

第Ⅲ部門 破砕した火山砕屑物からの自然由来重金属等の溶出特性評価

京都大学大学院 学生会員 ○西村 南美
京都大学大学院 正会員 加藤 智大
京都大学大学院 正会員 高井 敦史
京都大学大学院 フェロー会員 勝見 武

1. はじめに

火山の噴火に伴って生じる火山砕屑物は都市機能や経済活動等に多大な影響を与えるため、発災後に適切な対応が求められる。日本は国土が狭いため処分用地が限られており、火山砕屑物を埋立や盛土等の地盤材料として有効利用できれば資源循環につながる。一方で、火山砕屑物には重金属等の有害物質が含まれる可能性があり、地盤材料として利用するには溶出特性の評価が重要になる。そのような中、火山砕屑物の環境安全性に着目した研究は限られているのが現状だ。火山砕屑物は破砕しやすい材料であることが知られており¹⁾、地盤材料として締め固めを行うと、溶出特性に影響を及ぼす可能性がある。そこで本研究では火山砕屑物に破砕処理を施した後、破砕度の異なる火山砕屑物を充填して上向流カラム通水試験を行い、火山砕屑物に含まれるフッ素の溶出特性に及ぼす破砕の影響を評価した。

2. 実験方法

2.1 使用材料 本研究では2種類の火山砕屑物を用いた。1つ目は2022年9月20日に桜島南岳山頂から南西に約4kmの野尻川河口付近で、2つ目は2023年3月8日に、桜島南岳山頂から南東に約3.5kmの有村地区で採取した。採取した試料はそれぞれ風乾し、よく混合してから約20kgずつ土のう袋に保存した。図1に野尻川での試料採取の様子を示す。また、表1に試料の物理特性を示す。



図1 試料採取の様子（野尻川）

2.2 試料の破砕 本研究では、採取した火山砕屑物を突固めによる土の締め固め試験（JIS A 1210）を参考に破砕した。実験試料には4.75mmふるいを通したものをを用い、ランマー質量4.5kg、ランマー落下高さ450mm、突固め層数は1とした。モールドは内径150mmで、試料をモールド内に約1.63kg詰め、モールド容積は883cm³とした。突固めには自動突き固め機を用いた。破砕時は突固め回数を75回で1セットとし、0（破砕なし）、1、8セットと突固め回数を変化させ、破砕度の異なる3パターンの試料を作成した。以降、各試料を「試料名の頭文字（セット数）」のように呼ぶ。例えば、野尻火山砕屑物の1セット破砕試料の場合、「N（1）」のようになる。各試料の粒径加積曲線を図2に示す。

2.3 上向流カラム通水試験 カラムには内径5cm、高さ10cmのものを用いた。試料充填は粒子の破砕を防ぐため、最大密度試験（JGS 0162）を参考に供試体を5層に分け、各層の充填後にカラム側面をハンマーで100回ずつ打撃する方法を用いた。各試料の乾燥密度はN(0), N(1), N(8), A(0), A(1), A(8)の順に1.78, 1.81, 1.95, 1.85, 1.90, 1.99 g/cm³であった。試験開始前にポンプを用いて蒸留水を上向流で通水し、あらかじめ算出した供試体の間隙体積の1.3倍の通水量を確認後、ポンプを停止した。その後、供試体を飽和条件に限りなく近づけるため脱気装置で44時間脱気し、累積液固比が5を超えるまで流速13.5-14 mL/h

表1 試料の物理特性

項目		有村 (A)	野尻 (N)
土粒子密度 (g/cm ³)		2.738	2.685
化学組成 (wt.%)	SiO ₂	47.9	54.4
	CaO	12.0	9.42
	MgO	0.87	0.56
	SO ₃	0.38	0.17

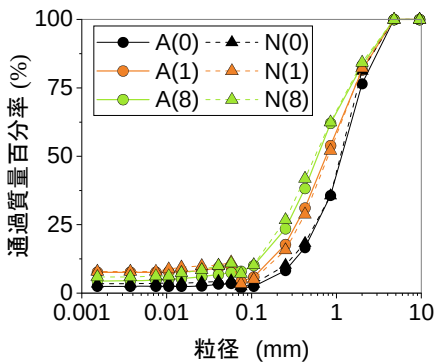


図2 破砕試料の粒径加積曲線

で通水・採水をおこなった。採取した溶出液はすべて孔径 0.45 μm のメンブランフィルターを用いてろ過し、50 mL 遠沈管に保管した。

2.4 バッチ試験 試料に N(0), N(1), N(8)を用い、液固比が 1, 2, 5 となるように試料と蒸留水を混合してバッチ試験を行った。環境庁告示第 46 号に基づき、調整した試料液を常温（約 20°C）常圧（おおむね 1 気圧）で溶出試験振とう機（タイテック株式会社製、TS-10）を用いて 6 時間水平振とうした。振とう回数は試料の破碎を防ぐために毎分 50 回とした。得られた試料液を 20 分静置後、毎分約 3000 回転で 20 分間遠心分離し、上澄み液を孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過し、50 mL 遠沈管に保管した。

