不溶化工法の現状と展望

完成度の高さが重要
施工方法や技術管理

シーリングソイル協会理事長
（地水環境コンサル代表）
和田　信彦（わだ　のぶひこ）

1、不溶化工法の現状

二〇〇三年二月に施行された土壌汚染対策法で重金属等に含有量基準が指定されるまで、「土壌の汚染に係る環境基準」（以下、土壌環境基準）は農用地を除いてすべて溶出量基準であった。

したがって、土壌汚染対策法（土対法）施行以前の重金属汚染に対する対策は、化学薬剤により重金属等を水に溶出し難い物質に変化させる化学的不溶化、セメントで土壌を物理的に固化して重金属の溶出を抑制するセメント固化法が、コストも安いことから多く採用された。

工法区分	薬品名・商標名	添加量（重量%）	溶出量（mg/l）
液体キレート系	E	0.01	0.67
		0.05	0.99
		0.10	1.12
		0.2	1.3
		0.5	2.2
		2.0	2.5
	O	1.0	1.2
		5.0	0.2
		10.0	0.24
液体キレート系＋化学的不溶化	E＋塩化第二鉄	0.10	310.00
		0.20	260.00
		0.5	200.00
化学的不溶化系	硫化ナトリウム	0.1	3.2
		0.5	14
		1.0	26
	G	A	<0.005
		B	0.023
地化学的固定化系	シーリングソイル工法	A	<0.005
		B	<0.005
		C	<0.005

高濃度鉛汚染土壌の不溶化公開試験結果

しかし、化学薬剤によって還元処理された汚染土壌から再び六価クロムが検出されたり、セメント混合により物理的に封じ込めてもやがて再溶出したり、pH値の上昇が新たな重金属の溶出を促進させるなどの事例が発覚し、これらの不溶化工法に対する信頼性は低かった。

土対法では重金属等に含有量基準が新たに指定され、不溶化工法の適用が制限されたが、これを機に、多くの不溶化工法は撤退し、手っ取り早い土壌置換（掘削除去）が主流となった。

しかしながら昨年後半頃から、関係学会で不溶化技術に関する研究報告に増加傾向が見られ、公共事業で不溶化工法による対策が発注されるようになった。

この要因として次のことが上げられる。

(1)大都市圏で地価が上昇傾向に転じたとは言え、地方都市圏の地価の底値状態が続く現状で高価な掘削除去は採用し難い。

(2)所有者と地目が変更しない土地については、不溶化工法を含む汚染拡散防止措置で継続利用するのが現実的である。

(3)自然的原因の重金属汚染土壌に対して土壌汚染対策法は適用外であり、不溶化工法の適用制限はない。

(4)長期実績や研究開発等により、信頼性のある不溶化工法に対する認識が高まった。

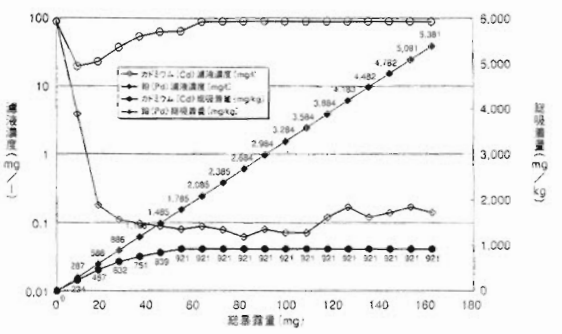


図1　天然ゼオライトの重金属吸着能

2、不溶化工法の信頼性

最近注目されるのは、ゼオライトやアロフェン、シュベルトマナイトなど天然鉱物系改良材や、酸化マグネシウムなど無機材の吸着機能やイオン交換機能を利用した地化学的不溶化工法である。

低濃度の汚染拡散防止対策など人為的汚染も

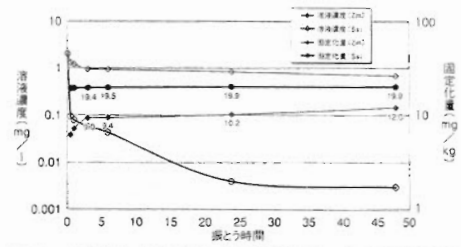


図2　ゼオライト単体とSSパウダーのヒ素固定化

県営C射撃場の鉛汚染土壌の対策にかかわり、不溶化工法の効果検証のため実施された公開試験結果を表に示す。均質に調整された鉛汚染土壌（含有量四九〇〇mg/kg、溶出量一・六〇mg/l）が分配され、各工法の技術者が衆目の前で改良材を添加混合し、県が公定法分析を行った結果である。

溶出量が原汚染土壌よりも溶出量が増加した試料もあり、適用条件を誤ったと思われるが溶出を促進させた結果までであった。この公開試験の結果は不溶化工法の中には全く未成熟な技術がある一方で、地化学的不溶化工法の一つであるシーリングソイル工法の完成度が極めて高いことを示している。

