

表層崩壊から土石流までを一連で予測する

数値解析手法の検討

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○蔭山星、飛岡啓之、平川了治
京都大学防災研究所 竹林洋史

1. はじめに

土石流が発生した場合の氾濫範囲を予測する手法として、土石流の数値シミュレーションモデル^{1)・2)}が提案されており、一定の予測精度が確認されている。現在提案されている土石流モデルで氾濫範囲を予測する場合、土石流の氾濫範囲が最も大きくなる源頭部を計算開始地点に設定するのが一般的である。しかし、計算開始地点によって土石流の氾濫予測範囲は大きく異なるため、計算開始地点を源頭部に設定することは氾濫範囲を過大評価することに繋がる。

表層崩壊起因で土石流が発生する現象は一連であるにも関わらず、崩壊モデルと土石流モデルはそれぞれ独立している。そのため、降雨データを入力することで「いつ・どこで」表層崩壊が発生し、崩壊土塊が流動化して土石流となり、下流域で氾濫する過程を一連で予測する手法は確立されていない。そこで、本稿では降雨データを入力することで、「表層崩壊の発生危険度の評価」と「土石流氾濫範囲の評価」を一連で行うことができるモデルを構築した。本モデルで再現計算を行い、雨の降り方によって崩壊発生場所・崩壊発生タイミング・氾濫範囲がどのように変わるかを検証した。

2. モデルの概要

(1) 崩壊モデル

沖村³⁾らは、広範囲の斜面に対して表層崩壊を予測するために無限長斜面を仮定した崩壊予測モデルを提案している。この手法は地形条件・降雨条件を入力し、降雨に起因する地下水位の上昇・低下に伴う斜面崩壊の危険度を定量的に評価する手法である。具体的には、地中の水の流れを計算する「浸透流解析」と「無限長斜面の安定解析」を実施する。浸透流解析では降雨が鉛直方向に浸透し、メッシュ間で側方流が流れる過程を解くことで地下水位の上昇・低下を評価している。

表層崩壊予測モデルに適用される浸透流解析には、降雨がただちに基岩面へ到達すると仮定する「飽和浸透流モデル」と土壌が不飽和状態であることを考慮して、降雨が土壌に浸透する過程を解く「不飽和浸透流モデル」が提案されている。飽和浸透流モデルは不飽和浸透流モデルと比較して簡易なモデルで、表層崩壊の危険箇所をある程度抽出できることが確

認されている³⁾。しかし、不飽和浸透流モデルは、崩壊発生タイミングを評価する上で重要な地下水位の上昇速度を精度良く表現できる。そのため本モデルには不飽和浸透流を評価できるモデル⁴⁾を利用した。

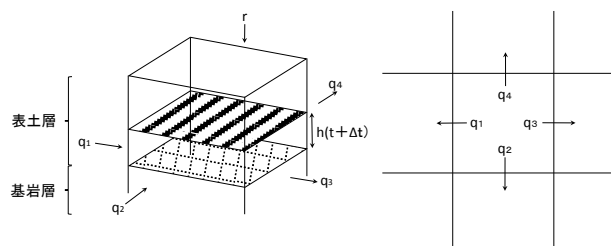


図 1 浸透流解析 模式図

(2) 土石流モデル

現在広く利用されている土石流モデルは江頭¹⁾らと高橋⁵⁾らが提案する手法である。両モデルを比較すると、江頭らのモデルの方が土石流の発生・輸送・堆積過程を連続的に評価しやすく、経験定数が少ないため、本稿では、江頭らが提案する土石流モデルを採用した。

(3) 崩壊モデルと土石流モデルの結合

前述した崩壊モデルと土石流モデルを結合した。結合モデルでは、降雨データを崩壊モデルに入力し、崩壊発生場所・崩壊発生タイミングを予測する。土石流計算の計算開始地点は崩壊発生場所を、計算開始時刻は崩壊発生タイミングを利用した。土石流モデルの境界条件として設定する供給土砂量は、計算メッシュの面積に崩壊深を乗じた数値を利用した。

このように、結合モデルは計算モデルに必要なパラメータと降雨条件を入力すれば土石流の氾濫範囲・堆積深を予測することができる。ただし、結合モデルでは崩壊判定された土塊の流動化判定を行っていないため、崩壊判定されたすべてのメッシュから土石流が発生すると仮定している。

3. 再現計算

(1) 計算対象溪流

2014年8月に発生した広島土砂災害の中で特に被害の大きかった土石流危険溪流に対して結合モデルを適用して再現計算を行なった。

(2) パラメータ

崩壊モデルで利用したパラメータを以下に示す。
災害時の X バンド MP レーダーによる実績降雨を入力して崩壊モデルを適用し、崩壊予測時刻と災害発生時刻が整合するように粘着力を設定した。なお、災害発生時刻については土砂の流入や揺れなどの証言を参考に 2014 年 8 月 20 日午前 3 時と想定した。

