

赤土（国頭マージ）の不飽和透水係数の算出に関する一考察

九州大学工学部 学 ○奥村謙一郎

九州大学大学院 正 荒木功平、安福規之、大嶺聖、ハザリカ・ヘマンタ

九州大学大学院 学 村山啓太

1.はじめに

地球温暖化等に伴う気候変動による大雨や渇水の頻度増加が指摘されるようになり、経験したことのない災害の発生、各種産業への影響等が懸念されている。特に沖縄県では、亜熱帯特有の高温多雨気候により、土壌侵食を受けやすく、農地から流出する赤土等は、水産業、観光業、サンゴ等の生息環境に影響を与えており、1950年代頃から問題化している^{1, 2)}。沖縄県は、赤土等流出対策の1つとして圃場勾配の修正事業を行ってきているが、圃場勾配の緩和は赤土流出を抑制する一方、浸透水の排出、保水力の回復を鈍化させるため、作物の生育への悪影響が懸念されている。また、降雨変動（継続的な大雨あるいは集中豪雨、あるいは渇水）を視野に入れた影響評価や、作物の生育に関わる土の保水性と排水機能を両立させた新たな仕組みの開発が求められている。しかしながら、不飽和状態の圃場の水分移動を評価するための浸透流解析には、土の保水性・透水性を明らかにする必要があるが、一般的な保水性試験・透水試験（加圧板法等）は多くの労力・時間がかかることが課題となっている。

このような見地に立ち、本研究では比較的短時間で土の保水性・透水性を明らかにできるボルツマン変換法と遠心法に着目して、沖縄県国頭郡宜野座村で採取した赤土（国頭マージ）の不飽和透水係数を求めた。

2.土の保水性・透水性の評価

2-1.水分拡散係数の算出（ボルツマン変換法）

不飽和透水係数は式(1)のように水分拡散係数と比水分容量の積により表される³⁾。

$$k(S_r) = D(S_r) \cdot C(S_r) \quad (1)$$

D:水分拡散係数、C:比水分容量、Sr:飽和度

水分拡散係数の算出はボルツマン変換法（水平浸潤試験）³⁾を用いて行った。ボルツマン変換法は数分～数時間で土の浸透特性（時間～距離～飽和度関係）を把握できる点で有用である。図-1 に水平浸潤試験装置の概略図を示す。円筒セル（厚さ 1cm、内径 3cm）50 個と定水位給水装置から成る。給水開始後、浸潤前線が所定の位置まできたら給水を止め、各セルのボルツマン変数 η （浸透距離 x と時間 t により $\eta = x/\sqrt{t}$ で表される）と飽和度 S_r を測定する。試験時の間隙比は密な状態を想定して $e=0.949$ 、給水を止める浸潤前線の位置は 21cm とした。図-2 に実験結果と回帰曲線を示している。また、得られたボルツマン変数と飽和度関係から水分拡散係数は式(2)により求められる。図-3 に水分拡散係数～飽和度関係を示している。

$$D(S_{rx}) = -\frac{1}{2} \left(\frac{d\eta}{dS_r} \right) \int_{S_{r0}}^{S_{rx}} \eta dS_r \quad (2)$$

