

## 土石流與漂流木對策指南說明

2 0 1 7 年 林 整 計 第 5 5 1 號

2 0 1 8 年 3 月 2 0 日

林 野 廳 森 林 整 備 部 計 畫 課 長 公 告

### 第 1 章 目的與定義

#### 第 1 節 目的

本指南旨在防止、減輕山地災害危險地區等的山地災害，彙整土石流與漂流木對策所需技術事項，促進防災計畫之順利施行。

#### 〔說明〕

本指南旨在防範土石流與漂流木造成山地荒廢，彙整編輯可確保區域居民安全的土石流與漂流木等山地災害對策所需技術，作為防災計畫調查與設計之基準。

## 第 2 節 土石流與漂流木的定義

<p>土石流係大量土砂與水合為一體、突然且急速沿溪流流出的現象(集體搬運)。 漂流木係伴隨土石流或洪水流而往下游河道流出的倒木等。</p>
---

### 〔說明〕

土石流從含大量巨石、砂礫到泥流為等，有各種主體形態且特徵互異。前者(石礫型)先端部常停淤巨礫與礫石，成階梯狀，其後續水流有高濃度土砂流或泥流。後者(泥流型)先端部未必有礫石，但多半成階梯波狀。

本指南主要討論需考量衝擊力與流體力的現象(和常態水流不同)，因此，含大量巨石與砂礫一直到土砂流、泥流等現象，都廣義稱為「土石流」。

## 第2章 適用與運用

### 第1節 適用

土石流與漂流木對策，應於土石流與漂流木災害潛勢區域，配合現地狀況，有效率且有效益地實施。

#### 〔說明〕

#### 1 概要

林野廳將可能發生山地災害的地點，劃定為「山地災害危險區域（崩塌土砂流出危險地區）」。  
這些地點實施治山計畫時，若要維護地區民眾的安全，應有效率且有效益地實施土石流與漂流木流出之對策。

#### 2 本指南的對策

本指南的「土石流與漂流木的對策」係從與保全對象的關係及山地荒廢狀況來看，需有治山設施，且決定設施構造時，應提出考量衝擊力與流體力等的對策。此外，主要對策與應考慮之流體力等如下。

- ・以土石流對策為主時：考量土石流的流體力與衝擊力、漂流木衝擊力
- ・以漂流木對策為主時：考量漂流木的衝擊力

※參照第5章第2節2-8「治山防砂壩的翼部」、2-9-3「作用在治山防砂壩上的外力」

另外，不必考量衝擊力與流體力的小型防砂壩（節制壩）、固床工、流路工等，也因能降低溪床坡度、保護溪岸且預留淤砂空間，而具備防止或減輕土石流與漂流木災害的效益。  
這些做法「治山技術基準」皆有詳細說明，因此進行相關，「調查、計畫、設計」，應參考治山技術基準。

#### 3 土石流與漂流木對策標的

本指南所設定對策標的為森林溪流所產生的土石流與漂流木。因此，森林消失的火山地帶與有大規模野溪的流域、流域面積廣闊地區等，判斷不適用本指南時，應逐一進行檢討。

#### 〔參考〕土石流與漂流木對策應實施地點的選定

土石流與漂流木對策應實施地點，應如下述地確認山地災害危險地區等的森林，是否有荒廢狀況或產生漂流木之危險性。

- (1) 0級序河川等凹地形，以及溪床與溪岸呈現荒廢或有荒廢化徵兆的溪流
- (2) 溪流內廣泛分布荒廢或有荒廢化徵兆地點相同地質的溪流
- (3) 沿岸有大量可能因土石流而漂流木化的樹木之溪流

## 第 2 節 運用

推行治山計畫的土石流與漂流木對策，應依據治山技術基準與說明，必要時可參照本指南。

〔說明〕

### 1 與治山技術基準之關聯性

「治山技術基準（總則、山地治山編等）」未述及的事項，可充分了解治山技術基準旨趣，活用該指南。

### 2 不同計畫的調整

同流域內其他政府部門所管轄土石流對策等治山工程計畫已先行或並行立案者，應針對標的之土砂量、流木量與設施規模等，評估與該計畫整合。

此外，與其他計畫間之調整，存在土石流與漂流木規模等諸多不確認因素，因此應以安全為主地設定對策目標之土砂量與漂流木量，確保地區民眾安全。

### 3 實務經驗的累積

土石流與漂流木對策所使用構造物的相關技術仍少，實施「調查、計畫與設計」時，應參考 PDCA(plan-do-check-act)循環式品質管理循環（戴明環），掌握適合地區的工法種類與實際施工注意事項，有效益且有效率地推動治山工程計畫。

### 第3章 調查

#### 第1節 概論

土石流與漂流木對策之推行，應先瞭解治山計畫之目的與宗旨等，實施相關調查。

〔說明〕

##### 1 目的

治山計畫旨在實施荒山或有荒廢之虞山地的溪間工與坡面保護工等，以達成森林的整備與保全。

因此，治山計畫的土石流與漂流木對策，應抑制、抑止土石流與漂流木的發生、流出，以防止森林荒廢，維護保全對象與地區居民安全。

##### 2 實施的時期

土石流與漂流木對策的調查，應在山地災害發生直後，適時地在應實施對策的地點進行；應實施大範圍對策的地點，則在進行整體計畫調查與災害發生時施行。

〔參考〕治山技術基準的作法

治山技術基準（總則與山地治山編等）之中，治山計畫所需一般性調查項目與調查方法，如第2編第1章～第3章與第4編第2章所示。

## 第2節 土石流與漂流木調查概要

考量土石流與漂流木的流體力與衝擊力而進行設施的計畫與設計，應配合現地狀況與設施構造等，實施土石流與漂流木調查，有效率且有效益地執行計畫。

### 〔說明〕

土石流與漂流木調查內容如下。首先應配合現地狀況與設施構造，選定調查內容，有效率且有效益地執行防災計畫。

土石流發生的危險性．．．土石流對策的必要性與優先性

土石流水深．．．．．設施的穩定計算（流體力）

礫石大小．．．．．梳槽間距等

推估土砂量．．．．．土石流對策必要性與優先性、設施有效高程等的決定（土砂量、總量（水＋土砂）、洪峰流量）

漂流木發生的危險性．．．漂流木對策之必要性與優先性

漂流木大小．．．．．梳槽間距等

漂流木推估量．．．．．漂流木對策之必要性與優先性

### 〔參考〕

選定調查內容時，應充分瞭解土石流與漂流木之性質、構造，掌握現地狀況，決定調查內容。

#### 1 土石流與漂流木的性質

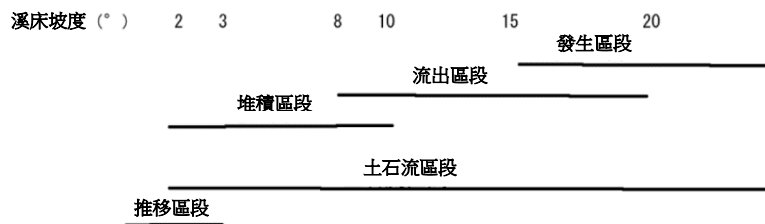
應注意土石流與漂流木的發生，可能成為特定氣象條件下崩塌及森林根系所不及深度的崩塌發生源，且其發生有許多不確定因素，因此，無法只靠森林整備即可完全防止。

應注意土石流與漂流木可能因為植生、地形與地質等差異，而產生構成材料與含水率等的地區差異。除了瞭解技術基準、文獻與鄰近地區過去災害狀況，也應掌握防災對象區域的土石流與漂流木整體狀況。

#### 2 土石流的流出區段與堆積

土石流是否發生並產生堆積現象，取決於溪床坡度、土石與含水率等構成材料狀況。其中，溪床坡度容易成為土石流移動重要因子。通常溪床坡度超過 15 度（大礫徑者，超過 20 度（治山技術基準第 2 編第 2 章 9-3-2 表-28 p.114））的區段，會形成土石流並開始往下流動。

土石流動能大多在流出區段達到最大，難以進行物理上的抑止；但土石流抵達溪床坡度低於 10 度的堆積區段，會出現構成材料與流水分離的現象，並開始堆積。



圖一1 土石流的型態與溪床坡度

### 3 漂流木的流出區段與堆積

漂流木開始移動的重要因子包括流向與漂流木材料堆積物所形成之角度、溪床坡度、水深。這些因素越大，漂流木越容易移動。

漂流木流出時會反覆衝撞而折損，多半只剩樹木時約  $1/3 \sim 1/2$  長度。

以單體形態移動的漂流木可能流出到達推移區段；但若與土石流同時發生，土石流消能或停止時，漂流木也會相同舉動。

### 4 礫石型土石流的特徵

礫石型土石流的特徵為，巨礫與漂流木集中前頭部分。因此，強大慣性力作用下具有強大直進性，直接衝過河道彎曲段，直接破壞保全對象。這種土石流流出過程中會淘刷、侵蝕溪床堆積物與崖錐堆積物，擴大規模，留下極端 U 字型的侵蝕痕跡。其速度達到  $5 \sim 10\text{m/秒}$ 。此外，這類土石流的堆積物，大多無明顯層狀。

### 5 泥流型土石流的特徵

泥流型土石流細砂含有率較高，先端部形成階梯坡土石流，並以  $10 \sim 20\text{m/秒}$  速度流出。先端部位雖不會形成巨石集中的前緣段，但有時堆積物成層狀。此外，和礫石型土石流相比，泥流型土石流所抵達地點坡度約低  $1 \sim 2\%$ 。

### 6 大規模土石流的特徵

土石流規模變大時，災害發生前的溪流流心位置及其流線形態可能明顯改變。因此，實施潛在大規模土石流地點的設施計畫位置、分洪道形狀與設施方向等檢討時，應進行更大範圍的地形調查。

### 第3節 調查項目

土石流與漂流木對策之調查，應遵循治山技術基準（總則、山地治山編等），實施各種必要的調查。

#### 〔說明〕

- 1 土石流與漂流木對策的調查，應遵循治山技術基準（總則、山地治山編、地滑防止編），但已實施整體計畫調查等的流域，可只調查災害造成變化的事項，以及最新瞭解、發現的事項，進行現有調查內容的修正補充。
- 2 次節以下之內容，有些係依據其他部會所制訂基準與論文等補充，若適用於現地狀況，應予以活用。

#### 〔參考〕治山技術基準（總則、山地治山編）的調查項目

- 1 地形調查 2 土質、地質調查 3 土壤調查 4 林況、植生調查 5 氣象調查
- 6 水文調查 7 荒廢現況調查 8 荒廢危險地調查 9 環境調查 10 社會的特性調查

#### 第 4 節 地形調查的補充

地形調查旨在掌握土石流的發生區段、流出區段、堆積區段以及土砂推移區段。

〔說明〕

##### 1 依據地形調查進行變異點的設定

土石流是否發生與流出取決於溪床坡度，應概略掌握溪床坡度大於 15 度的變異點等地點，確認土石流可能發生區段與流出區段、堆積區段、土砂推移區段等。

此外，施工區域溪床坡度小於 10 度者，應實施堆積區段的變異點設定，和流出區段有所區別，擬定更有效益的土石流對策。

另外，若施工地點係非常小溪流或存在大滾石，難以依據溪床坡度設定變異點，可依據從溪床坡度與土砂堆積狀況判斷可否移動滾石的公式〔參考〕，以溪床坡度 20 度為上限，設定變異點。

##### 2 雷射斷面量測儀數據的活用

雷射斷面量測儀數據具精確掌握大面積地形與森林現況的優異性能。應活用現有的雷射斷面儀數據，實施初勘調查。此外，土石流災害地點若有災害發生前的資料，得算出與災害後數據的差異，掌握土砂侵蝕與堆積量。

〔參考〕潛在土石流判定的參考依據

從溪床坡度與堆積土砂判定土石流是否移動之公式。

$$\tan \theta \geq \frac{C_{※} (\sigma - \rho)}{C_{※} (\sigma - \rho) + \rho (1 + h_0/d)} \cdot \tan \phi$$

$\theta$ ：溪床坡度 (°)

$C_{※}$ ：堆積層土砂的容積濃度

$d$ ：代表粒徑 (m)

$\sigma$ ：土砂密度 (kN/m<sup>3</sup>)     $\rho$ ：水的密度 (kN/m<sup>3</sup>)

$h_0$ ：地表流水深 (m)

$\phi$ ：堆積土砂的內摩擦角 (°)

出處：山地保全學 小橋澄治編 1993.4

## 第 5 節 荒廢現況調查之補充

荒廢現場調查旨在掌握現況土砂量與漂流木量。

〔說明〕

- 1 調查方法應依據治山技術基準，調查對象為土石流與漂流木災害之發生源及其構成材料者。
- 2 溪流區段的調查，應以調查時能掌握者為調查標的，掌握可能成為漂流木的倒木或樹木之量體與大小，以及土石流時移動的不穩定土砂量等。
- 3 出現邊坡崩塌地時，應調查崩塌地內殘存土砂量與預估擴大崩塌土砂量。
- 4 崩塌土砂掩埋正下方溪流或阻塞河川時，可從土體的量、上游迴水狀況與水位增加程度等，判斷土石流發生的風險性高低。

