

## 複合的な汚染をうけた地質の改良処理上の諸問題

湊 秀雄 (東京大学・兵庫教育大学名誉教授)  
米道 博・吉田充夫 (ジオサイエンス株式会社)

### 1. はじめに

工業地帯及びその周辺には、長期にわたる鉱工業活動等の副産物として重金属類等の環境汚染が発生し、土壌、地質、地下水、残土石、廃棄物中にしばしば著しい濃集が認められている。こうした重金属類の多くは比較的微量でも健康への悪影響が懸念されるものが多く、そのため無害化や浄化のための早急な対策が焦眉の課題となっている。

しかしながら、こうした重金属汚染サイトの対策として従来主としてとられてきた諸対策は、多くの問題を孕んでいた。一つには、汚染物質を単に最終処分場等に投棄し隔離するというもので、結果として「汚染の拡散」になりかねない危険性を内包していた。二つには、重金属類の「無害化」を目的とした各種の化学的処理であるが、薬剤の添加などによって結果として新たな環境負荷を加えることが多く、二次的な汚染を誘発しかねないという問題点を含んでいた。とりわけ複数の種類の有害重金属類等の汚染地質にあっては、複雑な化学的処理が要求される。

このような重金属汚染対策の課題に汎用的に対応すべく筆者らが開発してきたのが、天然鉱物素材による固定浄化処理法、シーリングソイル™工法\*である(湊ほか,1996;岡野ほか,1996;湊,1997;湊,1998;Minato et al.,1998)。以下、その基本的な考え方と工法の概要、複合的な汚染サイトにおける適用について述べる。

### 2. 汎用的な重金属汚染対策法

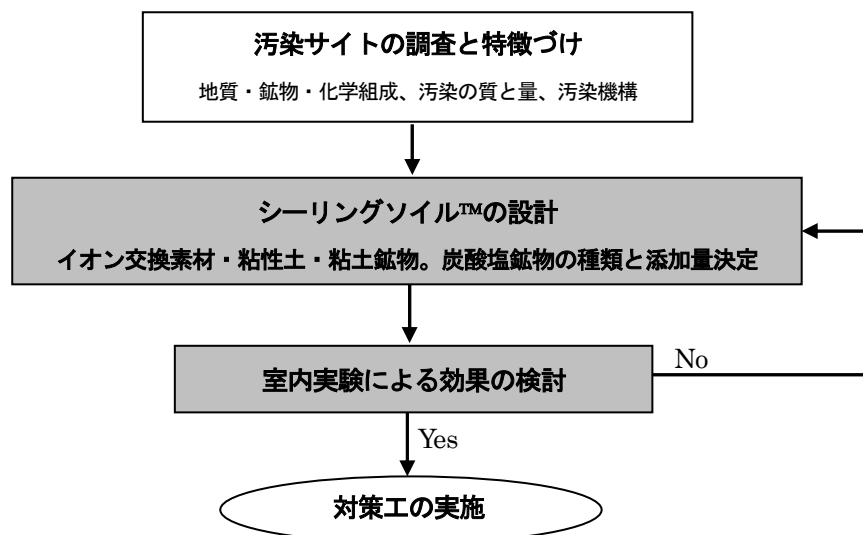
シーリングソイル™工法の基本的な特徴は、① 物理的な撤去や他所での処理ではなく現地処理による浄化であり、残土等の場合再利用可能であること、② 天然素材のみを利用するため人工的な物質による新たな環境負荷が無いこと、③ 重金属類の吸着、イオン交換、新鉱物形成といった反応を基本としていること(原理の詳細は湊ほか,1996;Minato et al.,1998 参照)、④ 汎用性が高く、ほとんどの重金属や砒素等に適用可能であること、である。

本法を適用するにあたっては、浄化処理の対象となる汚染サイトの詳細な調査分析(バックグラウンドとなる地質の理解、鉱物・化学組成、汚染の質と量の把握、汚染機構の解明)が第一段階となる。この認識の上にならって、第二段階として、固定浄化作用が効果的に起きるための最適条件設定、すなわち、イオン交換性天然鉱物(ゼオライト等)、粘土鉱物、粘性土の種類と各添加量の決定を行う。また、pH調整(アルカリ性にする)のため

