

3. 計画策定のための調査・解析

3.1 調査・解析の概要・目的

本章に基づき実施する調査は、検討対象流域における過去に発生した大規模土砂生産状況及び大規模土砂生産後の土砂流出状況を把握した上で将来生じうる現象を想定し、対策の計画策定のために実施する。具体的には、測量等による検討対象流域の土砂生産及び土砂流出の実績に関する調査、河床変動計算による将来的に生じうる現象の想定を行うことを基本とするが、検討対象流域と気候条件、地質・地形条件が概ね類似した周辺流域の調査結果を活用することもできる。なお、実際の土砂流出状況に応じた対策の実施や緊急的な対策の終了の判断等のために別途、「5. 土砂流出状況に応じた対策実施等のための調査・解析」を実施することを基本とする。

3.2 大規模土砂生産発生後に実施する調査・解析

3.2.1 土砂生産状況に関する調査・解析

対象流域の土砂生産状況に関する調査として、以下の項目を把握するための調査を基本とする。

- ①崩壊地面積の時空間分布状況
- ②生産土砂量の経年変化
- ③大規模土砂生産後の土砂の堆積状況
- ④生産土砂の粒径

①については、複数時期の空中写真判読による崩壊地分布の経年的な把握を基本とする。また、②については、現地調査等に基づき崩壊面積と崩壊土砂量の関係を把握した上で崩壊面積から生産土砂量を把握する手法、あるいは複数時期の航空レーザー測量（LP）データを用いて直接的に生産土砂量を把握する手法が考えられる。また、③においては、空中写真、LP データを用いた土砂生産後の土砂堆積状況の把握が考えられる。さらに、③においては、大規模土砂生産等により生産された土砂が流域内に残存する割合、残存した土砂のうち、斜面または河床に堆積した土砂の割合などを調査する。①～③については、大規模土砂生産現象発生時の生産土砂量および流域内の土砂堆積範囲および堆積量を正確に把握するため、平時から調査を実施しておくことが望ましい。④においては、生産土砂の粒径は地質などにより区分をした上で、地質区分毎に現地調査することが考えられる。また、過去の空中写真の活用にあたっては、複数の視点から撮影した画像を解析することで撮影時のカメラの位置を推定し、それを基に地形状を3次元的に復元する SfM-MVS の技術を活用することも考えられる。

3.2.2 土砂流出状況に関する調査・解析

対象流域の土砂流出状況に関する調査として、以下の項目を把握するために調査を実施することを基本とする。

- ①流出土砂量と土砂の流出特性の経年変化
- ②流出土砂の粒径
- ③流出状況の想定

①、②において、経年的な流出土砂量の把握にあたっては、規模の大きい砂防堰堤や貯水池における堆砂量データの収集・分析を行うことが考えられ、大規模土砂生産現象発生による流出土砂量の増加を正確に把握するため、平時から調査を実施しておくことが望ましい。堆砂量データから流出土砂量を把握するにあたっては堰堤・貯水池の土砂の捕捉率を考慮することが望ましい。また、砂防堰堤の堆砂状況の調査においては空中写真の判読も考えられる。さらに、LP データや空中写真から 3 次元的に地形形状を復元する SfM-MVS 技術の活用により、流域の地形変化から流出土砂量を把握することも考えられる。土砂の流出特性の把握に関しては、流出土砂量と降雨量及び水理量（流量、水深等）の関係を分析することを基本とする。

③においては、将来 生じる蓋然性の高い大規模土砂生産後の土砂流出状況を想定するにあたり、河床変動計算に基づく解析を実施することを基本とする。解析に用いる河床変動計算手法及び入力条件は、検討対象流域または検討対象流域と気候条件、地質・地形条件が類似した周辺流域の過去の土砂流出状況に関する再現計算により適用性・妥当性を確認することを基本とする。大規模土砂生産後は、堆積土砂の安定化や河床材料の粗粒化など流域の状況が時間とともに変化することに留意して河床変動計算の条件を設定することが重要である。

[参考文献]

