

委員からのコメントと対応案

| No. | 該当箇所               | コメント内容                                                                                                                                                                                                                                                      |          | 対応（案）                                                                                                                                                                                                                                                     | 決定 |
|-----|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | 本文 1.4 b)<br>P.3   | おねじとめねじで熱膨張差が無いことを前提としているが、「差がない」といえる範囲を定義する必要があるのではないか。                                                                                                                                                                                                    | 渡辺<br>委員 | 定量的に示すためには、熱膨張差を含む式を確立する必要があり、時間を要する。計画通り 9 月末頃の出版を目指すには検討時間が不十分である。<br><br>b)を削除し、a)の続きとして、「ただし、おねじ、めねじ間に熱による伸び差が生じる場合の影響に関しては、本指針では考慮していない。」としてはどうか。<br><br>P.10、4.ねじ部の疲労設計の 4.1 で「ただし、ねじ部の初期締付荷重及び内圧による荷重以外の振動荷重、熱応力などの繰返しの影響に関しては、本指針では考慮していない。」になった。 |    |
| 2   | 同上                 | 「おねじ側、めねじ側で熱による伸び差が生じないものとする。」について<br><br>伸び差が生じないものとする、異材の使用に支障をきたすことはないか。<br>熱膨張の問題は、材料の組み合わせの他に温度分布も関連してくるので、どのように規定すべきか、表現が難しい。<br><br>「伸び差がある場合は、別途考慮すること」という表現も考えられるが、抽象的すぎて、規定しないことと同じと考える。                                                          | 佐藤<br>委員 |                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
| 3   | 本文 2.2 a)<br>P.4   | Do の記述で<br>「ただし、中心穴が場合は」は、<br>「ただし、中心穴が無い場合は」<br>の誤記ではないか。                                                                                                                                                                                                  | 渡辺<br>委員 | ご指摘の通り誤記であるので、<br>「ただし、中心穴がない場合は、Do = 0 とする。」<br>に変更する。                                                                                                                                                                                                   |    |
| 4   | 本文 2.2 a)<br>P.6   | $f$ の計算式で、右辺の「 $\times$ 」を削除                                                                                                                                                                                                                                | 渡辺<br>委員 | ご指摘の通り、「 $\times$ 」を削除し、 $m$ を分子に移す。                                                                                                                                                                                                                      |    |
| 5   | 本文 2.2 b)<br>P.7,8 | ねじ込み式の場合の手順の説明について、最初に「内圧作用時で内圧による荷重 $W_2$ が初期締付荷重 $W_1$ より大きい場合」と記述されているのに、手順 8 の後で $W_1 > W_2$ の場合の計算の仕方を指示しているが、最初の「 $W_2 > W_1$ の場合」の記述を止めて、手順 8 において<br><br>$W_1 < W_2$ の場合： $W=W_2$<br>$W_1 > W_2$ の場合： $W=W_1$<br>とする<br><br>という記述にした方がわかりやすいのではないか。 | 渡辺<br>委員 | ねじ込み式の場合は、ご指摘に従い、2)のタイトルの後の( )の記述は、削除する。<br>手順 1 も削除する。( $W_2$ の求め方は手順 8 で記述する。)<br><br>手順 8 の、ただし以降を次のように変更する。<br><br>ただし、 $W$ は次による。<br>初期締付時は $W=W_1$<br>内圧作用時は $W_1$ 又は $W_2$ のいずれか大なる値<br>ここで、 $W_1$ は初期締付荷重、 $W_2$ は内圧による荷重で(5)式による。                |    |

