

# 振子型硬度試験機による研削砥石の硬度の測定 (第 2 報)

引掻抵抗の変化過程の測定方法について

藤井 義信, 大島 貴充

## Measurement of the Hardness of Grinding Wheels by Swing Arm Type Grade Tester (2nd Report)

—On the measuring method of the varying process of the scratch resistance force.—

Yoshinobu FUJII, Takamitsu OHSIMA

The hardness of grinding wheels comprises breaking strength (saying to other words, bonding force) of the bonding bridge which combine a grain to another grain, abrasion hardness of the bonding bridge at working as cutting tool, that of the grain, this of the grain, and the ratio of the grain and bond.

This hardness is an important factor in study of grinding mechanism.

But there are many uncertain matter.

In this report, authors propose the new measuring method of the hardness of grinding wheels.

### 1. 緒 言

この報告書は、砥石の引掻抵抗と引掻時間を、電気的に検出できる装置を備えた、振子型結合度試験機<sup>1)</sup>の改良型を試作するにあたり、行った予備実験の結果をまとめたものである。この実験装置は、抵抗線歪計により、砥石引掻時の抵抗変化を、垂直方向、水平縦方向、水平横方向の三方向で測定できると同時に、砥石面を切れ刃が引掻いている引掻時間を測定することができる。

実験の結果によると、砥石の硬度、砥粒の大きさ、砥粒の分布状態、砥石の組織の粗密度などにより、砥石引掻過程の写真において、それぞれ特徴ある抵抗変化が認められる。これらの抵抗変化は、砥石の硬度、砥粒の大きさ、組織の粗密度などを、単に定性的につかむだけでなく、定量的にもつかみうる可能性を示している。

### 2. 砥石の硬度と結合度の解釈

#### 2.1 結合度の解釈

JIS の R-6004 に、“結合度とは、研削砥石の砥粒の結合の度合を示すものである”，と記されている。

一般に砥石は、砥粒と結合橋と気孔からなっている。したがって言葉の定義どおり、結合度とは結合橋の強

度である、と解釈するのが妥当<sup>2) 3) 4) 5)</sup>である。しかし結合橋の強度がそのまま砥石の硬さを表すのではない<sup>6)</sup>。結合橋の強度は、砥石の硬度を決める要素のひとつ<sup>2)</sup>と考えるべきである。現在、JIS の R-6210 に、結合度と記されているものは、砥石の破壊強度であり結合度ではない。

“結合度”という言葉の定義を、はっきりさせる必要がある。

#### 2.2 砥石の硬度

砥石の硬度をあらわすものとして、砥石の破壊強度をあげることができる。

破壊強度をあらわすには、定性的な方法と定量的な方法とがある。一般によく知られている、ボール押し込み法、ドライバ法および機械的二又ビット法などによるものは、いずれも定性的な破壊強度である。定性的な強度、つまり砥石の硬度は、ただ砥石がより軟いか、より硬いかをしめすだけである<sup>2), 7)</sup>。

最近の研削機構の研究、特に研削時における切れ刃の研究によると、結合剤切れ刃の存在が確認されている<sup>8)</sup>。結合剤が、単に砥粒の結合におわらず、それじたい切れ刃として作用するのである。切れ刃としての、砥

粒と結合橋では、当然その物理的・機械的性質を異にする。性質のちがう2種類の切れ刃が、ある統計的な順序に従って、金属面を研削していく。現在の定性的な硬度では、その研削過程を解明しえない。ここに、砥石の硬度を、砥粒や結合橋の物理的・機械的性質を定量的に把握して、これらの函数としてあらわす必要が生じてきた。しかも、砥粒と結合橋が、ある統計的な空間分布をしていることを考えると、それらの量は統計的に処理されねばならない。

定量的な硬度を表わす式は、次のようになる。

$$G_n = \frac{1}{n} \sum f(g, g_b, g_r)$$

$G_n$  : 砥石の定量的硬度

$g$  : 砥粒と結合橋の接着強さ

$g_b$  : 切れ刃としてはたらくときの、結合橋の破壊と摩耗強度

$g_r$  : 砥粒の破壊と摩耗強度

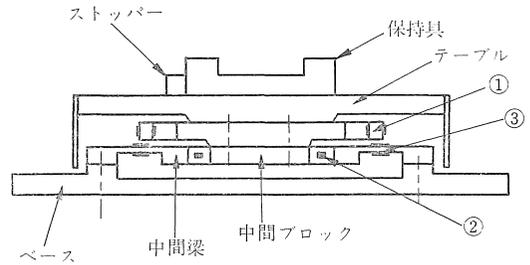
このうち、 $g$  と  $g_b$  は、さらに砥石中の砥粒と結合剤の混合比、気孔率の函数となる<sup>9)</sup>。

