

全面形ガスケットを用いるアルミニウム 合金製全面座管フランジの計算基準

Basis for calculation of aluminium alloy
pipe flanges with full face gasket

1. 適用範囲 この規格は、アルミニウム及びアルミニウム合金製の全面形ガスケットを用いるボルト締め円形管フランジ（以下、フランジという。）の応力計算基準、内圧作用時にガスケット面に働く合計荷重（以下、ガスケット反力という。）の計算基準及び設計圧力における所要フランジ板厚の計算基準について規定する。

備考1. この規格において、計算に用いる荷重は、ガスケットを締め付けるとき及び内圧力が加わったときにフランジに作用する荷重であり、次に示す荷重は、考慮に入れない。

- (1) フランジを据え付けるときに働く強制力。
 - (2) 使用中に接続する配管系から伝えられる外力。
 - (3) 使用中にフランジ内部に生じる熱応力。
 - (4) 使用中にフランジとボルトとの間の熱膨張差によって生じる応力。
2. この規格は、ガスケット締め付け時及び内圧作用時のいずれの場合でも、ボルト穴中心円の外側でガスケットが一对のフランジ面によって圧縮されている場合にだけ適用できる。したがって、全面座フランジであっても、ボルト穴中心円の外側のガスケットが圧縮されていないか、又はフランジ面と接していない場合には、**JIS B 2206** によるのがよい。
3. この規格は、内径、外径及びボルト穴中心円の直径が同一寸法をもつものであれば、材質及び板厚のいかなる組合せのフランジについても使用できる。
4. この規格の引用規格を、次に示す。

JIS B 2206 アルミニウム合金製管フランジの計算基準

JIS B 2241 アルミニウム合金製管フランジの基準寸法

5. この規格の中で { } を付けて示してある単位、数値及び計算式は、従来単位によるものであって、参考として併記したものである。

2. 記号 この規格で用いる記号は、次による。

A : フランジの外径 (mm)

$A_b : n(\pi/4) d_b^2$, 実際に使用するボルトの総有効断面積 (mm^2)

B : フランジの内径 (mm)

$B_1 : 2(D_g^3 - B^3)/3(D_g^2 - B^2)$, フランジ内径とガスケット内径との間のリング状部分に加わる内圧力による荷重の作用位置径 (mm) もし、 $D_g = B$ ならば、 $B_1 = B$ とする。

- b_n : $(A-D_g)/2$, ガスケットの幅 (mm)
 C : ボルト穴の中心円の直径 (mm)
 C_0 : $(A+B)/2$, フランジリング図心の直径 (mm)
 D_g : ガスケットの内径 (mm)
 d_b : ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい方の径 (mm)
 d_B : フランジボルト穴の直径 (mm)
 E_b : ボルト材の縦弾性係数 ($\text{N/mm}^2 \{\text{kgf/mm}^2\}$)
 E_f : フランジ材の縦弾性係数 ($\text{N/mm}^2 \{\text{kgf/mm}^2\}$)
 E_{hi} : ハブ材の縦弾性係数 ($\text{N/mm}^2 \{\text{kgf/mm}^2\}$)
 E_{g0} : ガスケット材の圧縮時縦弾性係数 ($\text{N/mm}^2 \{\text{kgf/mm}^2\}$) (参考 1 参照)
 E_g : ガスケット材の復元時縦弾性係数 ($\text{N/mm}^2 \{\text{kgf/mm}^2\}$) (参考 1 参照)
 E_{Of} : 接続管材の縦弾性係数 ($\text{N/mm}^2 \{\text{kgf/mm}^2\}$)
 g_{Of} : ハブ小径端板厚 (mm)
 g_{li} : ハブ大径端板厚 (mm)
 G^0 : ガスケット締付時のガスケット反力円の直径 (mm)
 G_1^0 : ガスケット締付時のボルト穴中心円の内側部分のガスケット反力円の直径 (mm)
 G_2^0 : ガスケット締付時のボルト穴中心円の外側部分のガスケット反力円の直径 (mm)
 G^P : 内圧作用時のガスケット反力円の直径 (mm)
 G_1^P : 内圧作用時のボルト穴中心円の内側部分のガスケット反力円の直径 (mm)
 G_2^P : 内圧作用時のボルト穴中心円の外側部分のガスケット反力円の直径 (mm)
 h_i : ハブ長さ (mm)
 i : 1, 2, 一対のフランジを表す。
 J_{li} : ハブ—フランジリング接続部のせん断力係数 ($\text{N/mm} \{\text{kgf/mm}\}$)
 J_{2i} : ハブ—フランジリング接続部のせん断力係数 (mm)
 K_{li} : ハブ—フランジリング接続部のモーメント係数 ($\text{N} \{\text{kgf}\}$)
 K_{2i} : ハブ—フランジリング接続部のモーメント係数 (mm^2)
 l_{Ob} : $l_{f1}+l_{f2}+l_g$, ボルト変形域の長さ (mm)
 M^0 : ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm} \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$)
 M_1^0 : ガスケット締付時にボルト穴中心円の内側部分のガスケット反力によって生じるフランジリング断面図心軸周りのモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm} \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$)
 M_2^0 : ガスケット締付時にボルト穴中心円の外側部分のガスケット反力によって生じるフランジリング断面図心軸周りのモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm} \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$)
 M^P : 内圧作用時にフランジに作用するモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm} \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$)
 M_1^P : 内圧作用時にボルト穴中心円の内側部分のガスケット反力によって生じるフランジリング断面図心軸周りのモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm} \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$)
 M_2^P : 内圧作用時にボルト穴中心円の外側部分のガスケット反力によって生じるフランジリング断面図心軸周りのモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm} \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$)
 M_{Bl} : フランジ内径とガスケット内径との間のリング状部分に加わる内圧によるフランジリング断面図心軸周りのモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm} \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$)
 n : ボルトの本数

- P_0 : $(\pi B^2/4) p \{(\pi B^2/4) (p/100)\}$, 内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重 (N {kgf})
 P_1 : $[\pi (D_g^2 - B^2)/4] p \{[\pi (D_g^2 - B^2)/4] (p/100)\}$, フランジ内径とガスケット内径との間のリング状態に加わる内圧力による荷重 (N {kgf})
 P_b^0 : ガスケット締付荷重 (N {kgf})
 p : 設計内圧力 (MPa {kgf/cm²})
 P_{g1}^0 : ガスケット締付時のボルト穴中心円の内側部分のガスケット反力 (N {kgf})
 P_{g2}^0 : ガスケット締付時のボルト穴中心円の外側部分のガスケット反力 (N {kgf})
 P_{g1}^0 : ガスケット締付時のボルト穴内接円内側部分のガスケット反力 (N {kgf})
 P_b : 内圧作用時のボルト荷重 (N {kgf})
 P_g : 内圧作用時のガスケット反力 (N {kgf})
 P_{g1} : 内圧作用時のボルト穴中心円の内側部分のガスケット反力 (N {kgf})
 P_{g2} : 内圧作用時のボルト穴中心円の外側部分のガスケット反力 (N {kgf})
 P_{g1} : 内圧作用時のボルト穴内接円内側部分のガスケット反力 (N {kgf})
 r_g : $D_g/2$, ガスケット内半径 (mm)
 r_{gb} : $(C - d_B)/2$, ボルト穴内接円半径 (mm)
 r_{ci}^0 : ガスケット締付時のフランジの変形を規定する値 (mm) (図 1 参照)
 r_{ci}^p : 内圧作用時のフランジの変形を規定する値 (mm) (図 2 参照)
 t_f : フランジの板厚 (mm)
 t_g : ガスケットの板厚 (mm)
 t_{0f} : 接続管の板厚 (mm)
 θ_i^0 : ガスケット締付荷重によるフランジリングの回転角 (rad)
 θ_i^p : 内圧作用時のフランジリングの回転角 (rad)
 σ_{Hi} : ハブの軸方向応力 (N/mm² {kgf/mm²})
 σ_{Ri} : フランジの半径方向応力 (N/mm² {kgf/mm²})
 $\sigma_{\theta i}$: フランジの周方向応力 (N/mm² {kgf/mm²})
 σ_a : 常温におけるボルト材料の許容引張応力 (N/mm² {kgf/mm²})
 σ_b : 使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 (N/mm² {kgf/mm²})
 σ_f : 使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 (N/mm² {kgf/mm²})
 なお, ガスケット締付時に対しては常温における許容引張応力 (N/mm² {kgf/mm²})
 σ_n : 管又は管状部の材料の使用温度における許容引張応力 (N/mm² {kgf/mm²})
 なお, ガスケット締付時に対しては常温における許容引張応力 (N/mm² {kgf/mm²})

