

地盤環境汚染の調査方法(9)

スミコンセルテック(株)

高橋 忍

第7章続き

7.3 調査結果と汚染責任者の関係

調査方法の解説から対策工法の話に入る前に、地盤環境汚染の浄化対策責任はどこにあるか及び自然起因の土壤地下水汚染の扱いについて簡単に触れることにする。

土壤・地下水の汚染評価で汚染源の確認が重要な調査事項になるが、汚染されているものの地層の状況により、汚染の責任の所在を判定することが調査の結論の重要な項目となる。

不飽和帯の土壤汚染調査では、「汚染物質の負荷は、その直上の地上設備から発生しているか、その至近の地下埋設管や構造物からの漏洩、廃棄物埋設に起因するもの」という発想で汚染原因を追求する。地下水流动により移行してきた揮発性物質(地下水の貴い汚染)により、地下水から物質が揮散して土壤汚染をもたらすことも考えられるが、不飽和帯土壤の浄化を狩猟したが、汚染地下水の対策は未着手である地域でのモニタリング結果では、汚染地下水からの再汚染は微量であり環境基準を超える事は少ない。

従って、不飽和帯の汚染では、詳細調査により確認された地盤環境汚染の責任者は、その直上で操業した工場或いはその敷地を受け継ぎ現在所有する地権者になることが、かなりの確度で言える。

環境行政が汚染を認識している場合は、地権者はその修復を施工するよう指導を受けることになる。

地下水汚染では、ハイテク工業団地の汚染例のように汚染源が複数あり、地下水の流动に伴なう汚染物質の移行、拡散で広域的な地下水汚染が形成されている。このような場合、調査により各汚染当事者の責任配分を行うことは難しい。広域地区の行政予算による総括的の調査と責任企業の基金拠出による広域的対策施工が必要になる。

また、分担汚染原為者である企業などがその工場敷地を売却・移転する場合、地盤環境汚染をそのままにしておくと、責任は原為者だけでなく、次の地権者にも移ると考えられるので、工場跡地、研究所、病院跡地など土壤・地下水汚染の可能性がある土地の取り引きを行う場合、売り方は(買い方との免責契約がない限り)法的に根拠のある方法で、概況調査、詳細調査を行い、汚染があれば浄化を施工し、その成果を確認して土地を引き渡すことが常識になりつつある。

次に、水質汚濁法制定(昭和45年法138号)以前行われたと判断される土壤・地下水の汚染や、廃棄物処理法制定(昭和45年法137号)以前の廃棄物埋設などの場合で、資料調査によりその行為の時期が証明できる場合には、行政からの指導による強制的な浄化義務はなく、汚染行為者あるいは土地所有者の自主的な対応が求められることになる。

このような場合で当事者が修復に対応する経済的能力が無い場合は、行政が浄化を代行することもあり得るので、調査担当者調査結果から以後の対応について提言できるように、調査対象汚染が法的に置かれた状況についても検討することが望ましい。

7.4 自然的原因の汚染

調査結果で、対象地全般に広く比較的低濃度の土壤汚染が確認されたが、土地の使用履歴調査からは該当する汚染物質の使用が全く想定されないことがある。

この場合、汚染が自然起因の汚染であるか、その土地が造成土地で造成時の盛り土が汚染されていたかなど対象地使用前の汚染原因を検討することになる。

揮発性有機塩素化合物(VOC)や油脂汚染の場合、法規に指定された有害物質は人工的な化合物が殆どで、汚染が自然界起因

のものである可能性は極めて少ない。しかし、重金属などに指定された有害物質では、金属鉱床や火山噴出物、海成堆積物、温泉など事前に形成された地質や地下水に含まれる物質が土壤、地下水中に認められることが多い。

特に、国内の場合砒素の土壤汚染では、火山噴出物や海成堆積物に土壤環境基準値を超える自然土壤が存在する。特に砒素は内湾性の海成粘土層に多く含まれ、関東地区では上総層群の洪積層の一部に溶出量環境基準値を超える砒素を含む特定の地層が知られている。

