

## 1. 概論

### 1. 1 山地域の土砂生産・流送に起因する災害

山地域の土砂生産・流送に起因する災害は多岐にわたる。例えば、河川砂防技術基準(計画編)<sup>1)</sup>では、計画論の観点から以下のように分類されている(図 1.1)。

- ① 上流からの流出土砂に伴う河床上昇等により引き起こされる土砂・洪水氾濫(水系砂防)
- ② 土石流災害
- ③ 流木災害
- ④ 火山噴火にともなう災害
- ⑤ 深層崩壊・天然ダム等による異常土砂災害

一方、砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)<sup>2)</sup>において、土石流区間の土石流と流木は一体として取り扱われている。さらに、河川砂防技術基準(計画編)では、時間スケールは短期、中期、長期の 3 期間に区分して対象とする土砂移動現象を設定することとされ、各期間は以下のように整理されている。

- ・ 短期は、計画規模の現象が発生する一連の降雨継続時間を目安に設定する。
- ・ 中期は、短期の降雨により生産された土砂が移動する影響期間とし数年から数十年程度を目安に設定する。
- ・ 長期は、計画の対象とする必要がある短期・中期を含む数十年程度、またはそれ以上の期間を設定する。

以上を踏まえて、山地域の土砂生産・流送に起因する災害は、計画論、期間及び災害形態から図 1.1 のように分類できる。このように多岐にわたる災害を軽減するためには災害による被害範囲・程度を予測・解析することが重要となる。また、山地域の土砂生産・流送に起因する災害の被害範囲・程度を予測・解析するためには、災害の実態・機構に則した解析手法を用いることが重要である。

本資料では、図 1.1 に示した多岐にわたる災害形態のうち、図 1.1 において A-2 として整理した「短期の土砂流出」による現象のうちの上流からの流出土砂に伴う河床上昇等により引き起こされる土砂・洪水氾濫被害を主な対象とする(図 1.2)<sup>3)</sup>。

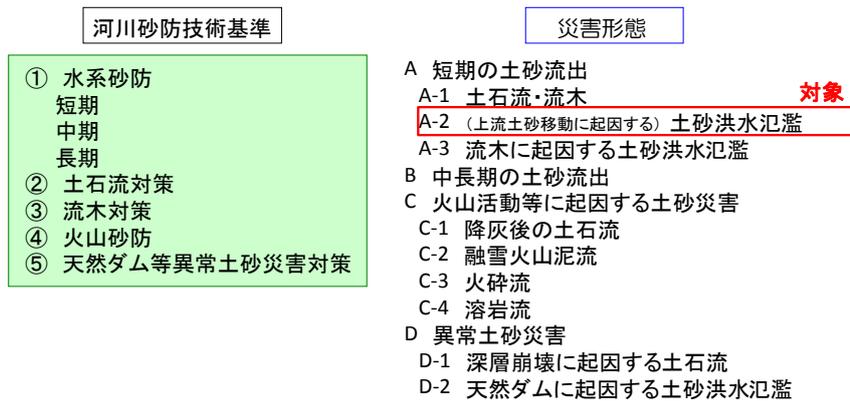


図 1.1 砂防基本計画と山地域の土砂災害形態（地すべり、急傾斜地崩壊は除く）

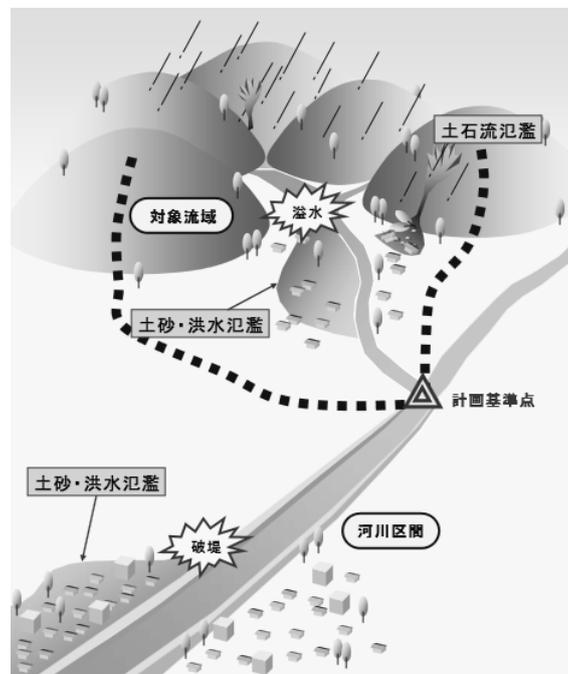


図 1.2 土砂・洪水氾濫のイメージ<sup>3)</sup>

【参考文献】

- 1) 河川砂防技術基準（計画編）
- 2) 国土技術政策総合研究所 砂防研究室（2007）：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説，国土技術政策総合研究所資料，第 364 号.
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部（2012）：砂防事業の費用便益分析マニュアル（案）