|    |                              |                                                                                                                                                       |          |                                                                                                                                                                                        |  |
|----|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|    |                              | 3)の袋ナットの場合も同様                                                                                                                                         |          | 3)のタイトルの後の( )の記述は残す。3)は 3 通りの計算を示す必要があり、内圧が作用し $W2 > W1$ の場合を基本として先ず示しているため。 $k$ の決定に $W2$ が関係するので、手順 8 の記述はこのままとしたい。                                                                  |  |
| 6  | 本文 2.2 b)2)<br>P.8           | P.8 の 1 行目～ 4 行目の注記<br><br>アンダーカットが施されるのは、おねじ、又はめねじに限定できますか。<br>限定できるのであれば、そのように表現した方がわかりやすいのではないか。<br><br>4 行目の「へこみ部」について、他の表現はありませんか。<br>例えば「テーパ部」等 | 辻<br>副主査 | 主にめねじ側に施される。<br>ご指摘に従います。<br><br>「へこみ部」→「くぼみ部」ではいかがですか。                                                                                                                                |  |
| 7  | 本文 3.3<br>P.9                | 3.3 の静荷重に対する強度評価は、<br>a),b),c)に分ける必要はないのではないか。<br><br>理由：ねじ込み式、袋ナット式でも初期締付時と運転時の両方で評価することにすれば、a)のフランジ式の場合と同じ手順になる。                                    | 平野<br>委員 | 現状でも、ねじ込み式、袋ナット式は、初期締付時と運転時の両方の計算をすることになるため、a)のフランジ式の表現の一つに絞る。                                                                                                                         |  |
| 8  | 本文 4.3.2.1<br>式(20)<br>P.12  | 真ん中の定数 $C$ を求める式において $\alpha$ の単位が「度」となっているので、「rad」にした方がよいのではないか。                                                                                     | 渡辺<br>委員 | (20)式の右辺の分子は $(\sigma_s)_{\max}$ を与える位置を示す角度 $\theta_1$ と $(\sigma_a)_{\max}$ を与える位置を示す角度 $\theta_2$ の差 ( $\theta_1 - \theta_2$ ) を表し、角度と密接な関係があるため、根拠の理解を深めるため「度」表示とする。指針の解説 P.85 参照。 |  |
| 9  | 本文 4.3.2.5<br>P.13 式(25)     | 式中に「 $E/E_d$ 」の項がありますが、 $E$ と $E_d$ の定義、もしくは説明はありますか。                                                                                                 | 辻<br>副主査 | 4.3.2.4 の最後のところで説明しています。<br>( $E/E_d$ は、4.3.2.4 で最初に出てきますので、ここで説明しています。)                                                                                                               |  |
| 10 | 文献 その 2<br>3.1 の 2)<br>P.116 | 添付資料参照                                                                                                                                                | 平野<br>委員 | 誤記であるので、ご指摘に従い訂正します。                                                                                                                                                                   |  |
| 11 | 文献 その 2<br>3.1 の 2)<br>P.117 | 添付資料参照                                                                                                                                                | 平野<br>委員 | 誤記であるので、ご指摘に従い訂正します。                                                                                                                                                                   |  |

### 1) 初期締付状態

いま、ボルトの初期締付荷重を  $W_1$  とすればフランジにはボルト頭側から圧縮力  $W_1$  が作用し、パイプ (胴) 端にはガスケットを介して圧縮力  $W_1$  が作用する。

フランジの端面からねじの巻線に沿ったある距離  $s$  で単位長さ当りのねじ山にかかる荷重を  $w$  とすると、その点を通る横断面での各歪みは次のようになる。

$$\text{パイプ (胴) の伸び歪み} = -\frac{\int_0^s w ds}{EA_1} \quad (16)$$

$$\text{フランジの圧縮歪み} = \frac{W_1 - \int_0^s w ds}{EA_2} \quad (17)$$

パイプ (胴) およびフランジの変位差は全部のねじ山が接触を保つためには、ねじ山のたわみの総和に等しいことにより、前節と同様にして、

$$\frac{a}{\pi D} \left( -\frac{\int_0^s w ds}{A_1} + \frac{W_1 - \int_0^s w ds}{A_2} \right) = -(h_1 + h_2 + k_1 + k_2 + f_1 + f_2) \frac{dw}{ds} \quad (18)$$

を得る。

ただし、 $A_1, A_2$  はそれぞれパイプ (胴) フランジの横断面積とする。

この式(18)を  $s$  について微分すれば、

$$\frac{d^2 w}{ds^2} = \alpha^2 w \quad (19)$$

となる。ここで、 $\alpha$  は式(9)として示されている。

式(19)の一般解は、

$$w = C_1 \cosh \alpha s + C_2 \sinh \alpha s \quad (20)$$

で与えられる。

境界条件は、

$$s = s_1 = \pi D n \text{ において } \int_0^s w ds = W_1 \quad (21)$$

また、式(21)を式(18)に代入すると、

$$\begin{aligned} \frac{dw}{ds} &= \frac{a/\pi D}{h_1 + h_2 + k_1 + k_2 + f_1 + f_2} \cdot \frac{W_1}{A_1} \\ &= \alpha^2 \cdot \frac{A_2}{A_1 + A_2} \cdot W_1 \end{aligned}$$

