

自然土壌からの鉛、砒素およびセレンの溶出事例について

国際航業(株)	正会員	尾崎 哲二
国際航業(株)		岡田 亮介
国際航業(株)		笠水上光博
国際航業(株)		田中 信夫
国際航業(株)		石原 成己

1. はじめに

工場閉鎖にともなう土壌汚染調査の結果、鉛、砒素およびセレンによる土壌汚染が確認された。調査結果から汚染土壌がアルカリ性を示し、これが有害物質の溶出と関係していることが推定された。

本報告では、土壌汚染の概要を述べ、その汚染メカニズムについて考察する。

2. 対象地および土壌汚染の概要

対象地は平野の低位段丘面（標高 +10～30m）として分類される場所にあたり、地表は平坦で標高は +19.7m 前後にある。地表は 10～30cm 厚のコンクリート舗装に覆われ直下には 1～2m の層厚で粘性土層が、その下位には深度 39m 近くまで砂礫層が続く。地下水位はその砂礫層中の標高 +8m（深度 10.5～12m）近くに確認される。

土壌汚染調査は敷地を約 1000m² のエリアに分割して進めた。その結果、ほとんどのエリアの表層部を中心に鉛、砒素による汚染が、また一部のエリアにはセレンによる汚染も確認された。これらの結果を pH - 溶出量値の関係図として図 1～3 に示す。ここで、鉛、砒素の定量限界値は 0.005mg/L、セレンは 0.002 mg/L であったが、図 1～3 では定量限界値未満の値は 0 とした。

図 1～3 より、鉛、砒素は pH 値が 7.5 を超えると溶出量値が土壌環境基準（0.01mg/L 以下、セレンも同じ）を超過する土壌が多くなり、pH 値が 10 を越えるあたりではセレンとともに出現の頻度も高く濃度も高い。

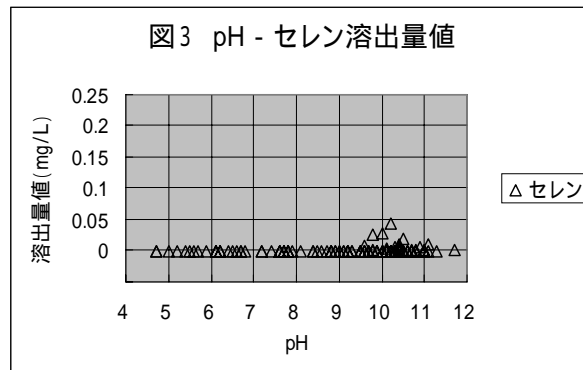
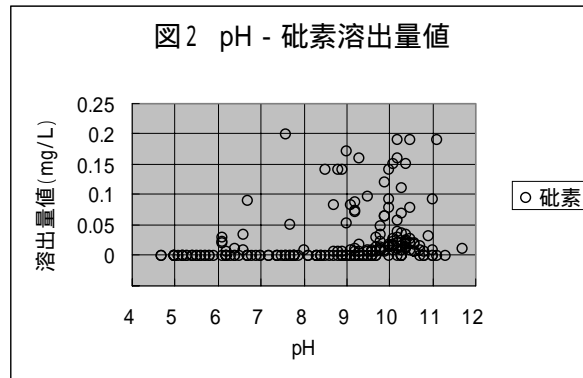
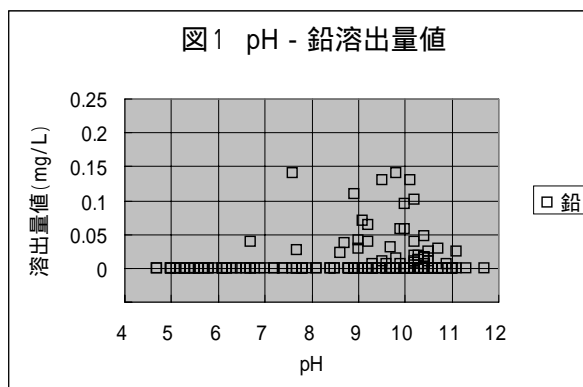
3. 汚染の原因

工場では、有害物質である鉛、砒素およびセレンは使用していなかったことが確認されている。ただし、アルカリ性物質であるソーダ灰（Na₂CO₃）を使用していた。

汚染土壌および非汚染土壌中の鉛および砒素の含有量分析結果を表 1 に示す。表 1 より両土壌とも鉛および砒素の含有量は含有量参考値を下回り、自然土壌の含有量と同レベルである。また、セレンの自然土壌の含有量は 0.01～10 mg/Kg¹⁾ とされており、得られたデータはこれと同じレベルであることがわかる。また、X線回折分析をおこなった結果、両土壌のチャートはよく似た形を示し、地質学的にみて同種の土壌であることを確認した。

