



水土保持單元叢書 07

陡坡坡面排水渠道消能設施

行政院農業委員會水土保持局



水土保持單元叢書07

陡坡坡面排水渠道 消能設施

Energy Dissipator of Steep slope stream



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110年11月

目錄

目錄	I
表目錄	II
圖目錄	IV
第一章 前言與目的	1-1
第二章 消能設施種類及適用範圍	2-1
2.1 目的與功能	2-3
2.2 消能檻(Dentated sill)	2-4
2.3 階梯式洩槽(Stepped chute)	2-6
2.4 皺紋鋼鈑溝(Metal drainage ditch)	2-8
第三章 規劃設計原則	3-1
3.1 規劃設計程序	3-1
3.2 基本資料蒐集	3-3
3.3 水文分析	3-6
3.4 水理分析	3-27
3.5 生態友善措施	3-40
3.6 消能檻設計要點	3-53
3.7 階梯式洩槽設計要點	3-60
3.8 皺紋鋼鈑溝設計要點	3-73
3.9 維護管理規劃	3-78
第四章 實際案例	4-1
4.1 消能檻設計案例	4-1
4.2 階梯式洩槽設計案例	4-10
4.3 皺紋鋼鈑溝設計案例	4-27
附錄一 相關參數、公式及計算範例	附錄 1-1
附錄二 參考文獻	附錄 2-1

表目錄

表 1-1 陡坡坡面排水問題.....	1-1
表 2-1 常見消能設施說明.....	2-1
表 3-1 逕流係數參考表.....	3-11
表 3-2 雨量資料參數公式表.....	3-15
表 3-3 極端值一型分布計算公式表.....	3-16
表 3-4 皮爾遜第三型分布計算公式表.....	3-16
表 3-5 對數皮爾遜第三型分布計算公式表.....	3-17
表 3-6 三參數對數常態分布計算公式表.....	3-17
表 3-7 卡方分布臨界值表.....	3-19
表 3-8 SE 檢定參數計算公式表.....	3-20
表 3-9 三角單位歷線所需之參數表.....	3-23
表 3-10 三角形單位歷線洪峰係數與 m 值修正表.....	3-25
表 3-11 單位降雨延時推估.....	3-25
表 3-12 不同材料之排水設施最大容許流速表.....	3-27
表 3-13 曼寧粗糙係數 n 值表.....	3-28
表 3-14 消能檻設計所需公式符號表.....	3-58
表 3-15 消能檻設計形式建議條件表.....	3-58
表 3-16 消能檻設計流量與可容許單寬流量對照表.....	3-59
表 3-17 階梯式洩槽設計所需公式符號表.....	3-66
表 3-18 階梯式洩槽水工試驗條件設計表.....	3-68
表 3-19 皺紋鋼鈑溝設計所需公式符號表.....	3-77
表 4-1 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程水文基本參數.....	4-2
表 4-2 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 35.7%).....	4-3
表 4-3 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 50%).....	4-4
表 4-4 臺中市和平區平等里坑溝整治工程水文基本參數.....	4-11
表 4-5 臺中市和平區平等里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 15%).....	4-12
表 4-6 臺中市和平區平等里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 25%).....	4-13
表 4-7 臺中市和平區平等里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 30%).....	4-14

表 4-8 臺中市和平區平等里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 40%)	4-15
表 4-9 臺中市和平區平等里坑溝整治工程之階梯設計參數	4-24
表 4-10 臺中市和平區梨山里縱向排水工程水文基本參數(A 工區)	4-28
表 4-11 臺中市和平區梨山里縱向排水工程水文基本參數(B 工區)	4-29
表 4-12 臺中市和平區梨山里縱向排水工程渠道整治斷面設計參數(A 工區坡度 60%)	4-30
表 4-13 臺中市和平區梨山里縱向排水工程渠道整治斷面設計參數(A 工區坡度 15%)	4-31
表 4-14 臺中市和平區梨山里縱向排水工程渠道整治斷面設計參數(B 工區坡度 60%)	4-32
表 4-15 臺中市和平區梨山里縱向排水工程流速檢算	4-38
表 4-16 臺中市和平區梨山里縱向排水工程可容許流量檢算	4-39
表 4-17 臺中市和平區梨山里縱向排水工程設計參數調整	4-39
附表 1-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	2
附表 1-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	6
附表 1-3 台灣南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	12
附表 1-4 台灣東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	15
附表 1-5 離島各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數表	18
附表 1-6 北部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和年平均雨量表	18
附表 1-7 中部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和年平均雨量表	19
附表 1-8 南部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和年平均雨量表	20
附表 1-9 東部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和年平均雨量表	21

圖目錄

圖 2-1 各種常見消能設施之圖片	2-2
圖 2-2 消能檻俯視圖及側視圖	2-5
圖 2-3 消能檻現場照片	2-5
圖 2-4 階梯式洩槽俯視圖及側視圖	2-7
圖 2-5 階梯式洩槽現場照片	2-7
圖 2-6 改良型階梯式洩槽側視圖	2-7
圖 2-7 皺紋鋼鈹溝俯視圖及側視圖	2-9
圖 2-8 皺紋鋼鈹溝現場照片	2-9
圖 3-1 設計流程圖	3-1
圖 3-2 平均雨量計算示意圖	3-7
圖 3-3 等雨量線平均雨量法	3-8
圖 3-4 集水區雨量站分布示意圖	3-9
圖 3-5 迴歸法補遺雨量紀錄	3-10
圖 3-6 卡方檢定計算過程示意圖	3-18
圖 3-7 三角形單位歷線圖	3-21
圖 3-8 三角單位歷線計算示意圖	3-24
圖 3-9 陡坡渠道水流不穩定現象示意圖	3-31
圖 3-10 水流不穩定現象微觀示意圖	3-31
圖 3-11 現場渠道內之水流不穩定現象圖片	3-32
圖 3-12 各坡度矩形渠道($z=0$)之穩定福祿數曲線圖	3-34
圖 3-13 各坡度梯形渠道($z=0.3$)之穩定福祿數曲線圖	3-35
圖 3-14 各坡度梯形渠道($z=0.5$)之穩定福祿數曲線圖	3-35
圖 3-15 各坡度梯形渠道($z=1$)之穩定福祿數曲線圖	3-36
圖 3-16 水流消能機制示意圖	3-38
圖 3-17 生態檢核作業流程	3-43
圖 3-18 排水系統單側壁面垂向緩斜坡道示意圖	3-45
圖 3-19 排水系統部分壁面垂向緩斜坡道示意圖	3-47
圖 3-20 排水系統單側向緩斜坡道(I 型)示意圖	3-49

圖 3-21 排水系統單側向緩斜坡道(Ⅱ型)示意圖	3-50
圖 3-22 排水系統單側向緩斜坡道(Ⅲ型)示意圖	3-51
圖 3-23 排水渠道設置跨越型棧道示意圖	3-52
圖 3-24 消能檻立體圖	3-53
圖 3-25 消能檻俯視圖	3-53
圖 3-26 消能檻剖面圖 A-A	3-54
圖 3-27 消能檻剖面圖 B-B	3-54
圖 3-28 消能檻水流消能機制示意圖	3-55
圖 3-29 消能檻設計流程圖	3-57
圖 3-30 階梯式洩槽立體圖	3-60
圖 3-31 階梯式洩槽平面圖	3-60
圖 3-32 階梯式洩槽剖面圖 A-A	3-61
圖 3-33 階梯式洩槽剖面圖 B-B	3-61
圖 3-34 階梯式洩槽之水流形態示意圖	3-62
圖 3-35 舌流形態示意圖	3-63
圖 3-36 過度流形態示意圖	3-63
圖 3-37 滑移流形態示意圖	3-64
圖 3-38 階梯式洩槽設計流程圖	3-65
圖 3-39 階梯式洩槽流態判釋圖	3-67
圖 3-40 試驗組階梯式洩槽流態判釋圖	3-69
圖 3-41 階梯式洩槽水工試驗成果圖	3-70
圖 3-42 改良型階梯式洩槽之水流流態示意圖	3-71
圖 3-43 階梯式洩槽與改良型階梯式洩槽之消能成效比較圖	3-72
圖 3-44 改良型階梯式洩槽尺寸計算圖	3-72
圖 3-45 皺紋鋼鈹溝立體圖	3-73
圖 3-46 皺紋鋼鈹溝平面圖	3-73
圖 3-47 皺紋鋼鈹溝剖面圖 A-A	3-74
圖 3-48 皺紋鋼鈹溝剖面圖 B-B	3-74
圖 3-49 利用摩擦力消能機制圖	3-74

