



精密切断用薄刃ダイヤモンド砥石の機械的性質*

佐藤 彰** 黒部 利次*** 広崎 憲一†

Mechanical Properties of Thin Diamond Blade for Precision Slicing

Akira Sato, Toshiji Kurobe and Kenichi Hiroasaki

Thin diamond blade is widely used for the precision slicing of electronic parts such as magnetic head. It is well known experientially that some properties of blade have a great influence on the machining characteristics of workpiece, i.e. the work damage and the blade wear. In order to understand the relation between the properties of blade and the machining characteristics, the mechanical properties of thin diamond blade are investigated in detail through the measurements of the tensile strength, the dynamic visco-elasticity and the wear resistance of bonding material. It is found from the experiments that there are notable differences in the mechanical properties of various blades.

Key words : thin diamond blade, diamond grain, bonding material, tensile strength, dynamic visco-elasticity, wear resistance

1. 緒 言

電子部品材料の精密切断・溝加工においては、薄刃ダイヤモンド砥石が一般に広く使用されている。しかし、砥石材種によって加工特性(加工損傷・砥石損耗)が著しく影響を受けることが経験的によく知られている。

電子部品製造の工程設計に際しては、工程仕様(寸法, 加工損傷の公差)並びに生産性(加工スピード, 砥石寿命)の両面から、最適の砥石を選定する必要がある。一般に、ダイヤモンド砥石の特性は、①砥粒の種類, ②砥粒径, ③ボンド材の材種, ④集中度, の4項目で決定される。このうち、ボンド材について見ると、砥石の選定基準として、結合度が表示されているが、メーカーによってその定義の仕方が異なっており、また、違う種類のボンド材の砥石を比較する場合

(例えば、メタルボンド砥石とレジンボンド砥石)、結合度はそれらの間では直接的な意味を持たなくなる。このため、砥石選定に当たっては、多数の砥石の中から試行錯誤的に最適な砥石を選定することになり、多大な労力を費やしているのが現状である。

これまでに、砥石の性質と加工性との関係について報告されたものとしては、WAビトリファイド砥石の金属研削について砥石寿命の観点から調べたもの^{1)~4)}、メタルボンド・レジンボンド・ビトリファイドボンドの各ダイヤモンド砥石についてセラミックの研削面性状の違いを調べたもの⁵⁾⁶⁾、等いくつかの研究がある。しかし、砥石の選定を合理的に行うためには、ダイヤモンド砥石の機械的性質について十分検討しておく必要がある。そしてその上で、砥石の機械的性質と加工特性との関係を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、電子部品材料の精密切断・溝加工について検討する第一歩として、薄刃ダイヤモンド砥石を取り上げ、その機械的性質を定量的に評価することに主眼を置き、実験的検討を行った。

2. 実験方法

精密切断用薄刃ダイヤモンド砥石としては、①板厚精度が良いこと(通常、板厚寸法の±1%が寸法公差

*原稿受付 平成元年8月23日。1989年度精密工学会春季大会学術講演会(平成元年3月23日)にて発表

**正会員 アルプス電気(新潟県北魚沼郡小出町小出島日渡1177)

***正会員 金沢大学工学部(金沢市小立野2-40-20)

†学生会員 金沢大学工学部

Table 1 Specification of test pieces

Bonding material	Metal bond (M) Cu, Sn Resinoid-Metal bond (MB) Polyimide, Cu, trace Sn Resinoid bond (B) Phenol, C, trace SiC
Diamond grain	For metal bonded blade (M grain) For resinoid bonded blade (B grain) Grain size 5-10 μm Concentration 100 μm

となる), ②十分なじん性を持ち割れにくいこと, の2つの条件を備えている必要がある. 一般に, ダイヤモンド砥石には, メタルボンド砥石, レジンボンド砥石, レジン・メタルボンド砥石, ビトリファイドボンド砥石, 電着砥石, の5種類の砥石がある. このうち, ビトリファイドボンド砥石は割れやすいため薄刃砥石としては使用されず, また, 電着砥石は板厚精度を高くできないため精密切断用砥石としては採用されていない.

