

## 常願寺川流域における単位河道モデルを用いた平時・異常時の土砂流出と 下流へのインパクト評価の試行 その3

京都大学名誉教授 藤田正治, 信州大学 堤大三, 富山県立大学 久加朋子, 京都大学 山野井 一輝  
砂防・地すべり技術センター 池田暁彦, 日本工営株式会社 ○山崎祐介, 長山孝彦, 伊藤隆郭

### 1. はじめに

著者らは、流域全体における土砂移動のシミュレーションを実施するために、単位斜面および単位河道で構成される流域スケールを対象とする土砂流出モデル(山野井・藤田, 2016)への堰堤機能の導入手法、および堰堤効果のモデル化手法について検討を行い、これを常願寺川流域へ適用して土砂流出特性や堰堤効果に関する検討を進めてきた(野呂ら, 2020, 山崎ら, 2025)。本稿では、これらの既往研究で構築・改良してきた流域スケール土砂流出モデルを用い、実観測に基づく基準的な降雨条件である平時や、飛越地震時に発生した鳶崩れによる土砂生産と、それに伴う天然ダムの形成・決壊現象のような土砂流出が発生する異常時に、下流河道における河床変動や土砂流出の時間的・空間的な影響を評価することを目的とした。あわせて、既設砂防堰堤の存在および運用条件が、下流河道へのインパクトの発現時期や規模に与える影響について整理し、防災対策および土砂管理の検討に資する知見を得ることを試みた。

### 2. 解析モデル

流域地形モデルは矩形斜面とその接続する河道によって構成される(江頭・松木, 2000)。斜面における表面流および浸透流には、それぞれマンング則およびダルシー則を適用している。河道における流水および流砂については、それぞれマンング則および芦田・道上式を適用している(江頭・松木, 2000)。透過型堰堤における土砂の貯留・流出のモデル化において、もっとも重要である水位せき上げの1次元の評価は、水理模型実験によってある程度の定量的評価が可能になってきている(伊藤ら, 2015)。単位河道に設置された透過型堰堤の土砂の貯留・流出は、これらの知見を用いて、堆砂状況に応じた勾配を設定しそれを摩擦速度に適用して算出している(山崎ら, 2023)。

### 3. 計算条件

対象領域は上滝上流域(約355 km<sup>2</sup>)とし、単位河道モデルのパラメータには既往の検討結果を用いた(表-1)。

平時は、土砂移動に支配的な中〜大規模降雨イベントを対象とした100年規模の解析とした。すなわち10年分の降雨データから総雨量100 mmを超える降雨イベントを抽出・連結して約10年分の降雨系列を作成し、これを10回繰り返して100年間の降雨条件として解析モデルに与えた。

異常時は、1858年飛越地震時に発生した鳶崩れによる大規模土砂生産と、それに伴う天然ダムの形成・決壊現象を想定した条件とした。まず、鳶崩れによる生産土砂量(空隙込み)約1.2億m<sup>3</sup>(Inoue et al., 2010)を想定し、計算開始時にあらかじめ河床に配置した。鳶山の崩壊土砂が鬼ヶ城砂防堰堤まで到達し、そこから下流側に5°の勾配で堆積している状態を想定した。このとき、堆積土砂量は空隙込みで約1億m<sup>3</sup>となり、飛越地震時の生産土砂量と概ね同程度である。天然ダムの決壊により、約5,000 m<sup>3</sup>/sのピーク流量が2波発生し、上滝地点での流出土砂量は約1,230万m<sup>3</sup>と推定されている(田畑ら, 2000)。よって、約5,000 m<sup>3</sup>/sのピーク流量に相当する出水を2回与え、さらにその後、1年規模出水(平成7年出水規模の流量、以降H7流量)を100回繰り返す条件とした。これらの出水は、対象領域に該当流量が発生する降雨条件として与えた。

表-1 計算に用いた設定値(野呂ら, 2020を一部改変)

項目: 斜面	値	項目: 河道	値
$D$ (m)	0.1, 0.5	$\alpha$ (m <sup>-2</sup> )	5
$\kappa$ (mm/s)	3.0, 0.2	$n$ (m <sup>-1/3</sup> /s)	0.05
$\lambda$	0.467	$E_m$ (m)	0.6
$N$ (m <sup>-1/3</sup> /s)	0.3	$E_d$ (m)	0.6

$D$ : 土層厚,  $\kappa$ : 飽和透水係数,  $\lambda$ : 間隙率,  $N$ : 等価粗度係数,  $\alpha$ : レジーム係数,  $n$ : マンングの粗度係数,  $E_m$ : 交換層厚,  $E_d$ : 堆積層厚

