

# ドリル切削に関する研究

(主として切削温度について)

野添光夫\*・田中秀穂\*

## STUDIES ON DRILLING (ESPECIALLY ON DRILLING TEMPERATURE)

Mitsuo NOZOE, Hideho TANAKA

As to the drilling, research data are very scarce partly because of complicated forms of drills and of difficulty of measuring.

In order to know in what way the cutting temperature and cutting resistance influence upon sharpness of a tool used, the authors of this paper studied on the influences of the point angle of drills, feeding and cutting speed of them upon the cutting temperature and the cutting resistance and they obtained the following results:

(1) In the case of drilling SS 41, at the feeding speed of 0.1 mm/rev, the influence of the point angle upon the cutting temperature was very small, while at the doubled feeding speed, the influence revealed significant, especially at the point angle of 118°, rising of temperature being significant compared with the case at 130°, 105°.

(2) As to the torque and thrust, similar tendencies were seen. The influence of feeding speed was great, growing greater approximately in proportion to the feeding speed, while it also grew greater in proportion to the increase of the cutting speed, the cutting resistance revealing its minimum around the speed of 20 m/min regardless the variety of feeding speed.

(3) The larger the point angle is, the greater is the torque and thrust and is the cutting temperature, so the feeding should be made small when the point angle is fixed large.

(4) The form of chips is good at the feeding speed of 0.1/rev, revealing the form of flow type chips, especially it is most ideal at 180°. At the feeding speed of 0.2 mm/rev and at the cutting speed of 30 m/min and onwards, tear type chips are to be seen produced, resulting the increase of the cutting temperature and of the cutting resistance.

(5) In the drilling operation, the quality of forms of chips and of flow of chips will influence greatly upon the cutting temperature and the cutting resistance, accordingly it is most essential for the sake of tool lives and for the economy of cutting power, to fix the cutting condition, observing the forms of chips and flowing patterns of chips.

Received May 31, 1962.

### 1. 緒 言

第3次産業革命と称せられる、自動化と原子エネルギー利用の時代となるにおよんで、工業のあらゆる部門は、異常な発展をとげつつあり、技術の経済性が強調されるにつれ、製作技術の比重はますます大きくなってきている。

従来切削技術の分野では、バイト切削による理論追求は、かなり大巾に進められているが、ドリル切削はバイト切削に比し、その作業量は大差なきにかかわらず、回転切削の機構や、形状の複雑さ、測定のみづか

しさなどの理由により、敬遠されがちで研究資料に乏しい。それだけに、まだまだ研究改善の余地が多く残っているといえる。

ドリル切削の優劣を決める最大要素としては、切削性能、工具寿命等が考えられるが、筆者らは、工具寿命を左右する一要素としての、切削温度、切削抵抗が作業条件により、いかに変化し、工具切れ味にいかなる影響をおよぼすかを究明するため、ドリル刃先尖角、送りならびに切削速度の切削温度、切削抵抗におよぼす影響をしらべた<sup>1)~5)</sup>。

### 2. 切削温度の測定

ドリル切削温度を測定する方法として、次のものが

\* 機械工学教室

考えられる。

- (1) カロリメーターを用いる方法。
- (2) 切くずの色によつて見る方法。
- (3) 工具の中に熱電対をそう入する方法。
- (4) 示温塗料による方法。
- (5) 工具と被削物を熱電対とする方法。

(1)の方法は、切くずをカロリメーターに投入して、その熱量を測定するもので、古くから行われているが、これでは投入するまでに空気中に放熱することもあるので、測定精度がよくない。

(2)の切くずの色によつて見る方法は、切削温度によつて切くずが高温となり、いわゆる焼鈍色として、温度に応じた色を示すので、その色によつて、概略の温度を知る方法で、おおよその値しかわからない。しかも切削条件が異ると、同一の刃先温度に対して、切くずの色が異つてくるので、切削温度を見誤りやすい。又色の判定には、相当の熟練を要する。