## 1. 2 山地河川の特徴

山地河川は平野部の下流河川と異なる特徴を有する。水山（2003）<sup>1), 2)</sup>では、山地河川の特徴を下流河川と比較して以下のようにまとめている。

- ① 急勾配である
- ② 流域面積が小さい・洪水到達時間が短い
- ③ 河床材料の粒径が大きく、水深が浅い
- ④ 河床変動が大きい

また、このほかにも多くの文献で山地河川の特徴について整理されている<sup>例えば、3)~5)</sup>。以下に多くの文献で触れられている代表的なものをあげる。

- (1) 山地河川の河床に流水による移動可能な土砂が十分になく、土砂供給制約（supply limit）の場合が多い。そのため、山地河川の土砂動態は土砂生産により強く影響を受ける場合が多い。
- (2) 斜面崩壊や土石流により、頻度が低い、極めて大きな（カタストロフィックな）土砂生産が生じることがある。
- (3) 河道形状（川幅、勾配、河床形態）や河床材料の粒径は時刻や場所によって大きく異なる場合がある。
- (4) 山地河川は岩盤により側刻、下刻、洗掘が制約され、下流河川のように氾濫原が発達することが少ない。
- (5) 山地流域内の土砂生産は地質や気候、テクトニカルな影響を強く受けている。
- (6) ①にも示したように勾配が急であるため、射流がしばしば生じる。

このように、下流河川と異なる特徴を有する山地河川の土砂動態を解析するにあたっては、山地河川の特徴に則した解析手法を用いることが重要である。

近年、国内外で山地河川においても多くの流砂観測が行われ、特に上記の(1)、(2)に関して、山地河川の流砂の実態の解明が進んできた<sup>6)</sup>。その結果、山地河川では局所的に露岩している箇所が見られたり、河床材料のアーマークート化が進むなど河床等に十分な移動可能な土砂がない場合も多いため、中小出水時には流砂量が下流河川を主たる対象とした流砂理論から算出される値に比べて流砂量が少ない場合が多いことが報告されている<sup>7)</sup>。しかし、規模の大きい土砂生産があった後は河床に細粒土砂が供給されるなど河床の状況は時間とともに大きく変化する<sup>8)</sup>ため、土砂が移動し始める流量が出水によって異なる場合があり<sup>9)</sup>、土砂生産前に比べると同じ水理量であっても土砂生産後は流砂量が増加することがあることが報告されてきた<sup>10)</sup>。すなわち、流量と流砂量の関係は沖積河川では概ね安定的であるのに対し、山地河道では時間とともに大きく変化する可能性がある。

また、③にも示したように山地河道の河床には沖積河川の河床とは異なり、大きな礫から細かい砂まで幅広く存在する。さらに、形態的にも沖積河川とは異なり、ステップ・プール形状（階段状）など特徴的な形態を示す<sup>11)</sup>、このような河床の形態や河床の大きな礫は抵抗特性<sup>12)</sup>や流砂特性<sup>13)</sup>に大きな影響を及ぼすことが観測されてきた。さらに、ステップ・プール形状が破壊されると掃流砂量が増加することが報告されている<sup>15)</sup>。

以上より、中小出水時には、多くの場合、斜面崩壊や土石流の発生がないため、斜面からの表面侵食による土砂供給や河道内にある土砂の再移動により土砂流出が生じると考えられる。一方、豪雨時には、斜面崩壊や土石流などによって大量の土砂が生産される。豪雨時の土砂・洪水氾濫被害を推定・評価するためには、豪雨時の土砂動態に則した解析手法を用いるとともに、条件設定を行う必要がある。そこで、本資料においては豪雨時の山地流域の土砂動態の特徴を考慮し、豪雨時の土砂動態に関する数値解析の留意点をとりまとめた。

ただし、豪雨時の土砂動態に関する数値解析の実施にあたっては、目的、場の条件を考慮し、解析手法の選択、条件設定を行う必要がある。また、土砂生産・流出については、実態が不明な点もある。そこで、ここで示す留意点については、目的、場の条件、調査・観測などに基づき、適宜考慮することを推奨する。さらに、本資料で示した留意点以外であっても、適宜、調査・観測などに基づき当該流域の実態に則した解析を行うことが重要である。

#### 【参考文献】

- 1) 水山高久 (2003) : わかりやすい砂防技術 (1) 山地河川 (溪流) の特徴, 砂防と治水, 35(6), 52-53.
- 2) 水山高久 (2003) : わかりやすい砂防技術 (2) 山地河川 (溪流) の特徴 (続き), 砂防と治水, 36(1), 68-69.
- 3) 藤田光一・富田陽子・大沼克弘・小路剛志・伊藤嘉奈子・山原康嗣 (2008) : 日本におけるダムと下流河川の物理環境との関係についての整理・分析・ダムと下流河川の自然環境に関する議論の共通基盤づくりの一助として、国土技術政策総合研究所資料 第445号、40-44.
- 4) Wohl, E. (2010) Mountain Rivers Revisited, American Geophysical Union,
- 5) Nitsche, M., Rickenmann, D., Turowski, J.M., Badoux, A., Kirchner, J.W. (2011) Evaluation of bedload transport predictions using flow resistance equations to account for macro-roughness in steep mountain streams. *Water Resources Research*, 47, W08513, doi:10.1029/2011WR010645
- 6) 例えば、田中健貴・内田太郎・蒲原潤一・桜井 亘(2015) : 近年の山地流域における流砂観測による成果と課題, 土木技術資料 57(7), 22-25

- 7) 例えば、Rickenmann, D. (2001): Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams, *Water Resources Research*, 37(12), 3295-3305.
- 8) 例えば、丹羽 諭・内田太郎・蒲原潤一・守谷武史・光永健男・里深好文 (2016) 大規模崩壊地を有する溪流における豪雨時の土砂流出と河床変動の実態－富士川水系早川の春木川を例に一砂防学会誌 (印刷中)
- 9) 例えば、Turowski, J.M., Badoux, A., Rickenmann, D. (2011) Start and end of sediment transport in gravel-bed river, *Geophysical Research Letters*, 38, 10.1029/2010GL046558
- 10) 例えば、草野慎一・中島一郎・福本晃久・山下伸太郎・高橋健太・梅村裕也・江口友章 (2010) 天竜川水系与田切川流域における土砂動態観測, *砂防学会誌*, 63(6), 71-74.
- 11) 例えば、Montgomery, D.R., Buffington, J.M., (1997) Channel-reach morphology in mountain drainage basins, *Geological Society of America Bulletin*, 109, 596-611,]
- 12) 例えば、Asano Y., Uchida, T. (2013) Dynamic changes in water depth, velocity and resistance of flow during flood at steep mountain stream, 12th International Symposium on River Sedimentation, 737-742
- 14) 例えば、澤田豊明 (1985) 山地流域の土砂流出に関する研究, 京都大学博士論文,
- 15) 例えば、Turowski, J.M., Yager, E.M., Badoux, A., Rickenmann, D., Molnar, P. (2009) The impact of exceptional events on erosion, bedload transport and channel stability in a step-pool channel, *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 1661–1673.

### 1. 3 山地域の土砂生産・流送にもなう土砂・洪水による氾濫区域解析に関する基本的事項

山地域の土砂生産・流送にもなう土砂・洪水による氾濫区域解析手法としては、

- ①降雨流出に関するモデル
- ②土砂流送に関するモデル
- ③氾濫に関するモデル

を組み合わせた解析手法が一般的である<sup>1)</sup>。

降雨流出に関するモデルは、貯留関数法、単位図法、タンクモデルなどの集中型のモデルと分布型の流出モデルがある。

土砂流送に関するモデルは、流域を斜面及び河道に分割し、河道内の土砂移動を主な対象とした1次元河床変動計算が一般的である。そのため、斜面からの河道に流入する土砂の流入量、流入するタイミング、流入地点は、土砂移動形態に合わせて別途設定する必要がある。

