

軟弱粘土の非線形破壊力学パラメータ Nonlinear Fracture Mechanics Parameter for Wet Clayey Soil

吉田修一郎*, ポール・ハレット**
Shuichiro YOSHIDA*, Paul D. HALLETT**

1. はじめに

暗渠は、重粘土水田の排水性を改善するために重要な役割を担っている。水田における暗渠への水の流れは、主に作土層やその直下の耕盤層の亀裂を通じて行われていることが知られており、水田の排水性を確保する上で、亀裂の消長の解明は重要である。Yoshida et al. (2001, 2004)は、作土層の亀裂について、その発生駆動力である蒸発や作物からの蒸散による土壌の収縮挙動と初期の亀裂の発生位置との関連を明らかにした。しかし、圃場の地下排水性に強い影響を及ぼす3次元的な亀裂の消長を解明するためには、さらに下方への亀裂の進展過程を定量的に評価できるモデルの開発が課題となる。そのためには、土壌の収縮挙動の予測のみならず、既存の亀裂先端における力学的挙動を解析するための理論体系である「破壊力学」の導入が必要となる。

大きな塑性変形を示す高水分土壌の亀裂を対象とする場合には、大規模降伏状態での亀裂進展解析を可能とする非線形破壊力学の適用が必要となる。しかし、非線形破壊力学において「既存の亀裂がさらに進展するための限界状態」を記述するパラメータである「積分や亀裂開口角 COA の測定例は、非常に少なく、その応用に必要な基本的な挙動もいまだ十分に明らかになっていない。そこで、本研究では、軟弱な粘質土の亀裂先端開口角 (CTOA) のマトリックポテンシャルおよび圧密履歴依存性を測定し、亀裂進展モデルのパラメータとしての基礎的な挙動を明らかにした。

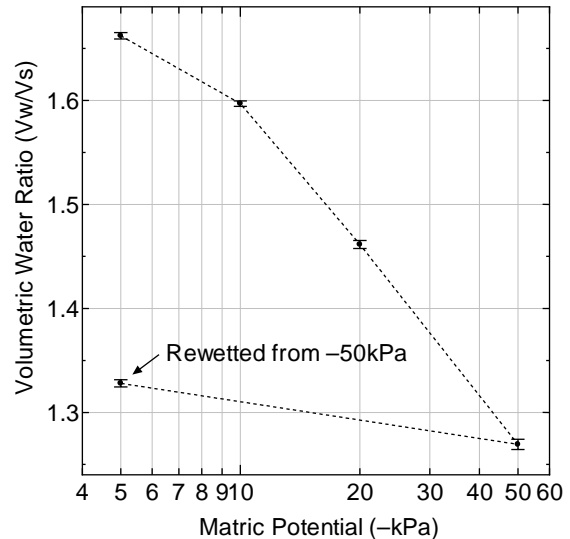


Fig.1 Volumetric water ratio of the specimens for bending tests
Error bars: Standard error

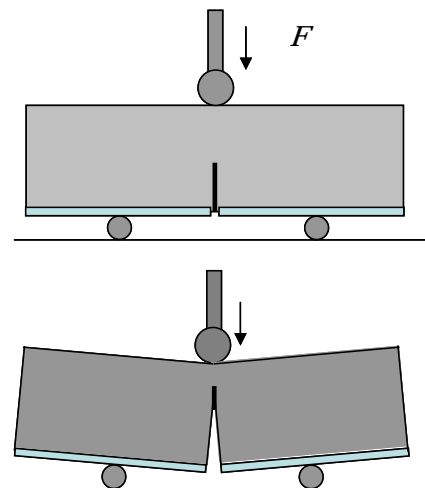


Fig.2 Schematic Representation of 3-points Bending Test

2. 実験方法

Ca-モンモリロナイトと石英砂の混合試料(重量比:2:3)を練り返し、液性限界付近に水分を調節した後、気泡を排除しながら直方体の型に充填した。排水前の試験片の寸法は、長さ14cm、幅3cm、厚さ3.5cmである。それらを負圧吸引テーブルに載せ、徐々に減圧しながら設定したマトリックポテンシャル(-5,-10,-20,-50kPa)になるまで排水した。また、-50kPaまで排水した試料の一部は、マトリックポテンシャルを-5kPaまで戻して吸水させ、過圧密状態の試験片とした。得られた各試料の水分をFig.1に示した。これらの試験片を材料圧縮試験器により3点曲げ試験(3-points bending test)に供した。試験片中央部には、試験前に細い切れ込み(試験片厚さの40%)を挿入した(Fig.2)。試験中は、荷重点変位と荷重値を自動で記録するとともに、試験片前面に発生する亀裂の進展をデジタルカ

