

小径ドリルの穴あけ加工における長寿命条件の検討

Long-lived machining condition in the small diameter drilling

山下 正英¹⁾

Masahide Yamashita¹⁾

Abstract : Downsizing and high precision are desired for industrial products. However, when mass-producing, the low cost is desired. When it's possible to do much hole drilling by one drill, the processing cost becomes little. The purpose of this study is to reduce the processing cost of the small hole. We proposed judgment method of small diameter drill life to compare an experimental result. And, we investigated too many drilling machining condition and too many drilling tip angle of the drill by a proposed way.

Keywords : Small diameter drilling, Drill wear, Machining condition

1. 緒言

近年、工業製品の省スペースや省エネルギーが求められており、微細加工の研究はどの加工技術においても進められている。加工方法を大きく分類すれば、おおよその形状を作る成型加工、形状を高精度に仕上げる除去加工、そして組み立てや機能性を付加する付加加工に分けられる。除去加工としては機械的除去加工、熱的除去加工、化学的除去加工が挙げられる。中でも機械的除去は、加工機や工具が安価で加工速度が速い等の理由から汎用的に用いられ加工コストが安い。除去加工の代表的な加工法の一つとして穴あけ加工が挙げられるが、小径穴の加工に関する様々な研究が報告されている。小径ドリルによる穴あけ加工では通常直径のドリルによる穴あけ加工とは異なった加工現象が起きることが報告されており[1]、低い工具剛性に加えて加工屑の排出の悪さなどから高い加工精度が簡単に得られない[2]。また、切削性に関する研究[3]やドリルの刃先温度に関する研究[4]等がある。しかし、加工条件についてはドリルメーカー等の企業が各々で知り得ているが、加工状況、加工要求（加工精度や加工コスト）、加工材料、工具等により加工条件が変化するため、調べた条件が最適か否かは実験により検証する必要がある。

工業製品は小型化、高精度化が求められている一方で、大量生産においては近年においても低コスト化を求めていることに変わりはない。小径ドリルによる穴あけ加工の加工コストを少なくする方法としては、一本のドリルにより可能な限り多くの穴あけを行うことが考えられる。そのことで、工具の費用に加えて作業時間の短縮が可能となり、加工コストを少なくすることができると考えられる。本研究では、小径穴の穴あけ加工において加工コストを可能な限り

少なくすることを目的として、一本のドリルからより多くの穴があけられる条件を実験により検討した。本研究においては特に、小径ドリルの寿命の決定方法について考案し、その寿命決定方法を用いてより多くの穴あけが可能な加工条件およびドリル形状について調べたため、そのことについて報告する。

2. 小径ドリルの寿命

ドリルに限らず、工具は加工するほどに摩耗し、仕上げ面の粗さや加工精度の劣化が表れる。ドリルは加工時間とともに逃げ面やすくい面が摩耗するが、この摩耗の進行により寿命を判定する。また、摩耗の進行具合は加工条件により変化するが、60分で寿命に至る条件が経済的に優れる[5]。しかしながら、自動加工においては、工具のセッティングに時間がかかることや生産中にラインを停止させることのリスクを考えると、可能な限り長い時間加工できる方が優れると考えられる。

実験を定量的に評価するためには寿命の判定方法を決める必要がある。まず、小径ドリルの穴あけ加工時の摩耗の進行について調べることで、寿命の判定方法について検討することとした。

2.1 穴あけ加工による逃げ面摩耗

ドリルによる穴あけ加工の条件は文献により異なるが、その理由は最適な加工条件がドリルの形状や材質、あるいは被加工物の材質等により異なるためである。ドリルの加工条件には切削速度 V [m/min] と送り速度 F [mm/min] があり、切削速度は 6~50 [m/min] が用いられている。ま

1) 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科、生産システム工学コース、助教

た、送り速度は送り量 f [$\mu\text{m}/\text{rev}$] で示されることが多く、送り量は $1\sim 20$ [$\mu\text{m}/\text{rev}$] 程度が良く用いられている。本研究では加工コストを少なくすることが目的であるため、ドリルは最も安価な HSS のノンコートドリルを用いることとした。被加工物は板厚 5.7 [mm] の炭素鋼 (S45C) を用いた。実験条件を表 1 にまとめて示す。この条件は加工初期の折損が起きず、ある程度繰り返し穴あけ加工が行うことが可能な条件である。また、加工機にはマシニングセンタ (森精機製, MV-40E) を用いた。以降の実験においても、穴あけ加工の実験にはこのマシニングセンタを用いている。加工には加工液を用いず、加工途中のジャンプ動作は行わずに貫通穴加工を行うこととして、ドリルが折損するまで繰り返し行った。また、逃げ面摩耗は穴あけ加工 6 回毎に光学顕微鏡を用いて観察し、逃げ面摩耗幅を調べた。

