

不飽和浸透挙動に対する数値力学モデルの改良(その 2)

鹿児島大学大学院 学生会員 ○ 中野裕二郎

立命館大学 COE 推進機構 正会員 酒匂 一成

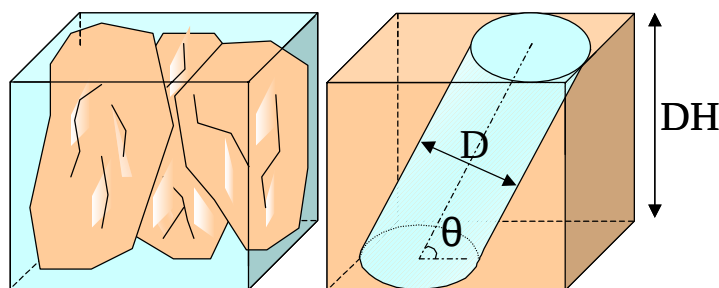
鹿児島大学工学部 正会員 北村 良介

1.はじめに

鹿児島県本土では、地表面の 50% 余りがしらすに覆われており、これまで梅雨期や台風襲来時の豪雨によって斜面の崩壊が多発し、多大な損害を被ってきている。降雨による斜面崩壊の原因は、雨水の浸透によるすべり土塊自重の増加やサクシヨンの低下、間隙水圧の上昇による有効応力の低下であると言われている。そこで、北村ら¹⁾は、不飽和砂質土中の間隙水の浸透挙動に関する間隙モデルを提案し、水分特性曲線及び飽和度-不飽和・飽和透水係数を誘導している。本報告では、従来の間隙モデルでは、水分特性曲線をうまく表現できない²⁾という結果をふまえ、間隙径分布に着目し間隙モデルの改良を行った。

2.間隙モデル

図-1(a)は、2、3 個の土粒子からなる土塊の一要素を示したものであり、これを図-1(b)のように間隙部分を管径 D 、傾き θ の円管に、土粒子実質部分を円管以外の不透水性の個体に分けてモデル化した。モデル化されたものを間隙モデルと称し、図-1(b)を素体積と呼ぶ。



(a) 土粒子の微小要素 (b) モデル化された一要素(素体積)

図-1 間隙のモデル化

間隙部分の複雑な構造を表現するため、円管の管径 D 及び傾き θ を確率変数とみなし、それらの確率密度関数を導入する。モデルより間隙比 e 、体積含水率 W_v 、サクシヨン s_u が、以下のように求まる。

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

$$s_u = \gamma_w \cdot h_c = \frac{4 \cdot T_s \cdot \cos \alpha}{d}$$

V_p : 円管の体積、 V_e : 素体積全体の体積、 T_s : 水の表面張力、 α : 毛細管と水の接触角、
 γ_w : 水の単位体積重量、 d : 間隙水を保持する円管の最大管径

3.保水性試験

加圧板法により保水性試験を行った。図-2 は試験装置概略図を示している。本装置は、土中水の圧力を大気圧下に保ちながら、供試体に正の空気圧を負荷して平衡に達するまで排水させ、供試体内の含水比と土中水ポテンシャルを測定する方法である。試験試料は、鹿児島県松元町で採取されたしらす、2003 年 7 月に発生した熊本県水俣市宝川内集地区、鹿児島県伊佐郡菱刈町の斜面崩壊現場で採取された試料を用いている。鹿児島県松元町で採取されたしらすおよび鹿児島県伊佐郡菱刈町の斜面崩壊現場で採取された試料は、4.75mm ふりを通過した試料で試験を行い、熊本県水俣市宝川内集地区で採取された試料に関しては、不攪乱試料で試験を行っている。図-3 に各試料の粒径加積曲線、図-4 に水分特性曲線を示す。図-4 より水俣、菱刈で採取された試料が、しらすよ

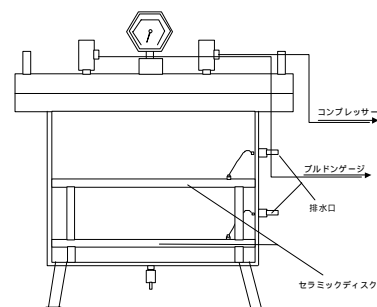


図-2 保水性試験装置（加圧板法）

キーワード：不飽和土、水分特性曲線、数値力学モデル

連絡先：鹿児島県鹿児島市郡元町 1 丁目 21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科北村研究室

TEL 099-285-8473 FAX 099-258-1738

り大きな保水性を示していることがわかる。この原因の一つとして水俣、菱刈で採取された試料が、しらすより細粒分を多く含んでいるということが挙げられる。また、間隙比の違いにより若干のデータのばらつきがあることがわかる。

4.間隙モデルの改良²⁾

従来の間隙モデルでは、全ての間隙水がサクションに貢献しているとしており、試験結果と合わない原因の一つだった。そこで、不飽和土中の間隙水と空気 の概念を取り入れた。間隙水は、吸着水と自由水とに分けられ、自由水の一部がサクションに貢献していると考えられる。つまり、サクションに貢献する間隙水の割合について検討する必要がある。本報告では、間隙径分布に着目しモデルの改良を行った。

