

炭素鋼における研削性能 (第1報)

田 戸 保*

Grinding Performance in Carbon Steel (No.1)

Tamotsu TADO

Abstract

In this report, wear of grinding wheel, grinding ratio, grinding resistance and roughness of grinding wheel were examined when carbon steel was grind under the change of grinding wheel speed.

The main results are as follows ;

- (1) In every work, the grinding ratio has its maximum according to the change of grinding wheel speed, and then, the value of its maximum has become high with the order of A, B and C.
- (2) For every work, the wear of grinding wheel become constant at high grinding wheel speed.
- (3) By increasing the speed of the grinding wheel, the grinding resistance decrease.

1. ま え が き

研削加工は、高速に回転している研削砥石を用いて、その砥石は極めて硬い砥粒によって、被加工物を削る作業であり、本質的にはフライス削りなどのような切削作業と同じに考えることが出来る。しかし、研削加工は高速、微量、多刃工具切削であるため、切削現象は非常に複雑になる。すなわち、砥粒切れ刃による切削が微量切削であるために、一般の切削では十分無視できたような小さな現象が研削結果に大きな要因となりうる。また、研削砥石は砥粒切れ刃自体が弾性体である結合材によって支持されており、研削加工特有の自生作用という現象が研削研究をなお一層困難にしている。

現在では、研削加工においても重研削における高効率、高精度が要求されるようになり、研削の難かしさと将来性を示すようになって来ていると思われる。そこ

で、現在までのことを考えに入れて本報告では、研削効率や精度を求めるために、一般に使用されている炭素鋼を用いて、といし損耗量、研削比、研削抵抗、といし有効面あらさ等について調べた。また、炭素鋼の機械的強さの相違によって、といし損耗量、研削比が砥石周速に対して示す傾向曲線やその相違についての原因、また、研削比に最高値の現われることについても検討を加えた。

2. 実験装置、供試材料および実験方法

2.1 実験装置

- A) 平面研削盤 (PSG-1D型) : といし軸は無段変速できるよう改造してある。
- B) 研削抵抗測定装置概要 : 図1に示す。
- C) 研削動力計 : 図2に示す。

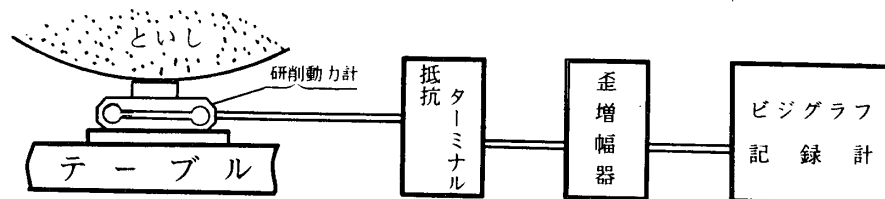


図1 研削抵抗測定装置概要

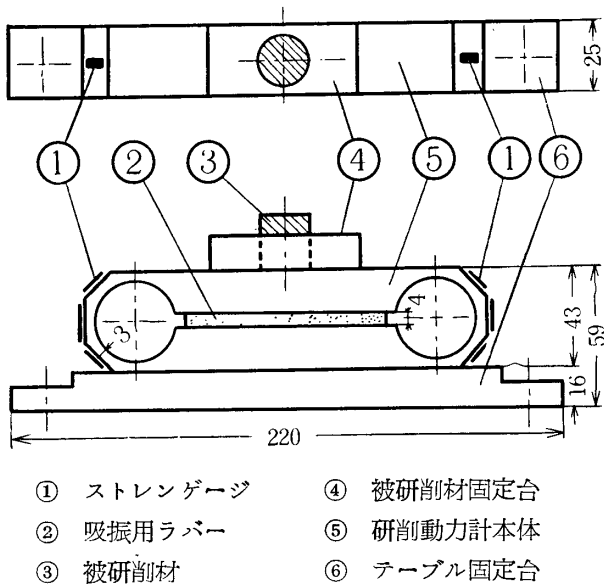


図2 研削動力計概要

2.2 供試材料

A) 研削といし

種類：WA-46-J-m-V

形状寸法：1号平形

140×9.5×25.4

B) 被研削材：表1に示す。

表1 被研削材の化学成分およびその他

種類	C	Si	Mn	P	S	硬さHb
A	0.12	0.23	0.45	0.018	0.010	100
B	0.30	0.20	0.60	0.018	0.010	145
C	0.40	0.27	0.65	0.020	0.010	200

