



水土保持單元叢書 01

非透過性防砂壩

水土保持單元叢書01

非透過性防砂壩

Impermeable-type Dam

行政院農業委員會水土保持局



9 789860 586695



行政院農業委員會水土保持局 編印

行政院農業委員會水土保持局 編印
中華民國108年02月

序

目前水土保持領域主要參考資料，包括水土保持法及其技術規範、土保持手冊，前者係屬原則性之法規規定，後者則以精簡實用為主。但因水土保持問題與自然複雜的環境變遷息息相關，除了依據法規執行與參考水土保持手冊相關內容所提供之資源外，各項水土保持處理單元及細部議題，應更深入即時以較為寬廣完整之方式予以細緻的呈現。因此，基於水土保持法、水土保持技術規範及水土保持手冊之架構下，將水土保持各項議題和工法之特性及應用，規劃以「單元叢書系列」方式將其設計內容及應用分析更加詳實予以編修，以提供工程師在從事水土保持處理與維護時之參採依循，實屬必要。

本冊「非透過性防砂壩」單元叢書架構內容，除針對重力式與半重力式等非透過性防砂壩，描述基本之定義目的、種類適用範圍、規劃設計原則、安定檢算及設計圖說案例等細部內容外，更進一步將規劃設計原則與步驟予以流程化，並同時提供重力式防砂壩設計實例與水文分析流程，使讀者可快速清楚了解非透過性防砂壩之設計過程、實際應用與防砂效益功能。

本冊單元叢書撰寫過程與內容，在諮詢水土保持相關技師公會與學者專家之寶貴意見，並承諸多先進前輩及本局同仁踴躍提供意見之下，最終方使得編修工作圓滿完成，謹致萬分謝忱！

行政院農業委員會

水土保持局 局長

李鎮輝

謹誌

2018 年 02 月

目錄

目錄.....	I
表目錄.....	III
圖目錄.....	VI
第一章 定義與目的	1-1
1.1 定義.....	1-1
1.2 目的.....	1-1
1.3 非透過性與透過性防砂壩之比較.....	1-3
第二章 種類及適用範圍	2-1
2.1 重力式壩.....	2-1
2.2 半重力式壩.....	2-8
2.3 格框壩.....	2-9
2.4 拱壩.....	2-10
2.5 土壩.....	2-11
第三章 規劃設計原則	3-1
3.1 規劃設計之順序.....	3-1
3.2 防砂壩各部位說明.....	3-3
3.3 資料蒐集.....	3-6
3.4 壩址選定.....	3-8
3.5 地形調查與測繪.....	3-10
3.6 計畫淤砂坡度.....	3-15
3.7 防砂壩布置.....	3-15
3.8 溢洪口設計.....	3-17
3.9 重力式壩體設計.....	3-28
3.10 壩翼設計.....	3-45
3.11 基礎設計.....	3-50
3.12 下游保護工.....	3-52
3.13 附屬設施.....	3-57
3.14 治理效益.....	3-61

3.15 注意事項.....	3-61
第四章 案例計算-重力式防砂壩設計實例	4-1
4.1 基本資料設定和計算.....	4-4
4.2 壩體幾何設計.....	4-6
4.3 防砂壩各面向圖說.....	4-8
4.4 安定檢討.....	4-9
附錄.....	附錄-1
附錄一、防砂壩之防砂量演算.....	附錄-1
附錄二、Horner 公式相關係數值.....	附錄-4
附錄三、無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 等係數與平均雨量表.....	附錄-23
附錄四、水文分析流程-以橫流溪為例.....	附錄-30
參考文獻.....	參考-1

表目錄

表 1-1 非透過性防砂壩與透過性防砂壩比較表	1-3
表 2-1 石材大小分類	2-1
表 3-1 水土保持技術規範之逕流係數	3-20
表 3-2 三角形單位歷線洪峰係數與 m 值修正表	3-24
表 3-3 有效降雨延時推估	3-24
表 3-4 出水高與排洪量參考表	3-25
表 3-5 壩頂厚度選取參考表	3-29
表 3-6 防砂壩安定檢算考慮作用力一覽表	3-30
表 3-7 泥砂特性與其內摩擦角一覽表	3-34
表 3-8 各種基礎類型之浮力係數值	3-36
表 3-9 地震分區表	3-37
表 3-10 防砂壩安定計之算各式情況列表	3-41
表 3-11 各種基礎類型與混凝土之摩擦係數	3-43
表 3-12 混凝土之容許應力	3-44
表 3-13 各種基礎類型之容許承载力	3-44
表 3-14 竹節鋼筋尺度表	3-49
表 3-15 鋼筋混凝土之容許握裹力表(N/mm^2)	3-50
表 3-16 混凝土之容許剪應力表(N/mm^2)	3-50
表 3-17 截水牆嵌入深度	3-53
表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-4
表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-8
表附-3 台灣南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-14
表附-4 台灣東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-17
表附-5 氣象局北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-20
表附-6 氣象局中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-21
表附-7 氣象局東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-21
表附-8 氣象局南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-22
表附-9 離島各雨量站 A、B、C、G、H 係數表	附錄-23

表附-10 北部地區各雨量站 A、B、C、G、H 係數表	附錄-23
表附-11 中部地區各雨量站 A、B、C、G、H 係數表	附錄-24
表附-12 南部地區各雨量站 A、B、C、G、H 係數表	附錄-25
表附-13 東部地區各雨量站 A、B、C、G、H 係數表	附錄-26
表附-14 北部地區各雨量站之年平均雨量表	附錄-27
表附-15 東部地區各雨量站之年平均雨量表	附錄-27
表附-16 中部地區各雨量站之年平均雨量表	附錄-28
表附-17 南部地區各雨量站之年平均雨量表	附錄-29
表附-18 中央氣象局東勢氣象站歷年統計資料表	附錄-31
表附-19 鄰近雨量站測站基本資料表	附錄-32
表附-20 中央氣象局白冷雨量站歷年統計資料表	附錄-33
表附-21 經濟部水利署白鹿雨量站歷年統計資料表	附錄-33
表附-22 集水區基本資料	附錄-34
表附-23 集流時間計算	附錄-34
表附-24 三角單位歷線所需之參數	附錄-35
表附-25 三角單位歷線計算值	附錄-35
表附-26 St 計算表	附錄-37
表附-27 單位歷線轉換過程	附錄-39
表附-28 雨量資料	附錄-40
表附-29 一日最大暴雨量取自自然對數表	附錄-40
表附-30 雨量資料參數計算	附錄-41
表附-31 極端值一型分布計算公式	附錄-42
表附-32 極端值一型分布計算結果	附錄-42
表附-33 皮爾遜第三型分布計算公式	附錄-43
表附-34 皮爾遜第三型分布計算結果	附錄-43
表附-35 對數皮爾遜第三型分布計算公式	附錄-44
表附-36 對數皮爾遜第三型分布計算結果	附錄-44
表附-37 三參數對數常態分佈計算公式	附錄-45
表附-38 三參數對數常態分佈計算結果	附錄-45
表附-39 極端值一型區間上限計算表	附錄-46

表附-40 皮爾遜三型區間上限計算表	附錄-47
表附-41 對數皮爾遜三型區間上限計算表	附錄-47
表附-42 三參數對數常態分佈區間上限計算表	附錄-47
表附-43 卡方分布臨界值表	附錄-48
表附-44 SE 檢定相關參數.....	附錄-49
表附-45 極端值一型 SE 檢定表.....	附錄-50
表附-46 皮爾遜三型 SE 檢定表.....	附錄-51
表附-47 對數皮爾遜三型 SE 檢定表.....	附錄-52
表附-48 三參數對數常態分佈 SE 檢定表.....	附錄-53
表附-49 重大颱風事件雨量資料	附錄-54
表附-50 流量疊加計算表	附錄-56

圖目錄

圖 1-1 防砂壩上游土砂調節功能示意圖，(a)土砂調節前；(b)土砂調節後	1-1
圖 1-2 防砂壩抑制溪床縱向侵蝕	1-2
圖 1-3 防砂壩抑制兩岸橫向侵蝕	1-2
圖 1-4 溢洪口斷面設計與其上游水流流路示意圖	1-3
圖 2-1 砌塊石壩面卵塊石填心壩剖面示意圖	2-2
圖 2-2 砌塊石壩面塊石混凝土填心壩剖面示意圖	2-3
圖 2-3 砌塊石壩面塊石混凝土填心壩	2-4
圖 2-4 砌石壩面混凝土填心壩剖面示意圖	2-5
圖 2-5 混凝土重力式防砂壩剖面示意圖	2-6
圖 2-6 混凝土重力式防砂壩現場照片	2-7
圖 2-7 半重力式壩示意圖	2-8
圖 2-8 格框壩剖面示意圖	2-9
圖 2-9 拱壩之示意圖，(a)側視圖；(b)正視圖；(c)俯視圖.....	2-10
圖 2-10 土壩採用豎井溢洪道之照片	2-11
圖 2-11 土壩剖面示意圖	2-12
圖 2-12 土壩緊急溢洪道示意圖	2-12
圖 3-1 設計流程	3-2
圖 3-2 重力式防砂壩各部名稱示意圖	3-4
圖 3-3 壩址選擇示意圖	3-9
圖 3-4 防砂壩設置於凹岸之示意圖	3-10
圖 3-5 地形調查與測繪工作流程圖	3-11
圖 3-6 流域等高線分布圖	3-12
圖 3-7 流域等高線分布圖	3-13
圖 3-8 勞倫生法示意圖	3-14
圖 3-9 計畫淤砂坡度及其影響範圍示意圖	3-15
圖 3-10 系列防砂壩之淤砂坡度設計	3-16
圖 3-11 系列防砂壩布置原則示意圖	3-16
圖 3-12 防砂壩設置於直線溪段	3-17

圖 3-13 防砂壩設置於彎曲段	3-18
圖 3-14 各式形狀之溢洪口示意圖(a)矩形(b)梯形(c)拋物線形.....	3-18
圖 3-15 複式斷面示意圖	3-19
圖 3-16 三角形單位歷線圖	3-21
圖 3-17 溢洪口斷面示意圖	3-25
圖 3-18 耐磨鋼板加裝於溢洪口	3-27
圖 3-19 防砂壩溢洪口使用廢輪胎之保護措施	3-27
圖 3-20 壩體作用力示意圖	3-30
圖 3-21 防砂壩壩體水自重與靜水壓力示意圖	3-31
圖 3-22 防砂壩土壓力示意圖：Coulomb 方法	3-33
圖 3-23 防砂壩土壓力示意圖 Rankine 方法.....	3-34
圖 3-24 防砂壩受上揚力作用示意圖	3-36
圖 3-25 土石流粒徑溪床表面調查法	3-40
圖 3-26 表面調查法調查區域示意圖	3-41
圖 3-27 防砂壩受力偏心矩示意圖	3-42
圖 3-28 滑動力系示意圖	3-42
圖 3-29 基腳被動土壓力計算示意圖	3-43
圖 3-30 排水孔設置示意圖	3-45
圖 3-31 防砂壩側視示意圖	3-46
圖 3-32 壩翼具有斜度之溢洪口斷面示意圖	3-46
圖 3-33 壩翼頂面與溪岸高度之保留高度示意圖	3-47
圖 3-34 壩翼補強示意圖	3-48
圖 3-35 基礎深度示意圖	3-51
圖 3-36 基腳示意圖	3-51
圖 3-37 靜水池池底水平狀況示意圖	3-52
圖 3-38 側牆示意圖	3-54
圖 3-39 側牆配置示意圖	3-55
圖 3-40 護坦具斜坡狀況示意圖	3-56
圖 3-41 逆坡式護坦示意圖	3-56
圖 3-42 主壩、副壩關係示意圖	3-57

圖 3-43 階段式魚道照片	3-58
圖 3-44 潛孔示意圖	3-58
圖 3-45 標準型舟通式魚道平面示意圖	3-59
圖 3-46 魚骨型魚道照片	3-59
圖 3-47 導流壁式階梯魚道照片	3-59
圖 3-48 防砂壩式魚道照片	3-60
圖 3-49 漂流木防止工橫剖示意圖	3-60
圖 4-1 崩塌區位示意圖	4-1
圖 4-2 防砂壩位置示意圖	4-2
圖 4-3 台七線蘇樂橋防砂壩	4-3
圖 4-4 防砂壩正面示意圖	4-8
圖 4-5 防砂壩俯視示意圖	4-8
圖 4-6 防砂壩側面示意圖	4-8
圖 4-7 未淤滿、發生地震、普通流量時之防砂壩示意圖	4-11
圖 4-8 未淤滿、最大流量時之防砂壩示意圖	4-14
圖 4-9 淤滿、最大流量時之防砂壩示意圖	4-17
圖 4-10 淤滿、發生地震、普通流量時之防砂壩示意圖	4-20
圖附-1 攔砂量、土砂調節量與土砂流失抑制量示意圖	附錄-1
圖附-2 防砂壩上游貯砂容積示意圖	附錄-2
圖附-3 土砂流失抑制量示意圖	附錄-3
圖附-4 橫流溪集水區鄰近雨量站分布圖	附錄-31
圖附-5 三角單位歷線計算示意圖	附錄-36
圖附-6 計算後之三角歷線分佈	附錄-36
圖附-7 卡方檢定計算過程	附錄-46
圖附-8 雨形計算方法	附錄-55

第一章 定義與目的

1.1 定義

防砂壩(sabo dam; check dam)係指為攔蓄及調節溪流土砂、減緩溪床坡度、穩定流心、防止侵蝕、崩塌或抑止土石流所構築之橫向構造物，其目的為控制土砂生產與流失。另外，與防砂壩有類似功能之構造物如：潛壩或固床工，其有效高度可以略低於溪床、與溪床齊平或略高於溪床面。

1.2 目的

防砂壩的主要特點是壩體高出溪床，使其與兩岸之間構成一個可貯蓄土砂的空間；當此貯砂空間蓄積土砂後，會淤積形成新的溪床面，因新的溪床面坡度小於原溪床坡度，從而發揮以下功能，包括：

1. 攔蓄土砂與減緩水流輸砂能力：

上游河寬較寬、容積較大之溪流，於下游瓶頸處興建防砂壩初期可蓄積大量土砂，可減少砂石流至下游河段致災。壩體淤滿後，當挾砂洪流從陡坡溪段進入壩體上游緩坡溪段時，因水流流速減緩，輸砂能力下降，導致水流挾帶的泥砂，部分沿著河道落淤於防砂壩上游緩坡河道；若洪水量逐漸減少，上游含砂量降低，淤積在壩體上游的部分土砂會再次被帶走，溪床也逐漸恢復洪水前的樣態。當土石流通過時，防砂壩也能減緩土石流運動之能量，使部分土砂落淤，降低其攜出土砂規模，防砂壩調節土砂流出之功能之示意如圖 1-1 所示。

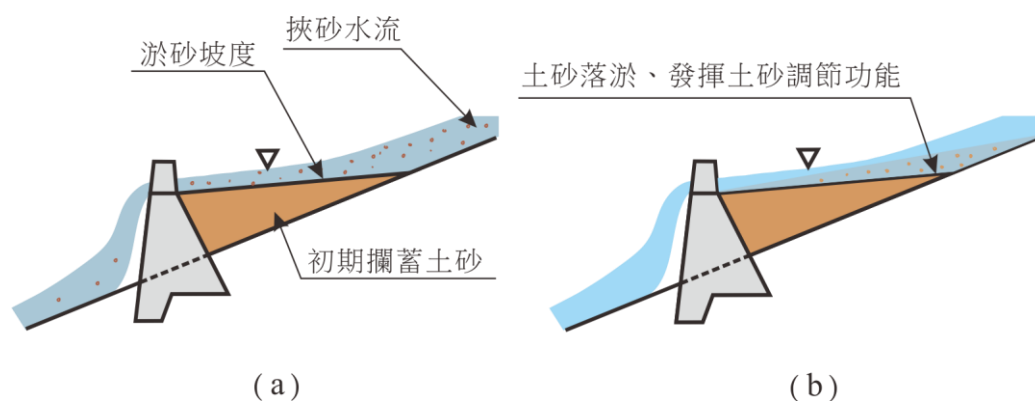


圖 1-1 防砂壩上游土砂調節功能示意圖，(a)土砂調節前；(b)土砂調節後

2.抑制縱向冲刷：

防砂壩所攔蓄之土砂落淤堆積，逐漸將溪床抬高產生新的溪床面，其新溪床面以下因土砂堆積將不再遭受水流淘刷影響(圖 1-2)，減少土砂流失。

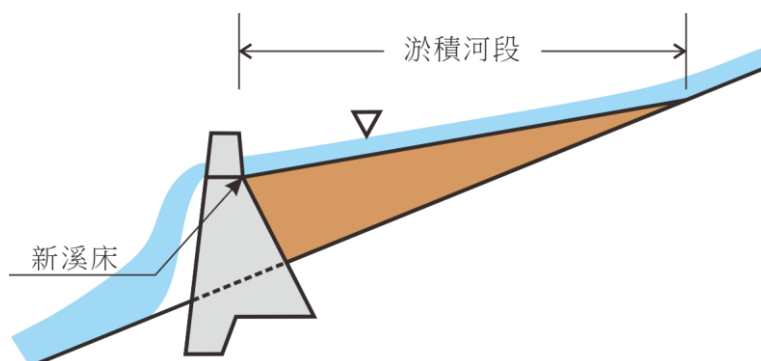


圖 1-2 防砂壩抑制溪床縱向侵蝕

3.抑制橫向冲刷：

兩岸邊坡之坡腳因淤積土砂產生新溪床(圖 1-3)，可穩定兩岸基腳，防止邊坡遭受冲刷引發崩塌。因此防砂壩宜建置於溪流縱或橫向冲刷嚴重溪段之下游側，以發揮其抑制土砂流失之功能。

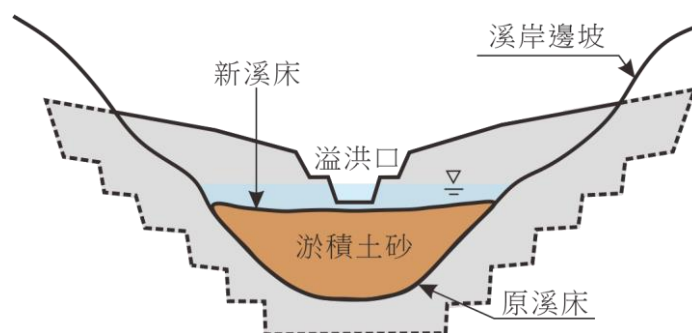
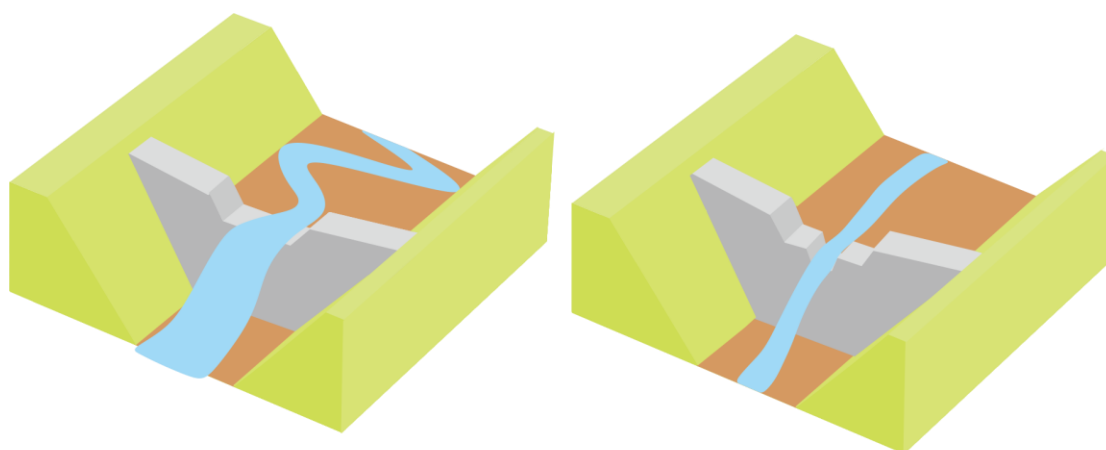


圖 1-3 防砂壩抑制兩岸橫向侵蝕

4.控制流心：

防砂壩上游因淤砂抬高河床，導致溪幅擴大、水流之流向變得紊亂且流心擺盪不定，並冲刷上游兩岸邊壁，進而引發溪岸崩塌之問題。若防砂壩上游溪幅較寬，防砂壩之溢洪口宜採取複式斷面設計，形塑深槽線，取得控制流心以及預防亂流之效果。相較於複式斷面設計，無複式斷面設計之水流流路較為蜿蜒，對壩體上游兩岸具有較大的橫向冲刷威脅(圖 1-4)。



(a)無複式斷面設計

(b)有複式斷面設計

圖 1-4 溢洪口斷面設計與其上游水流流路示意圖

1.3非透過性與透過性防砂壩之比較

防砂壩依壩體類型又分為非透過性防砂壩與透過性防砂壩，如表 1-1 所示，兩種壩體在構造、功能及適用地區有所不同，因此在設置防砂壩前須依照該地區之需求及整治目標來做選擇。

表 1-1 非透過性防砂壩與透過性防砂壩比較表

	非透過性防砂壩	透過性防砂壩
構造	整體結構較為封閉，無透過性構造，如：重力式防砂壩、半重力式防砂壩及拱壩等。	壩體部分通透且有排砂功能，如：梳子壩、切口壩及格子壩等。
功能	調整溪床坡度、穩定邊坡、消能、調節土砂及攔蓄砂石。	抵擋巨礫與漂流木，讓土砂通過壩體。淤滿後若不需作為透過性壩體使用，則轉變為非透過性防砂壩。
適用區位	主要適用於河川中上游坡度較陡之區位、有崩塌地之區域與土石流發生區域，下游囚砂。	容易發生土石流之地區。
缺點	1.壩體下游易遭水流淘刷，導致基腳露出。 2.壩體易隔絕上、下游環境，阻斷縱向通道。	1.庫容須夠大，且要維持空庫狀態以備土石流來臨，因此須時常清砂。 2.壩體結構容易導致缺口下游束水攻砂。

第二章 種類及適用範圍

非透過性防砂壩可依據構造進行分類，如：重力式、半重力式、格框壩、拱壩與土壩等，本章節對各式壩體進行優缺點介紹，其中，因重力式壩體較常被使用，故依照不同材料再進行分類與說明。

2.1 重力式壩

在台灣以重力式防砂壩最為常見，因為在設計、計算方面都較便利，且地形因素限制較低。不過仍需注意壩體下游易遭過壩水流沖刷，導致基礎外露無法穩固壩體。重力式防砂壩可依據所使用之材料分類，如：砌石面卵塊石填心、砌石面塊石混凝土填心、砌石面混凝土填心及混凝土等。

1. 砌塊石壩面卵塊石填心壩：

壩體結構如圖 2-1 所示，壩體外層以混凝土砌塊石砌成壩面，壩面下游坡度須緩於 1:0.3。塊石嵌入須垂直壩面，砌塊石後宜有厚 20cm 之混凝土加強，防止塊石遭受破壞或脫落；內部則以卵塊石填心成壩體，所用之石材選用經自然琢磨形成與無裂痕而堅實者，如可用石材不足，現地有大石剖石亦可。石材之長徑應為短徑之 1.2 至 1.8 倍為原則，厚度應為短徑之 1/2 以上為原則，如無特別註明，石材之大小以長徑為代表，石材大小分類如下表 2-1。砌石長徑均應依壩體構築向上縮減。壩體未使用大量混凝土加以固著，強度較弱無法抵擋撞擊，因此不適用於土石流發生區段。

表 2-1 石材大小分類

石材	長徑尺度
卵石	15cm 以下
塊石	15~40cm
大塊石	41~80cm
巨石	80cm 以上

資料來源：行政院公共工程委員會-第 02386 章 砌排石工

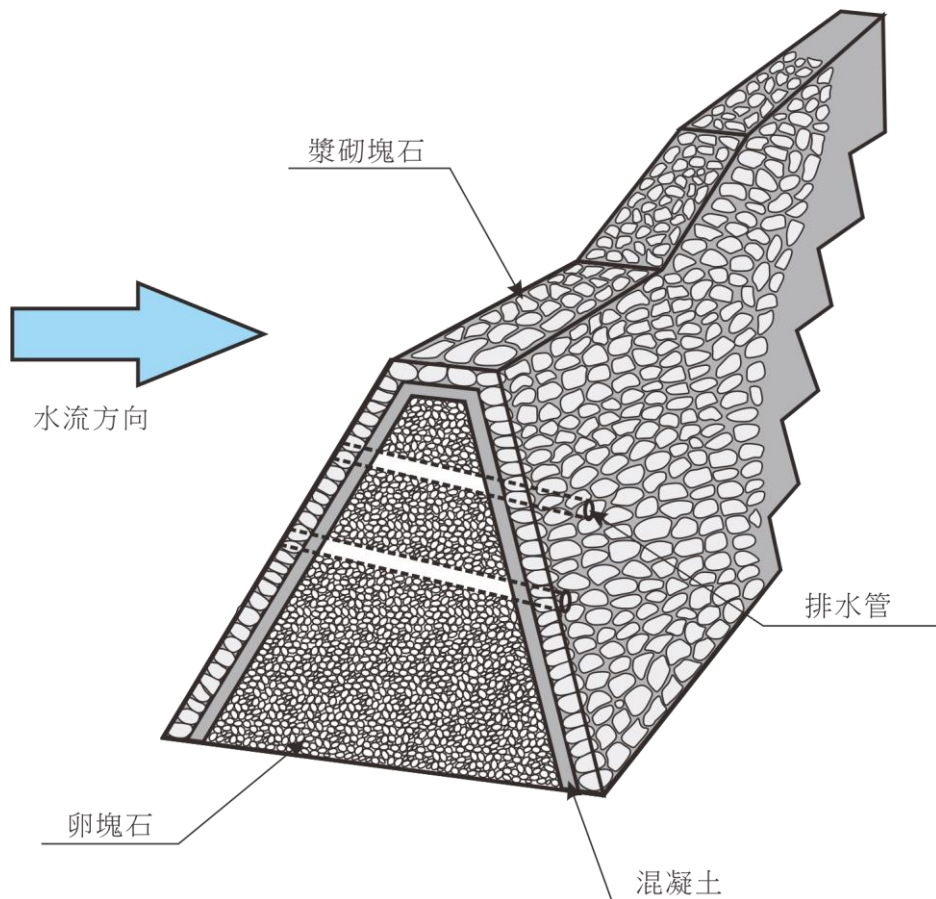


圖 2-1 砌塊石壩面卵塊石填心壩剖面示意圖

(1)優點：

- a.就地取材可節省混凝土之用量。
- b.以石塊作為材料可融合自然環境。
- c.相較於混凝土，砌塊石較為美觀。
- d.免用模板。

(2)缺點：

- a.現地需有足夠之建壩石材。
- b.僅以卵塊石作為填充材料，壩體強度較弱，無法抵擋土石流之衝擊。
- c.此類壩體之壩面與壩心因材料不同，故不能合成一體，若壩面發生龜裂或遭石塊擊破，水將由裂隙滲入導致卵塊石填心部分開始下陷或流出，造成壩心漸成中空，往後若遇巨石撞擊，壩體將隨之破壞。
- d.施工較耗時間。

2.砌塊石壩面塊石混凝土填心壩：

本類壩體以混凝土砌塊石砌成壩面，並以塊石與混凝土混合灌築成壩心(圖 2-2)，塊石之間間隔須至少 20cm。此壩體結構較砌塊石壩面塊石填心壩為穩固，惟施工時需特別注意卵塊石與混凝土之成分比例，圖 2-3 為和中部落之砌塊石壩面 7：3 塊石混凝土填心壩，可藉由減少混凝土用量，達到節能減碳之功效。

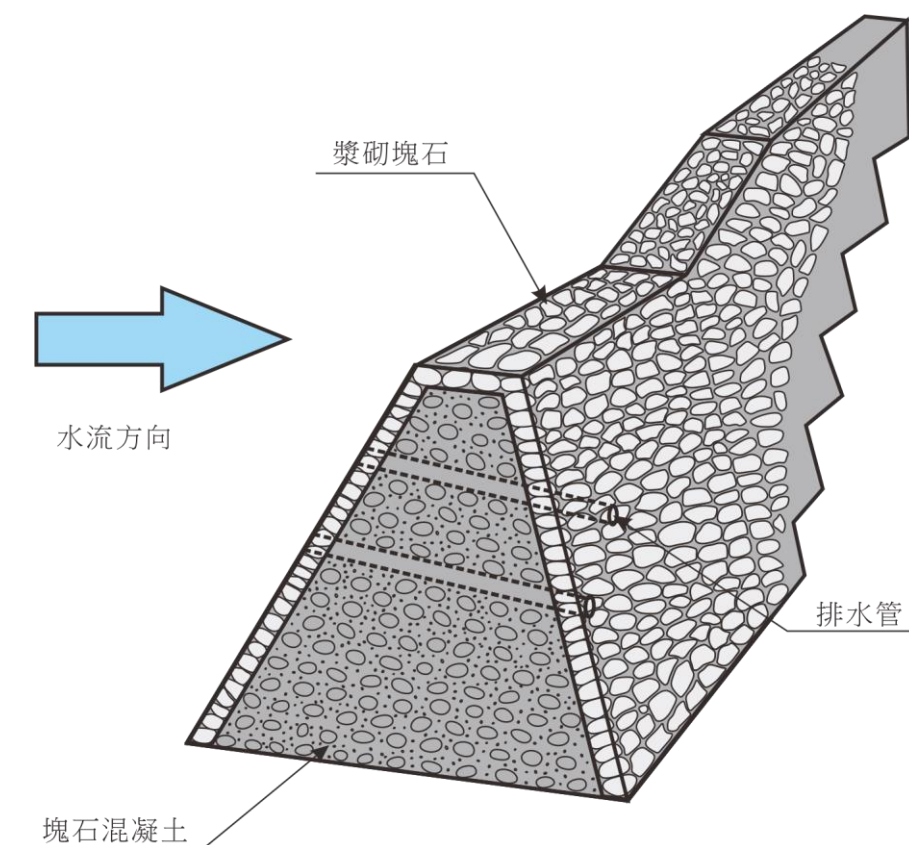


圖 2-2 砌塊石壩面塊石混凝土填心壩剖面示意圖



圖片來源：水土保持局-和中部落北側野溪

圖 2-3 砌塊石壩面塊石混凝土填心壩

(1)優點：

- a.壩心填充塊石混凝土，可以增強其強度。
- b.相較於混凝土重力壩可省下混凝土之用量。
- c.就地取材，可以融合自然環境，作為景觀之素材使用。

(2)缺點：

- a.相較於砌塊石壩面卵石填心壩需使用較多混凝土用量。
- b.現地需有足夠之建壩石材。
- c.塊石與混凝土比例不易掌握。
- d.施工性較耗時間及人力。

3.砌石壩面混凝土填心壩：

以混凝土砌塊石建構壩面，並以混凝土填心，其設計原理與混凝土壩相似(圖 2-4)，強度較高，為較理想之壩體構造，但砌石表面易遭破壞，仍需經常維護以防壩體破損。

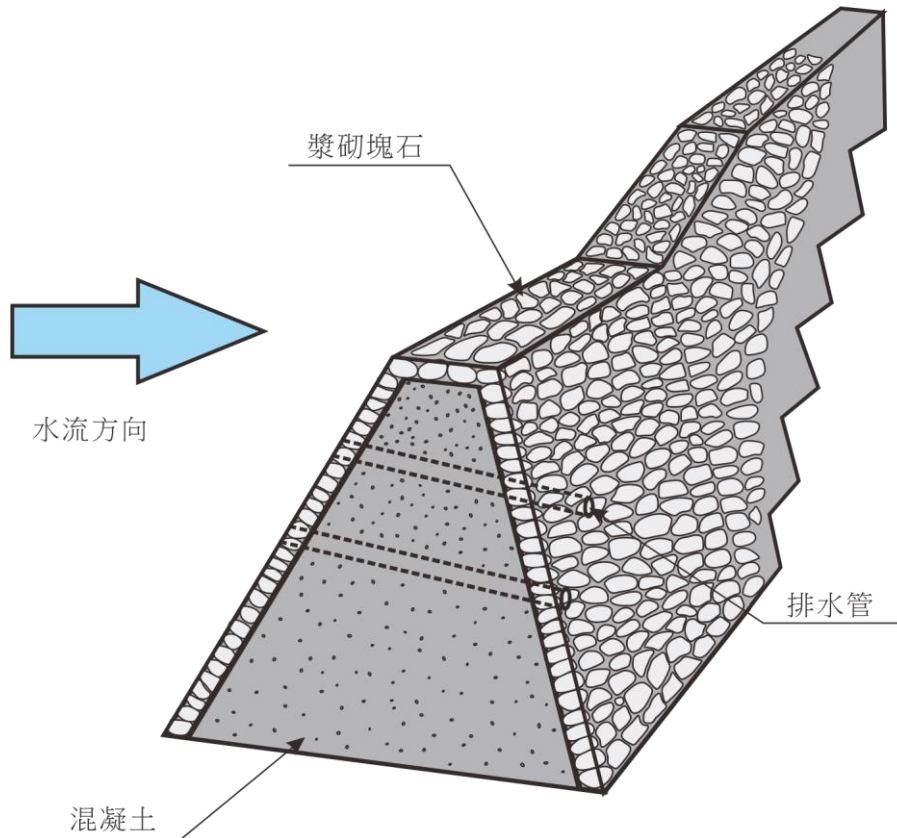


圖 2-4 砌石壩面混凝土填心壩剖面示意圖

(1)優點：

- a.混凝土可增加壩體強度。
- b.砌石面可與自然環境融合。
- c.免用模板。

(2)缺點：

- a.需仰賴現地之素材，若不足而需要外購時則成本較高。
- b.砌石工施工速度較慢，需加強監造嚴格控管。

4.混凝土重力壩：

混凝土重力壩(圖 2-5)為目前台灣最常使用之形式，組模灌漿製成，以壩體自重抵抗外力，進而達到安定的效果。圖 2-6 為混凝土重力式防砂壩之照片，其壩體表面與壩心為相同材料，故其整體強度較強，且在後續維護保養上也較砌石壩容易。

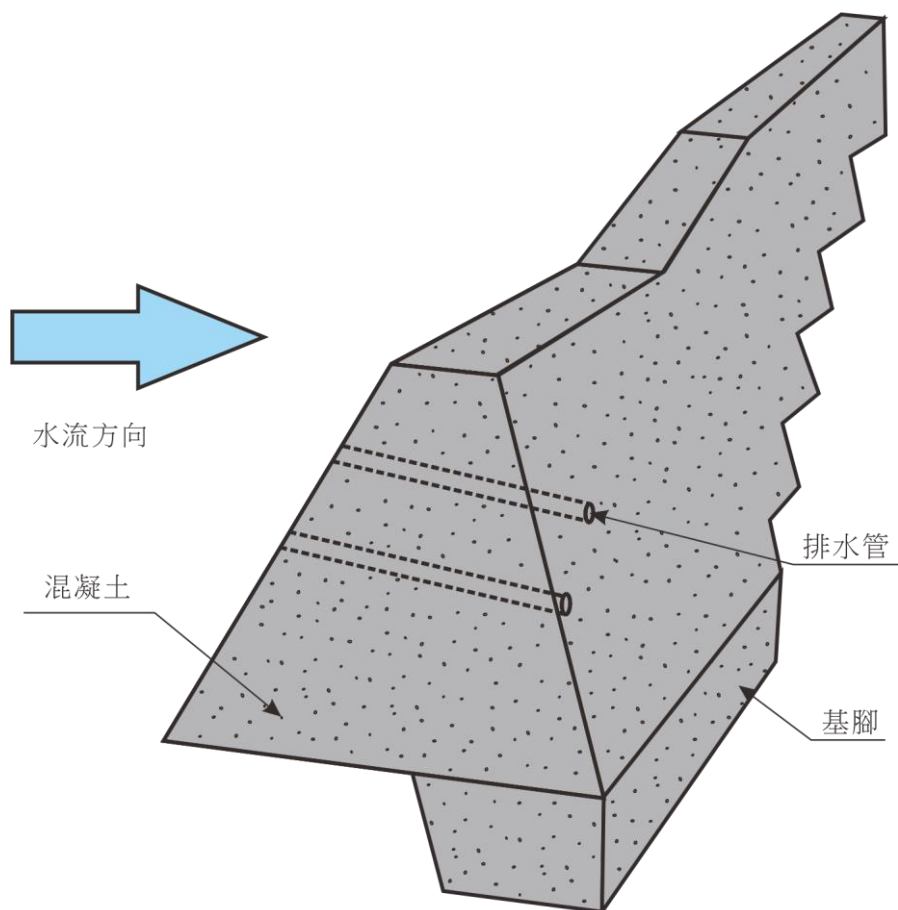


圖 2-5 混凝土重力式防砂壩剖面示意圖



圖片來源：水土保持局-桃園縣復興鄉鐵立庫

圖 2-6 混凝土重力式防砂壩現場照片

(1)優點：

- a.不需考慮如何堆砌石塊，施工較前述之壩種容易，大體積混凝土可採用機械化施工，在放樣、立模和混凝土澆築方面都比較簡單，並且補強、修復或維護也比較方便。
- b.壩面材料為混凝土，受到撞擊時較不易崩解。
- c.壩體因全部採用混凝土建構而成，強度較高且耐久性好，因而抵抗洪水溢流、滲流與地震的能力都較強，可設置於土石流發生區域。

(2)缺點：

- a.因係仰賴壩身材料重量傳達所承受之荷重至基礎，故用料較多，較不經濟。
- b.較無法融入當地自然環境。
- c.需使用大量模板。

2.2半重力式壩

半重力式壩因使用混凝土材料較重力式壩少，因此須設置鋼筋來增強其承受較大之土壓力的強度，必要時會在壩趾處配置少量鋼筋(圖 2-7)，一般適用於材料搬運不易的地區。

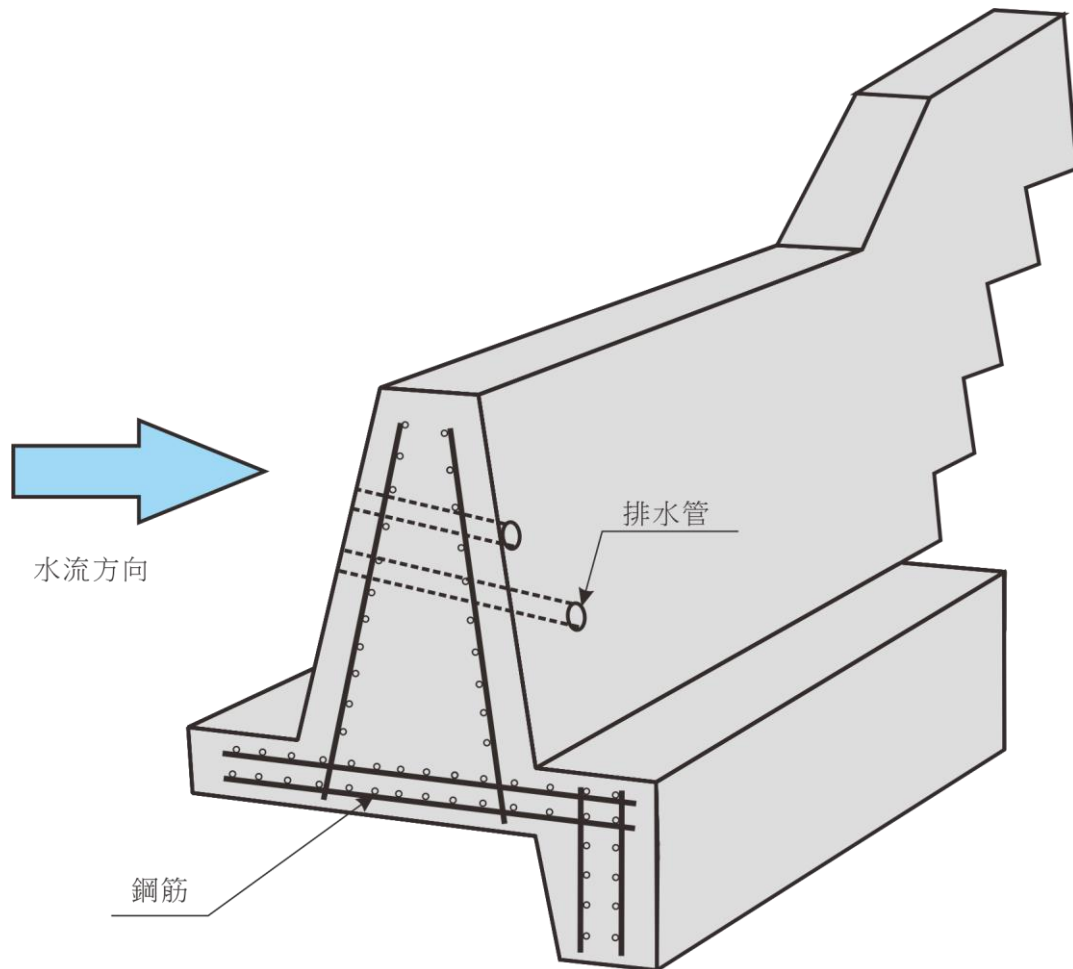


圖 2-7 半重力式壩示意圖

1.優點：

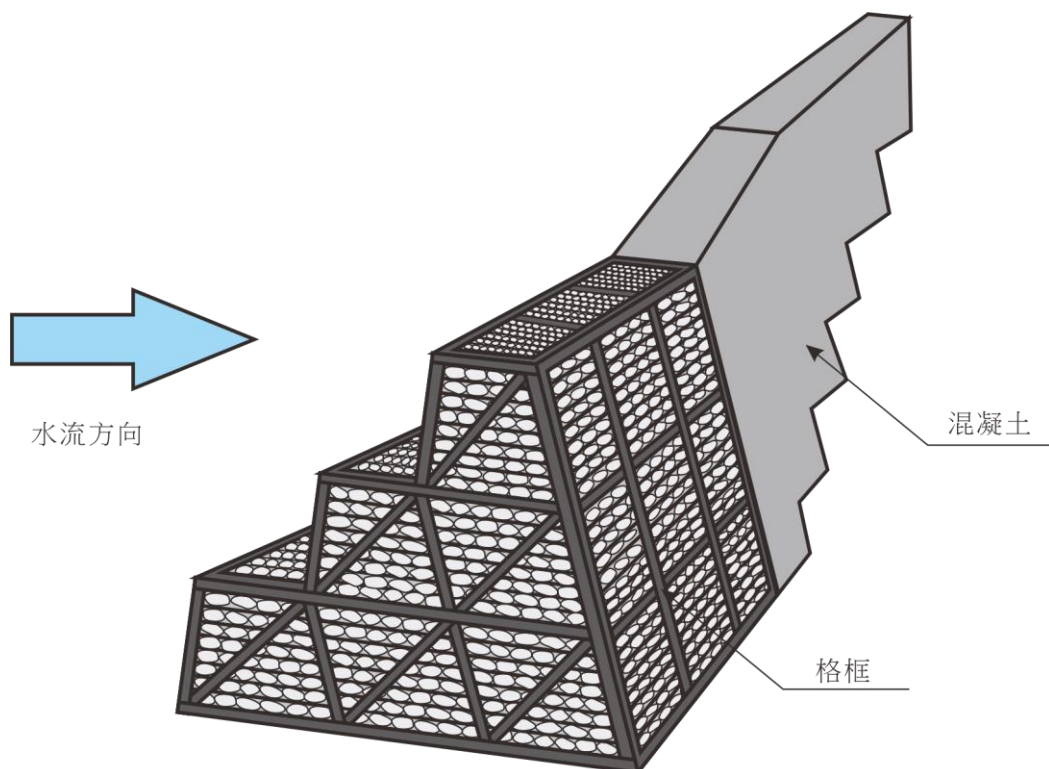
- (1)壩身可設計較重力式薄。
- (2)使用鋼筋能增強壩體強度。
- (3)混凝土使用量較少。

2.缺點：

- (1)結構設計須進行結構分析。
- (2)鋼筋用量較多。
- (3)壩體需要較大之基礎。

2.3格框壩

格框係指由樑以水平及垂直方式組合而成之格子狀結構如圖 2-8 所示，格框材料可用預鑄混凝土、RC 型樑、型鋼、鋼管以及角鐵等，內部可填充石塊以構成重力式擋土結構，透過接點上之卡榫、螺栓或以焊接等方式組合而成。使用格框因透水性較好可使水流從石塊間縫隙通過，消能減壓，降低水流對下游沖擊力，但此種壩體較不適用於土石流發生區域，因格框壩經土石流撞擊後，容易扭曲變形。



圖片來源：引用水土保持局臺南分局-里仁溪鋼製自由框壩

圖 2-8 格框壩剖面示意圖

1.優點：

- (1)水流從石頭縫隙通過，可消能減壓，降低水流對下游沖擊力。
- (2)不須另設排水孔。
- (3)減少混凝土用量。

2.缺點：

- (1)施工較不具彈性。
- (2)填裝須相當嚴謹，增加人力成本。
- (3)較不耐撞擊，不適合土石流發生區域。
- (4)維護性高。

2.4 拱壩

拱型防砂壩透過拱型的設計將大部分的外力由壩體傳導至兩岸，藉此求取穩定性的結構(圖 2-9)，因此，相較於其他壩型，拱壩對於壩址及兩岸的地質與地形條件要求較高。拱壩雖可節省大量的混凝土，但受限於壩址的選擇，因此拱型防砂壩於台灣之案例較為罕見，主要當作水壩使用，除了可以蓄水之外還兼具防砂壩之作用。

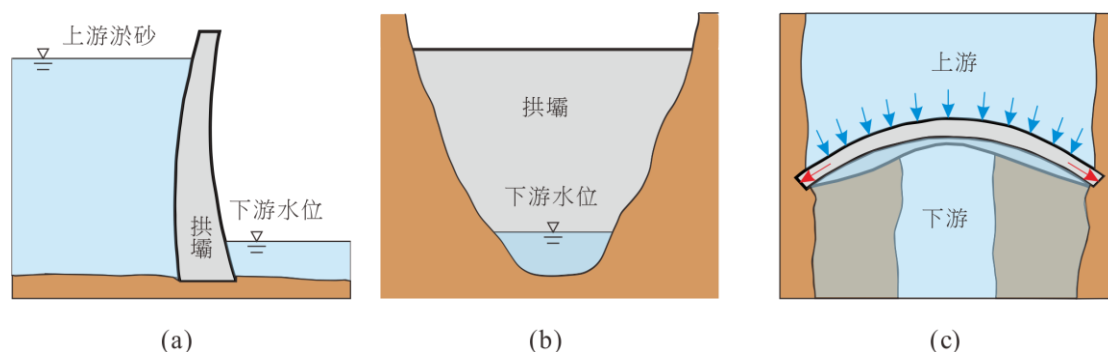


圖 2-9 拱壩之示意圖，(a)側視圖；(b)正視圖；(c)俯視圖

1.優點：

- (1)可盡量利用混凝土之壓應力，一般情形如果地形與地質條件適宜，可按薄拱壩(最大壩體厚度與壩高比小於 0.2)設計建造，此在理想狀態下所用之材料可為重力壩三分之一。
- (2)不靠重力承受外力。
- (3)若設計妥當則可以受正常與意外荷重，意指隨意外壓力增加，應力一同增加，壩體仍然無任何影響。
- (4)薄拱壩受水泥水化熱之影響較小，壩體散熱問題較低。
- (5)受三方向之壓力增加不透水性。
- (6)築壩速度較快、外型美觀。

2.缺點：

- (1)適合建造拱壩之壩址難找，需有較佳之地質條件方能施作。
- (2)應力及安定檢算較繁複，並須試作結構模型，試驗其安全性並校正之。
- (3)混凝土成份及強度須較重力壩為優，壩愈薄者要求愈高。
- (4)模板及架設技術較重力壩為高。

(5)因拱壩要求之技術較高，為避免建造時有所疏漏，常會刻意增加建壩材料(例如：混凝土)使壩體強度提升更加安全，因此反而導致經費較重力壩高。

2.5土壩

土壩係指於溪流或窪地中選擇適當地點填土成壩，以攔蓄地表逕流及溪床泥砂之構造物(圖 2-10)，壩高以不超過 15 公尺為原則，較適用於河床質粒徑細小、壩基附近溪床具有不透水性，且取土容易之地區。土壩大多做為農塘蓄水使用，且因壩體材料較脆弱，不適宜用於抵擋土石流，一般以農塘兼做防砂壩使用。

