

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
井上豊樹、田本修一、山崎秀策

【要旨】

本報告では、土研式雨水曝露試験、酸性化可能性試験、試料中の硫黄分およびカルシウム分に着目して化学分析を行い、酸性水発生予測判定指標を検討した。また、ヒ素を含む泥岩ずりと火山灰質土を用いた吸着層の屋外カラム試験、ヒ素吸着のモデル化による解析を実施し、吸着層のヒ素の吸着効果について検討した。これらの結果、S/Ca モル比が概ね 0.6 を超えた非火山性の岩石について、酸性水発生予測判定指標として利用できる可能性を示した。また、吸着層に用いた火山灰質土層によるヒ素溶出濃度の最大値を低減させ溶出を遅延させる効果を確認し、解析によりヒ素吸着を再現することができた。

キーワード：建設発生土、重金属、酸性水、火山灰質土、カラム試験

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している。平成 22 年 4 月に土壌汚染対策法の一部を改正した法律が施行され、自然由来の重金属類を含有した土も規制の対象となり、対策することが必要となった。これらを背景として、自然・人為の由来を問わず要対策土への厳格な対応が求められており、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。

一方、国土交通省は、土壌汚染対策法の一部を改正する法律の施行前の平成 22 年 4 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(暫定版)」¹⁾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可能になった。

土木工事に伴い発生する自然由来重金属類を含む掘削ずりは大量に発生するため、その処理対策には、より高い安全性を担保しつつ経済的な手法が求められている。処理対策工法の一つである吸着層工法は、遮水シートによる封じ込め措置と比較して経済的である。そして、市

販の吸着材を用いるよりも吸着性能を有する天然の発生土や購入土を利用することで、より経済的な処理対策を行える可能性がある。

そこで本研究では、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ために、自然由来重金属等含有岩石の長期的なハザード評価技術の提案や、新たな対策技術の評価・施工管理技術の提案を目標としている。

平成 25 年度は、自然由来重金属等含有岩石の長期的なハザード評価技術の提案に関して、酸性水発生予測判定の精度を向上させる目的で土研式雨水曝露試験結果を基に酸性化可能性試験、試料中の酸性水の発生に寄与する硫黄分および酸性水の緩衝効果に寄与するカルシウム分に着目して分析し、酸性水発生予測指標の適用性を検証した。

また、新たな対策技術の評価・施工管理技術の提案に関しては、ヒ素（As）を含む泥岩ずりとずり層の下部に吸着層として火山灰質土を用いて屋外カラム試験、As 吸着のモデル化による解析を実施し、吸着層としての As 濃度の低減や溶出の遅延効果を検証した。

2. 長期的なハザード評価としての酸性水発生予測判定の精度向上に関する検討

2.1 試験方法

2.1.1 試料および化学分析方法

表-1 試験に供した試料の一覧表

分類	試料名	岩種	曝露日数 (日)	S含有量 (%)	Ca含有量 (%)	S/Caモル比	曝露試験 最低pH	酸性化可能性試験 pH
火山性	AB	火山礫凝灰岩(変質粘土)	1,064	23.19	0.02	1770.65	1.0	1.0
	SE	凝灰岩	2,044	0.16	1.64	0.12	7.2	8.0
	DM	火山礫凝灰岩	2,919	1.69	5.45	0.39	4.2	3.2
	YN	安山岩	2,919	2.17	6.40	0.42	3.6	2.7
	MB4	凝灰岩	2,072	0.03	2.25	0.02	6.7	8.7
	SK2	硫磁鉄錳含有鉱脈	2,919	5.71	0.28	25.49	2.6	1.6
	MR	安山岩(変質)	1,988	2.06	0.06	45.03	2.2	2.2
	US	安山岩(変質)	1,988	0.35	0.19	2.37	4.4	4.6
	AI	凝灰角礫岩(変質)	1,988	2.52	0.04	88.14	2.1	2.3
	TU	凝灰角礫岩(変質)	1,988	0.83	0.09	12.04	2.1	2.3
非火山性	TK	泥質片岩	2,072	0.41	0.03	17.08	2.4	2.2
	NK	泥岩	2,919	0.58	1.44	0.50	6.7	7.6
	SP	砂岩	2,919	0.06	0.91	0.08	6.5	8.0
	MB1	泥岩	2,072	1.20	2.96	0.51	6.4	7.6
	MB2	泥質細粒砂岩	2,044	0.25	0.71	0.44	5.6	7.6
	MB3	泥岩	2,072	0.28	1.36	0.26	6.7	8.0
	MB5	泥質砂岩	2,072	0.37	2.48	0.19	7.1	8.6
	KB1	頁岩	1,288	0.43	0.87	0.62	3.4	6.5
	KB2	砂岩	1,288	0.19	1.05	0.23	6.4	8.5
	KB3	頁岩	1,288	0.25	1.08	0.29	6.6	7.9
	KB4	砂岩・泥岩	1,288	0.21	0.91	0.29	6.9	8.5
	KS	砂質泥岩	2,072	0.45	2.44	0.23	6.8	7.3

