

振り子型結合度試験機による研削砥石結合度の測定

第一報

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

藤井 義信， 大島 貴充

Measurement of the Grade of Grinding Wheels by Swing Arm Type Grade Tester (1st Report)

—The Indication of the Grade of A-Grain Vitrified Wheels by Plate
Cutting Tool of Alloy Tool Steel and Cemented Carbide Alloy.—

Yoshinobu FUJII, Takamitsu OSHIMA

In this report, the grade of grinding wheels by swing arm type grade tester are shown.

This tester is constructed of the mechanism to swing down the pendulum hammer with a plate cutting tool about an axis from a definite height, to scratch the surface of a grinding wheel by a cutting tool edge, and to measure the scratching energy.

The grade of grinding wheels are indicated by this scratching energy.

When the cutting tool is made of cemented carbide alloy, the grade of A-grain vitrified wheels are wholly indicated from #24 to #120 without influence of the abrasion of cutting tool edge.

Then, this scratching energy can be converted into the hardness numbers or grading letters of the alphabet, by using an experimental equation.

The equation is as follows;

$$E=C \cdot (H^{1.83}) \cdot (1.12^Z) \cdot (G^{0.925}),$$

Where E=scratching energy being measured, kg-m.

H=depth of cut from the surface of grinding wheels, mm.

G=grain size of grinding wheel being indicated by standard screen number.

C=constant being varied by the shape and the hardness of cutting tool edge,
and, in this case, equals to 1.42×10^{-4}

Z=The order number of grade of the wheel bond

1. 緒 論

研削砥石の結合度測定には，二つの方向がある．一つは，結合度とは，砥石の減り難さを表わす等級である．または，砥石の損耗に対する破壊強度を表わす等級である¹⁾．従ってボンド自体の強度・砥粒の保持力と砥粒の摩耗・破砕強度の両方を含めたものを測定して結合度とする．他方は，この総合的な結合度をさらに細分して，これを支配していると考えられる各要素，(1)結合橋の破壊強度，(2)ボンドと砥粒との接着強度，(3)砥粒の破砕強

度，(4)砥粒の摩耗強度，(5)ボンドの摩耗強度²⁾³⁾⁴⁾などを測定しようとする方向である．

この後者の方向は，研削機構の解析など，理論面において重要視されるであろう．しかしながら，実際に現場で，砥石を使用するという立場を考えると，砥石全体の破砕強度を考えるべきである．この観点に立て，現在大越式ビット法がJISに規定されている．しかしながら，砥石の組織は非常に不均一なものであるから，絶対的な判別方法は現在の段階ではなく，いろいろの判別方

式の並用がのぞましいと考える。

筆者は、比較的簡単に結合度が測定できるという目的で、振り型結合度試験機⁵⁾を用い、A砥粒・ビドリフアイドボンド砥石の系列的な結合度表示を試みた。

2. 試験機

試験機は、シャルピー式衝撃試験機の原理を用いて、第1図のごとくである。切れ刃をもった振子をふらせ、砥石表面を引掻き、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表示する。

吸収エネルギーEは

$$E = Q(H_0 - H) - e = QL\{\cos(\theta - \theta_B) - \cos(\theta_0 - \theta_A)\}$$

ただし

E : 砥石表面の引掻きに吸収されたエネルギー (kg・m).

Q : 振り先端部の重量 (kg).

$$Q = 2.5kg, 3kg, 5kg$$

L : 回転中心から、バイト刃先までの距離 (バイト回転半径) (m).

$$L = 0.3m$$

e : 試験機自体の摩擦損失エネルギー (kg・m).

H₀ : 振子の設定高さ (m).

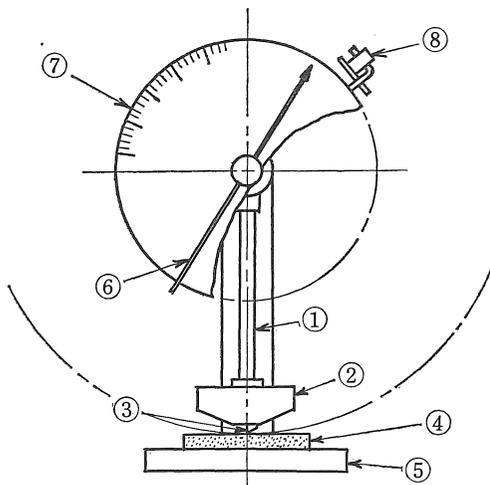
θ₀ : 振子の設定角度 (振り上げ角度) (度).

