

## 連続バッチ試験による浄水汚泥のアルミニウム長期溶出特性評価

茨城大学 学生会員 ○渡邊保貴 正会員 小峯秀雄  
 フェロー会員 安原一哉 正会員 村上 哲  
 茨城県日立市 非会員 鹿志村清勝 豊田和弘

## 1. はじめに

水道事業から排出される浄水汚泥を地盤材料として有効利用する上で、有害物質として懸念されるアルミニウムの溶出を事前に検討することが重要になる。一般に、廃棄物による土壌汚染の判定には平成3年環境庁告示第46号に準拠した溶出試験が用いられる。しかし、本試験法では時間の経過に伴う長期的な溶出特性を評価することができない。そこで本研究では連続バッチ試験を行い、その結果を用いて浄水汚泥を道路の路盤・路床材料として使用した場合におけるアルミニウムの長期溶出特性を評価した。

## 2. 試験方法

本研究で使用した試料は茨城県日立市森山浄水場にて採取した浄水汚泥である。その物理的・化学的特性を表-1に示す。液性限界・塑性限界は天日乾燥床より採取した浄水汚泥を脱水する過程で測定した値であり、固体状の浄水汚泥を用いた場合にはNPであった。浄水汚泥からの有害物質の溶出としてはアルミニウムに着目した。アルミニウムは無機高分子凝集剤ポリ塩化アルミニウム(PAC)の主成分であり、植生や生態系への悪影響が懸念されている<sup>1)</sup>。アルミニウム( $Al_2O_3$ )の測定には多項目迅速水質分析計DR/2010(HACH社)を用いた。本分析計の定量下限値は0.01mg/Lである。

本研究ではオランダのシリアルバッチ試験を援用し、図-1に示す手順で連続バッチ試験を行った。シリアルバッチ試験とは、ある溶出操作の後に溶媒を入れ替えることで液固比を段階的に増加させ、大量の溶媒が試料と接触した場合の溶出量の変化を推定する試験である<sup>2)</sup>。本研究では連続バッチ試験の条件を以下のように、1試料からの抽出回数は5回、液固比は10:1(以後、L/S=10と記述する)、溶媒は蒸留水(pH5.8~6.3)、振とう時間は6時間とした。

## 3. 浄水汚泥のアルミニウム溶出特性

図-2に連続バッチ試験より得られたL/Sと $Al_2O_3$ 溶出濃度の関係を示す。抽出回数の増加に伴い、最大粒径が2.000(mm)と4.750(mm)の浄水汚泥は $Al_2O_3$ 溶出濃度が減少し、その一方で、最大粒径0.850(mm)の浄水汚泥は $Al_2O_3$ 溶出濃度が増加する傾向が認められた。これより、 $Al_2O_3$ の溶出は浄水汚泥の比表面積に起因していると推察される。

## 4. アルミニウム長期溶出特性評価

連続バッチ試験の結果を用いて、浄水汚泥を道路の路盤・路床材料として利用することを想定したアルミニウム長期溶出特性評価を行った。第一に、連続バッチ試験で得たL/S=10に対する $Al_2O_3$ 溶出濃度をL/S=1あたりの溶出濃度に換算し、それをL/S=10までの平均溶出濃度と考え

表-1 浄水汚泥の物理的・化学的特性

試料名	浄水汚泥
発生時期	2007.7.23 ~ 2007.9.11
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.61
液性限界 $w_L$ (%)	178
塑性限界 $w_P$ (%)	104
塑性指数 $I_P$	74
強熱減量 $L_L$ (%)	17.2

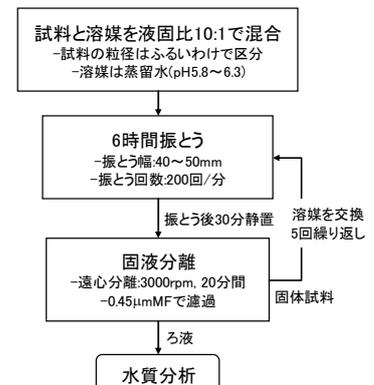
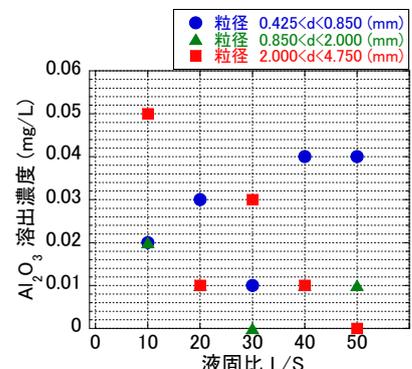


図-1 連続バッチ試験の手順

図-2  $Al_2O_3$  溶出濃度と液固比 (L/S) の関係

キーワード 浄水汚泥 環境影響評価 溶出試験 アルミニウム

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL 0294-38-5163

た.  $L/S=20$  以降についても同様の計算を行い, それぞれの平均溶出濃度を  $L/S=5, 15, 25, 35, 45$  における値としてプロットした結果を図-3に示す. 不規則な変動が含まれる試験結果の長期的な傾向を示すために線形近似を行い, 直線の傾きと切片を以下の計算では用いた. 次に, 式(1)を用いて  $L/S$  を実サイト流動場における経過時間に換算し, 式(2)を用いて単位体積あたりの1日の溶出濃度すなわち溶出フラックス  $J$  (mg/day)を求めた<sup>3)</sup>.

