

## 〈製品紹介〉

# シール材の概要とニチアス製品の紹介

基幹産業事業本部 基幹製品事業部

## 1. はじめに

シール材は、流体の漏れまたは外部からの異物の侵入を防止するために用いられ、化学プラント、発電所、製鉄所、自動車、家電製品など産業用・民生用部品として、現代の生活になくはないものです。このシール材にひとたび不具合が発生すると、最悪の場合、化学プラントなどでは爆発・火災が発生する恐れもあるために、重要な機能部品と認識されています。本稿では、シール材全体に関する最新の知識・情報を簡略にまとめるとともに、弊社の製品を分類に沿って紹介します。

## 2. シール材の分類

シール材を大別すると、配管用フランジなどのように静止（固定）部分のシールに用いるガスケットと、回転や往復運動などのような運動部分のシールに用いるパッキンに分けられます。このうちガスケットはその材質から、軟質ガスケット、セミメタルガスケット、メタルガスケットに分類できます。

パッキンは、金型を用いて作る成形パッキンや各種の繊維を断面が角形の紐状に編んだ編組パッキンがあります。これ以外にも、オイルシール、メカニカルシール、非接触型のラビリンスシールなどがあります。

代表的なガスケット・パッキンを図1に示します。図1中の弊社製品については、第4章で構造や特徴を具体的に説明します。

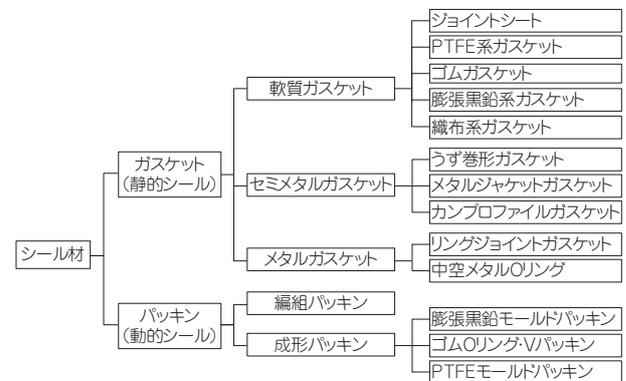


図1 代表的なガスケット・パッキン

## 3. シール材の選定

シール材はシールすべき流体およびその温度・圧力といった使用条件を基本として選定します。

### 3.1 流体区分

JPI規格\*「JPI-7S-81-2005 配管用ガスケットの基準」に示されている流体区分を以下に示します。なお、JPI規格では、以下に示す流体区分ごとに温度・圧力で区画された範囲を決め、この範囲内に使用できるガスケットの種類を記入した選定図を参考として付記しています。

#### (1) 水系流体

・水、海水、温水、熱水、水蒸気など

#### (2) 油系流体

・ガソリン、ナフサ、潤滑油、アルコールなどの石油系炭化水素

- ・ベンゼン, トルエン, 有機溶媒, 熱媒油などの芳香族炭化水素
- (3) 腐食性流体
  - ・酸, アルカリ
- (4) ガス系流体
  - ・ガス系流体 I (空気, 窒素ガスなど)
  - ・ガス系流体 II (ガス系流体 I 以外の可燃性ガス, 支燃性ガス, 毒性ガスなど)
- (5) 低温流体

また, 本稿で紹介するガスケット・パッキンの具体的な流体・温度・圧力ごとの推奨品は, 弊社ホームページカタログ ([www.nichias.co.jp/products/download/](http://www.nichias.co.jp/products/download/)) に掲載する「TOMBO BRAND ガスケット」, 「TOMBO BRAND パッキン」, 「ゴム Oリング」, 「エラストマー製品」を参照ください。

\* JPI規格: 石油・石油化学工業用装置関係規格

### 3.2 ボルト締付力

一般に内部流体をシールするために必要なガスケットの締付力としては, 「JIS B-8265-2003 圧力容器の構造—一般事項」に規定される Wm1 (使用状態における必要な最小ボルト締付力), Wm2 (ガスケット締付けに必要な最小ボルト締付力) および Wm3 (シールに必要な最小締付力) があり, この中の最大値以上に締め付けることが必要です。この値を計算するためには, それぞれのガスケットに特有な  $m$  (ガスケット係数),  $y$  (最小設計締付圧力),  $\sigma_3$  (最小締付面圧) が必要です。これらの計算式と係数は, 後掲の参考文献「ガスケットの基本事項」を参照ください。

## 4. 各種シール材の構造・特徴

各種シール材の構造, 特徴, 使用上の注意を述べます。

### 4.1 ジョイントシート

#### 4.1.1 構造と特徴

ジョイントシート (図2) は, 各種繊維にバインダーとなるゴム, ゴム薬品, 充填材を均一に混合させた材料を加熱ロール上で積層しながら加硫させた後, シート状に切り出した製品です。シート状に必要な形状・寸法に容易に加工でき

るために, 各種のプラントで蒸気や汎用の油・薬品などの流体のシールに幅広く用いられています。



図2 ジョイントシート

#### 4.1.2 種類と使用上の注意

ジョイントシートの種類としては, 100℃以下の水・温水, 油, 空気などで汎用的に使用される TOMBO No.1995 「クリンシル® ブラウン」と 200℃以下の蒸気など高温部で使用される TOMBO No.1120 「クリンシル® トップ」などがあります。

