

## — 経常研究 —

# アルミナ強化磁器の品質向上

陶磁器科 秋月 俊彦・矢野 鉄也・小林 孝幸  
 研究開発科 山口 英次  
 応用技術科 木須 一正

## 1. はじめに

学校給食用の食器に用いられる強化磁器の割合は、年々増加する傾向にある。そのような中、他産地製品との差別化とシェア拡大を図るには、給食食器導入において重要視される衝撃強度の向上が求められている。

この衝撃強度に関しては、素材の影響と共に、形状による影響も大きいと考えられているため、本研究では、衝撃に強い縁形状の開発を目的に研究を行った。開発においては有限要素法を用い、食器の縁先端に負荷を与えた場合の応力分布状態をシミュレーションすることで、衝撃に強い縁形状を予測した。更にその結果を基に、実際に試験体を作製し、衝撃強度の測定による確認試験を行った結果についても報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験体

試験体には既にアルミナ強化磁器食器として製品化されている「セーフティーわん」の小皿（直径160mm×高さ27mm）を使用した。また、縁形状の加工はローラーマシーンで成形後、乾燥の後、目的の形状に切削加工を行った。

### 2.2 有限要素法による構造解析

構造解析にはアプライド・デザイン株式会社製のソフト（Stress Check 6.2）を用い、静的負荷における解析を行った。解析条件としては図1に示したASTM-C368-88による衝撃試験を想定し、図2に示すようにVブロック接点の横方向の拘束（左側2点）と、試料台による高台の上下方向の拘束、さらに皿中央部を上から下にスプリングで加圧する。そこへ、ハンマーの打点となる縁先端部分（右側）に静的負荷を掛けるという条件で解析を行った。

その解析結果から、試験体内部に発生する横方向の最大引張応力を比較し、次式によって従来の縁形状での強度を100%とした場合に予測される、新しい縁形状での強度値F(%)を算出した。

$$F(\%) = A / B \times 100$$

A：従来の縁形状における最大引張応力

B：新しい縁形状における最大引張応力

また、一部の縁形状については、縁先端部分へ横方向からの負荷のみでなく、上下方向からの負荷に対しても、それぞれ構造解析を行い、強度値の比較を行った。



図1 衝撃試験状況

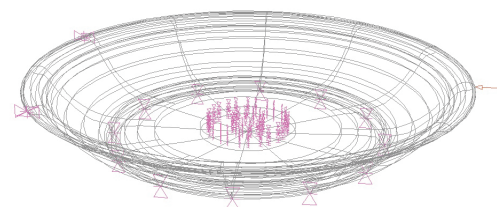


図2 解析条件図

### 2.3 画像解析装置による引張応力部分の断面積測定

2.2により解析された最大負荷が掛かった時点での、打点からの試験体断面を取り出し、強い引張応力が発生する部分の面積を画像解析装置で計測を行った。計測した面積から、従来の縁形状における面積を100%とし、新しい縁形状での面積比(%)を算出した。

### 2.4 衝撃強度の測定

図1に示したりサーチアシスト有限会社製の衝撃試験機MIC-110を使用し、ASTM-C368-88に準じて測定を行ない、各形状とも12枚の衝撃強度値から、その平均値を算出した。

### 2.5 重量測定

各形状とも焼成後の試験体12枚について重量を測定し、その平均値を算出した。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 衝撃試験による破壊起点

構造解析により、衝撃試験を想定した条件で試料を拘束し、縁先端部分に静的負荷を掛けた場合の応力分布を図3に示す。打点付近は圧縮応力(青色)が発生し、打点よりやや内に入った表面部分に引張応力(赤色)が発生する結果となった。その引張応力の起点は今回の試験体形状においては、縁先端から6mm入った皿表面であることが示された。そこでこの結果と、動的負荷である実際の衝撃試験との関連性について調べるため、焼成した試験体を用い衝撃試験を行い、破壊起点の確認を行った。その結果、図4に示すように、実際の衝撃試験においても、縁先端より6~7mm程内に入った、赤丸で示した部分から破壊が生じていることが確認され、静的負荷での解析結果と一致する結果であった。これにより、衝撃強度という動的負荷も静的負荷の条件で、解析可能な部分もあることが判明したため、次に破壊起点に発生する引張応力を分散させる方向で縁形状の検討を行った。

