

火山堆積土からなる斜面のモニタリングと2次元不飽和浸透解析に関する一考察

鹿児島大学大学院 学生員 ○坂元竜太
 鹿児島大学工学部 正会員 北村良介
 JR 東日本安全研究所 正会員 島村誠
 JR 東日本安全研究所 正会員 外狩麻子

1. はじめに

北村らは、降雨に伴うしらす斜面の表層すべり型崩壊を予測するためのシステムの開発を目指し、不飽和土の間隙水の浸透挙動に対する数値力学モデルを提案している。本報告では、モデルの妥当性を検討する為に、旧JR信越本線 熊の平駅前の斜面で採取した火山堆積土を用いた保水性試験、飽和透水試験結果と数値計算結果の比較を行っている。また、実際の斜面を想定して2次元浸透挙動解析を行い、若干の考察を加えている。

2. 間隙モデルの概要

北村らは不飽和・飽和浸透挙動を解析するために間隙モデルという数値力学モデルを提案している¹⁾。図-1に間隙モデルの概略図を示す。土塊中の一要素として図-1(a)のような数個の土粒子と間隙を想定する。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部分に分けてモデル化した。このように土を不透水部分と円管に置き換えてモデル化したものを間隙モデルと称している。

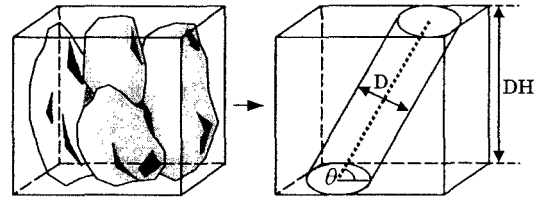


図-1 (a) 土塊の微小要素 図-1 (b) モデル化された一要素 (素体積)
 図-1 間隙のモデル化

間隙モデルでは、間隙分布の不規則性を表すために、円管の管径 D と傾き θ を確率変数とし、それらの確率密度関数を導入して、間隙の不規則な構造を表現している²⁾。円管の管径 D と傾き θ の確率密度関数を求めることで、間隙比 e や体積含水率 W_v 、サクシオン s_u 、不飽和・飽和透水係数 k が以下の式のように得られる。

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

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

$$s_u = \gamma_w \cdot h_c = \gamma_w \frac{4 \cdot T_s \cdot \cos \alpha}{d} \quad (3)$$

$$k = \int_0^{\pi/2} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\gamma_w \cdot D^3 \cdot \pi \cdot \sin \theta}{128 \cdot \mu \cdot \left[\frac{D}{\sin \theta} + \frac{DH}{\tan \theta} \right]} \cdot Pd(D) \cdot P_c(\theta) d\theta dD \quad (4)$$

ここに、

e : 間隙比、 V_p : 円管の体積、 V_e : 素体積全体の体積、 $P_d(D)$: 管径 D の確率密度関数、
 $P_c(\theta)$: 円管の傾き θ の確率密度関数、 W_v : 体積含水率、 s_u : サクシオン、 h_c : 毛管上昇高さ、 T_s : 表面張力、
 α : 毛細管と水の接触角、 γ_w : 水の体積重量、 d : 間隙水を保持する円管の最大径、 μ : 水の粘性係数。

3. 数値計算結果

熊の平での土質試験結果を用いて、数値計算を行った。間隙モデルで用いた入力パラメータを表-1に示す。表中の Station と深さは熊の平で JR 東日本安全研究所が現地計測システムを設置している地点とテンシオメーターの深さに対応するものである。JR 東日本は熊の平で Station#1~#4 まで計 4ヶ所の地点に計測システムを設置している。ここでは、Station#1 の深さ 30cm の土質試験結果をもとに数値計算を行った。

間隙モデルでの数値計算結果を図-2 に示す。数値計算は、素体積高さ DH を D_{10} 、 D_1 、 $D_{0.1}$ (それぞれ試料の 10%、1%、0.1% 通過粒径) と変化させて 3 通り行っている。また、保水性試験と簡易飽和透水試験の結果も同時に示してある。図-2 ①の水分保持曲

表-1 入力パラメーター

Station、深さ(cm)	#1、30
土粒子の密度 (g/cm^3)	2.694
水の表面張力 (N/m)	$73.48 \cdot 10^{-3}$
水の粘性係数 ($Pa \cdot s$)	$1.138 \cdot 10^{-3}$
分割数	180
円管の傾き θ の p.d.f の最低高さ ζ_c	0.159
初期間隙比	1.007
80% 通過粒径 D_{80}	0.68
20% 通過粒径 D_{20}	0.0047

