タップおよびその他ねじ切り工具*

Tap and Other Thread Cutting Tools

赤木貞之**
Sadayuki AKAKI

Key words thread, threading process, drill, tap, cutting tap, forming tap, thread mill, coating

1. はじめに

ねじは、締結・結合・運動の伝達と物の移動といった幅広い分野で使用される。私たちの身の回りの建物や橋といった構造物の多くは、ねじによる締結と結合から出来ている。加えて、家電・OA 機器・スマートホン、さらには、自動車・鉄道車両・航空機から水道・ガスの精製施設等のインフラにも多くのねじが使用されており、ねじがなければわれわれの生活が成り立たないと言っても過言ではない。また、産業界においても多くの機器に多種多様なねじが使用され、それらの機器の信頼性を確保する上でもねじは必要不可欠であり、重要な機械要素の一つである。

さて、われわれの周囲にある多くの機器は、大小さまざまな部品から構成されているが、それらを締結するために多くのおねじとめねじがあり、おねじは、小ねじやボルトなどと呼ばれ単体になるが、めねじは、機器の部品本体に加工される。そして、そのめねじ加工に用いられるのがタップである。タップは、ドリル等の穴加工工具で開けられた下穴の内側におねじの形状をした工具を回転させながら定められたリード（1 回転で進む距離）に沿って送ることにより、めねじを加工する工具であるため、他の工具と異なり切削と送りの両機能が求められる特殊な工具である。また、最終仕上げ工具であることから正しく使用されなければ加工されためねじの精度は落ち、ねじは本来の機能を失い大きな事故につながる。ところが、タップ加工は下穴の影響（曲がりや位置ずれ）を強く受けることに加え、小径の切削タップは、切り屑を収納する溝があるため工具の強度確保が難しく、使用条件によっては切り屑トラブルによる折損事故が起き、部品が不良となることも多い。また、タップ加工は最終工程で行われることが多いことから、その損害金額も大きい。

近年は、部品の高強度・軽量化が求められ難削材の使用が増えてきているのに加え、環境への影響を軽減するため不水溶性から水溶性の切削油剤への移行が望まれてきている。これに対応するため、タップの仕様は切削性を重視し、送りは機械の性能に依存した設計が主となっている。また、耐摩耗・耐凝着性向上を目的としてさまざまなコーティングがタップに処理されるようになってきた。

そこで、本稿ではタップの種類と特徴および機械・ホルダとの組み合わせについての留意点を述べるとともに、近年の機械剛性と制御技術の進歩にともない徐々に使用が増えているスレッドミルによるねじ加工も紹介する。

2. タップによるめねじ加工

2.1 タップの各部名称とその働き

タップには、切削加工によってめねじを加工する切削タップと塑性加工によってめねじを加工する盛上げタップ（ロールタップ）とがある。図 1 は切削タップの形状を示す。タップには切り屑を生成する働きの食付き部、リードに倣って工具を送るための自己案内性をもたせた完全ねじ山部、切り屑をためて排出するための溝部が設けられている。

食付き部は、ねじ山を切削する役割を果たす実際の切れ刃であり、下穴に対して切れ刃を食い付きやすくするためのガイドの役目も果たしている。食付き長さ（食付き山

図 1 切削タップの形状と各部の名称

*原稿受付 令和 2 年 8 月 21 日

**正 会 員 (株) 彌満和製作所技術研究所 (福島県福島市笹木野字笹木野原 3 番地)

図2 食付き部断面

図3 完全山部断面

図4 すくい角の種類

数)は、下穴の長さに対する有効ねじ長の関係や切削量等を考慮して決められる。切削抵抗を軽減するには食付き長さを長くし、切削に作用する山数を多くするのがよい。また、食付き部の山数を多くするとめねじ入口のねじ山形状崩れによる有効径拡大や、切削中に起きる食付き部の欠損を抑制する効果も期待できる。

図2は食付き部の断面形状を示す。断面は、溝とねじが形成されたランドからなるが、食付き部のランドには刃先から逃げを設けており、これが逃げ(二番角)の役目を果たす。逃げ量を大きくすると切削抵抗は軽減されるが、過切削になりやすくてめねじ拡大につながるばかりか、刃先強度が下がり、切削中の欠損を招くので注意が必要である。

