

8.5 自然的原因による重金属汚染の対策技術の開発（1）

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：材料地盤研究グループ（地質）

研究担当者：佐々木靖人、浅井健一、品川俊介

【要旨】

各種岩石についての様々な溶出試験結果に基づき、重金属等の長期溶出特性評価のための促進溶出試験方法を検討した。その結果、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重金属等の長期溶出特性が評価できることが判った。

また、実験用盛土の内部環境および浸出水のモニタリングを実施し、盛土の転圧条件や覆土条件の違いによる重金属等の溶出特性の違いを把握した。その結果、覆土による重金属等の溶出抑制効果がある可能性があることがわかった。

さらに、研究成果の一部を、国土交通省が公表した「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）」に反映させた。

キーワード：重金属等、長期溶出、曝露試験、盛土処理、マニュアル

1. はじめに

トンネル工事等において自然的原因による重金属等を含む岩石や堆積物（以下、岩石等という）に遭遇すると、掘削ずりの処理に多大な費用が発生することがある。土壌汚染対策法では自然的原因の重金属等を含む岩石を対象としておらず、また自然由来の重金属等は酸化反応により溶出することがあるため、掘削ずりの処理の要否の判定および処理方法の選定は通常の土壌汚染の手法をそのまま適用できない。このため、自然的原因による重金属等を含む岩石等の試験・評価および対策を合理的に行える技術の開発が求められている。

そこで本研究では、自然的原因の重金属等を含む岩石等について、現場において処理の要否の判定と処理手法の選択を合理的に行えるよう、試験・評価方法の検討を行うとともに、重金属等の溶出抑制技術について検討を行い、自然由来の重金属等の特徴に応じた処理手法を提案することとしている。

重金属等溶出試験法の検討においては、土研式雨水曝露試験および過年度に実施した各種溶出試験結果を踏まえ、各種岩石の長期溶出特性の評価のための促進溶出試験方法を検討した。

また、重金属等含有岩石等への対策方法については、実験用盛土の浸出水および盛土の内部環境のモニタリングを実施し、盛土の転圧条件や覆土条件の違いによる重金属等の溶出特性の違いを把握した。

さらに、研究成果の一部を、国土交通省が平成 22 年 3

月に公表した「建設工事における自然由来の重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）」に反映させた。

2. 重金属等溶出試験法の検討¹⁾

2.1 研究方法

岩石等からの重金属の溶出特性を把握するために、一般に、短期溶出試験（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（環告 18 号試験）を準用した試験）を行うことが多い。

岩石等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。

そこで本研究では、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、各種の促進溶出試験とを比較し、長期溶出特性の評価のための促進溶出試験を検討した。

2.2 試料および試験方法

同一試料を用いて各種の溶出試験を実施した。各試験の実施試料について表-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、ジョークラッシュ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。

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	タンクリーチング	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	ワッケ貫中粒砂岩		○	○	○	○	○
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	火山礫凝灰岩		○	○	○	○	—
SK2	石英質脈脈(硫砒鉄鉱)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	火山礫凝灰岩		○	○	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除く)	—	—	—	○
MB2	泥質細粒砂岩		○(Ca除く)	—	—	—	○
MB3	泥岩		○(Ca除く)	—	—	—	○
MB4	凝灰岩		○(Ca除く)	—	—	—	○
MB5	泥質砂岩		○(Ca除く)	—	—	—	○

*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

各種溶出試験においては、検液のカドミウム、鉛、ひ素濃度およびpHを測定した。

①促進溶出試験

長期溶出試験との比較を行う目的で、3種類の試験を実施した。

1) 短期溶出試験

試料調製方法を除き、土壌汚染対策法で定める溶出試験（環告18号試験）に準拠した試験である。

2) 酸性溶出試験

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²⁾

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

の試料を用いた長期溶出試験を2種類実施した。

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。「セメントおよびセメント系固着材を使用した改良土を対象とした六価クロム溶出試験(案)」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¹⁾

土研式雨水曝露試験は、試料をワグネルポットに詰めて屋外にて曝露し、試料を通過した雨水を採水瓶に貯留し、28日毎に採水分析する(図-1)。

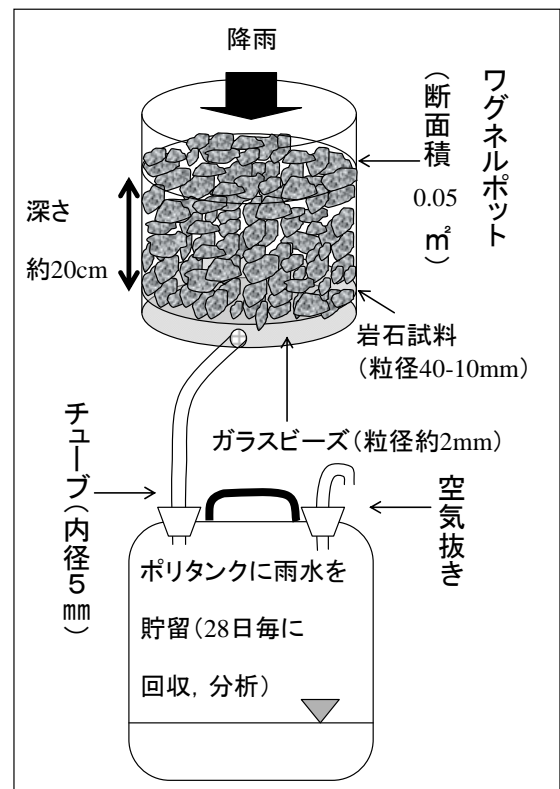


図-1 土研式雨水曝露試験の概要

③酸性化可能性試験

酸性硫酸塩土の判定に用いられる試験方法であり、「過酸化水素水を用いる pH 試験」²⁾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」(酸性硫酸塩土)と判定する。なお本報告では、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。