図1 締付けによるガスケットの変形

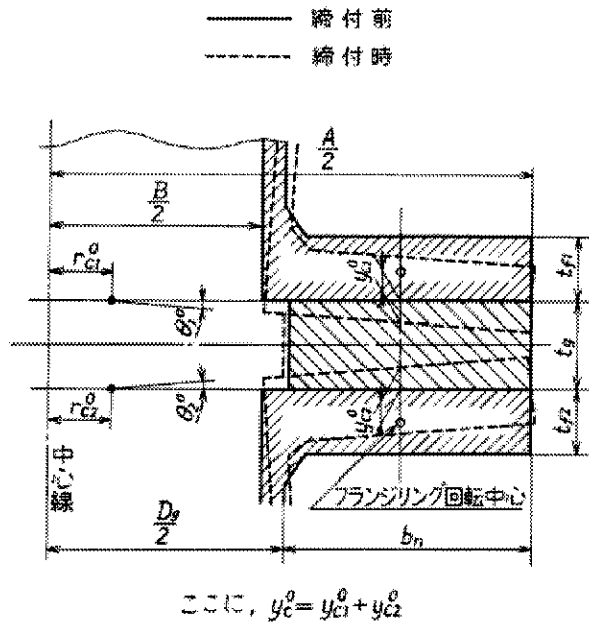
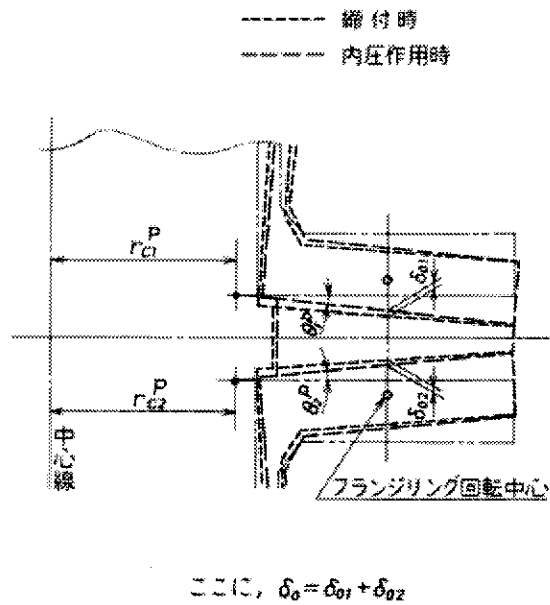


図2 内圧作用時のガスケットの復元



3. ハブフランジリング接続部のモーメント係数 K_{1i} , K_{2i} 及びせん断力係数 J_{1i} , J_{2i} ハブフランジリング接続部のモーメント係数 K_{1i} , K_{2i} 及びせん断力係数 J_{1i} , J_{2i} は, 円すい形断面のハブを, その小径端, 大径端の平均厚さをもつ (矩) 形断面ハブに置き換えた解析から求める (ハブ長さは同じ)。

ハブ下端—フランジリング内径端の接続部のモーメント M_{1i} 及びせん断力 Q_{1i} は, 次による。

$$M_{1i} = K_{1i}\theta_i + K_{2i}p \{M_{1i} = K_{1i}\theta_i + K_{2i}(p/100)\}$$

$$Q_{1i} = J_{1i}\theta_i + J_{2i}p \{Q_{1i} = J_{1i}\theta_i + J_{2i}(p/100)\}$$

ここに

$$\theta_i: \theta_i^0 \text{ 又は } \theta_i^p (i=1, 2)。$$

K_{1i} , K_{2i} , J_{1i} , J_{2i} は, 次による。

$$K_{1i} = [(-a_{41i}\mu_{2i} - a_{42i}\mu_{3i} + a_{44i}\mu_{4i})a_{3i}'' + (a_{31i}\mu_{2i} + a_{32i}\mu_{3i} - a_{34i}\mu_{4i})a_{4i}''] / D_{ei}$$

$$K_{2i} = [(-a_{21i}\Lambda_{6i} - a_{22i}\Lambda_{5i} + a_{24i}\Lambda_{1i})a_{1i}' + (-a_{41i}\mu_{2i} - a_{42i}\mu_{3i} + a_{44i}\mu_{4i})a_{3i}'] / D_{ei}$$

$$J_{1i} = [(a_{41i}\mu_{5i} + a_{42i}\mu_{6i} - a_{43i}\mu_{4i})a_{3i}'' + (-a_{31i}\mu_{5i} - a_{32i}\mu_{6i} + a_{33i}\mu_{4i})a_{4i}''] / D_{ei}$$

$$J_{2i} = [(-a_{21i}\Lambda_{3i} + a_{22i}\Lambda_{2i} - a_{23i}\Lambda_{1i})a_{1i}' + (a_{41i}\mu_{5i} + a_{42i}\mu_{6i} - a_{43i}\mu_{4i})a_{3i}'] / D_{ei}$$

ここに,

$$\Lambda_{1i} = a_{31i}a_{42i} - a_{32i}a_{41i}$$

$$\Lambda_{2i} = a_{31i}a_{43i} - a_{33i}a_{41i}$$

$$\Lambda_{3i} = a_{32i}a_{43i} - a_{33i}a_{42i}$$

$$\Lambda_{4i} = a_{33i}a_{44i} - a_{34i}a_{43i}$$

$$\Lambda_{5i} = a_{34i}a_{41i} - a_{31i}a_{44i}$$

$$\Lambda_{6i} = a_{34i}a_{42i} - a_{32i}a_{44i}$$

$$\mu_{1i} = a_{13i}a_{24i} - a_{14i}a_{23i}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{2i} &= a_{14i}a_{22i} - a_{12i}a_{24i} \\
\mu_{3i} &= a_{11i}a_{24i} - a_{14i}a_{21i} \\
\mu_{4i} &= a_{11i}a_{22i} - a_{12i}a_{21i} \\
\mu_{5i} &= a_{13i}a_{22i} - a_{12i}a_{23i} \\
\mu_{6i} &= a_{11i}a_{23i} - a_{13i}a_{21i} \\
D_{ei} &= \Lambda_{1i}\mu_{1i} + \Lambda_{2i}\mu_{2i} + \Lambda_{3i}\mu_{3i} + \Lambda_{4i}\mu_{4i} + \Lambda_{5i}\mu_{5i} + \Lambda_{6i}\mu_{6i} \\
a_{11i} &= \beta_{0i}[1 - \lambda_i^2 X_i (C_{1i}^2 + C_{3i}^2)] \\
a_{12i} &= 1 - \lambda_i^3 X_i (C_{1i}C_{2i} - C_{3i}C_{4i}) \\
a_{13i} &= \beta_{0i}\lambda_i^2 X_i (2C_{1i}C_{3i}) \\
a_{14i} &= \lambda_i^3 X_i (C_{1i}C_{4i} - C_{2i}C_{3i}) \\
a_{21i} &= \beta_{0i}[1 + \lambda_i X_i (C_{1i}C_{2i} + C_{3i}C_{4i})] \\
a_{22i} &= 0.5[1 - \lambda_i^2 X_i (C_{1i}^2 + C_{3i}^2)] \\
a_{23i} &= -\beta_{0i}\lambda_i X_i (C_{1i}C_{4i} + C_{2i}C_{3i}) \\
a_{24i} &= -\lambda_i^2 X_i C_{1i}C_{3i} \\
a_{31i} &= \beta_{0i}\lambda_i^2 X_i (2C_{1i}C_{3i}) \\
a_{32i} &= -\lambda_i^3 X_i (C_{1i}C_{4i} - C_{2i}C_{3i}) \\
a_{33i} &= -\beta_{0i}\lambda_i^2 X_i (C_{1i}^2 + C_{3i}^2) \\
a_{34i} &= \lambda_i^3 X_i (C_{1i}C_{2i} - C_{3i}C_{4i}) \\
a_{41i} &= -\beta_{0i}\lambda_i X_i (C_{1i}C_{4i} + C_{2i}C_{3i}) \\
a_{42i} &= \lambda_i^2 X_i C_{1i}C_{3i} \\
a_{43i} &= \beta_{0i}\lambda_i X_i (C_{1i}C_{2i} + C_{3i}C_{4i}) \\
a_{44i} &= 0.5\lambda_i^2 X_i (C_{1i}^2 + C_{3i}^2) \\
a_{1i}' &= 2\beta_{0i}^3 D_{0i}[1/(E_{hi}g_{hi}) - 1/(E_{0i}g_{0i})](B^2/4) \\
a_{1i}'' &= 0 \\
a_{2i}' &= 0 \\
a_{2i}'' &= 0 \\
a_{3i}' &= 2\beta_{0i}^3 D_{0i}[1/(E_{hi}g_{hi})](B^2/4) \\
a_{3i}'' &= \beta_{0i}^3 D_{0i}t_{fi} \\
a_{4i}' &= 0 \\
a_{4i}'' &= \beta_{0i}^2 D_{0i} \\
\beta_{0i} &= [12(1-v^2)/(B^2 g_{0i}^2)]^{\frac{1}{4}} \\
\beta_{hi} &= [12(1-v^2)/(B^2 g_{hi}^2)]^{\frac{1}{4}} \\
D_{0i} &= E_{0i}g_{0i}^3/[12(1-v^2)] \\
D_{hi} &= E_{hi}g_{hi}^3/[12(1-v^2)] \\
a_i &= \beta_{hi}h_i \\
\lambda_i &= \beta_{0i}/\beta_{hi} = (g_{hi}/g_{0i})^{\frac{1}{2}} \\
g_{hi} &= (g_{0i} + g_{1i})/2
\end{aligned}$$