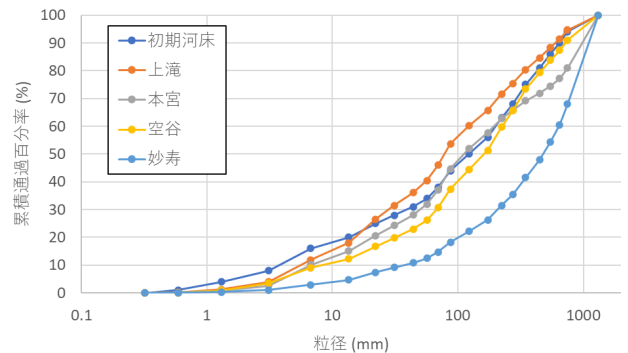


図-1 平時の初期河床と均し計算後の粒度分布

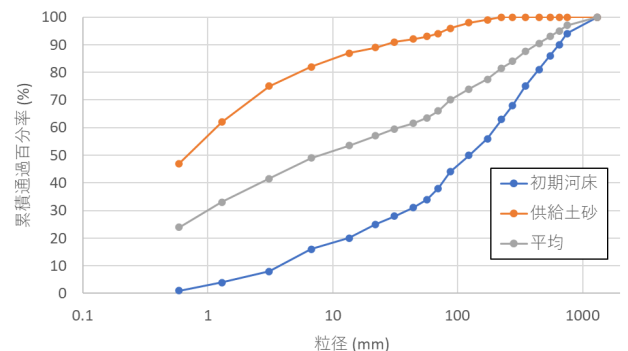


図-2 異常時の初期河床と供給土砂の粒度分布

返す条件とした。これらの出水は、対象領域に該当流量が発生する降雨条件として与えた。

河床材料については、平時には均し計算後の材料(図-1)を用い、異常時には、崩壊土砂と既存の河床材料が混合した状態を想定し、両者の平均的な粒度分布を与えた(図-2)。計算実施は、平時における全堰堤満砂の1-A、全堰堤初期堆砂量0の1-B、異常時における満砂の2-A、堆砂量0の2-Bとした。

### 4. 計算結果

図-3に、初期(崩壊直後)、10年後、100年後における河床変動量の縦断面図を示す。0~2240 mに2-Aおよび2-Bの場合のみ負の部分があり、2-Aでは10年後、100年後にそれぞれ-19 m, -80 m, 2-Bではそれぞれ-40 m, -115 mであり、崩壊土砂を堆積させた部分の侵食を示している。平

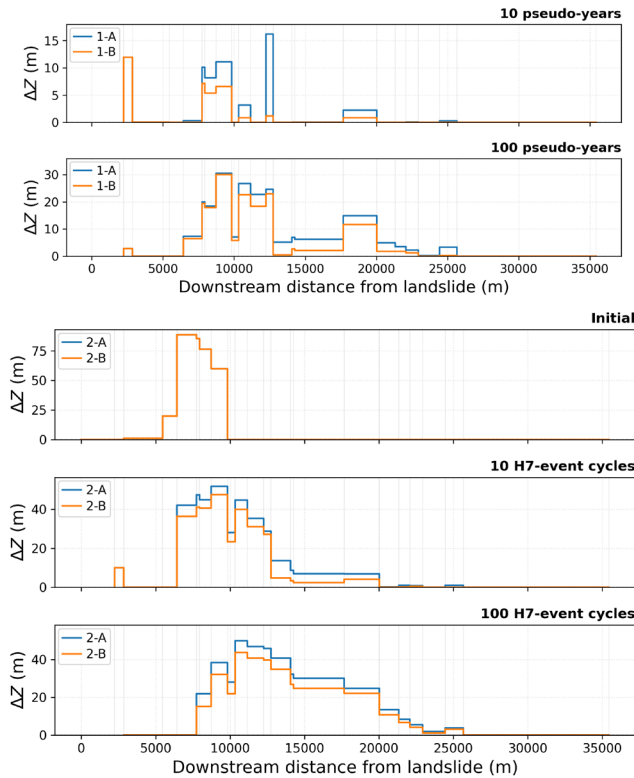


図-3 10年後、100年後の河床変動量(ΔZ)の縦断面  
(Initialは崩壊直後の初期形状を示す)

時である1-A、1-Bでは、下流河道における正の河床変動量は比較的小さかった。一方、異常時条件である2-A、2-Bでは、下流方向に正の河床変動量が顕著に現れ、平時に比べて下流河道への土砂到達量が大きいことが確認された。特に、異常時では10年後、100年後ともに堆積が現れる範囲が広く、その大きさも平時を上回ったことから、大規模土砂生産およびその後の出水条件が、下流河道における堆積を増大させることが示された。

異常時では、初期の大出水後の繰り返し出水に伴って、堆積の影響が時間とともに下流へ及ぶ様子が確認された。また、図-4に示す妙寿、津之浦、本宮、上滝の各地点における河床変動量の時間変化からも、異常時では各地点の河床変動が平時よりも大きく、その継続時間も長いことが確認できる。下流側の地点では、異常時において河床変動の増大がより早い段階から現れており、上流から供給された土砂の影響が時間差を伴って下流へ伝播していることが示されている。

