

自然由来重金属等の条件による分布の特徴

(株)エイト日本技術開発 ○嶋将志 今田真治 山本裕雄

1. はじめに

近年、土木工事に伴って発生した土砂や岩石において、自然由来の重金属類に関する問題が顕在化している。自然の土砂や岩石の重金属類の含有特性や溶出特性は、その地質に関係すると考えられるため、この問題に対して効率的な検討を実施するためには、地質等の特性に関する見識が必要と考えられる。

本稿では、過去の分析事例を収集し、その分析結果を地質別、岩質別、重金属類の物質別に整理したうえで、pH との相関性についても検討して報告する。なお、本稿は、第 44 回地盤工学研究発表会で発表した「自然由来重金属類の濃度分布についての地質別特徴」¹⁾について、さらにその後のデータを追加して再検討したものである。

2. 検討条件

本稿では、東海・近畿・中国・四国地方の各地より採取した試料(総数約 550 点)の分析結果を使用した。ただし、収集データは各地で均質に収集したものではなく、局所的に複数の試料を採集していた箇所もあり、特に新第三系の堆積軟岩のデータが比較的多く収集されている。したがって、本稿結果は必ずしも対象地域の特性を俯瞰的にとらえていない可能性もある。

検討対象物質は、土壤汚染対策法第二種特定有害物質(重金属類)のうちシアンを除く、自然由来で地質に存在しているとされる 8 項目とする。ただし、試料によっては、一部の項目のみ分析した事例も含まれている。

なお、分析は、岩石試料を粉砕し 2mm ふるいを通過させた試料に対して、環境庁告示第 46 号溶出試験による溶出量(以下「溶出量」と記す)と環境省告示第 19 号含有量試験による含有量(以下「含有量」と記す)を実施した。

3. 条件ごとの特徴

以下に、条件ごとに基準超過の比率や相関性について、検討した結果を示す。また、図示した各条件での基準超過比率を、表-1 に整理する。

3.1. 物質毎の超過比率

図-1 に、全体での基準超過比率を示す。本稿における試験は、岩石については粉砕した試料に対して溶出量試験及び含有量試験を実施しており、土壌を対象とした土壤汚染対策法上の基準がそのまま適用されるものではない。しかし、建設発生土に起因する溶出リスク、含有リスクを把握するための一つの方法として、ここでは、粉砕試料の試験に対して土壤汚染対策法の溶出量、含有量

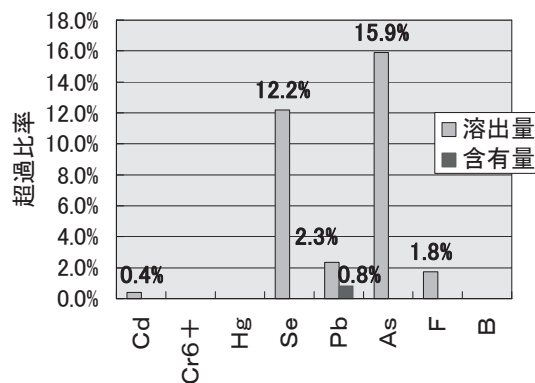


図-1 物質毎の基準超過

の数値に対しての比較を行っている。

また、本稿において用いる「基準超過比率」とは、「項目毎の基準値を超過した試料数/その項目毎の全試料数の百分率」である。

溶出量では、砒素(As)の比率が最も高く 16%弱である。続いてセレン(Se)は 12%余り、フッ素(F)と鉛(Pb)がそれぞれ 2%前後、カドミウム(Cd)は 0.4%である。その他の六価クロム(Cr⁶⁺)、水銀(Hg)、ホウ素(B)については、収集した試料では超過事例は確認できなかった。

