

3 豪雨時の土砂動態に則した条件設定に関する留意点

3. 1 土砂の供給条件

3. 1. 1 土砂の供給量・供給地点

土砂の供給量の設定手法は、現地調査や過去の豪雨時の土砂生産の実態に則して設定する手法と数値計算など解析的に設定する手法が考えられる。

一方、斜面崩壊、溪岸侵食・崩壊、土石流の発生位置を災害前に正確に想定することは現状難しい。また、1次谷など全ての河道を対象に解析を実施することは多大な労力を要する。さらに、土砂の供給の形態としては、斜面崩壊や溪岸侵食・崩壊などによる斜面や溪岸から河道への直接流入、土石流の発生による溪流からの流入など複数考えられる。そこで、土砂供給地点は、過去の災害時の崩壊や土石流の分布状況・生産土砂量の空間分布・土砂生産形態、各種の調査結果、計算対象区間の設定状況などを総合的に鑑み、適切に土砂供給地点を設定する必要がある。

[参考] 土砂供給量の設定方法

現地調査や過去の豪雨時の土砂生産の実態に則して土砂供給量を設定する手法については、国土交通省河川砂防技術基準（計画編）の第3章第2節「2.2.4 計画土砂量等」および国土交通省河川砂防技術基準（調査編）の第17章「砂防調査」などに詳しい。

【参考文献】

- 1) 河川砂防技術基準（計画編）
- 2) 河川砂防技術基準（調査編）

[例示] 土砂の供給地点の設定

2.1 で示したように、計算区間は極力土砂生産域に近い方が望ましい。一方、全ての土砂生産源から下流全てを解析対象とするのは、生産源の特定、計算の負荷の観点から多大な労力を要する。また、河床勾配が極めて急な領域においては、土石流に関する解析事例も少ない。

そこで、本川の計算区間の設定にあたっては、流域面積、河床勾配を考慮し、設定することが現実的である（図 3.1 の黒実線の河道）。例えば、土石流の堆積すると考えられる河床勾配（ 10° 以下）が概ね計算区間に含まれるようにするなどが考えられる。また、流域面積が本川の計算区間の上流端の流域面積と同程度か大きい支川については、土砂流出に及ぼす影響が大きいことも考えられるため、本川同様、計算対象河道を設定する（図 3.1 の青実線の河道）。さらに、流域面積が本川の計算区間の上流端の流域面積よりは小さいものの、流域面積が比較的大きい支川（図 3.1 の黄色の流域）も土砂流出に及ぼす影響はある程度大きいと考えられる。そこで、このような支川からの土砂流出が表現できるように、規模の大きい支川と計算対象河道の合流点に側方の供給点（図 3.1 の青三角）を設けることが考えられる。その上で、溪岸侵食による土砂供給が考えられる場合は、直接河道に土砂を流入させるなどが考えられる。