S_{r0} :初期飽和度、 S_{rx} :距離 x における飽和度

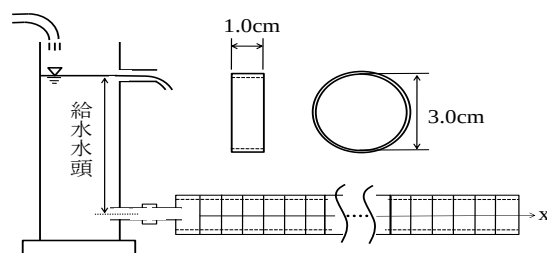


図-1 試験装置概略図

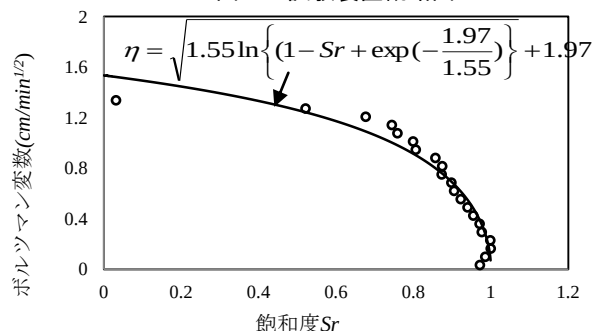


図-2 ボルツマン変数～飽和度関係

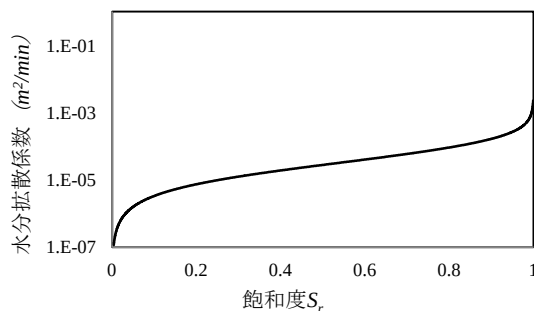


図-3 水分拡散係数～飽和度関係

2-2.比水分容量の算出（遠心法）

遠心法による土の保水性試験は、試料を詰めた 4 つの供試体を回転ドラムの中に入れて一定の回転数で回し、一定の重力を試料に与えて脱水させ、その重力に対応した土のサクシオンと飽和度を求める試験である。遠心法は、供試体が遠心力場に置かれる事により、高い土中水ポテンシャルまで測定でき、平衡するまでの時間も比較的短いため有用性が高い。本研究では、6 段階の回転数(500, 700, 1000, 1600, 2200, 3100) を用い、それぞれの回転数で 1 時間回転させた。図-3 に供試体と回転中心の位置関係、図-4 に得られたサクシオン s_u ～間隙比 e ～飽和度 S_r 関係 (24 プロット) を示す。サクシオンは式(3)により表される³⁾。

$$s_u = \int_{R_0}^{R_1} \rho_w r \omega^2 dr \quad (3)$$

r :遠心半径(cm) ω :角速度(rad/s) ρ_w :蒸留水の密度 (g/cm³)

遠心法は、間隙比が変化するため KITA-SAKO モデル⁴⁾を利用し、間隙比一定($e=0.947$)の水分特性曲線を導出した。図-5 にその水分特性曲線を示す。図-6 の比水分容量～飽和度関係は図-5 の水分特性曲線を式(4)に示すように微分することで得られる。

$$C(S_r) = \frac{ds_r}{ds_u} \quad (4)$$

2-3.不飽和透水係数の算出

図-6 に式(1)より得られた不飽和透水係数～飽和度関係を示している。不飽和透水係数は飽和度が 0.2~1.0 の範囲でおよそ $10^{-9} \sim 10^{-5} m/s$ を示すことが分かった。

今後、他の試料、試験方法（加圧板法等）との比較を行い、今回得られた試験結果の妥当性を検討していきたいと考えている。

3.まとめ

本研究では、水平浸潤試験（ボルツマン変換法）および保水性試験（遠心法）を行い、沖縄県国頭郡宜野座村で採取した赤土（国頭マージ）のサクシオン～間隙比～飽和度関係、飽和度～不飽和透水係数関係を算出した。今後、得られた試験結果を用いて浸透流解析を行い、雨水の浸透・排水の圃場勾配依存性を検討した後、農地からの赤土流出抑制につながる適応策を提案していきたい。