これらの地層が露出したり、比較的浅い深度で分布する地域では、土地の開発行為に伴う地盤環境調査で砒素の自然土壤汚染に遭遇する機会が多い。

金属鉱山のある地域では、鉱山の排水等による土壤・地下水の汚染にたいし鉱山保安法による対策が進められているが、自然の鉱化作用に起因する重金属が土壤、地下水に広く含まれ、処により汚染レベルになっている例もある。

温泉地帯では温泉水に含まれる重金属や硼素が環境基準値を超えていることは古海水を含む温泉では珍しいことではない。

平成11年に健康項目指定物質となった弗素は、自然の地下水、特に花崗岩分布域の地下水で広域的に環境基準値を超えている例がある(兵庫県宝塚市など)。

このような土壤汚染や地下水汚染が専ら自然的起因と判断された場合には、「土壤環境基準は適用しない」、「地下水環境基準は全ての地下水に適用されるが自然的起因の汚染地下水では環境基準の達成期間が設定されていない」など土地や工場所有者の責任外となる。

自然的原因と人為的原因の判別の目安は土壤・地下水汚染調査対策指針によると、汚染が次ぎの3項目のいずれにも該当する場合自然的汚染の可能性が高いとしている。

- (1) 人為的に作り出された化合物でないこと。
重金属等の指定物質でカドミウム、鉛、六価クロム、砒素、緑水銀、セレン、ホウ素、フッ素。
- (2) 対象地付近の自然的原因による有害物質の存在と対象地における対象物質について次の①～③を総合的に勘案して因果関係が認められること。

①周辺の金属鉱床等に含まれる元素又化合物に該当し、かつ対象地と周辺の地質中の両方で、共存する元素との相関が認められること。

②対象地の地下水と周辺の地下水において対象物質及び共存する物質について相関が認められ、又は水質の状況が同一の分布範囲であること。

③堆積環境と、対象物質に該当する元素または化合物の存在に、因果関係が認められること。

(3) 関係地域または対象地資料調査の結果、対象地及びその周辺において対象物質の使用履歴が見当たらないこと。

(4) 参考情報として、地下水の水質調査の結果、汚染範囲が調査対象地周辺を含む相当の広範囲に及んでいる及び対象物質が人為的に改変のない地層の上面よりも相当程度深いところに存在するかについて把握する。

環境庁指針ではこのような場合には、上記の判断と参考資料を得た上で専門家の助言を得て総合的に判断するように推奨しているが、実際の調査でこのような事態に当面すると、工期の関係もあり、自然的汚染である証明を行う資料の検索期間は短いので、地質環境調査を行う技術者としては平常から業務に関連深い地域について自然的汚染の文献資料を用意しておく心がけが肝要である。

8.浄化対策(修復)の設計、施工

前章までに解説した資料等調査、概況調査詳細調査の結果をまとめ、報告書を作成提出したところで一応調査業務は終わったことになるが、地盤環境保全対策の最終目的は汚染された土壤や地下水の浄化を行って、出来るだけ自然に近い状態に復元することにある。

対象地の土壤、地下水の汚染状況を正確に評価すると共に、その対象地の地質・水文環境及び社会環境に対応し、経済的かつ効果的な浄化対策工法を提案してもらうことがクライアントの委託目的の重要なポイントである。

公共の土木事業では、業務の流れに、調査コンサルタント、設計コンサルタント、施工業者の住み分けがあるが、地盤環境調査のクライアントの主体は民間の製造業・サービス業者でその環境担当者は地盤環境修復の専門

家ではない事が多い。

調査報告が土壤、地下水の汚染評価、サ
イアセスメントを記して事終わりでは、クライア
ントの担当者が、次のステップをどうしたらよい
かと困惑することになる。

また、年度予算で計画的に運営される公共
工事と異なり、地盤環境対策は、対象地から
発生する公害の防止や、期限のある土地取
引に合わせた浄化対策など、委託者にとっては、
対策の早期施工を迫られていたり、情報公開
の微妙な判断を求められているケースが多く、
調査報告には、次のステップである浄化対策
選定の基本的な検討、適正な対策工法の提
言を含むことが期待されている。

地盤環境保全業務の専門業者の立場か
ら言うと、調査と対策設計を一体の業務として
扱い、調査報告書が出た段階で、クライアント
が浄化の施工計画、見積もりを求める仕様書
が作れる状況になるようにサービスを行うこと、
顧客の信頼を得て、業務発展に繋がる基本
コンセプトであると言いつつが出来る。

