

京都大学工学部	学生員	○大矢	好洋
京都大学大学院	フェロー	嘉門	雅史
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

1. はじめに

わが国の一般廃棄物の処理は、焼却、残渣の埋立処分が一般的であり、都市近郊部では海面処分の割合が増加している。焼却灰は重金属含有量が高いことから、処分場周辺の重金属による環境影響に配慮する必要がある。海面処分場の内水は有機物、塩分を多く含有しており、内部は嫌気性となりやすい。そのため、嫌気性特有の微生物活動が起こり、処分場内部の環境条件、重金属の挙動に影響を与えるが、焼却灰から溶脱する高アルカリ等が微生物活動や生化学的条件に影響を及ぼすことが既往のバッチ試験で明らかになっている¹⁾。本研究では、焼却灰埋立海面処分場の底部粘土層周辺における生化学的条件の変化と重金属の溶出に及ぼす影響を、比較的現場条件に近いと考えられる柔壁型透水試験と大型カラム透水試験により検討した。

2. 実験方法

2.1 使用材料 海成粘土と一般廃棄物焼却灰を使用した。海成粘土、焼却灰の特性を表-1、2 にそれぞれ示す。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。

表-1 海成粘土の特性

採取地点	大阪港 阪南 5 区 (水深 10~13m)
土粒子密度	2.61 g/cm ³
塑性限界	22.7%
液性限界	41.1%
pH*	8.9

*環境省告示第 46 号試験の検液

表-2 一般廃棄物焼却灰の特性

最適含水比	24.4 %
pH5.8~6.3 の 溶液と混合	pH* 12.38 Eh* -124mV
pH7.8~8.3 の 溶液と混合	pH* 12.24 Eh* -118mV
Zn 濃度*	0.37mg/L

*環境省告示第 13 号試験の検液

2.2 柔壁型透水試験 自然含水比の海成粘土を 0.12 MPa の圧密圧力で圧密し作製した海成粘土層 (h = 20 mm) と最適含水比で締固めた焼却灰層 (h = 40 mm) の二層からなる供試体を、図-1 に示す柔壁型透水試験装置にセットした。溶媒を窒素ガスで 0.1 MPa の圧力を加えて上方流により透水させた。拘束圧は 0.12 MPa とした。溶媒は人工海水に塩化亜鉛を 2000 mg/L の濃度で添加した溶液に、表-3 に示す栄養塩 (NH₄H₂PO₄、CH₃COONa)、電子受容体 (Na₂S₂O₄)、還元剤 (Na₂S₂O₄) を添加し、溶媒の化学組成が生化学的条件への影響を調査した。

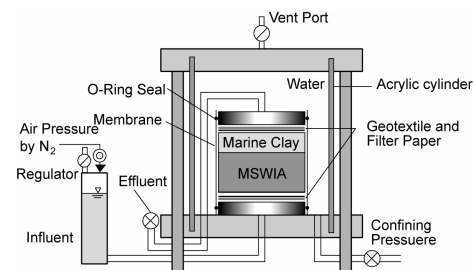


図-1 柔壁型透水試験装置

2.3 大型カラム透水試験 写真-1 に示す大型カラムに海成粘土層 (h = 150 mm、0.2 MPa で予備圧密)、焼却灰層 (h = 850 mm、水中落下法で充填、湿潤密度 1.35 t/m³)、溶媒 (水位 20~40 cm) を充填した。溶媒の上部空間の圧力を窒素ガスで 0.04 MPa に維持し、下方流で透水を行った。溶媒は表-3 の Case-3 と同じものを使用した。

表-3 柔壁型透水試験の実験ケース

Case	栄養塩 還元剤	Na ₂ S ₂ O ₄ (mg/L)
1	CH ₃ COONa 3000 mg/L	1000
2	CH ₃ COONa 300 mg/L	1000
3	NH ₄ H ₂ PO ₄ 1000 mg/L	1000
4	NH ₄ H ₂ PO ₄ 100 mg/L	1000
5	NH ₄ H ₂ PO ₄ 1000 mg/L Na ₂ S ₂ O ₄ 1000 mg/L	1000
6	無添加	0



写真-1 大型カラム試験

2.4 化学分析 2 種類の透水試験の排出水、および大型カラム側面の排水ポートから採取した所定深度の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)、Zn 濃度、全有機炭素量 (TOC)、S²⁻濃度、アデノシン 3 リン酸 (以下、ATP) 濃度である。

3. 柔壁型透水試験の結果と考察

図-2 に各ケースの排出液の pH-Eh-Zn 濃度の関係を示す。pH は透水開始直後は粘土層の緩衝作用によって pH = 7 付近を維持する一方、Eh は徐々に低下する傾向がみられた。Zn は透水開始直後に 5 ~ 20 mg/L 溶出したが、Eh の低下とともに徐々に低下する傾向を示した。その後時間の経過とともに pH が上昇し、Eh も -50 mV 程度まで低下すると、Zn の溶出はほとんど確認されなかった。この挙動は、透水開始直後の pH が低く、Eh が高い段階では、粘土層による吸着機能が寄与し、Eh の低下、pH の上昇した後は水酸化物塩や炭酸塩といった難溶性の塩の形成が寄与したと推測される。

