

(S1-8) 土壌溶出量試験に係る風乾・振とう・ろ過に関する検討試験結果について

○平田桂・加洲教雄・井出一貴・金澤孝仁・大庭良宣・土壌・地下水汚染に係る分析業務検討部会
(社) 土壌環境センター

1. はじめに

(社) 土壌環境センターの自主事業の一つである土壌・地下水汚染に係る分析業務検討部会では、土壌・地下水汚染の調査・対策業務の根幹に係る「分析業務」について、再現性のある、精度の高い結果を得ることが重要であると考え、土壌溶出量試験における風乾・振とう・ろ過等の操作について細部が規定されていない事項の影響に関して、検討を行っている。本稿では、平成23年度実施した実試料を用いた「土壌溶出量試験に係る風乾・振とう・ろ過に関する検討試験結果」について概要を報告する。

2. 試料および方法

2.1 共通試料の作成方法

土壌試料は、人為的原因により汚染された2種類の土壌(鉛及び砒素汚染土壌(以下、「鉛汚染土壌」という。))並びに砒素及びほう素汚染土壌(以下、「砒素汚染土壌」という。))を入手し、風乾、篩い分けを行って作製した。続いて、各汚染土壌をV型混合機にて均一にし、共通試料とした。また、各共通試料の特性を確認するため、鉛、砒素、ほう素の土壌含有量、土壌溶出量、pH、含水率、強熱減量及び粒度組成を測定した。作成した共通試料を用いて、平成15年環境省告示第18号に定められる土壌溶出量調査に係る測定方法により検液を作成し、振とう及びろ過に関する検討試験を行った。風乾に関する検討試験には、共通試料として調整する前の汚染土壌を用いた。

2.2 共通試料の性状

共通試料の測定結果を表-1、図-1に示した。

表-1 共通試料の測定結果

対象	鉛		砒素		ほう素		pH	含水率	強熱減量
	溶出量	含有量	溶出量	含有量	溶出量	含有量			
単位	mg/L	mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/L	mg/kg	-	wt%-wet	wt%-dry
鉛汚染土壌	0.022	68	0.010	140	<0.1	29	8.3	4.0	7.0
砒素汚染土壌	<0.001	44	0.012	190	1.1	72	7.9	3.2	6.5

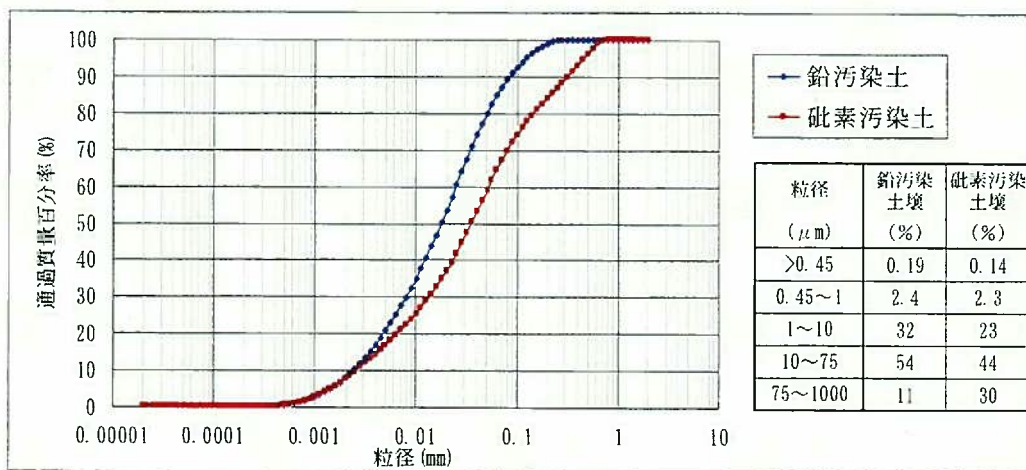


図-1 粒径加積曲線

The results of experiment for influence of dry-conditions, shaking, and filtration related to analysis of soil elution

