



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	溶融スラグの特性と有効利用
Author(s)	芝野, 伸二; 清水, 保雄; 西垣, 正秀
Description	第4回衛生工学シンポジウム (平成8年11月7日 (木) -8日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 2 評価 . 2-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 73-77
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7827
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-2-7_p73-77.pdf



溶融スラグの特性と有効利用

株式会社タクマ ○芝野伸二 清水保雄 西垣正秀

1.はじめに

現在、都市ごみ焼却灰は、埋立地の確保が困難であることや、埋立後、重金属等の有害物質が溶出し、環境を汚染する問題があるため、焼却灰を高温で溶融しスラグ化する技術が開発されている。溶融するメリットは、容積が約 1/2 に減少し、重金属をスラグ中に閉じ込め、ダイオキシンも高温分解され、排出されたスラグは、無害化されているため、有効利用しやすいことにある。スラグを有効利用する場合は、一般に、無加工で路盤材やコンクリート用骨材として利用する方法と、二次加工してインターロッキングブロックやタイル等に利用する方法がある。しかし、都市ごみ焼却灰溶融スラグは、溶融方式および被溶融物の質的变化により化学組成が変動するため、利用においても、その特徴を十分把握することが必要である。

そこで、本研究では、溶融方式および被溶融物が異なるスラグを用いて、その有効利用法を検討したが、ここでは、コンクリート用材料、舗石レンガおよびタイルへの利用について報告する。

2.溶融スラグの特性

使用したスラグは、溶融方式に表面溶融炉とプラズマ溶融炉を用い、被溶融物は焼却灰（ストーカ炉）および焼却灰＋飛灰（アルカリ添加バグ灰）（混合比 焼却灰：飛灰=3：1）とした計 4 種類の水冷スラグである。以下に成分分析および物理試験結果を示す。

2-1.成分分析結果

表 1 に水冷スラグの成分分析結果の 1 例を示す。これより、プラズマ溶融炉はオーバーフローでスラグを排出するため、メタルが分離され、表面溶融炉と比べ Fe_2O_3 が少ないことが特徴である。また、混合灰スラグは、アルカリ添加飛灰を混合しているため、焼却灰単独スラグと比べ CaO が多くなる。

表 1 スラグの成分分析結果

溶融炉		表面溶融炉		プラズマ溶融炉	
被溶融物		焼却灰	混合灰	焼却灰	混合灰
焼却灰	%	100	75	100	75
飛灰	%	0	25	0	25
SiO_2	dry%	39.0	37.5	43.3	41.4
TiO_2	dry%	1.3	1.1	1.2	1.2
Al_2O_3	dry%	23.3	23.9	28.7	26.0
Fe_2O_3	dry%	10.2	9.2	2.9	2.9
CaO	dry%	19.2	22.3	18.9	24.0
MgO	dry%	2.9	2.7	3.0	2.8
K_2O	dry%	1.1	0.8	1.0	0.4
Na_2O	dry%	3.9	3.0	3.8	2.5
P_2O_5	dry%	2.4	2.3	0.9	1.0

2.2.物理試験結果

水冷スラグ（10mm 以下）の物理特性を調査した結果の 1 例を表 2 に示す。表には、コンクリート用細骨材の JIS 規格値も示す。これより、スラグはすべて比重が 2.6 以上で、吸水率も 3.0%以下である。修正 CBR は 30%以下で低い値であった。

