

豪雨を受ける実斜面の安定性に関する数値シミュレーション

大阪大学大学院 ○藤本 彩乃・小田 和広・小泉 圭吾・伊藤 真一・臼木 陽平
 神戸市立工業専門学校 鳥居 宣之
 国際航業 原口 勝則
 ダイヤコンサルタント 鏡原 聖史

1. はじめに

近年、日本では集中豪雨による土砂災害が多発している。筆者らの研究グループでは、ある自然斜面を対象に集中豪雨時における斜面災害の発生機構に関する研究を行っている¹⁾²⁾。研究対象斜面では、過去に2度の豪雨を経験し、そのうちの一度、約50m離れた別の斜面において斜面崩壊が発生した。また、一昨年には、対象斜面から約5km離れた地区において、累積雨量が300mmを超える豪雨が記録された。その結果、その地区では数多くの土砂災害が発生した。当該斜面において、このような集中豪雨を経験した場合の崩壊形態を予想しておくことは、今後の研究の遂行において価値のあるものと考えられる。そこで本研究では、雨水浸透解析と斜面安定解析により、集中豪雨時における研究対象斜面の崩壊挙動に関して考察を行うことを目的とする。

2. 対象斜面の概要と降雨条件

図-1 は対象斜面の解析モデルを示している。当該斜面では泥岩の上を表層土が覆っている。表層土の厚さは簡易貫入試験から得られた表層厚と傾斜の関係から推定した¹⁾。また、予備解析より、泥岩層への雨水浸透はほとんど生じなかったため、表土層のみを解析の対象とした¹⁾²⁾。

図-2 は2014年に観測された平成26年8月豪雨による豪雨時の時間雨量と累積雨量を示している。最大時間雨量は50(mm/h)、累積雨量335.5(mm)を記録した。約50(mm/h)に達する集中豪雨は、途中約20(mm/h)の降雨を挟みながら3度記録された。なお、この地区の50年に1度発生するとされている3時間雨量は150mmであることから、今回の降雨はそれに匹敵するものであることが分かる。

3. 雨水浸透解析

まず、降雨期間中の斜面内の水分状況を把握するために、飽和不飽和浸透流解析コードHYDRUS³⁾を用いて雨水浸透解析を実施した。水分特性曲線モデルとして以下に示す van Genuchten モデルを用いた。モデル式は以下に示す通りである。

$$S_e = (\theta - \theta_r / \theta_s - \theta_r) = \{1 + (-\alpha \psi_m)^n\}^{-m}, \quad m = 1 - 1/n$$

$$k = k_s \times S_e^l \{1 - (1 - S_e^{1/m})^2\}^2$$

ここで、 S_e :有効飽和度、 θ :体積含水率、 θ_s :飽和体積含水率、 θ_r :残留体積含水率、 ψ_m :土壌水分吸引水頭、 α :空気侵入値に関わるパラメータ、 n :形状パラメータ、 l :無次元パラメータ

表-1 は雨水浸透解析に用いたパラメータを示している。これらのパラメータは室内試験ならびに事前解析に

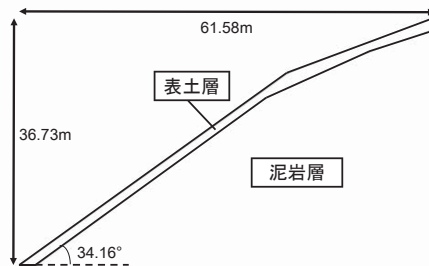


図-1 対象斜面の解析モデル

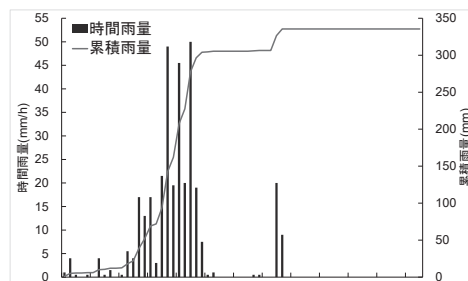


図-2 時間雨量と累積雨量

表-1 雨水浸透解析に用いたパラメータ

飽和体積含水率 θ_s		0.536
残留体積含水率 θ_r		0.15
パラメータ α	(1/cm)	0.075
パラメータ l	(-)	0.5
パラメータ n	(-)	1.51
透水係数 k_s	(cm/min)	0.51

表-2 斜面安定解析に用いたパラメータ

粘着力 c_d	(kPa)	6
内部摩擦角 ϕ_d	(deg)	43
飽和単位体積重量 γ_s	(kN/m ³)	18
湿潤単位体積重量 γ_t	(kN/m ³)	16

よって決定された。図-3 は累積雨量と間隙水圧の経時変化を示している⁴⁾。斜面の安定性に大きな影響を及ぼす間隙水圧は、降雨開始から約 25 時間後に生じ始める。間隙水圧が急激に上昇し、約 33 時間後に最大値に達する。その後、間隙水圧は徐々に減少する。なお、間隙水圧が発生し、最大値に達するまでの間は、降雨は停止している。

