

走査電子顕微鏡 (SEM) によるダイヤモンドバイト先端形状の 3 次元測定

3-D Measurement of the Tool Tip Shape of a Diamond Tool by SEM

大堀 真敬*・佐藤 壽芳*

Masanori OHHORI and Hisayoshi SATO

1. はじめに

ダイヤモンドは最も硬い物質であり工具用材料として優れているばかりでなく、ヤング率が大きく、また熱伝導率も良い。さらに電気絶縁性にも優れているなどほかの材料には無い性質を備えており、さまざまな用途に用いられている。中でも工具用材料として、現在では超精密加工においては必須の材料となっている。

被削性のよい材料のダイヤモンドバイトによる切削加工によれば、工作機械技術とその利用技術の支援のもとで、面粗度の非常に良い切削面が得られる。しかし工具として研磨されたバイトは、その切削性能が個々に安定しているとはいえず、使用に際してバイトごとに寿命や仕上げ面粗さなどに偏りが大きいとされている。

これは工具に用いられる天然ダイヤモンド原石の材質が必ずしも均質でないことに加え、切削性能に対する切れ刃としての最適な結晶方位面が不明確なこと、研磨創製された刃先先端形状と切削性能の関係が不明確なことなどが関連しているとみられる。特に刃先の鋭利さに関係する刃先先端切れ刃の稜丸み半径については、解析的に最小値が求められている¹⁾が、信頼性のある実測値はなく、新たな計測手法の展開による評価が望まれていた。

刃先稜丸み半径にとどまらず、刃先形状を測定することについては、ダイヤモンドスタイラスを用いた触針による方法²⁾、2次電子信号を用いたSEMによる方法³⁾などが試みられてきている。触針による方法では、針先端の丸味形状によって測定値が左右されるとみられるうえ、逃げ面からすくい面に連続する測定ができておらず、刃先稜丸み半径を十分評価するには至っていない。一方SEMによる方法でも二次電子信号を用いている場合には精度の分解能は高いものの、測定結果のすくい面、逃げ面の角度について試料の角度を校正に用いている面があること、二次電子信号の性質から電子ビームによるコンタミネーションの影響を非常に受けやすく、画像の中

で測定すべき位置を決めることが容易でないこと、現状の装置では、画像全面にわたる形状として3次元形状の測定ができていないことなどに問題を残している。

筆者らはSEMの反射電子信号を用いて、nm台の粗さ曲線の測定が可能なこと、観察画面に対応する3次元形状の測定が可能なことなどを^{4,5)}明らかにしてきている。以下ではこの測定法をダイヤモンドバイトの刃先稜丸み半径の測定、これと関連して、刃先の3次元形状の測定に適用することを試みた結果について報告する。

2. ダイヤモンドバイトの形状

すでに述べたように、バイト刃先先端形状を測定することは、これが切削性能に及ぼす影響を明らかにすることと関連している。したがって特定のバイトについて切削試験とあわせて、刃先形状の変化を測定することが必要であるが、今回の測定は初めての試みであり、使用済みのバイトについてのみの測定を行い、測定法適用の可能性を明らかにした。バイト刃先には摩耗痕を生じており、その観察を行う一方切削条件との関連についても考察した。

試料としたダイヤモンドバイトは平バイトでありその概念図を図1に、二次電子画像を図2に示す。これはアルミニウムディスクの加工に使用されたものであり、バイトはすくい角0度、取り付け角0.02度で取り付けられ、切込み10 μ m、送り30 μ m、主軸回転数2,300RPMで切削を行ったものである。

図2をみるに、使用前の刃先では横すくい面、前逃げ面、横逃げ面間の稜が一点で交わり、すくい面と前逃げ面の間で構成される刃先稜の横逃げ面に近い部分が摩滅し、斜め三角状の摩耗痕となっていることが観察される。

