自然由来廃棄物を用いた都市ごみ焼却飛灰中の重金属の安定化

九州大学工学部　学生会員　○ 高橋 航平
九州大学大学院工学研究院　非会員　Amirhomayoun Saffarzadeh, Mitali Nag
〃　フェロー会員 島岡 隆行　正会員 小宮 哲平

1．はじめに

現在、日本では年間 292 万 t の焼却残渣が排出されている [1)]。焼却残渣は主に焼却灰と飛灰からなり、飛灰は鉛などの有害な重金属を含み特別管理一般廃棄物に指定され、最終処分される前に、重金属の溶出を抑制させる安定化処理が義務付けられている。しかし、厚生省告示第 194 号第一号で推奨されている飛灰中の重金属安定化処理法であるセメント固化法、キレート薬剤法、酸抽出法及び溶融固化法は、処理コストが高く、また容量の増加により埋立容積を消費するなどの課題を有する。その様な中で、日本の魚介類の年間消費量は 716 万 t であり、大量の魚滓が発生し [2)]、処理に苦慮している。魚骨に含まれるヒドロキシアパタイト($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$)はリン酸カルシウムの一種である。ヒドロキシアパタイトは、鉛などの重金属と反応し、以下のように難溶性リン酸塩を形成することが知られている [3)]。

$$Ca_5(PO_4)_3(OH) + H_2O \rightarrow 5Ca^{2+}(aq) + 3PO_4{}^{3-}(aq) + 2OH^-(aq)$$

$$5Pb^{2+}(aq) + 3PO_4{}^{3-}(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow Pb_5(PO_4)_3(OH) + H_2O$$

カルシウムと鉛のイオン交換によって不溶性の鉛ヒドロキシアパタイトが形成される。これらのことを踏まえ、本研究の目的を以下とした。

(1) 魚骨由来のヒドロキシアパタイトを有効利用して飛灰中の重金属を安定化させる。
(2) キレート薬剤単体で安定化処理した場合と魚骨とキレート薬剤を併用して安定化処理した場合の処理効果について比較検討を行う。

2．試料

N 市、H 市、J 市、R 市の 4 つの清掃工場から採取した飛灰を試料として用いた。以下、各試料名を N、H、J、R と称する。魚骨材は I 市と F 市の鮮魚店から廃棄された魚滓を 10 分間煮沸した後、魚肉等を取り除き魚骨のみにし、さらに魚骨を 10 分間煮沸し、油分を取り除き、その後室温で 48 時間乾燥させたものを使用した。また、キレート薬剤は市販の重金属安定剤（ピペラジン系）を使用した。

3．実験手順

3-1　実験方法

(1)　魚骨処理

250ml ポリエチレン容器中に飛灰 10 g と魚骨 1g を量り入れ、液固比が 1.5 になるように純水を 15ml 加え、よく攪拌した後、容器の蓋をして密閉、静置した。静置時間を 6、12、24h、3、7、14、28d とした。静置後、環境省告示 13 号法に準拠して溶出試験を行った。

(2)　キレート処理

キレート薬剤のみを用いた処理（単体処理）： 250ml ポリエチレン容

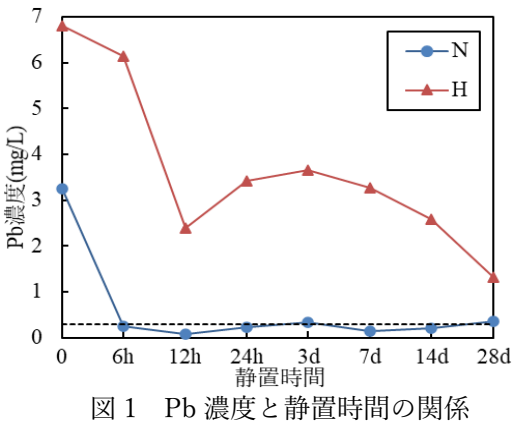

図 1　Pb 濃度と静置時間の関係

器中に飛灰 10g を量り入れ、キレート剤を添加し純水を 3ml 加え、2 分間攪拌した後、蓋を開けて 1 時間静置し、その後溶出試験を行った。

魚骨＋キレート処理（併用処理)： 250ml ポリエチレン容器中に飛灰 10 g と魚骨材 1g を量り入れ、液固比が 0.5、1.5 になるように純水を加え、よく攪拌し、容器の蓋をして密閉し 6 時間静置した。その後、キレート薬剤を添加し、蓋を開放して 1 時間静置し、溶出試験を行った。なお、キレート処理においてはキレート薬剤添加率を 0.5、1、1.5、2%とした。

