

# 油汚染の原位置浄化技術

北原 亘 *KITAHARA Wataru*  
株式会社 アイ・エス・ソリューション

和知 剛 *WACHI Takeshi*  
株式会社 アイ・エス・ソリューション

油による土壌汚染は工場やガソリンスタンドで頻繁に発覚する。そこでガソリンに含まれるベンゼンなど油汚染への短工期、低コスト対策であるフェントン手法を紹介する。また反応剤の攪拌混合技術にも触れ、VOCs浄化に有益な情報を提供できるMIPによる絞り込み調査手法についても解説する。

## はじめに

油による土壌汚染は、工場やガソリンスタンド等で多く存在している。特にガソリンスタンドではガソリンに含まれるベンゼンによる汚染も顕著であり、弊社でもガソリンスタンドにおける油汚染の浄化対策に数多く関わってきた<sup>1)、2)、3)</sup>。

ベンゼンを含む油汚染への対策として掘削除去やバイオレメディエーションも挙げられるが、弊社では、短期かつ安価に実施可能な原位置浄化技術として、フェントン反応剤による化学酸化を主軸に据え対策を行ってきた。

## 1. フェントン反応剤による浄化

フェントン反応剤とは、過酸化水素と2価鉄を組み合わせた薬剤で強力な酸化力を有する。様々な有機化合物を水と二酸化炭素に分解することができ、ベンゼンやガソリン由来の油分汚染に対しても有効な薬剤である。フェントン反応によるベンゼン等の分解を簡単に示すと図1のとおりである。

本稿では、フェントン反応剤を用いた土壌及び地下水の油汚染に対する原位置浄化について、(株)アイ・エス・ソリューションが主に行っている対策・工法の紹介をする。

### 1.1 フェントン反応剤の攪拌混合

土壌中に存在するベンゼンや油分による汚染に対しては、フェントン反応剤と汚染物質を効率的に接触させることを目的とし、重機による混合攪拌を実施している。

使用する重機は、セメントなどによる地盤改良で一般的に用いられている汎用機を流用している。主に、GL-4m程度までの浅層部での攪拌混合ではバックホウを、それ以深の深層部での攪拌では鉛直式柱状改良機を使用している。

図1 / フェントン反応の例



写真1 / バックホウによるフェントン反応剤の攪拌混合 施工風景

### (1) バックホウによる攪拌混合

バックホウによる攪拌混合の施工風景を写真1に示す。バックホウを用いたフェントン反応剤の混合攪拌の場合、対策範囲の土壌をほぐしながら、薬剤をポンプで散布し、土量に対しておおよそ3割から5割のフェントン反応剤を攪拌する。そのため、攪拌完了後は高含水状態となり、セメント等による地盤強度の復旧が必要となる。

### (2) 鉛直式柱状改良機による攪拌混合

柱状改良機による攪拌混合の施工風景を写真2に、施工模式図を図2に示す。柱状改良機は、円形の攪拌翼を回転させ、スラリー状のセメントを噴射しながら鉛直方向に攪拌・掘進していく(写真3)。掘進長は、攪拌翼ロッドの継ぎ足しにより延長させることが可能であり、



写真2 / 柱状改良機によるフェントン反応剤の攪拌混合 施工風景

機械の大きさに応じて表層から20m以上の大深度まで施工することができる。

フェントン反応剤の攪拌混合に用いる場合は、セメント攪拌で使用している設備がそのまま使用可能である。一般的なセメント攪拌で代表的な設備は、①ミキシングプラント、②送液ポンプである。送液ポンプにはスクイズポンプやグラウトポンプが使用されており、フェントン反応剤の移送にも十分適用できる。また、バックホウの攪拌混合と同様、高含水状態となるため従来のセメント攪拌が必要となる。そのため、セメントスラリーを調整するミキシングプラントが必要となる。

