット材に用いられる。耐久性が処理紙材より優れているので，エンジンの冷却水系や潤滑油系のガスケット材にも多用される。

#### 4. 3 コンプレッドシート（ジョイントシート）

製造工程でロールにて原料を圧延しながらロールに巻付けて，シート状にすることから米国ではコンプレッドシートと呼ばれている。英国や日本ではジョイントシートと呼ぶ場合が多い。過去，原料の繊維にアスベストを用いていたので石綿ジョイントシートと呼ばれていた。

コンプレッドシートの製造工程を図10に示す<sup>3)</sup>。ゴムと人造繊維を主な原料とし，混合機（図中①）で，ソルベント（溶剤）を少量加えて，繊維をほぐしながらゴムを混ぜ合わせ，粘土状にして練り機（図中②）に移し，ソルベントを更に加え粘度を低くして，加硫剤，充填材（クレイ，タルク等）を加えてペースト状にする。ペースト状にした原料を製板機（図中③）の上部にあるホッパーロールに投入する。ホッパーロールは二つのロールが並列に配置されていて，その間隔を調整することにより，ペースト状の原料を圧延ロールに適量，供給する。原料は回転する上下二つの製板ロールによりシート状に延ばされ，徐々に片側のロールに巻き付けられる。所要厚さになった時，シートの幅方向にナイフでスリットを入れシートを剥がし取る。そして乾燥機（図中④）に入れて乾燥しながら加硫を促進させる。乾燥後，裁断機（図中⑤）にて所要サイズに裁

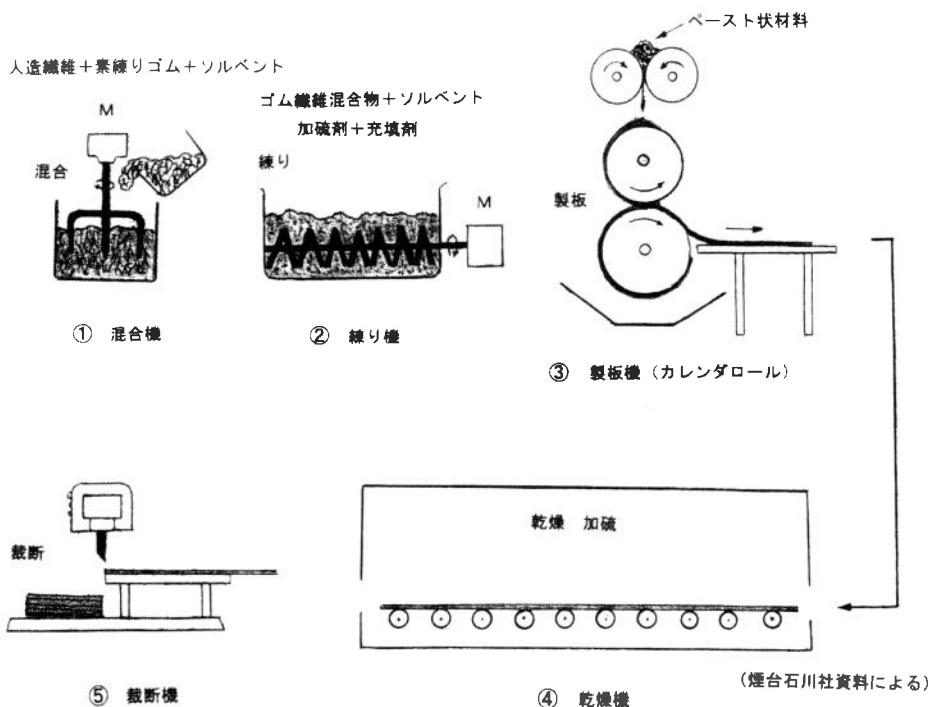


図10 コンプレッドシートの製造工程

断する。

このような製造方法で造るコンプレッドシートは、ビータシートより長い繊維が使用できるので、抗張力性の高いシートができ、また、圧着しながらシート状に加工する工程から密度の高いシートができる。ゴムは用途に応じて、NBRやSBRなどが用いられる。繊維はアラミドやグラスファイバ等の人造繊維が用いられるが、耐熱性やコスト等で種々の繊維が選択できる。このシートは高密度であるため、浸透漏れが殆どなく、耐久性に優れている。クリープ・リラクゼーションも少ないためシール性能が安定しているので、長期間同じ様な条件で用いられる石油精製プラント用のガスケット材に多く用いられている。また、エンジンではオイルプレッシャーガスケットなどの高温・高圧の条件下で耐久性が必要となる箇所のガスケット材に使用されている。

