

第 III 部門

焼却灰海面埋立処分場を模擬した大型カラム試験による重金属の移動特性の評価

京都大学工学部 学生員 ○渡辺 和之
 京都大学大学院 Hermelinda Plata
 京都大学大学院 学生員 大矢 好洋
 京都大学大学院 正会員 勝見 武
 京都大学大学院 正会員 乾 徹
 京都大学大学院 フェロー 嘉門 雅史

1. はじめに

我が国の一般廃棄物の処理は、焼却処理を行った後、その残渣を埋立処分する方法が主流である。大都市近郊では内陸部において処分場の用地確保が難しいことから、海面処分の割合が増加している。焼却灰中には重金属が高濃度で含まれているため、処分場内部における重金属の挙動と溶出リスクの評価は急務である。海面処分場は内水位が高いために内部が嫌気性になりやすく、微生物の活動に必要な有機物や塩分が海水から補給される。そのため、嫌気性微生物の活動によって内部の化学的環境が変化する可能性がある。一般に重金属の形態と移動性は、周囲の化学的環境によって変化する。よって海面処分場内部における重金属の挙動を評価するためには、微生物活動による寄与を含めた海面処分場内部の化学的環境の変化を考慮する必要がある。本研究では、焼却灰海面埋立処分場底部を模擬した焼却灰層と海成粘土層から構成される大型カラム透水試験を実施し、生化学的環境の変化が重金属の移動特性に与える影響を評価した。

2. 実験方法

表-1、2 に大型カラム試験で使用した海成粘土と一般廃棄物焼却灰の基本的特性を示す。焼却灰は焼却炉から排出された炉底灰とキレート処理飛灰の混合灰の 4.75 mm ふり通過分を使用した。図-1 に示す大型カラムに

表-1 海成粘土の特性

採取地点	大阪港 阪南5区 (水深 10~13 m)
土粒子密度	2.66 g/cm ³
塑性限界	26.0%
液性限界	43.9%

表-2 焼却灰の特性

Zn 含有量	3051 mg/kg
粒子密度	2.64 g/cm ³
自然含水比	38.8%
pH*	11.5

*液固比 10 における値

20 kPa で予備圧密させた海成粘土層（高さ 150 mm、湿潤密度 1.86 t/m³）を設置した。その上に焼却灰を層厚 150 mm 毎に水中落下させた後脱気して充填し、焼却灰層（高さ 850 mm、湿潤密度 1.11 t/m³）を設置した。透水溶媒には人工海水に ZnCl₂ を添加した溶液（pH = 7.26、Eh = 402 mV、Zn 濃度 61.2 mg/L）を使用し、焼却灰層上面からの水位を 50~150 mm に維持した。溶媒の上部空間の圧力を窒素ガスで 10~20 kPa 前後に維持し、下方流で透水を行った。底面からの排水、および図-1 に示す位置に設置した大型カラム側面の採水口から採取した間隙水を化学分析に供した。分析項目は、pH、酸化還元電位（Eh）、溶存酸素（DO）、Zn 濃度、全無機炭素（TIC）、全有機炭素（TOC）、硫化物イオン（S²⁻）濃度、アデノシン三リン酸（ATP）濃度である。並行して、各採水口におけるピエゾ水頭及び粘土層底部からの排水量を測定した。試験は 20 °C の恒温槽で実施し、現時点での期間の長さは 70 日である。その間、粘土層の透水係数は $1 \sim 2 \times 10^{-9}$ m/s で推移した。

3. 試験の結果と考察

図-2 に pH の深度方向の分布の経時変化を示す。実験開始直後は焼却灰層中は自身の pH と同等の 11 以上のアルカリ性を示したが、粘土層では pH7~8 であった。時間の経過に伴い、pH が焼却灰層上部、次いで中部で 9 まで低

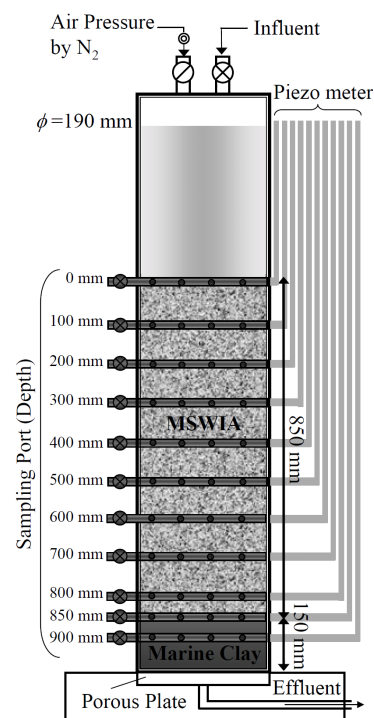


図-1 大型カラム

Kazuyuki WATANABE, Hermelinda PLATA, Yoshihiro OYA, Takeshi KATSUMI, Toru INUI, and Masashi KAMON

下してきているが、焼却灰中のアルカリが上部から順に洗い出されていったためと考えられる。一方、下部の pH は 11 以上で安定しているが、洗い出しが十分に進行していないこと、上方からアルカリが供給されることが原因であると考えられる。したがって、さらに時間が経過すると、上部、中部と同様に低下してくるものと推測できる。粘土層の pH は一貫して 7~8 で保たれているが、焼却灰層から供給されるアルカリが粘土層のアルカリ緩衝能の範囲内であるためと考えられる。

