

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

九州大学工学部 学生会員 山本凌雅
九州大学工学研究院 学生会員 ADELALOWAISY
九州大学工学研究院 正会員 安福規之
九州大学工学研究院 正会員 石蔵良平

1. はじめに

降雨浸透時の斜面では、飽和度の上昇に伴うせん断強度の低下が斜面の崩壊につながる。このような斜面の崩壊を分析、予測するには、降雨時の地盤の透水・保水に関わる特性を知ることが重要になる。しかし、現状では地盤の不飽和透水・保水特性を実験で評価するためには、高度な試験技術と非常に長い時間を必要とする。そのため、簡易的であり試験時間を短縮できる試験方法の開発が望まれている。本研究では不飽和土の非定常型水分特性の評価を短時間で簡易的に行うことができ、尚且つ精度がよい手法の開発を目指す。具体的には様々な試料に応じた最適な加圧速度を明らかにするために、連続加圧方式による保水性試験装置を用い加圧速度が排水過程の水分特性曲線にもたらす影響について考察する。

2. 実験の概要

2-1 連続加圧方式による保水性試験装置の概要

試験装置は、試験容器（圧力室）、電子天秤（排水量の自動計測用）、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、供試体下部のセラミック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によって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る。従来の加圧法と比べ試験時間が格段に短く、連続的な水分特性曲線を得ることができる。

2-2 用いた試料とその特性

実験には K-4（珪砂）と豊浦砂、そして阿蘇大橋崩落現場付近で採取した火山灰質粘性土（黒ぼく）を使用した。用いた試料の材料特性を表-1、粒径加積曲線を図-2に示す。各試料の特徴を以下にまとめる。

- ・豊浦砂、K-4 は粒度幅が小さく均等係数が小さい。K-4 は豊浦砂より粒径が大きく飽和透水係数が高い。
- ・熊本火山灰質粘性土は粒度幅が広く均等係数が高い。また、飽和透水係数が他の2つの試料と比べて低い。

2-3 供試体の作成

供試体は、攪乱状態の試料を試験容器内に直径 5cm 高さ 5cm の円柱型に締固めた。熊本火山灰質粘性土は

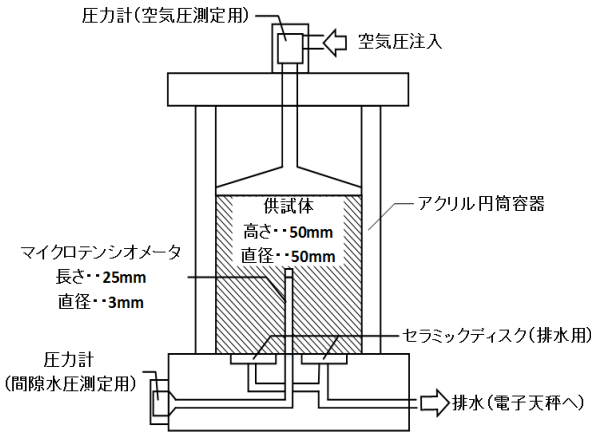


図-1 試験容器の構造

表-1 試料の材料特性

	礫 (%)	粗砂 (%)	中砂 (%)	細砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	均等係数 (U_c)	曲率係数 (U_c)	D_{50} (mm)	ρ_s (g/cm^3)	$K_{15^\circ C}$ (cm/s)
熊本V	0	0.6	19.5	37.5	37.1	5.3	17.86	1.087	0.110	2.278	8.04×10^{-6}
豊浦砂	0	0	62.5	36.3	1.2	0	1.381	0.986	0.271	2.641	8.25×10^{-3}
K-4	0	19.5	80.5	0	0	0	1.238	0.969	0.740	2.598	7.36×10^{-2}

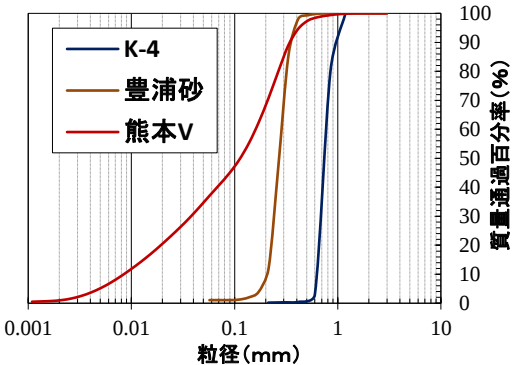


図-2 粒径加積曲線

表-2 実験概要

	熊本V	豊浦砂	K-4
加圧速度	5 kPa/min 0.5 kPa/min 0.05 kPa/min	5 kPa/min 0.5 kPa/min 0.05 kPa/min	5 kPa/min 0.5 kPa/min 0.05 kPa/min
最大空気圧 u_{amax}	180 kPa	90 kPa	90 kPa
D50	0.110 mm	0.271 mm	0.740 mm

試料採取時の自然状態での密度、豊浦砂と K-4 は最大密度になるようにした。各試料の湿潤密度 ρ_t と初期含水比は次に示すとおりである。熊本火山灰質粘性土 $\rho_t = 1.124(g/cm^3)$ 、 $w = 188.6(\%)$ 。豊浦砂 $\rho_t = 1.560(g/cm^3)$ 、 $w = 14.7(\%)$ 。K-4 $\rho_t = 1.124(g/cm^3)$ 、 $w = 10.0(\%)$ 。

