

土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画
の基本的な考え方(試行版)

令和5年8月

国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部

< 目 次 >

はじめに	2
1. 総説	3
1.1. 本資料の目的.....	3
1.2. 対象とする現象.....	3
1.3. 土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画の構成.....	5
1.4. 検討の流れ	8
1.4.1. 検討項目.....	8
1.4.2. 計画規模の設定.....	8
1.4.3. 他所管事業との連携.....	8
2. 基本事項の整理	10
2.1. 検討に当たっての前提.....	10
2.2. 収集する資料.....	10
2.3. 既往災害の実態整理.....	10
2.4. 流木発生ポテンシャル調査.....	12
2.5. 施設等調査	13
2.5.1. 施設調査.....	13
2.5.2. トラブルスポット調査.....	14
2.6. 被害シナリオの想定.....	14
3. 計画流木量の設定.....	16
3.1. 計画発生流木量.....	16
3.1.1. 基本的な考え方.....	17
3.1.2. 計画発生流木量の算出.....	18
3.2. 計画流出流木量.....	21
3.2.1. 基本的な考え方.....	21
3.2.2. 計画流出流木量の算出.....	21

はじめに

豪雨時に斜面崩壊や土石流によって大量の土砂が生産され、それらが河道に供給されることに伴い、河道が土砂で埋まり土砂や泥水が河道と関係無く流れることで、保全対象に甚大な被害を及ぼすことがある。また、河道が埋まるまではいかなくとも河道に堆積した土砂により流下能力が低下することで氾濫が発生し、保全対象に甚大な被害を及ぼすこともある。この土砂・洪水氾濫と呼ばれる現象については、近年数値解析により被害想定や対策のための施設配置計画検討が進められている。

また、平成 29 年の九州北部豪雨のように土砂・洪水氾濫発生時には、大量の土砂と合わせて大量の流木が発生・流下し、被害を拡大させている事例が近年見られている。

土砂・洪水氾濫において、急勾配の土石流から緩勾配の掃流砂・浮遊砂までの土砂動態を数値計算により再現・推定する取り組みは進められているものの、流木については技術開発が進められている段階にある。

土砂災害警戒区域で対象とするような土砂と流木が一体となって流下する土石流がそのまま人家等への被害を及ぼす現象に対しては、知見が取りまとめられ砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）等に基づき土石流・流木対策が進められている。ここでは、発生する流木量やそれが保全対象へ流下する流木流出率が経験的に整理され、計画流出流木量を算出する手法が示されている。

土砂・洪水氾濫が発生する流域は、比較的流域面積が広く、流木の発生・流下・堆積といった挙動は複雑である。緩勾配の掃流区間では、流木は土砂と分離して流下することで、土砂とは異なる被害をもたらすため、別の対策を検討する必要がある。

土砂・洪水氾濫対策計画の検討については、「河川砂防技術基準（計画編）基本計画編 第 3 章 砂防（土砂災害対策等）計画，平成 31 年 3 月」が参考となるが、本資料は、土砂・洪水氾濫対策における流木対策計画を具体的に検討するための基本的な考え方を整理するものである。

なお、流木の発生・流下、溪流や河道における流下・堆積の過程や災害発生メカニズムについての研究は行われているが、未だ研究途上であり本資料は現時点の研究・技術開発の成果を取りまとめたものであり、更なる知見を収集し成果を反映していく必要がある。

令和 5 年 8 月

国土交通省水管理・国土保全局砂防部

1. 総説

1.1. 本資料の目的

土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画は、土砂・洪水氾濫に伴い流木の発生・流出が想定される流域を対象として、流木による災害から生命、財産、生活環境及び自然環境を守ることを目的として立案するものである。

土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画を立案する上では、流木量の算出、被害シナリオ、被害想定及び施設配置の具体的な手法の検討が必要となる。本資料では、土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画を検討するための現時点の知見に基づく基本的な考え方を整理することを目的とする。

1.2. 対象とする現象

本資料において対象とする現象は、「河川砂防技術基準（計画編）基本計画編 第3章 砂防（土砂災害対策等）計画，平成31年3月」における「第2節 砂防基本計画に関する基本的な事項 2.1 総説及び2.2 短期（一連の降雨継続期）土砂・流木流出対策計画に関する基本的な事項」で整理されている一連の降雨による土砂・洪水氾濫とし、「A-3 土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画」で取り扱う、流出する流木による被害を対象とする。

		保全対象の位置			
		土石流危険渓流等 にある保全対象	扇状地・谷底平野 にある保全対象	沖積平野にある 保全対象	貯水池
対象とする期間	短期 (一連の降雨)	A. 短期(一連の降雨継続期)土砂流出による土砂災害対策計画			
		A-2. 土石流・流木 対策計画	A-1. 土砂・洪水氾濫対策計画		
			A-3. 土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画		
		E. 深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害対策計画			
	中期 (数年まで)		B. 中期(土砂流出活発期)土砂流出対策		
	長期 (10年以上)		C. 長期(土砂流出継続期)土砂流出対策		

図 1-1 対象とする現象（出典：河川砂防技術基準（計画編）基本計画編 に加筆）

石川ら（1989）によると流木の発生原因・形態は表 1-1 のように整理出来る。本資料では、発生流木の流出過程のモデル化が現時点で可能なものとするため、表 1-1 に示す発生原因と形態のうち①～⑤及び⑧を評価することとしている。

表 1-1 流木の発生原因と形態

流木の起源	流木の発生原因と形態
立木の流出	① 斜面崩壊の発生に伴う立木の滑落 ② 土石流の発生に伴う立木の滑落 ③ 土石流の流下に伴う溪岸・溪床侵食による立木の流出 ④ 洪水による河岸・河床の侵食による立木の流出
過去に発生した流倒木の流出	⑤ 病虫害や台風等により発生した倒木等の洪水等による流出 ⑥ 過去に流出して河床上に堆積した流木や河床堆積物中に埋没していた流木の再移動 ⑦ 雪崩の発生・流下に伴う倒木の発生とその後の土石流、洪水による下流への流出
伐木・原木の流出	⑧ 放置された伐木や間伐材の斜面崩壊、土石流、洪水による流出 ⑨ 集積された木材の洪水等による流出 ⑩ 洪水等による椎茸原木の流出
用材の流出	⑪ 土石流、洪水等による家屋の損壊とそれに伴う破損材の流出 ⑫ 土石流、洪水等による木橋の流出 ⑬ 土石流、洪水等による電柱の流出

※石川芳治，水山高久，鈴木浩之：崩壊・土石流に伴う流木の実態と調査法，土木技術資料，31-1，pp23-29，1989 を引用・加筆

流木の流出により引き起こされる被害については、「ダム貯水池流木対策の手引き（案），平成 30 年 3 月」において、表 1-2 のような整理がなされている。ここで事例を示しているが、その他の現地状況に応じて想定される被害を対象とすることを妨げるものではない。