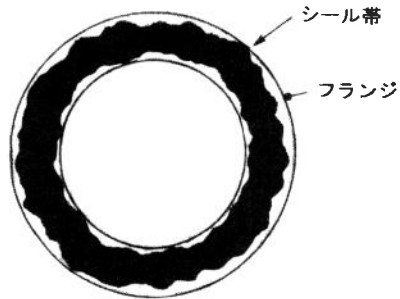
## 5. 繊維質ガスケットのシール機能

### 5.1 シールの構築

ガスケットのシールは、ボルト締付けによるガスケット装着時、シール穴の周囲にシール面圧が発生し、ガスケットとシール面との密着が完了し、シール穴の周囲にシール帯と呼ばれるシール面圧発生部が形成されシールが構築される。

図11はガスケット装着時のフランジ面に発生したシール帯(図中A)の様子を模式的に示して

A シール帯の発生状態



B シール帯の面圧強弱（感圧シートによる）

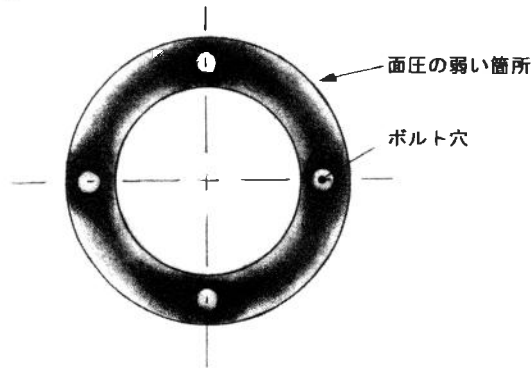


図11 ガスケット装着時のシール帯の形成と発生面圧分布

いる。シール帯の存在は感圧シート試験で確認できるが、シール帯は必ずしもガスケット全面に均一に発生するものではなく、面圧の大きさが異なるのが普通である。フランジにビータシートガスケットを装着した時の感圧シート<sup>4)</sup>による発生面圧分布（図中B）を見ると、面圧の強弱を発色の濃淡で表していることからボルト間の面圧が弱くなっていることがわかる。この現象はフランジ面の仕上げ状態やフランジの剛性の状態、ボルト配置等により影響を受けるが、漏れは通常、面圧の低い箇所で生じる。

漏れの主なタイプは、図12に示すように、三つのタイプがある。①シール部とガスケットの接面より漏れる接面漏れ（図中A）、②ガスケット内部を通して漏れる浸透漏れ（図中B）、そして③ガスケットが破壊されて漏れる破壊漏れ（図中C）である。接面漏れは主にガスケットの圧縮復元性が不足し、フランジ面とガスケットの密着が不完全の時に起る。浸透漏れはガスケットの耐浸透性が不足した時に起る。破壊漏れは内圧に対して、ガスケットの耐圧性（強度）が不足した時に起る。②が初期段階に起り①に発展する場合、①が起り③に移行する場合、②が起り進行

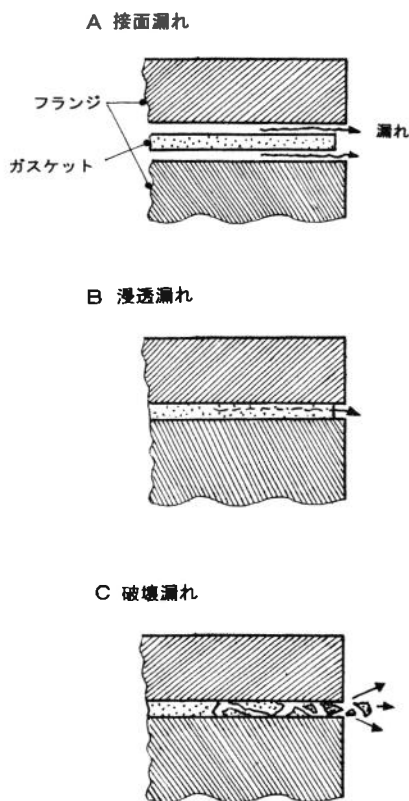


図12 ガス漏れの種類

して③に移行する場合など、それぞれの条件が複合して生じる場合もある。

## 5. 2 シール環境とガスケットの選定

シール条件はガスケット選定の重要なポイントになる。選定に際して、①ガスケット装着箇所の状態（面の粗さ、うねり状況、フランジの剛性、ボルト締付け力等）、②シールする流体の状態（化学的性質、粘度、圧力、温度等）、さらに③コストが考慮される。

