

研削過程における砥粒切れ刃分布の変化

(モンテカルロ・シミュレーションによる検討)

本多 良辰* 進村 武男** 高沢 孝哉***

Distribution of Grain Cutting Edges in Grinding Process

—Discussion by Monte Carlo simulation Method—

by

Ryōshin HONDA, Takeo SHINMURA and Kōya TAKAZAWA

A three-dimensional distribution of grain cutting edges of the grinding wheel is investigated.

From experimental results it is found that, in the case of C60MmV wheel in which a great deal of grain tips is worn during grinding, the distribution density of the cutting edges on the wheel surface increases gradually with the grinding time. On the other hand, in the case of A60GmV wheel in which the grain cutting edges fracture and/or are released, the distribution density decreases finally to be less than that in the former case.

Also, it is shown that the analyses of the cutting edges distribution for the two types of wheel by Monte Carlo simulation method qualitatively correspond with the above experimental results.

1. 緒 言

既報¹⁾において筆者らは研削砥石の砥粒切れ刃分布の実験的追求の重要性について述べ、二次元的ならびに三次元的な切れ刃分布に関する観測と二・三の検討を試みた。本報においては、これらの問題をさらに詳細に調べるために研削過程における砥粒切れ刃の分布状態に着目して実験を行ない、その変化過程を究明することにした。研削の進行による砥粒切れ刃の分布状態の変化は、砥粒が破砕するか摩滅するかによって大きく影響されると考えられる。現実の研削砥石においては切れ刃の破砕・磨滅の両現象が同時に起こっていると見られるが、この両現象がそれぞれ単独に起こった場合、切れ刃分布はどのように変化していくかがわかれば、両現象が同時に起る実際の研削過程における切れ刃分布の変化状態をある程度推定することができる。さらにこの両現象の生起する割合が判明すれば、切れ刃分布の変化状態の定量的把握も可能になると考えられる。そしてこれらは研削機構の解明に重要な役割をはたすであろう。

そこで、このような考えのもとに、砥粒切れ刃の破砕が主因となって減耗が進行する砥石および磨滅が主因となって減耗が進行する砥石の二種類の砥石を選び、平面研削実験を行ない、研削中の切れ刃分布の変化状態を調べた。ついで、P. M. Baul²⁾が提案したモンテカルロ・シミュレーション法を取り入れ、単純化した研削モデルを設定して、研削過程のシミュレーション計算を行ない、シ

* 精密工学科 ** 宇都宮大学工学部 *** 東京芝浦電気株式会社 生産技術研究所

ミュレーション結果と研削実験結果を比較吟味し、砥粒切れ刃の破碎・摩滅現象が、研削過程における砥粒切れ刃分布に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法ならびに実験結果

2.1. 実験方法

砥石面の砥粒切れ刃の三次元的分布をとり扱う場合は、砥粒切れ刃の平面的分布に砥石半径方向の分布を加味すればよい。織岡³⁾、筆者ら⁴⁾によって、切れ刃の平面的分布はポアソン分布則に従うと仮定しても大過がないことが確認されている。したがって、ここでは砥粒切れ刃の分布については砥石半径方向の切れ刃分布をとり扱う。

A60GmV, C60MmV 砥石を供試砥石として、表1に示す実験条件で研削実験を行なった。砥石をドレッシング後研削を続け、ある回数研削するごとに砥石面の切れ刃プロファイルを測定して、これより切れ刃分布を求めた。切れ刃プロファイルの測定にはナイフエッジ形触針式切れ刃測定器を用いた。これらの実験装置および切れ刃分布の求め方は既報⁴⁾に述べたものと同様である。なお、砥石面の測定範囲は幅0.45mm(触針エッジ幅に同じ)、全測定長さ100mmである。

