

**

(S4-29) 油汚染サイトの原位置土壌洗浄における最適な薬剤と工法の選択

○小林裕一¹・佐藤秀之²・角田真之²¹(株)アイ・エス・ソリューション・²(株)ランドコンシェルジュ

1. はじめに

灯油や軽油、あるいは潤滑油などによる地下水・土壌の油汚染に対しては、土壌汚染対策法には基準が定められていないが、油膜・油臭や油分濃度に自主基準を設け、浄化対策が行われることが多い。これらの比較的軽質の油は揮発性が低く、揚水曝気工法や土壌ガス吸引工法などは適さない。また、フェントン反応剤も灯油よりも重質の油に対しては分解効率が低いことが知られている。そこで、これらの油を対象とした浄化対策として、原位置土壌洗浄工法が実施される事例が増えてきた。

原位置土壌洗浄は、各種の洗浄剤等の薬剤を土壌に注入し、洗浄剤によって脱着された汚染物質を洗浄剤ごと汲み上げ、土壌から汚染物質を除去する技術である。洗浄剤としては、浄化対象とする物質によって、水を使用する場合や、酸性やアルカリ性の薬剤を用いたり、界面活性剤を使用することがある¹⁾。原位置土壌洗浄を適用するにあっては、対象物質に対して適切な薬剤を選定すると同時に、対象とする地盤の透水性や、地下水の流れについて、十分に把握する必要がある²⁾。そのため、本工法の適用に当たっては、対象物質に応じた適切な薬剤の選定と、薬剤の注入および回収を行うための最適な工法を実施する必要がある。

薬剤に求められる性能には、対象物質に対する分解や脱着の効果だけでなく、土壌への浸透性など、実際に現場で使用する場合の施工性も考える必要がある。薬剤の持つこれらの特性は、薬剤の注入および回収の工法の選定にも重要な影響を与えるため、重要である。本稿では、原位置土壌洗浄工法で使用する薬剤の洗浄効果と施工性に着目し、新しい薬剤における浄化効果の評価と、現場適用性の検討を行ったので、報告する。

2. 施工事例

表 2.1 にこれまでに筆者らが関わった原位置土壌洗浄工法の主な実施例を示す。原位置土壌洗浄工法は、浄化剤の注入と土壌への浸透および汲み上げを繰り返す工法であるため、砂などの比較的良好的な透水性が要求される。シルト分を含む場合など、一部の透水性の低い土壌に対しては、高圧噴射注入などを用いて薬剤の土壌への浸透を図ってきた。使用する薬剤は主にフェントン反応剤であるが、シルト分に吸着された油分の脱着を目的とした場合などには、乳化作用のある洗浄剤を併用して対策を行った。

表 2.1 筆者らが実施した原位置土壌洗浄の施工例

	工法 (注入・回収方法)	使用した薬剤	対策深度 (m)	対象物質	土質
事例 A	ロッド注入工法 1 inch PVC 井戸からの回収	洗浄剤 (※) フェントン反応剤	GL-2.0 ~-4.0	油分	砂
事例 B	ロッド注入工法 1 inch 井戸からの回収	フェントン反応剤	GL-0.5 ~-2.0	油分 (灯油)	砂
事例 C	高圧噴射注入工法 1 inch PVC 井戸からの回収	洗浄剤 フェントン反応剤	GL-0.0 ~-2.0	ベンゼン 油分	シルト質砂
事例 D	高圧噴射注入工法 ウェルポイントによる回収	フェントン反応剤	GL-1.0 ~-4.0	油分	砂礫

※ポリグリセリンの水酸基に脂肪酸をエステル結合させたもの、および油臭低減剤

Treatability testing for a solution and the applicability for in situ soil flushing in oil contaminated site

Yuichi Kobayashi¹, Hideyuki Sato², and Masayuki Kakuta² (¹In Situ Solutions, Co., Ltd., ²Land Concierge, Inc.)