含有量試験では、鉛で 0.8%の基準超過が見られたが、その他の 7 物質については、超過はなかった。

3.2. 含有量試験、溶出量試験結果の相関

図-2~4 に鉛、砒素、フッ素について、物質毎の溶出量試験結果と含有量試験結果との相関図を示す。

なお、定量下限値未満(ND)の値は 0 として作図しているが、試料毎の定量下限値は必ずしも一定ではないことに留意する必要がある。

結果は、いずれも溶出量と含有量との相関は明瞭ではなかった。含有量又は溶出量試験結果が ND であった場合でも他方の値は基準値に近い値を示していた場合も見られた。ただし、フッ素に関しては含有量が高い 2 試料については正の相関が見られた。

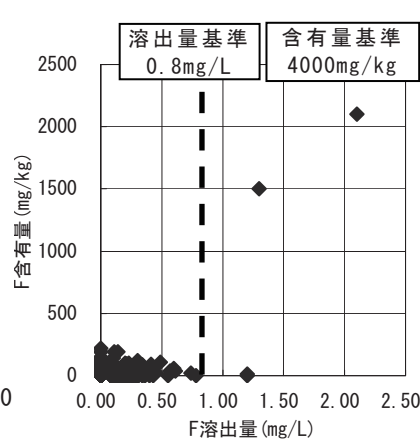
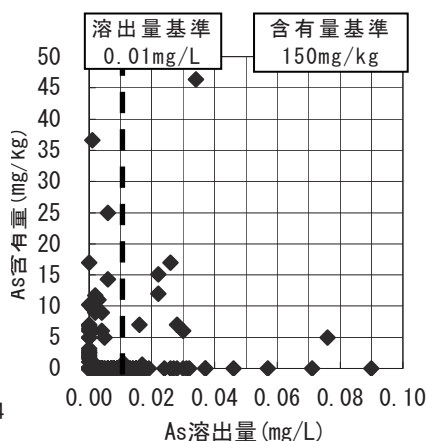
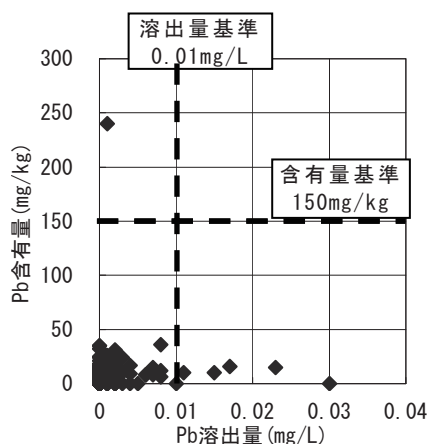


図-2 溶出量-含有量の相関 図-3 溶出量-含有量の相関(砒素) 図-4 溶出量-含有量の相関(フッ素)

3.3. 地質年代の超過比率

図-5 に、基準超過の確認された溶出量 5 項目(Cd,Se,Pb,As,F)と含有量 1 項目(Pb)の計 6 項目について、地質年代ごとの基準超過比率を示す。

- ・カドミウムの溶出量は、新生代新第三紀の試料のみ基準を超過し、その比率は 1%であった。
- ・セレン溶出量は新生代古第三紀～新第三紀の試料で基準超過が確認された。特に新第三紀の試料では、40%と高い比率であった。
- ・鉛溶出量は新生代新第三紀～第四紀のみ基準を超過していた。
- ・砒素溶出量は、中・古生代～新第三紀までの幅広い年代の試料で基準の超過が見られ、その超過比率は 13~26%であった。
- ・フッ素溶出量は、中・古生代～古第三紀までの幅広い年代の試料で基準の超過が見られ、

