

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 4 日現在

機関番号：33907

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360206

研究課題名(和文) 間隙内二液反応発泡による新しい油汚染地盤浄化技術の開発

研究課題名(英文) DEVELOPMENT OF NEW GROUND REMEDIATION METHOD FOR OIL CONTAMINATION USING SPARKLING REACTIONS IN PORES BETWEEN TWO SOLUTIONS.

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) 7,700,000円、(間接経費) 2,310,000円

研究成果の概要(和文)：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。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間隙内二液反応発泡法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、間隙内二液反応発泡法を発展させた交互圧入発泡を開発し、これにより機械油の非掘削回収における浄化ムラが低減効果できる可能性を見出した。

研究成果の概要(英文)：IN THIS STUDY, SOIL TANK EXPERIMENTS WERE CONDUCTED TO DEVELOP NEW GROUND REMEDIATION METHOD FOR OIL CONTAMINATION USING SPARKLING REACTIONS IN PORES BETWEEN TWO SOLUTIONS. AS A RESULT, IT WAS FOUND THAT THE NONUNIFORMITY OF REMEDIATION WAS ABLE TO BE REDUCED USING SPARKLING REACTIONS WITH ALTERNATE INJECTION METHOD.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、地盤工学

キーワード：土壤汚染浄化 環境技術 地盤工学 土壤圏現象

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、図-1のように、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限界で、高濃度機械油汚染の浄化は困難である。本研究は、微生物分解の適用レンジまで高濃度機械油を

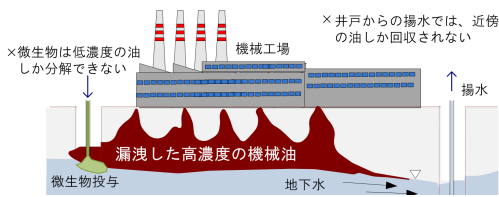


図-1 機械油による汚染とその浄化における問題

いかにスムーズに回収できるか、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。

報告者らは、これまで界面活性剤を中心にオレンジ成分であるリモネンやリサイクル植物油などを浄化剤に用いた研究を行ってきた。こうした実験とともに進めてきた文献調査において、対象物質は機械油ではなくトリクロロエチレンであるが、Stephanieら(2000)がその著書「NAPL removal: Surfactants, Foams, and Micro emulsions」において、surfactant/foam process という界面活性剤と地上であらかじめ発生させた気泡をともに地盤に注入する工法を実際の汚染サイトで行った事例を見出した。同著によると、注入された気泡が大間隙を移動しこの部分の透水性を低下させ、界面活性剤を小間隙に誘導することで浄化効率が上がったという結果が得られている。しかしながら同法では序盤は効率よく浄化が進行すると予想されるが、「よどみ」ともいえる小間隙に本研究で対象とする高粘性の機械油がトラップされている場合、終盤で浄化効率が低下することが懸念される。

2. 研究の目的

これに対し、図-2のように「間隙内で発泡させればよいのではないか」、と考え重曹水溶液と酢酸水溶液の反応による二酸化炭素の発生に着目したのが、本研究における「間隙内二液反応発泡法」の着想に至った経緯である。

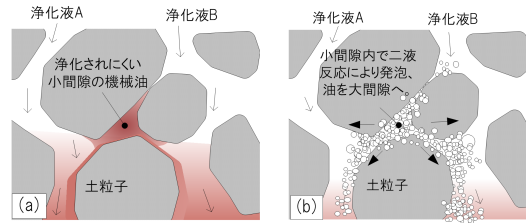


図-2 間隙内二液反応発泡法のメカニズム

これまで困難であった機械油汚染地盤の非掘削浄化に対し、図-2(a)のように浄化液A(重曹・界面活性剤水溶液)と浄化液B(酢酸・界面活性剤水溶液)を間隙内に浸透させたのち、図-2(b)のような発泡反応を起こすことで油を乳化し洗い流す「間隙内二液反応発泡法」を考案した。

この「間隙内二液反応発泡法」の物理・化学的メカニズムを定量的に把握するため、室内土槽に模擬油汚染地盤を作成し全体的な浄化の進行状況を観察するのに加え、間隙内発泡メカニズムの把握や油の残留量の分析など基礎的実験・測定を行うことが本研究の目的である。

3. 研究の方法

HLB10.5の界面活性剤を模擬油汚染地盤に継続圧入し、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。主な実験装置は図-3に示す薄型二次元土槽(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

