

汚染土壌浄化技術「電気修復法」の技術導入

Introduction of Technological Know-hows of Contamination Soil Purification Technology “Electro-Remediation”

村上 譲二* 塩濱 圭治*

要 旨

平成15年2月に土壌汚染対策法が施行され、汚染地盤の修復に対する関心が益々高まっている。そのため汚染土壌対策に係わる市場が益々拡大することが考えられる。昨年、オランダ企業のHAK社より重金属汚染地盤から汚染物質を分離・除去できる電気修復法を導入した。この技術は地盤に陽極と陰極の電極棒を挿入し、地盤を掘削することなく原位置で浄化できる利点を有している。本報告では、この電気修復法の概要とその有効性確認のために行った実証実験について述べる。

キーワード：土壌汚染／電気修復法／重金属／電気分解／電気浸透／電位勾配

1. はじめに

近年、わが国の土壌汚染問題への意識の高揚を背景に、土壌・地下水汚染修復に関する市場環境は大きく変化し、市場規模は拡大の一途をたどっている。当社もこの市場に参入するため、新技術の導入を検討してきた。その結果、土壌汚染対策に関して先進国であるオランダのHAK社が保有する電気修復法に着目した。汚染土壌の修復には様々な技術が適用されているが、これまで重金属汚染地盤の処理には、重金属を固定化する固化・不溶化法、或いは汚染土壌を掘削搬出し、敷地外で汚染物質を取り除くか若しくはそのまま処分場で処分する方法が用いられている。しかし前者は汚染物質が残存することから、後の土地利用に制限がつく可能性があり、後者は最終処分場の残余埋立容量が逼迫している問題がある。この電気修復法は、これらの処理方法の課題を解決でき、またコスト面でも優ると考えられることから、実証実験を実施した。その結果、技術の有効性・信頼性を確認することができたため、導入する運びとなった。

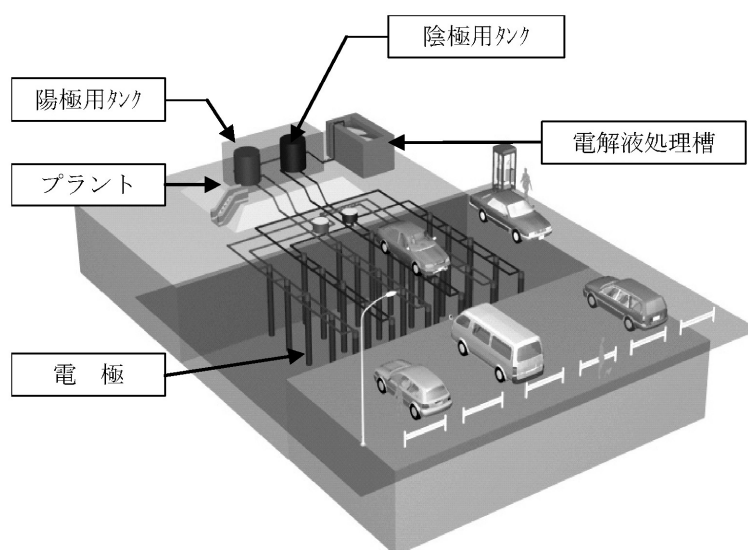
ここでは、電気修復法の概要と実証実験結果を報告する。

2. 電気修復法の概要

電気修復法は、重金属類（鉛、カドミウム、クロム、砒素、およびシアン等）の汚染物質を、地盤を掘削せずに原位置で分離・抽出・除去することができる技術である。

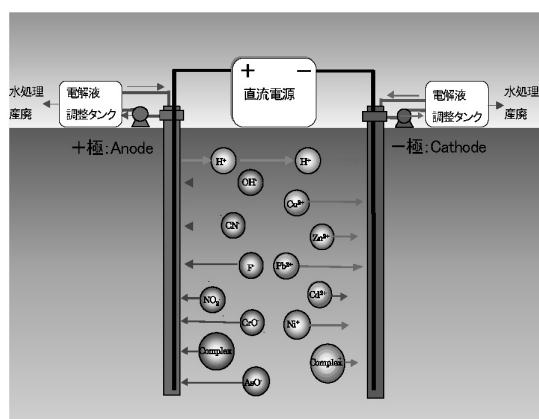
具体的には、土壌汚染地盤に陽極と陰極の対の電極棒を挿入し、それらに直流電流を流す。そのことにより、土中の重金属がイオン化し、そのイオン化した重金属汚染物質をそれぞれの電極に引き寄せる。電極に到達した重金属汚染物質は、電極の周りに充満させた電解液にとけ込み、その電解液を循環させて重金属汚染物質を回収する技術である。