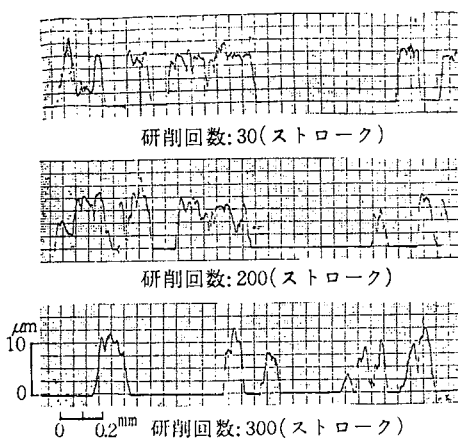
第1表 実験条件

| | |
|--------|---|
| 研削盤 | 小型平面研削盤 |
| 供試砥石 | A 60 GmV C 60 MmV (150×9.5×25.4) |
| ドレッシング | 単石ダイヤモンドドレッサ (0.5C.T.) 切込み 5 μm 送り 0.08mm/rev 回数 5回 スパークアウト なし |
| 工作物 | S55C(焼入れ), 硬さHRCc53 寸法 75×5.5×15 mm |
| 研削方式 | プランジ乾式研削 |
| 研削条件 | 砥石切込み 5 μm 砥石速度 1360m/min 工作物速度 5.1m/min |

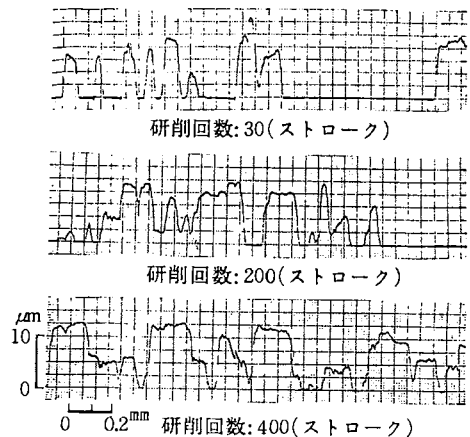
2.2. 実験結果

前節の方法で観測した二種類の供試砥石の切れ刃プロファイル例を図1および図2に示す。図は研削過程におけるある研削時刻に測定した切れ刃プロファイルの一例であり、1ストロークは工作物長さ75mmに相当する。

これらの実験結果を検討し要約すれば次のようである。A60KmV 砥石についてみれば、(i) 切れ刃形状は研削が進行してもほぼ鋭利な円すい形を保っており、とくに先端の摩滅する状況はみられない。(ii) 研削時間の経過とともに切れ刃数は総体的に減少している。一方 C60MmV 砥石に



第1図 研削中の切れ刃プロファイル (A60GmV)

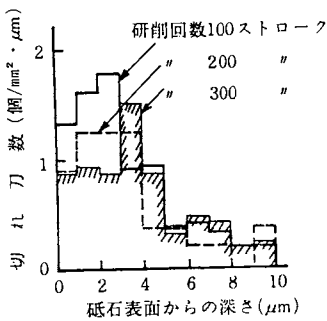


第2図 研削中の切れ刃プロファイル (C60MmV)

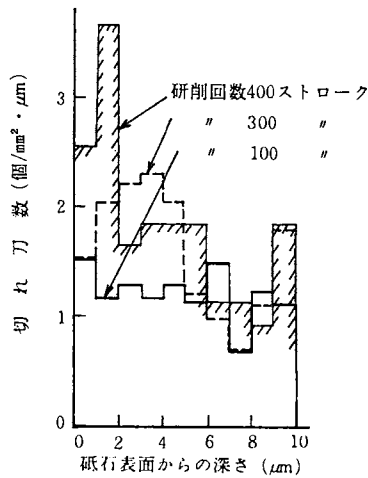
ついては、(i) ドレッシング後、研削の初期においては比較的鋭利な切れ刃形状を有するが、研削が進むと切れ刃先端が摩滅する現象がみられる。(ii) 切れ刃数は総体的に増加する。

砥粒の破碎ならびに摩滅現象は砥粒の種類・粒度、砥石の結合度・組織、ドレッシング条件ならびに研削条件等によって影響され、これらはまた研削中の切れ刃分布の変化状態を左右する要因である。それぞれの因子が切れ刃の分布状態に及ぼす影響を詳細に調べることには相当な困難さともない、また、問題が複雑化して判断を困難にする。そこで、もっとも単純化された条件で切れ刃分布の状態を吟味検討することとする。一般に結合度の低い砥石は切れ刃の破碎ならびに脱落が多く、切れ刃はつねに鋭利な形状を呈するはずであり、摩滅は少ないと考えられる。一方、結合度の高い砥石は切れ刃の摩滅が大部分を占め、切れ刃形状は円すい台形を呈するようになり、切れ刃の破碎や脱落が少ないと考えられる。いま前述の二種類の砥石についてみれば、A60GmV 砥石は主として切れ刃の破碎、脱落が支配的であり(これを破碎形砥石と称する)、一方、C60MmV 砥石は切れ刃の摩滅が支配的である(これを摩滅形砥石と称する)とみることができよう。