θ_A : 設定角度より、最下点まで振子が回転するあいだに、摩擦によって損失する角度。

H : 引掻後、振子が振り上がる高さ (m).

θ : 引掻後、振子が振り上がる角度 (振り越し角) (度).

θ_B : 最下点より、θ まで回転するあいだに、摩擦によって損失する角度。



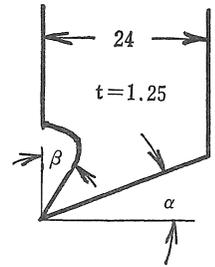
第1図 振り型結合度試験機

- 1: 振子腕 2: 振子頭 3: バイト
- 4: 砥石 5: テーブル (高さ調節可能)
- 6: 指針 7: 目盛板 8: 振り保持金具

3. 切刃の摩耗と形状⁵⁾

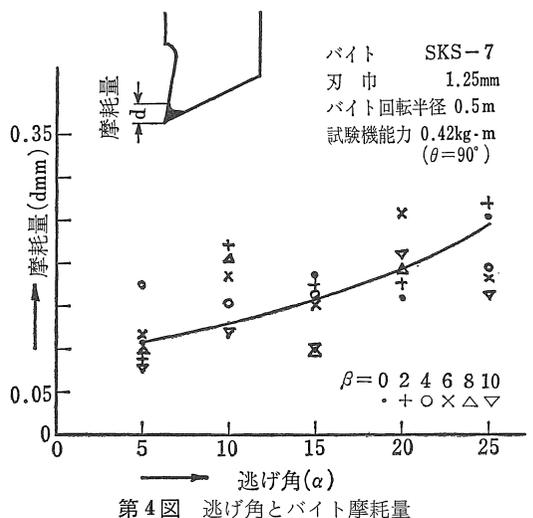
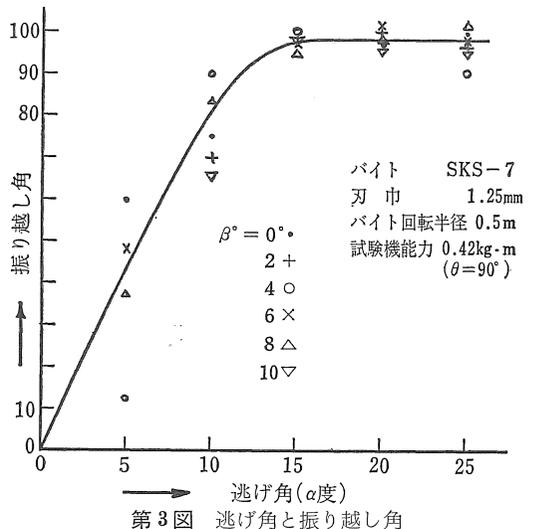
a. 合金工具鋼・SKS-7、刃厚 t=1.25mm をバイトに使用した場合。

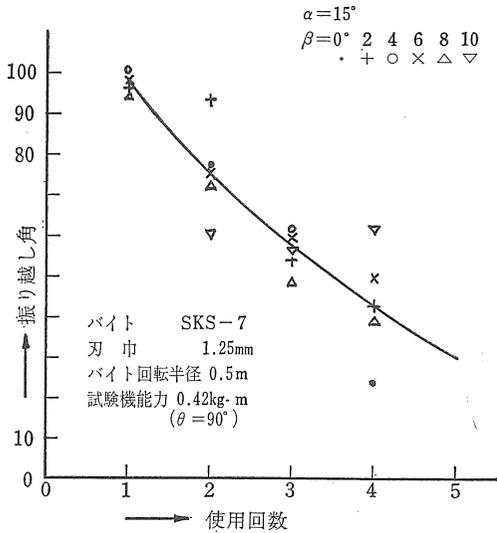
バイトの形状は、逃げ角α (第2図) が15°~25°の範囲では、捲い角βの大小にかかわらず、振り越し角θがほぼ一定となる (第3図)。捲い角は振り越し角にあまり影響を与えない。



