

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18752

研究課題名（和文）連続加圧場を活かした不飽和土の浸透・強度特性値評価の超効率・高精度化への挑戦

研究課題名（英文）Challenge to Ultra-efficient and Accurate Evaluation of Infiltration and Strength Properties of Unsaturated Soil Using Continuous Pressurized method

研究代表者

安福 規之（Yasufuku, Noriyuki）

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：20166523

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、既に開発している連続加圧型の保水試験装置を活かし、水分特性曲線の吸水排水履歴と連動した不飽和透水係数の算定法を提示するとともに、任意の水分特性状態を反映させた一面せん断試験用の供試体を同時に3つ作成できるハイブリッド型の不飽和土を対象とした新たな試験システムの開発を行った。これによって、特に、砂質土系供試体の水分特性曲線、不飽和透水係数、せん断強さが連動して得られ、従来の手法と比べて圧倒的な効率化・高精度化を実現し、実務に活用できる試験環境の構築を実現している。このシステムを活用した一連の試験を通して、せん断強さと吸水・排水履歴の関係を、効率的に明らかにできることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

不飽和土の浸透特性値と強度定数がワンステップで所定の精度の下で迅速かつ同時に得られれば、斜面や河川堤防における地質・地盤リスクを分析する精度は飛躍的に向上する。本研究は、このような認識から、水分特性曲線と連動させて、透水係数と強度定数をワンステップで求めるための方法論を明らかにし、水分特性曲線と透水係数をそれぞれ得るのに従前の概ね20分の1の時間で測定できる画期的なシステムを利用者の視点から構築したものである。圧倒的な効率化と高精度化の結果として、当該試験の生産性を格段に向上させるだけでなく、現状の測定システムの体系や方向性を変革する可能性を秘めており、学術的・社会的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：This study utilized the continuous pressurization method to develop a new hybrid system that allows concurrent determination for the hydraulic conductivity function (HCF) and the soil water characteristics curve (SWCC). The system is hybridized by linking it to three cells for direct shear box testing, allowing the testing of the tested specimens to be set at designated hydrological conditions simultaneously. The system enables the SWCC, HCF, and shear strength of sandy soil specimens linked to each other to be determined. The efficiency and accuracy compared with conventional methods were confirmed and served as a tool that can be used reliably in practice. A series of tests using this system showed that the relationship between shear strength and water absorption/drainage history can be clarified efficiently.

研究分野：地盤工学

キーワード：不飽和土 水分特性曲線 不飽和透水係数 一面せん断強さ 吸水排水履歴とせん断強さ 連続加圧型保水試験 ハイブリッド形式

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、防災研究の進展にも拘わらず、国内外において気候変動によると思われる大規模な水・土砂災害が頻発化しており、申請者は、この10年、斜面災害、越水なき堤防決壊などの不飽和地盤や土構造物における浸透挙動に起因した地盤工学的な諸問題に向き合ってきた。

(2) 豪雨に伴う災害外力が激甚化する中、自然斜面の土砂災害対策調査、河川堤防などの盛土構造物の性能照査などに地盤工学的な立場からかかわっていた。そうした経験から、不飽和土の保水性や透水性を表す不飽和浸透特性値の測定とそれと連動した強度定数の評価の格段の効率化と高精度化がなされなければ、斜面健全度や危険度リスクの予測精度を高めることは難しいことを実感してきた。

(3) こうした思いから、本研究の先駆けとして、非定常の流れ場で水分特性を求めするための連続加圧に基づく保水性試験システムの技術開発を研究仲間と共同で行ってきた。本研究は、このような学術的、社会的背景を踏まえ、申請者らのこれまで培ってきた水分特性評価に関する知見を活かして構想した。特に、利用者の視点から水分特性の排水・吸水履歴と連動したワンステップ型の不飽和・飽和透水係数と強度定数を効率的かつ高精度に計測・評価できるハイブリッド系の測定システムの開発に挑むこととした。

2. 研究の目的

本研究では、この学術的問いや社会的要請に答えるための基盤となる、土の水分特性曲線(Soil Water Characteristics Curve: SWCC) と不飽和透水係数を短時間で計測・評価でき、かつワンステップで排水・吸水履歴を反映した強度定数の算定が可能となる室内測定システムの圧倒的な効率化と高精度化の実現を目的にして取り組んだものである。具体的には、以下の事項を研究目的として取り組んだ(図1参照)。