$$X_i = (D_{0i} / D_{hi}) [1 / (C_{3i}^2 - C_{li}^2)]$$

$$C_{1i} = \sin \alpha_i$$

$$C_{2i} = \cos \alpha_i$$

$$C_{3i} = \sinh \alpha_i$$

$$C_{4i} = \cosh \alpha_i$$

v: ポアソン比

4. 全面形ガスケットを用いる全面座管フランジの諸量の計算

4.1 ガスケット締付時のフランジの変形及び作用曲げモーメント ガスケット締付荷重によって、一対のフランジリングは、ガスケットを圧縮するとともに回転変形する（図 1 参照）。その変形の状態は、図 1 に示す r_{ci}^0 と θ_i^0 とによって規定される。 r_{ci}^0 と θ_i^0 は、それぞれ次の式によって算出する。

$$r_{ci}^0 = \frac{A}{4} \left\{ \frac{48 \cdot DD_{fi} / [\pi A^4 (E_{g0} / t_g)] + 3 \cdot K_{g4} - 4(C/A) K_{g3}}{2 \cdot K_{g3} - 3(C/A) K_{g2}} \right\}$$

$$\theta_i^0 = \frac{1}{4\pi(E_{g0}/t_g)} \cdot \frac{24 \cdot P_b^0}{3 \cdot A^2 \cdot K_{g2} \cdot \gamma_{ci}^0 - A^3 \cdot K_{g3}}$$

ここに、 $i=1, 2$ (一対のフランジを表す。)

$$K_g = A / D_g$$

$$K_{g2} = (K_g^2 - 1) / K_g^2$$

$$K_{g3} = (K_g^3 - 1) / K_g^3$$

$$K_{g4} = (K_g^4 - 1) / K_g^4$$

$$DD_{fi} = 2\pi E_{fi} \cdot t_{fi}^3 \cdot \ln(A/B) / 12 + \pi B(K_{li} - J_{li} \cdot t_{fi} / 2)$$

上記の計算式は、 $r_{ci}^0 \leq D_g/2$ の場合にだけ適用する。 $r_{ci}^0 > D_g/2$ の場合は、フランジの剛性が不足していることから、フランジリング板厚又はガスケット特性を変更して再計算しなければならない。

フランジに作用する曲げモーメントは、次の式によって算出する。

$$M^0 = P_b^0 \cdot \frac{C - G^0}{2}$$

$$\text{ここに、} \quad G^0 = C_0 - \frac{2(M_1^0 - M_2^0)}{P_b^0}$$

$$M_1^0 = K_0 \left[\frac{R_{14}}{4} - \left(\gamma_c^0 + \frac{C_0}{2} \right) \frac{R_{13}}{3} + C_0 \cdot \gamma_c^0 \cdot \frac{R_{12}}{4} \right]$$

$$M_2^0 = -K_0 \left[\frac{R_{24}}{4} - \left(\gamma_c^0 + \frac{C_0}{2} \right) \frac{R_{23}}{3} + C_0 \cdot \gamma_c^0 \cdot \frac{R_{22}}{4} \right]$$

$$\gamma_c^0 = (\gamma_{c1}^0 + \gamma_{c2}^0) / 2$$

$$K_0 = \frac{24 \cdot P_b^0}{3 \cdot A^2 \cdot K_{g2} \cdot \gamma_c^0 - A^3 \cdot K_{g3}}$$

$$R_{12} = (C/2)^2 - (D_g/2)^2$$

$$R_{13} = (C/2)^3 - (D_g/2)^3$$

$$R_{14} = (C/2)^4 - (D_g/2)^4$$

$$R_{22} = (A/2)^2 - (C/2)^2$$

$$R_{23} = (A/2)^3 - (C/2)^3$$

$$R_{24} = (A/2)^4 - (C/2)^4$$

この M^0 を JIS B 2206 で規定する M に置き換えて、ハブフランジリング接続部の応力を求める。

また、ガスケットをボルト穴中心円で仮想的に二分した状態におけるガスケット反力円の直径及びガスケット反力は、次の式によって算出する。

$$G_1^0 = \frac{4 \cdot \gamma_c^0 \cdot R_{13} - 3 \cdot R_{14}}{3 \cdot \gamma_c^0 \cdot R_{12} - 2 \cdot R_{13}}$$

$$G_2^0 = \frac{4 \cdot \gamma_c^0 \cdot R_{23} - 3 \cdot R_{24}}{3 \cdot \gamma_c^0 \cdot R_{22} - 2 \cdot R_{23}}$$

$$P_{g1}^0 = K_0 \left(\frac{\gamma_c^0 \cdot R_{12}}{2} - \frac{R_{13}}{3} \right)$$

$$P_{g2}^0 = K_0 \left(\frac{\gamma_c^0 \cdot R_{22}}{2} - \frac{R_{23}}{3} \right)$$

ボルト穴内接円内側のガスケット部分に作用する荷重 P_{g1}^0 は、次の式によって算出する。

$$P_{g1}^0 = K_0 \left[\frac{\gamma_c^0 (\gamma_{gb}^2 - \gamma_g^2)}{2} - \frac{\gamma_{gb}^3 - \gamma_g^3}{3} \right]$$

$$\text{ここに, } \gamma_{gb} = (C - d_B)/2$$

$$\gamma_g = D_g/2$$

4.2 内圧作用時のフランジの変形、作用荷重及び作用曲げモーメント 内圧の作用によって、フランジリングは θ_i^0 から更に回転すると同時に、一対のフランジに作用する押し広げ荷重によってフランジ図心間に変位を生じる。その際、ボルトは伸び、圧縮変形しているガスケットは回復する（図 2 参照）。

ボルトの伸び δ_b は、次の式によって算出する。

$$\delta_b = \delta_0 + \frac{C - C_0}{2} (\theta_1^P + \theta_2^P) - \frac{C - C_0}{2} (\theta_1^0 + \theta_2^0)$$

$$= R_b (P_b - P_b^0)$$

ここに、 δ_0 : 内圧による一対のフランジリングの図心間変位。

θ_i^P : 内圧作用時のフランジリングの回転角。

ガスケット締付時は、 $\theta_i^P = \theta_i^0$

$$R_b = \frac{l_{0b}}{A_b \cdot E_b}$$

ボルト穴中心円で仮想的に二分されたそれぞれのガスケットの重心位置における回復量は、次の式によって算出する。

$$\begin{aligned}\delta_{g1} &= \delta_0 - \frac{C_0 - G_1^P}{2}(\theta_1^P + \theta_2^P) + \frac{C_0 - G_1^0}{2}(\theta_1^0 + \theta_2^0) \\ &= R_{g1}(P_{g1}^0 - P_{g1}) \\ \delta_{g2} &= \delta_0 + \frac{G_2^P - C_0}{2}(\theta_1^P + \theta_2^P) - \frac{G_2^0 - C_0}{2}(\theta_1^0 + \theta_2^0) \\ &= R_{g2}(P_{g2}^0 - P_{g2})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ここに, } R_{g1} &= \frac{t_g}{A_{g1} \cdot E_g} \\ R_{g2} &= \frac{t_g}{A_{g2} \cdot E_g} \\ A_{g1} &= \pi \cdot R_{12} \\ A_{g2} &= \pi \cdot R_{22}\end{aligned}$$