熱処理：各材料とも真空焼なまし

形状寸法：20φ×20

C) 研削液：亜硝酸ソーダ（5%）を使用し、供給流量は4l/minとした。

2.3 実験方法

研削といしの目立ては、先端角約115°のダイヤモンド・ドレッサを用いて、といし周速度1200 m/minで前実験のドレッシング影響を少なくするために、ドレッサ切込量を20μ×2回、10μ×1回、5μ×2回で行い、最後に20μ×1回の片道切込みを行った。

目立て速度は0.24m/minで行った。研削実験は各炭素鋼に対し、研削速度800, 1000, 1200, 1400, 1600 (m/min)の条件で行い、テーブル送り速度12m/min, 横送り量15mm/passで行った。

2.4 測定方法

A) といし損耗量

前報²⁾に示した方法と同様であるが、形板に今回はプラスチック板を使用した。

B) 研削量

被研削材の厚さをマイクロメータにて測定し、その減少量からその容積を算出した。

C) 研削抵抗

図2に示した研削動力計を用いて、法線方向、接線方向の研削抵抗を測定した。ただし相互干渉があるため、次式により真の作用力を求めた。

$$F_t = (a_{22}P_t - a_{12}P_n) / A$$

$$F_n = (a_{11}P_n - a_{21}P_t) / A$$

ただし

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}$$

 a_{11} : P_t/P_t の力を較正表より求める。

 a_{12} : P_t/P_n の干渉を較正表 P_2/P_2 より求める。

 a_{21} : P_n/P_t の干渉を較正表 P_1/P_1 より求める。

 a_{22} : P_n/P_n の力を較正表より求める。

 P_t : 検出される接線分力

 P_n : 検出される法線分力

 F_t : 真の接線分力

 F_n : 真の法分力

D) 砥粒分布密度の測定

鈴木氏³⁾による方法を使用した。

E) 砥石接触弧の長さの算出

図3に示すように

$$l = \pi D \times \alpha / 2\pi = \alpha \cdot D / 2 \quad (1)$$

上図より

$$D/2 - t = D \cos \alpha / 2$$

$$\therefore \cos \alpha = 1 - 2t/D \quad (2)$$

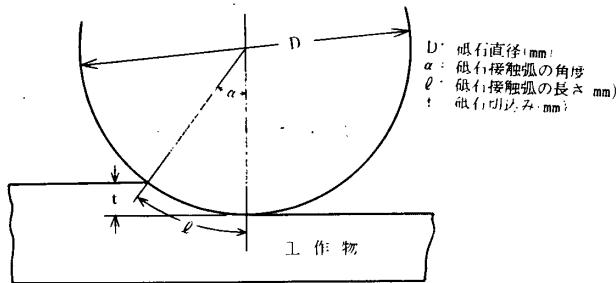


図3 研削砥石の接触状態

$$\cos \alpha = (1 - \sin^2 \alpha)^{\frac{1}{2}} = (1 - \alpha^2)^{\frac{1}{2}}$$

また、 $(1 - \alpha^2)^{\frac{1}{2}}$ の関数展開において、 α が微小なので、 α^2 までを求めると、

$$\cos \alpha \approx 1 - \alpha^2/2 \quad (2)$$

(2), (3)式より

$$1 - \alpha^2/2 = 1 - 2t/D$$

$$\alpha^2 = 4t/D$$

$$\therefore \alpha = 2(t/D)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

