

1) 圧力鋳込み成形における歪防止技術の開発

蒲地 伸明・吉田 秀治

本研究では圧力鋳込み成形における歪の発生防止の確立を目的とする。本年度は天草陶土と非天草系陶土の泥漿性状について調査を行った。その結果、非天草系陶土の泥漿はチキソトロピーとダイラタンシーのレオロジー特性を示し、天草陶土に比べ圧力鋳込みが難しいことが明らかとなった。

また泥漿の含水率を制御することにより、全収縮は変化するが、最終的な焼成後の曲げ強さには変化が無いことが明らかとなった。

1.はじめに

圧力鋳込み成形は肥前地区における量産磁器の成形方法の主力であり、成熟した技術と考えられていた。しかし、非天草系陶土で天草陶土と同様の手法で圧力鋳込み成形を行った場合、丸い碗が楕円になる等、成形体密度の不均一性が原因と考えられる変形が多く発生している。このことは非天草系陶土の使用を躊躇する原因ともなっており今後の新製品開発の大きな足かせになっている現状がある。

本研究では非天草系陶土を用いた圧力鋳込み成形の歩留まり向上を目指し、泥漿調整、石膏型、鋳込み方法等の種々の方向から改善を試みる。本年度は主として天草陶土と非天草系陶土の泥漿の性状の違いについて調査を行った。また鋳込み条件による素材の強さの変化の有無に関する調査を行った。

2.実験方法

2.1 試料陶土

表 1 に本研究において用いた非天草系陶土の調査表を示した。以後この陶土を“M02”と記述する。陶土に用いる粘土鉱物はマレーシアカオリンと蛙目粘土を用いた。マレーシアカオリンは以前のセンターの研究¹⁾

表 1 非天草系陶土(M02)の調査割合(%)

| マレーシアカオリン | 蛙目粘土 | 珪石 | 益田長石 |
|-----------|------|----|------|
| 30 | 10 | 30 | 30 |

において詳細な分析を行っており、主な構成鉱物はカオリナイト、ハロイサイト、ギブサイトである。これらの原料を50kgボールミルに投入し8時間湿式粉碎混合した後、200meshのふるいを通し、フィルタープレスにより脱水することで試験用陶土とした。なお、M02陶土を用い円形の鉢を圧力鋳込み成形後、焼成を行った結果、試験品には鋳込み口に近い部分の縁が立ちあがり、鋳込み口から遠い部分の縁が開く形での変形が発生し、天草陶土に比べ圧力鋳込みによる変形の発生しやすい陶土であることが確認された。

なお、比較試料として、肥前地区で最も多く使用されている撰中陶土を用いた。

また、鋳込み条件による焼成体強さの変化を確認するため市販強化磁器を用いて鋳込み条件と曲げ強さの関係を確認した。

2.2 使用機器と泥漿調整方法

粘度測定にはストーマー粘度計(上島製作所製: No.910329)、B型粘度計(トキメック製: DVH-B2)の2種の粘度計を用いた。粘土測定用の泥漿は陶土に所定の含水率、解膠剤添加率となるように水と解膠剤を添加しミキサーにより攪拌して調整した。調整した泥漿は一日静置した後、スターラーで静かに30分間攪拌し10分静置後、粘度測定に用いた。

粒度分析はX線透過式重力沈降法(マイクロメリティックス製: セディグラフ 5100)を用いて行った。

素材強さはJCRS203による曲げ強さ試験方法により測定を行った。

3.結果と考察

3.1 陶土の解膠曲線

B型粘度計を用いて測定した解膠曲線を図1に示した。泥漿の含水率は30%、使用解膠剤は珪酸ナトリウムである。測定はローター回転数50(r.p.m.)で行った。図より明らかなように天草陶土もM02陶土もほぼ同様の解膠曲線を示すことが明らかとなった。