したがって、いままでの定性的な硬度測定試験のほかに、あらたに定量的に硬度をきめうる測定方法が考えられるべきである。そしてその試験は、研削過程の場合と同じ条件のもとで<sup>2), 10), 11)</sup>、少なくとも  $20m/s$  程度の高速度下で行なわれることが必要であり、しかも次のような条件を満足するものでなければならない。

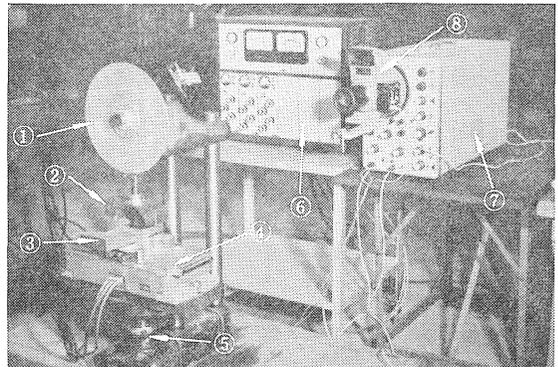
- (1). 個々の砥粒を結合している結合力を調べることができる。
- (2). 砥粒じたいの破壊強度、摩耗強さを調べる。
- (3). 結合橋が、切れ刃として作用しているときの、摩耗強さを調べる。
- (4). 測定箇所は任意選択であり、測定回数が少なくても、平均値が得られやすいこと。
- (5). 測定が簡単で、評価が早いこと。
- (6). 砥石の損傷が、できるだけ小さいこと。
- (7). 砥石を破壊する工具の、形状変化による影響が少ないこと。

### 3. 実験装置

振子型結合度試験機の砥石取付台に、佐藤工機株式会社製の、AST-MH型フライス工具動力計を、試験的に取りつけて実験を行った。工具動力計の構造を図1に示す。この動力計は、力を梁でうけとめ、梁の弾性変位を抵抗線歪ゲージで検出するものである。垂直分力は③の、水平縦分力は①の、水平横分力は②の歪ゲージで検出する。動力計からの出力は、新興通信工業社製のDS6/RJ型DCアンプで増幅し、松下通信工業社製VP-541A型シンクロスコープにいれ、引掻過程の状態を写真撮影する。実験装置を写真1に示す。

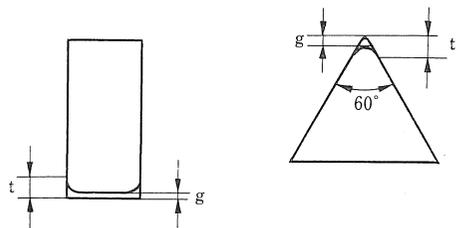


第1図 工具動力計縦断面図



- 写真1
- ① 振上げ角指示板
  - ② 振子
  - ③ 砥石取付台
  - ④ AST-MH型フライス工具動力計
  - ⑤ 切り込み設定の調節ハンドル
  - ⑥ DS6/RJ型 DCアンプ
  - ⑦ VP-541A型 シンクロスコープ
  - ⑧ 写真撮影装置

この装置で、切れ刃は重要な部分である。これまでの実験によると<sup>1), 7)</sup> 超硬の切れ刃は#120のように砥粒の細かいものでは、刃先は図2のごとく摩耗したようにみえる。しかし顕微鏡で42倍に拡大した写真2によると、摩耗ではなく、砥粒によって刃先が破壊されていることがわかる。#24のように、砥粒の粗いものでは、写真3のように、刃先に大欠損がおこる場合が多い。写真4に、使用前の刃先の形状を示す。



