

特集：公共事業に関わる地盤・水質汚染に対する新たな取組み

岩石に含まれる自然由来重金属等の溶出特性評価方法

品川俊介* 佐々木靖人**

1. はじめに

トンネル工事等において発生する掘削ずりについて、岩石からの自然由来の重金属等の溶出による環境汚染を防止する観点から、溶出特性の評価が必要である。関連する法律として土壌汚染対策法が存在するが、岩石の適切な評価のためには土壌汚染対策法の手法をそのまま適用することはできない。

本論では、岩石からの自然由来重金属等の溶出特性を適切に評価するための試験方法を検討した結果について報告する。

2. 研究方法

2.1 概要

岩石からの重金属等の溶出特性を把握するために、岩石を粒径2mm以下に粉砕し、土壌汚染対策法で定める溶出試験（平成15年環境省告示第18号）を準用した試験（短期溶出試験）を行うことが多い。

岩石からの重金属等の溶出には、温度、pH、酸化還元電位、溶液中の溶存種の濃度などが複雑に関わっている。従って短期溶出試験結果のみで岩石等からの重金属等の溶出特性を評価することは適切でない場合がある。

そこで、長期溶出試験（土研式雨水曝露試験、タンクリーチング試験）と、短期溶出試験を含む各種の促進溶出試験を行い、相互の比較によって長期溶出特性の評価に適した促進溶出試験方法を検討した。

2.2 試料および試験項目

同一試料を用いて各種の溶出試験を実施した。各試験の実施試料と試験項目を表-1に、主要な試験条件を表-2に示す。

試験には国内各地で採取した岩石24試料を用いた。これらの原岩をハンマーで粗粉砕し、ジョークラッシャーおよびステンレス製の鉄鉢で

試験に適する粒径となるよう粉砕した。

各種溶出試験においては、検液のカドミウム、鉛、ひ素の各濃度および水素イオン濃度指数(pH)、電気伝導率(EC)を測定した。検液の測定方法については表-3に示す。

①促進溶出試験

長期溶出試験との比較を行う目的で、3種類の

表-1 試料および試験項目一覧

試料名	岩種	試験	短期溶出	酸性溶出	強制酸化	タクリーチング	雨水曝露
AN1	酸性変質安山岩溶岩		○	○	○	○	○
AN2	中性変質安山岩溶岩		○	○	○	○	○
TB1	酸性変質安山岩質凝灰角礫岩		○	○	○	○	○
TB2	酸性変質安山岩質凝灰角礫岩		○	○	○	○	○
WS	ワッケ質中粒砂岩		○	○	○	○	○
DR	粗粒玄武岩		○	○	○	○	○
MS	泥岩		○	○	○	○	○
WT	溶結凝灰岩		○	○	○	○	○
SL	粘板岩		○	○	○	○	○
HA	角閃石安山岩		○	○	○	○	○
LT2	火山凝灰岩		○	○	○	○	○
SK2	石英質鉱脈(磁鉄鉱)含有		○	○	酸性化可能性*	○	○
CH2	キースラーガー		○	○	酸性化可能性*	○	○
GF3	泥岩(風化部)(黒色片岩)		○	○	酸性化可能性*	○	○
YN	安山岩		○	○	酸性化可能性*	○	○
DM	火山凝灰岩		○	○	酸性化可能性*	○	○
SE	凝灰岩		○	○	酸性化可能性*	○	○
TK	泥質片岩		○	○	酸性化可能性*	○	○
KS	砂質泥岩		○	○	酸性化可能性*	○	○
MB1	泥岩	○(Ca溶)	○	○	○	○	○
MB2	泥質細粒砂岩	○(Ca溶)	○	○	○	○	○
MB3	泥岩	○(Ca溶)	○	○	○	○	○
MB4	凝灰岩	○(Ca溶)	○	○	○	○	○
MB5	泥質砂岩	○(Ca溶)	○	○	○	○	○

*酸性化可能性試験を実施

表-2 溶出試験等の条件

試験区分	試験名称	溶出条件	試料の最大粒径
促進溶出	短期溶出試験	固液比1:10、6時間振とう HCl水溶液(pH5.8-6.3)	<2mm
	酸性溶出試験	固液比1:10、6時間振とう H ₂ SO ₄ 水溶液(pH2)	<2mm
	強制酸化試験	固液比1:10、30% H ₂ O ₂ 溶液 反応が収束するまで静置	<2mm
長期溶出	タンクリーチング試験	固液比1:10、室内で静置 蒸留水(約200日間継続)	<40mm
	土研式雨水曝露試験	野外で試料を通過した雨水を28日間貯留(308日間継続)	40~10mm
pH	酸性化可能性試験	固液比1:10、30% H ₂ O ₂ 溶液	<2mm