2. 3 試験結果と考察

1) 促進溶出試験と長期溶出試験の結果の相互比較

岩石からの重金属等の長期溶出特性を把握する試験として土研式雨水曝露試験とタンクリーチング試験を取り上げ、これら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、タンククリーニ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（図-2）。

鉛については酸性溶出試験が、タンククリーニ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。以上より、単一

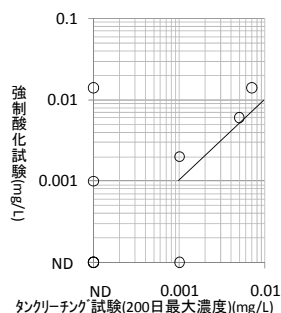


図-2 強制酸化試験とタンククリーニング試験の結果（カドミウム）

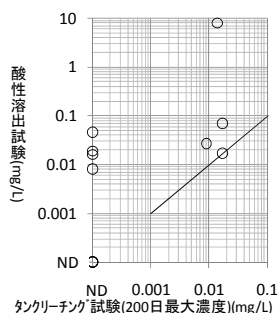


図-3 酸性溶出試験とタンククリーニング試験の結果（鉛）

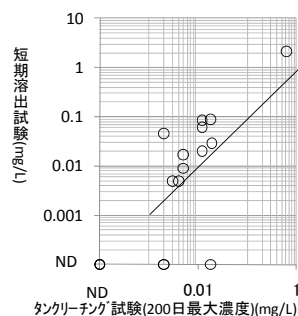


図-4 短期溶出試験とタンククリーニング試験の結果（ひ素）

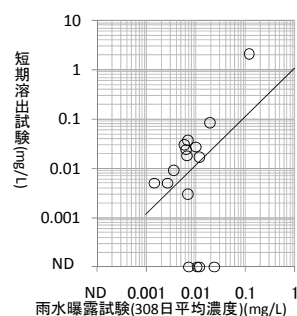


図-5 短期溶出試験と土研式雨水曝露試験の結果（ひ素）

の促進溶出試験により長期溶出を評価することは困難であることが分かった。そのため、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。

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。

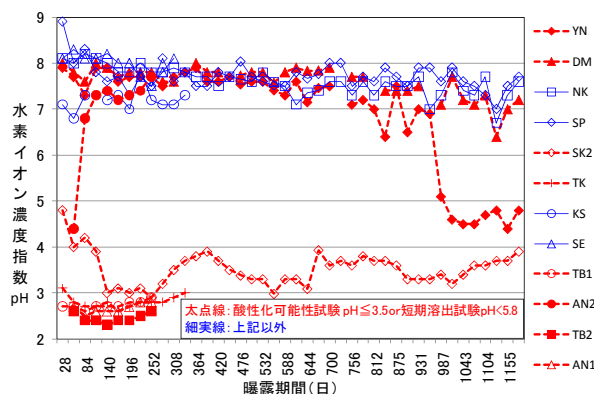


図-6 土研式雨水曝露試験の検液のpH変化

3) 各種試験を組み合わせた長期溶出特性評価方法

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壌溶出量基準を超過したか、酸性化可能性試験の結果pH ≤ 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）。

その結果、短期溶出試験の重金属等の濃度、検液のpH、

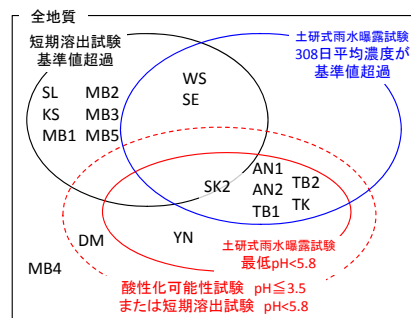


図-7 長期溶出試験と各種促進溶出試験結果の関係(1) 土研式雨水曝露試験

8.5 自然的原因による重金属汚染の
対策技術の開発（1）

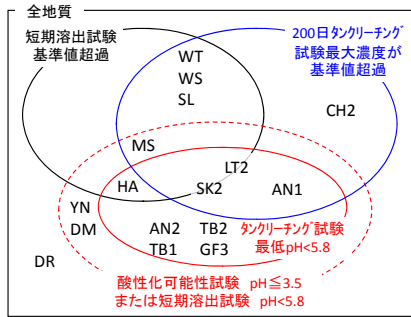


図-8 長期溶出試験と各種促進溶出試験結果の関係(2)
タンクリーチング試験

および酸性化可能性試験によって、長期溶出特性を概ね評価することができることが分かった。ただし、図-7において短期溶出試験が基準値超過するものの、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、泥質岩に関する評価方法は別途検討の余地がある。

