S112042

ボルト軸直角方向超音波振動を用いたねじ締結法*
(振動方向がボルト軸方向の場合について)岡田 学^{*1}, 大谷行寛^{*2}, 土田友也^{*3}, 中塚聡史^{*4}**A Screw Tightening Method with Ultrasonic Vibration**
(in the Case of Vibration Direction is Axial Direction)Manabu OKADA^{*1}, Yukihiro OTANI^{*2}, Tomonari TSUCHIDA^{*3}, and Satoshi NAKATSUKA^{*4}^{*1} Nagano National College of Technology, Dept. of Mechanical Engineering,
Tokuma 716, Nagano-shi, 381-8550 Japan^{*2} Minebea Co., Ltd., ^{*3} Mie University, ^{*4} University of Toyama

It is known by past researches on the loosening of a screw that rotation of loosen will arise if the radius direction vibration is given to a bolt head or the bearing surface of a nut. On the other hand, it is known that it is effective in ultrasonic vibration reducing apparent friction, and the method of performing screw tightening with little variation is also studied, it is performed by tightening with the ultrasonic vibration. In use of ultrasonic vibration, a stronger effect can be acquired by using resonance. In this research, the bolt head or the nut was fastened with axial ultrasonic vibration by vibration resonance, and it is investigated about the effect.

Key Words : Fixing Element, Bolted Joint, Bearing Surface, Tightening Characteristics, Ultrasonic Vibration

1. 結 言

ボルト頭部またはナットの座面にボルト軸直角方向振動を与えるとゆるみ回転が生じることは、これまでのねじのゆるみに関する研究によって知られている⁽¹⁾。他方で、超音波振動が見かけ上の摩擦を低減する効果があることが知られており⁽²⁾、これまでに、ボルト頭部に軸方向超音波振動を与えながら締め付けることによって、ばらつきが少ないねじ締結を行う方法も研究されている⁽³⁾。また、超音波振動では振動体の寸法や形状を調整して特定の周波数で共振させることによって大きな振幅を得ることができるため、振動の効果を高めることができる。

前報では、超音波周波数で共振する振動体の振動の極大点（以降、腹）の部分にナットを置いて軸直角方向の超音波振動を与えながら締付けを行うレンチについて報告した。本研究ではナットを振動の「節」（以降、節）に置いて軸方向の超音波振動を与えながら締付けを行い、その効果について調べた。

2. 接触面の摩擦係数と締付トルク-軸力の特性について

平面座ナットの締付トルク T_f とボルト軸力 F_s の関係は次式で表わされる。

$$T_f = \frac{F_s}{2} \left(\frac{\mu_s d_2}{\cos \alpha} + \frac{P}{\pi} + d_w \mu_w \right) \quad (1)$$

ここで F_s はボルト軸力、 μ_s はねじ部の摩擦係数、 d_2 はねじ部の有効径、 α はねじ山の半角、 P はねじピッチ、 d_w は座面摩擦トルクの等価直径、 μ_w は座面の摩擦係数である。

^{*1} 正員、長野工業高等専門学校（〒381-8550 長野県長野市徳間 716）

^{*2} 正員、ミネベア株式会社、^{*3} 学生員、三重大学 工学部、^{*4} 学生員、富山大学 工学部
E-mail: okada@me.nagano-nct.ac.jp

括弧内第2項は定数であるため、もし同一の締付トルクに対して軸力が増加した場合は、括弧内第1項と第3項の和が減少したことになる。ここで、括弧内第1項と第3項において、摩擦係数以外は定数と見なせるので、同一の締付トルクに対して軸力が増加した場合、ねじ面または座面において摩擦係数が減少したといえる。

また、括弧内第1項と第2項の和がボルトのねじれトルク T_s であるため、それと締付トルク T_f 及び軸力 F_s を測定することによって、締付トルクのうちねじ部の摩擦トルク（括弧内第1項）、軸力増加のためのトルク（同第2項）、座面の摩擦トルク T_w （同第3項）の各成分を求める。

