降雨時の地盤強度の低下を考慮した斜面崩壊予測

九州大学大学院 学生会員 〇寺尾 昂 九州大学大学院 フェロー 善 功企 九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

1. はじめに

わが国では斜面崩壊が頻繁に発生しており、その被害は甚大なものとなっている. 近年では地球温暖化に伴う集中豪雨の増加により、降雨の影響を考慮した斜面崩壊予測が活発に行われている. 降雨時の斜面崩壊の要因のひとつとして、地盤の飽和度の増加に伴う、サクションの低下に起因した地盤強度の低下が考えられる. そのため、地盤の飽和度と強度の関係を把握することは、斜面崩壊予測において非常に重要である. しかし、不飽和土の飽和度に着目した強度特性のデータの蓄積が十分ではなく、この要因を考慮した危険度評価手法が少ないのが現状である. そこで、本文では北九州市において採取した試料を対象とした定体積一面せん断試験から、飽和度に着目した地盤の強度特性を調べた. さらにその結果を安定解析に適用し斜面崩壊予測を行った.

2. 解析概要

本文では、大久保が提案した安定解析モデル¹⁾を適用し危険 度評価を行った. **図-1** に斜面崩壊危険度算定のフローを示す.

2.1 水分増加比の算出

対象斜面をメッシュ化し、各メッシュの動水勾配から、水の流れを考え、水分量の増加量を算出し、水分増加比 m を求めた.ここで、水分増加比 m は、降雨浸透による初期状態からの地盤内空隙の減少量を初期状態の空隙量で除した値と定義した.水分の流入量は隣接メッシュからの飽和浸透流、表面流および降雨の浸透を、流出量は隣接メッシュへの飽和浸透流、表面流および基岩への流出を考えた.

2.2 安定解析モデル

図-2 に示す斜面表層モデルを考え、安定解析を行った. 安全率は、湿潤層底面および基岩面をすべり面とし、水分増加比mの値に応じて、式(1)および式(2)で算定した. 小さい値をそのメッシュの安全率とした.

$$F_s = \frac{N \cdot \tan \phi' + (c' + c_{\psi}) \cdot \Delta s}{W \cos \theta} \qquad (m < m_0)$$
 (1)

$$F_s = \frac{N' \cdot \tan \phi' + c' \cdot \Delta s}{W' \cos \theta + j} \qquad (m \ge m_0)$$
 (2)

ここで、 m_0 は飽和層の形成が始まる水分増加比、c'は有効粘着力、 ϕ 'は内部摩擦角、Wおよび W'はすべり面上の土の湿潤重量および有効重量、N および N'はすべり面に対する垂直力および有効垂直力、j は透水力、 Δs は一要素の長さ、 θ は斜面角度である。また、 c_{ψ} はサクションによる見かけの粘着力で、飽和度と強度の関係に基づき式(3)で定義した。基岩面の飽和度は初期飽和度 S_{r0} とし、湿潤層底面の飽和度 S_r は式(4)で定義した。

$$c_s = A \cdot S_r \cdot (1 - S_r)^{\lambda} \tag{3}$$

$$S_r = \frac{m}{m_0} + S_{r0} \cdot \left(1 - \frac{m}{m_0}\right)^{\alpha} \tag{4}$$

ここで、Aおよび λ は実験により求められたパラメータ、 α は 飽和度変化を表すパラメータである.

2.3 解析対象および解析条件

2009年7月の九州北部豪雨により斜面崩壊が発生した福岡

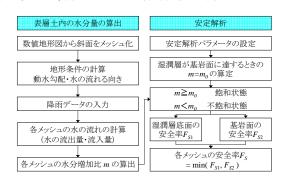


図-1 危険度算出フロー

T: 土のせん断抵抗力

H_p: 浸水面深さ

h: 湿潤層

H': 湿潤層底面

までの深さ $a=(rh): H_p$ から湿潤層上面までの厚さ

r: 斜面の表面方向 への浸透割合

図-2 斜面モデル

湿潤層底面

基岩面

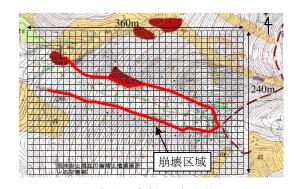


図-3 解析対象斜面と解析範囲

表-1 解析パラメータ

間隙率n	0.33	α	1.00
土粒子比重 G_s	2.82	r	0.10
内部摩擦角 φ' [°]	36.90	粗度係数n [s/m ^{1/3}]	0.60
有効粘着力c'[kPa]	8.00	透水係数k [cm/s]	4.5×10 ⁻³
初期飽和度 S_{ro}	0.80	流出定数 k_d [1/h]	0.01
A	50.00	流入係数 f_i	0.85
λ	0.70		

