砥石表面トポグラフィの測定に関する研究 (第2報)*

—引っかき転写法—

松 井 正 己** 田 牧 純 —**

Studies on Measuring Method of Wheel Surface
Topography (2nd Report)
—Scratch Method—

Seiki MATSUI and Jun'ichi TAMAKI

By a statistical approach scratch method (measuring method of wheel surface topography) is analyzed theoretically and experimentally. Results are summarized as follows: (1) Grain cutting edge density obtained by scratch method is that of effective cutting edges which have effective concern with roughness generation. (2) The measuring accuracy in scratch method is improved by an increase in

scratch depth and width. (3) Measuring process in scratch method is the same in essence as that of COFG (cluster overcut fly grinding) test, and there is no choice between the two. (4) Scratch method has a good point that the measuring device is simple and easy to handle, but has a difficult one that a considerably long time is expended on data processing, so an improved scratch method which can shorten the time is developed.

Key words: wheel surface topography, scratch method, statistical approach, effective grain cutting edge, grain cutting edge density.

1. 緒 言

筆者らはこれまで砥石表層部における砥粒切れ刃分布および砥粒切れ刃密度を引っかき転写法で測定してきた¹⁾。

しかし引っかき転写法における砥粒切れ刃の相互干渉の程度すなわち砥粒切れ刃の捕捉率、砥粒切れ刃位置決定の精度、更に引っかき転写法と普通研削試験、クラスタ試験との関係などについては未検討であった。本報はこれらの問題を解明するために、統計的手法により理論解析し、更に二、三の実験を行ったものである。

2. 引っかき転写法の理論的解析

引っかき転写法の理論解析に当たってまず次の仮定をおく。

- (1) 砥石表層の砥粒切れ刃形状は先端角 $2\alpha_0$ (一定) の円すい形とする。
- (2) 砥石表層の砥粒切れ刃分布は三次元的に一樣分布で、砥粒切れ刃1個の占める平均体積は一定値 W_0 になる。
- (3) 砥粒切れ刃の工作物に接触した部分はすべて砥粒切れ刃の形状通りに削りとれる。
- (4) 砥粒切れ刃の摩滅、破砕、脱落は考えない。

* 原稿受付 昭和57年11月27日。昭和57年度精機学会春季大会学術講演会(昭和57年3月23日)および昭和57年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和57年10月18日)にて発表。

** 正 会 員 東北大学工学部(仙台市荒巻字青葉)

さて上述のような仮定をおくと、引っかき転写法の際、先行または後行する砥粒切れ刃のために試験片表面上に引っかき痕を残さない無効切れ刃が存在する。そこで試験片表面上に引っかき痕を有効に残す砥粒切れ刃を粗さ有効切れ刃とよび、砥石表面から z の深さに存在し引っかき痕創成に関与する可能性のある砥粒切れ刃のうち、粗さ有効切れ刃の占める割合を実質粗さ有効切れ刃率 $\eta_{ra}(z)$ と定義する。

2.1 引っかき転写法における実質粗さ有効切れ刃率 $\eta_{ra}(z)$

図1(a)に示すように、固定した砥石表面を試験片表面に押しつけ深さ A で押しつけ、試験片を右に移動して引っかき試験を行う。いま試験片内に引っかき方向に垂直な断面をとり、これを基準断面とよぶ。この基準断面がOAの位置にきた瞬間を考え、これを基準にして砥石円周方向に x (反時計方向を正)、砥石深さ方向に z の位置にある砥粒切れ刃の座標を (x, z) で表す。この砥粒切れ刃は基準断面を次に示す高さ H で引っかく。

$$H = z + \frac{x^2}{D} \quad (1)$$

ここで D は砥石直径である。

式(1)で H を一定にしたとき得られる x, z の関係曲線 ㉑ ㉒ を等高引っかき曲線とよぶ。さて任意の砥粒切れ刃 (x, z) が粗さ有効切れ刃である確率 $\eta_r(x, z)$ は、U部(図1(a)の三日月形立体部、体積は $16\sqrt{D} \tan \alpha_0 H^{2.5}/15$ 、断面は頂角 $2\alpha_0$ の二等辺三角形)の中に砥粒切れ刃が1個も存在しない確率に等しく次式で表される。

Fig. 1 Explanation drawings of (a) scratch method and (b) up-cut surface grinding

