

ダイレクトセンシング技術を使用した油汚染の分布調査

Assessment of oil contaminated site by direct sensing technology

高木 一成 (たかぎ かずしげ)
地盤環境エンジニアリング株式会社

深田 園子 (ふかだ そのこ)
地盤環境エンジニアリング株式会社

1. はじめに

VOC(揮発性有機化合物)や燃料油を対象とした土壌汚染調査では、土壌ガス調査で汚染源をおおむね特定し、ボーリング調査を実施するのが一般的である。ボーリング調査では、採取した土壌コアを現地で分析し、汚染状況の把握と、公定法分析のためのスクリーニングをおこなう。汚染状況をより詳細に把握するためにはボーリング地点および現地分析の試料数を増やす必要があるが、これらは調査期間やコストを増大させる要因でもある。

これに対し近年、土壌コアを採取することなく、原位置で汚染状況を探査するダイレクトセンシング技術が開発されて、汚染調査に利用され始めている¹⁾²⁾。本稿では、ダイレクトセンシング技術の一つであるMIP(メンブレン・インターフェース・プローブ)システムを使用した油汚染の調査事例について報告する。

2. システムの概要と原理³⁾

本システムは、探査プローブ・深度計測装置・コントローラーおよび検出器からなる。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)など、対象物質によって変更することができる。また、複数の検出器を使用することもできる。

プローブは、CPT用のリグや打撃貫入式ボーリングマシン等により、地中にプローブを貫入させる。

図-1にプローブ部分の模式断面図を示す。プローブ側面には土壌中のVOCをプローブ内部に取り込むためのメンブレンフィルター、接触面の土壌およびメンブレンを熱するヒーターがあり、プローブ内部にはキャリアガスを流すチューブが通っている。

ヒーターは通常80～125℃で作動し、接触面付近に存在するVOCの揮発を促す。揮発したVOCはメンブレンを通過し、内部を流れるキャリアガスによって地上の検出器に導入される。メンブレンは直径約7mmであり、揮発したガスは通過できるが、水は通さない半透膜である。また、地盤の導電率を測定する電極(ダイポール・ダイポール法)が備わっており、地層の判定に利用できる。

なお、このシステムにはガスクロマトグラフを接続していないため成分の同定はできず、VOCの総量を測定することとなる。このため、汚染物質を同定・定量するには別途土壌のサンプリングが必要である。

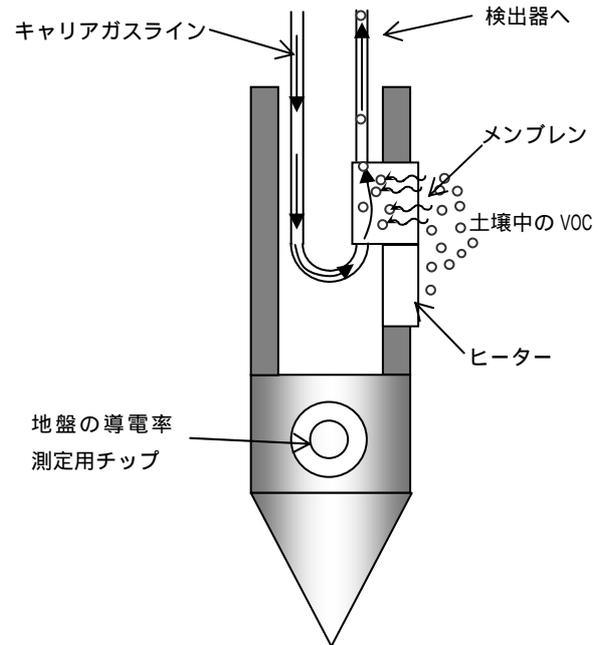


図-1 プローブの模式断面図

3. 測定方法

測定の際は、地中にプローブを貫入しつつ、任意の深度でプローブを静止させ、一定時間経過後にプローブを再貫入する。プローブを静止させるのは、プローブ側面にあるヒーター付近のVOCを十分に揮発させ、内部に取り込むためである。以上の作業を繰り返すことにより、鉛直方向のVOC濃度分布を把握することができる。

