

## 鹿児島県国分市入戸のシラス斜面における 2 次元不飽和浸透解析

鹿児島大学大学院 学生会員 ○酒匂一成

鹿児島大学大学院 学生会員 島田龍郎

鹿児島大学工学部 正会員 北村良介

## 1.はじめに

南九州シラス地帯では、梅雨期や台風襲来期の豪雨による斜面崩壊が多発しており、多くの災害が発生している<sup>1),2),3)</sup>。豪雨時のシラス斜面崩壊の要因としては、雨水が浸透し、土塊の自重の増加と含水比の増加によって起こるサクシジョンの低下であることが定性的に知られている。しかし、降雨時のシラス斜面の安定性を定量的に評価する方法は未だ確立されていない。

本報告は、鹿児島県国分市入戸の県道 2 号沿いのシラス斜面でのサクシジョンのモニタリング結果と北村ら<sup>4)</sup>が提案する数値力学モデルを用いた数値計算結果の比較を行い、数値力学モデルの妥当性を検討し、若干の考察を加えている。

## 2.間隙モデルによる数値計算結果

間隙モデルは間隙部分の形状と大きさの不規則性を表すため、円管の管径  $D$  と傾き  $\theta$  を確率変数とし、それらの確率密度関数を導入している。その確率密度関数を用いることによって次式で示される物理量を表すことができる。

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

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

$$s_u = \gamma_w \cdot h_c \quad \left( \text{ここに } h_c = \frac{4 \cdot T_s \cdot \cos \alpha}{d} \right) \quad (3)$$

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

ここに、

$e$ ：間隙比、 $V_p$ ：円管の体積、 $V_e$ ：素体積全体の体積、 $Pd(D)$ ：管径  $D$  の確率密度関数、 $Pd(\theta)$ ：円管の傾き  $\theta$  の確率密度関数、 $W_v$ ：体積含水率、 $s_u$ ：サクシジョン、 $h_c$ ：毛管上昇高さ、 $T_s$ ：表面張力、 $\alpha$ ：毛細管と水の接触角、 $\gamma_w$ ：水の体積重量、 $d$ ：間隙水を保持する円管の最大管径、 $\mu$ ：水の粘性係数

今回、鹿児島県国分市入戸の県道 2 号沿いのシラス斜面の計測地点で採取した極軟質シラス、軟質シラス、中硬質シラスを用いて数値計算を行った。以下に、例として極軟質シラス部分での間隙モデルに使用した入力パラメータを表-1、数値計算値と実測値の結果を図-1、図-2

に示す。図-1 は水分特性曲線を表している。点、三角点はそれぞれ吸引法、加圧法による実測値、実線、破線、点線はそれぞれ間隙モデルの高さ  $DH=D_{10}$ 、 $DH=D_1$ 、 $DH=D_{0.1}$  の数値計算値を示している。図-1 より実測値、計算値のいずれにおいても体積含水率が増加するにつれてサクシジョンが減少することが確認

表-1 入戸極軟質シラス 入力パラメータ

| 試料                                 | 入戸・極軟質シラス              |
|------------------------------------|------------------------|
| 土粒子の密度 ( $g/cm^3$ )                | 2.52                   |
| 水の表面張力 ( $N/m$ ) (水温 15℃ 時)        | $73.48 \times 10^{-3}$ |
| 水の粘性係数 ( $Pa \cdot s$ ) (水温 15℃ 時) | $1.138 \times 10^{-3}$ |
| 分割数                                | 180                    |
| 円管の傾き $\theta$ の p.d.f. の最低高さ $c$  | 0.159                  |
| 間隙比                                | 1.891                  |
| 80% 通過粒径 $D_{80}$ (cm)             | 0.08                   |
| 20% 通過粒径 $D_{20}$ (cm)             | 0.0055                 |

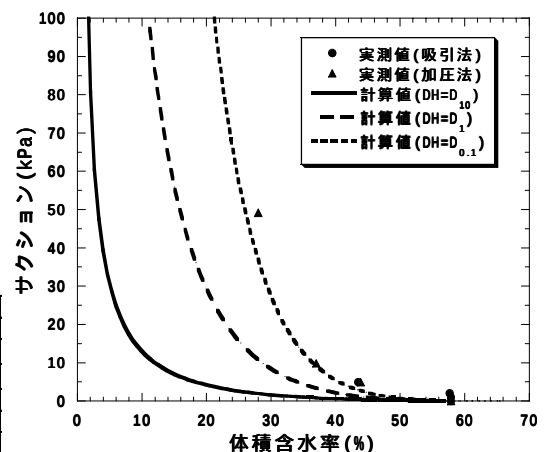


図-1 入戸極軟質シラス 水分特性曲線

キーワード：斜面、サクシジョン、不飽和浸透解析

連絡先：鹿児島県鹿児島市郡元一丁目 21-40 工学部海洋土木工学科

099-285-8473 FAX099-258-1738

できる。また、間隙モデルの高さ  $DH$  を小さくするにつれて間隙部分も小さくなりサクションが大きくなることから、 $DH=D_{0.1}$  がより実測値に近い結果を得た。図-2 は体積含水率と不飽和・飽和透水係数の関係を表している。点は実測値、実線、破線はそれぞれ透水係数の積分範囲が  $0 \sim d$ 、 $0 \sim d/2$  の数値計算値を示している。図-2 より計算値は体積含水率が増加するにつれて不飽和・飽和透水係数が増加することが確認できる。また、数値計算値と実測値とのずれが確認できるが、積分範囲  $0 \sim d/2$  の方が飽和での管径が半分になることから実測値に近い結果を得た。

