

## 不飽和地盤における LNAPL の湿潤特性の評価に関する基礎的研究

熊本大学工学部 学生会員 ○杉村賢一 熊本大学大学院 正会員 椋木俊文  
 熊本大学大学院 学生会員 植田貴俊 熊本大学 正会員 松本英敏

### 1. はじめに

近年、油による地盤汚染が各地で問題となっており、ガソリンや灯油による汚染例も報告されている<sup>1)</sup>。油のような非水溶性の流体は NAPL(Non-Aqueous Phase Liquid)と呼ばれ、その中で水よりも低密度なガソリンや灯油は LNAPL(Light NAPL)として分類される。浄化作業を効率的に行うためには地中における LNAPL の挙動を把握しておくことが重要である。不飽和地盤における LNAPL 移動の駆動力のひとつに毛管力がある。毛管力の大きさは粒度特性などの土の物性に依存し、また液体の飽和度とも常に影響しあう。水-LNAPL-空気の三相系多相流において、Lenhard and Parker<sup>2)</sup>は三相系における毛管圧力と飽和度の関係を水-LNAPL および LNAPL-空気の2つの流体の組み合わせを基に記述している。しかしながら、LNAPL は地盤内の水飽和度の分布の影響を受けて非常に複雑な挙動を示すため、その3次元的な挙動は研究段階にあるといえる。

そこで本研究では、LNAPL の毛管圧力と飽和度の関係に対する粒度特性と水飽和度の影響を評価を行い、複雑な多相流の特徴を明らかにすることを目的とした。

### 2. 実験概要

図1に実験装置の構造を示す。実験ケースについては表1のとおりである。間隙率を0.42に調整して供試体を作製し、底部に対してマリオット管を用いて定水位で水または LNAPL を供給し、毛管力のみで湿潤を行わせた。LNAPL としてアクアソルベント G を使用しており、その主な物性は表2に示す。

LNAPL の毛管圧力の測定するために、親水性テンシオメータの改良を行った。Oリングとパッキンを耐油性のバイトン素材のものに交換し、内部の水をアクアソルベント G に置換してやることで、LNAPL の毛管圧力を測定できる疎水性のテンシオメータを作製した。LNAPL の飽和度に関しては、質量計で測定した LNAPL の湿潤質量を飽和度に換算する方法をとった。実験に使用した砂の粒度加積曲線を図2、粒度構成パラメータを表3に示す。

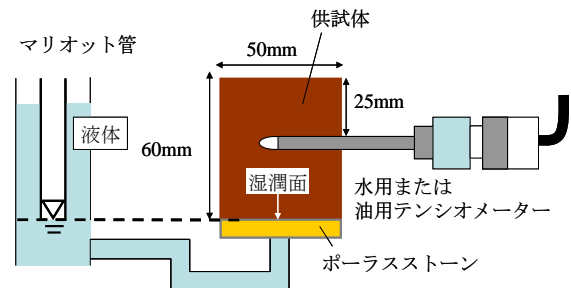


図1 実験装置の構造

表1 実験ケース

	間隙率	供試体の初期水飽和度 Sw(%)			
		水湿潤	LNAPL 湿潤		
珪砂 8 号	0.42	0	0	30	50
珪砂 5 号					
山砂					

表2 アクアソルベント G の物性(15°C)

主成分	イソパラフィン
表面張力(mN/m)	21.93
粘性(mPa・s)	1.54
密度(t/m <sup>3</sup> )	0.750

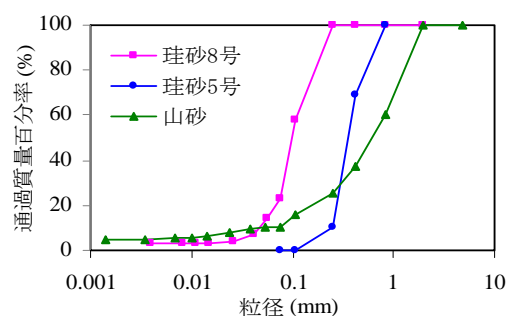


図2 粒径加積曲線

表3 粒度構成パラメーター

	平均粒径 D <sub>50</sub>	均等係数 U <sub>c</sub>	曲率係数 U <sub>c'</sub>
珪砂 8 号	0.10	2.35	1.52
珪砂 5 号	0.40	1.64	1.41
山砂	0.68	17.4	2.07