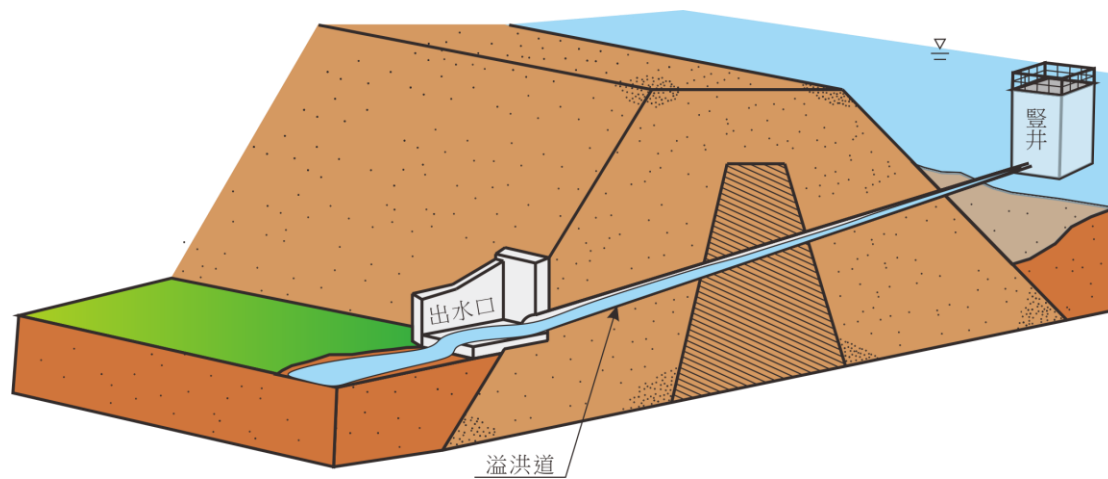
土壩填土施工時，應分層填壓夯實，每層厚度為三十公分至五十公分，並以修正夯實試驗之相對夯實度(壓密度)達百分之九十以上為原則，壩體施工及基礎處理時應避免滲漏及管湧現象。土壩之溢洪道包括主溢洪道及緊急溢洪道，主溢洪道可為明渠或豎井(圖 2-11)，並以鋼筋混凝土為主要材料，豎井口加裝鐵柵可防止漂流木進入溢洪道。

溢洪道之設計洪水量採用重現期距五十年以上降雨強度計算。主溢洪道採用豎井者，應設置緊急溢洪道(圖 2-12)，考量氣候不確定性，其設計洪水量建議採用重現期距一百年之降雨強度計算。



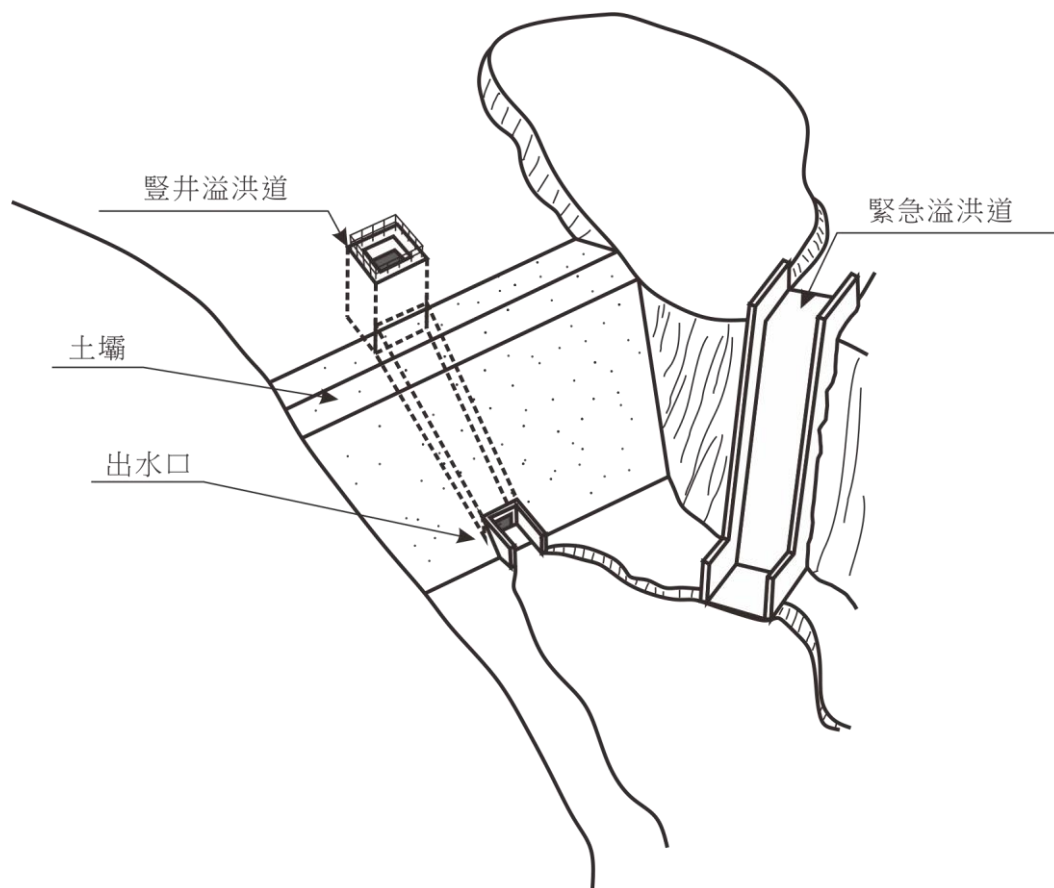
圖片來源：水土保持局-高雄市內門區

圖 2-10 土壩採用豎井溢洪道之照片



參考網站：Lessons Learned From Dam Incidents and Failures

圖 2-11 土壩剖面示意圖



圖片來源：引用經濟部水利署-堤壩之安全管理與監測

圖 2-12 土壩緊急溢洪道示意圖

1.優點：

- (1)構築較省混凝土。
- (2)可蓄水做為灌溉之用。
- (3)能營造多樣性生態環境。

2.缺點：

- (1)不適用於溪流坡度較陡且窄之區域。
- (2)構築初期，若遇洪水侵襲，易失敗損毀。
- (3)現地需有足夠之黏土作為建構壩體之材料。
- (4)初期功能以蓄水居多，長期作為防砂壩使用，但不適用於土石流發生區域。

第三章 規劃設計原則

非透過性防砂壩在台灣以重力式為主，本章節依照設計歷程，說明如何規劃防砂壩，並解說壩體各部位之用途及設計原則。

3.1 規劃設計之順序

防砂壩建置之設計流程參照圖 3-1，各步驟之詳細敘述如下：

1. 事先須收集雨量、地質、地形及土石粒徑等相關資料，再配合實地的勘查，選定治理溪段，確定壩址位置。
2. 須對整治溪流及其上、下游段之縱、橫斷面與地形進行測量。
3. 利用現地測量與資料收集之地形資料進行分析，計算出溪床坡度、參考河床粒徑以及訂定計畫淤砂坡度。
4. 訂定計畫淤砂坡度後，需進行當地之逕流分析、流量推估及水文水理之時間、空間特性分析，以利於選定防砂壩的型式。
5. 設計壩體時，首先要設計其溢洪口。溢洪口之設計需考量壩軸的位置、方向，以及溢洪口的形狀、斷面計算等，以達到經濟且安全之溢流為主。
6. 溢洪口設計完畢後，再依序設計壩體高度、厚度、斷面以及計算水與土砂對於壩體本身之作用力，設計之壩體須通過滑動、傾倒及承载力等安定分析。
7. 若壩體設計通過安定分析，接著設計壩翼頂部高度、厚度與坡度，以及壩翼嵌入溪岸邊坡之深度。再進行壩體基礎設計，設計之基礎深度以及基腳，以能維持壩體穩定為原則。
8. 壩體的設計完成後，須參酌當地溪流之地形、水文水理特性，及所設計壩體之型態，在壩的下游面增設靜水池、護坦或副壩等保護工。而排水孔與漂流木防止工等附屬設施的設置與否，則視當地河床質與漂流木狀況而定。
9. 為了量化治理效率，可估算防砂壩之防砂量，防砂量演算亦包含攔(貯)砂量、土砂調節量與土砂流失抑制量，詳細計算方式可參照附錄一。

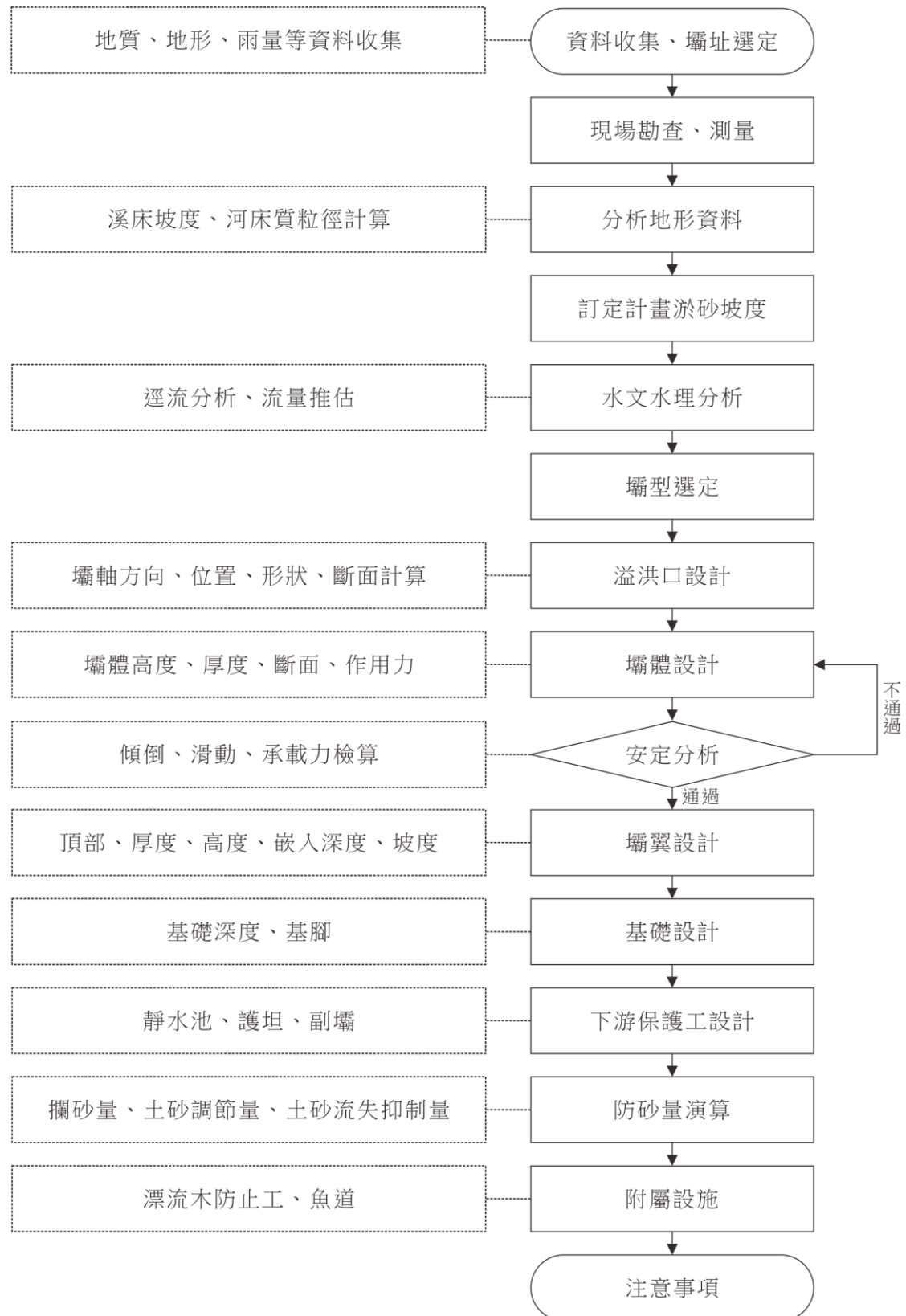


圖 3-1 設計流程

3.2防砂壩各部位說明

非透過性防砂壩係由壩體及其下游基礎保護工所構成，各部名稱如圖 3-2 所示，並簡要說明各個名詞意義：

- 1.主壩：防砂壩主要之壩體，不包含副壩、側牆及水墊。
- 2.溢洪口：於壩體頂端與壩翼形成之缺口，讓水流經溢洪口至壩體下游面，有梯形、矩形、拋物線型或其他容許排水型式。
- 3.壩翼：為溢洪口兩側(肩部)至兩岸間非溢流之部分，需嵌入兩岸岸壁內。為避免大量砂石堆積於壩翼上游面，致部分洪水越過壩翼造成壩基淘空，壩翼頂面須向斜溢洪口，其坡度至少 $1/20$ ，且不小於計畫河床坡度，壩翼傾斜亦可在兩岸有崩塌之虞時，支持兩岸並防止崩坍。
- 4.壩長：為壩翼兩側端點連線之距離。
- 5.壩高：指主壩從壩底至壩頂(不包含壩翼)之高度。
- 6.有效壩高：壩高扣除主壩河床下基礎深度後之高度。
- 7.基腳：為使防砂壩增加穩定度防止壩體傾倒以及滑動，基腳深度越深可達到延長滲流線的效果。可設置在壩底中央或下游處，若置於壩體下游處可防止淘空現象。
- 8.排水孔：為減少滲透水壓並誘使土砂沉澱之孔洞，設置於壩頂下 $1/2\sim 2/3$ 壩高處，如河床質粒徑太細則不宜設置。
- 9.水墊(靜水池)：由主壩至尾檻間之範圍，可蓄存上游來水達到消能效果，形成保護壩趾安全之構造物。
- 10.護坦：與水墊同為保護壩趾安全之構造物，但因無尾檻設計，因此無法利用水深消能，而是利用結構物抵擋沖擊能量。
- 11.副壩：為防止主壩之下游被沖刷，而在主壩之下游面再建築之低壩，高度約為 $1/3\sim 1/4$ 有效壩高。
- 12.尾檻：如圖 3-2(d)側視圖(2)所示，在壩體下游設置之突起構造物，將通過壩體之水蓄存，一般採用主壩高度之 20% 為尾檻高度。
- 13.側牆：設置於水墊或護坦兩側之構造，若遇壩體下游兩岸地質軟弱易崩，或欲利用水墊控制流心者，則可設置側牆。
- 14.截水牆：以防止構造物下游淘空與延長滲流線抑制浮力破壞為目的，大多設

置在靜水池與護坦下游處，且截水牆兩端應深入河床兩岸或安全地區。

15. 溪床保護工(固床工)：為固定溪床坡度並保護上游構造物或兩岸基腳，所構築之橫向構造物。

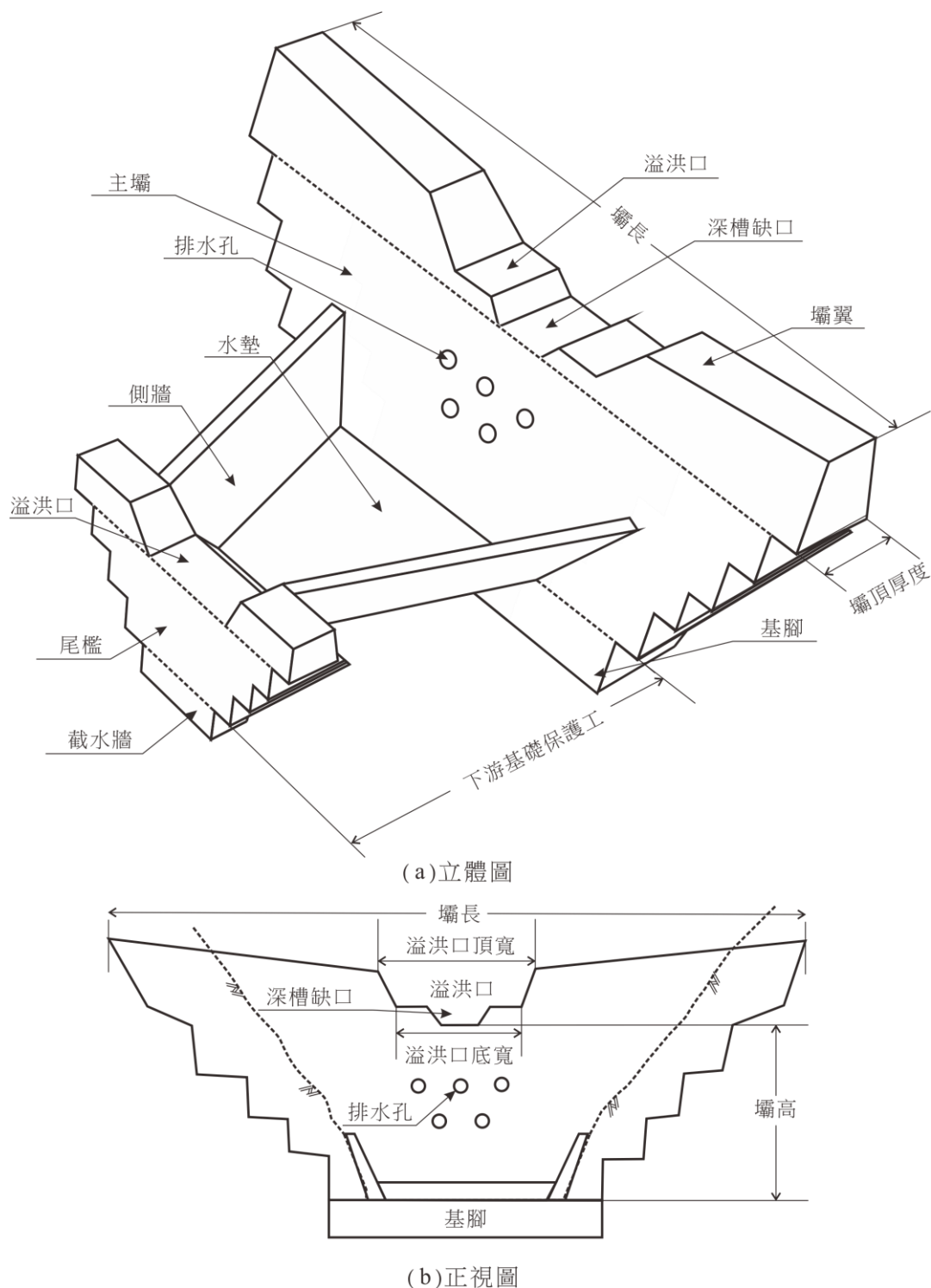
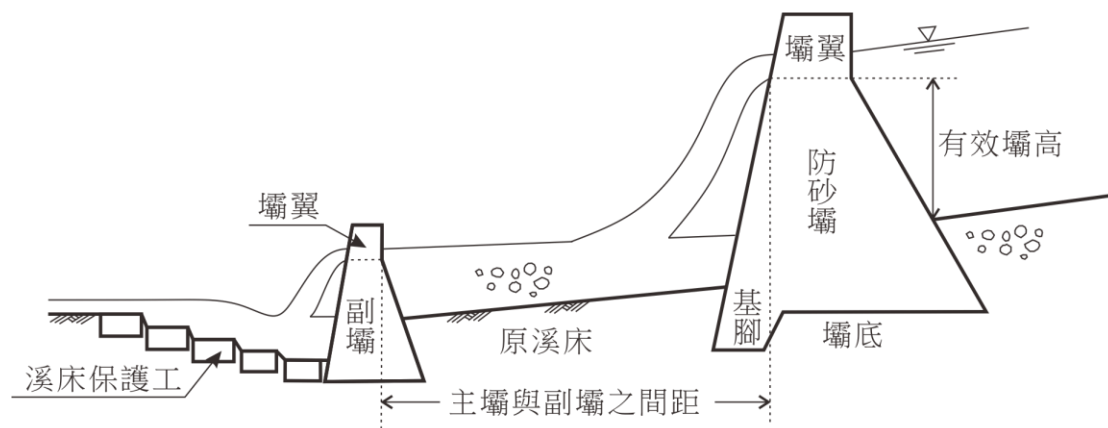
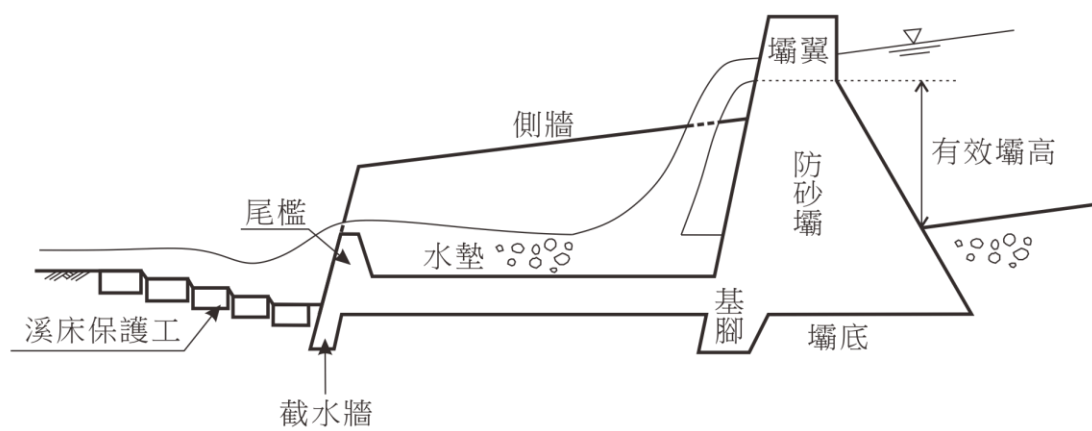


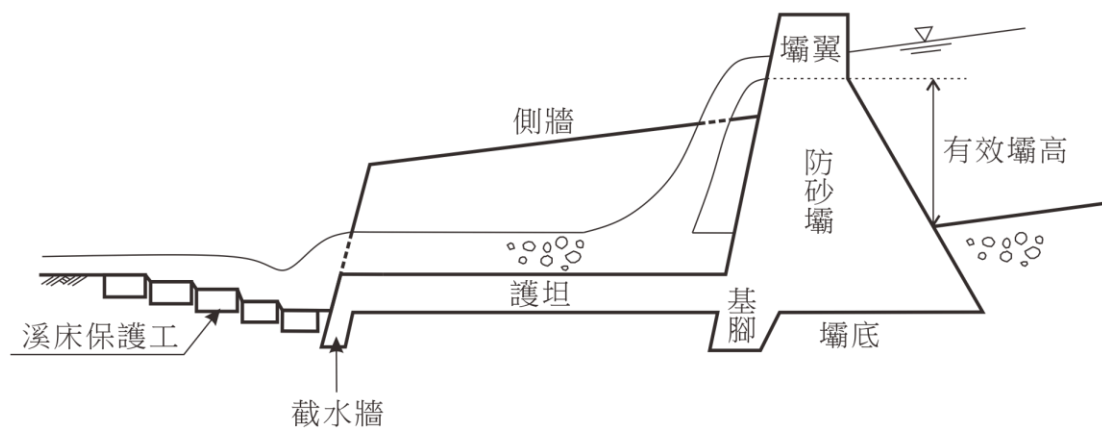
圖 3-2 重力式防砂壩各部名稱示意圖



(c)側視圖(1)



(d)側視圖(2)



(e)側視圖(3)

圖 3-2 重力式防砂壩各部名稱示意圖(續)

3.3資料蒐集

基本資料調查係以實務可行之作業方法與儀器設備，取得後續水土保持處理與維護作業所需之數據資料，且為規劃設計之依據，各種資料之獲取方式與分析方法皆詳述於水土保持手冊(2017)基本資料調查與分析篇。以下簡述資料獲取目的與路徑。

1.雨量資料：

防砂壩溢洪口之斷面設計需由逕流量估算，才可得知其斷面大小，在水文分析中需藉由取得降雨資料並選擇適當的降雨-逕流模式來推估一定重現期下之逕流量，做為後續設計規劃時重要之參數。雨量資料可至中央氣象局查詢雨量資料；亦可透過經濟部水利署每年公開之水文年報取得年平均等雨量線圖、雨量站分布圖及各站之日雨量及歷年統計資料等。

2.地質資料：

地質資料可用於瞭解位於壩址地表層之地質材料、地質構造以及其形成與演化歷史，並可以提供各項規劃、設計、計算及相關工作之參考依據，例如：壩址選定、基礎深度之埋設、壩體基礎承载力、壩底摩擦係數與浮力係數等之選定。相關資料可於經濟部中央地質調查所提供之「國土地質資訊系統」取得。

3.土壤資料：

土壤調查結果，可瞭解表層土壤狀況，以供水土保持工程規劃時，協助選定合宜之邊坡穩定處理工程。土壤之調查與分析包含調查區概況(包括位置、地形地貌、地質、水文、氣候與土地利用等)、土壤類型(含土系)、土壤深度、坡度、表土質地、排水及表土與母岩性質等資訊，進而了解建構壩體區域周圍的土壤性質、粒徑分析與評估土壤沖蝕情況。相關資料可向行政院農業委員會農業試驗所、經濟部中央地質調查所及水土保持局申請取得。

4.土石流資料：

若防砂壩設置於土石流發生區域，則應調查蒐集土石流集水區之基本資訊，包括行政區、地點、曾發生之災害紀錄、溪流特徵、發生類型、集水區之崩塌面積及崩塌率、土地類別及是否為特定水土保持區等。掌握土石流發生及發展之背景條件、流路現況、工程構造物，保全對象之類型、分布、數量、粒徑大

小及危害程度等，研擬適當之對策，以降低土石流致災之規模和威脅。詳細內容可至行政院農業委員會水土保持局管理之「土石流防災資訊網」查詢。

5.崩塌地資料：

可由經濟部中央地質調查所提供航照山崩目錄、岩屑崩滑潛勢分析圖、岩體滑動潛勢分析圖等，瞭解計畫區之歷年崩塌情形及崩塌潛勢；若進行實際現場勘查，需先蒐集區域地貌、水文、地形與地質等圖資，應儘可能描述或表現該崩塌地之土砂材料、地表特徵、規模與潛在影響範圍，圈繪潛在滑動體，並配合地質圖、環境地質災害圖、地形圖與遙測影像等，使執行現場調查工作時，能快速瞭解調查區域整體概況。

綜整崩塌調查成果，可瞭解崩塌之危害範圍與致災機制，並於釐清崩塌災害之移動物質與破壞方式後，進一步評估降雨或其他外部營力、土砂量體參數、影響範圍與潛在次生災害可能性，並提供爾後硬體工程防治規劃及軟性防減災措施研擬之參考依據。

6.土地利用資料：

透過現況調查可進行林相類別與其分布概況、農作物之種類、分布概況、建築基地、裸露地及崩塌地等土地利用類別之分類，提供水土保持處理、選擇維護對象及水土保持相關設施規劃之依據，可透過土地利用了解崩塌地分佈及是否有保全對象，作為防砂壩規劃之依據。詳細資訊可至內政部國土測繪中心國土測繪圖資e商城查詢，亦可採用遙測影像加以判釋，配合實地調查加以核對。

7.遙測影像資料：

利用遙測影像涵蓋廣泛的特性，對施測區域做進一步的分析。可透過衛星影像、航拍影像與無人載具空拍影像來獲取計畫區的現況，或是藉由不同時間的遙測影像進行比對，進而瞭解計畫區改變的情形，例如：流域崩塌地之情形，藉由不同時間的遙測影像得到崩塌地的變化情形，可作為工程治理需求之依據，也可作為防砂壩壩址選定之參考。遙測影像可至林務局農林航空測量所之「航遙測圖資供應平台」及國立中央大學太空及遙測研究中心購買，亦可直接於經濟部中央地質調查所管理之「國土資訊系統自然環境資料庫」及國立中央大學

太空及遙測研究中心開發之「SPOT 衛星資料開放平台」查看衛星影像、正射影像及福衛二號影像。

8.數值地形資料：

數值地形模型(Digital Terrian Model,DTM)是以數值的方式來表示真實地形特徵的三度空間分布，可至內政部國土測繪中心提供之「國土測繪圖資 e 商城」及國立中央大學太空及遙測研究中心購買。一般數值地形資料包含數值高程模型(Digital Elevation Model,DEM)及數值地表模型 (Digital Surface Model,DSM)。DEM 為描述不含植被及人工建物之地表天然高程起伏面的數值模型。而 DSM 則表示地球表面可見光無法穿透的最上層表面的數值模型，與 DEM 不同之處在於表現了建物及植被的最上層表面。數值地形資料可幫助瞭解計畫區之地形起伏、洪水淹沒區評估、土石流地區土方量估計，亦可用於建置水文分析中之地形模型，並可依據水土保持技術規範(2014)之計算方式，求得坡度及坡向。

(1)內政部國土測繪中心

內政部國土測繪中心依地區提供不同解析度之 DTM 資料，網格間距 5 公尺與 1 公尺，各機關可依需求至國土測繪圖資 e 商城申請數值地形資料。

(2)國立中央大學太空及遙測研究中心

國立中央大學太空及遙測研究中心負責保管「台灣地區數值地形模型資料」，此資料由行政院農業委員會委託林務局農林航空測量所測製，該資料為每 40x40 公尺等間距的規則網格資料，若有需要可向其提出申請。

3.4壩址選定

壩址選定區位需考量構築之目的、壩體之安全及經濟之條件等因素，詳述如下：

- 1.為避免防砂壩興建後，下游產生沖刷或危及壩身之安全，壩址以在溪床及兩岸均為岩盤者為佳；但不得已必須興建在砂礫層上時，應加強其防護設施。
- 2.為鞏固崩塌地坡腳，或為防止溪流縱向及橫向侵蝕者，壩址宜選在兩岸崩塌嚴重之下游段及淤滿後溪幅展寬顯著等區段，尤其在溪幅窄縮段(岩盤出露)之上游處，常有大量土砂崩落蓄積為築壩的良好位址。而於溪流窄縮段築壩，存在通水斷面不足而無法安全排洩設計土石流流量之虞者，必須詳加檢算分

析其各項水理因子。

3. 攔蓄砂石為目的者，宜選在河流束縮段略上方且溪床坡度平緩之溪段設置，以避免洪流在河道極窄處受阻導致無法疏通。
4. 為穩定支流匯流區之安定，選在諸支流匯流處的下方如圖 3-3 所示，勿剛好在支流會合點處，以免會合點漩流易引起兩岸崩塌。

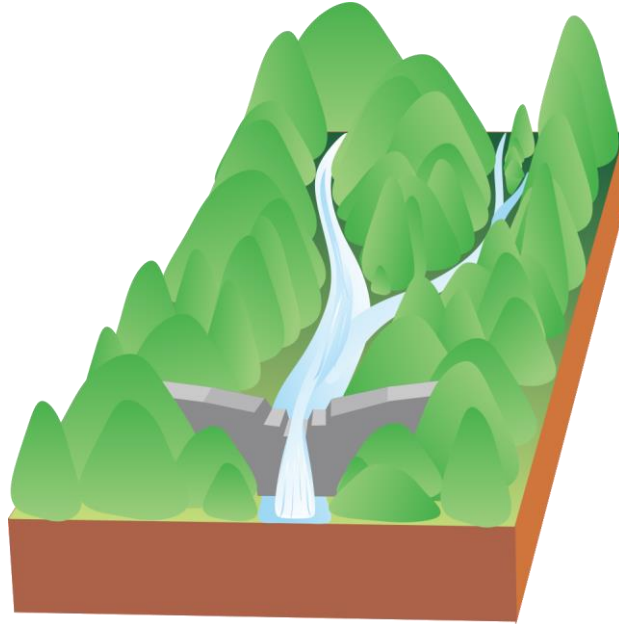


圖 3-3 壩址選擇示意圖

5. 縱向刷深嚴重地區為安定河床，應在河床冲刷處或其下游點設置；為固定崩塌地之坡腳或溪流侵蝕引起崩塌者，在其下游設置為原則。但崩塌範圍沿溪流方向距離較長或河床坡度較陡者，則需設系列壩。
6. 為防止水庫淤砂而做的高壩，應盡量選在山崩或地滑的潛在危險下方，以發揮即時保護作用。
7. 防砂壩盡量選在河道平直處、溪流彎曲部之下游、具有侵蝕山腳及溪流寬大易生亂流者，在此區間內可用防砂壩、固床工或整流工控制流心。
8. 土石流區間因考慮土石流直進特性，應避免將壩址設置於緊臨曲率半徑較小的彎道上游處，防止土石溢出。
9. 為控制凹岸冲刷者，如圖 3-4 所示，可在曲線中點(MC)設壩，且凹岸之壩翼需高於凸岸之壩翼。
10. 為保留深潭則避免在(MC)建壩，可在該段較上游位置設置(圖 3-4)，達到減速及消能效果，並在下游處再增設一防砂壩，功用為回淤保護上游防砂壩之

基腳，以加深凹岸基礎保護不被沖刷。

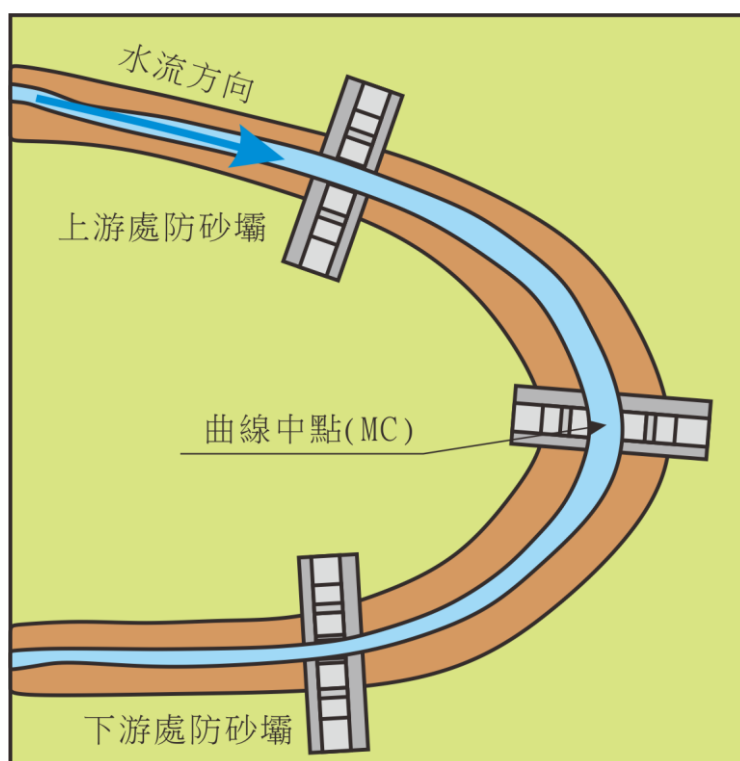


圖 3-4 防砂壩設置於凹岸之示意圖

11.兩岸高度不足之溪流段，不宜築壩。

3.5地形調查與測繪

地形調查與測繪之目的，旨在取得環境調查、資料分析、整體治理規劃、工程設計、工程施作、維護管理及成效評估等水土保持相關工作前、中、後之繪製底圖或評估基礎資料。其調查與測繪範圍依水土保持技術規範(2014)第 21 條分為計畫區、水道及道路等三種不同對象：

- 1.計畫區：涵蓋計畫區及邊界外水平距離至少二十公尺為範圍。
- 2.水道：涵蓋水道及兩岸外水平距離至少二十公尺為範圍。橫斷面測量應與堤防或水流流向成垂直，並應涵蓋兩岸最高水位線。縱斷面測量應測每一樁點之高程，測量範圍須涵蓋施工河段上游及其下游至少五十公尺，以了解河床變化情形。
- 3.道路：以中心線向兩側起算其水平距離為路寬之一倍，但不得少於二十公尺。

地形調查與測繪工作流程如圖 3-5 所示，從訂定地形調查與測繪計畫開始，再以應用目的分別進行地形調查及測量，並以測量結果進行分析，獲得對應目的

之需求資訊，簡述各流程如下：

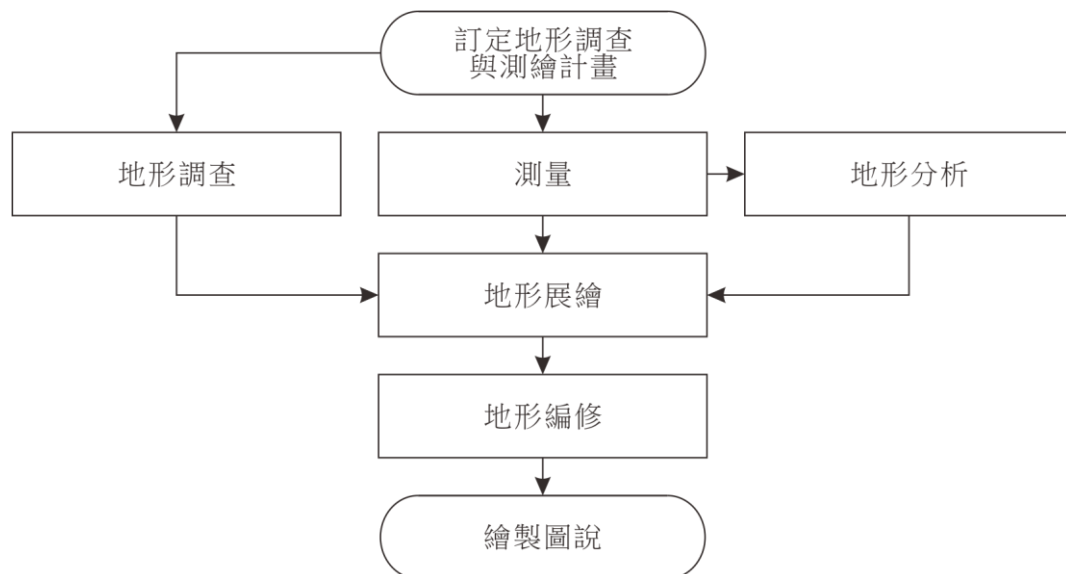


圖 3-5 地形調查與測繪工作流程圖

1.訂定地形調查與測繪計畫：

地形調查與測繪計畫即為國土測繪法(2007)第 8 條所定實施計畫及第 18 條所訂測量計畫，應參考國土測繪法施行細則(2007)第 3 條辦理，測量工作達一定規模，應提報主管機關備查。

2.測量：

地形測量是以控制點測量成果為依據，並依計畫區面積、精度、密度、比例尺、水下資料及時程等要求，挑選適當地面、水下、空中或衛星測量工具及方法，量測出地表面高低起伏之山脈、平原、河谷等自然形態高程，及人為的房屋、道路、橋梁等地物的平面位置及高程。

3.地形調查：

旨在取得地形特徵資料，並將調查成果配合測量結果一同標示於圖說；其中地形特徵資料包括坡度、坡向、地貌、地物、地質、土壤、水系、排水狀況、植生覆蓋及土地利用所形成之土地特徵。

4.地形分析：

坡度分析包含流域平均坡度及河川平均坡度：

(1)流域平均坡度

常用之推求方法包括等高線長度法、等高線面積法及 Horton 交點法：

a.等高線長度法

適用於較小流域，利用等高線進行劃分，如圖 3-6 所示，先以各等高線控制面積計算其平均坡度，再以加權平均法算出整體流域平均坡度，計算過程如下：

假設 a_i 為第 i 條等高線(圖中 12 線)所控制的面積(圖中 ABCD 之面積)，該面積之平均坡度 s_i 可表為

$$s_i = \frac{D}{w_i} = \frac{Dl_i}{a_i} \quad \text{式 3-1}$$

其中 D =兩等高線差值，為一定值(圖中 D 為 10 公尺)； $w_i = \frac{a_i}{l_i}$ ，為 a_i 之平均寬度； l_i 為等高線長度。

故整體流域之平均坡度 S 可表為

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n s_i a_i}{A} = \frac{\sum \frac{Dl_i}{a_i} a_i}{A} = \frac{D \sum l_i}{A} = \frac{DL}{A} \quad \text{式 3-2}$$

其中 S =流域平均坡度； $L = \sum l_i$ ，為流域中所有等高線長度之總和。

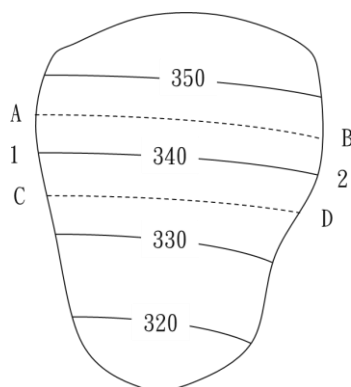


圖 3-6 流域等高線分布圖

b.等高線面積法

適用於較小流域，亦是利用等高線進行劃分，但其以兩等高間之面積作為計算面積，如圖 3-7 所示。

假設 a_j 為第 j 條等高線與第 $j + 1$ 條等高線間的面積(圖中 1234 之面積)，該面積之平均坡度 s_j 可表為

$$s_j = \frac{D}{w_j} \quad \text{式 3-3}$$

其中 D =兩等高線差值，為一定值(圖中 D 為 10 公尺)； $w_j = \frac{a_j}{l_j}$ ，為 a_j 之平均寬度； l_j 為第 j 條等高線與第 $j + 1$ 條等高線長度之平均值。

故整體流域之平均坡度 S 可表為

$$S = \frac{\sum_{j=1}^n s_j a_j}{A} = \frac{\sum \frac{D}{w_j} a_j}{A} \quad \text{式 3-4}$$

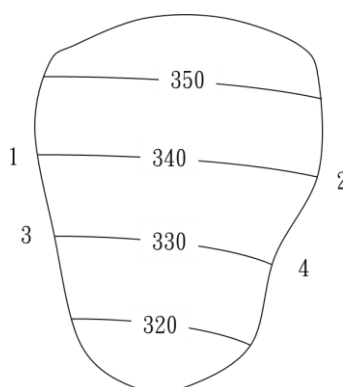


圖 3-7 流域等高線分布圖

c.Horton 交點法(Horton's intersection-line method)

為經驗近似公式，由 Horton 提出，適用於大流域。將等高線流域圖分成數個方格，再以下列公式進行計算。

$$S = 1.571 \frac{D(n_h + n_v)}{l_h + l_v} \quad \text{式 3-5}$$

其中， D =兩等高線差值，為一定值； n_h =方格之橫線與等高線及分水嶺的交點數； n_v =方格之縱線與等高線及分水嶺的交點數； l_h =等高線所切割之橫方格線總長； l_v =等高線所切割之縱方格線總長。

(2)河川平均坡度

列舉常用之分析方法，包括勞倫生法及泰勒法，分述如下：

a.勞倫生法(Laurenson method)

係將河溪剖面繪出，繪一直線使上游河底至直線之面積(A_1)等於下游河底至直線之面積(A_2)，則該直線之坡度即為河川平均坡度。

$$S = \frac{H}{L} \quad \text{式 3-6}$$

其中， H 可由各段溪床長度及高度求得，可表為

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n l_i h_i}{L} \quad \text{式 3-7}$$

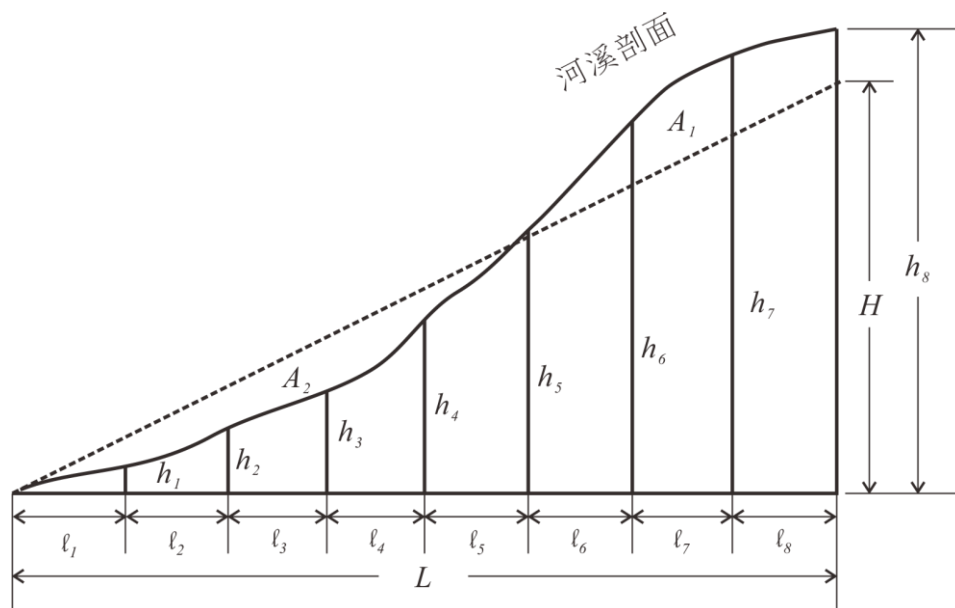


圖 3-8 勞倫生法示意圖

b. 泰勒法(Taylor and Schwarz method)

泰勒法係根據流速之平方與河川平均坡度成正比，故將河川分成 n 段，分別求出各段之平均坡度，再以加權平均法求得整段河川平均坡度，公式如下：

$$S = \left(\frac{\sum s_i^{1/2}}{n} \right)^2 \quad \text{式 3-8}$$

其中， s_i =第 i 段之平均坡度； n =總段數。

5. 地形展繪：

將調查及測量成果展繪成地形圖。

6. 地形編修：

包括調繪及編修，於現場抽查比對展繪成果，將錯誤或不合理處進行修改。

7. 繪製圖說：

將編修後的成果進行繪製。

根據地形調查與測繪成果可得崩塌地不穩定土方量體分析、災害規模相關之土方量體評估及水文分析等，整體治理規劃的依據，必可透過斷面的基本參數規劃防砂壩之規模。

3.6計畫淤砂坡度

淤砂坡度係指防砂壩上游蓄積土砂所形成新的溪床坡度，如圖 3-9 所示。淤砂坡度範圍即為防砂壩影響或防護範圍，與系列防砂壩之間距設計關係密切，是防砂壩設計時極為重要的參數之一。計畫淤砂坡度不易通過理論方式獲得，主要受到壩高、原溪床坡度、溪床土砂粒徑分布及壩體上游來水來砂量等因素之綜合影響，一般計畫淤砂坡度可以採用原溪床坡度 $1/2 \sim 2/3$ ，溪床粒徑粗大者採用 $2/3$ ，粒徑較小者用 $1/2$ (粒徑之大小可參考水土保持技術規範第三十七條)，砂或泥岩溪床則採用接近水平或水平之淤砂坡度。

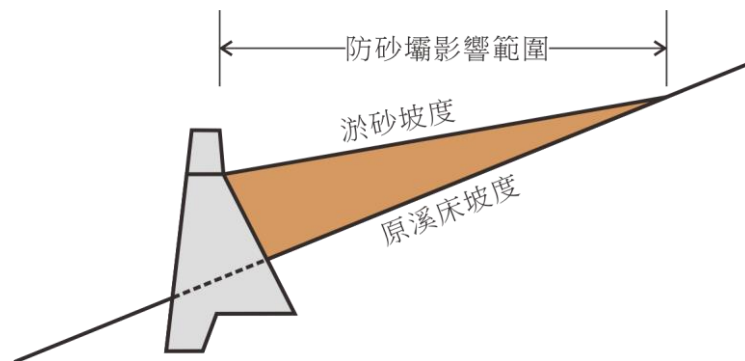


圖 3-9 計畫淤砂坡度及其影響範圍示意圖

3.7防砂壩布置

防砂壩布置可以概分為獨立壩及系列(群)壩兩種方式。僅需單一壩即可達成防砂或攔砂等目的，選擇獨立壩，但在河川較上游區位野溪溪床坡度較陡峭者，或該地有崩塌之情形者，單一防砂壩可以防護的範圍相當有限，故為取得較大的防護範圍，有必要沿著溪流連續建置，上、下游壩體間相互制約之多座防砂壩，稱之為系列防砂壩，如圖 3-10 所示。系列防砂壩形成近似階梯狀的溪床結構，有效消耗過壩水流能量，以減緩水流流速、調整土砂量、防止河床下切、抑制擴床現象與維持河流的穩定。系列防砂壩設計的主要考量：

1. 系列防砂壩的防護範圍：

防護範圍與壩體上游計畫淤砂坡度相關，原則上，會依河床粒徑以原溪床坡度 $1/2$ 或水平狀態設計系列壩淤砂坡度，如圖 3-10 所示，且須保護上游防砂壩之基腳，最下游之防砂壩為保護其基腳可設置副壩。

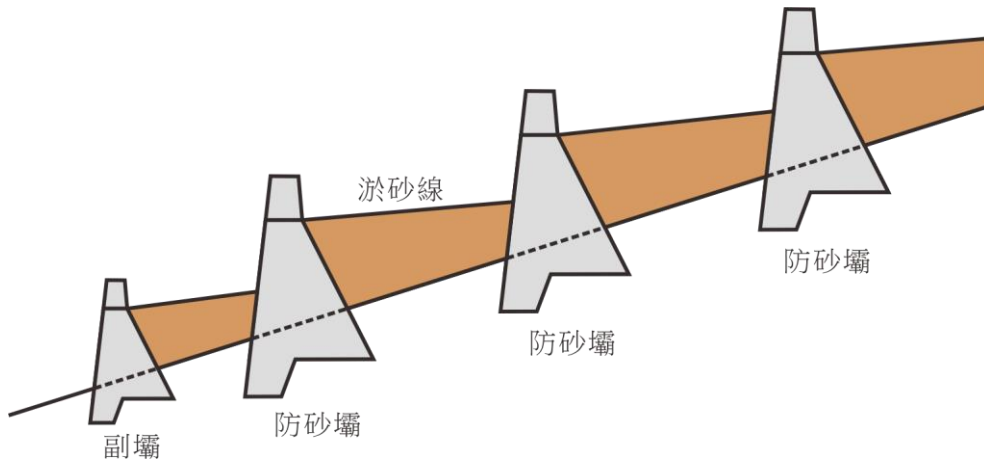


圖 3-10 系列防砂壩之淤砂坡度設計

2. 各防砂壩之間的理論間距布置：

如圖 3-11 崩塌邊坡長度 ℓ_L ，且假設防砂壩上游影響範圍為 ℓ_i ，因單一防砂壩影響範圍(ℓ_i)常小於崩塌邊坡長度(ℓ_L)，致使防砂壩喪失保護不穩定溪岸邊坡之功能，故必須沿著溪流連續施作系列防砂壩，使其防護範圍 $\sum \ell_i \geq \ell_L$ 。因此，問題的關鍵在於防砂壩影響範圍(ℓ_i)之推估。

