

飽和多孔媒体中の DNAPL の浸透メカニズム

(株)大林組 技術研究所 正員 上野 孝之
 埼玉大学 地圏科学研究センター 大学院 R. R. GIRI
 埼玉大学 地圏科学研究センター 正員 佐藤邦明

1. 序

近年、非溶解性で、かつ密度が水より重い液体 (DNAPL : 例えば、有機塩素系化合物等) による土壌および地下水の汚染が社会問題となり、その浄化が行われ始めている。このような化合物が、飽和した地層中に浸透・拡散するメカニズムについては、まだ明らかになっていないところがあるが、必要に迫られて、汚染された土壌・地下水の浄化技術の開発が先行している状況にある。

そこで、DNAPL の飽和地層中への浸透メカニズムを解明することを本邦は試みた。多孔媒体を模した数種類の直径のガラス球を用い、水で飽和した規則配列中を DNAPL 液が通過する限界ボリュームを実験的に求め、液が通過するときの釣り合いについて理論的考察を行ったので報告する。

2. DNAPL 液滴の運動

飽和した多孔媒体中に置かれた DNAPL 液滴の運動が考えられる。図 - 1 のように直径 d 、および粒子間距離 $\ell = L-d$ で規則配列されている間隙を構成する多孔媒体要素 (4つあるいは3つのガラス粒子で構成) にボリューム V の液が置かれたとき、液滴には重量とそれに抵抗する付着力、摩擦力、および表面張力などが作用する。このとき、液滴は球状になるとは限らず、ガラス球の径と配列間隔によって固有の形状となり、ガラス粒子が小さく、配列間隔が小さい場合、液滴は球状になり、ガラス径が大、あるいは間隔が大となると扁平になる。

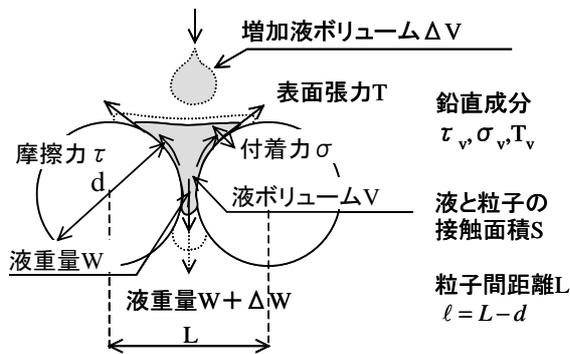


図 - 1 間隙中の DNAPL 液に作用する力

液滴が間隙に留まっているときの力の釣り合いを考えると、鉛直下向きにボリューム V に相当する液重量 W が作用し、鉛直上向きに、摩擦力の鉛直成分 τ_v 、付着力の鉛直成分 σ_v 、被り抵抗の鉛直成分 R_{av} 、表面張力の鉛直成分 T_v が働く。ただし、摩擦力、付着力および被り抵抗は液とガラス粒子の接触面積 S の大きさに比例し、表面張力は液滴の形状に関係する。したがって、釣り合いは $W - (\tau_v + \sigma_v + R_{av} + T_v)$ となり、 $(\tau_v + \sigma_v + R_{av} + T_v) < W$ になったとき液滴は多孔媒体要素間を通過する。すなわち、図中にあるように、 V の液を加え続けると重量が増し、限界に達すると液は通過することになる。

そこで、実験的に液滴がガラス粒子間を通過するときの限界ボリュームを求めるとともに、液滴の変形状態を観測し、液滴の挙動を考察することとした。

3. 実験方法

図 2 に示すように多孔媒体を模したガラス球を一層の格子配列で水中に設置し、上から注入管で徐々に液を増していき、液が通過するときの限界ボリュームを求めた。この状況をマイクロスコープ (50 倍拡大可) で観察した。液は TCE 液および PCE 液を用いた。実験はガラス球直径 d を 7 種類、ガラス球の離隔距離 L を 2 種類とした。実験条件を表 - 1 に示す。

キーワード : DNAPL、汚染、限界 DNAPL ボリューム、飽和多孔媒体
 東京都清瀬市下清戸 4-640 ・ TEL : 0424-95-0921 ・ FAX : 0424-95-0903

表 - 1 実験条件および空隙投影面積一覧

		ガラス球直径d(mm)						
		2	3	3.5	4	5	6	7
ガラス球 離間距離 (L-d)mm	0		1.94	2.63	3.44	5.38	7.74	10.54
	1	5.86	8.94	10.63	12.44	16.38	20.74	

