

土壤水流動の可視化における軟 X 線映像の特徴と限界 Characteristics and limitations of Soft-X ray imagery about soil water movement

岩間憲治*、丸山利輔**、矢部勝彦*

Iwama Kenji, Maruyama Toshisuke, Yabe Katsuhiko

1. はじめに 土壤中の透水現象は、農地での水管理や土壤汚染や乾燥地での塩類集積などの環境問題に大きな影響を及ぼす。これまで軟 X 線非破壊検査装置を用いて不かく乱土壤に造影剤を浸剤させ、管状間隙内部の流体の挙動を造影剤の陰影で動画像に捉えその挙動・流速などを測定してきた¹⁾。しかし、試料により(動)画像から求めた透水係数は飽和透水試験結果の 0.2~4 倍と大きく異なり、造影剤の物性が大きく影響することが考えられる。そこで、平均粒径が異なる 3 種類の砂質かく乱土壤を対象に、造影剤と水の流動性の比較実験で評価した。

2. 実験方法 Fig.1に実験装置の概要を示す。試料は断面積が $2 \times 5\text{cm}^2$ の透明アクリル容器に高さが5cm前後まで水締めして軟 X 線非破壊検査装置内に設置した。試料の上からマリOTTタンクから脱気水が動水勾配 i で供給され、その排水量を電子天秤で常時計測して透水係数を求めた。次に i のままインクを試料上端に滴下し、しばらくして造影剤も同時に滴下した。両者の流動はX線カメラとビデオカメラで記録して、その挙動を観察し流速を計測した。

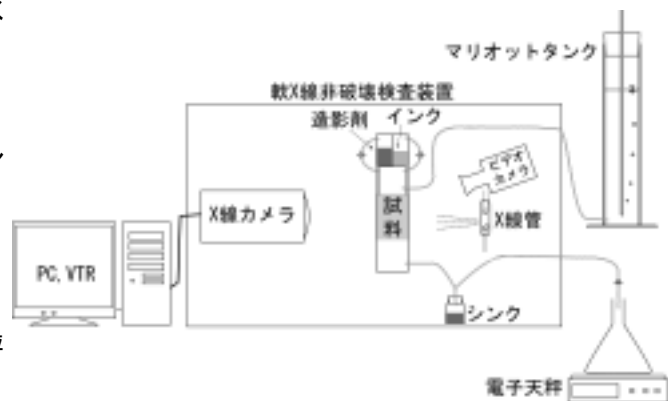


Fig.1 実験装置の概要

Table 1 試料の土壤物理性

試料番号	由来	粒径範囲 (mm)	平均粒径 (mm)	密度 (g/cm^3)	乾燥密度 (g/cm^3)
1	豊浦標準砂	0.075~0.425	0.217	2.64	1.57
2	琵琶湖岸砂	0.425~2.00	0.724	2.67	1.57
3	河床砂礫	2.00~4.75	3.375	2.65	1.60

インクはパイロット社製の万年筆用(INK-30-BB)を使用した。標準砂で KMnO_4 と流速および流動形態を比較するとほぼ同一であった。造影剤は CH_2I_2 (比重:3.316 (20 $^\circ\text{C}$)), 粘性係数: $2.715 \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$) を用いた。さらに、間隙の大小による流動形態の差を検証するため、3種類の砂質土壤を用いた。各試料の土壤物理性をTable 1に示したとおりであり、各試料2,3回実験した。

3. 試料中の流動形態 試料 1 では、通水中に造影剤を少量滴下し 1 時間以上経過したが浸剤せず、試料の上端面を 4mm 弱浸剤するまで追加した。このときの透水係数の変

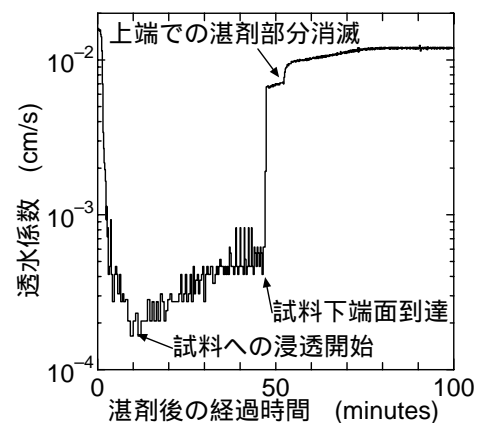


Fig.2 透水係数の変化と陰影形状との関係(試料 1)

* 滋賀県立大学環境科学部、School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture

** 石川県農業短期大学、Ishikawa Agricultural College

キーワード：透水係数、軟 X 線、造影剤、流体挙動

化と造影剤の浸剤状況を Fig.2 に、湛剤後 40 分後の軟 X 線画像を Fig.3 に示した。造影剤が試料中の流体の挙動に大きく影響したと考えられる。他の 2 試料でも同様に湛剤させたが、透水係数の低下時間は短く、試料 3 では 50 秒であった。

