

(72) 膜界面サンプリング分析法によるベンゼン・油汚染地の評価と原位置浄化設計への適用

安原雅子¹・山内仁¹・中間哲志¹・今村幸則²・田中正利³・佐藤秀之³

¹株式会社アイ・エス・ソリューション・²株式会社リグランド・

³株式会社インターナショナル・サーボ・データー

1. はじめに

ベンゼン、ガソリン、軽油、重油等の油汚染問題は、石油の貯蔵・精製所やガソリンスタンド跡地などで、土地の転売や再開発等により顕在化してきている。ベンゼンや油汚染地の浄化方法は様々だが、過酸化水素と鉄を使用するフェントン法による原位置分解法が効果的である。

フェントン法による原位置浄化は、溶液の持つ酸化力により有機化合物を分解するものであり、汚染の深度や分布を把握し、汚染物質と溶液を反応させることが重要なポイントとなる。

通常、汚染の深度や分布の把握にはボーリング調査を行い部分的な深度の濃度分析を行うが、分析を行わなかったところに存在する汚染を見逃す可能性があるという欠点がある。特にガソリン、軽油、重油等の石油系炭化水素は油の成分により拡散の性状が異なり、汚染広がりやLNAPLを把握することが原位置浄化の効果を左右する。

膜界面サンプリング分析法は、地中の揮発性有機化合物の濃度を連続的に測定することが可能なため、深度方向の汚染の分布を原位置で把握できるという特長があるが、これまで日本での適用例は少ない。筆者らは膜界面サンプリング分析法を用いてベンゼン・油汚染地の評価を行い、その結果を原位置浄化設計へ適用し、効果を検討した。

2. 膜界面サンプリング分析法の概要

膜界面サンプリング分析法は、センサープローブを土壤中に挿入し、揮発性有機化合物や油の濃度を連続的に測定する分析方法である。平成18年3月にまとめられた「油汚染対策ガイドライン - 鉱油類を含む土壤に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方 - 」(中央環境審議会土壤農業部会土壤汚染技術基準等専門委員会)には、油分の簡易測定法として記述されている。

今回筆者らが使用した技術は、MIP (Membrane Interface Probe) システムで、飽和・不飽和の土壤中や地下水で利用でき、深度方向の汚染の分布と地質状況を原位置で把握することができる。

図1にMIPの概要を示す。プローブはステンレス製で、先端に電気伝導度を測定するチップが設置されており、測定した電位差により地中の特性を把握することができる。一般的に、砂質の地層では低伝導度で、シルトや粘土層では高伝導度を示す。

汚染の検出は、プローブ側面に位置するメンブレン(膜)から気化した汚染物質を取り入れ、検出器により測定する。メンブレンは約100に熱せられ、メンブレンと接している土壤中の汚染物質を気化し、キャリアガスにより検出器へかけられる。検出器は、PID(光イオン化検出器)やFID(水素炎イオン化検出器)、ECD(電子捕獲検出器)の使用が可能であるが、今回はキャリアガスには窒素を使用し、検出器は浄化対象がベンゼンであることからPIDを使用した。

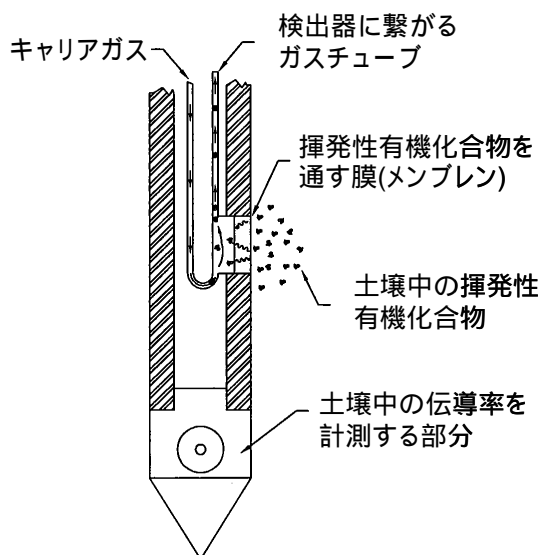


図1 MIP プローブの概要

Use of Membrane Interface Probe for Detecting Benzene and Oil to Design In Situ Remediation
Masako Yasuhara¹, Hitoshi Yamauchi¹, Yukinori Imamura², Masatoshi Tanaka³, and Hideyuki Satou³
(¹In Situ Solutions Co.,Ltd., ²Reground Co., Ltd., ³International Servo Data Corp.)

