

第Ⅲ部門

破碎を考慮した自然由来のヒ素を含む掘削ずりの溶出特性の評価

京都大学大学院 学生員 ○谷尻 陽祐
 京都大学大学院 正会員 乾 徹
 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

我が国には重金属等を自然由来で含む土砂・岩石が広く分布しており、トンネル工事等の建設工事において掘削された土砂・岩石から、基準を上回る濃度で重金属等が溶出することがある。対策費用を抑えつつ環境リスクを適切に制御するためには、掘削ずりの利用形態に応じた正確な環境影響評価、特に溶出特性の評価が必要となる。溶出特性の評価方法が確立されていない自然由来の重金属等を含有する掘削ずりを対象とする場合、岩石の破碎や粒度が評価結果に影響を及ぼすと考えられる。これらの影響について、バッチ溶出試験により検討を行った事例¹⁾はあるものの、実現場での浸透挙動と岩石の破碎の効果を考慮した影響評価はこれまでほとんどなされていない。本研究では自然由来のヒ素を含有する掘削ずりを対象にバッチ溶出試験と上向流カラム通水試験を行い、両者の結果の比較から、供試した試料の粒径がヒ素の溶出挙動に及ぼす影響を調査した。

2. 試料と実験方法

2.1 試料 実験には自然由来のヒ素を含有する地層を対象に実施された建設工事で発生した2種類の掘削ずり（硬質砂岩、泥岩）を試料として用いた（写真1）。これらの岩石はいずれも山間地域から採取したものであり、人為由来の汚染はないと考えられる。



写真1 使用した岩石試料（左：硬質砂岩、右：泥岩）

2.2 実験方法 実験は、破碎試験と溶出試験を行った。破碎試験は、予めハンマーで9.5 mm以下に破碎した試料を、突固めランマーを用いて一定のエネルギーで破碎し、粒度の変化から試料の破碎のしやすさを評価するものである。

表1 カラム試験の条件

	硬質砂岩 d < 2 mm	硬質砂岩 d < 9.5 mm	泥岩 d < 2 mm	泥岩 d < 9.5 mm
乾燥密度(g/cm ³)	1.61	1.53	1.50	1.58
間隙比	0.67	0.75	0.83	0.74

内径15 cmのモールドに質量約350 gの試料を一度に入れ、質量4.5 kgのランマーで落下高さ0.45 mから合計55回突固めすることにより行った。溶出試験の試料調整に関しては、二種類の岩石を破碎し、所定の粒径以下のものをそれぞれバッチ溶出試験とカラム溶出試験に用いた。所定の粒径は9.5 mmおよび2 mmとした。破碎による資料準備の流れは図1に示す。バッチ溶出試験に関しては、試料調整後の手順は環境庁告示第46号に基づく試験方法に従い、pH、EC、ヒ素等の陽イオン濃度を測定した。カラム試験の試験条件を表1に示す。溶媒として1 mmol/l CaCl₂を用い、流量は約12 ml/hで試験を行った。採取液のpH、EC、Eh、陽・陰イオン濃度の測定を行った。また、今回は飽和方法として、一度、カラム内の試料を溶媒で満たしてから二日間静置を行った。これは溶媒の流れの偏りを無くするためである。バッチ溶出試験は短期溶出試験に分類され、数時間の振とうにより試料と溶媒を接触させ

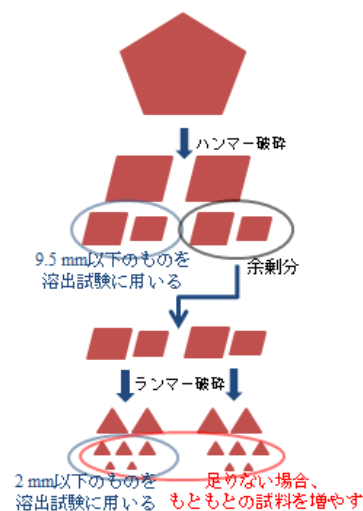


図1 溶出試験の試料調整方法

Yosuke TANIJIRI, Toru INUI, Atsushi TAKAI, and Takeshi KATSUMI
 takai.atsushi.2s@kyoto-u.ac.jp

るのに対し、カラム試験は中・長期溶出試験に分類され、カラムに充填した試料に定流量で溶媒を浸潤させるため、溶出量の経時変化を把握できる。

3. 試験結果とその考察

ランマーによる破碎前後の粒径加積曲線を図2に示す。破碎後の硬質砂岩は2 mm以上の粒径が8割近くを占める一方、泥岩は2 mm以下の粒径が半分以上を占めていることから、泥岩の方が破碎しやすい試料であると言える。