なお、表 1-2 に示す流木災害の形態のうち、河川域で生じる①、②、③、⑤については、砂防区間でも同様の現象が発生しうる可能性があることに留意する。

表 1-2 流木災害の形態

流木災害の形態	災害が生じる主な場
① 流木が橋梁・カルバート、水路等に詰まることにより土石流や洪水が河道から溢れて周辺や下流の人家、施設等に被害を与える	河川域（橋梁等）
② 流木が橋梁に詰まって上流で土石流や洪水がダムアップしこれらによる流体力や水圧により橋梁が押し流される	河川域（橋梁等）
③ 取水堰や放水路の取水口に流木が詰まって取水機能や放水機能を低下させる	河川域（構造物）
④ 土砂調節を目的とした透過型の砂防えん堤等のスリット部を閉塞し土砂の調節機能を低下させる	砂防区間
⑤ 流木の衝突による衝撃力により家屋あるいは河川に設置してある構造物等を破壊	河川域（構造物）
⑥ 貯水池等に貯って一部は沈積する。これらは腐敗し水質や景観を損ねる	ダム
⑦ 海に流出して船舶の航行の障害等になったり、海岸に漂着してゴミとなる	海岸域

※河川における樹木管理の手引き：（財）リバーフロント整備センター編集，204p，1999 を引用・加筆

1.3. 土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画の構成

「河川砂防技術基準（計画編）基本計画編 第3章 砂防（土砂災害対策等）計画，平成31年3月」における「第2節 砂防基本計画に関する基本的な事項 2.2.4 土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画に関する基本的な事項（4）計画で扱う流木量」に則り、土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画で扱う流木量として計画発生流木量、計画流出流木量を設定することを基本とする。それぞれの流木量は、対象区域の現況調査資料、既往の災害資料、類似地域の資料等を用いて定める。これら流木量は、計画基準点での値だけ算定するのではなく、被害が想定される地点（トラブルスポット）ごとに被害発生の有無を判定するために算定する必要があることに留意する。

土砂・洪水氾濫時に流出する流木の算出の流れを図 1-2 に示す。また、土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画で対象とする流木量を図 1-3 のようにとらえることとする。なお、「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，平成28年4月」の考え方との違いを示すために併記して説明している。河床勾配が10度以上においては、その土砂移動形態から便宜的に「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，平成28年4月」の考え方と同様の流出率を採用した。

なお、本資料では、河床勾配が10度未満において河床変動計算結果を用いて便宜的により流木を算出する手法を示しているが、流木流出のモデルを用いた手法等で算出することを妨げるものではない。巻末に参考として、それらの事例を示す。

加えて、河床勾配を 10 度以上は「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説、平成 28 年 4 月」に準じた考え方、10 度未満は一次元河床変動計算で流木量を算出する事例を示しているが、河床勾配に関わらず対象現象や現地状況を踏まえて、一次元や二次元の河床変動計算等を適切に選択されたい。

■ 土砂・洪水氾濫時に流出する流木量の算出の流れ

- ① 土砂・洪水氾濫対策計画策定のための流域分割を用いて、計算上流域、支川流域、残流域に算定区間を区分する。加えて土石流・流木対策を実施している、事業実施予定のある土石流危険渓流についても算定区間を区分する。
- ② 計算上流域、支川流域、土石流危険渓流からの流出流木量は、『砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）「2.6.2 計画流出流木量の算出方法」』に準じて算出する。残流域は流域の特性に応じて、算出の有無を判断する。
- ③ 一次元河床変動計算区間からの流出流木量は、計算結果をもとに算定する。
- ④ 土砂・流木処理計画を満たす施設整備が完了している土石流危険渓流では流出流木量は 0m^3 とする。ただし整備途上の場合は整備状況を鑑みて流出流木量を算定することができる。
- ⑤ 流出流木量を算出する地点（計画基準点やトラブルスポット等）における流木量は、収支計算（河道の流れをもとにした加算・減算手法）により算定する。

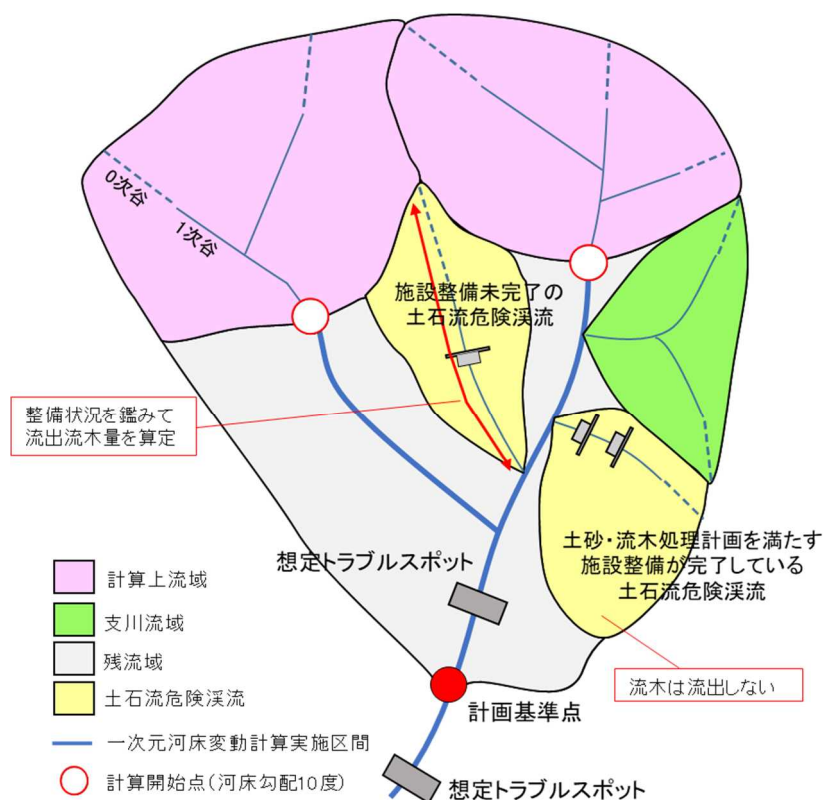


図 1-2 土砂・洪水氾濫時に流出する流木量の算出の流れとイメージ

■土石流・流木対策の範囲

計画発生流木量＝土石流の流下範囲にある立木の量

計画基準点から流出する計画流出流木量
＝計画発生流木量×流出率（0.8~0.9）

■土砂・洪水氾濫対策の範囲（土石流・流木対策以外の範囲）

（河床勾配 10 度以上の範囲）

計画発生流木量＝土砂・洪水氾濫時に流木となりうる立木の量

河床勾配 10 度地点から流出する計画流出流木量
＝計画発生流木量×流出率（0.8~0.9）※1

（河床勾配 10 度未満の範囲）

計画発生流木量＝河床侵食で発生もしくは流体力で倒伏する流木の量

河床勾配 10 度未満の地点から流出する計画流出流木量
＝（上流や支川からの流出流木量＋河床変動計算結果に基づく発生流木量）×谷次数ごとに設定する流木流出率

※1：便宜的に土石流・流木対策と同じ流出率を利用

図 1-3 土砂・洪水氾濫対策における流木対策で取り扱う流木量の概念

1.4. 検討の流れ

1.4.1. 検討項目

土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画の検討については、以下に示す手順で実施することを基本とする。現時点の知見を取りまとめた本資料では以下の項目のうち、①～⑥を対象とし、⑦～⑩については今後の改定時に追加することを予定している。

①既往災害の実態整理

②流木発生ポテンシャル調査

③施設調査

④トラブルスポット調査

⑤被害シナリオの想定

⑥計画流木量の設定

⑦トラブルスポットでの閉塞の検討

⑧流木の閉塞に伴う被害想定範囲の検討

⑨施設配置計画の検討

⑩被害額の算出

1.4.2. 計画規模の設定

計画規模は、土砂・洪水氾濫対策計画における計画規模と同等とすることを基本とする。なお、土砂・洪水氾濫対策計画の検討が未実施の場合は、速やかに検討を進め、当該流域における計画規模を設定する。

