

ホウ素を含む岩石の不溶化効果の持続性について

鹿島建設(株) 正会員 ○伊藤圭二郎 反り目好男 石神大輔 篠原智志
東海旅客鉄道(株) 水上英也 小舘 貴 木村寿孝

1. はじめに

山岳トンネル工事での発生土中の重金属類が、短期溶出試験で環境基準値を超過して溶出する場合、遮水工封じ込めや吸着層により処分する対策が実施されている一方で、場外搬出せずに発生土中の重金属類を不溶化し、セメントを添加することで必要な強度を有する盛土材として事業地内で再利用する方法もある。しかしながら、岩盤掘削による発生土に対して不溶化効果の持続性に関連した研究や、盛土材として再利用された報告例は少ない。そこで本稿では、短期溶出試験でホウ素が環境基準値を超過する蛇紋岩に対して、マグネシウム系不溶化材とセメント系固化材を混合し、ホウ素の不溶化効果の持続性を評価する屋外曝露試験を行ったので、その結果について報告する。

2. 試験方法

土研式曝露試験¹⁾を参考に実施した試験方法を図-1に、実際の試験状況を写真-1に示す。ホウ素を含む37.5mmの篩いを通した発生土に、所定量の不溶化材・セメントを混合し、粒子同士が固結しないよう

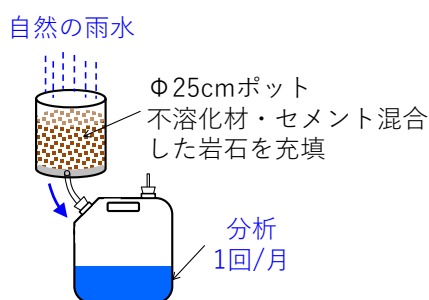


図-1 試験方法



写真-1 試験状況

に解砕した後、φ25cmのポットにそれらを充填し、底部をチューブでポリタンクと連結し、屋外に設置した。ポリタンクに溜まった浸出水を定期的に採水し、ホウ素等の分析を実施した。

試験ケースを表-1に示す。不溶化材は酸化マグネシウムを主成分とする不溶化材を使用し、添加量は事前に不溶化試験を行ってホウ素が環境基準値である1mg/Lを満たす50kg/m³とした。固化材はセメントを使用し、添加量は再利用先での要求水準に依存するため、試験では100、150、200kg/m³と3水準で設定した。

表-1 試験ケース

ケース名	不溶化材	固化材
B-1 (無処理)	—	—
B-2	50kg/m ³	100kg/m ³
B-3	50kg/m ³	150kg/m ³
B-4	50kg/m ³	200kg/m ³

3. 試験結果

浸出水中のホウ素濃度分析結果を図-2に示す。試験は再現性を確認するためN=3で実施しており、プロットにて中間値、誤差線にて最大・最小値を示す。無処理では、環境基準値1mg/Lに対して1年以上継続して基準値超過する結果となっているが、不溶化材を混合したケースではセメント添加量がいずれのケースでも基準値以下が維持されていた。300日以降でホウ素が検出されるようになって

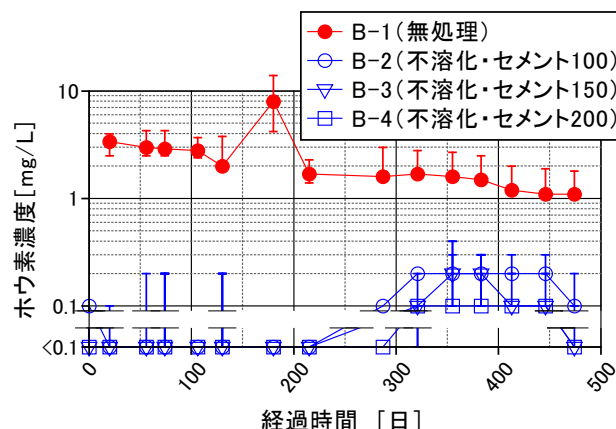


図-2 浸出水中のホウ素濃度

いるが、500日弱では再度低下傾向となった。また、無処理のケースの約180日時点で一時的な濃度の上昇がみられるが、冬季で氷点下以下に気温が低下する地域であったことから、凍結濃縮が生じたと推定される。

キーワード：重金属，ホウ素，岩石，不溶化，持続性

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

浸出水中のホウ素濃度から計算した累積ホウ素溶出量を図-3に示す。不溶化材を添加することで、累積ホウ素溶出量を約 1/100 に抑制できている結果が得られた。

浸出水の pH を図-4に示す。本発生土は、石灰岩が近くにある影響を受けてアルカリ性であり、無処理のケースでも 9 前後の弱アルカリとなっている。また、不溶化材とセメントを添加しているケースでは、11 以上の値が維持されており、酸化マグネシウム系不溶化材には良好なアルカリ条件が維持されていた。

