

# 知 識 編

# 1. ダイヤモンドの種類

ダイヤモンドは表1に示すように、セラミックス材料であるアルミナ焼結体の4倍から5倍の硬さを持っている。切削工具として使うには、被削材の5倍程度の硬さが工具に必要なことから、ファインセラミックス研削用砥石の砥粒として、ダイヤモンドが最も適している。

しかしながら、ダイヤモンドは800°C前後から酸化が始まり、図1に示すように、硬さがCBN (Cubic Boron Nitride, 立方晶型窒化硼素) よりも低下するようになる。したがって、研削液を充分にかけることが必要である。

工業用ダイヤモンドは天然産と合成(人造)の二つに大別される。JISでは、天然ダイヤモンドをD, 合成ダイヤモンドをSD, 金属メッキをした合成ダイヤモンドをSDC(主としてレジノイドボンド用)として図2のように分類している。砥石に用いられているダイヤモンド砥粒のほとんどは合成である。

## (1) 天然ダイヤモンド

ダイヤモンドの発見は、紀元前800年ごろのインドだとされ、「インドの石」と呼ばれていた。1890年には南アフリカのキンバリーで、ダイヤモンドが含まれる超塩基性岩のパイプと呼ばれる鉱脈が発見されている。そのキンバレー岩を図3に示す。それまでは、ダイヤモンドは、インドで発見されたように、漂砂鉱床である川の砂利層の中に存在するとされていた。

天然産は、図4のように、宝石用と工業用に分けられ、キズや色などの点で宝石のガラスに入れることのできないダイヤモンドを工業用として使っていて、一般的にそれをボーツ (Bort, Boart, Bortz) と呼んでいる。

表1 硬さの比較

材料の種類	ヌーブ硬さ (kgf/mm <sup>2</sup> )
ダイヤモンド単結晶	8,000~12,000
ダイヤモンド焼結体	6,500~8,000
CBN	4,700
CBN焼結体	3,400~3,900
アルミナ焼結体	2,100~2,400
超硬合金K10	1,600~1,800
焼入れ鋼 (H <sub>R</sub> C 60)	780

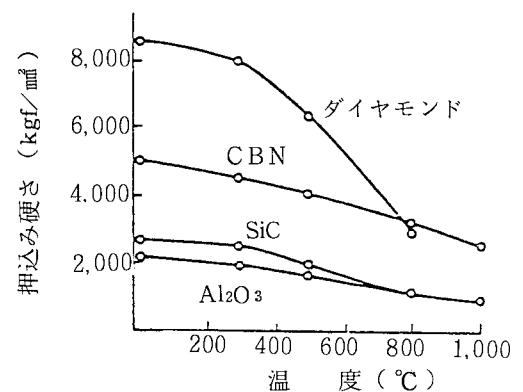


図1 各種砥粒の高温硬さ

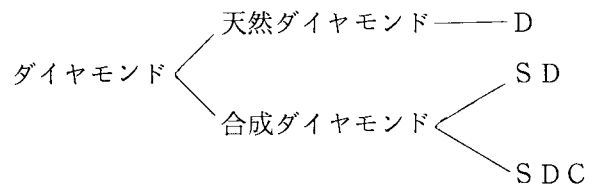


図2 ダイヤモンドの分類 (JIS B 4131)

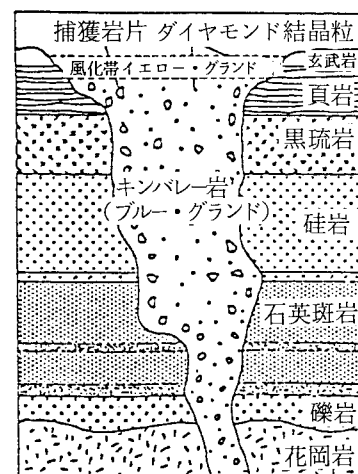


図3 キンバレー岩

## (2) 合成ダイヤモンド

合成ダイヤモンドは製造法から考えて、触媒を用い、高温・超高压で作られるものと、触媒を用いずに爆発法で作られるものがある。

図5は、高温・高压を得るための反応室の例であり、この場合は触媒としてニッケルを用いている。触媒の種類、温度、圧力など変えることによって、いろいろな種類のダイヤモンドを天然産に比べて安定的に作り出すことができる。

図6は、ダイヤモンドの原料である炭素の状態図で、ダイヤモンドが合成される圧力温度領域を示している。黒鉛—ダイヤモンド平衡線のすぐ上方の圧力・温度領域が使われている。

## (3) 合成ダイヤモンドの種類

1955年、アメリカのGE社（General Electric）で合成ダイヤモンドの製造に成功して以来、数えきれないほどの種類が各社より発表されている。合成条件により、結晶形態、粒子形状を変化させることが可能で、物性値を容易に変化させることができる。

ダイヤモンド砥粒の製造メーカーとして、東名ダイヤ、昭和電工、住友電工、GE、De・Beersがある。図7は、GEで製造している合成ダイヤモンドの粒度と対衝撃性を示している。最も強靱なのはMSDで、次にMBS、MBG、RVGの順になっている。JISの規格ではSDだけになっているが、多くの種類の人造砥粒があることが分かる。各砥粒メーカーで同様の製品を作っている。ダイヤモンド砥石の研削性能は砥粒の性質だけでなく、砥粒と結合剤を合わせた性質によって決定される。したがって、最適な砥粒の選択は、結合剤との組み合わせによって決定される。MBS、MBG、RVGの写真を図8に示す。

MBSの系列に属するのは、滑らかな面を持つ強靱でがっしりした六一八面体の結晶である。70/80以下の粗い粒度が生産されていて、主とし

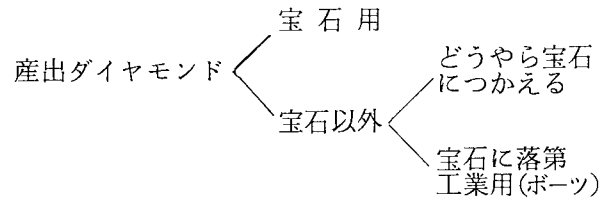


図4 天然ダイヤモンドの分類

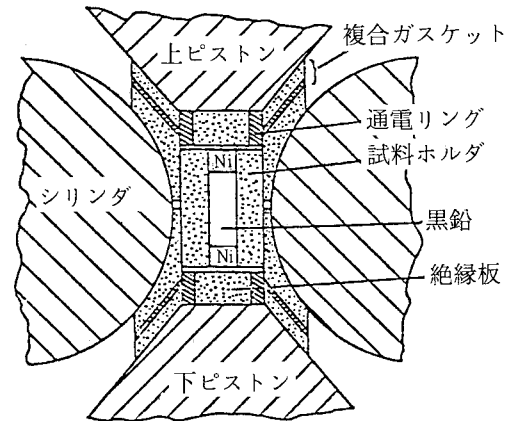


図5 反応室の構成例

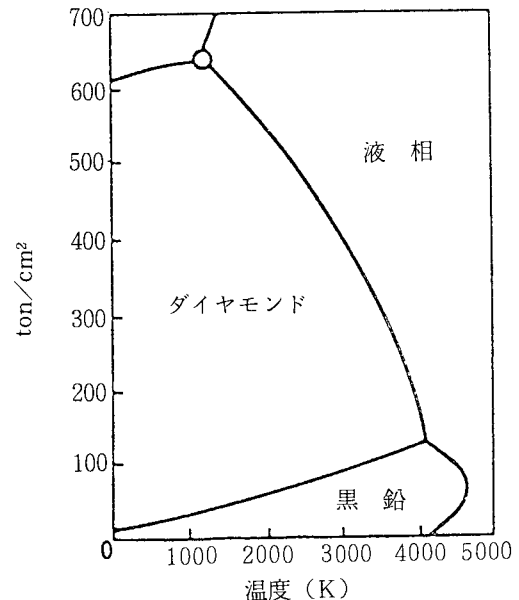


図6 炭素の状態図

てメタルボンドおよび電着用である。最も大きい対衝撃性を示すため、石材やコンクリートの切断などの重研削に向いている。

ファインセラミックスの研削に使われる砥粒は MBG, EBG, RVG である。MBG と EBG は中程度の靱性を持つ。メタルボンド用として、主として使われているのは MBG-2 であり、EBG は電着用である。ビトリファイドボンドに使われる砥粒は、メタルボンド用とレジノイド用の中間の性質を示すダイヤモンドで、MBG 600 が使われている。

