

— 受託研究 —

低温固化陶土の性能向上に関する研究 (環境配慮型配合陶土の開発)

環境・機能材料科 阿部久雄・木須一正・増元秀子

要 約

人形製作などに用いる低温で固化する陶土の開発を目的として、ポリ乳酸のオリゴマー粉（以下樹脂粉）を窯業原料に配合し、陶土の配合条件と、200℃で熱処理したときの曲げ強さ、白色度の関係について検討した。骨材及び粘土からなる成分に10～15mass%の樹脂粉を配合すると、熱処理後の曲げ強さは12～16MPaと、一般陶土素焼品の約2倍になった。さらに、白色度の高い陶土、粘土と樹脂粉の配合により、樹脂配合量10mass%で、曲げ強さ15.7MPa、白色度93.7%と、強度と白さを併せ持つ熱処理品が得られた。また、白色度を考慮しなければ、樹脂配合量15～18mass%の配合陶土は、曲げ強さ21～23MPaの最高値を示した。本研究により、人形素地として用いられている陶土素焼と比較して、2～3倍もの強度をもち、700℃あまりも低い温度で焼成が可能な素地を提供することができる。

キーワード：オリゴ乳酸、低温固化、曲げ強さ、白色度、人形土

1. はじめに

博多人形は400年を超える歴史をもち、国内外で高い評価を得ている。博多人形は800～900℃の素焼き温度で焼成した後に彩色を施すもので、精巧で優雅な風合いが持ち味であり、釉薬を施して1000℃以上で焼成される磁器人形と趣を異にする。本来、博多人形は福岡市近郊の土を原料として作られるが、近年、その土を基に配合した陶土による製造も行われている¹⁾。最近、博多人形の魅力を広げる試みとして、高さ130cmもの大型の人形が製作され話題となったが、大型化に際して素地の収縮や強度の適正化が求められる。

一方、市販されている工芸用粘土のなかに、石英や粘土に加えて樹脂粉を配合することにより、低温もしくは室温で硬化するものがある²⁾。こうした材料を人形土として用いると、エネルギーコストが低くできる上に完成品の強度を高めることも可能と考えられる。そこで本研究では、博多人形用の陶土の一成分として生分解性樹脂のオリゴマーを配合したところ、低温で固化し、高強度で壊れにくいという特長を有する陶土を開発するに至ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 原材料

人形用陶土の作製に当たり配合陶土の原材料には、骨材粒子としてシリカを、可塑性原料として木節粘土、ニュージーランドカオリン、SPカオリンを用いた。また、同様に配合に用いる既存の陶土として、天草撰中陶土、七隈並粘土、七隈鑄込み粘土、共立脱鉄陶土を用いた。生分解性樹脂には、フルーツパックを分解して得られるポリ乳酸オリゴマー粉（環境テクノス(株)提供。以下樹脂と記載）を用いた。

2.2 陶土の配合と成形及び熱処理

陶土の配合は、①石英-粘土-樹脂、②陶土-樹脂、③陶土-粘土-樹脂、の各成分系で行った。各原材料を計量し水分を50～70mass%とし、ポットミル中で17時間混合した後、吸引濾過により陶土ケーキを得た。ケーキ水分を測定後、分散剤を添加し鑄込み泥しょうを調製した。これを石膏型に注ぎ、丸棒（曲げ強さ試験用）、角板（白色度、吸水率測定用）を成形した。その他、見本として人形、龍の試料を成形した。成形体を風乾した後、80℃で4時間、200℃

で2時間熱処理し、以後の評価試験に用いた。

2.3 評価試験

前項により得られた試料について、測寸により収縮率を、水置換法により吸水率を求めた。また試料の曲げ強さをクロスヘッド速さ0.5mm/minで3点曲げにより求めた。さらに試料の白色度を測色計（ミノルタ製CM-3700d）により求めた。

3. 結果及び考察

3.1 3成分系による配合試験

本研究では、陶土の原料成分を骨材、粘土、結合材に帰属させ、樹脂配合陶土を調製した。陶土の配合では、骨材、粘土、結合材は本来、石英(骨材)、カオリン(可塑性粘土)、長石(媒溶材)とされているが、本研究では石英と長石を骨材に、また、樹脂を長石(結合材)に置き換わる成分と考えて割り付けている。樹脂配合陶土の成分を表1に示す。表1の上半分は質量割合(mass%) 下半分は体積割合(vol%) となっている。樹脂配合割合は10.5~13.5 mass%、20~25vol%の範囲にある。

上記の樹脂配合陶土から得られた試料の曲げ強さ、吸水率及び白色度を表2に示す。試験体の曲げ強さはNZカオリン配合を除いて12~17MPaの範囲にある。NZカオリン配合陶土の曲げ強さは8.9MPaと小さいが、天草素焼素地の8MPaと比べると遜色はない。試験体の吸水率は七隈陶土配合を除き、概ね12%~16%で、これは波佐見町内の生地成形業者