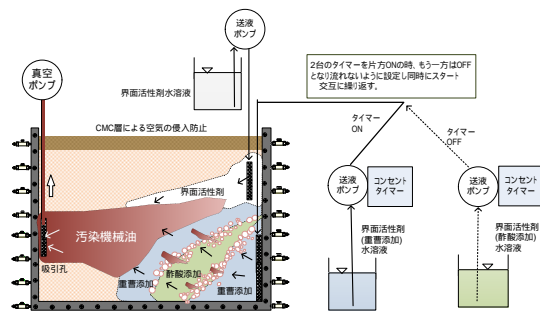


図-3 実験の方法および挙動予想図

HLB10.5の界面活性剤3%に水を加えて作成した水溶液を3PV(=20L)用意した。地表面には、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被覆を施し空気の入りを防いで実験をおこなった。

ここでは最も効率の良かったケースを例として紹介する。このケースでは、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のいろいろな場所で起こし流れを常に変動させることで、ムラの無い浄化を期待した。なお、この実験はその性格上、浄化の進行の再現性が低いと思われたので2回行った。図-3は実験の方法および挙動予想図である。

土槽の右下に埋設した圧入孔より、重曹を添加したHLB10.5の界面活性剤(3%)を5Lと酢酸を添加したHLB10.5の界面活性剤(3%)を5L、30分ごとに交互に圧入した。上部からはHLB10.5の界面活性剤(3%)を10L圧入した。この時の圧入流速はともに6ml/minとした。交互に圧入することで図-3に示したように、2液境界発泡帯が何度も異なる箇所で形成され、ムラになった油の乳化を促進するのではないかと期待した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験結果

写真-1の初期状態から7時間後の写真-2までの間に初期汚染領域の右下の部分がかかなり浄化され、上方へと押し上げられたこの部分の油分は右上から圧入される界面活性剤によって吸引孔へとうまく流されている様子が伺える。この「挟み撃ち」状況が継続されることで、16時間後の写真-3では「中州」部分の厚みがどんどん薄くなっていることがわかる。写真-4の実験終了時には飛び地的なムラはあるもののこれまでの実験で見られたような領域的なムラは見受けられなかった。



写真-1 初期状態

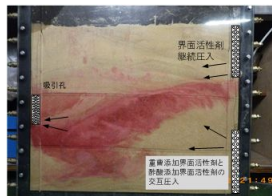


写真-2 実験開始  
7時間後

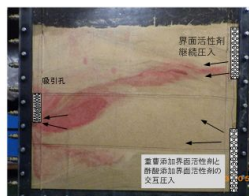


写真-3 実験開始  
16時間後

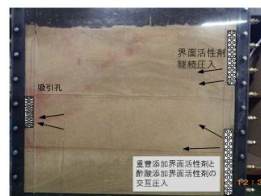


写真-4 実験終了時  
28時間後 (3.0PV)

##### (2) 考察

この実験の経過観察において、ほかの実験と最も異なるのは、流れの場が常に変わり、水みちが固定されないことにより、油の

残留領域が常に削られてゆくという浄化の進行が観察できたことであった。この理由を、図-4(a)~(c)のように推測した。

図-4(a)は、重曹添加界面活性剤の通過により、中央付近に残留油ムラが生じている状況である。このままの状況ではこの残留油分はなかなか下流へと輸送されない。ここに、交互圧入により酢酸添加界面活性剤が到達したのが図-4(b)の状況である。同図に描かれているように、酢酸と重曹が反応し二酸化炭素が発生することにより間隙内で界面活性剤が発泡している。それによる浸透阻害の影響を描いたのが図-4(c)である。これまで「水みち」であったところで起こった発泡により浸透が阻害されることで、後続の酢酸添加界面活性剤は、選択的に中央の残留油ムラ部分を次の通過場所にせざるを得なくなる。交互圧入発泡のケースではこの状況を繰り返すことで流れは常に変動するので、間隙内で水みちの形成がされにくく、残留ムラも発生しにくいのではないかと推測した。

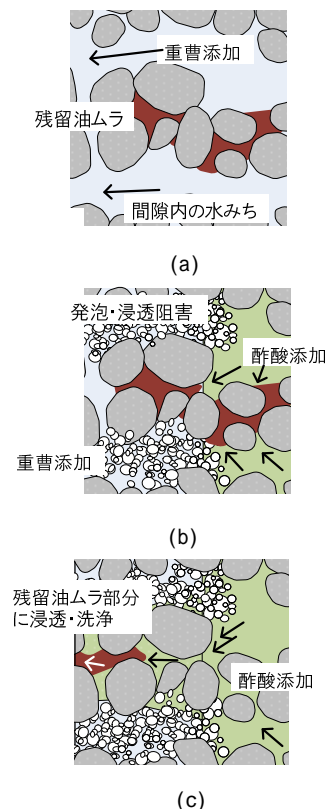


図-4 間隙内残留ムラに対する交互圧入発泡の作用

同様のことを、今回の模擬汚染地盤のモデルにして考えてみたのが図-5である。重曹添加界面活性剤の通過後の残留油ムラが散在している状況に、後続の酢酸添加界面活性剤が到達し間隙内で界面活性剤が発泡する。それによる浸透阻害の影響で、今まで重曹添加界面活性剤が通過していたところよりも