表1に, 実験で使用した試料の材種を示す. ボンド材としては, 精密切断用薄刃ダイヤモンド砥石で一般に使用されているメタルボンド (M), レジン・メタルボンド (MB), レジンボンド (B), の3種, 砥粒としては, M用, B用の2種を取り上げた. 試料としては, 砥石6種とボンド単一材3種の計9種で実験を行った.

溝・切断加工を考えた場合, 加工現象との関連が想定される砥石の特性項目を見ると, a)砥粒の破碎性, b)砥粒/ボンド材の付着性, c)砥石の結合度, d)ボンド材の耐摩耗性, e)砥粒のbacking性, f)砥石の変形能, 等が挙げられる. 実験では, これらの項目に関して, 引張破断強度の測定 (b, cに対応), ボンド材の耐摩耗試験 (dに対応), 動的粘弾性測定 (e, fに対応), の3つの測定を行ってそれぞれを評価した.

3. 引張破断強度の測定とボンド材の耐摩耗試験

砥石の結合度, 砥粒とボンド材との付着強度を評価するために, 砥石およびボンド材の引張試験 (ひずみ速度0.08mm/s) を行った. その結果を図1に示す.

図1から, 以下のことが指摘できる.

①砥石の引張破断強度 (砥石結合度に対応) を比較すると, M砥石の値がMB, B砥石に比べて

かなり大きいことがわかる. ②M用の砥粒入り砥石とB用の砥粒入り砥石を比較すると, 後者の方が少し強度が高くなっている. ③ボンド材と砥石を比較すると, 前者に比べて後者では強度の低下が見られ, 特に, Mボンドで顕著である. このことは, ボンド単一材の強度に比べて, 砥粒/ボンド材の付着強度が低いことを意味している. また, ボンド材の材種によってボンド材強度と砥石強度の比に差があることがわかる. これは, 砥石の破断のメカニズムに違いがあることを示唆している.