第2図 刃先の摩耗図  
t: 切り込み量  
g: 摩耗量

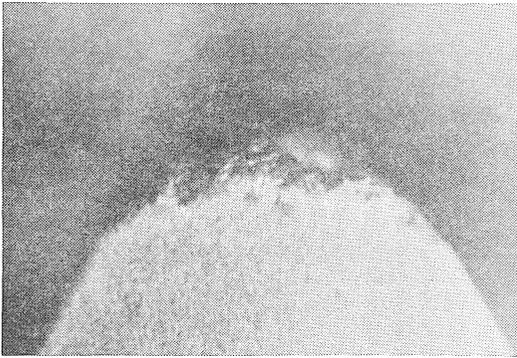


写真2

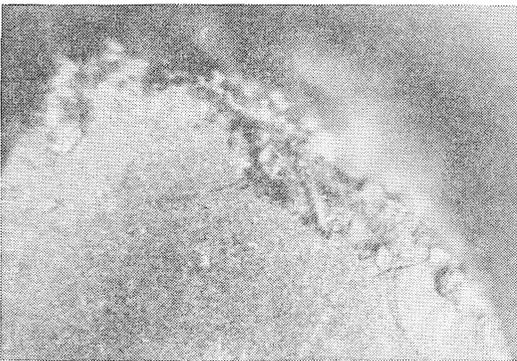


写真3

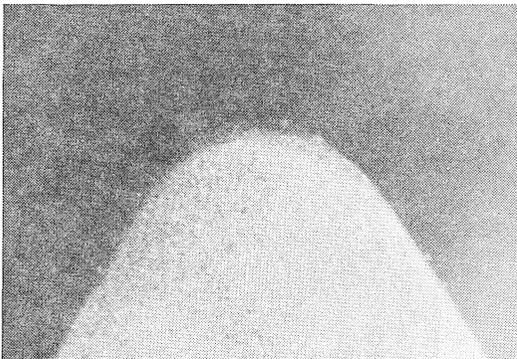
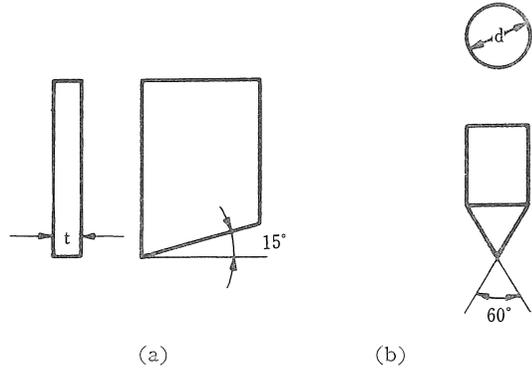


写真4

刃先の寿命は、刃先の硬度、刃巾、刃先の形状、切り込み深さ、砥石の硬度、引掻きによっておちた砥粒の数などによってきまってくる<sup>1),2),12)</sup>。J. Peklenik の実験<sup>2)</sup>では、刃巾を砥粒径と同じ寸法にし、切り込み深さも砥粒径と同様にすると、刃先摩耗が、結合橋の結合力の値に影響を与えないような範囲で、非常に多くの試験ができることが報告されている。本実験においても、切り込み深さを砥粒径にした場合、粒度の細い砥石におい

ては、刃巾、刃先形状がちがっても、再研磨なしで数回使用できるようなのである。J. Peklenik の場合の引掻速度は $150\sim 200\text{mm}/\text{min}$ であるが、本実験では約 $5\text{m}/\text{s}$ であり、刃先の破壊が早いようである。刃先を再研磨の簡単な形状、図3のようにして、研磨用の特別の治具をつくれば経済的である。



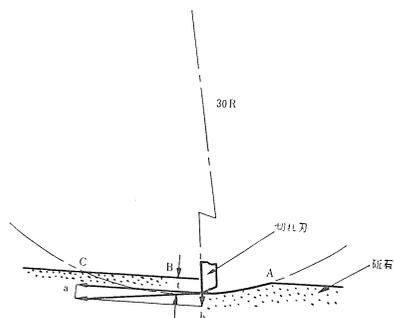
第3図

- (a) 矩形切れ刃
- (b) センターを利用した円錐切れ刃

#### 4. 理論的な力の変化過程

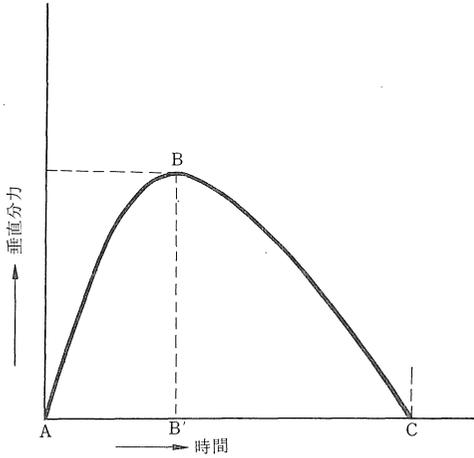
##### 4.1 垂直分力の変化過程

刃先は図4のような円弧状の軌跡を画く。砥石の組織が均一で、振子の消費エネルギーがなく、刃先が摩耗せずに完全な円弧を画くと仮定すると、垂直分力は、図4のB点で最大になり、引掻き開始点Aと引掻き終了点Cにおいて零になる。刃先のくい込み量のふえていくAからBの間では、抵抗力は急上昇する。くい込み量の減っていくBからCの間では、ゆるやかに減少する。その抵抗変化過程を図5に示す。



