

フッ素系潤滑油の砂層における不飽和浸透特性

(株) 竹中土木 正会員 ○村谷 優
 (株) 竹中工務店 正会員 奥田 信康
 (株) 竹中工務店 正会員 清水 孝昭
 (株) 竹中工務店 正会員 稲葉 薫

1. はじめに

近年、油汚染土壌浄化のニーズの高まりから、土壌中における油分浸透に関する研究が数多くなされている。しかし、一部の潤滑油・熱媒体のような水より密度が高く粘度の大きい油に関する浸透特性は、ほとんど得られていないのが実状である。本研究では、フッ素系潤滑油を用い1次元砂層浸透実験を行い、その実験結果より不飽和浸透特性の同定を試みた。

2. 実験概要

実験で使用した油の物性を表1に示す。また、実験概要を図1に示す。内径5cmの円筒カラムに豊浦砂を所定の密度で充填し、高さ50cmの供試体を2本作成した。砂層条件は表2のとおりである。CASE2は動水勾配を1として給水槽高を設定した。それぞれのカラムの砂層上部に油を添加後、カラム下部バルブを開放し浸透を行った。浸透してカラム下部から滴下する水および油はメスシリンダーで受け、電子天秤で排水・排油量を計測した。油体積はメスシリンダー内で水と分離し、下部に溜まった油面を目視により読み取った。砂層上部への油添加は3~4回行い、先に添加した油の滴下がほぼ終了した段階で次段階の添加を行った。

3. 実験結果

CASE1での排油量の経時変化を図2に示す。最初に油300gを供給してから約1,500分(25時間)後にカラム下部からの排出が確認され、約12,000分(200時間)後までに約120gが排出された。2回目、3回目の油供給後は、10,000分(166時間)程度で供給した油量が滴下した。

CASE2での排水・排油量及び排油量の経時変化を図3、図4に示す。油添加後しばらくは排水・排油量20~30mL/hであったが、油がある程度土層中に浸透するに従い排水・排油量が増し、200~300mL/h程度で安定した。最初に300gの油を供給し次の油供給時にカラム内に残留した油量を確認すると、およそ212gであった。その後の油供給では供給された油量とほぼ同量が滴下が観測され、最終的な土中残留量は219gであった。

表1 油物性表

対象油	フッ素系潤滑油 (ダイキン工業製)
密度	1.86 g/cm ³
粘度 at 20°C	98.58 cP

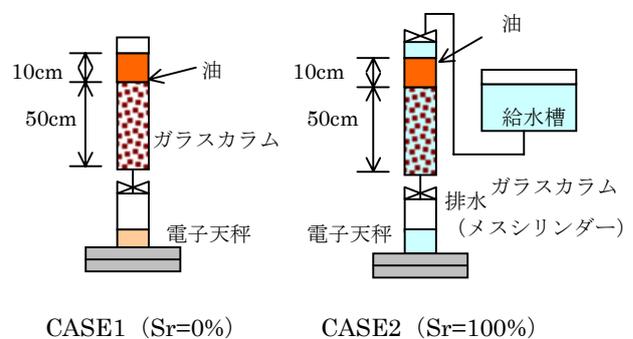


図1 実験概要

表2 カラム砂層条件

土粒子密度 ρ_s	2.651 g/cm ³
相対密度 D_r	80%
間隙率 n	41%
透水係数(絶対浸透率) k	1.91×10^{-2} cm/s
VG- α (水-空気系)※	6.2×10^{-4} cm ⁻¹
VG- n (水-空気系)※	6.5
飽和度 S_r	CASE1:0%, CASE2:100%

※van Genuchten パラメータ

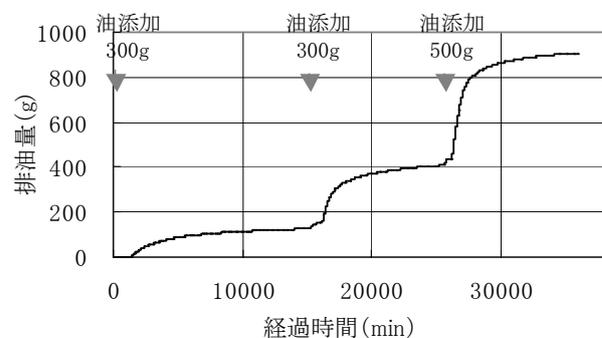


図2 排油量の経時変化 (CASE1)

キーワード: フッ素系潤滑油、浸透特性、van Genuchten モデル

連絡先: 〒270-1395 千葉県印西市大塚1-5-1 竹中技術研究所 TEL0476-47-1700

4. 2相系不飽和浸透特性の同定と考察

CASE1 (油-空気系) および CASE2 (油-水系) の累積排水・排油量の実測値を用いて不飽和浸透特性の同定を行った。2相系における不飽和浸透特性(毛管圧曲線、相対浸透率曲線)は、表3に示す van Genuchten モデル(以下 VG モデル)を用い、1次元 FDM 2相浸透流解析により同定した。境界条件はカラム上端と下端を水圧固定条件とし、実際の排水・排油量の計算値と実測値の差が最小となるような α 、 n_1 、 n_2 を同定した。