土石流モデルのパラメータは、竹林ら⁶⁾が再現性を確認している数値を利用した。

表 1 パラメーター一覧

項目	単位	設定値
土粒子の比重	(-)	2.60
間隙率	(%)	0.47
土層厚	(m)	1.0
飽和透水係数	(m/s)	6.00E-02
粘着力	(tf/m ²)	0.24
内部摩擦係数	(°)	32.3

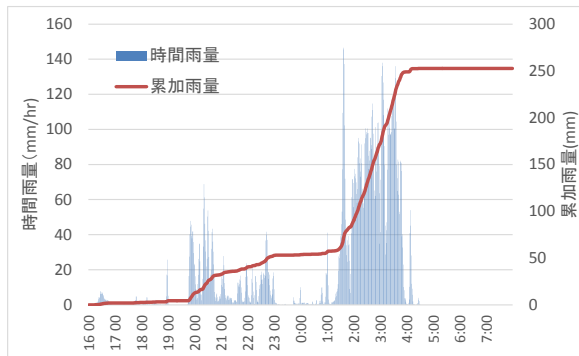


図 2 X バンド MP レーダーによる災害時の降雨データ

(2014 年 8 月 19 日~8 月 20 日)

4. モデルの適用

(1) 計算ケース

雨の降り方に応じて崩壊予測地点・崩壊予測時刻・土石流氾濫範囲がどのように変化するかを検証するために、降雨条件を変えて 3 ケースの計算を実施した。なお、降雨条件は定常降雨を設定し、計算ケースごとに降雨強度を変化させた。

(2) 計算結果

結合モデルを適用した結果、設定する降雨により崩壊発生予測地点の個数が異なることが確認された。また、土石流計算結果より、土石流発生箇所が 1 箇所から 2 箇所になっても、氾濫範囲が大きく拡大することはない。これは、氾濫範囲が土石流通過領域に堆積する不安定土砂量に依存するためであると考えられる。

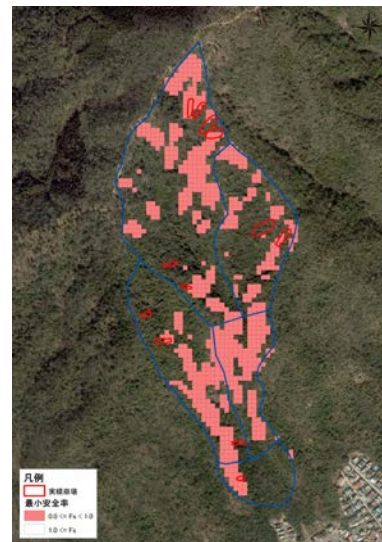


図 3 崩壊発生予測地点

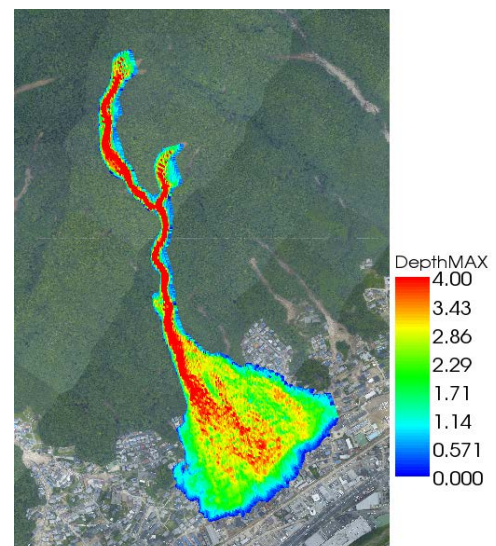


図 4 最大流動深 分布図

参考文献

- 1) 江頭 進治ら：土石流数値シミュレーション、日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌、第 12 巻 第 2 号 2004 年 11 月
- 2) 堀内 成郎ら：LP データを活用した土石流シミュレーションシステム「Hyper KANAKO」の開発、砂防学会誌、Vol.64、No.6、p.25-31、2012 年
- 3) 沖村 孝ら：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、p.4-12、2011 年
- 4) 平松 晋也ら：雨水の浸透・流下過程を考慮した表層崩壊発生予測手法に関する研究、新砂防、Vol.43、No.1(168)、1990 年
- 5) 高橋 保ら：豪雨時に発生する石礫型土石流の予測、新砂防、Vol.44、No.3(176)、1991 年
- 6) 竹林洋史ら：広島市安佐南区八木 3 丁目で発生した土石流、第 64 回砂防学会研究発表会概要集、B74-75、2015 年