3. バイトの形状測定

上述の形状を有するダイヤモンドバイトに対して、本研究では、標準小球を用いた法線検出の方法⁶⁾によって

*東京大学生産技術研究所 第2部

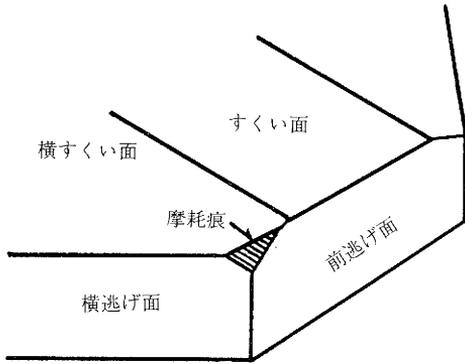


図1 ダイヤモンドバイトの概観

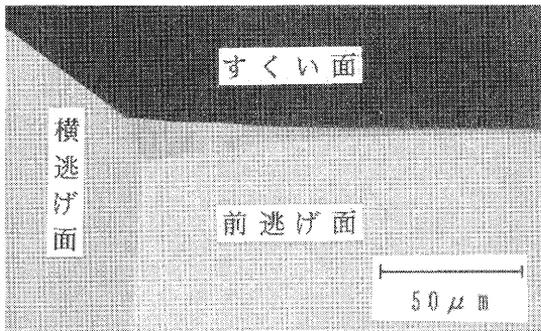
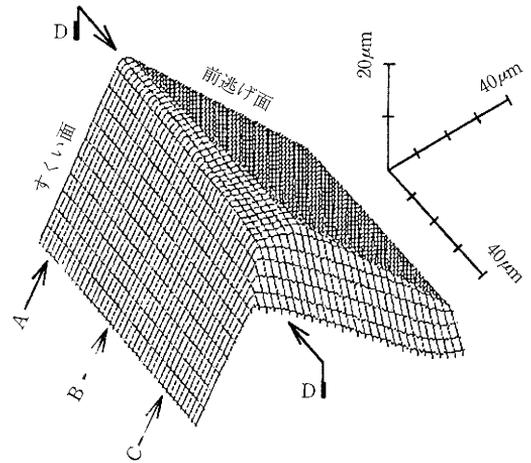


図2 ダイヤモンドバイト刃先の二次電子画像

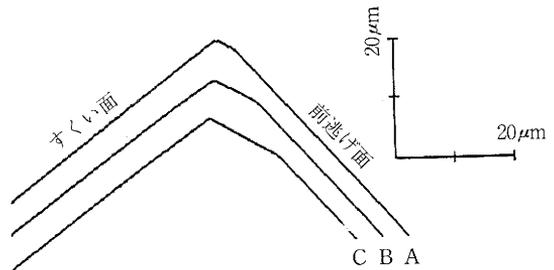
測定を行っている。標準小球には米NASAがスペースラボで製造し、同NBSにより販売されているφ30μmのポリスチレン球(製品番号SRM1961)にスパッタ法で100μmの厚さに金をコーティングし用いている。刃先稜丸み半径を測定するような場合には、コーティングは好ましい処理ではないが、現状のSEMによる観察にはやむをえないものである。

図3(a)は横逃げ面から始まる摩耗痕部分が観察できるような測定とし、3次元形状を求めている。摩耗痕部分の全体ができる限り視野にはいるように、350倍の低倍率を用いている。測定された結果の精度の指標としては、前逃げ面と横すくい面のなす角があげられる。図3(b)は図3(a)のA, B, C断面の形状であり、この間の角度が測定できる。試料の製造仕様では角度は85°であるのに対し、測定結果では93°となっている。必ずしも小さい相違とは言えないが、誤差を生じる理由と精度の改善は今後の課題である。

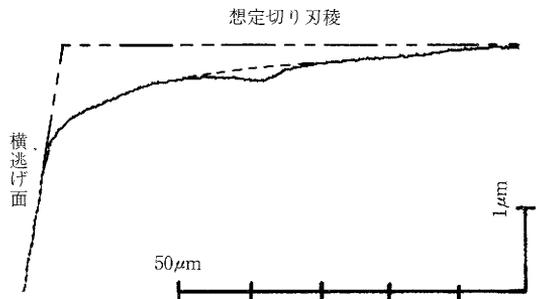
さらに図3(c)は図3(b)と直交する方向の刃先稜に沿ったDの位置における摩耗痕の断面曲線である。この場合、高さ方向には10倍の尺度で描画し、横逃げ面から始まる摩耗の様子が明瞭に示されている。図中二点鎖線



(a) 3次元表示



(b) 3箇所の断面曲線



(c) 刃先稜に沿った断面曲線

図3 低倍率における測定例(350倍)

は研磨直後の摩耗していない切れ刃を想定したもので、最大1μm程度の摩耗が発生していることがわかる。さらに摩耗面の途中には横逃げ面から約30μm中に入った位置の段差が存在していることがわかる。

摩耗痕の幅が最大となるのは横逃げ面と交わる位置であり、その値は約10μmである。これを触針式粗さ計で測定することは難しい。SEMによる方法でも、二次電子信号を用いるものでは、図3(b)のような摩耗痕の幅方向

