

## 超音波ねじり振動ドリルによる木材および木質材料の穴あけ加工

## —切削抵抗について—

濱本和敏 (日大生物資源)

**Abstract :** This study focuses on the cutting resistance with an aim to accumulate basic data on the drilling of wood and wood-based materials using an ultrasonic vibration drill. The study examined experimentally if the cutting resistance reduction effect, which has been reported successful with a vertical vibration drill, could also be achieved with a torsional (rotational) vibration drill with a different cutting mechanism.

As a result, it was observed that the cutting resistance was reduced as the vertical vibration drilling in the torsional vibration drilling. However, the total amplitude was large, especially when the drill rotation speed (cutting speed) was low. Also, the cutting resistance reduction effect of the torsional vibration drill was less than that of the reported vertical vibration drill. It was clarified that the cutting resistance was reduced more effectively in the rotational direction than in the thrust direction and less effectively with the Medium-Density Fiberboard (MDF) than with the solid wood (western hemlock, japanese oak)

**Key word :** ultrasonic vibration, torsional vibration, drilling, cutting resistance (torque, thrust)

**要旨 :** 本研究では、木材および木質材料の超音波振動ドリルによる穴あけ加工についての基礎資料を蓄積する目的から切削抵抗に着目し、既報の縦振動ドリルで得られた切削抵抗の軽減効果が切削機構を異にするねじり(回転方向)振動ドリルの場合にも、同様に得られるかどうかについて実験的に検討した。

その結果では、ねじり振動による穴あけ加工においても縦振動ドリルと同様に、切削抵抗の軽減効果は認められるが、その効果の程度は全振幅が大きく、ドリルの回転数(切削速度)の小さい範囲で大きい傾向を示す。また、ねじり振動ドリルによる切削抵抗の軽減効果は、既報の縦振動ドリルのそれよりも少ない。切削抵抗は、スラスト分力に比べてトルク分力の軽減効果が大きく、また、素材(ベイツガ、ミズナラ)に比べてMDF(中質繊維版)の軽減効果が少ないことが分かった。

**キーワード :** 超音波振動, ねじり振動ドリル, 穴あけ加工, 切削抵抗 (トルク, スラスト)

## I はじめに

筆者は、従来の穴あけ加工の加工性能を改善させる一つの試みとして、加工時に超音波振動エネルギーを利用した木材および木質材料の穴あけ加工についての基礎研究を継続している(1, 2)。既報(1)では、振動付加方向が振動切削加工の基本であるドリルの送り(軸)方向と同一の超音波縦振動ドリルによる穴あけ加工の切削抵抗について検討した。その結果、振動穴あけ加工では、慣用(無振動)穴あけに比べて、ドリル刃に作用する切削抵抗の軽減効果が認められた。

本報告では、引き続き超音波振動ドリルについての基礎資料を蓄積する目的から、既報の縦振動ドリルと付加方向を異にする、ドリル刃にねじり(回転方向)振動を付加した穴あけ加工を行い、この場合にも既報と同様に切

削抵抗(トルク, スラスト)の軽減効果が得られるかどうかについて実験的に検討したので報告する。

## II 実験方法

1. **実験装置** 供試した実験装置の略図を図-1に示す。装置は、穴あけ加工用の金属用自動ボール盤(吉良産業社製, KRTG-420型)と振動発生のための超音波振動ユニット(富士工業社製, ダクテュロイ)から構成されている。ボール盤の主軸に超音波振動ユニットを装着させ、これによりねじり振動を付加させたドリルを一定の速度で降下させ、ボール盤直下の回転工具動力計に固定した加工材を振動穴あけ加工する方式である。
2. **供試ドリルおよび加工材** 実験に供試したドリルは市販のストレートシャンクドリル(ナチ不二越製)で、

Kazutoshi HAMAMOTO (Coll. of Bioresource Sci., Nihon Univ., Kanagawa 252-8510)

Drilling of wood and wood-based materials using ultrasonic torsional vibration drill —cutting resistance—

