

マグネシウム系固化材により固化・不溶化した焼却主灰の土工材料に向けた検討

福岡大学大学院 学生会員 ○平川裕也
 福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 藤川拓朗 古賀千佳嗣
 (国研)国立環境研究所 正会員 肴倉宏史

1. はじめに 我が国では、循環型資源戦略を目的とした一般廃棄物焼却主灰(以下、焼却主灰)の地盤材料としての有効利用が視野に入れられている。しかしながら、焼却主灰は重金属類を含有しており、環境安全面の問題から有姿の状態での利用が困難となっている。そのため、土木資材としての有効利用を考慮した際、物理・力学特性の把握はもちろん、主灰中に含有する重金属類の溶出を抑制することが必要不可欠である。現在、焼却主灰の主な重金属不溶化方法としては、エージング処理やキレート処理などが挙げられるが、前者は不溶化するまでの期間が長期に渡ること、後者はコストがかかること等の問題を残している。そこで本研究では、汚染土壌の不溶化対策として用いられているマグネシウム系固化材(以下、MgO)を焼却主灰に適用させ、短時間かつ低コストで焼却主灰を固化・不溶化する可能性について検討した。本報告では、MgOにより固化・不溶化処理を施した焼却主灰の力学・溶出特性について報告する。



写真-1 焼却主灰 A 写真-2 焼却主灰 B

2. 実験概要

2-1 実験試料 本実験で用いた試料は、2015 年 6 月に清掃工場で採取した焼却主灰 A である(写真-1)。また、2013 年 5 月に同様の清掃工場で採取した焼却主灰 B(写真-2)を用いて、固化・不溶化効果の比較検討を行った。表-1 に化学組成、図-1 に粒径加積曲線、表-2 に各 MgO の特性を示す。本実験で用いた 4 種類の

表-1 化学組成

項目	単位	試料	
		焼却主灰A	焼却主灰B
SiO ₂	%	30.5	49.8
CaO	%	24.6	15.2
Al ₂ O ₃	%	11	8.2
Fe ₂ O ₃	%	5.4	1.9
MgO	%	2.7	0.9
Na ₂ O	%	2.3	2.4
K ₂ O	%	2.9	3.2
ZnO	%	0.4	0.8
TiO ₂	%	1.3	1
CuO	%	0.2	0.6
PbO	%	0.1 未満	0.1 未満

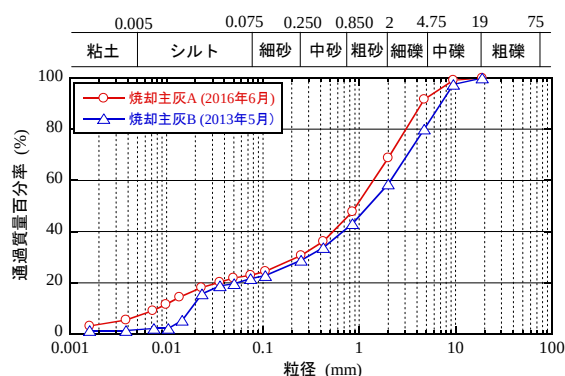


図-1 粒径加積曲線

MgO は、主成分、比表面積、適用範囲がそれぞれ異なっている。

2-2 固化特性の把握 本研究では JIS A1216 で規定された

一軸圧縮試験方法に基づいて試験を行った。表-3 に実験条件を示す。供試体作製においては、焼却主灰を 9.5mm 以下に粒度調整したものを使用した。焼却主灰を最適含水比に調整後、表に示す添加率の MgO を焼却主灰の乾燥質量に対して重量比で添加した。その後、ホバートミキサーで攪拌し、モールド(φ=5cm、h=10cm)に突き固め層数 3 層となるように試料を入れ、1.5 kg ランマーを用いて落下高さ 20cm とし、各層 12 回突き固めた。作製された供試体密度は、MgO 添加量の増加に伴い、わずかに減少したが、ほぼ同一であった。供試体作製後、ラップで密封して 20℃一定の恒温室内で 7、28 日間気中養生させ一軸圧縮試験を行った。

表-2 各 MgO の特性

	MgO(a)	MgO(b)	MgO(c)	MgO(d)
主成分	軽焼マグネシア	軽焼マグネシア	Ca/Mg/Fe/Al系複合材	特殊無機系化合物
対象物質	Pb, Cd, As, F, B	Pb, Cd	Pb, Cd, As, F, B, Ag, Cr ⁶⁺	Pb, As, F, Cr ⁶⁺
pH	9~10	9~10	9~11	中性
不溶化の種類	封じ込め	封じ込め	吸着、封じ込め	吸着
比表面積(cm ² /g)	14000~16000	9000~11000	4200±500	-
適用範囲	・自然由来汚染土壌 ・重金属類が溶出するトンネル掘削ズリ ・高アルカリ性でない土壌(水和反応を促進させるため)			・有害物質に汚染された焼却灰

