

1. 緒 言

金型製作では切削工具として主にボールエンドミルが用いられるため、また近年の金型の複雑化、及び製作に対する高精度、高能率化の傾向の中で各種形状、各種素材による工具が開発、市販されている。

しかし、ボールエンドミルの切れ刃がボール部の球面上に存在するため、その切削機構が複雑であり十分に説明されていないのが現状である。前報<sup>1)</sup>においては市販の工具に関して切れ刃形状を関数近似し、切削面積、及び切削抵抗の解析を行った。

本報では、後述する7つの変数により切れ刃形状を定義する方法を提案し、切削面積を算出することにより、切れ刃形状の切削機構に及ぼす影響について検討を行ったものである。

2. 切れ刃形状の定義と切削面積の算出方法

2.1 切れ刃形状の定義

ボールエンドミルによる切削機構を解析する上で、次のことが問題となる。

- (i) 切れ刃はボール部の球面上に存在する三次元曲線となること。
- (ii) 切れ刃には、X、Z軸となすねじれ角が存在し、それが連続的に変化すること。
- (iii) ボール中心部の切れ刃の回転角と外周部回転角には、位相差が存在すること。

そこで、本報では図1のように切れ刃曲線を7つの変数  $a, b, \alpha, S, T, r, R_f$  を用いて定義する方法を提案する。今(a)図はX-Z面に、(b)図はX-Y面にそれぞれ切れ刃を投影したもので、各変数との関係

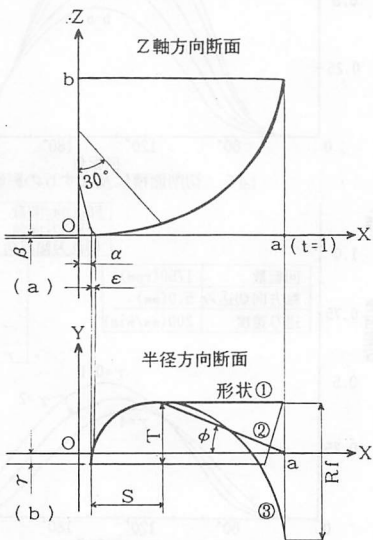


図1. 各方向の切れ刃関数の定義

を示す。(b)図に示す形状①, ②, ③は  $X = S + \alpha$  以後の切れ刃形状を表すもので、本報では3種類が選択可能である。このように変数を用いて切れ刃曲線を定義すること、加えて、後述する数値積分によって、上記の問題点(i)~(iii)は解決することができ、また、切れ刃形状の設計に応用することが可能である。

2.2 切削面積の算出方法

図2は切削面積の算出方法を示したもので、まずねじれ角  $0^\circ$  の直刃ボールエンドミルについて考える。(a)図は切削過程における半径方向断面を、(b)図は切れ刃が、X軸より  $\theta$  回転した位置におけるZ軸方向断面を示しており、 $R_x$  は工具半径、 $S_z$  は一刃当たりの送りである。

切削面積は後述するように、(b)図中の斜線部で示す微小面積  $dA$  を数値積分するが、この面積を計算するために切れ刃が  $\theta$  回転した時刻における図中の  $b_1$ 、および  $b_2$  の値を求める必要がある。

$b_1$  の値は点  $O_1$  および点  $O_2$  を中心とし、それぞれ半径  $R_x$  の円および直線  $O_2A$  の交点により求めている。一方、 $b_2$  の値は切れ刃が回転楕円体上に存在する場合への拡張を考慮した式(1)、(2)および(3)を用いて求めている。

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

$$\frac{(X + b_1)^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1 \quad (2)$$

$$Y = T \tan(\psi) \cdot X \quad (3)$$

以上の結果より、微小面積は次式で近似できる。

$$dA = b_2 \cdot R_x \cdot d\psi \quad (4)$$

数値積分は  $\psi$  を点  $O_2$  より  $d\psi = 0.02 \text{ rad}$  で切り込み  $h$  まで行っている。

次に位相差とねじれ角を持つ渦巻き状刃先ボールエンドミルの場合について考える。

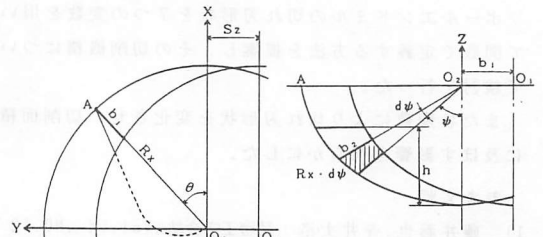


図2. (a) 半径方向断面 (b) Z軸方向断面

切れ刃は中心部から外周部に向かって $t$ を媒介変数とすると $\theta(t)$ だけ遅れて切削が行われる。すなわち図2(a)のO:Aの位置は $(\theta - \theta(t))$ だけ遅れることになる。この位相差により $b_1$ および $b_2$ の値を求めればよい。

