

# 研削砥石の結合度について

藤井 義信, 大島 貴充

## On the Hardness Value of Grinding Wheels

Yoshinobu FUJII, Takamitsu OHSHIMA

Several method for evaluating the hardness of grinding wheels has been developed for more than 40 years.

In this report, we investigated these method, and found the new method that the hardness value was expressed quantitatively by mechanical-physical properties of the grinding wheel.

The hardness value of grinding wheel is determined by the crushing strength of individual abrasive grain, the breaking strength of individual grain supports (bonding bridge) and the holding force between two grains.

We measured the crushing strength, the breaking strength and the holding force, and the hardness value (grade) of the grinding wheel was expressed being the function of these observations.

### 1. はじめに

研削砥石の硬度—結合度 (Hardness-Grade) は、使用中の切れ刃の摩耗、破砕、脱落、新生に直接に関係する特性である。硬すぎると、切れ刃の脱落・新生がおこりにくくなり、その結果目つまり状態となって研削焼けの原因となる。また、やわらかすぎると、切れ刃の脱落がひんばんにおこり、砥石の摩耗量が増大する。このように、硬度—結合度は砥石の破砕強さ（摩耗強さ）をあらわす。

いま、砥石の破砕あるいは摩耗を微視的にながめると、そこには、(1) 結合橋の破壊、(2) ボンドと砥石の剝脱、(3) 砥粒の破壊、(4) 砥粒の摩耗、(5) ボンド（結合橋）の摩耗などがある。そして、これらの個々の要素の破砕強さや摩耗強さが、互いに関連しあいながら組合わさって、砥石の硬度—結合度をつくりだしている。したがって、砥石の硬度—結合度は、当然、これらの要素の破壊強さ、摩耗強さ、ボンドと砥石の接着強さを測定して、それらの値を統計的に処理し、その平均値の関数として、しかも、ある物理量としてあらわされるべきものである。

ところが、実際にそれぞれの要素の破壊強さ、摩耗強さを的確に、しかも短時間で測定するには、装置及び測定技術のめんで多くの困難な問題をかかえている。したがって、現在まで種々考案されてきた測定方法は、砥石の分級を目的とした、相対的な、定性的な方法が多く、使用中の砥石の特性である硬度—結合度を十分につか

でないものである。

この報告書において、筆者等は、従来の硬度—結合度測定方法を調査し、砥石の分級を目的とした定性的な硬度—結合度にとどまらず、物理定数をもとにした絶対的、定量的な特性値をつかむ方法を検討した。

### 2. 試験機及び試験方法

従来の試験方法の主なものを第1表に示す。以後、硬度—結合度を便宜上結合度と表わす。

分類1は、ビットで砥石面を破砕し、その損耗量、破砕抵抗、破砕エネルギーなどによって結合度をあらわすものである。ドライバ法は、木製の握り部分をもつ grading tool を 10~20kg の力で砥石の測面に垂直に押しつけ、左右に 20° 回して刃先を押し込み、手の感触によって判定する方法である。熟練すれば判別の精度も高く大変便利な手段となるが、定性的で客観性、計数性に欠ける。しかし、簡易なため現在も広く利用されている。図1参照。

改良ドライバ法<sup>(2)</sup>は、押しつけ力を規定できるように grading tool にメータ装置をつけたものである。ビット法<sup>(3),(4),(5),(6)</sup>（機械的二又ビット法）は、二枚刃の楔角ビットを砥石面に垂直にあて、一定荷重 (vit. 砥石の場合—50 kg, Res. 砥石の場合—80 kg) を加えて120°回転させたときの食い込み量を求め、別につくられた換算表から結合度を定める方法である。比較的現場向きで直接製品にも適用できるので1958年 J I S に採用された。図2、写

表 1. 従来の結合度試験法

分類		方法, 装置, 発表年代			
1	引っかき破砕法	静的試験法	ドライバ法 (Norton Co.)		
			改良ドライバ法 (C. Kruq)	1927	
			ビット法(大越式結合度試験機—大越, 渡辺(半))	1952	
			引っかき試験法(振子型結合度試験機—藤井, 宮原)	1955	
			帯鋼板による穿孔法	1957	
			引っかき抵抗法 (J. Peklenik)	1960	
2	おしつけ破砕法		ロックウェル硬さ法 (E.L. Hemingway)	1940	
3	機械的強度測定法	試験法	剪断試験法 (関口, 長谷川)	1933	
			引張り試験法 (山口)	1946	
			引張り・抗折・抗压・衝撃試験法 (渡辺)	1961	
4	$\beta$ 線照射法		$\beta$ 線後方散乱強度測定法 (正野崎, 重松)	1967	
2	おしつけ破砕法	動的試験法	Sklero-Fix による方法		
			ローラおしつけ法 (Albrecht)	1939	
5	打撃破砕法	動的試験法	Grade-O-Meter (Abrasive Eng. Co.)	1931	
			サンドブラスト法 { Mackensen Tester (K. Zeiss Co.)	1937	
			今中の法 (今中)		
			Fuchs 比較かたき計 (Hofman Co.)	1956	
			Vibrotester (Späth)	1956	
			超音波衝撃法 (今中)	1961	
6	実際研削類似法	試験法	臨界圧力法 (浅枝)	1949	
			研削法 (神谷)	1950	
			ドレッシング抵抗法 {	ダイヤモンド・ドレッサ法(海老原, 塩崎)	1951
				コニカルカット法 (Colwell, Lane)	1961
			ゲーリングホーニング砥石試験機	1956	
			高速度すりへらし法 (渡辺)	1961	
表面接触摩耗法 (岡村)					
7	音響試験法	試験法	Caborundum Co. の方法 (Sonic Comparator)	1950	
			Baystate Abrasive Products Co. の方法	1951	
			Simond Abrasive Co. の方法	1952	

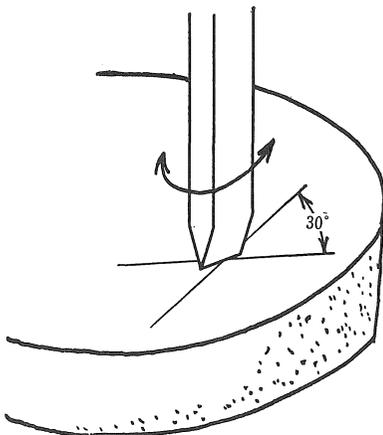


図1 ドライバ法

真1参照.

