

# マグネシウム系固化材を用いた焼却主灰の固化・不溶化効果の検討

福岡大学工学部 学生会員 田畑 航希 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

1. はじめに 現在、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)の有効利用が視野に入れている。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。焼却主灰の主な安定処理方法として、エージング処理やキレート処理などが挙げられるが、前者は長期的な時間を要すること、後者はコストがかかること等の問題を含んでいる。そこで本研究は、近年、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の固化・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特性、不溶化効果について報告する。

## 2. 実験概要

2-1 実験試料 実験には発生年度の異なる2種類の焼却主灰を用いた。

写真-1にa)2013年、b)2015年に清掃工場から排出された焼却主灰(以下、焼却主灰A及び焼却主灰B)を、図-1に粒径加積曲線、表-1に化学組成を示す。固化・不溶化材には、特性が異なる3種類のMgOを用いており、各MgOの特性は表-2に示すとおりである。



(a) 焼却主灰 A (b) 焼却主灰 B

写真-1 実験試料

## 2-2 一軸圧縮強度の把握

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

表-1 化学組成

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

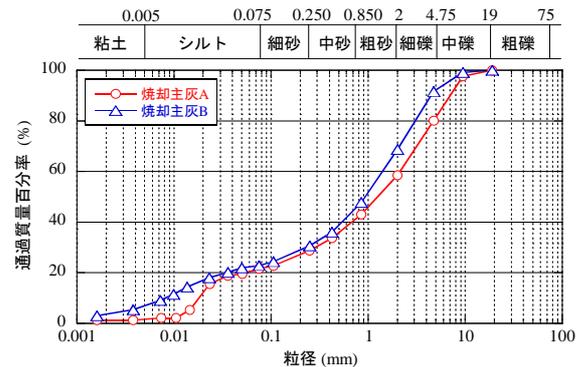


図-1 粒径加積曲線

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、1.5kgランマーを用いて落下高さ20cmとし、各層12回突き固めた。供試体作製後、ラップで密封して20℃一定の恒温室で7、28日間気中養生させ一軸圧縮試験を行った。

## 2-3 各MgO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。本実験では、固化不溶化処理を施した焼却主灰を7、28日養生させたものを用いている。固化不溶化処理を施した焼却主灰を風乾後、2mmふるいを通過させ、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)と六価クロム(Cr<sup>6+</sup>)の分析には、ICPプラズマ発光分析装置と分光光度計を用いている。

表-2 各MgOの特性

	MgO(a)	MgO(b)	MgO(c)
	主成分	軽焼マグネシア	軽焼マグネシア
対象物質	Pb, Cd, As, F, B	Pb, Cd	Pb, Cd, As, F, B, Ag, Cr <sup>6+</sup>
pH	9~10	9~10	9~11
不溶化の種類	封じ込め	封じ込め	吸着、封じ込め
比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	16000	9000	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)		

表-3 実験条件

試料	最適含水比 w <sub>opt</sub>	MgOの種類	添加率 (%)	養生条件	養生日数 (日)
焼却主灰B	23.3	MgO(a) MgO(b) MgO(c)	3, 5, 7 10, 15, 20	気中養生	7 28

### 3. 実験結果及び考察

#### 3-1 初期固化焼却主灰の一軸圧縮特性の把握

図-2(a), (b), (c)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。いずれの MgO においても、養生日数を増加させると固化効果が得られることが分かる。また、多量の MgO 添加は未反応の MgO を生じさせる原因となり、強度減少に繋がるため、MgO の添加には最適な添加率が存在することが懸念される。MgO(a)、(b)は比表面積が異なるが、同様の主成分となっているため類似した傾向を示した。どちらも養生 28 日、添加率 15%の時一軸圧縮強さ  $q_u=600\text{kN/m}^2$  の最大値を示している。MgO(c)においては、養生 28 日の添加率 7%で一軸圧縮強さは最大を示した。しかし、他の MgO と比較すると強度増加は小さいことがわかる。この原因として、固化作用が発生する際、焼却主灰の非結晶質成分( $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )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ためと考えられる。一般的な土木資材への有効利用の例として、一軸圧縮強さ  $q_u=98\text{kN/m}^2$  を必要とする盛土材料<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>が挙げられ、本実験結果より、これらの場所で有効利用を可能とする強度増加が確認された。