表-2 試験方法の概要

試験名称	溶出条件	試料粒径
土研式雨水曝露試験	屋外で試料を通過した雨水を定期的に貯留	40~10mm
酸性化可能性試験	固液比1:10, 30% H_2O_2 溶液を用いて反応が収束するまで静置	<2mm

トンネル工事等において発生する掘削ざりについては、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が、岩石に対して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。品川ら(2012)²⁾は、30%過酸化水素水を用いた酸性化可能性試験により検液のpHが3.5以下となる試料は、長期的な酸性化の可能性のあることを評価できるとした。しかし、見逃しの判定となった非火山性の岩石、ないしは過剰に安全側に評価される火山性の岩石があったため、より判定精度の向上が望まれた。

そこで、国内各地から火山性と非火山性の22試料の岩石を採取した。試験に供した試料の一覧表を表-1に示す。硫黄(S)、カルシウム(Ca)の全含有量をICP-AES法により分析した。また、一部試料について、Sは鉱石中の硫黄定量方法、Caは底質調査方法により分析し、S/Caモル比を算定した。

2.1.2 土研式雨水曝露試験と酸性化可能性試験

土研式雨水曝露試験と酸性化可能性試験の試験方法の概要を表-2に示す。試料をハンマーで粗粉碎し、ジョークラッシャーおよびメノウ乳鉢などで試験に適する粒径となるよう粉碎した。土研式雨水曝露試験では、屋外に設置した作物栽培用のワグネルポット(1/2000アール)に試料を充填し、ポット内を通過した雨水を試験装置の底部に設置したポリタンク内に貯留、定期的に採水し分析に供した。酸性化可能性試験は、過酸化水素水を用いるpH試験³⁾に準拠した。

各試験で得られた検液のpHをガラス電極法により測定した。試験期間中の最低pH、経過日数とpHとの関

係を分析し、酸性水の有無を判定した。ここで、酸性水とは、検液のpHが水質汚濁防止法に定める一般排水基準の最低値である5.8を下回るものと定義し、継続的に酸性水を発生させる試料を、酸性水を発生させる試料として取り扱った。

以上の各分析値を、曝露試験の最低pHとの相関を分析し、酸性水発生予測判定指標としての適用性を検証した。

2.2 試験結果

2.2.1 化学分析結果

表-1に土研式雨水曝露試験に供した日数、土壌環境分析法に基づく硫黄(S)、カルシウム(Ca)の全含有量分析値(ICP-AES法)、S/Caモル比、試験期間中の最低pHおよび酸性化可能性試験結果を示す。表-1に示すように、火山性の試料では、曝露試験の最低pHは1.0~7.2を示した。また、酸性可能性試験ではpHは1.0~8.7を示した。特に、試料ABではS含有量が23.19%と最も多く、酸性化可能性試験によるpHも1.0と非常に低い値を示した。

