

不飽和シルト三軸供試体の荷重一定条件下における吸水破壊試験

不飽和三軸試験 荷重一定条件 吸水破壊

名古屋大学 国際会員 ○吉川 高広 野田 利弘
学生会員 服部 敦貴

1. はじめに

近年、平成 26 年 8 月豪雨や平成 30 年 7 月豪雨をはじめ、降雨による斜面や盛土の崩壊が多発している。その崩壊要因には、不飽和土の飽和化や間隙圧上昇による強度低下、吸水による自重の増加等が挙げられているが、崩壊メカニズムの完全な解明までには至っていない。本稿では、降雨による斜面や盛土の崩壊メカニズム解明を見据え、不飽和シルト三軸供試体が荷重一定条件下で吸水時に変形から破壊に至る二種類の実験を行った。

2. 実験条件

実験に用いた三軸試験機について、供試体下端では微細多孔質膜¹⁾を用いて水圧を、上端では撥水性のポリフロンフィルターを用いて空気圧を、それぞれ独立して制御した。体積変化は、二重セルシステムを用いて、内セルの水位変化から算出した。実験に用いた土試料は非塑性シルト (DL クレーン, 土粒子密度 2.70) である。不飽和三軸供試体に対して、次に示す(A)と(B)の二種類の吸水破壊試験を実施した。

実験(A) サクション低下による吸水破壊試験

本実験は不飽和地盤・土構造物の降雨による飽和化過程を想定した実験で、手順を次に示す。(i) 含水比 25%になるように調整した土試料をモールド内で静的に締固めて、間隙比 1.04、飽和度 65%の円筒供試体 (直径 50mm、高さ 100mm) を作製する。(ii) 排気非排水条件下で供試体を三軸試験機に設置し、セル圧を 800kPa まで上昇させる (基底応力 800kPa)。(iii) 空気圧を 600kPa まで上昇させる (基底応力 200kPa)。このとき供試体下端での計測水圧は 580kPa (サクション 20kPa) で、間隙比は 0.85 であった。その後、供試体のサクションを変えないように水圧を調節し排水条件に変えた。(iv) 側圧一定の排気排水条件下で定率軸荷重速度 0.8N/min で軸ひずみ 15%まで三軸圧縮する。(v) 軸荷重を一定に保ち、水圧を 600kPa まで上昇させ (サクション 0kPa)、吸水破壊させた。なお、本試験とは別に、手順(iii)の後で水圧を調節し、サクションが 0kPa および 20kPa 一定の排気排水三軸圧縮試験を、軸ひずみ速度 0.01%/min で行った。これらの実験結果は 3 章で述べる。

実験(B) 間隙圧上昇による吸水破壊試験

本実験は不飽和地盤・土構造物が降雨による飽和化後にさらなる吸水で間隙圧が上昇し、サクションだけでなく基底応力の低下も想定した実験である。手順を次に示す。実験(A)と(i)~(iii)の過程は同じである。(iv) 側圧一定の排気排水条件下で軸荷重速度 0.8N/min 一定で軸ひずみ 4%まで三軸圧縮する。(v) 軸荷重を一定に保ったまま、水圧を 600kPa まで上昇させて (サクション 0kPa)、吸水させる。この段階では破壊に至らなかった。(vi) 軸荷重を一定に保ったまま、空気圧と水圧を同時に (サクションを 0kPa に保ったまま) 上昇させて、吸水破壊させた。実験結果は 4 章で述べる。

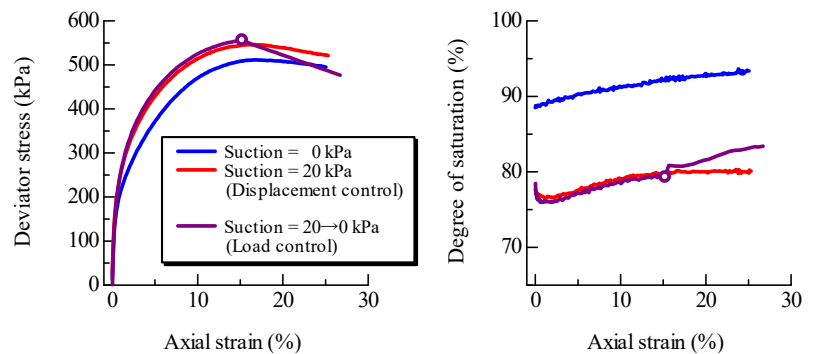


図 1 サクション低下による吸水破壊の実験結果 (実験(A))

