

CPT（コーン貫入試験）手法による 土壌汚染調査手法の開発

片山辰雄

KATAYAMA Tatsuo

正会員

関電興業(株) 土木部 副部長

田中尚人

TANAKA Naoto

正会員 Ph.D.

日建設計シビル 地盤環境対策室 主管

CPT (cone penetration test, コーン貫入試験) 手法は、各種の測定機能をもつプローブを搭載したコーンを地盤に貫入させ、先端抵抗や間隙水圧、電気伝導度等の各種特性を電氣的に測定する手法である。欧米では、CPT手法を使って地盤汚染を調査するケースが多い。これは、ボーリングなどにより試料を採取して化学分析を行う場合と比較して、所要時間およびコストの両面で有利であるからである。本稿では、CPT手法による土壌汚染調査手法の開発について述べる。

CPT手法による調査手法の概要

CPT手法による土壌汚染調査のためのツールとして、これまでに次のものが開発されている(表-1, 写真-1)。

コンダクティビティコーン：互いに絶縁された二つの電極を有するコーンにより、地盤の電気伝導度を測定する。外径は、標準のコーンと同じ36mmである。

MIP (membrane interface probe)：80~125 に加熱できるヒーターと、気体のみ通過できるメンブレンを取り付けたコーンにより、土壌中の揮発性有機化合物(VOC)を吸引・気化して、窒素等の不活性のキャリアーガスにより地上

表-1 CPT手法による土壌汚染調査に用いられるツール

先端プローブ種別	項目	電気伝導度	VOC	油	土のサンプリング	地下水採取	土壌ガス採取
コンダクティビティコーン							
MIP + CPT							
ROST + CPT							
プッシュインサンプラー							
ワイヤーラインサンプラー							
コーンシッパー							
ハイドロパンチ							

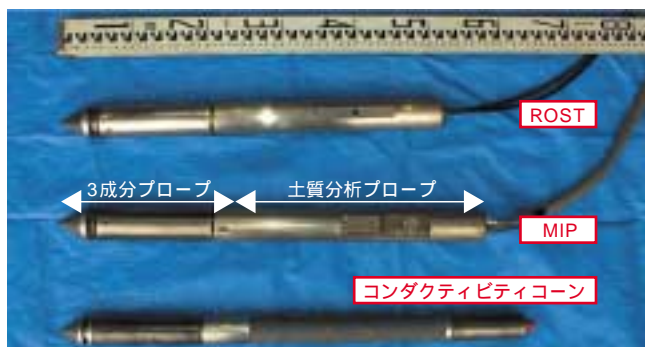


写真-1 各種のコーン

のガスクロマトグラフ(GC)分析装置へ運び、検知する(図-1, 写真-2)。外径は45mmである。

ROST (rapid optical screening tool)：主として土壌中の油を検知するためのツールで、医療などに用いられるレーザー光線を土中で照射し、汚染物質の蛍光発光を検知することにより、汚染の有無を判定する(図-2)。制御装置やレーザー発生装置等の機器は地上に設置される(写真-2)。外径は45mmである。

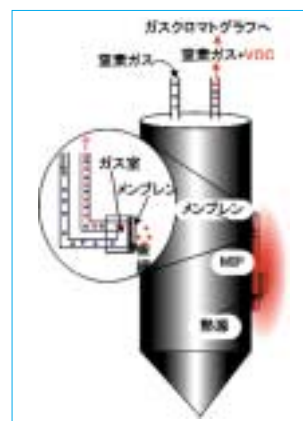


図-1 MIPプローブ概要

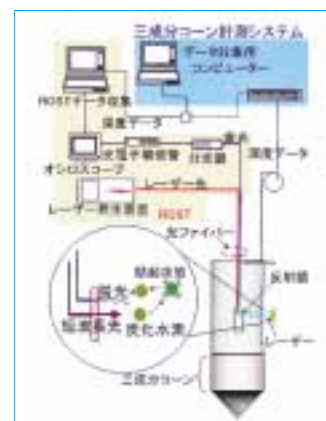


図-2 ROSTシステム概要



写真-2 MIPおよびROSTの地上機器

プッシュインサンプラー、ワイヤーラインサンプラー：コーンロープの代わりにロッド先端に取り付けられる土壌サンプラーで、プッシュインサンプラー（写真-3）は1回の貫入で1深度のサンプリング、ワイヤーラインサンプラーは1回の貫入で任意の深度での連続的なサンプリングを行うことができる。