3. 屋外実験用盛土のモニタリング調査

3.1 研究方法

建設現場における一般的な処理法と考えられる盛土処

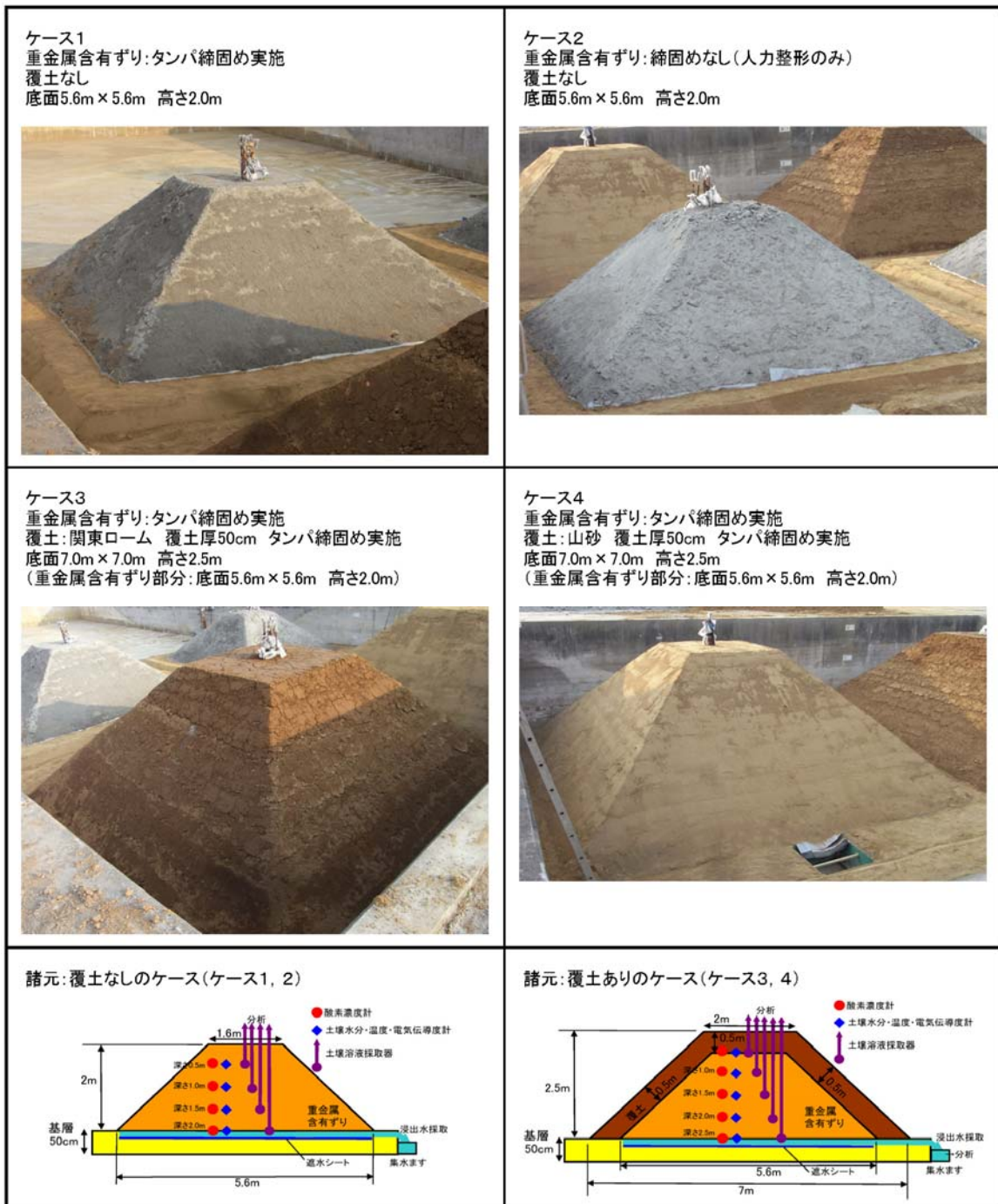


図-8 重金屬含有ずりによる屋外盛土実験ケース

理法を前提した自然環境下での溶出過程の解明および対策方法の現場適用性の検証のため、土木研究所（つくば）構内の屋外に重金属等含有不純物による実験用盛土を20年度に構築した（図-8）。21年度は実験用盛土の構造の違いによる重金属等の溶出特性および降雨一流出過程の違いを検証した。

3.2 実験用盛土の仕様および観測項目

実験に用いた重金属等含有掘削不純物はトンネル掘削による発生土で中期更新世の泥岩からなり、短期溶出試験による砒素の溶出量については土壌溶出量基準を超過する（参考として同一地質の別試料による短期溶出試験結果を表-3に示す）。実験ケースは、コスト縮減に役立つと考えられる覆土工法の効果を検討するため、覆土を行わないケースと行うケースを設けた。覆土を行わないケース（重金属等含有不純物のみ盛土）については、盛土の締固め度の違いの影響を検討するため、タンク締固めを行ったもの（ケース1）と行わないもの（ケース2）を築造した。覆土を行うケースについては、重金属等含有不純物の部分は同一条件（タンク締固め実施）で構築し、覆土の透水性の違いによる影響を検討するため、関東ロームによる覆土（ケース3）と山砂による覆土（ケース4）を築造した。

いずれのケースにおいても盛土底面にプラスチック製の排水層を設け、さらにその下部に遮水シートを敷設し、盛土底面からの浸出水を集水した。21年10月より、集水部に転倒ます型雨量計を改造した流量計を設置するとともに、自動採水装置を設置した。

