

第2節 土石流・流木対策計画の基本的事項

2.1 計画策定の基本方針

土石流・流木対策計画は、土石流および土砂とともに流出する流木等による土砂災害の防止を目的として、土石流および土砂とともに流出する流木等を合理的かつ効果的に処理するよう策定するものとする。

解説

土石流・流木対策は、計画に基づく事業の完了によりその目的は達成される。しかしながら土石流および土砂とともに流出する流木等の破壊力や、流木が河道狭窄部や橋梁等を閉塞することで引き起こす土砂氾濫が与える被害から見て、その発生による人命・人家・公共施設等に対する影響は多大なものである。

したがって、事業の完了までの土石流および土砂とともに流出する流木等から人命・人家・公共施設等を保護するとともに、計画規模の年超過確率の降雨量に伴って発生する可能性の高いと判断される土石流（以下、「計画規模の土石流」という）を上回る土砂移動に対処するため、警戒避難体制の整備等のソフト対策を別途講ずる必要がある。

なお、流域において、大規模な崩壊、土石流の発生、地震、火山噴火による斜面の不安定化等の自然的要因又は開発等の人為的要因により大きな変化があった場合、または、森林等の状況が大きく変化した場合には、必要に応じて、計画で扱う土砂量等の見直しを行い、土石流・流木対策計画を改定する。

2.2 保全対象

土石流危険渓流における保全対象は、土石流危険区域内にある保全人口、保全人家、保全田畑、公共施設等とし、設定に際しては計画基準点からの方向、距離、溪床との比高を考慮して設定する。

解説

保全対象は、土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領（案）に基づき設定する。なお、土石流危険渓流以外の土石流が発生および流下する恐れのある渓流において砂防設備を計画する場合は、本指針を準用する。

2.3 計画規模

土石流・流木対策計画の計画規模は、流域の特性によって一般に流出土砂量あるいは降雨量の年超過確率で評価するものとする。

なお、本指針は、大規模な山腹崩壊土砂がそのまま土石流となるものや、崩壊または地すべり等により形成された天然ダムの決壊による土石流、および火山噴火に伴って融雪に起因する火山泥流、火口湖の決壊に起因する火山泥流を対象外とする。

解説

原則として経験ならびに理論上、計画規模の年超過確率の降雨量（原則として 24 時間雨量又は日雨量の 100 年超過確率とする）に伴って発生する可能性が高いと判断される土石流および土砂とともに流出する流木等の流出量等を推定し、算出する。

土石流・流木対策計画では、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等の流出量等は、当該溪流における過去の土石流量等の資料に基づいて定めることができる。

2.4 計画基準点等

計画基準点は、計画で扱う土砂量等を決定する地点である。計画基準点は、保全対象の上流に設けるものとする。

また、土砂移動の形態が変わる地点や支溪の合流部等において土石流・流木処理計画、必要な場合は、補助基準点を設けるものとする。なお、土石流区間では、溪流の状況を踏まえ、発生・流下・堆積区間を適切に設定する。

解説

土石流・流木対策計画では、一般には保全対象の上流や谷の出口、土石流の流下区間の下流端を計画基準点とする。なお、土石流の堆積区間に土石流・流木対策施設を設置する場合は、計画基準点を当該土石流・流木対策施設の下流に設けるものとし、前述の地点を補助基準点とする。

土砂移動の形態が変わる地点は、図-2を参考とする。

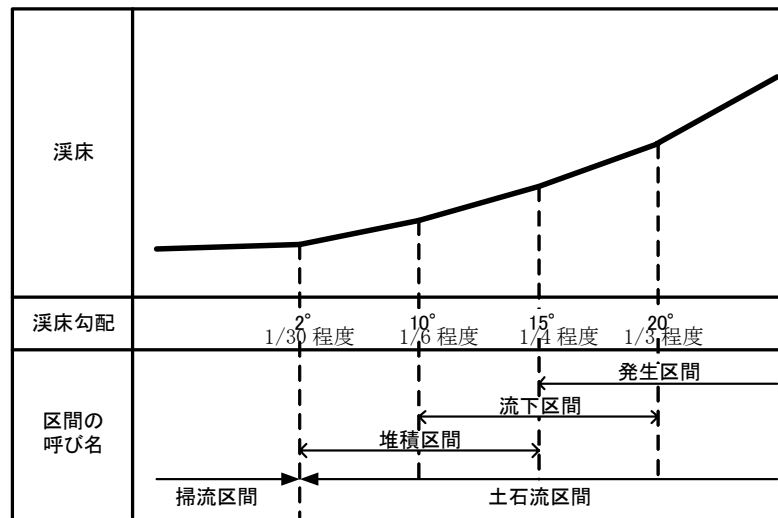


図-2 土砂移動の形態の溪床勾配による目安¹⁾

2.5 計画で扱う土砂量等

計画で扱う土砂量等は、計画流出量（計画流出土砂量・計画流出流木量）、計画流下許容量（計画流下許容土砂量・計画流下許容流木量）、土石流ピーク流量である。

解説

「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等を把握するために、計画基準点において、計画流出量、計画流下許容量、および、土石流ピーク流量を算出する。計画流出量は計画流出土砂量と計画流出流木量の和とする。計画流下許容量は計画流下許容土砂量と計画流下許容流木量の和とする。

計画で扱う土砂量等の算出方法は、本指針に基づくものとする。また、補助基準点、土石流・流木対策施設を配置する地点等における土砂量等の算出方法も本指針 2.7 に基づくものとする。

なお、流木を含むことによる土石流ピーク流量、流速、水深、単位体積重量への影響は考慮しない。

また、河川砂防技術基準計画編基本計画編における用語と本指針における用語の対比を表-1 に示す。本指針における用語は暫定的に、土石流対策技術指針（案）の用語を踏襲している。

表-1 河川砂防技術基準計画編基本計画編と本指針の用語の対比

本指針	河川砂防技術基準 計画編 基本計画編
—※	計画生産土砂量
計画流出土砂量	計画流出土砂量
計画流下許容土砂量	計画許容流出土砂量
計画流下許容流木量	—
計画土石流発生（流出）抑制量	計画生産抑制土砂量
計画流木発生抑制量	—
計画堆積土砂量	計画流出抑制土砂量
計画堆積流木量	—
—	計画流出調節土砂量
計画捕捉土砂量	—
計画捕捉流木量	—
計画流出流木量	計画基準点等に流出する流木量

※計画流出土砂量に含まれる。

2.5.1 計画流出量

2.5.1.1 計画流出土砂量

計画流出土砂量は、「計画規模の土石流」により、計画基準点まで流出する土砂量である。算出に際しては、土石流・流木対策施設が無い状態を想定する。

解説

計画流出土砂量は本指針 2.7.1 で示した方法に基づき算出する。その際、式 (12)、(14) における $L_{\phi 11}$ および $L_{\phi 12}$ は、計画基準点から上流域での、それぞれ該当する溪流もしくは流路の長さとする。溪流の定義および一次谷の判定方法は、土石流危険溪流および土石流危険区域調査要領（案）に従うものとする。ただし、算出した計画流出土砂量が $1,000\text{m}^3$ 以下の場合には、計画流出土砂量を $1,000\text{m}^3$ とする²⁾。

火山山麓で特に火山が活動中の場合には、計画流出土砂量の見直しをその活動状況、流域の変化状況に応じて行う必要がある。

2.5.1.2 計画流出流木量

計画流出流木量は、「計画規模の土石流」に含まれて、計画基準点まで流出する流木量である。算出に際しては、土石流・流木対策施設が無い状態を想定する。

解説

計画流出流木量は本指針 2.7.2 で示した方法に基づき算出する。その際、式 (17) の L_{dy13} 、 B_e は、本指針 2.5.1.1 で求めた値と同じとする。

2.5.2 計画流下許容量

2.5.2.1 計画流下許容土砂量

計画流下許容土砂量は、計画基準点より下流において災害を発生することなく流れる土砂量である。

解説

計画流下許容土砂量は、原則として0とする。

ただし、下流において災害を発生させない土砂量で、土石流導流工により流下させることができる場合は、この土砂量を計画流下許容土砂量とすることができる。

2.5.2.2 計画流下許容流木量

計画流下許容流木量は計画基準点より下流で災害を引き起こさない流木量である。

解説

計画流下許容流木量は、原則として0とする。

2.5.3 計画基準点における土石流ピーク流量

土石流ピーク流量は、「計画規模の土石流」が計画基準点を通過する際の流量の最大値とする。算出に際しては、土石流・流木対策施設が無い状態を想定する。

解説

土石流ピーク流量は本指針 2.7.3 に示した方法に基づき算出する。その際、溪床勾配 θ は、現溪床勾配を用いるものとする。

2.6 土石流・流木処理計画

土石流・流木処理計画は、計画基準点等において、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等を合理的かつ効果的に処理するよう土石流危険溪流ごとに策定するものである。

解説

土石流・流木処理計画は、計画で扱う土砂量を、砂防設備等（以後、土石流・流木対策施設と呼ぶ）による計画捕捉量（計画捕捉土砂量、計画捕捉流木量）、計画堆積量（計画堆積土砂量、計画堆積流木量）、計画発生（流出）抑制量（計画土石流発生（流出）抑制量、計画流木発生抑制量）によって処理する計画である。

なお、河川砂防技術基準計画編施設配置等計画編における用語と本指針における用語の対比を表-2に示す。

表-2 河川砂防技術基準計画編施設配置等計画編と本指針の用語の対比

本指針	河川砂防技術基準 計画編 施設配置等計画編
—※	土砂生産抑制計画
土石流・流木処理計画	土砂流送制御計画
—※	流木対策計画**

※：土石流・流木処理計画に含まれる。

**：土砂生産抑制計画、土砂流送制御計画に含まれる。

2.6.1 土石流・流木処理計画の策定の基本

土石流・流木処理計画の策定にあたっては計画で扱う土砂量等、土砂移動の形態、地形、保全対象等を考慮して、土石流および土砂とともに流出する流木等を合理的かつ効果的に処理するよう土石流・流木対策施設を配置する。

なお、本指針 2.5.2.1 において、下流に災害等の問題を生じさせない土砂量で、土石流導流工により流下させることができる土砂量を計画流下許容土砂量とした場合は流出土砂の粒径等を十分考慮し、土石流導流工内の堆積によって氾濫等が生じないようにしなければならない。

