

大阪大学工学部 学生会員 ○西田 汐音  
 大阪大学 正会員 緒方 奨  
 大阪大学 正会員 乾 徹

## 1. はじめに

建設工事に伴い発生する土や掘削ずり等の掘削物は、原則盛土等へ再利用することが義務付けられている。しかし、これらの掘削物の中には、スレーキング性を有する脆弱な堆積岩が多く含まれる上、自然由来の砒素や鉛などの重金属等を含む場合がある。土壤汚染対策法の改正により自然由来重金属等が規制対象となりつつ一定の条件下での利活用が認められたことを受け、溶出リスクを正しく評価することが求められるが、実環境においては岩石のスレーキングが溶出特性に影響を与える可能性がある。これまで、スレーキングが岩石からの重金属等の溶出特性に及ぼす影響を調査した例はいくつか報告されているが<sup>1),2)</sup>、有姿の粒径の大きい岩石を対象とした評価事例や pH 等の影響要因を含めて評価した研究は少ない。本研究では、岩石からの溶出が問題視されている自然由来砒素に着目し、スレーキングの進行と砒素の溶出量との関係を明らかにすることを目的に実施したシリアルバッチ試験の結果を報告する。

## 2. 対象試料の物性

人為的な影響を受けていない地層で施工されたトンネル掘削ずり（堆積岩）に含まれる地質由来の砒素を評価対象とした。試料を粒径 2 mm 以下に破碎し、環境庁告示第 46 号付表に記載の方法に準じて試験を行った結果、砒素の溶出量は 0.008 mg/L であった。また廃棄物資源循環学会で検討された試験方法原案<sup>3)</sup>に基づき、砒素の最大溶出可能性を調査した。この試験では、まず pH 調整を行わずに（自然状態で pH6.5 以上の場合）試料を 3 時間水浸攪拌させる操作を step1 として、step2 では pH を 12 程度に調整した後さらに 3 時間水浸攪拌させ、step1 と step2 の溶出量の和を最大溶出可能性とする。試験の結果、砒素の最大溶出可能性は 0.58 mg/kg と推定された。

さらに試料の潜在的なスレーキング特性を調査することを目的として、X 線回折分析による含有鉱物の同定および地盤工学会規準 JGS 2125-2020 に準じた促進スレーキング試験を実施した。X 線回折分析の結果、当該試料は石英、長石類を主要な鉱物とし、さらに化学的風化の影響と考えられる雲母類、モンモリロナイトの含有が確認でき、スレーキング性を有すると判断できる。促進スレーキング試験中の試料状態の変化を図 1 に示す。3 回の乾湿サイクルでスレーキング区分 3（全体が細粒化し、供試体の原型は判別できないが泥状化の進行は顕著でない）まで細粒化した。



図 1 スレーキングによる試料状態の変化：試験前(左)、3 回の乾湿サイクル後(右)

## 3. シリアルバッチ溶出試験

### 3.1 試験方法

スレーキングに伴う砒素の溶出挙動を調査するため、有姿粒状試料を対象とする JIS K0058-1 の 5. の溶出量試験方法を参考にシリアルバッチ溶出試験を行った。19.0~26.5 mm の粒径に粗砕した試料 200 g に液固比 2:1 の純水を加え、プロペラ型攪拌機により 6 時間水浸攪拌する。攪拌後の溶液の pH を測定し、上澄み液を 0.45 μm 孔径メンブレンフィルターでろ過し、砒素等の水溶性元素濃度を測定する。次に試料の崩壊が生じないように留意しつつ、できる限り排水を行い、試料を容器ごと 40 ± 5 °C で質量変化がなくなるまで乾燥させる。その後再度水浸攪拌の手順に戻り、これを 15 回繰り返した。なお再現性を

確認するため  $n = 3$  で試験を実施した。併せてスレーキングの進行度を評価するため、7 サイクル目までは試料の 4.75 mm ふるい通過分率を、8 サイクル目以降はすべて 4.75 mm ふるいを通過したことから 2 mm ふるい通過分率を測定した。

### 3.2 試験結果とその考察

図 2 に 15 回の乾湿サイクルを繰り返した試料の砒素濃度と pH の変化 (平均値と標準偏差) を示す。7 サイクル目までは pH, 砒素濃度ともばらつきが小さく、それぞれ単調減少, 単調増加した。図 3 に粒度分布を測定した 2 つの供試体における 7 サイクル目までの 4.75 mm ふるい通過分率と砒素濃度の関係を示す。両者は良好な相関を示しており、細粒化による溶出濃度上昇が確認できる。一方 8 サイクル目以降は pH, 砒素濃度ともばらつきが大きくなった。図 4 に全ての供試体における 8 サイクル目以降の pH と砒素濃度の関係を示す。両者は相関がみられ、pH

