

ISSN 1376-7328

國總研資料第 905 號

平成 28 年 4 月

國土技術政策總合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.905 April 2016

土石流及流木對策設計技術方針解說

土砂災害研究部砂防研究室

Manual of Technical Standard for designing Sabo facilities
against debris flow and driftwood

Sabo Planning Division

Sabo Department

國土交通省國土技術總合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

國土技術政策總合研究所資料 Technical Note of NILIM

第 905 号 2016 年 4 月 No.905 April 2016

土石流及流木對策設計技術方針解說

土砂災害研究部砂防研究室

Manual of Technical Standard for designing Sabo facilities
against debris flow and driftwood

Sabo facilities, design

Sabo Planning Division Sabo Department

概要

本資料以迄今所得到之土砂災害相關資料與防砂設備的相關知識為基礎，統整砂防基本計畫（土石流及流木對策）的制定方法。目的為防止隨著土石流和土砂流動所產生之漂流木所造成之土砂災害，從而彙整土石流和漂流木之防範策略。

關鍵字：土石流、砂防設備、設計

Synopsis

This new technical standard summarizes design methods of Sabo facilities, which are structural measures, for preventing sediment-related disasters caused by debris flow including driftwood.

Key Words; Debris flow, Sabo facilities, design

本資料的定位

「土石流及流木對策設計技術方針」（以下略稱「方針」。）是於平成 28 年（2016 年）4 月 21 日進行修訂後，以水管理及國土保全局砂防部砂防計畫課長、保全課長名義，發佈給各地方整備局河川部長與各都道府縣砂防主管部長等。

本資料以當時所發佈的方針加上解說及參考資料後，整合為國土技術政策總合研究所資料所用。

※在本資料中把與方針相符的部分作為註記，並將解說所對應的部分記載為「解說」。再者，使用方針時所參考的資料則記載為「參考文獻」。

目錄

第 1 節	概論.....	1
第 2 節	設計土石流及流木對策設施.....	3
2.1	土石流及流木攔阻工.....	3
2.1.1	土石流及流木攔阻工的形式.....	3
2.1.2	土石流及流木攔阻工的規模和配置.....	4
2.1.3	封閉型防砂壩的構造.....	5
2.1.4	開口型防砂壩的構造.....	22
2.1.5	孔隙型防砂壩的構造.....	35
2.1.6	除石.....	44
2.2	土石流及流木發生抑制工.....	45
2.2.1	土石流及流木發生抑制山腹工.....	45
2.2.2	溪床堆積土砂移動防止工.....	46
2.3	土石流導流工.....	47
2.3.1	斷面.....	47
2.3.2	中心線形.....	48
2.3.3	縱斷形.....	49
2.3.4	構造.....	50
2.4	土石流堆積工.....	52
2.4.1	土石流分散堆積地.....	52
2.4.2	土石流堆積流路.....	56
2.4.3	除石.....	57
2.5	土石流緩衝樹林帶.....	58
2.6	土石流流量控制工.....	59
第 3 節	除石（包含去除流木）.....	61
第 4 節	設定發生土石流時的設計外力.....	62
4.1	計算發生土石流時的設計外力（衝擊力除外）.....	62
4.2	礫石的衝擊力.....	63
4.3	流木的衝擊力.....	65

第1節 概論

土石流及流木對策設施為以防砂基本計畫（土石流及流木對策）為基礎，
 以使其具備必要機能 and 安全性為前提下進行設計。

解說

在土石流及流木對策設計技術方針（以下略稱「本方針」。）中，是以透過防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）所制定的防砂基本計畫（土石流及流木對策）為基礎，記述設計土石流及流木對策設施的方法。

由於每個溪流的特性不同，在各區間內的狀況也有所差異，並且還會隨著時間產生變化，在配置及設計土石流及流木對策設施時必須要先透過現場調查及收集文獻等作業，來掌握包含時間變化的溪流特性，並使其發揮符合該特性的機能。

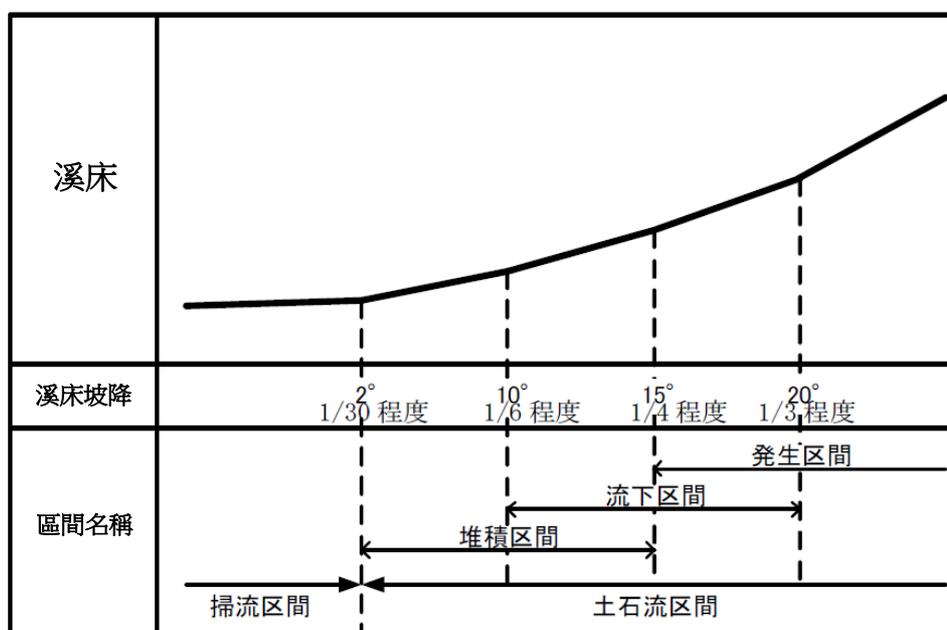
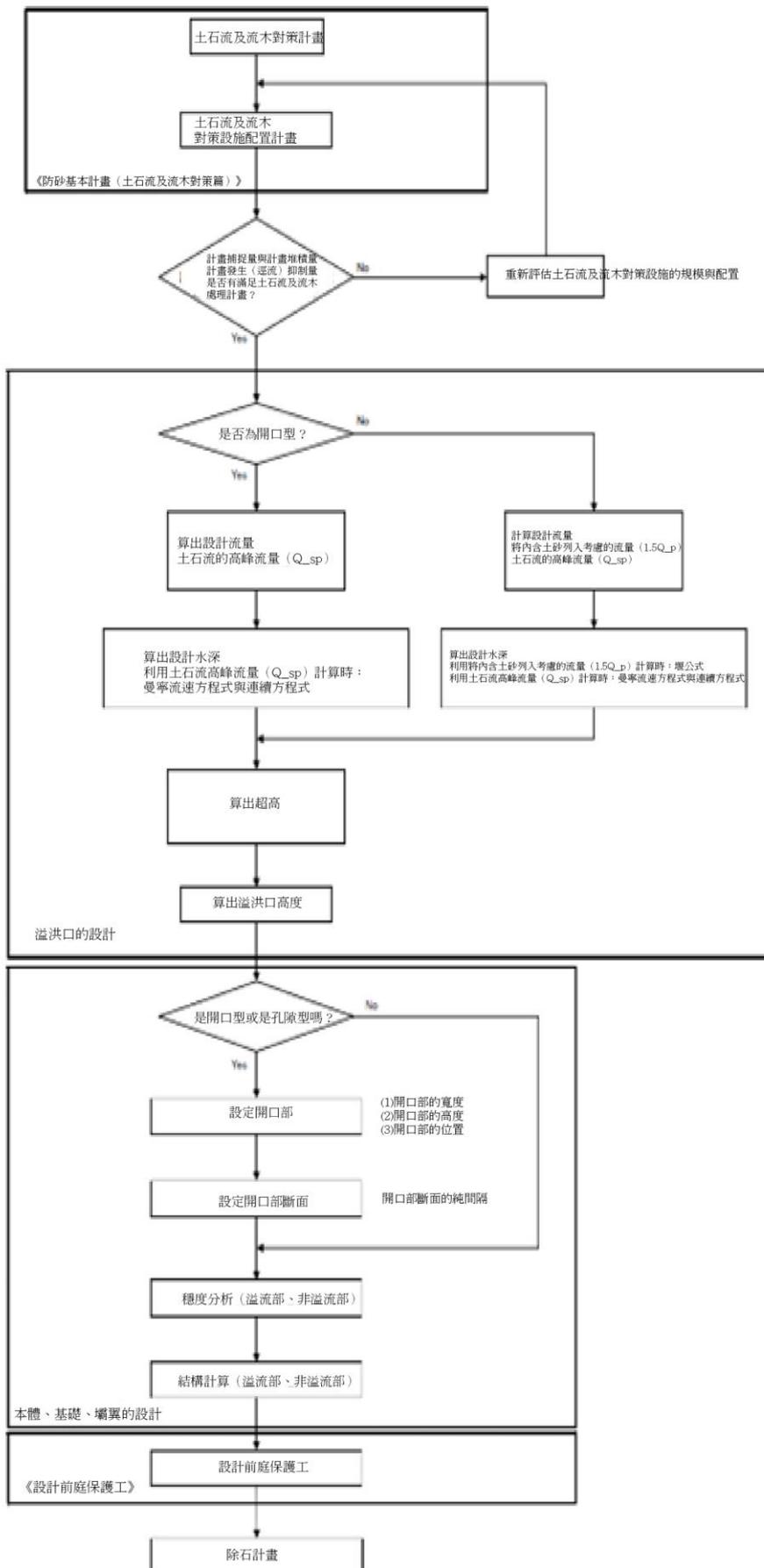


圖-1 以溪床坡降為基準的土砂移動型態



圖一2 設計土石流及流木攔阻工的流程

設計土石流及流木對策設施

2.1 土石流及流木攔阻工法

2.1.1 土石流及流木攔阻工的形式

土石流及流木攔阻工法的型式可分為透過性、部分透過性，以及非透過性壩等三種。

解說

土石流及流木攔阻工等防砂設施會根據其型式進行設計。

其個別機能可參考防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）4.3.1 中的說明。

2.1.2 土石流及流木攔阻工的規模和配置

基本上，土石流及流木攔阻工的規模與配置會依據「防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）」中第 3 節的內容來制定，但除此之外也必須考慮到地形及地質等現場條件。

解說

土石流及流木攔阻工的規模與配置會依據防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）中第 3 節的內容來制定，而在實施相關作業時必須要以土石流及流木對策設施配置為基礎來進行。在土石流及流木攔阻工的設計階段中，若在考慮到現場條件後必須重新評估規模與配置時，則需重新評估土石流及流木對策設施配置計畫。

選定土石流及流木攔阻工時必須考慮到地形及地質條件後，再選擇適當的位置。若在不得已的情況下，需將位置選在溪流彎曲處時，必須要留意土石流及流木攔阻工的上下游的流向，並檢討主體軸部與前庭部的保護作業。

～～（參考）設計小規模溪流中的堰壩～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～

在不會與支流合流的小規模溪流（其定義請參考防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.5.1.1）中設計堰壩時，必須充分考慮地形與地質等現場條件後再進行適當的設計。再者，在小規模溪流的對策方面有相關檢討事例²⁾可供參考，此處將其概念整理為如下：

- 設定堤頂寬度時會先考慮計畫地點的河床構成材料、流動形態、對象流量等因素後再決定，原則上設定為會造成衝突之最大礫石粒徑的 2 倍，寬度為 1.5m 以上。
- 壩翼的堤頂斜率，基本上會設定為水平以上。
- 水墊長度的部分必須透過半理論式來確保最小限度的水脈噴濺距離，並要能對應土石流對主壩下游側造成的沖刷現象。

～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～

2.1.3 封閉型防砂壩的構造

2.1.3.1 溢流部的穩定性

封閉型防砂壩必須在面對傾倒、滑動現象時確保壩體的穩定性，並保持其支撐力。再者，構成壩體的材料在面對土石流以及伴隨土砂所流出的流木時也必須要能確保其強度以保持安全。

解說

實施穩定解析時以本方針 2.1.3.1 (1) 中所示之方法為基準。

堤壩本體的部分會以 2.1.3.1. (2) 和 (3) 中所示之方法為基準製成安全的構造，另外也需注意 2.1.3.3. (1) 中所提到的非溢流部的穩定性。此外，若在建構時同時使用了鋼製材料與其他材料，為了安全起見，在考量到設計外力時必須將所有部件視為一體來設計。再者，若使用土砂作為填充材料，當流域規模較大且具有常時水流時，在設計時就必須使用防砂水泥來固定內部的填充材料，以避免部分區域的損傷擴大到整體範圍，確保設施的冗餘度。

(1) 穩定條件

土石流及流木攔阻工的封閉型防砂壩在面對 (2) 中所示之外力時，必須要滿足下述三項條件才能維持其穩定性。

1. 原則上防砂壩本身的重量與外力的合力之作用線必須要在底部中央的 1/3 內，以避免在防砂壩的上游端產生張應力。
2. 防砂壩底部與基礎地層間不可有滑動現象。
3. 防砂壩內所產生的最大應力不可超過材料的容許應力度，而地層所承受的最大壓力也必須在地層的容許支撐力內。

解說

針對滑動現象的安全率 N ，在基礎為岩盤的情況下會考慮到剪應強度（壩體或是基礎地層兩者中較小的剪應強度）而設定為 $N=4.0$ 。在基礎為砂礫的情況下則會無視剪應強度，原則上在防砂壩高度未滿 15m 時會設定為 $N=1.2$ ，當防砂壩高度為 15m 以上時則設定為 $N=1.5$ 。

(2) 設計外力

在設計封閉型防砂壩時考慮到的設計外力有靜水壓、土砂壓力、上揚力、地震時的慣性力、地震時的動水壓，以及「土石流與伴隨土砂一同流出的流木所造成的載重」（以下稱為「土石流荷重」）。

土石流荷重包括土石流流動時產生的流體力（以下稱為「土石流流體力」）以及礫石與流木的碰撞所造成之衝擊力。前者會影響到構造物整體，而後者則是僅會造成局部性的影響。因此在進行防砂壩的安定計算時除了必須要考慮到土石流流體力之外，也必須因應礫石與流木所造成之衝擊力來設計堤頂寬度。

