

## 7.6 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②

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：防災地質チーム

研究担当者：伊東佳彦、倉橋稔幸、岡崎健治、井上豊基、田本修一

### 【要旨】

本研究では、新たな対策技術の評価・施工管理技術の検討の一環として、より経済的な重金属類の汚染拡散防止策を検討するため、北海道内で流通している火山灰等を主体とする土取り場より試料を採取し、カラム法とバッチ法によるヒ素の吸着試験を行い、火山灰土等の吸着性能について検討した結果、カラム法とバッチ法による吸着試験より求めたヒ素の分配係数は高い相関性を示し、本試験条件においてはカラム法で得られる分配係数に対してバッチ法で得られる分配係数は、概ね3割程度であることなどがわかった。

キーワード：建設発生土、重金属、吸着、火山灰、分配係数

### 1. はじめに

平成 22 年 4 月土壤汚染対策法の一部を改正する法律の施行により、自然由来の重金属類を含有する汚染土壌も規制の対象となった。建設工事区域内で発生した汚染土壌に対しても、より厳格な対応が求められるようになった。一方、国土交通省では、平成 22 年 4 月土壤汚染対策法の一部を改正する法律の施行前に「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)」<sup>1)</sup>を公開した。このマニュアルでは、汚染への新たな対応の枠組みとして、人の健康および環境への負の影響がどの程度解消されるのかを定量化するサイト概念モデルに基づくリスク評価による設計手法が示された。この手法を導入することにより、対策の効果をリスクの低減という観点で評価できるため、対策の妥当性を明らかにできるとともに、最も効率的な対策の方法を選択することができるようになる。

ヒ素や鉛などの重金属類は火山灰や粘性土による吸着効果が大い<sup>2)</sup>。このため、重金属類を含有する岩石ずりなどに敷土・覆土することによって、降雨による水の浸透と酸素の侵入を抑制し重金属類の溶出を低減させるとともに、岩石ずりから溶出した重金属類は敷土への吸着により外部への溶出濃度を低減されることが期待される。しかし、現状では土木分野における適用例は少なく、吸着性能を評価するための統一的な試験方法等検討すべき課題がある。

本研究では、新たな対策技術の評価・施工管理技術

の検討の一環として、より経済的な重金属類の汚染拡散防止策を検討するため、北海道内で流通している火山灰等を主体とする土取り場より試料を採取し、カラム法とバッチ法によるヒ素（以下、As という）の吸着試験を行い、火山灰土等の吸着性能について検討した結果を報告する。

### 2. 検討方法

#### 2.1 試料採取

試料は、北海道土壤図<sup>3)</sup>より火山性土が分布するとされる土取り場を5箇所選定し採取した。表-1に試験に供した試料の一覧を示す。また、同表中には平成13年底質調査方法に基づく含有量試験結果と平成15年環境省告示18号に基づく溶出量試験結果を示す。表-1に示すように土壌含有量基準値、土壌溶出量基準値を超過する試料はなかった。

表-1 試験に供した試料一覧

試料名	採取地	地層名	含有量 (mg/kg)	溶出量 (mg/L)
KH-1	北広島市 中の沢	恵庭火山灰層	3.3	0.001
SH-1	新ひだか町 静内豊畑	ヌツカ段丘堆積層	3.5	0.001
KF-1	上富良野町	十勝岳火山灰	1.0	0.001
OM-1	長万部町 栄原	栄原段丘堆積物	2.2	<0.001
NS-1	中札内村 元更別	光地園礫層	8.2	<0.001

※ヒ素：土壌含有量基準値：150mg/kg、土壌溶出量基準値：0.01mg/L

#### 2.2 土質試験・鉱物分析

各試料の物理特性・鉱物学的特性を把握するため、表-2に示す各土質試験およびX線粉末回折試験を実施した。

表-2 土質試験・鉱物分析一覧

試験項目	試験方法
土粒子の密度試験	JIS A 1202「土粒子の密度試験方法」
粒度試験	JIS A 1204「土の粒度試験方法」
締固め試験	JIS A 1210「突固めによる土の締固め試験方法」
透水試験	JIS A 1218「土の透水試験方法」
X線粉末回折試験	定方位、不定方位