ハイドロパンチ、コーンシッパー：ロッド先端に取り付けられる地下水サンプラーで、ハイドロパンチは1回の貫入で1深度のサンプリング、コーンシッパー（写真-4）は1回の貫入で任意の深度での連続的なサンプリングを行うことができる。後者は土壌ガスも採取することができ、採取された地下水や土壌ガスのサンプルは、キャリアーガスによって地上のGC分析装置へ送られ、化学分析に供される。なお、一度の作業で分析に十分な約70 cm³の採水が可能である。

貫入装置

コーンを地盤に貫入させるためには、自重やアンカーによる反力を利用した貫入装置が必要となる。貫入装置にはトラック搭載式、クローラ搭載式と組立式の各システムがある。
トラック搭載式：大型トラックの自重を利用し、最大200 kNの圧入力により、より深い位置への貫入を行うことができる（写真-5）。作業スペースがキャビン内となるため、天候の影響を受けずに作業が可能である。

クローラ搭載式：大型トラックが入れない軟弱地盤や狭い箇所においても作業を行うことができるように、クローラ搭載式100 kN貫入装置を開発した（写真-6）。この装置の自重は約1.5 tで、自重のみによって3~5 mの貫入が可能であり、アンカーを設置すればそれ以上の貫入が可能である。

組立式：さらに狭い箇所や室内においても作業を行うことができるように、分解可能な小型貫入装置を開発した（写真-7）。装置の自重は約350 kgである。アンカーを設置することにより、最大貫入力100 kNを可能としている。

MIPによるVOC検知のためのチャンバー試験

小型チャンバー試験

VOC汚染土を用いて模型地盤を作成し、MIPとGC分析装置によって模型地盤中のVOCを検知する小型チャンバー試験を行った。土として珪砂6号、7号および8号、VOCとして土壤環境基準記載の11物質GC検知器として光イオン化検出器(PID)、水素炎イオン化検出器(FID)および気相(乾式)電気伝導度検出器(DELCD)を、それぞれ用いた。チャンバー容積は2470 cm³で、VOC投入量は1 gとした。また、地盤の相対密度および飽和度も複数通り設定した。試験結果の例を図3に示す。図から、同一濃度であっても汚染物質によって各検出器の応答が異なるため、物質の種類を絞り込むことができることがわかる。



写真-3 プッシュインサンプラーによるサンプリング



写真-4 コーンシッパー（分解時）



写真-5 トラック搭載式200 kN貫入装置



写真-6 クローラ搭載式100 kN貫入装置



分解時
写真-7 組立式100 kN貫入装置



100 kN貫入装置搭載時
（室内）

大型チャンバー試験

次に、有限層厚の汚染層を貫通した際のMIPの反応を調べるため、大型チャンバー試験を行った（写真-8）。土として細粒分含有率5~10%の砂質土、VOCとして1,1,1-トリクロロエタンをそれぞれ用いた。チャンバーは3.1×1.8×1.8 mの鋼製容器と