第4図 切れ刃の軌跡

- t: 切り込み量
- a: 水平分力
- b: 垂直分力



第 5 図  
垂直分力変化過程

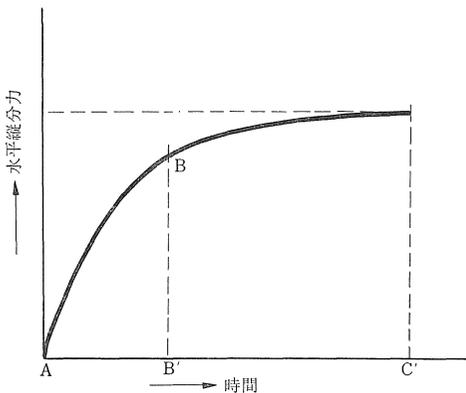
砥石の組織の不均一性により、引掻き場所がちがえば、抵抗変化の状態に相違がでる。しかしながら同一砥石面であれば、それ等はある範囲内におさまる。

一方、砥粒の大きさ、結合橋の強さ、砥粒と結合剤の混合割合、組織の粗密度などの違う砥石においては、それぞれ図 5 の A B の勾配、B C の勾配、B B' の大きさ、A C の大きさなどに特徴ある相違がでる。また砥粒の大ききのちがいに、A B C の抵抗変化過程において、波長の短い形状のちがう細い波が観察される。

4.2 水平縦分力の変化過程

水平縦分力の変化過程を図 6 に示す。

引掻き開始点 A より、刃先のくい込み量の最大になる B 点までの間に抵抗力は急上昇する。B 点を過ぎて、刃先のくい込み量が順次減ってくる C 点までの間は、ゆるやかに抵抗が増加し、引掻き終了点 C において、水平縦分力は最大になる。そして刃先が砥石を離れると、抵抗力は急に減少する。



第 6 図  
水平縦分力変化過程

さらに、シンクロスコープにより、C 点までの時間を読みとれば、刃先が砥石面を引掻いている時間が測定できる。

砥石の種類がちがえば、垂直分力同様、A B の勾配、B C の勾配、C C' の大きさ、引掻き時間、変化過程の細かい波形などに相違ができる。

4.3 水平横分力

水平横分力は、刃先と砥粒の位置関係によって生ずる。砥粒の一部が刃先にひっかかった場合に、刃先と砥粒の位置関係によって生ずると考えられる抵抗変化を図 7 に示す。

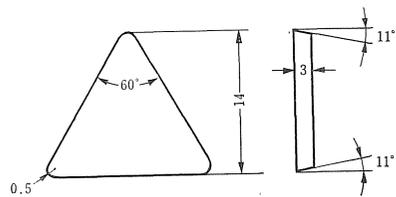
図 7 の (b) 図において、砥粒は刃先を押している。このとき生ずると考えられる力の変化過程のグラフを (b') に示す。グラフの勾配は、砥粒と刃先の接着位置の関係によって種々さまる。(c) 図のような位置関係であれば、(c') のようになる。

砥粒の押しやられる量が、結合橋の弾性変位内であれば、刃先の通過後、砥粒はもとの位置にもどる。このときグラフにあらわれた抵抗変化は、結合橋の弾性力を表わす。砥粒がもとの位置へもどらなかった場合、結合橋が破壊したと考えられるから、グラフは結合橋の破壊強さを表わす。