この時、測定結果を他の深度または、他の測定地点と比較するためには、プローブの貫入速度、静止時間およびキャリアガスの流量を一定に保つ必要がある。

なお、VOC濃度はプローブを静止させた深度における点情報の集まりとして捉えることとなるが、地盤の導電率は連続測定が可能である。プローブを静止させる間隔を狭めることでVOCの分布状況をより詳細に把握することができるが、その分プローブを静止させる回数が多くなり、作業の迅速性は失われる。

4. サイトでの測定事例

次にサイトでの測定事例を示す。本サイトは地下タンクや配管からガソリンや軽油が漏洩して土壌および地下水が汚染されていることが判明した。そこで、MIPを使

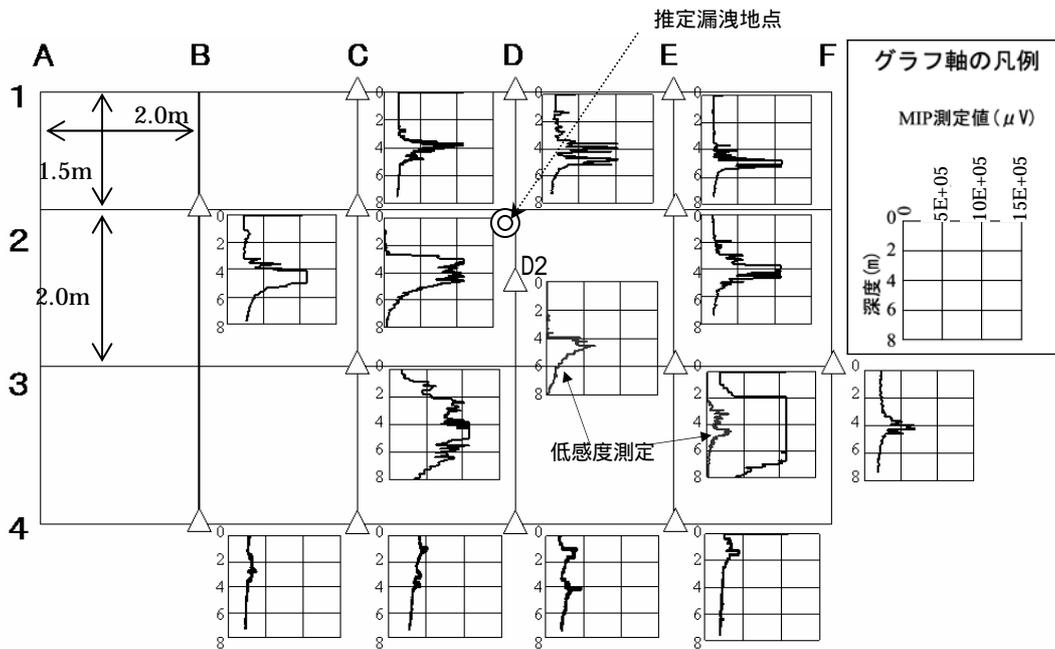


図 2 サイト模式図およびMIP 測定結果

用して、汚染範囲の特定を試みた。なお、本事例では検出器としてPIDを使用し、プローブの静止間隔は30cmとした。

図-2に測定地点とともに、MIPの測定結果(PIDの反応値)を示す。地点名はC1、E2のようにグリッドの縦横軸につけたアルファベットと数字で表す。

各地点の測定値を比較すると、E3で最も測定値が高く、深度2~7m付近にかけてPIDの測定上限値を越え、グラフがほぼ一直線になっている。C2、C3、E2でも深度2~7mの区間で測定値が高いが、E3のように全区間にかけてPIDの測定上限を超えるほどではなかった。

B2、C1、D1、E1、E2では深度3.5m程度までは測定値が低く、深度4~5m付近にピークが認められた。これはF3も同様であるが、ピーク部分の測定値はF3が他の地点と比較して低かった。