RVG は、破碎性の高い不規則形状の粒子で、ニッケル基合金や銅を被覆して用いることが多い。主として、レジノイドボンド用であり、代表的砥粒として、ニッケル基合金で被覆した RVG-W がある。ファインセラミックスの研削に多く使われているのはレジノイドボンドであるため、RVG-W に属するダイヤモンド砥粒が最も多く使われていることになる。メタルを被覆してある RVG-W を図 9 に示す。レジノイドボンドは耐熱性に劣るために砥粒の保持力が弱い。金属被覆することにより、次のような効果が生じる。

- a. 砥粒の表面積が大きくなるので、保持力が増大し、ダイヤモンドの脱落を防止する。
- b. 表面積が大きいので、研削熱を分散させて、ダイヤモンドの酸化を防止する。

最近では切れ味のよい砥粒、すなわち破碎性のよい砥粒がファインセラミックスの研削に使われる傾向にある。レジノイドボンド用として、RVG-W より破碎性のよい、ニッケル基合金で被覆された RVG-880 という砥粒も使われている。

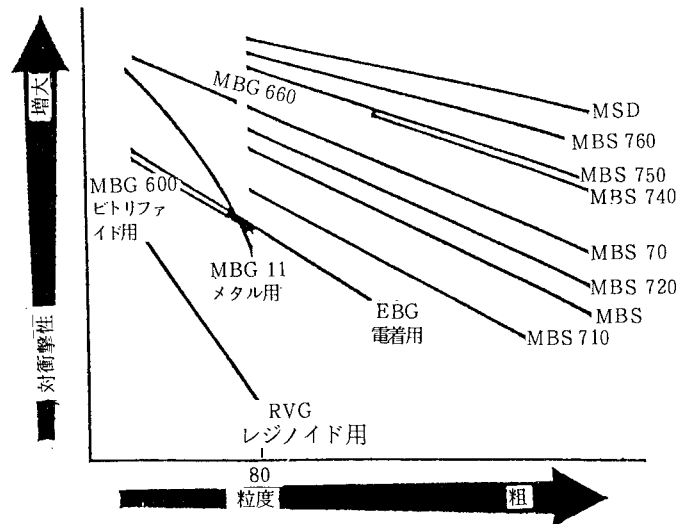
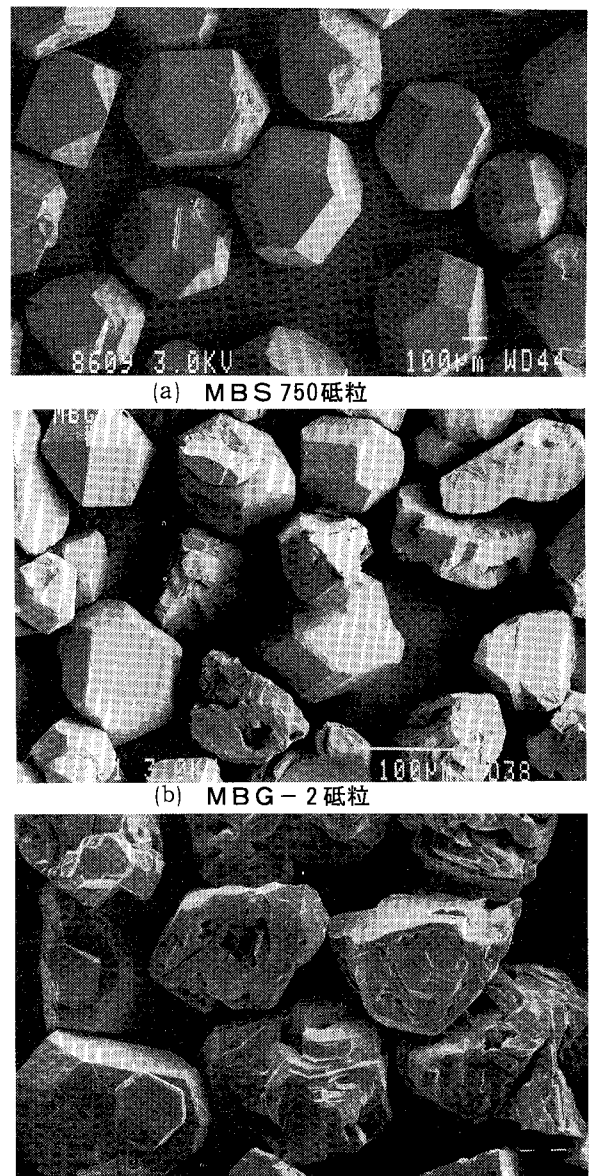


図7 合成ダイヤモンドの相対的衝撃性 (GE社)



(c) RVG 砥粒

図8 合成ダイヤモンド

#### (4) ダイヤモンド砥粒の選択の考え方

ダイヤモンド砥粒もWAやGCなどの一般砥粒と同じように、砥粒先端の摩滅(目つぶれ)、粒内における小破碎(正常研削、適度な自生作用)、砥粒の脱落(目こぼれ)があると考えてよい(図10)。砥石の研削性能を最も発揮するためには、ダイヤモンド砥粒と結合剤の最適な組み合わせが必要である。それらの組み合わせは、加工物の種類、研削条件、要求される加工物形状精度や表面あらさなどによって異なる。

例えば、最も大きい耐摩耗性を示すメタルボンドに、破碎性のよいRVG砥粒を使うとする。この場合は、ダイヤモンドだけが消耗し、砥粒の突き出し、すなわちチップポケットが得られず、研削を続行することが困難になる。

一方、耐摩耗性の低いレジノイドボンドに、靱性の大きいMBS砥粒を使うと、結合剤の方が先に消耗し、砥石の脱落が多くなり、かえって砥石の減耗量が増大する。これは、不経済になるばかりではなく、加工物表面あらさに悪影響を及ぼすようになる。

実際には、ダイヤモンド砥粒の選択は砥石製造メーカーで行われている。そのため、どのような種類のダイヤモンド砥粒が使われているのか、砥石製造メーカーに問い合わせておくといよいであろう。

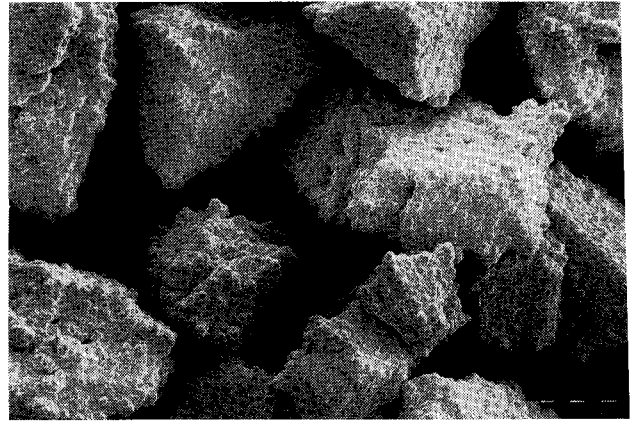


図9 レジノイドボンド用砥粒でニッケルを被覆してあるRVG-W

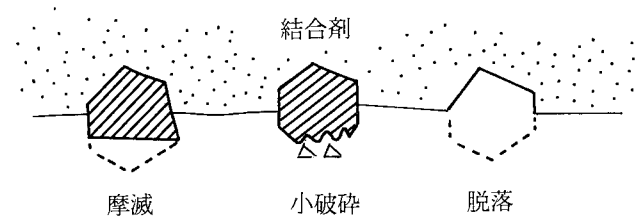


図10 ダイヤモンド砥粒の摩耗形態

## 2. 結合剤の種類

JIS B 4131では、結合剤を表2に示すように、4種類に分類している。レジンボンド（またはレジノイドボンド）は記号B、メタルボンドはM、ビトリファイドボンドはV、電着によるものはPである。

実際の結合剤には、いろいろな役割を持った添加剤が加えられている。例えば、強度、耐摩耗性を向上させるためのSiC粒子、熱伝導性をよくするためのCu粉末、固体潤滑剤としてのグラファイトや二硫化モリブデンなどである。

したがって、JISの分類は、ダイヤモンドを結合させる役割となるものを意味している。Mは金属であり、Bは樹脂であり、Vはガラス質ということである。

弾性率でこれらの結合剤を比較すると、図11のように、およそ $M > V > B$ の順になる。厳密には、結合剤に添加されている成分によって異なるが、一つの目安として考えてよい。

総形研削のように、砥石の消耗を嫌う場合や加工物の形状精度を向上させることを目的とする場合は、弾性率の大きいメタルボンドを選択する。一方、加工物表面あらしを向上させる場合には、弾性率の小さいレジノイドを選択する。ビトリファイドボンドはそれらの中間の性質を示す。