また各ケースとも、盛土内の環境を把握する目的で、酸素濃度、電気伝導率、土壌水分、温度の測定機器を設置した。

3.3 観測結果

1) 盛土浸出水の水質分析（平成21年6月11～12日）

盛土底面からの浸出水については盛土築造後約3ヶ月の時点で降雨に合わせて採水を実施した。浸出初期、中期、後期の3回に分けて2ケースの盛土からの浸出水を採水分析した。分析項目と分析結果は表-3の通りである。覆土を行わず、タンク締固めを行わなかったケース2についてはふっ素が地下水環境基準値を超過したほか、基準値以下ながら砒素、ほう素が検出された。一方、関東ローム層で覆土し、タンク締め堅めを行ったケース3については、ふっ素が地下水環境基準値をわずかに超過したほか、基準値以下ながらほう素が検出された。なお、砒素については定量下限値以下であった。

また、浸出水の分析結果を見ると、経時的な変動は特

表-3 盛土浸出水の分析結果（平成21年6月）

採水日時	ケース2			ケース3			参考：同一地質の別試料に関する短期溶出
	平成21年6月11日 9:00	平成21年6月11日 15:00	平成21年6月12日 14:30	平成21年6月11日 9:00	平成21年6月11日 15:00	平成21年6月12日 14:30	
Cd	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.001
Pb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
As	0.005	0.005	0.006	<0.005	<0.005	<0.005	0.024
Se	0.008	0.016	0.010	0.0062	<0.005	<0.005	0.005
F	1.5	1.5	1.5	1.1	1.0	1.1	0.4
B	0.18	0.20	0.20	0.15	0.14	0.14	<0.1
Ca	700	780	780	660	650	640	23
SO42-	1800	2000	2000	1600	1700	1700	83
pH	8.0	8.0	8.1	8.0	8.0	8.0	6.9
Ec	330	350	340	300	290	290	27

段の傾向は認められなかった。

2) 盛土浸出水の水質分析（平成21年10月8～9日）

盛土築造後約7ヶ月後の時点で、降雨に合わせて1時間おきに採水分析を実施した。分析項目については表-3の結果を参考に、砒素、ふっ素、pH、電気伝導率を測定した。

平成21年9月12日から10月9日までの降水量の変化および浸出水量との関係を表-4および図-9に示す。9月中旬より10月初旬にかけてほとんど降水がなく、盛土浸出水量については9月12日より観測を開始し、一部欠測を生じたものの10月8日の採水まで少なくとも25日間は浸出水が発生しなかったと考えられる。その後10月8日未明から午前中までの一降雨で約90mmの降雨を記録した。

降水量と浸出水量の関係を見ると、覆土を行っていないケース1、2のほうが、覆土を行ったケース3、4に比べて降雨への反応が早い。また、降水量に対する浸出水量の比（流出率）は覆土を行ったものの方が小さい傾向がある。

浸出水量と水質の変化について図-10および図-11に示す。覆土を行っていないケース1、2については砒素を検出しているが、覆土を行ったケース3、4については砒素を検出していない。ふっ素についても覆土を行ったものの方が覆土を行っていないものに比べて濃度が低い。この傾向は6月の結果と同様であった。この結果からは覆土そのものに重金属等の溶出抑制効果がある可能性があると考えられる。また、覆土を行った場合は浸出

表-4 土木研究所における降水量および盛土浸出水量
平成21年9月12日～10月9日までの観測結果

	降水量(mm)	盛土からの浸出水量(mm)			
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
9月12日～10月4日	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10月5日	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10月6日	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10月7日	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10月8日	90.5	9.3	3.3以上*	3.5	2.8
10月9日	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0
9月12日～10月9日	131.0	9.3	3.3以上*	3.5	2.9
流出率(%)	-	7.1	2.5以上*	2.7	2.2

