

## 二次元河床変動計算における人工構造物と土石流氾濫範囲の関係

国土防災技術株式会社 ○丹羽諭・阿部美樹・赤松哲也・中根一誠・寺田秀樹  
 国土技術政策総合研究所 田中健貴・西脇彩人・山越隆雄・瀧口茂隆  
 国立研究開発法人土木研究所 伊藤誠記・影山大輔

## 1. はじめに

平成30年7月豪雨や令和2年7月豪雨など、記録的な大雨により各地で土砂災害が発生した。このような状況から社会資本整備審議会の答申(社会資本整備審議会, 2020)において、土砂災害警戒区域内で相対的に危険度の低い範囲を示す等のリスク評価手法の確立について取り組むべきとされている。その後も毎年土砂災害が報告されており、令和5年の発生件数は1,471件に上った。

土石流による建物被害は、例えば水山・石川(1989)や小松ら(2019)により災害後の堆積深と家屋被害の関係等が整理されてきた。近年では、家屋や土木構造物が土石流の流動に与える影響について二次元河床変動計算を利用して考察される事例(例えば、中谷ら, 2017)や家屋の破壊を考慮した計算事例(例えば、中本ら, 2018)が報告されている。また、これらの河床変動計算プログラムが公開され、誰もが利用できる環境となった。

本研究は千葉ら(2023)と同じく土砂災害警戒区域内の相対的な危険度評価を目的とした。今回、汎用的な二次元河床変動計算プログラムを用い、実際の土石流災害を再現できるパラメータを設定したうえで、建物が土石流の流動に与える影響や土石流による外力分布の特徴を考察した。

## 2. 検討条件

## 2.1 河床変動計算の条件

本報告ではHyperKanakoによる検討結果を報告する。急勾配な1次元領域を2次元領域に接続し、基礎調査の基準地点から2次元氾濫計算を実施した。計算グリッドは建物形状が反映できるように解像度2mとし、固定床の条件とした。計算グリッドへの建物形状の反映については、基盤地図情報のWEBサイトから災害前に該当する建築物外周線をダウンロードし、そのポリゴンの内側に含まれる計算点に対して、一般的な2階建て家屋の高さである6mを地盤高に加えた。計算ケースは、表-1に示す3ケースである。

供給ハイドログラフは中央ピークの三角形ハイドログラフとし、土石流ピーク流量 $Q_{sp}$ ( $m^3/s$ )を池田ら(2018)による式1により評価した(図-1)。

$$Q_{sp} = \alpha \Sigma Q^{0.833} \quad (1)$$

表-1 計算ケース

| ケース | 設定                 |
|-----|--------------------|
| 1   | 建物を考慮せず地盤高を利用する。   |
| 2   | 全ての建物を考慮           |
| 3   | ケース2に対し流失建物は地盤高を設定 |

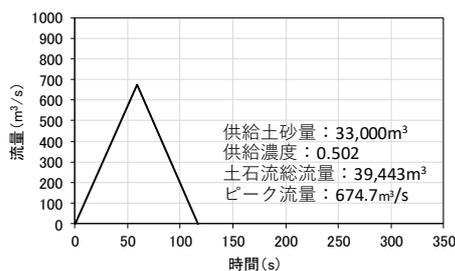


図-1 土石流ハイドログラフ

式中の記号は、係数 $\alpha$ (本検討では0.1を設定)、土石流総流量 $\Sigma Q$ ( $m^3$ )である。

計算パラメータについては、ケース3の設定に対して、災害前後の差分解析結果に対する再現性が高い間隙流体密度 $\rho = 1,600 \text{ kg/m}^3$ を設定、国土交通省国土技術政策総合研究所(2016a)に準じて、内部摩擦角 $\varphi = 35^\circ$ 、砂礫密度 $\sigma = 2,600 \text{ kg/m}^3$ 、堆積土砂濃度 $C_* = 0.6$ 、中谷ら(2017)を参考に堆積速度係数 $\delta_d = 0.05$ 、侵食速度係数 $\delta_e = 0.0007$ 、計算時間は土砂が停止するために十分な1,800sを設定した。

## 2.2 外力の評価方法

中本ら(2018)では土石流の先頭部で家屋が破壊されると仮定し、流体力と土石流静圧(原著では静水圧)で外力を評価している。本検討では、HyperKanakoの結果を1秒間隔で出力し、式2により土石流の流体力 $F_1$ ( $kN/m$ )、式3により土石流静圧 $F_2$ ( $kN/m$ )、式4により堆積圧 $F_3$ ( $kN/m$ )を評価した。 $F_3$ は砂防堰堤の設計(国土交通省国土技術政策総合研究所, 2016b)における堆積土砂による静水圧と堆砂圧の評価方法((一財)砂防・地すべり技術センター, 2018)を参考に、静水圧と堆砂圧を算定し、合計値を堆積圧とした。

$$F_1 = \rho_m h u^2 \quad (2)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \rho_m g h^2 \quad (3)$$

$$F_3 = \frac{\gamma_w}{2} \{2h\Delta z + \Delta z^2\} + C_e \Delta z \left\{ (\gamma_{deb} - \gamma_w)h + \frac{\Delta z}{2} (\gamma_{rib} - \gamma_w) \right\} \quad (4)$$

$$C_e = \frac{\cos\theta - \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}}{\cos\theta + \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}} = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \quad (5)$$