図3は完全(ねじ)山部の断面形状を示す。完全山部は、タップが1回転当たり1リード進むためのガイドの役割を果たすため、完全山部のランドに設ける逃げ量は食付き部の逃げ量より少ない。完全山部のランドへの逃げのつけ方には、ガイド性と切削性の兼ね合いから主に3種類ある。図3の断面図で示す刃先の逃げは、ガイド性と切削性を両立させるためランドの刃先から一定幅の真円部を設け、その後に逃げを設けたコンエキセントリックレリーフであるが、その他にガイド性を重視した逃げのないノーレ

切削加工

ハンドタップ

右スパイラルタップ

左スパイラルタップ

ポイントタップ

塑性加工

ロールタップ

図5 タップの種類

リーフと、切削性能を重視しランドの刃先から逃げを設けたエキセントリックレリーフ(図3右)がある。さらに、ねじ山部には摩擦力により切削トルクが増大しないようバックテーパをつける場合が多い。

図4はタップのすくい角の種類を示す。すくい面が曲面の形状で刃先を通る中心線に対し刃先とねじの谷底を結んだ直線とのなす角をコーダルフック角、すくい面が平面の形状で刃先を通る中心線に対し刃先とねじの谷底を結んだ直線とのなす角をレーキ角、すくい面が曲面の形状で刃先を通る中心線に対し刃先におけるすくい面の接線とのなす角をタンゼンシャルフック角と呼ぶ。使い分けとしては、主に延性のある金属の切削において、切り屑をカールし排出する場合にはコーダルフック角を用い、鋳物の切削のように切り屑を細かく分断して排出する場合においてはレーキ角を用いる。コーダルフックとタンゼンシャルフック角の違いについては、すくい面が曲面の場合、刃先付近での測定と刃先とねじの谷がなす角での測定では、得られるすくい角が異なるため、先端の角度を規定する目的でタンゼンシャルフック角が設けられた。

図5はタップの種類を示す。切削タップの溝は、食付き部で切削された切り屑をため、かつ排出する役目をもっているが、切削タップは、溝形状の違いにより大きく4種類に分けられる。切り屑をためながら切削する直溝を設けたハンドタップとタップの軸に対してねじれた溝をもつスパイラルタップがある。スパイラルタップには、切り屑をタップ後方に排出するための右にねじれた溝を設けた右スパイラルタップと切り屑をタップの前方に排出するための左にねじれた溝を設けた左スパイラルタップがある。さらに、切り屑をタップ前方に排出するため、食付き部にねじれた溝を設けたスパイラルポイントタップ(通称:ポイントタップ)がある。なお、ポイントタップは、食付き部の後ろに直溝があるのが一般的であるが、直溝を設けない場合もある。

2.2 切削タップの加工原理

切削タップには、タップが工作物に食い付いて切削しながら自身を案内する食い付き部が設けられている。ねじの

図6 タップの切削機構

図7 タップの切削トルク変化

外径から下穴径を差し引いて2で割ると一つのねじ山の山高になるが、この山高を食付き山の数と溝数で割った高さ（ t ）が一つの切れ刃の切削量（切り取り高さ）となり、送り（ピッチ）で決まる。図6は溝数3、食付き長さ3山をもつタップの切削機構を示す。タップのランドを各々A、B、Cとし、各ランドの食付き部の山をタップ先端より順に、1、2、3とすると、各々の切れ刃が、A1、B1、C1、A2、B2、C2、……、C3の順で働き、一つのねじ山が切削加工される。

図7は、通り穴に対してタップ加工を行った場合のトルク変化を示す。タップが食付き始め、そこからリードに倣って下穴に挿入された場合の理論トルクを黒の破線で示す。切削に作用する切れ刃の数がA1、B1、C1、A2、B2、C2、……、C3の順で多くなるにしたがい（図6）、切削トルクは上昇するが、その後全切れ刃が切削に作用するA-B間では切削トルクが最大を示し、水平を保ちその後切れ刃が順に下穴から抜け、切削が行われなくなるとトルクは下がる。しかし、実際の切削トルクは実線のような変化を示すことが多い。切削中のタップは、食付き部のねじフランク面や完全山部と被削材の接触（摩擦）により理論トルクより高くなることと切り屑の排出抵抗が相まって、図中の楕円で囲ったように異常なトルク上昇を示す場合もある。この突発的な切削トルクの上昇が起きるとタップ刃先が欠損し、ひいてはタップの折損を招く場合がある。これを防ぐため、被削材や加工条件に合ったタップを選定して使用することが重要となる。