ジョイントシートは構成材料の特性上, 緻密性に欠けるためガス系流体で使用する場合には, ガスケットペーストを表面と内径端面に薄く均一に塗布してください。また, 緻密にするために十分な荷重で締め付けてください。

### 4.2 PTFE系ガスケット

#### 4.2.1 構造と特徴

耐薬品性に優れた PTFE (四ふっ化エチレン) 系ガスケット (図3) としては, PTFE樹脂単体およびこれに充填材を加えたシートを所定形状に打ち抜いた製品, あるいはジョイントシートなどのクッション性のある中芯を PTFE の薄膜で被覆したタイプの製品があります。

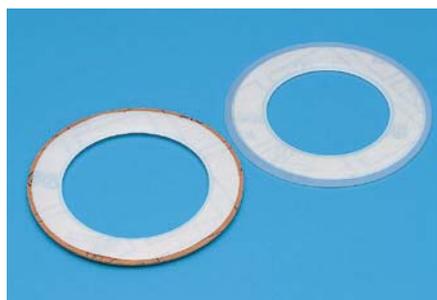


図3 PTFE系ガスケット

#### 4.2.2 種類と使用上の注意

PTFE打ち抜きガスケットとしては、純PTFEを用いたTOMBO No.9007「ナフロン®ガスケット」、およびコールドフロー性や圧縮クリープ性を改善するために各種充填材を配合したTOMBO No.9007-GL, -SC, -LC などがあり、適用流体・温度・圧力などによって選定します。

また、TOMBO No.9007-SC, -LCよりも耐薬品性・耐熱性・シール性を改良したTOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」を使用することで、使用条件別に複数のガスケットが使われていた石油化学プラントなどで、ガスケット種の統一化が可能となり誤装着防止やガスケット管理の簡素化にもなります。

詳しい製品内容は本報TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」に記載しています。

TOMBO No.9010「ナフロン®クッションガスケット」も数種類のPTFE被覆形状と中芯がありますので、弊社カタログ「TOMBO BRAND ガスケット」をご参照の上、最適な製品を選定ください。これらの「ナフロン®ガスケット」は、いずれもフローや圧縮破壊を起こす恐れがあるので、許容面圧以上に締め付けないようにする必要があります。

#### 4.3 ゴム系ガスケット

##### 4.3.1 構造と特徴

ゴム系ガスケットとしては、各種ゴム材料を成形加工したゴムOリング、ゴムシート打抜きガスケットなどがあります。これらのゴム系ガスケットは、柔らかくてなじみが良いので、低面圧でもガスシール性が良好という特長があります。しかし、高圧の流体をシールするためには強度が不十分で、また使用可能流体と温度がゴムの種類によって著しく異なるため、ゴムの選定には注意が必要です。

##### 4.3.2 パーフロロOリング

従来、耐薬品性と耐熱性の良いゴム材料としてふっ素ゴムが知られていましたが、この性能をさらに改良した超高性能ふっ素ゴムともいえるパーフロロゴムが開発され、多くの用途向けに種々の製品が上市されています。

このゴムは、炭素・ふっ素・酸素の原子のみ

からなる化学構造を持つため、耐薬品性・耐プラズマ性が優れ、主に半導体・液晶パネル製造装置の中で使われています。さらに、300℃を超える耐熱性やほとんどすべての流体に使用することができるという耐薬品性を活かして、化学プラントでも用いられています。

#### 4.4 膨張黒鉛系ガスケット

##### 4.4.1 構造と特徴

膨張黒鉛系ガスケット（図4）は、天然の黒鉛を薬品および熱で処理して得られる膨張黒鉛のシートを単体あるいは金属製補強板と組み合わせたあと、所定形状に打ち抜いたガスケットです。膨張黒鉛は極低温から高温まで温度の影響による性能の低下がほとんどなく、さらに耐薬品性・柔軟性・耐クリープ特性面からもガスケットとして優れた材料です。このため、膨張黒鉛系ガスケットはLNGなどの超低温配管で多く使われています。

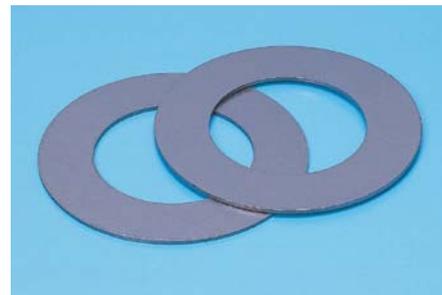


図4 膨張黒鉛系ガスケット

##### 4.4.2 種類と使用上の注意

弊社の膨張黒鉛系ガスケットの種類としては、シート単体のTOMBO No.1200「グラシール®ガスケット」、爪立てSUS鋼板、SUS304平板、SUS316平板と組み合わせたTOMBO No.1210-A「グラシール®ガスケットA」、TOMBO No.1215「グラシール®ガスケット」、TOMBO No.1215-A「グラシール®ガスケットA」があります。SUS316の爪立て鋼板と組み合わせたTOMBO No.1210-A「グラシール®ガスケットA」は、爪高さが低いいためフランジへのダメージが少ない、接着剤の劣化や溶出による恐れがない、機械的強度が高いため大口径の製作が可能という特長を有しています。

