

地形情報を用いた斜面の降雨時危険性の評価手法

防災技術研究部 地盤防災研究室
主任研究員 布川 修

1. はじめに

自然斜面や切土斜面表層の崩壊、盛土の崩壊あるいは土石流等降雨による様々な斜面崩壊から列車の安全を確保するためには、斜面崩壊の危険性を適切に評価し、崩壊危険性の高い箇所をあらかじめ把握しておくことが重要である。一方、降雨による斜面崩壊には、斜面表面上および斜面内を流れる水の移動現象が大きな影響を及ぼす。本稿ではまず、自然・切土斜面表層の崩壊を対象として、地形情報を用いて斜面における水の移動現象を考慮して斜面表層の地下水位を求め、この上で危険性を計算する解析モデルについて述べる¹⁾²⁾。次に、この解析モデルを利用して土石流の発生危険性³⁾および盛土崩壊の危険性を評価する方法について紹介する。

2. 自然・切土斜面表層の危険性評価¹⁾²⁾

2. 1 解析モデルの概要

降雨により発生する自然斜面や切土斜面表層の崩壊危険性を評価する方法として、沖村⁴⁾らが提案したものがあある。この方法では、まず地形図等をもとに対象斜面の地形を格子状に3次元座標でデジタル化し、4つの格子点に囲まれた要素ごとにある厚さの斜面表層を設定する。そして、要素間の雨水流動を考慮して要素ごとの地下水位を計算し、この結果から自然斜面や切土斜面表層の崩壊危険性を評価する。

上記のモデルに土質ごとに異なる斜面表層（要素）の平均化した飽和度（以下、平均飽和度という）と地下水位との関係式と、地形的に凹地となる箇所を「沢（溪流）」と定義して沢を水が集中して流下する計算手法を導入することで、実務への適用性を高めた解析モデルを構築した。図1に解析モデルにおける斜面表層の雨水流動に関する概念図を示す。図に示すとおり、降雨時に発生する斜面表層の雨水流動をモデル化することで、時々刻々と変化する地下水位を計算する。

図2に解析モデルの計算フローを示す。まず、モデルの初期条件である数値標高データ、各要素の透水係数、表層厚等を時間的に不変なデータとしたうえで、①地形条件から各要素の勾配を

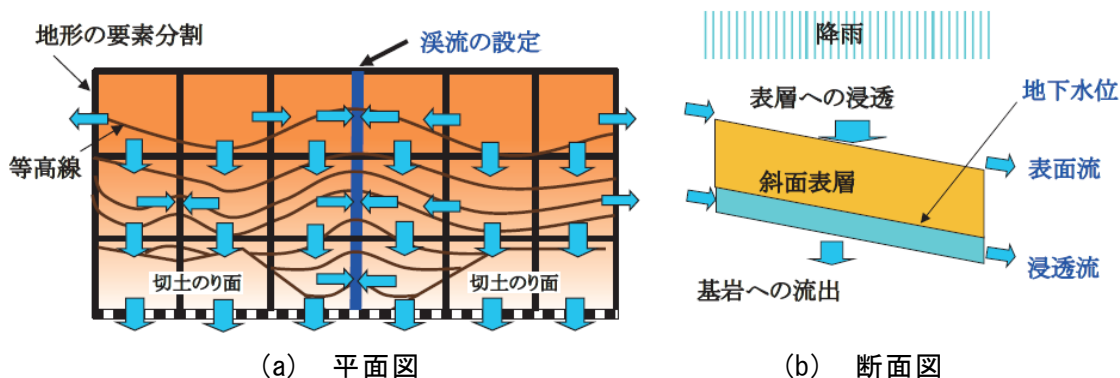


図1 解析モデルにおける斜面表層の雨水流動に関する概念図³⁾

求め、水が流れる向きと沢（溪流）を設定する。つぎに、②設定した降雨を入力することで、要素ごとの水の流入量、流出量から要素の平均飽和度を求め、③これから地下水位を計算する。さらに、④求めた地下水位から要素ごとの崩壊危険性を、簡便法として斜面表層の安定解析によく利用されている無限長斜面の安定解析手法⁵⁾により安全率（危険性の指標：値が小さいほど危険性が高い）として計算する。上記②～④を Δt 時間間隔で設定計算時間まで繰り返し行うことで、対象斜面全域における自然斜面と切土表層の崩壊危険性を経時的に計算する。

