

独立基礎型流木捕捉工 調査・計画ガイドライン



令和4年3月

林野庁
中部森林管理局

<<目 次>>

1. ガイドラインの総説	
1.1. 背景	1
1.2. 目的	2
1.3. 独立基礎型流木捕捉工の概要	3
1.4. 適用及び運用	5
1.5. 用語の定義	6
2. 整備対象流域の選定	
2.1. 整備対象流域の選定基準	8
2.2. 独立基礎型流木捕捉工の設置適合度	9
2.3. 被災危険度	12
3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量	
3.1. 計画流木流出量の算定流路	14
3.2. 流木発生範囲の設定	15
3.3. 立木量及び倒木量の算定	21
4. 計画流木量の算定手法	
4.1. 流木流出危険度の評価手法	29
4.2. 流木流出量の算定	36
4.3. 計画流木量の算定	42
5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画	
5.1. 施設整備の考え方	43
5.2. 河畔林保全手法の考え方	46
5.3. 維持管理の考え方	49

＜＜本ガイドラインの構成＞＞

本ガイドラインは、以下の5つの章により構成される。

1. ガイドラインの総説

独立基礎型流木捕捉工の背景、目的、独立基礎型流木捕捉工の概要、本ガイドラインの適用及び運用、及び使用する用語の定義について解説している。

2. 整備対象流域の選定

独立基礎型流木捕捉工の整備対象流域を選定する上での、設置適合度や被災危険度の考え方、両者を組み合わせた整備対象流域の選定基準について解説している。既往治山施設位置図、地理院地図等の汎用性の高い既存資料を活用した手法を示していることが特徴である。

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

独立基礎型流木捕捉工を計画する際の基本条件となる流木量を推定する上での、流木発生範囲の設定手法、流木発生範囲における立木量及び倒木量の算定手法について解説している。立木量及び倒木量の算定については、航空レーザ計測データを活用した手法を示していることが特徴である。

4. 計画流木量の算定手法

3章において推定した流木発生範囲の立木について、流水や土砂が作用した場合の倒伏条件（流出危険度）の評価手法、流木流出率、流木流出量及び計画流木量の算定手法について解説している。流水による立木の倒伏限界胸高直径や、森林による土砂捕捉機能については、早見表等を用いて比較的簡易に推算する手法を付記していることが特徴である。

5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画

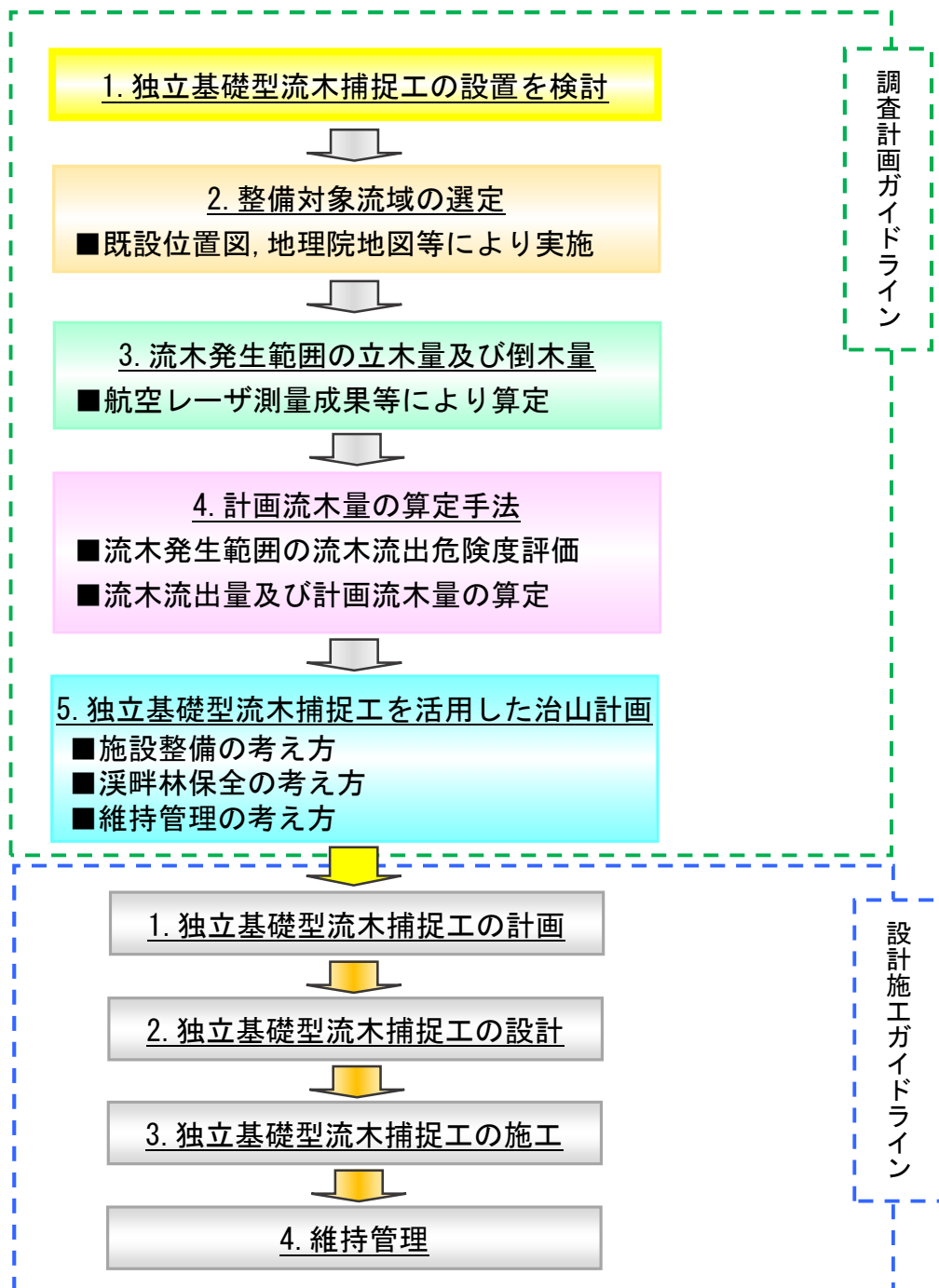
独立基礎型流木捕捉工を活用した治山施設整備や溪畔林保全の考え方*について解説している。計画の基本条件である独立基礎型流木捕捉工の流木捕捉量や計画流木量については、早見表や概略式を付記していることが特徴である。

考え方*：事例や参考文献が皆無或いは乏しく、現時点におけるひとつの方向性を示すものであり、今後の技術的検証に委ねるところが大きい事項については、「考え方」の表現を用いている。

＜＜独立基礎型流木捕捉工 設計・施工ガイドラインとの関連＞＞

「独立基礎型流木捕捉工 設計・施工ガイドライン 令和3年3月¹⁾」(以下設計施工ガイドラインと称する)と本ガイドライン(以下調査計画ガイドラインと称する)の関連について以下に示す。

本ガイドラインにおいて整備対象流域の選定、計画流木量の算定、施設整備及び溪畔林保全の考え方等の基本方針等を示した上で、これらを基本条件とした設計・施工の考え方を「設計施工ガイドライン」において示すものである。両者を一連として活用することで独立基礎型流木捕捉工による流木対策に広く資することとしている。



1. ガイドラインの総説

1. ガイドラインの総説

1.1. 背景

本ガイドラインは、林野庁中部森林管理局が考案し、4現場において試験施工を行っている流木捕捉工「独立基礎型流木捕捉工」を活用し、水平展開することを目的として、整備対象流域の選定手法、計画流木量の推定手法、施設整備及び溪畔林保全を進める上での独立基礎型流木捕捉工の活用手法等について示すものである。

[解説]

2017年の九州北部豪雨災害をはじめ、近年多発している気象変動がもたらす大規模集中豪雨により、土砂災害に伴って発生する流木による甚大な被害が顕在化している。このことから、林野庁では「流木災害防止緊急治山対策プロジェクト」を推進し、治山施設や森林整備などによる流木災害防止に努めてきたところである。

また、2021年より、流域治水関連法案が閣議決定されると共に「流域治水推進行動計画²⁾」が策定され、国や流域自治体、企業・住民等、あらゆる関係者の協働による治水対策「流域治水」の推進が始まっている。このような中、林野庁においては、「流域治水」の取組として、国土交通省と連携した流木対策等の森林整備・治山対策を推進していくとの考えが示されている。

更に、2015年9月の国連サミットにおいて全会一致で採択されたSDGs（持続可能な開発目標）のターゲット15.4³⁾では、2030年までに持続可能な開発に不可欠な便益をもたらす生物多様性を含む山地生態系の保全を確実に行うことが示されているところである。

林野庁中部森林管理局では、「鋼管建込型」の流木捕捉工（仮称）を型式とする「独立基礎型流木捕捉工」を考案し、これまでに4現場において試験施工を行っていると共に、令和2年度に「独立基礎型流木捕捉工 設計・施工ガイドライン¹⁾」をとりまとめている。

独立基礎型流木捕捉工は、流木災害防止や流域治水における取組を推進する上で、流木発生抑制や、溪畔林保全による山地生態系の能力強化等の機能が期待されている。

本ガイドラインである「独立基礎型流木捕捉工 調査・計画ガイドライン」は、独立基礎型流木捕捉工を配置する上で、対象となる流域の選定、計画流木量の算定手法、施設整備及び溪畔林保全等を立案・推進する上での同施設の位置付けや活用手法の考え方等を示しており、「独立基礎型流木捕捉工 設計・施工ガイドライン¹⁾」と一対となって同施設の利活用及び水平展開を図ることとしている。

1. ガイドラインの総説

1.2. 目的

独立基礎型流木捕捉工は、流木を捕捉する目的に特化して設置することとし、以下の目的で設置する。

①下流保全対象への流木流下防止

豪雨等に伴う流量の増加（掃流）に伴って流出するおそれのある溪床等の立木及び倒木等を捕捉し、下流への流出を防止する。

②溪畔林の保全

豪雨等に伴う流量の増加に伴って流木化が懸念される溪畔林を対象に、緩衝林へ誘導するまでの期間、流木化を抑制し、溪畔林の保全を図る。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工の目的の一つとして、溪畔林の保全が挙げられる。溪畔林を保全することで以下の機能向上が期待される。

①防災や水土保全等のバッファーとしての緩衝林としての機能

②生物多様性等の山地生態系を保全する機能

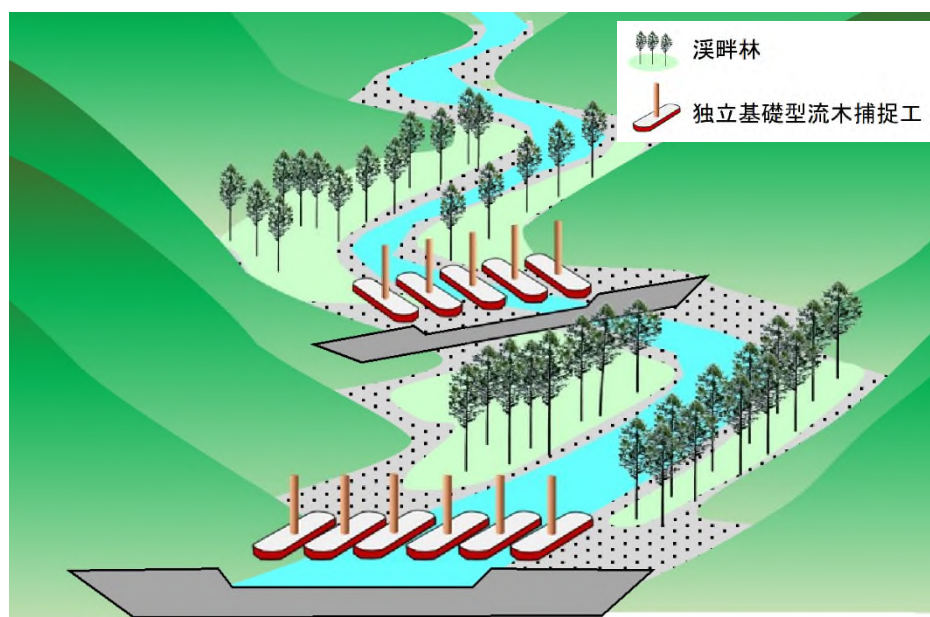


図 1.2.1. 独立基礎型流木捕捉工の設置イメージ

1. ガイドラインの総説

1.3. 独立基礎型流木捕捉工の概要

(1) 設置位置と構造

「独立基礎型流木捕捉工」は、既設治山ダム堆砂域等、溪床の変動が小さい掃流区間に設置することを原則としており、流木捕捉を目的とした鋼管による上部構造、コンクリート及びライナープレートからなる独立基礎としての下部構造を主体とする構造を有するものである。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は、流木の捕捉及び溪畔林の保全に特化して設置するものであり、治山ダムのような溪床の安定、山脚の固定を図る機能を期待しないこととし、溪床勾配が 2° 以下の掃流区間を有する流域において計画することを原則とする。

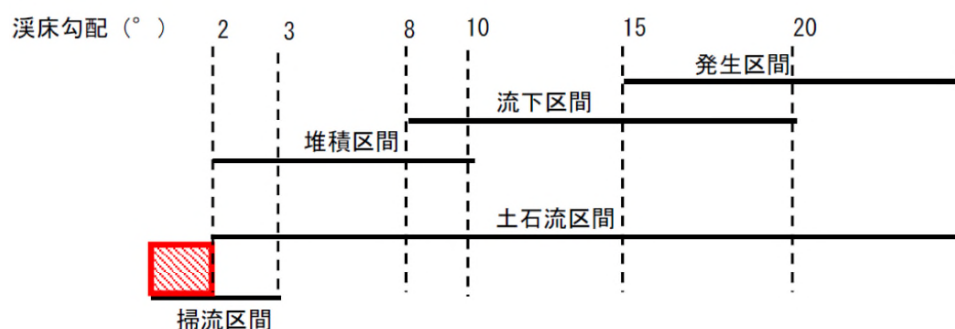


図 1.3.1. 溪流区間における独立基礎型流木捕捉工の位置

独立基礎型流木捕捉工は、「上部構造」(コスト縮減や更新の容易性等を考慮して既製品の柱用鋼管)、基礎となる「下部構造」(作業の効率化や長寿命化等を考慮し既製品のライナープレートと現場打ちコンクリートによる構造)により構成される。

上部構造と下部構造を砂詰めした鞘管により接続し、部材破損時等には抜き取って交換することが可能な構造を有するものもある。

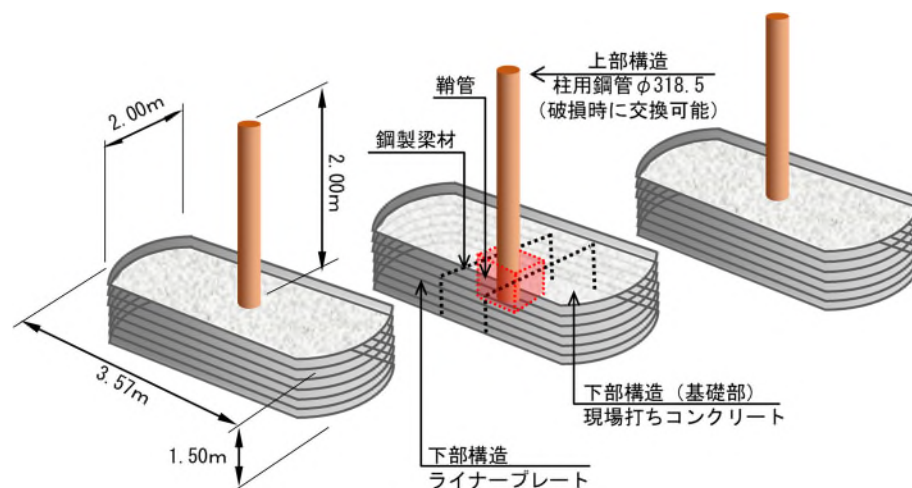


図 1.3.2. 独立基礎型流木捕捉工の構造の一例

1. ガイドラインの総説

(2) 独立基礎型流木捕捉工の特徴

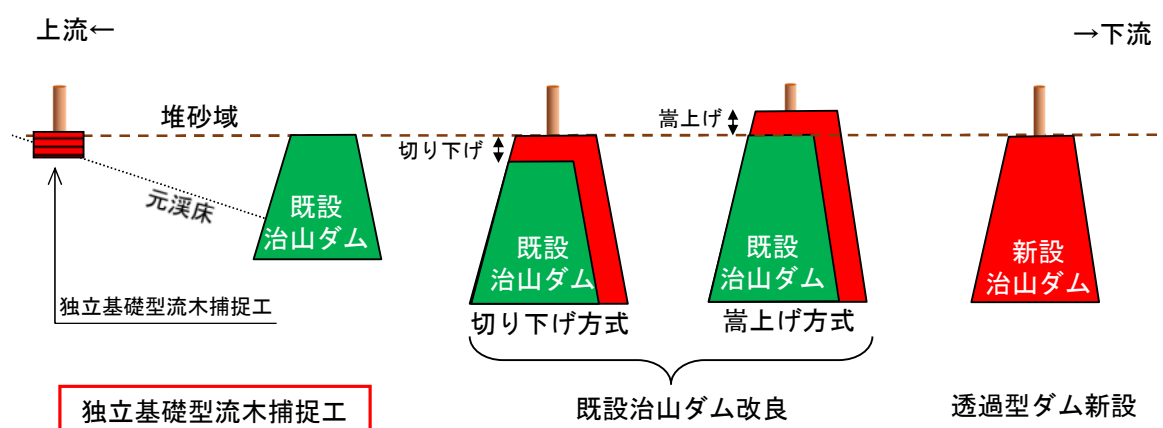
独立基礎型流木捕捉工は、他工法（遮水型既設ダムの透過型への改良・透過型ダムの新設）と比較して、経済性・施工性等の点で優位性が高い。
 （引用：既設治山ダムを活用した流木捕捉工の開発⁴⁾）

