

平衡土柱法による水・油・空気3相系保持特性試験装置の開発

大同工業大学都市環境デザイン学科

○山本圭三

大同工業大学都市環境デザイン学科

萩田晴久

大同工業大学都市環境デザイン学科

正会員 棚橋秀行

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。しかし、汚染が発見された場合にはこれを浄化しないと土地が売れない為、地下水汚染浄化の需要が高まってきている。効率よく浄化する為には、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。本研究は、この解析において重要となる水・油・空気の3相系の保持特性試験装置の開発を目的とするものである。

2. 実験方法 図-1 に示すのが平衡土柱法の装置である。ビュレットとカラムに水を注入し、カラム側のみ土を充填する。重力排水が終了したときのビュレットとカラムの水面はともに H_{w1} である。続けて、カラム側の土試料に油を散布するとカラムの水面は H_{w3} まで低下し、その分の水 ΔV がビュレットに移動する。これに伴いビュレット側の水面は、最終的に H_{w2} まで上昇する。実験では約1ヶ月にわたって放置するため、乾燥が生ずる。この乾燥の補正を考慮した式が(1)(2)である。式(1)(2)により最終時の土試料内の水面の位置 H^d_{w3} と、油層の厚さ H_{oil} を算出によって求めるのが、今回開発した平衡土柱法である。

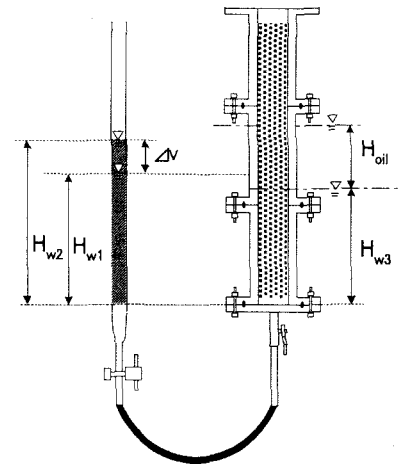


図-1 平衡土柱法装置

$$H^d_{w2} \times \gamma_w = \gamma_{oil} \times H_{oil} + \gamma_w \times H^d_{w3} \quad (1)$$

$$\Delta V = \{H_{w1} - (H^d + H^d_{w3})\} \times S \times n \quad (2)$$

ここで γ_w : 水の密度、 γ_{oil} : 油の密度である。式(2)のももとの意味は、図-1 において $H_{w1} - H_{w3}$ の水面の高さの差にカラムの面積 S と空隙率 n をかけたのが ΔV になるというものであった。しかし、実験では水面 H_{w3} より乾燥によって H^d だけ下がった H^d_{w3} になる。よって、 H_{w3} に $H^d + H^d_{w3}$ を代入したものが式(2)である。一方、 ΔV も同様に乾燥によって影響されるために補正が必要となる。

図-2 と図-3 は実際の実験におけるビュレット内の H_{w2} の時間的変化と ΔV の時間的変化である。図-2 において直接測っているのは H_{w2} であるが、ピーク以降の減少のスピードから、実験開始から終了時までの蒸発高さ H^d が推測される。同様に、排出水体積についての図-3 よりピーク以降の減少のスピードから、ピーク時までの蒸発体積が推測されるのでピーク時の体積 ΔV を求めることができる。このように H^d 、 ΔV が既知となれば式(2)より未知数の H^d_{w3} が求められ、その数値を式(1)に代入すると油層の厚さ H_{oil} が求められる。

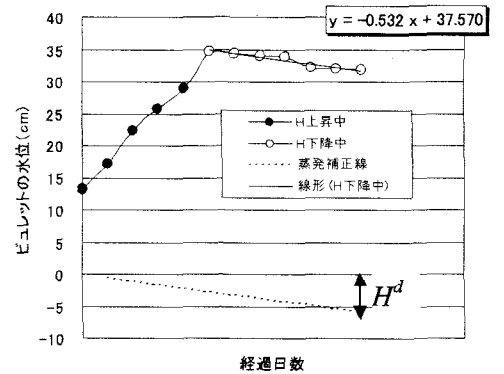


図-2 ビュレット内の水位の時間的変化

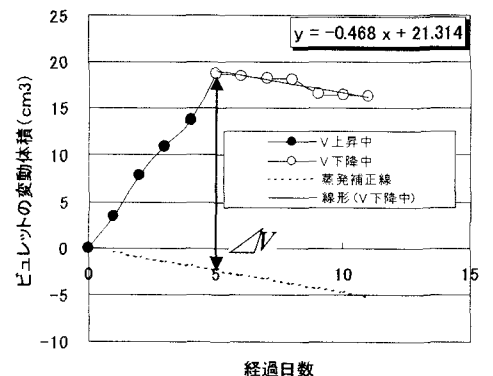


図-3 ビュレット内の体積の時間的変化

次に、カラムの分解を行い水分・油分飽和度を計測する。そのためにエマルジョンブレイクを行う。エマルジョンブレイクとは、土粒子に付着した油を界面活性剤で洗浄した際に生成される乳化液を水分・油分に分離する操作である。乳化液をメスシリンダーへ移し NaCl を入れて攪拌し、煮沸する。それによりメスシリンダー内の乳化液が油相と水相に分かれるが、この油相には界面活性剤が混ざった状態になるので、さらにエタノールを入れ煮沸する。しばらくすると油相から界面活性剤が水相に移動する。これにより、油のみが抽出されるので、その量を測定する。その他、水分質量などを求めて保持特性を得る。

