

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

低コスト廃材による地質中有害重金属類の不溶化処理

研究代表者氏名 川辺 能成¹⁾
研究分担者氏名 斎藤 健志²⁾
研究分担者氏名 渡部 直喜³⁾

1) 早稲田大学・創造理工学部 2) 産業技術総合研究所・地質調査総合センター
3) 新潟大学災害・復興科学研究所

研究要旨

本研究では、16 種類の地質試料（土壌・堆積物・岩石）を採取し、環境庁告示第 46 号に基づく溶出試験に供した。特徴的な傾向を示した 2 種類の地質試料について、5 種類の廃材（鉄鋼スラグ、フライアッシュ、リサイクルコンクリート、軽量気泡コンクリート、排煙脱硫石膏）を用い、地質中のヒ素、鉛、カドミウムの不溶化試験を試みた。また、コントロールの不溶化材として、カルシウム系の材料（炭酸カルシウム、水酸化カルシウム、酸化カルシウム）も比較対象として試験に加えた。廃材の添加率を上昇させていくと、重金属類の不溶化率が上昇し、一定の数値に収束する傾向が複数で認められた。いずれの地質試料に対しても、また、どの重金属類についても、共通して良好な不溶化効果を示した廃材は、リサイクルコンクリートであった。リサイクルコンクリートは、世界中、多くの地域で容易に入手できることから、汎用的な技術にも繋がる可能性が高く、社会的にも有用である。

A. 研究目的

近年、トンネルや道路などの土木工事由来の建設発生土、また、土砂災害で発生する土塊、そして、休廃止鉱山周辺の地質（土壌・堆積物・岩石）などにおいて、自然由来の重金属類（ヒ素、鉛など）が溶出しやすい化学形態で高濃度に含まれることもしばしば認められ、問題となるケースが多々報告されている。特にその対策として、費用対効果などの問題から原位置手法が推奨されており、例えば、重金属類を固定化する不溶化処理が従来から注目されている。

一方、特に国内においては、一般廃棄物ならびに産業廃棄物の残余容量および残余年数に、余裕がない状況が続いている。加えて、近年のサーキュラーエコノミーや SDGs などの流れもあり、より一層、廃棄物を有効に利活用する必要性が強く求められている。

以上のような背景に基づき、本研究では、自然

由来の重金属類を含む地質（土壌・堆積物・岩石）試料を対象に、複数の廃材を活用することで、その添加率と不溶化率の関係性について評価した。これより、地質中の有害重金属類に対する不溶化処理における、廃材の有効性・適用性を検討するための基礎的知見の集積に努める。

B. 研究方法

16 種類の土壌・堆積物・岩石（地質試料 A~P とする）を採取し、環境庁告示第 46 号に基づく溶出試験に供した。すなわち、風乾させた土壌を 2 mm のふるいにかけて、土壌（単位 g）と水（単位 mL）を重量体積比 10%の割合で混合し、20℃で 6 時間の水平振とうを行った。振とう回数は毎分約 200 回であり、振とう後、10~30 分間ほど静置して、3,000 重力加速度で 20 分間の遠心分離に供した。その後、得られた上澄み液について、孔径 0.45 μm のメンブレンフィルターで濾過し、ICP-MS（誘導

結合プラズマ質量分析計:Agilent 7700x ICP-MS)で重金属類(カドミウム: Cd、鉛: Pb、クロム: Cr、ヒ素: As、セレン: Se、ホウ素: B、フッ素: Fなど)を定量した。この結果に基づき、2種類の地質試料を対象として(詳細は、後述する)、以下の不溶化試験に供した。

不溶化試験では、廃材を2.5%、5%、10%の比率で地質試料に添加し、24時間、20°Cならびに相対湿度60%の環境下において、養生を行った。その後、上記と同様に、環境庁告示第46号に基づく溶出試験に供し、廃材の添加率と重金属類の不溶化率について評価を試みた。

なお、本研究では、鉄鋼スラグ、フライアッシュ、リサイクルコンクリート、軽量気泡コンクリート、排煙脱硫石膏、5種類の廃材を活用した。いずれの試験についても、少なくとも独立した3回の繰り返し試験を実施している。

C. 研究結果

対象とした16種類の地質試料について、環境庁告示第46号に基づく溶出試験に供した結果、土壤環境基準に規定されるAs、Cd、Pb(基準値はそれぞれ、10 µg/L、3 µg/L、10 µg/Lである)について、複数の超過が認められた。そのうち、特徴的な結果を示した地質試料EとKを不溶化試験に供した。具体的には、地質試料Eでは、AsとPbに超過が認められ、特にPbの超過が顕著であった。また、地質試料Kでは、AsとPbだけではなく、Cdについても超過が認められた極めて珍しいタイプの試料である。