浸出水中の硫酸イオン濃度の結果を図-5に示す。セメント添加したケースで 300 日以降は硫酸イオン濃度が上昇していた。特にセメント添加量が少ないケースで硫酸イオン濃度上昇は顕著であった。硫酸イオンは、セメント中の硫酸カルシウム（石膏成分）が空気中の二酸化炭素に曝露された結果、炭酸カルシウムに置き換わって溶出したと推定される²⁾。また、セメント量が少ないほど二酸化炭素への緩衝作用が弱くなり、硫酸イオン濃度が高くなったものと推定される。さらに、図-2に示したホウ素濃度の上昇時期と一致しており、硫酸イオンの溶出がホウ素溶出と何らかの関係があると推定される。

300 日以降の硫酸イオン濃度上昇がホウ素濃度上昇に与えた影響を模式的に示したものを図-6に示す。マグネシウム系不溶化材表面には、水と反応して水酸基が多数生成し（図-6の黒点線枠）、そこにホウ酸イオンが取り込まれる（図-6の青点線枠）内圈型錯体形成という原理があると推定されている³⁾。硫酸イオン濃度が非常に高くなるとホウ素と置き換わる（図-6の赤点線枠）可能性もあることから、硫酸イオン濃度上昇によって微量のホウ素が溶出したことが推定される。これ以外にも、一部のホウ素を固定化していた石膏が空気中の二酸化炭素に接触して溶出したことも推定される。

4. おわりに

不溶化効果の持続性を評価するために、ホウ素を不溶化した発生土に対し、およそ 1.5 年間の屋外曝露試験を実施した。その結果、1.5 年経過後においても浸出水中のホウ素濃度は環境基準値以下を継続しており、不溶化効果の持続性を確認できた。今後も本試験を継続する予定である。

参考文献

- 1) 品川俊介・佐々木靖人：岩石に含まれる自然由来重金属等の溶出特性評価方法，土木技術資料，Vol.52，p.11-13，2010。
- 2) 吉良欣一・間木野義雄・山本博一：エトリングライトの炭酸化，Gypsum & Lime，No.159，pp.48-53，1979。
- 3) 和田信一郎・森下智貴：酸化マグネシウムによる重金属類汚染土の不溶化処理と土壌中での鉱物化学反応，粘土化学，第 51 巻，第 3 号，pp.107-117，2013。

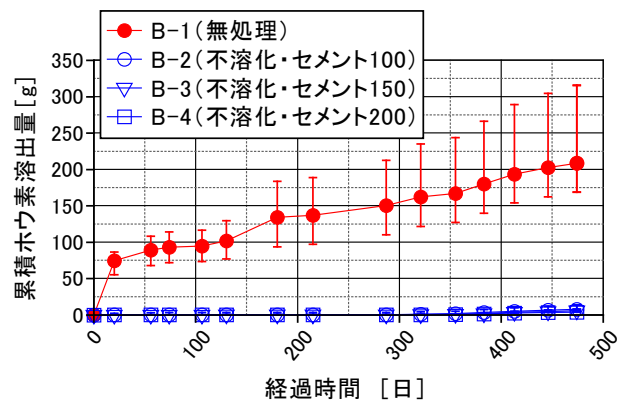


図-3 累積ホウ素溶出量

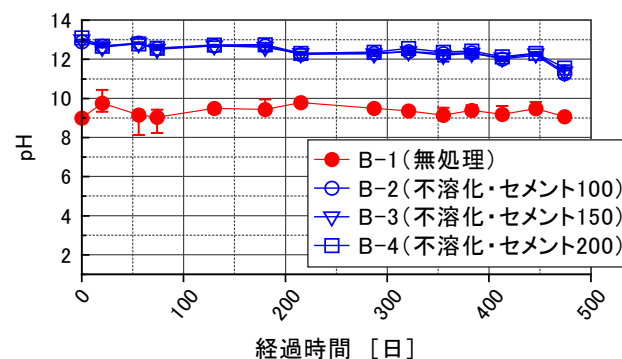


図-4 浸出水の pH

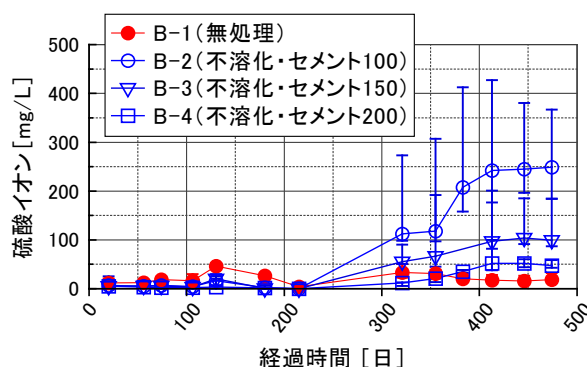


図-5 浸出水中の硫酸イオン濃度

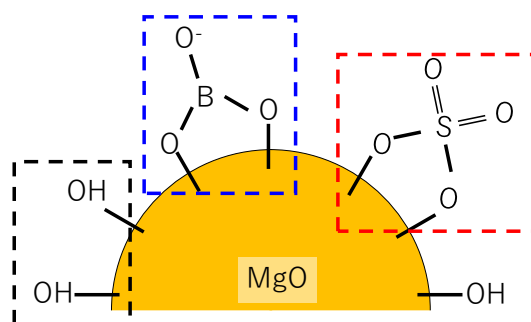


図-6 硫酸イオンによる競合イメージ