(3)の工具の中に熱電対をそう入する方法は、工具刃先の近傍の温度を知るのに便利であるが、ドリルのような、特殊な形状をもつた回転切削工具では、穴あけの困難さや、刃先の強度を害する欠点がある。

(4)の示温塗料による方法は、概略の値はわかるが、ドリルでは、切くずの排出ならびに穿孔面との摩擦により、はげるおそれが多分にあるので、測定が困難と思われる。

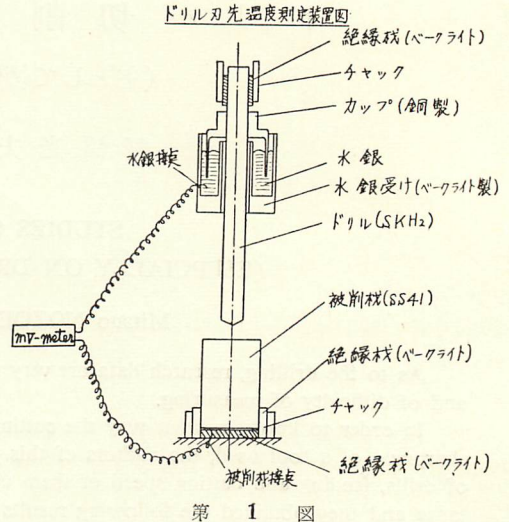
(5)の工具と、工作物とを熱電対とする方法は、工具と切くずとの接触する部位の平均温度がわかり、測定精度、感度ともすぐれているので、筆者等は、この方法を水銀接点を用いて測定することにした。

### 3. 実験装置および方法

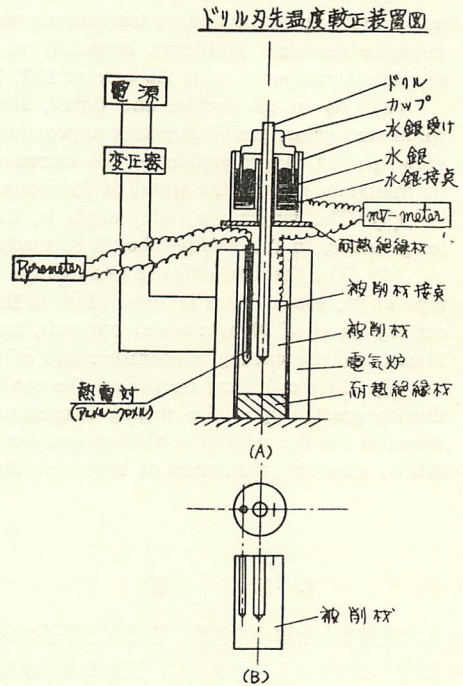
ドリル切削温度の測定法の測定法には、前述のように種々の測定法が考えられるが、本実験ではドリルと被削材とを直接、熱電対とし、種々の切削条件の下における熱起電力を測り、較正曲線により切削温度を求めた。

実験装置は第1図に示すように、ベークライト製絶縁容器を、ボール盤本体に取り付けて水銀を満たし、ドリルにねじ止めた銅製カップを浸して、ドリルと水銀との接点とし、ドリルはドリルチャックに絶縁材を介して取り付けた。一方、被削材は絶縁材を介して取り付け、導線によりミリボルトメーターに接続した。

温度較正装置は第2図に示すように、ドリル刃先と



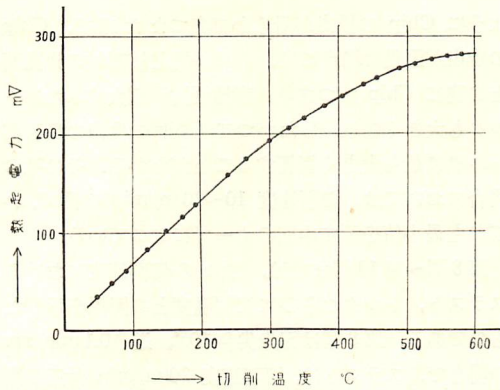
第1図



第2図

被削材を圧着して、電気炉内に納め、切削実験の場合と同じように、 $0\sim 300^{\circ}\text{C}$ 、 $0\sim 15\text{ mV}$ の指示熱電温度計にて読みを取り、一方ドリル刃先温度の真の読みは、 $0\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 、 $0\sim 50\text{ mV}$ の指示熱電温度計を用いて、熱起電力—刃先温度較正曲線を求めた。第3図はその較正曲線である。

