

広域斜面安定解析を用いた土砂災害警戒基準の分析

九州大学 学 村上朱明 正 笠間清伸 正 古川全太郎
 華北電力大学 正 Zhu Yulong

1. はじめに

近年、気候変動に伴うゲリラ豪雨の増加により山間部での斜面崩壊が増加している。現在、リアルタイムに計測した雨量情報と降水短時間予報をもとに、60分間積算雨量と土壌雨量指数の2つの指標を用いて、土砂災害警戒情報を発令し、住民の避難判断・誘導に活用している。土砂災害警戒情報は、1kmのグリッドごとに、60分間積算雨量と土壌雨量指数の空間において、土砂災害警戒の判断基準（CL）を規定している。このCLの大きさは、過去の土砂災害の発生とその時の雨量情報のみから規定されているため、対象となる斜面の地形や土質などの情報が十分に考慮されたものではない。

そこで本文では、豪雨時に発生する斜面の地表流と地下水流を考慮した広域斜面安定解析を用いて、地形および地盤の力学特性がCLに与える影響を分析した。

2. 解析概要

本研究では豪雨時における斜面降雨浸透と地表流を連成解析できる有限要素法ソフトウェアCOMSOLを用いて行った。降雨時の地表流の挙動を計算するために浅水方程式¹⁾ (式-1)、地下水流の挙動を計算するためにRichards方程式²⁾ (式-2)を用いて計算を行った。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = R - I \quad (式-1)$$

$$\nabla \cdot [k_s k_r \cdot \nabla (H_p + z)] + Q_w = [C_m + S_e S_c] \frac{\partial H_p}{\partial t} \quad (式-2)$$

ここで h は水深、 u, v は x, y 方向の水流速度、 R は降雨強度、 I は浸透能を表す。また、 k_s は飽和透水係数、 k_r は比透水係数、 H_p は圧力水頭、 Q_w は水の流入、 C_m は比水分容量、 S_e は有効飽和度、 S_c は比貯留係数を表す。

斜面の地表部における地下水流動解析の境界条件にはGreen-Amptモデルを採用した。降雨の降り始め段階において降雨強度 R は地表面の浸透能 f_p よりも小さいため、降雨強度 R をそのままRichards方程式の境界条件とした。ただし降雨強度が浸透能を超えた場合、降雨の一部が地表面に流出するとした。図-1に時間経過による地表流と地下水流の計算の流れを示す。斜面の安定性の判定にはLuら³⁾が提案した局所安全率(LFS)採用した。

解析対象は、2003年7月の梅雨前線による豪雨災害時に災害発生個所が多かった福岡県太宰府市の10km×10kmの範囲である。選定理由は過去の災害データを基に精度のよいCLが設定されているためである。詳しい位置図は図-2に示す。また、本研究では

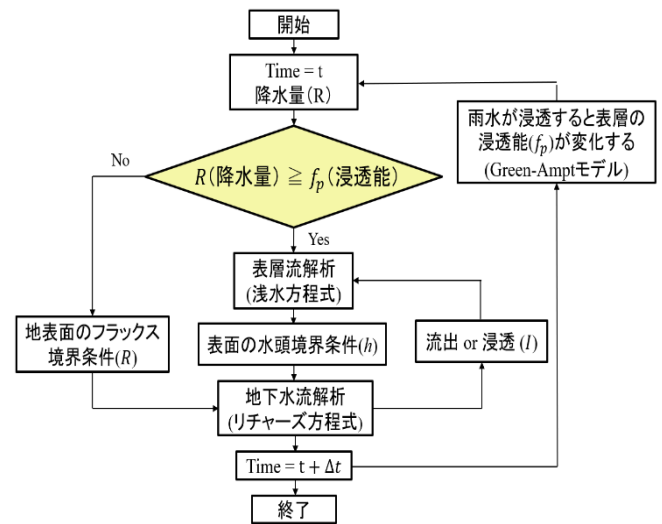


図-1 浸透流と地表流の連成解析のフロー

メッシュを細かくして計算の精度を向上させるにあたって、計算の負荷を減少させるために計算範囲を図-1の1/4の範囲に絞って解析を行った (図-3)。

解析条件は以下の表-1の通りにした。なお、降雨時間は8時間で、解析時にパラメータのばらつきは与えないとする。

表-1 解析条件

降雨強度 R (mm/h)	50, 100, 150, 200
粘着力 c (kPa)	500
内部摩擦角 ϕ (°)	30
飽和透水係数 k_s (m/s)	1.0×10^{-4}
初期地下水位 GWL(m)	-10