圖 3-50 曼寧粗糙係數推估值與實際值比較.....	3-75
圖 3-51 鋼鈑溝設計流程.....	3-76
圖 3-52 監測儀器架設示意圖.....	3-79
圖 3-53 自計壓力式水位計.....	3-80
圖 3-54 監測資料即時傳輸至雲端資料收集平台.....	3-80
圖 3-55 自計壓力式水位計於現地架設之情形.....	3-80
圖 3-56 自計式雷達波流速儀於現地架設示意圖.....	3-81
圖 3-57 手持式都普勒流速儀(ADV)示意圖.....	3-82
圖 3-58 縮時攝影機架設示意圖.....	3-83
圖 3-59 無降雨事件下河道水流流況.....	3-83
圖 3-60 降雨事件下河道水流流況.....	3-83
圖 4-1 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程施工前現地狀況.....	4-1
圖 4-2 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程平面配置圖.....	4-5
圖 4-3 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程消能檻設計圖.....	4-6
圖 4-4 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程施工前後照片	4-8
圖 4-5 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程現況照片	4-9
圖 4-6 臺中市和平區平等里坑溝整治工程施工前現地狀況.....	4-10
圖 4-7 臺中市和平區平等里坑溝整治工程平面配置圖.....	4-16
圖 4-8 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖(坡度 30%)	4-17
圖 4-9 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖(坡度 30%、加蓋板)	4-18
圖 4-10 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖(坡度 40%)	4-19
圖 4-11 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖(坡度 25%)	4-20
圖 4-12 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖-1(坡度 15%、加蓋板) ..	4-21
圖 4-13 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖-2(坡度 15%、加蓋板) ..	4-22
圖 4-14 臺中市和平區平等里坑溝整治工程流態檢算成果.....	4-24
圖 4-15 臺中市和平區平等里坑溝整治工程施工前、後照片	4-25
圖 4-16 臺中市和平區平等里坑溝整治工程現況照片	4-26
圖 4-17 臺中市和平區梨山里縱向排水工程施工前現地狀況.....	4-27
圖 4-18 臺中市和平區梨山里縱向排水工程 A 工區平面配置圖.....	4-33

圖 4-19 臺中市和平區梨山里縱向排水工程 B 工區平面配置圖	4-35
圖 4-20 臺中市和平區梨山里縱向排水工程皺紋鋼鈹溝設計圖-1	4-36
圖 4-21 臺中市和平區梨山里縱向排水工程皺紋鋼鈹溝設計圖-2	4-37
圖 4-22 臺中市和平區梨山里縱向排水工程施工前後照片	4-40
圖 4-23 臺中市和平區梨山里縱向排水工程現況照片	4-41

第一章 前言與目的

陡坡坡面排水設施因其坡度陡、流速快，水理機制較為複雜，因此陡坡排水渠道需進行相關消能設施之設置，然對於工程設計者來說，因無統一之設計原則，導致設施之設計形式及尺寸僅憑其相關工程經驗進行設計。目前於工程設計上常見之問題可分為「山區區位」、「施工方法及條件」及「高流速」三者，各類別之問題列表於表 1-1。

表 1-1 陡坡坡面排水問題

項次	問題	類別
1	大型開挖機具操作不易、人工成本增加	山區區位
2	山區混凝土材料運輸困難	
3	冬季氣溫低致使水泥水化作用中止	
4	大面積開挖整坡將降低邊坡整體安全性	施工方法及條件
5	地質條件多屬地滑地、崩塌地或破碎頁岩，不宜大範圍開挖	
6	排水溝與靜水池交界面搭接困難	
7	渠末工排放點位如何選取，以及如何排放	
8	果樹澆灌使坡面土壤含水量高，不透水溝面不易收集入滲水	高流速
9	陡坡與緩坡交界產生水躍與沖刷	
10	高速水流挾帶土砂，破壞混凝土表面結構	
11	坡面漫地流流速快，使逕流水不易收集	
12	坡面與縱向溝銜接點易淘刷	
13	為符合水保技術規範安全流速之規定，使溝面寬度增大，導致水深下降，福祿數增高	

悉此，編著本單元叢書以供工程設計之參考，除能依循初步設計原則，並能提升設計之效益。陡坡坡面排水系統有別於一般平地常見之排水系統設計，除上表列舉之問題外，較為迫切待解決之問題為 1.水流高流速、2.水流能量較大易造成災害、3.混凝土施工不易與挖填影響邊坡自身安全等問題，其中坡度的變化導致流況轉換，在陡坡與緩坡交界處之水流所產生水躍與沖刷現象，致使水流飛濺衍生安全疑慮，另外，在高速水流與泥砂之共同作用下，易因穴蝕作用與磨蝕作用造成混凝土表面之破壞，因此需縝密考量其水流機制、消能型態，從其挑選合宜之工法。

陡坡坡面排水渠道適用之消能設施，透過不同消能機制產生水躍，藉此減少水流能量、安全排放逕流。

第二章 消能設施種類及適用範圍

消能設施為現今工程常見之運用工法，針對不同治理區位、功用等選用合宜之消能設施，其具有相異之消能機制，首先以消能狀態(碰撞、灌氣、水躍、表面摩擦及靜止)列舉應用於渠道之設施進行說明，表 2-1 為常見之消能設施，圖為各消能設施之圖片。

然考量消能設施運用於陡坡坡面之區位、地理特性及工程難度，本叢書係針對台灣陡坡坡面區位較常使用及新型之消能設施，消能檻、階梯式洩槽、皺紋鋼鈹溝等三種設施進行說明，本小節針對其形體、消能機制、適用種類及其優缺點進行說明。其適用條件及優缺點，其各工法之詳細適用性可參考 2.2~2.4 小節。

表 2-1 常見消能設施說明

消能狀態	消能方式概述	消能設施種類
碰撞	以構造物直接構築於渠道中，使高速水流直接碰撞構造物，達到消能效果。	消能檻、齒坡消能工、階梯式洩槽、消能石、固床工
灌氣	高速水流射入空氣，逐漸變為挾帶大量空氣之水流，內部流線切段產生分子間之碰撞，覆行墜落。	階梯式洩槽、尾堰
水躍	水躍形成後一部分動能轉為位能，使水深大增、流速減緩，水流漸近於常流而不致發生沖刷災害。	溢洪坡道、尾堰
表面摩擦	利用構造物材質粗糙度或形狀之特性，使水流與渠底及渠壁相互摩擦達到消能目的。	鋼鈹溝、不封底植草、砌石構造
靜止	利用階段性構造物，使上游來水先行消能，使水流以溢流之方式往下游移動，阻斷水流持續增加能量。	跌水工、消能靜水池



(a) 消能石



(b) 固床工



(c) 消能靜水池



(d) 消能檻



(e) 齒坡消能工



(f) 尾堰



(g) 溢洪坡道



(h) 跌水工

圖 2-1 各種常見消能設施之圖片



(i) 砌石工法



(j) 不封底植草



(k) 階梯式洩槽



(l) 鋼板溝

圖 2-1 各種常見消能設施之圖片(續)

2.1 目的與功能

陡坡坡面排水渠道消能設施為直接構築於渠道之工法，透過各式消能機制使逕流安全排放，由於陡坡的地理條件導致水流在渠道排水中多為高流速之流況，因此經常使用消能設施透過各式消能機制減緩流速，並達到消能效果，使其安全排放，其消能設施之功能，包括：

- 1.減緩水流持續加速、降低水流流速，減少對結構物表面之破壞。
- 2.提供水流挾帶物質(例：礫石、泥砂)攔阻之功能，避免直接衝擊下游。
- 3.減少整體水流能量，減輕下游水流匯集點負荷。
- 4.消能構造物在陡坡人工渠道中提供動物立足點，友善動物。

2.2 消能檻(Dentated sill)

消能檻為橫置於排水渠道底部之方柱型混凝土構造物，如圖 2-2、圖 2-3 所示，其功能為削減水流動能，避免高速水流造成混凝土表面穴蝕之情形，另外，渠壁可以砌石或植草等型態施作，避免渠道皆為不透水定型化渠道。

在陡坡渠道中水流受重力及坡度影響而不斷加速，在撞擊消能檻後消彌過甚之動能，水流在撞擊後流線分離，透過噴濺之形式以分子間撞擊降低能量(臺灣省水利局灌溉排水工程設計，1978)。

依據美國墾務局技術報告 (1978)、水保局台中分局(2021)之試驗成果，消能檻適用於坡度 15%至 50%間有較佳之消能效果，且計畫流量大小需小於可容許單寬流量(美國墾務局技術報告，1978)，使坡度及流量對於噴濺情況影響較小，在設計渠道坡度變化處可搭配靜水池設銜接，其優缺點整理於下。

1. 優點

- (1) 因其形狀規則，於陡坡渠道可配合其尺寸及規模，施工性較為便利。
- (2) 透過撞擊進行消能，直接攔阻能量過大之水流。
- (3) 於低水位時期水流可透過消能檻交錯排列方式增加流動距離，避免持續增強水流直進性。

2. 缺點

- (1) 流量過大流速過快之情況下會使水流產生飛濺，以致於有機會沖蝕設施之背填土。
- (2) 為避免水流撞擊消能檻飛濺溢流至渠道外，渠壁需酌加出水高對於動物形成高壁障礙阻礙通行等。
- (3) 渠道形式常以不透水定型化渠道方式進行施作。

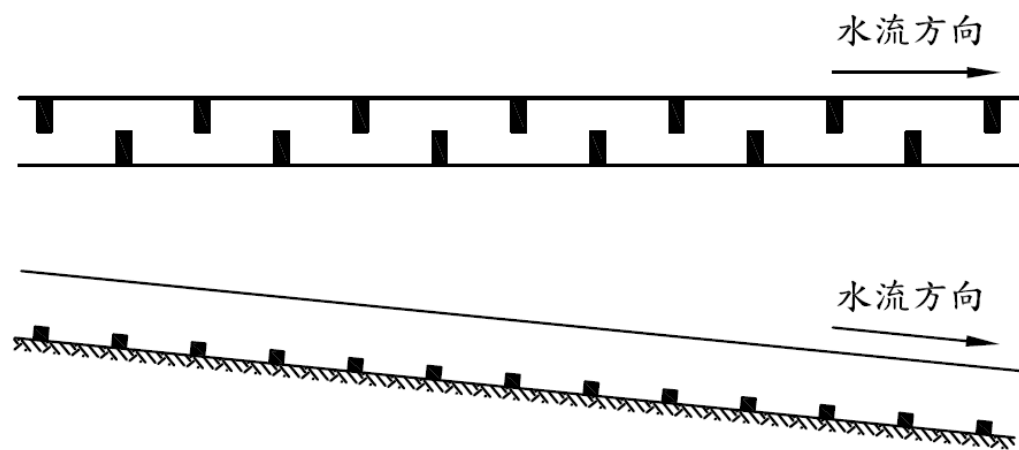


圖 2-2 消能檻俯視圖及側視圖



(a) 渠道寬度 1/2 型消能檻



(b) 渠道寬度 3/4 型消能檻

圖 2-3 消能檻現場照片

2.3 階梯式洩槽(Stepped chute)

階梯式洩槽為階梯形式之消能設施，如圖 2-4、圖 2-5，階梯式洩槽設計原理係期望水流經由階段式跌落，不斷產生撞擊及挾氣現象(臺灣省水利局灌溉排水工程設計，1978)，以削弱陡坡渠道水流之能量，並可在各階梯尾端加入尾檻增加消能效益，其為改良型階梯式洩槽，如圖 2-6。另外，渠壁可以砌石或植草等型態施作，避免渠道皆為不透水定型化渠道。

階梯式洩槽係利用階梯之階段性構造物降低陡坡渠道水流速度、避免水流能量持續增加，在渠道坡度轉折處可搭配靜水池設計銜接，依據水保局台中分局(2021)之試驗成果，適用之坡面坡度為坡度(15%~70%)，及易受噴濺情形影響之區域(例：果園、農地)，若坡度超過 70%則需考量加寬渠道及加高渠壁。

1. 優點

- (1) 可應用之坡度較為廣泛。
- (2) 無水流撞擊構造物造成噴濺沖蝕兩岸問題。
- (3) 可於需加強消能之坡段設置尾檻，使水流形成水墊增加消能效益。
- (4) 於枯水期低水位時可提供動物立足點，並提供縱向及橫向移動之可行性。

2. 缺點

- (1) 渠底即為階梯式之構造，受水流沖蝕及其他挾帶物質影響較易損壞。
- (2) 若有設置尾檻水流將形成水墊，該處流速較慢易使泥砂淤積而喪失其功能。
- (3) 需開挖範圍較大，不利地質脆弱之地區。
- (4) 渠道形式常以不透水定型化渠道方式進行施作。
- (5) 改良型階梯式洩槽於非汛期低水位時，易有流速過慢導致各階梯產生淤砂之情形。

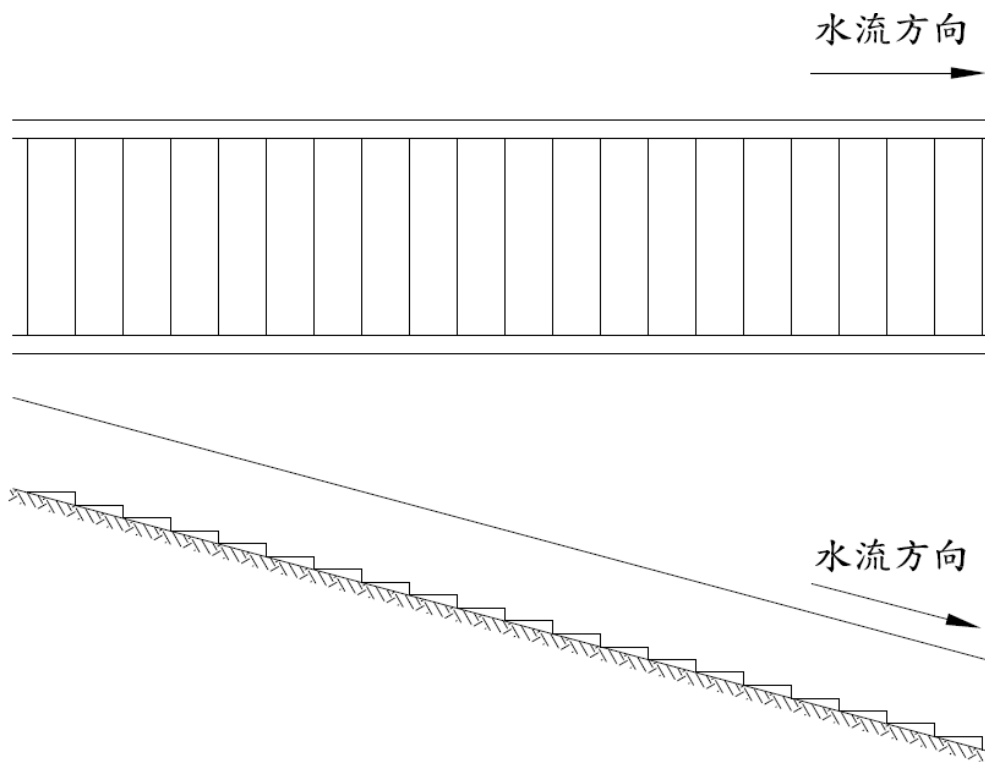


圖 2-4 階梯式洩槽俯視圖及側視圖



(a) 階梯式洩槽(非汛期時)



