

凹凸の再現

安藤明珠*、株式会社サワテツ

Reconstruction of the Surface Roughness

Mitsumi Ando*, Incorporated Company SAWATETSU

Our purpose is to reconstruct the surface roughness with high accuracy as much as we can. To make 3D machined operation, there were three problems that we had to solve. (1) Data size: too big to create operation program, (2) cutting tools: the consideration of the balance between durability of the tool, cutting time, reconstruction accuracy, (3) cutting amount. By 3D editing software, the data was modified as optimum data sets. And through a trial and error process, we selected 0.5mm diameter cutting tool for our reconstruction.

Key Words: ceramic, surface roughness, exquisite replication, mural paintings

キーワード: 陶板、凹凸、精巧な複製、壁画

1. 工程

凹凸の再現については、株式会社サワテツが中心になって行った。複製陶板の作成過程において、まず陶板素材に凹凸加工を施す。その後、色をつけるわけだが、いずれにしてもこの凹凸加工が複製陶板のベースとなる。このため、できる限り機械加工の時点で細部まで忠実に再現する必要がある。普段から鉄などの機械加工は行っているが、陶板という材質で高精度を追求するのは初めての試みであったため、データ処理段階から再現性を高める方法を検討し、加工を行った。Fig.1に凹凸再現に関する全体の工程を示す。

データ処理では、まずコンピュータで読み込んで、分割し、加工機に入力できるように処理を施す。その後統合し、1つの最適データとした。このデータを加工機に入力し、大塚オーミ陶業で作成した陶板素材を加工する。加工作業中に、表面に油染みによる斑模様ができるが、これを焼成によって除去する。

加工する際の問題点としては、次の点が考えられた。

- ・データのサイズが大きく、加工プログラムを作成できない。
- ・切削する体積が大きいほど、切削工具の摩耗が激しくなるので、できるだけその体積を小さくすること。
- ・切削工具の先端を小さくするほど、詳細な再現が可能だが、時間がかかるため、最適な工具を選定すること。

これらについては次項で説明する。

加工については、まず表面を切削して平面にし、それから凹凸加工を行った。

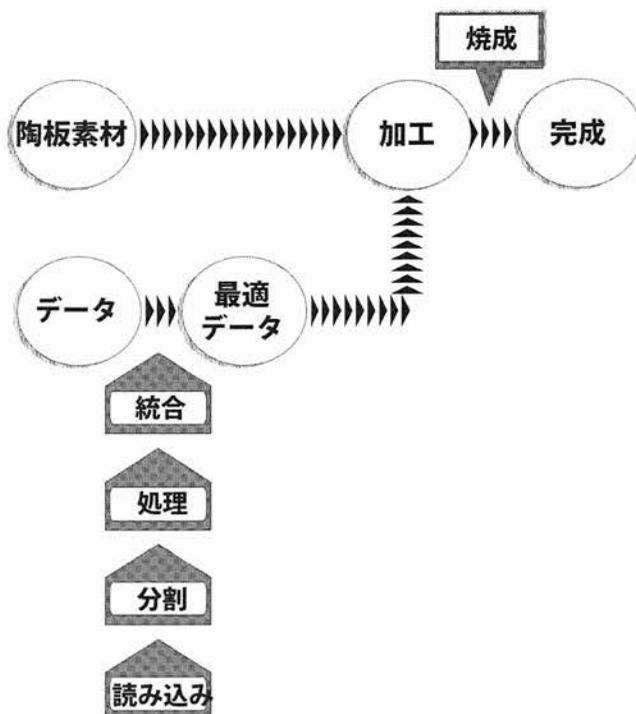


Fig.1 工程

* フレスコ壁画研究センター 研究員

Research Center of Italian Mural Paintings

2. データ

凹凸の再現にあたり、3D 計測によって作成された STL 形式のデータを元に CAM (コンピュータ支援製造 computer aided manufacturing の略語) で加工プログラムを作成する。対象壁面は礼拝堂壁面に描かれており、壁面に描写痕跡としての凹凸があるだけでなく、壁面自体も平面ではないため、STL データの角度によって最大深さが変化してしまう。Fig.2 は、壁面の曲面状態を示しており、高さは最大で約 13mm である。

加工する際、加工量が多くなればなるほど切削工具が摩耗してしまいが、加工途中で切削工具を交換すると、境目に段差ができてしまう可能性があり、注意を要する。その段差は $10\mu\text{m}$ 程度になることが予想された。

また、盛土部の厚みが 20mm のため、その範囲内で加工しなければならない。ただし、加工する量が多いと加工歪みで反る危険性もあるため、なるべく少ない加工が求められた。