- 1) 河川砂防技術基準（調査編）

【参考：調査の事例】

① 土砂生産状況に関する調査の事例

A 崩壊地の時空間分布状況の調査例

崩壊地の時空間分布状況の調査結果の例として、厚井^{1,2)}による相模川水系中川流域における崩壊地の時空間分布の調査がある。崩壊地は、神奈川県が1929年に整理した関東大震災により発生した崩壊地分布図と、1967年、1978年、1988年、1999年に撮影された航空写真の判読結果を用いて抽出されている。それによると、関東大震災時に非常に多くの崩壊が生じたこと、1978年には規模の大きな豪雨の影響（1972年の山北災害）により多くの崩壊が発生しているなど、崩壊地分布の時系列的な情報が得られている。

B 生産土砂量の経年変化の調査例

B-1 崩壊面積から生産土砂量を把握する手法

崩壊面積 A_L から生産土砂量 V_L を推定する方法として、崩壊面積 A_L と生産土砂量 V_L の関係式、あるいは崩壊面積 A_L と崩壊深 D_L の関係式を予め求めておき、その関係式を用いて推定する事が考えられる。前者の関係式としては、例えば Guzzetti et al.³⁾ が提案している崩壊面積 A_L と生産土砂量 V_L の関係式（参1）を用いることが考えられる。

$$V_L = \alpha \times A_L^{1.450} \quad (\text{参1})$$

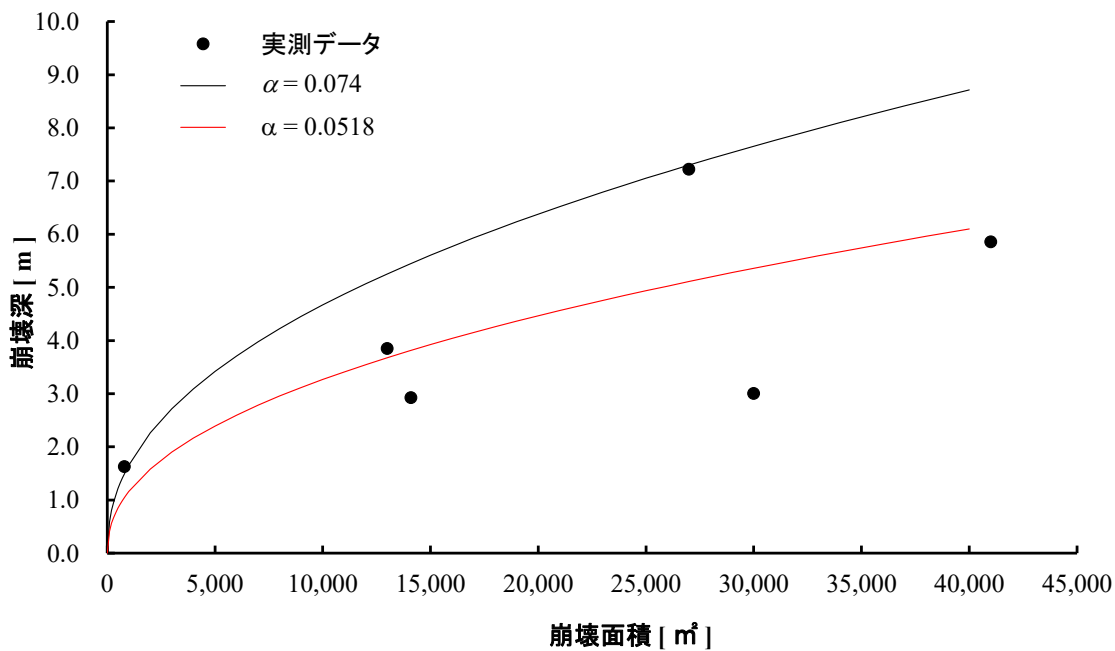
ここに、 α ：比例係数で、Guzzetti et al.³⁾によると0.074である。同様な崩壊面積と崩壊土砂量の関係についてはこれまで多数報告されている⁴⁾⁻⁶⁾。例えば、近年、Lasen et al.⁴⁾は世界各地のデータを収集し、表層崩壊と深層崩壊に分類し、それぞれ回帰式を提案している。また、Imaizumi & Sidle⁵⁾は1965年～2001年の空中写真を用いた崩壊地判読と現地調査結果をもとに、宮川流域における崩壊面積－崩壊土砂量関係を求めている。