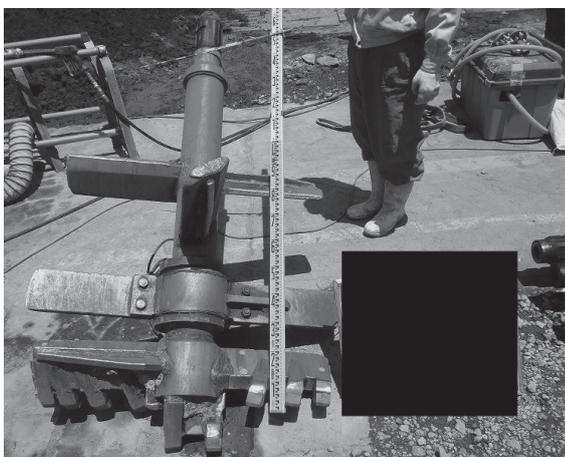


写真3 / 柱状改良に用いられる攪拌翼



写真4 / ロッド注入の施工風景

図2 / 鉛直式柱状改良機による施工模式図

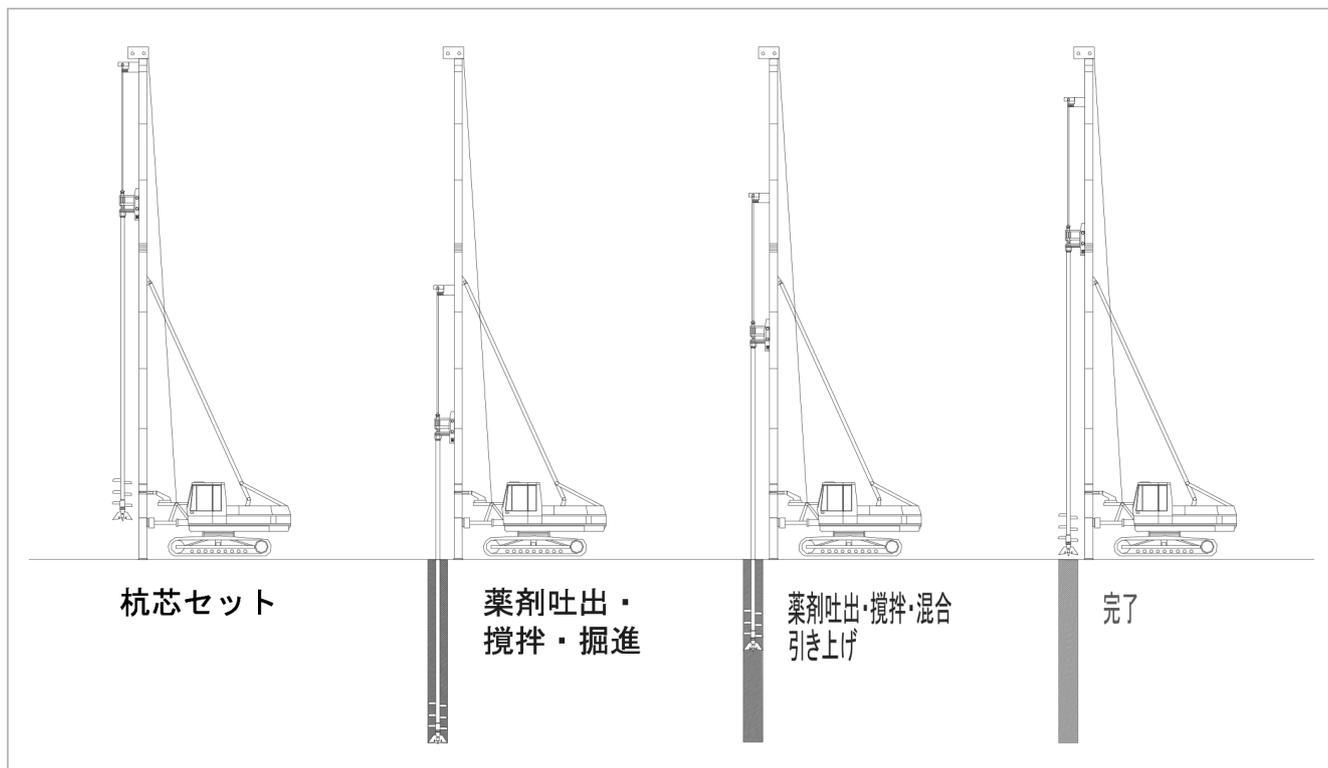
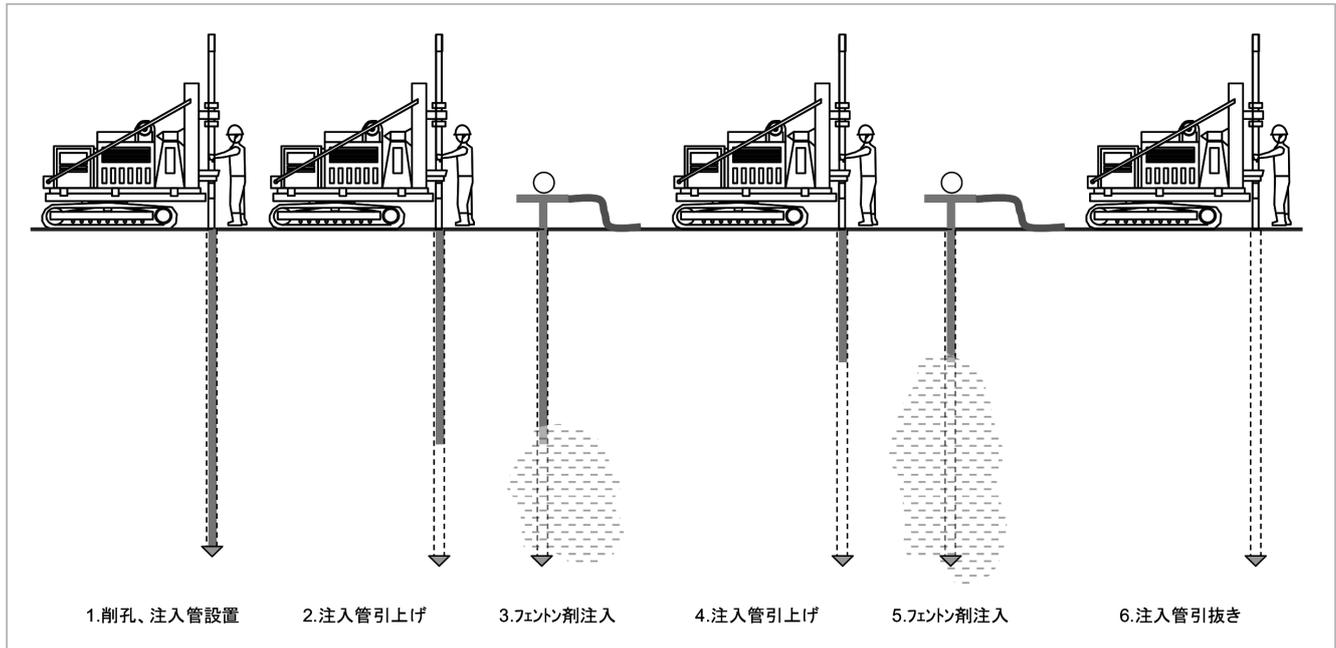


