

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、あるいは、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・流木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

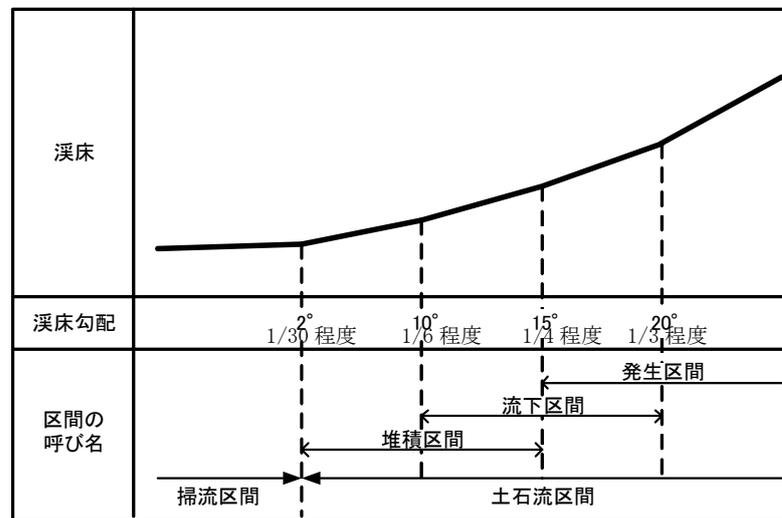
計画基準点は、計画で扱う土砂・流木量等を決定する地点である。計画基準点は、保全対象の上流に設けることを基本とする。

また、土石流・流木対策施設の設置地点及び、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・流木処理計画上、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の谷の出口、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、土石流・流木対策施設の設置地点に補助基準点を設けることを基本とする。

土砂移動の形態が変わる地点は、図－２を参考とする。



図－２ 土砂移動の形態の渓床勾配による目安¹⁾

2.5 計画で扱う土砂・流木量等

計画で扱う土砂・流木量等は、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・流木等の算出方法は、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・流木等の算出方法も本指針 2.6 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 2.6.1 で示した方法に基づき算出する。その際、式(2)、(4)における L_{dy11} および L_{dy12} 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。

計画基準点において算出した計画流出土砂量が $1,000\text{m}^3$ 以下の場合、計画流出土砂量を $1,000\text{m}^3$ とする²⁾。ただし、補助基準点において算出した流出土砂量には適用しない。土石流ピーク流量を算出する際に用いる、1波の土石流により流出すると想定される土砂量の取扱いは、本指針 2.6.3 に示すとおりとする。

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。

～～(参考)小規模溪流における計画流出土砂量の取扱い～～～～～～～～～～

小規模溪流において、簡易貫入試験を用いて移動可能土砂の厚さを計測する等の詳細な調査を行うことで、崩壊可能土砂量を含めた移動可能土砂量を精度良く把握できる場合もある。その場合に限り、計画流出土砂量が $1,000\text{m}^3$ 以下であっても調査に基づく土砂量を採用することができる。なお、小規模溪流は以下の条件全てを満たすものをいう。

- ・流路が不明瞭で常時流水がなく、平常時の土砂移動が想定されない溪流
- ・基準点上流の溪床勾配が 10° 程度以上で流域全体が土石流発生・流下区間

～～

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 2.6.2 で示した方法に基づき算出する。その際、式 (7) の L_{d13} 、 B_d 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 2.6.3 に示した方法に基づき算出する。

2.6 土砂・流木量等の調査・算出方法

2.6.1 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、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})

$$V_{dy1} = V_{dy11} + V_{dy12} \quad \dots (1)$$

$$V_{dy11} = A_{dy11} \times L_{dy11} \quad \dots (2)$$

$$A_{dy11} = B_d \times D_e \quad \dots (3)$$

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次谷等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次谷等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-4 (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-4(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³⁾を図-4(2)に示す。

