

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】

重金属等の溶出可能性の高い岩石等の調査手法に関して、土研式雨水曝露試験を実施した結果、溶出液の長期的な酸性化判定手法として、過酸化水素水を用いる pH 試験方法による判定が有効であることがわかった。また各種重金属等の長期的な溶出に関する傾向を把握した。

さらに、重金属等含有岩石等への対策方法について、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、同一試料を用いて4種類の実験用盛土を屋外に構築した。

キーワード：重金属等、長期溶出、曝露試験、盛土処理

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。土壤汚染対策法では自然的原因の重金属等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壤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有する岩石等について、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、各種岩石からの重金属等の溶出特性に関して土研式雨水曝露試験を実施し、長期溶出特性の評価のための基礎資料を得た。

さらに、重金属等含有岩石等への対策方法については、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、土木研究所つくば中央研究所構内の屋外に、同一試料を用いて4種類の実験用盛土を構築した。

2. 重金属等溶出試験法の検討

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、岩石を粒径 2mm 以下に粉碎し、土壤汚染対策法で定める溶出試験(環告 18 号試験)を準用して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おり、室内試験の結果の評価は現状では困難である。そこで本研究では、酸化状態を想定した土研式雨水曝露試験を長期間にわたって実施し、室内試験結果の評価のための基礎資料を得ることを目的とする。

2.2 試料および試験方法

曝露試験に用いた試料およびその曝露期間の一覧を表-1に示す。

表-1 曝露試験試料一覧

略号	岩種	曝露期間 (2009年4月現在)
YN	安山岩	3年3ヶ月
DM	火山礫凝灰岩	3年3ヶ月
NK	泥岩	3年3ヶ月
SP	砂岩	3年3ヶ月
SK2	石英質鉍脈(硫砒鉄鉍)含有	3年3ヶ月
SK2+LS	SK2に等量の石灰岩を混合	3年3ヶ月
TK	泥質片岩	11ヶ月
KS	砂質泥岩	11ヶ月
MB-1	泥岩	11ヶ月
MB-2	泥質細粒砂岩	11ヶ月
MB-3	泥岩	11ヶ月
MB-4	凝灰岩	11ヶ月
MB-5	泥質砂岩	11ヶ月
SE	凝灰岩	10ヶ月
AI	安山岩質凝灰角礫岩(変質)	8ヶ月
US	安山岩溶岩(変質)	8ヶ月
TU	安山岩質凝灰角礫岩(変質)	8ヶ月
MR	安山岩溶岩(変質)	8ヶ月

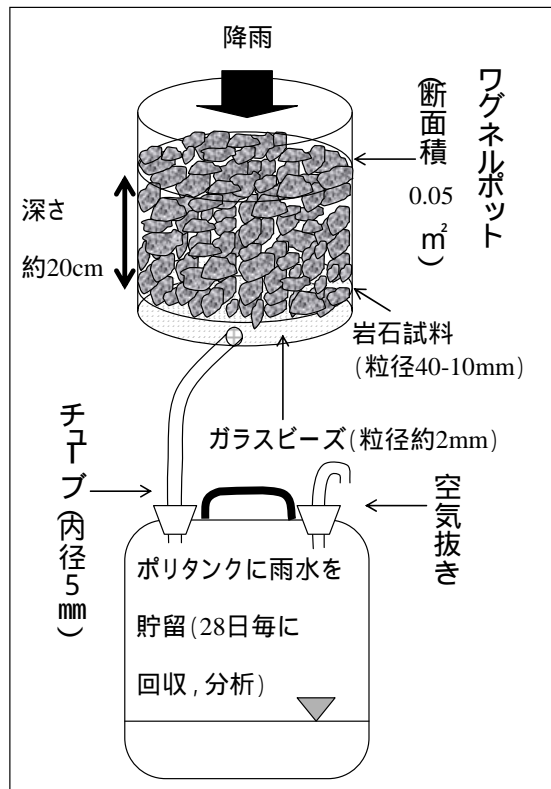


図-1 土研式雨水曝露試験の概要

試料は粒径約 10～40mm に調整し、屋外に設置した土研式雨水曝露試験装置に投入する。試験装置を通過した降雨はポリタンクに貯留し、28日おきに採水、分析を行う。試験装置および試験の概要を図-1 に示す。