表-3 実験条件

試料	最適含水比 w _{opt}	MgOの種類	添加率 (%)	養生条件	養生日数 (日)
焼却主灰A	23.3	MgO(a)	3, 5, 7	気中養生	7
		MgO(b)	10, 15, 20		28
		MgO(c)			
焼却主灰B	29.2	MgO(d)	3, 5, 7		7
		MgO(d)	3, 5		7

2-3 MgO 添加による不溶化効果の把握 MgO 添加によって不溶化処理を施した焼却主灰の重金属類の溶出濃度を把握するために環告 46 号法を行った。本実験で用いた試料は、一軸圧縮試験後の焼却主灰である。一軸圧縮試験後の焼却主灰を風乾後、2mm 以下に粒度調整し、pH を 5.8~6.3 に設定した純水と焼却主灰の液固比が 10 になるよう分量を調整する。その後、6 時間平行振とう、20 分間遠心分離機にかけ、吸引ろ過をし、pH を測定する。なお、鉛(Pb)の分析には、ICP プラズマ発光分析装置を用いている。

3. 実験結果及び考察

3-1 MgO 添加に伴う固化効果の把握 図-2(a)~(d)に各添加率における一軸圧縮強さと養生日数の関係を示す。MgO(a)~(c)は、焼却主灰に添加することで、一軸圧縮強さは増加することが分かった。また、いずれも養生を 7 日から 28 日

キーワード 一般廃棄物焼却主灰、マグネシウム系固化材、一軸圧縮試験、環境庁告示第 46 号試験

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 TEL : 092-871-6631(ext.6464)

に増加させると、一軸圧縮強さが増加傾向にある。しかし、MgO 添加率を単純に増加させても、焼却主灰の強度増加には繋がっていない。したがって、焼却主灰に対する MgO の添加には最適な添加率が存在することが示唆される。また、MgO(a), (b)においては、比表面積は異なるが、同じ主成分であることから、養生 28 日、添加率 15%において一軸圧縮強さ $q_u=600\text{kN/m}^2$ と同値で、かつ最大値を示した。MgO(c)においては、養生 28 日、添加率 7%で一軸圧縮強さは最大を示している。しかし、MgO(a), (b)と比較すると強度増加は小さいことが分かる。これは、固化作用が発生する際、焼却主灰の非結晶質成分(SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3)が MgO と結合して硬化物を形成するが、比表面積の小さい MgO(c)が最も結合しにくく、強度増加が小さくなったと考えられる。一方、MgO(d)は、本来焼却灰への適用を目的とした固化・不溶化材であることから、どちらの焼却主灰においても、他の MgO と比べて少量の添加で、非常に高い強度発現が見られた。以上の結果より、MgO(d)と比較して、MgO(a)~(c)添加による固化効果はあまり望めないが、一軸圧縮強さ $q_u=98\text{kN/m}^2$ を必要とする盛土材料¹⁾や $q_u=80\text{kN/m}^2$ (コーン指数 $q_c=400\text{ kN/m}^2$)を必要とする河川堤防²⁾などへの有効利用の可能性が示唆される。

3-2 各 MgO 添加に伴う不溶化効果の把握

表-4 に環告 46 号法結果を示す。pH 測定の結果、単味の状態と比べて MgO を添加することで、pH は低下傾向にあるが、いずれも高アルカリ域を示す結果となった。次に焼却主灰 A の Pb 溶出濃度は、いずれも MgO 添加率が増加するに伴い、Pb 溶出濃度が抑制されていることが分かる。また、MgO(a), (b)を比較すると、同様の主成分だが、MgO(a)の方がより不溶化効果が期待できることが分かる。これは比表面積が MgO(a)の方が大きいため、多量の水酸化物鉱物が形成され、封じ込め効果が促進されたと考えられる。また、MgO(c)が最も不溶化効果がみられた要因として、MgO(c)は不溶化の種類として封じ込め効果に加え Fe_2O_3 や Al_2O_3 がもたらす吸着効果があるため、主灰中の Pb^{2+} が $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ などの水酸化物鉱物の表面の OH に吸着されたと考えられる。MgO(d)は、他の MgO と比べて少量しか添加しなかったにも関わらず、最も不溶化効果が現われた。しかし、焼却主灰 B では N.D.が得られたが、焼却主灰 A では土壤環境基準値以下まで不溶化することができなかった。これは、図-3 の過去数年に採取した焼却主灰の Pb 溶出濃度に示すように、今回用いた焼却主灰 A は、例年の焼却主灰と比較しても Pb 溶出濃度が非常に高く、十分な不溶化効果が得られなかったと考えられる。今後は、不溶化効果を促進させるために、焼却主灰の pH を下げる等で水和反応を起こしやすくする必要がある。

