

(S2-18) 小型攪拌式ボーリングマシンを用いた油分土壌汚染の浄化工法

長野勝己¹・尾崎和宏¹・伊藤博人¹
¹(株)アイ・エス・ソリューション

1. はじめに

近年、社会情勢の大幅な変化により日本全国で閉鎖するガソリンスタンドが増えている。閉鎖する際、東京都では「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例(略称：環境確保条例)」第 116 条に基づき、ガソリンスタンドの廃止、地下タンク・配管等の除去・更新時に土壌汚染状況調査の実施を規定している。さらに、法律や条例の適用対象外の土地においても環境への意識の高まりや土地売買時の契約に土壌汚染の条項が記載されることが多くなっていることから、油分を含めた土壌汚染調査の需要は増加している。

調査によって汚染が判明し土壌汚染の浄化対策を実施する場合、汚染土壌を掘削し場外で処理する事例が多いが、その際の環境への負荷や不適切な処分事例が社会的問題となっており、より確実性が高く経済的なオンサイトでの浄化工法が必要とされている。

筆者らはガソリンスタンドを対象としたオンサイト浄化を目的地として、フェントン反応剤を用いた化学酸化工法による浄化を積極的に取り組んでいる。また、汚染状況や土質状況から判断して、より確実性が高く経済的なオンサイトでの浄化工法を試みている。具体的な浄化工法を以下に示す。

ガソリンスタンドを対象としたオンサイト浄化工法例

- (1)帯水層汚染に対しては、打撃式ボーリングマシンによる注入ロッドを用いた薬剤注入
- (2)GL-3.0m 以浅の土壌(飽和・不飽和)汚染に対しては、薬剤散布およびバックホウによる攪拌・混合
- (3)GL-3.0m 以深の土壌(飽和・不飽和)汚染に対しては、鉛直攪拌翼による攪拌・混合および薬剤注入

しかし、ガソリンスタンドを対象としたオンサイト浄化を実施する上で、敷地境界に山留めを実施した場合における山留めと敷地境界の間の浄化工事、大型機械による工事では消防法上の指導で適用困難な運営中ガソリンスタンドの浄化工事、大型機械による浄化工事はコスト面で不利な局所的深部の浄化工事等、前述した浄化工法では適用が難しいサイトが存在した。

本稿では、油汚染されたガソリンスタンドの浄化工事にて、既存工法ではオンサイト浄化が困難なサイトにも適用可能な打撃式ボーリングマシン(一般的に調査で用いられる標準機)を用いて、本機に補助機能で搭載されている回転ヘッドを活用した攪拌混合および薬剤注入(以下工法)を実施し、薬剤散布およびバックホウによる攪拌・混合(以下工法)との浄化効果の比較および実用性の検証をしたので実施例を報告する。

2. サイトの概要

図.1 に示す通り、本サイトは運営中のガソリンスタンドの敷地内で、浄化範囲を含む敷地は、駐車場等に利用している。敷地境界は、防火塀により仕切られており、敷地境界の外側は、鉄道、駐車場、道路となっている。汚染状況は、当該範囲内において過去に地下タンクが存在した履歴があり、ベンゼンおよび TPH (DRO 成分が主体)による土壌汚染、ベンゼンによる地下水汚染が存在した。土壌の最高濃度は、ベンゼン土壌溶出量で基準の 4.5 倍、TPH 濃度で基準の 4.5 倍(自主基準として 1,000mg/kg と設定)であった。

表 1 既往調査結果

地点・深度	モニタリング		モニタリング		モニタリング	
	ベンゼン mg/l	TPH mg/kg	ベンゼン mg/l	TPH mg/kg	ベンゼン mg/l	TPH mg/kg
0.05	<0.001	/	<0.001	/	<0.001	1200
0.5	<0.001	1600	<0.001	4100	<0.001	<100
1.0m	0.003	2400	0.016	600	<0.001	<100
2.0m	0.004	2000	0.045	4300	<0.001	4500
3.0m	<0.001	<100	<0.001	2400	<0.001	<100
4.0m	<0.001	<100	/	/	<0.001	<100
5.0m	<0.001	<100	/	/	<0.001	<100
地下水	0.007	/	0.44	/	<0.001	/

Petroleum Hydrocarbon Remediation Using Boring Machine with Paddle Mixer

Katsumi Nagano¹, Kazuhiro Ozaki¹, Hiroto Ito¹

(¹ In Situ Solutions Co., Ltd.)