内圧作用時のボルト荷重と諸荷重との関係は,

$$P_b = P_0 + P_1 + P_{g1} + P_{g2}$$

したがって、図心間変位 δ_0 は次の式によって算出する。

$$\begin{aligned}\delta_0 &= H \left[P_0 + P_1 - \left(\frac{1}{R_b} \cdot \frac{C - C_0}{2} - \frac{1}{R_{g1}} \cdot \frac{C_0 - G_1^P}{2} + \frac{1}{R_{g2}} \cdot \frac{G_2^P - C_0}{2} \right) (\theta_1^P + \theta_2^P) \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{1}{R_b} \cdot \frac{C - C_0}{2} - \frac{1}{R_{g1}} \cdot \frac{C_0 - G_1^0}{2} + \frac{1}{R_{g2}} \cdot \frac{G_2^0 - C_0}{2} \right) (\theta_1^0 + \theta_2^0) \right]\end{aligned}$$

$$\text{ここに, } H = \frac{1}{(1/R_b) + (1/R_{g1}) + (1/R_{g2})}$$

内圧作用時のフランジリングの変形は、ガスケット締付時の場合と同様に、 r_{ci}^P とフランジリングの回転角 θ^P によって規定される。その r_{ci}^P は、次の式によって算出する。

$$r_{ci}^P = \frac{1}{2} \left(C_0 + \frac{y_c^0 - \delta_0}{\theta^P} \right)$$

$$\begin{aligned}\text{ここに, } y_c^0 &= 2 \left(r_c^0 - \frac{C_0}{2} \right) \theta^0 \\ \theta^0 &= (\theta_1^0 + \theta_2^0) / 2 \\ \theta^P &= (\theta_1^P + \theta_2^P) / 2\end{aligned}$$

θ^P は、次の二元連立一次方程式によって算出する。

$$S_{11} \cdot \theta_1^P + S_{12} \cdot \theta_2^P = S_{01}$$

$$S_{21} \cdot \theta_1^P + S_{22} \cdot \theta_2^P = S_{02}$$

ここに, $i=1, 2$ (一対のフランジを表す。)

$$S_{ii} = DD_{fi} + K_b^P + K_{g1}^P + K_{g2}^P$$

$$S_{12} = S_{21} = K_b^P + K_{g1}^P + K_{g2}^P$$

$$\begin{aligned} S_{0i} = & -P_b^0 \cdot l_c - P_0 \cdot l_B - P_1 \cdot l_{B1} - P_{g1}^0 \cdot l_{g1}^P + P_{g2}^0 \cdot l_{g2}^P \\ & + H(P_0 + P_1) \left(-\frac{l_c}{R_b} + \frac{l_{g1}^P}{R_{g1}} - \frac{l_{g2}^P}{R_{g2}} \right) + (K_b^0 + K_{g1}^0 + K_{g2}^0)(\theta_1^0 + \theta_2^0) \\ & + \pi B \left(\frac{t_{fi}}{2} \cdot J_{2i} - K_{2i} \right) p \\ \{S_{0i} = & -P_b^0 \cdot l_c - P_0 \cdot l_B - P_1 \cdot l_{B1} - P_{g1}^0 \cdot l_{g1}^P + P_{g2}^0 \cdot l_{g2}^P \\ & + H(P_0 + P_1) \left(-\frac{l_c}{R_b} + \frac{l_{g1}^P}{R_{g1}} - \frac{l_{g2}^P}{R_{g2}} \right) + (K_b^0 + K_{g1}^0 + K_{g2}^0)(\theta_1^0 + \theta_2^0) \\ & + \pi B \left(\frac{t_{fi}}{2} \cdot J_{2i} - K_{2i} \right) (p/100) \} \end{aligned}$$

$$l_c = (C - C_0)/2$$

$$l_B = (C_0 - B)/2$$

$$l_{B1} = (C_0 - B_1)/2$$

$$l_{g1}^0 = (C_0 - G_1^0)/2$$

$$l_{g2}^0 = (G_2^0 - C_0)/2$$

$$l_{g1}^P = (C_0 - G_1^P)/2$$

$$l_{g2}^P = (G_2^P - C_0)/2$$

$$K_b^P = -l_c \cdot \frac{H}{R_b} \left[\left(1 - \frac{R_b}{H} \right) \frac{l_c}{R_b} - \frac{l_{g1}^P}{R_{g1}} + \frac{l_{g2}^P}{R_{g2}} \right]$$

$$K_{g1}^P = l_{g1}^P \cdot \frac{H}{R_{g1}} \left[\frac{l_c}{R_b} - \left(1 - \frac{R_{g1}}{H} \right) \frac{l_{g1}^P}{R_{g1}} + \frac{l_{g2}^P}{R_{g2}} \right]$$

$$K_{g2}^P = -l_{g2}^P \cdot \frac{H}{R_{g2}} \left[\frac{l_c}{R_b} - \frac{l_{g1}^P}{R_{g1}} + \left(1 - \frac{R_{g2}}{H} \right) \frac{l_{g2}^P}{R_{g2}} \right]$$

$$K_b^0 = -l_c \cdot \frac{H}{R_b} \left[\left(1 - \frac{R_b}{H} \right) \frac{l_c}{R_b} - \frac{l_{g1}^0}{R_{g1}} + \frac{l_{g2}^0}{R_{g2}} \right]$$

$$K_{g1}^0 = l_{g1}^P \cdot \frac{H}{R_{g1}} \left[\frac{l_c}{R_b} - \left(1 - \frac{R_{g1}}{H} \right) \frac{l_{g1}^0}{R_{g1}} + \frac{l_{g2}^0}{R_{g2}} \right]$$

$$K_{g2}^0 = -l_{g2}^P \cdot \frac{H}{R_{g2}} \left[\frac{l_c}{R_b} - \frac{l_{g1}^0}{R_{g1}} + \left(1 - \frac{R_{g2}}{H} \right) \frac{l_{g2}^0}{R_{g2}} \right]$$

内圧作用時のフランジの回転角 θ^P を確定するための方程式の係数には、内圧によるフランジリングの変形の影響が含まれているため、これを解くためには、収束計算が必要である。

また、上記の計算式は、 $r_{cf} \leq D_g/2$ の場合にだけ適用する。 $r_{cf} > D_g/2$ となる場合は、フランジの剛性が不足していることから、フランジリング板厚又はガスケット特性を変更して再計算しなければならない。

このように確定された r_c^P 及び θ^P に基づいて、内圧作用時のボルト荷重、ガスケット荷重及びそれらの反力円の直径は、次の式によって算出する。

$$P_b = P_b^0 + \frac{\delta_0 + 2l_c(\theta^P - \theta^0)}{R_b}$$

$$P_{g1} = P_{g1}^0 - \frac{\delta_0 - 2(l_{g1}^P \cdot \theta^P - l_{g1}^0 \cdot \theta^0)}{R_{g1}}$$

$$P_{g2} = P_{g2}^0 - \frac{\delta_0 + 2(l_{g2}^P \cdot \theta^P - l_{g2}^0 \cdot \theta^0)}{R_{g2}}$$

$$P_g = P_{g1} + P_{g2}$$

$$G_1^P = \frac{4 \cdot \gamma_c^P \cdot R_{13} - 3 \cdot R_{14}}{3 \cdot \gamma_c^P \cdot R_{12} - 2 \cdot R_{13}}$$

$$G_2^P = \frac{4 \cdot \gamma_c^P \cdot R_{23} - 3 \cdot R_{24}}{3 \cdot \gamma_c^P \cdot R_{22} - 2 \cdot R_{23}}$$