### 2.3 吸着試験

吸着試験は、カラム法およびバッチ法に基づき行った。カラム法による吸着試験は、図-1に示すようなアクリル製のφ2cm×H6.2cmのカラム内に試料を厚さ5cm、最大乾燥密度の85%となるように充填した後、カラム底面よりマイクロポンプで試験溶媒を2.4m/dayの速度で15日間通水した。カラム上面より一定時間毎に採水し、カラム通過水の濃度を測定した。試験溶媒は、As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の理化学試験用標準液を用いてNaOH(40g/L)で中和し、溶媒濃度0.1mg/Lとなるよう蒸留水で希釈したものを用いた。

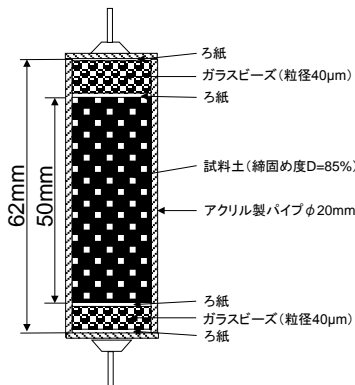


図-1 試験に用いたカラム

バッチ法による吸着試験は、カラム法による吸着試験と同様にAs<sub>2</sub>O<sub>3</sub>標準液を用いてNaOHで中和処理後、溶媒濃度を段階的に100、10、1、0.1mg/Lとなるよう蒸留水で希釈した。調整した溶媒300mlに試料30gを添加し、常温・常圧で4時間振とう(20±2℃、振とう回数毎分200回、振とう幅4~5cm)し、その懸濁液を遠心分離(3000rpm、20分)後、さらに、0.45μmメンブランフィルターでろ過して分析に供した。カラム法、バッチ法ともに吸着試験後の溶液の濃度分析は、ICP質量分析法により行った。

表-3 分析項目および分析手法

分析項目	分析試験方法
非晶質アルミ	シュウ酸塩抽出法 <sup>5)</sup>
非晶質鉄	シュウ酸塩抽出法 <sup>5)</sup>

### 2.4 土壌成分分析

土壌成分分析は、重金属類との吸着に関係性の深い項目<sup>4)</sup>について実施した。各試料の分析項目および分析手法について表-3に示す。

## 3. 検討結果

### 3.1 試料の物理特性および鉱物学的特性

各試料における物理試験、透水試験結果を表-4に示す。粒度特性は表-4に示されるとおり、礫分は2.5~62.9%、砂分は20.6~92.3%、細粒分(シルト分+粘土分)は3.9~30.6%の範囲であった。透水係数は、NS-1を除き道路盛土の路体盛土の施工管理基準値である締固め度D=85%の時で10<sup>-3</sup>~10<sup>-4</sup>m/sオーダーであった。

表-4 土質試験結果一覧

試験項目(単位)		試料名					
		KH-1	SH-1	KF-1	OM-1	NS-1	
土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )		2.242	2.829	2.445	2.694	2.735	
粒度	礫分(2~75mm) (%)	9.8	62.9	22.7	2.5	48.8	
	砂分(0.075~2mm) (%)	61.5	33.2	56.9	92.3	20.6	
	シルト分(0.005~0.075mm) (%)	13.9	3.9	12.1	5.2	12.8	
	粘土分(0.005mm未満) (%)	14.8		8.3		17.8	
	最大粒径 (mm)	26.5	19	37.5	19	53	
	均等係数	156	9.20	97.1	1.96	5364	
締固め	試験方法	A-c	A-c	A-c	A-c	A-c	
	最大乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.008	2.007	1.325	1.568	1.766	
	最適含水比 (%)	44.7	9.6	31.2	21.6	15.7	
透水係数	締固め度 D=85%	試験方法	定水位	定水位	定水位	定水位	変水位
		値(m/s)	2.24×10 <sup>-4</sup>	3.07×10 <sup>-3</sup>	3.44×10 <sup>-4</sup>	3.12×10 <sup>-3</sup>	6.87×10 <sup>-6</sup>
	締固め度 D=90%	試験方法	定水位	定水位	定水位	定水位	変水位
		値(m/s)	8.09×10 <sup>-5</sup>	1.11×10 <sup>-3</sup>	6.02×10 <sup>-6</sup>	4.98×10 <sup>-4</sup>	2.26×10 <sup>-6</sup>
	締固め度 D=95%	試験方法	変水位	定水位	変水位	定水位	変水位
		値(m/s)	1.05×10 <sup>-5</sup>	4.69×10 <sup>-4</sup>	8.96×10 <sup>-3</sup>	1.73×10 <sup>-4</sup>	8.28×10 <sup>-7</sup>

