長崎大学大学院 学生会員 〇池田 翔 フェロー会員 蒋 宇静 長崎大学大学院 正会員 大嶺 聖 杉本知史 李 博 学生会員 石田 純平

<u>1. はじめに</u>

近年の環境問題のひとつとして,異常気象の問題が深刻化している.局地的な集中豪雨や梅雨時期の長雨が頻 発しており,平時安定している斜面でも豪雨や長雨による雨水浸透により崩壊する事例が多く起きている.斜面 の崩壊は人命に関わる重大な事故に繋がる可能性が非常に高く危険である.崩壊する斜面の特定や崩壊後の挙動 が予測可能ならば事前に適切な対策をとることができ,防災,減災の面で大きな社会貢献ができると考えられる.

そこで、本研究では、集中豪雨時の斜面への雨水浸透流の影響を室内斜面模型を用いた斜面実験により検証し、 実験によって得られた結果を基に有限差分法解析を実施する.これにより本手法の妥当性の検証を行う.

2. 土槽での斜面模型実験の概要

表-1 三軸・透水・締固め試験結果

粘着力

 $c_d (kN/m^2)$

1.27

乾燥密度

 ρ_d (g/cm³)

1.50

表-2 入力物性值

ポアソン比 乾燥密度

雨水浸透が斜面の安定性に与える影響を把握す るため斜面模型実験を実施し,降雨の浸透挙動を	含水比 _{W0} (%)	締固め エネルギ E(kJ)
確認する.模型の概要を図-1に示す.モデルの奥	10	336.9

行きは 300mm とし, 表-1 に斜面模型作製時の含水比, 締固めエネルギーおよび同条件で作製した供試体を用いて 行った三軸圧縮試験(CD 試験)によって得られた粘着力とせん断抵抗角,室内透水試験により得られた透水係数を それぞれ示す.試料は豊浦砂を用いる.

降雨の再現のため、給水方法は流量を調節した水を模型上部からノズルを用いて霧状に給水する.実験ケース は降雨強度の違いが雨水の浸透挙動に与える影響を確認するため、斜度を 45°とし、降雨強度を 25,50,100mm/h と 変えた 3 ケースを実施した.各計測器の設置位置を図-1 に示す.斜面表層部分とそれに対応する深さの位置の浸 透挙動を確認するため、テンシオメータを No.1~3、間隙水圧計と土壌水分計を No.2、3 にそれぞれ設置した.

間隙率

n

0.43

変形係数

E(MPa)

200

<u>3. 数値解析の概要</u>

3.1 解析モデルの概要

解析に用いた地盤の物性値 は予備実験を参考に表-2のよ

うに設定した.図-1に傾斜角45°の解析モデルを示す.排水条件は斜面表層の 境界部分と法尻側の側面を排水条件とした.間隙水圧の測定箇所は実験におけ る計測点と同等の位置とした.また,実験を再現するため,解析ケースは実験 で行う3ケースのモデルを作成した.

透水係数 k(m/sec)

 1.0×10^{-4}

3.2 土壌水分特性パラメータの決定

土壌の保水性を表現する水分特性曲線は土壌中の不飽和水分移動を解析する際に不可欠なものである.本解析では式(1)のような van Genuchten¹⁾の実験法則を用いる.この式の a, P_0 は着目している土の水分特性曲線を決めるためのパラメータであり,式(2)は水分特性曲線を表現するモデルである.これらの式のパラメータである $P_{cs}\Psi(kN/m^2)$ はサクションで, S_c は有効飽和度を表して

いる.式(1)の*a*,*P*₀を決めるために含水比10%の豊浦砂をモールドに突き固めて上から霧吹きで給水を行い,飽和 するまでの土壌水分率とサクションの関係を図-2にまとめた.この結果から図-2の土壌水分計 Ec5-1,テンシオ メータ1の値を用いて SWRC Fit の土壌水分特性曲線の非線形回帰プログラム²⁾からフィッティングで図-3のよう な水分特性曲線を表現するモデルのグラフを作成した.

$$P_{c}(S_{w}) = P_{0} \left[S_{e}^{-1/a} - 1 \right]^{1-a} \qquad (1) \qquad S_{e} = \left[\frac{1}{1 + (\alpha \Psi)^{n}} \right]^{1-\frac{1}{n}} \qquad (2)$$



粘着力

せん断

抵抗角

36.9

φ_d (°)

透水係数

k(m/sec)

1.0×10⁻⁴

せん断抵抗角

 $\phi_d(^\circ)$

36.9



v	$\rho_d(g/cm^3)$	$c_d (kN/m^2)$
0.3	1.50	1.27
長届の	•	降雨強度

図-3 のグラフから式(2)のパラメータ α, n を決定し, α=0.125, n=1.49 となった. この結果の横軸と縦軸を反転 させて van Genuchten の実験法則の式(1)としてグラフ化した結果を図-4 に示す.

このとき *P*₀=8.0kPa, *a*=0.33 であった.この値を解析に使用した.これが実験時の土試料の状態を満足する水分 特性曲線である.



4. 斜面模型実験の解析による再現性について

降雨強度 50mm/h のケースにおける間隙水圧の各計測値と解析の結 果を図-5 に示す.実験では降雨開始直後に No.2, No.3 での計測値が上 昇し,降雨開始約 2400 秒後に No.3,降雨開始約 4800 秒後に No.1,2 で の間隙水圧が正圧となった.各計測箇所での間隙水圧の初期値が異な る理由は斜面模型作製の段階で土中の水が重力や突き固めの振動で下 方に移動したためと考えられる.図-6 に実験によって得られた土壌水 分率の経時変化を示し,模型実験においてサクションが消失した時間 に飽和したものとし,その結果から土壌水分率が 36%から上は飽和し たものとみなした.

次に、解析における間隙水圧値は時間の経過とともに上昇し、降雨 開始後約4800秒後にNo.3が正の値となっている.また、間隙水圧の上 昇は実験結果に比べ緩やかである.実験におけるNo.2とNo.3の値に注 目すると、先行浸潤面が達したときに急激に間隙水圧が増え、ある値 で増加が収まった後に水位が上昇し、観測部分に到達したときに間隙 水圧が急激に増えているのが読み取れる.しかし、解析では間隙水圧 が緩やかに上昇するという結果であり、再現性が確認できなかった. この理由は、解析中の斜面内の不飽和時の透水性に関して、土中の複 雑な浸透挙動の再現性が、数値解析において不十分であるためと考え られる.また、降雨開始直後の間隙水圧の初期値が実験と解析とで異 なっていた.この理由は解析の初期の飽和度はすべて一定としており、



土壌水分率の変化

なっていた.この理由は解析の初期の飽和度はすべて一定としており,重力や突き固めによる初期の土壌水分率の変化が解析において考慮されていないためと考えられる.

<u>5. おわりに</u>

本研究では斜面模型実験から得られた結果を基に解析を行い,豪雨時のサクションの消失が斜面に与える影響 について考察した.解析の結果を踏まえ今後は不飽和時の透水性について,浸透流や地下水位を考慮したパラメ ータを追加する必要があり,さらに模型実験の初期の飽和度分布を解析で再現する必要があると考えられる.

参考文献

- 1) Van Genuchten, M. T.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Society American Journal, Vol.44, pp.892-898, 1980.
- 2) Seki, K: SWRC fit a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 4: 407-437, 2007.