解説

土石流・流木処理計画は、本指針 3.3.1.1 を参考に「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等の計画流出量 (V)、計画流下許容量 (W)、土石流・流木対策施設の計画捕捉量 (X)、計画堆積量 (Y)、計画発生(流出)抑制量 (Z) との間に、(1) 式を満足するように策定する。なお、(1) 式は、河川砂防技術基準計画編に示されている考え方に準じて、土石流・流木対策として新しく作成したものである。

$$V - W - (X + Y + Z) = 0 \quad \dots (1)$$

なお、 V, W, X, Y, Z は次式によりそれぞれ算出する。

$$V = V_d + V_w \quad \dots (2)$$

$$W = W_d + W_w \quad \dots (3)$$

$$X = X_d + X_w \quad \dots (4)$$

$$Y = Y_d + Y_w \quad \dots (5)$$

$$Z = Z_d + Z_w \quad \dots (6)$$

ここで、 V_d : 計画流出土砂量 (m^3)、 V_w : 計画流出流木量 (m^3)、 W_d : 計画流下許容土砂量 (m^3)、 W_w : 計画流下許容流木量 (m^3)、 X_d : 計画捕捉土砂量 (m^3)、 X_w : 計画捕捉流木量 (m^3)、 Y_d : 計画堆積土砂量 (m^3)、 Y_w : 計画堆積流木量 (m^3)、 Z_d : 計画土石流発生(流出)抑制量 (m^3)、 Z_w : 計画流木発生抑制量 (m^3) である。

2.6.2 計画捕捉量

計画捕捉量は、土石流・流木対策施設により、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等を捕捉させる量である。計画捕捉量は計画捕捉土砂量と計画捕捉流木量の和とする。

解説

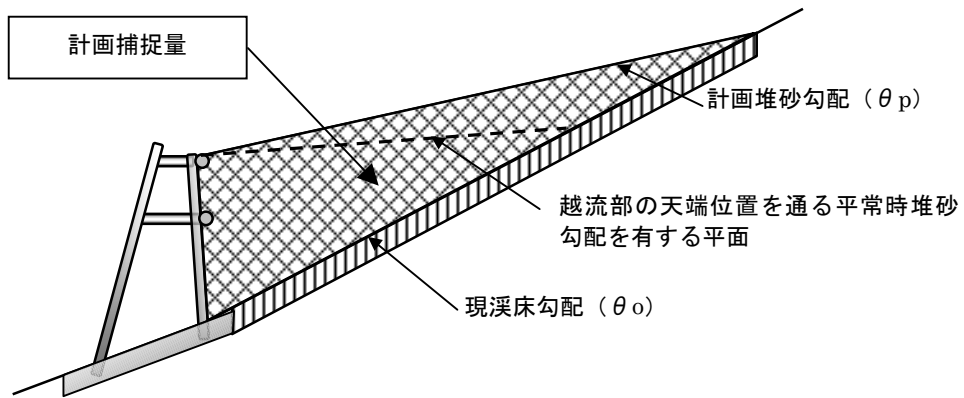
透過型砂防えん堤においては、現溪床勾配と計画堆砂勾配の平面とで囲まれた空間（図-3 に示す斜線部の空間）とする。不透過型、部分透過型砂防えん堤においては、平常時堆砂勾配の平面と計画堆砂勾配の平面とで囲まれた空間（図-3 に示す斜線部の空間）とする。

計画堆砂勾配は、一般に既往実績等により、土石流・流木対策施設を配置する地点の現溪床勾配の 1/2 から 2/3 倍とする。ただし、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木が、流下区間の勾配の下限值である 1/6 の勾配より急な勾配では堆積しないと考えられるため、計画堆砂勾配は 1/6 の勾配（ $\tan\theta$ ）を上限とする。平常時堆砂勾配は、既往実績を基に現溪床勾配の 1/2 を上限とする。

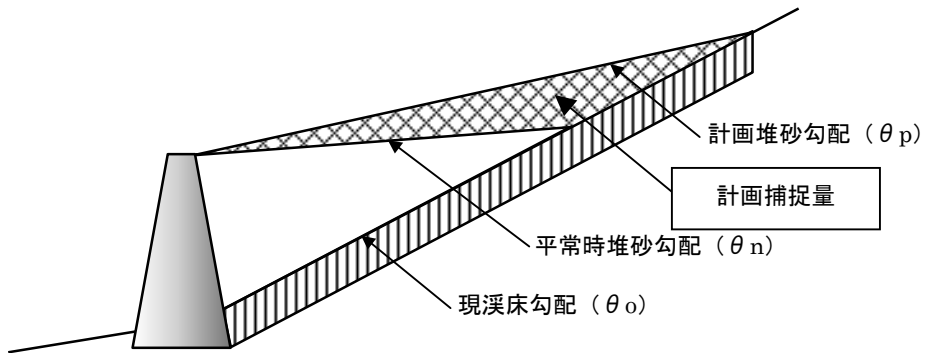
また、地質条件（例えば、マサ土やシラス等）により計画堆砂勾配及び平常時堆砂勾配が緩勾配になることが知られている場合は既往実績によって地域別に決定する。計画捕捉量は、図-3 に示す容量を除石（流木の除去を含む）により確保しなければならない。なお、除石の考え方については本指針第 4 節を参照されたい。

計画捕捉量の考え方は、図-3 に示す通りである。

・透過型の場合



・不透過型の場合



・部分透過型の場合

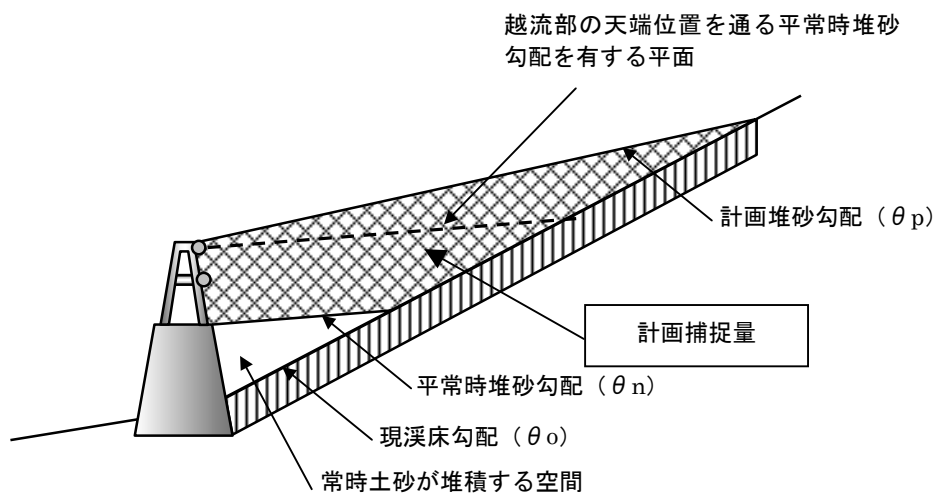


図-3 計画捕捉量の考え方

2.6.2.1 計画捕捉土砂量

計画捕捉土砂量は、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等のうち、土石流・流木対策施設により捕捉させる土砂量である。

解説

計画捕捉土砂量は計画捕捉量から計画捕捉流木量を除いたものとする。計画捕捉流木量は本指針 2.6.2.2 を参照のこと。

2.6.2.2 計画捕捉流木量

計画捕捉流木量は、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等のうち、土石流・流木対策施設により捕捉させる流木量である。

解説

計画捕捉流木量は式（7-1）および式（7-2）により算出する。

本えん堤の計画捕捉流木量

$$X_{wl} = K_{wl} \times X \quad \dots (7-1)$$

ここで、 X ：土石流・流木対策施設の計画捕捉量（ m^3 ）、 X_{wl} ：本えん堤の計画捕捉流木量（ m^3 ）、 K_{wl} ：流木容積率である。透過型砂防えん堤の場合、既往災害における流木捕捉の実態から、 $K_{wl} \leq 30\%$ が得られている³⁾。土石流区間における土石流・流木捕捉工（不透過型）についてはデータが非常に少ないが、満砂状態で約3%を示した例がある。不透過型砂防えん堤の計画捕捉量に対する K_{wl} は、既往の捕捉事例に基づいて求めるものとするが、対象溪流において捕捉事例がない場合は、 $K_{wl} = 2\%$ としてよい。ただし、土石流・流木対策施設を配置しようとしている地点より上流の土石流・流木対策施設において、計画流出流木量から計画捕捉流木量、計画堆積流木量、計画流木発生抑制量の和を差し引いた値が0以下となった場合、配置しようとしている土石流・流木対策施設の計画捕捉流木量は「0」とする。

また、土石流・流木対策施設を配置しようとしている地点より上流において、計画流出流木量から計画捕捉流木量、計画堆積流木量、計画流木発生抑制量の和を差し引いた値が0以下の場合、配置しようとしている土石流・流木対策施設は計画流木発生抑制量、計画堆積流木量、計画捕捉流木量の順で計上する。

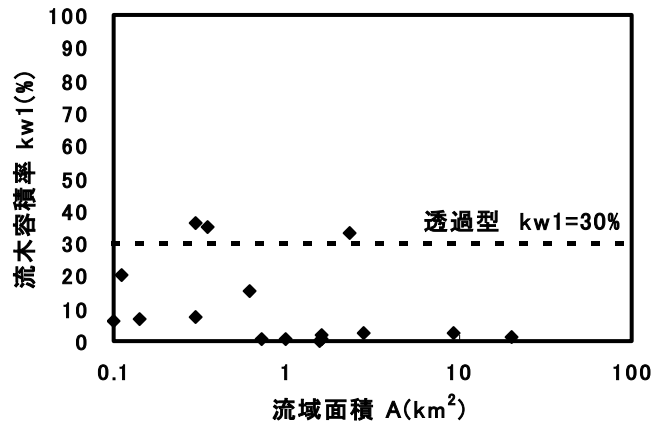


図-4 透過型砂防えん堤の計画捕捉量に対する流木容積率

なお、地形条件、土地利用上の制限から、副えん堤に流木止めを設置する場合は、式(7-2)により計画捕捉流木量を算出する。

副えん堤の計画捕捉流木量（副えん堤に流木止めを設置する場合に限る）

$$X_{w2} = A_w \times R_{wa} \quad \dots (7-2) \text{ (参考を参照)}$$

ここで、

$$X_w = X_{w1} + X_{w2} \quad \dots (7-3)$$

X_{w2} : 副えん堤の計画捕捉流木量 (m³)

とする。

～～（参考）掃流区間の計画捕捉流木量～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～

掃流区間に設ける流木捕捉工の場合、流木については堆積状況が多様であるため、流木止めにより捕捉される流木の量は、計画上は流木が（一層で）全てを覆いつくすものとして算出する。一方、捕捉される流木の投影面積は、流木の平均長さ（ L_{wa} ）×流木の平均直径（ R_{wa} ）の合計により算出される。

これらより、計画捕捉流木量を捕捉するために必要な流木止め上流の堆砂地または湛水池の面積（ A_w ）は、次式により推定する。

$$A_w \geq \sum(L_{wa} \times R_{wa}) \quad \dots (8)$$

このとき、堆砂地または湛水池に堆積する流木実立積（ V_{wc} ）は下記の式である。ただし、 V_{wc} は流木実立積のことで、「実」は空隙を含まない流木のみの体積を意味する。

$$V_{wc} \doteq A_w \times R_{wa} \quad \dots (9)$$

掃流区域においては流木は土砂と分離して流水の表面を流下すると考えられるので、不透過型砂防えん堤の流木捕捉効果は無いものとする。

～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～

2.6.3 計画堆積量

計画堆積量は、土石流・流木対策施設により、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等を堆積させる量である。計画堆積量は計画堆積土砂量と計画堆積流木量の和とする。計画堆積量は、除石計画に基づいた除石により確保される空間である。

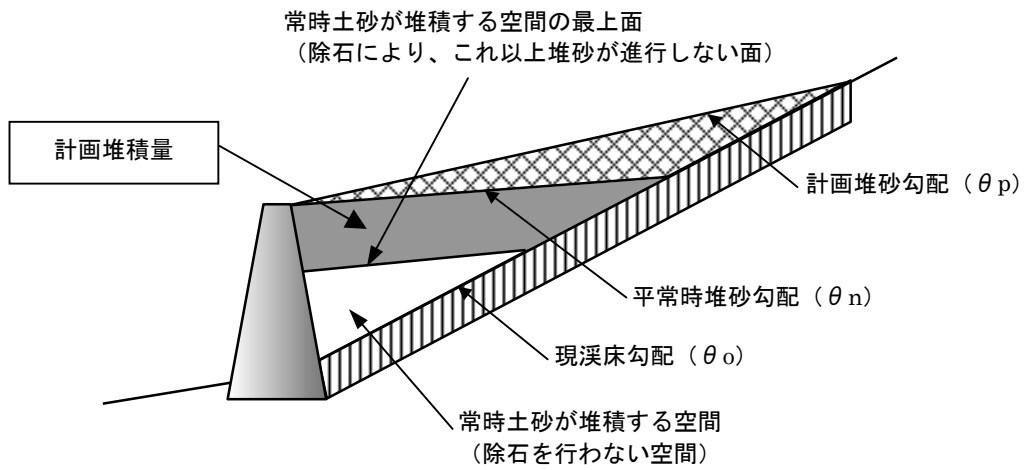
解説

計画堆積量は、対策施設によって異なる。不透過型、部分透過型砂防えん堤においては、現溪床勾配をなす平面と平常時堆砂勾配の平面との間で囲まれる空間のうち、除石により確保される空間（図-5 に示す灰色部の空間）とする。土石流堆積工においては、本指針 3.3.4 を参照のこと。

計画堆積量は、平常時の流水により堆積が進むことがあるため、土石流・流木処理計画において必要とする容量を除石（流木の除去を含む）等により確保しなければならない。なお、除石の考え方については本指針第 4 節を参照されたい。

不透過型、部分透過型砂防えん堤における計画堆積量の考え方は、図-5 に示す通りである。

・不透過型の場合



・部分透過型の場合

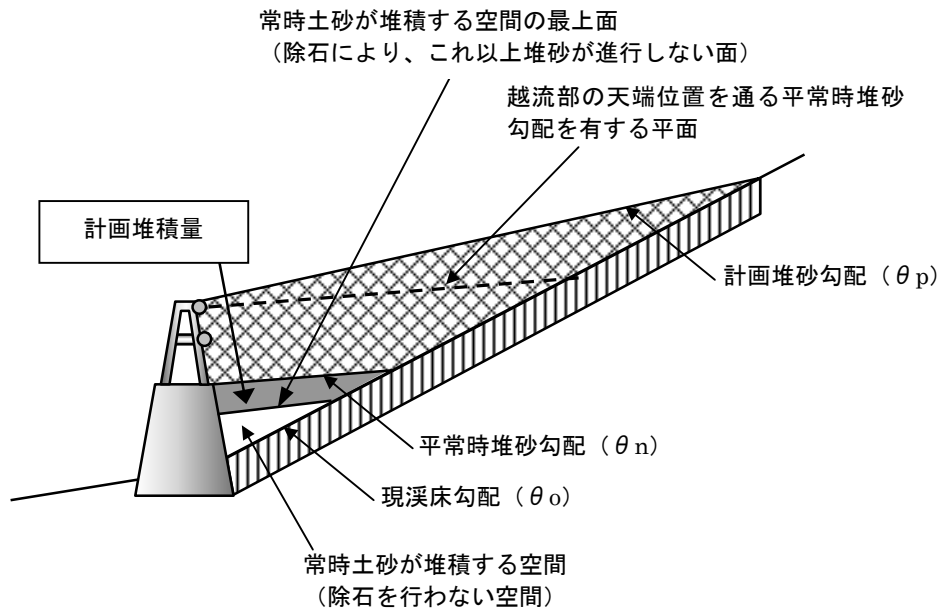


図-5 計画堆積量の考え方

2.6.3.1 計画堆積土砂量

計画堆積土砂量は、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等のうち、土石流・流木対策施設により堆積させる土砂量である。

解説

計画堆積土砂量は計画堆積量から計画堆積流木量を除いたものとする。計画堆積流木量は本指針 2.6.3.2 を参照のこと。

2.6.3.2 計画堆積流木量

計画堆積流木量は、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等のうち、土石流・流木対策施設により堆積させる流木量である。

解説

計画堆積流木量は（10）式により算出する。

$$Y_w = K_{w1} \times Y \quad \dots (10)$$

ここで、 K_{w1} ：流木容積率である。

ただし、土石流・流木対策施設を配置しようとしている地点より上流の土石流・流木対策施設において、計画流出流木量から計画捕捉流木量、計画堆積流木量、計画流木発生抑制量の和を差し引いた値が0以下となった場合、配置しようとしている土石流・流木対策施設の計画堆積流木量は「0」とする。

また、土石流・流木対策施設を配置しようとしている地点より上流において、計画流出流木量から計画捕捉流木量、計画堆積流木量、計画流木発生抑制量の和を差し引いた値が0以上の場合、配置しようとしている土石流・流木対策施設は計画流木発生抑制量、計画堆積流木量、計画捕捉流木量の順で計上する。

2.6.4 計画発生（流出）抑制量

計画発生（流出）抑制量は、土石流・流木対策施設により、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木等の流出量を減少させる量である。計画発生（流出）抑制量は計画土石流発生（流出）抑制量と計画流木発生抑制量の和とする。

解説

計画発生（流出）抑制量は計画流出量（計画流出土砂量・計画流出流木量）を評価している区間に存在する移動可能溪床堆積土砂量、崩壊可能土砂量、流出流木量を対象とする。

計画発生（流出）抑制量は、計画堆積量を除石（流木の除去を含む）等により確保する場合においても、計画堆砂勾配を有する平面と現溪床が交わる地点から砂防えん堤までの区間に存在する溪床堆積土砂量を計上する。

また、透過型砂防えん堤においても、図-6(1)、(2)に示す通り、越流部の天端位置を通る計画堆砂勾配を有する平面と現溪床が交わる地点からえん堤までの区間で計上する。

・土石流・流木発生抑制工の場合

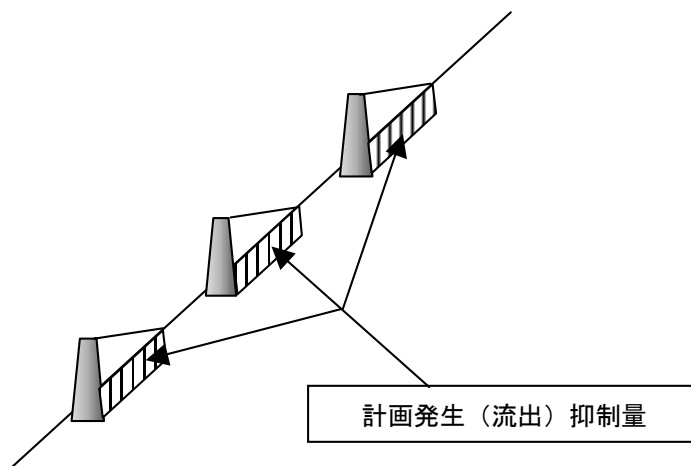
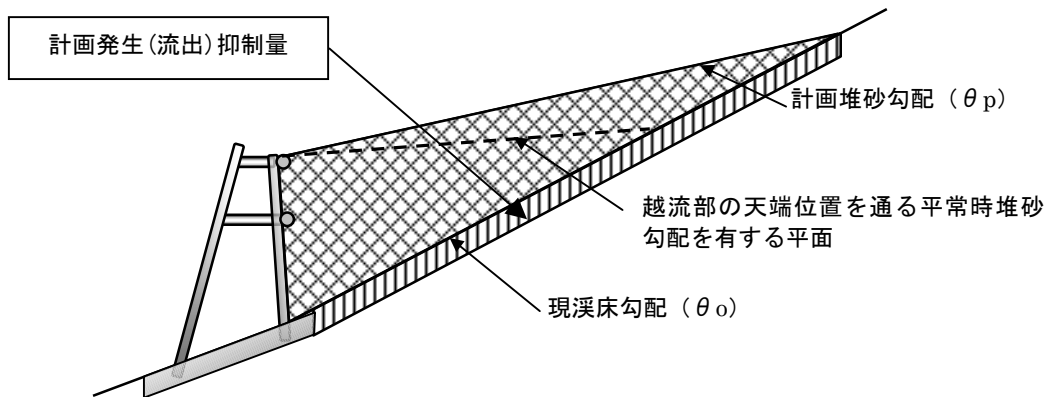


