

降雨時の浸透能を考慮した自然斜面崩壊発生予測手法に関する研究

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 石藏良平

九州大学大学院 正 アデル・アロウイシー

1.はじめに

日本国内の約 7 割は山地であり、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。近年では、気候変動の影響と考えられる集中豪雨が増え、降水量は増加傾向にあるため、降雨形態に着目した斜面崩壊発生予測は重要である。本報では、秋山ら(2015)¹⁾の考え方を基本とし、降雨強度が降雨形態と時間とともに変化する中、斜面の特性を活かし斜面崩壊時刻を力学的な分析に基づいて予測する手法について検討する。

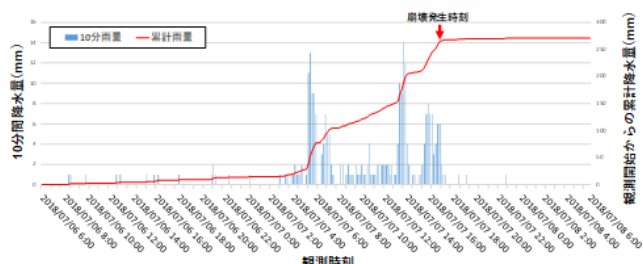


図1 鹿児島県河川砂防情報システム(国)

本研究では平成 30 年 7 月に発生した西日本豪雨により崩壊した鹿児島県鹿児島市古里町の斜面を対象とし、降雨データは国土交通省鹿児島県河川砂防情報システム、第一古里川流域のデータを使用した(図-1)。平成 30 年 7 月 7 日、午後 17 時頃に崩壊が確認されたことが確認されている。

2.H-slider 法を用いた崩壊発生予測

本報では、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³⁾を基に解析を行った。この H-slider 法では崩壊が発生すると考えられる降雨強度(mm/h_r)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、土質に関する各パラメータより斜面の限界降雨強度を算出する。ここで用いる拡張型非定常 H-slider 法は以下に示す式(1)のようになる。

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

この時、c:土の粘着力[kN/m²]、h:土層厚[m]、i:斜面勾配[°]、φ:土の内部摩擦角、A:単位長さ当たりの集水面積[m]、K:飽和透水係数[m/s]、e:間隙比、Sr:飽和度[%]、t:時間[s]、r:降水強度[m/s]とする。式(2)示す 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、式(3)で示す無限長斜面における斜面崩壊の安全率の式において F.S.=1 として地下水位 h の値に式(2)を代入したものである。

$$h(t) = \frac{Arh}{K_s \sin(i)} \left[1 - \exp \left(-\frac{1+e}{e-eS_r} \frac{K_s \sin(i)}{A} t \right) \right] + h_0 \exp \left(-\frac{1+e}{e-eS_r} \frac{K_s \sin(i)}{A} t \right) \quad (2)$$

$$F.S. = \frac{c + (\gamma z - h \gamma_w) \cdot \cos^2(i) \cdot \tan \phi}{z \gamma \cdot \cos(i) \cdot \sin(i)} \quad (3)$$

今回は降雨データに秋山ら(2015)¹⁾で用いられており、式(4)で示す idH-slider 法を用いて斜面において崩壊の発生する限界降雨強度と実測降雨データを比較した。

$$r_h(T, t_h) = \frac{1}{t_h} \int_{T-t_h}^T r_T dt \quad (4)$$

任意の時刻 T から遡った t_h 時間前までの降雨強度を r_h(T, t_h)とする。土層厚は簡易貫入試験により算出し、斜面勾配と集水面積は ArcGIS に D-infinity Flow direction 法³⁾を用いて求める。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する。

3.浸透能と降雨強度の関係

降雨によってもたらされた雨水は地中に浸透し、地下水位の上昇することで地表面に達し、地表面流として現れることがある。地面の植生などによっては、高強度の降雨の際に土粒子間で目詰まりを起こして土壌の浸透能の低下をもたらす。

キーワード 斜面崩壊,土砂災害,H-slider 法, 浸透能,表装崩壊,降雨強度

〒819-0395 福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 11 階 1108 号室 九州大学大学院工学府建設システム工学専攻地盤工学研究室

H-slider 法においては降雨強度のみが土中に浸透することを前提にしたモデルとなっている。本報では、降雨による浸透能の低下を反映した指標を導入することで地下水位の上昇過程を考慮できる浸透能を考慮した予測手法の可能性を分析する。田中・時岡(2007)⁵⁾は、降雨強度を用いて最終浸透能を算出し降雨強度と最終浸透能の関係が式(5)で示すような関数で近似できることを示した。

$$FIR_R = FIR_{max} \tanh(R / FIR_{max}) \quad (5)$$

FIR_R は浸透能[mm/h_r]、 FIR_{max} は斜面の最終浸透能[mm/h_r]、 R は降雨強度[mm/h_r]を示す。この関係から浸透能を算出した結果を用いて、各降雨強度における最終浸透能の予想値及び、その際の浸透能を超える降雨強度となるかを考える。

