



Title	スナッキング研削の幾何学的解析 (第1報)
Author(s)	横内, 弘宇; Yokouchi, Hirotaka; 星, 光一 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 52, 19-30
Issue Date	1969-03-20
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40922">https://hdl.handle.net/2115/40922</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	52_19-30.pdf



# スナッキング研削の幾何学的解析 (第1報)

横内 弘 宇\*

星 光 一\*

(昭和43年11月22日受理)

## Geometrical Analysis of the Snagging Method (I)

HirotaKa YOKOUCHI

Koichi HOSHI

(Received November 22, 1968)

### Abstract

A geometrical analysis of the snagging method is carried out in this report. The distribution of chip volume on the working surface of the grinding wheel and the distribution of grinding force on the same surface are obtained. By equating the vertical grinding force obtained and the vertical load, an equation which yields the relationships between the metal removal rate  $M$  and scratch depth  $d$  and other variables e.g. grinding velocity  $V$ , wheel diameter  $D$ , feed speed  $v$ , vertical load  $L$ , working radius of wheel section  $r$  and specific grinding energy  $u$  is obtained and critically discussed. It is concluded that metal removal rate  $M$  may be given approximately by  $\frac{1}{k} \frac{L}{u} V$ , ( $k = \text{const.}$ ), when the ratio of  $d$  by  $r$  is practically small.

(This analysis includes none of the effect of vibration of the system nor that of elastic behavior of the wheel.)

### 1. ま え が き

ホットコイルや種々の型鋼製品の表面品位の上で問題になるのは、線状疵あるいは線状スケールといわれる疵である。これ等の疵の現因は、特にキャップド鋼などリム層の薄い場合、造塊時に出来る表層附近の気泡等があげられる<sup>1)</sup>。気泡は鍛造時に押しつぶされるのであるが、気泡内部の酸化がひどい場合はスケール等がかみ込まれるため酸洗処理のみでは取りのぞかれない。従って通常、鍛造してビレットやスラブ等になったとき、以後の造形加工に入るまえに厚いスケール等と共に表層の不純部分は、荒研削によりとりのぞく作業が行なわれる。ステンレス鋼では特にこの作業は重要である。

このようなビレットやスラブのスケールや疵とりの研削をスナッキング(Snagging)といっ

\* 精密工学科 精密加工学第一講座

ている。砥石グレードが Z のように硬いレジノイドボンドの、特殊なあるいはアルミナ等の砥粒 (#10 程度) を用いた砥石 (普通, 直径 24 in 厚さ 3 in) を 12,500 fpm (70 m/sec) の周速で、一定垂直荷重をかけながら、スラブまたはビレットの上を移動させながら、研削が行なわれる。

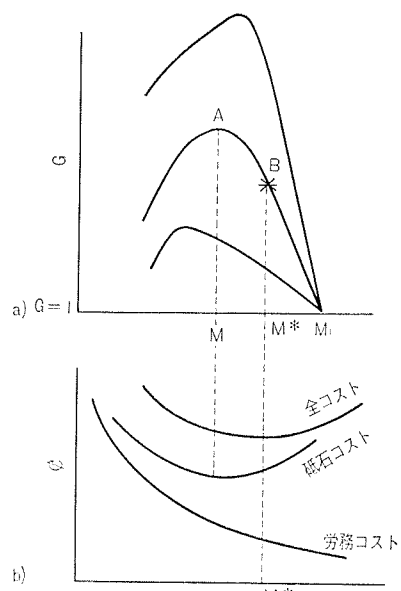
単位時間研削量は普通の鋼で約  $100\sim 300\text{ cm}^3/\text{min}$  (加工材料, 研削条件によって異なる) 程度であり決して他のアブレイズ・マシーニング (例えば, 研削切断  $100\text{ cm}^3/\text{min}$  縦軸平面研削  $250\text{ cm}^3/\text{min}$  程度) に比し小さい訳ではないが, 急激な鋼の需要増加に伴いこの作業の能率の相対的な遅れが問題になってきている。

この研削法は機構が複雑な為めと実験研究の困難さの為, 詳細な研究はほとんどない。

本研究は何故, スナッキング研削法の加工能率が小さいかを知り, 又加工能率を向上させる為め解決策はないかを探る等に資すべく, まずスナッキング研削法の幾何学的な解析を行なって, その機構に含まれる諸変数の性質を調べ, スナッキング研削の単位時間研削量の最適化を行なうための基礎としたので報告する。