連絡先：〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 2-5-2 須田町佐志田ビル 9F

TEL：03-5297-7288 FAX：03-5297-0242 Email：nagano@is-solution.com

また、地下水の最高濃度は、ベンゼン濃度で基準の 44 倍であった。既往調査結果を表.1 に示す。浄化対象は、飽和・不飽和土壌のベンゼンおよび TPH、地下水のベンゼンとした。当該地質は、礫混じりシルトを主体とし、地下水位は、GL-1.5m 程度である。

3. 浄化方法

3.1 浄化工法

薬剤散布およびバックホウによる攪拌・混合による浄化は、事前に一定濃度に作液したフェントン反応剤を浄化対象土壌に散布し、バックホウにて攪拌・混合する工法である。本サイトに対しては、図 1 に示す範囲の深度 GL-0.0m から GL-3.0m を対象とした。本工法は、対象土壌を化学酸化剤にて強制的に飽和状態にすることから、不飽和土壌や粘性地盤に対しても適用可能である。ただし、重機を使用することで、作業条件に制限があり、対象深度も GL-3.0m 以浅の汚染に対し適用する。

3.2 浄化工法

打撃式ボーリングマシンに補助機能で搭載されている回転ヘッドを活用した攪拌混合および薬剤注入による浄化は、写真-2 に示す攪拌翼（300mm）を回転させながら掘進し、同時に事前に一定濃度に作液したフェントン反応剤を注入する工法である。本サイトに対しては、図 1 に示す範囲の深度 GL-0.0m から GL-4.0m を対象とした。本工法は、薬剤を注入しながら対象土壌を攪拌・混合することで、不飽和土壌や粘性地盤に対しても適用可能であり、注入ロッドを接ぐことで深度方向にも制限はない。また、小型ボーリングマシンを用いることで、運営中のガソリンスタンドの浄化工事が可能であり、注入プラントやボーリングマシンも小型化することで、作業エリアが確保できないサイトや敷地境界等を限定的に浄化するサイトでも適用可能である。（写真-3,4）

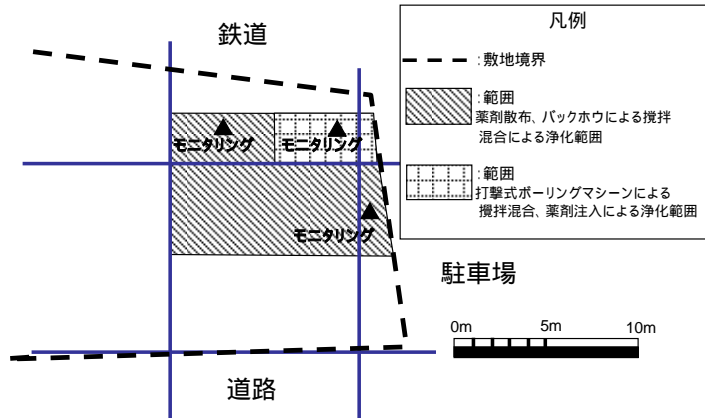


図 1 サイトの概況



写真-1 工法 : 浄化状況

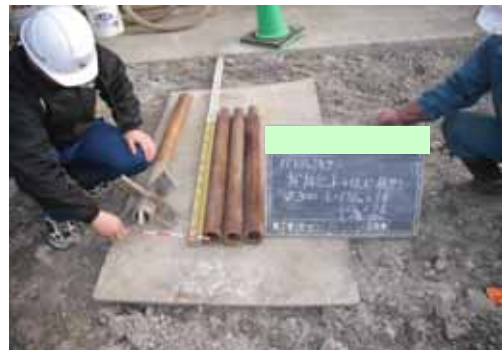


写真-2 工法 : 攪拌翼 (300mm)



写真-4 工法 : 注入プラント



写真-3 工法 : 浄化状況

ただし、地盤強度や地層によって適用に制限があり、注入口ロッドを接ぐ作業がふえることで、作業効率が低下する。

4. 評価

4.1 浄化効果の比較

工法Aと工法Bの浄化効果を比較する目的で、モニタリングを実施した。工法Aのモニタリング地点は図1示す範囲のモニタリングおよび地点、工法Bのモニタリング地点は範囲のモニタリング地点とした。

