

令和 2 年 7 月 4 日現在

機関番号：53601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06133

研究課題名(和文)超音波振動を利用した小径めねじ加工

研究課題名(英文)Tapping Small Diameter Screw Threads with Ultrasonic Vibration

研究代表者

岡田 学 (Okada, Manabu)

長野工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：70249788

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：超音波振動を加えながら、小径めねじの切削加工、塑性加工、及びタッピンねじの締付けを行った。切削加工と塑性加工のねじ径は市販品で最も小径のM1、タッピンねじも市販品で最も小径のM2とした。超音波振動の周波数は無振動、28kHz、40kHz、60kHzの4種類とした。切削加工、塑性加工、タッピンねじの締付けのいずれにおいても、振動周波数40kHzのときに加工トルクまたはねじ込みトルクを最も低減することができた。超音波振動は振動周波数の2乗に比例して加速度が大きくなるが、超音波振動子は振動周波数が高くなるほど小型になり投入可能な電力が小さくなるためであると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、めねじ加工用のタップの呼び径の下限がM1であるのは、小径のタップはねじり負荷に弱く、加工中に折れやすいからである。本研究の成果によって加工トルクを低減できれば、さらに小径のめねじ加工が可能になる。それによって、小型化の要求が強い携帯情報端末やIoT機器の組み立てに使うねじを小径化できるほか、限られたスペースに複雑な機構を組み込む高級腕時計などの高付加価値製品の開発や、各種計測用センサー、ドローン、医療機器などの精密機器の小型化に貢献できると考えている。

研究成果の概要(英文)：The cutting and plastic working of the small diameter female screw and the tightening of the tapping screw were performed while applying ultrasonic vibration. The cutting and plastic working thread diameter is M1 and the tapping screw is M2, which are the smallest diameters on the market. There are four types of ultrasonic vibration frequencies: no vibration, 28kHz, 40kHz, and 60kHz. The cutting torque or screwing torque could be reduced most when the vibration frequency was 40 kHz in any of cutting, plastic working and tapping screw tightening. It is considered that the acceleration of ultrasonic vibration increases in proportion to the square of the vibration frequency, but the higher the vibration frequency, the smaller the size of the ultrasonic vibrator and the less power that can be input.

研究分野：機械要素

キーワード：機械要素 ねじ 超音波振動 切削加工 塑性加工

## 1. 研究開始当初の背景

近年急速に市場が拡大したスマートフォンやタブレットなどの携帯情報端末や、時計やカメラなどの精密機器などではM2以下の小径ねじが多用される。おねじは転造されるので小径化はあまり困難ではないが、めねじの多くはタップ加工されるので、小径のものは工具の断面係数が非常に小さく加工中に破損しやすい。小径タップの外観の例を図1に示す。



図1 小径タップの外観

ドリルの穴加工も小径の場合は工具の折損が生じやすいが、申請者らはこれに超音波振動を付加する研究を行った。この場合は、以下のような効果を期待し、小径穴加工などで良好な結果を得た。(1)

- (1) 工具に振動を与えることによって、断続的な加工になって見かけ上の切削抵抗が小さくなる。
- (2) 工具と被削材が接触と分離を繰り返すことで加工部の潤滑や冷却が改善されると共に、見かけ上の摩擦力が小さくなる。
- (3) 振動によって切れ刃と被削材の間に相対運動が生じ、切削速度が見かけよりも大きくなる。
- (4) Blaha 効果によって切屑が塑性変形するときの変形抵抗が小さくなる

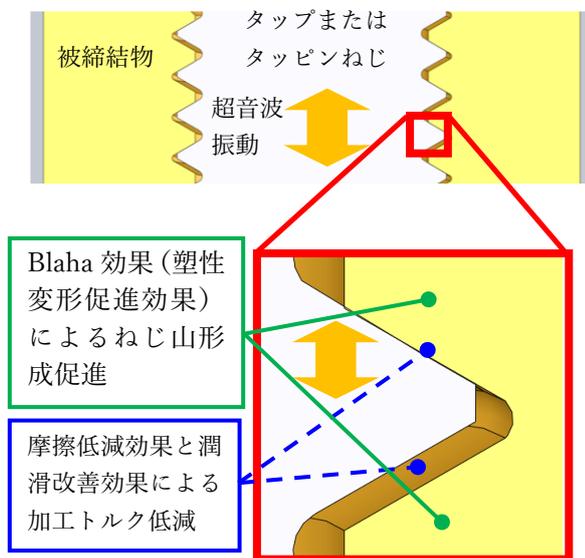


図2 超音波振動によるねじ山の形成促進

申請者らは、このうち(2)の摩擦低減効果

と潤滑改善効果をねじ締結にも応用し、トルク法締付における軸力のばらつきを低減させた。

めねじの切削加工では上記(1)~(4)が工具の折損防止に寄与すると考えている。また、おねじの加工がねじ山強度などに優れる塑性加工(転造)に移行して久しいのに対して、めねじの加工は未だに切削が主流だが、塑性加工である溝無しタップによるめねじ加工及びタッピンねじによるめねじ形成にも、上記(2)と(4)が寄与すると思われる(図2)。

