

技術教育に於ける機械実習指導の研究

ボルト・ナットのしめつけトルクについて

浅井政臣

(教育学部技術科)

Studies on Guidance for Mechanical Practice in Technical Education.

On Screwing Torque for Bolts and Nuts.

Masaomi ASAI

(Section of Technique, Faculty of Education, Kochi University)

1. 緒言

機械はねじによってしめつけられている部分が非常に多い。機械実習における学生の指導上、ボルト・ナットのしめつけが非常に重要になってくる。即ち

(1) 長期間使用後には振動、しめつけ部のへたり等が原因して自然にゆるんでくるので、これを未然に防止しなければならない。

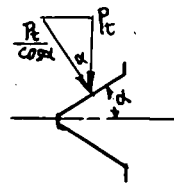
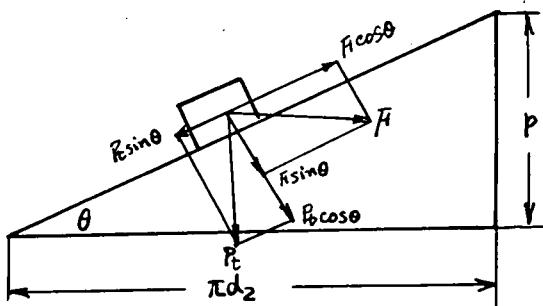
(2) しめつけ後、外部荷重により、ボルトが被固着部分のしめ厚以上に伸びて、すきまを生じ気密を害することのないようにしなければならない。

(3) 荷重による応力の変動を減少することにより、ボルトの疲労寿命を伸ばさねばならない。

(4) ボルトをねじ切らぬようにしなければならない。

要するに、ボルトに安全な荷重をかけることができ、そして最大のしめつけ力でしめつけられていなければならない。しめつけトルクを一々計算して求めることはわずらわしいので、それらの関係を図表にあらわし使用するのに便利にしてみた。

2. ねじ



F : 有効径における回転力 kg

P_t : 軸方向の荷重 kg

μ : ねじ面の摩擦係数

θ : つる巻角, p : ねじのピッチ mm

α : ねじ山角の $\frac{1}{2}$ d_2 : ねじの有効径 mm

荷重を押し上げる時の接触面に平行な力のつりあいは、角ねじの場合につき考えると

$$F \cos \theta = \mu(P_t \cos \theta + F \sin \theta) + P_t \sin \theta$$

$$\therefore F = P_t \frac{\mu \cos \theta + \sin \theta}{\cos \theta - \mu \sin \theta} = P_t \frac{\mu + \tan \theta}{1 - \mu \tan \theta} = P_t \frac{\mu + \frac{p}{\pi d_2}}{1 - \mu \frac{p}{\pi d_2}}$$

三角ねじの場合は、ねじ山の斜面に対し垂直に作用する力は、 $\frac{P_t}{\cos \alpha}$ で、従って摩擦抵抗に打勝ち動かすに要する力は $\frac{\mu P_t}{\cos \alpha} = \mu' P_t$ となるから、上式の μ の代わりに $\mu' = \frac{\mu}{\cos \alpha}$ を代入すればよい。

$$\therefore F = P_t \frac{\frac{\mu}{\cos \alpha} + \frac{p}{\pi d_2}}{1 - \frac{\mu}{\cos \alpha} \cdot \frac{p}{\pi d_2}} = P_t \frac{p + \frac{\mu \pi d_2}{\cos \alpha}}{\pi d_2 - \frac{\mu p}{\cos \alpha}} = P_t \cdot k$$

$$F = k \cdot P_t \quad \text{但し} \quad k = \frac{p + \frac{\mu \pi d_2}{\cos \alpha}}{\pi d_2 - \frac{\mu p}{\cos \alpha}} \quad \text{①}$$

