

## 7.3 環境安全性に配慮した建設発生土の有効利用技術に関する研究①

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：地質・地盤研究グループ

（特命事項担当、地質）

研究担当者：阿南修司・品川俊介・菅原雄

## 【要旨】

自然由来重金属等のハザード評価に関し、セレンを含む岩石 6 試料に対し、短期溶出試験と土研式雨水曝露試験を実施したところ、元素毎に溶出挙動が大きく異なり、特にセレン、ほう素は溶出初期に高濃度になることが分かった。

対策工法に関して、吸着層工法の確実な効果を確認するための、吸着層内の水みち発生等を考慮した吸着層の試験方法を考案した。

キーワード：自然由来 重金属等 曝露試験 吸着層工法 水みち

## 1. はじめに

自然由来重金属等含有岩石・土壌や人為汚染土壌、廃棄物混じり土（以下、「要対策土」）に遭遇する事例が顕在化する中、平成 22 年に改正土壌汚染対策法が施行され、自然・人為の由来を問わず要対策土へのより厳格な対応が求められている。このような背景から、工事区域内における要対策土の有効利用に対するニーズは大きい。

有効利用の促進のためには、土壌汚染対策法への対応に加え、適切なハザード及びリスク評価技術を確立する必要がある。また、要対策土への対策技術について、技術基準が未整備の工法がほとんどで、設計・施工・維持管理の指針が必要である。

本研究では、環境安全性を確保しながら建設発生土の有効利用を進めていく技術の提案を通じて低環境負荷を実現することを目的としている。

平成26年度は、ハザード評価に関する検討として、セレンを含む掘削ずりについて、他の有害物質との溶出特性を比較するため、各種の試験を開始した。

また、対策方法に関する検討として、吸着層工法の確実な効果を確認するための、吸着層内の水みち発生を考慮した吸着層の試験方法を検討した。

## 2. セレンを含む掘削ずりの溶出特性評価

## 2.1 実験の目的

平成 25 年 10 月、中部横断自動車道（富沢～六郷）（仮称）南部インターチェンジ工事現場内において、地

下水よりセレンを検出した。その原因の一つとして、「セレンを含むトンネル掘削土（岩石）による盛土下の土の置換えを行っていたところ、一時的に置換え土が地下水に浸かったことで、セレンを含んだ水が地下に浸透したこと」が挙げられている<sup>1)</sup>。そこでセレンを含む掘削ずりについて、他の有害物質との溶出特性を比較するため、各種の試験を開始し、溶出試験の違いによる結果の比較を行った。

## 2.2 実験方法

## 2.2.1 試料

試料は、セレンを含む岩石 6 試料である。試料の諸元を表-1 に示す。

表-1 試料一覧

試料名	年代	岩種
KZ	新第三紀	泥岩
SR	新第三紀	泥岩
DG1	新第三紀	泥岩
DG2	新第三紀	泥岩
KB6	古第三紀	泥岩
TE	白亜紀	泥岩

## 2.2.2 実験方法

各試料は粉碎縮分し、粒径 40-10mm とした試料 13kg を土研式雨水曝露試験（図-1）に供した。本試験は現在、継続実施中であるが、本研究では 308 日目または 392 日目までの結果をまとめた。

また 40-10mm 試料の一部を全量粒径 2mm 以下に粉砕し、短期溶出試験（粉砕試料を用いた環告 18 号試験）に供した。さらに、SR、KB6 の各試料については、固液比を 1:2 とした短期溶出試験を実施した。

各種試験によって得られた検液は、水質分析を行った。分析項目は Cd, Pb, As, Cr<sup>6+</sup>, Hg, Se, F, B, Cu, Zn, Fe, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl, アルカリ度, Na, K, Ca, Mg, Al, pH, EC の各項目である。また SR, KB6 の検液の一部は HPLC-ICP-MS 法によるセレンの価数分析を行った。