シーリングソイル工法は、天然鉱物系改良材の吸着・陽イオン交換機能を利用した地化学的な不溶化工法である。

一kgの天然ゼオライトは、陽イオンのカドミウムで九〇〇mg/kg、鉛で五〇〇〇mg/kgを超える量を吸着する（図1）。

シーリングソイル工法に用いる天然鉱物系改良材を混合したSSパウダー（SS）では、ゼオライト（Zm）に比較して二mg/lのヒ素溶液濃度は大幅に低下し、ヒ素の固定化量も二倍近くに増大する（図2）。

またSSパウダーは、鉛・カドミウム・水銀の複合汚染の場合でも各重金属イオンに対しても、短時間で吸着機能を発揮することが判明している。

火山性風化粘性土に多く含まれる非晶質アルミのケイ酸塩鉱物であるアロフェン（$SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O$）は、表面にフッ素等の吸着する能力を保持している。

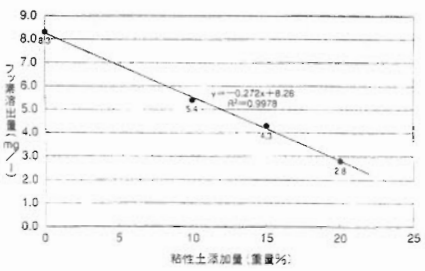


図3　風化粘性土の添加率とフッ素溶出量

また、風化粘性土に含まれるケイ酸及び鉄・アルミナ等の含水性非晶質物やアロフェンなど低結晶性の粘土鉱物が、長期間を経て高度に結晶化するに伴い、重金属等を強固に固定化することが期待される。

対策工法は原理と施工と両方の良否が問われる。原理が正しくなければ措置対策として問題外であるが、原理が正しくても施工方法や管理技術の完成度が高くないと目標品質は得られない。原理と施工とともに完成され実績を積んでいる対策工法は、市場で宣伝されている割には意外と少ない。

一「自然的原因によるもの」であると判断され、法の適用対象とならない場合にも、指定基準に適合しない状態にある土壌が当該土地の外に搬出され、不適切に処分等されることは適当ではなく、法に基づく措置とは別に、当該土壌にかかわる適切な対応が図られることが望ましい。（中略）また、土壌含有量基準に適合しない場合には、自然的原因によるものであっても、都道府県においてその情報を記録して整理しておくとともに、現状のままでは人の健康にかかわる被害が生ずる恐れがある場合には、都道府県は必要に応じ、自らの負担で盛土等の法に規定する直接摂取の観点からの措置を参考にして、適切な措置を実施することとされたい」

通達を要約すれば下記の三点である。

(1)建設工事に伴う自然的原因の重金属汚染発生土（ズリ）は、土壌汚染対策法の適用外である。

(2)土壌汚染対策法に基づく措置とは別に、適切な対応が図られることが望ましい。

(3)土壌含有量基準に適合しない場合には、法に規定する直接摂取の観点からの措置を参考にして適切な措置を実施すること。

全国各地の建設工事で大量に発生する自然的原因の重金属汚染発生土に対する適切な対応や適切な措置については、発生する土事の施工主体や発生する場所の行政指導によって異なっている。

3、不溶化工法の展望

重金属は自然に生成され、高濃度に濃集した金属鉱物（鉱石）は人為的に採掘・精錬され工業原料として利用されている。工業製品になる過程で重金属は都市圏の土壌を汚染し、工業製品に使用された重金属はやがて廃棄物となって処分場に濃集してくる。したがって、重金属汚染現象は資源サイクルの一部（図4）である。

我が国の地質分布から見ると、自然的原因の重金属汚染発生土は全国各地で出現する可能性がある。中でも、次のような場所での建設工事に際しては、自然的原因の重金属汚染土壌が発生する機会が多い。

(1)鉱山・休廃止鉱山及び温泉変質帯と周辺の道路・トンネル・ダム等の建設

(2)中新世～更新世の泥岩・シルト岩分布域の道路・トンネル・ダム及び宅地造成等の建設

(3)鉱山・休廃止鉱山の下流域の河川改修・橋脚工事及びダム堆砂の浚渫事業

(4)沖積平野及び洪積台地の掘削（地下鉄・地下道・下水道・河川切り替え・地下街・地下室・ビル）工事

(5)河川・湖沼及び湾岸の粘土・シルトなど細粒堆積物（底質）の浚渫・埋土工事

通達「土壌汚染対策法の施行について」（環水土第二〇号、二〇〇三年二月四日）の別紙「土壌中の特定有害物質が自然的原因によるものかどうかの判定方法」二項では、自然的原因の汚染土壌の取り扱いについて次のように指導している。

図4　重金属汚染と資源サイクル

国家的大規模プロジェクトの八甲田トンネルの建設工事でも学のために処分場を建設しているが、中～小規模工事や地方自治体の建設工事にまで適用することにはならない。しかしながら、限られた公共建設工事予算の中で環境保全を図って行かねばならないのが時代の要請である。合成ンート等で包んで現地に仮置きしている事例は、措置ではあるが対策の先送りにしか過ぎない。

