

自然由来ヒ素を含む掘削岩石を用いた実現象再現溶出試験方法に関する一考察

田本 修一 山崎 秀策 倉橋 稔幸

1. はじめに

土壤汚染対策法の改正（平成22年4月施行）により、自然由来重金属等を含む土壤が規制の対象になり、法対象外である岩石ずりも自主的に対応する事例が増加している。また、自然由来重金属等を含む建設発生土は建設リサイクルの枠組みの外にあり、高額な費用をかけて処分するなど、時間的、費用的な面で事業執行上の大きな課題となっている。事業を円滑に推進するためには、自然由来重金属等を含む発生土の環境安全性の適切な評価方法に基づく有効利用方策が求められている。

筆者らは盛土内の環境特性（酸化と還元）による溶出機構の評価方法が未確立であったことから、酸化と還元に着目した溶出試験方法について、検討を実施してきた^{1)~3)}。現場条件に応じて溶出条件を個別に設定した試験方法は、実際の現場条件に見合った設計、管理、評価を行うため重要な試験である。個々の試験に残された課題への取り組みとあわせて各試験の位置づけについて整理を行った（図-1）。現場の規模が大きく比較的発生源評価の試験期間が長くとれる場面では、大型カラム試験や実大盛土試験が有効であると考えられた。しかし、現実にはより短期間で発生源評価を行う場面が多いことから、従来の水平振とうによる溶出試験により発生源評価が行われている。水平振とうによる溶出試験は、溶出操作に伴う試料の粒子破碎が懸念され、実際の盛土内におけるずりの溶出現象

とは解離していると考えられるため、自然由来重金属等含有岩石の環境安全性評価においては、長期的な溶出特性を短時間で再現（評価）できる室内試験が未確立となっている。

そこで、本稿では短い検討期間で発生源評価を行える試験方法を検討するため、ヒ素（以下、Asという）を含む掘削岩石ずりを用いて水平振とうによる繰返し溶出試験と攪拌翼による繰返し溶出試験を実施し、溶出操作の違いによるAsの溶出傾向の分析および粒度を比較し、実現象再現溶出試験としての適用性について考察した。

2. 試験方法

2.1 試料

凝灰角礫岩ずり、軽石凝灰岩ずり及び泥岩ずりの3試料を風乾後、ジョークラッシャーを用いて粉碎し、2mmふるいを通したものをインクリメント法により分取後、繰返し溶出試験、粒度試験、岩石薄片の偏光顕微鏡観察、粉末X線回折分析に供した。

分析の結果、元素溶出に関する構成鉱物は凝灰角礫岩ずりでは、石英、斜長石、カリ長石、蛭石、カオリナイト、絹雲母からなる酸性変質火山岩であり、炭酸塩鉱物（ドロマイト、マグネサイト）の鉱物片を多く含み、径0.1mm以下の微少な自形～半自形の黄鉄鉱が微量含まれていた。軽石凝灰岩ずりで石英、明礬石（硫酸塩鉱物）、デイッカイト、黄鉄鉱から構成される珪化・酸性変質した火山岩であり、最大でmmサイズの自形の黄鉄鉱が大量（数%）に含まれていた。泥岩ずりは、石英、斜長石、ドロマイト、スメクタイト、菱鉄鉱、黄鉄鉱から構成される砂質泥岩で、黄鉄鉱は極微量に含まれ、フランボイダル状の微小結晶の集まりとして含まれていた。

2.2 繰返し溶出試験方法

本検討では、溶出操作の異なる繰返し溶出試験方法として、環境庁告示第46号の付表で示される方法を準用した試験（水平振とうによる繰返し溶出試験）とJIS

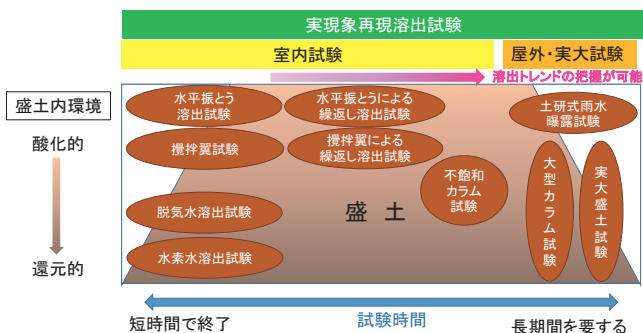


図-1 盛土内環境を想定した各種実現象再現溶出試験の位置づけ

K 0058-1で示される方法を準用した試験（攪拌翼による繰返し溶出試験）を行った。蒸留水を溶媒に液固比10の割合で各試料（岩石ずり）を試料容器（PVCボトル）に投入した。