(7),(8)  
 引っかき試験法(振子型結合度試験機)は, シャルピー式衝撃試験機の原理を用いたもので, 切れ刃をもった振子をふらせ, 砥石表面を引っかき, そのときについやしたエネルギーを測定して, その吸収エネルギーで結合度をあらわす方法である. 分類1中では1番速度効果をもった現場向きの方法である. しかし, 実際の研削速度と比較すると, 非常におそい. 図3, 写真2参照.

(9)  
 帯鋼板による穿孔法は, 大越式ビット法と類似したものであるが, 砥石粒度によって刃先板の厚さを変えるところに特徴がある. J. Peklenik の引っかき抵抗法は, 超硬質合金製のビットで砥石面を引っかきその抵抗をインダクタンス形変換器を用いて電気量に変え, その測定値によって結合橋の強さを求め結合度をあらわす方法で

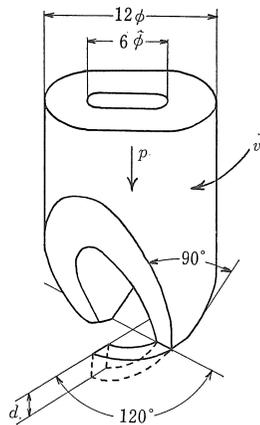
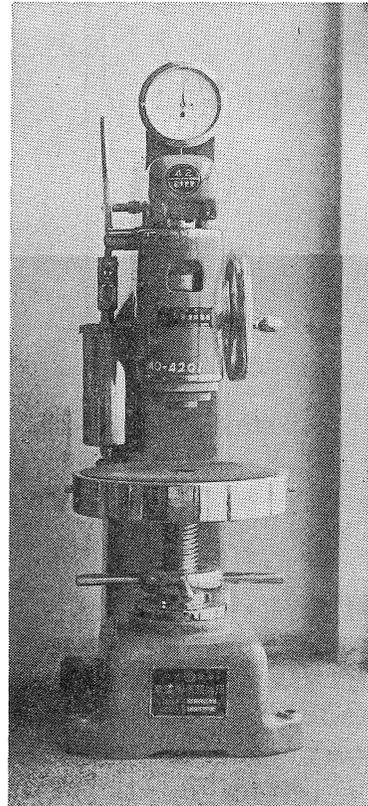


図2 大越式ビットの作動原理  
 P=50kg (Vit.)  
 =80kg (ReS.)



写1 大越式結合度試験機

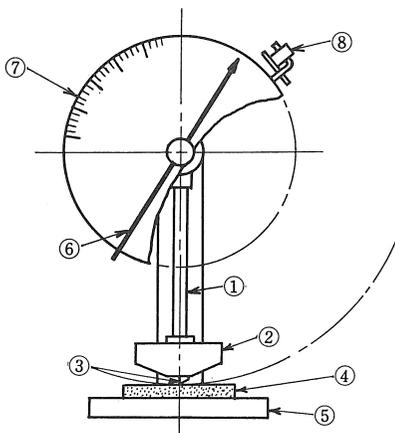
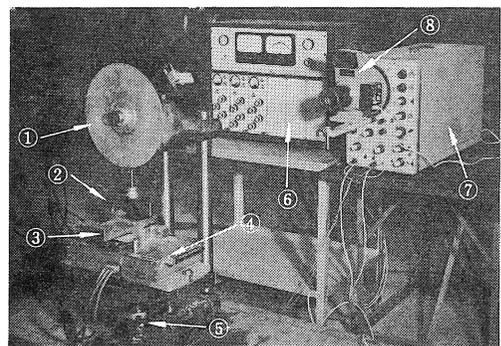


図3 振子型結合度試験機の原理図  
 ①振子腕 ⑤テーブル (高さ調節可能)  
 ②振子頭 ⑥指針  
 ③バイト ⑦目盛板  
 ④砥石 ⑧振子保持金具



写2 振子型結合度試験機

ある。ビットの中、ビットの切り込み深さを平均砥粒径にとりなど、やや微視的方法で現場向きではないが、結合度を定量的につかもうとした点で特徴がある。図4参照。

分類2は、鋼球、針、ローラを砥石面に押しつけ砥石の損耗量、針の貫入深さを測定する方法である。ロックウエール硬さ法<sup>13</sup>は、ロックウエール硬度試験機を使用し、鋼球径 $\frac{1}{8}$ "、荷重60kgのHスケールによって押し込み硬度を

測る方法である。超仕上、ホーニングなどに用いる微粒砥石の測定には現在なお広く採用されている。針先貫入法は、頂角 $10^\circ$ 、針径1.85mmの鋼針を衝撃的に砥石面に打ち込み、貫入深さを測定する方法である。ローラ押しつけ法<sup>14</sup>は、自由に回転するローラを、回転している砥石におしつけてそのときの押し込み深さを測定する方法であ