3. サクション低下による吸水破壊試験 (実験(A))

図 1 はサクション低下による吸水破壊の実験結果 (紫色) を示す。図中の○は軸荷重一定条件に変えてサクションを低下させた点を示す。また、軸ひずみ速度 0.01%/min でサクション 0kPa (青色) および 20kPa (赤色) 一定の排気排水三軸圧縮試験結果も併せて示した。まずサクション一定・変位制御の結果より、サクション 20kPa の方が 0kPa より強度・剛性が大きいことがわかる。次にサクション 20kPa の場合に、ピーク強度を示した軸ひずみ 15%まで三軸圧縮した後、軸荷重を一定に保ったまま、サクションを 0kPa に低下した試験について、吸水に伴い飽和度が上昇して、軸変位の進展および軸差応力の低下

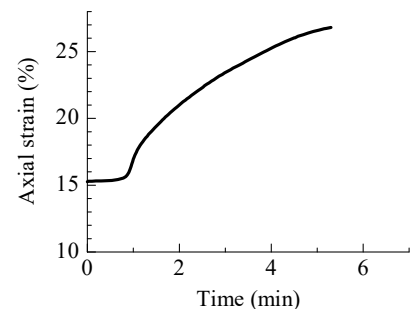


図 2 サクション低下後の軸変位進展の様子

(軟化)が観察された。このとき軸荷重を一定に保っているが、軸変位の進展と体積膨張に伴って補正する断面積が大きくなるため、軸差応力は低下した。最終的には軸変位が収束することなく、本実験機のストローク限界である軸ひずみ 25%に到達して実験を終えた。図 2 は、サクシジョンを 20kPa から 0kPa に低下後の軸ひずみの経時変化を示す。サクシジョン低下から 1 分程度で急激に軸変位が生じた後、最終的には軸変位が収束しない様子が示されている。

4. 間隙圧上昇による吸水破壊試験 (実験(B))

前章では、軸ひずみ 15%において軸荷重一定でサクシジョンを低下させる吸水破壊試験を実施したが、本章では軸ひずみが比較的小さい 4%で軸荷重を一定に保ち、吸水破壊させる試験を行った。図 3 は実験結果を示す。図 4 は軸ひずみ 4%でサクシジョンを 20kPa から 0kPa に低下した後の軸ひずみの経時変化を示す。本実験ではサクシジョンを 0kPa まで低下しただけでは破壊せず、その後、図 4 に示すように、空気圧と水圧を同時に (サクシジョンを 0kPa に保ったまま) 上昇させることで、基底応力を 200→190→180→…と低下させていった。基底応力 135kPa あたりで本実験機のストローク限界である軸ひずみ 25%に到達して実験を終えた。各図中に示す○は、各段階の開始点 (前段階の終了時点) を示す。

まず、図中に青色で示したサクシジョンを 20kPa から 0kPa に低下させる段階と、赤色で示した間隙圧上昇により基底応力を 150kPa から 140kPa に低下させる段階において、図 4 より軸変位が大きく進展し、図 3 より著しい軟化挙動を呈していることがわかる。また、サクシジョン低下段階では飽和度上昇に伴い体積圧縮している一方で、間隙圧上昇 (基底応力低下) 段階では飽和度変化はほぼ無く、体積膨張している。さらに、基底応力を 150kPa から 140kPa に低下させる段階は、骨格応力が限界状態線 $q = Mp'$ ($M=1.33^2$) の上側に位置した状態にある。