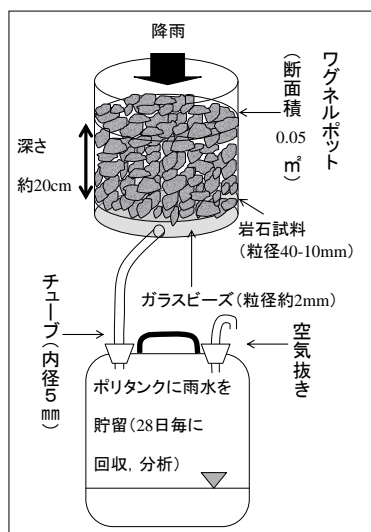


図-1 土研式雨水曝露試験

図-2に砒素、セレン、ふっ素、ほう素について、土研式雨水曝露試験および短期溶出試験の結果を示す。

土研式雨水曝露試験は、溶出現象の時間変化が把握できる試験である。一般に時間が経つにつれて各成分の濃度が減少する傾向が認められるが、その変化傾向は元素毎に異なる様子がわかる。セレン、ほう素は曝露開始から 56 日までに濃度の極大が認められ、その後減少する。その減少の程度をみると、セレンは急激に、ほう素は緩やかである。砒素も減少傾向が認められるものが多い。一方、ふっ素については様々であり、濃度減少の傾向は不明瞭である。

短期溶出試験の濃度と土研式雨水曝露試験の検液の最大濃度の比較をした（表-2）ところ、砒素は 1:1～3.2、ふっ素は 1:2～3.5 であったのに対し、セレンは 1:2.8～25.5、ほう素は 1:4.5～8.0 と、その濃度比は元素毎に大きく異なった。

### 2.3.2 固液比を変えた短期溶出試験の濃度およびセレンの価数分析の結果

SR, KB6 の短期溶出試験について、通常行われる固液比 1:10 に加えて、固液比 1:2 の試験を行い、比較を行った。また、セレンは溶液中では SeO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Se<sup>6+</sup>) または HSeO<sub>3</sub> (Se<sup>4+</sup>) の形態を取ることが知られているが、SR, KB6 の短期溶出試験の検液について価数の分析を行った。結果を表-3 に示す。

## 2.3 実験結果

### 2.3.1 土研式雨水曝露試験および短期溶出試験結果

表-2 短期溶出試験濃度と土研式雨水曝露試験の最大濃度との比較（砒素、セレン、ふっ素、ほう素）

試料	KZ			SR			DG1		
	短期溶出	雨水曝露	濃度比	短期溶出	雨水曝露	濃度比	短期溶出	雨水曝露	濃度比
	A(mg/L)	B(mg/L)	B÷A	A(mg/L)	B(mg/L)	B÷A	A(mg/L)	B(mg/L)	B÷A
As	0.002	0.005	2.5	0.018	0.038	2.1	0.006	0.006	1.0
Se	0.005	0.051	10.2	0.008	0.039	4.9	0.009	0.099	11.0
F	0.2	0.4	2.0	0.2	0.7	3.5	0.2	0.5	2.5
B	0.3	1.9	6.3	0.3	2.4	8.0	0.2	0.9	4.5

試料	DG2			KB6			TE		
	短期溶出	雨水曝露	濃度比	短期溶出	雨水曝露	濃度比	短期溶出	雨水曝露	濃度比
	A(mg/L)	B(mg/L)	B÷A	A(mg/L)	B(mg/L)	B÷A	A(mg/L)	B(mg/L)	B÷A
As	0.011	0.011	1.0	0.001	0.002	2.0	0.006	0.019	3.2
Se	0.030	0.083	2.8	0.003	0.040	13.3	0.002	0.051	25.5
F	<0.1	0.2	-	<0.1	0.2	-	<0.1	0.1	-
B	<0.1	0.3	-	<0.1	0.1	-	<0.1	0.2	-

表-3 固液比を変えた短期溶出試験濃度の比較（砒素、セレン、ふっ素、ほう素）

試料	SR			KB6		
	固液比1:10	固液比1:2	濃度比	固液比1:10	固液比1:2	濃度比
	A(mg/L)	B(mg/L)	B÷A	A(mg/L)	B(mg/L)	B÷A
As	0.010	0.029	2.9	<0.001	<0.001	-
Se	0.008	0.039	4.9	0.003	0.011	3.7
Se <sup>4+</sup>	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	-
Se <sup>6+</sup>	0.008	0.037	4.6	0.002	0.010	5.0

