

焼却灰のスラグ品質に及ぼす灰組成と溶融条件の影響

長岡技術科学大学大学院 学 竹内 和則

正 桃井 清至 小松 俊哉

川重冷熱工業（株） 吉野 敦志

1. はじめに

下水汚泥や都市ごみの焼却灰については、安定化・減容化を目的に溶融処理が実施され、特に都市ごみ焼却灰の有効利用には溶融処理が義務付けられている。スラグの有効利用にはスラグ品質の確保が必要となるが、スラグ品質は元となる焼却灰組成や溶融条件によって大きく異なることが指摘されている。そこで本研究では、溶融条件として異なる雰囲気で作成したスラグの物理的強度試験及び溶出試験を行い、焼却灰組成がスラグ品質に及ぼす影響について検討した。

2. 試料及び実験方法

2.1 実験試料

本研究では基礎的なデータを得ることを目的としたため、市販の試薬より調質した人工灰を試料として用いた。設定した人工灰組成比を表-1に示す。焼却灰組成調査から求めた基本組成 No.0 を元に、 SiO_2 、 CaO 、

Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 P_2O_5 の6成分系の人工灰を作成した。主成分(SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3)とその他の成分(Fe_2O_3 、 Na_2O 、 P_2O_5)との比を8:1に設定し、溶融処理を行う上で指標の1つとなる塩基度(CaO/SiO_2)を変動させた場合と還元剤(カーボン)の有無による影響を検討した。尚、 Na_2O は単体では市販されていない為 Na_2CO_3 で代用した。また、有害重金属の溶出挙動把握を目的に各人工灰組成に PbO を 0.15mol% 添加した。

2.2 実験方法

(1)スラグの作製条件：人工灰をアルミナ坩堝に詰め、電気炉において2時間溶融後、 $4^\circ\text{C}/\text{min}$ で徐冷してスラグを作成した。炉内雰囲気調整するため、酸化雰囲気ではガス調整は行わず、中性雰囲気では N_2 ガス(200ml/min)を用いた。また、還元雰囲気は炉内に N_2 ガスを流すと共に人工灰中に粒状カーボン(重量比1%)を混合し雰囲気調整を行った。

(2)物理的強度試験：スラグの物理的強度としてロサンゼルス試験機による粗骨材のすり減り試験方法(JIS A1121)を実験室レベル(図-1)に改良した方法で行った。改良に際しては、球数、回転数、回転時間とすり減り減量との関係を検討しており、実機での測定値を反映するものとなっている。

(3)溶出試験：スラグの溶出試験は、オランダの公定法であるAvailability Testを参考にして、溶媒のpHを4で固定する方法で行った。具体的な試験条件を表-2に示す。

3. 結果及び考察

3.1 スラグの物理的強度に及ぼす灰組成の影響

図-1に塩基度(CaO/SiO_2)とすり減り減量の関係を示す。本実験では雰囲気によらず塩基度1.0まですり減

表-1 人工灰組成比

単位[mol%]

No.	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	P_2O_5	PbO	合計	塩基度
0	42.99	37.12	12.17	3.68	3.05	0.84	0.15	100.0	0.86
1	59.75	19.21	12.43	3.74	3.73	0.99	0.16	100.0	0.32
2	51.49	27.58	12.36	3.71	3.71	0.98	0.16	100.0	0.54
3	45.23	33.93	12.31	3.70	3.70	0.98	0.16	100.0	0.75
4	38.26	41.00	12.25	3.68	3.68	0.97	0.15	100.0	1.07
5	30.44	48.93	12.18	3.66	3.66	0.97	0.15	100.0	1.61
6	25.28	54.17	12.14	3.65	3.65	0.97	0.15	100.0	2.14

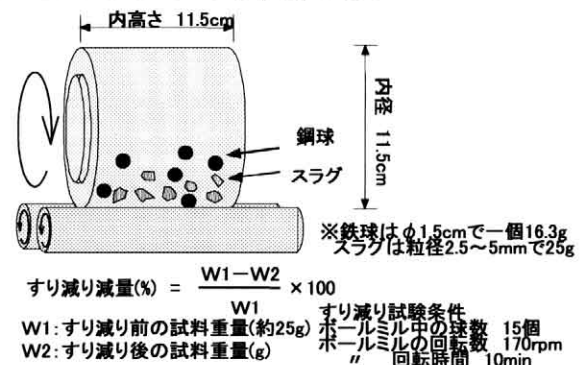


図-1 すり減り試験装置

表-2 溶出試験条件

pH	pH 4 固定
試料粒径	<125 μm
溶媒	0.5N- HNO_3
試料重量	5g
液固比[ml/g]	100
温度[$^\circ\text{C}$]	常温
攪拌時間	6時間
固液分離法	0.45 μm MF

キーワード：焼却灰、溶融スラグ、すり減り減量、溶出試験、リサイクル

連絡先：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 Tel 0258-47-9662 Fax 0258-47-9600