(b) 階梯式洩槽(汛期時)

圖 2-5 階梯式洩槽現場照片

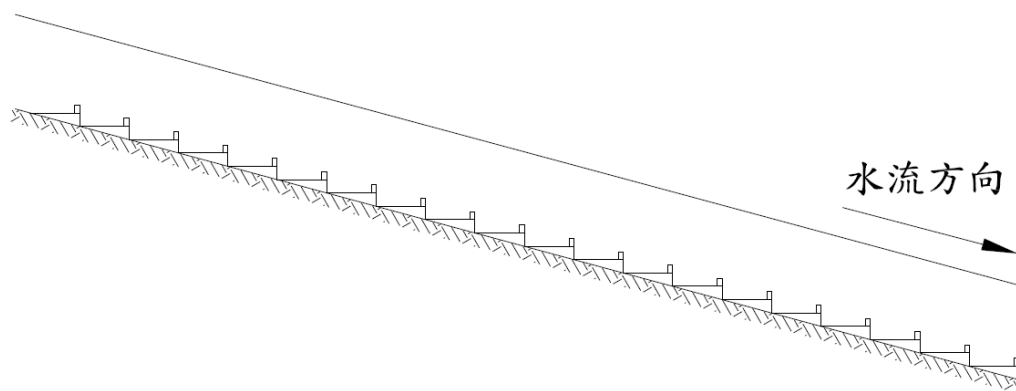


圖 2-6 改良型階梯式洩槽側視圖

2.4 皺紋鋼鈹溝(Metal drainage ditch)

皺紋鋼鈹溝係以模具壓製而成之波浪型渠壁構造物，可直接利用螺栓及墊片組合於坡面上。

皺紋鋼鈹溝藉以渠壁、渠底之波浪狀增加摩擦力、提升曼寧糙度，進而減緩水流流速，並利用波浪狀渠壁之特性使水流受到干擾(臺灣省水利局灌溉排水工程設計，1978)，最終達到消能之目的。

皺紋鋼鈹溝施工方面具有便利且快速之特性，若為工程搶修排除坡面逕流所用時，不需等待混凝土水化之時間，可作為一臨時性之構造物；若作為一般坡面排水工程之永久性構造物，皺紋鋼鈹溝施放處兩側僅須回填少量混凝土，混凝土用量少於一般 RC 渠道工程施作方式，且其運輸成本較低，適用範圍為大型機具難以到達、坡度較為陡峭，在渠道坡度轉折處可搭配靜水池設計銜接。

1. 優點

- (1) 溝體為預鑄方便施工、減少人力成本及施工時間，又別於傳統光滑表面之溝底可避免水流能量過大，可靈活運用於各區位。
- (2) 量體較小，可針對治理區位重點處理，無須大範圍開挖，減少開挖面積、降低混凝土使用量。
- (3) 可為工程搶修、排除坡面逕流之臨時性構造物所用。
- (4) 坡面產生位移時因其金屬性撓曲特性不易破損，避免地表逕流入滲坡面

2. 缺點

- (1) 材料強度較鋼筋混凝土低、易受坡面擠壓變形影響。
- (2) 受水流夾帶物質刮蝕後容易生鏽，影響其耐用性。
- (3) 與混凝土溝或靜水池材料不同，搭接處仍需額外澆置混凝土，施工時須留意搭接處。