解說

除了要考慮到河川防砂技術基準（草案）設計篇Ⅱ第3章2.2.1中所說明的設計外力之組合（平時、洪水時）外，也必須進行下述在遇到土石流時的穩度分析，且兩者均須滿足穩定條件才行。

表一1所示為防砂壩本身重量以外的設計外力組合。在本方針中所提到的「設計外力（平時、洪水時）」即為河川防砂技術方針（草案）設計篇Ⅱ第3章中所提到的「用於穩度分析的荷重」。

但是，當防砂壩高度未滿15m時所算出的設計外力，是以水的單位體積重量為 11.77kN/m^3 所計算出。

在探討土石流的情況時，會將土石流荷重設定為對本體來說最為危險的狀態，假設土石流以在堆積區域之堆積深度（ D_d ）的狀態下直接衝擊堰壩壩體（參考圖-3）。

土石流流體力在 $D_d/2$ 的位置作用於水平方向。提到堆積土砂壓力，土石流堆積重量成為堆積面上的頂部荷重，堆積土砂壓力即為此頂部載重所產生的土壓力 $C_e(\gamma_d - \gamma_w)D_d$ 累加所得之值。在此式中， C_e ：土壓係數； D_d ：利用目前溪床坡降所算出的土石流深度（m）； γ_d ：土石流的單位體積重量（ kN/m^3 ）； γ_w ：水的單位體積重量（防砂壩高度未滿15m時約為 11.77kN/m^3 ，而若防砂壩高度為15m以上時則約為 9.81kN/m^3 ）。

$$\gamma_s = C_*(\sigma - \rho)g \quad \dots (1)$$

$$\gamma_w = \rho g \quad \dots (2)$$

在上式中： C_* ：溪床堆積土砂的體積濃度； ρ ：水的密度（ kg/m^3 ）； σ ：礫石密度（ kg/m^3 ）； g ：重力加速度（ m/s^2 ）（ 9.81m/s^2 ）。此外，由於土石流流體力會作用於堆積面以上之故，土石流的靜水壓僅會作用於堆積面以下。

表-1 用於封閉型防砂壩的穩度分析之設計外力（壩體自重除外）

	平時	土石流時	洪水時
防砂壩高未滿 15m		靜水壓、淤砂壓、土石流流體力	靜水壓
防砂壩高 15m 以上	靜水壓、淤砂壓、上揚力、地震時的慣性力、地震時的動水壓	靜水壓、淤砂壓、上揚力、土石流流體力	靜水壓、淤砂壓、上揚力

※高度未滿 15m 防砂壩在兵庫縣南部地震開始起算事件中，未曾有喪失防砂壩機能或是發生直接對周邊住家造成災害等二次災害的情況。再者，透過動態解析的結果可發現到在面對張應力、壓縮應力，以及滑動時都仍可確保防砂壩的安全性。

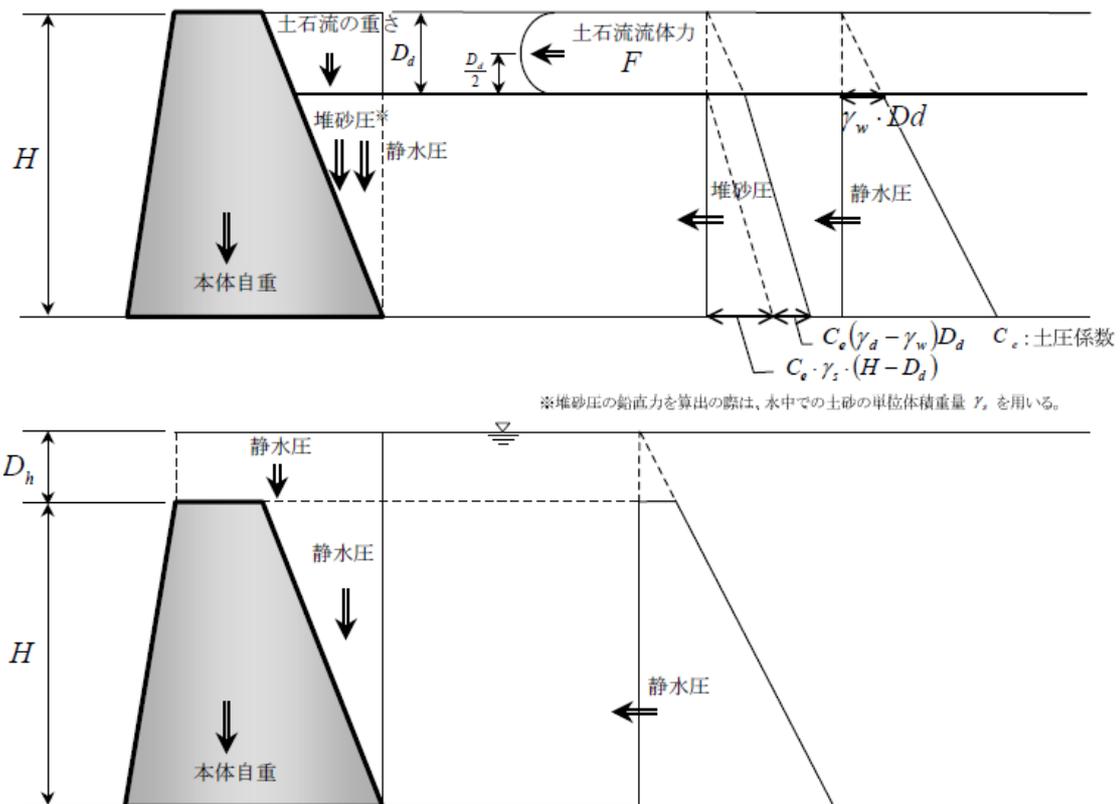


圖-3 封閉型防砂壩溢流部的設計外力圖
($H < 15m$ ，上圖：發生土石流時，下圖：洪水時)

(3) 設計流量

比較計畫規模的年迴歸週期的降雨量與過去最大降雨量後，取較大的數值所算出的「含砂水流」（洪水時），以及土石流尖峰流量（土石流時）為即為防砂壩的設計流量。

解說

原則上，「含砂水流之流量」的計算，會在計畫規模的年迴歸週期的降雨量與過去最大降雨量中取較大的數值使用，並以防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.6.4 中所示之方法為基礎，計算出之清水對象流量的 1.5 倍，作為含砂水流之流量。

土石流尖峰流量則以防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.6.3 中所示之方法為基礎來算出。

(4) 設計水深

將可流過設計流量的溢洪口部的溢流水深定為設計水深。

解說

設計水深為從①到③所算出的結果之中，取數值最大者。

①含砂水流流量之溢流水深

含砂水流流量的溢流水深可透過河川防砂技術基準（草案）設計篇Ⅱ第3章所介紹的方程式（3）計算。

$$Q = \frac{2}{15} C \sqrt{2g} (3B_1 + 2B_2) D_h^{3/2} \quad \dots (3)$$

在上式中：Q：含砂水流流量（m³/s）；C：流量係數（0.6~0.66）；g：重力加速度（9.81m/s²）；D_h：溢洪口的底部寬度；B₁：溢流水面寬度（m）；B₂：壩翼切面。若C = 0.6，m₂ = 0.5時，則會變成方程式（4）。

$$Q \doteq (0.71h_3 + 1.77B_1) h_3^{3/2} \quad \dots (4)$$

②土石流尖峰流量下的溢流水深

土石流尖峰流量下的溢流水深可使用計畫淤砂坡降，根據防砂基本計畫方針（土石流及流木對策篇）2.6.5 中所示之方法計算。

③最大礫徑

最大礫徑可根據防砂基本計畫方針（土石流及流木對策篇）2.6.8 中所示之方法計算

在滿足土石流及流木處理計畫（整備率 100%）之溪流最下游的防砂壩中，基本上在處理溢洪口部的設計水深時會將目標對象設定為「含砂水流流量」（洪水時）。此時會依據現況河川寬度與下游的流路寬度後，再定出適當的溢洪口寬度。但在這種情況下，還是必須要考慮到壩翼部發生溢流的可能性後再實施下游的沖刷對策。

2.1.3.2 堰壩主體構造

(1) 溢洪口斷面

原則上防砂壩的溢洪口斷面是利用設計水深加上額外高度的方式來決定。再者，基本上溢洪口寬度設定為目前溪床寬幅，且會在 3m 以上。

解說

1 額外高度的部分會以表—2 為基準進行設定。不過，也會將額外高度視為因溪床坡降不同而產生變化，並讓額外高度與設計水深之比值不會低於表—3 所示之值。再者，此時的溪床坡降是採用計畫淤砂坡降。

表—2 額外高度

設計流量	額外高度
未滿 200m ³ /s	0.6m
200~500m ³ /s	0.8m
500m ³ /s 以上	1.0m

表—3 額外高度與各個溪床坡降的設計水深之比值的最小值

溪床坡降	(額外高度) / (設計水深)
1/10 以上	0.50
1/10~1/30	0.40
1/30~1/50	0.30
1/50~1/70	0.25

②在透過「土石流尖峰流量下的溢流水深」或是「最大礫徑」決定溢洪口斷面的情況下，若因為地形等理由而無法確保溢洪口斷面時，可使用包含壩翼部的斷面來進行對應（參考圖—4）。但此時會將設計水深設為含砂水流情形下的溢流水深。

此外，同時也必須充分考慮到壩翼的穩定性、對下游部的消能設施所造成的影響，以及防止下游產生淘刷等因素後，再進行水墊拓寬、保護側牆護岸工的背面、降低側牆護岸工的坡度等適當的處置作業。尤其是當水流的正下游處有住家時更要特別注意上述事項。

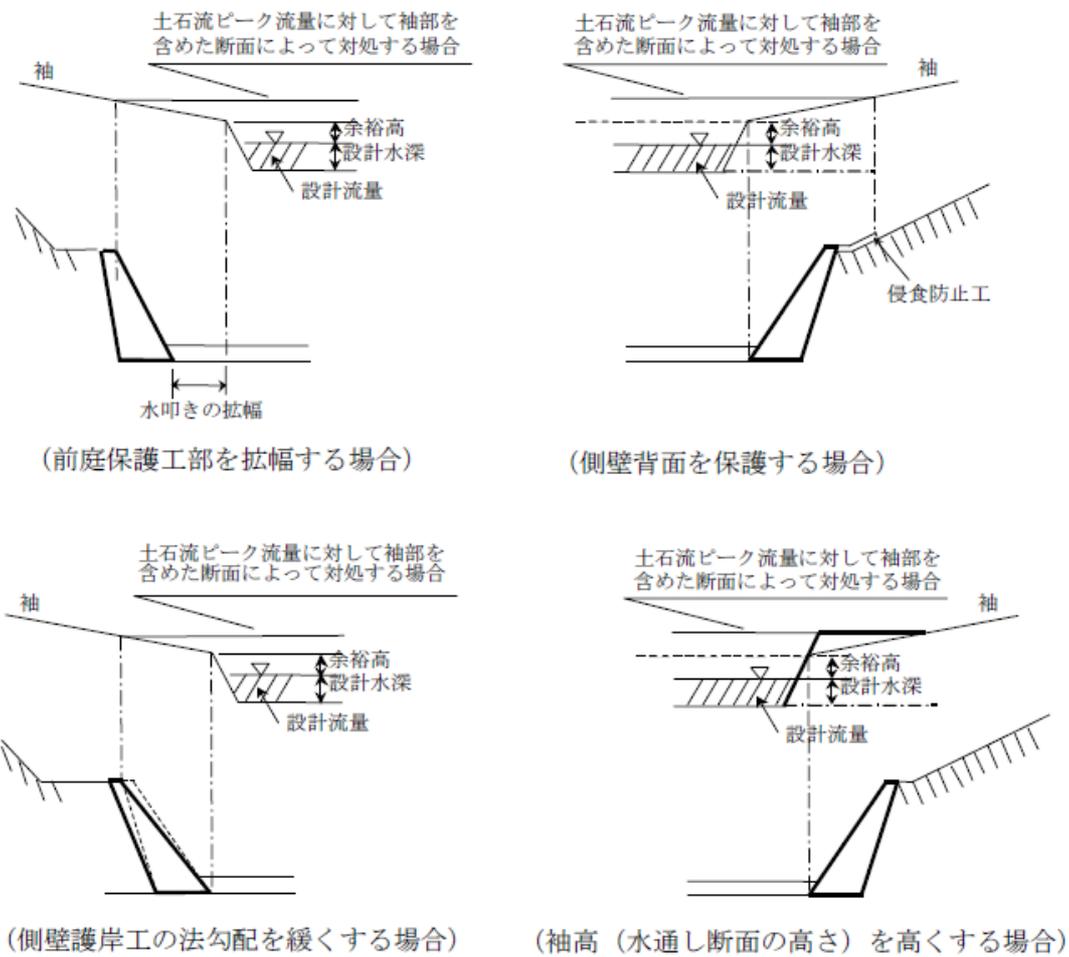


圖-4 溢洪口断面

(在土石流高峰流量下透過包含壩翼的断面進行對應時的處置範例)

(2) 堤頂寬

堰壩主體的堤頂寬度，以不受到受到礫石與流木的衝擊而遭到破壞為前提來設定。

解說

防砂壩本體的堤頂寬度除了必須要能承受流動土砂等衝擊之外，其溢洪口部也必須要有可以承受通過砂礫磨損的寬度。若本體的材料為無鋼筋混凝土時，原則上會將堤頂寬度設定為衝擊土砂之最大礫徑的 2 倍。但若堤頂寬度超過 3m、且必要的堤頂寬超過 4m 時，則需要另外使用緩衝材（可發揮緩衝效果的材料）、透過填方保護，或是補強鐵筋及鐵骨來進行對應。各種緩衝材的緩衝效果可透過試驗來確認。



圖-5 防砂壩側面圖（事例）與部位名稱

(3) 下游坡面

防砂壩的下游坡面通常會設計成可以盡量避免受到溢流土砂所造成的損傷。一般來說，會將防砂壩溢流部的下游坡面斜率設為 1：0.2。此外，若為粒徑較細小，即使發生中小型洪水也不會產生大量土砂流出、集水面積較小的溪流之中，也可設為比上述還要平緩的斜率。