ここで  $k_1 = A_2/(A_1 + A_2)$  とおけば、

$$(dw/ds)_{s=s_1} = \alpha^2 k_1 W_1 \quad (22)$$

が与えられる。

いま、 $\theta = \alpha s, \theta_1 = \alpha s_1$ 、平均荷重  $w_m = W_1/\pi D n = W_1 \alpha / \theta_1$  とし境界条件の式(21)、(22)により式(20)の  $C_1$  および  $C_2$  を決定すれば、ねじ山荷重分担率  $H$  は次の式となる。

$$\begin{aligned} H = \frac{w}{w_m} &= \frac{\theta_1}{\sinh \theta_1} \{ (1 - k_1) \cosh(\theta_1 - \theta) \\ &\quad + k_1 \cosh \theta \} \end{aligned} \quad (23)$$

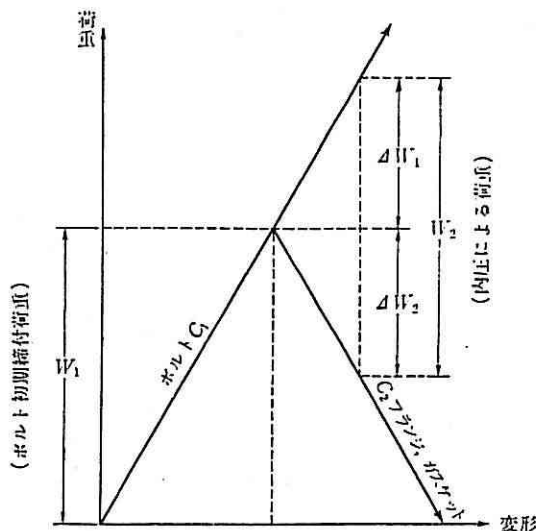


図6 継手の締付線図

式(23)のねじ山荷重分担率  $H$  は  $\theta = 0$  あるいは  $\theta = \theta_1$  において最大となる。この最大値を  $H_{\max}$  とすれば次式で与えられる。

$k_1 \geq 1/2$  のとき  $\theta = \theta_1 (s = s_1)$  において最大となり、

$$H_{\max} = \frac{w_{\max}}{w_m} = \frac{\theta_1}{\sinh \theta_1} \{ (1 - k_1) + k_1 \cosh \theta_1 \} \quad (24)$$

$k_1 < 1/2$  のとき  $\theta = 0 (s = 0)$  において最大となり、

$$H_{\max} = \frac{w_{\max}}{w_m} = \frac{\theta_1}{\sinh \theta_1} \{ (1 - k_1) \cosh \theta_1 + k_1 \} \quad (25)$$

### 2) 運転状態

次に、ボルトの初期締付荷重  $W_1$  に内圧による荷重  $W_2$  が作用する場合のねじ山荷重分布について考える。

ボルトの初期締付荷重  $W_1$  に内圧による荷重  $W_2$  が作用すると、図6に示すようにボルト荷重は  $\Delta W_1$  だけ増し、パイプ (胴) の端面に作用するガスケット荷重 (圧縮) は  $\Delta W_2$  だけ減少する。そうすると、フランジの右端面に働く圧縮力は  $\Delta W_1$  だけ増加し  $W_1 + \Delta W_1$  となる。一方、パイプ (胴) の右側断面には  $W_2$  (内圧による荷重) なる引張荷重が働き、またパイプ (胴) の左端側の圧縮荷重は  $W_1 + \Delta W_1 - W_2 (= W_1 - \Delta W_2)$  となる。

なお、ボルトの伸びに対するばね常数を  $C_1$ 、ガスケット、フランジ、パイプ (胴) 構造の圧縮に対するばね常数を  $C_2$  とすると、

$$\Delta W_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} W_1, \quad \Delta W_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} W_2 \quad (26)$$

$W_2 = \Delta W_1 + \Delta W_2$  の関係がある。

また、内圧荷重  $W_2$  は内圧力、ガスケット接触径を  $G$  とすれば  $W_2 = \pi/4 \cdot G^2 p$  で与えられる。

図7はパイプ(胴)及びフランジの端面に働く軸荷重の説明図である。

さて、フランジの右端面からねじつる巻線に沿ったある距離  $s$  での歪みをもとめると、

$$\text{パイプ(胴)の伸び歪み} = \frac{W_2 - \int_0^s w ds}{EA_1} \quad (27)$$

$$\text{フランジの圧縮歪み} = \frac{W_1 + \Delta W_1 - \int_0^s w ds}{EA_2} \quad (28)$$

となる。

式(27)、(28)の歪みより、前述の初期締付状態の式(18)と同様にして、次式が得られる。

$$\frac{\alpha}{\pi D} \left( \frac{W_2 - \int_0^s w ds}{A_1} + \frac{W_1 + \Delta W_1 - \int_0^s w ds}{A_2} \right) = -(h_1 + h_2 + k_1 + k_2 + f_1 + f_2) dw/ds \quad (29)$$