[解説]

流木対策を目的とする透過型ダムとしては、遮水型既設ダムの透過型への改良や透過型ダムの新設が挙げられる。

独立基礎型流木捕捉工は、上記工法と比較して優位性が高くなるケースが多いと共に、単体の基礎による組合せ構造であることから、迅速な施工と地形条件等に併せた柔軟な対応が可能な流木対策工であることが特徴である。

また、上部構造（鋼管部分）の撤去と交換が可能なものについては、流木捕捉時の破損部材の交換、流木や土砂の撤去等の維持管理が容易であることが特徴となっている。



各種透過型治山ダムの総合評価

区分	経済性	施工性	既配置計画との整合性	維持管理 (流木除去)	総合評価
独立基礎型流木捕捉工	◎	◎	◎	◎	◎
ライフプレート	◎	◎	◎	◎	◎
木製残存型枠	◎	○	○	○	○
透過型への改良					
切り下げ方式	○	×	×	●	△
嵩上げ方式	△	△	△	●	△
透過型(新設)	●	●	●	●	●

※評価方法：透過型(新設)を基準とした相対評価 (劣 ← 基準 → 優)
 × △ ● ○ ◎

図 1.3.3. 各種透過型治山ダムの区分及び総合評価

引用：既設治山ダムを活用した流木捕捉工の開発⁴⁾

1. ガイドラインの総説

1.4. 適用及び運用

(1) 独立基礎型流木捕捉工調査計画ガイドラインの適用

当ガイドラインは、国有林及び民有林の治山事業対象箇所であり、流木災害の発生が危惧される比較的緩勾配の区間を有する流域を対象として適用することを原則とする。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は、図 1.3.1 に示すように溪床勾配が 2° 以下の掃流区間を有する流域において計画することから、本ガイドラインは、土石流による土砂流出が想定されない比較的流域面積が大きい溪流において適用する。

(2) 独立基礎型流木捕捉工調査・計画ガイドラインの運用

独立基礎型流木捕捉工の調査・計画に先立ち、整備対象流域の選定、計画流木量の算定、治山施設計画上の流木対策としての位置付け及び利活用を検討する場合、「土石流・流木対策指針⁵⁾」(以下、「指針」と称する)、及び「治山技術基準及び解説⁶⁾」(以下、「基準」と称する)を参照することを基本とするが、必要に応じてこのガイドラインを参考とする。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工については、技術的な蓄積が少ないことから、整備対象流域の選定(着手優先度の評価)・計画流木量の算定・治山施設計画(流木対策計画)策定に当たっては、「指針⁵⁾」、「基準⁶⁾」、「設計施工ガイドライン¹⁾」及び当ガイドラインを参考とすると共に、PDCA サイクルに留意して、各地域に適した工種・工法の把握に努め、より効果的で効率的な流木被害の抑制並びに溪畔林の保全に資することが望ましい。

1. ガイドラインの総説

1.5. 用語の定義

「調査計画ガイドライン」及び「設計施工ガイドライン¹⁾」で使用する用語について、以下のように定義する。

(1) 整備対象流域の選定基準

独立基礎型流木捕捉工を計画する際の選定基準を示すものであり、設置適合度 (a1～c1) と被災危険度 (a2～c2) の組合せにより、A～Cランクで判定する (Aは最も優先度が高い)。

(2) 設置適合度

独立基礎型流木捕捉工を計画する際の、流域特性に係る適合度を示す。独立基礎型流木捕捉工の設置条件及び設置効果に基づき a1～c1 で評価する。

(3) 被災危険度

独立基礎型流木捕捉工を計画する際の、流域における保全対象に係る被災危険度を示し、a2～c2 で評価する。

(4) 流木発生範囲

計画流域において、立木が倒伏・流木化する可能性が高いと判定される溪畔林や溪床、倒木堆積地、今後崩壊すると想定される山腹斜面を示す。

(5) 溪畔林

「溪畔林整備指針 (素案) 平成30年3月⁷⁾」において示されている溪畔林の内、本ガイドラインでは渓流域に位置する森林を溪畔林として扱う。

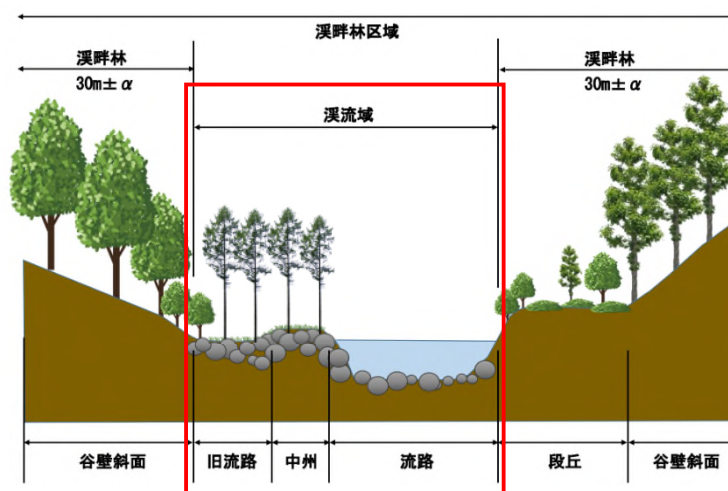


図 1.5.1. 溪畔林の呼称と幅の関係

引用：「溪畔林整備指針 (素案) 平成30年3月⁷⁾」一部修正

1. ガイドラインの総説

(6) 倒木堆積地

山腹崩壊や風倒により複数の倒木が発生した斜面、流木が堆積した溪床、倒木が発生した溪畔林等で、空中写真等により判読可能な倒流木の堆積が認められる箇所を示す。

(7) 立木量

地表に生育している木、樹木の実材積（ m^3 ）を示す。

(8) 倒木量

流木発生範囲内に存在する倒木及び流木の実材積（ m^3 ）を示す。

(9) 流木流出量

流水や土砂等の外力によって倒伏・流出が想定される立木、及び流出が想定される倒木の総実材積量（ m^3 ）を示す。

(10) 流木流出危険度

立木が流水等の外力によって倒伏する危険度を示す。流木の流出（移動）メカニズムについては未知な部分が多く、現時点では技術的検証が困難なため、本ガイドラインでは立木が倒伏する段階を以て流出（流木化）することとしている。

2. 整備対象流域の選定

2. 整備対象流域の選定

2.1. 整備対象流域の選定基準

独立基礎型流木捕捉工の整備対象である、流木流出の可能性が高い流域や溪流の選定については、流域特性に係る独立基礎型流木捕捉工の設置適合度と、流域の保全対象に係る被災危険度の組み合わせにより判定する。

[解説]

2.2章による設置適合度（a1～c1）及び2.3章による被災危険度（a2～c2）の組み合わせにより、流域を単位とした独立基礎型流木捕捉工の選定基準を以下のA～Cランクで判定する。

表 2.1.1. 独立基礎型流木捕捉工 整備対象流域の選定基準

判定	設置適合度と被災危険度の組合せ
Aランク	a1-a2, a1-b2, b1-a2
Bランク	a1-c2, b1-b2, c1-a2
Cランク	b1-c2, c1-c2, c1-b2

ここで、

a1～c1：設置適合度（2.2章参照）

a2～c2：被災危険度（2.3章参照）

2. 整備対象流域の選定

2.2. 独立基礎型流木捕捉工の設置適合度

流域や溪流を単位とした独立基礎型流木捕捉工の設置適合度（a1～c1）は、流域特性に係る評価とし、流域の治山施設整備や溪床の安定等の設置条件と共に、設置により期待できる効果を勘案の上で判定する。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は、流木の捕捉に特化した機能を期待していることから、掃流区間であると共に安定した溪床において設置することとしている。

このため、独立基礎型流木捕捉工の設置には、流域や溪流の地形的条件（溪床勾配）、溪床の安定度等の設置条件を勘案する必要がある。

併せて、独立基礎型流木捕捉工がより大きな効果を期待できるよう、倒木等の流出や溪畔林保全等の設置効果に配慮することが望ましい。

(1) 独立基礎型流木捕捉工の設置条件

原則として、2°以下の掃流区間に設置された治山ダムの堆砂域であること。

(2) 独立基礎型流木捕捉工の設置効果

上記(1)の設置条件を満足する流域や溪流において、以下の設置効果が期待できることが望ましい。

①計画流木量算定流路（P14 図 3.1.1 参照）に、倒木堆積地や溪畔林等がある

→最も設置効果が高く、緊急性が高い流域：a1 と判定

②過去に流木災害の履歴があると共に、再発の可能性が高いと考えられる

→①に次いで設置効果が高く、緊急性が高い流域：b1 と判定

③①及び②のいずれにも該当しない

→c1 と判定

以上を勘案の上、独立基礎型流木捕捉工の設置適合度を判定するフローを以下に示す。

2. 整備対象流域の選定

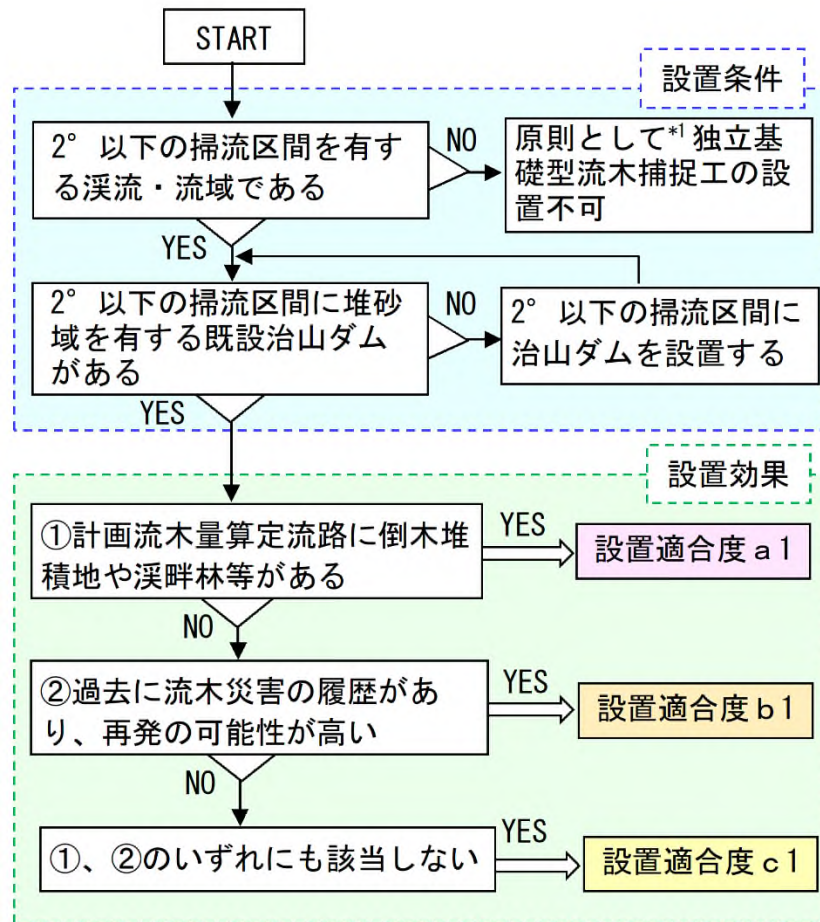


図 2. 2. 1. 設置適合度の判定フロー

[参考-1] *1 土石流堆積区間における設置（引用：設計施工ガイドライン¹⁾ p11)

保全対象との関係等、やむを得ず土石流堆積区間（2～8°，3.5～14%）において独立基礎型流木捕捉工を設置する場合は、既設治山ダムが複数基設置されている等、溪床変動が少ない安定した渓流で、設置箇所の上流に既設治山ダムが設置されている箇所とする。この場合、土砂流出による堆積土砂により上部構造の柱用鋼管が埋塞するおそれがあることを考慮する。

なお、土石流流下区間及び発生区間では計画しない。

2. 整備対象流域の選定

[参考-2]

設置条件の判定指標ある溪床勾配及び既設治山ダムについては、1/25,000 国土地理院地図、空中写真及び既往治山施設位置図、流域別調査図等を用いて判定する。

溪床勾配については、等高線間隔（10m）を元に下表により概略値としても良い。

表 2.2.1. 等高線間隔と溪床勾配

勾配		10m毎の等高線間隔 (m)
(°)	%	
0.5	0.9	1,110
1.0	1.8	560
1.5	2.6	380
2.0	3.5	290
2.5	4.4	230
3.0	5.2	190
3.5	6.1	160
4.0	7.0	140

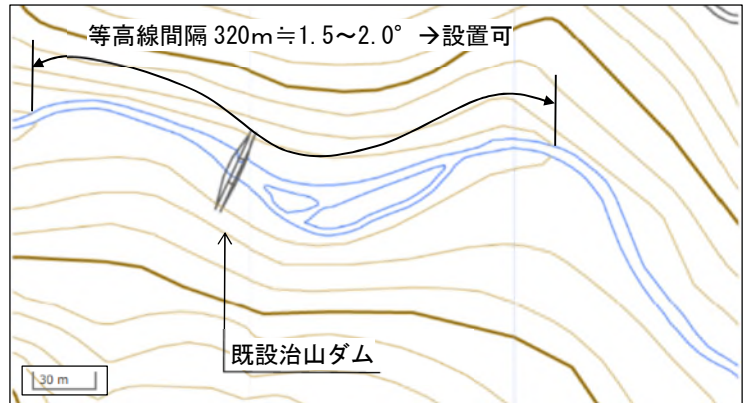


図 2.2.2. 国土地理院地図等による既往治山施設と溪床勾配の判定事例

設置効果の判定指標である倒木堆積地や溪畔林についても、国土地理院空中写真等を用いて判読する。

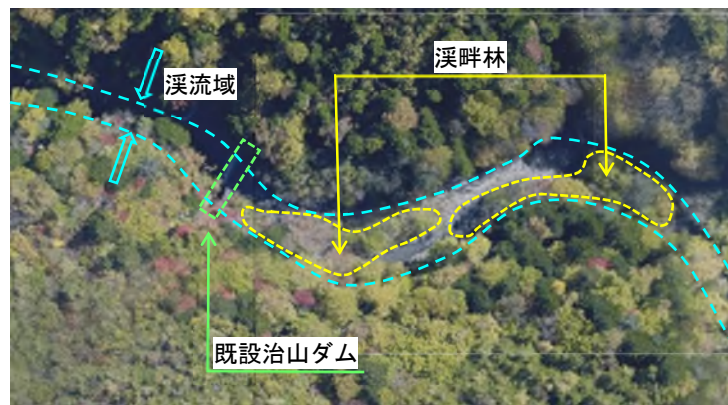


図 2.2.3. 国土地理院空中写真等による溪畔林の抽出事例

2. 整備対象流域の選定

2.3. 被災危険度

(1) 被災危険度の考え方

独立基礎型流木捕捉工計画流域の保全対象及び被災危険度（a2～c2）については、保全対象区域に想定される流木被害及び防災施設等を勘案し決定する。

[解説]

流木被害が想定される保全対象区域については、「流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書(案)平成28年林野庁⁸⁾」に示されている以下を標準とする。

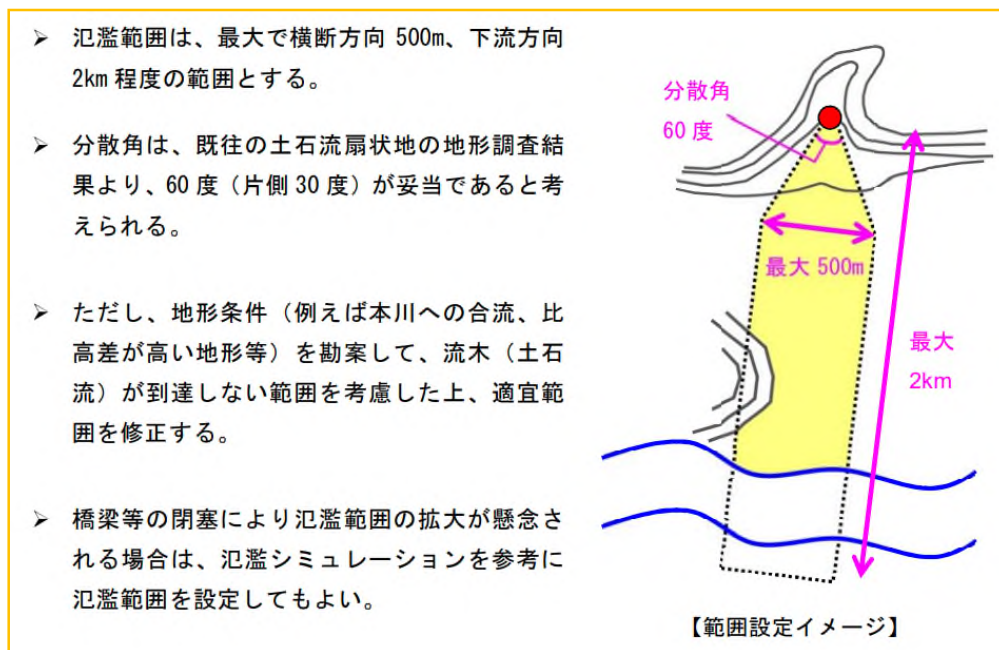


図 2.3.1. 保全対象区域の考え方

引用：流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書(案)平成28年林野庁⁸⁾

2. 整備対象流域の選定

(2) 被災危険度の判定

独立基礎型流木捕捉工を計画する際の被災危険度については、保全対象区域内の人家及び公共施設等の保全対象、既存の防災施設等を考慮の上で決定する。

[解説]