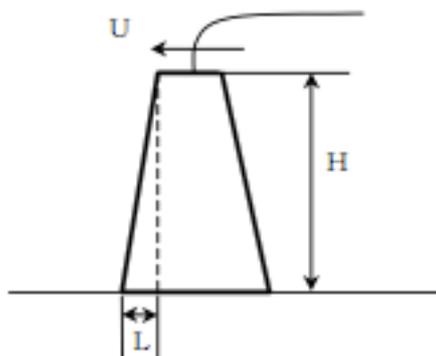
解說

要降低下游坡面斜率時，可先利用土砂的流送現象開始活躍的流速 U (m/s) 與防砂壩高 H (m)，透過下式

$$\frac{L}{H} = \sqrt{\frac{2}{gH}} U \quad \dots (5)$$

算出結果後，將其設定為比計算結果還要陡急的斜率。但上限為 1：1.0。

土砂的流送現象開始活躍的流速 U (m/s) 會設定為以設計外力 (本方針 2.1.3.1 (2)) 計算之流速的 50% 左右。當防砂壩的高度變高時， L/H 的值就會變小，而此處將其下限值設為 0.2。



圖一6 下游坡面斜率

(4) 基礎

雖說防砂壩的若能使用固定式基礎會較為理想，但若無法使用固定式基礎時也可採用浮式基礎。但在此種情形下，原則上防砂壩的高度必須未滿 15m。

解說

考量到安全性，防砂壩的基礎若能使用固定式的話會較為理想，但若在土石流及流木對策計畫與土石流及流木對策設施配置計畫中，防砂壩的計畫位置無法使用固定式基礎時則也可選用浮式基礎。但原則上採用浮式基礎時，防砂壩的高度必須未滿 15m。

再者，若支撐地盤為軟弱地盤或是無法得到所需的支撐力時，則必須實施基礎處理作業。

(5) 排水構造

在排水構造的部分必須採取可發揮其機能並確保安全性之設計。

解說

排水構造是以為切換施工中的流水、防止滲水、減輕產生土砂堆積後的水壓為目的所設置。除了上述目的外，在設計其大小、形狀、數量，以及配置時，也須同時考慮到從排水處突然流出土砂、應力會集中在排水位置等現象，

2.1.3.3 壩翼的穩定性與構造

(1) 堰壩之溢洪口以外壩體的穩度分析

非溢流部的斷面需確保面對施加於非溢流部的設計外力時，能夠具備與溢洪口相同的穩定性。

解說

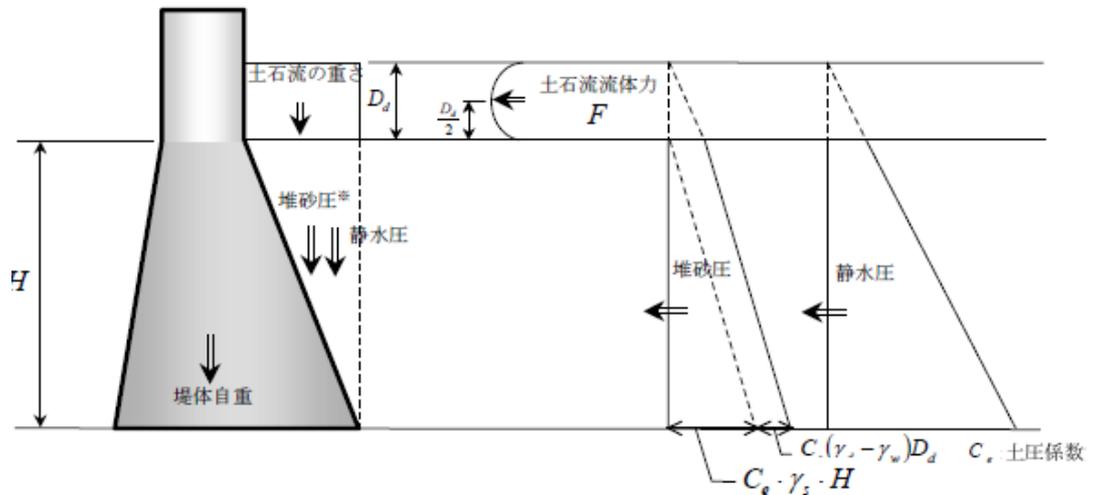
基本上，在封閉型防砂壩的主體斷面設計上，會將溢洪口與堰壩之溢洪口以外壩體設以同一個斷面來考量，以確保設計外力施加在斷面時的安全性。但若在基礎地層條件與溢流部條件不同的特殊情況下則可不限於此。進行非溢流部的穩度分析時，基本上會在與溢洪口相同壩高 H 的斷面中，利用包含壩翼的形狀，假設淤砂已滿到溢洪口頂端的狀態下，讓土石流流體力作用於水平方向上來進行穩度分析。穩定條件會以本方針 2.1.3.1 (1) 為基準，設計外力則以本方針 2.1.3.1 (2) 為基準，圖-7 所示為其作用位置。

但若如本方針 2.1.3.2 (1) 解說②中一般，透過土石流尖峰流量來決定包含壩翼的對應溢洪口斷面時，會預測其為如下述 (a) (b) 所示之淤砂面，並在複數斷面進行穩度分析。

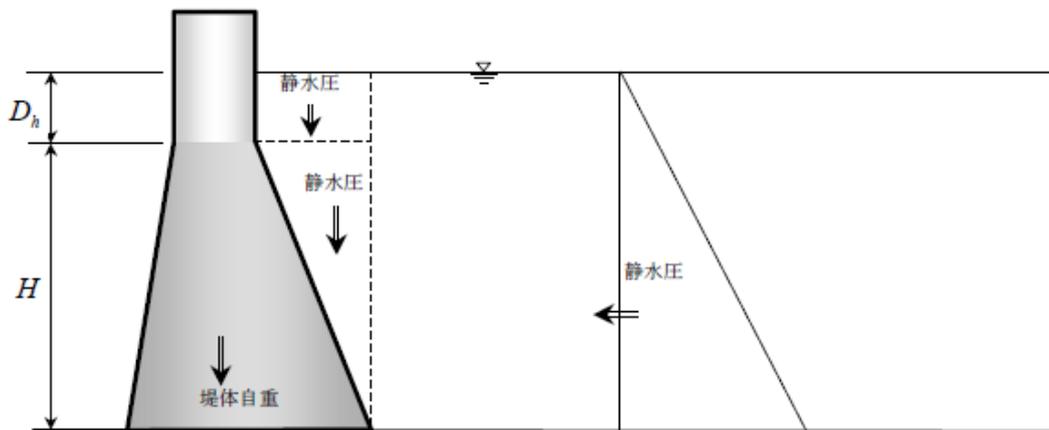
- (a) 在進行計算的斷面中，若將淤砂面設為溢洪口頂端高度後，土石流的深度沒有超過該斷面的壩翼高度時，則以淤砂堆積至溢洪口頂端的條件下，進行穩度分析。
- (b) 在進行計算的斷面中，若將淤砂面設為溢洪口頂端高度後，土石流的水深會超過該斷面的壩翼高度時，則必須降低淤砂面使其低於壩翼，並將總土石流流體力視為作用於防砂壩（包含壩翼），來進行穩度分析。

再者，一般將進行穩度分析的斷面位置設定為 (i) ~ (ii)，其他部分的話則依照現場條件以及防砂壩的大小的勘查結果後，再設定評估之位置。

- (i) 壩翼切面的斷面
- (ii) 土石流水深與壩翼高度一致的斷面



※堆砂圧の鉛直力を算出の際は、水中での土砂の単位体積重量 γ_s を用いる。



圖一七 封閉型防砂壩非溢流部的設計外力圖
 (H<15m, 上圖: 發生土石流時, 下圖: 洪水時)

(2) 針對壩翼破壞的構造計算

防砂壩的壩翼，針對受到礫石或流木等兩者之較大的衝擊力，以及加上土石流流體力的作用後，可確保其安全之構造。

解說

壩翼的斷面形狀必須滿足下述四種條件。

- ①壩翼的上游坡面斜率原則上必須為直面。
- ②壩翼的下游坡面斜率也必須為直面，又或者是要與本體的下游坡面斜率一致。
- ③若讓壩翼的下游坡面斜率與本體的下游坡面斜率一致時，需將壩翼的頂端寬度下限設為 1.5m。
- ④面對本項中後述的設計外力時，壩翼與本體邊界面上的剪應摩擦安全率需為 4 以上。

檢討上述條件時所使用的設計外力有下述三個種類，圖-9 所示為其對壩翼產生作用的位置。

- 壩翼的本體重量
- 土石流流體力
- 礫石的衝擊力與流木的衝擊力中，較大的一方

針對上述事項進行檢討時若壩翼與本體邊界面上的剪應摩擦安全率未滿 4 時，則必須拓寬壩翼在上游側方向的壩翼頂端寬度（圖-8），或是在壩翼的上游側設置緩衝材來緩和衝擊力，讓剪應摩擦安全率可以達到 4 以上。此外，若有使用緩衝材保護壩翼時，最好能夠事先透過試驗來確認緩衝材的緩衝效果。

再者，由於造成壩翼破壞的主因都是短期荷重的衝擊力^{4) 5)}，原則上會將壩翼與本體邊界面上所產生的張應力維持在容許拉應力的範圍內。但若壩翼與本體邊界面上所產生的拉應力超過容許張應力時，則必須透過鋼筋或鋼架來分攤其張應力，在壩翼與本體的邊界面之間裝設鋼筋或鋼架。

計算礫石與流木的衝擊力時，會將其速度視為等同於土石流流速，礫徑方面使用最大礫徑、在流木的直徑方面使用最大直徑、在流木的長度方面使用最大長來作計算。此外，會假設礫石與流木如圖-9 所示一般，在已經堆積到溢洪口頂端的狀態下，於土石流表層附近產生衝擊。當土石流的流動深度比礫徑和流木徑還小時，假設礫石與流木是在淤砂面流動並發生衝擊。此處的土石流流速與流動深度是根據防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.6.5 中所介紹的方法所算出。

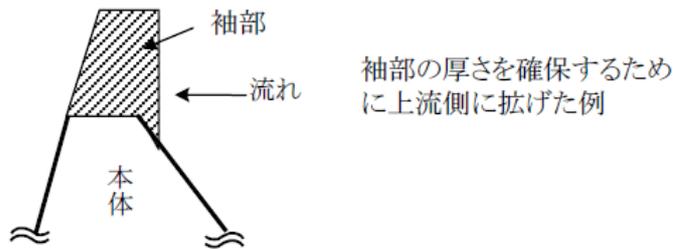
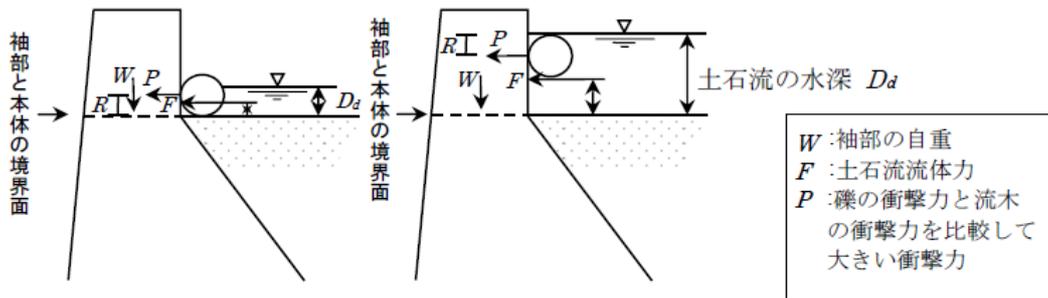


圖-8 壩翼斷面



(a) 礫石直徑 \geq 土石流的水深 (b) 礫石直徑 $<$ 土石流的水深

注意) 若礫石衝擊力比流木衝擊力還要小時，會將(a)和(b)中的 R 設為流木直徑的 $1/2$ 。

圖-9 壩翼與本體邊界面，以及設計外力與其作用點

(3) 壩翼切面

防砂壩的壩翼切面原則上會設為 $1:0.5$ ，或是更為緩和的坡度。

解說

為了可以對應土石流或流木所造成的破壞，土石流及流木攔阻工的壩翼切面會設為 $1:0.5$ ，或是更為緩和的坡度。

(4) 壩翼頂端的坡度

基本上會將壩翼頂端的坡度設為與目前溪床坡度相同的程度大小。

解說

原則上會將壩翼頂端的坡度長度設置為到完整岩盤為止的區間，若因地形因素，使得坡度區間長度過長時，則可因應現場狀況來決定適當的長度。

~~~~處理防砂壩壩翼的特殊案例~~~~

在河川防砂技術基準（草案）設計篇中，防砂壩壩翼嵌入到河川左右兩岸，和水壩地基相同，需深入至有同樣程度穩定性的地層之中。若依照準則將防砂壩的壩翼基礎作為固定於岩盤的情況下，為了嵌入岩盤之中就必須進行大規模的挖掘作業。在這種情況下，挖掘量越大，就會使坡面不穩定造成崩落及落石的危險性增加，除了很難在施工中確保安全性之外，還必須在高處進行大範圍的坡面處理，在施工面上會造成困難。並且，大範圍的挖掘作業亦會對其他構造物，以及周邊的自然環境和景觀造成影響。

因此，雖然在進行防砂壩的壩翼處理作業時，原則上都會將其嵌入完整岩盤之中，同時亦須由下述面向檢討。若在嵌入壩翼時因岩壁之挖掘作業對安全面及施工面之影響，難以確保工程之安全的話，也可選擇實施不進行大規模挖掘的壩翼處理作業（壩翼對策工）。

（檢討的觀點）

- 確保陡坡面整地工程的安全性
- 壩翼的挖掘作業對於坡面穩定性之影響
- 壩翼的挖掘作業對於道路與其他構造物之影響
- 對於保護自然環境與景觀之影響

