

ごみ溶融スラグを主原料とした固化材・固化体の製造

鹿児島工業高等専門学校 正会員 前野 祐二 正会員 長山 昭夫
学生会員 ○ 上鶴 公嗣

1. はじめに

社会経済活動は大量生産、大量消費、大量破棄を繰り返しているため廃棄物は多様化し廃棄物量は急激に増大した。このような中で、一般廃棄物の溶融固化については、1990 年代のダイオキシン類問題を契機に、焼却灰・飛灰の無害化を推進されてきた。しかしながら、これまで溶融スラグについては、重金属等有害物質溶出に対する懸念などから、有効利用には課題が残されている。その中で、溶融スラグの有効利用の実現によって、最終処分量の削減、天然骨材の採取抑制等の効果が期待され、次世代の循環型社会の構築することが本来の目標である。ここでは、骨材として利用しにくい細かい溶融スラグで固化材を製造し、この固化材と溶融スラグの骨材と固化体を製造することを目的として研究を行った。

2. 試料

本研究で使用したごみ溶融スラグは、鹿児島県霧島市敷根にある国分地区敷根清掃センターから排出されたものである。この施設（株タクマ）は、キルン式ガス化の処理方式を用いており、一日の処理能力は 162 (t/日) である。冷却方式は、水砕方式である。

表—1 に蛍光 X 線分析による化学組成を示す。表に示すように SiO_2 は 40% と最も多く、次に CaO (25%)、 Al_2O_3 (13%)、 Fe_2O_3 (6%) である。ここで、参考文献 1) の溶融スラグと本研究で用いた溶融スラグの化学組成を比較すると、参考文献 1) の溶融

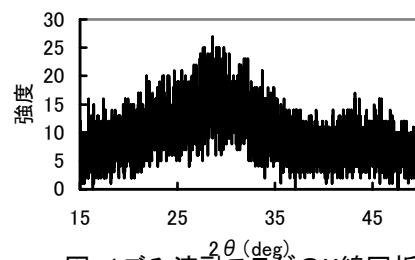
表—1 ごみスラグの化学組成

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	その他
25%	40%	13%	3%	6%	3%	4%	6%

スラグの化学組成は SiO_2 が 29.0～

52.0% と最も多く、次に CaO (27～38%)、 Al_2O_3 (15.0～16.7%)、 Fe_2O_3 (14.4%) となっている。双方を比較してみると、本研究の SiO_2 の含有量は参考文献 1) の範囲内にあり、 CaO と Al_2O_3 は大きな差はない。この二種類の溶融スラグの化学組成は、 CaO や $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ の含有量は多少異なっているが、含まれている化学組成は大きく異ならない。

次にごみ溶融スラグを X 線回析で調べた。図—1 にその結果を示す。参考文献 1) と比較してみる。すると、参考文献 1) で得られた X 線回析には、ゲーレンナイト ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) が存在し、ピークを示し、結晶が存在することが分かる。しかし、図—1 にはこのピークになる強度が出ていない。そのため、この溶融スラグはほとんどガラス質であると考えられる。



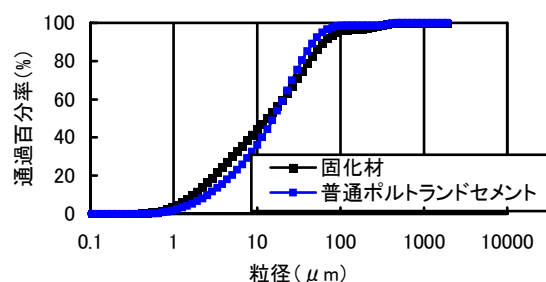
図—1 ごみ溶融スラグのX線回析

3. 固化材の作製

本研究の溶融スラグを用いた固化材は、1)ごみスラグを予備粉砕、2)固化補助材を混合、3)ボールミルで図—2 に示すような粒径まで粉砕して製造できる。右図に示すように固化材の粒度分布はセメントとほぼ同じ形状で、細かい粒径は固化材の方が多い。

4. 固化補助材の種類と混合割合

粉砕したごみスラグに様々な固化補助材を混合して固化材を製造後、固化材をセメントと同様して固化体を製造した。なお、水固化材比は全て 30% とした。表-2 に固化材の混合割合と強度の関係を示す。スラグ 100%、生石灰 10%の