刃先の摩耗量は、逃げ角が大きくなるにつれて増す傾向である (第4図)。捲い角を大きくすると、摩耗量は多少増すがいちじるしくない。

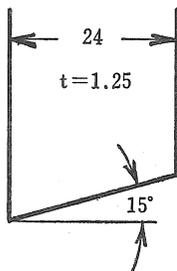
同一刃を再研摩せずに繰返し使用 第2図した場合、かなり急激に振り越し角が減っていく (第5図)。





第5図 使用回数とバイトの摩耗

以上の結果から、バイト刃先は、 θ が一定となり、摩耗量も著しくない $\alpha=15^\circ$ をとり、掬い角は明瞭な傾向を示さないから、 $\beta=0^\circ$ (第6図)とする。1回試験ごとにバイトを交換する。



第6図 バイト形状

b. 超硬バイト⁶⁾

バイトの形状は、第6図と同様にして、他の条件を変えて実験した結果を、第7, 8, 9図に示す。

切込み深さとバイトの寿命については、切込みが深いほど使用回数によるバイトの摩耗は増大する (第7図)。今第1回目の振り越し角を θ 、第10回目の振り越し角を

第1表

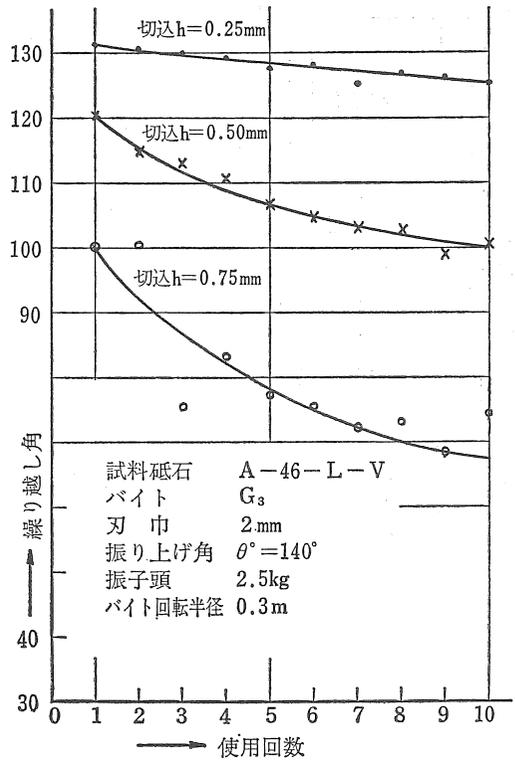
切込	1回目振り越し角	10回目振り越し角	$\theta - \theta'$	$\frac{\theta - \theta'}{\theta} \times 100$
0.25mm	132度	126	6	4.5%
0.50	121	100	21	17.3
0.75	101	68	33	32.0

第2表

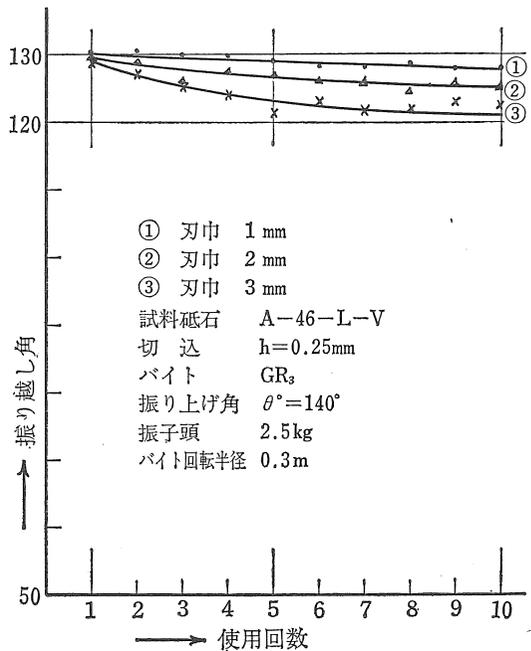
刃巾	1回目振り越し角	10回目振り越し角	$\theta - \theta'$	$\frac{\theta - \theta'}{\theta} \times 100$
1mm	130.5度	127.5	3.0	2.3%
2	130.0	125.0	5.0	3.8
3	129.4	123.0	6.4	4.9