この機会に地盤環境の調査を担当される
技術者には、その下流である対策工法検討・
工法設計・施工の概要を紹介して、この講座
の終章としたい。

8.1 浄化対策(修復)設計業務

概況調査・詳細調査の結果を整理検討し、
その地域の地質状況、水文・水理の状況、法
規規制、社会環境などの状況を勘案しながら、
その有害物質に適応した浄化、修復方法を
比較、提案し費用積算を行う作業である。

8.1.1 調査データの整理・総括

調査結果を整理・解析し、汚染物質平面分
布図(等濃度分布曲線、グリッド別分布図など)、
汚染物質深度方向分布図(ボーリング地質・分
析断面図、等量分布断面図、地質・汚染分布
対比断面図など)、汚染量分布図、地下水流动
解析図、などを敷地の構造物配置図、排水系
統図などと照合しながら作成し、汚染物質の供給、
流动、拡散など汚染機構を解明した総合図面
を作成、汚染対策設計の資料とする。

この部分の作業は調査結果のとりまとめと
して調査報告書の含まれる部分である。

8.1.2 修復技法の選択

修復の手法は次のように修復原理により

大別される。

(1) 汚染物質の封じ込め

現場覆工、現場不溶化—覆工、搬出—不溶
化—埋め立て、搬出—埋め立てなど汚染物
質を封じ込めて、表流水や地下水に溶出し
たり飛散しないようにする。

(2) 汚染物質の分解

熱分解(焼却など)や化学分解、生物分
解などにより汚染物質を分解して、無害化
する方法。

(3) 汚染物質の分離

曝気や吸着、熱分離、土の洗浄、溶媒抽
出などにより、汚染土壤・地下水から汚染物
質を分離して、分離物を処分する方法。

これらの手法単独、あるいは組み合わせに
より、安全で、より経済的な手法を選択し施工
する。修復手法の選択は基本的には

①汚染物質の種類 ; 修復対象物質が重
金属等であるか揮発性有機系化合物
(VOC)であるか、難揮発性有機塩素化
合物(SVOC)であるか、炭化水素化合物
であるか多環芳香族化合物(PAH)である
など、その物理・化学的性質により修復原理
の適用性が定まる。例えば「封じ込め」は主
に重金属土壤汚染に適用されるが、揮発
性有機化合物には適合せず、その対策は「分
離、分解」による浄化対策が主体となっ
ている、など物質と浄化基本技術の適合性を検
討する。

②平面範囲、深度分布

③汚染の程度; 土壤環境基準、水質環境
基準、修復基準、地方自治体環境保全基
準などの法規対応。

④浄化目標; 該当する地方自治体の対策
目標基準、汚染概況判断基準、対策範囲
設定基準、排水基準。

⑤修復対象敷地の地質環境; 地質分布、
地下水分布、地下水流动。

⑥修復対象敷地の地形; 地表被覆状況、
構造物

⑦地下埋設物などの制約条件

⑧修復対象敷地周辺の社会的制約条件

⑨修復費用

⑩工期面での制約条件

等の諸条件を検討して効率の良い経済的な
対策手法を提案する。

8.2 地盤環境汚染の浄化対策

8.2.1 地盤環境汚染浄化対策の概況

地盤環境汚染の浄化技術はおもに、土壤やスラッジ、廃棄物などの固相中の汚染物質、或いは、地下水中に溶解したり液状で存在する汚染物質を浄化する技術で、汚染を除去し、もとの地盤環境にする目的から修復(Remedy, Remediation)と呼ばれている。

修復目的からみると、修復技術は、①拡散防止技術、②無害化処理技術、③物理的回収技術に区分される。

これを技術原理に対応させると、①封じ込め、②分解技術、③分離技術の三大要素技術に大別できるように見える。この原理を基に国内外で行われてきた修復技術を分類すると図8.1のようになる。

米国における環境保全対策推進の中核である環境保護庁(EPA)はこれら汚染修復技術の開発を主導しているEPAの修復技術開発の基本理念は、従来の有害廃棄物処理方法である埋め立て処分は、「有害物質が残り、いずれ溶出して二次的公害の源になり得るもの」と考え、これに代わる技術(Alternative Technology)の確立を目指している。