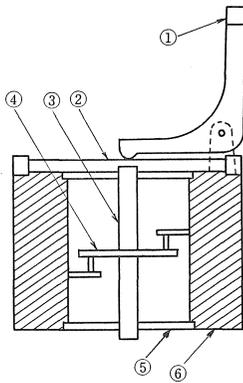


図4 結合橋強さの測定ヘッド

- ①ビット
- ②弾性はり
- ③支柱
- ④変位検出部
- ⑤薄膜
- ⑥枠

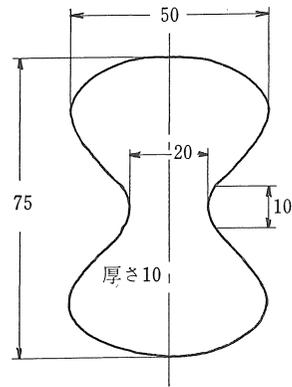


図5 引張り試験片

る。動的測定法であるが非能率的である。

分類3の機械的強度測定法は、試験片を必要とし製品に直接適用することが困難である。剪断試験法<sup>(16)</sup>は、直径6mmの鋼棒の端面で砥石の外周面を厚みの方向に向って、1mmの深さで剪断し、そのときの抵抗値を測定する方法である。引張り試験法は、山口氏の場合、1"角の試験片で引張り強さを測定している。また渡辺半十氏は、図5のような試験片を用いて測定している。抗折力、耐圧力シャルピー衝撃試験値(30kg-m)の測定には厚さ×巾×厚みがそれぞれ、100×41×12、30×25×25、60×18×24の試験片砥石が用いられている。

分類4のβ線照射法は、β線源<sup>(18)</sup>(<sup>90</sup>Kr)とGM計数管を砥石面に対して同じ方向に、一定距離だけ離しておき、砥石面にたいするβ線の後方散乱を計数装置で測定する方法である。図6参照。

分類5の打撃破砕法は、研削状態に近い速度効果を持たせている点で前述の静的試験法よりすぐれている。Grade-O-Meter<sup>(20)</sup>は、巾1/8"、厚さ1/32"、長さ1"の板状鋼材ビットが砥石面上で1回転する間に、約10kg程度のおもりで24回打撃を与えビットの食い込み深さを測定する。ビットの先端は、Vit. 砥石の場合は平面、Res. 砥石の場合は60°の尖角にする。Mackensen Testerは、直径約0.8mmの珪砂約50ccを0.5~2.5気圧の圧縮空気によって砥石面に10sec間吹付け、生じたくぼみの深さをダイヤルゲージで測定する。ノズルの正面以外の部分は珪砂が砥石面に斜めに衝突し、砥粒を砥石面に垂直に圧すると同時に表面に沿って引掻き、研削中における砥粒の破砕脱落の状態に近いと考えられる。これと同様なもの

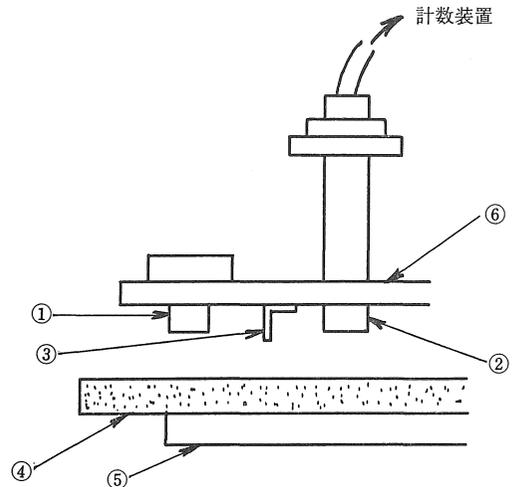


図6 β線照射装置

- ①β線源
- ②GM計数管
- ③しゃ蔽板
- ④砥石
- ⑤砥石台
- ⑥線源、計数管固定台

に今中氏の方法<sup>(23)</sup>がある、液体ホーニング装置を使用し#120のA系砥粒を重量比3倍の水と混合して4~5気圧の圧力で砥石面に吹付け生じたくぼみの深さをダイヤルゲージで測定する。前者は乾式法であり、後者は湿式法である。Fuchs比較かたき計は、Grade-O-Meterにほとんど類似のものである。Vibrotester<sup>(24)</sup>は、超硬質合金でつくられた打撃用圧子に毎秒300回程程度の繰返し衝撃を与え、砥石面を微細に破砕しながら圧子を砥石面に押し込んでその食い込み深さを測定する方法である。超音波衝撃法<sup>(25)</sup>は、磁わい振動子に高周波電流を通じて得られた超音波振動の振幅を、出力ホーン・工具台によって増

幅し、測定工具に伝える。砥石の表面に、砥粒をまぜた液体を供給しながら測定工具を一定荷重でおしあて、そのときの砥石の破碎程度を測定する。振動数は数 kc～数十 kc とし、研削中の砥粒の負荷時間に近いものにしてゐる。図 7 参照。

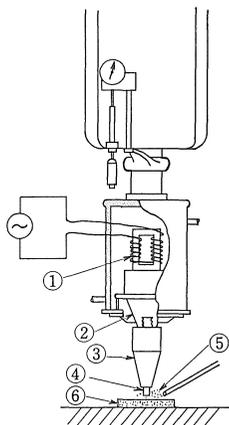


図 7 超音波衝撃法の原理

- |        |           |
|--------|-----------|
| ①振動源   | ④工具       |
| ②出力ホーン | ⑤砥粒をまぜた液体 |
| ③工具台   | ⑥砥石       |

分類 6 の実際研削類似法は、実際の研削に近い状態で砥石の特性を調べようとしているものである。臨界圧力法<sup>(57)</sup>は、一定の周速 (600~1800m/min) で回転している砕石の外周で、振子の先端に取付けられた工作物を 1 回だけ切削させて、脱落する砥粒を採取し、秤量する方法である。工作物の周速は一定 (10m/min) に保ち切込量を 10~100 $\mu$  に変化させている。海老原・塩崎のドレッシング抵抗法<sup>(58)</sup>は、ダイヤモンド・ドレッサによる一定条件の目立て作業でドレッサに働く抵抗を測定する方法であり、Colwell, Lane のドレッシング抵抗法<sup>(59)</sup>は、コニカルカッタを用いて砥石を成形仕上する際カッタに加わる抵抗を測定する方法である。図 8 参照。