式中の記号は、土石流の流れ密度 $\rho_m$ ( $kg/m^3$ )、土石流の流動深 $h$ ( $m$ )、土石流の流速 $u$ ( $m/s$ )、重力加速度 $g$ ( $m/s^2$ )、堆積深 $\Delta z$ ( $m$ )、主働土圧係数 $C_e$ (堆砂勾配が $15^\circ$ 以下を想定し $\cos\theta \approx 1$ として算出)、内部摩擦角 $\varphi$ ( $^\circ$ )、間隙流体の単位体積重量 $\gamma_w$ ( $kN/m^3$ )、土石流の単位体積重量 $\gamma_{deb}$ ( $kN/m^3$ )、堆積土砂の単位体積重量 $\gamma_{rib}$ ( $kN/m^3$ )である。

## 3. 検討結果

図-2に示す災害前後のLPデータによる差分解析結果は、基準地点から左岸側には堆積範囲が広がらず、右岸側寄りに流下し、約100m下流の建物上流側で1m以上堆積、基準地点の約300m下流から土砂災害警戒区域の下端の一定範囲で概ね1m以上堆積したことが特徴である。小松ら(2019)は堆積深が1.0mを超えると木造建物の破壊割合は80%以上となることを報告しており、本検討の対象地区でも一部損壊以上の被害となる木造建物が多い。また、堆積深が1m以下であっても土石流が流下した経路では一部損壊以上の被害となる木造建物が多い。一方、堆積深が概ね1m以上の範囲でも浸水被害にとどまる建物があり、それらは他の建物に囲まれた立地条件のものが多い。

図-2にケース1からケース3の最終河床変動高の結果を示す。建物を考慮しないケース1では河床変動高2m以上の範囲が狭く河床変動高1m以上の範囲も横断方向に広い。つまり災害前後の差分解析結果を再現できていない。建物を考慮したケース2では災害前後の差分解析結果による1m以上

の堆積範囲を定性的に再現したが、基準地点下流の流失した建物の上流で過大な河床変動高となった。流失した建物の計算点を地盤高に設定したケース3では、基準地点下流の堆積深が減少し、再現性が向上した。

図-2に建物を考慮した条件の履歴最大流体力 $F_{1max}$ 、履歴最大土石流静圧 $F_{2max}$ 、履歴最大堆積圧 $F_{3max}$ を示す。実際は土石流が流下中に建物が流失したことを踏まえ、ケース2とケース3の算定外力の最大値を採用した。 $F_{1max}$ は流下に伴い減衰するが、建物間では流れが集中し周囲と比較して値が大きくなる。 $F_{2max}$ も流下に伴い減衰するが、流れが塞き上がる建物上流側で大きい値を示す特徴がある。基準地点から約200mより下流側では、一部を除き $F_{1max}$ より $F_{2max}$ が大きい。 $F_{3max}$ は建物上流側の土砂堆積により局所的に大きくなる。土砂災害防止法の施行令第2条第2号の規定に基づき国土交通大臣が定める方法を定める告示による通常の建築物の耐力 $P_2$ に土石流の高さ $H_3$ を乗じて $\text{kN/m}$ 単位とすると、 $H_3$ が $0.5\sim 2.8\text{m}$ の範囲で耐力は $7\sim 13\text{kN/m}$ となる。対象地域では土砂災害警戒区域内の下流側でも流失建物が発生したが、その付近まで $F_{1max}$ 、 $F_{2max}$ 、 $F_{3max}$ とも $10\text{kN/m}$ 以上が発生した。 $F_{1max}$ 、 $F_{2max}$ は、災害後の堆積深(あるいは計算における最終河床変動高)が小さい土石流の流下経路で値が大きく、建物被害の程度を表す指標の1つと判断される。また、外力の分布は項目によって異なり、谷出口では流体力や土石流静圧が卓越、下流側では土石流静圧や堆積圧が卓越することから、建物の破壊過程に影響を及ぼすことが考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、二次元河床変動計算により、建物が土石流の流動に与える影響や土石流による外力分布の特徴を考察した。その結果、流失建物は建物として考慮しない条件とすること