θ' として、 $\{(\theta - \theta')\} / \theta \times 100$ により摩耗の程度を百分

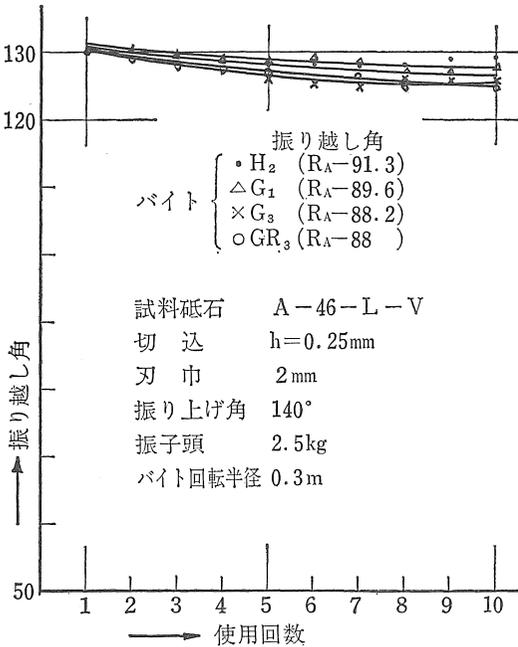
率で表わし表にした (第1表)。表によれば切込み0.25mmのとき4.5%に対して、切込み0.75mmでは32%となって摩耗のはなはだしいことを示している。



第7図 切込とバイト寿命



第8図 バイトの巾と寿命



第9図 刃先硬度とバイト寿命

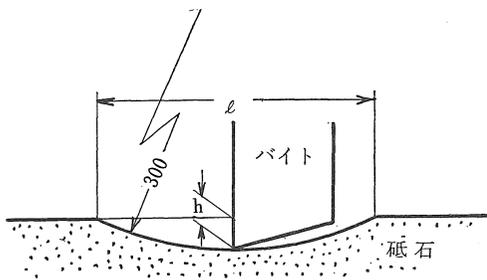
バイトの中とバイト寿命については、刃巾が大きいほど寿命が短くなる傾向であり（第8図）、バイトの摩耗の程度は第2表に示す。

刃先硬度とバイトの寿命については、刃巾2mmを採用し、切込み $h=0.25\text{mm}$ に設定して、バイト4種について実験を行った結果、硬度の高いものほど寿命については良好であることがわかった（第9図）。

粒度に対するバイトの摩耗状態は、粒度が細くなるほど摩耗は増す。

4. 砥石表面高さと同切込み深さの確認

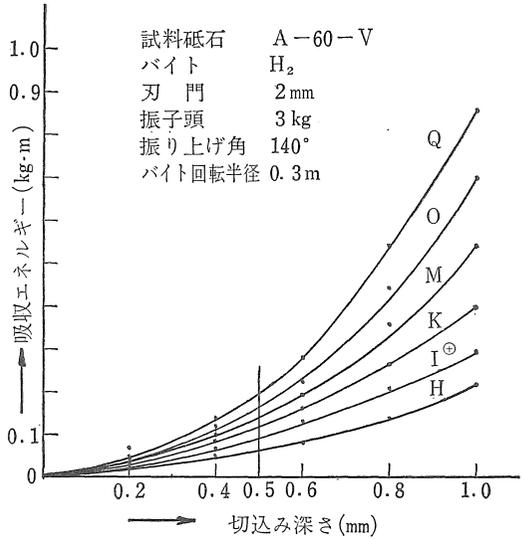
砥石表面の高さが一様でないため、一定の切込み深さを得ることはむづかしい。本実験では、厚さ1mm、大き



第10図 完全な条痕

h : 条痕の深さ l : 条痕の長さ

さ $10\text{mm} \times 15\text{mm}$ の鋼片を砥石表面にのせ、引掻部分の平均高さを測定して、その高さを基準にして切込み深さを設定した。一方、#60以上では、引掻後の条痕の長さ l と、条痕の最深部の深さ h を測定して、#36では、条痕の長さと同振り越し角の頻度で、#24では、振り越し角の頻度で、それぞれ設定どおりの切込み深さがあることを確認した。第10図参照。



第11図 切込みと吸収エネルギー

5. 最適切込み深さ

切込み深さは、結合度の相違による吸収エネルギーのちがいを、十分に判別できる深さでなければならない。さらに、バイトの摩耗と、砥石表面にきずをつけることを考えると、条痕はできるだけ浅いほうがのぞましい。

