

焼却残渣に含まれる重金属がセメント固化に及ぼす影響

九州大学大学院 学生会員 ○中村 和喜
 " フェロー会員 島岡 隆行
 " 正会員 小宮 哲平
 安藤ハザマ 正会員 弘末 文紀, 三反畑 勇, 青木 貴均

1. はじめに

我が国の一般廃棄物最終処分場における埋立廃棄物の約8割が焼却残渣（焼却灰及び飛灰）である現状¹⁾を踏まえ、著者らは焼却残渣の特性を生かしつつ、埋立容量の消費の抑制、環境安全性の向上、埋立地の早期安定化を図る「廃棄物固化式処分システム」²⁾の構築を目指している。具体的には、石炭灰の固化技術³⁾を応用し焼却残渣にセメント等を添加し、高周波振動を与えて締固め固化盤を形成する埋立手法である。検討の中で、焼却残渣によって、セメントを練り混ぜた固化体（以下、焼却残渣固化体）の強度発現に差異が生じることが確認された⁴⁾。原因として重金属含有量または溶出量が高いことが考えられた。本研究では、焼却残渣固化体の強度発現に重金属が及ぼす影響を明らかにすることを目的に、固化体の練り混ぜ試料に重金属を添加し、その添加量を変えて作成した供試体の強度試験及び性状分析を行い一軸圧縮強度と重金属溶出量及び含有量の関係の把握を試みた。

2. 試料及び方法

2-1 試料 F市R清掃工場から排出された焼却灰（湿灰）から粗雑物を除去したもの（以下、焼却灰）及びキレート処理済み飛灰（以下、飛灰）を試料とした。表1に使用した焼却残渣の採取時の含水比及び採取方法を示す。

2-2 添加する重金属の選定 焼却残渣に含まれる割合が高く、セメントに対し固化遅延の影響をもたらす銅、鉛、亜鉛^{5) 6)}の3種類の重金属を添加する。また、飛灰中では特に鉛、亜鉛は塩化物が多いこと⁷⁾から、3種類の重金属の塩化化合物の溶液を添加した。

2-3 焼却残渣固化体の作成 表2に従い、各焼却残渣固化体を作成した。焼却灰と飛灰を乾燥質量比3:1で混合したもの（以下、焼却残渣）に、焼却残渣乾

表1 焼却残渣の含水比及び採取方法

試料	含水比[%]		備考
	焼却灰	飛灰	
FR	27.4	19.9	焼却灰は清掃工場にて40mmふるい下を採取

燥質量比10%の高炉セメントB種を加え、含水比27%となるように各重金属を溶かした水道水を加水した。鉛については環境省告示13号に示

表2 各焼却残渣固化体の混練条件

される埋立基準、銅、亜鉛については一般廃棄物最終処分場の排水基準を基に各目標溶出濃度を決定し、そこから各重金属の添加量を算定した。混練後、内径Φ10cm、高さ20cmの円筒型枠に混練物を入れ、小型テーブルバイブレータ（エクセン製 TV500×500）を用いて振動数75Hz、振幅約0.5mmで150秒間振動締固めを行った。その後、28日間屋内（10～18℃）で封緘養生を行い、脱型後、一軸圧縮試験を行った。

サンプル名	焼却灰 (湿潤) [kg]	飛灰 (湿潤) [kg]	セメント [kg]	水 [kg]	添加 重金 属	目標溶 出濃度 [mg/L]	重金属 添加量 [g]
A-1	19.1	6.00	2.22	1.17	-	0	0
A-2					Cu	10	0.273
A-3						20	0.556
A-4						30	0.820
B-1					Zn	25	0.683
B-2						50	1.376
B-3						75	2.059
C-1					Pb	0.5	0.014
C-2						1.0	0.027
C-3	1.5	0.041					