以上のことから、加工深さを最小にするために、STL データを最適な角度に変更した。studio という 3D 編集ソフトで STL データを読み込み、最大深さが均等になるように修正を行い、最終的に最大高さを 8mm に抑えることに成功した。



Fig.2 対象壁面の曲面状態

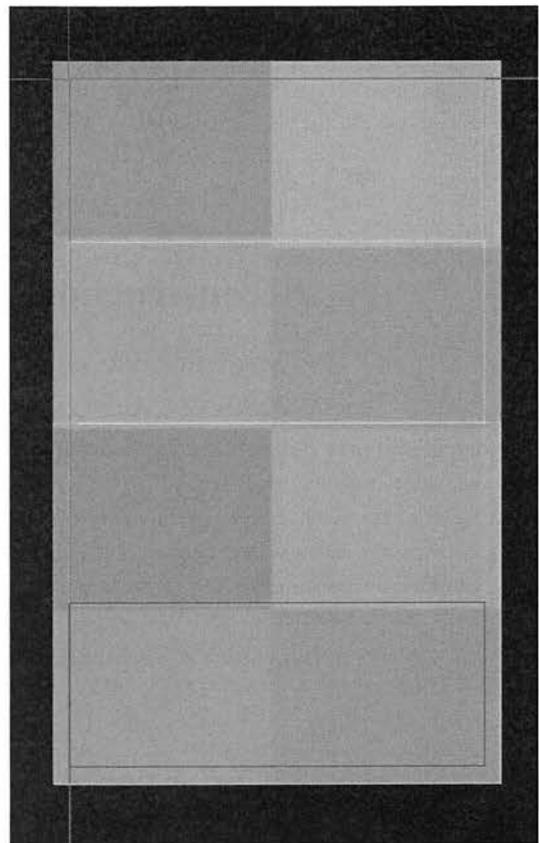


Fig.3 分割された加工領域

今回の加工手法は、無垢の被削材 (盛土部) をインクジェットプリンタのように端から一方向に切削除去し、それを垂直方向に積み重ね、1つの面を作ってゆくというものである。その切削プログラムの容量は、膨大なものであった。提供された STL データでさえ、日常的に扱っている 3D データをはるかに超える容量であったため、まずはデータをどのように扱うかを検討した。

検討の結果、STL データを Fig.3 のように、縦に 4 つ、横に 2 つの合計 8 つに分割にすることで、1度に CAM に読み込むデータ量を少なくした。そして、それぞれに切削プログラムを作成し、加工時につなぎ合わせる方法をとった。このように分割することで、容量が大きく、読み込むことも困難だった STL データも CAM ソフト上で十分に扱える容量となり、加工プログラムを作成することができた。

3. 切削工具の選定

素材検討当の段階では、試作用として、厚さ4cmの基台素材のみでつくられた陶板素材で切削を試みた。

通常の金属加工等の形状加工で使用する工具は、Fig.4のような先端が丸いボールエンドミルを使用する。ボールの外側に切削刃が存在し、どの方向に刃物を送っても切削ができるようになっている。基台素材は、固定器具を取り付けて支持体の役目を担うことから、強度が高く、固いため、加工が終了しないうちに、Fig.5のように、現形を成さないほど摩耗してしまった。

本来ならば、ここから刃具材の選定、工具寿命の管理等といった難題に取り組まなければならないのだが、加工しやすい素材で盛土部を積層することで、切削性が良く、刃物摩耗も、さほど考慮することなく加工することができた。

次に、できるだけ忠実な凸凹の再現に向けて、どこまで微細な切削工具を使用するかを検討した。その結果、凹凸の表現、切削時間、工具摩耗、切削除去の切り粉の粒度等のバランスを考慮し、最終的には、ボール直径 $\phi 0.5\text{mm}$ (Fig.6)を採用することにした。