7.3 環境安全性に配慮した建設発生土の有効利用技術に関する研究①

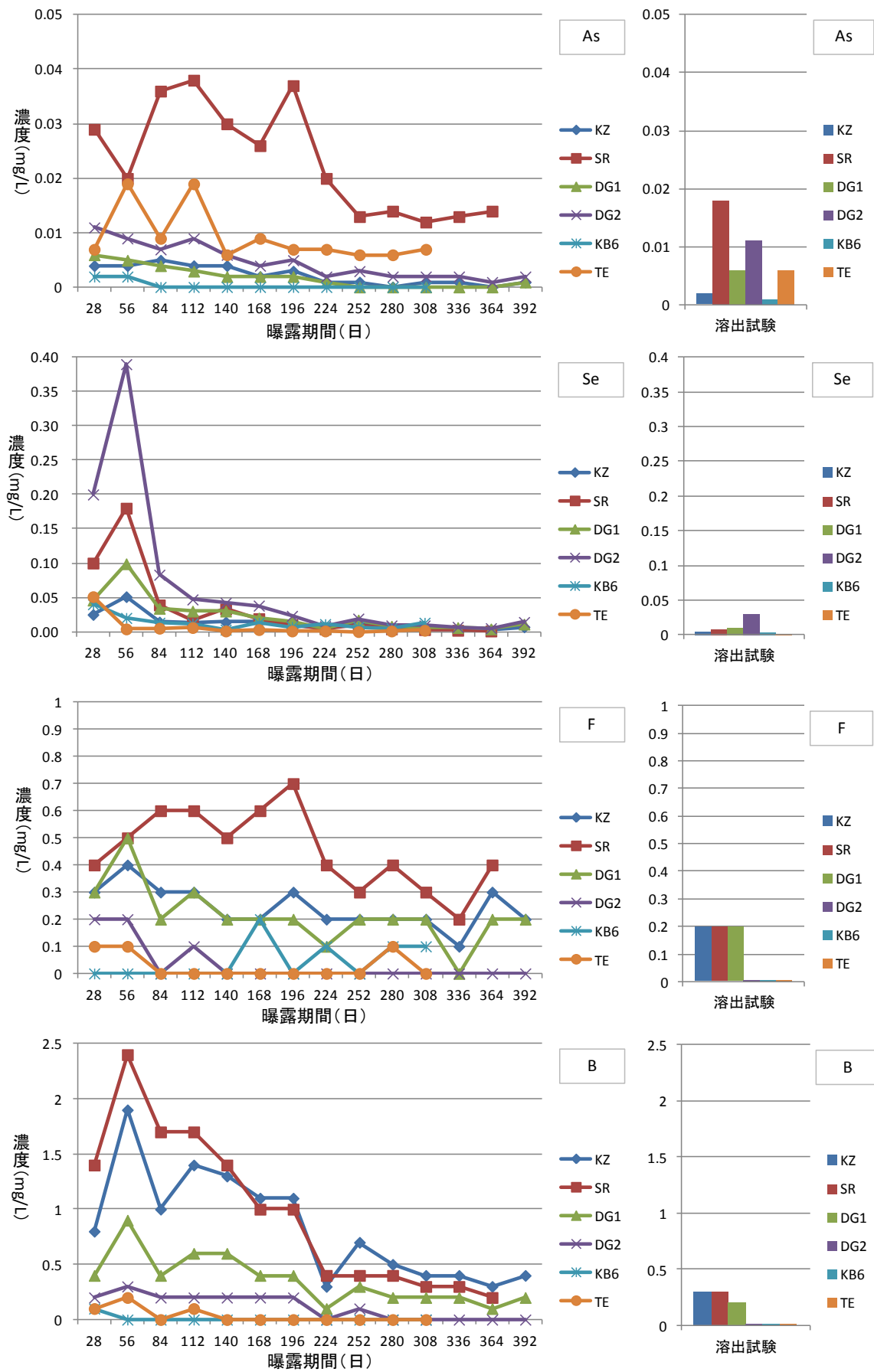


図-2 土研式雨水曝露試験結果（左）と短期溶出試験結果（右）との比較（砒素、セレン、ふっ素、ほう素）

分析の結果、固液比を大きくした場合の濃度の上昇の割合が、砒素よりセレンの方が大きいことが明らかとなった。

また溶液中のセレンのほとんどが  $\text{Se}^{6+}$  であることが分かった。

## 2.4 実験結果のまとめと考察

土研式雨水曝露試験の最大濃度と短期溶出試験結果の濃度比は、元素毎に異なることが分かった。特に濃度比が大きい元素はセレン、ほう素であり、砒素、ふっ素はその濃度比が小さかった。

