

豪雨時の山地河川における流れ幅の実態と河床変動計算上の流れ幅の取扱いに関する研究

国土防災技術株式会社 ○ 丹羽諭 国土技術政策総合研究所 内田太郎、蒲原潤一（現：長野県）
 富士川砂防事務所 守谷武史（現：高崎河川国道事務所）、光永健男（現：高知県） 立命館大学 里深好文

1. はじめに

山地河川では、大規模な土砂流出が発生した溪流や堰堤堆砂域では、土砂堆積により河床が上昇し、100 mを超えるような広い幅で河床変動が生じる箇所がある。このような広い幅で河床変動が生じる箇所では、出水の全期間において土砂・水が全幅に広がって流下しているとは考えにくい。一方、次元計算により、既往災害に対する再現計算や将来の土砂流出予測計算を行う場合、空中写真から判読した谷幅を河床変動計算における流れ幅に設定する事例は多い。この流れ幅の設定方法では、水深（掃流力）と流砂量が過小評価されることが懸念される。それに対し、一部の研究には、レジーム則を用いて流量に応じて流れ幅を逐次評価する事例^{例）}がある。しかしながら、レジーム則の妥当性、レジーム則を用いたことによる影響については十分に検討されてきていない。

本研究では、出水前後のLiDAR データや CCTV 画像の時系列データが得られた富士川水系春木川を対象として、流路変動と流れ幅の実態を調査するとともに、河床変動計算における流量に応じた流れ幅の評価¹⁾が、計算結果に及ぼす影響について調査した。

2. 調査方法

調査地は、山梨県南巨摩郡にある富士川水系の春木川流域(図-1)である。春木川は、集水面積が20.9 km²、河床勾配は、早川合流点で約2°、大春木沢末端で約10°、タル沢末端で約4°であり、大春木沢の源頭部に七面山崩れが存在する。本研究では、2011年の台風6号、台風12号、台風15号、2012年の台風4号によって発生した大規模土砂流出を対象とした。

流路変動の実態調査として、大春木砂防堰堤の CCTV 画像から水通しの越流範囲を判読した。また、洪水時の流路幅の実態調査として、横断形状と洪水流量を使用した等流計算を行い、河床変動幅と等流計算による流れ表面幅を比較した。等流計算には、第一堰堤における台風12号の推定ピーク流量69 m³/sを各断面で面積按分した値と、台風15号後のLiDARデータによる横断形状を用い、20 m間隔で評価した。なお、砂防堰堤、除石による地形変更、タル沢合流点の近傍のデータは除外した。

河床変動計算には、高橋モデルを基本とした鈴木らの手法²⁾を用いた。流れ幅と河床変動高の取扱いについては、既往研究¹⁾による下式に倣い、流れ幅をレジーム則により計算ステップごとに評価し、谷幅で均等に河床変動させた。式中の記号は、 B は流れ幅、 B_{max} は谷幅、 α はレジーム則の係数、 Q は流量、 z は河床標高、 S_f は侵食速度である。計算ケースは、流れ幅をレジーム則で評価するケースと、横断測定の調査幅で流れ幅を一定値として取り扱うケースの2ケースとした。 α の設定は、春木川第一砂防堰堤（以降、第一堰堤）の2011年台風6号、台風12号、台風15号の CCTV 画像によった。具体的には、流れが水通し幅30 mに達した時刻の流量値と水通し幅30 mを下式に代入し、 α を逆算した。その結果、 $\alpha = 5 \sim 10$ の範囲となったため、中間値を採用して $\alpha = 7.5$ とした。土砂供給条件と侵食条件は、著者ら³⁾の計算事例から、河床変動の時間変化が再現される条件とした。

$$B = \min(B_{max}, \alpha \sqrt{Q}) \quad , \quad \frac{\partial z}{\partial t} = - \frac{B}{B_{max}} S_f$$

3. 調査結果

3.1 堰堤水通しの越流範囲の時間変化

2011年台風12号で顕著な土砂流出が観察された9/3の7:00~9:00の時間帯において、大春木砂防堰堤の水通しにおける越流範囲の判読結果を図-2に示す。図中のY=0は右岸側、Y=20は左岸側の袖の位置を表す。黒色のハッチング範囲は堰