* 流量計が欠測したため、実際の浸出水量はこれより多い。

8.5 自然的原因による重金属汚染の
対策技術の開発（1）

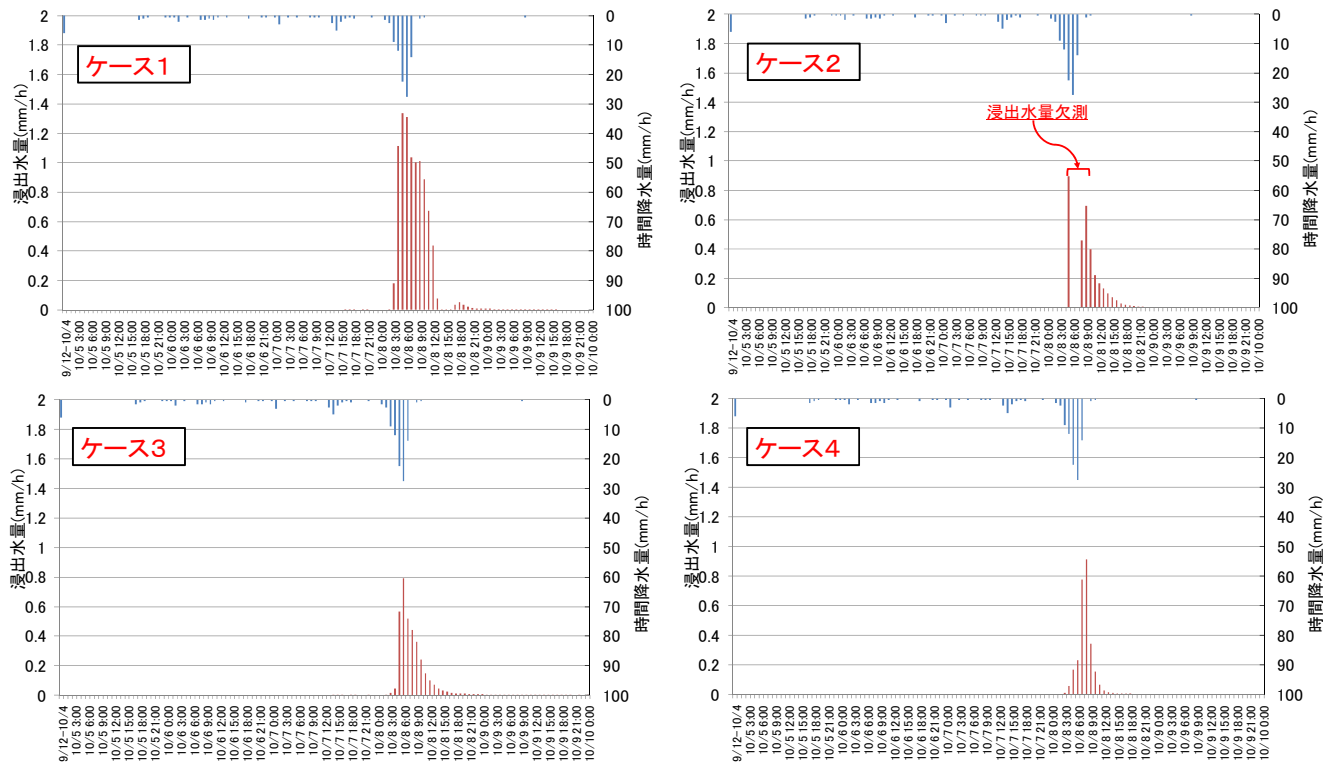


図-9 土木研究所における時間降水量と実験用盛土からの浸出水量
浸出水量は、一時間あたりの流量計の積算値を盛土底面積で除した値である。

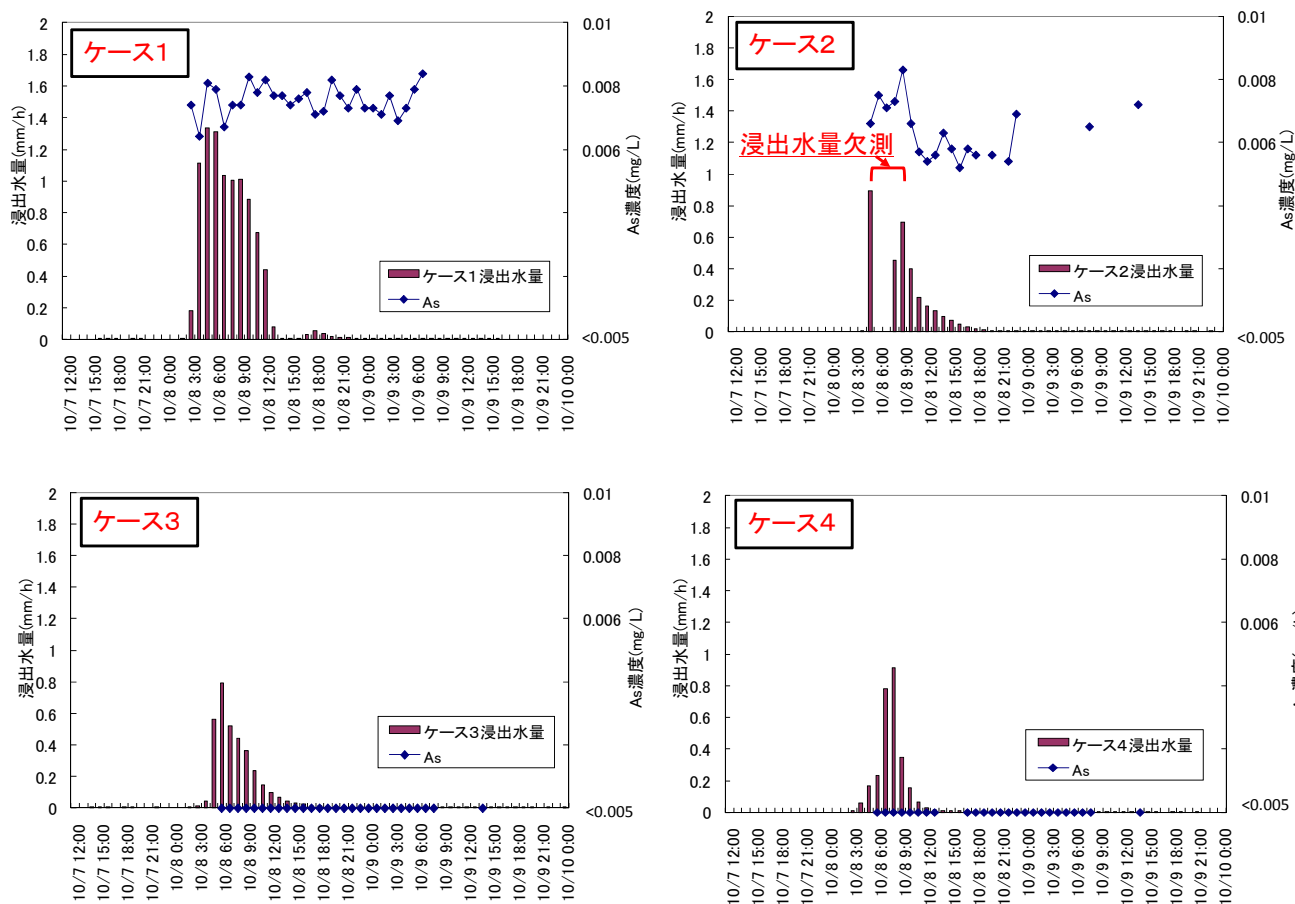


図-10 実験用盛土浸出水の砒素濃度の経時変化

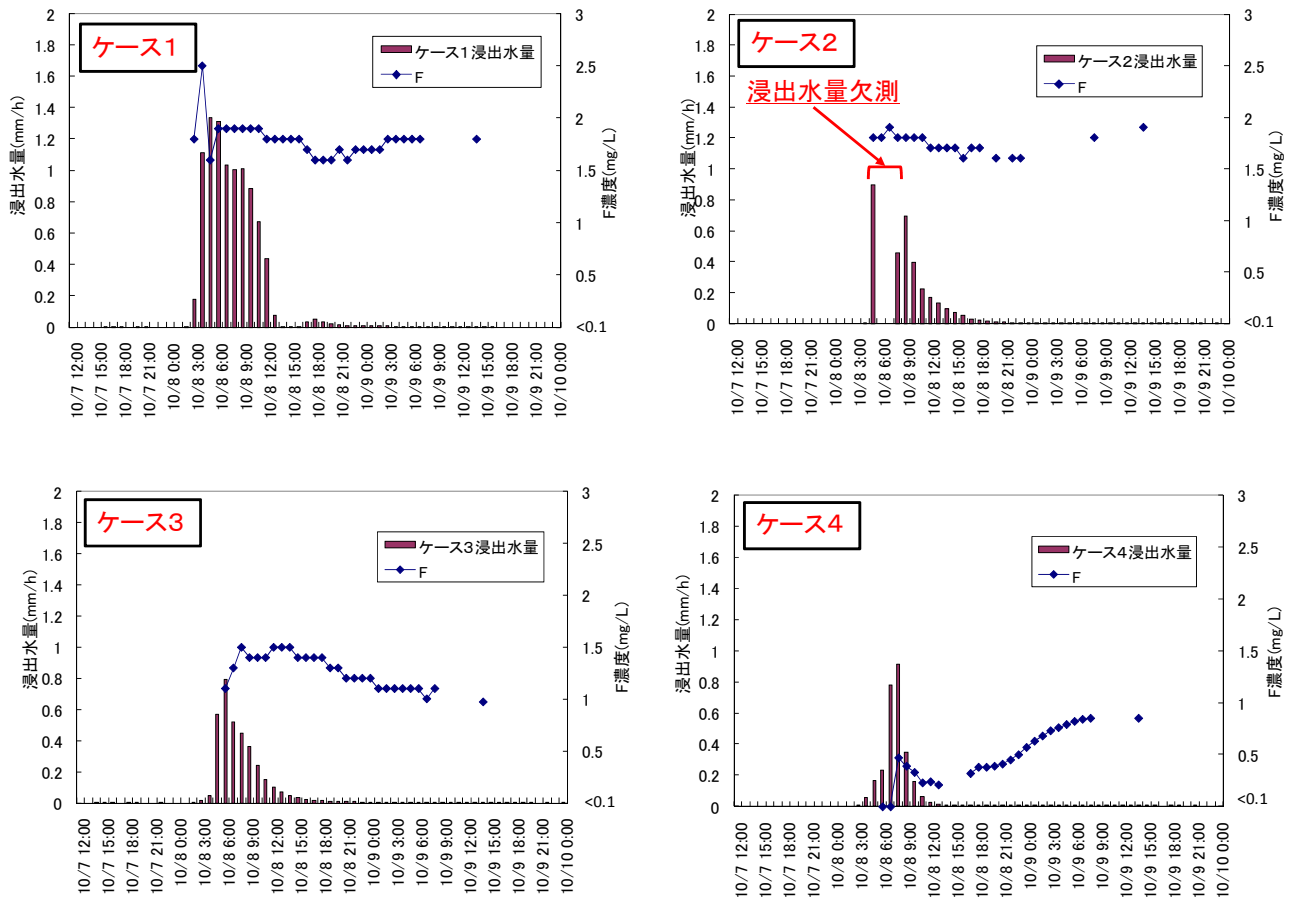


図-11 実験用盛土浸出水のふっ素濃度の経時変化

水量も少ないことから、浸透水による重金属等の負荷量を小さくする効果がある可能性がある。盛土内の酸素濃度測定結果はいずれのデータも 17～21%と比較の高い値で推移しており、盛土構造の違いによる内部環境の違いを示すデータは現在のところ得られていない。今後、盛土内の水の採取分析などを実施し覆土による重金属等の溶出抑制効果について検証を行う必要がある。

なお、無降雨が続いた後の浸出水においても 6 月の分析結果と同様に、経時的な変動に特段の傾向は見られない。この結果からは本実験の規模においては、盛土内の雨水の滞留時間が水質に与える影響はあまり大きくないことが伺える。

4. 「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）」³⁾の作成

これまでの研究成果の一部を、土木研究所が主要な構成メンバーとして執筆・とりまとめを行った、「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）」に反映させた。以下にその骨子を示す。