### (1) 圧縮性・復元性の必要性

ガスケットはフランジ面の状態に応じて、圧縮性を重視する必要がある。締付け力が弱く、シール面のうねりや粗さが大きい場合には、通常、圧縮性の大きいガスケットを選ぶ。シール条件上の理由から材質が変更できない場合は厚いものを選択する。一般的に厚さの大小は圧縮性の良否に関係する。図13は一例としてビータシートガスケットの厚さ（0.5、1.0、1.5 mm）に対する圧縮性を比較したものであるが、厚い方が圧縮量は大きいことがわかる。

復元性については、フランジ面が内圧等で変動する場合に必要な性質であるが、繊維質ガスケットの用途では該当する箇所はない。強いて挙げれば、フランジの温度による膨張・収縮の変動で

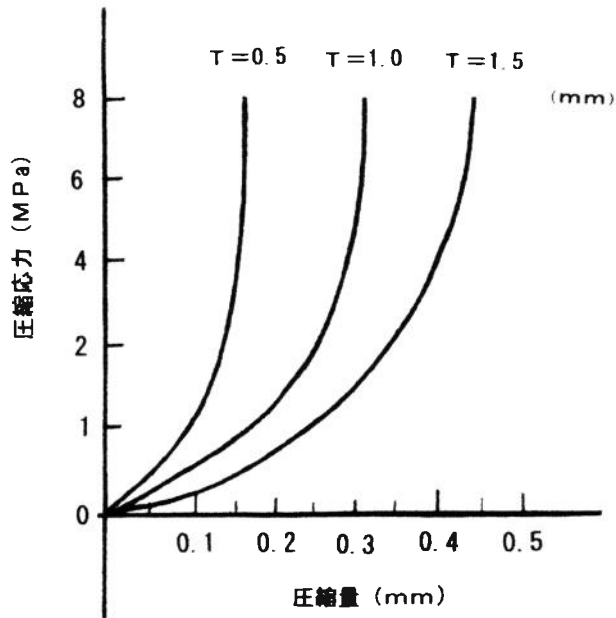


図13 ガスケットの厚さと圧縮性

あるが、その程度は小さいのでシールに支障をもたらす問題にはならない。

### (2) 緻密性の必要性

シール幅の狭い箇所を持つフランジでは、ガスケットの層間を通して漏れる浸透漏れ（層間漏れ）が問題になる。このような箇所は吸液性の大きい材料を用いたガスケットは避けた方がよい。浸透漏れが生じ易い箇所のシールには、比較的高密度であるコンプレッドシートガスケットを選ぶのも一つの方法である。

### (3) 耐熱性の必要性

繊維質ガスケットの選択で最も難しいのは温度条件への対応である。一般的に言われる耐熱性であるが、繊維質ガスケットの使用箇所は高い温度でも最高140℃程度であるので、ガスケット材が焼焦げるような変質はない。シール上、温度が高い場合の問題は、ガスケットのクリープ・リラクゼーション（へたり）によるシール面圧の低下である<sup>5)</sup>。

クリープ・リラクゼーションに対し、一般的に採用されている簡便な試験方法は応力緩和試験である。この試験方法は試験治具にテストピースを挟み、所定のボルトで締付けたクランプ状態で電気炉に入れ、設定温度で所定時間を保持した後、常温になった状態でボルトの軸力を測定して、試験前後の軸力の変化を算出して緩和率を求める方法である。

この測定方法を用いて、60～120℃の範囲で代表的な繊維質ガスケット材のクリープ・リラクゼーションによるボルトの応力緩和の状態を調査した結果を図14に示した。どの材料も温度が高