防砂壩防護範圍(ℓ_i)與原溪床坡度、計畫淤砂坡度及壩體有效高度等因素相關，可依下式計算，即

$$\ell_i \leq \frac{H_e}{S_o - S_e} \quad \text{式 3-9}$$

式中， H_e =壩體有效高度； S_o =原溪床坡度($\tan \theta$)； S_e =計畫淤砂坡度。

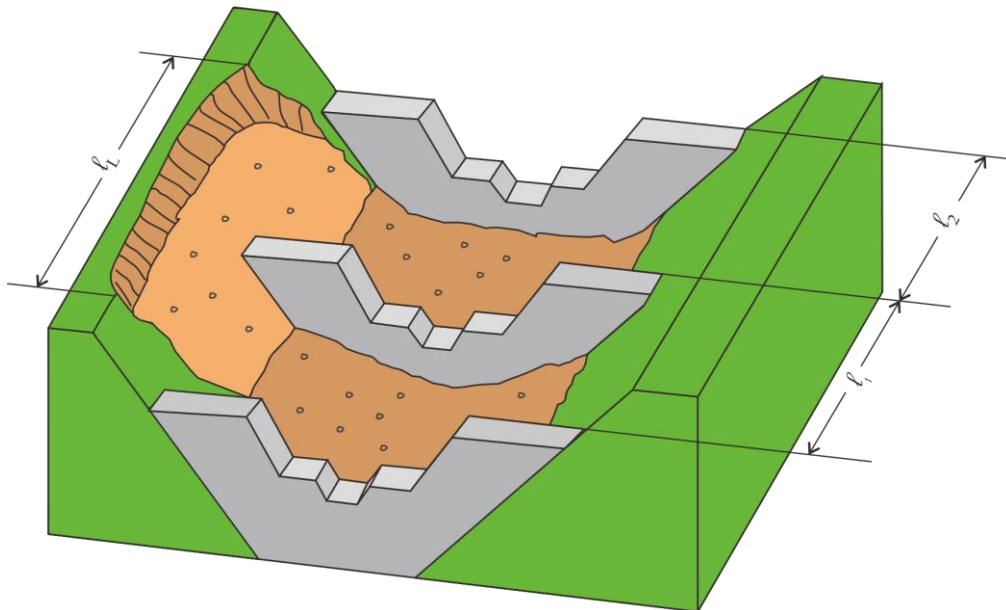


圖 3-11 系列防砂壩布置原則示意圖

3.8 溢洪口設計

為控制水流流向且避免溪岸淘刷，應針對防砂壩之壩軸方向及溢洪口之位置做相對應的規劃設計，並依照不同流況之溪流，對溢洪口之大小、形狀及斷面流速實施計算及套用，詳細的規劃設計原則如下：

1. 溢洪口位置選定：

選定溢洪口斷面之位置，需考慮不同溪段之壩軸方向及依據地質選擇設立位置，原則上在壩體中間。

(1) 壩軸方向：

當洪流通過防砂壩時，因受到溢洪口導引產生水流流向改變，故設計時必須注意壩體軸向與洪水流心的關係，包括：

a. 直線溪段之壩軸應與洪水時流心線垂直(圖 3-12)。

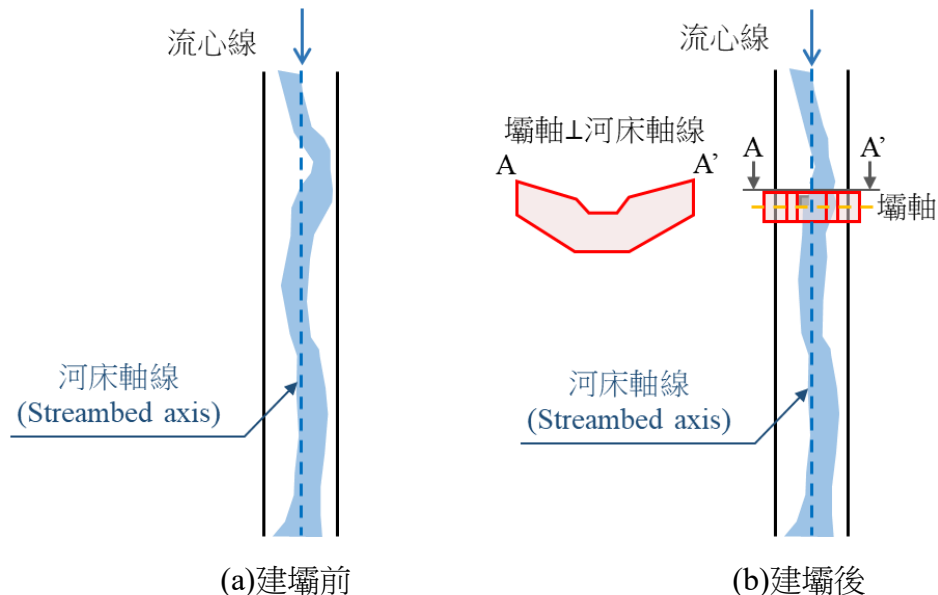


圖 3-12 防砂壩設置於直線溪段

b. 壩址避免選在彎曲段，如圖 3-13(a)所示，凹岸易有河岸侵蝕之現象，不得已時壩軸應與洪水流心線之切線(或弦線)垂直，並增加凹岸壩翼之長度或加強保護，如圖 3-13(b)，以減少壩體凹岸遭受水流沖刷而毀損。

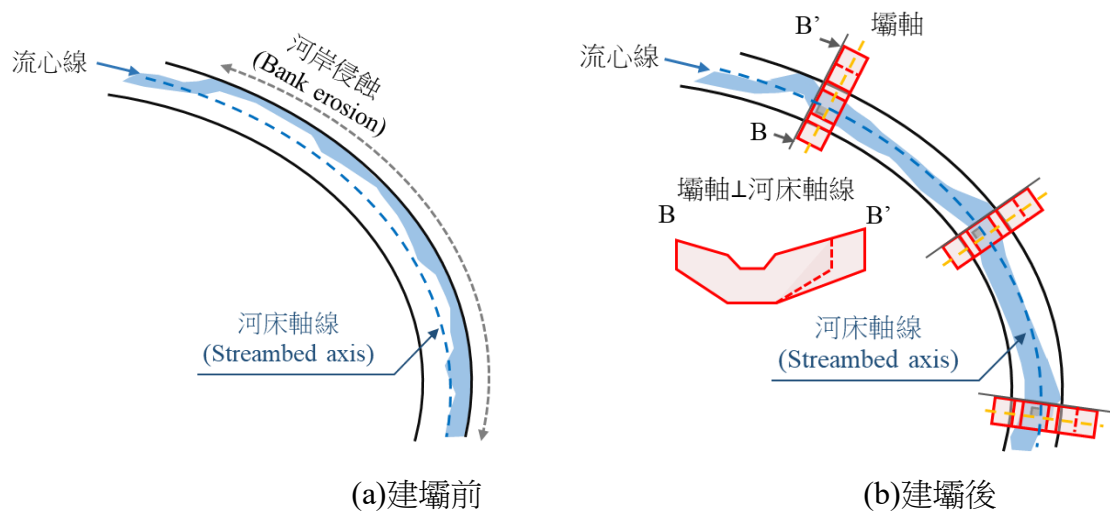


圖 3-13 防砂壩設置於彎曲段

(2)設立位置：

以位於溪幅中央位置為原則，並參照壩址上下游地形、地質、溪岸狀況與水流方向等因素予以選定，以不引起上、下游溪岸沖刷和崩塌為首要條件。

- a.兩岸基岩性質不同，或一岸為非岩盤時，溢洪口宜略靠近堅硬岩盤岸。
- b.溢洪口之設置，應使過壩水流遠離崩塌地。

2.形狀：

(1)溢洪口之形狀有梯形、矩形及拋物線形等，如圖 3-14 所示，一般採用底部水平之梯形或矩形斷面，兼有其他用途者得依其需要設計之。

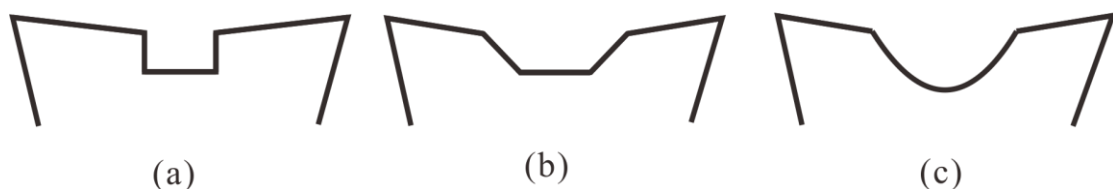


圖 3-14 各式形狀之溢洪口示意圖(a)矩形(b)梯形(c)拋物線形

(2)為避免壩淤滿時，壩上游河道變寬，使流心變動導致兩岸遭受沖刷，建議溢洪口宜採用複式斷面，如圖 3-15 所示，深槽線之小梯形在計算排洪量時可忽略，若河寬較窄則可不必要採用，建議複式斷面寬度約為 1/3 溢洪口寬度，深度在 1m 以內。

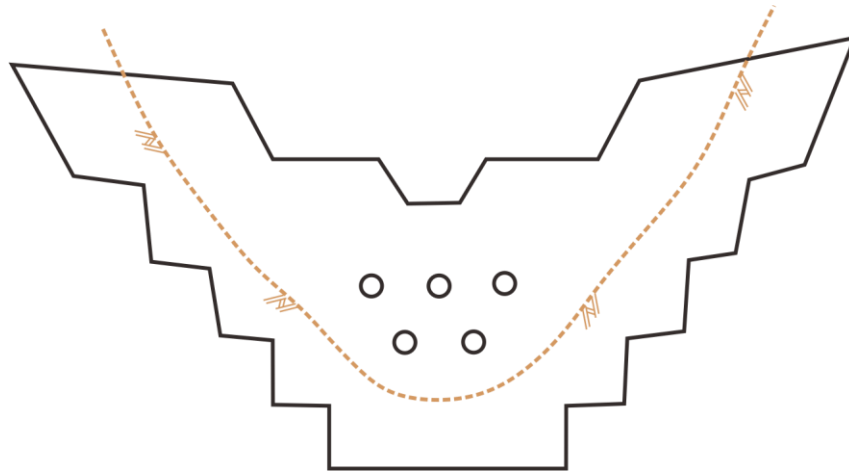


圖 3-15 複式斷面示意圖

3. 斷面設計：

溢洪口斷面設計須由流量推估來選定尺寸與溢流水深，流量之推估流程為先行計算出清水流洪峰流量(Q_p)，再以 Q_p 計算出設計洪峰流量(Q_d)，將 Q_d 代入堰流公式，以試誤法求出斷面尺寸及溢流水深。若要設置在土石流區段，則再須計算土石流設計洪峰量(Q_D)。

(1) 清水流洪峰流量(Q_p)：

當集水區有實測資料時，洪峰流量估算以實測資料分析。若無實測資料時，面積超過 1,000 公頃者採用單位歷線法分析；面積小於 1,000 公頃者得採用合理化公式(Rational Formula)計算，計算方式如下：

a. 合理化公式：

$$Q_p = \frac{1}{360} C \bar{I} A \quad \text{式 3-10}$$

式中， Q_p =洪峰流量(peak surface runoff)(m^3/s)； C =逕流係數(runoff coefficient)； $\bar{I}$ =平均設計降雨強度(mm/hr)($=R_e/t_c$)； t_c =集流時間(time of concentration)(hr)； R_e =單位有效降雨深度(mm)； A =集水區面積(ha)。上式係基於等號左右兩側因次相等的基本特點而謂之合理化公式。

其中逕流係數(C)為逕流量與降雨量之比值，與集水區面積、形狀、地質、土壤、地形、植被覆蓋、土地利用、前期降雨情況等眾多因子相關，難以採用理論方式直接推估。一般常採以查表方式估計之可參考表 3-1。

表 3-1 水土保持技術規範之逕流係數

集水區狀況	陡峻山地	山嶺區	丘陵地或森林地	平坦耕地	非農業使用
無開發整地區之逕流係數	0.75~0.90	0.70~0.80	0.50~0.75	0.45~0.60	0.75~0.95
開發整地區整地後之逕流係數	0.95	0.90	0.90	0.85	0.95~1.00
註：開發中之 C 值以 1.0 計算					

資料來源：水土保持技術規範第 18 條

應用合理化公式的另一個關鍵，在於推估特定降雨延時及重現期之平均設計降雨強度。根據降雨強度-延時-頻率公式(intensity-duration-frequency equation, IDF)，通常降雨強度-延時-頻率公式以採用 Horner 公式為宜，設計時以挑選集水區內或鄰近區域測站近年更新之 Horner 公式為主：

$$\bar{I} = \frac{a}{(t + b)^c} \quad \text{式 3-11}$$

式中，a、b、c 請參照附錄二：台灣各區 Horner 公式相關係數值。

惟若缺乏 Horner 降雨強度公式或集水區欠缺實測資料時，亦可採用物部公式由日雨量資料推求各延時之降雨強度

$$I_t = \frac{r_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^c = \frac{1}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^c r_{24} = C_t r_{24} \quad \text{式 3-12}$$

式中， I_t = t 時間內平均降雨強度(mm/hr)； r_{24} =日雨量(mm)； t =集流時間或洪峰到達時間(hr)； c 是測區而定，台灣地區介於 0.3343 至 0.7641 之間在台灣通常使用 0.506。上式於降雨延時較小時， C_t 值較臺灣一般情形為大，故不宜在較小集水區或集流時間較短中使用(廖培明，1998)。

此外根據水土保持技術規範(2014)之算式，以集水區年平均降雨量(P)為參數的無因次降雨強度公式，即：

$$I_t^T = (G + H \log T) \frac{A}{(t + B)^c} I_{60}^{25} \quad \text{式 3-13}$$

$$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{25.29 + 0.094P}\right)^2$$

$$A = \left(\frac{P}{-189.96 + 0.31P}\right)^2$$

$$B = 55$$

$$C = \left(\frac{P}{-381.71 + 1.45P} \right)^2$$

$$G = \left(\frac{P}{42.89 + 1.33P} \right)^2$$

$$H = \left(\frac{P}{-65.33 + 1.83P} \right)^2$$

式中， P =年平均降雨量(mm)； t =有效降雨延時(min)； T =重現期距(年)； A 、 B 、 C 、 G 、 H =係數，可參考附錄三。

b.修正三角形單位歷線法：

三角形單位歷線係假設集水區流量歷線(過程線)呈三角形分布，具有固定的基期，如圖 3-16 所示，洪峰流量與降雨量成正比例關係，由三角形面積可得：

$$Q_p = \frac{2QA}{T_p + T_r} \quad \text{式 3-14}$$

式中， Q_p =洪峰流量(cms)； Q =總逕流水深(mm)； A =集水區面積(km²)； T_p =歷線開始至到達洪峰流量時間(hr)； T_r =洪峰流量至歷線終端的時間(hr)； T_b =歷線時間基期(= $T_p + T_r$)(hr)。當總逕流水深(Q)等於單位有效降雨深度(R_e)(一般取 10mm)，則上式稱之為三角形單位歷線(triangular unit hydrograph)。三角形單位歷線法概念相當簡單，適用於海洋島嶼型小集水區的洪峰流量設計，尤其在欠缺實測資料的上游集水區更屬重要，附錄四為三角歷線之計算流程，可參考此計算流程。

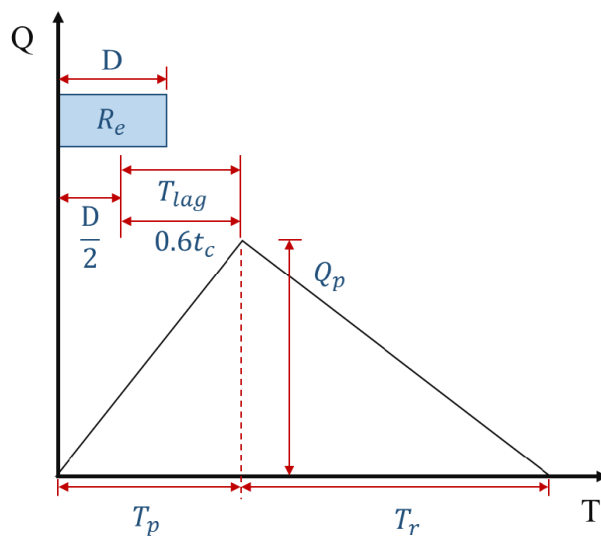


圖 3-16 三角形單位歷線圖

依圖 3-16 得知洪峰流量到達時間 T_p 可以表示為：

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{lag} \quad \text{式 3-15}$$

式中， D =有效降雨延時(hr)， $D \leq 0.133t_c$ ； T_{lag} =稽延時間(hr)，表有效降雨中心至洪峰流量到達時間，可表為(Mockus 1957; Simas 1996)：

$$T_{lag} = 0.6t_c \quad \text{式 3-16}$$

式中， t_c =集流時間(hr)，指逕流從集水區上最遠的點流到特定出口斷面所需的時間，計算公式可表為：

$$t_c = \frac{L}{V} \quad \text{式 3-17}$$

式中， t_c =集流時間； L =逕流流動長度； V =逕流流速。

考量逕流從集水區坡面流至溪流的過程中，水流流速會有很大的變異而影響集流時間的計算，故通常會依流動條件採用分段計算方式，將薄層漫地流運行時間、淺層集中水流運行時間、管流運行時間及渠道運行時間相加後，以獲得集水區的總集流時間。

通常在小型集水區內多簡化為兩種分段，其中由逕流從坡面流入溪流的時間，屬於坡面漫地流段，稱為流入時間(inlet time)；而由溪流最上游流至下游出口的時間，屬於明渠流段，稱為流下時間(travel time)；集流時間即為流下及流入時間之和，即

$$t_c = t_s + t_d \quad \text{式 3-18}$$

式中， t_s =流入時間； t_d =流下時間。

流入時間(t_s)係指水流由集水區邊界流至下游集流點之所需運行時間，與水流流速及流動長度有關。在中、大型集水區，坡面漫地流運行時間所佔的比例相對較小，而在小型集水區中，坡面漫地流則為主要的流動型態。考量坡面漫地流流速受到坡面植被、粗糙度、起伏程度、降雨強度等因素影響，不易以理論方式推估，因而多按照坡面植被及坡度，直接設定漫地流平均流速約介於 0.3~0.6m/sec 之間。此外，由於坡面漫地流隨著流動距離增加而轉變為淺層集中水流，故必須限制其流動長度；一般，在自然坡面上漫地流流動長度不得大於 300m，而開發坡面亦不得大於 100m。因此，流入時間可表為：

$$t_s = \frac{\ell_s}{V_s} \quad \text{式 3-19}$$

式中， ℓ_s =坡面長度； V_s =坡面流速。

流下時間(t_d)係指從溪流最上游流至下游出口之所需運行時間，屬明渠流(open channel flow)流動型態，與溪流坡度、長度及粗糙度等因素相關，多採經驗或半經驗公式推估之，其中以 Rziha 公式為主。Rziha 公式建議採用以下公式推求水流流速(V_d)及流下時間，可分別表為(水土保持手冊，2017)

$$V_d = 20(H/\ell_d)^{0.6} \quad (\text{m/sec}) \quad \text{式 3-20}$$

$$V_d = 72(H/\ell_d)^{0.6} \quad (\text{km/hr}) \quad \text{式 3-21}$$

$$t_d = \frac{\ell_d}{V_d} \quad \text{式 3-22}$$

式中， H =集水區溪流或排水路最上游點至控制點之高程差； ℓ_d =溪流或排水路長度。

可依前述集流時間相關公式推求之。設 $T_r = mT_p$ ，且 Mockus(1957)提出， $m=1.67$ ，則三角形單位歷線洪峰流量及洪峰流量到達時間可分別表為

$$Q_p = \frac{0.208 \cdot A \cdot R_e}{T_p} \quad \text{式 3-23}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6t_c \quad \text{式 3-24}$$

式中， Q_p =洪峰流量(cms)； R_e =單位有效降雨深度(mm)； A =集水區面積(km^2)； T_p =歷線開始至到達洪峰流量時間(hr)。

式 3-23 中係數 0.208 稱為洪峰係數(peaking factor)，係反應集水區內保留或遲滯水流的能力，與集水區特性相關。根據「美國國家海洋及大氣總署」單位歷線技術手冊建議，針對集水區不同土地利用型態，應修正式 3-23 中的係數值，如表 3-2 所示，以符合集水區逕流特性。

表 3-2 三角形單位歷線洪峰係數與 m 值修正表

土地使用狀況	洪峰係數	$m = T_r / T_p$
標準 SCS	0.208	1.67
都市地區：陡坡	0.247	1.25
都市與鄉村混合區	0.172	2.25
鄉村：陡坡	0.129	3.33
鄉村：緩坡	0.086	5.5
鄉村：平地	0.043	12.0

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所(2012)

由式 3-24 得知有效降雨延時可以由集流時間計算。但是考量集水區面積較小之實際問題，水利署提出適用於臺灣地區的有效降雨延時的推估方式，並將三角形單位歷線更名為修正三角形單位歷線(Modify Triangular Unit Hydrograph)。其推估方法如表 3-3 所示，雖然部分集流時間採用值大於 $0.133t_c$ ，惟依 Viessman et al.(2003)認為，只要不大於 $0.17t_c$ 皆屬可容許之範圍。

表 3-3 有效降雨延時推估

集流時間	$D \leq 0.133 t_c$	採用值(min)
$t_c \geq 6 \text{ hr}$	$>48 \text{ min}$	60
$5.0 \leq t_c < 6.0 \text{ hr}$	$40 \leq D < 48 \text{ min}$	50
$4.0 \leq t_c < 5.0 \text{ hr}$	$32 \leq D < 40 \text{ min}$	40
$3.0 \leq t_c < 4.0 \text{ hr}$	$24 \leq D < 32 \text{ min}$	30
$2.0 \leq t_c < 3.0 \text{ hr}$	$16 \leq D < 24 \text{ min}$	20
$1.0 \leq t_c < 2.0 \text{ hr}$	$8 \leq D < 16 \text{ min}$	10
$t_c < 1.0 \text{ hr}$	$D < 8 \text{ min}$	5

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所(2012)

(2)設計洪峰流量(Q_d)：

參照水保技術規範第六十五條，一般以採用 50 年重現期距設計降雨強度為原則，並考量水中含砂量

$$Q_d = (1 + \alpha)Q_p \quad \text{式 3-25}$$

式中， Q_d =設計洪峰流量(cms)； Q_p =清水流洪峰水量(cms)； α =水流中含砂率，一般採用 5%~10%，最大值為 50%。

(3)出水高選定與堰流公式：

溢洪口斷面之大小以能充分渲洩設計洪峰流量為準，已知溢洪口斷面頂寬為 b_u 及底寬為 b_o ，如圖 3-17 所示，因此設計出水高 $h_f \geq 0.6\text{m}$ ，且溢流水深 $h \leq 4\text{m}$ 。一般情形時溢流水深宜規畫小於 3.0m ，良好岩盤基礎時可設定達 4.0m 。

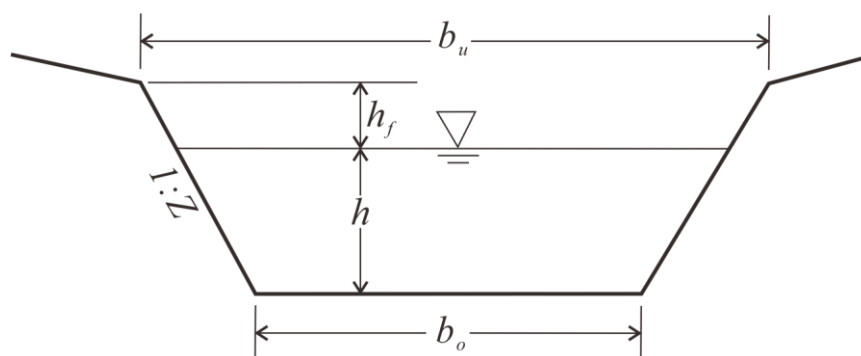


圖 3-17 溢洪口斷面示意圖

溢洪口斷面之出水高可依設計洪峰流量或溪床坡度決定之，一般在 0.6m 以上，如表 3-4 所示，依排洪量選定出水高，並以堰流公式求出溢流水深。

表 3-4 出水高與排洪量參考表

排洪量(m^3/sec)	<200	200-500	>500
出水高(m)	0.6	0.8	1.0

溢流水深須藉由堰流公式，以試誤法計算來獲取之，堰流公式之計算方式如下：

$$Q_d = 0.354b_u(2 + 3\chi)h^{1.5} \quad \text{式 3-26}$$

式中， Q_d =設計洪峰流量； b_u =溢洪口斷面頂寬(m)； h =溢流水深(m)； χ =無因次寬度因子，可表示為：

$$\chi = \frac{b_o}{b_u} \quad \text{式 3-27}$$

式中， b_o =溢洪口斷面底寬(m)。當溢洪口斷面為矩形時，溢洪口頂端與底端等寬， $\chi=1$ 。若溢洪口斷面為梯形，其兩側邊坡斜率為 $1:Z$ 。

$$b_u = b_o + 2Zh \quad \text{式 3-28}$$

代入式 3-26 可得

$$Q_d = 0.354(5b_0 + 4Zh)h^{1.5} \quad \text{式 3-29}$$

當 $Z=1$ 時，則設計洪峰流量可表為

$$Q_d = (1.77b_0 + 1.42h)h^{1.5} \quad \text{式 3-30}$$

當 $Z=0.5$ 時，則設計洪峰流量可表為

$$Q_d = (1.77b_0 + 0.71h)h^{1.5} \quad \text{式 3-31}$$

當 $Z=0$ 時，則設計洪峰流量可表為

$$Q_d = 1.77b_0 \times h^{1.5} \quad \text{式 3-32}$$

代入設計洪峰流量後，利用試誤法，即可獲得溢流水深。

(4)土石流設計洪峰量(Q_D)：

以能通過 50 年重現期設計降雨強度之土石流流量為原則，其計算公式可表為：

$$Q_D = \frac{C_m}{C_m - C_d} Q_p \quad \text{式 3-33}$$

式中， Q_D =土石流設計洪峰量； C_m =靜止床面泥砂體積濃度($=1-n_p$ ； n_p =孔隙率)； C_d =土石流泥砂體積濃度，可由下式求得：

$$C_d = \frac{\gamma_w \tan \theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad \text{式 3-34}$$

式中， ϕ =泥砂內摩擦角，與泥砂特性及其緊密程度相關； θ =壩體上游溪床淤砂坡度； γ_s =土粒單位重量(g/cm^3)； γ_w =清水單位重量($= 1.0 g/cm^3$)。

當壩體構築之後，其上游如屬淤滿狀態時，則須採用曼寧公式以試誤法推估過壩水流之水深及通水斷面積：

$$A_d R^{2/3} = \frac{n Q_D}{\theta^{1/2}} \quad \text{式 3-35}$$

式中， A_d =土石流過壩時之斷面積，與溢洪口斷面形狀及土石流溢流水深(h_d)有關； R =水力半徑($=A_d/P$)； P =潤周； n =曼寧粗糙係數，參照水土保持手冊(2017) $n \approx 0.1$ (土石流先端部之曼寧粗糙係數)； θ =壩體上游淤砂坡度。

4.溢洪口保護工：

防砂壩溢洪口及壩體常遭水流挾帶之土砂撞擊、磨蝕，僅以一般混凝土難以抵抗，為避免溢洪口表面之磨損或破壞，可採用高強度混凝土、花崗石、耐磨鋼板、鋼軌、大卡車的廢棄輪胎(段錦浩等，2004)與現地大粒徑石塊等被覆表面作為抗磨耗材料或以特殊設計方法加以保護，如圖 3-18 與圖 3-19 所示。



圖片來源：水土保持局-碼崙溪上游

圖 3-18 耐磨鋼板加裝於溢洪口



圖片來源：水土保持局-和中部落北側野溪上游

圖 3-19 防砂壩溢洪口使用廢輪胎之保護措施

3.9重力式壩體設計

在壩體設計時，應考慮壩體的幾何形狀與作用在壩體的所有作用力，使壩體能符合安定分析的所有條件，設計出最經濟且安全的壩體。

1.壩體幾何設計：

以下詳述主壩壩體之設計準則，包括壩高、壩頂厚度及壩體上下游面之選定。

(1)壩高

壩高設計取決於築壩目的、壩址地質狀況、淤砂坡度、兩岸岸坡高度及周圍狀況等因素，選定最經濟且有效之高度。

- a.壩高應依壩址之地質狀況選定之，從壩的安全性來說，其基礎應盡量設在岩盤上，但有時因計畫之需要，不得已設置在砂礫為基礎之上，此時壩高應限制在 15 公尺以下。
- b.壩高應參照上游淤砂範圍內兩岸高度及土地利用狀況選定之，其淤砂坡度與壩高具有正相關性。
- c.為防止崩塌地坡腳及既有工程構造物基礎受侵蝕，由壩高所形成之淤砂影響範圍，應足以保護崩塌地之坡腳及構造物之基礎為原則。
- d.以攔蓄砂石為目的者，應參照壩址地形、地質及上游淤砂範圍內之現況，選定經濟有效之壩高。
- e.若用於土石流區間，除上述條件外，應詳加考量：①淤砂線和壩址兩翼之高度是否足以防止土石流溢出；②壩址下游之地質條件，是否足以抵抗土石流的直接撞擊和沖刷。

(2)壩頂厚度

壩頂厚度為壩最頂端(不包含壩翼)之厚度，可依壩高或地況選取妥適之設計值，如表 3-5 所示。

表 3-5 壩頂厚度選取參考表

依壩高選定	
壩高(H)	壩頂厚度(b)
$5.0m \leq H < 10m$	$b = 1.5 \sim 2.0m$
$H \geq 10m$	$b = 2.0 \sim 3.0m$
依河床質地選定	
河床質地	壩頂厚度(b)
一般荒廢野溪	$b = 1.5m$
粒徑粗之溪流	$b = 2.0m$
土石流或大滾石地區	$b = 3.0 \sim 4.0m$

資料來源：水土保持手冊(2017)

(3)壩體下游面斜率

為防止過壩水流挾帶砂石之直接撞擊，壩體下游面及基腳斜率宜採用陡於 1：0.3 之陡坡設計，若採用 1：0.3 以上之斜率且有較粗粒徑塊石滾落情況，可加舌狀突出。

(4)壩體上游面斜率

壩體上游面斜率係防砂壩設計之主要部分。先行決定壩頂厚度與下游壩面坡度，並假設上游壩面坡度，經安定檢算後，在安全無虞且經濟的情況下，選定一適當上游面斜率值，且以壩體通過安定檢討之基礎上，選取最小斜率為原則。

2.作用力說明：

與壩體安定有關的作用力(圖 3-20)，包括壩體自重、水壓力、土壓力、上揚力及地震力等，在土石流區間設置防砂壩則應特別考量土石流撞擊力作用。為避免過度安全設計，如表 3-6 所示，可以依據水土保持手冊(2017)之標準配合壩高選取適當作用力進行安定檢討。

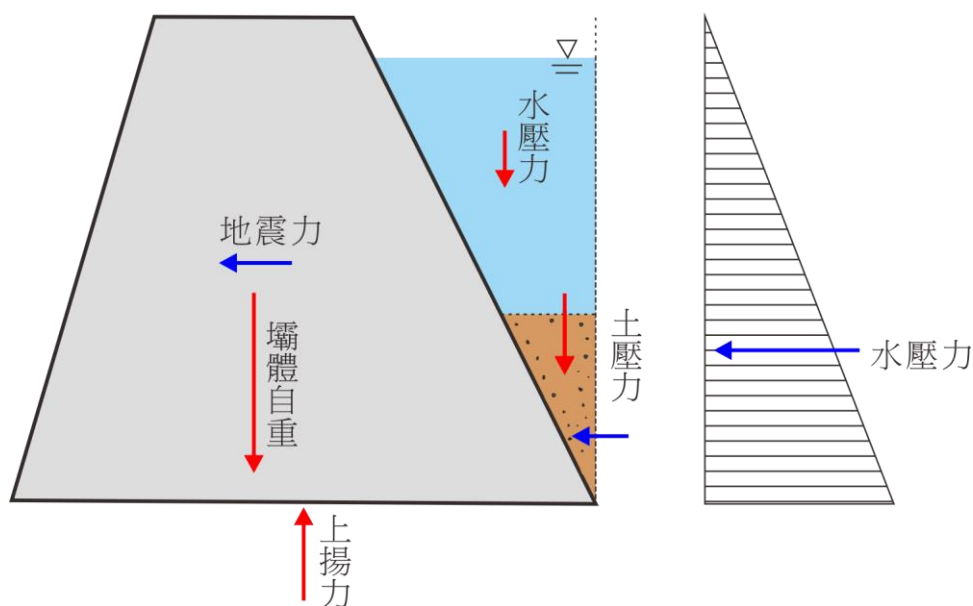


圖 3-20 壩體作用力示意圖

表 3-6 防砂壩安定檢算考慮作用力一覽表

壩高	平常時 (含地震時)	洪水時	土石流時
$5\text{m} \leq H < 7\text{m}$	自重 靜水壓力 土壓力 地震時壩體慣性力 地震時動態土壓力	自重 水壓力 土壓力	自重 靜水壓力 土壓力 土石流流體衝擊力 土石流巨礫撞擊力
$H \geq 7\text{m}$	自重 靜水壓力 土壓力 上揚力 地震時壩體慣性力 地震時動態土壓力	自重 靜水壓力 土壓力 上揚力	自重 靜水壓力 土壓力 上揚力 土石流流體衝擊力 土石流巨礫撞擊力

資料來源：水土保持手冊(2017)

(1)自重：

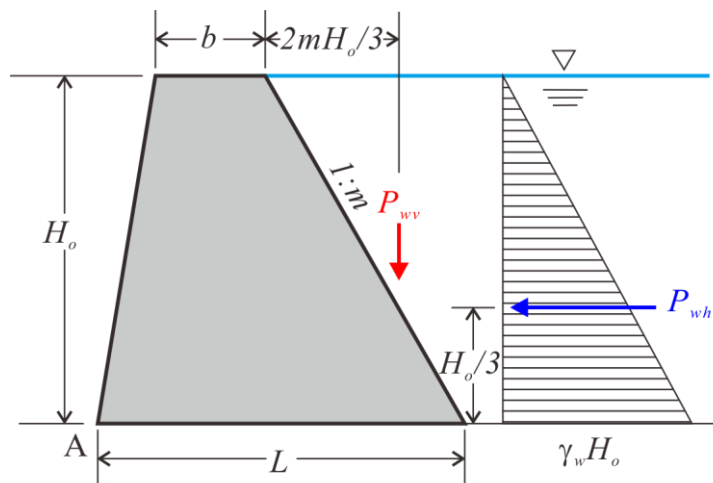
壩體自重為壩體全部體積與其構築材料單位重之乘積，可表為：

$$W = \gamma_c V_s \quad \text{式 3-36}$$

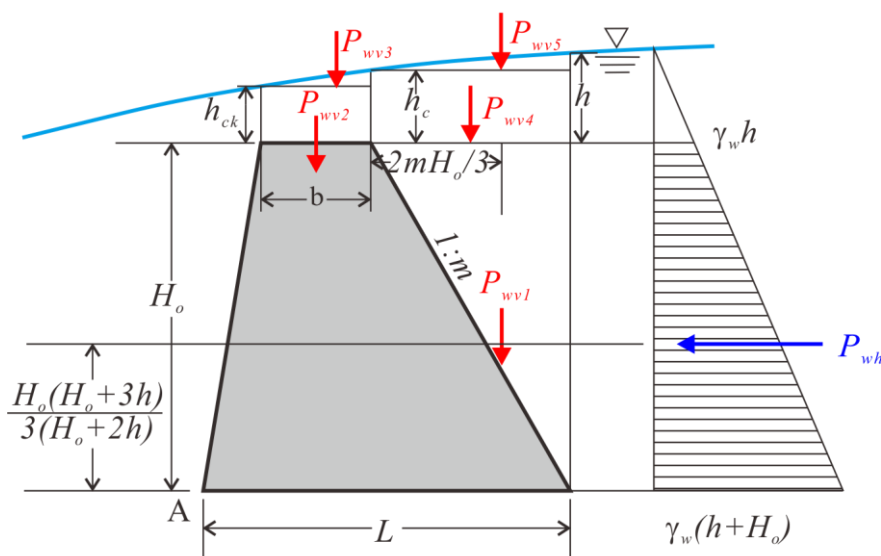
式中， γ_c =壩體材料單位重量，一般混凝土材料， $\gamma_c = 2.3 \sim 2.4 \text{t/m}^3$ ； V_s =壩體體積。

(2)水自重與靜水壓力：

若有水體需得計算水自重與靜水壓力，靜水壓力係指水體作用於壩體上游面之力量，依照壩體上游坡面及水位高低，而有以下兩種情況(參考圖 3-21)，即



(a)平常時



(b)洪水時

圖 3-21 防砂壩壩體水自重與靜水壓力示意圖

a.圖 3-21(a)為平常時期無溢流水深時，作用於壩體上游面之單位寬度水自重與靜水壓力，靜水壓力合力及其合力作用點可寫為：

$$P_{wh} = \frac{1}{2} \gamma_w H_o^2, \quad h_{ce} = H_o/3 \quad \text{式 3-37}$$

同理水自重及其作用點可寫為：

$$P_{wv} = \frac{1}{2}\gamma_w m H_o^2, h_{ce} = L - m H_o/3 \quad \text{式 3-38}$$

式中， H_o =壩高； γ_w =水單位重。

b.圖 3-21(b)為洪水時期有溢流水深時，作用於壩體上游面之靜水壓力公式及其作用點為：

$$P_{wh} = \frac{1}{2}[\gamma_w h + \gamma_w(h + H_o)]H_o = \frac{1}{2}\gamma_w H_o^2(1 + \frac{2h}{H_o}),$$

$$h_{ce} = \frac{H_o H_o + 3h}{3 H_o + 2h} \quad \text{式 3-39}$$

而水自重及其作用點可分為五個部分，分別為：

$$P_{wv1} = \frac{1}{2}\gamma_w m H_o^2, h_{ce} = L - m H_o/3 \quad \text{式 3-40}$$

$$P_{wv2} = h_{ck} b \gamma_w, h_{ce} = L - m H_o/3 \quad \text{式 3-41}$$

$$P_{wv3} = \frac{1}{2}\gamma_w(h_c - h_{ck})b, h_{ce} = L - m H_o - b/2 \quad \text{式 3-42}$$

$$P_{wv4} = h_c m H_o \gamma_w, h_{ce} = L - m H_o/2 \quad \text{式 3-43}$$

$$P_{wv5} = \frac{1}{2}\gamma_w m H_o(h - h_c), h_{ce} = L - m H_o/3 \quad \text{式 3-44}$$

式中， h =溢流水深(m)； h_{ck} =跌水緣水深(m)； h_c =臨界水深(m)。

(3)土壓力：

如圖 3-22 所示，係指壩體前、後淤積土體對壩體上、下游之作用力。一般作用於壩體上游牆面上主動土壓力，可以 Coulomb 及 Rankine 方法加以計算。

a.Coulomb 土壓力：圖 3-22 係採用 Coulomb 方法計算主動土壓力，即：

$$P_a = \frac{1}{2}K_{ac}\gamma_{sub}H_o^2 \quad \text{式 3-45}$$

式中， K_{ac} =主動土壓力係數； γ_{sub} =浸水單位重。故主動土壓力(P_a)之水平和垂直分力分別為

$$P_{av} = P_a \sin(\delta + \varepsilon) \quad \text{式 3-46}$$

$$P_{ah} = P_a \cos(\delta + \varepsilon) \quad \text{式 3-47}$$

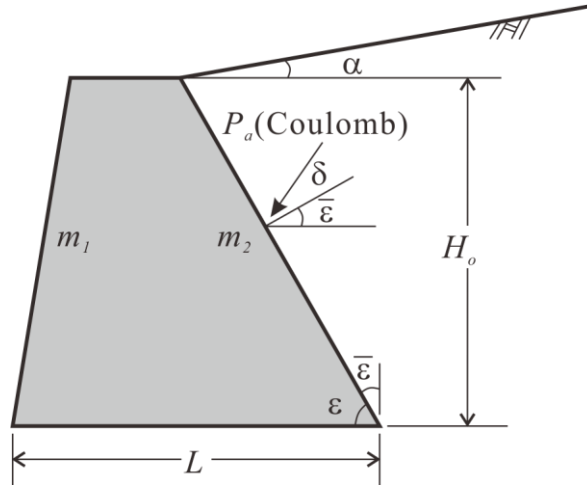


圖 3-22 防砂壩土壓力示意圖：Coulomb 方法

式中， δ =壩面與土壤間之摩擦角； $\bar{\epsilon}$ =壩體上游壩面與垂直方向之夾角。其中主動土壓力係數(K_{ac})可表為

$$K_{ac} = \frac{\cos^2(\phi - \bar{\epsilon})}{\cos^2 \bar{\epsilon} \cos(\bar{\epsilon} + \delta) \left\{ 1 + \left[\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \bar{\epsilon}) \cos(\bar{\epsilon} - \alpha)} \right]^{1/2} \right\}^2} \quad \text{式 3-48}$$

式中， ϕ =土壤內摩擦角(表 3-7)； α =淤砂坡度； δ =可為 $0 \sim \frac{1}{2}\phi \sim \frac{2}{3}\phi$ 。對於水平淤砂坡度之無摩擦的垂直壩面而言，即 $\alpha = 0$ ， $\bar{\epsilon} = 0$ ，且 $\delta = 0$ 時，Coulomb 的主動土壓力係數可寫為

$$K_{ac} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) \quad \text{式 3-49}$$

同理被動土壓力(K_{pc})可寫為

$$P_p = \frac{1}{2} K_{pc} \gamma_{sub} H_o^2 \quad \text{式 3-50}$$

而被動土壓力係數為

$$K_{pc} = \frac{\cos^2(\phi + \bar{\epsilon})}{\cos^2 \bar{\epsilon} \cos(\bar{\epsilon} - \delta) \left\{ 1 - \left[\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\cos(\delta - \bar{\epsilon}) \cos(\alpha - \bar{\epsilon})} \right]^{1/2} \right\}^2} \quad \text{式 3-51}$$

當 $\alpha = 0$ ， $\bar{\epsilon} = 0$ ，且 $\delta = 0$ 時，則 Coulomb 被動土壓力係數可寫為

$$K_{pc} = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) \quad \text{式 3-52}$$

表 3-7 泥砂特性與其內摩擦角一覽表

泥砂特性	緊密程度	土壤內摩擦角 $\phi(^{\circ})$
砂：圓形顆粒	鬆散	27~30
	中等緊密	30~35
	緊密	35~38
砂：角形顆粒	鬆散	30~35
	中等緊密	34~40
	緊密	40~45
卵石中夾雜泥砂	-	34~48
沉泥	-	26~35

資料來源：水土保持手冊(2001)

b.Rankine 土壓力：若採用 Rankine 法(參考圖 3-23)計算主動土壓力時，主動土壓力係作用在通過壩跟之垂直面上，即：

$$P_{a(Rankine)} = \frac{1}{2} \gamma_{sub} K_{ar} H_t^2 \quad \text{式 3-53}$$

式中， $H_t = H_0 + m_2 H_0 \tan \alpha$ 。故主動土壓力之水平和垂直分力分別為：

$$P_{av} = P_{a(Rankine)} \sin \alpha \quad \text{式 3-54}$$

$$P_{ah} = P_{a(Rankine)} \cos \alpha \quad \text{式 3-55}$$

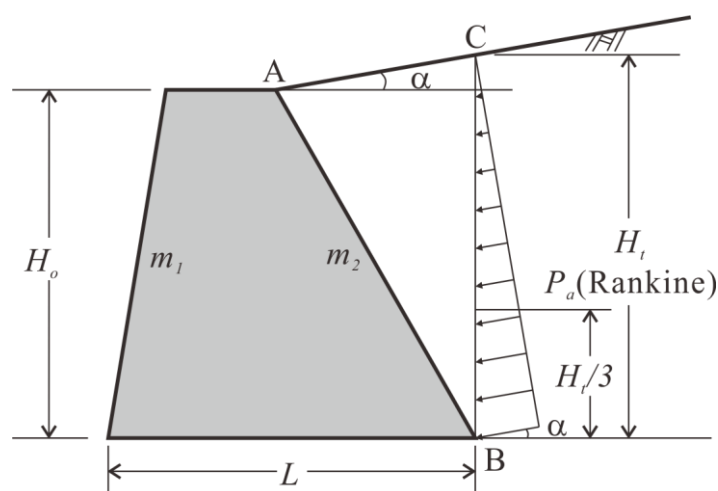


圖 3-23 防砂壩土壓力示意圖 Rankine 方法

式中，主動土壓力係數可表為：

$$K_{ar} = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad \text{式 3-56}$$

當淤砂面為水平時，上式可寫為：

$$K_{ar} = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) \quad \text{式 3-57}$$

上式與 Coulomb 方法之式相同。除了主動土壓力外，在進行安定分析時，尚需計算土楔 ABC 之重量，即：

$$W_s = \frac{1}{2} \gamma_{sub} m_2 H_o H_t \quad \text{式 3-58}$$

同理 Rankine 被動土壓力為：

$$P_{p(Rankine)} = \gamma_{sub} K_{pr} H_t^2 \quad \text{式 3-59}$$

式中，被動土壓力係數可表為：

$$K_{pr} = \cos\alpha \frac{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \quad \text{式 3-60}$$

當淤砂面為水平時，上式可寫為：

$$K_{pr} = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) \quad \text{式 3-61}$$

上式與 Coulomb 方法之式相同。

(4)上揚力(壩高小於 7m 可不計入應力)：

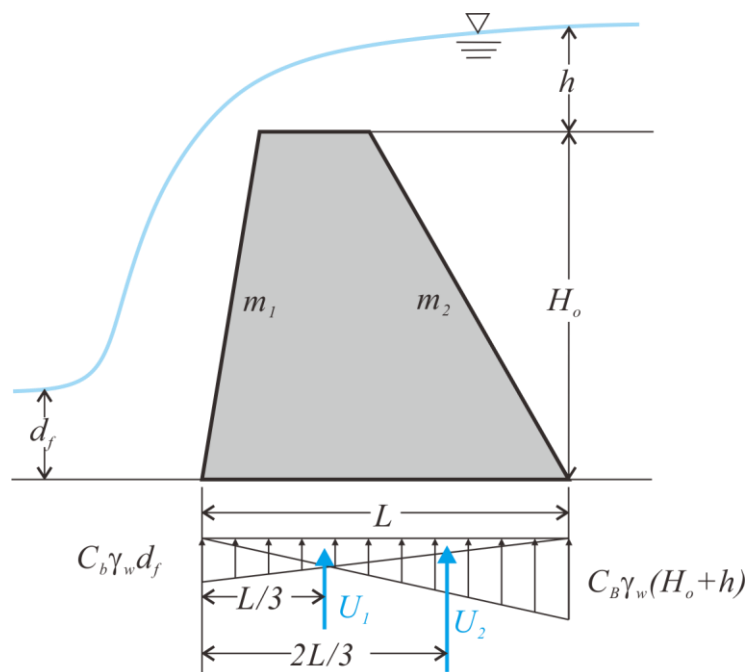
係指水滲透經過壩底所產生之向上作用力，導致壩體有效重量降低，而影響壩體安定，如圖 3-24 所示。上揚力公式可表為：

$$U_1 = \frac{1}{2} C_B \gamma_w d_f L \quad \text{式 3-62}$$

$$U_2 = \frac{1}{2} C_B \gamma_w (H_o + h) L \quad \text{式 3-63}$$

$$U = U_1 + U_2 = \frac{1}{2} C_B \gamma_w (H_o + h + d_f) L \quad \text{式 3-64}$$

式中， C_B =浮力係數(=0.2~0.7)； U 為上揚力； U_1 為針對過壩後之水深做計算； U_2 為針對壩體上游之水深(包含溢流水深)做計算； d_f =壅水水深； h =溢流水深。而式中之浮力係數與基礎種類相關如表 3-8 所示，依據不同基礎種類選定浮力係數值。



資料來源：引用自水土保持手冊(2017)

圖 3-24 防砂壩受上揚力作用示意圖

表 3-8 各種基礎類型之浮力係數值

基礎種類		浮力係數
粘土	軟粘土	0.6
	普通粘土	0.5
	硬粘土	0.4
砂	鬆細砂	0.7
	壓實細砂	0.6
	鬆粗砂	0.7
砂石混合或卵石	鬆砂石混合物或卵石	0.6
	壓實砂石混合物或卵石	0.5
堅固岩盤	硬岩	0.3
	強硬頁岩	0.25

資料來源：水土保持手冊(2017)

(5)地震時壩體慣性力：

係指地震對壩體本身所產生的慣性力，其作用力會作用於壩體之水平方向，由壩體重量乘以地震力係數求得，可表為：

$$P_e = K_h W \quad \text{式 3-65}$$

式中， P_e =壩體受地震影響之水平地震力； W =壩體重量； K_h =水平地震力係數(依照內政部營建署之建築技術規則耐震設計規定之「地震甲區」 $K_h=0.165$ ，及「地震乙區」 $K_h=0.115$ ，請參考表 3-9)。