県田川郡福智町を対象に、飽和度に着目した地盤の強度特性を適用し、斜面崩壊予測を行った。 図-3 に、斜面崩壊部の地形図を示す。崩壊箇所を含む $360m \times 240m$ の範囲をメッシュ化した。 表-1 に解析に用いたパラメータを示す。解析パラメータは、現地の調査結果 20 から決定した。 A および λ は、図-4 の北九州市で一面せん断試験を実施した 5 地点における,見かけの粘着力のフィッティング結果のうち,土質分類の最も近い地点の値とした。 表土層厚 H_c は簡易貫入試験から決定し、試験実施範囲外は一律 3.0m とした。 浸水面深さ H_p は崩壊区域右側に竹が分布することが確認されたため,0.3m に設定し,その他の区域では一律 1.0m とした.

3. 解析結果および考察

2009年7月24日19時,21時および23時における対象斜面の安全率の分布を図-5に示す.図中に崩壊区域も併せて示した.時間の経過とともに,安全率は斜面上部から崩壊区域を中心に著しく減少した.19時において,大部分の安全率は2.5以上をとり,安定であったことがわかる.21時には,安全率が1以下となるメッシュの数が最大となった.斜面上部では広範囲に安全率が小さいメッシュが現れ,不安定化したと考えられる.また,21時の安全率分布から,対象斜面の崩壊形態は崩壊区域頂部での崩壊を契機に,不安定化した区域を巻き込んで,大規模な崩壊に至ったものと推察される.図-6に24日から25日かけての時間雨量と崩壊頂部のメッシュの安全率の変動を示す.16時以降,

降雨量は増加するにつれて安全率は減少した. さらに, 20 時には急激に減少し, 21 時に最小となった. このとき安全率は1を下回った. 今回の対象斜面では21 時40 分頃に斜面崩壊が発生したと報告されており,解析結果と概ね一致した. このことから,本手法および一面せん断試験で得られた強度特性は斜面崩壊予測に有用であるといえる. しかし,崩壊区域外で安全率が1を下回るメッシュも多くあった. これは,表土層厚を試験実施区域以外を一律として与えたこと,各パラメータを一律で与えたためと考えられ,それらを詳細に把握,設定できれば,精度向上が可能と考えられる.

4. まとめ

本文で得られた結論を以下にまとめる.

- 1) 一面せん断試験で得られた強度特性を斜面崩壊危険度評価に適用した.
- 2) 本手法および一面せん断試験で得られた強度特性は斜面崩壊予測に有用である.
- 3) 崩壊形態は崩壊区域頂部での崩壊を契機に、不安定化した区域を巻き込み、大規模な崩壊に至ったものと考えられる.
- 4) 解析パラメータを詳細に把握し、設定すれば精度向上が可能と考えられる.

〈参考文献〉

- 1) 大久保佳美:降雨による粘着力の低減を考慮した斜面崩壊危険度評価手法の一提案,九州大学修士論文,2011.
- 2) 地盤工学会九州北部土砂災害調査団:: 平成21年7月九州北部豪雨による土砂災害調査報告書,2010.

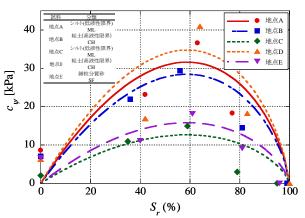


図-4 見かけの粘着力のフィッティング結果

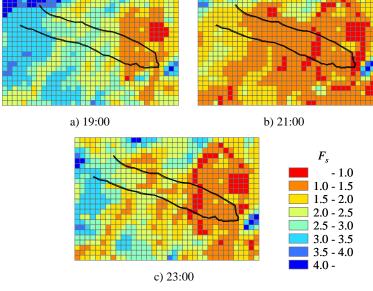


図-5 安全率の分布

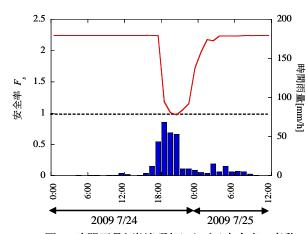


図-6 時間雨量と崩壊頂部における安全率の変動