既に確立している技術(Established Technology)と見なされている、封じこめ／不溶化技術(Solidification/Stabilization)、焼却技術(Incineration)などの応用に加えて、最新技術(Innovative Technology)として生物分解処理(Bioremediation)や、土壤洗浄(Soil Washing)、溶媒抽出(Solvent Extraction)、真空分離(Soil Vapor Extraction, SVE)熱分離(Thermal Desorption)などの分離技術の開発改良を進めている。

我が国では、古くは足尾鉱山公害事件から農用地の重金属汚染問題があり、遊水池の設置とか、土壤交換、改良などの対策が取られてきた。

1982年のアンケートに端を発したVOC汚染対策では、1980年代後半から調査・修復の技術開発の研究と実証試験が、国や地方自治体の環境保全部門や大学で行われ、また、環境機器メーカーや環境対策に関心のある企業による技術開発、欧米からの技術導入と事業化が進められてきた。

しかし、現時点では、土壤環境センターによるアンケート(1997)で開示された修復法をみると重金属の修復には、「封じ込め処理」や「不溶化技術」が多く採用され、EPAによる最新

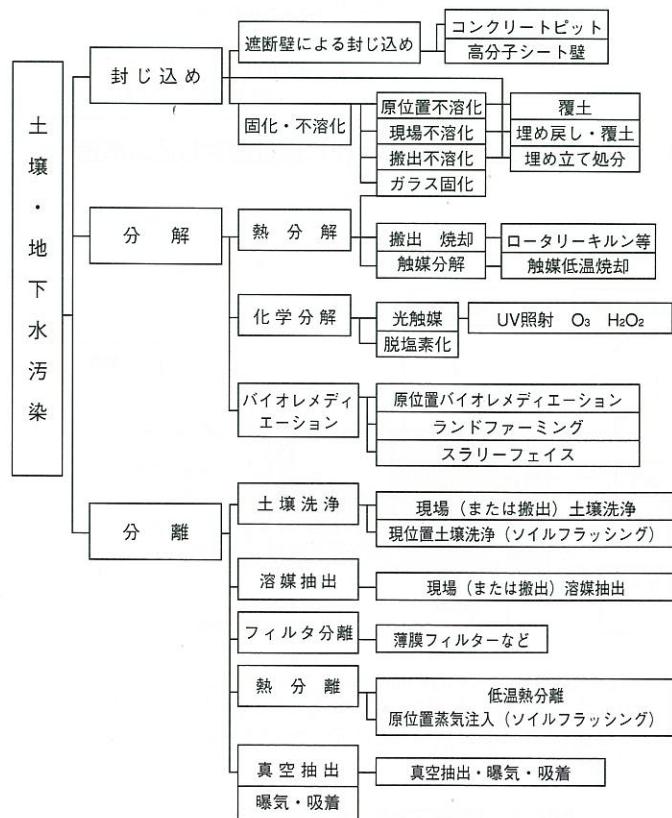


図8.1 土壌・地下水汚染対策技術分類

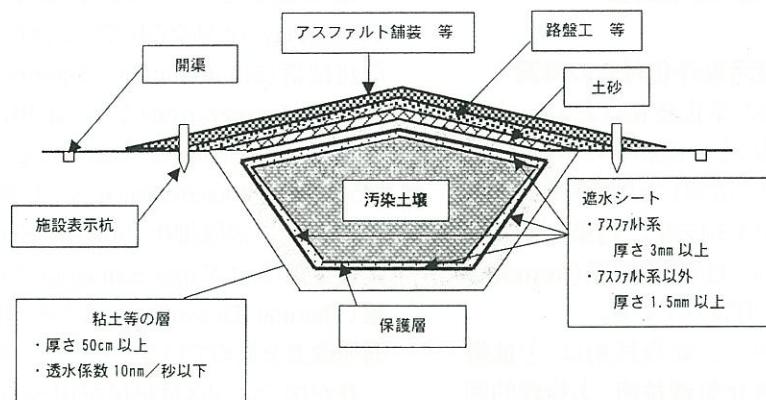