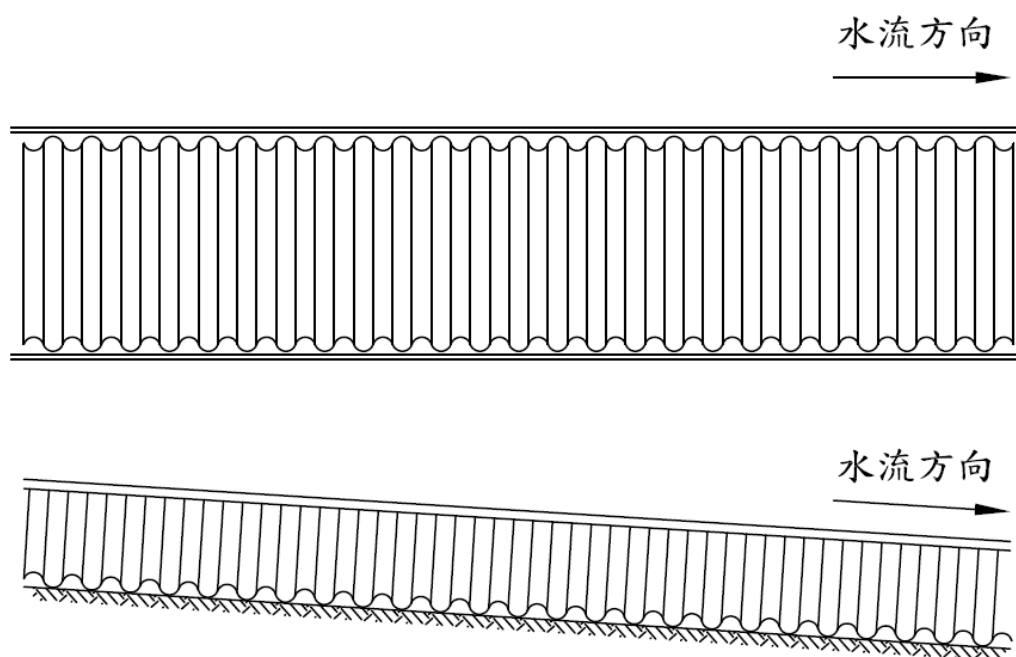


圖 2-7 皺紋鋼鈹溝俯視圖及側視圖



(a) 皺紋鋼鈹溝外觀-1



(b) 皺紋鋼鈹溝外觀-2

圖 2-8 皺紋鋼鈹溝現場照片

第三章 規劃設計原則

陡坡坡面排水因其高流速、水理性質迥異、水流噴濺問題等，一般排水溝無法適用於陡坡排水之設計原則，以下論述陡坡坡面排水渠道消能設施之設計原則及其流程。

3.1 規劃設計程序

陡坡坡面排水建置之設計流程參照圖 3-1，各步驟之詳細敘述如下：

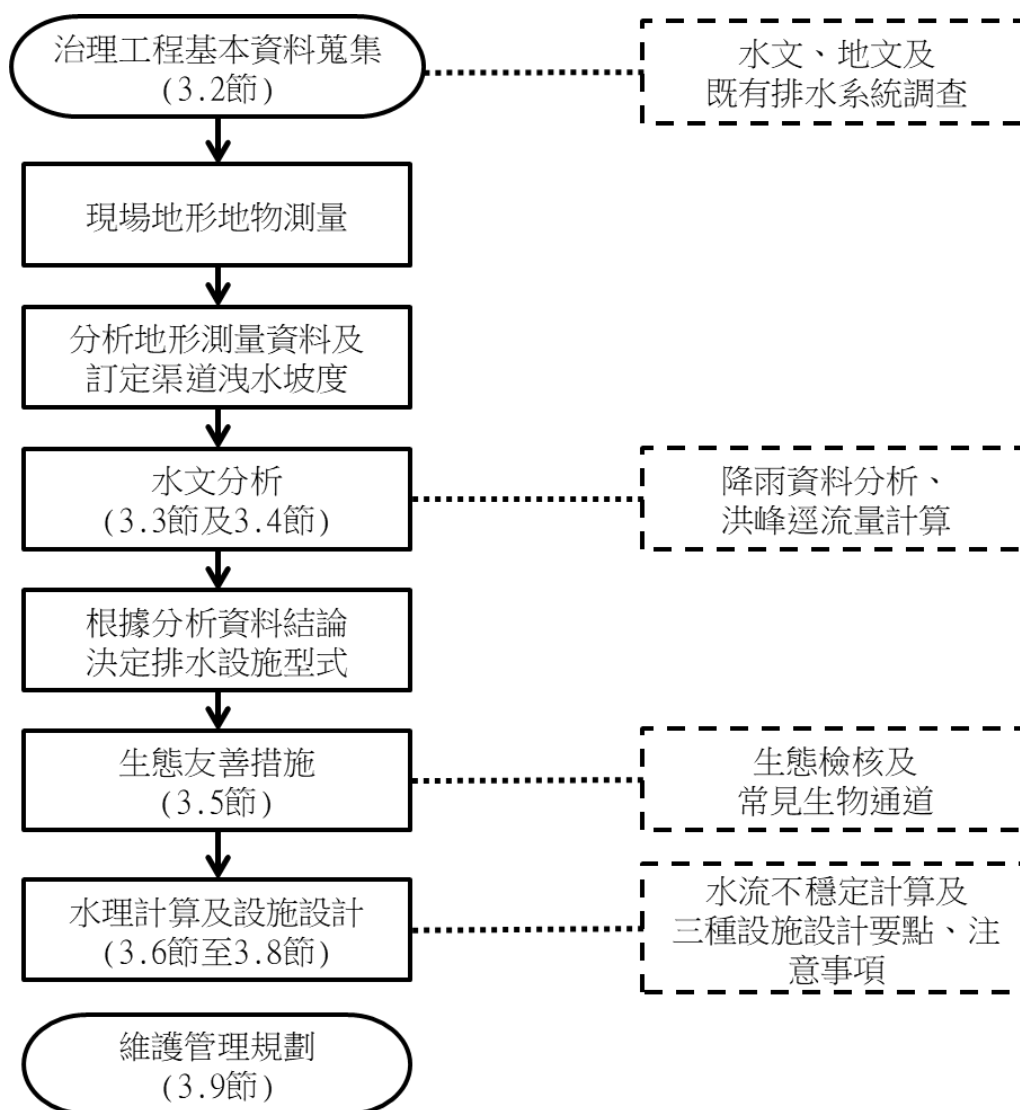


圖 3-1 設計流程圖

1. 需先行收集雨量、土壤及地質、土地利用狀況等資料，再配合現場調查既有排水系統與設施等，確認陡坡坡面排水之集水區範圍。
2. 針對治理區位進行精密之地形地物測量。
3. 利用現地測量與資料收集之地形資料進行分析，計算出原地形坡面坡度以及訂定渠道洩水坡度。
4. 訂定渠道洩水坡度後，需進行降雨資料處理、模式選定、雨型計算降雨強度推估、洪峰逕流量等相關之水文分析，以利於選定排水設施的型式。
5. 排水設施設計時，首先需考量設施周遭與原地貌之銜接，力求開挖影響最小化，並使計畫排水設施可以安全銜接上下游排水系統。
6. 隨後則依照水理分析成果，初步設計渠道、消能設施之尺寸，並檢算水流穩定狀況、通水斷面及可容許流量是否滿足計畫設計流量、設計流速及排水水力剖面線是否順暢，確保排水設施之設計水深與出水高合宜，最後進行結構及地工等設計。
7. 針對生態檢核流程進行檢核，並評估該治理工程區位對於當地動物之衝擊影響，選取適合之生物通道，檢討原定工程設計方案是否需進行改善，使生態與防災概念並重。
8. 待工程施工中及完工後，評估是否需建置相關監測系統以觀測渠道之流況、流速、流量等，作為後續治理工程之參考依據，並與維管單位建立共識定期巡勘檢修。

3.2 基本資料蒐集

為妥善設計消能設施，必須了解工程地點之基本資料，針對治理區之特性蒐集基本資料進行說明，如雨量、地質狀況、土壤分布、地形、崩塌地範圍及集水區等。

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為求資料連貫性，皆自水土保持手冊(2017)基本資料調查與分析篇全錄於本叢書。以下簡述資料獲取目的與路徑。

1. 雨量

雨量資料係設計時最重要的參考資料之一，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「觀測資料查詢」網頁查詢雨量資料；亦可透過經濟部水利署之「水文資訊網整合服務系統」網頁或水文年報查詢各型式之雨量資料，如取得年平均等雨量線圖、雨量站分布圖及觀測雨量及歷年統計資料等。

2. 地質

地質資料可用於瞭解計畫區地表層之地質材料、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。可於經濟部中央地質調查所提供之「地質資料整合查詢」網頁取得相關地質資料、查詢計畫區域附近之鑽探資料作為比對。。

3. 土壤

可以相關圖資搭配現場土壤調查結果，可瞭解表層土壤狀況，以供工程規劃時選定合適之邊坡穩定處理工程。土壤之調查與分析包含調查區概況、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，進而了解計畫排水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. 遙測影像

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，也可作為排水設施位置配置之參考。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。

5. 數值地形

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(2020)之計算方式，求得坡度及坡向。

(1) 水土保持局巨量空間資訊系統(BigGIS)

水土保持局建置與應用巨量空間圖資之特性，以兼具效能、擴充性與一致性之檔案標準化處理技術，將資料整合倉儲於符合國際標準之空間資料庫，使用者可設定任意時間、空間、或其他屬性，快速搜尋查找巨量圖資，並展示於兼具 2D 及 3D、區域型 3D 及單、雙視窗與 Google 街景連動介面之網際網路資訊平臺。

(2) 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。

(3) 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。

6. 地下水

地下水調查結果，可瞭解計畫區地下水之存在與流動狀況，以供坡面穩定分析及地下排水規劃之參考依據。地下水調查內容包含水文地質、地下水位或孔隙水壓力及地下水流況等，並就所需項目，選擇適當方法實施之。相關資料可向行政院環境保護署、交通部中央氣象局、經濟部水利署及中央地質調查申請取得。

7. 蝕溝

蝕溝調查結果，可瞭解坡面蝕溝之侵蝕程度、型態及分布，以作為土砂來源、坡面土壤侵蝕量估算與後續坡面保育治理之參採。坡面蝕溝調查主要以緊鄰保全對象或道路可通達處之人為開發或地方通報邊坡之裸露地，為優先調查對象，坡面蝕溝調查點位之選擇，主要經由近期影像選定裸露地位置，再由航照影像判定並至現場勘查，以瞭解坡面蝕溝位置。

8. 土石流

若排水設施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。

9. 崩場地

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場地之土砂材料、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，可瞭解崩塌危害範圍與致災機制，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。

10. 土地利用：

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，作為排水設施規劃之依據。詳細資訊可至內政部國土測繪中心之「國土圖資策會服務雲」之網頁查詢，亦可採用遙測影像加以判釋，配合實地調查加以核對。

