

# 廃棄物の利用技術に関する研究開発

－ 廃棄磚子の窯業建材への利用に関する研究開発－

中村英二郎、八幡 昇\*

沖縄県内では、廃棄磚子が年間 160t 発生しており、処理費用が発生することから有効利用が模索されている。一方、県内における窯業建材は、赤瓦、煉瓦や床タイル等の生産がなされている。そこで、これら窯業建材の原料として廃棄磚子の粉砕物を用いることで、利用の可能性について検討した。研究では、磚子粉砕物の基礎物性（鉱物組成、化学組成、粒度分布）の測定と、既存原料のクチャに磚子粉砕物を添加した試験体を作成し、その基礎特性（試験体外観、吸水率、落砂式耐摩耗性）を測定した。その結果、クチャ坏土単味と比較をして、吸水率は同等であるが、耐摩耗性の改善に関しては、課題があることが認められた。

## 1 緒言

磚子とは鉄塔や電柱において、電線からの絶縁をとるために用いられているセラミックス部材であり、耐候性、機械的強度に優れた磁器が通常使用されている。沖縄県内では、廃棄磚子が年間 160t 発生しており、その有効利用が模索されている。廃棄磚子は粉砕することにより、粗い物は玉砂利やアスファルト骨材でリサイクルが可能である。その一方、細かな粒度の磚子粉砕物や、角を落とす際に発生する微粉は有効な利用方法が確定しておらず、リサイクル技術の開発が課題となっている。

一方、沖縄県内においては、無釉の赤瓦、煉瓦や床タイル等の窯業建材が生産されている。これらの建材は床材としても使用されるが、耐摩耗性に問題がある。

そこで、これら窯業建材の原料の一部に磚子粉砕物を用いることで、耐摩耗性の改善に関して検討を行った。

県内で排出されている廃棄磚子の諸特性（鉱物組成、化学組成、粒度分布）と、クチャ坏土に配合した場合の特性値（吸水率、耐摩耗性）について測定を行ったので報告する。

## 2 実験方法

### 2-1 試料

廃棄磚子は、県内の電力設備保守を行っている企業より粉砕、篩分けを行った試料を試験に供した。本研究では、砂程度の粒度の物を磚子粉砕物とし、粉状に粉砕されている物を、磚子微粉とした。赤瓦の主原料である沖縄本島南部で採取されるクチャと沖縄本島北部で採取される赤土を 8 : 2 で配合したクチャ坏土を購入し使用した。

### 2-2 廃棄磚子基礎性状

#### 1) 鉱物組成

磚子粉砕物は振動ミルを用いて微粉砕を行った後、X

線回折装置（RIGAKU UltimaIV）を用いて測定した。測定条件は Cu 管球、40kV、40mA、半導体高速検出器使用、スキャン速度は 5° /min、2θ が 5～70° で連続測定を行った。

#### 2) 化学組成

化学組成は、磚子粉砕物を振動ミルで粉砕し、ルーズパウダー法専用容器に詰め、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（SPECTRO xepos）を用いて、FP 法による半定量分析で測定した。測定成分は主要な 10 成分（Na<sub>2</sub>O、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、CaO、TiO<sub>2</sub>、MnO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SO<sub>3</sub>）とした。

#### 3) 粒度分布

磚子粉砕物および磚子微粉に関して、レーザー回折式粒度分布測定装置（島津製作所 SALD-3000）を用いて、粒度分布の測定を行った。測定では、0.2%ヘキサメタリン酸ナトリウム水溶液を分散液として使用した。

### 2-3 配合試験

#### 1) 配合試験方法

クチャ坏土 {クチャ（8）：赤土（2）} に磚子粉砕物を重量比で 20%、40%と外割配合し、適量の水を添加し混合機を用いて混練を行った。配合物を、石膏型を用いて約 50×40×7mm に成形し、十分に乾燥させた後、電気炉を用いて、最高温度 1000、1030、1060、1090、1120℃でそれぞれ焼成を行った。焼成条件は、昇温速度毎時 100℃、最高温度保持時間 1 時間で行った。また、比較のためにクチャ坏土単味についても同様に焼成した。