また、(4)を(1)に代入すると、

$$l = D/2 \times 2(t/D)^{\frac{1}{2}} = (D \cdot t)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

すなわち、砥石接触弧の長さ： l は、砥石の直径： D と砥石切込み深さ： t の積の平方根で表わされる。

D) 砥石接触面々積・平均切れ刃間隔・接触面々積中の砥粒の数の算出方法

砥石接触面々積は砥石接触弧の長さと砥石研削幅との積で表わされ、次のようになる。

$$A_c = l \cdot B$$

A_c : 砥石接触面々積 (mm^2)

l : 砥石接触弧の長さ (mm)

B : 砥石研削幅 (mm)

また、平均切れ刃間隔も鈴木氏²⁾の方法により、

$$\omega^2 = A/Z_c$$

ω : 平均切れ刃間隔 (mm)

A : 一定測定面積 (mm^2)

Z_c : A 中の砥粒の数

接触面々積中の砥粒 (Z_m) は

$$Z_m = A_c/\omega^2$$

となり、算出することが出来る

E) 砥粒1個当りの研削抵抗

砥石接触面々積中の砥粒の数で全研削抵抗を割ったもので表わされ

$$f_p = F_p/Z_m$$

F_p : 研削抵抗の合力 (kg)

f_p : 砥粒1個当りの研削抵抗 (kg/grain)

F) 接線・法線方向の比研削抵抗

(a) 接線方向の比研削抵抗

$$K_t = F_t \cdot V / (B \cdot t \cdot v)$$

K_t : 接線方向の比研削抵抗 (kg/mm^2)

F_t : 接線方向の研削抵抗 (kg)

V : 砥石周速度 (m/min)

B : 砥石研削幅 (mm)

t : 砥石切込み (mm)

v : テーブル速度 (m/min)

(b) 法線方向の比研削抵抗

$$K_n = F_n \cdot V / (B \cdot t \cdot v)$$

K_n : 法線方向の比研削抵抗 (kg)

F_n : 法線方向の研削抵抗 (kg)

3. 実験結果および考察

3.1 砥石損耗量・研削比

各種材料における砥石周速による砥石損耗量との関係を図4に示す。各材料とも砥石周速に対して、最小値の

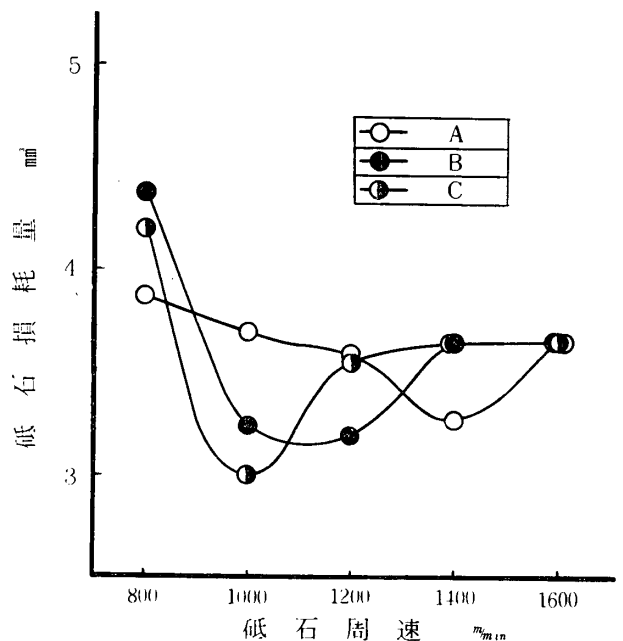


図4 砥石周速と砥石損耗量との関係

損耗量を示す砥石周速が、存在するところが有り、その存在する砥石周速も、A, B, Cの順に低速域に移っている。この最小値が出来る原因として、考えられることは、低速側においては機械的摩擦による破碎が主となり、高速側においては熱的影響による摩擦がおもな原因となって、砥石損耗が砥石損耗が起ると考られる。また、1600の砥石周速においては、各被削材とも同じ損耗量を示しており、C種では、1200m/min以上、B種では、1400m/min以上で一定値になっている。この砥石損耗量がある砥石周速以上になると、研削点が非常に高温になり、被削材の材質的な影響より、熱による砥粒の摩擦摩擦が原因していると思われる。