その超過比率は3~5%であった。

- 鉛含有量は中生代の試料のうち5%で基準を超過していた。

3.4. 地質毎の超過比率

図-6に同じく6項目について地質区分ごとの基準超過比率を示す。地質区分は、図-6の凡例に示す分類とした。

なお、堆積岩のうち、凝灰岩などは「火山性堆積岩」とし、新生代の堆積岩は固結度の低いため「堆積軟岩」と分類した。

- カドミウム溶出量は火成岩のみで超過が確認された。
- セレン溶出量は堆積軟岩と火山性堆積物において基準の超過が確認され、その超過比率は12~21%であった。
- 鉛溶出量は、火成岩と火山性堆積物、堆積軟岩、未固結堆積層で基準を超過し、その超過比率は2~5%であった。
- 砒素溶出量は、未固結堆積物層を除く全ての地質で超過が確認され、その比率は5~22%であった。なお、変成岩での超過事例は砒素溶出量のみであった。
- フッ素溶出量は、火成岩、火山性堆積岩、堆積岩、堆積軟岩の各試料の1~4%で基準超過が確認された。なお、堆積軟岩と比較して堆積岩の方の超過比率が高いのはフッ素溶出量のみであった。
- 鉛含有量の基準超過は火成岩で確認され、その超過比率は8%であった。

3.5. 岩級区分毎の超過比率

図-7に同じく6項目について岩級区分ごとの基準超過比率を示す。ただし、新生代(古第三紀以降)の堆積岩類(図-7には「堆積岩(新生代)」として示す)については、元々固結度が低く、風化や変質の程度と岩級が必ずしも一致しないため、岩級分類から除外した。なお、この新生代の堆積岩類には、火山性堆積岩も含んでいる。

