

小ねじの締付け特性に関する研究

(摩擦係数の簡易測定装置の製作と評価)

Study on Tightening Properties of Machine Screw

(Production and Evaluation of Simplified Measurement Device of Coefficient of Friction)

○ZEBRA 吉田有希, 日立プラントコンストラクション 山崎龍一
JR 東日本 児玉 裕, 工学院大学 小林光男

要 旨

ねじの締付け力を決定する事は簡単であるが、実現する事は非常に難しい。小ねじの高強度ボルトなどの出現により、強度的使用効率が高くなり、小ねじについても大径ねじ同様締付け管理の必要と共に、小ねじの使用は益々増加する傾向にある。そこで、本報告は高価な試験機によらずに安価で簡易的に小ねじ用の摩擦係数を測定する装置を製作し摩擦係数を求める。摩擦係数からトルク係数を求め検討する。

Key word; Machine screw, Tightening property, Coefficient of friction, Measuring system,

1. はじめに

締付け力を気にせず、頻繁にしかも安易に使用される小ねじは、締付け力が重要にも関わらず締付け管理が非常に困難で、なおかつ強力な締付けが必要でないために、安全性・信頼性が考慮されず、軽視されがちである。しかし、機械構造物の軽薄短小化において小ねじの使用が多くなり、小ねじにおいても大径ねじ同様に信頼性の向上を図る必要があり、締付け力の精度を上げることが要求される。

トルク法の原理は、締付けトルクと締付け力が直線関係にありあることにある。また、座面やねじ面の接触により摩擦の影響を大きく受けるが一般に、これらを基にしたトルク係数として使用されている。小ねじは特に座面部及びねじ部における摩擦係数の変動が大きく、締付けトルクに直接影響する⁽¹⁾。一般的にねじの摩擦は締結モデルから、座面部及びねじ部の摩擦係数を対象にし、多くの場合は高価な試験機により締付け試験を行い求めている。

本報告は、高価な試験機によらずに安価で簡易的に小ねじ用の摩擦係数を測定する装置を製作し摩擦係数を求める。摩擦係数からトルク係数を求め検討する。

2. 実 験

2.1 ボルト・ナットの供試材

実験で使用するボルト・ナットは、通常の組み合わせで用いられるアルミニウム合金(A5056)製、純チタン(2種)製、鋼(SS400)製、ユニクロメッキ処理された鋼(SS400)製十字穴付きなべ小ねじそれぞれM3～M6の計16種である。Table1に各材料の機械的性質を示す。

2.2 摩擦係数の求め方

図1はビッカース硬さ試験機を利用し、負荷荷重 P を与え摩擦係数を測定する装置の原理である。図1(a)はナット座面部の摩擦係数の測定状態を示している。アーム部をナット及びスラストベアリングで挟み負荷荷重 P を与える。また、図1(b)はねじ部の摩擦係数の測定状態を示している。ボルトをチャックで固定し、ナットをかみ合わせスラストベアリングを介してアーム部を挟み負荷荷重 P を与える。そしてアーム部の先端の中心から L の位置を力計を用いて引張りアームの動き出す瞬間の力 F を読み取る。

Table 1 Mechanical property of machine screw

| Material | d | P_{max} (kN) | σ_s (MPa) | σ_t (MPa) | δ (%) | HV(1) |
|----------------------------|----|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-------|
| Al (A5056) | M3 | 1.5 | 270 | 240 | 6.5 | 94 |
| | M4 | 2.5 | 260 | 220 | 7.8 | 99 |
| | M5 | 4 | 260 | 220 | 8.5 | 88 |
| | M6 | 5.2 | 230 | 190 | 10 | 82 |
| pure Ti | M3 | 1.8 | 320 | 280 | 25.2 | 142 |
| | M4 | 3.6 | 370 | 310 | 16.9 | 147 |
| | M5 | 6.9 | 440 | 390 | 14.5 | 171 |
| | M6 | 8.8 | 390 | 350 | 12.3 | 177 |
| Steel (SS400) | M3 | 3.2 | 570 | 520 | 6.8 | 188 |
| | M4 | 5.7 | 580 | 530 | 8 | 229 |
| | M5 | 8 | 510 | 430 | 11.2 | 224 |
| | M6 | 10.1 | 450 | 430 | 11.8 | 199 |
| coated Steel (SS400) | M3 | 3.2 | 570 | 540 | 6.6 | 184 |
| | M4 | 4 | 410 | 390 | 10.3 | 159 |
| | M5 | 7.7 | 490 | 460 | 10.9 | 173 |
| | M6 | 10.4 | 460 | 430 | 12.5 | 176 |

