

## 第Ⅲ部門

## 自然由来の重金属を含有する岩石の溶出特性に試料の破碎粒度が及ぼす影響

京都大学工学部 学生員 ○片山真理子  
 京都大学大学院 学生員 出島 茜  
 京都大学大学院 正会員 乾 徹  
 京都大学大学院 正会員 勝見 武

## 1. はじめに

我が国には金属鉱床・海成泥質堆積物などを起因とする自然由来の重金属を含有する土壌・岩盤が普遍的に存在する。したがって、トンネル工事やダム建設等の際に発生する掘削ずりから、環境基準を超える濃度の重金属が溶出することがある。そのため、合理的な対策を実施するための適切な有害性判定方法の確立が必要とされているが、自然由来の重金属を含有する岩石を対象にした確立された試験方法はなく、多くの場合は環境庁告示第46号試験（JLT46）に準じて、土壌と同様に岩石も2 mm以下に粉碎して溶出試験が行われており、岩石の破碎粒度が溶出量に及ぼす影響が考慮されていない。本研究ではこの問題点に着目し、岩石の破碎のしやすさと破碎粒度が岩石試料の溶出特性に及ぼす影響を実験的に評価した。

## 2. 実験方法

**2.1 試料** 実験には安山岩、頁岩、3種類の泥岩1～3を用いた。いずれの試料も山間地の工事現場から採取したもので、自然由来のヒ素あるいは鉛を含有する。採取した岩石は空気に触れないように密閉し、湿潤状態で保管した。

**2.2 破碎方法** 破碎は、「粗砕工程」と「ランマーによる破碎工程」の二段階で行った。図-1に実験フローを示す。「粗砕工程」では、岩石試料を塩化ビニル製のハンマー

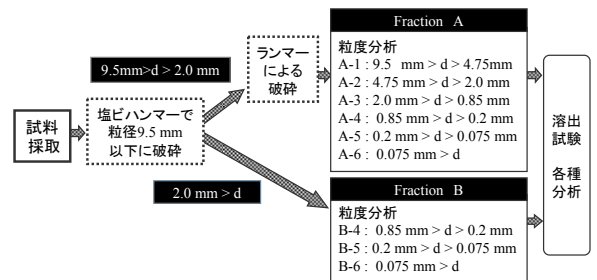


図-1 実験フロー

で9.5 mm以下の粒径になるように粗砕を行い、2.0～9.5 mmに砕けたものをFraction A、2 mm以下に砕けたものをFraction Bと分類した。この工程は、締固め発破などで岩石を破碎する工程を模擬している。

「ランマーによる破碎工程」では、内径10 cmの締固め試験用モールドに試料を約700 gを入れ、質量2.5 kgのランマーを用いて落下高さ0.5 m、突固め回数55回の条件で破碎した。これは「突き固めによる土の締固め試験（JIS 1210）」のA、B法以上、C～E法以下のエネルギーに相当する。この工程は掘削ずりを盛土等に使う際の締固めを模擬している。これらの二段階の破碎を行うことで、Fraction Aはある程度の硬度をもった部分、Fraction Bは岩石の粉々に砕けやすい部分と仮定できる。

**2.3 溶出試験** Fraction A、Bを図-1に示すような粒径区分にふるい分けし、各区分の試料を対象に溶出試験を実施した。試料と純水を液固比10で6時間振とう後、20分間遠心分離し、0.45 μm孔径のメンブランフィルタでろ過し、検液を作製した。この方法は、試料の粒径以外はJLT46の溶出試験方法に基づく。ヒ素と鉛の溶出濃度を電気加熱原子吸光法に基づいて定量した。各検液は硝酸酸性とし、電気加熱炉で原子化し、ヒ素は193.7 nm、鉛は283.3 nmの波長での吸光度をそれぞれ測定した。

## 3. 実験結果とその考察

**3.1 粗砕工程** 安山岩および泥岩1～3について、粗砕した岩石試料全体に対するFraction Bの発生量の割合を図-2に示す。安山岩や泥岩1など比較的

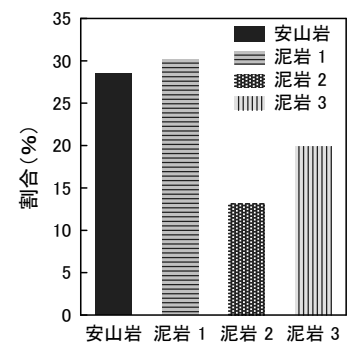


図-2 破碎した岩石試料に対するFraction Bの割合(%)

硬度の大きい岩石では破碎に強い力を必要とし、岩塊が砕けるときには粉々に砕ける部分が多く発生した。砕けやすい泥岩2および3では、なるべく2 mm以下の割合が小さくなるように力加減しながら破碎できたため、Fraction Bの発生量は抑えられた。