固液比を変えた短期溶出試験の結果からは、セレンの濃度比が大きく、砒素の濃度比が小さかった。

これらの関係から、土研式雨水曝露試験の初期の状態は、短期溶出試験に比べて、固液比が大きなバッチ試験の状況に類似していると考えられる。

濃度比が大きいセレン、ほう素は環境中で移動しやすいことが知られている<sup>2)</sup>。また、セレンの価数分析の結果、そのほとんどが  $\text{Se}^{6+}$  であることが明らかになったが、 $\text{Se}^{6+}$  は  $\text{Se}^{4+}$  に比べて移動度が高いことが知られている。このように環境中で移動しやすい成分は溶出初期に、短期溶出試験結果に比べて著しく高濃度になりやすく、現場における溶出特性評価において、課題があることが分かった。

## 3. 水みち発生を考慮した吸着層の試験方法の検討

### 3.1 検討の背景

吸着層工法(図-3)では、吸着層母材として土質材料が用いられる。工法の設計にあたり、吸着層母材としていかなる性状の土を用いるかは、吸着層が機能するかどうかに関わる非常に重要な要素であるにもかかわらず詳しい検討結果がなく、設計上支障がある。具体的には、水みちの発生が起こると、投入した吸着資材の一部しか反応に寄与しないことになる。また、透水性が高すぎると吸着資材と浸透水との接触時間が短くなり、吸着が不十分なまま環境中へ浸透水が放出されることになる。

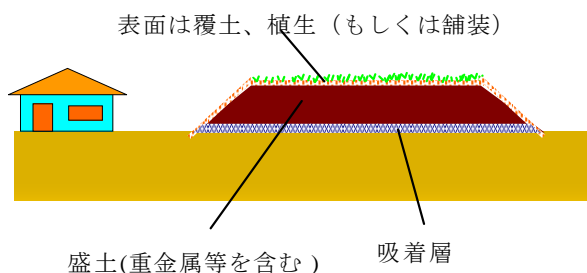


図-3 吸着層工法の概念図<sup>2)</sup>

過年度より吸着層工法の設計に関する基礎実験として、土の水みちの把握手法について検討を行ってきた。吸着層工法の設計に関する基礎実験として、土の水みち形成実験装置(図-4)に一定量の水を流下させた後に蛍光染料を混ぜた水を流下させ、土を切断して紫外線ライト下で断面の写真撮影を行ったところ、蛍光強度の強弱が観察された。観察の結果から蛍光染料は細粒の粘土粒子に強く吸着されること、また、透水により細粒分の移動が生じていることが明らかになった。

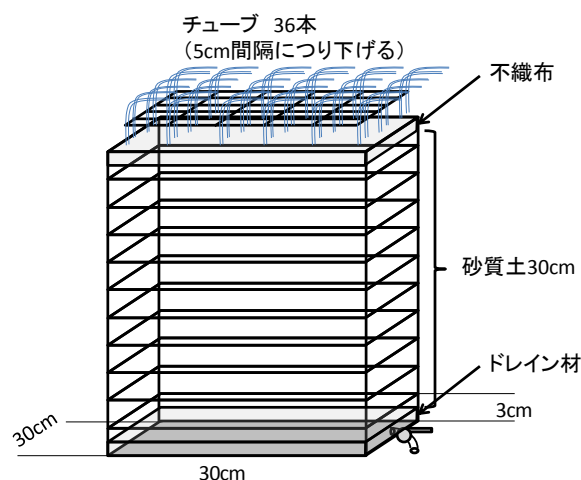


図-4 水みち形成実験装置

どのような土で水みちが形成されるかについての知見が十分でない現状を踏まえ、今年度は、吸着層工法の確実な効果を確認するための、吸着層内の水みち発生等を考慮した吸着層の試験方法を検討した。

### 3.2 吸着層の試験方法での考慮事項

吸着層に求められる性能としては、①盛土内部の水を適切に排水させる透水性、②吸着物質と水との十分な接触時間が確保できる透水性、③吸着物質の保持能力、が挙げられる。また、吸着層の設計上考慮しなければならない条件として、④吸着層内に水みちの発生が起こる場合にはそれを踏まえて吸着材配合量を増やす必要がある。

これらを満足させる条件を規定することは現状では困難なので、施工条件に合わせた室内試験を検討することとした。具体的には、施工しようとする材料に多量の水（たとえば設計対応年数分の浸透量）を流下させた後の吸着層に対して不飽和カラム吸着試験を実施し、その性能を確認することを考えた。本試験の結果では、仮に、吸着層に水みちが形成される材料を