#### 2) 吸水率

焼成したテストピースは、3 時間以上煮沸を行い、放冷後水分を絞った布で表面の水分を取り去り、飽水重量の測定を行った。その後、乾燥機を用いて 110℃で 12 時間以上乾燥させ、放冷後に乾燥重量を測定し、次式により吸水率を算出した。

\*沖縄県赤瓦事業協同組合

$$\frac{(\text{飽水重量} - \text{乾燥重量})}{(\text{乾燥重量})} \times 100 = \text{吸水率} (\%)$$

### 3) 耐摩耗性試験

碇子粉砕物を混合した原料をたたき手法により成形し、40×70×20mm の平板に切り出した。この成形体を十分に乾燥させた後、電気炉を用いて最高温度 1000～1120℃ でそれぞれ焼成を行い試験体とした。焼成後の試験体について、初期重量の測定を行った後、落砂式耐摩耗性測定装置にセットし、1.2m の高さから研磨材（窒化ケイ素）の粒子 10kg を、45° の角度で試験体に当てた。10 分以上かけて研磨材を落とした後、試験体表面に付いた研磨材、粉等を吹き飛ばして摩耗後の重量測定を行った。初期重量と摩耗後の重量の差を摩耗減量とした。

この測定方法は、既に廃止されているが JIS A 5209:1994 陶磁器質タイル<sup>1)</sup>で規格化されていた手法であり、簡便であることから今回の実験ではこの手法で測定を行った。

## 3 実験結果及び考察

### 3-1 廃棄碇子基礎性状

#### 1) 鉱物組成

碇子粉砕物の X 線回折図を図 1 に示す。碇子粉砕物は石英、ムライト、SiO<sub>2</sub> の各ピークと、約 23° 付近にある緩やかなハローが測定された。このハローは、素地中に非晶質のガラスが存在するためと考える。このことから今回提供を受けた碇子粉砕物は、長石質普通磁器である

と考える<sup>2)</sup>。

#### 2) 化学組成

碇子粉砕物およびクチャ坏土の化学組成を表 1 に示す。碇子粉砕物は磁器質であるために、クチャ坏土と比較をして SiO<sub>2</sub> および Na<sub>2</sub>O が高い値を示した。これに対し、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO 等の成分は低い値を示した。

#### 3) 粒度分布

今回の実験を行うにあたり粒度の異なる 2 種類の試料の提供を受けた。碇子粉砕物と碇子微粉の粒度分布を図 2 に示す。平均粒子径は、碇子粉砕物は約 1.7mm であり、碇子微粉は約 0.15mm であった。碇子微粉の発生量が少ないため、本研究では碇子粉砕物を配合試験で使用した。

### 3-2 配合試験

#### 1) テストピース外観

焼成後のテストピースを図 3 に示す。クチャ坏土のみの試験体ではなめらかな表面となっているが、碇子粉砕物を配合した試験体の表面は荒れて鮫肌ようになった。碇子粉砕物の粗い粒子が表面に出ていることもあるため、碇子粉砕物を配合する場合には、粗い碇子粉砕物が危険のないように処理する必要がある。焼成後の呈色は、碇子粉砕物を配合することにより大きく変化することは認められず、クチャ坏土に特徴的な焼成色を示し、低温では淡赤色で高温になるにつれ濃赤褐色の呈色となった。

