

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

(株)鴻池組 正会員 ○大山 将、中島卓夫

松生隆司、吉岡由郎

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故に伴い放射性セシウムが拡散し、広い範囲の草木類に放射性セシウムが含まれ、間伐材・製材残材および飼料等で利用していた牧草・稲わら等の利用が困難となっている。これらは、焼却処理することで減容化できるが、他の可燃物と混合焼却すると放射性セシウムを含む焼却灰が増加することや合意形成などが課題となっている。そこで我々は、放射性セシウムを含むバイオマスをガス化処理装置で処理しバイオマスガスと炭を回収し、それらを燃料として有効活用することを提案し、ガス化処理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⁾。その結果、放射性セシウムはバイオマスの炭化処理時にほぼ全量が炭に移行し、炭の燃焼時には燃焼灰(主灰)と、高温で霧状ないしガス状となり燃焼ガスの流れに沿って装置内を流下する分とにそれぞれ移行することが判明した。燃焼ガスとして装置内を流下した分については、温度の低下に伴い固体となり、その一部が塩化カリウム(KCl)を主体とする白色～灰白色のダストとして装置の管内面に付着したことから、ダスト中に含まれる放射性セシウムも塩化セシウム(CsCl)の形態が主体と考えられた。なお、これらのダストは実設備ではバグフィルター等の排ガスフィルター部において燃焼灰(飛灰)として回収される。この燃焼飛灰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るため、最終的には、溶出抑制対策としてセメント成形固化³⁾などの安定化処理が必要となる。

本報告では、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セメント成形固化処理を想定し、その基礎検討として、木質バイオマス燃焼飛灰中の安定セシウム挙動を検討した室内試験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

木質バイオマス燃焼飛灰を実設備より採取し、基本物性を把握するため、含水比(JIS A 1203)、土粒子密度(JIS A 1202)、嵩密度(メスシリンダー法)、粒度分布(JIS A 1204)、強熱減量(JIS A 1226 準拠;800℃4時間加熱)を測定した。また、蛍光 X 線分析装置による元素定性分析や安定セシウムの含有量・溶出量の分析を実施した。

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

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

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。

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

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、固化促進、水密性向上およびセシウム吸着を目的としたベントナイト、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℃の恒温槽で密封養生した。28日後、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。

3. 室内試験結果

3.1 木質バイオマス燃焼灰(燃焼飛灰)の性状

木質バイオマス燃焼灰(燃焼飛灰)の性状を表-1および表-2に示す。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87.8%および90.5%と非常に高かった。

3.2 セメント成形固化

処理試験結果

試験に先立ち実施した予備試験では、燃焼飛灰に対してOPCもしくはBBの添加量を15～20%(170～200kg/m³程度)と設定したが、材齢28日の一軸圧縮強度は未固結～0.2MPa程度であったため、1MPa以上の

強度が発現するよう、本試験ではセメント添加量を30～40%(260～330kg/m³程度)に設定した。本試験の結果(表-4)、OPCを添加した配合①～④では概ね14日で、BBを添加した配合⑤～⑧では21日～28日で固結し、材齢28日の一軸圧縮強度は2.03～7.66MPaと平成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。なお、セメントやベントナイトの添加量が増加するに従い、発現強度が増加した。また、BBはOPCと比較して強度発現が遅かったが、材齢28日強度はBBの方が高かった(硬化途上にあると思われる配合⑧を除く)。燃焼飛灰の嵩密度は低く、セメント・水・ベントナ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、今回の条件では概ね50%程度減容化した。

燃焼飛灰からの安定セシウムの溶出は、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87.8%から15.3～38.7%まで低減した。しかしながら、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、溶出率が56.6～84.8%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必要である。また、ベントナイト添加がセシウム溶出低減に寄与していることが判明した。今後、長期材齢におけるセシウム溶出挙動や、ゼオライト添加によるセシウム溶出低減効果などについて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) 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、2013(投稿中) 3) (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 第三版)、2012

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
灰	100%	100%	100%	100%
OPC	40%	40%	40%	30%
水	65%	65%	65%	63%
ベントナイト	0%	3%	6%	6%
	配合⑤	配合⑥	配合⑦	配合⑧
灰	100%	100%	100%	100%
BB	40%	40%	40%	30%
水	65%	65%	65%	63%
ベントナイト	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

表-4 セメント成形固化処理試験結果

	固化状況※				湿潤密度 g/cm ³	減容化率※2 %	一軸圧縮強度 MPa	JIS K 0058-1			H3環告46号		
	7日	14日	21日	28日				Cs溶出量 mg/L	溶出率* %	検液 pH	Cs溶出量 mg/L	溶出率* %	検液 pH
(処理前)	—	—	—	—	0.363	—	—	0.34	87.8	12.5	0.35	90.5	12.6
配合①	△	○	○	○	1.55	52.0	3.94	0.073	38.7	12.5	0.16	84.8	12.8
配合②	△	○	○	○	1.57	51.9	4.20	0.057	30.6	12.5	0.14	75.2	12.8
配合③	△	○	○	○	1.56	50.9	5.16	0.043	23.4	12.5	0.12	65.4	12.8
配合④	△	○	○	○	1.59	54.6	5.90	0.061	31.4	12.7	0.13	66.8	12.7
配合⑤	×	×	△	○	1.58	52.9	5.90	0.054	28.6	12.7	0.16	84.8	12.7
配合⑥	×	△	○	○	1.57	51.9	7.39	0.038	20.4	12.7	0.13	69.9	12.7
配合⑦	×	△	○	○	1.59	51.8	7.66	0.028	15.3	12.2	0.11	60.0	12.7
配合⑧	×	×	×	○	1.57	54.0	2.03	0.055	28.3	12.4	0.11	56.6	12.6

※ 固化状況 ○:固結・脱型可能 △:やや固結・脱型不可 ×:未固結

※2 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・ベントナイトの添加)を考慮した換算含有量から算出