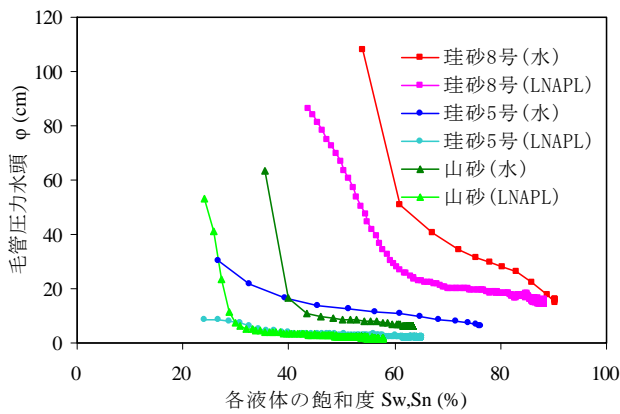


図3 乾燥状態における吸水・吸油特性

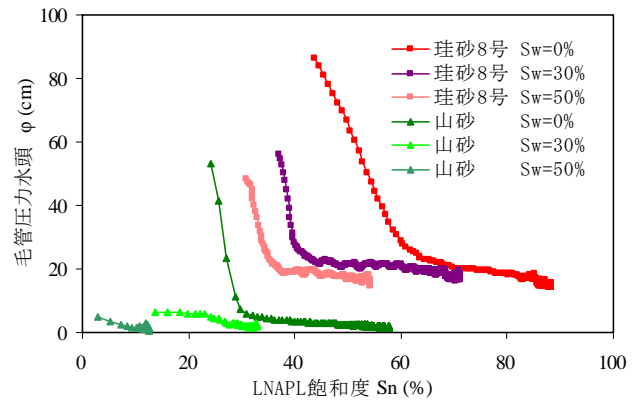


図4 異なる初期水飽和度における吸油特性

### 3. 実験結果と考察

図3は初期に乾燥している  $S_w=0\%$  の供試体条件での水と LNAPL の、それぞれの砂に対する湿潤の挙動を示したものである。三種類の全ての砂に共通して言えることは、水の方が LNAPL より高い毛管圧力を発揮しているということである。

まず、各砂ごとでの水と LNAPL の湿潤挙動の違いについて述べる。土の湿潤性を表す指標に比水分容量があるが、これは単位水頭変化あたりの飽和度の変化で表現される。つまりこれは上図の曲線の各部分の勾配を表している。比水分容量に着目すると、図3より各砂において水よりも LNAPL を湿潤させたときの方が勾配が大きくなる傾向があることがわかる。つまり、湿潤過程で毛管圧力が消費されていると考えるときに、同じ消費量でも水よりも LNAPL の方が飽和度が上昇するということを意味している。

次に、砂同士での液体の湿潤挙動を比較することで粒度特性の影響を考察する。水、LNAPL とともに最大の毛管圧力を示すのは平均粒径が最も小さい珪砂8号であった。しかし、平均粒径の一番大きい山砂は珪砂5号よりも高い毛管圧力を示している。これは山砂の均等係数が珪砂5号の均等係数に比べて遥かに大きいことに起因していると考えられる。つまり、毛管力は粒平均粒径と均等係数双方から影響を受ける。またその挙動の特徴が湿潤させる液体の違いにより変化することはないといえる。

図4は、初期に水飽和度をもっている供試体に LNAPL が湿潤していく挙動と、乾燥している供試体に LNAPL が湿潤していく挙動を比較したものである。珪砂8号と山砂を、 $S_w=0\%$ 、 $S_w=30\%$ 、 $S_w=50\%$  の供試体初期水飽和度で比較した。

まず、珪砂8号と山砂に共通して言えることは、供試体の初期水飽和度が上昇するにつれて毛管圧力の低下することである。珪砂8号と山砂の毛管圧力の大小関係においても3.1のケースと一致している。よって LNAPL の湿潤において、水飽和度であろうと粒度特性からの影響は大きく支配的なままである。また、初期条件で水飽和度が上昇していくと共にして、湿潤が定常となるときの LNAPL 飽和度は低下していく。

比水分容量については、珪砂8号は水飽和度の変化を受けても傾向がみられるような変化がないことを確認することができる。図4に示すように、山砂に関しては初期に水飽和度を与えると毛管圧力が大幅に低下するので、比較が難しい。

### 4. おわりに

本研究では、LNAPL の毛管圧力と飽和度の関係に対する粒度特性と水飽和度の影響を評価した。水よりも LNAPL の方が大きな比水分容量を持ち、それと同時に粒度特性の影響がどのような実験ケースにおいても支配的であることが明らかになった。また供試体内の水飽和度が増加が、LNAPL の毛管圧力との低下と対応していることが確認できた。

### 参考文献

- 1)根岸基治：土壤・地下水の油汚染に対する調査方法，基礎工，No11，pp.035-038，2009
- 2)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 liquid drainage, *Water Resour. Res.*, Vol.24, No24, No3, pp.373-380,1988.