表 3-9 地震分區表

地震甲區	
宜蘭縣、新竹市、新竹縣、苗栗縣、台中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義市、嘉義縣、台南市、花蓮縣、台東縣。	
高雄市	旗山區、那瑪夏區、六龜區、內門區、甲仙區、杉林區、美濃區、桃源區、茂林區。
屏東縣	恆春鎮、九如鄉、內埔鄉、里港鄉、車城鄉、牡丹鄉、長治鄉、來義鄉、泰武鄉、高樹鄉、春日鄉、獅子鄉、瑪家鄉、萬巒鄉、滿洲鄉、霧台鄉、鹽埔鄉、麟洛鄉、三地門鄉。
地震乙區	
基隆市、台北市、新北市、桃園市、高雄市(除甲區以外)、澎湖縣。	
屏東縣	屏東市、東港鎮、竹田鄉、林邊鄉、佳冬鄉、枋山鄉、枋寮鄉、南州鄉、崁頂鄉、琉球鄉、新埤鄉、新園鄉、萬丹鄉、潮州鄉。
金門與馬祖不屬上述任一震區，但其水平加速度係數可取地震乙區。	

資料來源：建築技術規則耐震設計(1999)

(6)地震時動態土壓力：

係指地震對壩體上游淤砂所產生的土壓力，以 Mononobe-Okabe 公式計算，則地震引起之主動土壓力可表為：

$$P_{ae} = \frac{1}{2} K_{ae} (1 - K_v) \gamma_{sub} H_o^2 \quad \text{式 3-66}$$

式中， K_v =垂直地震加速度係數； P_{ae} =地震時的主動土壓力； K_{ae} =地震時主動土壓力係數，可表為：

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \bar{\varepsilon} - \bar{\theta})}{\cos \bar{\theta} \cos^2 \bar{\varepsilon} \cos(\delta + \bar{\varepsilon} + \bar{\theta}) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha - \bar{\theta})}{\cos(\bar{\varepsilon} - \alpha) \cos(\delta + \bar{\varepsilon} + \bar{\theta})}} \right]^2} \quad \text{式 3-67}$$

式中， ϕ =土壤內摩擦角(°)； $\bar{\varepsilon}$ =壩體上游面與垂線夾角(°)；地震角 $\bar{\theta} = \tan^{-1}(\frac{K_h}{1-K_v})$ ； δ =壩與土壤摩擦角(°)。由地震所增加之土壓力應為：

$$\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a \quad \text{式 3-68}$$

式中， ΔP_{ae} 作用在距壩基 $0.6H$ 的位置上。因此，地震時增加主動土壓力之水平及垂直分力分別為：

$$\Delta P_{aeh} = P_{ae} \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) \quad \text{式 3-69}$$

$$\Delta P_{aev} = P_{ae} \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) \quad \text{式 3-70}$$

(7)土石流流體撞擊力

受到土石流衝擊時需考慮土石流流體衝擊力，係屬面的撞擊力，與壩體安定性分析相關，其與流體性質、流深及流速等因子相關，根據連惠邦(2002)可表為：

$$P_f = K \frac{\gamma_m}{g} \bar{h}_{DE} \bar{U}_{DE}^2 \quad \text{式 3-71}$$

式中， P_f =土石流流體衝擊力(t/m)； γ_m =土石流流體單位重(t/m³)； $\bar{h}_{DE}$ =土石流流深(m)； $\bar{U}_{DE}$ =土石流流速(m/s)； $K \approx 1$ 。

土石流單位重(γ_m ，specific weight)係指單位體積土石流體之質量，可由下式求得：

$$\gamma_m = (\gamma_s - \gamma_w)C_d + \gamma_w \quad \text{式 3-72}$$

式中， γ_m =土石流體單位重； γ_s =固體物質單位重(= $\rho_s g$)； ρ_s =固體物質密度； g =重力加速度； γ_w =水體單位重(= $\rho_w g$)； ρ_w =水體密度； C_d =泥砂體積濃度，係指單位體積土石流體中固體物質所占的體積比，目前最常採用Takahashi(1978)建立之土石流先端部平衡泥砂體積濃度公式進行土石流泥砂體積濃度推估，可表為

$$C_d = \frac{\gamma_w \tan \theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad \text{式 3-73}$$

式中， $\tan \theta$ =溪床平均坡度； θ =溪床傾角； $\tan \phi$ =靜摩擦係數，約介於26°~48°之間，如表 3-7 所示。由於式 3-73 係基於平衡條件下的土石流流況所建置，而真實溪流的溪床是凹凸不平的，其坡度具有非均一特性，沿程不斷地變動，使得土石流泥砂體積濃度經常是隨著溪床坡度的變化而改變。但是，式 3-73 係基於平衡條件下之土石流流況所建構，而平衡態土石流流況的存在條件是溪流要有足夠且平穩的流動長度，故在驟變的溪床坡度下是很難出現的。因此，在實際運用式 3-73 時，宜採用分段計算方式，每段長度不宜超過溪流寬度的 5-10 倍為原則，且其溪床坡度需介於10°~20°之間。

土石流流速($\bar{U}_{DE}$)推估主要有半經驗及經驗兩種方式，前者係以土石流流動模型為主，主要是通過一定的物理理論推導及參數取得所建立，後者則是通過大量的現地觀測資料，在曼寧公式(Manning's formula)的基礎上所建立。

Takahashi(1978)參考 Bagnold 顆粒碰撞理論，建立了土石流膨脹流體 (dilatant fluid)模型，並據以導出土石流流速之半經驗公式

$$\bar{U}_{DE} = \frac{2}{3d_s\lambda} \left\{ \frac{g \sin \theta}{a_i \sin \alpha} \left[C_d + (1 - C_d) \frac{\rho_w}{\rho_s} \right] \right\}^{1/2} [h_D^{3/2} - (h_D - Y)^{3/2}] \quad \text{式 3-74}$$

式中， h_D =土石流流深； Y =從底床起算之任意點高度； λ =固體泥砂顆粒之線性濃度(linear concentration of solid)， $\lambda = [(C_m/C_d) - 1]^{-1}$ ； d_s =土石流泥砂顆粒粒徑(m)； a_i =常數。

依據推導條件及假設，上式係適用於礫石型土石流類型。另，土石流斷面平均流速($\bar{U}_{DE}$)可依上式沿著水深方向積分獲得，即

$$\bar{U}_{DE} = \frac{2}{5d_s\lambda} \left\{ \frac{g \sin \theta}{a_i \sin \alpha} \left[C_d + (1 - C_d) \frac{\rho_w}{\rho_s} \right] \right\}^{1/2} h_D^{3/2} \quad \text{式 3-75}$$

由上式得知，當粒徑越大，泥砂體積濃度越高，則流速越小。其中，土石流泥砂顆粒粒徑 d_s ，可表為

$$d_s = \sum_{i=1}^n P_i d_{si} \quad \text{式 3-76}$$

式中， i =土體顆粒分組數，從 1 到 n ； P_i =第 i 組顆粒在級配曲線上所佔的重量百分比； d_{si} =第 i 組顆粒的平均粒徑(m)， $d_{si} = (d_{sM} + d_{sm})/2$ ； d_{sM} =該組顆粒的最大粒徑； d_{sm} =該組顆粒的最小粒徑；當 $1/\lambda > 0.071$ 時， $a_i=0.042$ ，當 C_d 值大於此式之限值時， a_i 值則隨 C_d 值的增大而急劇增大。

經驗公式通過統計分析土石流一些現地之觀測數據，並參照曼寧公式型式建立適用於特定溪流之土石流流速公式(流體)，即

$$\bar{U}_{DE} = \frac{1}{n_d} R^{2/3} S_0^{1/2} \quad \text{式 3-77}$$

式中， n_d =土石流曼寧粗糙係數(土石流先端部 $n_d = 0.1 \sim 0.06$ ，後續流 $n_d = 0.06 \sim 0.03$ ，具有襯砌流路工 $n_d = 0.03$)，與其流動邊界及流體條件相關； R =水力半徑(=A/P)； P =潤溼周； A =土石流斷面積； S_0 =溪床坡度。上式與式 3-35 為同一公式，在實務上已得到廣泛的應用，但因係以黑盒模型來處理，缺乏充分的物理基礎，針對性強，在作地區移用時必須加以調整。

(8)巨礫撞擊力

巨礫撞擊力為點的撞擊力。壩體混凝土材料的耐撞程度影響壩體整體之安定性，與混凝土強度和厚度相關，而多數採用完全彈性碰撞理論進行巨礫撞擊力推估，根據農業委員會水土保持局(2001)可表為：

$$P_d = 20.2 \bar{U}_{DE}^{1.2} \left(\frac{D_E}{2} \right)^2 \quad \text{式 3-78}$$

式中， P_d =巨礫撞擊力(t)； D_E =設計粒徑(m)； $\bar{U}_{DE}$ =土石流流速(m/s)，建議採用 Takahashi 半經驗公式估算之。

按式 3-78 得知推估土石流巨礫撞擊力時，必須先行確定其巨礫之代表粒徑，稱之為設計粒徑(D_E ，design diameter)。由於土石流可能攜出石礫之設計粒徑，可能是來自溪床表面淤積物(最單純狀況)，或被淤埋於溪床底部無法測得，或來自兩岸崩塌的產物，具有高度的不確定性，很難透過理論或實測方式予以獲得，即使決定了土石流設計粒徑，亦無法事前加以驗證。因此為實務應用起見，目前較常用的方法是溪床表面調查法，它是採集調查範圍內溪床表面大於 20cm 以上之巨礫群全部取樣，量測其粒徑(中軸徑或長、中及短軸徑之算術平均值)，並按各粒徑級占全部樣本數之百分比，繪出其分布曲線，如圖 3-25 所示。水土保持手冊(2017)建議取 D_{95} 作為設計粒徑，而調查範圍通常是取壩址上游 10~20 倍溪幅長度如圖 3-26 所示。

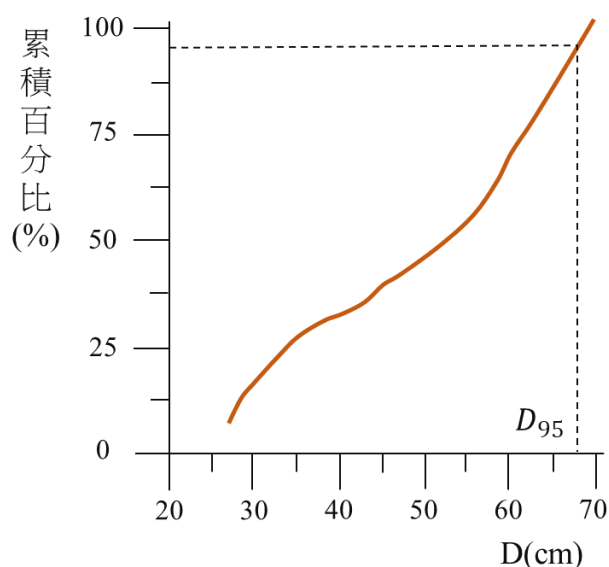


圖 3-25 土石流粒徑溪床表面調查法

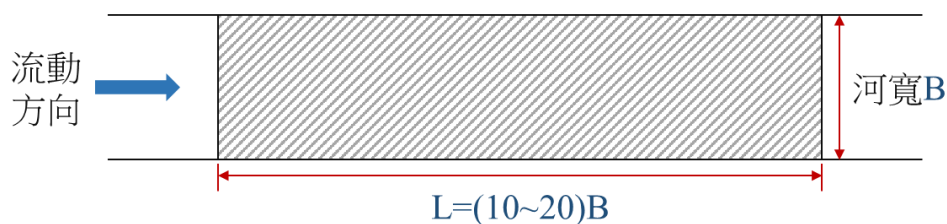


圖 3-26 表面調查法調查區域示意圖

3.安定分析：

重力式防砂壩在空庫、淤滿、洪水、地震及土石流等單獨或合理組合情況下，受到外力作用時，必須滿足不傾倒及不滑動的條件，各式情況如表 3-10 所示。

表 3-10 防砂壩安定計之算各式情況列表

土砂未淤滿	依照淤積之土砂高度計算土砂重與土砂壓力
土砂淤滿	壩高等同淤積土砂高度，並計算土砂重與土砂壓力
普通流量	無溢流水深，須計算水重與靜水壓力
最大流量	有溢流水深，須計算水重、靜水壓力與壩前壅水水深
未發生地震	不考慮地震，僅計算土砂壓力
發生地震	須計算地震時土砂壓力與壩體慣性力
土石流流體撞擊	依據相關土石流參數計算土石流流體撞擊
土石流巨礫撞擊	依據設計粒徑計算土石流巨礫撞擊

依照治理溪段選定須演算之情況，並將壩體受到之各種外力作用進行防傾倒、防滑動及基礎承载力安定檢討，須在足夠的壩體應力及基礎承载力下維持安定。因此，對於直線重力式防砂壩之設計，符合下列規定：

(1)傾倒安全檢討：

以壩體趾部為力矩中心，欲使壩體安定，無傾倒之虞，應符合下列條件：

a.正力矩應大於負力矩，即：

$$\sum M_v > \sum M_h \text{ 或 } F.S. = \sum M_v / \sum M_h > 1.0 \quad \text{式 3-79}$$

式中， M_v =抗傾倒力矩； M_h =傾倒力矩；F.S.=傾倒安全係數，一般為 1.1~1.3。

b.壩體外力與自重之合力作用點應在壩底中央三分之一以內，即：

$$\frac{1}{3}L \leq x = \frac{M}{R_v} \leq \frac{2}{3}L \quad \text{式 3-80}$$

式中， M =總力矩； R_v =垂直分力之總和； L =壩底寬度。此外，亦可採用下式判別，即：

$$e < \frac{L}{6} \quad \text{式 3-81}$$

式中，偏心矩之算式為 $e = L/2 - x$ ，圖 3-27 為偏心距之示意圖。

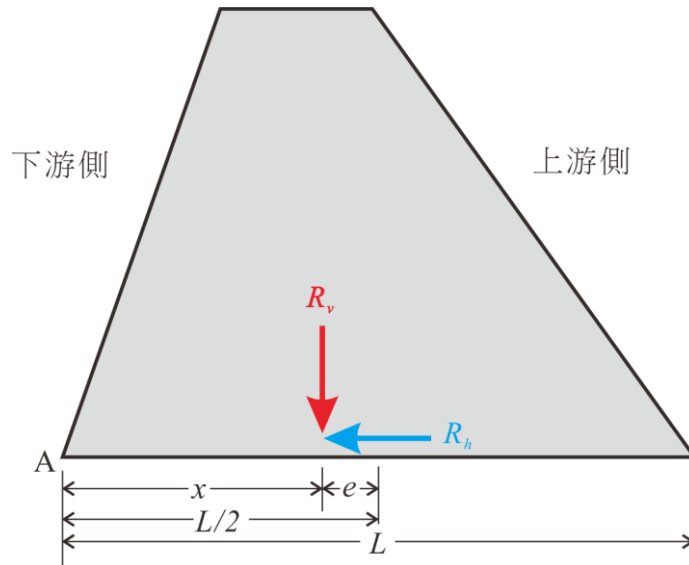


圖 3-27 防砂壩受力偏心矩示意圖

(2)滑動檢討之安全係數：

如圖 3-28 為設物體 A 置於物體 B 上，有一力 P 作用於 A 物體上，則物體 A 達不向前滑動之臨界條件為：

$$f_1 R_v \geq R_h \quad \text{式 3-82}$$

式中， R_v =垂直分力($= R \cos \theta$)； R_h =水平分力($= R \sin \theta$)； f_1 =壩基靜摩擦係數，可由表 3-11 求得； F_k =摩擦抵抗力($= f_1 R \cos \theta$)。

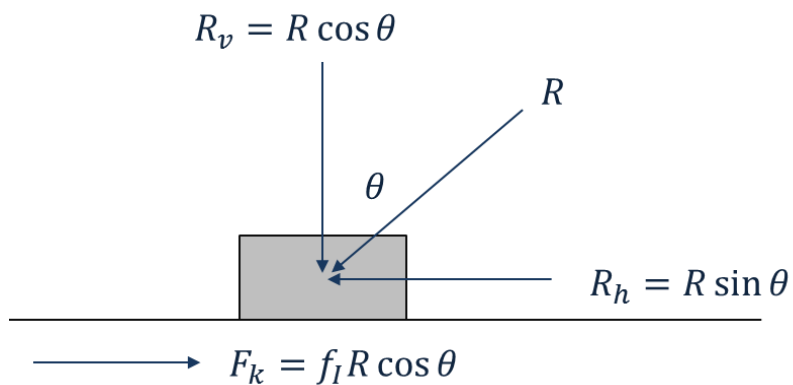


圖 3-28 滑動力系示意圖

表 3-11 各種基礎類型與混凝土之摩擦係數

基礎類型		混凝土在土壤上之摩擦係數 f_1 值
粘土	粘土	0.30
砂或砂與粘土混合物	被圍濕細砂	0.30~0.40
	砂與粘土混合物	0.40~0.50
	乾砂	0.45~0.55
砂石混合物	卵石及粗砂	0.55~0.60
堅固岩盤	堅固岩盤	0.70

資料來源：水土保持手冊(2017)

壩體內部任何一點均不能發生滑動，即摩擦抵抗力必須大於水平分力。

以安全係數表達，則滑動安全係數可表為：

$$F.S. = \frac{F_k}{R_h} \quad \text{式 3-83}$$

壩高 10m 以下者，安全係數採用 1.1~1.25；壩高超過 10m 者，安全係數採用 1.15~1.5。摩擦抵抗力一般可表為：

$$F_k = \frac{1}{2} \tan \theta (B_{pu} + B_{pd})L + P_p \quad \text{式 3-84}$$

式中， P_p =基腳被動土壓力； B_{pu} =壩跟垂直應力； B_{pd} =壩趾垂直應力； θ = 摩擦角，可表為(參考圖 3-29)：

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_{sat} (h_b + h_p)^2 \quad \text{式 3-85}$$

式中， K_p =被動土壓力係數； γ_{sat} =土壤飽和單位重； h_b =基礎深度； h_p =基腳深度。

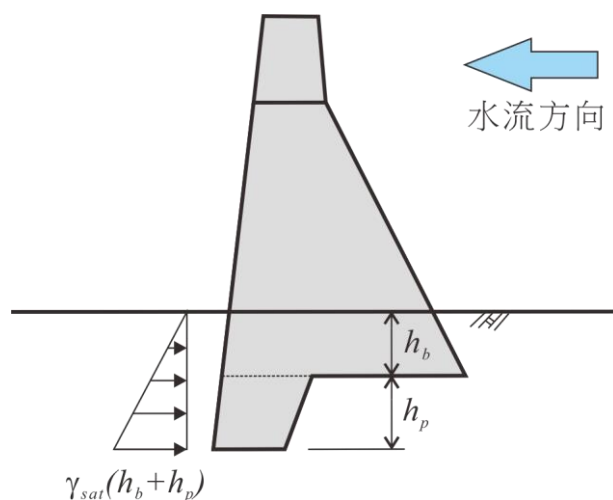


圖 3-29 基腳被動土壓力計算示意圖

(3) 壩體容許應力：

壩體內部產生之最大應力應在該壩體材料之容許應力以內，混凝土之容許應力不得超過表 3-12 之規定值，其中 f_c' 為混凝土規定抗壓強度，結構混凝土之 f_c' 不得小於 210 kgf/cm^2 ，預力混凝土之 f_c' 不得小於 280 kgf/cm^2 。

表 3-12 混凝土之容許應力

應力	類型	規定值
撓曲應力	最外纖維壓應力	$0.45f_c'$
剪應力 (梁、單向版及基腳)	混凝土承受之剪應力 V_c	$0.29 \sqrt{f_c'}$
	混凝土與剪力鋼筋承受之最大剪應力	$V_c + 1.2 \sqrt{f_c'}$
剪應力 (欄柵版之肋梁)	混凝土承受之剪應力 V_c	$0.32 \sqrt{f_c'}$
剪應力 (雙向版及基腳)	混凝土承受之周邊剪應力 V_c ，但不得超過 $0.53 \sqrt{f_c'}$	$0.26(1 + 2/\beta_c)\sqrt{f_c'}$ (β_c =集中載重或反力作用面之長邊對短邊之比值)
承壓應力		$0.3f_c'$

資料來源：混凝土結構設計規範(2017)

(4) 基礎承載力：

壩基承載力應大於壩趾之應力。壩跟及壩趾處之垂直應力分別為：

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - \frac{6e}{L} \right) \quad \text{式 3-86}$$

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + \frac{6e}{L} \right) \quad \text{式 3-87}$$

式中， B_{pu} =壩跟垂直應力； B_{pd} =壩趾垂直應力； e 為偏心距。一般基礎之容許承載力如表 3-13 所示。

表 3-13 各種基礎類型之容許承載力

基礎種類		容許承載力(t/m^2)
粘土	軟粘土	10
	普通粘土	20
	硬粘土	40
砂	鬆細砂	10
	壓實細砂	30
	鬆粗砂	30
砂石混合或卵石	鬆砂石混合物或卵石	40
	壓實砂石混合物或卵石	50
堅固岩盤	強硬頁岩	100
	硬岩	100

資料來源：水土保持手冊(2017)

4. 壩體排水孔設計：

排水孔具有減輕滲透水壓並兼有部分施工中排水之效果，如圖 3-30 所示。惟欲設置魚道或細顆粒溪床質溪流不宜設之。

- (1) 排水孔設置於壩頂下 $1/2 \sim 2/3$ 壩高處，其頂層至少應離溢洪口下 1.5~2m，其範圍不得超過溢洪口頂寬。
- (2) 數個排水孔之設置，其排列形狀應呈三角狀，排水孔之間隔距離為 2.0~3.0m。
- (3) 排水孔之形狀有圓形、四方形、馬蹄形等亦得設計其他型式，其中以圓形為佳，一般採用孔徑 30~60cm 之圓形涵管，如目的僅為減輕滲透水壓，則建議採用 20cm 即可。
- (4) 考量壩體結構安全，不宜施設過多的排水孔，以免影響壩體強度。

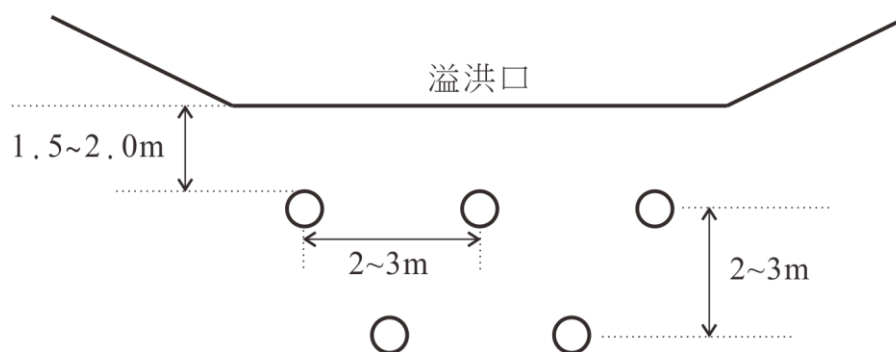


圖 3-30 排水孔設置示意圖

3.10 壩翼設計

為限制水流自溢洪口流出以控制流心，且使防砂壩能達到攔蓄及調節土砂並抑止土石流之作用，壩翼需要有足夠的厚度來抵擋後方的衝擊力，也需足夠的高度以防止土石溢出與水流穿越，更需嵌入兩岸岸壁以增加壩之安定性。

1. 壩翼頂面厚度：

在土石流區設置防砂壩，為避免漂流木或石塊撞擊而受損，壩翼頂面厚度可等於或略小於壩頂厚度如圖 3-31 所示，且上游面須採用緩衝材料(如廢棄輪胎或鋼軌等)加以保護。

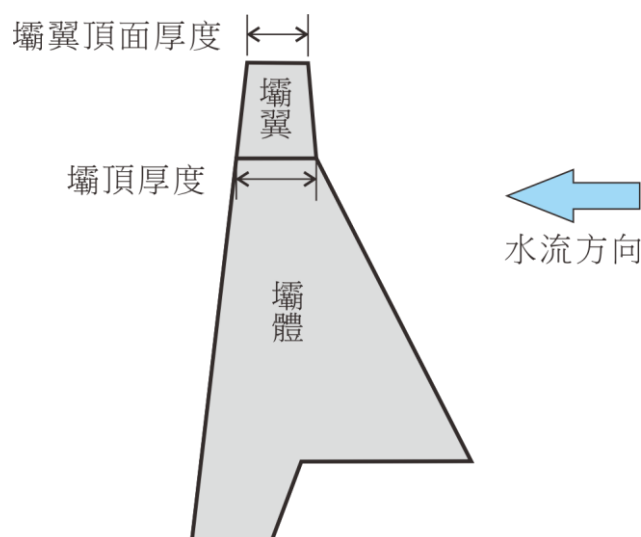


圖 3-31 防砂壩側視示意圖

2.高度：

壩翼高度為壩頂至壩翼頂面之距離，如圖 3-32 所示，一般為溢流水深加出水高，為防止土石溢越壩翼，宜以 1：10 之坡度增高壩翼。

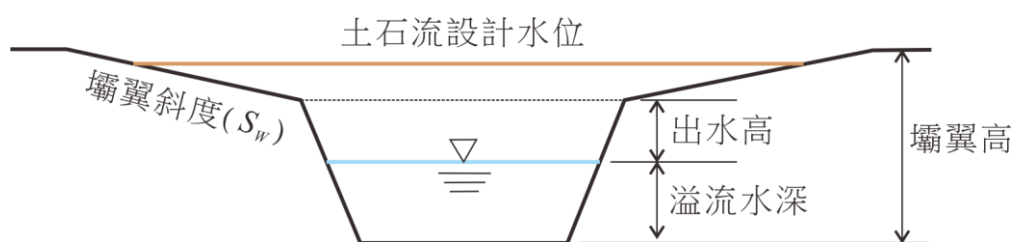


圖 3-32 壩翼具有斜度之溢洪口斷面示意圖

若考量壩址可能選定於河段彎曲處，其壩翼位處凹岸時應予以加高，如圖 3-33 所示，其計算公式如下：

$$\Delta h = 2.3 \frac{V^2}{g} \left(\log \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{式 3-88}$$

式中， Δh ：加高高度(m)； R_1 ：凸岸曲率之半徑(m)； R_2 ：凹岸曲率之半徑(m)； g ：重力加速度(m/sec²)； V ：流速(m/sec)。此外，兩岸地質條件不同，故地質條件較差之一岸，其壩翼宜加高。

考量土石流經壩體時，可能遭到壩體攔阻後會發生爬高效應，倘若兩岸高度不足，則可能造成土石溢出致災，為此壩翼頂面與溪岸高度間必須保留一定的安全高度，一般以不小於 1.0m 為原則，但若溪岸附近無任何保全對象時，則不在此限。

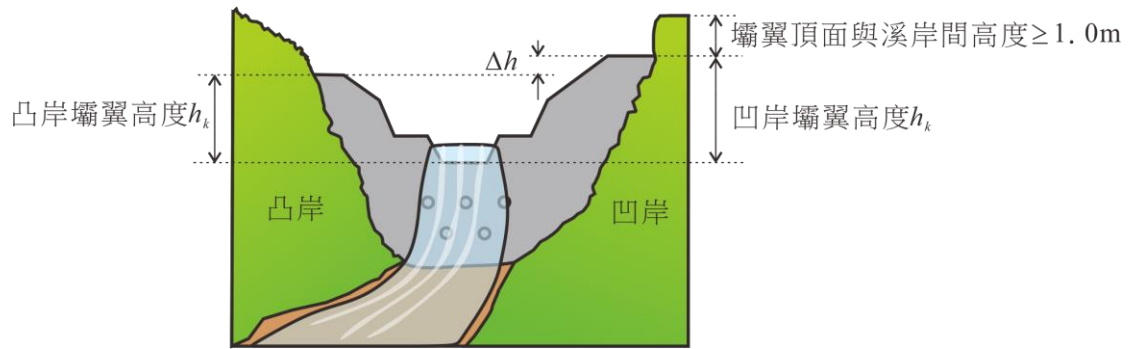


圖 3-33 壩翼頂面與溪岸高度之保留高度示意圖

3. 嵌入深度：

壩翼嵌入深度視兩岸地質決定之，依據水土保持手冊(2017)規定原則上以不小於 1.5m 為原則，一般為 2.0m，若設置在岩盤可僅嵌入 1~1.5m，在砂礫地質則需大於 2m。防砂壩設置於土石流區時，考量大規模之土石流有較大的衝擊力，亦或是壩址上游有崩塌地及漂流木，此類情況原則上應加強嵌入兩岸岸壁內，其深度不小於 1.5m。同時，壩翼嵌入溪岸時，為避免大範圍開挖，依開挖線宜採直接澆置方式施工。

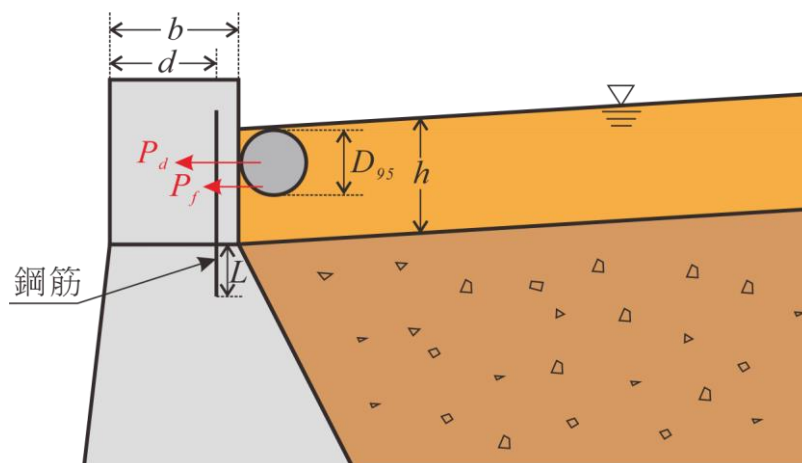
4. 坡度(S_w)：

壩翼斜度宜以 1：10 向上斜嵌入兩岸岸壁，且至少五公尺長，若單側壩翼長度超過 20m 部分，得採較緩坡度，最小不低於 1：20。用於治理土石流時，壩翼至溢口之斜度，須使壩翼斜度等於或大於計畫淤砂坡度($S_w \geq S_e$)，並向上斜至少 5 公尺至兩岸再以水平嵌入岸壁。

5. 壩翼補強計算：

防砂壩若設置於土石流發生區位，則壩翼須以鋼筋補強，如圖 3-34 所示。

以下介紹壩翼所需鋼筋量之算法與應力之檢討。



參考圖片來源：砂防設計の手引書卷末資料 02(2008)

圖 3-34 壩翼補強示意圖

(1) 最大彎矩(M_{max})

在土石流深 $h >$ 巨礫粒徑 D_{95} 時，最大彎矩可表為：

$$M_{max} = P_d \times \left(h - \frac{1}{2} D_{95} \right) + P_f \times \frac{1}{2} h \quad \text{式 3-89}$$

式中， P_d =巨礫撞擊力； P_f =土石流流體撞擊力。

(2) 每單位寬度所需之鋼筋量(A_s)與鋼筋總周長(U')

a. 每單位寬度所需之鋼筋量(A_s)

$$A_s = \frac{M_{max}}{\sigma_{sa} \cdot 7/8 \cdot d} \quad \text{式 3-90}$$

式中， σ_{sa} =鋼筋容許拉應力(SD280、SD280W 之鋼筋不得超過 137 N/mm^2 ，SD420、SD420W 及以上之鋼筋與熔接鋼線網不得超過 157 N/mm^2)，且須再乘上 1.5 變成短期荷重後，才可帶入上式； d =壩翼下游面至鋼筋之有效長度(圖 3-34)。

接著可藉由查詢表 3-14 得知所使用之鋼筋斷面積(A)與周長(U)資料，並以下式求出每 1m 單位寬所需的鋼筋根數(n)：

$$n = \frac{A_s}{A} \quad \text{式 3-91}$$

鋼筋設置之間隔(P)可寫為下式：

$$P = \frac{100}{n} \quad \text{式 3-92}$$

表 3-14 竹節鋼筋尺度表

稱呼	標示代號 #	標稱直徑 $\varnothing(\text{mm})$	斷面積 $A(\text{mm}^2)$	單位重量 (kg/m)	周長 $U(\text{mm})$
D10	3	9.53	71.33	0.56	30
D13	4	12.70	126.7	0.994	40
D16	5	15.90	198.6	1.56	50
D19	6	19.10	286.5	2.25	60
D22	7	22.20	387.1	3.04	70
D25	8	25.40	506.7	3.98	80
D29	9	28.70	646.9	5.08	90
D32	10	32.20	814.3	6.39	101
D36	11	35.80	1007	7.90	113
D39	12	39.40	1219	9.57	124
D43	14	43.0	1452	11.40	135
D50	16	50.20	1979	15.50	158
D57	18	57.30	2579	20.20	180

資料來源：中華民國國家標準 CNS-鋼筋混凝土用鋼筋(2018)

b.鋼筋總周長(U')

$$U' = n \times U \quad \text{式 3-93}$$

式中， U =周長(表 3-14)。

(3)最大剪切力(S_{max})

$$S_{max} = F_p + P_f \quad \text{式 3-94}$$

式中， F_p =巨礫撞擊力； P_f =土石流流體撞擊力。

(4)應力檢討

壩翼配筋須通過握裹力及剪應力檢算，以下分別介紹二者檢算方式：

a.握裹力檢討

$$\tau_o = \frac{S_{max}}{U' \cdot 7/8 \cdot d} \leq \tau_{oa} \quad \text{式 3-95}$$

式中， τ_o =握裹力； τ_{oa} =鋼筋混凝土之容許握裹力(表 3-15)，依照表中對應之值，再乘上 1.5 變為短期荷重才能代入上式 τ_{oa} 。

表 3-15 鋼筋混凝土之容許握裹力表(N/mm²)

混凝土設計標準強度 f'_{ck}	鋼筋混凝土之容許握裹力 τ_{oa}
18	1.4
24	1.6
30	1.8
40 ≥	2.0

資料來源：砂防設計の手引書卷末資料 02(2008)

b.剪應力檢討

$$\tau' = \frac{S_{max}}{b \cdot 7/8 \cdot d} \leq \tau_c \quad \text{式 3-96}$$

式中， τ' =剪應力； b =單位寬度； τ_c =混凝土之容許剪應力(表 3-16)，依照表 3-16 中對應之值，再乘上 1.5 變為短期荷重才能代入上式 τ_c 。

表 3-16 混凝土之容許剪應力表(N/mm²)

混凝土設計標準強度 f'_{ck}	混凝土之容許剪應力 τ_c
18	0.33
21	0.36
24	0.39
30	0.45

資料來源：道路橋示方書 IIIコンクリート橋)

(5)鋼筋在壩體之固定長

鋼筋固定於壩體之長度，如圖 3-34 所示，其長度需大於 20ϕ 與 L_a 以上， ϕ 為依據表 3-14 之鋼筋尺寸， L_a 為根據選定之 ϕ 值所計算出之固定長，下列為計算式：

$$L_a = \frac{\sigma_{sa}}{4 \cdot \tau_{oa}} \times \phi \quad \text{式 3-97}$$

式中， σ_{sa} 與 τ_{oa} 需先乘上 1.5 變為短期荷重，才可帶入上式。

3.11基礎設計

為使防砂壩能維持穩定，防止傾倒或滑動，應對於防砂壩之基礎進行進一步的規劃設計，以期所建置之防砂壩能維持穩定並發揮抑止土石流及防止崩塌等功能。基礎設計分為基礎深度(h_b)與基腳深度(h_p)。埋設深度在設計方面，以單一壩為原則進行計算，應用於連續性壩體會更為安全。

1.基礎深度(h_b)：

防砂壩基礎深度係按其下游溪床坡度、副壩間距及基腳等因素而定，圖 3-35 為參照水土保持手冊(2017)訂定之基礎深度示意圖。基礎深度與壩址及壩高等因素有相關，以防砂壩 5 公尺以上為例， h_b 一般以不小於 1.0m 為原則。

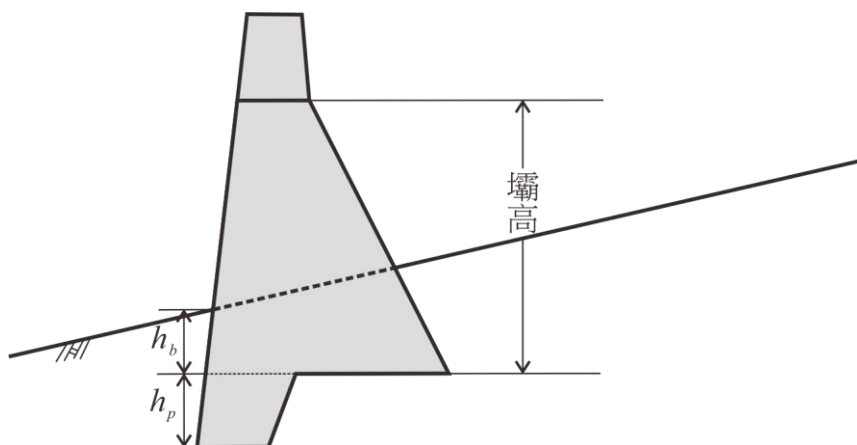


圖 3-35 基礎深度示意圖

2.基腳深度(h_p)：

若基礎深度達不到岩盤，為防止滲流須加基腳，以拉長滲流長度，其配置如圖 3-36 所示， $1/3$ 壩底寬度 $\leq b_p \leq 5.0m$ ， $2.0m \leq h_p$ ； $n = 0.3 \sim 0.5$ (按挖方線)。施工方式直接澆注混凝土，無須組模。

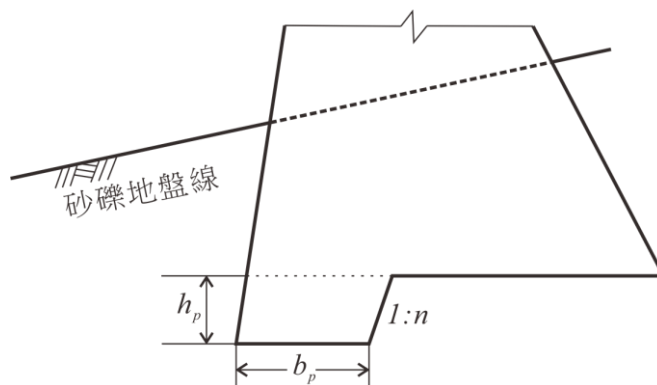


圖 3-36 基腳示意圖

歷年防砂壩壩體損毀主要原因，多為下游面掏刷，導致基礎掏空斷裂及倒塌，建議基礎深度加上基腳深度視情況加深。

3.12 下游保護工

下游保護工為消減過壩水流之動能和保護溪床或構造物免於淘刷破壞而設置之工程設施。消能設施種類很多，通常應用於防砂壩下游者，以靜水池(水墊)、護坦及副壩等設施為主。若是設置系列壩，則通常只會在最下游之壩體使用保護工，其它壩體可依靠土砂回淤保護基腳。

1. 靜水池(stilling basins)：

靜水池係指增加壩體下游水位深度，以形成水躍達成減勢消能之一種工程設施。靜水池混凝土打底之末端築牆，一般稱之為尾檻(end sill)，此等構造可將混凝土底部圍成與尾檻同高之蓄水池，利用其蓄水功用，作為水流衝擊之緩衝水體，將自上游往下沖擊所激起的水流予以消能，一般稱為水墊(water cushion)。除了以尾檻形成靜水池外，亦可將溪床挖至一定深度，或兩者兼用，以形成靜水池。

一般可適用於溢流水頭較高或壩高在 7.0m 以上，下游溪床組織易被沖刷之溪段。倘若溪流水流挾砂量高，且含大量巨礫石時，因易遭土石填塞而失去效用，不建議採用水墊作為消能設施。靜水池設計主要包含混凝土封底長度(L)、厚度(d)、坡度、尾檻、截水牆深度與側牆等項目，如圖 3-37 所示，茲分述如下：

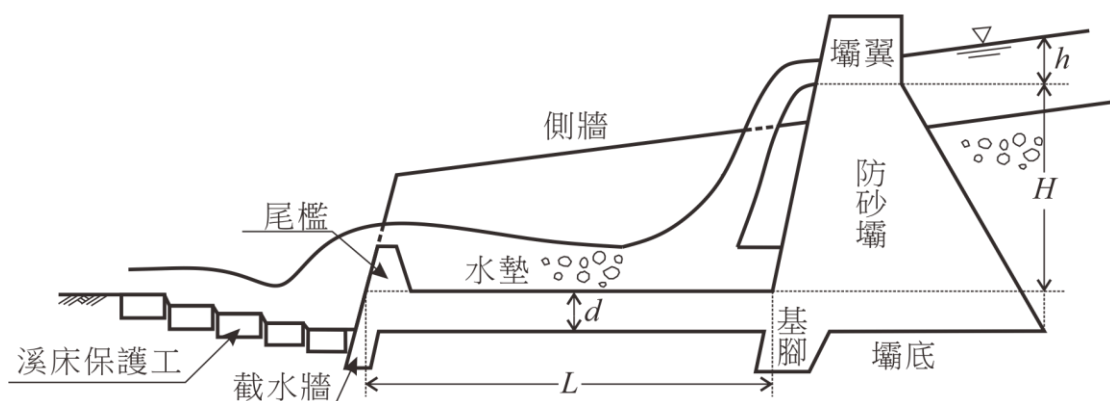


圖 3-37 靜水池池底水平狀況示意圖

(1)長度：

一般經驗公式：

$$L = c(H + h) \quad \text{式 3-98}$$

式中， H =靜水池底至溢洪口底之高度(m)； h =溢流水深(m)； c =係數，介於 1.5~2.0 之間，當壩高(H)在 15.0m 以上者，採用 1.5，當壩高在 15.0m 以下者，採用 2.0； L =靜水池長度(m)。

(2)厚度：

池底厚度之決定，一般均採用下列標準：

$$d = \begin{cases} 0.5 \sim 1.0m & H + h < 10m \\ 1.0 \sim 1.2m & H + h = 10 \sim 15m \\ \alpha(0.6H + 3h - 1.0) & H + h > 15m \end{cases} \quad \text{式 3-99}$$

式中， d =池底厚度(m)； α =係數，介於 0.1~0.2 之間，使用靜水池時， $\alpha=0.1$ ； H =靜水池底至溢洪口底之高度(m)； h =溢流水深(m)。

(3)坡度：

靜水池盡量以水平為原則。

(4)尾檻：

尾檻高度目前尚無理論公式可供參考，一般經驗為主壩高之 10%~20%，即 $H_t=0.1 \sim 0.2H$ 。

另外在土石流堆積區河床易遭沖刷且變動大，於尾檻下游面及施工終點可埋入現地大粒徑石塊以加強保護構造物，可保護構造物。

(5)截水牆(cutoff)：

為防止構造物下游淘空，護坦或靜水池尾檻下應設置截水牆，其厚度以 0.5~1.0m 為準；嵌入深度視兩岸及溪床地質條件而定可參照表 3-17，原則上參考水土保持手冊以不小於 1.0m 為原則。在截水牆下游處宜鋪設護床工(如拋大塊石或護坦等)，以防止溪床局部沖刷的擴大及危害。

表 3-17 截水牆嵌入深度

地質條件	嵌入深度(m)
土砂	2.0 以上
軟岩	1.0 以上
硬岩	0.5 以上

(6)側牆(sidewall)：

靜水池部分之兩岸地質軟弱，或擬利用靜水池控制流心者，應設置側牆或側壁護岸(sidewall revetment)，如圖 3-38 所示。

- a.高度：側牆末端高度參考溢洪口之斷面決定，牆頂則斜向壩體方向延伸。
- b.與壩體之連接部：側牆基礎應在溢洪口頂點垂線之外側約 0.5m，以避免沖下之礫石撞擊側牆，如圖 3-38 (a)所示。
- c.尾檻溢流口寬度：側牆與尾檻相接處之寬度，宜與主壩溢洪口斷面寬度一致或略大於，如圖 3-38 (b)所示。
- d.側牆應每 2m^2 至少設置直徑 $\phi 5\text{cm}$ 以上之洩水孔。洩水孔位置以在出水高度以下，而最下層洩水孔應盡量接近地面，如圖 3-38 (c)所示，並應考慮濾水設施。在滲透水量多或地下水位高之地區，則應在牆後置特別洩水設施。
- e.如屬軟岩時，側牆可於坡面構築其厚度約 0.5m，如圖 3-38 (d)所示。
- f.安定檢討：側牆安定檢討可參照護岸或擋土牆。

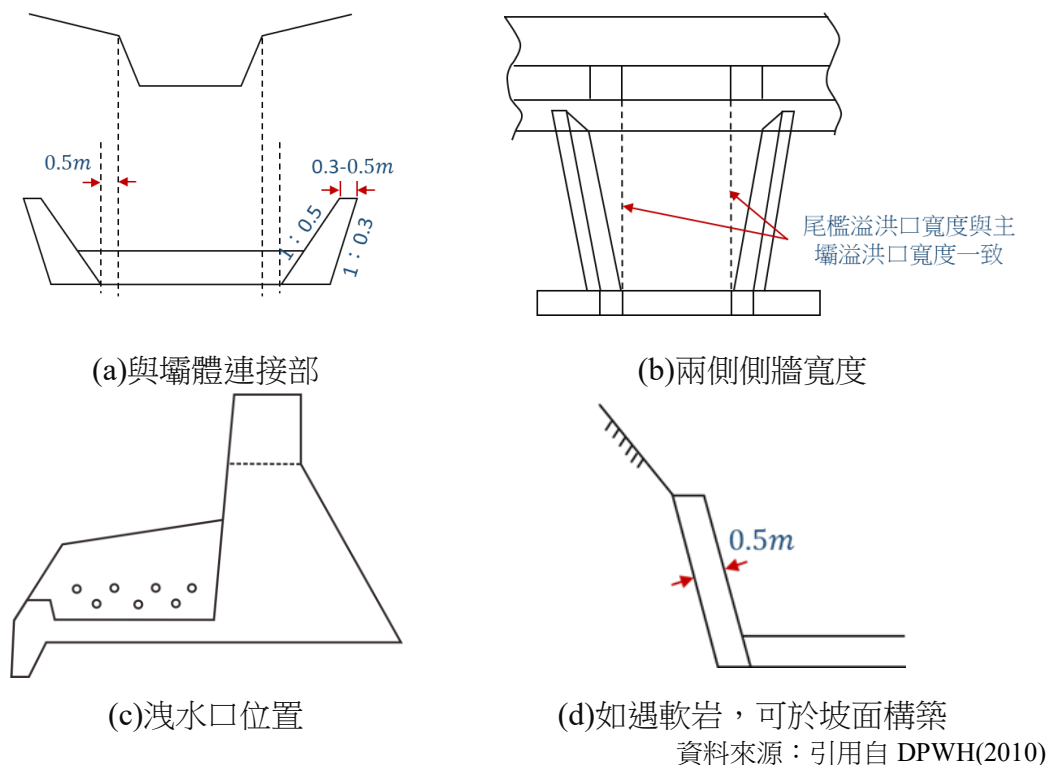


圖 3-38 側牆示意圖

在土石流區間設置防砂壩，其側牆配置宜考量土石流越壩後之衝擊，側牆位置若設置在土石流越流之範圍內，則可能會遭受巨大石塊擊中，導致側牆毀損，因此必須視實際狀況進行調整，如圖 3-39 所示。

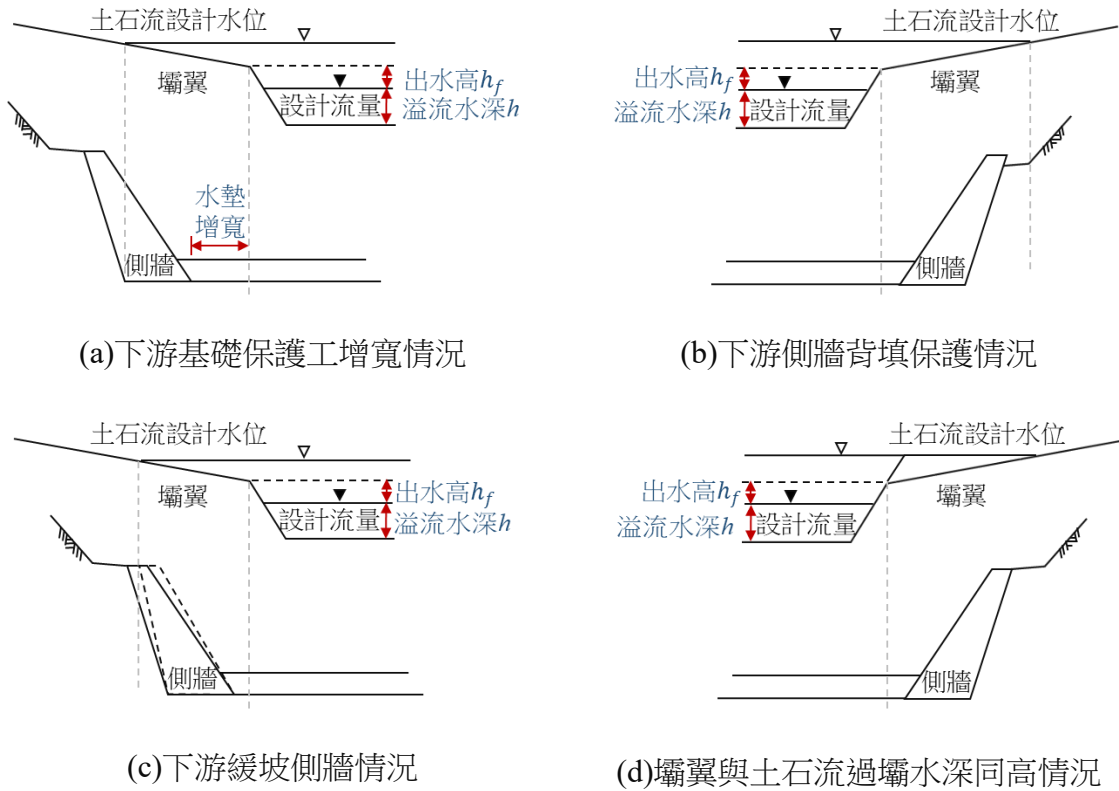


圖 3-39 側牆配置示意圖

近年來已較少使用靜水池作為消能設施，而改為採用加深防砂壩之基腳及副壩的設計。

2. 護坦(apron)：

護坦係指於壩體下游保護溪床免受水流直接沖擊之護底工程設施(可參照圖 3-40)。一般採用混凝土或鋼筋混凝土築成，適用於在溢流水頭較低，陡坡溪床，溪床易遭水流沖刷之溪段。護坦長度、厚度、坡度、截水牆、側牆高度及與壩體之連接部等。護坦長度之公式可參照下列算式：

$$L = c(H + h + \Delta h) \quad \text{式 3-100}$$

式中， Δh =護坦前端與後端之高程差； $c \geq 2$ 。

厚度可參照下列標準：

$$d = \begin{cases} 0.5 \sim 1.0m & H + h < 10m \\ 1.0 \sim 1.2m & H + h = 10 \sim 15m \\ \alpha(0.6H + 3h - 1.0) & H + h > 15m \end{cases} \quad \text{式 3-101}$$

