

経常研究

陶器成形用石膏型製作の高精度化に関する研究

大和 弘之* 星 佳宏* 磯部 大我* 片岡 智史**

Fabrication of Gypsum Molds for Making Precision Pottery
YAMATO Hiroyuki, HOSHI Yoshihiro, ISOBE Daiga and KATAOKA Satoshi

石膏型とそれを用いて作られた陶器の寸法及び形状の変化を調査した。寸法変化はある程度予想可能であるが、形状変化を定量的に予測することが困難であった。予測可能な寸法変化を見込み、石膏型を CAD で設計し、石膏ブロックを機械加工することで製作した。製作した石膏型を用い、成形時の乾燥管理に注意して陶器を製作したところ、ほぼ設計のと通りの寸法及び形状の陶器を製作することができた。

Key words : 石膏型成形, デジタイザ, CAD/CAM, マシニングセンタ, デジタルものづくり技術

1 はじめに

陶磁器の成形方法の1つである石膏型成形は、粘土等で作った陶磁器の原型を石膏で型取り、原型を取り去ることができる空隙に粘土を充填し成形する方法である¹⁾。この方法により作られた製品の寸法や形状について、多少の誤差は手作りの良さとして消費者に受け入れられる一方で、製陶事業者からはデザインどおりの製品をつくりたいとのニーズがある。本手法を用いて製造している製陶事業者の中には成形型を外注している事業者もいるが、県内外注先の廃業による新たな製造委託先の開拓や石膏型製作費用の捻出等に苦慮している。このため、製陶事業者は型の内製化に関心を持っているものの、粘土の乾燥や焼成に伴う収縮や変形等を見込んだ石膏型を製作する技術・ノウハウがなく、内製化に取り組めない業者も少なくない。

そこで本研究では、石膏型成形において生じる成形品の収縮や変形等について、石膏型とそれを用いて成形された陶器との寸法及び形状の変化を調査し、これらを見込んだ石膏型を設計し製作する方法を検討した。ここで、石膏型の製作は、技量によらず設計のと通りの石膏型製作が期待できる機械加工により行った²⁾⁻⁴⁾。また、実際に製作した石膏型を用いて陶器を製作し検証した。

2 研究の方法

2.1 石膏型成形における成形品の収縮・変形等調査

丸皿、オーバル皿、異形皿（いちご形）及び角皿の4種類の石膏型とそれを用いて作られた陶器について、目視及び寸法計測により収縮・変形等を調査した。

また、寸法及び形状に及ぼす粘土の違いや成形品乾燥の影響について、石膏型成形により角皿を製作して調査した。成形に用いた石膏型を図1に示す。成形は、益子焼協同組合が製造する益子水簸土及び益子赤土の2種類の粘土を用いた。成形品の乾燥は、そのまま手板状で乾燥する方法（以下、通常乾燥）及び発泡スチロール製容器に新聞紙を敷き、その上に2個の成形品の縁（フチ）と縁とを合わせて重ねて置き、上に新聞紙を被せて蓋をして乾燥させる方法（以下、管理乾燥）により行った。乾燥後、素焼き、施釉、本焼きをして陶器を製作した。



