

光造形のセラミック成形への応用

Application of Ceramics Moulding Using Laser Stereo Lithgraphy

野口 裕之*・中川 威雄*
Hiroyuki NOGUCHI and Takeo NAKAGAWA

1. はじめに

光造形法は光硬化性樹脂に可視光線や紫外線レーザーなどを照射することで樹脂を硬化させて、立体物の樹脂モデルを作製する方法として利用されている。近年、光造形法は本来のモデル作りとしての利用はもとより、各種の応用例などが学会等で報告され始めている。その1つに、光造形法により成形用の型を作る試みがなされているが、簡単な応用例としては光造形モデルを鑄造用の木型の代わりとして使用したり、光造形されたモデルを精密鑄造のロストワックス法のワックスの代わりとして用いたり¹⁾、また、光造形で作製されたモデルは金属に比較して強度がないため、光硬化性樹脂に金属やセラミック粉末などを混ぜたものを使用して光硬化させて、強度を増したモデルを作る方法などが試行されている²⁾。また、光造形モデルをゴム型に転写し、このゴム型に樹脂を注型しモデルの複製を多数個作製する方法も取られている。

そこで、本研究の目的は、光造形されたモデルから転写法によりセラミック製品に置き換える手法を開発することにある。転写方法としては大がかりな装置を用いず転写が可能な方法として、光造形モデルをゴム型に転写しこのゴム型を用いてスリップキャスト法によりアルミナセラミックの複製を作製する実験を行った。さらにスリップキャスト後に遠心力をかけスリップの密度を上げる実験も合わせて行った。これらの転写手法を検討した結果について報告する。

2. 実験方法

通常のスリップキャスト成形では、セラミックスラリー中の余剰バインダーを石膏などの通気性がある型に吸収さ

せてセラミックス粉末を着肉させ、強度、密度を上げ、石膏型ごと乾燥させることで離型強度を出し石膏型からセラミックス成形体を取り出している。しかし、石膏型の寿命は短く、形状精度も使用回数と共に悪くなる欠点がある。一方、金型を使用して射出成形を行う CIM などでは、バインダー量を射出流動限界 (37vol%程度) まで少なくして、高い圧力をかけて金型内に射出成形して形状精度のよい成形品を得ている。しかし、金型や射出成形機などの大がかりな装置を必要とし、さらに、成形品の厚さが厚い物ではバインダーの脱脂には長時間を要する。

そこで、本研究ではスリップキャスト成形の手軽さでセラミックス粉末の成形を行えるよう工夫した。しかし、ゴム型の場合は余剰バインダーを取り除くことができないため、スラリーの密度を流し込み成形後に上昇させることができない、そこで余剰バインダーを極力抑えて成形する必要がある。バインダ量がこの成形法の重要なキーポイントとなる。成形において余剰バインダが多く存在すると、脱脂時に成形体が崩れてしまい、余剰バインダがないと流し込み成形が行えない。しかも加えたバインダー自体が硬化して、離型に耐える強度を出さねばならない。

実験に使用した供試材料を表1に示す。セラミックス粉末には昭和電工製のアルミナ粉末 (AL-170: 平均粒径 $2\mu\text{m}$)、(一部, AL-160SG: 平均粒径 $0.6\mu\text{m}$) を実験に使用した。

実験に使用するバインダーは、加熱した状態では液体であり、常温では固体である融点が 50°C から 52°C の固形パラフィンを選択した。バインダーとしてパラフィン以外の物は添加していないため、脱脂が容易に行える特徴がある。

3. 成形行程

図1に本実験で用いた成形行程を示す。材料を混練機 (森山製作所: ミックスラボ) に投入し、 70°C に昇温する。

*東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報

表 1 供試材料

セラミック粉末 アルミナ	昭和電工(株)製 品番:AL-170 平均粒径;2 μ m 品番:AL-160SG 平均粒径;0.6 μ m
解こう剤	中京油脂(株)製 セルナ#E-503
バインダー	パラフィン 融点50-52°C