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

株式会社アイ・エス・ソリューション

TEL 03-5297-7288 FAX 03-5297-0242 E-mail kobayashi_y@is-solution.com

**

これらの事例においては良好な土壌洗浄効果を確認することができたが、薬剤を均等に拡散させるために、多地点・高密度の注入および回収地点の設置が必要であったり、薬剤の特性による施工性の低下なども報告されている³⁾。今後は様々な土質に対する適用性を広げ、さらに効果的な原位置土壌洗浄工法が求められると考えられる。そのためには、浄化効果が高く、土壌への浸透性に優れた薬剤が必要であると考えられる。

3. 試験の方法

3.1 試験の概要

油汚染サイトにおいて原位置土壌洗浄に求められる、施工性や土壌中での拡散性能に優れた洗浄剤として、次の薬剤の適用性を検証した。試験した薬剤は、対象物質に対する緩やかな酸化分解を意図した薬剤 (A 剤) と、土壌に吸着した油の脱着の促進を意図した薬剤 (B 剤) から構成されており、試験では両薬剤を混合して使用した (以下、検討薬剤)。試験の概要を図 3.1 に、使用した薬剤を表 3.1 に示す。

試験では、灯油によって汚染された土壌を模擬土壌とし、模擬土壌を薬剤に浸漬することによって、土壌油分濃度の低減効果を比較した。使用した模擬土壌の物理的特性を表 3.2 に示す。試験は、検討薬剤に浸漬した試料 (P 系) の他、フェントン反応剤を添加した試料 (F 系)、対照試料として水に浸漬した試料 (W 系) を用いて実施した。浸漬した試料は、実地での原位置土壌洗浄工法を想定し、7 日ごとに洗浄剤の入れ替えを行い、試料の上澄みを除去した土壌の油分濃度を GC-FID 法により測定した。薬剤の入替は 2 回行い、計 21 日間の試験期間とした。

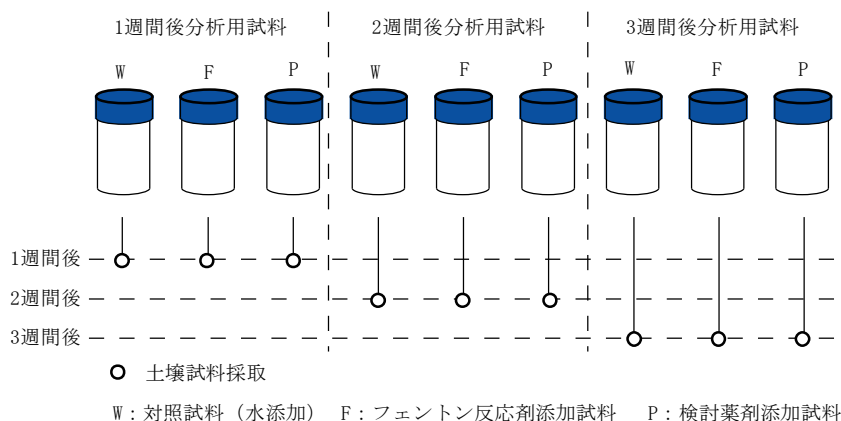


図 3.1 試験の概要

表 3.1 使用した薬剤

製品	化学物質	含有量 (%)
A 剤	過炭酸ナトリウム	60 - 100
	炭酸ナトリウム一水和物	10 - 30
B 剤	珪酸ナトリウム	
	硫酸第一鉄	
	水酸化ナトリウム	
	トリポリリン酸ナトリウム	

表 3.2 使用した模擬土壌の物理的特性

粒径	シルト混じり砂			
汚染の状態	灯油による汚染			
土質試験	土粒子の密度 g/cm^3	2.674		
	自然含水比 %	33.9		
	粒度	礫分 (2~75 mm) %	1	
		砂分 (0.075~2 mm) %	93	
		シルト分(0.005~0.075 mm) %	4	
		粘土分(0.005 mm 未満) %	2	
強熱減量 %	1.8			

3.2 試験試料の調製と保管方法

模擬土壌に各薬剤を一定量添加し、試験試料とした。薬剤を添加した模擬土壌は、1週間ごとに上澄みの薬剤を廃棄し、薬剤の入れ替えを行った。薬剤の入れ替えは2回行うことし、薬剤を廃棄した後の土壌の油分濃度を分析した。表 3.3 に試験試料の調製と薬剤の入れ替え方法を示す。試験系は、試験土壌に水を添加した試料（W系）、フェントン反応剤を添加した試料（F系）、検討薬剤を添加した試料（P系）の3種類の試験試料を作成し、さらに、それぞれの試料について薬液の交換回数が0回、1回、2回の試料を作成した（図 3.1 参照）。