図3 / ロッド注入の施工模式図



1.2 フェントン反応剤の注入

地下水中のベンゼン等の汚染物質に対しては、フェントン反応剤を地下水へ注入する工法があり、主に鉄管ロッドによる注入を行っている。ロッド注入の施工風景を写真4に、施工模式図を図3に示す。

ロッドの先端部から薬剤を吐出させることができるため、対象の深度にピンポイントで薬剤を注入することができる。また、打撃式のボーリングマシンで設置、撤去が容易に行うことができる。注入用のポンプは小型の低流量ポンプを使用しており、スペースを必要としないため狭小地での施工も可能である。

2. MIPによる絞り込み調査<sup>4), 5)</sup>

MIP(Membrane Interface Probe)とは、土壌・地下水を採取することなく、土壌・地下水中の揮発性の油分を含む全揮発性有機化合物(以下:VOCs)を連続的に測定し、全VOCsの位置と相対的な濃度を立体的・リアルタイムで把握する調査方法である。なお、MIPでは、全VOCsの測定と同時に電気伝導度(以下:EC)の測定による地質判定を行うことができる。ECは、主に土壌の含水量に比例し、一般的に、粘性土分の多い地層(シルト、粘土等)ではECが高くなり、砂質土分の多い地層(砂、砂礫等)ではECが低くなる。MIPシステムの全体図を図4に、

