単粒モデル実験による正面研削の研究 (第3報)*

——S 45 C 及び鋳鉄での実験結果——

谷 泰弘** 福沢順博*** 竹中規雄† 長尾高明††

A Study on the Face Grinding by using
a Single Grain (3rd Report)
—Experimental Results for S 45 C and
Three Kinds of Cast Irons—

Yasuhiro TANI, Yorihiro FUKUZAWA,
Norio TAKENAKA and Takaaki NAGAO

A series of experiments of cutting using a single grain are conducted by the method described in 1st Report under various conditions that haven't been considered in the previous reports. Especially three kinds of cast irons are used for the work in addition to S 45 C steel. The important results are as

follows: (1) The object that adheres to the diamond single grain is observed in cutting for cast iron. (2) The grinding forces for cast irons slightly bend down having the low maximums as the grinding speed increases differently from those for steel. (3) The grinding force in cutting by a sapphire single grain is about one and a half times or twice as large as that in cutting by a diamond single grain. (4) The friction angle on the rake face increases as either the rake angle or the grinding speed increases.

Key words: face grinding, single grain, grinding force, friction angle, adherend, grinding speed.

1. 緒 言

第1報¹⁾においては新形式の平行平板形研削動力計を用いた実験方法について詳述した。また、あわせて報告したS 45 Cでの研削抵抗の実験結果によりその性能の優れていることについては確認できたことと思われる。また第2報²⁾では熱間鋼との相似性が主張されているプラスチックを用いてモデルテストを行い、鋼の単粒研削の実験結果と種々の点で一致を見た。本報ではこの実験方法により第1報では考察しなかった種々の問題点についてパラメータをかえて実験してみた。特に被削材としては新しく3種類の鋳鉄について実験を行い、研削抵抗接線分力・法線分力をすくい面における応力表示に変換し、すくい面における被削材の流動形態について考察を加えた。

2. 実 験 方 法

前報と同様図1に示される平行平板形三方向

* 原稿受付 昭和54年7月26日。昭和54年度
精機学会関西地方定期学術講演会(昭和54年
7月12日)にて発表。

** 学生会員 東京大学工学部(東京都文京区本郷
7-3-1)

*** 正 会 員 三菱重工業(株)(相模原市田名3000
番地)

† 名誉会員 日本大学理工学部(東京都千代田区
駿河台3-11)

†† 正 会 員 東京大学工学部

図1 畑村式平行平板形
研削動力計

図2 実 験 装 置

図3 切りくずの形状

鋳鉄 (Hv=161) の4種類を使用した。

3. 実験結果

3.1 実験における観察事項

図3にはS45Cをすくい角 -45° のダイヤモンド三角すくい切れ刃により研削した際得られた切りくずを示す。鋳鉄の研削及びS45Cのすくい角 -30° 、 -60° の切れ

刃による面研削では切りくずは得られなかったが、研削みぞの形状から考えて被削材は削り取られているはずなので、切りくずは溶融したか、あるいは細粒になったものと考えられる。切りくずは図3に示されるように連続しており、流れ型に近いせん断型切りくずとなっている。面研削の場合には図3(a)のように円弧状か、それが半分折れてつながった形をしており、稜研削及び傾斜研削では図3(b)のようにらせん形になっている。これは切れ刃から切りくずが流出する角度の違いによるものと考えられる。切りくずは図3(c)のように円弧またはらせん形の外側の面が滑らかで、反対側の面は細かい段が続いている。これは切りくずが切れ刃すくい面に擦過して流出するので一方の面が滑らかになり、他方の面は塑性変形のあとが残っているのであろう。

工具顕微鏡での観察によれば、球状黒鉛鋳鉄をすくい角 -45° の切れ刃で面研削した後ダイヤモンド単粒の切れ刃すくい面にはかなり大きな付着物が存在していた。他の被削材の面研削ではすくい角 -30° の切れ刃によるS45Cの研削で微量の付着物が認められたのみである。すくい角 -45° の切れ刃でのS45Cの傾斜研削でも同様の付着物が観察された。またサファイア単粒切れ刃での研削においては全く観察できなかった。鋳鉄の切削における刃先付着物に関して益田ら³⁾、田口ら⁴⁾等の研究があるが、本実験での付着物が切削での構成刃先に当たるかどうかは不明である。なお、この付着物は手で容易に取り除くことができ、付着物を取り去ったすくい面は全く摩耗を生じていなかった。