フランジに作用する曲げモーメントは、次の式によって算出する。

$$M^P = P_b \cdot \frac{C - G^P}{2}$$

ここに、

$$G^P = C_0 - \frac{2(M_1^P - M_2^P + M_{B1}) + P_0(C_0 - B) - \pi B(t_f \cdot J_2 - 2 \cdot K_2)p}{P_b}$$

$$\left\{ G^P = C_0 - \frac{2(M_1^P - M_2^P + M_{B1}) + P_0(C_0 - B) - \pi B(t_f \cdot J_2 - 2 \cdot K_2)(p/100)}{P_b} \right\}$$

$$M_1^P = K_0^P \left[\frac{R_{14}}{4} - \left(\gamma_c^P + \frac{C_0}{2} \right) \frac{R_{13}}{3} + C_0 \cdot \gamma_c^P \cdot \frac{R_{12}}{4} \right]$$

$$M_2^P = -K_0^P \left[\frac{R_{24}}{4} - \left(\gamma_c^P + \frac{C_0}{2} \right) \frac{R_{23}}{3} + C_0 \cdot \gamma_c^P \cdot \frac{R_{22}}{4} \right]$$

$$M_{B1} = 2\pi p \left[\frac{C_0[(D_g/2)^2 - (B/2)^2]}{4} - \frac{(D_g/2)^3 - (B/2)^3}{3} \right]$$

$$\left\{ M_{B1} = 2\pi(p/100) \left[\frac{C_0[(D_g/2)^2 - (B/2)^2]}{4} - \frac{(D_g/2)^3 - (B/2)^3}{3} \right] \right\}$$

$$\gamma_c^P = (\gamma_{c1}^P + \gamma_{c2}^P)/2$$

$$K_2 = (K_{21} + K_{22})/2$$

$$J_2 = (J_{21} + J_{22})/2$$

$$t_f = (t_{f1} + t_{f2})/2$$

$$K_0^P = \frac{6(P_b - P_0 - P_1)}{3 \cdot \gamma_c^P (R_{12} + R_{22}) - 2(R_{13} + R_{23})}$$

この M^P を JIS B 2206 で規定する M に置き換えて、ハブフランジリング接続部の応力を求める。

内圧作用時の気密性能を支配するボルト穴内接円内側のガスケット部分に作用する荷重 P_{g1}' は、次の式によって算出する。

$$P_{g1}' = K_0^P \left[\frac{\gamma_c^P (\gamma_{gb}^2 - \gamma_g^2)}{2} - \frac{\gamma_{gb}^3 - \gamma_g^3}{3} \right]$$

5. 所要フランジ板厚及び設計圧力

5.1 ガasket締付荷重 全面形ガasketを用いる管フランジにおいて、ガasket締付荷重は、設計上の限界値とはならないが、以後の計算を進めるに当たりガasket締付荷重を設定する必要がある。ガasket締付荷重の上限値は、内圧の作用によるボルト応力の増加を考慮して次の式によって算出する。

$$P_b^0 = A_b \cdot \sigma_b - \frac{\pi D_g^2}{4} p$$

$$\left\{ P_b^0 = A_b \cdot \sigma_b - \frac{\pi D_g^2}{400} p \right\}$$

ここで、 A_b の値は、JIS B 2241 に示される各呼び径に対して決められた値をとる。

なお、ガasket締付荷重 P_b^0 を大きくとるために、ボルトの総有効断面積 A_b を大きくすることは、フランジの実質的な剛性を低下させるので好ましくない。

この P_b^0 に基づいて、4.1 の諸式から算出する r_{ci}^0 は、次の式を満足しなければならない。

$$\gamma_{ci}^0 \leq D_g / 2$$

$r_{ci}^0 > D_g / 2$ となる場合は、 P_b^0 の値が不足している。ただし、 P_b^0 はボルトの許容応力に基づいて決められているので、更に大きな値をとることはできない。したがって、フランジリング板厚又はガasket特性を変更して再計算しなければならない。

5.2 計算応力の評価

5.2.1 フランジの計算応力 4.1 の M^0 及び 4.2 の M^P を JIS B 2206 で規定する M に置き換えて、ガasket締付時及び使用状態でのフランジ各部の発生応力を求める。フランジの計算応力は次に示す許容値を超えてはならない。

(1) ハブの軸方向応力 σ_H 許容値 $= \sigma_f$ (鋳物フランジ)

$= 1.5\sigma_f$ [鋳物以外のフランジ。ただし、次の(a), (b)に該当するフランジは、(a), (b)による。]

(a) JIS B 2206 の図 1 の(j)のように管の一部をハブとしている一体形フランジ及び一体形フランジと同等とみなされる任意形フランジの場合は、 $1.5\sigma_f$ 又は $1.5\sigma_n$ の小さい方。

(b) JIS B 2206 の図 1 の(g), (h)及び(i)のようにハブを管に溶接した一体形フランジの場合は、 $1.5\sigma_f$ 又は $2.5\sigma_n$ の小さい方。

(2) フランジの半径方向応力 σ_R の許容値 $= \sigma_f$

(3) フランジの周方向応力 σ_T の許容値 $= \sigma_f$

(4) $\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$ の許容値 $= \sigma_f$

(5) $\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$ の許容値 $= \sigma_f$

5.2.2 JIS B 2206 の図 1 の(c), (d)及び(e)のようにハブ付の差込み形フランジを計算する場合には、これに接続する管をハブとして加算してはならない。

5.2.3 JIS B 2206 の図 1 の(d), (e), (j), (k), (l)及び(m)に示すように、管をフランジのガスケット当たり面に近接してフランジに溶接する場合は、溶接部のせん断応力は、管の材料の許容引張応力 (σ_n) の 0.8 倍を超えてはならない。これらのせん断応力は、4.1 の P_b^0 及び 4.2 の P_b を用いて計算する。

5.3 所要フランジ板厚の決定 フランジ板厚を決定するためには、以下の項目が満足されていなければならない。

- (1) 発生応力は、5.2 に規定された応力に関する評価条件を満足すること。
- (2) 4.2 の計算式から算出する r_{ci}^P が設計圧力において、 $r_{ci}^P \leq D_g/2$ であること。
- (3) 設計圧力におけるボルトの応力が、

$$\frac{P_b}{A_b} \leq \sigma_b$$

であること。

参考 1 ガスケットの縦弾性係数

この参考は、本体の規定に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

この規格では、ガスケットの縦弾性係数を用いるが、参考として参考 1 表 1～4 にガスケットの特性を示す。

参考 1 表 1 ガスケットの特性 [石綿ジョイントシート⁽¹⁾]

圧縮応力 σ_g N/mm ² {kgf/mm ² }	圧縮時縦弾性係数 E_{go} N/mm ² {kgf/mm ² }	復元時縦弾性係数 E_g N/mm ² {kgf/mm ² }
4.90 {0.50}	210 {22}	380 {39}
9.81 {1.00}	250 {25}	500 {51}
14.71 {1.50}	310 {32}	630 {65}
19.61 {2.00}	370 {38}	640 {65}
24.52 {2.50}	470 {48}	670 {69}
29.42 {3.00}	500 {51}	790 {80}

注⁽¹⁾ ガスケットは、外径165mm、内径115mm、板厚1.5mm のものである。

参考 1 表 2 ガスケットの特性 [無機質充てん材を含むふっ素樹脂 (PTFE) ⁽²⁾]

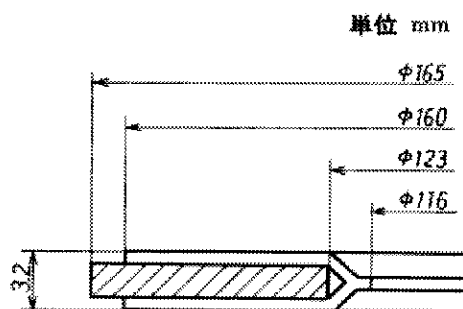
圧縮応力 σ_g N/mm ² {kgf/mm ² }	圧縮時縦弾性係数 E_{go} N/mm ² {kgf/mm ² }	復元時縦弾性係数 E_g N/mm ² {kgf/mm ² }
4.90 {0.50}	310 {31}	470 {48}
9.81 {1.00}	410 {42}	670 {69}
14.71 {1.50}	530 {54}	820 {84}
19.61 {2.00}	610 {62}	890 {91}
24.52 {2.50}	670 {69}	930 {95}
29.42 {3.00}	710 {72}	910 {92}

注⁽²⁾ ガスケットは、外径165mm、内径115mm、板厚2.0mm のものである。

参考 1 表 3 ガスケットの特性 [ふっ素樹脂 (PTFE) 被覆ガスケット⁽³⁾]