連絡先: 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 2-3-16 千代田バリオンビル 6階 安原雅子

TEL 03-5297-7288 FAX 03-5297-0242 E-mail yasuhara@enbiotec.co.jp

2. 調査概要

調査地は、既存調査で土壌と地下水にベンゼンが確認され、土壌からはわずかだが油臭も確認されていた。浄化対策工法はフェントン法による原位置浄化が予定されていた。

既存調査では深度 2.0m でベンゼンの汚染が確認されていたが、その前後の状況が不明であった。また、汚染源となる施設(地下タンクや配管等)が異なる深度に埋設されていたため、汚染源を特定できなかった。そのため、今回の調査では汚染の深度範囲を把握し、汚染源を確認するとともに、原位置浄化の際にどの深度に薬剤を注入するのが効果的であるかを把握することを目的として行われた。

MIP による測定深度は汚染源となる施設が深度 4.0m 以深には存在しないため、地表面から深度 4.0m とした。MIP を地中へ挿入する前に、挿入深度分のロッドや、MIP にヒーターの温度調節等を行うコントローラーや検出器、測定結果を表示するモニタ等を写真 1、2 のように設置した。

地中には写真 3 のようにジオプローブを使用して挿入した。ジオプローブでは一般に 15～30 秒で 30cm を挿入することができるが、MIP の温度を常に約 100～120 程度に保つため、ゆっくりと挿入しながらも、30cm 挿入後 1 分程度経過後に打ち込みを再開するのが望ましいとされている。

測定の結果はリアルタイムで写真 4 のモニタに表示される。モニタは 4 パターンに切り替えられ、電気伝導度、挿入深度、温度、検出結果等を確認することができる。データはフロッピーディスクに保存することができ、インターネットから無料でダウンロードできるソフトウェアや Excel 等を利用して分析を行うことができる。



写真 1 調査の全景



写真 2 MIP の設置状況



写真 3 MIP の挿入状況



写真 4 結果のモニタ表示

3. MIP 調査結果

MIP 測定結果を図 2 に示す。MIP 測定結果のラインは深度約 1.0m からピークを示し始め、深度約 1.5~1.6m と深度約 1.9~2.8m の間でピークが平らになっている。これは、深度約 1.0m 付近から汚染物質が検出され始め、深度約 1.5~2.8m で比較的高い濃度であること解釈することができる。また、この結果は目視及び臭気観察により浄化が必要と判断した深度区間とほぼ一致した。

電気伝導度の結果のラインは細かいピークの上下はあるものの、なだらかに低下しており、深度約 3.0m まで細粒土で、それ以深は砂質土であることが確認できる。実際、現場でのコア観察から、深度 2.90m までシルトおよび粘土でそれ以深は砂礫であることが確認されている。

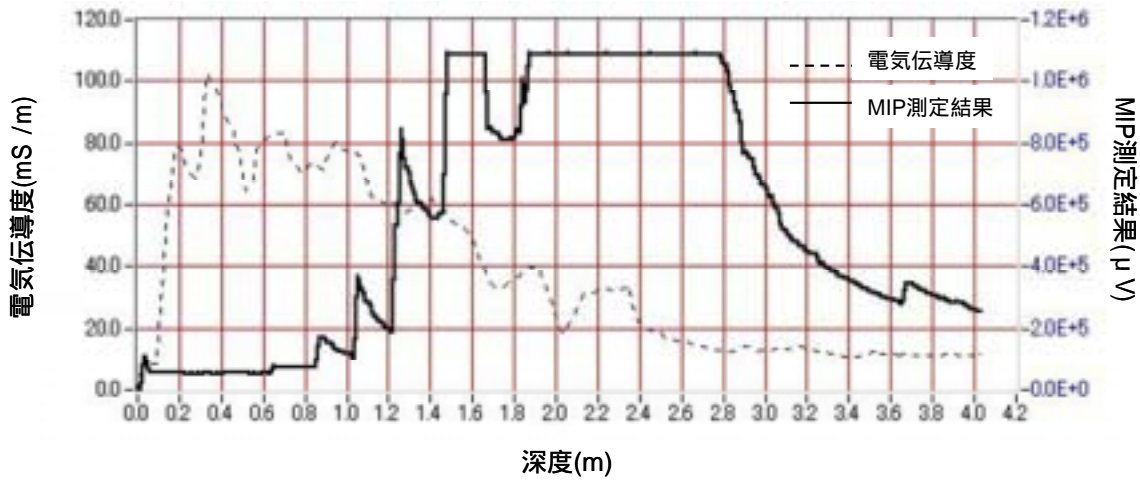


図 2 電気伝導度と MIP 測定結果

図 3 は、MIP 測定地点の深度 0.5m、1.0m、1.5m、2.0m、2.5m、3.0m、4.0m で採取した土壌のベンゼン溶出量および油分濃度を MIP 測定結果と比較した図である。ベンゼン溶出量および油分は検出された場合にポイント(● : ベンゼン溶出量、◇ : 油分濃度)で示した。