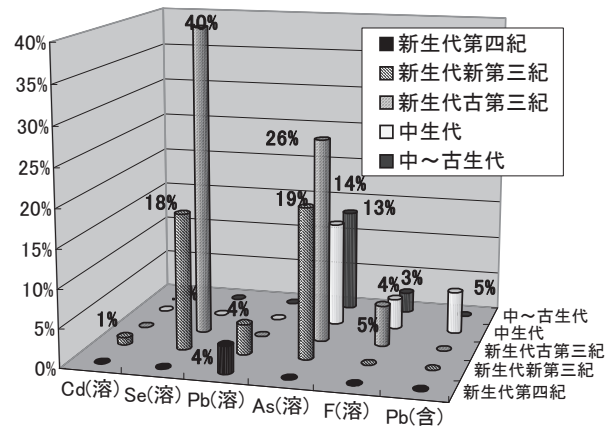


図-5 地質時代毎の基準超過比率

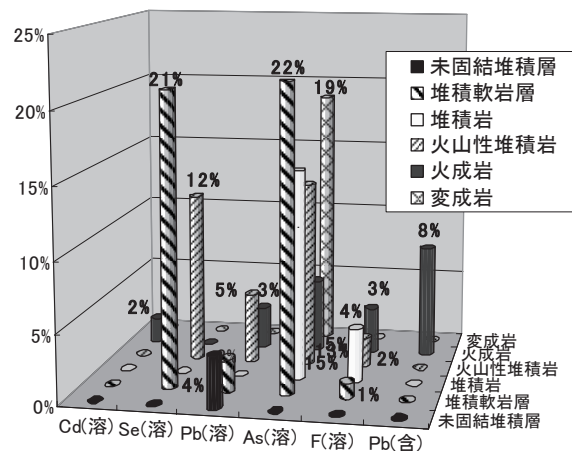


図-6 地質毎の基準超過比率

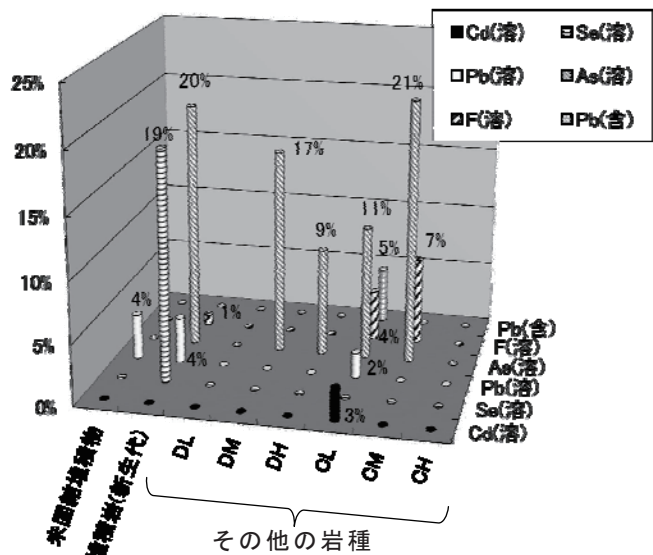


図-7 岩級区分毎の基準超過

- ・全体の特徴としては、CL～CM 級で多くの項目で基準超過が認められる。CL 級では、カドミウム、鉛、砒素、フッ素で基準を超過し、CM 級では砒素およびフッ素で基準を超過する。
- ・風化の進行した DL 級の試料では基準を超過した試料は見られなかった。また、DM 級の超過事例も砒素のみであり、全般的な傾向としては風化の進行とともに重金属類の溶出リスクが低くなっている。
- ・新生代の堆積岩および未固結堆積物を除くと、セレン溶出量の基準超過は認められない。
- ・砒素は、DM～CM の間で基準超過が認められ、ほかの項目と比較すると、岩級区分での幅は広い傾向にある。
- ・フッ素溶出量は CL 級～CM 級の試料で基準超過が見られた。
- ・CH 級に分類されるものでは、超過事例はなかった。

表-1 各条件での超過比率

条件		溶出量							含有量	
		Cd	Cr ⁶⁺	Hg	Se	Pb	As	F	B	Pb
全体		0.4%	0.0%	0.0%	12.2%	2.3%	15.9%	1.8%	0.0%	0.8%
地質年代	新生代第四紀	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	新生代新第三紀	1.0%	0.0%	0.0%	17.6%	3.9%	19.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	新生代古第三紀	0.0%	0.0%	0.0%	40.0%	0.0%	26.3%	5.3%	0.0%	0.0%
	中生代	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	13.6%	3.9%	0.0%	5.5%
	中～古生代	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	13.3%	2.6%	0.0%	0.0%
地質毎	未固結堆積層	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	堆積軟岩層	0.0%	0.0%	0.0%	21.0%	2.4%	21.7%	1.1%	0.0%	0.0%
	堆積岩	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	15.0%	3.8%	0.0%	0.0%
	火山性堆積岩	0.0%	0.0%	0.0%	12.2%	5.0%	13.3%	2.1%	0.0%	0.0%
	火成岩	1.8%	0.0%	0.0%	0.0%	3.0%	5.3%	3.3%	0.0%	8.1%
	変成岩	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	18.8%	0.0%	0.0%	0.0%
岩級区分 (例外含む)	未固結堆積物	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	堆積岩(新生代)	0.0%	0.0%	0.0%	18.9%	3.7%	20.0%	0.8%	0.0%	0.0%
	DL	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	DM	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%
	DH	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	8.8%	0.0%	0.0%	0.0%
	CL	2.7%	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%	10.9%	4.1%	0.0%	4.5%
	CM	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	21.4%	7.1%	0.0%	0.0%
	CH	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
凡例:		0%	0<~5%	5~10%	10~20%	20%<				

4. pH との相関性

重金属等の溶出特性は、その pH に依存することが多い。そこで、砒素溶出量・鉛溶出量について、pH との相関性を検討した。

pH の測定は、基本的に JGS0211-2000 により行ったが、一部異なる方法のデータも利用している。具体的には、JGS0211-2000 では、試料の乾燥重量に対して 5 倍の重量比で水を加えるが、一部の試料では異なる重量比の水を加えて試験を実施している。また、ND は定量下限値未満を示すが 3-2 節同様、試料毎の定量下限値は必ずしも一定ではないことに留意する必要がある。

4.1. 砒素溶出量と pH

相関図を図-8 に、pH と砒素溶出量基準超過の比率を表-2 に示す。砒素の溶出量と pH には以下のような関係が見られた。

- ・全体としては、砒素の溶出量はアルカリ側で高くなる傾向が強い。
- ・火成岩類では、酸性域で基準値を超過している事例もある。
- ・変成岩、火山性堆積岩、堆積岩、堆積軟岩については、pH7~10 程度の範囲で基準超過が確認されている。溶出量は、最大で基準値の 7 倍程度である。

