

水晶等の美術彫刻向け研削工具に関する研究

有泉 直子・佐野 照雄・望月 陽介・宮川 和博・佐野 正明・河野 道一*1・柴田 正実*2

Study on Grinding Tools for Crystal Sculptures

Naoko ARIIZUMI, Teruo SANNO, Yosuke MOCHIZUKI, Kazuhiro MIYAGAWA,
Masaaki SANNO, Michihito KONO and Masami SHIBATA

要 約

水晶等の美術彫刻における研削効率を向上させるために、「コマ」と呼ばれる鉄製の回転工具(以下、単にコマと称す)にダイヤモンド砥粒を固定する方法について検討を行った。電気めっき法により各種形状のコマにダイヤモンド砥粒をほぼ均一に固定することが可能となり、めっき時間を制御することで、コマに固定される砥粒の最大高さを制御できることが分かった。各種条件で試作したコマについて、動力計を用いた研削抵抗の測定を試みたところ、砥粒の固定条件や細工台での加工条件の違いにより、研削抵抗値に明確な差異が認められた。この結果から、限定された条件下ではあるものの、研削抵抗を測定することにより、試作コマの研削性や耐久性について評価できる見通しが得られた。

1. 緒 言

本県の地場産品である水晶等を素材とした美術彫刻品は、コマと呼ばれる鉄製の回転工具に多量の砥粒を供給しながら研削加工を行う手法により製作されているが、この手法は加工効率が悪く、また、素材表面を直視しながらの加工が困難なため、より微細な加工に限界がある。

そこで当センターでは、これまでの研究¹⁾から電気めっき法によるコマへの砥粒固定方法を検討し、ダイヤモンド粒度 60/80 については実用レベルのコマを試作した。しかし、より粗い粒度(30/40, 50/60)では実用レベルに達せず、さらに粗い粒度については検討に至らなかった。

消費不況の現在は、短納期、低コスト化の要請が非常に厳しくなっており、作業工程の大部分を占める粗摺り工程の時間短縮が望まれている。しかしながら、前述の研究で得られた試作コマではこの粗摺り工程には対応できず、より粗い粒度のダイヤモンド砥粒を固定できる技術が要望されているが、この技術は未だに実用化されていない。

そこで本研究では、他の工程と比べて大きな負荷がかかる粗摺り工程においても、ダイヤモンド砥粒の保持力に優れた砥粒固定方法を開発し、コマによる研削効率を向上させることで、加工時間を従来の手法と比べて 1/2

～1/3 に短縮することを目的とする。今年度は粗摺り用のダイヤモンド砥粒を固定する方法について検討を行うとともに、試作したコマについて研削性や耐久性等の評価を試みた。

2. 実験方法

2-1 コマへのダイヤモンド砥粒の固定

コマへのダイヤモンド砥粒の固定は電気めっき法により行った¹⁾。コマに一般的なめっき前処理である機械研磨、酸洗、脱脂、活性化処理を行い、下地めっきを行った後、ダイヤモンド砥粒を含むスルファミン酸ニッケル浴中でめっきを所定時間行い、砥粒を固定した。その後、水洗、風乾したものを試料として後述する評価に用いた。

これまでの研究¹⁾では、ダイヤモンド砥粒を単層に固定したが、本研究ではより多量のダイヤモンド砥粒の固定を試みた。実験に使用したダイヤモンド砥粒の粒度は 25/30(600～710 μm 90%以上)とし、ダイヤモンド砥粒の平均粒径を 655 μm (= (600+710) /2) と仮定した。ダイヤモンド砥粒の固定状態の評価は、測定顕微鏡(株)ミツトヨ, MF-510TH)を使用して行った。コマの素材表面を基準面として、コマに固定されたダイヤモンド砥粒の最上部までの高さ(以下、最大砥粒高さと称す)を測定し、これを前述のダイヤモンド砥粒の平均粒径と比較することで、コマに固定されたダイヤモンド砥粒の固定状態を推測することとした。