各種材料による最小値の損耗量を示す砥石周速の違いや、その損耗量の差については後述する研削抵抗、比研削抵抗の項において、検討・考察を行った。

図5は、砥石周速の変化に対して各種材料に及ぼす研削比の変化を示したものである。

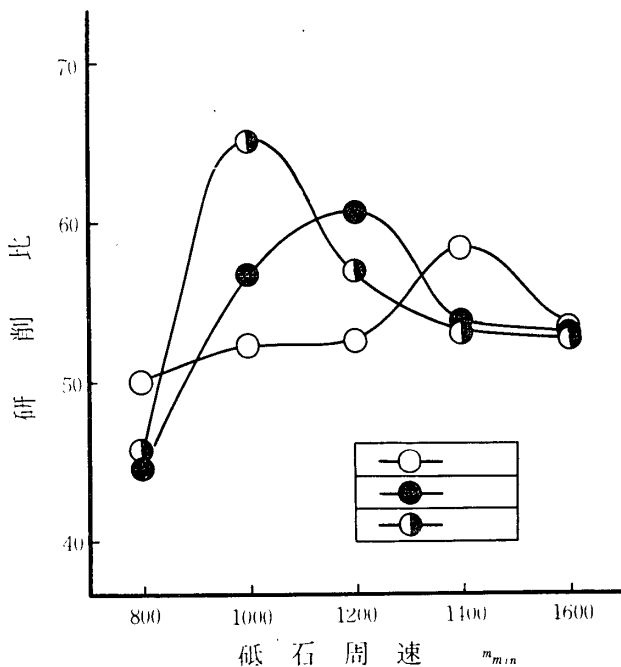


図5 砥石周速と研削比との関係

砥石損耗量に最低値が存在するので、逆比例的の関係にある研削比は、各材料とも砥石周速に対して最高値が存在している。この最高値も、A, B, Cの順に低速域に移っている。また、研削比の最高値は、A, B, Cの順に大きくなっている。図4の砥石損耗量でも考察したように、研削比に対しても砥石周速に関係なく、各種材料とも材質的な影響をほとんど受けなくなって一定値にな

