

廃棄瓦シャモットを主原料とした粘土瓦の開発

星 幸二^{*1}、榊原一彦^{*2}、深澤正芳^{*2}、山田義和^{*2}

Development of Roofing Tiles by Recycled Waste Roofing Tile Chamotte

Koji HOSHI^{*1}, Kazuhiko SAKAKIBARA^{*2}, Masayoshi FUKAZAWA^{*2}
and Yoshikazu YAMADA^{*2}

To koname Ceramic Research Center, AITE C^{*1*2}

家屋解体現場から回収したいぶしと塩焼の廃瓦を粉碎し、配合土に 55.6% 調合した粘土瓦素地を開発した。シャモットの粒度が焼成素地の吸水率、曲げ強さに影響し、微細であると吸水率が低下し、曲げ強さが高くなった。廃瓦から混入する釉薬の塊、炭素皮膜が焼成時に釉薬面、いぶし面に悪影響を及ぼすことはなかった。銀系釉薬を施釉したシャモット調合素地の耐貫入性は良好であった。シャモットを大量に使用すると水和膨張はなくなり、熱膨張係数は高くなり、その結果、耐貫入性が向上したものと思われる。

1. はじめに

家屋解体に伴い排出される粘土瓦廃材を分別回収し、シャモットに粉碎し、粘土瓦の主原料として利用することを検討した。前年度実施の共同研究¹⁾の成果を踏まえ、その研究では検討されなかったいぶし瓦と塩焼瓦の廃材のリサイクルを図ることを目的にし、開発目標として粘土瓦配合土にシャモットを 50% 以上加えることとした。

また、配合土 100% 素地と比較した場合、シャモットを大量に使用した場合の物性への影響を検討し、さらに今後の解決すべき課題を指摘した。

2. 実験方法

2.1 使用原料

家屋解体現場から収集したいぶしと塩焼の廃瓦及び瓦用配合土の化学組成を表 1 に示す。現在の配合土に比べ、廃瓦素地はアルミナ分を多く含有し、三河粘土主体の原料で生産していた数十年前の三州瓦と推定される。

2.2 廃瓦の粉碎

粉碎の前処理として、収集した廃瓦に付着している異物を除去した。異物としては銅線、釘、葺土、南蛮、有機樹脂、ゴム等があった。異物を除去した廃瓦を企業に設置してある時間当たりの処理量が 500Kg のハンマー式ミルで粉碎した。この粉碎装置は比較的大きな粒状シャモットを得るためのものであるため、装置の粉碎条件を微細粒子を得るように設定した。

表 1 廃瓦と配合土の化学組成 (wt%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO
いぶし廃瓦	65.3	23.7	4.88	0.86	0.46
塩焼廃瓦	63.3	25.1	5.20	0.78	0.71
配合土	67.3	18.8	3.20	0.56	0.36

	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
いぶし廃瓦	0.82	0.41	2.93	0.84
塩焼廃瓦	0.54	1.23	2.84	0.49
配合土	0.57	0.82	2.54	5.85

粉碎物をハンマーミル付属の乾式篩で「150 μm 以下」、「150~300 μm」、「300~1000 μm」、「1000 μm 以上」の 4 段階に分級した。さらに最も細かい「150 μm 以下」として得られた粉碎物でも微細粒子の比率が少ないので、70 μm の標準篩を用いて湿式で分級してから乾燥し、「70 μm 以下」のシャモットとして調合試験に追加した。

2.3 成形及び焼成

いぶし廃瓦と塩焼廃瓦のシャモットを分級した粒度別に各々 55.6%、それに配合土を 44.4% 加え、さらに可塑性付与のためにリグニン粉末 0.5%、フミン酸ソーダ粉末 0.5% を添加し、水分を適宜加え、アイリッヒミキサーで 10 分間混合した。これを真空押出成形機で 1 度混練したのち、真空中で押し出した。口型寸法は 30×15mm で、長さは約 120mm とした。

成形体を自然乾燥させたのち 110℃ で熱風乾燥し、電気炉で昇温速度 60℃/h、最高温度 1115℃、1130℃、1145℃

*1 常滑窯業技術センター 三河窯業試験場（現常滑窯業技術センター 応用技術室） *2 常滑窯業技術センター 三河窯業試験場

で1時間保持し、焼成した。

2.4 素地の物性評価

成形乾燥体の乾燥収縮率、かさ密度を測定した。また、押出方向に平行に約10mmφに切り出した試料で熱膨張収縮曲線を測定した。

焼成素地の焼成収縮率、24時間浸漬の自然吸水率、スパン90mmで3点曲げ強さ、かさ密度などを測定した。また、1130℃焼成素地から乾燥素地と同様に試料を切り出して熱膨張曲線を測定した。