表 2 スラグの物理試験結果

項目	表面溶融炉		プラズマ溶融炉		細骨材の規格		
	焼却灰	混合灰	焼却灰	混合灰	コンクリート用砕砂 JIS A5005	コンクリート用スラグ JIS A5011	
被溶融物							
焼却灰 %	100	75	100	75			
飛灰 %	0	25	0	25		高炉スラグ	フェロニッケルスラグ
表乾比重	2.744	2.657	2.644	2.665	2.5以上*	2.5以上*	2.7以上*
吸水率 %	0.990	2.801	1.661	1.774	3.0以下	3.5以下	3.0以下
すりへり減量 %	17.0	15.4	16.2	14.7			
安定性 %	6.4	8.0	4.8	10.7	10以下		
洗い試験損失量 %	1.3	1.0	1.5	1.7	7.0以下		7.0以下
単位容積重量 kg/ℓ	1.540	1.516	1.548	1.582		1.45以上	1.50以上
実績率 %	56.7	58.7	59.5	60.4	53以上		
最適含水比 %	15.0	10.6	11.7	11.0			
最大乾燥密度 g/cm ³	1.801	1.860	1.692	1.786			
修正 CBR %	29.4	29.5	22.7	25.9			
液性・塑性限界 %	NP	NP	NP	NP			

*絶対比重

3.有効利用用途の検討

3-1.コンクリート用材料

表 2 より、スラグは細骨材の規格値を満足しており、溶融方式および被溶融物による物理特性に与える影響は少ない。また、道路用では、スラグと市販の砕石を混合することにより強度を増せば、路盤材として下層路盤材、埋め戻し材等に利用できると考えられる。

3-2.舗石レンガ

レンガは、粘土、陶石等の天然原料を用いて製造されているが、今回、スラグを窯業原料の代替として、舗石レンガへの利用を検討した。

(1)製造方法

図 1 に舗石レンガの製造フローを示す。スラグは表面溶融炉の焼却灰単独の水冷スラグを用い、その他の原料は、シャモット、陶石および粘土とした。スラグは 1mm 以下に粉碎して磁石により磁性物の除去を行った。製造は実際の製造ラインを使用した。すなわち、混練は原料にバインダーおよび水を添加して行い、成形は 200ton プレスを使用し、成形圧は 250kgf/cm²であった。焼成はトンネルキルンを用いて行い、焼成温度 1200~1230℃とした。

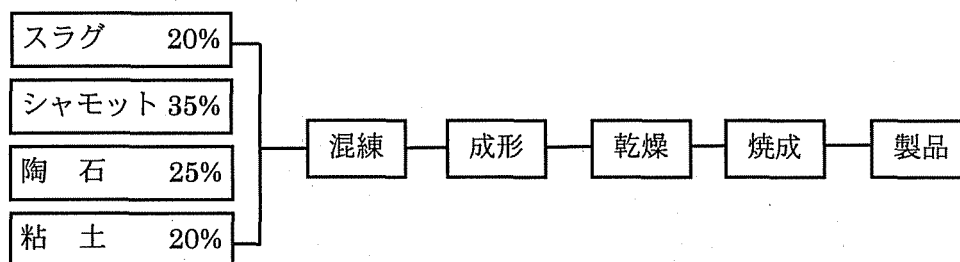


図 1 舗石レンガの製造フロー

(2)製造結果

形状（寸法）および発色については、ある程度のバラツキはあったが、施工上または美観の面から問題となる点はなかった。物理的性質においても、表3の物理試験結果より、舗石レンガの用途に十分対応できることがわかった。

表3 舗石レンガの物理試験結果

項 目	舗石レンガ	レンガ3種 JIS R 1250
見掛気孔率 (%)	9.4	-
吸水率 (%)	4.1	13以下
見掛比重	2.50	-
かさ比重	2.26	-
圧縮強度 (kgf/cm ²)	1278	200以上
曲げ強度 (kgf/cm ²)	134	-

また、レンガの無害性を判断するために、重金属類の溶出試験を行った。試験方法は、レンガを5mm以下に粉砕したものと、有姿のままの試料を用い、試験方法は、①環境庁告示第13号法、②環境庁告示第46号法、③低pH法（HNO₃によりpH4にコントロール）の3方法で行った。表4に溶出試験結果を示す。重金属類はどの方法からも溶出はなく、安全であるといえる。

