

## — 経常研究 —

# 可塑性制御技術の開発

陶磁器科 吉田英樹  
九州大学大学院 藤野 茂、梶原稔尚

## 要 約

陶磁器や無機材料の成形時に重要な原料の可塑性を制御する技術を確認するため、可塑性データベースを構築し、配合原料において可塑性に影響を及ぼす要因を検討する必要がある。本年度は、可塑性データベースの基本データとなる可塑性の指標を定めるための可塑性評価方法としてクリープ試験から求められる粘性率に着目し、粉碎方法の異なる天草陶土と配合陶土について検討した。その結果、配合陶土の粘性率は、負荷荷重の増加に伴って増加したが、天草陶土の粘性率は負荷荷重に依存せずほぼ一定の値を示した。負荷荷重とともに粘性率が増加する配合陶土は、成形時に変形速度分布が生じるため、切れなどが発生する原因となることが示唆された。一方、天草陶土は、負荷荷重に依存せず常に一定の速度で変形するため、成形体に切れなどの欠点が発生しにくいと考えられる。クリープ試験によって求めた粘性率は、陶磁器原料の可塑性の指標となりうることが示唆された。

キーワード：陶磁器原料、陶土、可塑性、成形性、クリープ試験、粘性率

## 1. はじめに

陶磁器や無機材料を製品化するには、機械ろくろ、ローラマシン、押出、造粒等、用いる成形方法に対応した材料の可塑性制御が大変重要である。可塑性とは、固体に外力を加えて変形させ、力を取り去っても元の形状に戻らない性質のことであるが、特に変形時の粘りの度合いが、さまざまな成形方法における成形歩留まりを大きく左右する。この可塑性を制御するためには、用いられる原料の可塑性を把握しておく必要があるため、可塑性を考慮しながら複数の原料を配合するには長年の経験に基づく豊富な知識を必要とする。しかし、近年、熟練技術者の減少により、技術の伝承がうまくいかないケースが増加している。経験蓄積型の技術を継承するために、可塑性データの集積と予測の手段、並びにそのマニュアル化が求められている。

そこで本研究では、陶磁器や無機材料の成形時に重要な原料の可塑性の中でも特に粘りを制御する技術を確認するため、可塑性データベースを構築し、配合原料において可塑性に影響を及ぼす要因を検討する。

本年度は、可塑性データベースの基本データとなる可塑性の指標を定めるための可塑性評価方法について

検討した。

## 2. 実験方法

本研究では、可塑性評価方法としてクリープ試験を検討した。クリープ試験は、材料の変形時の変位-荷重-時間の関係を直接的に測定する方法のひとつで、物体に一定荷重を負荷したときの変形と時間の関係を求め、試料に一定荷重を負荷したときの変形率を縦軸に、経過時間を横軸にプロットして得られるクリープ曲線から弾性率および粘性率を求めることができるものである。

可塑性評価の測定対象としては、天草陶石をスタンブミルで粉碎して得られる天草陶土と、複数の原料を調合しボールミルで粉碎・混合して得られる配合陶土を選定した。この2種類は、粉碎方法の違いにより可塑性が異なることが従来から経験的に知られている。

天草陶土試料には、市販の機械ロクろ成形用の天草選中陶土を使用した。配合陶土には、当センターで作製した低温焼成用陶土を用いた。平均粒径および水分量を、いずれも約5 $\mu$ mおよび約23%に調整したものをを用いた。

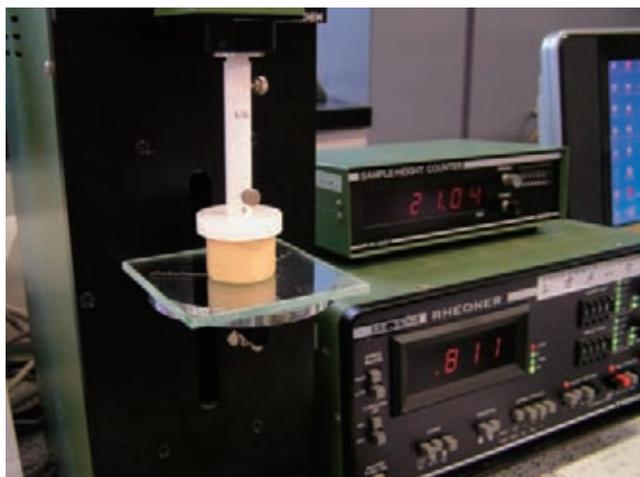


図1 レオメーター

それぞれの陶土を直径30mm、高さ25mmの円柱状に加工し測定用試料とした。クリープ試験は、図1に示すレオメーター（RE-3305、山電製）を用いて行った。ステージに乗せた円柱試料を円板状治具で上からはさみ、一定荷重を加えることで試料が次第に潰れて試料高さが減少する過程において、試料の初期高さに対する高さの変化量から変形率を求めた。負荷荷重は0.98N（100gf）、4.9N（500gf）、9.8N（1000gf）、

