

斜面特性を活かした表層崩壊発生予測手法の高度化について

九州大学大学院 学 ○森本泰介
九州大学大学院 F 安福規之 正 石蔵良平

1. はじめに

降雨に伴う斜面崩壊は甚大な被害を及ぼす土砂災害として対策が古くから進められてきた。しかし、その崩壊発生の予測に関する手法は、多くの研究者によって進められているものの、十分な精度で予測できる状況に至っていないのが現状だろう。斜面崩壊の中でも表層崩壊に着目すると降雨による斜面の不安定性がその原因の一つとして挙げられる。本研究では降雨強度によって変化する斜面安定性を評価し、表層崩壊発生予測手法の一つである H-slider 法を基にしたモデルを用いた。そのモデルの中でも表層崩壊のすべり面を基に安全率計算を行うが、本研究ではすべり面の位置に着目し、土層厚の設定による予測精度の変化について検討を行った。

2. 使用する崩壊発生モデル

本研究では、H-slider 法に地下水位の時間変化式と降雨強度の関係を導入した、拡張型非定常 H-slider 法を基に研究を行った。前提条件として SIMONS et al. (1978)⁵⁾で提案された自然斜面における崩壊の危険度評価する安定解析モデルを基に、秋山ら (2015, 2014)¹⁾²⁾の考え方を基に無限長斜面の安全率を図-1 に示すような土塊を仮定して計算し、崩壊が発生すると考えられる降雨強度(限界降雨強度): r_{tz} を求める。H-slider 法により斜面崩壊の解析が可能で、斜面に関する地形量および、土質強度により算出する。

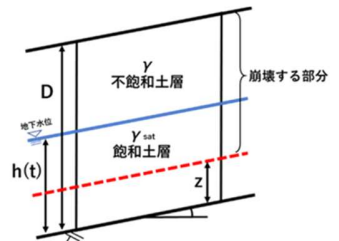


図-1 無限長斜面安定モデル

$$r_{tz} = \frac{K \sin(i) [c(1+e) + \gamma_w \cos(i) \{ (G_s + eS_r)(D-z)(\cos(i)\tan\phi - \sin(i)) + (1+eS_r)z \cos(i)\tan\phi + (e-eS_r)z \sin(i) \}]}{A \gamma_w \left[1 - \exp \left(-\frac{1+e}{e-eS_r} \frac{K \sin(i)}{A} t \right) \right] \cos(i) \{ (e-eS_r)\sin(i) + (1+eS_r)\cos(i)\tan\phi \}} \quad (1)$$

ここで、 c :粘着力[kN/m²]、 D :土層厚[m]、 z :基岩面とすべり面の差[m]、 i :斜面勾配[°]、 ϕ :内部摩擦角[°]、 A :集水面積[m²]、 e :間隙比、 S_r :飽和度、 K :透水係数、 t :継続時間[s]を示す。また、用いる斜面の崩壊する限界降雨強度算出式(1)は、Rosso et al. (2006)⁴⁾の提案する地下水位の時間変化式を初期水位 0 と仮定し、無限長斜面における斜面崩壊の安全率の式に代入したものである。この式(1)で用いた無限長斜面の安全率計算では新しくすべり面と地下水位の上昇する初期位置である基岩面を分けて設定した。

2.1 地形量の設定

H-slider 法における土層厚は簡易貫入試験により算出し、 $N_d=20$ が著しく変化しているところまでの長さを土層厚としていたが、本研究では $N_d=20$ となる箇所までの深さを崩壊の想定するすべり面までの土層厚: $D-z$ 、 N_d 値が著しく大きく変化している箇所までの深さを基岩面までの深さ: D として計算を行った。図-2 には N_d 値と土中深さの関係の例を示す。また、斜面勾配と集水面積はそれぞれ現地計測結果と ArcGIS に D-infinity Flow direction 法(Tarbotan, 1997)³⁾を用いて求める。

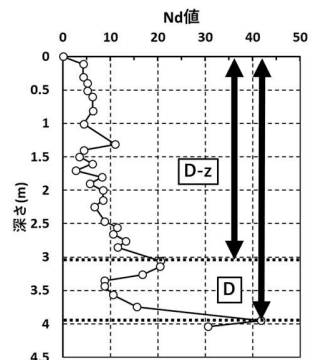


図-2 N_d 値と深さの例

2.2 土質強度の設定

単位体積重量、飽和度、間隙比、透水係数は崩壊斜面付近の試料を基に算出し、粘着力は内部摩擦角を一定にした条件下で、不飽和状態において安全率 $F.S.=1$ となるような最小の粘着力を算出し用いる。

3. 降雨データとの比較

H-slider 法で用いる斜面の限界降雨強度線は土のパラメータや地形量を基に算出する。計算して得られた限界降雨強度線と、降雨データから崩壊が発生すると考えられる各時刻前後についての前 24 時間の雨量を基に算出する降雨強度を比較し、限界降雨強度線を超えるよう