2.5 化学分析 溶出液の pH の測定にはコンパクト pH メーター（堀場製作所製、LUQUAtwin-pH-33B）を用い、フッ化物イオン濃度の測定には電極を用いた。

3. 実験結果

3.1 pH の測定結果 上向流カラム通水試験で得た溶出液の pH の測定結果を図 3 に示す。どの試料の溶出液も pH は 4-6 付近を示していることから弱酸性であり、累積液固比が大きくなるとその値はやや上昇した。また、有村火山砕屑物の溶出液のほうが野尻火山砕屑物の溶出液より酸性傾向が強いことが分かった。

3.2 各イオン濃度の測定結果

各試料によるフッ化物イオン濃度の測定結果を図 4 に示す。図(a)は上向流カラム通水試験の結果を示している。通水開始直後のフッ化物イオンの濃度は A(0), A(1), A(8), N(0), N(1), N(8)の順に 3.0, 4.0, 5.2, 1.1, 0.86, 0.51 mg/L といずれの試料でも最も高濃度を記録し、環境省の定める土壤環境基準値 (0.08 mg/L) を上回るものもあった。また、破碎度合いにより溶出濃度を比較すると溶媒と接触直後、A(8)のフッ化物イオン溶出濃度は A(0)の溶出濃度の約 1.7 倍まで上昇したが、N(8)は N(0)の溶出濃度の約 0.5 倍に低下し、有村と野尻で異なる挙動を示した。一方で、試料や破碎の有無に関わらず、累積液固比 1 程度の通水量で溶出濃度は大きく低下し、土壤環境基準値を下回った。

次にバッチ試験の測定結果を図 4(b)に示す。図より溶出濃度は破碎回数が多いほうが高くなり、液固比が小さいほうが大きくなる傾向を示した。

3.3 破碎により受ける影響の考察 一般的に土粒子が破碎すると比表面積が増加して、化学物質の溶出は促進されると考えられ、バッチ試験でもそのような結果が得られたが、野尻火山砕屑物のフッ化物イオンのように破碎による濃度の上昇を一様には示さないものもあった。上向流カラム通水試験において有村火山砕屑物と野尻火山砕屑物がそれぞれ似た物理特性を持っているのにも関わらず、フッ化物イオン濃度において異なる挙動を示した明確な原因等はわかっておらず、この差が有意なものかは今後も検討が必要である。

4. おわりに

本研究では、破碎による溶出特性への影響を評価した。その結果、溶出濃度は破碎によりすべての物質で上昇するわけではなく、また同じ物質でも試料により異なった挙動を示したことから、破碎による溶出への影響は引き続き検討が必要である。また、火山砕屑物の有害物質溶出濃度は一時的に土壤環境基準値を超えることはあるものの、人為由来のもののように高濃度ではない。破碎処理を行った場合でも、濃度の上昇は数倍程度であり、通水を続けるとすぐに低下したことから、適切な処理を施すことで地盤材料として有効利用できる可能性が示唆された。

参考文献

1) 出町ら. 火山砕屑物の締固めによる粒子破碎と地盤材料特性に関する研究. 第 15 回環境地盤工学シンポジウム発表論文会集. 2023, pp. 329-334.

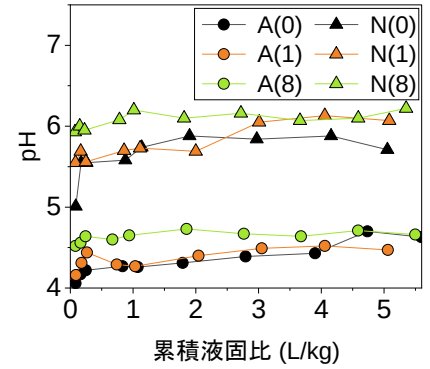
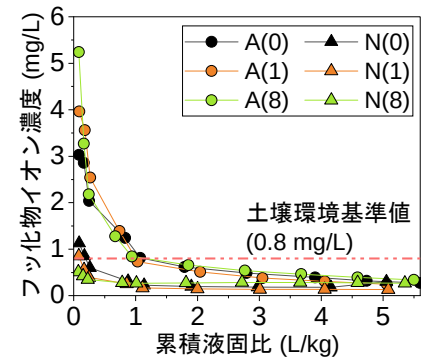
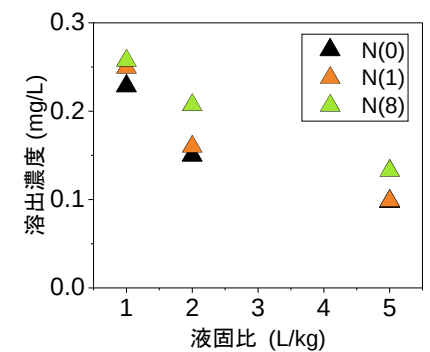


図3 pH 測定結果



(a) 上向流カラム通水試験



(b) バッチ試験

図4 フッ化物イオン濃度