

瓦不良品の陶器瓦への再生利用

山本 紀一 伊藤 征幸 福永 均 森川 泰年

Utilization of Inferior Rooftiles

by

Kiichi YAMAMOTO, Tatsuyuki ITO, Hitoshi FUKUNAGA
and Hirotoshi MORIKAWA

陶器瓦の製造工程で発生する不良品の処理法の1つとして瓦への還元利用を図るため、不良瓦をシャモットにし配合粘土に添加し、物理的性質を測定するとともに各種釉薬を施釉して釉薬表面の性状を観察した。その結果、①瓦の不良品を0.5mm以下に粉碎したシャモットを3%添加しても品質にほとんど影響しない。②5%以上添加した素地に黄金色釉を施釉した場合、瓦表面に色ムラが出るが、他の釉薬は色ムラにならない。③いぶし銀色釉薬瓦と青銅色釉薬瓦の不良品は色ムラの原因となるので分別収集することが望ましい。④シャモットの添加により、乾燥切れが減少し、乾燥曲げ破壊荷重が向上する等乾燥性が向上した。また、迅速焼成が可能となる。⑤混練の度合を増加すると、吸水率や乾燥曲げ破壊荷重等の物理的性質が改良された。

1. ま え が き

陶器瓦工場から排出される不良品は、年間約7万トン程度あり、これは生産量の約3%を占める。

このうち、約 $\frac{1}{3}$ は各社で処理し、残りの $\frac{2}{3}$ を組合事業として埋立処分をしているのが実状である。しかし、埋立処分には限界があり、公害規制等により埋立処分が出来にくくなることも予想される。

また、不良品をシャモットにして瓦用原料として還元利用することは、資源の有効利用の面からも望ましいことである。

このような背景から、本研究では、不良品をシャモットとして配合粘土に添加した場合の物理的性質や釉薬表面の性状等を検討し、実用化に際しての指針を示すことを目的とした。

2. 試 験 方 法

2.1 予備試験

陶器瓦シャモットを瓦用配合粘土に添加する場合に物理的性質への影響と共に釉薬表面の性状が問題になる。ここでは、シャモットの粒径が釉薬表面の性状に及ぼす影響を見るため粒径範囲と添加範囲を広くとって試験した。表1にシャモットの粒径と調合割合を示す。

なお、試験体は石膏型で手起し成形し、自然乾燥

した後ハイシルバー色と黄金色を施釉し、陶器瓦用トンネル窯（SK2a）で焼成した。

表1 シャモットの粒径と調合割合（外割）

粒 径(mm)	0.5>	0.5~1.0	1.0~2.0
	5	5	—
添加量(%)	10	10	10
	20	20	—

2.2 中間試験

予備試験の結果から、0.5mm以下と、0.25mm以下のシャモットを添加して物理的性質を測定した。

表2にシャモットの粒径と調合割合を示す。図1にシャモットと配合粘土の粒度分布を示す。

表2 シャモットの粒径と調合割合（外割）

粒 径(mm)	0.5>	0.25>
	3	3
添加量(%)	5	5
	10	10

なお、試験体は真空押し出し成形機を用いて成形し、自然乾燥したものを陶器瓦用トンネル窯（SK2a）で焼成した。

また、不良瓦の釉薬の種類が表面性状に与える

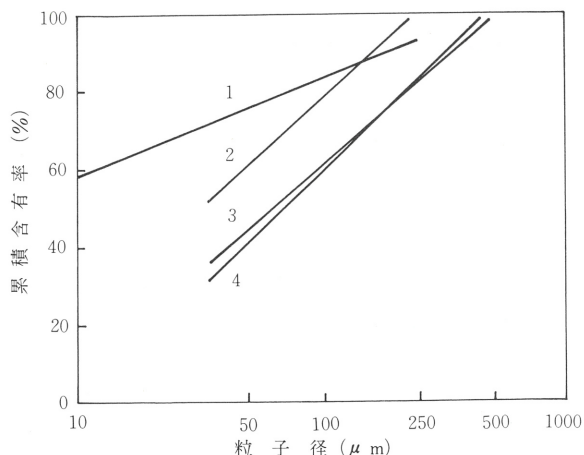


図1 粒度分布

1: 配合粘土 2: 0.25mm以下シャモット
3: 0.5mm以下シャモット 4: 試作シャモット

影響を見るため、ハイシルバー色釉薬瓦、いぶし銀色釉薬瓦及び青銅色釉薬瓦を0.5mm以下と0.25mm以下に粉碎したシャモットを用い、表3に示した調合割合で白地を作製し、これにハイシルバー色、黄金色等の釉薬7種類を施釉した。