自然的原因の重金属汚染発生土の対策は鉱床帯や温泉変質帯の高含有量部を除いて、重金属の溶出量を抑制する不溶化・固定化が現実的な採用と考えられる。

重金属の溶出量を抑制する不溶化工法には、物理的固化法（セメント固化法・ガラス固化法など）、化学的不溶化工法（硫化ナトリウム・硫酸第一鉄・キレート剤など）、地化学的固定化工法（シーリングソイル工法・酸化マグネシウム工法など）があり、適用条件を始め工費、工期、効果などについてそれぞれ特長がある。

現状では施工主体や行政指導によって一様には適用できないが、公共建設工事におけるヒ素汚染発生土を基準適合まで不溶化し、道路盛土材、トンネル開口部覆土材、法面植生土、堤防築堤材として利用している事例が発生している。

全国で大量に発生する自然的原因の重金属汚染発生土は、実績と信頼性のある適切な措置によって基準適合まで改良し、可能な限りリサイクル・リユースすることが二十一世紀の循環型社会の形成理念に合致している。

人為的な汚染土壌に対して、不溶化工法の適用は制限されている。しかし、都市圏でも次のような汚染サイトでは、コスト効果の高い不溶化工法の適用が期待される。

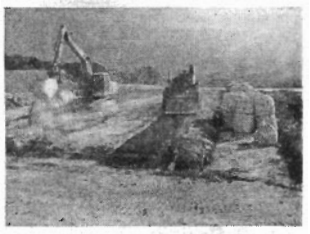
(1)都市地盤の地表数m以下に大量に存在する自然的原因の重金属汚染土壌の処理対策。

(2)含有量及び第二溶出量基準適合の低濃度汚染土壌を対象とした汚染拡散防止対策。

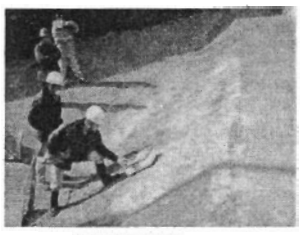
(3)遮水工と併用して第二溶出量基準不適合の中濃度汚染土壌を対象とした汚染拡散防止対策。

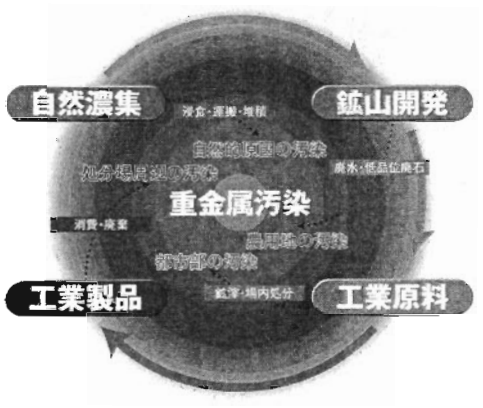
－10年の実績がしめす信頼と安心－ シーリングソイル工法

全国各地の重金属汚染に対応しています


自然的原因の重金属汚染発生土処置

カドミウム汚染農用地の改良実験圃場


最終処分場の重金属汚染防止ライナー



資源サイクルと重金属汚染

都市部における人為的汚染土壌の改良

シーリングソイル協会

132-0035　東京都江戸川区平井5-21-3　Tel.03-5631-2173　Fax.03-5631-2172　URL：http://www.sealingsoil.gr.jp/　E-mail：info@sealingsoil.gr.jp

重金属含有量基準・第二溶出量基準不適合の汚染土壌にはハイブリッド浄化工法など、汚染濃度と土地利用計画を考慮してコスト効果の高い措置対策をご提案します。重金属汚染土壌でお困りの場合は各地の会員か協会にご相談下さい。

正会員

良質な施工と高い改良品質をご提供します。

株式会社アステック
飛島建設株式会社
株式会社レアックス
蓮井建設株式会社
株式会社ユーディケー
三井金属資源開発株式会社
川中島建設株式会社
玉石重機株式会社

賛助会員

施工機械や改良材等でシーリングソイル工法をサポートします

株式会社環境玉川　青木マリーン株式会社　りんかい日産建設株式会社
ドリコ株式会社　日本活性白土株式会社　栄豊建設株式会社
有限会社エコマネジメント　株式会社サンエイリース　緑商事株式会社
株式会社片山化学工業研究所　大幸工業株式会社　株式会社生研
吉澤石灰工業株式会社　三協興産株式会社　日本国土開発株式会社
オーガニック・システム株式会社　須藤重機建設株式会社　株式会社優宕建設工業
日東粉化商事株式会社　常盤工業株式会社　クリーン・ワールド株式会社
ジークライト株式会社　株式会社地質研　日立建機株式会社
KOMATSU(株)小松製作所　古河総合設備株式会社
アイサワ工業株式会社　株式会社吉光組