

MC2 地形による表層水の集中を考慮した 斜面の静力学的平衡の経時変化による深層崩壊危険度判定

Assessing the Danger of Deep-seated Landslides Based on Temporal Change of Slope Static Equilibrium
considering water concentration in surface layer by topography

地球循環共生工学領域 28HE16004 石井宏和 (Hirokazu ISHII)

指導教官：町村 尚

Abstract: Deep-seated landslides occur on slope static equilibrium collapses by groundwater level rise associated with a long continuous rainfall. In this study, I calculated factor of safety of slopes considering water concentration in surface layer by topography. In particular, I analyzed the distribution of saturation on the topsoil layer by a distributed rainfall-runoff model which is used for rainfall runoff analysis, and calculated pore hydraulic pressure by inputting distribution of saturation to a groundwater analysis program (UNSAF). I applied this method in slope collapse cases of flood and sediment disaster in Kii Peninsula by Typhoon Talas in 2011, in which I calculated factor of safety temporal change. To clarify the effect of surface water concentration on the factor of safety, I compared the results to those by not considering the water concentration in surface layer by topography.

Keywords: factor of safety, a distributed rainfall-runoff model, flood and sediment disaster

1. はじめに

2011年に発生した紀伊半島大水害では、多くの深層崩壊が発生した。本水害では「深層崩壊溪流（小流域）レベル評価」で発生する危険が「相対的に低い」、「やや低い」と判定された地域で15件発生し¹⁾、深層崩壊予測手法の改善が求められる。深層崩壊は長時間の連続降雨で雨水が土層中に浸透、地下水位が上昇し、斜面の静力学的平衡が崩れ発生するが²⁾、現状の浸透流解析手法では表層水の集中が考慮されていない。本研究では地形による表層水の集中を考慮した地下水浸透計算手法を提案し、紀伊半島大水害で発生した深層崩壊の斜面安全率の経時変化を再現計算することを目的とする。

2. 分析方法

2.1 分布型流出モデルによる深層崩壊発生地点における表土層中の水の飽和度の計算

基盤地図情報（数値標高モデル）10 mメッシュを基に、立川ら(2004)³⁾の飽和度の空間分布を計算可能な分布型流出モデルを用いて降雨流出解析を行い、深層崩壊発生地点での表土層中の水の飽和度の分布を求めた。対象降雨には2011年8月17日から9月10日の1時間ごとの1 kmメッシュ解析雨量（気象庁）、モデルパラメータには立川ら(2013)⁴⁾の熊野川流域パラメータを用いた。

2.2 飽和度分布を考慮した地下水解析プログラム UNSAF による二次元浸透流計算

先行研究で発生時間が特定され、二次元断面の地質データが存在する2箇所の深層崩壊斜面と、その周辺溪流の非発生斜面2か所²⁾について浸透流解析を行った。表層水の集中を考慮するため、有限要素法による地下水解析プログラム UNSAF⁵⁾の表土層境界を、分布型流出モデルによって求められた表土層の飽和度分布に置換した。具体的には1時間ごとに飽和度が1（=飽和状態）となったセルの表土層底面ノードに新たな湿潤前線を与えた。本手法をケース1とし、表土層飽和度を用いずに降雨境界条件を用いた手法をケース2とした。ケースごとに浸透流解析を行い、斜面二次元断面の間隙水圧の分布の経時変化を求め、表層水の集中による効果を比較した。

2.3 修正フェレニウス法による斜面の安全率の経時変化

対象斜面に円弧すべり面を仮定、修正フェレニウス法を用いて斜面の安全率の経時変化を求め、表層水の集中による効果をすべり面全体の最小安全率、局所的な安全率の2指標で比較した。