2.2.2 土研式雨水曝露試験結果と酸性化可能性試験結果

図-1に土研式雨水曝露試験における経過日数とpHとの関係を示す。

図-1(a)に示すように火山性の試料では、10試料中7

試料が酸性水を発生させた。このうち、YN と DM は、当初酸性水を発生しなかったが、YN では 987 日目から、DM では 2,079 日目からそれぞれ酸性水を発生させた。岩石中の黄鉄鉱をはじめとする硫化鉱物が酸素を含んだ雨水と接触し酸化・分解することにより酸性水を発生させたが、曝露試験当初では、炭酸塩鉱物や粘土鉱物を溶解させ中和したことで pH が低下したと推察される。一方、他の 3 試料は、酸性水を発生させなかった。ただし、US 試料では、試験開始から 56 日目に最低の pH4.4 を示したものの、84 日後から 756 日目まで pH5.6~7.8 で推移し、812 日目から 1,988 日目まで pH7 前後と概ね中性であった。酸性化可能性試験でも pH3.2 を示した。ゆえに、長期的に酸性水を発生させない試料とみなした。

図-1 (b)に示すように非火山性の試料では、火山性の試料と同様に 12 試料のうち 2 試料が酸性水を発生させ、10 試料が酸性水を発生させなかった。ただし MB2 は、当初酸性水を発生させなかったが、試験開始から 1,624 日目に一時的に pH5.6 に低下した。その後、pH は変動したものの、以後 1 年間 pH5.8 を下回らず酸性を示さなかった。

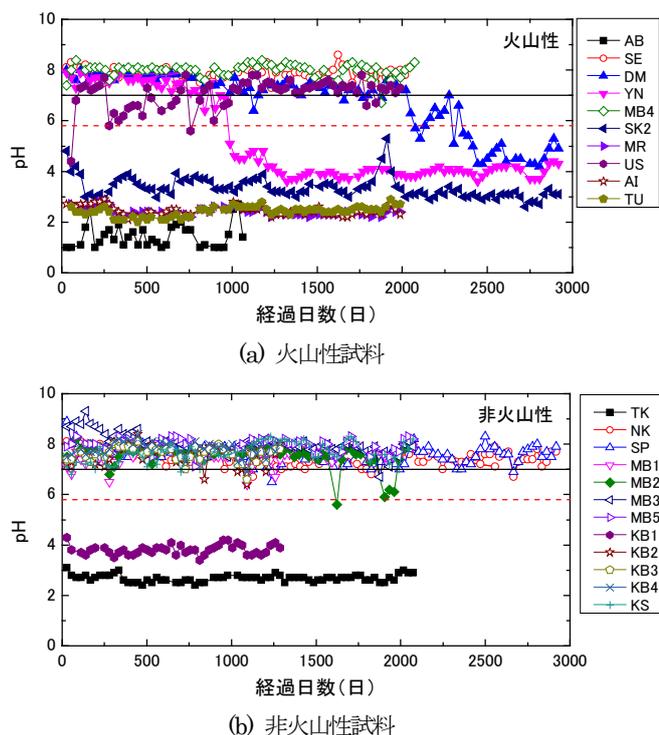


図-1 土研式雨水曝露試験における経過日数と pH との関係

また、酸性化可能性試験による pH と土研式雨水曝露試験による試験期間中の最低 pH との関係を図-2 に示す。酸性化可能性試験の pH が低くなるほど曝露試験の pH も低くなる傾向を示した。8 試料が pH3.5 を下回り、品

川ら (2012) ②の報告と同様に概ね酸性水の発生を評価できた。しかし、図-1 で長期的に酸性水を発生させないと思なした US、MB2 を除けば、非火山性の試料 KB1 を見逃す判定結果となった。今回の試料から見逃し判定の非火山性の試料を酸性化可能性試験で評価すると、pH が 6.5 を下回れば酸性水の発生を評価できる。しかし、試料が増えた場合に適用できるかどうかは、今後の課題である。