直径 6mm, 全長 103mm, 刃先角度  $118^\circ$ , 材質 HSS である。実験では, ドリル刃先の摩耗による影響をできるだけ少なくするため, 穴あけ個数 60 個毎に交換した。

供試加工材には, ベイツガ (*Tsuga heterophylla*, 平均気乾密度  $0.48\text{g/cm}^3$ , 平均気乾含水率 13.1%), ミズナラ (*Quercus crispula*, 平均気乾密度  $0.65\text{g/cm}^3$ , 平均気乾含水率 12.3%) および MDF (中硬質繊維板, 平均気乾密度  $0.67\text{g/cm}^3$ , 平均気乾含水率 7.5%) の 3 種類を用いた。加工材の形状寸法は, 長さ 50mm, 幅 24mm, 高さ 50mm に木取り, 穴あけ加工面は木口面 (Cross Section, 略号:C.S) および板目面 (Tangential section, 略号:T.S) とした。MDF については, 厚さ 24mm のものを 2 枚張り合わせ, 長さ 50mm, 幅 24mm, 高さ 48mm とし, 加工は厚さ方向とした。加工材の穴あけ加工深さは, 全て 25mm の盲穴加工である。

3. 実験条件および測定方法 実験では, 上記の穴あけ加工装置, 供試ドリル工具および加工材を用いて, 超音波振動数 27kHz 一定, 全振幅 (2a)  $0\sim 17.5\mu\text{m}$  (無負荷) の 5 段階, ドリル主軸回転数 ( $N$ )  $90\sim 1280\text{rpm}$  (周速度  $1.70\sim 24.12\text{m/min}$ ) の 6 段階そしてドリル 1 回転当たりの送り量 ( $v$ )  $0.09\sim 0.19\text{mm/rev}$  の 3 段階に変化させて実験を行い, この時の切削抵抗を測定した。

平均切削抵抗の測定は, ボール盤のテーブル上に設置した AST 式回転工具動力計 (三保電気社製, AST-BL-S 型) により, ドリル刃の回転方向のトルク ( $\text{N}\cdot\text{cm}$ ) と送り方向のスラスト ( $\text{N}$ ) の両分力を検出し, 動ひずみ計を介して, ペンレコーダーに記録した。測定値は, 同一条件に対し 3 回の繰り返し実験を行い, その平均とした。

### III 実験結果および考察

1. 全振幅の影響 測定例として, ベイツガおよび MDF の両加工材における, ドリルの全振幅と切削抵抗 (スラスト, トルク) の関係をそれぞれ図-2 と図-3 に示す。

スラスト, トルクの両分力の変化は, 若干のバラツキを示すが, 一般的傾向としてトルクが全振幅ゼロの無振動から全振幅の増加につれて徐々に減少する傾向が見られる。これに対し, スラストは, 全振幅が大きい範囲で減少効果が僅かに認められる以外は, ベイツガ, MDF の両加工材とも無振動よりやや大きいか, あるいはほぼ同じ抵抗値を示している。このトルク, スラストの両分力については, 加工条件は異なるが, 全般に既報 (1) の縦振動ドリル加工に比べて軽減効果が少ない。また, 木質材料の MDF が, 素材のベイツガに比べて減少効果がかなり少なくなっている。

以上の結果, 本研究のねじり振動ドリルによる穴あけ

加工では, 切削抵抗の軽減効果は僅かに認められるが, スラストとトルクの両分力の間には効果の程度に差が生じている。これについては後述するように, 既報のドリルが軸方向に上下振動する縦振動と基本的にその切削機構を異にする, ねじり (ドリル回転方向) 振動では, ドリル刃が軸方向に正弦波状に変化するため, ドリルの中心から外周部に近づくにつれて全振幅が大きくなる。その結果, ドリル刃先の外周部の切削能力が改善されるため, トルク分力の低減に効果的に作用したものと考えられる。しかし, スラストは, 縦振動がドリルの中心部も上下方向に振動してドリル刃と加工材の間に遊離現象が発生するのに対し, ねじり振動ではドリルの中心部の全振幅がゼロとなり, 丁度振動を与えない状態 (無振動) となるので軽減効果が少なくなったものと推察される。したがって, ドリルの穴あけ加工にねじり振動を採用して付加効果を期待するには, より大きい全振幅の採用が必要である。