なお、各試料は一部を分取し、粉碎して 2mm 以下に調整した試料を用いて各種の溶出試験等を実施した。

2.3 試験結果と考察

土研式雨水曝露試験による水素イオン濃度指数(pH)

および電気伝導率(EC)の時間変化を図-2 に、各種重金属等濃度の時間変化を図-3 に示す。また、過酸化水素水を用いるpH試験方法¹⁾によるpH、環告 18 号試験、含有量試験の結果の一部および曝露試験におけるpH変化の所見を表-2 に示す。

pH については曝露当初より低い値で推移するもの、弱アルカリあるいは中性で推移するものが多い(図-2)。

US については当初低い値を示していたものの、84日経過時にはほぼ中性になった。また、YN については987日経過時に pH が酸性化し、その後 pH5 以下で推移していることが特筆される。その原因については現在のところ不明であるが、本試料は硫黄およびカルシウムの含有量が高いのが特徴で、pH の低下と時を同じくして硫酸イオン濃度が上昇していることから、pH の低下は pH 緩衝鉱物の消失によるものの可能性がある。

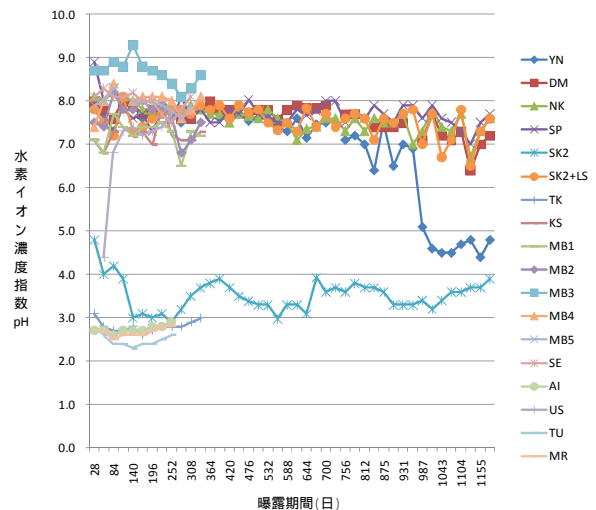


図-2 土研式雨水曝露試験による水素イオン濃度指数

表-2 試料の各種溶出試験および含有量試験(一部)および曝露試験における pH 変化所見

試験名 分析項目 単位	過酸化水素水pH	環告18号				全含有量(太字は環水管127号)					曝露試験における pH変化所見
	pH	pH	Cd mg/L	Pb mg/L	As mg/L	Cd mg/kg	Pb mg/kg	As mg/kg	S %	Ca %	
YN	3.0	9.8	<0.001	0.005	0.005	0.12	5.6	5.5	2.17	6.4	987日後に低pH
DM	3.5	8.7	<0.001	0.002	0.005	0.12	5.3	12	1.69	5.45	
NK	6.3	9.8	<0.001	0.003	0.009	0.066	20	7.4	0.58	1.44	
SP	10.5	10.1	<0.001	0.008	0.084	0.031	16	8.6	0.059	0.91	
SK2	1.7	7.1	<0.001	0.012	2.1	19	6700	110000	5.71	0.28	曝露低pH
SK2+LS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TK	-	3.4	<0.001	<0.005	<0.005	<0.5	8.3	17	0.41	0.030	低pH
KS	-	6.9	<0.001	<0.005	0.024	<0.5	13	7.7	0.45	2.44	
MB-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MB-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MB-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MB-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MB-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SE	-	7.7	0.004	<0.005	0.017	<0.5	13	64	0.16	1.64	
AI	2.0	3.0	<0.001	<0.005	<0.005	0.07	6.8	8.4	2.52	0.05	低pH
US	2.6	5.5	0.003	<0.005	<0.001	0.38	11.0	60.1	0.352	0.26	低pH、84日後に中性化
TU	2.0	4.2	<0.001	<0.005	<0.001	0.25	11.0	7.3	0.826	0.12	低pH
MR	2.0	3.0	<0.001	0.010	<0.001	0.14	28.9	13.1	2.06	0.08	低pH