1.4.3. 他所管事業との連携

当該流域内にて他所管事業（治山事業）による整備が行われている場合は、事業所管と連携して流木対策を実施するものとする。例えば、発生流木量の算出において治山事業と調整を図り、必要に応じて所管ごとに対策する流木量を取り決め、砂防事業で対策する流木量を差し引くことが考えられる。

なお、実施にあたっては、効率的な事業展開に向けて十分な調整を行うものとする。

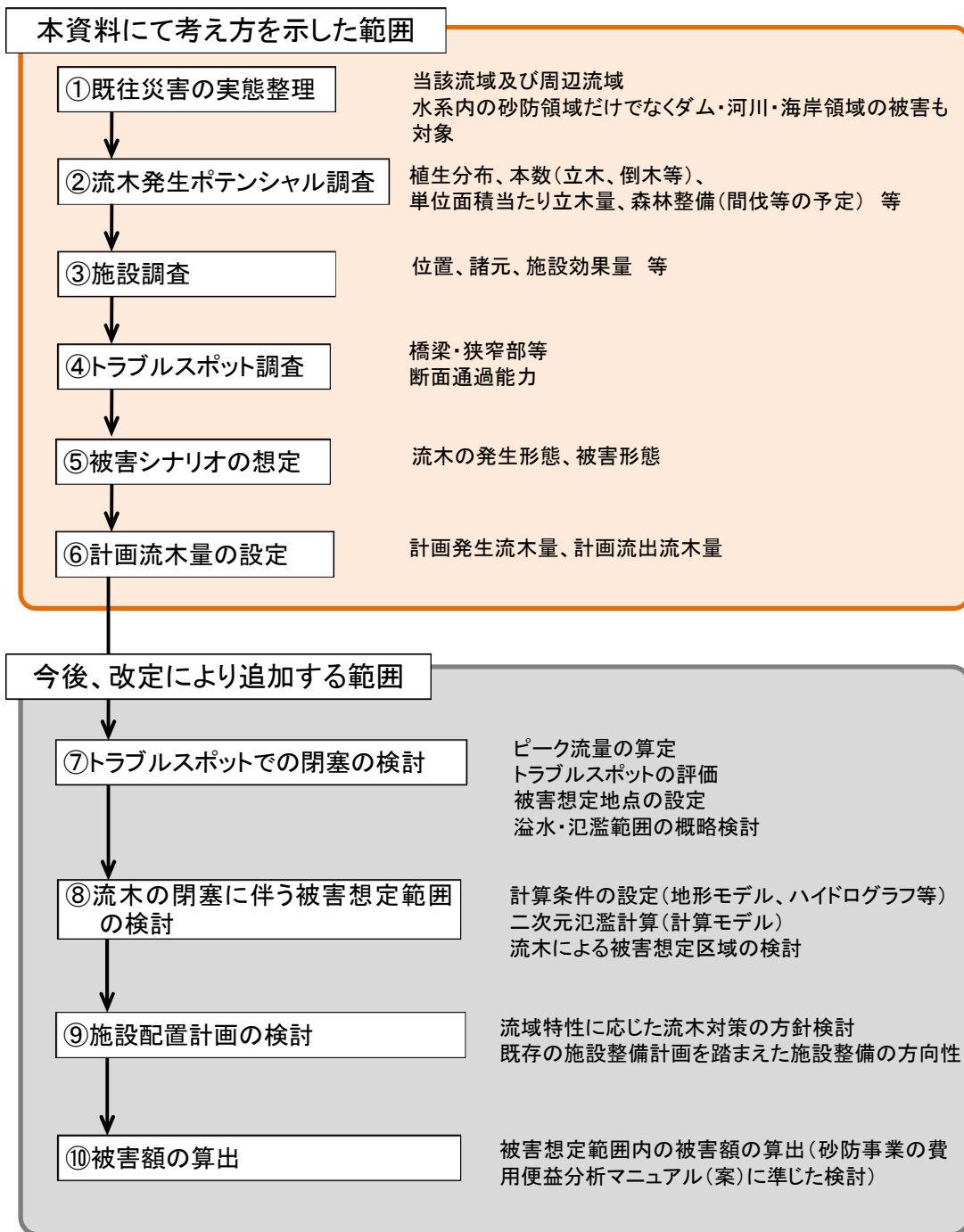


図 1-4 検討フロー

2. 基本事項の整理

2.1. 検討に当たっての前提

土砂・洪水氾濫時に流出する流木対策計画の検討にあたり、土砂・洪水氾濫対策の基本的な検討は別途進められており、計画基準点、計画規模降雨、計画生産土砂量等の基本的な諸元は設定されていることを前提とする。

基本的な諸元が設定されていない流域では、「河川砂防技術基準（計画編）基本計画編 第3章砂防（土砂災害等対策）計画，平成31年3月」に基づく土砂・洪水氾濫対策の検討と併せて土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画を検討する。

2.2. 収集する資料

土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画の立案のために、必要な以下の資料を収集する。

- ・当該流域及び周辺流域の既往の流木災害に関する資料
- ・地形、地質に関する資料
- ・植生分布や、森林整備に関する資料（自然環境保全基礎調査（植生図）、林班図、森林簿及びその他写真判読やリモートセンシングによるデータ）
- ・降雨、水文観測に関する資料
- ・既往の砂防計画に関する資料（グリーンベルト事業含む）
- ・既往の砂防関係施設等に関する資料
- ・計画基準点下流を含む河道上の横断構造物に関する資料
- ・当該水系における河川の改修計画に関する資料
- ・計画基準点下流を含む河道を横断する道路橋等の改修計画に関する資料
- ・保全対象の分布及び資産に関する資料

2.3. 既往災害の実態整理

土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画立案における被害想定を検討のため、過去に発生した流木による被害実態を整理する。被害実態を整理し、流木の流出形態や被害の発生要因を把握することは、流木被害の要因分析、計画流木量や被害想定などを行うために重要である。

そのため、当該流域での流木に伴う被害の事例を収集・整理し、分析を行う。当該流域での流木に伴う被害事例が無い場合、当該流域の周辺流域のみならず、地形条件、地質条件、植生条件などが類似するような地域を含めて事例の収集・整理に努める。また、土砂・洪水氾濫と流木が橋梁等に閉塞して発生した氾濫が切り分けられない場合もあるが、出来る限り、切り分けて整理することが望ましい。

また、収集・整理に際しては、計画規模に限らず高頻度に発生する降雨時の流木の流出形態や被害の発生要因を把握することが望ましい。

主な整理項目は、「河川砂防技術基準（調査編）第 17 章 砂防調査，令和 5 年 5 月」における「第 3 節 短期（一連の降雨継続期）土砂・流木流出対策のための調査」を基本とし、以下の通り収集可能な範囲で整理する。

- ・発生日時、調査日時
- ・流木に伴う被害の概要
- ・発生時の気象状況、降水量
- ・発生流木量
- ・流木の最大長、最大直径
- ・流木の平均長、平均直径
- ・流出流木量
- ・流木実態把握（流木の生産・流下・堆積ごとに、それぞれの位置や量を流木収支図や GIS 上で取りまとめる等）
- ・流木に伴う被害の発生原因（橋梁閉塞、家屋への流木直撃等）
- ・砂防堰堤等における流木捕捉量の推定