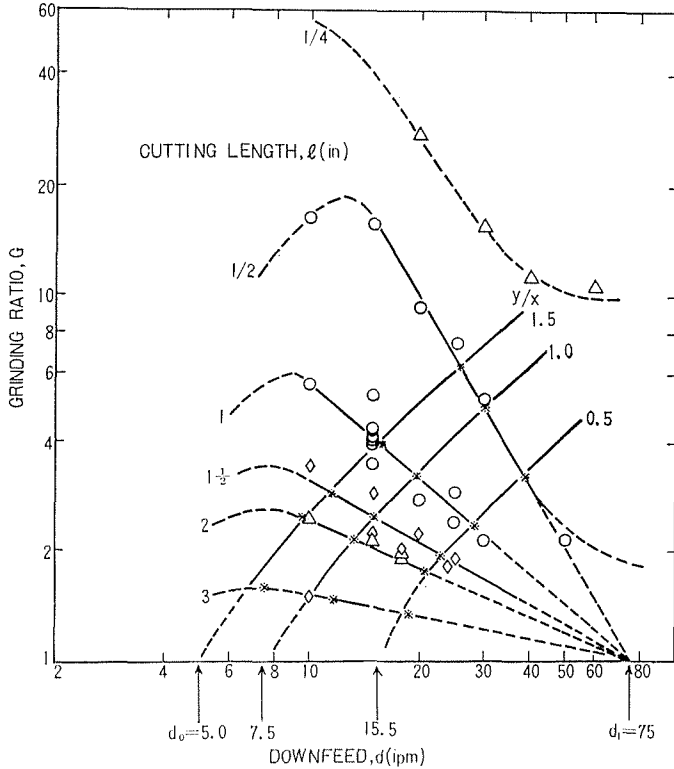
## 2. 荒研削の一般的な摩耗特性とスナッキング研削

荒研削 (Abrasive Machining) の摩耗は一般に第 1 図に示したような特性を持つ<sup>2)</sup>。G は, 研削比で研削加工量の 砥石単位摩耗量に対する 体積比であらわされる。M は単位時間当たり研削量 (加工体積/分) であり  $\epsilon$  は単位加工量当たりコストである。G-M 曲線は一般に, 研削条件中のある変数をパラメータとして, 複数本得られ, それ等は  $G=1$  のところで一点に集中する傾向があることが筆者等により知られている<sup>3)</sup>。一つの曲線は log-log 座標にプロットされると, 第 1 図のように A 点に極大をもちその左右に近似的には直線とみなし得る部分を持つ。この A 点から離れる両方向に於いて支配的となる摩耗の機構は異なっている。即ち, M が小さい範囲では, 加工物が吸収した研削熱は砥石に再放射されてレジノイドが焼けて炭化し脆弱化するために M の減少にともない摩耗が増加すると説明されている。一方 M が増加すると, 砥粒の一切当たりの研削体積 (=切屑体積) はそれに伴って増加する。これは一切刃に加わる研削力が増加することを意味し, さらに M が増大すると切屑を収容するスペースは充満されてしまい, 切屑が破壊されない限り, ボンド橋が破壊されるために, M の増加とともに G は再び減少すると説明されている。このような摩耗の機構はそれぞれ, 熱摩耗, チップ



