

第II部門

豪雨時の表層斜面崩壊発生に与える斜面傾斜角の影響に関する実験

京都大学工学部	学生員	○阿野 誠
京都大学防災研究所	正会員	中川 一
京都大学防災研究科	正会員	馬場 康之
京都大学大学院工学研究科	学生員	Raj Hari SHARMA

1. はじめに

わが国では豪雨・地震に頻繁に見舞われるため、土砂災害が多く発生している。そのため土砂災害への対策はとても重要な意味を持つ。災害の対策を講じる際に最も重要となることは、災害がいつ発生するのかを予測することである。本研究では表層斜面崩壊と斜面傾斜角との関係を実験的に検討するとともに、数値解析結果と実験結果と比較することで崩壊発生時間の予測可能性について検討を行った。

2. 実験装置および方法

実験の全体像を図1に示す。全長5m、幅30cm、深さ50cmの水路に珪砂7号(平均粒径0.13mm、比重2.63、飽和透水係数315mm/hr)を敷き、水路を傾斜させることで斜面を形成し、擬似的に雨を降らせることのできる降雨発生装置を用いて斜面崩壊を発生させた。土壌水分量変化の測定にはWCR(Water Content Refractometer)を用い、10箇所配置し1分毎に土壌水分量の測定を行った。水路側面には赤砂によるトレーサーを配置し斜面崩壊の挙動を可視化した。平均降雨強度は150mm/hrとした。水路下流端は金属製メッシュ板で塞ぐことで土砂の移動は制限し水の移動のみ可能とした。降雨発生開始を実験開始時刻とし、斜面崩壊発生が確認でき次第、実験終了とした。実験ケースとしては傾斜角を25° 30° 32°に変化させたcase1, 2, 3の3ケースを行った。case3での斜面崩壊発生の様子を図2に示す。水路底面をすべり面とする明確な崩壊が生じていることが分かる。

3. 実験結果および考察

斜面内の土壌水分量変化については、実験ケースを問わず、測定を行った10箇所全てに共通した傾向が見受けられた。ここではその代表として2箇所をそれぞれのケースで取り上げ、その土壌水分量の時間変化を図3に示し、以下にその特徴を考察する。土壌水分量は、はじめ急激に増加し、その後ほぼ横ばいとなって、もう一度急激に増加し、最後に急激に減少

している。1段階目の増加は浸潤面の降下に伴うものと考えられ、浸潤面の到達後ほぼ平衡状態を保ち、2段階目の増加は地下水面の上昇に伴うものと考えられる。地下水面の形成に関しては、浸潤面が水路底面に到達すると水路底面以下には浸透していけないために、浸透流の流下方向に流れていく水分量を差し引いてもなお、行き場を失った水分量が徐々に蓄積され水路底面上に地下水面が形成されると考えられる。土壌水分量の最後の急激な減少は、斜面崩壊発生によりWCRセンサー周辺の土砂が流され空気に晒されるためである。

土壌水分量変化と斜面角の関係、および斜面崩壊発生時間を図3に示す。同図より、傾斜角が大きくなるほど土壌水分量の増加が遅いことが分かる。これは、傾斜角が大きいほど浸透流の流下方向に流れていく速度が速くなるため、またWCRセンサーの鉛直上方の土層厚が増えるため浸潤面の降下および地下水面の形成・上昇が遅くなるためと考えられる。また、傾斜角が25°～32°の範囲においては、斜面崩壊発生時間に与える傾斜角の影響があまりないことが分かった。

4. 数値解析モデル

降雨浸透による土壌水分量変化を計算するため、不飽和浸透流式であるRichards式¹⁾(1)を基礎式として用い、関係式にvan Genuchten式²⁾(2)(3)を用いた。

$$\frac{\partial \theta}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial h}{\partial x} - \sin \alpha \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K \left(\frac{\partial h}{\partial z} - \cos \alpha \right) \right\} \quad (1)$$

$$K = \begin{cases} K_s S_e^{0.5} \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 & (h < 0) \\ K_s & (h > 0) \end{cases} \quad (2)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \frac{1}{\left[1 + |\beta h|^n \right]^m} & (h < 0) \\ 1 & (h > 0) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 θ : 土壌水分量、 h : 圧力水頭、 K : 不飽和透水係数、 K_s : 飽和透水係数、 S_e : 有効飽和度、 θ_s : 飽和土壌水分量、 θ_r : 最小含水量、 β, n : 土壌特性を表す定数、 $m = 1 - 1/n$