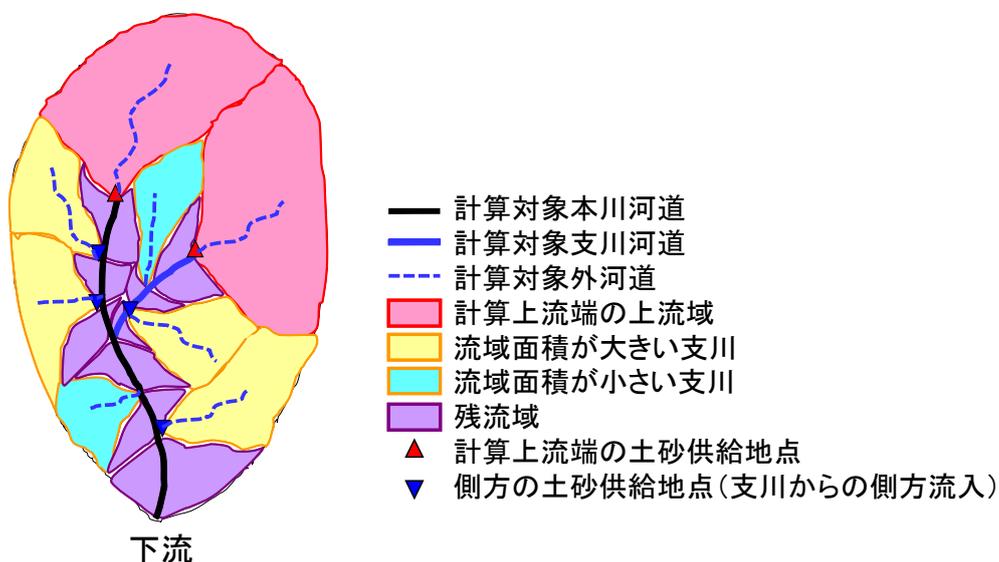


図 3.1 土砂供給地点設定の例のイメージ

【例示】 信濃川水系魚野川流域内の河床変動に関する調査事例

土砂の供給形態として、溪岸崩壊・溪岸侵食の果たす役割の大きさが指摘されてきている¹⁾。下記には、レーザープロファイラデータを用いた、平成23年7月新潟福島豪雨による魚野川水系登川本川の河床変動量の調査結果を示す(図3.2)。同河道においては、河床における侵食・堆積に加えて、溪岸崩壊・溪岸侵食により、多くの土砂が生産されていることが分かる。

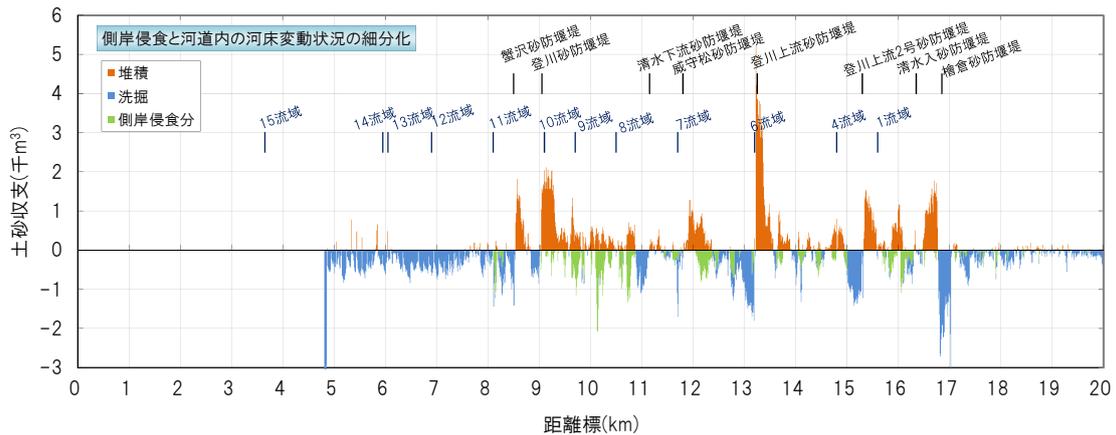


図 3.2 平成23年7月新潟福島豪雨による魚野川水系登川本川の河床変動(湯沢砂防事務所取得データを基に国土技術政策総合研究所 砂防研究室作成)

【参考文献】

- 1) 例えば、水山高久(2003):わかりやすい砂防技術(3) 土砂の生産, 砂防と治水, 36(2), 64-65.

3. 1. 2 土砂の供給タイミング

豪雨時の河道への土砂供給プロセスとしては、斜面等からの崩壊や土石流による土砂供給が主たるものであると考えられ、一般的に総雨量または降雨強度が大きい時間帯に集中する。また、河床に大量の不安定土砂が堆積している急勾配な溪流の場合であっても、観測や水路実験によると、河道には、間欠的に土砂が供給されることが示されてきた^{1), 2)}。