5. おわりに

本稿では、不飽和シルト三軸供試体を用いて、(A)サクシジョン 0kPa の変位制御・排気排水圧縮試験で軸差応力がピークとなる軸ひずみ 15%において、三軸圧縮過程中に荷重一定条件に変えて吸水させる実験と、(B)このピーク前の軸ひずみ 4%で同様に吸水させる実験を行った。(A)ではサクシジョンを 20kPa から 0kPa に低下させると、供試体が吸水軟化を示し、軸変位が急増して破壊に至ることを示した。一方(B)では、サクシジョン低下だけでは破壊せず、さらに間隙圧を上昇 (基底応力を低下) させることで吸水破壊に至ることを示した。このとき、サクシジョン低下時は体積圧縮を、間隙圧上昇時は体積膨張を示した。別報³⁾で本実験の数値シミュレーションについて述べているため参照されたい。

謝辞 JSPS 科研費 17H01289 の助成を受けた。

参考文献

- 1) Nishimura et al. (2012): Microporous membrane technology for measurement of soil-water characteristic curve, Geotechnical Testing Journal, the American Society for Testing and Materials, 35(1), 201-208. 2) Yoshikawa, T. and Noda, T. (2020): Triaxial experiments on volume compression behavior with water absorption of unsaturated soil and their soil-water-air coupled elastoplastic finite deformation analysis, submitted to Soils and Foundations. 3) 野田ら (2020): 慣性力考慮の三相系弾塑性有限変形解析による不飽和シルト三軸供試体の二つの吸水破壊メカニズムの解明, 第 55 回地盤工学研究発表会 (本誌).

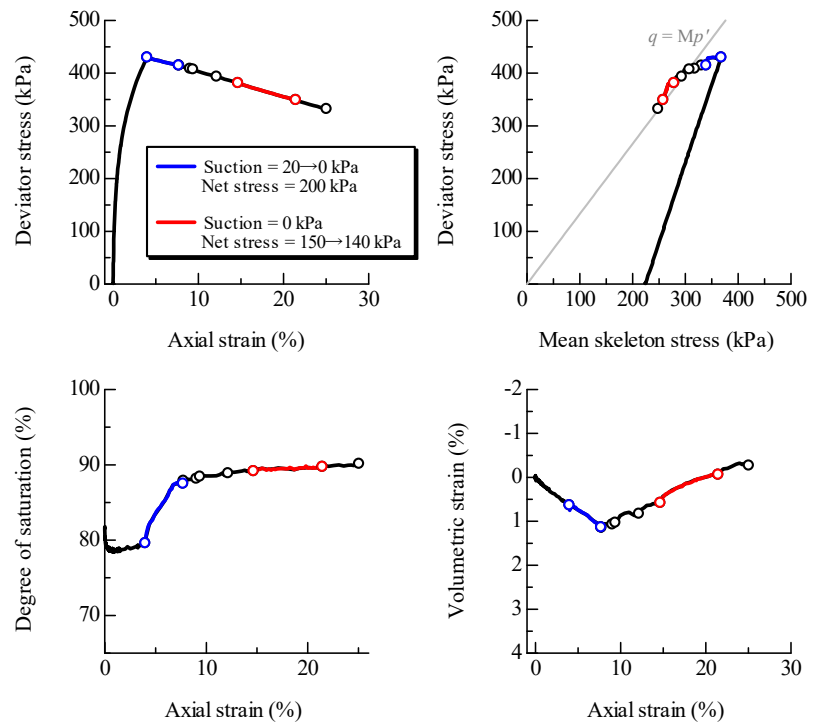


図 3 間隙圧上昇による吸水破壊の実験結果 (実験(B))

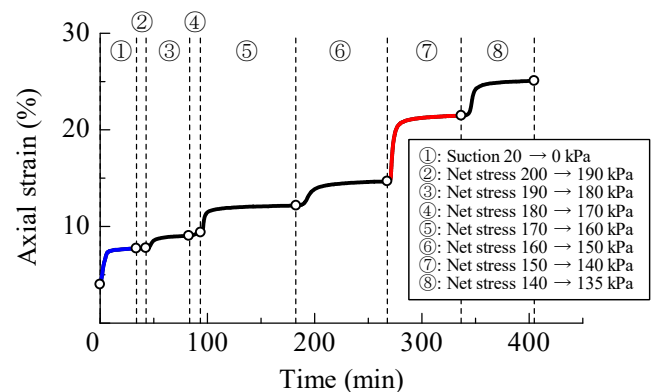


図 4 サクシジョン低下時および間隙圧上昇時の軸変位進展の様子