

軟X線画像法による粘土ペーストの鉛直方向への乾燥亀裂発生過程の評価 Evaluation for Crack to perpendicular direction in clay paste by Soft X-ray Radiography

○柴田花奈[†], 廣住豊一^{**}, 成岡 市^{**}

SHIBATA Haruna[†], HIROZUMI Toyokazu^{**} and NARIOKA Hajime^{**}

1. はじめに

水田等における粘質土壌は、湿潤状態において粘性が強く、透水性もきわめて低い。また、乾燥とともに収縮をおこし、土壌物理性を大きく変化させる。乾燥に伴い発生する亀裂は、地表だけでなく下層土にもしばしば見られる。そして、亀裂の発生は圃場の排水性・通気性、地耐力や易耕性に大きく影響する。本論では、土壌の軟 X 線画像法の導入により、ミクロな視点から土の構造の変化の観察を行い、鉛直方向への乾燥亀裂発生過程について、三次元的解析を行った。

2. 材料と方法

試料にベントナイト(膨潤性粘土)を用いた。ペーストの水分調整には蒸留水を用いた。基本的土壌物理性として、液性限界、塑性限界、塑性指数、土粒子密度、pF 水分特性などを測定した。試料はポリスチレン製コンテナに液性限界以上の水分量で充填した。容器の上端面を大気開放し、一定時間が経過するごとに軟 X 線撮影、デジタルカメラ撮影、質量測定を行った。軟 X 線撮影装置(DCTS7003;SOFTEX 社)の設定は、管電圧 50kV、管電流 1.5mA、FFD 500mm、照射時間 60s とした。フィルム(FR;FUJI FILM)は自動現像機(HI-RHEIN;NIX)を用いて一定条件(温度 28℃、現像速度 3 分)で現像した。撮影したフィルムはスキャナー(GT-X705;EPSON)でデジタル画像化し、「Photoshop7.0.1、Excel2007」などのソフトで画像処理、画像解析を行った。試料表面のデジタルカメラ撮影については、スタンドでカメラを固定し、一定距離を保って撮影をした。また、軟 X 線撮影がすべて終了した後、コンテナを開き、試料中の 6 カ所の含水比を測定した。

[†] 三重大学生物資源学部、^{**} 三重大学大学院生物資源学研究科

[†]Faculty of Bioresources, Mie University, ^{**}Graduate School of Bioresources, Mie University

キーワード: 軟 X 線、粘土、乾燥亀裂、水分分布、水移動

3. 結果と考察

(1) 試料内の含水比の変化

図-1 に乾燥開始 0min 後と 780min 後の軟 X 線画像を示す。0min と 780min の画像を比較すると、含水比の減少に伴い試料の上部が大きく沈下した。水の移動が上昇移動であるのに対し、粘土粒子の移動は水の移動方向とは反対の下降運動となっていた。ベントナイトペーストの多量の水分子状態では、その鉛直方向の移動が表面の沈下を発生し、水平方向の移動が亀裂を発生させる(中野,1991)。実験開始から終了までの含水比の変化では、乾燥に伴い表面からの水分蒸発が徐々に減少していたが、亀裂の進行に伴い亀裂面からの水分蒸発に伴い全体として緩やかに含水比が減少していた。図-2 にコンテナ内における含水比減少の過程を模式図として示した。

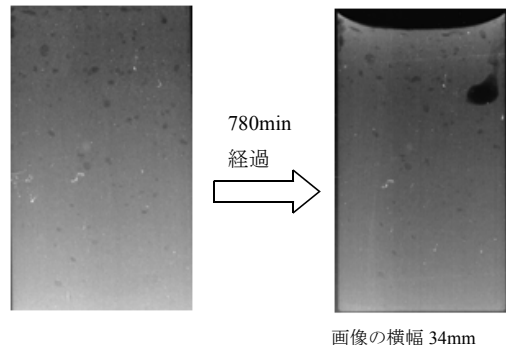


図-1 軟 X 線画像

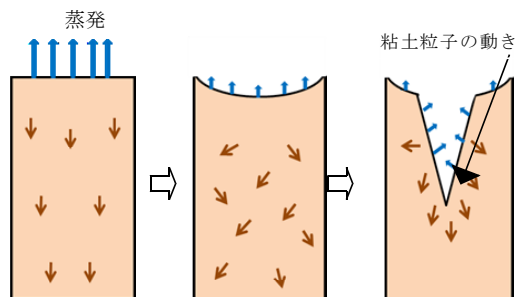


図-2 コンテナ内の含水比減少過程

(2) 亀裂の発生位置

図-3 の円内に気泡状の影がある。この部分は軟 X 線画像中では暗く写っており、これは密度もしくは厚みが薄くなっている部分であると考えた。同図の点線円内では、亀裂がこの気泡状の部分から発達している。そのことから、亀裂は密度が低く、厚みの薄い部分から発生したと判断した。