圧縮応力 σ_g N/mm ² {kgf/mm ² }	圧縮時縦弾性係数 E_{go} N/mm ² {kgf/mm ² }	復元時縦弾性係数 E_g N/mm ² {kgf/mm ² }
4.90 {0.50}	74 {8}	370 {38}
9.81 {1.00}	120 {12}	610 {62}
14.71 {1.50}	210 {21}	790 {81}
19.61 {2.00}	320 {33}	980 {100}
24.52 {2.50}	420 {43}	1170 {119}
29.42 {3.00}	540 {55}	1330 {136}

注⁽³⁾ ガスケットは、外径160mm、内径123mm、板厚3.2mm のもので、外径、内径は、接触面積基準の数値を示す。



参考 1 表 4 ガasketの特性〔ゴムシート（低温用，硬さ 70）⁽⁴⁾〕

圧縮応力 σ_g N/mm ² {kgf/mm ² }	圧縮時縦弾性係数 E_{g0} N/mm ² {kgf/mm ² }	復元時縦弾性係数 E_g N/mm ² {kgf/mm ² }
3.92 {0.40}	11 {1.1}	250 {25}
7.85 {0.80}	25 {2.5}	570 {58}
11.77 {1.20}	103 {10.5}	1080 {110}

注⁽⁴⁾ ガasketは，外径165mm，内径115mm，板厚2.0mmのものである。

備考 参考 1 表 1～4 の数値は，比較的幅の狭いasketについて得られた実測値である（圧縮部：外径 159mm，内径 114mm，幅/外径＝0.14）。実際の全面形asketにおいて，外径に対する幅の比は，更に大きい。asketの縦弾性係数はこの比に影響されることも考えられるので，正確な値を必要とする場合には，実際に使用するasketについて圧縮試験をすることが望ましい。

なお，この種のasketの応力－ひずみの関係は，直線性を示さないので，縦弾性係数は，圧縮応力に対応する値で与えられている。計算に使用する縦弾性係数は，asket締付荷重をasketの全断面積で除して求められる平均圧縮応力に対応する値として得られる。

参考 2 全面形ガスケットを用いる全面座管フランジの 諸量の計算

この参考は、本体の規定に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

ここでは、本体の理論を計算の流れに沿って以下のようにまとめた。同一材料、同一寸法の一対のフランジに適用できる。

(1) データの入力

- 1 フランジの外径 $A = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 2 フランジの内径 $B = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 3 フランジボルト穴中心径 $C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 4 ボルト穴径 $d_B = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 5 フランジの板厚 $t_f = t_{f1} = t_{f2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 6 フランジ材の縦弾性係数 $E_f = E_{f1} = E_{f2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N/mm}^2, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf/mm}^2 \}$
 - 7 ガスケットの内径 $D_g = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 8 ガスケットの内半径 $r_g = D_g/2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 9 ガスケットの板厚 $t_g = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 10 ガスケット圧縮時縦弾性係数 $E_{g0} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N/mm}^2, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf/mm}^2 \}$
 - 11 ガスケット復元時縦弾性係数 $E_g = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N/mm}^2, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf/mm}^2 \}$
 - 12 ボルトの本数 $n = \underline{\hspace{2cm}} \text{ 本}$
 - 13 ボルトの呼び $\underline{\hspace{2cm}}$
 - 14 ボルトの軸部とねじ部の谷の径のうち小さい方の径 $d_b = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 15 ボルトの総有効断面積 $A_b = n\pi d_b^2/4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}^2$
 - 16 ボルト材の縦弾性係数 $E_b = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N/mm}^2, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf/mm}^2 \}$
 - 17 接続管の板厚 $t_0 = t_{01} = t_{02} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 - 18 接続管の縦弾性係数 $E_0 = E_{01} = E_{02} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N/mm}^2, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf/mm}^2 \}$
 - 19 $\beta_0 = \sqrt[4]{10.92/(B^2 \cdot t_0^2)}$ $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ 1/mm}$
 - 20 $D_0 = E_0 \cdot t_0^3 / 10.92$ $\cdot = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N} \cdot \text{mm}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \cdot \text{mm} \}$
 - 21 ハブ接続部曲げモーメント係数 $K_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \}$
 - 22 $K_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}^2$
 - 23 ハブ接続部せん断力係数 $J_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N} \cdot \text{mm}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \cdot \text{mm} \}$
 - 24 $J_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
- 注 $K_1 = K_{11} = K_{12}, K_2 = K_{21} = K_{22}, J_1 = J_{11} = J_{12}, J_2 = J_{21} = J_{22}, K_{1i}, K_{2i}, J_{1i}, J_{2i}$ の求め方は、3.による。ハブのない場合は、次による。
- 25 $K_1 = \beta_0 \cdot D_0 (2 + \beta_0 \cdot t_f)$ $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \}$

- 26 $K_2 = \beta_0^2 \cdot D_0 \cdot B^2 / (2 \cdot E_0 \cdot t_0)$ = _____ mm²
- 27 $J_1 = -2 \cdot \beta_0^2 \cdot D_0 (1 + \beta_0 \cdot t_f)$ = _____ N/mm, { _____ kgf/mm }
- 28 $J_2 = -\beta_0^3 \cdot D_0 \cdot B^2 / (E_0 \cdot t_0)$ = _____ mm
- 29 $D_f = E_f \cdot t_f^3 \ln(A/B) / 12$ = _____ N•mm, { _____ kgf/mm }
- 30 $DD_f = 2\pi D_f + \pi B(K_1 - J_1 \cdot t_f / 2)$ = _____ N•mm, { _____ kgf/mm }
- 31 $C_0 = (A + B) / 2$ = _____ mm
- 32 ボルト変形域の長さ $l_{0b} = 2 \cdot t_f + t_g$ = _____ mm
- 33 $R_{12} = (C/2)^2 - \gamma_g^2$ = _____ mm²
- 34 $R_{13} = (C/2)^3 - \gamma_g^3$ = _____ mm³
- 35 $R_{14} = (C/2)^4 - \gamma_g^4$ = _____ mm⁴
- 36 $R_{22} = (A/2)^2 - (C/2)^2$ = _____ mm²
- 37 $R_{23} = (A/2)^3 - (C/2)^3$ = _____ mm³
- 38 $R_{24} = (A/2)^4 - (C/2)^4$ = _____ mm⁴

(2) ガスケット締付時の諸量の計算

- 39 ガスケット締付荷重 $P_b^0 =$ _____ N, { _____ kgf }
- 40 $K_g = A / D_g$ = _____
- 41 $K_{g2} = (K_g^2 - 1) / K_g^2$ = _____
- 42 $K_{g3} = (K_g^3 - 1) / K_g^3$ = _____
- 43 $K_{g4} = (K_g^4 - 1) / K_g^4$ = _____
- 44 $r_c^0 = \frac{A}{4} \left[\frac{48 \cdot DD_f / [\pi A^4 (E_{g0} / t_g)] + 3 \cdot K_{g4} - 4(C/A) K_{g3}}{2 \cdot K_{g3} - 3(C/A) K_{g2}} \right]$ = _____ mm

$r_c^0 \leq r_g$ の場合にだけ適用する。 $r_c^0 > r_g$ となる場合は、フランジの剛性が不足していることから、フランジの板厚を変更して再計算しなければならない。

