

## 研究論文

## 汚泥焼却灰を用いた低温焼成素地の開発

棚橋伸仁\*<sup>1</sup>、永縄勇人\*<sup>2</sup>、福原 徹\*<sup>2</sup>

## Development of Low-temperature Firing Body with Sludge Incineration Ash

Nobuhito TANAHASHI\*<sup>1</sup>, Hayato NAGANAWA\*<sup>2</sup> and Toru FUKUHARA\*<sup>2</sup>Tokoname Ceramic Research Center \*<sup>1</sup>\*<sup>2</sup>

汚泥焼却灰に含まれるリン酸成分の効果に期待し、汚泥焼却灰を配合した低温焼成素地の開発を試みた。その結果、汚泥焼却灰 50wt%、本山 A 木節粘土 10wt%、陶器瓦シャモット 20wt%、微粉碎ガラス粉 20wt% 乾式混合し、湿式プレス成形にて成形後、焼成温度 1000℃で曲げ強度が 15MPa 以上のとなる素地の開発に成功した。

## 1. はじめに

下水道及び浄化施設は年々整備が進められており、普及率の上昇とともに汚泥焼却灰の排出量増加が懸念されている。

一方で、近年の原油価格の高騰により、タイルメーカーでは焼成費用の低減が急務となっている。地場のタイルメーカーの焼成温度は約 1,200℃であり、この温度でのトンネル窯などによる焼成は燃料を大量に消費することから、低温焼成技術が求められている。

本研究ではこれらの課題を解決するため、汚泥焼却灰を素地に 20wt%以上配合し、1,000~1,100℃の温度で焼結できる素地の開発を試みた。

## 2. 実験方法

## 2.1 汚泥焼却灰の特性の調査

本研究で使用する汚泥焼却灰(図1)は、名古屋市上下水道局の山崎汚泥処理場より提供を受けた。

汚泥焼却灰は、波長分散型蛍光 X 線により成分分析を行った。

## 2.2 素地の開発

汚泥焼却灰とその他成分を、樹脂製乳鉢で混練し、少量の水を霧吹きで加えて金型に詰め、湿式プレス成形をした。その後電気炉で焼成し、焼成体の焼成収縮率、吸水率、曲げ強度などを評価した。焼成温度は 1,000℃、1,050℃、1,100℃とした。

## 2.2.1 汚泥焼却灰と粘土の 2 成分での試作、評価

汚泥焼却灰の素地への添加量及び、焼成温度の範囲を検討するため、汚泥焼却灰と粘土を種々の割合で配合し、1,000~1,150℃の焼成温度で焼成体を作製した。なお、本研究では、粘土は本山 A 木節粘土を使用した。



図1 汚泥焼却灰

## 2.2.2 添加剤の検討-微粉碎ガラス粉

汚泥焼却灰と本山 A 木節粘土に微粉碎ガラス粉を加え、焼成温度、焼成収縮率、吸水率、曲げ強度について調べた。微粉碎ガラス粉の添加量は 10~30wt%とした。微粉碎ガラス粉(平均粒径 15μm)は高浜工業株式会社製のものを使用した。

## 2.2.3 添加剤の検討-陶器瓦シャモット

陶器瓦シャモット(図2)を添加し、微粉碎ガラス粉を添加した時と同様の評価を行った。陶器瓦シャモットの添加量は 10~30wt%とした。陶器瓦シャモットは、愛知県陶器瓦工業組合から粒径が 0.5mm 以下のもの入手した。

## 2.2.4 添加剤の検討-4 成分の混合

汚泥焼却灰を 50wt%、粘土を 10wt%で固定し、各添加剤(微粉碎ガラス粉、陶器瓦シャモット)の使用量による焼成体の変化について調べた。

## 2.2.5 添加剤の検討-磁器シャモット

陶器瓦シャモットの代わりに、磁器シャモット(図2)を用いて焼成体の評価を行った。

## 2.3 添加剤の検討-陶器瓦シャモット

75mm 角の大きさの試作品を作製した。



図2 シャモット（添加剤として使用）  
（左：陶器瓦シャモット、右：磁器シャモット）

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 汚泥焼却灰の特性の調査

波長分散型蛍光 X 線測定により、汚泥焼却灰にはリン酸成分が約 28wt%含まれていることが分かった。このリン酸成分が焼結時のガラス化に寄与し、低温焼成に繋がることが期待できる。また、汚泥焼却灰は赤褐色であるが、酸化鉄が 8wt%含まれており、それに由来する色であると考えられる。

