

VOC・油汚染土壌浄化技術（電気バイオ修復法）の技術導入

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

村上 譲二* 塩濱 圭治*²

要 旨

VOC（揮発性有機化合物）・鉱物油などで汚染された土壌の浄化対策として、一般的には掘削により汚染土壌を敷地外へ搬出する方法、土壌ガス吸引・地下水揚水法等の原位置抽出法、バイオレメディエーション（微生物による分解処理）等の処理技術が用いられている。しかし、前者は最終処分場への負荷および周辺への環境負荷が生じ、後者二つは浄化期間が非常に長くなり、汚染濃度・汚染土壌状態により浄化が困難等の課題がある。

この度、オランダ企業から技術導入した「電気バイオ修復法」は、従来の原位置抽出法とバイオレメディエーション技術に特殊な土壌加熱方法を組み合わせる工法であり、従来の原位置浄化技術の課題を解決するものである。本報告では、この電気バイオ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：VOC汚染土壌／原位置浄化／電気バイオ修復法

1. はじめに

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VOCおよび鉱物油汚染地盤の処理には、掘削除去、土壌ガス吸引・地下水揚水法等の原位置抽出法、バイオレメディエーション（微生物による分解処理）等の技術が用いられている。しかし、掘削除去は汚染された土壌を確実に除去できる長所はあるが、土壌の掘削・搬出・処理・客土等の手順を伴うことから処理コストが高く、また近隣住民に対する環境問題が指摘されている。土壌ガス吸引・地下水揚水法は土粒子に強く吸着された汚染物質を完全に浄化することは困難とされている。また、バイオレメディエーションによる浄化は期間が非常に長くなり、汚染濃度が高い場合には浄化は困難とされている。

今回報告する電気バイオ修復法は、オランダ企業から導入したものであり、上記の問題点を解決し、VOC・油汚染土壌を短期間で原位置浄化することができる処理技術である。

2. 電気バイオ修復法の概要

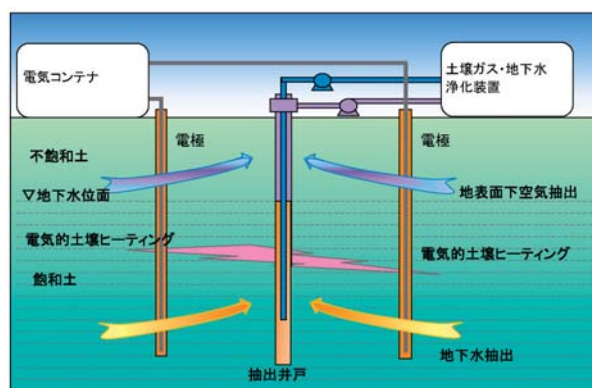
電気バイオ修復法は揮発性有機化合物や鉱物油等の汚染物質を、電気を用いて地盤を掘削せずに原位置で分離・抽出・分解することができる技術である。そのため、周辺への環境負荷が少なく、安いコストで処理することができる。

具体的には、土壌汚染地盤に電極を挿入し、それらに

交流電流を流すことによって、ジュール熱が発生して地盤を暖め、土粒子に吸着された汚染物質を剥ぎ取って、揚水とガス吸引によって回収する。更に、暖かくなることによって土中の微生物が活性化し、栄養素を注入することで汚染物質を効率的に分解して、汚染前の地盤状態に修復する。図－1に電気バイオ修復法施工のシステム概念図を示す。

2.1 電気バイオ修復法の浄化原理

電気バイオ修復法は、従来の土壌ガス吸引・地下水揚水法に、交流電流を用い土壌温度を上昇させる機能を付加することによりその浄化機能を向上させ、最後に残った汚染物質はバイオレメディエーションを用いて土壌を浄化する。その原理を以下に述べる。



図－1 電気バイオ修復法施工システム概念図

*土木研究グループ *²広島支店土木部

まず、図-2に示すように土壤中に六角形を形成するように電極を配置し、その中心に抽出井戸を設置する。土壤中に交流電流を流すことにより、ジュール熱が発生し、土壤が加熱される。

地下水面より下の飽和帯ではジュール熱による直接加熱、地下水面より上方の不飽和帯では、加熱された地下水や土壤ガスの対流による間接加熱が生じる。

この土壤温度上昇に伴い、下記の各種現象が発生する。

- ①地下水が温まることにより、土壤の粘性度が低下し、透水係数が増加する。また同時に汚染物質の粘性が低下し、可動しやすく（浄化しやすく）なる。
- ②温度上昇によって地表面下空気（土壤ガス）の圧力が高まり、抽出が容易になる。また揮発性成分では、土壤内で揮発作用が発生し、より抽出効果が高まる。
- ③温度の上昇に伴い、土壤に元来存在する細菌の活性化が促進される。
- ④地下水層では、加熱箇所と非加熱箇所での温度差が発生し、地下水の滞留現象が発生する。このことにより、対象土壤全体が効率よく加熱される。また地下水の揚水により、地下水が移動し、より効率的な土壤温度の上昇になる。