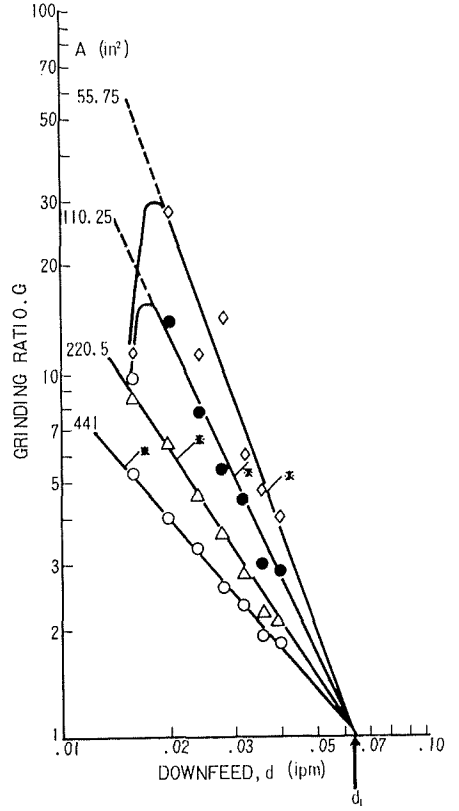
(M. C. Shaw による)<sup>2)</sup>

第 1 図



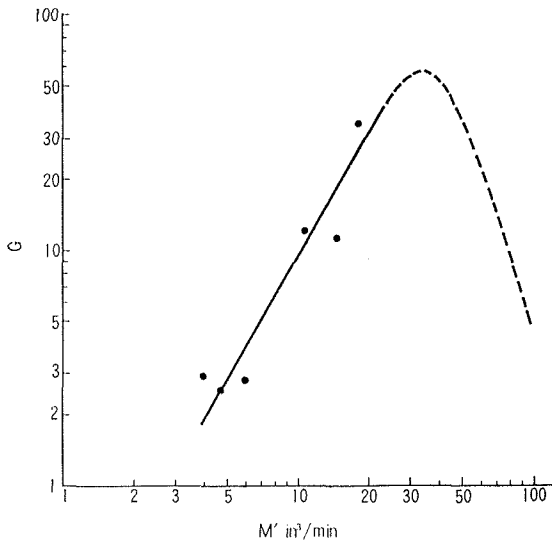
Actual values of grinding ratio (G) vs downfeed (d), for work-pieces of different length. Wheel: A24-T6B, 20×0.191×1. Work: AISI 1020 steel. Wheel velocity: 12,500 fpm.

第 2 図<sup>3)</sup>



Grinding ratio G vs downfeed rate (d) for different values of work area A.

第 3 図<sup>4)</sup>



Snagging 作業に於ける時間当り研削量 (M')\* 研削比 (G) の変化

砥石: レジンボンド, XA106-ZZ5-BZZHR 24×3×12  
 砥石速度: 12,500 fpm 加工物: 304 ステンレス鋼ス  
 ラヴ 198×38×5<sup>1/2</sup>/<sub>7</sub> (M. C. Shaw による)

\* 重量測定により得られた測定値

第 4 図<sup>2)</sup>

クラウデング (=chip crowding) と称されている。

さて生産速度を増加して全コストが最適となる点は A 点より右側に於いて (たとえば B\*) 作業が行なわれねばならない。第 1 図 (b) はそのとき全コストが極小になることを示す。

これ等の実例として研削切断及び垂直軸平面研削の場合を示す (第 2 図<sup>3)</sup>及び第 3 図<sup>4)</sup>。

しかるに、スナギング研削の場合は第 4 図<sup>2)</sup>に一例を見るように、砥石摩耗の特性からみると熱摩耗が支配的となる領域に於いて、通常の作業が行なわれ

ている。これは、スナッキング砥石の硬さグレードが大であることと又、後述するように簡単に  $M$  を増加できないこと等のためと考えられるが、第4図の点線で示される如く、スナッキングの場合も、一般のアブレーション・マシーニングと同様の chip-crowding による摩擦の傾向を有することが確かめられている<sup>2)</sup>ので、 $M$  を増大しさえすれば、同程度の  $G$  を以って全コストの大幅な低減が予想出来るように思われる。

### 3. スナッキング研削の幾何学解析

第5図はスナッキング研削の加工法の模式を示す。次のように諸変量の記号を定めておく。

$V$ ; 研削速度 (fpm)

$N$ ; 砥石回転数 (rpm)

$D$ ; 砥石直径 (in)

$R$ ; 砥石半径 (in)

$w$ ; 砥石厚さ (in)

$v$ ; 砥石送り速度 (ipm)

$l$ ; 研削疵の弧長さ (in)

( $D/d$  が大であるから  
近似的に弦長さと等しいとする)

$d$ ; 研削疵の最大深さ (in)

$L$ ; 垂直荷重 (lb)

$t$ ; A 点 (第5図 (c), (d))

より測った任意の研削  
点深さ (in)

$\varphi$ ;  $t$  に対応する研削点の

$O'A'$  からの角座標

(rad.)

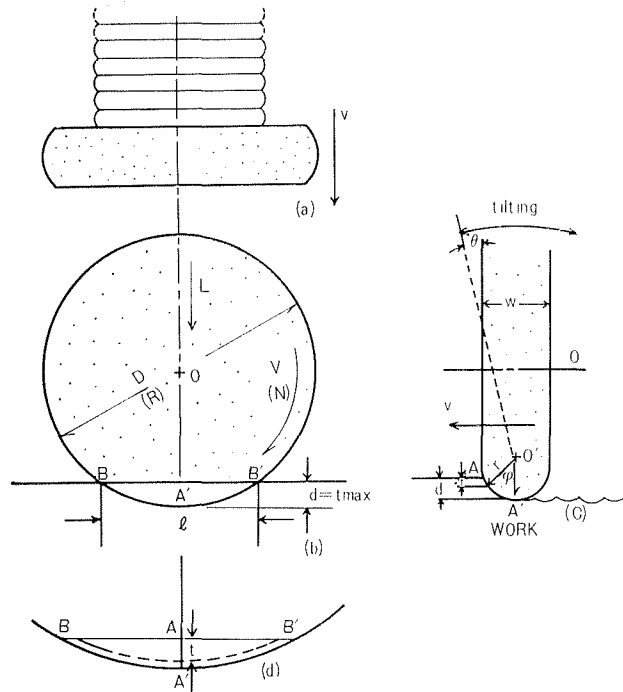
$l_{c(\varphi)}$ ,  $l_{c(v)}$ ;  $\varphi$  あるいは  $t$  に対応する工作物切刃の接触弧長さ (in)

$\theta$ ; 砥石傾き角(rad.)