2.1 回転当たりの送り量の影響 測定例として, 素材のベイツガにおけるドリルの 1 回転当たりの送り量と切削抵抗の関係について, 全振幅  $15.7\mu\text{m}$  の場合でのドリルの主軸回転数をパラメータとして図-4 に示す。

抵抗値のトルク, スラストの両分力は, ドリル 1 回転数当たりの送り量の増加に伴って, 増加の傾向を示している。この結果は, 従来のドリルおよびビットによる穴あけ加工一般で認められているように, 1 回転数当たりの送り量が大きくなるにつれて, ドリル刃の切込み量が大きくなるためである。また, 振動加工に比較して無振動加工での抵抗値の増加率がやや大きい傾向を示している。これに対し, MDF については特に図示しなかったが, ドリル 1 回転当たりの送り量の影響が素材に比べ少ない結果となっている。

3. 主軸回転数の影響 前項の結果から最も付加効果が期待される全振幅  $2a=17.5\mu\text{m}$  で, 1 回転当たりの送り量が  $v=0.13\text{mm/rev}$  の場合 (MDF については  $v=0.09, 0.13, 0.19\text{mm/rev}$  の 3 種類) における, ミズナラおよび MDF の両加工材でのドリルの主軸回転数と切削抵抗の関係をそれぞれ図-5 と図-6 に示す。

切削抵抗を概観すると, 加工材の種類, 無振動と振動の両加工により多少異なるが, スラスト, トルクの両分力とも, ほぼ類似した傾向を示している。この場合, 素材のミズナラが, ドリルの主軸回転数の小さい範囲の一部でやや大きい抵抗値を示すが, その後は主軸回転数 (切削速度) の増加とともに徐々に増大 (ミズナラ) するかあるいはほぼ一定値 (MDF) を示している。

この結果は, ドリルの主軸回転数の増加に伴い, ドリ

ル刃の切削速度が増大するため、これまでの振動切削加工一般で指摘されているように、切削速度の増加とともに臨界切削速度に近づき次第に振動効果が失われるものと推察される(3)。また、無振動および振動の両加工の抵抗値を比較すると、振動加工では、全振幅が最も大きい( $2a=17.5\mu\text{m}$ )こともあり、振動付加による切削抵抗の軽減効果が両分力とも認められる。ただ、切削抵抗の軽減効果は、ドリルの回転数の小さい範囲で大きくなる傾向を示している。

最後に考察であるが、前項のドリルの1回転当たりの送り量およびこの項の主軸回転数の両変化の測定結果では、採用した全振幅が大きいこともあり、ねじり振動の付加効果により切削抵抗のトルク、スラストの両分力とも軽減効果が認められる。この主な要因としては、図-7に示すねじり振動ドリルと縦振動ドリルの切削機構から次のように説明できる。ねじり振動では、1サイクル毎にドリル切れ刃が反転しながら切削が行われること、さらに本報告の採用振動条件下では臨界切削速度〔=ドリル刃の最大振動切削速度= $2\pi af$ 、( $a$ :片振幅、 $f$ :振動数)]がドリルの切削速度 $v$ (周速度)よりも大きく、ドリル切れ刃のすくい面と加工材の切り屑裏面との間で遊離現象が振動数に相当する回数だけ行われことになる(3)。そのため、この振動加工では、縦振動ドリルと同じくドリル刃の微小断続切削の効果が発揮され、切り屑詰まりが抑制され、切り屑の排出が無振動加工よりもよりスムーズに行われた結果と考察される。このことは、切削抵抗の軽減効果は勿論のこと、穴あけ加工精度の向上にも十分期待できることを示唆している。

IV まとめ

本報告では切削抵抗に着目し、既報の超音波縦振動ドリルとその切削機構を異にする超音波ねじり(回転方向)振動ドリルによる素材および木質材料の穴あけ加工を行い、縦振動ドリル加工と同様の切削抵抗の軽減効果が得られるかどうかについて比較検討した。