締め固めを行ったのち供試体を 24 時間毛管飽和させ飽和度を高め、マイクロテンシオメータ挿入用の孔を供試体底の中央に作成した。

2-4 実験の概要

それぞれの試料における加圧速度のパターンと、最大空気圧を表-2 に示すように設定した。試験時には空気圧を制御しており、加圧とともに間隙水圧が空気圧に遅れて上昇しサクシオンが生じる仕組みである。また排水された間隙水を電子天秤で連続的に測定し、含水比の瞬間値を求め水分特性曲線を導いた。

3. 実験の結果

実験によって得られた水分特性曲線を図-3～5 に示す。また、空気侵入圧（サクシオン）と粒径の関係を図-6 に示す。図-3、4 の水分特性曲線から、熊本 V と豊浦砂において曲線は加圧速度を変えてもほとんど重なっているといえる。しかし、図-5 において水分特性曲線に重なりは見られず大きなずれが生じた。

また、図-6 より粒径が大きい試料ほど空気侵入値にずれが生じていることが読み取れる。これは、粒径が大きな試料ほど加圧速度が水分特性曲線に与える影響が大きいことを示している。このことから図-5 において K-4 の水分特性曲線にずれが生じた原因として、K-4 が粒径の大きな試料であったことが考えられる。

4. おわりに

本研究では連続加圧方式による保水性試験装置を用いて不飽和透水試験を行い、排水過程において加圧速度が水分特性曲線にもたらす影響について考察した。今回の実験条件では、熊本 V では 0.5kPa/min 以下、豊浦砂、K-4 では 0.05kPa/min が十分な水分特性曲線を得るために最適な加圧速度であった。また、いずれの試料においても 0.5kPa/min 程度の速度で加圧すれば、安定的な水分特性曲線が得られた。さらに図-6 より、試料が粗粒であるほど水分特性曲線にばらつきが生じやすく、加圧速度が曲線に与える影響が大きいことを示した。

連続的に加圧し供試体中央でサクシオンを求めるこの方法であれば、水分特性曲線を得るための時間を短縮できるだけでなく、連続的にデータを求めることができ空気侵入値を精度よく評価できる可能性を示した。今後も試験結果の蓄積と従来の試験方法における水分特性曲線との比較が、連続加圧方式の妥当性を示す上では不可欠である。

参考文献：1) 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。

2) ティハ、土田孝、佐々木康：自然斜面における雨水浸透・流出の原位置観測、こうえいフォーラム第 16 号, pp.55~65, 2007。

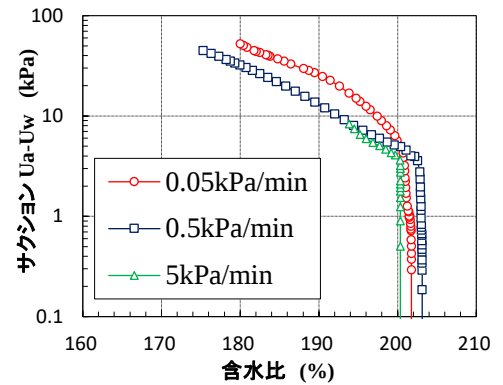


図-3 熊本火山灰質粘性土の水分特性曲線

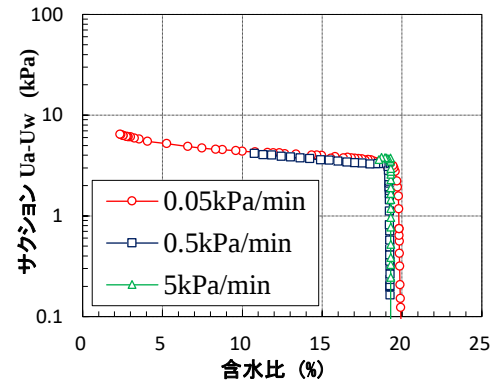


図-4 豊浦砂の水分特性曲線

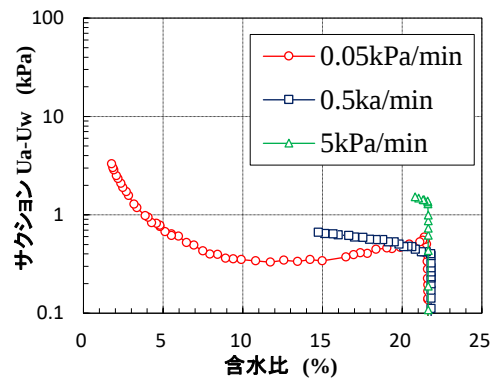


図-5 K-4 の水分特性曲線

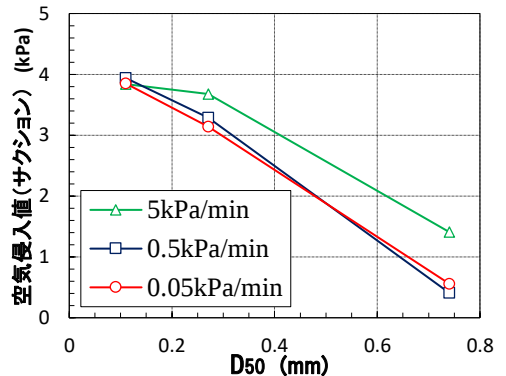


図-6 粒径と空気侵入圧