3.2 ストーマー粘度計による性状評価

ストーマー粘度計は攪拌羽を用いた粘度計でありスラリーの攪拌抵抗を測定するために用いる。実際の泥漿調整に用いる攪拌槽によく似た構造であるため泥漿調整時の粘度変化を確認するのに適していると考えられる。通常は単位時間当たりの攪拌羽回転数を一定にするために必要な荷重により粘度を求めるが、本研究では過重変化による攪拌抵抗(攪拌羽回転数)の変化を確認するために用いた。M02陶土、天草陶土について測定を行った結果を図2に示した。グラフの縦軸は攪拌羽の1分あたりの回転数を示しており数字が大きいほど攪拌抵抗が少ないことを示す。図から明らかなように天草陶土はグラフの傾きが緩やかである。すなわち荷重の変化による攪拌抵抗の変化が少ないことを示している。一方M02陶土においてはグラフの傾きが急であり荷重による攪拌抵抗の変化が大きいことを示している。すなわち天草陶土においては泥漿調整時に攪拌スピードを速くしても泥漿の粘度の変化が少なく泥漿調整を行いやすいが、M02陶土においては泥漿調整時の攪拌スピードにより泥漿の粘度変化が大きくなりやすい。具体的には早い攪拌を行った場合泥漿の見かけ粘度が小さくなりやわらかく見えるため、泥漿調整に注意を要することが明らかとなった。またグラフの立ち上がりの部分に着目すると天草陶土は荷重が200gになるまで泥漿の移動がなく弱い力では粒子の移動が起きにくい、すなわち鑄込み成形体の保形性が良いことが推測された。

図3にM02陶土泥漿の含水率を変えた時の粘性曲線の変化を示した。図から明らかなようにM02陶土においても含水率を25.6%、24.1%、23.0%と減らすことによってグラフの立ち上がり点が右側すなわち荷重の大き

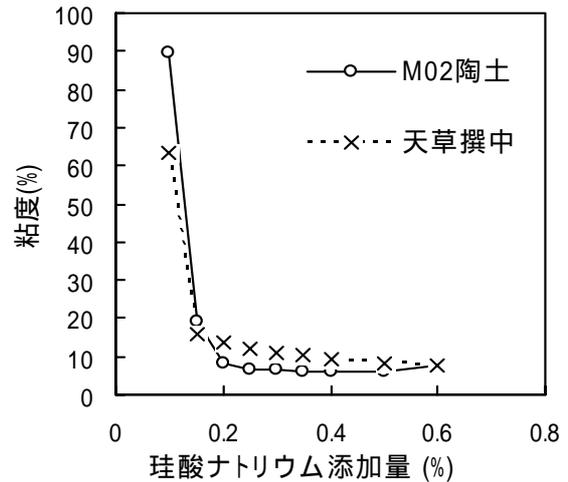


図1 使用陶土の解膠曲線

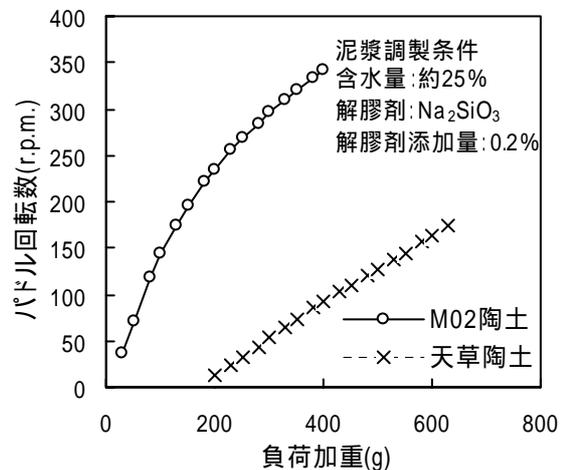


図2 各陶土における荷重とパドル回転数の関係
(泥漿含水率25%、珪酸ナトリウム0.2%)

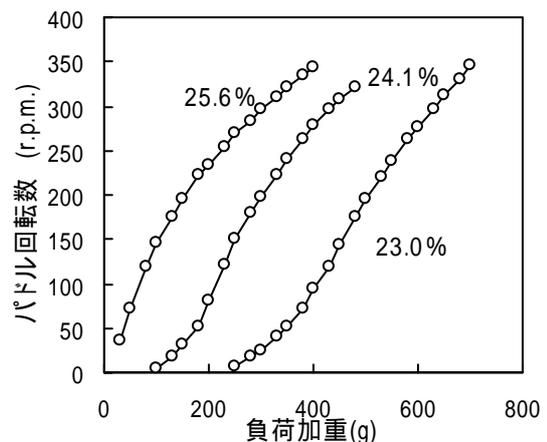


図3 M02陶土における含水率と“荷重-パドル回転”
曲線の関係(珪酸ナトリウム0.2%)