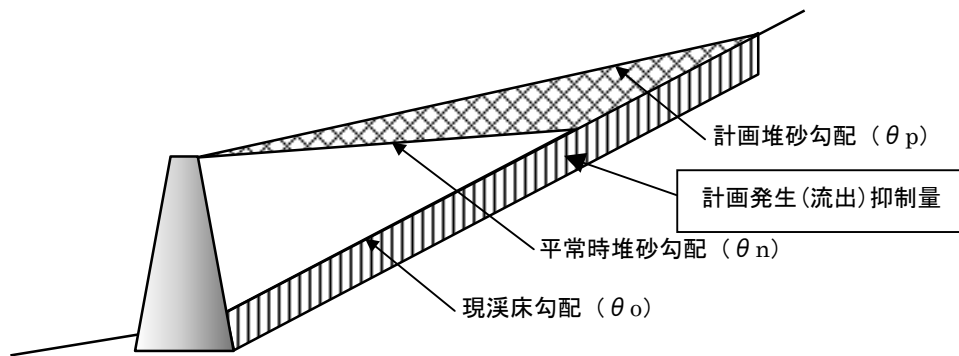
図-6(1) 計画発生（流出）抑制量の考え方

・土石流・流木捕捉工の場合

透過型の場合



不透過型の場合



部分透過型の場合

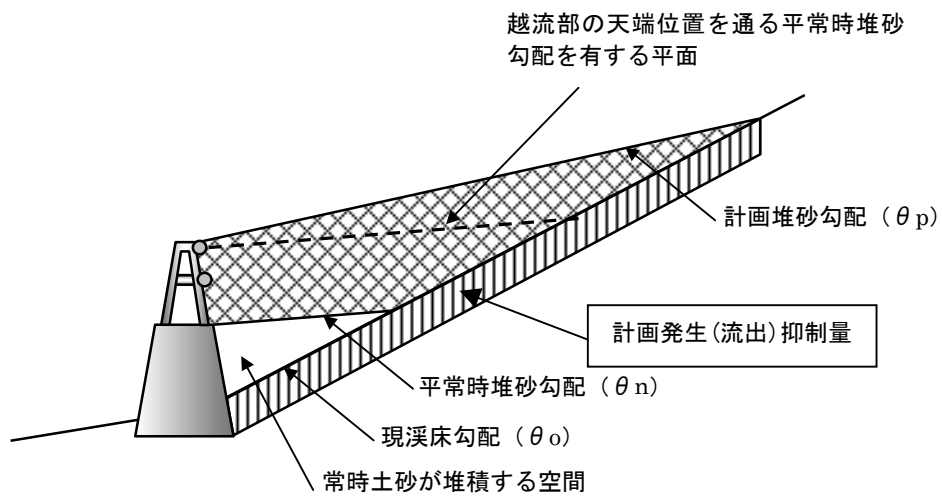


図-6(2) 計画発生(流出)抑制量の考え方

2.6.4.1 計画土石流発生（流出）抑制量

計画土石流発生（流出）抑制量は土石流・流木対策施設により、「計画規模の土石流」の流出量を減少させる土砂量である。

解説

計画土石流発生（流出）抑制量は計画堆砂勾配の傾きを有する平面より下に移動可能溪床堆積土砂が存在する場合に計上する。

2.6.4.2 計画流木発生抑制量

計画流木発生抑制量は土石流・流木対策施設により、「計画規模の土石流」および土砂とともに流出する流木の減少量である。

解説

土石流・流木対策施設を配置しようとしている地点より上流の土石流・流木対策施設において、計画流出流木量から計画捕捉流木量、計画堆積流木量、計画流木発生抑制量の和を差し引いた値が0以下となった場合、配置しようとしている土石流・流木対策施設の計画流木発生抑制量は「0」とする。

また、土石流・流木対策施設を配置しようとしている地点より上流において、計画流出流木量から計画捕捉流木量、計画堆積流木量、計画流木発生抑制量の和を差し引いた値が0以上の場合、配置しようとしている土石流・流木対策施設は計画流木発生抑制量を計上した上で、計画堆積流木量、計画捕捉流木量の順で計上する。

2.7 土砂量等の算出方法

2.7.1 計画流出土砂量の算出方法

計画流出土砂量は、現地調査を行った上で、地形図、過去の土石流の記録等より総合的に決定する。原則として、計画流出土砂量は、流域内の移動可能土砂量と、「計画規模の土石流」によって運搬できる土砂量を比較して小さい方の値とする。より詳細な崩壊地調査、生産土砂量調査および実績による流出土砂量調査が水系全体（土石流危険溪流を含む）で実施されている場合は、これらに基づき計画流出土砂量を決定してよい。

解説

計画流出土砂量は水源崩壊地調査、溪流調査等の結果に基づき算出する。ただし、流出土砂量の実績値がある場合においては、実績値を考慮して算出する。

(1) 流域内の移動可能土砂量 (V_{dy1})

$$V_{dy1} = V_{dy11} + V_{dy12} \quad \dots (1.1)$$

$$V_{dy11} = A_{dy11} \times L_{dy11} \quad \dots (1.2)$$

$$A_{dy11} = B_d \times D_e \quad \dots (1.3)$$

ここで、 V_{dy1} ：流域内の移動可能土砂量 (m^3)、 V_{dy11} ：流出土砂量を算出しようとしている地点、計画基準点あるいは補助基準点から1次谷の最上流端までの区間の移動可能溪床堆積土砂量 (m^3)、 V_{dy12} ：崩壊可能土砂量 (m^3)、 A_{dy11} ：移動可能溪床堆積土砂の平均断面積 (m^2)、 L_{dy11} ：流出土砂量を算出しようとしている地点、計画基準点あるいは補助基準点から1次谷の最上流端まで溪流に沿って測った距離 (m)、 B_d ：土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅 (m)、 D_e ：土石流発生時に侵食が予想される溪床堆積土砂の平均深さ (m) である。

移動可能溪床堆積土砂量を算出する際の B_d 、 D_e は現地調査および近傍溪流における土石流時の洗掘状況などを参考に推定する。 B_d 、 D_e を現地調査により推定する場

合は図-8(1)に示すように溪流断面における溪岸斜面の角度の変化、土石流堆積物上に成育する先駆樹種と山腹地山斜面に成育する樹種の相違等を参考に山腹と溪床堆積土砂を区分して行う。

D_e の推定は図-8(1)における断面形状だけでなく、上下流における溪床の露岩調査を行い、縦断的な基岩の連続性を考慮して行う。 D_e の参考として過去の土石流災害における事例を図-8(2)に示す。

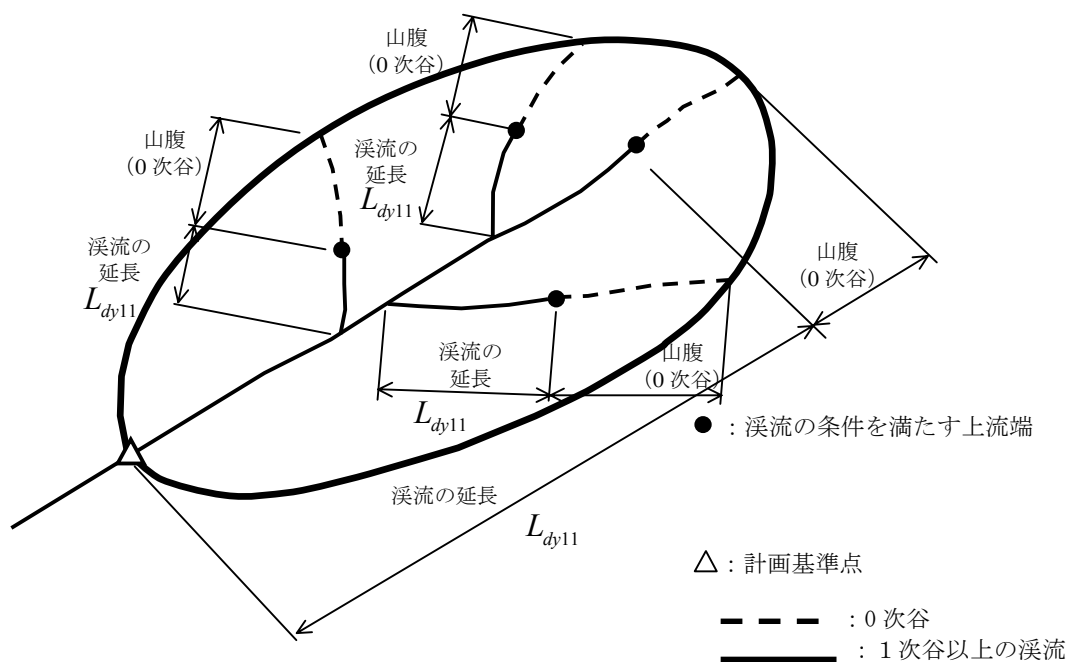


図-7 L_{dy11} のイメージ図

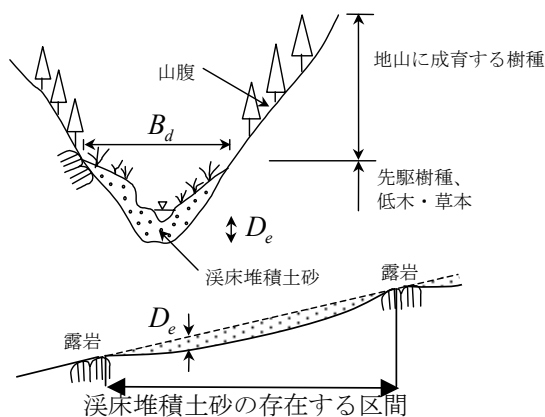


図-8(1) 侵食幅、侵食深の調査方法

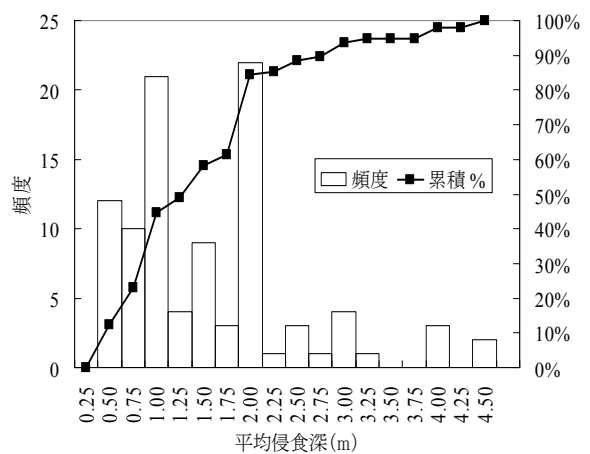


図-8(2) 平均侵食深の分布

(参考) 平均侵食深の調査の一例

発生年	月	日	都道府県名	市町村名	溪流名	平均侵食深 (m)
2000	1	1	山梨県	西八代郡 下部町	下部川	2.0
2001	8	21	東京都	三宅村	岡堀沢	2.0
2001	8	21	東京都	三宅村	川田沢支川	3.0
2001	9	6	鹿児島県	西之表市	軍場第1	1.5
2001	10	16	大分県	南海部郡 蒲江町	土後川	0.6
2001	10	16	大分県	南海部郡 蒲江町	尾浦川第2	1.0
2001	10	16	宮崎県	日南市	北川内川	2.0
2002	1	1	新潟県	佐渡郡 相川町	茶の助沢	1.0
2002	7	10	岐阜県	郡上郡 八幡町	枅形谷	0.5
2002	7	11	栃木県	安蘇郡 田沼町	上清水沢	1.0
2002	9	2	高知県	吾川郡 伊野町	是友大谷川	0.5
2003	6	21	宮崎県	北諸県郡 三股町	仮屋谷川	1.0
2003	7	20	熊本県	水俣市	園郷川	1.2
2003	7	20	熊本県	水俣市	新屋敷	2.0
2004	7	18	福井県	鯖江市	滝谷川	0.7
2004	7	18	福井県	鯖江市	間谷川	2.0
2004	8	17	香川県	三豊郡	落合上川	1.5
2004	8	18	愛媛県	新居浜市	三杭川	2.0
2004	10	20	香川県	さぬき市	通谷川	2.0
2004	10	21	長野県	北安曇郡	滝の沢	1.0