被災危険度については、図 2.3.1 に示す保全対象区域における保全対象、既存の防災施設等を勘案し、以下のように a2～c2 により評価する。

表 2.3.1. 独立基礎型流木捕捉工計画流域の被災危険度

危険度	保全対象の種類
a2	保全対象区域内に公用若しくは公共用施設（道路、橋梁を含む）又は人家がある場合。
b2	流木捕捉効果が期待できる既存の防災施設等が無い場合。
c2	流木捕捉効果が期待できる既存の防災施設等がある場合* ¹ 。

*¹貯水ダムや発電ダム等への流木流入防止を目的とする場合については a2 として評価できることとする。

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

3.1. 計画流木量の算定流路

独立基礎型流木捕捉工を計画する場合の計画流木量の算出は、「林野庁(2012)土石流・流木対策指針」の考え方に則り、最も流木流出量が多い流路のみを計画流木量算定流路とする。

[解説]

複数の支溪流を有する流域において、計画流木流出量を算出する場合には、最も流木量の多い流路のみ（単一流路）を対象にする。

流木の発生は一時的なもので、複数の支溪流で発生した流木が合流点で合流する確率は低い。このことから、複数の支溪流がある流域で、各支溪流の土砂量及び流木量を合計した場合には、実際の自然現象より過大に算出されることがある。

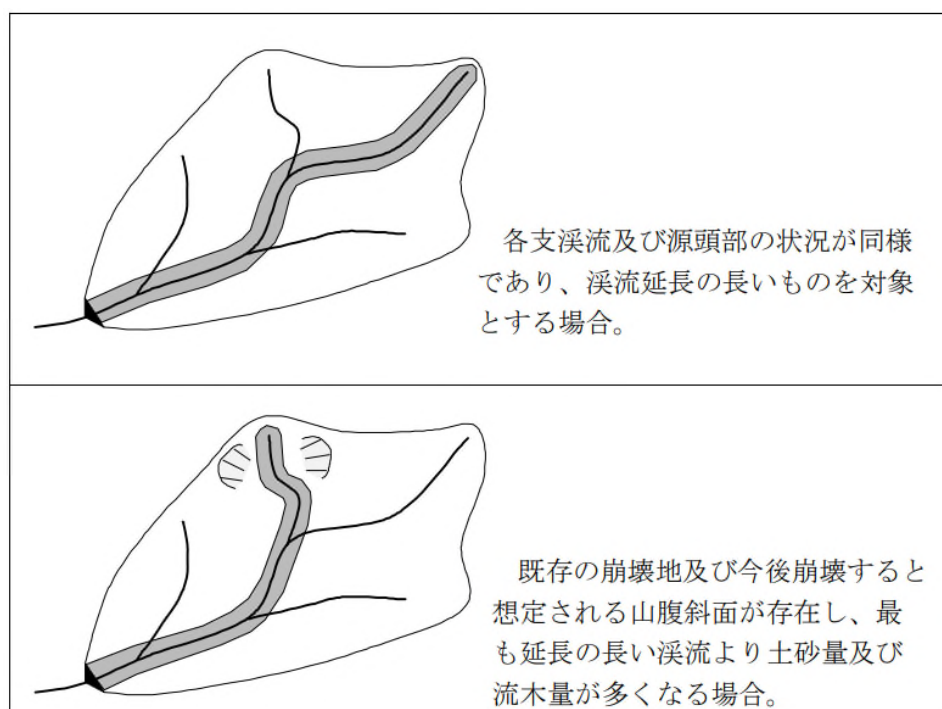


図 3.1.1. 単一流路による計画流木量算定流路のイメージ

引用：「指針⁵⁾」 第6節 荒廃危険地調査の補足

3.2. 流木発生範囲の設定

(1) 掃流区間及び土石流区間における流木発生範囲

独立基礎型流木捕捉工を計画する場合の流木発生範囲は、立木がある溪床等、倒木堆積地、今後崩壊すると想定される山腹斜面とし、計画流木量算定流路の土石流区分図における掃流・堆積区間、及び流下・発生区間の2区間において設定する。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は既設治山ダム上流の堆砂勾配が 2° 以下の掃流区間において計画することを原則としている。

計画流木量の算定流路において、①掃流・堆積区間、②流下・発生区間の区分を行い、①、②それぞれの区間において流木発生範囲を設定する。



図 3.2.1. 土石流区分における区間①、②

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

(2) 掃流・堆積区間における流木発生範囲

掃流・堆積区間の流木発生範囲は、溪畔林の内、流木化し易い立木から構成される林分、溪畔林区域内の倒木堆積地、今後崩壊すると想定される山腹斜面とする。

[解説]

掃流・堆積区間における流木発生範囲は、下図に示す溪畔林区域内の、流木化し易い立木から構成される溪畔林^{*1}、倒木堆積地（渓流域、斜面風倒木地等）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面とする。

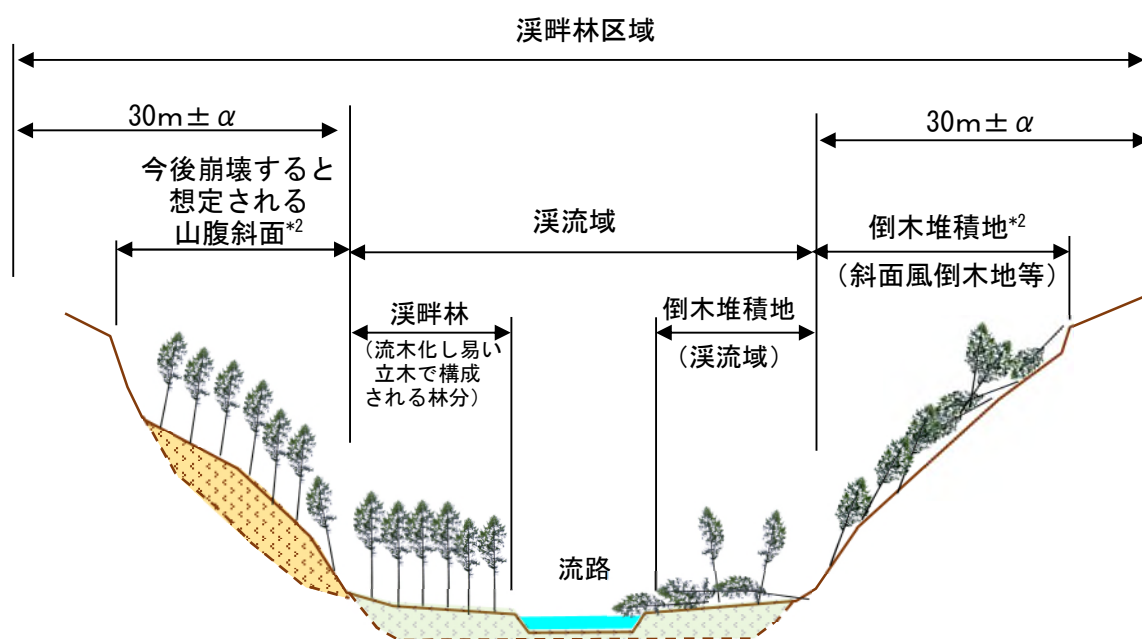


図 3. 2. 2. 掃流・堆積区間における流木発生範囲

溪畔林区分については「溪畔林整備指針（素案）平成 30 年 3 月林野庁⁷⁾」より引用

掃流・堆積区間における立木量及び倒木量は以下のとおりとする。

T_{sr} : 掃流・堆積区間における溪畔林の立木^{*1}の量

T_{st1} : 掃流・堆積区間の倒木堆積地（渓流域）における倒木の量

T_{st2} : 掃流・堆積区間両岸の倒木堆積地（斜面風倒木地等）^{*2}における倒木の量

T_{sh} : 掃流・堆積区間両岸の今後崩壊すると想定される山腹斜面^{*2}における立木及び倒木の量

*1 : 溪畔林の立木は、計画高水時における立木の倒伏安全率が 1.0 を下回った場合に流木化し易いとしている（4.1 章流木流出危険度の評価手法参照）。

*2 : 倒木堆積地（斜面風倒木地等）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面の範囲が溪畔林区域外であっても、渓流域や流路への流木流出の恐れがある場合はこれを含むこととする。

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

(3) 流下・発生区間における流木発生範囲

流下・発生区間の流木発生範囲は、立木や倒木のある溪床、溪床兩岸の倒木堆積地（崩壊地、斜面風倒木地）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面とする。

[解説]

流下・発生区間における流木発生範囲は、下図に示す立木や倒木のある溪床、溪床兩岸の倒木堆積地（斜面風倒木地等）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面とする。

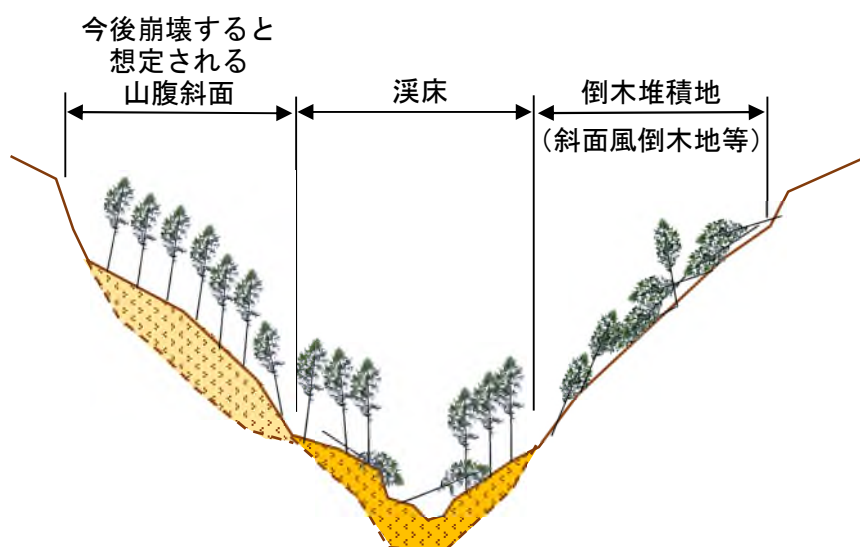


図 3. 2. 3. 流下・発生区間における流木発生範囲

流下・発生区間における流木発生量は以下のとおりとする。

- Trk : 流下・発生区間における溪床内の立木及び倒木の量
- Trt : 流下・発生区間の溪床兩岸の倒木堆積地（斜面風倒木地）に堆積している倒木の量
- Trh : 流下・発生区間兩岸の今後崩壊すると想定される山腹斜面における立木及び倒木の量

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

[参考：今後崩壊すると想定される山腹斜面の抽出手法]

流域内に 100mメッシュを設定し、山腹崩壊危険度 a1～c1 を評価することで、流木算定流路に面した山腹斜面の崩壊危険度が高い箇所を抽出することが出来る。



図 3. 2. 4. 山腹崩壊危険度による危険斜面の抽出事例

表 3. 2. 1. 山腹崩壊危険度判定表

(多雨地域)		(非多雨地域)	
危険度	危険度点数が最高点のメッシュの点数	危険度	危険度点数が最高点のメッシュの点数
a ₁	135 点以上	a ₁	125 点以上
b ₁	125 点以上 135 点未満	b ₁	115 点以上 125 点未満
c ₁	100 点以上 125 点未満	c ₁	100 点以上 115 点未満

*評価の詳細については「山地災害危険地区調査要領 平成 28 年 7 月林野庁¹⁶⁾」「流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書 (案) 平成 28 年 3 月⁸⁾p10～17」を参考のこと。

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

LP データを用いて CS 立体図、赤色立体図等の地形解析図を作成し、崩壊危険箇所を抽出することが可能である。

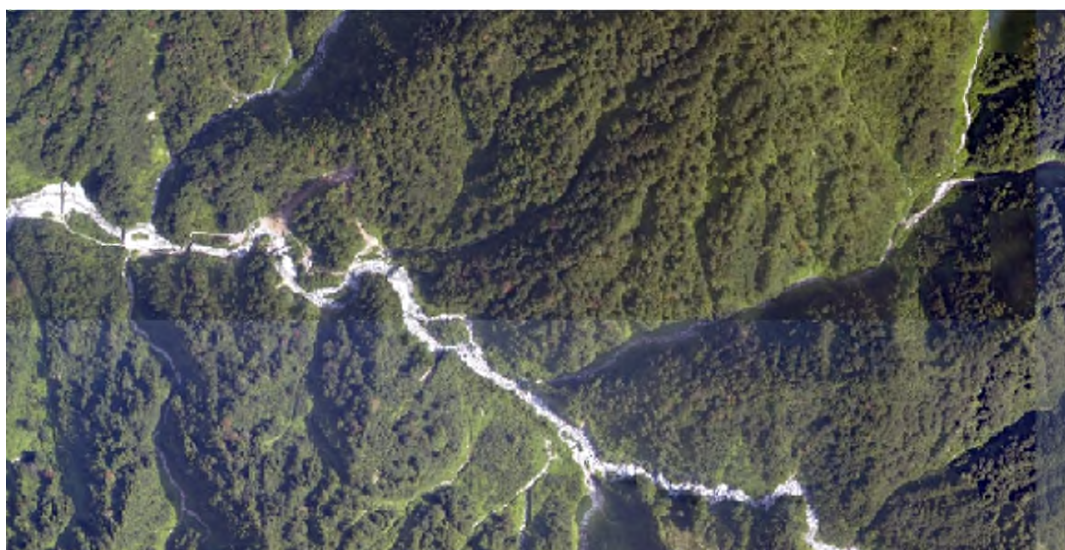


図 3. 2. 5 (1). CS 立体図作成範囲のオルソ空中写真

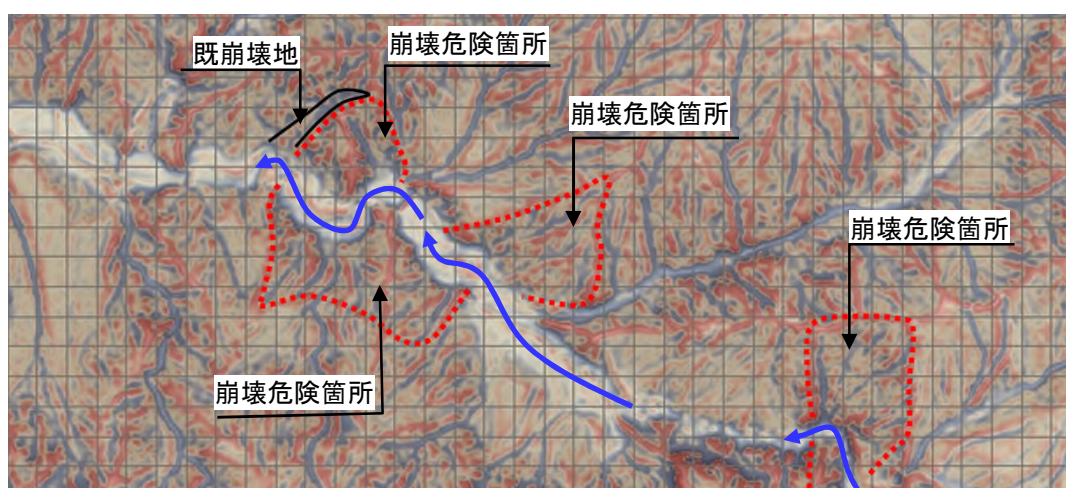


図 3. 2. 5 (2). CS 立体図による崩壊危険箇所抽出事例
(ここでは凹地形が発達した水衝部に位置する斜面を抽出)