なお、新たに発生した流木に伴う被害については、調査時の安全確保に留意しつつ既往災害における整理項目が網羅されるよう調査を行い、事例の整理を行うものとする。

調査においては、以下の点に留意する。

① 斜面崩壊に伴う発生流木の調査

流木発生源である崩壊地等について現地調査、空中写真、LP 測量等にて計測し、崩壊面積を把握する。発生流木量は、崩壊発生前の既往の LP データを用いることで推定が可能だが、データが無い場合は近傍の斜面で立木調査を実施する。

立木調査では、河川砂防技術基準（調査編）第 17 章 砂防調査における 3.3.5 流木の発生・堆積・流出等に関する調査（1）発生流木量調査に基づきサンプリング法（10m×10m）等を行い、樹木の本数、樹種、樹高、胸高直径を計測し材積量を算定する。

② 河床変動に伴う発生・堆積流木の調査

土砂移動がみられた河道を対象に、河床変動状況（侵食・堆積）を推定する。発生流木量は、河道の侵食幅のうち、立木が生育していた幅を推定し、これに区間長及び単位面積立木量を乗じて推定する。堆積流木量は、計測可能な場合は、河道に堆積する流木の長さ、平均直径、本数を確認する。個別の堆積流木を計測不可能な場合は、堆積する流木群（かたまり）の体積を調査し、空隙率を調査もしくは推定して把握する。

③ 施設に捕捉・堆積された流木の調査

当該流域内に位置する砂防関係施設や他所管の横断構造物等の諸元を把握し、捕捉・堆積したと考えられる流木量を推定する。

なお、土砂・洪水氾濫発生時は、流木のみを調査するのではなく、流域全体の土砂動態を把握する必要があるが、本資料ではその内流木に特化して記載している。土砂動態全体を把握する上では、「河川砂防技術基準（調査編）第17章 砂防調査，令和5年5月」における「第3節 短期（一連の降雨継続期）土砂・流木流出対策のための調査」が参考となる。

2.4. 流木発生ポテンシャル調査

流木発生ポテンシャル調査を実施し、計画流木量（計画発生流木量及び計画流出流木量）を設定し、流木収支を検討するための基礎資料とする。

調査にあたっては、「河川砂防技術基準（調査編）第17章 砂防調査，令和5年5月」における「第3節 短期（一連の降雨継続期）土砂・流木流出対策のための調査 3.3.5 流木の発生・堆積・流出等に関する調査及び3.4 土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策のための調査」に基づく調査を行うものとする。

流木発生ポテンシャル調査では、当該流域において計画規模降雨が発生した際に流出しうる流木の総量を対象とし、立木だけではなく倒木・伐木を含めた調査を行う。

また、都市山麓グリーンベルト整備計画に基づく事業を実施している流域において、目標とする森林の状態を踏まえて計画発生流木量を算定しても構わない。加えて、当該流域において、樹木の生長が見込まれる林齢の森林が多く分布する場合には、必要に応じて材積の増加を見込むことを検討することが望ましい。一方、倒木、伐木等を流木ポテンシャルとして扱う場合は、中長期的に腐朽あるいは分解によりポテンシャルが減少していくことが想定される。現地状況に応じて適切に判断することが望ましいが、現時点では知見が不足しているため、今後知見の蓄積が必要である。

なお、当該流域で他所管と連携して流域流木対策を実施する場合は、調査結果を共有する必要があることから、流木発生ポテンシャル調査の実施にあたって、調査手法を含めて調整する必要があることに留意する。

発生流木量の推定においては、LP計測データの活用による樹種、本数、樹高の計測の推定が考えられるが、以下のマニュアルや研究事例が参考となる。

- 林野庁：UAV立木調査マニュアル，108p.，平成31年3月
- 中武修一，山本一清，吉田夏樹，山口温，宇野女草太：航空機LiDARによる単木樹種分類手法の開発，日本森林学会誌，100巻5号，pp.149-157，2018.

- 赤沼隼一，福田 光生，後藤健，川邊 三寿帆，高嶋啓伍，川上誠博，小更 亨，板野友和，本多泰章，福井翔宇，彦坂修平：AI を用いた樹種判読と流木量算出について，2019 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.469-470，2019.
- 林悠介・トウソウキュウ・加藤正人・中村良介：ディープラーニングによる針葉樹の単木樹冠検出と樹種分類，森林計画学会誌，55 巻 1 号，pp.3-22，2021.

2.5. 施設等調査

流木収支を検討するための基礎資料として、当該流域における施設及びトラブルスポットを調査する。

2.5.1. 施設調査

施設調査にあたっては、「河川砂防技術基準（調査編）第 17 章 砂防調査，令和 5 年 5 月」における「第 2 節 基礎的な調査 2.2.6 施設の現況」に基づく調査を行うものとする。

河床勾配 2 度以上の土石流区間における流木に対する施設効果量は、「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，平成 28 年 4 月」における「3.2.2 計画捕捉流木量」に則り、検討するものとする。

掃流区間内での計画捕捉流木量は、今後の知見の蓄積が必要だが、現時点では「流木対策指針（案），平成 12 年 7 月」や「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，平成 28 年 4 月」を参考に、以下に示す通りを基本とするが、過去の災害事例や現地状況に応じて適切に設定する。

不透過型砂防堰堤：現時点では流木捕捉量を見込まない

溪流保全工や不透過型砂防堰堤の堆砂域に設置する流木捕捉工

：計画上、流木が（一層）全て覆いつくすものとして算出

不透過型砂防堰堤の副堰堤に設置する流木捕捉工

：計画上、本堤・副堰堤の水褥池を全て覆いつくすものとして算出

$$X = A_w \times R_{wa}$$

ここで、 X ：計画捕捉流木量、 A_w ：湛水池、堆砂域、水褥池の面積

R_{wa} ：流木の平均直径

なお、掃流区間において堰上げにより効果を発揮する施設（コンクリートスリット砂防堰堤等）については、現地状況や計画ハイドロに応じて適切に設定することが望ましい。

今後、事例調査を進めていき知見が蓄積された際には見直しを行うものとする。

設備台帳を元に以下の調査項目について、位置（座標）、所管（国土交通省、林野庁、都道府県砂防部局、治山部局等）、工種（砂防堰堤、床固工、谷止工等）や諸元（高さ、幅、

施設効果量等)の整理を行う。

2.5.2. トラブルスポット調査

トラブルスポットとは、土砂・洪水氾濫時に流出する流木によって被害をもたらす原因となる地点である。

土砂・洪水氾濫時に流出する流木による被害は、橋梁、道路暗渠（ボックスカルバート）等の狭窄部で流木が閉塞することで発生することが多いが、その他、当該流域において流木が原因となり被害が生じる可能性がある箇所をトラブルスポットとして把握しておくことも重要である。