#### 3-2 MgO 添加による重金属類溶出濃度の把握

表-4 に環告 46 号法による Pb と  $\text{Cr}^{6+}$  の溶出試験結果、図-3 に各 MgO 添加率と Pb 溶出濃度の関係を示す。本実験に用いた焼却主灰からは、 $\text{Cr}^{6+}$  は検出されなかった。いずれの MgO についても添加率が増加するに伴い、Pb の溶出濃度が抑えられていることが分かる。また、MgO(a)、(b)を比べると、同様の主成分だが、MgO(a)の方が不溶化効果を期待できることが分かる。これは、MgO(a)の比表面積が大きいため、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原因として、MgO(c)は不溶化の種類として封じ込め効果に加え  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  や  $\text{Al}_2\text{O}_3$  がもたらす吸着効果があるため、焼却主灰中の  $\text{Pb}^{2+}$  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<sup>-</sup> に吸着されたと考えられる。しかし、Pb 溶出濃度を土壤環境基準の 0.01mg/L まで抑制することはできなかった。不溶化しなかった理由としては焼却主灰の pH が高いため、水酸化物を生じさせる水和反応が起きにくい状態だったと考えられる。また、本実験に用いた焼却主灰 B 単体の鉛の溶出濃度が焼却主灰 A と比較して非常に高かったことも原因の一つとして考えられる。今後、不溶化効果を促進させるために焼却主灰の pH を下げることで水和反応を起こしやすくすること等が考えられる。

4. まとめ 1) MgO の種類によって異なる強度増加を示したが、いずれの MgO においても一般的な土木資材への有効利用を可能とする強度増加が確認された。2) MgO の添加率増加に伴い、Pb の溶出濃度が低下することから、焼却主灰に対しても不溶化効果を確認することが出来た。

【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」, pp.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」, pp.63, 2004.

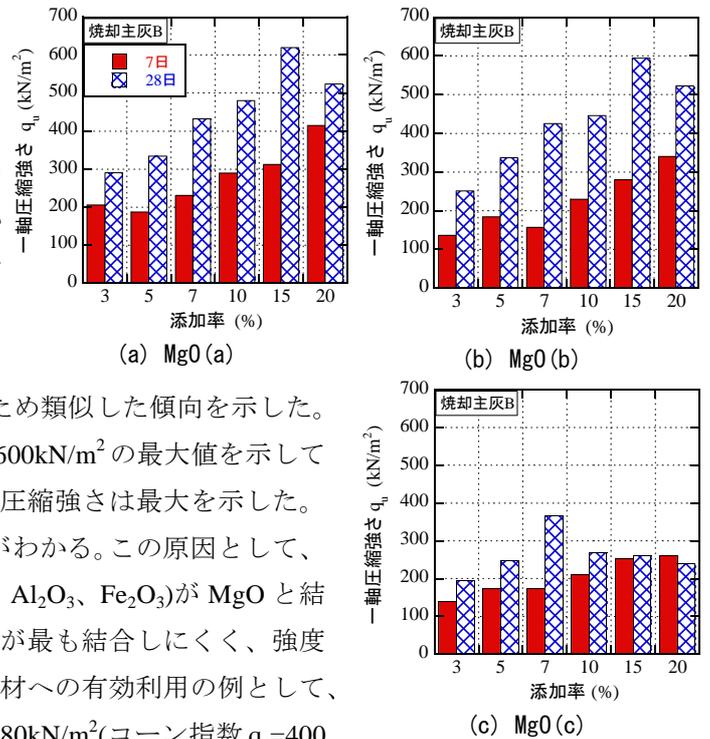


図-2 一軸圧縮試験結果

表-4 環告 46 号法結果

試料	MgO	添加率 (%)	養生日数	pH	Pb (mg/L)	$\text{Cr}^{6+}$ (mg/L)
焼却主灰B	MgO(a)	10	7日	12.74	0.55	N.D.
		15		12.72	0.51	N.D.
		20		12.68	0.40	N.D.
		10		12.61	0.91	N.D.
		15		12.59	0.62	N.D.
		20		12.59	0.42	N.D.
	MgO(b)	10	28日	12.72	0.91	N.D.
		15		12.70	0.58	N.D.
		20		12.67	0.35	N.D.
		10		12.61	0.53	N.D.
		15		12.57	0.27	N.D.
		20		12.48	0.20	N.D.
	MgO(c)	10	7日	12.59	0.69	N.D.
		15		12.59	0.33	N.D.
		20		12.59	0.32	N.D.
		10		12.52	0.82	N.D.
		15		12.47	0.53	N.D.
		20		12.37	0.17	N.D.
土壤環境基準	-	-	-	-	0.01	0.05
焼却主灰A単体	-	-	-	12.70	0.40	N.D.
焼却主灰B単体	-	-	-	12.68	3.10	N.D.

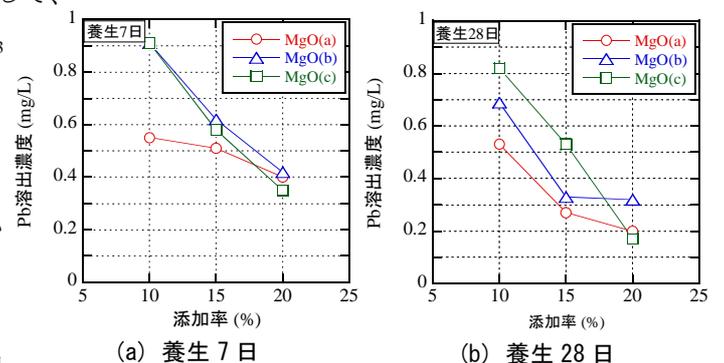


図-3 添加率と Pb 溶出濃度の関係