~~~~

2.1.3.4 消能設施（前庭保護工）

在防砂壩的下游側必須因應需求設置消能設施，以避免因為淘刷現象造成壩體被破壞。

解說

消能設施透過設計流量（決定溢洪口斷面之流量）來設計。

當預測土石流溢流過壩翼時，會把土石流的溢流現象列入考慮後將構造設計成圖－4 所示。在水墊的厚度與長度方面，採用土石流尖峰流量下的溢流水深來設計。

副壩下游坡面坡度需以本方針 2.1.3.2（3）的概念為基準。

基本上會將副壩的溢洪口斷面視為與主壩的溢洪口斷面相同。但若在副壩設置了漂流木防治設施時，則不考慮額外高度的部分。構造方面，以面對設計流量為前提，依照河川防砂技術基準（草案）設計篇第 3 章的內容來決定。

設計副壩中的流木對策設施時，會以在掃流範圍內所設計之流木對策設施的相關事項為基準。

2.1.4 開口型防砂壩的構造

2.1.4.1 溢洪口的穩定性

開口型防砂壩的壩體整體除了必須要能維持支撐力、確保穩定性，避免發生滑動或是傾倒現象之外，當構成壩體的材料遇到土石流或是伴隨土砂所流出的流木時也必須要能確保其安全性才行。

解說

開口型防砂壩的構造物整體必須能保持一體性，並維持整體的穩定度。因此，開口型防砂壩必須要擁有在面對設計外力時仍可確保安全性的構造。再者，若使用土砂作為填充材料，當流域規模較大且有常時水流時，在設計時就必須使用防砂水泥來固定內部的填充材料，以避免部分區域的損傷擴大到整體範圍，確保設施的耐用度。

(1) 穩定條件

開口型防砂壩的壩體整體穩定條件與封閉型防砂壩相同。

解說

開口型防砂壩的壩體整體穩定條件的概念與封閉型防砂壩相同。

(請參考本方針 2.1.3.1 (1))

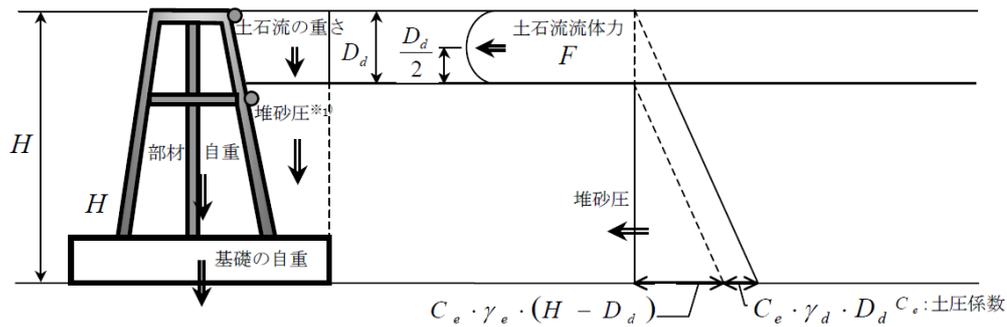
(2) 設計外力

基本上開口型防砂壩的設計外力與封閉型防砂壩的設計外力相同，但其在開口構造處設計外力將會作用。

解說

①開口處是在沒有砂礫或是水的狀態下，以開口部的本體重量來計算。

②會如圖－10 所示，將淤砂壓與流體力視為外力，檢討壩體整體的穩定性與部件的安全性。由於土石流的重量會變成上載荷重之故，淤砂壓會變成梯形分布。



※計算淤砂壓的垂直力時會使用土砂的單位體積重量 ($\gamma_e = C_e \cdot \sigma_g$)。

圖-10 設計外力（發生土石流時）

③開口部為混凝土材料時，壩體本身的重量，是利用將溢流部視為封閉構造所算出的壩體砌塊體積 (V_c)、以及將溢流部視為開口構造所算出的壩體砌塊重量 (W_{rc}) 來計算。再者，此處要注意的是，溢流部的壩體砌塊是指溢洪口寬度部分的壩體，並非施工縫的砌塊。

$$\gamma_{rc} = W_{rc} / V_c \quad \dots (6)$$

在上式中： γ_{rc} ：外觀的混凝土單位體積重量 (kN/m^3)； W_{rc} ：將溢流部視為開口構造所算出的壩體砌塊重量 (kN)； V_c ：將溢流部視為封閉構造所算出的壩體砌塊體積 (m^3)。

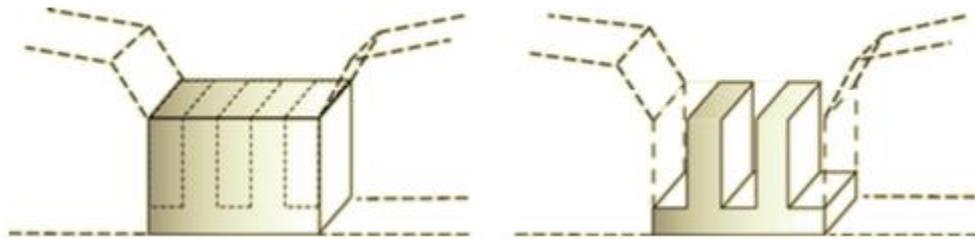


圖-11 梳子部溢洪口的壩體體積

④開口型防砂壩必須滿足表-4 所示之安全率。

表-4 用於開口型防砂壩穩定分析的設計外力（壩體本身重量除外）

	平時	土石流時	洪水時
防砂壩高未滿 15m		淤砂壓、土石流 流體力	
防砂壩高 15m 以 上		淤砂壓、土石流 流體力	

在 15m 以上的開口型防砂壩中，會將開口部的穩定條件設為與 15m 以下的防砂壩相同。此外，由於在堰壩之開口處以外壩體中，一般來說上游側的坡面坡度較為陡急，因此在防砂壩處於未淤滿狀態時，需針對地震慣性力從下游側產生作用時的安全性問題進行檢討。

(3) 設計流量

設計流量為設計溢洪口斷面時所使用的對象流量，此處為土石流尖峰流量。

解說

土石流尖峰流量可參考防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.6.3 所示之方法算出。

(4) 設計水深

此處將設計流量流過溢洪口時之溢流水深定為設計水深。

解說

比較①與②後，採用較大之值定為設計水深。但若因地形等理由無法確保溢洪口斷面時，也可利用包含壩翼的斷面範圍來做對應。

①土石流尖峰流量下的溢流水深值

（參考本指針 2.1.3.1 (4)）

②最大礫徑值

（參考本指針 2.1.3.1 (4)）

經土石流及流木處理計畫整備後（整備率 100%）溪流，其最下游之防砂壩，需與封閉型防砂壩的情況相同，依照本方針 2.1.3.1（4）的解說檢討設計水深以及溢洪口部分。但若此時的「土石流尖峰流量」較「含砂水流流量」（發生洪水時）小的話，基本上將「土石流尖峰流量」視為對象來決定溢洪口部的設計水深。

2.1.4.2 檢討開口部的構造

(1) 構造檢討條件

開口部的部件在面對設計外力作用時必須要能確保其安全性。同時也必須從失效安全（Fail Safe）的觀點進行檢討，避免讓部分部材的破損導致防砂壩整體崩壞，盡可能設計成冗餘度（Redundancy）較高的構造。

解說

必須確認開口部部件的強度以確保安全。再者，針對土石流這種不確定因素較大，會因為不確定的現象導致重大災害的土砂移動現象來說，必須設計成冗餘度較高的構造，以避免部分部件發生破損而對整體防砂壩有所影響。

檢討構造時需實施的項目如下所示：

- ①檢討各部件受到土石流流體力與淤砂壓力時的強度
- ②檢討各部件受到溫度變化所造成的溫度應力時的強度
- ③檢討連接部受到①與②之外力時的強度
- ④檢討各部件受到礫石、流木的衝擊力時的強度

再者，以攔阻土石流為目的所設置的部件（功能部件）中，若沒有可維持構造物形狀的合適部件（構造部材）時，只要能夠攔阻土石流中的石礫的話，即使有發生塑性變形的現象也無妨。

此外，在流域的外力條件較嚴苛的現場時需要特別注意以下事項。

- 在外力條件特別嚴苛的現場時，必須充分調查計畫地點的狀況以及流域特性後再設定適當的礫徑。此時若在鄰近的溪流有土砂流動堆積的實際紀錄的話，可將當時流動堆積礫石的礫徑作為參考。
- 若在外力條件特別嚴苛的現場中，判斷有可能會有相當大的礫石流動時，則需在設計構造時特別注意，避免防砂壩因為礫石的衝擊而喪失攔阻功能。

(2) 設計外力

檢討構造時需考慮的設計外力為本體重量、土石流流體力、淤砂壓力、溫度應力。

解說

表-5 所示為檢討構造時需考慮的設計外力組合。

由於發生土石流時為短期載重之故，考慮到至今為止的實際紀錄，將容許應力度增為原本的 1.5 倍。再者，由於攔阻土石流後的淤砂壓力為長期作用，因此不會增加淤滿時的容許應力度。針對溫度變化，一般會將容許應力度增為 1.15 倍。但若溫度應力變大時，則會將部件斷面設為不會因溫度應力產生變化的斷面形狀，或者是用分割設施延伸部分的方式來處理。

進行開口型防砂壩的構造計算時，在部材的發生應力與接合部的強度方面，必須要使其能在發生土石流，以及淤滿狀態下即使受到各種設計外力組合也可確保安全。再者，當部材所構成的構造物為靜不定構造時，也必須要確保其在受到溫度變化時，各種設計外力組合亦可維持其安全性。

在設計開口部的部材時，除了要考慮到表-4 的設計外力之外，當受到土石流流體力對構造物造成偏心作用的偏心載重，以及礫石與流木的衝擊力所造成的荷重時也必須要能維持其安全性。

此外，就攔阻機能方面來看，在河道彎曲處的防砂壩軸面對下游河道的角度最好能夠近乎直角，而面對上游的部分則需盡量不要產生偏心。若對於上游的流心來說產生偏心的話，則會將所預測的土石流流心與防砂壩軸的角度設為 (θ_{f2})，接著考慮到餘裕角 (θ_{f3}) 後，將對於防砂壩的偏心角度設定為 (θ_{f1})。(參考圖-12) 再者，若為設置在河道彎曲處的情況下，需多加留意如果凸岸沒有被土石流前端部所含的礫石堵塞住，後續水流有可能將直接通過。