Fig. 2 Relationship between rate of effective cutting edge for roughness generation $\eta_{ra}(z)$ and wheel depth z . Histograms are results of simulations for $\Delta = 5 \mu m$ and $10 \mu m$

$$\eta_r(x, z) = \exp\left\{-\frac{16(\tan \alpha_0)}{15(W_0)}\sqrt{D}H^{2.5}\right\} \quad (2)$$

そこで実質粗さ有効切れ刃率 $\eta_{ra}(z)$ は次式で求められる。

$$\eta_{ra}(z) = \frac{1}{2\sqrt{D(\Delta-z)}} \int_{-\sqrt{D(\Delta-z)}}^{\sqrt{D(\Delta-z)}} \eta_r(x, z) dx \quad (3)$$

さて $D = 200 \text{ mm}$, $\tan \alpha_0 = 5.67$, $W_0 = 10^6 \mu m^3$, $\Delta = 3, 5, 7, 10 \mu m$ の条件で, $\eta_{ra}(z)$ と z の関係を計算した結果を図2の実線で示す。

また粗さ有効切れ刃総数を, 引っかかり痕創成に関与する可能性のある砥粒切れ刃総数 (体積 $(4/3)b\sqrt{D}\Delta^{1.5}$ に

Fig. 3 Relationship between real grinding wheel center line and apparent grinding wheel center line

存在する砥粒切れ刃総数で実質設定砥粒切れ刃総数とよぶ。ここで Δ は押しつけ深さ, b は引っかかり幅) でわった値を平均実質粗さ有効切れ刃率 $\overline{\eta_{ra}(z)}$ とよび次式で表される。

$$\overline{\eta_{ra}(z)} = \frac{3}{2\Delta} \int_0^{\Delta} \frac{\sqrt{\Delta-z}}{\sqrt{\Delta}} \eta_{ra}(z) dz \quad (4)$$

図2内には $\overline{\eta_{ra}(z)}$ の計算値が付記してある。

次に $D = 200 \text{ mm}$, $\tan \alpha_0 = 5.67$, $W_0 = 10^6 \mu m^3$, $b = 20 \text{ mm}$, $\Delta = 5, 10 \mu m$ の条件で引っかかり転写法のシミュレーションを5回行った。図2内の点線および一点鎖線のヒストグラムは実質粗さ有効切れ刃率 $\eta_{ra}(z)$ のシミュレーションによる結果(5回の平均値)を示す。

2.2 測定用中心線と実際中心線

引っかかり転写法によって粗さ有効切れ刃分布を測定するとき, 砥石内にとった直角座標上で中心線をひき, その左右に存在する粗さ有効切れ刃数が等しくなるようにする。この中心線を測定用中心線とよぶ。これに対し砥石中心軸を通る中心線を実際中心線とよぶ。

いま図3(a)に示すように, 砥石内の任意の位置に実際中心線を境にしてとなりあった等しい体積 U_1 (左側), U_2 (右側) とする。このとき U_1 内の砥粒切れ刃数と U_2 内の砥粒切れ刃数とは等しいとは限らない。

さて U_1 部(左側)と U_2 部(右側)に粗さ有効切れ刃が得られたとき, 引っかかり転写法では, U_1 部と U_2 部の粗さ有効切れ刃数が等しくなるように測定用中心線をひく。いま U_1 部より U_2 部の粗さ有効切れ刃が j 個多いとき, 測定用中心線は実際中心線より右に位置することになる(図3(a))。この中心線位置の差を左右シフト

Fig. 4 Relationship between real grinding wheel surface and apparent grinding wheel surface

値 u_s とよび近似的に次式で求められる。

$$u_s \doteq \frac{W_0 j}{2b \int_0^A \eta_r(0, z) dz} \quad (5)$$

次に測定用中心線上に中心をもち、 U_1 部に存在する最外層の粗さ有効切れ刃 (実際中心線からの距離 a) をとおる半径 $D/2$ の円 (これを測定用砥石外周面とよぶ) をかくと、この円の中心は実際の砥石中心軸より下方に w_s だけシフトする (図 3 (b))。この w_s を上下シフト値とよび次式で表される。

$$w_s = \frac{u_s^2}{D} + \left(\frac{2u_s}{D} \right) a \quad (6)$$

結局引っかけ転写法において U_1 部より U_2 部の粗さ有効切れ刃が多いとき、測定用砥石外周面の中心軸は、実際砥石中心軸より右方に u_s 、下方に w_s だけシフトしている。このため測定用砥石外周面内部の外周部近くでは実質砥石部を含まない部分が存在することになる。