CS 立体図の作成ソフトは以下により取得可能である。

国立研究開発法人 森林総合研究所

<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/csmapmaker>

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

CS 立体図の表現と判読現象について以下の事例を示す。

名称	CS図の表現	色の見え方	形状	地形・現象・防災上の意味	判読現象	
山腹・斜面の特徴	地すべり地		急斜面の赤色の円弧状とその下方の白色の緩斜面が対となる	滑落崖が円弧状、全体が半円形～楕円形。凹地・亀裂・ガリーが存在	地すべりは、移動体の部分は破碎されている場合が多いため、凹地やガリー、亀裂が生じて豪雨時には崩壊、土砂流出の可能性が。また、融雪期や豪雨時には移動体の滑動や土砂流出が生じ易くなると考えられる。資料は（防災科研HP）、地すべり地形（CS図）により個所数を記載。	地すべり崩壊
	凹地・溝		薄い青色	円形・楕円形又は短い角形	凹地や湧水地で、豪雨時に地下水位が高くなると崩壊の要因となる。	湧水崩壊 表層崩壊
	浅い谷（0次谷・1次谷）		薄い青色（0次谷）・やや濃い谷（1次谷）	細長く短い（0次谷）はやや幅がある	明瞭な流路を持たない谷頭集水地形の0次谷は表層崩壊が発生する可能性がある。	湧水崩壊 下刻（侵食）
	深い谷・崩壊地		濃い青	幅が一定で長く連続、短いものは崩壊地	濃い青色は深い谷と谷の両側の急傾斜の斜面と対をなす。また、濃い青色は谷底には堆積物は殆どみられない欠床谷である。深い谷の形成は、長期間の侵食作用と山地の隆起の結果である。また、溪岸崩壊や崩壊地も濃い青色で表示される。	侵食崩壊
	ガリー		やや濃い青～濃い青	浅い谷と同じだが直線的で短い	豪雨時などの流水の侵食によって幅が狭くやや深い谷を形成する。地すべり地などではやや急傾斜の斜面となっている場合がある。	下刻（侵食）
	活断層		傾斜の異なる部分が直線～曲線状に連続する	直線～曲線状に連続	谷、及び傾斜変換線が直線状や曲線状に連続している場所は活断層やリニアメントの可能性が。活断層やリニアメントは地質・地形的な脆弱部であるとともに、地震時には斜面崩壊や地すべりが発生する可能性が考えられる。資料は防災科研HP、及び国土地理院HP等による。	断層部侵食崩壊
河川・谷底の特徴	溪床堆積地		薄い白	細長く浅い谷よりも幅広	緩傾斜のために薄い白色の模様をなす。溪床の砂礫等の堆積物は、豪雨時には土石流や洪水で土砂を下流に運搬し被害を生じる要因となる。	土砂の侵食 運搬
	低位段丘		薄い白	谷底・溪床堆積地よりも幅広	緩傾斜のために薄い白色となっている。低位段丘は土石流段丘ともいわれ、比較的新しい時代に形成された段丘で、固結しておらず河床からの比高も小さいため豪雨などで容易に侵食されてしまう段丘である。	土砂の侵食 土砂の運搬 土砂の堆積
	流出口形態（狭い）		赤い色の山地が薄青～青色部分を囲む	上流域からの谷の出口を稜線が挟むように谷口を狭める	流域の上流は複数の谷や溪流、浅い谷などが多く（ピンク丸範囲）、谷の出口では稜線に挟まれて溪床幅が狭くなる場合がある（黄色丸範囲）。このような幅の狭い谷口は豪雨による被害を受ける可能性がある。	水面上昇 土石流 洪水
	流出口形態（急）		濃い青色の谷が谷出口で閉塞されて赤色の急斜面で表示	谷の出口が急斜面で、上流が閉塞されて表示	谷の流域幅が狭い河川では、本川河床との段差、比高が大きい場合には本川側の谷の表示は消え急斜面だけの表現となる。山腹や溪床に土砂がほとんどみられないため豪雨時に流水のみの流下で土石流が発生する可能性が低いと考えられる。	土石流
	流出口形態（扇状地・沖積錐）		谷の出口から低地に向かって等高線に類似した縞模様が多数連続する	縞模様が扇状～平行状に連続	豪雨時に大量の土砂を谷を流下する時、山地内ではある程度深い流下を保っているが、谷から平野に出た場合には流水が多方向に広がるために深さが一挙に減少し運搬力が低下するために谷口周辺に大量の土砂の堆積を繰り返し、扇状地を形成する。扇状地では洪水・土砂が多方向に流下するために危険である。	土石流 洪水 堆積
その他	段丘（河岸段丘）		平坦部の薄い白色を急傾斜の赤色や青色が囲む	幅広くやや長めの場合が多い	低地や規模の大きな河川の段丘は、緩傾斜で段丘崖も河床からの比高が大きく被害は少ないと考えられる。一方、溪流域内にあり、特に比高の小さい段丘は溪床堆積地と同様に、未固結で形成年代も新しく豪雨時には侵食・崩壊する可能性が考えられる。	侵食堆積

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

3.3. 立木量及び倒木量の算定

3.3.1. 立木量の算定手法

流木発生範囲における立木の「樹種」、「立木密度」、「胸高直径」を把握する上で、航空レーザ測量成果を用いた算定・解析手法について示す。

(1) 樹種

樹種は、航空レーザ測量時に同時取得されるオルソ写真の判読、現地踏査による確認等により把握し、林相区分図を作成する（流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書（案）平成 28 年 3 月林野庁 p19⁸⁾）。

[解説]

オルソ写真の判読により、樹冠の形状、色調等から樹種の区分を行う。オルソ写真による判読例を以下に示す

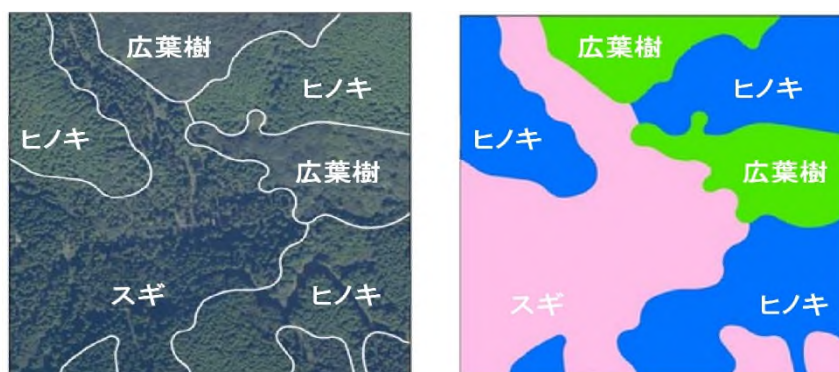


図 3.3.1. オルソ写真による判読例

航空レーザ測量の成果として、レーザ反射強度のデータがある場合は、この反射強度と樹冠高、樹冠形状に関する情報から、判読画像（レーザ林相図）を作成し樹種を識別することが可能である。レーザ反射強度の画像には、・空中写真よりも植生の差異を識別しやすい、・樹冠の凹凸やテクスチャを識別できるので広葉樹と針葉樹の識別がしやすい、・同じ樹種でも樹高が異なれば色調も異なるため、林相の差異をより鮮明に識別することが可能、等の特徴がある。

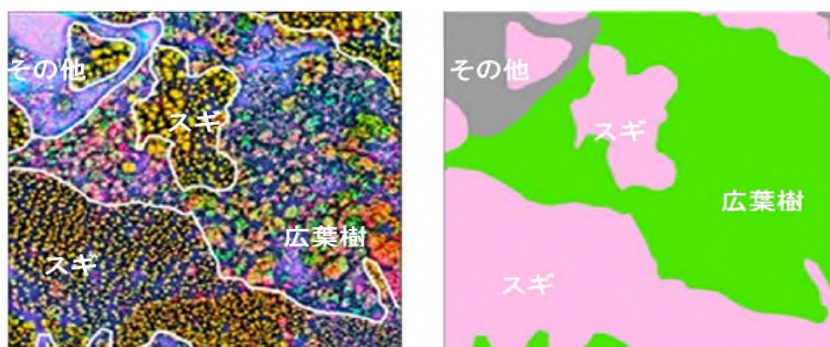


図 3.3.2. レーザ林相図による樹種判読例

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

(2) 樹冠高データの作成

対象とする林分の樹高、立木密度、胸高直径等を把握するための基礎資料として、航空レーザ測量データを基に樹冠高データ（DCHM）を作成する。

[解説]

航空レーザ測量データのファーストパルスの点群データを用いて樹冠表層面の高さ（標高値）のモデルである樹冠表層高データ（DCSM；Digital Canopy Surface Model）を作成する。さらに地盤標高データ（DEM）との差分により、樹冠高データ（DCHM；Digital Canopy Height Model）を作成する。DCHMの作成のイメージを図3.3.3に示す

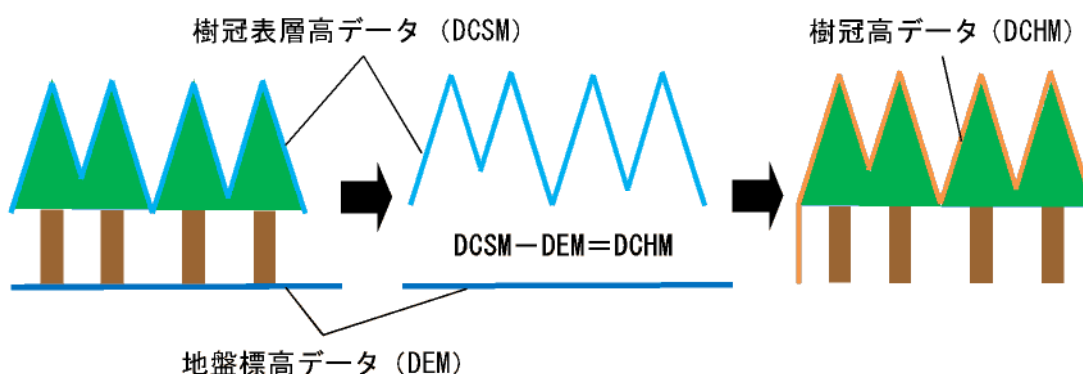


図 3.3.3(1). 樹冠高データ (DCHM) の作成のイメージ

引用：流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書（案）平成 28 年 3 月林野庁⁸⁾p20

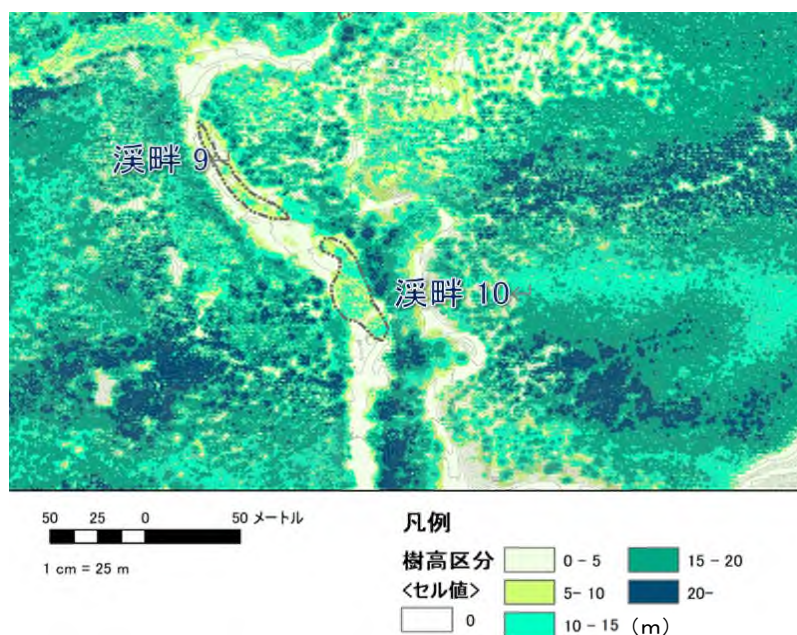


図 3.3.3(2). 樹冠高データ (DCHM) の作成事例

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

(3) 計測密度 4 点/m²以上のレーザ測量データによる針葉樹林の林分データ取得

計測密度 4 点/m²以上のレーザ測量データがある場合で、且つ樹冠形状が明瞭な針葉樹（スギ、ヒノキ、マツ類等）については、樹冠高データ（DCHM）から凸部となる樹頂点（梢）を抽出し、単木の樹高の推定および樹頂点の個数から立木本数及び胸高直径を推定する。

[解説]

樹冠高データ（DCHM）による立木本数や樹高の推定については、多様な手法が試みられている。局所最大値フィルタリングによる方法は、3×3 画素や 5×5 画素といったように画像から樹頂点の候補を探索する範囲を決め、探索範囲の中心画素が探索範囲内の最大値（ピーク）であった時にその中心画素が樹頂点であるとみなして樹頂点を自動的に抽出する方法である。

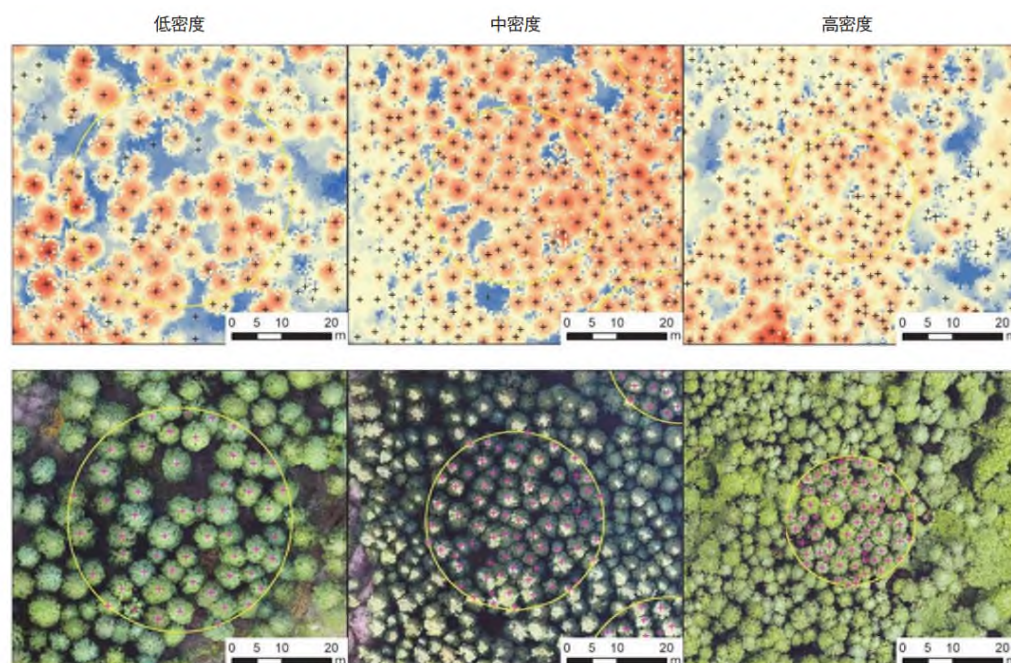


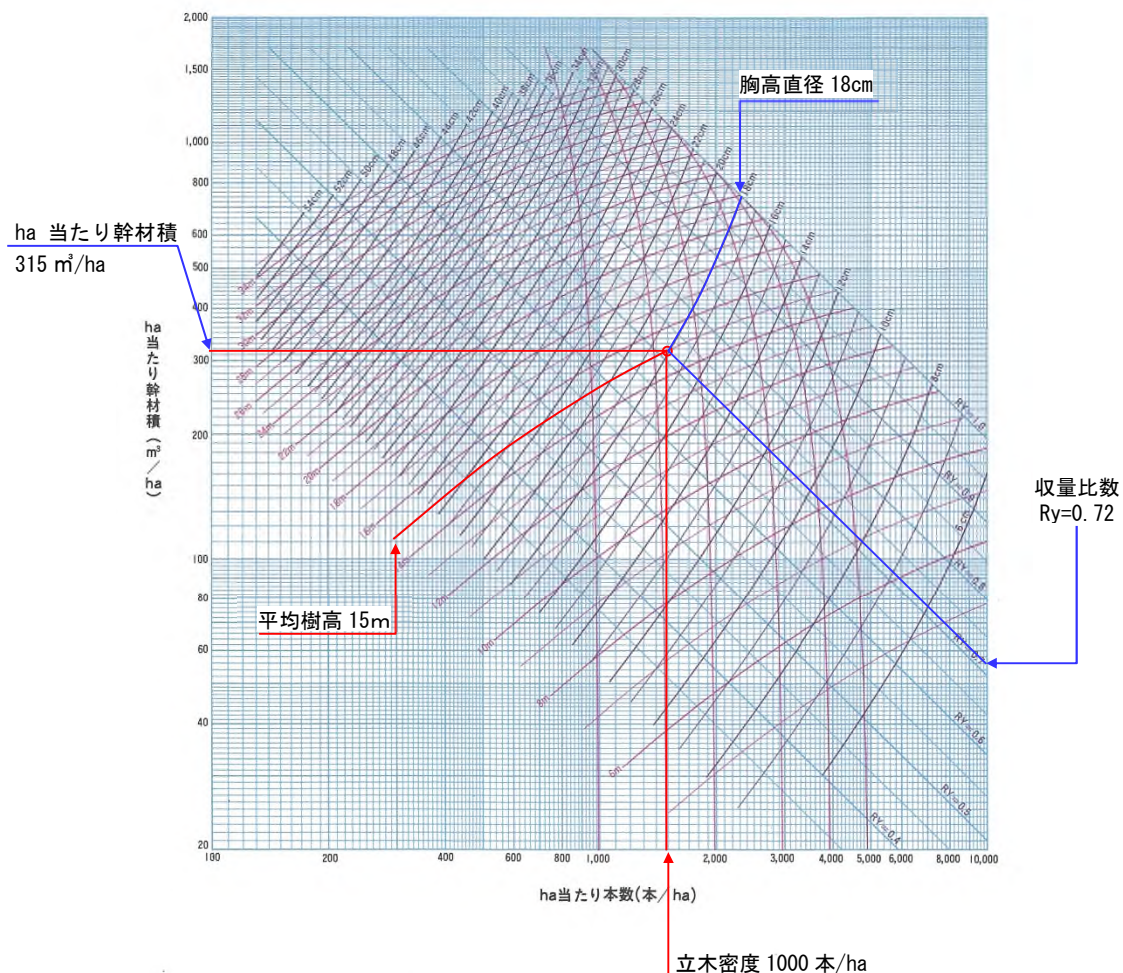
図 3.3.4. 林冠高画像と局所最大値フィルタリングによる樹頂点（上段）
オルソ写真（解像度 5cm）と写真の目視判読による樹頂点（下段）。

引用「航空機 LiDAR による立木本数の推定：森林総合研究所関西支所研究情報 No.126¹²⁾

抽出した梢部分の DCHM を抽出立木の樹高とすることで、対象林分の立木密度（本/ha）及び平均樹高のデータが取得できる。

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

林分の樹種に対応する林分密度管理図から、樹高（平均樹高）及び立木密度（本/ha）に対応する胸高直径を推定する。併せてha当たり幹材積や収量比数を算定できるため、収量比数を用いた密度管理を行うこと等も可能である。



凡 例	
	等平均樹高曲線
	等平均直径曲線
	等収量比数曲線
	自然枯死線

林野庁監修/社団法人 日本林業技術協会 昭和56年3月調製 平成11年7月復刻

図 3.3.5. 林分密度管理図（北関東 東山スギ）¹³⁾を用いた胸高直径の推定事例（木密度 1,000 本/ha, 平均樹高 15m のスギ人工林の胸高直径は 18cm、収量比数 0.72 と推算される）

