

## 界面活性剤を用いた油汚染地盤の原位置洗浄法の研究(その2)

岡田 正明 \*<sup>1</sup> 仲沢 武志  
磯村 渉 \*<sup>1</sup> 野口 俊太郎 \*<sup>1</sup>  
近藤 敏仁 \*<sup>1</sup>

### 概 要

平成18年3月に環境省から「油汚染対策ガイドライン」が公開されて以降、油汚染の調査対策件数は年々増加している。浄化手法の多くは、掘削・搬出処分が採用されているが、処分場での将来的な受け入れ量の不足が懸念されており、原位置浄化技術の社会的ニーズが高まっている<sup>1)</sup>。

原位置洗浄法は、汚染地盤を掘削せず浄化する技術である。油汚染地盤に対しては、サイトに設置した井戸に界面活性剤を注入し、油と共に回収することで油汚染地盤を効率よく浄化する。筆者らは、浄化費用や浄化期間などの従来法の課題を解決する浄化手法として原位置洗浄法の開発を進めている。前報において、国内の実サイトでの実証試験を行い、ウエザリングを受けた中沸点炭化水素を主体とする燃料油のフリープロダクトの除去に効果があったことを報告した<sup>2)</sup>。

本研究では、軽油およびガソリン用に配合した国産界面活性剤を用い、浄化目標を1,000mg/kgに設定したラボレベルでのカラム試験を行ったのでその結果について報告する。

### A study on in-situ soil flushing method using surfactants for oil-contaminated grounds II

#### Abstract

After the Ministry of the Environment in Japan released “Guidelines on the Control of Oil Contamination” in 2006, the market for remediation of oil-contaminated sites is growing. In most cases, excavation and dumping methods are adopted. However, considering the future shortage of dumping sites, the need for in-situ remediation techniques is increasing<sup>1)</sup>.

The authors have already started studying in-situ surfactant flushing techniques to reduce remediation costs and periods. In-situ flushing is a remediation technique to remove contaminants without excavation. In this method, surfactants are injected into grounds through injection wells and surfactants and oil are recovered from pumping wells. In 2007, a field test was carried out in a weathered middle B.P. hydrocarbon contaminated site, and the test result showed that free product was effectively recovered<sup>2)</sup>.

In this study, in order to drive this research forward, surfactants made in Japan were used and two formulations for diesel fuel and gasoline were designed. By using these formulated surfactants, column tests were carried out and the result showed that the goal of remediation of less than 1,000mg/kg was achievable.

キーワード: 軽油 ガソリン 土壌浄化 原位置  
界面活性剤

\*1 都市再生推進本部 土壌環境部

## §1. はじめに

### 1.1 背景

土壤地下水汚染問題は、近年では土地の売却や事業再構築などを契機として表面化している。「油汚染対策ガイドライン」は、生活環境項目としての油汚染に対する幾つかの浄化技術を提示している。

油汚染土は、これまで、掘削・搬出处分されることが多かった。汚染地盤の掘削・搬出处分は、最終処分場の不足、浄化コストの上昇などによりブラウンフィールド問題を深刻化させると言われている<sup>1)</sup>。掘削・搬出を必要としない浄化技術の開発・普及が求められている。その中で原位置洗浄技術は、欧米では確立した浄化方法として紹介されているが<sup>3)</sup>、日本においては報告例が少ない<sup>4)</sup>。

### 1.2 原位置洗浄技術の概要

油汚染地盤に対する原位置洗浄技術は、界面活性剤を汚染地盤中に注入し、汚染物質(油)と土壌粒子との吸着面に作用して、揚水井戸からの油の回収効果を促進する浄化工法である<sup>3)</sup>。汚染土壌を掘削し、オンサイトプラントで洗浄する土壤洗浄法とは、プロセスが異なる<sup>5)</sup>。

