

216 縄文土器材料の強度評価

Strength evaluation of materials of Jomon earthenware

○正 坂本賢治 (群馬大), 正 松原雅昭 (群馬大), 湯浅 実 (アキレス)
大原拓也 (群馬院), 増田 修 (桐生市教委文化財保護課), 小菅将夫 (岩宿博物館)

Kenji SAKAMOTO, Masaaki MATSUBARA and Takuya OOHARA,
Gunma University, Tenjin-cho 1-5-1, Kiryu, Gunma
Minoru YUASA, Achilles Corp.
Osamu MASUDA, Cultural Asset Preservation Division, Kiryu B.O.E
Masao KOSUGE, Iwajuku Museum

Key Words: Material Testing, Bending, Impact Strength, Jomon earthenware

1. はじめに

縄文土器は、もともと形をなさない粘土や土をこねてある特定な形を構成し、それに熱を加えることによって、まったく異質な固形の物体を作り上げる。これはまさに、「人間が化学変化を自覚して利用した最初のものである。」といわれている。

桐生市では、多くの縄文遺跡が発掘されており、これは山に囲まれた環境が、縄文時代当時の生活を支えていた狩猟や採取に適していたことによると思われる。草創期から晩期までたどることができる。なかでも晩期の千網谷戸遺跡から出土された大型耳飾は、縄文時代を代表する工芸品として国の重要文化財に指定されている。

縄文土器研究は、当初、土器の文様や形態やそれらの組合せといった表面的な現象については詳細に分析されていたが、土器そのものの本質的な存在理由や機能、製作技術やその条件といった具体的問題についての追求がなかった。具体的問題を追及した縄文土器の再現研究は、桐生地区で1970年代から始められ、現在も盛んに行われている。

本研究では、縄文土器の再現研究において、土器材料の強度・靱性などの材料強度特性に着目し、材料科学的観点から考察を行った。

縄文土器材料を再現製作し、焼成温度と強度の関係を分析した。

縄文土器には、雲母や植物繊維などを混入した土器が存在する。本研究では、雲母土器に着目し、雲母混入による材質改善の是非について検討を行った。

2. 強度評価試験

2.1 縄文土器試験片

縄文土器では、素地土として粘土に砂を混ぜたものが使用されており、その比率は、再現研究から7:3程度とされている。

本研究で用いた素地土は、再現研究で用いている岩宿遺跡の粘土と、桐生市相生町の渡良瀬川河川敷の砂を重量比7:3とし、24%の水で混練したものを使用した。

天然雲母を1mm程度に粉砕し、素地土に5%加えて雲母土器を製作した。

粘土と砂の比率が強度に及ぼす影響を調べるため、9:1~6:4の試験片も作成した。

試験片寸法はセラミックス四点曲げ試験片に準拠し約3倍の9×11×110mmとした。

焼成は電気炉で行い、焼成温度は、それぞれ700℃・800℃・900℃とした。

野焼き試験を行い、土器材料に直接熱電対を埋め込み、焼成過程の温度測定を行った。野焼き材料と電気炉内焼

成材料との強度比較を行った。

2.2 強度評価試験

縄文土器材料は脆性材料であり、静的強度は四点曲げ試験により曲げ強さを測定した。試験は、セラミックスの四点曲げ試験に準拠し行った。土器試験片は、データのばらつきが大きいので、データ数を多くとりワイブルプロットで強度評価を行った。

靱性を測定するため、シャルピー衝撃試験を行った。曲げ試験と同様にワイブルプロットによる評価を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 曲げ試験

図1に焼成温度による四点曲げ強さの平均値の比較を示す。四点曲げ強さは、本試験の範囲内では焼成温度の上昇とともに上昇する。温度上昇による強度の増加は、縄文土器の素地土の主成分である長石が、約600℃になると軟化が始まり、焼成温度の上昇とともに、素地土の粒子間に浸透を進め、組織内の欠陥を減少させることによるものと考えられる。