1130℃焼成素地の破片で水銀圧入式気孔分布測定装置を用いて細孔分布曲線を測定した。

2.5 施釉試験

成形乾燥体に銀色系釉薬3種、フリット系釉薬5種、化粧土系2種を施釉し、無釉のものと一緒に最高温度1130℃焼成の釉薬瓦トンネル炉で焼成した。また、施釉せずに最高温度1145℃焼成のいぶしトンネル炉でも焼成した。焼成品の外観性状を観察し、いぶし廃瓦から混入する炭素皮膜と塩焼廃瓦から混入する釉薬層が原因となるぶくなどの欠点の有無を調べた。

また、オートクレーブを用いたタイルのJIS A 5209を準用し、釉薬の耐貫入性の促進試験を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 粉碎試験

粉碎による粒度別収量を表2に示す。いぶし廃瓦、塩焼廃瓦の種類の違いによる収量差は小さかった。分級したシャモットの実際の粒度をJIS標準篩で測定すると、装置の篩の表示径より全般に荒い粒子径になっていた。

廃瓦を粉碎した「150μm以下」のシャモットと愛知県陶器瓦工業組合のディスクミルで粉碎し、販売している商品名「赤シャモット0.5mm以下」の市販シャモットとの粒度の差を図1及び図2に示す。

表2 廃瓦シャモットの粒度別収量 (wt%)

粒径(μm)	<150	150~300	300~1000	1000<
いぶし廃瓦	37.5	3.2	37.7	21.6
塩焼廃瓦	41.4	2.3	36.3	20.0

ハンマーミルで粉碎したいぶし廃瓦シャモットは45μm以下の微細部分が少なくなっているが、大型ディスクミルで粉碎した市販シャモットは粒度分布が広い上に微細な粒子が大量に含まれているのがわかる。