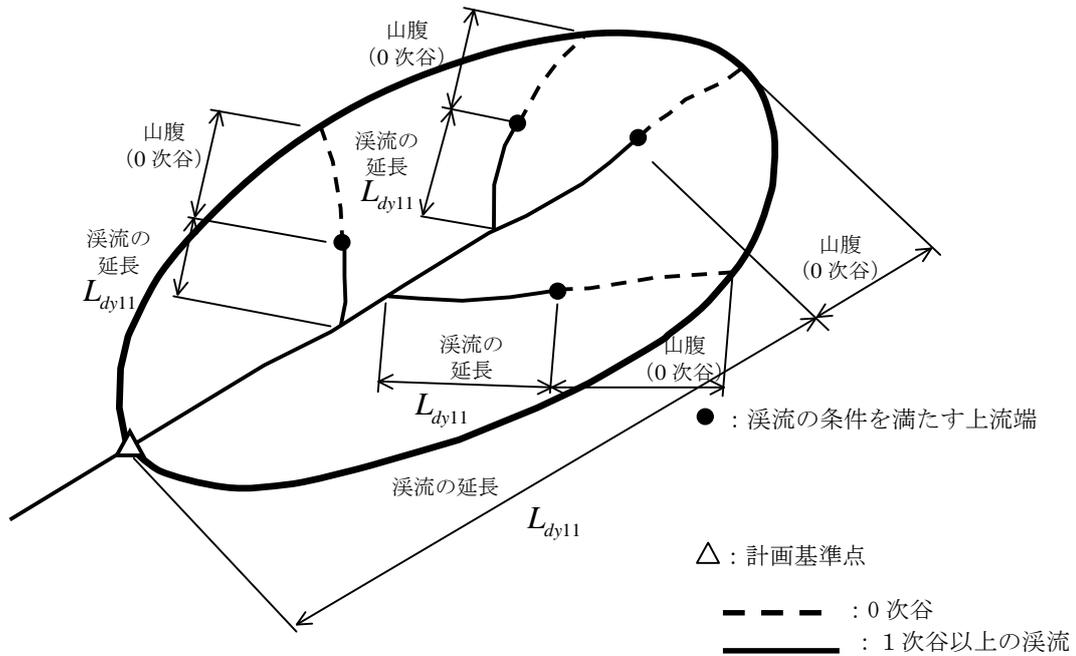


図-3 L_{dy11} のイメージ図

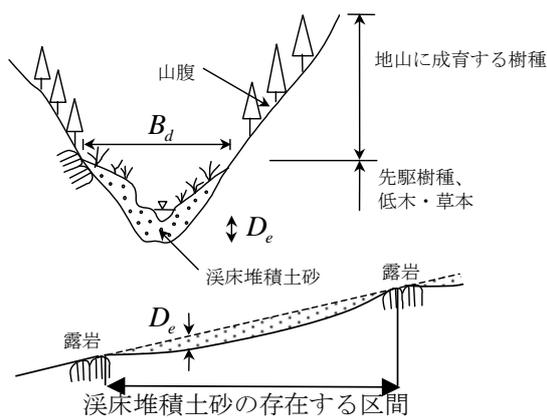


図-4(1) 侵食幅、侵食深の調査方法

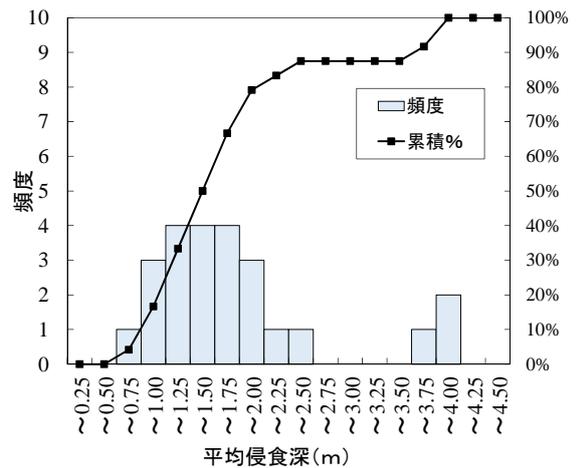


図-4(2) 平均侵食深の分布

(参考) 平均侵食深の調査の一例 (図-4 (1)、(2) の詳細例)