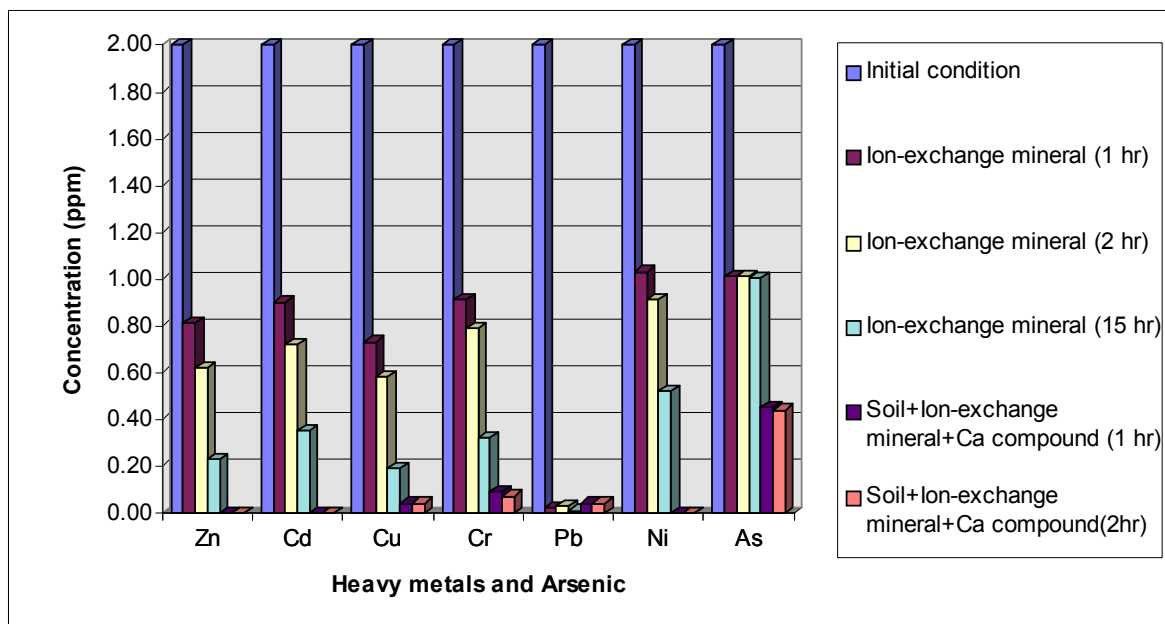
---

\* 特許出願中(特願平 8-197376)

に石灰を必要に応じて添加する。次に第三段階として、実際に対策を行う汚染サイトの物質をサンプルとして、上記条件設定にもとづき実験室内で処理を行い、効果を検証する。以上のプロセスを経て、汎用的な重金属汚染対策としてシーリングソイル™工法の施工(対策の実行)を行うことができる(第1図)。