謝辞：本研究は、環境省の環境研究総合推進費（S8-2(2)、研究代表者：小松利光）により実施された。

参考文献

- 1) 沖縄県：平成 13 年度流域赤土流出防止等対策事業 沖縄県における赤土等流出源実態調査、p.80、2005.
- 2) 安福規之・大嶺聖・荒木功平・村山啓太：気候変動に伴う赤土等流リスクの増大に備える適応策に向けた取り組み、第 9 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、公益社団法人地盤工学会、pp.201-206、2011.
- 3) 社団法人地盤工学会 不飽和地盤の挙動と評価編集委員会：不飽和地盤の挙動と評価、pp.58 -65、2004.
- 4) 荒木功平・奥村謙一郎・安福規之・大嶺聖：遠心法による保水性試験時の体積変化に関する確率論的評価手法の一提案、地盤材料試験・地盤調査の精度とばらつきに関するシンポジウム、公益社団法人地盤工学会、（投稿中）

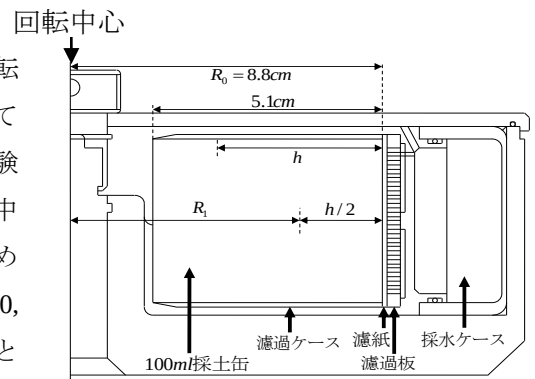


図-3 供試体と回転中心の位置関係

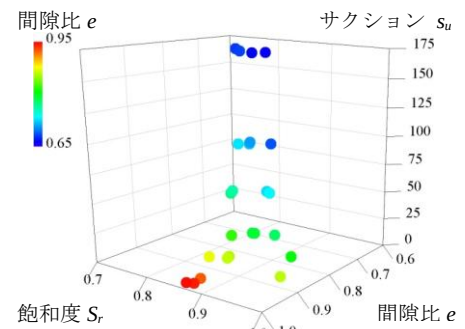


図-4 サクシオン～飽和度～間隙比関係

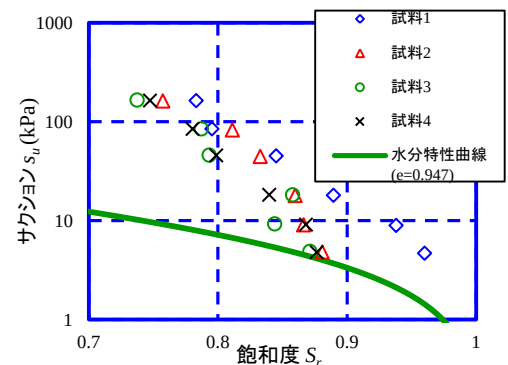


図-5 水分特性曲線

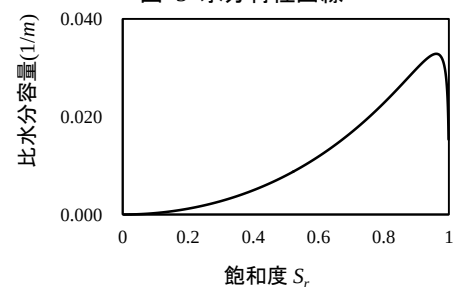


図-6 比水分容量～飽和度関係

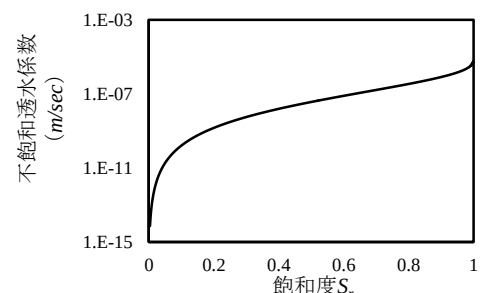


図-7 不飽和透水係数～飽和度関係