現在では、総形研削を除いて、レジノイドボンドで、破碎性のよい、すなわち切れ味のよいダイヤモンド砥石が、ファインセラミックスの研削に最も多く使われている。

### (1) メタルボンド

メタルボンドとして、ブロンズ系、スチール系、鋳鉄系、W系、WC系がある。最も多く使われているのは、銅と錫の合金であるブロンズ系である。ブロンズ系は錫の含有量が増加するにつれて、硬度と弾性率が増加し、脆性的な性質を示すように

表2 結合剤及び製法による種類  
(JIS B 4131)

結合剤および製法による種類	記号
レジンボンド	B
メタルボンド	M
ビトリファイドボンド	V
電着法	P



図11 結合剤の弾性率

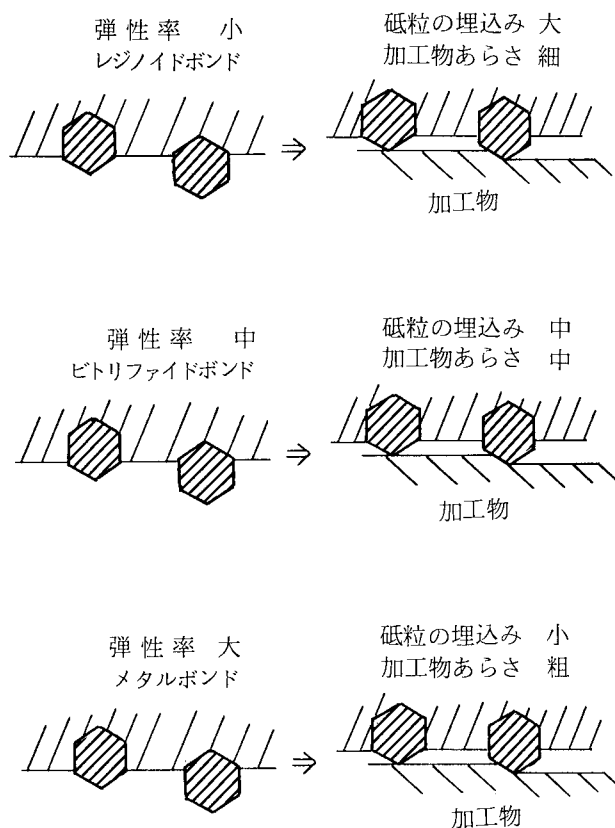


図12 結合剤の差異と砥粒の挙動の考え方

なる。高錫比のボンドはクラッシング成形が可能なので、総形研削に用いられる（図13）。

重研削や、耐摩耗性を重視する場合には鑄鉄系、スチール系、W系、WC系が使われる。

### (2) レジノイドボンド

レジノイドボンドには、フェノール系の熱硬化性樹脂を用いている。充填剤によって、いろいろな硬度にすることができる。焼成温度は170°C前後である。

研削過程において、研削温度が上昇するとダイヤモンド砥粒を経て結合剤に熱が伝わる。温度が上昇し過ぎると、砥粒と接触している部分のレジノイドが炭化し、砥粒が脱落するようになる。また、レジノイドはダイヤモンドとの接着性がよくない。それを防ぐために、レジノイド用ダイヤモンド砥粒に金属被覆を施したり、熱伝導性をよくするために金属粉末を結合剤に充填したりする。

### (3) ビトリファイドボンド

ダイヤモンドは約800°Cで酸化、黒鉛化を開始する。そのため、一般の研削砥石と異なって、低融点の結合剤で、不活性ガス中で焼成される。

大きく分けて、多気孔形、微少気孔形、無気孔形に分類できる（図14）。

多気孔形は、ツルニング性が特によい。気孔を多く含んでいるので、ツルニングだけで研削可能である。

微少気孔形、無気孔形には、固体潤滑剤などの添加剤が多く含まれる。そのため、これらの添加剤の効果が発揮されるという特長を持つ。

### (4) 電着ボンド

電着法は、台金の上に一層のダイヤモンド砥粒を電気メッキによって固着させる方法である。台金の形状から任意の形状の砥石を得ることができるという特長を持つ。また、チップポケットが大きいので切れ味が非常によい。しかしながら、一層しか砥粒が無いので、研削中にツルニングやドレッシングをすることができないという欠点を持つ。したがって砥石の寿命も短い（図15）。

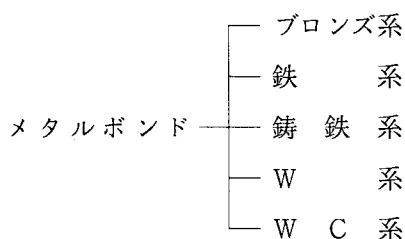


図13 メタルボンドの種類

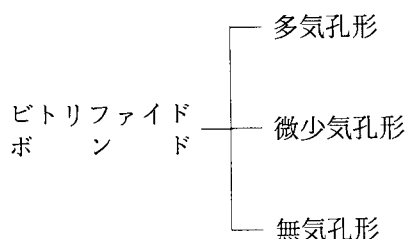


図14 ビトリファイドの種類

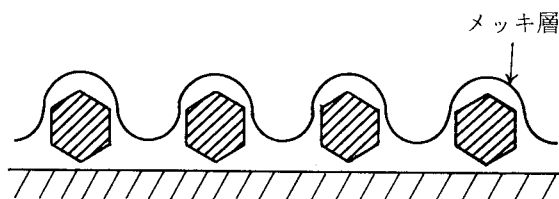


図15 電着砥石

### 3. 結 合 度

JIS B 4131では、結合度を「と粒がと粒層中に保持される保持力の大小を示すもの。」と規定している。表し方は図 16 に示す。……H, J, L は相対的に軟らかく、Nは中央値、P, R, T…

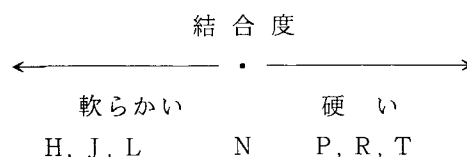


図 16 結合度の表示方法

になるに従って相対的に硬くなる。JISでは結合度の試験方法まで定めていないので、記号は同じでも、メーカーによって結合度の程度は異なる。したがって、メーカー間の互換性はない。

### 4. 粒 度

JIS B 4131において、ダイヤモンドの粗粒についてはJIS B 4130で規定し、微粉の場合はJIS B 6001で規定するとしている。JIS B 4130の「ダイヤモンド及び立方晶窒化ほう素と粒の粒度」の場合には、表3のような規定になる。また、JIS B 4130の規定から、砥粒径は表4のようになる。

表3および表4はISO 6106に対応させているため、一般研削砥石の粒度表示と異なっている。したがって、一般研削砥石のように“番”呼称をしない。表3の備考にあるように、325/400の粒度については、「325, 400」と番号だけを読む。

ただし、習慣的に、325/400のような表示では小さい方の数字（ふるいの目の大きい方）を取って、「325番」という場合もある。

表 3 粒度の種類 (JIS B 4130)

16/18	18/20	20/30	30/40
40/50	50/60	60/80	80/100
100/120	120/140	140/170	170/200
200/230	230/270	270/325	325/400

備考 粒度の呼び方は、数字だけを読む。  
たとえば、16/18は16, 18と、  
325/400は、325, 400と呼ぶ。

表 4 砥 粒 径 (μm)

粒 度	砥 粒 径
16 / 18	1000 ~ 1180
18 / 20	850 ~ 1000
20 / 30	600 ~ 850
30 / 40	425 ~ 600
40 / 50	302 ~ 455
50 / 60	255 ~ 322
60 / 80	181 ~ 271
80 / 100	151 ~ 197
100 / 120	127 ~ 165
120 / 140	107 ~ 139
140 / 170	90 ~ 116
170 / 200	75 ~ 97
200 / 230	65 ~ 85
230 / 270	57 ~ 75
270 / 325	49 ~ 65
325 / 400	41 ~ 57



## 5. コンセントレーション

集中度と呼ぶ場合もあるが、JISではコンセントレーションと呼称するようにしている。コンセントレーションとは、JISによると「と粒層の単位体積中に含まれると粒の質量を示すもの。1 cm<sup>3</sup>中に880mg(4.4 ct)含まれる場合を、100として示す。」となっている。ダイヤモンドの密度は3.52 g/cm<sup>3</sup>である。1ct(カラット)は0.2 gである。そこで、コンセントレーション100について、体積比を計算してみることにする。

$$(\text{体積比}) = \frac{(\text{カラット}) \times 0.2}{(\text{密度})}$$

であるから、コンセントレーション100では

$$\begin{aligned} (\text{体積比}) &= \frac{4.4 \times 0.2}{3.52} \\ &= \frac{0.88}{3.52} \\ &= 0.25 \end{aligned}$$