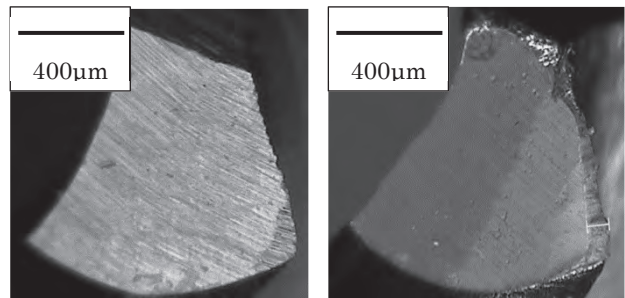
加工前と加工後の逃げ面摩耗の様子を図 1 に示し、逃げ面摩耗幅の測定結果を図 2 に示す。穴あけ加工 20 回目でドリルが折損した。そのため、逃げ面摩耗は 19 回目以降のデータを取得できていない。加工後のドリルは逃げ面が摩耗している様子が認められる。逃げ面は一般的に、初期摩耗として大きく逃げ面摩耗幅が増加し、その後定常摩耗となり、さらにその後急速摩耗となって摩耗幅が大幅に増加する。図 2 の実験結果からは急速摩耗が認められず定常摩耗の状態に折損に至っており、逃げ面摩耗幅は 60 [μm] 程度で折損に至ったと考えられる。JIS の規定では、仕上げ加工のような精密軽切削においても逃げ面摩耗幅が 200 [μm] で寿命と判定する[5]。そのことから、本実験においては JIS に規定された摩耗量に達する前にドリルが折損に至ったことがわかる。この原因としては、ドリルの摩耗により切削抵抗が増加したことが考えられる。そのため、JIS の規定の逃げ面摩耗幅に至る前にドリルが折損したと考えた。したがって、小径ドリルにおいては従来の基準による寿命判定が難しいことがわかる。このことを検証するために、加工時の切削抵抗を測定する必要があると考えた。

2.2 穴あけ加工時の切削抵抗

穴あけ加工時の切削抵抗の測定には動力計 (KISLER 製, TYPE:9272) を用いた。以降の実験においても、切削抵抗の測定にはこの動力計を用いている。実験条件は表 1 の条件を用いた。測定は穴あけ加工毎に行い、スラスト (軸方向) 抵抗およびラジアル (回転方向) 抵抗を測定した。ドリルは 20 回目の穴あけ加工時に折損したため、穴あけ加工

表 1 実験条件 (小径ドリルの寿命に関する実験)

ドリル	被加工物	回転数 [rpm]	送り速度 [mm/min]
HSS $\Phi 1$ [mm] ノンコート	S45C 板厚 5.7 [mm]	7000	7



(a) 加工前 (b) 18 回穴あけ後
図 1 逃げ面の様子

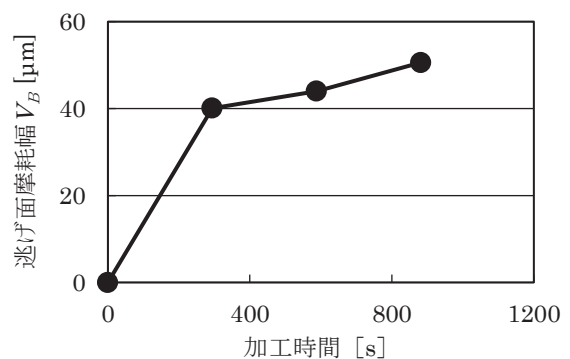


図 2 加工時間と逃げ面摩耗幅の関係

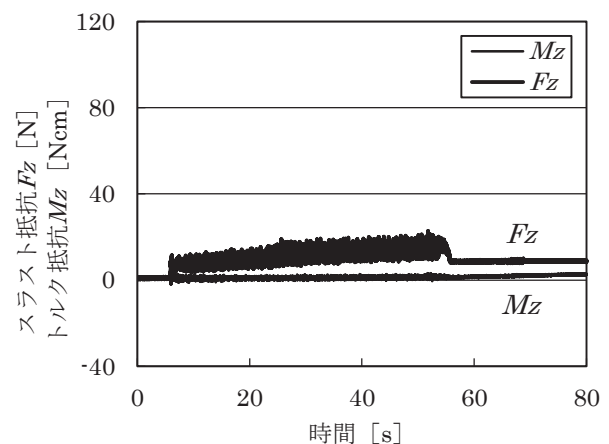


図 3 切削抵抗 (穴あけ加工 1 回目)

