

## 汚泥焼却灰中重金属類の溶出特性と保持形態の評価 N市を事例として

大同工業大学大学院 学生員 小林久人  
大同工業大学 正会員 堀内将人

### 1. はじめに

近年の省エネやリサイクル意識の向上, および最終処分場残余量の逼迫から, 下水汚泥は陸地や海上に埋立処分する量を減らし, 様々に再利用する方法が考えられている. 下水汚泥に含まれる有害物質の中で重金属類は, 脱水・消化・焼却などの一般的な汚泥処理技術では除去できないため, 再利用においては特に注意が必要である.

本研究は, 下水汚泥焼却灰に対して種々の抽出実験を実施し, 重金属の溶出という視点から, 再利用において環境負荷を出来る限り低減するために有効な処理方法について検討することを目的としている.

本報ではN市の3つの汚泥処理場で処理された汚泥焼却灰に対してアベイラビリティ試験を実施した結果, ならびに多段階抽出を実施し, 汚泥焼却灰中の重金属の保持形態について検討した結果について報告する.

### 2. N市の下水汚泥処理

N市には15箇所の下水処理場があり, 各処理場から排出された下水汚泥は輸送管で3箇所(S, H, Y)の汚泥処理場へと送られ処理されている. 現在, S, Y汚泥処理場では高分子系凝集剤(カチオン系)を使用し, ベルトプレス脱水機と流動焼却炉によって汚泥処理しており, 焼却灰はセメント利用されている. H汚泥処理場では凝集剤(塩化第二鉄), 凝集補助剤(消石灰)を使用し, 加圧脱水機と多段焼却炉によって処理しており, 焼却灰は埋め戻し材として利用されている. 以下, 各汚泥処理場で処理された下水汚泥をS汚泥, H汚泥, Y汚泥と略記する.

### 3. アベイラビリティ試験

**3-1 概要** Availability(アベイラビリティ)とは廃棄物が何らかの要因で細かく粉砕された状態になる, 無限量の酸性の溶媒に曝される, といった廃棄物にとって非常に過酷な条件下(主に酸性雨)において最終的に溶出する可能性のある量(最大溶出可能量 単位:mg/kg)と定義されている<sup>1)</sup>. 本研究では, 下水汚泥焼却灰に対してアベイラビリティ試験を実施することにより, 汚泥焼却灰を土壌埋め戻し材として利用した場合に, 長期的に見てどの程度重金属類が溶出する可能性があるのかを評価した.

**3-2 結果および考察** 汚泥焼却灰を土壌埋め戻し材として利用した場合の浸出液中最大溶出濃度を, アベイラビリティ試験の結果と以下の仮定の下に推定した.

1. 汚泥焼却灰を用いた埋め戻し層の厚さは1mとする.
2. 埋め戻しの見かけ密度は $1.5\text{g/cm}^3$ とする.
3. 埋め戻し層内を浸透する水は $1000\text{mm/年}$ (断面平均流速)とする.
4. 100年間でアベイラビリティ試験で得た最大溶出可能量に相当する重金属類が汚泥焼却灰から溶出する.
5. 埋め戻し層からの重金属類の溶出は時間的に均一に起こる.

推定結果を表-1に示す. 多くの元素は基準をはるかに下回っている. 環境基準を超過したのはZnであった. ZnはS汚泥で基準値の約27倍, Y汚泥で基準値の約9倍の濃度であった. S, Y汚泥はセメント利用されているため, 基準値を超過したことが直接問題とはならないが, リサイクル利用したセメント材料についても同様の検討を实

表-1 厚さ1mの焼却灰層下端からの最大溶出濃度 (mg/L)

元素	処理場	推定値	水質環境基準値	判定
B	S	0.005	1mg/L以下	
	H	0.008		
	Y	0.002		
Cr	S	0.00001	0.05mg/L以下	
	H	0.001		
	Y	0.00002		
Zn	S	0.808	0.03mg/L以下	×
	H	0.003		
	Y	0.273		×
As	S	0.003	0.01mg/L以下	
	H	0.001		
	Y	0.002		
Se	S	0.0002	0.01mg/L以下	
	H	0.0001		
	Y	0.0002		
Cd	S	0.0001	0.01mg/L以下	
	H	0.000001		
	Y	0.0002		
Pb	S	ND	0.01mg/L以下	
	H	ND		
	Y	0.00001		

Znは河川および湖沼の水生生物を対象とした環境基準値

キーワード: 下水汚泥, 焼却灰, リサイクル材, アベイラビリティ試験, 多段階抽出法

連絡先: 〒457-8532 愛知県名古屋市南区白水町40 大同工業大学大学院 TEL:052-612-5571

施しておく必要があると考えられる。

#### 4. 多段階抽出法

**4-1 概要** 汚泥焼却灰に含まれる重金属は何らかの相互作用で焼却灰に保持されている。その保持形態は大きく分けてイオン交換態、炭酸塩結合態、金属酸化物結合態、硫化物結合態、及びこれら以外の形態（不動態）に分けることができる。本研究では森田<sup>2)</sup>が実施した多段階抽出法を汚泥焼却灰に適用し、焼却灰中に保持されている元素をその保持形態ごとに分離定量した。ただし、森田の多段階抽出法では硫化物結合態ではなく、同様の抽出操作で有機物結合態が抽出されるとしている。

**4-2 結果および考察** 特徴的な傾向を示した主な元素(Cr, As, Pb)について多段階抽出法により分離抽出した保持形態ごとの元素濃度の比率を図-1～図-3に示す。

CrはS汚泥、Y汚泥では不動態が90%以上を占めていた。保持形態の比率もS汚泥とY汚泥は類似していた。一方、H汚泥は不動態が約13%しかなく、70%以上が硫化物結合態を占めている。Crが硫化物( $Cr_2S_3$ )として存在していたか、他の金属硫化物の中にCrが取り込まれていた可能性が指摘できる。今後S(硫黄)の分析も実施することで、この推論の妥当性が検証できる。AsはH汚泥では不動態が86%を占めていた。一方、S汚泥とY汚泥は不動態の比率が5%以下であり、多く保持形態の比率も両汚泥は類似していた。Pbはいずれの汚泥焼却灰でも不動態の比率が90%以上を占めており、良好に封じ込められていると言える。

#### 5. おわりに

多段階抽出法で得た保持形態別濃度から、下水汚泥中にCrが高濃度に含まれている場合には、S、Y汚泥処理場の処理方法がAsが高濃度に含まれている場合には、H汚泥処理場の処理方法が有効だと言える。Pbはいずれの汚泥処理場でも不動態の比率が多く、良好に封じ込められている。

アベイラビリティ試験の結果を用いた焼却灰層下端からの最大溶出濃度の推定については、設定した仮定の妥当性について今後検討する必要がある。汚泥の処理方法と重金属類の下水汚泥焼却灰への保持形態との関連については、理論的な考察も含めより詳細な検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 酒井伸一, 水谷聡, 高月紘, 岸田拓郎: 廃棄物の溶出試験に関する研究-アベイラビリティ試験とpH依存性研究-, 廃棄物学会論文誌, 16巻, 6号, pp.225-234, 1995年
- 2) 森田真史: 製錬工場周辺におけるアンチモンの土壌-作物系での動態とそのリスク, 京都大学卒業論文, pp14-15, 1997年

#### 謝辞

下水汚泥焼却灰を提供していただいたN市の関係機関等の皆様に感謝の意を表わします。