3-2　測定方法

液固比 10 となるように試料に純水を 100ml 加え、振とう機（200 回転/分）で 6 時間振とうした。振とう後、10 分から 30 分間静置し、3000G で 20 分間遠心分離した後、上澄み液を 0.45 μ m のメンフレンフィルターで吸引ろ過し、検液とした。その後、検液を酸分解し、1%硝酸で 100 倍希釈した後、ICP 発光分析で検液中の鉛の濃度を測定した。

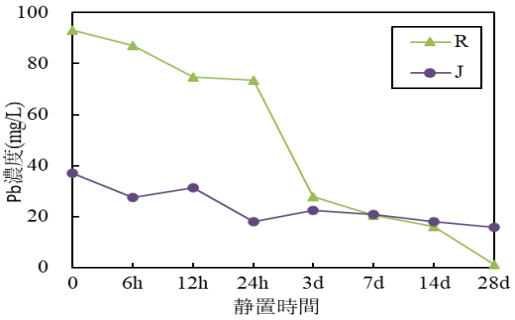

図 2　Pb 濃度と静置時間の関係

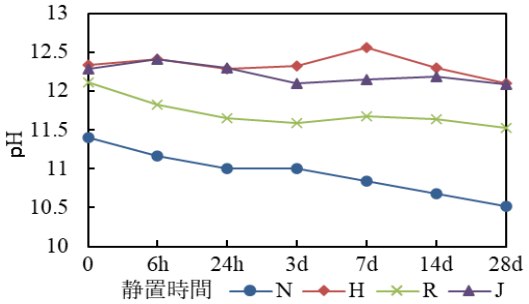

図 3 各飛灰の pH と静置時間の関係

4.　結果及び考察

N 市と H 市飛灰の鉛（Pb）濃度と静置時間の関係を図 1 に示す。図中の破線は Pb の埋立基準値 0.3 mg/L を示している。鉛の初期濃度が 3.25 mg/L と最も低かった N 市飛灰は 6h で埋立基準を満足した。次に、R 市、J 市の Pb 濃度と静置時間の関係を図 2 に示す。両試料の初期濃度には 2 倍以上の差が生じていたが、7d 以降は R 市飛灰の方が小さな Pb 濃度となった。飛灰の元素組成によって反応が異なると考え、飛灰の XRF 分析を行った。カルシウムの含有割合率の相違に着目し、各飛灰の pH と静置時間の関係を図 3 に示した。カルシウムの含有割合の高かった H 市、J 市飛灰の pH はあまり変化がなかったのに対して、カルシウムの含有割合が低かった N 市、R 市飛灰の pH は時間とともに減少傾向を示した。このことより、pH が低いことでより短い時間で安定化が促進されたことが示唆された。

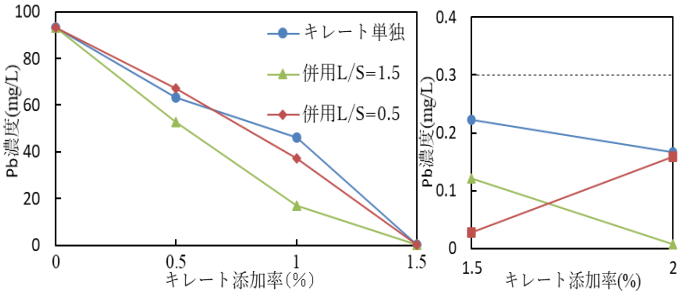

図 4　Pb 濃度とキレート添加率の関係

図 4 には R 市飛灰の Pb 濃度とキレート薬剤添加率の関係を示す。添加率 1.5 %において埋立基準値を満足したが、魚骨とキレート薬剤の併用処理の方がキレート単体で処理した場合よりも Pb 濃度は低くなった。

5．まとめ

魚骨及びキレート薬剤を用いて飛灰中の重金属を安定化することを目的に、魚骨処理及び併用処理を行った結果、以下の知見を得た。

(1) Pb の初期濃度が低い飛灰に対しては魚骨処理のみで埋立基準値を満足させることができた。

(2) 魚骨処理では飛灰の性状、特にカルシウムの含有率が低く、pH が低い場合において、短時間に鉛の安定化が促進された。

(3) 併用処理はキレート単独処理よりも高い不溶化の効果があることが示された。

最後に、試料を快くご提供いただい鮮魚店、及び N、H、J、R 市の各自治体の皆様方に、ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

1) 環境省：日本の廃棄物処理、平成 30 年度版、2020　2) 水産庁：平成 30 年度水産白書、2019　3) Q. Y. Ma, S. J. Traina, T. J. Logan : In Situ Lead Immobilization by Apatite, Environ. Sci. Technol., 1993, Vol. 27, No. 9, pp. 1803-1810