

# 排水・吸水過程における不飽和土のせん断強度特性のワンサンプルによる迅速な計測システムとその算定法

九州大学大学院 学 ○相良知輝

九州大学大学院 正 アデル・アロウイシー F 安福規之 正 石蔵良平

応用地質株式会社 正 畠山正則 京野修 正 持田文弘

## 1. はじめに

実際の土中では降雨などによって土中のせん断強度の大きさが変化していくため、降雨による斜面安定性を評価するには、水分特性曲線と不飽和透水係数、不飽和せん断強度を関連付けて評価することが重要である。しかし、これらの測定は非常に複雑で長い時間を要する。そこで既往の研究では、連続加圧式保水性試験を用いることで、水分特性曲線と不飽和透水係数の迅速な同時計測システムを開発することができた<sup>1),2)</sup>。また、連続加圧式保水性試験で目標のサクションを予め設定して定体積一面せん断試験を行うことで、水分特性曲線と同じくせん断強度にも明確なヒステリシスがあることが確認された<sup>3)</sup>。本研究では、開発したシステムの精度を調査して不飽和土のせん断強度の算定法を適正化し、排水・吸水過程に沿ったせん断強度のヒステリシス挙動を明らかにすることを目的としている。

## 2. 試験システムの概要

### 2-1 ワンサンプルシステムの概要

本研究では、連続加圧式保水性試験と定体積一面せん断試験を連続で行うことが新規性の一つであり、この一連の試験のシステムをワンサンプルシステムと称する。このシステムでは、水分特性曲線と不飽和透水係数を求めるために連続加圧式保水性試験を行い、せん断強度を算定するためのパラメータである粘着力と内部摩擦角を求めるために定体積一面せん断試験を保水性試験とは別の装置で実施する。

本研究では、図1の特性を示す火山灰質粘性土の阿蘇黒ぼくを使用した。供試体は自然状態の湿潤密度で直径5cm、高さ5cmの円柱型に締め固めた後、90kPa以上の真空圧で24時間以上脱気飽和させた。

### 2-2 連続加圧式保水性試験の概要

図2に示す試験装置に空気圧を注入して試料を加圧し、サンプル内に設置したマイクロテンシオメーターで水圧を測定することで、高精度なサクションを経時的に得ることができ、結果として連続的な水分特性曲線と不飽和透水係数を短時間で求めることができる<sup>1),2)</sup>。サクションが排水過程で④0kPa、①30kPa、②80kPa、吸水過程で③80kPa、④30kPa、⑤0kPaに達するまでそれぞれ別途試験を行った。

### 2-3 定体積一面せん断試験の概要

保水性試験でサクションを制御した不飽和土に対して、標準的で排水可能な一面せん断試験装置を用いて定体積一面せん断試験を行った。それぞれ圧密が完了する1時間の間200, 100, 50kPaの圧密応力

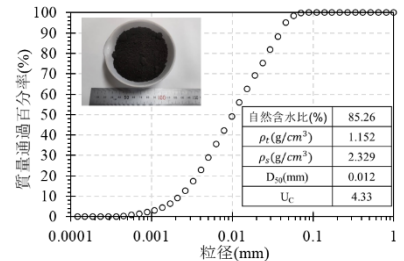


図1 試料の粒径加積曲線

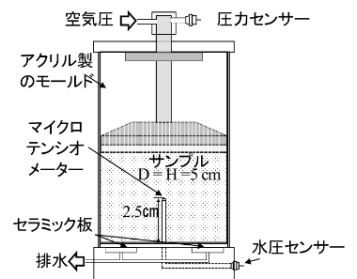


図2 連続加圧式保水性試験装置

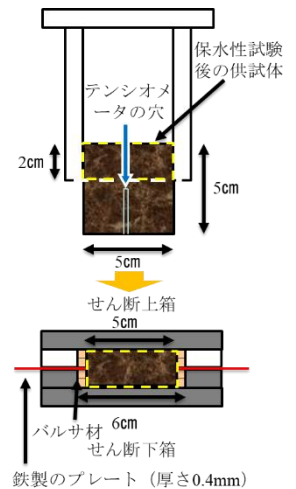


図3 一面せん断試験への移動図

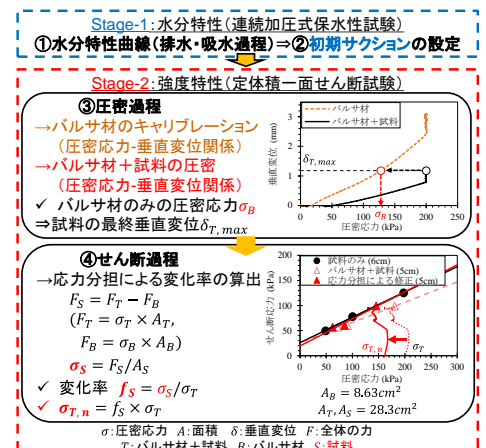


図4 応力分担のフローチャート

を載荷した後に、定体積条件でせん断速度 0.2mm/min のもと、せん断変位が 7mm に達するまで試験を行った。

2-4 供試体のサイズの違いへの対応と応力分担の考え方<sup>4)</sup>

供試体のサイズが保水性試験では直径 5cm に対して、一面せん断試験では直径 6cm と違いがある。そこで図 3 のように、保水性試験後の供試体の高さを 2cm にカットして、バルサ材を一面せん断試験装置のせん断箱に設置して直径を 6cm 相当に調整し、一面せん断試験を行った。ここで、厚さ 0.4mm の鉄製のプレートを入れてバルサ材同士の摩擦を防ぐことで、せん断応力への影響を小さくした。既往の研究<sup>4)</sup>より、せん断過程においてはバルサ材で供試体のサイズの違いを調整した時の影響が無視できると確認できたが、圧密過程においては垂直変位による影響が無視できないことが示唆された。そこで図 4 のように、圧密過程による応力分担を考慮したせん断強度を算出した。この算定法の精度は、様々なサクシオンの供試体を使用して検証された。

