

水及び土砂の供給のタイミングが河床変動に及ぼす影響

国土技術政策総合研究所 ○ 丹羽諭、内田太郎、蒲原潤一
立命館大学 里深好文

1. はじめに

山地河道において、降雨による土砂流出が発生するタイミングは、空間的にも時間的にもばらつきが大きいと予想されるが、実際にそれらが把握された事例は少ない。一方、今までの河床変動計算では、上流端からの土砂供給条件に平衡流砂の条件が設定されることが多く、土砂供給のタイミングの影響¹⁾や河床変動の時間変化に着目した事例は少ない。そこで本研究では、レーザープロファイラによる土砂収支の把握、ハイドロフォンなどによる直接観測、ビデオ画像から実際の土砂動態について把握を試みるとともに、砂面計による時系列の河床変動の観測値と計算値を比較することにより、上流端からの土砂供給のタイミングと河床の侵食条件が結果に及ぼす影響について考察した。

2. 調査地

本研究では、富士川水系早川の支川の春木川(図1および図2)で発生した大規模土砂流出を対象とした。春木川の集水面積は20.9km²で、河床勾配は春木川第二砂防堰堤より上流で約10°、早川との合流点で約2°である。春木川ではH23年の台風6号、台風12号、台風15号、H24年の台風4号によって約65万m³の土砂流出が生じた。大春木沢の崩壊地からの供給土砂量は100万m³以上で、流域全体の生産土砂量の8割以上を占める。春木川では、春木川第一砂防堰堤(以降、第一堰堤)と春木川第二砂防堰堤(以降、第二堰堤)等で、富士川砂防事務所により流砂水文観測およびビデオ撮影が実施されていた。

3. 土砂移動実態に関する分析

表1は、富士川砂防事務所により実施された調査結果を基に土砂流出状況の概要を整理した表である。H23年の台風6号では、第二堰堤から上流の砂面計観測値やビデオ画像から、土砂生産域から第二堰堤付近の領域に影響が大きい出水であったと考えられた。台風12号では、大春木砂防堰堤から第二堰堤下流の砂面計(No.1-6)でも顕著な河床変動が観測されたことから、台風6号より影響が大きい出水であったと考えられた。台風15号では、観測機器の流出や立木の流出から、ピーク時の影響は最も大きかったと考えられた。砂面計の観測値(図4)は、1時間雨量が20mmを越えた時間から応答を開始し、累積雨量が300mm~400mmを超える時間から急激な堆積傾向を示した。また、土砂生産域に近い大春木砂防堰堤に設置されたビデオ画像からは、堰堤の前法位置における堆砂面が洪水に何度も侵食と堆積を繰り返す様子が確認された。これらの事実から、1出水の中でも不連続に土砂が供給されていることが予想された。