表4 舗石レンガの溶出試験結果

試 料	粉 碎			有 姿			土 壤 環境基準
	環告13号	環告46号	pH4(HNO ₃)	環告13号	環告46号	pH4(HNO ₃)	
pH	7.3	7.8	4.1	6.4	6.4	4.2	-
R-Hg mg/ℓ	-	<0.0005	<0.0005	-	<0.0005	<0.0005	不検出
T-Hg mg/ℓ	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Cd mg/ℓ	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Pb mg/ℓ	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
O-P mg/ℓ	-	<0.02	<0.02	-	<0.02	<0.02	不検出
Cr ⁶⁺ mg/ℓ	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
As mg/ℓ	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.01
T-CN mg/ℓ	-	<0.02	<0.02	-	<0.02	<0.02	不検出
PCB mg/ℓ	-	<0.0005	<0.0005	-	<0.0005	<0.0005	不検出
Se mg/ℓ	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.01

3-3.タイル^{2),3)}

スラグの付加価値を高めるために、タイル原料としての利用を検討した。

(1)基礎テスト

スラグは、焼却灰と飛灰を7:3の割合で混合したプラズマ熔融炉の混合灰熔融スラグを用い、また、既存のタイル原料には、木節粘土と長石の一種である砂瓷（さば）を使用した。テストは、スラガー粘土-長石を表5に示した配合割合で混合し、図2に示すフロ

表5 スラガー粘土-長石の配合表

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
スラグ (%)	100	80	60	40	20	0	80	60	40	20	0
粘土 (%)	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80
長石 (%)	0	0	0	0	0	0	20	20	20	20	20
NO.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
スラグ (%)	60	40	20	0	40	20	0	20	0	0	
粘土 (%)	0	20	40	60	0	20	40	0	20	0	
長石 (%)	40	40	40	40	60	60	60	80	80	100	

一を基に行った。原料の混練はボールミルを用いて湿式で行い、その後、泥水を乾燥させて造粒し成形原料とした。成形は水分量が7%前後になるよう水を添加した後、φ40mmの円形金型を用いて行い、成形圧は300kgf/cm²とした。焼成は成形品を105℃で3時間乾燥後、電気炉を用いて焼成温度1100~1200℃の範囲で行った。また、物理試験として、焼成品の吸水率、収縮率および曲げ強度を測定した。

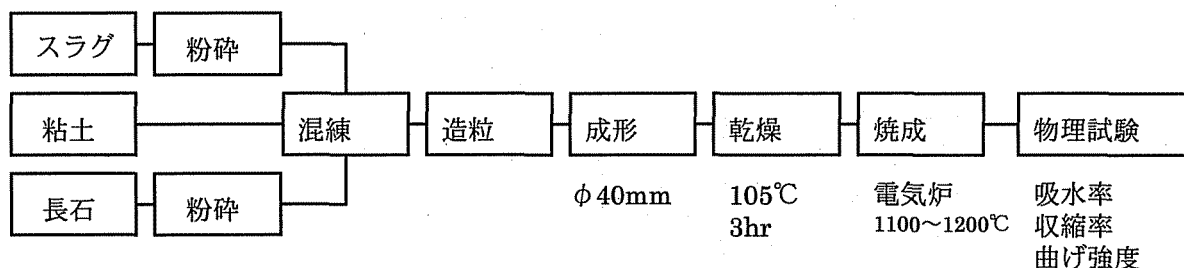


図2 基礎テストの製造フロー

図3は1150℃焼成品の吸水率を示す。吸水率は、5%以下と5~10%とを区別し、また、目視による熔融または膨張の有無も示した。一般に、タイルの焼成温度は1200~1250℃であるが、スラグを含有すると1150℃ですでに熔融または膨張し、特にスラグ-長石系はその傾向が大きい。これは、スラグ中のCaOが強塩基性であるために、粘土や石英と低い温度で反応したため⁴⁾と考えられる。さらに、長石には、融剤のアルカリ成分であるK₂Oが多く含まれているため、融点を低下させ、焼成品の熔融を促進したと考えられる。

