

連続加圧型水分特性試験を活かした排水・吸水過程における 不飽和火山灰質土のせん断強度の評価

九州大学 学 ○山本凌雅

九州大学 正 ALOWAISY ADEL F 安福規之 正 石蔵良平

応用地質 (株) 正 畠山正則

1. はじめに

降雨浸透時の斜面での崩壊を分析、予測するには、地盤の透水・保水に関わる特性を知ることが重要になる。しかし、現状では実験で評価するために、非常に長い時間を必要としており、計測時間を短縮可能で簡易的な試験方法の開発が望まれていた。そこで開発されたのが連続加圧方式による水分保持特性試験装置である。既往の研究によって、従来法で得られた SWCC(水分特性曲線)と差がないことが確認されており、大幅な時間短縮効果が示されている¹⁾。

さらなる発展として、降雨時や晴天時など様々な間隙水の状態にある土を、一面せん断試験によってせん断強度を測定できると、斜面安定解析に非常に有用であると考えた。本研究では実務において利用できる技術を考案することを目的とし、熊本県南阿蘇村阿蘇大橋地区で採取した火山灰質粘性土(以下、阿蘇黒ぼくと称する)を用いて、水分保持特性試験における排水過程と吸水過程でのせん断強度の違い、飽和→排水→吸水の過程におけるせん断強度の時系列変化に着目して考察を行った。また、水分保持特性試験装置から一面せん断試験装置へ供試体を移動させる方法の検討も実施した。

2. 実験の概要

2-1 連続加圧方式による水分保持特性試験の概要

試験装置は試験容器(圧力室)、電子天秤(排水量計測用)、調圧装置、計測用ロガー、制御用のパソコンから構成される。試験容器の構造を図-1に示す。空気圧 u_a は供試体上部から注入され供試体を加圧し、供試体下部のポーラスディスクを通して間隙水が排水され電子天秤によって排水量が測定される。また、供試体中央に取り付けたマイクロテンシオメータで供試体中央部の間隙水圧 u_w を測定する。これらの値から試験中のサクション $s (=u_a - u_w)$ と含水比 w をリアルタイムに求めることができ、従来の加圧法と比べ試験時間が 1/10 以下と格段に短く、連続的な SWCC を得ることができる²⁾。加圧速度は 0.5kPa/min とし、吸水過程の SWCC まで調べる場合は、空気圧を最大まで加圧した後に空気圧を維持し排水を促してから、減圧を開始し供試体に吸水させ、含水比とサクションの瞬間値から SWCC を導いた。

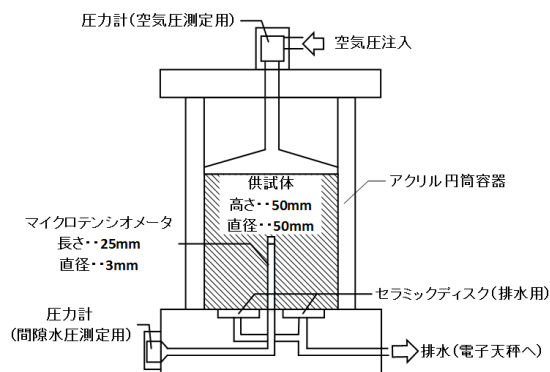


図-1 試験容器の構造

表-1 阿蘇黒ぼく の特性

自然状態	含水比 $w(\%)$	95.5
	湿潤密度 $\rho_t(g/cm^3)$	1.017
	湿潤単位体積重量 $\gamma_t(kN/m^3)$	9.973
	乾燥単位体積重量 $\gamma_d(kN/m^3)$	5.101
	土粒子密度 $\rho_s(g/cm^3)$	2.329
有機物含有量		21.6
(強熱減量) $L_t(\%)$		
液性限界 $W_L(\%)$		147.2
塑性限界 $W_P(\%)$		94.6
塑性指数 I_P		52.6
飽和透水係数 $K_s(cm/s)$		8.04×10^{-6}

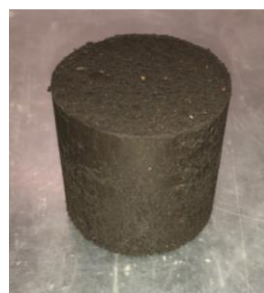


写真-1 阿蘇黒ぼく

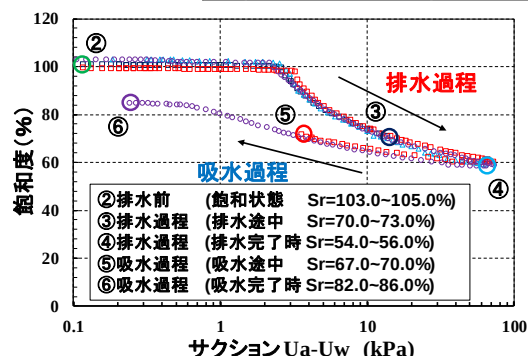


図-2 阿蘇黒ぼく の SWCC

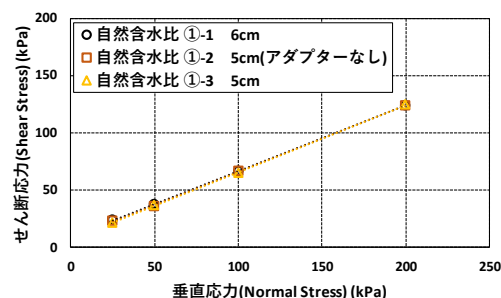


図-3 一面せん断試験結果(自然含水比)

2-2 一面せん断試験の概要

使用した試験機は、せん断箱の大きさが直径 6cm 高さ 2cm の不飽和土対応型一面せん断試験機である。それぞれ 25、50、100、200kPa の垂直応力を 1 時間载荷した後、せん断速度 0.2mm/min、定圧条件でせん断変位 7mm まで試験を行った。