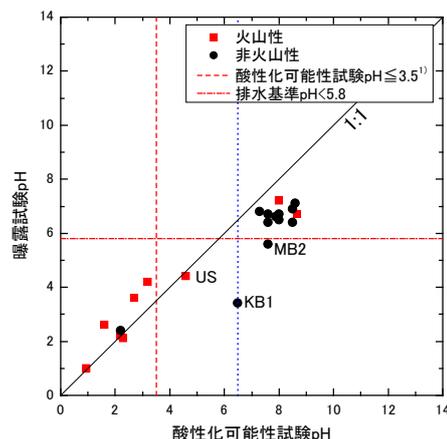


図-2 酸性化可能性試験 pH と土研式雨水曝露試験 pH との関係

2.2.3 酸性水発生予測判定指標に関する考察

試料中の S 含有量と土研式雨水曝露試験の最低 pH との関係を図-3 に示す。S 含有量は 0.03%~23.19%までの値を示し、S 含有量が多くなるほど曝露試験の pH も低くなる傾向を示した。桜本 (1994) ④は、海成泥質岩では、S 含有量が 0.4%以上であれば酸性化すると報告している。そのため、酸性化可能性試験で見逃し判定となった KB1 は S 含有量 0.43%を含み、酸性化を判定できた。しかし、他の非火山性の試料のうち NK、KB1 および KS は、酸性水を発生させないにもかかわらず酸性化

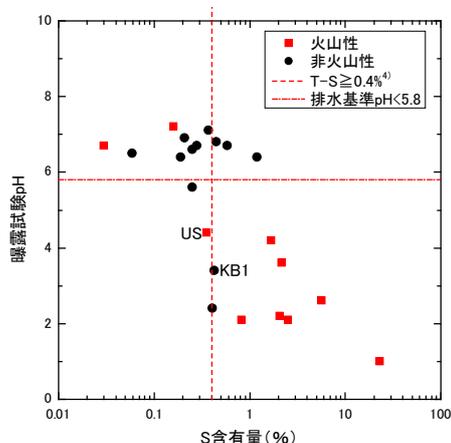


図-3 S 含有量と土研式雨水曝露試験 pH との関係

すると判定してしまった。ゆえに、S 含有量単独では、酸性水発生予測判定指標として用いることは難しい。

一方、図-4 に Ca 含有量と土研式雨水曝露試験の最低 pH との関係を示す。Ca 含有量は 0.02%~6.40% までの値を示し、大局的には Ca 含有量が少なくなるほど、曝露試験の pH も低下する傾向を示した。概ね Ca 含有量が 0.9% 以下で非火山性試料は酸性水を発生させた。しかし、服部ら (2003) ⁵⁾ は、方解石に由来する Ca の溶解速度が速いことから、全岩 S 含有量が高い場合は Ca 含有量が大きくても将来的に酸性水を発生させる可能性があるとして指摘し、泥岩からの溶出水の pH を S/Ca モル比により評価できると報告している。

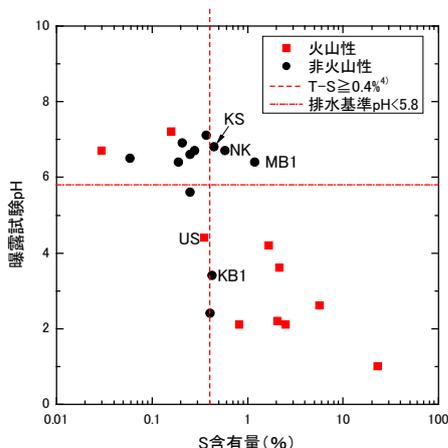


図-4 Ca 含有量と土研式雨水曝露試験 pH との関係

S/Ca モル比と土研式雨水曝露試験による試験期間中の最低 pH との関係を図-5 に示す。S/Ca モル比が大きくなるほど、曝露試験の pH が低下する傾向を示した。見逃し判定となった KB1 では、S/Ca モル比が 0.62 を示し、酸性化を判定できた。しかし、S/Ca モル比が 0.6 以下では、各試料の pH が大きくばらつくため、酸性水の発生を判定できない。以上の結果から S/Ca モル比が

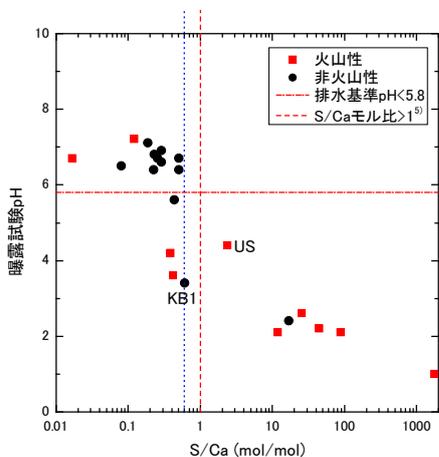


図-5 S/Ca モル比と土研式雨水曝露試験 pH との関係

概ね 0.6 を超えた非火山性の試料では、酸性水発生予測判定指標として有効であると考えられる。

3. 重金属類の吸着効果に関する検討

3.1 試験方法および解析方法

3.1.1 試料

火山灰質土は、ヒ素 (As) や鉛などの重金属類を吸着することが知られている ⁶⁾。このため、火山灰質土をずりの下層に敷土することにより、岩石ずりから溶出した重金属類を敷土へ吸着させ外部への溶出濃度を低減させることが期待される。