*1 山梨県水晶美術彫刻協同組合

*2 国立大学法人山梨大学

2-2 研削抵抗の評価

研削加工は、水晶等の美術彫刻品の製作に従来から使用されている「細工台」と呼ばれる加工機（以下、単に細工台と称す）を使用し、これに試作したコマを取り付け、所定の回転数にて行った。被研削物は人工水晶（5×5×20mm）とし、XY軸自動ステージを使用して、所定の研削速度にて加工した。切り込み量は特に記述しない限り、一定量（0.5mm）とし、研削液には水道水を使用した。

研削加工において発生する研削抵抗の測定は、圧電型三成分切削動力計（キスラー社製、9172B）を用いて行い、 F_x 、 F_y 、 F_z の三成分の数値として求めた。三成分の測定方向と研削方向等との関係を図1に示す。

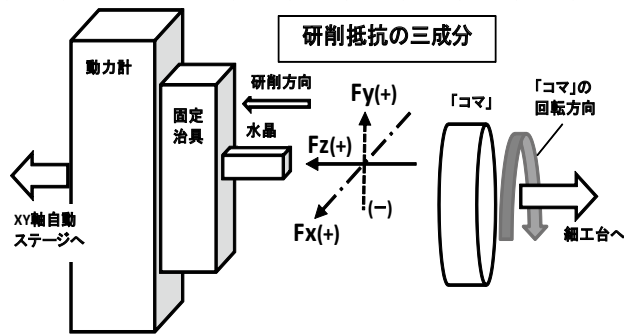


図1 研削抵抗の三成分の測定方向と研削方向等の関係

3. 結果および考察

3-1 めっき条件がダイヤモンド砥粒の固定に及ぼす影響

めっき時間がダイヤモンド砥粒の固定状態に及ぼす影響を図2に示す。めっき6時間後および24時間後では最大砥粒高さが701 μm および751 μm となり、今回使用した砥粒の90%以上を占める粒径600~710 μm に近似した値が得られた。これに対してめっき50時間後では最大砥粒高さは1316 μm となり、2-1で仮定した平均粒径655 μm の2倍に相当する1310 μm に近似した値が得られた。さらに、めっき74時間後では最大砥粒高さは1992 μm となり、平均粒径655 μm の3倍に相当する1965 μm に近似した値が得られた。

これらの結果から、めっき24時間まではダイヤモンド砥粒が2次的に固定されるのに対して、めっき50時間以降では3次的に固定されるものと推測される。

3-2 加工条件が研削抵抗に及ぼす影響

試作したコマを細工台に装着し、被研削材を人工水晶として加工実験を行った。実験には、めっき時間を47時間としてダイヤモンド砥粒を固定したコマを使用した。

回転数を500~5000rpmに変化させたときの研削抵抗

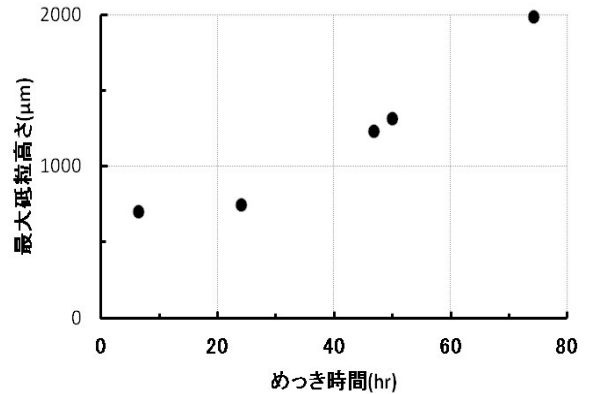


図2 めっき時間が最大砥粒高さに及ぼす影響

の測定結果を図3に示す。なお、研削速度は一定（0.1mm/s）とした。いずれの回転数においても認められた結果として、研削抵抗 F_z および F_y は正の値となるのに対して、 F_x は負の値となること、また、その絶対値は $F_z > F_x > F_y$ となることが分かった。なお、この結果は後述する他の実験においても同様に見られた。このことから、細工台に装着したコマにより研削を行う場合は、図1に示すような単純な一方への研削であっても、被研削材に対して、研削方向（ $F_z(+)$ ）だけでなく、コマの回転方向（ $F_x(-)$ ）およびコマの外周方向（ $F_y(+)$ ）への負荷がかかることが明らかとなった。

