

バッチ試験とカラム通水試験によるフライアッシュ混合土からの六価クロム溶出抑制効果の評価

九州産業大学 学生会員 大村 泰輝

九州産業大学 正会員 林 泰弘 九州産業大学 正会員 松尾 雄治

1. はじめに

フライアッシュは含有する六価クロムが土壤環境基準を超えて溶出することがあり、地盤材料として有効利用するためには、六価クロムの溶出量を土壤環境基準値 0.05mg/L 以下に抑える必要がある。金内ら<sup>1)</sup>はフライアッシュからの六価クロム溶出抑制対策として、土砂との混合と不溶化剤の添加を検討した。

重金属類の長期的な溶出挙動を評価する方法として、液固比バッチ試験と上向流カラム通水試験が用いられている。本研究では、フライアッシュに関東ロームや多流化カルシウムを混合した試料を用いて液固比バッチ試験から得た平衡定数  $K_d$  と吸脱着関与総量  $M_T$  を求め、上向流カラム通水試験の結果と比較することで六価クロム溶出抑制効果を検討した。

2. 試験試料

表-1 は試料の配合条件を表している。フライアッシュは、石炭火力発電所で回収されたものであり、関東ロームは千葉県で採取し、液性限界 109.2%、塑性限界 69.8%の火山灰粘性土(II型)で自然含水比は 88.8%である。多流化カルシウムは、六価クロム等の重金属の不溶化効果が高いとされる。無機系泥土改良材(DSQ)は凝集・団粒を促し、珪藻土は土の余剰水分を吸収し、マグネシウム固化材は酸化マグネシウムを主成分として固化や重金属類の不溶化をもたらすものとして使用した。

表-1 対象試料と配合条件

名称	配合
FA	自然状態の含水比0.18%のフライアッシュ
混合土A	FAに含水比88.8%の関東ロームを乾燥質量で100%添加
混合土B	FAに含水比88.8%の関東ロームを乾燥質量で200%添加
不溶化土	含水比28.8%のFAに対し、多流化カルシウムを0.3%添加
改良土	混合土Bに無機系泥土改良材(0.66%)、珪藻土(1.32%)、マグネシウム固化材(1.99%)を添加

3. 液固比バッチ試験の方法と試験結果

液固比バッチ試験は、液固比を段階的に変化させてバッチ溶出試験を行い、図-1 に示すように単位固相あたりの溶出量と液相の溶出濃度の関係を得るものである<sup>2)</sup>。肴倉ら<sup>3)</sup>は液固比バッチ試験の結果から吸脱着パラメーターを取得する方法を以下のように提案した。液相中の汚染物質  $M_L$  (mg/kg) と固相に吸着している有害物質質量  $q$  (mg/kg) の和を吸脱着関与総量  $M_T$  とすると式(1)のように表される。

$$M_T = M_L + q \quad \dots (1)$$

ここでヘンリー型の吸脱着関係を仮定すると濃度  $C$  (mg/L) と  $q$  (mg/kg) の関係は、

$$q = K_d C \quad \dots (2)$$

となり、式(1)、(2)から  $M_L$  と  $C$  の間に次の線形関係が得られる(図-1)。

$$M_L = -K_d C + M_T \quad \dots (3)$$

表-1 に示した試料に対して、液固比  $L/S=10$ 、50、100 で実施したバッチ試験による溶出濃度 (mg/L) と吸脱着関与総量 (mg/kg) の関係を図-2 に示す。混合土 B の  $L/S=50$ 、100 では、六価クロムの

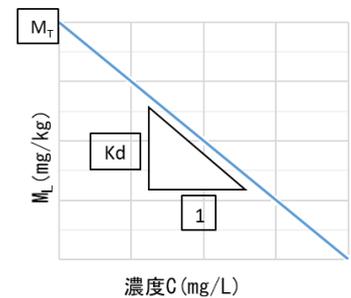


図-1 液固比バッチ試験結果の例

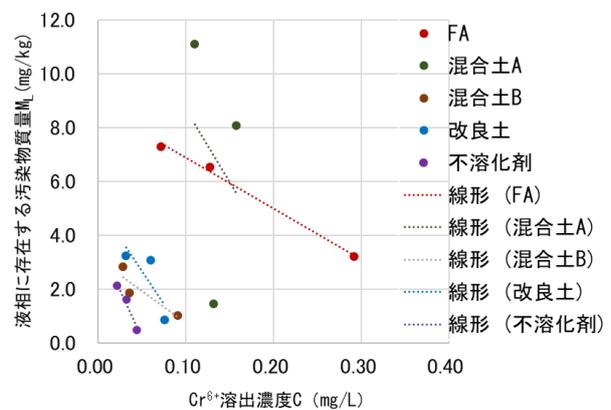


図-2 六価クロムの溶出濃度と液相中の物質量の関係

溶出量は環境基準値以下となったが、環境省告示 46 号（環告 46 号）で定められた L/S=10 では混合土 A、B ともに基準値以下にはならなかった。また混合土 A はばらつきが非常に大きく結果の信頼性が低いため再計測を実施する。この図から得られた吸脱着パラメーターを表-2 に示す。K<sub>d</sub>は不溶化土が一番高く、M<sub>T</sub>はばらつきの大きい混合土 B を除くと FA の次に改良土が低い値となった。