実験に使用せるドリルは、神戸製鋼所製 SKH<sub>2</sub> (C-



第3図 熱起電力-刃先温度校正曲線

0.8%, Cr-4.0%, W-13.0%, V-1.0%)、 $1/2''\phi$ の標準ドリルで、刃先尖角  $118^\circ$  の他に、 $105^\circ$ 、 $130^\circ$  に、高木鉄工所製ドリルポインターにより研磨し、更に岩田鉄工所製ドリル刃先角度検査器にて刃先尖角を検査した。

被削材は SS 41 材 ( $32\phi \times 60$ ) を用い、ボール盤は吉田鉄工所製 YUD-540 を使用した。

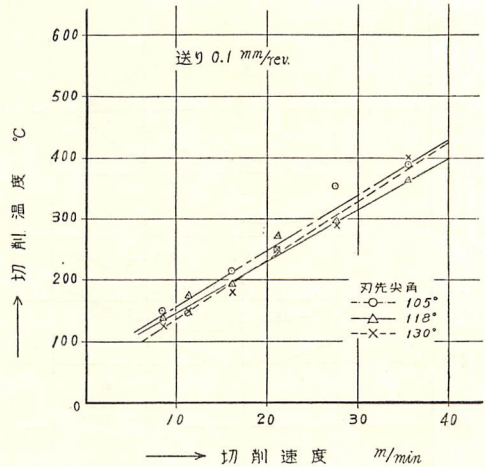
切削条件として、送り  $0.1 \text{ mm/rev}$ 、 $0.2 \text{ mm/rev}$  の2種とし、主軸回転数は 215, 285, 405, 530, 690, 890 r.p.m の6種として切削速度を変えて、切削温度およびスラスト、トルクを測定した。尚スラスト、トルクの測定には、EMS 式ドリル、タップ切れ味試験機ならびに真空マイクロ自動記録装置を用いた。

#### 4. 実験結果および考察

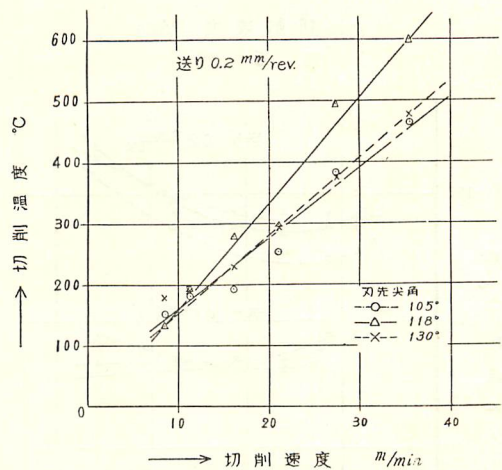
第4図、第5図は切削速度による刃先尖角、並びに切削温度の関係を示したものであるが、いずれも切削速度に比例して、直線的に切削温度は増加している。

第4図は送り  $0.1 \text{ mm/rev}$  における各刃先角、ならびに切削速度によるドリル刃先温度をあらわしたもので、いずれの刃先尖角の場合も、温度差は僅かで、刃先尖角の切削温度に与える影響は少ない。刃先尖角  $105^\circ$  の場合は、Chip の焼けは左程見当たらないが、 $118^\circ$ 、 $130^\circ$  の刃先尖角のドリルにおいては、切削速度  $30 \text{ m/min}$  程度より Chip に焼けを生じている。