3.2 ランマー破碎工程 図-3 に安山岩と泥岩3の破碎前後の粒径加積曲線を示す。岩石の種類

に関わらず一定エネルギーで破碎しているため、破碎前後の粒径加積曲線がどの程度左上にシフトするかで岩石の破碎のしやすさが評価できる。2つを比較すると、泥岩3の方が大きくシフトする傾向がみられる。頁岩や硬い泥岩1など硬い岩石では安山岩と同様の砕け方を示しており、破碎後に粒径が2 mm以上の割合が70%以上と大きくなった。以上より、一定条件で破碎を行うと、硬度の大きい岩石は破碎後に粒径の大きいものの割合が高いという傾向が確認された。

3.3 溶出量の結果 図-4 に安山岩の試料粒径と溶出量の関係を示す。粒径が大きくなるほど、溶出量が増加する傾向がみられた。頁岩、硬度の大きい泥岩1でも同様であり、鉛の溶出量でも同様の傾向がみられた。また、Fraction AとFraction Bの溶出量には大きな差があり、Fraction Bの溶出量の方が多くなる傾向がみられる。図5には泥岩3の試料粒径と溶出量の関係を示す。泥岩2や3のように砕けやすい岩石では、細くなるほど溶出量は増加するものの、ある程度の細かさになると溶出量は増加しないという傾向がみられた。これは、岩石全体として砕けやすいことに関係があると考えられる。また、Fraction AとFraction Bも同程度の溶出量であった。以上の結果から、岩石の種類によって破碎のしやすさは異なり、そのことが破碎された各分画からの溶出量に影響を及ぼしていると考えられる。安山岩、頁岩、硬度の大きい泥岩(泥岩1)などの砕けにくい岩石では、組成の違いにより、大きい粒径のまま残る硬い部分と、細かく破碎されやすい部分とに分かれて砕ける。硬度の小さい泥岩(泥岩2と3)では、大きい粒径のまま溶出試験を行っても、溶出操作(振とう)の間に砕けてしまうほど硬度が比較的均質であった。また、比較的硬度の大きい岩石では、2.3の検液作成後に測定した電気伝導率は、細かく砕けた部分ほど高い値を示し、化学的活性が高くなっていたが、硬度の小さい泥岩ではこの傾向はみられなかった。これも溶出量の破碎粒径依存性の一因であると考えられる。

4. おわりに  
本研究では、安山岩や頁岩などの比較的硬度の大きい岩石では、ヒ素や鉛の溶出量は破碎粒度によって異なり、破碎粒度が細かいほどヒ素や鉛の溶出量は多くなる傾向がみられた。この溶出量の破碎粒度依存性は、岩石の化学組成の不均質性によるものと考えられる。JLT46に準じた溶出試験を行うと、硬度の大きい岩石試料の砕けやすい部分ばかりを用いて溶出試験を行った場合には、重金属の局在性により溶出量を過大評価してしまう可能性がある。一方、泥岩試料の場合は、破碎粒度が溶出量に及ぼす影響は小さいため、全て2 mm以下に粉碎するJLT46でも概ね適切に溶出量を評価できると考えられる。今後の課題として、実際の岩石の破碎のしやすさを考慮した評価が必要である。そのためには、溶出試験における試料調整を、破碎後の最大粒径のみで規定するのではなく、破碎エネルギーや破碎方法を規定するような調整方法の確立に向けて、様々な岩石の種類で信頼性の高いデータを蓄積していくことが有効である。

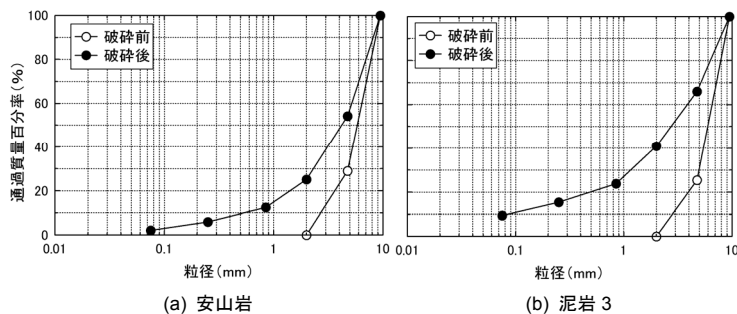


図-3 ランマーによる破碎前後の粒径加積曲線

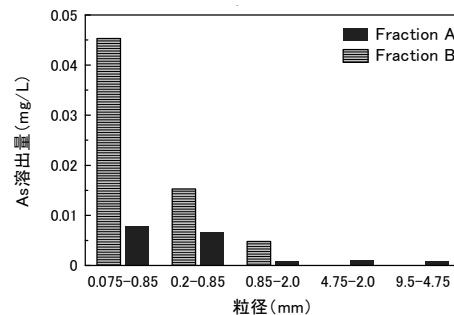


図-4 試料粒径と溶出量の関係 (安山岩)

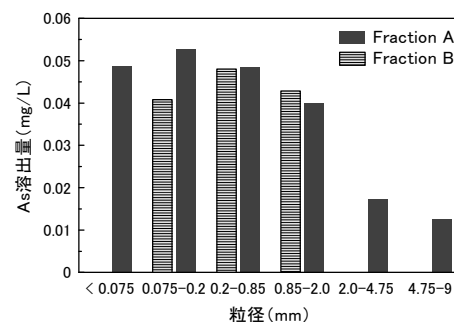


図-5 試料粒径と溶出量の関係 (泥岩)