1) 調査の基本的考え方

地質体に含まれる自然由来の重金属等は、地質体の成

因に起因して偏在する。特に特定の元素が高濃度で含まれる地質体は、鉱山の採掘対象となっている。

公共工事における自然由来の重金属等を含む建設発生土の調査に当たっては、対象となる区域が広大であり、土壤汚染対策法の調査方法を適用しようとした場合、非常に効率が悪い。

自然由来の重金属等の存在の特徴を踏まえ、事業の初期段階において概査を行い、事業の進捗に合わせて問題となる地質および対象元素を絞り込んで精査を実施することとした。調査範囲や対象元素の絞り込みの原理は、類似の地質は類似の重金属等含有・溶出特性を持つという考え方に依っている。

事業段階毎に行うべき主な調査内容を下記に示す。

① 施工前の初期段階（概査）

- ・資料等調査、地質調査、試料分析および水文調査（バックグラウンドの把握）による、重金属等が自然由来であることの確認
- ・資料等調査、地質調査および試料分析による、地質分布と重金属等の濃度の把握、問題となる地質の絞り込み
- ・要対策土量の概略推定など、設計・施工計画のた

めの基礎的な情報取得と計画への反映

② 施工前の後期段階（精査）

- ・問題となる地質を中心とした地質調査、試料分析による、問題となる元素に関する地質分布や重金属等の濃度の把握
- ・水文調査による、バックグラウンドの把握の継続（＝モニタリング）
- ・要対策土量の詳細推定など、設計・施工計画のための基礎的な情報取得と計画への反映
- ・必要に応じて施工中の迅速判定手法の検討

③ 施工中の段階

- ・建設発生土の現場判定（必要に応じて迅速判定の実施）
- ・工事影響および施工した施設のモニタリング

2) 試験方法

I 土の直接摂取による曝露リスク評価のための試験

直接摂取のリスクを把握するための試験（岩石の粉砕試料を用い、試料調製方法以外の手順を環境省告示第19号（平成15年3月6日）に従って行う溶出試験）による。

ただし、後述のスクリーニング試験（全含有量試験）の結果は、原理的に本試験の結果を上回る値を示すので、全含有量試験の結果をもって本試験の結果に代えることが可能であるとした。

II 地下水飲用による曝露リスク評価のための試験

建設発生土の対策の要否を判定するためには、現場で建設発生土が曝される環境条件をできるだけ忠実に模した試験（実現象再現溶出試験）を実施し、保全対象での地下水濃度を適切に推定することが理想である。

実現象再現溶出試験は定まった方法はなく、実施に当たっては、現場毎に、現場条件を反映した適切な実験条件の設定や実験方法の検討を行う必要がある。ただし、これらの検討や試験の実施に時間や費用がかかることから、すべての場合において実現象再現溶出試験を実施することは現実的でない。その場合には、次の試験を実施することとした。

- ① スクリーニング試験（全含有量試験；環水管127号試験、蛍光X線分析法もしくは湿式分析法）
- ② 短期溶出試験試験
- ③ 酸性化可能性試験

3) 評価

調査および試験の結果を踏まえ、自然由来の重金属等を含む建設発生土の評価を次のように行うこととした。試験・評価フローを図-11に示す。

I 土の直接摂取によるリスクの評価

土壌汚染対策法の評価方法に準じ、直接摂取のリスクを把握するための試験の結果が土壌含有量基準の基準値以下であるものを、問題がないものとして扱う。

II 地下水飲用によるリスクの評価

地下水飲用によるリスクの評価に当たっては、発生源評価、およびそれを踏まえたサイト概念モデルを用いた評価を行う。

発生源評価の方法として次の①～④の試験の結果を基準値と比較することによることを基本とする。

ただし、対象地域と同じ地質または類似地質に関するより詳細な溶出試験の結果（たとえば、実現象再現溶出試験の結果、溶出量の経時変化など）、当該重金属等の全含有量、地質試料の鉱物組成、試験結果のばらつきや基準値の超過の程度等を考慮し、地下水飲用によるリスクを定性的に評価（専門家の総合評価）する。その上で必要に応じて試験の種類を追加し、再度評価を行う。

① スクリーニング試験

- ・溶出源評価としては、全含有量が岩石の平均的な含有量以下のものを、問題がないものとして扱う。

② 短期溶出試験

- ・溶出源評価としては、試験結果が土壌溶出量基準の基準値以下であるものを、問題がないものとして扱う。

③ 酸性化可能性試験

- ・試験結果が $\text{pH} > 3.5$ であるものについては、長期的な酸性化の可能性がないものとして扱う。
- ・溶出源評価としては、長期的に酸性化しないものを、長期的な重金属等の溶出に関する問題がないものとして扱う。