4. 河床変動計算による土砂供給条件の感度分析

4.1 支配方程式

支配方程式には中川らの式²⁾を基本とした次元単粒径モデルを用い、河床せん断力と平衡濃度の不連続を解消するための鈴

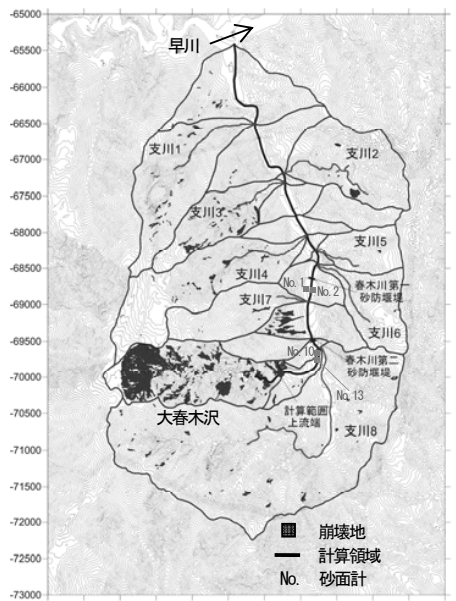


図1 春木川流域

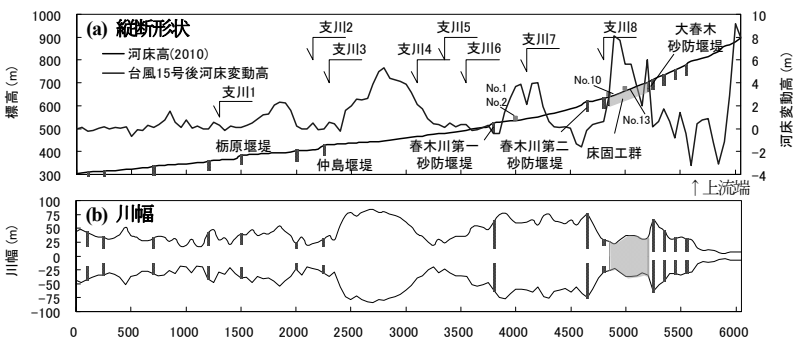


図2 春木川の縦断形状と川幅

表1 観測項目と応答傾向

観測項目	出水	H23			H24
		台風6号	台風12号	台風15号	台風4号
上流↑	大春木堰堤ビデオ	複数の堆積・侵食	多数の堆積・侵食 発達した土石流	発達した土石流により 顕著な堆積	観測なし
	砂面計 No.10-13	2m以上堆積(4本) 最大6m堆積(No.11)	3m堆積(No.10) 4m侵食(No.13)	2m侵食・堆積(No.1) 2m堆積(No.2)	応答なし
	第二堰堤 流砂水文観測 ビデオ	砂面計堆積とほぼ同時 刻にハイドロフォン観測 不能(埋没?) 目視で河床変動あり	ハイドロフォン観測不能 (常に埋没?)	観測機器流出	観測なし
	砂面計 No.1-6	変動小	堆積	2m侵食・堆積	応答値が継続的でない
下流↓	第一堰堤 流砂水文観測 ビデオ	ハイドロフォン応答値小	ハイドロフォン観測不能 (常に埋没?)	観測機器流出 堆砂域全幅で流動	観測なし
	春木川合流点 ビデオ	洪水流量は台風12号より 小さい	砂州の立木が流出 (1本の流出を確認)	砂州の立木が丸ごと流出	観測なし

■セルは参考とできない項目、太字は影響が大きい項目

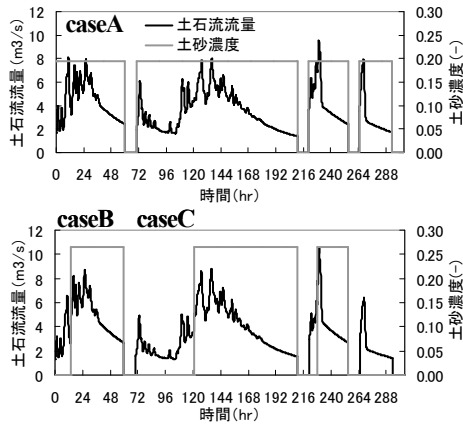


図3 上流端土石流ハイドログラフ

木らの処理³⁾を適用した。適用モデルは、平衡濃度 c_0 と流れの土砂濃度 c の大小により侵食と堆積が決定される。このとき、土石流状態の侵食判定は、河床面のせん断力 τ がせん断強度 τ_L を上回ることと等価となる。既存研究⁴⁾では、さらに粒径 d の深度における τ が τ_L を上回る条件を加えて侵食が議論されている。下記に河床面下 $z=d$ における τ と τ_L の算定式を示す。式中の記号は、重力加速度 g (m/s^2)、河床勾配 θ (deg)、堆積土砂濃度 c_* (-)、流れの土砂濃度 c (-)、粒径 d (m)、水深 h (m)、内部摩擦角 ϕ_s (deg)、砂礫密度 σ (kg/m^3)、流体密度 ρ (kg/m^3)である。この条件を考慮する場合、侵食時に $\tau \leq \tau_L$ の条件で侵食速度 E をゼロとすればよい。

$$\tau = g \sin \theta \{ (ch + c_* d)(\sigma - \rho) + (h + d)\rho \} \quad (1) \quad \tau_L = g \cos \theta \{ (ch + c_* d)(\sigma - \rho) \} \tan \phi_s \quad (2)$$

4.2 計算条件の設定

計算グリッドには図2に示す河床標高と川幅を50mピッチで設定し、上流端を最上流の砂防堰堤の位置とした。水の供給条件として、解析雨量を入力値(流出率0.75)とした単位図法により第一堰堤の水位を再現できる単位図を設定し、その条件で各領域のハイドログラフを決定した。計算対象時間は、砂面計が応答している時間帯とした。集水面積が $0.5km^2$ 以上の支川からは合流点最寄りの計算点から側方流入させ、残流域からは該当する計算点に流量が均等配分されるよう側方流入させた。