そこで、泥岩ずりおよび火山灰質土を、北海道内の道路トンネル建設現場およびその周辺から採取した。粉末 X 線回折分析および蛍光 X 線分析を実施し、泥岩および火山灰質土の鉱物組成および化学組成を明らかにした。そのほか、屋外カラム試験や As 吸着現象のモデル化を行い、As の吸着による濃度の低減や遅延効果を解析した。

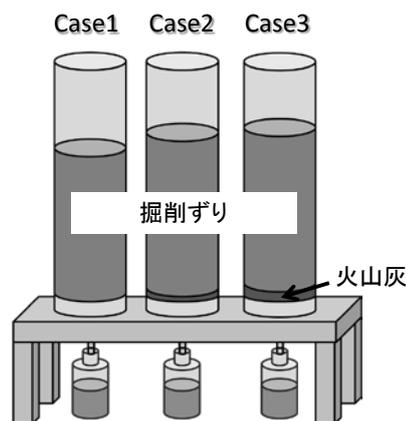


図-6 屋外カラム試験装置の模式図

表-3 試験条件 ⁷⁾

ケース	ずり層厚 (cm)	吸着層厚 (cm)	ずり層充填密度 (g/cm ³)	吸着層充填密度 (g/cm ³)	試験期間 (weeks)
1	60	0	1.58	1.72	82
2	60	2	1.58	1.72	78
3	60	6	1.58	1.72	74

3.1.2 カラム試験方法

試料を採取した北海道内の道路トンネル建設現場周辺で屋外カラム試験を実施した。屋外カラム試験装置の模式図を図-6 に示す。内径 29.8 cm、高さ 73.0 cm、厚さ 0.5 cm の塩化ビニル製のカラムに表-3 に示す条件で掘削ずりおよび火山灰質土を充填した。カラム上部から自然降雨を流下させ、浸出水をカラム底部の 5.0 L のポリ容器で 20 日から 30 日の間隔で 3.8 L~5.0 L 程度の浸出水を回収した。カラムからの浸出水の採取重量を測定し、

0.45 μm のメンブランフィルターを用いて固液分離を行った。ガラス電極法により液の pH を計測し、ICP-MS 法により As を定量した。

また、火山灰質土を用いた吸着層の As 吸着効果を解明するため、屋外カラム試験終了後のカラムからケース 2 では全層を、ケース 3 では 1 層 3 cm 毎に 2 層に分けて試料をそれぞれ採取し、自然含水比状態および風乾した試料を用いて溶出試験を行った。

3.1.3 As 吸着現象のモデル化による解析方法

火山灰質土による As の吸着を再現するために吸着現象をモデル化し解析した。吸着現象の評価に際しては、1 次元移流分散方程式において As 濃度を C_0 としたステップ状の一定入力に対し、吸着層による遅延の効果を考慮し、遅延係数、分配係数をそれぞれ R_f , K_d とすると、As 濃度 (x , t) の解析解は次式となる。

$$\frac{C(x,t)}{C_0} = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{R_f x - \bar{v}t}{2\sqrt{R_f D t}} \right) + \exp \left(\frac{\bar{v}x}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{R_f x - \bar{v}t}{2\sqrt{R_f D t}} \right) \right\} \quad (1)$$

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} K_d \quad (2)$$

ここで、 C : 濃度、 t : 時間、 \bar{v} : 間隙平均流速、 x : 移行距離、 D : 分散係数、 R_f : 遅延係数、 ρ_b : みかけ密度、 θ : 体積含水率、 K_d : 分配係数 (固相と液相が平衡状態において物質の移行性を表す指標)