となり、体積比率で25%であることが分かる。

これらの関係を示すと表5のようになる。

ここで、コンセントレーションと砥粒の分布状態について考察してみることにする。仮に、砥粒を直径1cmの球とし、この球が一辺の長さが1cmの立方体にちょうど収まっているものとする。球の体積は、次の式で求まる。

$$\begin{aligned} (\text{球の体積}) &= \frac{4}{3} \pi (\text{球の半径})^3 \\ &= \frac{4}{3} \times \pi \times 0.5^3 \\ &= 0.52 \end{aligned}$$

したがって、球の体積は0.52 cm<sup>3</sup>となる。立方体の体積は1 cm<sup>3</sup>であるので、このような場合の体積比率は52%ということになる。表5から、このような充填方式では、コンセントレーションはおおよそ200ということになる。最も多く採用されるコンセントレーションは75、または100である。

表5 コンセントレーション

コンセントレーション	カラット数 (ct/cm <sup>3</sup> )	体積比率 (%)
25	1.1	6.25
50	2.2	12.50
75	3.3	18.75
100	4.4	25.00
125	5.5	31.25
150	6.6	37.50
175	7.7	43.75
200	8.8	50.00

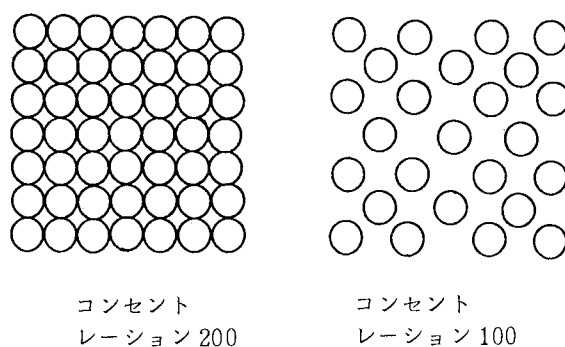


図17 コンセントレーションと砥石表面上のダイヤモンド砥粒の分布

そこで、コンセンレーション100と200について、砥粒の分布状態を比較すると図17のようになる。図から分かるように、コンセンレーション100とは、ダイヤモンド砥粒を1個置きに並べたような分布状態ということになる。砥粒と砥粒の空間が切り屑のはけ口となって、切削作用が営まれる。

実際には、ツルーイング、ドレッシングまたは研削時に砥粒は脱落するので、砥石表面上の砥粒の数はもっと少なくなる。

## 6. ダイヤモンド砥石の表示方法

ダイヤモンド砥石の製品の呼び方は JIS B 4131 に規定している。各種の形状があるので(図18)、砥石を注文するときは、JISを参照するか砥石メーカーのカタログに基づいて発注する。

参考例として、一般砥石である平形砥石に対応する形状の呼称方法と寸法を図19および図20に示す(ただし、JISではダイヤモンド砥石を“平形砥石”のように呼称しないで“1A1”としている)。

また、一般的に“砥石”という名称が使われているが、JISでは、“ホイール”と呼んで、以下のように定義している。

「主として金属製合金の周辺に、薄いと粒層を持つ構造のといし車。JIS R 6210(ビトリファイド研削といし)、JIS R 6212(レジノイド研削といし)などのと粒だけを結合した構造の研削といしと区別して、ホイールと呼ぶ。」

ただし、本書では“ホイール”という名称があまり普及していないので、“砥石”と呼称することにした。

表示	基本形状 1	表示	基本形状 6
1A1		6A2	
1A1R		6A9	
1A1RSS		表示	基本形状 9
1A8		9A3	
1EE1		表示	基本形状 11
1E9		11A2	
1F1		11V9	
1FF1		表示	基本形状 12
1FF6Y		12A2	
1V1		12V4	
表示	基本形状 3	表示	基本形状 14
3A1		14A1	
3V1		14V1	

図18 ダイヤモンド砥石の形状

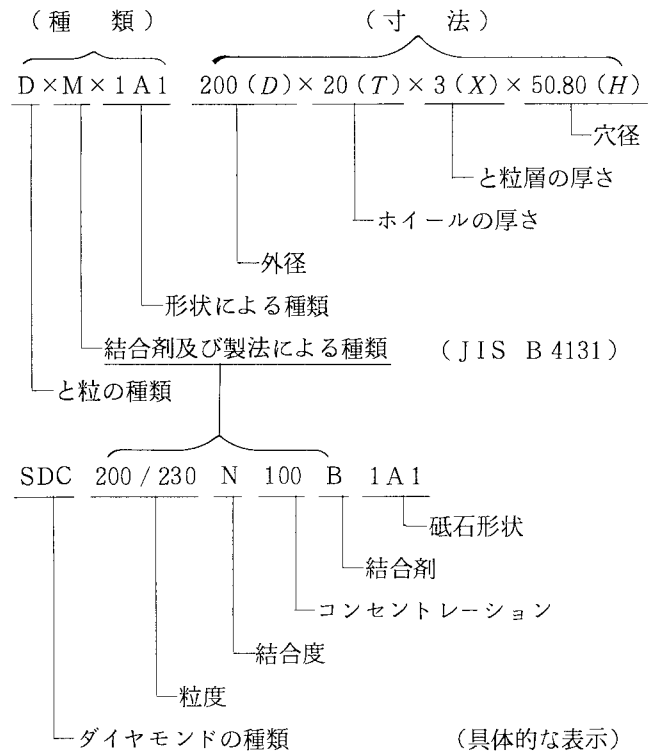
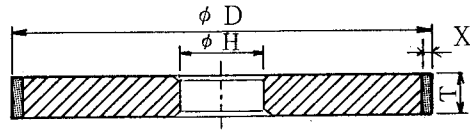


図19 ダイヤモンド砥石の表示法



単位：mm

外径 D	ホイールの厚さ T	と粒層の厚さ X <sup>(1)</sup>	穴 径 H <sup>(2)</sup>
20	4, 6, 8, 10, 12	2, 4	4. 77, 6. 35, …… , 10. 00
25			4. 77, 6. 35, …… , 25. 40
40			
50			
75	3, 4, 5, 6, 10, 12		6. 35, 9. 53, …… , 50. 80
100			9. 53, 10. 00, …… , 50. 80
125	3, 4, 5, 6, 10, 12, 15	3, 5, 6	9. 53, 10. 00, …… , 63. 50
150	3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20		12. 70, 15. 00, …… , 76. 20
175	6, 10, 12, 15, 20		25. 40, 30. 00, …… , 101. 60
200			31. 75, 32. 00, …… , 127. 00
250	6, 10, 12, 15, 20, 40, 60	3, 6, 10	50. 80, 63. 50, …… , 203. 20
300	10, 12, 15, 20, 40, 60		
350	12, 15, 20, 40, 60, 100		76. 20, 100. 60, …… , 254. 00
400			76. 20, 100. 60, …… , 304. 80
450			
500			127. 00, 152. 40, …… , 406. 40
600	15, 20, 40, 60, 100		203. 30, 228. 60, …… , 508. 00
750			

注<sup>(1)</sup> 電着の場合は、と粒層の厚さ(X)は、と粒の粒径による

(<sup>(2)</sup> 穴径(H)の寸法は、ホイールの穴径の寸法を使用する。

- 備考
1. 外径(D)の許容差は、JIS B 0405 (削り加工寸法の普通許容差)に規定する粗級とする。
  2. ホイールの厚さ(T)、と粒層の厚さ(X)の許容差は、JIS B 0405に規定する中級とする。
  3. 穴径(H)の許容差は、JIS B 0401 (寸法公差及びはめあい)に規定するH7とする。

図 20 1A1形状の砥石の寸法 (JIS B 4131)

## 7. 研削油剤

研削砥石の周速は、旋削やフライス加工における切削速度に比べて、数10倍と速いことから研削によって生ずる熱量は相当大きく、研削温度もかなり高いことが予想される。

また実作業においても、われわれはしばしば経験するように、工作物に手を触れることができないほど高温になっていることや、工作物表面が変色し研削焼けを起している現象から、研削温度が相当高くなっていることは確かである。

研削作業では、これらの現象をできるだけおさえ、高能率で高精度に精密研削加工ができるために、次の3つの使用目的を期待して研削液が使われている。

### (1) 研削油剤の使用目的

#### ① 冷却性

研削作業によって生ずる研削熱の工作物への流入を抑制・防止し、研削焼け、研削割れおよび研削熱による狂いを防ぐ。

#### ② 潤滑性

砥粒と工作物間に働く摩擦力を少なくし、研削熱の発生を抑制し、砥粒の摩耗を小さくする。そのため研削焼けや研削割れの発生を防ぎ、寸法および形状精度の低下を防止することになる。