B4、C4、D4、E4は明確なピークが認められないか、またはピークがあっても測定値が他の地点と比較して低かった。

なお、測定結果の比較から、E3における全VOC濃度が他の地点と比較して高いということがわかるが、鉛直方向の濃度分布は不明であった。そこで、PIDの感度を落として再度測定したところ、図中の低感度測定として示したログが得られた。これにより、3m付近および4.5m付近にピークが認められ、5m以降は全VOC濃度が相対的に低下していくことが判明した。最も汚染源に近いと考えられるD2では最初から低感度で測定したところ、4~4.5m付近にピークが認められ、測定値は同条件で測定したE3よりも高かった。

以上のことから、本サイトの汚染状況は次のように推定された。

・推定漏洩地点の近傍では、深度2m付近から全VOC濃度が高く配管等から漏れた油の影響を受けている。特にD2やE3で濃度が高い。

・濃度のピークは深度4m付近にあり、これは地下水位とおおむね一致していることから、漏洩した油は地下水水面付近に滞留している。

・漏洩地点からやや離れた地点では、浅層の土壌は汚染されていないものの、地下水に達した後に拡散した油の影響により、GL-4~5m付近が汚染されている。

・深度5m以降は全VOC濃度が低下することから、汚染の到達深度は5m程度までである。

・B4~E4およびF3では漏油の影響をあまり受けていない。

5. MIP測定結果と土壌分析値の比較

前述のとおり、MIPは汚染物質の同定・定量ができないため、E1・E2・E3ではオールコアボーリングを行い、土壌を採取・分析し、測定結果との比較をした。採取したコアのうち、プローブを停止させたのと同じ深度(プローブの静止間隔30cmに対し、分析は90cm間隔とした)の試料について現地で溶出試験を実施し、FIDガスモニターで全VOCを測定した。また、一部の試料は外部のラボでBTEXの分析をした。

図-3に各地点の結果を示す。図中には左から順に、コアを観察して作成した柱状図、地盤の導電率、MIPの反応値、コア分析の結果を示した。

柱状図と導電率を比較すると、砂層と粘性土層では導電率に明瞭な違いが認められる。したがって、地層境界や帯水層の下限など、汚染濃度を確認すべき深度の判断がコアを採取することなく可能であると言える。

MIPの測定値とコア分析結果を比較すると、FIDで測定した全VOC濃度と相関があり、PIDの測定上限を超えてグラフが直線になる深度では全VOCは100ppmを超える濃度であった。