18.6N（1900gf）の4段階とし、300秒間荷重した後除重し、引き続き300秒間試料の変形率を測定し回復状態も確認した。

### 3. 結果

図2にクリープ曲線の模式図を示す。横軸が荷重開始からの経過時間、縦軸が試料高さの変形率を示す。クリープ曲線は、図中に示すように瞬間変形に対応する瞬間変形部と、徐々に変形速度が遅くなる遅延変形に対する粘弾性部と、変形速度が一定となる定常粘性部に分けられる。

図3および図4に天草選中陶土および低温焼成用陶土のクリープ曲線を示す。いずれの荷重においても、荷重開始から約50秒後に変形速度が一定となる定常粘性状態へと移行した。荷重開始300秒後に除重すると、変形率が低下する挙動を示した。これは変形した試料がわずかに回復したことを示している。荷重300秒後の最大変形率と600秒後の変形率の差を回復率と定義すると、荷重が大きいくほど回復率は大きかった。低温焼成用陶土は、同じ負荷荷重では天草選中陶土の半分程度しか変形しないことがわかった。

### 4. 考察

前述したように、クリープ曲線は、瞬間変形部、遅延変形部、定常粘性部の3つの領域に分けられ、瞬間変形部はスプリングで示したフック弾性体モデルに、遅延変形部はスプリングとダッシュポットで示した2組の並列型フォークト粘弾性体モデルに、定常粘性部はダッシュポットで示したニュートン粘性体モデルにそれぞれ近似的に対応するものとみなせる。6要素モデルを例にすると、その方程式は次式のようになり、弾性率及び粘性率を求めることができる。

