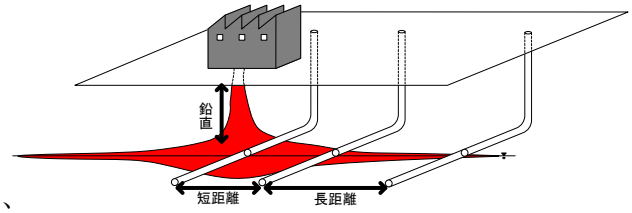
間隙内二液反応発泡法を用いた油汚染地盤の非掘削浄化

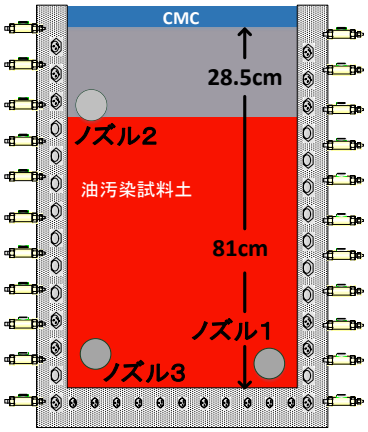
大同大学　学生会員　○古田　淳士
大同大学　学生会員　　野村　凌平
大同大学　正会員　　棚橋　秀行

1.　はじめに

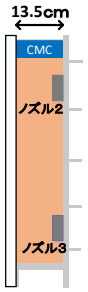
多くの機械工場で用いられる機械油による地盤汚染が問題になっている。しかし、土壌に対する付着性・粘性が高く揮発性に乏しい機械油を、非掘削で地盤内から回収する技術は確立されていない。大同大学・棚橋研究室では、界面活性剤を用いた機械油汚染地盤の非掘削浄化（SEAR : Surfactant Enhanced Aquifer Remediation ）について継続的に室内土槽実験を試みてきた。**図-1** は油汚染地盤の様子である。本研究室では、油の汚染を汚染源からの鉛直浸透区間／高濃度（短距離浄化）区間／低濃度（長距離浄化）区間の 3 つに分けて最適な浄化法を開発している。今回は鉛直浸透区間の浄化法についての報告である。この区間は工場直下であり地下に多くの埋設物が入り組んで敷設されているため、これに対応した浄化技術の開発が必要不可欠となる。その方法として本研究室が開発した間隙内二液反応発泡法 [1] に着目し、界面活性剤のみを用いた浄化実験と比較・考察した。



図－1 油汚染地盤の様子



（前面図）



（断面図）

（ノズル詳細）

図-2 実験装置概要

2. 界面活性剤を模擬汚染油地盤に継続圧入する実験

2.1 実験方法　実験装置は**図 - 2** の縦型二次元土槽(内寸幅 72.0cm×高さ 114.5cm×奥行き 13.5cm)を用いた。土槽全面は透明アクリルパネルで内部が観察できるようになっている。今回の実験はまだ埋設物は設置されていないが、均質地盤に対して 3.の発泡を用いた実験とどの程度浄化性能が異なるのかを確認するために行った。充填試料は珪砂 6 号と、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珪砂 6 号を使用した。充填密度はともに $\rho_d = 1.36 g/cm^3$ である。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ものを用意した。地表面には CMC(カルボキシルメチルセルローズ)の粉末を水で溶いたものにより被覆を施し空気の侵入を防いだ。奥行き方向の界面活性剤の浸透挙動を把握するために、**図-2** の断面図の様に土槽の奥にノズルを貼り付けた。圧入流速はノズル 1 から 60ml/min、ノズル 3 から 20ml/min で圧入し、ノズル 2 から真空圧による吸引を行った。

2.2　実験経過と結果　**写真-1** は初期状態である。実験開始から 21.5 時間後の様子が**写真-2** である。界面活性剤水溶液が汚染油を土槽下部から上部に向かって乳化させていくことが分かる。この時点で土槽最上部の初期清浄土域に汚染油が流れ込んでいることが確認できた。**写真-3** は 34.5 時間後の写真である。この状態で 50%以上浄化が進んでいることが確認できたが、初期清浄土域に流れ込んだ乳化液は浄化されずに残っていた。**写真-4** は実験開始から 47 時間後の写真である。**写真-4** から**写真-5** の 54.5 時間後まで浄化はあまり進まず、**写真-2** で初期清浄土域に流れ込んだ汚染油は浄化できないと判断したため、実験を終了とした。土槽解体時には初期汚染領域内の汚染油は完全に浄化されており浄化ムラは確認できなかった。

