

清掃工場集じん灰に含まれる活性炭の重金属防止処理に対する影響について

福岡市環境局廃棄物試験研究センター ○ 今井 啓太
久保倉 宏一
吉武 和人

1. はじめに

福岡市の埋立場において、清掃工場のろ過式集じん装置で補集された集じん灰（以下飛灰と示す）の埋立区画から、10mg/L以上の鉛が浸出水に溶出した。原因解明のために鉛の溶出した区画のボーリング調査を行ったところ、1つの工場の飛灰割合が多く、その飛灰には活性炭が含まれていることが分かった。著者らは、活性炭の重金属防止処理に対する影響を机上試験で検討したところ、興味ある知見を得たので報告する。

2. 溶出試験概要

溶出試験に使用した未処理飛灰は、全連続燃焼式焼却炉（ストーカ炉）の活性炭吹き込みを行っていないろ過式集じん装置で補集された飛灰であり、集じん処理で吹き込まれる消石灰（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）と助剤（珪藻土）を含んでいる。キレートは、ジエチルアミン系キレート剤（有効成分50-52%、水分50-48%）を使用し、キレートの水分量は考慮せず、本剤を原液として用いた。また、使用したキレートと粉末活性炭は、上記の鉛が溶出した飛灰の処理に使用していたものと同様のものである。これらを用いて下記の2つの実験を行った。

【実験1 活性炭混合飛灰の溶出試験】

飛灰中の活性炭混合の有無によるキレート処理効果を溶出試験で比較した。未処理飛灰と活性炭混合飛灰（未処理飛灰にあらかじめ活性炭を3%の割合で添加し十分に混合）をそれぞれチャック付きポリエチレン袋に300g分取し、飛灰重量比の30%の水分と表1に示す添加率のキレートを加え、袋の外から指で均一になるように混合して調整した。これらを20℃の暗室で24時間養生させ、環境庁告示13号溶出試験を行い、溶出液のpH、電気伝導率、ICP-MSによる銅、亜鉛、鉛と簡易定量法による未反応キレート濃度を測定した。

【実験2 溶出時活性炭添加試験】

実験1のように活性炭をキレート処理前に混合するのではなく、溶出試験直前に添加することで溶出試験時のみの影響をみるため、次の溶出時活性炭添加試験を行った。検体は活性炭を混合していない表1のキレート処理飛灰（検体名③、④、⑥、⑧）を用いて、溶出試験直前に活性炭3%を添加して環境告示13号溶出試験を行い、実験1と同様に銅、亜鉛、鉛及び未反応キレート濃度の測定を行った。

3. 結果

実験1の溶出試験の結果を表1に示す。各溶出液のpHは12.3、電気伝導率は5.02~5.30 S/mであり、活性炭の添加の有無でほとんど差は見られなかった。銅は、検体①、②のキレートを添加していない飛灰から0.1mg/L溶出したが、キレートを添加した飛灰は全て0.1mg/L以下であった。亜鉛は、11~16mg/L溶出し、同一キレート添加率において活性炭混合飛灰の溶出濃度が10~20%高かった。鉛は活性炭を含まない飛灰では、キレート添加率を2%以上にすれば埋立基準（0.3mg/L以下）を満足できることに對し、活性炭混合飛灰ではキレート添加率3%で2.9mg/L、4%で0.23mg/Lとなり、キレート

を 4%以上添加しなければならなかった。また、活性炭混合飛灰の未反応キレート濃度は、同一キレート添加率において 1/6 以下に減少しており、活性炭が未反応キレートを吸着し、鉛の溶出に影響したと考えられる。