研究速報
 の測定を行いながらその長さ方向の測定を行うことはできていない。

4. 刃先稜丸み半径の測定

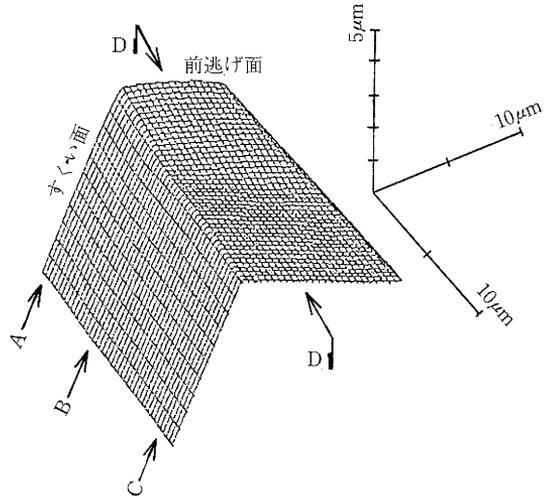
図4は試料のダイヤモンドバイトについて最も鋭利な切れ刃を残している部分を対象に、刃先稜を測定し、3次元形状、断面形状を示したものである。倍率は35,000倍としている。断面曲線からは、刃先稜丸み半径は約100nmと読まれる。同種のバイトを対象に二次電子信号を用いた測定結果⁹⁾では20~80nmと求められている。ちなみに解析的に推定されている最小半径は2nm¹⁰⁾である。なお35,000倍のとき、画像のAD変換のサンプル間距離は、4nmであり、これは使用したSEMの仕様上の電子ビームの直径よりも小さく、当面の装置に対しては十分な分解能とできている。

同一バイトについて反射電子信号、二次電子信号を用いた測定によって比較することは課題として残されたままであるが、本方法では3次元形状を求めるためにソフトウェア上で微小面のはり合わせを行っている。このための平均化効果で刃先稜丸み半径が大きくなっている可

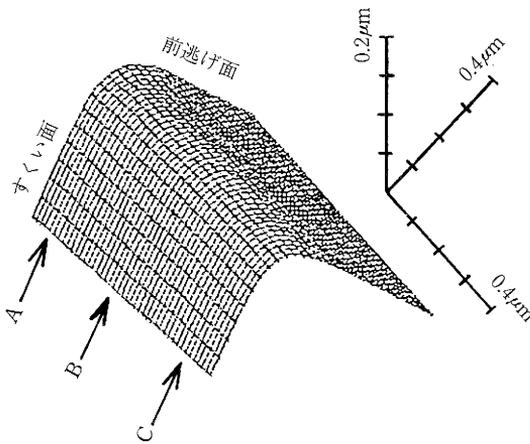
能性があり、この効果の確認も今後の課題である。

5. 摩耗痕の生成過程

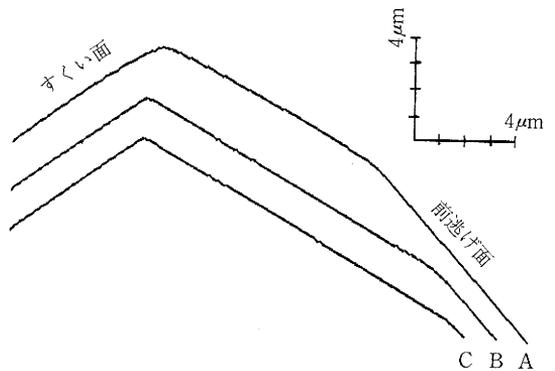
図3(c)の摩耗痕送り方向の断面曲線中央に段差が観察される。横逃げ面からこの段差までの距離は約30 μm



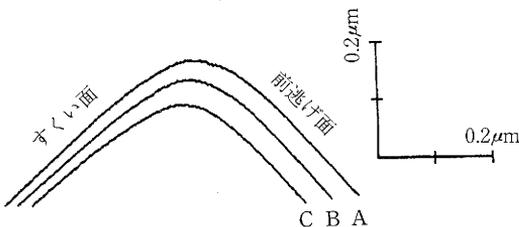
(a) 3次元表示



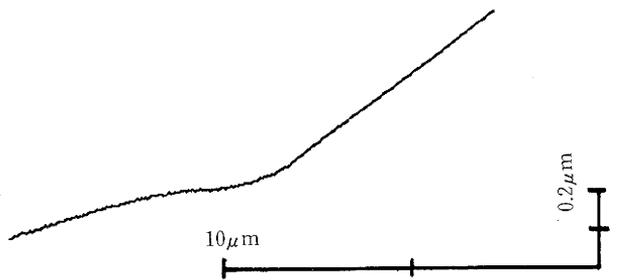
(a) 3次元形状



(b) 3個所の断面曲線



(b) 3個所の断面曲線



(c) 刃先稜に沿った断面曲線

図4 刃先鋭利部分の高倍率測定例 (35,000倍)