地域	No.	発生年	月	都道府県	市町村	溪流名	集水面積 (km ²)	平均勾配 (°)	侵食幅		侵食深		土石流発生時の雨量	
									平均値 (m)	標準偏差 (m)	平均値 (m)	標準偏差 (m)	24時間雨量 (mm)	1時間雨量 (mm)
魚野川	1	2011	7	新潟県	南魚沼市	姥沢川 (登川支溪)	4.78	19.8	31.8	20.1	2.2	1.7	328.0	62.0
	2	2011	7	新潟県	南魚沼市	二子沢川 (登川支溪)	0.78	27.0	27.6	13.0	3.9	2.4	328.0	62.0
	3	2011	7	新潟県	南魚沼市	柄沢川 (登川支溪)	1.60	22.4	10.0	5.9	1.1	0.7	328.0	62.0
	4	2011	7	新潟県	南魚沼市	高棚川	0.82	23.6	15.9	7.0	3.7	2.2	321.2	58.3
	5	2011	7	新潟県	南魚沼市	土沢	0.69	18.4	24.9	13.6	1.3	0.6	307.0	58.0
藤原岳	6	2012	9	三重県	いなべ市	西之貝戸川	0.21	34.6	13.8	7.3	1.6	2.0	435.0	70.0
	7	2012	9	三重県	いなべ市	小滝川	1.39	25.3	22.6	5.8	3.9	2.0	435.0	70.0
阿蘇	8	2012	7	熊本県	阿蘇市	大門川	0.33	13.4	14.5	7.1	1.2	0.7	517.0	124.0
	9	2012	7	熊本県	阿蘇市	坂梨地区	0.09	19.3	42.2	19.3	1.6	1.3	517.0	124.0
	10	2012	7	熊本県	阿蘇市	塩井川2	0.48	14.5	13.7	6.6	1.7	1.3	517.0	124.0
	11	2012	7	熊本県	阿蘇市	新所川3	0.07	28.2	16.9	6.9	1.0	0.6	417.0	83.0
	12	2012	7	熊本県	阿蘇市	土井川	0.28	19.5	21.2	9.9	2.4	1.1	517.0	124.0
防府	13	2011	7	山口県	防府市	阿部谷川	0.53	15.0	16.0	5.7	1.9	0.9	266.0	60.0
	14	2011	7	山口県	防府市	八幡谷溪流	1.05	14.2	9.0	4.1	0.8	0.5	266.0	60.0
	15	2011	7	山口県	防府市	松ヶ谷川	2.13	7.1	12.4	5.8	0.7	0.4	266.0	60.0
	16	2011	7	山口県	防府市	神里川	0.03	20.5	25.1	7.6	1.6	0.5	256.0	56.0
	17	2011	7	山口県	防府市	上田南川	1.10	12.2	15.9	8.0	1.1	0.6	266.0	60.0
	18	2014	7	長野県	南木曾町	梨子沢	2.27	18.4	25.6	11.6	1.8	1.2	143.0	76.0
	19	2014	8	秋田県	仙北市	供養佛沢	0.03	16.5	41.7	10.3	1.3	0.9	189.0	58.0
八木・ 緑井	20	2014	8	広島県	広島市	I-1-9-299a	0.34	15.2	15.9	7.1	1.0	0.5	247.0	87.0
	21	2014	8	広島県	広島市	I-1-9-303	0.22	18.9	18.1	6.1	1.3	0.7	247.0	87.0
	22	2014	8	広島県	広島市	I-1-9-306	0.19	24.3	18.2	6.9	1.9	1.3	247.0	87.0
	23	2014	8	広島県	広島市	I-1-9-1006	0.03	18.8	18.9	5.4	1.3	0.5	247.0	87.0
	24	2014	8	広島県	広島市	I-1-9-1010隣1	0.04	26.1	12.9	10.0	0.8	0.6	290.0	115.0

崩壊可能土砂量 (V_{dy12}) 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_{dy12}) を的確に推定できる場合

式 (1) の V_{dy12} 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や航空レーザ測量結果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、現地調査等を参考に、具体的な発生位置、面積、崩壊深を推定する。崩壊可能土砂量の算出に関する現地調査として、現地踏査、簡易貫入試験を実施した事例⁴⁾がある。そのほかの現地調査手法としては、ボーリング調査等がある。

なお、崩壊土砂のかさ増は、原則として行わない。

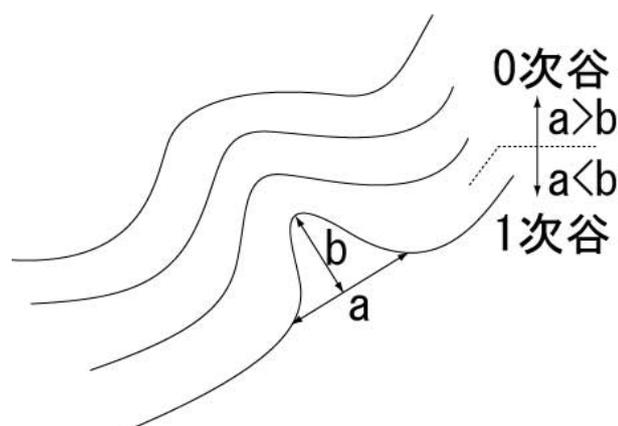


図-5 0次谷の地形

(1-2) 崩壊可能土砂量 (V_{dy12}) 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。

$$V_{dy12} \doteq \sum (A_{dy12} \times L_{dy12}) \quad \dots (4)$$

$$A_{dy12} = B_d \times D_e \quad \dots (5)$$

ここで、 A_{dy12} : 0 次谷における移動可能溪床堆積土砂の平均断面積 (m^2)、 L_{dy12} : 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である分水嶺までの流路谷筋に沿って測った距離 (m) で支溪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。

(1-3) 実測値に関するデータ収集のための調査

流出土砂量を実績値を考慮して算出するために、土石流発生時に流下状況について、調査する必要がある。土石流による流出土砂量に関する調査においては、現地調査に加えて、航空レーザ測量、無人航空機（ドローン等）による調査を用いる場合もある。特に、土石流発生前後の航空レーザ測量結果が得られる場合は、前後の調査結果の比較によって、流出土砂量を求める手法⁶⁾等もある。

