

不飽和豊浦砂のせん断帯内部における微視的な間隙水分布変化の観察

京都大学大学院 学生会員 ○久泉友二
 京都大学大学院 学生会員 木戸隆之祐
 京都大学大学院 正会員 肥後陽介

1. はじめに

不飽和土は高い強度および剛性を有するものの、水の浸透やせん断の影響を受けサクシオンが消失することで明瞭なせん断帯を伴う脆性的な破壊挙動を示すことが知られている。この挙動の解明には土の構造変化に伴うサクシオンの進行的な変化を把握することが重要であるが、変形中は土粒子構造と間隙水分布が複雑に変化するため、それらの微視的挙動とマクロな力学特性との関係は未解明な点が多い。そこで本研究では不飽和砂三軸圧縮試験時に取得したせん断帯発生箇所の CT 画像を基に、変形に伴う間隙水の分布変化を評価した。

2. 試験概要

Moist-tamping 法で作製した Dr85%の不飽和砂供試体(ϕ 35 mm×70 mm)に対しひずみ速度 0.5 %/min の排気-非排水条件の三軸圧縮試験である¹⁾。軸ひずみ 0%, 2%, 4%, 8%, 12%, 16%, 20%の各段階において载荷を中断し、せん断帯発生箇所を μ X 線 CT で可視化した(図 1)。応力-ひずみ関係は明確なピークを示し、ダイレイタンスにより体積が膨張した。

3. 画像解析

3.1. 解析方法

せん断帯発生箇所の三次元 CT 画像(直径 7.89 mm, 高さ 3.48 mm)を基に土粒子・水・空気の三相割合を定量化する三値化を行った。三値化手法に関しては参考文献を参照されたい²⁾。その後、三値化画像から水相のみを抽出した(図 2-解析画像 1)。次に解析画像 1 に対し 1 voxel の erosion-dilation を行い、吸着水と部分容積効果によるサクシオンに直接関与しない間隙水を除去した。その後、水を個々の連続性を有するクラスターに分割した(図 2-解析画像 2)。この一連

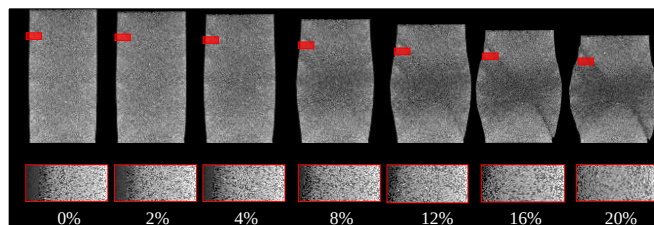


図 1 各せん断段階における供試体の様子

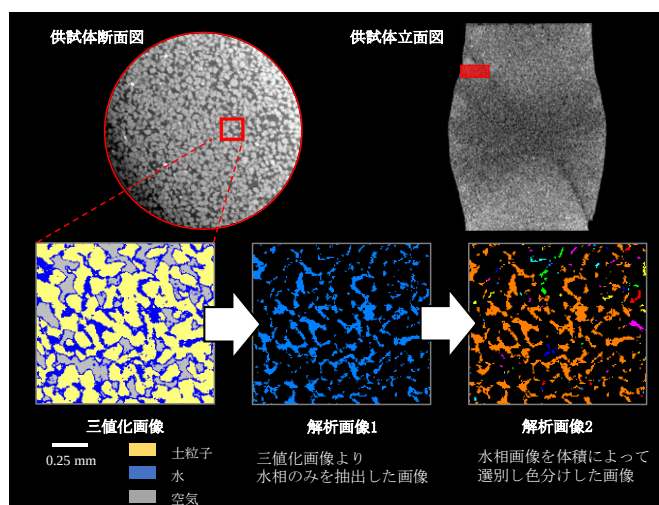


図 2 CT 撮影画像を用いた解析例

の処理により各要素の水の体積を求めた。同様の解析を空気相に対しても行った。

3.2. 解析結果

図 3 に軸ひずみと各相の総体積に対する最大体積の関係を示す。この値が 100 %に近いほど連続性が高いと評価する。この結果よりせん断帯発生箇所における水の連続性は、軸ひずみが 0%時では 5%程度と低く、軸ひずみが 2%と上昇するに伴い 90%近くまで高くなっていることが分かる。これは Moist-tamping で作成した供試体の間隙水は連続性が低い、载荷によるわずかな土粒子構造の変化によって間隙水が結合した可能性がある。その後軸ひずみが 8%, 12%と増加するに従って徐々に連続性が低くなっている。これは、さらに载荷が進むことで正のダイ