表 1 キレート添加率による活性炭混合飛灰の溶出試験比較

検体名	添加率(%)		溶出試験結果					
	キレート	活性炭	pH	電気伝導率 (S/m)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	未反応キレート (mg/L)
①	0	0	12.3	5.30	0.1	16	51	-
②	0	3	12.3	5.12	0.1	14	44	-
③	1	0	12.3	5.10	<0.1	13	17	24
④	2	0	12.3	5.02	<0.1	12	0.07	340
⑤	2	3	12.3	5.13	<0.1	14	23	<5.0
⑥	3	0	12.3	5.03	<0.1	11	0.01	840
⑦	3	3	12.3	5.07	<0.1	14	2.9	46
⑧	4	0	12.3	5.06	<0.1	11	0.01	1400
⑨	4	3	12.3	5.08	<0.1	14	0.23	180
⑩	5	3	12.3	5.09	<0.1	14	0.02	800

実験 2 の溶出試験結果を表 2 に示す。溶出時に活性炭を添加すると、鉛が 0.3mg/L 以下に抑制されていたキレート添加率 2~4%の飛灰から鉛が溶出し、特にキレート添加率 2%の検体は活性炭添加の有無で 0.11mg/L から 12mg/L と 100 倍以上増加した。未反応キレート濃度も全ての検体で 100mg/L 以下になっており、キレート添加率 4%の飛灰は 1400mg/L から 29mg/L と大幅に減少していた。これらの結果から、溶出時に活性炭を添加した場合、未反応キレートが吸着され減少することで鉛の溶出反応が進行することが明らかになった。次に、活性炭未添加飛灰、活性炭 3%混合飛灰、溶出時活性炭 3%添加飛灰から溶出した鉛濃度及び未反応キレート濃度を比較した結果を図 1 に示す。活性炭未添加飛灰と溶出時活性炭添加飛灰を比較すると、キレート添加率 2%では、23mg/L と 12mg/L になっており、溶出時に活性炭を添加した飛灰はキレート添加時に活性炭による吸着を受けず鉛と十分に反応したため、溶出量が少なかったという結果になったが、キレート添加率 3, 4%の飛灰では、2.9mg/L と 3.8mg/L、0.23mg/L と 0.58mg/L となりキレート添加率 2%の時と濃度関係が逆転した。

表 2 溶出時活性炭添加による溶出試験結果

添加率(%)		溶出試験結果(mg/L)			
キレート	活性炭	Cu	Zn	Pb	未反応キレート
0	0	0.2	14	50	-
1	0	<0.1	10	18	20
	3	<0.1	11	31	<5.0
2	0	<0.1	7.7	0.11	260
	3	<0.1	9.4	12	<5.0
3	0	<0.1	6.3	0.03	770
	3	<0.1	8.0	3.8	<5.0
4	0	<0.1	6.0	0.02	1400
	3	<0.1	6.9	0.58	29

実験 1, 2 から、キレート添加率の少ない飛灰ほど未反応キレート濃度が低く、鉛の溶出濃度が増加する傾向が見られたため、同一キレート添加率の飛灰において、異なる添加率の活性炭を溶出時に加えて溶出試験を行い、鉛の濃度を比較した。使用した飛灰は、事前の溶出試験で鉛の溶出濃度が 0.03mg/L であったキレート添加率

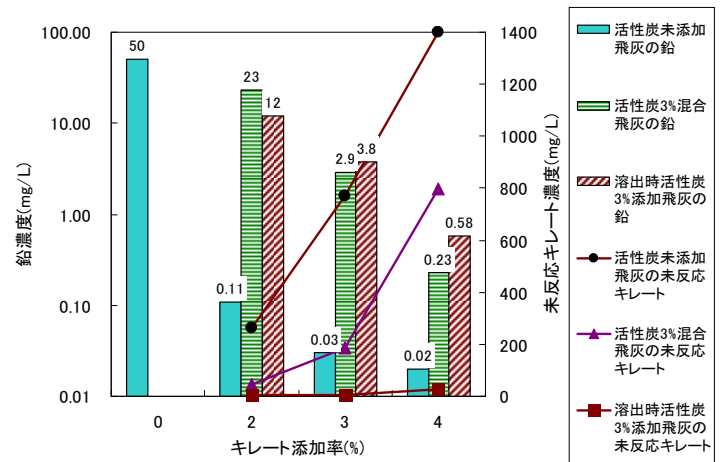


図 1 活性炭添加による鉛と溶出キレート濃度比較

3%の処理飛灰を用い、活性炭の添加率は3, 6, 9%とした。鉛と未反応キレート濃度の結果を表3に示す。活性炭添加率3%で 3.9mg/L, 6%で 11mg/L, 9%で 15mg/L となり、活性炭添加濃度が増加

