

降雨形態の変化が非定常拡張 H-slider 法を活かした自然斜面の崩壊発生予想時刻に与える影響

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

1.目的

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。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であろう。現時点では崩壊危険性の高い箇所に事前に対策をしておくことしか出来ず、崩壊発生時刻の予測等は難しい。近年では、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人命を守るうえで極めて重要である。本研究では、秋山ら(2015)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の中で斜面崩壊時刻を力学的な手法を取り入れて予測する手法について検討する。

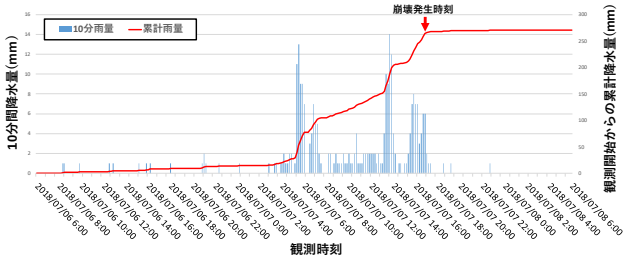


図-1 鹿児島県河川砂防情報システム (国)

2.内容

2-1. 対象にした斜面

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の発生した鹿児島県鹿児島市古里町の斜面を対象として検証した。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、観測所での連続雨量が 200mm に達した午後 3 時頃に付近の国道が通行止めとなった後、午後 17 時頃に崩壊が確認された。

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

K_s : 飽和透水係数, e : 間隙率, S_r : 飽和度, A : 集水面積, r : 降雨強度, t : 降雨時間

図-2 地下水位の時間変化式

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

c : 土の粘着力 $[kN/m^2]$, h : 土層厚 $[m]$, I : 斜面勾配, ϕ : 土の内部摩擦角, A : 単位幅当たりの集水面積, K : 飽和透水係数 $[m/s]$, e : 間隙比, S_r : 飽和度, t : 時間 $[s]$, r : 降水強度 $[m/s]$

図-3 非定常 H-slider 法による安定計算式

2-2. 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、非定常拡張 H-slider 法を基に研究を行った。H-slider 法とは現地調査で得られる入力条件を用いる斜面の崩壊危険度評価手法であり、ここでは崩壊が発生すると考えられる降雨強度を求める。これにより、降雨による斜面崩壊の解析が可能で、斜面に関する地形量および、土質強度により斜面の崩壊する限界降雨強度を算出する。ここで用いる非定常拡張 H-slider 法は図-3 のようになり、Rosso et al. (2006) の提案する図-2 に示す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。今回は、降雨データに秋山ら (2015) で用いられている、図-4 に示す idH-slider 法を用いて限界降雨強度と実際の降雨データを比較した。この idH-slider 法は任意の時刻 T から t_h 時間前までの降雨強度を $r_h(T, t_h)$ とする。使用した地形量は土層厚、斜面勾配と集水面積である。

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

図-4 idH-slider 法

表-1 使用したパラメータ

地盤データ	
自然含水比	23.50%
湿潤密度	14.50kN/m ³
土粒子密度	2.54g/cm ³
斜面勾配	38°
土層厚	395cm
内部摩擦角	35°
間隙比	1.12
飽和度	0.533
透水係数	0.00047m/s

また、解析において土質を表す特性として、単位体積重量、飽和度、間隙比、粘着力、透水係数を用いた。本研究で用いた斜面に関する情報は表-1 のようになった。

2-3 地形量との設定

土層厚は簡易貫入試験により算出し、 N_d 値が著しく変化しているところまでの長さを土層厚:h とする。斜面勾配と集水面積は ArcGIS に D-infinity Flow direction 法 (Tarbotan, 1997) を用いて求める。

2-4. 土質パラメータの設定

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。

2-5. 降雨データとの比較

今回は、図-1 に示した降雨履歴データに対し、ある時刻から十分長い時間（本研究では 24 時間）を取り、降雨履歴データと同じく 10 分ごとに変化させながら求める降雨強度と非定常 H-slider 法で求める限界降雨強度とを比較する手法を参考に、比較検討を行った。崩壊発生時刻を予測する手法として、idH-slider 法における基準とする時刻 T を 1 時間ごとに変化させながら限界降雨強度を超える時刻 T を崩壊発生予想時刻とし、実際の崩壊発生時刻と比較する。

