

長期的な土砂流出に対する1次元河床変動計算例

株式会社建設技術研究所 ○柳崎剛, 西口幸希, 羽田野英吾, 速見智, 高橋佑弥, 村上正人
国土交通省 国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室 坂井佑介, 高橋源貴, 山越隆雄

1. はじめに

近年, 土砂災害による被害の防止・軽減に資する効果的・効率的な砂防施設配置とそれを評価するための費用対効果分析方法の検討¹⁾が多く行われている。そして, 砂防施設による被害の防止・軽減効果として, これまでは豪雨時における土石流や土砂・洪水氾濫, 災害後の中期的な土砂流出に対する評価を進められてきた。一方で, 長期(土砂流出継続期)土砂流出に対する砂防施設の評価^{2) 3)}は, 必ずしも進んでいない。

本研究では, 将来的に土砂・洪水氾濫対策や中期土砂流出対策と一体となって長期土砂流出対策を計画することを念頭に, 土砂・洪水氾濫対策や中期土砂流出対策の策定に用いられる流域モデルを活用して, 長期(10年間)の土砂流出に対する1次元河床変動計算の再現性を検証した結果と課題について報告する。

2. 1次元河床変動計算モデルの概要

本研究では, 1次元河床変動計算モデルとして以下のモデルを用いた。

- ・流れの計算: 1次元不等流計算
- ・掃流砂量式: 芦田・高橋・水山式
- ・浮遊砂量式: レインカリンスキー式

1次元不等流計算では, 射流区間における計算の安定化と精度向上のため, 運動量の項にフルード数に応じたサプレッションファクター(緩和係数)を設けて, 射流区間の水深をフルード数に応じて近似的に算出する計算モデル⁴⁾を用いた。

対象とする常願寺川流域の計算モデル概要図を図1に示す。計算モデルは, 5km²以上または河床勾配10度以上を計算上流域(黄色), すべての支川を支流域(濃緑色)とし, さらに残流域(薄緑色)で構成される。上流端と支流域からは水と土砂を, 残流域からは水のみを供給するものとした。

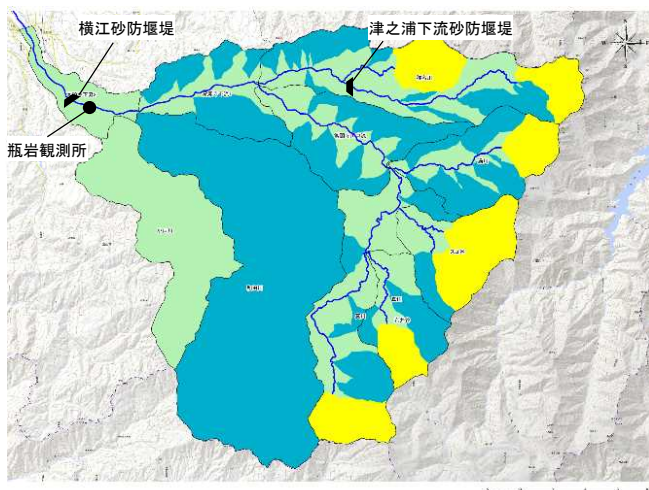


図1 計算モデル概要図（常願寺川流域）

3. 再現計算の実施と再現性の検証

3.1 再現計算の条件設定

測量成果, 生産土砂量, 河床材料, 流量等のデータ存在状況と, 土砂生産が少なく河床が比較的安定して

いる時期であることを念頭に, 平成21年1月より平成30年1月までの10年間を再現期間として設定した。長期的な土砂流出を再現するにあたり主要な計算条件を以下に示す。

1) 生産土砂量

H5～H21の空中写真判読結果に基づく年平均新規・拡大崩壊土砂量156(千m³/年)より, 10年間の総生産土砂量を156万m³とし, 流域ごとの生産土砂量は崩壊面積比率で按分して設定した。

2) 河床材料の粒径

H21の河床材料調査結果に基づき設定した。再現計算において, 常願寺川河口から36km地点より上流域では現地の河床に1～2mの巨礫が存在しているが, 調査結果に反映されていないため, 1～2mの巨礫を20%混入した粒度分布を作成した。