用いる場合、あるいは吸着材が一部流出した場合には、吸着量が少なく見積もられる。

### 3.3 施工時に行う吸着層の試験方法

以下に、考案した施工時に行う吸着層の試験方法を示す。概念図を図-5に示す。

- 1) 現地で用いる吸着材および吸着層母材を用いる。
- 2) 不飽和浸透カラムに吸着層と同様の条件で土を充填する。
- 3) カラム長は現地の吸着層厚とする。
- 4) カラム上部より、設計対応年数分の浸透量の水を流下させる。(例えば、浸透率10%、設計対応年数100年とすると、年降水量の10倍)
- 5) 現地で用いる掘削ずりを用いて作成したずり浸出水を流下させる。
- 6) カラムから浸出する水を一定間隔で採水、分析し、破過点を確認する。

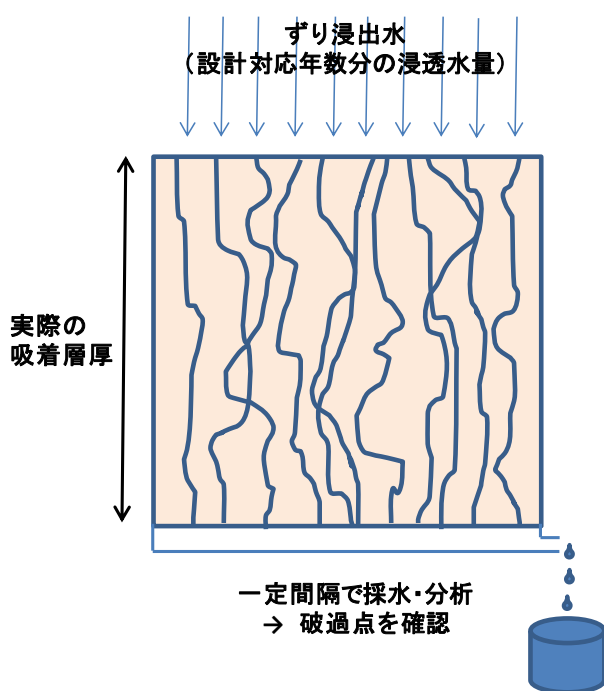


図-5 施工時に行う吸着層の試験方法

### 4. まとめ

- ・土研式雨水曝露試験の最大濃度と短期溶出試験結果の濃度比は、元素毎に異なることが分かった。特にセレン、ほう素は溶出初期に高濃度になることが分かった。
- ・セレン、ほう素のような、環境中で移動しやすい成分は、溶出初期に短期溶出試験結果に比べて著しく高濃度になりやすく、現場における溶出特性評価において、課題があることが分かった。
- ・吸着層工法の確実な効果を確認するための、吸着層内の水みち発生等を考慮した吸着層の試験方法を考案した。

### 参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局甲府河川国道事務所：記者発表資料 中部横断自動車道（富沢～六郷）（仮称）南部インターチェンジ工事現場内で検出されたセレンへの対応について 流出原因と地下水の利用中止範囲縮小等のお知らせ【第3報】，国土交通省関東地方整備局甲府河川国道事務所ホームページ，2013. [http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000088912.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000088912.pdf)
- 2) 島田允堯：自然由来重金属と環境汚染—応用地質学・地球化学的データバンク—，240p.，愛智出版，2014年.
- 3) 建設工事で発生する自然由来重金属等含有土砂への対応検討委員会：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），pp.80，国土交通省ホームページ，2010. [http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/recyclehou/manual/sizen\\_yuraimanyu\\_zantei\\_honbun.pdf](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/recyclehou/manual/sizen_yuraimanyu_zantei_honbun.pdf)

**Utilization techniques of excavated waste for the sake of environmental conservation.①**

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Geology and Geotechnical

Engineering Research Group

**Author** : ANAN Shuji

SHINAGAWA Shunsuke

SUGAWARA Yu

**Abstract:** For the purpose of hazard evaluation of the natural source heavy metal, the reaching test and the exposure test of six rock samples including the selenium were executed. As a result, it was clarified that the dissolution behavior was greatly different in each element. Especially, it has been understood that the selenium and boron become high density at the time of beginning elute in the exposure examination. In order to develop countermeasure technique for heavy metal hazard, the test methodology of the adsorption layer where the water path forming to confirm a certain effect of the adsorption layer technique was designed.

**Key words** : Natural source, Heavy metals, Exposure test, Absorption layer technique, Water path