っている。

3.2 砥石有効面あらさ

砥石周速に対して、各種材料が砥石最効有効面あらさにとどの様に影響しているかを示したものが、図6である。

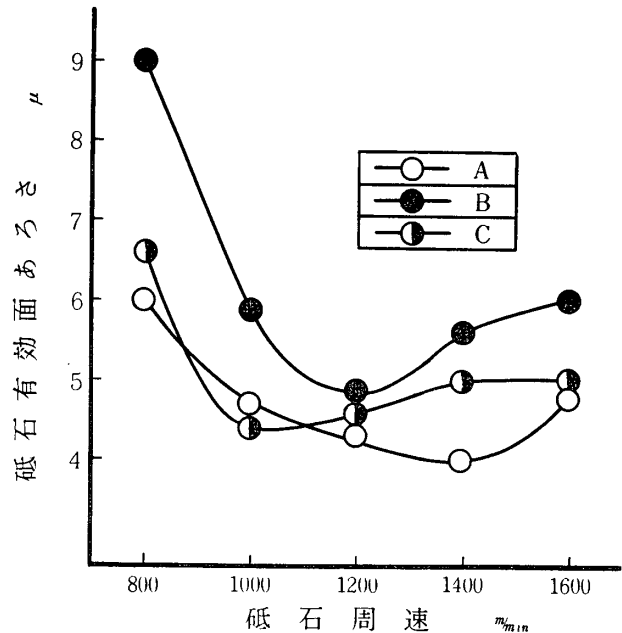


図6 砥石周速と砥石有効面あらさとの関係

砥石有効面あらさも、砥石損耗量と定性的に類似した形を示している。すなわち、砥石損耗量の増大は、有効面あらさを大きくしている。この低速側のあらさは、機械的な摩擦による破碎のためと考えられる。なぜならばそのあらさの値が非常に大きくなっていることから理解することが出来る。また、高速側においてはそれは熱的なものと、高速の砥石周速による砥粒切込みの少なくなることから、砥粒のすりへり摩擦に原因していると考えられる。そのために前者に比較して、あらさの増加量がゆるやかである。この図において、B種が他の材料に比較して全体的に大きな値を示しているが、これについてはまだ十分理解することが出来ない。

