

第Ⅲ部門 温度条件が掘削泥岩に含まれる重金属等の溶出特性に及ぼす影響の評価

京都大学大学院 学生員 ○ XIE YUEXIN
 京都大学大学院 正会員 加藤 智大
 京都大学大学院 正会員 高井 敦史
 京都大学大学院 正会員 勝見 武

1. はじめに

自然由来の重金属等を含む地質が日本には広く分布している。そのため、土木工事によって発生する掘削岩石や土壌（以下、掘削土）にこれらの重金属等が含まれている事例が多く、その対応が大きな課題となっている。現在広く使われている評価方法として、2 mm 目のふるいを通じた掘削土や2 mm 以下に破碎した掘削土を、液固比を10とし常温（おおむね20°C）で6時間振とうするバッチ試験（環境庁告示第46号試験）が挙げられる。盛土や谷埋め等の掘削土の適用用途として想定される浅層地盤では、地盤温度の日変動や季節変動が生じることにより¹⁾、盛土等の土構造物の温度も変動すると考えられる²⁾が、環境庁告示第46号試験は常温で実施されるため、温度の違いが自然由来の重金属等の溶出特性に及ぼす影響は十分に評価されていない。本研究では、温度条件が自然由来の重金属等の溶出特性に与える影響を明らかにすることを目的として、40°Cと20°Cの条件で上向流カラム通水試験とバッチ試験の2種類の溶出試験を行った。

2. 試料と実験方法

2.1 試料 建設工事で発生した泥岩ずりを試料として用いた。写真-1に示すように、全量2 mm以下になるように破碎したものを試料とした。土粒子密度 ρ_s は2.686 g/cm³、平均粒径 D_{50} は0.85 mm、均等係数 U_c は27、含水比 w は1.4%であった。ヒ素の全含有量を蛍光X線装置で測定したところ51 mg/kgであった。

2.2 実験方法 カラム試験とバッチ試験の2種類の溶出試験を行った。カラム試験は、ISO 21268-3の方法を参考にして実施した。内径5 cm、高さ30 cmの円筒カラム2本を用いて、40°Cと20°Cの温度条件で試験を行った。供試体を5層に分け、125 gのランマーを20 cmの高さから3回落下させ、各層を締固めた。20°C条件は恒温室で行い、40°C条件は写真-2に示すように、ラバーヒーターをカラムと給水ボトルに巻きつけて行った。ラバーヒーターの温度制御には、温度調整コントローラーを用いた。40°C条件は、試験開始の約48時間前からカラムの加温を始めた。通水液の蒸留水を事前に恒温槽で40°Cに温めてから、給水ボトルに注いだ。また、チューブからの放熱を防ぐためにグラスウールで覆った。通水液として蒸留水を用い、流量は約15 mL/hで試験を行った。供試体の間隙を通水液で満たしてから15時間以上静置を行った後に溶出試験を開始した。採取液のpHに加え、原子吸光光度計を用いてヒ素（As）の濃度、イオンクロマトグラフ装置を用いてフッ素（F）の濃度を測定した。

バッチ試験は土試料と溶液を容器に入れて混合し、土から溶出する重金属等の濃度を調べる試験である。20°Cと40°Cの温度条件で試験を行った。蒸留水の体積と泥岩試料の質量の比（液固比，L/S）は、約2、5、10 L/kgの条件で実施した。恒温振とう機を用いて、回転数200 rpmで6時間水平振とうした。振とう終了後10分間静置し、速やかに上澄み液を採取し、3000 rpmで10分間遠心分離を行った。続いて0.45 μmのメンブレンフィルターでろ過し、pH、AsとFの濃度測定を行った。



写真-1 泥岩試料

表1 カラム試験の条件

	40°C	20°C
乾燥密度(g/cm ³)	1.25	1.28
間隙比	1.12	1.06



写真-2 実験の様子

3. 試験結果とその考察

カラム試験とバッチ試験で得た As 溶出濃度と液固比の関係を図-1 に示す。カラム試験では温度条件に関わらず、As 溶出濃度はいったん増加してから減少した。40°C の最大溶出濃度は 0.53 mg/L で、20°C では 0.15 mg/L であった。通水開始から終了まで、40°C の As 溶出濃度は 20°C より高かった。バッチ試験でもカラム試験と同様に、液固比の違いによらず 40°C の As 溶出濃度は 20°C より高かった。温度の上昇に伴い、As 溶出濃度の最大値が増加する可能性が明らかになった。

図-2 にカラム試験とバッチ試験結果から計算した As 累積溶出量を示す。カラム試験でもバッチ試験でも、40°C の累積溶出量は 20°C より多かった。高温条件ほど As の溶出量増加が確認された。

