

軟 X 線画像法による亀裂発達過程の定量的評価

Quantitative evaluation of crack developing process using Soft X-ray Digital Radiography

原田 寛¹、廣住豊一²、○成岡 市²

Kan HARATA, Toyokazu HIROZUMI and Hajime NARIOKA

1. はじめに

粘土分を多く含む水田圃場では、しばしば乾燥亀裂が発生する。亀裂は排水性や通気性などの圃場の物理特性に影響を与え、圃場の水管理にあたっては重要な要因となる。本報では、軟 X 線画像法を用いた動的記録と画像解析から、乾燥収縮の際に起こる亀裂および土壌基質構造の発達過程を定量的に評価した。

2. 材料と方法

試料土壌は、三重大学農場の 2 枚の水田(粘質土圃場、黒ボク土圃場)から攪乱採取した。基本的土壌物理性として、土粒子密度、粒度分布、塑性指数および液性指数を測定した。

次に、採取後の土壌に蒸留水を加え、液性限界以上の含水比になるまでよく練り混ぜ、これをポリスチレン製容器に充填し(真空脱気はしない)、試料上面を大気開放させた。以降、任意の経過時間ごとに軟 X 線撮影、質量測定などを行った。装置にはソフテックス社製の直流型 X 線照射装置 DCTS-7003 を、画像検出装置にはアールエフ社製デジタル X 線センサ NAOMI-NX を用いた。撮影条件は、管電圧 37kV、管電流 0.7mA、照射時間 2s、FFD500mm に設定した。この一連の実験後、試料の最終含水比を測定し、各撮影時の含水比を算出した。軟 X 線撮影から得られたデジタル画像は、統計ソフトを用いて解析した。画像濃度は、黒を 0、白を 1 とし、その範囲を 256 段階に離散化し、亀裂と基質の面積割合の算出や基質部分の濃度階調値の統計解析などを行った。

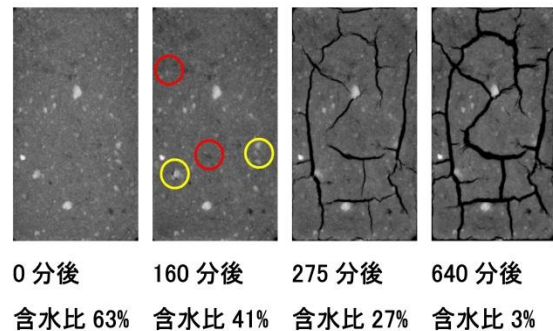


Fig.1 粘質土における軟 X 画像の経時変化

3. 結果と考察

3.1 個別の亀裂の発生と発達

(1)発生場所

軟 X 線画像から、亀裂の発生カ所は、試料内に混入していた粗砂の近傍、または濃度階調値の低い部分であることを確認した(Fig.1)。粗砂は試料内を移動しにくく、その周囲近傍では引張力が働き、濃度階調値の低いところは試料厚または乾燥密度が低く、引張力に対する抵抗力が弱いことから、亀裂は応力が集中するカ所から発生することを確認した。

(2)発達過程

粘質土および黒ボク土の両方とも、亀裂の発達は 2 段階の過程を経ていた。第 1 段階は亀裂が伸長する段階、第 2 段階は伸長停止後に亀裂幅が増加する段階であった。

3.2 試料全体での亀裂形成

(1)軟 X 線画像の観察

軟 X 線画像を経時的に比較すると、初期状態から第 1 亀裂が発生するまでの第 1 段階、第 1 亀裂が発生してから亀裂形状が定まるまでの第 2 段階、それ以降の第 3 段階があった。

1 三重大学生物資源学部(Faculty of Bioresources, Mie University)、

2 同研究科(Graduate School of Bioresources, Mie University)、

Keywords : 土壌の物理的性質,土壌構造,水分移動,亀裂

(2)含水比と亀裂割合

亀裂割合は、ある水分のときに発生した亀裂面積を試料全面積で除して求めた。粘質土における含水比と亀裂割合の関係を Fig.2 に示す。乾燥過程における含水比は漸減するが亀裂割合は変化しない状態がしばらく続き、亀裂割合が含水比 41%~27%の間で急増し、それ以降は亀裂割合が漸増する段階がみられた。Fig.2 にみられる第 1 変曲点は、亀裂割合が増加したとき($\omega = 41\%$)であり、第 2 変曲点は亀裂割合の増加が緩やかになったとき($\omega = 27\%$)であった。