粒度分布測定を行った結果、平均粒径は約 15 $\mu$ m であり、特に再粉碎など必要なく原料に用いることができることが分かった（図3）。

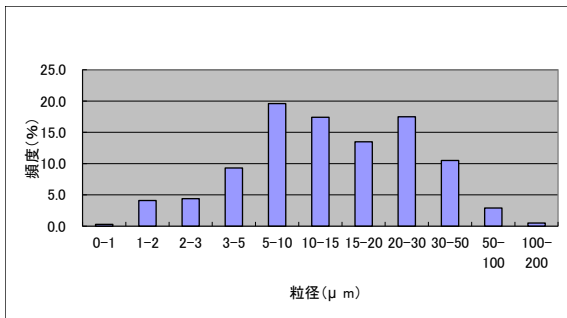


図3 汚泥焼却灰の粒度分布測定結果

#### 3.2 素地の開発

素地の開発に用いた金型は 50mm×10mm で、成形時のプレス圧力は 5MPa とした。

##### 3.2.1 汚泥焼却灰と粘土の 2 成分での試作、評価

焼成温度 1,000～1,100℃において、汚泥焼却灰が 10wt%以下では吸水率が 10%以上となり、焼結度が非常に悪い。また、汚泥焼却灰が 90wt%以上では、収縮率 10%以上または焼成体の発泡により焼成体に変形してしまい、製品化できない。これらの結果を図4に、発泡した焼成体（汚泥焼却灰 100wt%、焼成温度 1,100℃）を図5に示す。

図4は、焼成体が視覚的に製品と成り得るか否かを表したものであり、○が異常なし（変形や発泡なし）、△が変形あり、×が発泡ありを表している。この結果から、汚泥焼却灰の使用量は 30wt%または 50wt%にすることとした。

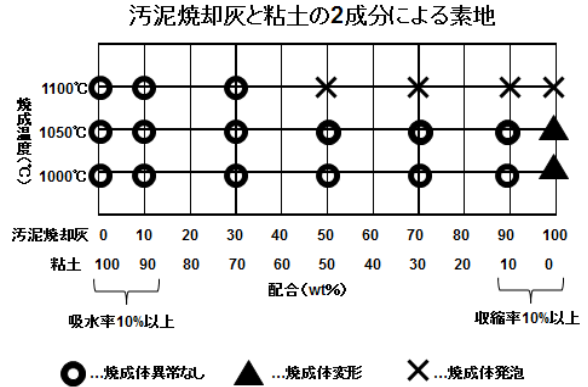


図4 焼成体の視覚による確認



図5 発泡した焼成体

##### 3.2.2 添加剤の検討-微粉碎ガラス粉

汚泥焼却灰 30wt%または 50wt%に対し、微粉碎ガラス粉を 10～30wt%添加して焼成体を試作した。得られた焼成体では、吸水率の大幅な減少が確認された（表1）。

表1 微粉碎ガラス粉の添加による吸水率の変化

素地組成	吸水率 (%)		
	焼成温度		
汚泥焼却灰:粘土:ガラス粉	1000℃	1050℃	1100℃
30:70:0	17.6	13.0	4.9
30:60:10	9.7	5.8	3.3*
50:50:0	10.5	6.0	4.3*
50:40:10	5.2	6.0	
50:30:20	4.1	3.5	
50:20:30	2.7	3.1*	

※焼成体が発泡

汚泥焼却灰を 50wt%使用し、そこへ微粉碎ガラス粉を 20wt%以上添加すると、焼成温度が 1000℃でも 1050℃でも吸水率は 5%以下となり、焼き締まりの向上が確認された。しかし、汚泥焼却灰と微粉碎ガラス粉が合計で 40wt%以上となると、焼成温度 1100℃では焼成体が発泡し、変形してしまった。

また、曲げ強度も汚泥焼却灰と粘土の 2 成分の素地と比べて向上が確認された。その結果を図6に表す（焼成温度 1,100℃は、データが少ないため省略した）。汚泥焼却灰 50wt%使用時に微粉碎ガラス粉を 10wt%以上添加することで、焼成温度が 1,000℃でも 1,050℃でも曲げ強度が 8MPa 以上となった。

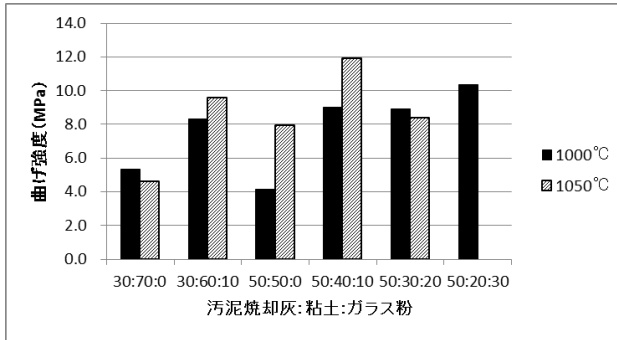


図6 微粉碎ガラス粉の添加による曲げ強度の変化

### 3.2.3 添加剤の検討-陶器瓦シャモット

汚泥焼却灰を 30wt%または 50wt%に固定し、陶器瓦シャモットを 10~30wt%添加して検討した。汚泥焼却灰と粘土の素地に微粉碎ガラス粉を添加した場合と比べて吸水率を低下させる効果は小さかった。(表2)