いま実質砥石部 ($D=200$ mm) を外周から深さ $1 \mu\text{m}$ ごとに同心円筒面で分割し (図 4 の点線)、この各分割部分の中では粗さ有効切れ刃密度は一定と仮定する (すなわち深さ $0 \sim 1 \mu\text{m}$ で 9.19×10^{-7} 個/ μm^3 、深さ $1 \sim 2 \mu\text{m}$ で 9.07×10^{-7} 個/ μm^3 、深さ $2 \sim 3 \mu\text{m}$ で 8.85×10^{-7} 個/ μm^3 、深さ $3 \sim 4 \mu\text{m}$ で 8.53×10^{-7} 個/ μm^3 、深さ $4 \sim 5 \mu\text{m}$ で 8×10^{-7} 個/ μm^3 とする) (図 4 参照)。

この砥石の粗さ有効切れ刃密度を引っかけ転写法 ($b=20$ mm, $A=5 \mu\text{m}$) で測定するとき、次の三つの場合について計算した結果を図 5 (a) に示す。

- (i) $u_s=50 \mu\text{m}$, $a=1000 \mu\text{m}$, $w_s=0.51 \mu\text{m}$ (図 4 の場合に相当)
- (ii) $u_s=50 \mu\text{m}$, $a=500 \mu\text{m}$, $w_s=0.26 \mu\text{m}$
- (iii) $u_s=50 \mu\text{m}$, $a=0 \mu\text{m}$, $w_s=0.0125 \mu\text{m}$

Fig. 5 Effects of grinding wheel center line shift in scratching direction u_s on effective cutting edge density for roughness generation D_e
(a) Results of calculation
(b) Results of simulation

図 5 (a) から上下シフト値 w_s が大きくなると、砥石深さの小さいところで、測定粗さ有効切れ刃密度は実際の設定粗さ有効切れ刃密度より小さい値を示すことがわかる。

一方、 $D=200$ mm, $\tan \alpha_0=5.67$, $W_0=10^6 \mu\text{m}^3$, $b=20$ mm, $A=5 \mu\text{m}$ の条件で引っかけ転写法のシミュレーションを行ったが、その結果の一例を図 5 (b) に示す。図 5 (b) の結果は図 5 (a) の計算結果の傾向とよく一致している。

2.3 引っかけ転写法と普通研削試験およびクラスタ試験との関係

図 1 (b) に示すような上向き平面研削試験において、工作物内に工作物送り方向に垂直な断面をとり、これを基準断面とよぶ。基準断面が工作物速度 v で移動し OA の位置にきた瞬間を考え、これを基準にして砥石円周方向に x (反時計方向を正)、砥石深さ方向に z の位置にある砥粒切れ刃の座標を (x, z) で表す。このあと、この砥粒切れ刃は基準断面を次式に示す高さ H で切削する。

$$H = z + G_t^2 x^2 \quad (7)$$

ここで、 $G_t \equiv v/V_f D$, $D_t = D\{1 + (v/V_f)^2\}$ であり、 V は砥石周速度、 D は砥石直径である。また A は砥石切込み量である。

また一定の基準断面が A_1B_1 の位置から A_2B_2 の位置にくるまでに砥石が走行する距離 $2l$ は次式で表される。

$$2l = 2\sqrt{DA} \left(1 + \frac{V}{v} \right) \quad (8)$$

次にこの上向き平面研削試験における粗さ有効切れ刃 (研削仕上面粗さ創成に有効に与する砥粒切れ刃) の実質粗さ有効切れ刃率 $\eta_{ra}(z)$ と平均実質粗さ有効切れ刃率 $\bar{\eta}_{ra}(z)$ は、 $\sqrt{H/G_t} \leq \pi D/2$ の条件で次式で表される²⁾。

$$\eta_{ra}(z) = \frac{G_t}{2\sqrt{D-z}} \int_{-\sqrt{D-z}/G_t}^{\sqrt{D-z}/G_t} \exp\left\{-\frac{16(\tan \alpha_0)}{15(G_t W_0)} H^{2.5}\right\} dx$$

$$\bar{\eta}_{ra}(z) = \frac{3}{2J} \int_0^J \sqrt{\frac{D-z}{J}} \eta_{ra}(z) dz \quad (9)$$