表-5 鉱物分析結果一覧

試料名		KH-1	SH-1	KF-1	OM-1	NS-1
主要造岩鉱物	石英	△	◎	○	○	◎
	斜長石	+	△	◎	○	△
	角閃石		+			+
	ガラス	+		+		
粘土鉱物	雲母類		+	+		+
	緑泥石		+			+
	スメクタイト		+		+	
	ハロイサイト			+		+
	レクトライト					△

◎:極多量、○:多量、△:中量、+:少量

X線粉末回折試験による鉱物同定の結果を表-5に示す。KH-1は石英が中量確認されているが、粘土鉱物は同定されなかった。SH-1とNS-1はともに石英が極多量、斜長石が中量確認され、粘土鉱物は雲母類・緑泥石が同定された。さらにSH-1ではスメクタイトが、NS-1ではハロイサイトとレクトライトが確認され、レクトライトは中量であった。KF-1は斜長石が極多量、石英が多量と確認され、粘土鉱物は雲母類とハロイサイトが同定された。OM-1は石英と斜長石がともに多量と確認され、粘土鉱物はスメクタイトが同定された。

### 3. 2 吸着特性

カラム法による As の吸着試験結果について、経過時間と As 濃度の関係を図-2 に示す。この図より、KH-1、SH-1、KF-1 および OM-1 は時間の経過とともに As の濃度が上昇し 15 日後で 0.084~0.095mg/L となった。一方、NS-1 は溶媒通水直後に 0.026mg/L と高い値を示し、他と異なる濃度変化が見られた。

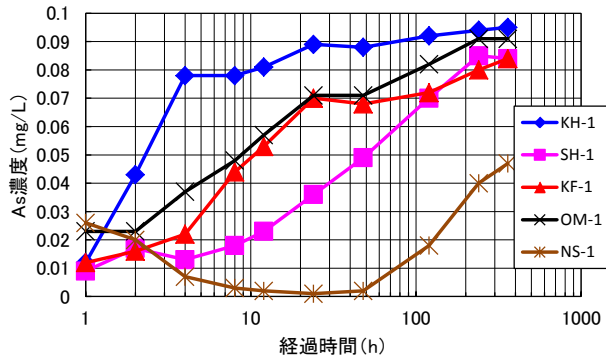


図-2 経過時間と As 濃度の関係

バッチ法による As の吸着試験結果について、平衡液相濃度と As 吸着量の関係を図-3 に示す。また、同図中にはフロイントリッヒ型吸着等温式による近似直線を示す。この図より、溶媒濃度 100mg/L では試料による平衡濃度に差はないが、溶媒濃度が低くなると差が開き始め、溶媒濃度 0.1mg/L では SH-1 と NS-1 が低い値を示した。また、各試料ともフロイントリッヒ型吸着等温式に近似され高い相関性が見られる。

