

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

北陸地方整備局 立山砂防事務所 野呂 智之, 宮下 優
日本工営(株) ○中西 隆之介, 長山 孝彦, 古谷 智彦, 松田 悟, 伊藤 隆郭
京都大学防災研究所 藤田 正治, 山野井 一輝

1. 結論: 山地河川における流水・流砂の観測が全国的に実施されており¹⁾, 砂防領域からの土砂流出量の把握が進んできている。常願寺川上流域においても掃流砂やウォッシュロードの連続的な観測が実施されており, 解析との組み合わせによる土砂流出の検討²⁾が実施されている。しかし, 降雨流出及び土砂生産ポテンシャルの検討が不十分であり, 出水状況に応じた土砂流出の再現には至っていない。

そこで, 常願寺川流域の土砂流出状況の再現及び単位河道モデルの適用性の検討を目的とし, 2019年の降雨を対象に, 水・土砂流出解析を試行的に実施し, 観測データとの比較を行った。

2. 解析モデルの設定: 水・土砂流出解析に用いたのは, 江頭・松木の単位河道・単位斜面モデル³⁾を基礎とする数値計算モデル⁴⁾である。対象流域は本宮砂防堰堤を下流端とする特徴の異なる3支流が上流域に位置する常願寺川上流域である(図-1)。

2.1 河道モデルの構築: 各支流の土砂流出状況に基づき, 土砂流出が活発な支流ほど集水域を細かく区分し, 単位河道及び単位斜面を設定した。モデル構築には基盤地図情報の10mDEMを用いた。本解析モデルでは単位河道の川幅をレジーム則により算定する。本宮砂防堰堤では2014年から2019年の期間に, 毎年凡そ400m³/s規模のピーク流量が確認されているため, $Q=400\text{m}^3/\text{s}$ と仮定し, 下記の式より川幅(B_i)を決定した。

$$B_i = \alpha \sqrt{Q \times (A_i / A_{total})}$$

ここに, i : 単位河道の番号, α : レジーム係数(=5), B_i : 川幅, Q : 本宮の出水時のピーク流量(=400m³/s), A_i : i 番の単位河道の集水面積(m²), A_{total} : 本宮砂防堰堤の集水面積(m²)である。

2.2 降雨流出応答の解析: 土砂流出状況を再現するために重要な要素の一つが, 降雨流出の再現性である。2019年の初期河床材料のデータがないため, 河床状況を安定させる期間として予備計算期間を設け, 各年の降雨に対する解析パラメータを決定した。

- ①予備計算期間: 2016-2018年
- ②水・土砂流出解析期間: 2019年

本解析モデルにおける降雨流出はHorton型の多層モデルにより計算される。千寿ヶ原の降雨観測データ(1時間単位)を使用し, 観測流量と解析流量が整合するように各パラメータを調整した。その結果, 出水時のピーク流量及びタイミングが概ね再現された(図-2)。降雨流出応答解析により, 表-1に示す解析パラメータが得られた。

表-1 解析パラメータ

解析に用いたパラメータ	2016-2018	2019
斜面上層の厚さ(m)	0.2	0.2
斜面下層の厚さ(m)	0.55	0.5
斜面上層の浸透係数(m/s)	0.5×10^{-3}	0.5×10^{-3}
斜面下層の浸透係数(m/s)	0.2×10^{-4}	0.2×10^{-4}
損失雨量(mm/hr)	0.5×10^{-4}	0.5×10^{-5}
斜面のマニングの粗度係数(m ^{-1/3} s)	0.3	0.3
流路のマニングの粗度係数(m ^{-1/3} s)	0.05	0.05
有効降雨係数	0.75~0.95	0.7
河床交換層厚さ(m)	1.3	
河床堆積層厚さ(m)	1.3	

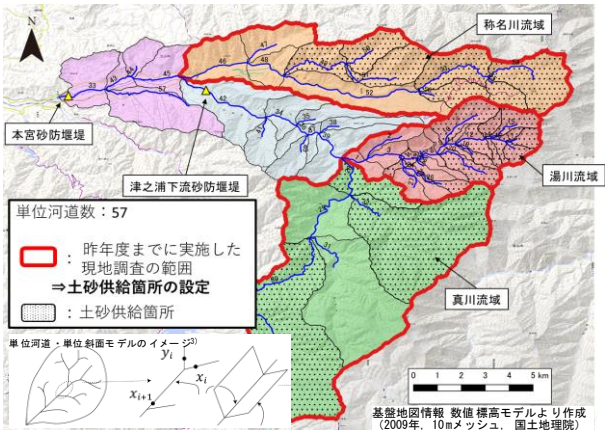
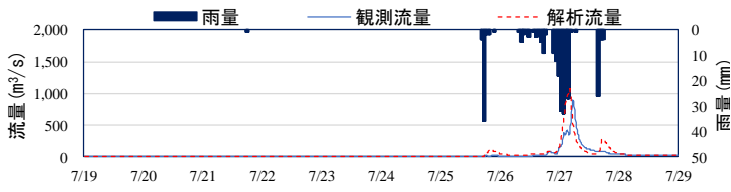
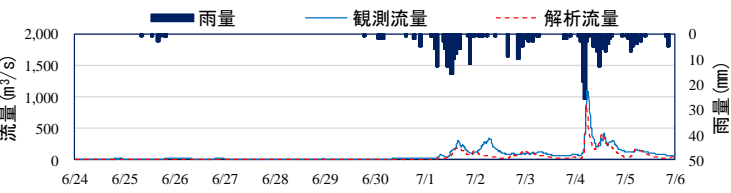