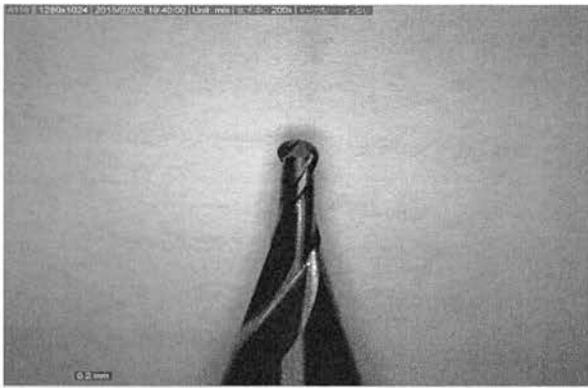


Fig.4 新品のボールエンドミドル 直径 $\phi 1\text{mm}$

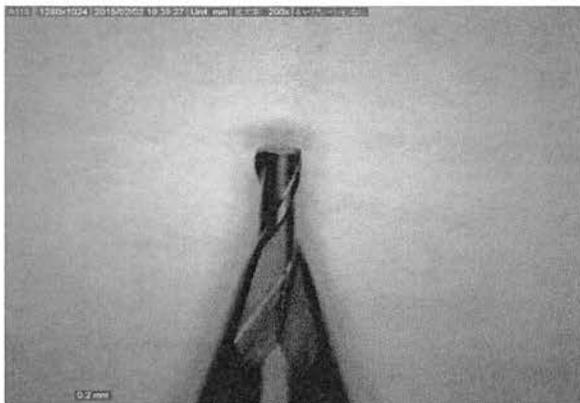


Fig.5 摩耗したボールエンドミドルの先端

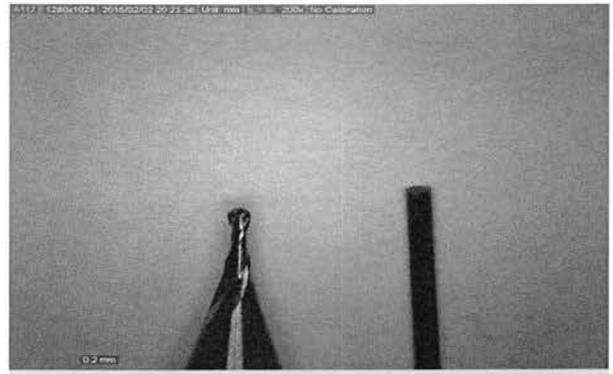


Fig.6 採用したボールエンドミドル 直径 $\phi 0.5\text{mm}$
(右はシャープペンの芯)

4. 加工

まず、陶板の表面に平面切削を施した。盛土部の厚みの中で形状加工を完結する必要があったため、STLデータを最小限の深さにしたが、陶板表面自体に成形の過程で歪みが発生し、必ずしも平面、平行度が一定に保たれた状態ではなかった。限られた盛土部の深さを有効に活用するためには、いかにデータと平行に陶板をセッティングするかが問題になってくる。そこで、1度表面を加工し、平面を作り出すことにした。このとき、

STLデータをコンピュータ上で修正した時と同じように対角で平均をとり、加工機の機上で傾きを作り、全体が平面に成るまで切削を行った。(Fig.7)

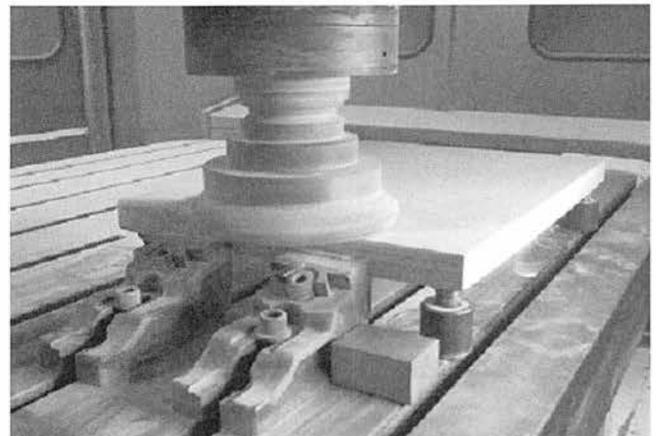


Fig.7 素材平面の平面切削

その後、作成した加工プログラムをマシニングセンタ(数値制御工作機械)に入力し、凹凸加工を施した。Fig.8に切削の様子を示す。加工が終了した陶板を Fig.9 に示す。通常の光では凹凸を確認することが難しかったが、斜光線を当てることで、壁面に施された凹凸による装飾が浮かび上がってきた。なお加工によって、表面に油染みによる斑模様が出るが、焼成によって除去される。



Fig.8 切削の様子

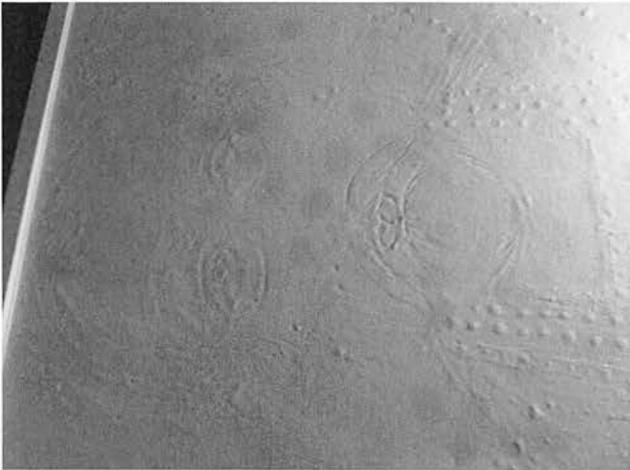


Fig.9 加工が終了した陶板