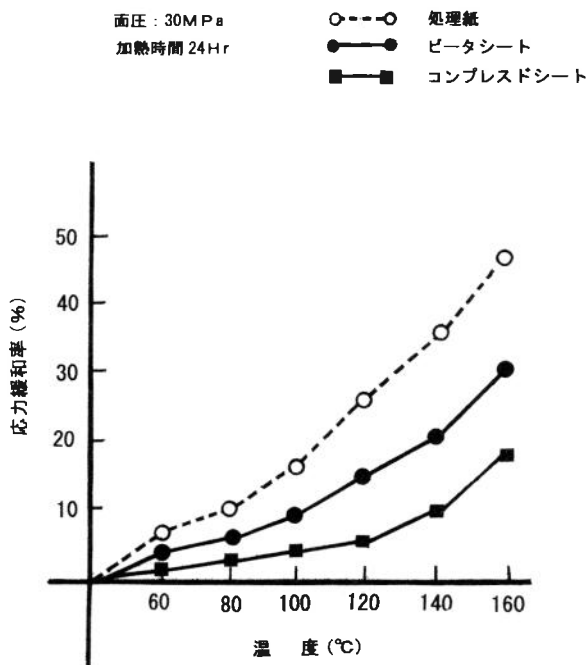


図14 ガasketの使用温度におけるクリープ・リラクゼーション

くなると急激に応力緩和率は高くなるが、構成材の耐熱性の違いにより、最も大きく影響を受けるのは処理紙で、次にビータシート、コンプレッドシートの順である。応力緩和の大きいガasket（処理紙、ビータシート）は、温度の高い箇所での使用は避けるべきである。

#### (4) 耐圧性の必要性

内圧や温度の高い箇所のシールには耐圧性の高いガasketが用いられる。特に、ボルト間の距離の長い場合やシール幅の狭い箇所を持つ場合など、シールに不利な条件では漏れによる不具合が起りやすい。中でも破壊漏れは短期間に起り、漏れ量も桁違いに多いので、大事故に発展する可能性が高い。

破壊漏れは通常、段階的に起る。そのプロセスは、図15に示すように、先ず初期に接面漏れか浸透漏れが生じ、次にガasketが変形し、次第に変形が大きくなり、やがて内圧に耐え切れなくなり破壊が起る。破壊に至る前段階に変形が大きくなり、ガasketがフランジの外側にせり出して来るので、この現象を検出できれば破壊漏れは事前に探知できる。破壊はボルト間が広い箇所に多く生じるが、特にシール幅の狭いガasketに起りやすい。ガasketの耐圧性は主に、その構成材の抗張力性が関係しているので、抗張力性の高い材料で構成されるガasketの耐圧性は高い。そのため、内圧の高いシール箇所にはコンプレッドシートガasketが多く用いられる。

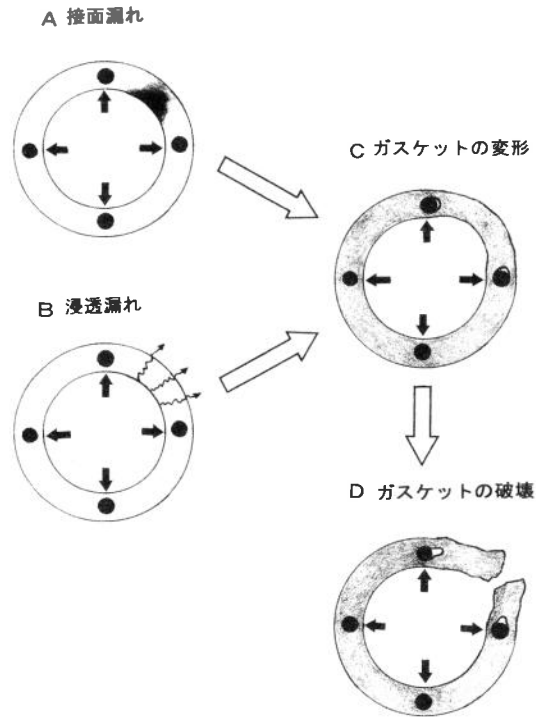


図15 破壊漏れのプロセス

### 5. 3 フランジのシール

#### 5. 3. 1 シール上の問題点

繊維質ガスケットの装着部はシールに不都合な箇所が多く存在する。その代表的な問題点を図16に示した。一般的に、繊維質ガスケットが使われるフランジの剛性は弱いので、ガスケット装着時（ボルト締め付け時）にボルト間にフランジのたわみ（図中A）が発生し、その中央付近では面圧が低くなる<sup>4)</sup>。感圧シートの測定結果（図中B）によれば、ボルト間隔が広いと、面圧低下は顕著に認められる。したがって、この箇所に漏れの発生するケースが多いのは、面圧低下によるものと考えられる。また、シール面内にボルト穴を設けたフランジでは、シール幅が狭くなり（図中C）、そこからガスケットの浸透漏れや破壊漏れが起きやすい。特に、内圧の高い箇所のシールにはこの現象が顕著に現れる。