表3 シャモットの種類と調合割合 (外割)

種類	ハイシルバー色 釉薬瓦		いぶし銀色 釉薬瓦		青銅色 釉薬瓦	
	0.5>	0.25>	0.5>	0.25>	0.5>	0.25>
粒径(mm)	3	3	3	3	3	3
添加量(%)	5	5	5	5	5	5
	10	10	10	10	10	10

2.3 試作試験

中間試験をもとに工場規模での試験を実施し、実用化した場合の問題点等を検討した。

試作したシャモットは経済性も考慮し、図1の4に示した粒度分布のものを用いた。これは中間試験に用いたものとほぼ同じ粒度分布である。

表4に試作試験の調合割合を示す。なお、シャモットを添加する場合、混練不十分に起因する欠点が発生すると思われるので、坯土を真空押出成形機にかけてからプレス成形したもの(1回混練)と、荒地にしたものをもう一度真空押出成形機にかけてからプレス成形したもの(2回混練)の2種類を試験し、混練の効果を検討した。

また、釉薬表面の性状を観察するのに使用した釉薬は、三河地方で生産割合の高いハイシルバー色、いぶし銀色及び青緑色と色ムラの出やすい黄金色の4種類である。この試作品は、トンネル窯(SK1a)で焼成した。

表4 試作瓦のシャモット調合割合(外割)

シャモット 添加量(%)	3, 5, 10
-----------------	----------

3. 試験結果と考察

3.1 予備試験

表5に予備試験体の物理的性質と釉薬表面の性状(色ムラ)を示す。

物理的性質はシャモットの粒径が大きくなり、

表5 予備試験体の物理的性質と釉薬表面の性状

シャモット		成形水分 (%)	乾燥収縮率 (%)	焼成収縮率 (%)	吸水率 (%)	焼成曲げ 強 (kgf/cm ²)	色ムラ	
粒径(mm)	添加量(%)						黄金色釉	ハイシルバー色釉
0.5>	5	22	8.4	3.8	10.3	105	○	○
	10	22	7.9	3.6	11.2	97	×	×
	20	21	7.0	3.2	12.0	96	×	×
0.5~1.0	5	21	7.8	4.1	10.1	127	×	×
	10	21	7.6	3.8	10.8	126	×	×
	20	21	6.6	2.9	11.4	92	×	×
1.0~2.0	10	22	7.4	3.4	11.7	95	×	×
無添加		23	8.8	3.8	9.8	116	○	○

○: 色ムラ 無 ×: 色ムラ 有

添加量が増加するに従って、乾燥収縮率は小さくなるが、吸水率が増加し焼成曲げ強さが低下するなど焼結は悪くなる傾向を示した。

釉薬表面の性状は、シャモット粒度0.5mm以下で添加量5%のものは黄金色釉薬もハイシルバー色釉薬も「色ムラ」はないが、10%をこえると両釉薬に「色ムラ」が認められた。

シャモット粒度0.5～1.0mmと1.0～2.0mmのものはすべての添加量において、両釉薬に「色ムラ」が認められた。

以上の結果、シャモットの粒度を0.5mm以下にしてもよいが安全性も考えて、中間試験では、0.5mm以下のほかに0.25mm以下のシャモットも使うこ

とにした。

3.2 中間試験

3.2.1 物理的性質

表6に中間試験体の物理的性質を示す。

シャモットの粒径が大きくなり、添加量の増大するに従って、乾燥・焼成・全収縮率が小さくなり寸法精度が向上したが、乾燥曲げ強度は低下した。

焼成性状は吸水率が大きくなり、焼成曲げ強度等が低下する。なお、吸水率が増加しても飽和係数があまり変化しなかったのはシャモット添加により気孔分布に差がなかったためと思われる。