砥石破断のメカニズムを考察するために, 破断面のSEM観察を行った. 図2に, その結果を示す. また, 図3に, 破断面のSEM写真から砥粒数を数えた結果

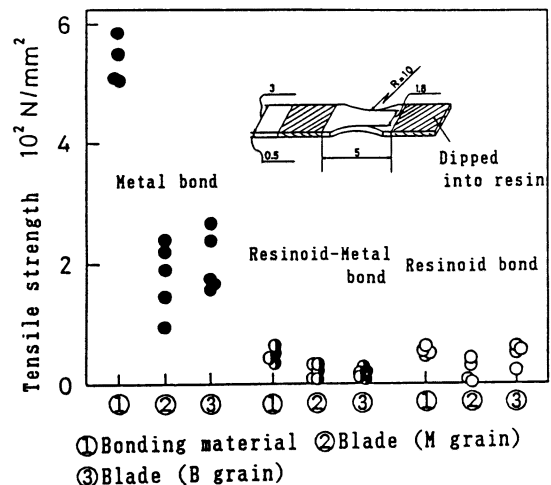


Fig.1 Tensile strength of blades and bonding materials

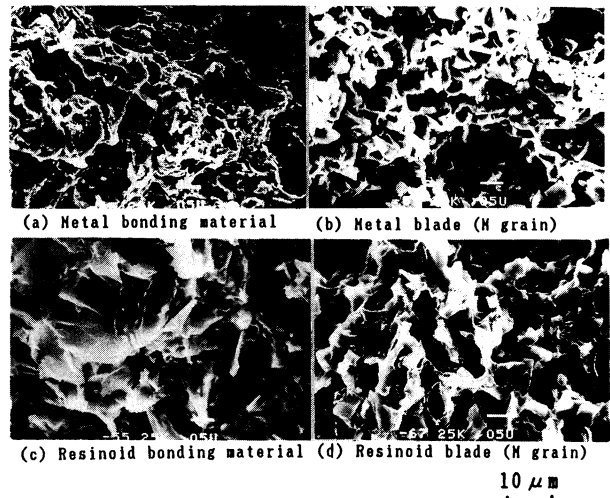


Fig.2 Fracture surfaces by tensile test

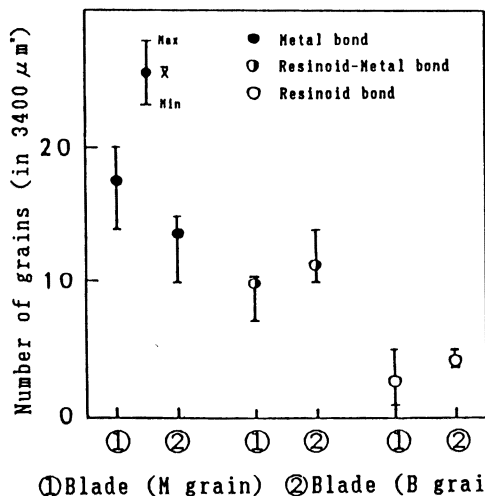


Fig.3 Number of grains on fracture surface

を示す。図2から、砥石の破断面には砥粒と砥粒の抜け落ちた跡が多数見られ、特にM砥石でその傾向が強いことがわかる。また、図3から、M、MB、Bボンドの順に砥粒数が少なくなっていることがわかる。

Mボンドでは、ボンド材強度と砥石強度の差が大きく、ボンド材強度に比べて砥粒/ボンド材の付着強度がかなり小さい。そのため、砥粒/ボンド材の界面で破断する傾向が強くなり、破断面の砥粒数が多くなったものと推察される。一方、Bボンドでは、ボンド材と砥石の強度差が小さく、ボンド材強度と砥粒/ボンド材の付着強度があまり変わらない。そのため、砥粒/ボンド材の界面で破断する割合が相対的に小さくなり、破断面の砥粒数が少なくなったものと推量される。

次に、ボンド材の耐摩耗性を調べるため、ボンド単一材を用いて摩耗試験を行った。

フェライトの溝加工を念頭におき、実際の加工に近い条件で摩耗特性を評価するために、ボンド単一材を砥石形状に作製し、それを加工機（東京精密製マイクロフォーミングマシンA-WD-2500B/C）にセットして、フェライト（Mn-Zn多結晶、HIP材。以降の実験でも同一組成のフェライトを使用）に対する耐摩耗性を調べた。評価方法の概略図を図4に示す。まず、スピンドルのZ軸を調整して、ボンド材のZ位置をフェライトと接触する位置よりも少し上方に初期合わせする。そして、その位置から所定の切込み量（10μm）だけスピンドルを下降させて実験を行う。その際、摩耗時の法線方向抵抗を圧電型研削動力計でピックアップし、また、摩耗試験前後のボンド材の半径減耗量を電気マイクロメータで測定して、ボンド材のフェライトに対

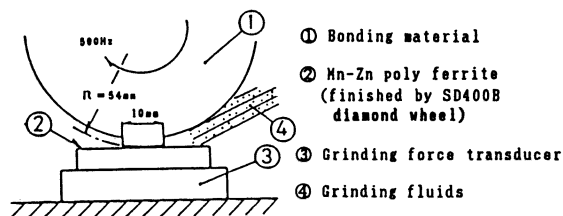


Fig.4 Schematic diagram of wear test

する耐摩耗性を、両測定結果から評価した。実験は、スピンドル回転数を500s⁻¹とし、研削液（水道水）をかけて行った。1条件で2回の実験をし、その平均値をデータとしてプロットした。

図5に、法線方向抵抗の測定結果の一例を示す。A点でボンド材とフェライトの接触が始まり、B点で設定切込み位置までスピンドルが降りている。ボンド材が摩耗するにしたがい、抵抗値は減少し、C領域で一定値になる。図5で、抵抗値に逆方向の成分が現れているのは、スピンドル/テーブル間の相対振動によるものである。これは、使用した加工機の剛性が幾分低いことが原因している。また、抵抗値が0に収束しないのは、ボンド材とフェライトの間に研削液が入り込んで流体圧力が生じるためではないかと推察される。