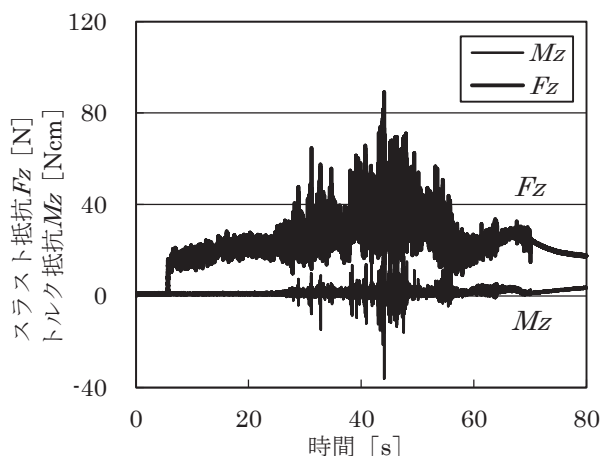


図 4 切削抵抗 (穴あけ加工 19 回目 (折損直前))

1回目と19回目の結果について比較することとする。

図3に穴あけ加工1回目の切削抵抗の測定結果を示し、図4に穴あけ加工19回目（折損する直前）の切削抵抗の測定結果を示す。測定開始からおよそ5[s]で被加工物にドリルが当たり、およそ55[s]でドリルが被加工物を貫通する。ドリルが被加工物に当たると切削抵抗が発生するが、穴あけ加工1回目はスラスト抵抗が最大で22.8[N]で、穴あけ加工19回目はスラスト抵抗が最大で89.1[N]である。トルク抵抗は穴あけ加工1回目は3.28[Ncm]、穴あけ加工19回目は最大で21.0[Ncm]であり、スラスト抵抗と比較して小さいことがわかる。穴あけ加工1回目よりも19回目の切削抵抗が大きいことから、ドリルが摩耗すると切削抵抗が大きくなりドリルが折損に至ると推定できる。

2.3 小径ドリルの寿命判定に関する考察

穴あけ加工を実施した結果、20回目の穴あけ加工をしている途中でドリルが折損した。加工1回目とドリルが折損する前の加工（19回目）における切削抵抗から、ドリルが摩耗するにしたがい切削抵抗が大きくなることがわかる。ドリルの切削抵抗からドリルの寿命を判定する方法も報告されている[6]が、どの程度の切削抵抗で寿命と判定することが妥当であるかはドリルの材質や形状により変える必要がある。このことから、切削抵抗から寿命を判定することは難しいと考えた。

工具は、逃げ面摩耗幅が200[μm]で寿命と判定することがJISで規定されているが、本実験結果では逃げ面摩耗幅が60[μm]程度で折損に至ることが推測できる。そのため、小径ドリルにおいては逃げ面摩耗幅で寿命を判定することは難しいと考えた。また、光学顕微鏡でドリルの逃げ面を観察した結果からはドリルの欠損は認められず、欠損による切削抵抗の増加よりも早期に折損に至ったと考えられる。したがって、欠損による工具寿命の判定も難しいことがわ

る。以上のことから、小径のドリルは摩耗により加工し難くなると、すぐに折損に至ると想定できる。 $\Phi 3$ [mm]程度の常用されるドリルでは、ドリルの摩耗および欠損によって切削抵抗が増加し、穴の曲がりや穴内面の表面粗さが粗くなるため寿命を判定して交換する。小径ドリルにおいては、こうした摩耗や欠損といったドリル逃げ面の状態や加工した穴の状態から寿命を判定することは難しいと考えられる。しかしながら、小径であることからドリルが摩耗し加工し難くなるとすぐに折損に至ることがわかる。これらのことから、ドリルの寿命をドリルの折損により判定できると考えた。したがって、以降の実験についてはドリルの折損により寿命を判定する手法を用いて様々なデータを取得することとした。

3. 小径ドリルにおける加工条件の選定

ドリルの加工条件は、ドリルの直径と被加工物により決定する。切削速度[m/min]と一刃当たりの送り量[mm/刃数]により決定する。しかしながら、ドリルの材質や直径、被加工物の材質や板厚等、加工条件に影響する因子が多いため、必ずしも加工条件が既知であるとは限らない。また、本研究の場合は加工精度より加工コストを重視しており、こうした加工要求に合わせた加工条件は実験により求めることが必要となる。そこで、本研究では実験により可能な限り多くの穴あけが可能な条件を求めた。さらに、切削抵抗の測定を行い、可能な限り多くの穴あけが可能な加工条件について考察し、その選定方法について検討した。