表6 中間試験体の物理的性質

シャモット 粒度(mm) 添加量(%)		成形 水分 (%)	乾燥 収縮率 (%)	焼成 収縮率 (%)	全 収縮率 (%)	乾燥曲げ 強 (kgf/cm ²)	焼成曲げ 強 (kgf/cm ²)	吸水率 (%)	飽和 係数	見掛 比重	かさ 比重	見掛 気孔率 (%)
0.5>	無添加	18.7	5.9	3.7	9.4	48.9	194	8.4	0.80	2.62	2.05	21.5
	3	18.9	5.7	3.6	9.1	39.7	167	8.8	0.80	2.61	2.03	22.4
	5	19.2	5.6	3.6	9.0	40.7	164	8.9	0.79	2.62	2.02	22.7
	10	19.1	5.6	3.4	8.8	37.2	153	9.3	0.80	2.61	2.00	23.3
0.25>	3	19.1	5.8	3.7	9.3	40.3	175	8.5	0.79	2.61	2.04	21.9
	5	19.1	5.7	3.6	9.1	40.8	172	8.8	0.80	2.62	2.03	22.5
	10	19.1	5.7	3.5	9.0	38.2	166	9.2	0.81	2.62	2.01	23.0

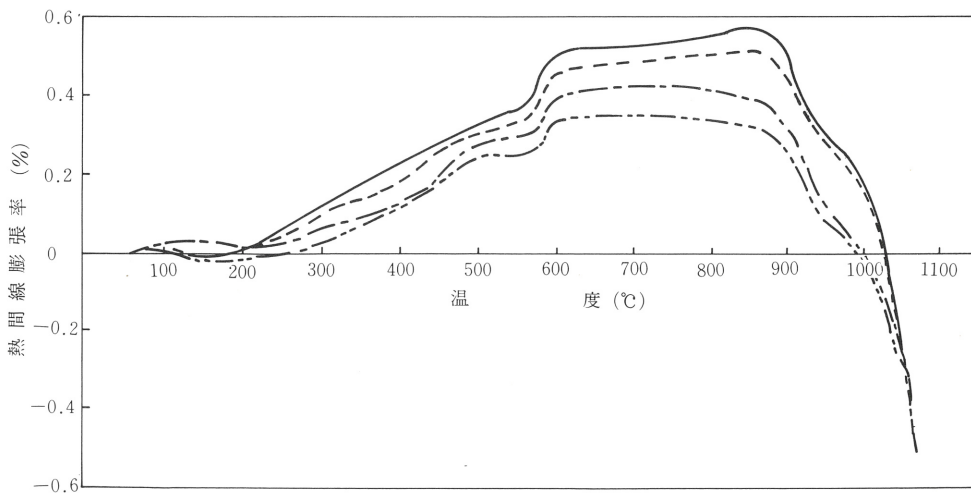


図2 熱膨張曲線図

—— 添加量 0% - - - 添加量 5%
 - · - 添加量 3% - - - 添加量 10%

3.2.2 熱膨張試験

シャモットを添加した場合の焼成過程における熱的变化を調べるため熱膨張率を測定した。その結果は図2の熱膨張曲線図に示す。

シャモットの添加量が増加するほど熱膨張率は小さくなり、かつ、石英の $\alpha \rightarrow \beta$ 転移による熱膨張も小さくなる。このことは、焼成の迅速化が可能となることを示している。

3.2.3 釉薬表面の性状

表7に釉薬表面の性状の観察結果を示す。色ムラが認められたのは、いぶし銀色釉薬瓦を粒径0.5

mm以下に粉碎したシャモットを5%以上添加した白地と、0.25mm以下に粉碎したシャモットを10%以上添加した白地に黄金色釉薬を施釉した場合である。また、青銅色釉薬瓦を0.5mm以下に粉碎したシャモットを5%以上添加した白地に黄金色釉薬を施釉した場合である。