Kei Hirata, Norio Kasyu, Kazuki Ide, Takahito Kanazawa, Yoshinobu Ohoba

Study group of investigation for analysis of soil and groundwater contamination (GEPC)

連絡先: 〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-2 (社) 土壌環境センター

TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail: info@gepc.or.jp

3. 風乾に関する検討

3.1 検討内容・方法

平成 21 年度に土壤環境センターが実施したアンケート¹⁾によると、計量証明事業所において、風乾作業で自然の風乾を行っているケースは 9%であり、91%はエアコン、除湿器及び乾燥機等の機器を使用していることが確認された。これらの実態をふまえ、鉛汚染土壌及び砒素汚染土壌を対象に、風乾方法の違い等による土壌溶出量への影響について検討した。

検討においては、まず検討条件を設定するために、風乾方法の違いによる含水率の経時変化を確認する予備試験を行った。予備試験の検討条件は、各汚染土壌とも、乾燥温度を 20℃（エアコンによる温度調整）、35℃（温風循環乾燥機による風乾）、50℃（乾燥機（非循環）による乾燥）とした。本試験の検討条件は、各汚染土壌を対象に、20℃（エアコンによる温度調整）、35℃（温風循環乾燥機による風乾）、50℃（温風循環乾燥機による乾燥）の乾燥温度 3 条件と、「2mm のふるいをかろうじて通過できる程度の状態（以下、「状態 1」という。）」、「重量の変化が少なくなった状態（以下、「状態 2」という。）」、「5 日間風乾した状態（以下、「状態 3」という。）」、「2 週間風乾した状態（以下、「状態 4」という。）」の経過時間 4 条件を組み合わせた 12 条件であり、それぞれ土壌溶出量試験を実施した。なお、各土壌溶出量試験は、精度・ばらつきを確認するために、3 回の繰返し試験を実施している。

3.2 試験結果

3.2.1 予備試験結果

鉛汚染土壌の予備試験結果を図-2 に、砒素汚染土壌の予備試験結果を図-3 に示す。予備試験の結果をふまえて設定した本試験の検討条件を表-2 に示す。

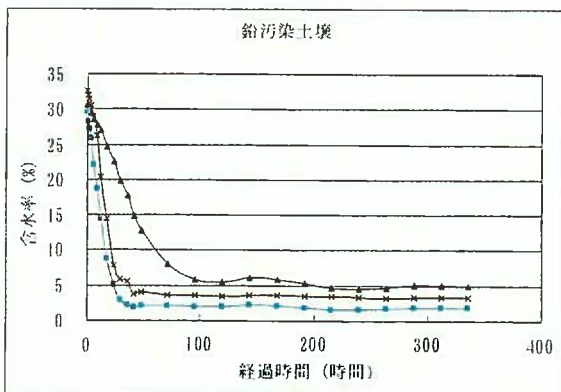


図-2 鉛汚染土壌に係る予備試験結果

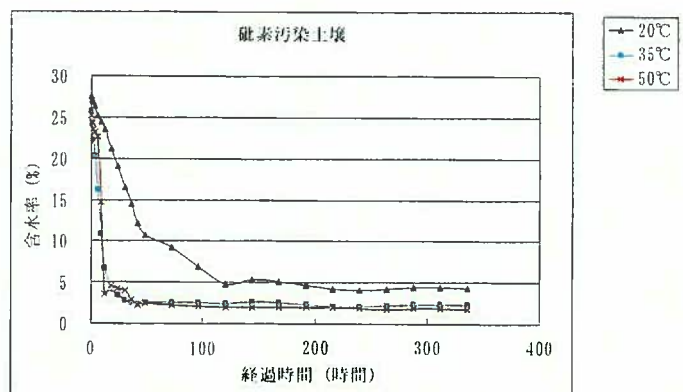


図-3 砒素汚染土壌に係る予備試験結果

表-2 予備試験結果をふまえた検討条件

状態	鉛汚染土壌			砒素汚染土壌		
	20℃	35℃	50℃	20℃	35℃	50℃
状態1	2日後	0.5日後	0.5日後	2日後	0.5日後	0.5日後
状態2	5日後 [※]	1日後	1日後	5日後 [※]	1日後	1日後
状態3	5日後 [※]	5日後	5日後	5日後 [※]	5日後	5日後
状態4	14日後	14日後	14日後	14日後	14日後	14日後