3.2 素地の物性

いぶし廃瓦シャモット70μm以下を55.6%使用し、成形した乾燥素地の1100℃までの熱膨張収縮曲線を図3に

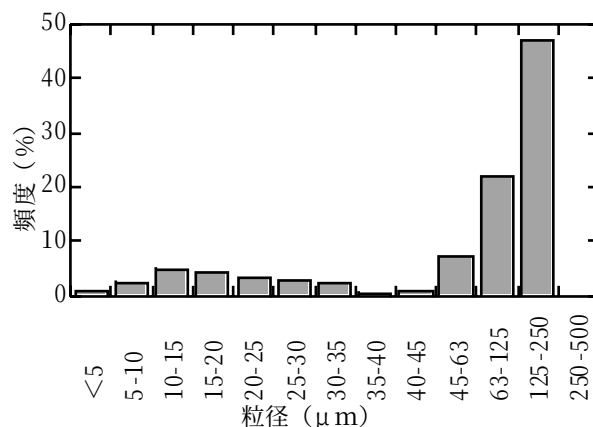


図1 いぶし廃瓦シャモット(150μm以下)粒度

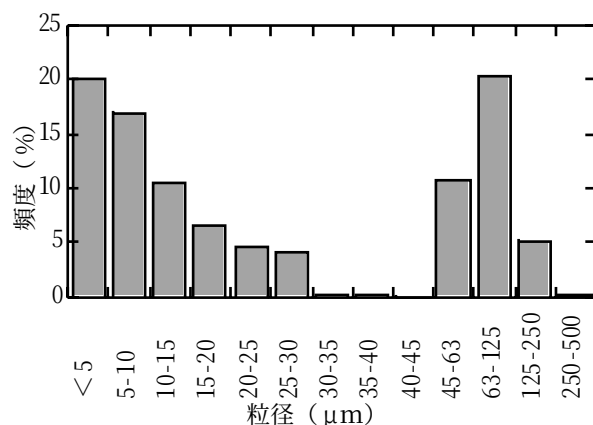


図2 陶器瓦組合の赤シャモット(0.5mm以下)粒度

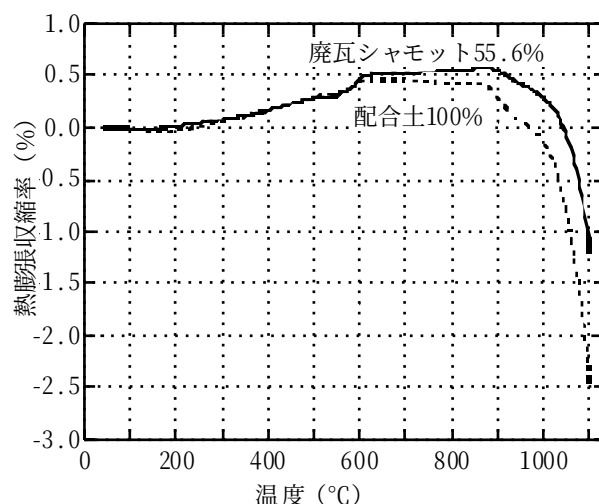


図3 廃瓦シャモット調査素地の熱膨張収縮曲線

示す。配合土100%素地との比較では、900℃手前からの大きな収縮がほとんどなく、また1000℃以上になっても収縮率も小さくなった。

シャモット粒度と吸水率との関係を図4に示す。粒度が細かい70μm以下のシャモットを使用すると、吸水率が他の粒度より大きく低下するが、配合土100%素地の6%と比べると高くなった。

焼成素地の細孔分布を図5に示す。シャモット55.6%

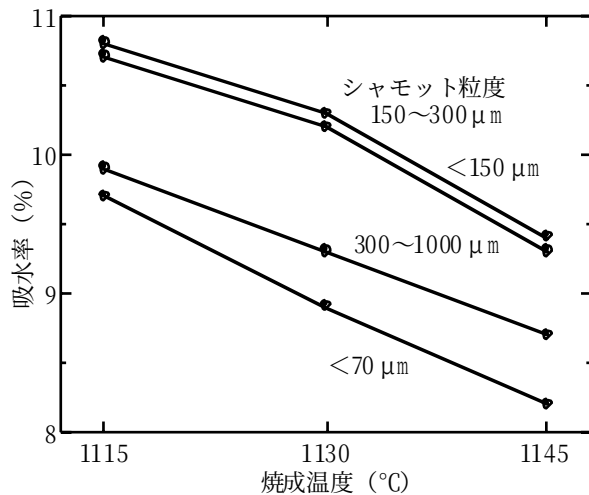


図4 シャモット粒度と吸水率との関係

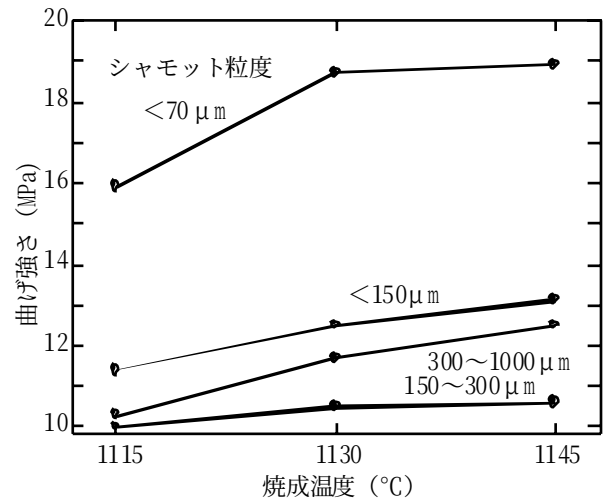
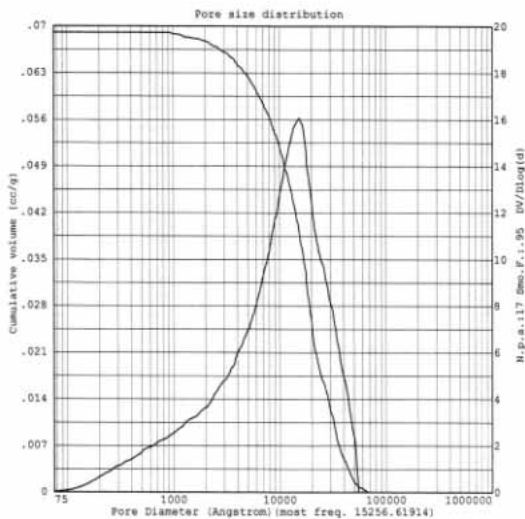
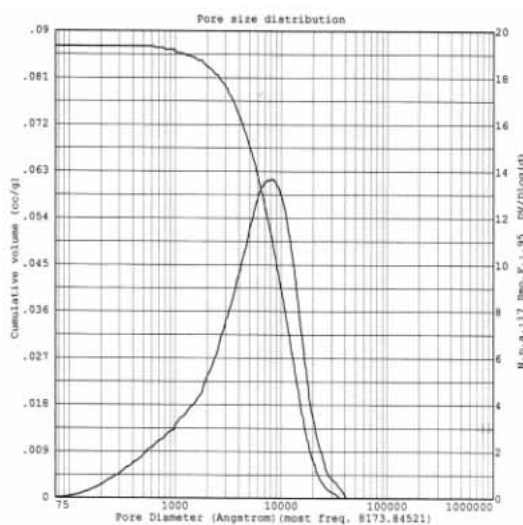