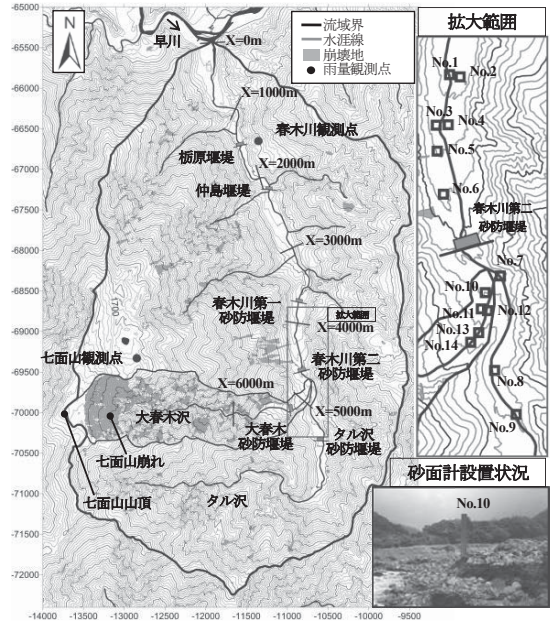


図-1 春木川流域

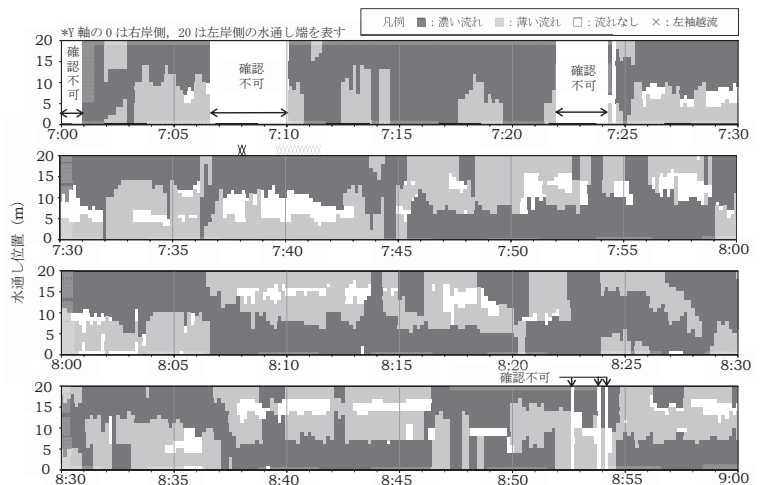


図-2 大春木砂防堰堤の水通しにおける越流範囲

堤上流側から流れが連続し、土砂・水が凸形状を成して越流していた黒色の濃い流れ、灰色のハッチング範囲は堰堤上流側に流れは連続せず、流動表面がフラットで相対的に色の薄い流れ、白色は流れの無い範囲を表す。グラフ中の×印は、左袖で越流が確認された時間帯である。水通し全体で越流する時間は少なく、濃い流れは、7:00～7:45 は左岸側、7:45～7:59 は右岸側、7:59～8:06 は左岸側、8:07～8:27 はおおむね右岸側、8:31～8:36 は左岸側、8:37～8:46 は右岸側、8:55～9:00 は右岸側に偏る。よって、土砂流出が活発な時間帯には、10 分から 45 分以内の間隔で越流範囲の偏る方向が変化し、1 分程度で流れの偏りが変化したことがわかる。

3.2 河床変動幅と洪水ピーク流量の流れ幅

図-3 に台風 6 号、12 号、15 号によって生じた河床変動幅と等流計算流れ表面幅の比較を示す。仲島堰堤～第一堰堤 (○) では、河床変動幅の増加とともに等流計算流れ表面幅が増加する傾向となった。第一堰堤～第二堰堤 (×)、および、大春木沢 (△) では、等流計算流れ表面幅の変化は小さく、河床変動幅が大きい箇所ほど、流量ピーク時であっても流れ幅が河床変動幅に達していなかった可能性は高い。

3.3 流れ幅評価方法の違いが計算結果に及ぼす影響

図-4 に河床変動計算による台風 15 号後の河床変動高と台風 4 号後の流出土砂量の計算結果を示す。計算ステップごとに流れ幅をレジーム則で評価したケースは、計算領域全体で堆積形状が一致し、流出土砂量は実績の 8 割となった。流れ幅を横断測量の調査幅の一定値としたケースでは、上流端から 1 km の範囲に土砂を過大に堆積させ、その影響で、流出土砂は実績の 5 割となった。過大堆積の原因には、流れ幅を一定値としたケースでは、水深が過小評価され、それに伴い、掃流砂の平衡濃度を過小評価したことが挙げられる。

