

地形条件を用いた土石流の危険度評価手法

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・盛土のり面の崩壊、あるいは土石流など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、斜面崩壊の危険度を適切に評価し、崩壊危険度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。そこで、筆者らは自然・切土斜面表層の崩壊を対象として、斜面表層の地下水位を求めた上で安定性を計算する解析モデルについて検討してきた^{1), 2)}。本稿では、この解析モデルを利用して土石流の発生危険度を評価する方法について紹介する。

2. 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に対する安定性を評価する方法として、沖村³⁾らが提案したのものがある。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土塊を持つ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に対する安定性を評価する。

本研究に先行して実施した研究では、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¹⁾²⁾（以下、既開発モデルという）を構築した。図1に既開発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に既開発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モデル、各要素の透水系数、表層厚、土質強度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

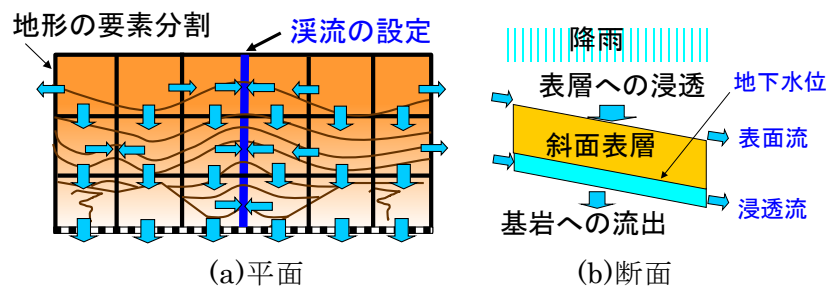


図1 既開発モデルにおける斜面表層の雨水流動に関する概念図

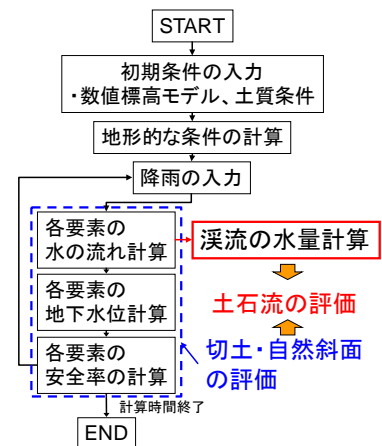


図2 既開発モデルの計算フロー

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に対する安定性を、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を用いて算出した安全率（安定性の指標：値が小さいほど安定性が低い）により評価する。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斜面表層の安定性を経時的に計算する。なお、図2にも記載しているが、本研究で検討する土石流の危険度評価手法では、既開発モデルで算出される沢（溪流）の水量も利用する。

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。

3. 土石流の危険度評価手法

3. 1 解析対象斜面の概要と解析条件

土石流の発生形態は、a) 溪床堆積物の侵食によるタイプ、b) 斜面崩壊に伴うタイプ、に分けられる。上記 a) のタイプは過去の斜面崩壊等により溪流に堆積した堆積物が溪流水量の増加に伴い急激に移動を始めて土石流となるものである。上記 b) のタイプは、一連の降雨中に斜面崩壊が発生して溪流に崩土が堆積し、溪流水量の増加に伴いこの崩土が急激に移動を始めて土石流となるものである。これらの発生形態を踏まえ、ここでは、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可能かどうかを把握することを目的として、過去に土石流が発生した箇所を対象とした事例解析を実施した。

解析対象斜面の数値標高モデル（10m格子間隔）を図3に示す。解析パラメータは、現地で行った試験や現地から採取した試料を用いた各種試験結果をもとに設定した。降雨を与える前の初期状態として、岡田らの手法⁴⁾を参考にして、斜面の飽和度分布が定常状態になるまで0.694mm/hの雨量を3日に1日の割合（年平均降雨量を2000mmとしたときの平均雨量）で与える予備解析を実施し、初期飽和度を設定した。土の強度定数は、内部摩擦角を 30° とし、粘着力は本解析の初期状態（予備解析後の状態）において最小となるメッシュの安全率が1.2となるように逆算して設定した。降雨条件は、当該斜面に最も近いアメダス観測所のデータを利用し、土石流が発生したときの観測降雨を与えた。

3. 2 解析結果

解析結果として得られる溪流流域斜面の面的な安定性評価結果から、降雨量の増加に伴い安定性が低下する溪流流域斜面の面積が増加することがわかった。そこで、沖村ら⁵⁾が提案している土石流の発生・非発生を評価する考え方を参考にして、溪流流