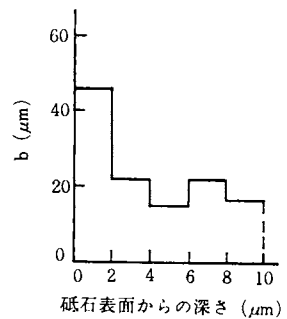
二種類の破碎形ならびに摩滅形砥石の砥石半径方向切れ刃分布を求めて図示するとそれぞれ図3および図4になる。(縦軸は既報⁵⁾での平均切れ刃分布密度 dn に相当する) これらの結果は前述で検討したように、破碎形とみられる A60G 砥石と摩滅形とみられる C60M 砥石との切れ刃分布の状態は、まったく対称的傾向を示している。また、摩滅型砥石の切れ刃先端の平均平坦化幅 b を研削ストローク 400 回において測定すれば図5のようになり、砥石のごく表層部の 0~2 μm の範囲では 40 μm 余の値を示し、砥石内部に入るにしたがい減少している。図5は砥石半径方向切れ刃平坦化幅の分布モデルを与える基礎資料ともなる⁶⁾。



第3図 切れ刃の分布状態 (A60GmV)



第4図 切れ刃の分布状態 (C60MmV)



第5図 切れ刃平坦幅の分布

3. シミュレーションによる吟味

3.1. 研削加工モデルの設定

本節ではモンテカルロ法によって単純化された研削加工のシミュレーション実験を行ない、前述の砥石減耗形態が切れ刃の分布状態に及ぼす影響について明らかにし、前節の実験結果と比較検討する。シミュレーション法の考え方をフローチャートにすれば図6のようになる。すなわち所定の分布則に従って与えられた個々の切れ刃は最大切込み深さによって、工作物の切削に関与する有効切れ刃と切削に関与しない無効切れ刃の両方に分かれたれ、有効切れ刃の切削断面積ならびに切削長

さを計算した後、切れ刃の破碎あるいは摩滅量を求める。ついで砥石一回転後の砥石外周を再決定して最初に与えた切れ刃分布からの変化状況を出力印字させ、研削過程における切れ刃の分布状態を計算によって求める。

3.1.1. 砥石モデルの設定

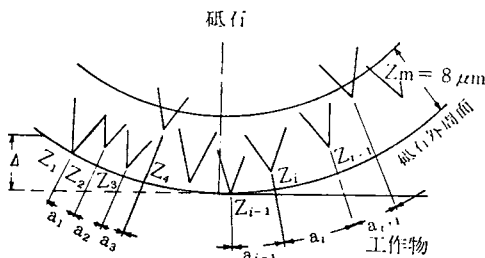
研削加工のシミュレーション実験を行なうには加工のモデル化が必要である。まず砥石モデルについては前節の実験を参考資料にしてつぎのように設定した。なお研削条件を表2に示す。

第2表 研削条件

| 研削方式 | 平面研削 |
|-------|---------------|
| 砥石直径 | D = 140mm |
| 砥石速度 | V = 1360m/min |
| 工作物速度 | v = 5.1m/min |
| 砥石切込み | d = 5 μm |