表-3 検液の測定方法

項目	測定方法
カドミウム	JIS K 0102 55.2~4のいずれか
鉛	JIS K 0102 54.2~4のいずれか
ひ素	JIS K 0102 61.2または61.3
pH	JIS K 0102 12.1
EC	JIS K 0102 13

試験を実施した。

1) 短期溶出試験¹⁾

試料調製方法を除き、環告18号試験に準じた試験である。

2) 酸性溶出試験¹⁾

試料が酸性化した場合の溶出を想定した試験である。試料調製方法および、pHを2に調整した硫酸水溶液を溶媒に用いるほかは、環告18号試験に準じた。

3) 強制酸化試験¹⁾

硫化鉱物が酸化することによる、重金属等の溶出を想定した試験である。30%過酸化水素水を用いて硫化鉱物を強制的に酸化させ、検液の重金属等の濃度を測定するものである。

②長期溶出試験

実現象に近い状況を再現する試験方法として、大粒径試料を用いた長期溶出試験を2種類行った。

1) タンクリーチング試験

滞留時間の長い土中水中での溶出を想定した試験である。「セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験実施要領(案)」(平成13年国官技第16号)の試験方法3に準拠した方法で、一定期間経過ごとに採水分析する。

2) 土研式雨水曝露試験²⁾

酸化的な盛土などの環境を想定した試験である。試料をワグネルポットに詰めて屋外曝露し、試料を通過した雨水を採水瓶に貯留、28日毎に分析する(図-1)。

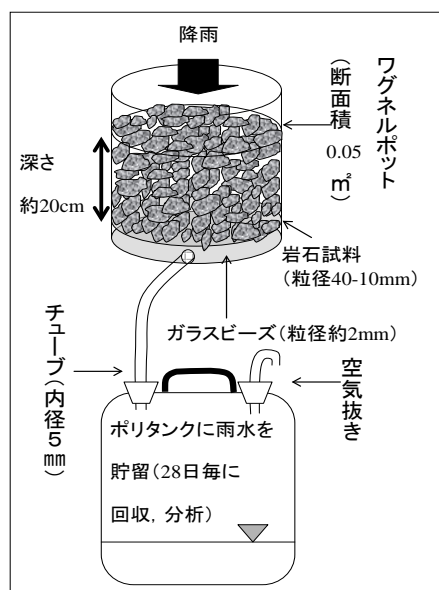


図-1 土研式雨水曝露試験の概要²⁾

③酸性化可能性試験^{1,3)}

「過酸化水素水を用いるpH試験」³⁾に準拠する。本試験の結果、検液のpHが3.5以下を「長期的に酸性化する試料」と判定する。なお本論では、強制酸化試験の検液のpH測定結果も本試験の結果とみなして整理した。

3. 試験結果と考察

3.1 長期溶出試験と促進溶出試験の結果の比較

岩石からの重金属等の長期溶出試験(土研式雨水曝露試験、タンクリーチング試験)と促進溶出試験結果の比較により、長期溶出を適正に把握する方法を検討した。

図-2~5に各種溶出試験結果の比較例を示す。図中の直線より上位にプロットされるものは長期溶出試験結果より促進溶出試験結果の方が大きな値を持つものであり、促進溶出試験が長期溶出試験で示される溶出特性を安全側に評価していると考えられることができる。

カドミウムについては強制酸化試験が、タンクリーチング試験で示される長期溶出特性を概ね安全側に評価できる(図-2)。

鉛については酸性溶出試験が、タンクリーチング試験で示される長期溶出特性を安全側に評価できる。ただし一部の試料については過大に安全側に評価してしまう(図-3)。

ひ素については短期溶出試験が、長期溶出特性を概ね安全側に評価するものの、一部の試料について危険側に評価してしまう(図-4、図-5)。短期溶出試験で危険側に評価してしまう試料(AN1, AN2, TB1, TB2, LT2, GF3, TK)はすべて、短期溶出試験および長期溶出試験の検液のpHが5.8を下回るものであった。このことから、短期溶出試験と検液のpHを組み合わせることで、ひ素の長期溶出特性の評価ができる可能性がある。

その他の組み合わせについては、促進溶出試験はすべて長期溶出を危険側に評価してしまう結果となった。以上より、単一の促進溶出試験により長期溶出特性を評価することは困難であると考えられる。長期溶出特性の評価は、岩石・鉱物学的特性や複数の試験結果などから総合的に評価する必要がある。

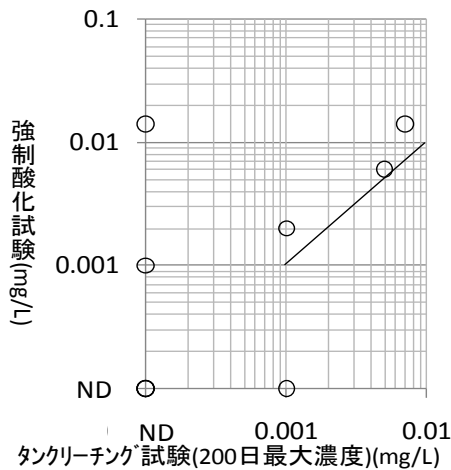


図-2 強制酸化試験とタンクリーチング試験の結果 (カドミウム)