※：20℃の試料については、「状態 2」が 5 日後であったため、「状態 2」と「状態 3」が重複した。

3.2.2 本試験結果

鉛汚染土壌の分析結果を表-3、図-4 に、砒素汚染土壌の分析結果を表-4、図-5 に示す。

鉛汚染土壌については、すべての温度条件において風乾期間が長くなると鉛の溶出量が低下する傾向が見られた。砒素の溶出量については一定の傾向はみられなかった。

砒素汚染土壌については、20℃及び35℃の温度条件において「状態 2」で砒素の溶出量が高くなるという傾向がみられた。一方、ほう素の溶出量については温度条件にも風乾期間にも大きな影響を受けない結果であった。

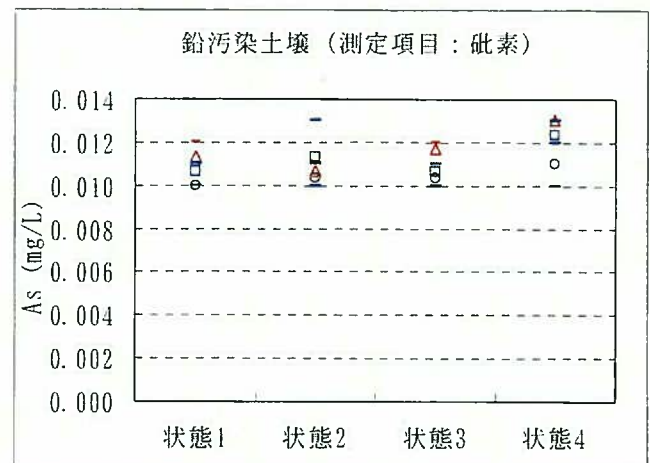
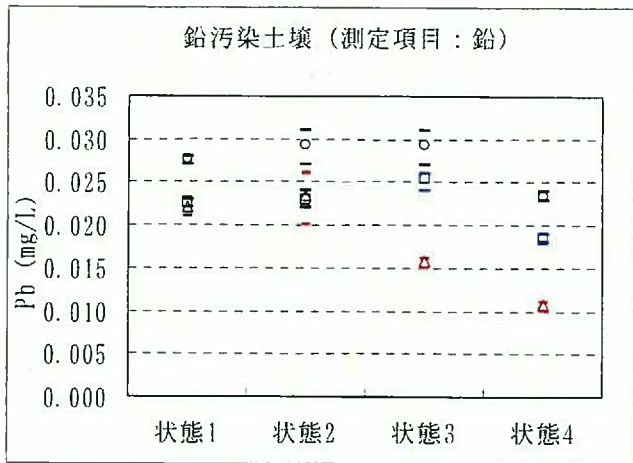
本試験では、鉛の溶出量が低下する傾向や砒素の溶出量が一時的に高くなる現象について、十分な考察ができるようなデータの取得ができなかった。しかしながら、試料によっては風乾期間や風乾温度が土壤溶出量に影響を与えていることが示唆された。

表-3 鉛汚染土壤の試験結果 (平均値)

条件		Pb (mg/L)	As (mg/L)
温度 °C	状態		
20	状態1	0.028	0.010
	状態2	0.029	0.010
	状態3	0.029	0.010
	状態4	0.023	0.011
35	状態1	0.023	0.011
	状態2	0.023	0.011
	状態3	0.025	0.011
	状態4	0.018	0.012
50	状態1	0.022	0.011
	状態2	0.023	0.011
	状態3	0.016	0.012
	状態4	0.011	0.013