3. ねじをしめつけるトルク T と生ずる引張力 P_t との関係

T : ねじをしめつけるトルク kgmm

P_t : ねじに生ずる引張力 kg

d_1 : ねじの谷の径 mm d_2 : ねじの有効径 mm

D : ナット座面の平均径 mm

μ' : ナット座面の摩擦係数

ねじの軸方向に引張力 P_t を生じた時、接触ねじ山間でねじるに要するトルクは

$$T_1 = \frac{F d_2}{2} = \frac{k \cdot P_t \cdot d_2}{2}$$

ナット座の摩擦がナット座面の平均半径の円周上に作用するものと仮定すれば、座面に於ける摩擦抵抗のために要するトルクは

$$T_2 = \frac{\mu' P_t D}{2}$$

従ってねじをしめつけるに要するトルクは

$$T = T_1 + T_2 = \frac{F d_2}{2} + \frac{\mu' P_t D}{2} = \frac{k P_t d_2}{2} + \frac{\mu' P_t D}{2} = \frac{P_t}{2} (k d_2 + \mu' D)$$

$$\therefore \frac{P_t}{T} = \frac{2}{k d_2 + \mu' D} = K_1, \quad \text{但し} \quad K_1 = \frac{2}{k d_2 + \mu' D} \quad \text{②}$$

4. トルク T と生ずる応力 σ との関係

$$\text{引張力 } P_t \text{ による引張応力 } \sigma_t = \frac{P_t}{\frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ねじられる時の剪断応力 $\tau = \frac{16T_1}{\pi d_1^3} = \frac{16 \times \frac{kP_t d_2}{2}}{\pi d_1^3} = \frac{8P_t k d_2}{\pi d_1^3}$

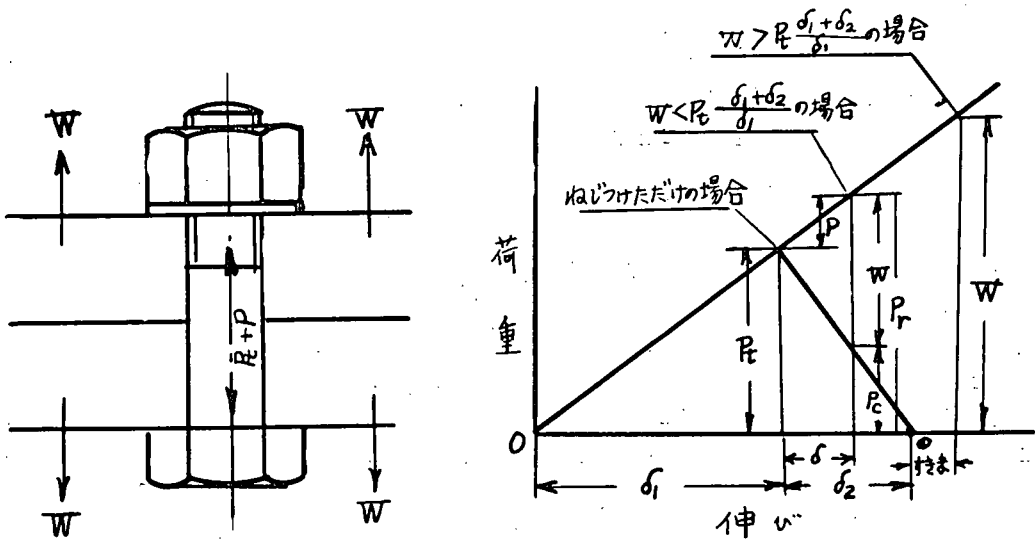
$$\therefore \frac{\tau}{\sigma_t} = \frac{\frac{8P_t k d_2}{\pi d_1^3}}{\frac{P_t}{\frac{\pi}{4} d_1^2}} = 2k \frac{d_2}{d_1}$$

σ_t と τ とが同時に働く場合の最大応力 σ は、最大主応力説により

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{2} \left(\sigma_t + \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau^2} \right) = \frac{1}{2} \sigma_t \left(1 + \sqrt{1 + 4 \left(\frac{\tau}{\sigma_t} \right)^2} \right) \\ &= \frac{1}{2} \sigma_t \left(1 + \sqrt{1 + 4 \left(2k \frac{d_2}{d_1} \right)^2} \right) \\ \therefore \frac{\sigma}{T} &= \frac{\frac{1}{2} \sigma_t \left(1 + \sqrt{1 + 4 \left(2k \frac{d_2}{d_1} \right)^2} \right)}{\frac{1}{2} P_t (k d_2 + \mu' D)} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \left(2k \frac{d_2}{d_1} \right)^2}}{\frac{\pi}{4} d_1^2 (k d_2 + \mu' D)} = K_2 \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma}{T} = K_2, \quad \text{但し } K_2 = \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \left(2k \frac{d_2}{d_1} \right)^2}}{\frac{\pi}{4} d_1^2 (k d_2 + \mu' D)} \quad \textcircled{3}$$