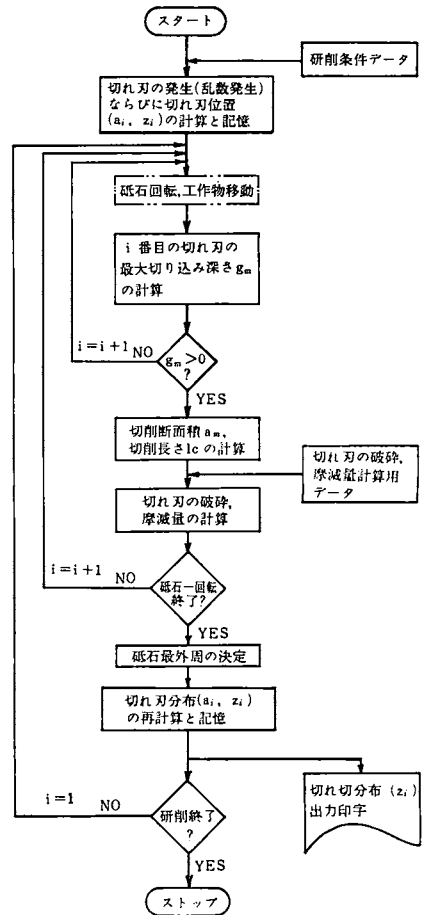
- (i) 切れ刃形状は円すい形とし、その平均半頂角 ϕ は $\tan \phi = 2.9$ とする。
- (ii) 切れ刃分布は砥石半径方向と円周方向の二次元分布を考え、その分布則は切れ刃の三次元一様ランダム分布に基づいて与える。図4、図5を参考として初期の三次元刃元切れ分布密度 k を $1.2 \times 10^3 \text{mm}^{-3}$ とする。

切れ刃分布は図7に示すように研削中の砥石減耗量を見込んで砥石半径方向深さ $8 \mu\text{m}$ まで与え（砥石切り込みは $5 \mu\text{m}$ であるから減耗量余裕は $3 \mu\text{m}$ ）、砥石半径方向深さに z 、円周方向に a なる座標をとり、第 i 番目の切れ刃位置は切れ刃の頂点座標 (a_i, z_i) によって与える*。いま円すい形切れ刃の三次元分布が一様ランダムであるとすれば、砥石半径方向深さ $z_m (= 8 \mu\text{m})$ までのすべての切れ刃を砥石円筒面に投影したときの切れ刃幅 w の平均値 \bar{w} を求めると、図8(a)より、

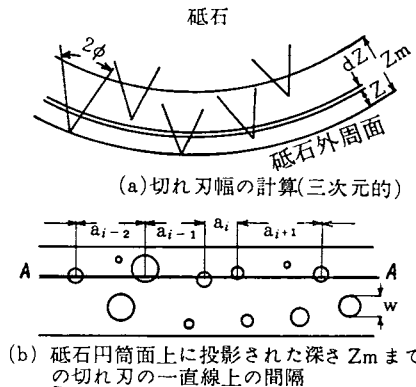


第7図 切れ刃分布の設定

* ただし計算の便宜上 $z_1 = 0$ とする。



第6図 研削加工のシミュレーション・フローチャート



第8図 砥石円周方向の切れ刃分布の算出

$$\bar{w} = \frac{2k \int_0^{z_m} (z_m - z) \tan \phi \, dz}{kz_m} = z_m \tan \phi = 0.008 \times 2.9 = 0.023 \text{ (mm)} \quad (1)$$

となる。ここに、 ϕ = 切れ刃の平均半頂角、 k = 切れ刃の分布密度。さて図 8 (b) に示すように、砥石円筒面に投影された切れ刃は平面的にはポアソン分布則に従うはずであり、したがって、一直線 AA 上の切れ刃間隔 a の分布関数 $F(a)$ は指数分布形をもち次式で与えられる。

$$F(a) = 1 - \exp(-a/\bar{a}) \quad (2)$$

ここに \bar{a} は一直線上の平均切れ刃間隔であり、 k 、 \bar{w} および z_m (切れ刃の最大設定深さ) によって次式で計算される。

$$\bar{a} = \frac{1}{k\bar{w}z_m} = \frac{1}{1.2 \times 10^3 \times 0.023 \times 0.008} = 4.5 \text{ (mm)} \quad (3)$$

一方、砥石半径方向切れ刃分布は一様ランダムであるから、分布関数 $p(z)$ は

$$p(z) = \frac{z}{z_m} \quad (4)$$

となる。したがって区間 (0, 1) の一様乱数 R_n ($r_n \in R_n$) によって第 i 番目の切れ刃の円周方向間隔 a_i および半径方向深さ z_i はつぎの式でそれぞれ計算される。

$$a_i = -\bar{a} \ln(1 - r_{2i}) \quad (5)$$

$$z_i = z_m r_{2i-1} \quad (6)$$

本項では [0.00, 0.99] 区間の二桁の乱数を発生させ、1000 個の切れ刃を設定した。なお計算式 (5) によって算出される a_i は零近傍、あるいは無限大に近い値をとる場合も起こり得るが、ここでは切れ刃の平均幅 \bar{w} より小さく、また切れ刃の平面的分布に関する実験結果⁷⁾ から 30 mm より大なる a_i 値に対しては再度の乱数発生により再計算し、次式の範囲の a_i のみを与えた。