筆者らは、高濃度油汚染に対し効率的に油を回収する点と、掘削・搬出处分に比べ低コスト低環境負荷である点に着目し、国内での適用化検討を行ってきた。使用する界面活性剤は、原位置洗浄用に配合されたものであり、試験管に充填した模擬汚染土に対して以下のような洗浄性能を示す。水で飽和した砂質層底部に軽油を注入すると、油は注入位置付近の土壌間隙に捕捉され汚染帯を形成する。引き続き同じ位置に水道水を注入しても、この汚染帯は砂質土層内を移動することはない。軽油用に配合された界面活性剤を注入すると、汚染帯は、界面活性剤との接触直後から上昇を開始し、帯状に試験管内の砂質土層を上向きに移動する。10mlの模擬土層の場合、5ml/minの注入によって、約2分で汚染帯が砂質土層上に浮上した。この現象は、界面活性剤が軽油を土粒子表面から引き剥がす効果のあることを示すものである。

このような原位置洗浄プロセスを実サイトに適用するために、カラム試験により浄化性能を定量的に評価した。

## §2. 本試験の目的

軽油およびガソリンによる地盤汚染を想定し、それぞ

れの油種用に配合した界面活性剤を用いて性能試験を行った。原位置洗浄によって残留油分濃度 1,000mg/kg 以下のレベルまで浄化が可能であることを確認することが目的である。

## §3. 試験概要

原位置洗浄法の手順を図1に示す。本研究では約 0.4L 容量のガラスカラムを用いた。豊浦標準砂を充填し、水で飽和させた。この状態で染色した燃料油をカラム下部より注入して模擬油汚染土カラムを作成した。充填砂層の上部に水位を固定し上澄み層とした。界面活性剤を下部より通液し、さらにリンシングを行って当該油汚染土を洗浄した。

