

不飽和土の水分保持特性への間隙モデルの適用に関する一考察

鹿児島大学院 学生員 ○清水 遊
鹿児島大学 正会員 北村 良介

1. はじめに

不飽和土中の間隙流体の移動を定量的に評価するためには、土の水分保持特性を知る必要がある。水分保持特性は、土の含水量とそれに対応するサクシオン、透水係数、透気係数の関係によって評価される。北村らは、土の浸透特性を土粒子レベルから検討するために、土の間隙部分に着目した不飽和土中の間隙水の浸透挙動に対する数値力学モデル(間隙モデル)¹⁾を提案している。本研究では、不飽和土の保水性試験と間隙モデルによって得られる水分特性曲線を比較・検討し、モデルの適用性に関する考察を行っている。

2. 試験装置

図-1は、2重セル型不飽和三軸試験装置の概略図である。装置は三方バルブによって精度の異なるレギュレータを変換させることにより、圧力範囲を調整できる。サクシオンを段階的に変化させることにより、同一供試体で吸水—排水過程での不飽和・飽和状態の一連の試験が可能である。供試体のサクシオンの測定は圧力変換器を用い、吸水量・排水量を電子天秤で計測することにより、水分保持特性が把握できる。供試体の上端のキャップ(空気系)ではガラス繊維布を、下端のベドスタルではAEV(空気侵入値)=177(kPa)程度のセラミックディスクをフィルターとして用いている。試験では、初期サクシオンを計測して初期サクシオンより、排水—吸水過程、吸水—排水—吸水過程を取っている。

3. 試験試料、試験条件

用いた試料は、豊浦砂とシラス、火山灰質粘性土である。豊浦砂、シラスは締め固めた供試体で試験を行った。火山灰質粘性土は、現地でブロックサンプリングした乱さない試料を用いた。供試体サイズは、直径5(cm)、高さ2.0(cm)である。供試体に負荷する有効拘束圧は、19.6(kPa)とした。

4. 間隙モデル

図-2(a)の数個の土粒子を不透水性部分、間隙を円管と考え、要素を図-2(b)のようにモデル化したものを間隙モデルと称し、特に図-2(b)で示される要素を「素体積」と呼ぶ。図-2(b)において、管径 D と管の傾き θ を確率変数として、それらの変数の確率密度関数を導入すると、間隙比、体積含水率、サクシオン、不飽和透水係数が次式で得られる。

5. 試験結果

図-3は、豊浦砂とシラスの水分特性曲線を示している。豊浦砂は排水—吸水過程、シラスは吸水—排水—吸水過程で試験を行っている。豊浦砂の水分特性曲線は、体積含水率6%付近までわずかなサクシオンの変動によって体積含水率が急激に変化しているのが分かる。また、サクシオンを約10(kPa)付近まで上げると、体積

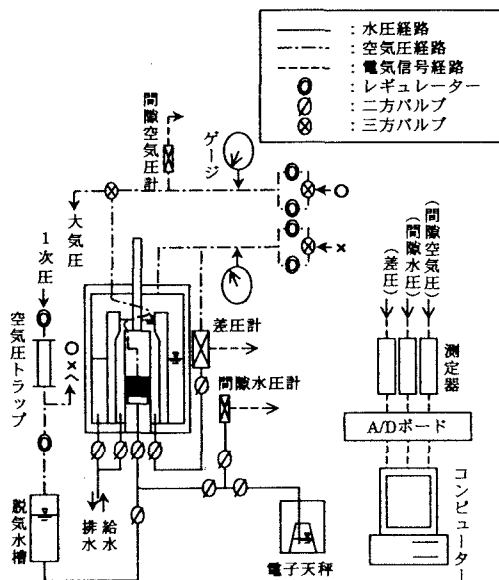


図-1 試験装置の概略図

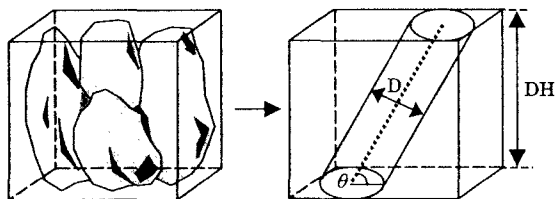


図-2(a) 土塊の微小要素

図-2(b) モデル化された微小要素(素体積)

図-2 間隙のモデル化

$$W_v = \frac{1}{1+e} \int_0^d \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{V_p}{V_c - V_p} P_d(D) P_c(\theta) d\theta dD$$

$$k = \int_0^d \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\pi \cdot \gamma_w \cdot D^3 \sin \theta}{128 \mu_w (D/\sin \theta + DH/\tan \theta)} P_d(D) P_c(\theta) d\theta dD$$

V_p : 円管の体積 V_c : 直方体の体積 $P_d(D)$: D の確率密度関数 $P_c(\theta)$: 傾き θ の確率密度関数
 γ_w : 水の単位体積重量 μ_w : 水の粘性係数