い部分にシフトし弱い力による泥漿の移動が抑えられることが判る。しかしながらグラフの傾きはほとんど同じであり含水率を変化させても荷重と攪拌抵抗の関係はほとんど変化しないことが明らかとなった。

3.3 B型粘度計による性状評価

各泥漿のレオロジー特性を明らかにするためにB型粘度計による粘度測定を行った。図4に天草陶土において含水率27, 30, 33%とした場合のレオロジー曲線を示した。3種の泥漿の測定開始時(ローター回転数0.5rpm)の粘度はほぼ一定となるように解膠剤の量を0.4, 0.25, 0.1%とした。いずれの泥漿も測定開始時の粘度はほとんど同じであるがローター回転数を上げるに従い顕著な違いがみられるようになった。特にケイ酸ナトリウムを0.1%しか添加していない含水率33%の泥漿においてはチキソトロピーの性質が現れた。これは陶土量に対し解膠剤が少ないために原料粒子同士の反発力が不十分で、攪拌が弱くなったときにすぐに再凝集を始めるためと考えられる。

含水率を一定にした場合のM02陶土と天草陶土のレオロジー曲線を図5に示した。図から明らかなようにM02陶土は顕著なチキソトロピーを示している。このことはスター粘度計で得られたM02陶土は攪拌により見かけ粘度が低下しやすいという結論によく一致している。一方、天草陶土の場合顕著なヒステリシスループは見られない。M02陶土のチキソトロピー発現の原因として解膠剤の添加不足とは考えにくい。これは図1の解膠曲線からも明らかである。M02陶土の原料のマレーシアカオリンには凝集作用のあるギブサイト等が含まれることから、今回使用したM02陶土におけるチキソトロピーの発現は多価陽イオンによる電気2重層の厚みの低下が原因と考えられる。一方、天草陶土においては再凝集の要因となる多価陽イオンが少ないため泥漿が安定していると考えられる。圧力鑄込み成形においては泥漿が型内に最初に充填された後は泥漿の送泥速度は石膏型による脱水速度に依存するため泥漿の動きは鈍くなる。このためチキソトロピー性の強い泥漿では泥漿粘度の増加により泥漿の移動が阻害され鑄込み口からの位置によっては十分な充填ができな

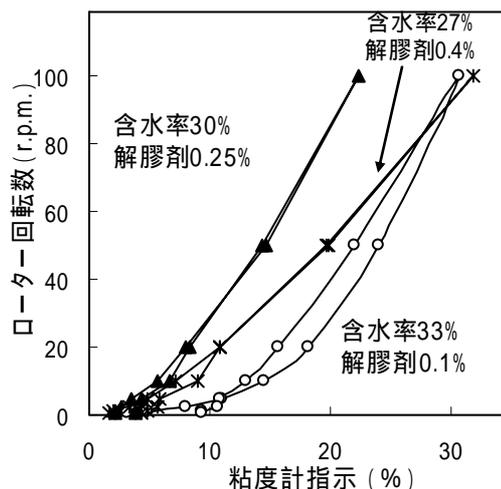


図4 天草陶土における含水率と粘性曲線の関係

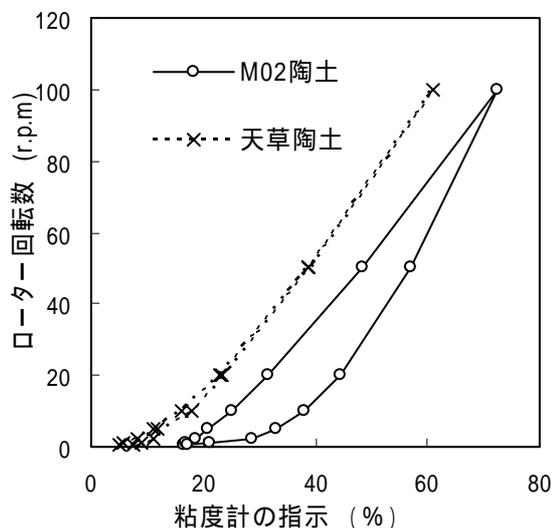


図5 天草陶土とM02陶土の粘性曲線

(含水率25%珪酸ナトリウム0.4%)

