

移流拡散プログラム UTCHEM による油汚染地盤の浄化予測解析

大同工業大学 都市環境デザイン学科

○宮澤秀二

大同工業大学大学院 工学研究科建設工学専攻

鈴木雄彦

大同工業大学 都市環境デザイン学科

棚橋秀行 大東憲二

1.はじめに

近年、油による地下水・土壌の汚染が社会的な問題となっている。本研究室では、特に粘性が高い油による地盤汚染について着目し、界面活性剤を用いた原位置・非掘削浄化技術の開発を行っている¹⁾。開発した浄化技術を将来的に実地盤に適用するには、浄化プロセスを決定することが重要であり界面活性剤の飽和度や量、注水・排水の位置や期間などの最適化を予測解析に基づいて検討しなければならない。今回の報告は、その足掛かりとして、まず界面活性剤を用いない水洗浄によって、油がどのような挙動を示すのかを解析によって検討したものである。

2.研究目的

表-1 に示すように、界面活性作用を表現できる解析ソフトは限られており(化学的:4件)、その中のから、3次元多成分(水、界面活性剤、空気 etc...) および、多相(水、空気、油、マイクロエマルジョン)の移流拡散解析が可能なソフト「UTCHEM」を使用することにした²⁾。今回は、油で汚染した小型土槽モデルを想定して、土の間隙の違いによって、水洗浄における油の浄化効果にどのような影響があるかについて解析を行った。

3.水浄化による浄化効果解析

3.1 小型土槽実験の解析モデル概要

図-1 に示すように、サイズ: 92cm×75cm×13cm を 16 ブロック×12 ブロック×1 ブロックに分割し計 192 セルに分けた。座標(X,Y)=(2,11)、(15,11)、(15,4)に揚水井戸、座標(X,Z)=(8,11)、(9,11)に油注入井戸を、座標(X,Z)=(4,11)に水注入井戸となるように、それぞれ設定した小型土槽モデルを使用した。今回の解析では、汚染油をエンジンオイルとして、油注入井戸(2箇所)から1日200注入し、30日間放置後、水注入井戸より10の注入、そして、右上部揚水井戸より50の揚水をどちらも同時に計100日間行った。

3.2 解析のケースとパラメータ

モデル化した土槽に対して、Case1:豊浦砂と Case2:不均質試料がそれぞれ充填されていることを想定した2つのCaseについて解析を行った。また、表-2 に示しているのは、解析に必要な基本パラメータである。なお、基本パラメータの値は、これまでに実施したカラム試験や文献などを参考に設定した。

表-1 代表的な移流分散および多相流解析コード

プログラム名	機能										入力パラメータ									
	次元	相数	非定常	不飽和	透過係数	圧力損失	質量保存	エネルギー保存	化学反応	多相流	相対透過率	相対粘度	相対密度	相対熱伝導率	相対比熱容量	相対拡散係数	相対分子拡散係数	相対分子拡散係数	相対分子拡散係数	相対分子拡散係数
GETFLOWS-V3	3	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
TRANSFLOW (MATRAN)	2	E	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
FERM (FE3M)	3	E	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
SUTRA	2	E	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
TOUGH	3	I	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
UTCHEM	3	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
MODENSE (MODFLOW)	2	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
MODPATH (MODFLOW)	2	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
MT 3D (MODFLOW)	3	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
FERMAT	3	E	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
BIDPLANAR II	2	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
SWOCHA	3	E	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
SWIFT II	2	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
TARGET	3	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
RAND 3D	3	R	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
HST 3D	3	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

(注) D: 差分法, E: 有限要素法, I: 積分差分法, R: ランダムウォーク法

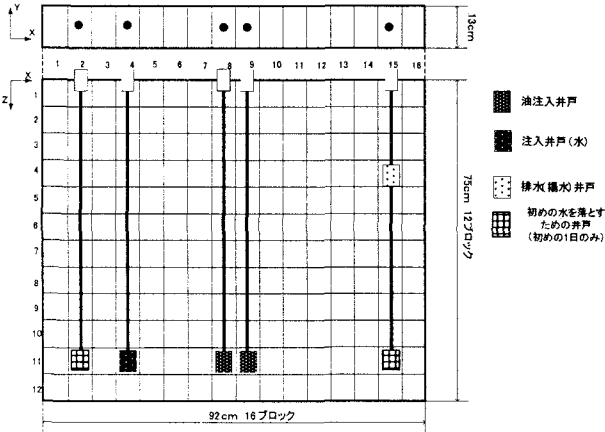


図-1 小型土槽実験解析モデル

表-2 基本解析パラメータ

間隙率	Case1(豊浦砂): $n_{1-16}=0.413$ Case2(不均質試料): $n_{1-6}=0.413, n_{7-10}=0.466, n_{11-16}=0.653$ 注1~16はX方向の要素列数
透水係数	Case1(豊浦砂): $k_x=20840\text{mD}$ $(k_x=2.084 \times 10^{-2}\text{cm/s})$ Case2(不均質試料): $k_x=20840\text{mD}$ $(k_x=2.084 \times 10^{-2}\text{cm/s})$ $k_x=28000\text{mD}$ $(k_x=2.8 \times 10^{-2}\text{cm/s})$ $k_x=34000\text{mD}$ $(k_x=3.4 \times 10^{-2}\text{cm/s})$
相対浸透率	水: $S_{rw}=0.0266, k_{rw}=0.0266, k_{no}=2.84$ 油: $S_{ro}=0.12, k_{ro}=0.12, k_{no}=2.84$
粘度	水: 1.0cp 油: 1790cp
密度	0.998g/cm ³ 0.878g/cm ³