採用護坦時採用 $\alpha=0.2$ 。

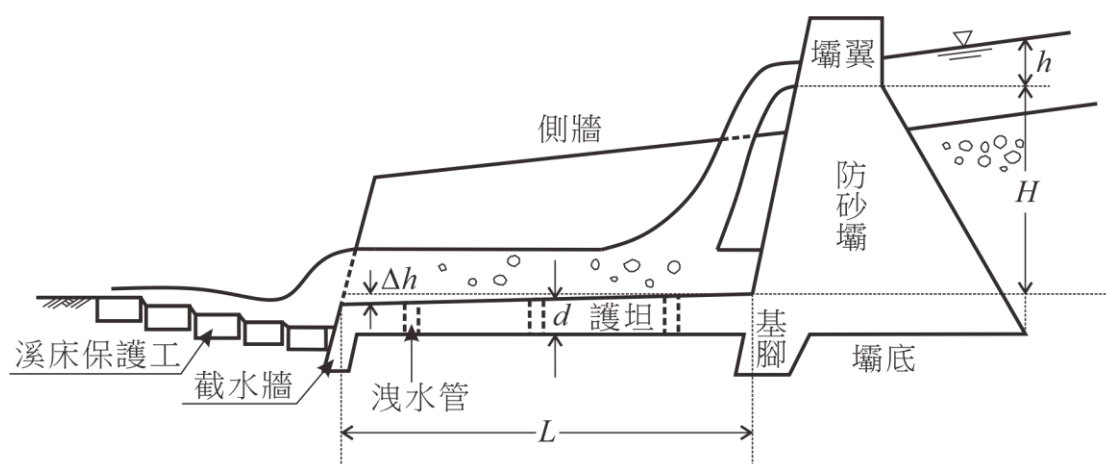


圖 3-40 護坦具斜坡狀況示意圖

護坦雖以混凝土灌注方式保護壩體，不過若因粒徑較大之塊石下移而導致直接撞擊時護坦仍易碎裂，或因上下游水位差產生之浮力破壞，失去保護功能。故若有此保護需求，需降低護坦高度，預留護坦上方堆積塊石及於護坦增設洩水管、降低上揚力，以加強保護。

傳統式的護坦容易受水流淘刷後而損毀，若將靜水池或護坦設置成逆坡式(圖 3-41)，可藉由水躍來消減能量(曹明正、段錦浩，1992)，效果比順坡式護坦良好。

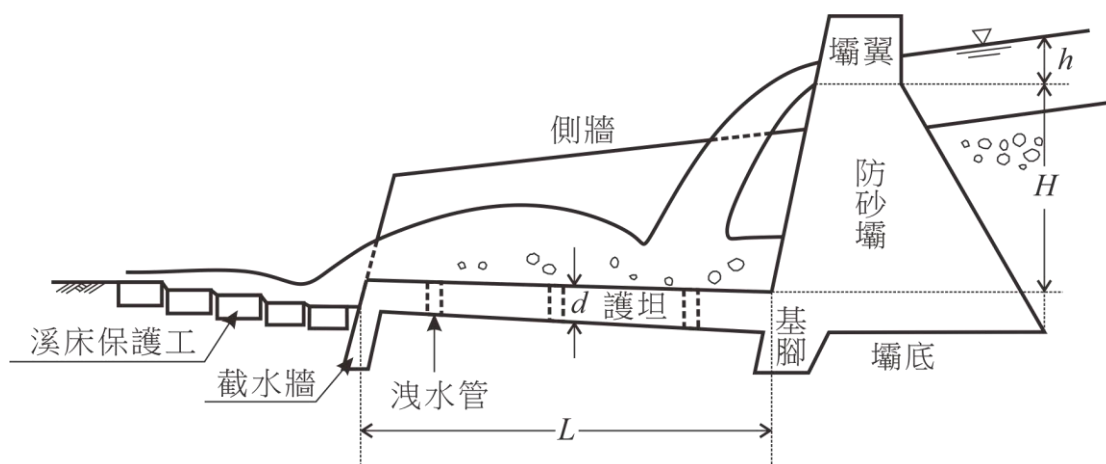


圖 3-41 逆坡式護坦示意圖

3. 副壩(secondary dam)：

副壩係指以避免防砂壩(或主壩)下游溪床產生嚴重沖刷而危及壩體為目的所構築之低壩。此構造主要利用副壩上游溪床土石消減過壩水流之沖擊能量，同時抑制主壩與副壩間局部沖刷坑之持續擴大，達到消能減勢之目的。

一般適用於溪流流量大、溪床質粒徑粗大、坡度陡峭及地質良好之處。

(1)構造：可參考主壩設計，如圖 3-42 所示。

(2)重疊高：副壩與主壩之重疊高，參照下列經驗公式計算

$$H' = \text{重疊高} = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}\right)H_e \quad \text{式 3-102}$$

式中， H_e =主壩有效壩高，係指壩頂與溪床面間之高度。

(3)主壩與副壩之間距：

$$L = \text{主副壩間隔距離} = (1.5 \sim 2.0)(H_e + h) \quad \text{式 3-103}$$

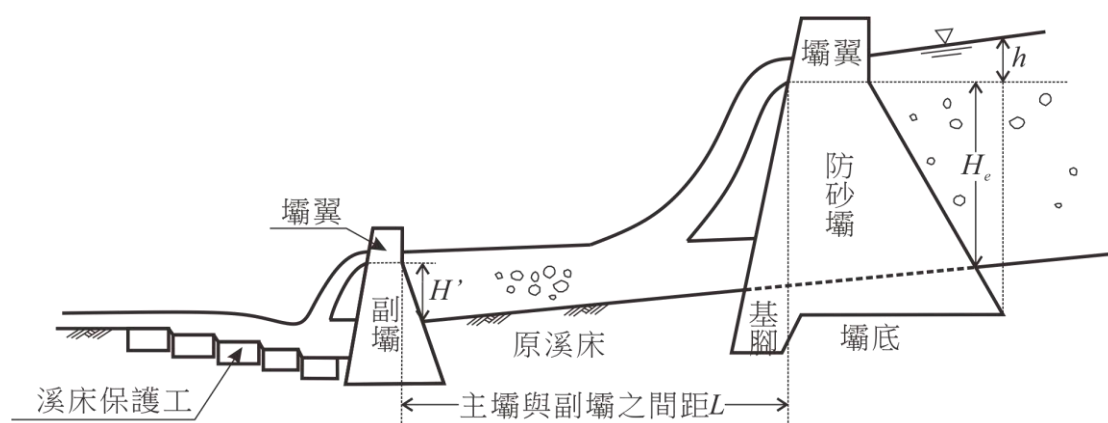


圖 3-42 主壩、副壩關係示意圖

3.13 附屬設施

防砂壩附屬設施包含魚道、取水設備及防止漂流木等相關設施，可依照現地需求來設置。

1. 魚道：

設置非透過性防砂壩會導致當地水中生物洄游路徑遭到阻斷，破壞生態平衡，因此考量生態環境需求可建置生物通道，保護當地生物之生存環境，如魚道可供魚類等水中生物活動。魚道種類有階段式、潛孔口式、魚骨型、導流壁式、防砂壩式等型式：

(1) 階段式魚道：

利用階梯式之設計(圖 3-43)，以達到魚類活動之效果，其適用之魚類有台灣鏟頰魚、台灣石(魚賓)、台灣馬口魚、粗首鱚、台灣爬岩鰍及台灣纓口鰍等。

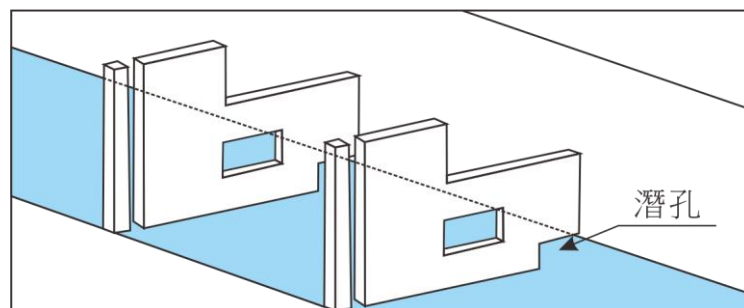


照片來源：行政院農業委員會林務局羅東林區管理處-多望溪半斷面階梯式魚道

圖 3-43 階段式魚道照片

(2)潛孔式魚道：

係指將潛孔等類似的通道置於水中，以做為便利於魚類活動之構造物，如圖 3-44 所示，適合底棲性的魚類，其流速受水位差與潛孔形狀所控制。



圖片來源：引用大甲溪馬鞍壩魚道示意圖

圖 3-44 潛孔示意圖

(3)魚骨型魚道：

又稱為改良型舟通式魚道(圖 3-45 為標準型舟通式魚道)，如圖 3-46 所示，由於阻流材形狀類似魚骨，故稱之為魚骨型魚道(陳樹群、王順昌，2002)，構造分為魚骨區、休息區及水道區等三種流速空間，可提供魚類加速上溯及短暫休憩等多樣化行為，適合台灣游泳性、攀爬性及躍移性魚類或兩棲性動物使用之全功能魚道(Chen et al., 2017)。因具有高效能的排砂效率，適合配置於防砂壩及攔河堰等橫向結構物。

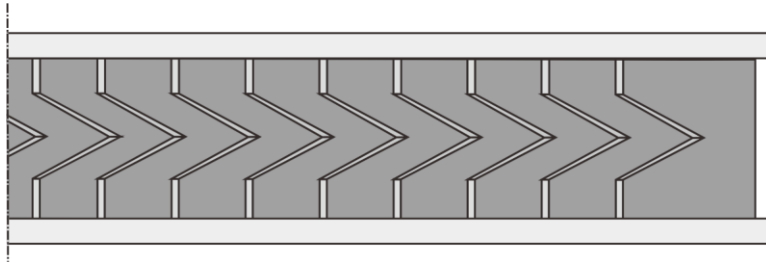


圖 3-45 標準型舟通式魚道平面示意圖



照片來源：陳樹群-宜蘭仁澤防砂壩魚道

圖 3-46 魚骨型魚道照片

(4)導流壁式魚道：

利用隔板將通直之通道隔成迂迴狀，以減低流速及坡度，供魚群通過，

圖 3-47 為同時擁有導流壁式與階段式功能之魚道照片。



經濟部水利署-新北市烏來鄉加九寮溪(由棟樑、Harry 與黃基峰攝影)

圖 3-47 導流壁式階梯魚道照片

(5)防砂壩式魚道：

防砂壩式魚道又稱潛越式魚道，如圖 3-48 所示，沿壩面做 Z 字型迂迴上升，不受地形、坡度、壩體高度之限制，不須在旁另闢空間，供魚群等水中生物通過，並利用篩型鋼板柵將大粒徑之礫石加以分離。



照片來源：行政院農業委員會林務局-花蓮市水源地砂婆礑溪

圖 3-48 防砂壩式魚道照片

2.漂流木防止工：

野溪於洪流過程中，經常伴隨大量漂流木而引發下游不同程度的危害事件，故在防砂壩設計時應視實際需求，於溢洪口下方布置透過性構件(如梳子型、立體格子型等)，可有效攔阻漂流木的下移且不堵塞溢洪口如圖 3-49 所示，在排洪量計算方面可忽略透過性部分，惟於設計時必須考量漂流木撞擊力及經常性的維護工作。

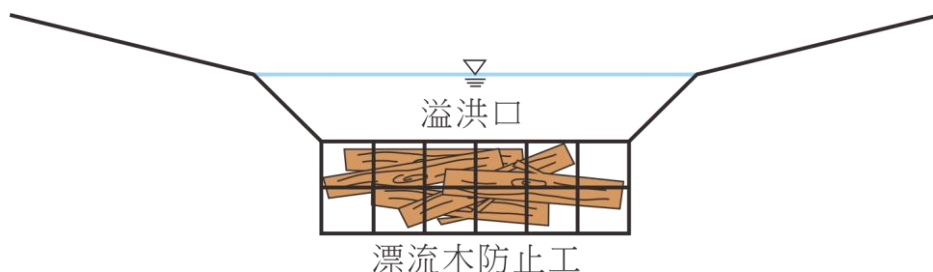


圖 3-49 漂流木防止工橫剖示意圖

3.14治理效益

非透過性防砂壩淤滿後的地形特徵對土石流流動存在兩個重要的影響，分別為：

1.坡度減緩：

根據調查當壩體上游淤滿之後，其計畫淤砂坡度 $S_e = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}\right) S_0$ (S_0 =原溪床坡度)，較原溪床坡度緩和，可以有效地減緩土石流之流速，降低其衝擊力量。

2.流路展寬：

當壩體上游淤滿後，因溪床面提高造成溪幅展寬，流深降低，阻力增加，從而減緩流動速度，甚至停積，但流路展寬仍須特別注意流心擺盪及沖刷兩岸等問題。

就土石流流況而言，坡度減緩及流路展寬的地形條件，與溪流下游谷口扇狀地的地形特徵相類似，可減緩土石流之流速和撞擊能量；加上壩體兩側翼牆對直進性特強的土石流具有一定之攔阻效果，且溢洪口斷面也較溪幅小，造成土石流過壩時洪峰流量產生一定的變化。

3.15注意事項

1.設置防砂壩時須注意：

- (1)防砂壩壩翼及基礎開挖，避免使用炸藥爆破，以免鬆動壩體周圍之土石，而影響壩體穩定。
- (2)壩翼嵌入溪岸時，開挖面不宜組模，以避免開挖過大而影響邊坡安定。此外壩體淤積土砂後，壩翼上游面通常無護岸或其他設施保護，溪床淤高後為避免水流直接淘刷，應視需要進行保護。
- (3)基礎開挖深度大於 1.5m 時，應設置施工架及臨時擋土設施。
- (4)靜水池以不封底為原則，若靜水池底採用混凝土封底時，宜增加洩水管避免伏流水無法排出受浮力破壞。
- (5)壩體分層澆置時，除了應確實以震動機搗實外，於每次升層面上宜將其粗糙化或施設工作樁。
- (6)在溪床坡度陡峻之溪流，不宜設計較高之防砂壩(超過 5.0m)，應採用連續低壩群之設計較經濟。

- (7)採用廢棄輪胎作為抗撞材料時，輪胎內要填充砂石；作為抗磨材料時，輪胎內要澆置混凝土，並設置高出壩體及其欲保護之設施。
- (8)系列防砂壩防砂量演算宜採用數值模擬或其他方法模擬分析之。
- (9)防止土石流為目的之防砂壩，於設計時宜考量其清疏便道及土石堆置場址。
- (10)在溪床易冲刷或脆弱地質之溪段，應酌加溪床保護工之設計。
- (11)對於同一溪流構築系列防砂壩或潛壩時，如為保護下游人民生命財產、水利設施或穩定溪床，宜由下游往上游依序構築；如為控制上游崩塌地，則宜採用上游往下游依序構築為原則。(臺灣省山地農牧局，臺灣省防砂壩工程調查報告，1982)

2.若設置在土石流區間，另須注意：

- (1)土石流治理措施之結構體安定性分析，除了需考慮土石流流體撞擊力外，尚須考慮巨礫衝擊力。
- (2)土石流疏導工法之渠道寬度或堤間寬度之決定，需依土石流流量及最大粒徑進行檢討，以免因巨石之阻塞而產生溢流。
- (3)土石流疏導工法中，渠道彎曲部之超高及曲率半徑之規劃與設計，需考慮土石流之直進性及其最大彎曲角度。
- (4)攔阻工法不宜設置於無法取得足夠庫容之地點。
- (5)攔阻工法屬於橫向構造物，具有阻水且提高局部動能(非透過性壩)，或因束縮斷面而提高過壩水流流速(溢口束縮)，凡此皆可能造成壩體下游溪床局部冲刷的規模和危害程度，故於攔阻工法下游溪床應加強其基礎保護工。
- (6)土石流對混凝土結構物表面具有強烈之磨損作用，各項工程治理措施於設計時，宜採取必要的耐磨處理；此外亦須於構造物上游側設計緩衝消能措施。
- (7)為使土石流防治措施能發揮正常功能，宜對於各項措施採定期之清理與檢查。

第四章 案例計算-重力式防砂壩設計實例

本案例為台七線蘇樂橋土石災害復育工程，位於桃園市復興區，本區因民國 93 年艾利颱風豪雨集中，造成集水區崩塌情形嚴重，共有三處主要的崩塌區位，如圖 4-1 所示，其崩塌面積約為 14 公頃，大量土方進入而導致其下游之石門水庫水質混濁、無法正常供水、水庫淤砂量增多、減少水庫壽命以及致使台七公路中斷。



圖片來源：水土保持局-台 7 線蘇樂橋下游

圖 4-1 崩塌區位示意圖

為解決上述之問題，故在此處設置連續性壩體，如圖 4-2 所示，連續性壩體除了發揮各自壩體之功用外，亦可使土砂回淤保護壩體之基腳，改善壩體下游淘刷之問題。在最上游處，為攔截巨石破壞下游設施，因此在土石流輸送段，採用梳子壩設計，以阻擋巨礫並消減土石流的能量，導正溪流流心。接著在堆積段採用低矮化之連續式潛壩穩定溪床坡度及調整流心，避免對環境造成過大衝擊。

而本次案例之重力式防砂壩接續在梳子壩與連續式潛壩下游，座落於蘇樂橋

下游處(圖 4-3)，其設置目的為：

- 1.攔阻過多砂石進入水庫，維持河道穩定。
- 2.清疏土砂就地平衡，堆置區加強植生復育。
- 3.檢討現況河道縱坡，維持構造物穩定。

因此本次計算按照前述之治理目的與規定重新運算，並以單一壩體之算法進行計算。因此本次計算僅考慮四種情況，分別為(1)未淤滿、地震、普通流量(2)未淤滿、最大流量(3)淤滿、最大流量(4)淤滿、地震、普通流量，並未考慮土石流撞擊力與巨礫撞擊力。



圖片來源：水土保持局-台 7 線蘇樂橋下游

圖 4-2 防砂壩位置示意圖



圖片來源：水土保持局-台 7 線蘇樂橋下游

圖 4-3 台七線蘇樂橋防砂壩

4.1基本資料設定和計算

首先需藉由資料收集與現地勘查獲取以下基本資料，並進行相關參數之計算，以因應後續壩體幾何設計。

1.基本資料參數設定及輸入：

基本資料及單位	符號	說明	數值
集水區面積(ha)	A	可藉由地形調查獲取所需資料，詳細方式於 3.5 地形調查與測繪。	605.7
坡面長度(m)	ℓ_s		300
溪流高程差(m)	Δh		1090
溪流長度(m)	ℓ_d		4385
壩址溪床寬度(m)	B		40
漫地流流速(m/s)	v_s		0.5
逕流係數	C	依照集水區狀況，參考水土保持技術規範逕流係數規定	0.75
年平均降雨量(mm)	P	高義站	2260
現場溪床平均坡度(°)	θ		14.39
現場溪床平均坡度(%)	S_0		25.66
$\tan \theta$			0.257
砂比重	G_s		2.6
含水量	ω	$\omega = \frac{n_e}{(1 - n_e)G_s}$ $= \frac{0.35}{(1 - 0.35) \times 2.6}$	0.2071
濕砂單位重(t/m^3)	γ_s	$\gamma_s = G_s \gamma_w (1 - n_e)(1 + \omega)$ $= 2.6 \times 1 \times (1 - 0.35)(1 + \omega)$	2.04
砂之孔隙率	n_e		0.35
清水單位重(t/m^3)	γ_w		1
乾砂單位重(t/m^3)	γ_d	$\gamma_d = G_s(1 - n_e)\gamma_w$ $= 2.6 \times (1 - 0.35) \times 1$	1.69
砂粒飽和單位重(t/m^3)	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \gamma_d + n_e \times \gamma_w$ $= 1.69 + 0.35 \times 1$	2.04
砂粒浸水單位重(t/m^3)	γ_{sub}	$\gamma_{sub} = \gamma_d - (1 - n_e) \times \gamma_w$ $= 1.69 - (1 - 0.35) \times 1$	1.04
濁水單位重(t/m^3)	γ_{wc}		1.1
淤砂內摩擦角(°)	ϕ	表 3-7	30
混凝土單位重(t/m^3)	γ_c		2.3
壩基摩擦係數	μ		0.6
浮力係數	C_B	表 3-8	0.5
砂礫層容許承载力(t/m^2)	B_p	表 3-13	40~50
水平地震係數	K_h	表 3-9	0.12
垂直地震係數	K_v	$2K_h/3$	0.08

2. 參數計算：

基本資料及單位	符號	計算式	數值
計畫淤砂坡度(°)	α	$S_0(\circ) = 14.39$ $\frac{1}{2}S_0 \sim \frac{2}{3}S_0$ $= \frac{1}{2} \times 14.39 = 7.195$	7.195
流入時間(sec)	t_s	$t_s = L_1/v_1 = \frac{300}{0.5}$	600
流下時間(sec)	t_d	$t_d = \frac{\ell_d}{20 \left(\frac{\Delta h}{\ell_d} \right)^{0.6}} = \frac{4385}{20 \left(\frac{1090}{4385} \right)^{0.6}}$	505.435
集流時間(min)	t_c	$t_c = t_s + t_d$ $= 10 + 8.42$	18.42
降雨強度(mm/hr)	I_t^T	採用水土保持技術規範無因次降雨強度公式(重現期距 T=50 年)： 年平均降雨量 $P = 2260 \text{ mm}$ $I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{(25.29 + 0.094 \times P)} \right)^2$ $= 90.3751 \text{ mm/hr}$ $A = \left(\frac{P}{(-189.96 + 0.31 \times P)} \right)^2$ $= 19.5879$ $B = 55$ $C = \left(\frac{P}{(-381.71 + 1.45 \times P)} \right)^2$ $= 0.6093$ $G = \left(\frac{P}{(42.89 + 1.33 \times P)} \right)^2 = 0.5495$ $H = \left(\frac{P}{(-65.33 + 1.836 \times P)} \right)^2$ $= 0.3062$ $I_t^{50} = I_{60}^{25} \times (G + H \times \log T) \times \frac{A}{(t_c + B)^C}$ $= 138.19$	138.19
清水流洪峰流量(cms)	Q_p	$Q_p = \frac{1}{360} CIA$ $= \frac{1}{360} \times 0.75 \times 138.19 \times 605.7$	174.379
設計洪峰流量	Q_d	$\alpha = \text{水流中泥沙混和率，採用} 0.1$ $Q_d = (1 + \alpha) \times Q_p$ $= (1 + 0.1) \times 174.379$	191.816

4.2 壩體幾何設計

壩體參數設定

基本資料及單位	符號	計算式	數值
壩高(m)	H		6
有效壩高(m)	H_e		4
壩體下游面斜率	m_1		0.3
壩體上游面斜率	m_2		0.5
壩體下游坡面水平寬(m)	l_1	$H \times m_1 = 6 \times 0.3$	1.8
壩體上游坡面水平寬(m)	l_2	$H \times m_2 = 6 \times 0.5$	3
壩頂厚度(m)	b	表 3-5	2.5
壩體底部厚度(m)	L	$b + (m_1 + m_2)H$ $= 2.5 + (0.3 + 0.5) \times 6$	7.3
溢洪口斷面邊坡係數	z		1
出水高度(m)	h_f	參照表 3-4 為 0.8 原始案例採用 1.6	1.6
溢流水深(m)	h	$Q_d = (1.77b_o + 1.42h)h^{1.5}$ 已知 $Q_d = 191.816 \text{cms}$ 、 $b_o = 30\text{m}$ 代入式中求得 $h = 2.264\text{m}$ 原始案例之溢流水深為 2.4m	2.4
溢洪口高度(m)	h_t	$h_t = h + h_f = 3.064\text{m}$ 原始案例之設定值為 4m(溢洪口高)- 0.8m(出水高)=3.2m(容許水深)。 採用原始案例 4m	4
溢洪口斷面底寬(m)	b_o		30
溢洪口斷面頂寬(m)	b_u	$b_o + 2Z(h_t)$ $= 30 + 2 \times 1 \times (2.4 + 1.6)$	38
寬頂堰排洪量(cms)	Q'	$\frac{2}{15}ch(3b_o + 2b_u)(2gh)^{\frac{1}{2}}$ $= \frac{2}{15} \times 0.6 \times 2.4$ $\times (3 \times 30 + 2$ $\times 38)(2 \times 9.8 \times 2.4)^{\frac{1}{2}}$ $= 218.596$ Q' 需大於 Q_d	218.596
臨界水深(m)	h_c	$\frac{Q_d^2}{g} = \frac{(b_o + b_u)^3 h_c^3}{8b_u}$ $\frac{191.816^2}{9.8} = \frac{(30 + 38)^3 h_c^3}{8 \times 38}$ $h_c = 1.5368$	1.5368
跌水緣水深(m)	h_{ck}	$0.75h_c$	1.153
水躍前水深(m)	d_1	$d_1 = H_e \times 0.54 \times \left(\frac{h_c}{H_e}\right)^{1.275}$ $= 4 \times 0.54 \times \left(\frac{1.5368}{4}\right)^{1.275}$	0.638

水躍後水深(m)	d_2	$d_2 = d_1 \times 3.07 / \left(\frac{h_c}{H_e}\right)^{0.465}$ $= 0.638 \times 3.07 / \left(\frac{1.5368}{4}\right)^{0.465}$	3.056
壩前壅水高度(m)	d_f	$d_f = h_c \times \left[\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 + 2 \times \frac{h_c}{d_1} - 3\right]^{0.5}$	2.097
壩體上游面與水平向夾角(°)	ε		63.435
壩體上游面與垂線夾角(°)	$\bar{\varepsilon}$		26.565

4.3防砂壩各面向圖說

圖 4-4、圖 4-5、圖 4-6 分別為防砂壩之正面、俯視及側視示意圖，將防砂壩各部位之尺寸標示於圖上，以利計算。

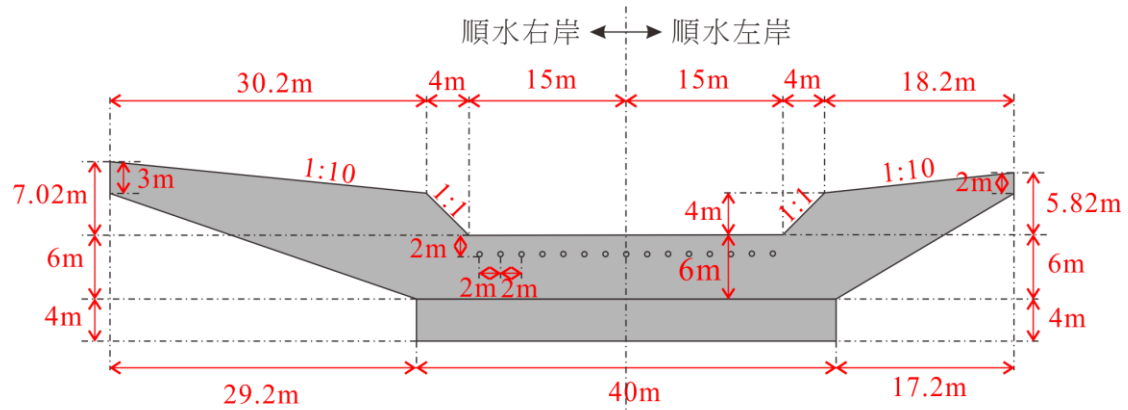


圖 4-4 防砂壩正面示意圖

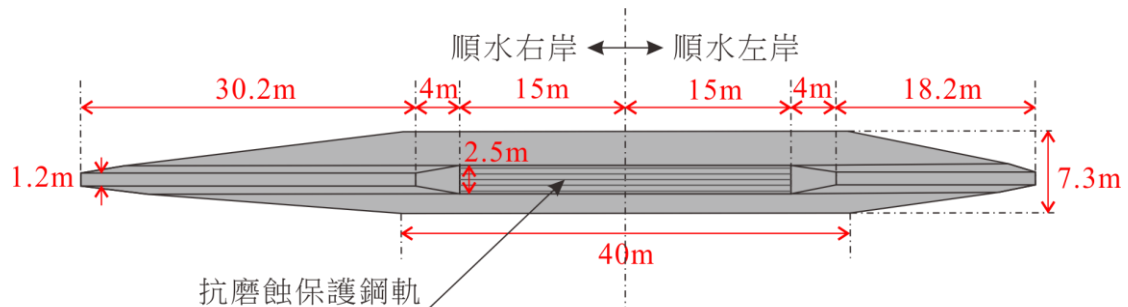


圖 4-5 防砂壩俯視示意圖

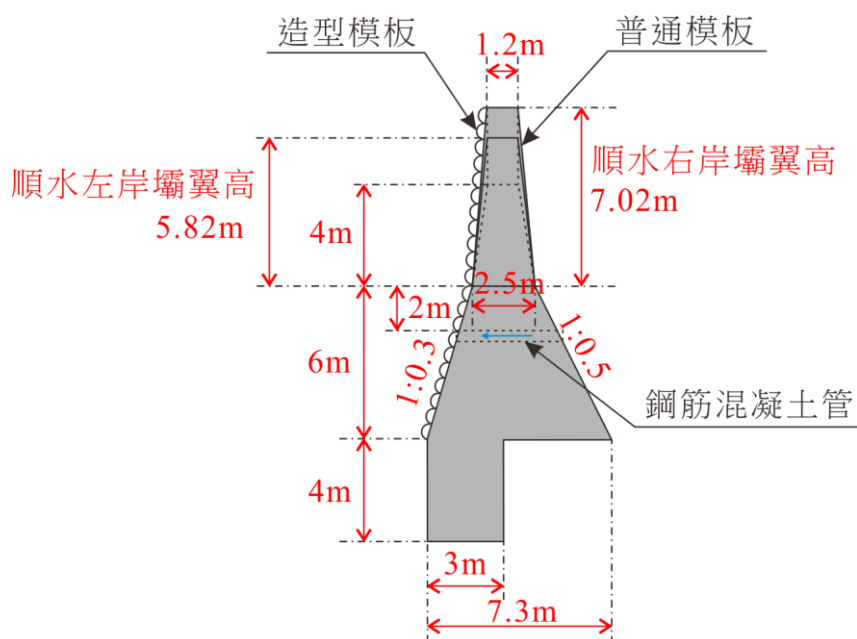


圖 4-6 防砂壩側面示意圖

4.4安定檢討

1.參數設定及計算：

基本資料及單位	符號	計算式	數值
壩高(m)	H		6
砂粒飽和單位重(t/m^3)	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \gamma_d + n_e \times \gamma_w$ $= 1.69 + 0.35 \times 1$	2.04
砂粒浸水單位重量(t/m^3)	γ_{sub}	$\gamma_{sub} = \gamma_d - (1 - n_e) \times \gamma_w$ $= 1.69 - (1 - 0.35) \times 1$	1.04
壩與土壤摩擦角($^\circ$)	δ		20
壩體上游面與垂線夾角($^\circ$)	$\bar{\varepsilon}$	$90^\circ - \varepsilon = 90 - 63.435$	26.565
水平地震係數	K_h	表 3-9	0.12
垂直地震係數	K_v	$\frac{2K_h}{3} = 2 \times 0.12/3$	0.08
地震角($^\circ$)	$\bar{\theta}$	$\tan^{-1}[K_h/(1 - K_v)]$ $= \tan^{-1}[0.12/(1 - 0.08)]$	7.43
浮力係數	C_B	表 3-8	0.5
基礎承載力(t/m^2)	B_P	表 3-13	40~50
臨界水深(m)	h_c	$\frac{Q_d^2}{g} = \frac{(b_o + b_u)^3 h_c^3}{8b_u}$ $\frac{191.816^2}{9.8} = \frac{(30 + 38)^3 1.5368^3}{8 \times 38}$	1.5368
跌水緣水深(m)	h_{ck}	$0.75h_c = 0.75 \times 1.5368$	1.153
主動土壓力係數(Rankine)	K_{ar}	$\cos\alpha \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$ 未淤滿時 $\alpha = 0^\circ$	0.333
		淤滿時 $\alpha = 7.195^\circ$	0.341
地震時動態土壓力	K_{ae}	$\frac{\cos^2(\phi - \bar{\varepsilon} - \bar{\theta})}{\cos\bar{\theta}\cos^2\bar{\varepsilon}\cos(\delta + \bar{\varepsilon} + \bar{\theta}) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \alpha - \bar{\theta})}{\cos(\bar{\varepsilon} - \alpha)\cos(\delta + \bar{\varepsilon} + \bar{\theta})}]^2}$ 未淤滿時 $\alpha = 0^\circ$	0.6986
		淤滿時 $\alpha = 7.195^\circ$ ， $\delta + \bar{\varepsilon} = 46.565^\circ$	0.8283

2.應力計算：

考量壩體庫容未淤滿、淤滿、普通流量、洪水與地震等單獨情況及合理之組合情況下，包括：

- (1)未淤滿、發生地震、普通流量時
- (2)未淤滿、最大流量時
- (3)淤滿、最大流量時
- (4)淤滿、發生地震、普通流量時

等四種狀況進行應力分析。

(1)未淤滿($H_m = 3m$ (自行設定)； $\alpha = 0^\circ$ ； $\delta + \bar{\varepsilon} = 46.565^\circ$)、發生地震(主動土壓力係數 $K_{ae} = 0.6986$)、普通流量($h = 0m$)時

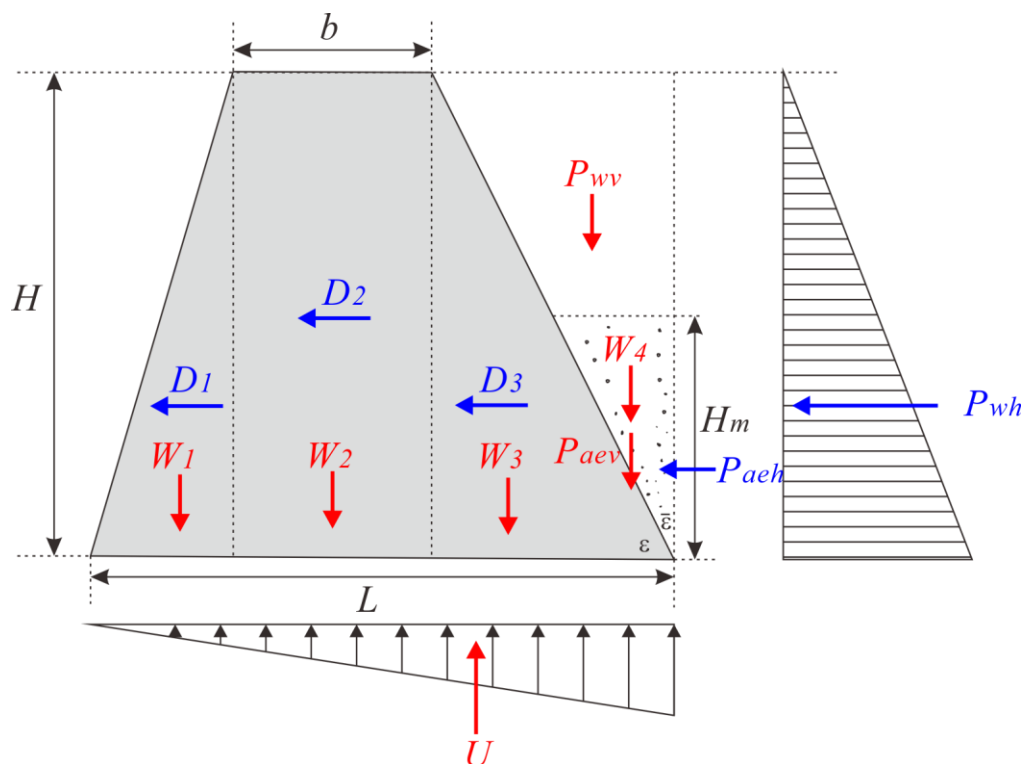


圖 4-7 未淤滿、發生地震、普通流量時之防砂壩示意圖

a.荷重檢算

未淤滿($H_m = 3m$ (自行設定)； $\alpha = 0^\circ$ ； $\delta + \bar{\varepsilon} = 46.565^\circ$)、發生地震(主動土壓力係數 $K_{ae} = 0.6986$)、普通流量($h = 0m$)時							
作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	正力矩	負力矩
壩體自重	W_1	$0.5\gamma_c m_1 H^2 = 12.42$	+12.42		$2m_1 H/3 = 1.2$	14.9	
	W_2	$\gamma_c b H = 34.5$	+34.5		$m_1 H + b/2 = 3.05$	105.225	
	W_3	$0.5\gamma_c m_2 H^2 = 20.7$	+20.7		$m_1 H + b + m_2 H/3 = 5.3$	109.71	
土砂重	W_4	$0.5\gamma_{sub} m_2 H_m^2 = 2.34$	+2.34		$L - m_2 H_m/3 = 6.8$	15.912	
靜水壓力	P_{wh}	$0.5\gamma_{wc} H^2 = 19.8$		+19.8	$H/3 = 2$		-39.6
水重	P_{wv}	$0.5\gamma_{wc} m_2 H^2 = 9.9$	+9.9		$m_1 H + b + 2m_2 H/3 = 6.3$	62.37	
上揚力	U	$C_B L \gamma_{wc} H/2 = 12.045$	-12.045		$2L/3 = 4.8666666667$		-58.619
地震時 壩體慣性力	D_1	$K_h W_1 = 1.49$		+1.49	$H/3 = 2$		-2.981
	D_2	$K_h W_2 = 4.14$		+4.14	$H/2 = 3$		-12.42
	D_3	$K_h W_3 = 2.484$		+2.484	$H/3 = 2$		-4.968
地震時 土砂壓力	P_{ae}	$0.5(1 - K_v) K_{ae} \gamma_{sub} H_m^2 = 3.0079$					
	P_{aeh}	$P_{ae} \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 2.068$		+2.068	$H_m/3 = 1$		-2.068
	P_{aev}	$P_{ae} \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 2.1842$	+2.1842		$L - m_2 H_m/3 = 6.8$	14.8526	
合 計			69.9992	29.9824		322.9736	-120.6558

b.安定檢算

傾倒檢算					
$L/3(m) \leq$	$x = M/V(m)$		$\leq 2L/3(m)$	判定	
7.3/3=2.433	202.3178/69.9992=2.8903		2*7.3/3=4.866	O.K.	
安全係數	$\sum M_+/\sum M_- = 322.9736/120.6558 = 2.6768>1$			O.K.	
承載力檢算					
作用力	符號	計算式		B_p	判定
偏心矩(m)	e	$L/2 - x = 3.65 - 2.8903 = 0.7597$ $0.7597 < \frac{L}{6} = 1.217$		<40~50 t/m^2	O.K.
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L} \left(1 - \frac{6e}{L}\right) = 3.60139(t/m^2)$			O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L} \left(1 + \frac{6e}{L}\right) = 15.5765(t/m^2)$			O.K.
滑動檢算					
水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
29.9824	69.9992	0.6	41.9995	=41.9995/29.9824 =1.4008>1.1	O.K.

(2)未淤滿($H_m = 3m$; $\alpha = 0^\circ$)、最大流量($h = 2.4m$; $h_c = 1.5368m$; $h_{ck} = 1.153m$)時

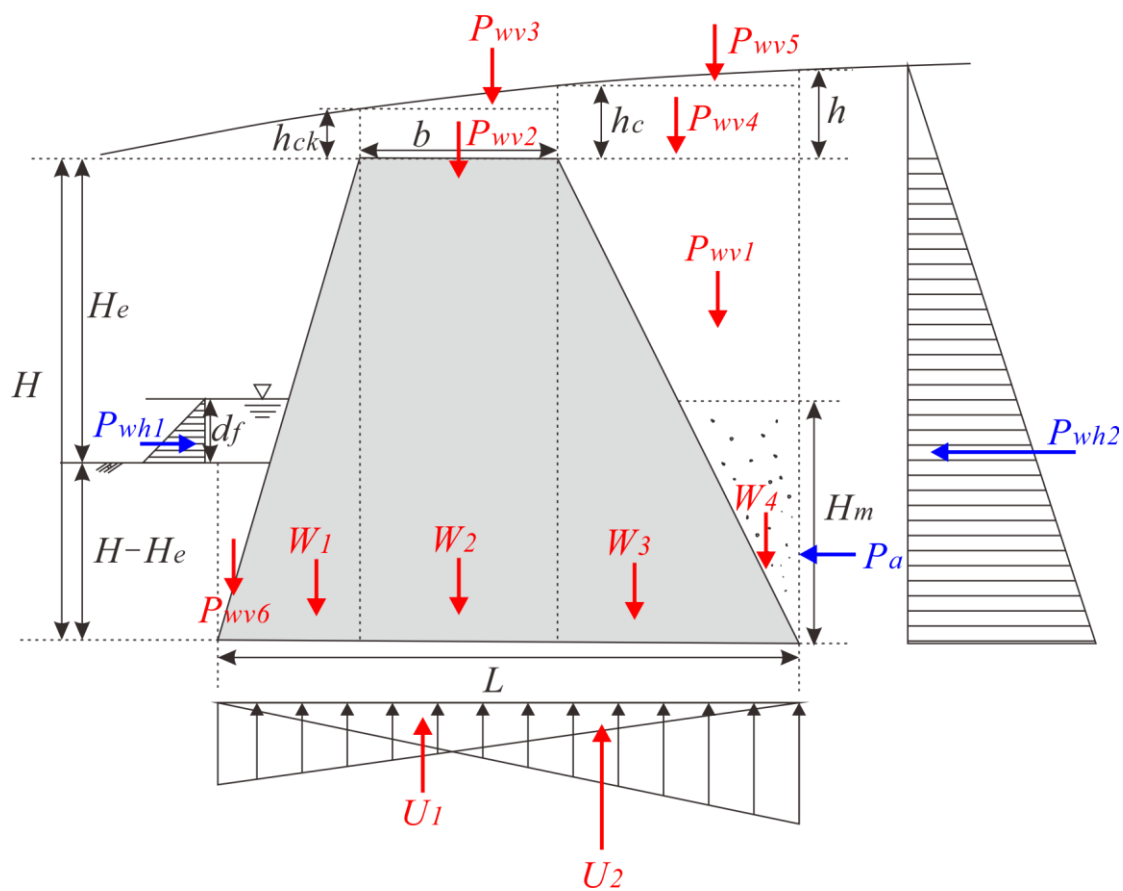


圖 4-8 未淤滿、最大流量時之防砂壩示意圖

a.荷重分析

未淤滿($H_m = 3m$; $\alpha = 0^\circ$)、最大流量($h = 2.4m$; $h_c = 1.5368m$; $h_{ck} = 1.153m$)時							
作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	正力矩	負力矩
壩體自重	W_1	$0.5\gamma_c m_1 H^2 = 12.42$	+12.42		$2m_1 H/3 = 1.2$	14.904	
	W_2	$\gamma_c b H = 34.5$	+34.5		$m_1 H + b/2 = 3.05$	105.225	
	W_3	$0.5\gamma_c m_2 H^2 = 20.7$	+20.7		$m_1 H + b + m_2 H/3 = 5.3$	109.71	
土砂重	W_4	$0.5\gamma_{sub} m_2 H_m^2 = 2.34$	+2.34		$L - m_2 H_m/3 = 6.8$	15.912	
土砂壓力	P_a	$0.5K_{ar}\gamma_{sub}(H_m + m_2 H_m \tan \alpha)^2 = 1.56$		+1.56	$H_m/3 = 1$		-1.56
水重	P_{wv1}	$0.5\gamma_{wc} m_2 H^2 = 9.9$	+9.9		$m_1 H + b + 2 m_2 H/3 = 6.3$	62.37	
	P_{wv2}	$h_{ck} b \gamma_{wc} = 3.17$	+3.17		$m_1 H + b/2 = 3.05$	9.668	
	P_{wv3}	$0.5\gamma_{wc}(h_c - h_{ck})b = 0.528$	+0.528		$m_1 H + 2b/3 = 3.467$	1.831	
	P_{wv4}	$h_c m_2 H \gamma_{wc} = 5.07$	+5.07		$m_1 H + b + m_2 H/2 = 5.8$	29.415	
	P_{wv5}	$0.5\gamma_{wc} m_2 H(h - h_c) = 1.4242$	+1.4242		$L - m_2 H/3 = 6.3$	8.972	
	P_{wv6}	$0.5\gamma_{wc} m_1 d_f^2 = 0.726$	+0.726		$m_1 d_f/3 = 0.2097$	0.152	
靜水壓力	P_{wh1}	$0.5\gamma_{wc} d_f^2 = 2.4185$		-2.4185	$(H - H_e) + d_f/3 = 2.699$	6.527	
	P_{wh2}	$0.5\gamma_{wc} H^2(1 + \frac{2h}{H}) = 35.64$		+35.64	$(\frac{H}{3})(\frac{H+3h}{H+2h}) = 2.444$		-87.12
上揚力	U_1	$C_B L \gamma_{wc}(d_f + H - H_e)/2 = 8.2246$	-8.2246		$L/3 = 2.433$		-20.0133
	U_2	$C_B L \gamma_{wc}(H + h)/2 = 16.863$	-16.863		$2L/3 = 4.867$		-82.067
合 計			65.6917	34.78		364.6874	-190.7599

b.安定檢算

傾倒檢算					
$L/3(m) \leq$	$x = M/V(m)$		$\leq 2L/3(m)$	判定	
7.3/3=2.433	173.9275/65.6917=2.6476		2*7.3/3=4.866	O.K.	
安全係數	$\Sigma M_+/\Sigma M_- = 364.687/190.7599 = 1.9118>1$			O.K.	
承載力檢算					
作用力	符號	計算式		B_p	判定
偏矩(m)	e	$L/2 - x = 3.65 - 2.6476 = 1.0024$ $1.0024 < \frac{L}{6} = 1.217$		<40~50 t/m ²	O.K.
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}\left(1 - \frac{6e}{L}\right) = 1.585(t/m^2)$			O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}\left(1 + \frac{6e}{L}\right) = 16.413(t/m^2)$			O.K.
滑動檢算					
水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
34.782	65.6917	0.6	39.415	=39.415/34.782 =1.133>1.1	O.K.

$$h_{ck} = 1.153m)$$
時

a.荷重分析

淤滿($H_m = H = 6m$; $\alpha = 7.195^\circ$)、最大流量($h = 2.4m$; $h_c = 1.5368m$; $h_{ck} = 1.153m$)時							
作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	正力矩	負力矩
壩體自重	W_1	$0.5\gamma_c m_1 H^2 = 12.42$	+12.42		$2m_1 H/3 = 1.2$	14.904	
	W_2	$\gamma_c b H = 34.5$	+34.5		$m_1 H + b/2 = 3.05$	105.225	
	W_3	$0.5\gamma_c m_2 H^2 = 20.7$	+20.7		$m_1 H + b + m_2 H/3 = 5.3$	109.71	
土砂重	W_4	$0.5\gamma_{sub} m_2 H (m_2 H \tan \alpha + H) = 9.951$	+9.951		$L - m_2 H/3 = 6.3$	62.69	
土砂壓力	P_a	$0.5K_{ar}\gamma_{sub}(H + m_2 H \tan \alpha)^2 = 7.225$					
	P_{ah}	$P_a \cos \alpha = 7.168$		+7.168	$(m_2 H \tan \alpha + H)/3 = 2.126$		-15.24
	P_{av}	$P_a \sin \alpha = 0.905$	+0.905		$L - m_2 H/3 = 6.3$	5.7	
水重	P_{wv1}	$0.5\gamma_{wc} m_2 H^2 = 9.9$	+9.9		$m_1 H + b + 2 m_2 H/3 = 6.3$	62.37	
	P_{wv2}	$h_{ck} b \gamma_{wc} = 3.17$	+3.17		$m_1 H + b/2 = 3.05$	9.668	
	P_{wv3}	$0.5\gamma_{wc}(h_c - h_{ck})b = 0.528$	+0.528		$m_1 H + 2b/3 = 3.467$	1.831	
	P_{wv4}	$h_c m_2 H \gamma_{wc} = 5.072$	+5.072		$m_1 H + b + m_2 H/2 = 5.8$	29.415	
	P_{wv5}	$0.5\gamma_{wc} m_2 H (h - h_c) = 1.424$	+1.424		$L - m_2 H/3 = 6.3$	8.972	
	P_{wv6}	$0.5\gamma_{wc} m_1 d_f^2 = 0.726$	+0.726		$m_1 d_f/3 = 0.2097$	0.152	
靜水壓力	P_{wh1}	$0.5\gamma_{wc} d_f^2 = 2.418$		-2.418	$(H - H_e) + d_f/3 = 2.699$	6.527	
	P_{wh2}	$0.5\gamma_{wc} H^2 (1 + \frac{2h}{H}) = 35.64$		+35.64	$(\frac{H}{3})(\frac{H + 3h}{H + 2h}) = 2.444$		-87.12
上揚力	U_1	$C_B L \gamma_{wc} (d_f + H - H_e)/2 = 8.2246$	-8.2246		$L/3 = 2.433$		-20.013
	U_2	$C_B L \gamma_{wc} (H + h)/2 = 16.863$	-16.863		$2L/3 = 4.867$		-82.067
合 計			74.2074	40.389		417.166	-204.44

b.安定檢算

傾倒檢算					
$L/3(m) \leq$	$x = M/V (m)$	$\leq 2 L/3(m)$	判定		
7.3/3=2.433	212.7259/74.2074=2.8666	2*7.3/3=4.866	O.K.		
安全係數	$\sum M_+/\sum M_- = 417.1661/204.44 = 2.0405 > 1$		O.K		
承載力檢算					
作用力	符號	計算式	B_p	判定	
偏矩(m)	e	$L/2 - x = 3.65 - 2.8666 = 0.7834$ $0.7834 < \frac{L}{6} = 1.217$	<40~50 t/m ²	O.K.	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L} \left(1 - \frac{6e}{L} \right) = 3.6203(t/m^2)$		O.K.	
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L} \left(1 + \frac{6e}{L} \right) = 16.7105(t/m^2)$		O.K.	
滑動檢算					
水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
40.389	74.2074	0.6	44.524	=44.524/40.389 =1.1024>1.1	O.K.