図3、4にカラム試験におけるヒ素の累積溶出量を、液固比10のバッチ溶出試験結果と併せて示す。図の横軸は通水開始からの累積の流量を液固比で示している。硬質砂岩に関して、蛍光X線によるヒ素の含有量分析では、最大粒径2 mmの試料が34 mg/kg、最大粒径9.5 mmの試料が26 mg/kgであった。また、最大粒径2 mmの試料の方が比表面積も大きいため、両試験方法ともに溶出量が大きくなると予想される。実際、バッチ溶出試験では溶出量の破碎粒径依存性が大きい。しかし、カラム試験では液固比5.0までは差がなく、液固比10で初めて溶出量に差異がみられる。試料粒径が小さいほど、低濃度ではあるが長期間にわたり溶出が発生し、累積溶出量も増加している。このことから、硬度が高い岩石を対象としたカラム試験では、試料粒径が溶出期間に影響を及ぼすと考えられる。一方、泥岩の溶出量はバッチ溶出試験ではヒ素の溶出量に破碎粒径依存性がみられない。これは6時間振とうにより試料粒子が破碎されたためと考えられる。カラム試験では破碎粒径依存性がみられた。また両試料の両粒径とも、バッチ溶出試験よりカラム試験でヒ素の溶出量が増えた。岩石からのヒ素等の物理化学的な溶出メカニズムとして、表面に付着した物質が流れ出る表面洗浄、岩石の表面からの溶解である表面溶解、岩石内部と溶媒の濃度勾配によって発生する拡散律速溶出があるが、絶えず溶媒が更新されるカラム試験では拡散律速溶出による溶出が増加したと考えられる。

図5に電気伝導度の推移を示す。多くの元素と同じように、通水初期では試料粒径でECの差が大きい。また、溶媒が更新されると、次第にその差が無くなっていく。理由としては、二日間静置中に先述の表面洗浄と表面溶解による溶出が短期間に発生し、通水初期の溶出濃度が高くなる。その後、溶媒が更新されることで、拡散律速溶出の溶出が長期間に渡り低濃度で発生するために、これらの特徴が見られたものと考えられる。

4. おわりに

カラム試験では、通水とともに溶出量の破碎粒径依存性が小さくなる結果が得られた。これは溶媒の更新によるもので、物理化学的な溶出メカニズムが関与していると考えられる。

参考文献

- 1) Inui, T., Katsumi, T., Katayama, M. and Kamon, M. (2010): Effects of friability and grain size on the leaching of heavy metals in excavated rock materials, *Environmental Geotechnics for Sustainable Development*, M. Datta et al. (eds.), New Delhi, pp.730-733.

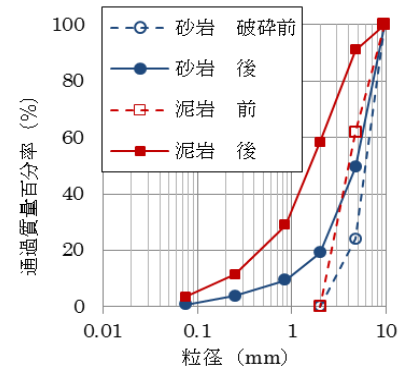


図2 ランマーによる破碎前後の粒径加積曲線

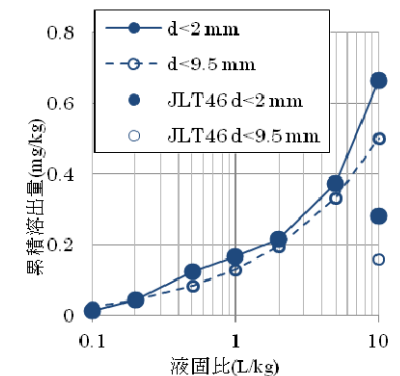


図3 ヒ素累積溶出量（硬質砂岩）

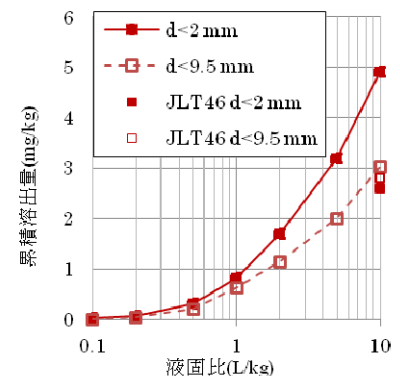


図4 ヒ素累積溶出量（泥岩）

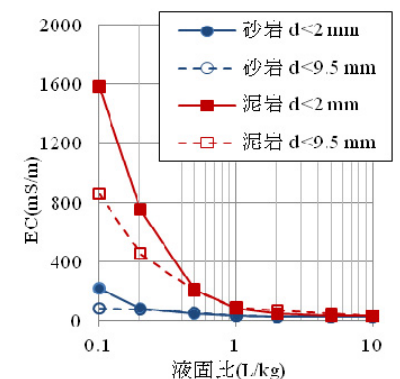


図5 カラム試験における電気伝導率（EC）の推移