

## 耐熱衝撃試験を経た陶磁器の曲げ強度について

西川 孝\*, 岡本康男\*\*, 新島聖治\*\*, 伊藤 隆\*\*

### Bending Strength of the Heat-resistant Petalite Ceramics after Thermal Shock Test

Takashi NISHIKAWA, Yasuo OKAMOTO, Seiji NIIJIMA, Takashi ITO

Key words: Petalite Ceramics, Bending strength, Thermal shock test

1

#### 1. はじめに

耐熱陶器は昭和34年ごろにペタライト質耐熱陶器の開発・量産化が成功し、その後素地の改良、釉薬の開発が進められてきた。その結果、現在三重県産土鍋は国内で相当のシェアを占めてきたが、中国産をはじめとする海外産の安価な製品の輸入や、国内他産地の台頭もあり、土鍋を含む陶磁器製・台所用品の県内生産量は減少してきている<sup>1)</sup>。

本研究室では、このような厳しい環境下の中、県内の耐熱陶磁器へ競争力の付与や高付加価値化を目的に、研究・開発を行っている。例えば、強熱下での使用や業務用の連続使用においては、信頼性が不足し、改良の余地がある。そのような課題に対応するには熱膨張を抑制することが有効であるので、耐熱陶器の低熱膨張化の研究を進めている<sup>2)</sup>。この研究では、耐熱陶器の性能向上のために熱膨張率に着目し、その低下を主課題として研究を行っている。一方、JIS S 2400 陶磁器製耐熱食器による熱衝撃強さでは、「試験を行ったとき、釉層の貫入もしくは剥離、または素地の割れ、切れ、ひび若しくは欠けの欠点が生じてはならない。」とあり、主に目視での確認により耐熱衝撃強度を確認することになっているものの、強度に関しての要求はない。そこで、本研究では JIS<sup>3)</sup>の試験方法を準用して耐熱衝撃試験を経た素地の曲げ強度を測定する

ことにより、機械的強度、すなわち数値による素地の耐熱特性を評価することを検討したので報告する。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 試験体の作製

使用した素地は、半磁器素地、タイル用素地、低熱膨張化を図り試作した窯業研究室試作土鍋素地(以下試作素地)、市販土鍋素地 A 及び市販土鍋素地 B の5種類である。試作素地、市販土鍋素地 A、市販土鍋素地 B についてはペタライト含む耐熱素地である。フィルターケーキ及び練土状態であったこれらの坯土を 85℃で 48 時間乾燥し、これを 1 mm 以下に解砕した。これに 3% 程度の水を加え、金型を用いて 30MPa の圧力でプレス成形し、

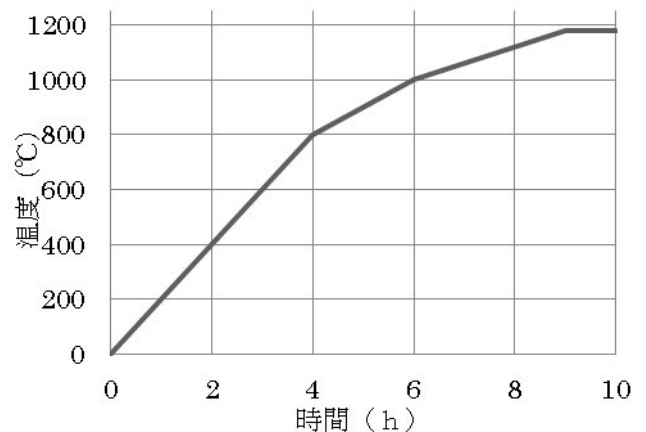


図1 試験体の焼成パターン

\* 窯業研究室伊賀分室

\*\* 窯業研究室

約 115mm×24mm×6mm の成形体を作製した。これを電気炉により図 1 に示す焼成パターンで酸化焼成し、試験体とした。

## 2. 2 吸水率及び熱膨張測定

吸水率については JIS A 1509-3 陶磁器質タイル試験方法に準拠し、作製した試験体を煮沸法により測定した。熱膨張については作製した試験体から、約 50mm×6mm×6mm の試験体を切出し、真空理工社製 DLY7000RH を用い、昇温速度 7°C/min で試験体の寸法変化を測定し、熱膨張係数 (1°C) を算出した。