上記で示した計算の詳細は文献 1), 2) に示しており、参考にされたい。

2. 2 計算アルゴリズムの改良と事例解析

2.1節で述べた各要素の安全率計算の精度向上を図るために、計算アルゴリズムの改良を検討した。具体的には、既往の研究⁶⁾を参考にして、図3に示すとおり、土の飽和度上昇に伴い土の粘着力が低下する関係を導入した。

この計算アルゴリズムの改良による精度向上を検証するために、実際に崩壊が発生した箇所を対象とした事例解析を行った。崩壊発生時の降雨を与えたときに斜面崩壊に対する安定性が最も低下した時間における安全率の空間分布を図4に示す。従来方法と改良方法の結果を比較すると、全体的な傾向は概ね同様であるが、従来方法では図示した非崩壊箇所の安定性が他の箇所よりも相対的に低い結果となっており実現象と整合しない。一方、改良方法では非崩壊箇所の安定性が従来方法よりも高い結果となっている。したがって、計算アルゴリズムを改良することで、実現象とより整合した結果が得られる、すなわち計算精度が向上する結果が得られた。

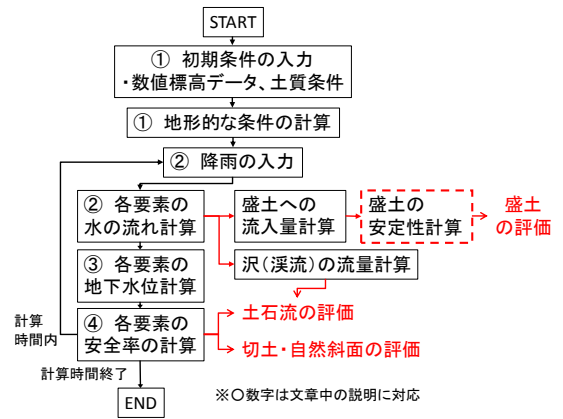


図2 解析モデルの計算フロー

3. 土石流の発生危険性評価³⁾

土石流の発生危険性には、1)沢（溪流）の流域における斜面の崩壊危険性と、2)沢の水量が大きな影響を及ぼす。そこで、土石流の発生危険性の評価は図2に示したとおり、解析モデルによる水の流れ計