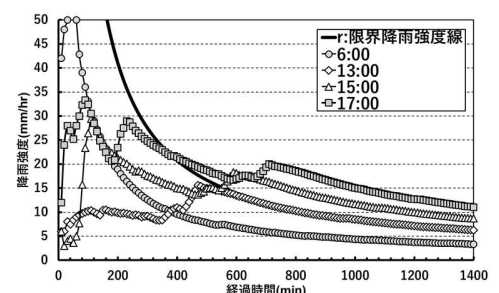


図-3 検証方法概念図

な各時刻の降雨強度の中でも、一番早い時刻を崩壊発生予想時刻として考える。図-3は簡易的に検証方法を示したもので、13時、15時、17時の降雨強度が限界降雨強度線と交わっていることから、この中でも13時を崩壊予想時刻として考える。

4. 崩壊事例との比較

今回は九州内で降雨が原因として考えられる表層崩壊の確認された事例(図-4)を用いて、検証を行った。今回取り上げた事例は、i.)平成24年7月福岡県久留米市山本町耳納-A、ii.)平成24年7月福岡県久留米市山本町耳納-B、iii.)平成22年7月福岡県田川郡香春町、iv.)平成29年7月朝倉市杷木町赤谷地区、v.)平成29年鹿児島市古里町の5つを取り上げた。各事例において崩壊地付近における崩壊時刻前後の10分毎の降雨観測データと、崩壊斜面付近のパラメータを用いて検証を行う。



図-4 九州内の崩壊事例

5. 結果と考察

この改良した限界降雨強度を用いて、九州内で降雨による表層崩壊が確認された事例についての検証を行った結果を図-5示す。ここで基岩面までの深さを D 、基岩面から崩壊弱部深さを z と置くと、崩壊弱部層までの深さは $D-z$ と表すことが出来る。グラフについて、縦軸には実際の崩壊時刻と崩壊予測時刻との差をとっており、0に近づくほど予測精度が上がっていることがわかる。横軸には基岩面までの深さとすべり面までの深さの比をとり、従来の手法ではすべり面までの深さと基岩面までの深さが同じであることから1となる。また、基岩面までの深さとすべり面までの深さの差が大きいほど横軸は大きい斜面となる。どの事例についても、崩壊時刻と予想時刻の差が縮まり、土層厚設定の最も大きく変化した事例については予想時刻が14時間程度変化し、実際の崩壊時刻に近づいたことが分かる。土層厚設定の比が大きいほど予測時間の向上が大きく、基岩面と弱部の比が大きいほど予測精度の向上が望めると考えられる。

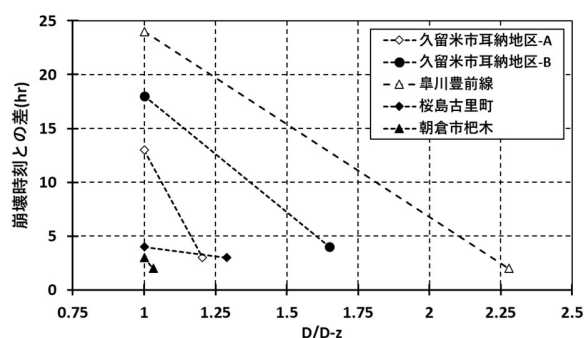


図-5 土層厚設定比による予測時刻の変

6. 結論

本研究では、H-slider法を基にして表層崩壊発生予測を行う場合、従来の手法から土層厚の設定を変化させると崩壊予測時刻が実際の崩壊時刻に近づく傾向を確認できた。また、土層厚設定比によって予測時刻の変化が大きかった。これはすべり面と基岩面で分けたことにより、地下水位上昇によって発生する土中の不安定性の評価が変化したことが要因として考えられる。今回提案したすべり面の設定の他に、斜面の特性を反映させられる要素および、その活用方法についても検討を行い、斜面崩壊発生予測精度の向上について考えていきたい。

【謝辞】本研究の一部は、令和2年度～5年度科学研究費補助金(基盤研究(A), 課題番号:20H00266)の支援を受けて実施されたものである。本研究で用いた斜面に関する実測データと降雨データは鹿児島大学酒匂准教授、(株)ダイヤコンサルタント様に提供していただきました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】1.)秋山, 木下, 内田, 高原, 石塚:簡易な水文モデルを用いた崩壊発生時刻予測手法, 砂防学会誌, Vol. 68, No. 2, p. 3-13, 2015, 2.)秋山玲子 他; 非常拡張H-slider法を用いた崩壊発生時刻予測手法, 砂防学会, 2014 3.)David G. Tarboton: A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models, watersources research, 1997 4.)Renzo Rosso: A physically based model for the hydrologic control on shallow land sliding, water sources research, VOL. 42, 2006 5.)Simons, D. B. et al. (1978): Mapping of Potential Landslide Areas in terms of Slope Stability, USDA Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, pp. 7