(4) 淤滿($H_m = H = 6m$; $\alpha = 7.195^\circ$; $\delta + \bar{\varepsilon} = 46.565^\circ$)、發生地震(主動土壓力係數 $K_{ae} = 0.8283$)、普通流量($h = 0m$)時

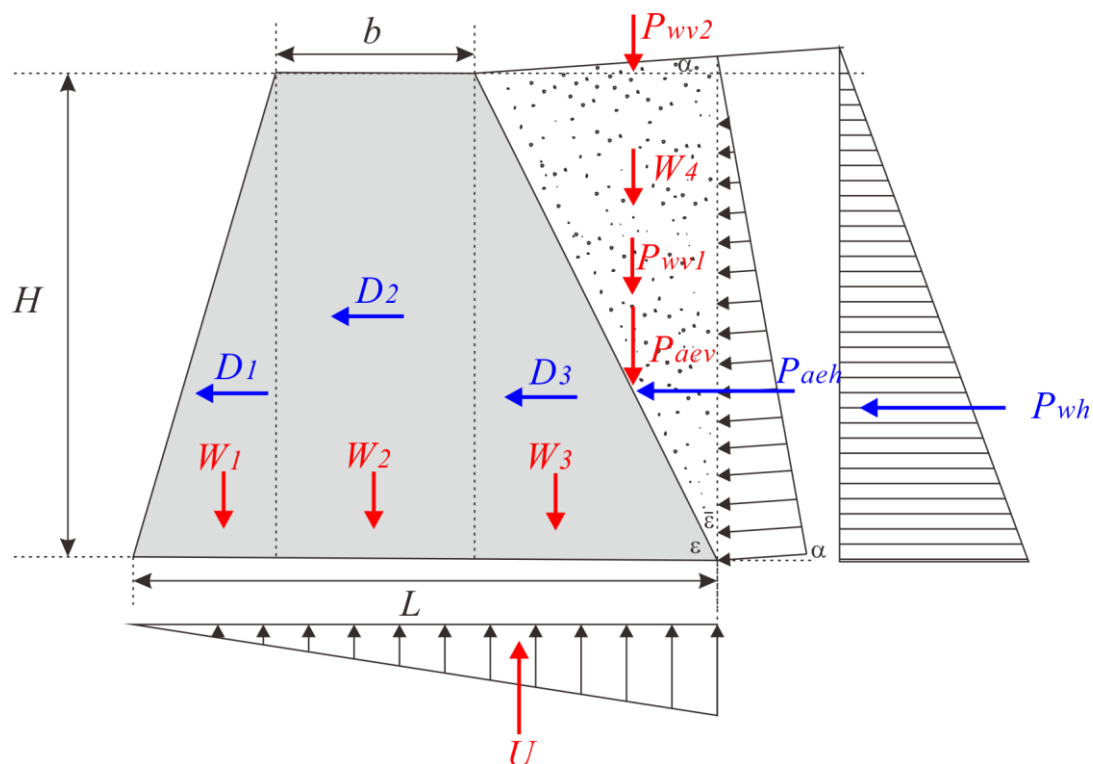


圖 4-10 淤滿、發生地震、普通流量時之防砂壩示意圖

a.荷重分析

淤滿($H_m = H = 6m$; $\alpha = 7.195^\circ$; $\delta + \bar{\epsilon} = 46.565^\circ$)、發生地震(主動土壓力係數 $K_{ae} = 0.8283$)、普通流量($h = 0m$)時							
作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	正力矩	負力矩
壩體 自重	W_1	$0.5\gamma_c m_1 H^2 = 12.42$	+12.42		$2m_1 H/3 = 1.2$	14.904	
	W_2	$\gamma_c b H = 34.5$	+34.5		$m_1 H + b/2 = 3.05$	105.225	
	W_3	$0.5\gamma_c m_2 H^2 = 20.7$	+20.7		$m_1 H + b + m_2 H/3 = 5.3$	109.71	
土砂重	W_4	$0.5\gamma_{sub} m_2 H (m_2 H \tan \alpha + H) = 9.951$	+9.951		$L - m_2 H/3 = 6.3$	62.69	
地震時 土砂壓力	P_{ae}	$0.5(1 - K_v)K_{ae}\gamma_{sub} (m_2 H \tan \alpha + H)^2 = 16.1223$					
	P_{aeh}	$P_{ae} \cos(\delta + \bar{\epsilon}) = 11.0846$		+11.0846	$(m_2 H \tan \alpha + H)/3 = 2.126$		-23.5685
	P_{aev}	$P_{ae} \sin(\delta + \bar{\epsilon}) = 11.7073$	+11.7073		$L - m_2 H/3 = 6.3$	73.7561	
水重	P_{wv1}	$0.5\gamma_{wc} m_2 H^2 = 9.9$	+9.9		$m_1 H + b + 2 m_2 H/3 = 6.3$	62.37	
	P_{wv2}	$0.5\gamma_{wc} \tan \alpha (m_2 H)^2 = 0.625$	+0.625		$L - m_2 H/3 = 6.3$	3.937	
靜水 壓力	P_{wh}	$0.5\gamma_{wc} (H + m_2 H \tan \alpha) H = 21.05$		+21.05	$\frac{H}{3} \frac{H + 3m_2 H \tan \alpha}{H + 2m_2 H \tan \alpha} = 2.112$		-44.458
上揚力	U	$C_B L \gamma_{wc} (m_2 H \tan \alpha + H)/2 = 12.805$	-12.805		$2L/3 = 4.867$		-62.319
地震時 壩體 慣性力	D_1	$K_h W_1 = 1.49$		+1.49	$H/3 = 2$		-2.981
	D_2	$K_h W_2 = 4.14$		+4.14	$H/2 = 3$		-12.42
	D_3	$K_h W_3 = 2.484$		+2.484	$H/3 = 2$		-4.968
合 計			86.9977	40.2488		432.592	-150.8555

b.安定檢算

傾倒檢算					
$L/3(m) \leq$	$x = M/V(m)$		$\leq 2L/3(m)$	判定	
7.3/3=2.433	281.7365/86.9977=3.2384		2*7.3/3=4.866	O.K.	
安全係數	$\sum M_+/\sum M_- = 432.592/150.8555 = 2.8676>1$			O.K.	
承載力檢算					
作用力	符號	計 算 式		B_p	判定
偏矩(m)	e	$L/2 - x = 3.65 - 3.2384 = 0.41157$ $0.416 < \frac{L}{6} = 1.217$		<40~50 t/m ²	O.K.
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}\left(1 - \frac{6e}{L}\right) = 7.8861(t/m^2)$			O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}\left(1 + \frac{6e}{L}\right) = 15.9489(t/m^2)$			O.K.
滑動檢算					
水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
40.2488	86.9977	0.6	52.1986	=52.1986/40.2488 =1.2969>1.1	O.K.

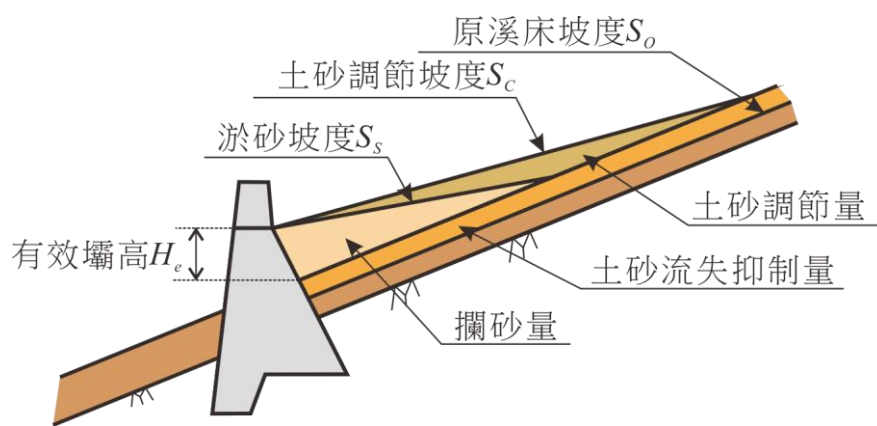
附錄

附錄一、防砂壩之防砂量演算

防砂壩經由不同配置方式會產生不同防砂功能，如圖附-1 所示，包含攔(貯)砂量、土砂調節量與土砂流失抑制量(松村和樹等，1988)，其中陳正炎及張三郎(1996)參考日本防砂計畫之整備率概念，建立防砂壩攔(貯)砂量或土砂生產抑制量之推估公式：

$$S_{V1} = 30H_e^2 B \quad \text{式附-1}$$

式中， S_{V1} =攔(貯)砂量(m^3)； B =壩體寬度(m)； H_e =有效壩高(m)。



圖片來源：引用土砂災害與防治(2017)

圖附-1 攔砂量、土砂調節量與土砂流失抑制量示意圖

連惠邦與蔡易達(2003)由防砂壩與河床斷面間的幾何關係，搭配現地之實測資料，提出防砂壩攔(貯)砂量及土砂流失抑制量。

1.攔(貯)砂量

土砂自坡面或河道沖起後，在運移過程中遭防砂壩攔阻，並蓄積在防砂壩與上游形成之貯蓄空間內，而無法移動者稱攔(貯)砂量，除非通過清淤否則通常為固定量。令淤砂坡度為原河床坡度的 $1/2$ ，則攔(貯)砂量可表為

$$S_{V1} = nH_e^2 \bar{B} \quad \text{式附-2}$$

式中， S_{V1} =攔砂量(m^3)； $\bar{B}$ =防砂壩上游淤砂範圍之平均河寬(m)； H_e =有效壩高(m)； n =原溪床坡度之斜率。

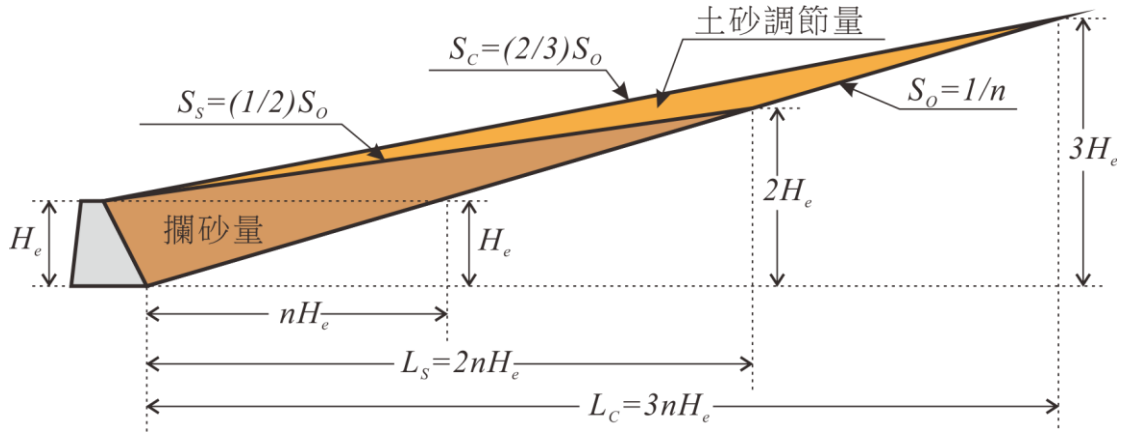
2.土砂調節量

防砂壩上游因淤砂坡度減緩原溪床坡度，導致水流輸砂能力下降，土砂開始落淤，直到退水時，才有部分土砂再度攜帶至下游，此種暫時性土砂運移稱

土砂調節量。令挾砂水流所攜帶之大量土砂進入壩體上游緩坡段而產生之淤積坡度為 $S_c = (2/3)S_o$ ，由圖附-2 可得知，防砂壩土砂調節量可表為：

$$S_{V2} = 0.5nH_e^2\bar{B} \quad \text{式附-3}$$

式中， S_{V2} =土砂調節量(m^3)。



圖片來源：引用土砂災害與防治(2017)

圖附-2 防砂壩上游貯砂容積示意圖

3.土砂流失抑制量

防砂壩上游蓄積土砂後可提供兩岸邊坡坡趾保護作用，如圖附-3 所示。為估算土砂流失抑制量，需假設為任一在淤砂範圍中之河道斷面且(1)邊坡土體為均質堆積物所組成；(2)邊坡崩壞屬平面破壞模式(無限邊坡破壞)；(3)坡頂附近無裂縫時，自坡頂向河床邊緣逐漸變厚，土體崩壞剖面成三角形，如有裂縫時，C 點應於裂縫處。

分別於築壩前溪床可能冲刷深度(A 點)與築壩後淤砂床面與側岸(B 點)向坡頂畫出一條延伸線，兩延伸線於坡頂形成一三角形($\triangle ABC$)，即為防砂壩直接可抑制之土砂生產面積(A)，可表為：

$$A = \frac{1}{2}y_m L_d \quad \text{式附-4}$$

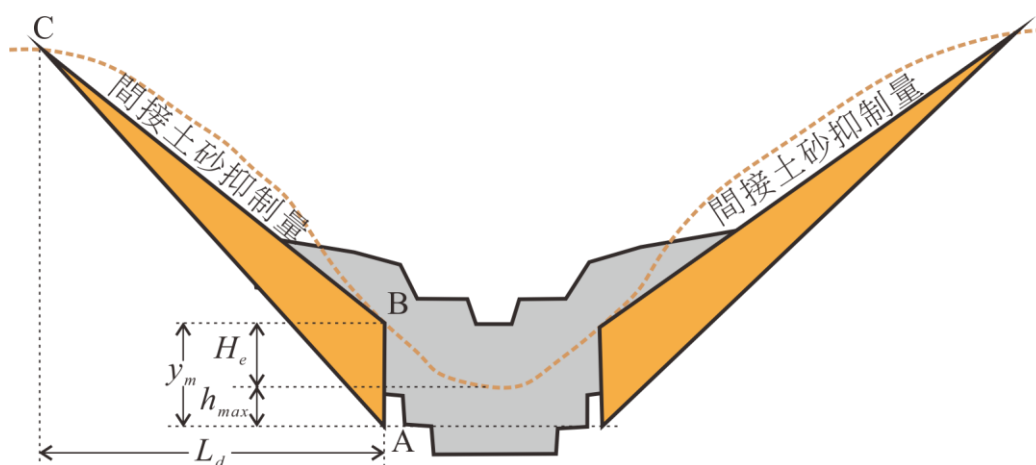
式中， y_m =最大冲刷深度與有效壩高之和(m)； L_d =A 和 C 點間之水平距離(m)。在淤砂範圍內兩岸邊坡土砂流失抑制量(S_{V3})可表為

$$S_{V3} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{SRi} + A_{SR(i+1)}}{2} + \frac{A_{SLi} + A_{SL(i+1)}}{2} \right) \ell_i \quad \text{式附-5}$$

$$\text{且 } L = \sum_{i=1}^n \ell_i \quad \text{式附-6}$$

式中， A_{SRi} =第 i 断面右岸可抑制崩塌面積； $A_{SR(i+1)}$ =第 $(i+1)$ 断面右岸可抑制崩塌面積； A_{SLi} =第 i 断面左岸可抑制崩塌面積； $A_{SL(i+1)}$ =第 $(i+1)$ 断面左岸可抑制崩塌面積； ℓ_i =第 i 與 $(i+1)$ 断面之間距； L =淤砂範圍長度。如側岸為岩盤(屬岩體崩塌)時，或原河床面(築壩前)與側岸交點處之坡面坡度巧於安息角時，須注意均假設為穩定邊坡。

BC 面以上之土體因不是由防砂壩直接保護，因此可視為間接土砂抑制量，若 $\triangle ABC$ 崩壞時，間接土砂抑制量則會隨之崩落，不過 $\triangle ABC$ 安定時，BC 面以上之土體亦有可能受地表逕流沖刷而消失。



圖片來源：引用土砂災害與防治(2017)

圖附-3 土砂流失抑制量示意圖

附錄二、Horner 公式相關係數值

表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

流域名	雨量站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
冬山河	冬山	a	652.90	997.62	1339.05	2037.46	2950.41	4625.92	8183.97
		b	21.92	29.29	38.65	57.72	79.69	112.10	160.71
		c	0.5375	0.5474	0.5606	0.5875	0.6170	0.6580	0.7151
		R ²	0.9977	0.9961	0.9943	0.9899	0.9845	0.9767	0.9664
	新寮	a	733.80	799.81	836.96	866.59	873.42	865.99	844.50
		b	22.26	21.02	22.41	25.25	27.65	29.96	31.88
		c	0.5217	0.4796	0.4539	0.4215	0.3968	0.3711	0.3442
		R ²	0.9872	0.9881	0.9896	0.9900	0.9870	0.9784	0.9606
南澳溪	大元山	a	466.41	777.55	1044.31	1461.67	1835.48	2268.32	2775.22
		b	4.85	16.30	26.13	40.37	51.80	63.73	76.23
		c	0.4264	0.4480	0.4652	0.4878	0.5042	0.5203	0.5362
		R ²	0.9977	0.9948	0.9939	0.9936	0.9934	0.9929	0.9919
	武塔	a	734.19	617.24	577.40	546.29	530.33	517.71	507.81
		b	24.90	10.84	6.06	2.30	0.40	-1.05	-2.18
		c	0.5542	0.4999	0.4764	0.4547	0.4421	0.4314	0.4222
		R ²	0.9904	0.9971	0.9980	0.9963	0.9936	0.9902	0.9863
	樟林	a	886.93	945.94	994.90	1054.50	1091.35	1125.00	1154.17
		b	47.16	45.78	45.60	45.58	45.32	45.06	44.69
		c	0.5363	0.5055	0.4959	0.4884	0.4841	0.4807	0.4777
		R ²	0.9944	0.9842	0.9729	0.9551	0.9406	0.9255	0.9103
淡水河	大豹	a	924.25	1028.55	1163.82	1373.95	1556.91	1766.55	2005.39
		b	16.42	15.25	17.28	21.15	24.67	28.72	33.25
		c	0.6320	0.6055	0.6018	0.6032	0.6070	0.6125	0.6192
		R ²	0.9959	0.9949	0.9955	0.9949	0.9927	0.9889	0.9835
	中正橋	a	1767.13	2546.37	3290.83	4741.47	6457.74	9137.76	13435.59
		b	17.31	25.03	33.65	49.20	64.86	84.75	109.34
		c	0.7679	0.7679	0.7759	0.7969	0.8204	0.8506	0.8872
		R ²	0.9930	0.9944	0.9966	0.9971	0.9955	0.9928	0.9893
	五堵	a	1047.46	1155.51	896.53	620.85	486.27	395.15	333.24
		b	23.32	24.02	18.42	9.99	4.34	-0.26	-3.68
		c	0.6505	0.6128	0.5400	0.4457	0.3835	0.3295	0.2833
		R ²	0.9998	0.9957	0.9918	0.9877	0.9856	0.9844	0.9834

表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域 名	雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
淡水河	火燒寮	a	571.48	626.20	631.81	629.70	625.33	620.18	615.07
		b	11.73	9.59	7.60	5.25	3.68	2.27	1.01
		c	0.5260	0.4932	0.4710	0.4462	0.4300	0.4153	0.4020
		R ²	0.9971	0.9968	0.9963	0.9952	0.9941	0.9929	0.9916
	台北 (5)	a	887.04	1369.49	1905.13	3329.11	5923.76	12141.62	27384.40
		b	11.05	20.26	32.19	60.04	96.70	151.66	224.58
		c	0.6747	0.6878	0.7053	0.7488	0.8034	0.8761	0.9603
		R ²	0.9991	0.9990	0.9985	0.9950	0.9893	0.9794	0.9611
	(阿玉進水口) 孝義	a	594.16	616.42	645.37	687.02	719.34	751.76	785.88
		b	12.80	13.78	15.16	17.27	18.96	20.70	22.57
		c	0.5333	0.4986	0.4877	0.4798	0.4764	0.4741	0.4730
		R ²	0.9985	0.9968	0.9958	0.9945	0.9936	0.9926	0.9916
	坪林 (4)	a	789.66	586.81	520.11	481.66	470.92	467.18	468.42
		b	27.55	9.64	2.08	-3.10	-5.17	-6.48	-7.33
		c	0.5634	0.4797	0.4431	0.4127	0.3977	0.3864	0.3780
		R ²	0.9997	0.9982	0.9974	0.9971	0.9968	0.9966	0.9962
	林口 (1)	a	1066.01	2430.09	3615.30	5221.82	6395.19	7552.32	8655.39
		b	26.90	47.17	58.46	69.14	74.92	79.58	83.27
		c	0.6832	0.7560	0.7890	0.8165	0.8297	0.8395	0.8466
		R ²	0.9950	0.9928	0.9938	0.9937	0.9915	0.9875	0.9819
	乾溝	a	1126.78	844.29	693.87	562.53	492.86	439.31	396.81
		b	25.08	16.56	11.75	7.17	4.56	2.46	0.72
		c	0.6449	0.5634	0.5157	0.4659	0.4347	0.4076	0.3837
		R ²	0.9960	0.9990	0.9971	0.9904	0.9830	0.9739	0.9634
	梵梵 (2)	a	351.52	470.04	572.63	725.66	861.28	1019.48	1210.00
		b	7.27	8.35	10.60	14.44	18.09	22.46	27.80
		c	0.4323	0.4181	0.4188	0.4246	0.4317	0.4406	0.4514
		R ²	0.9946	0.9913	0.9865	0.9780	0.9705	0.9622	0.9532
	桶後	a	599.80	563.78	562.60	574.31	587.90	603.93	621.45
		b	15.44	10.43	7.99	5.85	4.69	3.79	3.06
		c	0.5210	0.4723	0.4543	0.4401	0.4332	0.4283	0.4248
		R ²	0.9965	0.9957	0.9968	0.9975	0.9970	0.9956	0.9934
	瑞芳 (2)	a	642.96	1097.68	1649.73	2960.90	4810.18	8031.76	13693.88
		b	17.21	27.63	40.48	65.06	90.05	120.19	154.94
		c	0.5756	0.6027	0.6333	0.6851	0.7323	0.7840	0.8391
		R ²	0.9998	0.9986	0.9965	0.9928	0.9897	0.9863	0.9821

表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
淡水河	碧湖	a	801.81	747.26	679.17	608.04	568.62	538.29	514.42
		b	24.62	17.38	11.47	5.34	1.91	-0.71	-2.73
		c	0.5816	0.5255	0.4893	0.4503	0.4262	0.4056	0.3878
		R ²	0.9952	0.9968	0.9965	0.9952	0.9939	0.9927	0.9916
	(利莫干) 福山	a	392.48	487.96	610.75	854.57	1113.27	1445.71	1865.31
		b	7.51	12.55	20.01	33.88	46.42	59.65	72.96
		c	0.4643	0.4421	0.4507	0.4764	0.5009	0.5270	0.5536
		R ²	0.9942	0.9906	0.9901	0.9922	0.9949	0.9967	0.9956
頭前溪	梅花	a	1175.95	1064.22	1000.77	946.73	918.37	899.87	886.48
		b	30.86	24.33	20.49	16.63	14.27	12.39	10.77
		c	0.6507	0.5747	0.5355	0.4968	0.4734	0.4539	0.4370
		R ²	0.9893	0.9856	0.9853	0.9846	0.9835	0.9818	0.9795
	清泉	a	828.96	1303.76	2012.20	3525.14	5133.45	7126.46	9443.42
		b	34.62	62.00	91.05	133.38	163.76	190.85	214.16
		c	0.5736	0.5721	0.6020	0.6487	0.6813	0.7098	0.7338
		R ²	0.9848	0.9723	0.9670	0.9658	0.9678	0.9708	0.9741
	鳥嘴山	a	815.82	903.85	991.64	1100.46	1175.97	1245.95	1315.06
		b	28.35	32.57	34.42	35.41	35.45	35.08	34.62
		c	0.5563	0.5175	0.5079	0.5011	0.4977	0.4951	0.4933
		R ²	0.9932	0.9878	0.9855	0.9832	0.9816	0.9799	0.9780
	太閣南	a	875.89	886.21	938.81	1030.32	1121.58	1228.95	1369.02
		b	28.10	30.17	33.64	39.47	45.15	51.75	60.08
		c	0.6071	0.5547	0.5376	0.5255	0.5219	0.5213	0.5243
		R ²	0.9936	0.9910	0.9881	0.9837	0.9797	0.9755	0.9708
蘭陽溪	古魯	a	328.68	433.70	559.59	788.87	1017.24	1296.78	1635.20
		b	8.58	13.63	18.65	24.97	28.94	31.90	33.94
		c	0.3670	0.3732	0.3957	0.4321	0.4613	0.4902	0.5186
		R ²	0.9939	0.9954	0.9979	0.9983	0.9947	0.9870	0.9751
	南山	a	260.34	365.32	449.12	571.56	677.36	797.37	937.09
		b	4.41	8.04	11.91	17.97	23.29	29.24	36.00
		c	0.4611	0.4546	0.4580	0.4662	0.4742	0.4833	0.4935
		R ²	0.9983	0.9960	0.9937	0.9901	0.9871	0.9837	0.9799
	新北成	a	583.87	789.18	1012.25	1430.24	1881.85	2496.68	3335.11
		b	14.64	17.42	21.92	30.24	38.38	48.00	59.01
		c	0.5558	0.5466	0.5540	0.5725	0.5913	0.6128	0.6365
		R ²	0.9991	0.9996	0.9996	0.9978	0.9949	0.9909	0.9859

表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域 名	雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
蘭陽溪	山腳	a	515.96	474.03	442.64	408.60	387.59	369.75	354.26
		b	21.09	17.78	15.68	13.28	11.65	10.14	8.69
		c	0.4424	0.3856	0.3519	0.3152	0.2916	0.2706	0.2516
		R ²	0.9946	0.9957	0.9946	0.9911	0.9868	0.9808	0.9730
鹽寮溪	鹽寮	a	1219.89	1419.20	1361.90	1218.29	1101.04	984.46	876.04
		b	23.19	27.51	27.31	25.18	22.80	19.83	16.53
		c	0.7067	0.6851	0.6553	0.6138	0.5829	0.5523	0.5223
		R ²	0.9991	0.9997	0.9982	0.9932	0.9876	0.9811	0.9743

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

流域名	雨量站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
大甲溪	上谷關	a	370.12	419.27	437.60	456.46	468.67	480.89	492.87
		b	7.52	9.88	10.94	12.29	13.32	14.49	15.74
		c	0.4761	0.4365	0.4147	0.3926	0.3790	0.3675	0.3576
		R ²	0.9897	0.9797	0.9753	0.9709	0.9682	0.9657	0.9634
	平岩山	a	141.99	189.82	244.69	357.66	498.61	733.49	1173.57
		b	-1.64	1.23	5.09	13.20	22.70	36.57	57.58
		c	0.3832	0.3682	0.3761	0.4007	0.4292	0.4670	0.5175
		R ²	0.9981	0.9943	0.9891	0.9786	0.9676	0.9539	0.9372
	合歡山(2)	a	142.73	239.66	337.65	515.20	701.75	956.19	1306.91
		b	-2.27	1.05	4.52	10.40	15.94	22.65	30.56
		c	0.3540	0.3831	0.4112	0.4509	0.4824	0.5155	0.5501
		R ²	0.9989	0.9967	0.9932	0.9864	0.9801	0.9729	0.9652
	志佳陽大山	a	125.66	197.94	262.36	358.13	438.19	523.94	616.18
		b	-1.35	1.57	3.69	6.12	7.70	9.06	10.29
		c	0.3913	0.4023	0.4167	0.4350	0.4477	0.4592	0.4699
		R ²	0.9974	0.9918	0.9885	0.9853	0.9834	0.9821	0.9808
	*佳陽山	a	115.11	168.14	236.10	388.82	620.64	1182.84	3073.82
		b	-4.86	-3.16	0.39	9.18	22.33	48.81	102.85
		c	0.3702	0.3741	0.3968	0.4417	0.4920	0.5686	0.6867
		R ²	0.9897	0.9913	0.9935	0.9881	0.9785	0.9681	0.9618
	松茂(2)	a	124.37	152.29	172.24	198.61	219.13	239.70	261.18
		b	-3.00	-3.32	-3.64	-4.15	-4.56	-5.02	-5.47
		c	0.3878	0.3783	0.3745	0.3710	0.3691	0.3669	0.3652
		R ²	0.9970	0.9955	0.9951	0.9942	0.9929	0.9909	0.9882
	松峰	a	243.73	271.57	266.45	259.09	255.76	254.21	253.75
		b	5.96	2.29	-1.09	-4.09	-5.56	-6.59	-7.34
		c	0.4457	0.4300	0.4078	0.3815	0.3651	0.3510	0.3387
		R ²	0.9956	0.9977	0.9978	0.9949	0.9913	0.9873	0.9831
	青山(3)	a	325.24	473.35	449.89	398.20	371.10	353.41	343.06
		b	12.39	19.23	13.89	5.86	1.41	-1.77	-3.97
		c	0.4829	0.4776	0.4352	0.3794	0.3447	0.3160	0.2924
		R ²	0.9951	0.9864	0.9864	0.9891	0.9910	0.9926	0.9937
	思源(2)	a	203.36	246.89	283.66	334.30	373.91	414.52	456.57
		b	-0.24	1.13	2.34	3.96	5.18	6.37	7.58
		c	0.4263	0.3910	0.3820	0.3772	0.3761	0.3760	0.3768
		R ²	0.9947	0.9947	0.9941	0.9921	0.9897	0.9869	0.9836

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域 名	雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
大甲溪	桃 山	a	215.52	290.52	334.33	385.10	420.81	454.85	487.72
		b	8.48	9.27	8.73	7.79	7.12	6.48	5.90
		c	0.4549	0.4471	0.4430	0.4389	0.4366	0.4347	0.4331
		R ²	0.9922	0.9879	0.9878	0.9884	0.9888	0.9891	0.9891
	捫 山	a	192.02	201.96	204.90	206.67	207.16	206.72	205.47
		b	-2.04	-4.47	-5.95	-7.47	-8.32	-8.96	-9.41
		c	0.4214	0.3820	0.3558	0.3236	0.3005	0.2778	0.2551
		R ²	0.9956	0.9941	0.9913	0.9859	0.9806	0.9742	0.9670
	梨 山 (2)	a	152.86	211.31	252.50	306.16	346.92	388.93	431.34
		b	-2.12	-1.58	-1.00	-0.19	0.43	1.09	1.73
		c	0.4196	0.4279	0.4331	0.4391	0.4433	0.4474	0.4512
		R ²	0.9965	0.9974	0.9982	0.9988	0.9990	0.9990	0.9989
	無 明 山	a	175.40	170.58	180.31	199.73	217.82	238.37	261.24
		b	2.17	-2.52	-4.44	-6.05	-6.86	-7.45	-7.89
		c	0.3868	0.3165	0.2956	0.2833	0.2803	0.2805	0.2830
		R ²	0.9972	0.9919	0.9870	0.9807	0.9767	0.9734	0.9710
	新 伯 公	a	1277.49	991.10	872.46	774.55	726.99	694.27	672.48
		b	19.02	10.97	6.26	1.56	-1.09	-3.13	-4.69
		c	0.6773	0.5929	0.5504	0.5081	0.4831	0.4624	0.4451
		R ²	0.9995	0.9991	0.9988	0.9981	0.9975	0.9967	0.9959
	達 見 (3)	a	196.99	263.69	302.10	349.15	384.91	421.61	462.47
		b	0.01	2.73	4.79	7.91	10.65	13.78	17.59
		c	0.4300	0.4214	0.4137	0.4056	0.4012	0.3980	0.3966
		R ²	0.9986	0.9983	0.9972	0.9948	0.9923	0.9892	0.9854
	環 山	a	124.45	162.64	220.72	336.39	456.98	614.09	815.08
		b	-2.52	-1.36	2.62	10.51	17.68	25.68	34.31
		c	0.3755	0.3625	0.3807	0.4147	0.4419	0.4695	0.4966
		R ²	0.9962	0.9919	0.9828	0.9457	0.8988	0.8414	0.7803
大安溪	松 安	a	547.25	484.58	464.47	464.81	474.66	488.11	503.74
		b	20.57	11.99	7.37	3.96	2.42	1.31	0.48
		c	0.5232	0.4475	0.4132	0.3849	0.3705	0.3594	0.3505
		R ²	0.9693	0.9662	0.9757	0.9849	0.9882	0.9888	0.9868
	馬 達 拉	a	463.70	756.02	951.69	1167.22	1270.99	1284.92	1151.70
		b	34.19	54.20	63.18	68.70	67.35	59.39	41.41
		c	0.5057	0.5062	0.5018	0.4906	0.4766	0.4549	0.4183
		R ²	0.9871	0.9721	0.9550	0.9242	0.8963	0.8687	0.8523

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域 名	雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
大安溪	雪 嶺	a	255.92	259.05	261.80	270.84	279.18	287.25	294.55
		b	10.52	0.42	-3.81	-6.78	-8.04	-8.84	-9.34
		c	0.3915	0.3465	0.3227	0.3002	0.2866	0.2742	0.2625
		R ²	0.9843	0.9887	0.9921	0.9922	0.9896	0.9854	0.9804
	雙 崎 (2)	a	953.53	666.50	563.93	492.92	463.30	444.07	431.44
		b	25.19	11.81	4.85	-0.74	-3.30	-5.04	-6.25
		c	0.6094	0.5147	0.4703	0.4306	0.4092	0.3923	0.3786
		R ²	0.9988	0.9978	0.9977	0.9974	0.9969	0.9961	0.9952
中港溪	南 庄 (1)	a	882.09	865.38	851.15	823.82	797.56	766.95	736.27
		b	14.03	9.77	7.54	4.79	2.76	0.75	-1.10
		c	0.6272	0.5698	0.5393	0.5054	0.4823	0.4604	0.4398
		R ²	0.9996	0.9951	0.9876	0.9765	0.9688	0.9629	0.9586
北港溪	大 埔	a	2441.68	1960.32	1553.84	1114.48	873.36	700.55	580.25
		b	29.91	22.51	15.93	7.24	1.56	-2.82	-5.82
		c	0.7823	0.7070	0.6459	0.5643	0.5046	0.4487	0.3980
		R ²	0.9981	0.9997	0.9983	0.9937	0.9903	0.9875	0.9846
	林 內 (1)	a	1996.74	2168.47	2338.37	2570.96	2755.28	2944.46	3131.57
		b	23.58	24.76	26.04	27.69	28.94	30.17	31.30
		c	0.7556	0.7252	0.7143	0.7052	0.7009	0.6977	0.6952
		R ²	0.9997	0.9990	0.9985	0.9976	0.9968	0.9960	0.9951
後龍溪	大 湖 (1)	a	1020.82	756.34	609.58	491.29	434.09	393.18	362.19
		b	27.10	20.01	13.78	7.70	4.38	1.86	-0.13
		c	0.6276	0.5349	0.4797	0.4242	0.3913	0.3640	0.3405
		R ²	0.9895	0.9919	0.9944	0.9946	0.9923	0.9882	0.9823
	* 橫 龍 山	a	455.13	424.67	419.43	417.01	417.11	418.39	419.38
		b	3.29	0.33	-0.69	-1.61	-2.11	-2.49	-2.84
		c	0.4923	0.4263	0.3975	0.3693	0.3525	0.3382	0.3254
		R ²	0.9984	0.9960	0.9916	0.9822	0.9723	0.9601	0.9460
烏溪	六 份 寮	a	1653.79	2058.51	2464.58	3196.70	3965.82	4980.21	6342.78
		b	24.25	33.25	43.01	59.56	75.17	93.45	114.65
		c	0.7331	0.7065	0.7008	0.7041	0.7129	0.7254	0.7414
		R ²	0.9994	0.9995	0.9995	0.9992	0.9987	0.9979	0.9965
	北 山 (2)	a	1072.39	976.61	886.41	800.02	755.18	722.97	698.58
		b	18.49	15.46	12.36	8.82	6.65	4.85	3.30
		c	0.6709	0.5998	0.5548	0.5073	0.4784	0.4540	0.4329
		R ²	0.9942	0.9942	0.9947	0.9954	0.9957	0.9959	0.9959

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域 名	雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
烏溪	北港 (2)	a	882.92	2072.33	4039.27	9096.94	15889.08	26358.10	42288.57
		b	14.57	35.25	56.24	85.02	106.05	125.59	144.19
		c	0.6437	0.7242	0.7975	0.8892	0.9528	1.0106	1.0648
		R ²	0.9981	0.9941	0.9925	0.9916	0.9892	0.9844	0.9770
	草屯 (4)	a	1768.86	1987.48	1985.16	1931.08	1893.17	1859.53	1833.28
		b	25.37	28.66	30.27	32.05	33.54	35.15	36.95
		c	0.7626	0.7238	0.6936	0.6577	0.6348	0.6145	0.5965
		R ²	0.9978	0.9996	0.9999	0.9979	0.9945	0.9895	0.9829
	萬興 (2)	a	1075.08	1579.01	2034.43	2766.25	3435.26	4224.05	5121.25
		b	23.48	29.80	34.86	41.87	47.36	53.02	58.57
		c	0.6942	0.7007	0.7125	0.7312	0.7462	0.7617	0.7766
		R ²	0.9994	0.9982	0.9954	0.9892	0.9832	0.9766	0.9696
	翠巒	a	254.51	338.48	375.27	399.51	403.70	399.23	388.09
		b	6.33	6.03	5.93	5.67	5.34	4.92	4.38
		c	0.4797	0.4738	0.4552	0.4210	0.3899	0.3558	0.3190
		R ²	0.9992	0.9994	0.9992	0.9978	0.9943	0.9860	0.9675
	頭汴	a	1001.59	1120.70	1145.52	1139.09	1115.24	1080.65	1043.15
		b	20.00	16.96	14.08	10.12	7.12	4.23	1.59
		c	0.6915	0.6598	0.6388	0.6127	0.5936	0.5746	0.5563
		R ²	0.9995	0.9995	0.9995	0.9978	0.9954	0.9927	0.9903
	頭汴坑	a	1013.59	951.89	1345.76	3751.40	14491.55	78269.70	531912.88
		b	15.98	13.63	21.47	58.02	125.59	221.90	333.48
		c	0.6523	0.5778	0.5820	0.6679	0.8090	0.9910	1.1996
		R ²	0.9975	0.9932	0.9933	0.9956	0.9966	0.9684	0.8600
新虎尾溪	褒忠 (2)	a	630.32	1381.47	2437.12	4831.10	7604.67	11357.61	16227.07
		b	11.73	28.48	44.48	66.68	82.45	96.72	109.45
		c	0.6176	0.6846	0.7415	0.8132	0.8610	0.9032	0.9405
		R ²	0.9965	0.9971	0.9979	0.9987	0.9984	0.9968	0.9937
濁水溪	丹大	a	352.10	554.82	833.94	1359.14	1854.09	2416.44	3033.32
		b	9.54	16.46	25.08	36.33	43.12	48.30	52.09
		c	0.5203	0.5285	0.5613	0.6059	0.6350	0.6599	0.6810
		R ²	0.9829	0.9745	0.9706	0.9703	0.9724	0.9750	0.9773
	卡奈托灣 (2)	a	474.64	371.55	309.00	261.28	240.62	227.32	217.93
		b	25.61	13.78	5.93	-0.57	-3.47	-5.36	-6.67
		c	0.5659	0.4718	0.4147	0.3587	0.3269	0.3014	0.2799
		R ²	0.9626	0.9588	0.9601	0.9622	0.9625	0.9614	0.9597

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域 名	雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
濁水溪	西螺 (2)	a	1881.24	1579.80	1383.12	1193.43	1088.75	1008.61	945.34
		b	26.99	19.41	14.97	10.45	7.76	5.58	3.76
		c	0.7682	0.7004	0.6578	0.6112	0.5818	0.5563	0.5340
		R ²	0.9997	0.9995	0.9989	0.9970	0.9947	0.9918	0.9884
	西巒	a	496.29	585.21	717.42	984.60	1314.37	1834.78	2662.26
		b	9.39	13.47	19.48	31.45	45.32	64.55	89.58
		c	0.5405	0.5007	0.4989	0.5124	0.5334	0.5626	0.5983
		R ²	0.9932	0.9869	0.9794	0.9644	0.9491	0.9321	0.9152
	青雲	a	1293.50	1193.48	1124.90	1059.12	1024.46	998.70	984.20
		b	21.88	22.88	23.97	25.80	27.51	29.49	31.93
		c	0.7147	0.6481	0.6095	0.5690	0.5441	0.5226	0.5045
		R ²	0.9991	0.9993	0.9983	0.9948	0.9904	0.9842	0.9761
	後安寮	a	877.86	2324.62	5394.15	18744.14	53159.63	168373.16	607917.19
		b	16.46	38.35	64.17	110.65	155.20	209.30	274.15
		c	0.6889	0.7695	0.8492	0.9737	1.0809	1.2017	1.3383
		R ²	0.9983	0.9945	0.9959	0.9971	0.9883	0.9659	0.9292
	草嶺 (2)	a	1104.01	1070.84	1050.13	1062.66	1109.39	1201.64	1362.09
		b	38.12	50.85	58.69	70.74	82.97	99.91	124.24
		c	0.6073	0.5396	0.5047	0.4734	0.4587	0.4515	0.4521
		R ²	0.9925	0.9744	0.9611	0.9427	0.9274	0.9106	0.8921
	*郡大	a	199.73	264.80	335.92	471.34	623.07	847.16	1207.69
		b	-2.43	-2.06	-1.05	1.09	3.49	6.89	12.06
		c	0.4488	0.4375	0.4433	0.4607	0.4800	0.5050	0.5380
		R ²	0.9964	0.9971	0.9972	0.9917	0.9798	0.9578	0.9224
	望鄉	a	515.70	520.06	496.57	472.00	458.86	449.28	442.50
		b	10.66	9.14	7.12	4.85	3.44	2.25	1.23
		c	0.5443	0.4786	0.4373	0.3944	0.3683	0.3461	0.3269
		R ²	0.9940	0.9898	0.9889	0.9882	0.9878	0.9873	0.9868
	桶頭 (2)	a	3163.86	2630.12	2306.37	1982.76	1784.23	1621.39	1486.31
		b	43.65	45.87	45.06	42.84	40.43	37.83	35.15
		c	0.7856	0.7048	0.6587	0.6092	0.5768	0.5480	0.5221
		R ²	0.9986	0.9963	0.9943	0.9906	0.9872	0.9829	0.9779
	集集	a	1527.46	1489.78	1552.11	1664.51	1770.96	1889.57	2031.34
		b	18.10	18.20	20.01	23.05	25.82	28.85	32.41
		c	0.7122	0.6525	0.6290	0.6084	0.5980	0.5903	0.5854
		R ²	0.9991	0.9985	0.9963	0.9903	0.9835	0.9750	0.9646

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域 名	雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
濁水溪	雲海	a	304.71	428.47	588.86	1047.21	1793.31	2995.25	4725.40
		b	14.29	30.46	52.01	104.52	165.54	232.32	297.65
		c	0.4334	0.4335	0.4553	0.5107	0.5679	0.6222	0.6697
		R ²	0.9844	0.9531	0.9279	0.8946	0.8750	0.8636	0.8581
	奧萬大	a	397.91	544.38	656.38	816.01	950.11	1102.74	1277.21
		b	14.07	17.53	18.53	18.87	18.77	18.63	18.48
		c	0.5152	0.5168	0.5221	0.5314	0.5395	0.5488	0.5592
		R ²	0.9861	0.9831	0.9857	0.9898	0.9914	0.9908	0.9877
	翠峰	a	334.00	381.72	395.94	407.18	412.59	416.65	420.34
		b	11.07	11.77	11.24	10.38	9.70	9.04	8.45
		c	0.4872	0.4719	0.4591	0.4441	0.4339	0.4246	0.4161
		R ²	0.9982	0.9989	0.9980	0.9950	0.9917	0.9876	0.9830
	靜觀	a	489.32	598.58	582.48	533.92	495.78	461.34	430.07
		b	24.49	32.49	32.20	29.53	27.03	24.53	22.03
		c	0.5454	0.5228	0.4947	0.4582	0.4328	0.4098	0.3884
		R ²	0.9829	0.9766	0.9764	0.9770	0.9774	0.9776	0.9775
	龍神橋	a	1470.54	1314.29	1169.09	985.27	870.44	787.38	741.82
		b	30.59	26.40	19.64	9.59	2.86	-2.12	-5.22
		c	0.7122	0.6462	0.6037	0.5518	0.5160	0.4851	0.4612
		R ²	0.9994	0.9953	0.9881	0.9778	0.9748	0.9771	0.9809
	關門	a	327.75	427.39	529.60	697.42	849.79	1026.51	1224.44
		b	12.89	10.04	9.51	9.44	9.50	9.57	9.48
		c	0.4427	0.4285	0.4389	0.4611	0.4804	0.5007	0.5207
		R ²	0.9769	0.9823	0.9861	0.9860	0.9818	0.9741	0.9630
	櫻社	a	281.77	428.22	584.52	879.42	1196.37	1622.88	2194.25
		b	5.34	9.26	12.72	17.63	21.46	25.25	28.88
		c	0.4672	0.4869	0.5111	0.5484	0.5789	0.6104	0.6424
		R ²	0.9887	0.9888	0.9916	0.9954	0.9972	0.9970	0.9943

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-3 台灣南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

流域名	雨量站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
二仁溪	木柵	a	912.12	992.34	1078.16	1205.71	1312.86	1433.32	1572.64
		b	9.96	8.61	8.99	10.15	11.38	12.94	14.91
		c	0.6135	0.5841	0.5751	0.5696	0.5684	0.5691	0.5718
		R ²	0.9973	0.9995	0.9984	0.9931	0.9863	0.9775	0.9669
八掌溪	大湖山	a	1109.78	790.84	668.61	575.15	530.32	496.42	465.77
		b	11.60	2.39	-2.20	-5.99	-7.72	-8.81	-9.47
		c	0.6095	0.4972	0.4371	0.3749	0.3358	0.3008	0.2673
		R ²	0.9984	0.9972	0.9956	0.9908	0.9850	0.9778	0.9694
	小公田(2)	a	874.89	795.06	739.27	671.53	628.44	596.44	575.41
		b	20.41	16.27	11.60	5.03	0.60	-2.86	-5.33
		c	0.5652	0.5012	0.4644	0.4223	0.3941	0.3696	0.3487
		R ²	0.9973	0.9965	0.9933	0.9877	0.9846	0.9832	0.9831
朴子溪	沙坑	a	1606.73	1654.00	1748.33	1906.72	2043.12	2193.76	2345.73
		b	20.65	19.48	20.10	21.71	23.26	25.03	26.77
		c	0.7178	0.6762	0.6583	0.6416	0.6318	0.6236	0.6158
		R ²	0.9977	0.9973	0.9970	0.9937	0.9874	0.9765	0.9594
	樟腦寮(2)	a	1351.41	1098.80	1025.70	977.95	960.74	953.76	953.76
		b	21.61	17.25	15.21	13.05	11.60	10.24	8.93
		c	0.6463	0.5596	0.5183	0.4766	0.4509	0.4284	0.4085
		R ²	0.9989	0.9983	0.9971	0.9943	0.9910	0.9863	0.9799
林邊溪	南和	a	864.70	1068.83	1178.60	1306.51	1409.90	1532.97	1721.22
		b	18.10	20.94	22.47	24.45	26.40	29.13	34.08
		c	0.5864	0.5661	0.5539	0.5412	0.5348	0.5316	0.5343
		R ²	0.9995	0.9968	0.9883	0.9702	0.9521	0.9304	0.9032
	泰武(2)	a	709.17	829.04	956.37	1170.59	1378.98	1648.96	2005.61
		b	15.84	20.61	25.55	33.73	41.49	51.10	62.95
		c	0.4699	0.4485	0.4487	0.4575	0.4685	0.4831	0.5010
		R ²	0.9948	0.9907	0.9862	0.9785	0.9714	0.9632	0.9541
	新來義	a	844.18	873.91	869.57	854.49	842.86	833.01	824.91
		b	19.30	18.48	16.05	12.50	10.00	7.79	5.85
		c	0.5313	0.4991	0.4817	0.4629	0.4512	0.4411	0.4322
		R ²	0.9978	0.9948	0.9935	0.9925	0.9921	0.9919	0.9918
阿公店溪	竹子腳	a	1033.36	1181.81	1389.42	1749.45	2089.61	2507.40	3019.37
		b	16.05	16.47	18.58	22.41	25.89	29.95	34.61
		c	0.6518	0.6224	0.6191	0.6239	0.6313	0.6414	0.6534
		R ²	0.9996	0.9995	0.9988	0.9960	0.9924	0.9875	0.9817