3.1 小径ドリルにおける加工条件の選定方法の検討

加工条件を選定するにあたって、切削速度や一刃当たりの送りが既知ではないものとして、実験により選定する方法について考えた。まず、ドリルの寿命の判定は、先に述べたようにドリルの折損により行うこととした。また、各条件の優劣の判定は、可能な限り多くの穴加工が行える条件を優れていることとして、ドリルが折損するまでの穴あけ加工回数で比較することとした。さらに、可能な限り広範囲の条件について比較するために、使用するマシニングセンタの回転数や送り速度の上限を調べて加工条件を広範囲に設定した。材料はアルミ合金として、板厚の異なる2種類の材料について調べた。本実験の条件を表2にまとめて示す。加工機にはマシニングセンタ（森精機製、MV-40E）を用いた。加工には加工液を用いず、加工途中のジャンプ動作は行わずに貫通穴加工を行うこととした。

実験結果を表3および表4にまとめて示す。二つの実験結果から、穴あけ加工回数の優れる領域が認められる。表3の結果からは送り速度が100[mm/min]で回転数は6000[rpm]あるいは8000[rpm]でドリルが折損するまでの穴あけ加工回数が多い。表4の結果からは送り速度が60[mm/min]で回転数は4000[rpm]あるいは6000[rpm]でドリルが折損するまでの穴あけ加工回数が多い。また、それらの優れた加工条件よりも送り速度が速いと穴あけがほとんどできず、特に表4の結果からはその傾向が顕著に認められる。この原因として、送り速度を速くすることで被加工物の切り取り厚さが厚くなり切削抵抗が大きくなるため、ドリルがすぐに折損すると思った。このことについては、切削抵抗の測定を行い考察することとした。

3.2 送り速度と切削抵抗の関係

先に述べた実験結果から、送り速度が速過ぎると穴あけ加工がほとんどできずドリルが折損することがわかった。このことについて、切削抵抗を測定し考察する。表4に示す結果はこの傾向が顕著であるが、穴あけ加工ができずドリルが折損するため切削抵抗の測定が困難であった。そのため、表3に結果を示したアルミ合金（A6063、板厚3

表 2 実験条件

(ドリルが折損するまでの穴あけ加工回数の実験)

ドリル	被加工物	回転数 [rpm]	送り速度 [mm/min]
HSS Φ0.5 [mm] ノンコート	A6063 板厚 3 [mm]	2000	20
		4000	60
HSS Φ0.6 [mm] ノンコート	A5052 板厚 5 [mm]	6000	100
		8000	140
			180

表 3 各加工条件のドリルが折損するまでの穴あけ加工回数 (HSSΦ0.5 [mm] ノンコート, A6063 板厚 3 [mm])

		回転数 [rpm]			
		2000	4000	6000	8000
送り速度 [mm/min]	20	37	36	36	38
	60	1	73	91	72
	100	35	73	163	306
	140	38	36	36	36
	180	0	36	1	1

表 4 各加工条件のドリルが折損するまでの穴あけ加工回数 (HSSΦ0.6 [mm] ノンコート, A6063 板厚 5 [mm])

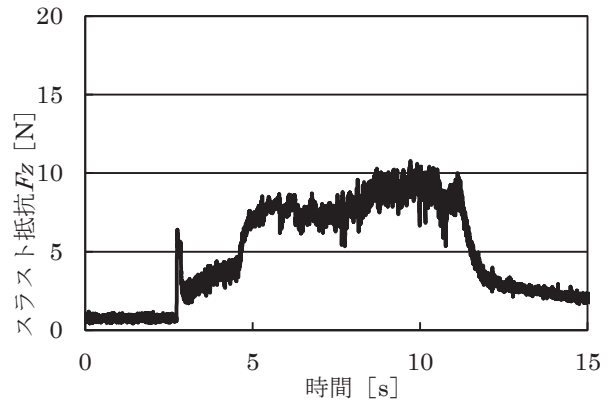
		回転数 [rpm]			
		2000	4000	6000	8000
送り速度 [mm/min]	20	68	27	3	21
	60	62	271	226	73
	100	3	90	1	0
	140	0	3	4	1
	180	0	0	1	1