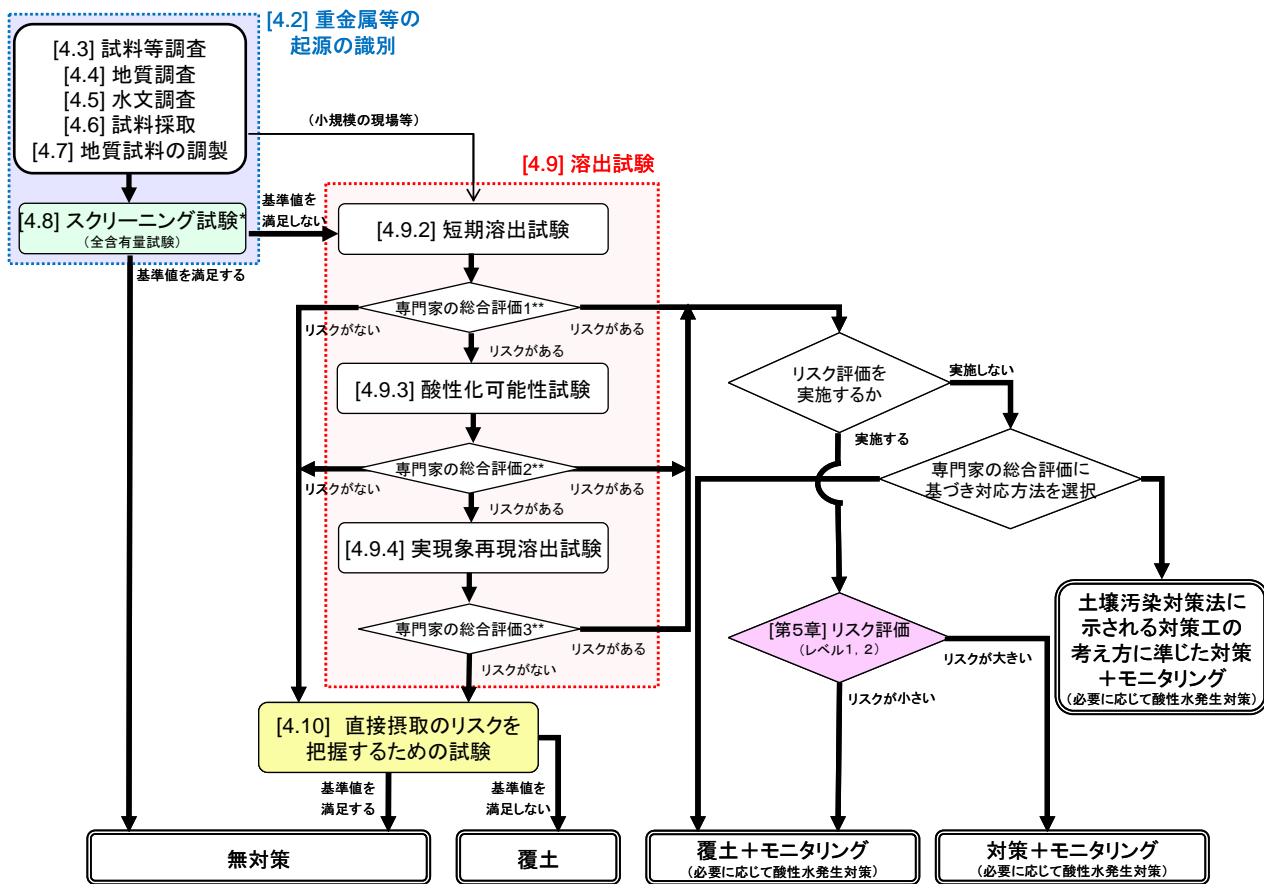
④ 実現象再現溶出試験

- ・溶出源評価としては、試験結果が土壌溶出量基準の基準値以下であるものを、問題がないものとして扱う。

5. まとめ

1) 各種岩石についての様々な溶出試験結果に基づき、重金属等の長期溶出特性評価のための促進溶出試験方法を検討した。その結果、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重金属等の長期溶出特性が評価できることが判った。

2) また、実験用盛土の内部環境および浸出水のモニタリングを実施し、盛土の転圧条件や覆土条件の違いによる重金属等の溶出特性の違いを把握した。その結果、覆土そのものに重金属等の溶出抑制効果がある可能性があることがわかった。



* スクリーニング試験は岩石・土壌の全含有量バックグラウンド値試験を兼ねる。
** 専門家の総合評価において、サイト概念モデルを用いた評価を行うことができるのは、利用場所と今後の管理方法が決まっている場合のみである。

図-11 マニュアル（暫定版）の試験・評価フロー

3) 研究成果の一部を「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）」に反映させた。

参考文献

- 品川・田本・佐々木・伊東・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，日本応用地質学会，pp.99-100，平成21年10月
- 地盤工学会：土質試験の方法と解説—第1回改訂版—，pp.164，平成12年3月
- 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），平成22年3月
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/recyclehou/manual/index.htm>

DEVELOPMENT OF COUNTERMEASURES FOR HEAVY METAL POLLUTION BY NATURAL CAUSES （1）

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2006-2010

Research Team : Material and Geotechnical
Engineering Research
Group(Geology)

Author : Yasuhito SASAKI
Ken-ichi ASAI
Shunsuke SHINAGAWA

Abstract : On the basis of reaching tests of various types of rocks, we studied accelerated reaching test to evaluate long-term reaching characteristics of heavy metals from rocks. The results show that the combination of the short-term reaching test and the acidification possibility test can roughly evaluate long-term reaching characteristics of heavy metals from rocks except for mud stones.

The differences in the reaching characteristics of heavy metals caused by the structural difference of the embankment were studied by monitoring of the internal environment and the properties of the seepage water of experimental embankments. One of the findings was that soil cover has some possibility of being effective in reaching control of heavy metals.

Part of the research results were reflected in “The Manual for Controlling Heavy Metal Pollution Caused by Natural Rocks and Soil on Construction Sites (Provisional version).” published by MLIT.

Key words : heavy metals, long-term exudation, exposure test, embankment management, manual