である。

この偏微分方程式を Crank-Nicolson 法を用いた差分法で解く。崩壊発生時間予測に関しては、土壌水分量を用いた安全率(SF)により計算した³⁾。

計算結果と実験結果を比較したものを図4に示す。比較した結果、計算においてもある程度の崩壊発生時間の予測が可能であることが分かった。

5. 結論

本研究では、斜面崩壊と斜面角との関係を実験により検証すること、および数値解析による斜面崩壊発生時間の予測を目的とした。

結果より、前者に関しては、傾斜角が 25° ~ 32° の範囲においては、斜面崩壊発生時間に与える傾斜角の影響があまりないことが分かった。

後者に関しては、不飽和浸透流式である Richards 式を基礎式として、関係式に van Genuchten 式を用いた数値解析モデルを構築した。その計算結果と実験結果との比較により良い適合性が得られ、崩壊発生時間の予測がある程度可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 岡太郎・菅原正孝 都市の水環境の新展開, 技報堂出版, 1994, 37-39
- 2) Dam J. C. and Feddes R. A. 2000. Numerical simulation of infiltration, evaporation and shallow groundwater levels with the Richards equation. Journal of Hydrology 2333, 72-85
- 3) R.Sharma and H.Nakagawa 水工学論文集 第50巻, 2006, 26

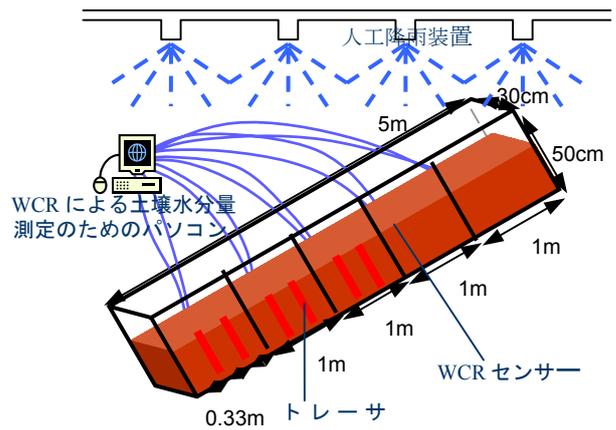


図1 実験の全体像

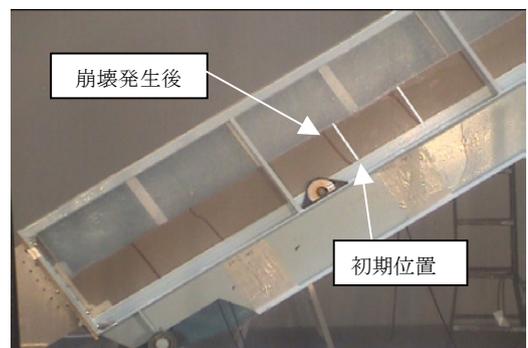


図2 case3における斜面崩壊発生の様子

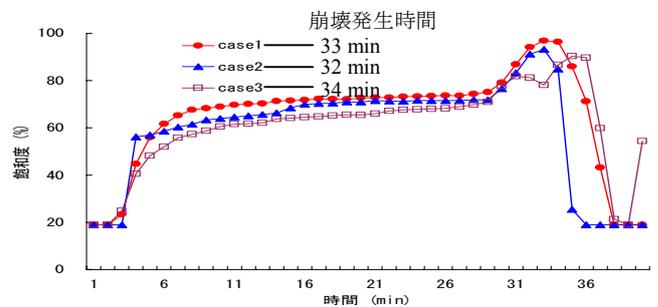


図3 各ケースにおける、水路下流端より 1.5m, 土壌表面より 2cm 下の地点での土壌水分量の時間変化

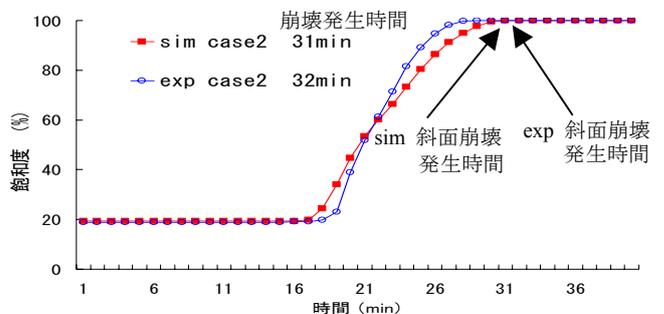


図4 case2における、水路下流端より 2.5m, 水路底面より 2cm 上の地点での土壌水分量の時間変化の計算結果および実験結果の比較