それ以外の条件のものは、いずれも釉薬表面の性状に異状は認められなかった。

以上のことから、いぶし銀色釉薬瓦と青銅色釉薬瓦の不良品を再生利用する場合は分別収集を行うことも考慮した方がよい。

表7 中間試験体の釉薬表面の性状

シャモット			釉 薬 の 種 類						
種 類	粒度 (mm)	添加量 (%)	ハイシルバ ー 色	シルバー色	いぶし銀色	青緑色	黄金色	青銅色	チョコレート 色
ハイシルバ ー 色 釉 薬 瓦	0.5 >	3	○	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	○	○	○
		10	○	○	○	○	○	○	○
いぶし銀色 釉 薬 瓦	0.25 >	3	○	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	○	○	○
		10	○	○	○	○	○	○	○
青 銅 色 釉 薬 瓦	0.5 >	3	○	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	×	○	○
		10	○	○	○	○	×	○	○
青 銅 色 釉 薬 瓦	0.25 >	3	○	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	○	○	○
		10	○	○	○	○	×	○	○
青 銅 色 釉 薬 瓦	0.5 >	3	○	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	×	○	○
		10	○	○	○	○	×	○	○
青 銅 色 釉 薬 瓦	0.25 >	3	○	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	○	○	○
		10	○	○	○	○	○	○	○

○：色ムラ 無 ×：色ムラ 有

3.3 試作試験

表8に試作瓦の物理的性質を示し、それぞれの物性について考察する。なお、図3～6は押出方向に平行に測定した。

3.3.1 収縮率

図3にシャモット添加量と混練の度合が収縮率に与える影響を示す。

乾燥収縮率はシャモットの添加量が多くなると

小さくなる。また、1回混練と比較して2回混練は乾燥収縮率は大きくなり、シャモットの添加量が多くなる程混練の効果が顕著である。

焼成収縮率は乾燥収縮率と同じ傾向を示すが、1回混練と2回混練は平行に推移している。

全収縮率は乾燥収縮率と同じ傾向を示している。

表 8 試作瓦の物理的性質

シャモット 添 加 量 (%)	混練の 度 合	水分 (%)	乾燥収縮率 (%)		焼成収縮率 (%)		全 収 縮 率 (%)		乾燥曲げ 破壊荷重 (kgf)	焼成曲げ 破壊荷重 (kgf)	吸水率 (24hr) (%)	飽和 係数
			たて	よこ	たて	よこ	たて	よこ				
0	1 回	20.0	6.1	5.5	3.8	4.1	9.6	9.6	38	174	8.0	0.77
	2 回	19.7	6.1	5.7	3.9	4.0	9.7	9.5	66	175	7.3	0.74
3	1 回	20.0	5.7	5.5	3.9	3.8	9.3	9.1	43	163	8.2	0.76
	2 回	19.8	5.9	5.4	3.8	3.9	9.5	9.1	54	164	7.5	0.74
5	1 回	19.6	5.7	5.3	3.6	3.5	9.1	8.7	42	175	8.4	0.79
	2 回	19.5	5.8	5.3	3.8	3.7	9.3	8.8	58	168	7.6	0.76
10	1 回	19.6	5.5	5.1	3.4	3.4	8.7	8.1	42	160	9.1	0.79
	2 回	19.5	5.8	5.3	3.5	3.5	9.1	8.6	59	183	8.2	0.79

たて：押出方向に平行に測定

よこ：押出方向に直角に測定

3.3.2 乾燥曲げ破壊荷重

図 4 にシャモット添加量と混練の度合が乾燥曲げ破壊荷重に与える影響を示す。1 回混練はシャモットの添加量が多くなる程強度は向上している。これは予備試験と中間試験では試験体を自然乾燥したのでシャモットの添加量が多くなると乾燥曲げ破壊荷重が弱くなったが、試作試験は、業者の乾燥室で強制乾燥したのでシャモットの添加により乾燥性が改良され、乾燥曲げ破壊荷重が強くなったものと思われる。