しかし、既存の計算事例では計算上流端において洪水期間中は常に平衡給砂するなど、単純な仮定が用いられる事例が多い³⁾。一方、住民からの聞き取り調査結果に基づき土砂供給タイミングを考慮した河床変動計算を実施し、洪水後の河床変動高を良好に再現できたことを報告した例もある⁴⁾。また、土砂供給の総量が同じであっても、土砂供給のタイミングを変化させることによって、下流への流出土砂量や河床変動高に違いが生じることも明らかにされてきた⁵⁾(巻末の参考資料1参照)。

そこで、土砂生産のタイミングの実態を調査することが重要である⁶⁾。その上で、土砂生産のタイミングを考慮し、土砂供給の条件を設定することが重要である。また、土砂生産のタイミングに関する十分な情報が得られない場合は、想定される範囲で感度分析を行うことも考えられる。

【参考文献】

- 1) 今泉文寿・土屋 智・逢坂興宏 (2002) : 荒廃溪流源頭部の砂礫堆積地における土石流の発生と流動過程の観測, 砂防学会誌, 55(3), p.50-55
- 2) 池田暁彦・水山高久・杉浦信男・長谷川祐治 (2009) : 土石流発生源における溪床堆積土砂の変形に関する実験的研究, 砂防学会誌, 62(4), 46-51
- 3) 例えば、赤沼隼一・小山内信智・安田勇次・嶋 大尚 (2002) : 平成 11 年 9 月 15 日重信川流域土砂災害における砂防施設効果, 砂防学会誌, 55(2), 43-51
- 4) 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, 59(5), 15-22.
- 5) 丹羽諭・内田太郎・蒲原潤一・里深好文 (2014) : 土砂生産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, 181-186
- 6) 水山高久 (2003) : わかりやすい砂防技術 (3) 土砂の生産, 砂防と治水, 36(2), 64-65.

[参考] 土砂供給時の土砂濃度の考え方

これまでの多くの山地流域の土砂流出解析において、計算区間上流端では、その場の水理条件と河床材料を用いて、流砂理論から決まる平衡濃度・平衡流砂量で土砂が流入するとして、解析が行われている。

本節で示したように土砂供給のタイミングを考慮した上で、土砂供給時に土砂の供給点付近の河床勾配、水理条件、供給土砂の粒径から決まる平衡流砂量を供給した場合、解析上の河道への土砂供給量が現地調査や過去の豪雨時の土砂生産の実態に則して設定した土砂供給量（3.1.1 参照）と整合しない場合が考えられる。不整合の要因としては、上流域の流出する可能性がある移動可能な土砂量や豪雨時に斜面崩壊等によって生じる生産土砂量が計算上流端における流水量、勾配、粒径等によって決まる運搬可能な土砂量に比べて小さいことなどが考えられる。そこで、このような場合、過去の豪雨時の現象と整合を取るためには、土砂供給量をその場の平衡流砂量としない、土砂の供給のタイミングを見直す（出水前半に集中させるなど）、計算対象区間を見直す、側方流入点を見直すなどの対応が考えられる。

3. 1. 3 粒径

斜面崩壊や土石流などによって生じる土砂は出水前に山地流域内の河床に堆積している土砂と異なる粒径である場合が多い（図 3.3）。斜面崩壊や土石流などによって生じる土砂のうち、細粒分は出水期間中に流下し、河床に堆積しないことが考えられる¹⁾。また、河床堆積土砂は、堆積後のアーマーコート化により生産土砂より粗い粒径分布を有している場合が多い。そこで、生産土砂と河床堆積土砂の粒径の違いを考慮し、計算上流端での土砂供給を実施することが重要である。すなわち、土砂生産源となる山腹、溪床、溪岸の粒度分布調査や河床堆積物のアーマーコート化に関する調査を行い²⁾、調査結果等を基に供給する土砂及び河床の土砂の粒度分布を決めることが重要である。