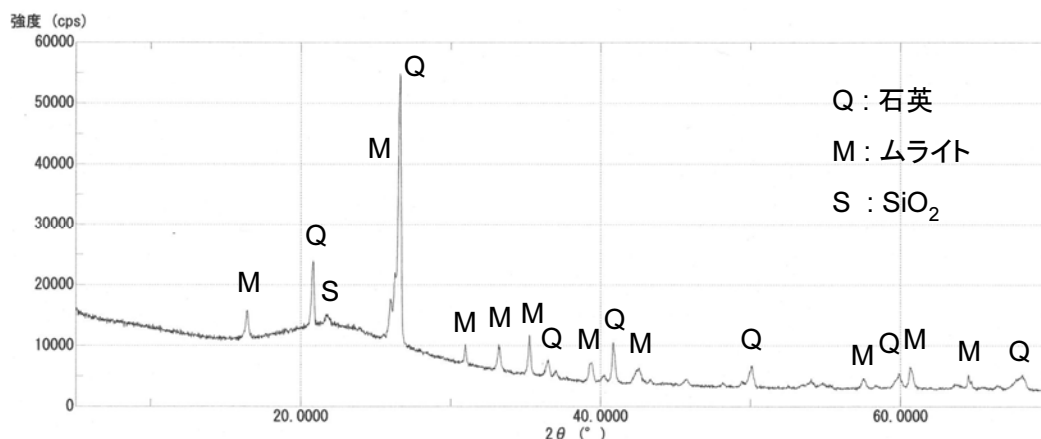


図 1 碇子粉砕物の X 線回折図

表 1 碇子粉砕物およびクチャ坏土の化学組成

No.	試料名	(mass%)									
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	SO <sub>3</sub>
1	碇子粉砕物	71.0	19.2	1.38	0.35	0.73	0.70	3.80	2.21	0.01	0.27
2	クチャ坏土	65.5	17.6	5.16	0.76	3.26	2.37	3.14	0.99	0.07	0.55

\*強熱減量は考慮していない

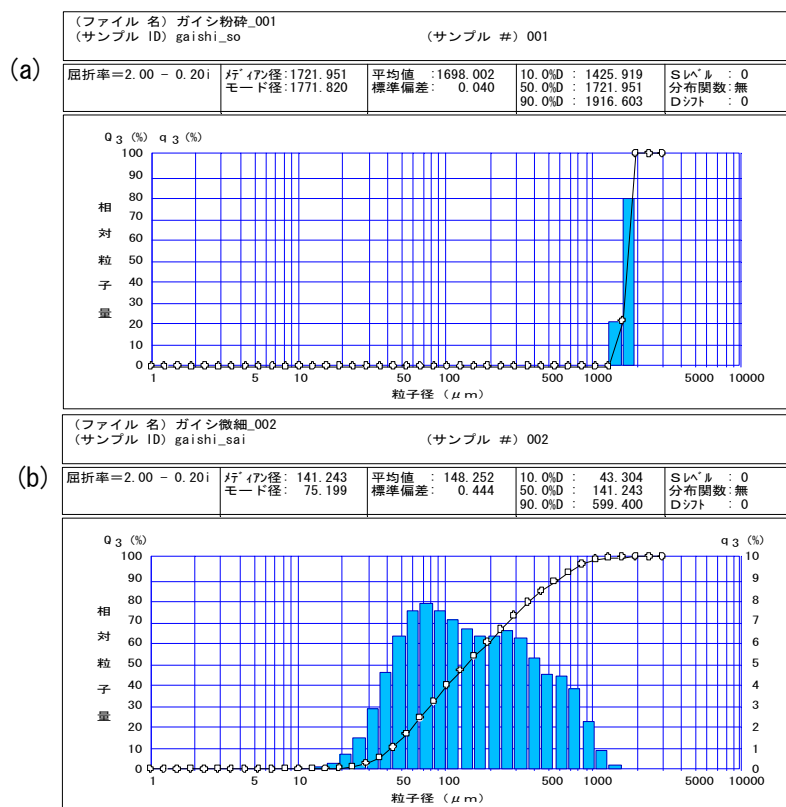


図2 碍子粉碎物(a)と碍子微粉(b)の粒度分布



図3 焼成テストピースの外観

## 2) 吸水率

吸水率と焼成温度の関係を図4に示す。すべての試験体で1000℃の焼成温度では、吸水率は15.2～16.2%を示した。焼成温度が上がるにつれ吸水率は低下した。碇子粉砕物を多く配合した試験体は1090℃以上の焼成温度において、未配合のクチャ坏土より吸水率が高くなる傾向を示した。碇子粉砕物が粗いことから碇子とクチャ坏土の間に孔が出来やすいことにより吸水率が高くなったと考える。