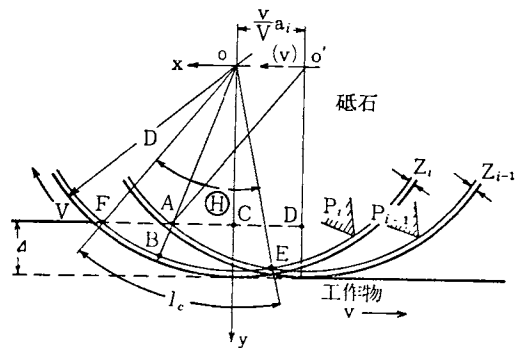
$$\bar{w} \leq a_i \leq 30 \text{ (mm)} \quad (7)$$

上式を満足しないような a_i の発生確率は極めて小さく、ほとんど問題にする必要はない程度である。

3.1.2. 切れ刃の最大切込み深さならびに

切削長さの計算

図 9 に示すように完全な自由表面をもつ工作物の平面研削において、第 $(i-1)$ および第 i 番の切れ刃の切削過程を考え、深さ z_{i-1} の切れ刃 P_{i-1} に対する深さ z_i の切れ刃 P_i の最大切込みを深さ g_m は \overline{AB} で与えられ、近似的に次式となる⁸⁾。



第 9 図 切れ刃の最大切込み深さ g_m ならびに切削長さ l_c の算出

$$g_m = 2a_{i-1} \frac{v}{V} \sqrt{\frac{d - z_{i-1}}{D} + z_{i-1} - z_i} \quad (8)$$

ただし、

$$\frac{v}{V} \ll 1, \frac{d+z_{i-1}}{D} \ll 1, \frac{2a_{i-1}}{D} \leq 1 \tag{9}$$

ここに、 D =砥石直径、 V =砥石速度、 d =砥石切込み、 v =工作物速度。上式において $g_m > 0$ となる切れ刃は切屑を生成し、工作物の切削に参与する有効切れ刃である。 $g_m \leq 0$ の場合には第 i 番目の切れ刃は工作物の切削に参与しない無効切れ刃となり、したがって第 $(i-1)$ 番目の有効切れ刃に対して $g_m > 0$ が実現するまで $(i+1)$, $(i+2)$, ……と順次切れ刃の切削を進行させ、初めて $g_m > 0$ となった第 $(i+j)$ 番目の切れ刃が つぎの有効切れ刃とみなされ g_m が算出される。ただし後続する有効切れ刃に対して 図9の直線 OA が OC より右側にくるような場合には 図示してみれば明らかなように

$$g_m = d - z_i \tag{10}$$

として計算される。

切れ刃の切削長さ l_c は切れ刃の摩滅量に直接関係する。図9の切れ刃をそれぞれ有効切れ刃とすれば、切れ刃 P_{i-1} に対する切れ刃 P_i の切削長さ l_c は弧 \widehat{FE} として求められる。簡単な解析幾何学の計算から

$$\theta = \sin^{-1} \left\{ \frac{x_F - x_E}{R - z_i} \right\} \tag{11}$$

であるから

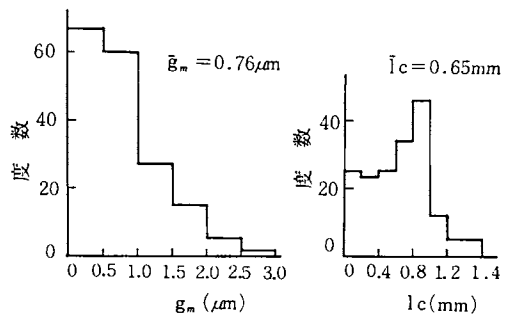
$$l_c = (R - z_i) \theta = (R - z_i) \sin^{-1} \left\{ \frac{x_F - x_E}{R - z_i} \right\} \tag{12}$$