#### ③ 洗滌性

砥粒に付着する研削クズを洗い流し、目づまりを抑制する。その結果、研削能率の向上をもたらす。

以上のような点があるが、さらに使い易さという点で次のことが望まれる。

- ・長時間の使用に対して、腐敗・変質しにくく安定であること。
- ・異臭がなく、皮膚を荒さないこと。
- ・加工物にさびが生じないこと。
- ・泡立ちが少ないこと。
- ・塗料、電動機などに害を及ぼさないこと。

などをあげることができる。洗滌性が良ければ塗装をはがし、電動機の絶縁抵抗を低下させるなど相反することもある。

したがって、加工目的のいずれに重点をおくかによって適切に選択をしなければならない。

### (2) 研削油剤の種類

JIS K 2241 に切削油剤を規定している。範囲は、金属の切削および研削加工において使用する油剤とされている。

不水溶性および水溶性切削油剤の二種があり、不水溶性は水溶性のものに比べ、潤滑性がすぐれているため、砥粒の摩耗が少ない点に特徴がある。とくに極圧添加剤として、塩素、硫黄およびリンの化合物が用いられると、これらの化合物は鉄の表面と反応し膜を構成して摩擦を軽減する。したがって、精度の必要な歯車の研削やねじの研削には主として不水溶性のものが使用される。

このように、精密を要する研削作業の場合以外は、あまり用いられず、その大部分は水溶性のものである。そのため研削液という場合は、水に希釈して使う水溶性切削油剤をさす。この切削油剤は熱伝導率もよく、蒸発潜熱も大きいため、最も冷却性に富む。ところが、不水溶性切削油剤に比べて潤滑性が劣り、また、さびを発生するので、さび止め剤との併用を必要とする（表6）。

表6 研削油剤の分類

名 称	区 分	小区分	内 容
不水溶性切削油剤 (水に希釈せずに使用する切削油剤)	1 種	1～6号	鉱油と動植物油, または鉱油とエステル油からなるもの
	2 種	1～6号 11～17号	鉱油と動植物油, または鉱油とエステル油からなり, 塩素, 硫黄系およびその他の極圧添加剤を含むもの。 銅板腐食試験 100℃ において, 2以下を示すものを1～6号, 3以上を示すものを11～17号に細分される。
水溶性切削油剤 (水に希釈して使用する切削油剤)	W 1 種	1～3号	鉱油および界面活性剤を主成分とし, 水に加えて希釈すると白濁するもの。 (エマルジョン形水溶性研削油剤)
	W 2 種	1～3号	界面活性剤を主成分とし, 水に加えて希釈すると透明または半透明になるもの。 (ソリュブル形水溶性研削油剤)

## 8. ダイヤモンド砥石のバランス

研削盤では、砥石のバランスを正確にとることは、よい研削面を得るためにとくに必要なことである。砥石のバランスが悪ければ、研削面が悪くなり、いわゆる、ビレを生じ、とくに大きければ砥石軸の軸受寿命も短くなる。

これらのアンバランスを生む原因として、次のものがあげられる。

- 砥石のアンバランス
- 砥石軸のアンバランス
- 砥石フランジのアンバランス
- 砥石とフランジとの取付けによるアンバランス

また、バランスをとる時の注意として、次のようなことがあげられる。

- バランサーを置く場所は、定盤などのしっかりした台の上に置き、また、風の当たらないところでなければならない。
- 研削液をかけて使用した後では、数分間乾式で運転し、砥石の水分を振り切った後で調整しなければならない。
- バランサーは感度がよいことが必要なので、平常使用時の感度をチェックして、悪くなったら修理することが大切である。

以下、そのバランスをとる方法として、静的法と動的法について述べる。

### (1) 静的法

一般に新しい砥石を装着した場合、または使用中の砥石をフランジからはずした時に、機械外でバランスをとる方法である。これらのバランサーには、コロガリ式、天秤式の二種類がある。

#### ① コロガリ式バランサー

平行の丸棒を設けたものやナイフエッジ式のものがあるが、これらは感度がよく、しかも単純で使いやすい。

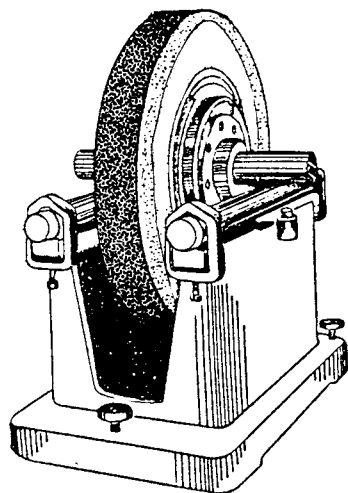


図 21 平行丸棒の砥石バランサー

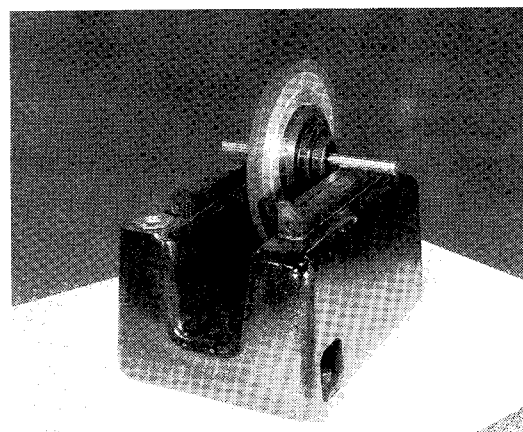


図 22 ナイフエッジ式

## ② 天秤式バランスー

アンバランスの大きさは、天秤アームの振れの大きさ、すなわち、矢視された目盛量の大きさに表現されるので、作業者は、それに従って調整して行くことによってアンバランスを簡単にとることができる方法である。

天秤式、コロガリ式ともに基本的原理は同じなので、一つの方法を理解してしまえば、あとは容易に応用できる。



図23 天秤式

## (2) 動的 法

砥石を機械に取付けた状態で、砥石軸系全体のバランスも同時にとることができる方法である。

この装置は、原理図のように振動ピックアップを研削盤砥石軸上に取付ける。そして、砥石軸系アンバランスの遠心力に基づく振動の振幅を、振動ピックアップによって検出し、バランスピースの取付け位置を、マイコンの計算結果としてディスプレイに表示する。

表示された取付け位置に2個のバランスピースを付けることによって、振動振幅 $0.01\mu\text{m}$ の単位までの修正を容易に、しかも短時間にとることができる(図24, 図25)。

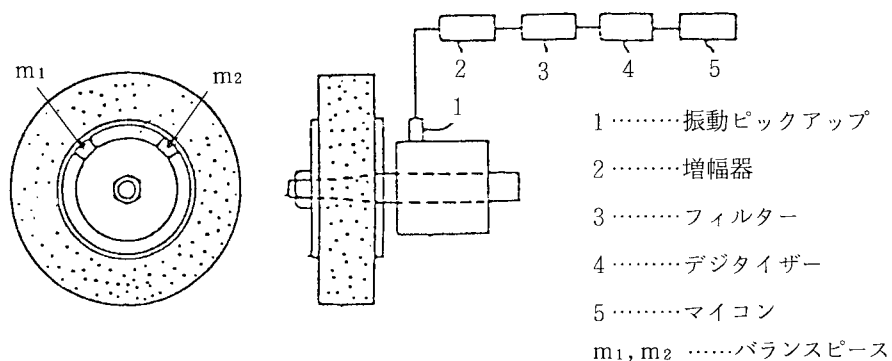


図24 バランサー原理図



図25 振動ピックアップとマイコン本体ディスプレイ表示装置

## 9. ダイヤモンド砥石のツルーイングとドレッシング

ダイヤモンドなどを使った超砥粒砥石は耐摩耗性に非常に優れているが、今だによく使いこなせていない。その理由として、最も硬い物質であるために、ツルーイングとドレッシングを良好に行うことが困難なことが挙げられる。

したがって、適切なダイヤモンド砥石を選択したならば、次に問題になるのは、いかに適切にツルーイングとドレッシングを行うかが重要なポイントになる。

一般砥石では単石ダイヤモンドドレッサによって、ツルーイングとドレッシングを同時に行うことができるが、ダイヤモンド砥石では、ツルーイングとドレッシングの作業を分けて行う。

また、ダイヤモンド砥石では、ツルーイングとドレッシングが困難なことから、ツルーイングの時に付けた最初の砥石フランジは外さない方がよい。したがって、一つのダイヤモンド砥石に対して、一つの専用フランジが必要になる。

### (1) ツルーイング

“形直し”ともいわれている。砥石を研削盤の主軸に取り付けたときに、砥石を振れないように砥石作業面形状を整えることをいう。ツルーイングによって、砥石回転中心と砥石外周の中心が一致するようになる。また、綫形研削用の砥石では、目的とする砥石断面形状に整形することをいう。