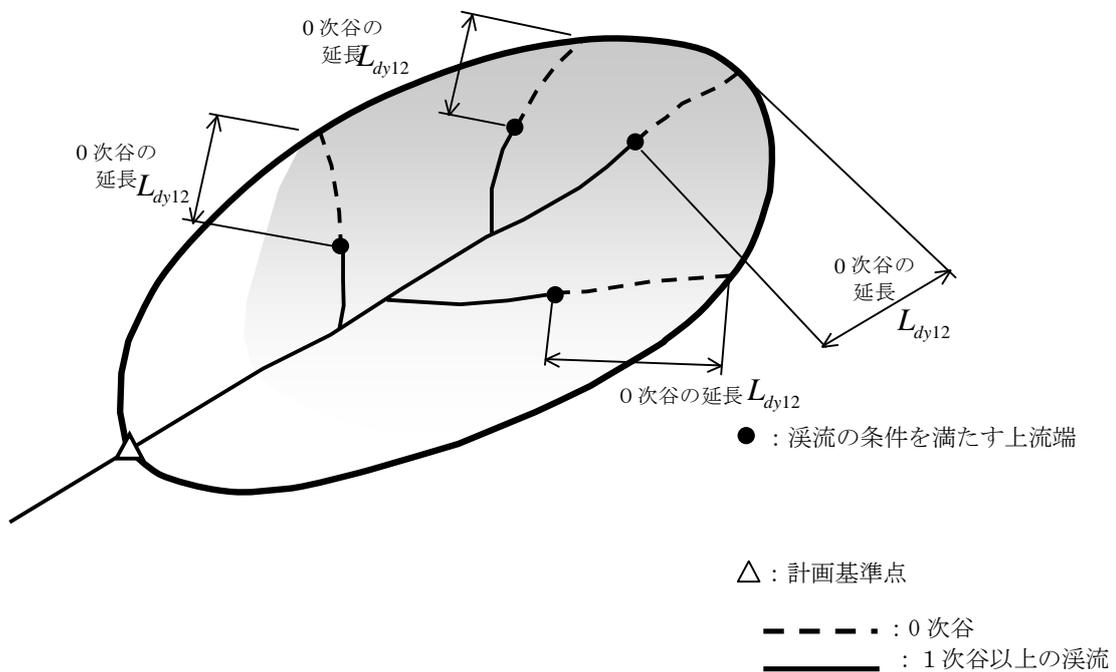


図-6 L_{dy12} のイメージ図

(2) 「計画規模の土石流」によって運搬できる土砂量 (V_{dy2})

「計画規模の土石流」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。

$$V_{dy2} = \frac{10^3 \cdot P_p \cdot A}{1 - K_v} \left(\frac{C_d}{1 - C_d} \right) K_{f2} \quad \dots (6)$$

C_d の算出方法は本指針 2.6.3 を参照する。なお、式 (12) は、10° ~20° に対する高橋の式であるが、それよりも緩勾配の範囲についても準用する。 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-7 によって流域面積に対して与える。なお、 K_{f2} は流域面積によって異なるが、上限を 0.5、下限を 0.1 とすることを基本とする。

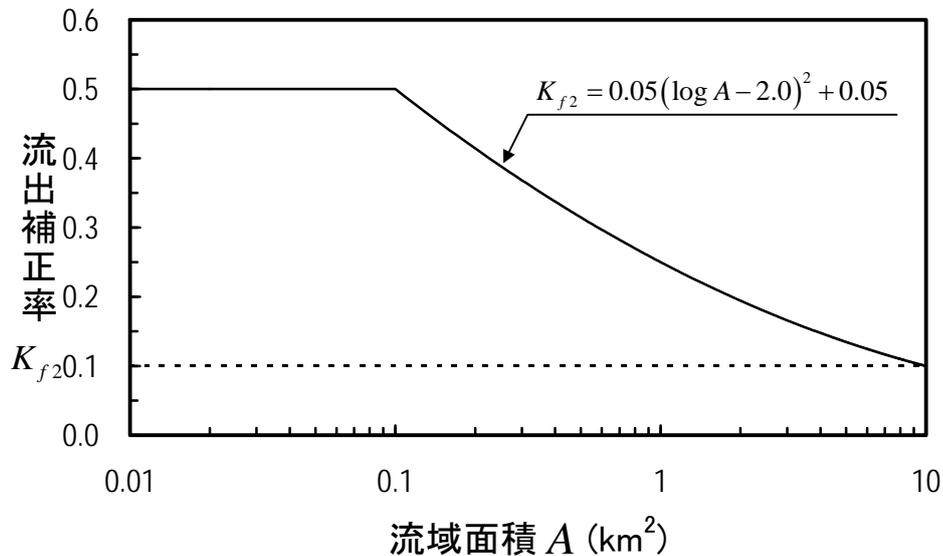


図-7 流出補正率⁵⁾

2.6.2 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⁷⁾。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－2に示す。

表－２ 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に存在する樹木、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 2.6.1 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2.6.1に準拠する。

$$V_{wy} = \frac{B_d \times L_{dy13}}{100} \times \sum V_{wy2} \quad \dots (7)$$

$$V_{wy2} = \pi \cdot H_w \cdot R_w^2 \cdot \frac{K_d}{4} \quad \dots (8)$$

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である分水嶺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－8（2）参照）である。

近年に航空レーザ計測データが取得された流域を対象とする場合は、同データを活用して、発生流木量の算出に必要な樹木の長さや本数（密度）などを求めることができる。例えば、調査範囲が広範囲にわたる場合に、LP データを活用して林相区分や発生流木量が算出された事例⁸⁾がある。