[mm]) を用いて、回転数を 1 条件に固定し送り速度を変えた場合の切削抵抗の相違を調べた。実験条件を表 5 にまとめて示す。測定は各加工条件について穴あけ加工 1 回目を 1 回ずつ測定した。測定した切削抵抗を図 5 に示す。測定は 5 条件について行ったが、代表として 3 条件の結果を示す。ただし、先の実験においてスラスト抵抗の変化が大きくトルク抵抗の変化が小さいことが認められており、本

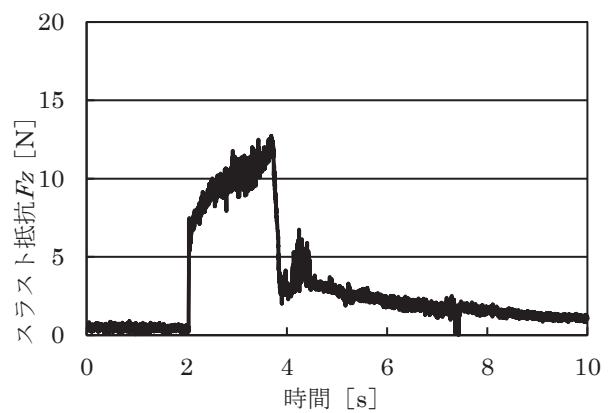
表 5 実験条件

(各送り速度における切削抵抗の測定実験)

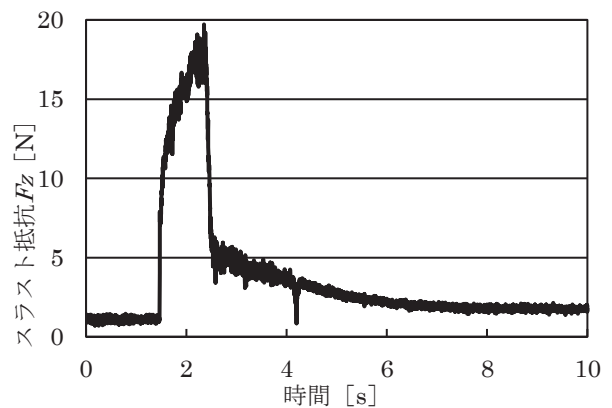
ドリル	被加工物	回転数 [rpm]	送り速度 [mm/min]
HSS Φ0.5 [mm] ノンコート	A6063 板厚 3 [mm]	8000	20
			60
			100
			140
			180



(a) 送り速度 20 [mm/min]



(b) 送り速度 100 [mm/min]



(c) 送り速度 180 [mm/min]

図 5 各送り速度における切削抵抗

表 6 各送り速度の最大スラスト抵抗

送り速度 [mm/min]	最大スラスト抵抗 [N]
20	10.8
60	11.2
100	12.7
140	17.6
180	19.7

実験についても同様の傾向が確認できたためスラスト抵抗についてのみ結果を示した。また、各条件の最大スラスト抵抗を表6にまとめて示した。

図5の切削抵抗の測定結果において、加工開始時（a）ではおよそ3[s]、（b）ではおよそ2[s]、（c）ではおよそ1.5[s]）において切削抵抗が急激に大きくなり、その後徐々に増加して加工終了時（a）ではおよそ11[s]、（b）ではおよそ4[s]、（c）ではおよそ2.5[s]）に切削抵抗が小さくなることわかる。また、各送り速度の最大スラスト抵抗から、送り速度が速いほど最大スラスト抵抗も高い傾向が認められる。

3.3 多くの穴あけが可能な加工条件選定方法の検討

以上の実験から、送り速度が速過ぎると穴あけ加工がほとんどできずドリルが折損する原因は、送り速度が速いほど最大スラスト抵抗が大きくなるためと推定できる。また、スラスト抵抗が加工開始時から徐々に高くなることから、板厚が厚いほど最大スラスト抵抗が高いことが想定できる。さらに、表3に示す結果と比較して表4に示す結果は送り速度が速過ぎると穴あけ加工がほとんどできずドリルが折損する傾向が顕著であるが、その原因は被加工物の板厚が厚く最大スラスト抵抗が高くなり易いためと考えた。つまり、板厚が厚い被加工物に穴あけ加工を行う場合、薄い板の場合と比較して送り速度は速くできないと考えられる。これらのことから、板厚が厚くなるほどドリルが折損するまでの穴あけ加工回数が多くなる送り速度は遅いと想定できる。