第11図に、A砥粒、#60、結合度H、 I^+ 、K、Mの4個の砥石について、切込み深さと吸収エネルギーの関係について実験を行った結果を示す。図より、切込み深さが0.5mmくらいあれば判別可能なことがわかる。

実際に0.5mmで実験してみると、#60、#80、#120は表面にきれいな条痕がのこり判別も十分できる。#36の条痕は、かなりはっきりしているが、砥粒が粗であるため、振り越し角のばらつきがやや大きい。#24になると、表面に条痕がほとんどのこらず、刃先が大きく破損する場合は生じ、振り越し角のばらつきの範囲が非常に大きくなった。したがって、#24を0.5mmの切込み深さで判別するには、多数回の実験が必要になり、あまり実用的で

ないことがわかった。#24を判別するために、切込み深さを1mmにして実験を行ってみた。その結果、#24から#120まで、同一刃巾2mmで判別が可能になった(第12図)。しかし、#80の結合度大なるものや、#120では条痕の縁がかけて正確な吸収エネルギーを表示しない傾向ができた。

以上の実験により、超硬H₂、厚さ2mmのバイトにおいては、最小切込み深さ0.5mm、最大切込み深さ1mm、その中間の切込み深さならば、#24から#120までの系列的な結合度表示ができることがわかった。

6. 振り上げ角度と吸収エネルギー

振り上げ角140°と90°の2通りについて、A砥粒、#60の砥石を試験した結果を第3表に、結合度Hにおける粒度別の試験結果を第4表に示す。

表から明らかなように、結合度Hにおいては、振り上

第3表

結合度	振り上げ角	140°(E)	90°(E')	E-E'
#60 H		0.21kg·m	0.22	-0.01
	I⊕	0.29	0.26	0.03
	K	0.40	0.34	0.06
	M	0.54	0.47	0.07
	O	0.70	0.60	0.10
Q		0.85	0.68	0.17

第4表

粒度	振り上げ角	140°(E)	90°(E')	E-E'
H	36	0.13kg·m	0.13	0
	60	0.23	0.22	0.01
	80	0.28	0.28	0
	120	0.35	0.35	0

第5表

粒度	結合度 振子頭	H			O		
		5⊕(E)	3⊕(E')	E-E'	5⊕(E)	3⊕(E')	E-E'
36		0.013⊕·m	0.012	0.001	0.11⊕·m	0.11	0.00
60		0.026	0.024	0.002	0.18	0.19	-0.01
80		0.035	0.036	-0.001	0.28	0.26	0.02
120		0.034	0.034	-0.002	0.33	0.31	0.02

8. 資料砥石

本実験に使用した砥石は、N社製・A砥材・ビトリフアイドボンド・組織mである(第6表)。

げ角の影響はほとんどない。結合度が増加するにしたがい、振り上げ角大なるほうがエネルギーが大きく、両者の差は、結合度の増加と共に増している。

バイトの摩耗は、振り上げ角大なるほうがやや大きく、そのぶんだけエネルギーの増加になると考えられる。

振り上げ角90°の場合は、振り越し角が小さくなり、切り粉の飛散がわるく、刃先を大きく破損する場合が生ずる。

バイトの再研磨を考慮すれば、刃先の破損のない、振り上げ角140°のほうがよい。

また、振り越し角の使用範囲をひろげる意味からも振り上げ角は140°がのぞましい。

7. 振子重さと吸収エネルギー

理論的には、振子の重さは、吸収エネルギーに影響を与えないはずである。しかしながら、振子重さの相違による初期エネルギーの違いが、引掻バイトの摩耗量に影響することは当然考えられる。したがって、バイトの摩耗により吸収エネルギーが変化する心配がある。