### 3.2 縁形状による応力分散

重量はできるだけ軽くし、衝撃強度は向上させる必要があるため、引張応力が大きい破壊起点部分の形状を図5に示すように直線と窪みに削り込んだ形で検討を行った。まず構造解析により、これら縁形

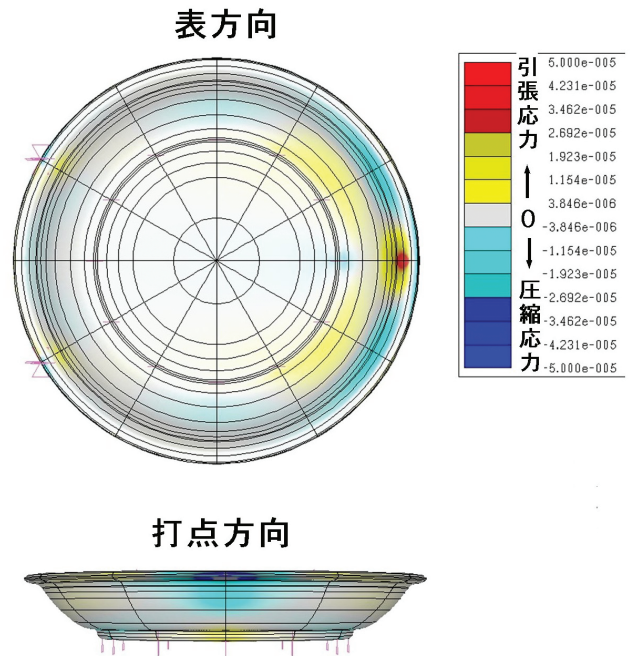


図3 応力分布図

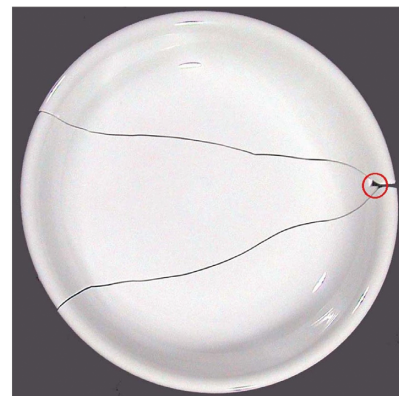


図4 衝撃試験後試料

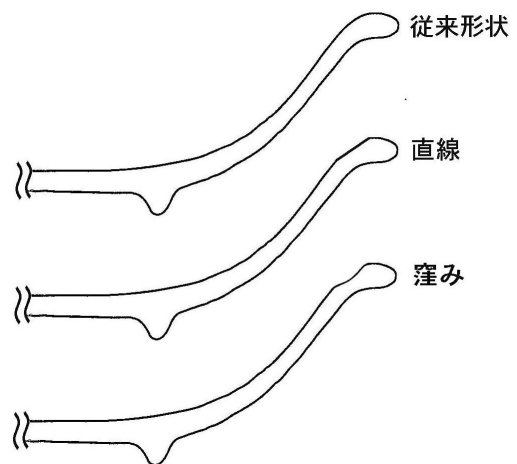


図5 縁形状断面

状の皿における最大引張応力を測定し、その値から予測される強度を算出した。その結果を図6に示す。図6より、破壊起点部分を直線あるいは窪み形状とすることで、解析結果からは強度の向上が予測された。