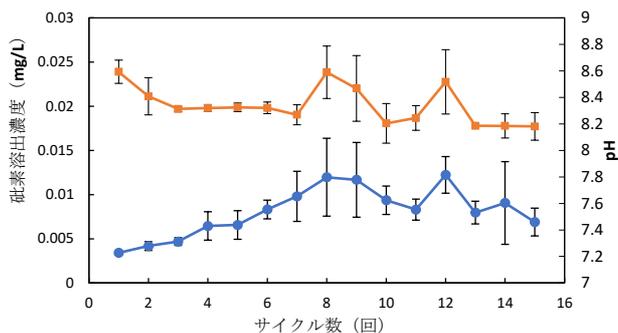


図 2 砒素溶出濃度と pH の変化

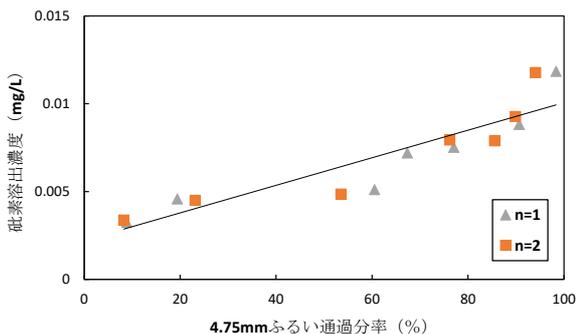


図 3 4.75mm ふるい通過分率と砒素濃度 (~7 サイクル)

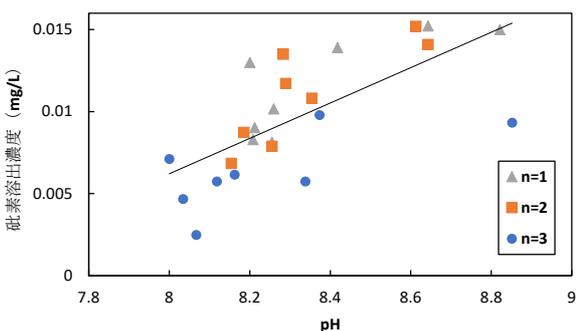


図 4 pH 変化と砒素溶出濃度変化 (8 サイクル~)

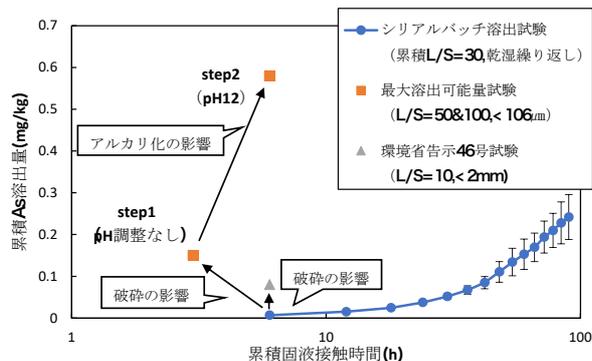


図 5 累積固液接触時間と累積砒素溶出量の関係

が高いほど砒素濃度が上昇した。しかし、pH 変化の原因については不明であり、試験操作の妥当性も含めて検討する必要がある。今回実施した 3 種類の溶出試験はその手順や固液接触時間等の設定が異なることから、図 5 に各溶出試験の固液接触時間と単位質量岩石あたりの砒素溶出量との関係を示した。あらかじめ破碎した試料を用いた最大溶出可能量試験 step1 や環境省告示 46 号試験と比較し、シリアルバッチ試験の方が溶出量が多いことが確認できる。これは固液接触時間や乾湿の繰り返し操作自体が砒素の溶出特性に影響を及ぼした可能性を示唆している。また、15 サイクル後の累積砒素溶出量は 0.24 mg/kg (ただし試料に吸水された水分は固液分離できないため、僅かに過大評価していることに留意) となり、前述した最大溶出可能量の 40% に留まった。よって、今後も長期的な溶出可能性も指摘される。

### 4. おわりに

本研究では堆積岩のスレーキングが自然由来砒素の溶出特性に及ぼす影響をシリアルバッチ試験によって評価し、細粒化や pH 変化等との関係性を明らかにした。今後はスレーキングの影響を粒度変化、pH 変化、固液接触時間等との関連から定量的に評価し、さらに長期的な砒素の溶出特性を明らかにしたい。

#### 【参考文献】

- 1) 吉田悠人ら：屋外での乾湿繰り返しを取り入れた大気曝露による掘削海成堆積岩中からの重金属等放出量の変化、第 26 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究会, pp.58-63, 2021.
- 2) 田本修ら：自然由来の有害物質を対象とした岩石の粒径別溶出試験, 第 39 回地盤工学研究発表会, pp.2253-2254, 2004.
- 3) 廃棄物資源循環学会：再生製品等に含まれる無機物質を対象とする酸性およびアルカリ性環境における最大溶出可能量試験方法 (原案), <https://jsmcwm.or.jp/wastest-group/>, 2021/10/1 閲覧.