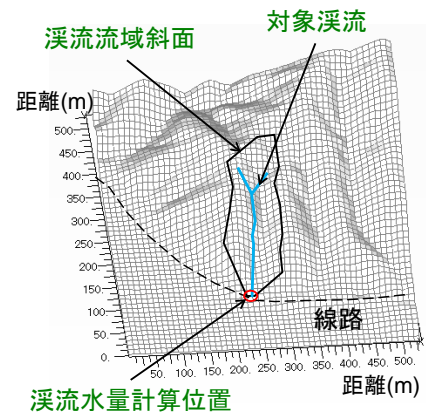


図3 土石流発生斜面の数値標高モデル

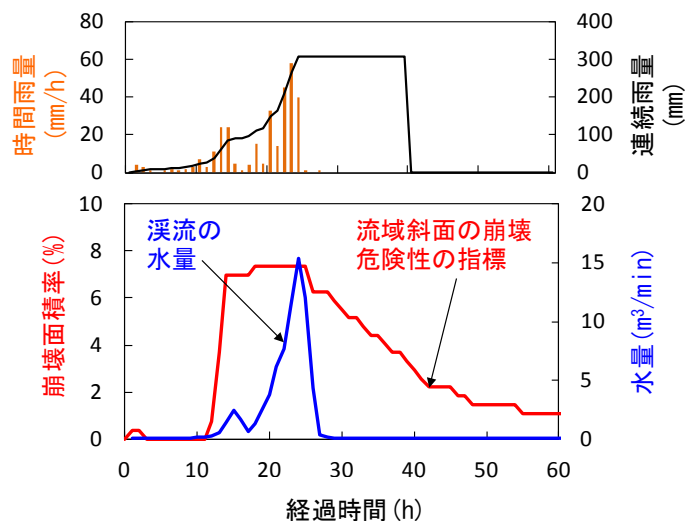


図4 崩壊面積率と溪流水量の計算結果

域斜面の崩壊危険性は崩壊面積率（＝崩壊の可能性が高まる溪流流域斜面の垂直投影面積／溪流流域全体の斜面の垂直投影面積×100（％））で評価することとした。なお、この崩壊面積率は、解析モデルによる計算結果から所定の安全率を下回る溪流流域内の要素数の合計を算定し、溪流流域全体の要素数で除すことで求める。

崩壊面積率と溪流水量の計算結果を図4に示す。図に示すとおり、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。

3. 3 土石流の危険度評価フロー

土石流の発生形態を考慮して、図5に示すとおり、土石流の危険度評価フローを作成した。

溪床堆積物が土石流となる可能性は、溪床堆積物の有無と溪流水量に依存することから、現地調査により溪床堆積物の存在が確認される場合には、溪流水量が基準値を超えた場合に土石流が発生するものと評価する。一方、溪流水量が基準値を超えずに土石流が発生しないと評価された場合、および溪床に堆積物が確認されなかった場合は、溪流流域斜面の崩壊により土石流となる可能性について評価する。具体的には、溪流流域の崩壊面積率と溪流水量がともに基準値を超えた場合に土石流が発生するものと評価する。

上記で述べた溪流水量の基準値の設定には、1)過去の災害事例、2)芦田らが提案している土石流発生限界水量の計算式⁶⁾、等が参考となる。溪流流域斜面の崩壊面積率の基準値は、1)過去の災害事例、2)前述した沖村らが提案している溪流の流域面積と崩壊面積率との関係をもとに土石流の発生・非発生を評価する考え方、等が参考となる。

これらの基準値に関しては、今後、土石流が発生した複数の箇所に対して本解析モデルを適用することで検討する予定である。

3. 4 評価結果の利用方法

解析モデルを用いた評価結果は、複数の土石流危険溪流を対象とした防災対策の優先順位等の検討に利用できると考えている。評価フローに示した溪流流域斜面の崩壊により土石流が発生す