4.浸透能を考慮した崩壊発生予測モデル

斜面の被覆度から求めた最終浸透能と降雨強度の関係より求めた浸透能と idH-slider 法により算出した降雨強度を比較する。浸透能が降雨強度より大きくなった場合は、算出した降雨強度、もし小さい場合は浸透能の数値を地中に浸透するみかけの降雨強度の大きさとして計算し、非定常拡張型 H-slider 法により算出した斜面崩壊の限界降雨強度と比較する。各予想時刻からの降雨強度で H-slider 法で算出した限界降雨強度を超える最後の時刻を崩壊発生予測として考える。

5.浸透能を考慮した場合の結果との比較

斜面の浸透能は式(5)で示す式で算出した。図-2 は従来の非定常拡張型 H-slider 法と idH-slider 法のみを用いた崩壊予測結果を示す。その時、限界降雨強度に達するのは限界降雨強度の線と重なる部分を赤丸で示し、その最も遅い時刻にあたる 7/7 午後 14 時頃であると予想できる。一方で式(5)は浸透能を考慮したモデルも用いた際の結果であり、限界降雨強度と接する箇所を赤丸で示し崩壊発生予想時刻は 7/7 午後 15~16 時頃と H-slider 法のみ場合の崩壊予想時刻より遅くなった。各降雨強度は浸透能の影響により崩壊発生が予想される斜面の限界の降雨強度に達するまでの時間が長くなったと考えられる。しかし、実際の崩壊は 7/7 午後 17 時前後であり今回の予測結果は実際よりも 1 時間程度早いものになった。これは、斜面の特性がまだ反映しきれていない箇所や、他の自然現象が十分考慮されていないからであると考えられる。

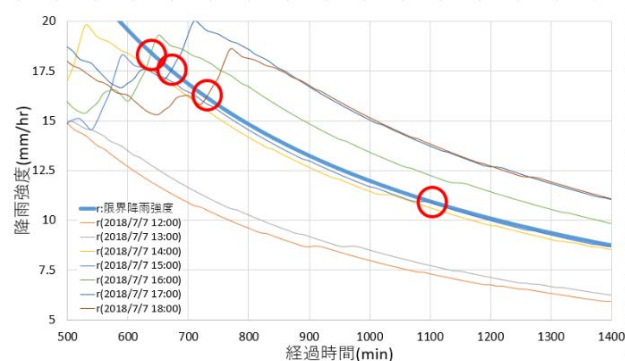


図-2 従来の H-slider 法のみでの検証結果

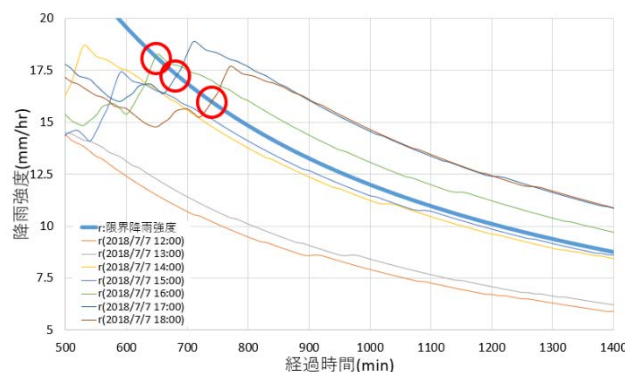


図-3 浸透能を考慮した場合の検証結果

6.考察とまとめ

本報では浸透能という指標に焦点を当て、地下水の上昇過程の再確認が重要になると考えた。また、実斜面での降雨の際には浸透しきれない降雨もあり、地表面の状態によって浸透能などは大きく変化する。その結果、浸透能と降雨強度を比較した結果を反映させたことで発生予測時刻が遅くなるという変化が見られた。今後は浸透しきれない表面流による浸食等も考慮して、モデルへの適応とともに実斜面の情報を用いた検証をし、さらに精度の向上と崩壊発生の客観的指標として活用につけていきたい。

【謝辞】本研究の一部は、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。

【参考文献】1)秋山玲子,木下篤彦,内田太郎,高原晃宙,石塚忠範: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; 非定常拡張 Hslider 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)田中茂信・時岡利和(2007)現地散水試験による流出・浸透特性の把握手法に関する検討;土木学会第 62 回年次学術講演会公演概要集 2-003: