X線CTを用いた地下水上昇によるLNAPL 挙動の可視化実験

熊本大学 工学部社会環境工学科 学生会員 塚本直己

熊本大学院 正会員 椋木俊文

熊本大学院 学生会員 小丸泰平

1. はじめに

ガソリン等の石油・石炭系の化合物は水に溶けにくく、 水よりも密度が低いことから難水溶性液体 LNAPL(Light Non Aqueous Phase Liquid)と呼ばれている。LNAPL は土 壌に漏出すると、重力により不飽和帯を鉛直方向に浸透 していく。それと同時に地盤の非均質性や毛管力により 水平方向へも拡がる。LNAPL は水よりも密度が小さいた め地下水面上では鉛直方向への浸透を阻害され、主に水 平方向へと拡がっていく¹⁾。この LNAPL が高濃度で地盤 内に存在した場合、地下水に徐々に溶け出していき、長 期の土壌汚染を引き起こす可能性があり、適切に LNAPL の挙動を把握し浄化対策を行わなければならない。今回 の実験では地下水位の上昇が LNAPL の挙動にどのよう な影響を与えるのかX線 CT²⁾を用いて三次元での模型実 験を行った。

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 験に用いた土槽は高さ 30cm, 直径 20cm の円筒型の透明 アクリル製である。土槽の底部にはバルブが取り付けら れており、ここから水の供給を行うことができる。模型 地盤作製の際、土槽底部から高さ 1.5cm の範囲で帯水槽 として硅砂 3 号の層を作製し, 硅砂 3 号の層の上部の高 さ 28.5cm の範囲に実験で用いた豊浦砂の層を作製した。

今回の実験では地下水上昇による影響を評価するため 表 - 1 に示すとおり 2 つの実験条件を設定した。Casel で は乾燥状態の地盤に対して LNAPL の注入を行う。Case2 では、初期条件で不飽和帯を形成している地盤に対して LNAPL の注入を行った。Case2 では LNAPL 注入後さら に地盤底部から水の供給を行い地盤上部から 5cm の深さ まで不飽和帯を上昇させた。Case2 において,初期地盤の 不飽和帯を作製する際と LNAPL 注入後に地下水上昇を 想定した給水を行う際には,給水方法として土槽の底部 から 15cm の高さに水頭を与え豊浦砂の毛管力によって 給水を行う方法を用いた。表 - 2 は今回の実験に用いた 液体の物性を示している。X 線 CT 撮影によって得られ る CT 値は物質の密度と比例するため、CT 値と湿潤密度



表 - 1 実験 Case					
	+14-96-4-4-4-1	乾燥密度	初期地盤の	水位上見	
	地溢竹杆	$\rho_d \ (mg\!/\!m^3)$	含水状態	小型工升	
Case1	· 豊浦砂	1.63	乾燥	なし	
Case2			湿潤	あり	

表-2 実験に用いた液体の物性(15℃)

	水	LNAPL
密度 p (t/m ³)	0.999	0.750
粘性係数µ(mPa・s)	1.138	1.40
表面張力 σ(mN/m)	73.48	22.17
界面張力σ(mN/m)		36.76

の相関を取ることで地盤内の飽和度分布を求めることが 可能である。図 - 2はCT値と飽和度の相関を示している。

3. 結果および考察

図 - 3 は土槽の中心から半径 3cm 部分における深さご との飽和度分布である。図 - 3(a)は Case2 における初期地 盤と水位上昇実験終了後の CT 値から求めた飽和度分布 と実測により求めた飽和度分布を示している。これを見 ると、誤差はあるが実測値から求めた飽和度分布と CT 値から求めた飽和度分布はほぼ同じ傾向を持っている。 また初期地盤は深さ 9cm から不飽和帯を形成している事 が確認できる。図 - 3(b)は LNAPL を注入してから 3 時間 後の Case1、Case2 それぞれの LNAPL の飽和度分布であ る。Case1 では 11cm の深さまで LNAPL 飽和度が 20%以 上あるのに対して、Case2 では 10cm の深さにおいて LNAPL 飽和度は 11%となっている。また、深さ 6cm か ら 9cm において Case2 のほうがわずかだが高い飽和度で LNAPL が存在している。これは不飽和帯によって鉛直方 向への浸透が妨げられ、不飽和帯の上部に LNAPL が滞 留したためと考えられる。図-3(c)は Case2 における水位 上昇後の飽和度分布を水と LNAPL で分けたものである。 本来なら水は土槽上部から 5cm の深さには存在しないは ずだが、これを見ると 4cm の高さまで水が上昇している ことが確認できる。これは LNAPL の存在によって間隙 が小さくなり、LNAPL 浸透領域の毛管力が上昇したこと が考えられる。

図 - 4(a)、(b)は Case1、2 における LNAPL 注入 3 時間 後の LNAPL の飽和度分布を示しており、これを見ると Casel ではLNAPL は深さ11cm まで浸透が確認できるが、 Case2 では 11cm の深さにおいて LNAPL の領域は確認で きない。Case2の深さ11cmにおいて初期地盤は水飽和度 が 70%近くあり、毛管力の低下や水により LNAPL の浸 透が妨げられたと考えられる。図 - 4(c)は Case2 における LNAPL 注入後に土槽底部から水を供給した後の水の飽 和度分布を示している。これをみると、深さ 11cm では、 ほぼ一定の飽和度で水が分布しているが、深さ 8cm にお いて LNAPL が浸透している中心の領域と周りの乾燥し ていた領域とでは水の飽和度に差が生じている。これは、 間隙中に LNAPL が存在しているため水が浸入できる間 隙が少なくなり水の飽和度が低くなったと考えられる。 4cm において乾燥している領域よりも LNAPL が浸透し た領域に水が浸入してきている。また深さ 2cm、4cm で は LNAPL の浸透領域と乾燥している領域の境界付近に 高い飽和度で水が分布している。LNAPL の残留により LNAPL 浸透領域における空気間隙が小さくなり、よって その領域の毛管圧力が上昇したことが考えられる。

4. まとめ

今回の実験では LNAPL が浸透することでその浸透領 域の毛管力が上昇したことが考えられる。特に LNAPL 浸透領域と乾燥領域の境界付近の毛管力が高い傾向にあ る。今後は、LNAPL の存在と毛管力の関係性について検 討していく必要がある。

参考文献

- R・ヘルミック:地下環境での多相流と輸送現象 pp.5 270, 2004
- 2) 大谷順:X線CT法、土と基礎、vol.54, No.4, pp32 33, 2006