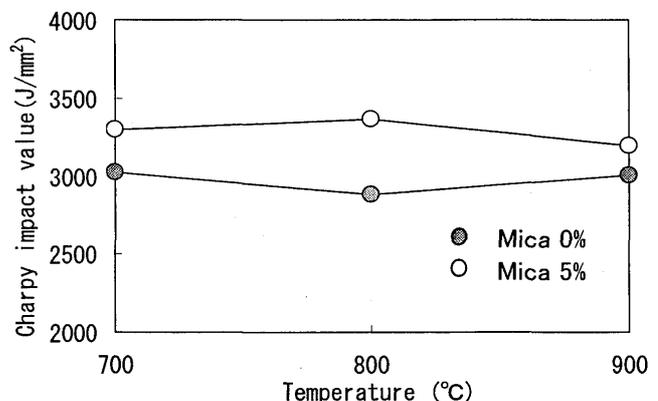


図1. 四点曲げ強さの焼成温度比較

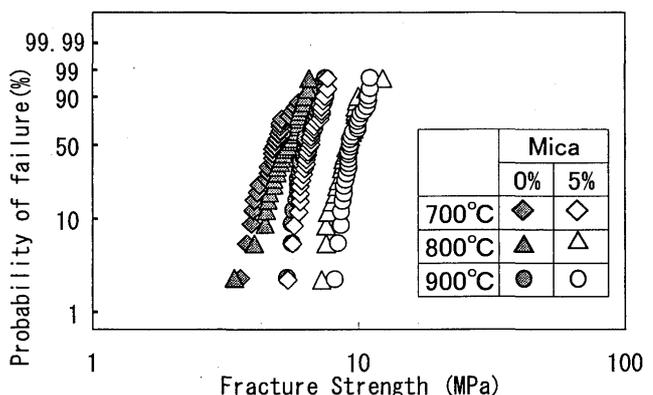


図2. 四点曲げ強さのワイブルプロット

雲母土器は、すべての焼成温度において強度の増加が得られた。雲母混入による強度の増加は、強度に影響するき裂進展が、雲母による架橋効果によって抑えられことに起因するものと考えられる。

図2に四点曲げ試験のワイブルプロットを示す。焼成温度上昇によってワイブル係数が大きくなった。これは、前述の強度増加と同様な理由から組織内の欠陥が減少したことにより、材料強度が均質化が図られたと思われる。

雲母土器は、雲母の架橋効果によりワイブル係数が大きくなり、材料強度の均質化に効果をj示している。

3.2 衝撃試験

図3にシャルピー衝撃値の平均値を示す。シャルピー衝撃試験においては、焼成温度による変化が見られなかった。

図4にシャルピー衝撃試験のワイブルプロットを示す。雲母土器は、10%程度衝撃値が高くなり、靱性の改善が期待されたが、雲母なしと比較するとワイブル係数が低くなっており、強度のばらつきが大きく材料の均質化で劣ることがわかった。これは、薄い雲母がランダムに材料内に存在するため、架橋効果などの靱性を上げる働きのほか、荷重方向との関係では、微小き裂に相当する欠陥にもなり得るためであると考えられる。

3.3 野焼きと炉内焼成

図5に野焼きと炉内焼成の強度の比較を示す。炉内焼成は、設定温度で30分焼成した後炉内で除冷した。野焼きのデータは、瞬間最高温度を用いてプロットした。

野焼きの材料は、炉内焼成と比較して、瞬間最高温度であるにもかかわらずほぼ同等の強度が得られた。

このことから、縄文土器の焼成は、短時間で完了する可能性がうかがえる。

3.4 粘土と砂の割合

縄文土器における素地土は、粘土と砂の割合は、再現研究の中で成型過程・乾燥過程という側面から、ほぼ7:3が適当であることが立証されている。材料の強度という観点から、粘土と砂の割合を9:1~6:4と変化させて試験を行った。

図6に粘土と砂の割合を変えた場合の曲げ強度とシャルピー衝撃値の比較を示す。

曲げ強度は、粘土の割合が大きいほど大きくなる。このことは、焼成技術の進歩とともに、砂の混入のない粘土だけの焼き物となっていくことから理解できる。

シャルピー衝撃値に着目すると、粘土比率が70%から80%になると靱性が大きく下がる。縄文土器では、砂が靱性の強化メンバーとしての役割を担っているものと思われる。

4. 結言

縄文土器材料を再現製作して強度評価を行った結果、次のことがわかった。

- 1) 曲げ強度は焼成温度が高いほど強くなる。また、焼成温度が高いほどワイブル係数が大きくなり、材料強度の均質化が図れる。雲母土器は、雲母の架橋効果により曲げ強度・ワイブル係数とも大きくなる。
- 2) シャルピー衝撃試験では、焼成温度による靱性の変化は見られない。
- 3) 野焼き試験では、瞬間最高温度で炉内焼成と同等の強度を得た。縄文土器の焼成は短時間で完了する可能性がうかがえた。
- 4) 縄文土器材料は、粘土の比率を高くすると曲げ強度が増すが、70%より粘土の比率を高くすると靱性が下がる。