図8.2 遮水工封じ込め構造例示(1):表面遮水構造

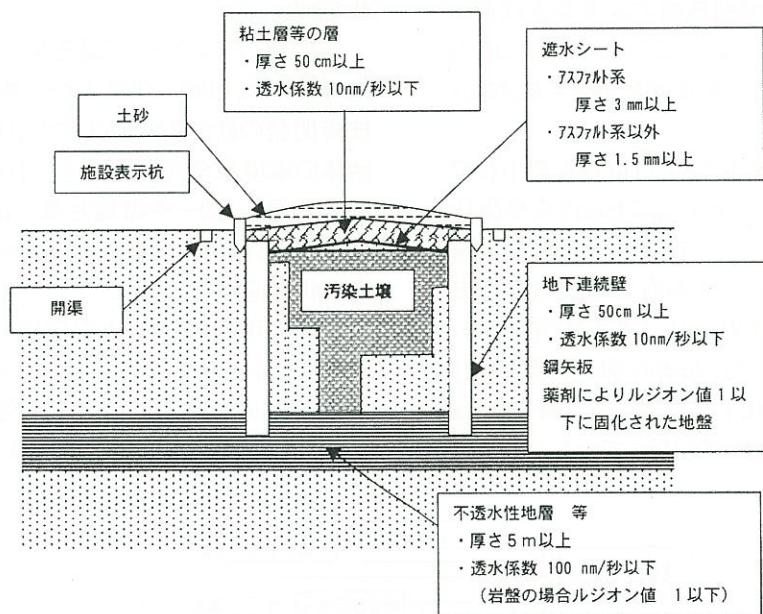
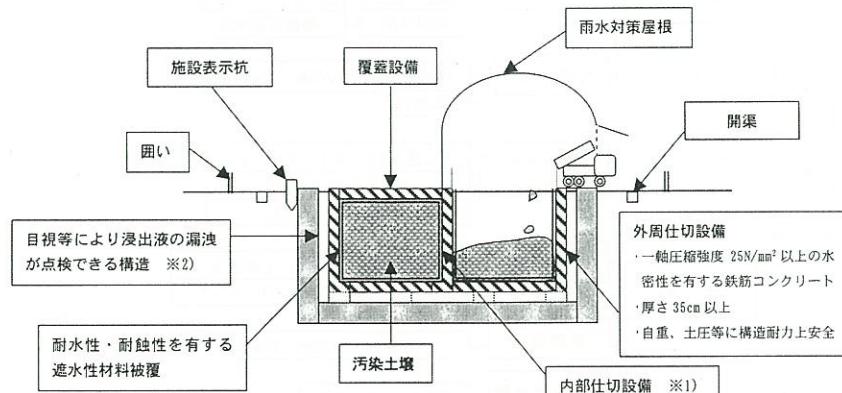


図8.3 遮水工封じ込め構造例示(2):原位置封じ込め構造



※1) 内部仕切設備は、一区画の面積が約50m²、又は一区画の埋立容量が約250m³を超えないように設ける。構造は外周仕切設備に準じる。

※2) 側面、底面部の周囲に点検路、ビデオカメラ等の機器を通すことのできる空間を設ける。

図8.4 遮断工封じ込め構造例

技術に相当する修復方法の利用例は少ない。一方、揮発性有機化合物では、真空吸引技術や熱分離技術開発の導入、それに連なる揚水曝気方法や吸着技術の応用が急速に進み、最新技術の実施例はかなり増えている。

8.2.2 重金属等の土壤汚染の浄化対策

8.2.2.1 汚染物質の封じ込め

国内における重金属等土壤汚染の浄化対策の主流は、未だ「封じ込めにより、人の生活の場から隔離する方法」が主流となっている。環境庁水質保全局「重金属等に係る土壤汚染調査・対策指針及び有機塩素化合物等に係わる土壤・地下水汚染調査・対策指針」には重金属等汚染と有機塩素化合物等汚染に別けて標準的な対策指針が述べられているが、重金属については、詳細調査結果の判定の項で述べたように、土壤の分析値を**対策範囲設定基準値の溶出量値Ⅱ、環境基準値、含有量参考値**により区分し、その区分毎の封じ込め標準処理法を示している。