5. 十分ねじつけられた後、ボルトに荷重 W が加わる場合



初めに十分ねじつけたために、 P_t の引張力が生じたとすると、 P_t の力で被固着部分は圧縮される。

δ_1 : P_t に相当するボルトの伸び

δ_2 : P_t に相当する被固着部分の縮み

δ : 加えられた荷重 W のために更に伸ばされた伸び

荷重 W が加えられた時、弾性体とするとボルトに働く合引張力 P_r は

$$P_r = P_t \frac{\delta_1 + \delta}{\delta_1} \quad (4)$$

これに応じて被固着部分の縮みは $\delta_2 - \delta$ に減るので、圧縮力 P_c は

$$P_c = P_t \frac{\delta_2 - \delta}{\delta_2}$$

$$P_r = W + P_c = W + P_t \frac{\delta_2 - \delta}{\delta_2} \quad (5)$$

④式より $\delta = \frac{P_r \delta_1}{P_t} - \delta_1$, これを⑤式に代入して

$$P_r = P_t + W \frac{\delta_2}{\delta_1 + \delta_2} = P_t + P \quad \text{但し} \quad W < P_t \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1} \quad (6)$$

P : W により追加される引張力

もし W のためボルトの伸びが $\delta = \delta_2$ となれば被固着部分は縮みが 0 となり $P_c = 0$

$$\therefore P_r = W = P_t \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1}$$

これ以上 W が大きくなって、ボルトの伸びがいくら増しても

$$P_c = 0 \quad P_r = W > P_t \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1}$$

ボルトの長さが被固着部分の縮厚以上に伸びるとすきまを生じ、気密を害するので

$$W < P_t \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1} \quad \text{即ち} \quad P_t > W \frac{\delta_1}{\delta_1 + \delta_2} \quad (7)$$

でなければならぬ。又 P_t が大きい程、荷重による応力の変化が少くなる。 P の値の変化が小さくなるからである。従って疲労寿命がのびることになる。しめつけられたボルトに荷重 W が働いた時、ボルトが限界応力 σ_v を越すことなく、又すきまが生じないためには

$$P_r = P_t \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1} = \frac{\pi}{4} d_1^2 \sigma_v$$

故に最良の締めつけ力 $P_t = \frac{\pi}{4} d_1^2 \sigma_v \cdot \frac{\delta_1}{\delta_1 + \delta_2} = \frac{\pi}{4} d_1^2 \sigma \quad (8)$

σ_v は材料の降伏点又は弾性限度にとる。しかし降伏点を正確に決定しにくいし、又 δ_1 , δ_2 が不明であときは、ゆるみをも見込んで σ を引張強さの 60% とする。

従ってトルクレンチを使用してこの σ を生ずるようなしめつけトルク T で、しめつければよいことが分る。尚しめつけ後、外部から加える荷重 W は、⑦式より、 $W \leq P_t$ とおくことができる。

6. 図 表

(A) 作成方法

$$(1) \frac{2}{k d_2 + \mu' D} = K_1, \quad \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \left(2k \frac{d_2}{d_1} \right)^2}}{\frac{\pi}{4} d_1^2 (k d_2 + \mu' D)} = K_2 \quad \text{より}$$

ボルト径 d に対応する K_1 , K_2 曲線を重く (a)

(2) $\frac{\sigma}{T} = K_2$ より σ を材料強度として T , K_2 の関係より σ 曲線を画く (b).

(3) $\frac{P_t}{T} = K_1$ より T 曲線を画く (c).

(B) 使用法

(1) a図に於て, ボルト径 d に対する K_1 , K_2 を求める.

(2) b図に於て, 求めた K_1 と σ より T を求める.

(3) c図に於て, K_2 , T より P_t 又は W を求める.

7. 結 論

以上により求めた T はボルトの径 d に対する最良のしめつけトルクであるので, トルクレンチを用いてしめつければよい. 又しめつけにより生ずる引張力 P_t を求めれば, しめつけて後加え得る最大荷重 W が分る. 故に外部荷重より, 安全なボルトの径 d も求めることが出来る.

(昭和39年9月28日受理)

