

不飽和砂質土の非排気-非排水せん断時の力学特性および水分特性に関する研究

(現 中日本高速道路株式会社) 京都大学大学院 学生会員 ○石川 椋
 京都大学大学院 正会員 木元 小百合
 京都大学大学院 学生会員 赤木 俊文

1. 研究の背景と目的

近年、台風や集中豪雨により多くの不飽和地盤で土砂災害が発生しており、不飽和土の力学特性および水分特性の解明、不飽和モデルの構築が求められている。

本研究では、河川堤防で採取した砂質土を用いて不飽和土の非排気-非排水三軸圧縮試験を行い、同一初期骨格応力における初期サクシジョンの影響を評価した。

2. 不飽和土の非排気-非排水三軸圧縮試験

2.1. 試験試料

本研究で使用した試料は、京都府城陽市にある木津川右岸堤防で採取した土を 2 mm 以下にふるい分けしたものである。図-1 に粒径加積曲線、表-1 に物理特性を示す。

2.2. 供試体作製方法

供試体は、最適含水比 10.5% となるように静的締固め機により作製した。供試体は、高さ 10 cm、直径 5 cm の円柱形であり、締固め度は 85% とした。

2.3. 不飽和三軸試験装置

供試体の上部にはポリフロンフィルター、下部には空気侵入値(A.E.V.)100 kPa のセラミックディスクを用いることで、間隙空気圧と間隙水圧を独立に制御・計測している。

2.4. 体積ひずみ測定方法

本研究では、試験装置の前面および側面のセル外から供試体の画像を撮影し、画像処理を用いることで体積ひずみを測定している。画像処理の精度を検証するため、飽和土の排水三軸圧縮試験を実施し、画像処理から求めた体積ひずみと排水量から求めた体積ひずみを比較した。試験条件および供試体諸量を表-2 に、飽和土の排水三軸圧縮試験で得られた軸ひずみ-体積ひずみ関係を図-2 に示す。画像処理から求めた体積ひずみは排水量から求めた体積ひずみと概ね一致しており、画像処理の精度を確認することができた。

2.5. 試験条件、応力変数

試験条件およびせん断過程前の供試体諸量を表-3 に示す。応力変数には骨格応力 σ'_m を用いる。

$$\sigma'_m = \sigma_m - (1 - S_r)u_a + S_r u_w \quad (1)$$

ここで、 σ'_m : 全応力、 S_r : 飽和度、 u_a : 間隙空気圧、 u_w : 間隙水圧である。Us10-A, Us50-A, Us80-A は初期骨格応力 104 kPa, Us10-B, Us50-B, Us80-B は初期骨格応力 236 kPa となるようにセル圧を設定した。

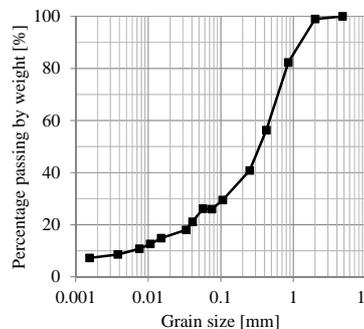


図-1 粒径加積曲線

表-1 物理特性

土粒子密度 ρ_s [g/cm ³]	2.637
最大間隙比 e_{max}	1.221
最小間隙比 e_{min}	0.761
平均粒径 D_{50} [mm]	0.354
細粒分含有率 F_c [%]	26.0
砂 [%]	74.0
シルト [%]	16.8
粘土 [%]	9.2
最適含水比 w_{opt} [%]	10.5
最大乾燥密度 ρ_{dmax} [g/cm ³]	1.898

表-2 試験条件および供試体諸量 (飽和土の排水三軸圧縮試験)

セル圧 [kPa]	300
背圧 [kPa]	200
圧密時間 [hour]	1
せん断前間隙比 e	0.613
せん断前含水比 w [%]	23.1
ひずみ速度 [%/min]	0.1
B 値	0.98

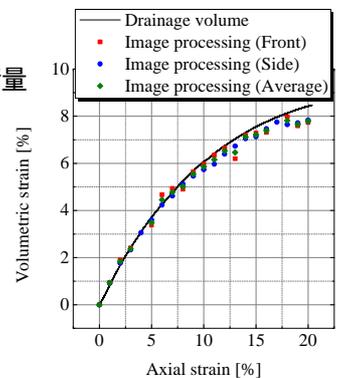


図-2 軸ひずみ-体積ひずみ関係 (飽和土の排水三軸圧縮試験)

表-3 試験条件およびせん断過程前の供試体諸量

ケース名	Us10-A	Us50-A	Us80-A	Us10-B	Us50-B	Us80-B
セル圧 [kPa]	300	281.5	270	431	412.5	400
間隙空気圧 [kPa]	200	200	200	200	200	200
間隙水圧 [kPa]	190	150	120	190	150	120
サクシジョン [kPa]	10	50	80	10	50	80
間隙比 e	0.614	0.607	0.595	0.562	0.565	0.572
含水比 w [%]	10.99	9.96	9.58	10.98	10.02	9.91
飽和度 S_r [%]	47.17	43.25	42.46	51.52	46.75	45.68
ひずみ速度 [%/min]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
初期骨格応力 [kPa]	104	103	104	236	236	236

キーワード 不飽和土, 三軸圧縮試験, サクシジョン

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 4 C クラスター C1 棟 TEL 075-383-3193