ボンド材の耐摩耗性を、次式のように比摩耗量Kを定義して評価する。

$$\text{比摩耗量} = \frac{\text{ボンド材半径減耗量}}{\Sigma (\text{法線方向抵抗} \times \text{回転周期})} \quad (1)$$

図6に、比摩耗量を各ボンド材について整理した結果を示す。図6から、比摩耗量の値は、M、MB、Bボンドの順に大きく、それぞれ大略1けたずつ増加している様子がわかる。

実験では、研削液流量の影響についても調べたが、流量の多い場合と少ない場合で、顕著な差が見られな

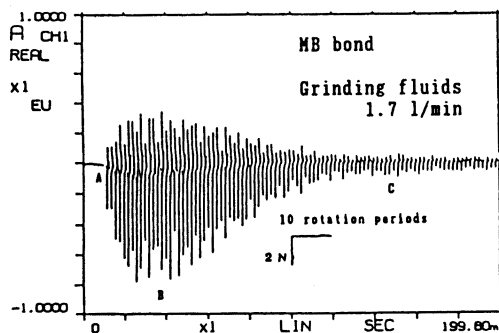


Fig.5 Typical data of normal force by grinding force transducer

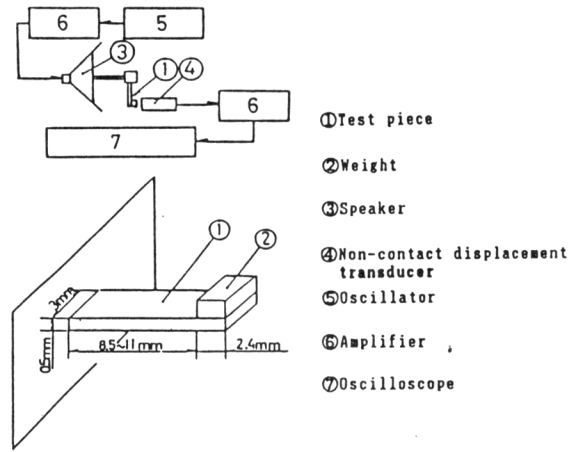
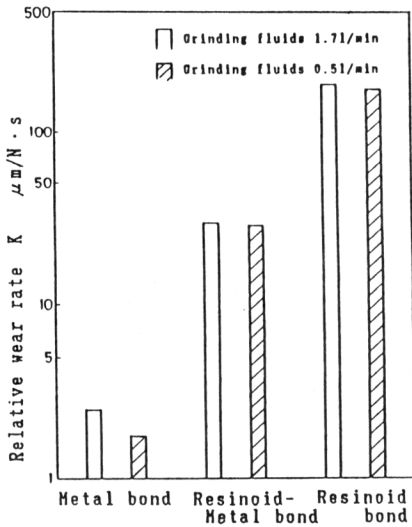


Fig.8 Schematic diagram of vibrating reed method

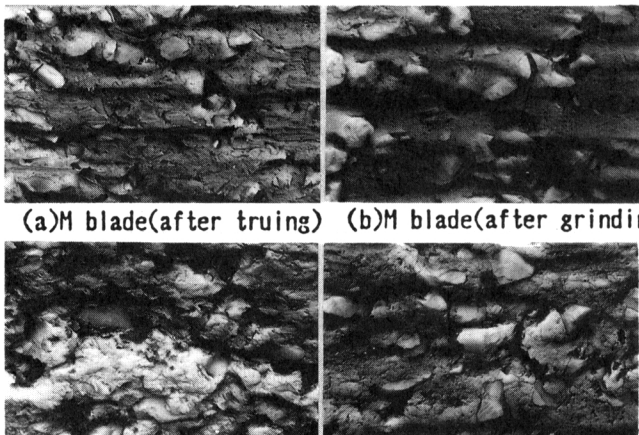
Fig.6 Relative wear rate of bonding materials