一方、式（参1）の係数は、世界中のデータをよく説明できるように統計的に求められたものであり、地質の違いなどが考慮されていない。そのため、流域によってはより妥当性の高い係数を設定できれば、崩壊土砂量の予測精度が向上する可能性がある。例えば、対象とする流域内における崩壊地について崩壊面積 A_L と崩壊深 D_L の実測データが得られている場合、実測データをよく説明できるように比例係数 α を設定することが一つの方法として考えられる。なお、崩壊深 D_L は、Guzzetti et al.³⁾が提案している崩壊面積 A_L と生産土砂量 V_L の関係式（参1）から推定できると仮定すれば、次元的に式（参2）から求めることができる。

$$D_L = \alpha \times A_L^{0.450} \quad (\text{参2})$$

例えば、泉山ら⁷⁾は、小丸川水系渡川流域では平成17年に大規模な崩壊が発生

しており、そのときの崩壊土砂量は、空中写真判読結果から得られる崩壊面積 A_L と、式（参 2）から得られる崩壊深 D_L から推定している。このとき、泉山ら⁷⁾は、比例係数 α を参考図 3.3.1 に示すように渡川流域内で過去に発生した崩壊についての調査結果^{8), 9)}から得られる崩壊面積 A_L - 崩壊深 D_L 関係に適合するように修正した値 0.0518 を用いて崩壊土砂量を求めている。



参考図 3.3.1 崩壊面積 A_L と崩壊深 D_L の実測結果と式（参 2）による推定結果

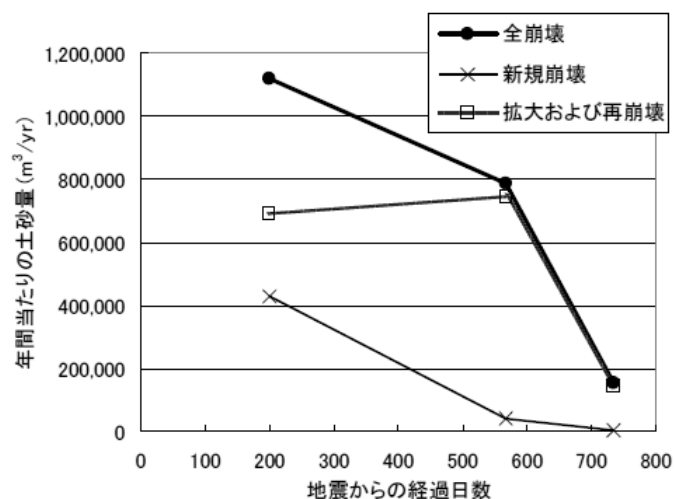
B-2 複数時期の航空レーザ測量データ（LP データ）を用いて生産土砂量を把握する手法

LP データが複数時期で存在する場合、LP データから数値地形モデルを作成し、標高の差分処理を行うことで崩壊地の変動量を算出することができる。これより、崩壊地からの生産土砂量を推定することができる。

田方ら¹⁰⁾、松岡ら¹¹⁾は、信濃川水系芋川における平成 16 年の新潟県中越地震による大規模な土砂生産後の土砂流出に関する調査を実施した。松岡ら¹¹⁾では、芋川において地震後の複数の時期での LP データをもとに平成 16 年以降の生産土砂量を推定した（参考表 3.3.1, 参考図 3.3.2）。なお、LP データから標高差分値を算出する範囲は、空中写真（参考表 3.3.1）の判読により抽出された崩壊地を対象としている。

参考表 3.3.1 LP データから生産土砂量を把握する際に使用したデータ¹¹⁾

データ	取得時期	計測日
航空レーザ	地震直後	2004 年 10 月 28 日
	2005 年春	2005 年 5 月 11, 17 日
	2006 年春	2006 年 5 月 15, 16 日
	2006 年秋	2006 年 10 月 28 日, 11 月 2 日
空中写真	地震直後	2004 年 10 月 24, 28 日
	2005 年春	2005 年 5 月 11 日
	2006 年春	2006 年 6 月 21~23 日
	2006 年秋	2006 年 11 月 2 日