崩壊可能土砂量 ($V_{\phi 12}$) は、以下に示すいずれかの方法で算出する。

(1-1) 崩壊可能土砂量 ($V_{\phi 12}$) を的確に推定できる場合

(1 1) 式の $V_{\phi 12}$ は、0 次谷 (常時表流水の無い谷) および溪流山腹の予想崩壊土砂量 (m^3) である。

0 次谷とは、1/25,000 地形図あるいは大縮尺の地形図を使用して等高線の凹み具合を眺めて、凹んでいる等高線群の間口よりも奥行が小なる地形とする。

崩壊可能土砂量の算出においては、地形・地質の特性および既存崩壊の分布等を参考に、具体的な発生位置、面積、崩壊深を推定する。

なお、崩壊土砂のかさ増は、原則として行わない。

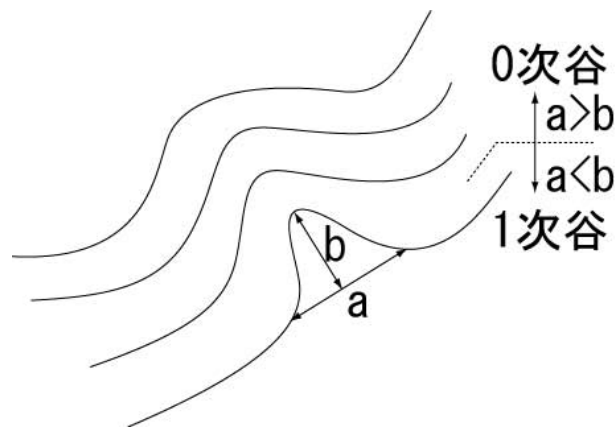


図-9 0 次谷の地形

(1-2) 崩壊可能土砂量 ($V_{\phi 12}$) を的確に推定することが困難な場合

0 次谷の崩壊を含めた次式で、崩壊可能土砂量を推定する。

$$V_{\phi 12} \doteq \sum (A_{\phi 12} \times L_{\phi 12}) \quad \dots (1 4)$$

$$A_{\phi 12} = B_d \times D_e \quad \dots (1 5)$$

ここで、 $A_{\phi 12}$: 0 次谷における移動可能溪床堆積土砂量の平均断面積 (m^2)、 $L_{\phi 12}$: 流出土砂量を算出しようとする地点より上流域の 1 次谷の最上端から流域の最遠点までの流路谷筋に沿って計った距離 (m) で支渓がある場合はその長さも加える。

土石流発生直後など現存する移動可能土砂量が少ない場合でも、山腹や溪岸の土砂生産が激しく、近い将来に移動可能土砂量が増加すると予想される場合には、これを推定して加える。

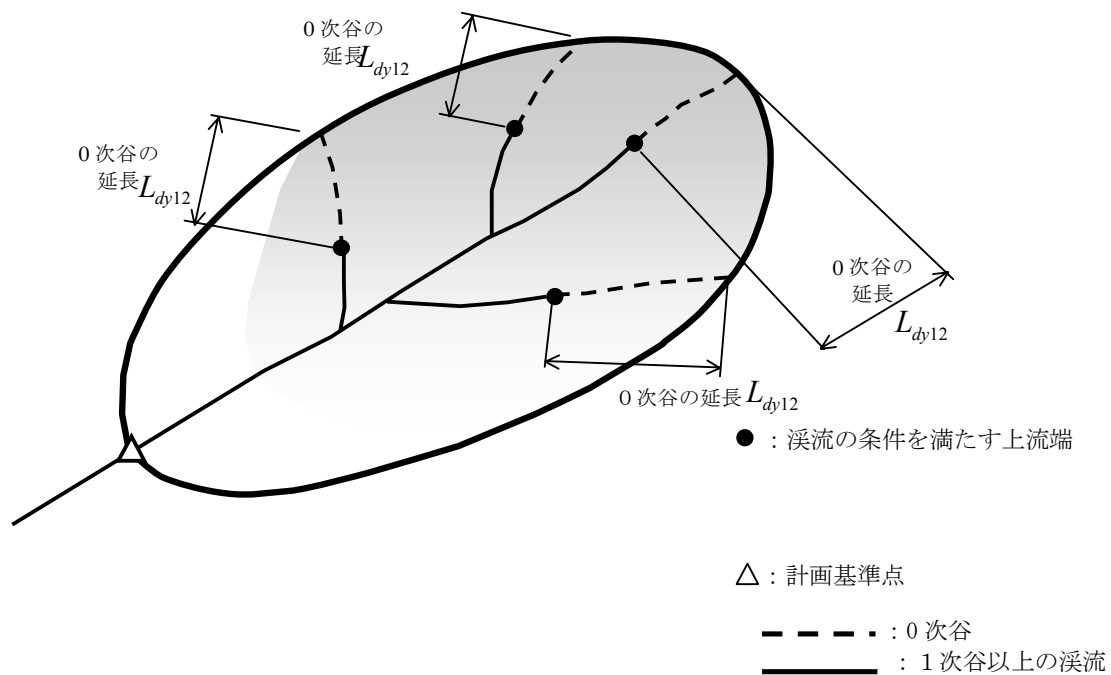


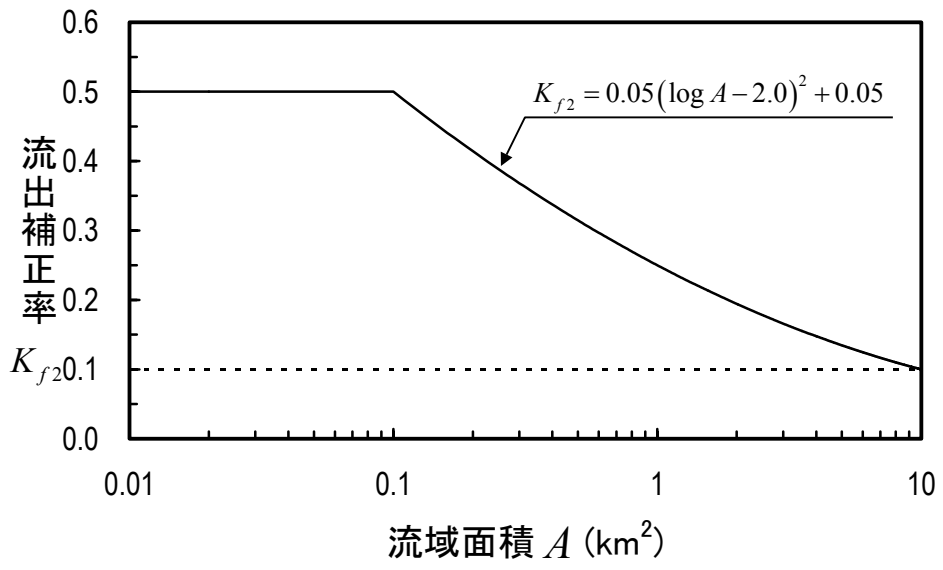
図-10 L_{dy12} のイメージ図

(2) 計画規模の年超過確率の降雨量によって運搬できる土砂量 (V_{dy2})

計画規模の年超過確率の降雨量によって運搬できる土砂量は、計画規模の年超過確率の降雨量 (P_p (mm)) に流域面積 (A (km²)) を掛けて総水量を求め、これに流動中の土石流濃度 (C_d) を乗じて算定する。その際流出補正率 (K_{f2}) を考慮する。

$$V_{dy2} = \frac{10^3 \cdot P_p \cdot A}{1 - K_v} \left(\frac{C_d}{1 - C_d} \right) K_{f2} \quad \dots (16)$$

C_d の算出方法は本指針 2.7.3 を参照する。 P_p は地域の降雨特性、災害特性を検討し決定する。なお、一般には、24 時間雨量を用いる。 K_v は空ゲキ率で 0.4 程度とする。 K_{f2} は流出補正率で図-11 によって流域面積に対して与える。なお、 K_{f2} は 0.5 を上限とし、0.1 を下限とする。



図一11 流出補正率⁴⁾

2.7.2 計画流出流木量の算出方法

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掛け合わせて算出する。

解説

計画流出流木率（発生した流木の谷の出口への流出率）は、土石流・流木対策施設が無い場合 0.8～0.9 程度であったとの報告がある⁵⁾。流出流木量は実立積で表現するものとし、流域に土石流・流木対策施設が無い状態を想定して算出する。

流出流木量を把握するために、流域現況調査、発生原因調査、発生場所・量、流木の長さ・直径等の調査、流出流木調査および流木による被害の推定調査を行う。

調査は、まず対象流域の流域現況調査を行い林相等の状況を把握する。次に、流域現況調査の結果を総合的に判断して、流木の発生原因を推定する。

さらに、流木の発生量、発生場所等を推定するための調査および流下、堆積する流木の量、長さ、直径の推定調査を行う。

これらの結果から流木による被害の推定を行い、対象とする流木の量、長さ、直径等を決定する。

(1) 流域現況調査

流出流木量を算出しようとする地点より上流域における立木、植生及び倒木（伐木、用材を除く）を調査する。

(2) 発生原因調査

流域現況調査結果を総合的に判断して、流木の発生原因を推定する。

流木の発生原因を推定することは、流木の発生場所、流木の量、長さ、直径および流木による被害等を推定する上で重要である。地形が急峻で脆弱な場合には、豪雨時に土石流や斜面崩壊が起り易く、それに伴って地表を覆う樹木が溪流や河道に流入して流木となる。また、過去の流木災害の事例から流木の発生原因を推定することも有効な方法である。