さて引っかけ転写法は普通研削試験において $V=0$ にもっていった場合に相当する。すなわち式(7)、式(9)において $V=0$ とおくと式(1)、式(3)、式(4)に一致する。

また引っかけ転写法の場合の砥石と試験片との接触長さは、式(8)で $V=0$ とおいた $2\sqrt{D\lambda}$ で表されるが、これがクラスタ試験³⁾におけるクラスタ長さ a_c に相当する。

なお引っかけ転写法とクラスタ試験を比較すると、いづれも測定される砥粒切れ刃は粗さ有効切れ刃であり、その捕捉率すなわち平均実質粗さ有効切れ刃率は大きくてほぼ等しく、また砥粒切れ刃形状の推定もできるなどの長所をもっている。一方前者は押しつけ荷重をあまり大きくできないこと、測定値の整理に時間がかかること、後者は工作物速度を極低速にしなければならないこと、クラスタ作製に時間がかかるなどの短所があり、この両者の優劣はつけがたい。

2.4 引っかけ転写法における砥粒切れ刃分布および砥粒切れ刃先端角の分布の影響

これまで述べてきた理論解析においては、砥粒切れ刃形状は先端角 $2\alpha_0$ (一定) の円すい形で、砥粒切れ刃分布は三次元的に一様分布をしていると仮定してきた。本項では、より現実に近い砥石モデルを設定し、前述の仮定(1)、(2)を次のように仮定しなおして理論解析を行う。

- (1) 砥石表面の砥粒切れ刃形状は円すい形で、その先端半頂角 α は $\alpha_{\min}$ から $\alpha_{\max}$ まで分布し、その累積分布関数は $F(\alpha)$ で与えられる。
- (2) 砥石深さ $z(\mu\text{m})$ における砥粒切れ刃密度 D_z (個/ μm^3) は次式で与えられる。

$$D_z = \frac{1}{W_1} \left(\frac{z}{z_1}\right)^n \quad (10)$$

ここで、 z_1 は単位砥石深さ ($=1\mu\text{m}$)、 W_1 は $z=1\mu\text{m}$ における砥粒切れ刃1個の占める平均体積、また n は $n > -1$ とする。

なお式(10)で $n=0, 1, 2$ とすると、それぞれ一様分布、三角分布、放物線分布となる。

さてこの場合も2.1項で述べた解析と同じように考え、統計的手法⁴⁾により、砥粒切れ刃 $\eta_r(x, z)$ が粗さ有効切れ刃である確率 $\eta_r(x, z)$ を求めると次式が得られる。

Fig. 6 Effects of grain cutting edge distribution pattern D_z on (a) effective cutting edge density for roughness generation D_e and on (b) grinding wheel center line shift in scratching direction u_s . $D=200\text{ mm}$, $[\tan \alpha]=5.67$

$$\eta_r(x, z) = \exp\left\{-\frac{2B(0.5, n+3)(\tan \alpha)\sqrt{D}}{(n+1)(n+2)W_1 z_1^n} \left(z + \frac{x^2}{D}\right)^{n+2.5}\right\} \quad (11)$$

ここで $B(0.5, n+3)$ はベータ関数である。また $[\tan \alpha] \equiv \int_0^{\alpha_{\max}} \{1-F(\alpha)\} d\alpha / \cos^2 \alpha$ である。

次に砥石深さ $z \sim z+dz$ の範囲内の粗さ有効切れ刃数および砥石体積は、 $2bz^n dz \int_0^{\sqrt{D(D-z)}} \eta_r(x, z) dx / W_1 z_1^n$ 、 $2b\sqrt{D(D-z)} dz$ で与えられる。したがって砥石深さ z における粗さ有効切れ刃密度 D_e (個/ μm^3) は次式で与えられる。

$$D_e = \frac{z^n}{W_1 z_1^n \sqrt{D(D-z)}} \int_0^{\sqrt{D(D-z)}} \eta_r(x, z) dx \quad (12)$$

また測定用中心線の実際中心線からの左右シフト値 u_s は近似的に次式で与えられる。

$$u_s = \frac{W_1 z_1^n j}{2b \int_0^J z^n \eta_r(0, z) dz} \quad (13)$$

図6は砥粒切れ刃分布状態が一様分布 ($D_z=1 \times 10^{-6}$) の場合を標準分布とし、試験片と干渉する砥石体積内に存在する砥粒切れ刃総数が標準分布のそれに等しくなるような三角分布 ($\Delta=5\mu\text{m}$ のとき $D_z=0.5 \times 10^{-6}(z/z_1)$ 、 $\Delta=10\mu\text{m}$ のとき $D_z=0.25 \times 10^{-6}(z/z_1)$)、放物線分布 ($\Delta=5\mu\text{m}$ のとき $D_z=0.175 \times 10^{-6}(z/z_1)^2$ 、 $\Delta=10\mu\text{m}$ のとき $D_z=0.04375 \times 10^{-6}(z/z_1)^2$) を設定して砥粒切れ刃分布状態の影響を検討したものである。図6

Fig. 7 Measurement of grinding wheel center line shift in scratching direction u_s .