なお、膨張黒鉛系ガスケットは表面に傷がつきやすいので取り扱いの際に注意する必要があります。また、酸化性酸・塩、一部のハロゲン化合物には使用できません。

#### 4.4.3 エビロン®ガスケット

エビロン®ガスケットは、ゴムのみでできているTOMBO No.9013-EP「エビロン®ガスケットEP」と、接液部をPTFEで被覆したTOMBO No.9013「エビロン®ガスケット」の2種類の製品があります。このうちPTFE被覆品（図5）は、PTFEの優れた耐薬品性・耐汚染性とゴムのなじみ易さを併せ持った製品で、上水・純水ライン用の樹脂フランジなどの強く締め付けることができない配管に使用されます。また、次亜塩素酸濃度の高い電解槽や食品用途などでも使われ、今後多方面での利用が期待されています。



図5 エビロンガスケット (PTFE 被覆品)

### 4.5 織布系ガスケット

#### 4.5.1 構造と特徴

織布系ガスケット（図6）とは、織布にゴムコンパウンドを塗布し、テープ状やマンホール形状に加工したガスケットテープやマンホールガスケットのことをいいます。このガスケットは、排気ガスのダクトやマンホールなどのように、



図6 織布系ガスケット

フランジの口径が大きく歪みがあったり、高い締付面圧がとれない用途に最適です。ただし、気密性が不十分なため、多少の漏れが許容されるところに使用ください。

#### 4.5.2 種類

基材となる織布には、ガラスクロスやセラミッククロスなどが使われています。織布の種類や構造によって最高使用温度が異なりますので、当社の使用温度別推奨品を表1に示します。

表1 標準推奨マンホールガスケット

最高使用温度	マンホールガスケットの種類
400℃	TOMBO No.1374 NA マンホールガスケット
600℃	TOMBO No.1400-TH スーパーマンホールガスケット TH
800℃	TOMBO No.1400-ST スーパーマンホールガスケット ST

### 4.6 うず巻形ガスケット

#### 4.6.1 構造と特徴

ボルテックス®ガスケットは、配管用・機器用として多くのプラントで幅広く使用されているうず巻形ガスケットです（図7）。構造は、フープといわれる金属製薄帯板とフィラーといわれる非金属材料のシール材を交互にうず巻き状に巻き上げ両端を溶接した製品です。配管用には、本体の変形防止やセンタリングなどの目的で金属製の内・外輪を付けて使われることが一般的です。この製品は、このような構造上の特長から高温高圧・極低温・熱サイクルなどのある厳しい条件でも優れたシール性を発揮する高性能なガスケットです。



図7 うず巻形ガスケット

#### 4.6.2 種類

ボルテックス®ガスケットは、膨張黒鉛をフィ

ラーとして使用した製品が中心となっています。当製品は酸化雰囲気では450℃以上では使用できませんので、この条件にはマイカペーパーと酸化防止処理をした膨張黒鉛を組み合わせたGS、GM、GHシリーズの製品を使用します。

また、NAフィラーを用いた製品、さらに耐薬品性に優れたPTFEフィラーを使った製品もあります。

#### 4.6.3 製品番号と仕様

ボルテックス®ガスケットは、各種の形状・フィラーの種類・金属の種類組み合わせにより製品番号が決められています。なお、製品番号の付け方は弊社カタログ「TOMBO BRAND ガスケット」を参照ください。

#### 4.7 メタルジャケットガスケット

##### 4.7.1 構造と特徴

メタルジャケットガスケットは、耐熱性の高い無機質のクッション材を中芯とし、それを金属薄板で被覆したセミメトリックガスケットです。主に熱交換器、圧力容器、塔槽類、機器、バルブに用いられます。この製品は、無機材料を金属で被覆する構造のため耐熱性が高く、熱交換器のように10数mm程度の幅の狭い溝に使用することができます。また、メタルソリッドガスケットなどの金属ガスケットに比べると低い面圧でシールが可能です。逆に完全なガスシールが難しく、微少な漏れも許容できない場合は表面にグラシール®テープを貼った製品をご利用ください。

##### 4.7.2 熱交換器用ガスケット

熱交換器用のガスケット（図8）としては、通常のリング状以外に、熱交換器の仕切板の形状に一致したパスが設けられたガスケットが必要

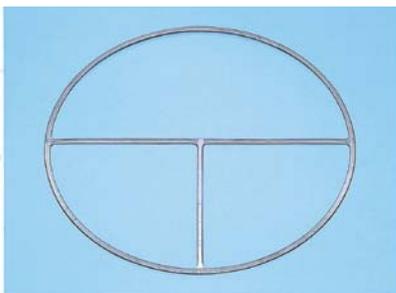


図8 熱交用メタルジャケットガスケット (HE8)

