

重金属等を含む焼却主灰造粒固化物の長期溶出挙動評価（その3）

鹿島建設(株) 正会員 ○河合達司 篠原智志 石神大輔
 鹿島建設(株) フェロー会員 川端淳一
 東北大学 正会員 宮本慎太郎 皆川 浩 久田 真

1. 目的

焼却灰等の廃棄物を土木資材として積極的に再利用することは、循環型社会を推進するうえで有効な手段の一つである。しかしながら、廃棄物に含有される重金属等による周辺環境への長期的な環境影響リスクが明らかでない場合、再利用に対する社会的受容が十分に形成されず、積極的な再生利用には至らない。そこで筆者らは、焼却灰の造粒固化物を実環境下に暴露し、長期的な重金属等の溶出挙動を評価するとともに、環境要因による溶出への影響を評価し、溶出メカニズムの検討を進めている。これまで、ストーカ炉とキルン炉の各々の方式の焼却施設からの焼却主灰により作成した造粒固化物を用いた長期暴露試験を実施した。既報¹⁾で、キルン炉からの焼却主灰を高炉セメントB種で造粒固化した再生土木資材を用いて、炭酸化によるエトリンタイトの消失が重金属等の長期溶出に及ぼす影響を検討した結果を報告した。本検討では、引き続き屋外曝露試験を実施した結果を報告するとともに、浸出水に含まれるイオン濃度の経時的な変化から、炭酸化に伴う影響を検討した結果を報告する。

2. 試験に用いた材料

試験に用いた試料は、概ね発生起源が同じ廃棄物をキルン炉、ストーカ炉と異なる方式の炉で焼却して得られた主灰を各々造粒固化した再生土木資材である。焼却主灰と造粒固化物の重金属等の溶出試験結果を表-1に示す。各々の灰には鉛や六価クロムが含まれ、フッ素はキルン炉の灰で土壌溶出量基準をわずかに超過していた。このため、硫酸鉄系の不溶化材を2.5%加えて不溶化し、高炉セメントB種を15%加えて造粒固化した。試験には9.5mmふるい通過分の造粒固化物を使用した。

表-1 溶出試験結果 (mg/L)

焼却炉	キルン炉		
対象物質	鉛	六価クロム	フッ素
焼却主灰	0.002	<0.005	0.98
造粒固化物	0.004	0.008	0.39
焼却炉	ストーカ炉		
対象物質	鉛	六価クロム	フッ素
焼却主灰	<0.001	0.029	0.42
造粒固化物	0.007	0.010	0.31
土壌溶出量基準	0.01	0.05	0.8

3. 試験方法

造粒固化物が雨水に曝露される再生利用環境を想定し、長期にわたり発生する浸出水が周辺環境へ与える影響を評価するため、屋外雨水曝露試験を2014年8月下旬より実施した。

造粒固化物2200gを開口部面積200cm²のワグネルポットに充填し、屋外に設置した。上面の開口部から浸透する雨水により生じた浸出水を底部から排出し、タンクに全量貯留した。貯留した浸透水を定期的に回収し、溶出した重金属等の濃度やpH、各種イオン濃度を測定した。浸出水を0.45μmのメンブレンフィルターでろ過した後、重金属等の濃度は、ろ液中の鉛をICP質量分析法、六価クロムを吸光光度法、フッ素を流れ分析法で分析し、pHはpH電極法により測定した。イオン種として、エトリンタイトの主成分であるカルシウムイオンと硫酸イオンに着目し、イオンクロマトグラフ法により各々の浸出水中の濃度を測定した。

4. 試験結果

表-2 一回あたりの浸出水回収量

4.1 浸出水回収量

タンクに貯留した浸透水を、1年あたり4回回収した。1回あたりの回収量を表-2に示す。降水量の季節変動のため最小と最大に差はあるが、年ごとの平均は全期間の平均とおおむね同様

浸出水回収量(L)	キルン炉	ストーカ炉
全期間平均	3.9	4.5
最少	0.1	0.3
最大	12.4	11.4

キーワード 焼却灰, 再生利用, 環境安全性評価, 重金属, 不溶化, 長期溶出特性

連絡先 〒182-0032 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所岩盤地下水グループ TEL 042-489-6651

度の回収量であった。

4.2 浸出水中の重金属等の濃度

屋外雨水曝露試験での浸出水中の重金属等の濃度を、地下水環境基準に対する倍率（基準超過倍率）として、キルン炉、ストーカ炉ごとに結果を図-1, 2に示す。屋外曝露試験開始後4.3年経過し、六価クロム、鉛、フッ素のすべてに関して、キルン炉、ストーカ炉ともに地下水環境基準未滿を維持した。キルン炉とストーカ炉では大きな差は認められなかった。