これらの結果からは、送り速度が遅い場合にドリルが折損するまでの穴あけ加工回数が少ないことを説明できない。送り速度が遅い場合、切削抵抗の絶対値は少ないが、比切削抵抗（単位面積あたりの切削抵抗）は大きくなる[5]ことが知られており、このことは寸法効果といわれている。送り速度が遅く比切削抵抗が高い場合、刃先に集中的に切削抵抗が作用することから刃先の摩耗が多くなる。したがって、穴あけ加工一回目の切削抵抗の測定からは明らかではないが、穴あけを繰り返すことで刃先が急速に摩耗し、それに伴い切削抵抗が急速に高まり、穴あけが比較的少ない回数でドリルが折損したと推定できる。

以上のことから、小径ドリルを用いた場合に可能な限り多くの穴あけ加工を行う加工条件は、穴あけ加工初期に折損しない範囲で可能な限り送り速度を速くし、その送り速度で回転数を変更して可能な限り多くの穴あけが可能な範囲を見つけることで得られると考えた。特に、穴あけ加工初期に折損しない送り速度は、表3もしくは表4の様可能な限り広い範囲の加工条件を設定して調べると分かり易いと考えられる。

4. ドリル形状が穴あけ加工回数におよぼす影響

ドリルを用いて穴あけ加工をするにあたり、被加工物に応じて適切なドリルの形状を選定する必要がある。ドリルの刃を構成する要素としては先端角、逃げ角、チゼル角、ねじれ角があり、これらの形状は切削抵抗や切り屑の形状に影響をおよぼす。これら全てについて調べる必要があるが、本研究ではまず先端角の影響について調べることとした。初めに標準ドリルとして用いられる先端角118[°]のドリルを用いて実験条件の選定を行い、その後先端角が100[°]から140[°]まで10[°]刻みで変化させたドリルを用いてドリルが折損するまでの穴あけ加工回数を調べた。また、得られた結果について、切削抵抗の測定およびドリル先端の観察を行い考察した。

4.1 先端角がおよぼす穴あけ加工回数への影響

実験条件は表4の結果を参考にして再現性も考慮して選定することとした。表4において良好な送り速度は60[mm/min]であるため、送り速度を60[mm/min]一定として回転数を表4に示す範囲で変更してドリルが折損するまでの穴あけ加工回数を2回ずつ調べた。表4に示す結果を1回目として、追加で実験を行った2回目および3回目の結果と、さらにその平均値を表7にまとめて示す。表7に示す結果から、3回の実験において平均してドリルが折損するまでの穴あけ加工回数が多く、どの結果においても100回以上安定して穴あけ加工が可能である回転数6000[rpm]、送り速度60[mm/min]を実験条件として選定した。ドリルの先端角は先に述べたように100[°]から140[°]まで10[°]刻みで変化させた5条件とした。本実験に用いる条件を表8にまとめて示す。また、表7からドリルが折損するまでの穴あけ加工回数の再現性が高くないことがわかったため、表8の実験条件を用いてドリルが折損するまでの穴あけ加工をそれぞれ2回実施することとした。さらに、再現性が高くなるように加工液を吹きかけて実験を行うこととした。

実験結果を表9に示す。どの先端角においてもドリルが折損するまでの穴あけ加工回数が1000回を超えていることが認められる。この原因としては、加工液により加工屑の排出性が向上したことやドリルの冷却による影響と考えた。加工液を吹きかけることで安定して多くの穴あけ加工ができることがわかる。しかし、数値の誤差は大きく再現性の

表7 各加工条件のドリルが折損するまでの穴あけ加工回数 (HSS ϕ 0.6 [mm] ノンコート, A5052 板厚5 [mm])

		回転数 [rpm]			
		2000	4000	6000	8000
実験 No.	1	62	271	226	73
	2	93	42	581	5
	3	50	23	456	431
平均		68	112	421	170

表 8 実験条件（先端角の影響に関する実験）

ドリル	先端角 [°]	被加工物	回転数 [rpm]	送り速度 [mm/min]
HSS Φ0.6 [mm] ノンコート	100	A5052 板厚 5 [mm]	6000	60
	110			
	120			
	130			
	140			

表 9 各先端角のドリルが折損するまでの穴あけ加工回数

		先端角 [°]				
		100	110	120	130	140
実験	1	8906	3758	1293	1229	3462
No.	2	30904	1274	6158	1704	4767

向上は認められない。ドリルの先端角については、100 [°] が最もドリルが折損するまでの穴あけ加工回数が多く、次いで 120 [°] と 140 [°] が同程度に多いことがわかる。ただし、再現性についても考慮すれば 120 [°] よりも 140 [°] が優れると考えた。この結果については、切削抵抗の測定およびドリル先端の観察を行って考察する。