表 2 材料配合

配合: 1

材料名	比重 (g/cm ³)	重量 (g)	体積 (cm ³)	体積割合 (vol%)
アルミナ	3.9	936	240	56.8
パラフィン	0.9	144	160	37.9
解こう剤	0.8	18	22.5	5.3

配合: 2

材料名	比重 (g/cm ³)	重量 (g)	体積 (cm ³)	体積割合 (vol%)
アルミナ	3.9	858	220	52.2
パラフィン	0.9	162	180	42.7
解こう剤	0.8	17	21.3	5.1

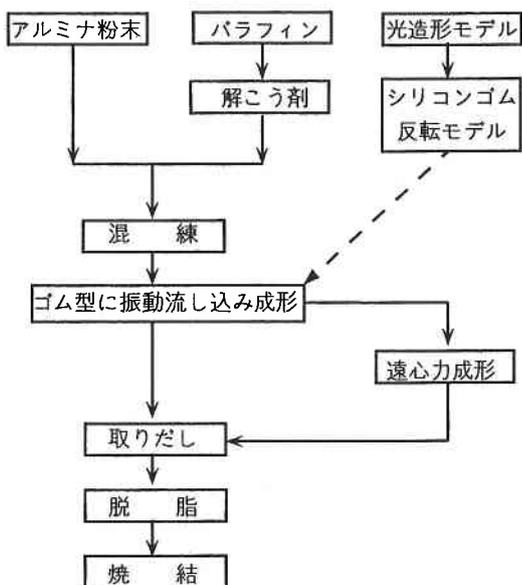


図 1 成形工程

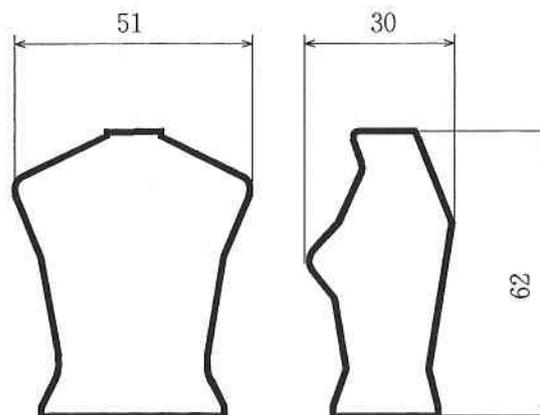


図 2 光造形モデルの形状と寸法

その後、50rpm で10分間の混練を行った。成形方法は光造形モデルをシリコンゴムで転写したゴム型と混練した材料を電気炉などで70~90°C に加熱する。設定温度に到達後、振動テーブル上で流し込み成形を行う。その後、水冷等により冷却を行う。さらにスリップの密度を上げるため流し込み成形後に遠心力をかける実験も併せて行った。

表 2 に材料の配合を示す。本研究ではバインダーと解こう剤の量が脱脂後の形状の崩れに大きな影響をおよぼすが、本実験では 2 種類の配合の実験を行った。パラフィンと解こう剤の量が合わせて43.2vol%と47.8vol%である。これらの量はスリップキャスト成形を行うため、多少多めに加えているが、成形時にわずかな加圧を付加することが可能であれば、バインダー量はさらに減少できる。

成形後、冷却により材料が固化したらゴム型から成形体を取り出すが、このグリーン体強度も成形において重要な

因子である。グリーン体の圧縮強さを測定した結果、試験片寸法は $\phi 10 \times 20$ mm で試験温度の影響を見るため 0°C と 20°C の温度で試験を行った。最高荷重はそれぞれの試験温度でも変わらなかったが、0°C の試験片では座屈するまでの変形量がわずかであった。バインダー量による強度の差はあまりなく、いずれの場合も120kgf/cm²程度の強度がありハンドリングには十分な強度を有していた。

図 2 に転写実験に使用した光造形モデルの形状を示す。おおよその寸法は60 \times 50 \times 30mm 程度である。バインダーを含む成形体としては、やや大きいと言えよう。