2-6. 結果と考察

検証時刻を 1 時間ごとに変化させたものと限界降雨強度との比較結果を図-5 に示す。限界降雨強度を超えるのは、赤い丸で示された 7 月 7 日の 17:00 以降である。実際の崩壊時刻が目撃者の証言により 7 月 7 日 17:00 であることがわかっており、今回検証した斜面においては予想時刻と近くなっていることがわかる。次に、3:30～17:30 の降雨を逆転させた降雨を想定して検証した。図-6 に示すように 7 日 15:00 の降雨強度は限界降雨強度とほぼ等しくなり、崩壊予想時刻は 15:00 付近と考えることができる。これは従来の降雨データより求めた崩壊予想時刻よりも 2 時間早い結果となった。降雨開始からの総雨量が同じであるが 3:30～17:30 の降雨量を平均化し、一定時間同量の降雨が続いた状態で再現してみると、図-7 に示すような結果となり、崩壊発生予想時刻は赤丸で示した時刻の一番早い 15:00 前後となり、約 2 時間早まる結果となった。これは、累積雨量を平均化したものの方が、元の降雨履歴データより大きくなっている時間が長いことが考えられる。

3.結論

本研究では非定常拡張 H-slider 法を用いた解析で降雨形態が変化すると崩壊発生予想時刻が変化することを明らかにした。これは降雨の累計雨量とともに降雨強度の特性が解析結果に大きく関わっていることが要因として考えられる。今後は、異なる斜面でも同様の結果が得られるかについても調べる予定である。

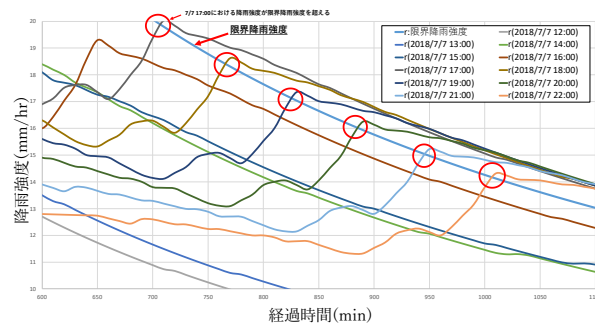


図-5 限界降雨強度と降雨データの比較

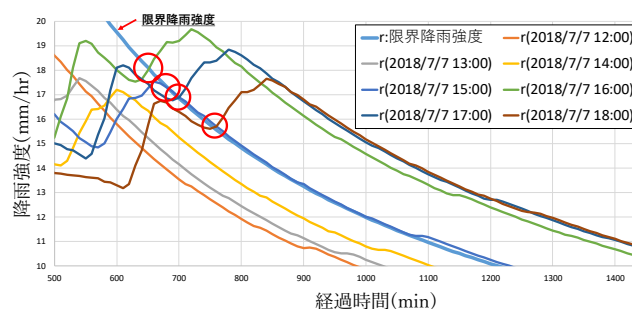


図-6 降雨パターン逆転時の降雨データの比較

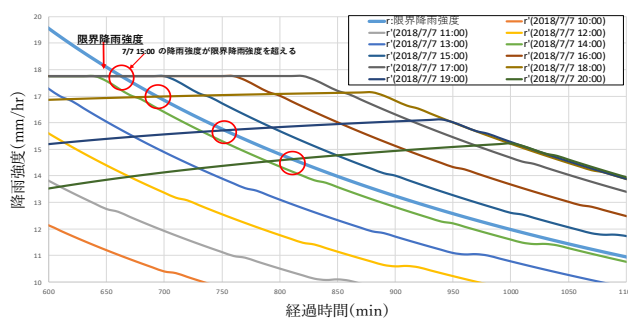


図-7 限界降雨強度と平均化した降雨データの比較