## 2. 研究の目的

めねじの多くはタップを使用して切削加工されるが、小径のものは断面係数が非常に小さいので加工中に破損しやすい。そこで、切削抵抗を非常に小さくすることができる超音波振動援用加工を適用することで、工具の破損を防止することが本研究の目的である。さらに、塑性加工によってめねじを形成する溝無しタップやタッピンねじへの超音波振動の効果についても調べる。従来、これらの加工では塑性変形によるねじ山形成が難しかったが、超音波振動による Blaha 効果などによってそれが改善できると考えるからである。

### 3. 研究の方法

タップを保持して加工トルクを与えながら振動を加えるタップホルダを製作した。タップのサイズは一般的に市販されている物としては最も小径の部類の M1 とした。小径であれば、対象物が小さくて軽いので高周波数振動に適しており、振動子の出力があまり大きくなくても対象物に振動のエネルギーを集中させることができる。つまり、対象物(タップ)が小さいので、振動体(ホーン)を円錐形状にして断面積を絞りながら振幅を拡大することができ、小さな対象物に大きな振動のエネルギーを与えることができる(図3)。円錐形状の振動体は、超音波振動援用加工や超音波接合等の分野で振幅を拡大するために使用されている。

まず円錐型の振動体について有限要素法によって振動の解析を行い、目的の周波数で共振させるための形状や寸法を検討した(図4)。次に、振動体を製作し、それを使った加工実験を行った。周波数による効果の違いを調べるために、振動子と振動体は複数の周波数について製作した。

超音波振動タップホルダは周波数を変えて3個製作し、それに取り付ける超音波振動子も3種類用意した。それを駆動する増幅器(アンプ)と発信機(ファンクションジェネレータ)は直流~500kHzに対応できるものを使用した。振動の振幅は高周波数対応のレーザー変位計で測定した。

製作した超音波振動タップホルダを使って加工実験を行った。「超音波振動あり」と「超音波振動なし」の場合について、それぞれ数十個程度のサンプル数で加工実験を行って加工トルク等の測定値を収集した。「超音波振動あり」の場合については、振動周波数、振動

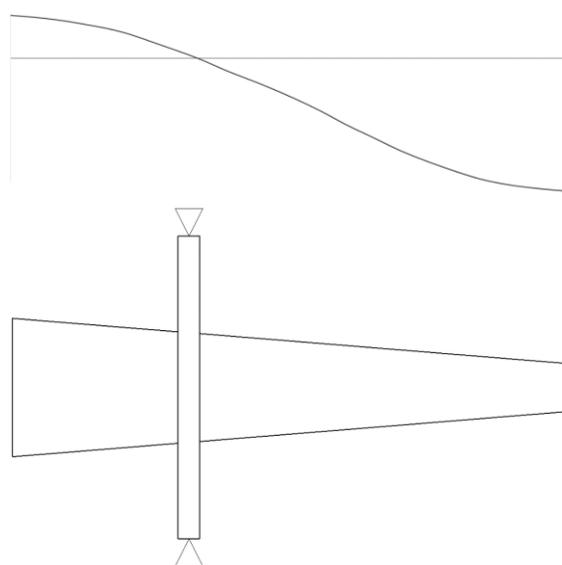


図3 円錐型振動体の共振と振幅拡大  
(写真は左から 28kHz, 20kHz, 40kHz, 60kHz 用)

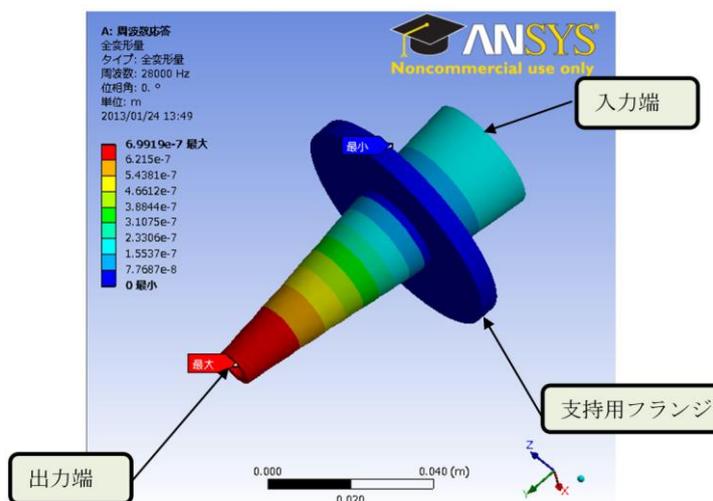


図4 有限要素法による振動解析

子駆動電圧等の条件を変えながら実験を行い、その影響について調べた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 小径めねじの切削加工