となる。ここに、

$$x_F = \sqrt{D(d - z_i)} \tag{13}$$

$$x_E = \frac{1}{2a_{i-1}} \frac{V}{v} \left\{ (D - z_{i-1} - z_i)(z_i - z_{i-1}) \right\} - \frac{v}{2V} a_{i-1} \tag{14}$$

R =砥石半径。ただし a_{i-1} , z_{i-1} , z_i はそれぞれの切れ刃を有効切れ刃とした場合の値であって前項とは多少意味を異にする。しかるにいま計算された第 $(i-1)$ 番目の有効切れ刃に対する第 i 番目の有効切れ刃の切削長さは、かならずしも正しい値とは限らない。図示すれば明らかなように第 $(i-2)$ 番目、あるいはさらに以前の有効切れ刃に關係して決定されなければならない。正しい切削長さは第 $(i-1)$ 番目の有効切れ刃に対して l_c を計算し、ついで $(i-2)$, $(i-3)$, ……番目の有効切れ刃に対する l_c を順次求めて、 l_c 値が小から大に移った時点で計算を停止し、それまでの l_c 値の最小値によって与えられる。このようにして計算した g_m , l_c の分布を図10に示す。これらは松井ら⁹⁾による三次元的な解析結果と定性的に一致している。



第10図 g_m, l_c の分布

を計算し、ついで $(i-2)$, $(i-3)$, ……番目の有効切れ刃に対する l_c を順次求めて、 l_c 値が小から大に移った時点で計算を停止し、それまでの l_c 値の最小値によって与えられる。このようにして計算した g_m , l_c の分布を図10に示す。これらは松井ら⁹⁾による三次元的な解析結果と定性的に一致している。

3.1.3. 切れ刃の破碎ならびに摩滅量の計算

砥粒切れ刃の破碎あるいは摩滅現象は主として切れ刃に作用する切削抵抗と切削長さに関係して

決定される*。まず切れ刃一個に作用する切削抵抗の算出についてのべる。小野¹⁰⁾によれば研削抵抗 σ_s は平均切屑断面積 a_m によって次式で表わされる。

$$\sigma_s = \sigma_o (a_m / a_o)^{-\epsilon} \quad (15)$$

ここに、 σ_o = 平均切屑断面積が a_o のときの標準比研削抵抗、 ϵ = 指数。切れ刃一個に作用する切削抵抗 f_i は両辺に切屑断面積を乗じて得られ、

$$f_i = \sigma_s \cdot a_m = \sigma_o a_o^\epsilon a_m^{1-\epsilon} \quad (16)$$

となる。 $\epsilon < 1$ であるから切削抵抗の最大値は最大切屑断面積 a_{max} の位置で生ずる。つぎに本項の二次元研削加工モデルをできるだけ三次元研削加工モデルに近似させるために次のように考える。松井らの三次元研削加工のシミュレーション結果によれば、 g_m と a_{max} との間には近似的につきの式が成立する。

$$a_{max} = g_m^2 \tan \phi \quad (17)$$

さらに M. C. Shaw¹¹⁾ によって提案されているように、切屑幅と切屑厚さ（切れ刃の切込み深さに相当）との比がつねに一定値をとるとすれば、切込み深さは切れ刃の切削開始点では零で、最大切込み深さの位置で最大となり、切削終了点でふたたび零となる。一方切屑幅は切込み深さに関して比例的に変化し、切れ刃の切削弧軌跡は切込み深さに比べて極めて曲率半径の大きい円弧と考えられるから、切屑模形を最大切屑断面積を底面とする錐形に近似することができる。この場合 a_m と a_{max} との間には切屑体積の関係から

$$a_m = \frac{a_{max}}{3} = \frac{g_m^2}{3} \tan \phi \quad (18)$$

が成立する。

さて切れ刃の破碎挙動に関しては現在単粒の破碎試験データがもっとも信頼性があると考えられる。この場合には接線切削抵抗よりも法線切削抵抗が問題となる¹²⁾。切れ刃一個に作用する法線切削抵抗 f_n は接線切削抵抗と比例関係にあることが砥石ならびに単粒の研削試験においてほぼ確認されている。比例定数を λ とすれば f_n の最大値 $f_{n,m}$ は (16)、(17) 式より