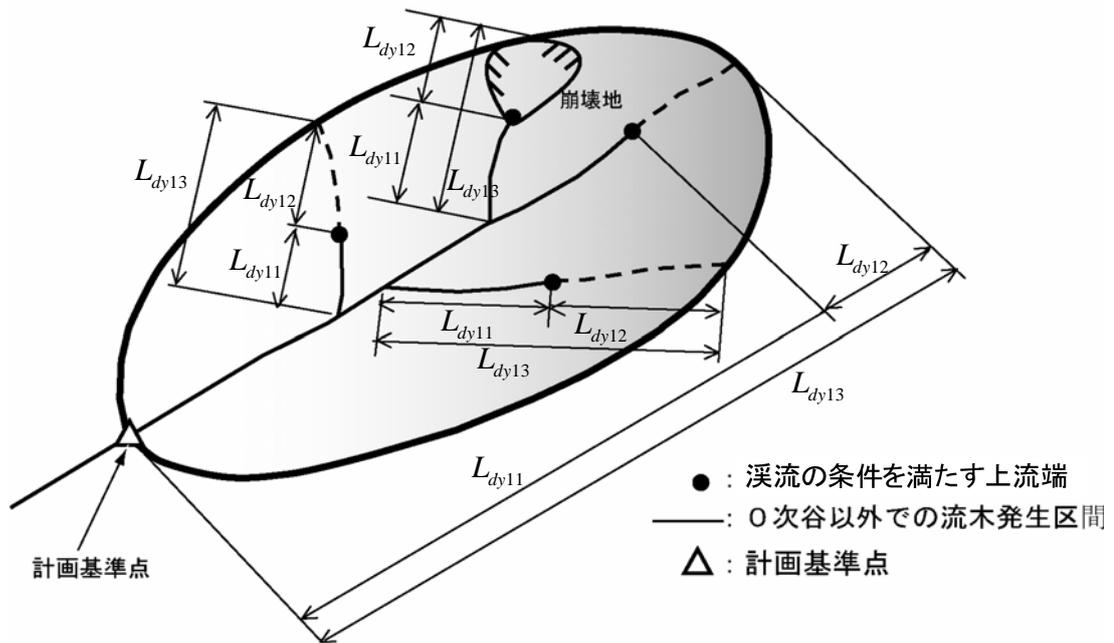


図-8 (1) 流木発生区間長さ(m) : L_{dy13}

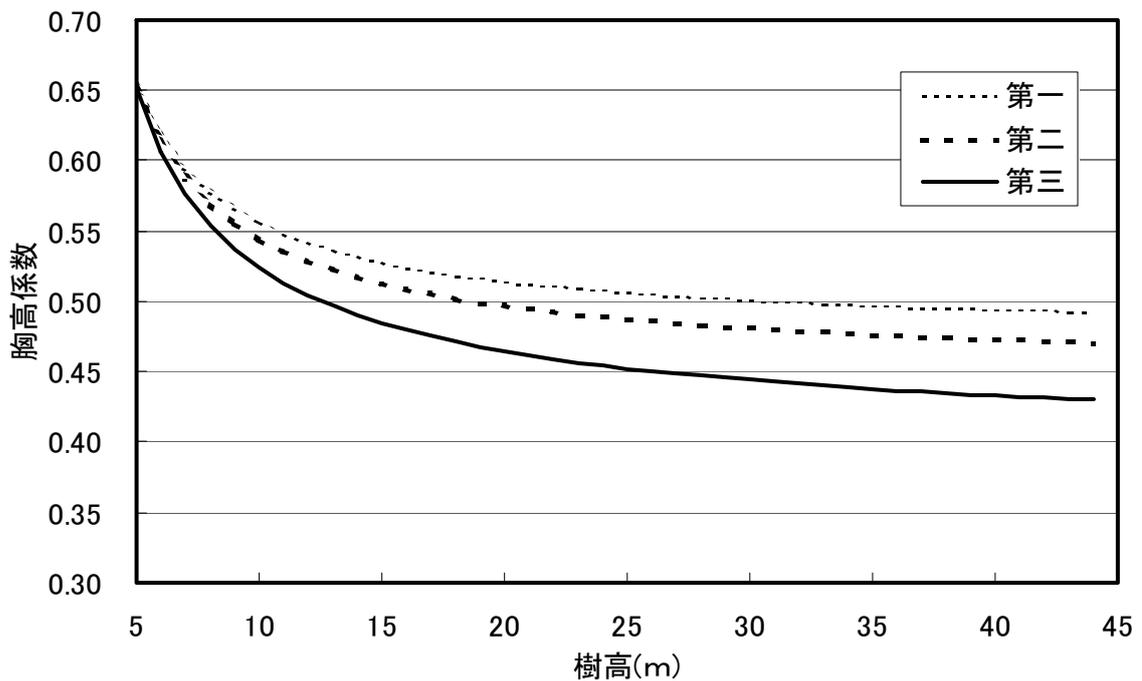


図-8 (2) 胸高係数⁹⁾

(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

2.6.3 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

(1) 流出土砂量に基づく土石流ピーク流量の設定

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-10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式(10)で表される¹⁰⁾。

$$Q_{sp} = 0.01 \cdot \sum Q \quad \dots (10)$$

$$\sum Q = \frac{C_* \cdot V_{dqp}}{C_d} \quad \dots (11)$$

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。

V_{dqp} は $1,000m^3$ を下限值とする。これは、本指針2.5.1.1~(参考)小規模溪流における計画流出土砂量の取扱い~を適用する場合を除き、全ての土石流・流木対策施設の設計について適用する。