#### 5. 3. 2 フランジの改善

フランジの改善はコスト高の問題があるが、シール機能とのバランスで考えるケースが多い。漏れの程度や頻度により優先度が異なるが、主な改善方法を挙げると、①フランジの剛性を高くする、②ボルト間隔を狭くする、③シール幅を拡大する、④耐圧フランジ構造を採用する、などである。

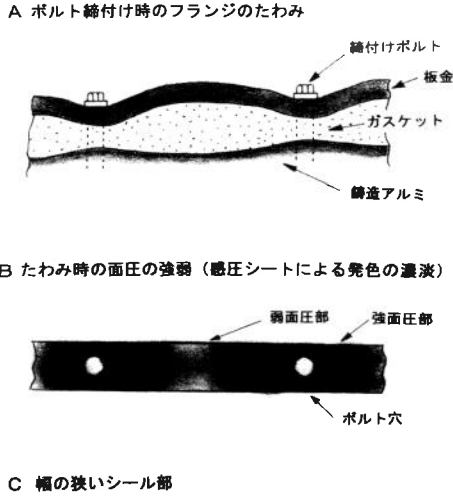


図16 フランジのシール上の問題点

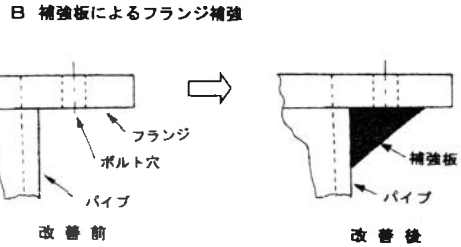
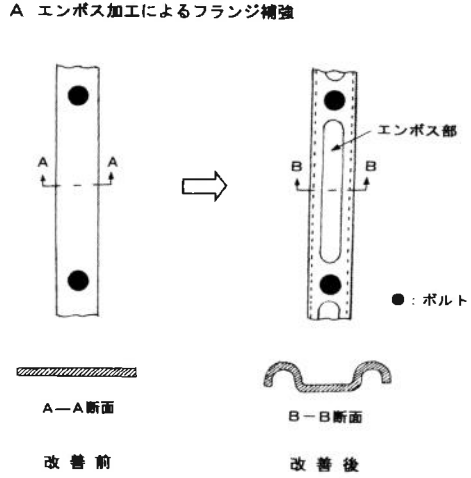


図17 フランジの剛性強化

(1) フランジの剛性強化

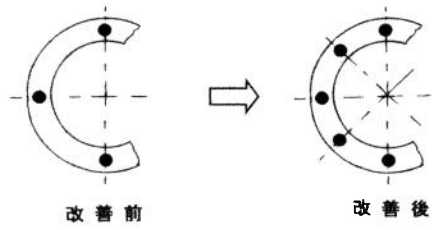
フランジの肉厚を大きくする方法は容易なことであるが、周囲の制約があり、そう簡単にはできない。そこで、考えられたのが、ボルト間を補強する方法である。その代表的な例として、図17にエンジンのオイルパンと石油精製プラントのパイプのフランジの事例を示した。オイルパンは、通常、板金でできているので、フランジの肉厚を大きくして剛性を上げることは加工上の制約がある。そのため、フランジのボルト間をエンボス加工して凹凸を造り、剛性を強化している(図中A)。パイプのフランジの事例(図中B)では、ボルト間に三角型の補強板(ステー)をフランジとパイプに90°方向に溶接して補強を施している。これらの方法は双方とも一般的に用いられている。

(2) ボルト本数の増加

ボルト間隔を狭くする方法は、プラントのパイプのフランジでよく使われるが、その事例を図18に示した。フランジの剛性を強化せずに、ボルト本数を増やすことで、剛性の問題を解決している(図中A)。また、極端に湾曲したシール部がある場合には、湾曲部は他の箇所と比較して、発生面圧が極度に小さくなる場合がある。その対策として、湾曲部にボルトを追加して締付けを



