

数値解析による鑄込み成形のプロセスイノベーション

蒲地 伸明、山崎 加奈
佐賀県窯業技術センター

圧力鑄込み成形は肥前地区の主要な成形方法の一つであるが、製品形状によっては、高台などの成形体の肉厚部において陶土充填が不十分になり、最終製品にヒケと呼ばれる凹みが発生したり、薄肉品が脱型前に割れてしまう等の問題がある。本研究では、天草陶土を用い泥漿調泥条件が成形体の精度に与える影響について評価を行った。結果、凝集剤の添加により 20mm の肉厚製品においてもヒケがほとんど認められない焼成体を得ることでき、薄肉製品の割れの防止にも効果的であった。

Improvement in slip casting process for porcelain

Nobuaki KAMOCHI, Kana YAMASAKI
Saga Ceramics Research Laboratory

Slip casting is one of the main forming methods to make complex shaped porcelains in Hizen area. However, depending on the shapes, a sink mark is generated on a thick part and a crack is generated in a thin part. In this research, the influence of slip conditions to precision of products was evaluated. As a result, the sink mark was effectively prevented even 20mm over thickness products and the cracks were not occurred even in the thin products by effect of addition of a flocculant.

1. はじめに

鑄込み成形は肥前地区における磁器の量産において主要な成形方法の一つである。鑄込み成形には石膏型の製作と、石膏型への泥漿鑄込み作業の2つの工程があるが、石膏型製作に関しては CAD/CAM システムの利用が増加し精度が飛躍的に向上している。結果、型面への詳細なレリーフの実装や、製品肉厚が極端に薄い石膏型の製作が可能となっている。

最近では製品設計に外部デザイナーを利用することも増えてきており、極端な薄肉や、薄肉部と厚肉部の差の大きい形状等、従来の常識にとらわれない形状がデザインされることも多い。量産が困難な形状の場合デザインの修正を行うことになるが、鑄込み成形の現場では作業者の感覚に頼った泥漿調泥や石膏型管理が行われていることが多く、修正の度合いは試行錯誤で決められることがほとんどである。薄肉成形体における充填不足や型内での生地割れ、厚肉成形体における不均一な泥漿充填によるヒケの発生などが問題になることも多く効率的な製品開発の妨げとなっている。当センターでは過去にも圧力鑄込みの研究を行い、石膏型の改良により、これまで成形困難な形状の成形を可能にした¹⁻³⁾。しかしながら石

膏型の改良だけでは対応困難な形状の圧力鑄込み成形や、従来の排泥鑄込みでは型内で割れてしまうような複雑形状の成形の歩留を向上させたいという要望が多い。

そこで本研究では鑄込み成形について泥漿の調泥条件と成形体の性状について数値解析し、従来製造困難であった形状の製品を安定して生産できる技術の確立を目指した。

2. 実験方法

試験用陶土として天草陶土を用いた。解膠剤としてケイ酸ナトリウム(193-08185;富士フィルム和光純薬株式会社製)、ディーフ(太平化学産業株式会社製)、又凝集剤として炭酸水素ナトリウム(191-01305;富士フィルム和光純薬株式会社製)を用いた。攪拌機を用いて所定の含水率、解膠剤、凝集剤添加量となるように泥漿を調泥した後、圧力鑄込み成形によって成形体を得た。石膏型は型寸法で縦横 107×107mm、厚さを 5mm、12mm、20mm と変えた 3 種の陶板成形用型を用いた。使用した石膏型の例を図 1 に示す。得られた成形体は乾燥後、ガス窯を用いて締め焼きを 1300℃10 時間の還元雰囲気で行い焼成体を得た。

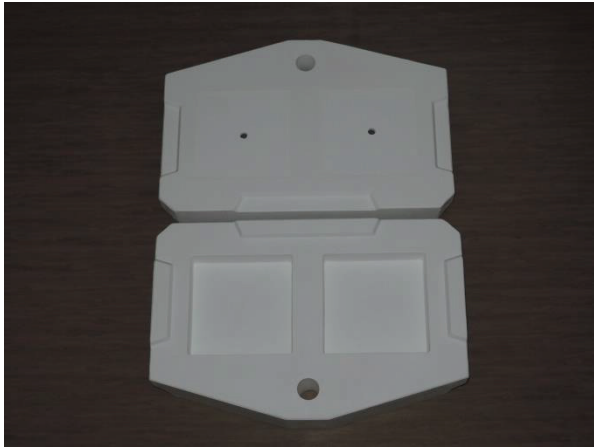


図1 使用石膏型例(107×107×20mm 陶板×2)

3. 結果と考察

3.1 鑄込み回数による型の吸水重量、焼成体重量の変化

圧力鑄込み成形においては1つの型を1日8回程度、繰り返し使用する。乾燥した状態から圧力鑄込み成形を7回繰り返し、鑄込み前後の型重量を計測することで繰り返しによる型の吸水重量の変化を確認した。1回あたりの吸水重量は7段階目の石膏型の平均で評価し、泥漿は含水率24.1%(ケイ酸ナトリウム0.25%添加)と28.2%(ケイ酸ナトリウム0.1%添加)の2種を用いた。また鑄込み圧力は0.12MPaと0.2MPaの2水準を比較し、鑄込み時間は共に20分とした。

図2に厚さ12mmの陶板を鑄込み成形した時の結果を示す。なおグラフ中の誤差範囲は95%信頼限界を示している。石膏型の吸水量は含水率24%鑄込み圧0.20MPa

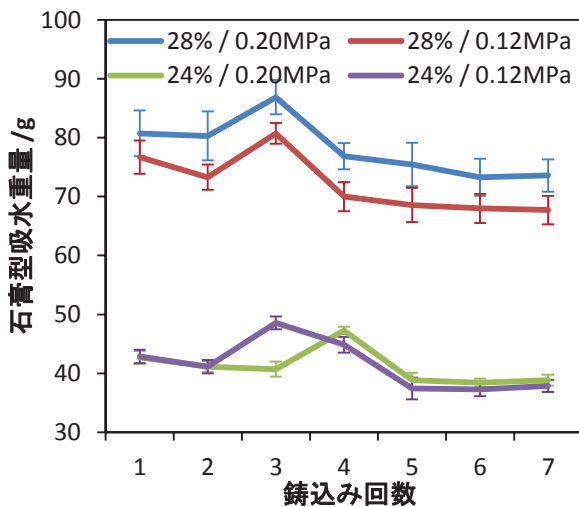


図2 鑄込み回数による石膏型吸水重量の変化。
(石膏型:107×107×12mm 陶板×2)

の条件では4回目、他の条件では3回目の鑄込みで最高値を示した。石膏型の乾燥した状態では鑄込み口の固化が早く成形体に十分な圧力を与えることが出来なかったことが1、2回目の吸水重量が最高値を示した回に比べ低くなった原因と考えられる。また、含水率28%と24%の比較では含水率の高い泥漿を用いたほうが吸水重量は大きく、0.20MPaと0.12MPaの鑄込み圧力の比較では圧力の高いほうが吸水重量が大きくなる当たり前の結果となった。また、含水率28%の泥漿は24%と比較して2倍程度の吸水重量があるが、5回目以降の吸水重量の変化率に関しては24%と比較してほとんど差が無く、この程度の繰り返し鑄込みでは型が水で飽和することはなく、吸水重量からみた型の吸水性能の変化はほとんどない結果となった。

鑄込み回数と焼成体重量の関係を図3に示す。なおデータは各条件で作成した試料14個の平均で誤差範囲は95%信頼限界を示している。圧力0.12MPaの鑄込み成形においては鑄込み回数が増えるに従い若干焼成体重量が低下していく傾向を示した。一方圧力0.20MPaの鑄込み成形では1回目から2回目にかけて焼成体重量は低下するものの、型の吸水重量が最も高くなった回数で焼成体重量が一旦増加することが確認できた。また鑄込み回数による焼成体重量の低下は圧力0.12MPaの鑄込み比べ小さい。従って、鑄込み回数を増やしていく場合、鑄込み圧力が高いほうが、焼成体重量に対する影響が少ないことが確認された。鑄込み成形では石膏型に水分を

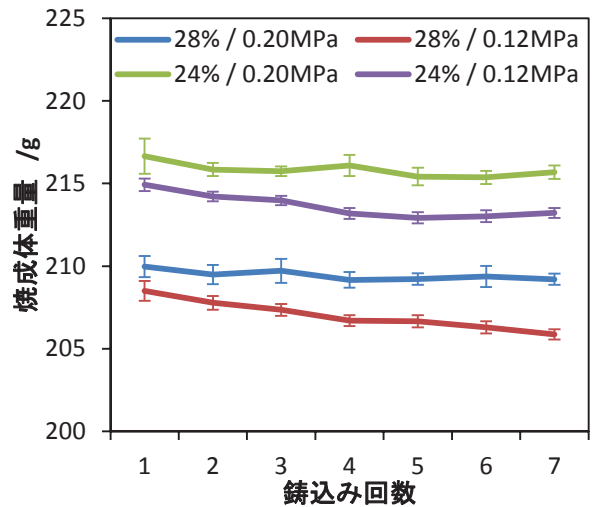


図3 鑄込み回数による焼成体重量の変化。
(石膏型:107×107×12mm 陶板×2)