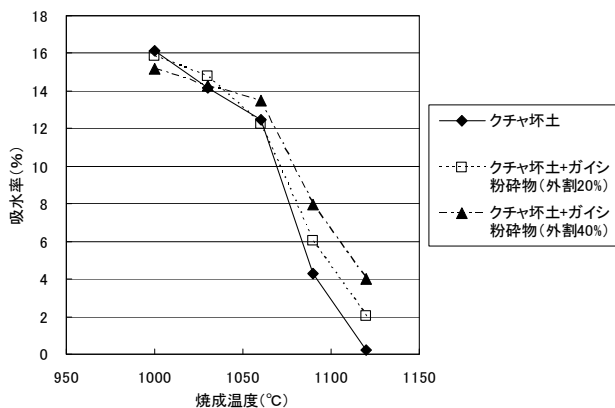


図4 吸水率と焼成温度の関係

## 3) 耐摩耗性試験

耐摩耗性試験の測定結果を図5に示す。碇子粉砕物を配合することで、摩耗減量は若干大きな値を示し、碇子粉砕物の配合による改善は見られなかった。廃止されたJISの床タイルの基準値は、減少量0.1g以下であり、今回の試験体では1090℃以上の焼成温度が必要である。耐摩耗性は素地マトリックスの改善が必要であり、硬い粒子が存在してもその周囲が削られ、最終的には粒子が素地より外れてしまうことが確認され、耐摩耗性の改善には至らなかった。

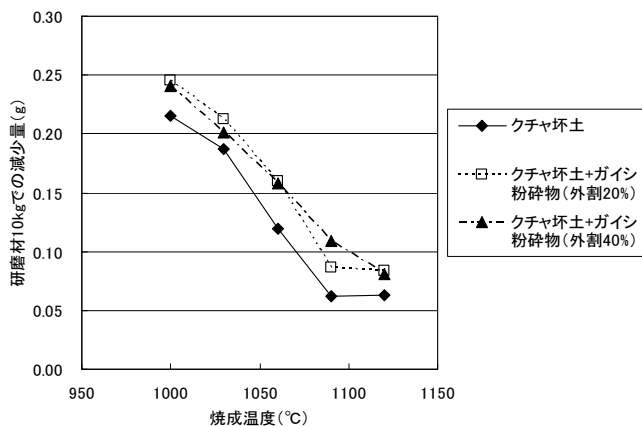


図5 落砂式耐摩耗性と焼成温度の関係

## 4 まとめ

廃棄物である碇子粉砕物の有効利用のため碇子粉砕物の基礎物性（化学組成、鉱物組成、粒度分布）および、クチャ坏土に碇子粉砕物を配合した試験体の基礎特性（試験体外観、吸水率、耐摩耗性）を測定した。その結果、次の知見が得られた。

- ①碇子粉砕物は、 $K_2O$ 、 $Na_2O$ を除く他のアルカリ成分は、クチャ坏土よりも少ない。
- ②碇子粉砕物の粒度分布は平均粒径1.7mmであり、粗い原料である。
- ③碇子粉砕物は40%程度であればクチャ坏土に配合でき、試験体が作成可能であった。焼成後の外観、吸水率、耐摩耗性に大きな差は認められなかった。
- ④耐摩耗性に関しては、碇子粉砕物の配合は効果が認められなかった。

この研究は、平成24年度企業連携共同研究事業「廃棄物の利用技術に関する研究開発（廃棄碇子の窯業建材への利用に関する研究開発）（2012 技 016）」により沖縄県赤瓦事業協同組合と共同研究を行った成果である。

## 5 参考文献

- 1) JIS A 5209 陶磁器質タイル(1994)
- 2) 日本セラミックス協会編、「セラミックス工学ハンドブック（第2版）[応用]」,753-756(2002)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。