

斜面の浸透特性を考慮した豪雨時における斜面安定解析手法の開発

JR 東日本 正会員 ○池本 宏文
長岡技術科学大学 正会員 大塚 悟

1. はじめに

豪雨時における斜面崩壊は斜面表層部を覆っている風化層が崩壊する浅層崩壊が多い。崩壊形態は緩急遷移点などの地形や不透水層などの地質の影響により変化する。また、現地踏査を行うと斜面の崩壊は1次的な小崩壊をはじめとする進行性破壊の事例も多い。本研究はこのような豪雨時における斜面崩壊挙動を数値解析により考察する。最終的には、斜面の安全率を求めて崩壊予測を行うことを目的としている。

2. 豪雨時における斜面安定解析

本解析手法は不飽和・飽和浸透解析と斜面安定解析を連成させることにより豪雨時における斜面安定解析を行なう。不飽和・飽和浸透解析では不飽和土の浸透特性について van Genuchten が提案するモデル¹⁾を用いて斜面内の間隙水圧を求める。その間隙水圧をもとにして、飽和領域と不飽和領域に分けて、剛塑性有限要素法を用いた斜面安定解析を行う。剛塑性有限要素法は斜面の極限状態を直接解析する方法であり、極限平衡法のようなすべり線の仮定を必要としないため安定解析には非常に優位な方法である。飽和領域は有効応力の原理、式(1)に基づいて有効応力解析を行う。

$$\sigma' = \sigma - u_w \quad (1)$$

不飽和領域はサクションによって生じる強度の増加分を加藤ら²⁾が提案している式(2)に基づき、粘着力の増分として取り扱い、全応力解析を行う。

$$c = p_s \tan \phi_{\text{net}} \quad (2)$$

ここに、 ϕ_{net} は基底応力に基づく内部摩擦角で実用上は $\phi_{\text{net}} = \phi'$ とする。

3. 豪雨時における斜面安定解析

解析は斜面勾配 25°の斜面(図1)を用い、試料にはローム質砂を使用する。また、van Genuchten のパラメータは $\alpha = 2.761 \text{ m}^{-1}$, $n = 3.022$, $\theta_s = 0.375$, $\theta_r = 0.044$,

$K_s = 6.383 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ を用いる。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left\{ 1 + (\alpha |\phi|)^n \right\}^{-1+1/n} \quad (3)$$

地盤定数は $\phi' = 25.0 \text{ kPa}$, $\gamma = 15.0 \text{ kN/m}^3$, c' は飽和土であるので 0.01 kPa を用いる。なお、地盤の両側面および底面は不透水境界とし、降雨強度 10, 20, 30, 40, 50 mm/hr の降雨を斜面に降らせて解析を行う。

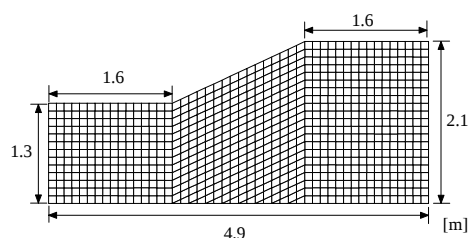


図1 有限要素メッシュ

図2は降雨強度 30 mm/hr における圧力水頭分布と崩壊形態図を示したものである。初期状態から1時間後では地下水位の上昇は少なく、崩壊形態は斜面内部の深い位置にてすべる崩壊形態となっている。2時間後になると地下水位の上昇に伴い、斜面先の崩壊へと形態が移行している。3時間から定常状態(7時間後)にかけては、斜面先における小崩壊が発生しており、地下水面から斜面先の範囲においてすべりが発生している。崩壊は地下水面下の飽和領域において発生していることから、小崩壊の原因は飽和化に伴う、有効応力の減少とサクションによって生じる粘着力の喪失であると考えられる。

図3は安全率の時間変化を示したものである。降雨強度が 30 mm/hr では、およそ 2.4 時間で安全率が 1.0 となり崩壊している。また、この曲線は、2 時間を境として曲線の形状が上に凸から下に凸へ変化しており、一方、崩壊形態の変化も 2 時間により変化していることから、崩壊形態の変化と安全率の曲線の形状には対応関係が見られる。また、降雨強度 10 mm/hr では定常状

キーワード 豪雨, 斜面安定, 浸透解析, 剛塑性有限要素法

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 0258-46-6000

態においても安全率が 1.0 を上回っているので崩壊は生じない．また，降雨強度 20mm/hr 以降では，降雨強度が高くなるにつれて，より短い時間において崩壊に至っている