超硬H₂、厚さ2mmのバイトを用いて、振子重さ5kg、3kgの二つの場合について実験した結果を第5表に示す。

表よりあきらかなように、結合度Hにおいては、エネルギー変化はなしと考えてよい。結合度が大きいOにおいては、#80、#120で若干摩耗の影響がでるようである。

SKS-7を使用した場合は、結合度H~Kあたりまでは摩耗の影響がほとんどないが、それ以上の結合度になると、影響がいちじるしい。

全体的にみた場合、超硬H₂バイトなら、振子の重さの変化による吸収エネルギーの変化は微小であり、測定において問題にならない。

したがって、結合度小さく、砥粒粗なる砥石は軽い振子で、結合度大で砥粒の細かい砥石では重い振子を使用して、資料砥石の振り越し角を正確によみとることができる。

表中の○印が使用砥石であり、右肩の数値は大越式結合度数値である。いずれも、それぞれの結合度範囲の中間値に近い値いのものを使用した。

第 6 表

結合度 \ 粒度	24	30	36	46	54	60	70	80	90	100	120
H			○123			○85		○68			○57
H⊕											
I											
I⊕	○146					○72					○48
J											
J⊕											
K	○121		○86			○59		○55			○41
K⊕											
L											
L⊕											
M	○94					○49					○31
M⊕											
N											
N⊕											
O	○76		○57			○41		○33			○27
O⊕											
P											
P⊕											
Q	○60					○27					

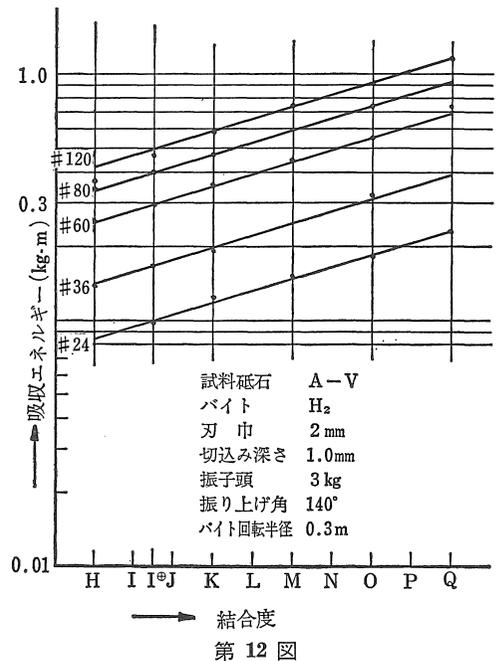
H⊕, I⊕, J⊕, K⊕, L⊕, M⊕, N⊕, O⊕, P⊕ は, JIS に規定されてなく, 特に実験用に定めた結合度である.

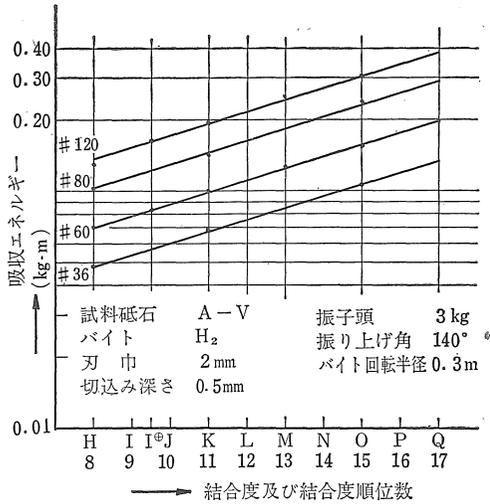
9. 結合度表示

今までの実験において, 最適と考えられる下記条件下に結合度表示を試みた.

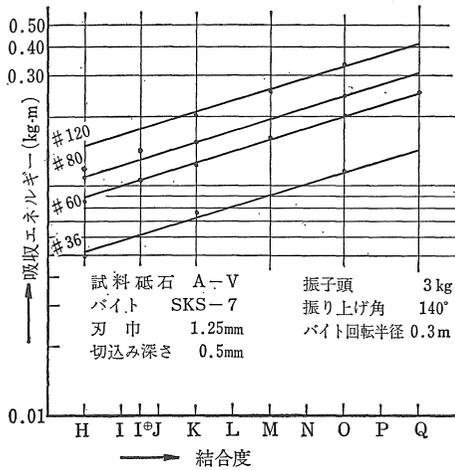
- 切込み深さ 0.5mm, 1mm
- 使用振子荷重 3kg
- バイト回転半径 0.3m
- バイト材質および形状
 1. 超硬イゲタロイH₂, 逃げ角15°, 掬い角0°, 刃巾2mm.
 2. 金鋸刃・SKS-7, 逃げ角15°, 掬い角0°, 刃厚1.25mm.
- バイト使用回数 1回
- 振り上げ角度 140°
- 資料砥石 A砥料, ビトリファイドボンド, 組織m