成形体の脱脂方法は、アルミナ容器に球状アルミナピーズ(昭和電工:CB-A60)を敷き詰め、その上に成形体を

のせて脱脂を行った。また、球状アルミナペース中に成形体すべてを埋め込む方式でも脱脂を行ったが、すべてを埋め込む方式で行うと若干脱脂時間が長くなる傾向にあった。また、バインダー量の多い配合 2 では脱脂中に成形体の薄い部分が自重により変形する現象が生じた。

成形体の脱脂速度の影響を調査するため 5 種類の昇温方法により行った。その結果は、1 時間当たりの昇温を 50°C にして 12 時間かけて 600° まで昇温したところ昇温速度が早いと見られる脱脂体表面の肌荒れは無くなったが、それでも図 3 に示すような膨れが観察された。この膨れの原因は、スリップキャスト時に含まれていた空気が膨張したものと推測される。この実験では流し込みを大気中で行っており、真空中で流し込みを行わないと、空気の巻き込みは防げないであろう。

4. 実験結果

図 4 に光造形モデルおよび配合 1 による成形体と焼結体を示す。焼結体の表面には空気の膨張によると見られる膨れが数ヶ所生じていた。

図 5 に成形体の拡大写真を示すが、光造形特有の等高線模様がきれいに写し取られている。そこで、このスリップキャスト法による転写精度がどの程度のものか調査するため、モデルに光造形モデルより細かな溝を有するレコード盤を使用してスリップキャスト成形を行った。図 6 にその焼結品表面の SEM 写真を示す。また、この試料の粗さ測定の結果は R_{max} で $2.8\mu\text{m}$ 、 R_z は $1.4\mu\text{m}$ 、 R_a が $0.3\mu\text{m}$ であった。これらの値は、光造形モデルを使用する場合には、十分な転写精度と言えるであろう。

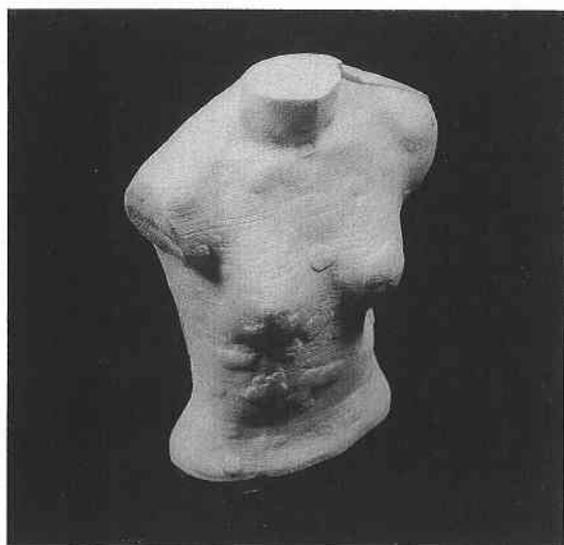
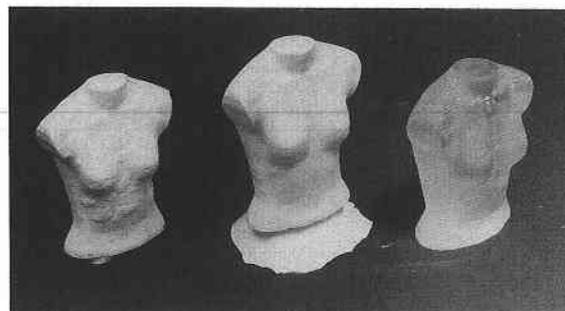


図 3 焼結体表面の膨れ



焼結体 成形体 (グリーン体) 光造形モデル

図 4 形状比較



図 5 成形体の表面写真

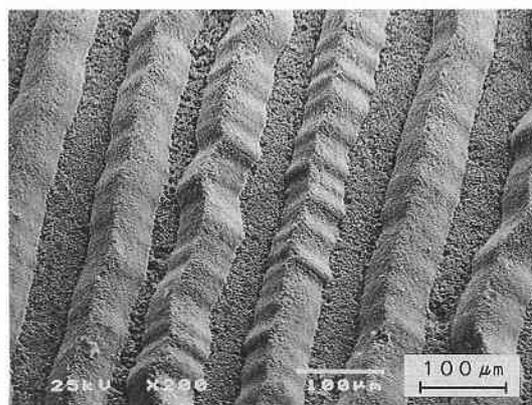


図 6 アルミナスリップの転写性の評価

(モデル：レコード盤、焼結体)