4. 斜面安定解析

雨水浸透解析の結果に基づき、無限斜面法、斜面安定解析ソフト HYDRUS Slope Stability Module⁵⁾を用いた円弧すべり計算（フェレニウス法）、弾塑性地盤解析ソフト GeoFEAS2D⁶⁾を用いた SSRFEM の 3 つの手法による斜面安定解析を実施した。表-2 は斜面安定解析に用いたパラメータを示している。図-4 は時間雨量と安全率の経時変化を示している。図-3 を参照すると、間隙水圧が発生すると安全率が低下しはじめ、間隙水圧が最大値に達した時点で安全率が最小になっている。また、本研究で用いた 3 つの解析手法による安全率の変動の特徴はほぼ一致している。安全率は、降雨開始時点では、無限斜面法が最小、SSRFEM が最大となっている。一方、間隙水圧が最大となったときの安全率は、無限斜面法が最小、円弧すべり計算が最大となった。図-5 は安全率が最小となったときの、SSRFEM による飽和度の分布（上）、局所安全率の分布（中）、最大ひずみ増分の分布（下）を示している。局所安全率が小さい部分は、斜面内で有効飽和度が 100%となり間隙水圧が発生している部分とほぼ一致している。但し、顕著な最大ひずみ増分は、下側斜面の下部から中腹までにしか生じていない。すなわち、この部分に崩壊が発生するものと考えられる。つまり、雨水が浸透し、留まる斜面下方において局所安全率が小さくなり、崩壊が発生すると考えられる。

5. まとめ

本研究によって得られた知見は以下の通りである。①雨水の浸透により間隙水圧が発生すると安全率が低下し、間隙水圧が最大値に達すると安全率が最小となる。②本研究で用いた 3 つの安定解析手法において、安全率の変動の特徴は同様であった。③雨水が留まる斜面下方で局所安全率が小さくなり、崩壊の発生が推測される。

参考文献

- 1) 新都市社会技術融合創造研究会：ゲリラ豪雨時に対応した道路のり面監視方法に関する研究報告書,2015-2
- 2) 国立大学法人大阪大学大学院工学研究科：ゲリラ豪雨時に対応した道路のり面監視方法に関する研究報告書,2014-2
- 3) D. Rassam・J. Simunek・M. Th. van Genuchten：HYDRUS-2D による土中の不飽和流れの計算,2004.
- 4) 藤本彩乃他：豪雨を受ける実自然斜面の安定性に関するシミュレーション，第 51 回地盤工学研究発表会，2016.
- 5) PC-PROGRESS：HYDRUS Slope Stability Module User Manual,2014.
- 6) 株式会社フォーラムエイト：弾塑性地盤解析（GeoFEAS2D），2015

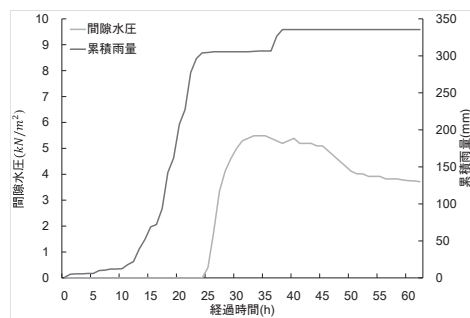


図-3 累積雨量と間隙水圧の経時変化

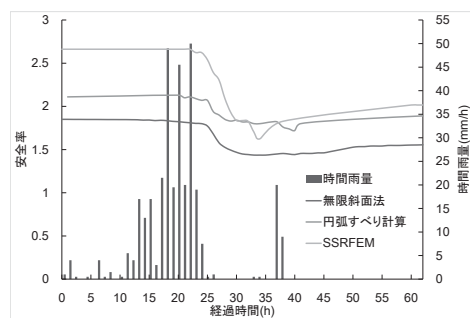


図-4 時間雨量と安全率の経時変化

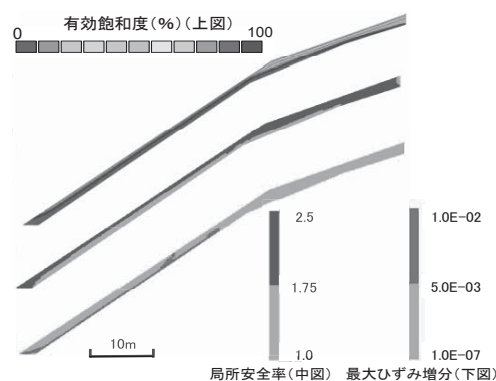


図-5 SSRFEM による安全率が最小となったときの有効飽和度（上）、局所安全率（中）、最大ひずみ増分（下）の分布図