第12図, 第13図はH₂バイトで切込み深さ1mmと0.5mmの場合, 第14図はSKS-7のバイトで切込み深さ0.5mmの





第13図



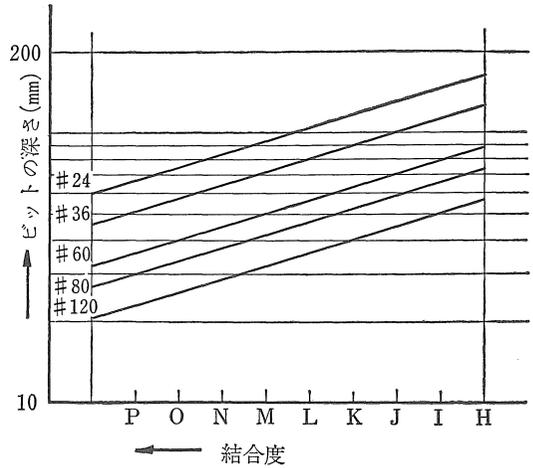
第14図

場合の、吸収エネルギーと結合度との関係を片対数グラフにあらわしたものである。

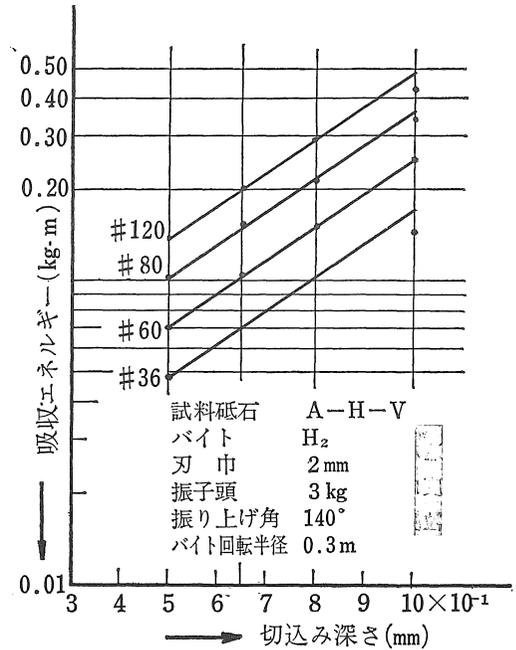
#24, #36では砥粒があらいためばらつきがあるが、他は一直線上にある。しかも3図とも、#30, #46, #54, #70, #90, #100の吸収エネルギーを表示するだけの余はくをもっているの、砥石の系列的な結合度を十分表示しうる。

直線の勾配は、3図とも同一であり、大越式ビット法の標準値を、結合度順位を逆にならべた場合に得られる直線の勾配と一致する(第15図)。このことは、振子型結合度試験機が、大越式とまったく反対の機構であることを示している。

第16図に、結合度Hにおける、粒度別の切込み深さに対する吸収エネルギーの関係を示す。切込み深さと吸収エネルギーの間には、次式のような関係がある。



第15図 ビトリファイド結合度換算図



第16図 結合度Hにおける粒度別吸収エネルギー

$$E = C_1 H^{1.83} \dots (1)$$

ただし

E: それぞれの切込み深さにおける吸収エネルギー

H: 切込み深さ

C₁: 粒度により異なる度数

粒度: 36 60 80 120

C₁: 1.7 2.5 3.7 4.9 × 10⁻¹

12図と13図は、第一式の関係をほぼ満足している。いまこの式を使って、第15図の大越式数値に対応する、切込み深さを算出すると0.31mmとなる。

12図において、#120のHとI⊕のエネルギーが小さいのは、#120Hが非常にやわらかく、砥粒が細いために、H₂

バイトの刃先が研磨され吸収エネルギーが小さくなったと考えられる。I ⊕ のエネルギーの減少が少ないのは、Hよりも結合度が大きいからである。また13図の#120Hのエネルギー減少の少ないのは、切込み深さが0.5mmであるので、刃先の研磨量が少ないからと考えられる。このことは、16図においてもあらわれている。#120Hでは、切込みが深いほどエネルギーの減少が大きくなっている。

第14図と第15図においては、SKS-7のほうが、いくぶん吸収エネルギーが大きい。このことは、刃厚の差よりも、刃先の硬度の影響のほうが大きく、SKS-7のバイトでは、摩耗による吸収エネルギーの増加が意外に大きいことがわかった。