A ボルト間へのボルトの追加



B 湾曲部へのボルトの追加

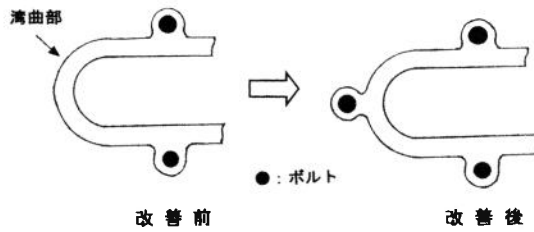


図18 フランジのボルト増加

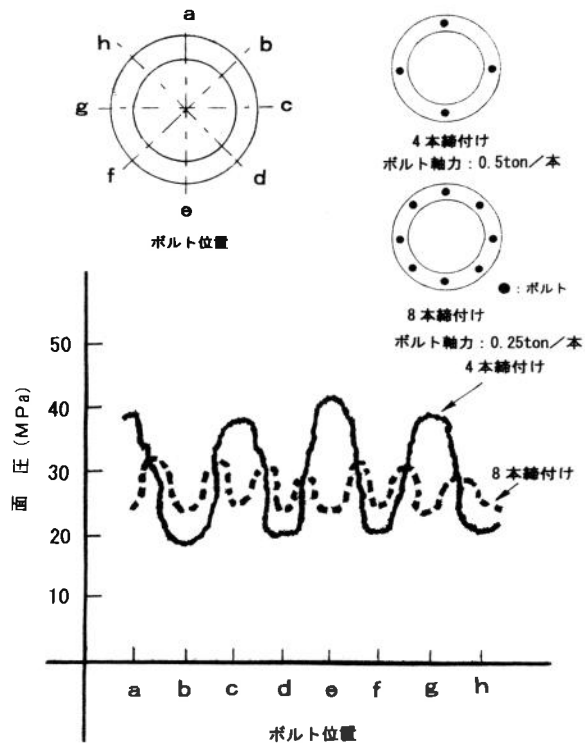


図19 面圧分布に及ぼすボルト本数の影響

改善している(図中B)。ボルト本数の増加対策は、単にボルト間隔を狭くするのみではなく、シールに必要な全締付け力を考えれば、ボルト本数が増加した分だけ一本当たりの締付け力を減らすので、ボルト間のフランジのたわみは小さくなる。その結果、フランジのシール面圧は平均化する。

図19は感圧シートを用いて4本締付けと8本締付けの面圧分布状態を比較したものである。感圧シートでフランジ全面の面圧による発色の濃淡を取り、色の濃淡を面圧の大小に変換するソフトを使い、面圧の分布をグラフ化した結果であるが、4本締付けに比べ8本締付けでは、面圧が平均化されていることがわかる。

(3) シール幅の拡大

シール幅を広げることは理屈では簡単であるが、周囲の制約があって、実施は難しい。そのため、図20に示すように、ボルト穴部のフランジ幅をボルト部分で広げる方法(図中A)や、ボル