(3) 亀裂の進行方向

図-4 に軟 X 線強度分布から求めた試料内の亀裂周辺部の含水比分布を示す。同図の色の濃い部分は含水比が高く、薄い部分は含水比が低い部分である。図中における亀裂は、矢印の方向に向かって進行しており、その進行方向は試料内の含水比が高い部分に向かってしていると判断した。亀裂の進行は、図-5 のように、最初に発生した亀裂の表面から水の蒸発があり、同時にその付近の粘土基質が収縮することで、周辺の粘土粒子をひきつける力が発生し、亀裂が進行する過程があったと考えた。含水比の低い部分と高い部分では、高い部分の方が収縮量が大きかった。これより、亀裂の進行が含水比の高い方へ進んだと考えた。

(4) 水平方向と鉛直方向の亀裂発生過程

鉛直方向の亀裂進行について、次のように水平方向の発生過程と比較した。

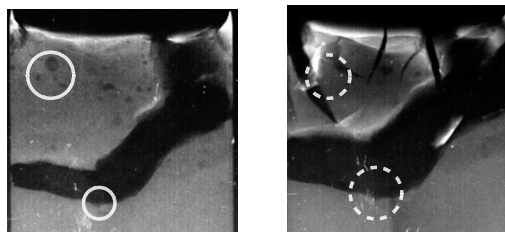
(a)亀裂の発生位置： 水平方向の亀裂進行は、軟 X 線画像では暗い部分に亀裂が集まった。これは軟 X 線画像の特性により、周辺部より試料厚が薄い部分に亀裂が集まったことを意味する。鉛直方向についても試料厚が薄くなっている基質内部気泡部分から亀裂が発生していた。

(b)亀裂の進行方向： 水平方向では水量の少ない(画像濃度階調が低い)領域から、多い(階調が高い)領域に向けて、濃度階調の等値線に対する垂直方向へ発達した。鉛直方向では、亀裂が含水比の高い方へ進行した。

以上より、水平方向と鉛直方向への亀裂進行メカニズムは、「亀裂の発生位置、進行方向の双方とも同様のメカニズムが適用出来る」ことを確認した。

4. おわりに

本論では、軟 X 線画像法を利用した鉛直方向への亀裂発生過程の理解に努めた。試料内部の変化を画像解析法を利用することによって、亀裂発生過程の視覚的な評価・解析法を実現することができた。



画像の横幅 34mm

図-3 亀裂発生の前後(左の画像が発生前)

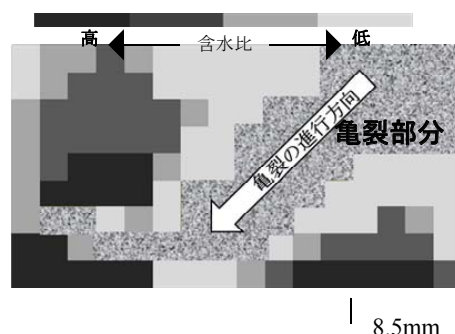


図-4 亀裂周辺部の含水比分布

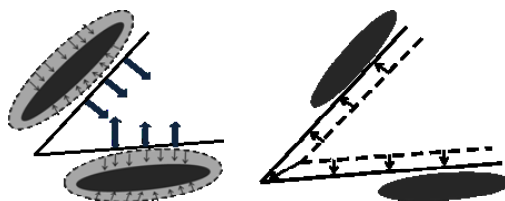


図-5 亀裂の進行過程

<参考文献>

中野政詩(1991):土の物質移動学,東京大学出版会,pp.165

川瀬陽介(2009):軟 X 線映像法による水田土壌の乾燥亀裂の発達過程について,三重大学卒業論文