第5図は送り  $0.2 \text{ mm/rev}$  の場合であるが、刃先尖角  $118^\circ$  のドリルが最も高い温度を示しており、以下  $130^\circ$ 、 $105^\circ$  の順となり、送り  $0.1 \text{ mm/rev}$  の場合に比べ、送りを増すと刃先尖角の影響が大ききいてくることがわかる。とくに刃先尖角  $118^\circ$  の場合、切削速度  $30 \text{ m/min}$  付近では、送り  $0.1 \text{ mm/rev}$  の場合に



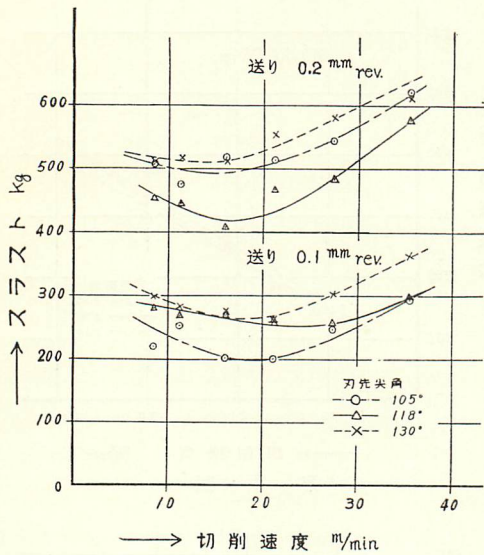
第4図



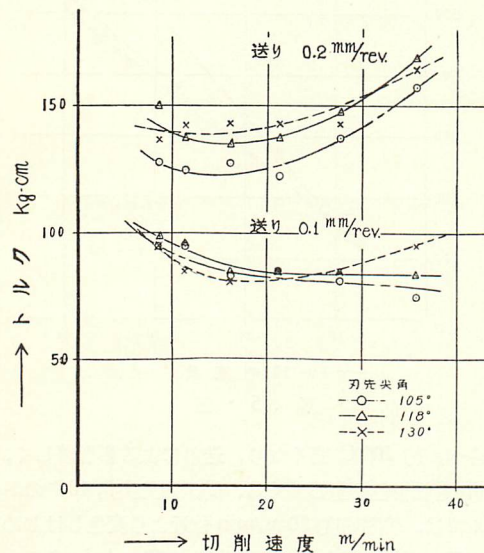
第5図

比らべ、約  $200^\circ\text{C}$  高くなり、送りによる影響著しく、Chip も濃紺色を呈してくる。尚、刃先尖角  $105^\circ$  のドリルでは、切削速度  $20 \text{ m/min}$  付近より変色しはじめる。又いずれの場合も、切削速度が  $30 \text{ m/min}$  をこえる付近より、ドリル刃先に切削焼けがみられる。この点より考察すると、切削速度が  $400^\circ\text{C}$  をこえるような切削条件下での切削は、さけた方が望ましいと思われる。

第6図、第7図は刃先尖角、送りをパラメーターとして、切削速度のスラスト、トルクにおよぼす影響を示したものであるが、スラスト、トルクともに送りによつて相当の影響を受けることがわかる。すなわち、スラストは送り  $0.1 \text{ mm/rev}$  の場合に比べ、送り  $0.2 \text{ mm/rev}$  の場合は、おおよそ2倍の値を示し、ト



第 6 図

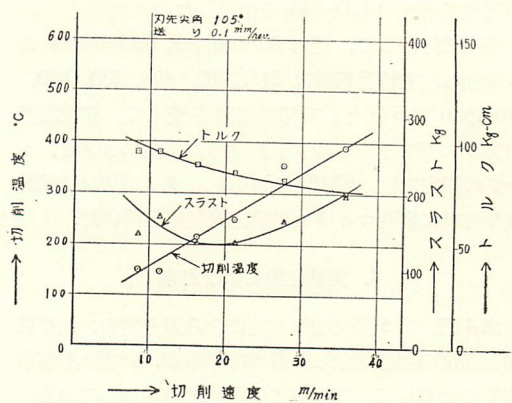


第 7 図

トルクは約 1.5 倍の値を示している。とくに切削速度が増加するにつれ、その影響度は大となる(切削速度 30~40 m/min の場合は約 2 倍)。またスラストは切削速度 17~18 m/min 付近で、いずれの刃先尖角の場合も最小値を示し、その後、漸次増加の割合も大きくなっていく(第 6 図)。トルクも大体、スラストの場合と似た傾向を示すが、送り 0.1 mm/rev の場合、刃先尖角 105°、118° のドリルにおいては、切削速度の増加とともにトルクが減少しているが、これは後述の

ように Chip の排出が滑らかであつたため、Chip の排出が困難な場合には、ドリル溝と被削材の穿孔面との間に Chip がつまり、摩擦抵抗が増大するためトルクも大きくなり、したがって Chip の排出の良否がトルクに最も大きく影響することがわかる。その他の場合においては、切削速度 10~20 m/min の間で、いずれも最小値を示す中凹のカーブになつている。

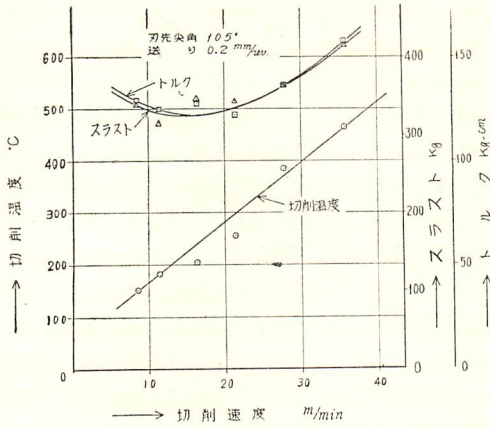
第 8 図~第 13 図までは、種々の切削速度におけるスラスト、トルクならびに切削温度との関係を示したものである。第 8 図は刃先尖角 105°、送り 0.1 mm/rev の場合で、スラストは、切削速度 20 m/min 付近で最小値を示しているが、トルクは切削速度の増加とともに減少し、切削速度 30 m/min をこえる点より徐々に一定値に葉ちついてきている。このとき、いずれの切削速度の場合も Chip はすべて flow type chip であるが、215~405 r.p.m (切削速度 8.6~16.2 m/min) の場合より、530~890 r.p.m (切削速度 16.2~35.5 m/min) の場合の方が Chip の排出が滑らかであつたためである。



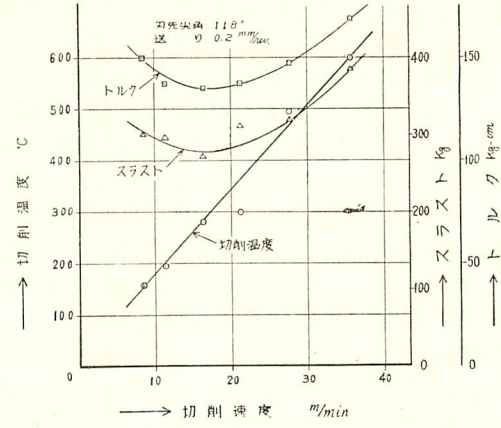
第 8 図

第 9 図は送りを 0.2 mm/rev にした場合、スラスト、トルクともに切削速度 15 m/min 付近で最小値を示し、以後、切削速度の増加とともにスラスト、トルクともに増加しているが、Chip の状態を観察すると、530 r.p.m (切削速度 21.1 m/min) 付近より、Chip にむしれがみられ薄い茶色を呈してきているが、690~890 r.p.m (切削速度 27.5~35.5 m/min) では Chip はいわゆる tear type chip で、濃紺または青紫色を呈し、相当の焼けがみられる。とくに 890 r.p.m では切削温度が、送り 0.1 mm/rev の場合に比して約 100°C 高くなつている。