刃先と砥粒の位置関係は、種々雑多であり、それによって生ずる抵抗力変化のグラフも複雑な形状を示す。

5. 実験結果

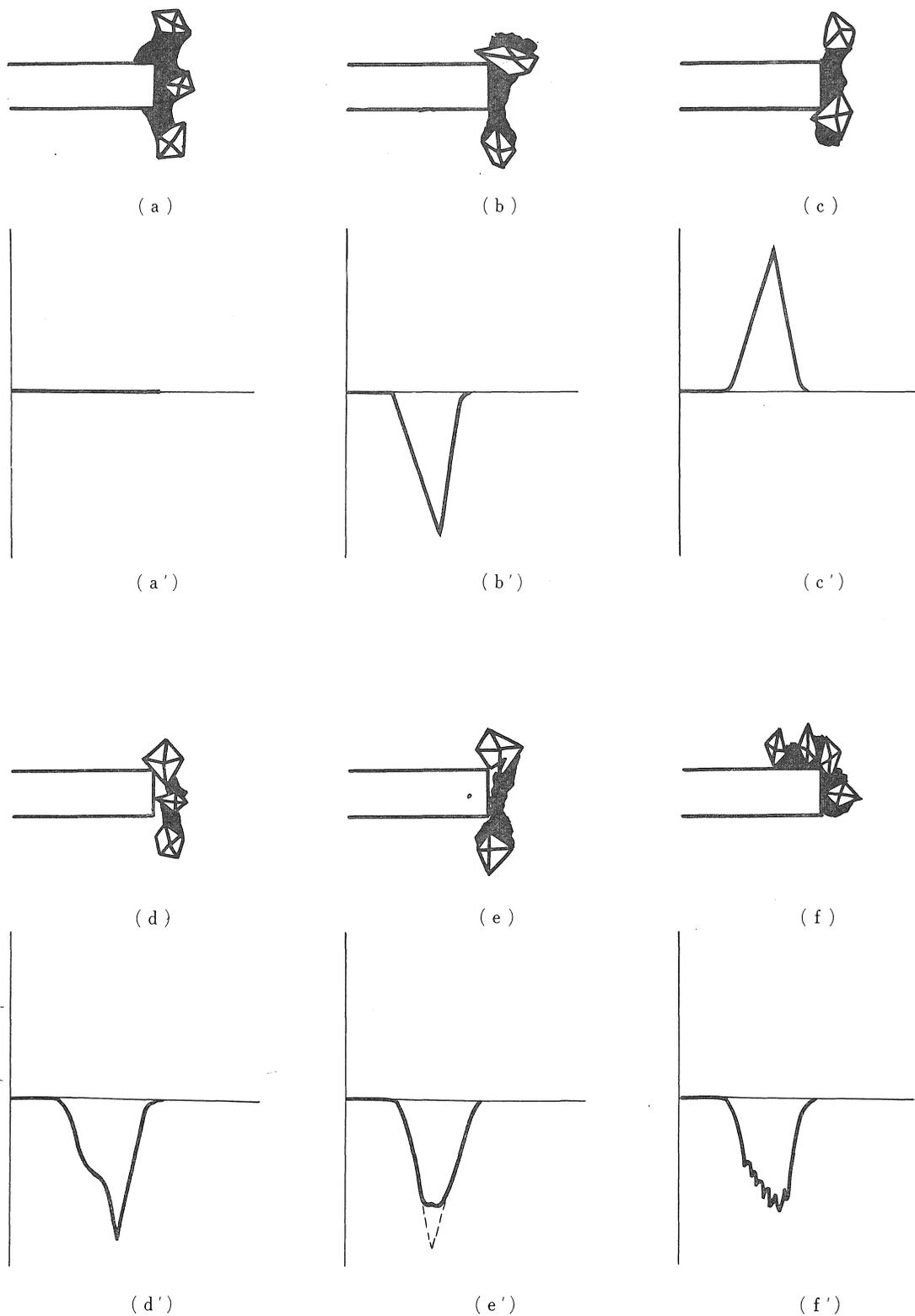
実験に使用した切れ刃を図 8 に示す。切れ刃は 1 回使用のみとし、すべて同一条件で実験を行なった。



第 8 図  
切れ刃 Coromant

抵抗変化過程の写真より、垂直分力と水平縦分力は、それぞれ 4~6ms, 12~14ms で最高値に達している。砥石の硬度のちがいに、最高値は明りょうに変化する。しかしながら、引掻き時間の差のほうは、あまりはつきりしない。

図 9・10・11 は、写真 9・10・11 の分力の方向を同方向になおし、出発点を同一点にして、プロットしなおしたものである。



第7図 切れ刃と砥粒の位置関係による水平横分力変化

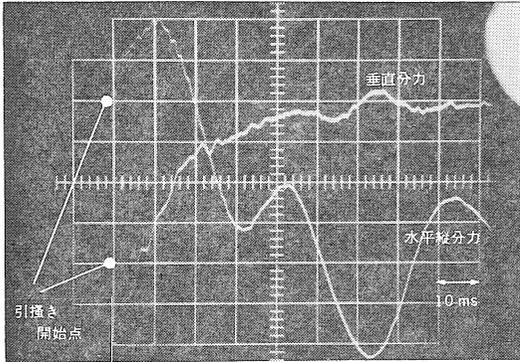


写真5 A砥粒, #120, 硬度0  
横軸: 1目盛10ms

縦軸: { 垂直分力—{1目盛50mv  
                  // 1.1kg  
                  水平分力—{1目盛100mv  
                                  // 2.7kg

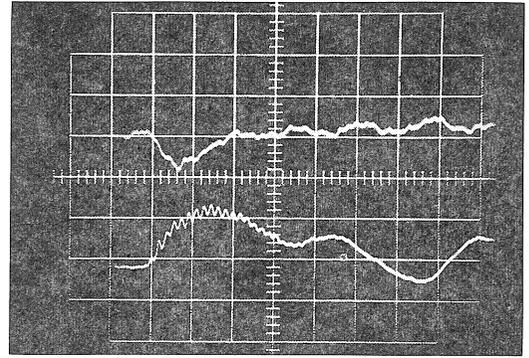


写真8 A砥粒, #60, 硬度H  
横軸: 1目盛10ms

縦軸: { 垂直分力—{1目盛50mv  
                  // 1.1kg  
                  水平分力—{1目盛100mv  
                                  // 2.7kg