流木の発生原因を表-3 に示す。

表-3 流木の発生原因

流木の起源	流木の発生原因
立木の流出	①斜面崩壊の発生に伴う立木の滑落 ②土石流等の発生源での立木の滑落・流下 ③土石流等の流下に伴う溪岸・溪床の侵食による立木の流出
過去の発生した倒木等の流出	④病虫害や台風等により発生した倒木等の土石流等による流出 ⑤過去に流出して河床上に堆積したり河床堆積物中に埋没していた流木の土石流等による再移動 ⑥雪崩の発生・流下に伴う倒木の発生とその後の土石流等による下流への流出

(3) 流木の発生場所、発生量、長さ、直径等の調査

山腹斜面の現地踏査や、空中写真判読および過去の災害実態等をもとに、流木の発生原因を考慮して、流木の発生場所、発生量、長さ、直径等を調査する。ただし、倒木、伐木、溪床に堆積している流木で、伐木、用材の流出等人為の加わったものは発生流木量には含めないものとする。

(3-1) 発生原因、場所

現地踏査や空中写真判読、また過去の災害実態を把握して、流木の発生原因、発生場所を推定する。

(3-2) 現況調査法による発生流木量の算出

推定された流木の発生原因・場所を基に流木の長さ、直径を調査し、発生流木量を算出する。

原則として流木の発生が予想される箇所が存在する樹木、流木等の量、長さ、直径を直接的に調査する方法（以下、「現況調査法」と呼ぶ。）を用いる。

この方法は、発生流木の対象となる範囲の樹木や流木の全てを調査する方法（以下、「全数調査法」と呼ぶ。）とそれらの代表箇所のいくつかをサンプル調査する方法（以下、「サンプリング調査法」と呼ぶ。）に分かれる。実際には、全数調査法では調査範囲が広範囲にわたる場合が多いため、現況調査法のうちのサンプリング調査法を用いる。現況調査法では、崩壊および土石流にともない流木が発生する場所を推定する必要がある。土石流の発生、流下する範囲を推定する方法は原則として本指針 2.7.1 を用いる。この方法により降雨時に発生・流下する崩壊、土石流の範囲が推定されれば次に、崩壊や土石流の発生、流下範囲に存在する立木、倒木および過去に発生して溪

床等に堆積している流木等の量（本数、立積）や長さ、直径を調査することにより発生流木量、その長さおよび直径を推定することができる。調査方法としては現地踏査による方法と空中写真判読による方法があり、一般には両者を併用する。

まず地形図と空中写真を用いて予想される崩壊、土石流の発生区間・流下区間内の樹木の密度（概算）、樹高、樹種等を判読し、この結果をもとに崩壊、土石流の発生・流下範囲を同一の植生、林相となるようにいくつかの地域に区分する。次に、それらの地域毎に現地踏査によるサンプリング調査（10m×10mの範囲）を行い、各地域の樹木の本数、樹種、樹高、胸高直径等を調査する方法が用いられる。この時、現地踏査では、以下の項目について調査を行う。

- ①密度あるいは本数：樹木、伐木、倒木、流木等の 100m²あたりの本数
- ②直径：樹木の胸高直径、伐木、倒木、流木の平均直径
- ③長さ：樹木の長さあるいは伐木、倒木、流木の長さ

発生流木量は下記の手順、式を用いて算出することが出来る。崩壊および土石流の発生区間・流下区間が複数の林相からなる場合は、林相ごとに発生流木量（ V_{wy} ）を求め合計する。式中の0次谷、崩壊地の幅および長さは本指針2.7.1に準拠する。

$$V_{wy} = \frac{B_d \times L_{dy13}}{100} \times \sum V_{wy2} \quad \dots (17)$$

$$V_{wy2} = \pi \cdot H_w \cdot R_w^2 \cdot \frac{K_d}{4} \quad \dots (18)$$

ここで、 V_{wy} ：発生流木量（m³）、 B_d ：土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅（m）、 L_{dy13} ：発生流木量を算出する地点から流域の最遠点までの流路に沿って測った距離（m）、 V_{wy2} ：単木材積（m³）、 $\sum V_{wy2}$ ：サンプリング調査100m²あたりの樹木材積（m³/100m²）、 H_w ：樹高（m）、 R_w ：胸高直径（m）、 K_d ：胸高係数（図-12（2）参照）である。

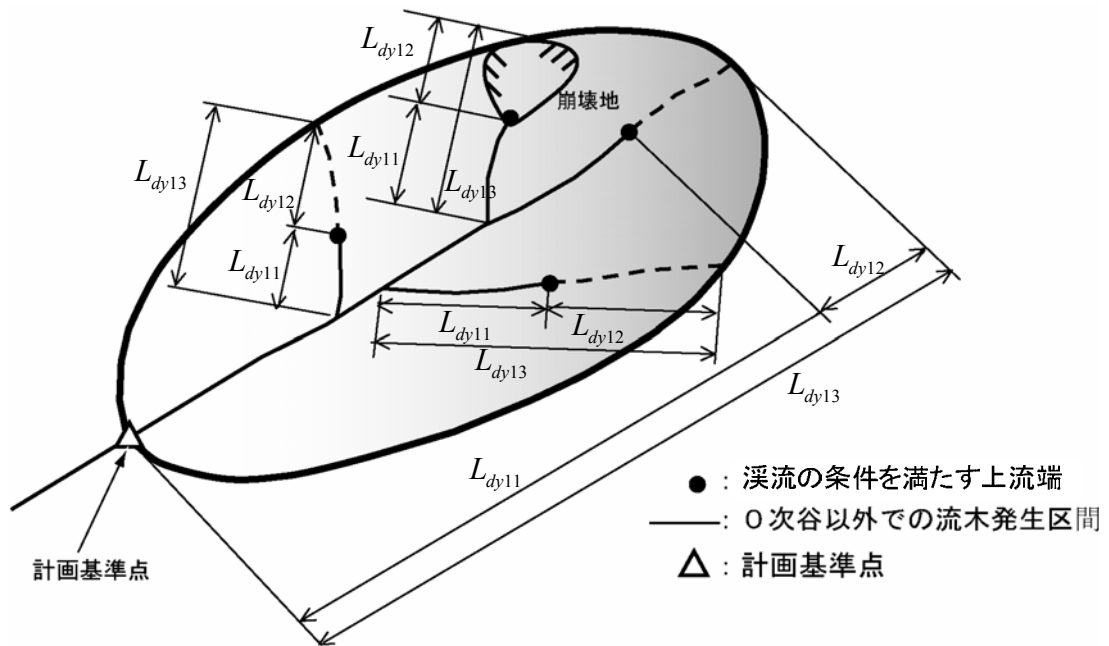


図-12 (1) 流木発生区間長さ(m) : L_{dy13}

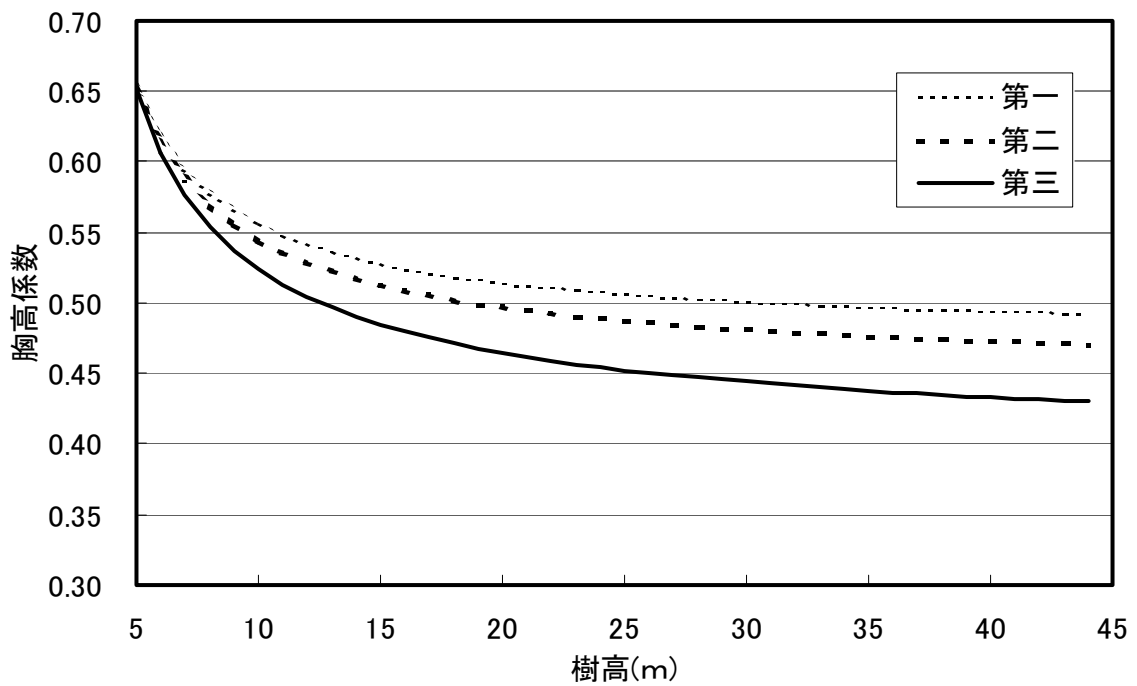


図-12 (2) 胸高係数⁶⁾

(備考) 第一 エゾマツ、トドマツ

第二 ヒノキ、サワラ、アスナロ、コウヤマキ

第三 スギ、マツ、モミ、ツガその他の針葉樹および広葉樹

出典 (嶺 一三 (1958) : 測樹、朝倉書店、146p.) 掲載データに基づき図化

(3-3)実績値に基づく発生流木量の算出

近傍に流木発生事例があり、これらの発生流木量に関するデータがある場合は、これから単位流域面積あたりの発生流木量 (V_{wy1} (m^3/km^2)) を求め、下記の式で求めることができる。

$$V_{wy} = V_{wy1} \times A \quad \dots (19)$$

ここで、 A ：流域面積 (km^2) (渓床勾配が 5° 以上の部分の流域面積) である。 V_{wy} の値は図-13 より、針葉樹なら概ね $1000 m^3/km^2$ 程度、広葉樹なら概ね $100 m^3/km^2$ 程度で包含できる。

参考として、過去に土石流とともに発生した流木の実態調査結果を図-13 に示す。図は、過去の災害実態調査結果をもとに、溪流の流域面積と針葉・広葉樹林別の流木発生量の関係を示したものである。

なお、実績値に基づく方法は、流域の大部分が針葉樹、広葉樹等の森林により覆われているといった条件の溪流に適用できる。

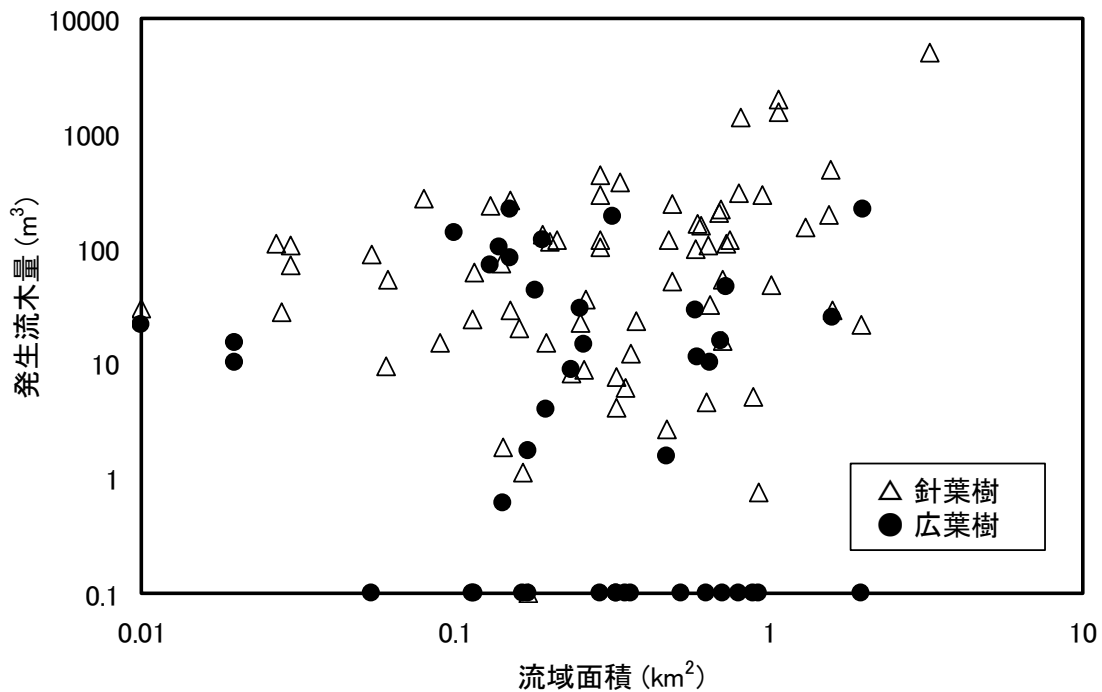


図-13 流域面積と流木発生量

2.7.3 土石流ピーク流量の算出方法

土石流ピーク流量は、流出土砂量に基づいて求めることを基本とする。ただし、同一流域において、実測値がある場合で別の方法を用いて土石流ピーク流量を推定できる場合は、その値を用いてよい。

解説

焼岳、桜島等で発生した土石流ピーク流量観測データに基づく土石流総流量とピーク流量の関係は図-15に示すとおりである。平均的なピーク流量と土石流総流量の関係は(20)式で表される。

$$Q_{sp} = 0.01 \cdot \sum Q \quad \dots (20)$$

$$\sum Q = \frac{C_* \cdot V_{dqp}}{C_d} \quad \dots (21)$$

ここで、 Q_{sp} : 土石流ピーク流量 (m^3/s)、 $\sum Q$: 土石流総流量 (m^3)、 V_{dqp} : 1波の土石流により流出すると想定される土砂量 (空隙込み) (m^3)、 C_d : 土石流濃度、 C_* : 溪床堆積土砂の容積濃度 (0.6程度) である。

土石流濃度は下記の平衡濃度式で求めるものとする。

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad \dots (22)$$

ここで、 σ : 礫の密度 ($2,600\text{kg}/\text{m}^3$ 程度)、 ρ : 水の密度 ($1,200\text{kg}/\text{m}^3$ 程度)、 ϕ : 溪床堆積土砂の内部摩擦角 ($^\circ$) ($30^\circ \sim 40^\circ$ 程度であり、一般に 35° を用いてよい)、 θ : 溪床勾配 ($^\circ$) である。土石流ピーク流量を算出する際の溪床勾配は現溪床勾配 θ_0 ($^\circ$) とする。

上式は $10^\circ \sim 20^\circ$ に対する高橋の式⁷⁾ であるが、それよりも緩勾配の範囲についても準用する。なお、計算値 (C_d) が $0.9C_*$ よりも大きくなる場合は、 $C_d = 0.9C_*$ とし、計算値 (C_d) が 0.3 よりも小さくなる場合は $C_d = 0.30$ とする。

※1波の土石流により流出すると想定される土砂量 V_{dqp} の算出方法

これまでの災害実態調査から、全支溪から同時に土砂が流出する例は少なく、そのため土石流ピーク流量の最大値は1洪水期間に複数発生する土石流のうち、最大となる土砂量に対応したものとなる。

そこで、流出土砂量に基づく土石流ピーク流量を求める際の1波の土石流により流出すると想定される土砂量 V_{dqp} は、土石流・流木対策施設のない状態を想定して、溪流長、侵食可能断面積を総合的に判断して最も土砂量の多くなる「想定土石流流出区間」を設定し、この区間内における移動可能土砂量と運搬可能土砂量のうち、比較して小さい方の値とする。

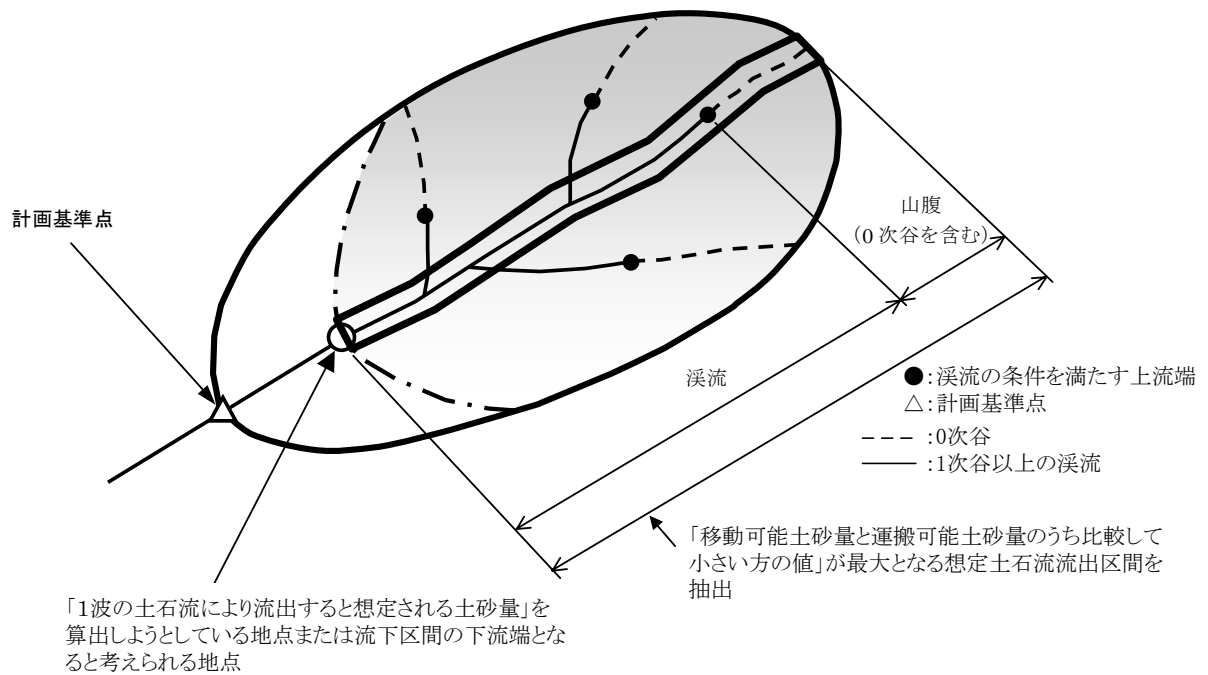


図-14 想定土石流流出区間のイメージ図

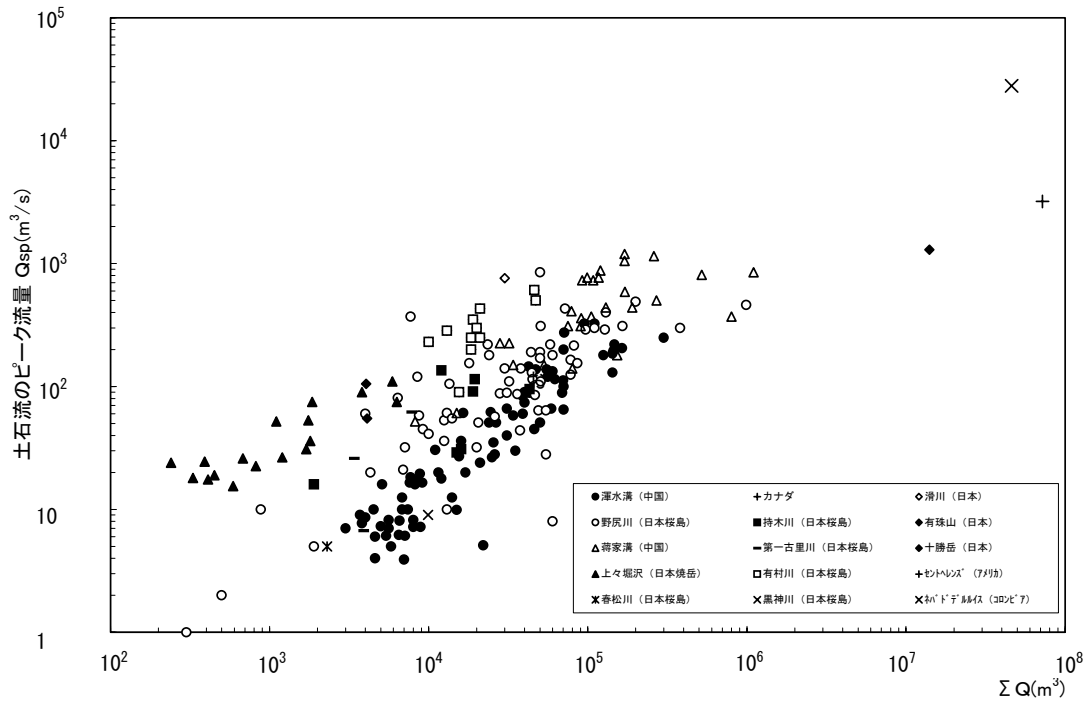


図-15 ピーク流量の相関⁸⁾ (原著では ΣQ は Q_T と標記されている)