CASE1 の実験結果について、上記条件でパラメータフィッティングを行った結果、実験結果をほぼ再現でき(図5)、精度の高い不飽和浸透特性が得られたと考えられる。このときの毛管圧パラメータは $\alpha=1.0$ 、 $n_1=1.98$ 、相対浸透率パラメータは油： $n_{2o}=5.0$ となった。

CASE2 のパラメータフィッティングを行った結果を図6に示す。相対浸透率のパラメータは水： $n_{2w}=3.5$ 、油： $n_{2o}=1.85$ であり、毛管圧はゼロであった ($\alpha \gg 1, n_1 \gg 1$)。水-油 2相系流動においては、水の流動は油の残留分に阻害され、体積含水率が最大でも水の浸透率は完全水飽和時の絶対浸透率より低くなると考えられる¹⁾。しかし、VG モデルでは、有効水飽和度が 100%の時に水の相対浸透率 1 となり絶対浸透率と同じ値となる。よって2相系浸透流解析では観測された絶対浸透率と VG モデルではうまくフィッティングできないと考えられる。今回は絶対浸透率を 1.0×10^{-2} cm/s に減じた上で VG モデルを適用している。今後 VG モデルを見直し、より適切なモデルを適用することでフィッティング精度を向上できる可能性がある。

5. まとめ

本実験により、水より密度が高く粘性の大きい油について、砂層での浸透データを得ることができた。また、1次元 FDM2 相流解析により、乾燥砂における油-空気 2相系の不飽和浸透特性を同定できた。しかし、水飽和砂における油-水 2相系の不飽和浸透特性の同定ができなかった。今後、高密度で高粘性な油の不飽和浸透特性の同定にも対応したモデルの設定について検討が必要である。

参考文献

1) 石油技術協会:石油工業便覧, pp505-506, 1983.

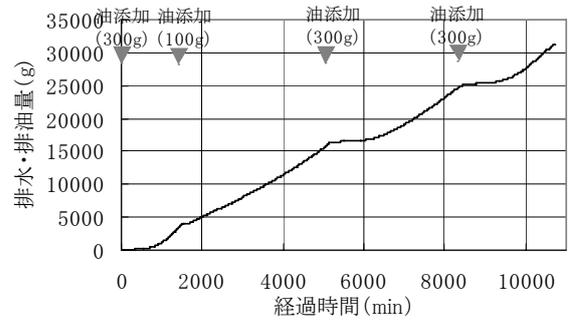


図3 排水・排油量の経時変化 (CASE2)

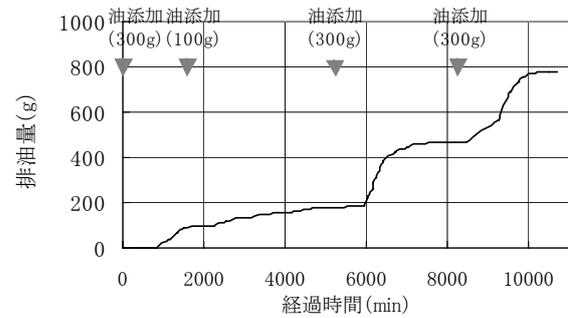


図4 排油量の経時変化 (CASE2)

表3 van Genuchten モデル

毛管圧	$P_c(S_e) = \frac{1}{\alpha} (S_e^{-1/m} - 1)^{1/n_1}$	$m = 1 - \frac{1}{n_1}$
相対浸透率	$k_{rw} = \sqrt{S_{we}} \left\{ 1 - (1 - S_w^{1/m})^m \right\}^2$	$m = 1 - \frac{1}{n_2}$
P_c : 毛管圧 S : 有効飽和度 k_{rw} : 相対浸透率 α, n_1, n_2 : VG パラメータ		

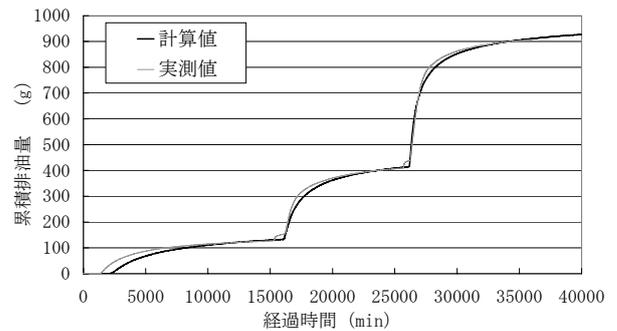


図5 累積排油量のフィッティング結果(CASE1)

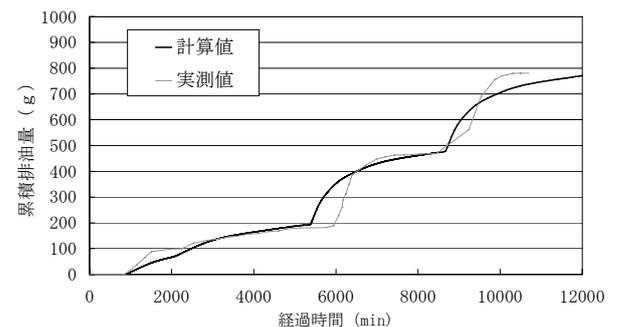


図6 累積排油量のフィッティング結果(CASE2)