

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 4 月 5 日現在

機関番号：33907

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04040

研究課題名(和文) 流れ場制御による新しい地盤環境修復技術の基礎的研究

研究課題名(英文) STUDY ON NEW REMEDIATION TECHNIQUE FOR GROUND ENVIRONMENT WITH FLOW-FIELD CONTROL

研究代表者

棚橋 秀行 (TANAHASHI, Hideyuki)

大同大学・工学部・教授

研究者番号：00283234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,300,000円

研究成果の概要(和文)：地盤の汚染が問題となっているが、土壌に対する付着性・粘性が高く、揮発性に乏しい機械油を非掘削で地盤内から回収する技術は確立されていない。本研究では、室内土槽を用いた模擬油汚染地盤における界面活性剤による浄化の進行を記録する実験を様々な条件で行った。界面活性剤の投与パターンや圧入・吸引の方法、室内土槽の規模などの条件と浄化の進行の関係についての検討を通じ、浄化効率の高い流れ場制御のポイントを見出した。

研究成果の概要(英文)：The contamination of the ground has become a social problem. There is no established technology for recovering machine oil with high adhesion and viscosity to soil and poor volatility from inside the ground by non-excavation. In this study, some experiments to record the progress of purification by surfactant in simulated oil contaminated ground using the laboratory soil tanks were conducted under various conditions. The relationship between the conditions such as the surfactant injection pattern, the method of injection / suction, the scale of the laboratory soil tanks, and the progress of purification was considered. As a result, a point of control of flow field with high purification efficiency was found.

研究分野：工学

キーワード：土壌汚染浄化 環境技術 土壌圏現象

科学研究費助成事業 研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

多くの機械工場で用いられる機械油の地盤汚染が問題になっている。我が国の中小機械工場の事業所数から考えても、機械油汚染地盤の浄化需要は非常に大規模である。しかし、土に対する付着性・粘性が高く、揮発性に乏しい機械油を非掘削で地盤内から回収する技術は確立されていない。国内・国外とも高粘性の油汚染地盤の非掘削浄化技術として微生物分解が注目されているが、低濃度の油の分解が対象であり、高濃度機械油汚染の分解は困難である。本研究は、微生物分解の適用レンジまで高濃度機械油をいかにスムーズに除去・回収できるか、というこれまで空白であった技術を開発する位置づけにある。

2. 研究の目的

浄化が困難な地下水・土壌汚染として工場等からの機械油の漏洩がある。しかし界面活性剤による浄化 (SEAR) を行っても、油残留ムラが生じ、なかなか除去されない。これに対し本研究では、流れ場制御による浄化技術を新たに着想した。

A)互いに反応して発泡する2種類の界面活性剤水溶液を上下から投与する。B)このうち下方投与側に増粘剤を添加することで浸透域を下から拡大させる。C)反応帯を上方に徐々に移動させ、下から上にスキャンするようにムラなく汚染油を回収する、という技術である。

3. 研究の方法

HLB10.5の界面活性剤を模擬油汚染地盤に圧入し、浄化の進行を記録する様々な条件での実験を3年間にわたって行った。主な実験装置は大型二次元土槽(内寸幅 72.0cm×高さ 62.0cm×奥行き 5.0cm)を用いた。充填試料は豊浦砂と、ズダンIVによって赤く着色したエンジンオイルで汚染させた豊浦砂および珪砂6号を使用した。油汚染試料土における汚染濃度は質量比 10%とした。浄化液はHLB10.5の界面活性剤 3%に水を加えて作成した水溶液を用い、増粘剤として CMC (カルボキシメチルセルロース)の粉末を水で溶いたものにより実験を行なった。また、重曹添加界面活性剤と酢酸添加界面活性剤を交互に圧入し、発泡反応を模擬地盤内で起こすことで、ムラの無い浄化を期待した。

4. 研究成果

(1)2015年度

発泡および増粘剤を用いた応用実験は2016年から着手することとして、2015年度は界面活性剤の投与パターンを複数行い、界面活性剤のみでどこまでムラなく浄化できるのかを検討した。小型二次元土槽(内寸幅 60.0cm×高さ 60.0cm×奥行 5.0cm)と、大型二次

元土槽(内寸幅 72.0cm×高さ 62.0cm×奥行き 5.0cm)を用いた実験から図-1~3に示すような傾向が得られた。

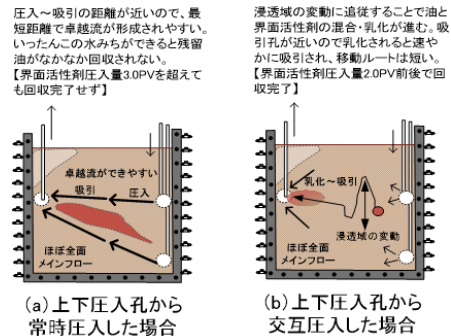


図-1 小型二次元土槽における傾向

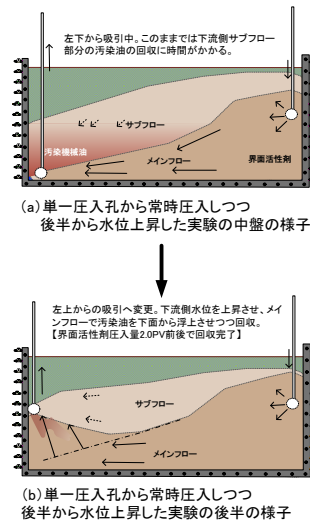


図-2 大型二次元土槽における傾向 (1)

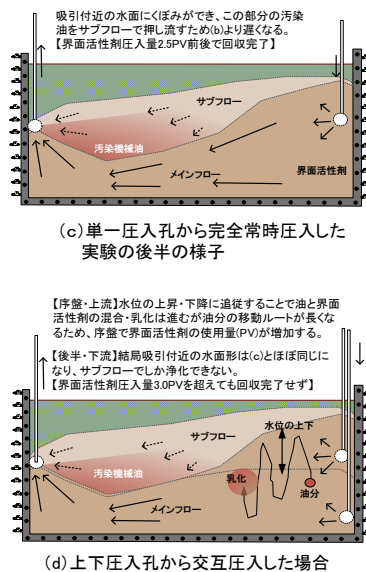


図-3 大型二次元土槽における傾向 (2)

図-1~3 から、下流側の吸引パターン制御による地盤内の油分の全体的な乳化・可動化は、界面活性剤の投与パターン制御による流れの脈動化よりも地盤内の流れ場に与えるインパクトが大きいと思われた。小型土槽実験での結果が大型土槽実験では役に立たないことがほとんどであったので、2016年度は大型土槽実験のみを行うことにした。

(2)2016年度

本研究の着目点は以下の3つである。着目点A：互いに反応して発泡する2種類の界面活性剤の水溶液を投与することによる乳化促進工程の効率化。着目点B：増粘剤添加液の浄化完了域封鎖による、浄化未完了域に対する投与の効率化。着目点C：界面活性剤と汚染油の反応帯を上方に徐々に移動させ、下から上にスキャンするようにムラなく汚染油を回収する手順の最適化。上記着目点ABCの工程は組み合わせることも可能であるが、性能評価の精度を上げるため、2016年度はそれぞれを独立した実験として浄化完了まで実施し、浄化の進行データを記録した。

着目点Aについての実験では、発泡ポイントが最上流に偏らないよう投与パターンの工夫を行った。これまでに小型土槽実験では何度も成功していたが、今年の実験ではこの工夫により地盤全体の汚染油を乳化し、大型土槽を用いた実験としては本研究室で初めて成功することができた。また、現在使用している界面活性剤は機械油の乳化性能は優れているものの起泡性は小さいので、発泡促進剤の添加も試みた。結果的には気泡が過剰に発生したわりには油が残留してしましたが、乳化は促進されることが確認できたので、【乳化・発泡反応時間】→【輸送・発泡休止時間】→【乳化・発泡反応時間】というパターンでの繰り返しが見出すことに至った。

着目点Bについての実験では、主に吸引ノズルの形状変更により、増粘剤添加液の浄化完了域封鎖による浄化未完了域に対する界面活性剤投与の効率化に成功することができた。これにより、新たな発想を得た。増粘剤を使用するのではなく、現在使用している界面活性剤よりも低粘性の界面活性剤を併用するアイデアである。これはのちに2017年の研究につながるようになった。

着目点Cについての実験では、2つの吸引ポイントを使うだけで、およそ2 pore volumeという少量でも汚染の浄化ができるに至った。水位を下降・上昇させるこの制御はこれまでの界面活性剤を横からぶつける方法よりも界面活性剤との接触面積が飛躍的に大きくなるため地盤内の油分を全体的に乳化・可動化させる効果が大きいことが確認で

きた。

このように、今年度の実験の問題点に対する検討を通じて、新しい技術を着想するに至った。

(3)2017年度

これまでの小型2次元土槽・大型2次元土槽は奥行きが5cmであり、実質的に2次元流れ場であった。そのため、奥行き方法の界面活性剤のロス・みずみち流れがどのようになるのかはこれまで測定されてこなかった。そこで以下の写真に示す大型3次元土槽（内寸幅190.0cm×高さ120.0cm×奥行125.0cm）を用いた実験を行なった。



図-4 大型三次元土槽の写真

しかし、2017年度にまず2回行った大型3次元土槽実験では、圧入された界面活性剤が地表面に噴出してしまい、油を浄化する働きを十分に果たせないことが新たな問題として浮かび上がった。そこで、この問題の解決を新たな主眼に研究を進めた。

いったんスケールダウンしこれまでの大型二次元土槽を用いて、図-5のように圧入側の水位を固定した送液方法による実験を行なった。

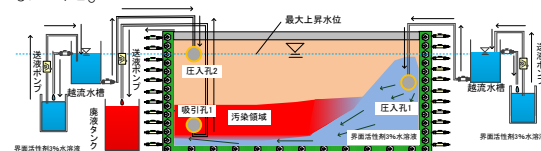


図-5 水位を固定した大型二次元土槽実験

圧入側の水位を固定したことによって界面活性剤があふれ出すことがなくなり、より正確な実験結果を得ることができるようになった。ただ、この方法は圧入・吸引の圧力勾配が小さいため、途中から吸引孔付近に界面活性剤が停滞し汚染油が残ってしまった。状況を打開するため、界面活性剤ではなく水を越流水槽に入れることで粘性が大きい界面活性剤が停滞していた部分を溶かすことで、濃度が薄い界面活性剤となって汚染領域の油を溶かし実験を終了することができた。

上記の成功を受け、圧入側の水位を固定し

た送液方法を用いた大型三次元土槽実験を行なった。圧入孔1から圧入した界面活性剤の量は、約6.06PV、水の量は約7.21PVで、圧入孔2から圧入した界面活性剤の量は約1.04PVであった。合計圧入量は、約14.4PVとなり目標であった15PV以内に実験を終了することができた。界面活性剤は15PV中約7.1PVと半分ほどで実験を終えることができたため、効率よく低コストで汚染土壌を浄化することができた。

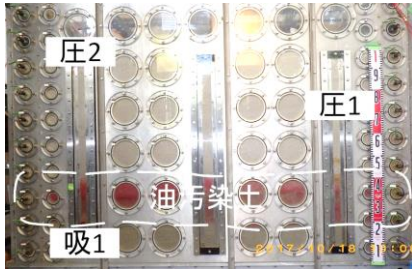


図-6 大型三次元土槽のノズル配置

(4) まとめ

本研究では3年間にわたり、室内土槽を用いた模擬油汚染地盤における界面活性剤による浄化の進行を記録する実験を様々な条件で行った。その結果、界面活性剤の投与パターンや圧入・吸引の方法、室内土槽の規模など流れ場の制御と浄化の進行の関係について明らかにした。汚染エリア全体に対してムラをいかに作らないか、という点に着目して本研究は行われたが、結果的に効率の良い浄化となったのは、共通して吸引孔近傍での汚染油の停滞を取り除くような界面活性剤の流れ場制御を作成したケースであった。この知見をもと今後も研究を推進してゆきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① Nakamura, K. and Kikumoto, M. : New concept to describe three-phase capillary pressure-degree of saturation relationship in porous media, Contaminant Hydrology, revised, 2018.
- ② 棚橋秀行 : 室内土槽を用いた模擬油汚染地盤の非掘削浄化実験の浄化効率に関する研究, 地盤工学会第12回環境地盤工学シンポジウム論文集, pp.331~338, 2017
- ③ Kikumoto, M. and Nakamura, K.: Simulation of seepage flow of non-aqueous phase liquid in vadose zone, Environmental Geotechnics 4 (3),

171-183, 2017

- ④ Nakamura, K. and Kikumoto, M. : Simulation of water-NAPL-air three-phase flow in porous media based on a generalized characteristic curve model, Proc. 19th Int. Conf. Soil Mech. and Geotech. Engineering, 2017
- ⑤ 棚橋秀行 : 機械油汚染地盤に対する非掘削SEARの浄化効率に関する室内土槽実験, 地盤工学会 Kansai Geo-Symposium 2017~地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集, pp.28-33, 2017
- ⑥ 棚橋秀行 : 油汚染地盤の原位置非掘削浄化技術開発に関する室内土槽実験, 用水と廃水, vol.57, No.12, pp.55~64, 2015
- ⑦ 棚橋秀行 : 油汚染地盤に対する汎用的な非掘削浄化技術の開発, 地盤工学会第11回環境地盤工学シンポジウム論文集, pp.391~398, 2015

[学会発表] (計3件)

- ① 棚橋秀行 : 界面活性剤の投与パターンに着目した機械油汚染地盤の非掘削浄化に関する室内土槽実験, 地盤工学会ほか第22回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, pp.506~511, 2016年6月23日, 京都大学
- ② 棚橋秀行 : 油汚染地盤の原位置非掘削浄化技術開発に関する室内土槽実験, 地盤工学会第27回中部地盤工学シンポジウム, pp.7~14, 2015年8月7日, 名古屋大学
- ③ 棚橋秀行 : 室内大型土槽を用いた油汚染地盤の非掘削浄化に関する研究, 地盤工学会ほか第21回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, pp.167~172, 2015年6月18日, 九州大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
棚橋 秀行 (TANAHASHI, Hideyuki)
大同大学・工学部・教授
研究者番号: 00283234
- (2) 研究分担者
菊本 統 (KIKUMOTO, Mamoru)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション
研究院・准教授
研究者番号：90508342

(3)連携研究者
なし

(4)研究協力者
油汚染土壌の修復技術研究会