

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 ○山本凌雅

九州大学工学研究院 学 ALLOWAISY ADEL

九州大学工学研究院 F 安福規之 正 石藏良平

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、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、非常に長い時間を必要としている。そのため、簡易的な試験方法の開発が望まれている。本研究では最終的に不飽和土の水分特性の評価を短時間で簡易に行うことができ、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不飽和透水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し、連続加圧方式の適応範囲を検討する。

2. 実験の概要

2-1 連続加圧方式による不飽和透水試験装置の概要

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¹⁾。

2-2 用いた試料とその特性

実験には K-4、K-7 (珪砂) と豊浦標準砂、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。用いた試料の粒径加積曲線を図-2 に示す。

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試料採取時の自然状態での密度、豊浦砂、K-4、K-7 は最大密度に締固めた。各試料の湿潤密度 ρ_t は次に示すとおりである。熊本火山灰質粘性土 $\rho_t = 1.124(g/cm^3)$ 。豊浦砂 $\rho_t = 1.560(g/cm^3)$ 。K-4 $\rho_t = 1.490(g/cm^3)$ 。K-7 $\rho_t = 1.618(g/cm^3)$ 。締固めを行ったのちに供試体を真空ポンプで飽和させ、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-1 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ョンが生じる仕組みで

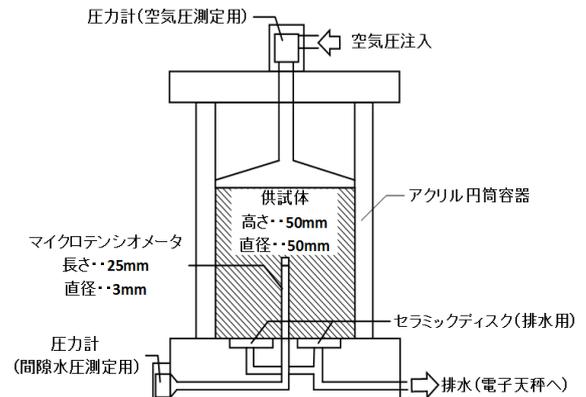


図-1 試験容器の構造

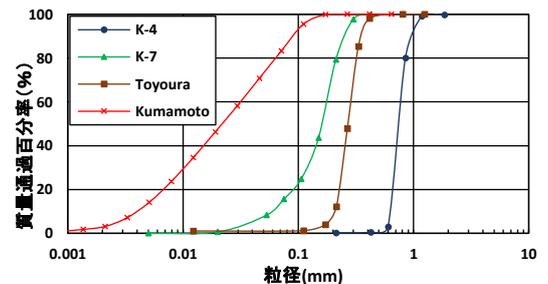


図-2 粒径加積曲線

表-1 実験概要

| | Kumamoto | Toyoura | K-4 | K-7 |
|----------------|----------|---------|-------|-------|
| 加圧速度 (kPa/min) | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 最大空気圧 (kPa) | 180 | 90 | 90 | 180 |
| D-50 (mm) | 0.022 | 0.271 | 0.740 | 0.161 |

ある。またポーラスディスクを通して排水された間隙水を電子天秤で連続的に測定し、含水比とサクシジョンの瞬間値から水分特性曲線を導いた。

また、豊浦砂、K-4、K-7では同条件で作成した供試体を用いて、従来の加圧法で保水性試験を行った²⁾。

3. 実験の結果

実験によって得られた水分特性曲線を図-3～6に示す。また、空気侵入圧（サクシジョン）と粒径の関係を図-7に示す。図-3、4、6の水分特性曲線から熊本V、豊浦砂、K-7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K-4の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-7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、粒径が大きい試料ほど加圧速度が水分特性曲線に与える影響が大きくなることを示している。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のは、K-4が粒径の大きさが原因であったと考えられる。

加圧法の結果においては、図-4、6では連続加圧方式の曲線とおおむね似た曲線となったが、図-5では重なりは見られなかった。

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、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-7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。加えて連続加圧方式は、試料の粒度(D₅₀)に着目することによって精度よく測定できる適応限界を設定することができる可能性を示した。

連続的に加圧し供試体中央でサクシジョ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水分特性を精度よく評価できることを示した。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。また、適応限界についても様々な試料での検証が必要である。最後に本研究の一部は、

JSPS 科研費 17K20140 の助成を受けて実施したものです。関係者各位には深甚の謝意を表したい。
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) ALLOWAISY Adel、安福規之：Validation of Continues Pressurization Method apparatus by the conventional staged pressurization method [axis-translation technique]. 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol: 72, 2017.

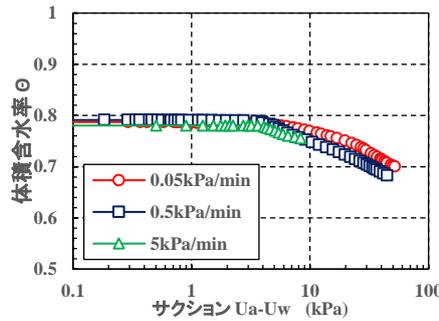


図-3 熊本火山灰質粘性土の水分特性曲線

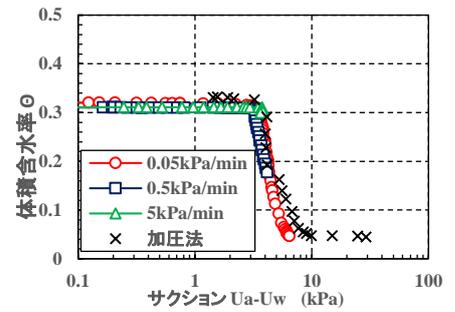


図-4 豊浦砂の水分特性曲線

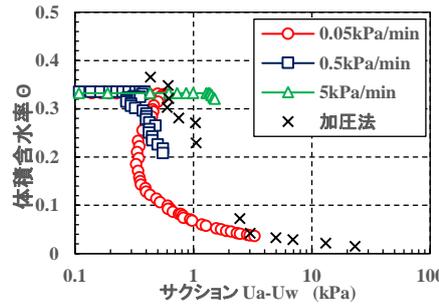


図-5 K-4の水分特性曲線

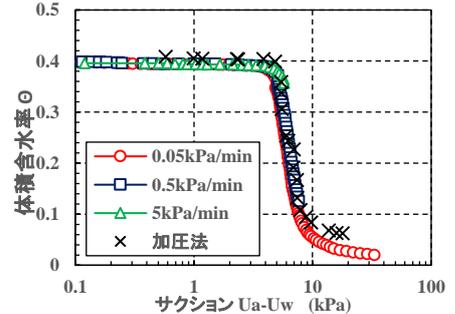


図-6 K-7の水分特性曲線

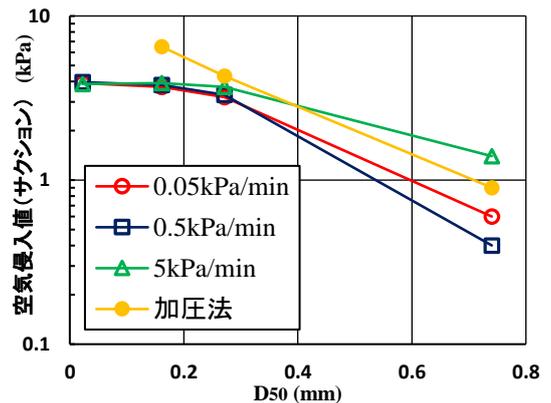


図-7 粒径と空気侵入圧