

土石流シミュレーションを用いた被害のおそれのあるエリア検証の試み

国土交通省国土技術政策総合研究所 泉山寛明・山越隆雄, 国立研究開発法人土木研究所 今森直紀・石田孝司
一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構○千葉幹・阿部美樹（現：国土防災技術（株））・磯谷和也
アジア航測株式会社 屋木わかな・久原悦子・寺山祐司

1. はじめに

令和4年に発生した土砂災害は42道府県795件（国土交通省，2023）に上っている。平成30年7月豪雨による甚大な土砂災害で得られた課題を踏まえ、実効性のある避難を確保するための一方策として、土砂災害警戒区域内の相対的な土砂災害の被害リスクの評価の検討の必要性が示された（実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会，2019）。

こうした背景の下、近年の地形データの分解能の向上と相まって、シミュレーションの活用が期待される。土砂災害警戒区域（土石流）は土砂災害防止法に基づく基礎調査（以下、「基礎調査」という）を行い、過去の災害から得られた地形条件に基づき設定されるが、シミュレーションによって、土石流の氾濫が予想される範囲の詳細な地形と土砂および水の流れをより直接的に考慮すれば、土砂災害警戒区域内でも相対的に危険度の低い範囲を示す等のより詳細なリスク評価が可能となり、警戒避難の高度化に資すると考えられる。スイスやオーストリアでは、シミュレーションの精度向上等を機にハザードマップを見直すなど活用されている（千葉ら，2017）が、日本でもシミュレーションを土砂災害警戒・避難へ活用する研究が活発になされている（例えば，中谷ら，2020；中本ら，2022）。土砂災害警戒区域（土石流）内の相対的な危険度をシミュレーションを用いて精査することを考えた場合、実現現象の再現計算を行って計算技術の検証を行いつつ、早急に精査すべき場の条件、ハイドログラフの設定方法などを整理しておく必要がある。本研究では、試みにHyperKANAKO（堀内ら，2012）を用い、近年発生した土砂災害事例に基づき、被害のおそれのあるエリアの検証を試みた。

2. 土石流による被害のおそれのあるエリア検証

近年土砂災害が発生した3事例を対象に計算を行った。

2.1. 計算方法

計算に用いた主なパラメータは以下のようである。砂の内部摩擦角35度、砂礫の密度は2,600kg/m³、水の密度は便宜的に1,200kg/m³とし、河床の容積濃度は0.6、侵食・堆積速度係数はそれぞれ0.0007、0.05とした。係数の決定方法は今後の課題である。土砂の粒径は事例1、事例2はそれぞれ実績値として、40cm、2mmとしたほか、事例3は一般値として5cmを用いた。境界条件としてのハイドログラフは、流出土砂量（空隙込み） V_{dqp} として実績値あるいは基礎調査時に得られた流下する土石等の量を用い、ピーク流量 Q_{sp} は砂防基本計画策定指針に

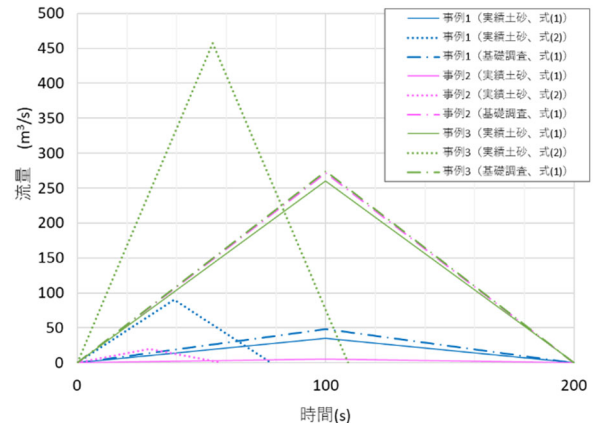


図1 計算に用いたハイドログラフ（3事例×3ケース）

示す式(1)、池田ら（2017）の推定式(2)を用いて設定し、三角形波形として与えた（図1、実績の流出土砂量からピーク流量を式(1)、式(2)で与えた場合と、基礎調査時の土砂量からピーク流量を式(1)で与えた計3ケース）。なお、3事例とも実績の流出土砂量は基礎調査で想定した移動可能土砂量よりも小さかった。