になります。そこで、この形状に対応して弊社では形状記号HE-1～28 (⊖, ⊕, ⊖, ⊕など) 決めていますので、注文の際にはこの記号と各部寸法を指示してください。

#### 4.8 カンプロファイルガスケット

##### 4.8.1 構造と特徴

金属リングの両面に特殊に設計した溝を同心円状に施し、その表面に柔軟性に優れた膨張黒鉛やPTFEを貼り合わせた構造のガスケット（図9）です。



図9 カンプロファイルガスケット  
※表層材の一部を切り除いた写真です

表面に貼った膨張黒鉛やPTFEがフランジ面と馴染むことで低締付力でもシールができます。メタルジャケットと同様にマルチパスタイプの熱交換器や塔槽類などにも使用できます。

詳しい製品内容は本報TOMBO No.1891「カンプロファイルガスケット」に記載しています。

#### 4.9 リングジョイントガスケット

##### 4.9.1 構造と特徴

リングジョイント（図10）は、鍛造により円筒リング状にした軟鋼・ステンレス鋼などから切削加工により製作したガスケットです。代表的な断面形状としては、断面が八角形のオクタゴナル形と、楕円形のオーバル形があります。



図10 リングジョイントガスケット

このガスケットは、石油精製プラントなどの高圧の配管・容器の継手に使用するもので、V形の溝のついたフランジに用います。

#### 4.9.2 種類

フランジのサイズおよび圧力レイティング別使用するリングジョイントおよび溝のサイズが国際的に決められており、これをリングNoと言います。このリングNoに対応する寸法はASME規格\*またはJPI規格の中で定められており、リングNoによっては微妙に数値の異なる場合もありますが、実用上はどちらの規格の製品を使用しても問題ありません。

\* ASME規格：アメリカ機械工学会規格

#### 4.9.3 材質と硬度

リングジョイントに用いる金属の材質は使用流体およびフランジの材質に合わせて決定します。当社では、従来のJIS材に加え、原料の調達先を広げることにより、海外プラントで使われるASTM材も主要材料については用意できるようになりました。

また、フランジの変形を防ぐおよびシール性を確保するために、ガスケットの硬度は常にフランジの硬度よりも低くなるように設定する必要があります。弊社では材質により上限硬度を設定しています。配管設計上この上限値よりも著しく低い硬度の製品を要求されることもあります。これはJPI規格の中でも述べられているように、熱処理により金属組織が粗大化したり破壊されたりして思わぬ欠陥が生じることがあるので、注意が必要です。

#### 4.10 編組パッキン

##### 4.10.1 構造と特徴

バルブやポンプなどの軸の貫通する箇所に用いるパッキンを入れる箱をスタフィングボックスといい、この中に詰めて漏れを止める役目をするパッキンをグランドパッキンと言います。このパッキンとしては各種繊維を編組し、潤滑剤を含浸させた後、ロールで断面が角形となるように加工した紐状の編組パッキン(図11)が主流となっています。また、この紐状の製品を所定寸法にカットし、金型でリング状に成形し

た製品もあります。

なお、この編組パッキンには、このような動的シールだけではなく、その柔軟性や高圧縮性を活かして、炉のドアシールのような静的シールとして使われることもあります。



図11 編組パッキン

バルブと回転機器用パッキンの使用用途と要求事項について表2に示します。

表2 使用用途と要求事項

用途	要求事項	許容漏れ量
バルブ	緻密	実用上0
回転機器	柔軟 摩耗に強い 自己潤滑性	漏れを一定量に コントロール

##### 4.10.2 編組方法

パッキンの編組方法のうち、「八編み」は数本の糸を束ねたヤーンを八本使って編み上げたパッキンで、全体として空隙が多く柔らかい構造で潤滑剤の含浸・塗布が容易です。「八編み」は太くなるとパッキンの表面が平滑にならないので、バルブ用・回転機器用ともに主に小口径サイズに使用されます。

「袋編み」は、中芯の回りを管状に編み上げる編み方で、組織が緻密で強度も大きいため、主にバルブ用の大口径サイズに使われます。

「格子編み」はすべてのヤーンが必ず中心を通る編み方で、18、20、36本のようにたくさんのヤーンで編み上げられています。このため、サイズが大きくなってもパッキンの表面が平滑になり、またパッキンの表面が摩損しても、パッキン全体がバラバラになりにくいため、主に回転機器用の大口径サイズに用いられます。

#### 4.10.3 パッキンの設計と取り扱い上の注意

パッキンの性能を示す指標としては $\mu k$ 値があり、これは、パッキンの締付面圧がシステムの摺動抵抗に変わる比率を示す係数です。 $\mu k$ 値については、後掲の参考文献「パッキンの基本事項」を参照ください。