表-4 砒素汚染土壤の試験結果 (平均値)

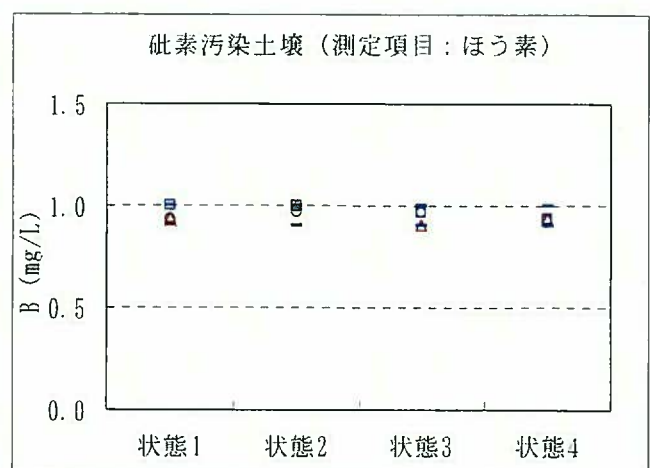
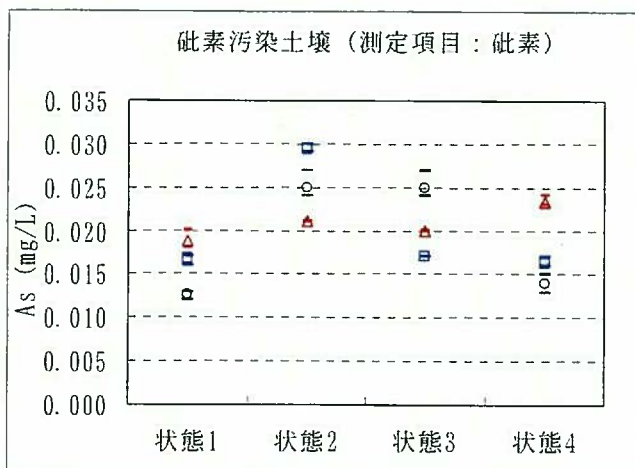
条件		As (mg/L)	B (mg/L)
温度 °C	状態		
20	状態1	0.013	0.9
	状態2	0.025	1.0
	状態3	0.025	1.0
	状態4	0.014	0.9
35	状態1	0.017	1.0
	状態2	0.029	1.0
	状態3	0.017	1.0
	状態4	0.016	0.9
50	状態1	0.019	0.9
	状態2	0.021	1.0
	状態3	0.020	0.9
	状態4	0.023	0.9



○平均 (20°C) △最大 (20°C) △最小 (20°C) ○平均 (35°C) △最大 (35°C) △最小 (35°C) ○平均 (50°C) △最大 (50°C) △最小 (50°C)

図-4 (1) 鉛汚染土壤の試験結果 (測定項目: 鉛)

図-4 (2) 鉛汚染土壤の試験結果 (測定項目: 砒素)



○平均 (20°C) △最大 (20°C) △最小 (20°C) ○平均 (35°C) △最大 (35°C) △最小 (35°C) ○平均 (50°C) △最大 (50°C) △最小 (50°C)

図-5 (1) 砒素汚染土壤の試験結果 (測定項目: 砒素)

図-5 (2) 砒素汚染土壤の試験結果 (測定項目: ほう素)

4. 振とう前後の放置時間に関する検討

4.1 検討内容・方法

既存の文献²⁾等では、振とう前後の放置時間が試験結果に与える影響について指摘されている。ここでは、鉛汚染土壌及び砒素汚染土壌を対象に、試験操作工程管理上想定される振とう前後の放置時間のパターンについて、土壌溶出量への影響を検討した。