表-5 檢討構造時所考慮的設計外力組合

案例	土石流時	淤滿時	溫度變化時
壩體自重	○	○	○
土石流流體力	○		
淤砂壓力	○	○	
溫度應力			○
容許應力度的倍增係數	1.5	1	1.5

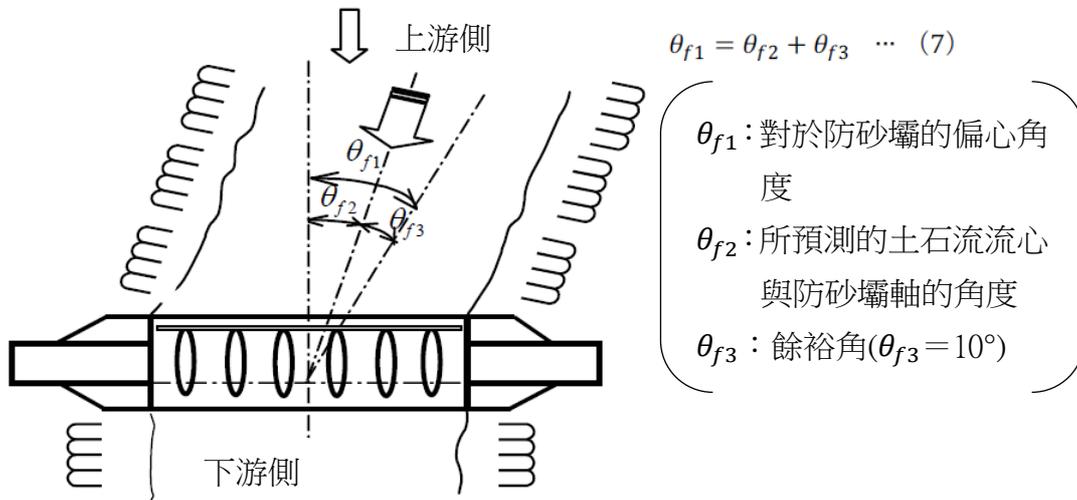


圖-12 開口部材的偏心荷重（溪流的彎曲部有設置防砂壩的情況）

2.1.4.3 本體構造

(1) 溢洪口斷面

原則上溢洪口斷面會與封閉型防砂壩相同，即使開口部（梳子部）產生堵塞也能安全讓土石流尖峰流量流動通過之斷面。

解說

本體構造為即使開口部被土石完全堵塞後，也能有足夠的溢洪口斷面讓土石流尖峰流量流動通過之構造。而此時不須要考慮額外高度。

再者，若因地形因素影響而無法確保溢洪口斷面時，也可利用包含壩翼的斷面來對應。

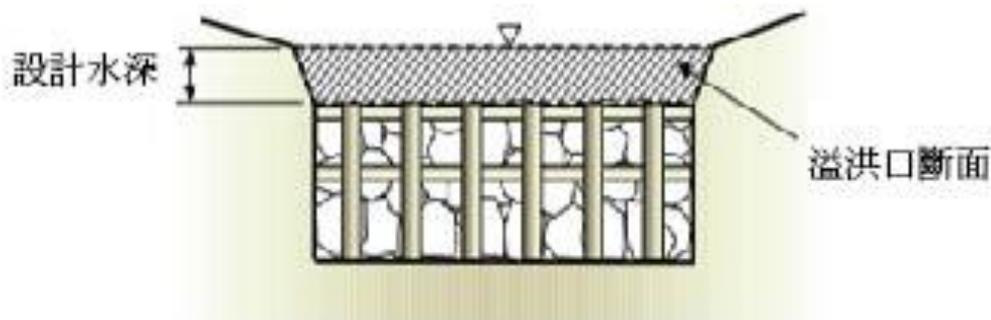


圖-13 溢洪口斷面（斜線部）

(2) 開口部的設定

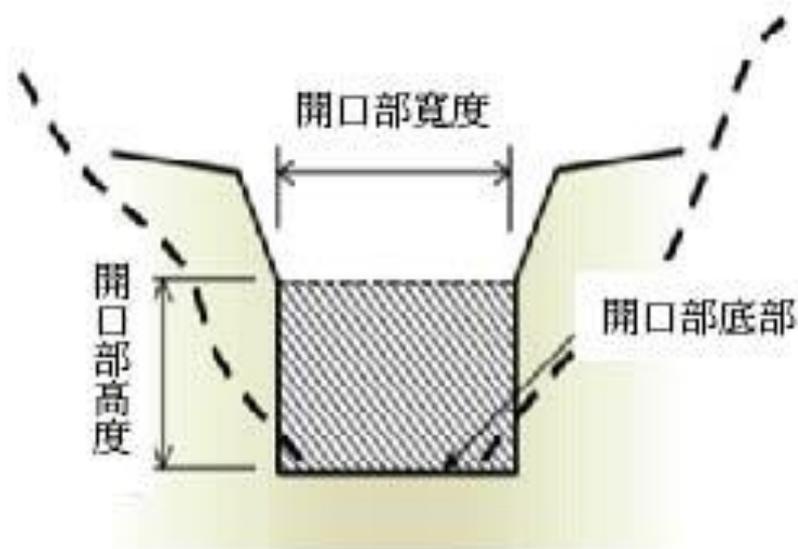
開口部防砂壩的開口部寬度、高度、位置，設定為可有效攔阻土石流與流木。

解說

為了充分發揮開口型防砂壩的機能，會將開口部的寬度盡量拓寬。

開口部的高度需確保在土石流或洪水的流動深度以上，透過計畫攔阻量所決定。

再者，開口部的底部需設為在未淤滿的狀態下可順利讓平時流量通過的形狀。



圖－14 開口型防砂壩的開口部（斜線部）

（3）開口部斷面的設定

開口型防砂壩的開口部斷面需透過土石流的最大礫徑，與設施的目的等因素來決定。

解說

目的為攔阻土石流的開口型防砂壩，可透過適當設定開口部斷面的淨距離（參考圖－15），來維持其攔阻土石流的機能以及平時讓一般土砂流動通過的機能。因此在設定開口部斷面時必須要充分注意土石流的流動形態、最大礫石粒徑（ D_{95} ）、流域內既有設施的配置狀況、防砂壩高度等因素。

水平距離設定為最大礫石粒徑（ D_{95} ）的 1.0 倍

再者，若能夠在平時讓一般土砂向下游流動，且在攔阻土石流的機能亦可滿足下述所有條件的話，也可根據溪流狀況，透過上述以外的方法來設定開口部斷面。

① 土石流深度以下的開口部斷面被土石流中所含的巨石完全堵塞住，且在土石流持續流出的情況下還能維持住堵塞的狀態。

② 比土石流水深還高的開口部斷面被土石流的後續水流完全堵塞住，且在土石流的後續水流持續流出的情況下還能維持住堵塞的狀態。

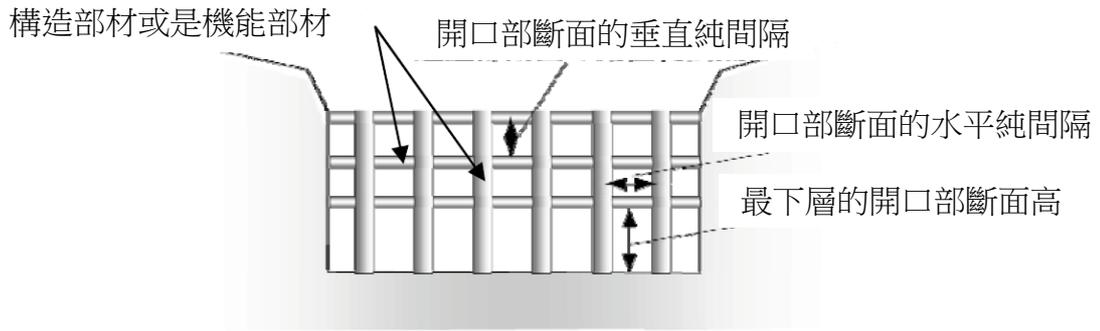


圖-15 開口部斷面的純間隔

表-6 開口部防砂壩中開口部斷面的設定相關說明

機能	水平淨距離	垂直淨距離	最下層的開口部對面高
攔阻土石流	$D_{95} \times 1.0$ ※1	$D_{95} \times 1.0$ ※1	土石流的水深以下 ※2

※ 1 如上所述，水平淨距離與垂直淨距離可以擴大到最大礫石直徑 (D_{95}) 的 1.5 倍。

※ 2 如上所述，必須注意不能比最下層以外的斷面垂直淨距離還要小。

～～（參考）開口部的堵塞（實驗結果）～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～

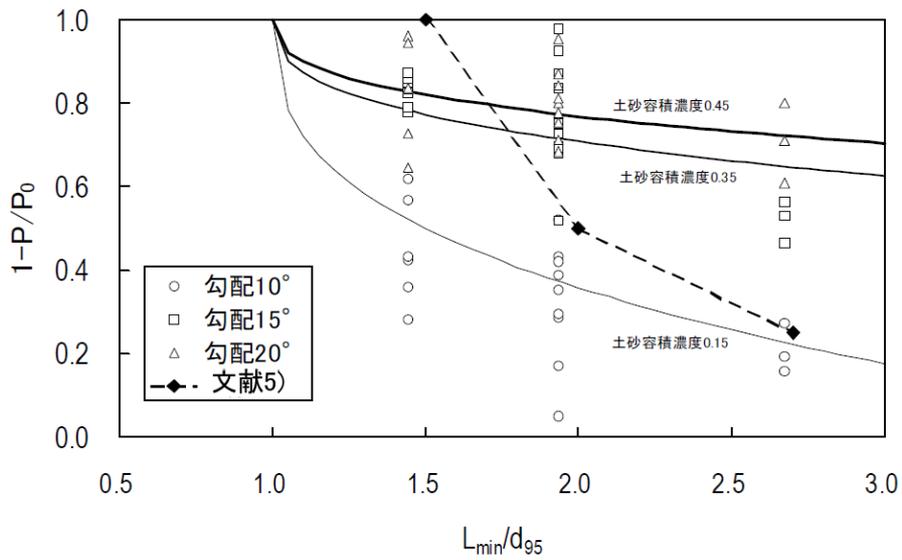


圖-16 土石流尖峰輸砂量的變化

開口部斷面寬度（鋼管間隔）與尖峰輸砂量減少率的關係（ P ：有設施時的高峰輸砂量、 P_0 ：無設施時的高峰輸砂量、 L_{min} ：格子壩的鋼管距離中最小的距離間隔，也就是參考文獻⁶⁾中的開口部斷面寬度、 d_{max} ：最大礫石粒徑⁶⁾⁷⁾。由於土石流所含的土石之體積濃度變低後，高峰輸砂量減少的比例（減少率）就會變小，因此可以發現到開口部斷面已經變得不容易發生堵塞，

～～

2.1.4.4 非溢流部的穩定性與構造

非溢流部的本體斷面需透過穩度分析來決定。

解說

開口型防砂壩的非溢流部之穩定條件與設計外力的概念與封閉型防砂壩相同（參考本方針 2.1.3.3）。

2.1.4.5 前庭保護工

計畫前庭保護工時需考慮到可維持防砂壩本體的穩定性之現場地質與地形後，再因應需求進行計畫。

解說

若為設置開口型防砂壩的情況下，一般水流會與設置前幾乎相同，沿著河床流下，因此大多認為不需要設置前庭保護工。但若假設攔阻土石流之後，後續水流仍持續造成淘刷現象，或是其構造為在開口部下游端與溪床面間產生落差時，就會需要用到封閉型防砂壩為基準所設置的前庭保護工。至於消能工及副壩的部分，需充分考慮其必要性後再進行相關計畫。

再者，副壩的溢洪口斷面會利用將主壩的溢洪口斷面加額外高度的方式來進行設計。

2.1.5 孔隙型防砂壩的構造

2.1.5.1 溢流部的穩定性

孔隙型防砂壩必須在面對傾倒、滑動現象時確保壩體整體的穩定性，並保持其支撐力。再者，以開口部為首，構成壩體的部材在面對土石流以及伴隨土砂所流出的流木時也必須要能確保其安全性才行。

解說

孔隙型防砂壩在構造物整體上必須維持一體性，並確保其穩定度。因此，孔隙型防砂壩必須要具備可以承受設計外力的安全構造。再者，若使用土砂作為填充材料，當流域規模較大且具有常時水流時，在設計時就必須使用防砂水泥來固定內部的填充材料，以避免部分區域的損傷擴大到整體範圍，確保設施的冗餘度。

(1) 穩定條件

孔隙型防砂壩的壩體整體穩定條件與封閉型防砂壩相同。

解說

孔隙型防砂壩的壩體整體安定條件與封閉型防砂壩相同。(參考本方針 2.1.3.1 (1))

(2) 設計外力

孔隙型防砂壩的設計外力基本上與封閉型防砂壩相同，在開口部的構造會有設計外力作用。

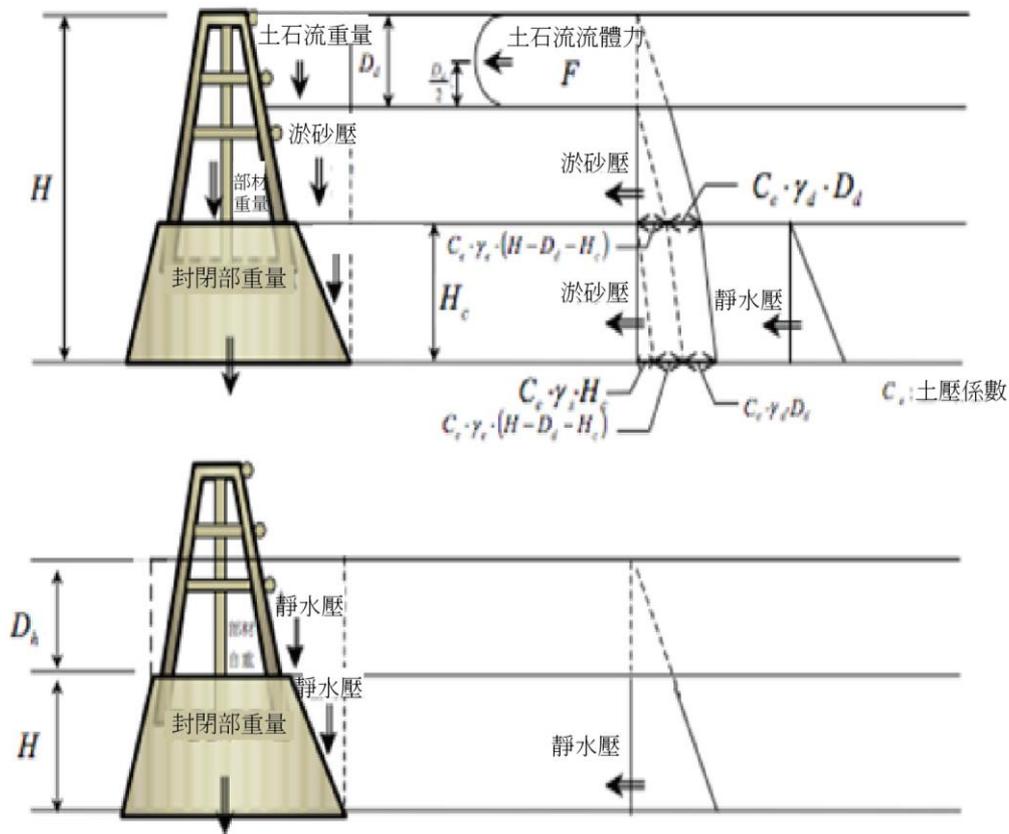
解說

①用於穩度分析的設計外力組合如表-7 所示。

表一7 用於孔隙型防砂壩的穩度分析之設計外力（本體重量除外）

	平時	土石流時	洪水時
防砂壩高未滿 15m		靜水壓、土砂壓力、土石流流體力	靜水壓
防砂壩高 15m 以上	靜水壓、淤砂壓、上揚力、地震時的慣性力、地震時的動水壓	靜水壓、淤砂壓、上揚力、土石流流體力	靜水壓、淤砂壓、上揚力

②用於穩度分析的設計外力如圖一17 所示，會在開口部及封閉部產生作用。



- 1) 計算淤砂壓的垂直力時會使用土砂的單位體積重量 γ_{se} 。
- 2) 計算淤砂壓的垂直力時會使用水中土砂的單位體積重量 γ_{ss} 。

圖一17用於孔隙型防砂壩穩度分析的設計外力
 (H<15m，上圖：發生土石流時，下圖：發生洪水時)

③計算開口部的自重時，會將開口部視為不含有砂礫及水分。再者，發生洪水時會使溢流過開口部的水重以靜水壓的方式作用於封閉部。

設計流量

設計流量的部分與封閉型防砂壩相同。

解說

孔隙型防砂壩的設計流量概念與封閉型防砂壩相同（參考本方針 2.1.3.1 (3)）。

(3) 設計水深

設計水深與封閉型防砂壩相同。

解說

孔隙型防砂壩的設計水深概念與封閉型防砂壩相同（參考本方針 2.1.3.1 (4)）。

2.1.5.2 檢討開口部的構造

開口部的構造檢討與開口部防砂壩相同。

解說

利用和開口型防砂壩相同的方法檢討孔隙型防砂壩的部材與構造（參考本方針 2.1.4.1）。

2.1.5.3 本體構造

(1) 溢洪口斷面

溢洪口斷面的部分與開口型防砂壩相同。

解說

孔隙型防砂壩的溢洪口斷面與開口型防砂壩相同（請參考本方針 2.1.4.3 (1)）。

(2) 開口部的設定

開口部的設定與開口型防砂壩相同。

解說

孔隙型防砂壩的開口部設定與開口型防砂壩相同（請參考本方針 2.1.4.3 (2)）。

(3) 開口部斷面的設定

開口部斷面的設定與開口型防砂壩相同。

解說

孔隙型防砂壩的開口部斷面設定與開口型防砂壩相同（請參考本方針 2.1.4.3 (3)）。

(4) 封閉部的頂端寬度

封閉部的頂端寬度以不因礫石與流木的衝擊而遭到破壞為前提之下決定。

解說

原則上將封閉部的頂端寬度，設為產生衝擊的最大礫石粒徑的 2 倍以上。但此處以封閉型防砂壩為參考基準，在考慮到封閉部的安全性後，將封閉部的頂端寬度設為 3m 以上。

