

# 軟 X 線による土壌孔隙中の流体挙動の観察 Observation of Fluid Movement in Soil Macropore Using Soft X-ray

日高明香\*、岩間憲治\*、矢部勝彦\*  
Hidaka Akika, Iwama Kenji, Yabe Katsuhiko

1.はじめに 土壌内部の流体の挙動は、その間隙構造に左右される。これまで管状間隙(以下孔隙)を対象に軟 X 線と造影剤( $\text{CH}_2\text{I}_2$  比重; 3.316 (20 ) 粘性係数;  $2.715 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ )を用いて三次元画像を求めてきたが、これに透水試験器具とビデオを組み合わせることで流体の動態をより精密に解析することが可能となる。そこで、流体の挙動を観察するために透水試験器具を軟 X 線非破壊検査装置内に組み込んで、複数の供試土壌に対して通水実験を試みた。本報では、その実験結果を示してこの実験の有用性について検討した。

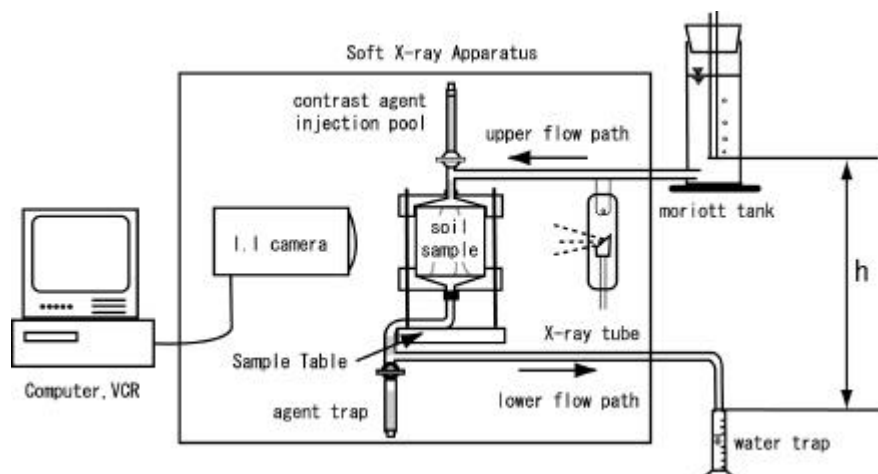
2.供試土壌 供試土壌は、灰色低地土の複数の水田から採土した。場所により河川跡と思われる砂質土壌がみられ、そこで採土した供試土も実験に供した。

**Table.1** 供試土壌の物理的性質

試料番号	採取日	深さ (cm)	透水係数 (cm/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	間隙率 (%)	土性 (国際法)
1	2002/5/9	55	$2.24 \times 10^{-5}$	2.74	51.4	LiC
2		50	$1.36 \times 10^{-2}$	2.71	39.6	S

その主な物理的性質を **Table.1** に示した。なお、供試土壌は X 線の透過性がよいアルミニウム製の 100cc 標準円筒で採土した。

3. 実験方法 **Fig.1** は実験装置の模式図である。サンプル台は上下、前後、左右の三軸方向に移動し、最適な撮影位置を確保できる。また、サンプル台自体が回転し、供試土壌の回転画像も撮影できる。供試土壌は脱気水で飽和させてこの装置にセットする。供試土壌を通過する水はマリオットタンクから供給され、メスシリンダーでその流量を測定する。その最中に造影剤を注入し土壌中を通過する様子を I. I. カメラを通してモニター観察できる。また、**Fig.1** の h を変化させることで動水勾配も変えられる。これらの動画は全て VTR に記録しており、必要に応じてコンピュータに取り込んで流速や間隙形状を計測する。また、より精密な土壌孔隙画像を得るために、VTR 録画の前後でフィルム撮影を行う。ビデオ撮影時の条件は 70kVp、2mA とし、フィルム撮影時の条件は 80kVp、