表附-3 台灣南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
阿公店溪	阿蓮(2)	a	901.38	1137.66	1331.50	1594.75	1799.67	2007.76	2212.16
		b	14.80	16.59	18.37	20.62	22.17	23.61	24.81
		c	0.6268	0.6142	0.6126	0.6132	0.6145	0.6160	0.6172
		R ²	0.9969	0.9970	0.9966	0.9954	0.9942	0.9927	0.9911
急水溪	六溪	a	1702.11	2090.95	2209.51	2209.84	2116.24	1953.04	1746.52
		b	22.14	23.83	22.74	19.27	15.31	10.32	4.75
		c	0.7209	0.7033	0.6810	0.6440	0.6111	0.5734	0.5314
		R ²	0.9935	0.9977	0.9997	0.9945	0.9842	0.9716	0.9616
	關子嶺(2)	a	1623.51	1458.78	1369.83	1289.63	1247.38	1219.96	1202.22
		b	22.51	17.59	14.00	9.98	7.45	5.37	3.63
		c	0.6815	0.6217	0.5891	0.5555	0.5349	0.5177	0.5029
		R ²	0.9970	0.9978	0.9980	0.9977	0.9973	0.9968	0.9962
高屏溪	三地門	a	707.35	932.72	1218.57	1824.65	2533.40	3536.38	4929.20
		b	10.70	14.25	19.34	28.84	37.57	46.85	56.13
		c	0.5423	0.5357	0.5503	0.5829	0.6134	0.6462	0.6799
		R ²	0.9985	0.9983	0.9959	0.9896	0.9828	0.9739	0.9620
	天池	a	227.46	216.91	209.04	201.98	198.16	195.00	192.26
		b	6.65	0.34	-2.78	-5.33	-6.57	-7.45	-8.09
		c	0.3791	0.3433	0.3245	0.3063	0.2955	0.2862	0.2781
		R ²	0.9939	0.9954	0.9946	0.9920	0.9894	0.9866	0.9836
	民族	a	539.36	624.05	681.21	751.84	802.02	849.87	895.60
		b	10.16	14.77	17.23	19.74	21.21	22.40	23.34
		c	0.5084	0.4828	0.4720	0.4621	0.4564	0.4515	0.4472
		R ²	0.9992	0.9995	0.9988	0.9972	0.9957	0.9939	0.9918
	甲仙(2)	a	665.81	858.12	1032.52	1305.77	1552.73	1841.21	2177.93
		b	2.30	0.17	-0.56	-1.12	-1.37	-1.52	-1.61
		c	0.5467	0.5417	0.5475	0.5598	0.5712	0.5837	0.5971
		R ²	0.9978	0.9919	0.9860	0.9770	0.9693	0.9611	0.9523
	阿禮	a	458.35	698.63	963.05	1474.16	2027.86	2759.70	3709.51
		b	10.78	23.55	34.42	49.75	61.35	72.11	81.66
		c	0.4270	0.4434	0.4683	0.5080	0.5404	0.5730	0.6052
		R ²	0.9977	0.9931	0.9873	0.9764	0.9660	0.9539	0.9402
	屏東(5)	a	674.82	970.09	1469.48	2711.05	4282.17	6635.10	10090.63
		b	10.57	19.51	31.23	49.88	63.28	74.81	84.43
		c	0.5741	0.5770	0.6125	0.6753	0.7249	0.7737	0.8213
		R ²	0.9977	0.9973	0.9967	0.9935	0.9830	0.9583	0.9154

表附-3 台灣南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
高屏溪	美濃(2)	a	826.54	878.09	938.94	1030.37	1102.13	1175.76	1250.62
		b	8.87	9.37	10.75	13.05	14.92	16.86	18.83
		c	0.5878	0.5557	0.5452	0.5380	0.5348	0.5327	0.5315
		R ²	0.9997	0.9997	0.9995	0.9984	0.9966	0.9939	0.9900
	*梅山(2)	a	279.21	313.11	341.35	382.51	418.08	458.91	508.00
		b	4.25	6.18	8.33	11.93	15.41	19.68	25.09
		c	0.4204	0.3889	0.3768	0.3678	0.3646	0.3639	0.3658
		R ²	0.9989	0.9975	0.9953	0.9906	0.9856	0.9794	0.9720
	新瑪家	a	555.19	869.66	1487.32	3359.27	6327.67	11737.21	21529.29
		b	10.43	27.65	56.73	113.50	164.49	217.94	272.95
		c	0.4522	0.4641	0.5134	0.5984	0.6670	0.7345	0.8012
		R ²	0.9927	0.9851	0.9824	0.9865	0.9907	0.9924	0.9902
	新豐	a	861.23	979.76	1061.87	1167.40	1246.42	1325.32	1404.71
		b	12.04	10.37	8.93	7.31	6.29	5.42	4.68
		c	0.5901	0.5663	0.5585	0.5531	0.5509	0.5497	0.5492
		R ²	0.9966	0.9972	0.9985	0.9995	0.9996	0.9991	0.9982
	萬山	a	689.80	779.49	835.20	898.81	941.84	980.85	1016.77
		b	12.16	10.96	10.38	9.73	9.28	8.84	8.40
		c	0.5342	0.5114	0.5023	0.4938	0.4889	0.4845	0.4807
		R ²	0.9994	0.9986	0.9977	0.9960	0.9945	0.9929	0.9913
	旗山(4)	a	918.59	850.87	808.62	772.48	756.13	744.95	738.64
		b	13.29	9.95	8.07	6.32	5.37	4.61	4.02
		c	0.6277	0.5737	0.5434	0.5126	0.4942	0.4786	0.4653
		R ²	0.9984	0.9967	0.9957	0.9944	0.9934	0.9922	0.9910
曾文溪 鹽水溪	西阿里關	a	814.07	874.02	879.16	885.39	900.59	926.92	964.22
		b	19.17	16.37	11.91	6.45	3.21	0.71	-1.20
		c	0.5509	0.5149	0.4936	0.4721	0.4606	0.4527	0.4477
		R ²	0.9970	0.9942	0.9945	0.9960	0.9972	0.9980	0.9984
	崎頂	a	879.13	820.56	820.87	835.23	849.75	866.13	882.36
		b	11.92	8.43	7.30	6.37	5.85	5.42	5.03
		c	0.6200	0.5690	0.5482	0.5291	0.5179	0.5086	0.5004
		R ²	0.9980	0.9985	0.9989	0.9989	0.9985	0.9978	0.9967

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-4 台灣東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

流域名	雨量站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
大武溪	紹家	a	485.37	576.42	638.32	723.32	793.45	870.28	954.91
		b	6.91	5.81	4.76	3.44	2.55	1.75	1.03
		c	0.5331	0.5013	0.4821	0.4604	0.4461	0.4331	0.4213
		R ²	0.9981	0.9984	0.9981	0.9951	0.9897	0.9813	0.9694
立霧溪	合歡聖口	a	149.71	229.91	320.25	492.82	675.82	916.84	1226.96
		b	-1.60	-1.07	0.73	4.00	6.83	9.76	12.62
		c	0.3848	0.4019	0.4270	0.4652	0.4954	0.5255	0.5548
		R ²	0.9964	0.9978	0.9990	0.9995	0.9987	0.9964	0.9924
	洛韶	a	267.04	576.83	987.80	1927.79	3134.95	5043.64	8028.23
		b	4.88	29.80	57.58	102.32	140.94	182.98	227.53
		c	0.4157	0.4519	0.4936	0.5526	0.5984	0.6447	0.6910
		R ²	0.9909	0.9746	0.9727	0.9738	0.9734	0.9711	0.9667
	溪畔(2)	a	619.79	658.90	587.80	453.60	408.00	391.72	386.99
		b	31.57	34.29	22.63	3.02	-3.66	-6.50	-7.91
		c	0.5029	0.4422	0.3951	0.3272	0.2925	0.2700	0.2537
		R ²	0.9962	0.9704	0.9424	0.9374	0.9440	0.9480	0.9506
	綠水	a	507.38	1056.12	1948.80	5444.98	13965.80	40125.55	127239.15
		b	26.03	61.65	109.80	219.52	341.73	494.89	675.57
		c	0.4439	0.4761	0.5278	0.6321	0.7336	0.8491	0.9757
		R ²	0.9895	0.9690	0.9494	0.9247	0.9109	0.9014	0.8952
秀姑巒溪	立山	a	287.85	418.47	587.60	918.26	1256.48	1678.21	2186.37
		b	3.87	9.31	18.40	34.07	46.87	59.60	71.81
		c	0.4277	0.4354	0.4622	0.5035	0.5340	0.5627	0.5890
		R ²	0.9911	0.9931	0.9958	0.9982	0.9963	0.9894	0.9768
	卓麓(4)	a	406.50	634.06	954.54	2316.18	6856.51	27257.86	149559.89
		b	8.04	14.87	28.68	77.82	161.95	291.70	472.69
		c	0.4832	0.4987	0.5312	0.6260	0.7524	0.9139	1.1121
		R ²	0.9966	0.9947	0.9866	0.9656	0.9526	0.9511	0.9539
	苗圃	a	498.24	464.39	420.03	383.23	366.60	355.86	348.49
		b	23.30	12.01	4.98	-0.77	-3.45	-5.27	-6.56
		c	0.4826	0.4188	0.3755	0.3317	0.3060	0.2847	0.2666
		R ²	0.9977	0.9954	0.9944	0.9920	0.9895	0.9864	0.9829
卑南溪	上里	a	716.05	762.59	762.74	748.62	735.76	721.84	706.86
		b	31.93	29.63	27.57	24.90	23.13	21.51	19.97
		c	0.5399	0.5137	0.4996	0.4840	0.4743	0.4655	0.4574
		R ²	0.9897	0.9880	0.9872	0.9864	0.9856	0.9848	0.9840

表附-4 台灣東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域 名	雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
卑南溪	向陽 (2)	a	233.82	290.31	334.68	394.72	441.08	488.23	535.75
		b	6.19	7.70	9.19	11.15	12.55	13.87	15.08
		c	0.3983	0.3924	0.3944	0.3991	0.4032	0.4073	0.4113
		R ²	0.9939	0.9938	0.9935	0.9904	0.9860	0.9798	0.9722
	武陵	a	548.51	573.92	544.83	510.50	490.70	475.11	463.26
		b	25.72	19.59	15.21	10.93	8.54	6.63	5.10
		c	0.5399	0.4960	0.4615	0.4236	0.3998	0.3792	0.3613
		R ²	0.9916	0.9930	0.9955	0.9973	0.9974	0.9967	0.9953
	鹿鳴橋	a	433.56	568.40	603.99	610.94	604.67	598.70	597.40
		b	14.52	16.00	11.63	5.12	1.06	-1.93	-3.99
		c	0.4944	0.4932	0.4847	0.4696	0.4578	0.4473	0.4390
		R ²	0.9956	0.9969	0.9918	0.9823	0.9780	0.9766	0.9766
	新武 (3)	a	357.93	398.52	433.87	485.55	527.86	573.17	621.40
		b	13.85	6.29	2.69	-0.64	-2.48	-3.91	-5.04
		c	0.4695	0.4382	0.4275	0.4202	0.4176	0.4166	0.4166
		R ²	0.9969	0.9984	0.9984	0.9962	0.9931	0.9890	0.9841
	霧鹿	a	238.78	290.29	311.97	331.51	342.44	351.07	358.86
		b	5.79	2.75	1.00	-0.90	-2.09	-3.14	-4.02
		c	0.4354	0.4150	0.4004	0.3828	0.3705	0.3589	0.3482
		R ²	0.9978	0.9981	0.9972	0.9953	0.9934	0.9914	0.9890
和平溪	太平山	a	326.63	366.88	397.66	434.22	460.75	486.56	512.61
		b	6.43	6.77	5.69	3.76	2.39	1.16	0.13
		c	0.3773	0.3453	0.3379	0.3335	0.3324	0.3323	0.3331
		R ²	0.9968	0.9869	0.9816	0.9776	0.9759	0.9751	0.9746
知本溪	知本 (5)	a	423.02	696.42	1049.38	1844.19	2866.81	4450.14	6916.29
		b	10.06	16.27	24.97	40.35	54.51	69.98	86.53
		c	0.5005	0.5389	0.5819	0.6463	0.6988	0.7519	0.8057
		R ²	0.9942	0.9968	0.9975	0.9971	0.9964	0.9956	0.9948
花蓮溪	水簾	a	354.92	616.28	911.83	1506.70	2189.57	3184.47	4625.77
		b	9.05	30.59	54.19	93.64	128.94	168.78	212.39
		c	0.4288	0.4437	0.4703	0.5119	0.5458	0.5815	0.6182
		R ²	0.9908	0.9784	0.9740	0.9731	0.9744	0.9761	0.9776
	西林	a	733.06	929.12	969.34	956.41	935.61	920.79	918.63
		b	36.95	35.41	27.91	16.81	9.80	4.48	0.71
		c	0.5407	0.5251	0.5111	0.4915	0.4783	0.4679	0.4607
		R ²	0.9959	0.9960	0.9933	0.9879	0.9841	0.9813	0.9794

表附-4 台灣東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域 名	雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
花蓮溪	奇萊	a	259.50	356.47	441.20	591.38	768.34	1068.46	1641.26
		b	2.58	5.67	10.04	19.74	32.57	54.19	90.26
		c	0.3902	0.3714	0.3725	0.3853	0.4046	0.4352	0.4802
		R ²	0.9989	0.9946	0.9872	0.9719	0.9562	0.9376	0.9180
	清水 (1)	a	488.76	730.10	918.05	1161.99	1342.01	1508.32	1665.38
		b	14.66	23.73	30.46	37.98	42.76	46.47	49.46
		c	0.4857	0.4821	0.4879	0.4954	0.5003	0.5036	0.5060
		R ²	0.9701	0.9640	0.9646	0.9683	0.9718	0.9755	0.9788

註 1：R 為相關係數。

註 2：一般雨量站以最小化為 $\left(\frac{I-\hat{I}}{I}\right)^2$ 目標函數；標示「*」者，則以最小化 $(I-\hat{I})^2$ 為目標函數； I 為頻率分析之降雨強度， $\hat{I}$ 為 Horner 公式推求之降雨強度。

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-5 氣象局北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
台北	a	1134.01	1774.89	2349.18	3197.17	3894.28	4635.31	5406.00
	b	22.85	36.01	45.19	55.42	61.88	67.47	72.26
	c	0.6959	0.7098	0.7229	0.7385	0.7487	0.7576	0.7653
	R ²	0.9993	0.9992	0.9994	0.9993	0.9987	0.9976	0.9962
竹子湖	a	1667.27	738.14	407.44	286.17	257.35	244.08	237.33
	b	211.75	109.96	25.80	-21.61	-36.08	-44.10	-49.08
	c	0.6322	0.4722	0.3661	0.2901	0.2582	0.2358	0.2185
	R ²	0.9829	0.9736	0.9786	0.9834	0.9807	0.9741	0.9647
宜蘭	a	956.14	1403.44	1646.57	1864.54	1979.22	2055.10	2103.84
	b	50.29	64.46	69.32	71.23	70.89	69.32	66.95
	c	0.6358	0.6404	0.6352	0.6217	0.6092	0.5953	0.5805
	R ²	0.9997	0.9999	0.9998	0.9989	0.9972	0.9946	0.9906
基隆	a	890.15	1011.37	1032.55	1010.61	973.98	925.63	868.20
	b	25.89	20.15	17.91	15.55	13.99	12.39	10.53
	c	0.6435	0.6180	0.5956	0.5633	0.5381	0.5121	0.4851
	R ²	0.9995	0.9991	0.9989	0.9983	0.9973	0.9956	0.9930
淡水	a	1092.22	1322.10	1449.51	1612.94	1739.51	1877.43	2031.83
	b	59.05	50.48	42.78	33.56	27.34	21.87	17.12
	c	0.6792	0.6581	0.6456	0.6329	0.6253	0.6195	0.6153
	R ²	0.9986	0.9994	0.9994	0.9978	0.9953	0.9918	0.9872
新竹	a	1532.22	2289.58	2901.00	3785.50	4512.25	5280.70	6104.41
	b	59.09	71.32	79.67	89.81	96.85	103.32	109.42
	c	0.7303	0.7375	0.7448	0.7549	0.7622	0.7690	0.7756
	R ²	0.9980	0.9996	0.9997	0.9984	0.9968	0.9947	0.9924
鞍部	a	1149.92	476.25	334.41	266.52	243.85	230.42	221.60
	b	119.15	23.95	-14.58	-37.72	-46.21	-51.25	-54.39
	c	0.5928	0.4242	0.3514	0.2950	0.2673	0.2461	0.2288
	R ²	0.9948	0.9940	0.9942	0.9923	0.9893	0.9854	0.9811
彭佳嶼	a	1252.66	2071.38	3064.72	5254.61	8117.61	12882.24	21333.04
	b	52.96	62.70	74.35	93.84	111.93	133.03	158.26
	c	0.7149	0.7284	0.7514	0.7907	0.8269	0.8682	0.9162
	R ²	0.9998	0.9992	0.9982	0.9960	0.9935	0.9903	0.9863

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-6 氣象局中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
日月潭	a	1450.57	3323.26	8571.08	42317.58	170171.38	772701.07	4005127.07
	b	45.11	133.22	249.01	472.82	687.31	933.98	1212.28
	c	0.6941	0.7401	0.8292	0.9945	1.1421	1.3030	1.4779
	R ²	0.9997	0.9901	0.9798	0.9701	0.9667	0.9655	0.9651
台中	a	1242.02	1552.27	2045.83	3267.72	5118.64	8824.96	17328.61
	b	37.58	45.20	58.12	84.44	113.95	154.25	210.05
	c	0.6974	0.6701	0.6741	0.6989	0.7326	0.7801	0.8448
	R ²	0.9995	0.9989	0.9980	0.9958	0.9928	0.9886	0.9826

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-7 氣象局東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
大武	a	994.86	1481.26	1778.34	2139.82	2389.36	2634.07	2878.33
	b	55.14	70.32	77.61	85.28	89.88	94.07	97.97
	c	0.6332	0.6413	0.6421	0.6423	0.6415	0.6409	0.6404
	R ²	0.9996	0.9983	0.9971	0.9954	0.9941	0.9929	0.9916
台東	a	615.96	745.73	907.28	1174.03	1412.89	1687.04	1996.99
	b	33.80	29.06	32.97	40.66	47.19	54.04	61.01
	c	0.5667	0.5506	0.5547	0.5657	0.5756	0.5861	0.5966
	R ²	0.9988	0.9991	0.9989	0.9984	0.9977	0.9969	0.9960
成功	a	620.03	767.71	912.25	1135.54	1332.12	1548.05	1791.06
	b	9.02	12.36	19.14	29.84	38.78	47.89	57.37
	c	0.5526	0.5421	0.5455	0.5544	0.5629	0.5717	0.5810
	R ²	0.9987	0.9984	0.9982	0.9974	0.9962	0.9944	0.9923
花蓮	a	673.16	1043.65	1528.06	2561.86	3813.22	5712.50	8625.84
	b	27.49	39.38	56.12	82.66	105.17	129.49	155.50
	c	0.5713	0.5882	0.6182	0.6651	0.7038	0.7447	0.7875
	R ²	0.9996	0.9996	0.9994	0.9983	0.9964	0.9936	0.9899
蘭嶼	a	1337.33	1613.83	1762.32	1941.23	2078.15	2217.26	2375.24
	b	45.14	52.57	58.07	65.69	71.81	78.17	85.25
	c	0.7079	0.6892	0.6774	0.6654	0.6586	0.6531	0.6495
	R ²	0.9989	0.9998	0.9997	0.9981	0.9958	0.9926	0.9888

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-8 氣象局南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

雨量 站名	重現期 參數	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
台南	a	1439.21	1455.01	1376.34	1268.75	1197.45	1135.26	1078.93
	b	48.68	43.27	35.76	25.80	18.85	12.46	6.50
	c	0.6920	0.6462	0.6156	0.5811	0.5587	0.5387	0.5204
	R ²	0.9996	0.9998	0.9994	0.9985	0.9976	0.9967	0.9957
玉山	a	1129.98	1578.41	1162.93	887.35	835.04	846.56	896.33
	b	277.32	247.63	134.35	41.32	6.38	-12.98	-24.22
	c	0.6157	0.6340	0.5843	0.5364	0.5195	0.5130	0.5130
	R ²	0.9803	0.9978	0.9980	0.9978	0.9978	0.9981	0.9984
阿里山	a	10766.93	27731.43	21389.03	8355.32	3480.17	1510.06	773.44
	b	526.71	744.62	733.19	580.13	412.36	243.00	108.01
	c	0.8298	0.8910	0.8319	0.6889	0.5626	0.4410	0.3394
	R ²	0.9883	0.9865	0.9835	0.9780	0.9739	0.9718	0.9737
恆春	a	1125.08	1959.25	2770.41	4143.36	5427.92	6963.51	8794.83
	b	50.18	71.64	86.74	105.30	118.06	130.02	141.36
	c	0.6455	0.6843	0.7144	0.7520	0.7783	0.8030	0.8265
	R ²	0.9992	0.9991	0.9984	0.9969	0.9956	0.9941	0.9926
高雄	a	1146.53	2537.17	5125.96	14373.33	33503.01	83373.79	220661.11
	b	52.59	99.64	144.69	213.88	271.80	334.31	400.55
	c	0.6661	0.7189	0.7840	0.8891	0.9795	1.0793	1.1876
	R ²	0.9990	0.9992	0.9986	0.9948	0.9887	0.9797	0.9677
東吉島	a	1167.13	2398.65	3748.84	6249.26	8801.41	12105.80	16359.01
	b	50.68	70.46	74.50	71.88	66.32	59.32	51.68
	c	0.7359	0.7851	0.8210	0.8649	0.8954	0.9246	0.9529
	R ²	0.9997	0.9983	0.9964	0.9942	0.9932	0.9926	0.9925
澎湖	a	536.95	1461.92	3782.81	13564.31	35991.29	97785.88	270348.19
	b	18.70	53.77	79.36	101.08	110.90	117.81	122.73
	c	0.6237	0.7111	0.8167	0.9664	1.0846	1.2081	1.3355
	R ²	0.9978	0.9955	0.9975	0.9995	0.9963	0.9875	0.9725

註：R 為相關係數。

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

附錄三、無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 等係數與平均雨量表

表附-9 離島各雨量站 A、B、C、G、H 係數表

測站	站號	A	B	C	G	H
澎佳嶼	--	41.24459	55	0.76884	0.45652	0.37764
澎湖	--	67.43539	55	0.87459	0.43048	0.39567
蘭嶼	--	23.88976	55	0.65632	0.54268	0.31782
東吉島	--	46.77038	55	0.82291	0.45675	0.37746

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-10 北部地區各雨量站 A、B、C、G、H 係數表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
基隆	012001	22.32395	55	0.65509	0.55394	0.30996	3301.3
鞍部	030005	9.85432	55	0.50718	0.55906	0.30647	4459.3
福山(2)	030037	13.88876	55	0.53952	0.52893	0.32755	2976.9
孝義(1)	030038	17.95987	55	0.59706	0.63588	0.25322	3558.8
龜山	030042	29.73367	55	0.70359	0.66837	0.23070	3234.9
乾溝(1)	030050	21.54449	55	0.63497	0.60264	0.27630	2841.6
粗坑	030055	45.61652	55	0.81544	0.59061	0.28463	2757.6
台北	030065	36.86933	55	0.75934	0.53313	0.32442	2126.2
火燒寮	030069	18.66015	55	0.59330	0.58439	0.28887	5547.5
竹子湖	030080	10.17801	55	0.49434	0.54251	0.31795	4761.3
淡水	030083	24.62938	55	0.68187	0.53402	0.32378	2011.6
桶後	030121	19.02911	55	0.59839	0.62949	0.25762	3845.8
南山	100002	13.45068	55	0.55261	0.49857	0.34850	2195.4
梵梵(2)	100012	10.79076	55	0.48751	0.48099	0.36078	3016.5
圓山進水口	100013	12.88224	55	0.54525	0.54395	0.31716	3297.0
天埤	100018	10.03551	55	0.47346	0.54376	0.31728	3362.3
宜蘭	100026	18.93080	55	0.61162	0.50141	0.34648	2729.0
新寮	120003	11.19436	55	0.49043	0.49507	0.35098	4192.2
冬山	120004	17.08174	55	0.58006	0.50703	0.34265	3594.2
新竹	130012	28.51528	55	0.69696	0.52670	0.32891	1763.5
大元山	180001	12.59072	55	0.52193	0.48741	0.35694	4968.0
山腳	180002	7.61074	55	0.41063	0.59074	0.28460	5552.0
新北城	--	23.15892	55	0.66036	0.52986	0.32677	***

表附-11 中部地區各雨量站A、B、C、G、H係數表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
環山	250002	8.91790	55	0.49562	0.51791	0.33524	2172.5
梨山(2)	250004	19.83246	55	0.60886	0.57620	0.29462	2196.9
達見(3)	250006	15.04943	55	0.55921	0.54762	0.31450	2462.6
青山(3)	250007	14.59370	55	0.55016	0.50476	0.34432	2628.2
谷關	250009	13.81604	55	0.52045	0.53656	0.32227	2624.4
八仙新山	250011	13.85284	55	0.52709	0.56451	0.30264	2674.5
天輪	250017	14.70180	55	0.54040	0.48611	0.35743	2429.9
新伯公	250020	21.47802	55	0.63991	0.58446	0.28719	2315.6
大南	250022	13.44786	55	0.53240	0.63553	0.25352	2286.6
思源(2)	250040	13.70636	55	0.52242	0.50235	0.35694	2263.0
佳陽山	250061	16.88423	55	0.56236	0.52085	0.33315	2575.4
台中	270042	25.20544	55	0.67379	0.46230	0.37368	1728.8
靜觀	290005	15.31955	55	0.56622	0.57215	0.29750	2157.2
天池(2)	290006	13.68458	55	0.49276	0.59452	0.28188	4341.4
雲海(2)	290007	10.10490	55	0.46724	0.53649	0.32233	3160.6
廬山	290010	20.08373	55	0.61455	0.60699	0.27333	2307.1
萬大	290014	29.11286	55	0.68070	0.49629	0.35024	2161.5
奧萬大	290017	26.25378	55	0.65873	0.56938	0.29899	2323.3
武界	290019	24.40627	55	0.64431	0.57024	0.29887	2449.5
青雲(2)	290026	26.87536	55	0.68801	0.58218	0.29056	1831.1
玉山	290029	10.79076	55	0.46930	0.62179	0.26279	2743.8
水社	290039	25.87844	55	0.67626	0.50850	0.34177	2064.5
日月潭	290040	20.55841	55	0.61944	0.52178	0.33239	2310.5
大觀	290042	16.18605	55	0.53997	0.45655	0.37798	4581.2
鉅工	290043	28.43697	55	0.66529	0.56718	0.30092	2163.8
集集	290046	26.60795	55	0.69219	0.58603	0.28783	2366.0
阿里山	290055	13.21153	55	0.50597	0.56849	0.29988	4106.4
平岩山	290060	11.52628	55	0.49536	0.49837	0.34881	2101.3
龍神橋	290075	26.36823	55	0.68796	0.62293	0.26216	1957.0
西螺(2)	290080	63.94031	55	0.85671	0.60374	0.27543	1356.7
立鷹	290082	29.57058	55	0.65106	0.53562	0.32280	2633.2
高峰	290084	26.09516	55	0.63310	0.53546	0.32298	1953.1
望鄉	290087	14.05812	55	0.54659	0.53095	0.32608	2427.0
西巒	290088	16.01029	55	0.57247	0.52234	0.33205	2359.6
褒忠(2)	313048	34.03808	55	0.74349	0.52951	0.32707	1096.0

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-11 中部地區各雨量站A、B、C、G、H係數表(續)

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
林內	330001	34.31148	55	0.75384	0.63367	0.25470	2039.2
北港(2)	330055	42.69279	55	0.78103	0.57643	0.29443	1328.4
大埔	330061	35.34334	55	0.73459	0.60982	0.27126	2391.7
溪口(3)	330063	43.54566	55	0.78545	0.53373	0.32412	1392.2
中坑(3)	330068	30.48668	55	0.72606	0.60916	0.27171	1947.7

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-12 南部地區各雨量站A、B、C、G、H係數表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
樟腦寮(2)	350042	16.49158	55	0.59612	0.59594	0.28094	3021.5
大湖山	370002	27.00170	55	0.67889	0.57420	0.29601	3290.2
關子嶺	390043	30.16885	55	0.70997	0.62637	0.25975	2776.0
六溪	390047	41.56008	55	0.77689	0.55038	0.31256	2172.0
達邦	410001	13.29157	55	0.52735	0.54883	0.31359	2711.6
照興(2)	410007	20.68110	55	0.61739	0.60212	0.27605	2625.5
台南	430022	19.71402	55	0.63609	0.53450	0.32352	1750.9
木柵	450001	37.72111	55	0.74893	0.58880	0.28582	2230.9
阿蓮(3)	450007	30.15468	55	0.69772	0.57104	0.29818	1542.9
竹子腳	470015	31.09416	55	0.72237	0.56087	0.30526	1904.1
高雄	490005	36.15409	55	0.70541	0.46238	0.37358	1748.7
甲仙(2)	510036	57.71863	55	0.84343	0.55292	0.31066	2759.8
屏東(5)	510060	3.12358	55	0.64500	0.62328	0.26194	2137.9
美濃(2)	510081	22.72760	55	0.66283	0.65446	0.24028	2771.3
新豐	510092	24.20526	55	0.65117	0.61317	0.26892	2819.6
旗山(4)	510107	23.72620	55	0.66663	0.63202	0.25580	2262.2
泰武(3)	550001	26.56727	55	0.47048	0.60127	0.27719	5164.8
恆春	650001	23.27919	55	0.66477	0.56130	0.30485	2197.8
新大觀	--	7.29807	55	0.38723	0.52092	0.33304	***
新北城	--	23.15892	55	0.66036	0.52986	0.32677	***

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-13 東部地區各雨量站A、B、C、G、H係數表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
達美多	220005	9.15884	55	0.45203	0.43058	0.39072	2128.2
洛韶	220011	11.86888	55	0.49852	0.44946	0.39863	1997.0
合歡啞口	220012	14.58524	55	0.55850	0.53196	0.32537	2397.6
花蓮	246002	18.96718	55	0.62415	0.59511	0.28134	2044.0
溪口	300015	21.38800	55	0.65809	0.56047	0.30563	2300.6
水簾	300029	10.35542	55	0.47781	0.45257	0.38066	2276.3
清水第一	300031	16.81229	55	0.56955	0.43254	0.39454	1981.0
奇萊(1)	300034	10.47991	55	0.47412	0.48055	0.36120	2644.3
立山	340024	9.87356	55	0.48335	0.54795	0.31421	2031.6
台東	400021	16.89673	55	0.60746	0.57554	0.29495	1822.0
紅葉	400023	12.55664	55	0.52886	0.60210	0.27659	2010.0
鹿鳴橋	400033	10.77254	55	0.46708	0.56754	0.30063	1926.7
紹家	540003	23.14480	55	0.65250	0.51950	0.33396	2568.3
大武	546002	17.78650	55	0.59530	0.52993	0.32667	2471.3
成功	--	17.01372	55	0.60148	0.56717	0.30079	1767.8
新大觀	--	7.29807	55	0.38723	0.52092	0.33304	***

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-14 北部地區各雨量站之年平均雨量表

測站	站號	年平均 雨量 (mm)	測站	站號	年平均 雨量 (mm)	測站	站號	年平均 雨量 (mm)
富貴角	013001	2050.3	大竹	057003	1759.0	嘎拉賀	030088	2385.4
三光(1)	030009	2050.3	埔心	057005	1765.6	暖暖(2)	030095	4666.6
巴陵	030012	2266.6	平鎮(1)	070002	2066.7	瑞芳(2)	030105	4664.0
高義	030015	2206.2	宋屋(1)	070004	1869.9	桃園(1)	050002	1882.1
水流東(1)	030018	2694.7	水尾	070010	1868.8	八德	050004	1849.8
石門(2)	030022	2539.4	觀音(1)	079001	1664.1	竹圍	050006	1810.8
大溪(1)	030024	2254.7	新坡	079003	1809.5	大園	057002	1781.4
缺子	030027	2157.1	大崙	079006	1814.6	梅花	130006	2450.8
三峽	030030	2234.9	礁溪(2)	080002	2439.9	竹東(1)	130011	2035.8
海山	030034	2005.0	新屋	090003	1846.2	新竹(3)	130015	1556.0
新莊	030035	1868.9	永安	090004	1661.9	新竹(2)	130016	1576.6
烏來(1)	030041	3654.2	湖口(1)	091001	1643.6	竹南	150001	1543.6
四堵	030044	3454.4	留茂安	100005	2549.1	蘇澳(1)	160001	3989.4
坪林(2)	030048	3153.6	土場(1)	100008	2692.8	大濁水	200003	2403.4
新店(1)	030056	2489.0	圓山(1)	100016	3014.3	雙峻頭	030082	2273.1
石碇(1)	030058	3341.4	三關	100020	2629.3	大閣南	130003	2250.0
鞍部(2)	030081	4762.7	竹林	130002	2294.5			

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-15 東部地區各雨量站之年平均雨量表

測站	站號	年平均 雨量 (mm)	測站	站號	年平均 雨量 (mm)	測站	站號	年平均 雨量 (mm)
溪畔(1)	220003	2014.7	玉里(3)	340012	2187.9	銅門	300032	2015.6
北埔	246001	2036.7	富源(1)	340018	2565.6	池上(1)	340002	1916.6
田埔(1)	280003	1839.9	瑞德穗	340025	1858.9	池上(2)	340003	1857.5
大富(1)	300001	2582.8	新港	368001	2283.3	富里(1)	340004	2014.0
大農	300002	2771.2	霧鹿	400002	1770.4	大南(2)	440002	2417.8
萬里	300009	2281.2	關山(2)	400006	1981.4	知本(2)	460003	1718.7
鳳林(1)	300011	2324.6	瑞豐	400009	2006.6	太麻里	480004	2194.0
平和	300017	1979.1	鹿野	400011	1870.5	吳全城(2)	300022	2009.7
豐田(2)	300019	2213.2	岩灣	400018	1659.9	利嘉	420002	1812.2

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-16 中部地區各雨量站之年平均雨量表

測站	站號	年平均 雨量 (mm)	測站	站號	年平均 雨量 (mm)	測站	站號	年平均 雨量 (mm)
南庄(1)	170003	2362.4	山子腳	270054	1465.0	麥寮(1)	310010	1192.9
大南埔	170004	1868.5	大肚(1)	270057	1288.2	水林(1)	313001	1381.3
峨眉	170005	1928.5	永安(1)	279001	1148.3	水井	313006	1353.6
珊瑚湖	170006	1745.8	大城(1)	279003	1193.0	宜梧(2)	313007	1252.8
竹南(2)	170008	1525.4	竹塘(2)	279009	1219.6	頂彎	313011	1249.3
橫龍山	190002	2483.9	二林(4)	279012	1136.4	口湖(1)	313013	1289.4
大湖(1)	190003	2081.9	后寮	279014	1069.0	土庫(2)	313016	1455.1
苗栗(2)	190005	1581.7	路上(2)	279015	1076.5	埤腳	313018	1357.3
新店	190006	2204.1	溪洲(2)	279017	1411.2	元長(1)	313020	1311.9
後龍	190008	1475.9	溪洲(1)	279018	1387.8	五塊	313021	1240.4
三義(2)	210002	2038.9	原斗	279021	1201.8	飛沙	313026	1247.2
苑裡(1)	213001	1244.0	萬興	279026	1140.6	三合	313029	1395.3
象鼻(1)	230005	2423.4	溪湖(1)	279028	1280.8	虎尾	313030	1260.4
卓蘭(1)	230009	2004.8	田中(1)	279031	1535.4	東屯	313033	1423.3
泰安	230010	1740.6	永靖	279034	1374.0	馬光	313034	1346.6
日南	230013	1472.9	員林(1)	279035	1461.4	埔姜	313035	1270.6
磁瑤	235002	1402.5	埔鹽	279037	1215.4	褒忠(1)	313036	1094.1
大甲	235003	1427.0	打鐵厝	279038	1169.1	東勢(1)	313037	1269.4
白冷(1)	250018	2446.2	安東	279040	1165.0	台西(1)	313041	1225.6
東勢(1)	250021	2196.4	彰化(1)	279042	1400.5	昌南	313043	1095.3
社寮(1)	250023	1874.6	東埔	290030	2389.9	同安	313044	1138.2
七星	250024	1535.4	和社	290033	1607.7	新光	313045	1193.1
月眉(2)	250028	1616.0	蓮華池	290041	2389.9	海豐	313051	1206.5
出雲山	250038	3024.5	集集(1)	290045	2366.0	梅林	330004	2194.3
清水(2)	257003	1256.6	清水溝	290047	2624.8	竹圍子(1)	330008	1659.9
惠蓀	270003	2640.0	溪頭	290048	2645.1	斗六(2)	330012	1614.8
埔里(1)	270012	2160.0	二水	290065	2031.5	惠來	330013	1503.6
埔里(2)	270013	2449.5	下水埔	290067	1515.9	大崙	330014	1921.2
同源	270029	1966.5	鹿場	290071	1348.4	古坑(1)	330021	2187.5
草屯(1)	270035	1641.4	西螺(1)	290072	1366.9	斗南(1)	330027	1502.3
萬斗六	270037	1642.1	大義	290073	1293.1	大埔美(2)	330031	1817.7
霧峰(1)	270038	1621.0	桶頭(2)	290079	2782.6	大埤(1)	330035	1460.5
草湖	270041	1612.8	湳子	291001	1283.1	大林(1)	330037	1551.7
台中(2)	270043	1721.0	阿勸(1)	291002	1100.9	鹿寮	330043	1389.5
聚興	270047	1771.4	大有(1)	291005	1142.3	客厝	330044	1394.4
豐原(1)	270048	1840.8	豐榮(1)	291006	1218.9	內寮	330045	1337.2
林厝	270052	1493.6	過溪	310004	1447.9	民雄(1)	330048	1579.2
水崛頭	270053	1508.0	廉使	310005	1371.3	北港(5)	330053	1324.9
烏松(1)	330058	1362.8						

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-17 南部地區各雨量站之年平均雨量表

測站	站號	年平均雨量 (mm)	測站	站號	年平均雨量 (mm)	測站	站號	年平均雨量 (mm)
興中	335004	1491.6	菁寮(1)	370022	1630.8	善化(2)	413026	1619.9
月眉	335006	1522.8	仕安	370027	1580.7	新市(1)	430003	1781.3
新港(1)	335008	1495.8	義竹(2)	370028	1453.2	新化(2)	430009	1841.0
大客	335009	1484.9	義竹(1)	370029	1506.0	仁德	450015	1782.7
六腳	335013	1409.0	白河(2)	390002	1346.7	岡山	470003	1865.7
溪下子(2)	335017	1370.4	白河(5)	390005	1994.7	楠梓	479002	1903.3
鰲股(1)	335018	1244.4	安溪	390009	1730.7	鳥松	490001	1865.9
下揖(2)	335019	1362.1	西口	390011	2355.5	舊城	490003	1745.6
竹崎(1)	350003	2478.8	重溪	390016	1790.9	澄清湖	490007	1189.4
嘉義(1)	350007	2048.0	柳營(1)	390022	1577.0	高樹(1)	510020	2912.1
過溝	350011	1502.1	歡雅	390033	1487.5	月眉(1)	510038	2711.0
中島	350014	1433.2	鹽水(2)	390037	1542.5	月眉(2)	510039	2694.3
太保(2)	350017	1256.6	尖山埤	390040	1720.5	中壇	510042	2655.2
蒜頭(1)	350019	1412.3	分歧	391001	1827.9	手巾寮	510044	2524.8
蒜頭(2)	350020	1224.8	隆田(1)	391003	1745.9	萊子坑	510045	2337.7
後潭	350021	1554.7	中營	391008	1602.6	旗尾(3)	510047	2440.3
梅埔	350022	1526.8	大屯	391011	1580.0	旗山(1)	510048	2423.9
東勢寮	350025	1213.3	麻豆(總爺)	391013	1746.0	彌力肚	510050	2371.3
朴子(1)	350026	1373.2	後營	391017	1684.1	里港(1)	510055	2305.1
永和	350029	1355.6	子龍	391021	1620.6	屏東(1)	510062	2369.7
鹿草(1)	350030	1448.3	佳里(2)	391022	1549.9	屏東(2)	510065	2307.7
馬稠後	350032	1336.7	樹子腳	391029	1636.4	東港(1)	530030	1825.3
松梅	350033	1475.0	七股	391031	1550.1	牡丹	630001	3245.9
竹村	350034	1167.1	將軍(1)	391035	1525.9	豐華	413004	1701.7
下潭(2)	350036	1360.6	舊田	391039	1538.3	安南	413013	1611.3
竹崎(2)	350040	2967.9	東口	410006	2685.4	安定(1)	413014	1637.5
岸內場	357002	1451.4	楠西	410010	2479.0	中埔(2)	370009	2391.2
光榮	357006	1433.6	玉井(2)	410012	2454.8	嘉義(1)	370013	1984.1
樹林	357007	1421.5	北寮	410014	2480.3	南靖	370017	1716.6
前東港	357010	1323.2	二溪	410017	2055.5	後大埔	410037	2643.5
新厝	357011	1335.6	茄拔(2)	410026	1794.7	善化	413002	1737.9
中安	357019	1386.1	烏山頭	410028	1991.5	頂六(1)	370006	2097.1
奮起湖	370001	3763.1	麻豆	410030	1677.3	中埔(1)	370008	2978.6

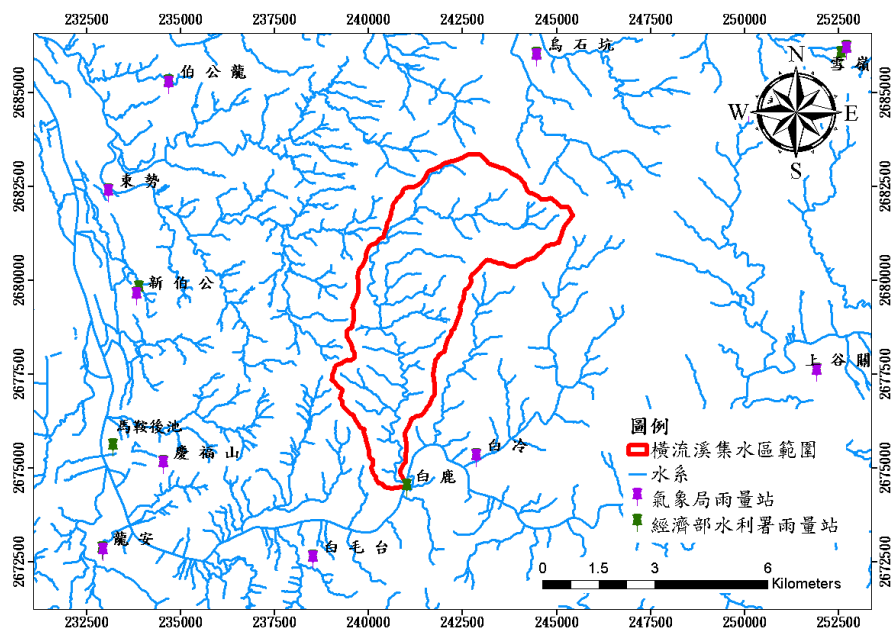
資料來源：水土保持手冊(2017)

附錄四、水文分析流程-以橫流溪為例

水文分析案例以大甲流域中之橫流溪集水區為例。橫流溪集水區位於大甲溪流域之八仙山事業區 11~23 林班範圍內，坐落於台中市和平區與台中市東勢區、南投縣國姓鄉及苗栗縣泰安鄉為鄰。

氣象方面，採用鄰近橫流溪流域之東勢氣象站(C0F850)為氣象特性代表，統計 2011 年 11 月至今之氣象觀測資料(表附-18)，東勢站其各月平均氣壓變化於 959.1hPa 至 974.8hPa 之間，歷年平均氣壓為 968.8hPa；歷年平均氣溫為 22.0℃，月平均氣溫以七月為最高約 27.1℃，以一月為最低約 15.3℃，冬夏季溫差達 11.8℃；本區風向以北風頻率較高，全年變化小，歷年月平均風速約 0.9m/s；降雨日數集中於五月至八月，該月份達半月以上皆為降雨日，歷年平均降雨日數合計為 127.5 天；其各月平均相對濕度變化於 78.0%至 82.3%之間，歷年平均相對溼度約為 80.7%。

水文方面，經套繪中央氣象局及經濟部水利署現存雨量站位置，如圖附-4 所示，基本資料整理於表附-19，採用鄰近之白冷(C1F9C1)及白鹿(1420P082)兩處雨量站歷年統計資料，資料列於表附-20 及表附-21。白冷雨量站紀錄年限自 100 年 11 月起至今，其統計之歷年平均年降雨量為 2,834.0mm，最大年雨量為 101 年 3,621.0mm，最小年雨量為 104 年 2,227.5mm，雨季為每年的五月至八月；白鹿雨量站紀錄年限自 99 年起至今，其統計之歷年平均年降雨量為 2,526.3mm，最大年雨量為 94 年 4,900.0mm(94 年)，最小年雨量為 92 年 1,286.0mm(92 年)，雨季為每年的五月至八月。



圖附-4 橫流溪集水區鄰近雨量站分布圖

表附-18 中央氣象局東勢氣象站歷年統計資料表

月份 項目	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
分月平均 氣壓(hPa)	974.8	974.2	972.4	969.3	966.6	959.1	964.2	963.0	965.8	969.3	972.3	974.6
分月平均 氣溫(°C)	15.3	15.8	18.4	22.1	24.7	26.6	27.1	26.6	26.1	23.7	21.3	16.3
分月平均風速 (m/s)	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7
分月平均降雨 日數(day)	7.7	6.9	10.0	11.0	16.7	16.8	15.3	16.5	8.5	3.3	6.6	8.1
分月平均 相對溼度(%)	80.7	81.0	81.4	80.9	82.3	80.8	79.0	82.0	80.0	78.0	79.7	81.4
平均氣壓(hPa)	平均氣溫(°C)		平均風速(m/s)		平均降雨日數(day)		平均相對溼度(%)					
968.8	22.0		0.9		127.5		80.7					

資料來源：中央氣象局及本計畫彙整，統計自 100-11 至 107-04 止

表附-19 鄰近雨量站測站基本資料表

站名	站號	所屬單位	站址	海拔 (m)	X (TWD97)	Y (TWD97)	記錄年份
東勢	C0F850	中央氣象局	臺中市東勢區東關路 647 號(東勢林區管理處雙崎工作站內)	379	233046	2682325	100/11/01 迄今
上谷關	C1F871	中央氣象局	臺中市和平區(博愛國小谷關分校附近)	1,000	251894	2677559	100/11/01 迄今
白冷	C1F9C1	中央氣象局	臺中市和平區天輪里天輪巷 42 號 (臺中市和平區白冷國民小學校園內)	610	242877	2675275	100/11/01 迄今
白毛台	C1F9D1	中央氣象局	臺中市新社區福興里福民路 13 號旁	639	238510	2672562	100/11/01 迄今
龍安	C1F9E1	中央氣象局	臺中市新社區中和里內(距龍安橋約 1.2k 處)	563	232925	2672808	100/11/01 迄今
伯公龍	C1F9F1	中央氣象局	臺中市東勢區勢林街(宏覺寺旁)	500	234674	2685199	100/11/01 迄今
慶福山	C1F9G1	中央氣象局	臺中市東勢區(台 8 線 10.5k 往馬鞍農場方向)	810	234595	2675061	100/11/01 迄今
新伯公	C1F911	中央氣象局	臺中市東勢區詒福段 163 地號(台電公司門前右前方)	417	233858	2679548	100/11/01 迄今
白鹿	1420P082	經濟部水利署 中區水資源局	東關路 2 段白鹿巷	580	241033	2674461	99 迄今
馬鞍後池	1420P083	經濟部水利署 中區水資源局	馬鞍電廠上段	440	233215	2675544	99 迄今