水の供給条件を固定し、土砂供給のタイミングと河床侵食条件を変更した3ケースを実施した。図3に設定した土石流ハイドログラフを示す。caseAは上流端における実績通過土砂量および支川からの流入土砂量を全時間に割り振ったケース、caseBはH23年の3つの台風に対して砂面計の観測値が堆積傾向を示した時間以降に実績通過土砂量を割り振ったケース、caseCはcaseBに対して侵食条件⁴⁾を追加したケースである。caseBとcaseCの支川からの土砂供給条件として、流量ピークの時間帯に支川下流端勾配から算定される平衡濃度で実績流入土砂量を投入した。

4.3 計算結果

図4に台風6号と台風12号における砂面計の観測値と対応する計算点の河床変動の時間変化を示す。caseAは河床変動の時間変化は滑らかで、台風6号や台風12号で見られる堆積高の時間変化を再現することはできなかった。caseBでは水のみが供給される台風12号の9/1~9/3にNo.10やNo.13地点で顕著な侵食傾向が現れた。caseCでは侵食制限を導入したことにより、計算開始から堆積開始前の河床変動の傾向が、観測値に近づく傾向となった。

5. おわりに

本研究では春木川の大規模土砂流出に対して、土砂動態の実態整理と土砂供給タイミングと侵食条件を変化させた感度分析を実施した。ビデオ画像等からは1出水の中でも土砂が不連続に供給されていたことが予想され、河床変動計算からは土砂供給のタイミングが考慮されないと、実際に砂面計で観測された河床変動の時間変化は再現されないことが明らかになった。また、土砂供給タイミングと侵食条件は、河床変動の時間変化に大きく影響することが示された。今後、より詳細に観測結果を分析し、土砂動態の詳細を把握するとともに、河床変動計算を用いて、現象の再現、予測計算手法の提案につなげていきたい。

参考文献

- 1) 栢木敏仁・水山高久・佐藤一幸・村上正人 (2007) : 土砂生産のタイミングを考慮した土砂生産・流出に関する研究、砂防学会誌、Vol.59、No.5、p.15-22
- 2) 中川一・高橋保・里深好文・川池健司 (2001) : 1999年ベネズエラのカムリグランデ流域で発生した土砂災害について—数値シミュレーションによる再現と砂防施設配置効果の評価—、京都大学防災研究所年報、第44号 B-2、p.207-228
- 3) 鈴木拓郎・内田太郎・岡本敦 (2013) : 土砂移動シミュレーション手法における輸送形態の遷移に伴う不連続性の解消に関する研究、砂防学会誌、Vol.66、No.2、p.21-30
- 4) 高橋保 (1977) : 土石流の発生と流動に関する研究、京都大学防災研究所年報、第20号 B-2、p.405-435

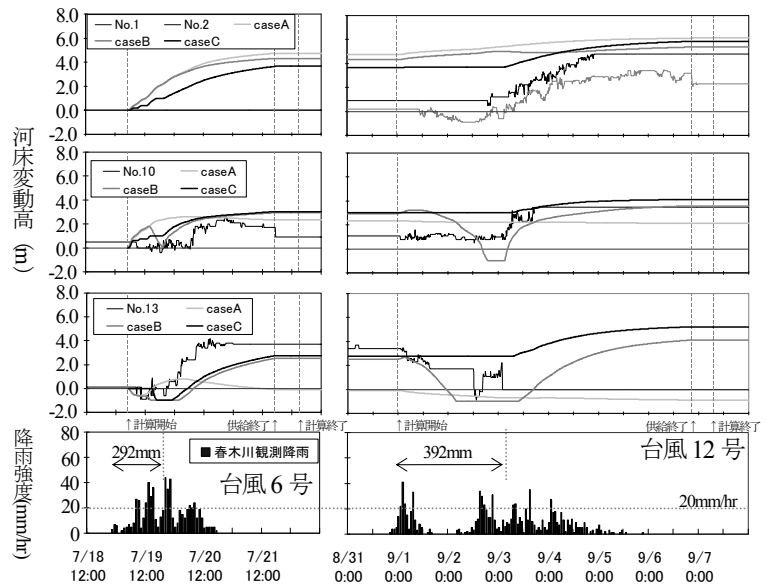


図4 砂面計による観測値と河床変動計算の河床変動高