

水・土砂災害予測シミュレーションにおける土砂生産の位置に起因する不確実性の評価 Evaluation of the uncertainty due to the location of sediment yield in predictive simulation on water- and sediment-related disasters

○山野井一輝・大石哲・川池健司・中川一

○Kazuki YAMANOI, Satoru OISHI, Kenji KAWAIKE, Hajime NAKAGAWA

Predictive simulation for sediment- and/or water-related disaster has been challenging because of the difficulties of slope-failure prediction. In this study, we introduced the artificial landslide data that is derived from statistic slope-failure prediction to achieve the predictive simulation. Different synthetic landslide data yielded different results; however, the calculated terrain deformation in the bottom of the valley and lower alluvial fan showed a smaller deviation. The results implied that the prediction for such a disaster is possible without accurate landslide prediction under certain conditions.

1. はじめに

土石流や、土砂の輸送に伴う地形変動を含んだ洪水氾濫などの水・土砂災害への対処には、数値シミュレーションが有効である。これまでに土砂輸送過程のモデル化は進展しており、適切な初期条件と境界条件さえ設定できれば、2次元の場合において実用的な精度での数値解析が可能と言える。しかしながら、土石流の始点となる上端部の斜面崩壊予測自体が困難なため、事後情報を用いない正確な予測シミュレーションは困難である。

しかしながら、土石流のように流動性の大きい現象を予測する場合、流域地形は凹型の特性を有するため、必ずしも始点の位置が正確に予測できなくても、下流の被害は予測できる可能性がある。これを示すには、異なる位置で生起する始点データを用いた土石流シミュレーションを多ケース実施し、それによって生じる被害の不確実性がどの程度であるかを定量的に評価すれば良いと考えられる。そこで本研究では、2017年九州北部豪雨で被災した赤谷川流域を対象とし、統計的な斜面崩壊予測より得られる斜面崩壊の発生確率データから多数の疑似斜面崩壊データを生成し、これを入力条件とした土石流シミュレーションを実施することで、この評価を試みた。

2. 数値シミュレーション

(1) 計算手法

本研究では、濃度に応じて異なる底面抵抗則を用いることで、土石流、掃流状集合流、および掃

流砂の異なる形態での土砂移動と流動を考慮可能な、高橋モデルに基づく二次元土石流モデル（中川ら、2001、京大防災研年報；和田ら、2008、砂防学会誌）を用いた。基礎式の離散化スキームにはMacCormack法を用いた。またプログラムのコードは、筆者らの既往研究（山野井ら、水工学論文集、2018）と同様、OpenMPとMPIによるハイブリッド並列化を施した。以下の計算の実行には、理化学研究所スーパーコンピュータ京を用いて実施したものである。

(2) 計算条件

まず、斜面崩壊の発生確率の分布を得るため、集水面積の常用対数、勾配、断面曲率、平面曲率を説明変数とし、斜面崩壊の発生点に該当するかどうかの2値データを目的変数としたlogistic regressionを実施した。解析の空間解像度は10mとした。斜面崩壊の発生点は、土石流痕跡データのうち、周囲よりも標高が高い地点を抽出することで得た。得られた発生確率の空間分布を図1に示す。

次に全てのメッシュに疑似乱数を発生させ、これと図1の確率の分布を用いることで、疑似斜面崩壊データを60ケース作成した。図2に一例を示す。これを入力条件として、60ケースの土石流シミュレーションを実行した。ただし、すべての土石流の発生時刻は同一とし、計算時間は発生時刻から3600秒間とした。また全領域が崩壊発生時点で完全に飽和しているものと仮定した。

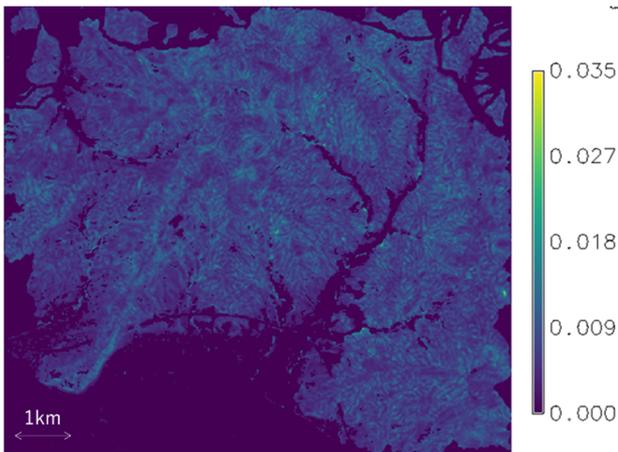


図 1. Logistic regression によって得られた土石流始点が生じる確率の空間分布.

