

平衡土柱法に基づく水・油・空気3相系保持特性試験装置の開発

大同工業大学 学生会員 山本圭三
 大同工業大学 正会員 棚橋秀行
 岐阜大学 正会員 佐藤 健

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ため、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。従来、3相系保持特性を測定するには複雑な装置が必要であった。そのため、水・空気2相系の結果から3相系の曲線を推定する方法が提案されている¹⁾。しかしこれまでの著者らの研究より、その方法には適用限界がある可能性が高まったため、3相系保持特性を簡便に直接測定できる装置の開発が重要であると考えた。

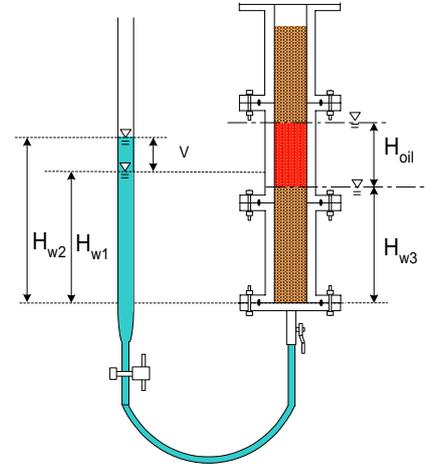


図-1 平衡土柱法装置

2. 3相系保持特性実験装置の開発

2.1 平衡土柱法 水・油・空気の3相系保持特性を図-1に示す平衡土柱法の装置により求める方法を考案した。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 V 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、乾燥が生じ、若干低下した水位 H_{w2}^d になる。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_{w3}^d 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。

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

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

ここで γ_w : 水の密度、 γ_{oil} : 油の密度である。式(2)のもともとの意味は、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 V 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_{w3}^d になる。よって、 H_{w3} に $H^d + H_{w3}^d$ を代入したものが式(2)である。一方、

V 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 V 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、排出水体积についての図-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 V を求めるこ