で再現性が向上することが確認された。また、1波の土石流であっても外力の種類で分布が異なり、建物の立地条件によって破壊形態に影響すると判断された。

今後の課題は、個々の建物に作用した外力の抽出、抽出した外力による家屋被害の再現性の確認である。

#### 引用文献

- 千葉幹・泉山寛明・今森直紀・山越隆雄・石田孝司・阿部美樹・磯谷和也・屋木わか・久原悦子・寺山祐司(2023):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,令和5年度砂防学会研究発表会概要集, p.131-132
- 池田曉彦・水山高久・桜井亘・内田太郎・水野秀明(2018):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
- (一財)砂防・地すべり技術センター(2018):砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)および土石流・流木対策設計技術指針に基づく計画・設計事例の解説<第3版>, p.4-17-4-29
- 国土交通省国土技術政策総合研究所(2016a):砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)及び同解説,国総研資料,第904号, p.25
- 国土交通省国土技術政策総合研究所(2016b):土石流・流木対策設計技術指針解説,国総研資料,第905号, p.7
- 小松美緒・内田太郎・松本直樹・宮瀬将之・加藤誠章(2019):土石流の堆積深と家屋被害の程度の関係,砂防学会誌, Vol.72, No.4, p.21-28
- 水山高久・石川芳治(1989):土石流による家屋の被災度,新砂防, Vol.42, No.1, p.22-25
- 中本英利・竹林洋史・宮田英樹・藤田正治(2018):家屋の破壊過程を考慮した土石流の数値シミュレーション,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, I\_919-I\_924
- 中谷加奈・小杉恵・里深好文・水山高久(2017):家屋や道路が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響-2014年8月に発生した広島土砂災害を対象として-,砂防学会誌, Vol.69, No.5, p.3-13
- 社会資本整備審議会(2020):近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について(答申), [https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/mizukokudo03\\_sg\\_000159.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/mizukokudo03_sg_000159.html) (アクセス日:2024-03-14)

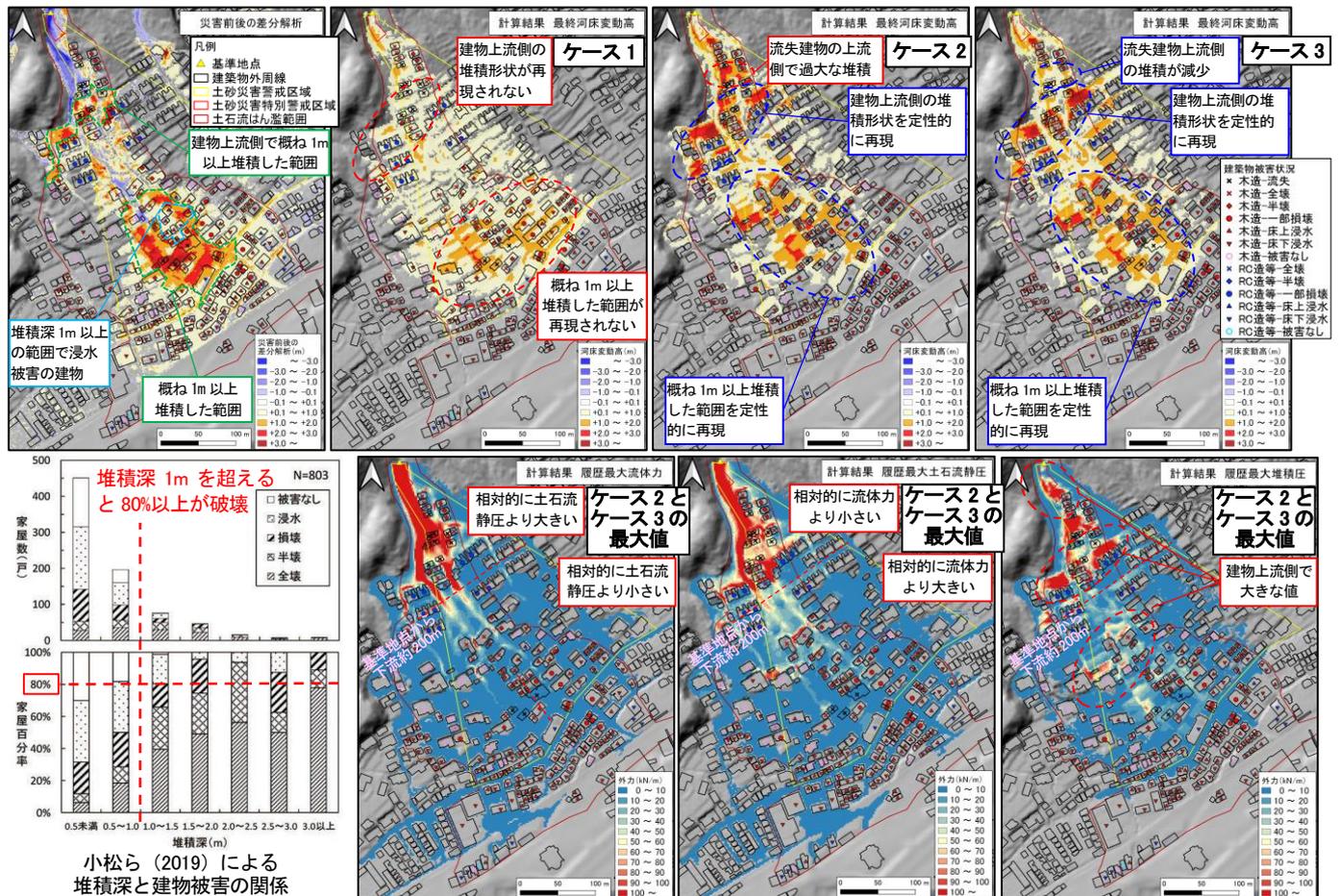


図-2 最終河床変動高と外力の計算結果