線より、含水比が増加すると、サクシオンは減少することが分かる。また、図-2 ②より、含水比が増加すると不飽和・飽和透水係数は増加すること分かる。また、素体積高さの変化では D_{10} 、 D_1 、 $D_{0.1}$ と変化するにつれて、水分保持曲線では全体的に上方にシフトし、不飽和・飽和透水係数-含水比関係図では下方にシフトしていることが分かる。これは、 $D_{0.1}$ の方が D_{10} より管径が小さくなり、その分間隙部分が小さくなるためであると考えられる。図-2 ①②の数値計算結果と実験結果を比較すると、ともに数値計算結果と実験結果の値に大きな差異がある。

4. 二次元浸透挙動解析

2次元浸透挙動解析の概要としては、各要素に初期の体積含水率 W_v を初期条件として与え、この状態から時間の経過に伴う地盤中の含水状態の変化についてシミュレーションする。今回の2次元浸透解析ではStation#1付近の斜面を想定して数値計算を行った。図-3に斜面の模式図を示す。この斜面の上層は礫混じり粘土、2層目は軽石混じり砂礫、粘土質砂となっている。解析領域は底面が6m、高さ3.06m、傾斜角は27°であり、メッシュ幅は20cmである。

図-4に2次元浸透解析の結果を示す。図-4は横軸に時系列をとり、縦軸にはそれぞれ圧力(kPa)と10分間雨量をとっている。今回の数値計算では2001年6月24日0:00から24時間の10分間雨量を元に数値計算を行った。数値計算結果と計測結果を比較すると大きな差異が見られる。実測値は降雨発生後、30cmが反応するのに4時間程度要しているが、数値計算結果は降雨発生1時間程度で、すべての深さで飽和になっている。これは間隙モデルから算出される不飽和・飽和透水係数が大きいことと、現地の初期の体積含水率が飽和に近いためと考えられる。

5. 終わりに

本報告では、間隙モデルの基礎的な部分について述べるとともに、旧JR信越本線熊の平での数値計算結果を示した。現段階では、熊の平においては、数値計算結果と計測・実験結果に大きな差異がある。今後の課題としては、浸透解析の骨格にあたる間隙モデルの精度を高めるために、入力パラメーター等を検討しなければならない。

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) 北村ら：しらす斜面崩壊予知システム確立に関する基礎的研究，科研費研究成果報告書（基盤研究(B) (2) 課題番号：09555153)，2000。
- 2) 北村：マルコフ過程を用いた粒状体の力学モデル，科研費報告書（一般(C)，No.60550355)，1987。

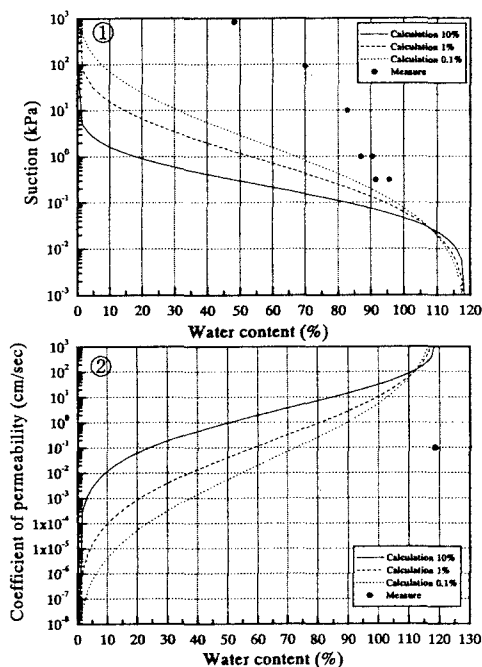


図-2 数値計算結果

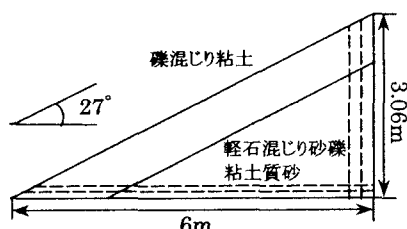


図-3 斜面の模式図

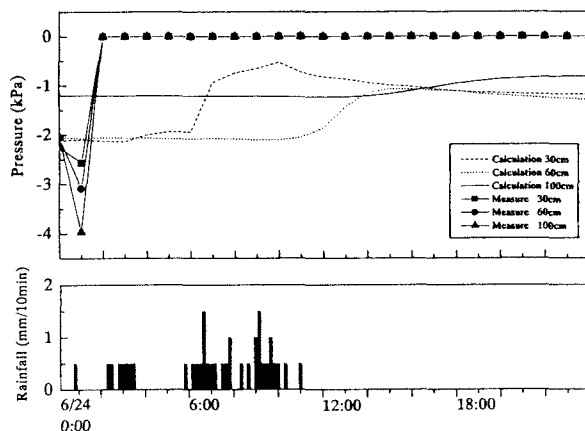


図-4 2次元浸透解析結果
(熊の平 2001年6月24日)