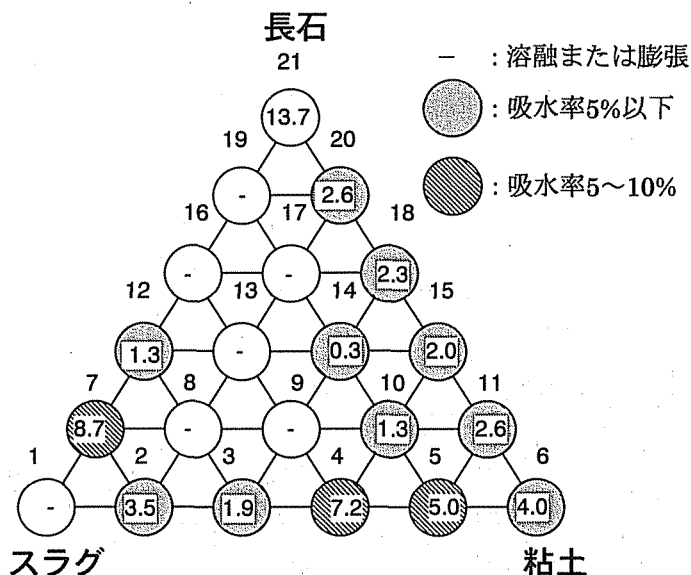


図3 1150℃焼成品の吸水率(%)

(2)実機テスト

基礎テストの結果、スラグは性質から長石とは約1130℃で急激に反応することがわかった。この結果、実機テストの配合では長石を含有せず、スラグ、粘土のみでスラグ：粘土の割合を60:40および50:50の割合で95mm角および100mm角の成形品を作成し焼成した。表6と表7に実機テストの焼成条件とその焼成結果を示す。タイルLは、原料配合A1、A2とも吸水率が1%以下の磁器質であり、また、JIS規格の床タイルにおける曲げ破壊荷重(12.24kgf/cm以上)および摩耗減量(0.1g以下)の値を満足している。タイルSも、原料配合A1、A2とも曲げ破壊荷重が5kgf/cm以上と高く、内装壁タイル(曲げ破壊荷重1.23kgf/cm以上)として十分使用できることがわかった。そして、焼成したタイルを環境庁告示第13号法および環境庁告示第46号法で溶出試験を行った結果、土壤環境基準値を満足しており、安全性において問題ないと考えられる。

表 6 実機の焼成条件

原料配合	A1	スラグ：粘土=60:40
	A2	スラグ：粘土=50:50
タイルの種類	L	95×95×18mm(床用)
	S	98×98×5mm(壁用)
焼成条件	焼成炉	ローラキルン
	焼成時間	13時間
	焼成温度	1130℃

表 7 実機の焼成結果

原料配合 タイルの種類	A1		A2	
	L	S	L	S
収縮率 (%)	5.94	4.27	5.14	5.53
吸水率 (%)	0.32	0.73	0.28	1.76
曲げ破壊荷重 (kgf/cm)	107.8	5.4	86.3	5.7
摩耗減量 (g)	0.08	0.08	0.08	0.07

4.まとめ

- ①スラグの物理試験の結果、スラグはその特性より細骨材として利用でき、粒度以外の各種物理特性は熔融方式および被熔融物にあまり影響しなく、安定している。
- ②スラグを用いて舗石レンガを製造した結果、スラグを 1mm 以下に粉碎し、磁選すれば、スラグを 20%含有し、実機のラインで製造できる。
- ③スラグを用いて実機の焼成炉でタイルを製造した結果、スラグと粘土のみでスラグ：粘土の割合が 60:40 および 50:50 の磁器質のタイルを 1130℃の焼成温度で製造できる。

<参考文献>

1)西垣正秀：反射式表面熔融炉とスラグ利用

IAWG, 廃棄物焼却残渣の循環処理技術に関するセミナー, 和文論文集, pp47~55(1996)

2)芝野伸二, 清水保雄, 西垣正秀：熔融スラグの有効利用—タイルへの利用—

環境衛生工学研究, Vol.10, No3, PP.178-181(1996)

3)芝野伸二, 清水保雄, 西垣正秀：熔融スラグのタイル原料への利用

廃棄物学会, 第7回研究発表会講演論文集(1996)

4)素木洋一：工業用陶磁器, 技報堂出版(1969)