4. 豪雨時を対象とした河床変動計算における流れ幅の取扱いに関する考察

図-2 より、洪水対象期間 (1 日～) と比較して、越流範囲が変化する周期 (10 分から 45 分) は短いため、谷幅で均等に河床変動させる方法は、堆積傾向が顕著となる土砂流出現象に対して有効と考えられた。しかし、CCTV 画像からは、侵食時に流路変動は生じない傾向が確認されており、侵食傾向が顕著な洪水への適用には留意が必要と判断された。河床変動計算では、大量の土砂生産が生じ領域に多く土砂を堆積させる現象を対象としたため、良好な再現性が得られたと考えられる。侵食、堆積が繰り返されるような現象を対象とした場合、流れ幅や河床変動の取扱いには工夫が必要である。

流れ幅の評価にはレジーム則を適用し、全計算点に $\alpha = 7.5$ の一定値を設定した。それに対し、図-3 のプロットに使用したピーク流量と等流計算流れ表面幅の関係をレジーム則の係数で表現すると、 $x=3000$ より上流では約 3.0、 $x=3000$ より下流では約 10 となり、箇所によって異なる傾向を示した。本検討の結果は、一般的なレジーム係数の範囲⁴⁾ 3.5～7.0 と比較して 1 オーダー以内ではあるが値が異なっており、今後の課題として要因分析と流れ幅の適切な評価方法の開発が挙げられた。

5. おわりに

本研究では、春木川流域を対象に、豪雨時の流路変動と流れ幅についての実態、既往の河床変動計算における流れ幅の評価方法が計算結果に与える影響について調査した。その結果、広い幅で河床変動が生じる箇所では、流れ幅が河床変動幅に満たない可能性が高いこと、土砂流出が活発な時間帯には 10 分から 45 分以内の間隔で流路変動することが分かった。また、河床変動計算にレジーム則を用いた流れ幅の評価、谷幅で均等な河床変動の評価を適用することで、大規模な土砂流出現象の再現性が向上することがわかった。

参考文献

- 1) 福田克之, 松本清則, 谷口和哉, 椿下康之, 清水幹輝, 水山高久 (2002) : 出水中におけるスリット砂防堰堤の土砂流出調節に関する研究—黒部川流域祖母谷支川を対象として—, 砂防学会誌, Vol.54, No.6, p.25-34
- 2) 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河床に関する研究, 砂防学会誌, Vol.66, No.2, p.21-30
- 3) 丹羽諭, 内田太郎, 蒲原潤一, 里深好文 (2014) : 土砂精算のタイミングが河床変動に及ぼす影響に関する数値計算, 第 7 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, p.181-186
- 4) 水山高久 (1977) : 山地河川の掃流砂に関する研究, 京都大学学位論文, pp.96.

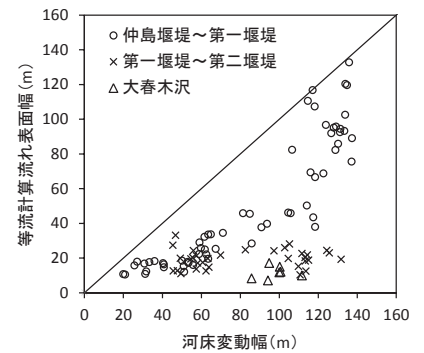


図-3 河床変動幅と等流計算による流れ表面幅の比較

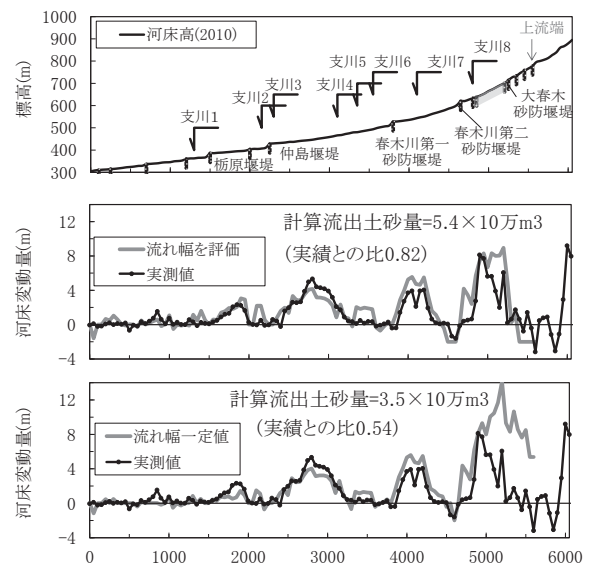


図-4 流れ幅の評価方法と計算結果への影響