高速度すりへらし法<sup>(60)</sup>は、サバン式摩擦試験機の摩擦円板の代わりにビトリファイド砥石を使用し、これを 30m/sec で回転させてその外周に測定砥石を押しあて正常破碎域の一定圧のもとに 10~30sec 間すりへらし、その減耗量を求めその逆数を砥石の強度値とする方法である。研削法は、一定の切込深さで実際に研削作業を行い、切込量と研削された厚さとの差から砥石の摩耗量を求め、結合度を判定する方法である。ゲーリングホーニング砥石試験機<sup>(61)</sup>は、砥石の往復ストローク 25mm、オッシレシ

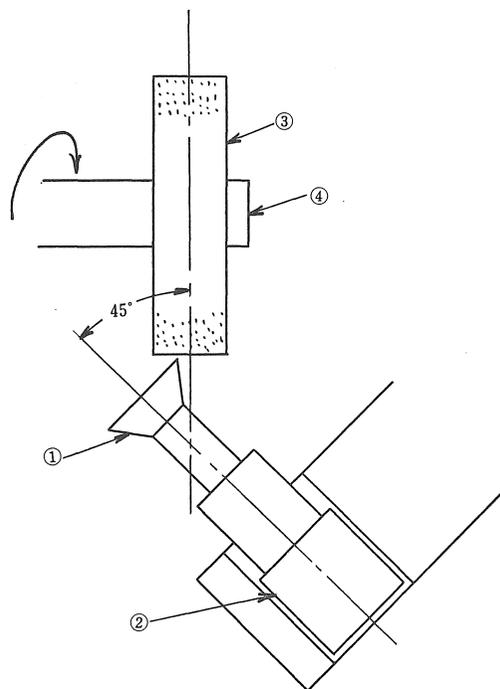
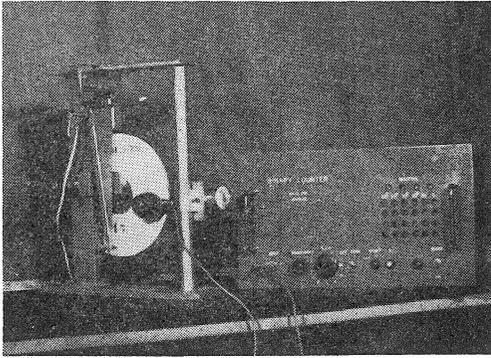


図 8 ドレッシング法

- |          |          |
|----------|----------|
| ①コニカルカッタ | ③砥石      |
| ②二成分動力計  | ④旋盤スピンドル |

ョン 500~1000 で、破削材としては直径 3mm のロッドを使用している。測定時間は 15~30sec である。

分類 7 の音響試験法は、砥石をきずつけることなく、測定法も簡単で能率的である。しかし、砥粒、結合剤の種類、砥石の組織、形状、寸法などの諸要因が音響特性に関係してくる。Sonic Comparator<sup>(62)</sup>は、電磁的に振動するピン型工具を砥石に押しつけ、基本振動型の共振周波数で砥石を共振させてその振動数をマイクロホンでピックアップして特性をとらえる。Grido-Sonic<sup>(63,64)</sup>は、砥石をフォームラバーの上におき皮をかぶせたハンマーで打つ、その信号を圧電素子またはマイクロフォンでとります。信号がある振幅まで減少し、設定した最小値になると、タイマーが開いて時間遅れを自動的に調節し、その後、8 サイクルごとに時間が測定され、2 サイクルごとの平均値が求まるようになっている。ベイステート社<sup>(64)</sup>の方法は、打音試験と同じ方法で砥石をたたき、その打撃音の周波数をストロボスコープ周波数計によって測定するものである。サイモンズ社の方法は、スピーカで砥石を強制振動させ、その振動周波数をピックアップし、オシロスコープと測定回路に入れて特性を測る方法である。写真 3 に Grido-Sonic 試験機をしめす、



写 3 Grindo-Sonic 試試験

3. 試験方法の検討

分類 1 のドライバ法, 大越式結合度試験機, 振子型結合度試験機などにおけるビットの稜は, 砥粒に対して垂直方向と水平方向に圧縮力と剪断力を生じさせる。このことは実際の研削において, 砥粒が受ける力の状態とにている。しかし, 実際の研削にあずかる研粒は砥石の表層の砥粒であるが, これらの試験においてビットより力をうける砥粒には, 表層よりかなり深い位置にある砥粒も含まれる。試験の結果によると, 砥粒の破碎はビットの刃先部分のみでおこり, 大半は砥粒間の結合橋の破壊である。(7),(6) したがって, 測定値は大部分砥粒間の結合保持力(結合橋の破壊強さ)をあらわすと推測される。ビットのくい込み深さは研削時の砥粒切り込み深さに比較して, 非常に大きく, 破碎片も大きい。研削速度と比較したときのビットの速度は, ドライバ法, 大越式結合度試験機ではほとんど零に等しく, 振子型結合度試験機の場合も非常に小さい。ビットの摩耗は測定値に影響を与え, その度合は破碎速度の大きい振子型試験機が一番大きい。また #30 以下の砥粒の粗い砥石に対しては測定値にばらつきがはげしい。(5),(7),(6) 切削痕は振子型試験機がやや大きい, いずれも製品に対して直接実施でき, その商品価値を損じない。試験操作は簡単で比較的短時間で測定できる。実際研削時の砥石の摩耗量と, これらビット法から換算される破碎強度は, Vit. 砥石のような脆質砥石では, #30~#80の間においては良く比例している。しかし, ボンド材質や砥粒の品質がらがうと比例関係が乱れてくる。(7) J. Peklenik の方法では, 砥粒の破碎はほとんどおこらず, 測定値は結合橋の破壊強さをあらわす。平均砥粒径の切り込み深さで水平方向に剪断することは, 研削時における砥粒の力関係より, 垂直方向に圧縮している力を取りさった状態ににている。この方法は前述の 3つの試験方法とことなり, 砥石の表層部のみにおいて試験がおこなわれるところに特徴がある。しかし, 切り込み深さが平均砥粒径であるので, 測定場所の影響を大きくうけ, 測定値の統計的処理が必要である。破碎速度