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

取得した林分データは、林分毎に以下のようにとりまとめる。

①立木本数及び立木密度

林分内の立木本数及び面積当たり本数（本/ha）を算定する。

②樹高ヒストグラム

林分内の立木の平均樹高を算定すると共に、樹高分布をヒストグラムにより整理する。

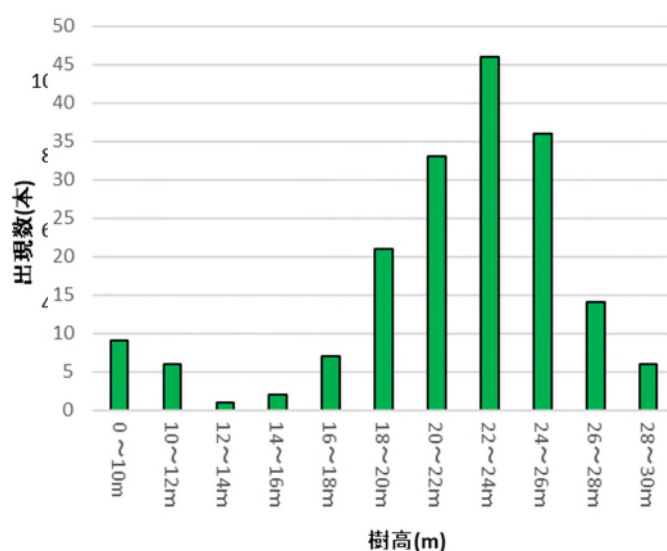


図 3.3.6. 樹高ヒストグラムの作成事例

③胸高直径ヒストグラム

林分内の立木の平均胸高直径を算定すると共に、胸高直径の分布をヒストグラムにより整理する。

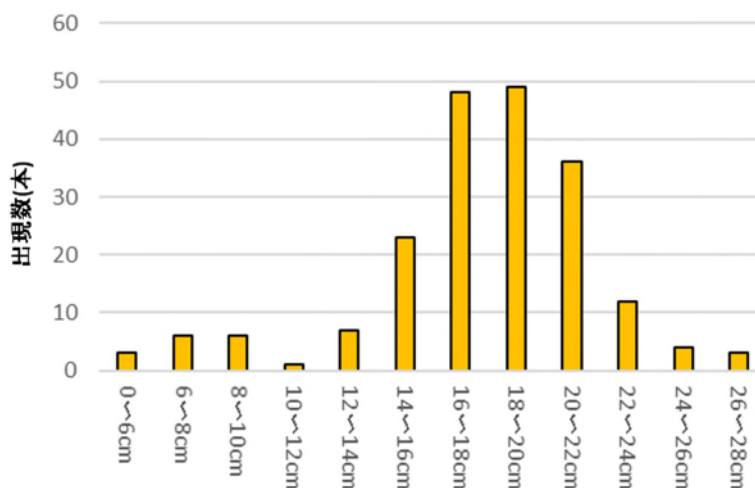


図 3.3.7. 胸高直径ヒストグラムの作成事例

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

(4) 針葉樹林（計測密度 4 点/m²未満のレーザ測量データ）若しくは広葉樹林の林分データ取得

レーザ測量データの計測密度が 4 点/m²未満の針葉樹林、若しくは対象林分が広葉樹林の場合については、対象林分において UAV 等による高密度のレーザ測量を行い、林分データを取得することが望ましい。

[参考]

UAV 等による高密度（計測密度 100 点/m²）のレーザ測量が不可能な場合については、現地調査による標準地調査データを補完することで、立木本数及び胸高直径を推定する手法がある。

標準地調査により取得すべきデータは以下のとおりである。

- ・構成樹種
- ・面積当たり本数
- ・立木毎の樹高及び平均樹高
- ・立木毎の胸高直径及び平均胸高直径
- ・立木毎の形状比及び平均形状比（樹高と胸高直径の比により算定）

樹冠高データ（DCHM）及び標準地調査データを用いて、林分データを以下のようにとりまとめる。

①立木本数及び立木密度

標準地調査による面積当たり本数（本/ha）に林分面積（ha）を乗じて、林分内の立木本数を算定する。

②樹高グリッド数ヒストグラム（見かけの樹高ヒストグラム）

樹冠高データ（DCHM）を構成する格子点データ（グリッド）を樹高とみなして、見かけの樹高ヒストグラムを作成する。

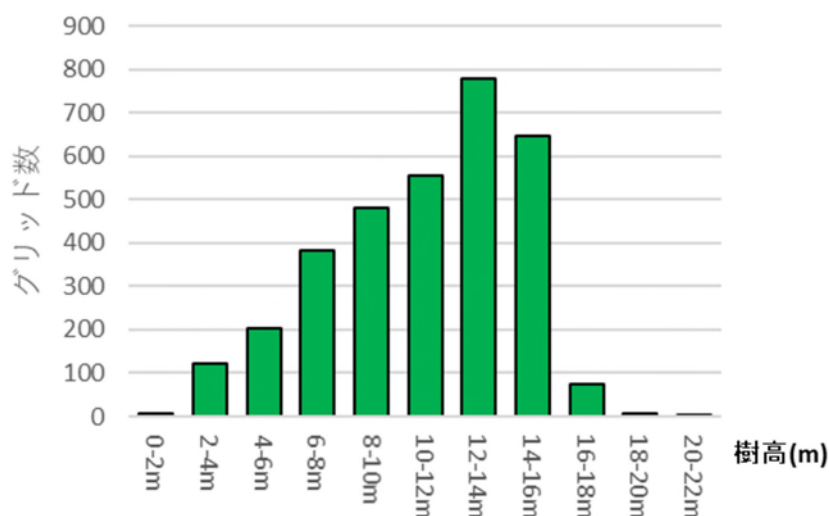


図 3.3.8. 樹高グリッド数ヒストグラムの作成事例

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

③胸高直径グリッド数ヒストグラム

樹高グリッド数ヒストグラムを用いて、胸高直径 (cm) = 樹高 (m) × 平均形状比 (標準地調査による) × 100 により、見かけの胸高直径ヒストグラムを作成する。

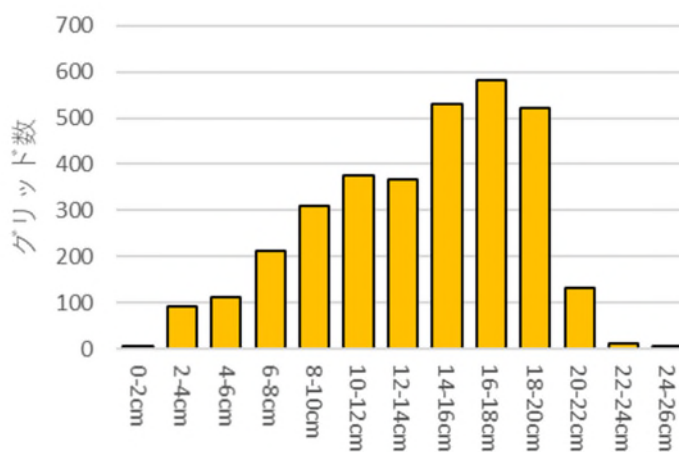


図 3.3.9. 胸高直径グリッド数ヒストグラムの作成事例

*胸高直径ヒストグラム及び胸高直径グリッド数ヒストグラムについては、溪畔林における流木流出率の算定に用いる (「4.2. 流木流出量の算定 (3) 掃流・堆積区間における流木流出量」参照)

3. 流木発生範囲の立木量及び倒木量

3.3.2. 倒木量の算定

倒木堆積地における倒木量については、倒木堆積地と同一林分のデータを「3.3.1. 立木量の算定手法(1)～(4)」により算定し、これを基礎資料として倒木堆積地の面積を乗じることで推算する。

[解説]

倒木堆積地を明確に把握でき、且つ倒木が流出していない場合については周辺の同一林分（健全林）の林分データ（面積当たり材積量）に倒木堆積地の面積を乗じることで倒木量（材積：m³）を推算する。

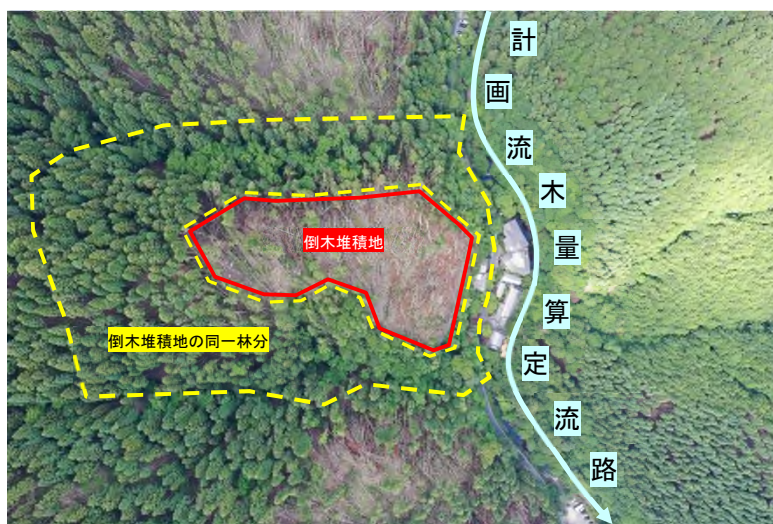


図 3.3.10. 倒木堆積地と周辺の健全な同一林分

[参考]

倒木が流出し、溪床に堆積している等、倒木堆積地の同一林分（健全林）が明確でない場合については、流木流出後の航空レーザ測量を実施し、発生前後の航空レーザ測量データを解析することにより、最低限の現地サンプル調査から溪流内の倒木量を概略推定できる手法がある（引用：流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書（案）平成 28 年 3 月林野庁⁸⁾p49）。

$$V = V2 \times rv$$

V : 推定倒木量
V2 : 溪床に堆積した倒木群の容積
V3 : 現地で計測した倒木の材積
rv : 実材積率（=実測した倒木の材積（V3）/堆積した倒木群の容積（V2））

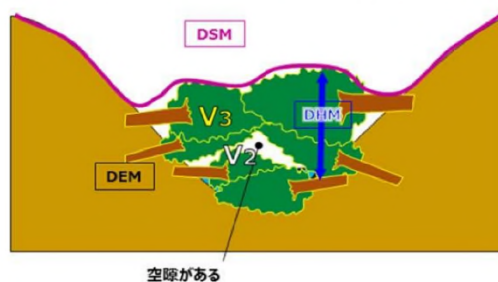


図 3.3.11. 溪床に堆積した倒木量の算定イメージ

4. 計画流木量の算定手法

4. 計画流木量の算定手法

4.1. 流木流出危険度の評価手法

流木発生範囲の立木や倒木が流出する危険度が高いのは以下の場合である。

(1) 掃流・堆積区間の溪畔林において、計画高水時の掃流の流体力が、溪畔林内の立木の倒伏限界を上回り、立木の倒伏が発生する場合。

(2) 倒木堆積地（崩壊地及び斜面風倒木地）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面において、その下流の森林の捕捉機能を上回る規模の崩壊が発生し、倒木が土砂と共に流出する場合。

(1) 掃流・堆積区間の溪畔林における流木流出危険度の評価手法

洪水時における掃流や土砂流の流体力により立木に作用する転倒モーメントと、立木の最大引倒し抵抗力による倒伏安全率に基づき評価する。

[解説]

立木の最大引倒し抵抗力は次式で示される（引用：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針 解説版 平成27年3月林野庁森林整備部整備課⁹⁾）。

$$P = a D_{BH}^b \quad \dots \text{式 4.1.1}$$

P : 引倒し抵抗力による抵抗モーメント [kNm]

D_{BH} : 胸高直径 [cm]

a : 引倒し抵抗力係数

b : 回帰係数 (3 とする)

$b=3$ とした場合の a については、樹種毎に以下によって表される。

表 4.1.1. 樹種毎の引倒し抵抗力係数

引用：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針 解説版
平成27年3月林野庁森林整備部整備課⁹⁾ 主要樹種について抜粋

樹種	a の値	抵抗力
コナラ	6.79×10^{-3}	大
ヒノキ	4.37×10^{-3}	
ケヤキ	3.86×10^{-3}	
ミズナラ	3.27×10^{-3}	中
スギ	2.82×10^{-3}	
カラマツ	2.23×10^{-3}	
サワグルミ	1.99×10^{-3}	小
トチノキ	1.80×10^{-3}	
オノエヤナギ	1.13×10^{-3}	

4. 計画流木量の算定手法

掃流や土砂流の流体力が立木に作用する転倒モーメント (kNm) は以下で示される (引用：河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン (案)：リバーフロント整備センター¹⁰⁾)。

$$M = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\rho}{g} \right) \cdot Cd \cdot S \cdot u^2 \cdot L \quad \dots \text{式 4.1.2}$$

M : 流体力による転倒モーメント [kNm]

ρ : 流水の単位重量 [12kN/m³]

g : 重力加速度 [9.8m/sec²]

Cd : 抗力係数 [円柱 1.17]

S : 流水中の立木の投影面積 [m²]

u : 流速 [m/sec]

L : 流体力の作用点の溪床からの高さ (h の 1/2) [m]

ここで、 S は立木の胸高直径 D_{BH} (m) 及び流水の水深 h (m) を用いて以下のよう
に与えられる (根元直径 = 胸高直径 $D_{BH} \times 1.3$ として扱う)。

$$S = (1.3 - 0.125 h) \times D_{BH} \times h \quad \dots \text{式 4.1.3}$$

*水深 h が胸高直径計測高である 1.2m を上回るほど誤差が大きくなる。

式 4.1.1 及び式 4.1.2 より、立木の倒伏安全率 F は以下のように示される。

$$F = \frac{P}{M} \quad \dots \text{式 4.1.4}$$

F : 立木の流体力に対する倒伏安全率

P : 引倒し抵抗力による抵抗モーメント [kNm]

M : 流体力による転倒モーメント [kNm]

式 4.1.4 から、流木流出危険度を以下のように評価できる。

$F \doteq 1.00 \rightarrow$ 溪畔林内の立木の掃流・土砂流に対する倒伏限界

$F < 1.00 \rightarrow$ 溪畔林内の立木は掃流・土砂流に対して危険 (流出)

$F > 1.00 \rightarrow$ 溪畔林内の立木は掃流・土砂流に対して安全

4. 計画流木量の算定手法

[参考]

掃流・堆積区間の最大勾配 8° (17.63%) 及び、独立基礎型流木捕捉工設置可能区間の最大勾配 2° (5.24%) における溪畔林内の立木の倒伏限界胸高直径は、計画高水流量 (1/100 年確率) と流下幅に応じて次項のように試算できる (表 4.1.1. 樹種毎の引倒し抵抗係数におけるオノエヤナギを使用)。

表 4.1.2. 計画高水流量、勾配毎の倒伏限界胸高直径の目安

勾配	区分	計画高水流量							
		0~20m ³ /s		21~30m ³ /s		31~40m ³ /s		41~50m ³ /s	
	流下幅(流路幅)	5m以下	6~10m	5m以下	6~10m	5m以下	6~10m	5m以下	6~10m
8°	水深h	0.52m	0.34m	0.65m	0.43m	0.77m	0.51m	0.88m	0.58m
	流速U	7.23m/s	5.85m/s	8.29m/s	6.78m/s	9.08m/s	7.55m/s	9.76m/s	8.18m/s
	流体力モーメントM	0.47kNm	0.07kNm	1.34kNm	0.22kNm	2.88kNm	0.50kNm	5.23kNm	0.93kNm
	引倒し抵抗モーメントP	0.48kNm	0.07kNm	1.35kNm	0.22kNm	2.91kNm	0.50kNm	5.26kNm	0.94kNm
	倒伏限界胸高直径	7.5cm	4.0cm	10.6cm	5.8cm	13.7cm	7.6cm	16.7cm	9.4cm
2°	水深h	0.77m	0.51m	0.98m	0.66m	1.16m	0.78m	1.32m	0.88m
	流速U	4.53m/s	3.76m/s	5.14m/s	4.38m/s	5.63m/s	4.86m/s	8.34m/s	5.23m/s
	流体力モーメントM	0.36kNm	0.06kNm	1.03kNm	0.21kNm	2.19kNm	0.46kNm	3.93kNm	0.80kNm
	引倒し抵抗モーメントP	0.36kNm	0.06kNm	1.03kNm	0.21kNm	2.21kNm	0.46kNm	3.97kNm	0.80kNm
	倒伏限界胸高直径	6.8cm	3.8cm	9.7cm	5.7cm	12.9cm	7.4cm	15.2cm	8.9cm
樹種		オノエヤナギ($\alpha=0.00133$)							

勾配	区分	計画高水流量							
		51~100m ³ /s		101~150m ³ /s		151~200m ³ /s		201~250m ³ /s	
	流下幅(流路幅)	10m以下	11~15m	15m以下	16~20m	20m以下	21~30m	25m以下	26~35m
8°	水深h	0.88m	0.69m	0.88m	0.75m	0.88m	0.69m	0.88m	0.72m
	流速U	10.50m/s	10.83m/s	10.77m/s	9.85m/s	10.95m/s	9.47m/s	11.03m/s	9.76m/s
	流体力モーメントM	6.53kNm	2.24kNm	7.08kNm	3.42kNm	7.44kNm	2.39kNm	7.59kNm	2.95kNm
	引倒し抵抗モーメントP	6.59kNm	2.26kNm	7.15kNm	3.44kNm	7.51kNm	2.43kNm	7.63kNm	2.97kNm
	倒伏限界胸高直径	18.0cm	12.6cm	18.5cm	14.5cm	18.8cm	12.9cm	18.9cm	13.8cm
2°	水深h	1.38m	1.05m	1.34m	1.13m	1.34m	1.05m	1.34m	1.10m
	流速U	6.64m/s	5.98m/s	6.91m/s	6.35m/s	7.03m/s	6.19m/s	7.15m/s	6.39m/s
	流体力モーメントM	5.26kNm	1.99kNm	6.12kNm	2.95kNm	6.44kNm	2.23kNm	6.78kNm	2.78kNm
	引倒し抵抗モーメントP	5.26kNm	2.00kNm	6.16kNm	2.97kNm	6.48kNm	2.26kNm	6.81kNm	2.78kNm
	倒伏限界胸高直径	16.7cm	12.1cm	17.6cm	13.8cm	17.9cm	12.6cm	18.2cm	13.5cm
樹種		オノエヤナギ($\alpha=0.00133$)							