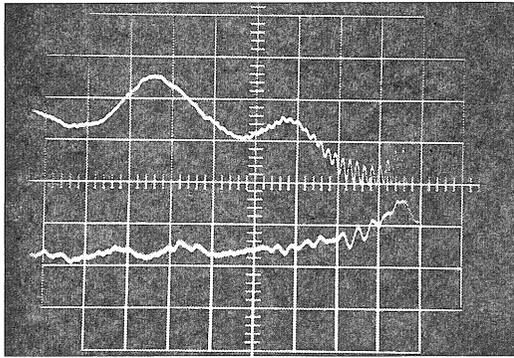


写真6 A砥粒, #120, 硬度H  
横軸: 1目盛10ms

縦軸: { 垂直分力—{1目盛50mv  
                  // 1.1kg  
                  水平分力—{1目盛100mv  
                                  // 2.7kg

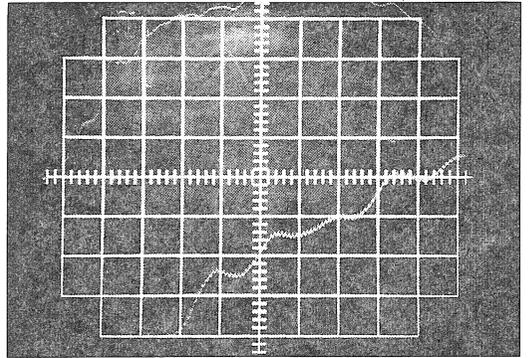


写真9 A砥粒, #120, 硬度0  
横軸: 1目盛2ms

縦軸: { 垂直分力—{1目盛50mv  
                  // 1.1kg  
                  水平分力—{1目盛100mv  
                                  // 2.7kg

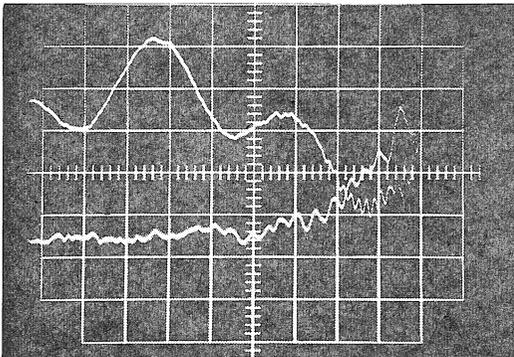


写真7 A砥粒, #60, 硬度K  
横軸: 1目盛10ms

縦軸: { 垂直分力—{1目盛50mv  
                  // 1.1kg  
                  水平分力—{1目盛100mv  
                                  // 2.7kg

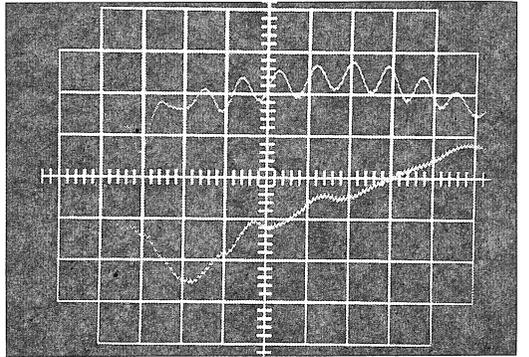


写真10 A砥粒, #60, 硬度K  
横軸: 1目盛2ms

縦軸: { 垂直分力—{1目盛50mv  
                  // 1.1kg  
                  水平分力—{1目盛100mv  
                                  // 2.7kg

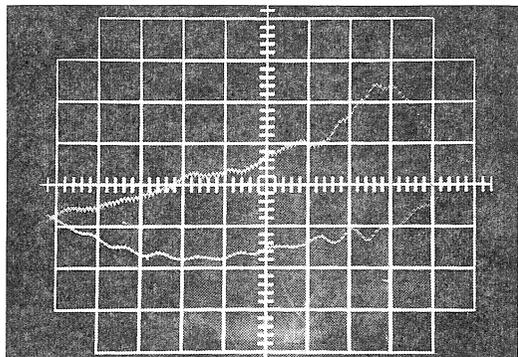


写真11 A砥粒, #60, 硬度K  
横軸: 1目盛2ms

縦軸:  $\begin{cases} \text{垂直分力} - \{1\text{目盛}50\text{mv} \\ \quad \quad \quad // \quad 1.1\text{kg} \\ \text{水平縦分力} - \{1\text{目盛}100\text{mv} \\ \quad \quad \quad // \quad 2.7\text{kg} \end{cases}$