2-3 供試体の作成条件

実験には、阿蘇黒ぼくの攪乱試料(写真-1)を使用した。阿蘇黒ぼくの試料の特性を表-1 に示す。供試体は、直径 5cm 高さ 5cm の円柱型に自然状態での密度($\rho=1.017\text{g/cm}^3$)と含水比($w=95.5\%$)で締固めた。締固めた供試体を真空ポンプで飽和させた。

2-4 水分保持特性試験装置から一面せん断試験装置へ供試体を移動させる方法

供試体のサイズを比較すると、水分保持特性試験機は直径 5cm × 高さ 5cm、一面せん断試験機は直径 6cm × 高さ 2cm であり、直径と高さが異なるため供試体を移動させる方法を考案した。手順としては、まず水分保持特性試験を終え定常状態となった供試体を高さ 2cm にカットしせん断箱の中央に挿入する。次に下箱の隙間を供試体と同じ試料、密度、含水比で埋め、上箱の隙間にはアクリル製のアダプターを固定した。またこの方法は現状では粘着力のない試料には適用できない。

3. 実験の結果と考察

圧密応力 50kPa の一面せん断試験を行なった試料の SWCC を図-2 に示す。また自然含水比、排水過程、吸水過程の垂直応力-せん断強度関係を図 3~5、せん断強度のまとめを表-2 に示す。表-2 から粘着力は排水とともに増加し、吸水とともに減少している。これは飽和度が上昇したことによりサクションが減少したためと考えられる。内部摩擦角は粘着力に比べ土粒子の大きさや形状に依存していると考えられるためほぼ一定となっている。

粘着力と圧密前飽和度の関係を図-6 に示す。図-6 からほぼ同じ圧密前飽和度である排水過程③と吸水過程⑤の粘着力では僅かに③の方が大きいことがわかった。また排水前の飽和状態②に比べて吸水完了後⑥は圧密前飽和度が低いにも関わらず粘着力が小さくなる傾向がみられた。

4. おわりに

様々な間隙水の状態にある土のせん断強度を測定できると斜面安定解析において非常に有用である。本研究では水分保持特性試験の後に一面せん断試験を行い、飽和→排水→吸水の過程におけるせん断強度の変化を明らかにした。同じ圧密前飽和度では、全体的に排水過程より吸水過程の方が粘着力が小さくなる傾向が確認され、飽和→排水→吸水の過程を経ることで粘着力が減少することを示した。試験の実施回数が少なく不十分であるため、今後も試験結果のさらなる蓄積と様々な試料での検証が不可欠である。

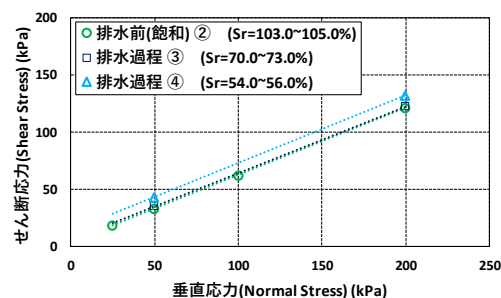


図-4 一面せん断試験結果(排水過程)

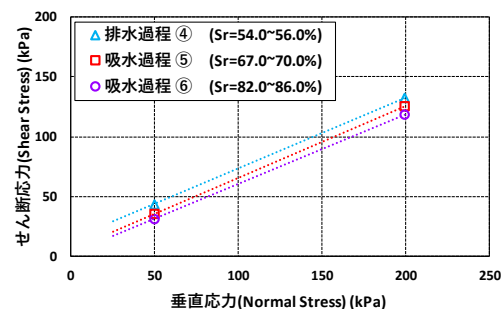


図-5 一面せん断試験結果(吸水過程)

表-2 せん断強度まとめ

	自然含水比			排水前(飽和)
	①-1	①-2	①-3	②
圧密前飽和度 S_r %	64.0	64.0	64.0	103.0~105.0
粘着力 c kN/m ²	9.05	7.51	6.29	4.26
内部摩擦角 ϕ 度	36.88	37.67	38.32	38.11
	排水過程(不飽和)		吸水過程(不飽和)	
	③	④	⑤	⑥
圧密前飽和度 S_r %	70.0~73.0	54.0~56.0	67.0~70.0	82.0~86.0
粘着力 c kN/m ²	6.48	13.89	5.10	2.09
内部摩擦角 ϕ 度	37.62	38.51	39.16	37.83

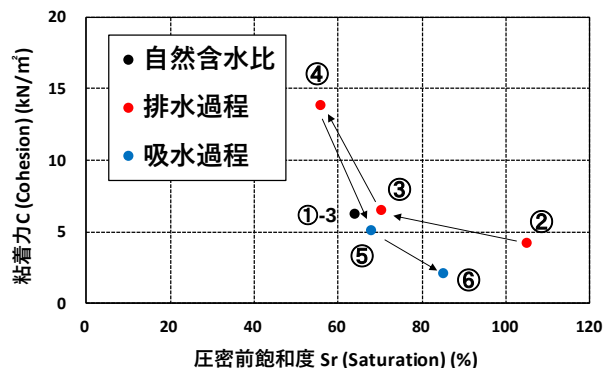


図-6 粘着力-圧密前飽和度の関係

参考文献：1) 山本凌雅、ALOWAISY ADEL、安福規之、石蔵良平、畠山正則：非定常型不飽和透水試験による水分特性曲線の加圧速度依存性について、土木学会西部支部研究発表会、2018

2) 畠山正則、京野修、川原孝洋：連続加圧方式による保水性試験装置の開発、応用地質技術年報、No.34、pp.23~54、2015。