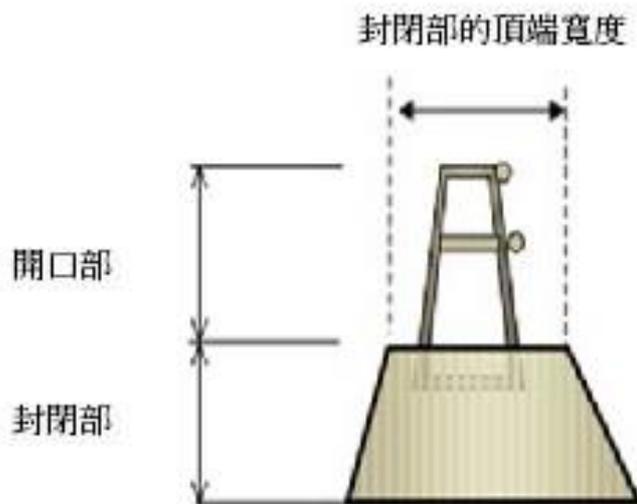


圖-18 孔隙型防砂壩溢流部側面圖（範例）

(5) 下游坡面

下游坡面的部分與封閉型防砂壩相同。

解說

孔隙型防砂壩的下游坡面與封閉型防砂壩的相同（參考本方針 2.1.3.2 (3)）。

(6) 基礎

基礎的部分與封閉型防砂壩相同。

解說

孔隙型防砂壩的基礎與封閉型防砂壩的相同（參考本方針 2.1.3.2 (4)）。

(7) 排水構造

排水構造的部分與封閉型防砂壩相同。

解説

孔隙型防砂壩の排水構造與封閉型防砂壩の相同（参考本方針 2.1.3.2 (5)）。

2.1.5.4 非溢流部的穩定性與構造

非溢流部的穩定性與構造和封閉型防砂壩相同。

解說

孔隙型防砂壩非溢流部的穩定性與構造和封閉型防砂壩相同（參考本方針 2.1.3.3）。

2.1.5.5 前庭保護工

孔隙型防砂壩的前庭保護工與封閉型防砂壩的相同。

解說

孔隙型防砂壩的前庭保護工與封閉型防砂壩的相同。

水墊的長度與寬度部分，假設發生洪水掏刷以及攔阻土石流之後續水流之淘刷現象，從兩者中取較嚴格的條件來進行設計。設計所用之水墊頂端之高度，若為洪水的情況，取從水墊頂端到封閉部的頂端間的距離，若為土石流的情況，取從水墊頂端到開口部頂端間的距離。

至於消能工及副壩的部分，也必須要充分考慮其必要性後再進行相關計畫。再者，副壩的溢洪口斷面會利用將主壩的溢洪口斷面加上額外高度的方式來進行設計。

2.1.6 除石

若在土石流及流木防治對策設施中，若是在有進行除石之前提下評估設施的效益，則必須儘早針對所產生之堆積土砂，或是所攔阻到的土石流及流木進行除石作業。

解說

除石作業的基本概念請參考本方針的第 3 節。

2.2 土石流及流木發生抑制工

2.2.1 土石流及流木發生抑制山腹工

土石流及流木發生抑制山腹工為透過植生或是其他土木構造物來穩定山腹坡面之工法。

解說

土石流及流木發生抑制山腹工主要是指山腹保護工等工程，可預防可能引發土石流之山腹崩塌。

2.2.2 溪床堆積土砂移動防止工

溪床堆積土砂移動防止工為透過固床工等工程防止溪床堆積物移動之工法。

解說

溪床堆積土砂移動防止工主要為透過固床工等工程來防止溪床或是溪岸堆積物產生移動。原則上會將構造設計成在固床工的上游側，到固床工頂端都不會直接承受礫石與流木衝擊力。此外，在壩翼的上游側也會進行填方等措施，盡量避免土石流對其造成損害。設計外力的部分參考本方針 2.1.3.1 (2)，不考慮土石流荷重，僅將靜水壓視為對象。

作為溪床堆積土砂防止工的固床工之斷面可參考本方針 2.1.3.2 (1)，斷面寬度在考量地形條件下盡可能拓寬。在土石流尖峰流量的方面，原則上不考慮加上額外高度也無妨。若其他部分的設計為混凝土製的話，可將本方針 2.1.3 中所介紹的封閉型防砂壩的構造作為參考基準。

2.3 土石流導流工

2.3.1 斷面

設計土石流導流工的斷面時，需考慮到土石流的流量及水深後，再加上額外高度處理。同時也必須注意堆積土石上而產生氾濫的情況。

解說

土石流導流工的設置目的為將土石流導流至安全的位置，在設計時會先設置 1 座以上的土石流及流木攔阻工的堰壩，或是設置土石流堆積工之後接連著設置土石流導流工。

計畫流量的決定，依據溪流整體的設施配置計畫中，假設土石流尖峰流量之減少，來自於設施所整備的土砂量之計畫流出土砂量之比例。但此處不會使其低於利用計畫規模的年迴歸週期降雨量所求出的清水對象流量加上含有 10% 土砂後的總流量。

土石流導流工的寬度需為土石流最大礫石粒徑的 2 倍以上，或原則上以 3m 以上設定。再者，若判斷較有可能伴隨著計畫規模的年迴歸週期降雨量所發生的土石流在上游流域已經可以充分對應的情況下，則僅會設置一般的溪流保護工（參考河川防砂技術基準計畫篇設施配置等計畫篇第 3-2 章）。

加上額外高度的部分如下所述。

流量	額外高度(ΔD_d)
200m ³ /s 以下	0.6m
200~500m ³ /s	0.8m
500~2000m ³ /s	1.0m

但根據河床坡降條件的不同，不可使其低於下述之值。

坡降	$\Delta D_d/D_d$
1/10 以上	0.5
1/10~1/30	0.4

上述的 D_d ：水深（m）。

2.3.2 中心線形

土石流導流工的中心線形必須盡可能為直線。

解說

由於土石流的特徵為具有直進性，因此導流工的中心線形若為直線則較為理想。若因地形或土地利用等因素而必須使其彎曲時，則需插入圓曲線。其彎曲部曲率半徑可透過下式求出，此時會將中心角設為 30° 以下⁶⁾。

$$B_r/\theta_{r(IN)} \leq 0.1 \dots (8)$$

在上式中： B_r ：流路寬 (m)； $\theta_{r(IN)}$ ：彎曲部曲率半徑 (m)，如圖-19 所示。

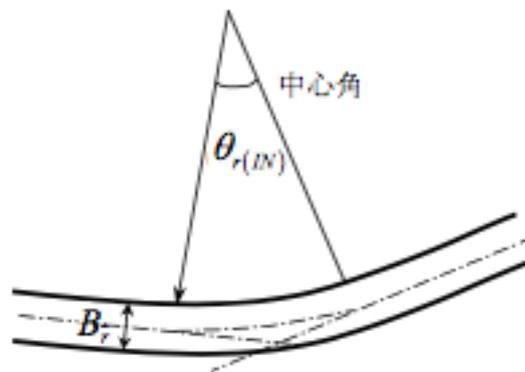


圖-19 土石流導流工彎曲部的中心線

2.3.3 縱斷形

土石流導流工的縱斷形狀必須要有急遽的斜率變化。再者，若預測土石流堆積有淤上的情況時，必須設計為在此種情況下也能確保安全的構造。

解說

由於土石流導流工必須將土石流引導至安全的位置，因此透過急遽的斜率變化設計以避免土砂產生堆積。再者，在流體末端若預測堆積土砂有淤上現象時，則必須因應情況設定護岸高度，使其能夠確保安全性。

2.3.4 構造

2.3.4.1 溪床

原則上採用挖掘的方式。

解說

基於安全考量，會以挖掘的方式設置土石流導流工。

2.3.4.2 彎曲部

在彎曲部必須考慮到外彎部的水位上升現象來決定護岸高度。

解說

透過理論值、實測值、實驗結果等方式來推測水位上升的情況，並將構造設計為可使其安全流下的構造。

在土石流中，外彎部的最高水位 $D_{d(OUT)max}$ 為 $D_d + 10 \cdot (B_r \cdot U^2) / (\theta_r \cdot g)$ ，一般在土石流導流工與流路工進行施工的扇狀地時，土石流與清流條件下，外灣最高水位可分別透過下述方程式求出⁸⁾。

$$\text{土石流：} D_{d(OUT)max} = D_d + 2 \frac{B_r \cdot U^2}{\theta_r \cdot g} \cdot \cdot \cdot (9)$$

$$\text{清流（超臨界流）：} D_{d(OUT)max} = D_d + \frac{B_r \cdot U^2}{\theta_r \cdot g} \cdot \cdot \cdot (10)$$

在上式中： D_d ：直線部的水深（m）； B_r ：流路寬（m）； U ：平均流速（m/s）； θ_r ：水路中央的曲率半徑（m）； g ：重力加速度（9.81 m/s²）。

2.4 土石流堆積工

2.4.1 土石流分散堆積地

2.4.1.1 形狀

決定土石流分散堆積地形狀時必須掌握土石流的流動性與地形的特性後再將其設為適當的形狀。

解說

以過去發生的土石流規模與流動、堆積特性，以類似溪流的過去案例為依據來決定分散堆積地的形狀。

2.4.1.2 計畫淤砂坡降

將土石流分散堆積地的計畫淤砂坡降，以目前溪床坡度的 $1/2 \sim 2/3$ 為基準設定。

解說

將土石流分散堆積地的計畫淤砂坡降基準設為目前溪床坡度的 $1/2 \sim 2/3$ 。
若有可參考運用的實際案例數據時，也可使用。

2.4.1.3 計畫堆積土砂量

土石流分散堆積地的計畫堆積土砂量會以在計畫淤砂坡降中產生淤砂的狀態下求出。

解說

土石流分散堆積地的計畫堆積土砂量，是以本方針 2.4.1.2 中所設定的計畫淤砂坡降中，土砂產生堆積的狀態下所推算出。

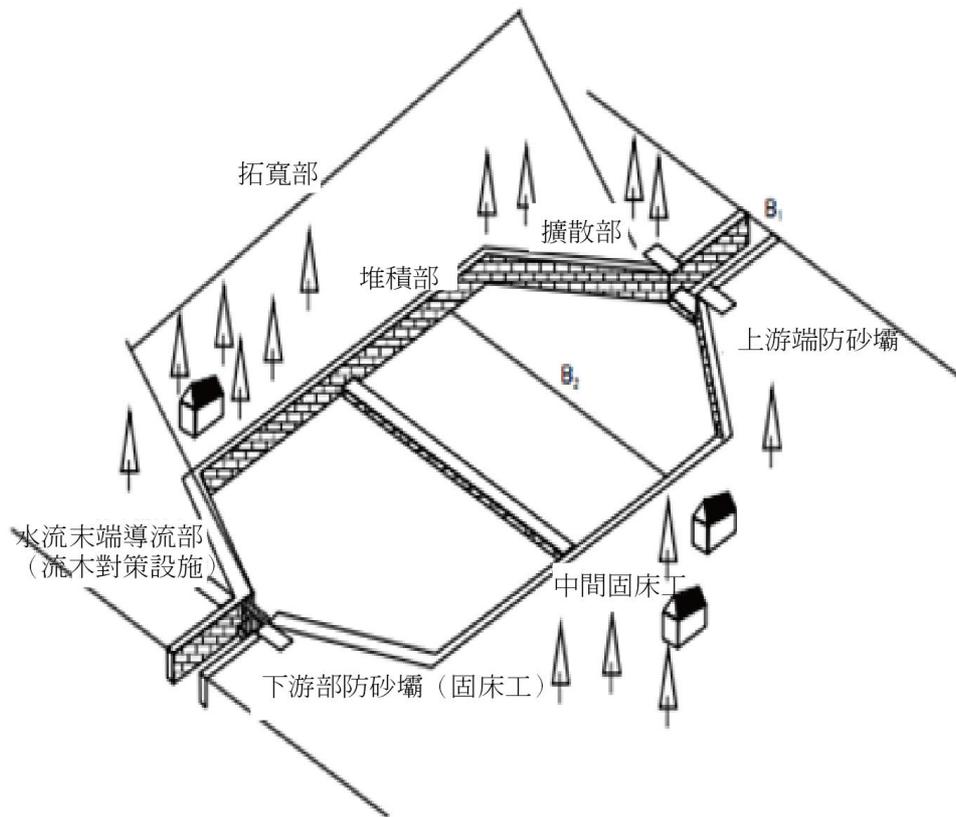
2.4.1.4 構造

在土石流分散堆積地的上、下游端會設置防砂壩或是固床工，在淤砂地內則會因應需求設置護岸及固床工。

解說

土石流分散堆積地是由上下游側的防砂壩（固床工）、擴散部、堆積部，以及流體末端導流部所構成。上游側防砂壩（固床工）的目的為緩和堆積地坡度，原則上會採用挖掘的方式設置，設置時確保其與上游側溪床間的段差。下游側防砂壩（固床工）則擁有可控制擴散水流，使其返回河道的功能。另外為了增加堆積容量，同時也會在堆積部設置固床工。

此處會將土石流分散堆積地的寬幅（ B_2 ）設為上游部流路寬幅（ B_1 ）的 5 倍以內。



圖一20 土石流分散堆積地

2.4.2 土石流堆積流路

盡量讓土石流堆積在扇狀地內的流路，同時也會透過護岸工法等設施來防止溪岸沖蝕。

解說

為了讓土石流可以盡量堆積在流路內，會透過緩和溪流坡降以及拓寬流路斷面，來降低土砂輸送能力。但若土石流發生之前就已有平時的流量所帶來的土砂堆積，土石流發生時將減少可堆積土砂的容量。因此必須要事先預測平時的土砂量（土砂混入濃度），將流路坡降緩和至不會使其產生堆積的程度。