図6 シャモット粒度と曲げ強さとの関係



シャモット 55.6%調合焼成素地の細孔分布



配合土 100%焼成素地の細孔分布

図5 焼成素地の細孔分布

調合焼成素地の平均細孔径は $1.52\mu\text{m}$ 、配合土 100%焼成素地は $0.82\mu\text{m}$ と、シャモットを多く調合すると気孔径は2倍近く大きくなった。これが吸水率を大きくし、吸水速度を高くしていると考えられる。

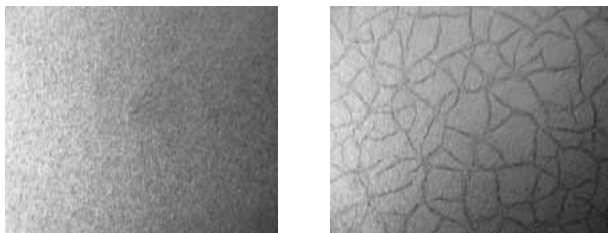
シャモットを大量に使用するとシャモット粒子と配合土に含まれる大きな石が素地の骨格を作り、その隙間に粘土が入り、その結果、乾燥収縮、焼成収縮が小さくなると考えられる。しかし、焼成しても粒子間隙はあまり小さくならないので、形成される気孔径は大きくなり、その結果、吸水率が高くなると思われる。

シャモット粒度と曲げ強さとの関係を図6に示す。70 μm 以下のシャモットを使用すると、曲げ強さは高くなり、配合土 100%素地と同等以上になった。しかし、他のシャモット粒度が粗い調合では、製品化が困難と思われるような曲げ強度の低下を示した。吸水率、曲げ強さの結果から、シャモット粒度を細かくする必要がある。

3.3 施釉試験結果

釉薬瓦トンネル炉焼成の試験体の外観観察では、フリット系釉薬、銀色系釉薬、化粧土系とも表面に異常は認められなかった。フリット系、銀色系とも釉薬表面は滑らかであった。配合土に大量に微細シャモットを調合すると、焼成素地の表面粗さが小さくなると同時に釉薬表面も滑らかになり、表面性状が向上することが判明した。また、フリット系釉薬では貫入の入り方が少なくなり、あまり目立たなくなった。

いぶしトンネル炉で焼成した燻化素地でも素地表面が滑らかなため、その上に積層されたいぶし層も滑らかで冴えが良くなった。配合土に廃瓦シャモットを大量に調合すると、釉薬廃瓦から釉薬の塊、いぶし廃瓦からいぶしの炭素膜が混入することは避けられないが、焼成後に釉薬表面やいぶし皮膜の性状に悪影響を及ぼすことはなかった。



