

試料粒径と灯油の浸入・残留量に関する基礎的実験

信州大学工学部 正会員 ○棚橋秀行

1.はじめに 灯油・ガソリンなどの難溶解性物質 NAPL (Non-Aqueous-Phase Liquid) による地下水汚染が各地で問題になっている。Dan W.Waddill and Jack C.Parker¹⁾は二次元土槽での揚水による油の回収実験とその解析を行っている。しかし、彼らがカラム実験で別途求めた Sog (重力排水後のこれ以上排出できない油の飽和度) と Sor (飽和帯中の油の残存飽和度の最大値) では実験を精度よく再現できず、fitting によって水分保持特性曲線のパラメータや界面張力といったものにしわ寄せをさせている。Sog の理論的説明に関しては Dengen Zhou and Martin Blunt²⁾が圧力平衡や拡がり係数などで重力排水後の水～空気～油の平衡飽和度分布を説明しているが、この考え方ではとぎれた油の存在形態は説明できないため飽和帯中のトラップ量である Sor は説明ができない。本研究では主に Sor のデータの蓄積を目的に、土・ガラスビーズを充填した室内鉛直カラムにおいて、飽和帯での灯油の浸入・残留について基礎的な実験を行ったものである。

2.実験Ⅰの方法と結果 図-1 に示すアクリル製実験装置 (試料層カラム内径 $\phi=5.0\text{cm}$ の円筒形カラム) により、土試料として土 (粒径 $0.074\text{mm}\sim 2.000\text{mm}$) と粒径が異なる 7 種類のガラスビーズを、NAPL として灯油を用いたカラム実験を行った。粒径の小さな土粒子の灯油の挙動に与える影響をみるため、粒径 0.250mm 以下を取り除いた調整土を作成し未調整土との比較も行った。水による飽和状態で土試料をカラムに充填したのち、水位調整タンクにより試料カラム下端の水頭を試料カラム下端より 20cm 下に低下させ、試料カラム上端より浸入して間隙水と置換した浸入灯油飽和度 Soi を測定した。次に上部キャップを取り外し、水位調整タンクにより試料カラム下端の水頭を試料層表面より 2.5cm 上に上昇させ、バルブ 2 より灯油を排出させた後の残留灯油飽和度 Sor を測定した。図-2 に未調整土・調整土それぞれの土について 3 回ずつ実験を行った際の Soi を示す。調整土のほうが全体的に Soi が大きいことがわかる。図-3 では、未調整土のほうが Sor が大きくなっている。図-4 に示したガラスビーズの粒径と Soi の関係は明らかな傾向にならなかった。図-5 から、粒径が小さいものほど Sor は増加する傾向が得られた。 0.2mm では灯油が目詰まりを起こしたために Sor が非常に大きな値となった。

3.実験Ⅱの方法と結果 図-6 に示すアクリル製実験装置 (試料層カラム内径 $\phi=5.0\text{cm}$ の円筒形カラム) は、ポンプを用いることにより実験Ⅰのような灯油の目詰まりを回避することができる。土試料として実験Ⅰにおける未調整土と、混合試料として粒径 0.2mm のガラスビーズが 50% で残りの 50% が粒径 0.4mm , 0.8mm , 3.0mm , そして比較のため 100% すべて粒径 0.2mm もの 4 つのガラスビーズを用いた。カラムに土試料を水による飽

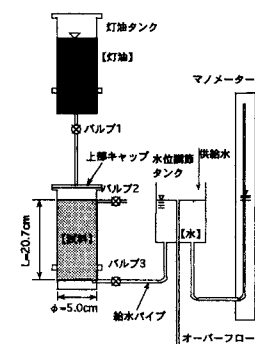


図-1 灯油浸入・残留実験装置 I

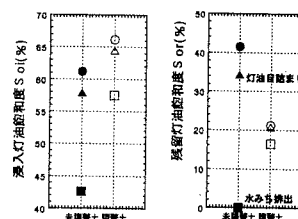


図-2 Soi 図-3 Sor

土を用いた実験結果

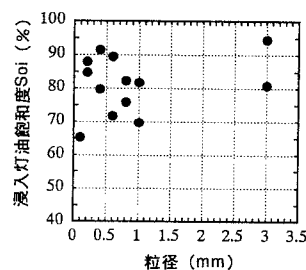


図-4 浸入灯油飽和度 Soi (ガラスビーズ)

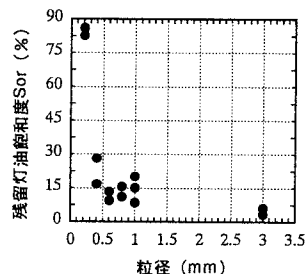


図-5 残留灯油飽和度 Sor (ガラスビーズ)