選択的に残留油ムラ部分を次の通過場所にせざるを得なくなる。これにより、酢酸添加界面活性剤はここを新たな通過ルートとすることになり汚染油を下流に輸送することになる。この一回でムラの除去が解決しなかったとしても、その後続の重曹添加界面活性剤との間で再度発泡することで、波状攻撃的に浄化が進行するものと推測される。

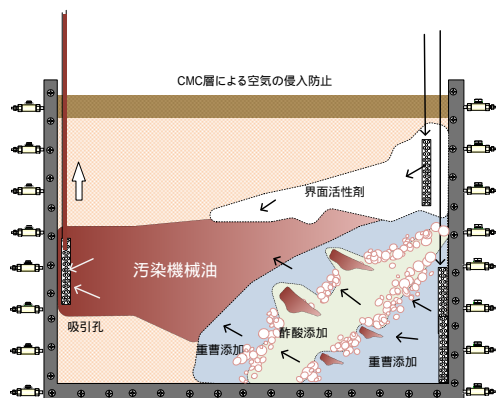


図-5 交互圧入発泡における水みち・残留ムラが形成されにくいメカニズム

### (3) 今後の展望

本研究では、これまでに行ってきた間隙内二液反応発泡法を発展させた交互圧入発泡による浄化ムラ低減効果について見出すことができた。現在この考察を裏付ける定量的なデータ・記録画像などがまだ存在せず、実験ケースも少ないため今後は以下のことに着手してゆきたいと考えている。

- 1) マイクロスコープによる動画記録を行い、交互圧入発泡が間隙内でムラを形成させないメカニズムが図-4で推定したものかどうかを分析する。
- 2) ムラのできやすい不均質な地盤や障害物ある条件での実験を行い、これに対する浄化効果を確認する。
- 3) 時間・廃液量・界面活性剤・薬剤量をいかに削減し効率化よく浄化出来るかを更に追求する。

### 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2件)

柵橋秀行、佐野豊生、清宮崇寛、間隙内二液反応発泡による機械油汚染地盤の室内土槽非掘削浄化実験、地盤工学会第9回環境地盤工学シンポジウム論文集、査読有、2011、pp.111-116

柵橋秀行、界面活性剤と微生物による機械油汚染地盤の非掘削浄化、地盤工学会第10

回環境地盤工学シンポジウム、査読有、2013、pp.439-446

[学会発表](計12件)

柵橋秀行、油汚染地盤浄化と地盤改良の複合技術開発、第13回環境技術学会年次大会、2013年9月13日、岐阜。

柵橋秀行、機械油汚染地盤 SEAR におけるバイオレメディエーションの活用、第19回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会、2013年6月13日~14日、京都。

佐野豊生、油汚染地盤浄化における地盤改良技術の応用に関する基礎的実験、土木学会中部支部、2013年3月8日、豊田。

清宮崇寛、鉍物油分解菌を用いた機械油汚染地盤 SEAR 浄化ムラの低減、土木学会第67回年次学術講演会、2012年9月5~7日、名古屋。

寺田暁彦、鉛直方向に埋設した吸引・圧入孔を用いた油汚染地盤の浄化、第24回中部地盤工学シンポジウム、2012年8月7日、名古屋。

寺田暁彦、間隙内二液反応発泡・空気流を用いた油汚染地盤浄化、第47回地盤工学研究発表会、2012年7月14~16日、八戸。

寺田暁彦、間隙内二液反応発泡・空気流を用いた油汚染地盤浄化、第18回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会、2012年6月14~15日、さいたま。

佐野豊生、空気の流れを利用した油汚染地盤の非掘削浄化、土木学会中部支部、2012年3月8日、長野。

佐野豊生、機械油汚染地盤の非掘削浄化効率に関する研究、土木学会第66回年次学術講演会、2011年9月7~9日、松山。

清宮崇寛、機械油汚染地盤の非掘削浄化効率に関する研究、第23回中部地盤工学シンポジウム、2011年8月5日、名古屋。

佐野豊生、間隙内二液反応発泡による機械油汚染地盤の浄化技術、第46回地盤工学研究発表会、2011年7月5~7日、神戸。

佐野豊生、間隙内二液反応発泡による機械油汚染地盤浄化技術の開発、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、2011年6月16~17日、川崎。

[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

なし

(3)連携研究者

なし