図において、水平縦分力の最高値は、垂直分力の約2倍の値であることがわかる。このことは、図4・5・6からもわかる。

図11と図9・10と比較すると、砥石の硬度の大きいものほど、切り始めの瞬間における抵抗値が大きいことがわかる。したがってグラフ上では、出発点が上に移動してしまっように見える。

定性的な硬度は、これらの力の最高値より簡単に求める。切り込み量の誤差による抵抗変化量を補正するために、引掻き時間で除した値を用いる。

$g_1$  を垂直分力による硬度、 $g_2$  を水平縦分力による硬度とすると次のようになる。

$$g_1 = \frac{\max R_p}{T}, \text{ あるいは } g_1 = \frac{\sum R_p}{T}$$

$$g_2 = \frac{\max R_h}{T}, \text{ あるいは } g_2 = \frac{\sum R_h}{T}$$

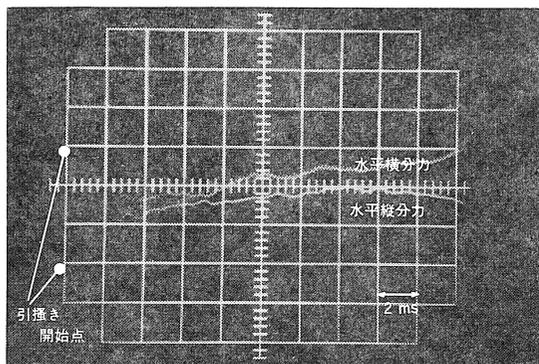
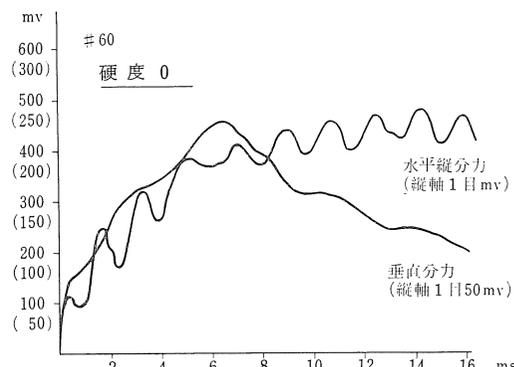


写真12 A砥粒, #24, 硬度0  
横軸: 1目盛2ms

縦軸:  $\begin{cases} \text{水平横分力} - \{1\text{目盛}20\text{mv} \\ \text{水平縦分力} - \{1\text{目盛}100\text{mv} \end{cases}$



第9図

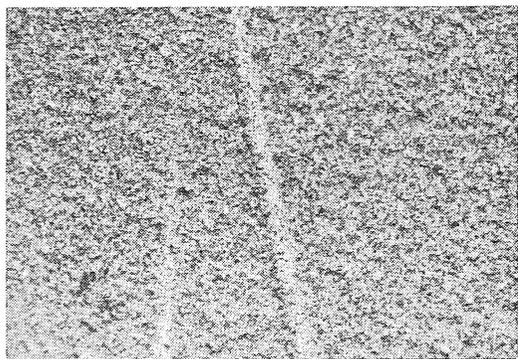
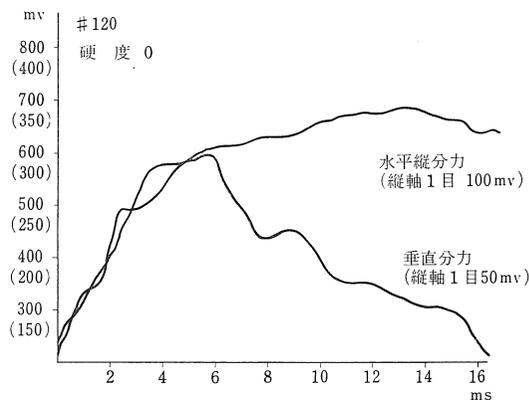
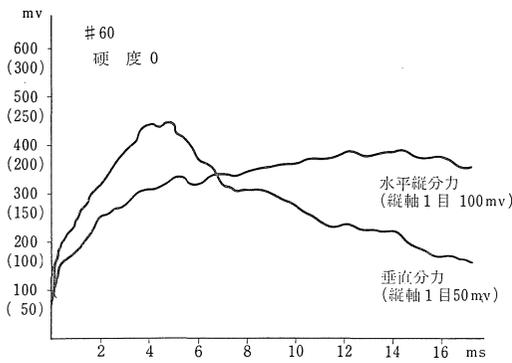


写真13

引掻き条痕  
#120 硬度0



第10図



第11図

但し,  $R_P$ : 垂直分力

$R_h$ : 水平縦分力

$T$ : 引掻き時間

これ等  $g_1, g_2$  は, 切り込み量の補正が行なっているため, 砥石内の組織の不均一性によってのみ値にばらつきを生ずる。従って, 砥石の定性的な硬度を  $G_{gl}$ , 同一砥石における測定回数を  $n$  回とすれば, 次式のようなになる。

$$G_{gl} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (g_1)_i, \text{ あるいは } G_{gl} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (g_2)_i$$