また、高温高圧用パッキンの推奨リング数と締付面圧、パッキンの一般的な取り扱い上の注意事項については弊社カタログ「TOMBOBRAND パッキン」を参照ください。

### 5. おわりに

多岐にわたるシール材について、弊社製品を中心に紹介いたしました。紙面の都合などで十分説明できなかつたところもありますが、ユー

ザー殿のシール材に関する理解の一助となれば幸いです。

本製品に関するお問い合わせは基幹産業事業本部基幹製品事業部までお願いいたします。

#### 弊社製品カタログ・資料

「TOMBOBRAND ガasket」

「TOMBOBRAND パッキン」

「ゴムOリング」

「エラストマー製品」

「トンボブランド 全製品ガイド」

「トンボブランドパッキン・ガasket技術手帳」

\* TOMBOはニチアス(株)の登録商標または商標です。

\* ®が付された製品名はニチアス(株)の登録商標です。

【参考文献】

# ガスケットの基本事項

## ■ ガスケットの締付基準

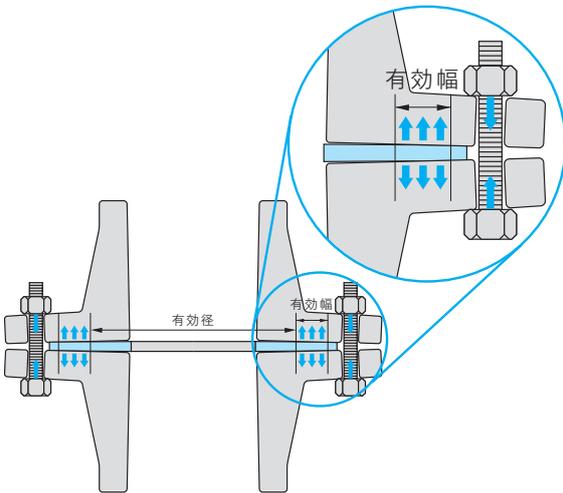
ガスケットを適正な方法、力で締め付けることは、安全にご使用頂くために大変重要なことです。  
 内部流体をシールするために必要な締付力は「JIS B 8265(圧力容器の構造—一般事項)」に規定されている “Wm1”、“Wm2” という数値が一般的に目安として使用されています。  
 しかし流体の種類やご使用条件によっては、この“Wm1”、“Wm2” で計算される締付力では不足することがあるため、ニチアスでは更に“Wm3”という数値を設定しています。  
 ガスケットを締め付ける際は、“Wm1”、“Wm2”、“Wm3”の中で一番大きい数値以上の力で締め付ける必要があります。

## ■ 締付計算における考え方

～ガスケットの有効径、有効幅～

フランジは、ボルトの締め付けや内圧の作用により、図のように若干のたわみ(フランジローテーション)が生じ、凸状に膨らんだ形をしています。  
 そのため、ガスケットにかかる面圧は、外径側が強く、内径側が弱いことになり、内部流体はガスケットの中央部まで浸透してくるとされています。このことを考慮したものが、ガスケット有効径、有効幅です。

- ガスケット有効幅とは：  
実際にシールしている部分のガスケット幅
- ガスケット有効径とは：  
内部流体が浸透してきている所の径



## ■ ガスケットの有効径、有効幅の求め方

- まずは、ガスケットの基本幅(b<sub>0</sub>)を考えます。  
 ガスケット基本幅は、ガスケット座の形状により異なりますが、一般的にガスケット接触幅の半分となります。  

$$b_0 = \text{ガスケット接触幅} / 2$$
- ガスケット有効幅(b)  
 ガスケットの基本幅を目安に、有効幅を次式により求めます。  

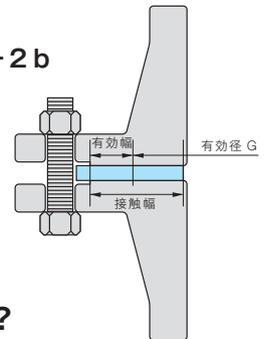
$$b_0 \leq 6.35 \text{ mm のとき } b = b_0$$

$$b_0 > 6.35 \text{ mm のとき } b = 2.52 \sqrt{b_0}$$

- ガスケット有効径(G)  
 ガスケットの基本幅を目安に、有効径を次式により求めます。  

$$b_0 \leq 6.35 \text{ mm のとき } G = \text{ガスケット接触面の平均径}$$

$$b_0 > 6.35 \text{ mm のとき } G = \text{ガスケット接触面の外径} - 2b$$



## ■ Wm1、Wm2、Wm3とは？

- Wm1とは、内圧でフランジが開かないようにするために必要な最小締付力[N]のことで、次式で計算されます。

$$Wm_1 = H + Hp$$

H: 内部圧力により、フランジを開こうとする力(H)…  
 この力をエンドフォース(内圧反力)と呼びます

$$H = \frac{\pi}{4} G^2 P$$

Hp: 内部圧力Pがあるとき、この流体をシールするのに必要な圧力

$$Hp = 2\pi bGmP$$

Hpは、ガスケット有効面積に対し、内部圧力Pのm(ガスケット係数)倍となり、安全を持たせる意味で、通常2倍したものをHpとして計算する。  
 まとめると…

$$Wm_1 = H + Hp = \frac{\pi GP}{4} (G + 8bm)$$

- Wm2とは、浸透漏れ、接面漏れが生じないようにガスケットを締め付けるのに必要な最小締付力[N]のことで、次式で計算されます。

$$Wm_2 = \pi bGy$$

- Wm3とは、ガスケットの接触面積を加味した最小締付力[N]で、次式で計算されます。

$$Wm_3 = \sigma_3 Ag$$

P = 内圧 [MPa]  
 b = ガスケット有効幅 [mm]  
 G = ガスケット有効径 [mm]  
 m = ガスケット係数 [-] (モレがない最小限の有効締付圧力と内圧の比)  
 y = 最小設計締付圧力 [N/mm<sup>2</sup>]  
 σ<sub>3</sub> = 最小締付面圧 [N/mm<sup>2</sup>]  
 Ag = ガスケットの接触面積(投影面積) [mm<sup>2</sup>]