まず、水平振とうによる繰返し溶出試験では、PVCボトルを振とう機に設置後、振とう回数200rpm、振とう幅4～5cmで6時間振とうした（図-2）。

次に、攪拌翼による繰返し溶出試験では、攪拌装置をタンク（PVCボトル）に取り付け、ボトル内の溶媒を毎分約200回転で6時間攪拌した（図-3）。

各試験の溶出操作後、PVCボトルを30分間静置し、3,000rpm、30分間遠心分離した。固液分離は、蒸留水溶液を0.45 μ mメンブランフィルターで吸引ろ過し、そのろ液を検液とした。その後、試料残渣を用いて繰返し試験を実施し、Asが環境基準値以下を示す、または、一定の濃度を示すまでの最大8回行った。

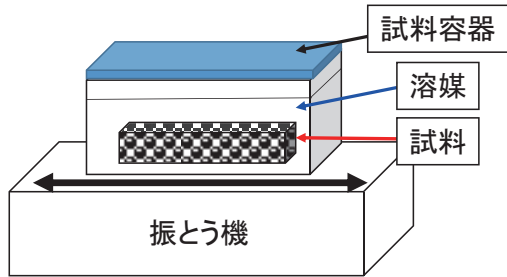


図-2 水平振とうによる繰返し溶出試験の模式図

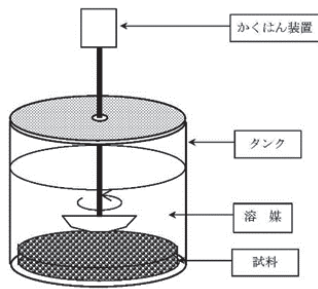


図-3 攪拌翼による繰返し溶出試験の模式図

検液中のAs濃度はICP質量分析法で測定し、pHはガラス電極法で測定した。As溶出量の累積値を積算溶出量とし、溶出操作の違いによるAsの溶出傾向を考察した。

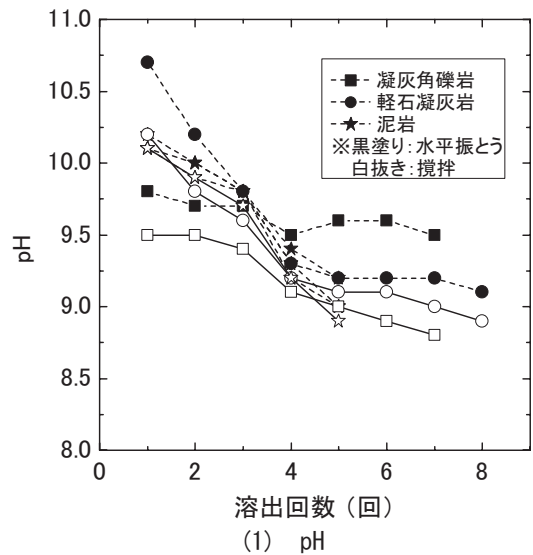
2. 3 粒度試験方法

溶出試験前後の試料を用いてレーザー回折・散乱法による粒度試験を行った。試験結果を用いて溶出操作の違いによる試験前後の粒径を比較し、実現象再現溶出試験としての適用性について考察した。

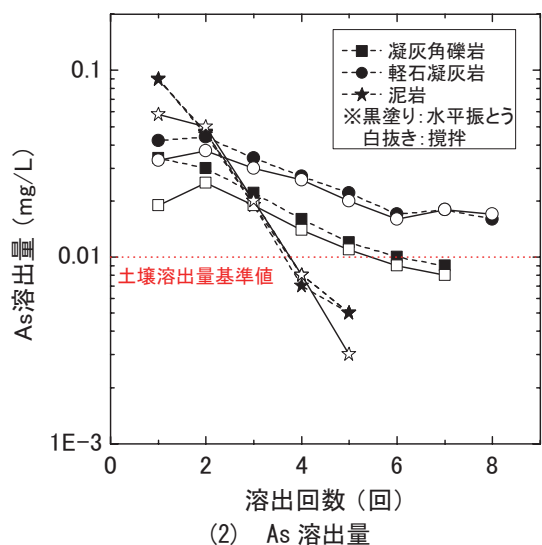
3. 試験結果と考察

3. 1 繰返し溶出試験結果

溶出回数とpH・As溶出量との関係を図-4に、積算溶出量との関係を図-5にそれぞれ示す。pHはすべての試料において溶出1回目の値が高く溶出回数の増加とともに低下した。また、水平振とうによる溶出操作のpHは攪拌翼による溶出操作の値よりも高い値を示した。一方、溶出1回目のAs溶出量は、いずれの試料においても攪拌翼の方が低い値を示した。また、溶出回数が2回目以降は、溶出操作を問わずすべての試料でAs溶出量が低下した。特に、泥岩ずりは他の2試料と比較して、少ない溶出回数でAs溶出量の低下も顕著であった。As積算溶出量は、すべての試料において水平振とうによる試験結果が高い値を示した。