また、ねじれ角 $\lambda$ の影響は、直刃において求めた微小面積 $dA$ に $1/\sin\lambda$ を乗じることにより求められる。

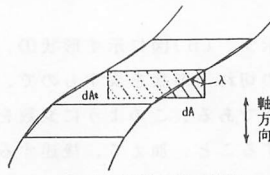


図3. 切削面積の投影図

### 3. シミュレーション結果と考察

図4は図中に示す条件により直刃と渦巻き状刃先の切削面積を比較したものである。直刃の場合切削区間は $180^\circ$ と短く、また切削面積は急激に立ち上がり、切削初期の衝撃が大きいと予想される。これに対し渦巻き状刃先の場合、約 $50^\circ$ の位相差を持ち、立ち上がりも緩やかに明瞭にその特性が図に示されている。

図5は図1(b)に示した $X = S + \alpha$ 以後の切れ刃形状の違いにより比較したもので、形状③の場合、他の形状の場合に比べて切削面積の立ち上がり、及び下降が緩やかとなっている。かつ切削区間も長いので、非切削区間での冷却による熱的衝撃の緩和に役立つと予想される。

図6は切れ刃の包絡面を球( $b=15$ )より回転楕円体に( $b=14\sim 8$ )変化させた場合の結果であり、 $b$ の値を小さくすると切削面積の最大値も減少し、逆に切削区間は若干ではあるが徐々に増加する。

図7は $r$ の変化による切削面積への影響を示したもので、 $r$ が増加すると切削面積の立ち上がりが $0^\circ$ 側に近寄るとともに切削区間は減少し、面積の最大値も減少する。また、図にはないが $\alpha$ に関して、 $r$ と同様の傾向が見られた。ただし、切削面積の立ち上がり角度は徐々に急になり、切削面積のピークが $0^\circ$ 側に近寄る。一方、 $T$ においては、 $T$ の増加により切削面積の最大値は逆に増加する。

### 4. 結 言

ボールエンドミルの切れ刃形状を7つの変数を用いて関数で定義する方法を提案し、その切削機構について検討を行った。

また各変数により切れ刃形状を変化させ、切削面積に及ぼす影響を明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 藤井義也, 寺井文浩: 精密工学会誌, Vol.54, NO.12 (1988), 2301.

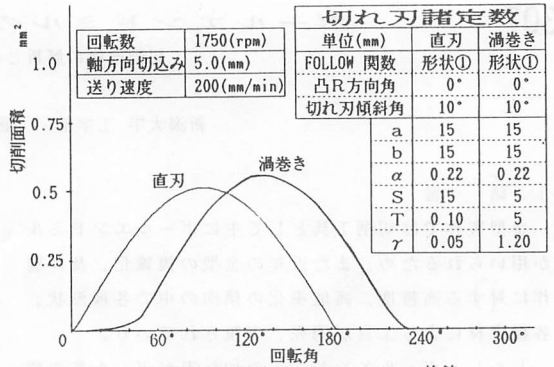


図4. 直刃と渦巻き状刃先ボールエンドミルの比較

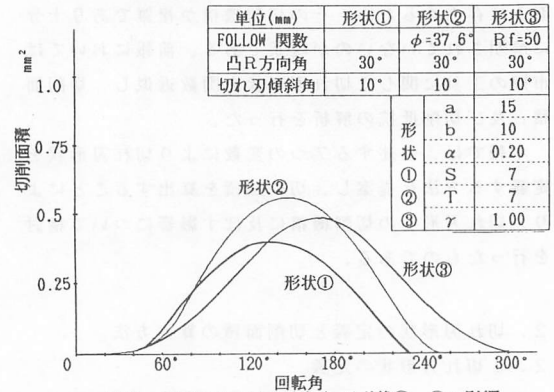


図5. 切削面積に及ぼす切れ刃形状①～③の影響

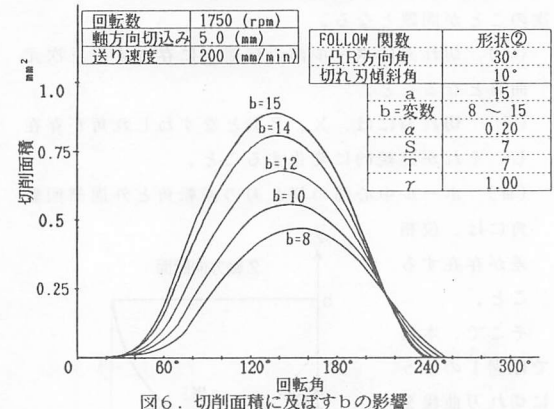


図6. 切削面積に及ぼすbの影響

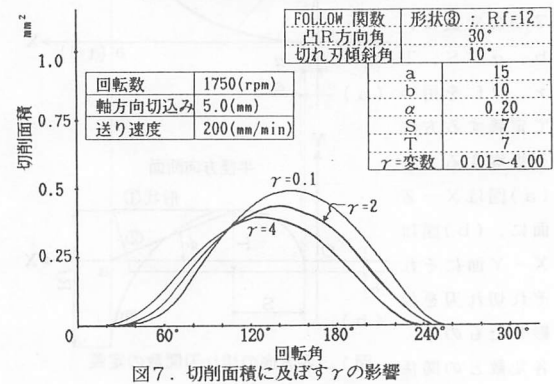


図7. 切削面積に及ぼすrの影響