次式に示す通り各々のモーメントのつり合いから各摩擦係数を求める。

$$T_r = \mu_r \times P \times R \quad (1)$$

$$T_{rw} = (\mu_w \times P \times d_w + \mu_r \times P \times R) / 2 \quad (2)$$

$$T_{rs} = (\mu_s \times P \times d_2 + \mu_r \times P \times R) / 2 \quad (3)$$

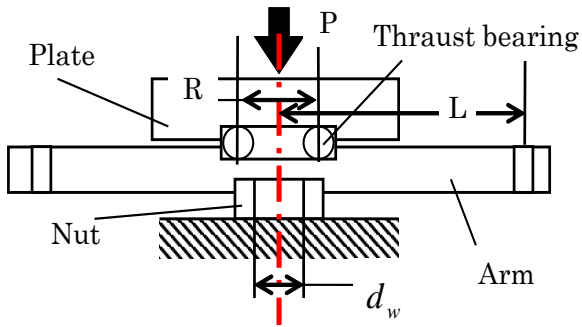
ここで、 μ_r, μ_w, μ_s は各々ベアリング、ナット座面、ねじ部の摩擦係数であり、 R, d_w, d_2 はスラストベアリングの直径、ナット座面の摩擦等価直径、ねじ部の有効径である。

3. 実験結果及び考察

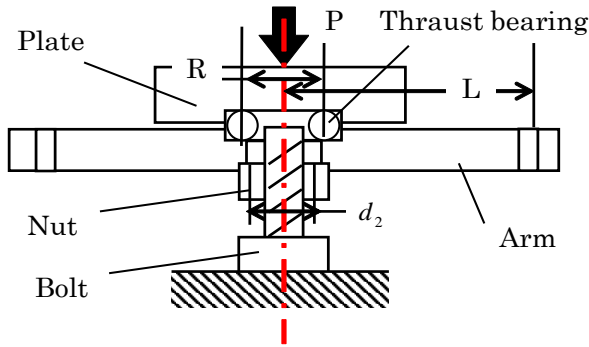
3.1 ボルト・ナットの摩擦係数

ユニクロメッキ処理された鋼製小ねじにおいて、負荷荷重に対するボルト、ナットの摩擦係数の変化を図2に示す。(a)はナット座面の摩擦係数で、(b)はねじ部締付け方向の摩擦係数である。また、(c)はねじ部緩み方向の摩擦係数である。

全般的に、負荷荷重が増加するに従って、やや低下傾向を示し、高い荷重領域で各々一定値に近づく傾向である。座面部及びねじ部の摩擦係数を比較すると、両者とも比較的近い値を示す。座面部よりもねじ部の方が、全般的に高



(a) Coefficient of friction of bearing surface part



(b) Coefficient of friction of threaded part

Fig1. Measurement method of coefficient of friction

い値を示し、高い荷重領域では呼び径の影響を受けず一定値に収束している。これは、荷重により半径方向の変形の影響によるものと考えられる。

3.2 締付け方向とゆるみ方向の摩擦係数

ねじ部において、締付け方向の摩擦係数とゆるみ方向の摩擦係数を比較すると、負荷荷重が低い領域では締付け方向の摩擦係数の方がやや大きい負荷荷重が高い荷重領域になるとほぼ同じ摩擦係数の値を示している。ここで、ねじ部の締付け方向というのは、ナットが斜面を登る方向であり、負荷荷重 P と対向する方向となり高い値を示したと考えられる。