## ■ ガasketの締付力

ガスケットの締付力は、「Wm<sub>1</sub>、Wm<sub>2</sub>、Wm<sub>3</sub>」のうち、最大のものとしてください。ただし、圧縮破壊を防ぐため、許容締付面圧以下とする必要があります。



## ■ 締付トルクの計算

Wm<sub>1</sub>、Wm<sub>2</sub>、Wm<sub>3</sub>のうち最大のものを「Wmax」からボルトの締付トルクが計算されます。

$$T = \frac{1}{1000} K \frac{W_{max}}{n} D$$

T = ボルトの締付トルク [N・m]  
 K = トルク係数[-] (通常0.20とする)  
 n = ボルト数[-]  
 D = ボルトの外径[mm]

## ■ JIS B 2251-2008 フランジ継手締付け方法の紹介

ボルトの締め付け方法として、対角位置にあるボルトを順番に締め付けていく“対角締め”が広く採用されていますが、2008年、JIS B 2251 にジョイントシートおよび、うず巻形ガスケットのフランジ継手締付方法が制定されましたので、以下にご紹介いたします。

### <はじめに>

ガスケットは偏心しないようにガスケット座に正しく装着し、片締めが生じないようにして下さい。また、締付トルクの管理にはトルクレンチを用いてください。

### <仮締付け>

フランジのボルト本数が8本以下の場合は下記の手順に従い、仮締付を行う。ボルト本数が12本以上の場合は表1に従い、仮締付の対象となるボルトを選択し、同様に締付ける。

- ① 図1のように、対角位置にあるボルトを順番に締め付ける。
- ② 締付トルクは段階的に増加させ、(例えば目標締付トルクの10% → 20% → 60% → 100%)均等に締め付ける。
- ③ フランジ面間の隙間をノギスなどで対角に4箇所測定し、片締めしていないか確認する。

※うず巻形ガスケットの場合、仮締付けの最後に、目標締付トルクの50%で時計回りに1周締め付ける(片締め防止)。

※目標締付トルクの設定  
 ボルトが8本以下：指定された締付トルクの100%  
 ボルトが12本以下：指定された締付トルクの110%

図1. 対角締め手順

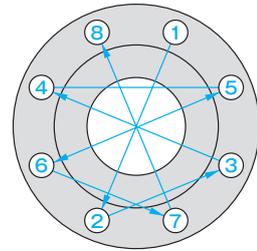


表1. ボルトの選択基準

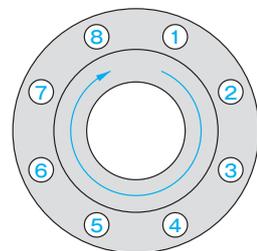
フランジボルトの本数	選択基準
12本以上、24本以下	90度離れて等間隔に位置する4本のボルト
24本を越える	2組の90度離れて等間隔に位置する4本のボルトと、その組のボルトとはそれぞれ45度離れた4本のボルト(計8本)

### <本締め付け>

- ① フランジボルトの本数が4本の場合は、目標締付トルク100%の締付トルクで対角締めして締め付ける。
- ② フランジボルトの本数が8本以上の場合は下表に記載した回数で、時計回りに周回して締め付ける。