図8 タップの溝形状とスラスト力

2.3 めねじ拡大原理

タップは、他の工具と異なり、切られためねじの精度がほぼタップの等級で決まるため、使用するタップの有効径精度が選択できるようになっている。しかし、正しく加工されなければその限りではなく、切削されためねじが拡大しねじ本来の機能を発揮できなくなる。そこで、めねじ拡大が発生する現象のいくつかを紹介する。めねじ拡大とは、タップ加工後、ねじプラグゲージを使用してめねじの良否を検査した際、止まり側（WP）のねじプラグゲージが2回転を超えてねじ込まれた状態をいう。加工条件以外の主要因としては、下穴に起因するもの、タップ刃先への凝着によるもの、そして使用する機械およびホルダと選定したタップが合わない場合などが挙げられる。

下穴が原因となるものとしては、下穴とタップの芯がずれている場合、下穴が曲がっている場合が挙げられる。いずれの場合も、タップが曲がって入ることによりその分過切削となり、幾何学的に正確なねじ山が加工されず拡大問題が起きる。加えて、切削トルクの大幅な増大や曲げの力によってタップが折損する場合もあるため注意が必要である。

また、凝着が原因となる拡大としては、タップねじ部への凝着によるめねじむしれ拡大と、刃先への凝着（構成刃先の生成）により過剰切削が起きる拡大がある。

図8はM8×1.25のポイントタップとスパイラルタップを同期制御の機械と完全固定式ホルダを用い、切削速度5m/minで、炭素鋼に加工した際のスラスト力の違いを示す。切削中のタップは、リードに沿って正確に進む必要があるが、ポイントタップは、切り屑を排出する際の反作用により進行方向の逆向きに強いスラスト力が働き、被削材に対してタップは押し戻される。一方右スパイラルタップは、切り屑をタップ後方に排出することができるが、その半面、進行方向と同方向に強いスラスト力が働きタップは被削材に対して引き込まれる。このため、高速切削用や難削材加工用に切れ刃の逃げやねじの逃げを強くし、さらに完全山部のバックテーパを強くしたタップなどを非同期制御の機械や浮動式ホルダで使用すると、本来決められたリードに沿って進まなくなり、過剰切削が起きめねじ拡大が生ずる。この拡大は、ポイントタップでは、タップが本来のリードより遅れて進むことによる拡大であり、スパイラルタップは、本来のリードよりタップが進み過ぎること

図9 タップの種類と拡大との関係

図10 スパイラルタップによる山やせ拡大

による拡大であることが多い（図9）。そこで、工具メーカーはこれらのトラブル対策として、タップを設計する際は、被削材と加工条件に加え、使用する機械とホルダの特性も考慮してタップの仕様を決定している。タップの仕様を理解した上で機械およびホルダを選定して使用することを推奨する。

図10は、スパイラルタップにおけるめねじの山やせ発生機構を示す。切削性を高めるため、食付き部と完全山の逃げを大きくした高速加工仕様のタップを非同期の機械にタッパー等の伸縮機構がついたホルダに取り付けて使用すると、自己のスラスト力により本来のリード以上に進むことによる過剰切削が起き、めねじ拡大が起きる。

実線は第1切れ刃が作用し切削した部分を示し、一点鎖線は次の切れ刃が自己のスラスト力により規定のリードより進み過剰切削した様子を示す。さらに二点鎖線はその次の切れ刃がさらにリードより進んで過剰切削した様子を示している。このようにタップが切削中に生ずる自己のスラスト力により一点鎖線・二点鎖線で示すように本来のリード以上に進み、また、それが繰り返されることにより各切れ刃がずれて進んだ結果、後方のねじフランク面に段が形成される。これがスパイラルタップによる進み拡大であるが、タップがさらに進み完全山部が切れ刃で成形されたためめねじと接触し始めると、スラスト力は徐々に抑えられるため、めねじの加工が進むにつれてこの現象は収束する。これがタップ加工における口元拡大の原理である。

2.4 機械の進歩にともなうタップ仕様の变化

主軸の回転と送りの同期を取るのが困難なボール盤を用

図11 ロールタップと切削タップの違い

いた加工や、主軸の回転と送りの同期が取れていない非同期の機械での加工に用いられるタップにおいては、食付き部および完全山部のガイド性を重視した仕様となるが、この場合においてはタップの切れ味が落ちるため、調質材・ステンレス鋼・チタン合金等の難削材への加工や一般材への高速加工が厳しくなる。そのため、これらの材料や高速加工の要望に対しては、切削性能を重視した刃先設計とし、ガイド性は、昨今の主軸回転と送りの同期が取れた剛性の高い工作機械に依存するマシンタップが各社より販売されている。このタップは、切削性能重視の観点から食付き・めねじの逃げおよび完全山部のバックテーパを強くした設計とし、表面にはコーティングを施してある。また、切削抵抗を下げ、切り屑かみ込みを防ぐ目的で完全山部を短くしているものもあるが、これらのガイド性は従来のタップに比べて極めて低くなっている。