図1 角皿石膏型



図2 製作対象の陶器（角皿）

* 栃木県産業技術センター窯業技術支援センター

** 栃木県産業技術センター機械電子技術部

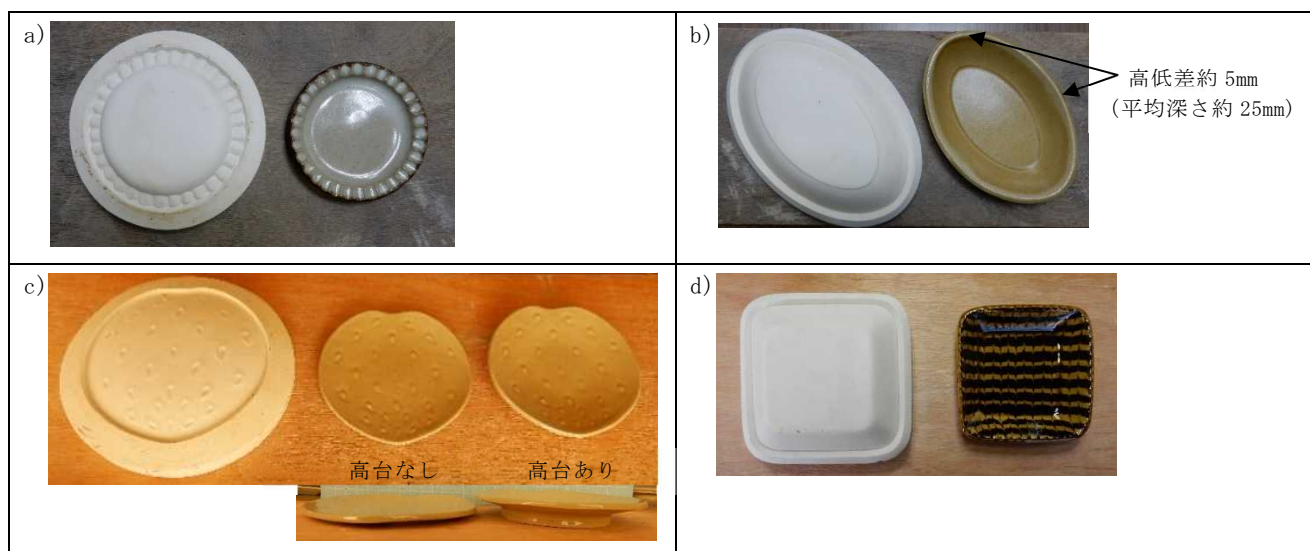


図3 石膏型とそれを用いて作られた陶器

a)丸皿 b)オーバル皿 c)異形皿(いちご形) d)角皿

用いた釉薬は、益子並白釉（益子焼協同組合製造）とした。素焼き、本焼きは、超高速昇温電気炉（㈱モトヤマ、SC-2035D）を用いて焼成した。焼成条件は、素焼き 820℃、本焼き 1,250℃（SK8 相当）酸化焼成とした。石膏型及び製作した陶器の形状測定には、非接触三次元デジタル計測機（GOM, ATOSⅢ Triple Scan）を用いた。また、成形に用いた粘土の収縮率は、30mm×60mm×5mm の金型を用いて製作したテストピース 5 個について全収縮率（成形直後から焼成後の収縮）を測定し、その平均値から求めた。なお、収縮率測定は、無釉で行い、焼成条件は角皿と同様とした。

2.2 石膏型の製作

製作対象の器は、図2に示す角皿（サイズ：14.0×14.0cm）とした。製作対象の器の形状をデジタル計測機により計測した。取得した器の形状を基に CAD（Geomagic, Design X）により原型データ、石膏型データを作成した。石膏型データの加工パスは、CAM（OPEN MIND, HyperMILL）を用いて作成した。石膏型の加工は、マシニングセンター（オークマ、MB-56VA）を用いて行った。製作過程の詳細は、次項の結果と共に示した。

2.3 製作した石膏型を用いた陶器の製作

2.2により製作した石膏型を用いて次の工程で陶器を作製した。製作方法は、2.1の角皿と同様とし、乾燥は、管理乾燥のみで行った。評価は、目視、寸法計測及びデジタル計測機により行った。主な製作条件を次に示す。