$$L/S = \frac{v \times A \times \rho_w \times T + \rho_w \times n}{\rho_d \times 1m^3} \quad (1) \quad J = \frac{L/S \times a + b}{n \times 1m^3} (\rho_d \times 1m^3) \times vA \quad (2)$$

各パラメータの説明と代入した値は表-3に示す. 道路路盤の試設計には, 最大乾燥密度  $1.09(g/cm^3)$  に締固めた浄水汚泥の透水係数  $2.83 \times 10^{-5}$  (cm/s)から求めたダルシー流速  $2.45 \times 10^{-2}(m/day)$ とそのときの間隙率  $0.58$  を用いた<sup>4)</sup>. 水の流れは鉛直一次元方向とし, 水が流入する断面積は  $1(m^2)$ と仮定した. 最後に, 茨城県日立市における1998年から2007年までの平均日降水量  $4.1(mm)$ を考慮して, 雨水の流入時間を実際の経過時間に換算した. 以上より算出した経過時間と  $Al_2O_3$  溶出フラックスの関係を図-4に示す. 時間の経過に伴い, 最大粒径が  $2.000(mm)$ と  $4.750(mm)$ の浄水汚泥では溶出フラックスは減少するのに対し, 最大粒径が  $0.850(mm)$ の浄水汚泥では溶出フラックスが増加する傾向が認められた. これは連続バッチ試験の結果より得られた近似直線の傾きに起因している. また, 粒径の大きい順に直線の傾きは  $-6.3, -1.3, +3.2$  となり, 粒径が大きいほど溶出フラックスの減少する割合も大きくなる傾向が認められた. 最大粒径  $4.750(mm)$ の浄水汚泥では, 道路共用開始から約32年が経過した時点でアルミニウム溶出量は定量下限値未満になることが見込まれる. この粒径に依存した溶出特性から, 道路の下部路盤や路床などのより大きい粒径が選定される条件で浄水汚泥を使用することが望ましいと考えられる.

## 5. 結論

連続バッチ試験により得られた結果からアルミニウムの溶出フラックスと時間の関係を求め, 浄水汚泥を道路の路盤・路床材料として利用したときの長期的なアルミニウム溶出特性を評価した. 粒径が大きいほど時間の経過に伴う溶出フラックスの減少が顕著であるため, より大きな粒径が用いられる道路の下部路盤や路床において浄水汚泥を利用することが, 環境への影響を軽減するためには重要である.

## 参考文献

- 1) B. Ezaki, M. Suzuki, H. Motoda, M. Kawamura, S. Nakashima, H. Matsumoto: Mechanism of gene expression of Arabidopsis glutathione S-Transferase, AtGST1, and AtGST11 in response to aluminum stress, Plant physiology, Vol. 134, pp.1672-1682, 2004.
- 2) 嘉門雅史, 乾徹, 宮城大助, 勝見武: 鉄鋼スラグの地盤材料としての有効利用に伴うフッ素の溶出挙動とその環境影響の評価, 京都大学防災研究所年報, 第47号 B, 2004.
- 3) 大迫政浩ら: 平成17年度廃棄物処理等科学研究 再生製品に対する環境安全評価手法システム規格化に基づく安全品質レベルの合理的設定手法に関する研究 研究報告書, pp.3-16-3-25, 2006.
- 4) ベ・ジェヒョン, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 鹿志村清勝, 豊田和弘: 力学的特性による浄水汚泥の道路構成材料への利用に関する評価, 第42回地盤工学研究発表会講演集(CD-ROM), 2007.

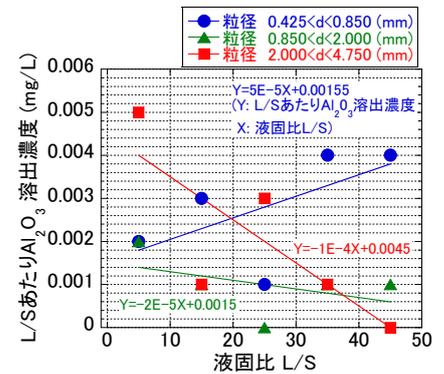


図-3 液固比 (L/S) と L/S あたり  $Al_2O_3$  溶出濃度の関係

表-3 計算に用いたパラメータ

パラメータの説明	代入値
v ダルシー流速(m/day)	2.45E-02
A 水が流入する再生製品の断面積( $m^2$ )	1
$\rho_w$ 水の密度( $t/m^3$ )	1
T 雨水の流入時間(day)	
n 間隙率	0.58
$\rho_d$ 乾燥密度( $g/cm^3$ )	1.09
k 透水係数(cm/s)	2.83E-05
a 線形補間一次関数の傾き	図-3参照
b 線形補間一次関数の切片	図-3参照

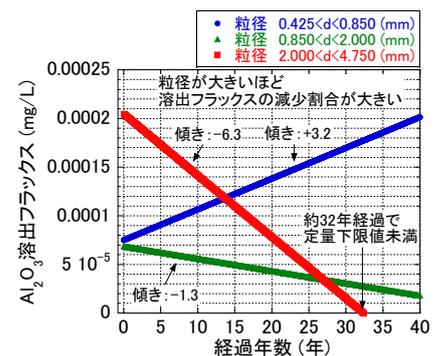


図-4 浄水汚泥のアルミニウム溶出フラックスと経過時間の関係