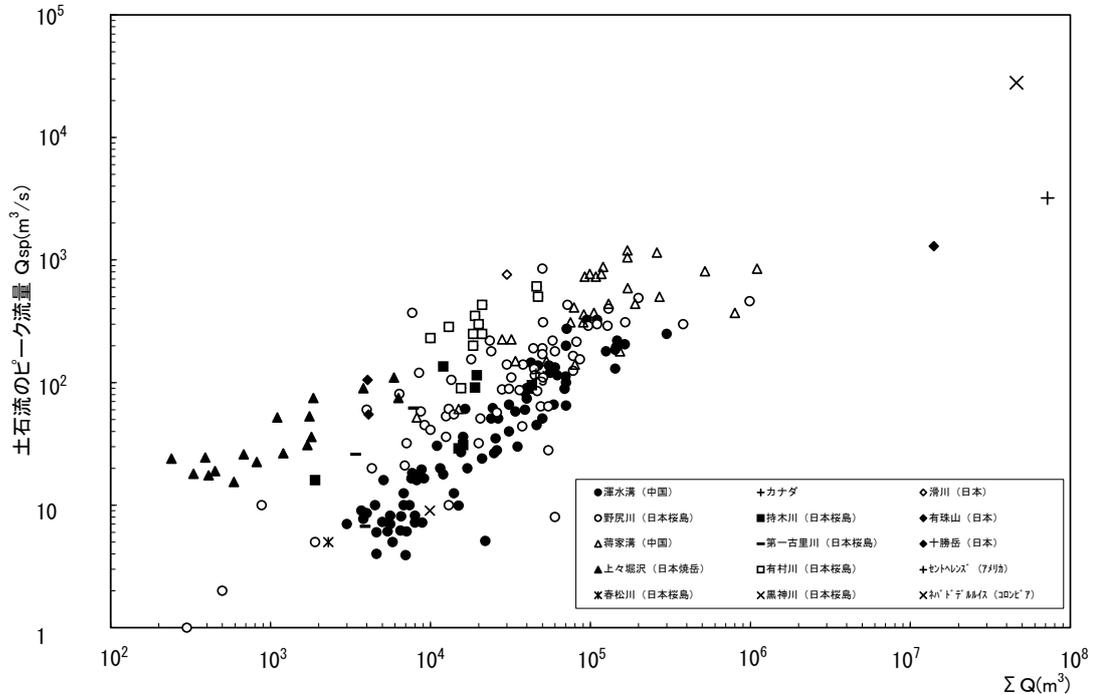
土石流濃度は下記の平衡濃度式¹¹⁾で求めるものとする。

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad \dots (12)$$

ここで、 σ : 礫の密度($2,600kg/m^3$ 程度)、 ρ : 水の密度($1,200kg/m^3$ 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、1波の土石流により流出すると想定される土砂量を算出しようとしている地点の現溪床勾配とし、流下区間の下流端となると考えられる地点の勾配(10°)以上とする。なお、現溪床勾配は、計画地点から概ね上流200m間の平均溪床勾配とすることを基本とし、計画施設設計前の地形より算出する。計画地点から上流の200m区間が溪床勾配を代

表していないと考えられる場合は、当該溪流の状況に応じて区間を設定する。

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。



図ー10 ピーク流量の相関¹⁰⁾ (原著では $\sum Q$ は Q_T と標記されている)

(2) 実測値に関するデータ収集のための調査

土石流ピーク流量を実績値を考慮して算出するために、土石流ピーク流量の実態について、調査する必要がある。実測により土石流のピーク流量を求める方法には、以下のような方法がある。

1) 流下痕跡からの推定

土石流の流下痕跡と流下断面が明らかな場合は、土石流の流速と水深の推定により流速を求め、ピーク流量を試算する。

2) ビデオなどの映像解析によって求めた速度からの推定

土石流の流下状況を撮影したビデオがある場合はこれを解析し、流速を算出する。ビデオから流速を算出した地点において、現地調査を行い、流下断面を推定する。流下断面積に流速を乗ずることによってピーク流量を算出する。また、非接触型の水位計を用いて、水位を直接計測し、流下断面を推定する手法もある。

※ 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、施設の計画地点または土石流流下区間の下流端と考えられる地点より上流の範囲において、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ことを基本とする。なお、 V_{dqp} を算出する土石流流出区間の下流端となる地点と、計画流出土砂量を算出する区間の下流端となる地点は異なる。