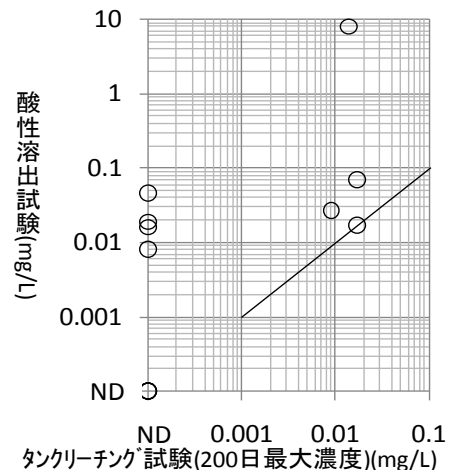


図-3 酸性溶出試験とタンクリーチング試験の結果 (鉛)

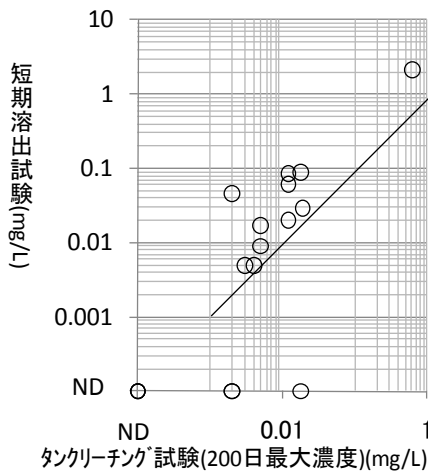


図-4 短期溶出試験とタンクリーチング試験の結果 (ひ素)

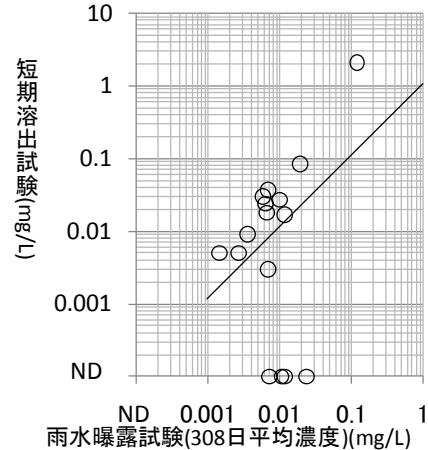


図-5 短期溶出試験と土研式雨水曝露試験の結果 (ひ素)

3.2 長期的な酸性化に関する評価

図-6に土研式雨水曝露試験の検液のpH変化を示す。長期溶出試験の検液のpHが5.8(水質汚濁防止法に定める一般排水基準の最低値)を下回るものを酸性化と定義すると、それらはすべて、酸性化可能性試験の結果が3.5以下もしくは、短期

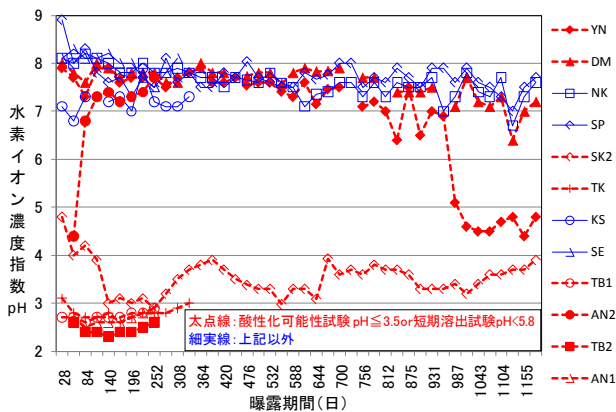


図-6 土研式雨水曝露試験の検液のpH変化

溶出試験の検液のpHが5.8以下である。

以上のことから、酸性化可能性試験の検液のpHが3.5以下もしくは、短期溶出試験の検液のpHが5.8以下のものを、地質試料の長期的な酸性化の可能性のあるものとして評価できる。

3.3 各種試験を組み合わせた長期溶出特性評価

長期溶出試験の結果、重金属等の濃度が低いものは、人の健康への影響を与えないものと考えられることができる。ここでは長期溶出試験の結果、土壤溶出量基準を満たすものを人の健康への影響を与えないものとして評価し、長期溶出特性を各種の促進溶出試験で評価できるかどうかを検討した。