は150~200mm/minで, 研削時の1500~2000m/minにくらべてほとんど零に近い。砥粒の細い砥石に対しては刃先の加工と, 切り込み深さの設定がむつかしく, 事実じょう破碎抵抗の測定は不可能になる。この方法は測定に時間を要し, 研究室的な方法である。J. Peklenik は測定値より, ボンド力の確率密度関数を求め, ボンド力の母集団からN個の標本をとり, その平均値を計算し, 平均値の確率分布を求め, これから平均ボンド力と標準偏差を計算し, 結合度と平均ボンド力の関係を次のように求めている。

$$H(m_{bk}) = m_{b1}, m_{b1} \frac{\sqrt{N-k}}{\sqrt{N-k}}, \dots$$

$$\dots, m_{b1} \left( \frac{\sqrt{N+k}}{\sqrt{N-k}} \right)^{k-1} \dots$$

但し,  $k : 1, 2, \dots, n$

$m_{bk}$  : 結合度  $k$  の平均ボンド力

$m_{b1}$  : 結合度 1 の平均ボンド力

$N$  : 標本の個数

この場合, 粒度と組織は一定である。この結合度表示は, 機械的な特性値であるボンド力(鋼材における剪断力にあたる)をもとにして, 結合度を定量的に表示している。しかし J. Peklenik は, 砥石の減耗強度を上式で表示したのではない。

ロックウェル硬度法は, Vit. 砥石のような脆質砥石で砥粒の細いものにわりと良い結果をします。ビット法より求めた結合度とは拋物線的關係がある。結合度が硬くなると, くい込み深さの差が小さくなり判別がむつかしくなる。#150~#320の間においては, 粒度によるくい込み深さの差はほとんどないが, しいていえば粒度の大きい方がくい込み深さが大きいようである。図 9 参照。

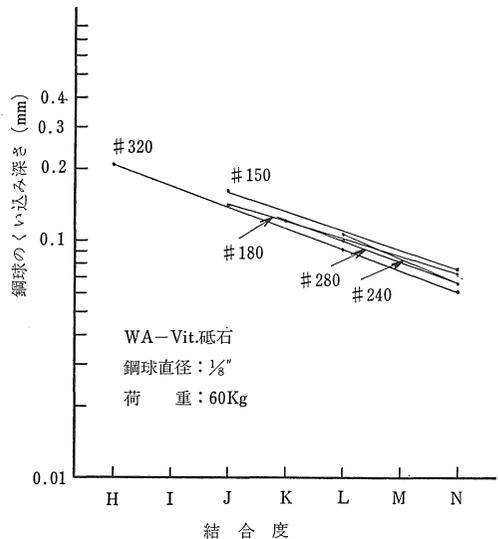


図 9 ロックウェル法による試験結果 (今中)

ブリネル硬さ試験機を使用したブリネル硬さと、ピット法による結合度数とは直線的な関係になる<sup>(6)</sup>。これらボールおしつけ破砕法の試験時の応力状態は、研削時の応力状態とは完全にちがう。測定値と砥粒の結合強さとの関係は一応存在するが、その関係を砥石の研削時における減耗強度にまでむすびつけるのはむりである。エラスチック砥石のような弾性の大きい砥石になると、くい込み深さと砥粒の結合強さとの関係もはっきりしなくなる。しかしながら、試験操作が簡単で短時間であり、砥石の商品価値を損わない利点がある。微粒砥石にはロックウェル法、微粉砥石よりも粗い粒度の砥石ではブリネル法がよい結果をもたらすようである。

引張り強さ、抗折力、シャルピー衝撃値はいずれも砥粒間の結合橋の特性値であり、砥石のもつ特有な機械量である。これらの値をもって砥石の減耗強度をあらわすのではなく、砥石の減耗強度を構成する要素の一つと考えるべきものである。J. Peklenik の方法が、個々の砥粒間の結合強さを測定したのに対し、引張り強さや抗折力は、ある単位面積内あるいは、ある単位体積内の結合橋の総和の破壊強さを測定したものである。この試験方法は現場向検査や商品検査には不適當であるが、砥石の減耗強度を理論的に、定量的につかまえるには重要なものである。図10に抗折力と引張力、シャルピー衝撃値、対圧力の関係を示す。

$\beta$ 線後方散乱強度測定法は、砥石表面の状態を調べる方法である。組織、粒度が一定の場合、砥石表面の面密度は結合度が増すにつれ大きくなるから、面密度増加にともなって $\beta$ 線の後方散乱強度も大きくなる。測定結果によれば、同一組織、同一粒度では結合度の硬い方が、同一結合度では砥粒の小さい方が散乱強度は大きい。しかし、組織、粒度、結合度のまったく同じ砥石においても、一方の表面が摩耗していた場合、使用前と使用後で、また砥粒、ポンドの材質が異なった場合などでは後方散乱強度がちがっている<sup>(9)</sup>。したがって砥粒間の結合強さと後方散乱強度をはっきり結びつけるような関係はないと考えられる。