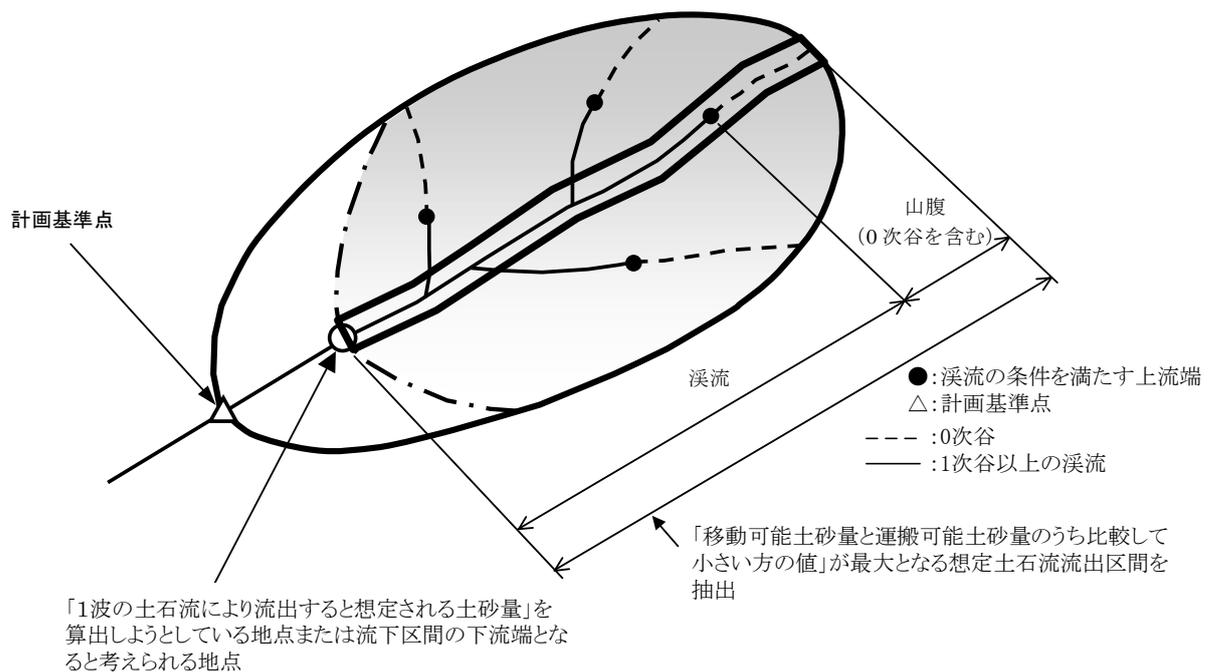


図-11 1波の土石流により流出すると想定される土砂量算出のイメージ図

～～（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、式（10）（経験式）および後述の式（14）（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。

$$Q_{sp} = K_q \cdot Q_p \quad \dots (13)$$

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、

$$Q_{sp} = \frac{C_*}{C_* - C_d} \cdot Q_p \quad \dots (14)$$

の関係があるとして求める¹²⁾。

（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、式(12)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、式(14)より $Q_{sp} = 2Q_p$ となる。

～～

2.6.4 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¹³⁾。

$$T_f = K_{p1} \cdot A^{0.22} \cdot P_e^{-0.35} \quad \dots (15)$$

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）。

$$P_a = \frac{P_{24}}{24} \left(\frac{T_f}{24} \right)^{K_{p2}} \quad \dots (16)$$

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。

$$P_e = K_{f1} \cdot P_a \quad \dots (17-1)$$

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。

$$P_e = \left(\frac{P_{24}}{24} \right)^{1.21} \cdot \left(\frac{24 \cdot K_{f1}^2}{\frac{K_{p1}}{60} \cdot A^{0.22}} \right)^{0.606} \quad \dots (17-2)$$

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。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \cdot K_{f1} \cdot P_a \cdot A = \frac{1}{3.6} \cdot P_e \cdot A \quad \dots (18)$$

2.6.5 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

(1) 土石流ピーク流量に基づく土石流の流速・水深の設定

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、

$$U = \frac{1}{K_n} D_r^{2/3} (\sin \theta)^{1/2} \quad \dots (19)$$

で表わすことができると報告されている。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-3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¹⁴⁾。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、式(19)、式(20)、式(21)を連立させて求められる。

$$Q_{sp} = U \cdot A_d \quad \dots (20)$$

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-12の斜線部とする。流れの幅 B_{da} (m) は図-12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。

$$D_d = \frac{A_d}{B_{da}} \quad \dots (21)$$

土石流の流速、水深の算出にあたっては、当該堰堤の位置から堆砂上流末端または土石流発生区間の下端までの区間で、任意に3~5箇所を抽出し、各断面を台形に近似した上で、3~5箇所の断面の平均断面を用いる。ただし、断面形状が明らかに異なり、平均断面を用いることにより、堰堤の安定性の検討上、土石流の外力を過少評価するおそれがある場合は、過小評価とならないように留意する。また、当該堰堤の位置から堆砂上流末端までの区間に比べて、堆砂上流末端より上流の区間の断面形状が