4.2 各先端角における切削抵抗および加工後のドリル先端の様子

各先端角のドリルについて、穴あけ加工を実施して加工開始から終了時までの切削抵抗を測定した。実験条件は表 8 に示す条件を用いているが、切削抵抗を測定する装置の耐水性を考慮して加工液を用いないこととした。測定結果から、各先端角のドリルの最大スラスト抵抗を調べて比較した。最大スラスト抵抗の測定結果を表 10 にまとめて示す。最大スラスト抵抗は、先端角 100 [°] および 130 [°] の場合が小さく、140 [°] の場合ごく大きいことが認められる。切削抵抗が小さい場合にドリルの摩耗は少なくなると考えられるが、表 10 に示す最大スラスト抵抗と表 9 に示すドリルが折損するまでの穴あけ加工回数との傾向は異なることから、穴あけ加工回数の相違が切削抵抗の相違によらず別の要因があると考えられる。先端角を変えたことにより相違が表れたならば、加工後のドリル先端の様子に相違があることが考えられる。そのため、加工後のドリルのチゼルエッジの様子を観察することとした。

加工後のドリルのチゼルエッジを光学顕微鏡により観察した。図 6 に各先端角のドリルにおける加工後のチゼルの様子を示す。先端角が 110 [°]、120 [°]、および 130 [°] のドリルのチゼルエッジには大きな摩耗あるいは付着物のようなものが見られた。ただし、画像から確認できないが、この摩耗もしくは付着物とみられる部分はドリル逃げ面より盛り上がっており強くこすると剥がれた。そのため、観察されたものはチゼルエッジの摩耗ではなく付着物である

表 10 各先端角のドリルにおける最大スラスト抵抗

先端角 [°]	最大スラスト抵抗 [N]
100	12.0
110	15.1
120	15.3
130	11.6
140	60.4

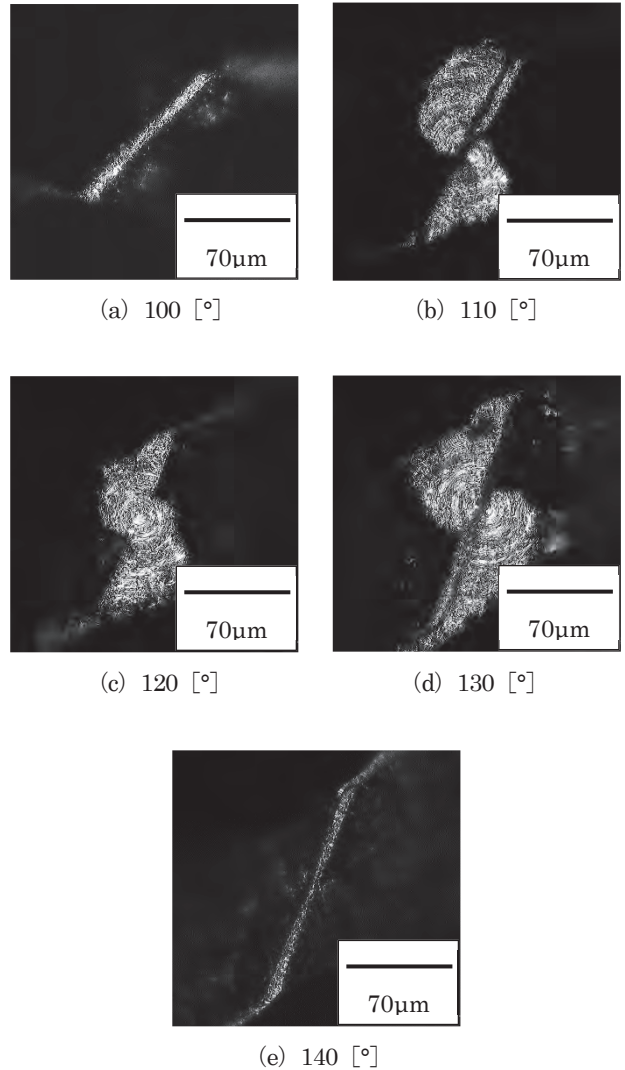


図 6 各先端角における加工後のチゼルエッジの様子

と考えた。一方、ドリルが折損するまでの穴あけ加工回数が比較的多い、先端角 100 [°] および 140 [°] においてはこの付着物が認められない。

4.3 先端角による影響の考察

本実験において、多くの穴あけに有意であるドリルの先端角は、表 9 の結果から 100 [°] あるいは 140 [°] であることがわかる。切削抵抗の測定結果である表 10 からはこの傾向が認められない。一方、加工後のチゼルエッジを観察