2.4.3 除石

若因土石流在土石流堆積流路內產生土砂堆積時，需儘早進行除石作業。

解說

除石的基本概念請參考本方針第 3 節。

2.5 土石流緩衝樹林帶

土石流緩衝樹林帶會設定在土石流堆積區間的末端附近，目的為在土石流堆積區間內減低土石流的流速。

淤砂空間內的構造部分，會在考慮到目前的地形下，於下游端設置固床工等設施，並配置處理小規模洪水的常水路、導流堤、樹林，以及輔助設施。

解說

(1) 利用樹種

需參考計劃區域內或是類似環境條件下的鄰近位置所存在的樹種來選定利用樹種。

(2) 樹林的密度等條件

①為了樹木生長，樹林密度的設定上必須要確保最低限度的距離，此外，也必須要能有效降低土石流在樹林帶區域內流速，使土砂產生堆積。

②為使樹木不會因為流體力的作用而傾倒，需進行相關檢討作業。

(3) 效果量

可透過求出考慮到整備後之樹林帶的粗糙係數，或是利用推移質量求出土砂堆積量等方式來計算效果量，另外也會將計畫區域內的溪床不穩定土砂量一併視為效果量。

計畫平均堆積深度約為 0.3~0.5 左右⁹⁾。

(4) 樹林帶的保育

為維持土石流緩衝樹林帶的機能，需針對樹林帶進行保育作業，同時並因應需求實施除草及補植。

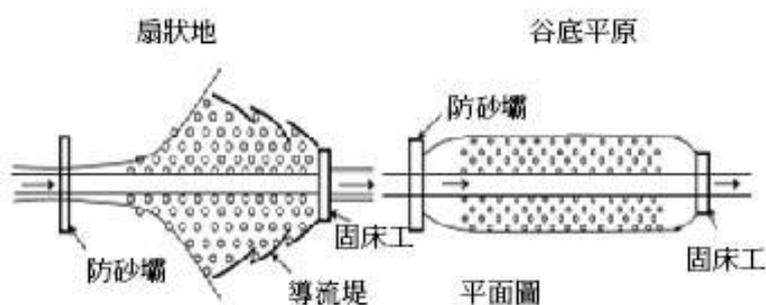


圖-21 土石流緩衝樹林帶

2.6 土石流流量控制工

雖可藉由土石流導流堤等設施控制土石流的流向，但除了必須要設置足夠的高度避免產生溢流之外，同時也注意表坡面的淘刷現象。

解說

(1) 導流堤的中心線形

若在計畫基準點的下游處有可以讓土砂安全流下，不會對下游造成災害的安全位置時，便可透過土石流導流堤來控制土石流的流向，將土石流導流至安全的場所。為了防止土石流直接衝擊造成溢流，此處會將流向控制工的中心線對於水流的角度 (θ_c) 設為 $\theta_c < 45^\circ$ 。若土石流的流向變動需求為 45° 以上時，則將導流堤分割成複數座，再以開口堤的方式配置。

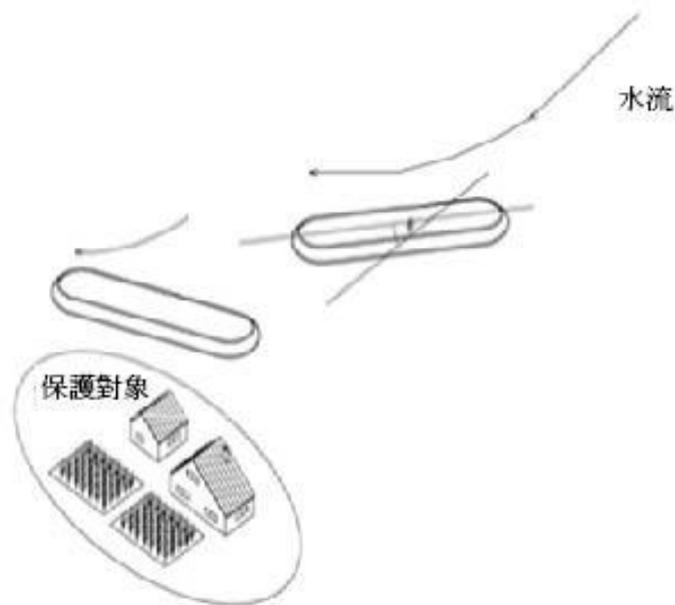


圖-22 土石流導流堤的中心線

(2) 土石流導流堤高度

原則上會將流向控制工的頂端設為與目前的溪床坡降平行。高度設定為土石流的深度再加上額外高度。(參考本方針 2.3.1)

土石流的速度與水深可依照防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.6.5 中的內容來求出。

(3) 導流堤的坡面保護以及坡面下端的淘刷對策

導流堤的表坡面會藉由混凝土、鋪石工、鋪混凝土砌塊、鋼板樁等部材所建構的護岸來預防土石流所導致的侵蝕現象。坡腳的部分則是透過貫入護岸工、混凝土區塊等坡腳保護工，以及坡腳保護水制工來預防淘刷，確保其安全性。

(4) 除石

土石流流向控制工的除石作業請參考本指針第 3 節。

第2節 除石（包含去除流木）

為了充分發揮土石流及流木對策設施的機能，土石流發生後需定期針對淤砂狀況進行檢查，並因應必要實施除石（包含去除流木）作業。

再者，當在土石流及流木處理計畫中需要進行除石（包含去除流木）作業時，必須事先檢討搬運路線以及搬運方法。

解說

若在土石流及流木處理計畫中需要進行除石作業時，就必須要在土石流及流木處理計畫中檢討鋪設搬出道路之土砂及流木的搬出方法，以及搬出土砂的置放處、除石（包含去除流木）作業的實施頻率等相關除石（包含去除流木）計畫。再者，原則上不會在溪床堆積土砂移動防止工中進行除石（包含去除流木）作業。

此外，除石作業可分為兩種，其一為在發生土石流後緊急實施的「緊急除石（包含去除流木）」。另一種則是以定期檢查為基礎，目的為除去平時所堆積的土砂與流木的「定期除石（包含去除流木）」。兩者的基本概念請參考防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）第5節的內容。

第3節 設定發生土石流時的設計外力

4.1 計算發生土石流時的設計外力（衝擊力除外）

設定發生土石流時的設計外力所需用到的土石流尖峰流量、土石流的流速與深度、土石流的單位體積重量、土石流流體力等因素，都必須假設在沒有土石流及流木對策設施的狀態下進行計算。

解說

各數據的計算方式請依據下述參考防砂基本計畫制定方針中的內容。

- 土石流尖峰流量：防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.6.3
- 土石流的流速與深度：防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.6.5
- 土石流的單位體積重量：防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.6.6
- 土石流的流體力：防砂基本計畫制定方針（土石流及流木對策篇）2.6.7

4.2 礫石的衝擊力

因礫石衝擊而使壩體所受到的衝擊力，會因為壩體材料的種類與特性產生變化。而此處會根據壩體材料的種類與特性，來設定作為設計外力的礫石衝擊力。

解說

若材料為巨積混凝土時，可透過方程式（11）推測出衝擊力（ P ）⁸⁾。

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

$$K_1 = \frac{1-v_1^2}{\pi E_1}, K_2 = \frac{1-v_2^2}{\pi E_2}$$

$$a = \left(\frac{5U^2}{4n_1n}\right)^{2/5}, n_1 = \frac{1}{m_2} \cdot \cdot \cdot \quad (11)$$

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

在上式中， E_1 、 E_2 ：混凝土與礫石的彈性係數（ N/m^2 ）； v_1 、 v_2 ：混凝土與礫石的柏松比； m_2 ：礫石質量（ kg ）； R ：礫石半徑（ m ）； π ：圓周率（ $=3.14$ ）； U ：礫石速度（ m/s ）； a ：凹陷量（ m ）； K_1 、 K_2 ：常數； β ：實驗常數； m_1 ：壩翼區塊的質量（ kg ）。此外，這裡會將礫石速度視為與土石流流速相同，而礫石粒徑取最大礫石粒徑使用。（參考本方針 2.1.3.1（4））

～～（參考）礫石與混凝土的物理常數範例¹⁰⁾ ～～～～～～～～～～～～～～～～～

礫石的彈性係數 $E_2 = 5.0 \times 10^9 \times 9.81 \text{ N/m}^2$ ，柏松比 $\nu_2 : = 0.23$

混凝土的極限強度正割彈性模數^{*} $E_1 = 0.1 \times 2.6 \times 10^9 \times 9.81 \text{ N/m}^2$

混凝土的柏松比 $\nu_1 = 0.194$

※由於混凝土的表面會因為礫石的衝突而產生凹陷，此處使用混凝土到破壞為止的平均變形係數（極限強度變形係數）。此係數值約為混凝土彈性係數的1/10。

～～

4.3 流木的衝擊力

因流木的衝擊使壩體所受的衝擊力，會因為壩體材料的種類與特性產生變化。此處根據壩體材料的種類與特性來設定作為設計外力的流木衝擊力。

解說

在土石流區間內，若流木攔阻工的壩翼等部位為混凝土構造的話，在檢討壩翼的構造與部材的穩定性時，計算漂流木對壩體的衝擊力計算，可直接以礫石衝擊時所使用的衝擊力之計算式來計算。

参考文献

- 1) 土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領(案) (1999):平成 11 年 4 月建設省河川局砂防部砂防課,p.17
- 2) 川邊健作、坂本昌三、内田太郎、伊藤力生(2014):広島西部山系(大町地区)における小規模溪流対応型施設検討について、砂防学会誌、Vol.67, No.2, p.42-46
- 3) (社)砂防学会(1996):砂防設備の耐震設計に関する検討委員会報告、新砂防 Vol.48,No.6(203),p.37
- 4) 下田義文、水山高久、石川信隆、古川浩平(1992):巨礫を受けるコンクリート製砂防ダム袖部の衝撃模型実験と被災例シミュレーション、土木学会論文集、No.450,p.131-140
- 5) 下田義文、鈴木真次、石川信隆、古川浩平(1993):個別要素法によるコンクリート製砂防ダムの衝撃破壊シミュレーション解析、土木学会論文集、No.480, p.97-106
- 6) 渡辺正幸、水山高久、上原信司(1977):土石流対策砂防施設に関する検討、新砂防 115 号,p.40
- 7) 水山高久、小橋澄治、水野秀明(1995):格子型ダムのピーク流砂量減少率に関する研究、砂防学会誌(新砂防)、Vol.47, No.5, p.8
- 8) 水山高久、上原信司(1981):湾曲水路における土石流の挙動、土木技術資料 23-5,p.243
- 9) 建設省河川局砂防部砂防課(1988):緑の砂防ゾーン計画策定指針(案)、p.5
- 10) 瀬尾克美、水山高久、下東久巳(1985):土石流衝撃力に対する緩衝材に関する実験及び解析報告書、土木研究所資料第 2169 号

(參考) 設計掃流範圍內的流木對策設施

參 1.1 洪水、土砂量的規模等

在掃流範圍的附近或是河道內設置有流木對策設施時，必須考慮到洪水及土砂流動規模後，設計成可讓洪水及土砂流安全流下。

解說

豪雨時引發的洪水規模（尖峰流量、流速、水深、含砂率），原則上根據河川防砂技術基準計畫篇、河川防砂技術基準（草案）調查篇第 5 章及第 6 章、河川防砂技術基準（草案）設計篇第 3 章等內容進行研究。

洪水與土砂流動之流速、水深等要素會利用含有土砂的流量，透過曼寧公式計算，且此處不會將流木對流速與水深的影響考慮進去。再者，這裡將流木的流速視為幾乎等同於含砂水流的表面流速，設為約平均流速的 1.2 倍來作計算。

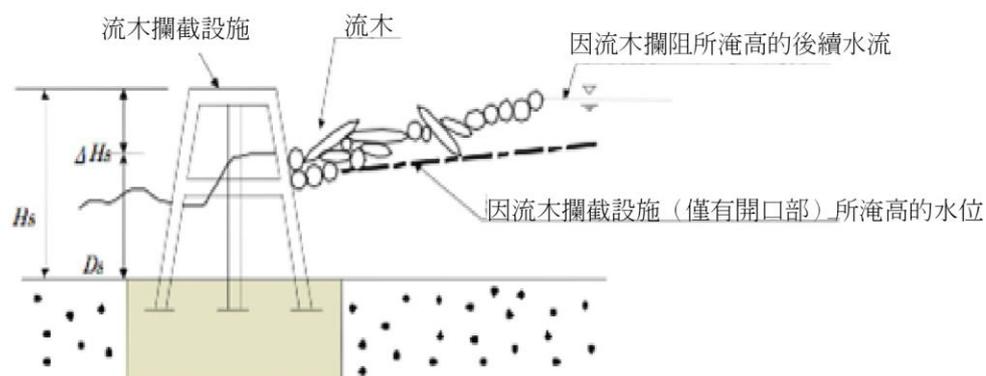
參 1.2 設計流木攔阻工

參 1.2.1 開口部高度

流木攔阻工的開口部高度，必須高於流木攔截設施淹高後的水位，加上攔阻流木所需要的高度之總和。

解說

開口部必須設計成不會因為落石而產生堵塞，且開口部的高度必須高於因流木攔截設施淹高後的水位加上攔阻流木所需要的高度之總和。其概念如圖一1所示。以下說明決定這些要素的順序。再者，下圖中的符號定義為： D_s ：因流木攔截設施所上升後的水位（m）； ΔH_s ：攔阻流木的必要高度（m）； H_s ：流木攔截設施（開口部）的高度。