表-2 pH と砒素溶出量超過比率

pH の範囲	火成岩	変成岩	火山性堆積岩	堆積岩	堆積軟岩層	未固結堆積層
pH ≤ 7	17%	0%	0%	0%	0%	0%
7 < pH	0%	22%	14%	18%	27%	0%

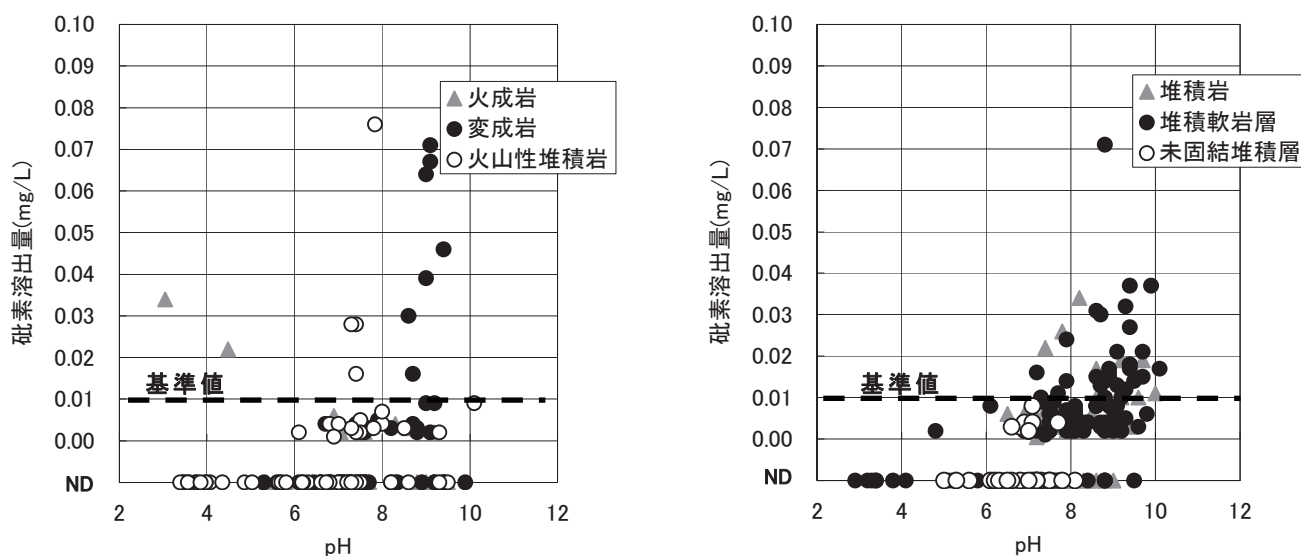


図-8 pH と砒素溶出量との関係

4.2. 鉛溶出量と pH

鉛溶出量と pH の相関図を図-9 に、pH と鉛溶出量基準超過の比率を表-3 に示す。鉛の溶出量と pH には以下のような関係が見られた。

- ・全体としては、鉛の溶出量はアルカリ側で高くなる傾向が認められるが、砒素ほど明瞭ではない。
- ・基準超過の範囲は、未固結堆積層では中性域で認められるものの、それ以外の地質では、pH4 以下又は 9 以上に集中する。
- ・火成岩類、火山性堆積岩では、pH4 以下で基準値を超過している。
- ・堆積軟岩では、アルカリ域で溶出量が高い傾向にあり、pH9 以上で基準を超過する。

表-3 pH と鉛溶出量超過比率

pH の範囲	火成岩	変成岩	火山性堆積岩	堆積岩	堆積軟岩層	未固結堆積層
pH ≤ 7	9%	0%	14%	0%	0%	0%
7 < pH	0%	0%	0%	0%	3%	8%