$$Q_{sp} = 0.01 \sum Q \quad (1)$$

$$Q_{sp} = 0.1 \sum Q^{0.833} \quad (2)$$

$$\sum Q = C_* V_{dqp} / C_d \quad (3)$$

$$C_d = \frac{\tan \theta}{(\sigma/\rho - 1)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (4)$$

式(4)により土石流の平衡濃度を算出する際の河床勾配 θ は事例1、2、3でそれぞれ13.4度、4.4度、8.0度とした。地形データは国土地理院から入手できる5mDEMと、別途入手した1mDEMを用いた。家屋は考慮していない。

2.2. 計算結果及び考察

事例1（溪流が基準地点から右岸側に屈曲，図2）：実績の流出土砂量を与えた場合、ピーク流量が違っても流動、堆積の範囲に大きな違いはなかった。地形データの分解能の違いは計算結果に現れており、5mDEMの場合は小流路を乗り越える結果となった。また谷出口付近では実際の土砂堆積範囲よりも溪流に近い側を流動、堆積する計算結果となっていた。実際の土砂堆積範囲を精度よく再現するためには、前述した既往研究成果（中谷ら，2020；中本ら，2022）を参考にすれば、家屋による土砂の堆積や移動方向の変化等を考慮することで可能と推察される。また5mDEMの使用は実際の微地形を反映しがたいことが分かる。基礎調査で得た土砂量を用いた計算では、谷出口で警戒区域外に流動、堆積する結果

となった。谷出口から下流は平野が左右に広がる地形であるためと考えられる。このように、氾濫開始点直下が平坦な地形を呈する場ではシミュレーションにより検証することが必要と考えられる。

事例2（警戒区域内に周辺と比高差がある微地形がある、**図3左**）：シミュレーション結果の特徴（ハイドログラフ、地形の分解能の違い）は事例1と同様であった。この事例ではいずれのハイドログラフを与えても氾濫範囲の計算結果は設定されている警戒区域よりも狭い結果となった。その傾向は右岸側で顕著であり微高地があったためと考えられる。都道府県が定める基礎調査のマニュアル（以下、「マニュアル」という）では、一定程度の比高差がある場合は警戒区域外として設定する場合があるが、判断基準は半ば経験的であり、適用範囲も定められていないため、シミュレーションを併用して検討することが適切であると考えられる。

事例3（実際の氾濫範囲と警戒区域が大きく異なる、**図3右**）：シミュレーション結果の特徴（ハイドログラフ、地形の分解能の違い）は事例1、2と同様であった。本事例は災害発生前の地形図では、溪流の流下方向は地形に沿って左に湾曲しており、2万5千分の1地形図でも明瞭に表れている。一方、災害発生前に設定されていた警戒区域は土石流の直進性を考慮したためかこの湾曲を考慮していない。また右岸側は微高地がある。いずれのハイドログラフを与えても、計算では土石流はこの地点で流下する方向を変え、警戒区域の想定とは異なり左方向に流下して土砂が氾濫する結果となった。マニュアルでは流路が湾曲している場合や谷地形や流路が不明瞭である場合、土石流の直進性を考慮して設定することもあるが、シミュレーションを併用して検討することで適切に設定できる可能性もある。

3. まとめ

本研究では、より合理的、効率的な土砂災害対策の実施を目標に、シミュレーションを活用し、土砂災害警戒区域内のリスク評価を試行した。結果を以下に示す。

いずれの事例でも分解能の高い地形データを使うことで、土石流の痕跡範囲をよく再現できていた。谷出口から平野が左右に大きく広がる場合（事例1）や、河道の湾曲を考慮せずに範囲設定をしている場合（事例3）は、シミュレーションによって土石流の流動、堆積範囲を確認することが重要と考えられる。