## 第 6 節 荒廢危險地調查之補充

### 6—1 總則

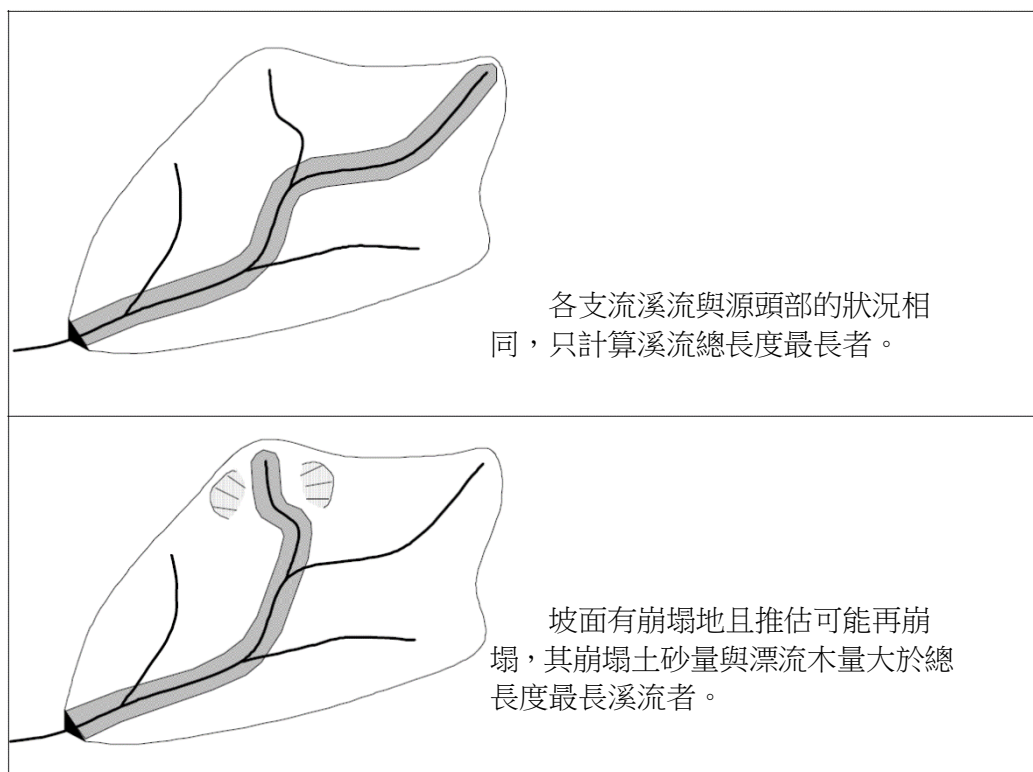
荒廢危險地調查旨在實施土石流與漂流木潛勢高低的推定，計算土砂量與漂流木量。

#### 〔說明〕

荒廢危險地調查應依據經驗公式等，推測前述荒廢現況調查所掌握的量（現地調查所能掌握的土砂量與漂流木量），掌握土石流時可能流出的土砂量與漂流木量。依據這些調查，可擬定相關防治計畫（設施之必要性與優先性等）、實施設計（設施構造之決定等），有效益、有效率地實施砂防計畫。

#### 〔參考〕土砂量與漂流木量之計算範圍

計算複數支流溪流的土砂量與漂流木量，應以最多土砂量及漂流木量的溪流為計算標的。土石流大多瞬間發生、複數支溪流的土石流前緣部分同時在溪流匯流點匯流的機率相當低。因此，複數支流溪流的流域，合計推估的各支流溪流土砂量與漂流木量，數字大多高於實際狀況。



圖一2 計算範圍示意圖

## 6-2 土砂量等的調查

實施荒廢現況調查時，掌握土石流的構成材料，即可算出土砂量等。

〔說明〕

### 1 土砂量等的計算基準點

可利用下列任何地點作為計算之基準點，算出上游區域土砂量與漂流木量。

- (1) 流域最下游的現有溪流工程
- (2) 適合未來設置主要的溪流工程地點

### 2 土石流發生時土砂量的計算

可依據下列公式，算出從計算基準點到上游的土石流土砂量。此外，若整體計畫與流域別調查的實施區域重複，且開始調查後並未產生明顯變化，可參考該調查之土砂量（預測發生崩塌的地點）資料。

$$V(\text{土砂量}) = V1 + V2 + V3$$

V1：目前溪床堆積的不穩定土砂量與溪床侵蝕形成的土砂量。實施現地調查、設定溪流內的假想斷面，可算出不穩定土砂及現況溪床可能侵蝕深度與寬度。較少風化的露岩區段與現有治山防砂壩的可攔阻土砂量，不列入計算。

$$V1 = V11 + V12 + V13 - V14$$

V11：土石流發生區段（溪床坡度大於 15～20 度）堆積的不穩定土砂量

V12：土石流流出區段（小於發生區段的坡度）堆積的不穩定土砂量

V13：土石流發生區段的侵蝕土砂量（V11 之外）

V14：現有治山防砂壩的土砂攔阻量

V2：連結溪床的現有崩落地不穩定殘土量（殘留土砂量）

$$V2 = V21 + V22$$

V21：連結土石流發生區段溪床的現有崩落地不穩定土砂量

V22：連結土石流流出區段溪床的現有崩落地不穩定土砂量

V3：連結溪床的坡面新崩塌及其伴隨產生的推估土砂量。新崩落地及其所產生土砂量的推估，參照治山技術基準第 2 編第 2 章 9-2-1 (p.108) 崩塌發生重要因子的調查及第 2 章 9-2-2 (p.109) 坡面荒廢危險地推估之〔說明〕。

此外，新崩塌之發生難以預測，可能與現實所發生的現象有所差距，因此也可利用瞭解過去災害案例的方法「（參考）新崩塌及其伴隨產生土砂量（V3）推估案例」等，進行計算。

$$V3 = V31 + V32$$

V31：連結土石流發生區段溪床的坡面新崩塌推估土砂量

V32：連結土石流流出區段溪床的坡面新崩塌推估土砂量

難以實施 V1～V3 推測的溪流，可依據過去災害案例所整理成的「（參考）新崩塌及其伴隨產生土砂量（V3）推估案例」等，進行估算。

複數支流匯合的溪流，只須估算土砂量最大的支流。

### 3 漂流木量的計算

可利用本章第 6 節 6-3〔說明〕2「漂流木量的計算」，進行土石流夾雜流出的漂流木量推估。

### 4 粒徑調查

溪流的粒徑調查，可在主要的治山設施預定地，或溪流內殘留土石流堆積物前後各 200m、合計 400m 的區段，測定約 100 個粒徑。此外，調查礫石之對象，通常不含正常水流所搬運者，而是土石流發生隨之移動者。量測結果可用來實施頻率分布分析，算出最大粒徑（頻率分布之中 90% 的值）。

〔參考〕新崩塌及其伴隨產生土砂量（V3）推估案例

#### 1 依據公式進行計算

（1）連結發生區段與流出區段溪床的坡面，計畫降雨（100 年重現期距及歷史最大降雨量）時可能崩塌面積的推估。

（2）依據崩塌現況判釋該坡面概略範圍。應注意下列地點可能發生崩塌。

- ① 低於 15 年的幼齡人工林地點
- ② 凹型地形地點
- ③ 土質黏著力較差地點，以及降雨等容易降低黏著力的地點

（3）可以設定範圍的現況崩塌面積（或崩塌率）為基準，依據下列公式推估未來新崩塌發生面積。

$$\text{新崩塌發生面積（率）} = \text{現況崩塌地面積（或崩塌率）} \cdot \frac{\text{計畫降雨量（100 年重現期距日雨量）}}{\text{歷史最大日雨量}}$$

出處：準用治山流域別調查之構想

#### 2 依據過去經驗推估崩塌土砂量

（1）下列狀況可不使用前述計算方法，而依據過去的調查結果「降雨量與崩塌發生之關係」等數據，進行推估。

- ① 現況崩塌地非常少，反之，或非常多時
- ② 不適合以 1 之公式推估時

（2）可利用到下列公式，依據「降雨量與崩塌發生的關係」的數據，推估崩塌土砂量。

① 雨量指數（X）的計算

$$X = P / P50$$

P：豪雨時的日雨量（100 年重現期距日雨量）

P50：50 年重現期距日雨量

② 新生崩塌的面積率 (s/a) %

$$(s/a) \% = cX^m$$

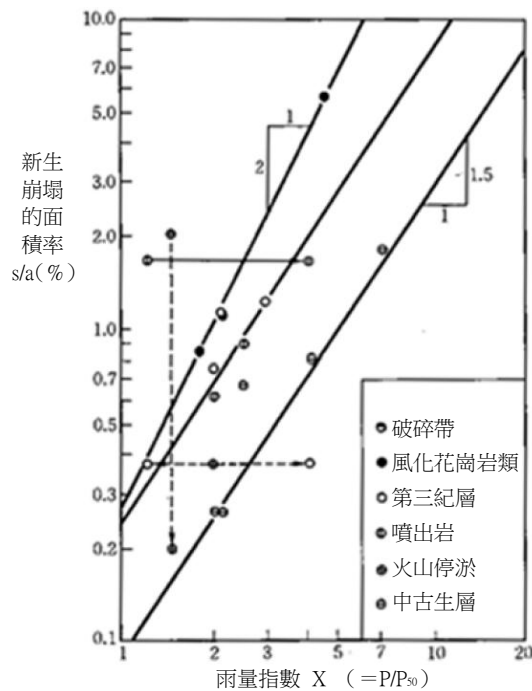
c、m：係數（如④所述）

s：崩塌合計面積

a：流域面積

出處：砂防學講座 第3卷（社團法人）砂防學會監修 1992.6

③ 雨量指數與新生崩塌面積率的關係，參考下圖。



圖一3 雨量指數與新生崩塌的面積率

出處：砂防學講座 第3卷（社團法人）砂防學會監修 1992.6

④ c 與 m 值依下列地質條件而定。

- ・ 中古生層地帶  $c=1/11$ 、 $m=3/2$
- ・ 第三紀層地帶等  $c=1/4.2$ 、 $m=3/2$
- ・ 風化花崗岩等  $c=1/3.7$ 、 $m=2$

(3) 推估的崩落地，約 20~30% 形成土石流之後流出者，乘以崩塌深度可算出土砂量（1982 年 5 月豪雨長崎水災調查結果顯示，山坡崩落地點 78% 崩塌土砂在坡面停止前進，22% 形成土石流往下游流出）。

出處：京大防災研究所年報第 26 號 A S58.4

(4) 崩落地規模與崩塌深度的推估，應先瞭解附近地形條件與現地相同地點之崩塌狀況。

### 6—3 漂流木量之調查

漂流木量的調查應實施荒廢現況調查，掌握潛在漂流木之倒木與樹木構成，算出漂流木量。

#### 〔說明〕

#### 1 漂流木量的計算基準點

可用下列任何地點作為計算基準點，算出其上游區域的漂流木量。

- (1) 流域最下游的現有溪流工程
- (2) 適合未來設置主要的溪流工程地點
- (3) 沿森林內部流出的溪流最下游段（森林外緣邊界）附近

#### 2 漂流木量的計算

調查計算基準點到上游的流域面積，依據下列公式算出漂流木量。

$$T(\text{漂流木量}) = t \times (T1 + T2 + T3)$$

t：流出率（約 0.9）※（參考 1）流出率的推估

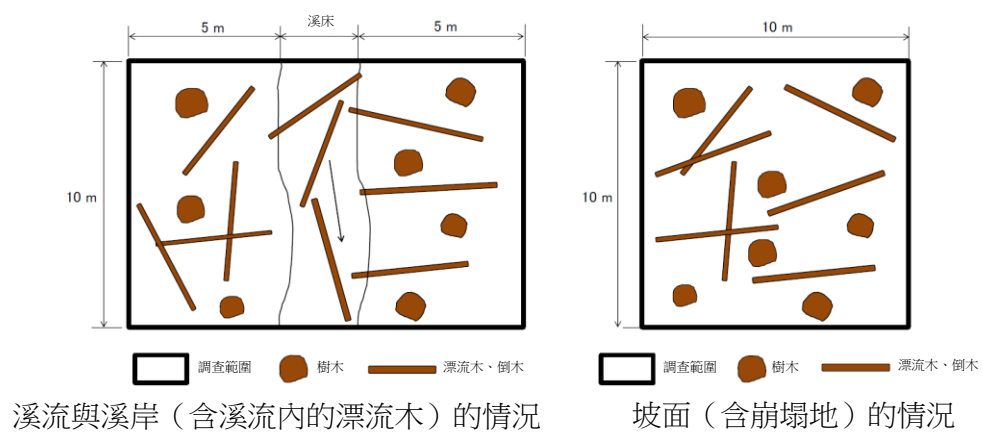
- (1) T1：對象溪流溪畔林的樹木量與溪床與溪岸附近堆積的倒木量。現有或計畫中的治山防砂壩所可能攔阻其流出的倒木與樹木，位於支流的山坡坡面可能晚點流出或預期自然復舊的倒木等，則不計入。
- (2) T2：推估新崩塌與土石流（洪水流）侵蝕河岸所可能伴隨產生的漂流木量。新崩塌伴隨產生的漂流木量，為本章本節 6-2〔說明〕2「土石流發生時土砂量的計算」所算出 V3 推估合計土砂量中的伴隨產生量。漂流木支數與材積等數量的計算，依森林登記簿或標準地調查算出。
- (3) T3：崩塌地內的倒木數量。但若崩塌地或崩塌地正下游計畫實施坡面保護工或溪流工程以抑制崩塌地土砂流出，不列入計算。
- (4) 持續野溪化的特定溪流，可指計算野溪匯流點往上游的面積。此外，難以累計 T1～T3 計算漂流木量的溪流，可瞭參考過去災害案例〔參考 1〕，進行計算。
- (5) 複數支流匯集的溪流，只須計算漂流木最大支流的漂流木數量。

#### 3 漂流木量的現地調查

漂流木量的計算有對象範圍漂流木全部調查的全數調查法，以及對象範圍代表地點實施抽樣調查的抽樣調查法。原則上應以抽樣調查法計算漂流木量。

但若溪流總長度短且漂流木發生對象範圍小，難以用抽樣調查法計算，可配合現地狀況，使用全數調查法〔參考 3〕與〔參考 4〕等，計算漂流木量。

抽樣調查法可參考圖 4，配合現地狀況決定調查範圍。



圖一4 樣區取樣調查範圍模式圖

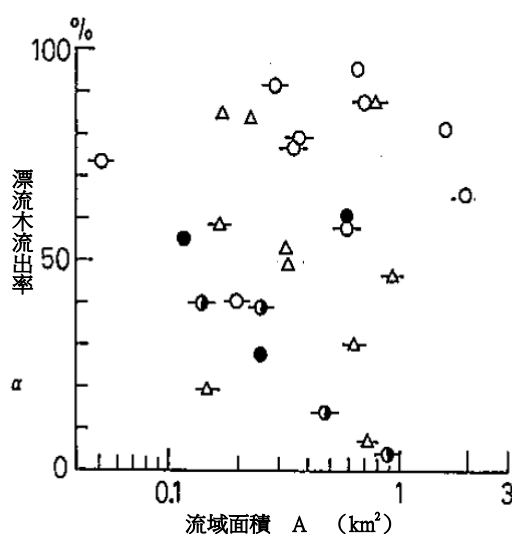
#### 4 土石流對策的優先性

森林內發生的土石流多半夾帶漂流木，土石流對策多兼具漂流木對策功能。因此，同時實施漂流木與土石流對策，特別是以土石流對策為重心時，應以實施土石流對策，達成漂流木對策的目的。