$$f_{n,m} = \lambda \sigma_o a_o^\epsilon a_{max}^{1-\epsilon} \quad (19)$$

で与えられる。ここに λ は切れ刃形状によってほぼ一定値をとる。単粒先端の微視的破碎の試験結果によれば、砥粒のような脆性物質の破碎現象は作用応力で論議するよりも作用荷重で論ずる方がよく、砥粒先端の微視的破碎現象は一定の破碎限界荷重 f_{cr} 以上の作用荷重が加わったとき発生するとした方が妥当であるとの実験的見解¹³⁾があり、ここではこの考え方を基にして計算を進める。すなわち、

$$f_{n,m} \geq f_{cr} \quad (20)$$

が成立したとき切れ刃は破碎消失する。ここに f_{cr} は砥粒の種類と粒度によって決定される。なお砥粒は脆性物体であり、その破碎は当然確率過程論的現象と考えるべきであるが計算の簡単化のためには現時点ではやむを得ないものとする。

さて、切れ刃の摩滅量計算は単位の摩耗試験結果に基づいて与えられる。体積磨耗量を W (mm³) とすれば、 K を摩耗率 (mm³/Kg・mm)、 f_n を法線荷重 (Kg)、 l_c をすべり距離 (mm) として

* この他衝撃的な変動荷重、切削熱と切削液による急加熱、急冷却などの熱衝撃による砥粒の脆弱化等が考えられるが本報ではもっとも支配的要因について調べることにする。

実験式

$$W = K f_n l_c \tag{21}$$

が成立する¹⁴⁾。ここに f_n は (16), (19) 式より, l_c は (12) 式で与えられる。一回の切削によって生ずる切れ刃の摩滅量が微小であるとすれば, (21) 式を法線方向のすべり面の投影面積で除して砥石半径方向の寸法摩滅量 δ (mm) を求めれば

$$\delta = K \sigma_n l_c \tag{22}$$

σ_n は切れ刃に作用する法線方向応力であり, ほぼ (15) 式で与えられる σ_s に等しい。したがって上式は

$$\delta = K \sigma_s l_c = K \sigma_0 l_c (a_m/a_0)^{-\epsilon} \tag{23}$$

となり, 切れ刃の砥石半径方向摩滅量は上式で計算される。

3.1.4. その他の設定条件

(15) 式において $a_m \rightarrow 0$ のとき応力 σ_s は無限大となり不都合を生ずる。現実の研削挙動には工作物の微視的塑性流動などが存在して切れ刃の上すべり現象が生じ, ある一定の切り込み深さ以上でなければ切屑を生成しない。本報では切れ刃の上すべり現象に関する従来の研究結果¹⁵⁾をもとにして

$$g_m \leq g_1 = 0.3(\mu\text{m}) \tag{24}$$

なるときには $g_m = g_1$ として計算した。これは $g_m < g_1$ のときには工作物は塑性流動しており, そのときの作用応力は材料の硬さに一致する一定値をとるものとの見方からである。

切れ刃先端の切削軌跡は切れ刃の破碎ならびに摩滅によって研削途中で変化するはずであるが簡単のために切削以前の切れ刃先端軌跡をもって工作物を削るとした。さらに砥石一回転後の砥石最外周の再決定はもっとも外側の切れ刃によって決定した。シミュレーションのための諸定数の設定値は本報での研削実験条件を満足するように選定し表3のようにした。

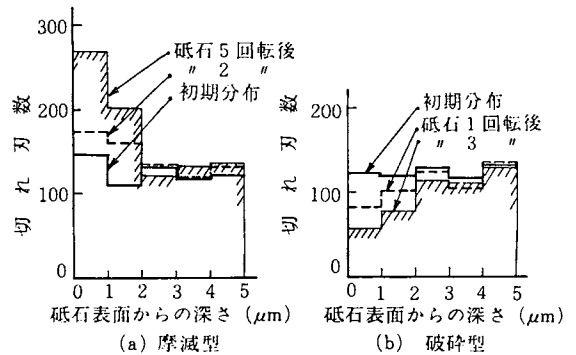
第3表 諸定数の設定値

| | | |
|------------|--------------------|--------------------------|
| σ_0 | 5×10^8 | kg/mm ² |
| a_0 | 6×10^{-8} | mm ² |
| ϵ | 0.3 | |
| λ | 4.8 | |
| k | 4×10^{-9} | mm ³ /kg · mm |
| f_{or} | 0.15 | kg |