図4 / MIPシステムの全体図

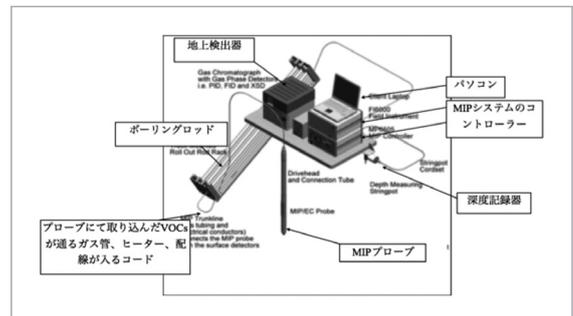
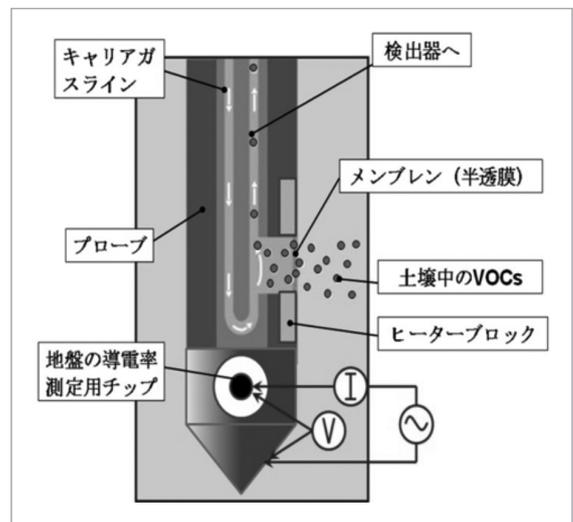


図5 / MIPプローブの概要



MIPプローブの概要を図5に示す。

MIPの調査方法の概略は以下のとおり。

- ①打撃式ボーリングマシンに取り付けたMIPプローブを任意の深度に打設する。
- ②MIPプローブの熱で土壌を加熱し地中のVOCsを揮発させる。同時にMIPプローブの先端から土壌へ電気を流し電気伝導度測定する。
- ③揮発したVOCsはプローブに取り付けられた膜より取り込まれ、地上の検出器まで、ボーリングロッドに通したケーブルを通じて運ばれる。
- ④地上の検出器にて、地中より運ばれてきた土壌ガスは全VOCsについて測定される。
- ⑤測定深度を25cm間隔など、一定間隔で連続的に行うことで深度方向の汚染分布を把握することができる。

MIPは、土壌ガスの検出器に水素炎イオン化検出器(FID: Flame Ionization Detector)など用いて検出強度をリアルタイムに記録する。ガスクロマトグラフを用いないことから、汚染物質の定性・定量を行うことはできない。そのため、全VOCsの検出強度の大小を相対的に比較することになる。

しかし、現地での土壌や地下水の採取、公定分析や簡易分析を行う事なく、土壌中の汚染物質の分布を瞬時に把握することができ、高濃度に汚染されているホットスポットを特定することに長けている。状況調査・詳細調査後の浄化設計、あるいは絞り込み調査に用いることで、より効率的かつ効果的な施工が可能となる。

#### 【参考文献】

- 1) 中間哲志、他：フェントン反応剤によるガソリンスタンドのベンゼン・油汚染浄化。第11回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 2005
- 2) 中間哲志、他：フェントン反応剤を用いた浄化方法について。第13回地下水・土壌とその防止対策に関する研究集会, 2007
- 3) 中間哲志、他：ガソリンスタンドにおける原位置浄化の実績と対策に関する一考察。第14回地下水・土壌とその防止対策に関する研究集会, 2008
- 4) 小川えみ、他：ダイレクトセンシング技術を用いた原位置浄化工事設計の事例(2015)。第21回地下水・土壌とその防止対策に関する研究集会, 2015
- 5) 小川えみ、他：ダイレクトセンシング技術を用いた原位置浄化工事設計の事例(2016)。第22回地下水・土壌とその防止対策に関する研究集会, 2016