また、2 回混練は、シャモットの添加量が増加するに従い、若干曲げ破壊荷重は低下する。しかし、1 回混練と比較すれば、かなり強度は向上している。なお、現在の配合粘土（シャモット添加量 0 %）は、2 回混練の効果が顕著に現われており混練の重要性を示している。

3.3.3 焼成曲げ破壊荷重

図 4 にシャモット添加量と混練の度合が焼成曲げ破壊荷重に与える影響を示す。データにバラツキがあるが、シャモットの添加量が多くなった場合に混練の効果が認められる。バラツキの原因として「ぎょうぎ」の影響が大きく作用したものと思われる。

3.3.4 吸水率

図 5 にシャモット添加量と混練の度合が吸水率に与える影響を示す。シャモットの添加量が多くなる程吸水率は大きくなった。しかし、混練の効果は著しく、2 回混練のものは 1 回混練に比較し

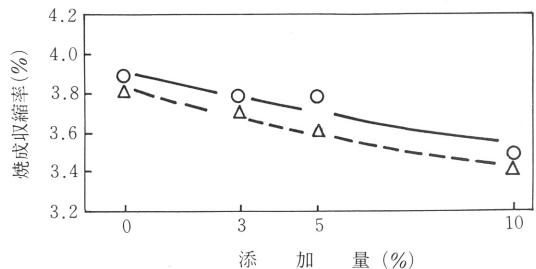
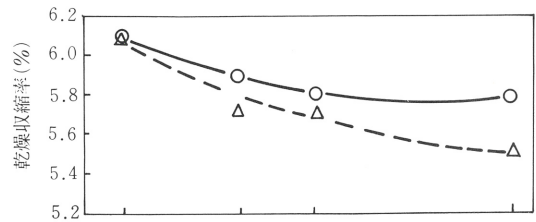
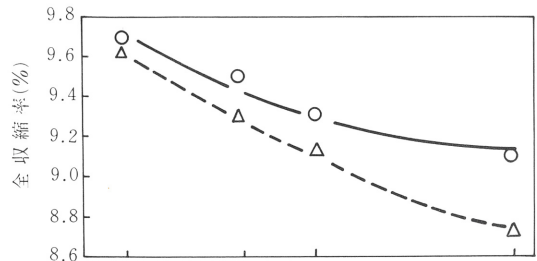


図 3 シャモット添加量と混練の度合が収縮率に与える影響

--- △ --- 1 回混練 — ○ — 2 回混練

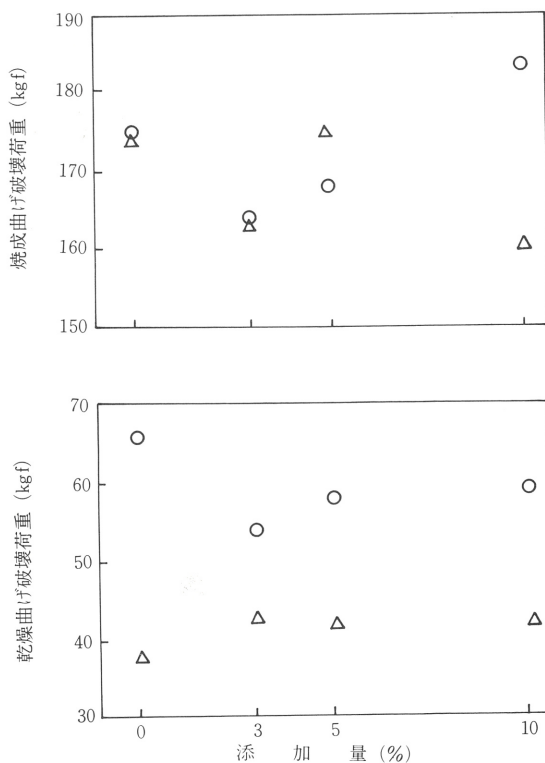


図4 シャモット添加量と混練の度合が曲げ破壊荷重に与える影響

△ 1回混練 ○ 2回混練

て約0.7%も小さくなった。シャモットを5%添加し、2回混練したものは無添加で1回混練したものと比較して0.4%も吸水率が小さくなった。

3.3.5 飽和係数

図6にシャモット添加量と混練の度合が飽和係数に与える影響を示す。吸水率と同様にシャモットの添加量を多くすると飽和係数が大きくなるが、混練の効果は著しく、シャモット添加量5%以下で2回混練のものはシャモット無添加で1回混練したものと比較して小さくなった。