今後は、家屋の土石流の流動に与える影響を考慮した計算や侵食・堆積速度係数の与え方など、基礎調査の実務におけるシミュレーションの使用に向けた手順等の整理が必要であると考えられる。

謝辞

末尾となりますが、シミュレーションの実施にあたり必要な各種データをご提供いただいた県や国の砂防担当部局の皆様、有益なご助言を頂いた京都大学防災研究所の竹林先生に御礼申し上げます。

参考文献：

- 千葉幹・亀江幸二・木村佳嗣(2017)：オーストリア・スイスにおけるレッドゾーンの見直し・解除について、砂防学会研究発表会概要集, p.282-283
- 堀内成郎・岩浪英二・中谷加奈・里深好文・水山高久(2012)：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
- 池田暁彦・水山高久・桜井亘・内田太郎・水野秀明(2017)：土石流ピーク流量の特性に関する考察, 平成29年度砂防学会講演概要集, p.112 - 113
- 実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会(2019)：実効性のある避難を確保するための土砂災害対策のあり方について報告書(令和元年5月), https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_jikkousei/190529/hokokusyo.pdf(アクセス日: 2023-03-14)
- 国土交通省(2023)：令和4年の土砂災害発生件数は795件, https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo02_hh_000138.html (アクセス日: 2023-03-14)
- 中本英利・竹林洋史・藤田正治(2022)：宅地域における土砂災害警戒区域等の評価と土石流氾濫リスクの空間分布, 土木学会論文集 B1, Vol.78, No.2, p. I_997-I_1002
- 中谷加奈・長谷川祐治・里深好文(2020)：異なる Digital Elevation Model を用いたシミュレーションによる土石流の危険度分布の把握と避難計画への活用, 砂防学会誌, Vol.72, No.6, p.8-17

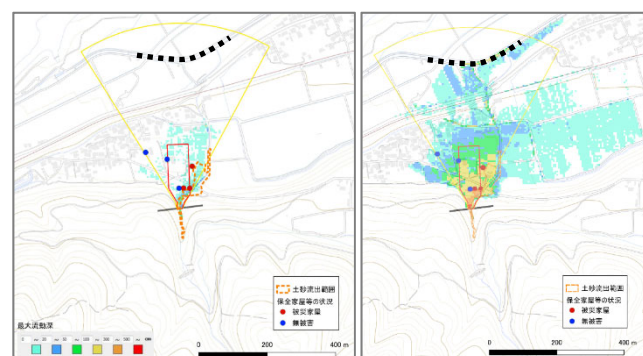


図2 計算例（事例1, 左：実績土砂量, 右：基礎調査土砂量, いずれも式(1), 1mLP, 点線部は小流路）

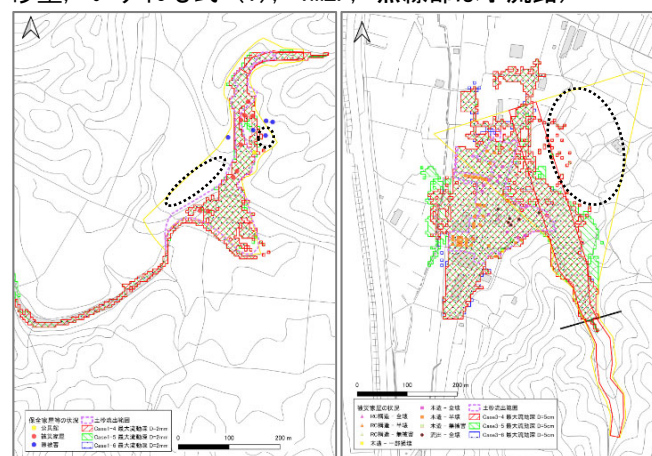


図3 計算例（左：事例2, 右：事例3, いずれもハイドログラフ3ケースの重ね合わせ, 1mLP, 点線内は微高地）