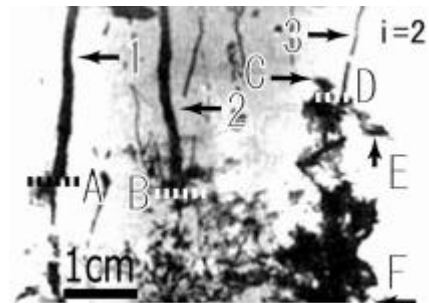
**Fig.1** 軟 X 線動画撮影装置

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

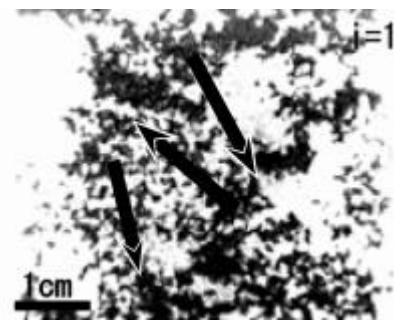
3mA、5min とする。またフィルム撮影の際、供試土壌を回転させて異なる方向から複数枚撮影する。

**4. 観察結果** 2種の異なる土性の供試土壌の観察結果を示す。**Fig.2,3** はそれぞれ造影剤の流下実験中にビデオ撮影した動画像の瞬間土壌間隙画像を示す。なお、浸剤開始時の動水勾配  $i=1$  と設定した。

**4.1 試料 1 (灰色低地土水田土壌;Fig.2)** 浸剤開始直後から孔隙 1(平均直径 5mm)の陰影が現れ 35 秒で地点 A に達して一旦停止し、88 秒後から約 2mm の孔隙へ浸剤し始めた。孔隙 2 も同様に 26 秒後に B に達して動きが止まり、100 秒後にその下に続く 1mm 以下の孔隙へ下降し始める。また孔隙 3 は、69 秒後に陰影が見え始め C F H I と複雑な動きを示した。他の孔隙も同様に時間がたつにつれ徐々に陰影として現れ、その動きは先の 3 本の孔隙同様複雑であった。なお、陰影が下端に達してしばらくすると、円筒壁面に生じた隙間をつたって薄雲状に陰影が発生した。  $i=2, 4$  の時も孔隙中の造影剤の挙動は同様であったが時間と共に雲状の陰影がそれとは別に広がっていった。



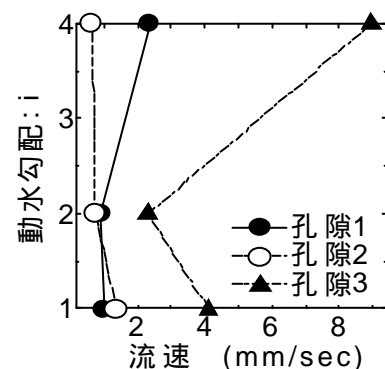
**Fig.2** 灰色低地土水田



**Fig.3** 砂質土壌

**4.2 試料 2 (砂質土壌 Fig.3)** この土壌に孔隙は存在しないが、**Fig.3** の矢印にそって選択的に間隙を流下し 32 秒で下端に達した。また、この途中で陰影形状がリズミカルに変化する場所あり、経路中に存在すると思われる大間隙が調整タンクの役割をはたしているものと考えられる。なお、時間経過とともに供試土壌全体に陰影が広がっていった。

**5 動水勾配( $i$ )と流速の関係(Fig.4)** フィルム画像から孔隙の三次元座標を求めて流速を測定した。図より、必ずしも  $i$  と流速が比例しないが、一般に細かい孔隙の方が比例する傾向を示した。  $i$  を変化した直後の透水係数はいずれも  $4 \sim 6 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  であったが動画像の観測結果も考慮すると直径の大きな孔隙が必ずしも透水性に寄与するとは限らないことを示した。また、造影剤と水との物理性の違いも透水性と陰影の動きの関係に影響すると思われる。



**Fig.4** 試料 1 の動水勾配と流速の関係

**6.おわりに** 孔隙中の陰影の挙動は複雑であり、様々な要因が影響するものと思われる。今後実験法の改良も含めて、多くの土壌について実験を行い、それらの要因を定量的に評価していきたい。