和状態で充填したのち定常流れ場を作成し、土を用いた実験では流量 $Q=6.67(\text{ml}/\text{min})$ 、ガラスビーズを用いた実験については流量 $Q=10.00(\text{ml}/\text{min})$ でカラム上端へポンプにより灯油を供給し、試料層に灯油を浸入させ S_{oi} を測定した。次に流れが上下反対になるよう配管し、カラム下端にポンプにより水を供給して試料層の灯油を排出させ、 S_{or} を測定した。図-7 に未調整土を用いた実験を3回行った際の S_{oi} と S_{or} を示す。実験Ⅰと同様に、未調整土では灯油量のばらつきが大きいことがわかる。図-8 にガラスビーズを用いた実験の S_{oi} と S_{or} を示す。図-8の横軸は、粒径0.2mmのガラスビーズが50%を占めるように配合したときに、残りの50%を占めるガラスビーズの粒径(0.4mm, 0.8mm, 3.0mm, そして比較のため100%すべて粒径0.2mm)で整理した。データのばらつきは小さく、試料の最小粒径が等しければ粒径範囲が異なっても S_{oi} と S_{or} はあまり変わらないことがわかった。

4.考察 実験Ⅰと実験Ⅱでは、実験Ⅱのほうが目詰まりを回避するために大きな流速で灯油・水を供給している。実験Ⅰと実験Ⅱの結果を比較して気がつく点として、①実験Ⅱの未調整土の S_{or} が実験Ⅰより半分程度と小さいこと、②実験Ⅰの0.2mmガラスビーズではトラップした灯油が目詰まりを起こしたために水の流速が極端に小さくなり、 S_{or} が80%近くと非常に大きな値となったのに対し、実験Ⅱでは S_{or} が20%を下回ること、など流速の大きな実験Ⅱのほうが S_{or} が小さくなることがわかった。実験Ⅰの流速は最大で実験Ⅱの1/100ほどのゆっくりしたものであったが明確に実測していないので、図-6の実験装置で新たに0.2mmのガラスビーズについて流速を変化させた実験を行ってみたところ、図-9に示すように1オーダーの変化でも明確に S_{or} は影響を受けることがわかった。また、 S_{oi} も影響を受けることがわかった。Dan W.Waddill and Jack C.Parker¹⁾の実験では、比較的大きな流速で行ったカラム試験から S_{or} が同定されているのに対し、二次元土槽での油回収実験の初期状態の作成には3日間といったゆっくりとした油の浸透を行っていたことも解析の再現性に影響していたと考えられる。

5.まとめ 土・ガラスビーズを充填した室内カラム実験において、浸入灯油飽和度 S_{oi} と残留灯油飽和度 S_{or} を調べる実験を行った。その結果、 S_{oi} と S_{or} は試料の粒径によって影響されるが、その影響の程度を支配するさらに大きな要因に流速があげられることが明らかになった。

参考文献

- 1) Dan W.Waddill and Jack C.Parker : Recovery of light, non-aqueous phase liquid from porous media: laboratory experiments and model validation, Journal of Contaminant Hydrology 27, pp.127~155, 1997.
- 2) Dengen Zhou and Martin Blunt : Effect of spreading coefficient on the distribution of light non aqueous phase liquid in the subsurface, Journal of Contaminant Hydrology 25, pp.1~9, 1997. Hydrology 25, pp.1~19, 1997.

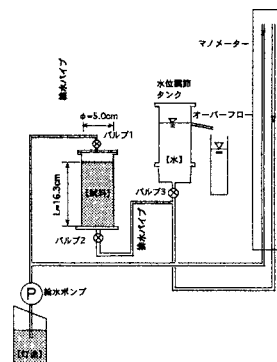


図-6 灯油浸入・残留実験装置Ⅱ

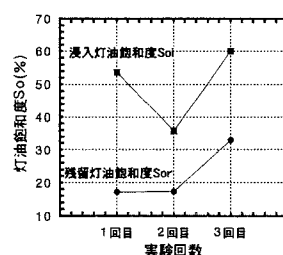


図-7 灯油浸入・残留飽和度(未調整土)

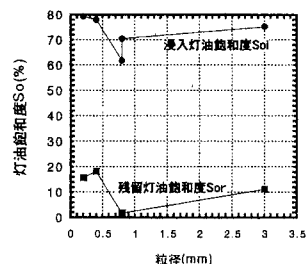


図-8 灯油浸入・残留飽和度(混合ガラスビーズ)

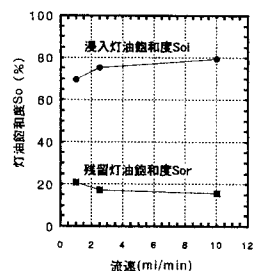


図-9 流速の影響(ガラスビーズ0.2mm)