

土壌の亀裂形成における乾燥過程と収縮分布の関係

Relationship between drying process and shrinkage distribution in soil fracture formation

○小林 大樹*, 登尾 浩助**

KOBAYASHI Daiki, NOBORIO Kosuke

1. 背景と目的

国内農業の食料自給率の強化, 地域の魅力的な特産品の生産による地域振興のために水田のフル活用が推奨されている. 水田フル活用手法のひとつに畑地転作が考えられるが, 水田は透水性の低い粘性土壌が広がる土地に形成されていることが多く, 畑地として使用するには透水性を改善する必要がある. 一方, 土壌には亀裂が発生するとそこに選択的に水が流れ, 透水性が著しく向上する特性がある. そこで, 水田土壌の亀裂発生を制御できれば透水性を抜本的に改善できるため, 粘性土壌の亀裂形成メカニズムの解明が望まれる.

粘性土壌では乾燥過程ごとに体積収縮率が異なり, 亀裂形成の頻度もこれに応じて変化する (Tang et al., 2011). さらに, 亀裂形成には収縮の不均一性が不可欠 (Peron et al., 2009) である. したがって, 亀裂形成のメカニズム解明には乾燥過程における収縮の不均一性に着目すべきであるが, 実測例は見つからない. そこで, 乾燥過程の粘性土壌に対して面的な収縮量を連続計測して, 乾燥過程と収縮量分布の関係を明らかにすることを研究の目的とした.

2. 材料と方法

水分飽和の供試土が自然乾燥する過程をデジタル撮影するために図1に示す実験装置を作成した. 観測箱の天頂に500万画素のCMOSデジタルカメラを固定し, 5分毎に $t=1000$ 分間, 供試土全体を連続撮影した. 撮影中は白色LEDを使って供試土を照らした. また, 観測箱内の空気循環を促進させるために電動ファンと空気孔を対角線上に設置した. 実験室内の平均気温は約20℃であった. 新潟県燕市花見地区の水田で採取した作土を風乾後,

2mmふるい通過分を供試土とした. 供試土を310×239×36mmのアルミニウム製容器に均一な厚さに充填し, 土壌表面まで蒸留水をゆっくり注いだ. そして容器を約3分間振動した後, 自然蒸発により土壌表面に水面が見えなくなるまで静置した.

土壌表面の空間的な収縮量すなわち変位を計測するためにデジタル画像相関(Digital image correction, DIC)法を用いて土壌表面の変位解析をした. DIC法は撮影画像の輝度分布を前後画像で比較し, 相関を計算することで変位を求める(Chu et al., 1985). そこで, 輝度分布による計算精度が高まるように樹脂製の白色スプレーを用いてまだら模様を土壌表面に塗布した.