かった。これは、ボンド材とフェライトとの接触時間（摩耗が進行している時間）が0.1sオーダと短いために、発熱による昇温の効果がほとんど現れなかったためと思われる。

次に、実際にフェライトに溝加工（砥石周速84.8m/s,加工物速度0.6mm/s,加工長さ1500mm,切込み深さ0.75mm）を施し、このときの砥石外周面の様子を観察した。観察を容易にするため、ここでは粒径40-60μmの砥石（ボンド材,集中度は表1と同一。寸法φ54×t0.

6)を用い、ボンド材による違いを調べた。溝加工は、図4と同一の機械及び研削液を使用して行った。溝加工に際して、砥石にGC320ボードで実機上のツールイングを施した。砥石外周面の観察は、砥石面に高分子フィルムを押し当ててそのレプリカをとり、それをSEM観察して行った。その観察結果を図7に示す。

引張破断強度の測定とボンド材の耐摩耗試験の結果から、M砥石とB砥石を比較すると、前者は砥石の結合度が大きく砥粒の保持力が強い。一方、後者では砥石の結合度が小さく、また、ボンド材自身の強度や耐摩耗性が小さい。このことと図7の砥石面の様子は定性的に対応しており、M砥石では加工に伴う砥粒の脱落が少なく目つぶ的な砥石面性状になっている。また逆に、B砥石では加工後もツールイング直後と砥石面の様子に大きな変化はみられず、目こぼれやボンド材の摩耗が激しかったことが伺える。



(a)M blade(after truing) (b)M blade(after grinding)

(c)B blade(after truing) (d)B blade(after grinding)

50 μm Grain size 40-60 μm(M grain)
Flow rate 1.7 l/min

Fig.7 SEM micrographs of outer blade surfaces (replica method)

4. 動的粘弾性の測定

ボンド材の砥粒backing性,砥石の変形能を評価するために、振動リード試験を行い、ボンド材と砥石の動的粘弾性を測定した。

図8に、評価装置の概略図を示す。試料①の先端に重り②を取り付け、スピーカ③を通して試料に振動を与える。試料の共振特性を④の非接触変位計でピックアップし、アンプを通してオシロスコー