図－1に電気修復法施工イメージ、図－2にシステム概念図を示す。

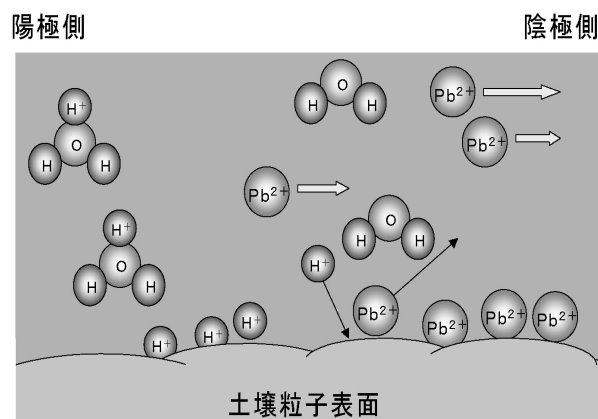


図－1 電気修復法施工イメージ

*土木研究グループ



図－２ システム概念図



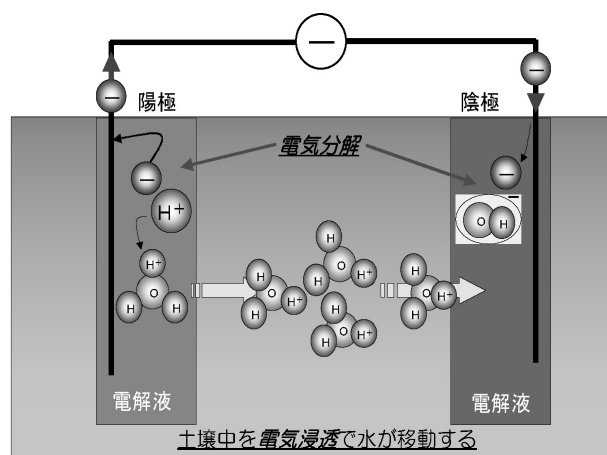
図－４ イオンの電位勾配による移動の模式図

2.1 電気修復法の浄化原理

電気修復法は、水の電気分解、水の電気浸透、イオンの電位勾配による移動現象（電気泳動）を用いて土壌を浄化する。その原理を以下に示す。

(1) 水の電気分解と電気浸透

水の電気分解によって陽極では水素イオン、陰極では水酸化イオンが発生する。その生成した水素イオンと共に、水が電気浸透と呼ばれる現象によって、土壌中を陽極側から陰極側に移動する。図－３に各イオン及び電子の生成・移動状況を示す。



図－３ 水の電気分解と電気浸透の模式図

(2) イオンの電位勾配による移動（電気泳動）

土壌表面に吸着している重金属汚染物質が前述の電気浸透現象によって土壌中を移動していく水素イオンによりはく離・置換され、水分中にイオンとして溶出する。

その後電位差の影響（電位勾配）で汚染重金属は、表面電荷の符号に応じて陽極または陰極に向かって移動する（電気泳動）。

図－４に鉛イオン (Pb^{2+}) の陰極への移動を示す。

2.2 施工手順

電気修復法は以下の手順にて施工する。

① 室内試験の実施

現地調査による土壌汚染箇所の特定及びサンプルを採取する。

上記サンプルに対する室内試験結果より土壌の修復に要する修復エネルギー（電力）及び修復期間を算出する。

② 修復計画の策定

①に基づいて修復作業実施計画及び計画工程表を作成し、修復工事申請に関する諸手続を行う。

③ 機械設備の設置及び修復開始

プラント（電解液循環設備、電気設備等）を運搬設置し、給水・給電設備を整える。対象箇所において汚染深度に応じた電極挿入孔をボーリングし、電極筒（電極を収める筒）を設置する。その後、電解液循環パイプを敷設する。電極を電極筒内に設置し、電気ケーブルの配線を行う。プラントを起動（電解液循環および通電）し、モニタリングを行いながら、循環電解液を適時水処理施設へ移動し、汚染物質の除去及び産廃処理を行う。

④ 修復終了

循環システム内の残留汚染重金属の処理を適切に行い、修復設備を撤去する。

2.3 電気修復法の特徴

本技術の長所および短所を以下に示す。

長所

- ① 掘削作業を行わないため掘削に伴う騒音振動、粉塵等の周辺環境に与える影響がほとんど無い。
- ② 原位置で汚染物質を浄化できる。
- ③ 既存建物が近辺にあっても、また工場などで操