4.3 浸出水中のpH

図-3に、キルン炉、ストーカ炉の浸出水のpHの経時変化を示す。試験開始直後はアルカリ性を示した浸出水のpHは、開始後2年で大きくpHが低下し、その後はpH7.3~8.6程度の中性で安定した。このpH変化は大気中の炭酸ガスによる中性化によるものと考えられ、既報¹⁾での、X線回折分析による造粒固化物中のエトリンガイトの強度ピークが2年間で大幅に減少した後安定した結果と一致した。

4.4 浸出水中のイオン濃度

図-4に、キルン炉、ストーカ炉の浸出水の硫酸イオン濃度の経時変化を、図-5に、カルシウムイオン濃度の経時変化を示す。硫酸イオン濃度はキルン炉、ストーカ炉共に開始後3年まで濃度が上昇し、その後濃度は低下傾向を示した。これは、エトリンガイトの消失時期と厳密には一致しなかったが、硫酸イオン濃度の上昇の一部にエトリンガイトの消失が関与しているものと考えられる。一方、カルシウムイオン濃度は硫酸イオン濃度に比べて顕著な濃度の上昇は認められなかった。これは、既報¹⁾での、カルサイトは2年間で大幅に増加した後安定した結果より、炭酸ガスによる中性化に伴い、カルシウムがカルサイトとして容器内にとどまったためと考えられる。全期間内で造粒固化物から流出した硫酸イオンは、キルン炉で34.7g、ストーカ炉で34.4gであったのに対して、カルシウムイオンは、キルン炉で0.23g、ストーカ炉で0.13gに極めて少量であった。

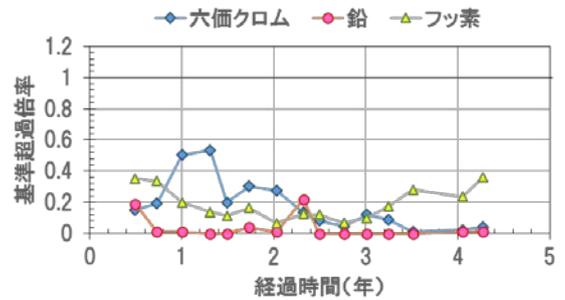


図-1 キルン炉造粒固化物の浸出水中の重金属等濃度の経時変化

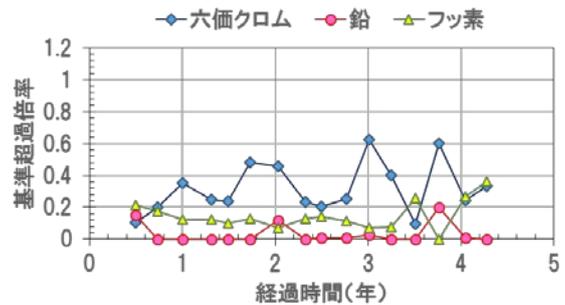


図-2 ストーカ炉造粒固化物の浸出水中の重金属等濃度の経時変化

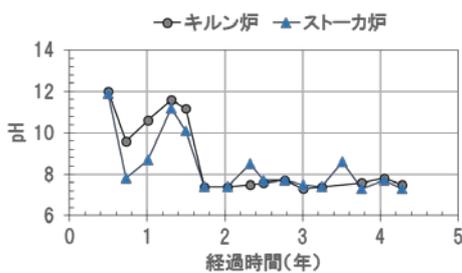


図-3 pHの経時変化

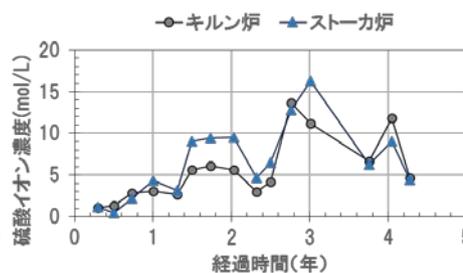


図-4 硫酸イオン濃度の経時変化

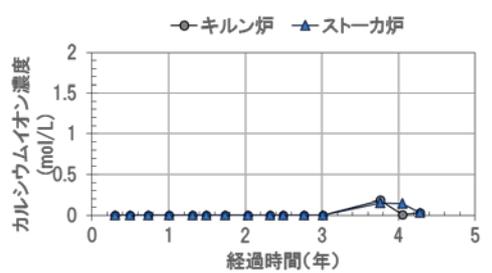


図-5 カルシウムイオン濃度の経時変化

5. まとめ

屋外雨水曝露試験により、焼却主灰造粒固化物からの六価クロム、鉛、フッ素の溶出は、キルン炉とストーカ炉ともに4.3年間地下水環境基準未滿を維持した。浸出水のpHは開始時のアルカリ性から2年間で中性に低下した。また、硫酸イオンは試験開始後3年まで濃度が上昇し、炭酸化によるエトリンガイトの消失による寄与が推測された。カルシウムは浸出水中に流出する割合は少なく、カルサイトとして容器内にとどまっているものと推測された。

参考文献

- 1) 篠原智志他, 焼却灰造粒固化物の炭酸化が重金属等の長期溶出に及ぼす影響, 土木学会第73回年次学術講演会, p. 157-158, 2018