- 45 $K_0 = \frac{24 \cdot P_b^0}{3 \cdot A^2 \cdot K_{g2} \cdot r_c^0 - A^3 \cdot K_{g3}} =$ _____ N/mm³, { _____ kgf/mm³ }
- 46 $\theta^0 = \frac{K_0}{4\pi(E_{g0} / t_g)}$ = _____ rad
- 47 $G_1^0 = (4 \cdot r_c^0 \cdot R_{13} - 3 \cdot R_{14}) / (3 \cdot r_c^0 \cdot R_{12} - 2 \cdot R_{13})$ = _____ mm
- 48 $G_2^0 = (4 \cdot r_c^0 \cdot R_{23} - 3 \cdot R_{24}) / (3 \cdot \gamma_c^0 \cdot R_{22} - 2 \cdot R_{23})$ = _____ mm
- 49 $P_{g1}^0 = K_0(r_c^0 \cdot R_{12} / 2 - R_{13} / 3)$ = _____ N, { _____ kgf }
- 50 $P_{g2}^0 = K_0(r_c^0 \cdot R_{22} / 2 - R_{23} / 3)$ = _____ N, { _____ kgf }
- 51 $r_{gb} = (C - d_B) / 2$ = _____ mm
- 52 $P_{g1}^0 = K_0[r_c^0(r_{gb}^2 - r_g^2) / 2 - (r_{gb}^3 - r_g^3) / 3]$ = _____ N, { _____ kgf }
- 53 $M_1^0 = K_0[R_{14} / 4 - (r_c^0 + C_0 / 2) R_{13} / 3 + C_0 \cdot r_c^0 \cdot R_{12} / 4]$ = _____ N•mm, { _____ kgf•mm }
- 54 $M_2^0 = -K_0[R_{24} / 4 - (r_c^0 + C_0 / 2) R_{23} / 3 + C_0 \cdot r_c^0 \cdot R_{22} / 4]$ = _____ N•mm, { _____ kgf•mm }
- 55 $G^0 = C_0 - 2(M_1^0 - M_2^0) / P_b^0$ = _____ mm
- 56 $M^0 = P_b^0(C - G^0) / 2$ = _____ N•mm, { _____ kgf•mm }

この M^0 を、JIS B 2206 に規定する M に置き換えて、ハブフランジリング接続部の応力を求める。

(3) 内圧作用時の諸量の計算 (この場合、収束計算が必要になる。*は収束計算によって、値が変わる項

を示す。)

- 57 設計圧力 p = _____ MPa, { _____ kgf/cm² }
- 58 $P_0 = p(\pi B^2 / 4)$ = _____ N
 $\{P_0 = (p/100)(\pi B^2 / 4)$ = _____ kgf}
- 59 $P_1 = p\pi(r_g^2 - B^2 / 4)$ = _____ N
 $\{P_1 = (p/100)\pi(r_g^2 - B^2 / 4)$ = _____ kgf}
- 60 $R_b = l_{0b} / (A_b \cdot E_b)$ = _____ mm/N, { _____ mm/kgf }
- 61 $R_{g1} = t_g / (\pi R_{12} \cdot E_g)$ = _____ mm/N, { _____ mm/kgf }
- 62 $R_{g2} = t_g / (\pi R_{22} \cdot E_g)$ = _____ mm/N, { _____ mm/kgf }
- 63 $H = 1 / (1/R_b + 1/R_{g1} + 1/R_{g2})$ = _____ mm/N, { _____ mm/kgf }
- 64 $l_c = (C - C_0) / 2$ = _____ mm
- 65 $l_{g1}^0 = (C_0 - C_1^0) / 2$ = _____ mm
- 66 $l_{g2}^0 = (G_2^0 - C_0) / 2$ = _____ mm
- 67 $z_0 = l_c / R_b$ = _____ N, { _____ kgf }
- 68 $x_0 = l_{g1}^0 / R_{g1}$ = _____ N, { _____ kgf }
- 69 $y_0 = l_{g2}^0 / R_{g2}$ = _____ N, { _____ kgf }
- 70 $K_b^0 = -H \cdot z_0 [(1 - R_b / H)z_0 - x_0 + y_0]$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 71 初期値の設定 $G_1^P = G_1^0$ = _____ mm
- 72 $G_2^P = G_2^0$ = _____ mm
- 73 $B_1 = \frac{4[r_g^3 - (B/2)^3]}{3[r_g^2 - (B/2)^2]}$ = _____ mm
- もし, $r_g = B/2$ ならば, $B_1 = B$ = _____ mm
- 74* $l_{g1}^P = (C_0 - C_1^P) / 2$ = _____ mm
- 75* $l_{g2}^P = (C_2^P - C_0) / 2$ = _____ mm
- 76* $x = l_{g1}^P / R_{g1}$ = _____ N, { _____ kgf }
- 77* $y = l_{g2}^P / R_{g2}$ = _____ N, { _____ kgf }
- 78* $K_b^P = -H \cdot z_0 [(1 - R_b / H)z_0 - x + y]$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 79* $K_{g1}^P = H \cdot x [z_0 - (1 - R_{g1} / H)x + y]$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 80* $K_{g2}^P = -H \cdot y [z_0 - x + (1 - R_{g2} / H)y]$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 81* $K_{g1}^0 = H \cdot x [z_0 - (1 - R_{g1} / H)x_0 + y_0]$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 82* $K_{g2}^0 = -H \cdot y [z_0 - x_0 + (1 - R_{g2} / H)y_0]$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 83* $E_{P1} = -P_b^0 \cdot l_c - P_{g1}^0 \cdot l_{g1}^P + P_{g2}^0 \cdot l_{g2}^P$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 84* $E_{P2} = H(P_0 + P_1)(-z_0 + x - y)$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 85* $E_{P3} = -P_0(C_0 - B) / 2 - P_1(C_0 - B_1) / 2$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 86* $E_{P4} = 2(K_b^0 + K_{g1}^0 + K_{g2}^0)\theta^0$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 87* $E_{P0} = E_{P1} + E_{P2} + E_{P3} + E_{P4}$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 88* $S_{12} = K_b^P + K_{g1}^P + K_{g2}^P$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 89* $S_{11} = DD_f + S_{12}$ = _____ N・mm, { _____ kgf・mm }
- 90* $S_{01} = E_{P0} + \pi B(t_f \cdot J_2 / 2 - K_2)p$ = _____ N・mm

- $\{S_{01} = E_{P0} + \pi B(t_f \cdot J_2 / 2 - K_2)(p/100) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \cdot \text{mm}\}$
91* $\theta^P = S_{01} / (S_{11} + S_{12}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ rad}$
92* $\delta_0 = H[P_0 + P_1 - 2(z_0 - x + y)\theta^P + 2(z_0 - x_0 + y_0)\theta^0] = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
93* $P_b = P_b^0 + [\delta_0 + 2 \cdot l_c (\theta^P - \theta^0)] / R_b = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \}$
94* $P_{g1} = P_{g1}^0 - [\delta_0 - 2(l_{g1}^P \cdot \theta^P - l_{g1}^0 \cdot \theta^0)] / R_{g1}$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \}$
95* $P_{g2} = P_{g2}^0 - [\delta_0 + 2(l_{g2}^P \cdot \theta^P - l_{g2}^0 \cdot \theta^0)] / R_{g2}$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \}$
96* $P_g = P_{g1} + P_{g2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \}$
97* $\Delta P = P_b - P_0 - P_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \}$
98* $\gamma_c^P = \frac{2[R_{23} + (1 - \Delta P / P_{g1})R_{13}]}{3[R_{22} + (1 - \Delta P / P_{g1})R_{12}]} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 $r_c^P \leq r_g$ の場合にだけ適用する。 $r_c^P > r_g$ となる場合は、フランジの剛性が不足している。フランジの板厚、又はガスケットを変更して再計算しなければならない。
99* $G_1^{P'} = (4 \cdot r_c^P \cdot R_{13} - 3 \cdot R_{14})(3 \cdot r_c^P \cdot R_{12} - 2 \cdot R_{13}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
100* $G_2^{P'} = (4 \cdot r_c^P \cdot R_{23} - 3 \cdot R_{24})(3 \cdot r_c^P \cdot R_{22} - 2 \cdot R_{23}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
101 収束範囲 (0.01~0.001mm) $\varepsilon = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
102* $|G_1^P - G_1^{P'}| < \varepsilon$ yesであれば105, noであれば103へ,
103* $G_1^P = (G_1^P + G_1^{P'}) / 2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
104 74 へ,
105* $|G_2^P - G_2^{P'}| < \varepsilon$ yesであれば108, noであれば106へ,
106* $G_2^P = (G_2^P + G_2^{P'}) / 2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
107 74 へ,
108 $K_0^P = 6 \cdot \Delta P / [3 \cdot r_c^P (R_{12} + R_{22}) - 2(R_{13} + R_{23})]$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ N/mm}^3, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf/mm}^3 \}$
109 $P_{g1'} = K_0^P [r_c^P (r_{gb}^2 - r_g^2) / 2 (r_{gb}^3 - r_g^3) / 3]$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \}$
110 $M_1^P = K_0^P [R_{14} / 4 - (r_c^P + C_0 / 2) R_{13} / 3 + C_0 \cdot r_c^P - R_{12} / 4]$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ N} \cdot \text{mm}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \cdot \text{mm} \}$
111 $M_2^P = -K_0^P [R_{24} / 4 - (r_c^P + C_0 / 2) R_{23} / 3 + C_0 \cdot r_c^P - R_{22} / 4]$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ N} \cdot \text{mm}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \cdot \text{mm} \}$
112 $M_{B1} = 2\pi p \{ C_0 [r_g^2 - (B/2)^2] / 4 - [r_g^3 - (B/2)^3] / 3 \}$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $\{ M_{B1} = 2\pi (p/100) \{ C_0 [r_g^2 - (B/2)^2] / 4 - [r_g^3 - (B/2)^3] / 3 \}$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \cdot \text{mm} \}$
113 $G^P = C_0 - [2(M_1^P - M_2^P + M_{B1}) + P_0(C_0 - B) - \pi B(t_f \cdot J_2 - 2 \cdot K_2)p] / P_b$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
 $\{ G^P = C_0 - [2(M_1^P - M_2^P + M_{B1}) + P_0(C_0 - B) - \pi B(t_f \cdot J_2 - 2 \cdot K_2)(p/100)] / P_b$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm} \}$
114 $M^P = P_b(C - G^P) / 2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N} \cdot \text{mm}, \{ \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf} \cdot \text{mm} \}$