い場合が生ると考えられる。このことがM02陶土において最終製品に歪の発生しやすい原因のひとつとなっていると推測された。

一方、練土の段階ではM02陶土は微細な振動により柔らかくなるダイラタンシー的な挙動を示した。濃厚懸濁液によるレオロジー測定が困難であり確認はできなかったが、M02陶土の泥漿は鑄込みにより脱水が進行した状態ではダイラタンシーの性質となることが推測され、鑄込成形後半は圧力による泥漿移動、脱水が困難になることが予想された。また鑄込み終了後の成形体は脱型時の振動により構造が緩みやすく保形性が悪い状態になりやすいと考えられる。実際の鑄込みの試

験時にも脱型時の不安定さは確認された。図6に本研究で使用した M02 陶土と天草陶土の粒度分析結果を示した。図から明らかなように M02 陶土の粒度分布は天草陶土に比べ立ち上がりが急であり粒度分布幅が狭いことが判る。ダイラタンシー性は粒度分布幅が狭い場合顕著に現れる傾向があり、粒度分析の結果は現場での傾向とよく一致している。天草陶土の幅広い粒度分布はスタンパー粉砕という特殊な製造技術によるものである。非天草系陶土の生産に用いられるボールミル粉砕では粒度分布はそろいやすい傾向があり、同様の粒度分布を実現することは困難である。

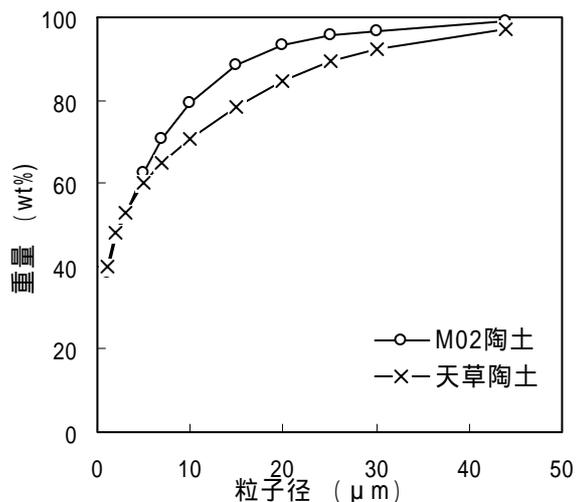


図6 天草陶土とM02陶土の粒度分布

3.4 鑄込み条件と焼成体強さの関係

一般的に圧力鑄込み成形においては泥漿の含水率を少なくして生地密度を高くすることが良いとされている。そこで市販の強化磁器陶土を用い泥漿含水率を25%、30%、35%と変化させて作成した曲げ試験片20本について曲げ強さ測定を行い曲げ強さの違いの有無について確認した。鑄込み時の泥漿の粘度がほぼ同じとなるように泥漿含水率25%、30%、35%のときの珪酸ナトリウム添加量は、それぞれ0.4、0.2、0.1%とし、含水率25%の泥漿に対しては、更にディーフ(ポリリン酸系解膠剤)を0.1%添加した。なお、乾燥収縮の影響を避けるため鑄込み後の試験片は素焼後に素焼試験片を研削することでJCRS203指定のサイズ(焼成後断面形状8×4mm)となるように調製した。焼成は電気炉を用い1300℃まで13時間昇温、1300℃30分保持の条件で行い、最終的な曲げ試験用の無釉試験片を得た。