検討した振とう前後の放置時間を含む溶出試験操作条件を表-5に示す。各汚染土壌を対象に、振とう前後の放置時間として、30分以内、8時間、16時間の3条件を組み合わせた5条件で土壌溶出量試験を実施した。また、対象汚染物質の挙動について、性状変化等の要因を確認するために、各土壌溶出量試験における溶出液に対し性状測定を行った。さらに、遠心分離・ろ過による固液分離を行う前の状態として、振とう後の上澄液についても同様の測定を行った。なお、各溶出量試験は、精度・ばらつきを確認するために、3回の繰返し試験を実施した。

表-5 振とう前後の放置時間に関する検討条件

時刻		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
条件 (放置時間)	振とう前16時間 振とう後30分以内	[準備時間]																							[振とう前放置時間]	[振とう時間 (6時間)]	[振とう後放置時間]	[30分間静置]	[デカンテーション]	[遠心分離]	[サンプリング分析]	
	振とう前8時間 振とう後30分以内	[準備時間]																							[振とう前放置時間]	[振とう時間 (6時間)]	[振とう後放置時間]	[30分間静置]	[デカンテーション]	[遠心分離]	[サンプリング分析]	
	振とう前30分以内 振とう後30分以内	[準備時間]																							[振とう前放置時間]	[振とう時間 (6時間)]	[振とう後放置時間]	[30分間静置]	[デカンテーション]	[遠心分離]	[サンプリング分析]	
	振とう前30分以内 振とう後8時間	[準備時間]																							[振とう前放置時間]	[振とう時間 (6時間)]	[振とう後放置時間]	[30分間静置]	[デカンテーション]	[遠心分離]	[サンプリング分析]	
	振とう前30分以内 振とう後16時間	[準備時間]																							[振とう前放置時間]	[振とう時間 (6時間)]	[振とう後放置時間]	[30分間静置]	[デカンテーション]	[遠心分離]	[サンプリング分析]	
時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	

4.2 試験結果

鉛汚染土壌の分析結果を表-6に、砒素汚染土壌の分析結果を表-7に、各試験条件による振とう前後の放置時間に伴う上澄液及び溶出液の性状の変化を図-6~11に示す。

各汚染土壌の溶出液中の対象物質の土壌溶出量には、若干の差異は認められるものの、振とう前後の放置時間の違いによる顕著な影響は確認されなかった。

ただし、上澄液（遠心分離・ろ過による固液分離を行う前）の性状、溶出液の性状、各汚染土壌の粒度分布等を踏まえて考察すると、次のような知見が得られた。

砒素汚染土壌に対するほう素の試験結果では、上澄液と溶出液中のほう素の濃度に差異がほとんど認められず、ほとんどが溶解性で存在するとともに、振とう操作以降の操作条件が土壌溶出量に大きな影響を与える要因ではないことが推測された。一方、鉛汚染土壌の鉛、砒素の測定結果及び砒素汚染土壌の砒素の測定結果では、上澄液と溶出液中の対象物質の濃度に大きな差異があり、振とう後放置時間の影響が一部認められた。この結果は、粒度試験結果に示されるように、各汚染土壌が0.45μm以下の細粒分の非常に少ない土壌であったことが起因していると推察され、ろ過後においては細粒分に吸着された対象物質の影響がわずかであった可能性が考えられる。したがって、細粒分の含有状況によっては、振とう前後の放置時間の違いが土壌溶出量に影響を与える可能性があるのではないかと推察される。

表-6 鉛汚染土壌の試験結果

対象	条件		濁度 (度)	As (mg/L)	Pb (mg/L)
	振とう前 放置時間	振とう後 放置時間			
上澄液	16時間	30分以内	27	0.031	0.028
	8時間	30分以内	200	0.029	0.027
	30分以内	30分以内	260	0.032	0.028
	30分以内	8時間	49	0.023	0.021
	30分以内	16時間	29	0.016	0.020
溶出液	16時間	30分以内	<1	0.006	0.009
	8時間	30分以内	<1	0.006	0.009
	30分以内	30分以内	1.8	0.006	0.010
	30分以内	8時間	1.0	0.006	0.010
	30分以内	16時間	<1	0.006	0.010