3.3 研削抵抗

これまでの実験結果および考察より、各材料において砥石周速の変化により、研削比に最高値が存在することを知った。筆者はこの原因を明らかにすることを試みた。

最初に砥石損耗量すなわち研削比に最も大きく影響すると考えられる研削抵抗を図1、図2に示す実験装置を使用して実験を行った。

図7、8は、法線方向と接線方向の研削抵抗を砥石周

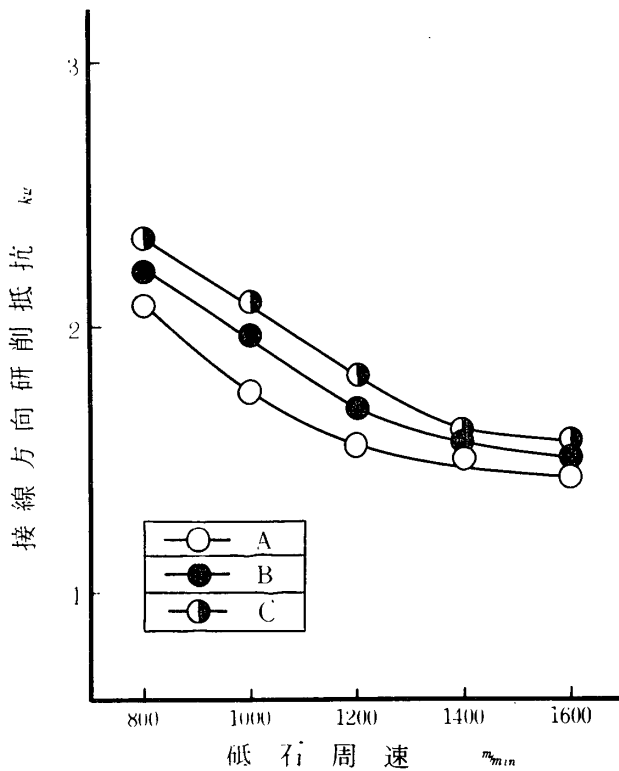


図7 砥石周速と接線方向研削抵抗との関係

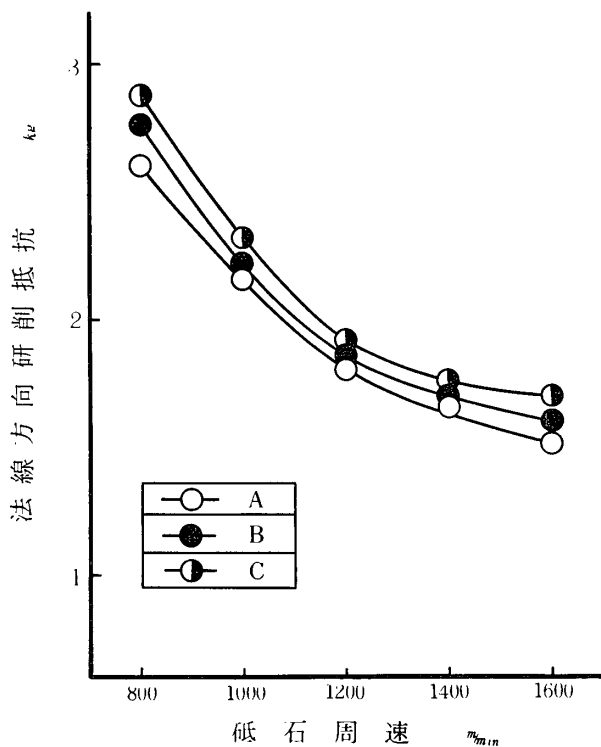


図8 砥石周速と法線方向研削抵抗との関係

に対して、図示したものである。この図より、研削抵抗は砥石周速の低いほど大きく、高速になるにつれて、小

さくなっている。さらに、その減少の割合は高速になるほど小さく、研削抵抗の減少勾配がゆるやかになっている。法線方向も接線方向もその状態は類似しているが、接線方向の抵抗が法線方向のそれよりも砥石周速に対して、変化が小さくなっている。

抵抗値は、双方共に A, B, C の順に大きくなっている。

図9は、砥石周速に対する合成研削抵抗および砥粒一個当たりの研削抵抗を示したものである。

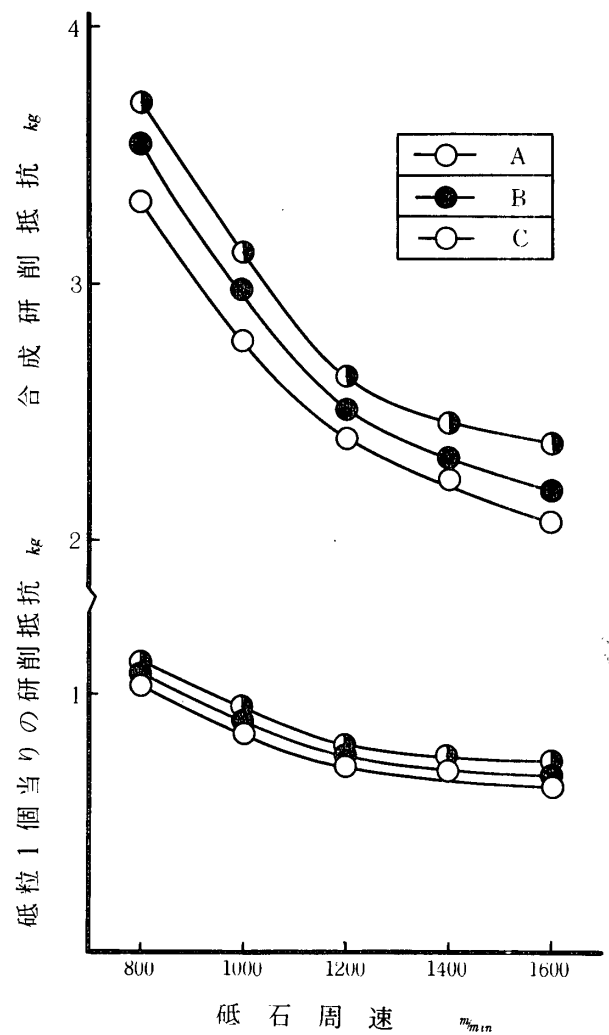
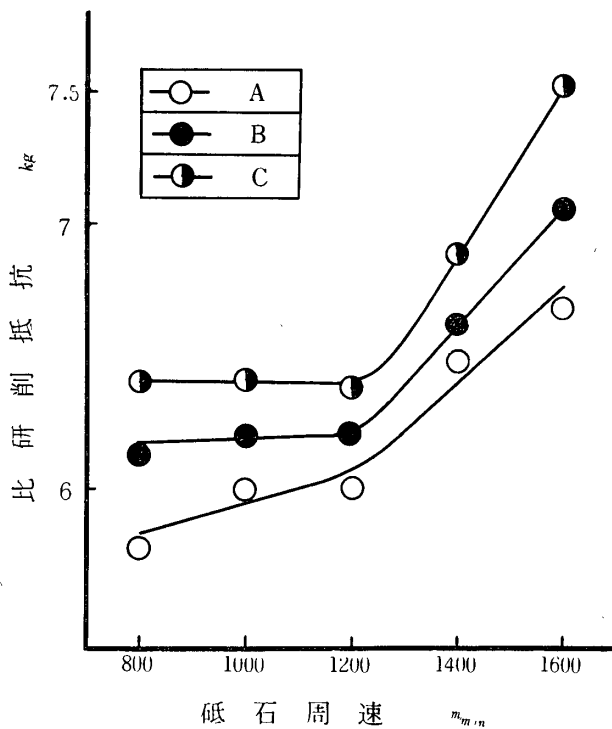