洗浄後にカラム内の土壌を取り出し、油分濃度を分析した。

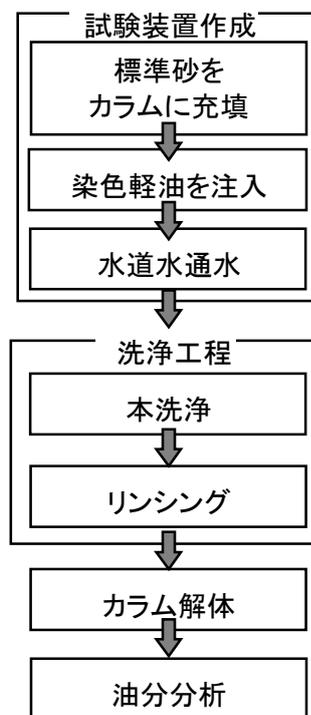


図1 試験の手順  
軽油汚染土カラムの洗浄手順を示す。ガソリン汚染土カラムについても同じ手順で行った。

## §4. 軽油汚染土カラム試験

### 4.1 方法

#### 1) 装置および界面活性剤

内径 4cm、長さ 30cm のガラスカラムに豊浦標準砂

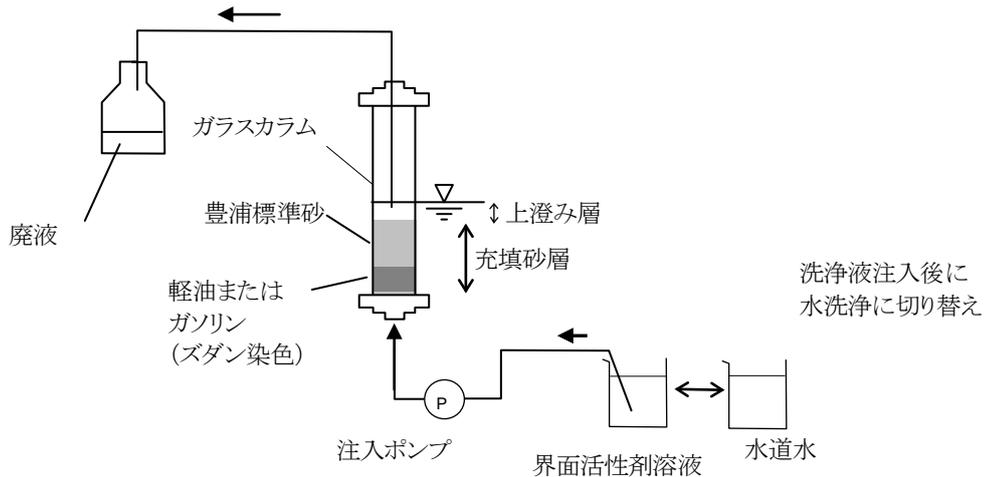


図2 カラム試験装置  
(0.4L) 40 φ × 300

を 200g 充填し、図2のように上向流で水道水を注入し、砂層の上約 3cm に水位を保つように排水する試験装置を作成した。カラム下部より軽油（ズダンIVで染色）10ml を注入し軽油汚染土カラムとした。この砂層に水道水を 5ml/min で 2L 注入して初期状態の油汚染土層とした。

食品工業用途で市販されている国産界面活性剤の中から洗浄性、生分解性が高いものを選択し、軽油用の洗浄液を配合した。

## 2) 洗浄操作

カラム下部から水道水を注入し、油が水洗浄では排出されないことを確認した。その後、界面活性剤液に切り替えて充填した砂層の間隙を置換するまで注入した。そして、再び水道水に切り替えてリンスングを行った。排出液が振り混ぜても発泡しなくなった時点で洗浄終了とした。

## 3) 分析

洗浄操作完了後、カラムから抜き取ったコアの油分を分析した。軽油汚染土カラム試験においては、ヘキサンを用いてソックスレー抽出器にて6時間抽出を行い、ノルマルヘキサン抽出物質 (JIS K 0102 24) を測定した。

## 4.2 結果

軽油汚染土カラム試験において、染色軽油を標準砂充填カラムに注入すると、カラムの下部1~3cm の位置に赤い汚染帯が形成された。軽油汚染土カラムの洗浄状況写真を図3に示す。この赤い帯は、水道水を注入しても上昇したり拡散したりすることはなかった。界面活性剤を注入すると、注入直後より染色軽油の帯が上昇する様子が観

察された。界面活性剤がカラム上部の上澄み層に到達するまでに 150ml を注入した。界面活性剤と共に染色軽油は充填砂の上の上澄み層に排出されて浮上した。界面活性剤洗浄終了後、水道水を注入した。揚水して得られた排水に泡立ちが発生しなくなるまでリンスングを行った。

充填条件を表1に示す。分析結果を表2に示す。洗浄後のノルマルヘキサン抽出物質は、260mg/kg であった。同様に調整した未処理の軽油模擬汚染土におけるノルマルヘキサン抽出物質濃度は、37,000mg/kg であったことから、除去率は 99% である。