奪われた分だけ泥漿が硬化するため焼成体重量と石膏型の吸水重量は相関性があると考えられるが、今回の結果では特に 0.12MPa の低圧での鑄込み成形において相関性が確認できなかった。

3.2 泥漿調泥、及び圧力鑄込み条件とヒケ発生量の変化

肉厚品の圧力鑄込み成形においては泥漿充填の不均一に起因するヒケと呼ばれる凹みが発生しやすい。厚さ 10mm で成形した試料に対しデジマチックインジゲータを用いて図 4 に示す方法で表面裏面のヒケの深さを計測し合算した結果の一例を図 5 示す。陶土粒子の配向や厚み方向中心部付近の脱水硬化不足のため、側面付近から中心に向かってヒケが大きくなる傾向が判る。なお、端部付近の数字がプラスの値を示しているのは陶板全体の反りが影響している。

図 6 に鑄込み条件、鑄込み回数によるヒケ最大値の変化を示す。含水率が高く鑄込み圧が低いほどヒケが大きく

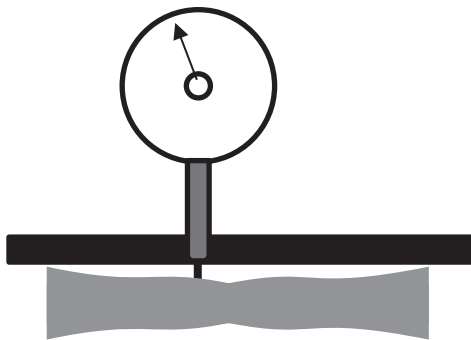


図 4 デジマチックインジゲータによるヒケの計測方法の模式図

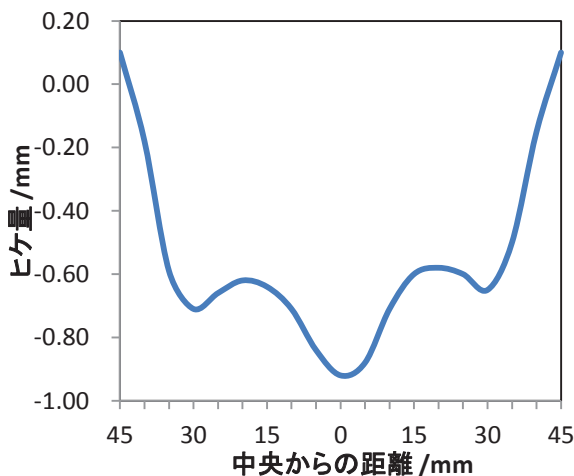


図 5 デジマチックインジゲータによるヒケの計測結果例

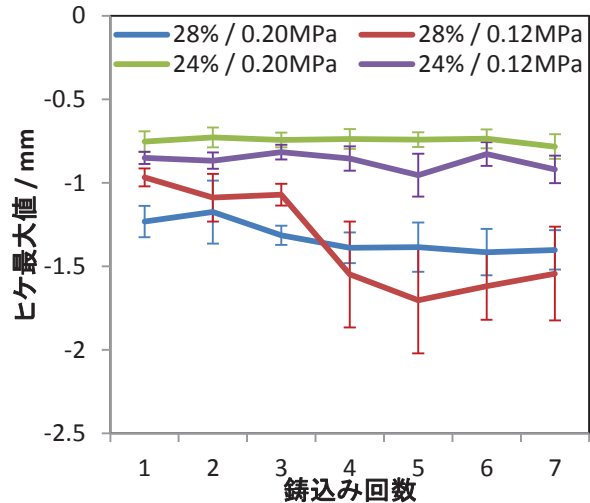


図 6 鑄込み回数によるヒケ最大値の変化
(石膏型: 107×107×12mm 陶板×2)

なると共にばらつきも大きくなる傾向があることが判る。しかし、含水率 24%、鑄込み圧力 0.20MPa の条件でも試料厚さ 10.5mm に対してヒケ 0.7mm と約 7% のヒケが発生している。解膠剤の添加量を増やし含水率をさらに低下させた条件で同様の試験を行ったが、解膠剤の添加量が増えると型付近の生地 of 締りが良くなることで、生地中の水分移動が困難となり、着肉の進行が停止した。結果、鑄込み時間にかかわらず中心付近にあんこ状に泥漿が残ることになり、生地 of 粗密が大きく、厚さ 10mm を超える試料ではヒケの解消は困難であった。