その結果、超音波ねじり振動ドリルによる穴あけ加工では、振動条件によって超音波縦振動ドリルの場合と同様に、無振動加工に比べ切削抵抗の軽減効果が認められる。この軽減効果は、スラスト分力よりトルク分力で大きく、また、全振幅が大きく、ドリル主軸回転数の低い範囲で大きい、効果の程度は縦振動ドリルに比べて少ない。このことは、縦振動ドリルとねじり振動ドリルの両切削機構の基本的な違いが、切削抵抗に影響を与えたものと思われる。

引用文献

- (1)濱本和敏(2001)超音波振動ドリルによる木材および木質材料の穴あけ加工(I).第51回日本木材学会発表要旨集:129
- (2)濱本和敏(2002)超音波振動ドリルによる木材および木質材料の穴あけ加工(II).第52回日本木材学会発表要旨集:153
- (3)加藤幸一(1978)振動切削による木材の切削加工(I)木材工業33(9):370~375.

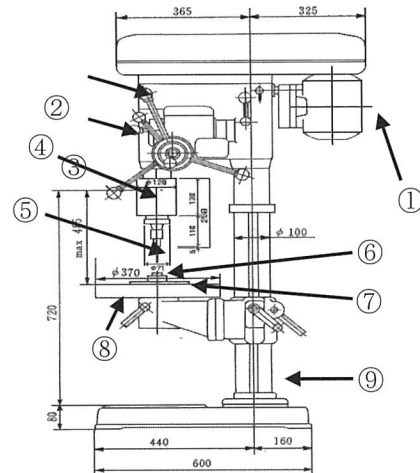


図-1 穴あけ加工装置