著しく異なり、土石流の外力を過小評価するおそれがある場合についても、過小評価とならないように留意する。

(2) 実測値に関するデータ収集のための調査

土石流の流速の実績値を求める方法には、以下のような方法がある。

1) ビデオなどの映像解析により算出する手法

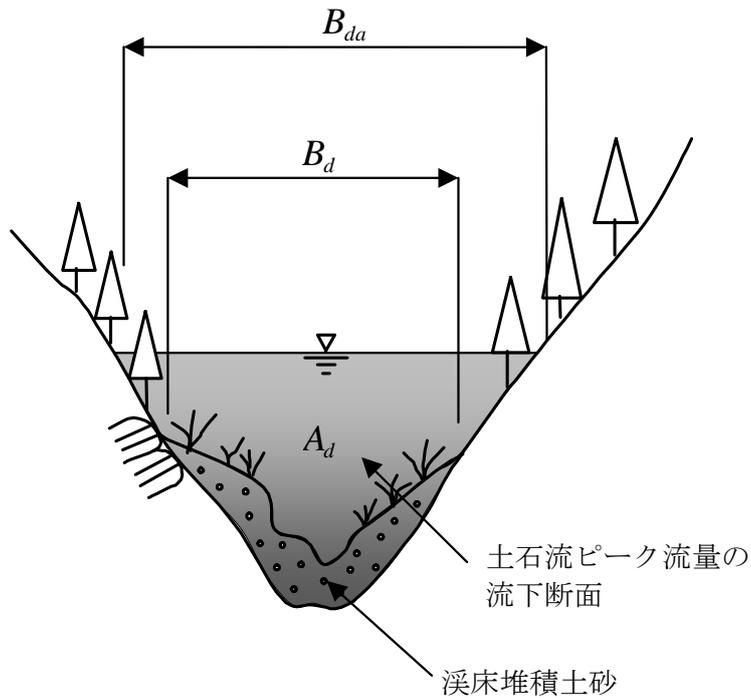
土石流の流下状況を撮影したビデオがある場合はこれを解析し、流速を算出することができる。

2) 湾曲部の流下痕跡からの推定する手法

土石流が溪流の湾曲部で偏流し、その場合の偏流高が現地で調査できる場合は、土石流導流工の湾曲部の設計方法に基づき、土石流の流速を求めることができる^{15、16)}。

表－3 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堰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-4 (1) 参照)

図-12 土石流の流下断面と流れの幅 B_{da} のイメージ

2.6.6 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、

$$\gamma_d = \{ \sigma \cdot C_d + \rho \cdot (1 - C_d) \} g \quad \dots (22)$$

で求められる。ここで、 g : 重力加速度 (9.81m/s²) とする。なお、 γ_d の単位が kN/m³ であることに注意する。

C_d は、式 (12) により求める。

(参考) 土石流の単位体積重量の実測事例

土石流の単位体積重量把握に関する観測として、水位計、荷重計などを用いる手法¹⁷⁾ があり、観測データが蓄積されつつある。

2.6.7 土石流流体力の算出方法

土石流の流体力は、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。

$$F = K_h \cdot \frac{\gamma_d}{g} \cdot D_d \cdot U^2 \quad \dots (23)$$

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 2.6.5 に従って求めた土石流の水深 (m)、 g ：重力加速度 (9.81m/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。

2.6.8 最大礫径の算出方法

最大礫径は、現地調査結果から推定する。

最大礫径は、土石流・流木対策設計技術指針における砂防堰堤の水通し断面、透過部断面、構造検討時の礫による衝撃力を算出する際に使用する。

最大礫径は、砂防堰堤計画地点より上流および下流各々200m間に存在する200個以上の巨礫の粒径を測定して作成した頻度分布に基づく累積値の95%に相当する粒径 (D_{95}) とする。測定の対象となる巨礫は土石流のフロント部が堆積したと思われる箇所で溪床に固まって堆積している巨礫群とし、砂防堰堤計画地点周辺の礫径分布を代表するような最大礫径を設定するよう留意する。巨礫が200個以上存在しない場合は、計測の対象とする礫の範囲を巨礫、玉石（大礫）、砂利（中礫・細礫）の順で、計測した礫の数が200個になるまで計測の対象を拡大する。また、角張っていたり材質が異なっていたり、明らかに山腹より転がってきたと思われる巨礫で、土石流として移動しないと予想されるものは対象外とする。

2.6.9 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、最大直径は、土石流・流木対策設計技術指針における砂防堰堤の構造検討時に流木による衝撃力を算出する際に使用する。流木の最大長は、流木捕捉工の部材純間隔の設定に使用する。

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。また、流木となると予想される倒木（伐木、用材を除く）についても調査するものとし、最大直径が過小に見積もられないよう留意する。

2.6.10 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。