表 3.3 試験試料の調製と薬剤の入れ替え方法

	W系：対照試料	F系：フェントン反応剤を添加	P系：検討薬剤を添加
調製方法	1) 土壌の秤量 模擬土壌を 100 g 秤量する。 2) 模擬土壌に水（水道水）100 g を加え、試験試料とする	土壌の湿重量に対して H ₂ O ₂ : 1% Fe(II) / H ₂ O ₂ (モル比) = 1/100 クエン酸 Na / H ₂ O ₂ (モル比) = 1/100 となるようにそれぞれ添加する。 1) 希釈液の調製 水 100 g に対し、H ₂ O ₂ (35%) 1.5 g、Fe(II) 4.0 g、クエン酸 Na 4.2 g を添加し、希釈液とする。 2) 土壌の秤量 模擬土壌を 100 g 秤量する。 3) 模擬土壌に希釈液を加え、試験試料とする。	土壌の湿重量に対して A 剤 : 0.5% B 剤 : 0.5% を添加する。 1) 希釈液の調製 水 100 g に対し、A 剤 0.5 g、B 剤 0.5 g を添加し、希釈液とする。 2) 土壌の秤量 模擬土壌を 100 g 秤量する。 3) 模擬土壌に希釈液を加え、試験試料とする。
保管・薬液交換方法	1) 浸漬期間 2) 静置 3) 上澄み液の除去 4) 薬液の添加	: 21 日間（7日間ごとに上澄み液を廃棄、2回薬液を交換） : 浸漬試料は冷暗所に保管し、試験中の攪拌は行わない。 : 土壌を攪乱しないよう、できる限り静かに容器を傾け、上澄み液を除去する。 : 上記調製方法と同様の方法によって希釈液（W系においては水）を添加する。	

3.3 測定方法

土壌試料の分析項目と分析方法を表 3.4 に示す。

表 3.4 土壌試料の分析項目と分析方法

分析項目	単位	方法
TPH [GRO]	mg/kg	「油汚染対策ガイドライン」に準拠 CS ₂ 抽出-GC/FID法 TPHはGRO+DRO+RRO（計算による）
TPH [DRO]		
TPH [RRO]		
TPH		

4. 室内試験結果と適用性の検討

4.1 試験結果

各試験系における結果を図 4.1 に示す。全ての試験系において、初期濃度に対して TPH 濃度の低減傾向が認められる。水のみを添加している対照試料においても、濃度は7日目に18%程度に低減していた。使用した模擬土壌は砂分の多いシルト混じり砂の試料であることから、比較的透水性がよく、水による土壌洗浄効果があったと考えられる。フェントン反応剤を添加した試験系では対照試料よりも大きな低減傾向が認められた。これは、フェントン反応剤によって、土壌に吸着された油分の剥離が促進されたためであると考えられる。

**

検討薬剤を使用した試験系では、フェントン反応剤を添加した試験系同様、油分濃度の優れた低減傾向が認められた。特に、実験開始7日目においてTPH濃度の顕著な低減傾向が認められ、高濃度油分に対する、短期間での高い洗浄効果が認められた。

表4.1に21日目の上澄み液に含まれる油分濃度の分析結果を示す。検討薬剤の上澄み液の油分濃度が最も高く、土壌油分の高い脱着効果が認められる。

4.2 現場での適用性

試験の結果、検討薬剤による高い土壌洗浄効果が明らかになった。特に、試験開始直後(7日目)における効果が高いことから、高濃度の油汚染サイトにおける、初期対策としても有効であると考えられる。

土壌洗浄を実際に施工する場合、薬剤を十分に対象土壌に浸透させる必要がある。薬剤の浸透性を左右する要因として重要な事項は、対象とする土壌の透水性であるが、同時に重要なことは、使用する薬剤自体の特性による、土壌中における浸透性の違いである。今回新たに使用した薬剤の主剤である、過炭酸ナトリウムは、土壌中での反応が穏やかであり、ほとんど発泡等を伴わず、浸透を阻害しない。したがって、本薬剤は土壌中の浸透性に優れており、現場における施工性にも優れていると考えられる。