SWCC、透水係数を得るのに必要な試験時間を従来の数週間-数か月から数日以内に短縮する。(連続加圧の仕組みとマイクロテンションメータ(MT)の効率的導入)

連続加圧型の保水性試験から得られるリアルタイムでの計測データに基づく水分特性の排水・吸水履歴と連動した不飽和透水係数の予測システムを開発する。

計測システムのハイブリッド化に基づく水分特性の排水・吸水履歴と連動したせん断用供試体の作製システムを確立する。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、3年の研究期間で以下のテーマに具体的に取り組んだ。

(1)テーマ1: 連続加圧法を導入し、マイクロテンションメータ(MT)をサンプル中に挿入することで、定常から非定常の水の流れを許容した SWCC 測定システムを確立し、効率化、高精度化のための影響要因の分析を行う。

具体的には、高精度化のために検討すべき影響要因として、1) MT の測定位置の違いが測定精度に与える影響、2) 加圧速度が測定精度に与える影響、3) MT による間隙水圧測定の意義の明確化、などを体系立てた実験を通して分析する。次いで、効率化のために検討すべき要因として、1) 空気侵入値から残留状態でのサクション値までの排水・吸水履歴過程での試験時間の短縮効果の評価、分析を実施する。

(2)テーマ2: 新たな試験装置で得られる水分特性曲線と連動した飽和透水係数のリアルタイム算定手法を提示し、その妥当性を検証する。

具体的には、保水性試験から得られるリアルタイムのデータを活かした、不飽和透水係数の算定手法を提案し、その妥当性を従来の試験方法での結果と比較し、検証する。核になる考え方は、空気侵入値と水分特性の残留状態は、疑似定常状態とみなして不飽和状態における動水勾配を評価するところである。

(3)テーマ3: 連続加圧型の保水性試験装置を図1に示すようにハイブリッド型のシステムに拡張し、一面せん断試験に供することのできる水分特性の排水・吸水履歴と連動させた供試体の作成システムを構築し、保水試験装置内の供試体と同質のものが得られるための改善を継続的に行う。その上で、本システムで作製した供試体を一面せん断試験に供し、強度定数に与える排水・吸水履歴の影響がどのように現れるのかを分析し、このシステムの工学的価値を具体化する。

して、いくつかの砂質土系の土質材料を対象に吸水・排水履歴の影響が定体積一面せん断時の強度定数に与える影響を体系立てた実験を通して分析した。その結果、土質材料の種類に関係なく、吸水・排水履歴の影響は内部摩擦角よりも粘着力に大きく表れること、また、粘着力と吸水・排水履歴の関係性を一連の試験を通して、効率的に明らかにできることを示した。

以上より、連続加圧の保水試験装置を活かしたハイブリッド型のシステムの可能性を明らかにしたことにより、土の水分特性曲線と不飽和透水係数を短時間かつ効率的に計測・評価でき、かつワンステップの試験によって、水分特性の排水・吸水履歴やサクシオン履歴の影響を反映した不飽和土質材料の強度定数の算定が実務的に行える可能性を示すことができたと考えている（表1参照）。今後、さらなる実績を積み重ね、例えば、連続加圧の保水試験装置が基準化につながったり、このようなハイブリッド型のシステムが地盤工学における防災・減災に寄与するうえで積極的に活用されることを期待している。