シャモット調合素地 配合土 100%素地

図7 耐貫入性試験結果

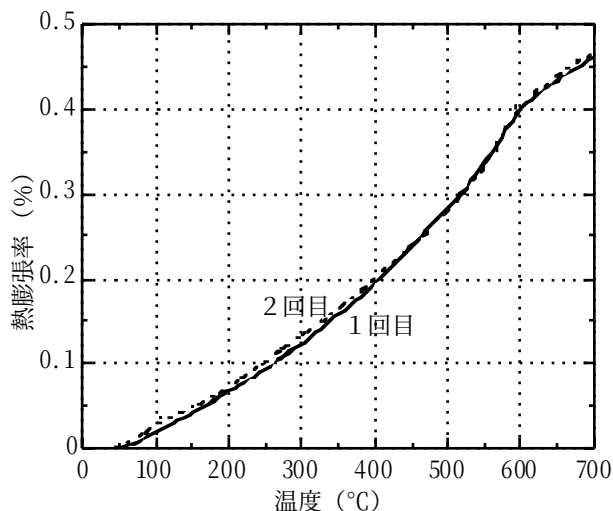


図8 シャモット調合素地の水和膨張曲線

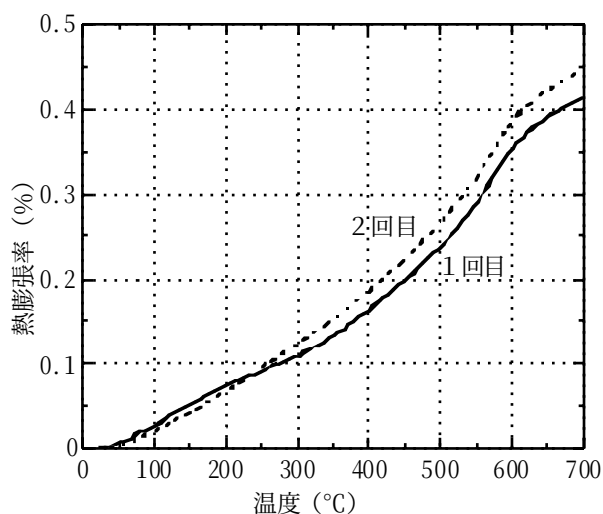


図9 配合土100%素地の水和膨張曲線

耐貫入性試験の試験後の表面写真を図7に示す。配合土 100%素地では写真のような貫入が見られるが、シャモット 55.6%調合素地では貫入は発生しなかった。

オートクレープ処理したシャモット調合素地の水和膨張曲線を図8に示す。水和膨張は僅かで、700℃で0.009%であった。一方、図9に示すように配合土 100%素地の水和膨率で0.032%であり、水和膨張が認められた。

さらにシャモット調合素地と配合土 100%素地の耐貫入性の違いを調べるために、1130℃で焼成した両素地の

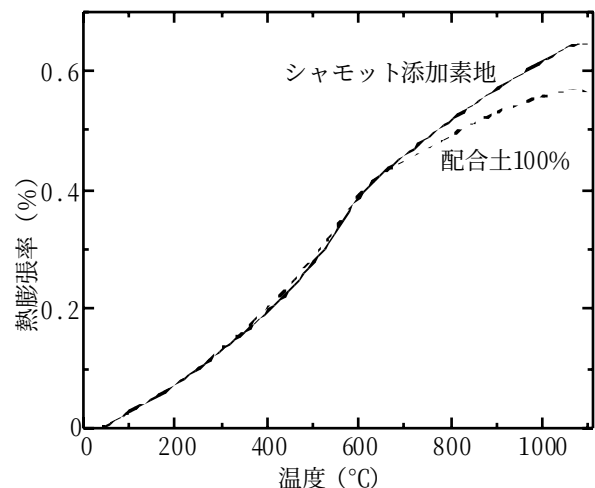


図10 焼成素地の熱膨張曲線

1100℃までの熱膨張曲線を図10に示す。両者を比較すると、シャモット配合素地は650℃くらいまでは配合土 100%素地とほぼ同じ熱膨張曲線を示した。しかし、さらに高温になると配合土 100%素地は熱膨張率がやや低くなるが、シャモット配合素地の熱膨張率の低下は小さく、相対的に高温での熱膨張率は高くなった。

素地と釉薬との熱膨張率との差が大きいと貫入の原因になる。シャモットを配合土に大量に調合すると、素地の20-1100℃の熱膨張係数が $0.73 \times 10^{-6}/K$ 高くなり、釉薬との熱膨張の差が小さくなり、貫入が入りにくくなったと考えられる。

4. 結び

住宅解体現場からいぶしと塩焼の廃瓦を回収し、粉碎し、粘土瓦原料として50%以上を使用する技術開発をめざし、配合土に廃瓦シャモットを55.6%配合し、押出成形し、焼成した結果、次のような特徴の素地が得られた。

- (1) シャモット粒度が吸水率に影響し、微細なほど吸水率は低くなるが、配合土 100%に比べると高くなる傾向を示した。
- (2) 曲げ強度は70μm以下の微細なシャモットを使用すれば、配合土 100%と同等以上の強度が得られた。
- (3) いぶし廃瓦の炭素皮膜及び塩焼廃瓦の釉薬層がシャモットに混入し、焼成したときに釉薬及びいぶし層へ影響し、ブクなどの欠点を発生させることはなかった。
- (4) 焼成素地の水和膨張はなくなり、また熱膨張係数も高くなった結果、銀色系釉薬の耐貫入性が向上した。

文献

- 1) 稲吉辰夫ほか：三河窯業試験場設立50周年記念講演会予稿集、1-8(2005)