小径のタップに超音波振動を与えながらめねじ加工を行った。加工するねじのサイズは、一般的に市販されているタップの最小の呼び径である M1 とした。使用するタップの種類は、手作業の加工に使用されるハンドタップと、タップ盤等の機械による加工に使用されるスパイラルタップ（切屑は手前側へ排出）とポイントタップ（切屑は向う側へ排出）の3種類を使用した。被削材はアルミ合金 A5052 の板で、厚さは 3mm。めねじ加工の下穴径は 0.75mm とした。

実験の結果、加工トルクは各タップとも、振動が無い場合に比べて振動を与えた場合の方が低下した（図 5、図 6）。振動低下の比率は振動周波数が高い方が大きかった。振動を加えた場合に加工トルクが低下した理由は、他の超音波振動援用加工と同様に、超音波振動援用加工の基礎的効果と言われる Blaha 効果、摩擦低減効果及び潤滑促進効果、ハンマリング効果等によるものと思われる。しかし、振動を加えるとタップが破損するトルクも低下した。ハンマリング効果による衝撃作用が脆性材であるタップの破壊も促進した可能性が考えられる。

##### (2) 小径めねじの塑性加工

小径の溝無しタップに超音波振動を与えながらめねじ加工を行った。めねじの加工で主流になっているタップ加工が切削加工であるのに対して、溝無しタップによる加工は切屑を出さず、塑性変形によってめねじを形成する。

加工するねじのサイズは、一般的に市販されている溝無しタップの最小の呼び径である M1 とした。被削材はアルミ合金 A5052 の板で、厚さは 3mm。めねじ加工の下穴径は 0.88mm とした。

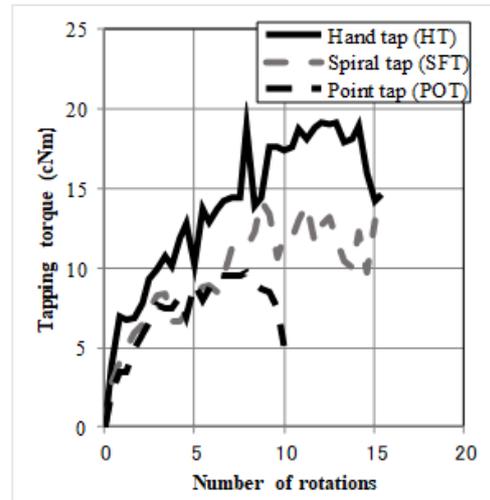


図 5 超音波振動無しの切削トルク

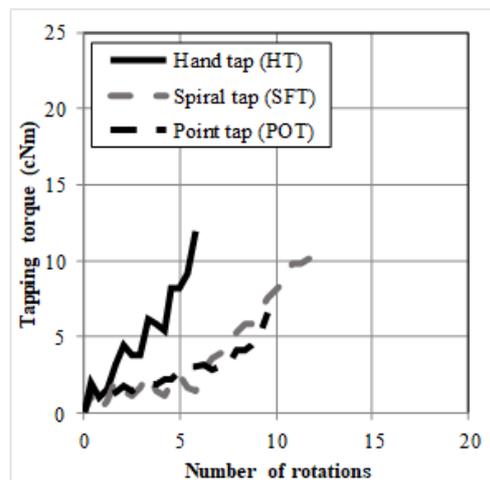


図 6 超音波振動ありの切削トルク

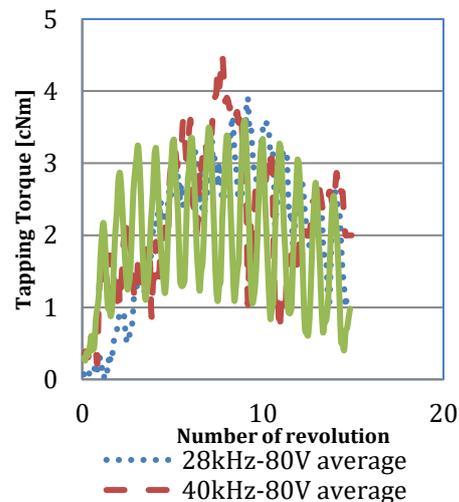


図 7 めねじの塑性加工のトルク

実験の結果、加工トルクは各タップとも、振動が無い場合に比べて振動を与えた場合の方が増加した(図7)。振動を加えた場合に加工トルクが増加した理由は、超音波接合などに見られる接触面の凝着促進効果によるものと思われる。