表1 樹脂配合陶土の配合

	骨材	粘土	結合材
	mass%	mass%	mass%
配合原料	石英	粘土	樹脂F
天草選中配合※	36.9	49.8	13.5
NZカオリン配合	56	33	11
木節粘土配合	56	33	11
七隈並粘土配合※	21.2	68.3	10.5
七隈鑄込粘土配合※	17.2	72.3	10.5
	骨材	粘土	結合材
	vol%	vol%	vol%
配合原料	石英	粘土	樹脂F
天草選中配合※	32.2	43.3	24.5
NZカオリン配合	50.2	29.4	20.4
木節粘土配合	50.2	29.4	20.4
七隈並粘土配合※	19	60.7	20.3
七隈鑄込粘土配合※	15.4	64.2	20.4

が製作している人形素地の約23%に比べて小さい。七隈陶土配合は21~23%と、現在の人形素地に近かった。吸水率は運筆性との関係において調整する必要があると考えられる。

七隈並粘土は黄土色のためその白色度は75%と、木節粘土配合陶土の白色度と同程度である。一方、肥前地区陶土(撰中)の樹脂配合陶土の白色度は90%であり、NZカオリンを配合したものは95%と、より白色度が増している。博多人形素地(素焼)は彩色前に白い下地塗りの「艶びき」が行われるので、有色の下地が問題になることはないが、もし素地の白色度が十分に高ければ、下地塗りを行わない人形素地となる可能性がある。

3.2 樹脂配合陶土における白色度及び強度の改善

上記のように、陶土に樹脂を配合することにより低温での固化が可能となり、強度の増強、白色度の向上が可能となることが分かった。しかしながら前項の結果では、白色度が最も高いNZカオリン配合素地の強度は供試料中最も低い。したがって、白色度、強度ともに高い素地の実現が望まれる。そこで、次に天草選中陶土よりも白色度に優れる陶土とカオリンの配合による人形用陶土の作製を試みた。

表2 樹脂配合陶土の曲げ強さ、白色度、吸水率

配合陶土名	曲げ強さ	吸水率	白色度
	MPa	%	%
天草選り中配合	16.1	14.1	90.4
NZカオリン配合	8.9	15.5	95.2
木節粘土配合	12.3	13.2	76.3
七隈並粘土配合	16.4	21	75.1
七隈鑄込粘土配合	12.5	23.3	

表3 陶土K-カオリン-樹脂系陶土の配合

原料 試料名	陶土K	NZカオリン	SPカオリン	樹脂
	mass%	mass%	mass%	mass%
N1	90	0	0	10
N2	85	5	0	10
N3	80	10	0	10
N4	75	15	0	10
N5	75	10	0	15
N6	70	15	0	15
N7	55	35	0	10
S1	80	0	10	10
S2	75	0	10	15
S3	70	0	20	10
S4	50	0	40	10
S5	60	0	30	10
S6	55	0	30	15
S7	50	0	37.5	12.5

表4 陶土K-カオリン-樹脂系陶土の諸物性

諸料名	曲げ強さ MPa	白色度 %	吸水率 %
N1	4.68	95.2	36.7
N2	5.83	95	30.9
N3	8.17	95.2	
N4	8.56	94.8	20.9
N5	9.57	94.5	23.9
N6	9.16	94.2	22.3
N7	8.02	94.7	23
S1	7.72	94.6	24.3
S2	7.65	94.2	21.8
S3	8.64	94.6	23.3
S4	15.65	93.7	21.8
S5	14.5	94.2	22.6
S6	15.95	93.2	20.1
S7	14.7	94.2	21.7

表3に白色度に優れる陶土KにNZカオリン、SPカオリン及び樹脂を配合した陶土の配合割合を示す。陶土Kは陶石を塩酸処理により漂白して得られたもので、既出の撰中陶土よりも焼成前の白さに優れていることが特徴である。SPカオリンの白さはNZカオリンに若干及ばないが、可塑性はNZカオリンと同等である。

表4には表3配合の陶土を200℃で熱処理した後の曲げ強さ、白色度、吸水率を示す。また、図1にはカオリン添加量と曲げ強さの関係を示す。

図1によれば、カオリン添加量が増えると配合陶土の曲げ強さは増加する傾向を示したが、カオリン添加量が10～15mass%の範囲ではその効果は明確ではなく、カオリンを30、40mass%添加することにより14～16MPaの曲げ強さに達している。一方、白色度は、カオリン添加量が増えると減少する傾向を示す。供試カオリンはいずれも白いものであったので、種類による違いはあまりないと言えるが、カオリン添加量が40mass%になると白色度は94%以下になった。

以上の結果から、強度と白さを両立するための配合の範囲は、陶土K：50～60mass%、カオリン：30～37mass%、樹脂：10～13mass%と考えられる。

上記のように樹脂配合陶土の白さと強さは、白い原材料を用い、カオリン添加量を増すことによって両立させることができる。白い原料とは鉄分など有色成分が少ない原料であるが、一般的には原料原価