フランジの呼び径	周回数
~ 250A	4周
250A以上	6周

図2. 時計回り締め付け



### <増締め>

増締めが必要な場合は、本締め付け終了から4時間以上経過してから本締め付けと同じ手順で1~2周締め付ける。

ガスケット係数と最小設計締付圧力

ガスケットの種類			ガスケット係数 <sup>(1)</sup> m	最小設計締付圧力 <sup>(1)</sup> y N/mm <sup>2</sup>	最小締付面圧σ3 <sup>(2)</sup>		許容締付面圧 <sup>(1)</sup> N/mm <sup>2</sup>
					水・油系流体 N/mm <sup>2</sup>	ガス系流体 N/mm <sup>2</sup>	
セルフシールガスケット (Oリング, 金属, ゴム, その他セルフシーリングとみなされるもの)			0.00	0.00	-	-	-
ゴム打抜きガスケット		TOMBO No.1050 (HS75>)	0.50	1.40	1.50	2.00	14.7
		TOMBO No.1050 (HS75≤)	1.00	1.40	2.00	2.90	14.7
	(布入り)	TOMBO No.1051	1.25	2.80	2.90	- <sup>(4)</sup>	14.7
非石綿 ジョイントシート	(0.8t)	TOMBO No.1995, 1993	3.50 <sup>(*)</sup>	44.8 <sup>(*)</sup>	14.7 <sup>(3)</sup>	34.3	294.2 <sup>(*) (5) (6)</sup>
	(1.5t)	TOMBO No.1995, 1993	2.75 <sup>(*)</sup>	25.5 <sup>(*)</sup>	14.7 <sup>(3)</sup>	34.3	196.1 <sup>(*) (5) (6)</sup>
	(3.0t)	TOMBO No.1995, 1993	2.00 <sup>(*)</sup>	11.0 <sup>(*)</sup>	14.7 <sup>(3)</sup>	- <sup>(4)</sup>	147.1 <sup>(*) (5) (6)</sup>
高温用シートガスケット	(0.8t)	TOMBO No.1120	3.50 <sup>(*)</sup>	44.8 <sup>(*)</sup>	14.7	34.3	294.2 <sup>(*) (5) (6)</sup>
	(1.5t)	TOMBO No.1120	2.75 <sup>(*)</sup>	25.5 <sup>(*)</sup>	14.7	34.3	196.1 <sup>(*) (5) (6)</sup>
	(3.0t)	TOMBO No.1120	2.00 <sup>(*)</sup>	11.0 <sup>(*)</sup>	14.7	- <sup>(4)</sup>	98.0 <sup>(*) (5) (6)</sup>
プロセス用シートガスケット	(1.0t)	TOMBO No.1133	3.50	44.8	14.7	34.3	150
	(1.5t, 2.0t)	TOMBO No.1133	2.75 <sup>(*)</sup>	25.5 <sup>(*)</sup>	14.7	34.3	150 <sup>(*)</sup>
	(3.0t)	TOMBO No.1133	2.00 <sup>(*)</sup>	11.0 <sup>(*)</sup>	14.7	- <sup>(4)</sup>	150 <sup>(*)</sup>
グラシール ガスケット	(0.8t)	TOMBO No.1200	2.00 <sup>(*)</sup>	26.0 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	170.0 <sup>(*)</sup>
	(1.6t)	TOMBO No.1200	2.00 <sup>(*)</sup>	26.0 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	106.0 <sup>(*)</sup>
	(3.2t)	TOMBO No.1200	2.00 <sup>(*)</sup>	26.0 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	79.0 <sup>(*)</sup>
	(0.8t)	TOMBO No.1215, 1210	2.00 <sup>(*)</sup>	29.4 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	294.0 <sup>(*)</sup>
	(1.6t)	TOMBO No.1215, 1210	2.00 <sup>(*)</sup>	29.4 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	167.0 <sup>(*)</sup>
	(3.2t)	TOMBO No.1215, 1210	2.00 <sup>(*)</sup>	29.4 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	98.0 <sup>(*)</sup>
膨張黒鉛貼波形メタルガスケット		TOMBO No.1880-GR	2.00 <sup>(*)</sup>	26.0 <sup>(*)</sup>	14.7	39.2	166.0 <sup>(*)</sup>
うず巻形ガスケット	(NA)	TOMBO No.1804-NAシリーズ	3.00	68.9	34.3	78.4	294.2
	(グラシール)	TOMBO No.1804-GRシリーズ	3.00	68.9	29.4	39.2	294.2
	(ナフロン)	TOMBO No.9090シリーズ	3.00	68.9	29.4	39.2	294.2
	(高温用)	TOMBO No.1806-GM, GS, GHシリーズ	3.00	68.9	34.3	78.4	294.2
	(グラシール)	TOMBO No.1809シリーズ	3.00	58.8 <sup>(*)</sup>	-	29.4~49.0 <sup>(7)</sup>	294.2
カンプロファイルガスケット		TOMBO No.1891-GR, TF	2.25 <sup>(*)</sup>	15.2 <sup>(*)</sup>	29.4	39.2	450 <sup>(*)</sup>
平形メタルジャケットガスケット	(軟鋼)	TOMBO No.1841-SS	3.75	52.4	39.2	101.4	-
	(ステンレス)	TOMBO No.1841-304/-316他	3.75	62.1	49.0	120.4	-
	(銅)	TOMBO No.1841-Cu	3.50	44.8	34.3	76.2	-
	(アルミニウム)	TOMBO No.1841-Al	3.25	38.0	29.4	58.8	-
波形メタルジャケットガスケット	(軟鋼)	TOMBO No.1861-SS	3.00	31.0	-	-	-
	(ステンレス)	TOMBO No.1861-304/-316他	3.50	44.8	-	-	-
	(銅)	TOMBO No.1861-Cu	3.25	38.0	-	-	-
	(アルミニウム)	TOMBO No.1861-Al	2.50	20.0	-	-	-
リングジョイントガスケット	(純鉄)	TOMBO No.1850-C-D/-V-D	5.50	124.2	-	-	-
	(軟鋼)	TOMBO No.1850-C-S/-V-S	5.50	124.2	-	-	-
	(F5)	TOMBO No.1850-C-F5/-V-F5	6.00	150.3	-	-	-
	(ステンレス)	TOMBO No.1850-C-304/-C-316 TOMBO No.1850-V-304/-V-316 他	6.50	179.3	-	-	-
P T F E 打抜きガスケット	(1.0t)	TOMBO No.9007	3.50	24.5	10.8	19.6	39.2
	(1.5t)	TOMBO No.9007	3.20	22.5	10.8	19.6	39.2
	(2.0t)	TOMBO No.9007	3.00	19.6	10.8	14.7	39.2
	(3.0t)	TOMBO No.9007	2.50	19.6	10.8	14.7	39.2
	(1.0t)	TOMBO No.9007-G20	3.50	24.5	12.7	24.5	49.0
	(1.5t)	TOMBO No.9007-G20	3.20	22.5	12.7	24.5	49.0
	(2.0t)	TOMBO No.9007-G20	3.00	19.6	12.7	19.6	49.0
	(3.0t)	TOMBO No.9007-G20	2.50	19.6	12.7	19.6	49.0
	(1.0t)	TOMBO No.9007-LC	3.50	24.5	14.7	-	-
	(1.5t)	TOMBO No.9007-LC/-SC	3.20	22.5	14.7	-SC 29.4	-SC 58.8
	(2.0t)	TOMBO No.9007-LC/-SC	3.00	19.6	14.7	-LC 24.5	-LC 49.0
	(3.0t)	TOMBO No.9007-LC/-SC	2.50	19.6	14.7	-	-
P T F E 打抜きガスケット	(3.0t)	TOMBO No.9007-GL/-FD	2.50	19.6	19.6	-GL 14.7 -FD -	39.2
	(2.0t)	TOMBO No.9007-LP	3.00	19.6	19.6	14.7	29.4
	(1.0t, 1.5t)	TOMBO No.9096-SGM	2.50	19.6	19.6	39.2	117.6 <sup>(*)</sup>
	(2.0t, 3.0t)	TOMBO No.9096-SGM	2.50	19.6	19.6	39.2	78.4 <sup>(*)</sup>
P T F E 包みガスケット		TOMBO No.9010-NA-A, AS-5.6, 7.8	3.50 <sup>(*)</sup>	14.7 <sup>(*)</sup>	9.8	14.7	29.4 <sup>(*)</sup>
		TOMBO No.9010-NA-B	4.00 <sup>(*)</sup>	19.6 <sup>(*)</sup>	14.7	19.6	29.4 <sup>(*)</sup>
		TOMBO No.9010-NA-A, AS-9	3.50 <sup>(*)</sup>	19.6 <sup>(*)</sup>	14.7	19.6	39.2 <sup>(*)</sup>