## 2. 3 熱衝撃試験

JIS S 2400 陶器製耐熱食器を準用して所定の温度差で耐熱衝撃試験を行った。耐熱衝撃温度差は 120°C から 600°C までの範囲で行った。所定温度の恒温器の中に試験体を 1 時間以上保持した後、直ちに 24±3°C の水槽中に重ならないよう投入し、試験体が水温まで冷えてから取り出して、110°C の恒温器中で 2 時間以上乾燥した。これをデシケーター中で保存し、曲げ強度測定に供した。

## 2. 4 曲げ強度測定

JIS A 1509-4 陶磁器タイル試験方法を準用して曲げ強度を測定した。3 点曲げ試験により、試験体を破断した時の最大荷重破壊を求め、曲げ強度を算出した。クロスヘッド速度は 1mm/min とし、支持ロッド間のスパンは 100mm とした。

# 3. 結果及び考察

## 3. 1 吸水率及び熱膨張係数

各素地の吸水率及び熱膨張係数を表 1 に示す。吸水率がいずれも 5% 以上であることから、今回測定を行った素地はすべて陶器質である。また、半磁器素地、タイル素地の熱膨張係数に比べて、試作素地、市販土鍋素地 A、市販土鍋素地 B の熱膨張係数が小さいが、これはペタライトを含む耐熱素地であるためである。熱膨張率が小さいことにより、高温下での内部ひずみが小さくなり、耐熱性が良好になる。一方、ペタライトを含む耐熱素地は熱膨張率は低下するものの、吸水率が大きくなるが、市販土鍋素地 A、市販土鍋素地 B では吸水率が 10% 程度であるのに対し、さらに熱膨張係数の小さい試作素地の吸水率が 5% と小さいことがわかる。

表 1 各素地の吸水率と熱膨張係数

	吸水率 (%)	熱膨張係数 (×10 <sup>-6</sup> /°C) (at600°C)
半磁器素地	8.03	7.93
タイル用素地	7.67	8.92
市販土鍋素地 A	9.99	2.58
市販土鍋素地 B	10.36	2.16
試作素地	5.75	0.87

## 3. 2 曲げ強度試験

半磁器素地の熱衝撃温度差と曲げ強度の関係を図 2 に示す。

強度は全体的にはほぼ直線的に低下していくことがわかる。しかし、熱衝撃温度差が 100~180°C の範囲では、強度の低下はほとんど見られず、200°C を超えたあたりから徐々に強度が低下していく。JIS に定められる耐熱食器の直火用 (高耐熱) の熱衝撃温度である 350°C で強度は 3 分の 2 程度に低下する。

磁器の場合、ある熱衝撃温度差で急激に強度が低下するが、半磁器では熱衝撃温度差の増加に伴い、徐々に低下している。これは半磁器が多孔質体であることから、熱衝撃試験で生じるマイクロクラックの成長がそこで止まり、その成長が抑制され、それ以上成長しない。これにより特定の温度衝撃で致命的な破壊が生じることはなく、徐々に強度が低下していくと考えられる 4)。