8.5 自然的原因による重金属汚染の
対策技術の開発(1)

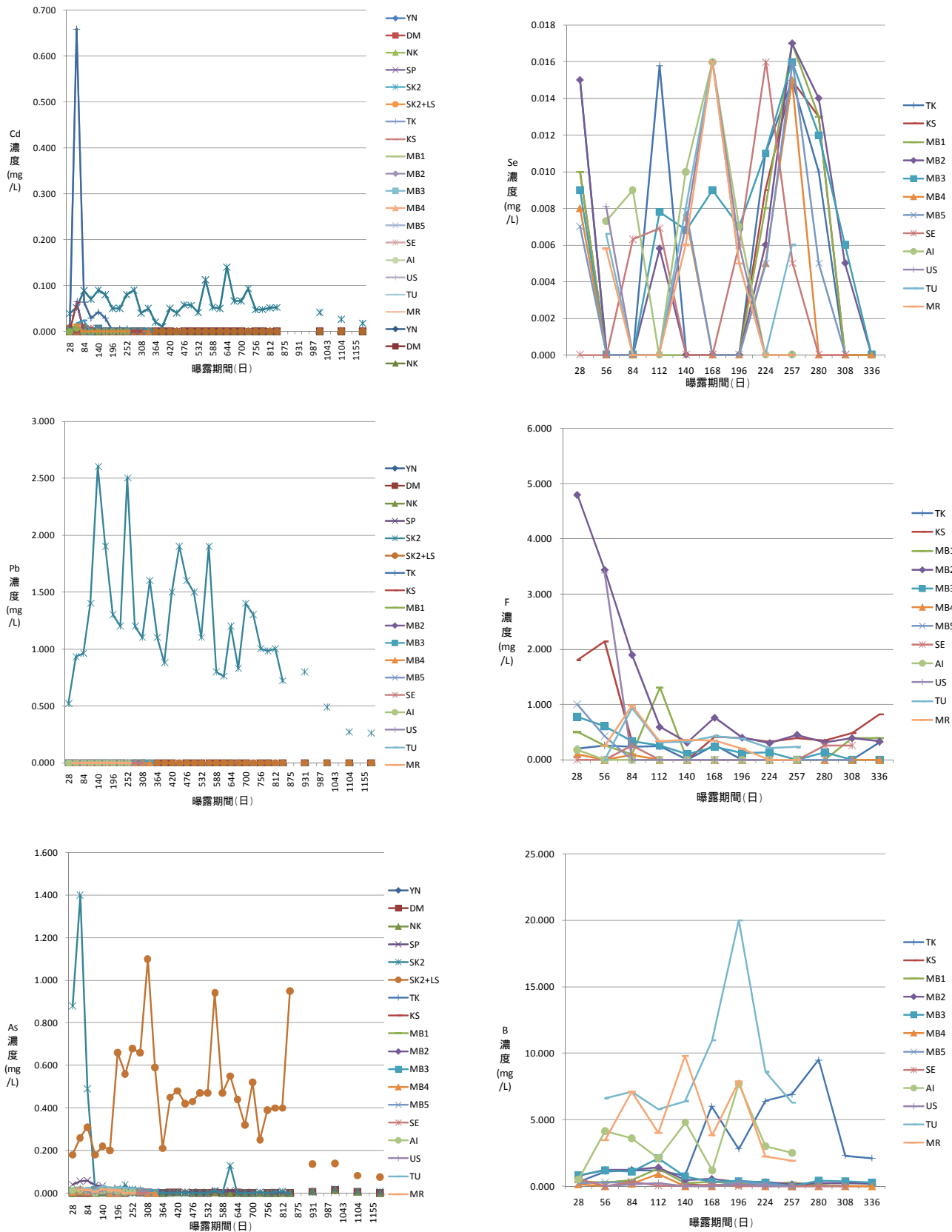


図-3 土研式雨水曝露試験による各種重金属等濃度の時間変化
 左上：カドミウム、左中：鉛、左下：砒素、右上：セレン、右中：ふっ素、右下：ほう素

曝露試験において pH が低い値を示した試料は、試験値があるものはいずれも過酸化水素水を用いた pH 試験で酸性硫酸塩土壌の判定値とされる 3.5 を下回っている(表-2)。この判定方法は、環告 18 号試験で pH が中性を示す SK2 および、アルカリ性を示す YN のような試料も、長期的に酸性化する可能性があるものとして判定できることから、岩石からの溶出液の長期的な酸性化の判定に有効であるといえることができる。

各種重金属等濃度の時間変化(図-3)からは、元素ごとに長期的な溶出の傾向が見て取れる。

カドミウムについては、カドミウム含有量が多い(表-2) SK2 を除いて比較的短い期間で溶出量が低下する。

鉛については溶出する事例が少ないので不明である。なお、唯一溶出が見られた SK2 は鉛主成分とする硫磁鉄鉱を含み、鉛含有量が著しく多い。

砒素については、比較的短期間で溶出量が低下し、1 年後には SK2 を除いて、環境基準を下回った。なお、SK2 の構成鉱物の 1 つである硫磁鉄鉱は砒素を主成分とするため、砒素含有量が著しく多い(表-2)。

セレンについては、溶出挙動が不安定でなおかつ溶出量がそれほど多くないという特徴がある。

ふっ素については、短期間に溶出量が低下する。

ほう素については、いくつかの試料で時間とともに溶出量が増大する傾向が見られた。

なお、セレン、ふっ素、ほう素については今年度より測定を開始しており、分析データが不足している。そのため不明な点が多い。次年度はこれらの元素を対象にして各種の分析を実施する予定である。

3. 屋外実験用盛土の構築

建設現場における一般的な処理法と考えられる盛土処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含有不純物による実験用盛土を構築した(図-4)。用いた重金属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、環告 18 号試験による砒素の溶出量が最も多いもので 0.043mg/L と環境基準を上回っている。