溶出量値Ⅱは環境基準値の10倍～30倍値で廃棄物処理法の金属等産業廃棄物の埋め立て基準に等しい。

処理方法は(1)現地内対策処理、(2)現地外対策処理(3)応用対策に区分されて一般の処理対策方法を示している。

指針の主流は現地内対策処理であるが、現実には対策後の敷地利用面での制約や、土地の売却の場合は買い手側の要望などにより現地外処理対策を行う事が多い。

(1) 現地内対策処理

(i) 溶出量値Ⅱを超える汚染土壤の処理

- (a) まず不溶化処理を行い、溶出量値Ⅱ以下にする。
- (b) それでも溶出量値Ⅱを上回る汚染土はコンクリートを用いた遮断槽に入れる遮断槽は図8-2に示すような条件を満足するもの。
- (c) 溶出量Ⅱ以下に不溶化できたものは遮水槽に埋め立てる。
- (d) 水銀化合物、シアン化合物を除く溶出量値Ⅱを上回る汚染土壤は、不溶化をせずそのまま遮断槽に入れてもよい。

(ii) 溶出量値Ⅱ以下で環境基準値を超過する汚染土壤

- (a) 公共用水域や地下水の汚染を防止するため遮水槽(図8.3)を設け、埋め立てる。

(iii) 環境基準地以下であるが含有参考値を超える汚染土壤

- (a) 覆土工: 清浄土で植物栽培に適した土覆土厚 50～60cm 100～150cm
- (b) 植栽工: 草本、樹木 種子散布工、植生マット工、張芝工。
- (c) 補装工: これらの処理には、当然、汚染土壤の掘削およびその付帯工事の土木工事を伴う。

(2) 現地外対策処理

(i) 溶出量値Ⅱを超える汚染土壤の処理

- (a) 掘削後、中間処理(不溶化処理、土壤洗浄処理、焼却処理など)を行い、溶出量値Ⅱ以下にする。

(b) それでも溶出量値Ⅱを上回る汚染土は遮断型処分場(遮断工)に埋め立てる。

- (c) 溶出量Ⅱ以下に不溶化できたものは管理型処分場に埋め立てる。(図8.4)

(ii) 溶出量値Ⅱ以下で環境基準地超過の汚染土壤

- (a) 掘削一搬出して許可のある管理型処分場(遮水工)に埋め立てる

(iii) 環境基準地以下であるが含有参考値を超える汚染土壤

- (a) 掘削搬出した場合は、産業廃棄物に準じ許可のある管理型処分場(遮水工)に埋め立てる。この対策手法で、問題になることは、

① 中間処理の主軸工法である不溶化処理の確実性、長期安定性

② 最終処分設備の遮断性、遮水性—排水処理設備の長期安定性である。

不溶化(安定化 Stabilization)は汚染土壤を掘削し、それに含まれる有害物質と不溶化剤を混ぜ、重金属成分の溶出を環境基準値以下に下げる技術で、環境庁指針にも物質に対応した不溶化剤のリストが示されている。(表8.1)

表8.1 重金属汚染土壤の標準不溶化剤

| 対象汚染物質 | 使用薬剤等 | 作用 |
|--------------------------------------|------------------------|---------------|
| カドミウム化合物 | 硫化ナトリウム | 硫化カドミウムを生成 |
| シアン化合物 シアノ錯塩を含まない場合 シアノ錯塩を含む場合 | 次亜塩素酸ソーダ、さらし粉 硫化第一鉄 | 分解 難溶性塩を生成 |
| 鉛化合物 | 硫化ナトリウム | 硫化鉛を生成 |
| 六価クロム化合物 | 硫化第一鉄、亜炭鶴糞 | 三価クロムに還元 |
| ヒ酸化合物 | 塩化第二鉄 | ヒ酸鉄を生成 |
| 水銀化合物 | 硫化ナトリウム | 硫化水銀を生成 |

従来の不溶化処理は、現場ではパワーシャベルのような重機による土壤と不溶化剤及びセメント系固化剤の混練りが行われていたが、

汚染物質の濃度や形状、土壤の地質、含水量などによって長期安定性に疑問があるケースがあった。

セルテック社では、まず混練性を改良し、さらに不溶化材料の改善により、より長い長期安定性を保持する目的で、高速2軸型ミキサーの導入による、モバイル型現場不溶化装置(SIMPL)を出資会社と共同で開発し、1996年より修復ラインに参加させている(写真1)。