E3では、PIDを高感度にした場合、MIPの測定値は

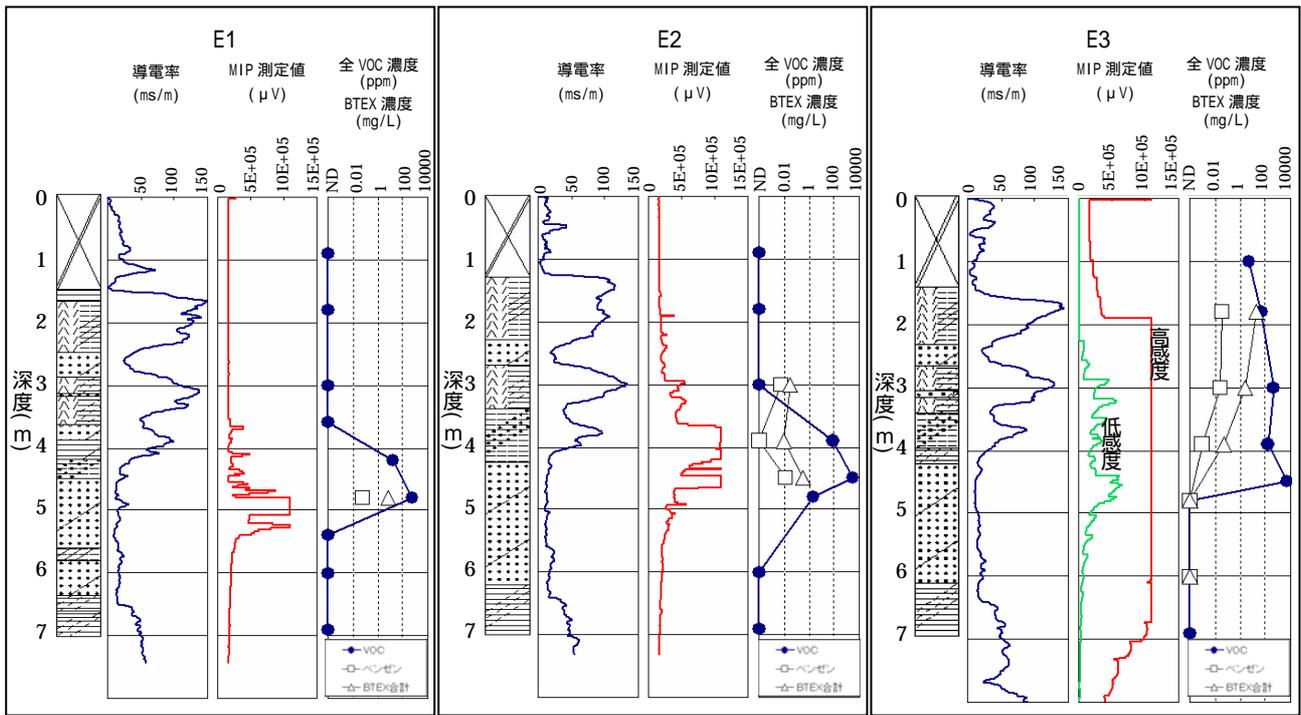


図-3 MIP 測定値と土壤分析結果の比較

4.8m 以深でも高い反応が認められたが、コア分析の結果、全 VOC は検出されなかった。これは、深度 1.8~4.5m までの VOC 濃度が高い区間をプローブが通過したことにより、本来汚染が存在しない深度まで貫入してからも、キャリアガス中の VOC 濃度が高い状態が続いたためと推察された。PID の感度を下げて測定したところ、MIP 測定値のピークと全 VOC の高濃度部は一致していた。

BTEX の溶出試験結果は MIP 反応値と明確な相関が認められなかった。これは、BTEX の 4 項目に絞って分析したラボ分析と、油に含まれる揮発性物質の総量を測定する MIP および現地分析による全 VOC 測定との違いの可能性がある。

6. まとめ

ダイレクトセンシング技術の一つである MIP システムを、油による汚染サイトで使用した事例を報告した。

本システムは汚染物質の濃度を直接測定することはできず、測定結果からただちに汚染の有無を判断できるものではない。しかし、VOC の相対的な濃度分布を測定することで、サイトの汚染状況をおおむね把握することができた。

また、地層状況と汚染物質の濃度をリアルタイムで測定できるという特徴があり、これらの推移を注意深く確認することで、DNAPL を対象とした調査では、粘土層上にとどまっている DNAPL を下部の帯水層に落下させるといった汚染拡散の危険を避けることもできると考えられる。

これまで VOC や燃料油を対象とした汚染調査では、土壤ガス調査で汚染源を特定し、ボーリング調査を実施するのが一般的であったが、本システムに限らず、汚染

調査にダイレクトセンシング技術を使用することで、ボーリングによりコアを採取すべき地点および深度を最小限にとどめることができる。したがって、ボーリングや分析にかかる費用の低減が見込める。また、ボーリングによって発生する汚染された土壌(コア試料)そのものや、機器の洗浄に使用して汚染された水などの処理にかかる手間や費用なども低減できる。

したがって、ダイレクトセンシング技術による調査結果と公定法分析結果との関係などの知見を蓄積するといった課題はあるものの、今後の汚染調査への普及が見込まれる技術であると考えられる。

参考文献

- 1) 片山辰雄・田中尚人：CPT（コーン貫入試験）手法による土壤汚染調査手法の開発，土木学会誌，Vol.88，No.9，pp50～52，2003.
- 2) 藤根 拓・中島 誠・田中正利：汚染機構解明へのダイレクトセンシングの適用，地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会 第10回 講演集，pp590～593，2004.
- 3) Geoprobe® systems：Geoprobe® systems tools catalog V.6，pp10.14～10.18，2003.
- 4) 高木一成・小山真樹：ダイレクトセンシング技術の油汚染現場での適用事例，土壤環境センター技術ニュース，No.10，pp43～46，2005.

(原稿受理)