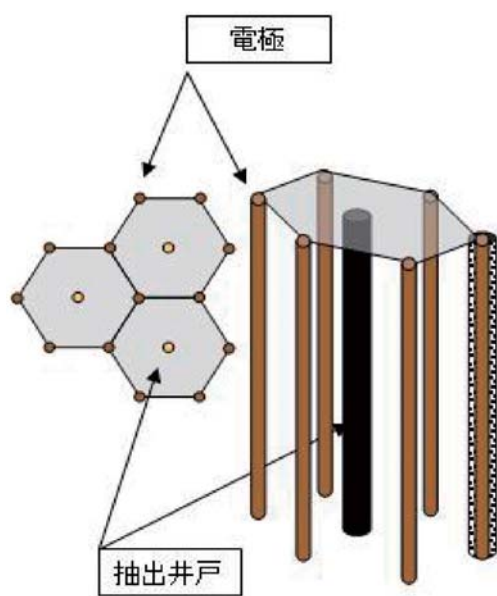


図-2 電極・抽出井戸配置例

次にバイオによる分解の促進について述べる。

上記で述べた地中温度の上昇により、ある程度のバイオによる分解の促進は図られるが、本工法では、より分解を促進するために、空気や養分の注入を行う。

その注入概略を図-3に示す。

浄化開始前の調査で、その地盤中に存在する対象汚染物質を分解する細菌が、好気性なのか嫌気性なのかをも含めた分析を行い、汚染土壤に対する最適な注入成分や、注入頻度・範囲を決定する。通常注入頻度は年2～4回程度で行う。

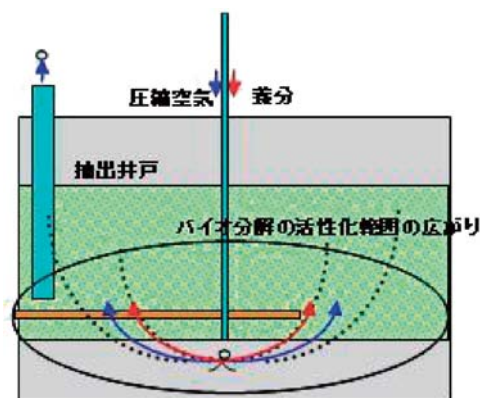


図-3 バイオ用栄養素注入概略図

2.2 電気バイオ修復法の施工手順

電気バイオ修復法は以下の手順で施工する。

(1) 室内試験の実施

浄化対象土壤のサンプリングを行い、室内試験により修復エネルギー（電力量）および浄化工期を算出する。

(2) 修復計画の策定

(1)に基づいて修復作業実施計画を策定する。

(3) 修復設備の設置および修復開始

プラント（電力設備、浄化設備）を設置し、浄化対象地盤の所定の位置に電極、抽出井戸をボーリング・設置する。また、併せて栄養素注入設備も設置する。電極・電気ケーブル配線および揚水用パイプ・ガス吸引用パイプ配管後にプラントを起動させ、下記の段階での浄化を実施する。

浄化段階-1（集中フェーズ）

電極への通電により対象土壤を暖め、地下水及び土壤ガスの抽出を行う。

浄化段階-2（減衰フェーズ）

電極への通電は停止し対象土壤を保温状態にし、引き続き地下水及び土壤ガスの抽出を行う。

浄化段階-3（監視フェーズ）

土壤サンプリング・モニタリングにより、浄化進行状況を確認する。

(4) 修復終了

当初設定した浄化目標値に到達したことを確認後、プラント設備、パイプ等の設備を撤去し、修復終了とする。

2.3 電気バイオ修復法の特徴

従来工法と比較したときの、電気バイオ修復法の特徴を以下に示す。

- ①従来の原位置浄化工法に比べ、工期の大幅な短縮ができる
- ②汚染箇所が深くても大幅なコストアップにならない
- ③騒音、振動、粉塵等の周辺環境への影響が小さい
- ④建物内での施工や、浄化中の土地利用もできる

2.4 実績

オランダでの主な実績として、ガソリンスタンド跡地や石油貯蔵所等での鉱物油汚染浄化が十数件あり、住宅地区、工場跡地や操業中の工場敷地でのVOC汚染浄化の工事が十件ほどある。その中で代表的なプロジェクトの浄化状況を写真－1および写真－2に示す。



写真－1 Horstでの浄化状況

上記の浄化工事の概要を下記に示す。

- ・汚染土量：4,600 m^3
- ・汚染濃度：平均1,800mg/kg 最大10,000mg/kg以上
- ・浄化期間：集中フェーズ1年半 減衰フェーズ1年
- ・使用電力量：175～255kWh/ m^3