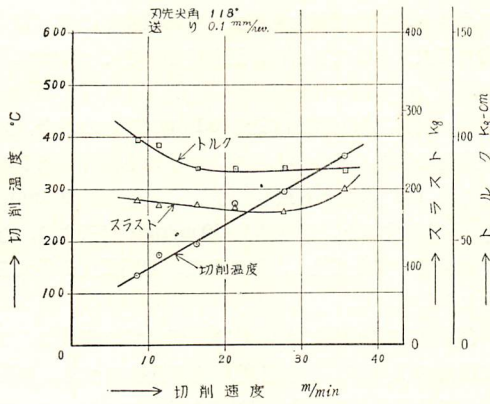
第 10 図は刃先尖角 118°、送り 0.1 mm/rev の場合



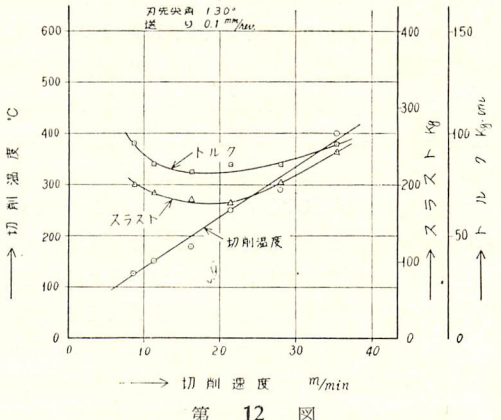
第 9 図



第 11 図



第 10 図

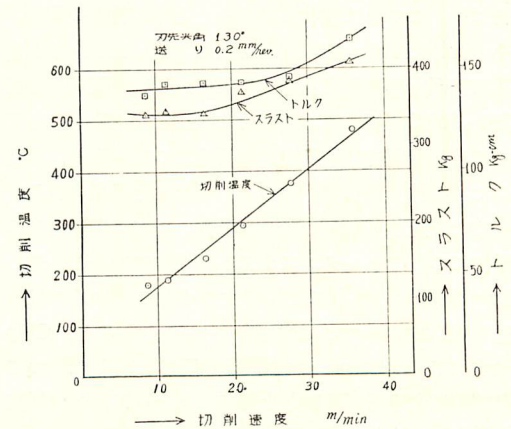


第 12 図

で、第 8 図と同じようにトルクが切削速度の増加とともに減少してきているが、これは Chip がすべて flow type chip で排出がきわめて滑らかであつたため、890 r.p.m の場合の Chip には、相当の焼けがみられたにもかかわらず最小値を示している。

第 11 図は送り 0.2 mm/rev の場合で、スラストトルクともに切削速度 20 m/min 付近で最小値を示し、以後、増加しているが、690 r.p.m(切削速度 27.5 m/min) においては、Chip も tea type chip で Chip の変色も著しく、濃紺色を呈し、ドリル刃先にも焼きがみられ、無理な切削であることがわかる。したがつて、切削温度も相当に上昇し、530 r.p.m の場合に比して約 2 倍近い値を示している。

第 12 図は刃先尖角 130°, 送り 0.1 mm/rev の場合であるが、890 r.p.m (切削速度 35.5 m/min) の場合のみ tear type chip で、その他はすべて flow type chip で Chip の排出はきわめて良好であり、したが



第 13 図

つてトルクも切削速度による増加の割合が少なく、カーブとして中回みになつてはいるが割合にゆるやかである。

第 13 図は送り 0.2 mm/rev の場合であるが、スラス

トは切削速度の増加につれ増大しているが、405 r.p.m (切削速度 16.2 m/min) 付近より Chip に焼きがみられ、Chip は切削速度の増加とともに濃紺色を呈してくる。又、スラストは 285~690 r.p.m (切削速度 15.5~27.5 m/min) までは大体一定しており、890 r.p.m (切削速度 35.5 m/min) になつて増加しているが、405~690 r.p.m (切削速度 16.2~27.2 m/min) あたりで、すでに Chip は焼きがみられ、Chip の排出は比較的良好であるが、890 r.p.m になると tear type chip となり、Chip の排出は極端に悪く、したがつてトルクが増大したものと思われる。

