

## X線撮影による水田土壌間隙中の流体挙動

## Visualization of fluids in the macropores of paddy field by X-ray imaging

○吉田傑\*, 岩間憲治\*\*

Takeshi Yoshida, Kenji Iwama

**1. はじめに** 水田土壌は作土, 耕盤, 心土と成層し, 土壌粗間隙構造や, 降下浸透時の流体挙動は層ごとに異なるものと考えられる。本研究では, 水田土壌の間隙構造を深さごとに可視化して, その中の流体挙動を定量化することを試みた。

**2. 供試土壌** 滋賀県立大学圃場実験施設内の水田にて, 耕起前の2022年12月に, X線透過に優れたアルミニウム製の100cc標準円筒(高さ5cm, 断面積20cm<sup>2</sup>)を用いて, 深さ0, 2, 20, 60cmが上端面となるように採土した。**Table 1**に供試土壌の主な土壌物理性を示す。なお, 本水田は近隣河川の氾濫原に位置し, 深さ30cmを超えると河床跡である砂質土に変化していた。

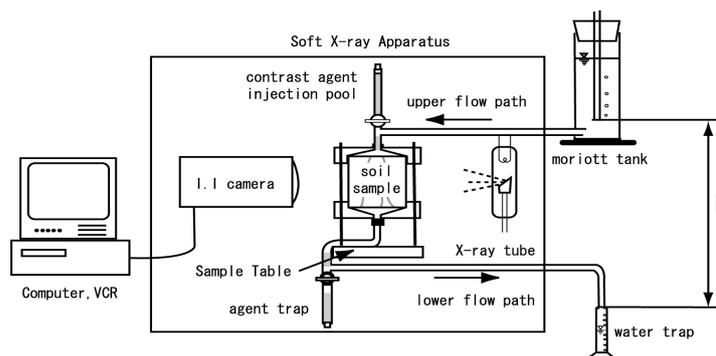
**3. 実験方法** 最初に pF 試験(吸引法)を2.5~100cm(間隙径1200~30 $\mu$ m相当)の吸引圧で実施して, 供試土壌の間隙分布を求め, ハーゲン・ポアズイユ式より透水係数を計算した。次に, **Fig.1**に示すX線装置内に飽和した供試土壌を設置し, 水頭差  $h$  でマリオートタンクから給水して排水量を経時記録し, 飽和透水係数の変化を求めた。通水中に造影剤(CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>, 比重3.316)を浸剤し, その挙動を60kVp, 3mAでX線撮影した。実験終了後, 供試土壌中央の断面を観察すると, どの試料もX線撮影時に陰影のある箇所でも円形の間隙断面が確認できた(**Fig.2**)。そこで, 得られた動画像から, 管状間隙の直径と造影剤の流速を求めて透水係数を計算した。

**Table 1** 供試土壌の物理的性質  
Physical Properties of Soils

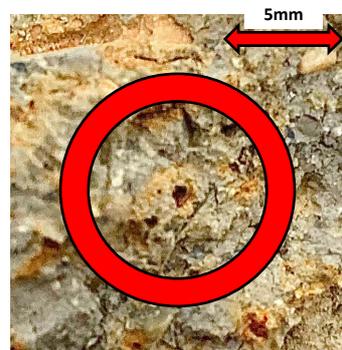
深さ cm	砂の割合*1 %	土粒子密度 g cm <sup>-3</sup>	間隙率 %	採土数
0~5	37.47*2	2.61*2	56.04	4
2~7	51.04	2.61	53.70	6
20~25	53.84	2.62	41.92	10
60~65	69.79	2.66	38.51	10

\*1 粒径2mm以下の土粒子中, 砂(0.02~2mm)の割合

\*2 深さ0~2cm(表面酸化層)の攪乱土壌より



**Fig.1** X線動画撮影装置  
X-ray photography capture system



**Fig.2** 間隙の断面  
Macropore image

\*滋賀県立大学大学院環境科学研究科

Graduate School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture

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

キーワード: X線撮影, 透水性, 粗間隙, 水田土壌

## 4. 結果と考察

### 4.1 間隙構造 深さ 20cm

の供試土壌での浸剤例を Fig.3 に示した。浸剤開始後の、陰影は上端面にとどまっていたが、10 分後に中央の間隙に鉛直方向に流入し、5 時間後には右側の間隙へも流入するなど時間とともに陰影は増加した。深さ

60cm の砂質土の場合 (Fig.4), 粒子間の不定形な間隙に時には横向きに進むように浸剤し、最後は試料全体に広がった。地表面の供試土壌でも、不定形の間隙が多く存在したが、一部では管状の陰影も確認できた。