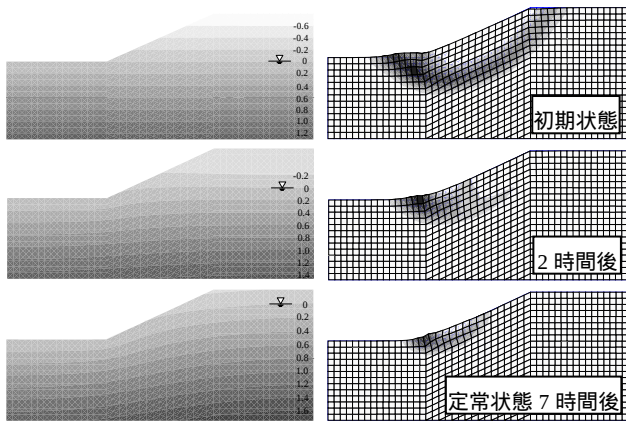


図 2 圧力水頭分布および崩壊形態図(30mm/hr)

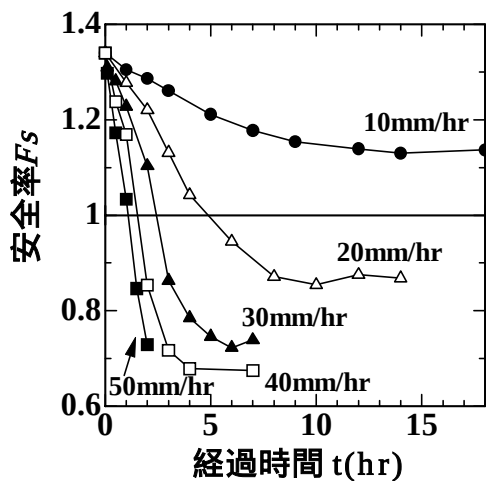


図 3 安全率の時間変化

次に豪雨時における斜面崩壊は浅層崩壊が多いため，斜面表層部の風化層を想定した図 4 の斜面を用いて解析を行う．試料，地盤定数および解析条件は先ほどと同様にて行う．

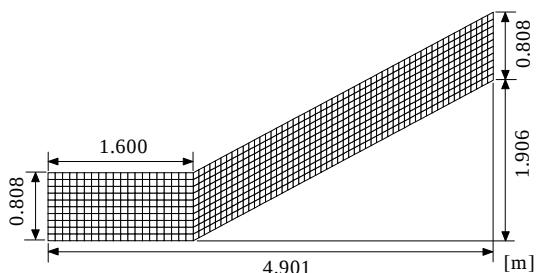


図 4 豪雨時斜面安定有限要素メッシュ

図 5 は圧力水頭分布および崩壊形態図である．初期状態では斜面先にあった地下水面は雨水の浸透に伴い，斜面に沿って上昇している．2 時間後では地下水位の上昇は少なく，崩壊形態は風化層全体がすべる崩壊形態となっているが，4 時間から定常状態に至るまでは，地下水位の上昇に伴い，崩壊形態が斜面先にて発生する小崩壊へと変化している．斜面形状が変化しても崩壊は，地下水面から斜面先において発生しており，小崩壊の発生は飽和化に伴う，有効応力の減少と粘着力の喪失が大きな原因であることが分かる．また，斜面は図 1 に比べて層厚が薄いため，飽和化しやすく，浸潤面の形成も容易であるから，崩壊に至るまでの時間は短くなる．

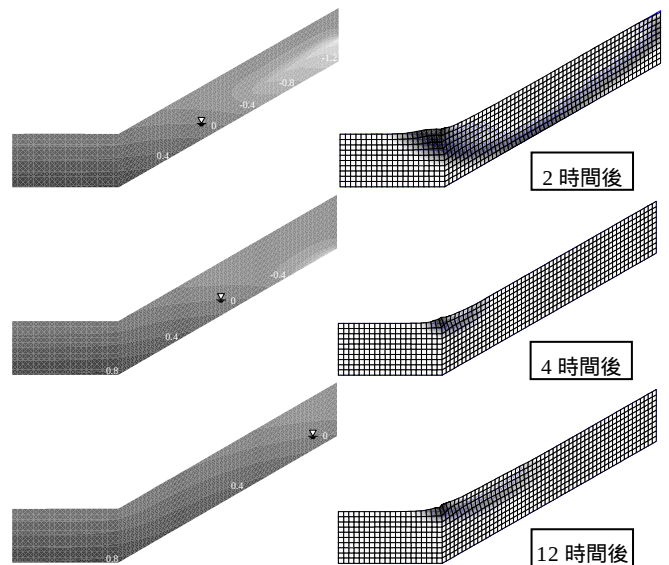


図 5 圧力水頭分布および崩壊形態

4.まとめ

豪雨時における斜面崩壊挙動を解析的に考察した．斜面先の小崩壊は，飽和化に伴う，有効応力の減少と粘着力の喪失が大きな原因であると考えられる．また，崩壊形態の変化と安全率の曲線の形状には対応関係があることが分かった．

参考文献

- 1) van Genuchten, M.T. : A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sci. Soc. Am.J, pp.892 ~ 898,1980.
- 2) 加藤正司・吉村優治・河井克之・寸田亘：不飽和土の一軸圧縮試験時の強度特性に及ぼすサクシンの影響，土木学会論文集，No.687/ -56，pp.201-218，2001.