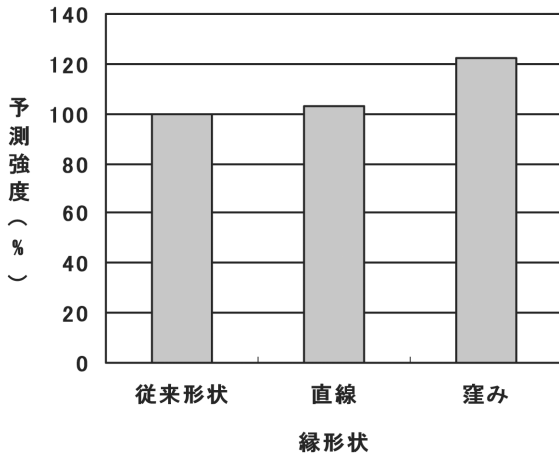


図6 縁形状による予測強度

そこで、縁形状を変えることで、試験体内部にどのような応力の変化が生じているのかを確かめるため、最大負荷時の打点部分の断面を取り出し、強い引張応力が発生している赤色部分の面積比を画像解析により測定した結果を図7に示す。同一負荷を掛けたにもかかわらず、従来形状を100%とした場合、窪みを付けることで強い引張応力が発生する部分が125%と広くなり、引張応力が素地の内部に分散されていることが確認された。

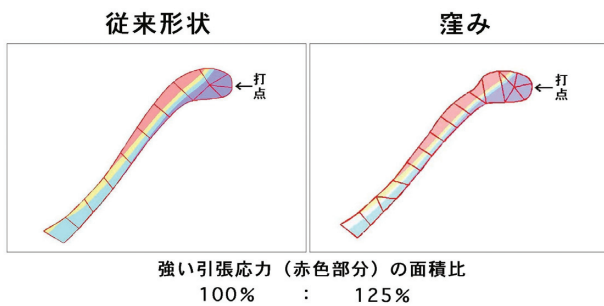


図7 断面の応力分布

そこで、この解析結果が実際の衝撃試験においても同様の結果となるのか、確認試験を行った。各縁形状とも12枚の試験体を作製し、衝撃試験を行い、その平均値を求めた結果を図8に示す。直線、窪みとも構造解析から予測された通り、従来縁形状より

も高い衝撃強度を示し、中でも窪みを付けたものは従来のものより、30%以上衝撃強度が向上する結果となった。また、図9に示した衝撃試験後の破壊形態からわかるように、縁に窪みを付けることで衝撃力が試験体全体に分散された様子が見え、図7で解析し、予測された試験体内部への応力分散を裏付ける結果となった。

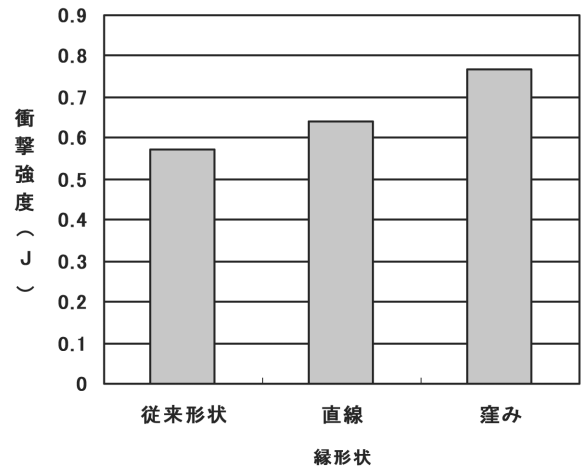


図8 試験体による衝撃強度の実測値

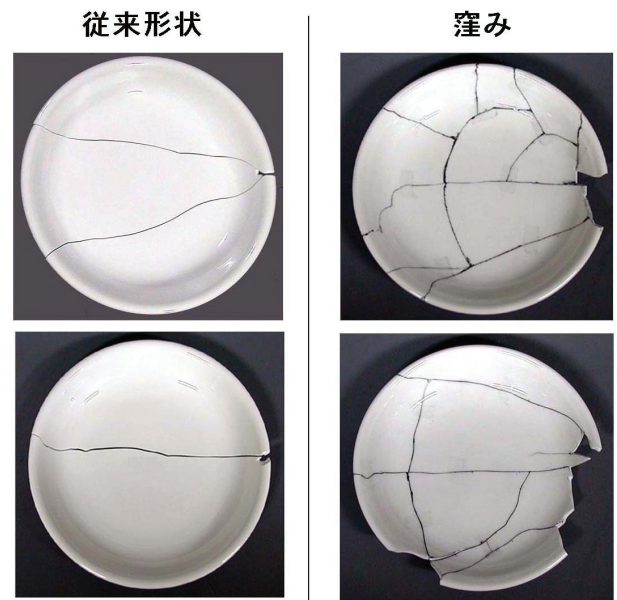


図9 衝撃試験後の破壊形態

### 3.3 縁形状による重量変化

今回検討した縁形状は直線、窪みともに従来形状のものから削り出して作製したことで、重量がどれ程減少したのか確認を行った。その結果を図10に示す。直線、窪みとも当然重量は減少し軽量化して