次に、回転数を変化させると研削抵抗に変化が見られることが分かった。図3より、回転数が500rpmと遅い条件では、研削抵抗 F_z は17.2Nと比較的大きな値を示したが、回転数が1000rpmに増加すると、研削抵抗 F_z は7.1Nと急激に減少した。研削抵抗 F_z はその後、回転数の増加に伴い緩やかに減少し、回転数が2000rpm以上では5N以下の値に抑えられることが分かった。このような傾向は研削抵抗 F_y および F_x の絶対値においても同様に認められた。

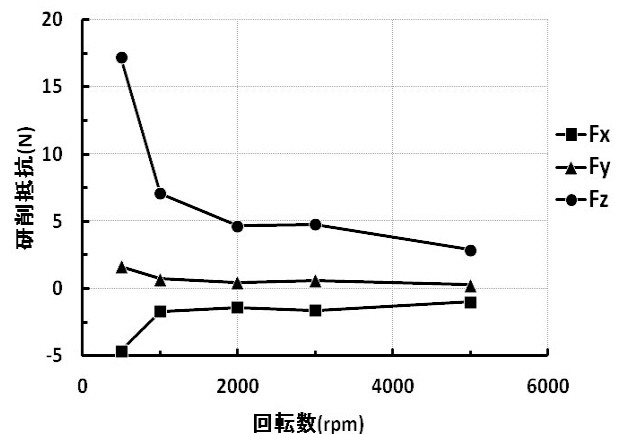


図3 回転数が研削抵抗に及ぼす影響

以上の結果から、回転数の増加は研削抵抗の三成分全てを減少させる効果があることが分かった。研削抵抗を低く抑え、研削性を向上させるためには、回転数を増加させることが重要であり、より安定した研削性を得るためには2000rpm以上の回転数が望ましいと考えられる。

一方、製作現場で実際に使用されている細工台の回転数をストロボスコープ（株式会社 藤原研究所, S-126X）にて測定したところ、回転数固定型では1975~2000rpm、回転数可変型では1570~2000rpmであった。従って、本研究で試作したコマを実際の製作現場で使用する場合は、現状用いられている回転数をほとんどそのまま適用できることから、製作者にも抵抗感が少なく、実用化に有利であると考えられる。

次に、研削速度を0.05mm/s~0.5mm/sに変化させたときの研削抵抗の測定結果を図4に示す。なお、回転数は一定（2000rpm）とした。図4より研削抵抗FzおよびFxの絶対値は、研削速度の上昇に伴い、増加することが分かった。一方、研削抵抗Fyは研削速度の上昇に伴う明確な変化は認められず、1N以下の値となることが分かった。以上の結果から、研削速度は研削抵抗の三成分のうち、FzおよびFxの二成分に影響を及ぼすこと、また、研削速度の低下は、これら二成分の研削抵抗を減少させる効果があることが分かった。

3-3 ダイヤモンド砥粒の固定条件が研削抵抗に及ぼす影響

ダイヤモンド砥粒の固定条件が研削抵抗に及ぼす影響を調べるため、2種類のコマを試作し、研削量の増加に伴う研削抵抗の変化を測定した。この結果を図5に示す。試作コマAは、めっき6時間にて最大砥粒高さ701μmとし、試作コマBは、めっき47時間にて最大砥粒高さ1233μmとした。なお、1回加工時の切り込み量は0.5mmとし、これを繰り返し行うことで研削加工を継続し