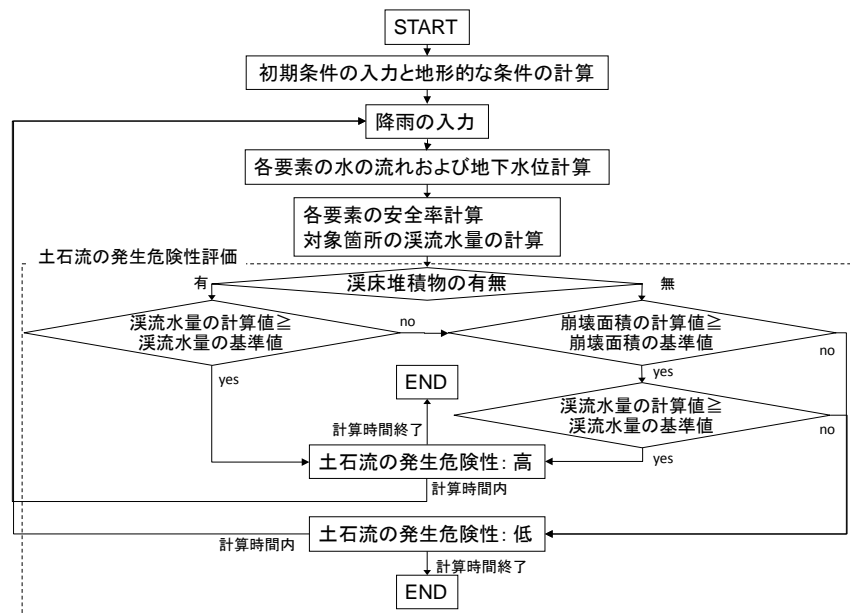


図5 土石流の危険度評価フロー

る場合を想定した評価結果イメージを図6に示す。防災対策の優先順位等の検討を行うためには、まず、外力である降雨を統一した指標で設定する必要がある。ここでは、降雨パターンを鉄道構造物等設計標準（土構造物）⁷⁾に示されている短期型降雨パターンとし、降雨量については近傍のアメダスデータを用いて時間雨量や連続雨量の確率雨量を求めることで設定することとした。この降雨（*N*年確率の降雨とする）を与えたときの計算結果である崩壊面積率と逕流量をそれぞれに設定される基準値で除した値を危険率と定義し、図にはそれぞれの危険率の経時変化を示した。これらの値が1.0を上回っている時には、土石流の発生危険性が高まっているものと評価でき、図より土石流の発生危険性が高まる雨量や時間帯を把握することができる。

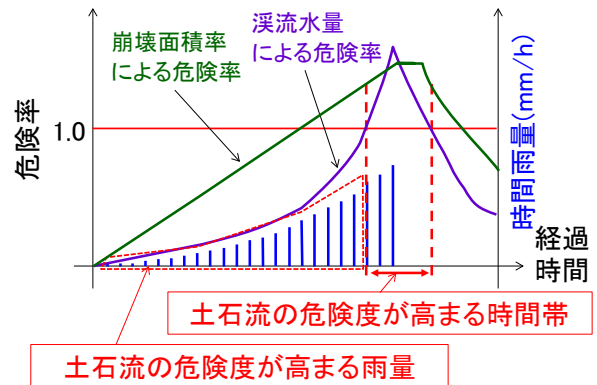


図6 評価結果のイメージ

このような評価を複数の土石流危険渓流に適用し、土石流の危険性が高まる雨量や時間帯を比較することで、防災対策の優先順位等の判断を支援することが可能であると考えられる。

4. おわりに

本稿では、土石流の危険度を評価する手法について述べた。今後は、前述したとおり、土石流が発生した複数の箇所に対して解析モデルを適用し、土石流の危険度を評価するための基準値や解析モデルの適用性について検討する予定である。

【参考文献】

- 1)布川修, 杉山友康, 太田直之: 地形を考慮した斜面表層部の地下水変動予測モデル, 鉄道総研報告, Vol.22, No.1, pp.23-28, 2008 2)布川修, 杉山友康, 太田直之: 地形を考慮した斜面表層部の地下水変動と安定性評価, 鉄道総研報告, Vol.24, No.5, pp.17-22, 2010 3)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 4)岡田勝也, 岩崎昭次, 杉山友康, 村石尚: 豪雨時の盛土の安定性解析のための定常地下水位の推定, 第34回地盤工学研究発表会, pp.2121-2122, 1999 5)沖村孝, 鳥居宣之, 尾崎幸忠, 南部光広, 原口勝則: 豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードシステムの構築, 砂防学会誌, Vol.63, No.6, pp.4-12, 2011 6)芦田和男, 高橋保, 澤井健二: 土石流危険性の評価法に関する研究, 京都大学防災研年報, 第21号, pp.423-439, 1978 7)国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物編, 丸善, pp.53-54, 2007