図—2 固化材の粒度分布

割合で混合したものに、石炭灰、セメント、石膏をそれぞれ混合した。表に示すように、生石灰だけと生石灰と石炭灰を混合した場合は、ほとんど強度は発現しない。しかし、生石灰とセメント、生石灰と石膏を混合した固化体は、ほぼ 20N/mm^2 の強度である。つまり、セメントもしくは石膏のどちらか一つを混合すると圧縮強度は高くなり、さらにセメントと石膏の両方を混合するとさらに増えている。したがって、強度と関係している固化補助材はセメントと石膏であるようである。石炭灰は、圧縮強度には大きく関与していないが、重金属の溶出を抑えるエトリンガイトを大量に生成するため、固化補助材として重要な物質であると考えている。

表-2 固化補助の混合割合と圧縮強度(28 日養生)

スラグ	固化補助材				圧縮強度 (N/mm^2)
	生石灰	石炭灰	セメント	石膏	
100	10	0	0	0	8
100	10	10	0	0	0.7
100	10	0	0	5	21.1
100	10	0	10	0	19.3
100	10	10	0	5	15.9
100	10	10	10	0	15.4
100	10	0	10	5	25.9
100	10	10	10	5	26.8

5. セメントを混合した固化材と添加剤について

4. よりセメントが強度増加に効果大きいことから、スラグ 100%に対して混合量を 40%として他の混合材は加えていない固化材を作製した。さらにこの固化材に固化体の圧縮強度の増加を目的として、添加剤を加えて固化体を作製し、強度を計測した。表-3 に結果を示す。なお、水固

表-3 セメントだけを混合した固化材と添加剤と強度の関係

A 剤	B 剤	圧縮強度 (N/mm^2)		曲げ強度 (N/mm^2)	
		一ヶ月	三ヶ月	一ヶ月	三ヶ月
0	0	32.5	35.1	6.7	6.7
0.5	0	35.8	35.8	7.2	7.2
0	0.5	23.4	23.4	5.8	5.8

化材比は全て 30%とした。表に示すように、A 剤を用いた固化体の一ヶ月養生圧縮強度は添加剤を加えていない 3 ヶ月強度とほぼ同じになる。すなわち、A 剤は固化促進剤になるようである。B 剤を用いた固化体の圧縮強度は最も低く、相性が悪いようである。また、三つの固化体は 1 ヶ月養生圧縮強度と三ヶ月養生圧縮強度と比較すると、大きな差がなく、養生による強度の増加は小さい。

6. 添加剤の種類と強度

本研究の熔融スラグを用いた固化材に水を混合するとき、A 剤、B 剤、そして新しく C 剤を加え三種類の添加剤を使用した。なお、水固材比は全て 30%とした。表-4 に固化材の添加剤と強度の関係を示す。表に示すように、A 剤を用いた固化体の圧縮強度が最も低い。また、全ての固化体で三ヶ月の圧縮強度の伸びが見られ、その中でも B 剤を用いた固化体では、三ヶ月の圧縮強度は 50 N/mm^2 を超える強度が発現した。したがって、本研究の熔融スラグを用いた固化材の圧縮強度増加には、B 剤が最適な添加剤であると考えている。

表-4 固化材と添加剤と強度の関係

混合配合(スラグ 100:生石灰 10:石炭灰 10:セメント 20:石膏 5)						
A 剤	B 剤	C 剤	圧縮強度(N/mm^2)		曲げ強度($\text{N}\cdot\text{mm}^2$)	
			一ヶ月	三ヶ月	一ヶ月	三ヶ月
0	0	0	34.6	38.4	7.4	8.3
0.1	0	0	5.1	35.1	1.7	6.7
0	0.5	0	45.6	51.3	6.0	6.9
0	0	0.5	24.5	37.4	7.4	7.8

7. まとめ

ごみスラグの塩基度(JIS R 5211)は、 $1.025(\text{CaO}=25.0\%、\text{MgO}=3.0\%、\text{Al}_2\text{O}_3=13.0\%、\text{SiO}_2=40\%)$ となり、基準値である 1.4 を下回った。したがって、粉碎したスラグとセメントのみを混合した固化材で作製した固化体ではあんまり強度がでなかったのだと考えられる。しかし、6. で使用した混合配合の塩基度は、 $2.64(\text{CaO}=42.8\%、\text{MgO}=2.8\%、\text{Al}_2\text{O}_3=13.9\%、\text{SiO}_2=22.5\%)$ と基準値を上回り、 50 N/mm^2 を超し、圧縮強度が発現したと考えられる。

【参考文献】

- 1) 藤田幸生、島岡隆行、見目誠造：熔融スラグによる鉛の捕集に及ぼす二酸化炭素の影響について、廃棄物学会論文誌、Vol.15, No.4, pp.302-309, 2004