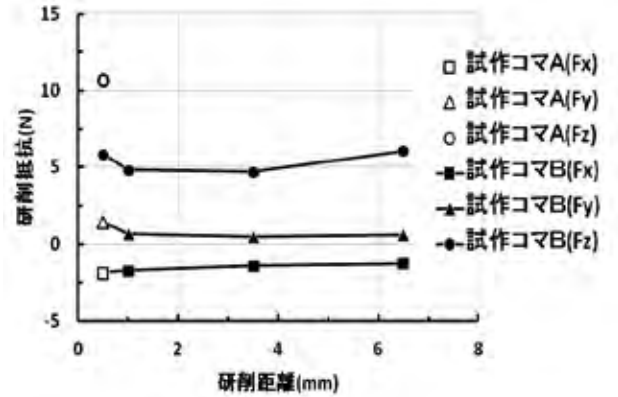


図5 砥粒の固定条件が研削抵抗に及ぼす影響

た。このとき、回転数および研削速度は一定（2000rpmおよび0.1mm/s）とした。

試作コマAは、研削量0.5mmの加工途中で被研削材である人工水晶が破断し、これ以上の測定を行うことができなかった。このため、仮に被研削材が破断しなかった場合は、図示した値以上の研削抵抗値が測定された可能性が推測される。

これに対して試作コマBでは、研削量0.5mmでの研削抵抗Fzが、試作コマAで測定されたそれと比べて約1/2と小さく、さらに研削量6.5mmまでほぼ一定の研削抵抗を示すことが分かった。加工後の試作コマを目視観察したところ、試作コマAではダイヤモンド砥粒がほとんど脱落していたのに対して、試作コマBではダイヤモンド砥粒が保持されていた。

以上の結果から、限定された条件下ではあるものの、研削抵抗を測定することにより、試作したコマの研削性や耐久性について評価できる見通しが得られた。本結果を基に、今後は現場の製作者による実用性評価を行い、さらに改良を行う予定である。

4. 結 言

水晶等の美術彫刻における研削効率を向上させるために、コマにダイヤモンド砥粒を固定する方法について検討したところ、以下の結果が得られた。

- (1) ダイヤモンド砥粒の最大砥粒高さは、めっき24時間後までは701~751μmであるのに対して、めっき50時間後および74時間後ではそれぞれ1316μmおよび1992μmまで増加した。
- (2) 加工条件のうち回転数の増加は、研削抵抗の直交座標系三成分全てを減少させる効果があった。より安定した研削性を得るためには2000rpm以上の回転数が望ましいことが分かった。
- (3) 加工条件のうち研削速度は、研削抵抗の三成分のう

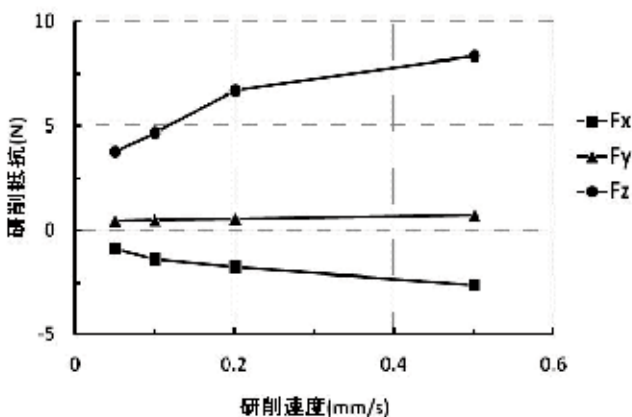


図4 研削速度が研削抵抗に及ぼす影響

ち、Fz および Fx の二成分に影響を及ぼした。研削速度の低下は、これら二成分の研削抵抗を減少させる効果があった。

- (4) めっき 6 時間で試作したコマ A(最大砥粒高さ：701 μm) は、めっき 47 時間で試作したコマ B(最大砥粒高さ：1233 μm) と比較して、研削抵抗 Fz が約 2 倍大きい値となり、0.5mm の研削で水晶が破断した。一方、試作コマ B は、6.5mm の研削までほぼ一定の抵抗値を示し、研削性能を保持できることが分かった。

参考文献

- 1) 佐野 照雄, 宮川 和博, 小林 克治, 萩原 親作, 詫間 悦二: 山梨県工業技術センター研究報告, No.18, p. 34-36 (2004)