3.3 水文分析

實測降雨資料的取得及分析模型的選定，除了降雨資料的觀測與獲取外，對於雨量紀錄的正確性亦屬重要的環節，其中包括集水區平均雨量的推估以及雨量紀錄的可靠性分析和補遺方法等。可再細分為分析模型介紹及選定、雨型設計、設計洪峰流量計算。

一、降雨資料

以雨量測站點雨量值代表集水區之水文狀況時，必須慎選雨量測站與集水區之相對位置。一般，選取集水區內之雨量測站為優先，倘集水區內無任何雨量測站，則選取與集水區之地理位置、海拔高度、氣象條件等相近，且紀錄時間較長之雨量測站進行統計分析。

(一) 平均降雨量計算

由於雨量站觀測到的降雨量，僅代表其周圍小面積內之降雨量，稱為點降雨量。在集水區較大之尺度上進行各種水文分析時，皆須應用集水區平均雨量進行相關的演算，也就是面平均雨量，可由集水區內各個點降雨量應用算術平均法、徐昇氏多邊形法、高度平衡多邊形法，以及等雨量線法，上述四種方法推估其平均雨量，力求貼近實際的降雨狀況。

(1) 算術平均法：

係將集水區內各雨量站記錄累加再以其站數除之，可表為

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (3.1)$$

式中， $\bar{P}$ =集水區平均雨量(mm)； P_i =第 i 雨量站之平均雨量； n =雨量站數。

此方法之優點為快速，適用於地形平坦，雨量變化小之區域。因未考慮雨量站控制範圍、地形變化及雨量站海拔高度等因素，準確性較差。

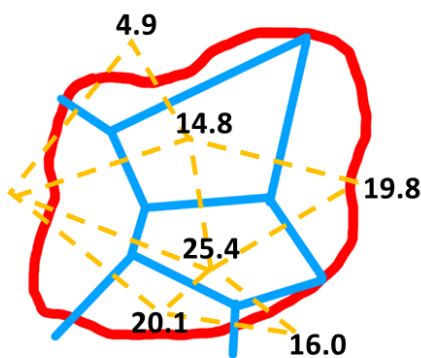
(2) 徐昇氏多邊形法(Thiessen polygons method)：

係考量各雨量站雨量觀測的有效範圍(或控制範圍)不同，而將各雨量站所控制的範圍進行面積加權，如圖 3-3 所示，可表為

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n P_i \frac{A_i}{A} \quad (3.2)$$

式中， A_i =第 i 個雨量站所控制的面積； A =總面積。其計算方法係將雨量站連接，構成多個三角形，再畫出每一個三角形三邊之垂直平分線，三條垂直平分線必交於一點，即三角形之外心。

連接各三角形之外心，即可形成 n 個多邊形網(Thiessen polygons networks)，每個多邊形網內必涵括一個雨量站，而多邊形網面積即為該雨量站所控制之面積。徐昇多邊形法精確度較平均法為佳，惟其仍未考慮地形之變化，且少有彈性，如其中一站遷動，整個多邊形網即得重新繪製，具有拔一髮而動全身之缺點。



觀測降雨量(P_i)	面積權重(A_i/A)	$P_i A_i / A$
14.8	0.29	4.3
19.5	0.16	3.1
4.9	0.07	0.3
10.5	0.19	2.0
25.4	0.15	3.8
20.1	0.12	2.4
16.0	0.02	0.3
		$\bar{P} = 16.2 \text{ mm}$

圖 3-2 平均雨量計算示意圖

(3) 高度平衡多邊形法(Height-balance polygons method)：

本法多用於地勢崎嶇、山嶺險阻之區域，各雨量站不但經過加權分配，且加以高程之修正。該法為先標明各雨量站之標高，然後連接相鄰兩站，取其標高中點處不一定為該點兩站連接線之中點。接著，連接各標高中點成甚多個三角形，再做各三角形之內角等分線，交於各三角形之內心。連接各內心可圍住一雨量站，此面積即為雨量站所控制之面積。其計算與徐昇多邊形法相同。此法之優點為考慮雨量站之標高及所控制之面積，適合地形崎嶇多變之地區，惟其應用手續繁瑣費時。

(4) 等雨量線法(Isohyetal method)：

為求集水區平均雨量最精確之方法，如圖 3-4 所示。該法係將不同等雨量線(Isohyets)所圍成之面積 A_i ，由求積儀(Planimeter)測出，然後乘上該兩等雨量線之平均值，最後累加其總和，再以面積除之；以公式表示可寫為

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(P_{i-1} + P_i)A_i}{2} \right] / A \quad (3.3)$$



觀測降雨量(P_i)	面積權重(A_i/A)	平均雨量($\bar{P}$)	$\bar{P}A_i/A$
>20	0.3	22.7	6.8
10	0.58	15.0	8.7
5.0	0.12	7.5	0.9
			$\bar{P} = 16.4\text{mm}$

圖 3-3 等雨量線平均雨量法

(二) 雨量資料缺失補遺計算

而考量雨量站位置因人為疏忽或觀測方法不適當，皆可能導致雨量記錄之誤差，因而在使用雨量資料分析水文問題之初，實有必要採用雙累積曲線法檢討雨量站記錄之可靠性及一致性，藉以修正雨量記錄。若雨量紀錄因人為因素遺失、因事故未能讀取當時雨量紀錄，或雨量計機件故障等原因，造成雨量紀錄的不完整或遺漏，必須設法將遺失的雨量記錄，由附近雨量紀錄較完整之各雨量站，以

分析方法填補回來，常用雨量紀錄補遺方法有內插法、標準比例法及迴歸法等。

如圖 3-4 為某集水區內設有 A、B、C 及 X 等四雨量站，其中 A、B、C 為雨量記錄完整之雨量站，假設已知各站之年平均雨量分別 N_A 、 N_B 、 N_C 及 N_X ，且某次暴雨 P_A 、 P_B 、 P_C 皆已知，惟 P_X 遺失。

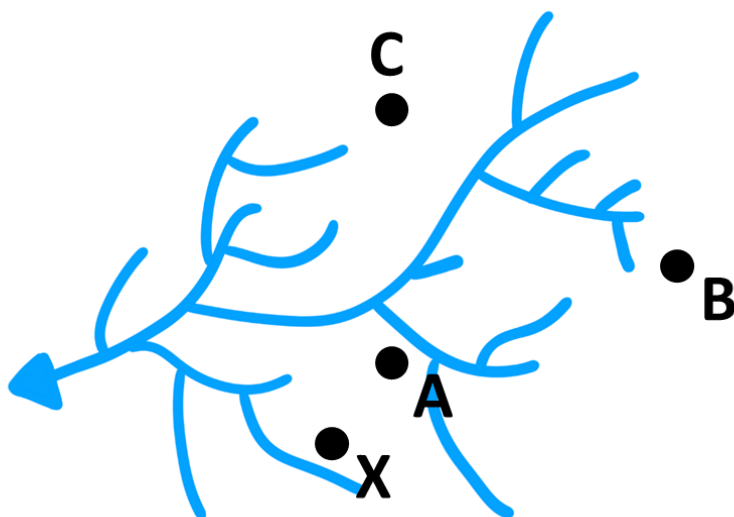


圖 3-4 集水區雨量站分布示意圖

(1) 內插法：

如 $N_A - N_X$ 、 $N_B - N_X$ 、 $N_C - N_X$ 皆不超過 N_X 之 10%者，則可以直接採用內插法推估 X 站某次暴雨所遺失之雨量記錄，即

$$P_X = \frac{1}{3}(P_A + P_B + P_C) \quad (3.4)$$

式中， P_X =補遺站之補遺雨量。

(2) 標準比例法：

如 $N_A - N_X$ 、 $N_B - N_X$ 、 $N_C - N_X$ 任何一組差數超過 N_X 之 10%者，則必須採用標準比例法，即

$$P_X = \frac{N_X}{n} \sum_{n=1}^n \left(\frac{P_n}{N_n} \right) \quad (3.5)$$

式中， N_X =補遺站有記錄年間之平均雨量； P_n =補遺站擬補遺期間之相鄰測站雨量； n =相鄰測站數； N_n =相鄰各測站有記錄期間之平均雨量。

(3) 迴歸法：

迴歸法係將補遺站(x 站)與一處相鄰測站(y 站)之相同時間(年、月、旬、日等)雨量逐年點繪於直角座標上，依其分布繪出迴歸曲線，即可求得補遺站所缺漏之雨量記錄，如圖 3-1-4 所示。本法係根據同年相同期間之雨量記錄繪製迴歸曲線，如補遺站之觀測資料太少即無法採用，故補遺站至少要有四年以上之雨量記錄。