2-2 焼却残渣の溶出試験及び含有量試験

焼却残渣へセメント及び重金属を添加した試料に対して環境省告示13号溶出試験を行い、溶出液の重金属濃度をICP発光分光分

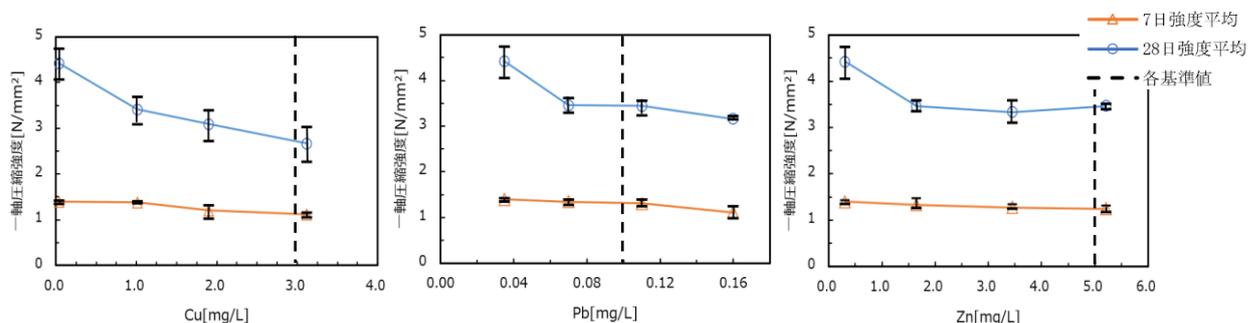


図1 焼却残渣の重金属溶出濃度と焼却残渣固化体の一軸圧縮強度(材齢7日及び28日)の関係

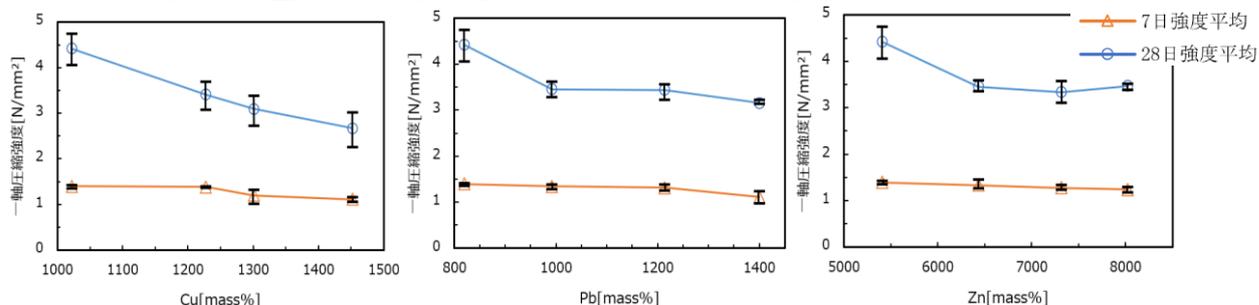


図2 焼却残渣の重金属含有量と焼却残渣固化体の一軸圧縮強度(材齢7日及び28日)の関係

析装置 (ICP-OES 720, Agilent technology) を用いて分析した。また、XRF (蛍光 X 線分析) により、重金属含有率を求めた。

3. 結果及び考察

3-1 焼却残渣固化体の一軸圧縮強度と焼却残渣の重金属溶出濃度の関係 図1に焼却残渣固化体の一軸圧縮強度(材齢7日及び28日)と銅、鉛、亜鉛の重金属溶出濃度の関係を示す。一軸圧縮強度は各条件3本の供試体について強度を測定し、その最大値、最小値、平均値を示す。鉛は、予備実験で得た溶出濃度より本試験の溶出濃度が高くなり基準値を上回った。銅については溶出濃度が高くなるに連れて強度が低下した。一方、鉛と亜鉛については溶出濃度がある値以上になると強度の低下は小さく、強度はほぼ一定値とみなせる。銅、鉛、亜鉛の溶出濃度が埋立基準値に達する焼却残渣固化体の28日強度は、各図中左端の重金属無添加の焼却残渣固化体の28日強度と比較し、銅で約60%、鉛で約72%、亜鉛で約79%であった。

3-2 焼却残渣固化体の一軸圧縮強度と焼却残渣の重金属含有量の関係 図2に焼却残渣固化体の一軸圧縮強度(材齢7日及び28日)と銅、鉛、亜鉛の重金属含有量の関係を示す。銅については含有量が増えるほど強度が低下した。一方、鉛と亜鉛は含有量がある値以上になると強度の低下は小さく、強度はほぼ一定値とみなせる。

4. まとめ

焼却残渣に含まれる重金属(銅、鉛、亜鉛)の溶出濃度が高いほど、また含有量が多いほど、焼却残渣固化体の強度が低くなる傾向が示された。しかし、本研究では焼却残渣に含まれる重金属が焼却残渣固化体の強度発現を阻害するメカニズムの解明には至っていないため、焼却残渣及び焼却残渣固化体について、長期強度である91日強度の測定を行うと共に、XRD(X線回折分析)による重金属の化合形態の分析や、SEM-EDX(エネルギー分散型X線分光法)による元素の存在位置、元素組成を明らかにする分析を今後実施する予定である。

謝辞：本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20203J01)により実施した。記して謝意を表する。

【参考文献】1)環境省:令和1年度一般廃棄物処理実態調査結果, https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/r1/index.html(参照2022-01-05) 2)島岡隆行:焼却残渣を埋め立てる固化式処分システムの開発について,都市清掃,第69巻,第333号,pp.419-425,2016 3)(株)安藤ハザマ:アッシュクリート技術の開発と展開,安藤ハザマ研究年報,Vol.4,2016 4)中村ら:焼却残渣のセメント固化における重金属による固化阻害に関する基礎的研究,令和2年度土木学会西部支部研究発表会,2021 5)高橋秀夫ら:重金属を含む産業廃棄物のセメントによる固化に関する基礎的研究,小野田研究報告,第25巻,第3冊,第90号,pp.1-10,1973 6)社団法人セメント協会編:エンサイクロペディア,pp.62-64 7)Facun Jiaoら:Study on the species of heavy metals in MSW incineration fly ash and their leaching behavior, Fuel Processing Technology, Volume152,2016,pp.108-115