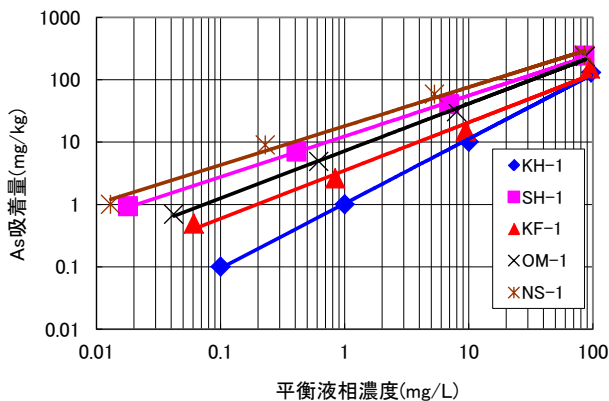


図-3 平衡液相濃度と As 吸着量の関係

### 3. 3 カラム法とバッチ法による吸着試験の比較

カラム法とバッチ法による吸着試験結果を比較するために両試験から求めた分配係数について比較した。カラム法による分配係数は、次元移流分散方程式から遅延係数および分散係数を最小二乗法により同定し、試料への吸着反応を線形吸着反応と仮定して分配係数を算定した<sup>9)</sup>。バッチ法による分配係数は、カラム法による吸着試験の設定濃度 0.1mg/L を平衡液相濃度

としてフロイントリッヒ型吸着等温式に代入して算出した。カラム法とバッチ法の分配係数の関係を図-4 に示す。

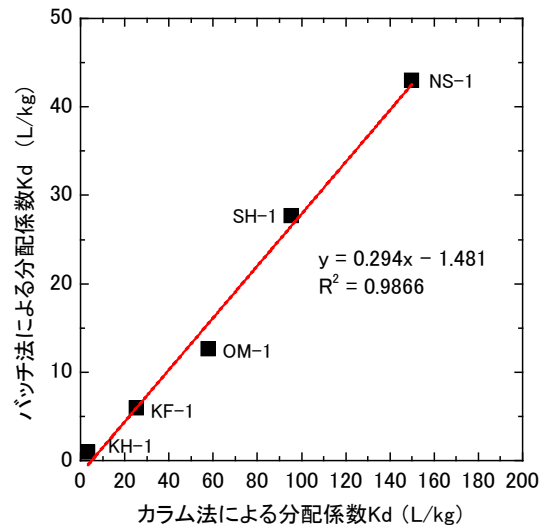


図-4 カラム法とバッチ法の分配係数の関係

この図より、カラム法とバッチ法により求めた As の分配係数は高い相関性を示し、本試験条件においてはカラム法で得られる分配係数に対してバッチ法で得られる分配係数は、概ね 3 割程度であった。これらのことから、本試験条件では吸着試験としてバッチ法がカラム法と比較して安全側の評価を与え、かつ簡便に建設発生土の吸着性能を把握する方法であることが考えられる。

### 3. 4 土壌成分と吸着量

試料中のアルミ、鉄含有量と As 吸着量を比較するため、カラム法による吸着試験の設定濃度 0.1mg/L における As 吸着量で比較した。As 吸着量は、3. 2 で求めた分配係数をカラム法ではヘンリー型の吸着等温式に、バッチ法ではフロイントリッヒ型吸着等温式にそれぞれ代入して算出した。試料中のアルミ、鉄含有量と As 吸着量の関係を図-5、6 に示す。ここで、定量下限値未満のものは、便宜上、定量下限値をプロットした。これらの図より、非晶質アルミ、鉄含有量の値が大きくなると対象重金属類の吸着量は上昇する傾向が見られた。特に、NS-1 で大きな吸着量を示した。

これらの結果は、火山灰土や粘性土に含まれる非晶質ないしは準晶質の粘土鉱物、すなわちアロフェン、イモゴライト、フェリハイドライトなどの含水アルミニウムケイ酸塩鉱物や水酸化鉄鉱物が、重金属類の吸着に大きな役割を果たしているものと考えられる。

## 7.6 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②

の吸着試験を実施した結果、以下のことが明らかとなった。

- ・カラム法とバッチ法による吸着試験より求めた As の分配係数は高い相関性を示し、本試験条件においてはカラム法で得られる分配係数に対してバッチ法で得られる分配係数は、概ね 3 割程度であった。

- ・非晶質アルミ、鉄含有量の値が大きくなると対象重金属類の吸着量は上昇する傾向が見られた。特に、NS-1 で大きな吸着量を示した。このことから、火山灰土や粘性土に含まれる非晶質ないしは準晶質の粘土鉱物、含水アルミニウムケイ酸塩鉱物や水酸化鉄鉱物が、重金属類の吸着に大きな役割を果たしているものと考えられた。

