土壌加熱吸引法によるVOC汚染土壌浄化（その３）

竹中土木　技術本部　正会員　○菅沼　優巳
竹中工務店　環境・エネルギー本部　正会員　森嶋　章
同　技術研究所　正会員　奥田　信康

１．はじめに

揮発性有機化合物(VOC)による汚染土壌の対策技術として、アルミ粉末を用いた土壌加熱吸引法を開発し、難透気性地盤中におけるトリクロロエチレン(TCE)汚染土壌浄化に対する有効な工法であることを確認した。

土壌加熱吸引法とは、掘削した汚染土壌にアルミ粉末を含む土壌改良材を撹拌混合し、加熱された土壌中で揮発したVOCをガス吸引により強制的に除去する工法である。

今回は、テトラクロロエチレン(PCE)汚染土壌を土壌加熱吸引法により浄化するために、室内試験にて配合条件を確認し、実規模プラントにおける品質管理基準を設定し、現地の施工に適用した事例を紹介する。

２．室内配合試験による事前検討結果

現地より採取した代表的な土壌について、室内試験を実施した。**表－１**に溶出濃度および性状を示す。

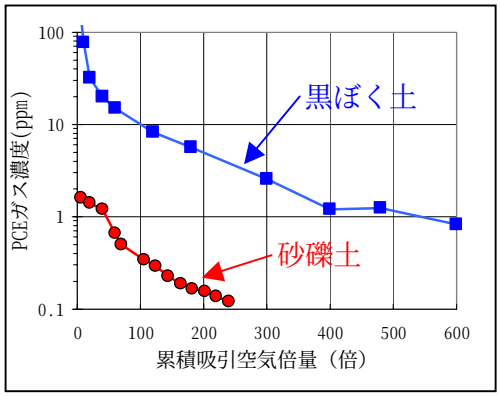
表－１　サンプル土壌の性状（網掛け部は基準値超過）

種類	溶出濃度(mg/l)			性　状
	cis-DCE	TCE	PCE	
黒ぼく土	0.063	0.046	0.94	黒色、有機分多い、レキ少ない
砂礫土	0.001	0.005	0.054	赤褐色、乾燥状態、瓦礫をやや含む

土壌加熱吸引の運転条件として土壌温度を50℃以上に保持できるように改良材添加量を設定し、浄化対象とする汚染土壌が環境基準値以下となるガス吸引時間を確認した。

図－１、表－２に室内試験結果の一部を示す。

砂礫土に関しては早期に基準値以下まで除去可能であるが、黒ぼく土に関しては浄化対象とする土壌の体積の 600倍に相当する外気を通気する必要があることが判明した。



図－１　PCE 吸引ガス濃度経時変化

３．実規模プラントにおける品質管理基準の設定

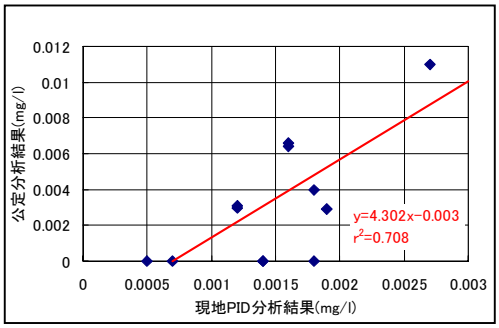
実規模プラント内の浄化進行の確認手法は、ポータブルGCを用いた現地での簡易溶出試験（PID分析）とした。

本事例での対象物質のPCEは、TCEと比べ沸点が高く環境基準値も厳しいことから、浄化の判定により高い精度が必要であると判断した。そこで、実際の土壌を用いて PID分析と公定分析との分析結果の相関を確認し、品質管理に反映した。

表－２　PCE 除去性確認試験ケース(抜粋)

種類	改良材添加量		累積空気倍量
	Al粉末	CaO	
黒ぼく土	0.3%	5%	600倍
砂礫土	0.3%	5%	240倍

図－２に示すとおり、 PID分析と公定分析との分析結果にはある程度の相関が認められた。しかし、PID分析は公定分析の1/4程度の値であり、今回対象とした土質は PCEの吸着性能が高く、簡易溶出操作での溶出効率が低いと想定された。



図－２　現地 PID 分析と公定分析の相関

室内試験と、図－２の相関から、現地における品質管理基準を**表－３**に示す通り設定した。なお、吸引処理終了判定には、 PID分析と公定分析との相関から数値のバラツキを考慮し、処理土の PID分析の結果として 0.002mg/l以下(ほぼ定量下限値)で管理することとした。

キーワード　土壌加熱吸引　アルミ粉末　PCE　品質管理　揮発性有機化合物
連絡先　〒104-8234　東京都中央区銀座 8-21-1　(株)竹中土木　Tel.03-3542-6321　Fax.03-3248-6545

