

ベントナイトペースト薄層における乾燥亀裂の軟X線画像観察

Observation of Crack Formation in Drying Process of Bentonite Paste by Soft X-Ray Image

成岡 市*、橋本雄介**、山崎龍太郎**

Hajime NARIOKA, Yusuke HASHIMOTO and Ryu-taro YAMAZAKI

1. はじめに

粘質土壌表面の乾燥に伴って発生する "mud crack" などには、いくつかの規則的なパターンがあるとされ古くから注目されているが、それらに関する系統的な研究例は多くない。また亀裂を鉛直方向の 3 次元モデルとして検討した研究例も少ない。そこで本報では、軟 X 線画像を用いて、粘土薄層(ベントナイトペースト)に発生した亀裂の諸要素について定量評価し、亀裂発生・発達のメカニズムについての若干の検討を行った。

2. 試料および方法

(1)試料: ベントナイトに蒸留水を加え液性限界以上のペースト状にしたものをポリスチレン容器(W31.0mm × H59.8mm × D11.5mm)に薄層にして入れた。減圧処理はしていない。層厚は 2mm、4mm の 2 種類とした。液性限界(LL)は 2.286(kg/kg)、塑性限界(PL)は 0.279(kg/kg)であった。

(2)軟X線撮影および画像処理: 既報(山崎ら, 2004; 橋本ら, 2004)に準じて、直流型軟 X 線発生装置(DCTS-7003; SOFTEX)の軟 X 線撮影条件を、FFD=500mm(試料は水平置き)、管電圧 40kV、管電流 1.0mA、照射時間 30s、X 線フィルム(FR; FUJI FILM, 背面に鉛箔)などとした。撮影は、ペースト薄層の初期水分状態、亀裂発生直後からの複数回、および風乾状態の時点で段階的に行った。乾燥は、室温 23℃、湿度 60%の一定条件下で行った。自動現像機(HI-RHEIN;NIX)による一定条件現像を終えた軟 X 線フィルムを、解像度 1200dpi のスキャナ(CanoScan D1230U/D2400U; Canon)で正像変換し、画像解析に用いた。このとき、画像中の 1 画素(pixel)はフィルム原寸の 0.105mm と一致していた。

(3)亀裂割合の算出: 変換入力した軟 X 線画像は、8bit 系 256 階調(試料の X 線吸収量の多い固相部分(白色)を最大 255、X 線吸収量の少ない亀裂などの部分(黒色)を最小 0)であった。この画像内の亀裂領域と固相濃度階調などを探索した。

3. 結果および考察

(1)乾燥による固相濃度階調の変化: 乾燥に伴い固相濃度階調が減少し、その後わずかに増加した(Fig.1)。全ての試料において初期水分状態の固相濃度階調は風乾状態のそれより高い値を示したが、乾燥初期に固相濃度階調が減少したのは間隙水のみが減少した結果と考えた。一方、亀裂発達に従い濃度階調が増加したのは、粘土の収縮に伴う固相領域の密度増加によるものと考えた。

(2)亀裂発生箇所: 画像上で固相濃度階調が低い値を示した領域(気泡など)から亀裂が発生しやすいことがわかった(Fig.2)。これは固相濃度階調が低い領域では粘土層がわずかに薄くなっており、他の湿潤領域に先駆けて薄層内水分が減少し、収縮に伴う基質周囲からの引張力に対抗できなくなったためと考えた。

(3)亀裂形状: 薄層 2mm で「めくれあがり」が生じた(Fig.2)。その原因は、薄層表面付近の収縮による引張力と底面付近の引張力の差である。この差が大きければ、めくれあがりの力は増加する。しかし、試料の質量が大きい場合や含水比が高く付着力が大きい場合には、それらがめくれあがりの力を抑制し、めくれあがりは発生しないと考えた。薄層 4mm の試料でめくれあがりが生じなかった理由はこのためと考えた。

(4)亀裂幅と亀裂間隔: 初期状態で固相濃度階調の低い領域において亀裂幅が最も大きくなった。この試料では、固相濃度階調の低い領域の 2 ~ 3 箇所のみで亀裂が発生した。収縮による引張力は、2 ~ 3 個の亀裂発生箇所を広げるように作用し続けた。その際、薄層 2mm でめくれあがり