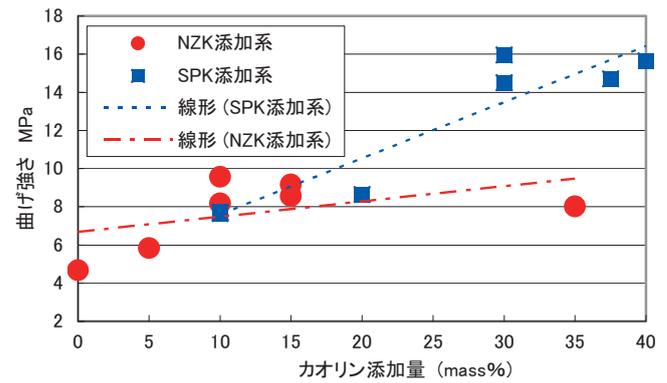


図1 樹脂配合陶土の曲げ強さとカオリン添加量の関係

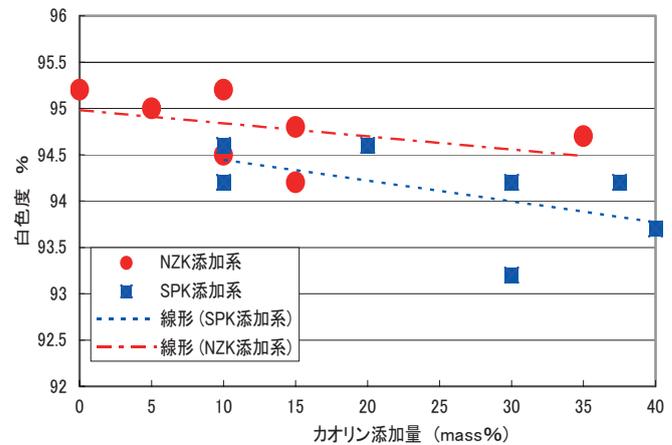


図2 樹脂配合陶土の白色度とカオリン添加量の関係

表5 陶土K-カオリン-樹脂系陶土の配合

原料	陶土 mass%	樹脂 mass%	曲げ強さ MPa	白色度 %	吸水率 %
L1	85	15	21.1	84.3	12.7
L2	82	18	23.3	85.0	23.7
M1	85	15	16.9	87.2	26.9

の増加を来すことになる。そこで、配合陶土の白色度を考慮しないときの曲げ強さの改善を試みた。すなわち、汎用の有色陶土(L及びM)に15～18mass%の樹脂を混合し、諸物性を測定した。結果は表5のとおりである。汎用陶土L、Mは樹脂の配合により、天草陶土素焼素地の2～3倍である17MPa、23MPaの曲げ強さを示した。白色度は天草撰中陶土と七隈並陶土の間の値を示している。

3.3 樹脂配合陶土による試作

本研究により試作したS4及びL2配合陶土をもちいて、人形頭部及び龍を鋳込み成形により作製した。龍の置物は博多人形絵師に依頼して着色したものを参考例として示す。



図3 人形頭部、龍の成形品及び着色品
(上右の写真で左：S4配合陶土、右：L2配合陶土による)

4. まとめ

本研究をまとめると次のとおりである。

- (1) ポリ乳酸のオリゴマー粉（以下樹脂）を窯業原料に配合し、低温度で固化する陶土を作製し、陶土の配合条件と、200℃で熱処理した成形品の曲げ強さ、白色度の関係について検討した。
- (2) 一般に用いられている陶土に10～15mass%の樹脂を配合することにより、成形品の曲げ強さは樹脂を配合することにより、成形品の曲げ強さは12～16MPaと、一般陶土素焼き品の約2倍になった。
- (3) 成形品の曲げ強さと白色度を両立するために、白色度の高い酸処理陶土と粘土による配合陶土を、種々の割合で作製したところ、樹脂配合量10wt%の陶土から、曲げ強さ15.7MPa、白色度93.7%の成形品が得られた。一方、白色度を考慮しなければ、樹脂配合量15～18wt%の配合陶土から、曲げ強さ21～23MPaの成形品を得ることができた。

- (4) 本研究による樹脂配合陶土は、博多人形の素地として用いられていた素焼き品と比較して、700℃あまりも低い温度で2～3倍もの強度をもつ素地を提供することができるため、焼成設備などの初期投資、環境負荷の低減に貢献できるほか、人形製作や製品の歩留まりなどにも好影響をもたらすことができるものと考えられる。

付記：本研究は環境テクノス(株)からの受託研究として実施したことを付記する。

文献

- 1) 有村雅司、田中裕之、他4名、「博多人形の原材料の調査研究」(粘土材料に関する調査)、福岡県工業技術センター研究報告、No.18、2008
- 2) 愛知県、瀬戸窯業、ポリ乳酸、並びに成形品及びその製造方法、特開2006-284309、2008-5-1