粘土：益子水簸土，益子赤土

釉薬：益子並白釉

乾燥：管理乾燥

本焼き：1,250℃（SK8 相当）酸化焼成

3 結果及び考察

3.1 石膏型成形における成形品の収縮・変形等調査

丸皿（φ9cm）、オーバル皿（21×15cm）、異形皿（12×11.5cm）及び角皿（12×12cm）の4種類について、石膏型とそれを用いて作られた陶器の寸法、形状等を調査した（図3）。これらは、益子水簸土を用いて製作されており、収縮率は9～11%程度であった。変形について、丸皿では、大きな形状変化は認められなかった。オーバル皿は、縁（フチ）に歪みが認められ、皿の底から縁まで、最大5mm程度の高低差があった（皿の平均深さ約25mm）。異形皿は、高台の有無により変形に差があり、高台がないものでは縁が落ちて平面に近づくような変形が認められた。角皿では、型と製作品で大きな形状変化は認められなかったが、型の段階で製作者の意図しない設計とのずれが生じていた。陶器の歪みについて、成形後の乾燥工程において、粘土の不均一な乾燥による歪みが生じることが知られている⁵⁾。今回調査した丸皿、異形皿及び角皿は、均一に乾燥しやすい形状で比較的サイズが小さいこともあり、石膏型と陶器との大きな形状変



図4 乾燥条件の比較（益子赤土）
（左：管理乾燥 右：通常乾燥）

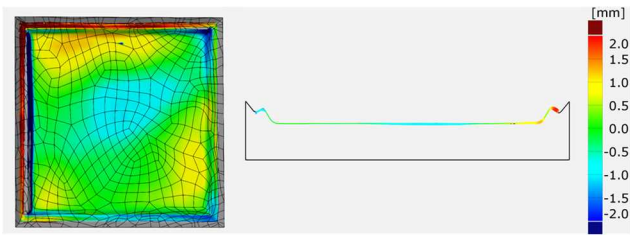


図5 デジタイザによる石膏型と角皿の形状比較

化が見られなかったと考えられる。一方でオーバル皿は、サイズが大きく不均一に乾燥したために変形が生じたと考えられる。

粘土の種類及び成形品乾燥が寸法及び形状に及ぼす影響について、角皿を作製し調査したところ、通常乾燥のものは、粘土の違いによらず大きな形状の歪みが認められており、製作工程における乾燥管理の重要性が改めて確認された(図4)。管理乾燥を行い製作した角皿の収縮率は、益子水簸土で約10%、益子赤土で約11%であり、産地で知られている石膏型によるタタラ成形時の収縮率と同等であった。また、テストピースにより求めた収縮率は、益子水簸土で10.4%、益子赤土で10.0%であり、製作した角皿の収縮率とほぼ同じであった。

デジタイザにより石膏型と製作した角皿の形状測定を行い、両者の差を比較したところ、器の縁(フチ)に形状誤差が認められた(図5)。これは、成形時の土のしまり具合や乾燥状態の微妙な違いなどによると考えられ、形状変化の規則性を定量的に見出すことは困難であったが、粘土の違いによらず実用的に問題のない形状誤差であった。

上述のとおり、変形を定量的に予測することは困難であるが、乾燥管理を適切に行うことで精度良く陶器の製作が見込まれる。このため、3.3の石膏型製作においては、形状変化は考慮しないが、収縮率から予測可能な寸法は考慮して型を設計することとした。

3.2 石膏型の製作

製作対象の器をデジタイザによりスキャンし、形状

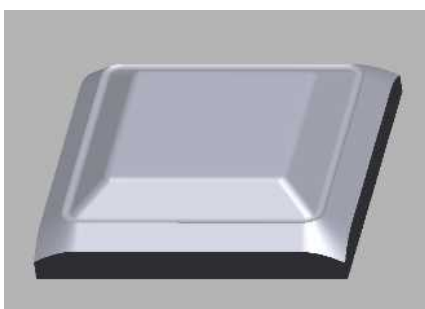


図6 作成した石膏型データ



図7 製作した石膏型

データを取得した。この形状データを基にCADにより石膏型モデルを作成した。ここで、取得した形状データには、器の成形過程における作り手の意図しない形状の歪みを有していたため、そのままの形状を原型(作りたい器のモデル)とすると歪みを反映した石膏型が製作されてしまい、最終的に作られる陶器も歪んでしまうことが懸念される。そこで、形状データを参考にCADにより原型を作成し、型モデルを作成した。型モデルの作成に当たっては、予めテストピースにより求めた収縮率10%を見込んで作成した。作成した原型モデルを図6に示す。この原型モデルからCAMにて加工パスを作成し、マシニングセンタ(オークマMB-56VA)により、φ6mmボールエンドミル、φ3mmボールエンドミルを使用し、予め製作した石膏ブロックから石膏型を製作した(図7)。