(1)式を利用して、ケース 1 の結果に基づき流入濃度の変化を入力し、ケース 2 の火山灰質土層中の As の移行現象を解析した。

3.2 試験結果および解析結果

3.2.1 試料の鉱物組成および化学組成

泥岩および火山灰質土の粉末 X 線回折分析結果を表-4 に示す。泥岩に少量の方解石、緑泥石、スメクタイト、微量な黄鉄鉱を検出した。

表-4 泥岩と火山灰の X 線回折分析結果⁷⁾

鉱物	泥岩	火山灰
石英	+++	+++
長石類	++	++
方解石	+	-
雲母類	+	-
緑泥石	+	+
スメクタイト	+	-
黄鉄鉱	±	-

ピーク強度凡例

+++: strong, ++: moderate, +: weak,

±: trace, -: none

蛍光 X 線分析の定量分析結果を表-5 に示す。As の含有量は、泥岩で 10 mg/kg、火山灰質土で 12 mg/kg であった。

表-5 泥岩と火山灰の蛍光 X 線分析結果⁷⁾

試料名	泥岩	火山灰
SiO ₂ (wt.%)	61.82	53.01
Al ₂ O ₃ (wt.%)	15.92	19.74
Fe ₂ O ₃ (wt.%)	6.03	9.97
MnO (wt.%)	0.06	0.17
MgO (wt.%)	1.95	3.32
CaO (wt.%)	2.49	3.59
Na ₂ O (wt.%)	2.51	1.79
K ₂ O (wt.%)	2.92	1.29
P ₂ O ₅ (wt.%)	0.18	0.14
TiO ₂ (wt.%)	0.67	0.93
S (wt.%)	0.38	0.01
LOI (wt.%)	5.09	6.04
As (mg/kg)	10	12

3.2.2 カラム試験結果

屋外カラム試験の pH 変化を図-7 に、As の溶出濃度の変化を図-8 に示す。

まず、ずりのみのケース 1 では、図-7 に示すように pH の変化は、試験開始から 30 週まで pH が 10~11 と高アルカリ性を示した。30 週以降 pH は 8 まで下降し、その後、時間の経過とともに 9 まで上昇した。この傾向は、試験開始から 30 週において、泥岩中に含まれるスメクタイトなどの Na 系粘土鉱物による影響で pH が上昇した⁸⁾。30 週以降、雨水によるずり中の粘土鉱物の流出・減少や試料から徐々に溶出する陽イオンと懸濁物質に取り込まれた H⁺の交換による影響⁹⁾と考えられる。図-8 に示すように As の溶出濃度の変化は、概ね溶出の初期段階において最大値を示し、その後、ある一定の濃度で推移した。

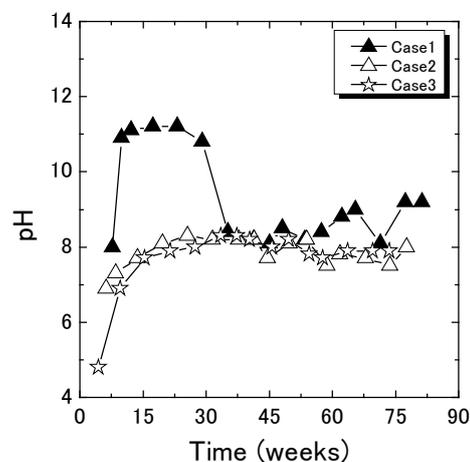


図-7 pH の変化⁷⁾

次に、吸着層を含むケース2と3では、図-7に示すようにpHの変化は、試験開始から15週まではpHが4.8から7.7まで上昇し、15週以降、pH8前後で安定していた。この傾向は、火山灰質土に含まれる解離性置換基の Al^{3+} などが浸出水中の OH^- と反応し、緩衝効果¹⁰が作用したためと考えられる。図-8に示すようにAsの溶出濃度の変化は、火山灰質土の層厚が厚くなるほど最大溶出濃度の低減と遅延効果が大きいことを確認した。

