豪雨時の斜面崩壊機構に関する数値解析による考察

(株)シーテック 技術コンサルタント部	正会員	○鈴木	隆
長岡技術科学大学	正会員	大塚	悟
ウメダジオリサーチ	正会員	梅田	美彦

<u>1. はじめに</u>

筆者らは、豪雨時の斜面安定性評価を目的に、飽和-不飽和浸透流解析と剛塑性有限要素法を連成させた解析を実施 している。現在までに、降雨によって斜面の法先部の地下水位が上昇すると小さな法先崩壊が発生し、その後の水位上 昇とともに、斜面全体が崩壊する崩壊機構について数値解析を用いて明らかにした¹⁰。しかし、斜面崩壊には、このよ うな崩壊機構以外にも不飽和帯のサクションが低下することによって発生することが指摘されている。本報告ではサク ション低下による斜面崩壊機構に関して、発生条件等について数値解析的検討を実施した。

<u>2. 検討方法</u>

斜面の安定性評価は、飽和-不飽和浸透流解析により降雨時の浸透解析を実施し、その水圧分布を剛塑性有限要素法 に取り込むことにより安定解析を実施して、すべり安全率(以下、安全率とした)を求めた。解析の詳細は論文を参照 されたい²⁾。なお、サクションの地盤強度への影響は、粘着力の増加をもたらすものとし、加藤らのモデル³⁾を用いた。 (サクションの影響を考慮した粘着力の算定式)・・・ c = p_s×tan φ_{net}

ここに、c:粘着力、ps:サクション応力、φnet:基底応力に基づく内部摩擦角である。

解析は、 $\mathbf{2}-1$ に示すような斜面形状について、 $\mathbf{\overline{k}-1}$ に示すように斜面角度(α)、内部摩擦角(ϕ)、降雨強度(\mathbf{R}) を変化させて実施した。



表-1 解析に用いたパラメータ

パラメータ	設定値
斜面角度(α)	$26.6,35,45^{\circ}$
内部摩擦角 (ϕ)	$14{,}24{,}34^\circ$
粘着力(c)	$0.5 \mathrm{kN/m^2}$
降雨強度(R)	20, 50, 100mm/h

図-1 解析モデル図(斜面角度 45°)

3. 結果と考察

(1)降雨強度(R)と安全率の変化

 $\alpha = 45^{\circ}$ 、 $\phi = 24^{\circ}$ のケースおよび $\alpha = 26.6^{\circ}$ 、 $\phi = 14^{\circ}$ のケースについて、安全率の経時変化を降雨強度毎に図-2 ~3に示す。いずれのケースも、安全率は降雨強度が大きいほど早く低下する。また、最終定常時の安全率も、降雨強 度が大きいほど小さくなる。また、降雨量に基づく安全率の分布を各ケースについて、図-4に示す。図より、降雨強 度が大きいほど崩壊時間が早い。また、いずれのケースでも崩壊が生じなくなる限界降雨強度が存在することが分かる。

 α =45° で降雨強度 100mm/h と50mm/h の崩壊時の飽和度分布を図-5~6に示す。降雨強度 100mm/h の崩壊は、 湿潤前線が降下中(基盤付近に青色で示す不飽和域が分布している状態)に生じているのに対し、50mm/h での崩壊は、 湿潤前線が基盤に到達した後、地下水位が上昇し飽和帯が拡大していく時点(基盤付近に赤色で示す飽和域が分布して いる状態)で生じている。すなわち、100mm/h の降雨強度ではサクション低下によってのみ崩壊が生じているのに対 して、50mm/h ではサクション低下と間隙水圧の上昇が崩壊原因となっていることが確認できる。以上より、降雨強度 と斜面崩壊の関係は降雨強度が大きくなるに従って、安全率1以上(崩壊せず)→地下水位上昇による崩壊→サクショ ン低下による崩壊の形態をとることが分かる。なお、 α =26.6° では、サクション低下による崩壊は見られなかった。



キーワード:斜面安定解析,浸透特性,剛塑性有限要素法,飽和一不飽和,臨界すべり面 〒455-0054 愛知県名古屋市港区遠若町 3-7-1 株式会社シーテック 土木建築本部 技術コンサルタント部 TEL:052-651-4069, FAX:052-651-2349



図-4 降雨量に基づいた安全率の分布

(2)内部摩擦角(φ)の影響

降雨強度 50mm/h のケースについて、内部摩擦角(ϕ) を 14、24、34° とした時の安全率の経時変化を**図**-7に示 す。時間によらず、 ϕ の上昇とともに安全率が高くなる結果 が得られた。また、臨界すべり面(最も危険なすべり面)の 形状は、 ϕ によってほとんど変化しないという結果となった。 すなわち、地盤内の飽和度分布が同一ならば ϕ の大小に関わ らず安全率が最小となる円弧はほぼ同一であることが分か った。崩壊は、安全率が1.0以下となった時点で生じるため、 崩壊時のすべり面形状は異なるが、地山内部の飽和度分布が 同一である場合には、 ϕ の大きさに関わらず臨界すべり面は 同一な形状が得られると考えられる。

(3) 斜面角度(α)の影響

内部摩擦角 $\phi=24^{\circ}$ 、降雨強度 50mm/h で斜面角度(α) を 26.6、35、45°にした時の安全率の経時変化を図-8に 示す。図より、初期の段階では斜面角度が大きい程、安全率 が低下する妥当な結果となった。また、 $\alpha=26.6^{\circ}$ と35°の 安全率は初期段階に相違が見られるものの、最終的には比較 的近い安全率となっている。 $\alpha=45^{\circ}$ については、法先付近 に地下水位が上昇する4時間経過時点で安全率が他の斜面角 度の結果と接近するものの、その後の最終段階では急激に低 下して崩壊することが分かった。

4. まとめと今後の課題

豪雨時の斜面崩壊機構について解析的に検討した結果、以下の結論を得た。

- a) 雨水の地盤内への浸透により、斜面の安全率は低下する。安全率が低下する速度は、降雨強度が大きいほど速い。
- b) 斜面が崩壊する限界降雨量が存在し、ある降雨強度以 下では斜面崩壊は発生しない。
- c) 斜面崩壊は、飽和帯が上昇する時点で発生するケースと 不飽和帯を湿潤前線が降下していく時点で発生するケ ースがある。後者は、サクション低下による斜面崩壊で あり、斜面勾配が大きい斜面で生じやすい。
- d) 均一斜面の場合、臨界すべり面の形状は地盤内部の飽 和度分布により決定され、内部摩擦角(φ)に依存しな い。
- 今後は、対策工法の適用や3次元への拡張に努める。

【 参考文献 】

1) 鈴木 隆,大塚 悟,梅田美彦:浸透特性を考慮した降雨時斜面崩壊の予測に関する数値解析,第40回地盤工学研究 発表会(投稿予定)

2) 大塚悟, 宮田善郁, 池本宏文, 岩部司: 剛塑性有限要素法による斜面安定解析, 地すべり, Vol.38, No.3, pp.75-83, 2001.

3)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ョンの影響,土木学会論 文集,No.687/III-56, pp.201-218, 2001.





図-6 崩壊時の飽和度分布(降雨強度 50mm/h)



図-7 安全率の経時変化(降雨強度 50mm/h, 斜面角度 α=45°)