超音波衝撃法では、測定工具の振動数を砥石の回転数と同一にし、砥粒に研削時と同回数垂直荷重のみを与えている。垂直力のみをとった場合、研削時の応力状態にほとんどちがいと考えられる。この方法では、結合橋の破壊と砥粒の破壊が同時におこり、測定値は、砥粒の破砕強さと結合橋の破砕強さを含んだものと考えてよい。砥粒の破砕の度合はポンド率が低いほど小さく、ポンド率が高くなるほど大きくなる。これは吉川氏の実験研削実験結果と一致している<sup>(29,40)</sup>。くい込み深さは、粒度が細かいほど大きく、とくに#320の結合度 H, J では非常に大きく

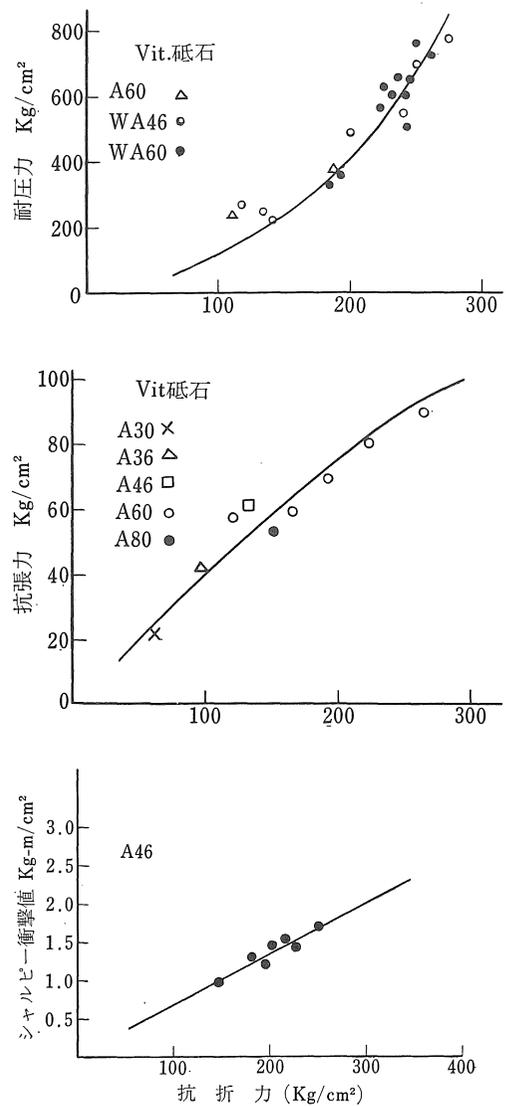


図10 砥石の抗折力、耐圧力、抗張力及び衝撃値間の関係（渡辺\*）

くい込むようである。逆に#180, #150あたりでは、粒度による、くい込み深さの差は、あまりはっきり認められない。図11参照。測定工具の摩耗は粒度が大きくなるほど、結合度が硬くなるほど大きい。図12参照。ロックウェル法と比較してみると、図9、図11からも明らかなように、この試験法のほうがくい込み量がはるかに大きく結合度の判別に有利である。さらに、同一粒度で砥粒の材質の異なる砥石における実験では、ロックウェル法の場合、砥石間にくい込み量の差は認められないが、この試験法では差が認められる<sup>(29)</sup>。このことは、砥粒の破砕を含んだ測定方法であることを考えれば説明がつく。また

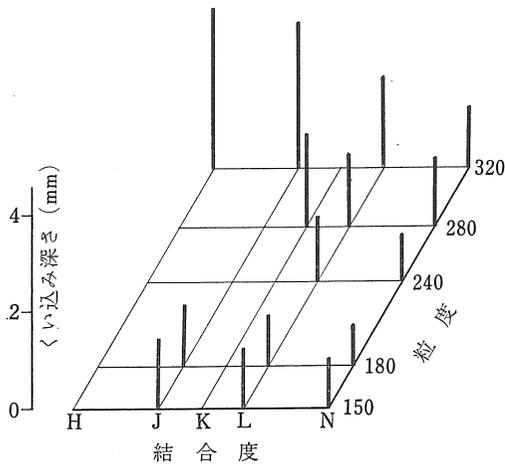


図11 微粉砥石に対する試験結果 (今中)

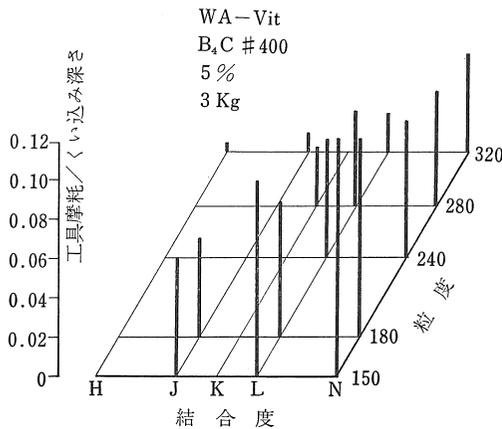


図12 工具の摩耗 (今中)

この試験方法は、操作が簡単で、直接製品に実施でき、製品の商品価値を損なわない。微粉砥石には有効な試験法であると考えられる。

ドレッシング抵抗法では、砥粒の応力状態はほとんど研削時のものにひとしいと考えられる。測定値は、研削時の砥粒の破碎強さと結合強さの両方を含んだ値で、砥石の損耗強さをあらわす。しかし高速で、微小切込みであるから、工具の摩耗が問題である。さらに取りつけ、機械精度も測定値に影響をおよぼす。図13にダイヤモンド・ドレッサ法による測定値と結合度数(大越式)との関係をしめす。図からも明らかなように両者の間には直線に近い関係が存在しているが、これらの関係を数式的にむすびつけるには無理がある。コニカルカッタ法は、砥石を成形仕上する際、カッタに加わる抵抗を測定する

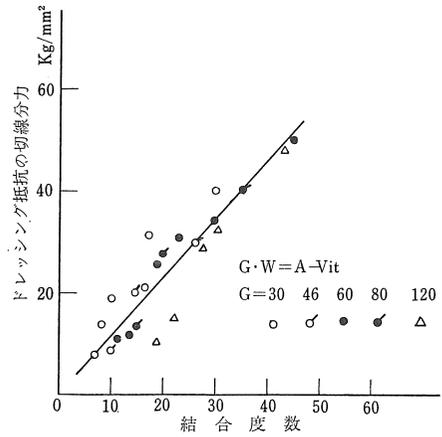
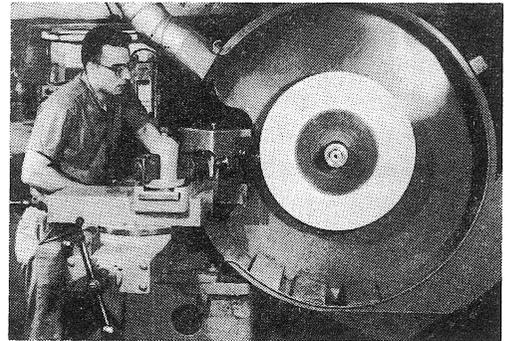


図13 ドレッシングの切線分力と大越式結合度数の関係 (大越)



写4 Conical Cutter 験機機

ものであるから現場向きの試験法である。写真4参照。もちろん製品の商品価値は損わない。カッタの切込み深さが、研削時の砥粒の切込み深さとちがうが、この試験方法において砥石の弾性と砥粒密度との理論的關係を求めることができる。高速度すりへらし法は、測定砥石片の減量と実際研削時の砥石の直径減とが、おおよそ正比例していることから、試験片砥石の減量の逆数は砥石の損耗強度値に近いものであろうと推測される。図14参照。種々の砥石の実験結果より、破碎減耗強度値  $H_a$  と抗折強度  $\sigma_b$  (kg/cm<sup>2</sup>) との関係を、渡辺氏は次式のように求めている。

$$H_a = K \cdot \sigma_b^m$$

但し、 $K$ : ボンド材質, 砥粒品質, 砥粒率によって変化する。

$$m : m > 2$$

上式によると、減耗強度値が  $\sigma_b$  のみの函数として求められているが、実際には砥粒の破碎強度の影響も考えるべきであろう。

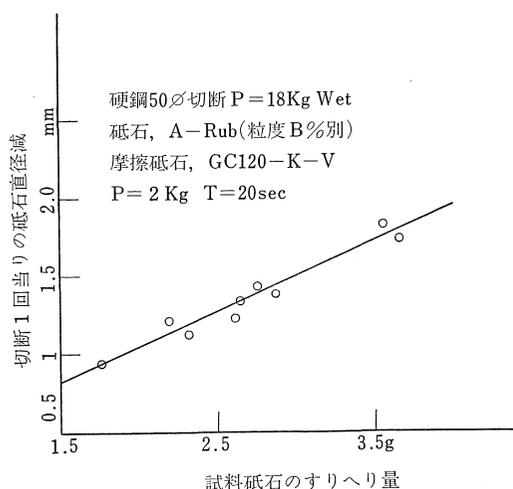


図14 すりへり強度と実際砥石減耗量との関係 (渡辺\*)

音響試験法は、ボンド材質、砥粒品質、粒度、組織、砥石の形状、砥石の大きさの影響を非常に受けるが、これらの条件が一定で、結合度のみ判別する場合には非常に簡単に能率的な方法である。Grido-Sonic 試験機により、砥石の固有振動数  $f$  を求めれば、砥石の平均的弾性率が次の式より求まる。

$$E = Cm f^{0.63, 0.63}$$

但し、 $E$ ：弾性率

$C$ ：砥石の形状と寸法によってきまる定数

$m$ ：砥石の質量

上式より求められる弾性率は、結合橋の破砕強さ、砥粒の保持強さを支配する因子である。周波数測定法より弾性率を正確に求めることができれば、砥石の減耗強度を構成する要素を、物理量として求めることができる。この場合、一番問題になるのは、砥石の形状の換算方法の正確度であろう。

#### 4. 機械量、物理量をもとにした、定量的砥石減耗強度

砥石減耗強度の構成要素を考えると、(1)結合橋の破砕強度、(2)ボンドと砥粒の接着力、(3)砥粒の破砕強度、(4)砥粒の摩擦力、(5)結合橋の摩擦力にわけられる。

結合橋の破砕強度を測定するには J. Peklenik の方法がある。しかし、研削時の結合橋はくりかえし応力をうけているので補正が必要である。抗折試験、引張り試験のほかに、くりかえし曲げ試験、くりかえし引張り試験などを行ない、両者を比較すれば、ボンド力の補正值が求まるであろう。また、結合橋の耐久度を測定する J.