トラブルスポット調査から閉塞判定までの基本的な流れを以下に示す。

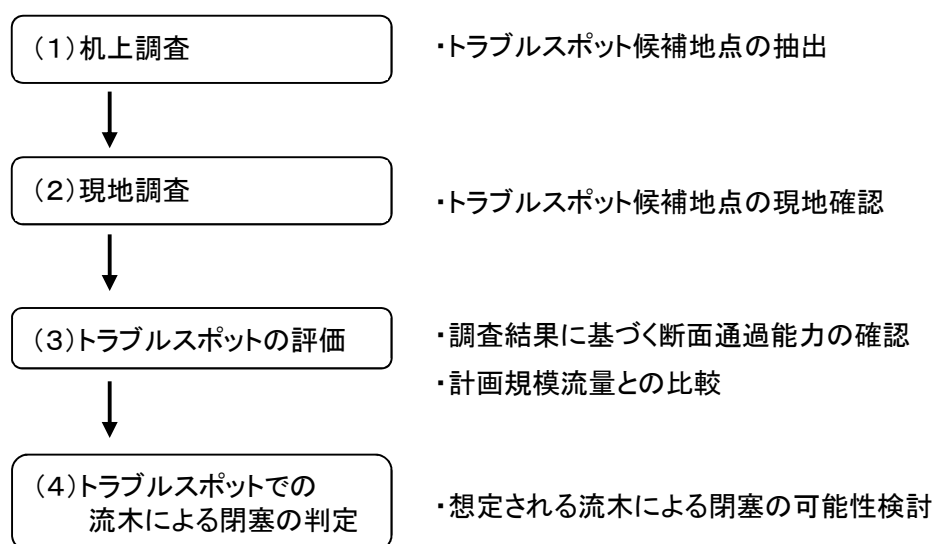


図 2-1 トラブルスポット調査から閉塞判定までの基本的な流れ

2.6. 被害シナリオの想定

当該流域における土砂・洪水氾濫時に流出する流木による被害シナリオを設定する。本資料で想定する流木被害は、土砂・洪水氾濫時に流出する流木に伴い、「2.5.2 トラブルスポット調査」で把握したトラブルスポットが閉塞することで生じる氾濫によるものとする。

具体的には、以下のような現象が発生することを想定している。土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画において、流木対策の効果を評価するという観点においては、現時点では①による被害の拡大を想定した計画を立案することが考えられる。

- ① 流木により橋梁、カルバート、水路等のトラブルスポットが閉塞または河積阻害が発生することにより土砂や泥水が河道から溢れて保全対象に被害を与える

- ② 流木により橋梁が閉塞すると共に水圧等により橋梁が押し流される
- ③ 流木が衝突することによる頭首工や発電用取水堰等の破壊、流木や破碎された破片等が取水口や排水工を詰まらせ取水機能や排水機能が低下する等の被害が生じる
- ④ 土砂調節を目的とした堰上げ型スリット堰堤のスリット部を閉塞し土砂の調節機能を低下させる
- ⑤ 流木の衝突による衝撃力により氾濫原の家屋等や河川沿いに設置された構造物等が破壊される
- ⑥ 貯水池等に流出することで管理上の支障を及ぼすほか、腐敗した場合に水質や景観を損ねる
- ⑦ 海に流出することで船舶の航行の障害、港湾に漂着することで出航等の障害、海岸に漂着してゴミとなり景観を阻害する
- ⑧ 流木等が河道の堤外地（高水敷、低水敷、河床）に堆積し、河川管理上の支障となる
- ⑨ 海に流出して定置網や養殖いけす等の破損といった被害を生じる

3. 計画流木量の設定

土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画で対象とする計画流木量は、計画発生流木量と計画流出流木量からなる。

計画発生流木量は、計画規模の降雨に伴う土砂・洪水氾濫により発生する流木量を指す。なお、計画規模以外の高確率規模による発生流木については、現時点では知見が不足しているため、今後の知見を蓄積していくこととする。

計画流出流木量は、計画発生流木量のうち、計画規模の降雨に伴う土砂・洪水氾濫により計画基準点から流出する流木量を指し、被害想定を検討するために計画基準点だけではなくトラブルスポットごとに算定する必要があることに留意する。

計画流木量の算出を行った場合は、実現象との乖離を出来る限り減らすために、当該流域もしくは同様の地形地質の条件で実際に発生した災害のデータとの比較を行うことが望ましい。

3.1. 計画発生流木量

計画発生流木量は、計画規模の降雨が発生した際に斜面崩壊、土石流、溪岸・溪床侵食により発生する流木量である。

そのため、土砂・洪水氾濫発生時に流木の発生が想定される斜面や溪床・溪岸の上の植生が流木として流出することを想定して、計画発生流木量を算定する。また、現地状況に応じて2.4.に示すように立木だけでなく倒木、伐木も含めた量とする。

検討にあたっては、「河川砂防技術基準（調査編）第17章 砂防調査，令和5年5月」における「第3節 短期（一連の降雨継続期）土砂・流木流出対策のための調査 3.3.5 流木の発生・堆積・流出等に関する調査」に基づいた検討を行うものとするが、特に以下の2点に留意するものとする。

- ・ 生産形態の想定
→流木の生産条件について土砂・洪水氾濫対策計画における土砂生産及び流出形態と整合を取った整理を行う
- ・ 計画発生流木量の算定
→図 3-1 の河床勾配に応じた流木の生産と堆積の概念図を参考に算定する
→計画の着手時、現況時、完了時については施設効果量を考慮して算定する

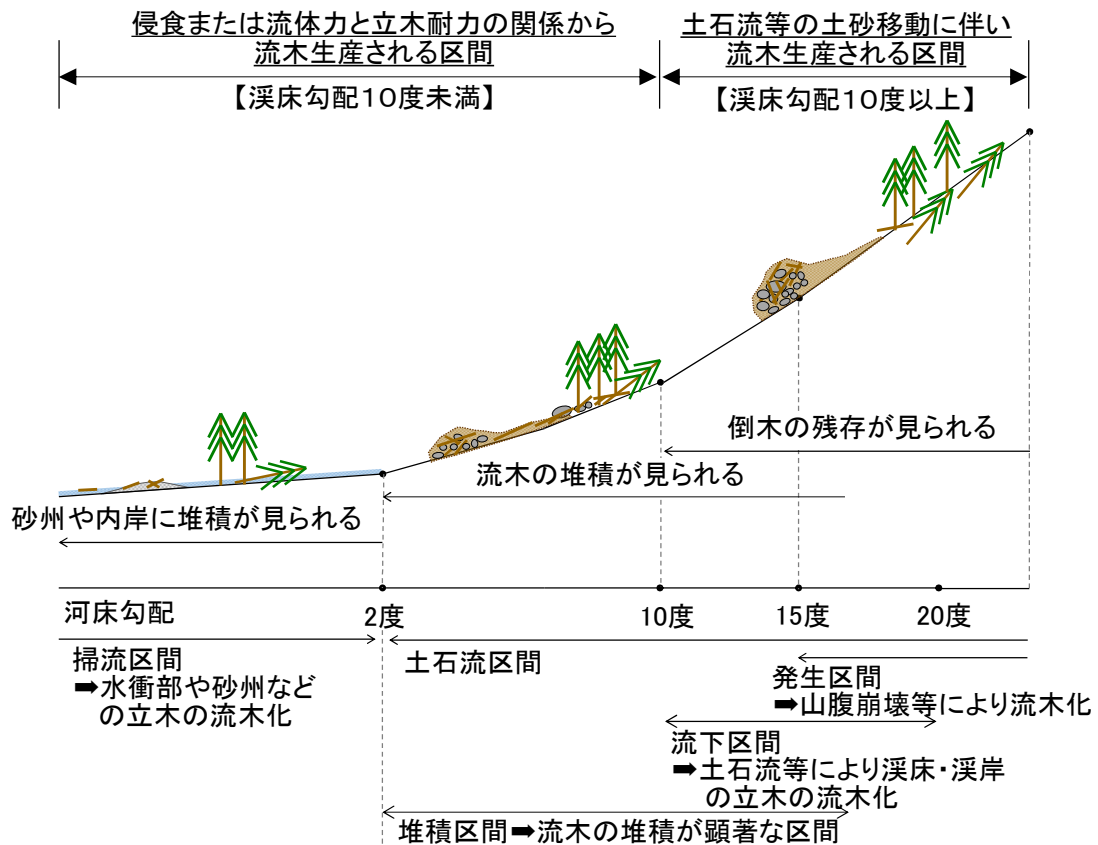


図 3-1 河床勾配による流木の生産と堆積の概念図

3.1.1. 基本的な考え方

計画発生流木量の検討にあたっては、既往の研究成果を踏まえて、斜面崩壊や河床勾配が10度以上となる低次谷での溪床等の侵食に伴い発生する土石流によって発生・流下する流木と、河床勾配が10度未満の土砂・洪水氾濫時に発生・流下する流木とに分けて整理する。