$r$ ; 砥石作業面の丸み曲率半径 (in) (適当な傾き  $\theta$  を連続して変化させながら与えるとき砥石周縁に出来る。半径断面でみると近似的に円の一部分とみなし得るので、平均の値を一つとって代表する。)

$c$ ; 砥石表面の単位面積当たりの切刃数 ( $\text{in}^{-2}$ )

以下の解析はスナッキング作業に普通に起こる砥石回転数とはほとんど同じ振動数をもつ振動の影響は考慮に入れない。



第 5 図

### 3-1. 切層体積の分布

スナギング作業に供されている砥石の作業面に起きる摩耗は、常にその部分の丸み半径  $r$  を大きくするようになされ、 $r$  が大きくなるといわゆる砥石の切味じが鈍くなることが観察されている。従ってスナギング作業は砥石を傾けて他の  $r$  の小さな部分を作業面にもってゆき、切味じを保つようにする。このような繰返しを連続的に行なっていく場合、その傾き角の最大  $\theta$  に従って砥石作業面は平均的に一定な曲率をもつようになる。ここで取り扱う曲率半径  $r$  はこのような定常なものを意味し、丸みは半径  $r$  の円の一部分と近似してさしつかえなく、傾き操作 (=tilting) が適当であれば、 $r$  は砥石の厚さ  $w$  と  $\theta$  との単純な幾何学的関係から

$$r = \frac{w}{\sin \theta} \quad (1)$$

となる。

第5図(c)(d)に於いて、A点から深さ  $t$  にある研削点が工作物と接触する長さを、 $l_{c(t)}$  とすると(同じく  $\varphi$  については  $l_{c(\varphi)}$ ),

$$\begin{aligned} l_{c(t)} &\doteq 2\sqrt{t(D-2t)} \\ &= 2\sqrt{2t(R-t)} \\ &\doteq 2\sqrt{tD}, \quad (t \ll R) \end{aligned} \quad (2)$$

$$l_{c(\varphi)} \doteq 2\sqrt{\{d-r(1-\cos \varphi)\}D} \quad (3)$$

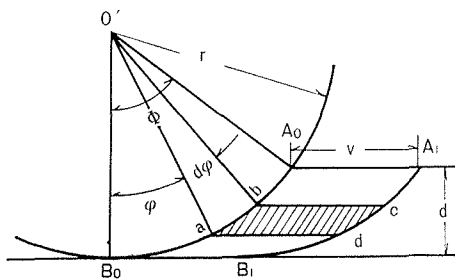
$$\therefore t = d - r(1 - \cos \varphi) \quad (4)$$

となる。

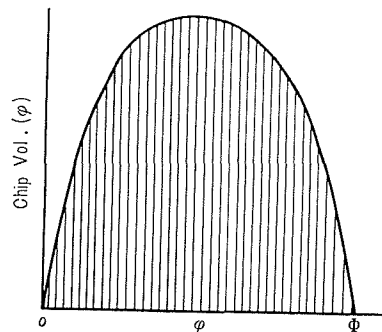
平均切層体積はチップ・クラウディングによる摩耗が支配的となる領域に於いて重要な変数であり、第1図に於いて、 $\bar{M}$  よりもこの量が物理的な意味から適しているといえる。この量は次のようにして求められる。即ち

$$\text{平均切層体積} = \frac{\text{単位時間当り研削量}}{\text{単位時間当り稼働研削点数}}$$

第5図(d)及び第6図を参照して単位時間当り研削量は



第 6 図



第 7 図

$$M/\text{min} = v \cdot \text{Area } B A' B' = \frac{2}{3} dlv = \frac{4}{3} v d \sqrt{dD} \quad (5)$$

又単位時間に稼働した研削点数は

$$N/\text{min} = c \cdot r \cdot \Phi \cdot V \quad (6)$$

従って平均切屑体積  $\overline{\text{chip Vol.}}$  は

$$\overline{\text{chip Vol.}} = \frac{4}{3} \frac{1}{c} \frac{v}{V} \frac{d \sqrt{dD}}{r \Phi} \quad (7)$$

$$= \frac{4}{3} \frac{1}{c} \frac{v}{V} \frac{d}{r} \frac{\sqrt{Dd}}{\cos^{-1} \frac{r-d}{r}} \quad (7')$$