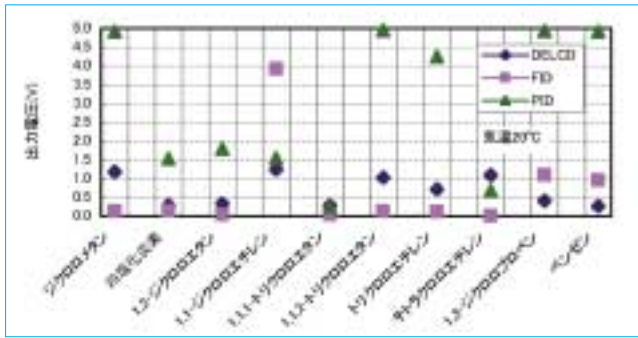


図-3 MIPによるVOC小型チャンバー試験結果の例



写真-8 大型チャンバー試験全景

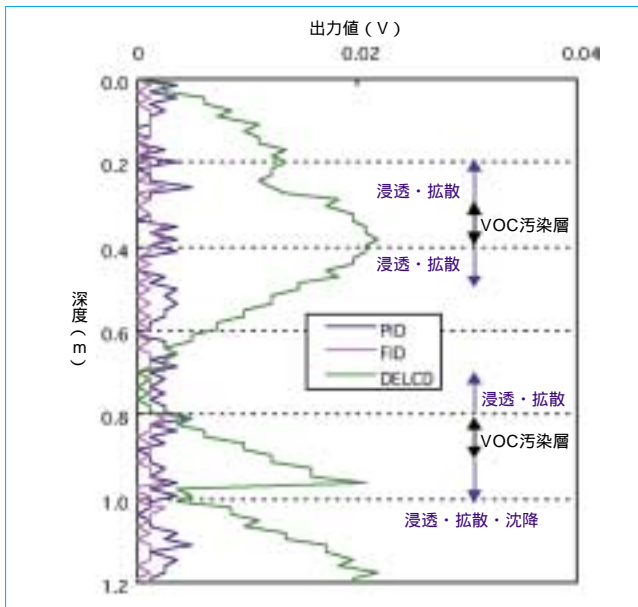


図-4 MIPによるVOC大型チャンバー試験結果の例

した。他の試験条件は前述の小型チャンバー試験と同様とした。試験結果の例を図4に示す。地盤作成後3日ほど放置したため、VOCの上下への浸透が見受けられたが、貫入速度2 cm/sの連続貫入に対して、VOCの深度方向の汚染状況が確認できた。

ROSTによる油汚染検知のためのチャンバー試験

MIPによるVOC検知のための大型チャンバー試験と同様に、油汚染土を用いて模型地盤を作成し、ROSTによって模型地盤中の油を検知する試験を行った(写真8)。

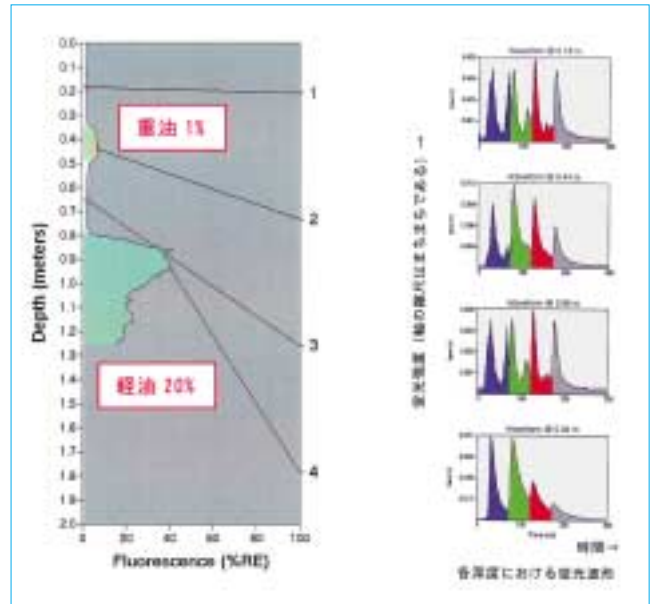


図-5 油に対するROSTによる大型チャンバー試験結果の例

軽油、重油、潤滑油、食用油の4種類の油を質量比1%、10%および20%で添加した砂質土を地中2層に堆積させた模型地盤に、ROSTを2 cm/sの速度で連続貫入させ、蛍光応答を調べた。試験結果の例を図5に示す。

ROSTは、使用直前にM1と呼ばれる基準オイルに対するレーザー蛍光応答のベンチマークとなるRE(reference emitter)を測定し、図5左に示すように深度方向の汚染状況をREに対する割合(%RE)で表示するシステムを採用している。また、図5右に示すように4種類の波長のレーザー光を時間をずらして照射し、それぞれに対する蛍光の強度と時間遅れの応答特性を記録し、土中に存在する油の種類の手がかりとしている。

試験の結果、油の質量比1%で顕著な反応が認められること、油汚染の濃度により反応値が異なることや、汚染物質により蛍光応答特性が異なること(図5右の2,4の蛍光応答)が明らかになった。また、試験は非常に単純な操作で実施することができた。

まとめ

VOCおよび油に対するCPT手法による土壌汚染調査のツールを整え、それらの性能を試験し、実務ベースで使用可能であることを確認した。各研究成果により、CPT手法による土壌汚染調査のトータルシステムを検討した結果、効率的で経済的な調査ができることが判明した。

その後、CPT手法を実地盤の土壌汚染調査に用いた結果、汚染物質の有無、深度、度合がその場で判明できた。

今後の課題として、重金属に対するCPT手法の確立があげられる。また、CPT手法と公定法との比較や、試験結果の解釈や判定におけるデータベースの確立も今後の課題となる。