図9 砥石周速に対する砥石1個当たりの研削抵抗と合成研削抵抗との関係

合成研削抵抗は、図7・8の研削抵抗の傾向とよく一致している。この合成研削抵抗は、実際に砥石に作用する力を示すものであり、低速域と高速域での抵抗値では約2倍の違いがあり、砥石周速に対して、抵抗値は急速に変化している。また、砥粒一個にかかる研削抵抗は砥粒の破綻に直接影響をもつものであり、この抵抗が大き

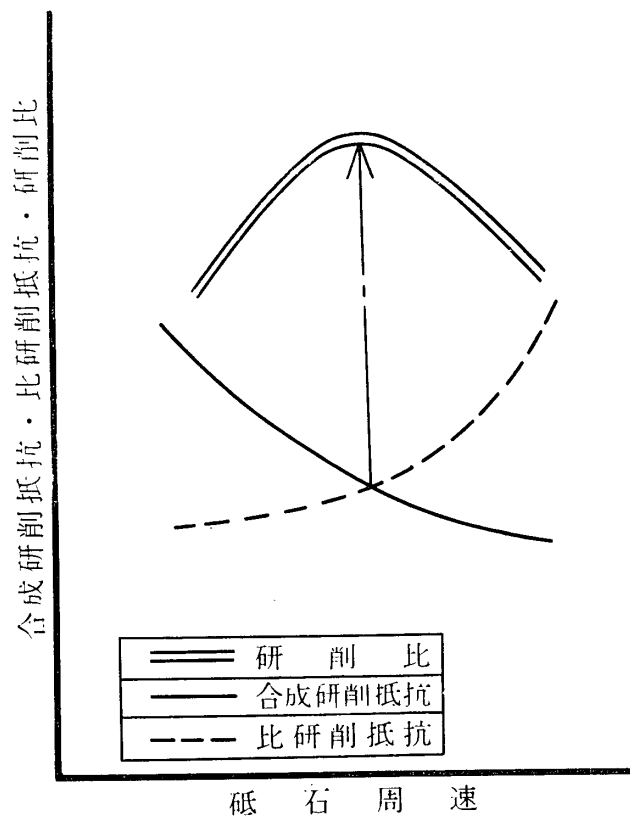
いほど、砥粒の破碎摩耗が多くなり砥石の損耗が多くなる。図9より、それぞれの抵抗値は周速増加に対して減少している。砥石周速の低いときは、前述のように砥粒の切り込み深さが増大する。したがって、砥粒一個が研砥する容積は大きくなり、砥粒にかかる力が増大する。この砥粒にかかる力が砥粒の破碎原因と考えられる。この場合の砥石損耗は、主として力学的な破碎現象であり一般に破壊的摩耗と言われるものである。以上のことから砥石周速の低いところでは、砥石損耗量は主として砥石粒の破碎によって増大し、そして、これは研削抵抗の減少、すなわち、砥石周速の増加と共に砥石損耗量は減少する。従って、砥石損耗と逆比例的関係にある研削比は砥石周速の増加につれて良くなる。しかし、研削比には最高値が存在する。この砥石高速部には、他の因子が考えられ、考察する必要がある。そこで、筆者は次に比研削抵抗により考察した。