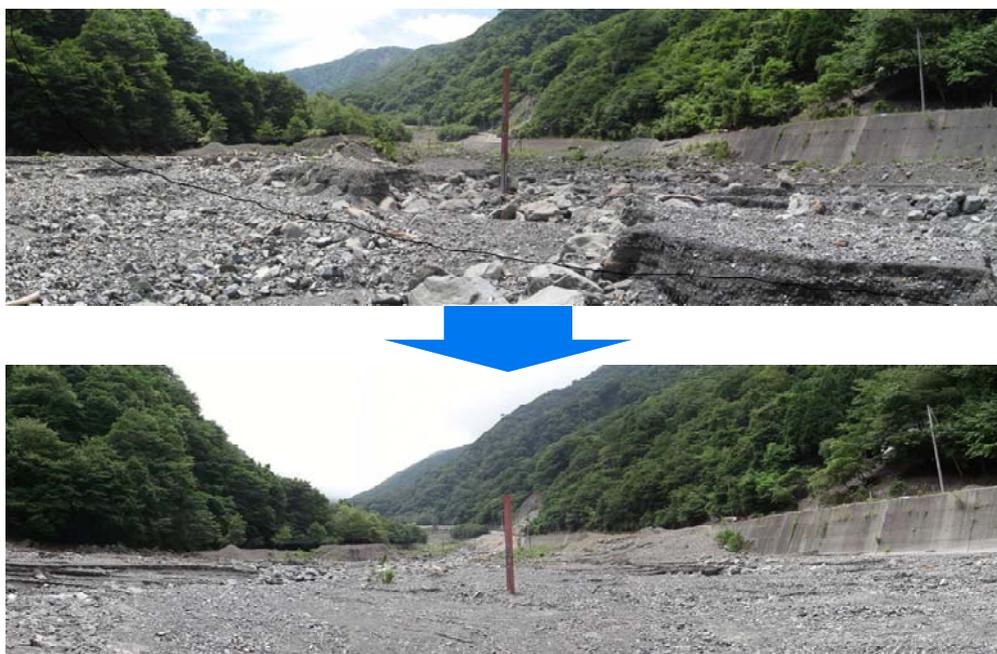


図 3.3 大量な土砂生産にともなう河床の粒径の変化の例（富士川砂防事務所管内）

【参考文献】

- 1) 水山高久（2003）：わかりやすい砂防技術（3） 土砂の生産，砂防と治水，36(2)，64-65.
- 2) 水山高久（2003）：わかりやすい砂防技術（4） 土砂の流出、堆積，砂防と治水，36(3)，74-75.

【参考】 河床材料と大規模出水時に堆積したと考えられる土砂の粒度分布の調査事例

図 3.4 に常時流水がある区間の河床の土砂と大規模出水時に堆積したと考えられる土砂の粒度分布に関する調査結果の例を示す。調査方法については、蒲原ら(2014)¹⁾に記載されている。この図より、常時流水がある区間の河床の土砂の粒径は大規模出水時に堆積したと考えられる土砂の粒径に比べて、中央粒径で見た場合、2 オーダー程度大きくなる場合があることが分かる。