〔參考 1〕流出率之推估

有關河谷出口的漂流木流出率，過去有實況調查結果如下圖所示。流出率呈分散狀態，基本上無治山設施時，流出率較大、達 0.8~0.9。依據本指南計算漂流木量時，設定無治山設施之狀態，流出率約為 0.9。

	設施	災害名稱	平均直徑
●	無	1982 年長崎災害 (3 溪流)	10cm 以上
◐	有	1987 年山形災害 (4 溪流)	10cm 以上
◑	有	1988 年廣島災害 (7 溪流)	10cm 以上
◒	有	同上 (6 溪流)	10cm 不足
○	無	同上 (3 溪流)	10cm 以上
△	無	同上 (4 溪流)	10cm 不足



圖一5 流域面積與漂流木流出率

出處：砂防學會誌 vol.42 No3 1989 局部修正

〔參考 2〕漂流木之起源

有些新舊別漂流木資訊顯示，河道與坡面堆積的舊倒木與來自漂流的漂流木約占總流出量 2~5 成。

現地難以從河床表面狀態推測河道內堆積的倒木與漂流木之量，需注意流域面積越大，漂流木推估量與實際流出量越可能產生落差。

出處：2003 年颱風 10 號集中豪雨漂流木發生等的時態調查（北海道林業試驗場）

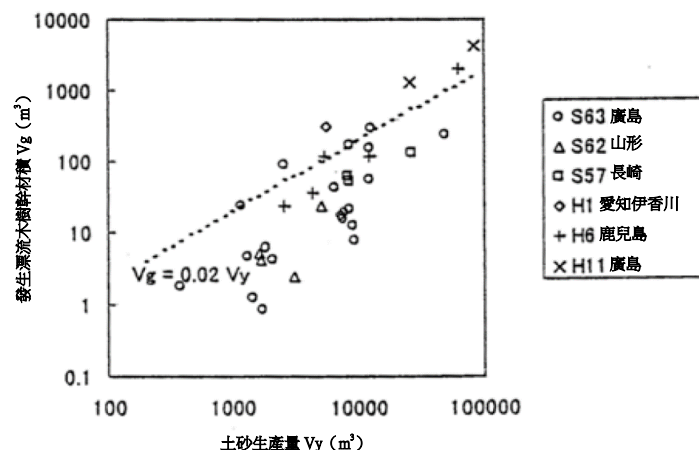
〔參考3〕由土砂生產量與發生漂流木材積關係推估漂流木量的方法

生產土砂量與漂流木材積有相當關連性，流木發生量約為土砂生產量 2% 以內（參照次圖）

$$V_g = 0.02 V_y$$

$V_y$ ：土砂量（ $m^3$ ）

$V_g$ ：漂流木量（ $m^3$ ）



圖—6 土砂生產量與漂流木材積的關係

出處：漂流木對策指南（案）計畫編 建設省砂防部砂防課 2000.7

〔參考4〕由流域面積推估漂流木量的方法

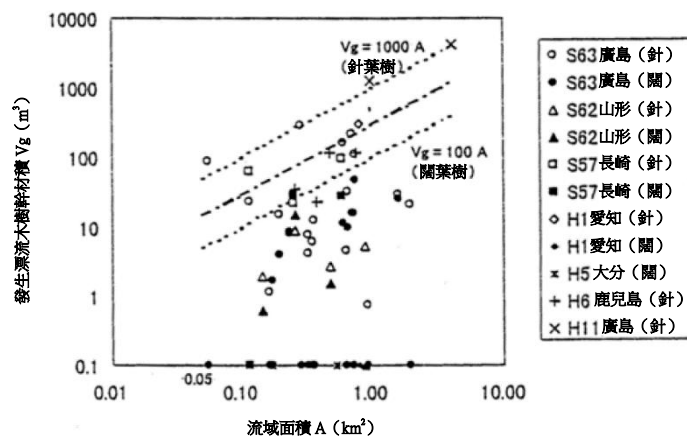
$$V_g = \alpha \cdot A$$

$V_g$ ：流木量（ $m^3$ ）

$A$ ：流域面積（ $km^2$ ）

$\alpha$ ：係數（約 100~1000：平均 500，參照下圖）

此外， $\alpha$  值的部分，若有附近漂流木發生量的相關數據，可由此算出每單位流域面積的漂流木發生量。



圖—7 流域面積與發生漂流木材積的關係

出處：漂流木對策指南（案）計畫編 建設省砂防部砂防課 2000.7

〔參考5〕漂流木相關之各種量

漂流木相關的各種量可用下列公式算出。

- 1 漂流木的直徑與長度可依據現地勘查結果及預估發生新崩落地點的森林調查等資料算出。

(1) 預估沿著山谷的土石流平均流出寬度為  $W_{av}$ ，預估從上游流出的樹木最大樹高為  $h_{max}$ ，則流出谷口的漂流木最大長度  $L_{max}$  可成立下列關係式。

$$h_{max} \geq 1.3W_{av} \text{ 時, } L_{max} \div 1.3W_{av}$$

$$h_{max} < 1.3W_{av} \text{ 時, } L_{max} \div h_{max}$$

(2) 預估沿山谷流出的土石流最小流出寬度為  $W_{min}$ ，預估上游流出的漂流木平均樹高為  $h_{av}$ ，可算出流出谷口的漂流木平均長度  $L_{av}$  為：

$$h_{av} \geq W_{min} \text{ 時, } L_{av} \div W_{min}$$

$$h_{av} < W_{min} \text{ 時, } L_{av} \div h_{av}$$

- 2 漂流木的材積可以下列公式算出。

(1) 長度不足 6m 者

$$V = D^2 \times L \times (1/10,000)$$

V：原木材積 ( $m^3$ )

D：末端直徑 (cm)

L：木材長度 (m)

(2) 長度超過 6m 以上者

$$V = \{ D + (L' - 4) / 2 \}^2 \times L \times (1/10,000)$$

L'：m 單位以下去尾數進位的木材長度 (m)

(3) 圓材

$$V = \pi r^2 \times L$$

r：圓材的半徑 (m)

出處：農林規格

〔參考6〕溪畔林之評估

溪畔林可能成為洪水時的漂流木供給源，但有些資料顯示，溪畔林也具備攔阻漂流木的效益。

出處：2003 年颱風 10 號集中豪雨漂流木發生等的時態調查（北海道林業試驗場）

〔參考7〕樹種別調查的注意要點

2003 年北海道日高地區發生山地災害，資料顯示闊葉樹漂流木多於針葉樹漂流木。

另外，除了以各地區森林狀況（針葉樹、闊葉樹、人工林、天然林等類別）作為判斷材料、評估漂流木的安全性，也應注意荒野森林特性及溪畔林狀況。

出處：2003 年颱風 10 號集中豪雨漂流木發生等的實態調查（北海道林業試驗場）

## 第 7 節 社會的特性調查之補充

社會的特性調查旨在確認山地災害發生時的災害範圍與保全對象等。

### 〔說明〕

#### 1 保全對象的調查

篩選出調查對象流域內的保全對象（公共設施、聚落、避難路線等），釐清溪流與保全對象的位置關係（從變異點到保全對象的水平距、從溪床到保全對象的高低差等），以及與過去災害狀況等資訊的關聯性。

此外，需注意居民搬遷與新住宅區建設，可能造成土地利用突然變化，因此，除了室內作業調查與資訊蒐集，應適度進行現地確認。

#### 2 過往災害與災害範圍的推估

社會性特性調查除了有無保全對象以及位置地點之外，應掌握過去災害實況。若能掌握過去實施的山地災害危險地區調查等的調查案例，應與目前的調查結果比較，確認危險度的經年變化等。另外，土石流流出區段與變異點的距離、土砂量與漂流木量，以及溪流高低差等可能產生災情的範圍，應予以確定。

### 〔參考〕推估方法舉例

- 1 漂流木對策的重點是，應注意即使推移區段的溪床坡度變小，漂流木本身仍會往下游流動。河道下游段橋樑與暗渠形成人工狹窄河段，可能導致漂流木阻塞河道，因此應掌握洪氾開始地點，推估洪氾範圍。
- 2 實施保全對象災害範圍的推估，應進行模擬。
- 3 現有治山設施之外，若有與保全對象相關的其他政府部門管轄設施，應確認其位置與規模。

## 第 8 節 綜合整理

土石流與漂流木對策的有用資訊，應適度整理成圖面與圖表，作為擬定對策計畫、設計及效益驗證等之參考。

### 〔說明〕

第 3 章彙整的資料，除了綜合整理，還應製作較易掌握資訊整體概念的適當比例尺平面圖與縱斷面圖，分享有關單位。

## 第 4 章 計畫

### 第 1 節 概論

土石流與漂流木對策的計畫，應注意其效益與效率。
-------------------------

〔說明〕

#### 1 土石流與漂流木對策計畫之擬定

- (1) 土石流與漂流木對策計畫之擬定，應綜合瞭解山地災害發生之危險性、緊急性與保全對象之重要性等，並需具備效益性與效率性。
- (2) 溪流內有其他政府部門所管轄、正實施土石流與漂流木對策設施，應調整目標土砂量等，避免對策之機能與效益重複。

#### 2 與現有計畫整合性之確保

擬定土石流漂流木對策具體計畫，可參照治山技術基準第 2 編第 3 章 (p.126-138)，但若有實施中之整體計畫，應適度變更或修正，避免彼此干擾。

#### 3 整治基準的概念

整治基準係流域內預估發生的土石流與漂流木之土砂量所占治山防砂壩攔阻量之百分比、不大幅超過 100% 之範圍。

若受地形等限制、技術困難與極端不經濟等而難以提升整治基準，應與地區居民、地方政府協調合作，擬定軟體對策，實施有效益與有效率之治山設施整備計畫。

## 第 2 節 治山計畫之對象與優先性

應整治溪流若有數處且彼此相近，應先決定實施優先順序，擬定設施配置計畫。

### 〔說明〕

若有數條彼此相近的野溪，應決定優先性再實施整治。優先順序應依據有無保全對象及其重要性、災害發生危險度等，綜合判斷之。

### 〔參考〕土石流與漂流木對策實施地點（溪流）之優先順序判定方法舉例

#### 1 優先順序判定方法及土砂移動計算方法（土石流發生危險度指標），如下。

（1）可用下列公式算出土石流發生危險度指標（Y）。

$$Y = A_d / A_{dc}$$

Y：土石流發生的危險度指標

A<sub>d</sub>：溪床坡度θ 地點的流域面積

A<sub>dc</sub>：土石流發生之臨界流域面積

此外，A<sub>dc</sub>=Q<sub>oc</sub>/r<sub>e</sub>，在此，Q<sub>oc</sub> 可用下列公式計算。

r<sub>e</sub>：有效降雨強度（mm）

$$Q_{oc} = \left( \frac{8 \sin \theta}{fk^3} g d^3 B^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 14.29 B d^{1.5}$$

Q<sub>oc</sub>：土石流發生之臨界地表水流流量

θ：溪床坡度（=15°）

g：重力加速度（9.8m / s<sup>2</sup>）

d：代表粒徑（m）

B：溪流寬度（m）

k：係數（=0.7）

f：地表水流的阻力係數（=1.12sinθ）

出處：京都大學防災研究所年報第 26 號 A S58.4

（2）溪床堆積土砂產生地表水流時，應從流動化的觀點，參考地表水流水深與流量的關係，由溪床坡度、礫石粒徑與溪流寬度等計算土石流發生的臨界流出量，以其流域面積與整治對象實際面積的比率，作為發生機率高低的指標。

（3）依據上述資料，Y（危險度指標）值越大，土石流發生機率越高。Y=1 以上的流域，有發生土石流的危險。此外，Y 值越大地點，發生土石流的危險性越高。

（4）θ 係土石流發生時的坡度，通常大於 15°（中硬岩到硬岩的露岩地及粒徑大

的溪流為  $20^{\circ}$  )。

(5)  $d$  (代表粒徑)、 $B$  (溪流寬度) 可以現有資料予以推測或實施現地調查得之。

## 2 優先性可用下列方法取得

(1) 以土石流發生危險度指標 ( $Y$ ) 為  $X$  軸，土砂量與漂流木量為  $Y$  軸，各流域的值作為展繪內容，製作散布圖。土砂量與漂流木量可用本指針所使用的值或整體計畫調查的值算出。

(2) 在完成的散布圖上，首先以危險度指標 ( $Y$ ) 為指標劃出基準線，然後填入土砂量及漂流木量多寡所形成的基準線，掌握這些基準線的相互關係，即可選定緊急性流域。

(3) 然後再加上保全對象的重要度，即可完成優先性的綜合判斷。

### 第3節 設施配置計畫

#### 3-1 以土石流對策為主之計畫

以土石流對策為主的計畫，除了實施坡面保護工之外，也應檢討是否施作截水型治山防砂壩，以固定坡腳，及溪流內堆積不穩定土砂予以固定等的發生源對策，並檢討以設置透過型治山防砂壩，攔阻流出之土石流。

〔說明〕

##### 1 發生源對策

發生源對策，應在可能的範圍內實施坡面保護工，以截水型治山防砂壩固定坡腳，讓溪流內的不穩定土砂固定下來。

##### 2 以治山防砂壩攔阻土石流

###### (1) 攔阻目標土砂量

透過型治山防砂壩讓土石流構成材料攔阻在透過部（梳子柱），截水型治山防砂壩讓土石流構成材料堆積在壩體背面淤砂區，抑止或抑制土石流本體的流出。

治山防砂壩的土石流攔阻目標量（ $V_x$ ），可用下列公式算出。

$$V_x = V + T - D \quad (10\text{m}^3 \text{ 以下進位為 } 100\text{m}^3)$$

$V$  = 第3章第6節 6-2「土砂量等的調查」的合計土砂量

$T$  = 第3章第6節 6-3「漂流木量的調查」的合計漂流木量

$D$  = 現有治山防砂壩所發揮的攔阻效益及治山設施計畫可發揮的抑制效益

此外，周遭有太多須整治溪流，或無可施作足夠容量治山防砂壩之地點，不在此限。

###### (2) 計畫位置

###### ① 治山防砂壩的配置

截水型治山防砂壩（混凝土或鋼製框等）※實施階段狀配置，旨在固定坡腳、緩和溪流內的溪床坡度。此外，透過型治山防砂壩被土砂前後包覆時，應考慮淤砂坡度的變化。此時溪床坡度的計畫線，應連結透過部位下端，而非透過部位上端。