(1) pH



(2) As 溶出量

図-4 溶出回数とpH、As溶出量との関係

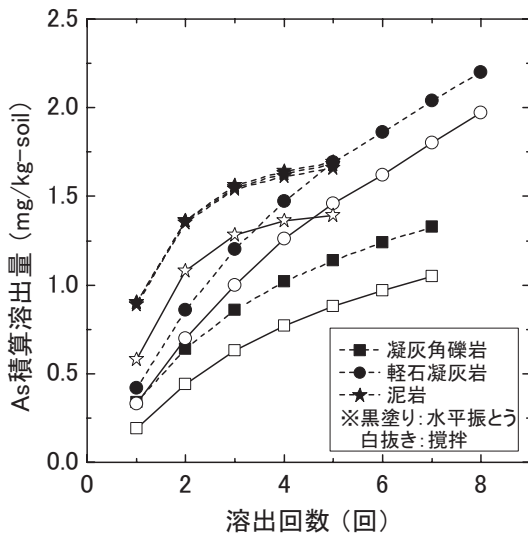


図-5 溶出回数とAs積算溶出量との関係

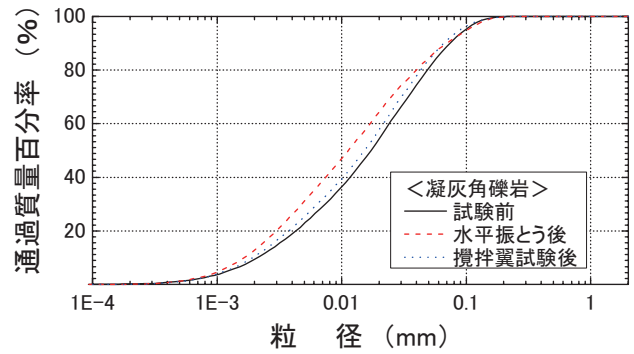
3. 2 粒度試験結果と考察

水平振とうおよび攪拌翼による繰返し溶出試験前後の試料の粒度加積曲線を図-6に、平均粒径を図-7にそれぞれ示す。

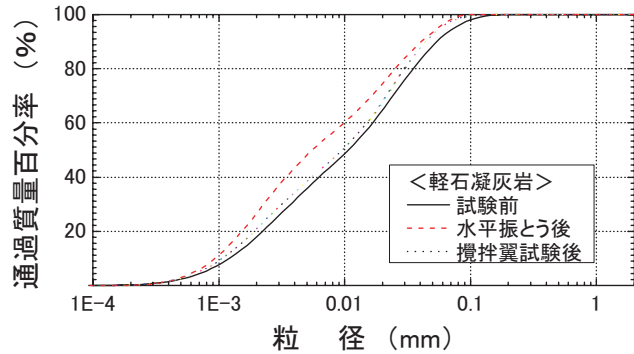
まず、図-6より試験前粒度と比較して攪拌翼による試験後の泥岩を除いたすべての試験後試料で細粒化した。粒径0.01mmの通過質量百分率で比較すると、試験前の凝灰角礫岩は36.0%、軽石凝灰岩は48.3%、泥岩は57.3%であったのに対し、攪拌翼による試験後凝灰角礫岩は39.0%、軽石凝灰岩は50.5%、泥岩は52.4%であった。また、水平振とうによる試験後凝灰角礫岩は46.6%、軽石凝灰岩は59.9%、泥岩は79.0%であった。攪拌翼による試験後泥岩が試験前と比較して低い値を示したのは、溶出操作に伴う固液分離の繰返しにより試料の細粒分が減損したことによると考える。

次に、図-7より試験後の平均粒径は、すべての試料において水平振とうによる繰返し溶出試験の平均粒径が低い値を示し、細粒分が増加していることを確認した。これは、攪拌翼による溶出操作よりも水平振とうによる溶出操作の方が試料の粒子破碎の影響が大きいことを示している。