砥石内径の公差はH 7であり、フランジの外径の公差はh 7である。50~80mmの径では、H 7は0~30 $\mu\text{m}$ 、h 7は-30~0 $\mu\text{m}$ の公差である。

これらの公差からいえば、最初に砥石をフランジに取付けた状態では、砥石の振れは最大で60 $\mu\text{m}$ 生じることがあり得る。実際には、砥石メーカーでもう少し厳しい公差で砥石を製造しているが、この振れを取る作業がツルーイングである。

しかしながら、ツルーイングはただ単に、砥石の振れを取ればよいというものではない。ドレッシングの一つ前の工程であるため、ツルーイングで砥粒を脱落させたり、極端に目つぶれさせると、ドレッシングをしても良好に研削が行われないことになる。そのため、ツルーイングの段階で、多少時間がかかっても、ある程度、砥粒を突出させるようにした方がよい(図26)。

ツルーイングで最も多く使われているのは、GC砥石とC砥石である。ツルーイング砥石の粒度

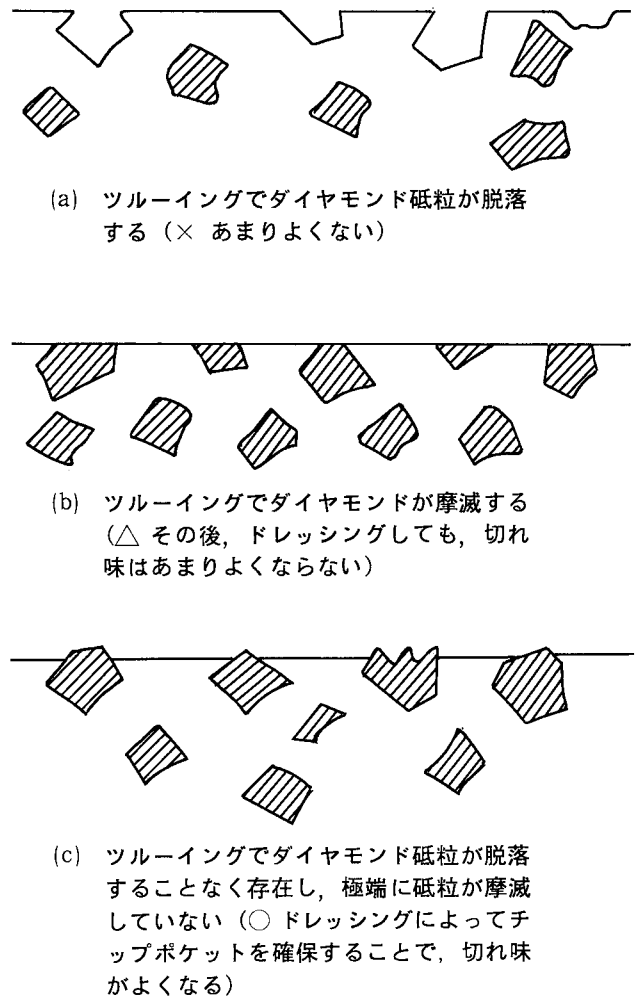


図26 ツルーイングによって生じる砥石表面



と結合度の選択は、短時間で行おうとする場合と図 26 (c)のようにしようとする場合とでは異なる。

ダイヤモンド砥石の粒度に比べて大きい砥粒径のツルージング砥石を選択した場合には、効率はよいが、図 26 (a)のような傾向になり、ダイヤモンド砥粒が脱落しやすくなる。そのため、ツルージング砥石の選択の基準は、ダイヤモンド砥石と同程度の粒度かそれ以上の大きさの粒度（ダイヤモンド砥石の 2～3 倍の粒度）がよい。結合度の選択は、ダイヤモンド砥石の種類によって組合わせが異なるので、砥石表面の状態を観察しながら決定する。

実際には、砥石メーカーで勤める種類のツルージング砥石を選択することになる。

## (2) ドレッシング

“目立て”、“目直し”ともいわれている。ツルージングしただけでは、切り屑の廃出空間がないので研削することができない。そのため、ダイヤモンド砥粒を突出させて、チップポケットを確保することが必要になる。その作業をドレッシングという。すなわち、結合剤の部分だけを除去して、切り屑を廃出できるようにすることを意味する（図 27）。

一般的に、砥粒の突出し高さは、平均砥粒径の  $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$  とされている。砥粒の突出しが少ないと研削を良好に行うことができないし、多すぎると研削時に砥粒が脱落するようになる。

ドレッシングに最も多く使われているのは WA 砥石である。最適な砥粒突出し高さを得るためには、ドレッシング砥石の粒度をダイヤモンド砥石の 2 倍前後を基準として選択するとよい。結合度については、ドレッシング時にダイヤモンドが脱落することもあるので、軟らかめの結合度が推奨される。

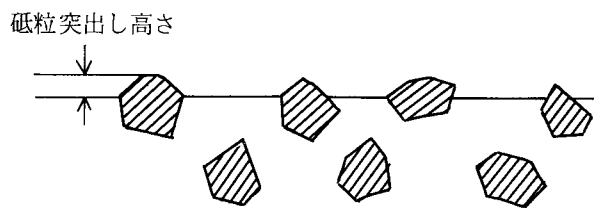


図 27 ドレッシングによって砥粒を突出させる。  
砥粒の突出し高さは平均砥粒径の  $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$

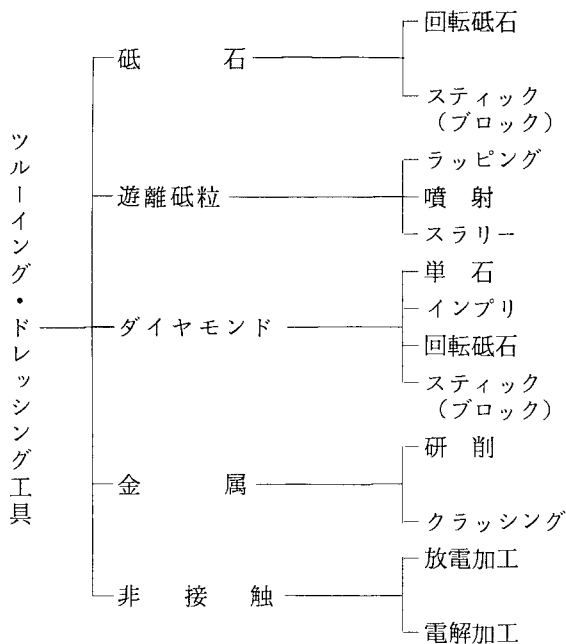


図 28 ツルージングとドレッシングで使われる工具

### (3) ツルージングとドレッシングで使われる工具

ツルージングとドレッシングで使われる工具を示すと図 28 のようになる。

一般砥石で最も多く使われているドレッシング工具は、ダイヤモンドであるが、ダイヤモンド工具でダイヤモンド砥石をツルージング・ドレッシングすることはあまり行われていない。硬いもの同士をぶつけあうと、極端に図 26 (a)や(b)のようになつたり、びびりが生じたりする。ただし、最も破碎性のよいRVG 880 のようなダイヤモンド砥粒を使った砥石の場合には、ダイヤモンド工具でツルージング、ドレッシングをすることがある。

図 28 は、ツルージングを目的とする場合と、ドレッシングを目的とする場合でその方法および材質が使い分けされる。例えば、WAかGCのような選択が行われる。

また、総形研削砥石の場合には、目的とする砥石形状に正確にすることが一義的に要求されるので、ツルージング方法としては、ダイヤモンドによる方法、クラッシングによる方法、非接触による方法などに限定される。

### (4) ツルージング・ドレッシング装置

ツルージング・ドレッシング装置として、現場で行われている代表的な方法について説明する。

#### ① ブレーキ制御式

この方式は、図 29 に示すような小径SiC砥石を取付けたブレーキ制御式ツルージング装置によって、ダイヤモンド砥石のツルージングを行う方式である。

平面研削盤テーブルチャック面上に、ツルージング装置を取付け、回転中のダイヤモンド砥石にSiC砥石を接触させる。そして一定の切込みを送りながら、所定の速度でSiC砥石を送り込む。

ダイヤモンド砥石にSiC砥石が接触すると、ダイヤモンド砥石の回転力に倣って連れ回りを始めるが、ツルージング装置のブレーキによってSiC砥石は、ダイヤモンド砥石に対し、一定の速度比を保って回転する。

このわずかな速度差によって、ダイヤモンド砥石は削られる。

この方法は、ダイヤモンド砥石を研削盤に取り付けた状態で、しかも比較的手軽にツルージングができるため、よく用いられる(図 29)。

また、ツルージング砥石の種類は、ダイヤモンド砥石の粒度に対応して、表 7 のように、砥石メーカーによって推奨されている。

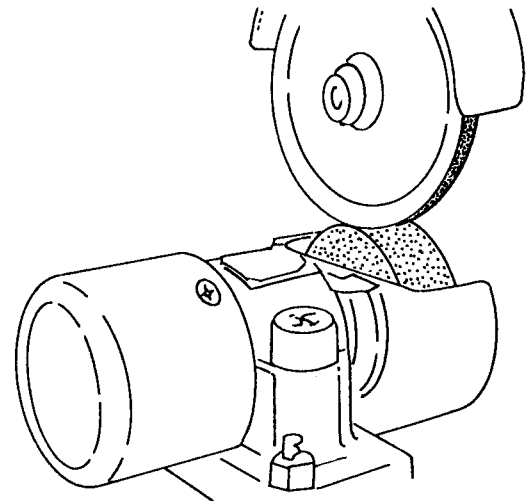


図 29 ブレーキ制御式ツルージング装置

表 7 ツルージング用砥石の選択標準(辻郷)

ダイヤモンド砥石粒度	ツルージング砥石仕様
230 より粗	C 60 M
230~800	C 80 H
800 より細	C 280 G

## ② 軟鋼研削法

ダイヤモンドは約650°Cから酸化が始まり、約800°Cになると、完全に酸化摩耗を生じる。そのためダイヤモンド砥石で鋼を研削すると、砥石摩耗が著しく増大する。したがって、ダイヤモンド砥石は、通常、鋼の研削には適用されない。軟鋼研削法は、鋼を研削することによって砥石摩耗が著しいという特性を逆に利用して、ダイヤモンド砥石のツルueイングを行う方法である。

平面研削盤のテーブルチャック面上に軟鋼加工物を取付け、わずかな切込みを与えながら湿式研削を行う。ダイヤモンド砥石に振れがある場合は、加工物面上に、テーブル送りによるピッチでうねりを生じ、またダイヤモンド砥石に振れがなくなると、研削面のうねりは消失する。

このように切込みを順次与えながら、うねりがなくなるまで研削を続ける。うねりが完全に消えれば、ツルueイングは完了したことになる。

この方法は、ツルueイングに時間がかかるが実用的であるといえる。

また、ツルueイングとともにドレッシング効果も期待できるというメリットもある。

## ③ ロータリドレッサ

ブレイキドレッサは、ダイヤモンド砥石によるつれ回りを利用した方式であるが、ロータリドレッサは、電動機などの動力源をドレッサに内蔵している方式である。ダイヤモンド砥石とドレッシング砥石を回転させ、お互いに研削し合せて、ツルueイング、またはドレッシングを行う装置である。ブレイキドレッサと異なると、最適な回転数に調整できる利点があるが、装置が大きくなったり、重くなったりする欠点がある。また価格も高くなる。

ロータリドレッサは、ドレッシング砥石の外周や内周を使う横軸形とドレッシング砥石の側面を使う縦軸形に分類できる。

横軸形は構造が比較的簡単で、防水処理が行いやすい利点を持つが、ドレッシング砥石が消耗すると周速度が変化するという問題点がある(図31)。

最近になって特に注目されているのが縦軸形のロータリドレッサである。平面研削では、装置の防水処理や研削液の飛散に対して特別に対策を講じる必要があるが、他の方法に比べて、ツルueイングとドレッシングを特に効果的に行うことができるという特徴をもつ(図32)。

ロータリドレッサ — 横軸形  
— 縦軸形

図30 ロータリドレッサの分類

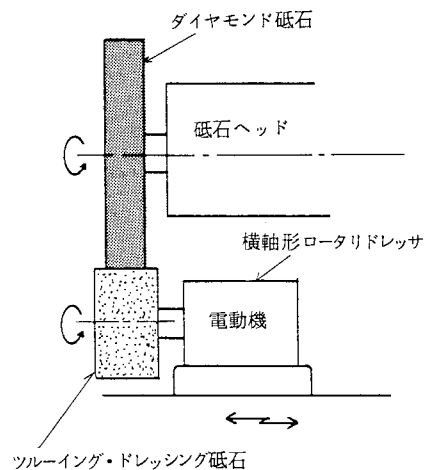
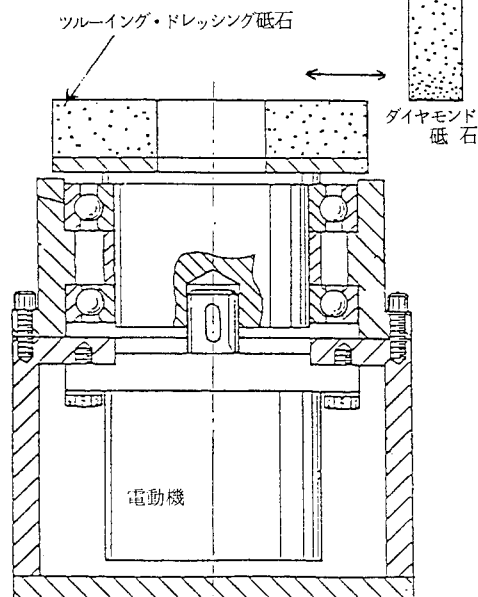


図31 横軸形ロータリドレッサ



— 18 — 図32 縦軸形ロータリドレッサ

### a. 縦軸形ロータリドレッサの利点

縦軸形にすることによって、次のような利点が生じる。

- (a) ツルージング効率は3倍以上よくなる。
- (b) ダイヤモンド砥粒の突出しがよい。
- (c) ダイヤモンド砥石の作業面は方向性が無く、結合剤の部分では平滑な面が得られる。
- (d) 横軸に比べて剛性が約2倍増大する。
- (e) 平面で接触するために接触面積が増大し、砥石面の性状を平均化させる。
- (f) ドレッシング砥石の遠心力による心振れの影響を直接受けない。
- (g) 直径の大きなドレッシング砥石を使用しても、装置の高さが高くない。
- (h) 砥石消耗による周速度の変化がない。したがって、ドレッシング条件が変化しない。
- (i) 砥石の側面を使うため、作業面積が広い。したがって、テーブル1送りにおける効率が低い。

### b. 縦軸形ロータリドレッサによる作業方法

このドレッサは、平面研削、円筒研削、カップ形ダイヤモンド砥石に適用できるが、ここでは平面研削を例にして説明する。

ロータリドレッサを図33のように配置する。ダイヤモンド砥石とドレッシング砥石の接触部の速度の方向は同じである。この方式を“ダウンドレッシング”という。そして、ドレッシング砥石の半径部分だけを前後方向にトラバースさせて、ツルージングとドレッシングを行う。

その際、ダイヤモンド砥石とドレッシング砥石の周速度が同じになるように、それぞれの回転数を調節する。これを“等速条件”または“等速ドレッシング条件”という。ドレッシング砥石の場合には半径方向の位置によって速度が異なる。どの位置で等速条件にするかは、ダイヤモンド砥石の特性（ダイヤモンド砥粒が脱落しやすいかどうか。—特に微粒になるほど脱落しやすい—）や、ツルージングを目的とするか、ドレッシングを目的とするかで異なる。

ここでは、とりあえず、ドレッシング砥石の作業面の中央部の速度が同じであるものとして説明する。ドレッシング砥石を上から見ると図34のようになる。図において、二点鎖線で示した線上が等速条件になっている。等速条件で

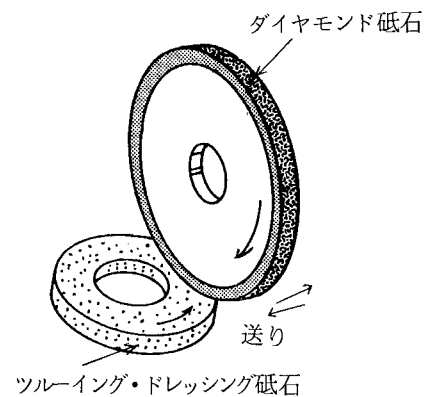


図33 縦形ロータリドレッサによる作業方法 (ダウンドレッシング)