ベンゼン溶出量は深度 1.0m~3.0m で検出され、深度 2.5m で最大値を示した。油分は深度 2.5m で検出された。

MIP 測定結果と比較すると、汚染物質の濃度傾向が断片的ではなく、連続的に計測されるため、深度方向の分布の情報をより詳細に得ることができるということがわかる。

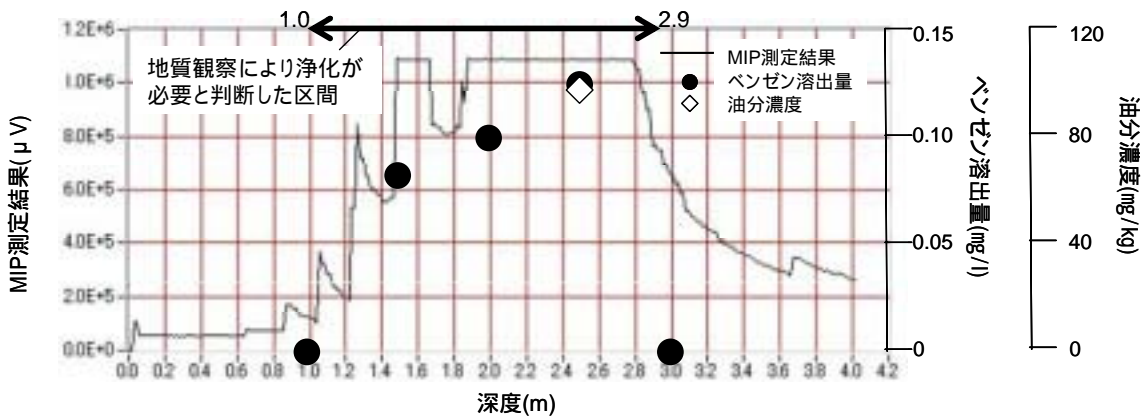


図 3 MIP 測定結果とベンゼン溶出量および油分濃度の比較

4. 原位置浄化設計への適用

目視・臭気観察及び土壌分析結果から判断した浄化が必要な深度区間と MIP 測定結果から解釈される浄化が必要な区間は一致した。原位置浄化を行うにあたって浄化が必要な平面範囲や深度を特定する評価には、専門技術者の現地観察が非常に重要である。しかし、MIP を使用することにより分析機器による定量評価を行うことができ、専門技術者の観察能力の優劣にとらわれることなく浄化の設計に必要な情報や評価を得ることができる。

本件では調査結果から汚染源は上記地点周辺に配置されている油の地下タンクや配管と考えられ、これらの施設を含む範囲を浄化の平面範囲とした。対象深度が比較的浅いため、薬剤の注入方法は井戸注入とした。井戸の仕様は深度 0.5～3.0m にスクリーンを設置することとした。

対象深度の地質は粘性土から砂礫であることが確認されたため、粘性土に付着している汚染物質と薬剤を効果的に反応させる工夫が必要であるという情報を得ることができ、浄化時の薬剤の量や注入速度への設計へ反映することができた。

5. まとめ

従来の土壌調査では概ね深度 1.0m 毎の土壌分析を行い評価していた。1.0m よりも薄い LNAPL が存在した場合には、この部分の土壌を採取して分析するか否かは現地専門技術者の観察能力に委ねられていた。土壌分析を多数実施することにより薄い LNAPL も見逃さず分析・評価することができるが、この場合には分析費用が多くなるといった難点があった。

今回、膜界面サンプリング方法として使用した MIP の特長は、深度方向の汚染濃度を連続的に測定すると同時に、電気伝導度により地質の性状を把握することができるという点にある。専門技術者の観察能力の優劣に係わり無く原位置浄化設計に必要な定量データを得ることができる。また、測定結果は原位置でリアルタイムに得られることから現地での絞り込み調査に使用することもできる。

今後の課題としては、様々な状況のサイトで使用して多くのデータを採取することにより、機器使用の熟練度を高める必要がある。今回は深度方向の汚染分布を把握することを目的として使用したが、調査地点を増やすことにより、サイトの汚染分布状況を立体的に解釈したいと考える。立体的な汚染情報を浄化設計に反映させることにより、原位置浄化効率も向上すると期待している。

参考文献

米国環境保護局 <http://www.epa.gov/>

ジオプローブ社 <http://www.geoprobe.com/>

小山真樹、高木一成 「油汚染サイトでのダイレクトセンシングと土壌分析値の比較」 『地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 第 10 回講演集』、2004 年

中央環境審議会土壌農薬部会土壌汚染技術基準等専門委員会 「油汚染対策ガイドライン - 鉱油類を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方 - 」 2006 年 3 月