

木質バイオマス燃焼飛灰のセメント固化処理に関する基礎検討 (その3)

(株)鴻池組 正会員 ○大山 将、中島卓夫、松生隆司

1. はじめに

我々は、放射性セシウムを含むバイオマスをガス化発電の原料として活用し、再生可能エネルギーを回収しながら減容化する手法を提案し、ガス化処理等に伴う放射性セシウムの挙動等について実証試験により検証した¹⁾²⁾³⁾。その結果、放射性セシウムは、バイオマスの炭化処理時はほぼ全量が炭に移行し、炭の燃焼時には燃焼主灰と燃焼飛灰とにそれぞれ移行すること、バイオマスのみが原料の燃焼主灰は、廃棄物焼却主灰と異なり、ある程度の放射性セシウムが溶出すること¹⁾⁴⁾が判明した。また、燃焼飛灰については、廃棄物焼却飛灰と同様に、放射性セシウムの溶出率が非常に高くなることが想定され、最終的には、セシウム溶出抑制対策としてセメント成形固化⁵⁾などの安定化処理が必要であると考えられたことから、既報⁶⁾⁷⁾ではその基礎検討として、木質バイオマス燃焼飛灰のセメント成形固化およびベントナイト・粉末ゼオライト添加によるセシウム溶出抑制効果について室内試験で確認した。

本報告では、引き続き、放射性セシウムを含むバイオマスをガス化発電に用いた場合に回収される燃焼飛灰の安定化処理を想定し、既報で報告した試験ケースの供試体を1年間養生した後のセシウム溶出抑制効果に関して、安定セシウムを指標として確認した室内試験の結果について紹介する。

2. 室内試験方法

2.1 木質バイオマス燃焼飛灰

既報⁶⁾⁷⁾の通り、実設備より採取した木質バイオマス燃焼飛灰を試験に用いた。基本物性を表-1に、蛍光X線分析装置による元素定性分析を表-2にそれぞれ示す。木質バイオマス燃焼飛灰は嵩密度が0.363g/cm³と低い高アルカリ灰で、塩化ナトリウムおよび塩化カリウムが主成分と考えられる。安定セシウムは3.87mg/kg含有し、溶出量はJIS K 0058-1で0.34mg/L、H3環告46号で0.35mg/Lとほぼ同程度で溶出率が87.9%および90.4%と非常に高い。

2.2 安定セシウム測定

安定セシウムの含有量は、前処理として、試料をはかり取り、硝酸、ふっ化水素酸および過塩素酸を加えて加熱分解後、希硝酸に溶解させてろ過し、定容した。セシウムの測定はICP質量分析装置を用い、前処理で得られた試料液を適宜希釈して装置に導入し、¹³³Csと¹¹⁵Inの強度比から試料中のセシウムを定量した。安定セシウム溶出量については、JIS K 0058-1有姿攪拌試験もしくはH3環境庁告示第46号法に準拠して溶出液を作成して測定した。同時に検液のpHも測定した。

2.3 セメント成形固化処理

有姿状態の木質バイオマス燃焼飛灰に対して、セシウム吸着を目的としたベントナイトもしくは粉末ゼオライト(100メッシュ)、普通ポルトランドセメント(OPC)もしくは高炉セメントB種(BB)および水を所定量添加してよく混練した。配合を表-3に示す。混練した燃焼飛灰は直径約2cm、高さ約4.4cmの小さな樹脂製容器に充填し、20℃の恒温室で密封養生した。1年後に一軸圧縮試験を実施して強度を確認し、そのまま安定セシウム溶出試験に供した。

表-1 木質バイオマス燃焼飛灰の性状

含水比(含水率)	%	2.72(2.65)	
強熱減量(800℃、4時間)	%	10.87	
土粒子密度	g/cm ³	3.354	
嵩密度(メスシリンダー法)	g/cm ³	0.363	
粒度分布	礫分 2mm以上	%	0.0
	砂分 0.075~2mm	%	1.8
	細粒分 0.075mm未満	%	98.2
安定セシウム分析	含有量	mg/kg	3.87
	溶出量(H3環告46号)	mg/L	0.35
	検液pH	-	12.6
	溶出量(JIS K 0058-1)	mg/L	0.34
	検液pH	-	12.5

表-2 木質バイオマス燃焼飛灰の元素定性分析結果

	wt%	化合物名	wt%
Na ₂ O	14.78	Fe ₂ O ₃	1.81
MgO	1.87	NiO	0.002
Al ₂ O ₃	3.02	CuO	0.032
SiO ₂	2.97	ZnO	0.36
P ₂ O ₅	0.49	Br	0.077
SO ₃	4.56	Rb ₂ O	0.038
Cl	25.67	SrO	0.093
K ₂ O	22.46	Y ₂ O ₃	0.006
CaO	10.54	ZrO ₂	0.01
TiO ₂	0.11	BaO	0.004
Cr ₂ O ₃	0.12	PbO	0.02
MnO	0.087	強熱減量	10.87