3. 結果 水分保持特性試験では豊浦砂 6570.5g を内径 6cm、充填高さ 150cm のカラムに乾燥密度 $\rho_d = 1.55 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ となるように水じめ充填をした。重力排水後 9 個に分解し、土試料の重量 M' を各サンプルごとに測り、乾燥炉に入れた。その後 M_s を測り、 M' と M_s の質量差から水の質量を求めた。その結果より飽和度をプロットしたものが図-4 の水分保持特性曲線である。

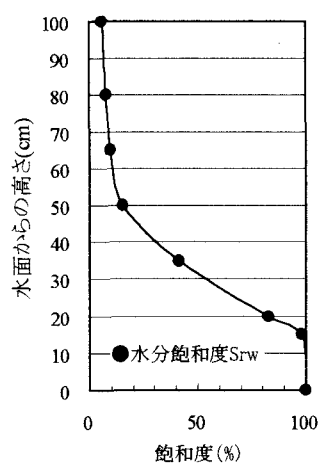


図-4 水分保持特性曲線

油分保持特性試験では、豊浦砂 2847.2g を内径 6cm、充填高さ 65cm のカラムに乾燥密度 $\rho_d = 1.55 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ となるようにエンジン油とともに充填した。油を重力排水した後、9 個に分解し、サンプルをエマルジョンブレイクして各サンプル中の油の体積を測定した。その数値をまとめたものが図-5 の油分保持特性曲線である。図-5 を見ると、油面より下においても油の飽和度が 100% となっておらず、また実際には油が存在していたはずの上方においても飽和度がほとんど 0% となっている。これは油分体積の測定に問題があったためと考えられる。点線で示したようなになれば理想的であると思われるが、再実験は今後に行うとして、次に行う本研究のメインである三相系実験での精度を向上させることにした。

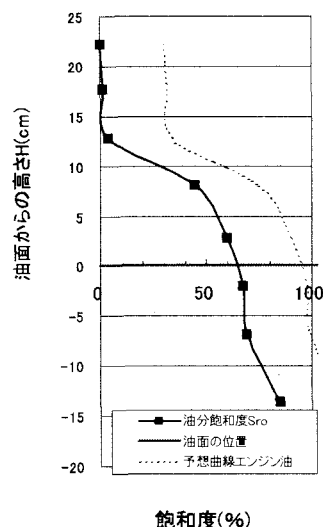


図-5 油分保持特性曲線

三相保持特性試験でも、豊浦砂 2847.2g を内径 6cm、充填高さ 65cm のカラムに乾燥密度 $\rho_d = 1.55 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ となるように充填した。重力排水後の H_{w1} の高さは 13.3cm であった。そこにエンジン油 100ml を散布し放置した期間中のビュレットの水位とビュレットの変動体積の様子を記録したものが先ほどの図-2 および図-3 である。図-2 における H_{w2} の蒸発補正線の傾きが -0.532 となり H^d は 5.9cm と求められた。図-3 における ΔV の蒸発補正線の傾きが -0.468 となり ΔV は 21.1ml となった。これらを式(1)(2)に代入しカラム分解時の油層厚 H_{oil} 29.5cm を求めた。その後、カラム底辺から上部にかけ明らかに油の浸透していない 15cm より上部の部分について 7 個に分解した。その結果を図-6 に示す。図-6 の水分飽和度と水+油分飽和度の間が油分飽和度である。油面付近ではまだ水分上昇の影響を受けているためか、油が存在していないことがわかる。この実験結果は、単体で見ると特に問題はないものであるが、今後は実験ケースを増やして再現性を高めてゆきたいと考えている。

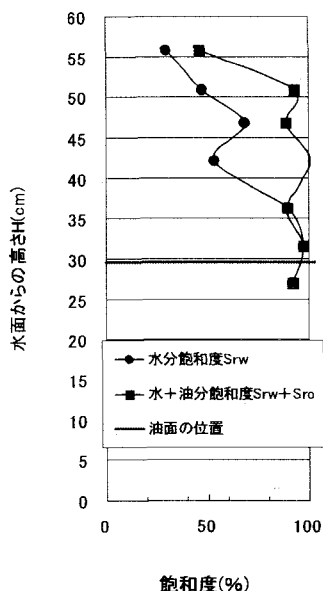


図-6 三相保持特性曲線

4. まとめ 本研究の結果、平衡土柱法の実験装置と式を開発することができた。今後は特に油分飽和度の測定精度に着目しつつ実験ケースを増やして再現性を高めてゆきたいと考えている。なお、この研究は平成 16 年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))より行われた。