堰堤条件の違いに着目すると、全堰堤堆砂量0(1-B、2-B)では堰堤による土砂捕捉が働くため、下流河道における河床変動量は満砂条件より小さい傾向を示した。これは、既設砂防堰堤が上流から供給された土砂の一部を途中で捕捉し、下流への土砂到達量を低減したためと考えられる。

以上より、平時では下流河道における河床変動は比較的小さいのに対し、異常時では大規模土砂生産とその後の出水により、下流河道における堆積が増大し、その影響が時間差を伴いながら下流へ及ぶことが示された。また、堰堤条件の違いは、下流河道に到達する土砂量および堆積量の分布に差をもたらすことが確認された。

### 5. おわりに

本稿では、常願寺川流域を対象に、単位河道モデルを用いて平時・異常時の土砂流出と下流河道へのインパクトを評価した。その結果、平時条件に比べて異常時条件では、下流河

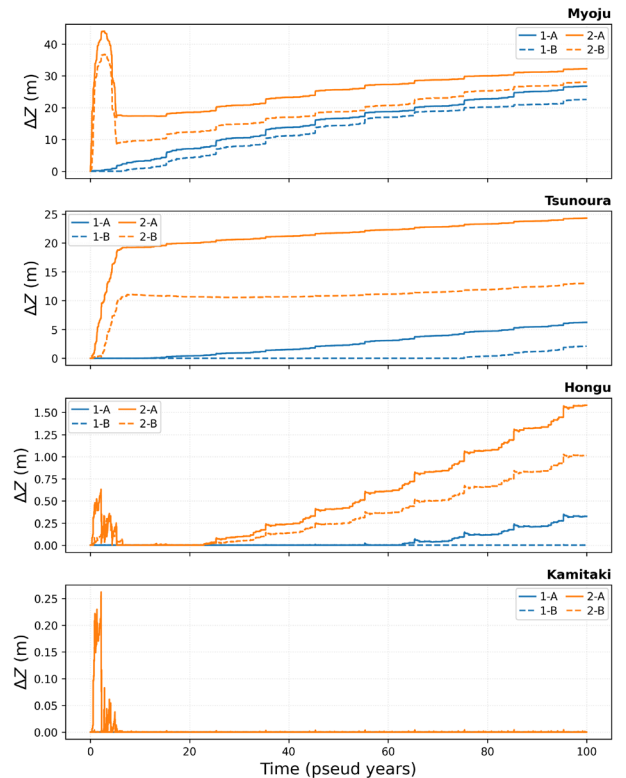


図-4 妙寿、津之浦、本宮、上滝地点の河床変動量(ΔZ)の時間変化

道における堆積量が増大し、その影響がより早期かつ広範囲に及ぶことが示された。また、異常時では、初期の大出水後も繰り返し出水に伴って堆積の影響が下流へ伝播し、数十年スケールで河床変動が継続することが示された。さらに、既設砂防堰堤は、上流から供給された土砂の一部を途中で捕捉することで、下流河道における堆積量を低減させる効果を示すことが示された。

今後は、出水シナリオや施設条件をさらに精査し、下流リスク評価と既設施設を活用した土砂管理方策の検討を進める予定である。

**謝辞:** 国土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所にてデータの提供および助言をいただいた。本成果は、河川砂防技術研究開発公募 地域課題分野(砂防) 常願寺川砂防事業への土砂移動観測の効果的な活用法(代表者:堤大三)の成果の一部である。ここに謝意を表します。

### 引用文献

- 江頭・松木: 河道貯留土砂を対象とした流出土砂の予測法, 水工学論文集, 44巻, pp.735-740, 2000
- 田畑ら: 鳶崩れ(飛越地震, 1858)による天然ダムの形成と決壊に伴う土砂移動の実態, 砂防学会誌, Vol. 53, No. 1, pp. 59-70, 2000
- Inoue et al., "The Catastrophic Tombi Landslide and Accompanying Landslide Dams Induced by the 1858 Hietsu Earthquake," *J. Disaster Res.*, Vol.5 No.3, pp. 245-256, 2010
- 山野井・藤田: 複合土砂災害シミュレータ SiMHIS を用いた山間地域における土砂災害の警戒避難情報の提供に関する一考察, 砂防学会誌, 69巻, 6号, pp.15-23, 2016
- 野呂ら: 常願寺川における単位河道モデルによる水・土砂流出解析と適用性に関する試行, 2020年度砂防学会研究発表会概要集, R1-035, 2020
- 山崎ら: 常願寺川流域における単位河道モデルを用いた平時・異常時の土砂流出と下流へのインパクト評価の試行 その2, 2025年度砂防学会研究発表会概要集, R7-010, 2025