### 3.2 次元不飽和浸透解析

図-3 に鹿児島県国分市入戸の地形・地質の模式図を示す。2001 年 7 月 6 日のサクションのモニタリング結果と 2 次元不飽和浸透解析を用いたサクションの変化の数値計算結果を図-4 に示す。図-4 より、数値計算値は実測値の時系列変化を定性的に表現できていることが確認できる。また、図-2 から分かるように、数値計算値は実測値より透水係数が大きいいため、地表面近くほど数値計算値の降雨によるサクションの急激な変化が確認できる。

### 4.おわりに

2 次元不飽和浸透解析の数値計算値は水分特性曲線、体積含水率～不飽和・飽和透水係数の関係の影響が大きいことが分かる。今後、間隙モデルでの数値計算値をより実測値に近づけるための検討を行い、2 次元不飽和浸透解析においても熱の影響を考慮していき、数値力学モデルを確立していきたい。

謝辞：本研究は「道路シラス法面検討委員会」（委員長：村田秀一（山口大学副学長） 事務局：国土交通省鹿児島国道工事事務所、（財）土研センター）の委員会活動の一環として行われた。このような研究の機会を与えていただいた委員会に謝意を表します。また、科研費（地域連携：No.12792009）の援助を受けた。ここに謝意を表します。

【参考文献】 1)露木利貞ら：1986 年梅雨末期集中豪雨による鹿児島市内のシラス災害に関する調査研究、科研費報告書(No.61020038)、1987. 2)1993 年鹿児島豪雨災害調査委員会編：1993 年鹿児島豪雨災害—繰り返される災害—、土質工学会(現；地盤工学会)、1995. 3)出水市土石流災害調査団：1997 年鹿児島市出水市土石流災害調査報告、地盤工学会、1998. 4)北村ら：シラス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：0955153)、2000.

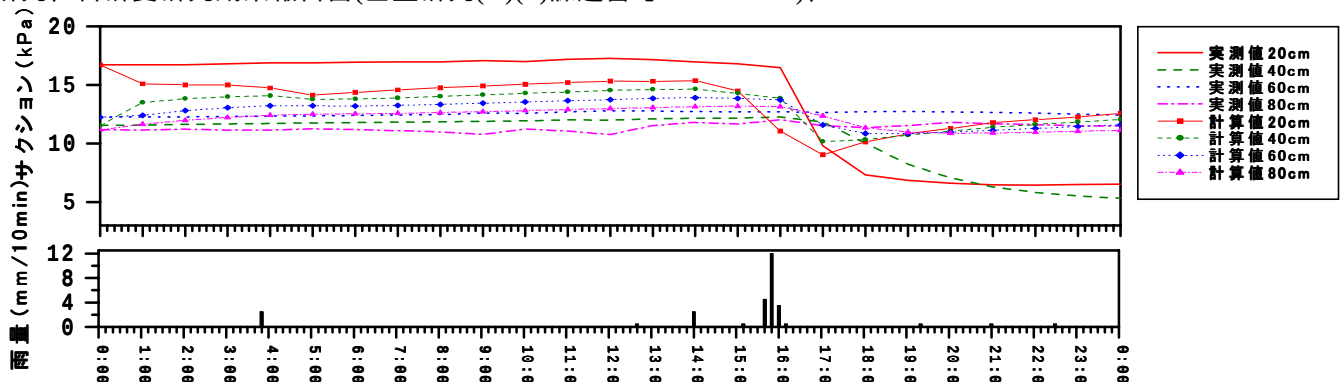


図-4 鹿児島県国分市入戸 10 分間雨量によるサクションの変化  
(2001 年 7 月 6 日)

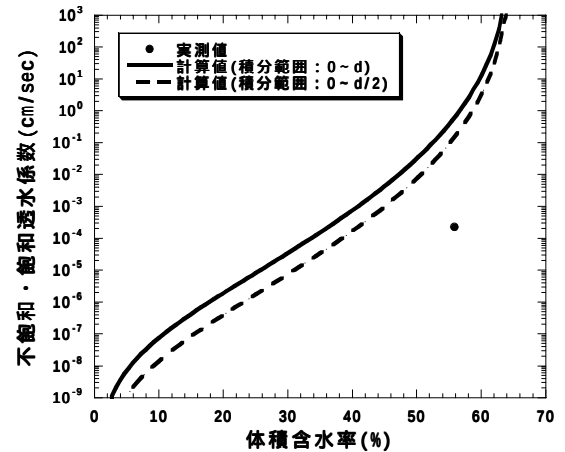


図-2 入戸極軟質シラス

体積含水率不飽和飽和透水係数

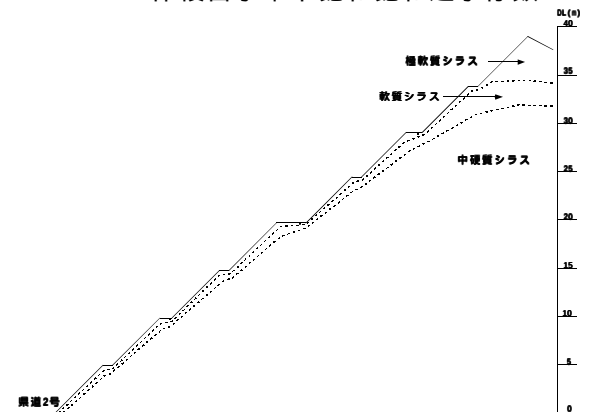


図-3 入戸地形・地質断面図