第2図 重金属汚染サイトのシーリングソイル™による浄化対策のための作業フロー



第3図 有害重金属類及び砒素の2ppm標準溶液の吸着試験結果

### 3. 汎用性とその限界

すでに述べたように、本方法は吸着反応・イオン交換反応・新鉱物結晶化を基本とする

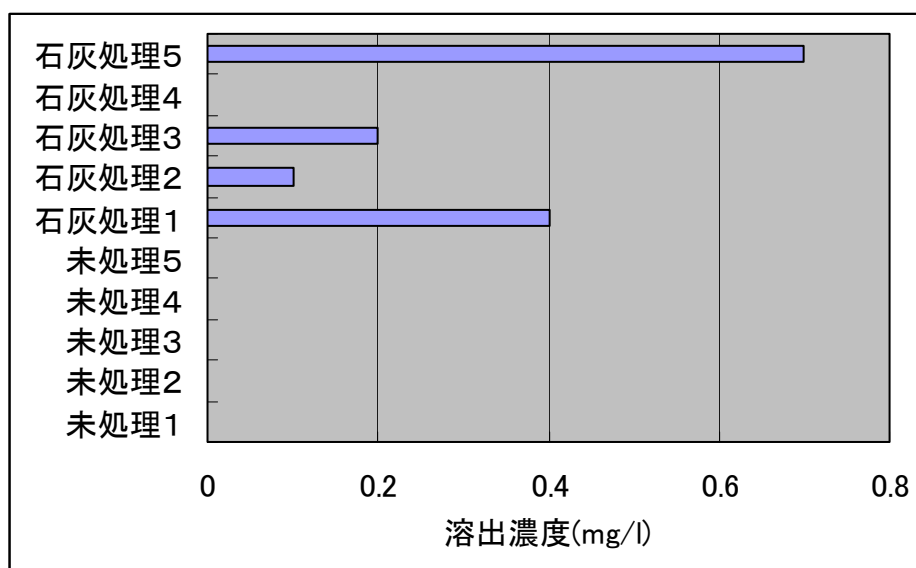
ため、この条件に適合する陽イオンならば単に有害重金属類のみならず、砒素や他の元素についても適用可能で著しい汎用性がある。しかし、溶出後、容易に陰イオンを形成する場合、その吸着・イオン交換・固定効果には限界がありうる。第2図は代表的な有害重金属及び砒素の2ppm標準溶液を異なる組成のシーリングソイルにより吸着した室内実験結果であるが、砒素の吸着量が相対的に低く、時間の経過によっても吸着がほとんど進行しないことがわかる。これは、本実験においては砒素が溶液中では、陰イオンである砒酸イオン（還元性の環境下では亜砒酸イオン）を形成したためである。このように重金属の存在形態は、共存物質、pH、酸化還元電位など化学的条件によって規定されるため、汎用的な対策のためには、存在形態や諸条件を十分に把握しなければならない。

#### 4. 複合汚染における課題：シアン・重金属汚染を例として

以上のように重金属類の汚染にはシーリングソイル™法を汎用的に適用することが期待できるが、他の有害物質については必ずしも効果的ではない。従って、重金属のみによるのではない複合的な汚染サイトでは、対策法の選択や適用の順序に十分な配慮が必要である。逆に言えば、汚染サイトの適切な記載・分析が対策法やその適用順序を決定する。

一例として、重金属とともにシアン汚染が複合している場合について以下に述べる。シアンはメッキや皮なめしなどの産業廃棄物にもともなって検出される有害物質であり、その毒性は極めて強く、弱酸性～中性の水に対する溶出試験において「検出されないこと」と規制されている（土壤環境基準）。シアンは土壌や地層中では、多量に存在する鉄イオンと反応し鉄シアン錯塩を形成する場合があるが、これは難溶性化合物であり溶出試験では検出されない。しかし、鉄シアン錯塩はアルカリ環境下では不安定となり、可溶性のフェロシアンイオンやシアンが溶出する。すでに述べたようにシーリングソイル工法実施にあたっては、吸着・イオン交換を促進するために石灰投入によりアルカリ性の環境を設定するが、これによってもたらされるアルカリ性環境は難溶性の鉄シアン錯塩が存在する場合これを壊し、可溶性のシアンが形成され溶出シアンが検出されることになる。第3図は、あるシアン・重金属複合汚染サイトの試料についてシーリングソイル処理を実施する前後のシアン溶出実験の結果を示した図であるが、シーリングソイル処理後シアン溶出が認められ、一方pH調整を行いアルカリ性を酸性にするとシアン濃度は低下する。重金属汚染対策として最も一般的な手法の一つである石灰のみの処理でも、同様のアルカリ効果がある。すなわち重金属の固定が逆にシアンの溶出を誘発するのである。従ってこの場合、重金属汚染への対策に先行して、シアン対策（酸化処理、熱処理など）を実施し、シアンを分解した後に重金属汚染対策を行わなければならないことになる。

複合汚染サイトにおいては、このように、汚染物質の種類分析特定を事前に行うことが極めて重要な課題であり、対策の成否を左右するといえる。また、その前提として、シアンと重金属が複合的に汚染物質として存在することが想定される汚染サイトにおいては、単に公定法の溶出試験だけでは不十分であり、アルカリ環境下での溶出試験を実施しなければ対策の指針は得られないことを示している。