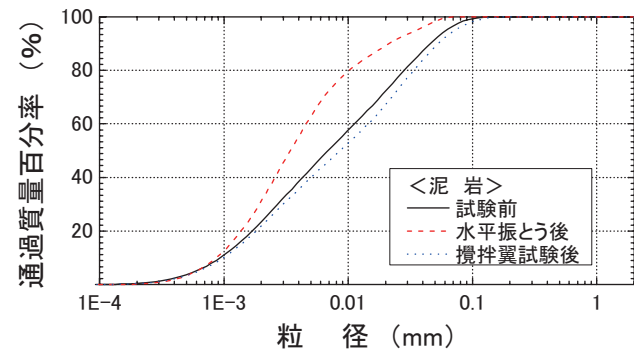
図-3、4より水平振とうによる繰返し溶出試験結果でpHおよびAs積算溶出量の高いのは、試料の粒子破碎が進み試験を行う度に試料の新鮮部が現れることから、pHおよびAsの溶出量を増大させたと考えられる。一方、攪拌翼による溶出操作は、粒子破碎の影響が小さいことから、水平振とうと比較してより実現象に近い試験であると考えられる。このことから、攪拌翼を用いた繰返し溶出試験は、溶出傾向が把握でき、かつ室内試験においては比較的短時間で実施可能な実



(1) 凝灰角礫岩



(2) 軽石凝灰岩



(3) 泥岩

図-6 水平振とうおよび攪拌翼による繰返し溶出試験前後の試料の粒度加積曲線

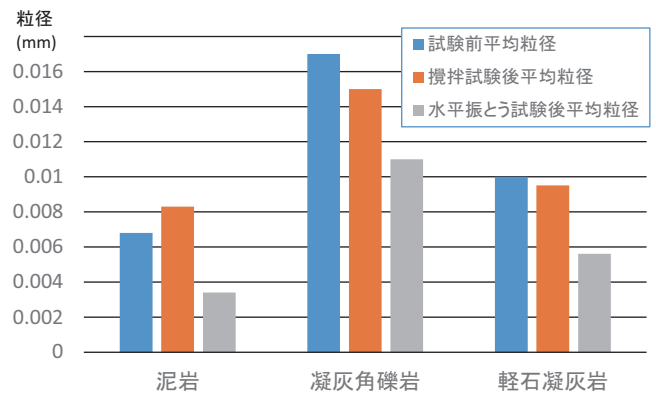


図-7 水平振とうおよび攪拌翼による繰返し溶出試験前後の試料の平均粒径

現象再現溶出試験方法として位置づけることができる。

今後は、攪拌翼による繰返し溶出試験や不飽和カラム試験は、試験の実施例が少ないため、タンクリーチング試験などの試験と比較検証する必要があり、データの蓄積を図ることが必要である。

4. まとめ

ヒ素を含む凝灰角礫岩ずり、軽石凝灰岩ずりおよび泥岩ずりを対象に、溶出操作の異なる繰返し溶出試験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

・溶出操作の違いによるpHおよびAs積算溶出量は、攪拌翼よりも水平振とうによる溶出操作で高い値を示した。

・粒度試験結果から攪拌翼による試験後の泥岩を除いたすべての試験後試料で細粒化し、特に水平振とうによる繰返し溶出試験後試料の平均粒径が低い値を示した。

・試験後試料の粒度分布が大きく変化しないことか

ら、攪拌翼を用いた繰返し溶出試験は溶出傾向が把握でき、かつ比較的短時間で実施可能な実現象再現溶出試験方法として位置づけることができると考えられた。

今後は、試験の実施例が少ない攪拌翼による繰返し溶出試験や不飽和カラム試験を行い、タンクリーチング試験などの試験との比較検証を進めていくため、データの蓄積を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 田本修一、阿南修司、伊東佳彦：掘削ずりによるヒ素汚染対策としての覆土処理に関する現場実験、土木技術資料、Vol.52、No.6、pp.14-17、2010.6.
- 2) 田本修一、倉橋稔幸：蛇紋岩を混合した泥岩ずりからの自然由来ヒ素の汚染対策に関する実験的検討、寒地土木研究所月報、No.740、pp.41-45、2015.1.
- 3) 田本修一、倉橋稔幸：酸化還元電位の違いによる自然由来ヒ素・ホウ素の溶出量評価に関する検討、寒地土木研究所月報、No.792、pp.23-27、2019.5.



田本 修一
TAMOTO Shuichi

寒地土木研究所
寒地基礎技術研究グループ
防災地質チーム
研究員



山崎 秀策
YAMAZAKI Shusaku

寒地土木研究所
寒地基礎技術研究グループ
防災地質チーム
主任研究員
博士(理学)



倉橋 稔幸
KURAHASHI Toshiyuki

寒地土木研究所
寒地基礎技術研究グループ
防災地質チーム
上席研究員
技術士(応用理学)