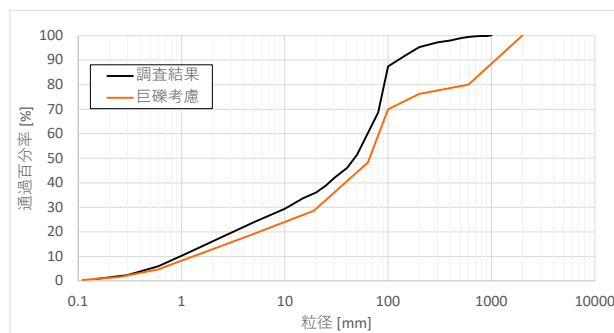


図2 河床材料の粒度分布

3) ハイドログラフと足切り流量

ハイドログラフは, 長期的な土砂移動現象を表現するため, 土砂移動に寄与しないと考えられる出水期間を足切りすることとした。瓶岩観測所の日平均流量を対象に足切り流量を上回る日を選定し, その日の時間流量を流域面積按分して用いた。足切り流量には, 縦断特性より中流域を代表する津之浦下流砂防堰堤を選定し, この地点の河床条件(勾配・川幅・粗度係数)と平均粒径を条件として, 岩垣式を用いて土砂の移動限界流量を算定して用いた。

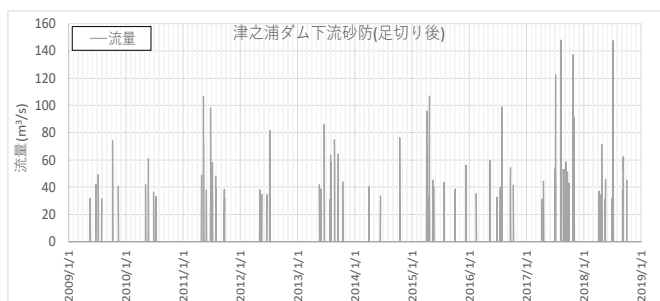


図3 足切り後のハイドログラフ

4) 施設効果

施設効果は, 計算河道区間外に位置する砂防堰堤, 床固工, 治山堰堤, 山腹工のかん止量を集計し, 河道外かん止量として用いることとした。施設効果を見込

む場合の流入土砂量は、再現期間 10 年間の流入土砂量から流域内の施設効果を差し引くこととした。

3.2 計算結果と再現性の評価

1) 評価指標

再現性の評価のため、河床変動高と流出土砂量の 2 つの指標を設定した。河床変動高は、H21～H30 の LP 測量データの差分から推定した。流出土砂量は、計算期間に最も近い期間の堆砂測量成果より七郎砂防堰堤の年平均堆砂量を算定し、10 年間の流出土砂量を 11.8 万 m^3 と推定した。

2) 計算結果

再現計算結果より、常願寺川の河床変動および流出土砂量の縦断変化を図 4 に、七郎砂防堰堤地点における 10 年間の流出土砂量の計算値と実績値との比較図を図 5 に示す。

縦断形状（河床変動高）は一部の過剰な堆積箇所を除き、実績と概ね一致する。計算の七郎砂防堰堤の流出土砂量は 28 万 m^3 （空隙込み）であり、実績の 11.8 万 m^3 より大きい。実績の流出土砂量は、施工後満砂するまでの年数から、「貯砂量/満砂するまでの年数」で推定したものであり、浮遊砂として下流に流出した土砂は含まれていないと考えられる。したがって、浮遊砂として流下すると考えられる 0.055mm の土砂を除いた計算の流出土砂量は 22 万 m^3 であり実績により近くなる。

なお、河床変動計算の結果、実績では堆積していないにも関わらず、堆積が顕著にみられる箇所が複数みられた。これらの不整合は、①堰堤の上流で勾配が変化する箇所では計算ではより急勾配に堆積した、②堰堤直下の深掘れや自然河道の局所的な窪地を均すように平衡勾配で堆積した、ことによると考えられた。①については堰堤直上では河床材料が周辺に比べて細かい場合があり、堰堤直上では動的平衡勾配が緩くなるために、地形の勾配変化がみられる可能性がある。河床変動計算でも実態に合わせて堰堤直上の河床材料を周辺と区別して細粒化することで、実態を再現できる可能性がある。②については、不等流計算では平衡流砂量の差が堆積するため、窪地には土砂が堆積するような計算を行うこととなる。したがって、計算地形作成の段階で、局所的な窪地の箇所の妥当性を精査する必要がある。現地状況より窪地と判断される場合は、再現対象外とすることが考えられる。