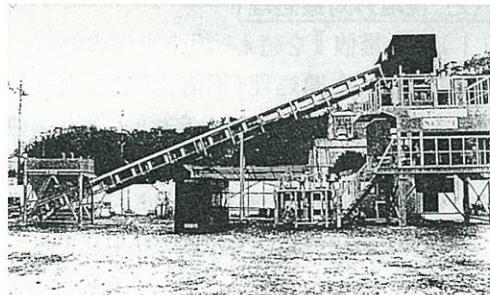


写真1 SIMPL不溶化システム

現場不溶化をミキサーによって行う方法は、1997年以降、ゼネコン各社や重機メーカーでも開発されつつある。

一方、不溶化剤の開発はかなり前からおこなわれており、セメントモルタル系、シリカ化合物系、金属系の不溶化剤などが知られている。そのなかで、燐酸カルシウム材料の添加によりアパタイトの微粒結晶を生成させ、より長期安定性のある物質で汚染物質を固定してしまう方法に注目している。

8.2.2.2 その他の浄化方法

有害物質の分解、無害化では、「焼却分解」或いは「触媒焼却分解」の技術が、重金属等土壤汚染に分類されるシアノ化合物やPCBの処理に利用されている。

重金属元素による汚染では、焼却しても物質は焼却灰や煤塵中に残るので「溶融炉によるスラグ化」、「セラミック化」、「焼却+不溶化」などの組み合わせが必要となる。

「バイオレメディエーション」技術は、油脂系の汚染を主体にアメリカで最もコストの安い手法として利用されているが、重金属等の物質ではPCB処理方法としてのバイオリアクターの開発や硫化バクテリアによる不溶化が知られる程度である。

バイオリーチング技術の応用により、汚染土壤から金属類の回収を行う技術の開発が期待されるが、汚染の含有量レベルは鉱石の含有量より一桁、二桁小さいので、処理費用の

経済性が問題となるだろう。

不溶化技術の決め手として「ガラス固化」技術がある。電極設置による原位置ガラス固化は、瞬間的な反応で不溶化が出来るが、一瞬に吹き出す反応ガスの地上処理設備が必要になり、社会的な受け入れ(P.A.)が得られるかどうか、やや疑問がある。

重金属、油脂などの有害物質を分離する技術としては「土壤洗浄」と「溶媒抽出」が代表的な技術であろう。土壤洗浄技術は重金属や油脂を主対象物として、オランダ、ドイツ、アメリカで実用化され、定置型、モバイル型の装置が稼動している。日本でも同和鉱業(株)の定置型、同和、清水建設のモバイル型の装置や鹿島建設による気泡連行型高装置が稼動している。

定置型は細粒の汚染土壤までを処理対象としたもので、浮遊選鉱設備など鉱山選鉱技術そのもの応用で組み立てられた装置である。

モバイル型は、一般に砂、砂礫を対象に水洗篩分けやハイドロサイクリング、スクラビング、重力(または磁力選別)による有害成分の分離と選別を行うもので金属含有量の除去効率は高い。しかし日本の地質は関東ロームや沖積粘土層など細粒分が多いこと、溶出量環境基準をクリアするためには、後段に酸洗浄などの溶媒抽出設備や処理後の汚染物スラッジの不溶化などの設備が必要になり、海外のモバイル設備そのままの利用は難しい。

「電気浸透法、或いは電気泳動法」は原位置のままイオン化した金属類を土壤、地下水中に設置した電極に集め、揚水して処理する方法で古くから土壤改良法として研究されてきた。反応槽による室内実験ではそれ相当の金属抽出が認められるが、原位置の実作業では流動する地下水の扱い、処理コストなど、まだ研究を要する課題が残されている。

これからの技術開発は、最終処分場へ行く汚染土壤の減量化、無害化の技術開発が主流となるであろうが、付加価値のないコスト負担を強いられる顧客の立場にたつと、現在コストの比較的安い搬出—最終処分場埋め立て法に対抗する経済的・効果的な処理法でないと幅広く採用され難いものと思われる。