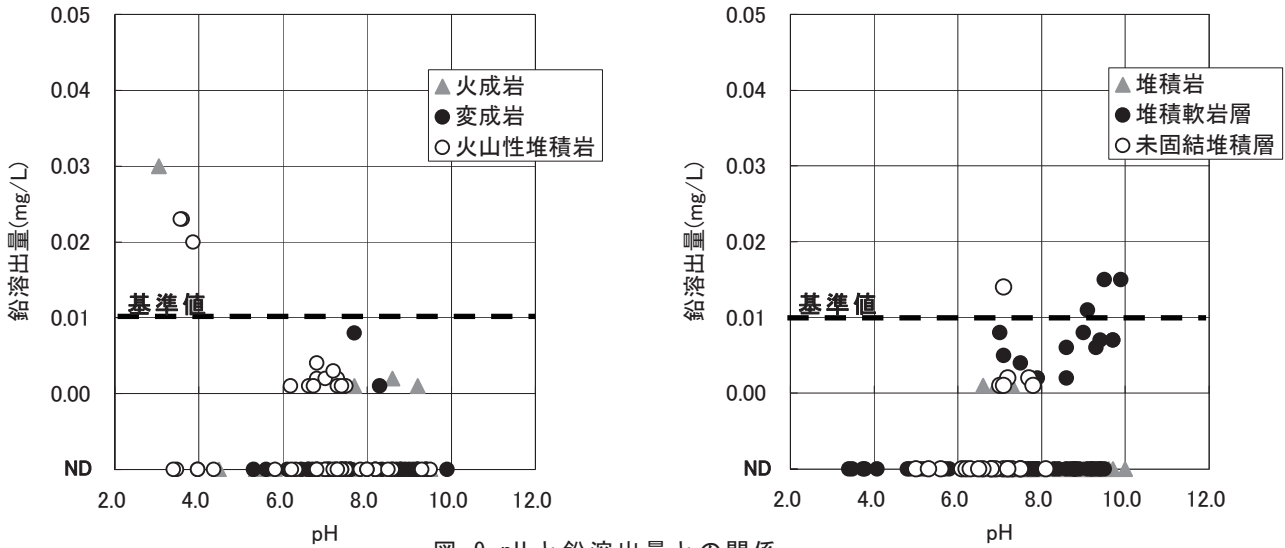


図-9 pH と鉛溶出量との関係

5. まとめ

基準超過の比率は、溶出量試験については砒素の事例が最も多く、セレンや鉛、フッ素の順となった。その他の重金属類は収集した試料では超過事例はなく、非常にまれである。一方、含有量は、鉛のみ基準超過事例があった。六価クロム、水銀、ほう素については、今回は基準を超過する試料は認められなかったが、既往の報告においては、これらの物質が基準を超過した事例の報告もあり

地質や年代の比較の結果、セレン、鉛、フッ素の溶出量は地質や年代による偏りが認められた。一方、砒素溶出量は、地質や年代にかかわらず超過事例があった。

砒素の溶出量はアルカリ側で高くなる傾向が認められた。特に堆積軟岩では pH7 以上になると砒素溶出量基準の超過比率が高くなる結果となった。ただし、火成岩類では酸性域で基準値を超過している事例もあった。これは、黄鉄鉱の酸化による硫酸の発生と、黄鉄鉱に共存する砒素の溶出メカニズムが関わっていると考えられる。

また、未固結堆積物を除けば、鉛は中性域での超過事例はなく、酸性域またはアルカリ域で比較的溶出量が高くなる傾向が見られた。本稿に使用した分析試料の採取地点は局在性が大きく、分類項目によっては母集団が極端に小さいケースもあり、統計結果に偏りが生じている可能性がある。今回は、過去の発表に比べて事例数を増やして検討したが、今後さらにデータを追加して検討を深めていきたい。

参考文献

- 1) 今田真治・嶋 将志・木村隆行・磯野陽子・居川信之・山本裕雄：自然由来重金属類の濃度分布についての地質別特徴，第44回地盤工学研究発表会，p.1843-1844，2009