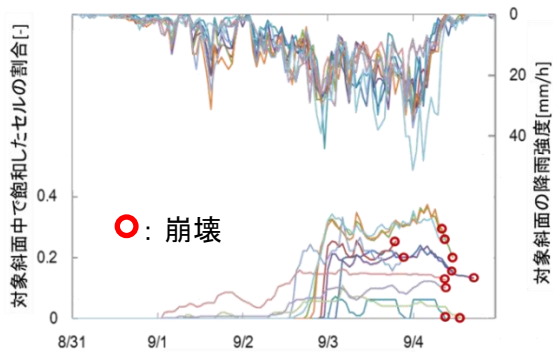


図 1 崩壊発生斜面の降雨強度と飽和セルの割合

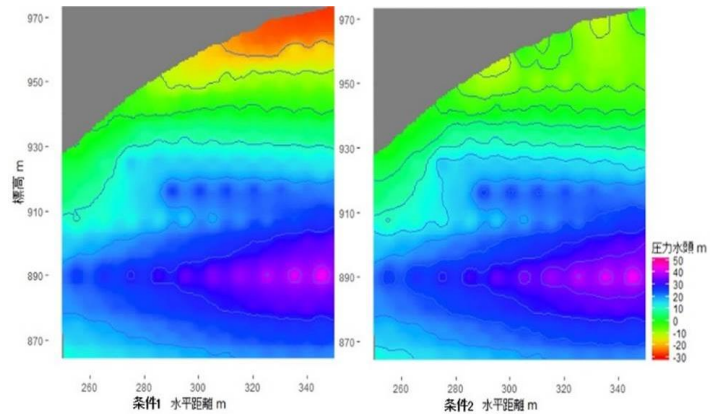


図 2 深層崩壊発生時の圧力水頭分布の比較

3. 結果

図 1 に深層崩壊が発生した 13 斜面の降雨強度と、分布型流出モデルによる斜面内飽和セルの割合の経時変化を示す。どの崩壊地でも降雨継続により、飽和セルが増えていることがわかった。また、斜面表土層では多くても 4 割ほどのセルしか飽和しないため、表層水の集中を考慮するケース 1 の方が実際の降雨浸透過程を反映できる潜在力はあるといえる。図 2 には北股地区におけるケース 1 とケース 2 の圧力水頭分布の解析結果との比較を示した。結果、表層水の集中を考慮したケース 1 では、従来手法のケース 2 と比較して圧力水頭変化が大きいノードが集中している。

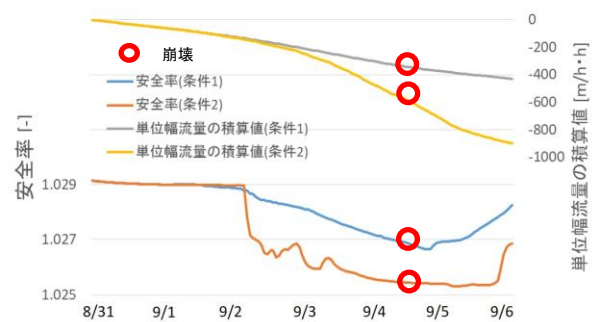


図 3 北股の最小安全率の経時変化と表土層底部浸透流の単位幅流量の積算値の比較

図 3 では北股斜面上での最小安全率と表土層底部からの鉛直方向浸透流の単位幅流量の積算値の経時変化の比較を行った。結果、ケース 2 より表層水集中を顧慮したケース 1 を用いた場合の方が全体の安全率の変動は小さかった。これはケース 1 の単位幅流量の積算値がケース 2 より小さかったためと考えられる。同様に、北股以外の斜面でも表層水集中を考慮したケース 1 のすべり面全体の安全率の変動は小さくなった。一方、ケース 1 ではすべり面内の局所的な安全率の低下がケース 2 より大きくなるノードが存在した。これはケース 2 で圧力水頭の変動が大きな斜面内のノードが存在するためである。

4. 考察・今後の課題

本研究では二次元浸透解析に表層水の集中という水文学的過程を導入した。結果、浸透過程において圧力水頭の上昇が集中する斜面内のノードが観測された。一方、堤ら⁶⁾が台湾高雄県小林村で発生した深層崩壊の安全率の経時変化を求めた研究では、安全率の変動は本研究より大きかった。これは岩盤の亀裂流等の選択流路を通る早い浸透流を想定し、実測された透水係数よりも大きな値を与えたためと考えられる。今後の課題として、亀裂流の実装の他、地下水解析の 3 次元化を行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：深層崩壊～その実態と対応，<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0699pdf/ks069912.pdf>(2018.2.8 参照)
- 2) 千木良ら：2011 年台風 12 号による深層崩壊，京都大学防災研究所年報，第 55 号 A，2014。
- 3) 立川ら：飽和不飽和流れの機構を導入した量積関係式の開発，水工学論文集，vol. 48，pp. 7-12，2004。
- 4) 立川ら：2011 年熊野川大洪水の再現計算からみた実時間河川水位予測の精度向上への課題，河川技術論文集第 19 巻，pp. 229，2013。
- 5) 赤井ら，有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析，土木学会論文報告集，pp. 87-96，1977。
- 6) 堤ら，台湾高雄県小林村の深層崩壊に関する数値解析，京都大学防災研究所研究集会「深層崩壊」，2012。