表－３　実規模プラント品質管理基準

管理項目	管理方法	管理基準
混合状態	土壌の温度計測	50℃以上を維持
吸引時間	吸引ブロア連続運転	最低36時間以上
浄化進行の確認	出口ガス濃度を検知管で測定	吸引終了時ガス濃度：1ppm以下
	処理ヤード内表層ガス濃度測定	概ね5ppm以下(4検体／1箇所)
吸引処理終了判定	現地溶出試験(PID分析)	0.002mg/l以下(4検体以上／1箇所)
浄化完了確認	公定分析（計量証明機関）	環境基準値以下(0.01mg/l)

４．実規模プラント施工結果

実際に浄化に用いた設備について説明する。本事例では汚染土壌と改良材との混合機械として自走式土質改良機を用いた施工を実施した（**図－３**）。

浄化作業時の PCEガスの大気放散を防止するために、シートにて密閉した仮設ハウス内に改良材と混合した汚染土壌は投入し、パイル状に成形した。パイル内部は60℃程度に加温され、土壌間隙中にガス化した PCEは盛土下部に設置した有孔管から、吸引ブロアにより強制的に除去された。

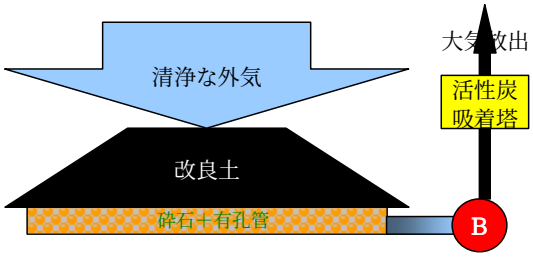
吸引ガス中の PCEは活性炭塔にて吸着除去し、浄化された空気として大気へ放出した。浄化概念図を**図－４**に示す。

表－３の管理項目にある土壌温度の状態と吸引時間の関係を**図－５**に示す。土壌温度は吸引開始後40時間を経過しても50℃以上を保持しており、目標値まで汚染土壌中からPCEをガス化し除去し得る条件を満たしているものと考えられる。

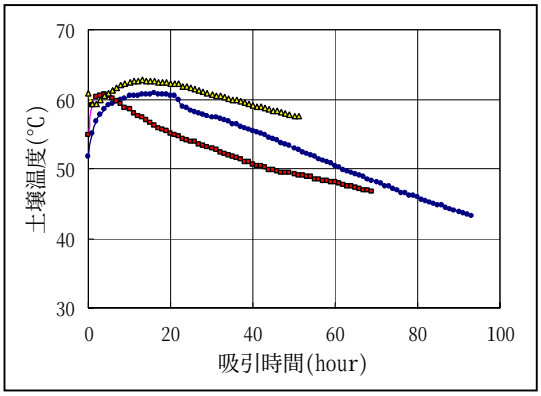
図－５は、**表－２**に示す改良剤添加量で撹拌混合した異なるバッチ処理の計測結果であり、温度保持期間、吸引完了時間ともバラツキのある結果を示した。これは、PCE初期濃度が異なることの他、対象とした土質が多様な土質構成をしていたためであると考えられる。しかし、どの改良土についても、急激に温度低下はなく、長期に渡る浄化効果が期待できる。

図－６に浄化進行確認結果例を示す。PID分析結果で初期濃度 0.07mg/l程度の土壌が、処理時間40時間程度で0.003mg/l 程度まで除去された。管理値を超過していたので吸引処理を継続し、90 時間後に管理値以下となったことを確認し処理完了と判定した。このように浄化処理を確実に行うために室内実験での設定時間以上の処理を行ったケースもあった。

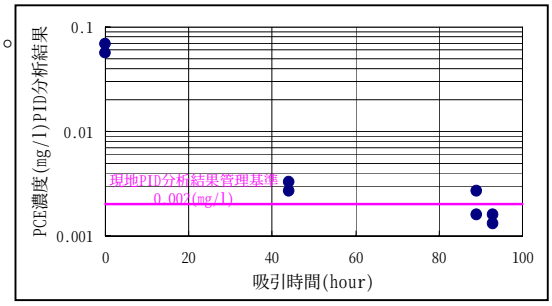
図－３　土質改良機を用いた改良状況



図－４　浄化概念図



図－５ 改良土壌の温度変化



図－６　浄化進行確認(PID 分析)

５．おわりに

今回適用した土壌加熱吸引法は、PCE汚染土壌にも有効な工法であることを確認した。PCEはTCE等と比べて沸点が高く、除去することが難しい物質と言われているが、今回実施した、室内試験、現地における品質管理、浄化進行確認手法を用いることで対応可能であることが分かった。今回の結果を今後の類似工事に展開していきたい。