その一方で、振動を加えた場合の加工トルクは振動周波数が高い方が小さかった。周波数を高くすることによって、Blaha 効果、摩擦低減効果及び潤滑促進効果、ハンマリング効果等による加工抵抗の低減効果が、凝着促進効果による効果を上回ったものと思われる。

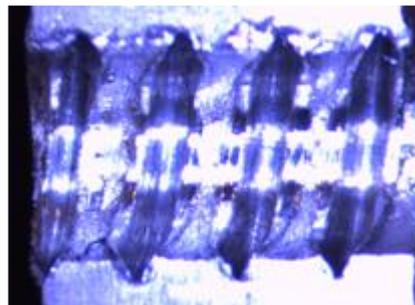
加工したためねじの断面を観察すると、超音波振動を加えた場合の方がねじ山が頂点付近まで高くきれいに形成されていることが確認できた。超音波振動による Blaha 効果によるものと思われる。

### (3) タッピンねじの締付

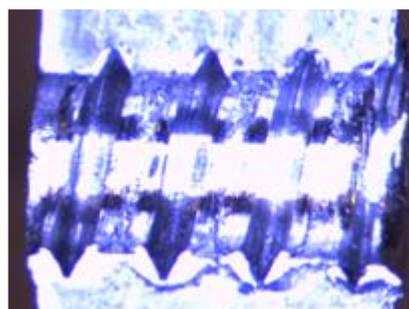
タップホルダに十字穴付き小ねじ用のドライバービットを取り付けてタッピンねじの締付の実験を行った。

タッピンねじのサイズは、一般的に市販されているタッピンねじの最小の呼び径である M2 とした。被削材はアルミ合金 A5052 の板で、厚さは 3mm。タッピンねじの下穴径は 1.6mm, 1.7mm, 1.8mm の 3 種類を試した。

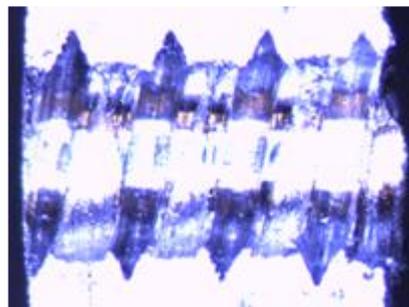
タッピンねじの評価項目としては、ねじ込みトルクの測定、ねじ山の成形性についての顕微鏡観察などを行った。ねじ込みトルクの最大値は無振動が 8.39cNm, 28kHz が 6.82cNm, 40kHz が 4.92cNm であり、高い振動周波数で大きなねじ込みトルクの低減効果を得た。ねじ山成形性については、下穴径 1.6mm の場合に形成されたねじ山高さが、無振動で 0.254mm, 28kHz が 0.277mm, 40kHz が 0.301mm であり、高い振動周波数でねじ山成形性がより促進された(図8)。周波数を高くすることによって、Blaha 効果、摩擦低減効果及び潤滑促進効果、ハンマリング効果等が大きくなり、ねじ込みトルクの低減及びねじ山成形性の促進に結びついたものと思われる。



(a) 振動無し



(b) 振動周波数 28kHz



(c) 振動周波数 40kHz

図8 タッピンねじにより形成されたためねじの断面

### <引用文献>

- (1) Hiromi ISOBE, Yusuke UEHARA, Manabu OKADA, Tomio HORIUCHI, Keisuke HARA : Experimental Verification of Ultrasonic Vibration Aided Drilling Process for Difficult-to-cut Material, Proceedings of the 6th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, (2011)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 清水理生, 岡田学
2. 発表標題 超音波振動を利用したタッピンねじの締付け
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越学生会 第49回学生員卒業研究発表講演論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Manabu Okada, Yousuke HANAMURA, Tan Tawfiq, Balqis Hanis binti Ali
2. 発表標題 Tapping Screw Threads with Ultrasonic Vibration
3. 学会等名 The 8th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田学, ズルハフィズ・ビン・ゾルケベリ, 清水理生
2. 発表標題 超音波振動を付加しためねじの塑性加工及びタッピンねじの締付け
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ズルハフィズ・ビン・ゾルケベリ, 岡田学
2. 発表標題 超音波振動を利用した小径めねじの加工（溝なしタップによるめねじの塑性加工への適用）
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越学生会 第48回学生員卒業研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田学
2. 発表標題 超音波振動を利用しためねじの加工（振動周波数と工具種類の影響）
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考