(3)含水比と基質部分の尖度

粘質土における含水比と尖度の関係を Fig.3 に示す。尖度はヒストグラムの形状を数値化しており、値が大きいほど鋭いピークを持つことを示す。本実験では、土壌基質部分の濃度階調値分布が対象ヒストグラムであり、尖度はその分布形状を示している。初期含水比から第 1 変曲点まで尖度が増加し、第 1~2 変曲点の間で減少し、第 2 変曲点以降は増加傾向にあった。

(4)考察

前述(1)で示した第 1~2 段階および第 2~3 段階の境界は、前述(2)(3)の変曲点とほぼ一致していた。この亀裂発生・発達過程での土壌基質変化について、

第 1 段階： 亀裂は発生せず、軟 X 線画像の濃度階調値が平坦化した。これを「初期状態の試料は LL 以上で流動性が高く、土壌基質構造が均質化している」と考えた。この現象は、亀裂発生直前まで起こっていた。

第 2 段階： 第 1 亀裂の発生後、亀裂割合が急増する一方で尖度が低下した。尖度の低下は、軟 X 線画像の濃度階調値の分布範囲が広がったこと、すなわち基質部分の厚さや乾燥密度の差異が大きくなったことを示している。このことは、「亀裂の発達に伴い、大気に接触する面が増加し、乾燥条件が変化することで土壌基質部分も不均一に変化したため」と考えた。

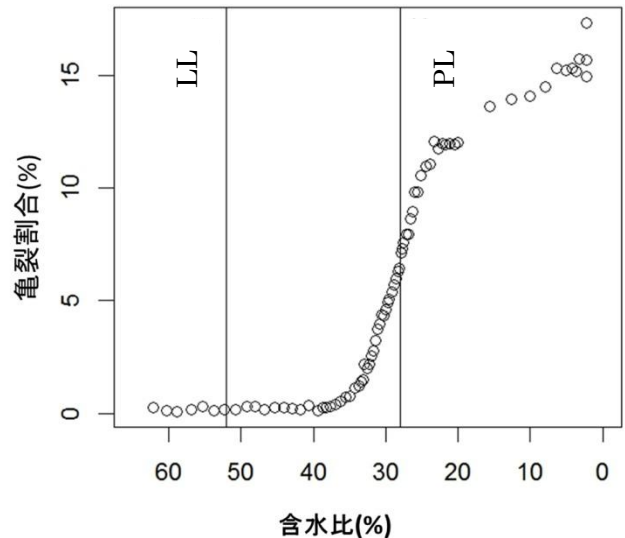


Fig.2 乾燥過程における含水比と亀裂割合(粘質土)

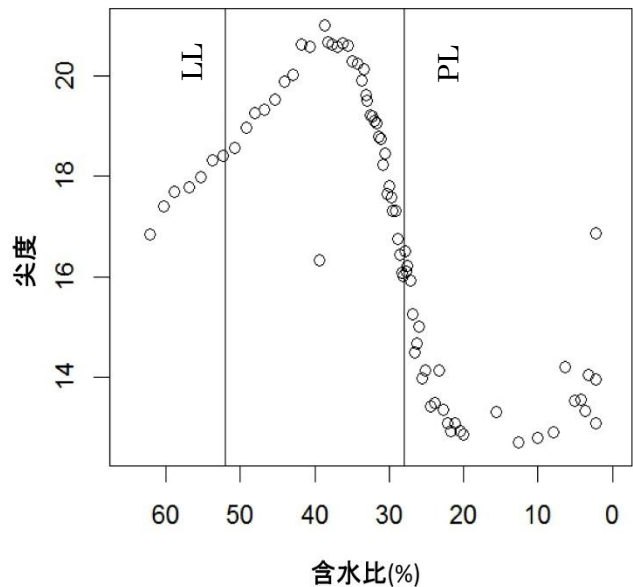


Fig.3 含水比と基質部分の尖度(粘質土)

第 3 段階： 亀裂割合の増加は緩やかになり、尖度の変化が落ち着いた。この段階では新たな亀裂は発生せず、亀裂面積の増加は主に亀裂幅の増加に連動し、「試料が PL 以下の水分状態で、土粒子の移動が起こりにくくなるため、土壌基質の構造変化も小規模である」と考えた。

4. おわりに

本研究では、水田圃場試料の軟 X 線画像を解析し、乾燥亀裂の発生・発達過程において、亀裂発生と発達には、LLとPLを境界とした3段階の過程を経ていることがわかった。