4. まとめ 1) 自然由来汚染土壌への適用を目的とした MgO であっても、焼却主灰に添加することで強度増加が見られ、一般的な土木資材への有効利用が可能であることが判明した。2) 自然由来汚染土壌への適用を目的とした MgO であっても、添加することで Pb 溶出濃度を抑制する効果が有することが判明した。

謝辞：本研究は、「有用・有害重金属挙動に着目した都市ごみ焼却残渣の循環資源化トータルスキームの構築」平成 27 年度環境省環境研究総合推進費補助金(3K14007)の一部として実施された研究です。関係各位に感謝申し上げます。

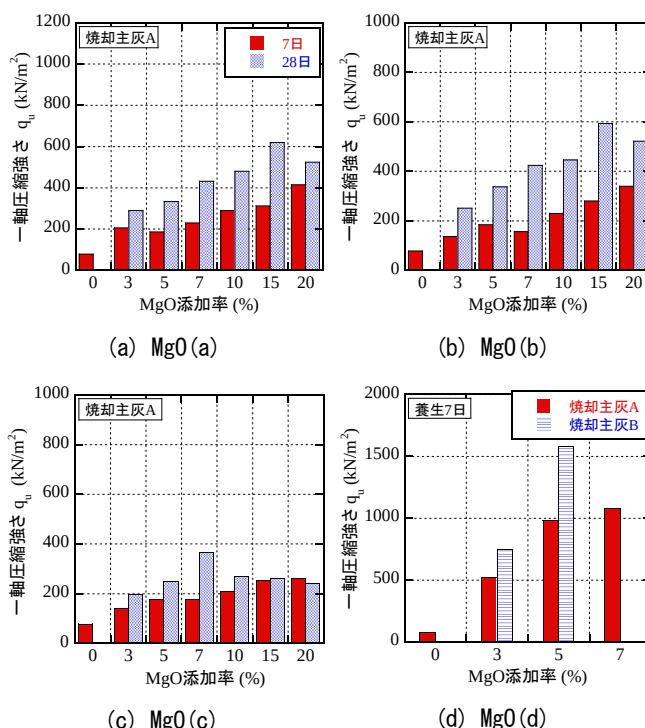


図-2 一軸圧縮試験結果

表-4 環告 46 号法結果

試料	MgO	添加率 (%)	養生日数 (日)	pH	Pb (mg/L)
焼却主灰 A	-	0	7	12.68	3.10
	MgO(a)	10	7	12.74	0.55
		15		12.72	0.51
		20		12.68	0.40
	MgO(b)	10		12.61	0.91
		15		12.59	0.62
		20		12.59	0.42
	MgO(c)	10		12.72	0.91
		15		12.70	0.58
		20		12.67	0.35
	MgO(d)	3		12.31	0.83
		5		12.31	0.58
		7		12.30	0.43
	MgO(a)	10	28	12.61	0.53
		15		12.57	0.27
		20		12.48	0.20
	MgO(b)	10		12.59	0.69
		15		12.59	0.33
		20		12.59	0.32
	MgO(c)	10		12.52	0.82
		15		12.47	0.53
		20		12.37	0.17
焼却主灰 B	-	-	-	12.70	0.40
	MgO(d)	3	7	11.76	N.D.
		5		11.38	N.D.
土壤環境基準	-	-	-	-	0.01

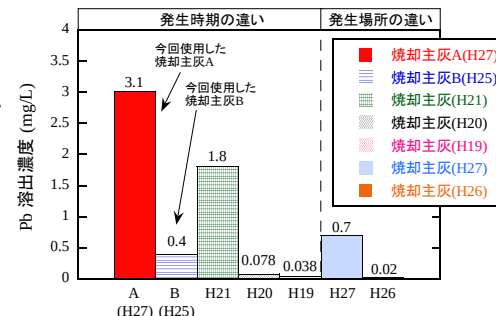


図-3 過去数年の焼却主灰の Pb 溶出濃度

【参考文献】1) 公益社団法人 日本下水道協会:「下水汚泥の建設資材利用マニュアル」, p.20, 2001. 2) 独立行政法人 土木研究所:「建設発生土利用技術マニュアル 第3版」, p.63, 2004.