

Ⅲ-A297

水分保持特性曲線と油の浸入飽和度・残留飽和度の関係について

信州大学工学部 正会員 ○棚橋秀行

1.はじめに 近年、我が国でも各地で灯油・ガソリンなどの難溶解性物質 NAPL (Non-Aqueous-Phase-Liquid 以下油と記す) による地下水汚染が問題になってきている。汚染の予測・浄化の際、土中における油の飽和度が土の特性から推定できれば大変に有用である。本研究は、土・ガラスビーズを充填した室内鉛直飽和カラムと灯油を用いて得られた浸入油飽和度 S_{oi} (Saturation of oil imbibition: 油の最大飽和度)・残留油飽和度 S_{or} (Saturation of oil residence: 油の最小飽和度) を、土・ガラスビーズの水分保持特性曲線に基づいて推定することを試みたものである。

2.油の浸入・排出実験 図-1 に示すアクリル製実験装置（試料層カラム内径 $\phi=5.0\text{cm}$ ）に、表-1 に示した試料を水による飽和状態で充填したのち、以下の2つの過程を継続して行った。

1)浸入過程 水位調節タンクによってカラム下端の水頭を固定し、カラム上端へポンプにより灯油を供給して試料層に灯油を浸入・流出させた。約 60~90 分後、流出する液体が全て灯油になったのを確認し、供給を停止した。図-1 のバルブ 1、バルブ 2 を閉じて試料カラムを装置から取り外し、全質量 M_t を測定することによりカラム内の浸入油量 V_{oi} を次式で算出した。浸入油飽和度 S_{oi} は V_{oi} と間隙率より算出した。

$$V_{oi} = (M_t - M_c - M_s - V_v \rho_w) / (\rho_{oil} - \rho_w) \quad (1)$$

ここで、 M_c : カラムのみの質量 (g), M_s : 試料土の質量 (g), V_v : カラム内の全間隙 (土試料充填後に間隙水の質量を測定して算出) (cm^3), ρ_w : 水の密度 (g/cm^3), ρ_{oil} : 灯油の密度 (g/cm^3) である。 ρ_{oil} は、ほぼ $0.775 (\text{g}/\text{cm}^3)$ であった。

2)排出過程 浸入過程とは流れを上下反対になるよう配管し、水位調節タンクによりカラム上端の水頭を固定し、カラム下端にポンプにより水を供給し試料層の灯油を排出させた。約 60~90 分後、流出する液体が全て水になったのを

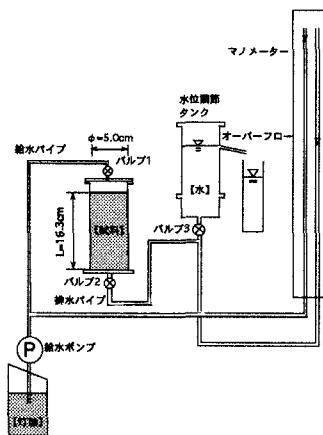


図-1 油浸入排出カラム試験装置

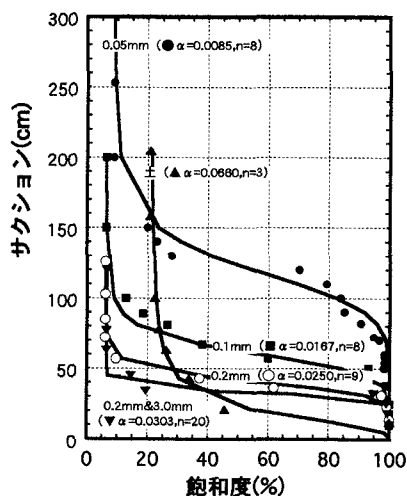


図-2 水分保持特性曲線

表-1 実験条件

実験No.	試料名	粒径(mm)	間隙率 (-)	流量 (ml/min)
EX.S-11	土	0.074~2.0	0.333	6.7
EX.S-12	土	0.074~2.0	0.333	6.7
EX.S-13	土	0.074~2.0	0.333	6.7
EX.S-14	土	0.074~2.0	0.333	6.2
EX.005-11	ガラスビーズ	0.05	0.379	1.0
EX.01-11	ガラスビーズ	0.1	0.402	3.9
EX.02-15	ガラスビーズ	0.2	0.366	7.0
EX.30-11	ガラスビーズ	3.0	0.366	10.0
EX.M04-11	混合ガラスビーズ	0.2&0.4	0.332	10.0
EX.M08-11	混合ガラスビーズ	0.2&0.8	0.280	10.0
EX.M30-12	混合ガラスビーズ	0.2&3.0	0.244	7.0

Keywords: 水分保持特性曲線, 浸入油飽和度, 残留油飽和度

連絡先: 〒380-8553 長野市若里 500 信州大学工学部社会開発工学科 Tel:026-269-5289 Fax:026-223-4480

確認し、供給を停止した。カラム内の残留油量 V_{or} も、上記の式(1)を用いて算出した。残留油飽和度 S_{or} は V_{or} と間隙率より算出した。