メラを用いて3秒間隔で撮影した。2.0Nまで圧縮した後、一旦0.5Nまで除荷し、その後、さらに一定速度で試験片が完全に2分するまで圧縮した。圧縮速度は1mm/minとした。

亀裂が成長する過程を記録したデジタル画像から、亀裂先端の位置や亀裂幅などの情報を画像解析により解析し、亀裂先端から1mm位置での亀裂先端開口角(CTOA)を求めた。

3. 実験結果

荷重変位曲線は、典型的な弾塑性変形を示し、より排水圧密が進んだ(マトリックポテンシャルが低い)試料で高い破断強度を示した。また亀裂の進展もより小さな荷重点変位の下で発生した。

CTOAは、マトリックポテンシャルの減少とともに有意に低下した。すなわち、排水圧密が進んだ試験片ほど、わずかな亀裂先端の開口により亀裂がさらに進展することが示された。また、水準内での変動(標準誤差)は、高水分の試験片で大きい傾向が認められた。-50kPaの負圧で排水圧密した後に-5kPaで吸水させた過圧密試験片は、-50kPaで排水圧密しただけの正規圧密試験片よりさらに小さなCTOAが観測された。この興味深い現象は、主に密度に支配される亀裂近傍の弾塑性的な変形特性と、亀裂先端における土壌水の働きの双方のバランスにより起こったものと考えられるが、メカニズムの詳細は今後の検討課題である。

参考文献 Yoshida, S., and Adachi, K. (2001): Soil Sci. Plant Nutr., 47(3), 51-9-532.

Yoshida, S., and Adachi, K. (2004): Geoderma, 120, 63-74.

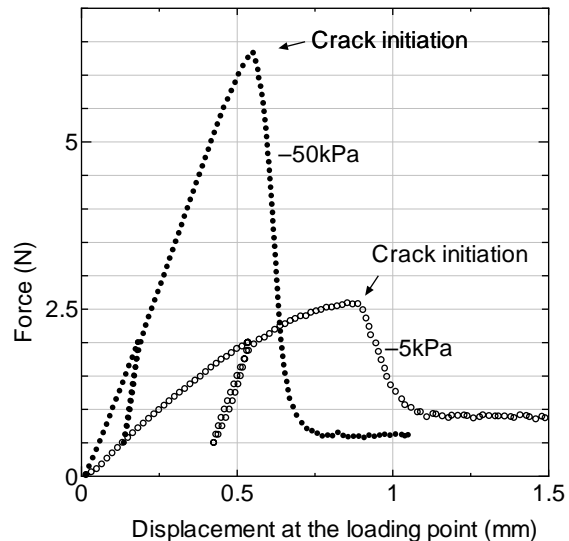


Fig.3 Force vs. load point displacement curves for specimens consolidated by 5kPa and 50kPa pore water suction.

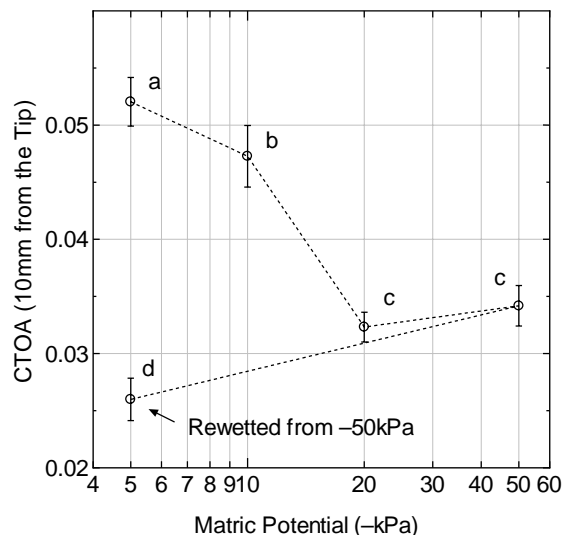


Fig.4 Measured CTOA depending on matric potential and consolidation history

Error bars: Standard error;

Alphabets: Result of Holm's multiple comparisons