上記に示した倒伏限界胸高直径を下回る溪畔林内の立木は、出水時の流水による流体力の作用により倒伏し、流出する危険度が高い。

4. 計画流木量の算定手法

(2) 倒木堆積地（崩壊地及び斜面風倒木地）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面における流木流出危険度の評価手法

倒木堆積地（斜面風倒木地等）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面において想定される崩壊土砂量と、これを捕捉する下流森林の土砂捕捉量に基づき評価する。

[解説]

倒木堆積地（斜面風倒木地等）は、根系の緊縛力低下に伴い崩壊防止機能が低下している可能性があることから、今後崩壊すると想定される山腹斜面と同様の流木流出危険度評価を行う。

崩壊の際に想定される土砂量は以下により求める。

$$V_h = A \times D \quad \dots \text{式 4.1.5}$$

V_h : 想定崩壊土砂量[m³]

A : 倒木堆積地の面積[m²]

D : 倒木堆積地の推定崩壊深[m]

倒木堆積地及び今後崩壊すると想定される山腹斜面が流路に直接接続しておらず、その下流に森林がある場合、森林による土砂や流木の捕捉機能が期待できる。

森林が抑止可能な最大土量は、次式で表される（引用：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針 解説版：平成27年3月林野庁森林整備部整備課⁹⁾）。

$$V_{max} = 18.5 \cdot \frac{B_d}{\sin\theta^{3/14}} \cdot \left(\frac{a D_{BH}^3}{d} \right) \quad \dots \text{式 4.1.6}$$

V_{max} : 森林が抑止可能な土砂量[m³]

D_{BH} : 胸高直径[cm]

a : 立木の引倒し抵抗力係数

d : 立木間隔[m/本]

B_d : 流下幅[m]

θ : 勾配

ここで、 d （立木間隔）及び D_{BH} については「3.3.1. 立木量の算定手法」（3）（4）にある立木密度や胸高直径の推定により求めることが可能である。

θ （勾配）についてはレーザ測量地形データにより求める。

a （立木の引倒し抵抗力係数）は、表4.1.1に示す数値である。

4. 計画流木量の算定手法

式 4.1.5 及び 4.1.6 から、以下の場合において土砂及び倒立木が流出する危険度を評価できる。

$V_{max} \geq Vh \rightarrow$ 土砂及び倒立木が流出する可能性が低い

$V_{max} < Vh \rightarrow$ 土砂及び倒立木が流出する可能性が高い

[参考]

(引用：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針 解説版：平成 27 年 3 月林野庁⁹⁾)

森林が土砂を捕捉できるかどうかは、流下幅と溪床勾配の影響が強い。現実的に森林による抑止が期待できるのは、溪床勾配 10° 未満程度である。

勾配 10° の地点で森林が抑止可能な最大土量 V_{max} を算定し、林分密度管理図(関東・中部ヒノキ、南関東・東海スギ：収量比数 0.6)に基づき胸高直径を求め、下図に示した。

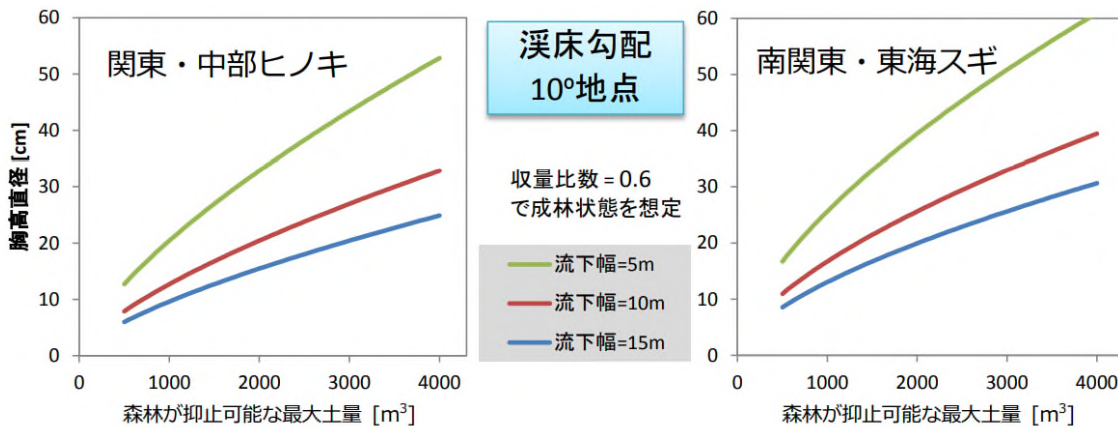


図 4.1.1. 勾配 10° 地点での胸高直径と抑止可能な最大土量 V_{max} の関係

引用：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針 解説版：平成 27 年 3 月林野庁森林整備部整備課⁹⁾

図 4.1.1. より、流下土砂を捕捉するために、どの程度の林分を成立させればよいかの目安がわかる。勾配 10° 地点より下流側の範囲を土砂捕捉林としたとき、実際の土砂の流下幅 10~15m 程度が多いことを踏まえ、図 4.1.1 において流下幅の違いを以下のように読み替えることが可能である。

森林が土砂を抑止する可能性が高い \rightarrow 流下幅 5m ラインより上側

森林が土砂を抑止する可能性がある \rightarrow 流下幅 5m~10m ラインの間

森林が土砂を抑止する可能性が低い \rightarrow 流下幅 10m~15m ラインの間

森林が土砂を抑止できない \rightarrow 流下幅 15m ラインより下側

(勾配 10° 以下、収量比 0.6 のスギ林の場合)

4. 計画流木量の算定手法

以上より、森林が土砂を抑止できる可能性が高いケースは、勾配 10° 以下、流下幅 5m以下で土砂が流出した場合であると考えられる。表 4. 1. 1 で示した樹種の引倒し抵抗力係数を用いて、流下幅 5m・土砂の流下勾配 10° における樹種、胸高直径及び立木間隔毎の抑止土砂量の試算結果を次項に示す。

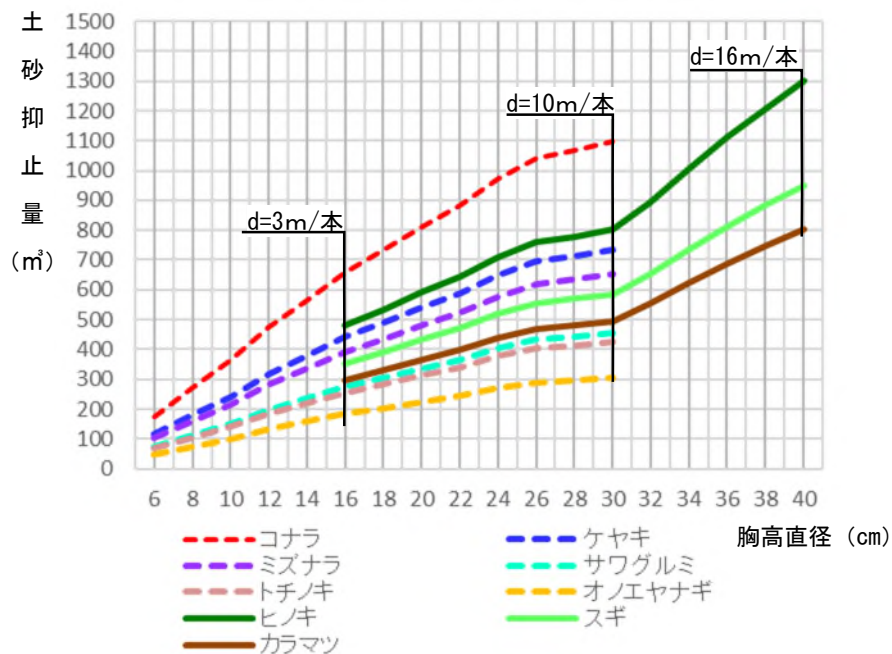


図 4. 1. 2 (1). 森林による土砂抑止量：勾配 10°
 (破線：広葉樹 胸高直径 6~30cm, 実線：針葉樹 胸高直径 16~40cm)
 →ヒノキの収量比数 0.60 相当の立木間隔 d を用いた試算結果

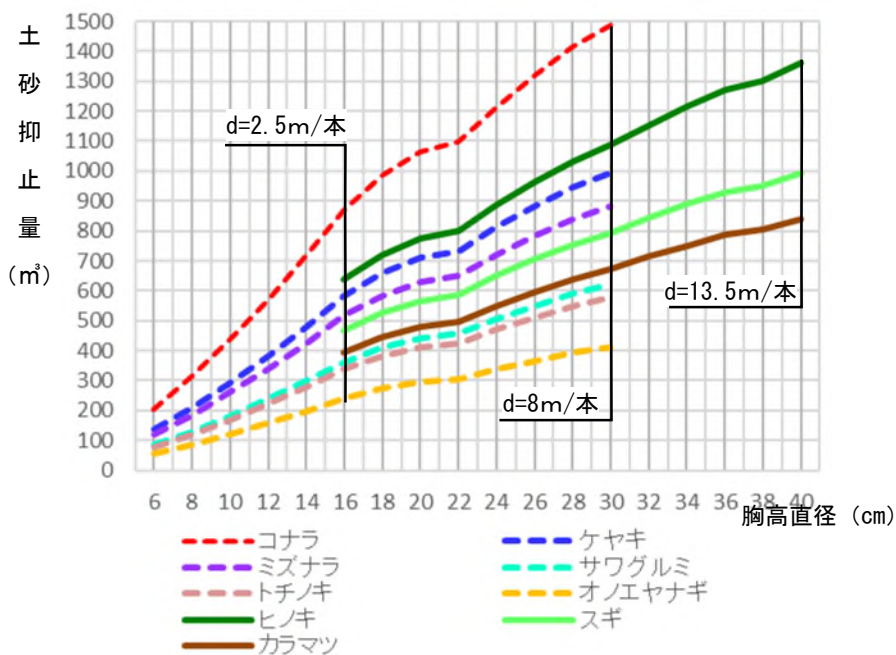


図 4. 1. 2 (2). 森林による土砂抑止量：勾配 10°
 (破線：広葉樹 胸高直径 6~30cm, 実線：針葉樹 胸高直径 16~40cm)
 →ヒノキの収量比数 0.70 相当の立木間隔 d を用いた試算結果

4. 計画流木量の算定手法

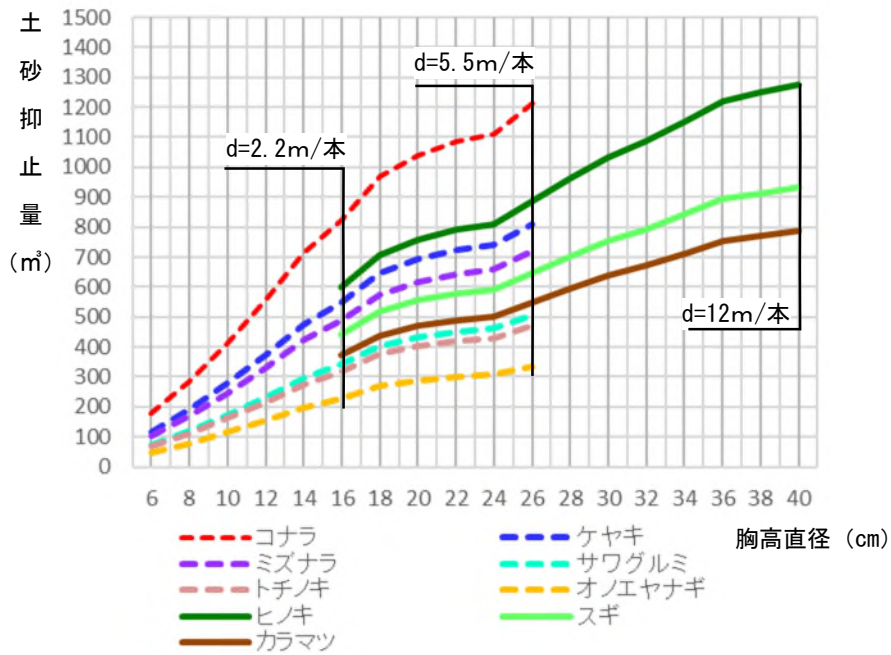


図 4. 1. 2 (3). 森林による土砂抑止量：勾配 10°
 (破線：広葉樹 胸高直径 6~26cm, 実線：針葉樹 胸高直径 16~40cm)
 →ヒノキの収量比数 0.80 相当の立木間隔 d を用いた試算結果

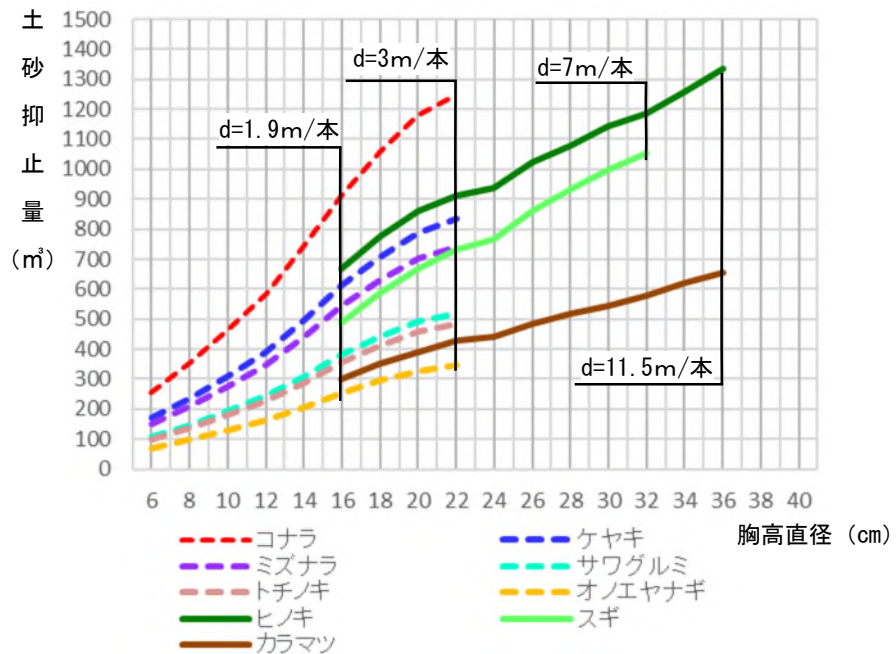


図 4. 1. 2 (4). 森林による土砂抑止量：勾配 10°
 (破線：広葉樹 胸高直径 6~22cm, 実線：針葉樹 胸高直径 16~36cm)
 →ヒノキの収量比数 0.90 相当の立木間隔 d を用いた試算結果

4. 計画流木量の算定手法

4.2. 流木流出量の算定

(1) 流木流出量

流木流出量は、掃流・堆積区間及び流下・発生区間内の流木発生範囲における立木量及び倒木量に流出率を乗じた量とする（「指針⁵⁾」6-3 流木量の調査）。

(2) 流木流出率

流木流出率は、流木発生範囲における立木の倒伏限界、森林の土砂捕捉機能、治山施設等の防災施設効果等を勘案の上で決定する。流木流出率は0.9を上限とし、0.1～0.9の範囲で設定する。

(3) 掃流・堆積区間における流木流出量

掃流・堆積区間の流木流出量 T_s は、流木発生範囲である溪畔林の立木量、倒木堆積地（溪流区域内）と倒木堆積地（斜面風倒地等）の倒木量及び今後崩壊すると想定される山腹斜面に、対応する流木流出率を乗じて算定する。

[解説]

掃流・堆積区間における流木流出量は以下により示される。

$$T_s = t_1 \cdot T_{sr} + t_2 \cdot T_{st1} + t_3 \cdot T_{st2} + t_3 \cdot T_{sh} \cdots \text{式 4.2.1}$$

<<立木及び倒木量：3.2章図3.2.2参照>>

T_s : 掃流・堆積区間における流木流出量[m³]

T_{sr} : 掃流・堆積区間における溪畔林の立木の量[m³]

T_{st1} : 掃流・堆積区間の倒木堆積地（溪流域）における倒木の量[m³]

T_{st2} : 掃流・堆積区間の倒木堆積地（崩壊地及び斜面風倒地）における倒木の量[m³]

T_{sh} : 掃流・堆積区間両岸の今後崩壊すると想定される山腹斜面における立木及び倒木の量[m³]

<<流木流出率>>

t_1 : 溪畔林における林分毎の流木流出率

(0.1～0.9：立木の倒伏限界胸高直径により設定)

t_2 : 倒木堆積地（溪流域）における倒木の流木流出率 (0.9とする)

t_3 : 倒木堆積地（斜面風倒地等）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面における立木及び倒木の流木流出率

(0.1若しくは0.9：下流森林の土砂捕捉機能により設定)

4. 計画流木量の算定手法

(4) 溪畔林における流木流出率 $t1$ の設定手法

渓流域溪畔林における流木流出率 $t1$ については、計画高水時において倒伏限界胸高直径未満（倒伏安全率 $F \leq 1.0$ ）となる立木の比率とする。

[解説]

倒伏限界胸高直径については、式 4.1.1 及び式 4.1.2 によって求める他、概略値として表 4.1.2 の数値を用いても良い。求めた倒伏限界胸高直径を閾値として、対象林分の胸高直径ヒストグラムから倒伏限界胸高直径を下回る立木本数及び本数率（ $t1$ ）を求める。