図-2 対象地域

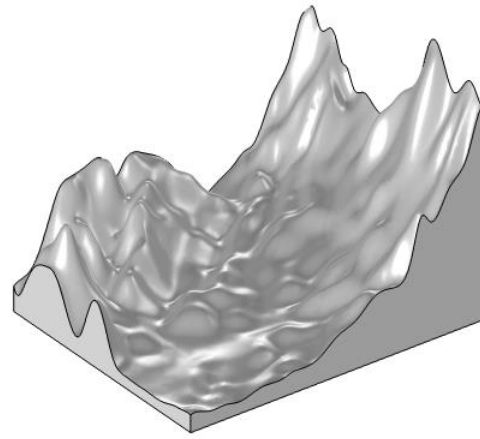


図-3 分割後の解析に用いた地形

3. 解析結果および考察

図-4(a)に初期の図-4(b)に雨を降らせた後の安全率を示す。赤い個所が FOS<1 の危険個所を表しており、青が FOS>1 の安全個所を表している。

解析条件
 C=500(kPa)
 $\phi=30(^{\circ})$
 $k_s=1.0 \times 10^{-4}(m/s)$
 GWL=-10(m)

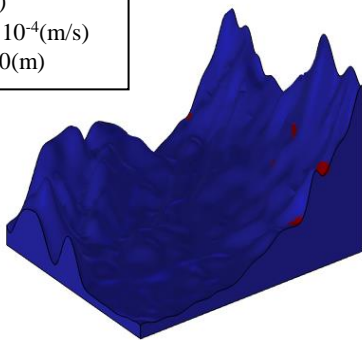
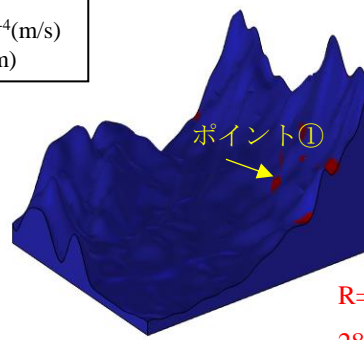


図-4(a) 初期状態

解析条件
 C=500(kPa)
 $\phi=30(^{\circ})$
 $k_s=1.0 \times 10^{-4}(m/s)$
 GWL=-10(m)



R=200(mm/h)で
 28800 秒後

図-4(b) 降雨後

初期状態から FOS<1 となる個所が発生しているが、ここは初期の粘着力を 1350kPa 与えないと FOS>1 とならず、これは地形的要因とパラメータのばらつきを与えていないことに起因すると考えられるため、今回は降雨の前後で安全率が 1 を切るような個所が現れる粘着力 500kPa で解析を行ったからである。図-5 に降雨ごとの図-4(b)に示したポイント①における安全率の時間変化を示した。グラフから降雨強度を大きくするほど崩壊 (FOS<1) するまでの時間が短くなることわかる。

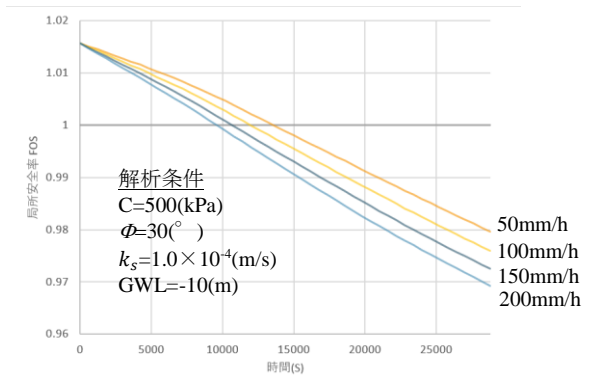


図-5 降雨ごとの安全率の時間変化

〈参考文献〉

- 1) Murillo, J., García-Navarro, P., Burguete, J., Brufau, P., 2007. The influence of source terms on stability, accuracy and conservation in two-dimensional shallow flow simulation using triangular finite volumes. Int. J. Numer. Methods Fluids 54, 543–590
- 2) Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physics. 1 (5), 318–333.
- 3) Lu, N., Şener-Kaya, B., Wayllace, A., Godt, J.W., 2012. Analysis of rainfall-induced slope instability using a field of local factor of safety. Water Resour. Res. 48, W09524.