図1には、一例として、地質試料Kに対するリサイクルコンクリートを用いた不溶化試験(Pbを対象)の結果を示す。リサイクルコンクリートの添加率上昇とともに、Pbの不溶化率が明瞭に上昇し、その後、不溶化率が一定に近づく傾向が認められた。これに類似する傾向は、複数の廃材やコントロールとしてのカルシウム系不溶化材、そして、対象とした重金属類においても確認されている。

D. 考察

ここでは、廃材の添加率を上昇させていくと、対象とした重金属類の不溶化率が一定の数値に収束したものについてのみ、良好な不溶化効果が

認められたと判断することとした。対象とした2種類の地質試料(EおよびK)について、AsとPbに着目すると、いずれも不溶化効果が認められた廃材は、主としてリサイクルコンクリートと軽量気泡コンクリートであった。一方、地質試料KのCdについては、リサイクルコンクリートのほか、鉄鋼スラグも不溶化効果を示した。したがって、2種類の地質試料(EならびにK)、そして、対象とした3種類の重金属類(As、Cd、Pb)について、共通して良好な不溶化効果を発現した廃材は、リサイクルコンクリートであった。

コントロールとしたカルシウム系材料については、特に炭酸カルシウムがAsならびにPbに対し、良好な不溶化効果を示した。しかし、その一方で、Cdにおいては、十分な効果は認められなかった。よって、本研究で用いた廃材の中でも、そして、カルシウム系不溶化材との比較においても、最も性能が良く汎用性が高い廃材は、リサイクルコンクリートであることが明らかになった。リサイクルコンクリートは、世界中、どの地域でも基本的には容易に入手できることが期待できるため、汎用的な技術に繋がる可能性があり、その社会的な有用性は高い。今後、その更なる汎用性等を評価するため、対象とする地質試料を増やしていき、その知見集積に努める予定である。

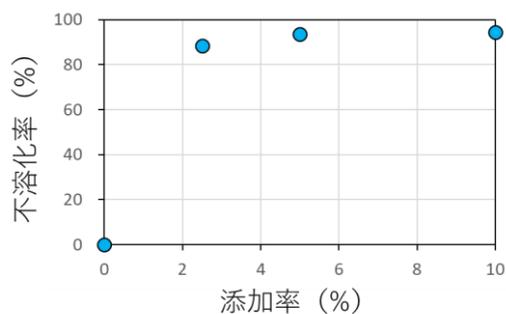


図1 地質試料KにおけるリサイクルコンクリートによるPbの不溶化試験結果(添加率と不溶化率の関係性)

E. 結論

本研究では、16種類の地質試料を採取し、環境庁告示第46号に基づく溶出試験に供した。特徴的な傾向を示した2種類の地質試料(EおよびK)について、廃材(鉄鋼スラグ、フライアッシュ、リサイクルコンクリート、軽量気泡コンクリート、

排煙脱硫石膏)を用いた不溶化試験(As、Cd、Pbを対象)を試みた。廃材の添加率を上昇させていくと、重金属類の不溶化率が上昇し、一定の数値に収束する傾向が複数で認められた。いずれの地質試料に対しても、そして、どの重金属類についても、共通して良好な不溶化効果を発現した廃材は、リサイクルコンクリートであった。リサイクルコンクリートは、世界中、多くの地域で容易に入手できることから、汎用的な技術に繋がる可能性が高いため、今後、対象とする地質試料を増やしていくことで、その更なる汎用性等を継続的に検討していく予定である。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) Sugita, H., Morimoto, K., Saito, T., and Hara, J. (2023): Simultaneous removal of As (V) and F using Mg-based adsorbents. Water Rock Interaction (WRI17) / Applied Isotope Geochemistry (AIG14), Sendai (Japan) (August 2023)
- 2) 杉田創・森本和也・斎藤健志・原淳子(2023): Mg系吸着材によるAs(III)-F同時除去について. 第26回日本水環境学会シンポジウム、大阪市、2023年9月.
- 3) 斎藤健志・川辺能成・渡部直喜(2023): 廃棄物再生資材による自然由来重金属類含有土壌の不溶化特性評価. 第60回環境工学研究フォーラム、山口市、2023年11月.
- 4) Saito, T., Watanabe, N., and Kawabe, Y. (2023): Applicability of recycled materials for immobilization of harmful heavy metals in soils. AGU (American Geophysical Union) Annual Meeting 2023, San Francisco (USA) / Online (December 2023).
- 5) 杉田創・森本和也・斎藤健志・原淳子(2024): Mg系及びCa系吸着材の併用添加によるAs(V)除去-吸着等温線およびXRDによる考察. 第58回日本水環境学会年会、福岡市、2024年3月.

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし