

各種結合材を用いた焼却飛灰固型化に関する検討

(株) 奥村組 正会員 ○齋藤 隆弘 正会員 今井 亮介
三宅 栄一 酒井 一紀 落合 繁
那須地区広域行政事務組合 増山 泰輔

1. はじめに

清掃センターなどから排出される放射線セシウムを含む焼却飛灰は、セメントと混合し固型化する方法がとられている。しかしながら、セメント固型化に関する研究¹⁾や適用事例²⁾は多くあるものの、セメント以外の結合材を用いて検討した事例は見られず、セメントによる固型化が焼却飛灰の固型化において最適な方法であるかは不明である。本研究では、セメントを含め、高炉スラグ微粉末に対してアルカリ刺激を付与することにより焼却飛灰を固型化しうる可能性について室内実験により検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

固型化の対象である焼却飛灰は、栃木県内の清掃センターにおいて2日に分けて採取した。それぞれを焼却飛灰A、Bと称する。密度および含水率は、JIS A 1109:2006に準じ実施した。蛍光X線分析は、蛍光X線分析通則（JIS K 0119：2008）に準じ行った。各元素の比率の同定には、定量FP法を用いた。焼却飛灰の物理的性質および化学組成を表1に、ふるい分け試験の結果を図1に示す。

結合材として、高炉セメントB種（BB：密度3.04g/cm³）、普通ポルトランドセメント（N：密度3.16）、高炉スラグ微粉末（BFS：密度2.89 g/cm³）を用い、ワーカビリティの調整のために、砂（長良川水系 密度2.59）を用いた。アルカリ刺激剤として、水酸化ナトリウム（NaOH）、セメントスラリーから製造した、水酸化カルシウムを主成分とする環境浄化材（P）を使用した。

2.2 試験方法

各材料の攪拌には、セメント試験用のモルタルミキサーを用いた。水以外の材料を空練りした後、水を加え3分間練り混ぜた。練混ぜ後には、ミニスランプ試験をJIS A 1171に準じ行い、スランプ値が8±2.5cm、かつ材料分離が無いように砂の添加量を調整し、配合を決定した。その後、圧縮強度用の供試体（Φ5cm×10cm）を採取し、所定の材齢（7日、28日）まで封かん養生後、圧縮強度試験を実施した。また、材齢28日において、放射性セシウム（¹³⁷Cs）の溶出試験をJIS KK0058-1に基づき、圧縮強度用供試体と同様の供試体を用い実施した。

2.3 実験ケース

結合材として高炉セメントB種のみを用いたケースでは、水セメント比を3段階で設定し、焼却飛灰A、Bそれぞれにおいて試験を実施した。このケースの配合表を表2に示す。また、焼却飛灰Aにおいては、中

表1 焼却飛灰の物理的性質および化学組成

灰の種類	含水率(%)	密度	蛍光X線分析(%)									セシウム溶出量(Bq/L)
			カルシウム(Ca)	塩素(Cl)	カリウム(K)	鉄(Fe)	ケイ素(Si)	硫黄(S)	亜鉛(Zn)	鉛(Pb)	銅(Cu)	
A	27.5	2.51	38.9	38.3	15.0	1.0	1.3	2.0	1.1	0.13	0.06	21
B	28.0	2.49	40.2	36.8	14.7	1.9	1.4	1.4	1.0	0.13	0.06	20

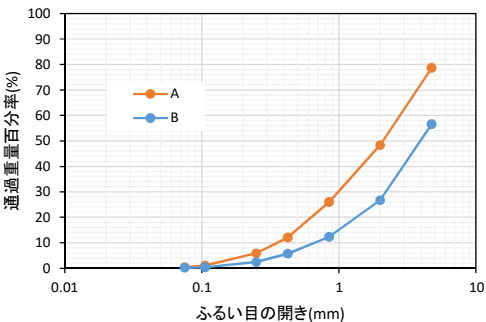


図1 焼却飛灰のふるい分け試験

表2 実験ケースおよび配合表（W/C、灰変更）

Case	W/C	単位量(kg/m ³)				
		焼却飛灰		水	高炉B種セメント	砂
		A	B	W	BB	S
1	1.0	665	-	470	473	284
2	1.4	721	-	486	355	284
3	1.7	689	-	487	294	367
4	1.0	-	645	452	457	366
5	1.4	-	688	459	337	405
6	1.7	-	656	459	279	488

キーワード 焼却飛灰 固型化 結合材 圧縮強度 放射性セシウム

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株)奥村組技術本部技術研究所 TEL029-865-1751

間グレードの水結合材比(W/B=1.4)に対して、高炉スラグ微粉末に、普通ポルトランドセメントあるいは環境浄化剤を置換したケース、高炉スラグ微粉末に水酸化ナトリウムを添加したケースを設定した。これらの配合表を表3に示す。

3. 実験結果

水セメント比および灰種を変えた場合の圧縮強度試験結果を図2に示す。材齢・焼却飛灰の採取日に関わらず、水セメント比の低下に伴い圧縮強度が増大している。また、いずれの水セメント比でもBの焼却飛灰を使用したほうが、Aより強度が高くなっている。焼却飛灰の採取日毎に、焼却飛灰の化学組成や粒度に差が見られ、強度にその影響が反映されていると考えられるが、いずれの要因が影響しているかは不明である。

