飽和度上昇に伴う粘着力低下を取り入れた斜面表層安定性に関する事例計算

鉄道総合技術研究所	正会員	○浅野 嘉文	正会員	川尻峻三
鉄道総合技術研究所	正会員	布川 修	正会員	太田直之
京都大学大学院	フェロー	杉山友康		

1. はじめに

降雨時の斜面の安定性を評価するためには、崩壊に直接影響を及ぼす地盤内における水の移動現象とこれに伴う 地下水位変動を予測することが重要である.こうした背景のもと、筆者らは比較的広範囲の斜面表層の地下水位変 動を再現できる斜面安定解析モデル(以下,解析モデルと呼ぶ)の構築に取り組んでいる¹⁾.一方,粘着力*c* は飽 和度 *S*_rの上昇に伴い低下することがわかっており、この関係を考慮することで、降雨に伴う実際の斜面崩壊をより 精度よく再現できると考えられる.そこで、筆者らが開発した解析モデルに飽和度の上昇に伴う粘着力の低減関係 (以下,*S*_r ~ *c* 関係という)を導入し、安定計算における精度向上を図ることを目的とした崩壊斜面の事例計算を実 施した.

2. 解析モデルの概要

本研究で用いる解析モデルは沖村・市川の手法²⁾を基本として、こ れに改良を加えた解析モデルである.図1は解析モデルにおける斜 面の水の流れに関する概念図である.対象斜面をメッシュに分割し、 分割したメッシュに仮定した土塊要素内の水の流れを計算して表層 崩壊に対する安定性を評価する.具体的には、数値標高データや各 要素における土質条件等を時間変化に対して不変なデータとした上 で、地形的な条件の計算として各要素の勾配や水が流れる向きを算 出し、集水箇所においては沢として水の流れを計算する.次に、各 要素における水の流入・流出量を計算し、各要素の飽和度および地 下水位から安全率の計算を行う.以上のような解析モデルを用いて、 地形条件や水の流れを考慮した飽和度の変化を時間ステップごとに 求めることで斜面の安定性を時間的・空間的に評価することが可能 となる.

飽和度,粘着力,斜面表層安定





3. 事後解析の対象斜面と解析条件

事後解析の対象斜面は、三浦ら^{3),4)} が報告している平成21年台風18号によって崩壊した鉄道沿線における斜面 崩壊である.三浦らは崩壊箇所のうち崩壊規模が最も大きい崩壊斜面の近接斜面を対象として、原位置試験および 原位置より採取した乱れの少ない土試料を用いて飽和・不飽和状態における定圧一面せん断試験を実施することで、 崩壊土層厚および崩壊斜面の強度特性を把握している.さらに、2次元飽和・不飽和浸透流解析および斜面安定解 析を実施し、記録的な降雨によって斜面内の飽和度が上昇し、粘着力が低下することによって崩壊が発生したと報 告している.

表1に解析モデルに使用するパラメータを示す.解析に用いるパラメータは三浦らが報告している値を参考に決定した.本解析モデルでの降雨浸透に伴う地下水位上昇は、地下水位比 R_h (=地下水位h/表土層厚D)と飽和度 S_r の関係を土の保水性別にモデル化した $R_h \sim S_r$ 関係⁵⁾を用いることで再現した. $R_h \sim S_r$ 関係に関するパラメータは保水性の「大」、「中」、「小」に応じて決定されるが、三浦らが報告している崩壊土砂の保水試験結果は本解析モデルでの保水性「小」に対応していた.解析では、斜面崩壊が確認された降雨履歴を与える前に対象斜面の初期飽和度や地下水位分布を設定するため、岡田ら⁶⁰の手法を参考にして0.694mm/hの雨量を3日に1日の割合で(年平均降雨を2000mmとしたときの平均雨量)、飽和度や地下水位分布が定常状態となるまで与える解析(以下、予備解析という)を実施した.その後、斜面崩壊が確認された降雨履歴を与えた解析(以下、本解析)を実施した.