表附-20 中央氣象局白冷雨量站歷年統計資料表

月份 項目	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
平均月 雨量(mm)	81.9	58.7	110.8	196.3	546.8	663.8	356.3	483.0	160.8	30.7	82.3	66.1
最大月 雨量(mm)	290.0 (105)	164.5 (101)	340.0 (105)	396.0 (102)	889.0 (103)	1536. 5 (106)	904.5 (102)	1037. 0 (102)	319.5 (104)	66.5 (105)	203.0 (101)	129.0 (102)
最小月 雨量(mm)	0.0 (103)	0.0 (102)	51.5 (107)	34.5 (103)	128.5 (105)	119.5 (104)	74.0 (101)	117.0 (106)	31.5 (101)	0.0 (103)	2.5 (103)	18.0 (105)
平均年雨量	最大年雨量			最小年雨量		年一日最大雨量		年二日最大雨量		年三日最大雨量		
2834.0	3621.0 (101)			2227.5 (104)		531.5 (102/07/13)		617.0 (102/07/12)		832.5 (101/06/10)		

資料來源：中央氣象局及本計畫彙整，統計自 100-11 至 107-04 止

表附-21 經濟部水利署白鹿雨量站歷年統計資料表

月份 項目	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
平均月 雨量(mm)	66.8	116.6	131. 5	174.2	348.7	453.3	433.8	424.4	228.6	32.0	55.6	45.8
最大月 雨量(mm)	302.0 (89)	881.0 (89)	560. 0 (94)	366.5 (89)	1267. 0 (94)	1272 (106)	1352. 0 (93)	1068. 0 (94)	1377. 0 (97)	67.0 105)	264.0 (89)	125.0 (102)
最小月 雨量(mm)	0.0 (94)	0.5 (102)	35.5 (91)	7.0 (91)	55.5 (98)	98.0 (93)	51.0 (101)	80.0 (100)	26.5 (100)	0.0 (103)	0.0 (94)	0.0 (92)
平均年雨量	最大年雨量			最小年雨量		年一日最大雨量		年二日最大雨量		年三日最大雨量		
2526.2	4900.0 (94)			1286.0 (92)		586.0 (102/07/13)		844.0 (97/09/14)		1076.5 (93/07/02)		

資料來源：經濟部水利署-中華民國 106 年臺灣水文年報，統計自 2000 至 2017 止

透過白冷及白鹿歷年統計表(表附-20 及表附-21)得知，兩者差距甚微，考量資料蒐集難易度，雨量站採用白冷雨量站為橫流溪代表雨量站。集水區基本水文資料表整理如表附-22，根據基本水文資料計算出流入時間(t_s)、流下時間(t_d)及集流時間(t_c)，計算過程及結果如表附-23。

表附-22 集水區基本資料

集水區參數	數值	單位	備註
漫地流流動長度 ℓ_s	300	m	開發坡面不得大於 100m，集水區不得大於 300m
漫地流流速 V_s	0.6	m/s	一般採用 0.3~0.6m/s
溪流長度 ℓ_d	14.12	km	
溪流縱斷面高程差 H	1.1	km	
集水區面積 A	23.37	km ²	

表附-23 集流時間計算

參數	公式計算	數值	單位	備註
流入時間 t_s	$t_s = \ell_s / V_s$	500	s	雨水經地表面由集水區邊界流至河道所需時間
流下速度 V_d	$V_d = 72(H/\ell_d)^{0.6}$	15.65	km/hr	
流下時間 t_d	$t_d = \ell_d / V_d$	0.90	hr	雨水流經河道由上游至下游所需時間
集流時間 t_c	$t_c = t_s + t_d$	1.04	hr	

1.三角單位歷線計算

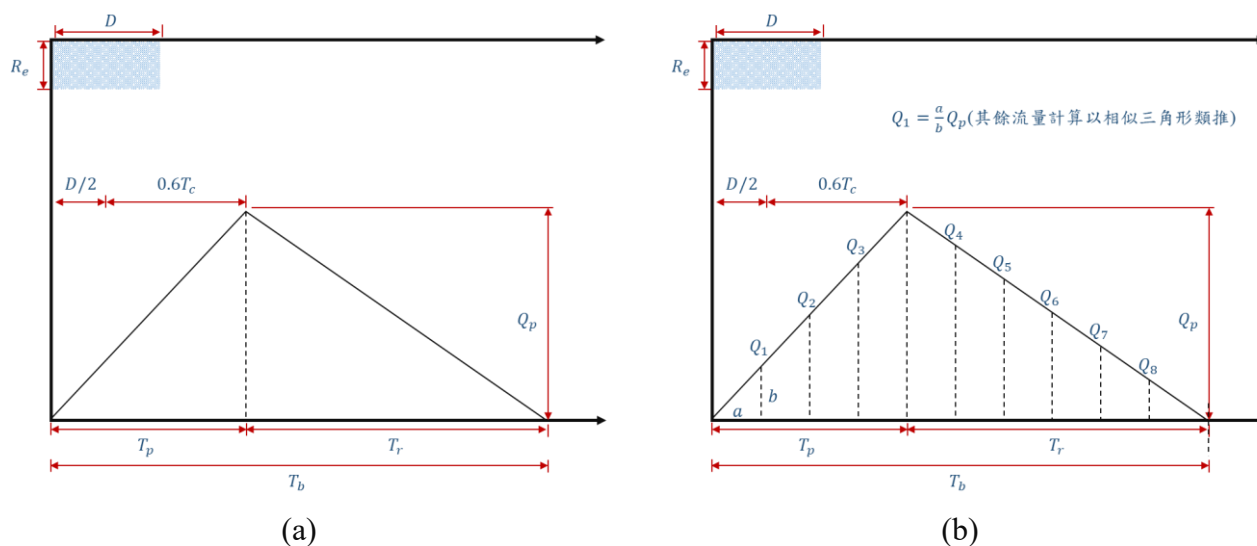
計算三角單位歷線(圖附-5)所需之參數包括單位超滲降雨量(R_e)、單位降雨延時(D)、開始漲水至洪峰流量發生時間(T_p)、修正三角形單位歷線之基期(T_b)及洪峰流量(Q_p)，計算過程整理於表附-24。計算所得之三角單位歷線如表附-25 及圖附-5 所示：

表附-24 三角單位歷線所需之參數

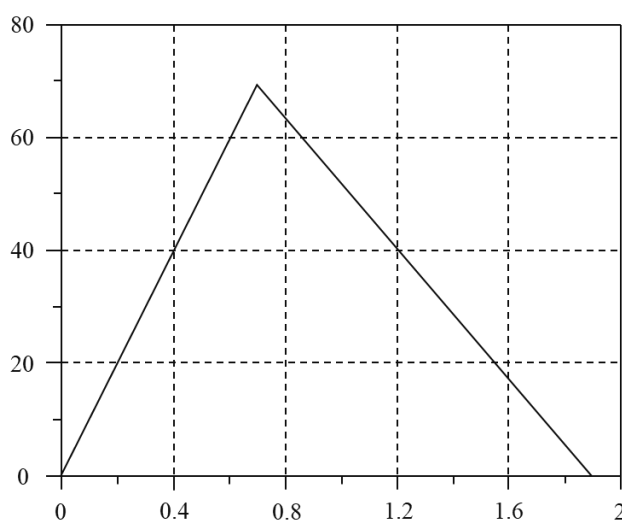
參數	公式計算	數值	單位	備註
單位超滲降雨量 R_e		10	mm	單位超滲降雨量多假設 10mm
單位降雨延時 D	$D \leq 0.133t_c$	0.1	hr	
開始漲水至洪峰流量發生時間 T_p	$T_p = D/2 + 0.6t_c$	0.7	hr	
修正三角形單位歷線之基期 T_b	$T_b = 2.67T_p$	1.9	hr	為方便 S 歷線轉換，建議 T_b 以可被 D 值整除之值為主
洪峰流量 Q_p	$Q_p = 0.208 A R_e / T_p$	69.44	cms	

表附-25 三角單位歷線計算值

時間(hr)	U(0.1,t)	時間(hr)	U(0.1,t)
0	0.00	1	52.08
0.1	9.92	1.1	46.29
0.2	19.84	1.2	40.51
0.3	29.76	1.3	34.72
0.4	39.68	1.4	28.93
0.5	49.60	1.5	23.15
0.6	59.52	1.6	17.36
0.7	69.44	1.7	11.57
0.8	63.65	1.8	5.79
0.9	57.87	1.9	0.00



圖附-5 三角單位歷線計算示意圖



圖附-6 計算後之三角歷線分佈

接著透過 S 歷線轉換，將單位降雨延時由 0.1 小時轉換為 1 小時，轉換公式如式附-7，數值帶入後得式附-8，後經 $S(t)$ 計算過程呈表附-26，轉換過程及結果列於表附-27。

$$U(T', t) = \frac{T}{T'} [S(t) - S(t - T')] \quad \text{式附-7}$$

$$U(1, t) = \frac{0.1}{1} [S(t) - S(t - 1)] \quad \text{式附-8}$$

表附-26 $S(t)$ 計算表

時間 (hr)	U(0.1, t)	U(0.1, t-1)	U(0.1, t-2)	U(0.1, t-3)	U(0.1, t-4)	U(0.1, t-5)	U(0.1, t-6)	U(0.1, t-7)	U(0.1, t-8)	U(0.1, t-9)	U(0.1, t-10)	U(0.1, t-11)	U(0.1, t-12)	U(0.1, t-13)	U(0.1, t-14)	U(0.1, t-15)	U(0.1, t-16)	U(0.1, t-17)	...	S(t)
0	0																			0
0.1	9.92	0																		9.92
0.2	19.84	9.92	0																	29.76
0.3	29.76	19.84	9.92	0																59.52
0.4	39.68	29.76	19.84	9.92	0															99.2
0.5	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0														148.8
0.6	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0													208.32
0.7	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0												277.76
0.8	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0											341.41
0.9	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0										399.28
1	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0									451.36
1.1	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0								497.65
1.2	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0							538.16
1.3	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0						572.88
1.4	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0					601.81
1.5	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0				624.96
1.6	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0			642.32
1.7	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0		653.89
1.8	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92		659.68
1.9	0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84		659.68
2		0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76		659.68
2.1			0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68		659.68

表附-26 $S(t)$ 計算表(續)

時間 (hr)	U(0.1, t)	U(0.1, t-1)	U(0.1, t-2)	U(0.1, t-3)	U(0.1, t-4)	U(0.1, t-5)	U(0.1, t-6)	U(0.1, t-7)	U(0.1, t-8)	U(0.1, t-9)	U(0.1, t-10)	U(0.1, t-11)	U(0.1, t-12)	U(0.1, t-13)	U(0.1, t-14)	U(0.1, t-15)	U(0.1, t-16)	U(0.1, t-17)	...	S(t)
2.2				0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6		659.68
2.3					0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52		659.68
2.4						0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44		659.68
2.5							0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65		659.68
2.6								0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87		659.68
2.7									0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08		659.68
2.8										0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29		659.68
2.9											0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51		659.68
3												0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72		659.68
3.1													0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93		659.68
3.2														0	5.79	11.57	17.36	23.15		659.68
3.3															0	5.79	11.57	17.36		659.68
3.4																0	5.79	11.57		659.68
3.5																	0	5.79		659.68
3.6																		0		659.68

表附-27 單位歷線轉換過程

時間(hr)	U(0.1,t)	S(t)	S(t-1)	S(t)-S(t-1)	U(1,t)
0.0	0.00	0.00		0.00	0.00
0.1	9.92	9.92		9.92	0.99
0.2	19.84	29.76		29.76	2.98
0.3	29.76	59.52		59.52	5.95
0.4	39.68	99.20		99.20	9.92
0.5	49.60	148.80		148.80	14.88
0.6	59.52	208.32		208.32	20.83
0.7	69.44	277.76		277.76	27.78
0.8	63.65	341.41		341.41	34.14
0.9	57.87	399.28		399.28	39.93
1.0	52.08	451.36	0.00	451.36	45.14
1.1	46.29	497.65	9.92	487.73	48.77
1.2	40.51	538.16	29.76	508.40	50.84
1.3	34.72	572.88	59.52	513.36	51.34
1.4	28.93	601.81	99.20	502.61	50.26
1.5	23.15	624.96	148.80	476.16	47.62
1.6	17.36	642.32	208.32	434.00	43.40
1.7	11.57	653.89	277.76	376.13	37.61
1.8	5.79	659.68	341.41	318.27	31.83
1.9	0.00	659.68	399.28	260.40	26.04
2.0		659.68	451.36	208.32	20.83
2.1		659.68	497.65	162.03	16.20
2.2		659.68	538.16	121.52	12.15
2.3		659.68	572.88	86.80	8.68
2.4		659.68	601.81	57.87	5.79
2.5		659.68	624.96	34.72	3.47
2.6		659.68	642.32	17.36	1.74
2.7		659.68	653.89	5.79	0.58
2.8		659.68	659.68	0.00	0.00

2.各頻率年之一日最大暴雨量計算

一日最大暴雨量計算需先蒐集集水區歷年之最大暴雨量，得以進行頻率分析，再透過卡方及 SE 檢定，方可得到各頻率年之一日最大暴雨量。

(1)雨量資料蒐集

本案例採用中央氣象局白冷雨量站之雨量資料，蒐集 1997 年至 2017 年各年之一日最大暴雨量，扣除缺測資料後，結果表示於表附-28。

表附-28 雨量資料

年份	一日最大暴雨量	年份	一日最大暴雨量
2002	145.5	2010	145
2003	182	2012	438
2004	418.5	2013	531.5
2005	476	2014	232.5
2006	316.5	2015	162.5
2007	340	2016	95.5
2008	502.5	2017	432
2009	451.5		

(2)頻率分析

為利於後續頻率分析，首先計算歷年一日最大暴雨量之對數值，列於表附-29，並將一日最大暴雨量(x)與對數一日最大暴雨量(x_y)分別計算平均值($\bar{x}$)、標準差值(s)、偏態係數(C_s)及修正後之偏態係數(C_s')，計算過程及結果詳如表附-30。

表附-29 一日最大暴雨量取自然對數表

年份	自然對數	年份	自然對數
2002	4.980176	2010	4.976734
2003	5.204007	2012	6.082219
2004	6.036677	2013	6.275703
2005	6.165418	2014	5.44889
2006	5.757323	2015	5.090678
2007	5.828946	2016	4.559126
2008	6.219596	2017	6.068426
2009	6.112575		

表附-30 雨量資料參數計算

參數	計算公式	計算值
平均值 $\bar{x}$	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	324.633
標準差值 s	$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	150.928
偏態係數 C_s	$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / s^3 \right]$	-0.192
修正後之偏態係數 C_s'	$C_s' = C_s \times \frac{[n - (n-1)]^{0.5}}{n-2} \times \left(1 + \frac{8.5}{n}\right)$	-0.301
對數平均值 $\bar{y}$	$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{y_i}$	5.654
對數標準差值 s_y	$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{y_i} - \bar{y})^2}$	0.560
對數偏態係數 C_{s_y}	$C_{s_y} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \left[\sum_{i=1}^n (x_{y_i} - \bar{y})^3 / s_y^3 \right]$	-0.628
修正後之對數偏態係數 C_{s_y}'	$C_{s_y}' = C_{s_y} \times \frac{[n - (n-1)]^{0.5}}{n-2} \times \left(1 + \frac{8.5}{n}\right)$	-0.985
備註	n 為樣本總數	

依據國內過去較常使用之統計分布，包含：極端值一型分布、皮爾遜第三型分布、對數皮爾遜第三型分布及三參數對數常態分布等四種常用於極端事件之機率分布進行頻率分析，計算過程分述如下：

a.極端值一型分布

表附-31 極端值一型分布計算公式

參數	計算公式
重現期距 T 之水文量 X_T	$X_T = \bar{x} + K_T s$
超越機率 P	$P = \frac{1}{T}$
重現期距 T 之頻率因子 K_T	$K_T = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \left(0.5772 + \ln(\ln(\frac{T}{T-1})) \right)$
備註	T 為重現期距

表附-32 極端值一型分布計算結果

T	P	K_T	X_T
2	0.5	-0.164	299.840
5	0.2	0.719	433.220
10	0.1	1.305	521.528
20	0.05	1.866	606.236
50	0.02	2.592	715.882
100	0.01	3.137	798.046
200	0.005	3.679	879.910

b.皮爾遜第三型分布

表附-33 皮爾遜第三型分布計算公式

參數	計算公式	
重現期距 T 之 水文量 X_T	$X_T = \bar{x} + K_T s$	
超越機率 P	$P = \frac{1}{T}$	
W	$W = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{P^2}\right)}$	$0 < P \leq 0.5$
	$W = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-P)^2}\right]}$	$P > 0.5$
標準常態值 t	$t \approx W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3}$	$0 < P \leq 0.5$
	$t \approx -(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3})$	$P > 0.5$
重現期距 T 之 頻率因子 K_T	$K_T = t + (t^2 - 1) \frac{C_s'}{6} + \frac{1}{3} (t^3 - 6t) \left(\frac{C_s'}{6}\right)^2$ $- (t^2 - 1) \left(\frac{C_s'}{6}\right)^3 + t \left(\frac{C_s'}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{C_s'}{6}\right)^5$	
備註	$C_0 = 2.515517$; $C_1 = 0.802853$ $C_2 = 0.010328$; $d_0 = 1.432788$ $d_1 = 1.189269$; $d_2 = 0.001308$	

表附-34 皮爾遜第三型分布計算結果

T	P	W	t	K_T	X_T
2	0.5	1.177	0.000	0.050	332.178
5	0.2	1.794	0.841	0.852	453.273
10	0.1	2.146	1.282	1.245	512.528
20	0.05	2.448	1.645	1.555	559.382
50	0.02	2.797	2.054	1.890	609.917
100	0.01	3.035	2.327	2.105	642.340
200	0.005	3.255	2.576	2.296	671.141

c.對數皮爾遜第三型分布

表附-35 對數皮爾遜第三型分布計算公式

參數	計算公式	
重現期距 T 之自然對數水文量 y_T	$y_T = \bar{y} + K_T s_y$	
超越機率 P	$P = \frac{1}{T}$	
W	$W = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{P^2}\right)}$	$0 < P \leq 0.5$
	$W = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-P)^2}\right]}$	$P > 0.5$
t	$t \approx W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3}$	$0 < P \leq 0.5$
	$t \approx -(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3})$	$P > 0.5$
重現期距 T 之頻率因子 K_T	$K_T = t + (t^2 - 1) \frac{C_{sy'}}{6} + \frac{1}{3} (t^3 - 6t) \left(\frac{C_{sy'}}{6}\right)^2 - (t^2 - 1) \left(\frac{C_{sy'}}{6}\right)^3 + t \left(\frac{C_{sy'}}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{C_{sy'}}{6}\right)^5$	
備註	$C_0 = 2.515517 ; C_1 = 0.802853$ $C_2 = 0.010328 ; d_0 = 1.432788$ $d_1 = 1.189269 ; d_2 = 0.001308$	

表附-36 對數皮爾遜第三型分布計算結果

T	P	W	t	K_T	y_T	e^{y_T}
2	0.5	1.177	0.000	0.160	5.743	312.061
5	0.2	1.794	0.841	0.849	6.129	459.090
10	0.1	2.146	1.282	1.130	6.287	537.420
20	0.05	2.448	1.645	1.325	6.396	599.586
50	0.02	2.797	2.054	1.509	6.499	664.511
100	0.01	3.035	2.327	1.611	6.557	703.866
200	0.005	3.255	2.576	1.693	6.602	736.674

d.三參數對數常態分佈

表附-37 三參數對數常態分佈計算公式

參數	計算公式
重現期距 T 之自然對數水文量 y_T	$x_T = \bar{x} + K_T s$
超越機率 P	$P = \frac{1}{T}$
r_1	$r_1 = \frac{e^{3sy^2} - 3e^{sy^2} + 2}{(e^{sy^2} - 1)^{3/2}}$
w	$w = \frac{[-r_1 + (r_1^2 + 4)^{1/2}]}{2}$
Z_2	$Z_2 = \frac{1 - w^{2/3}}{w^{1/3}}$
W	$W = \sqrt{\ln(\frac{1}{p^2})}$
	$W = \sqrt{\ln[\frac{1}{(1-P)^2}]}$
t	$t \approx W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3}$
	$t \approx -(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3})$
重現期距 T 之頻率因子 K_T	$K_T = \frac{e^{[\ln(1+Z_2^2)]^{1/2} t - [\ln(1+Z_2^2)]/2} - 1}{Z_2}$
備註	$C_0 = 2.515517$; $C_1 = 0.802853$ $C_2 = 0.010328$; $d_0 = 1.432788$ $d_1 = 1.189269$; $d_2 = 0.001308$

表附-38 三參數對數常態分佈計算結果

常態分佈	P	W	t	r_1	w	Z_2	K_T	x_T
2	0.5	1.18	0.00	2.05	0.41	0.61	-0.24	288.53
5	0.2	1.79	0.84				0.61	416.49
10	0.1	2.15	1.28				1.24	511.71
20	0.05	2.45	1.65				1.89	610.11
50	0.02	2.80	2.05				2.80	747.62
100	0.01	3.03	2.33				3.54	858.43
200	0.005	3.26	2.58				4.31	975.77

(3)卡方檢定

由白冷雨量站一日最大暴雨量蒐集可知，雨量資料共 15 筆，依據卡方檢定分組方法 $1 + 3.3 \log n$ (n 為資料筆數)，將雨量資料分為 5 組，並進行後續卡方檢定，卡方檢定計算如圖附-7 所示。此外，各組區間範圍因頻率分析方式不同而異，故將各方式區間上限求法列於表附-39 至表附-42，而卡方理論值可由圖附-7 取得。

$n \times P_i = E_i$

依區間上限統計落於區間內之一日最大暴雨量資料個數

當卡方分析值 < 卡方理論值
即表示此機率方式通過卡方檢定

機率分佈	理論機率	理論累積機率	期望次數	區間上限	實際次數	卡方值		通過檢定
	P_i	F_i	E_i	X_{Ui}	O_i	分析值	理論值	
極端值 I 型 (二參數)	0.200	0.200	3.00	200.71	5	1.333	5.991	是
	0.200	0.400	3.00	267.00	1	1.333		
	0.200	0.600	3.00	335.76	1	1.333		
	0.200	0.800	3.00	433.22	3	0.000		
	0.200	1.000	3.00	最大值	5	1.333		
	1.000		15		15	5.333		
皮爾遜 III 型 (三參數)	0.200	0.200	3.00	202.47	5	1.333	3.841	是
	0.200	0.400	3.00	293.84	1	1.333		
	0.200	0.600	3.00	369.68	2	0.333		
	0.200	0.800	3.00	453.27	4	0.333		
	0.200	1.000	3.00	最大值	3	0.000		
	1.000		15		15	3.333		
對數皮爾遜 III 型 (三參數)	0.200	0.200	3.00	188.53	5	1.333	3.841	是
	0.200	0.400	3.00	271.43	1	1.333		
	0.200	0.600	3.00	354.87	2	0.333		
	0.200	0.800	3.00	459.09	4	0.333		
	0.200	1.000	3.00	最大值	3	0.000		
	1.000		15		15	3.333		
對數常態 (三參數)	0.200	0.200	3.00	209.62	5	1.333	3.841	否
	0.200	0.400	3.00	260.55	1	1.333		
	0.200	0.600	3.00	320.87	1	1.333		
	0.200	0.800	3.00	416.49	1	1.333		
	0.200	1.000	3.00	最大值	7	5.333		
	1.000		15		15	10.667		

總機率為 1，分為五組，
一組發生機率為 $1/5=0.2$

卡方分析值 $= \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i}$

卡方理論值為 $\chi^2_{0.05, k-p-1}$
 k 為組數
 p 為分析方法之參數個數
 $k-p-1$ 為自由度

圖附-7 卡方檢定計算過程

表附-39 極端值一型區間上限計算表

累積機率	超越機率	K_T	X_T (區間上限)
0.2	0.8	-0.82	200.71
0.4	0.6	-0.38	267.00
0.6	0.4	0.07	335.76
0.8	0.2	0.72	433.22

表附-40 皮爾遜三型區間上限計算表

累積機率	超越機率	W	t	K_T	X_T
0.2	0.8	0.67	-0.83	-0.81	202.47
0.4	0.6	1.01	-0.25	-0.20	293.84
0.6	0.4	1.35	0.25	0.30	369.68
0.8	0.2	1.79	0.84	0.85	453.27

表附-41 對數皮爾遜三型區間上限計算表

累積機率	超越機率	W	t	K_T	y_T	e^{y_T}
0.2	0.8	0.67	-0.83	-0.74	5.24	188.53
0.4	0.6	1.01	-0.25	-0.09	5.60	271.43
0.6	0.4	1.35	0.25	0.39	5.87	354.87
0.8	0.2	1.79	0.84	0.85	6.13	459.09

表附-42 三參數對數常態分佈區間上限計算表

累積機率	超越機率	W	t	r_1	w	Z_2	K_T	x_T
0.2	0.8	0.67	-0.83	2.05	0.41	0.61	-0.76	209.62
0.4	0.6	1.01	-0.25	2.05	0.41	0.61	-0.42	260.55
0.6	0.4	1.35	0.25	2.05	0.41	0.61	-0.02	320.87
0.8	0.2	1.79	0.84	2.05	0.41	0.61	0.61	416.49

表附-43 卡方分布臨界值表

χ^2 值	右尾機率值 α									
自由 度	0.9950	0.9900	0.9750	0.9500	0.9000	0.1000	0.0500	0.0250	0.0100	0.0050
1	0.0000	0.0002	0.0010	0.0039	0.0158	2.7055	3.8415	5.0239	6.6349	7.8794
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.1026	0.2107	4.6052	5.9915	7.3778	9.2103	10.5966
3	0.0717	0.1148	0.2158	0.3518	0.5844	6.2514	7.8147	9.3484	11.3449	12.8382
4	0.2070	0.2971	0.4844	0.7107	1.0636	7.7794	9.4877	11.1433	13.2767	14.8603
5	0.4117	0.5543	0.8312	1.1455	1.6103	9.2364	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496
6	0.6757	0.8721	1.2373	1.6354	2.2041	10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5476
7	0.9893	1.2390	1.6899	2.1673	2.8331	12.0170	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777
8	1.3444	1.6465	2.1797	2.7326	3.4895	13.3616	15.5073	17.5345	20.0902	21.9550
9	1.7349	2.0879	2.7004	3.3251	4.1682	14.6837	16.9190	19.0228	21.6660	23.5894
10	2.1559	2.5582	3.2470	3.9403	4.8652	15.9872	18.3070	20.4832	23.2093	25.1882
11	2.6032	3.0535	3.8157	4.5748	5.5778	17.2750	19.6751	21.9200	24.7250	26.7568
12	3.0738	3.5706	4.4038	5.2260	6.3038	18.5493	21.0261	23.3367	26.2170	28.2995
13	3.5650	4.1069	5.0088	5.8919	7.0415	19.8119	22.3620	24.7356	27.6882	29.8195
14	4.0747	4.6604	5.6287	6.5706	7.7895	21.0641	23.6848	26.1189	29.1412	31.3193
15	4.6009	5.2293	6.2621	7.2609	8.5468	22.3071	24.9958	27.4884	30.5779	32.8013
16	5.1422	5.8112	6.9077	7.9616	9.3122	23.5418	26.2962	28.8454	31.9999	34.2672
17	5.6972	6.4078	7.5642	8.6718	10.0852	24.7690	27.5871	30.1910	33.4087	35.7185
18	6.2648	7.0149	7.2307	9.3905	10.8649	25.9894	28.8693	31.5264	34.8530	37.1565
19	6.8440	7.6327	8.9065	10.1170	11.6509	27.2036	30.1435	32.8523	36.1909	38.5823
20	7.4338	8.2604	9.5908	10.8508	12.4426	28.4120	31.4104	34.1696	37.5662	39.9968
21	8.0337	8.8972	10.2829	11.5913	13.2396	29.6151	32.6706	35.4789	38.9322	41.4011
22	8.6427	9.5425	10.9823	12.3380	14.0415	30.8133	33.9244	36.7807	40.2894	42.7957
23	9.2604	10.1957	11.6886	13.0905	14.8480	32.0069	35.1725	38.0756	41.6484	44.1813
24	9.8862	10.8564	12.4012	13.8484	15.6587	33.1962	36.4150	39.3641	42.9798	45.5585
25	10.5197	11.5240	13.1197	14.6114	16.4734	34.3816	37.6525	40.6465	44.3141	46.9279
26	11.1602	12.1981	13.8439	15.3792	17.2919	35.5632	38.8851	41.9232	45.6417	48.2899
27	11.8076	12.8785	14.5734	16.1514	18.1139	36.7412	40.1133	43.1945	46.9629	49.6449
28	12.4613	13.5647	15.3079	16.9279	18.9392	37.9159	41.3371	44.4608	48.2782	50.9934
29	13.1211	14.2565	16.0471	17.7084	19.7677	39.0875	42.5570	45.7223	49.5879	52.3356
30	13.7867	14.9535	16.7908	18.4927	20.5992	40.2560	43.7730	46.9792	50.8922	53.6720
40	20.7065	22.1643	24.4330	26.5093	29.0505	51.8051	55.7585	59.3417	63.6907	66.7660
50	27.9907	29.7067	32.3574	34.7643	37.6886	63.1671	67.5048	71.4202	76.1539	79.4900
60	35.5345	37.4849	40.4817	43.1880	46.4589	74.3970	79.0819	83.2977	88.3794	91.9517
70	43.2752	45.4417	48.7576	51.7393	55.3289	85.5270	90.5312	95.0232	100.4252	104.2149
80	51.1719	53.5401	57.1532	60.3915	64.2778	96.5782	101.8795	106.6286	112.3288	116.3211
90	59.1963	61.7541	65.6466	69.1260	73.2911	107.5650	113.1453	118.1359	124.1163	128.2989
100	67.3276	70.0649	74.2219	77.9295	82.3581	118.4980	124.3421	129.5612	135.8067	140.1695
110	75.5500	78.4583	82.8671	86.7916	91.4710	129.3851	135.4802	140.9166	147.4143	151.9485
120	83.8516	86.9233	91.5726	95.7046	100.6236	140.2326	146.5674	152.2114	158.9502	163.6482
備註	$P(\chi^2 \geq \chi^2_{\alpha}) = \alpha$ $P\left(\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq \chi^2 \leq \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \alpha$									

(4)SE 檢定

本案例之 SE 檢定採 weibull 繪圖法，其相關參數整理於表附-44。首先將各年之一日最大暴雨量資料由大至小排列，並計算其繪圖法機率，依不同頻率分析方法推求該機率下之雨量值，經 SE 比較結果，最小者既為本雨量站之最佳頻率分析方式，其相關計算如表附-45 至表附-48 所示。由 SE 檢定結果可知，皮爾遜法為本雨量站之最佳頻率分析方法，故取皮爾遜三型之各頻率年雨量計算結果，用於流量計算中。

表附-44 SE 檢定相關參數

參數		計算公式
平方差和 SSE		$SEE = \sum (x_i - \hat{x}_i)^2$
標準誤差 SE		$SE = \left[\frac{\sum (x_i - \hat{x}_i)^2}{N} \right]^{1/2}$
weibull 繪圖法機率 P_w		$P_w = \frac{i}{N + 1}$
備註	N 為觀測資料個數 x_i 為第 i 個觀測樣本資料 $\hat{x}_i$ 為利用點繪公式計算第 i 個觀測樣本 x_i 累積機率，再由選用之統計分佈估算對應該累積機率之水文量 $\hat{x}_i$	

表附-45 極端值一型 SE 檢定表

一日最大暴雨 (大到小排序)	i	P_w	K_T	X_T	SSE	SEE 和	SE
531.5	1	0.06	1.69	579.21	2275.80	41982.40	56.83
502.5	2	0.13	1.12	493.64	78.42		
476	3	0.19	0.78	441.69	1176.91		
451.5	4	0.25	0.52	403.32	2320.88		
438	5	0.31	0.32	372.23	4325.98		
432	6	0.38	0.14	345.56	7472.18		
418.5	7	0.44	-0.02	321.76	9359.33		
340	8	0.50	-0.16	299.84	1612.82		
316.5	9	0.56	-0.30	279.11	1398.14		
232.5	10	0.63	-0.43	258.99	701.59		
182	11	0.69	-0.57	238.92	3240.41		
162.5	12	0.75	-0.70	218.27	3110.51		
145.5	13	0.81	-0.85	196.08	2558.50		
145	14	0.88	-1.02	170.56	653.19		
95.5	15	0.94	-1.25	136.70	1697.75		

表附-46 皮爾遜三型 SE 檢定表

一日最大暴雨 (大到小排序)	i	P_w	W	t	K_T	X_T	SSE	SEE 和	SE
531.5	1	0.06	2.35	1.53	1.46	545.30	190.39	4924.67	20.26
502.5	2	0.13	2.04	1.15	1.13	495.15	54.07		
476	3	0.19	1.83	0.89	0.89	459.53	271.11		
451.5	4	0.25	1.67	0.67	0.70	430.03	460.93		
438	5	0.31	1.53	0.49	0.52	403.73	1174.39		
432	6	0.38	1.40	0.32	0.36	379.20	2787.60		
418.5	7	0.44	1.29	0.16	0.20	355.57	3960.58		
340	8	0.50	1.18	0.00	0.05	332.18	61.19		
316.5	9	0.56	1.07	-0.16	-0.11	308.47	64.53		
232.5	10	0.63	0.97	-0.32	-0.27	283.84	2636.17		
182	11	0.69	0.87	-0.48	-0.44	257.58	5712.65		
162.5	12	0.75	0.76	-0.67	-0.64	228.65	4375.80		
145.5	13	0.81	0.64	-0.87	-0.86	195.33	2483.52		
145	14	0.88	0.52	-1.12	-1.13	154.21	84.85		
95.5	15	0.94	0.36	-1.46	-1.52	95.89	0.16		

表附-47 對數皮爾遜三型 SE 檢定表

一日最大暴雨 (大到小排序)	i	P_w	W	t	K_T	y_T	e^{y_T}	SSE	SEE 和	SE
531.5	1	0.06	2.35	1.53	1.27	6.36	581.00	2450.60	25302.99	45.92
502.5	2	0.13	2.04	1.15	1.05	6.24	514.28	138.72		
476	3	0.19	1.83	0.89	0.88	6.15	467.26	76.39		
451.5	4	0.25	1.67	0.67	0.73	6.06	429.12	500.90		
438	5	0.31	1.53	0.49	0.59	5.98	396.04	1760.36		
432	6	0.38	1.40	0.32	0.45	5.90	366.17	4333.12		
418.5	7	0.44	1.29	0.16	0.30	5.82	338.42	6412.47		
340	8	0.50	1.18	0.00	0.16	5.74	312.06	780.59		
316.5	9	0.56	1.07	-0.16	0.01	5.66	286.54	897.58		
232.5	10	0.63	0.97	-0.32	-0.16	5.57	261.39	834.49		
182	11	0.69	0.87	-0.48	-0.34	5.46	236.13	2930.39		
162.5	12	0.75	0.76	-0.67	-0.55	5.35	210.23	2277.92		
145.5	13	0.81	0.64	-0.87	-0.79	5.21	182.90	1398.74		
145	14	0.88	0.52	-1.12	-1.11	5.03	152.81	60.93		
95.5	15	0.94	0.36	-1.46	-1.60	4.76	116.71	449.81		

表附-48 三參數對數常態分佈 SE 檢定表

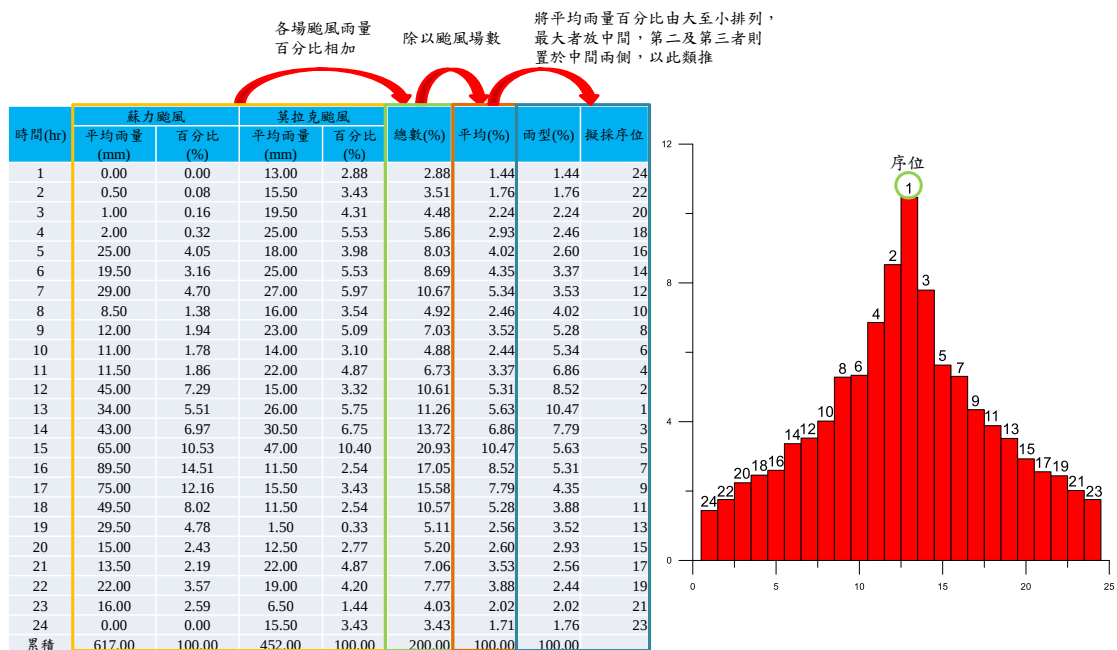
一日最大暴雨 (大到小排序)	i	P_w	W	t	r_1	w	Z_2	K_T	x_T	SSE	SEE 和	SE
531.5	1	0.06	2.35	1.53	2.05	0.41	0.61	1.68	577.97	2159.50	62022.46	71.89
502.5	2	0.13	2.04	1.15				1.03	480.82	470.01		
476	3	0.19	1.83	0.89				0.67	425.29	2571.73		
451.5	4	0.25	1.67	0.67				0.41	386.04	4285.62		
438	5	0.31	1.53	0.49				0.20	355.39	6824.59		
432	6	0.38	1.40	0.32				0.04	329.99	10405.72		
418.5	7	0.44	1.29	0.16				-0.11	308.06	12196.22		
340	8	0.50	1.18	0.00				-0.24	288.53	2648.96		
316.5	9	0.56	1.07	-0.16				-0.36	270.68	2099.38		
232.5	10	0.63	0.97	-0.32				-0.47	253.98	461.50		
182	11	0.69	0.87	-0.48				-0.57	238.00	3135.81		
162.5	12	0.75	0.76	-0.67				-0.68	222.30	3576.53		
145.5	13	0.81	0.64	-0.87				-0.78	206.39	3707.90		
145	14	0.88	0.52	-1.12				-0.90	189.47	1977.27		
95.5	15	0.94	0.36	-1.46				-1.03	169.67	5501.73		

3.雨型設計

本案例蒐集蘇力及莫拉克等兩大颱風事件 24 小時內之時雨量資料，列於表附-49 所示，並根據圖附-8 所示，進行雨型推估。

表附-49 重大颱風事件雨量資料

時間(hr)	蘇力 颱風	莫拉克 颱風	時間(hr)	蘇力 颱風	莫拉克 颱風
1	0	13	13	34	26
2	0.5	15.5	14	43	30.5
3	1	19.5	15	65	47
4	2	25	16	89.5	11.5
5	25	18	17	75	15.5
6	19.5	25	18	49.5	11.5
7	29	27	19	29.5	1.5
8	8.5	16	20	15	12.5
9	12	23	21	13.5	22
10	11	14	22	22	19
11	11.5	22	23	16	6.5
12	45	15	24	0	15.5



圖附-8 雨形計算方法

4.S 歷線疊加

以皮爾遜三型分析之 50 年重現期距降雨量為例，配合上述計算降雨延時 1 小時之單位歷線進行流量疊加，如表附-50。此外，考量疊加過程計算量甚多，故採三小時逕流量疊加，疊加步驟如下：

- (1)將一日降雨量依雨型百分比分配於各小時中。
- (2)將降雨延時 1 小時之單位歷線與超降雨量相乘，可獲得各小時降雨之流量歷線。
- (3)透過各小時流量歷線疊加，即可求得 24 小時 50 年重現期距之流量歷線。

表附-50 流量疊加計算表

1 日 暴雨量 (mm)	t(hr)	1	2	3	...	23	24	流量歷線
609.920	雨型 分配率 (%)	1.44	1.76	2.24		2.02	1.76	
	超滲 降雨量 (cm)	0.88	1.07	1.37		1.23	1.07	
t(hr)	U(1,t)	0.88*U(1,t)	1.07*U(1,t-1)	1.37*U(1,t-2)	...	1.23*U(1,t-23)	1.23*U(1,t-24)	Q(cms)
0	0.00	0.00						0.00
0.1	0.99	0.87						0.87
0.2	2.98	2.61						2.61
0.3	5.95	5.22						5.22
0.4	9.92	8.70						8.70
0.5	14.88	13.05						13.05
0.6	20.83	18.27						18.27
0.7	27.78	24.36						24.36
0.8	34.14	29.95						29.95
0.9	39.93	35.02						35.02
1	45.14	39.59	0.00					39.59
1.1	48.77	42.78	1.06					43.84
1.2	50.84	44.59	3.19					47.78
1.3	51.34	45.03	6.37					51.40
1.4	50.26	44.08	10.62					54.70
1.5	47.62	41.76	15.93					57.69
1.6	43.40	38.07	22.30					60.37
1.7	37.61	32.99	29.73					62.72
1.8	31.83	27.92	36.55					64.46
1.9	26.04	22.84	42.74					65.58
2	20.83	18.27	48.32	0.00				66.59
2.1	16.20	14.21	52.21	1.35				67.78
2.2	12.15	10.66	54.42	4.06				69.14
2.3	8.68	7.61	54.95	8.12				70.69
2.4	5.79	5.08	53.80	13.54				72.42
2.5	3.47	3.05	50.97	20.31				74.33
2.6	1.74	1.52	46.46	28.44				76.42

表附-50 流量疊加計算表(續)

1 日 暴雨量 (mm)	t(hr)	1	2	3	...	23	24	流量歷線
609.920	雨型 分配率 (%)	1.44	1.76	2.24		2.02	1.76	
	超滲 降雨量 (cm)	0.88	1.07	1.37		1.23	1.07	
t(hr)	U(1,t)	0.88*U(1,t)	1.07*U(1,t-1)	1.37*U(1,t-2)	...	1.23*U(1,t-23)	1.23*U(1,t-24)	Q(cms)
2.7	0.58	0.51	40.26	37.92				78.69
2.8	0.00	0.00	34.07	46.61				80.68
2.9			27.88	54.50				82.38
3			22.30	61.61				83.91
3.1			17.34	66.58				85.41
3.2			13.01	69.40				86.87
3.3			9.29	70.08				88.29
3.4			6.19	68.61				89.68
3.5			3.72	65.00				91.03
3.6			1.86	59.24				92.34
3.7			0.62	51.34				93.62
3.8			0.00	43.45				94.64
3.9				35.55				95.42
4				28.44				96.12
4.1				22.12				96.83
4.2				16.59				97.55
4.3				11.85				98.27
4.4				7.90				98.99
4.5				4.74				99.73
4.6				2.37				100.47
4.7				0.79				101.21
4.8				0.00				101.83
4.9								102.33
5								102.77
5.1								103.63
5.2								104.90
5.3								106.59

表附-50 流量疊加計算表(續)

1 日 暴雨量 (mm)	t(hr)	1	2	3	...	23	24	流量歷線
609.920	雨型 分配率 (%)	1.44	1.76	2.24		2.02	1.76	
	超滲 降雨量 (cm)	0.88	1.07	1.37		1.23	1.07	
t(hr)	U(1,t)	0.88*U(1,t)	1.07*U(1,t-1)	1.37*U(1,t-2)		1.23*U(1,t-23)	1.23*U(1,t-24)	Q(cms)
5.4								108.69
5.5								111.21
5.6								114.14
5.7								117.49
5.8								120.52
· · ·						· · ·		
22						0.00		99.66
22.1						1.22		99.07
22.2						3.66		98.27
22.3						7.32		97.25
22.4						12.20		96.02
22.5						18.29		94.57
22.6						25.61		92.91
22.7						34.15		91.03
22.8						41.97		89.34
22.9						49.09		87.84
23						55.49	0.00	86.49
23.1						59.96	1.06	85.14
23.2						62.50	3.19	83.77
23.3					63.11	6.37	82.40	
23.4					61.79	10.62	81.02	
23.5					58.54	15.93	79.63	
23.6					53.35	22.30	78.24	
23.7					46.24	29.73	76.84	
23.8					39.13	36.55	75.67	

表附-50 流量疊加計算表(續)

1 日 暴雨量 (mm)	t(hr)	1	2	3	...	23	24	流量歷線
609.920	雨型 分配率 (%)	1.44	1.76	2.24		2.02	1.76	
	超滲 降雨量 (cm)	0.88	1.07	1.37		1.23	1.07	
t(hr)	U(1,t)	0.88*U(1,t)	1.07*U(1,t-1)	1.37*U(1,t-2)		1.23*U(1,t-23)	1.23*U(1,t-24)	Q(cms)
23.9						32.01	42.74	74.76
24						25.61	48.32	73.93
24.1						19.92	52.21	72.13
24.2						14.94	54.42	69.36
24.3						10.67	54.95	65.63
24.4						7.11	53.80	60.92
24.5						4.27	50.97	55.24
24.6						2.13	46.46	48.59
24.7						0.71	40.26	40.98
24.8						0.00	34.07	34.07
24.9							27.88	27.88
25							22.30	22.30
25.1							17.34	17.34
25.2							13.01	13.01
25.3							9.29	9.29
25.4							6.19	6.19
25.5							3.72	3.72
25.6							1.86	1.86
25.7							0.62	0.62
25.8							0.00	0.00

參考文獻

- 1.行政院農業委員會水土保持局(2017),「水土保持手冊」。
- 2.行政院農業委員會水土保持局(2014),「水土保持技術規範」。
- 3.行政院公共工程委員會(2001),「第 02386 章 砌排石工」。
- 4.經濟部水利署水利規劃試驗所(2012),「臺灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統平台建立(2/3)」。
- 5.經濟部水利署(2004),「堤壩之安全管理與監測」。
- 6.經濟部水資源局(2001),「水文設計應用手冊」。
- 7.內政部營建署(2011),「建築技術規則耐震設計」。
- 8.內政部營建署(2017),「混凝土結構設計規範」。
- 9.中華民國國家標準 CNS(2018),「鋼筋混凝土用鋼筋」。
- 10.社團法人日本河川協會編(1997),「建設省河川砂防技術基準(案)同解說設計編II」,山海堂。
- 11.社團法人日本道路協會編(2002),「道路橋示方書 IIIコンクリート橋編」。
- 12.日本宮城縣政府,「土石流・流木対策施設」。
- 13.日本愛知縣政府 (2008),「砂防設計の手引書卷末資料 02」。
- 14.陳樹群、王順昌(2002),「魚骨型魚道之水理及泥砂特性試驗研究」,中華水土保持學報, 33(4): pp.271-282。
- 15.廖培明(1998),「水文調查分析講義」,臺灣省水利規劃試驗所。
- 16.連惠邦等(2002),「土石流防治工法之研究評估(二)」,行政院農業委員會水土保持局。
- 17.連惠邦、蔡易達(2013),「水土保持防砂工程防砂量計量模式之建立與應用」,中華水土保持學報, 44(4): pp.351-362。
- 18.連惠邦(2017),「土砂災害與防治」。
- 19.曹明正、段錦浩(1992),「不同壩高下逆坡消能塊之試驗研究」,中華水土保持學報, 23(1): pp.63-72。
- 20.段錦浩、林明威、黃立勳(2004),「廢輪胎材料對土石流撞擊力消能之研究」,中華水土保持學報, 35(2): pp.151-163。
- 21.Chen, S.C., Wang, S.C., and Tfwala, S.S. (2017) “Hydraulics driven upstream migration of Taiwanese indigenous fishes in a fish-bone-type fishway” Ecological

- Engineering, 108,pp 179-193.
21. Mockus, V.(1957) Use of storm and watershed characteristics in synthetic hydrograph analysis and application. Paper presented at the annual meeting of AGU Pacific Southwest Region.
 22. Takahashi, T.(1978) Mechanical characteristics of debris flow, J. of Hydr., ASCE, 104(HY8), pp.1153-1169.
 23. Viessman, Warren, Jr., Gary L. Lewis, and John W. Knapp(2003) Introduction to Hydrology, 5rd ed., Harper and Row, N. Y

水土保持單元叢書 01-非透過性防砂壩

編著者：行政院農業委員會水土保持局

發行人：李鎮洋

發行所：行政院農業委員會水土保持局

策劃指導人員：李鎮洋、王晉倫、連榮吉、柯燦堂、范世億、周廷彰、王志雄、林仕修、
吳瑞鵬

編審人員：尤敬弦、王志豪、石軒寧、李木青、李麗萍、林宜瑩、林彥伯、段錦浩、洪啟耀、
洪崇仁、孫明德、張三郎、梁家齊、陳沛霖、游元興、游以民、童遠欽、馮美禎、
黃柏璥、黃靜瑩、黃胤慈、詹勳全、鍾庫比亞、嚴曉嘉、蘇中鈺
(以姓氏筆畫為序)

行政統籌：顏川舜

地址：54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號

電話：(049)2394300

網址：本書同時刊載於行政院農業委員會水土保持局全球資訊網站 (<http://www.swcb.gov.tw>)

編印日期：中華民國 108 年 02 月

定 價：600 元

G P N：1010800303

I S B N：9789860586695

著作權：本刊著作權歸行政院農業委員會水土保持局所有