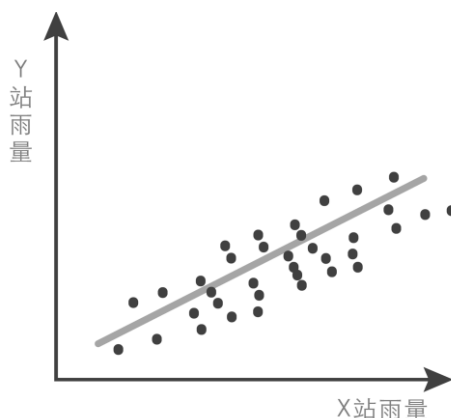


圖 3-5 迴歸法補遺雨量紀錄

二、分析類型

分析模型常以分析對象集水區面積之大小選用之，當集水區面積小於 1,000ha 或集流時間小於 1.0hr 時，一般被歸類為小型集水區，而當面積大於 1,000ha 或集流時間大於 1.0hr 者，即屬中、大型集水區。

逕流分析係以適當的分析模型推估工程規劃設計中之一定重現期特定延時之洪水，為工程設施設計的主要依據。由於位於溪流上游之小型集水區，多欠缺水文站及實測流量資料，而降雨於時間與空間的分布較為均勻，且降雨延時通常大於集流時間，故常以合理化公式法(rational formula method)進行洪峰流量的設計；中型集水區以上之洪峰流量演算，因降雨的時變性效應甚為明顯，因而常採用能夠反應時變性降雨強度的方法，如單位歷線法(unit hydrograph method)，而臺灣地區山坡地常用之方法為修正三角形單位歷線法(triangular unit hydrograph method)。

(一) 合理化公式法：

合理化公式法為設計都市或公路及小集水區系統而推算洪峰流量，普遍應用於欠缺實測流量之小型集水區。

(二) 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呈三角形分布，具有固定的基期，洪峰流量與降雨量成正比例關係，普遍應用於降雨時變性效應較為明顯之中、大型集水區。

三、 清水流洪峰流量(Q_i)

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 1,000ha 者採用單位歷線法分析；面積小於 1,000ha 者得採用合理化公式計算，計算方式如下：

(一) 合理化公式法：

合理化公式法之分析步驟主要分為三個階段：首先需先決定重現期，再利用雨量資料推求該重現期下之降雨強度，最後依據集水區特性與狀況，選用相對應之逕流係數計算其洪峰流量。

$$Q_i = \frac{1}{360} C \bar{I} A \quad (3.6)$$

式中， Q_i = 洪峰流量 (peak surface runoff)(m³/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 = 在集流時間內之有效降雨 (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。

(1) 逕流係數：

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，可參考表 3-1。

表 3-1 逕流係數參考表

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

資料來源：水土保持技術規範第 18 條

(2) 重現期：

依據設施構造物種類決定適用之重現期。水土保持技術規範第 65 條規定，野溪治理設計洪水量估算，防砂壩、潛壩、整流工程、堤防、護岸及丁壩等以重現期 50 年之降雨強度計算；同規範第 83 條規定，坡地農地內排水系統之設計洪水量，以重現期 10 年之降雨強度計算，其他非農業使用以重現期 25 年之降雨強度計算。

(3) 降雨強度：

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：

$$\bar{I} = \frac{a}{(t + b)^c} \quad (3.7)$$

式中，a、b、c 請參照附錄一所列之台灣各區 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：

$$I_t = \frac{r_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^c = \frac{1}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^c r_{24} = C_t r_{24} \quad (3.8)$$

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)；視測區而定，台灣地區之 C_t 值介於 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：

$$I_t^T = (G + H \log T) \frac{A}{(t + B)^c} I_{60}^{25} \quad (3.9)$$

$$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{25.29 + 0.094P} \right)^2 \quad (3.10)$$

$$A = \left(\frac{P}{-189.96 + 0.31P} \right)^2 \quad (3.11)$$

$$B = 55 \quad (3.12)$$

$$C = \left(\frac{P}{-381.71 + 1.45P} \right)^2 \quad (3.13)$$

$$G = \left(\frac{P}{42.89 + 1.33P} \right)^2 \quad (3.14)$$

$$H = \left(\frac{P}{-65.33 + 1.83P} \right)^2 \quad (3.15)$$

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，可參考附錄一所列之無因次降雨強度公式係數與平均雨量表。

(4) 集流時間：

集流時間(time of concentration)是一種理想化的概念，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，而最遠的點流到特定出口斷面指的不是距離，是逕流集流的時間(Maidment, 1993)。更恰當的定義應該是，超滲降雨開始時刻到全集水區的逕流都流到出口斷面處的時刻。基於以上概念，集流時間計算公式可表為：

$$t_c = \frac{L}{V} \quad (3.16)$$

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：

$$t_c = t_s + t_d \quad (3.17)$$

式中， t_s =流入時間； t_d =流下時間。

流入時間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：

$$t_s = \frac{\ell_s}{V_s} \quad (3.18)$$

式中， ℓ_s =坡面長度； V_s =坡面流速。

流下時間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)：

$$V_d = 20(H/\ell_d)^{0.6} \quad (\text{m/sec}) \quad (3.19)$$

$$V_d = 72(H/\ell_d)^{0.6} \quad (\text{km/hr}) \quad (3.20)$$

$$t_d = \frac{\ell_d}{V_d} \quad (3.21)$$

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。

(二) 修正三角形單位歷線法：

三角形單位歷線法之分析步驟主要分為設計暴雨量、設計雨型、單位歷線計算及流量歷線計算等四個階段。

(1) 設計暴雨量：

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，再透過卡方檢定及 SE 檢定，方可得到各頻率年之一日最大暴雨量。

A. 雨量資料

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。

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，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′)，雨量參數與計算公式如表 3-2。

表 3-2 雨量資料參數公式表

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

B. 頻率分析：

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，此四種常用於極端事件之機率分布進行頻率分析，計算公式如下：

表 3-3 極端值一型分布計算公式表

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	$K_T = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \left(0.5772 + \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right)$
備註	T 為重現期距

表 3-4 皮爾遜第三型分布計算公式表

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	$t \approx W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3}$	$0 < P \leq 0.5$
	$t \approx -\left(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3} \right)$	$P > 0.5$
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 3-5 對數皮爾遜第三型分布計算公式表

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	$P = 1/T$	
W	$W = \sqrt{\ln(\frac{1}{P^2})}$	$0 < P \leq 0.5$
	$W = \sqrt{\ln[\frac{1}{(1-P)^2}]}$	$P > 0.5$
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 3-6 三參數對數常態分布計算公式表