～～（参考）降雨量に基づく土石流ピーク流量の算出～～～～～～～～～～～～～～～～

土石流の発生過程には、①溪床堆積物が流水により強く侵食されて土石流になる、②山腹崩壊土砂がそのまま土石流になる、③山腹崩壊土砂が流れをせき止めて天然ダムを形成し、それが決壊して土石流になる、等が考えられる。降雨量に基づく算出方法は①の場合の土石流ピーク流量を求めるものである。土石流ピーク流量の算出方法を手順に従い示す。なお、(20)式(経験式)および後述の(24)式(理論式)で求めた土石流ピーク流量の大きさの関係は、流域面積、降雨量、流出土砂量によって変わる。計画流出土砂量の比流出土砂量が $100,000\text{m}^3/\text{km}^2$ で、24時間雨量又は日雨量 $P_p = 260$ (mm) の場合は、流域面積 1km^2 以下では理論式の値は経験式の値に比較して小さな値を与える。

土石流ピーク流量は下記より求める。

$$Q_{sp} = K_q \cdot Q_p \quad \dots (23)$$

ここで、 Q_{sp} : 土石流ピーク流量 (m^3/s)、 Q_p : 計画規模の年超過確率の降雨量に対する清水の対象流量 (m^3/s)、 K_q : 係数である。

土石流ピーク流量 Q_{sp} (m^3/s) は、水のみ対象流量 Q_p (m^3/s) との間に、

$$Q_{sp} = \frac{C_*}{C_* - C_d} \cdot Q_p \quad \dots (24)$$

の関係があるとして求める⁹⁾。

(土石流ピーク流量の算出例)

$\sigma = 2600$ (kg/m^3)、 $\rho = 1200$ (kg/m^3)、 $\phi = 35^\circ$ 、 $\tan \theta = 1/6$ の場合、(22)式より $C_d \doteq 0.27$ となり 0.3 より小さくなるので $C_d = 0.30$ とし、(24)式より $Q_{sp} = 2Q_p$ となる。

～～

2.7.4 清水の対象流量の算出方法

清水の対象流量は合理式により算出する。

① 洪水到達時間

洪水到達時間は原則として、次式で求める¹⁰⁾。

$$T_f = K_{p1} \cdot A^{0.22} \cdot P_e^{-0.35} \quad \dots (25)$$

ここで、 T_f ：洪水到達時間（分）、 A ：流域面積（ km^2 ）、 P_e ：有効降雨強度（ mm/h ）、 K_{p1} ：係数で120とする。

② 平均降雨強度

洪水到達時間内の降雨強度は、次式のように24時間雨量から求める（物部式）。

$$P_a = \frac{P_{24}}{24} \left(\frac{T_f}{24} \right)^{K_{p2}} \quad \dots (26)$$

ここで、 P_a ：洪水到達時間内の平均降雨強度（ mm/h ）、 P_{24} ：24時間雨量（ P_{24} が得られない場合は、日雨量（ P_{day} ）としてよい（ $P_{24} \doteq P_{day}$ ））、 K_{p2} ：定数（ $K_{p2} = -1/2$ ）である。

③ 有効降雨強度

有効降雨強度は、次式により求める。

$$P_e = K_{f1} \cdot P_a \quad \dots (27-1)$$

ここで、 K_{f1} ：ピーク流出係数である。 $K_{p2} = -1/2$ とすると、 T_f 、 P_a の式から有効降雨強度は以下の式になる。

$$P_e = \left(\frac{P_{24}}{24} \right)^{1.21} \cdot \left(\frac{24 \cdot K_{f1}^2}{\frac{K_{p1}}{60} \cdot A^{0.22}} \right)^{0.606} \quad \dots (27-2)$$

④ 清水の対象流量

降雨による清水の対象流量は次式のように合理式で求める。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \cdot K_{f1} \cdot P_a \cdot A = \frac{1}{3.6} \cdot P_e \cdot A \quad \dots (28)$$

2.7.5 土石流の流速と水深の算出方法

土石流の流速と水深は、理論式、経験式、実測値等により推定する。

解説

土石流の流速 U (m/s) は、焼岳、滑川、桜島の観測資料を整理した結果では、次のマニング型の式、

$$U = \frac{1}{K_n} D_r^{2/3} (\sin \theta)^{1/2} \quad \dots (29)$$

で表わすことができる」と報告されている¹¹⁾。ここで、 D_r : 土石流の径深 (m) (ここでは $D_r \doteq D_d$ (土石流の水深) とする)、 θ : 溪床勾配 ($^\circ$)、 K_n : 粗度係数 ($s \cdot m^{-1/3}$) である。ただし、溪床勾配 (θ) は表-4に基づき設定する。粗度係数 (K_n) の値は清水の場合よりかなり大きく、自然河道ではフロント部で 0.10 をとる。なお、土石流の流速および水深は、フロント部について求めるものとする。

土石流の水深 D_d (m) は、流れの幅 B_{da} (m) と土石流ピーク流量 Q_{sp} (m^3/s) より、(29) 式、(30) 式、(31) 式を連立させて求められる。

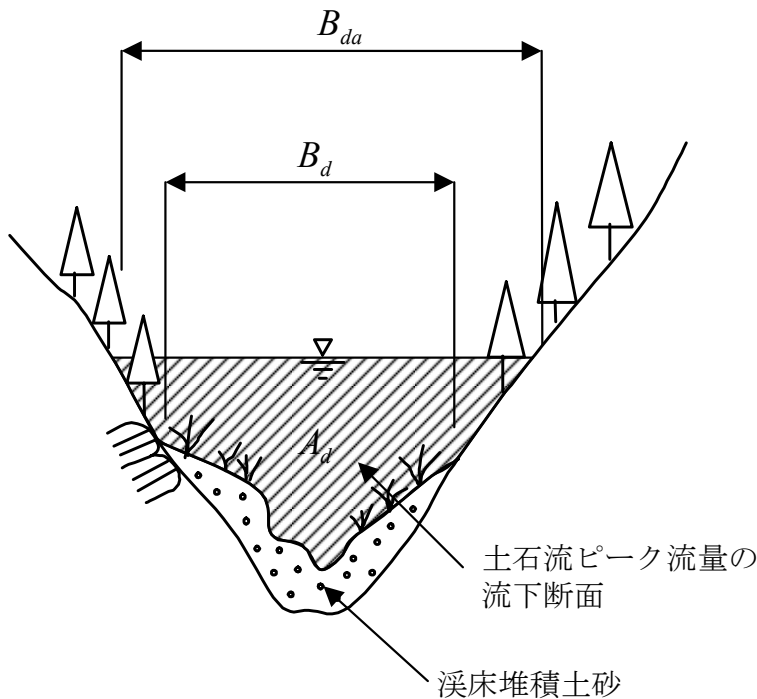
$$Q_{sp} = U \cdot A_d \quad \dots (30)$$

ここで、 A_d : 土石流ピーク流量の流下断面積 (m^2) である。なお、一般に計画規模の年超過確率の降雨量に伴って発生する可能性が高いと判断された土石流はピーク流量を流しうる断面一杯に流れると考えられるので、土石流の流下断面は図-16の斜線部とする。流れの幅 B_{da} (m) は図-16に示す通りとし、土石流の水深 D_d (m) は次式で近似した値を用いる。

$$D_d = \frac{A_d}{B_{da}} \quad \dots (31)$$

表-4 溪床勾配 θ の使い分け

項目	溪床勾配
本体及び袖部の安定計算と構造計算を行う際の設計外力を算出する場合の 土石流濃度 (C_d) 土石流の流速 (U) 土石流の水深 (D_d)	現溪床勾配 (θ_o)
土石流ピーク流量を通過させるための砂防えん堤の水通し断面を決定する場合の越流水深 (D_d)	計画堆砂勾配 (θ_p)



※ B_d : 土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅 (図-9 (1) 参照)

図-16 土石流の流下断面と流れの幅 B_{da} のイメージ

2.7.6 土石流の単位体積重量の算出方法

土石流の単位体積重量は、実測値、経験、理論的研究等により推定する。

解説

土石流の単位体積重量 γ_d (kN/m³) は、

$$\gamma_d = \{ \sigma \cdot C_d + \rho \cdot (1 - C_d) \} g \quad \dots (32)$$

で求められる。ここで、 g : 重力加速度(9.8m/s²)とする。なお、 γ_d の単位が kN/m³であることを注意する。

C_d は、(22)式により求める。

2.7.7 土石流流体力の算出方法

土石流流体力は、土石流の流速、水深、単位体積重量を用いて推定する。

解説

土石流流体力は、次式で求める。

$$F = K_h \cdot \frac{\gamma_d}{g} \cdot D_d \cdot U^2 \quad \dots (33)$$

ここに、 F ：単位幅当りの土石流流体力 (kN/m)、 U ：土石流の流速 (m/s)、 D_d ：本指針 2.7.5 に従って求めた土石流の水深 (m)、 g ：重力加速度(9.8m/s²)、 K_h ：係数(1.0 とする)、 γ_d ：土石流の単位体積重量 (kN/m³) である。

2.7.8 流木の最大長、最大直径の算出方法

流木の最大長、および、最大直径は、流出流木量算出のための調査結果から推定する。なお、流木の最大長は土石流の平均流下幅を考慮するものとする。

解説

流木の最大長 L_{wm} (m) は、土石流の平均流下幅を「土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅」 B_d (m)、上流から流出する立ち木の最大樹高を H_{wm} (m) とすると

$$H_{wm} \geq 1.3B_d \text{ の場合 } L_{wm} \doteq 1.3B_d$$

$$H_{wm} < 1.3B_d \text{ の場合 } L_{wm} \doteq H_{wm}$$

として推定する。流木の最大直径 R_{wm} (m) は、上流域において流木となると予想される立木の最大胸高直径（流木となることが予想される立木のうち、大きなものから数えて5%の本数に当たる立木の胸高直径）とほぼ等しいとして推定する。

2.7.9 流木の平均長、平均直径の算出方法

流木の平均長、および、平均直径は、流出流木量算出のための調査結果から推定する。なお、流木の平均長は土石流の最小流下幅を考慮するものとする。

解説

流木の平均長 (L_{wa} (m)) は、土石流の最小流下幅を B_{dm} (m)、上流から流出する立木の平均樹高を h_{wa} (m) とすると、

$$h_{wa} \geq B_{dm} \text{ の場合 } L_{wa} \doteq B_{dm}$$

$$h_{wa} < B_{dm} \text{ の場合 } L_{wa} \doteq h_{wa}$$

となる。

また、平均直径 R_{wa} (m) は、上流域において流木となると予想される立木の平均胸高直径とほぼ等しいとする。