

油層厚の影響に着目した水・油・空気 3 相系保持特性

大同工業大学都市環境デザイン学科 正会員 ○棚橋秀行
大同工業大学都市環境デザイン学科 神崎 悟史 杉浦 岳

1. はじめに 近年，産業構造の転換にともなって工場の移転や閉鎖，跡地の売却や再開発が増加している。新たな法規制により、汚染が発見された場合には浄化しないと土地が売却できなくなり，地下水汚染浄化の需要が高まってきている。効率よく浄化するためには，汚染の進行状況などの予測解析の精度向上が求められる。本研究では，この解析において重要となる水・油・空気 3 相系の保持特性に着目し，従来から定説となっている 2 つの経験式について検証するものである。
2. 経験式について 従来から定説となっている 2 つの経験式 ¹⁾ が以下の式(1)(2)である。

$$S_w^{aow}(h_{ow}) = S_w^{ow}(h_{ow}) \cdots \cdots (1)$$

$$S_t^{aow}(h_{ao}) = S_o^{ao}(h_{ao}) \cdots \cdots (2)$$

式(1)の S_w^{aow} は水・油・空気 3 相系(図・1 下図)の水分飽和度であり， S_w^{ow} は水・油 2 相系(図・1 上図)の水分飽和度である。図・1 では水頭(h_w)と油水頭(h_o)の差で定義される $h_{ow}(=h_o-h_w)$ に着目する。 $Z_{w1}=Z_{w2}$ の時 h_{ow} は同じである。つまりこの式は h_{ow} が同じならば，油面がどこにあろうとも，水分飽和度 S_w が同じことを意味している。式(2)の S_t^{aow} ($S_t=S_o+S_w$) は水・油・空気 3 相系(図・2 下図)の油分飽和度であり， S_o^{ao} は空気・油 2 相系(図・2 上図)の油分飽和度である。ここでは空気水頭(h_a)と油水頭(h_o)の差で定義される $h_{ao}(=h_a-h_o)$ に着目する。図・2 から明らかなように h_{ao} が同じ点は油面から同じ高さである ($Z_{o1}=Z_{o2}$)。式(2)では，油面を下げると油分分布が水分分布を押し潰す形になり，油分分布は変わらないことを意味している。図・1，2 下図の比較からわかるように，油面を下げたとき，式(1)では水分分布が固定され，式(2)では油分分布が固定されるという矛盾が生じる。すなわち，水面と油面が近づくと 2 つの式は同時には成り立たないのである。

本研究は，この 2 つの経験式の妥当性を実験を通して確認するものである。

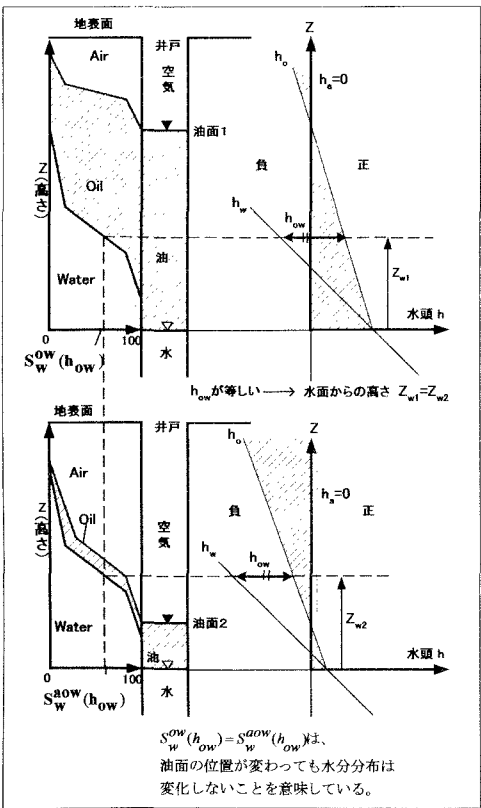


図-1.式(1)の意味

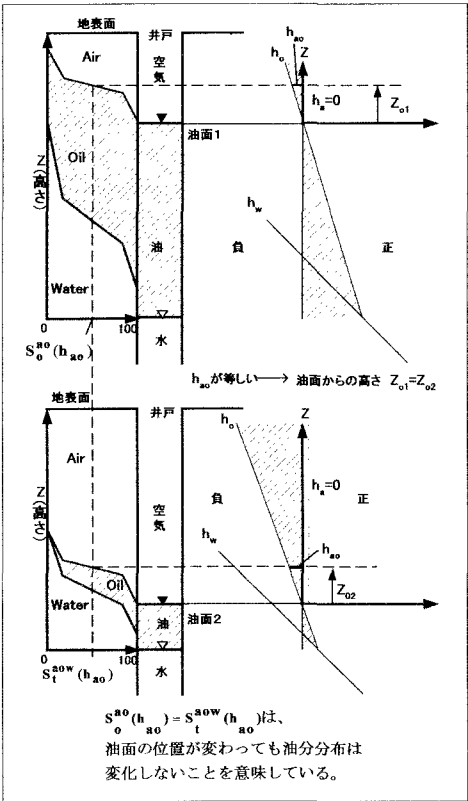


図-2. 式(2)の意味

3.実験方法と結果

3.1 実験方法 写真-1 に示した連結鉛直カラムが、土柱法による水・油・空気 3 相系保持特性試験の装置である。写真-2 は、写真-1 最下部のバルブ付きカラムである。丸穴あきアルミ板 2 枚でフィルターをはさんだものでカラム内を縦に分割し、土試料と液体部分を分けるようになっている。液体側の 8 本のバルブを使うことで、実際の地盤の井戸で地下水面に浮いている油層厚を再現できる。