である。さらに線  $A_0 B_0$  (第6図) に沿った切屑体積の分布を考える。これを  $\varphi$  を変数として  $\text{chip Vol}_{(\varphi)}$  とする。今円の一部であると考えている曲線  $A_0 B_0$  上に任意の  $\varphi$  の位置に微少部分  $ab$  (巾が  $r \cdot d\varphi$ , 長さは  $l_{c(\varphi)}$  である) を考えると, この部分は工作物の部分  $a, b, c, d$  の研削に参加するから, 式(7)を得たのと同じ要領で

$$M_{(\varphi)}/\text{min} = l_{c(\varphi)} \cdot r d\varphi \sin \varphi \cdot v \quad (8)$$

$$N_{(\varphi)}/\text{min} = c \cdot r d\varphi \cdot V \quad (9)$$

式(8)を式(9)で除して, 切屑体積  $\text{chip Vol}_{(\varphi)}$  は

$$\text{chip Vol}_{(\varphi)} = \frac{1}{c} \frac{v}{V} l_{c(\varphi)} \sin \varphi \quad (10)$$

式(3)を代入すると

$$\text{chip Vol}_{(\varphi)} = \frac{2}{c} \frac{v}{V} \sqrt{\{d-r(1-\cos \varphi)\} D} \sin \varphi \quad (11)$$

これは  $\varphi=0, \Phi$  に於いて0になり, 中途に極大値をもつような分布であり, 模式的に示すと第7図のようになる。又(11)式を以って平均切屑体積

$$\overline{\text{chip Vol}_{(\varphi)}} = \frac{\int_0^\Phi \text{chip Vol}_{(\varphi)} \cdot d\varphi}{\Phi}$$

を計算すると式(7)と一致する。

式(11)は研削抵抗の  $A_0 B_0$  線に沿っての分布, さらにそれより, 合成研削抵抗を導き, 垂直荷重  $L$  と垂直研削抵抗  $F_r$  との釣合い方程式, 又砥石の強度計算に必要な水平研削抵抗  $F_T$  を求めるために有効である。

### 3-2. スナッキング研削抵抗

第8図に第7図と同様の微少部分  $ab$  を考える。この線分  $ab$  はその位置に於いて巾が  $ab$  で  $l_{c(\varphi)}$  なる長さをもつ微少曲面の断面であるが, この曲面に働く研削抵抗をすべて一つの断面  $ab$  に集めて考え, 各成分を第8図のように分ける。即ち

$dF_t$ ; 微小曲面  $ab$  に働く接線方向成分

$dF_v$ ; 微小曲面  $ab$  に働く鉛直方向成分

$dF_f$ ; 微小曲面  $ab$  に働く送り方向成分

$dF_r$ ; 微小曲面  $ab$  に働く法線方向成分

今  $u$  を与えられた工作物のスナッピング研削に消費される単位研削体積当たりの研削エネルギーとすると  $dF_{t(\varphi)} \cdot V = u \cdot M_{(\varphi)} / \text{min}$  と考えてさしつかえないから

$$dF_t = u \cdot \frac{v}{V} l_{c(\varphi)} \cdot r \sin \varphi \cdot d\varphi \quad (12)$$

又

$$dF_r = k \cdot dF_t \quad (13)$$

と近似することは研削に於いて経験的な便方であり、実験によってどの場合も  $k \approx 2$  程度であることが知られている。 $dF_v = dF_r \cos \varphi$  より

$$dF_v = k \cdot u \cdot \frac{v}{V} l_{c(\varphi)} \cdot r \cdot \sin \varphi \cos \varphi \cdot d\varphi \quad (14)$$

又

$$dF_f = k u \frac{v}{V} l_{c(\varphi)} r \sin^2 \varphi \cdot d\varphi \quad (15)$$

これ等式 (12)~(15) は、砥石作業面の研削抵抗の分布を、ある特定の断面に集約した形で近似的に表現したものと見える。 $\varphi=0$  から  $\vartheta$  まで積分することにより全研削抵抗の各々の成分  $F_t$ ,  $F_v$ ,  $F_f$  が求められる。

$$F_t = \int_0^{\vartheta} dF_t = \frac{4}{3} u \frac{v}{V} \sqrt{dD} d \quad (16)$$

$$F_v = \int_0^{\vartheta} dF_v = \frac{4k}{15} u \frac{v}{V} \sqrt{dD} d (3 + 2 \cos \vartheta) \quad (17)$$

$$= \frac{2k}{15} u \frac{v}{V} l d \frac{5r - 2d}{r} \quad (17')$$

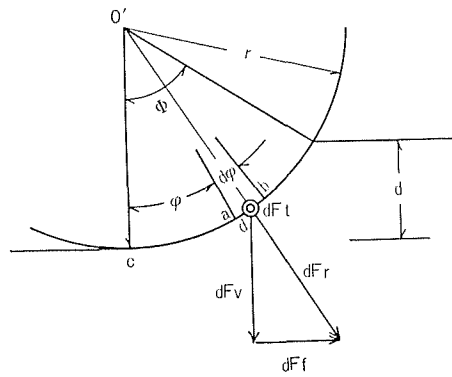
$$F_f = \int_0^{\vartheta} dF_f \quad (18)^*$$