注(1) JIS B 2205 (1991), JIS B 2206 (1995), JPI-7R-91-2003およびJPI-7S-81-2005による。ただし、(\*)印の値はニチアスで設定した。

(2) ニチアス実験データによる。

(3) 蒸気の場合は、締付面圧29.4 N/mm<sup>2</sup> (\*) 以上を推奨する。

(4) ガス系流体には勧めない。

(5) ガスケットペースト併用時の許容締付面圧は68.6 N/mm<sup>2</sup> (\*) とする。

(6) 防食ペースト併用時の許容締付面圧は58.8 N/mm<sup>2</sup> (\*) とする。

(7) TOMBO No.1809シリーズのσ3はクラス150: 29.4 (N/mm<sup>2</sup>)、クラス300: 39.2 (N/mm<sup>2</sup>)、クラス600: 49.0 (N/mm<sup>2</sup>)

## パッキンの基本事項

### ■ パッキンの摺動抵抗

パッキンは摺動抵抗を表す指標として、 $\mu k$ 値という値があります。この $\mu k$ 値は、実験により以下計算式によって求められ、各パッキンの $\mu k$ 値を表に示します。

(1) ステム往復動抵抗

$$F = \mu \cdot k \cdot \pi \cdot D \cdot H \cdot P$$

(2) ステム回転トルク

$$T = \frac{F \cdot D}{2} \times \frac{1}{1000}$$

$$= \frac{\mu \cdot k \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H \cdot P}{2} \times \frac{1}{1000}$$

ここに、F：ステム往復動抵抗(N)

T：ステム回転トルク(N・m)

$\mu$ ：摩擦係数

k：側圧係数

D：ステム径(mm)

H：パッキン高さ(mm)

P：パッキン締付面圧(N/mm<sup>2</sup>)

高温用パッキンの $\mu k$ 値

パッキンの種類	$\mu k$ 値
TOMBO No.2205-P+TOMBO No.2250 低トルク組合せグラシールパッキン	0.03~0.04
TOMBO No.2205-L+TOMBO No.2930 組合せグラシールパッキン	0.05~0.07
TOMBO No.2280 スーパーシールパッキン	0.03~0.04
TOMBO No.2920 高温用バルブパッキン	0.03~0.04

注 実験では、 $\mu k$ （摩擦係数と側圧係数の積）という形で求まりますが、この値は、パッキンサイズ、リング数、締付力の大小、ステム径、ステムの仕上げ精度、温度、内部圧力等多くの因子に左右されるため、絶対値は存在しません。アクチュエーター等の設計の際には、十分な安全を考慮してください。