表-3 セメント成形固化処理の配合

	配合①	配合②	配合③	配合④		配合⑤	配合⑥	配合⑦	配合⑧
灰	100%	100%	100%	100%	灰	100%	100%	100%	100%
OPC	40%	40%	40%	30%	BB	40%	40%	40%	30%
水	65%	65%	65%	63%	水	65%	65%	65%	63%
ベントナイト	0%	3%	6%	6%	ベントナイト	0%	3%	6%	6%
	配合⑨	配合⑩	配合⑪	配合⑫		配合⑬	配合⑭	配合⑮	配合⑯
灰	100%	100%	100%	100%	灰	100%	100%	100%	100%
OPC	40%	40%	40%	30%	BB	40%	40%	40%	30%
水	65%	65%	65%	63%	水	65%	65%	65%	63%
ゼオライト	0%	3%	6%	6%	ゼオライト	0%	3%	6%	6%

※水は燃焼飛灰の水分も込みで最終的な水分量を示す

キーワード: バイオマス、燃焼灰、飛灰、セシウム、セメント固化、成形固化

連絡先: 〒136-8880 東京都江東区南砂 2-7-5 (株)鴻池組 土木事業本部 環境エンジニアリング部 Tel.03-5617-7793 Fax.03-5617-7788

3. 室内試験結果

室内試験の結果を表-4 および図-1 に示す。木質バイオマス燃焼飛灰の嵩密度は低く、セメント・水・ベントナイトもしくは粉末ゼオライトを添加してセメント成形固化処理を行っても減容化効果が得られ、概ね 50%程度減容化するのは既報⁶⁾⁷⁾の通りである。

普通ポルトランドセメント(OPC)・高炉セメント B 種(BB)の添加、および、ベントナイト・粉末ゼオライトの添加、いずれの組合せの配合においても、1年後の一軸圧縮強度は概ね増加しており、平成 24 年環境省告示第 14 号で特定廃棄物の固型化に要求される 0.98MPa 以上の強度を発現した。

OPCと比較してセメント成分が少ないBBは、既報⁶⁾⁷⁾において初期の強度発現が遅いことを報告したが、1年後の発現強度は、バラツキを考慮しても OPCと比較して BBの方が概ね高く、木質バイオマス燃焼飛灰のセメント成形固化処理においても、長期にわたり強度発現を維持する BB の特徴が現れているものと考えられる。

燃焼飛灰からの安定セシウム¹³⁷Csの溶出は、セメント成形固化処理することで抑制され、JIS K 0058-1 有姿攪拌試験における溶出率(セメント固化体中の燃焼飛灰質量と処理前のセシウム含有量から算出した換算含有量と溶出量とを比較)は1年後においても 87.9%から 16.4~35.0%まで低減し、バラツキはあるが溶出率が大きく上昇する様な配合は皆無であった。

セメント固化体を 2mm ふるいを全通するまで粉砕し、H3 環告 46 号溶出試験を実施したところ、1年後の試料であっても溶出率は 56.6~82.3%まで上昇した。したがって、セシウム溶出低減効果を維持するためには、セメント固化体としての形質を維持することが非常に重要である。

図-2 には既報⁶⁾⁷⁾分を含め、セメント固化体の一軸圧縮強度とセシウム溶出率の関係を示す。JIS K 0058-1 有姿攪拌試験における溶出率を見ると、ベントナイト・粉末ゼオライト添加の両ケースとも、BB を添加した配合の方が OPC 添加と比較してセシウム溶出低減効果は若干高く、発現強度が高くなるにつれてセシウム溶出低減効果が高くなる傾向が見受けられた。粉砕試料の H3 環告 46 号溶出試験における溶出率は大きく上昇するが、発現強度との関係は特に認められないが、BB+ベントナイトのケースでは溶出率は 56.6~69.9%と他のケースと比較して低かった。今後、さらに長期材齢試料において追跡確認する予定である。

【参考文献】 1) 鴻池組:平成 23 年度除染技術実証事業「除染に伴い発生する有機物のバイオマスガス化発電による減容化およびエネルギー回収」実証試験報告書、2012 2) 中島ほか:放射性セシウム含有バイオマスの減容化に関する研究、2013 年度鴻池組技術研究報告、pp.21-28、2013 3) 松生ほか:放射性物質に汚染されたバイオマスのガス化発電による減容化処理、建設の施工企画、No.758、pp.23-27、2013 4) (独)日本原子力研究開発機構:平成 24 年度除染技術評価業務報告書、p.26、2012 5) (独)国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター:放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分(技術資料 第四版)、2014 6) 大山ほか:木質バイオマス燃焼飛灰のセメント固化処理に関する基礎検討、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、CS11-002、pp.3-4、2013 7) 大山ほか:木質バイオマス燃焼飛灰のセメント固化処理に関する基礎検討(その2)、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、CS9-003、pp.5-6、2014

