

第 III 部門

掘削頁岩の溶出特性に及ぼす温度と固液接触時間の影響

京都大学大学院 学生員 ○岩田 侑祐
 京都大学大学院 Lincoln W. Gathuka
 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

建設現場などで発生する掘削ずりの中にはヒ素や鉛などの重金属等が自然由来で含まれていることがある。これらの大量に発生する掘削ずりを再利用するためには環境影響を適切に評価する必要があるが、地盤温度が概ね一定であることを背景に溶出試験は約 20 °C で実施されることが多い。一方で、低濃度基準不適合土の利用用途としては盛土等が想定され、このような表層地盤や浅層地盤では温度の日変動、季節変動が予想される。温度の変化が地盤材料からの重金属等の溶出に影響を与えることはこれまでもいくつか報告されているものの、一般化には至っておらず、試験方法も定まっていないのが現状である。そこで本研究では、自然由来の重金属等の溶出特性に及ぼす温度の影響を明らかにするため、代表的な掘削岩石の一種である頁岩を用いて様々な温度条件下でバッチ式の溶出試験を行い、各種溶出量や化学的指標の変化を評価した。

2. 試験方法

2.1 使用材料 試料にはトンネル掘削工事現場から採取した頁岩の全量をジョークラッシャーで粒径 2 mm 以下に破碎したものを使用した。試料の基礎物性は表 1 に示す通りである。

土粒子密度 (g/cm ³)	2.730
初期含水比 (%)	0.06
粒度 (%)	砂分 85.5
	細粒分 14.5

2.2 バッチ溶出試験 本研究では、単一の液固比で溶媒と試料を接触させるバッチ溶出試験を行った。土壌溶出量の評価法として一般的な環境庁告示 46

号試験では溶出操作時に 200 rpm で水平振とうを行うが、本研究では浸漬条件での溶出特性も併せて評価するため、非振とう（静置）条件でも試験を行った。容量 1000 mL のポリ容器に液固比 10 となるよう、試料 50 g と予め各水温調整した蒸留水 500 mL を投入した。固液接触時間は 6 h、24 h、96 h、192 h、360 h の 5 ケースとし、試験中は溶媒温度を 5 °C、20 °C、30 °C、40 °C の 4 ケースに保った。5 °C は冷蔵庫内、20 °C は恒温室内、30 °C、40 °C のケースはラバーヒーターを容器に直接巻きつけ、温度調整コントローラー (MTCD) で制御した。

2.3 化学分析 溶出操作後、速やかに溶媒温度を測定し、設定温度から ±1.5 °C 未満であることを確認し、化学分析を行った。上澄み液 50 mL を採取し、孔径 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過した。振とう式試験ではろ過の前に 3000 rpm で 10 分間遠心分離を行った。測定項目は pH、EC、Eh、濁度、各元素の溶出濃度とした。

3. 結果と考察

3.1 非振とう時の結果 図 1 に静置条件で得られたカルシウムの溶出濃度と温度の関係を示す。カルシウムは本試験の測定元素の中で最も高い溶出濃度を示した。温度による溶出濃度の差異は接触時間が長くなるほど大きく、5 °C、360 h での溶出濃度と比べて 40 °C、360 h の溶出濃度は約 2 倍に上昇した。溶液中に存在するカルシウムの平衡には水酸化イオンや炭酸イオンの濃度が関係しそれらの溶解度は温度と負の相関をもつことが知られているが、本試験ではカルシウムイオンの溶出濃度の減少は見られなかったことから使用

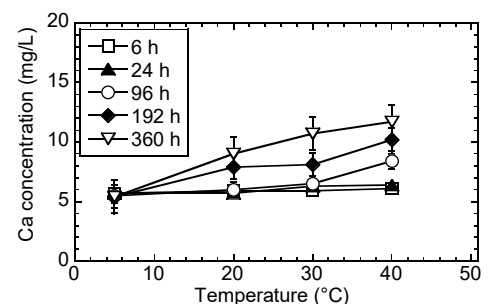


図 1 非振とう条件での Ca 溶出濃度

Yusuke IWATA, Lincoln W. GATHUKA, Atsushi TAKAI and Takeshi KATSUMI
 iwata.yusuke.26m@st.kyoto-u.ac.jp

した試料のカルシウム含有量と温度の影響に関係があると考えられる。図2に、ヒ素の溶出濃度と温度の関係を示す。360 hを除くと温度の上昇に伴って溶出濃度が増加する傾向が確認された。温度上昇によってヒ素の溶解が促進されたことが原因の一つと考えられる。またヒ素は水中で大部分がオキシアニオンの状態で存在する³⁾ため、溶液中に溶出した他のカチオンの増加に伴ってそれらに引きつけられるヒ素の量も増加したとも考えられる。