3.3 凝集剤添加試験

泥漿に凝集剤を添加することで型面付近の生地 of 締りを低下させ、生地中の水分移動を容易にすることで、厚さ方向での生地 of 粗密差を減少させ、厚肉品のヒケを低減できるか試験を行った。天草陶土に解膠剤としてディーフ 0.05% とケイ酸ナトリウム 0.15% を添加し含水率 24.1% の泥漿を調泥した後、凝集剤として重炭酸ナトリウムを添加し、凝集剤添加による泥漿粘度の変化を確認した。結果を図 7 に示す。凝集剤添加量 0.02% までは粘度の増加はほとんど認められず、更なる凝集剤の添加で粘度が上昇した。この陶土においては、0.03% 以上の重炭酸ナトリウム添加が必要なが明らかとなった。

重炭酸ナトリウムを 0.06% 添加した泥漿で行った圧力鑄込み成形体を焼成して得られた厚さ 18.2mm の陶板の

写真を図8に示す。比較のために重炭酸ナトリウム無添加の泥漿で行った圧力鋳込み成形体を焼成して得られた厚さ 10.5mm の陶板の写真を合わせて示す。写真から明らかのように、重炭酸ナトリウムの添加により厚さが約 2 倍の試料においても、ヒケのほとんど認められない良好な焼成体を得ることが出来た。

また、凝集剤の添加により生地を保水力が高くなり、石膏型内での脱水が緩やかに進行することが確認できた。この現象を利用することで、従来の泥漿では型内での生地の収縮のために脱型前に生地割が発生しやすい、底面が広くリム部が垂直に近く立ち上がった形状の製品でも歩留まりよく成形が出来ることが明らかとなった(図9)。



図9 凝集剤添加による乾燥割れ防止例
 (上段:素焼き断面 φ195mm h30mm 縁厚3mm
 下段:締め焼き φ182mm h28mm 縁厚2.5mm)

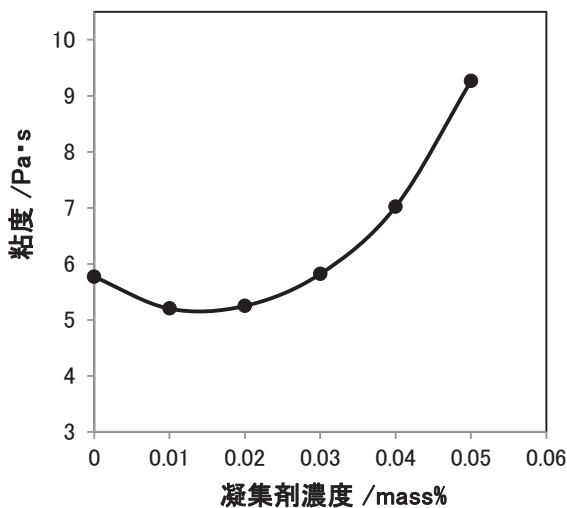


図7 凝集剤添加による天草泥漿粘度の変化
 含水率 24.1%, 解膠剤: ディーフ 0.05%, ケイ酸ナトリウム 0.15%

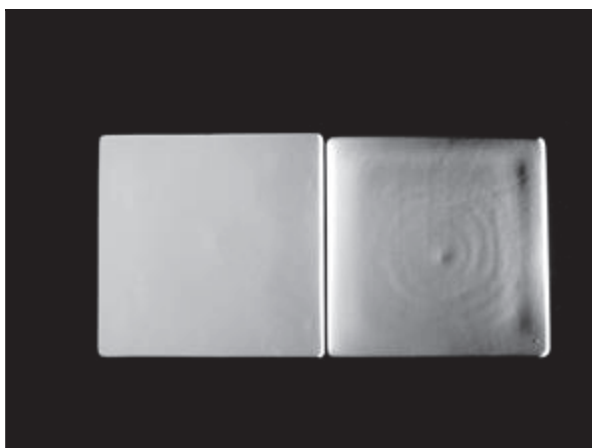


図8 凝集剤添加によるヒケ発生 の低減
 (左:凝集剤添加泥漿; 94×94×18.2mm,
 右:凝集剤無添加泥漿; 94×94×10.5mm)

4. まとめ

鋳込み成形について泥漿の調泥条件と成形体の性状について検証した。結果、肉厚の製品でも安定して成形できるようになった。圧力鋳込みに関して報告を行ったが、本研究によって得られた成果は排泥鋳込みへも応用され、圧力鋳込みと合わせて従来製造困難であった製品の成形に利用されている。

参考文献

- 1) 蒲地 伸明, 吉田 秀治, 佐賀県窯業技術センター平成 18 年度研究報告書, 1-5 (2007).
- 2) 蒲地 伸明, 吉田 秀治, 佐賀県窯業技術センター平成 19 年度研究報告書, 1-3 (2008).
- 3) 蒲地 伸明, 吉田 秀治, 佐賀県窯業技術センター平成 20 年度研究報告書, 5-8 (2009).