写真－2 Zeistでの浄化状況

上記の浄化工事の概要を以下に示す。

- ・汚染土量：8,280 m^3
- ・汚染濃度：PCE(テトラクロロエチレン) 62mg/l
TCE(トリクロロエチレン) 50mg/l
- ・浄化期間：集中フェーズ 15ヶ月
- ・使用電力量：40～60kWh/ m^3

3. 実証実験

3.1 実証実験の実施

欧米では数多くの実績のある電気バイオ修復法であるが、日本の土壌でも問題なく適用できるか検証するため、電気バイオ修復法技術の根幹である通電による土壌加熱の実大実験を行った。写真－3に実験状況を示す。



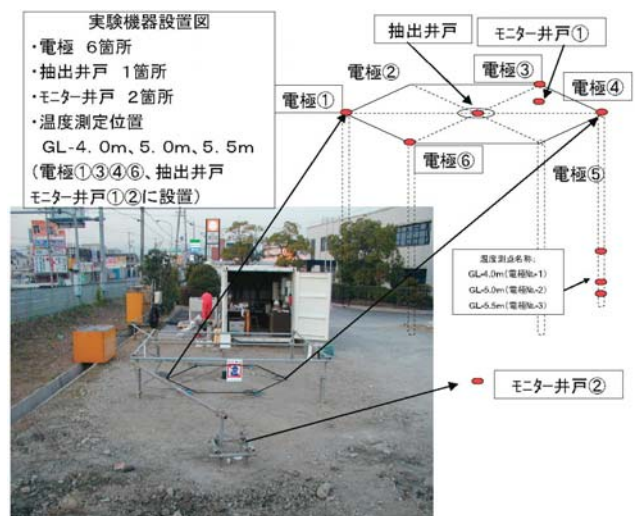
写真－3 実証実験状況

3.2 実証実験の概要

実験場所は当社技術研究所（大阪府高槻市）で行い、地表面下6mまでを実験範囲とした。図－4実験機器設置状況に示すように電極を6本、六角形を形成するように配置し、その中心に抽出井戸を1本およびモニター井戸を2本設けた。

実験期間中は、各電極・抽出井戸・モニター井戸に設置した温度センサーを用い、定期的に土壌温度を測定した。

実験は、平成17年11月から平成18年1月の約2ヶ月実施した。

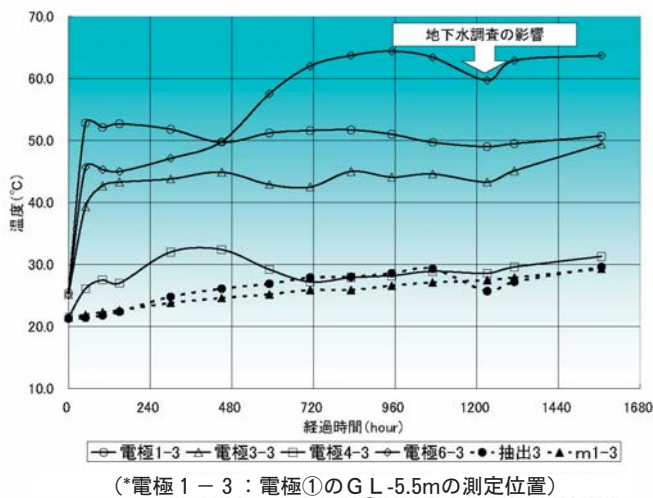


図－4 実験機器設置状況

3.3 実証実験の結果

土壌温度の測定結果を図－5に示す。

実測値のデータは実証実験開始直後から上昇し、最大65℃程度まで上昇した。しかし、抽出井戸やモニター井戸部分の温度は当初予測していた値まで上昇しなかった。この理由として、実験場所の地下水流速が、平均約0.46 mm/sと比較的速かったこと、および今回の実験規模が電極6本のみという最小単位で行ったことから、十分な温度上昇に至らなかったと考えられる。実際の浄化工事ではより多くの電極を広い範囲に設置するため、対象土壌全体が加熱されると考えられる。



図－5 土壌温度履歴

4. おわりに

今回の実証実験結果から、揮発性有機化合物の原位置浄化で重要なファクターである土壌温度を電力を用いて上昇させることが確認できた。

この加熱技術は、土壌内酸素量などの土壌環境を変えことなく土壌のみを加熱出来るものである。そのために、元来土壌に存在する好熱性細菌による汚染物質分解が期待できる技術となっている。

現在、揚水ばっ気法などで浄化を試みているが、浄化しきれない汚染箇所や、汚染物質が非透水層部分において土壌に固着してしまっている汚染箇所などの浄化には有効な技術である。

オランダやその他欧米では数多くの実績のある技術であるが、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)みらい建設グループの2社が共同で行ったものである。