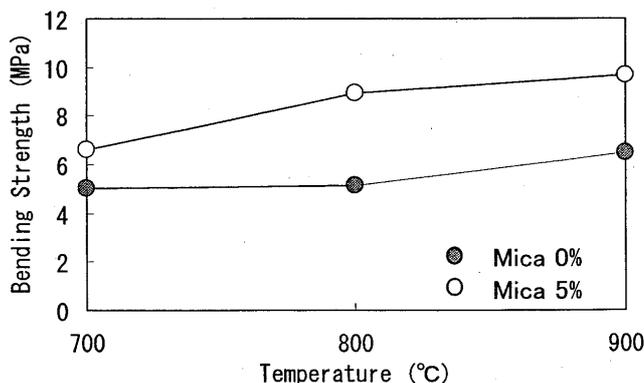


図3. シャルピー衝撃値の焼成温度比較

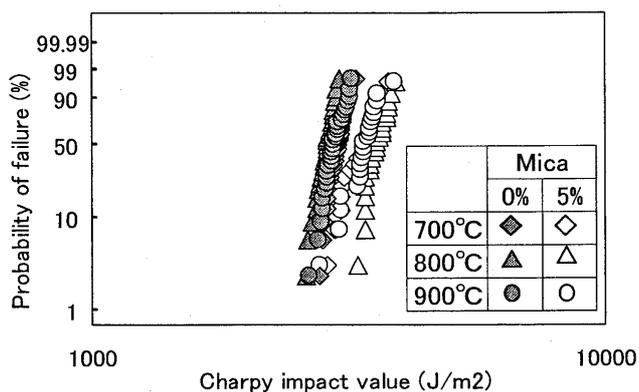


図4. シャルピー衝撃値のワイブルプロット

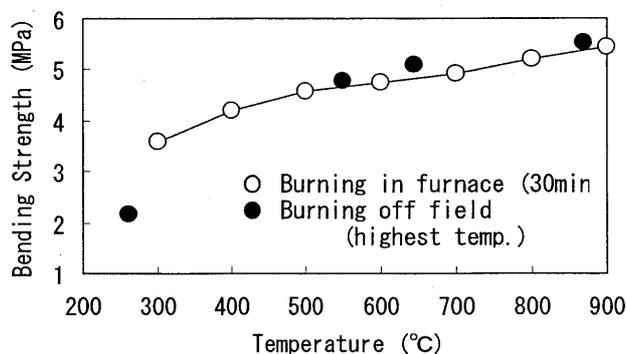


図5. 野焼きと炉内焼成の強度比較

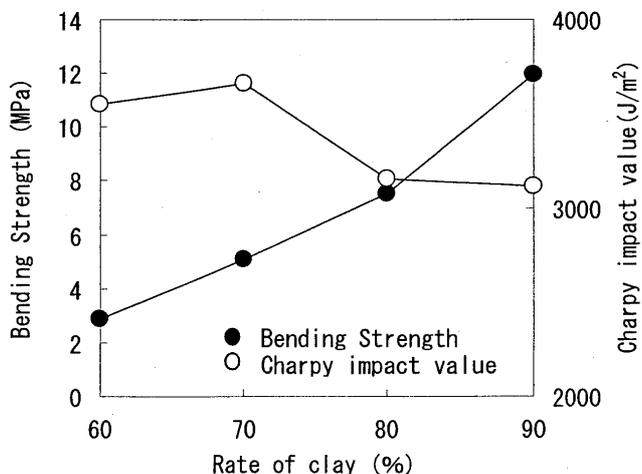


図6. 粘土と砂の割合による曲げ強度と靱性の関係