業時でも浄化が可能である。

- ④ 汚染地盤が深い場合でも特別にコストアップとしない。
- ⑤ 最終処分場に搬出する量が非常に少ない。

短所

- ① 浄化期間が長期にわたる場合が多い。(半年から1年間)

2.4 実績

オランダでの主な実績を表-1に示す。

日本の土壌汚染対策法に指定されている重金属類の汚染物質であるカドミウム、鉛、砒素、クロム、シアン等の実績がある。

表-1 オランダでの実績

修復場所	対象物質	
Groningen	銅	Cu
	鉛	Pb
Delft	カドミウム	Cd
Loppersum	砒素	As
Stadskanaal	カドミウム	Cd
Woensdrecht	クロム	Cr
	鉛	Pb
	カドミウム	Cd
Woudenberg	亜鉛	Zn
Oostburg	シアン	CN
Herrenberg	ニッケル	Ni
	亜鉛	Zn

2.5 コスト

汚染土壌の修復土量と施工単価の関係を図-5に示す。

修復土量が少ない場合には施工単価は極端に高くなるが、これは修復土量が少ない場合には、設備損料等の固定費が単価に大きく影響するためであり、修復土量が多くなると図に示すように施工単価が安くなる。但し、この施工単価は条件を仮定して試算した標準的な金額であり、実際の工事においては施工条件によって工事費用に差が生じる。

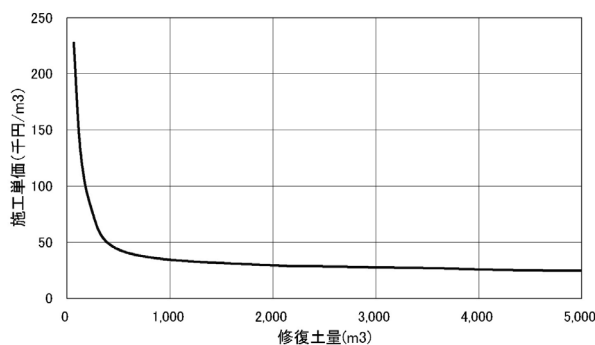


図-5 修復土量－施工単価関係グラフ

3. 実証実験

3.1 ラボテスト（室内試験）

欧米で実績のある電気修復法が、日本の土壌に対して同等の性能を発揮するかどうか検証するために、少量の土壌サンプルを用いてラボテストを行った。浄化が困難であろうと思われる海成粘土に重金属等の汚染源として多く見受けられる鉛、砒素、カドミウム、クロムを添加して模擬汚染土壌を作成した。

樹脂製の試験容器をフィルターで仕切り、中央部に所定量の模擬汚染土壌を充填し、両端部には電極棒を装着した。所定の電流・電圧の直流電流を電極に1週間通電した。ラボテストの状況を写真-1、試験結果を図-6に示す。