キーワード 水・油・空気3相系、保持特性試験

連絡先: 〒457-8532 愛知県名古屋市南区白水町40 大同工業大学 棚橋秀行

TEL 052-612-5571 FAX 052-612-5953 E-mail tanahasi@daido-it.ac.jp

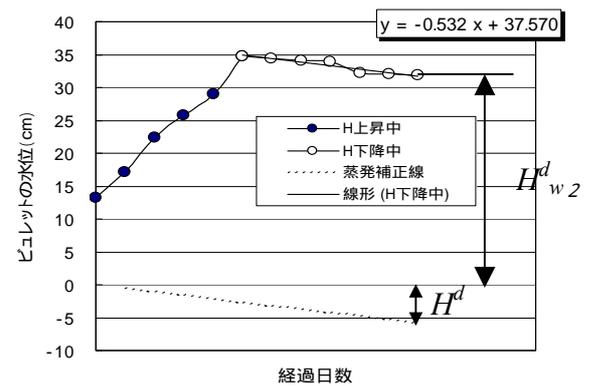


図-2 ビュレット内の水位の時間的変化

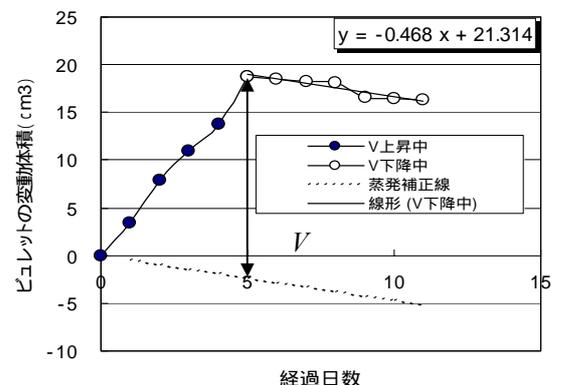


図-3 ビュレット内の体積の時間的変化

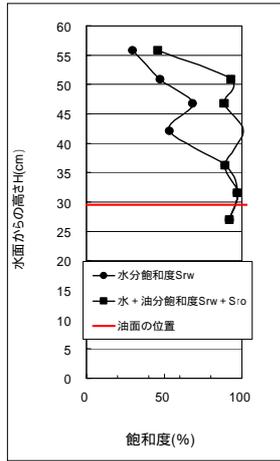


図-4

エンジンオイルの
3相保持特性試験結果-1

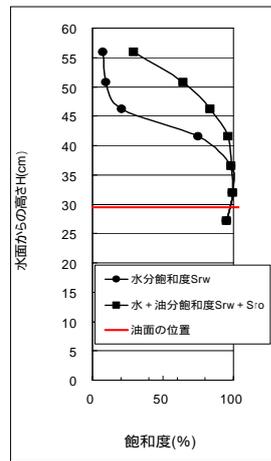


図-5

エンジンオイルの
3相保持特性試験結果-2

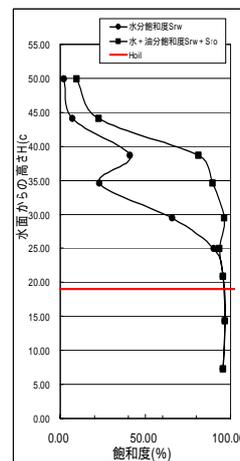


図-6

灯油の3相保持特性
試験結果-1

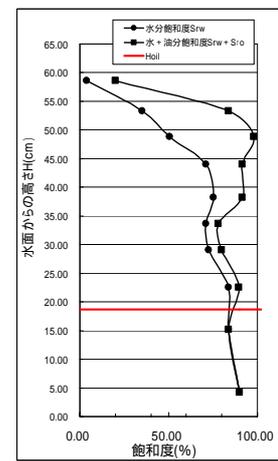


図-7

灯油の3相保持特性
試験結果-2

とができる。このように H^d 、 V が既知となれば式(2)より未知数の H_{w3}^d 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。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。

2.2 実験結果 3相保持特性試験では、豊浦砂 2847.2g を内径 6cm、充填高さ 65cm のカラムに乾燥密度 $\rho_d=1.55(g/cm^3)$ となるように水締め充填した。重力排水による水面の安定後の高さ H_{w1} は 13.3cm であった。そこにエンジンオイル 100ml を散布し、放置した計測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 $-0.532 (cm/day)$ となり H^d は 5.9cm と求められた。図-3 における V の蒸発補正線の傾きが $-0.468 (cm^3/day)$ となり V 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-4 に示す。図-4 の水分飽和度と水+油分飽和度の間が油分飽和度である。同条件で行った実験結果を図-5 に示す。灯油 100ml を散布した実験結果が図-6、図-7 である。エンジンオイル・灯油相互の結果を比較したところ、油の分布パターンはそれなりに似ているが、水分飽和度の上昇高さが一致しておらず、この点で再現性に若干の問題が残る結果となった。

3. まとめと今後の展望

本研究は水・油・空気の3相系保持特性を、簡便に測定できる装置を開発することを目的に行われたもので、平衡土柱法に基づく実験装置と式を開発することができた。同一条件の2つの実験で分布が異なっていた再現性の問題については、実験装置のサイズを大きくして検討することにした。現在、写真-1 に示した小型2次元土槽での実験を行っている。高さ 85cm、幅 69cm、奥行き 13cm の小型2次元土槽に充填高さ 65cm、幅 50cm、奥行き 13cm で、豊浦砂 65kg を水締め充填し、現在、重力排水後のビュレット水位の安定を行っている状況である。今後はこの実験結果から、3相保持特性の2次元的分布がどの程度ばらつくのかを把握したいと考えている。

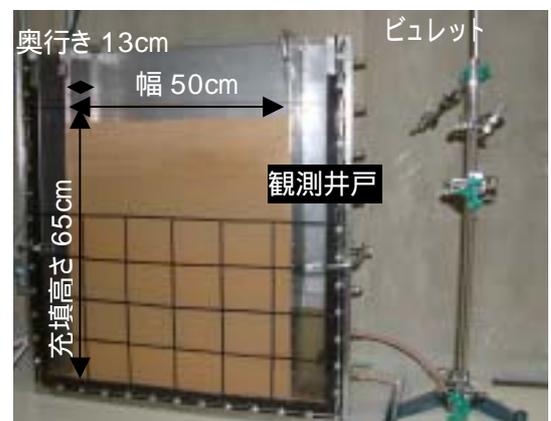


写真-1 平衡土柱法小型2次元土槽実験状況

参考文献 1) Lenhard, R.J. and Parker, J.C. :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.