

軟 X 線画像法による乾燥過程にあるベントナイト・ペーストの液性限界識別 Detection of Liquid Limit of Bentonite in Drying Process by Soft X-ray Digital Radiography

○廣住豊一[†], 黒澤俊人^{††}, 成岡 市[†]

HIROZUMI Toyokazu, KUROSAWA Toshihito and NARIOKA Hajime

I. はじめに

土壌内部の団粒や間隙の形状および大きさ等の構造は、土壌の保水性や排水性等に大きな影響を与える。また、その間隙内に存在する土壌水分は、降雨や乾燥などの周囲の環境変化によって、土壌中の分布や量が絶えず変化し、土壌中の物質移動や土壌基質構造の変化にも大きな影響を与える。したがって、農作物のかんがいや排水等の栽培管理を適切に行うためには、土壌水分を含めた土壌構造を正しく評価する必要がある。

筆者らが開発した「軟 X 線画像法」は、土壌に軟 X 線を透過して得られた画像が、土壌の粒子および団粒の配列様式、またはそれらの重畳様式を投影した構造情報であることに着目したもので、軟 X 線画像をデジタル解析し土壌の基質構造を定量化できる。

そこで本報では、膨潤性粘土を乾燥させ、ある乾燥段階における含水比および土壌水分ポテンシャルと、そのときの試料の軟 X 線画像との関係から、軟 X 線画像法による含水比および土壌水分ポテンシャルなどの土壌水分の推定の可能性について検討した。

II. 材料と方法

試料には、ナカライテックス社製ベントナイトを用いた。ベントナイトの基本的物理性は、土粒子密度 2.72 Mg m^{-3} 、塑性限界 0.44 kg kg^{-1} 、液性限界 2.43 kg kg^{-1} 、塑性指数 1.99 などであった。

ベントナイトは、蒸留水と混合し、含水比を液性限界以上に調節した。蒸留水を混合したベントナイトは、よく練り混ぜてペースト状にし、ポリスチレン製矩形容器に充填した。ベントナイトを充填した容器は、その上面を大気開放し、ベントナイト表面から水分を蒸発させた。そして、任意の時間経過 u

(s) ごとに、試料容器上面から軟 X 線撮影した。また、このときの含水比 $\omega_u \text{ (kg kg}^{-1}\text{)}$ および土壌水分ポテンシャル $\psi_u \text{ (-J kg}^{-1}\text{)}$ を求めた。

軟 X 線撮影には、ソフテックス社製直流型 DCTS-7003 を使用した。撮影条件は、管電圧 40kV、管電流 1.5mA、照射時間 45 s、フィルム焦点間距離(FFD) 500mm に設定した。撮影したフィルムの現像には、ニックス社製自動現像機 Hi-RHEIN を使用した。現像条件は、液温度 $28 \text{ }^\circ\text{C}$ 、現像時間 180 s に設定した。フィルム上の画像は、エプソン社製フラットベッドスキャナ GT-X750 を使用して、デジタル化した。そのスキャン条件は、カラーモード 16ビットグレースケール、解像度 1200dpi に設定した。デジタル画像は、縦 2880 pix × 横 1600 pix の長方形に切り抜き、これを画像解析に供した。

画像解析には、INRIA 製数値計算システム Scilab を使用した。画像解析では、軟 X 線画像に含まれるすべての画素の濃度階調値に対する平均値 $\bar{g}l$ 、中央値 $\tilde{g}l$ 、標準偏差 σ_{gl} および変動係数 CV_{gl} を求め、これらの統計処理の結果と、含水比 ω_u および土壌水分ポテンシャル ψ_u を比較し、土壌水分と軟 X 線画像との関係について考察した。

III. 結果と考察

(1) 含水比

ベントナイトの含水比 ω_u と、そのときの軟 X 線画像に含まれる画素濃度階調値の中央値 $\tilde{g}l$ を Fig.1 に、標準偏差 σ_{gl} を Fig.2 に各々示す。

Fig.1 に示すように、 ω_u の増加とともに $\tilde{g}l$ が増加した。しかし、 $\omega_u < 1.0$ では、 $\tilde{g}l$ にばらつきがみられた。

また Fig.2 に示すように、 $\omega_u < 2.0$ において、 ω_u の増加とともに、 σ_{gl} が減少した。しかし、 $\omega_u > 2.0$

[†]三重大学大学院生物資源学研究所, ^{††}三重大学生命科学研究支援センター

[†]Graduate School of Bioresources, Mie University, ^{††}Life Science Research Center, Mie University