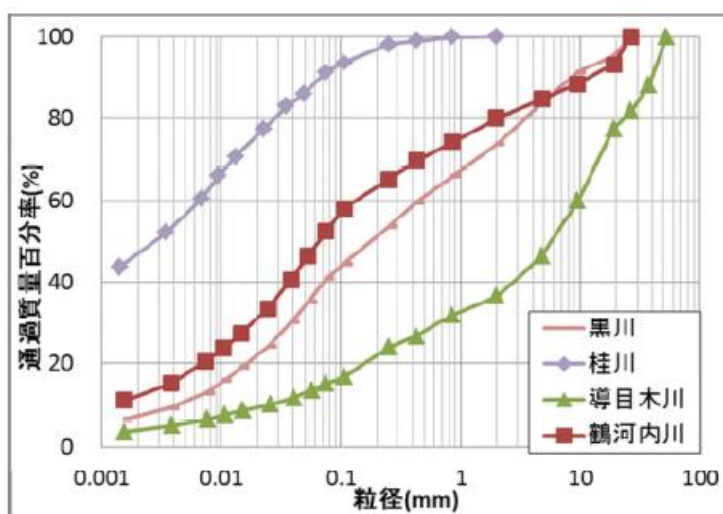
参考図 3.3.2 芋川流域における崩壊土砂量の経年変化（地震時を除く）¹¹⁾

C 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産後の土砂の堆積状況の調査例

清水, 帆足 (2018)¹²⁾は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨の際に妙見川流域において発生した崩壊による生産土砂量および河床に堆積した土砂量を推定している。推定にあたっては災害発生前 (平成 29 年 1 月)、災害発生後 (平成 29 年 7 月) に取得された LP データの差分解析を用いており、差分解析の範囲はオルソ画像から分かる崩壊範囲と河床上の土砂堆積範囲としている。2 時期の標高差分から、妙見川流域における生産土砂量は約 34 万 m³、河床に堆積した土砂量は約 27 万 m³であったと推定しており、生産土砂量の約 8 割が妙見川流域内の河床に堆積したと報告している。

D 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産時の生産土砂の粒径の調査例

平成 29 年 7 月九州北部豪雨で土砂生産が発生した筑後川右岸の黒川 (泥質片岩)、導目木川 (結晶片岩と花崗岩)、桂川 (緑色片岩)、鶴河内川 (礫岩) のそれぞれについて、崩壊地から採取した土砂の粒度分布試験が実施され、粒度分布形状が大きく異なることが示されている (参考図 3.3.3)¹³⁾。このように、生産土砂の粒径調査を実施する場合は、地質分布などを考慮し、調査地を選定することが重要である。



参考図 3.3.3 粒径分布¹³⁾

【土砂生産状況に関する調査に関する参考文献】

- 1) 厚井高志 (2009) : 長期ダム堆砂データを用いた山地森林流域における土砂生産・流出に関する研究, 東京大学学位論文
- 2) Koi, T., Hotta, N., Ishigaki, I., Matuzaki, N., Uchiyama, Y., Suzuki, M. (2008): Prolonged impact of earthquake-induced landslides on sediment yield in a mountain watershed: The Tanzawa region, Japan, *Geomorphology*, Vol.101, No.4, pp. 692 – 702
- 3) Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M., Valigi, D. (2009): Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy, *Earth and Planetary Science Letters*, 279(3-4), pp. 222 – 229
- 4) Larsen, I. J., Montgomery, D. R., Korup, O. (2010): Landslide erosion controlled by hillslope material, *nature geoscience*, Vol. 3, pp. 247 – 251
- 5) Imaizumi, F., Sidle, R. C. (2007): Linkage of sediment supply and transport processes in Miyagawa Dam catchment, Japan, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112
- 6) 平野晶繁, 大森博雄 (1989) : 土砂移動現象における規模・頻度の分布特性とその地形学的意義, *地形*, Vol. 10, pp. 95 – 111
- 7) 泉山寛明, 内田太郎, 松本直樹 (2018) : 大規模土砂生産後の中長期的な土砂動態の把握, *土木技術資料*, Vol.60, No.12, pp.8 – 11
- 8) 高橋正佑, 谷口義信 (1980) : 宮崎県南郷村松の内崩壊に関する研究, 昭和 55 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.36 – 37
- 9) 清水収 (2009) : 大規模土砂災害の発生履歴と土砂移動規模の評価, *砂防学会誌*, Vol.61, No.6, pp.36 – 42
- 10) 田方智, 栗原淳一, 桜井亘, 小川紀一郎, 吉野弘祐, 山本悟 (2007) : 中越地震後の芋川流域における土砂生産量の推移, 平成 19 年砂防学会研究発表会概要集, pp.300 – 301
- 11) 松岡暁, 山越隆雄, 田村圭司, 長井義樹, 小竹利明, 坂井等, 丸山準, 久保毅, 佐藤匠 (2009) : 新潟県中越地震後の芋川流域における土砂動態変化, 平成 21 年砂防学会研究発表会概要集, pp.306 – 307
- 12) 清水収, 帆足直 (2018) : 2017 年九州北部豪雨により筑後川水系妙見川で発生した斜面崩壊の地形的特徴と土砂移動量, 平成 30 年砂防学会研究発表会概要集, pp.437 – 438
- 13) 千葉伸一, 長谷川陽一, 村田郁央, 野呂智之, 北原哲郎, 瀬戸秀治, 王昭雯, 上原祐治, 中尾邦彦 (2018) : H29 九州北部豪雨で崩壊した斜面での調査事例報告その 1–3 つの地質帯における表層崩壊地の特徴比較一, 平成 30 年砂防学会研究発表会概要集, pp.153 – 154

② 土砂流出状況に関する調査の事例

A 流出土砂量と土砂の流出特性の経年変化に関する調査例

厚井^{1), 2)}は、相模川水系中川川流域では、三保ダムにおける堆砂量データを用いて流域からの経年的な流出土砂量を調査した。ここで、貯水ダム等における堆砂量のデータから上流域からの流出土砂量を推定するにあたっては、貯水ダムへ流入してくる土砂のうち、ダムを通過する土砂の割合を推定することが重要である。貯水ダムを通過する土砂の割合については、様々な手法・推定式が提案されている（厚井^{1), 2)}、鈴木ら³⁾、Morris & Fan⁴⁾、吉良⁵⁾など）。例えば、厚井^{1), 2)}は Brown 式(参 3)を用いてダム貯水池における土砂の捕捉率を算出し、ダムを通過する土砂量を評価した。

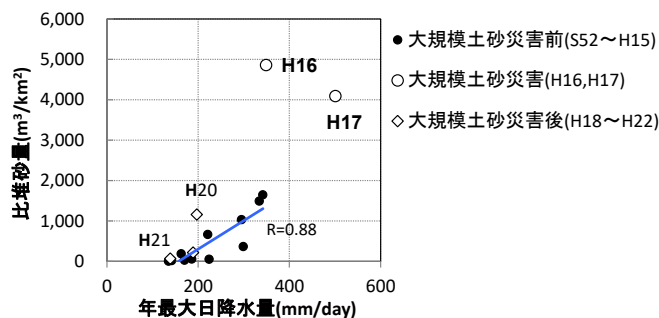
$$E_T = 1 - \frac{1}{1+K \cdot C/F} \quad (\text{参 3})$$

ここに、 E_T ：捕捉率（ダム堆砂量 / 流入土砂量）、 K ：定数、 C ：ダム総貯水容量[m³]、 F ：流域面積[km²]である。定数 K は吉良（1978）⁴⁾により全国・地域別の平均値として示される値が使用できる。また、ダムへの年平均総流入量が判明している場合は、式(参 3)の代わりに Brune の関係図³⁾を使用することも考えられる。ただし、(社)日本大ダム会議土砂管理分科会⁶⁾が指摘しているように、Brown 式や Brune の関係図は、流域面積、ダムの総貯水容量から簡便にダム貯水池における土砂の捕捉率が算出されるものの、粒径や流入量の影響は評価が難しい。