図-3 に ATP 濃度（好気性分解の指標）の経時変化を示す。Eh の低下とほぼ同時期に ATP が若干上昇する傾向がみられ、特に $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ を添加したケースではその値が高い。このことから、リンの存在が微生物活性に影響を及ぼしていると考えられる。しかし、 S^{2-} の大幅な増加はみられないことから、嫌気性微生物活動の活性は高いとは言えない。その他、有機炭素量や還元剤濃度の異なる溶媒を通水させたが、大きな挙動の違いは確認されなかった。

4. 大型カラム透水試験の結果と考察

pH は、焼却灰が含有するアルカリにより、pH = 12~12.5 程度の高いアルカリ性を示し、Eh は -400mV 以下と非常に強い還元性を示している。ATP と S^{2-} はほとんど検出されず、微生物の活性は好気性、嫌気性ともに高い状態ではないと判断できる。Zn 濃度については、底部から高さ 90 cm の焼却灰層上部に至るまで、Zn は溶出しなかった。Hem による pH、Eh と亜鉛の存在形態の関係を示したダイアグラム²⁾ に焼却灰層からの排出液の pH、Eh の関係をプロットしたものを図-4 に示す。この図より、Zn は焼却灰層上部に固定化されていると判断できる。その機構としては、(1) 焼却灰層と溶媒の境界部には、pH が 8~11 の領域が存在し、亜鉛は ZnCO_3 や Zn(OH)_2 といった難溶性の沈殿を形成する、(2) さらにその下部（90cm 高さ付近）には、図-4 に示すように Eh が低く、不溶性の ZnS を形成しうる領域が存在する、ことが挙げられる。

5. おわりに

現場条件により近いと考えられる大型カラム透水試験結果より、焼却灰層は高アルカリ性と非常に強い還元状態に保たれている。しかし、長期的に焼却灰層の洗いだしが進行すると、pH の低下、Eh の上昇が生じ微生物活性、安定化した亜鉛の形態に変化が起こる可能性がある。このことから、今後も長期にわたって計測を続けるとともに、試験終了後には、抽出試験を行うことで、焼却灰層、粘土層内の重金属の分布とその存在形態を明らかにし、メカニズムの解明を行う必要がある。

本研究の実施にあたっては、平成 17 年度環境省廃棄物処理等科学研究費補助金の援助をいただいた。記して謝意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 嘉門雅史・勝見 武・乾 徹・矢島健一郎 (2005): 焼却灰埋立海面処分場における粘土地盤中の生化学的条件と重金属の動態, 第 40 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.2571-2572.
- 2) Hem, J.D. (1972): Chemistry and occurrence of cadmium and zinc in surface water and groundwater, *Water Resources Research*, Vol.8, pp.661-678.

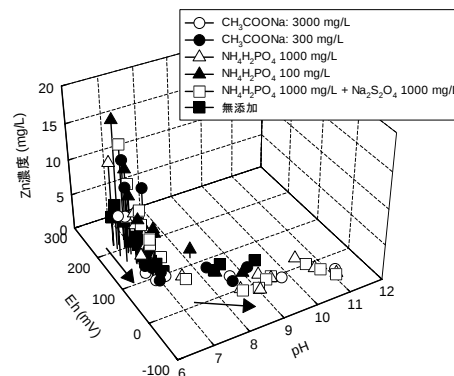


図-2 pH-Eh-Zn 濃度の関係

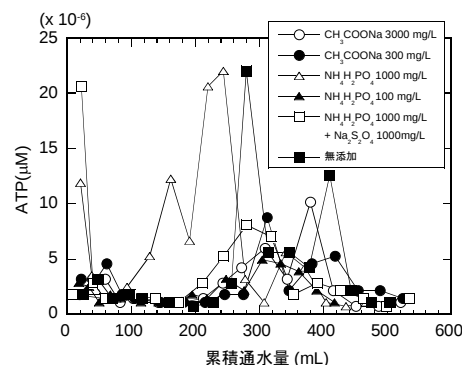


図-3 ATP 濃度の経時変化

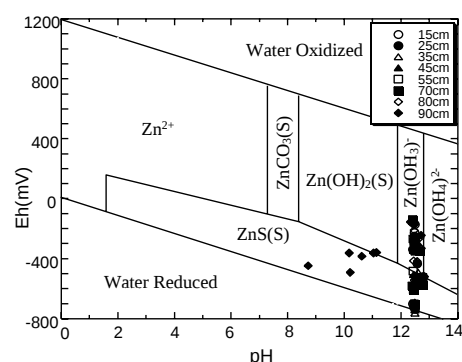


図-4 pH, Eh と Zn の存在形態 (焼却灰層)