となる。 $F_f$  は初等函数の範囲で計算されず複雑になるのでここでは省略する。

$F_v = L$  であるから式 (17) と等置して整理すると

\* 式 (18) は定数部分をのぞくと  $\int_0^{\vartheta} \sqrt{\cos \varphi - a \sin^2 \varphi} \cdot d\varphi$ , (ただし  $a = \cos \vartheta = \frac{r-d}{r}$ ) となり、さらに

$\sin \frac{\varphi}{2} = t$  を置くことにより、楕円積分  $\int_0^{\frac{1}{2} \sin^{-1} t} t^2 \sqrt{1-t^2} \sqrt{\beta^2 - t^2} dt$  に帰着出来る。 $\beta = \text{const.}$



第 8 図

$$d^{\frac{3}{2}}(5r-2d) = \frac{15}{4k} \frac{L}{u} \frac{V}{v} \frac{r}{\sqrt{D}} \quad (19)$$

を得る。式(19)は  $d$  に関して多次であるため、直接解くことは出来ない。

### 3-3. 単位時間当たり研削量

単位時間当たり研削量は(5)式に与えられている。

$$M = \frac{4}{3} v \sqrt{D} d^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

式(19)の結果を代入すると

$$\begin{aligned} M &= \frac{4}{3} v \sqrt{D} \left( \frac{15}{4k} \frac{L}{u} \frac{V}{v} \frac{1}{\sqrt{D}} \frac{r}{5r-2d} \right) \\ &= \frac{5}{k} \frac{L}{u} \cdot V \cdot \frac{r}{5r-2d} \end{aligned} \quad (20)$$

単位時間当たり研削量  $M$  は  $L/u$  に比例し、又  $V$  に比例する。 $c$ ,  $D$ ,  $v$  等には直接には無関係である。ただし後述するように  $d$  を介して関係するといえる。又  $\frac{r}{5r-2d}$  なる量に比例する。この函数は意味が解かりにくいだが今  $d/r$  なる比を考えると  $\frac{1}{5-2\frac{d}{r}}$  となるから、実験との比較をする場合は  $d/r$  と  $M$  を測定すればよい。

今これを

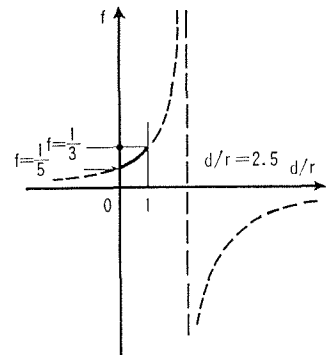
$$f = \frac{1}{5-2\frac{d}{r}} \quad (21)$$

として  $f$  対  $d/r$  をみてみると、第9図のようになる。 $d/r=2.5$  のとき  $f \rightarrow \infty$  となるが、第6図のモデルでは、 $\theta$  が  $\pi/2$  を越す場合は考えていないから、実用的には  $d/r$  は1より小さい値をとるとすれば、第9図の太線部分が考慮される範囲である。

$$d/r=0 \text{ のとき } f = \frac{1}{5}$$

$$d/r=1 \text{ のとき } f = \frac{1}{3}$$

であるから  $r$  をいかに変化させようとも  $M$  は最低の場合から67%程度しか変化しないことを意味する。しかしながら、この  $M$  の変化を単独に  $L$  又は  $V$  によってのみ達成することは、特にそれ等が限界に近づいている場合は種々の困難が考えられるので、限らずしも小さいものとはいえない。 $r$  が小さければ  $M$  は増すのであり、この意味



第9図

だけからは砥石は薄い方が  $M$  は大となる。

$v$  がスナッピングの単位時間当たり研削量  $M$  に直接関係がないという結果は興味がある。しかしそれは  $v$  が  $d$  を介して  $M$  に変化を与えることに他ならないから、いかに変化しても  $1/3 \sim 1/5$  の変化しか  $M$  には影響しないことになる。 $D$  についても同様である。スナッピング研削に於いて  $r, v, D$  の変化に対して  $M$  の変化が頓感であることはスナッピング面積と平均深さの制御を自ら安定にしているものであり、又、後述するように  $r$  が  $d$  に比して十分に大きい場合は

$$M \doteq \frac{1}{k} \frac{L}{u} V \quad (k = \text{const} \doteq 2) \quad (27)$$