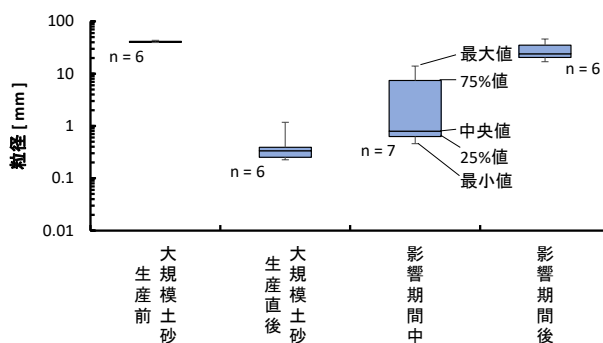
B 流出土砂量と降雨特性の関係

流出土砂量は、水流の作用により移動可能な土砂が河床上に十分に堆積している状態であっても、流量の大小に依存する。そこで大規模土砂生産の影響を評価するにあたっては、年ごとの流量の違いが与える影響を取り除く必要がある。しかし計測が困難であることから山地流域においては流量の計測が十分になされていない。そこで、年間での流出土砂量をコントロールすると考えられる降雨指標（年降水量、年最大日雨量、年最大3日雨量、年最大3位までの雨量の合計など）を用いて影響を取り除くことが考えられる。例えば、芦田・奥村⁷⁾は、流出土砂量と関係のある指標として年最大日雨量を用いている。川辺川においては、流出土砂量と降雨指標（年降水量、年最大日雨量、年最大時間雨量）、水文指標（年総流出量、年最大流量）との相関関係を検討した結果、年最大日雨量との相関が最も高いことが示されている（参考図 3.3.4）⁹⁾。そこで、川辺川流域においては、年流出土砂量を年最大日雨量で除することなどにより、雨の降り方の影響を除外することが一定程度できると考えられる。ただし、降雨と流量の間には非線形性があるため、降雨指標と流出土砂量の間には強い正の相関が常に存在する

わけではないことに注意を要する。また河床のアーマー化が進み移動可能な土砂が十分に存在していない場合にも正の相関がみられない。高橋⁸⁾は、高瀬ダムの年堆砂量と近傍の雨量観測所における年最大日雨量との関係を比較検討した結果、ある程度の相関があるものの、年最大日雨量だけでは年流出土砂量を説明できないことを指摘している。



参考図 3.3.4 年最大日降水量と比堆砂量との関係⁹⁾



参考図 3.3.5 大規模土砂生産前後の平均粒径の変化
(芋川-東竹沢第二砂防堰堤流域)

C 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産にともなう河床材料の粒径変化に関する調査例

大規模土砂生産後の土砂流出状況は、大規模土砂生産後に河床に残存する不安定土砂の粒度分布の影響を強く受ける。そこで、河床材料の粒度分布の変化を経年的に把握することは、流出土砂量と影響期間の予測のために重要となる。芋川では大規模な土砂生産発生の前後の複数の地点で河床材料の粒径分布調査が実施されており¹⁰⁾、その結果を参考図 3.3.5 に示す。参考図 3.3.5 には、下記 A~D の期間の河床材料の平均粒径を示した：

- A. 大規模土砂生産前 (平成 14 年)
- B. 大規模土砂生産直後 (平成 16 年)