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(重金属含有不純物のみ)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、タンパ締固めを行ったケースと行わないケースを設けた。覆土を行うケースについては、重金属含有不純物の部分は同一条件(タンパ締固め実施)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のケースと山砂による覆土のケースを設けた。

測定項目については各ケースとも、盛土内の環境に係る項目として酸素濃度、電気伝導度、土壌水分、温度の測定機器および盛土内部の水の分析のための水分採取器具を深さ 50cm 毎に埋設するとともに、盛土底面から浸出する水分を採取できる構造とした。各項目の測定および採取した水分の分析を 21 年度から開始する予定である。

4. まとめ

- 1) 土研式雨水曝露試験によって、岩石から溶出液の長期的な pH の変化を観測し、過酸化水素水を用いる pH 試験方法の結果と比較を行った。その結果、両者は整合的であり、過酸化水素水を用いる pH 試験方法による判定は、溶出液の長期的な酸性化の判定に有効であることが判った。
- 2) 岩石からの溶出液中の重金属等の濃度変化から、各元素の長期的な溶出傾向が把握できた。多くの元素については長期的に溶出量が低下するがほう素については増大するものがあることが判った。これらの現象については不明な点が多く、今後解明のための分析を実施する必要がある。
- 3) 建設現場における一般的な処理法と考えられる盛土処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含有不純物による実験用盛土を構築した。特に、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、実験ケースとして覆土を行わないケースと行うケースを設けた。盛土内の酸素濃度、電気伝導度、土壌水分、温度の測定、盛土内部の水および盛土底面から浸出する水の採取及び分析を平成 21 年度から開始する予定である。