表2 陶器瓦シャモットの添加による吸水率の変化

素地組成	吸水率(%)		
	焼成温度		
汚泥焼却灰:粘土:陶器瓦シャモット	1000°C	1050°C	1100°C
30:70:0	17.6	13.0	4.9
30:60:10	17.5	11.4	3.9
30:40:30	13.7	7.8	2.5
50:50:0	10.5	6.0	4.3*
50:40:10	12.8	4.4	2.8*
50:20:30	9.2	2.5	2.0*

※焼成体が発泡

一方、曲げ強度については、図7に示すように微粉碎ガラス粉を添加した時に比べ、大幅に向上している。汚泥焼却灰を 50wt%使用し、陶器瓦シャモットを 20wt%以上添加して 1,050°Cで焼成した場合は、12MPa以上の曲げ強度が得られることが分かった。汚泥焼却灰を 30wt%使用して、1,100°Cで焼成した時が最も曲げ強度が高いが、本研究では汚泥焼却灰の使用量の増加と低温焼成素地の開発を目的としているため、1,100°Cでの焼成の検討は外した。

微粉碎ガラス粉の時と同様、汚泥焼却灰を 50wt%使用した時が吸水率、曲げ強度ともに良好な結果となった。

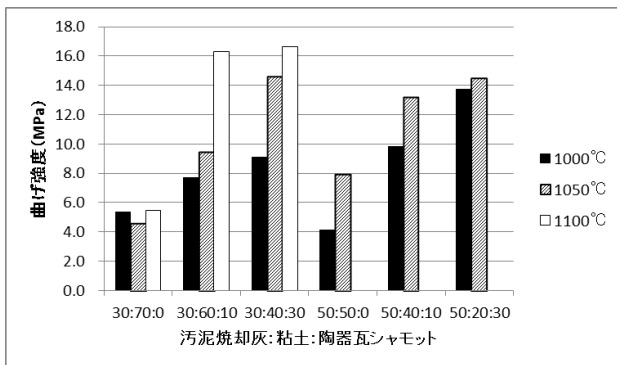


図7 陶器瓦シャモットの添加による曲げ強度の変化

焼成体の様子を図8に示す。素地の組成は、汚泥焼却灰 50wt%、粘土 20wt%、陶器瓦シャモット 30wt%である。1,100°Cの焼成体(左側)は発泡しているが、1,050°Cの焼成体(中央)と1,000°Cの焼成体(右側)に異常はない。



図8 焼成体の例

### 3.2.4 添加剤の検討-4成分の混合

汚泥焼却灰 50wt%に粘土を加え、更に添加剤として微粉碎ガラス粉 10wt%+陶器瓦シャモット 30wt%と、微粉碎ガラス粉 20wt%+陶器瓦シャモット 20wt%で素地を調合し、焼成体を作製した。焼成温度 1,100°Cでは焼成体が発泡してしまうため、焼成温度は 1,000°C及び1,050°Cとした。その結果、ガラス粉 20wt%+陶器瓦シャモット 20wt%の添加剤を加えて焼成温度を 1,000°Cとした試験体が、吸水率 1%以下、曲げ強度が 15MPa以上という好結果になった。これらの結果を図9及び図10に示す。この組成と焼成温度において、本研究の目標とする低温焼成素地の各種物性が得られることを確認した。