透過型治山防砂壩應避免設在保全對象正上方，而應研究是否設在主要治山防砂壩上游側。原因是，透過型治山防砂壩係以攔阻土砂、避免土砂再流出造成災害的砂防措施，若受限於地形原因難以適當配置，應將其危險性周知保全對象的相關人士。

此外，透過型治山防砂壩的設置須以清除土砂與漂流木為前提，因此擬訂計畫案時，應確認壩的構造足以攔阻土砂與漂流木，管理用地的確保與處分方法，也應確認。

※ 參照第5章第2節 2-1〔說明〕1「治山防砂壩的型式」。

② 0～2 級序河谷形成的陡峭小型溪流（土石流發生源）

陡峭小型溪流多半係治山防砂壩設置地點，應有效率地配置，提高計畫實施效益。此外，陡峭溪流段後方淤砂空地有限，不利透過型防砂壩發揮機能。

治山防砂壩土石流攔阻目標量若無法 100% 達成，應告知保全對象與地方政府相關人士溪流與土砂災害相關資訊，提醒民眾集中豪雨應盡速避難。

③ 1～3 級序河谷以上的中型溪流（土石流流出區段）

中型溪流可擬定計畫、配置階梯狀截水型治山防砂壩群，或單獨設置透過型壩，抑制土石流。

溪床坡度 10 度～15 度、土石流能量大增，土石流流出難以抑制的區段，可配置階梯狀截水型治山防砂壩並施作護岸工，避免土石流規模擴大。

〔參考 1〕配合溪床坡度的設施配置

流域面積較大的溪流，應配合溪床坡度選擇適當的工種、工法與設施配置，更有效率地發揮土砂攔阻效益。詳細做法參照下表。

表一1 土石流與漂流木對策工種及溪床坡度等的施作參考條件

	～土石流發生區段～	～土石流流出區段～	～土石流堆積區段～
	15° 以上 0 級序河谷的小溪流與 坡面	10° ～20° 1 級序河谷集中的流域	10° 以下 大集水面積
發生源對策	森林整備 坡面保護工（帶狀草皮 鋪置） 漂流木攔阻工	森林整備 坡面保護工（帶狀草皮 鋪置） 護岸工 截水型治山防砂壩	
土石流流出之 抑制對策	截水型治山防砂壩	截水型與透過型治山防 砂壩	截水型與透過型治山防 砂壩
洪氾對策		護岸工 導流堤	護岸工 導流堤 沉砂地 溪畔林施作

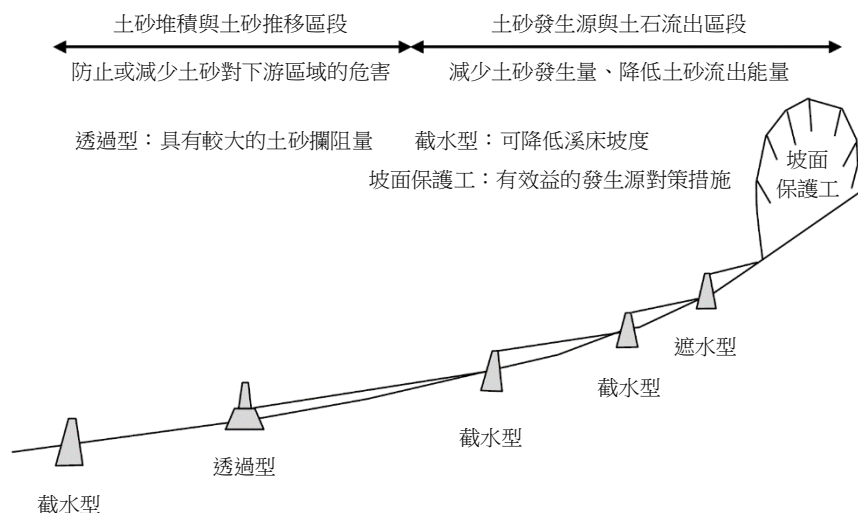
〔參考 2〕透過型治山防砂壩與截水型治山防砂壩的設置位置

土砂移動旺盛地點，通常截水型治山防砂壩背面幾年即淤滿，土砂攔阻量降低。但若預估完工後會很快就會淤滿，壩體不致於承受土石流流體力與礫石衝擊力，可採用較具經濟性的橫斷面設計。

反之，透過型治山防砂壩背面淤砂空間不會因為常態流水而淤積，因此能比截水型治山防砂壩更能長期維持完工時的土砂攔阻量。此外，透過型治山防砂壩設置在土砂堆

積與推移區段，土石流流體力與礫石衝擊力較小，壩體斷面較具經濟性，且因所處地點坡度緩和，能確保更大的土砂攔阻量。

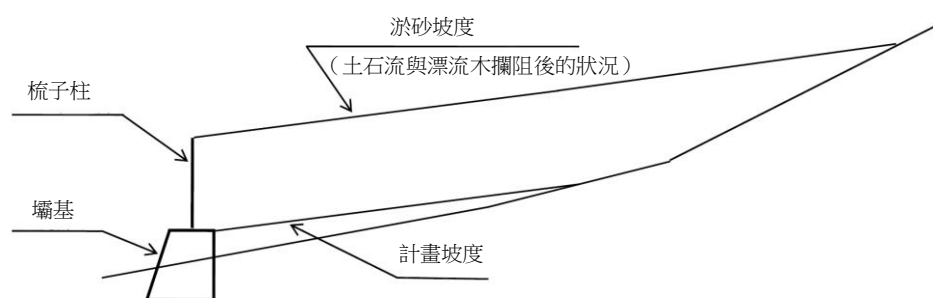
由上可知，土砂發生源與流出區段，可施作截水型治山防砂壩，實施降低溪床坡度的土砂發生源對策，減少土石流發生量與土石流動動能。土石堆積與土砂推移區段則施作透過型治山防砂壩，攔阻土石流與漂流木，防止或減少土砂對下游的影響。



圖一8 治山設施配置舉例

〔參考3〕透過型治山防砂壩攔阻量計算方法之構想

透過型治山防砂壩攔阻量，如下圖所示應以常流水堆積的壩基坡度作為計畫坡度，土石流發生時堆積的梳子柱頂端的坡度作為淤砂坡度，兩者之差即是土砂攔阻量。



圖一9 梳子壩的計畫坡度與淤砂坡度

〔參考4〕現有治山設施之評鑑

#### 1 現有設施的評估方法

截水型治山防砂壩應評估治山技術基準第2編第4章3-5圖—5 (p.154) 所列的土砂調節量，從攔阻目標量減去這部分。

## 2 只進行漂流木攔阻量之評估

漂流木的攔阻效益，可用下列公式算出。

### (1) 透過型治山防砂壩

$$V_r = V_d \times \beta$$

$$V_d = h \times W \times \alpha \times 1.0 / I \times H$$

$V_r$ ：漂流木實材積 ( $m^3$ )

$\beta$ ：漂流木容積率 (%)

$V_d$ ：目測攔阻容量 ( $m^3$ )

$h$ ：漂流木攔阻工高度 (m)

$W$ ：漂流木攔阻工上游迴水寬度或淤砂區平均寬度 (m)

$\alpha$ ：淤砂坡度為目前溪床坡度 1/2 時

$\alpha = 2$  (計畫坡度為目前溪床坡度的 1/2)

淤砂坡度為目前溪床坡度 2/3 時

$\alpha = 3$  (計畫坡度為目前溪床坡度 2/3)

$I$ ：漂流木攔阻工上游的現行溪床坡度

$H$ ：漂流木攔阻工中央段的相對於現行溪床之高度 (m)

漂流木容積率 ( $\beta$ ) 的平均值  $\beta$  設定為 0.2。

出處：砂防學會誌 Vol.50 No6 1998.3

### (2) 截水型治山防砂壩

截水型治山防砂壩的漂流木容積率 ( $\beta$ )，可參考過去的攔阻案例，或將  $\beta$  設定為 0.01~0.02 (土石流區段為 0.02，推移區段為 0.01)。

出處：砂防學會誌 Vol.50 No6 1998.3，鋼製砂防構造物設計便覽 (2001 年版) 砂防暨地滑技術中心 (改變防砂壩名稱)

### 3-2 以漂流木對策為主之砂防計畫

以漂流木對策為主的砂防計畫，除了施行漂流木發生源對策，也應檢討設置適當的透過型治山防砂壩（漂流木攔阻式治山防砂壩），攔阻洪氾時之漂流木。

〔說明〕

#### 1 漂流木發生源對策

漂流木發生源對策應實施坡面保護工，或以截水型治山防砂壩穩定坡腳，固定溪流內的不穩定土砂，伐倒木、固定溪流內或溪流旁坡面可能成為倒木的高大樹木或枯木，在可行範圍內擬定物理上除去已堆積漂流木。

#### 2 以治山防砂壩攔阻漂流木

##### （1）攔阻漂流木的目標量

洪水時可以漂流木攔阻式治山防砂壩，實施物理性的漂流木流出抑制。此外，漂流木攔阻式治山防砂壩係能攔阻漂流木的透過型治山防砂壩（含以土石流對策為主的透過型治山防砂壩）。

漂流木攔阻式治山防砂壩的漂流木攔阻量，係以第3章第6節6-3「漂流木的調查」所推估漂流木量值，除以〔說明〕1漂流木發生源對策實施值（ $10\text{m}^3$ 以下位數去尾數進位成 $100\text{m}^3$ ），作為目標值。

##### （2）計畫位置

###### ① 治山防砂壩之配置

土石流攔阻式治山防砂壩集中一處設置，具有較高施工與管理效率。但若受限於地形、在複數支流地點設置較有效益時，不在此限。此外，漂流木攔阻式治山防砂壩的設置位置，應考量所攔阻漂流木再流出之可能性，避免選擇靠近保全對象的地點。

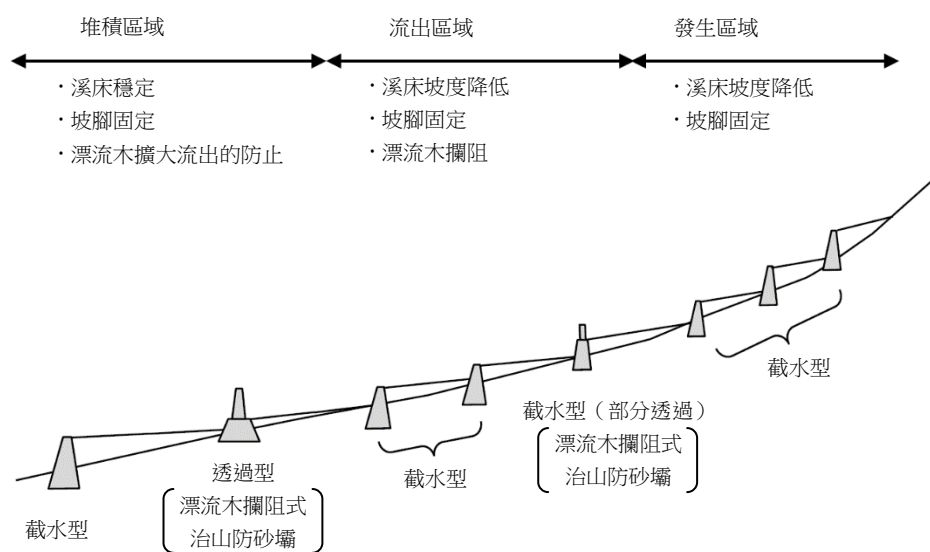
此外，應檢討能移除所攔阻漂流木的後續管理方法（含是否有施工道路等）。

###### ② 流出區域

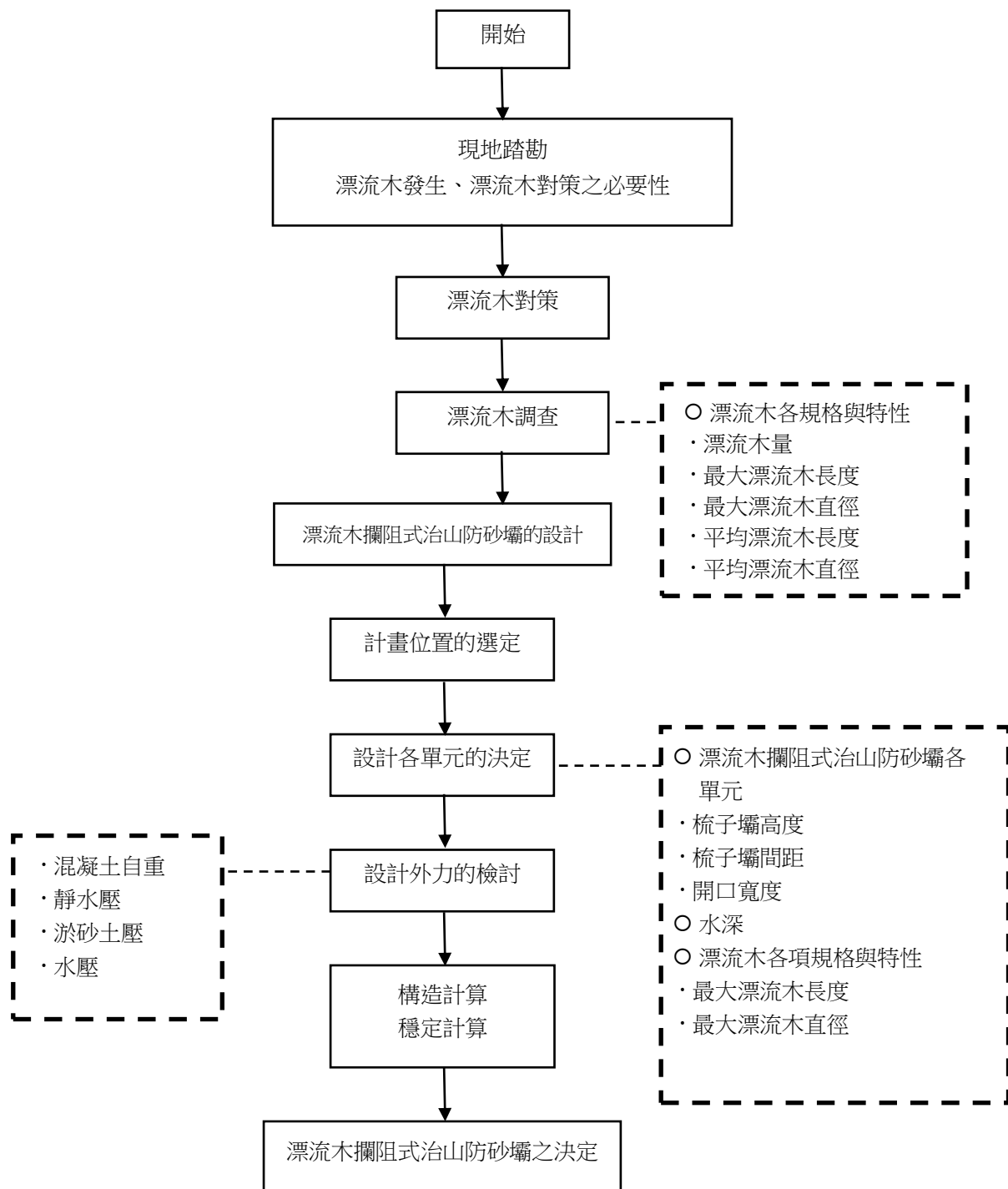
可緩和溪床坡度、固定坡腳的治山防砂壩，與攔阻漂流木來源區流出漂流木的攔阻式治山防砂壩之設置，現有治山防砂壩具有漂流木攔阻機能的計畫之實施。

###### ③ 堆積區域

以治山防砂壩等穩定溪床、固定坡腳的同時，也可擬訂計畫、設置可防止漂流木擴大流出的漂流木攔阻式治山防砂壩。



圖一10 治山設施配置舉例（漂流木對策）



圖一11 漂流木攔阻式治山防砂壩之設計流程

同時實施漂流木與土石流對策且以土石流對策為主時，應透過土石流對策的建置，達成漂流木對策。

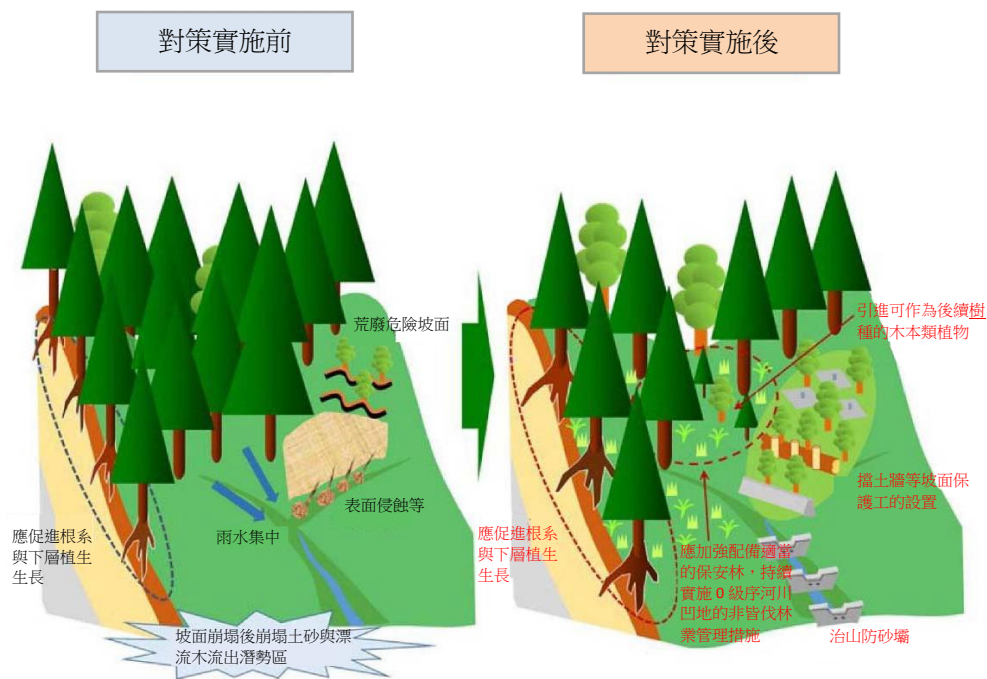
〔參考〕基本漂流木對策之概念

了解漂流木災害發生機制等，將 0 級序河川等劃分為「發生區域」，下游河段分為「流出區域」與「堆積區域」，實施能配合崩塌土砂與漂流木型態之漂流木對策。

① 發生區域(來源區)

較陡峭坡面的 0 級序河川等凹地地形，雨水集中導致坡面崩塌，崩塌土砂與漂流木流出造成下游區域災害。防止這類集水地形 0 級序河川等凹地坡面崩塌，可抑制崩塌土砂與漂流木之發生，應以此基本原則擬訂對策。

- (1) 適當地實施保安林整備
- (2) 實施疏伐等，促進根系的發達
- (3) 實施擋土柵工等，防止地表侵蝕



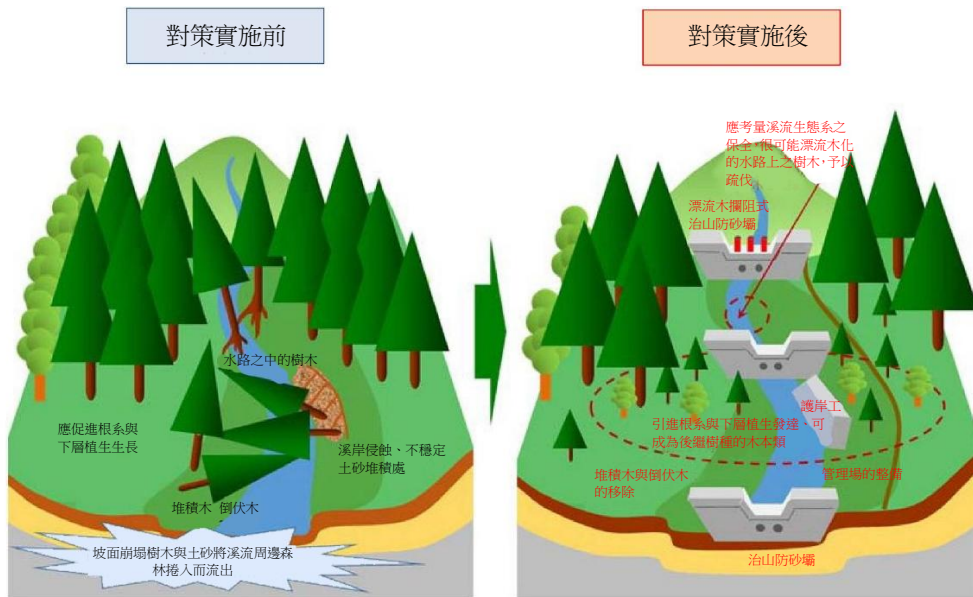
圖一12 漂流木發生區域對策示意圖

## ② 流出區域

在土石流發生區域含有壯齡林之情況坡面崩塌時，溪流周邊樹木與土砂可能隨崩塌樹木與土砂流出，擴大下游區域災情。

因此，土石流流出區域應採取對策以避免或減輕災情。

- (1) 疏伐(或伐除)可能變成漂流木化的高樹木，避免下游區域土石流災情擴大
- (2) 設置漂流木攔阻式治山防砂壩等，提高漂流木攔阻效率



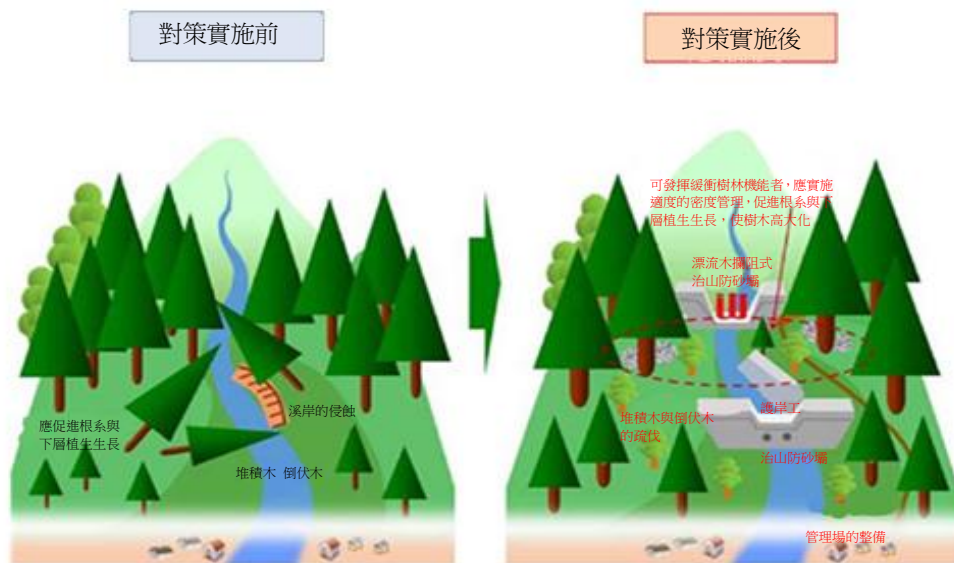
圖一13 流出區域的對策示意圖

③ 堆積區域

溪床坡度可緩和土石流流動消能、流出範圍擴散，樹木因此會促進淤砂形成，發揮攔阻漂流木的緩衝林效益。

因此，漂流木能扮演攔阻土砂角色的地點，應實施基本措施，促進淤砂、讓漂流木發揮攔阻效益。

- (1) 讓森林發揮緩衝林機能促進淤砂、攔阻漂流木
- (2) 設置治山防砂壩等，穩定溪床防止漂流木流出擴大



圖—14 堆積區域對策示意圖

〔參考2〕水流推移區段攔阻量的概念

漂流木堆積有各種型態，推移區段的設施攔阻漂流木量，可權宜地假設淤砂區覆蓋一層漂流木，以此算出其量。另一方面，被攔阻漂流木的投影面積，可用漂流木平均長度（ $L_{wa}$ ）×漂流木平均直徑（ $R_{wa}$ ）的和計算。

從而，攔阻漂流木的治山防砂壩的淤砂區或迴水面積 ( $A_w$ )，可由以下公式得出。

$$A_w \geq \Sigma (L_{wa} \times R_{wa})$$

此時，淤砂區與迴水區堆積的漂流木實體積 ( $V_{wc}$ )，如下列公式所示。但  $V_{wc}$  為漂流木實體積。「實體積」不含空隙、只計算漂流木實際體積。

$$V_{wc} \doteq A_w \times R_{wa}$$

此外，水流推移區域漂流木可能與土砂分離，沿水流表面流出，因此應注意，截水型治山防砂壩的漂流木攔阻效益可能不佳。

## 第 5 章 溪間工的設計

### 第 1 節 概論

土石流與漂流木對策核心溪間工設計，應明確說明其設置目的，追求效益與效率。

〔說明〕

溪間工應發揮森林公益機能，確保保全對象安全性，明定設置目的與所應達成之機能，檢討各種工種與替代方案，更有效益及有效率地進行設施設計。

## 第2節 治山防砂壩設計之補充

### 2—1 治山防砂壩型式與種別的選定

治山防砂壩應選定抑制或抑止土石流與漂流木所需工種、工法、型式與種別。

〔說明〕

#### 1 治山防砂壩的型式

治山防砂壩的型式如治山技術基準第2編第4章3-2 (p.146-p.148) 所示，分為截水型治山防砂壩、透水型治山防砂壩、透過型治山防砂壩。若以所攔阻土石流與漂流木等突發事物區分機能，透水型治山防砂壩與截水型治山防砂壩機能相同；透過型治山防砂壩則與另二者不同。因此，本指南權宜地將透水型治山防砂壩併入截水型治山防砂壩處理。

#### 2 透過型治山防砂壩

透過型治山防砂壩的透過部位可攔阻土石與漂流木，又稱梳子壩。梳子壩大致分為梳子狀混凝土壩體，以及鋼管壩（以下，含鋼材所做成者）。兩者的用途區分，應依溪流規模等，進行綜合判斷。

〔參考〕透過型治山防砂壩的種別與特徵

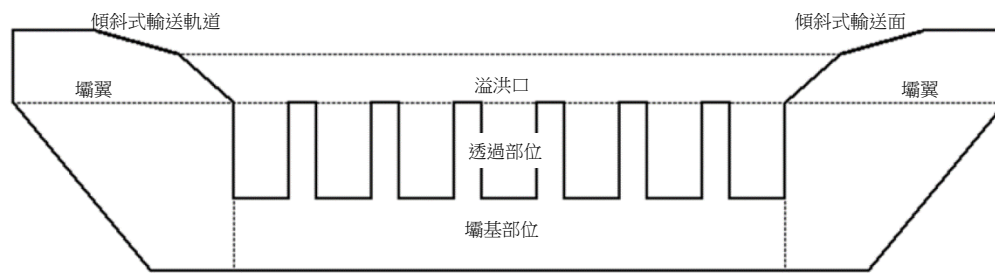
透過型治山防砂壩大致有透過部位為混凝土或鋼管做的兩種，特徵分別如下。

#### 1 混凝土做成透過部位者

- ・小溪流也可施作，以對應土石流。
- ・和一般混凝土壩相同施工方法。
- ・可將現有混凝土壩改成透過型混凝土壩。
- ・土石流易湧高，有時會在抵達壩體前停止，然後再度移動、流出。
- ・河川寬度大、流量多時，應設置複數透過部位；與壩翼未一體化的透過部位，應配合現地與透過部位形狀，實施鋼筋等的補強。

#### 2 鋼管做成透過部位者

- ・河流寬度較大地點更能發揮效益。
- ・設置複數透過部位，可更有效率攔阻土石流與漂流木。
- ・鋼管由工廠生產，有工期限制。
- ・需事先確保資材搬入道路、鋼材臨時堆置場與作業空間等。



圖—15 梳子壩各部位的名稱

### 3 截水型治山防砂壩

治山防砂壩大多為混凝土重力式。截水型治山防砂壩的漂流木與土石攔阻量，取決於淤砂區坡度與面積，不太會因為材料與構造差異而產生變化。

## 2—2 治山防砂壩之位置

治山防砂壩設置地點的選擇，應考量坡腳是否穩固以及治山防砂壩能否發揮抑制或減輕土石流與漂流木流出的機能。

### 〔說明〕

治山防砂壩設置地點的選擇，應參考第 4 章第 3 節「設施配置計畫」，配合兩岸狀況與微地形等，擇定更能發揮效益的地點。

#### 1 截水型治山防砂壩

截水型治山防砂壩的配置可納入現有治山防砂壩，做成階梯狀。系列治山防砂壩聯合發揮作用，可減弱土石流與漂流木的流出能力，抑制土石流與漂流木規模擴大。

#### 2 透過型治山防砂壩

透過型治山防砂壩設置地點的選定，應比照截水型治山防砂壩，綜合評估漂流木與土石流攔阻後再移動的影響及清淤等之維護管理。

另外，土石流的攔阻，通常是治山防砂壩背面攔阻量越大效益越好。因此，決定設置地點前應先瞭解溪床坡度與治山防砂壩背面溪岸狀況等。另外，漂流木流出動能尚小時，較易攔阻，因此，應綜合考量維護管理（含工程道路與管理道路整備），治山防砂壩儘量設置在靠近發生源的流出區域等地點。若需配合保全對象、確保攔阻之容積，應在流出區域及治山防砂壩上游堆積區域，設置治山防砂壩。