図-1 対象流域(常願寺川上流域)

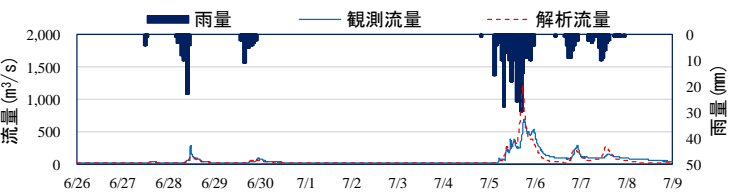
図中には既往調査に基づき設定した土砂供給箇所を示す。



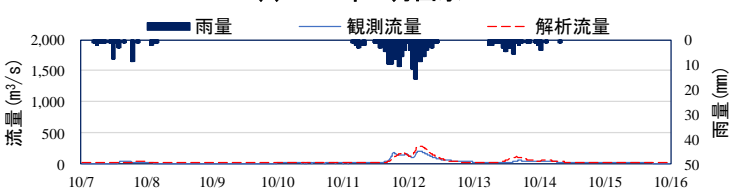
(a) 2016年7月出水



(b) 2017年7月出水



(c) 2018年7月出水



(d) 2019年10月出水

図-2 各年の代表的な出水の降雨流出応答の例

3. 予備計算による土砂生産ポテンシャルの推定：常願寺川上流域の土砂生産ポテンシャル（比堆砂量）を推定するため、複数ケースで予備計算を行い、上流域からの土砂供給と下流端（本宮砂防堰堤）の土砂流出が動的平衡状態となる条件を求めた。その結果から、予備計算後の河床材料の粒度分布を水・土砂流出解析の初期条件とし、最適な比堆砂量を供給土砂量の設定へ反映させた。

3.1 土砂生産ポテンシャルの検討：土砂生産ポテンシャル（比堆砂量）の算定には、以下の手法を用いた。

手法 A：流域面積と比堆砂量の関係⁵⁾

手法 B：ダム貯水池に着目した手法⁶⁾

手法 C：流域地形に着目した手法⁷⁾

各手法の計算結果を表-2 に示す。手法 A の計算結果は、常願寺川本川の堰堤の堆砂量の調査データに基づいており流出する土砂は多いと推測されるため、本検討から除外した。手法 B・C の算定結果から、対象流域の比堆砂量は凡そ 10 の 3 乗オーダーと想定される。

3.2 予備計算の結果：予備計算における供給土砂量として、比堆砂量($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$)①1,500、②3,000、③6,000 の 3 ケースを想定した。2016/1/1～2018/12/31 を対象とした 30 年分の繰り返し計算とし、土砂は単位斜面の面積に応じて 1 年毎に河道に供給した。周期境界条件として河床高は 1 年毎に初期状態に戻し、河床材料の粒度分布は引き継いで計算した。計算に用いた河床材料及び供給土砂の粒度分布を図-3 に示す。粒度分布は津之浦下流砂防堰堤の現地河床材料を基に設定した。図-4 の結果より、ケース①が対象流域に最適であると判断した。

4. 2019 年を対象とした水・土砂流出解析：2019/1/1～2019/12/31 を対象に、水・土砂流出解析を実施した。また、数値計算結果と津之浦下流砂防堰堤で観測した掃流砂量及び浮遊成分量との比較検討を行った。

表-3 に数値計算結果と観測値の月別集計を示す。観測値の掃流砂量はハイドロフォンによる観測、浮遊成分量は濁度計による観測で得られたものである。2019 年に確認された比較的大きな出水イベントは 8/22、8/28、10/12 に発生した出水が挙げられる。津之浦下流砂防堰堤の観測値からは、掃流砂の流出は 10 月が最大であったと推測される。計算結果においても 10 月の掃流砂量が最も多く、土砂量のオーダーが 10 の 3 乗であり、観測した出水状況にも整合している。浮遊成分については、計算結果の浮遊砂量、ウォッシュロード量のどちらも整合しないが、1 年間で 10 の 4 乗オーダーの土砂流出であるという点においては観測値と整合する結果となった。