本資料では、基本的に表 1-1 に示す発生原因と形態のうち①～⑤及び⑧を計画発生流木量の計上の対象とする。

土砂・洪水氾濫の検討に用いる一次元河床変動計算は、現段階においては側岸侵食に伴う流木発生は想定せず、河床変動を評価することに伴う河道内立木の流木化のみを想定することとしているため、計画発生流木量は実際の現象に比べて過小評価となる可能性がある。しかし、側岸侵食に伴う川幅の変化を表現する計算モデルを用いて計画発生流木量を算出することや既往実績から側岸侵食による流木発生を想定して、計画発生流木量を算定することを妨げない。

また、二次元河床変動計算を用いて土石流発生、流下、堆積を表現するモデルを用いる場合は、本資料の考えを用いて発生流木量を推定することが出来るが、流木の発生が想定される現象を表現出来ているかを判断する必要がある。

3.1.2. 計画発生流木量の算出

計画発生流木量は、河床勾配 10 度を境界として、便宜的に土石流発生・流下区間を分けて取り扱うものとする。

(1) 河床勾配 10 度以上の範囲からの発生流木量

河床勾配 10 度以上の範囲からの発生流木量は、土石流の発生・流下区間に該当することから、土石流等に伴い生産されるものとして扱う。そのため、発生流木量の算定方法は、「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，平成 28 年 4 月」の「2.6.2 計画流出流木量の算出方法」を用いる。

(2) 河床勾配 10 度未満の範囲からの発生流木量

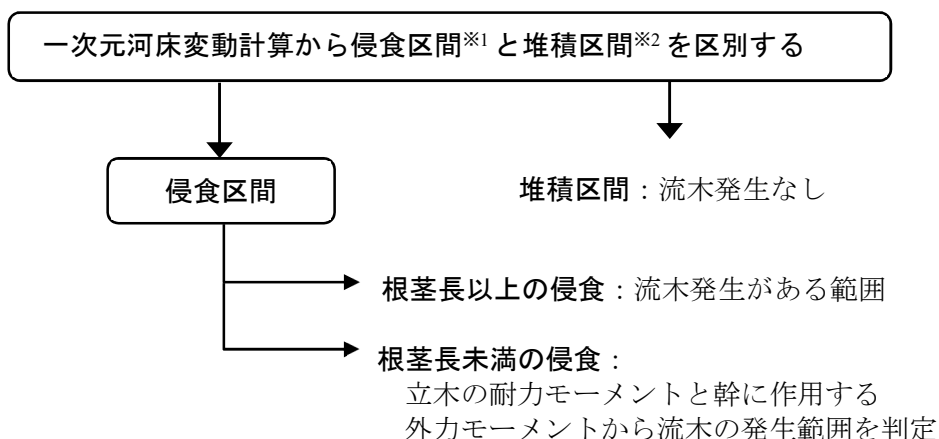
河床勾配 10 度未満は、土石流の堆積区間から掃流区間であるため、その範囲からの発生流木量は、掃流状集合流動や掃流砂等の各個運搬による河床変動に伴い発生されるものとして扱う。

「河川における樹木管理の手引き（財）リバーフロント整備センター 編集」では、河川内の樹木の流出現象について、洪水時に樹木に係る外力と樹木の耐力との関係から倒伏の有無を判定する手法を整理している。本資料では、当手法を参考に以下のとおりとした。

当該区間における発生流木量は、河床変動計算により算定された最大侵食深や水深、流速をもとに流木の発生区間を選定した上で、発生流木量を算定する。

河床勾配 10 度未満の範囲からの流木の発生には、樹木の根系が侵食されたことで流木化するような現象が想定されるため、河床変動計算時に計算河道内の樹種の根系長以上の侵食が予測される区間を流木発生区間として評価する。侵食が予測される区間において最大侵食深が根系長未満の場合には、樹木に生じる外力モーメントを算定し、樹木の胸高直径から推定される立木の耐力モーメントと比較して、樹木の抵抗力を上回る区間から流木が発生されるものとした。なお、堆積が予測される区間においては、流木の発生を見込まなくても良いこととする。

よって、河床勾配 10 度未満の範囲からの発生流木量は、「樹種の根系長以上の侵食が予測される区間」と「樹木の抵抗力を上回る外力の発生が予測される区間」に分けて求めることとする。



※1 侵食区間：河床変動計算期間中に侵食が生じる区間

※2 堆積区間：河床変動計算期間中に侵食が生じない区間

図 3-2 河床勾配 10 度未満の範囲における流木発生範囲の選定フロー

流木発生区間の算定の考え方（一次元河床変動計算区間）

流木発生区間 (m)：①と②の範囲

① 根系長以上の侵食が予測される範囲

② 立木の耐力モーメント < 幹に作用する外力モーメント

発生流木量 $V_g(m^3) = \text{発生区間}(m) \times \text{平均侵食幅}(m)$

$\times \text{単位面積当たりの幹材積量}(m^3/m^2)$

樹種や生育状況により根系の伸長度合いは異なることから、既存調査資料等から当該流域の平均的な根系の伸長度合いを想定し、適切に根系長を設定するものとする。

<参考> 樹木の根系長

樹木分類	根系	根系長	主な樹種
高木類	深根系	0.6～3.6m	クロマツ、アカマツ、ミズナラ、スギ、モミ、シダレヤナギ等
	中間系	0.5～2.5m	カラマツ、ウバメガシ、クスノキ、ハリエンジュ(ニセアカシア)、ネムノキ、ヤマグワ等
	浅根系	0.2～4.0m	ヒノキ、トウヒ、ケヤキ、アスナロ、コウヤマキ、サワラ、ツガ、ハンノキ、ヤマハンノキ等
低木類	深根系	0.2～1.1m	キャラボク、ヒサカキ、ウツギ、ニワトコ等
	中間系	0.1～1.1m	エニシダ、ナンテン、イタチハギ等
	浅根系	0.1～0.7m	ツツジ、マンリョウ、アキグミ、ナワシログミ等

※河川における樹木管理の手引き：(財) リバーフロント整備センター編集，204p，1999 を引用・加筆

侵食区間かつ最大侵食深が根系長未満の範囲における流木発生区間は、以下に示す2つのモーメントの内、幹に作用する外力モーメントが立木の耐力モーメントが大きい区間を設定する。

○ 幹に作用する外力モーメント

$$Md = 1/4 \cdot \rho \cdot C_D \cdot D \cdot h^2 \cdot u^2$$

ここで、 Md ：外力モーメント ($\text{kg} \cdot \text{m}$)、 ρ ：水の密度 ($102 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)、

C_D ：抗力係数 (円柱の値 1.2 を採用)、 D ：立木の胸高直径 (m)

h ：水深 (m)、 u ：流速 (m/s)

- ※1 水の密度については、河床変動計算で採用した細粒分を考慮した密度を用いることが出来る。
- ※2 水深と流速は河床変動計算で算出される単位時間における最大値、単位時間における平均値等から適切に設定する。

○ 立木の耐力モーメント

$$Mc = \alpha \cdot (D/100)^2$$

ここで、 Mc ：立木の耐力モーメント ($\text{kg} \cdot \text{m}$)、 α ：定数 (=2.5)

D ：立木の胸高直径 (m)

- ※1 定数 α については、河川における樹木管理の手引きに記載される全国の河道内の樹木の引倒し試験結果を用いているが、引倒し試験を実施して設定してもよい。

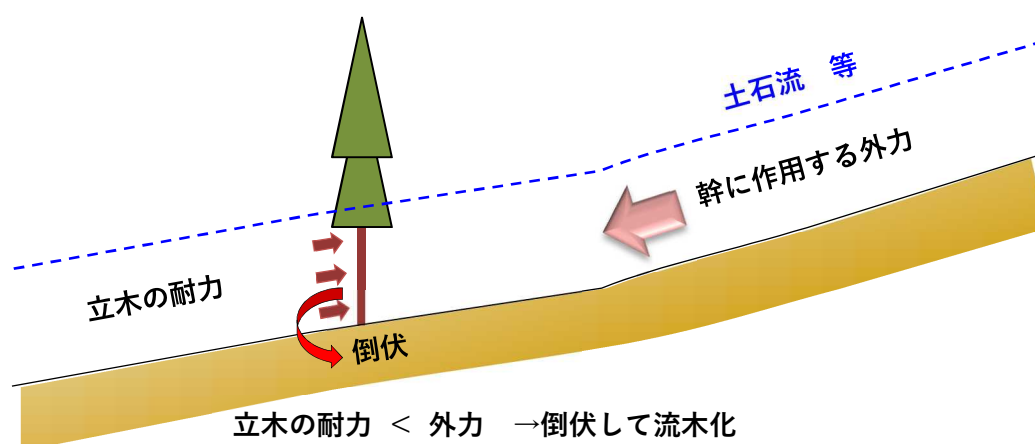


図 3-3 立木の流木化のイメージ

3.2. 計画流出流木量

3.2.1. 基本的な考え方

3.1 で算定した計画発生流木量が、計画基準点まで流出する計画流出流木量を検討する。またトラブルスポットまで流出する流木量も併せて算出する。

計画流出流木量は、河床勾配 10 度以上の範囲においては、対象区間の発生流木量から流出流木量を求める。河床勾配 10 度未満の範囲においては、10 度以上の範囲から流出する流木量と 10 度未満における発生流木量の和から、谷次数ごとに設定する流木流出率を考慮して求めるものとする。本資料では、谷次数ごとに流木流出率を設定することで、流出流木量の算出を簡素化している。谷次数ごとの流木流出率は、当該流域または周辺流域での流木災害の実態を調査して設定することが望ましい。

流木流出率の設定にあたっては、「河川砂防技術基準（調査編）第 17 章 砂防調査、令和 5 年 5 月」における「第 3 節 短期（一連の降雨継続期）土砂・流木流出対策のための調査 3.3.5 流木の発生・堆積・流出等に関する調査」に基づき、調査を実施して検討するものとする。

3.2.2. 計画流出流木量の算出

(1) 河床勾配 10 度以上の範囲からの計画流出流木量

河床勾配 10 度以上の範囲からの計画流出流木量は、推定された発生流木量に流木流出率を乗じて算出するものとする。流木流出率（河床勾配 10 度地点からの流出率）は、「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説、平成 28 年 4 月」に準拠し、計画流木流出率 0.8～0.9 を採用するものとする。

(2) 河床勾配 10 度未満の範囲からの計画流出流木量

河床勾配 10 度未満の範囲からの計画流出流木量の算出のイメージを、図 3-4 に示す。

具体的には、河床勾配 10 度以上の計算開始点を含む谷次数においては、河床勾配 10 度以上の範囲、支川流域、土石流危険渓流からの流出流木量と該当谷次数の河床勾配 10 度未満の範囲における発生流木量との和に該当谷次数の流木流出率を乗じて求める。谷次数が高次になるごとに、上流、支川流域、土石流危険渓流からの流出流木量と該当谷次数の範囲における発生流木量との和に該当谷次数の流木流出率を乗じて求めることを繰り返す。途中でトラブルスポットがある場合は、その下流の谷次数が増える地点での流出流木量を求めて、該当谷次数の本川距離と該当谷次数の上流端とトラブルスポットの距離の比から流出流木量を割り戻して、計算地点により流出流木量が変わらないように算出する。

流木流出率は、谷次数ごとに当該流域もしくは周辺の流域で発生した過去の流木災害の分析結果から、谷次数別流木流出率を設定し求めることを検討する。崩壊により発生した流木が一度の出水で下流まで流れずに斜面や河道に残る場合があるが、一度の出水で下流に到達する流木を推定する手法の 1 つが流木流出率であるが、今後の知見蓄積が必要である。

流木流出率の事例が存在しない場合は、巻末の参考や新たな知見を用いて流出流木量を算定することを妨げない。調査や整理の手法の差から、算出されている流木流出率に差がある場合があるが、近傍の流域や同様の地形条件等での災害実態に応じて適切に選定するのが望ましい。

巻末の参考の流木流出率を用いる場合は、谷次数別に整理されたものではなく、流域の上流で発生した流木と谷出口より下流へ流出した流木との比から算出したものであるため、適用する場合は、本マニュアルで示した手法にとらわれず、計画基準点やトラブルスポットの上流の発生流木量（河床勾配 10 度以上、未満の合計）に流木流出率を適用することで、流出流木量を算出する等、それぞれの算出手法に合わせた適用方法を検討すること。