### 2—3 現有治山防砂壩機能之強化

應配合現地狀況，改良現有重力式混凝土壩，設置梳子柱以強化機能，有效防止或減輕土石流與漂流木災害。

#### 〔說明〕

若屬設置透過型防砂壩的適當溪流地點，也可考慮改造現有截水型治山防砂壩。此時應實施淤砂區清淤、透過部位打設、對應土石流的壩身增厚，以增加拓寬溢洪口等。

〔參考〕截水型治山防砂壩改造成土石流與漂流木防災效益強化透過型治山防砂壩，注意要點如下：

#### 1 概念

若適當地點已有截水型重力式混凝土壩，可分析比較改造成透過型治山防砂壩或重新設置之優劣。

#### 2 取代現有設施機能之檢討

將現有截水型治山防砂壩改造成透過型治山防砂壩時，應避免破壞其設置目的與機能。

- ・挖低河床時：淤砂區清淤會降低上游溪床高度，治山防砂壩上游區域失去坡腳穩固效益，導致溪岸崩塌，此時應施作可替代其機能的護岸工或整流工。此外，溪床坡度陡峭流速提高，容易產生縱向侵蝕，可設置整流工、帶工與固床工等。
- ・強化漂流木攔阻機能時：強化漂流木攔阻工應實施壩身增厚或加高壩體，因此應另外進行穩定計算，檢討適當的斷面。

#### 3 淤砂區清淤

妨礙透過部位施作的治山防砂壩背面堆積土砂之清淤，以及能安全儲砂或轉用的地點及其處分方法的檢討。

堆積土砂或漂流木清除到溪流之外，應符合產業廢棄物規範。清淤土砂也可作為現場治山搬運道路的填方。

此外，挖出堆積土砂可能導致水流急遽泥水化。另外，堆積土砂含有機物腐敗與鐵質氧化，若正下方有自來水取水口等，應謹慎檢討工程規模與施工方法。

#### 4 透過部位的施作

重力式混凝土壩鏤空做成梳子壩，應以能維持壩體混凝土強度為前提。

施作梳子柱透過部位，大型壩體常使用鋼索剪，小型壩體使用破碎機挖開壩體，並確認混凝土是否會因為老化或鹼性骨材反應等造成壩體混凝土老化。

壩體強度應以目視或打音法判斷。壩體較高者，必要時可從壩體上方實施鑽孔調查，或岩心目視、簡易漏水試驗等，判斷其健全性。另外，透過部位鏤空高度限度之決定，應考量因素為可防止壩體或壩基部位龜裂的壩體洩水孔與施工水平縫等容易成為壩體弱點等。

## 5 壩身加厚

現有大多數治山防砂壩壩體頂端厚度小於 1.5m，難以承受土石流直擊。因此必要時應在壩體下游側實施混凝土壩身加厚。

混凝土加厚應確保耐久性所需之厚度。

## 2-4 透過部位高度的決定

透過型治山防砂壩透過部位的高度，應配合現地狀況且足以防止或減輕土石流與漂流木災害。

### 〔說明〕

透過部位高度之決定，應依據土石流與漂流木總量，及計算所得之土石流深度等，以有效防止或減輕土石流與漂流木災害。此外，現地踏勘若發現有土石流痕跡，也可據此決定透過部位的高度。

### 〔參考1〕

透過型治山防砂壩透過部位高度之決定，可依據調查所推估的土砂與漂流木攔阻量，或淤砂影響範圍多大（淤砂坡度抵達多遠）。前者應考量對下游的影響，後者應防止上游溪岸崩塌與堆積土砂再移動。

此外，透過型治山防砂壩攔阻量的計算方法，可參考第4章第3節3-1〔參考3〕「透過型治山防砂壩攔阻量計算方法之概念」。

### 〔參考2〕水流推移區段之漂流木對策

水流推移區段的透過部位高度，應大於可能湧高水位加上攔阻漂流木所需高度 $\Delta h$ 之值。 $\Delta h$ 至少為最大漂流木直徑之2倍。

$$h_r = \beta \sin \theta \cdot \left[ \frac{t}{d} \right]^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$h_r$ ：水流湧高高度（m）

$\beta$ ：斷面形狀形成的阻力係數 O型=2.0，□型=2.5，H型=3.0

$\theta$ ：下游溪床面與梳子柱的角度（°）

$t$ ：梳子厚度（m）

$d$ ：梳子柱間距（m）

$V$ ：上游側流速（m/s）

$g$ ：重力加速度（m/s<sup>2</sup>）

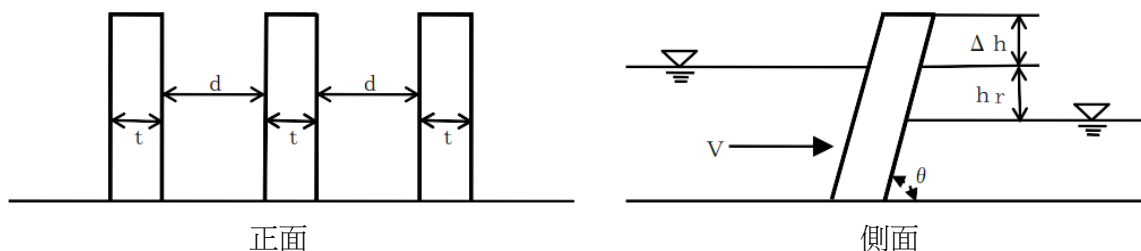


圖-16 透過部位的高度

## 2-5 治山防砂壩的溢洪口

治山防砂壩的溢洪口應配合土石流與漂流木流出之抑制、抑止方法等決定之。
------------------------------------

〔說明〕

### 1 透過型治山防砂壩的溢洪口形狀

#### (1) 透過型治山防砂壩的溢洪口

為確保即使漂流木與土石阻塞治山防砂壩仍具所需流出能力，應與治山技術基準以及後述的截水型治山防砂壩，以相同概念實施設計。

#### (2) 透過型治山防砂壩的計畫坡度

透過型治山防砂壩背面的計畫坡度（尚未攔阻土石流時的淤砂坡度狀態）起點為透過部位底部上游側（本章本節 2-4「透過部位高度之決定」）。

### 2 截水型治山防砂壩的溢洪口形狀

#### (1) 溢洪口形狀的設定

一般而言，溪流寬度窄、溪床坡度較陡的溪流，多束縮溢洪口，以水流湧高效益提高土石流攔阻率。溪流寬度大、溪床坡度和緩的溪流，則拓寬溢洪口，以水流擴散效益提高土石流攔阻效率。

較寬的溢洪口設計，水路（深槽線）擴散、水深與流量降低，此時應考量常流流況實施複式斷面設定，避免影響水生生物的棲息環境。

#### (2) 溢洪口側面

溢洪口側面斜率為 1：10（10%）或 1：20（5%）。

#### (3) 溢洪口底寬

若要縮減溢洪口寬度，應確保其底寬大於最大粒徑的 2 倍。

## 2-6 治山防砂壩透過部位的間距

透過型治山防砂壩的透過部位(梳子柱)間距，應配合土石流與漂流木流出之抑制、抑止方法等決定之。

### 〔說明〕

土石流對策與漂流木對策的梳子柱間距設計概念不同，同時實施這兩種對策時，可使用梳子柱間距較窄者。

#### 1 以土石流對策為主的治山防砂壩梳子柱間距

土石流對策所需梳子柱間距，為推估流出最大粒徑的 1.5 倍，可提升攔阻確實性。因此，透過性部位寬度應低於一般溪流最大粒徑（參照第 3 章第 6 節 6-2〔說明〕4「粒徑調查」）的 1.5 倍；若防砂壩靠近保全對象且需切實攔阻土石流，應以低於 1.0 倍的長度為目標。

#### 2 以漂流木對策為主的治山防砂壩之梳子柱間距

漂流木對策所需梳子柱間距，低於推估流出最大漂流木長度  $1/2 \sim 1/3$  時，具有較高攔阻確實性。因此，透過性部位寬度應低於一般溪流最大漂流木長度的  $1/2$ ；若防砂壩靠近保全對象且需切實攔阻土石流，應以低於最大漂流木長度的  $1/3$  為目標。

此外，漂流木可能抵達土石流推移區段。因此，必要時可參考下游箱涵等的寬度。

## 2-7 治山防砂壩的設計流量

設計流量為土石流洪峰流量或計畫洪水流量。

〔說明〕

### 1 設計流量

設計流量應採用治山基準第2編第2章7-6 (p.84) 的土石流流量或同第4章3-7-4 (p.161) 計畫洪水流量之中較高的水位。

### 2 無法確保溢洪口斷面時

若因地形等原因無法確保設計流量所對應之溢洪口斷面，可在避免側向侵蝕前提下不設置壩翼，或溢洪口側面設置與溪床近似坡度的壩翼。

〔參考〕土石流洪峰流量對應的水深

- 由土石流洪峰流量計算土石流水深的案例如下。附近若有依據治山基準第2編第4章3-7-4 (p.161) 治山防砂壩設置位置計畫洪水流量所設計的溪間工，且土石流洪峰流量低於該溪間工計畫洪水流量，應代入溪間工的計畫洪水流量。

土石流水深  $h_d$  為

$$h_d = \frac{Q_d}{B_{da} \cdot U} = \left\{ \frac{n \cdot Q_d}{B_{da} \cdot (\sin \theta)^{1/2}} \right\}^{3/5}$$

$Q_d$ ：土石流的洪峰流量 ( $m^3/sec$ )

$U$ ：土石流的平均流速 ( $m/sec$ )

$B_{da}$ ：防砂壩上游面水流的寬度 ( $m$ )

土石流流速可以下列曼寧公式算出。

$$U = 1 / n \cdot R^{2/3} \cdot (\sin \theta)^{1/2}$$

$n$ ：曼寧粗糙係數 (=0.10)

$\theta$ ：溪床坡度或計畫淤砂坡度 ( $^\circ$ )

$R$ ：水力半徑

- 防砂壩公式的應用  
由計畫洪水流量納入土砂含砂率的流量所算出之水深（運用防砂壩計算公式）。
- 流出痕跡的數值化  
可從現有流出痕跡等，掌握過去發生的土石流（洪水流）洪峰流量，算出水深。

## 2－8 治山防砂壩的壩翼

治山防砂壩的壩翼應配合溢洪口形狀，採取能安全承受土石流與漂流木流出的構造。

### 〔說明〕

#### 1 治山防砂壩的壩翼

截水型治山防砂壩的壩翼，應具備足以承受土石流直擊或側向落石衝擊的充分厚度與構造。

透過型治山防砂壩的壩翼，應比照截水型治山防砂壩，實施梳子柱堵塞時具備近似截水型治山防砂壩機能的設定。

#### 2 壩翼的補強等

壩翼應針對保全對象之重要性、距離、鄰近治山防砂壩等受災履歷等，進行承受破壞的安全性之檢討，必要時可追加鋼筋補強。其所需鋼筋量，比照水平打設接縫的計算方法。

#### 3 壩翼的保護

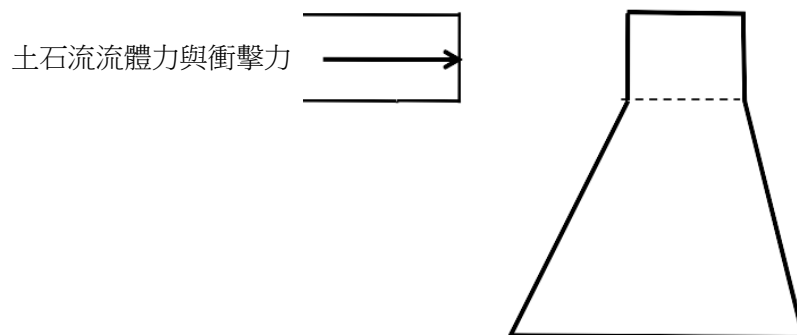
進行現有設施活用評估時，未必需先認定現有設施不足以對應流體力與衝擊力，此時應現地實施下列對應措施，以保護壩翼。

此外，新設構造物也應實施以下對應措施，保護容易受損的壩翼。

- ・配合所推估之外力，實施增厚。
- ・壩翼背面配置緩衝材。
- ・壩翼背面實施填土石，防止土石流與礫石直擊。

### 〔參考1〕作用在壩翼的外力

土石流衝擊壩翼時，應先推估淤砂抵達溢洪口壩頂時的土石流流體力、礫石與漂流木衝擊力。



圖－17 壩翼所承受外力圖

〔參考2〕礫石衝撞造成的衝擊力

礫石衝撞形成的衝擊力（ $P$ ），因壩體材料及其種類特性而異。若是「巨積混凝土（「大量混凝土」）」可以下列公式推估其衝擊力（ $P$ ）。

$$P = \beta \cdot n \alpha^{3/2} \quad , \quad n = \sqrt{\frac{16R}{9\pi^2 (K_1 + K_2)^2}}$$

$$K_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1} \quad , \quad K_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2}$$

$$\alpha = \left( \frac{5V^2}{4n_1 n} \right)^{2/5} \quad , \quad n_1 = \frac{1}{m_2}$$

$$\beta = (E + 1)^{-0.8} \quad , \quad E = \frac{m_2}{m_1} V^2$$

$E_1$ ：混凝土的彈性模數（ $N/m^2$ ）

$E_2$ ：礫石的彈性模數（ $N/m^2$ ）

$\nu_1$ ：混凝土柏松比

$\nu_2$ ：礫石的柏松比

$m_1$ ：壩翼混凝土塊的質量（ $kg$ ）

$m_2$ ：礫石的質量（ $kg$ ）

$R$ ：礫石的半徑（ $m$ ）

$\pi$ ：圓周率（ $=3.14$ ）

$V$ ：礫石的流動速度（ $m/s$ ）

$\alpha$ ：凹陷量（ $m$ ）

$K_1$ ：常數

$K_2$ ：常數

$\beta$ ：試驗常數

出處：土石流暨漂流木對策設計技術指南解說 國土交通省 2007.3

〔參考3〕混凝土與礫石的物理常數舉例

礫石的彈性模數  $E_2 = 5.0 \times 10^9 \times 9.8 N/m^2$ 、柏松比  $\nu_2 = 0.23$

混凝土的極限割線彈性模數  $E_1 = 0.1 \times 2.6 \times 10^9 \times 9.8 N/m^2$

混凝土的柏松比  $\nu_1 = 0.194$

礫石衝撞會在混凝土表面造成凹陷，因此，混凝土應使用可形成造成破壞的平均變形模數（極限變形模數）。此係數值約為混凝土彈性模數的  $1/10$ 。

出處：土石流暨漂流木對策設計技術指南解說 國土交通省 2007.8

〔參考4〕漂流木衝撞的衝擊力

計算漂流木的衝擊力，可使用礫石衝撞衝擊力的計算公式，由下列係數算出。此外，漂流木型式流出的倒木含有較多水分，比重與下表乾燥狀態的不同，進行衝擊力檢討，需注意此問題。此外，杉木與檜木的生木比重約為 0.7~0.8 (700~800kg/m<sup>3</sup>)。