保水性試験で用いた間隙比 $e=1.30$ のしらすについてフィッティングを行う。図-5 は、粒径加積曲線と間隙径分布を示している。保水性試験結果から逆算された間隙径分布が、三角のプロットである。保水性試験結果と計算結果を合わせるためには、保水性試験結果から逆算された間隙径分布（三角のプロット）を通る間隙径分布を求める必要がある。神谷³⁾によると、排水過程での間隙径分布は、粒度分布を粒径軸方向に平行移動したような分布形を示すといわれており、図-5 の間隙モデルから求められた間隙径分布は、粒度分布と平行になる。ここで、図-5 の丸印で示されるように平行移動後の間隙分布(一点破線)の平均(累積間隙径体積百分率:50%)が、間隙モデルから得られた間隙径分布(実線)における何%の累積間隙体積百分率に対応するか検討し、その得られた値を平行移動指数 $I_{pt}(\%)$ と定義する。

表- 1 に土質パラメータと平行移動指数 I_{pt} の関係を示す。同じ試料で見ると、間隙比が大きくなるにつれて、平行移動指数 I_{pt} が増加する傾向にあることがわかる。今後、さまざまな試料での保水性試験結果を増やし、土質パラメータと平行移動指数 I_{pt} についてさらに考察を行う予定である。

5.おわりに

本報告では、間隙径分布に着目し間隙モデルの改良を行った。今後、さまざまな試料での土質パラメータと平行移動指数 I_{pt} について考察を行う必要があると考えている。

本研究に対して科研費（基盤 B、No.13450196）の援助をいただいた。ここに、謝意を表します。

【参考文献】1)Kitamura ,R , Fukuhara ,S , Uemura ,K , Kisanuki ,G , and Seyama ,M.:A numerical model for seepage through unsaturated soil , Soils and Foundations ,Vol.38 , No.4 , pp.261-265 ,1998 .
2) 酒匂一成 ,中野裕二郎 ,北村良介 :不飽和浸透挙動に対する数値力学モデルの改良(その 1) ,第 59 回土木学会年次学術講演会 ,(投稿中) 3) 神谷浩二 :砂質土の間隙径分布の評価とその利用、岐阜大学博士論文 , pp34-41 , 1999 .

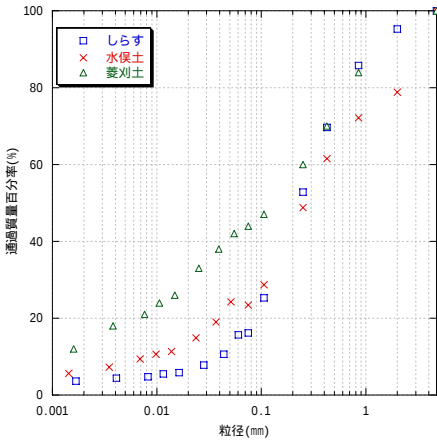


図-3 粒径加積曲線

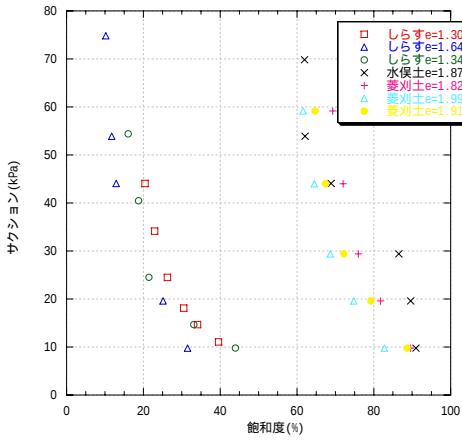


図-4 水分特性曲線

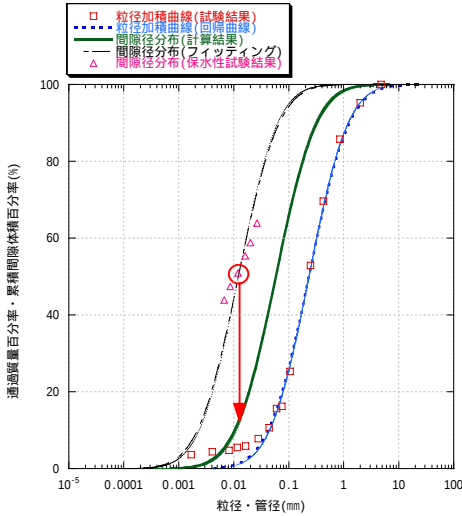


図-5 粒径加積曲線、間隙径分布

表-1 土質パラメータと平行移動指数 I_{pt}

	土粒子密度(g/cm ³)	間隙比	均等係数	平行移動指数 $I_{pt}(\%)$
しらす	2.42	1.30	7.17	10.93
	2.42	1.34	7.17	10.60
	2.42	1.64	7.17	7.08
水俣土	2.79	1.87	28.60	2.42
菱刈土	2.75	1.82	80.97	14.20
	2.75	1.91	80.97	14.80
	2.75	1.99	80.97	16.38