3. 試験の結果と考察

阿蘇黒ぼくの水分特性曲線を図 5 に示す。図 5 の①~⑤は、一面せん断試験を行う際の初期サクシオンを示している。図 5 より、排水過程と吸水過程におけるヒステリシスを確認することができた。次に、定体積一面せん断試験において、排水過程における応力分担を考慮した応力経路と破壊包絡線を図 6 に示す。この結果より、排水過程では 3 日以内にせん断強度を把握でき、破壊包絡線はサクシオンが大きいほど上に位置することを確認した。次に、サクシオン 30, 80kPa において排水過程と吸水過程を比較した結果を図 7 に示す。図 7 より、どのサクシオンにおいても破壊包絡線は吸水過程の方が下に位置することを確認した。また、①~⑤の粘着力と内部摩擦角をサクシオンごとに整理したものを図 8 に示す。図 8 より、粘着力は基本的にサクシオンが大きいほど大きく、吸水過程の方が小さいことから、応力分担を考慮することでせん断強度の算定法を適正化し、初期サクシオンを基準にすることでせん断強度にもヒステリシスが存在することを示した。

4. まとめ

本研究では、連続加圧式保水性試験で目標のサクシオンを予め設定して応力分担を考慮した定体積一面せん断試験を行うことで、ワンサンプルシステムが迅速で精度が高いことを確認できた。また、初期サクシオンや排水過程と吸水過程の違いによってせん断強度、特に粘着力に大きな影響を与えることを水分特性と関連付けて明らかにした。本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金 (21K18752) の支援を受けたものである。また、実験装置の改良等をしてくださった中島通夫氏 (九州大学技術協力スタッフ) に厚く御礼申し上げ、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Alowaisy, A., Yasufuku, N., Ishikura, R., Hatakeyama, M., Kyono, S., 2020. Continuous pressurization method for a rapid determination of the soil water characteristics curve for remolded and undisturbed cohesionless soils. *Soils and Foundations*, 66(3): 634-647
- 2) A. Alowaisy, N. Yasufuku, R. Ishikura, M. Hatakeyama, S. Kyono, Rapid determination of the unsaturated hydraulic conductivity for sandy soils utilizing the continuous pressurization method, *ICSMGE20th*, 1413-1418, 2022
- 3) 相良知輝. 排水・吸水過程における不飽和土の水分特性と強度特性の 1 ステップ評価に関する研究. 九州大学卒業論文, 2021
- 4) 相良知輝, アロワイシー アデル, 安福規之, 石蔵良平, 畠山正則, 京野修. 連続加圧式保水性試験を活かした不飽和土のせん断強度算定のための応力分担補正とそのシステム. 第 11 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 2022 年 8 月. pp. 25-30.

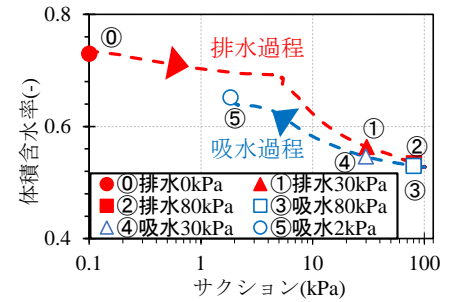


図 5 試料の水分特性曲線

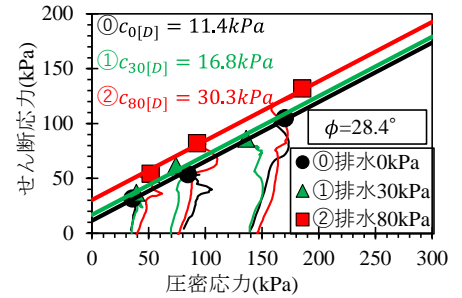


図 6 排水過程の応力経路と破壊包絡線

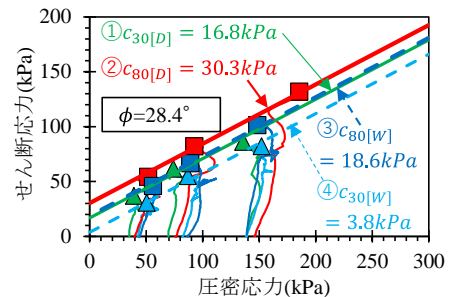


図 7 排水・吸水過程の破壊包絡線

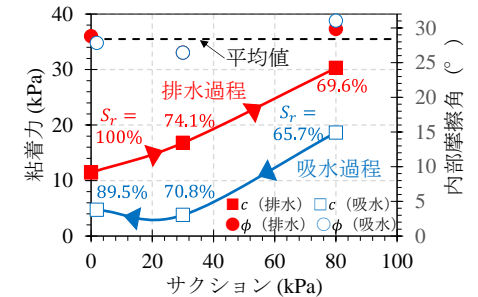


図 8 サクシオンと c, φ の関係