さらに, 比較差を大きくしたい場合は,

$$G_{gl} = \sqrt{\left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (g_1)_i \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (g_2)_i \right\}^2}$$

を求めればよい。

図9と図10は, 同一条件で場所をかえて測定した結果である。組織の相異がでていると考えられる。垂直分力の最高値は大差ないが, 到達するまでの時間にひらきがある。さらに水平縦分力には, 一定周期と考えられる小波形が生じている。このことは, 引掻き開始点において, 切れ刃が比較的砥粒の多い部分を通過したため, 測定部の梁に断続的に生じた歪みにより, 梁が振動したと考えてよいであろう。写真6・7・8においても小波形を生じている。#120・H, #60・Hなどやわらかい砥石では, 刃先が砥石面にあたった瞬間の歪が梁を振動させ, 梁は微小振動をしながら, 全体的に大きく歪んだと考えられる。

写真12に, #24・硬度0の砥石の引掻抵抗値をしめす。水平横分力は, 図7における, 切れ刃の片側のみ砥粒のあたっている場合と考えられる。切り込み深さは0.6mmであるが, #24において0.6mmという数値は, 平均砥粒径とみなしてよい。

写真13に, #120・0の砥石の引掻条痕を示す。切れ刃によって, きれいに削りとられるのではないことがわか

る。砥粒は, 刃先によって破碎されるか, 脱落するか, 裏側の結合橋をおしつぶしてめり込むか, あるいは結合橋の弾性によっていったんひっこみ, 切れ刃が通りすぎた後で, ふたたびもとの位置にもどるかのいずれかである。写真より, 刃の通過後, もとの位置にもどった砥粒が認められる。

また脱落する場合も, 砥粒1個のみ単独でおちるだけではなく, 数個の砥粒と結合橋が1体となって, 脱落していることがわかる。結合橋のみの部分は, 写真によると, 比較的きれいに削りとられているようである。

以上が予備実験の結果の分析であり, こんど試験機の検出部の構造を改良することにより, 定性的な硬度試験機として, 非常に性能のよいものになることがわかった。

## 6. ま と め

- (1). 砥石の硬度は, 定性的な方法と, 定量的な方法であらわさなければならない。
- (2). 振子型硬度試験における, 引掻き抵抗を電氣的に検出することにより, 定性的硬度は非常に簡単に求まる。
- (3). 波形を分析することにより, 定性的硬度だけではなく, 砥粒の大きさ, 砥石の組織がわかる。

この実験に使用した試験機を作るにあたり, 種々ご協力下さった本学機械工学科の加藤, 永田, 春日井の三氏に, および試料砥石を提供せられた日本陶器株式会社に感謝の意を表します。

## 文 献

- 1). 藤井義信, 大島貴充; 振子型結合度試験機による研削砥石結合度の測定—第1報・合金工具鋼及び超硬板バイトによるA砥粒ビトリファイドボンド砥石の系列的な結合度表示について, 愛知工業大学 研究報告 第2号, (1966), 141~148
- 2). J. Peklenik: Neue statische und dynamische Prüfmethode der physikalisch-mechanischen Eigenschaften von Schleifkörpern, Ind, Anzeiger, 82-28(1960-4-5), 425~430.
- 3). 渡辺半十; 結合度試験, 精密機械, 27, (1961-6), 359~363
- 4). 渡辺半十; 研削砥石の結合度についての考え方 (—理化学研究所主催シンポジウムから—), 機械と工具 (1962-6), 27~28
- 5). 岡井弘; 砥粒と研削砥石, 機械と工具, (1967-5), 39~46
- 6). 木下直治; ビット引掻方式の示す砥石の機械的性質 (—理化学研究所主催シンポジウムから—), 機械と

- 工具，(1962-6)，30～32
- 7). 谷口，小林，篠崎，今中，渡辺，吉川，武野，木下，竹山，熊谷；研削砥石の結合度について（一討論会より一），機械と工具，(1962-6)，
- 8). 田中義信，津和秀夫，河村末久；研削加工の諸条件が研削砥石の性能に及ぼす影響について，微小切削に関するシンポジウム前刷，(1965-11)
- 9). G. Pahlitzsch ; Vergleichende Harteproofung von Schleifkörpern, Schleif-, Poher- und Oberflächentechnik, 1943, Nr, 6.
- 10). J. Peklenik ; Der Mechanismus des Schleifens und die Überschliffzahl, Ind, Anzeiger, 80-1 (1958-1-3), 10～17
- 11). 砥粒加工研究会編，砥粒加工技術便覧