- ①モーター、②主軸移動レバー、③送り量変換レバー、④振動ユニット、⑤ドリル、⑥加工材、⑦回転工具動力計、⑧テーブル、⑨コラム

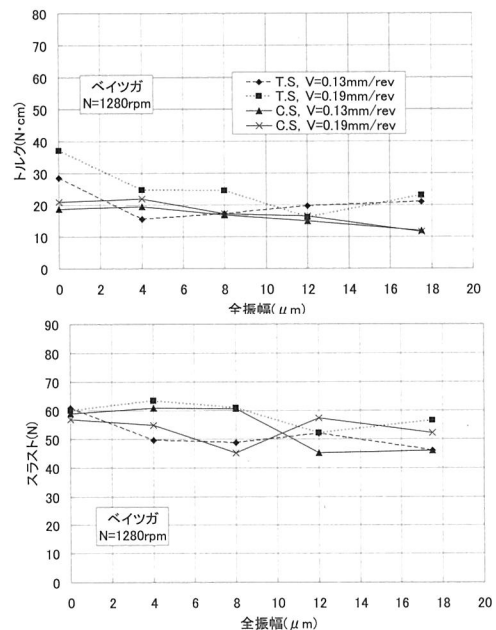


図-2 ドリルの全振幅と平均切削抵抗の関係

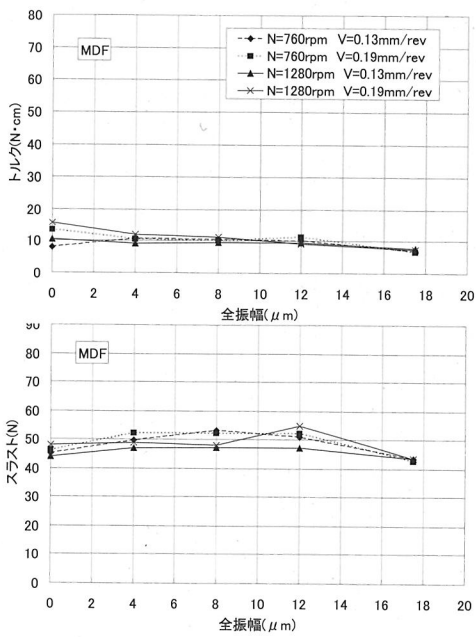


図-3 ドリルの全振幅と平均切削抵抗の関係

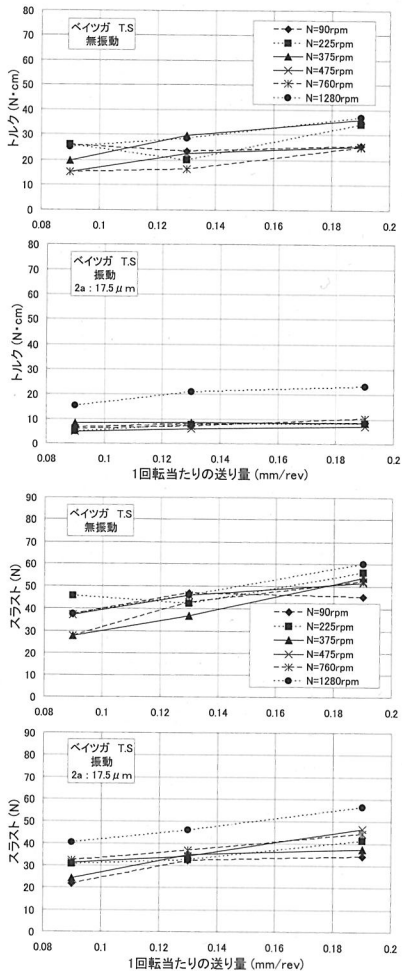


図-4 ドリル 1 回転当たりの送り量と平均切削抵抗の関係

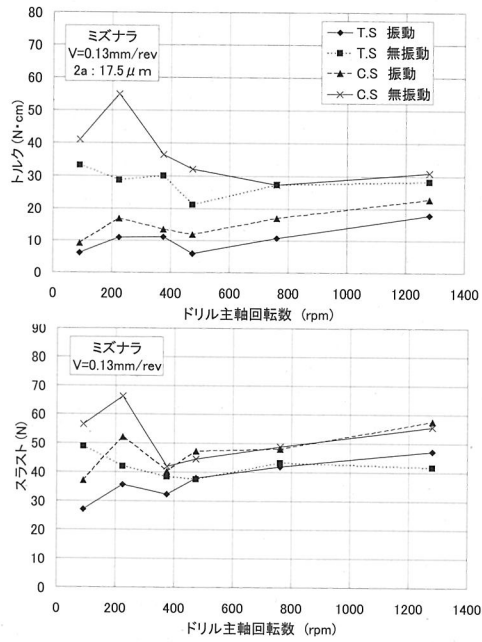


図-5 ドリル主軸回転数と平均切削抵抗の関係

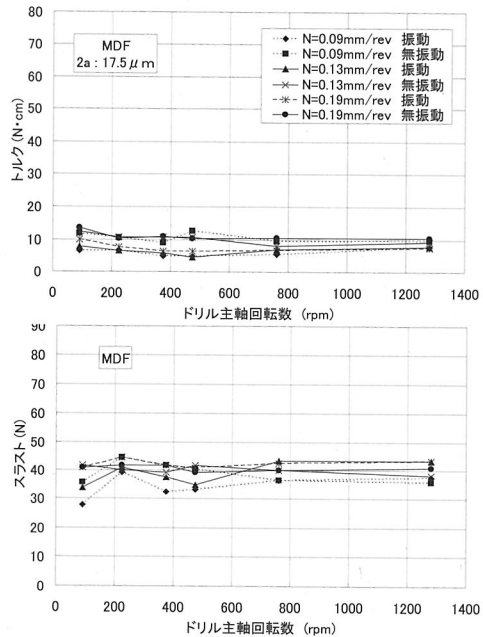


図-6 ドリル主軸回転数と平均切削抵抗の関係

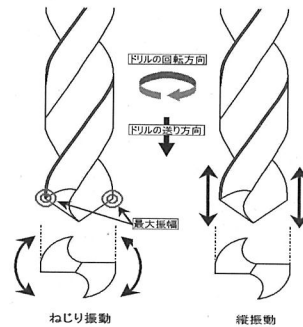


図-7 ねじり振動ドリルと縦振動ドリルの切削機構