この鉛直カラム（直結式）に試料土を充填密度 $\rho_d = 1.55\text{g/cm}^3$ に水分飽和で締め固め、着色した灯油 400ml を水面上にゆっくりと注入する。最下部カラム側面のバルブを開放し重力排出を開始する。2 週間後、排出された油の体積と、最下部カラムの油の層厚を測定する。連結カラムの上層部から一段ずつ解体し、1 つのカラムから二分割でサンプルを取り出し、これに含まれる水分飽和度 S_w ・油分飽和度 S_o を測定する。この際、土粒子にまとわりついて測定しきれなかった油は、サンプルの重量割合で配分し、補正を行った。

3.2 実験結果と考察 図-3 と図-5 は、ガラスビーズ 0.4mm, 0.2mm を用いて行った水分保持特性曲線（○）と油分保持特性曲線（□）を重ねたもので、変曲点の高さにして 2～3 倍ほどの差がある。これは水の表面張力が灯油の約 3 倍であることに起因している。図-4 と図-6 は水・油・空気 3 相系保持特性曲線（●と■）の結果に、（○）で図-3 と 5 の水分保持を重ねたものである。油層厚の多少にかかわらず、水分分布（○・●）がほぼ一致することから、式(1)のほうが妥当であることが確認できた。

4.結論 土柱法を用いた本研究の結果から経験式(1)の妥当性が確かめられた。本研究では S_w^{aow} 状態と水分保持についての比較であったが、 S_w^{ow} 状態についても他で行った加圧板法の結果²⁾から式(1)の妥当性を確認している。今後は(2)式の適用限界について検証していくことを考えている。

参考文献 1) R.J.Lenhard and J.Cparker:

Experimental validation of the theory of extending two-phase saturation-pressure relations to three-fluid phase systems for monotonic drainage paths, Water Resources Research, Vol.24, No.3, pp.373～380, 1988.

2) 坪山 康二・鈴木俊生・小西純一・豊田富晴・

棚橋秀行：パールクレー・疎水性セラミックを用いた水・油・空気 3 相系保持特性試験装置の開発 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.613～614, 2001.

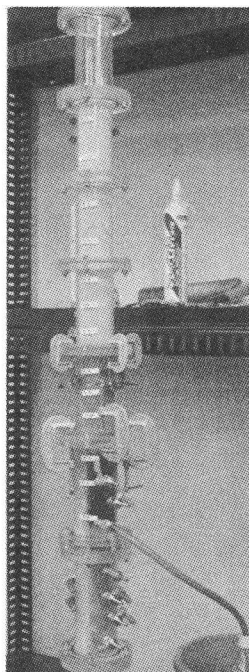


写真-1 連結鉛直カラム

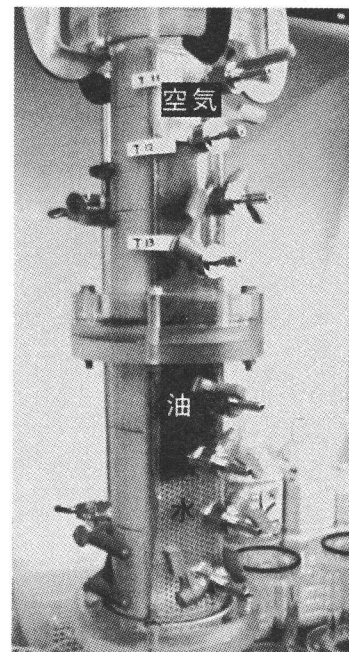


写真-2 最下部バルブ付きカラム

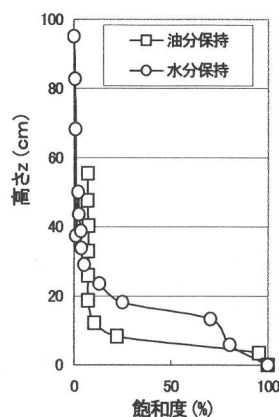


図-3. 水・油の保持特性曲線
(ガラスビーズ0.4mm)

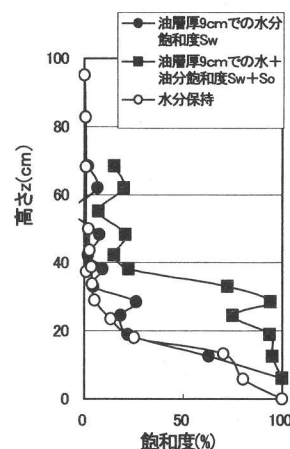


図-4. 2相・3相系保持特性曲線
(ガラスビーズ0.4mm)

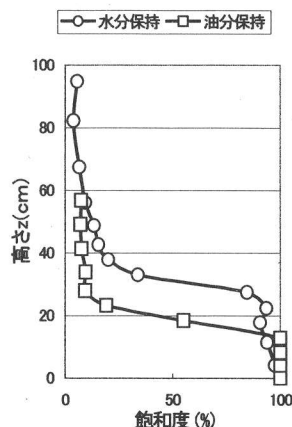


図-5. 水・油の保持特性曲線
(ガラスビーズ0.2mm)

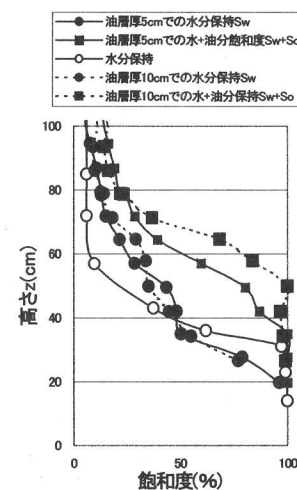


図-6. 2相・3相系保持特性曲線
(ガラスビーズ0.2mm)