となり  $M$  をみかけ上限度なく増加出来る変数は  $L$  と  $V$  しかないことがいえる。このことがスナッピング研削に於いて簡単に  $M$  を増加しにくい理由であるともいえる。

### 3-4. スナッピング研削深さ $d$

他の変数が一定でただ  $r$  だけ変化したとき  $d$  がどのように変化するかを調べることは興味がある。式(19)は  $d$  に関して直接解くことは出来なかった。しかし次のように整理して  $r$  について形式上解くことが出来る。

$$d^3(5r - 2d) = \eta r \quad (19)$$

ただし

$$\eta = \frac{15}{4k} \frac{L}{u} \frac{V}{v} \frac{1}{\sqrt{D}} \quad (22)$$

$\eta$  は  $L, u, V, v, D$  によってのみ変化する量であり、 $r, d$  に関しては独立である。式(19)を  $r$  に関して解くと

$$r = \frac{2d^{\frac{5}{2}}}{5d^{\frac{3}{2}} - \eta} \quad (23)$$

式(23)より  $\eta$  をパラメータにして、 $r$  による  $d$  の変化が得られるであろう。

今、 $r$  及び  $\eta$  の実用的にとり得る範囲を吟味してみる。

$$\theta = 30^\circ, \quad 1 \leq w \leq 6 \text{ (in)} \text{ とした場合}$$

$$2 \leq r \leq 12 \text{ (in)}$$

一方  $\eta$  に関しては

$$V = 12,500 \text{ fpm}$$

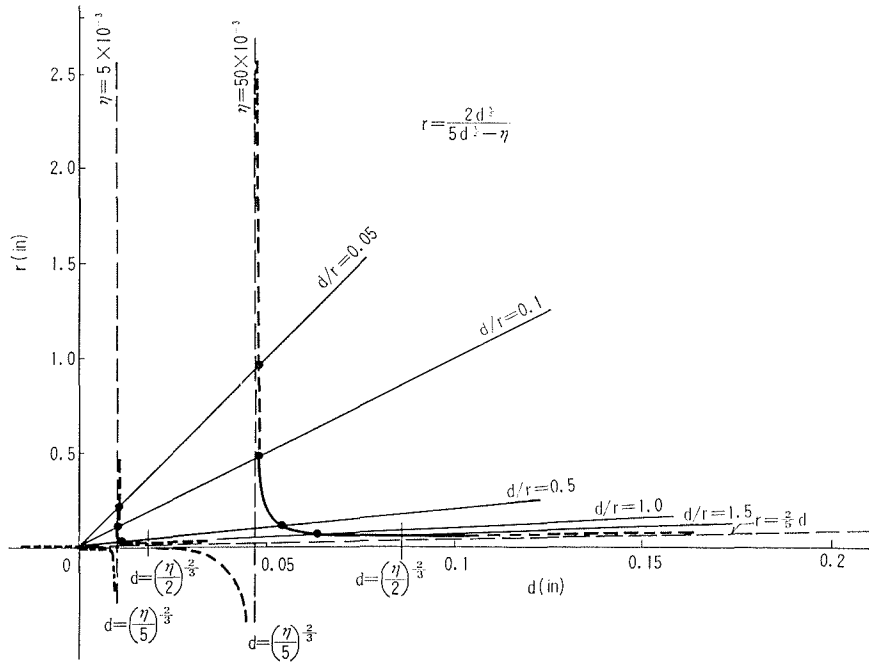
$$u = 10 \times 10^6 \text{ (in} \cdot \text{lb/in}^3)$$

$$D = 16 \text{ (in)}$$

$$k = 2$$

$$20 \leq v \leq 60 \text{ (fpm)}$$

$$600 \leq L \leq 1400 \text{ (lb)}$$



第 10 図

とすると、 $\eta$  の値は、第 1 表のようになる。

$L$	$v$	20	40	90
600		17.6	8.8	5.86
1,000		29.3	14.6	9.77
1,400		41.0	20.5	13.8

第 1 表  $\eta$  の値  $\times 10^3$  を示す。単位は  $[L]^3$

従って小さい場合で  $\eta = 5 \times 10^{-3}$

大きい場合で  $\eta = 50 \times 10^{-3}$

をとれば充分といえる。式 (23) は

$$r = \frac{2}{5}d + \frac{\frac{2}{5}\eta d}{5d^2 - \eta} \tag{23'}$$

となりこの曲線は第 10 図のようである。

第 10 図に於いて、双曲線は

$$d = \left(\frac{\eta}{5}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{24}$$