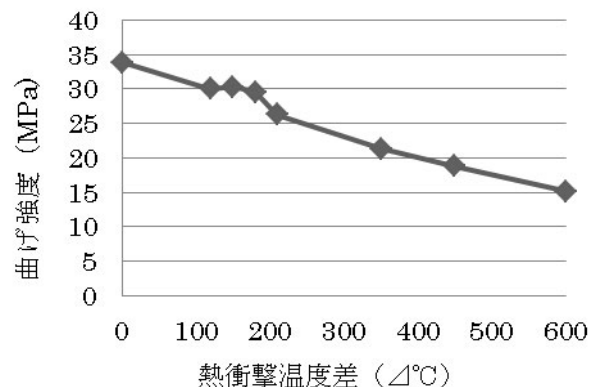


図 2 半磁器素地の熱衝撃温度と曲げ強度の関係

タイル素地の熱衝撃試験の温度差と曲げ強度の関係を図 3 に示す。

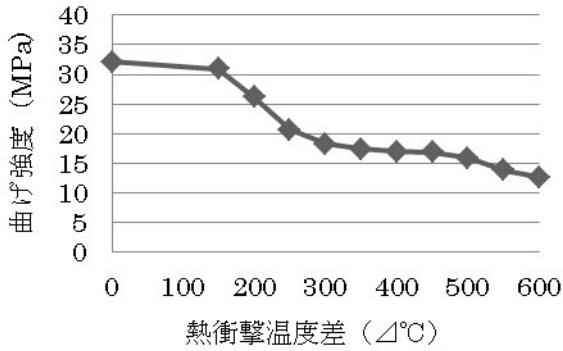


図3 タイル素地の熱衝撃温度差と曲げ強度の関係

熱衝撃温度差が150°Cくらいまでは、強度の低下はほとんど見られないが、250°Cを超えたあたりでは強度は3分の2程度に低下する。しかし、半磁器素地と同様に強度の低下は徐々に進み、強度がある一定温度を超えたところで急激に低下するようなことはない。これも半磁器素地の場合と同様にタイル素地が多孔質体であることから、マイクロクラックの成長が抑制されるため、特定の温度衝撃で致命的な破壊が生じることはなく、徐々に強度が低下していくためであると考えられる。

試作素地、市販土鍋素地 A および市販土鍋素地 B の熱衝撃試験の温度差と曲げ強度の関係を図4、図5及び図6に示す。

熱衝撃試験を経た曲げ強度は、いずれも熱衝撃試験を経していないものに比べて低下しておらず、むしろ400°C以上差の熱衝撃試験を行ったものは若干強度が大きくなっている。熱強化ガラスは、ガラスを700°C程度まで加熱した後に、表面に空気を吹き付け、均一に急冷し、表面に圧縮層を持たせることでガラスの強度が強化される。これと同様の現象が素地のガラス質の部分で起こることにより、強度が大きくなったと考えられる。

また、マイクロクラックの生成により破壊エネルギーが消費され、高靱化が達成された<sup>5)</sup>ことにより、強度が大きくなったと考えられる。これは、ファインセラミックスなどにおいて起こるとされているが、ペタライトを含む耐熱素地において、ファインセラミックスと同様の現象が起こったのではないかと考えられる。

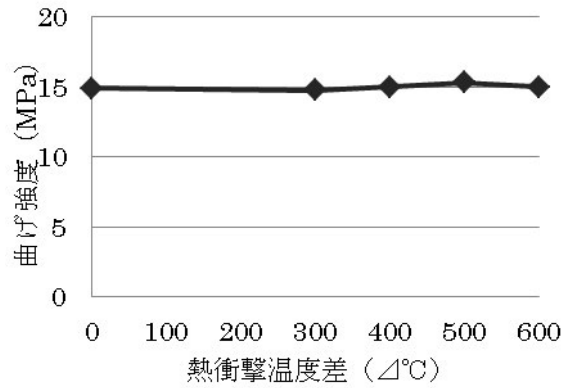


図4 試作素地の熱衝撃温度差と曲げ強度の関係

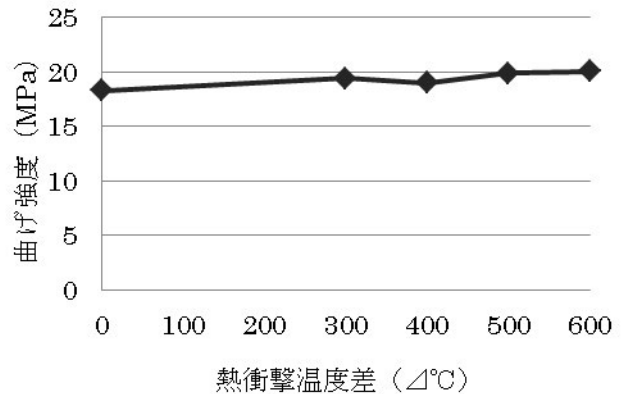


図5 市販土鍋素地 A の熱衝撃温度差と曲げ強度の関係

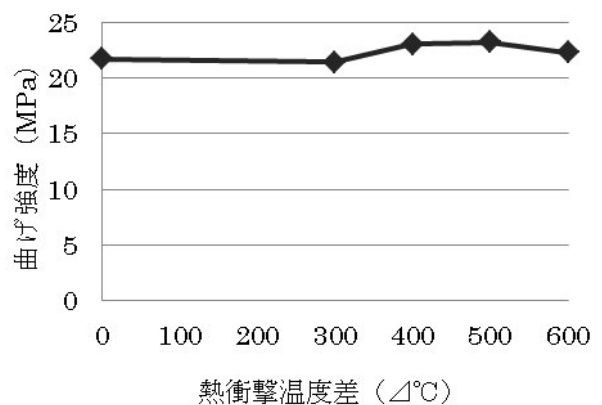


図6 市販土鍋素地 B の熱衝撃温度差と曲げ強度の関係

試作素地、市販土鍋素地 A および市販土鍋素地 B の熱衝撃温度差 600°Cにおける耐熱衝撃試験の

回数と曲げ強度の関係を図7, 図8及び図9に示す.