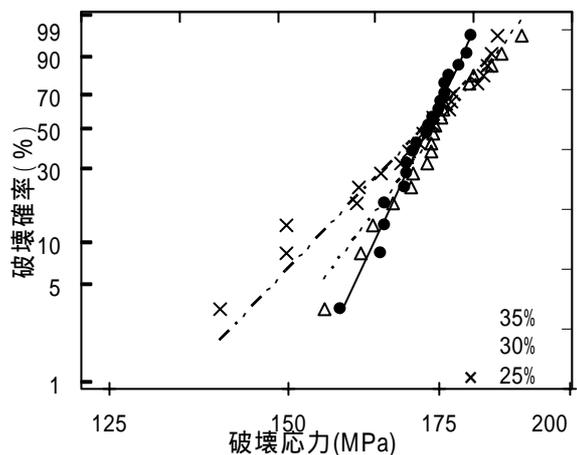


図7 天草陶土における含水率と曲げ強さの関係

図7に曲げ強さ試験結果のワイブルプロットを示した。泥漿含水率25%、30%、35%の試料曲げ強さはそれぞれ170、172、174MPaとほぼ同じであった。またばらつきに関しては、泥漿含水率25%の試料が特に大きくなった。そこで、試料の状態を詳細に観察した。その結果、いくつかの試料で鑄込み時に空気を巻き込み発生したと思われる空隙が確認された。泥漿含水率30%、35%の試料ではピンホールが確認できなかったことから、泥漿含水率25%泥漿は泥漿比重が大きいため、鑄込み時に泥漿中に一度空気を巻き込むと巻き込み

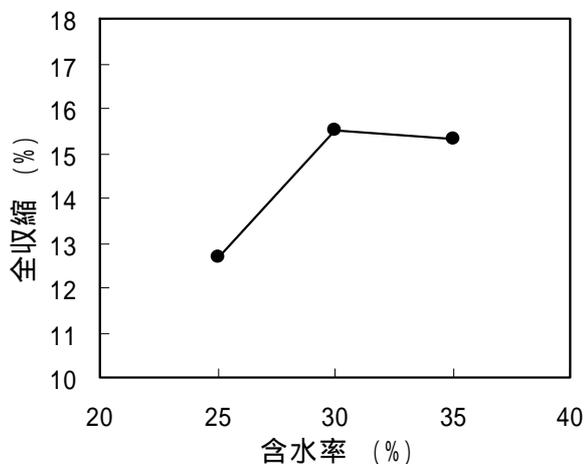


図8 含水率と全収縮の関係

だ空気の移動が困難でそのまま生地中にピンホールとして残存しやすいと推測される。

図 8 に泥漿含水率 25%、30%、35%の試料の型から焼成体までの全収縮を示した。全収縮は泥漿含水率 25%、30%、35%でそれぞれ 12.7%、15.3%、15.5%であった。含水率 30%と 35%の試料ではほぼ同じ収縮率を示しており鑄込み生地の充填がほぼ同じような状態であると推測される。一方、泥漿含水率 25%の試料では他の試料に比べて収縮が 2.5%ほど小さく生地が密に充填されていると考えられる。最終的な焼成体の曲げ強さには殆ど影響は無いものの、全収縮が少ないことは脱型時の切れ防止や、焼成時の歪防止には有効であると考えられる。

4.まとめ

天草陶土と非天草系陶土の泥漿の特性について調査した結果両者の泥漿特性に大きな違いが有ることが明らかとなった。今回、実験に使用した非天草系陶土においては主として粘度鉱物に含まれるギブサイト等の凝集作用のある成分に影響を強く受けチキソロピーの特性を示した。一方、脱型時の低含水率時にはダイラタンシーの特性を示し、脱型に注意を要することが明らかとなった。また、泥漿の含水率は全収縮には影響を与えるものの最終的な素材強さに影響を与えないことが確認された。

非天草系陶土におけるチキソロピー性は凝集作用のある成分を含まない原料を用いれば改善はできるが、多くのカオリンは随伴鉱物としてギブサイトを含んでおり原料の選択肢を狭くする。またダイラタンシー性に影響を与える粒度分布幅もボールミル粉碎に原料投入を段階的に行う等、工程を工夫することである程度の改善はできると考えるが作業性を考えると現実的ではない。

そこで来年度以降の研究ではこれら泥漿の性質の改善ではなく圧力鑄込み方法の改良による歪防止の研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) N. kamochi, Proceedings of The 17th International Korea-Japan Seminar on Ceramics 113-117 (2000)