表3 異なる活性炭添加率における溶出試験結果

キレート添加率(%)	溶出時活性炭添加率(%)	溶出試験結果(mg/L)			
		Cu	Zn	Pb	未反応キレート
0	0	0.2	14	48	-
3	0	<0.1	4.6	0.05	697
	3	<0.1	5.7	3.9	<5.0
	6	<0.1	6.7	11	<5.0
	9	<0.1	7.3	15	<5.0

するほど鉛の溶出濃度も増加した。未反応キレート濃度は、全ての活性炭を添加した溶出液で 5.0mg/L 以下となっており、活性炭を添加しない条件で検出された 697mg/L の未反応キレートは全て活性炭に吸着されたと考えられる。表1の検体①と②のキレートが含まれていない飛灰の活性炭有無で鉛を比較すると、活性炭による飛灰からの鉛の溶出量が増加する傾向は見られないことから、活性炭の影響によって増加した鉛は、未処理飛灰に含まれる不溶性鉛が溶出したものではない。飛灰キレートと鉛は、図2のような平衡反応であり、キレートと重金属のキレート化合物は不溶性であるため、反応は右側に進むとされている。しかし、飛灰溶出液は pH が 12 を超えるアルカリ性であること、カルシウム濃度が高いことなどが影響して、溶出試験時の溶出液の平衡状態は通常より左側で安定している可能性があり、溶液中の遊離キレートは次第に鉛と結合して不溶化するが、溶出時に活性炭が添加された場合は遊離キレートが吸着されて有効なキレートが減少して鉛が溶出し、活性炭の増加に伴い遊離キレートが吸着されて鉛の溶出量が増加したと考えられる。

活性炭は、製品によって吸着能が異なり、またキレートもジエチルアミン系とピペラジン系で吸着特性が異なることが考えられるため、今後は異なる活性炭やキレートを用いて机上試験を行い、活性炭混合飛灰に適したキレート添加に関する検討を続ける。

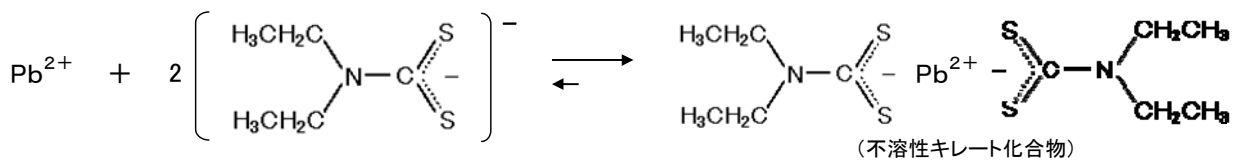


図2 鉛とキレートの平衡反応

4. まとめ

1. 飛灰に活性炭を混合してキレート処理効果の比較を行ったところ、鉛の埋立基準に適合するために必要なキレート添加量が増加した。
2. 溶出基準を満足するキレート処理飛灰に溶出試験時に活性炭を 3%添加すると鉛が埋立基準の 0.3mg/L 以上溶出し、溶出試験の過程でキレート処理が十分である飛灰の溶出液中にも鉛が溶出していることがわかった。
3. 溶出時活性炭添加試験の活性炭添加量を増加したところ、溶出鉛濃度が増加した。
4. 飛灰キレート処理において、活性炭の有無は鉛の溶出に対して大きな因子となることが分かった。

[参考文献]

- 1) 久保倉宏一他：キレート剤処理飛灰溶出液に残存するジチオカルバミン酸塩の簡易定量法，第 29 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集，245-247，2008