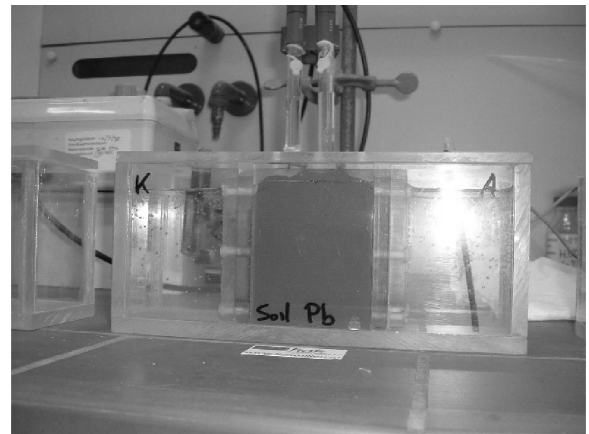


写真-1 ラボテスト状況

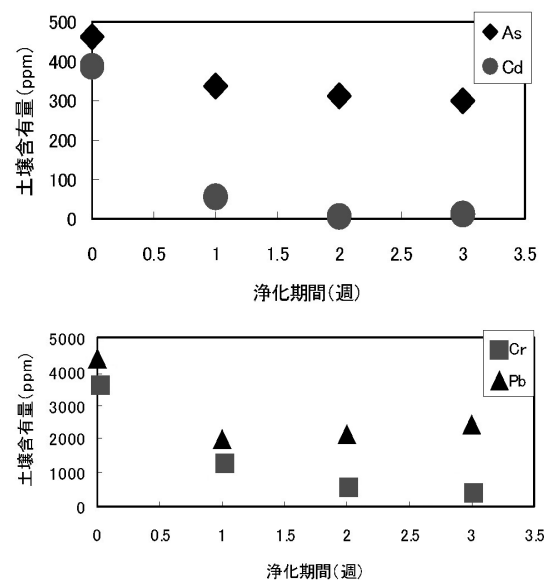


図-6 ラボテスト結果

何れの物質についても重金属の含有量が低減しており、電気修復法による浄化が可能であると推定できる結果が得られた。

3.2 実大施工検証実験

実大の検証実験を行うにあたって実際の汚染サイトでは初期条件の把握が困難であること等の理由により、海成粘土に浄化対象重金属物質を均質に添加した土壌を人為的に作り、それらを実地盤中に埋設して模擬汚染サイトで実験を行った。

模擬汚染サイトを造成する際には周辺に重金属等の物質が拡散しないよう防水シートを敷設した。浄化対象物質は重金属の汚染源として最も多く見受けられる“鉛”を選択し、鉛含有量をおよそ2500mg/kgに調整した。浄化の目標値は鉛の含有量環境基準値の150mg/kgとした。

浄化対象地盤は5m×5mの広さで深さ1mであり、表層には汚染されていない購入土を25cm覆土した。サイト内には電極筒を1mピッチで設置し、サイトに隣接して電気設備・電解液循環システム等を内蔵するプラントを設置した。

プラントからそれぞれの電極筒に電気配線を行い、電解液循環用の配管を設置した。施工の状況を写真－2に示す。



写真－2 実大実証実験サイト

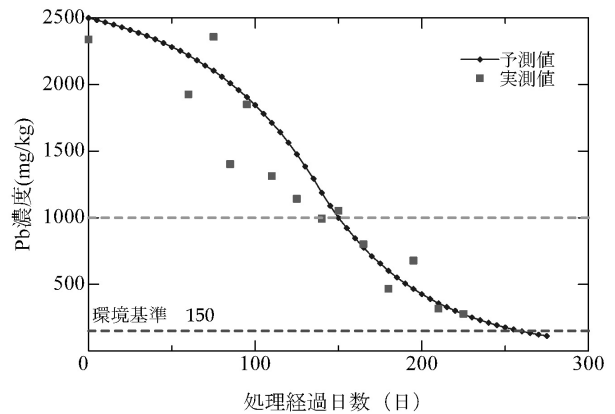
3.3 検証実験結果

土壌のサンプリングはハンドオーガーを用い地表面より0.6mまでの部分について行った。なお、サンプリング後の穴は海成粘土で埋め戻した。採取の場所はサンプリング毎に異なるが電極筒との離間距離が一定になるようにした。

図－7に模擬汚染サイトから採取したサンプリング土壌の試験結果を示す。図中にはラボテストで得られた結果から導かれる浄化予測曲線を示す。

実測値のデータは検証実験開始から100日くらいまでは、データのばらつきが大きくシミュレーション値と異なる結果を示した。これは浄化初期の段階では土壌の不

均一性等が原因で土壌のpHが安定していなかったことなどが原因として考えられる。100日目以降は実測値のばらつきが少なくなり、シミュレーション値とほぼ同様の値を示し、実験開始から270日目に137mg/kgとなり目標値である150mg/kg以下となった。



図－7 ラボテスト予測－実験結果

4. おわりに

今回の検証実験により、粘土質の鉛汚染土壌を電気修復法にて原位置で浄化できることを確認した。海成粘土以外の関東ロームや真砂土についても電気修復法が有効であることはラボテストにおいて確認しており、日本の土壌でも電気修復法は適用可能であると考えられる。

電気修復法は重金属で汚染された土壌を原位置で浄化することができる唯一の技術であり、操業中の工場や事業所跡地の浄化、および建物が林立している都市部での浄化などに最適である。

オランダやその他欧米では数多くの実績があるが、日本ではまだ導入したばかりの技術であり、今後、実績を積み重ね、より優れた技術への改良とコストダウンを目指し努力していきたいと考える。

なお、当実証実験は、(株)浅沼組・(株)クボタ・(株)島津製作所・(株)富士エンバイロン・(株)みらい建設グループの5社が共同で行ったものである。

[参考文献]

- 1) 秋田 憲・佐々木智彦・山田隆生・小寺秀則・村上譲二・三重野俊彦：電気修復法による重金属汚染土壌の原位置浄化実証実験、第10回地下水・土壌汚染とその防止策に関する研究集会講演集、pp.443～445、2004.7