3.2. 結果とその吟味

前述の研削モデルの設定をもとにして切れ刃の破碎および摩滅がそれぞれ分離されて別々に生ずるとした場合の計算結果を図11 (a) および (b) に示す。(a) は摩滅形, (b) は破碎形の場合を示す。これらのシミュレーションの結果は, 研削が進行するにつれて, 摩滅形の砥石では最表層部の切れ刃は次第に増加する傾向を示し, 破碎形の砥石では最表層部の切れ刃は次第に減少する傾向を示し, 図3, 図4の研削実験結果と定性的にはかなりよく合っていると見える。

しかし, シミュレーションにおける研削経過は数回の砥石回転数に対応するに反し, 研削実験における場合はその数百倍の回転数である。つまり, 現実の研削過程とシミュレーションにおける過程との関係については



第11図 シミュレーションの計算結果

時間相似性の点で不明確であり、さらに設定した研削モデルの妥当性についても、なお幾多の問題を含んでいると考えるべきである。このように研削のシミュレーションはかなり仮定的因子を含むものであるが、研削過程における砥粒切れ刃分布の変化状態を大略的に指向する点では、それほど大きな誤りを冒すことはなからうと考えられる。このような手法をとることによって、研削諸因子の影響を調べることが可能となり、研削現象を解明するに一助となるものと思われる。

以上、破砕形の減耗をする砥石および摩滅形の減耗をする砥石の両極端な場合について、研削実験およびシミュレーション計算を行ない、研削過程における砥石面の砥粒切れ刃の分布状態を検討した。しかし、実察研削においてはそれらの現象が別個に起ることはまれであって、両現象が同時に起っており、砥粒切れ刃の分布状態はそれらの定量的な割合によって定まるものと思われる。

4. 結 言

以上の研究を要約すれば次のようである。

- 1) 破砕形の減耗をするとみられる A 60 GmV 砥石 および 摩滅形の減耗をするとみられる C 60 MmV 砥石で研削実験を行ない、研削過程における砥石面の砥粒切れ刃の分布状態（砥石半径方向切れ刃分布）を調べた。A 60 G 砥石は研削が進行するにつれて砥石最表層の切れ刃は減少する傾向を示し、C 60 M 砥石は砥石最表層の切れ刃は増加する傾向を示した。また、C60M 砥石は切れ刃先端が摩滅して平坦化し、その平坦化の程度は最表層に近いほど大きくなる傾向が認められた。
- 2) 破砕形 および 摩滅形の砥石について、単純な研削モデルを設定し、モンテカルロ・シミュレーション法により研削過程における砥粒切れ刃の分布を計算した。シミュレーション計算の結果は研削実験の結果と定性的にはかなりよく合っていることが認められた。

おわりに、本研究について御指導を賜わった、東北大学工学部 松井正己教授、本学部精密工学科 杉田忠彰教授、また、本研究に御協力をいただいた、本学部精密工学科 西川勝信技官の各位に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 本多良辰, 進村武男, 高沢孝哉; 金沢大学工学部紀要, 7.1 (1973), 79.
- 2) R. M. Baul; Paper presented at the 8th International M. T. D. R. Conference (1967).
- 3) 織岡貞次郎; 山梨大学工学部研究報告, 10 (1959), 131.
- 4) 1) に同じ, 81頁.
- 5) 1) に同じ, 82頁.
- 6) 進村武男; マシニスト, 17.6 (1973).
- 7) 進村武男; 金沢大学修士論文 (1970-3).
- 8) 進村武男; 機械の研究, 24.9 (1972), 1209.
- 9) 松井正己, 庄司克雄; 精密機械, 36.3 (1970), 196.
- 10) 小野浩二; 研削仕上, 榎書店 (昭37), 21.
- 11) G. S. Reichenbach, J. E. Mayer, S. Kalpakcioglu, M. C. Shaw; Trans. ASME, 78.5 (1956), 847.
- 12) 高沢孝哉; マシニスト, 11.10 (1967), 97.
- 13) 12) に同じ.
- 14) 高沢孝哉; 昭和44年度精機学会秋季大会シンポジウム資料, (1969), 42.
- 15) 田中義信, 津和秀夫, 河村末久; 精密機械, 30.12 (1964), 908.

(昭和48年5月18日受理)