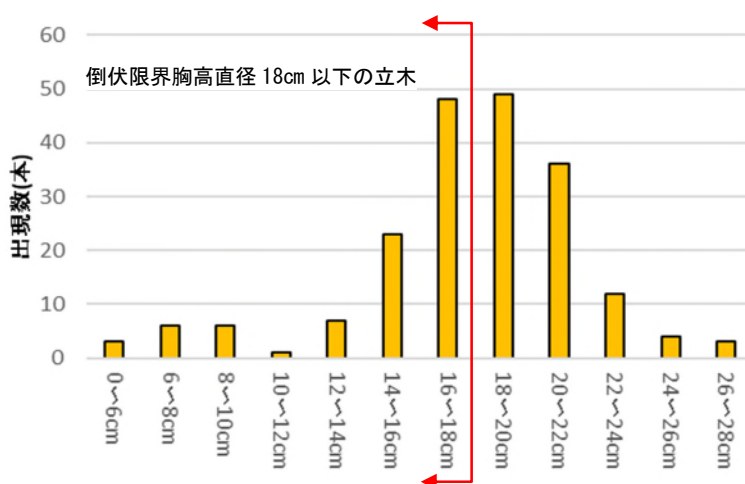


図 4.2.1. 倒伏限界胸高直径を 18cm とした場合の胸高直径ヒストグラム例

上記の場合、倒伏限界胸高直径である 18cm 以下の立木本数は 94 本/198 本（全立木数）であることから、流木流出率 $t1=94/198=0.5$ と算定される（広葉樹等で胸高直径グリッド数ヒストグラムを用いた場合も同様）。

4. 計画流木量の算定手法

(5) 倒木堆積地（斜面風倒木地等）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面における流木流出率 t_3 の設定手法

倒木堆積地（斜面風倒木地等）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面における流木流出率 t_3 は、防災施設及び森林による土砂捕捉機能が期待できる場合については 0.1、これらの機能が期待できない場合は 0.9 とする。

① 倒木堆積地及び今後崩壊すると想定される山腹斜面の直下に防災施設や道路がある場合

直下に防災施設（道路施設を含む）がある場合、崩壊により流出した土砂や倒木は防災施設に抑止されるものと考え、 $t_3=0.1$ とする。

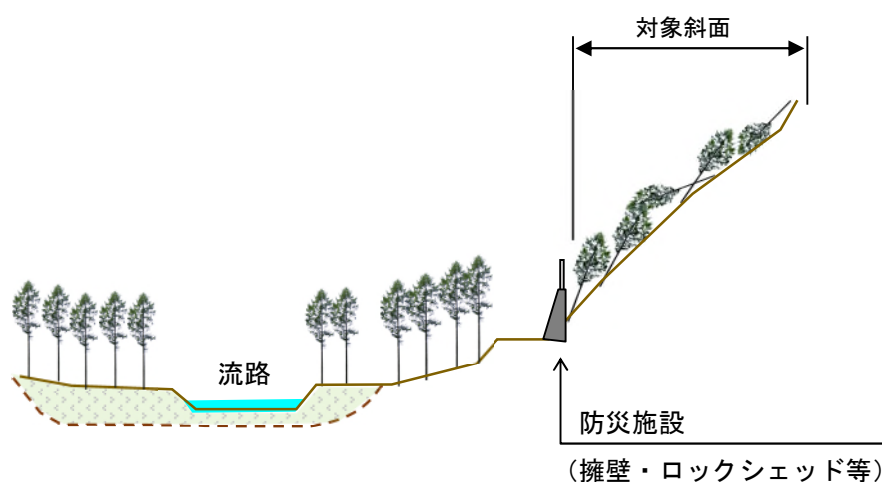


図 4. 2. 2(1). 倒木堆積地の直下に道路擁壁等防災施設がある場合： $t_3=0.1$

② 倒木堆積地及び今後崩壊すると想定される山腹斜面下流森林の土砂捕捉機能が期待できる場合

下流森林が緩勾配（ 10° 以下）を呈し、土砂捕捉林としての機能が期待できる場合（ $V_{max} \geq Vd$ ）、崩壊により発生した倒木は土砂捕捉林に抑止されるものと考え、 $t_3=0.1$ とする

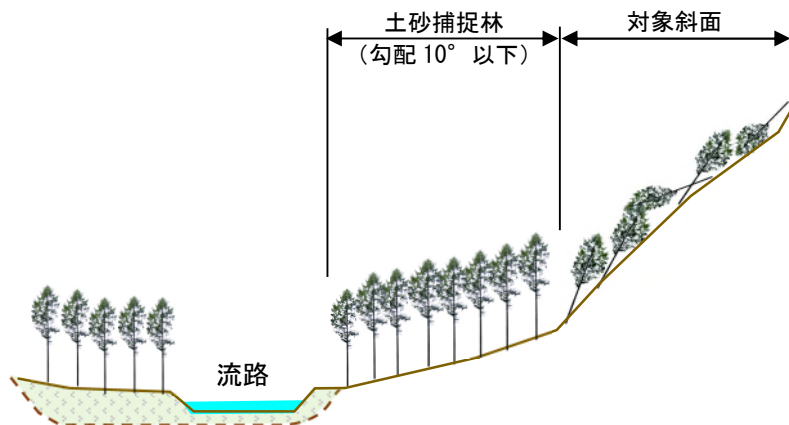


図 4. 2. 2(2). 倒木堆積地下流森林の土砂捕捉機能が期待できる場合： $t_3=0.1$

4. 計画流木量の算定手法

(4) 流下・発生区間における流木流出量

流下・発生区間の流木流出量 Tr は、流下・発生区間内における治山施設整備状況に基づき算定することとし、流木発生範囲である溪床、倒木堆積地及び今後崩壊すると想定される山腹斜面の倒木量及び立木量に流下・発生区間の流木流出率 t を乗じて算定する。

[解説]

流下・発生区間における流木流出量は以下により示される。

$$Tr = t \cdot (Trk + t3 \cdot Trt + t3 \cdot Trh) \quad \dots \text{式 4.2.2}$$

<<立木及び倒木量：3.2 章図 3.2.3 参照>>

Tr : 流下・発生区間における流木流出量[m³]

Trk : 流下・発生区間における溪床内の立木及び倒木の量[m³]

Trt : 流下・発生区間の溪床両岸の倒木堆積地（崩壊地及び斜面風倒木地）に堆積している倒木の量[m³]

Trh : 流下・発生区間両岸の今後崩壊すると想定される山腹斜面における立木及び倒木の量[m³]

<<流木流出率 >>

t : 流下・発生区間の流木流出率

(0.1～0.9：治山施設整備状況により設定)

$t3$: 倒木堆積地（斜面風倒木地等）及び今後崩壊すると想定される山腹斜面における立木及び倒木の流木流出率

(0.1 若しくは 0.9：下流森林の土砂捕捉機能により設定、p38 参照)

4. 計画流木量の算定手法

流木流出率 t については、下図に示す既往の実態調査結果を参考とする。

防災施設がない場合： $t=0.7$ (≈ 0.66) ~ 0.9 、防災施設がある場合： $t=0.5$ 程度と示されている。

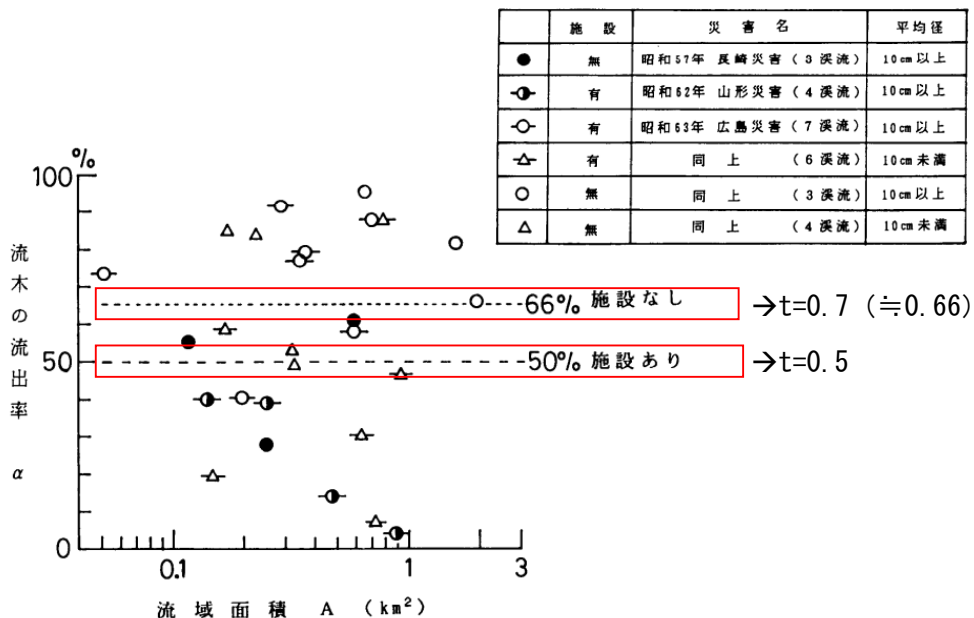


図 4.2.3. 流域面積と流木の流出率

引用：土石流に伴う流木の発生及び流下機構 砂防学会誌 Vol. 42 No3 1989¹¹⁾

① 治山ダムが階段状に整備されていない溪流

治山ダムが階段状に整備されておらず、土砂生産・流出が活発な荒廃溪流については $t=0.9$ 、治山ダム等が整備されていないものの比較的安定した溪流については、 $t=0.7$ (≈ 0.66) とする。

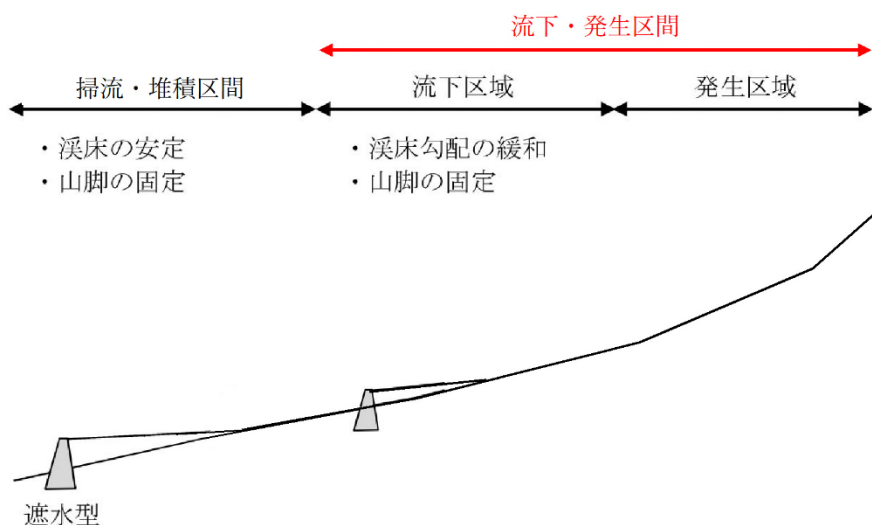


図 4.2.4(1). 治山ダムが階段状に整備されていない溪流：流木流出率 $t=0.7\sim 0.9$

4. 計画流木量の算定手法

②階段状に治山ダムが配置される等、安定した渓床を有する溪流
治山施設が整備されている状態と考え、 $t=0.5$ とする

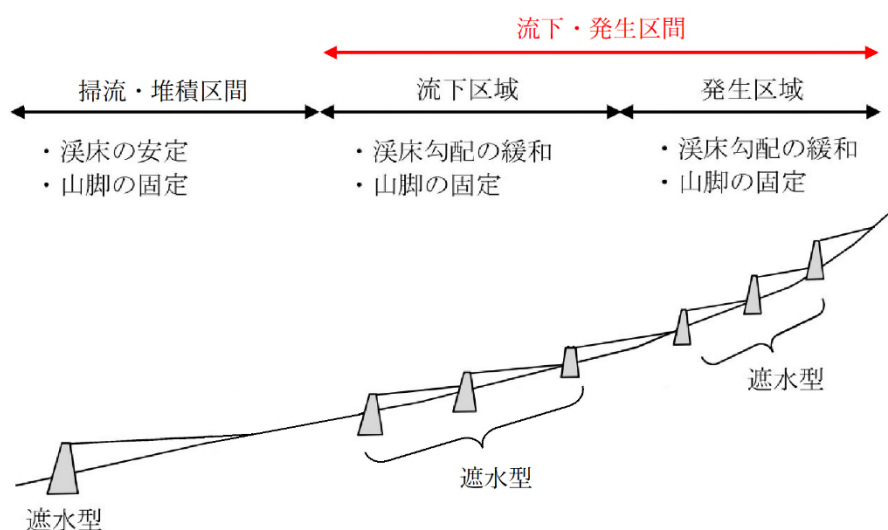


図 4. 2. 4 (2). 階段状に治山ダムが配置される等、安定した溪流：流木流出率 $t=0.5$

③流木捕捉を目的とした治山ダム若しくは透過型ダムがある溪流
ほぼ全ての流木が流下・発生区間内において捕捉されるものと考え、
 $t=0.1$ とする。

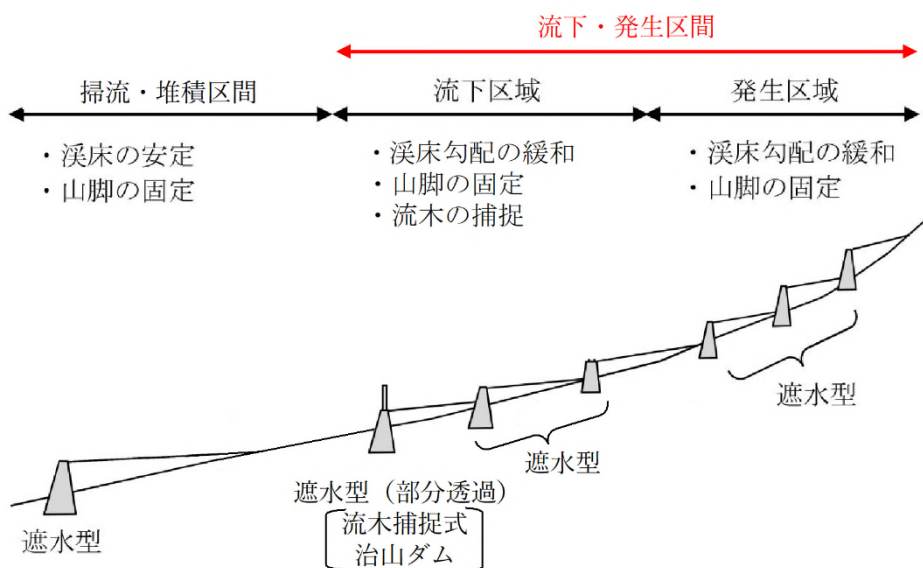


図 4. 2. 4 (3). 流木捕捉を目的とした治山ダムがある溪流：流木流出率 $t=0.1$

4. 計画流木量の算定手法

4.3. 計画流木量の算定

掃流・堆積区間及び流下・発生区間における流木発生範囲の流木流出量の総和を以て、その流域の計画流木量とする。

[参考]

流木流出量及び計画流木量の算定事例を以下に示す。

表 4.3.1. 計画流木量の算定事例

区分	分類	林分	面積 (ha)	立木材積量 (m ³)	倒木材積量 (m ³)	流木流出率		流木流出量 (m ³)		
						数値	根拠			
掃流・ 堆積 区 間	溪畔林	1	0.81	52.7	0	0.65	倒伏限界胸高直径16cm	34.2	t1・Tsr	
		2	0.62	40.3	0	0.65	〃	26.2		
		3	0.38	24.7	0	0.72	倒伏限界胸高直径18cm	17.8		
		4	1.21	78.7	0	0.72	〃	56.6		
	今後崩壊する と想定される 山腹斜面	1	0.35	22.8	0	0.10	直下に道路防災施設あり	2.3	t3・Tsh	
		2	0.25	16.3	0	0.10	〃	1.6		
		3	0.81	52.7	0	0.90	防災施設なし	47.4		
	斜面風倒地	1	0.02	0.00	5.1	0.90	〃	4.6	t2・Tst	
	小計			4.45	287.95	5.1	0.66		190.8	Ts
	流下・ 発生 区 間	区間流木流出量		t=0.5			治山ダムが階段状に整備された安定家流			
溪床		1	5.52	358.8	0	0.50		179.4	t・Trk	
今後崩壊する と想定される 山腹斜面		1	0.05	0.00	3.2	0.45	0.9(t3)×0.5(t)	1.4	t・t3・Trh	
		2	0.23	15.0	0	0.45	〃	6.7		
		3	0.67	43.6	5	0.45	〃	19.6		
		4	0.58	37.7	0	0.45	〃	17.0		
		5	0.45	29.3	0	0.45	〃	13.2		
6		0.54	35.1	0	0.45	〃	15.8			
倒木帯		1	0.05	0.00	3.2	0.50	〃	1.6	t・Trt	
小計			8.09	519.35	11.4	0.49		254.7	Tr	
合計			12.54	807.3	16.5	0.55		445.5	Ts+Tr	

5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画

5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画

5.1. 施設整備の考え方

(1) 独立基礎型流木捕捉工を活用した施設整備

独立基礎型流木捕捉工については、階段状治山ダム群や山腹工等の整備により安定した溪床を確保した上で、流木発生範囲を発生源として想定される流木の効果的な捕捉及び溪畔林の保全を目的として活用する。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は、流木の捕捉機能に特化しており、流出土砂の捕捉、溪床の安定や山脚の固定等の機能を考慮していない。したがって、これら荒廃現象については階段状治山ダム群や山腹工等により対応した上で、流木発生範囲からの流木を捕捉すると共に、溪畔林の保全にも配慮した上で配置することが望ましい。