表－2 主要樹種的彈性係數等

樹種	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	彈性係數 (10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup> ) EL	柏松比 VLR
杉木	330	7.35	0.40
寬鱗魚鱗松（針樅）	390	10.79	0.40
赤松	510	11.77	0.40
日本山毛櫸	620	12.26	0.40
桐樹	290	7.88	0.40
粗齒蒙古櫸	700	11.28	0.40
櫸樹	700	10.3	0.40
一位櫸（櫸樹）	830	16.18	0.40
刺槐	750	12.75	0.50

出處：木材工業手冊（修訂第4版） 森林總合研究所監修 2004 P.135

## 2－9 治山防砂壩的斷面

### 2－9－1 斜率

治山防砂壩下游面的斜率，應足以讓土石流與漂流木安全流出。
------------------------------

〔說明〕

#### 1 下游面斜率的決定

以實施土石流對策為主要對象治山防砂壩，下游面斜率應足以承受流出之土石衝擊，以避免不致於損壞或磨損。

此外，透過型治山防砂壩的透過部位由鋼管構成，構造上不需考量混凝土部位磨損的治山防砂壩，可從經濟的觀點設定下游面斜率。

## 2-9-2 壩頂厚度

治山防砂壩的壩頂厚度應能安全承受土石流與漂流木之流出。
-----------------------------

### 〔說明〕

壩頂厚度應具備實施土石流對策所需寬度。(應達到 2.0~4.0m：參考治山技術基準第 2 編第 4 章 3-9-1-2 (P.171))

### 〔參考〕實施土石流對策所設置治山防砂壩壩頂厚度的設定

若最大粒徑低於 2m，設定為 2m。超過 2m，則設定的最大粒徑為 4m。

厚度以 1m 為單位，進位成整數。

### 2-9-3 作用在治山防砂壩上的外力

土石流與漂流木對策治山防砂壩，決定其壩體斷面所需參考之負載重量設定，應考量土石流流體力等。

〔說明〕

#### 1 作用在截水型治山防砂壩的外力

##### (1) 外力的種類區分

設定作用在治山防砂壩上面的外力，若以土石流對策為主，應考量土石流的流體力、靜水壓與淤砂土壓力。此外，若以漂流木對策為主，應考量靜水壓與淤砂土壓力（表-3）。

實施外力計算所運用的溢流水深，係考量土石流水深（計畫洪水流量）的值，成為溢流水之水壓的單位重量，則是推估混入土砂的值。此外，若推估治山防砂壩完成後背面很快淤滿，可不必考慮土石流流體力對壩體的衝擊力。

表-3 不同對策的治山防砂壩可承受外力種類

外力 對策	土石流 流體力	靜水壓	淤砂土 壓力
以土石流對策 為主	○	○	○
以漂流木對策 為主	×	○	○

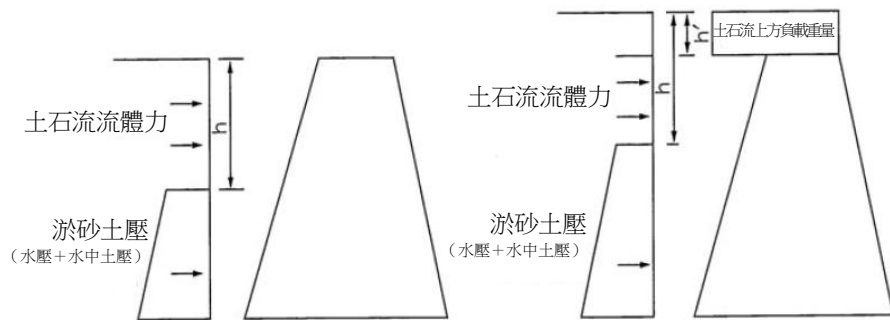
## (2) 流體力的對應

壩體完成時，若壩體背面產生淨空容量，且其高度大於土石流之水深，則因所推估的防砂壩上面的流體力係最不穩定狀態，可以溢洪口壩頂到土石流水深高度為止，推估其土石流流體力，其下的部分則推估淤砂土壓力。

此外，背面有淨空容量且其高度低於土石流水深時，上方負載重量方應考量土石流之單位容量。

此外，淤砂壓力需現況需求，考量壓加上水壓作用（土石流發生時產生淤砂的部分，也應考量其水壓）。

負載重量的概念及計算流體力公式如下。



圖－18 考量流體力的負載重量舉例

$$F = \alpha \frac{\rho d}{g} (h - h') \cdot U^2$$

F：每單位寬度的土石流流體力

$\alpha$ ：係數（ $\approx 1.0$ ）

g：重力加速度（ $9.8\text{m/s}^2$ ）

h：土石流水深（m）

h'：土石流溢流水深（m）

U：土石流平均流速（m/s）

$\rho d$ ：土石流單位體積重量

土石流水深係本章本節 2-7〔參考〕「土石流洪峰流量所對應的水深」等所算出的值，不必與最大粒徑做比較。

## 2 衝擊透過型治山防砂壩的外力

### (1) 單位體積重量（混凝土壩體做成梳子狀降低其重量時）

透過型治山防砂壩斷面實施穩定計算時使用的負載，比照截水型治山防砂壩作法。但壩體自重與透過部壩體混凝土塊整體的重量，係包含梳子柱透過部位混凝土塊體積算出的容積單位體積重量計算。

$$r_c = W / V$$

$r_c$ ：目測的混凝土單位體積重量

$W$ ：梳子柱除外的壩體重量

$V$ ：含梳子柱的壩體體積

此外，無鋼筋混凝土有時會遭受巨礫衝撞而破壞，因此應實施本章本節 2-8「治山防砂壩壩翼之檢討」。

### (2) 流體力的處理方式

進行透過型治山防砂壩各種計算時的外力作用高度，係壩頂到梳子柱頂部為止。此外，土石流作用點與截水型治山防砂壩相同，壩頂到土石流水深高度為止，視為流體力，由此以下的部分視為淤砂土壓力。此外，淤砂土壓力部分的計算除了淤砂狀況產生不同淤砂土壓力外，還得加上水壓作用力。（土石流發生後淤砂的部分，也應考量水壓。）

### (3) 透過部位材料受衝擊力作用的概念

對於透過型治山防砂壩透過部位的衝擊力計算方法，比照本章本節 2-8（參考 2）「礫石衝撞所造成的衝擊力」（參考 4）「漂流木衝撞所造成的衝擊力」實施。

〔參考〕流體力計算公式的說明

土石流流體力係決定治山防砂壩構造的重要外力。掌握與流體力相關因子內容，予以算出。

計算流體力的項目與各階段所需因子，如下。

表－4 計算流體力所需因子

項 目	因 子
①土石流濃度	礫石密度 水的密度 溪床堆積土砂的容積濃度 土砂之內摩擦角（土石流堆積物） 溪床坡度
②土石流洪峰流量	土石流濃度 溪床堆積土砂的容積濃度 溪床坡度 計畫最大洪水流量
③土石流水深	土石流洪峰流量 平均溪床寬度 溪床坡度 曼寧粗糙係數
④ 土石流流速	土石流的水力半徑（土石流水深） 溪床坡度 曼寧粗糙係數
⑤土石流流體力	係數（1.0） 土石流的單位體積重量 土石流水深 土石流流速 重力加速度

計算流體力應先算出土石流濃度，由其值了解流體力的性質與變化程度。此外，土石流濃度的因子還有固定值，礫石與水的密度，以及會因為現況產生變化的淤砂溪床坡度或內摩擦角。

以下一一說明各項目與因子。

## 1 土石流濃度

土石流濃度可用下列平衡濃度公式算出。

$$C_d = \frac{\tan \theta}{(\sigma / \rho - 1)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (C_d \leq C_*)$$

$C_d$ ：土石流濃度

$C_*$ ：溪床堆積土砂的容積濃度 約 0.6

$\sigma$ ：礫石的密度

$\rho$ ：水的密度

$\phi$ ：溪床堆積土砂的內摩擦角

$\theta$ ：溪床坡度

出處：《土與基礎 Vol.26 No.6 1978》

- 上列公式對應於 10~20°
- 坡度小於 10°的範圍也可適用
- $C_d > 0.9 C_*$  時， $C_d = 0.9 C_*$
- $C_d > 0.3 C_*$  時， $C_d = 0.3$

表－5 不同坡度的土石流濃度值

$\theta$ (°)	以計算公式算出來的 $C_d$	設定上限值與下現值的 $C_d$
1	0.0219	0.30
2	0.0450	0.30
3	0.0694	0.30
4	0.0951	0.30
5	0.1224	0.30
6	0.1514	0.30
7	0.1823	0.30
8	0.2153	0.30
9	0.2506	0.30
10	0.2885	0.30
11	0.3294	0.33
12	0.3737	0.37
13	0.4217	0.42
14	0.4740	0.47
15	0.5314	0.53
16	0.5945	0.54
17	0.6644	0.54
18	0.7422	0.54
19	0.8294	0.54
20	0.9280	0.54

※土砂內摩擦角  $\phi = 35^\circ$  時

本公式的土石流濃度  $C_d$ ，其下限值為 0.30，上限值為 0.54 ( $0.6 \times 0.9 = 0.54$ )，其對應於溪床坡度 1~20°的分布狀況，如上表所示。

結果，坡度 1°~10°的土石流濃度值，下限值為 0.3；坡度 16°~20°時，上限值為 0.54。

坡度 11°~15°時，土石流濃度介於 0.30~0.54，顯示設定溪床坡度為 1°~20°時，下限值與上限值所涵括範圍較大。

## 2 土石流洪峰流量

計算洪峰流量的公式，基本上依據降雨量。

依據降雨量的計算公式如下。

$$Q_d = \alpha \cdot Q_R$$

$Q_d$ ：土石流洪峰流量 ( $m^3/s$ )       $Q_R$ ：最大洪水流量 ( $m^3/s$ )

$\alpha$ ：係數

$$\alpha = \frac{C_*}{C_* - C_d}$$

$C_*$ ：溪床堆積土砂的容積濃度

$C_d$ ：土石流濃度

其中，由前面算出的土石流濃度  $C_d$ ，可推算出  $\alpha$ 。

此外，本公式中降雨量反映在最大洪水流量  $Q_R$  中，如下所示。

$$Q_R = \frac{1}{360} \times f \times r \times A$$

$f$ ：逕流係數

$r$ ：洪水到達時間之雨量強度 ( $mm/h$ )

$A$ ：集水面積 ( $ha$ )

## 3 土石流的流速與水深

土石流的流速  $U$  與水深  $h$ ，可用下列二公式說明。

$$U = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot (\sin \theta)^{1/2} \quad h = \frac{Q_d}{B_{da} \cdot U}$$

$U$ ：土石流的平均流速 ( $m/s$ )

$R$ ：土石流水力半徑 ( $m$ ) (在此，土石流深為  $h$ )

$h$ ：土石流的水深 ( $m$ )

$Q_d$ ：土石流洪峰流量 ( $m^3/s$ )

$B_{da}$ ：土石流寬度 ( $m$ )

$\theta$ ：溪床坡度 ( $^\circ$ )

$n$ ：曼寧粗糙係數 (自然河道前緣段：0.10，後續流：0.06，三面鋪設的水路：0.03)

在此，水流寬度  $B_{da}$  如下圖所示。

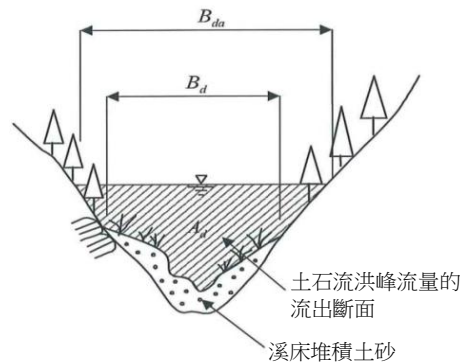


圖-19 土石流流出斷面與水流寬度示意圖

出處：砂防基本計畫策定指南（土石流・漂流木對策編）說明 國土交通省 2007.3

依據上述結果，可以下列公式算出水深  $h$ 。

$$h = \frac{Q_d}{B_{da} \cdot U} = \left\{ \frac{n \cdot Q_d}{B_{da} \cdot (\sin \theta)^{1/2}} \right\}^{3/5}$$

土石流流速可用曼寧等流速公式說明。這裡使用的水力半徑為土石流水深  $h$ 。此外，計算土石流水深時，除了土石流流速外，水流寬度  $B_{da}$  也是重要因子。