参考文献

- 1) 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

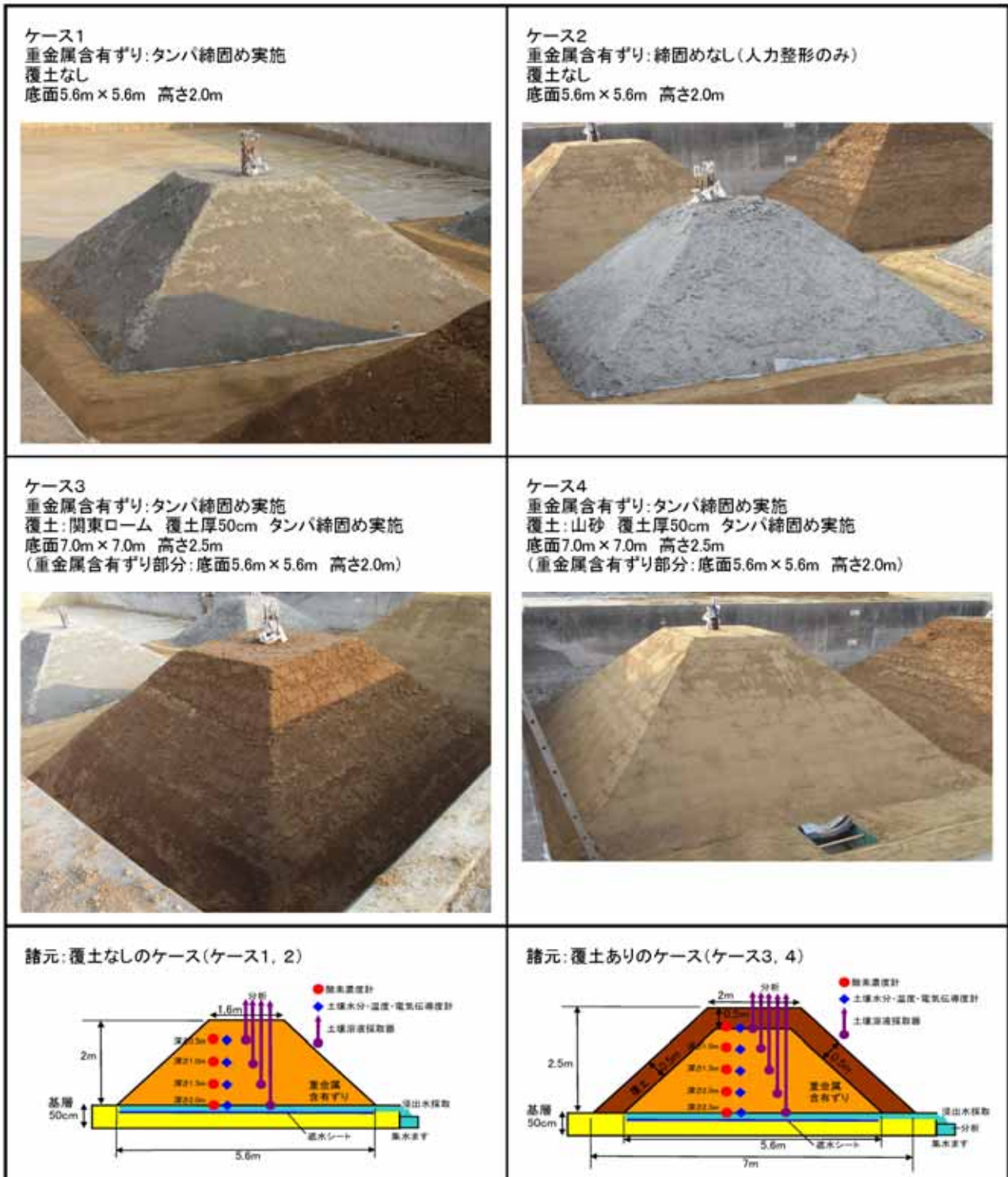


図-4 重金属含有不ありによる屋外盛土実験ケース

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

Abstract : In order to develop the methods to investigate the geologic bodies which has high concentration exudation of heavy metals, we carried out the long-term exposure test designed by the PWRI. According to the experiments, the pH test using hydrogen peroxide solution may be suitable for the evaluation of the long-term souring. According to the experiments, we corrected a tendency in the long-term exudation of heavy metals. In addition, in order to develop the method of the embankment management, we made 4 embankments on outdoor for experiments.

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