3.2 振とう条件での結果 図3に振とう条件で得られたカルシウムの溶出濃度と温度の関係を示す。40℃のケースでは192 h振とうにより溶出濃度の方が高くなったが、概ね高温条件ほどカルシウム濃度が高くなる傾向を示した。図4にヒ素の溶出濃度と温度の関係を示す。192 hの場合に40℃でヒ素の溶出濃度が減少しているが原因は定かでなかった。また、いずれの時間においても20℃と40℃を比べると溶出濃度に3倍以上の差が開いていることが確認された。

3.3 試験条件による違い 以上の結果から、振とう式と非振とう式のいずれの試験においても温度が高くなるほど溶出濃度は増加し、固液接触時間が長いほど温度による溶出濃度の差異が大きくなることが確認された。一般的に温度と物質の溶解度には正の相関があり、本試験でも高温条件ほど溶出濃度が高い結果が得られたと考えられる。また、高温条件ほど固液接触時間が溶出濃度に大きな影響を及ぼしていることから、最大溶出濃度が高いほど平衡状態に至るまでの時間が長くなり、接触時間による溶出濃度の差が大きくなったと考えられる。

図5にヒ素の20℃における非振とう、振とう条件でのAs溶出濃度と接触時間の関係を示す。非振とう条件では時間の経過とともにAs溶出濃度が増加しているのに対し、振とう条件では僅かながら減少している。これは、振とうに伴う試料粒子の微細化によって溶液に接触する粒子の表面積が増加したため、振とう初期に溶出していたヒ素が試料粒子に再吸着して濃度が減少したと考えられるが、粒子破碎の程度を含め今後精査する必要がある。

4. おわりに

本研究では頁岩を用いた様々な温度での溶出挙動を調べた。その結果、1) 非振とう条件と振とう条件では溶出挙動が大きく異なること、2) 非振とう条件でのヒ素の溶出濃度は水平振とう条件と比べてとても高くなること、3) 概ね高温条件ほど溶出濃度は高くなるが、条件によっては低くなるものもあること、4) 非振とう、振とう条件ともに40℃でのヒ素の溶出濃度は20℃のものに比べて数倍高くなること、が明らかになった。

参考文献

- 1) 斎藤健志, 濱本昌一郎, 竹村貴人, 上島雅人, 川本 健, 小松登志子 (2018): 温度変化が堆積物からのホウ素およびヒ素の溶出量とその存在形態に及ぼす影響, 土木学会論文集 G (環境), Vol.74, No.1, pp.8-15.
- 2) 小林一輔 (1991): コンクリートの炭酸化に関する研究, 土木学会論文集, No.433, pp.1-14.
- 3) 島田允堯 (2009): 自然由来重金属等による地下水・土壤汚染問題の本質: ヒ素, 応用地質技術年報, No.29, pp.31-59.

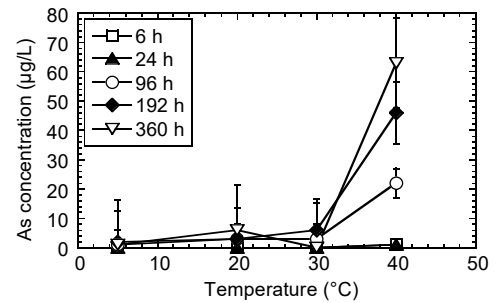


図2 非振とう条件でのAs溶出濃度

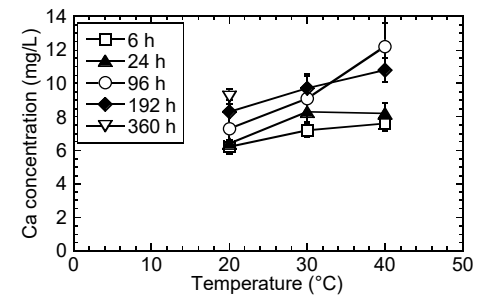


図3 振とう条件でのCa溶出濃度

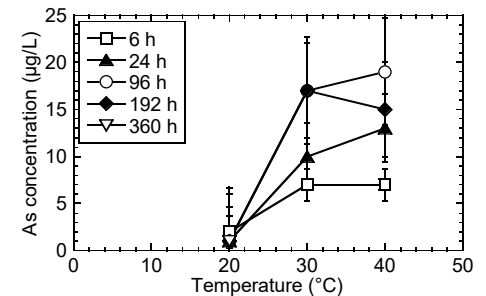


図4 振とう条件でのAs溶出濃度

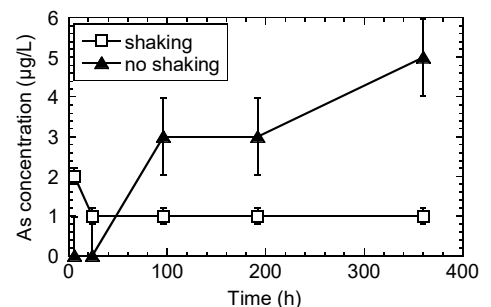


図5 非振とうと振とう条件でのAs溶出濃度