カラム試験とバッチ試験で得た F 溶出濃度と液固比の関係を図-3 に示す。カラム試験では温度条件に関わらず、液固比の増加とともに F 溶出濃度は単調減少した。40°C の最大溶出濃度が約 2.7 mg/L で、20°C は約 3.7 mg/L であった。As と異なり 20°C のほうが 40°C よりも F 溶出濃度が高かった。バッチ試験では L/S 2 L/kg の 1 ケースのみ、F 溶出濃度が検出され、20°C の F 溶出濃度は 40°C より大きかった。

図-4 にカラム試験とバッチ試験結果から計算した F 累積溶出量を示す。カラム試験とバッチ試験ともに、20°C の累積溶出量は 40°C より多かった。低温条件ほど F の溶出量増加が確認された。

カラム試験で得た pH の値は 7.59~8.11 の範囲であり、温度条件の違いによる明確な差異は見られなかった。また、図-1 の As の結果に示すような明瞭な pH 値のピークや、図-3 の F の結果に示すような pH 値の単調減少といった結果は得られなかった。以上を踏まえると、温度条件が pH の値に及ぼす影響は小さいと考えられ、本研究で得られたような As と F の溶出挙動にも pH が及ぼす影響は小さいと考えられる。

温度条件が自然由来重金属等の溶出特性に及ぼす影響のうち、As のように高温条件ほど溶出量が増加するものもあれば、F のように高温条件では溶出濃度が減少するものがあることが判明した。自然由来重金属等の種類ごとに、温度条件の違いが溶出特性に及ぼす影響を整理する必要性が本研究から示された。また、試験方法の違いによって、同一液固比での溶出濃度が異なることが明らかになった。リスク評価の際に用いるべき試験方法のあり方は、自然由来重金属等の種類に応じて整理されるべきと考えられる。

4. おわりに

温度条件が自然由来重金属の溶出に影響を与えることが明らかになった。今後は、As の溶出が高温条件で促進される可能性、F の溶出が低温条件で促進される可能性に留意して自然由来重金属等のリスク評価を行う必要があると言える。

参考文献

- 1) Menberg, K. et al.: *Science of The Total Environment*, Vol. 442, pp. 123–133, 2013.
- 2) 田本ら：第 43 回地盤工学研究発表会, pp. 2079-2080, 2008.

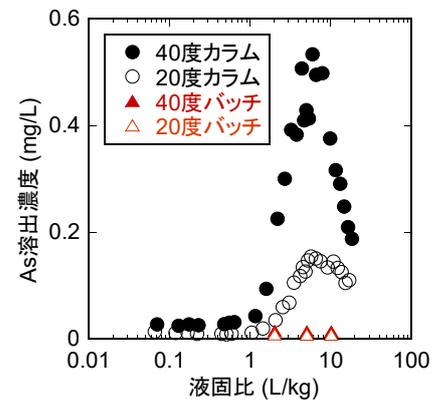


図-1 ヒ素溶出濃度と液固比の関係

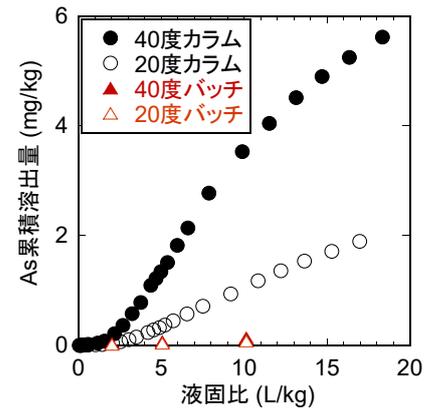


図-2 ヒ素累積溶出量と液固比の関係

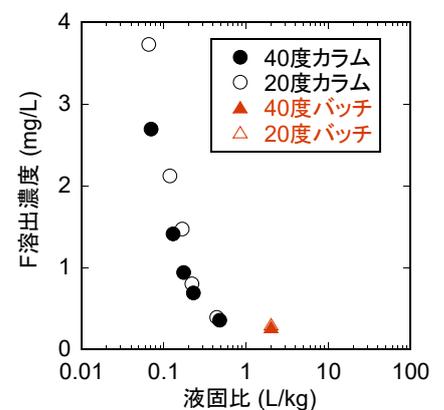


図-3 フッ素溶出濃度と液固比の関係

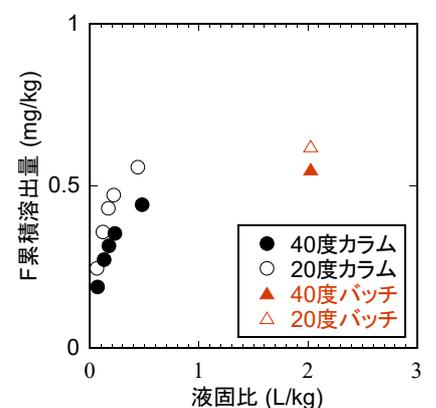


図-4 フッ素累積溶出量と液固比の関係