C. 土砂流出活発期間中（図中では影響期間中）（平成 19 年）

D. 土砂流出活発期間後（図中では影響期間後）（平成 28 年～29 年）

その結果、大規模土砂生産直後 B は河床材料が細粒化していることが分かる。
その後、徐々に平均粒径が大きくなり、粗粒化していることが分かる。

【土砂流出状況に関する調査に関する参考文献】

- 1) 厚井高志（2009）：長期ダム堆砂データを用いた山地森林流域における土砂生産・流出に関する研究，東京大学学位論文
- 2) Koi, T., Hotta, N., Ishigaki, I., Matuzaki, N., Uchiyama, Y., Suzuki, M. (2008): Prolonged impact of earthquake-induced landslides on sediment yield in a mountain watershed: The Tanzawa region, Japan, *Geomorphology*, Vol.101, No.4, pp. 692 – 702
- 3) 鈴木伴征, 柏井条介, 吉岡喜浩（2014）：鯖石川ダム堆砂実績を用いた粒径別流入土砂量の推定, *ダム工学*, Vol.14, No.4, pp. 257 – 269
- 4) Gregory L. Morris, Jiahua Fan 著, 角哲也, 岡野眞久監訳（2010）：貯水池土砂管理ハンドブック 技報堂出版
- 5) 吉良八郎（1978）：日本における貯水池の捕ソク率と土砂収支, *農業土木学会論文集*, 第 78 号, pp.16 – 23
- 6) 社団法人日本大ダム会議 土砂管理分科会（2010）：土砂管理分科会報告－貯水池の土砂動態と土砂制御工法－, *大ダム*, 第 212 号, pp. 12 – 129
- 7) 芦田和男, 奥村武信（1977）：豪雨時の流出土砂量に関する資料の解析研究, *自然災害資料解析*, Vol. 4, pp.85 – 91
- 8) 高橋保（2006）：土砂流出現象と土砂害対策, 近未来社
- 9) 堀江克也, 樋田祥久, 岡村誠司, 内田太郎, 林真一郎, 丹羽諭, 岡本敦（2013）：大規模土砂生産後の土砂流出の実態と予測手法に関する検討, 平成 25 年砂防学会研究発表会概要集, pp.B-42 – B-43
- 10) 桜井亘, 内田太郎, 松本直樹, 泉山寛明, 堀江克也, 岡村誠司, 大崎奈央子, 亀田涼, 高橋一徳（2018）：大規模土砂生産を含む山地流域の土砂流出特性, 平成 30 年砂防学会研究発表会概要集, pp.189 – 190

【参考：数値計算の事例・留意点】

山地流域の土砂動態に関する数値解析事例については数多くあるが、数年の流域土砂動態（特に河床上昇・低下、流出土砂量の時間変化）を予測するためには、2次元河床変動計算は計算負荷が高く現実的でないことが多い。また、春木川のように比較的小流域の中で大規模な崩壊が一つ、発生する場合もあれば、小渋川のように比較的大流域の中で複数の大規模崩壊が発生する場合もあり、対象とする流域面積によって計算負荷は異なる。したがって、中期的な土砂動態予測のためには、小流域を対象とした場合は、降雨流出モデル等を用いて別途、ハイドログラフを設定した後に1次元河床変動計算モデル（不等流、不定流）により計算する手法^{（例えば 1）~4）}が考えられる。一方で、大流域では計算負荷の軽減のため、キネマティックウェーブ法を用いたモデルの適用^{（例えば 5）~8）}が考えられる。これまでの研究で対象とされた流域の面積と採用された計算グリッドの大きさ、計算モデルの関係については横尾ら^{9）}が参考になる。以上を踏まえ、大規模土砂生産後の土砂流出が活発な期間の土砂動態に関する解析については、同期間の土砂動態の特徴を考慮し、以下の点に留意することが考えられる。

① 計算対象期間

中期の土砂流出現象に関する数値計算においては、現象のすべてを対象に計算を実施すると計算時間が非常に長くなることが考えられる。そこで長時間を対象とする計算を行う場合には、計算対象期間を土砂流出が顕著な期間に絞り、計算の効率化を図ることが考えられる。具体的には、例えば流砂水文観測データから河床材料が移動を開始するために必要な流量を推定し、それ以下の流量の時間帯の計算を省略する^{1）}ことが考えられる。

② 土砂供給条件

大規模な土砂生産が発生した場合、生産土砂の一部は斜面上に残土として残存するため、流出する土砂量は残土率に大きく左右される。しかしながら、残土率を予測することは現段階でも困難であり、経験的に定めるにしても、過去に大規模土砂生産現象が発生していない流域では困難である。したがって、残土率をいくつか設定して感度分析を行ったり、土砂供給や供給土砂の粒径を変化させるタイミングについてのいくつかのシナリオを設定して計算を実施^{10）}したりすることが考えられる。一方、過去に大規模土砂生産現象が発生している流域については、大規模土砂生産発生直後の土砂収支図（参考図 2.2.2）等を参考として土砂供給量を設定することが考えられる。また、供給土砂の粒径分布は数値計算結果を大きく左右することから、溪岸等に堆積した細粒分を含む河床材料や山腹の土砂の粒径分布を取得し、これを考慮することが望ましい。