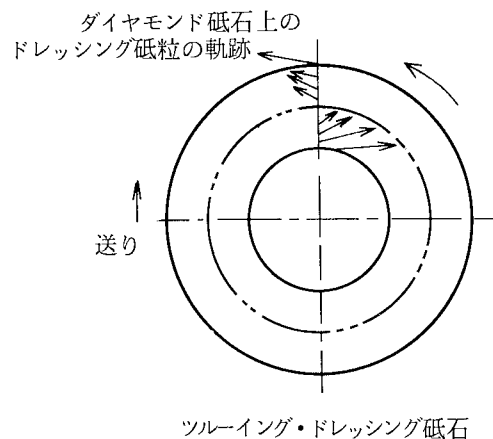
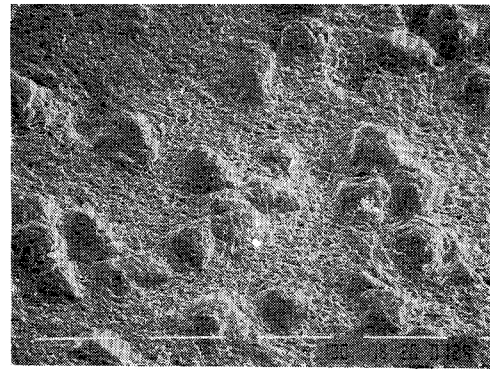


図34 ドレッシング砥石を上から見たところ (等速ドレッシング条件)

は、ただ単にダイヤモンド砥石とドレッシング砥石が押し付け合っているだけである。しかしながらそのために、この部分の作用力は他の部分に比べて5倍以上になって、効果的にツルーイングが行われる。このような作業をクラッシングという。クラッシングは等速条件の付近だけなので、極端に無理な力が作用することはない。

このような作業条件の場合、ダウンドレッシングであるが、ドレッシング砥石の外周部の速度はダイヤモンド砥石の周速度よりも速くなっている。一方、ドレッシング砥石の内周部の速度はダイヤモンド砥石の周速度より遅くなっている。そこで、ダイヤモンド砥石に対するドレッシング砥石の砥粒の切削軌跡を見ると図34にある矢印のようになる。すなわち、ドレッシング砥粒の切削軌跡は約 $180^\circ$ 反転することになる。このような作用によって、ダイヤモンド砥石の結合剤が平均的に後退し、ダイヤモンド砥粒の突出しが得られるようになる。そして、ドレッシングが効果的に行われるようになる(図35)。



SDC 140/170 N 100 B 0.1 mm

図35 縦軸形ロータリドレッサによってドレッシングしたダイヤモンド砥石

### c. ツルーイングとドレッシング

縦軸形ロータリドレッサは、ツルーイングとドレッシングを一度に実行することができる。しかしながら、ダイヤモンド砥石によっては、ダイヤモンドが脱落しやすいので、ツルーイングとドレッシング作業を分けて行った方がよい。

ツルーイングとドレッシングに使う砥石は前述のように使い分ける。等速条件をドレッシング砥石のどの部分にするかは、ツルーイングとドレッシングで異なる。ドレッシング砥石の外径に近い方を等速条件にすればクラッシング作用が強まる。逆に、ドレッシング砥石の内径に近い方を等速条件にすればクラッシング作用が弱くなる。すなわち、クラッシングに参与する作業面積は、ドレッシング砥石の内周部より外周部の方が大きいからである(図36)。したがって、ツルーイングの時はドレッシング砥石の外周部の方を等速条件にし、ドレッシングの時はドレッシング砥石の内周部の方を等速条件にする。

ダイヤモンド砥石の切込み量は、テーブル前後送り一往復で一回の切込みで、ダイヤモンド砥粒の平均径の約 $\frac{1}{10}$ を一つの基準とする。切込み量が大きすぎると無理な力が作用することになり、小さすぎるとダイヤモンド砥粒の適度な突出しが得られないことになる。また、ツルーイングでダイヤモンド砥石の縁だれが問題になる場合は、切込み量を小さくし、その代わりに切込み回数を増やすと効果的である。

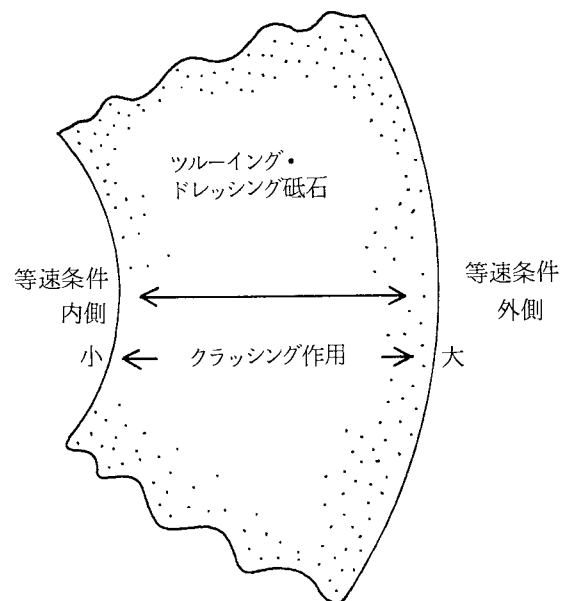


図36 等速条件の位置とクラッシング作用の強さ

(5) ドレッシング工具

① スティック法

細長いスティック砥石を手で、あるいはバイスに固定して平面研削盤のテーブルチャック面上におきそして、その砥石をダイヤモンド砥石で研削することによって、ドレッシングを行うものである(図 37)。

この場合、G C 砥石の結合度が高すぎると、ダイヤモンド砥粒が損傷を受けるので、G 程度の軟質のものを用いることが大切である。

参考のために、砥石メーカーで推奨するダイヤモンド砥石の粒度に対応したドレッシングスティックの仕様を表 8 に示す。

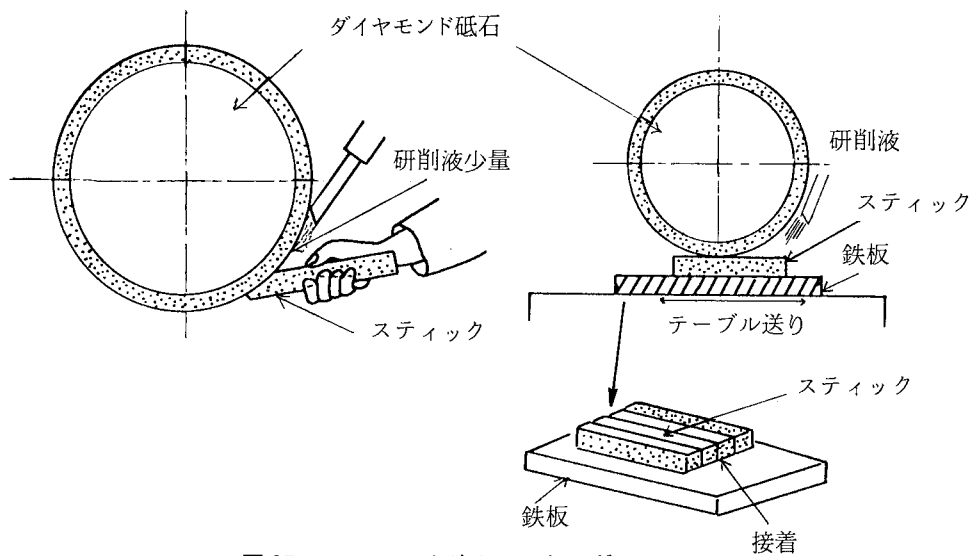


図 37 スティック法ドレッシング

② スラリー法

ダイヤモンド砥石にドレッシングロールを接近して取付け、それらが回転する砥石とロールの間に SiC 等の遊離砥粒を、研削液と共に供給してドレッシングを行う方法である。

この場合、砥粒の突出し高さは遊離砥粒の種類、砥粒および供給する量によって異なるが、最適条件を選ぶことができれば自動化が可能である (図 38)。

表 8 ドレッシングスティックの選択標準 (辻郷)

ダイヤモンド砥石粒度	ドレッシングスティック仕様
230 より粗	C 220G
230 ~ 800	C 400G
800 より細	※ C 1000WAX

※ 1000 の砥粒をワックスで固めたもの

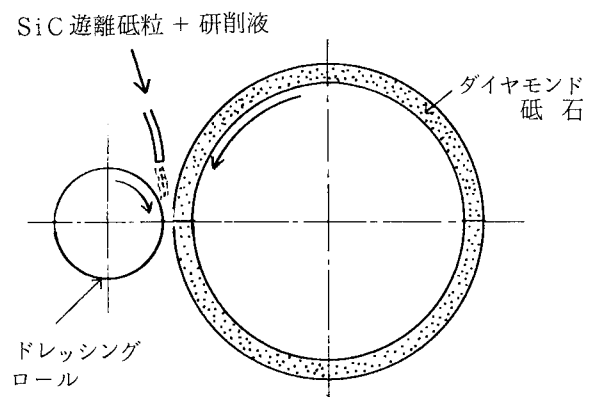


図 38 スラリー法ドレッシング