2.6. 試験結果

図-3 に応力-ひずみ関係を示す。初期サクシオンが大きいほど初期の軸差応力は大きくなったが、その後には大小が逆転し、初期サクシオンが小さいほど限界状態の軸差応力は大きくなった。また、初期骨格応力が大きいほど軸差応力は大きくなった。図-4 に応力-ひずみ関係(微小ひずみ領域)を示す。せん断過程のごく初期について剛性は初期サクシオンに依存せず、その後にはサクシオンが大きいほど剛性が大きくなった。図-5 に骨格応力径路を示す。限界状態の応力比は全てのケースで 1.41 となった。また、初期サクシオンが小さいほど骨格応力の増加は大きくなった。図-6 に軸ひずみ-体積ひずみ関係を示す。初期サクシオンが小さいほど体積圧縮ひずみは大きくなった。図-7 にサクシオン-飽和度関係を示す。初期サクシオン 10kPa のケースでは軸ひずみの増加につれてサクシオンと飽和度がともに増加する挙動を示した。

応力-ひずみ関係より、せん断中に軸差応力の大小が逆転する挙動について、以下のように考察した。

- A. 初期サクシオンが小さいほど体積圧縮ひずみが大きく、体積圧縮による硬化が起こる。
- B. 初期サクシオンが小さいケースでは軸ひずみの増加とともにサクシオンが増加し、サクシオンの増加による硬化が起こる。一方、初期サクシオンが大きいケースでは軸ひずみの増加とともにサクシオンが減少し、サクシオンの減少による軟化が起こる。

3. 結論と今後の課題

不飽和土の非排気-非排水三軸圧縮試験を行い、同一初期骨格応力における初期サクシオンの影響を評価した。特に、応力-ひずみ関係より、せん断中に軸差応力の大小が逆転する挙動を確認することができた。今後の課題としては、保水性試験により主排水曲線・主吸水曲線を求める必要がある。

参考文献

- 1) Jommi, C. : Remarks on the constitutive modelling of unsaturated soils, *Experimental Evidence and Theoretical Approaches in Unsaturated Soils*, Vol.153, pp.139-153, 2000.

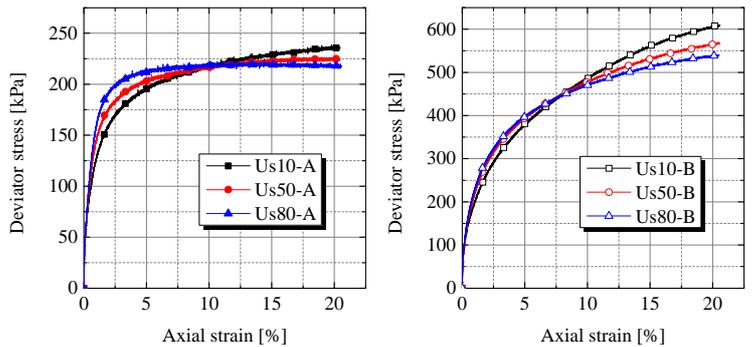


図-3 応力-ひずみ関係

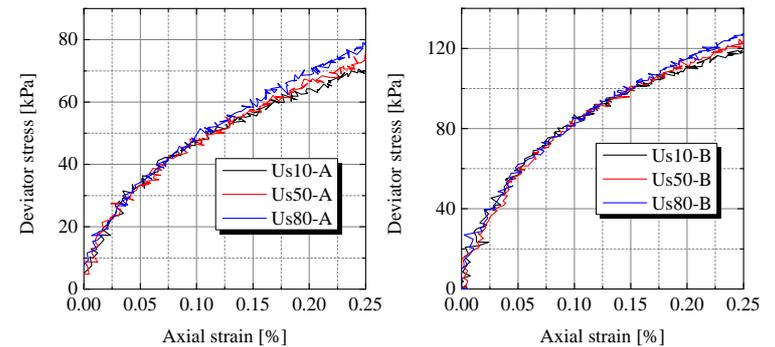


図-4 応力-ひずみ関係(微小ひずみ領域)

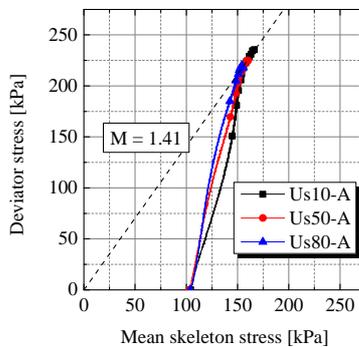


図-5 骨格応力径路

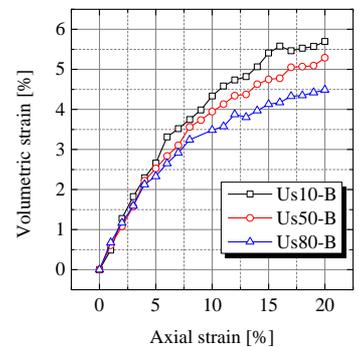


図-6 軸ひずみ-体積ひずみ関係

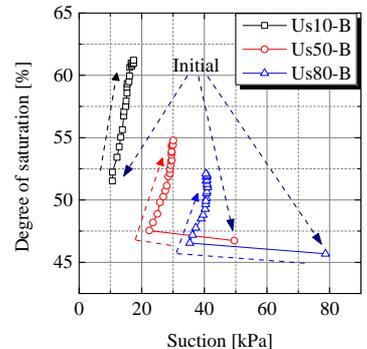
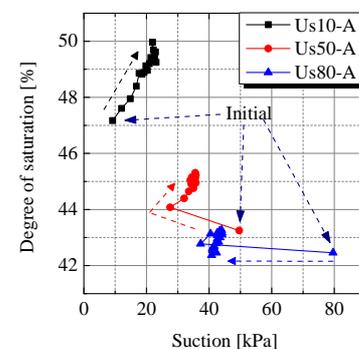


図-7 サクシオン-飽和度関係