土壌中への高い浸透性は、よりシルト分を多く含む土壌に対する原位置土壌洗浄工法の適用性を広げるだけでなく、施工に当たっての、薬剤注入井や回収井の設置本数を減らすことが可能となると考えられ、本工法の技術力向上に大きく貢献するものと考えられる。

今後、実際の油汚染サイトにおいて本薬剤を使用して事例を収集し、適切な施工を行うための最適の薬剤注入井や回収井の仕様等についても、検討していきたい。

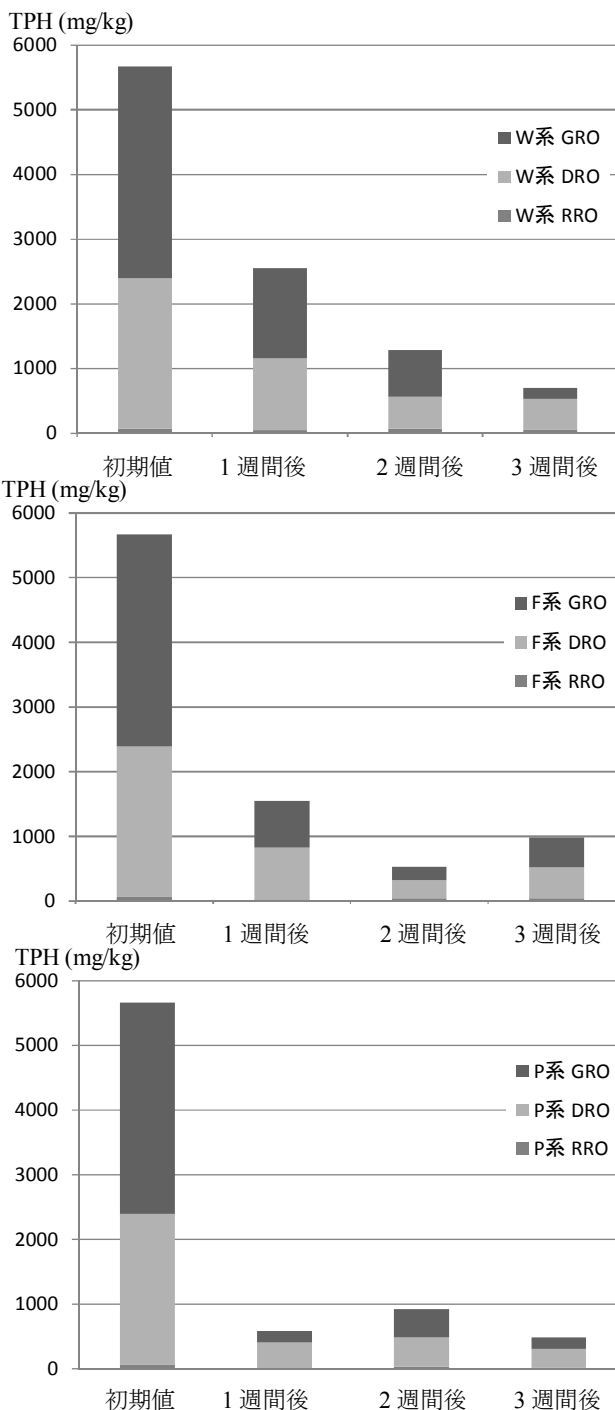


図 4.1 試験の結果

表 4.1 21 日目における上澄み液の油分濃度

(7、14 日目の上澄み液には油層があり、適切な油分濃度の評価が難しいと考えため、分析を実施していない)

	GRO (mg/kg)	DRO (mg/kg)	RRO (mg/kg)	TPH (mg/kg)
W系上澄み液	160	130	<5	300
F系上澄み液	37	68	<5	110
P系上澄み液	620	470	<5	1100

5. 引用文献

- 1) U.S. EPA (2006) : In Situ Treatment Technologies for Contaminated Soil, ENGINEERING FORUM ISSUE PAPER, p.12.
- 2) U.S. EPA (1996) : A Citizen's Guide to In Situ Soil Flushing
- 3) 上村宏允、長野勝己 : 土壌洗浄・揚水工法による油分汚染対策, 第 17 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, S4-17, 2011