3.2 実験結果

図4~図6に3種の鋳鉄での研削速度に対する研削抵抗の変化の様子を示す。すべてほぼ一定か上に凸の様相を示しており、第1報のS45Cでの結果の傾向と多少く

g : 砥粒切込み深さ, $\alpha = -45^\circ$

図4 FC10の研削速度に対する研削抵抗

g : 砥粒切込み深さ, $\alpha = -45^\circ$

図5 強じん鋳鉄の研削速度に対する研削抵抗

g : 砥粒切込み深さ, $\alpha = -45^\circ$

図6 球状黒鉛鋳鉄の研削速度に対する研削抵抗

図7 鋳鉄の研削速度に対する比研削抵抗

図8 異なるすくい角でのS45Cの研削速度に対する研削抵抗

図9 異なる切れ刃でのS45Cの砥粒切込み深さに対する研削抵抗

い違っている。この鋳鉄での研削速度による変化の傾向は笹谷ら⁵⁾による砥石での送り速度 $v=8 \text{ m/min}$ の実験結果と定性的に一致している。第2報で述べた相似則によれば、研削速度による変化は研削速度に比例するひずみ速度による応力の変化特性に大いに影響されることになるが、鋳鉄においてもひずみ速度の増加に伴い応力も増加すると考えられるので、ここで得た結果と合致することになる。これは後で述べる摩擦角の変化に示さるようこの研削速度の範囲で研削機構が多少変化しているためと思われる。図7には研削抵抗接線分力を研削断面積で除して得た比研削抵抗の研削速度に対する変化を示す。この3種の鋳鉄はビッカース硬さがほぼ同一のものを選んだが、その比研削抵抗はほぼ同一で研削速度に対してほとんど変化していない。図8には三角すくい切れ刃のすくい角を変化させた時のS45Cでの研削速度に対する研削抵抗の様相を示す。研削抵抗値はすくい角 -45° で最大となっており、すくい角 -30° では非常に小さな値となっている。また研削速度に対する下に凸の傾向もすくい角 -45° で明らかに現れており、すくい角 -30° ではほぼ一定となっている。接線分力の法線分力に対する比の値はすくい角の減少と共に減少している。これらはすべて被削材の流動形態の相違により生じるものと考えられる。すなわちすくい角が大きい程切りくずは流出しやすく、すくい角の減少と共に切れ刃下部へ潜り込む被削材の量が増大する⁶⁾ためと考えられる。図9には切れ刃材料を変えた時の切込み深さに対する研削抵抗の変化の様相を示す。サファイア単粒切れ刃での抵抗値はダイヤモンド切れ刃の場合の約1.5~2倍程度となっているが、切込み深さに対して同一の傾向を示している。これ

図10 すくい面にかかる力

はサファイアとダイヤモンドではその摩耗形態を異にする⁷⁾ためであろう。

4. 実験結果の整理

4.1 すくい面上の応力

切れ刃すくい面における砥粒と被削材の関係を知るため、すくい面上の圧力・摩擦応力・摩擦角を以下のように定義する。図10に示されるように切れ刃すくい面の研削に直接関与する面積をすくい面面積 A_r 、研削抵抗の合力を R 、そのすくい面に対して垂直な成分をすくい面法線方向分力 P_r 、すくい面に平行な成分をすくい面内分力 F_r とすると、それらはすくい角 α 、切込み深さ g 、研削みぞの幅 b 、研削断面積 A_g 、接線分力 F_t 、法線分力 F_n によって次のように計算される。

$$A_r = \frac{A_g}{\cos \alpha} = \frac{gb}{2 \cos \alpha} \quad (1)$$

$$R = \sqrt{F_t^2 + F_n^2} \quad (2)$$

$$P_r = F_t \cos \alpha - F_n \sin \alpha \quad (3)$$

$$F_r = F_t \sin \alpha + F_n \cos \alpha \quad (4)$$

従ってすくい面上の圧力 p 、摩擦応力 f 、摩擦角 β は、

図 11 S 45 C の研削速度に対するすくい面上の圧力・摩擦応力

図 12 異なるすくい角での S 45 C の研削速度に対するすくい面上の圧力・摩擦応力

$$p = \frac{P_r}{A_r} = \frac{2 \cos \alpha (F_t \cos \alpha - F_n \sin \alpha)}{gb} \quad (5)$$

$$f = \frac{F_r}{A_r} = \frac{2 \cos \alpha (F_t \sin \alpha + F_n \cos \alpha)}{gb} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \beta &= \cos^{-1} \left(\frac{P_r}{R} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{F_t \cos \alpha - F_n \sin \alpha}{\sqrt{F_t^2 + F_n^2}} \right) \\ &= \sin^{-1} \left(\frac{F_r}{R} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{F_t \sin \alpha + F_n \cos \alpha}{\sqrt{F_t^2 + F_n^2}} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{F_r}{P_r} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{F_t \sin \alpha + F_n \cos \alpha}{F_t \cos \alpha - F_n \sin \alpha} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{F_n + F_t \tan \alpha}{F_t - F_n \tan \alpha} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

で表される。

4.2 すくい面上の圧力・摩擦応力

図 11 は式 (5)、式 (6) により計算した、S 45 C での研削速度に対するすくい面上の圧力・摩擦応力を切込み深さをパラメータとして示したものである。圧力は研削速度