いるが、中でも窪み形状の方が、より軽量でしかも衝撃強度も高いことから、製品化においては実用性が高いものと考える。

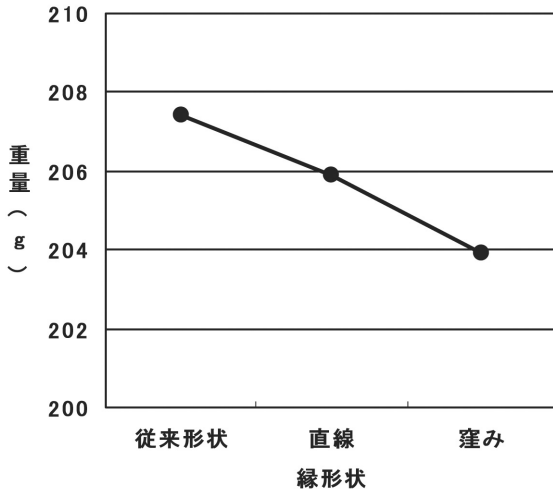


図 10 試験体重量

### 3.4 窪み形状の上下方向からの負荷

以上の内容から、窪み形状が衝撃強度や軽量化において優れていることが判明したが、実際食器として使用した場合、衝撃試験のように横方向からの負荷だけではなく、上下方向からの負荷も考えられることから、図 11 に示すような負荷に対しても構造解析を行ってみた。

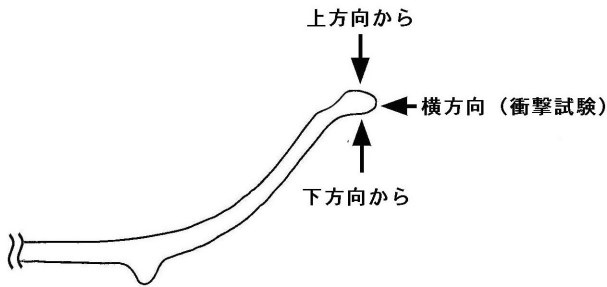


図 11 負荷の方向

その結果、図 12 に示すように、従来の縁形状での同様の解析結果を100%とした場合、窪み形状とすることで、上下方向とも100%を越える値を示した。このことから、構造解析の結果では窪み形状の方が、従来の縁形状よりも上下方向からの負荷に対しても強いことが予測される結果となった。

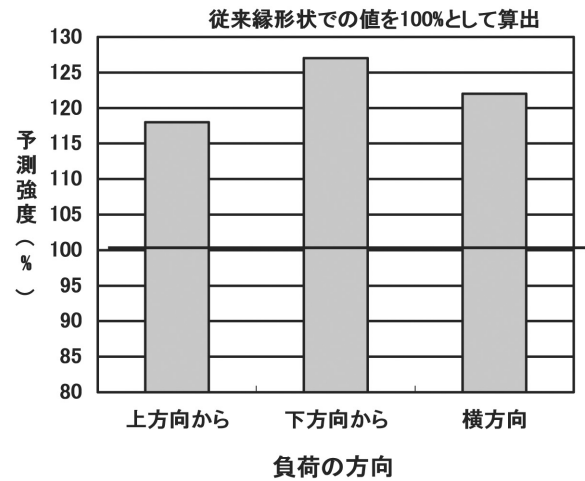


図 12 負荷の方向と予測強度

## 4. まとめ

以上のように、有限要素法による構造解析を用い、より軽く、より高い衝撃強度を持つ縁形状について検討を行った。その結果、破壊起点となる部分に窪みを付けることで、従来品に比べ重量は軽く、しかも衝撃強度は30%以上向上することが確認された。

尚、本研究の内容については「高強度陶磁器製食器」として特許出願したので併せて付記する。