キーワード : 軟 X 線画像法, 土壌構造, 土壌水分, 粘土, 画像解析

では、 σ_{gl} は、 ω_u の値によらず、ほぼ一定であった。これは、 $\omega_u < 2.0$ において、乾燥収縮によってベントナイトペーストの基質構造が変化し始めた「閾値」を捉えたものと考えた。

(2) 土壌水分ポテンシャルと液性限界

ベントナイトの土壌水分ポテンシャル ψ_u と、軟 X 線画像に含まれる画素濃度階調値の平均値 \bar{gl} を Fig.3 に示す。

Fig.3 のとおり、 $\psi_u > -5$ では、 \bar{gl} が ψ_u の値によらず、ほぼ一定であった。しかし、 $\psi < -5$ では、 \bar{gl} が ψ_u の増加とともに減少した。

ここで、ベントナイトの液性限界は、土壌水分ポテンシャルに換算して、 $\psi_u = -8.8$ であった。

以上のことから、 \bar{gl} が ψ_u の値による影響を受け始める変曲点は、塑性限界の水分状態、すなわち土が液体から塑性体に変化する境界の水分状態に相当することを確認した。

(3) 土壌水分ポテンシャルの推定

以上より、ベントナイトの水分状態とそのときの軟 X 線画像には「一価的な関係」があることがわかった。そこで、この結果を受けて、軟 X 線画像による土壌水分ポテンシャルの推定について検討した。

ベントナイトの土壌水分ポテンシャル ψ_u と、そのときの軟 X 線画像に含まれる画素濃度階調値の変動係数 CV_{gl} を Fig.4 に示す。

Fig.4 によると、 $-100 < \psi_u < -1$ の範囲において、 ψ_u は CV_{gl} の一次関数として、以下の式で近似できた。

$$\psi_u = 1016.8 CV_{gl} - 46.406 \quad (r^2 = 0.8883)$$

以上のことから、ベントナイトペーストの軟 X 線画像から土壌水分ポテンシャルが推定できる可能性が示された。

IV. おわりに

本報では、乾燥過程にあるベントナイトを試料として、ある乾燥段階における含水比および土壌水分ポテンシャルを測定し、このときの軟 X 線画像を本法によって解析した結果と比較することによって、試料の水分状態と軟 X 線画像との関係について調べた。

その結果、ベントナイトペーストの軟 X 線画像を統計解析することで、液性限界の閾値を識別できることが明らかになった。また、同様にベントナイトペースト

の軟 X 線画像を統計解析することで、そのときのベントナイトペーストの土壌水分ポテンシャルが推定できる可能性を示した。

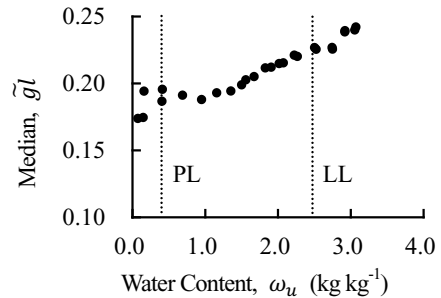


Fig.1 含水比と中央値

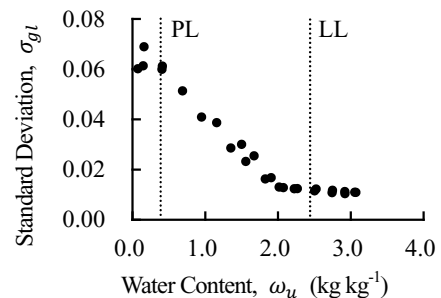


Fig.2 含水比と標準偏差

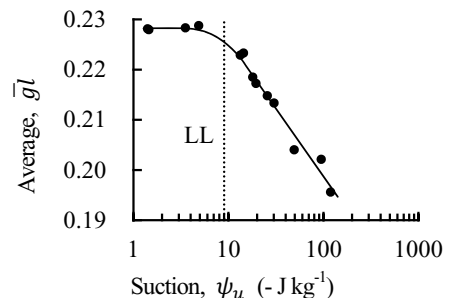


Fig.3 土壌水分ポテンシャルと平均値

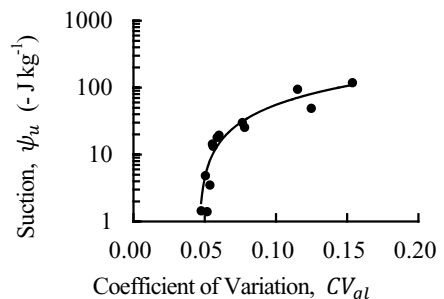


Fig.4 変動係数と土壌水分ポテンシャル