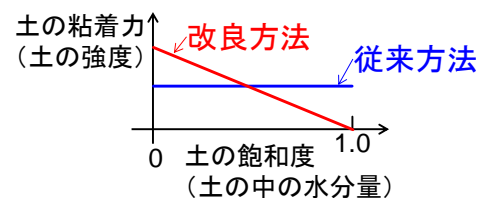


図3 計算アルゴリズム改良の概念図

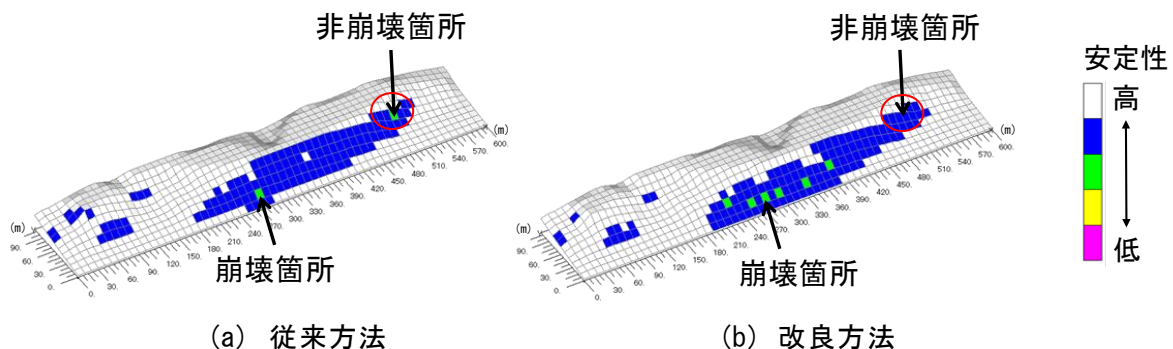


図4 安全率の空間分布結果例²⁾

算から求められる沢（溪流）の水量と、安全率計算から求められる沢の流域斜面表層の崩壊危険性から評価する。

実際に土石流が発生した箇所を対象とした事例解析の結果として、流域内斜面の安定性の空間分布結果例を図5に示す。図に示すとおり、降雨量の増加に伴い流域内斜面において安定性が低下する要素数（面積）が増加する結果となっている。そこで、流域内の全要素に対して流域内の斜面の安定性が一定値以下となる要素の割合を崩壊面積率と定義し、この値を上記沢（溪流）の流域における斜面の崩壊危険性の指標とした。崩壊面積率と溪流水量の経時変化の計算結果例を図6に示す。降雨量の増加に伴い崩壊面積率、溪流水量とも増加する計算結果となっている。すなわち、溪流流域斜面の不安定化と溪流水量の増大という土石流発生時に想定される現象が解析モデルによる計算で再現できることが示唆される。

4. 盛土の崩壊危険性評価

盛土崩壊には、隣接する自然斜面や切土からの流入水が大きな影響を及ぼす。そこで、盛土の崩壊危険性の評価は図2に示した解析モデルで水の流れを計算し、盛土に隣接する自然斜面や切土からの流入水量を求めて利用する。

実際に盛土崩壊が発生した事例解析の対象とした自然斜面に隣接する盛土の位置図を図7に、この図に対応する盛土の線路延長をX軸として安定性の計算結果を表示した例を図8に示す。このような図を作成することで、盛土崩壊の危険性が相対的に高い箇所が把握できる。ここで示した危険性が相対的に高い盛土における自然斜面からの流入水量と盛土の安定性の経時変化の計算結果例を図9に示す。自然斜面からの流入水量が増加するときに盛土の安定性が低下する結果となっている。すなわち、盛土崩壊発生時に想定される現象が解析モデルによる計算で再現できることが示唆される。