3.3 解析結果

図2から図4において、Case1:豊浦砂とCase2:不均質試料における水洗浄による油の浄化効果を飽和度によって表している。図2は、Case1と2での油の初期状態である。同量の油を注入しているが、Case1と2では、間隙率が異なっているため油注入後の放置期間を通して油の広がりが見られた。

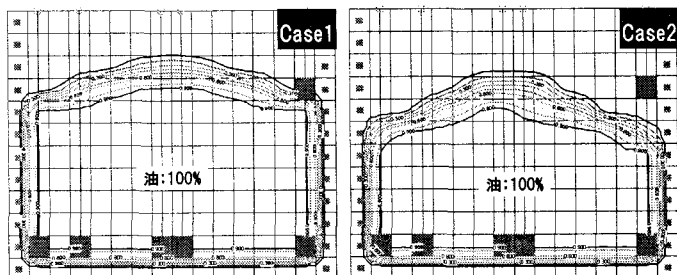


図-2 油の初期状態

図-3では、水洗浄を開始してから10日目の油状況を示している。Case1では、油飽和度90%にあたる部分はすでに浄化されているが、Case2では、まだ土中に油が残留していることが確認された。これは、これまでに行った実験での現象に類似しており、油が残留している部分は、間隙率が $n_{11-16}=0.653$ と大きいことから、水が流れることによって起こる‘水みち’が影響して、土中において浄化される部分とトラップされる部分が存在しているのではないかと考えられる。また、Case1では、水注入井戸から上方向に対して水の流れが強く働いており、Case2では、水注入井戸から斜め上方向への水の流れがあるように、それぞれ見受けられ、間隙率の違いによる水の流れ方によっても油の浄化効果に影響があるのではないかと考えられる。

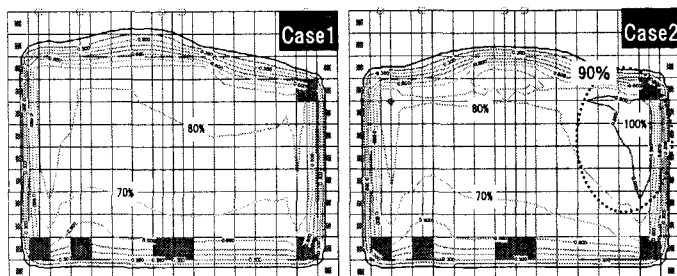


図-3 水洗浄10日目の油状況

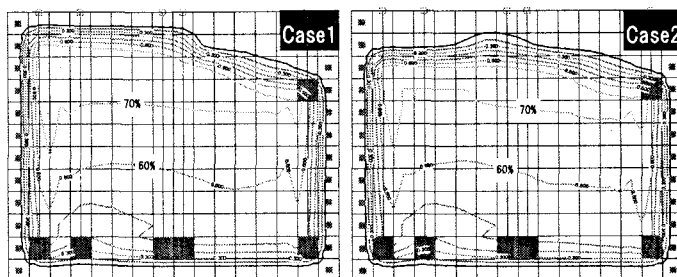


図-4 水洗浄100日目の油状況

図-4は、水洗浄100日目を示しており、どちらのCaseにおいても水洗浄による油の浄化はできておらず、どちらかという油の汚染範囲を広げてしまったように思われる。

水洗浄10日目にCase1と2の浄化効果に違いがあったことに着目して、図-5において揚水井戸付近である座標(X,Z)=(6,15)の油飽和度変化を示した。Case1と2の両方で浄化35日目までは、油の飽和度が低下しており浄化が進行していることが分かる。しかし、浄化40日目から100日目に至っては、油の飽和度が約70%から65%辺りで停滞していることがグラフから読み取ることができる。

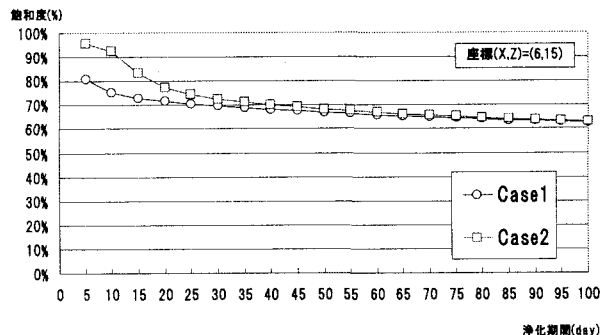


図-5 揚水井戸付近の油濃度変化

4.まとめ

解析の結果、水洗浄による油の浄化は、初期の水注入による移動と揚水による移動によって、多少の浄化効果があるように思われるが、その効果はほとんど期待できないものと考えられる。また、浄化後半での油飽和度の停滞から、今回設定した洗浄期間100日の後に、新たに浄化期間を設けたとしても水洗浄での油の完全浄化は見込めないのではないかと推測される。

今回は、水洗浄による油の浄化効果予測であったが、今後は、界面活性剤を用いた浄化効果予測を行っていく予定である。また、本研究で開発した浄化技術を用いた場合の浄化効果予測を行い、浄化プロセスの設計を最適化するのに役立てたいと考えている。

参考文献: 1) 小穴明生,他:高粘性油汚染地盤の原位置浄化プロセスの開発,平成16年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集投稿中,2005. 2) User's Guide and Technical Documentation for UTCHEM-9.0, Center for Petroleum and Geosystems Engineering, The University of Texas at Austin, Vol.1 and 2, 2000.