短期溶出試験および長期溶出試験の結果、いずれかの元素で土壤溶出量基準を超過したか、酸性化可能性試験の結果pH \leq 3.5か、短期溶出試験および長期溶出試験の検液がpH $<$ 5.8かどうかにより各試料を整理し、ベン図に表した(図-7,8)。

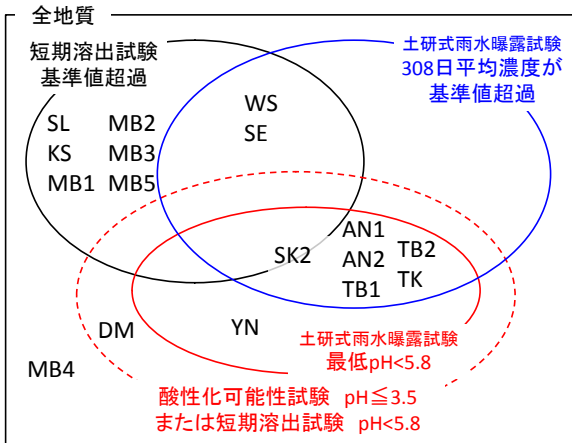


図-7 長期溶出試験と各種促進溶出試験結果の関係(1)
土研式雨水曝露試験
アルファベットの記号は表-1の試料名に対応

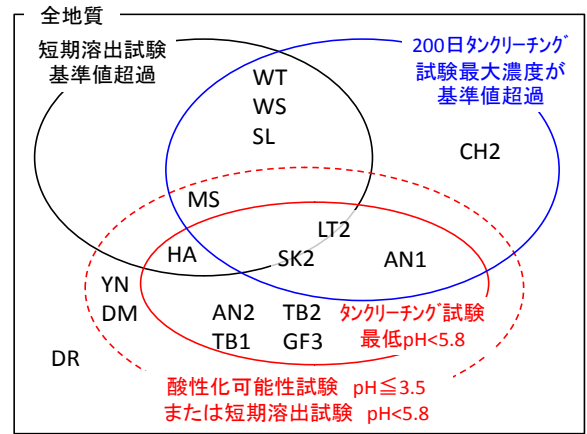


図-8 長期溶出試験と各種促進溶出試験結果の関係(2)
タンクリーチング試験
アルファベットの記号は表-1の試料名に対応

その結果、長期溶出試験で土壤溶出量基準を超過する試料（図中の青丸に包含される試料）は、短期溶出試験で土壤溶出量基準を超過する（図中の黒丸に包含される）か、酸性化可能性試験または短期溶出試験のpHが低い（赤点線で包含される）。従って、短期溶出試験および酸性化可能性試験によって、長期溶出特性を概ね安全側に評価することができることがわかった。

ただし、図-7において短期溶出試験が基準値を超過するものの、土研式雨水曝露試験で基準値を満足する試料が6試料も存在する。これらはすべて泥質岩であり、これらの評価は別途検討する必要がある。また、試験試料数が少ないことから、引き続き試験結果を蓄積して、評価方法を見直す必要がある。

4. まとめ

- ・ 単一の促進溶出試験により長期溶出特性を評価することは困難であると考えられる。
- ・ 酸性化可能性試験および短期溶出試験により、地質試料の長期的な酸性化の可能性のあるものを評価できる。
- ・ 短期溶出試験と酸性化可能性試験の組み合わせにより、泥質岩を除いて概ね安全側に重金属等の長期溶出特性が評価できる。

謝 辞

本論は、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所の伊東佳彦上席研究員、田本修一研究員、および岩石由来の環境汚染対策研究グループ（応用地

質（株）、三信建設工業（株）、住鉱コンサルタント（株）、大成建設（株）、日本工営（株）の皆様と共同で実施した成果⁴⁾を再構成したものです。以上の皆様方に謝意を表します。

参考文献

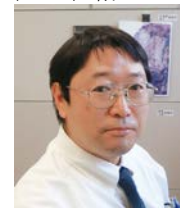
- 1) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会：建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）、90 p、国土交通省ホームページ、2010
- 2) 独立行政法人土木研究所、応用地質（株）、大成建設（株）、三信建設工業（株）、住鉱コンサルタント（株）、日本工営（株）：建設工事における自然由来の重金属汚染対応マニュアル（暫定版）、土木研究所共同研究報告書、第358号、pp.88～89、2007
- 3) 地盤工学会「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会編：土質試験の方法と解説—第1回改訂版—、pp.164、地盤工学会、2002
- 4) 品川俊介、田本修一、佐々木靖人、伊東佳彦、岩石由来の環境汚染対策研究グループ：岩石からの重金属等の長期溶出評価方法、平成21年度研究発表会講演論文集、pp.99～100、日本応用地質学会、2009

品川俊介*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループ地質チー
ム 主任研究員
Shunsuke SHINAGAWA

佐々木靖人**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループ地質チー
ム 上席研究員
Yasuhito SASAKI