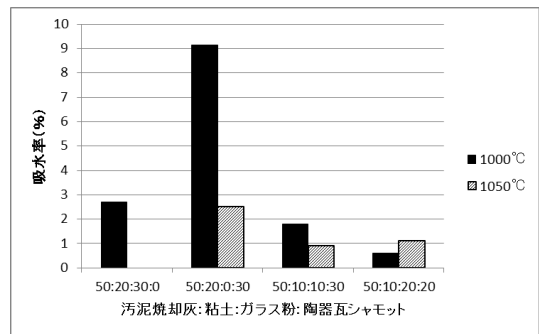


図9 4成分での吸水率の比較

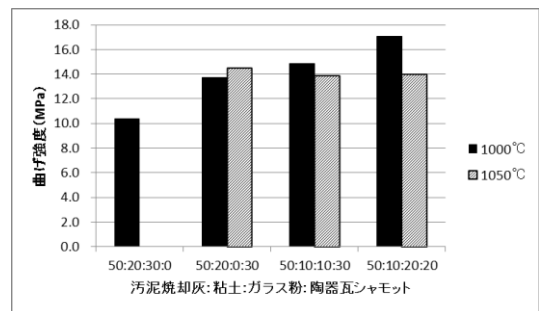


図10 4成分での曲げ強度の比較

### 3.2.5 添加剤の検討-磁器シャモット

陶器瓦シャモットの代わりに、磁器シャモットを添加して試験を行った。汚泥焼却灰、粘土、磁器シャモットの3成分での混合、それに微粉碎ガラス粉を加えた4成分の混合でそれぞれ比較した。しかし、どの場合でも陶器瓦シャモットを用いた方が曲げ強度が高く、吸水率も低い結果となった。したがって、添加剤として用いるシャモットは陶器瓦シャモットに決定した。これらの結果を図11及び図12に示す。どちらの図においても、汚泥焼却灰の使用量は50wt%で固定している。

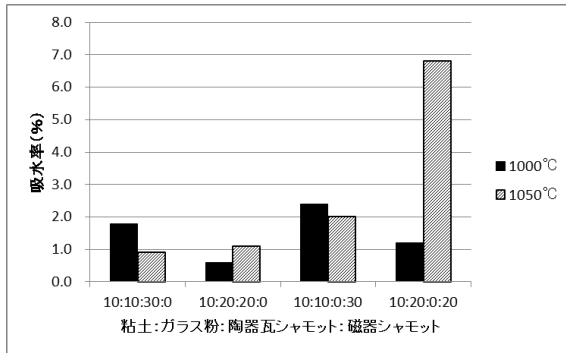


図11 陶器瓦及び磁器シャモットの吸水率の比較

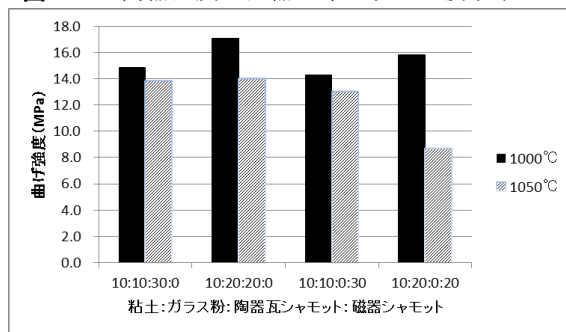


図12 陶器瓦及び磁器シャモットの曲げ強度の比較

### 3.3 試作品の作製

75mm角の試作品を作製した。その写真を図13に示す。素地の組成は、汚泥焼却灰50wt%、本山A木節粘土10wt%、微粉碎ガラス粉20wt%、陶器瓦シャモット20wt%である。これらの原料を樹脂製乳鉢で混練し、霧吹きで少量の水分を含ませた後、湿式プレス（プレス圧力10MPa）にて成形し、乾燥機で乾燥（60°Cで3時間乾燥し、続いて110°Cで1時間乾燥）させた。その後、昇温速度100°C/h、最高温度1000°C、保持時間1時間で焼成した。

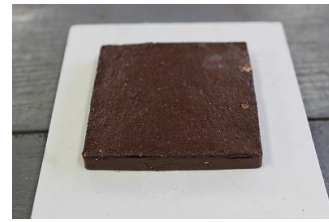


図13 75mm角試作品

## 4. 結び

本研究の結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 汚泥焼却灰を素地の主原料とすることで、低温焼成素地の開発に成功した。
- (2) 素地の曲げ強度向上、吸水率低下（焼き締めり向上）に効果が高い添加剤は、微粉碎ガラス粉と陶器瓦シャモットであり、両方を混合して使用した時の方が効果が高い。
- (3) 添加剤としてシャモットを加える場合、陶器瓦シャモットの方が磁器シャモットと比べて曲げ強度が高く、吸水率は低くなる。
- (4) 開発した素地の組成は、汚泥焼却灰（平均粒径15 $\mu$ m）50wt%、本山A木節粘土10wt%、微粉碎ガラス粉（平均粒径15 $\mu$ m）20wt%、陶器瓦シャモット（径0.5mm以下）20wt%であり、これらを乾式混練した後、少量の水分を含ませてプレス成形する。成形体を乾燥機にて乾燥後、昇温速度100°C/h、最高温度1,000°C、保持時間1時間で焼成する。それにより曲げ強度15MPa以上、吸水率1%以下の高強度低温焼成体となった。

研究目標であった汚泥焼却灰の使用量20wt%以上、曲げ強度5MPa以上を大幅に超えることができ、また焼成も1,000~1,100°Cの目標範囲の中で最も低い温度での焼成に成功した。

## 謝辞

本研究に使用した汚泥焼却灰をご提供頂きました名古屋市上下水道局山崎汚泥処理場、陶器瓦シャモットをご提供頂きました愛知県陶器瓦工業組合及び微粉碎廃ガラス粉をご提供頂きました高浜工業株式会社に、深くお礼申し上げます。