キーワード 土壌汚染, 自然土壌, アルカリ性, コロイド, 溶出量

連絡先 〒102-0086 東京都千代田区六番町 2 番地 国際航業株式会社 地盤環境インフラ事業部 Tel03-3288-5722



このように対象地の汚染土壌は人工的な鉛、砒素およびセレンによって汚染されたものではなく、地中に浸透したソーダ灰などによる「自然土壌」のアルカリ化によって溶出量が増大したことが推定された。そこで、次にアルカリ化試験をおこなった。試験はソーダ灰を非汚染土壌 A に添加混合して土壌をアルカリ化するという方法である。

試験の結果、鉛の溶出量値は 0.083mg/L、砒素は 0.12mg/L、セレンは 0.017 mg/L と大きな値を示し、pH 値は 10.1 であった。

以上、土壌汚染が非汚染土壌（自然土壌）のアルカリ化によるものであることを明らかにした。

4. ろ過試験

では、土壌がアルカリ化すれば、どうして鉛や砒素、セレンの溶出量値が高くなるのか？

土壌分析（環告 46 号）では、0.45 μm のフィルターによりろ過された検液中の有害物質が測定される。今回の土壌分析では、この検液に濁り（粘土コロイド粒子）があることが確認されていた。すなわち濁りが

高いと鉛、砒素、セレンの溶出量値が高く、濁りが低いと溶出量値も低いという傾向である。そこで、ろ過試験をおこない溶出量値と濁度の関係を調べた。試験方法は汚染土壌を公定法の溶出試験（0.45 μm のフィルターでろ過）により鉛、砒素、セレンの溶出量値および濁度を測定する。次に、この検液を 0.025 μm のフィルターでろ過し、同様に溶出量値と濁度を測定するというものである。

結果を表 2 に示す。表 2 より各物質とも 2 回目の溶出量値が 1 回目に比べ大きく減じている。同時に濁度も大きく減じており濁度と溶出量値が対応していることが確認される。濁度の原因となっているコロイド粒子がフィルターによって除去されたことにより溶出量値が減じたことを示しており、コロイド粒子に含まれる鉛や砒素が溶出量値を高める原因になっていることは明らかである。すなわち、溶出量値として測定された有害物質は溶媒（水）に溶解した形態ではなく、コロイド粒子へ吸着した形態であることを示している。

また、コロイド粒子の X 線回折分析をおこなった結果、低結晶度の状態であることが明らかとなり、その回折像の一部はアロフェンに類似したものであった。

粘土コロイド粒子の分散は粒子表面の荷電により生じ、アロフェンなどの粘土鉱物の表面荷電は土壌溶液の pH によって左右されることが知られている²⁾。ここで示した有害物質の溶出は地中に浸透したソーダ灰による土壌のアルカリ化によって、粘性土中のコロイド粒子が分散した結果生じたものと結論づけられる。

5. おわりに

以上、土壌環境の変化により自然粘性土壌（非汚染土壌）から有害物質の溶出量が増加する事例を示した。

粘性土は透水係数が比較的小さく、有害物質をよく吸着することから高いバリア性能をもつ地層あるいは材料として考えられている。しかし、ここで示したように粘性土においてもアルカリ化によって、有害物質の溶出量が高くなる場合があり得るのである。粘性土を検討するにあたっては、このような性質への観点も必要と思われる。

今回、湊秀雄博士（東京大学・兵庫教育大学名誉教授、㈱アステック顧問）には X 線回折分析をお願いした。また、和田信一郎博士（九州大学大学院農学研究院助教授）にはフィルターの選定に、松村光夫博士（内藤環境管理㈱取締役）にはろ過試験について助言をいただいた。記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 中井信、日本の土壌中の元素濃度、地質ニュース 558 号、2001 年 2 月、pp48-55
- 2) 第 3 節土の分散・凝集、第 7 章土の物理化学性、土の環境圏、pp167-173

表 1 含有量分析結果 () は含有量参考値

分析内容	項目	汚染土壌		非汚染土壌	
		A	B	A	B
含有量 (mg/Kg)	鉛 (600)	15.4	13	17.9	18
	砒素 (50)	12.4	12	10.1	8.7
	セレン	0.8	<0.5	1.0	<0.5
溶出量 (mg/L)	鉛	0.007	0.48	<0.005	<0.005
	砒素	0.008	0.64	<0.005	<0.005
	セレン	0.015	0.019	<0.005	<0.005
pH(25)		8.1	10.2	5.6	5.8

表 2 ろ過試験結果

試料 No	No.1 試料		No.2 試料	
	1回目	2回目	1回目	2回目
試験回数	1回目	2回目	1回目	2回目
フィルター径	0.45 μm	0.025 μm	0.45 μm	0.025 μm
濁度	-	1	400	42
pH	9.2 (21)	8.2 (20)	10.5 (21)	10 (21)
鉛	0.073	0.005	0.036	0.003
砒素	0.079	0.007	0.051	0.024
セレン	0.012	0.005	0.004	<0.005