氾濫に関するモデルとしては一般的に水のみまたは水及び土砂の2次元氾濫計算が用いられる。

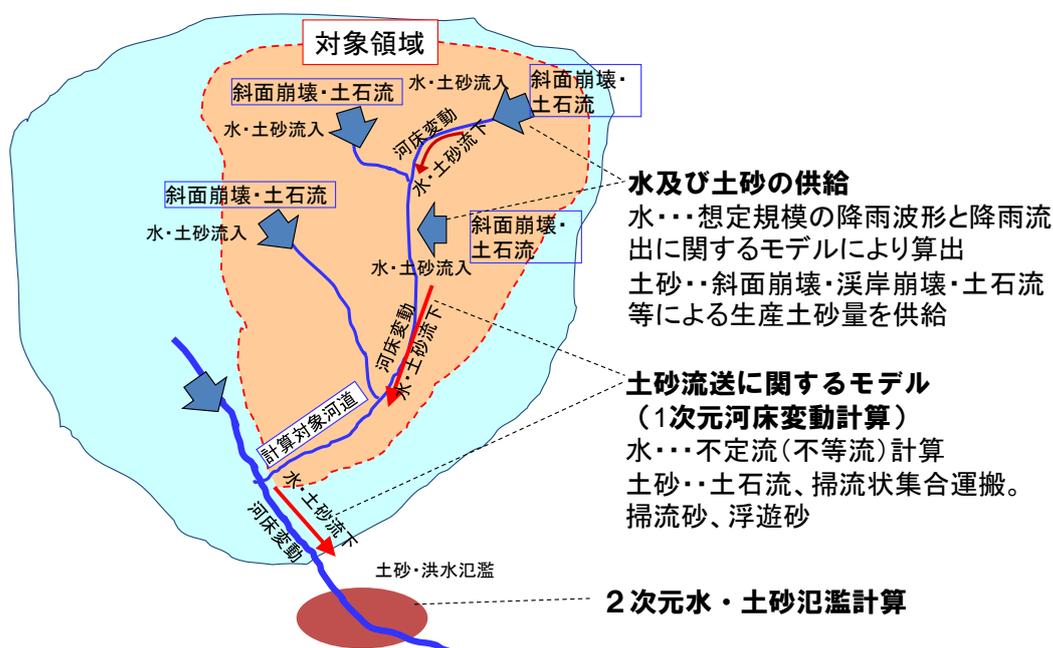


図 1.3 解析手法の概要

#### 【参考文献】

- 1) 例えば、中川一・戸田圭一・牛山素行・武藤裕則・戸床文彦 (2002) : 2001年7月台湾で発生した土砂災害, 京都大学防災研究所年報, 45(B), 407-422.

〔参考〕 山地流域の土砂流出解析における斜面部の取扱い

山地流域の土砂流出解析において用いられる「②土砂流送に関するモデル」は河道のみを対象とされている場合が多い。一方、近年、斜面や 0 次谷における土砂移動現象も考慮された解析手法も提案されてきている<sup>例えば、1)~3)</sup>。将来的には、河道のみならず、斜面や 0 次谷における土砂移動現象も解析に加えることにより、解析の不確実性の減少、計算結果の精度向上が期待される。しかし、現時点においては、多岐にわたる土砂生産現象（表面侵食、斜面崩壊、土石流、溪岸崩壊など）を全て表現することが難しく、現時点ではモデルの検証事例も必ずしも多くないことなどから、本資料では、従来多く用いられてきている「②土砂流送に関するモデル」として河道のみを対象とした解析手法を用いた場合の留意点について整理する。

【参考文献】

- 1) 平澤良輔・里深好文・水山高久・堤 大三（2011）：山地流域の雨水流出，土砂生産流出シミュレーター（SERMOW-II）の開発と適用，砂防学会誌，64（5），32-37
- 2) 山野井一輝・藤田正治（2014）：土砂生産・土砂供給・土砂輸送堆積統合型モデルの開発と山地流域への適用，土木学会論文集 B1, 70(4), I\_925-I\_930
- 3) 富田陽子・森俊勇・宮貴大・武藏由育・鈴木伴征・水山高久（2014）；流域管理システム（WMS）のための土砂流出計算モデルと河床変動計算モデルの作成，砂防学会誌，66(5), 3-12.