3.3 トルク係数の評価

締付けトルクによりねじを締付けるとねじ部のトルク及び座面部トルクの抵抗を受けこれらに打ち勝ってナットが回転し締付け力 F_f を発生させる。

$$T_f = T_s + T_w = K F_f d \quad (4)$$

式(4)はトルク法の原理で、トルク係数は実験による測定方式より求めた摩擦係数により式(5)によって算出した⁽²⁾。

$$K = (P/\pi + \mu_s d_2 \sec \alpha + \mu_w D_w) / 2d \quad (5)$$

表2は、負荷荷重 $P=500$ [N]の時、ねじ部締付け、ねじ部緩みのトルク係数平均である。ねじの使用される負荷荷重範囲では誤差を比較的小さく求めることが出来、更に測定装置の高剛性化等により、誤差を小さくする事が可能である。本実験結果より、製作した試験装置は締付けトルクを安価で簡易的に求めることができ有効であると考えられる。

4. 結言

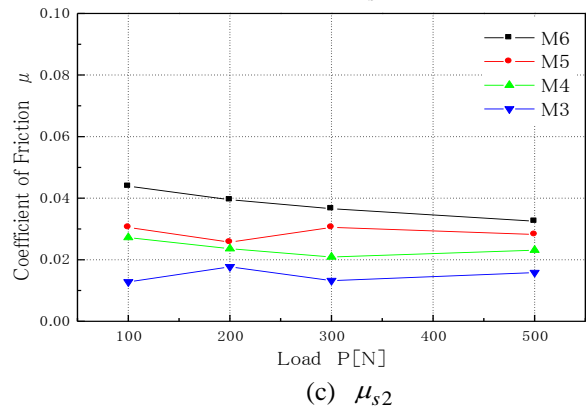
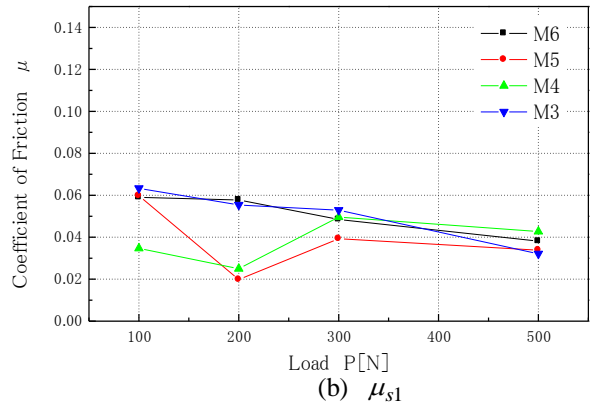
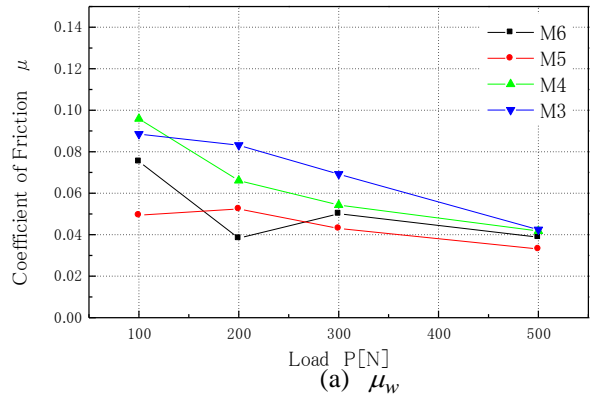


Table2. The torque factor of average

| | Average of K | Error[%] |
|-------------------|--------------|------------|
| Tightening | 0.21 | 1.0 |
| Loosening | 0.18 | 0.5 |

座面部及びねじ部の摩擦係数を締結状態ではなく、一般的な摩擦係数の測定方法により小ねじの締付け領域の負荷荷重 100[N]~500[N]において検討し、以下の結論を得た。

- (1) 摩擦係数は負荷荷重の増加に対してやや低下傾向を示し高荷重領域では、ほぼ一定値に近づく傾向がある。
- (2) 摩擦係数、トルク係数ともに締付け方向とゆるみ方向を比較すると、締付け方向の方がやや高い値を示す。
- (3) 負荷荷重 500[N]の時、基準値のトルク係数 0.20 との誤差はねじ部締付け 3.5[%]ねじ部緩み 8.0[%]となった。
- (4) 今回の実験結果から誤差は、ねじの使用範囲で、締付けトルクを安価で簡易的に求めることが可能で実用性があることを示した。

[参考文献省略]