10 砥石周速と比研削抵抗との関係

図10に法線方向の抵抗より求めた比研削抵抗を示す。2-4 (b) により、比研削抵抗は単位切削面積当りの研削抵抗を表わしたものであり、これらの結果より砥石周速が1200m/min以上では、比研削抵抗は非常に大きな値になることがわかる。前述したように砥石周速が増加すると、砥粒の切込み深さは減少する。したがって高速時における研削が砥粒の先端に非常に小さな部分で行

なわれているためである。言い換れば小さな切くずを出すために非常に大きな力を使用していることを示すものである。この非常に大きな研削エネルギーは、砥石摩耗、熱の発生、加工物の変質、変形などが考えられる。この砥石周速の増加とともに急激に増大した比研削エネルギーのうちの余分なエネルギーによる砥石の摩耗が、砥石損耗量の増加の原因と考えられる。この場合の砥石損耗は低速部における破碎による損耗と異なり、砥石先端部の摩滅によるものと思われる。以上の考察より、研削比の曲線にピークの出来る説明が理解される。これを定性的に示したものが図11である。図4、図5の砥石損耗量、研削比の値とよく一致する。しかし、砥石周速が高くなると研削比が一定値に近づく原因の説明が出来ない。一定限度以上の砥石周速になると非常に大きな比研削抵抗のうち大部分が砥石損耗に使用されるのと同様に、熱的損耗に使用されるためと考えられる。この点を検討するため、Jeagerの摩擦面温度の理論や他の文献を参考にして、研削温度を算出して求めると比研削抵抗と同様に砥石周速が1200m/min以上になると急激に上昇していることを考えてみると、温度上昇に要するエネルギーは相当大きなものとなることが考えられる。これ



11 砥石周速に対する合成研削抵抗・比研削抵抗研削比との関係

らの砥石接触面温度がある値に達するまでは砥石損耗量に正に作用し、それ以上になると逆に負の働きをするものと思われる。すなわち、ある温度以上では熱による砥粒、加工物の軟化が考えられる。しかし、この接触面温度については、実際に測定し検討する必要があると思われる。この問題については、次報で検討する。

4. むすび

本実験に使用した一般炭素鋼により得られたおもな実験結果はつぎのとおりである。

- (1) 砥石周速の変化に対して、各材料とも研削比に最高値が存在し、その値は A, B, C の順に大きくなっている。また、その最高値が存在する砥石周速は、A, B, C と低速域に移っている。
- (2) 各材料とも、砥石損耗量はある砥石周速以上になると、一定値になりその順は C, B, A となっている。この一定値になることについては、研削点温度の計算結果から非常に高温になり、材質的な影響を受けなくなるものと推定できる。低速域での大きな摩耗については、研削抵抗の測定結果から機械的なものによる砥粒の破碎であることが実験結果より理解できる。

(3) 砥石有効面あらさは、砥石損耗と類似的な傾向を示し、互に比例的關係にある。

(4) 各種材料共に砥石周速の増加につれて、研削抵抗は減少カーブを描いている。その状態は法線方向も接線方向も類似の傾向を示しているが、接線抵抗が法線抵抗よりも砥石周速に対して、変化が少ない。

5. 謝 辞

本実験にあたって、種々ご指導下さいました本校横尾嘉道教授・瀬戸雅文助教授の両氏と、実験にご協力下さいました本校卒業生相本涼一・岩本和男・和田修の諸氏に深く感謝します。

参 考 文 献

- (1) 古市・中山・横尾・田戸，“平面研削性能に及ぼす乳状液中の界面活性剤ならびに添加剤の効果”機械学会論文集，32，243，P1741 (1966—11)
- (2) 横尾・田戸，“平面研削における研削油剤供給状態の影響”宇部工業高等専門学校研究報告，第10号，P11，(1970—1)
- (3) 鈴木・高橋，“研削砥石のドレッシングの研究”精密機械，30—3，P246 (1964)

(昭和47年5月1日受理)