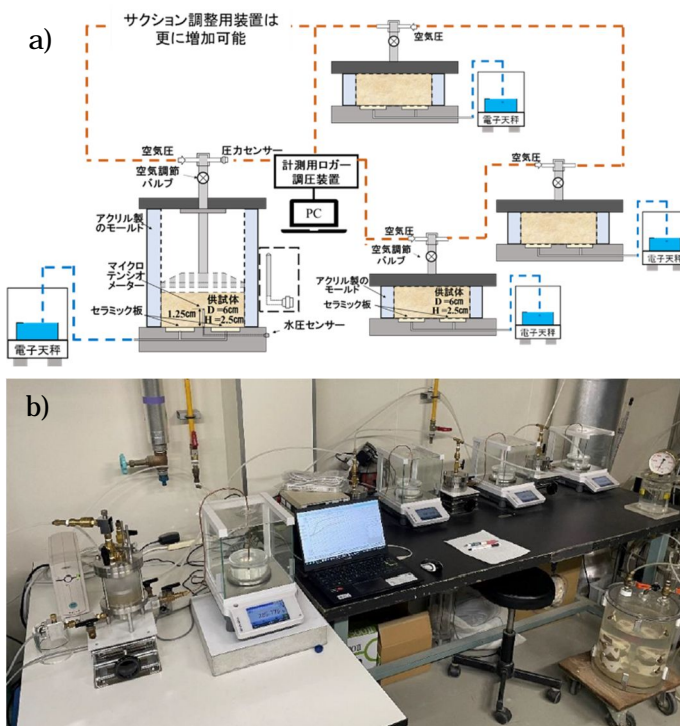


図2 組み立てた試験システムのレイアウト

表1 試作したシステムの時間的な効率性の比較

	加圧法	ワンサンプルシステム	マルチサンプルシステム
確認できること	水分特性曲線	浸透特性 強度特性	浸透特性 強度特性
特徴	高いサクシオン領域 まで 測定可能	供試体：1つ 直径の調整が必須 バルサ材の使用 定体積条件	供試体：複数個 高さ調整のみ 定圧/定体積
時間	砂試料でも 約1ヶ月	排水過程：3～5日 吸水過程：2～3週間	排水過程：2日 吸水過程：1週間
評価できたこと	—	応力分担を適用し 強度特性の ヒステリシスを確認	浸透特性と連動した 強度特性の ヒステリシスを確認

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Alowaisy, A., Yasufuku, N., Ishikura, R., Hatakeyama, M. and Kyono, S.	4. 巻 2
2. 論文標題 Rapid determination of the unsaturated hydraulic conductivity for sandy soils utilizing the continuous pressurization method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney 2021	6. 最初と最後の頁 1413 ~ 1418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hussary Jumana, Alowaisy Adel, Yasufuku Noriyuki, Ishikura Ryohei, Abdelhadi Monther	4. 巻 62
2. 論文標題 Pore structure and falling rate stage of evaporation in homogeneous sandy soil profiles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 101108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2022.101108	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Jumana Hussary, Adel Alowaisy, Noriyuki Yasufuku, Ryohei Ishikura, Monther Abdelhadi	4. 巻 21003
2. 論文標題 Drying Front and Vaporization Plane Dynamics during Evaporation from Homogeneous Soil Profiles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 8th International Conference on Unsaturated Soils	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 相良知輝
2. 発表標題 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法
3. 学会等名 土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 近藤 優雅
2. 発表標題 覆土システムによる蒸発に伴う土中水の損失抑制効果について
3. 学会等名 土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 相良知輝、アデル・アロウイシー、安福規之、石藏良平
2. 発表標題 応力分担を考慮した不飽和火山灰質土におけるせん断強度の算定法
3. 学会等名 土木学会西部支部研究発表会(開催地：鹿児島大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川諒、アデル・アロウイシー、安福規之、石藏良平、畠山正則、持田文弘、京野修
2. 発表標題 連続加圧方式を用いたマルチサンプルシステムにおけるサンプルサイズの違いが水分特性曲線に与える影響について
3. 学会等名 第58回地盤工学研究発表会(福岡大会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小川諒、アデル・アロウイシー、安福規之、石藏良平、ジュマナ・フサリ、パーカー舞椰、畠山正則、京野修、持田文弘
2. 発表標題 排水過程に着目した不飽和土特性を決定するための連続加圧方式を活かしたマルチサンプルシステムの開発
3. 学会等名 土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 パーカー舞椰、アデル・アロウイシー、安福規之、石藏良平、小川諒、ジュマナ・フサリ、畠山正則、京野修、持田文弘
2. 発表標題 ワンサンプルシステムを活かした粒径の異なる不飽和土のせん断強度の評価
3. 学会等名 土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学研究者情報 https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K000543/index.html 九州大学研究者情報 https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K000543/index.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	アデル アロウイシー (Adel Alowaisy)		九州大学助教
研究協力者	石藏 良平 (Ishikura Ryohei)		九州大学准教授
研究協力者	畠山 正則 (Hatakeyama Masanori)		応用地質㈱

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	京野 修 (Kyono Shu)		応用地質棟
研究協力者	持田 文弘 (Mochida Fumihiro)		応用地質棟
研究協力者	ジュマナ フサリ (Jumana Hussary)		九州大学工学府(当時)
研究協力者	相良 知輝 (Sagara Tomoki)		九州大学工学府(当時)
研究協力者	小川 諒 (Ogawa Makoto)		九州大学工学府(当時)
研究協力者	パーカー 舞椰 (Pa-ka Maiya)		九州大学工学府

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関