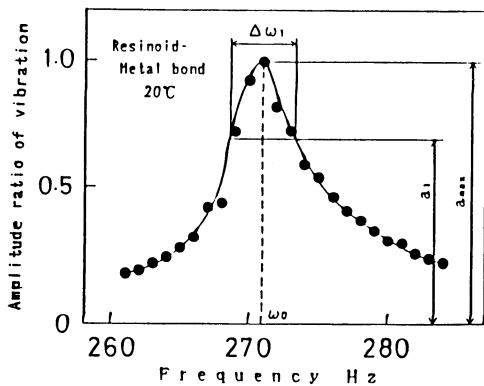


Fig.9 Typical data of resonance curve

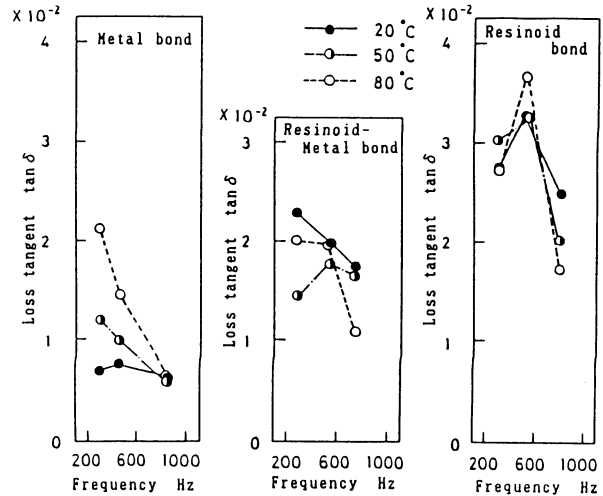


Fig.11 Loss tangent of bonding materials

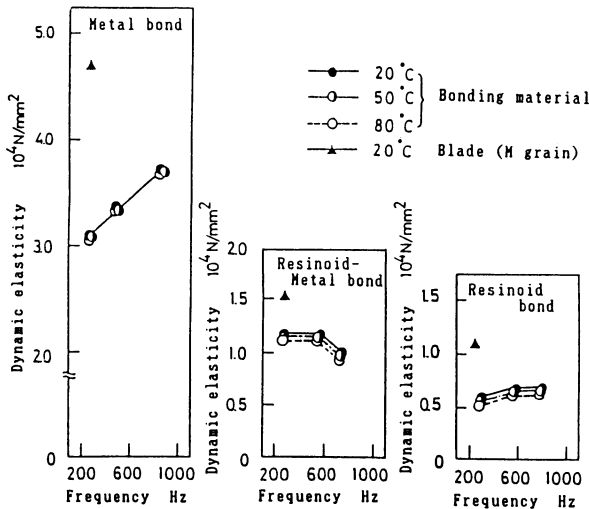


Fig.10 Dynamic elasticity of bonding materials and blades

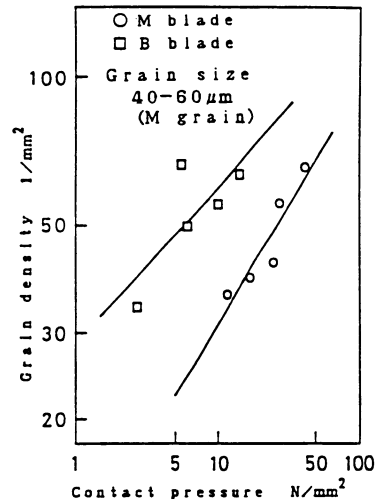


Fig.12 Relation between contact pressure and grain density

ブにて読み取る。試料の動的粘弾性係数 E および損失係数 $\tan \delta$ (試料に入力されるエネルギーに対する内部損失を示す。すなわち、 $\tan \delta$ が大きい程、内部発熱しやすい材料であることを意味する)は、一般に、温度 T と周波数 ω の関数となり、次式で表される⁷⁾。

$$E(\omega, T) = E'(\omega, T) + j E''(\omega, T) \quad (2)$$

$$\tan \delta(\omega, T) = E''(\omega, T) / E'(\omega, T) \quad (3)$$

ここで、 j は虚数単位である。

図9に共振特性の測定例を示す。横軸を周波数、縦軸を振幅の相対比(最大振幅を1としている)で目盛っている。図9のように、共振周波数を ω_0 とし、 $a_1 / a_{max} = 0.707$ となるように周波数間隔 $\Delta \omega_1$ を定義する

と、動的弾性係数 E' と損失係数 $\tan \delta$ は次式のようなになる。

$$E' = \omega_0^2 \cdot L^3 (m + 0.23M) / (0.25bh^3) \quad (4)$$

$$\tan \delta = \Delta \omega_1 / \omega_0 \quad (5)$$

ここで、 L : 試料の長さ、 b : 試料の幅、 h : 試料の厚さ、 m : 重りの重量、 M : 試料の重量。

実験では、式(4)、(5)を用いて、試料の共振特性から、動的弾性係数 E' と損失係数 $\tan \delta$ を求めた。測定に際し、評価装置を恒温ボックスに入れ、温度の設定を行い、重りの重量と長さを調整することで、共振周波数を設定した。実験結果を図10、11に示す。

図10、11から、ボンド材と砥石の動的粘弾性につい

て、次のことがわかる。

①ボンド材について比較すると、B、MB、Mの順に弾性係数が高く、剛い材料となっている。ボンド単一材と砥石を比較すると、後者の方が砥粒の入ったことにより剛くなっている。②温度特性については、実験の範囲内で、MB、Bは昇温にしたがい若干弾性係数が小さくなり、Mについては変化が見られない。③損失係数の値はM、MB、Bの順で大きくなり、また、高周波数領域に行くほど小さくなる。