表-7 砒素汚染土壌の試験結果

対象	条件		濁度 (度)	As (mg/L)	B (mg/L)
	振とう前 放置時間	振とう後 放置時間			
上澄液	16時間	30分以内	470	0.014	1.1
	8時間	30分以内	320	0.085	1.1
	30分以内	30分以内	360	0.096	1.2
	30分以内	8時間	440	0.12	1.2
	30分以内	16時間	150	0.050	1.0
溶出液	16時間	30分以内	<1	0.010	1.1
	8時間	30分以内	<1	0.009	1.0
	30分以内	30分以内	<1	0.010	1.2
	30分以内	8時間	<1	0.009	1.1
	30分以内	16時間	<1	0.009	1.0

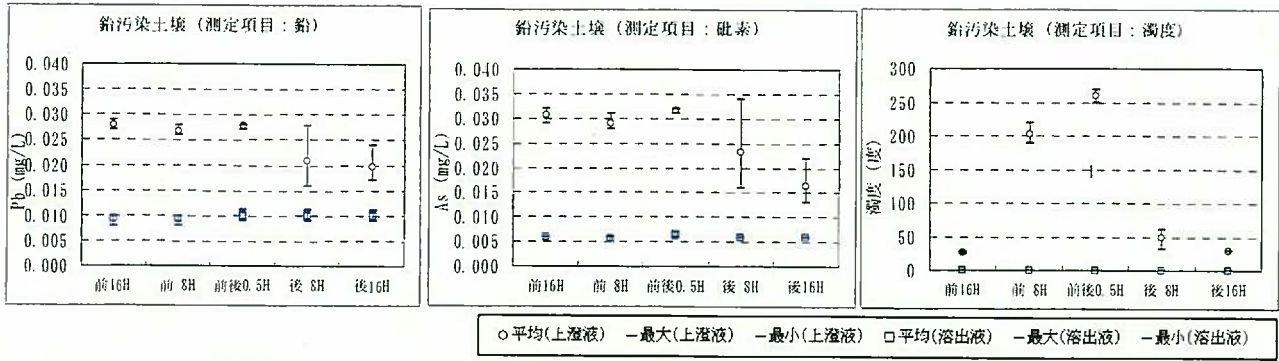


図-6~8 各試験条件(振とう前後の放置時間)における上澄液と溶出液の性状の変化(鉛汚染土壌)

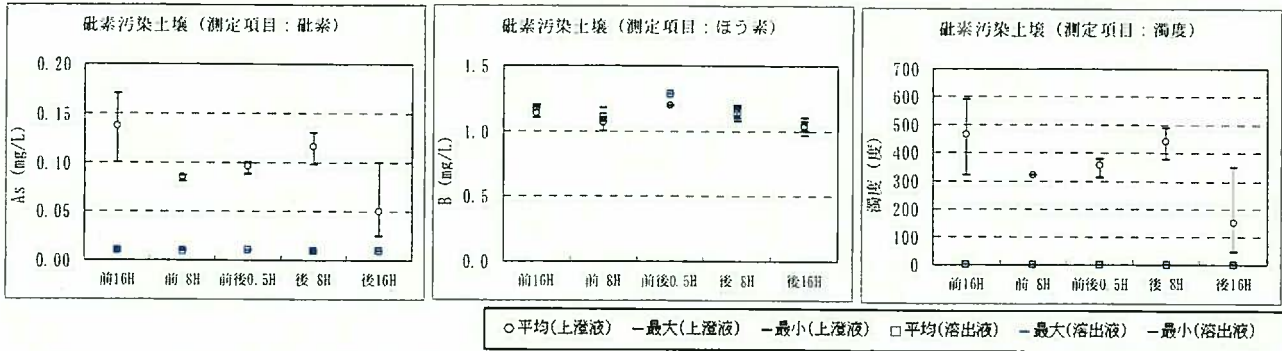


図-9~11 各試験条件(振とう前後の放置時間)における上澄液と溶出液の性状の変化(砒素汚染土壌)