浄化効果の比較は、両工法の浄化対象範囲で汚染が確認された土壌のTPH濃度とした。工法Aの分析結果を図2に、工法Bの分析結果を図3に示す。

分析の結果、両工法で既往調査から同程度の濃度が低減し、基準適合（自主基準として1,000mg/kg）を確認した。

以上の結果から、工法Aは工法Bと同程度の浄化効果が期待できると推察される。

また、範囲（工法Aによる浄化範囲）の浄化対象であるベンゼン土壌溶出量および地下水ベンゼン濃度の分析結果を図4および図5に示す。

分析の結果、既往調査から濃度が低減し、基準適合（0.01mg/l以下）を確認した。

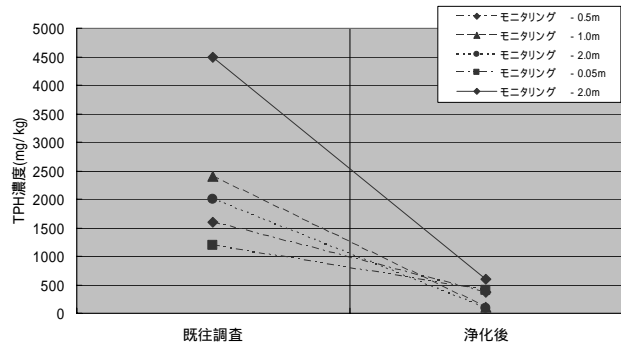


図2 TPH 土壌濃度の結果
(浄化工法A)

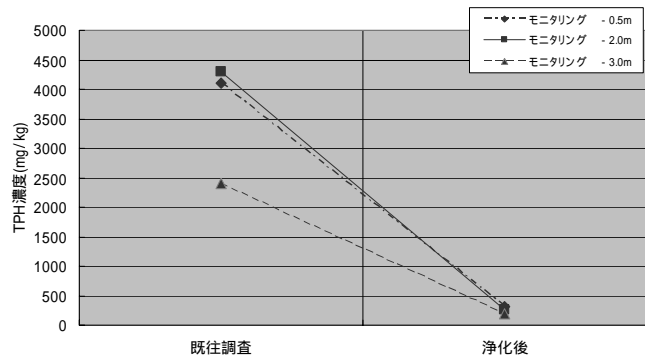


図3 TPH 土壌濃度の結果
(浄化工法B)

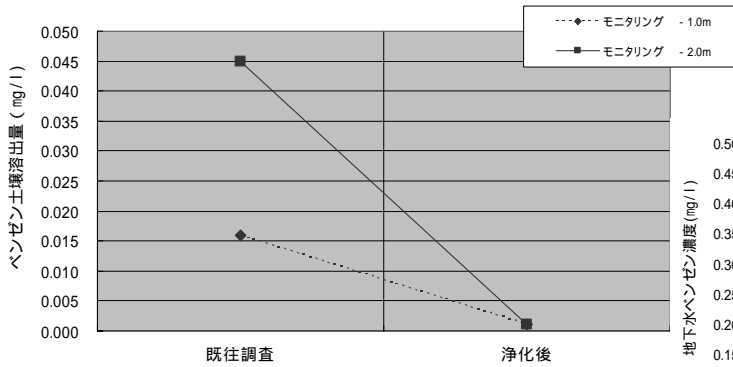


図4 ベンゼン土壌溶出量の結果
(浄化工法A)

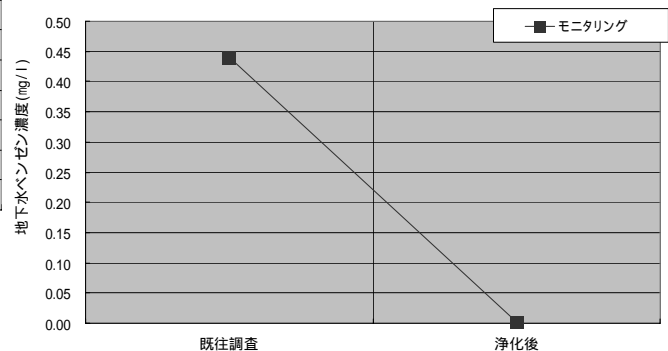


図5 地下水ベンゼン濃度の結果
(浄化工法A)

4.2 実用性の検証

本研究の目的は、以下の例に示すガソリンスタンドを対象としたオンサイト浄化にて不適または困難なサイトに対して、小型攪拌式ボーリングマシンによる浄化工法が費用対効果に対し適用可能か、実用性の評価をした。