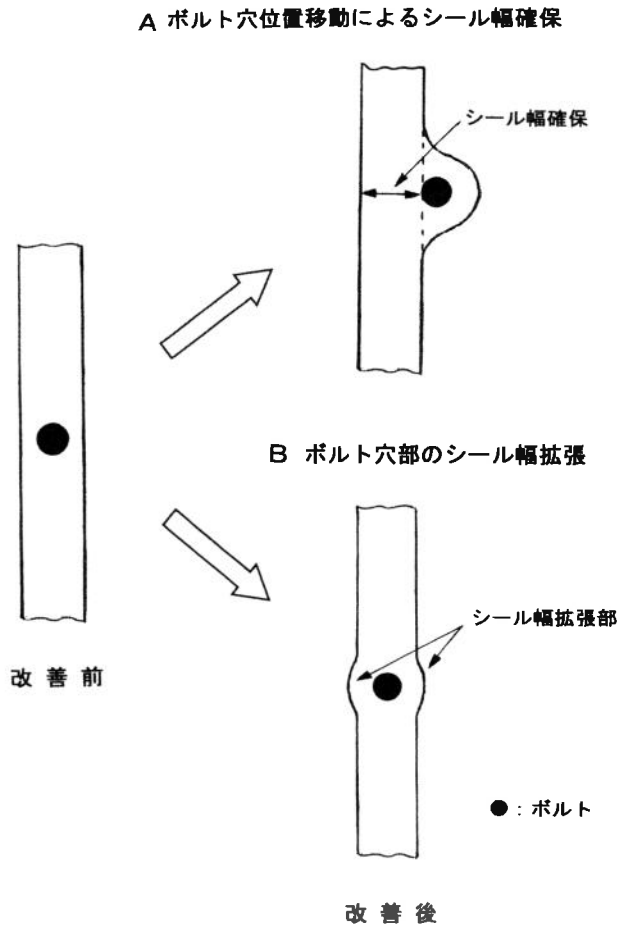


図20 フランジのシール幅の拡大

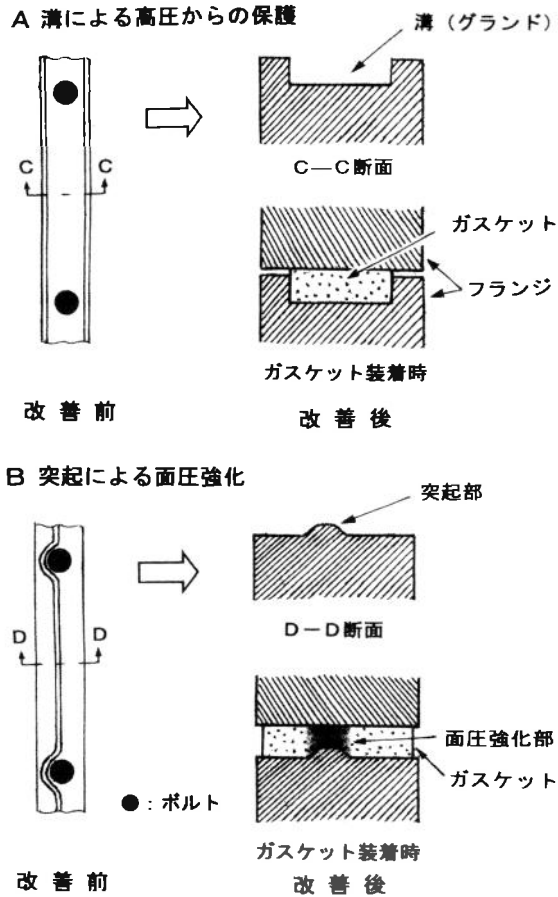


図21 フランジの耐圧構造

ト位置を外側にずらしてシール幅を確保する方法（図中B）が一般的に行われている。

#### (4) 耐圧フランジの採用

耐圧フランジは高い内圧をシールする場合には効果的であり、図21に主なものを示した。その一つ（図中A）は、フランジの上下何れかにガスケットが入る溝（グラント）を設け、ガスケットを高圧から保護する方法である。以前は溝を彫る手段に頼っていたのでコスト的に問題があったが、鑄造技術の進歩で鑄込み時に溝を造ることが容易になったので、コストの問題は解決された。もう一つ（図中B）は、フランジの上下何れかに突起を設け、突起によりガスケットを局所的に高圧縮して面圧を高め、ガスケットが高い内圧により水平方向に変形するのを抑制して耐圧性を強化する方法である。

## 6. 結 言

非金属ガスケットである繊維質ガスケットは、その用途は広く、重要な役割を果しているが、

その扱い方の認識が不十分であるために、シール上のトラブルが認められる。そこで、本稿では繊維質ガスケットの概要を実用的な視点から述べた。本稿が繊維質ガスケットのシール機能を認識する上で参考になれば幸いである。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本, セキネシール工業(株)カタログ
- 2) 米国, アームストロング社技術カタログ
- 3) 中国, 煙台石川社生産設備資料
- 4) 宇田川恒和, 高 行男, シリンダヘッドの変形によるガスケットシーリングへの影響とその対応, *Marine Engineering*, Vol.42, No.5 (2007) P.122~128
- 5) 宇田川恒和, 高 行男, ディーゼルエンジンの最大燃焼圧力上昇によるシリンダボア間のヘッドガスケットシーリングへの影響とその対応, *自動車技術会論文集*, Vol.38, No.6 (2007) P.119~124