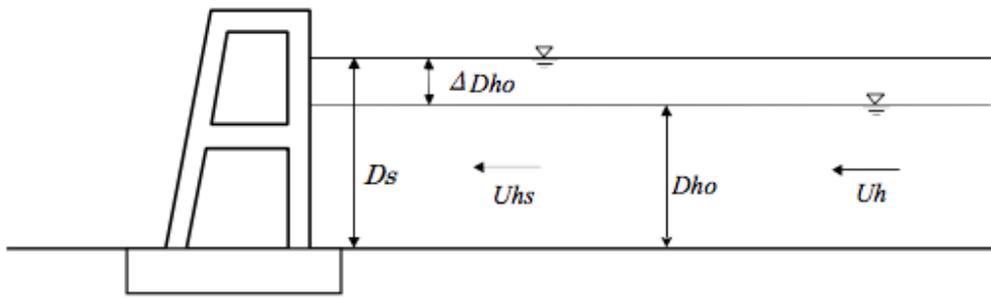
圖一參1設置於剪應力區間內的流木攔阻工的開口部高度（ H_s ）示意圖

(1) 淹高水位的計算

① 淹高前的水深 D_{h0} 、平均流速 U_h

明渠形狀：含砂水流流量，透過曼寧式等公式求出。

堰形狀：含砂水流流量，透過堰公式求出。



圖一參 2 因流木攔截設施所造成的淹高水位

②流木攔截設施造成的淹高

在剪應力區間內設有流木攔截設施時，由於大部分的流木都會從土砂流或洪水的表面流下，為了要攔阻這些流木就必須要考慮到流木攔截設施所造成的淹高水位，將流木攔截設施的高度設為比土砂流及洪水水位還要高之高度。

縱向部件所造成的淹高水位可透過下式^{參1)}算出。

$$\Delta D_{h0} = k_m \cdot \sin \theta_m \cdot \left(\frac{R_m}{B_p} \right)^{4/3} \cdot \frac{U_h^2}{2g} \cdot \dots \quad (\text{參 1})$$

在上式中， ΔD_{h0} ：流木攔截設施縱向部材所造成的淹高水位 (m)； k_m ：縱向部材的斷面形狀係數 (鋼管用 $k_m \cong 2.0$ 、角狀鋼管用 $k_m \cong 2.5$ 、H 形鋼用 $k_m \cong 3.0$)； θ_m ：縱向部材面對下游河床面的傾斜角 (度)； R_m ：縱向部材的直徑 (m)； B_p ：縱向部材的淨距離 (m)； U_h ：上游側的流速 (m/s)。

③淹高後的水深 D_s

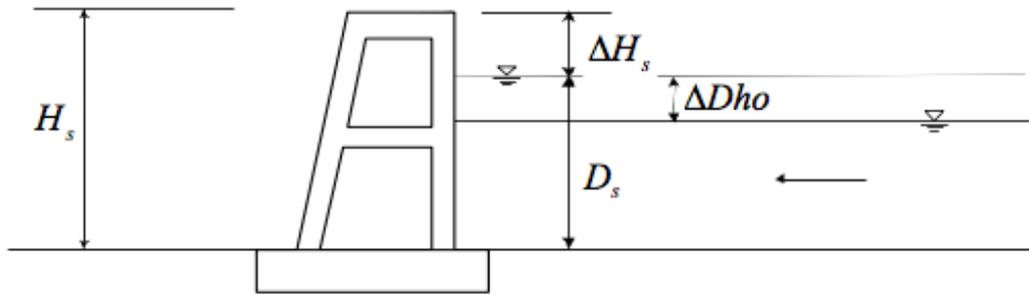
$$D_s = D_{h0} + \Delta D_{h0} \quad \dots \quad (\text{參 2})$$

$$U_{hs} = \frac{Q}{D_s \cdot B_s} \quad \dots \quad (\text{參 3})$$

在上式中： Q ：設計流量 (m³/s)； U_{hs} ：淹高後平均流速 (m/s)； B_s ：水流寬度 (m)。

(2) 流木攔截設施的高度 (H_s)

將堵塞狀態視為沒有因土砂礫而造成堵塞後，此時會將流木攔截設施的高度設為淹高後的水深 D_s 加上攔阻流木所需要的高度 ΔH_s 。設定 ΔH_s 值時會考慮到攔阻流木時流木浮上的高度，至少需要確保為最大流木徑的2倍。



圖一參 3 沒有堵塞疑慮時的開口部高度

參 1.2.2 開口部部材的淨距離

流木攔阻工開口部中的部材淨距離必須同時滿足以下兩種條件：1.開口部不因為落石而堵塞；2. 需可攔阻到流木。

解說

(1) 因掃流力產生移動的最大礫石粒徑

流過掃流區間的最大礫石粒徑可參考在臨界掃流力下的移動臨界礫石粒徑，透過下述方法求出。

①可透過下式^{參2)} 求出平均粒徑的移動臨界摩擦速度的平方 U_{*cm}^2 。

$$U_{*cm}^2 = 0.05 \cdot (\sigma/\rho - 1) \cdot g \cdot d_m \cdot \dots \quad (\text{參 4})$$

在上式中， d_m ：河床材料的平均粒徑 (m)； σ ：砂礫的密度，一般為 2600~2650kg/m³； ρ ：泥水的密度，一般為 1000~1200kg/m³； g ：重量加速度 (m/s²)。

②可透過下式求出摩擦速度的平方 U_*^2

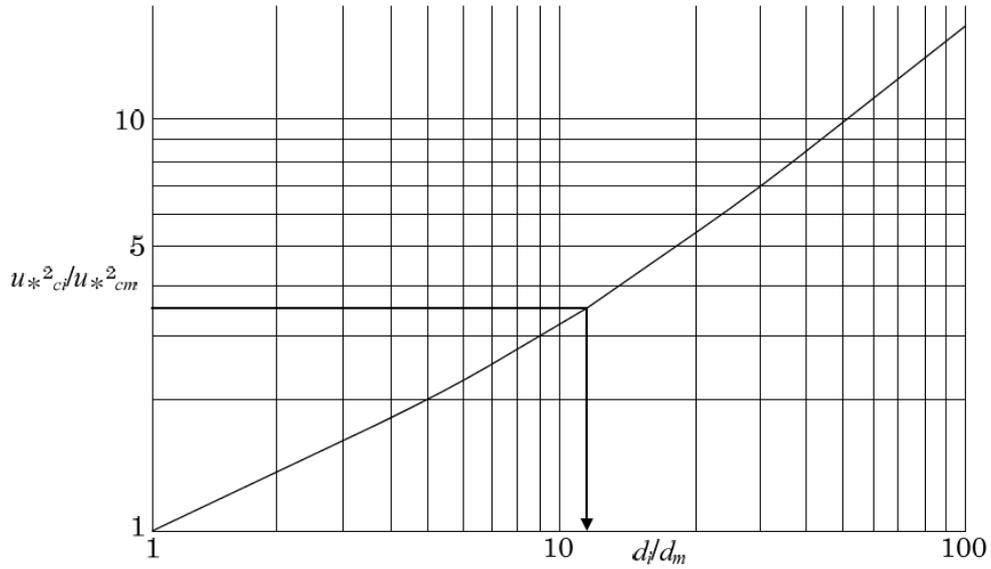
$$U_*^2 = g \cdot D_{h0} \cdot I \cdot \dots \quad (\text{參 5})$$

在上式中， D_{h0} ：水深 (m)； I ：河床坡降。

③可利用①、②之值求出摩擦速度比的平方 U_*^2/U_{*cm}^2

④求出附圖的縱軸 U_*^2/U_{*cm}^2 等於③中的 U_*^2/U_{*cm}^2 之值時所對應的 d_i/d_m 。

$$\frac{d_i}{d_m} > 0.4 : \frac{U_{*ci}^2}{U_{*cm}^2} = \left(\frac{\log_{10} 19}{\log_{10} 19 \cdot \left(\frac{d_i}{d_m}\right)} \right)^2 \left(\frac{d_i}{d_m} \right) \cdot \dots \quad (\text{參 6})$$



圖一參 4 各粒徑的臨界剪應力

(6)

(2) 開口部部材的淨距離

為了讓開口部不會因落石所堵塞，設定部件淨距離時，必須使上式求出之最大落石滿足下述條件。

$$B_p \geq 2d_i \quad \dots \text{(參 7)}$$

在上式中， B_p ：開口部的淨距離 (m)； d_i ：最大落石 (m)。

$$\frac{1}{2}L_{wm} \geq B_p \quad \dots \text{(參 8)}$$

在上式中， L_{wm} ：最大流木長 (m)。

為達到攔阻流木的目的，部件淨距離必須滿足上述方程式，同時也需注意有時折損的流木會穿過孔隙等現象。

參 1.2.3 檢討整體的穩定性

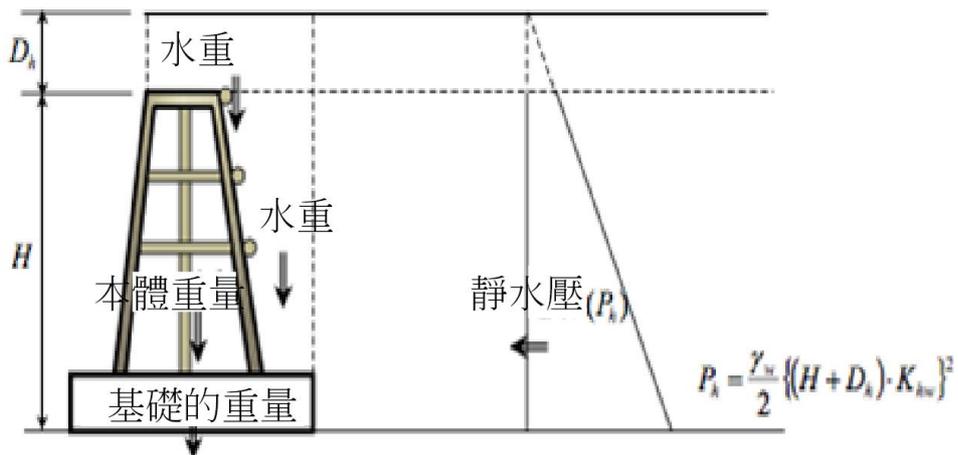
檢討流木攔阻工的穩定性時，必須將其設計為即使在被所攔阻的流木完全堵塞住的情況下也能維持穩定狀態，確保其安全性。

解說

在檢討掃流區間內的流木攔阻工的穩定性時，原則上會以為河川防砂技術基準計畫篇、河川防砂技術基準（草案）設計篇第 3 章為參考基準。再者，含有獨自設置的流木攔阻工之基礎部的防砂壩高度原則上會設為 5m 以下（約為固床工高度之程度），但若防砂壩高度超過 5m 時，則必須要注意下述事項並深入研究。

- 需盡可能降低流木攔阻工的開口部高度，讓溢洪口的寬度可以變寬，以降低水深。
- 在地基較厚的地基頂端與下游河床面有較大落差，以及流木攔阻工的高度較高，使得溢流水會產生較大的落差時，必須針對前庭保護工進行檢討作業以確保其穩定性。

在掃流區間內，若流木攔截設施被流木所堵塞住時，會如圖一參 5 所示，發生靜水壓的作用力。此時靜水壓的大小會受到開口部堵塞密度（ K_{hw} ）的影響。此處將在完全堵塞的狀態下之靜水壓假設為 $K_{hw} = 1.0$ （水的單位體積重量為 $\gamma_w = 11.77kN/m^3$ ）。若其為掃流範圍內的開口型流木攔阻工時，由於此種攔阻工是設計成不會攔阻到礫石之故，所以不須考慮淤砂壓。



※1) K_{hw} : 因應開口部堵塞密度的靜水壓係數 ($K_{hw}=1.0$)

圖一參5 剪應力區域內流木攔阻工的堵塞狀況

表－參 1 流木對策設施（剪應力區間）的設計外力（本體重量除外）

	平時	土石流時	洪水時
防砂壩高 5m 以下 （包含基礎）			靜水壓

參 1.2.4 檢討部件的穩定性

當考慮到掃流範圍內的流木攔阻工開口部的構成部件時，須以受到水壓、流木、礫石的衝擊也能保持安全的前提下進行設計。

解說

與土石流範圍內的流木攔阻工相同，由於開口部的構成斷面較小，且不是重力式構造的關係，需進行部件的構造計算，驗證其安全性。

流木與礫石所造成的衝擊力是以土石流及流木對策設施設計技術方針 4.2 及 4.3 為參考基準。

在掃流範圍內，要計算用於計算開口部部材構造的設計外力（流木的衝擊力）時，會取表面流速來代表流木造成的衝擊所產生之流速，再透過下述方程式求出。此時假設流木流下時其長軸與與水流方向平行方向流動，且造成衝擊。

$$U_{ss} = 1.2U_s \quad \dots \quad (\text{參 9})$$

在上式中， U_{ss} ：表面流速 (m/s)； U_s ：平均流速 (m/s)。

參 1.2.5 開口部以外的設計

在檢討流木攔阻工的各部分構造時，必須要以當流木攔阻工因所攔阻之流木產生堵塞時也能保持穩定的前提下進行設計。再者，也必須檢討當與流木發生衝突時，面對其衝擊力的穩定度。

解說

檢討流木捕捉工各部構造時（溢洪口斷面、頂端寬度、下游坡面、基礎、壩翼構造、前庭保護工），原則上會以河川防砂技術基準計畫篇與河川防砂技術基準（草案）設計篇第3章為參考基準。也就是說，在探討流木攔阻工各部構造時，會將其假設為流木攔截設施（開口部）的上游側已經被流木堵塞住，且水流不會再流出、且安全的的狀態下，將其視為封閉型防砂壩來設計溢洪口斷面、頂端寬度、下游坡面、基礎，以及前庭保護工。另外也可在副壩中設置流木攔阻工。

原則上，為了對應開口部被流木堵塞住而造成土砂流與洪水流發生溢流的現象，流木攔阻工的溢洪口斷面會設置在開口部的上方。此時不會考慮到額外高度，但會將穿透開口構造頂端的水量列入考慮。

參 1.3 設計流木發生抑止工

為了讓掃流範圍的流木發生抑止工可以有效發揮抑制溪岸沖蝕機能，必須以發生洪水時也能維持其安全性的前提下進行設計。

解說

由於掃流範圍內的流木發生抑止工會設置在與護岸工和整流工相同的位置上，且也與兩者擁有相同機能之故，在設計方面可參考河川防砂技術基準（草案）設計篇第 3 章。

参考文献

参 1) 土木学会(1980):水理公式集昭和 46 年改定版、社団法人土木学会、p.252

参 2) 土木学会(1999):水理公式集平成 11 年改定版、社団法人土木学会、p.158

國土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 905 April 2016

編輯・発行 國土技術政策総合研究所

欲轉載、複製本資料請洽詢以下單位

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675

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。