- ガソリンスタンドを対象としたオンサイト浄化にて不適または困難なサイト例
- (1)敷地境界に山留めを実施した場合における山留めと敷地境界の間の浄化工事
 - (2)大型機械による工事では消防法上の指導で適用困難な運営中ガソリンスタンドの浄化工事
 - (3)大型機械による浄化工事はコスト面で不利な局所的深部の土壌汚染

1) 敷地境界に山留めを実施した場合における山留めと敷地境界の間の土壤汚染の浄化工事への適用性

当該条件によるオンサイトの浄化を実施する場合、施工機械の機動性およびコンパクト性が優れていること、不飽和地盤や粘性地盤に薬剤を浸透させるための攪拌・薬剤注入機能が搭載されている施工機械であることが必要となる。本施工方法は、自走式ボーリングマシンであることから機動性は優れており、一般的に浄化工事で用いられている重機等と比較して、コンパクト性も優れている。また、当ボーリングマシンは、補助機能として油圧式回転ヘッドを搭載していることから、攪拌翼やボーリングロッド、注入ジグ等のツールを加工する事により、薬剤を注入しながら浄化対象土壌の攪拌も可能となった。以上のことから、当該条件において、本施工方法の適用が可能であると判断する。

2) 大型機械による工事では消防法上で困難な運営中ガソリンスタンドの浄化工事への適用性

当該条件によるオンサイトの浄化を実施する場合、ガソリンスタンド内において給油車両やローリー車両の動線が確保できる作業スペースであることが必要となる。本施工方法は前述したとおり、自走式ボーリングマシンであることから機動性は優れており、一般的に運営中のガソリンスタンドにおける土壌調査のサンプリング機械として認められていることから使用可能である。また、注入プラントも 2m×2m 程度の作業スペースで作業可能である。以上のことから、当該条件において、本施工方法の適用が可能であると判断する。

3) 大型機械による浄化工事はコスト面で不利な局所的深部の浄化工事への適用性

当該条件によるオンサイトの浄化を実施する場合、浄化工法に代表されるバックホウ等の大型機械による浄化工事や掘削除去・良質土埋め戻しによる浄化工事に対し、本工法が費用対効果に優れていることが必要となる。今回実施した浄化条件は、対象面積：約 10m²、対象深度：GL から GL-4.0m、対象土量：約 40m³ となり、本施工方法による実施施工日数は、7 日間であった。本条件にて他の施工方法を勘案すると、0.45m³ から 0.7m³ 程度のバックホウ級の能力を搭載した鉛直攪拌翼による攪拌・混合および薬剤注入が考えられ、仮設・組立工を除いた実施施工日数は、1 日程度であると推察する。費用については、本施工条件を勘案すると、同程度であり、対象面積が約 10m² を超過すると、大型機による施工が費用対効果の面で優れていると判断する。以上のことから、当該条件において、対象深度が GL から GL-4.0m 程度で浄化面積が約 10m² 未満においては、本施工方法は費用対効果の面で適用が可能であると判断する。

5. まとめ

本報告をまとめると以下となる。

- (1) 打撃式ボーリングマシンに補助機能で搭載されている回転ヘッドを活用した攪拌混合および薬剤注入は、これまで浄化実績のある薬剤散布およびバックホウによる攪拌・混合による浄化工事と比較して、浄化効果は同程度であった。
- (2) 打撃式ボーリングマシンに補助機能で搭載されている回転ヘッドを活用した攪拌混合および薬剤注入は、機動性が優れた自走式で、一般的に土壌調査のサンプリング機械として用いられコンパクト性も優れていることから、敷地境界に山留めを実施した場合における山留めと敷地境界の間の土壤汚染の浄化工事や大型機械による工事では消防法上で困難な運営中ガソリンスタンドの浄化工事にて適用可能であると判断された。ただし、浄化深度や浄化面積、体積等の条件次第では、費用対効果の面で不利になる場合があると判断された。

以下に今後の課題を記す。

今後の課題

- ・今回実施した浄化工法は、フェントン反応剤による原位置浄化であったが、バイオレメディエーション等の他の工法においても適用可能か実地試験を行う。
- ・浄化深度によって作業効率が大きく変わることが推察されることから、浄化面積および浄化深度を勘案した費用対効果についての評価データを集約する。
- ・土質条件（地層、N値等）によって条件が大きく変わることが推察されることから、土質条件による施工性の評価データを集約する。
- ・機械に搭載されている回転ヘッドのトルク力とツール（攪拌翼、ボーリングロッド）の強度のバランスが重要であり、施工効率に大きく影響することから、回転ヘッドの回転数とトルク力、ツールの必要強度等について評価する。