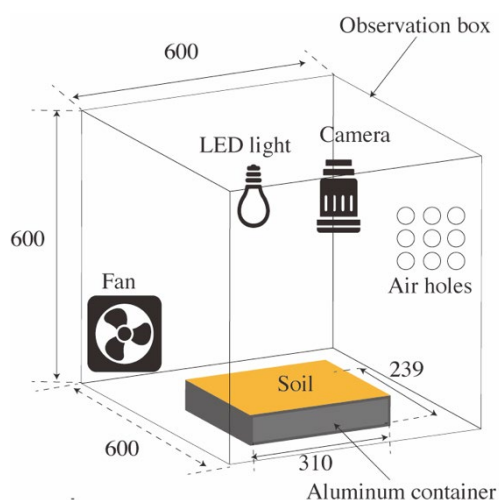


図1. 実験環境の概要

Overview of the experimental apparatus

*明治大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Meiji University

** 明治大学農学部, School of Agriculture, Meiji University

キーワード: 土の静力学的性質, 水分移動, 乾燥亀裂

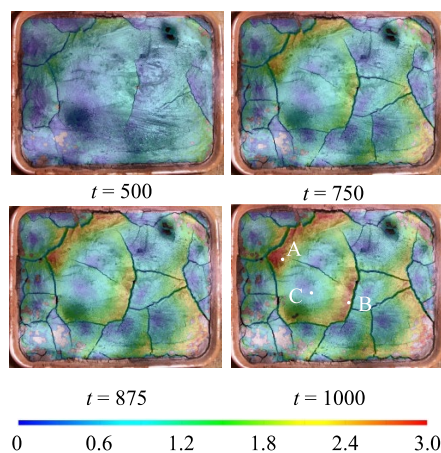


図 2 . DIC 法による解析結果

t は経過時間 (min) 数字は変位 (mm)
Analysis results by DIC

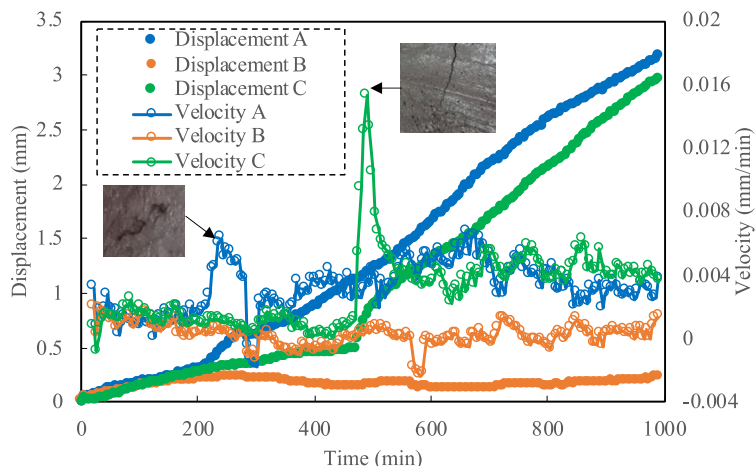


図 3 . 各点の時系列の変位と変化速度

Displacement and Velocity of each point in the time series

3. 解析結果

DIC 法による解析 (図 2) によれば、亀裂付近は大きく収縮した一方、亀裂に囲まれたブロックの中心における収縮は小さかった。さらに、図 2 上の点 A, B, C における変位の時系列変化および変化速度を図 3 に示す。変化速度は変位を時間で微分して表した。点 A では $t=250$ 分、点 B では $t=490$ 分に変化速度が急変し、この付近で亀裂が発生した。さらに、亀裂発生前よりも亀裂発生後の方が変化速度は大きかった一方で、亀裂発生前の変化速度は亀裂発生有無に関わらず同程度であった。

4. 考察

亀裂発生により変化速度が急変するのは、土壌収縮によりひずみが蓄積されて、限界値を超えた際に亀裂が発生することにより、ひずみエネルギーの急激な解放が原因と考えられる。また、亀裂の発生後に変化速度が大きくなるのは、亀裂が発生することで外気に接する表面積が大きくなり、蒸発が促進されているためと考えられる。最後に亀裂発生の有無に関わらず全ての点での変化速度に差がないことより、亀裂形成において土壌表面の収縮力の差の影響は少ない可能性がある。今後は収縮方向のばらつき等、他の不均一性を引き起こす原因現象に着目して亀裂形成メカニズムの解明を進めたい。

謝辞

供試土を提供して頂いた新潟県新発田地域振興局の佐藤太郎氏に感謝します。

参考文献

- Chu, T. C., W. F. Ranson, M. A. Sutton. (1985): Applications of Digital-Image-Correlation Techniques to Experimental Mechanics, *Experimental Mechanics*, 25 (3), 232–244.
- Peron, H., T. Hueckel, L. Laloui, L. B. Hu. (2009): Fundamentals of Desiccation Cracking of Fine-Grained Soils: Experimental Characterization and Mechanisms Identification, *Canadian Geotechnical Journal*, 46 (10), 1177–1201.
- Tang Chao-Sheng, Bin Shi, Chun Liu, Wen-Bin Suo, Lei Gao. (2011): Experimental Characterization of Shrinkage and Desiccation Cracking in Thin Clay Layer, *Applied Clay Science*, 52, 69–77.