熱衝撃温度差 600°Cにおいて 5 回まで繰返し耐熱衝撃試験を行った後, 曲げ強度を測定したが, いずれも変化はなかった. 従って, ペタライトを含む耐熱素地では, 試験体レベルではあるが, この程度の耐熱衝撃の繰返しで損傷を受けることはないと考えられる.

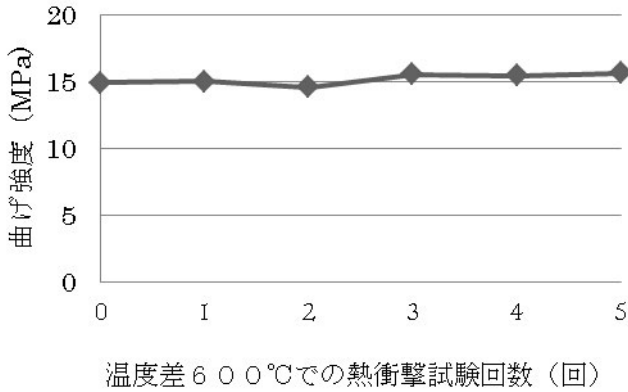


図7 試作素地の熱衝撃回数と曲げ強度の関係

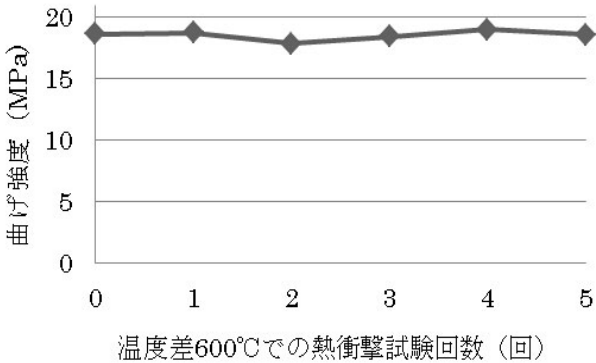


図8 市販土鍋素地 A の熱衝撃温度差と曲げ強度の関係

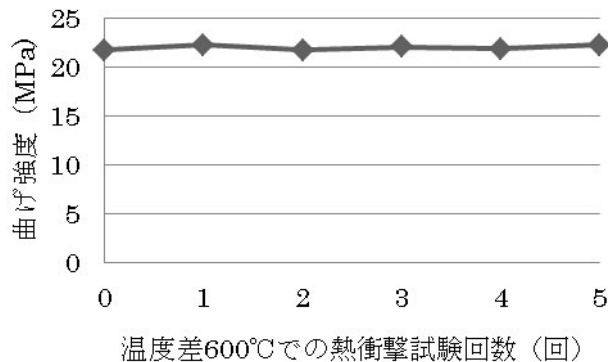


図9 市販土鍋素地 B の熱衝撃温度差と曲げ強度の関係

#### 4. まとめ

半磁器素地およびタイル素地は, 通常の磁器と異なり, 耐熱衝撃試験における熱衝撃温度差の増加による曲げ強度の急激な低下は見られず, 徐々に強度は低下していくことがわかった. これは多孔質な陶器の持つ特徴であると考えられる.

一方, ペタライトを含む試作素地, 市販土鍋素地 A および市販土鍋土 B については, 今回試験を行った熱衝撃温度差 600°C以内では曲げ強度は低下せず, 十分な耐熱衝撃性を有することがわかった. また, 熱衝撃温度差 600°Cで繰返し 5 回の耐熱衝撃試験を経ても, 曲げ強度の低下は見られず, 高い耐熱性を確認することができた.

#### 参考文献

- 1) 経済産業省 工業統計表(1991~2012)
- 2) 岡本康男ほか“ペタライト-粘土系耐熱素地の熱膨張特性”. 三重県工業研究所年報, No.36, p99-103(2012)
- 3) JIS R 1648:ファインセラミックスの熱衝撃試験方法, 日本規格協会, 2002
- 4) 蒲地信明“一般磁器の耐熱性向上に関する研究”. 平成 14 年度佐賀県窯業研究室研究報告, p38-44
- 5) 竹内雍“多孔質体の性質とその応用技術” フジ・テクノシステム, p378(1999)