2.5 塑性加工によるめねじ加工

図11はロールタップと切削タップの加工の違いを示す。切削タップの欠点として切り屑トラブルがあるが、塑性加工によりめねじを形成するロールタップは切り屑トラブルの心配がない。その歴史は切削タップに比べ浅いが、着想自体は半世紀以上もさかのぼることができる。日本でのロールタップの歴史は50年ほどで、初めはアルミや低炭素鋼といった硬度が低く延性の高い材料から使用が開始された。ロールタップは、切削タップと比べ下穴径の管理が難しいなどの問題があり切削タップほど普及していないが、近年は機械の高精度化や専用ドリルの開発も進み安定した下穴加工が容易になったことにより、切り屑トラブルが発生しないロールタップの使用が増えてきている。加えて、塑性加工が難しいとされていた調質した鋼（HRC35程度）にもめねじが加工できるロールタップの開発が進んだことにより、その市場は年々拡大しつつある。小径（M6以下）においては特にその使用比率が高い。

ロールタップの特徴としては、塑性加工であることから切り屑トラブルがなく、めねじ有効径のばらつきが少ない安定した精度が得られる。被削材に対してタップのめねじフランク面が滑り接触をしながらめねじを盛り上げるため、加工されためねじのフランク面の仕上がりが良い。材料によるが切削タップに比べ高いめねじ強度が得られる。また、切削タップに比べタップ自体の強度が高く、高速加工が可能で、高寿命であるなどが挙げられる。

図 12 スレッドミルによるめねじ加工

3. スレッドミルによるめねじ加工

通常めねじ加工を行う際は、タップを使用するのが一般的である。その理由としては、タップは工具に回転を与えながらワークの下穴に押し込むという単純な作業で要求されるめねじが加工可能な工具であるためである。しかし、タップは必要とされるめねじの径・ピッチごとに工具をそろえなければならないことに加え、送りはリード、切込みは食付き長さで決定されるため、他の工具のように送りと切込みを自由に変更できない欠点を併せもつ。近年は、部品の高機能化・軽量化にともない難削材が多く用いられるようになったことに加え、環境問題の高まりによる切削油の水溶性化により、タップによる加工が難しい状況も多く見られる。そこで、機械の高剛性・高精度化と制御技術の進歩にともない、工具の自転・公転により高精度のめねじが加工可能なスレッドミルが使用されるようになってきた。

図 12 は、スレッドミルとその加工方法を示す。スレッドミルは、タップと異なりリードのないねじ山が工具外周

に切れ、また、タップに見られる食付き部もない。これは、スレッドミルは工具の自転と公転運動によりめねじやおねじを加工する工具であるためである。そのため、切込みと送りが自由に変えられ、切り屑の影響も受けにくい。さらに、同じピッチであれば一本の工具で径の違うめねじが加工できるといったメリットがある。また、タップで必要な食付き部がないため、下穴に対してぎりぎりまでねじが加工できる利点もある。しかし、加工されるめねじの精度については、機械の制御で調整する必要があり、加工時間はタップに比べ長くなるといったデメリットがある。

4. おわりに

タップは、他の工具と異なりそれ自体が仕上げ工具であるため加工条件に合ったタップを選定するか、使用するタップに合わせた加工条件で使用しないと良好なめねじが加工されず、機器がその機能を果たせなくなる場合がある。特にめねじの形状精度に関しては正確に計測する技術がなく、ねじゲージを用いた簡易評価に頼っている現状がある。そこで、タップの各部の働きおよび切削機構について述べ、正しく加工されない場合に起きる問題について触れた。しかし、ここで述べたのはごく一部であるため、これを機にめねじ加工について関心をもっていただければ幸いである。

赤木 貞之

2012 年山形大学大学院理工学研究科（物質生産工学専攻）博士課程修了。工学博士。高速度工具銅焼入れ-焼戻し材の組織と機械的性質に関する研究、スパイラルタップの切削特性へ及ぼす下穴加工変質層の影響、チタン合金のタップ加工における表面処理の効果等。