### 4.2 透水係数 Fig.3 の供試土壌の透水係数を Fig.5

に示した。浸剤前は  $3.64 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  であったが、浸剤直後から低下し、2 時間後には 12.9% となった (浸剤 1)。

その後、造影剤が抜け出すとともに徐々に回復し、5 時間後には浸剤前の 23.4% まで回復した (浸剤 2)。造影剤の粘性係数は水の 2.7 倍、接触角も 7~8 倍と大きく、粗間隙中の造影剤の流速や残留に反映したと考える。

次に、全ての供試土壌の透水係数を Fig.5 のように類別して、動画像および pF 試験 (吸引法) から求めた透水係数も含めて深さごとに平均し Fig.6 にまとめた。「pF 試験」は深さに関係なく平均  $2.88 \times 10^{-3} \text{cm/s}$  だが、「浸剤前」は特に耕盤層に当たる深さ 20cm で、その 1/70 と低く、ほとんどの粗間隙が透水性に寄与しなかった。一方で、「陰影挙動」は、深さ 20cm で浸剤前と近く、透水性に寄与する粗間隙を全て可視化できた可能性がある。一方、地表面付近は 1 桁小さく同様な間隙形状であっても透水性への影響が弱かったと考えられる。しかし、同じ深さの供試土壌間でも各項目の大小が逆転する場合も多く、土壌の不均一性を念頭に更に評価する必要があった。

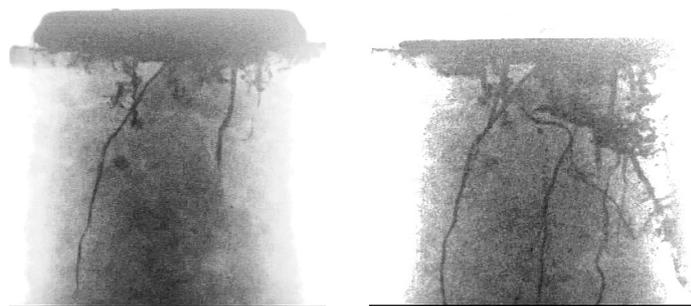


Fig.3 X線画像(深さ 20cm, 左 10 分後, 右 5 時間後)  
X-ray image (20cm depth, left 10 minutes, right 5 hours)

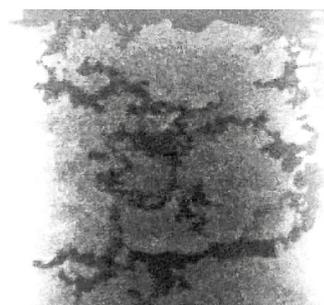


Fig.4 X線画像(深さ 60cm)  
X-ray image (depth: 60 cm)

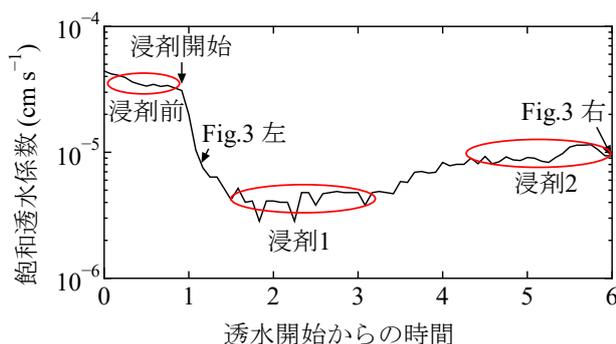


Fig.5 透水係数の変化  
Change in hydraulic conductivity

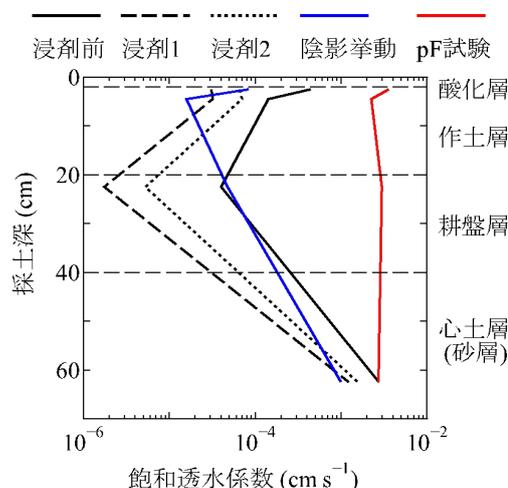


Fig.6 深さにおける透水係数の変化  
Hydraulic conductivity