5. ろ過に関する検討

5.1 検討内容・方法

土壌溶出量試験におけるろ過工程では0.45 μ mのろ紙によりろ過を行うが、粘土等、粒径が0.45 μ m以下の細粒分の多い土壌においては溶出液自体に濁りがみられることがあり、ろ過工程の条件の違いが土壌溶出量試験の結果に影響を与えている可能性は否定できない。そこで、鉛汚染土壌及び砒素汚染土壌を用いて、ろ過方法の違いによる土壌溶出量試験結果への影響について検討した。

検討した溶出試験操作条件は、各汚染土壌を対象に、ろ紙交換をする、しないの2条件とろ過開始後0~150mL、150~300mL、300~450mLのろ液の3条件を組み合わせた6条件で土壌溶出量試験を実施した。なお、各土壌溶出量試験は、精度・ばらつきを確認するために、3回の繰返し試験を実施した。

5.2 試験結果

鉛汚染土壌の分析結果を表-8と図-12に、砒素汚染土壌の分析結果を表-9と図-13に示す。

本試験に使用した各汚染土壌の対象物質に対する土壌溶出量には、若干の差異が認められるものの、ろ過工程の操作の違いによる顕著な影響は確認されなかった。

ただし、粒度試験結果に示されるように各汚染土壌が0.45 μ m以下の細粒分の非常に少ない土壌であったことから、ろ過工程の操作の違いに対する細粒分に吸着された対象物質の影響がわずかであった可能性が考えられる。

表-8 鉛汚染土壌の試験結果

条件		As (mg/L)	Pb (mg/L)
ろ紙交換	ろ液の画分		
ろ紙交換 しない	0~150mL	0.007	0.015
	150~300mL	0.007	0.015
	300~450mL	0.008	0.018
ろ紙交換 する	0~150mL	0.007	0.014
	150~300mL	0.007	0.015
	300~450mL	0.007	0.018

表-9 砒素汚染土壌の試験結果

条件		As (mg/L)	B (mg/L)
ろ紙交換	ろ液の画分		
ろ紙交換 しない	0~150mL	0.011	1.2
	150~300mL	0.011	1.2
	300~450mL	0.011	1.3
ろ紙交換 する	0~150mL	0.011	1.3
	150~300mL	0.011	1.2
	300~450mL	0.011	1.2

注：ろ液に濁りが認められなかったため、「交換する」の条件では遠心分離前の懸濁液を直接ろ過した。

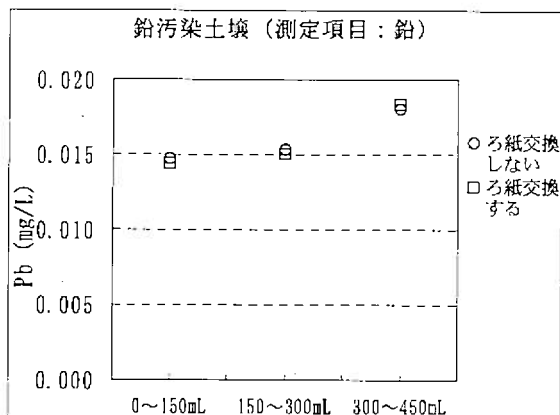


図-12(1) 鉛汚染土壌の試験結果 (測定項目: 鉛)