境界条件は、

$$s=s_1 \text{ において } \int_0^{s_1} w ds = W_1 + \Delta W_1 \quad (30)$$

また、式(30)を式(29)に代入すると、

$$\left( \frac{dw}{ds} \right)_{s=s_1} = \frac{\alpha/\pi D}{h_1 + h_2 + k_1 + k_2 + f_1 + f_2} \cdot \frac{W_1 + \Delta W_1 - W_2}{A_1} \quad \text{式(9)}$$

となる。これを式(10)で示されている  $\alpha$  を用いれば、

$$\left( \frac{dw}{ds} \right)_{s=s_1} = \alpha^2 \frac{A_2}{A_1 + A_2} (W_1 + \Delta W_1 - W_2) = \alpha^2 k_2 (W_1 + \Delta W_1) \quad (31)$$

を得る。ただし

$$k_2 = \frac{A_2}{A_1 + A_2} \left( 1 - \frac{W_2}{W_1 + \Delta W_1} \right) \quad (32)$$

とする。

$\theta = \alpha s$ ,  $\theta_1 = \alpha s_1$ , 平均荷重  $w_m = (W_1 + \Delta W_1)/\pi D n$ ,  $s_1 = \pi D n$  とし、境界条件の式(30)、(31)により式(29)を解くと、

$$H = \frac{w}{w_m} = \frac{\theta_1}{\sinh \theta_1} \{ (1 - k_2) \cosh(\theta_1 - \theta) + k_2 \cosh \theta \} \quad (33)$$

となる。

このねじ山荷重分担率  $H$  の式は式(23)と比較すると、 $k_1$  と  $k_2$  が対応していることがわかる。

以上より、ねじ込みフランジ結合の場合のねじ山荷重分担率の式は、初期締付状態及び運転状態の場合を総合して、次式のようにまとめられる。すなわち、

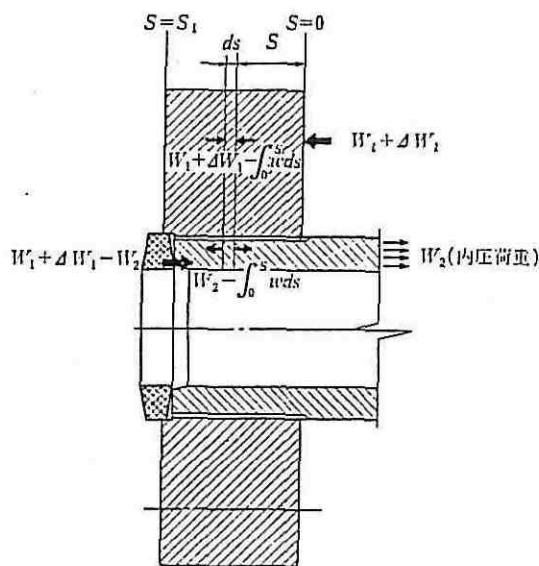


図7

$$H = \frac{w}{w_m} = \frac{\theta_1}{\sinh \theta_1} \{ (1 - k) \cosh(\theta_1 - \theta) + k \cosh \theta \} \quad (34)$$

ここで、

$w_m = W/\pi D n$  とし

初期締付状態:  $W = W_1$

運転状態:  $W = W_1 + \Delta W_1$

$k$ : フランジ及びパイプ(胴)の面積比、及びボルト荷重と内圧荷重との比に依存する係数で、

$$\text{初期締付状態: } k = k_1 = \frac{A_2}{A_1 + A_2}$$

$$\text{運転状態: } k = k_2 = \frac{A_2}{A_1 + A_2} \left( 1 - \frac{W_2}{W_1 + \Delta W_1} \right)$$

なお、式(34)による  $H$  の分布は図8のようになり、初期締付状態と運転状態とでその分布は変化するが、 $H$  はねじ噛み合い長さの両端で大きくなる。

また、最大荷重  $w_{max}$  またはねじ山荷重分担率の最大値  $H_{max}$  は前述の式(24)、(25)で与えられ、係数  $k$  をパラメータに各  $\theta_1$  に対してグラフに表わしたものが図9である。

### 3.2 ねじ込みプラグ

図10、図11のようにねじ込みプラグ方式のねじ部に作用する軸方向荷重の分布について考えてみる。

いま、図10で示すように、初期締付荷重を  $W_1$  とすると、ねじ込みプラグには  $W_1$  なる圧縮荷重 ( $s=0$  のプラグ横断面において)、胴には  $W_1$  なる引張荷重 ( $s=0$  の胴横断面において) が作用する。

次に初期締付後、内圧が作用する場合、内圧荷重を  $W_2$  とすると、