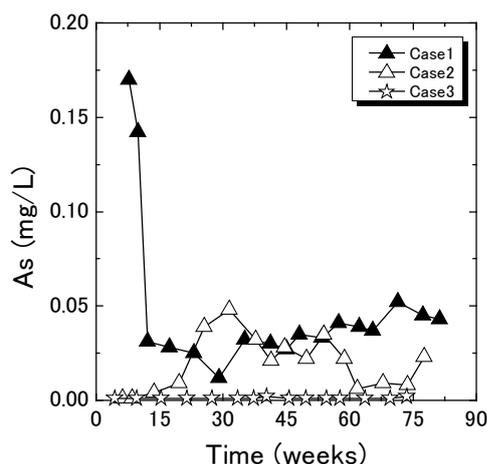


図-8 As 溶出濃度の変化⁷⁾

3.2.3 吸着層のAs吸着効果

溶出試験結果を表-6に示す。Asの溶出濃度は、自然含水比試料および風乾試料よりもケース3と比較してケース2の方が高く、Asの土壤溶出量基準値(0.01 mg/L)を超過した。また、ケース3の吸着層上部と下部を比較すると、吸着層下部でAsの溶出濃度は定量下限値未満であった。

一方、Feの溶出濃度を見ると、ケース2およびケース3吸着層上部の溶出濃度は、自然含水比試料よりも風乾試料の方が高く、ケース3吸着層下部では風乾試料の方が低くなった。これらの結果は、火山灰質土に含まれるFeが選択的にAsと吸着していたことを示している。すなわち、自然含水比状態では、間隙水に溶存していたヒ素と選択的に吸着した水酸化鉄が風乾することにより晶出し、溶出試験で再び水に溶け解離したことにより、Feの溶出濃度が高くなったものと考えられる¹¹⁾。

以上から、Asが火山灰質土に含まれる水酸化鉄鉱物と吸着することを溶出試験により検証できた。

3.2.4 浸出水中のヒ素濃度に対する実験結果と解析結果の比較

浸出水中のAs濃度に対する実験結果と解析結果を図-9に示す。なお、ケース2における吸着層の D を $4.0 \text{ cm}^2/\text{day}$ 、 \bar{v} を $1.2 \text{ cm}/\text{day}$ と仮定した。図-9に示すようにAsの K_d を $50 \text{ mL}/\text{g}$ から $100 \text{ mL}/\text{g}$ の間で $10 \text{ mL}/\text{g}$ 間隔で計算を行った。その結果、Asの K_d を $70 \text{ mL}/\text{g}$ とした時に、最も実測値と一致させることができた。有馬ら(2011)¹²⁾は、室内カラム試験でAlやFeに吸着したAsの再溶出および火山灰質土層からのAs溶出に影響を与える程度のpHの変化が起こったことから、解析結果と実測値との再現性が評価できなかったと報告している。今回実施した屋外カラム試験では火山灰質土層を通過した浸出水のpHが8前後で比較的安定していたことから、解析結果と実測値とを概ね一致させることができたと考えられる。

以上から、火山灰質土層を吸着層とした場合、浸出水のpH変化が顕著でない限り、As吸着を分配係数 K_d で再現でき、盛土から流出するAsの挙動をシミュレーションできると考えられる。

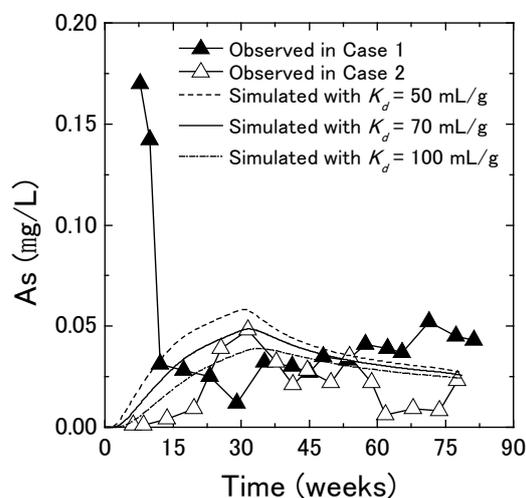


図-9 Asの溶出濃度の実測値と解析結果(屋外)⁷⁾

表-6 屋外カラム試験終了後の火山灰質土の溶出試験結果

試料名	項目	As mg/L		Fe mg/L		pH	
		自然含水比	風乾	自然含水比	風乾	自然含水比	風乾
ケース2	吸着層	0.027	0.02	0.45	0.8	9	8.7
ケース3	吸着層上部	0.006	0.011	0.6	0.89	8.4	8.7
	吸着層下部	<0.001	<0.001	0.52	0.36	7.6	7.8