$$r = \frac{2}{5}d \tag{25}$$

を漸近線とし、しかも  $\eta$  が  $r$  や  $d$  に比し極度に小さいから、非常に両漸近線に密着したも  
のになっていることがうかがえる。第9図との対応上、 $d/r=1.5, 1.0, 0.5, 0.1, 0.05$ の点をそれぞ  
れに附してある。これから解かることは、実用的に大きな  $r$  に対しては、ほとんど、 $d \doteq (\eta/5)^{\frac{2}{3}}$   
としてよいことがわかる。又  $r/d=1$  の場合は、式(19)を解いて、 $d=(\eta/3)^{\frac{2}{3}}$  となるから

$$0 \leq \frac{d}{r} \leq 1 \quad \text{の範囲では}$$

$$\left(\frac{\eta}{5}\right)^{\frac{2}{3}} \leq d \leq \left(\frac{\eta}{3}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (26)$$

即ち

$$\left(\frac{3}{4k} \frac{L}{u} \frac{V}{v} \frac{1}{\sqrt{D}}\right)^{\frac{2}{3}} \leq d \leq \left(\frac{5}{4k} \frac{L}{u} \frac{V}{v} \frac{1}{\sqrt{D}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (26)$$

となる。従って  $d$  は  $r$  が大きい場合から  $d/r=1$  に変化すると  $\frac{5^{\frac{2}{3}}-3^{\frac{2}{3}}}{3^{\frac{2}{3}}} \times 100(\%) = 40.9(\%)$   
変化することがわかる。

又 3-3 における式(20)の値は、前述の  $f$  の範囲の吟味でも自明なように、 $0 \leq d/r \leq 1$  の  
範囲で

$$M = \left(1 \sim \frac{5}{3}\right) \frac{1}{k} \frac{L}{u} V \quad (27)$$

となる。結局、式(1)で与えられる  $r$  をもちいて、式(23)より図式的に  $d$  を求め次に函数  $f$   
の値を決めて、式(20)より  $M$  が求まる。

さて、(23)式の図式解は、与えられた  $r$  に対して  $d$  の非常に大きな所に他の根をもつが、  
 $\frac{dr}{dd}$  が正となっている部分は物理的に無意味であるから極小点より在方は除外される。

極小点を与える  $d/r$  の比は、式(23)を微分して0とおき、 $r = \frac{2}{3} \left(\frac{\eta}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$  のとき  $d = \left(\frac{\eta}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$   
となるから  $d/r = \frac{3}{2}$  となる。このことは、 $r$  の変化によって最大で

$$d = \left(\frac{\eta}{2}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad d/r = \frac{3}{2} \quad (28)$$

までが  $\frac{dr}{dd} \leq 0$  を満たす上で可能性があることを意味するようであるが、 $d/r = \frac{3}{2}$  は砥石丸  
み部が加工物内にめり込んでいる状態を意味するので、実用的な意味があるかは疑問である。

#### 4. 検討及びあとがき

以上の幾何学的な解析の結果により、スナッキングの単位時間研削量及び加工深さ、研削  
抵抗等と研削条件に従って与えられる諸変数との間の関係は一応解明された。しかしながら、  
これは単純な力学的な関係の静的な記述の範囲をでないものであろう。実際のスナッキング研

削では、さらに砥石の振動、砥石の弾性的異挙動、ボンド及び砥粒材の性質がさらに加わっているから複雑である。

これ等は、本研究で得られた知識を基礎にして、実際の実験あるいは模型実験等によって解明されるべきものと思う。

又、 $F_f$  と  $V$  等と砥石の材料力学的な関係を明らかにして、 $M$  を増すために  $L$  と  $V$  をどこまで増加出来るか等の条件を究明するのは次の機会にゆずることにする。

#### 結論：

スナッピング研削の幾何学的な解析により次の事項を得た。

1. 切屑体積の分布
2. 研削抵抗の分布及び合成研削抵抗
3. 単位時間当り研削量  $M$  と研削深さ  $d$  の図式による解、及びそれ等の性質

#### 文 献

- 1) キャップド鋼ホットコイルの線状疵について、森永孝三・他、鉄と鋼, 51 (1965), 10.
- 2) アブレーション・マシーニング, M. C. Shaw, 機械と工具, 1968-8.
- 3) Fourth Annual Report, Grinding Wheel Investigation of Grinding Fundamentals, Carnegie Institute of Technology, October 1967.
- 4) Second Annual Report, Grinding Wheel Investigation of Grinding Fundamentals, Carnegie Institute of Technology, 1965.