4. 事後解析結果と考察

キーワード 連絡先

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 防災技術研究部 地盤防災 Tel.(042)573-7263



 $\Delta z = t \quad \text{Error} = T_s \text{Order } z = T_s$

図2は粘着力 c を飽和度の増減に依らない一定とした解析(以下, c 一定解析とする)結果として, 安全率 F_s の分布を本降雨 0時間後(予備降雨終了直後)と最も大きい降雨強度が確認された時間帯である本降雨 31時間後の結果を示している.解析結果全体の傾向として,本降雨 0時間後の段階ですでに $F_s = 1.0$ を下回る領域が広範囲に分布することがわかる.この $F_s = 1.0$ を下回る領域は,降雨強度および累積雨量の最大値が観測された本降雨 31時間後に最も広範囲に分布した. F_s が最も低くなった要素は,三浦らの報告にある崩壊箇所とは異なる箇所である要素 No.550

となり,解析時間 31 時間の時に F_s = 0.436 であった.また,要



図3 No.550 および No.128 における F_s, S_rの変化

素 No.550 の飽和度は解析時間 31 時間の時に最も高くなり, $S_r = 91.20\%$ であった. 一方, 斜面崩壊が発生した付近 の要素 No.128 での F_s は解析時間 31 時間で最も低い値となり, $F_s = 0.476$ であった. また, 要素 No.128 の飽和度は 解析時間 31 時間の時に最も高くなり, $S_r = 94.36\%$ であった. 以上の結果が示すように崩壊箇所付近である要素 No.128 では, F_s は 1.0 よりもかなり低い値となるものの,降雨強度が最も大きくなる時間で最低値を示しており, c 一定解析で崩壊に対して危険な場所,時間をおおまかに再現することが可能であることがわかった.

つぎに, $c_i = c_0 - \Delta c \cdot (S_{ri} - S_{r0})$ のような $S_r \sim c$ 関係を要素 No.128 および要素 No.550 に適用して安定計算を実施した. ここで, c_i :時刻 i の土の粘着力 (kPa), c_0 :計算初期の土の粘着力 (kPa), Δc :係数 (kPa), S_{ri} :時刻 i の土の飽和度 (%), S_{r0} :計算初期の土の飽和度 (%) である.なお,式中の c_0 は三浦ら^{2),3)}が報告している不飽和状態の供試体に対して実施した定圧一面せん断試験から得られた $c_0 = 10.0$ kPa を採用した.また, Δc は崩壊発生箇所である要素 No.128 の F_s が 1.0 となるような値 (0.352) とした.図3に計算結果として安全率と飽和度の経時変化を示す.計算の結果,要素 No.128 の F_s を 1.0 とすると要素 No.550 の F_s は 1.0 を下回ることは無く,この結果は実際の崩壊および未崩壊の斜面位置と一致しており,現地の状況と整合する.また,No.128 では F_s が最も低下する時刻において $S_r = 95\%$ の高飽和度状態となっていることがわかる.当該箇所において飽和度が高くなった要因として,No.128 付近は微小な集水地形を呈していたと考えられ,解析モデルではこのような微地形の集水性を再現できたといえる.さらに $S_r \sim c$ 関係を導入することで,このような等斉斜面における微小な集水地形での表層崩壊を再現できると考えられる.

謝辞:事例解析に際して神戸大学名誉教授 沖村孝先生の協力を得た.また,神戸大学大学院教授 澁谷啓先生,(株) ダイヤコンサルタント 鏡原聖史氏,神戸大学大学院博士後期課程 三浦みなみ氏との議論が大変参考になった.末 筆ながら記して深甚なる謝意を表す.

参考文献 1) 例えば, 布川修ら: 降雨時における斜面表層の地下水変動予測モデル, 第43回地盤工学研究発表会発表講演会 (CD-ROM), 2008. 2) 沖村孝,市川龍平: 数値標高モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法,土木学会論文集,第358号/III-3,pp-69-75,1985. 3) 三浦みなみら: 平成21 年台風 18 号による斜面崩壊現場の崩壊メカニズムに関する一考察,第46回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1941-1942, 2011. 4) 三浦み なみら: 平成21 年台風 18 号による斜面崩壊現場の崩壊メカニズムに関する一考察,第46回地盤工学研究形論文報告集第53号, pp.175-184, 2011. 5) 布川修ら: 地形を考慮した斜面表層部の地下水変動予測モデル, 鉄道総研報告 Vol.22, No.1, pp.23-28, 2008. 6) 岡田勝也ら: 鉄道盛土の法 面被覆が降雨崩壊に及ぼす影響, 土木学会論文集 No.778/III-69, pp.111-124, 2004.