り減量は増加の傾向を示した。一方、塩基度 1.5 以上では概ね 30%以下の低い値を示した。

ここで、スラグの物理的強度はスラグの性状（ガラス質、結晶質）に左右される¹⁾といわれており、X線回折法を適用してスラグ中に析出している結晶構造の同定を試みた。その結果、結晶ピークがみられる結晶質スラグと特定の結晶ピークがみられないガラス質スラグ、わずかなピークはみられるが特定の結晶ピークが同定できなかった中間状スラグの3つに分類することができた。その結果を表-3に示す。尚、結晶質スラグでは最も主要な結晶構造を示した。塩基度 1.0 付近でガラス質スラグを含む中間質スラグの析出が確認されたが、他のスラグでは全て結晶質構造を有していた。塩基度 1.0 以下では網目構造形成酸化物である Si の含有量が多いので、ガラス質スラグへの形成が促進されることが考えたが、結果として塩基度 1.0 以下でも $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (Anorthite) のような結晶質スラグが析出している。そこで、上記の図-2と表-3の両図を比較すると、スラグが結晶化していればすり減り減量は低い値を示し、特に塩基度 1.5 以上の結晶質スラグでは 30%以下に抑えられている。したがって、スラグの物理的強度の向上には、結晶化することが望ましいと示唆される。

3.2 スラグからの Pb 溶出特性に及ぼす灰組成の影響

産業廃棄物埋立基準及び土壤環境基準に規制されている重金属の1つである Pb の溶出に及ぼす焼却灰組成及び雰囲気の影響を検討した。塩基度と Pb 溶出濃度との関係を図-3に示す。酸化雰囲気では塩基度 0.75 において Pb の溶出濃度が極大値を示した。表-3より、この組成でのスラグの結晶構造を見ると塩基度 0.75 のみガラス質構造を示しており、Pb の溶出特性についてはスラグ性状が影響しているものと考えられる。また、本実験において焼却灰主成分の1つである Al に対しても Pb と同様、塩基度 0.75 において溶出量が極大値を示した。したがって、Al と Pb では同様の定性的傾向を示しており、スラグの構造的安定性が溶出特性に大きく関係していると考えられる。

また、酸化雰囲気>中性雰囲気>還元雰囲気の順にスラグからの Pb 溶出量が減少する傾向にあった。この一因として、還元雰囲気では Pb が金属 Pb に移行し揮発することが考えられる。したがって、還元系（還元剤添加）の方がスラグへの Pb 移行率が減少し、溶出量の低減には有利と判断される。

4.まとめ

物理的強度試験では、灰組成中の塩基度の変動によるスラグの結晶構造の違いがすり減り減量に与える影響が大きい、が、雰囲気による影響は見られなかった。Pb 溶出特性はスラグの結晶構造の違いにより左右されるが、炉内を還元雰囲気に保持することで溶出濃度は低下した。

<参考文献>

1)建設省土木研究所下水道部汚泥研究室：下水汚泥の建設資材利用の実用化に関する調査，平成元年度年次報告書，pp195 - 206

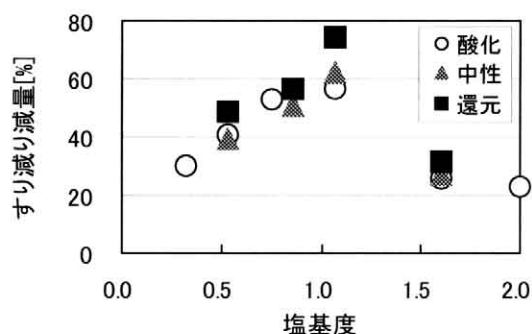


図-2 塩基度とすり減り減量の関係

No.	塩基度	炉内雰囲気		
	CaO/SiO ₂	酸化	中性	還元
1	0.32	Anorthite	-	-
2	0.54	Anorthite	Anorthite	Anorthite
3	0.75	Glasses	-	-
4	1.07	中間	中間	中間
5	1.61	Gehlenite	Gehlenite	Gehlenite
6	2.14	Gehlenite	-	-

[-]無測定 Anorthite : $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Gehlenite : $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$

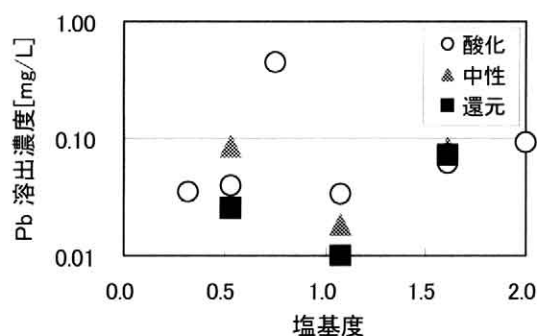


図-3 塩基度とPbの溶出量の関係