

X線CTを用いた粒度特性が異なる二層地盤の境界におけるLNAPL浸透の可視化

熊本大学 工学部 学生会員 ○西原啓文
熊本大学 大学院 学生会員 塚本直己
熊本大学 大学院 正会員 椋木俊文

1. はじめに

LNAPL (Light Non Aqueous Phase Liquid) が地盤に漏出した場合、重力により地盤内を鉛直方向に、地盤が持つ毛管力によって水平方向に浸透する¹⁾。地盤の粒度特性や飽和度などの違いにより、その浸透挙動が異なるため、特複数層の地盤内に LNAPL が浸透する現象の評価は難しい。著者らは、X 線 CT 法を用いて、豊浦砂を用いた LNAPL の浸透模型実験を実施し、その模型地盤の画像を解析する研究を継続している²⁾。本研究の目的は、粒度特性が異なる地盤材料を用いた二層地盤における LNAPL 浸透現象を評価することである。本概要では、粒度特性の違いに着目した LNAPL 浸透模型実験を実施し、X 線 CT³⁾を用いて上層と下層の境界で生じた LNAPL 分布の結果を報告する。

2. 実験概要

図-1 は実験に使用した実験装置の概要図である。実験では、高さ 30cm、直径 20cm の円筒型の透明アクリル製の容器を用いた。土槽底部から高さ 15cm の範囲に帯水層として珪砂 3 号の層を作製した。土槽上部から高さ 0～5cm の範囲を上層、土槽上部から高さ 5～15cm の範囲を下層とし、表-1 に示すように粒度特性が異なる地盤材料の層を作製した。特に Case3 では、山砂の細粒分（粒径 $75\mu\text{m}$ 以下）を取り除き、粒度分布を意図的に変えて均等係数の違いによる比較を行った。図-2 は粒度分布である。Case4 では供試体底部のバルブから水を帯水層の上部（深さ 15cm）まで注入して、その後は山砂の毛管力で上部 5cm まで湿潤させた。この 4 ケースの供試体にマリオット管を用いて LNAPL100ml 注入を行い、CT 撮影を行った。撮影は X 線照射厚を 1mm として、原則地表面より 5mm 間隔で、また今回着目している境界付近については、2mm 間隔で行った。今回使用した液体の物性は表-2 に示すとおりである。X 線 CT 撮影によって得られた CT 値は物質の密度と比例するため、CT 値と湿潤密度の相関を取ること地盤内の飽和度分布を求めることが可能である。図-3 は CT 値と LNAPL 飽和度の相関を示している。

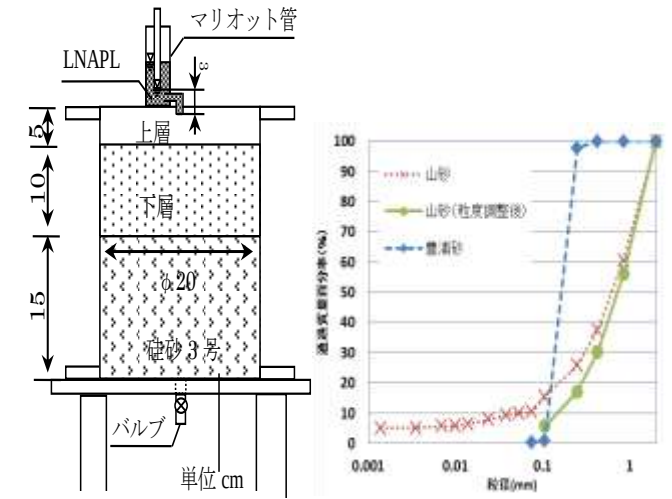


図-1 実験概要図

図-2 粒度分布

表-1 実験ケース

	地盤材料 (上層)	地盤材料 (下層)	均等係数 (上層)	均等係数 (下層)
Case1	豊浦砂	山砂	1.29	11.33
Case2	山砂	豊浦砂	11.33	1.29
Case3	豊浦砂	山砂	1.29	6.8
Case4	山砂(乾燥)	山砂(湿潤)	11.33	11.33

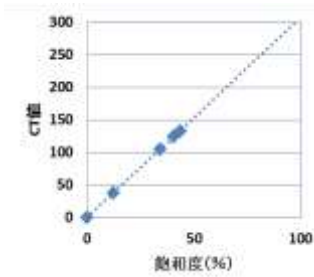


図-3 飽和度と CT 値の関係

表 - 2 液体の物性 (15℃)

	LNAPL	水
密度 ρ (t/m^3)	0.750	0.999
粘性係数 μ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	1.40	1.138

3. LNAPL 浸透可視化実験の結果

図-4(a)-(d)は、各ケースにおける LNAPL 注入後の水平断面の CT 画像であり、各深さ(供試体上部から深さ 3cm と境界付近の深さ 5cm、5.2cm、そして LNAPL が浸透してない深さ)の LNAPL 飽和度分布を示している。また、図-5(a)-(d)は境界付近を含む鉛直断面 CT 画像であり、それぞれ Case1 と Case3 は深さ 3cm～7cm、Case2 は深さ 3cm～6cm を示し、Case4 は深さ 2cm～8cm の位置に相当する画像である。図-4(a)-(d)および図-5(a)-(d)の画像を

観察すると、境界付近の上下の深さにおいて浸透量が異なっていることがわかる。この画像の飽和度と浸透領域を定量的に評価する。そのために図-4(a)・(d)の全画像を対象に図-3 を用いて CT 値を飽和度に換算した。また、浸透領域はほぼ同心円状に拡大しているため、今回はそれを直径で表した。結果は表-3 に示している。表-3 の結果を見ると、4 ケースとも境界部分の浸透は毛管圧力が関係していると考えられる。