今後の課題として、自然由来の重金属類を含む岩石ずり等からの溶出水を用いた吸着試験を行い、同様な吸着傾向が見られるのか検証する必要があるものと考ええる。

### 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：国土交通省 HP、2010.3.  
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/recyclehou/manual/index.htm>
- 2) 日本地下水学会編：地下水・土壤汚染の基礎から応用、理工図書、pp.127-132、2006.
- 3) 北海道農業試験場：北海道土壤図 農牧地および農牧適地 60 万分の 1、1985.
- 4) 坂田昌弘：土壤へのヒ素とホウ素の吸着特性、電力中央研究所報告 285049、1986.
- 5) Blakemore, L. C., Searle, P. L. and Daly, B. K.: Methods for chemical analysis of soils, NewZealand Soil Bureau Scientific Report, 10A, 1981.
- 6) 中野政詩、宮崎毅、塩沢昌、西村拓：土壤物理環境測定法、東京大学出版会、pp.160-164、1995.

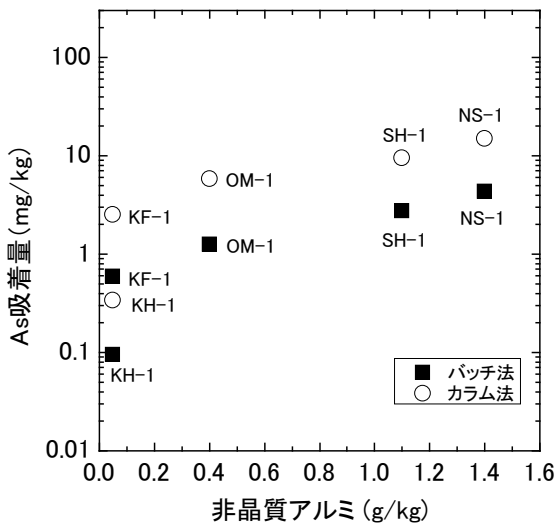


図-5 非晶質アルミ含有量と As 吸着量の関係

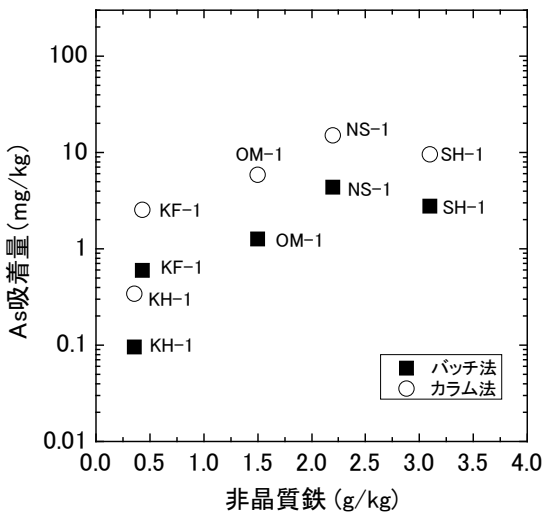


図-6 非晶質鉄含有量と As 吸着量の関係

## 4. まとめと今後の課題

北海道内で流通している火山灰等を主体とする土取り場より試料を採取し、カラム法とバッチ法による As

## RESEARCH ON EFFECTIVE RECYCLING OF SURPLUS-SOIL WITH CONSIDERING TERRESTRIAL ENVIRONMENT (2)

**Budget** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Geological Hazards Research  
Team

**Author** : ITO Yoshihiko

KURAHASHI Toshiyuki

OKAZAKI Kenji

INOUE Toyoki

TAMOTO Shuichi

**Abstract** : In FY2011 we conducted arsenic adsorption test by both a batch method and a column method to specify adsorption potential for heavy metals in surplus-soil of embankment bottom layer. We compared the obtained arsenic partition coefficients. It resulted that the partition coefficient by the column method was roughly three times as much as that by the batch method.

**Key words** : surplus-soil, heavy metal, adsorption, volcanic ash, partition coefficient