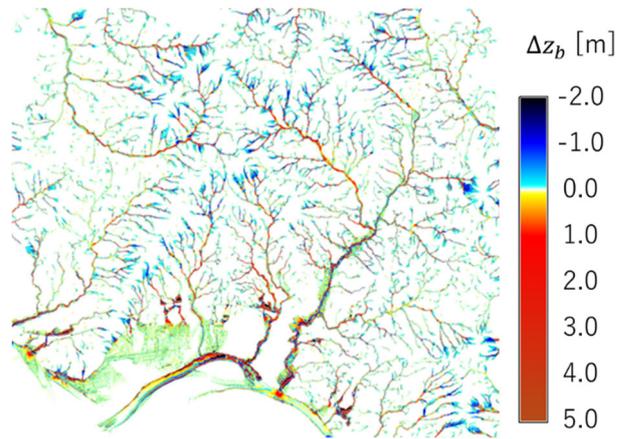


図 3. 図 2 の疑似斜面崩壊データを土石流の始地点とした場合における地形変動量.

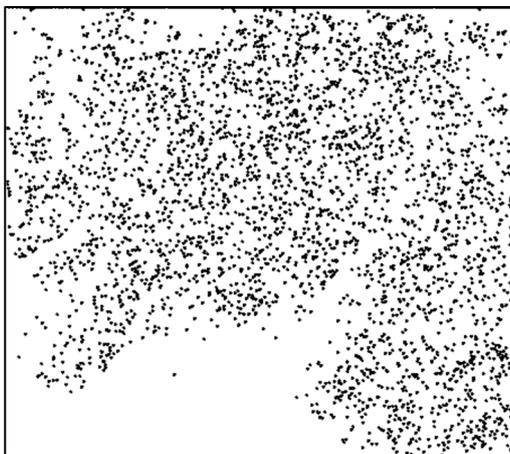


図 2. 疑似斜面崩壊データの一例, 黒点は崩壊の位置を表す.

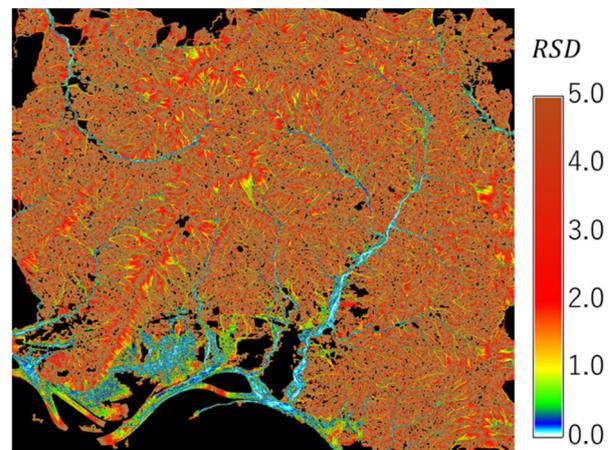


図 4. 地形変動量の相対標準偏差 RSD.

3. 計算結果と考察

得られた地形変動量（計算前後での地表面標高 z_b の差分）の一例を図 3 に示す. 統計的手法で生成した斜面崩壊データを用いているが, 例えば谷底部の河道周辺の堆積・侵食の傾向などについて, 実際の被害と矛盾しない結果が得られた.

次に, 60 ケース得られた地形変動量の相対標準偏差 RSD（標準偏差を平均値の絶対値で除した値）を図 4 に示す. 流域上流部や斜面部ではこの値が 2~5 程度の値になり, 土石流の始点の位置に起因した結果の不確実性が大きい事がわかる. これに対して, 下流の谷底部や扇状地では, RSD は 0.0 ~ 0.5 程度の値になる. すなわち, このような場所では土石流始点の場所によらず, 同程度の地形変動量が生起する場所と言える.

以上の結果は, 本研究が対象とした条件下では, 土石流の始点となる斜面崩壊の位置が必ずしも正

確でなくても, 流域下流の被害は小さい不確実性で予測されうる, ということを示唆している. また, このような領域は, 本対象領域における甚大な被害が発生した谷底部や下流扇状地の集落の領域によく一致しており, ここでの被害は統計的な斜面崩壊予測モデルを用いて予測されうるものと考えられる.

ただし, より斜面崩壊の個数密度が小さい場合や, 降雨がより長時間に及び土石流が一度に起こりにくく, 同時発生とした扱いが妥当でないような条件下では, より大きなばらつきが生じることが想定される. また, 単一の山の側面で複数の崩壊が起きるような場所など, 流域の収束性が小さい場合も同様と考えられる. 今後, 土砂生産の位置に起因する被害の不確実性が小さくなりうる降雨・地形条件はどのようなものか, について評価していくことが必要である.