各種結合材を用いたケースの圧縮強度試験結果を図3に示す。材齢7日では、アルカリ刺激剤として、水酸化ナトリウム、環境浄化材(P)を使用したケースにおいて、いずれも2N/mm²以上の強度が確認された。また、アルカリ刺激剤の添加量と強度には関係性が確認されていない。普通ポルトランドセメントの置換率を変えたケースでは、普通ポルトランドセメントの置換率が多いほど圧縮強度が高くなった。いずれのケースでも、高炉セメントB種(BB)を用いた場合よりも、圧縮強度が低くなった。

材齢28日では、アルカリ刺激剤を使用したケースで強度の増進が確認され、高炉セメントB種(BB)を用いたケースとの強度差が少なくなった。特に、環境浄化材(P)を用いたケースで強度の増進が著しく、BBを用いた場合の圧縮強度とほぼ同等の強度となった。

放射性セシウム溶出率（固型化後のセシウム濃度／固型化前の溶出濃度の百分率）を図4に示す。いずれのケースでも、溶出率は目標とした10%以下であるが、高炉スラグ微粉末を用いたケースの方が、セメントのみよりも溶出率が低下していることを確認した。

4. まとめ

焼却飛灰固型化物の強度発現特性を把握するとともに、高炉スラグ微粉末主体の固型化物において、セメント固型化物と同程度の圧縮強度が得られ、セシウム溶出の抑制にも有効であることを確認した。

参考文献

- 1) 杉橋ら：放射性セシウムを含む一般廃棄物焼却飛灰のセメント固型化処理に関する研究，土木学会論文集E2，Vol. 71，No. 1，pp. 14-28，2015
- 2) 大山ら：特定廃棄物セメント固型化処理における配合設計について，第31回廃棄物資源循環学会研究発表会，pp435-436，2020

表3 実験ケースおよび配合表（結合材変更）

Case	W/B	単位量(kg/m ³)						水酸化ナトリウム (%/C)
		焼却飛灰	水	普通ポルトランドセメント	高炉スラグ微粉末	環境浄化材	砂	
		A	W	C	BFS	P	S	NaOH
7	1.4	698	470	-	344	-	344	2
8		698	470	-	344	-	344	5
9		699	471	34	310	-	344	-
10		699	471	69	275	-	344	-
11		702	473	173	173	-	345	-
12		699	471	-	310	34	344	-
13		699	471	-	275	69	344	-

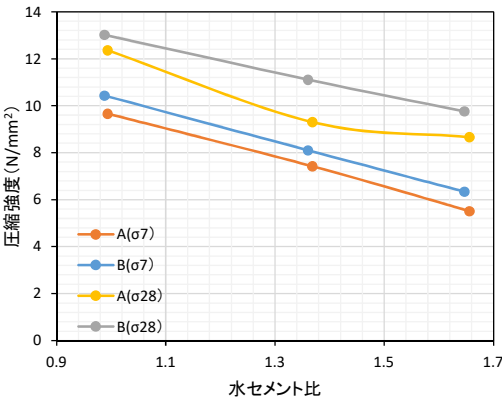


図2 圧縮強度試験（W/C, 灰変更）

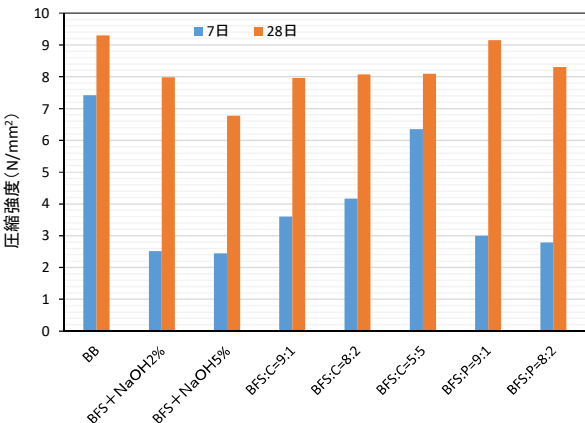


図3 圧縮強度試験（結合材変更）

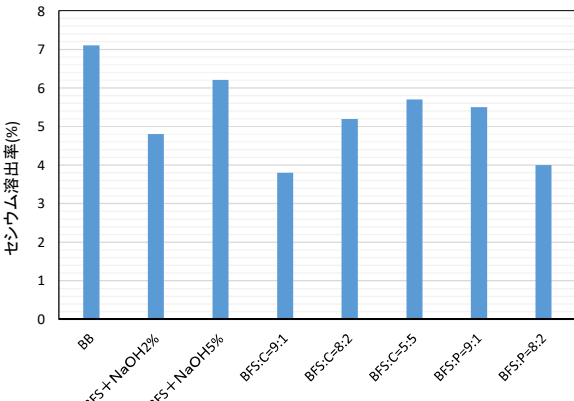


図4 材齢28日における放射性セシウム溶出率