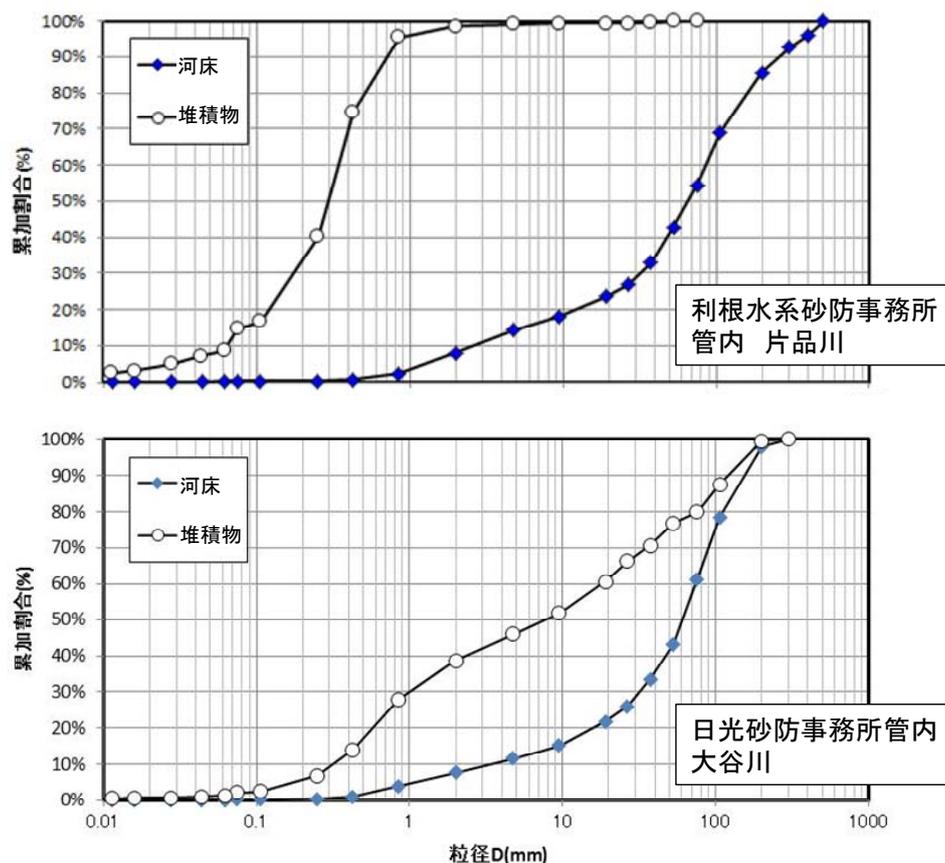


図 3.4 河床材料と大規模出水時に堆積したと考えられる土砂の粒度分布の比較（国土技術政策総合研究所 砂防研究室作成）

【参考文献】

- 1) 蒲原潤一・内田太郎・林真一郎・奥山悠木・丹羽諭・吉村暢也（2014）：ハイドロフォンを用いた掃流砂流出特性の分析，平成 26 年砂防学会研究発表会概要集，B62-B63

3. 2 水の供給条件

3. 2. 1 降雨条件

保全対象に関する土砂・洪水氾濫による被害の推定を行うにあたっては、保全対象の位置に応じ、降雨条件を設定する必要がある。ある保全対象より、上流域の流域面積が小さい場合、雨域の狭い集中豪雨などにより、当該流域の流域平均の降雨強度が非常に大きくなる可能性が考えられる。

また、当該保全対象のある地点より上流域の流域面積が大きい場合、流域内の一部で雨域の狭い集中豪雨が生じた場合であっても、流域内のその他の地域の降雨強度が小さいことにより、当該流域の流域平均の降雨強度は小さくなる可能性が考えられる。このような降雨分布の場合、当該保全対象が被害に遭う可能性は必ずしも高くない。一方、局所的に降雨強度が極めて強い領域がなくても、流域全体を覆うような雨域の広い降雨がもたらされた場合、流域平均の降雨強度が大きくなり、当該保全対象が被害に遭う可能性は相対的に高くなる可能性が考えられる。

すなわち、同じ地域において同じ発生確率であっても、保全対象の流域内の位置により、災害発生のおそれの高い流域平均の総降雨量・降雨強度、降雨分布、降雨波形が異なる（図 3.5）。そこで、ある発生確率の被害を算出するにあたっては、保全対象を位置によって区分し、区分ごとに過去の実績などをもとに降雨規模と発生確率の分析を行い、計算に用いる降雨規模・波形および空間分布を区分ごとに決める必要がある。