以上の結果から、スラスト、トルクが切削速度 20 m/min 付近で、いずれも最小値を示すというのは、切削速度 10 m/min 以下では切削温度も低く (切削速度 8.6 m/min で切削温度平均平均 150~120°C)、したがつて切削抵抗も大きい、20 m/min 付近の切削速度のとき、他の切削条件に比べて、Chip の排出が滑らかであつたということとともに、温度の点について考えると、切削速度 20 m/min 以下というのは、大体切削温度 200~300°C の間である。この 200~300°C というのはこの被削材 SS 41 では、ちょうど靑熱脆性を起し、硬度的には、常温におけるよりも硬度を増しているはずであるにもかかわらず抵抗は小である。その後切削速度の増加とともに、スラスト、トルクともに増加の傾向をたどるが、この観点から考えると、切削速度の増加とともに切削温度は上昇し、被削材はそれにつれて軟化し始めるとともに粘りを増し、そのためにドリル切刃部と切削面、或いはランドと穿孔内壁面との摩擦抵抗の増加のため、又切削温度 200~300°C 付近で、トルク、スラストが最小値を示すのは、被削材は硬度的には硬くなつてはいるが、脆性のために粘りが少なくなつてはいるためと考えられる。

また、送り 0.2 mm/rev の場合、総じて切削速度の増加につれ、トルク、スラストの増加の割合が、送り 0.1 mm/rev の場合に比して大きくなつてはいるのは、送り 0.2 mm/rev で切削速度をはやくすると、Chip はすべて tear type となり、排出困難で、したがつて摩擦熱により切削温度も上昇するとともに、切削抵抗も増大してくるのである。

## 5. 結 論

以上の結果より次のことが要約される。

(1) SS 41 材においては、切削温度は送り 0.1 mm/rev 程度では、刃先尖角の影響は左程あらわれないが、送りが倍加すると刃先尖角の影響がみられ、とくに標準ドリルの刃先尖角 118° の場合は、温度上昇が他の刃先尖角 130°, 150° の場合に比べて著しい。

(2) 切削抵抗としてのスラスト、トルクは、ほぼ同じような傾向をたどるが、ともに送りの影響著しく、送りにはほぼ比例して増大する。また切削速度の増加につれて増大するが、送りのいかににかかわらず、ほぼ 20 m/min 付近での抵抗は最小値を示す<sup>5)</sup>。

(3) 刃先尖角の大きなほど、送りによつてトルク、スラスト、切削温度ともに大きく影響するので、刃先尖角を大きくした場合は、送りを小さくせねばならぬ。

(4) 切くずの形状は送り 0.1 mm/rev の場合、刃先尖角のいかににかかわらず、いずれも良好であるがとくに 118° の場合も最も好ましく、送りが 0.2 mm/rev と倍加すると、切削速度 30 m/min 付近より、むくれ型切くずを発生し、切削温度、切削抵抗の増大をもたらしている。

(5) ドリル切削においては、切くずの形状ならびに排出の良否が、切削温度、切削抵抗に大きく影響し、工具寿命、切削動力軽減のためには、切くじ形状と排出状態よりの切削条件の選定が最も大切である。

## 文 献

- 1) A. O. Schmidt & J. R. Roubik: Distribution of Heat Generated in Drilling, Trans. ASME 71, (1949).
- 2) B. T. Chao & K. J. Trigger: Cutting Temperature and Metal Cutting Phenomena, Trans. ASME, 73, 6, Aug (1951).
- 3) 岩佐豊蔵: 不二越技報, 14-3 (昭 33-7), 41.
- 4) 山本 明: 精密機械, 17-9 (昭 26), 298.  
" 18-5 (昭 27), 164.  
" 19-11 (昭 28), 408.
- 5) 野添光夫: 鹿児島大学工学部紀要, 8 (昭 34), 50,