keyword 不飽和土 μ X 線 CT 間隙水分布
 連絡先 京都市西京区京都大学桂 C1-4-587

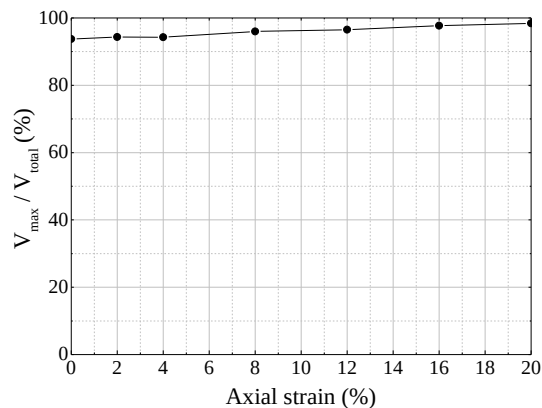
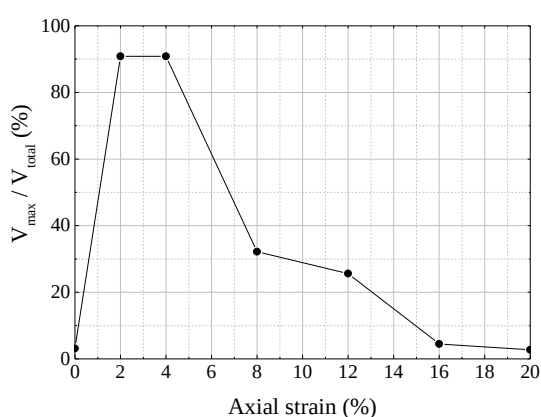


図3 軸ひずみと総体積に対する最大体積の関係 水相(左図) 空気相(右図)

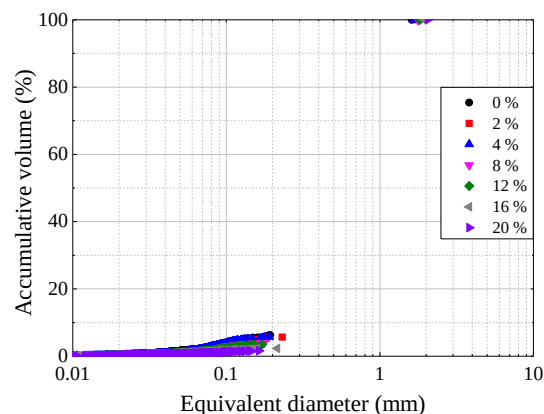
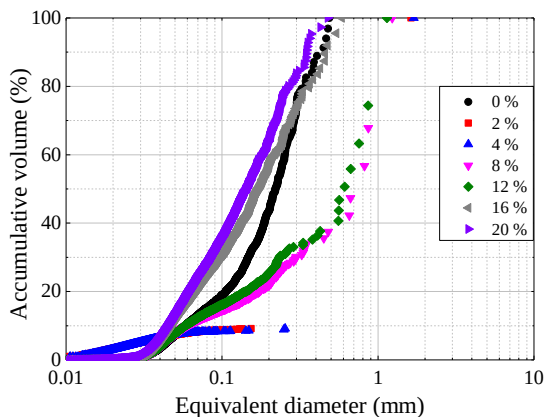


図4 体積から求めた粒径加積曲線 水相(左図) 空気相(右図)

レイタンシーを示し、一度連続した間隙水が分離したためと考えられる。また空気連続性について、実験初期段階から 93%程度の高い連続性を示しており軸ひずみの上昇と共に緩やかに上昇していることが分かる。これはせん断が進み間隙が大きくなったことで、連続した体積の大きな間隙空気クラスターの割合が上昇したためと考えられる。

図4に等価球直径と通過質量百分率の関係を示す。等価球直径は、各相の体積が球体の体積であると仮定し算出した。水相に関して、軸ひずみ 0%では $D_{50} = 0.2 \text{ mm}$ 程度で小さな間隙水クラスターが多数分布している。軸ひずみが 2%, 4%と上昇することで、細かい間隙水と全体積のほとんどを占めるような間隙水クラスターが1つ分布するように変化している。その後軸ひずみ 8%, 12%と増加すると $D_{50} = 0.6 \text{ mm}$ 程度となり、さらに軸ひずみが増加するに伴い、初期段階の分布へと近づくことが分かる。このことからひずみ発生箇所において、細かく均等に分布していた間隙水が軸ひずみ増加に伴い一時的に大きな間隙水を形成するが、ひずみの発達と共に細かい間隙水へと分離していくと考えられる。また空気相に関し

ては、実験開始から一貫して一つの大きな連続したクラスターが分布しており、ひずみ発生による形状の変化は生じにくいと考察する。

4. 結論

不飽和土の変形に伴う間隙水の分布の変化について、せん断帯発生箇所を μX 線 CT 装置を用いて撮影し、画像を解析することで評価を行った。今回の解析では、間隙水の連続性について評価を行った。その結果、せん断の進行と共に間隙水の連続性が一時的に上昇し、その後せん断帯形成前後で連続性が減少することが分かった。今後は、せん断帯形成箇所以外を解析し比較検討を行う。

参考文献

- 1) 吉田竜也, 肥後陽介, 松島祥樹, 岡二三生, μX 線 CT を用いた不飽和砂の応力-ひずみ関係と内部構造変化の関係に関する研究, 土木学会第 66 回年次学術講演会, pp831-832, 2011.
- 2) 木戸隆之祐, 肥後陽介, 森下諒一, 合谷龍馬, μX 線 CT による不飽和三軸供試体の初期飽和度・間隙比分布に関する研究, 第 49 回地盤工学研究発表会, pp719-720, 2014.