表-2 平衡定数 K<sub>d</sub>と吸脱着関与総量 M<sub>T</sub>

材料	K <sub>d</sub> (L/kg)	M <sub>T</sub> (mg/kg)	遅延係数R
FA	18.71	8.68	27.45
混合土A	再計測	再計測	再計測
混合土B	23.90	3.12	27.62
改良土	44.09	4.61	未計測
不溶化土	71.50	3.72	未計測

4. 上向流カラム通水試験の方法と試験結果

ISO/TS 21268-3 をもとに、図-3 に示す装置を用いて通水試験を実施した。直径 5cm×高さ 30cm のカラムを 5 層に分け、125g のランマーを使用して 1 層あたり 15 回突き固めて締固めを行った。カラム内を 30cm/d の速さとなるように超純水を下部から通水し、液固比 10 になるまで継続した。設定した液固比ごとに上部のタンクで回収した水の六価クロム溶出濃度を吸光光度計で計測し、pH を pH 計で計測した。

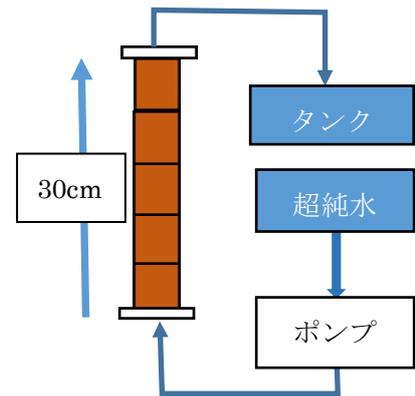


図-3 上向流カラム通水試験の模式図

液固比と六価クロムの溶出濃度 C(mg/L) の関係を図-4 に示す。いずれも液固比が小さい範囲で溶出濃度が上昇し最大値を示したのち徐々に下降するアーチの形状<sup>3)</sup>を示した。アーチ形の特徴は、酸化・酸性化の影響による溶出傾向であることが報告されている<sup>3)</sup>。

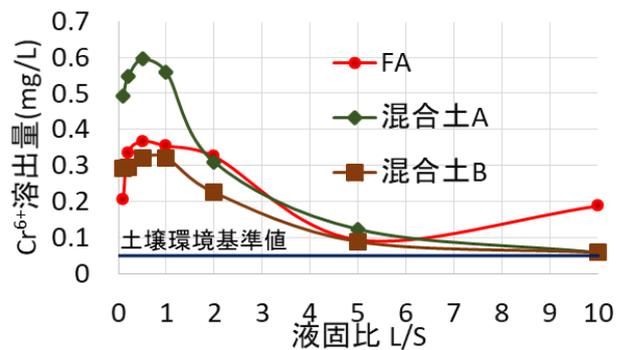


図-4 上向流カラム通水試験結果

5. 六価クロムの溶出抑制効果

液固比バッチ試験で得られた平衡定数 K<sub>d</sub> と上向流カラム通水試験で使用した試料の条件より式(4)で求めた遅延係数 R を表-2 に示す。

$$R = 1 + \frac{\rho_d}{\theta} K_d \quad \dots (4)$$

ここで、 $\rho_d$  はカラムに締め固めた試料の乾燥密度 (g/cm<sup>3</sup>)、 $\theta$  は体積含水比である。混合土 B は FA と比較すると、吸脱着関与総量 M<sub>T</sub> の減少が見られるが図-4 から FA より溶出量が若干小さいことが分かる。不溶化土は K<sub>d</sub> が他の混合土より高いため、不溶化土の通水が液固比 10 を超えたとき土壤環境基準を下回ることが期待される。

6. まとめ

フライアッシュに関東ロームを混合するだけでは六価クロムの溶出抑制は難しいが、多流化カルシウムを添加した不溶化土は六価クロムの溶出抑制効果が高くなった。上向流カラム通水試験の結果を対比し、さらに検討を行う予定である。

参考文献：1) 金内嵩大ら：フライアッシュと火山灰粘性土の混合による六価クロムの溶出挙動、令和元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp. 359-360、2020. 3. 2) 細堀健司ら：液固比バッチ試験の利用方法についての検討、第 54 回地盤工学研究発表会平成 31 年度発表講演集、pp. 2043-2044、2020. 12 3) 肴倉宏史ら：「液固比バッチ試験」による汚染物質を保有する材料の吸脱着パラメーター取得法、第 53 回地盤工学研究発表会平成 30 年度発表講演集、pp. 2167-2168、2018. 7. 4) 伊藤健一：地下水・土壌の重金属汚染における土壌・粘土・鉱物の扱い、粘土化学第 50 巻、第 3 号、pp. 144-153、2012.

謝辞：本研究は JSPS 科研費 20K04690 の助成を受けて実施した研究の一部である。