5. 遠心力によるスリップの高密度化と脱泡

以上の成形実験では、スリップキャスト中に空気の巻き込みがあり、脱脂後に空気によると思われる膨れが

研 究 速 報

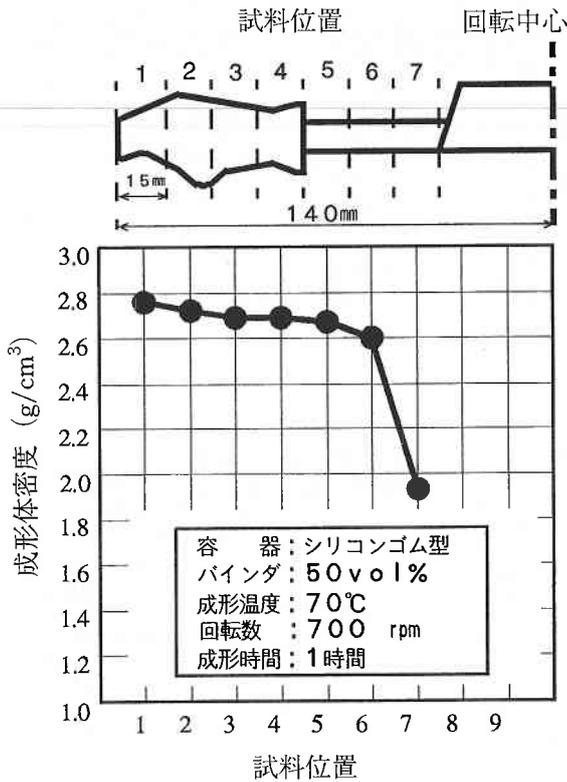


図7 遠心力による高密度化

生じていた。そこで巻き込まれた空気を脱泡するためにスリップキャスト後に遠心力をかけ脱泡する実験を行った。実験条件は、パラフィンが固化しないように70°C程度の加熱下で1時間遠心力をかけた。その結果、外周部分では空気が完全に脱泡されていた。しかもスリップ中の余剰バインダー分のパラフィンが遠心分離されており、成形体部分の密度が向上した。成形体の部分密度の測定結

果を図7に示す。加えた遠心力の大きさは最外周で80G程度である。遠心力は回転半径に比例して大きくなるが、回転半径が半分の遠心力が40G程度でも密度が2.7g/cm³近くに上昇していた。また、試料位置7付近では、分離されたパラフィンのため、密度は急激に減少している。

粉末の平均粒径が小さくなると、1個の粉末に作用する遠心力も質量に比例して小さくなる。0.6μmのアルミナ粉末では、2μmに比較して粒子の質量が37分の1と小さくなり、遠心力をかける時間が1時間では、密度の上昇割合も少なかった。

6. お わ り に

光造形モデルをシリコンゴム型に転写し、アルミナセラミックにパラフィンを混ぜてスリップを作製し、振動流し込み成形を行いアルミナセラミックの焼結体を得た。実験では成形を大気中で行っていたため、空気の巻き込みによる焼結体表面の膨れが生じたが、遠心力をかけることで完全に脱泡でき、また合わせて密度をも向上させることができた。

今後は、成形時間の短縮化と成形体密度のより均一化のために遠心力を大きくした成形実験やより大きな成形体の場合に脱脂をより簡単にするためのバインダーの改良などの実験を継続して行きたい。(1994年8月22日受理)

参 考 文 献

- 1) 今村正人, 孟陽, 中川威雄: 鋳造品への光造形の応用, 生産研究, vol. 45, No. 6 P. 385-392 1993. 5.
- 2) 徐毅, 今村正人, 魏, 中川威雄: Al粉-エポキシ樹脂複合材の製造, 1994年精密工学会春期大会学術講演会論文集, P. 577-578, 1994. 3.