4. まとめと今後の課題

本報告の結果は、以下のとおりである。

- ①非火山性の岩石では、S/Ca モル比が概ね0.6を超えた場合に、酸性水発生予測判定指標として利用できる可能性がある。
- ②屋外カラム試験結果から、火山灰質土にAsの吸着効果が認められ、火山灰質土層を厚くすることでAs溶出濃度の最大値を低減させ溶出を遅延させる効果を確認した。また、Asが火山灰質土中に含まれる水酸化鉄鉱物との吸着による効果を溶出試験により検証できた。そのほか、浸出水のpH変化が顕著でない条件下で、As吸着を分配係数 K_d でモデル化し再現できた。

今後は、自然由来重金属等含有岩石の長期的なハザード評価技術として、長期的な岩石由来の酸性水発生予測精度を向上させるためにデータを蓄積し、S/Caモル比の閾値、並びに酸性化可能性試験結果との組み合わせについて解析する必要がある。また、新たな対策技術の評価・施工管理技術では、pH依存性を考慮した吸着モデルの検討を進め、吸着性能を有する発生土の材料条件および重金属類移行特性を考慮した吸着層の最適厚さを求める設計法について検討する予定である。

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、<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/recyclehou/manual/index.htm>、2010.
- 2) 品川俊介、安元和己、阿南修司、佐々木靖人：岩石からの重金属等の長期溶出特性評価、第47回地盤工学研究発表会講演集、pp.1859-1860、2012.
- 3) 社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説・二分冊の1、pp.314-315、2009.
- 4) 桜本勇治：海成泥岩が酸性水を発生させる可能性について、地下水技術、36(4)、pp.29-33、1994.
- 5) 服部修一、太田岳洋、木谷日出男：酸性水発生に関わる掘削残土の応用地質学的検討—鉾山に近接して施工される八甲田トンネルにおける岩石特性評価法—、応用地質、Vol.43、No.6、pp.359-371、2003.
- 6) 日本地下水学会編：地下水・土壌汚染の基礎から応用、理工図書、pp.127-132、2006.
- 7) 田本修一、伊東佳彦、五十嵐敏文、龍原毅、有馬孝彦：火山灰土を利用した掘削ざりからの自然由来ヒ素などの溶出抑制対策に関する考察、日本応用地質学会平成25年度研究発

表会講演論文集、pp.121-122、2013.

- 8) E.M. プリッジス、永塚鎮男、漆原和子 訳：世界の土壌、古今書院、p.200、1990.
- 9) 小野雅弘、棚瀬充史、水落幸広、品川俊介：泥岩を対象としたヒ素溶出試験と問題点、日本応用地質学会平成22年度研究発表会講演論文集、pp.325-326、2010.
- 10) 坂田昌弘、関照雄、横山隆寿、佐藤一男：土壌による石炭灰溶出水の中和機構、電力中央研究所研究報告、283052、pp.1-19、1984.
- 11) 日本地下水学会編：地下水・土壌汚染の基礎から応用、理工図書、pp.127-132、2006.
- 12) 有馬孝彦、佐藤大樹、五十嵐敏文、田本修一、龍原毅：天然火山灰吸着層を用いた掘削ざりからのヒ素およびホウ素の溶出低減、応用地質、Vol.52、No.3、pp.88-96、2011.

UTILIZATION TECHNIQUES OF EXCAVATED WASTE FOR THE SAKE OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION (2)

Budgeted : 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

YAMAZAKI Shusaku

Abstract : In FY2013, we conducted assessment for acidic drainage water from excavated non-volcanic rocks including heavy metals and column experiments with volcanic ash as an arsenic adsorption layers. We found that an S / Ca molar ratio of the acidic drainage water from non-volcanic rocks could be evaluated. And we recognized that a volcanic ash layer in the column caused effects of the reduction of arsenic leaching concentrations and the delay of its migration.

Key words : excavated rock, heavy metal, acidic drainage water, volcanic ash, column experiment