4.水分特性曲線を用いた評価

図-6 は豊浦砂および山砂の水分特性曲線であり、豊浦砂よりも細粒分含有率が高い山砂の毛管圧力が大きいことがわかる。表-3 で示した結果について考察すると、Case1 と Case2 では、模型地盤の境界でそれぞれの地盤が発揮する毛管圧力の差が大きいため、Case1 の下層、また Case2 の上層の飽和度および浸透領域の面積の差が大きくなった。一方 Case3 は、Case1 や Case2 と比較して境界における毛管圧力の差が小さいため、飽和度の差が小さくなったと考えられる。また、下層が湿潤条件である Case4 では境界部分で鉛直方向の LNAPL 浸透が妨げられ、外側に LNAPL が広がったと考えられる。

5.まとめ

本実験で、特に境界でのそれぞれの地盤材料が発揮する毛管圧力差の大小が、LNAPL の浸透挙動に影響与えることが分かった。

参考文献

- 1) 西垣誠,菅野雄一：地盤への油の浸透に関する基礎的研究, 土木学会論文集 C, Vol.63,NO.1,249 ,2007.
- 2) T.Mukunoki, T.Komaru ,N.Tsukamoto and Y.Obara, “Visualization of Residual LNAPL in the Sandy Soil due to Change of Water Table using X-ray CT Scanner”, Proc. of International Joint Symposium on Urban Geotechnics for Sustainability – JS-Seoul 2012, pp.202-205, 2012.
- 3)大谷順：X 線 CT 法,土と基礎,vol.54, No.4, pp32 - 33, 2006.

表-3 浸透実験の結果

	飽和度 (上層)	飽和度 (下層)	浸透領域 (上層)	浸透領域 (下層)
Case1	8%	20%	11cm	14cm
Case2	34%	1%	13cm	
Case3	15%	20%	12～14cm	18cm
Case4	35%	7%	18cm	外側だけ浸透

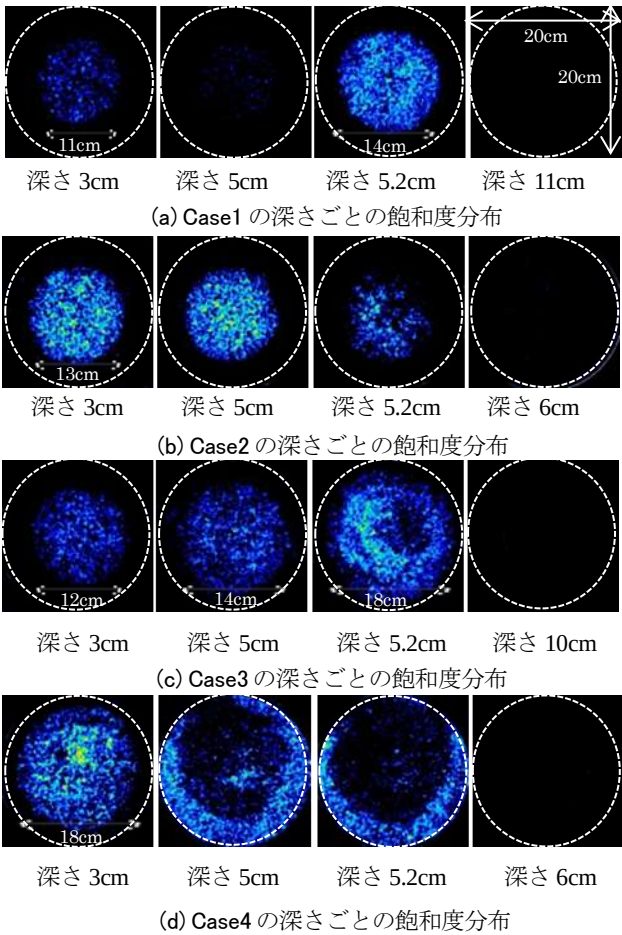


図-4 各ケースの LNAPL 飽和度分布（水平断面）

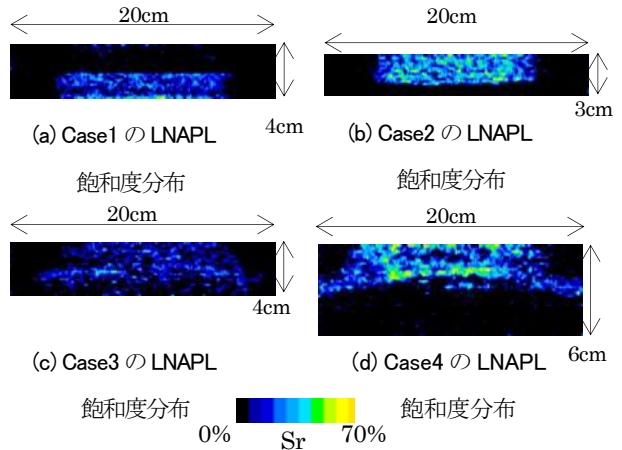


図-5 各ケースの LNAPL 飽和度分布（鉛直断面）

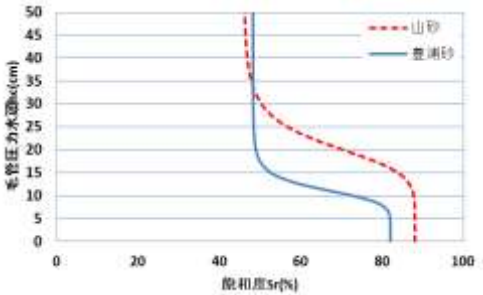


図-6 水分特性曲線