4. おわりに

- ①土砂・洪水氾濫対策等と一体となって長期土砂流出対策を計画することを念頭に置き、土砂・洪水氾濫等で用いた流域モデルを用いて、足切り流量の設定、施設効果（かんし量）などを反映することにより、10 年間の河床変動高および流出土砂量の再現性を検証した。
- ②堰堤上流の勾配変化点において、実績より堆積しやすい傾向にあった。堰堤上流の粒径が周辺に比べて小さい可能性があるため、現地の粒度分布を河床材料に反映することで堆積箇所の動的平衡勾配が緩くなり、実績に近くなる可能性がある。したがって、堰堤上流の粒径の変化を把握することが重要である。一方、上流域では実績に対して侵食傾向を示したが、巨礫を考慮することにより侵食が緩和された。巨礫を含めた粒度構成を現地で確認して精度向上を図ることも重要と考えられる。
- ③本研究では、供給土砂量の設定に、新規拡大崩壊の

土砂量以外に平常時に継続的に流出する土砂が考慮されていないため、流砂量観測等の活用により精度向上を図る必要がある。

謝辞 本研究では、国道交通省北陸地方整備局立山砂防事務所よりご提供いただきました資料、データを使用させていただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば 砂防事業の費用便益分析マニュアル(案)、令和 3 年 1 月、国土交通省水管理・国土保全局砂防部
- 2) 水山ら：砂防ダム群による土砂流出調節効果の検討、土木技術資料、Vol.29, No.9, pp.459-464, 1987
- 3) 栗原ら：常願寺川の河床変動とその制御に関する研究、砂防学会誌、Vol.45, No.5, pp.3-10, 1993
- 4) 福岡ら：数値解析と大規模水理模型実験を組合せた九州北部豪雨の河道計画立案と合意形成、河川技術論文集、第 26 巻、2020

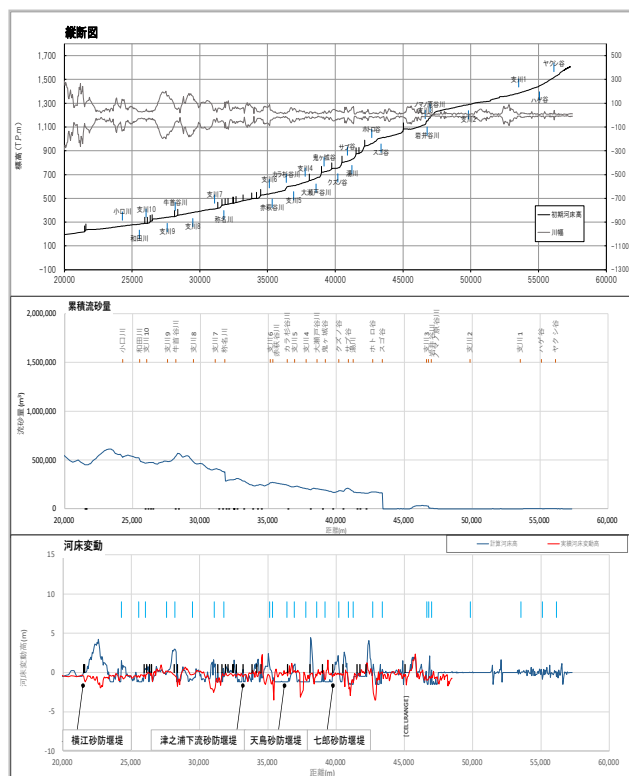


図 4 河床変動および流出土砂量の縦断変化

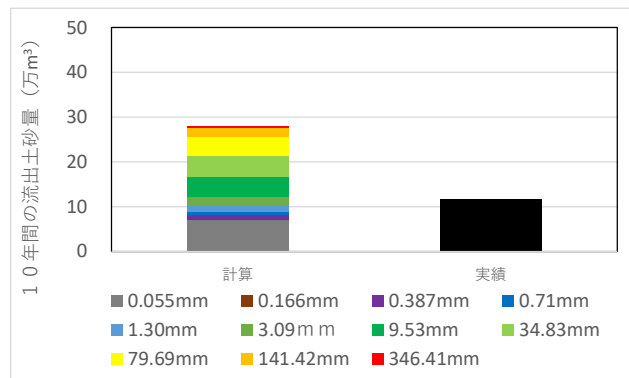


図 5 10 年間の流出土砂量（七郎砂防堰堤）