次に、砥石の動的粘弾性が溝加工に与える影響を考察するために、砥石表層の作用砥粒密度について調べた。実験は、図7の溝加工の後、これに引き続いて行った。

作用砥粒密度は、加工時に実測することが簡単ではないため、モデル的に、次の方法で測定した。まず、砥石をフェライトに静的に押付ける。次に、砥石の回転を固定したまま、砥石を砥石軸の方向に少し動かし、フェライトに引っかき痕をつける。この引っかき痕の数と砥石/フェライトの接触面積から作用砥粒密度を求めた。また、このときの押付け力を圧電型研削動力計で測定した。

測定結果を図12に示す。図12から、M砥石に比べB砥石の方が作用砥粒密度が高くなるのがわかる。図7の結果から、M砥石の方が目こぼれしにくいので、砥石表面に存在する砥粒数が多い。それにもかかわらず、B砥石の方が作用砥粒密度が高くなった理由として、ボンド材の弾性係数が小さいために、フェライトに押付けられたときの砥粒の弾性後退が大きくなったことが挙げられる。すなわち、砥粒先端がそろいやすくなったことが考えられる。

作用砥粒密度が上昇すると、砥粒切れ刃1個当たりの加工物除去量が低減する。このことは、砥粒切込み深さの減少を意味するので、加工物が個々の砥粒切れ刃から受ける損傷（マイクロクラックなど）が低下することにつながる。

5. 結 言

精密切断用薄刃ダイヤモンド砥石について、特にボンド材に着目して、主としてその機械的性質を調べ、以下の結論を得た。

- (1) 砥石の結合度についてはMB、Bに比べてMがかなり大きい。また、砥石の強度はボンド単一材の強度に比べて低く、特にM砥石で顕著である。
- (2) ボンド材の耐摩耗性についてはB、MB、Mの順に、それぞれ1けたずつ高くなる。
- (3) 砥石表面の様子を観察すると、M砥石では目つぶれになるのに対し、B砥石では凹凸の大きい複雑な面性状となる。
- (4) 動的弾性係数はB、MB、Mの順に高くなる。
- (5) 作用砥粒密度は、M砥石に比べてB砥石の方が高くなる。

最後に、本研究に関して適切なご助言を頂きました富山職業訓練短期大学校長今中治先生に深謝申し上げます。また、実験に協力頂いた金沢大学大学院生滝沢俊太郎君に感謝します。さらに、実験用試料を提供して頂いた三菱金属(株)に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小川昌平, 岡本 隆: 砥石結合剤の組成が研削性能に及ぼす影響(第1報) — 結合剤の組成と研削砥石の機械的性質, 精密機械, 45,7(1979)826.
- 2) 小川昌平, 岡本 隆: 砥石結合剤の組成が研削性能に及ぼす影響(第2報) — 結合剤の組成と砥石寿命, 精密機械, 47,9(1981)1128.
- 3) 小川昌平, 岡本 隆: 砥石結合剤の組成が研削性能に及ぼす影響(第3報) — 抵抗力と砥石寿命, 精密機械, 49,9(1983)1215.
- 4) 小川昌平, 岡本 隆: 砥石結合剤の組成が研削性能に及ぼす影響(第4報) — 砥石作業面性状と砥石寿命, 精密工学会誌, 52,3(1986)553.
- 5) 渡邊政嘉, 張 璧, 戸倉 和, 吉川昌範: ダイヤモンド砥石の結合材によるセラミックスの研削面性状, 昭和63年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(1988)E09.
- 6) 渡邊政嘉, 上藺英之, 戸倉 和, 吉川昌範: ダイヤモンド砥石の結合材によるセラミックスの研削面性状 — 乾式研削と湿式研削による違い, 1989年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(1989)K68.
- 7) 岡 小天: レオロジー入門, 工業調査会(1970)138.