(a) Measuring method

(b) A result of experiment (grinding wheel; WA 60 J 6 V, scratching piece; mirror finished brass piece)

(a) は式 (12) の計算結果の一例で, 粗さ有効切れ刃密度 D_e (実線) と設定砥粒切れ刃密度 D_z (一点鎖線) の差は, 砥粒深さ z が大きいほど, 押しつけ深さ Δ の大きいほど広がっていくが, その程度は砥粒切れ刃分布状態が異なってもそれほど変化しないことがわかる. また図 6 (b) は式 (13) の計算結果の一例で, 左右シフト値 u_s は, 押しつけ深さ Δ , 引っかかり幅 b の大きいほど, また砥粒切れ刃分布状態を示す n の値の大きいほど小さくなることをわかる.

3. 引っかかり転写法の実験的考察

引っかかり転写法において測定用中心線が実際中心線からどの程度ずれているかを検討するためには, あらかじめ実際中心線的位置を知っておく必要がある. そこで平面研削盤のテーブル上で引っかかり転写実験を行った後に引っかかり終了点に試験片を固定し, 次に砥石軸方向に試験片を移動してから砥石を回転し試験片をプランジ研削する方法をとった. この操作により試験片上には図 7 (a) に示すような引っかかり痕, プランジ研削痕が残る. 実際中心線は円弧形プランジ研削痕の二等分線 AA' をひくことにより求められる. 図 7 (b) は WA 60 J 6 V 砥石 ($D=202$ mm) を単石ダイヤモンドドレッサでドレッシングした場合の左右シフト値 u_s の測定結果で, u_s は引っかかり幅 b が 5 mm 以上になるとほぼ一定値になることがわかる.

図 8 は引っかかり幅 b が 10 mm の場合について粗さ有効切れ刃密度 D_e の測定結果を示したもので, この場合左右シフト値の影響は小さいことがわかる.

4. 改良引っかかり転写法

これまで述べてきた引っかかり転写法は, 試験片上の粗

Fig. 8 An experimental result of effective cutting edge density for roughness generation D_e . Grinding wheel; WA 60 J 6 V, Scratching piece; mirror finished brass piece

Fig. 9 An explanation of improved scratch method (a) An explanation drawing of improved scratch method

(b) Calculated results of effective cutting edge density for roughness generation D_w ($D=200$ mm, $[\tan \alpha]=5.67$, $\Delta=5 \mu\text{m}$)

さ有効切れ刃位置を測定して砥石内にとった直角座標内にプロットせねばならぬかなりの時間を要した. そこで試験片上に残る粗さ有効切れ刃の深さ方向位置を測定するだけで砥石表面トポグラフィを推定する方法を考案し, これを改良引っかかり転写法とよぶことにする.

4.1 改良引っかかり転写法の原理

この場合も 2.4 項で用いたのと同じ仮定をおく.

図 9 (a) において, 砥石最外周点 A を通り引っかかり方向に平行な直線 L をひき, 砥粒切れ刃の位置を L からの高さ w で表す. 試験片内の微小範囲 ($w \sim w+dw$) に対応する砥石体積 (斜線部) 内に存在する砥粒切れ刃数 N は次式で与えられる.

$$N = \frac{b \sqrt{D} B(0.5, n+1)}{W_1 z_1^n} w^{n+0.5} dw \quad (14)$$

またこれらの砥粒切れ刃が試験片上に引っかかり痕を残

Fig. 10 Estimation of grain cutting edge density D_z by (a) improved scratch method and by (b) COFG test