3. 実験装置及び実験方法

Fig. 1 に開発したレンチの構成を示す。ホーンの中にはソケットレンチを焼きばめで取り付けられている。ホーンの端面には超音波振動子（BLT : Bolt-clamped Langevin type Transducer）が取り付けられている。Fig. 2 に超音波振動の振幅の分布を示す。ホーンは目的の周波数（28kHz）で共振するように、約 $1/2$ 波長の長さ（89mm）に調整した。ホーンを $1/2$ 波長の長さにすると、共振したときに両端が振動の「腹」になり、ホー

Fig. 1 Appearance of Experimental Device

Fig. 2 Position of Node and Anti-node on Ultrasonic Vibration Horn

ンの軸方向の振幅が極大になる。ホーンの中央ではホーンの軸方向の振幅が0になる代わりに、ポアソン比の影響によりホーンの軸と直角方向の振幅が極大になる。ナットをボルト軸方向に加振するため及び振動の効果を高めるためにソケットレンチを振動の節になる中央部に取り付けた。

試料のボルトとナットはM10のものをを用い、座面とねじ面には二硫化モリブデングリスを塗布した。試料のボルトとナットは12組使用した。

締付トルクは40Nmまで加えた。締付にはプレート型トルクレンチを使用し、たわみプレートに歪みゲージを貼って締付トルクを測定した。各部のひずみ測定には多点測定可能なゲージアンプを使用して、各部の測定値を同期させながら記録した。

4. 結果と考察

Fig. 3 に超音波振動を与えた場合と与えない場合の締付トルク T_f に対する軸力 F_s の変化の一例を示す。同一の試料で両者を比較すると、超音波振動を与えた場合の方が同一の締付トルクに対して軸力がより小さいので、この実験では超音波振動が接触摺動部分の摩擦を増加させていることがわかる。これは、前報の振動の「腹」にナットを置いた場合とは逆の傾向である。

Fig. 3 An Instance of Axial Tension in Tightening with or without Ultrasonic Vibration

Fig. 4 Axial Tension Increase Rate on Tightening with Ultrasonic Vibration

Fig. 4 に超音波振動を与えた場合の軸力の平均の増加率を示す. ある程度の変動はあるが, この場合は超音波振動を加えることによって同一の締付トルクにおいて振動を加えない場合よりも軸力が減少しており, その割合は6~10%程度である.

Fig. 5 に超音波振動を与えた場合と与えない場合の締付トルクの各成分の平均の増減率の変化を示す. 各成分の大きさはひずみゲージによって測定した締付トルク T_f とボルト軸ねじれトルク T_s と次式から求めた.

$$T_f = T_s + T_w \quad (2)$$

超音波振動を加えることによって, ボルト軸ねじれトルク T_s は増加し, 座面の摩擦トルク T_w は減少している. ボルト軸ねじれトルク T_s は「ねじ部の摩擦トルク」と「軸力増加のためのトルク」(式(1)の括弧内の第2項に関する成分で, 軸力に対して一定の比) の和であるので, この場合は超音波振動を加えることによってねじ部の摩擦トルクが増加しているといえる. ねじ部の摩擦トルクが増加することも, 前報の振動の「腹」にナットを置いた場合とは逆の傾向であり, さらに「超音波振動が見かけ上の摩擦を低減する効果がある」という一般的傾向とも逆である. しかし, 座面の摩擦トルク T_w は減少しているので, この現象は, ねじ面がねじ山の半角やリード角によって斜面になっていることと関係があるのではないかとと思われる.

5. 結言

- (1) ボルト軸直角方向の超音波振動の「節」にナットを置くことによって, ナットにボルト軸方向の振動を加えながら締付を行うレンチを開発した.
- (2) 開発したレンチで超音波振動を加えながら締付を行うことにより, 振動を加えなかった場合に比べて, 座面の摩擦トルクは減少し, ねじ面の摩擦トルクは増加した.

参考文献

- (1) 山本 晃・賀勢晋司, 軸直角振動によるねじのゆるみに関する研究(ゆるみ機構の解明), 精密機械, 43-4(1977), 470.
- (2) 電子情報技術産業協会: 超音波工学, コロナ社, (2002).
- (3) 森 和也, 橋村真治, 長瀬陽一: 超音波を用いたボルト締結力の管理法, 機講論, No. 05-1, (2005.9), p.171-172.

Fig. 5 Increase Rate of Component of Tightening Torque