5. 結論：単位河道モデル用いた水・土砂流出解析から、概ね出水状況に応じた掃流砂量の再現が可能であることが明らかとなった。浮遊成分量についても、2019 年の年間流出量のオーダーは一致する結果が得られた。降雨流出応答の再現性の向上や土砂生産ポテンシャルを解析的に検討したことで、数値計算による土砂流出状況の再現性も向上している。一方、浮遊成分に関しては流出時期が整合しないため解析モデルの改良、浮遊砂の実態把握等を視野に入れてさらに検討していく必要がある。

参考文献：1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、国総研資料第 887 号、2016、2) 古谷智彦ら：平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集、66、6-7、2017、3) 江頭進治ら：水工学論文集、44、735-740、2000、4) 山野井一輝ら：土木学会論文集 B1 (水工学)、Vol. 70、No. 4、I_925-I_930、2014、5) 芦田和男：京大防災研究所年報第 17 号 B、558、1974、6) 吉良八郎：農業土木学会論文集、78、16-23、1978、7) 岡野ら：平成 14 年度ダム水源地環境技術研究所所報、31-37、2003。

表-2 土砂生産ポテンシャルの計算結果

手法	比堆砂量($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$)
A	250
B	4,280
C	湯川流域：5,050 真川流域：1,260 称名川流域：2,410

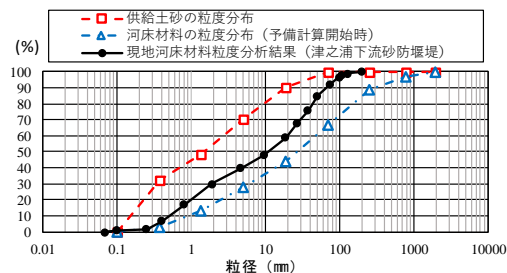
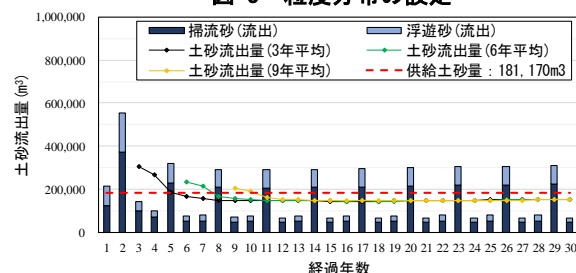
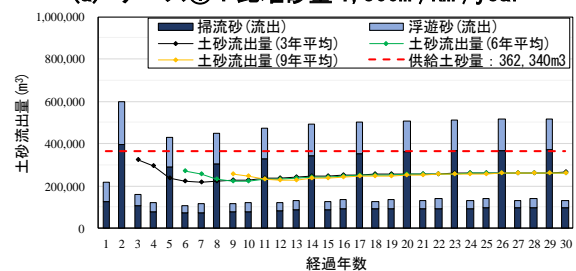


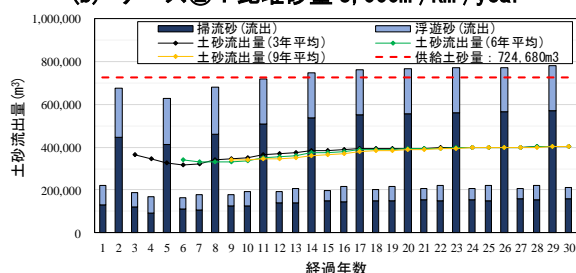
図-3 粒度分布の設定



(a) ケース①：比堆砂量 1,500 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$



(b) ケース②：比堆砂量 3,000 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$



(c) ケース③：比堆砂量 6,000 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$

図-4 予備計算の結果（本宮砂防堰堤）

表-3 月別の流砂量観測結果（左）及び数値計算結果の比較（右）（津之浦下流砂防堰堤）

津之浦下流 砂防堰堤	観測値 (m^3)		計算結果 (m^3)		
	掃流砂量	浮遊成分量	掃流砂量	浮遊砂量	ウォッシュロード量
2019年1月	19	0	0	0	0
2019年2月	35	0	0	2	38
2019年3月	10	欠測	0	178	8,270
2019年4月	0	欠測	0	200	5,520
2019年5月	6	431	0	226	708
2019年6月	12	2,525	2	1,839	3,563
2019年7月	2	151	50	1,398	2,720
2019年8月	280	3,204	672	1,286	1,264
2019年9月	7	0	0	551	697
2019年10月	1,347	7,371	2,360	3,810	1,834
2019年11月	21	331	0	268	28
2019年12月	0	52	0	788	46
合計	1,739	14,065	3,084	10,548	24,687