第3図 複合汚染土のアルカリ性（pH10）調整前後のシアン溶出濃度の変化

## 5. まとめ

- (1) 重金属類の汚染地質の対策においては天然鉱物素材を用いた吸着・イオン交換・結晶化にもとづく処理（シーリングソイル工法）が汎用的である。
- (2) 但し、その実施にあたっては、重金属の存在形態を左右する化学的環境が事前に十分分析されなければならず、陰イオン化した重金属には効果を発揮しない。
- (3) 重金属以外の有害物質が共存する場合には、対策の手順（個々の汚染物質の処理の順序）が重要である。
- (4) 公定法溶出試験のみでは、汚染対策の指針が得られない場合があるので、事前の分析については慎重に検討する必要がある。

**謝辞：** 本研究を行うにあたり日頃からご教示いただいている茨城大学広域水圏環境教育研究センターの楡井久教授に対し、記して感謝の意を表す。

### 引用文献

岡野英樹・和田信彦・湊秀雄（1996）第6回環境地質学シンポジウム論文集，393-396

湊秀雄・岡野英樹・和田信彦（1996）第6回環境地質学シンポジウム論文集，389-392

湊秀雄（1997）シンポジウム地質汚染—残土処理と地質環境—論文集，48-55

Minato, H. (1994). Mineralogy of Natural Zeolite Resources, p. 9-24, Zeolite Ore Deposit in Japan and Zeolite Resources, p. 39-48. Natural Zeolite and its Utilization (edt.), No. 111 Committee, Development Jof New Utilization of Minerals, Japan Society for the Promotion of Science (JSPS), The University of Tokyo Press.

Minato, H., Wada, N., Yoshida, M. and Okano, H. (1998) On basic research of shielding wall material of waste disposal site with reactions of settling for harmful inorganic elements in burned ash of town waste. Abstracts of 4<sup>th</sup> Internl.Symp.Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development, Boston (August, 1998),155.

岡野英樹・和田信彦・湊秀雄(1996)第6回環境地質学シンポジウム論文集,393-396

## **Remediation technique of contaminated site by multiple pollutants**

*Hideo Minato,*

*Prof. Emeritus, The University of Tokyo, 5-37-17, Kugayama, Suginami-ku,*

*Tokyo 168-0082, Japan*

*Hiroshi Yonemiti and Mitsuo Yoshida*

*Geoscience Co., Ltd., 13-14, Moto Asakusa 3, Taito-ku, Tokyo 111-0041, Japan*

### **Abstract**

Contaminated soil by heavy metals, arsenic, and other toxic metals are formed by geo-pollution processes associated with exploitations of metallic resources or various industrial activities. In this paper we report a new on-site technique for remediation of various heavy metals and arsenic, named as Sealingsoil™ treatment (Minato et al., 1996). Prior to remediation treatment, detailed characterization of mineralogy and chemistry of contaminated soil shall be made. In the first step of the remediation treatment, the contaminated soil is mixed with appropriate quantity of natural ion-exchange material, natural zeolite. In addition to the natural zeolite, clay minerals (halloysite, smectite, etc.) may be mixed with the contaminated soils. Then the same weight percent of unslaked lime is also admixed. The effect of the remediation treatment mentioned above was verified by an adsorption experiment of the mixture with 2.000 ppm heavy metals solution in laboratory. Two hours adsorption reaction of the mixture (zeolite+clay+lime) provokes a drastic decrease of the concentration of soluble metals in the solution. Heavy metals are eventually fixed in newly formed mineral crystals as a minor element after the complete adsorption within the soil, which is geochemically stable. Thus pollution soils contaminated by toxic heavy metals and/or arsenic can be successfully remediated with this mixing treatment.

However the remedial treatment of heavy metals may induce another contamination because of newly formed alkaline conditions, e.g. soluble cyanogen appears under alkaline condition if the contaminated soils initially contain iron-cyanide which is non-soluble compound under neutral to acidic conditions. In this case remedy of cyanide should be made before alkaline treatment. Thus, characterization of contamination is indispensable for appropriate site remediation planning.

**Keywords:** environmental pollution, site remediation, zeolite, heavy metals, cyanide