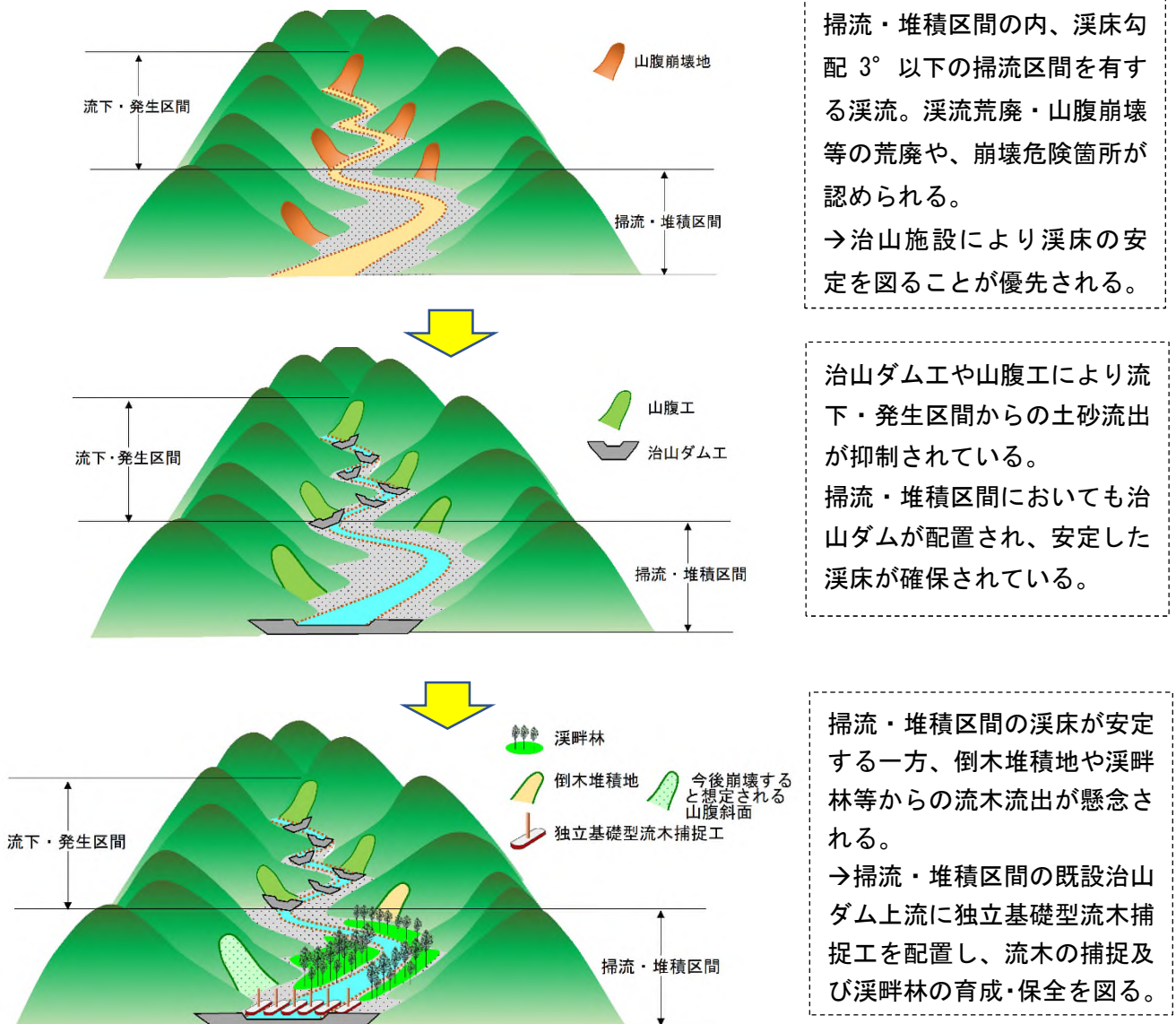


図 5.1.1. 独立基礎型流木捕捉工を活用した施設整備模式図

5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画

(2) 整備目標及び整備水準

独立基礎型流木捕捉工による流木対策の整備目標は、流木捕捉量が計画流木量を上回ることを原則とする。

但し、計画流木量が多く、複数基の独立基礎型流木捕捉工の配置を要する場合は、当面1箇所のみを配置することを整備水準とする。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工の流木捕捉量は以下に示される（独立基礎型流木捕捉工設計・施工ガイドライン（案）P16¹⁾）。

$$V_r = V_d \times \beta \quad \dots \text{式 5.1.1}$$

$$V_d = A_w \times h$$

ここで、 V_r ：流木捕捉量[実材積 m^3]

β ：流木容積率（平均的な値として0.2とする：「指針⁵⁾」2流木の捕捉量のみの評価)

V_d ：見かけの捕捉容量[m^3]

A_w ：独立基礎型流木捕捉工流木閉塞時の湛水面積[m^2]

h ：堆砂地若しくは湛水部の平均深[m]

独立基礎型流木捕捉工による整備率は以下に示される。

$$\text{整備率} = \frac{V_r}{T} \times 100 \quad \dots \text{式 5.1.2}$$

ここで、 T ：計画流木量

5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画

[参考]

計画流木量Tについては、以下の概略式が提案されている（引用：ダム貯水池流木対策の手引き（案）平成30年国土交通省水管理・国土保全局河川環境課¹⁴⁾）

$$\text{流木量 } y = 198 \times x \quad (x < 115)$$

$$\text{流木量 } y = 40.926 \times x + 181.16 \quad (x \geq 115)$$

ここで、 x ：流域面積（ km^2 ）

独立基礎型流木捕捉工による流木捕捉量は、式5.1.1による他、設置箇所の堆砂勾配及び設置幅から以下の概略値を用いてもよい（標準的な上部工鋼管杭高2.0m、 $\beta = 0.2$ の場合）。

表 5.1.1. 独立基礎型流木捕捉工設置堆砂域と設置幅による流木捕捉量の概略値

堆砂勾配		独立基礎型流木捕捉工設置幅(m)										
度(°)	%	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0.5	0.9	460	690	920	1,150	1,380	1,610	1,830	2,060	2,290	2,520	2,750
1.0	1.8	230	340	460	570	690	800	920	1,030	1,150	1,260	1,380
1.5	2.6	150	230	310	380	460	540	610	690	760	840	920
2.0	3.5	110	170	230	290	340	400	460	520	570	630	690

上表によると、独立基礎型流木捕捉工の上流堆砂勾配が2°（3.5%）、設置幅が30mの場合、流木捕捉量は約340 m^3 と推定できる。

5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画

5.2. 溪畔林保全手法の考え方

(1) 独立基礎型流木捕捉工による溪畔林保全の考え方

溪畔林内に生育する比較的小径で流木化し易い立木を、独立基礎型流木捕捉工により一定期間保全することで、比較的大径の流木化しにくい立木から構成される溪畔林（緩衝林）に誘導する。

[解説]

比較的小径で流木化し易い立木と、比較的大径で流木化しにくい立木は、計画高水時における立木の倒伏安全率 F により区分できる（4.1章 p30 参照）。

比較的小径で流木化し易い立木 : $F \leq 1.00$

比較的大径で流木化しにくい立木 : $F > 1.00$

ここで、

$$F = \frac{P}{M} \quad \dots \text{式 4.1.4 (再掲)}$$

F : 立木の流体力に対する倒伏安全率

P : 引倒し抵抗力による抵抗モーメント [kNm]

M : 流体力による転倒モーメント [kNm]

5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画

(2) 独立基礎型流木捕捉工に期待される溪畔林の保全効果

溪畔林下流に独立基礎型流木捕捉工を設置することで、溪畔林内の立木が流木化した際の捕捉効果が期待できることから、流木対策としての危険木伐採が不要となる（捕捉効果）。また、溪畔林上流に独立基礎型流木捕捉工を設置することで、溪畔林内に流入する流木を捕捉し、流木が溪畔林内の立木を巻き込み倒伏させることを抑制する効果が期待できる（倒伏防止効果）。

[解説]

① 捕捉効果による溪畔林保全の考え方

溪畔林はじめ溪床付近の立木については、流木化することにより被害の拡大につながる危険性が指摘されているところであり、計画高水位や土石流水深想定時に水浸する立木については、危険木として伐採されることがある。

但し、危険木伐採には、伐採範囲の設定や伐採木の処理方法、生態系保全の役割を有する溪畔林はじめ水辺林の破壊等の課題がある。

独立基礎型流木捕捉工を溪畔林下流側に配置することによって、溪畔林等で発生した流木を捕捉し、下流への流出を抑制できる。また流木化するのは倒伏安全率 $F \leq 1.0$ (式 4.1.4) の立木である可能性が高く、比較的大径な溪畔林内の立木 ($F > 1.0$) を伐採せずに残存させ、緩衝林へと誘導することが可能となる。

危険木伐採に対する選択肢として、独立基礎型流木捕捉工の設置を挙げることで、流木の捕捉及び溪畔林の保全（緩衝林の育成）に繋がる効果が期待できる。

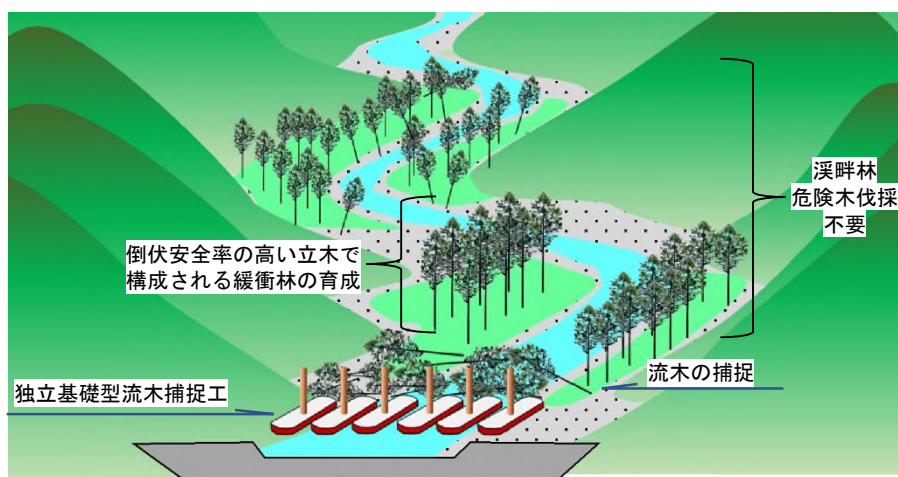


図 5.2.1 溪畔林下流に設置した独立基礎型流木捕捉工による保全効果

5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画

②倒伏防止効果による溪畔林保全の考え方

溪床土砂の移動や崩壊発生等により発生した流木は、掃流・堆積区間においては水面を浮遊しながら流下し、溪畔林等の立木に衝突、倒伏させることで流木量の増加に繋がることから考えられる。

掃流や土砂流の流体力が立木に作用するモーメントの位置(溪床からの高さ)は、4章 式4.1.2より、清水状態では $L=1/2h$ (h :水深)として与えられる。

流木が溪畔林等の立木に衝突する際は、流木が水面付近を浮遊しながら流下することから、水深に近い高さに大きな外力が作用するため、流体力に対する倒伏限界胸高直径がより大きくなる(清水時よりも大径の立木が倒伏する)可能性がある(下図参照)。

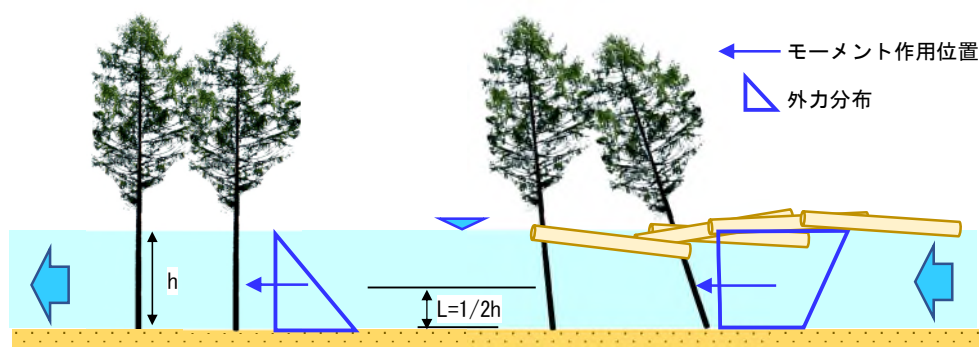


図 5. 2. 2. 溪畔林立木に作用する外力の模式図
(左：清水時, 右：流木衝突時)

独立基礎型流木捕捉工を溪畔林上流側に配置することで、溪畔林内の立木に過大な外力を作用させる可能性のある流木の流入を抑制する効果が期待できる。倒伏安全率が清水時の倒伏限界 ($F=1.00$) を大きく上回る立木を育成することが可能となり、土砂捕捉や溪岸侵食抑制の効果を有する緩衝林育成に向けた選択枝のひとつとして期待できる。

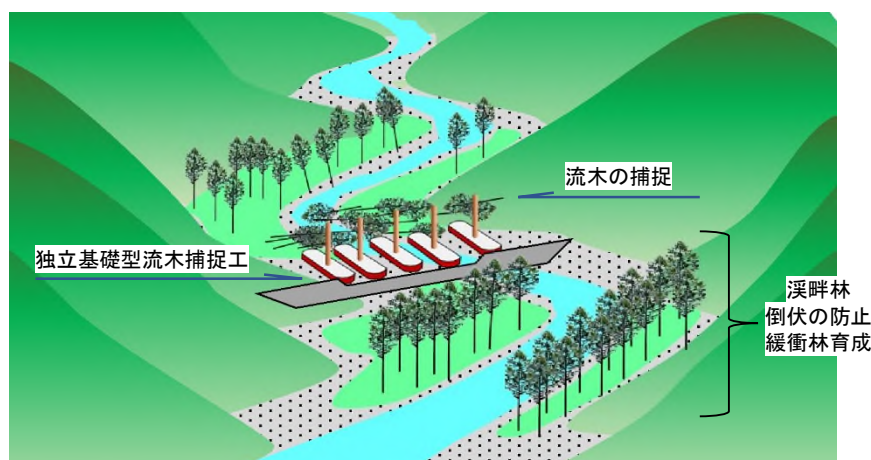


図 5. 2. 3. 溪畔林上流に設置した独立基礎型流木捕捉工による保全効果

5. 独立基礎型流木捕捉工を活用した治山計画

5.3. 維持管理の考え方

独立基礎型流木捕捉工は、山地災害や洪水の発生により流木を捕捉した際に、次期降雨時において満砂等による機能低下が発生しないよう、背面土砂及び流木を速やかに除去することを念頭に、配置計画や管理道計画を行うことが望ましい。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は、堆積した土砂及び流木の除去を前提として計画する必要がある。

独立基礎型流木捕捉工に隣接した既設道等が無く、車両の乗入れが困難な際には、管理道を併せて計画する。管理道を設置する際の留意点については以下のとおりである。

- ・独立基礎型流木捕捉工が流木を捕捉し流水が越流した際に、流水が管理道内を流下することが無いよう計画する。
- ・溪畔林周辺で計画する際は、「国有林野の溪畔周辺の取扱いについて 平成 24 年 7 月 12 日付 24 林国経第 18 号 林野庁国有林野部長通知¹⁵⁾」、「溪畔林整備指針(素案)平成 30 年 3 月 林野庁⁷⁾」等を踏まえ、溪畔林を損傷させぬよう計画する。

<<参考文献>>

- 1) 独立基礎型流木捕捉工 設計・施工ガイドライン (案) 令和3年3月林野庁中部森林管理局
- 2) 流域治水推進行動計画 令和3年7月流域治水の推進に向けた関係省庁実務者会議
- 3) 外務省 Japan SDGs Action Platform
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/statistics/goal15.html>
- 4) 中澤敏雄 (2021) 既設治山ダムを活用した流木捕捉工の開発～流木災害防止緊急治山対策プロジェクト～. 水利科学 378 : 43-61
- 5) 土石流・流木対策指針解説等 改正平成31年3月29日30 整計第1110号
- 6) 令和3年度治山技術基準解説 総則山地治山編 社団法人日本治山治水協会
- 7) 溪畔林整備指針 (素案) 平成30年3月 林野庁
- 8) 流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引書 (案) 平成28年林野庁
- 9) 土砂流出防止機能の高い森林づくり指針 解説 平成27年3月林野庁森林整備部整備課
- 10) 河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン (案) : リバーフロント整備センター 建設省河川局治水課監修
- 11) 土石流に伴う流木の発生及び流下機構 砂防学会誌 Vol. 42 No3 1989
- 12) 航空機 LiDAR による立木本数の推定 : 森林総合研究所関西支所研究情報 No. 126
- 13) 人工林林分密度管理図 平成11年7月 林野庁監修
- 14) ダム貯水池流木対策の手引き (案) 平成30年国土交通省水管理・国土保全局河川環境課
- 15) 国有林野の溪畔周辺の取扱いについて (平成24年7月12日付24 林国経第18 林野庁国有林野部長通知)
- 16) 山地災害危険地区調査要領 平成28年7月 林野庁

独立基礎型流木捕捉工調査・計画ガイドライン検討委員会名簿

【検討委員】

(座長) 小野 裕 信州大学 農学部 助教
加藤 正人 信州大学 先鋭領域融合研究群 教授
櫻井 正明 株式会社 山地防災研究所 代表取締役
畑 茂樹 中部森林管理局 計画保全部 部長
(オブザーバー委員) 北原 曜 信州大学 農学部 名誉教授

【オブザーバー】

丸山 基久 長野県林務部森林づくり推進課 課長補佐兼治山係長
中部森林管理局 計画保全部 治山課
中部森林管理局 富山森林管理署
中部森林管理局 中信森林管理署
中部森林管理局 岐阜森林管理署
中部森林管理局 東濃森林管理署

【施工地】

中部森林管理局 富山森林管理署 東又谷
中部森林管理局 中信森林管理署 シシ沢
中部森林管理局 岐阜森林管理署 角巻谷
中部森林管理局 東濃森林管理署 ホコロ



【発行】
林野庁 中部森林管理局 計画保全部 治山課 令和4年3月