③ 大規模土砂生産にともなう河床材料の細粒化及びその後の粗粒化の考慮

大規模土砂生産発生前後を比べると、発生後には河床に細粒土砂成分を多く含み、その後、選択的な流出により粗粒化が進む。影響期間の長短は細粒分土砂の存在割合と正の相関関係にあると考えられる。そのため、河床変動計算を実施するにあたっては、初期条件として大規模土砂生産前に粗粒化が進んでいた場合は適切にそれを反映し、境界条件として供給する土砂の粒径は生産土砂がより細かな土砂を含んでいることを考慮して設定するなど、計算にあたっては粒径分布の時間変化を適切に表現できるような条件設定を行う必要がある。河床や供給土砂の粒径分布設定については丹羽ら¹⁾や栢木ら²⁾が、また細粒分の流出による粒度分布の変化、アーサーコート³⁾の発達に関する再現計算の事例として江頭・松木⁴⁾などが参考になる。

④ 流れ幅の設定

大規模土砂生産により河床に堆積した土砂はその後、時間をかけて下流に流下する。土砂は小規模、中規模の出水によっても流出するが、その場合は水が河幅全面にわたってあるわけではなく、水みちを形成し、蛇行して砂州を形成する場合がある（参考図 5.1.4）。また、計算が数年と長時間を対象として実施されるため、例えば流れ幅を適切に考慮していない場合は、掃流力が適切に評価できないために流砂量を適切に評価できないなど、十分な精度の結果が得られない可能性がある。したがって一次元河床変動計算を実施するにあたっては狭窄部、流れ幅等の設定が重要となる。例えば高橋ら⁵⁾は、上流端付近など河道幅の判読が難しい箇所についてレジーム則を用いて河道幅を推定している。そのほか丹羽ら¹⁾は、大規模な土砂生産があった春木川の河床変動計算を実施するに当たり、レジーム則を用いて流れ幅を設定している。

【現象を評価する数値計算に関する参考文献】

- 1) 丹羽諭, 内田太郎, 泉山寛明, 桜井亘, 大野亮一, 寺田秀樹, 里深好文 (2018) : 大規模土砂生産後の土砂流出を対象とした河床変動計算における流れ幅の設定の影響, 砂防学会誌, Vol.70, No.6, pp.34~45.
- 2) 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, pp. 15 – 22
- 3) Mouri, G., Shiiba, M., Hori, T., Oki, T. (2011) : Modeling reservoir sedimentation associated with an extreme flood and sediment flux in a mountainous granitoid catchment, Japan, Geomorphology, Vol.125, pp. 263 – 270.
- 4) Heinmann, F. U. M., Rickenmann, D., Böckli, M., Badoux, A., Turowski, J. M., Kirchner, J. W. (2015) : Calculation of bedload transport in Swiss mountain rivers using the model sedFlow:

proof of concept, *Earth Surface Dynamics*, Vol. 3, pp.35 – 54

- 5) 江頭進治, 松木敬 (2000) : 河道貯留土砂を対象とした流出土砂の予測法, 水工学論文集, Vol. 44, pp. 735 – 740
- 6) 高橋保, 井上素行, 中川一, 里深好文 (2000) : 山岳流域における土砂流出の予測, 水工学論文集, Vol. 44, pp. 717 – 722
- 7) 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, Vol.66, No.5, pp. 3 – 12
- 8) 山野井一輝, 藤田正治 (2015) : 大規模な土砂生産および洪水後の土砂管理に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学) , Vol.71, No.4, pp. I_961 – I_966
- 9) 横尾善之, 丹羽諭, 内田太郎, 平岡真合乃, 勝山正則, 五味高志, 水垣滋, 浅野友子 (2018) : 山地流域の水・土砂流出における空間スケールの影響(3) : 数値解析モデル上の取り扱い事例, 水文・水資源学会誌, Vol.31, No.4, pp. 245 – 261
- 10) 内田太郎, 蒲原潤一, 松本直樹, 桜井亘 (2016) : 大規模土砂生産後の影響を評価する河床変動計算を用いた実用的な流域土砂動態解析手法, 土木技術資料, Vol.58, No.2, pp.8 ~11.