表1 カラム試験土壌充填条件

軽油汚染土	
充填土量	200g
充填サイズ	109L × 40 φ
充填体積	136.9ml
土壌間隙率	43.8%
軽油注入量	10ml

表2 軽油汚染土カラム試験結果

試験区	未処理	洗浄後
n-ヘキサン抽出物質 (mg/kg)	37,000	260
除去率 (%)	—	99

※湿潤土壌当たりの測定値

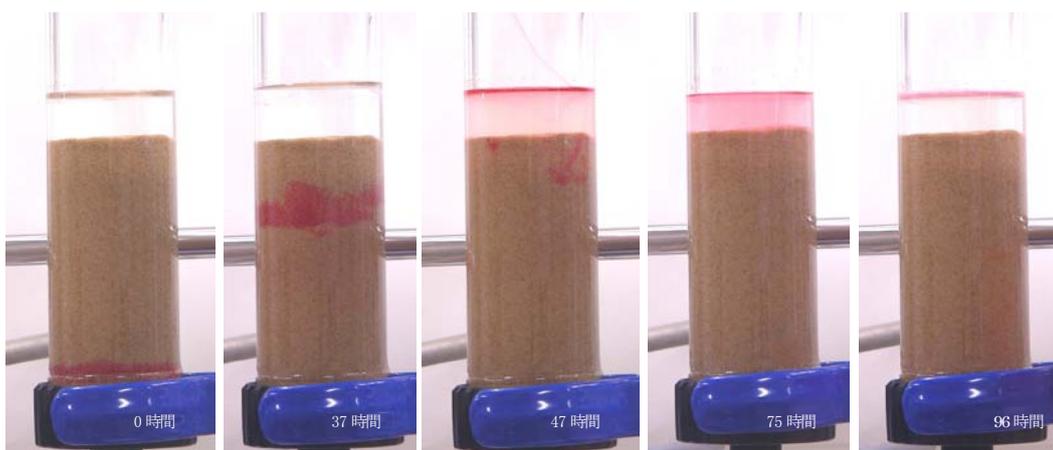


図3 軽油汚染土カラム試験状況  
界面活性剤の注入によりズダンIVで染色した赤色の軽油が浮上した

## §5. ガソリン汚染土カラム試験

### 5.1 方法

#### 1) 装置および界面活性剤

軽油汚染土カラム試験と同様のガラスカラムに豊浦標準砂を 200g 充填したものをドラフトチャンバー内に設置した。図2のように上向流で水を注入し、充填砂層の上に一定水位を保って揚水する試験装置とした。カラム下部よりレギュラーガソリン(ズダンIVで染色)を 5ml 注入しガソリン汚染土カラムとした。この充填砂層に水道水を 5ml/min で 2L 注入して初期状態とした。

食品工業用途で市販されている国産界面活性剤の中から洗浄性、生分解性が高いものを選択し、ガソリン用の洗浄液を配合した。

#### 2) 洗浄操作

洗浄操作については、軽油汚染土カラム試験と同様に行った。

#### 3) 分析

洗浄操作完了後、カラムから抜き取ったコアの分析を行った。ガソリン汚染土カラム試験においては、TPH (二硫化炭素抽出 GC-FID 法) およびベンゼン(未処理土は、二硫化炭素抽出 GC-FID 法、洗浄後土壌は、二硫化炭素抽出 GC-MS 法)を測定した。

### 5.2 結果

ガソリン汚染土カラム試験において、染色ガソリンを標

準砂充填カラムに注入すると、カラムの下部1~3cmの所に赤い汚染帯を形成した。汚染土カラムの洗浄状況写真を図4に示す。この赤い帯は、水道水を注入しても上昇や、拡散することは無かった。界面活性剤を注入すると、注入直後より充填砂層を染色ガソリンが上昇する様子が観察された。界面活性剤がカラム上部の上澄み層(図2に示す)に到達するまでに 150ml を注入した。界面活性剤と共に染色ガソリンは充填砂層の上の上澄み層に浮上したが、約 60%がカラム内で揮発した。界面活性剤洗浄終了後、水道水を注入し排水の泡立ちが発生しなくなるまでリンシングを行った。

カラム試験の土壌充填条件を表3に示す。土壌分析結果を表4、5に示す。洗浄後の TPH は、100mg/kg 未満(定量下限値未満)であった。同様に調整した未処理のガソリン模擬汚染土における TPH は、24,000mg/kg であったことから、除去率は 99%である。

洗浄後の土壌中ベンゼン濃度は、0.1mg/kg 未満(定量下限値未満)であった。

表3 カラム試験土壌充填条件

ガソリン汚染土	
充填土量	200g
充填サイズ	105L × 40 φ
充填体積	131.9ml
土壌間隙率	41.6%
ガソリン注入量	5ml

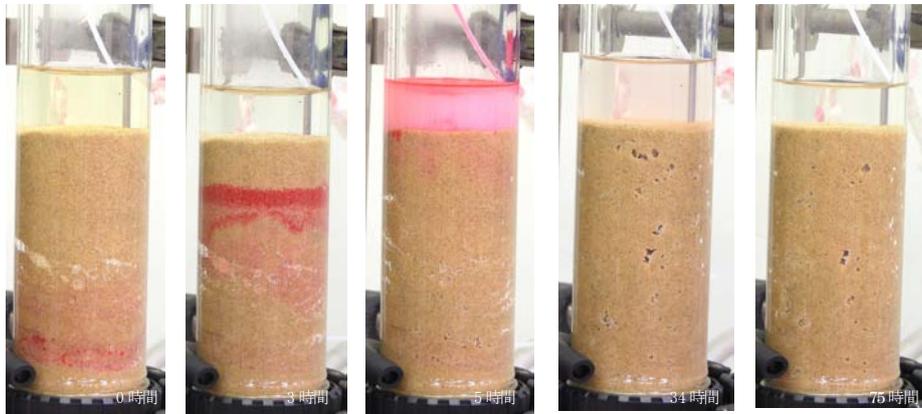


図4 ガソリン汚染土カラム試験状況  
界面活性剤の注入によりズダンIVで染色した赤色のガソリンが浮上した

表4 ガソリン汚染土カラム試験結果(TPH)

試験区	未処理	洗浄後
TPH(GC-FID) (mg/kg)	24,000	<100
除去率(%)	—	99

※湿潤土壌当たりの測定値

表5 ガソリン汚染土カラム試験結果(ベンゼン)

試験区	未処理	洗浄後
TPH(GC 法) (mg/kg)	69	<0.1

※湿潤土壌当たりの測定値

※未処理試料は、GC-FID 法で分析した。洗浄後試料は、GC-MS 法で分析した

## §7. まとめ

ラボ試験により界面活性剤を用いた原位置洗浄プロセスの性能を確認した。

- ① 軽油汚染土カラム試験では、初期油分濃度 37,000mg/kgのところ、残留油分濃度 260mg/kgとなった。
- ② ガソリン汚染土カラム試験では、初期油分濃度 24,000mg/kg のところ、残留油分濃度 100mg/kg 未満(定量下限値未満)となった。また、ベンゼンについては、初期濃度 69mg/kg のところ、土壌中残留濃度 0.1mg/kg 未満(定量下限値未満)となった。

以上の結果より、界面活性剤を用いた原位置洗浄プロセスによって、一般に言われている浄化目標の1,000mg/kgを達成することは十分に可能であると判断した。

## §6. 評価

本研究では、国産の界面活性剤を用いて軽油、ガソリン汚染土洗浄用の洗浄剤を配合・作成した。本試験においてカラムに充填した砂質層は、洗浄後には1,000mg/kg以下となった。また、ベンゼンの除去にも効果があった。以上の結果から、界面活性剤を用いた原位置洗浄プロセスの効果が確認できた。ガソリン用の界面活性剤配合は、ベンゼン汚染サイトにおいても浄化効果が期待できる。

## 参考文献

- 1) 土壤環境施策に関するあり方懇談会報告, 環境省土壤環境施策に関するあり方懇談, p.4-13, 2008
- 2) 岡田正明 ら: 界面活性剤を用いた油汚染地盤の原位置洗浄法の研究, フジタ技術研究報告, 43, p.35-46, 2007,
- 3) Julie Van Deuren, Teresa Lloyd, Shobha Chhetry, Raycham Liou, James Peck ,Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, 4th Edition, U.S. Army Environmental Center and Platinum International, Inc. ,DACA31-99-D-0045, 2002
- 4) 第14回地下水・土壤汚染とその防止策に関する研究集要旨集, 第14回地下水・土壤汚染とその防止策に関する研究集会実行委員会, 2008
- 5) 木暮敬二 : 地盤環境の汚染と浄化修復システム, p.110-112, 2000, 技報堂出版



岡田 正明

## ひとこと

原位置洗浄用界面活性剤の性能は、実用的なレベルにあると考えます。複数の井戸を制御する施工方法の開発へと展開させていきたいと思えます。