3.実験結果 加圧板法によって求めた土・ガラスビーズの水分保持特性曲線を図-2 に示す。図中で「土」と記されていないものはすべてガラスビーズである。図中の曲線は式(2)に示した van Genuchten¹⁾の提案したモデルによる近似曲線であり、 α と n は同モデルの定数である。

$$Se = \left\{ 1 + |ch|^n \right\}^{-1+1/n} \quad (2)$$

ここで、 Se ：有効飽和度(-)、 h ：サクション(cm)である。

土を用いた実験（図-3）をほぼ同一条件で4回行った結果から、浸入油飽和度 $S_{oi}=50.5\%$ ・残留油飽和度 $S_{or}=19.5\%$ が平均値として得られた。ガラスビーズを用いた実験から得られた浸入・残留油飽和度を図-4 に示す。混合ガラスビーズ（●，○）は、粒径 $0.2mm$ のガラスビーズが50%を占めるように配合し、残りの50%を占めるガラスビーズの粒径を横軸として整理したものである。粒径 $0.05mm$ （実験 No.EX.005-11）では、他の粒径の S_{oi} と S_{or} が60%程異なるのに対して30%程しか変わらなかった。

4.水分保持特性曲線と浸入・残留油飽和度の関係の考察

残存水飽和度 S_{wr} は土中の排出されない水分であり、 S_{wr} が大きい試料は油で排出されない水分が多く、浸入油飽和度 S_{oi} が小さくなると考えられる。水分保持特性曲線から得られた S_{wr} と、 S_{oi} の関係を図-5 に示す。同図から上述のような傾向が確認でき、この関係は近似式(3)によって良く再現できた。

$$S_{oi}=36/(S_{wr}-5)+49 \quad (3)$$

一方、定数 α は粒径の小さい試料ほど小さくなる傾向を持ち、定数 n は水分保持特性曲線の分布が広く間隙の大小の相対差が大きな試料ほど小さくなる傾向を持つ。よって、定数 α と n を乗じたものが小さい試料ほど、トラップによる残留油飽和度 S_{or} が大きくなると考えられる。水分保持特性曲線から得られた定数 α と n を乗じたものと、残留油飽和度 S_{or} の関係を図-6 に示す。同図から上述のような傾向が確認でき、この関係は近似式(4)によって良く再現できた。

$$S_{or}=48/(5\alpha n+1)-7 \quad (4)$$

これらの式は単一粒径のガラスビーズから粒径分布を持った土に至るまでの浸入・残留油飽和度を水分保持特性曲線から再現できる可能性を示すものである。今後はさらにデータの蓄積を行うとともに考察を深めていく予定である。

5.まとめ 本研究における実験・考察の結果、土・ガラスビーズへの浸入・残留油飽和度を、水分保持特性曲線に基づく近似式によって推定できる可能性を見いだした。

参考文献 1) van Genuchten, M.Th. : A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil. Sci. Soc. Am. J., 44, pp.892~898, 1980.

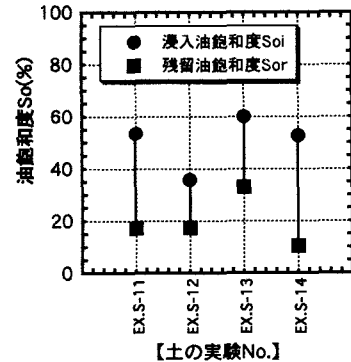


図-3 土の浸入・残留油飽和度

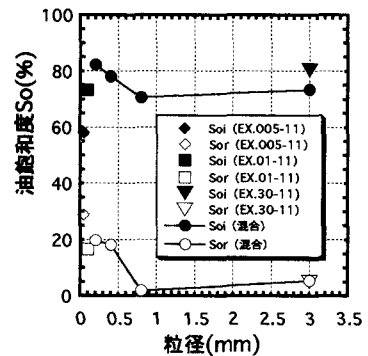


図-4 ガラスビーズの浸入・残留油飽和度

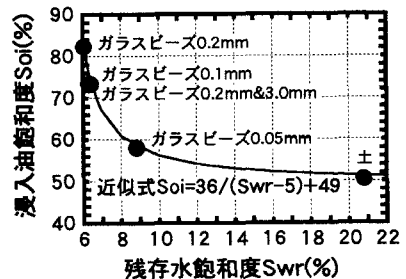


図-5 残存水飽和度と浸入油飽和度の関係

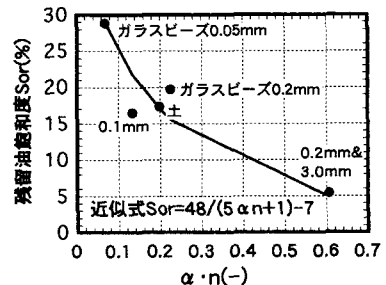


図-6 van Genuchten モデルの $\alpha \cdot n$ と 残留油飽和度