図5 摩耗痕の測定例 (2,000倍)

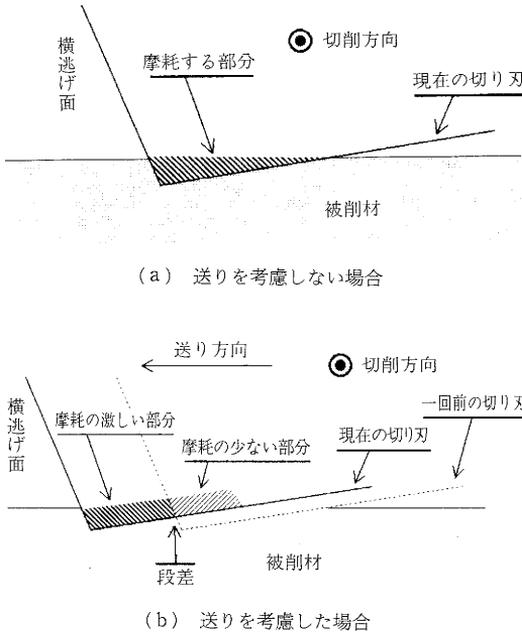


図6 平バイトによる切削の概念図

であり、これは切削時の送りに相当している。図5は倍率を2,000倍としこの部分の3次元形状と断面曲線を求めたものである。摩耗痕の中で送り方向にわずかであるが段差を生じていることが観察される。

図6は平バイトが加工物を切り込んでいる状態を模式的に示している。図6(a)は送りを考慮しない場合の切込み状態を示すものであり、図6(b)は送りを考慮した場合の状態である。

図6(a)によると、送りを考慮しない場合は横逃げ面側で最も切込み量が大きく、切れ刃中央部分にいくに従って切込み量は直線的に小さくなり、バイトの取り付け方法によっては切込み量が零となる切れ刃部分も生じる。したがって、切れ刃の各部位置において切込み量に応じた摩耗を受けるとすれば、切れ刃稜に沿った断面曲線は図3(c)の破線で示した緩やかで連続的な曲線となるものと思われる。しかし図6(b)のように送りを考慮した場合、切削開始から2回目以降ではすでに切削された切削痕が存在している被削面を切削することになりその影響が生じる。その結果、切れ刃各部分での実質切込

み量は被削面形状が反映されて送り量の長さごとに不連続となり、切れ刃の摩耗は段差となって表れているとみてよい。バイト・被削材間相対振動や被削面の弾性回復などの要因が合わさって切削が行われているから、切削状態を反映したさまざまな条件によって摩耗痕およびその途中の段差が生ずることになっていると考えられる。

6. ま と め

超精密加工においてダイヤモンドバイトの切削性能を評価することは重要な課題である。特に刃先先端の稜丸み半径と切削性能の関係については、ダイヤモンドの結晶構造が関係する上、刃先稜丸み半径の測定に適切な方法がなく未解決のままであった。

本研究では筆者らが開発を進めてきたSEMの反射電子信号を用いた測定法によって、3次元形状の測定が可能なこと、いまだ十分な域には達していないものの刃先稜丸み半径測定に見通しが得られたことを成果として得た。さらに刃先先端の3次元形状を求めることにより、摩耗の状態について観察できることを明らかにした。

本研究は、精密工学会の「超精密ダイヤモンド切削加工用工具刃先の評価に関する研究協力分科会」の諸委員に負うところが大きい。特にダイヤモンドバイトは、浅井昭一(東芝機械㈱)、荒川直也(古河電気工業㈱)の諸氏のご尽力により提供されたものである。記して深謝する。(1989年8月18日受理)

参 考 文 献

- 1) 井川直哉, 島田尚一: 超精密ダイヤモンド切削の精度要因, 精機学会「最近の超精密加工技術に関するシンポジウム」テキスト, 昭和58年6月, 48-61.
- 2) 笹島和幸, 塚田忠夫, 吉川昌範: ダイヤモンド工具刃先の3次元測定, 昭和62年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 282-288.
- 3) 浅井昭一, 菅沼忠雄, 田口佳男, 河西敏男: 走査電子顕微鏡によるダイヤモンド工具の刃先測定, 昭和61年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 365-366.
- 4) 大堀真敬, 佐藤壽芳: 走査電子顕微鏡(SEM)による表面形状測定の研究(法線検出法による), 機会学会論文集, 52-483, C(1986), 2974-2981.
- 5) 大堀真敬, 佐藤壽芳: 反射電子信号の作動距離および加速電圧に関する特性(走査電子顕微鏡による表面形状測定に関連して), 機会学会論文集, 52-515, C(1989), 1171-1776.