Grinding wheel: WA 60 K 9 V, Workpiece: mirror finished brass piece

す確率は式 (11)において $w = z + (x^2/D)$ とすることにより得られる。したがって試験片上に残る粗さ有効切れ刃密度 D_w (個/ μm^2) は次式で与えられる。

$$D_w = \frac{\sqrt{D} B(0.5, n+1)}{W_1 z_1^n} w^{n+0.5} \times \exp \left\{ -\frac{2B(0.5, n+3)(\tan \alpha)/D}{(n+1)(n+2)W_1 z_1^n} w^{n+2.5} \right\} \quad (15)$$

図 9 (b) は式 (15) の計算結果の一例 ($D=200 \text{ mm}$, $[\tan \alpha]=5.67$, $\Delta=5 \text{ }\mu\text{m}$) である。ここで D_z は設定砥粒切れ刃分布である。

さて砥石表面トポグラフィの特性値 W_1, n を求めるには、 $[\tan \alpha]$ の実測値を式 (15) に代入し、 D_w の測定値とよく一致する曲線を求めることにより推定できる。

4.2 改良引っかかり転写法の実験結果

実験装置には円筒研削盤を用い、回転しないように固定した砥石に対し 290 rpm で回転する黄銅円筒試験片 (直径 $d=40 \text{ mm}$) を押し込んで引っかかり痕を作成した。この方法は試験片 1 回転当たりの押しつけ深さを小さくできるため、従来の方法に比べて全体の押しつけ深さ Δ , 引っかかり幅 b を大きくできること、引っかかり転写中に生ずる砥粒切れ刃の破碎を極力おさえることができることなどの利点をもっている。なおこの場合、式 (15) の計算に当たっては、式中の D の代わりに $D' (\equiv Dd/(D+d))$ を用いなければならない。

図 10 (a) のヒストグラムは WA 60 K 9 V 砥石 ($D=$

348 mm) を単石ダイヤモンドドレッサでドレッシングした場合の測定結果であり、 $[\tan \alpha]$ の実測値 ($[\tan \alpha]=6.9$) を式 (15) の D を D' にかえた式に代入することにより、設定砥粒切れ刃密度の推定値として $D_z=1.3 \times 10^{-6}(z/z_1)$ (実線) が得られる。

なお図 10 (b) のヒストグラムは同一砥石の表面トポグラフィをクラスタ試験によって測定した結果で、設定砥粒切れ刃密度の推定値として $D_z=1 \times 10^{-6}(z/z_1)^{1.2}$ (実線) が得られ、改良引っかかり転写法による推定値と比較的よく一致している。

5. 結 言

筆者らは、三次元的な砥粒切れ刃分布をもつ現実に近い砥石モデルを設定し、引っかかり転写法について、統計的手法による理論解析を行い、更に二、三の実験的考察を試みた。本研究で得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 引っかかり転写法で測定されるのは設定砥粒切れ刃分布ではなく粗さ有効切れ刃分布である。しかしこの両者の差は押しつけ深さ Δ が小さいときは非常に少ない。
- (2) 引っかかり転写法の測定精度は押しつけ深さ Δ , 引っかかり幅 b が大きいほど向上する。ただし押しつけ深さについては砥粒切れ刃破損防止の点から制限がでてくる。
- (3) 引っかかり転写法とクラスタ試験とは共に粗さ有効切れ刃を測定しておりその優劣はつけがたい。
- (4) 引っかかり転写法は装置が簡単で、研削盤への取付けも容易で簡便に実施することができるが、測定結果の整理が少し面倒である。そこで試験片上に残る粗さ有効切れ刃の深さ方向位置を測定するだけで砥石表面トポグラフィが推定できる改良引っかかり転写法を考案した。
- (5) 改良引っかかり転写法においては試験片の引っかかり 1 回当たりの押しつけ深さを小さくできるために、全体の押しつけ深さ Δ , 引っかかり幅 b を大きくすることができる利点もある。

文 献

- 1) 松井正己, 庄司克雄: 研削砥石の有効切れ刃に関する研究, 精密機械, **34**, 11 (1968) 743.
- 2) 松井正己: 統計的手法による研削仕上面あらさの解析, 機械の研究, **26**, 1 (1974) 53.
- 3) 松井正己, 田牧純一: 砥石表面トポグラフィの測定に関する研究 (第1報)——クラスタ試験法, 精密機械, **48**, 8 (1982) 1057.
- 4) S. Matsui: Statistical Approach to Grinding Mechanism—Influence of the Distribution in Depth for the Position of Grain Cutting Edges and the Distribution of Grain Tip Angles, Technology Reports, Tohoku Univ., **37**, 2, (1972) 297.