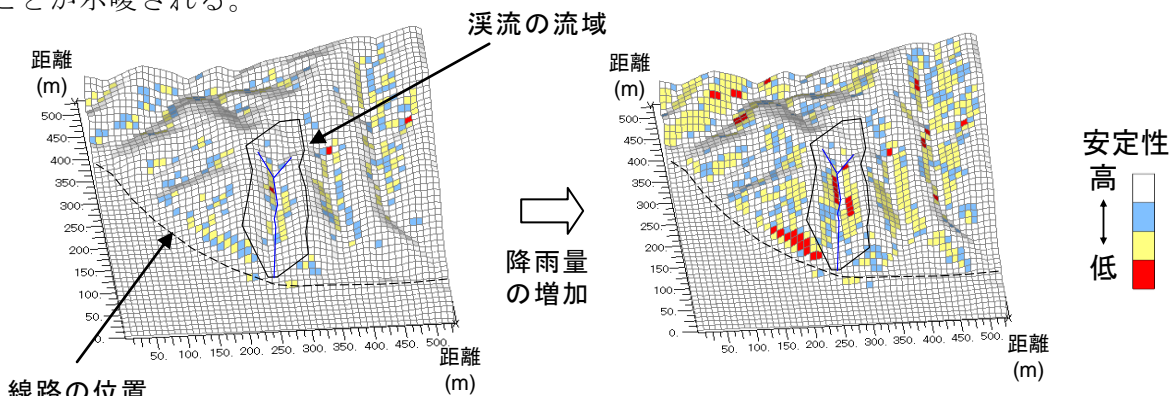


図5 流域内斜面の安定性の空間分布結果例³⁾

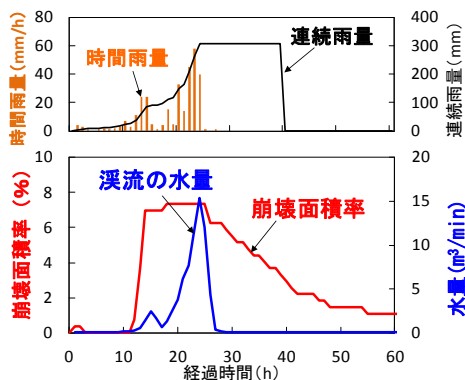


図6 崩壊面積率と溪流の水量の計算結果例³⁾

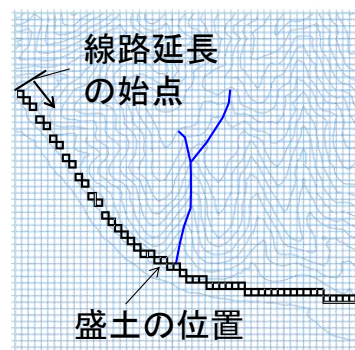


図7 事例解析における盛土の位置

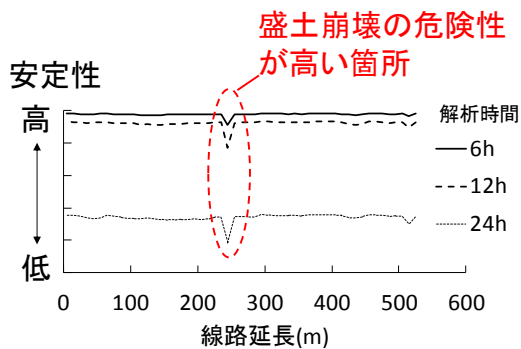


図8 盛土要素ごとの安定性の計算結果例

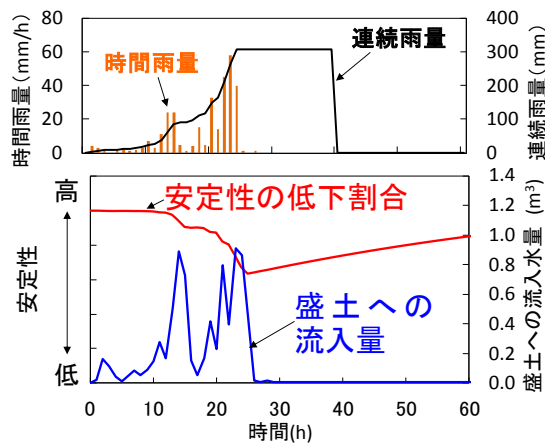


図9 盛土への流入量と安定性の経時変化計算結果例

5. おわりに

本稿では、自然斜面や切土斜面表層の崩壊、盛土の崩壊、土石流の降雨時における発生危険性を評価する方法について事例解析結果を用いて述べた。今後、様々な斜面災害箇所を対象とした評価を実施し、災害時の現象が再現できることを確認するとともに、災害時よりも少ない降雨のときの計算結果との比較を行い、本解析モデルが適用できる範囲、パラメータの設定方法、崩壊発生の可能性が高まっていると判断する閾値を検討する予定である。

参考文献

- 1)浅野嘉文, 川尻峻三, 布川修, 太田直之, 杉山友康, 渡邊諭: 降雨時における斜面表層崩壊を再現する簡易解析モデルの提案, 地盤工学ジャーナル, Vol.8, No.4, pp.579-595, 2013
- 2)布川修, 浅野嘉文, 川尻峻三: 土の粘着力の飽和度依存性を考慮した広域斜面の降雨時安定性解析, 鉄道総研報告, Vol.29, No.1, 2015
- 3)布川修, 太田直之, 石川智史: 地形を考慮した土石流の発生危険性評価, 鉄道総研報告, Vol.27, No.11, 2013
- 4)沖村孝, 市川龍平: 数値地形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
- 5)地盤工学会: 地盤工学ハンドブック, p.168-169, 1999
- 6)秦吉弥, 一井康二, 土田孝, 加納誠二: 降雨による盛土の耐震性低下に関する一考察, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.2, pp.401-411, 2009