写真-1
初期状態（実験 2.）

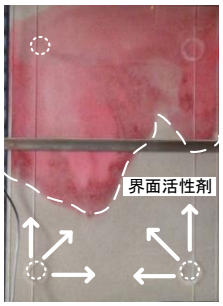


写真-2
21.5 時間後

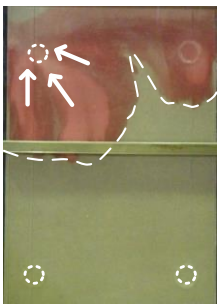


写真-3
34.5 時間後

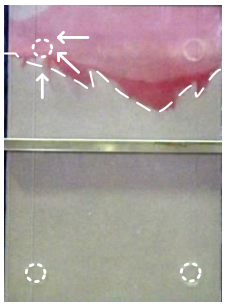


写真-4
47 時間後

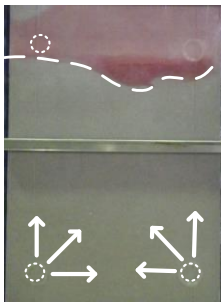


写真-5
実験終了時

写真-6
初期状態（実験 3.）

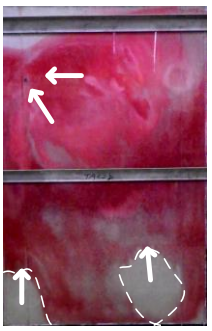


写真-7
20.5 時間後

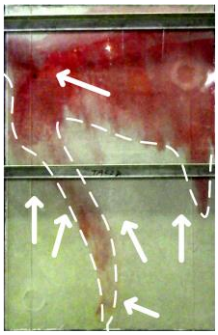


写真-8
33 時間後

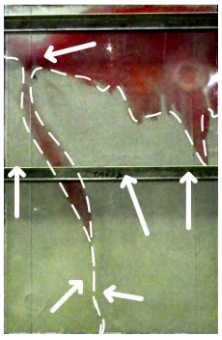


写真-9
38.5 時間後

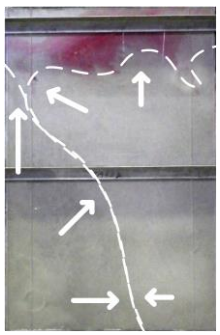


写真-10
実験終了時

3. 間隙内二液反応発泡法での浄化実験

3.1 実験方法 本研究室では重曹水溶液と酢酸が反応して二酸化炭素が発生することを利用した間隙内二液反応発泡法[1)]を用いた実験を行ってきた。本章では酢酸水溶液の代わりに酒石酸水溶液を圧入して実験を行った。2.の実験との比較のため圧入速度などは同様に実験を行った。ノズル3から重曹(5%)を添加した HLB10.5 の界面活性剤(3%)を、ノズル1から酒石酸(5%)を添加した HLB10.5 の界面活性剤(3%)を圧入した。

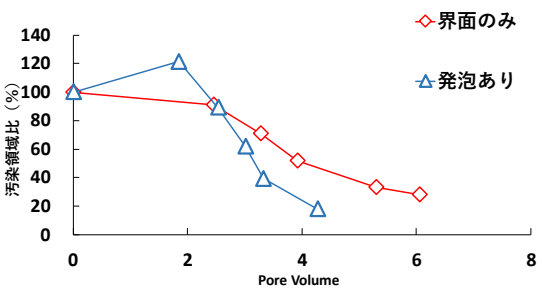


図-3 浄化の進行の比較

3.2 実験経過と結果 **写真-6** は初期状態である。**写真-7** は実験開始 20.5 時間後、**写真-8** は 33 時間後の写真である。**写真-3** と比較すると縦方向に浄化が進んでいることが分かる。発泡が起こっていると考えられる中央部に帯状に汚染油が残留していたが、その後**写真-9～10** のように浄化が進行していき、実験開始から 48 時間後に実験を終了とした。実験 2.との比較のために初期清浄土に流入した汚染油を浄化させずに実験を終了としたが、このまま実験を継続していればさらに浄化できたと考えられる。**図 - 3** は 2 つの実験の比較を行ったものである。縦軸の汚染領域比は初期状態のデジタル画像の汚染部分のピクセル数を 100%としたものである。**図 - 3** より発泡法のほうが約 2PoreVolume 少ない界面活性剤の使用体積で同等の浄化が出来ており、発泡法のほうが効率的に界面活性剤が汚染油に接触し乳化したものと考えられる。

4. まとめ

本報告より、間隙内二液反応発泡法の浄化の優位性が確認できた。今後は間隙内二液反応発泡法による地下埋設物の存在状態での油浄化、そして重金属汚染などの複合汚染の浄化も目指したい。

参考文献 1）棚橋秀行：間隙内二液反応発泡を用いた切替交互圧入による油汚染地盤浄化ムラの低減、社）地盤工学会ほか，第 20 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，pp. 301～306, 2014.