図 13 鋳鉄の研削速度に対するすくい面上の圧力・摩擦応力

に対して下に凸の様相を示し、切込み深さが増加するにつれこの傾向は顕著となっている。摩擦応力は切込み深さによらず、研削速度の増加に対してわずかに増加の様相を呈している。図 12 にはすくい角を変化させた場合の S 45 C での研削速度に対するすくい面上の圧力・摩擦応力を示す。圧力に関しては切込み深さとすくい角との相乗効果があるため何とも言いがたいが、すくい角 -60° で研削速度の増加に対して圧力が減少しているのは特徴的である。摩擦応力もすくい角 -60° で非常に小さくなっており、研削速度の小さな領域で負の値となっているのは特異的である。すくい角 -60° の切れ刃による研削ではその研削機構が変化し、切れ刃下部へ潜り込む被削材の流動が生じているものと考えられる。図 13 には 3 種の鋳鉄での研削速度に対するすくい面上の圧力・摩擦応力の変化を示す。どの鋳鉄でもそれらの値はほぼ同一で、研削速度に対して圧力・摩擦応力共にほぼ一定の傾向を示しており、鋼のような顕著な変化は見られなかった。また鋼に対してこれらの値は小さくなっており、このことはビッカース硬さの差異からうなづけるところである。

4.3 すくい面上の摩擦角

図 14 には S 45 C での研削速度に対するすくい面上の摩擦角の変化を切込み深さをパラメータとして示してある。研削速度の増加と共に増大する傾向があり、このことは切込み深さが小さい程顕著である。また摩擦角は切込み深さが大きい程大きくなっており、これは摩擦応力がほぼ一定であるのに対し圧力が増大しているためである。図 15 には同じ S 45 C での研削速度に対する摩擦角の変化をすくい角をパラメータとして示してある。研削速度の増加と共に増大する傾向があるが、このことはすくい角が小さい程顕著である。またその値はすくい角が小さい程小さく、すくい角 -60° では研削速度の小さな

図14 S45Cの研削速度に対するすくい面上の摩擦角

図15 異なるすくい角でのS45Cの研削速度に対するすくい面上の摩擦角

領域で摩擦角は負となっている。これは前にも述べたようにすくい角が小さいと切れ刃下部へ潜り込む被削材の量が増大するため、研削速度の増加と共に切りくずとして流出する被削材の量が相対的に増加するのであろう。図16は3種の鋳鉄での研削速度に対するすくい面上の摩擦角の変化の様子を示している。鋼の場合と同様研削速度の増加と共に摩擦角は増大しているが、鋼の同一すくい角・同一切込み深さの場合に比較してその値は小さく多少変化が大きい。上に述べたことにより、一般にどの被削材においても研削速度の増大は切りくずが流出しやすくなる傾向があると言えよう。

5. 結 論

本報では第1報に述べた実験方法により前報では考察しなかった種々の条件にて単粒による研削実験を行っ

図16 鋳鉄の研削速度に対するすくい面上の摩擦角

た。特に被削材としては新しく3種の鋳鉄を用い、切れ刃としてはすくい角を変化させると共にダイヤモンド切れ刃のほかにサファイア切れ刃を用いた。ここで得た実験結果のうち特記すべき事項は、次の通りである。

- (1) 鋳鉄の研削においてダイヤモンド切れ刃に付着物が観察された。
- (2) 鋳鉄の研削抵抗は鋼とは逆に研削速度に対してわずかに上に凸の様相を示す。
- (3) サファイア切れ刃での研削抵抗はダイヤモンド切れ刃の場合の約1.5~2倍で、切込み深さに対して同一の傾向を示す。
- (4) すくい角、研削速度が大きい程すくい面上の摩擦角は増大する。

参 考 文 献

- 1) 竹中規雄, 長尾高明, 福沢順博, 谷 泰弘, 渡辺裕司: 単粒モデル実験による正面研削の研究(第1報), 精密機械, **45**, 9 (1979) 1113.
- 2) 谷 泰弘, 竹中規雄, 長尾高明: 単粒モデル実験による正面研削の研究(第2報), 精密機械, **45**, 12 (1979) 1479.
- 3) 益田和昭, 益子正巳: 鋳鉄の切削における逃げ面付着物の考察, 日本機械学会第43期全国大会講演前刷集(1965) 142.
- 4) 田口三生, 横山一男, 白石政市: 普通鋳鉄の切削における刃先付着物と切削条件との関係, 精密機械, **33**, 7(1965) 454.
- 5) 笹谷重康, 竹中規雄: 正面研削機構に関する研究(第2報), 日本機械学会講演論文集, **710**, 11 (1971) 37.
- 6) 喜田義宏, 井戸 守: 切りくずの生成機構(第2報), 精密機械, **43**, 8 (1977) 944.
- 7) 長尾高明, 谷 泰弘: モンテカルロ法による正面研削機構の研究, 東京大学修士論文 (1978) 57.