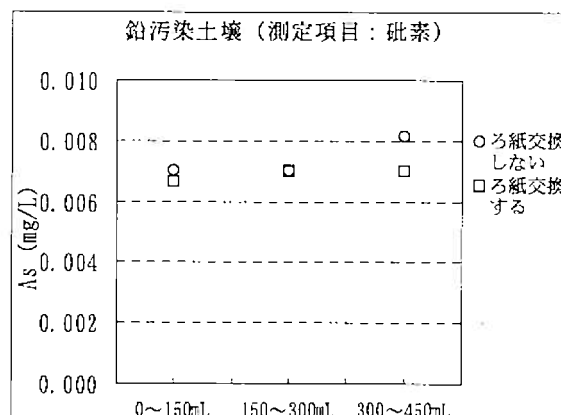


図-12(2) 鉛汚染土壌の試験結果 (測定項目: 砒素)

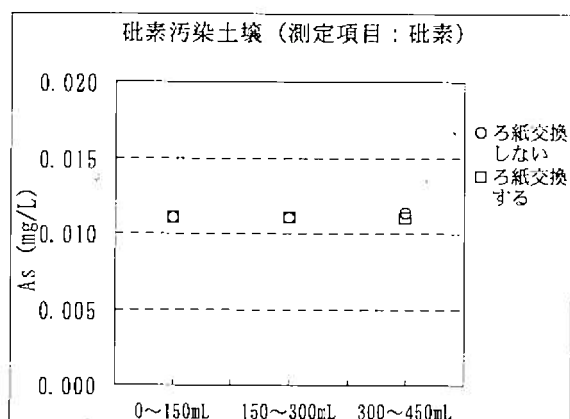


図-13(1) 砒素汚染土壌の試験結果 (測定項目: 砒素)

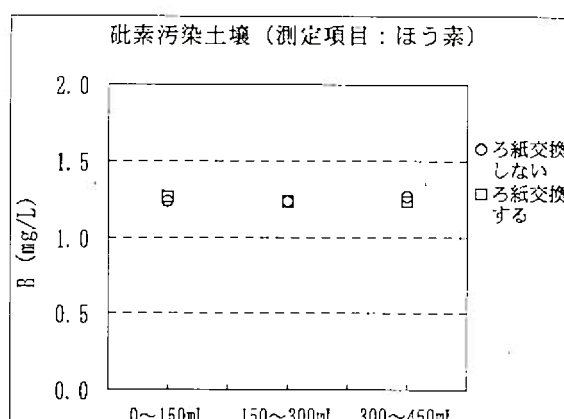


図-13(2) 砒素汚染土壌の試験結果 (測定項目: ほう素)

6. おわりに

今回実施した検討試験の結果から、風乾温度や風乾期間の設定が土壤溶出量に影響を及ぼす可能性が示唆された。一方、本検討試験に供した試料において、振とう前後の放置時間やろ過工程については、これらの条件が違っていても土壤溶出量の値に大きな差異は認められなかった。ただし、これらの事象には、土壤の性状の影響を受けると考えられるものもあることから、細粒分 (0.45 μ m以下) の多い土壤試料の検討試験を行うなど、詳しく検討することによって、土壤の性状に依存するもの及び試験条件に依存するもの等に分類できる可能性がある。他の対象物質についても検討すること等により、土壤溶出量試験をより再現性があり、精度の高い試験とするための重要操作因子を把握することができる可能性があることから、今後も他の検討試験事例を集積していきたいと考えている。

【謝辞】

最後に、共通試料を調整頂いた株式会社環境管理センター、検討試験を実施頂いた応用地質株式会社、株式会社大林組、株式会社環境科学コーポレーション、株式会社住化分析センター、株式会社三菱化学アナリテック、株式会社ユニチカ環境技術センターの各社に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) (社) 土壤環境センター 実態把握調査部会 分析業務ワーキンググループ 大気環境測定ワーキンググループ 加洲教雄・平田桂・日笠山徹巳・糸賀浩之 (2010): 「分析業務」 および 「土壤汚染対策工事における大気環境測定」 に関する現状と課題 第16回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.556~561
- 2) 社団法人日本環境測定分析協会 水質・土壤技術委員会 (平成22年5月): 土壤分析方法の操作条件に関する検討