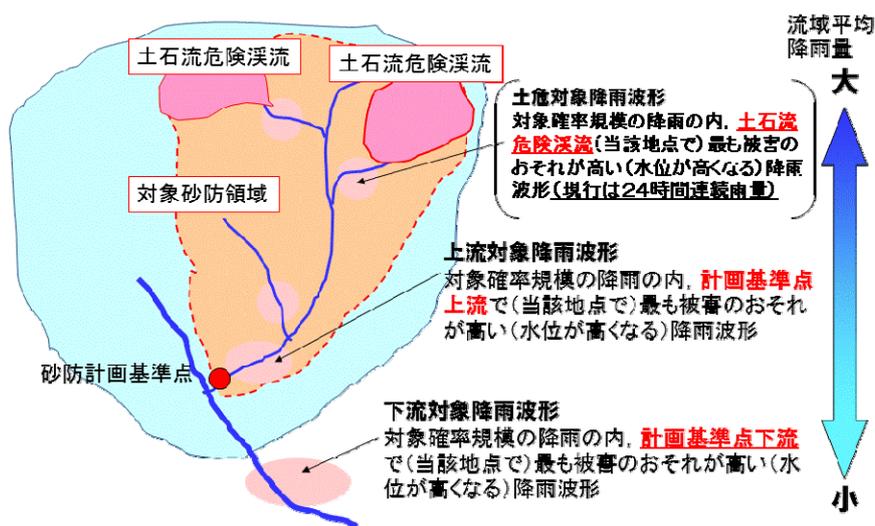


図 3.5 降雨波形の考え方のイメージ

3. 2. 2 流出解析

計算対象区間に流入する水の量を想定するためには、流出解析により、ハイドログラフを算出する必要がある。ハイドログラフの設定を行う場合は、山地流域流出特性が下流の平野部の河川の流出特性と大きく異なることに十分な注意を払うことが重要である^{1), 2)}。

【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) 友村光秀・佐藤悠・内田太郎・松本直樹・蒲原潤一 (2015) : 急峻で企画的規模の大きい山地流域の洪水流出に関するデータ収集と分析, 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集, B456-B457

[参考] 計算上流端のハイドログラフの設定時の留意点

豪雨時の土砂流出解析においては、ある地点において流量規模を事前の想定や既往の観測結果などと整合するように解析条件を設定する場合が多くある。このようなとき、計算上流端から当該地点までの間の洪水波形の伝搬時間を考慮して計算上流端のハイドログラフの設定を行うことや、計算上流端から当該地点までの区間における土砂の堆積にともなう水量の減少を考慮して計算上流端のハイドログラフの設定を行うことなどが重要である。

[例示] 水の供給地点の設定

3.1.1 の例示で示したような手法で土砂の供給地点を設定した場合、土砂供給地点において、流域面積見合いで水を供給した場合、残流域からの水の供給が十分に表現されず、流域全体では水の供給量が過小評価になることが考えられる。そこで、土砂の供給を行わなかった流域面積が小さい支川の合流点、残流域等を含む全領域から水の流出を考慮する必要がある。図 3.6 に示すような残流域から水を供給するにあたっては、当該残流域に接続する河道区間に均等に水量を分割して供給する手法などが考えられる。

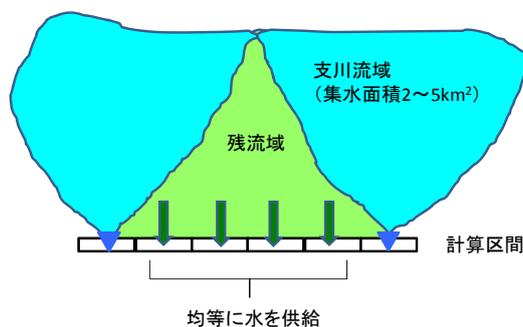


図 3.6 残流域からの水供給方法の例 (イメージ)

3. 3 河床条件

山地河道内の河床条件は多様である。例えば、対象区間の河床は露岩しているところ、横断工作物がある箇所、大粒径の土石で覆われているところなどは基本的には侵食は生じないと考えられる。このような区間は、解析上、固定床として解析を行うことなどが考えられる。

一方、河床に移動可能な土砂が堆積している区間については、移動床として計算するのが一般的であるが、侵食可能深、粒径の設定は計算結果に大きな影響を及ぼす可能性が考えられる。そこで、過去の実績や現地調査により、土砂動態の実態に則した侵食可能深を設定するとともに、「3.1.3 粒径」で示したように調査結果に基づきアーマーコート化を考慮して粒径を設定することが重要である。