Peklenik の方法も有効と考える。

ボンドと砥粒の接着力を求めるには、ボンドのみの試験片と、砥石試験片とを用いて、同一条件下で、引張り試験、抗折試験を行ない両者を比較すればよいと考える。この場合、試験片砥石のボンドと砥粒の混合比、気泡率は既知であると同時に、ボンドのみの試験片に、砥石と同じ気泡率をもたせることが必要である。

弾性率が大きくなると砥粒の脱落はすくなくなり、破砕、摩擦が多くなる。この破砕のおきる度合と弾性率の関係は求めることができる。さらに砥粒単独の破砕強度も求まる。したがってこの両者を関係づければ、砥粒の破砕強度が求まる。

(4)、(5)は(1)、(3)よりも小さな力であり、しかも破砕のおこる前の段階である。したがって砥石減耗強度は(1)～(3)のみで近似できる。減耗強度を  $H_m$ 、結合橋の破壊強度を  $b_m$ 、砥粒の破壊強度を  $g_m$ 、砥粒の接着強さを  $S_m$  とすると

$$H_m = Ag_m + Bb_m + CS_m$$

但し、 $A, B, C$ ：砥粒と結合剤の混合割合と砥石にかかる圧縮力(切り込み深さ)などによってきまる定数。

$H_m$  は上式のように表示すべきであろう。

#### 5. 結論

1. 砥石の分級を目的とするなら下記の試験機又はその方法は十分に役目を果たす。

ドライバ法、大越式結合度試験機、ロックウェル硬さ法、パイロメータ、マッケンゼンテスタ、音響試験法

2. 研削砥石の減耗強度を定量的に測定し表示しうる試験機は現段階ではない。

3. 減耗強度は、結合橋の破砕強さ、砥粒の破砕強さ、砥粒と結合橋の接着強さの函数としてあらわすべきである。

4. 現在ある試験機又は試験方法を組み合わせれば、減耗強度を定量的に表わすことができる。

#### 6. 参考文献

1. 砥粒加工研究会編：砥粒加工技術便覧，p.940，
2. C. Kruq：V.D.I. Bd. 71 (1927)
3. 大越諄・渡辺清・渡辺半十：研削砥石の結合度の研究(第1報)，精密機械，Vol. 18, No.4, (1952), p. 120～126
4. 大越諄・渡辺半十：研削砥石の結合度の研究(第2報)，精密機械，Vol. 18, No. 6-7, (1952), p. 197～203
5. 大越諄・渡辺半十：研削砥石の結合度の研究(第3報)，精密機械，Vol. 18, No. 9, (1952), p. 287～291

6. 大越諄・渡辺半十：研削砥石の結合度の研究（第4報），精密機械， Vol. 18, No. 11-12, (1952), p. 370~375
7. 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），愛知工業大学研究報告第2号，(1966), p. 141~148
8. 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2報），愛知工業大学研究報告第3号，(1967),
9. 抄録・Ind. Dia. Rev., July (1957), Vol. 17, p. 137
10. J. Peklenik : Neue statische und dynamische Prüfmethode der physikalisch-mechanischen Eigenschaften von Schleifkörpern, Ind. Anzeiger, 82-28 (1960-4.5) p.425~430
11. J. Peklenik : Testing the Grade of Grinding Wheels, Microtecnic, Vol. 14, No 5,
12. J. Peklenik, 笠訳訳：研削砥石の物理—機械的性質を静的及び動的に検査する新しい方法，機械と工具， Vol. 6, No. 5, (1962), p. 112~120
13. E.L. Hemingway : S.A.E. Journal, Aug (1940)
14. Elasis-Schweinfurt : D.R.P. (Patent) Nr. 633, 275, U.S.A. Nr. 2029, 066,
15. Albrecht : Werkzeugmaschine, Aug (1939)
16. 関口，長谷川：機械学会誌10月号（昭8）
17. 山口：生産機械， Vol. 9, No. 3, (昭21)
18. 渡辺半十：砥石の結合度に関する研究（第1報），精密機械， Vol. 27, No. 1, (1961), p. 8~13
19. 正野崎友信，重松日出男： $\beta$ 線による研削砥石の検査について，精密機械， Vol. 33, No. 9, (1967), p. 580~586
20. Harley H. La. Vercombe : U.S.A. Patent. 1830, 842, Nov. 10 (1931)
21. B. Kleinschmidt : Schleif u. Poliertechnik, Band I. (1937)
22. Wilhelm Späth : Werkstattstechnik Maschinenbau Heft 2, Feb. 1951
23. 今中治他：機械工作 10, 63(1963), 61.
24. K. Hipp, G. Hasis : Werks. u. Betrieb 89 Heft. 5 (1956)
25. W. Spaeth : Ind. Dia. Rev. June (1956) Vol. 16 No. 187
26. 今中治，藤野誠二，篠原一好：研削砥石結合度試験についての試み，機械と工具， Vol.6, No.6, (1962) p. 47~57
27. 浅枝敏夫：機械の研究 8号1巻（昭24）
28. 海老原，塩崎：マシナリー誌，11号，（昭26）
29. L. V. Colwell, R. O. Lane, K. N. Soderlund : Trans. ASME B 84 (1) (1962)
30. 神谷：精機学会誌， Vol. 15, No. 10.
31. R.G. Rowe : Steel, June 2b (1950) Vol. 126, No. 26, p. 74~77
32. R. Snoeys : La Mesure Acoustique du Module d'Elasticité, Critère de la Dureté Moyenne des Meules, Annals of the C.I.R.P. Vol. 13, p. 23~30
33. J. Péters, R. Snoeys, A. Decneut, 岡田訳：研削砥石の結合度および性能の表わし方，機械と工具， Vol. 12. No. 8 (1968). p. 63~76.
34. Thomas. E. Dustin : Electronics, Apr. (1951) Vol. 24, No. 4, p. 115.
35. W. W. Felton, J. Franklin Institute, 253 (2) (1952)
36. 松田：機械学会誌 Vol. 29 (1926)
37. 渡辺半十：結合度試験，精密機械， Vol. 27, No. 6 (1961) p. 352~363.
38. J. Peklenik, 松井訳：研削砥石の新しい結合度システム，機械の研究， Vol. 20, No. 1, p. 103~106
39. J. Peklenik : A Proposal for a Physical Hardness Grading System for Grinding Wheels. Paper presented at the 6th International M.T.D.R. Conference (1965)
40. 吉川|之：機械の研究 13, 1171(1961)