図-3 に Eh の深度方向の分布の経時変化を示す。焼却灰層内部では、実験開始直後に急激に低下した後、 $-200 \sim -100$ mV の範囲で推移する還元的環境であるが、これは焼却灰から溶出したアルカリによる影響であると推測できる。一方、焼却灰層表面と粘土層は 0 mV より高い値を示すことから酸化的である。時間の経過に伴い、焼却灰層上部 (100 mm 深さ) にて Eh が上昇し、表面の値に近付きつつある。

図-4 に pH、Eh と Zn 濃度との関係を示す。底面に $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-S-Zn}$ システムにおける pH、Eh による Zn の存在形態を理論的に求めた pH-Eh ダイアグラム¹⁾を重ね、カラム内の現象を考察する際の参考にした。焼却灰層内部と粘土層においては、Zn 濃度は非常に低濃度である。一方、焼却灰層表面、および 100 mm 深さにおける pH が中性付近、Eh が 0 mV 以上の条件下では比較的高い濃度の Zn が溶出した。pH-Eh ダイアグラムを参照すると、焼却灰層内部において Zn が主に $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 沈殿として層内に固定されていると考えられる。焼却灰の洗い出しの進行に伴う pH、Eh の将来的な変化から推測すると、焼却灰の洗い出しが進めば亜鉛は ZnCO_3 沈殿へと変化し、さらに洗い出しが進めば表層付近で観察されたように Zn^{2+} として溶出してくる可能性がある。なお、 S^{2-} 濃度は低く、硫酸塩還元菌の活性は低かった可能性が高いが、その要因としては DO が $2 \sim 3$ mg/L と硫酸塩還元菌が活動するには高かったことが考えられる。したがって、より安定性が高い ZnS 沈殿の生成による固定化は起こっていないと考えられる。

なお、異なる焼却灰を使用した既往の試験²⁾においても、重金属の移動性が確認されたのは pH が中性付近となる表層付近のみであったため、焼却灰の種類に関わりなく重金属は焼却灰層内部に固定され、pH 低下が進まない限り移動性は低いということが示された。

4. おわりに

今後さらに長期にわたって本カラム試験を継続し、長期間に渡る生化学的環境の変化が重金属の移動特性に与える影響を調べる計画である。特に S^{2-} 濃度の計測結果からは硫酸塩還元菌の活動は見られないと推測したが、嫌気呼吸による生成物の濃度等、他の指標の測定も行い、硫酸塩還元菌の活性の正確な評価を試みる。

【参考文献】

- 1) Hem, J. D.: Chemistry and occurrence of cadmium and zinc in surface water and groundwater, Water Resource Research, Vol.8, pp.661-678, 1972.
- 2) Kamon, M., Plata, H., Katsumi, T., Oya, Y., Miyazaki, S. and Inui, T.: Heavy metal mobility in incinerator ash coastal landfill, Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, on CD-ROM, 2007.

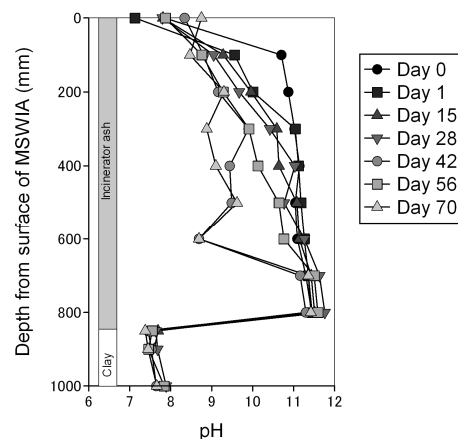


図-2 pH の経時変化

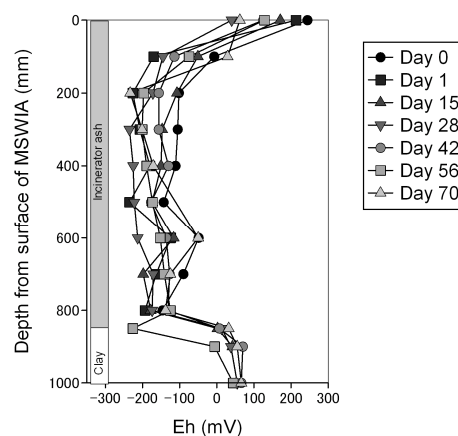


図-3 Eh の経時変化

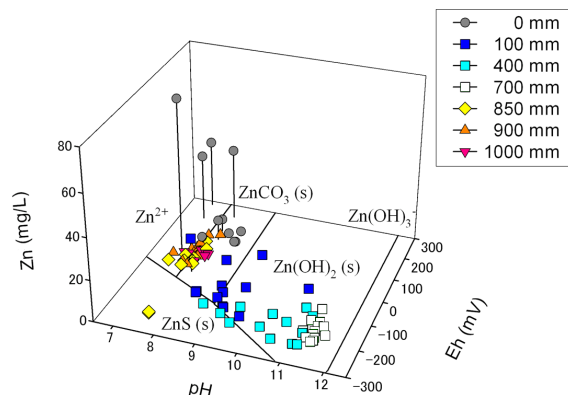


図-4 pH、Eh と Zn 濃度