したがって、A砥粒、ビトリファイドボンド砥石を系列的に結合度表示するには、H₂バイトで、切込み深さが0.5mm~0.7mmでもっともよい結果をうることがわかった。

さて、吸収エネルギーと結合度の関係式を求めるために、一般に用いられている結合度記号のアルファベットに代りに、順位数をあてはめ⁷⁾⁵⁾、これをZとする。

吸収エネルギーをEとおけば

$$E = C_2 \cdot (1.12)^Z \dots \dots (2)$$

C₂: 粒度によって異なる係数

粒度: 36 60 80 120

$$C_2 : 1.9 \ 2.8 \ 4.2 \ 5.5 \times 10^{-2}$$

第一式と第二式より次式を得る。

$$E = C_8 \cdot (1.12)^Z \cdot H^{1.83} \dots \dots (3)$$

Z: 順位数

H: 切込み深さ

C₈: 粒度によって異なる係数

粒度: 36 60 80 120

$$C_8 : 5.4 \ 7.7 \ 11.8 \ 15.5 \times 10^{-3}$$

この第三式によって、任意の切込み深さにおける、粒度別の吸収エネルギーと結合度との関係が求まる。

また、粒度をGで表わし、吸収エネルギーEとの関係を求めると

$$E = C_4 \cdot G^{9.25 \times 10^{-1}} \dots \dots (4)$$

C₄: 結合度によって異なる数値

結合度: H K M O Q

$$C_4 : 1.61 \ 2.32 \ 2.92 \ 3.68 \ 4.64 \times 10^{-8}$$

第一式、第二式、第三式より次式をうる。

$$E = C_5 (H^{1.83}) \cdot (1.12^Z) \cdot (G^{0.925}) \dots \dots (5)$$

$$C_5 = 1.42 \times 10^{-4}$$

第五式より、粒度G、結合度順位数Zの砥石において、任意の切込み深さにおける吸収エネルギーが求まる。

さらに大越式ビット法との関係を求めると

$$E = C_6 / h \dots \dots (6)$$

h: ビットのくい込み深さ

C₆: 切込み深さによって異なる数値

切込み: 0.5mm

$$C_6 : 7.0$$

10. 結 論

- (1) 振子型結合度試験機により、A砥粒、ビトリファイドボンド砥石の#24~#120までの系列的な結合度は、次のような条件で、十分に表示し得る。

切込み深さ 0.5mm~0.7mm

刃巾 2mm

使用バイト 硬度の大きい超硬

- (2) バイトは刃先硬度の大きいものほど、系列的な結合度表示が完全なものになる。

- (3) 振子は、振越し角があまり小さくならない程度に軽いものがよい。イゲタロイH₂以上の硬度の刃先であれば、振子の重さが吸収エネルギーに影響を与えない。

- (4) イゲタロイH₂、刃厚2mmのバイトによる、粒度別の結合度表示限界は、#24~#120である。

- (5) 振子型結合度試験機の吸収エネルギーEと、大越式ビット法のビットのくい込み深さhとは、逆比例の関係にある。

以上により、振子型結合度試験で、実用的範囲内の砥石の、系列的な結合度表示ができることがわかった。

この実験のために、試料砥石の標準シリーズを製造し、提供せられた日本陶器株式会社に深甚の謝意を表します。

引 用 文 献

- 1) 大越諄: 研削砥石における Grade の意義とその現場向検査法について。
- 2) 渡辺半十: 研削砥石の結合度についての考え方. 機械と工具 Vol. 6, NO. 6, P. 27,
- 3) 砥粒加工研究会: 砥粒加工技術便覧, P. 941,
- 4) J. Peklenik: Industrie Anzeiger, 28 (1960)
笠原英志訳: 機械と工具6, 5 (1962),
- 5) 藤井義信: 研削砥石の振子型結合度試験法について, 静岡大学工学部研究報告第6号 (1955)
- 6) 藤井義信, 宮原忠干: 研削砥石の振子型結合度試験法 (続報), 日本機械学会前刷集 NO. 58 ('61-11, 第39期全国大会),
- 7) 大越諄, 渡辺半十: 研削砥石の結合度について, 日本機械学会東京臨時大会前刷, 昭和25・10・26