3.3.6 凍害試験

JIS A 5208 5,4の方法に従って20回繰り返したが、いずれの試作瓦も異状を認められなかった。

3.3.7 釉薬表面の性状

試作瓦の釉薬表面の性状を表9に示す。ハイシ

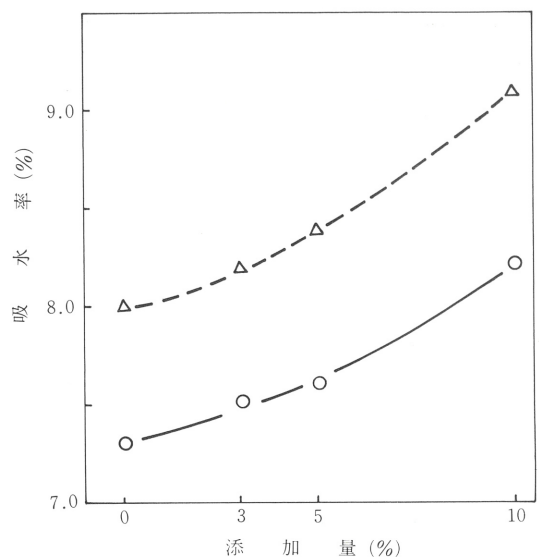


図5 シャモット添加量と混練の度合が吸水率に与える影響

---△--- 1回混練 —○— 2回混練

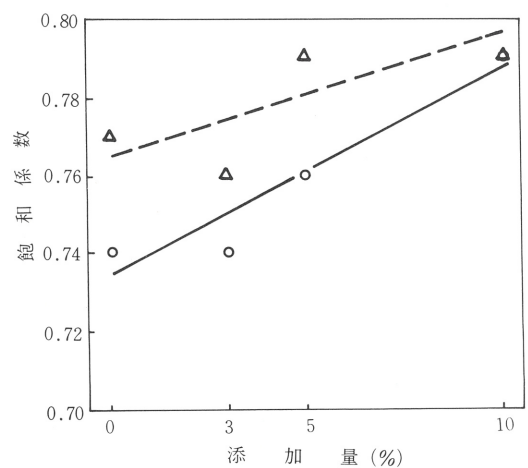


図6 シャモット添加量と混練の度合が飽和係数に与える影響

---△--- 1回混練 —○— 2回混練

ルパー色、いぶし銀色、および青緑色の3種類は異状は認められなかったが、シャモットを5%以上添加したものに黄金色を施釉したものは色ムラが認められた。

表9 試作瓦の釉薬表面の性状

シャモット 添加量 (%)	釉 薬 の 種 類			
	ハイ・シ ルバー色	いぶ 銀	し 色	青緑色 黄金色
0	○	○	○	○
3	○	○	○	○
5	○	○	○	×
10	○	○	○	×

○：色ムラ 無 ×：色ムラ 有

4. ま と め

1. 瓦の不良品を0.5mm以下に粉碎したシャモットを3%添加しても品質に影響はほとんどない。

2. 5%以上添加した素地に黄金色釉薬を施釉した瓦表面には色ムラが出るが、他の釉薬は色ムラにならない。
3. いぶし銀色釉薬瓦と青銅色釉薬瓦の不良品は色ムラの原因となるので分別集収することが望ましい。
4. シャモットの添加により、乾燥切れが減少したり、乾燥曲げ強さが向上する等乾燥性が改良された。
5. シャモットの添加により、熱膨張率の減少等により焼成の迅速化が可能となる。
6. 混練の度合を増すことにより、陶器瓦の吸水率や、乾燥曲げ強さ等の多くの物理的性質が改良された。