含水率の変化がほとんどなくなっている。排水過程から吸水過程に移るとき、一般に水分保持特性はヒステリシスを示し、吸水過程の方が排水過程の時より小さい含水量を示す。豊浦砂の場合もヒステリシスが現れている。シラスの水分特性曲線は、豊浦砂に比べると水分保持特性が良く、不飽和状態でのサクシオンは高く、サクシオンが低い部分で多くの水分を保持することがわかる。これは、シラスの粒子が多孔質であること、細粒分を含んでいるため土粒子接点が多く、水分保持能力が大きいと考えられる。サクシオンが0-10 (kPa) 付近での、体積含水率は急激に変化しており、豊浦砂と同じ挙動を示す。初期状態からの吸水過程を除いては、ヒステリシス傾向が少なく、豊浦砂に比べると小さいことが分かる。サクシオンを約 50 (kPa) 付近まで上げると、体積含水率の変化が少ないのがわかる。図-4 は、火山灰質粘性土の水分特性曲線である。火山灰質粘性土は、吸水-排水過程で試験を行っている。一般に粘性土は空気侵入値が高く、セラミックディスクの空気侵入値が 177 (kPa) より大きな空気侵入値であることがわかった。

6. 数値計算結果と試験結果の比較

図-5 は、シラスでの水分特性曲線の結果を示している。数値計算では素体積高さ DH を D_{10} 、 D_1 、 $D_{0.1}$ (それぞれ、10%、1%、0.1%の通過粒径) と変えて計算した。図-5 から、体積含水率が減るにつれて素体積高さ DH が小さい順から立ち上がっているのがわかる。数値計算結果では、素体積高さ $DH=D_{10}$ と $DH=D_{0.1}$ の数値計算値と実測値が合っていないが、体積含水率 20-40 (%) 付近では素体積高さ $DH=D_1$ の数値計算値と実測値の吸水過程が合っている。図-6 は、火山灰質粘性土の数値計算結果と試験結果の水分特性曲線である。間隙モデルは、砂質土系の土を対称としたモデルであるが、粘性土にも適用できるかを検討するために、数値計算を行った。図-6 から、素体積高さ $DH=D_{0.1}$ のときの数値計算値でも実測値から離れており、現時点のモデルでは吸水過程と排水過程を考慮しても、粘性土における水分保持特性への適用は難しい。

7. まとめ

本研究では、不飽和土の水分保持特性の把握、間隙モデルの妥当性について考察を行った。シラスは低いサクシオン状態では、わずかなサクシオンの変化により急激に体積含水率が変化している。シラスのヒステリシスは、豊浦砂よりは小さなヒステリシスループを示した。シラスの低体積含水率でのサクシオンの変動には細粒分の影響があると考えられる。間隙モデルの妥当性については、粘性土には適用できないが、砂質土系の土に適用できることがわかった。素体積高さ DH についても検討が必要である。

謝辞：本研究に対して科研費（地域連携：No.12792009，基盤（B）：No.13450196）の援助を受けた。ここに謝意を表します。

参考文献：1) R.Kitamura, et al. : SOIL AND FOUNDATION, Vol.38, No.4, pp.261-265, 1998.

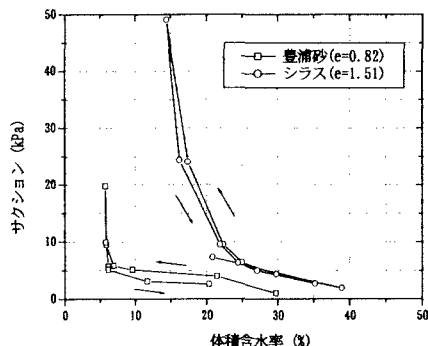


図-3 豊浦砂とシラスの水分特性曲線

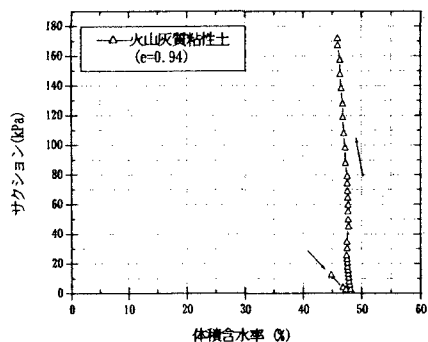


図-4 火山灰質粘性土の水分特性曲線

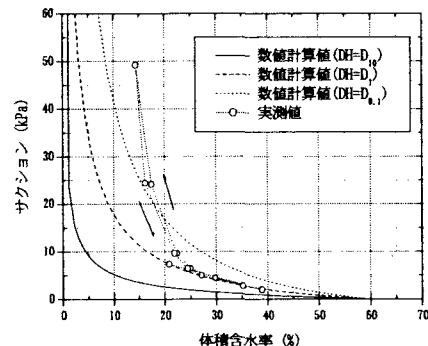


図-5 数値計算結果と試験結果（シラス）

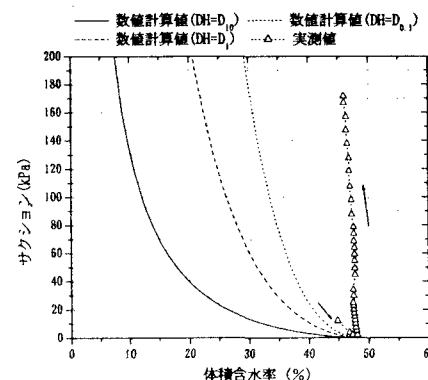


図-6 数値計算結果と試験結果
(火山灰質粘性土)