すると、先端角が 100 [°] および 140 [°] のドリルからは付着物が認められない。小径ドリルの加工は送り速度が遅く、特に本実験条件はドリルの材質が HSS であり被加工物も 5 [mm] で高いアスペクト比の加工であることから、速い送り速度での加工は不可能である。実際に送り量は 0.01 [mm/rev] で切削速度も 11.3 [m/min] で低速である。このような低速での切削加工の場合、構成刃先が発生することが知られている[7]。これらのことから、この付着物は構成刃先の発生により被加工物が刃先に付着したものと考えた。構成刃先は、ごく短い周期で発生と脱落を繰り返すが、脱落した構成刃先は硬く刃の摩耗を促進する。ただし、刃先の温度が再結晶温度以上の高温になると構成刃先は発生しない[7]。先端角 140 [°] のドリルにおいては、切削抵抗が他の先端角と比較して大きいことから、刃先温度が高温になり構成刃先が発生しないため、安定して多くの穴あけが可能であったと考えた。しかし、先端角が 100 [°] のドリルにおいては切削抵抗による刃先温度の上昇では説明できないため、構成刃先が発生しない原因については不明である。

これらの結果から、小径ドリルの加工において先端角が穴あけ加工におよぼす影響について、先端角は構成刃先の発生の有無に影響するため、140 [°] の鈍角あるいは 100 [°] の鋭角が優れていると考えた。

5. 結言

本研究では、小径穴の穴加工において加工コストを可能な限り少なくすることを目的として、一本のドリルからより多くの穴が可能な加工条件およびドリル先端角について実験により検討した。得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 本実験において小径ドリルは、JIS に規定されている寿命判定基準の逃げ面摩耗幅に至る前にドリルが折損する。
- (2) 送り速度が速いほど最大スラスト抵抗は大きい。そのため、送り速度が速過ぎると穴あけ加工が数回でドリルが折損する。より多くの穴あけが可能な加工条件は、こうした数回の穴あけでドリルが折損する送り速度より遅い送り速度の範囲である。
- (3) 先端角の差異によりドリルが折損するまでの穴あけ加工回数に違いがある。本実験条件においては先端角が 100 [°] もしくは 140 [°] でドリルが折損するまでの穴あけ加工回数が多く、この先端角における加工後のドリルのチゼルエッジには付着物が見られない。

以上の知見が得られているが、実験条件が限られた範囲であることが課題となる。ドリルおよび被加工物の材質はドリルが折損するまでの穴あけ加工回数におよぼす影響が大きいことが予想される。より多くの種類のドリルおよび被加工物について調べることで定性的あるいは定量的な知見を得られると考えられる。

6. 謝辞

実験にあたっては、朝比奈奎一氏（朝比奈技術士事務所）に数々のご教示を戴いた。記して感謝申し上げる。

本研究を遂行するにあたっては、小径ドリル(株)の受託研究費による。また、実験に用いるドリルおよび被加工物を戴いた。付記して深謝の意を表す。

なお、実験には堀悠之介（東京都下水道サービス(株)）、大岩真隆（日立建機(株)）の熱心な協力を戴いた。ここに御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 小野元久, 菅原章, 矢野宏: 微小径ドリル加工に関する研究 (第1報) —切削抵抗の測定について—, 精密工学会誌, Vol.58, No.8, pp.79-84, 1992.
- [2] 井上孝司, 萩野将広, 栗田祐希, 渡邊公歳, 清水泰充, 上田和哉: 不等速回転型主軸装置による小径ドリル加工特性, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.499-500, 2012.
- [3] 隈部淳一郎: 小径ドリルの切削性について (第1報), 日本機械学会論文集 (第4部), Vol.23, No.130, pp.376-381, 1957.
- [4] 津枝正介, 長谷川嘉雄, 仁科豊: ドリル刃先温度の研究 (第1報 刃先温度測定法について), 日本機械学会論文集 (第3部), Vol.27, No.181, pp.1428-1430, 1961.
- [5] 仁平宣弘, 朝比奈奎一: 機械材料と加工技術, 技術評論社, pp.219-220, pp.216, pp.186-187, 2003.
- [6] Eon Chan JEON, Suk NAM-GUNG, Masaomi TSUTSUMI, Yoshimi ITO: Information Included Under Cutting Forces in Drilling and Its Applications, The Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.53, No.492, pp.1891-1897, 1987.
- [7] 一谷吉郎, 酒井茂紀, 長島昶, 中西佑二, 那須康雄, 村川正夫: 基礎 機械工作, 産業図書, pp.79, 1987.