

前之浜における雨水浸透現地計測とその数値解析

鹿児島大学工学部
鹿児島大学工学部
立命館大学 COE 推進機構
国土交通省鹿児島国道事務所

学生員 ○松元真一
正会員 北村良介
正会員 酒匂一成
柴田 智

1, はじめに

北村ら¹⁾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ために、鹿児島市喜入前之浜町一般国道 226 号のしらす斜面で採取した試料を用いた保水性試験、透水試験結果と数値解析結果の比較を行っている。また、斜面を想定して 2 次元浸透挙動解析を行い、考察を加えている。

2, 間隙モデルの概要

図- 1 は間隙モデルの概要である。図- 1 (a)は数個の土粒子からなる土塊の一要素を想定したものであり、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。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 、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。円管の管径 D 、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。

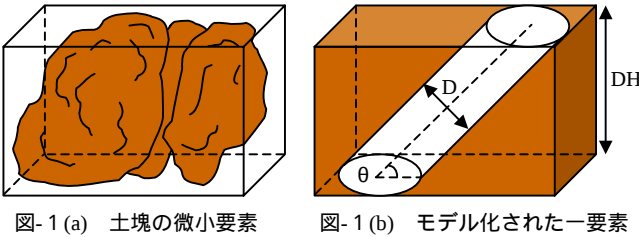


図- 1 間隙のモデル化

$$e = \int_0^\infty \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{V_p}{V_e - V_p} \cdot P_d(D) \cdot P_c(\theta) d\theta dD \quad (1)$$
$$s_u = \gamma_w \cdot h_c = \frac{4 \cdot T_s \cdot \cos \alpha}{d} \quad (3)$$

$$W_v = \frac{e(d)}{1+e} = \frac{1}{1+e} \int_0^d \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{V_p}{V_e - V_p} \cdot P_d(D) \cdot P_c(\theta) d\theta dD \quad (2)$$
$$k = \int_0^d \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\gamma_w \cdot D^3 \cdot \pi \cdot \sin \theta}{128 \cdot \mu \cdot \left[\frac{D}{\sin \theta} + \frac{DH}{\tan \theta} \right]} \cdot P_d(D) \cdot P_c(\theta) d\theta dD \quad (4)$$

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, γ_w : 水の単位体積重量, $P_c(\theta)$: 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, d : 間隙水を保持する円管の最大径, k : 不飽和・飽和透水係数, μ : 水の粘性係数。

3, 数値計算結果

前之浜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パラメータを表- 1 に示す。深さ 4.00 ~ 5.00m から採取した軟質しらすの土質試験結果を元に計算を行った。図-2, 図-3 に間隙モデルから得られた水分特性曲線と飽和度-不飽和・飽和透水係数の関係を示し、実験結果との比較を行った。図中の丸印は実験結果、実線は間隙モデルから得られた結果である。計算結果

表- 1 入力パラメータ

試料		前之浜 (P-1軟質シラス4.00 ~ 5.00)	
土粒子の密度 (g/cm ³)		2.608	
自然含水比 (%)		49.2	
水の表面張力 (N/m) (水温15 時)		73.48*10 ⁻³	
水の粘性係数 (Pa・s) (水温15 時)		1.138*10 ⁻³	
分割数		360	
円管の傾き θ の p.d.f の最低高さ z_c		0.159	
間隙比		2.068	
見掛けの粘着成分 (kPa)		37.5 (含水比21.1%)	
内部摩擦角 (°)		32.8 (含水比21.1%)	
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	100	4.75
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	99.5	2
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	94.5	0.85
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	79.1	0.425
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	64	0.25
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	43.7	0.106
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	39.1	7.50E-02
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	35.6	5.22E-02
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	32.6	3.71E-02
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	29.8	2.37E-02
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	25.4	1.38E-02
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	22.5	9.80E-03
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	19.6	7.00E-03
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	13.7	3.50E-03
通過質量百分率 (%)	粒径 (mm)	7.9	1.50E-03

を実験結果とほぼ一致させることができるが、一部の実験結果とのずれが見られる。飽和度-不飽和・飽和透水係数の関係は、計算結果を実験結果と一致させることができる。しかし、実験プロットが少ないため、不飽和度領域におけるモデルの妥当性の検討を行うことができない。