次に試料 2 に造影剤を少量滴下した際の浸剤状況を Fig.4 に示す。試料への浸剤開始後 1 分強で試料中を通過した。その後、幅が広がるなど流路が大きく変化することはなかった。また、Fig.5 は試料 3 での浸剤状況であり、陰影は 2~10 秒ほどで試料を通過した。両試料とも、その後 4mm 弱湛剤させると底面が 4cm 位の三角形状に陰影が広がった。

なおインクの流線幅は試料 1~3 で各 5,7.5,13mm であり、上部 1cm を除いた試料全体でほぼ同じ幅であった。

4. 透水係数とインク、造影剤の流速の関係 Fig.6 内の流速は動画像上の流速を動水勾配で割ってある。インク 1,2 はそれぞれインクのみ、インク+造影剤を浸剤させたときの流速である。また、造影剤 1,2 はそれぞれ陰影の先端、湛剤部消滅後の(試料に吸着された造影剤の陰影以外の)陰影の後端の速度である。どの試料でもインクの流速が透水係数の 3 倍以上となった。これと間隙率の積で 1 割以下の差で収まり、インクの挙動が試料中の水分の挙動とほぼ同一だと言える。

一方、造影剤 1 の流速は試料 1 で 1/10 倍、試料 3 で 3 倍であった。動画像観察も含めて、平均粒径が小さいと造影剤の粘性や接触角が卓越し、逆に大きいと慣性力が卓越すると考えられる。また、試料 3 でインクの流速とほぼ同一だが、インクの動画像で視認できる範囲内で上端からほぼ同じ幅で浸透し、親水性(インク)と疎水性(造影剤)なども含めた物性などで駆動要因が異なることが考えられる。なお、試料 1 の造影剤 2 は透水係数のほぼ半分であったが、これは造影剤より水の方が置換しやすいためと考えられる。

5. 今後の課題 試料の平均粒径が大きいほど測定値のばらつきが大きく、特に試料 3 において同一データが出せる条件を追求することで造影剤の挙動要因をより詳細に考察できる。逆に造影剤の挙動と透水係数を比較することで、試料中の間隙の屈曲や連続性などの形状を評価できうる。今後、この実験をより精密に進め、得られた情報を元に土壌中の各種流体の挙動要因を明確にしたい。

引用文献 1)日高明香、岩間憲治、矢部勝彦：軟 X 線による土壌孔隙中の流体挙動の観察、農業土木学会講演要旨集、pp.268-269(2003)

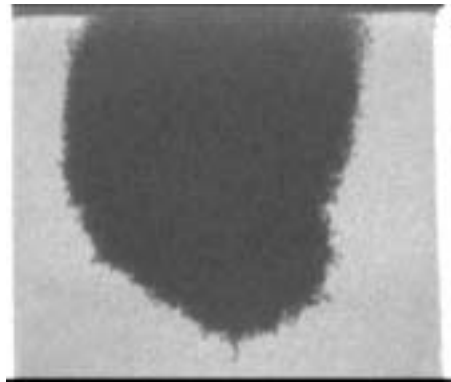


Fig.3 造影剤の浸剤状況(試料 1)

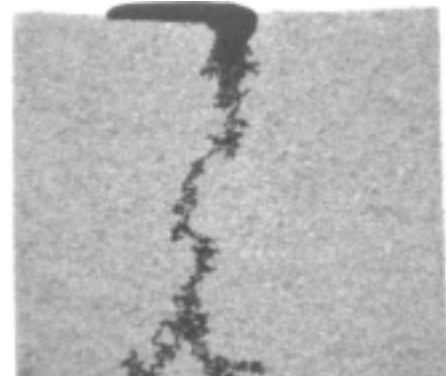


Fig.4 造影剤の浸剤状況(試料 2)

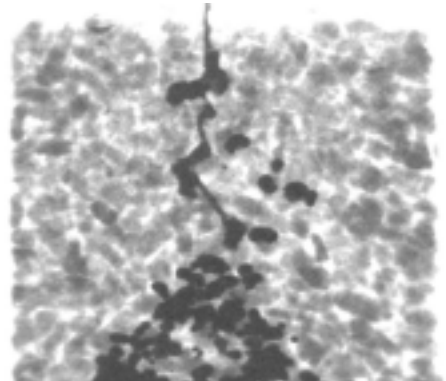


Fig.5 造影剤の浸剤状況(試料 3)

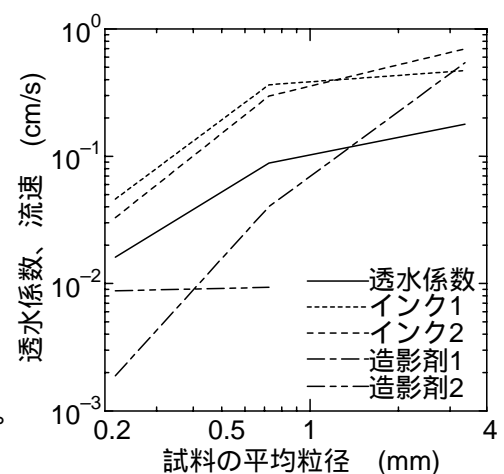


Fig.6 透水係数とインク・造影剤の流速