3.3 製作した石膏型を用いた陶器の製作

3.2により製作した石膏型を用いて益子水簸土及び益子赤土を用いて成形し、管理乾燥を行い、素焼き、施釉(並白釉)、本焼き(1,250℃(SK8)酸化焼成)して製作した陶器の外観を図8に示す。製作した陶器は、両粘土とも、大きな変形は認められず、ほぼ設計した寸法(14.2×14.2cm)であった。また、図9に示した製作対象の角皿とそれを基に製作した角皿の形状を、デジタイザにより比較した結果のとおり、製作対象とした器とほぼ形状誤差なく製作できた。これらのことから、石膏型の製作

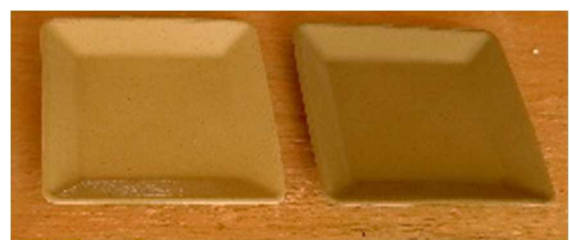


図8 製作した角皿

(左: 益子水簸土 右: 益子赤土)

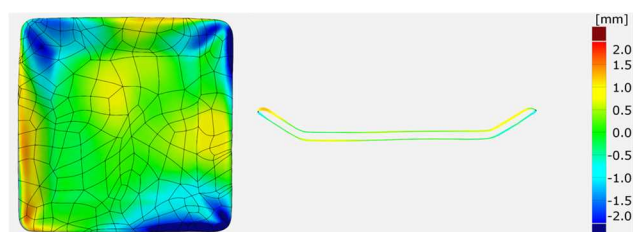


図9 製作対象の器（角皿）とそれを基にした石膏型により製作した角皿のデジタイザによる形状比較



図10 応用試作品（角皿セット）

において機械加工を用いることで、設計のとおり型の製作が可能であり、石膏型成形により精度よく陶器を製作するためには、成形品の乾燥工程の適切な管理が重要であることがわかった。

また、本手法は石膏型設計にCADを用いていることからサイズ変更が容易である。このことを利用し、商品開発の一例としてサイズ違いの型による、スタッキング可能な角皿セットを試作した（図10）。

なお、本研究では石膏ブロックをマシニングセンタで機械加工することで石膏型を製作したが、CADにより作成した原型モデルを3Dプリンタで出力して原型とし、石膏型を製作することも可能である⁶⁾。

4 おわりに

石膏型成形において生じる成形品の収縮や変形等について、石膏型とそれを用いて成形された陶器との寸法及び形状の変化を調査し、これらを見込んだ石膏型の製作を検討した。

石膏型とそれを用いて作られた陶器の寸法及び形状の変化は、成形品の乾燥工程により変形が生じるが、適切な乾燥管理を行うことで変形を抑制できることを改めて確認した。石膏型の設計において、変形の予測は、乾燥など成形工程の影響が大きく難しいが、寸法変化は、成形に用いる粘土の収縮率から予測して、CADにより型を設計し、機械加工により製作した。

製作した石膏型を用い、成形時の乾燥管理に留意して製作した陶器は、設計した寸法とほぼ同等であり、また、製作対象とした器とほぼ形状誤差なく製作できた。

参考文献

- 1) 陶工房編集部編：“やきものの教科書”，誠文堂新光社，（2020）
- 2) 宜保秀一ら：“沖縄県工業技術センター研究報告書 No.15”，47-52，（2013）
- 3) 副島潔ら：“佐賀県窯業技術センター平成30年度研究報告書”，1-5，（2019）
- 4) 林茂雄ら：“三重県工業研究所研究報告 No.43”，153-157，（2019）
- 5) 樋口わかな：“やきものの科学”，誠文堂新光社，（2021）
- 6) 塚本準一ら：“栃木県産業技術センター研究報告 No.2”，130-132，（2005）