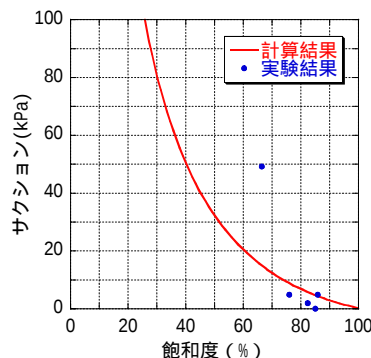


図-2 水分特性曲線

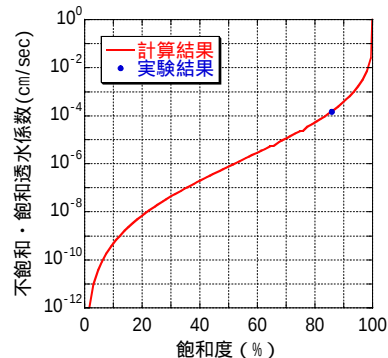


図-3 飽和度-不飽和・飽和透水係数

4. 2次元浸透挙動解析

2次元浸透解析の概要を示す。解析する領域内をメッシュで分割し、解析領域内の初期条件、境界条件を決定する。今回の2次元浸透解析では前之浜の斜面を想定して数値解析を行った。図-4に斜面の模式図を示す。解析領域は、上面3m、底面8m、高さ3mで、表層のメッシュ幅を20cmとした。境界条件として、上面と斜面部を降雨条件、それ以外を非排水条件とした。

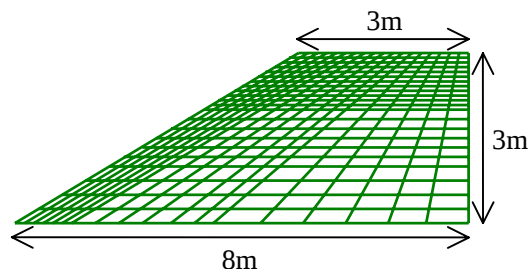


図-4 斜面の模式図

間隙モデルの数値計算結果により得られた各試料の水分特性曲線および飽和度-不飽和・飽和透水係数の関係を用いる。降雨条件としては実際の現地計測での雨量データを用いる。以上の条件より2次元浸透モデルを用いて地表面から20cm、40cm、60cm、80cmの深さにおける間隙水圧を計算する。図-5に2次元浸透解析の結果を示す。横軸に時系列をとり、縦軸にそれぞれ間隙水圧(kPa)、10分間雨量をとっている。今回の数値計算では、2004年5月8日18:00から24時間の10分間雨量を元に計算を行った。数値計算結果は、計測結果と同様に深さの浅いほうから順に反応を示していることがわかる。しかし、両結果を比較すると差異が見られる。また、数値計算結果はすべての深さでサクションが大きく変動し、飽和状態になっていることがわかる。

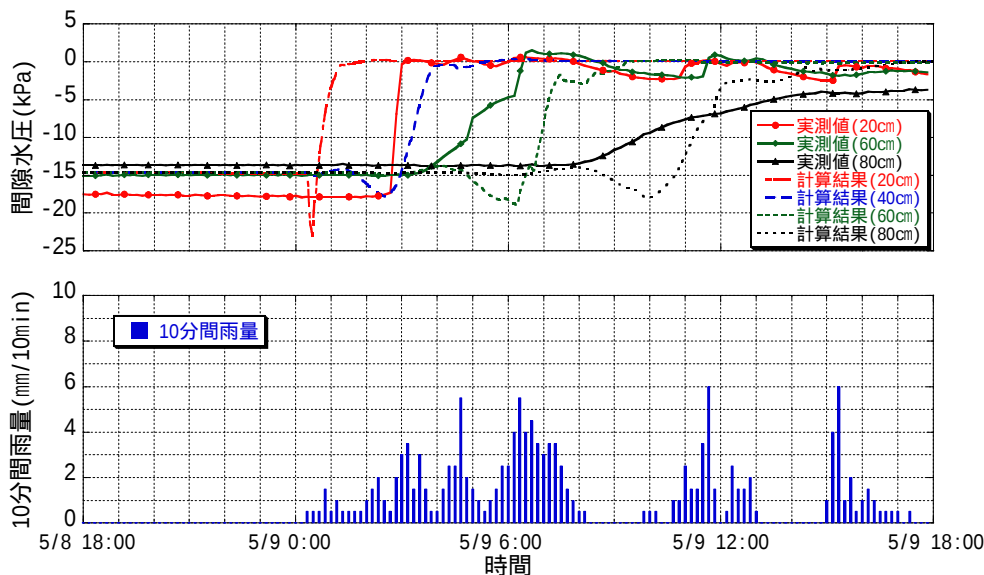


図-5 2次元浸透解析結果

5. おわりに

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、鹿児島市喜入前之浜町一般国道226号での数値計算結果を示した。数値計算結果と計測結果・実験結果に差異がある。今後の課題としては、解析領域を大きくし、入力パラメータ・境界条件等を検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 北村ら：南九州しらす地帯における土砂災害予知システムの開発，科研費報告書(No.12792009)，2003.