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

**岡山大学大学院自然科学研究科(The Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University)

キーワード: ベントナイト, 薄層, 亀裂, 軟 X 線, 固相濃度階調

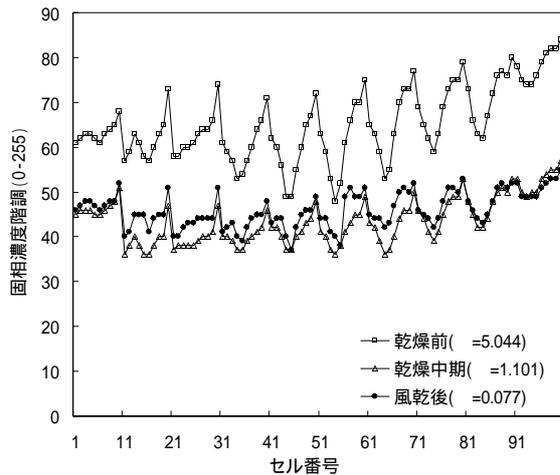


Fig.1 固相濃度階調の変化

生じ、亀裂幅はみかけで大きくなった。したがって、亀裂発生箇所における固相濃度階調の低い領域で亀裂幅が最も大きくなったと考えることができる。

(5) 亀裂発達方向: 薄層表面の色は、含水比が任意の値以下になると、濃い灰色から薄い灰色へ変化した。色が変化する湿潤前線において、亀裂はこの前線に対して垂直な方向に形成していった (Fig.2)。また、固相濃度階調の等値線に対して垂直な方向に亀裂が発達した (Fig.3)。つまり、初期水分状態において固相濃度階調が低い領域では濃度階調が高い領域と比較して水を多く保持している。乾燥条件が一定であれば、濃度階調の低い領域の方が高い領域よりも早く薄層中の水分が減少する。その結果、薄層は含水比が減少し収縮に伴う引張力に対抗できなくなった箇所から亀裂が発生し、湿潤前線を周囲に作りながら水分の多い領域に向けて発達したと考えることができる。これは、亀裂は水分の少ない(固相濃度階調が低い)領域から多い(高い)領域に向けて形成すること、湿潤前線(固相濃度階調)の等値線に対して垂直な方向に亀裂が発達していたことを示す。

引用文献

- 山崎・橋本・土田・成岡: 乾燥過程における粘土の軟 X 線画像テクスチャ解析法の検討, H16 農土講演要旨, 346-347(2004)
- 橋本・山崎・土田・成岡: 軟 X 線画像による粘土の乾燥過程における収縮と亀裂形成の関係, 第 46 回土壌物理要旨, 42-43(2004)

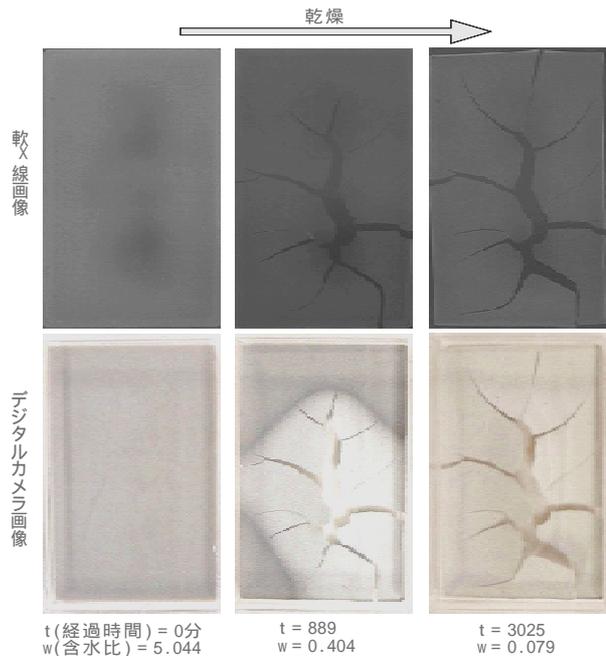


Fig.2 乾燥過程の軟X線画像(上)と表面接写像(下)



Fig.3 固相濃度等値線と亀裂発達方向の関係