#### 4 土石流流體力

土石流流體力可用下列公式算出。

$$F = \alpha \cdot (\rho_d / g) \cdot (h - h') \cdot U^2$$

$F$ ：每單位寬度的土石流流體力（ $\text{kN/m}$ ）

$\alpha$ ：係數（ $\approx 1.0$ ）

$\rho_d$ ：土石流的單位體積重量（ $\text{kN/m}^3$ ）

$h$ ：土石流的水深（ $\text{m}$ ）

$h'$ ：土石流的溢流水深（ $\text{m}$ ）

$U$ ：土石流平均流速（ $\text{m/s}$ ）

$g$ ：重力加速度（ $9.8\text{m/s}^2$ ）

此外，這裡使用的土石流單位體積重量  $\rho_d$ ，可用下列公式表示。

$$\rho_d = \{\sigma \cdot C_d + \rho \cdot (1 - C_d)\} \cdot g$$

$\rho_d$ ：土石流的單位體積重量（ $\text{kN/m}^3$ ）

$\sigma$ ：礫石的密度（約  $25.50\text{kN/m}^3$ ）

$\rho$ ：水的密度（約  $11.77\text{kN/m}^3$ ）

$C_d$ ：土石流濃度

土石流的流體力會受固定值係數 $\alpha$ 、礫石與水的密度、重力加速度以及土石流水深、流速、單位體積重量影響。

## 5 土石流流體力與溪床坡度的檢討

土石流流體力的計算，應先計算土石流濃度以及洪峰流量、土石流水深與流速，然後算出流體力的值。

掌握上述所有過程中都扮演重要因子的溪床坡度，即可釐清流體力與溪床坡度的關係。

在此，針對溪床坡度  $1^{\circ} \sim 20^{\circ}$  分別設定下列條件，算出土石流濃度等的值，即可得出流體力。

$\phi$ ：土砂內摩擦角	$35^{\circ}$
$f$ ：逕流係數	0.7
$r$ ：洪水到達時間的雨量強度	80 mm/h
$A$ ：集水面積	100 ha
$B_{da}$ ：水流的寬度	30 m
$n$ ：曼寧粗糙係數	0.10
(自然河道前緣部位：0.10，後續流：0.06，三面鋪設水路工：0.03)	

由這些設定值算出的土石流濃度、土石流洪峰流量、土石流水深與流速、流體力，如下表所示。

表—6 溪床坡度與各項數值的關係

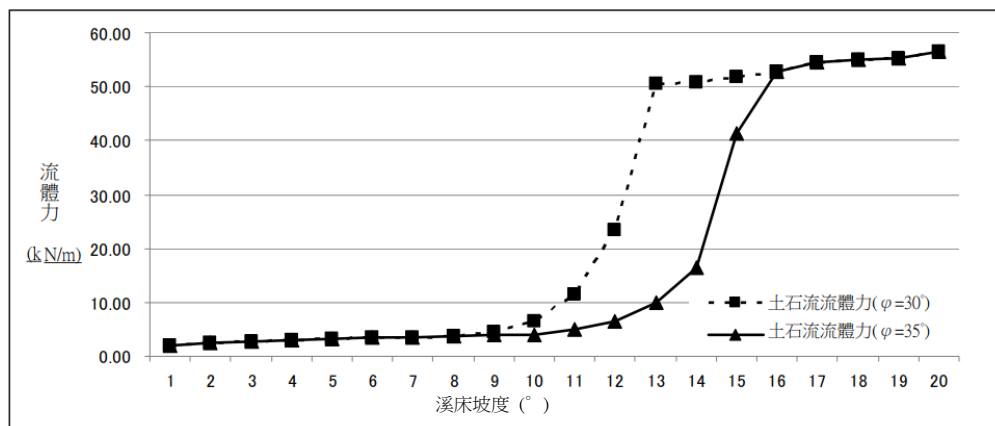
溪床坡度 ( $^{\circ}$ )	土 石 流 濃 度	土 石 流 洪峰流量 ( $m^3/s$ )	土 石 流 單位體積重量 ( $kN/m^3$ )	土 石 流 水 深 (m)	土 石 流 流 速 (m/s)	土 石 流 流 體 力 ( $kN/m^3$ )
1	0.30	31.12	15.89	0.86	1.19	1.97
2	0.30	31.12	15.89	0.70	1.47	2.45
3	0.30	31.12	15.89	0.62	1.66	2.77
4	0.30	31.12	15.89	0.57	1.82	3.06
5	0.30	31.12	15.89	0.53	1.93	3.20
6	0.30	31.12	15.89	0.51	2.06	3.51
7	0.30	31.12	15.89	0.48	2.14	3.56
8	0.30	31.12	15.89	0.46	2.22	3.68
9	0.30	31.12	15.89	0.45	2.32	3.93
10	0.30	31.12	15.89	0.43	2.37	3.92
11	0.33	34.54	16.30	0.45	2.57	4.94
12	0.37	40.61	16.85	0.48	2.80	6.47
13	0.42	51.61	17.54	0.55	3.18	9.95
14	0.47	71.89	18.22	0.65	3.69	16.45
15	0.53	133.35	19.05	0.92	4.81	41.38
16	0.54	155.60	19.18	0.99	5.22	52.80
17	0.54	155.60	19.18	0.98	5.33	54.49
18	0.54	155.60	19.18	0.96	5.41	54.99
19	0.54	155.60	19.18	0.94	5.48	55.25
20	0.54	155.60	19.18	0.93	5.57	56.47

由上表可知，土石流濃度與土石流洪峰流量以及土石流單位體積重量，都呈現與土石流濃度相同的變化，且受一開始算出的土石流濃度影響。土石流濃度侷限在下限值 0.30 與上限值 0.54 之間，依據此值算出的土石流洪峰流量、土石流單位體積重量、土石流濃度等，都在溪床坡度超過 11°時急遽升高；溪床坡度超過 16°之後增速趨緩。

## 6 土石流流體力與內摩擦角的檢討

土石流流體力會受土石流濃度影響而產生變化，土石流濃度高低則取決於溪床坡度與淤砂之內摩擦角。

以下算出溪床坡度 1°~20° 中，土砂內摩擦角 30° 與 35° 時的流體力。



圖－20 流體力與內摩擦角的關係（集水面積相同）

內摩擦角 30° 與 35° 時，流體力呈現相同的變化趨勢，但流體力遽增之下的溪床坡度區域，內摩擦角 30° 時為 10°~13°；內摩擦角 35° 時為 12°~16°，顯示內摩擦角較小者，坡度緩和時，流體力即可能變大。

## 7 結論

流體力計算的重點在於掌握溪床坡度。應充分掌握即使些微變化也可能造成明顯變動的範圍，據此決定是否設置構造物。流體力會受流域面積與溪床寬度等因子影響，而在坡度急遽變動的不同地方產生差異，因此實施現地調查，應事先掌握現地的逕流特性。

## 2-10 治山防砂壩的沖刷對策

治山防砂壩壩基即使遭受土石流與漂流木流出所伴隨發生的沖刷等破壞，仍能維護安全。
---

〔說明〕

### 1 壩基

土石流被攔阻、土石分離產生的大量流水，有時會溢過治山防砂壩。溢流水落差加上透過部位的高度，會讓溢流水產生更大的沖刷動能。因此，單獨設置的治山防砂壩與階梯狀系列治山防砂壩最下游，應實施副壩等的沖刷防止對策。

## 第6章 坡面保護工與森林整備

### 第1節 概論

坡面崩塌可能成為土石流與漂流木之重要因子，因此應適度實施坡面保護工與森林整備，進行坡面保全，防止或減輕土石流與漂流木之發生。

#### 〔說明〕

土石流與漂流木災害多起因於坡面崩塌，適度保全山坡可防止土石流與漂流木災害。同時進行坡面保護工與森林整備，能更有效地防止災害發生。

## 第2節 坡面保護工

有形成土石流與漂流木災害之虞的坡面，應實施坡面保護工，維護坡面的穩定。

### 〔說明〕

溪流附近發生的坡面崩塌，崩積土堆積在溪流內，容易導致土石流。因此，殘存不穩定土砂的現有崩塌地，應穩定潛在崩塌坡面，避免發生土石流與漂流木災害。

此外，坡面保護工的「調查、計畫、設計」，應依據治山技術基準，適當且有效地進行。

### 第3節 森林整備

#### 3-1 山坡坡面的森林整備

山坡坡面森林應進行適當的森林整備計畫。

##### 〔說明〕

陡峭坡面的0級序谷等凹地，應實施疏伐等適當密度管理，以促進根系與下層植生生長，並在樹木根系緊縛土壤作用力不足而有產生「孔隙」之虞時，引進能成為該樹林後續樹種的木類植物，讓森林持續發揮山地災害防止機能。

此外，凌空溪岸與坡面崩落地邊緣的樹木，有助長崩塌而成為漂流木之虞的，應予以砍伐、搬出或實施現地固定。

##### 〔參考〕漂流木攔阻工

#### 1 目的

漂流木攔阻工係有格子狀透過部位的小型構造物，可在坡面～0級序河川等最上游河段加以攔阻，避免難以搬出之倒木與枝條等從坡面或小溪流流出。風倒木正下方，倒木可存放到腐朽的地點，使用木製漂流木攔阻工；倒木持續發生地點的漂流木攔阻工，則採混凝土製漂流木攔阻工。

此外，設計時應確保構造物本體的穩定性，不需考慮土石流與漂流木的衝擊力。

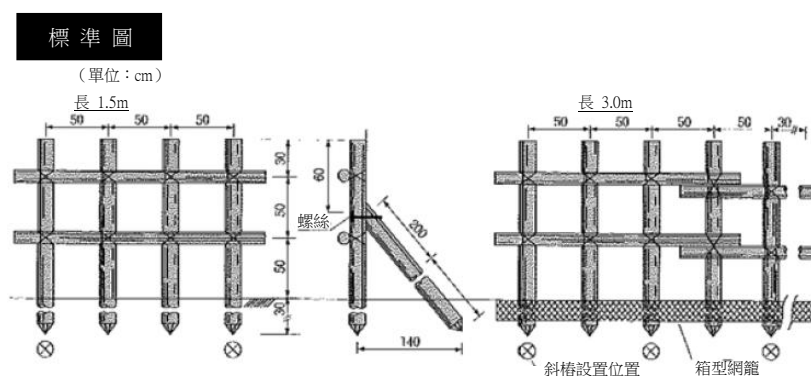
#### 2 維護管理

設置漂流木攔阻工之前，應先移除所攔阻的倒木與枝條等，適度維護管理。設施費用低廉，但需注意設施數目若增加，維護管理成本隨之提高。

#### 3 構造

##### （1）木製漂流木攔阻工

木製漂流木攔阻工係鐵絲與螺栓組合間伐材而成的構造。



圖一21 木製漂流木攔阻工標準圖

## （2）混凝土漂流木攔阻工

混凝土漂流木攔阻工屬小規模透過型治山防砂壩。即使不需考量土石流與漂流木之衝擊力，仍需實施穩定性計算。透過部位高度小於 2m，壩頂厚為 1m，土砂生產活潑的溪流則為 2m。壩面斜率方面，不需考慮磨損的因素，可採用最具經濟性的斜率。

設置地點應調查坡面荒廢狀況，選擇透過部位阻塞時容易管理的地點。受地形限制，無法從背面駛入重機具的地點，可從正面利用吊車拔除透過部的 H 型鋼，並以重機具抓出漂流木與枝條等的構造。

必要時並用多功能 H 型鋼作為橫木。規格方面，可從容易管理、防盜與防破壞的觀點，目標總重量大於 100kg（200×200mm，49.9kg/m）。

### 3-2 溪流內的森林整備

溪流內的森林整備旨在維持、增進森林所具備土砂流出防止機能。

#### 〔說明〕

水路所經之處生長的樹木，會受溪流內土壤較薄及處於不穩定狀態影響，容易被土石流捲入而漂流木化。因此，水路所經之處，應注意溪流生態系保全，必要時實施樹木疏伐，除去堆積木與倒伏木。

另外，集中豪雨等時可能洪氾或土石流流出的區域，應實施疏伐等適度森林密度管理，促進根系與下層植生生長，並在樹木間產生空隙、根系無法發揮緊縛土壤功效時，引進森林後續生長之樹種，沿續森林的山地防災機能。

水路所經之處的森林，若其立地條件具備緩衝林機能，應適度實施密度管理促進根系與下層植生發達、讓樹木長高長大。

## 第7章 維護管理

### 第1節 概論

治山設施係土石流與漂流木對策的一環，應維護管理以充分發揮山地災害防範機能。

#### 〔說明〕

- 1 土石流與漂流木對策之治山設施，應實施定期維護檢查。特別是，漂流木與土砂堆積明顯的透過型治山防砂壩，汛期前應除去其堆積物。
- 2 森林整備係土石流對策的一環，其生長狀況攸關保全對象的安全性，因此應適度實施管理。
- 3 參考治山設施個別設施計畫擬定手冊（案）（林野廳 2013 年 3 月）。

#### 〔參考〕透過形治山防砂壩維護檢查項目

##### 1 治山防砂壩背面淤砂狀況

透過型治山防砂壩可讓常態水流帶動之小型礫石通過，確保能攔阻大量土石移動的土石流及漂流木的淨空容量。但若土石流與漂流木發生導致其背部淤滿而無法繼續攔阻土石流與漂流木，砂防構造物機能大減。

因此，應定期或災害發生後確認治山防砂壩背面是否淤滿。

##### 2 壩體與材料的維護檢查

透過型治山防砂壩的構造之背面淨空，能承受土石流與漂流木衝擊，因此，災害發生後容易變形損傷。一般而言，鋼製治山防砂壩的構造，係以構造物整體變形或材料局部變形的形式吸收漂流木與礫石的衝擊力，變形本身可視為正常；但若損傷太嚴重、可能降低構造物機能，應適度實施維護檢查，確認構造物機能是否正常。

維護檢查的具體實施案例，可參考「鋼製砂防構造物設計便覽（2009 年版）」的鋼製構造物維護檢查項目。

表－7 材料損傷分級及其對應措施

損傷分級	機能降低等級與定義	對應措施	判 定	
			中空鋼管	CFT 鋼管※
分級Ⅰ －健全－	機能不低於完成時的狀況，仍正常發揮功能	無整修必要	鋼管直徑凹陷小於鋼管直徑10%	材料撓曲變形角小於2度
分級Ⅱ －損傷－	材料耐力降低，機能可能小於完成時的狀態	應實施構造檢核，進行必要的修補或補強	鋼管直徑凹陷超過鋼管直徑10%，小於40%	材料撓曲變形角大於2度，小於5度
分級Ⅲ －破壞－	以喪失設施機能，無法繼續承受設計載重	需修補或補強	鋼管直徑凹陷大於鋼管直徑40%	材料撓曲變形大於5度

※CFT：混凝土充填鋼管構造（Concrete Filled Steel Tube）

損傷分級Ⅱ而需補強、修補時，應計算鋼管殘存耐力，實施骨架分析，判斷能否繼續使用。以下是判斷標準。

表－8 材料損傷能否修復的判定

發生應力度 $\leq$ 容許應力度	暫不處理
容許應力度 $<$ 發生應力度 $\leq$ 降伏應力度	應配合設施重要程度，判斷是否應修復
降伏應力度 $<$ 發生應力度	修補、補強

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2018

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。