この M^p を, JIS B 2206 に規定する M に置き換えて, ハブ-フランジリング接続部の応力を求める。

115 この計算の過程で求めた次の諸量が, 内圧作用時の特性値である。

P_b	(93)	= _____ N, { _____ kgf }
P_{g1}	(94)	= _____ N, { _____ kgf }
P_{g2}	(95)	= _____ N, { _____ kgf }
P_g	(96)	= _____ N, { _____ kgf }
P_{g1}'	(109)	= _____ N, { _____ kgf }
r_c^p	(98)	= _____ mm
θ^p	(91)	= _____ rad
G^p	(113)	= _____ mm
G_1^p	(99)	= _____ mm
G_2^p	(100)	= _____ mm
M^p	(114)	= _____ N•mm, { _____ kgf•mm }

原案作成委員会 構成表

	氏名	所属
	野 本 敏 治	東京大学工学部
	寺 沢 一 雄	大阪大学名誉教授
	高 橋 幸 伯	東京農工大学工学部
	榎 沢 誠	東京大学工学部
	森 田 昭 三	工業技術院標準部
	石 川 久 能	社団法人軽金属溶接構造協会
	河 村 繁	株式会社日軽技研エンジニアリングセンター
	平 田 勝 彦	住友軽金属工業株式会社技術研究所
	鈴 木 務	富士アセチレン工業株式会社鉄工部
	古 山 昌 宏	日本バルカー工業株式会社技術本部
	小 西 孟	日本アルミニウム工業株式会社設計部
	入 沢 敏 夫	石川島播磨重工業株式会社技術研究所
	瀬 戸 清 治	三菱金属株式会社静岡工場
	尾 川 任 功	日本酸素株式会社機械本部
	中 本 靖 二	住友精密工業株式会社第二技術部
(事務局)	初 谷 正 治	社団法人軽金属溶接構造協会

まえがき

この追補は、工業標準化法に基づき、日本工業標準調査会の審議を経て、経済産業大臣が改正したもので、これによって、**JIS B 2207:1995** は改正され、一部が置き換えられた。

B 2207 : 0000

白紙

全面形ガスケットを用いるアルミニウム合金製全面 座管フランジの計算基準 （追補 1）

Basis for calculation of aluminium alloy pipe flanges with full face gasket
(Amendment 1)

JIS B 2207:1995 を、次のように改正する。

箇条 1.（適用範囲）の備考 5. を削除する。従って、この規格から { } を付けて示してある単位、数値及び計算式を削除する。

参考 1 表 1 の表題“ガスケットの特性 [石綿ジョイントシート⁽¹⁾]”を“ガスケットの特性 [ジョイントシート⁽¹⁾(²)]”に置き換える。

参考 1 表 1 の説明欄に“注⁽²⁾ 石綿を使用したものは含まない。数値の正確を期する場合は製造者と協議すること。”を追加する。以下、注番号を一つ繰り下げる。

参考 1 表 3 の表題“ガスケットの特性 [ふっ素樹脂(PTFE)被覆ガスケット⁽³⁾]”を“ガスケットの特性 [ふっ素樹脂(PTFE)被覆ガスケット⁽⁴⁾(⁵)]”に置き換える。

参考 1 表 3 の説明欄の注⁽³⁾（旧番号）の後に、“注⁽⁵⁾ 石綿を使用したものは含まない。数値の正確を期する場合は製造者と協議すること。”を追加する。以下、注番号を二つ繰り下げる。

従って、参考 1 を、次のものに置き換える。

参考 1 ガスケットの縦弾性係数

この参考は、本体の規定に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

この規格では、ガスケットの縦弾性係数を用いるが、参考として**参考 1 表 1**～**4**にガスケットの特性を示す。

参考 1 表 1 ガスケットの特性 [ジョイントシート⁽¹⁾(²)]

圧縮応力 σ_g N/mm ²	圧縮時縦弾性係数 E_{g0} N/mm ²	復元時縦弾性係数 E_g N/mm ²
4.90	210	380
9.81	250	500
14.71	310	630
19.61	370	640
24.52	470	670
29.42	500	790

注⁽¹⁾ ガスケットは、外径 165 mm、内径 115 mm、板厚 1.5 mm のものである。

注⁽²⁾ 石綿を使用したものは含まない。数値の正確を期する場合は製造者と協議すること。

参考 1 表 2 ガスケットの特性 [無機質充てん材を含むふっ素樹脂(PTFE)⁽³⁾]

圧縮応力 σ_g N/mm ²	圧縮時縦弾性係数 E_{g0} N/mm ²	復元時縦弾性係数 E_g N/mm ²
4.90	310	470
9.81	410	670
14.71	530	820
19.61	610	890
24.52	670	930
29.42	710	910

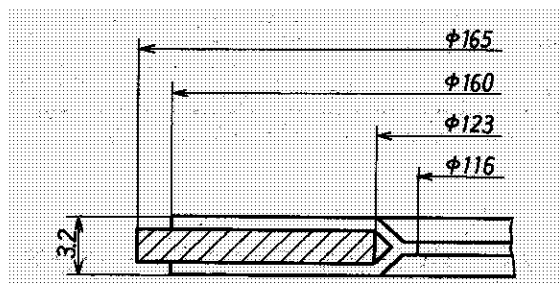
注⁽³⁾ ガスケットは、外径 165 mm、内径 115 mm、板厚 2.0 mm のものである。

参考 1 表 3 ガasket の特性 [ふっ素樹脂(PTFE)被覆ガasket (4)(5)]

圧縮応力 σ_g N/mm ²	圧縮時縦弾性係数 E_{g0} N/mm ²	復元時縦弾性係数 E_g N/mm ²
4.90	74	370
9.81	120	610
14.71	210	790
19.61	320	980
24.52	420	1170
29.42	540	1330

注(4) ガasket は、外径 160 mm、内径 123 mm、板厚 3.2 mm のもので、外径、内径は、接触面積基準の数値を示す。

単位 mm



(5) 石綿を使用したものは含まない。数値の正確を期する場合は製造者と協議すること。

参考 1 表 4 ガasket の特性 [ゴムシート (低温用, 硬さ 70) (6)]

圧縮応力 σ_g N/mm ²	圧縮時縦弾性係数 E_{g0} N/mm ²	復元時縦弾性係数 E_g N/mm ²
3.92	11	250
7.85	25	570
11.77	103	1080

注(6) ガasket は、外径 165 mm、内径 115 mm、板厚 2.0 mm のものである。

備考 参考 1 表 1～4 の数値は、比較的幅の狭いガasket について得られた実測値である（圧縮部：外径 159 mm、内径 114 mm、幅/外径=0.14）。実際の全面形ガasket において、外径に対する幅の比は、更に大きい。ガasket の縦弾性係数はこの比に影響されることも考えられるので、正確な値を必要とする場合には、実際に使用するガasket について圧縮試験をすることが望ましい。

なお、この種のガasket の応力-ひずみの関係は、直線性を示さないもので、縦弾性係数は、圧縮応力に対応する値で与えられている。計算に使用する縦弾性係数は、ガasket 締付荷重をガasket の全断面積で除して求められる平均圧縮応力に対応する値として得られる。