表-4 セメント成形固化処理試験結果(1年後)

	湿潤密度 g/cm ³	減容化率※ %	一軸圧縮強度 MPa	JIS K 0058-1			H3環告46号		
				Ca溶出量 mg/L	溶出率* %	検液 pH	Ca溶出量 mg/L	溶出率* %	検液 pH
(処理前)	0.363	—	—	0.34	87.9	12.5	0.35	90.4	12.6
配合①	1.529	51.3	5.00	0.053	28.1	12.3	0.13	68.9	12.8
配合②	1.572	52.0	5.92	0.047	25.3	12.2	0.14	75.2	12.8
配合③	1.608	52.4	5.56	0.051	27.8	12.2	0.12	65.4	12.8
配合④	1.581	54.3	6.03	0.054	27.8	12.1	0.13	66.8	12.8
配合⑤	1.573	52.7	8.67	0.051	27.0	12.1	0.14	74.2	12.8
配合⑥	1.608	53.0	7.68	0.043	23.1	12.1	0.13	69.9	12.8
配合⑦	1.641	53.3	9.38	0.031	16.9	12.1	0.11	60.0	12.8
配合⑧	1.557	53.6	7.09	0.044	22.6	12.0	0.11	56.6	12.7
配合⑨	1.54	51.8	5.80	0.066	35.0	12.2	0.15	79.5	12.7
配合⑩	1.54	50.8	6.33	0.044	23.6	12.0	0.13	69.9	12.6
配合⑪	1.57	51.2	5.92	0.045	24.5	12.1	0.15	81.8	12.7
配合⑫	1.58	54.3	8.21	0.044	22.6	11.8	0.16	82.3	12.6
配合⑬	1.56	52.4	6.51	0.039	20.7	11.7	0.13	68.9	12.6
配合⑭	1.59	52.6	10.42	0.047	25.3	11.8	0.14	75.2	12.7
配合⑮	1.60	52.2	10.73	0.030	16.4	11.5	0.13	70.9	12.6
配合⑯	1.59	54.5	7.91	0.039	20.1	11.4	0.14	72.0	12.6

※ 減容化率:セメント固化体の単位体積あたりの灰の質量と処理前の嵩密度から算出
* 溶出率:セメント固化体は希釈(セメント・水・ゼオライトの添加)を考慮した換算含有量から算出

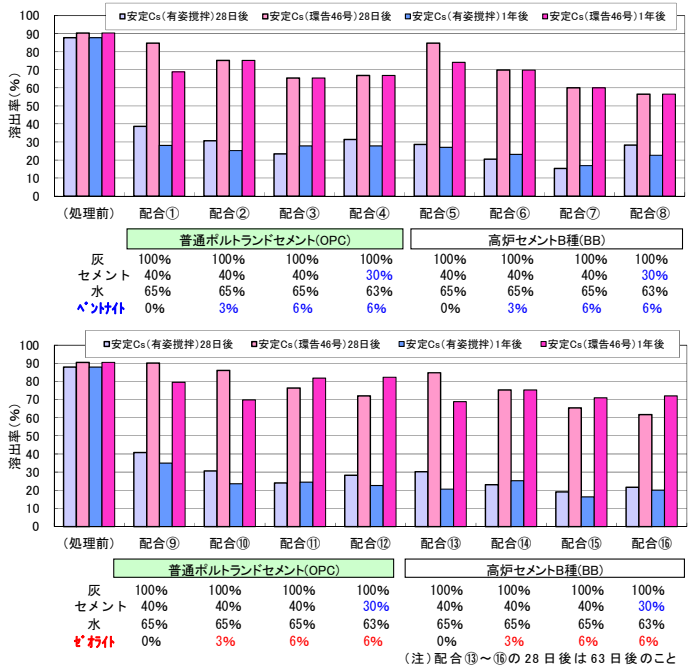


図-1 配合とセシウム溶出率の関係(既報分を含む)

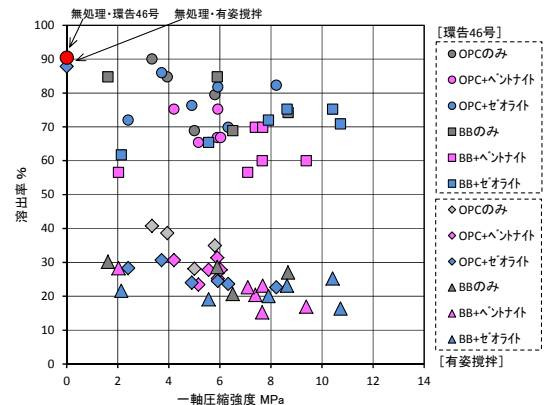


図-2 一軸圧縮強度とセシウム溶出率の関係