投影面積 単位mm²

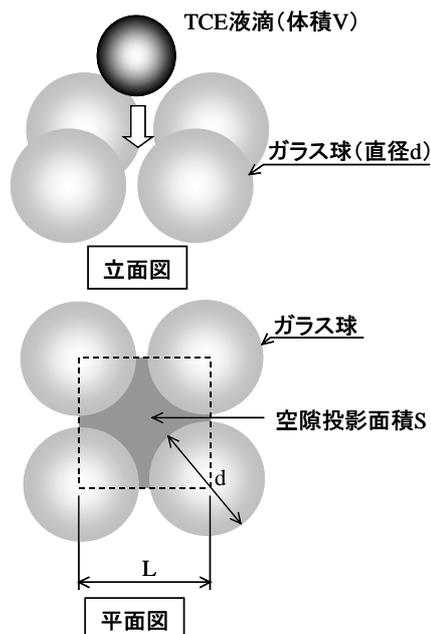
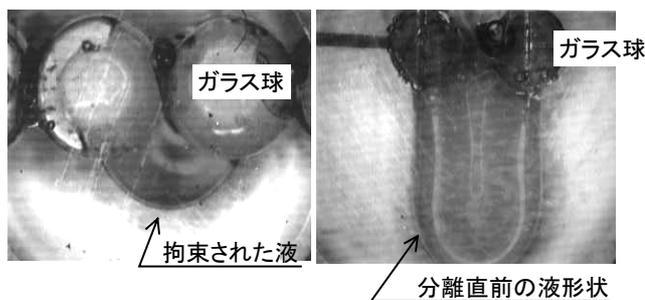


図 2 空隙要素モデル

4 . 結果と考察

初めに、単一間隙の液の挙動を知るため、格子配列されたガラス球間空隙に液が貫入、および通過する直前に側方から撮った TCE 液の形態を写真 - 1 に示す。液は球形にはならず、ガラス球の径が小さい場合には液の表面は間隙凸面状に、ガラス球の径が大きい場合には凹面状にぶら下がり、ガラス球に被さったように観察される。図 - 3 に液滴が進入・通過するときの限界ボリューム V_c 、およびその等価直径 d_c と図 - 2 中に示した空隙投影面積との関係を示す。これより、空隙面積が大きくなるほど通過する限界の液ボリューム(等価直径)が増加することがわかる。これは、表面張力はガラス球の径大きさにそれほど影響を受けないが、ガラス球が大きくなるほど付着抵抗、摩擦抵抗および被さり抵抗は大きくなり、その結果、空隙面積の増加に対応して通過限界液ボリュームが大きくなるためと考えられる。つまり、液の一部が粒子上に乗り、見掛け液重量が減少するように働くと考えられる。



(a)ガラス球直径 6mm (b)ガラス球直径 2mm
ガラス球間 L-d=0mm ガラス球間 L-d=1mm

写真 1 ガラス球通過直前の TCE 液滴の形状

5 . 結論

本研究は、飽和多孔媒体中におかれた DNAPL 液が空隙中をどのようにして落下していくかを明らかにし、その通過限界等価直径と粒子間距離 (L-d) の関係を量的に知ることを目的とした。その結果、以下のことが明らかとなった。

DNAPL 液滴の形成がいくつかの空隙について明らかとなった。

等価限界液寸法は空隙の投影面積が増すと共に大きくなる傾向が認められた。

なお、この研究は埼玉大学との共同研究の成果であることを付言しておく。

参考文献 :

T.UENO, R.R.GIRI, K.SATO, 29th IAHR Proc. , Beijing, China, Resistance on DNAPL Droplet Settlement through Saturated Porous Medium Model (in press)

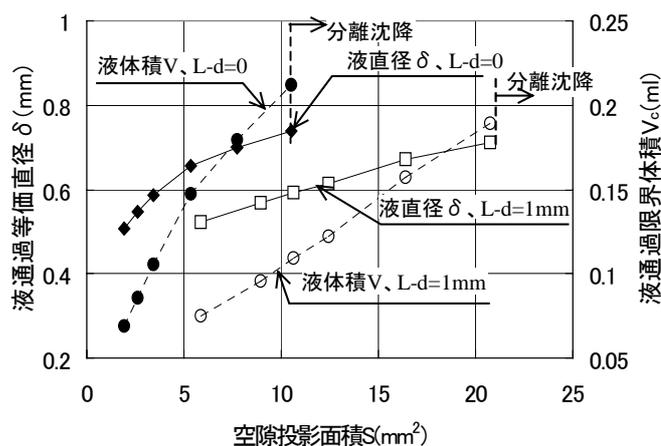


図 - 3 液通過限界体積とガラス球要素空隙投影面積との関係