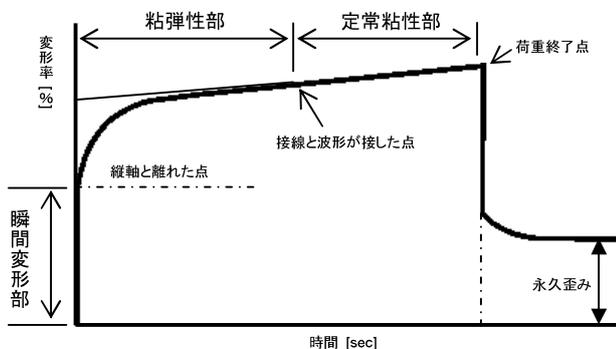


図2 クリープ曲線の模式図

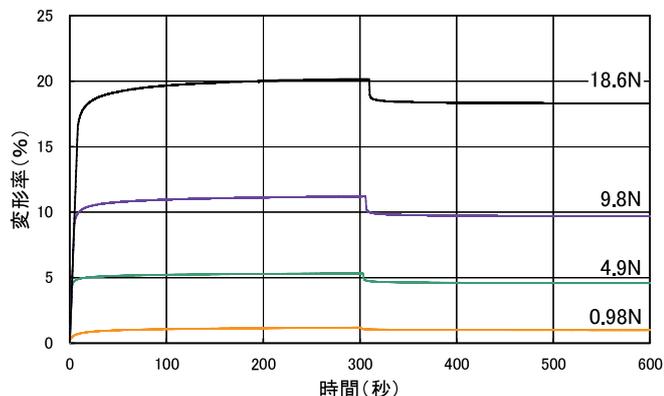


図3 天草選中陶土のクリープ曲線

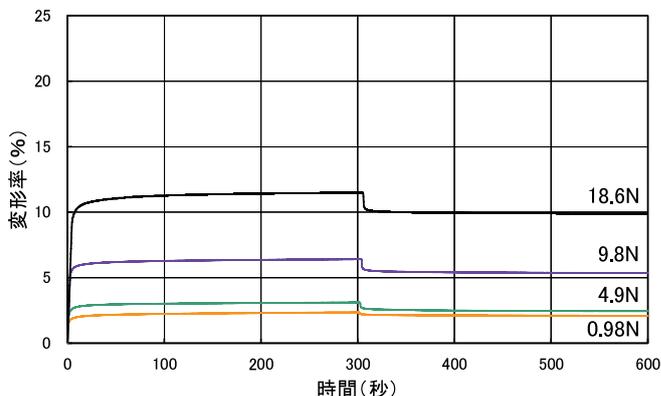


図4 低温焼成用陶土のクリープ曲線

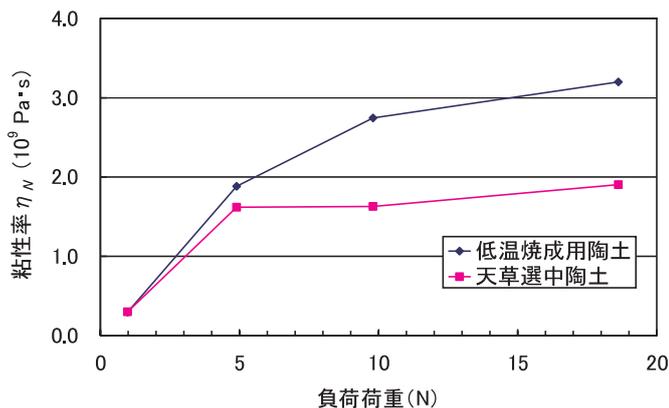


図5 クリープ試験における負荷荷重と定常粘性部の粘性率の関係

$$\varepsilon(t) = \frac{P_0}{E_0} + \frac{P_0}{E_1} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}) + \frac{P_0}{E_2} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}) + \frac{P_0}{\eta_N} t$$

ここで、 $\varepsilon(t)$ は変形率、 $t$ は経過時間、 $P_0$ は応力、 $E_0$ は瞬間変形部の弾性率、 $E_{1,2}$ は遅延変形部の弾性率、 $\tau_{1,2}$ は遅延時間、 $\eta_N$ は定常粘性部の粘性率を示す。本研究では、陶磁器や無機材料の成形時に重要な原料の可塑性の中でも特に粘りの評価を目的とするため、定常粘性部の粘性率に着目した。

定常粘性部の傾きから算出した定常粘性部の粘性率を縦軸に、負荷荷重を横軸にとったグラフを図5に示す。配合陶土は、負荷荷重の増加に伴って粘性率が増加した。一方、天草選中陶土は、負荷荷重が4.9Nを超えると粘性率はほぼ一定となった。

陶土を高速回転させながら鋺と石膏型で挟んで成形を行う機械口クロやローラーマシン成形では、成形中の陶土に応力分布が生じている。そのような状況では、負荷荷重とともに粘性率が増加する配合陶土は、成形時に変形速度分布が生じているため、切れなどが発生しやすいことを示唆している。一方、粘性率が負荷荷重に依存しない天草陶土は常に一定の速度で変形するため、切れなどの欠点が発生しにくいと考えられる。

以上の結果は、クリープ試験によって求めた粘性率が、陶磁器原料の可塑性の特徴を示すひとつの指標となりうることを示唆するものである。今後、さらに多くの原料の粘性率をクリープ試験により評価して、成形性との関係を確認するとともに、粘性率のデータベース化を行って、可塑性制御技術の確立を目指す。

### 5. まとめ

陶磁器や無機材料の成形時に重要な原料の可塑性を制御する技術の確立を目指し、その指標を定めるための可塑性評価方法としてクリープ試験について検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 得られたクリープ曲線は、瞬間変形部、遅延変形部、定常粘性部の3つの領域で構成され、負荷荷重が異なっても約50秒後に定常粘性部に移行することがわかった。
- 除重すると変形率が減少する回復現象がみられ、回復率は、負荷荷重が大きいほど大きかった。
- 低温焼成用陶土は、同じ負荷荷重では天草陶土の半分程度しか変形しないことがわかった。
- 陶磁器原料の可塑性の指標として定常粘性部の粘性率に着目し、天草陶土と低温焼成用陶土の比較を行った結果、低温焼成用陶土の粘性率は、負荷荷重の増加に伴って増加したが、天草陶土の粘性率は、負荷荷重に依存せずほぼ一定の値を示した。
- 低温焼成用陶土は、負荷荷重の変化に伴って生じる変形速度分布により、切れなどが発生しやすいことが示唆された。
- 天草陶土は、負荷荷重に依存せず常に一定の速度で変形するため、切れなどの欠点が発生しにくいと考えられる。
- クリープ試験によって求めた粘性率は、陶磁器原料の可塑性の特徴を示すひとつの指標となりうることを示唆された。