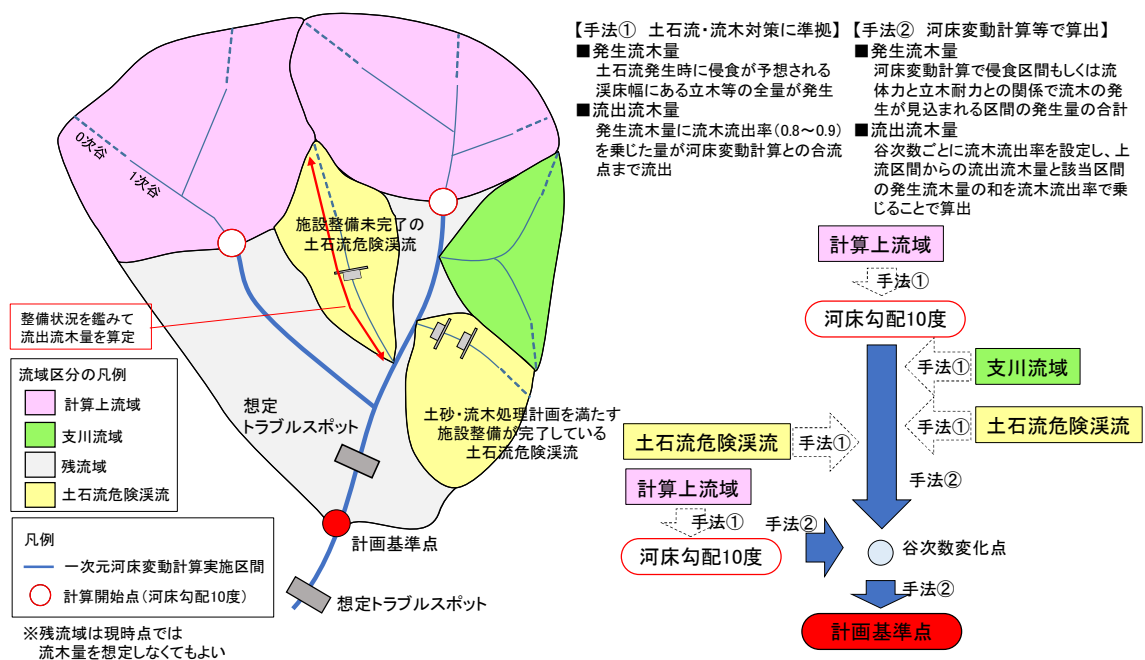


図 3-4 土砂・洪水氾濫時に流出する流出流木量の算定に関するイメージ

＜参考＞流木流出率の整理事例

〔資料 1〕平成 23 年新潟福島豪雨、平成 29 年九州北部豪雨に関する事例

赤沼ら（2019）によると、平成 23 年新潟福島豪雨による信濃川水系魚野川支川登川の事例として流木流出率が 0.22～0.84、平成 29 年九州北部豪雨による筑後川水系赤谷川の事例として流木流出率が 0.29～0.70 として報告されている。

出典：赤沼隼一，福田 光生，後藤健，川邊三寿帆，高嶋 啓伍，板野友和，小更亨，川上誠博，本多泰章，藤村直樹，染谷哲久：水系砂防における流木流出率に関する事例整理，2019 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.467-468，2019.

〔資料 2〕平成 29 年 7 月九州北部豪雨に関する事例 2

筑後川右岸河川流域河川・砂防復旧技術検討委員会（2017）によると赤谷川流域全体での発生流木量は約 39.2 千 m³ であり、そのうち筑後川へは約 24.6 千 m³ の流木が流出したと推察されることから、流木流出率は約 62.8% と報告されている。

出典：筑後川右岸河川流域河川・砂防復旧技術検討委員会：筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会 報告書，130p，2017.

〔資料 3〕平成 28 年 8 月豪雨での戸蔦別川流域に関する事例

工藤ら（2021）によると、戸蔦別川では生産量が約 8.6 万 m³、河道調節等により約 2.8 万 m³ が流域内に再堆積し、約 5.8 万 m³ が基準点より下流に流出したと推定されることから、下流域への流木流出率は約 70% であると報告されている。

出典：工藤拓也，永野統宏，松岡暁，早川智也，上條孝徳，松山洋平，小山内信智，笠井美青：平成 28 年 8 月豪雨による北海道戸蔦別川流域の流木実態と流木量の推定，砂防学会誌，Vol.73，No.6，pp.3-11，2021

〔資料 4〕平成 23 年台風 12 号での那智川流域に関する事例

黒いώρα（2016）によると、平成 23 年台風 12 号で那智川支流の 8 流域の事例として、流木流出率が 50.4%～90.5% で流域によって大きく異なると報告されている。

出典：黒岩知恵，藤村直樹，木下篤彦，水野秀明，今森直紀，福田和寿：平成 23 年 12 月台風 12 号土砂災害における和歌山県那智川支流の流木の発生と流出実態，第 8 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.127-132，2016

＜参考＞流出流木量の推定に関する事例

〔資料 1〕流域面積に基づく流出流木量の推定式

ダム貯水池流木対策の手引き（案）には、大規模洪水時の流木流出の 11 事例を用いて作成された流域面積に基づく推定式が掲載されている。なお、推定式の適用範囲となる流域面積は最大 1,215km² までとされており、それを超える場合は実績がないことから最大値の約 68,000 千 m³ とするとされている。

$$y = 198x \quad (x=115)$$

$$y = 40.926x + 181.16 \quad (x \geq 115)$$

※ここで、 y ：大規模洪水における流木量（m³）、 x ：流域面積（km²）

出典：ダム貯水池流木対策の手引き（案）：国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課，127p，2018

〔資料 2〕流木流出の推定モデル

小森ら（2019）は、流木流出の早い流出特性と遅い流出特性を表現する 2 段直列タンクモデルを構築し、流木の堆積状況を推定している。発生流木量の推計には、国土数値情報の土地利用データを用いて、現地調査で得られた森林密度を乗じることで流木の本数を算出し、体積を求めている。ただし過剰な結果であることから、河道に到達し流出する流木を考慮することで発生流木量を算出している。その上で、降水イベント時と通常時の異なる 2 つの流出特性を考慮した 2 段直列タンクモデルを構築し、流出流木量を算定している。

出典：小森大輔，助川友斗，Thapthai CHAITHONG，風間聡：流域スケールでの流出流木量の推計モデルの構築，河川技術論文集，第 25 巻，pp.639-644，2019.

〔資料 3〕流木流出の推定モデル

原田・江頭（2018, 2022）では、流木を濃度とし、流木の河床からの離脱と堆積及び障害物への集積等を考慮したモデルを構築し、それを降雨流出、崩壊の発生と崩土の移動、河道における土砂輸送を解析する土砂流出モデルに組み込み、豪雨時に流域から流出する土砂・流木を時系列で求める手法を提案している。その手法を用いて平成 29 年九州北部豪雨の赤谷川での再現計算を実施している。

出典：原田大輔，江頭進治：流砂・流木を伴う洪水流の解析-2017 年 7 月九州北部豪雨による赤谷川洪水を対象として-，土木学会論文集 B1(水工学)，Vo.74, No.4, pp. I_937- I_942, 2018.

出典：原田大輔，江頭進治：多量の土砂・流木を含む洪水流の解析法，河川技術論文集，第 28 巻，pp.289-294，2022.

[資料4] 流木流出の推定モデル

矢野ら（2018）や津末ら（2018）は、斜面崩壊に拡張 H-SLIDER 法を適用し、各斜面の林相区分から針葉樹・広葉樹・竹林に区分して、流木発生流木量を推定し、橋梁での流木の集積のしやすさを相対的に表す指標から流木集積による災害リスクが高い橋梁を評価する手法を示した。加えて、各橋梁地点での流木集積による経済損失を推定し、流木災害リスクを定量的に評価する手法を示した。

出典：矢野真一郎，土橋将太，笠間清伸，竹村大，富田浩平，楊東，津末明義：気候変動による降水量変化が河川流域の流木災害リスクへ与える影響に関する評価，土木学会論文集 B1(水工学)，Vo.74，No.4，pp. I_1327- I_1332，2018.

出典：津末明義，楊東，竹村大，富田浩平，矢野真一郎，土橋将太，大久保僚太，笠間清伸：流木に起因する氾濫による被害の推定に基づく流木災害リスクの評価法の改良，土木学会論文集 B1(水工学)，Vo.74，No.5，pp. I_1051- I_1056，2018.