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	$P = 1/T$	
r_1	$r_1 = \frac{e^{3s_y^2} - 3e^{s_y^2} + 2}{(e^{s_y^2} - 1)^{3/2}}$	
w	$w = [-r_1 + (r_1^2 + 4)^{1/2}] / 2$	
Z_2	$Z_2 = (1 - w^{2/3}) / w^{1/3}$	
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	$C_0 = 2.515517$; $C_1 = 0.802853$; $C_2 = 0.010328$ $d_0 = 1.432788$; $d_1 = 1.189269$; $d_2 = 0.001308$	

C. 卡方檢定：

依據卡方檢定分組方法 $k = 1 + 3.3 \log n$ (n 為雨量資料筆數)，將雨量資料分為 k 組，並進行後續卡方檢定，卡方檢定計算範例如圖 3-6 所示，求取四種頻率分析之卡方分析值，而卡方理論值可由表 3-7 查表取得。

$n \times P_i = E_i$

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 $1/5=0.2$

$$\text{卡方分析值} = \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i}$$

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 3-6 卡方檢定計算過程示意圖

表 3-7 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	$P(\chi^2 \geq \chi^2_{\alpha}) = \alpha$ $P\left(\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq \chi^2 \leq \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \alpha$									

D. SE 檢定：

SE 檢定採 weibull 繪圖法，其相關參數計算公式如表 3-8。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，最小者即為該雨量站之最佳頻率分析方式，並取用最佳之頻率分析方式之雨量計算結果，用於後續之流量計算中。

表 3-8 SE 檢定參數計算公式表

參數	計算公式
平方差和 SSE	$SEE = \sum (x_i - \hat{x}_i)^2$
標準誤差 SE	$SE = [\frac{\sum (x_i - \hat{x}_i)^2}{N}]^{1/2}$
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 $\hat{x}_i$

(2) 雨型設計：

雨型係指總降雨量在降雨延時內之時間分布型態，設計原則包含三點：一為設計降雨總延時需與頻率分析中所採用之延時一致，二為雨型單位時段需與單位歷線之單位降雨延時 D 一致，三為設計降雨總延時及雨型單位時段需配合集水區集流時間，方可得較佳之洪水量分析結果。雨型設計方法相當多，一般常用的設計方法以同位序平均法及降雨強度法為主：

A. 同位序平均法：

採用同位序平均法設計雨型時，應挑選數場具代表性之降雨事件(須包含近幾年發生之重大颱風、暴雨及歷史上曾造成嚴重洪災之事件)，並收集各測站之時雨量資料以求取區域平均值，必要時得收集更短延時之記錄(如分鐘雨量)。

同位序平均法主要係基於降雨延時分佈型態皆相似之假設，並求出每場暴雨各雨型每一單位時段雨量佔設計降雨總延時總雨量之百分比，依大小順序重新排列，計算該數場暴雨之平均值，再依此平均雨量百分比配置成所需之降雨分配型態，期能發生最大洪水量。設計降雨分配，目前多採用交替區塊之方式，至於尖峰降雨位置，一般可採前方集中型(前峰型)、中央集中型(中峰型)、後方集中型(後峰型)等，亦或考量歷年統計之暴雨前進係數分配之。

B. 降雨強度法：

採用降雨強度法設計雨型時，若不引用既有之降雨強度公式，則收集不同延時(特別是短延時)年最大值進行頻率分析後，求其降雨強度公式。

降雨強度法主要係基於各延時最大降雨強度皆滿足同一重現期距之假設，可利用之降雨強度公式包含 Horner 公式、物部公式及無因次化降雨強度公式等。

(3) 單位歷線：

三角形單位歷線係假設集水區流量歷線呈三角形分布，具有固定的基期，如圖 3-4 所示，洪峰流量與降雨量成正比例關係，由三角形面積可得：

$$Q_p = \frac{2QA}{T_p + T_r}$$

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)。

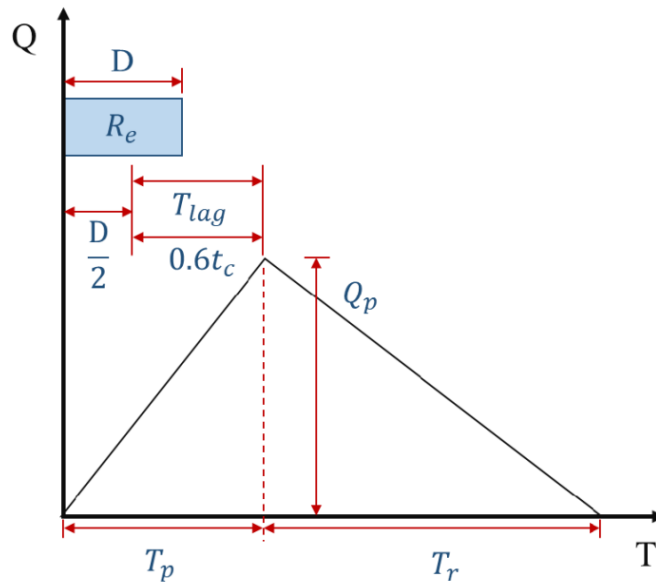


圖 3-7 三角形單位歷線圖

依圖 3-7 得知洪峰流量到達時間 T_p 可以表示為：

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{lag} \quad (3.22)$$

式中， D =單位降雨延時(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)：

$$T_{lag} = 0.6t_c \quad (3.23)$$

式中， t_c =集流時間(hr)，可依前述集流時間相關公式推求之。

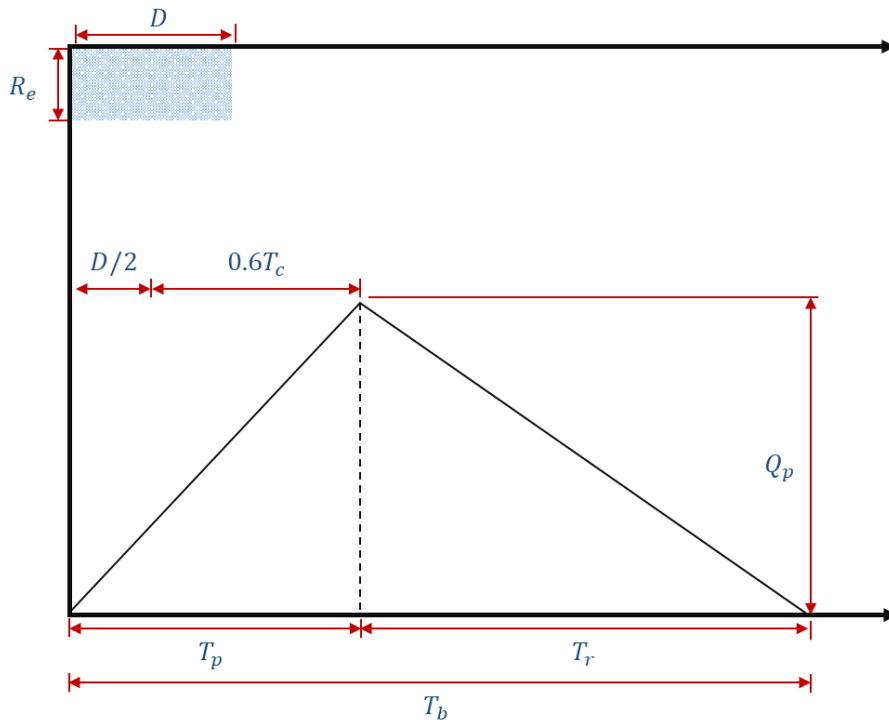
設 $T_r = mT_p$ ，且 Mockus(1957)提出， $m=1.67$ ，則三角形單位歷線洪峰流量及洪峰流量到達時間可分別表為：

$$Q_p = \frac{0.208 \cdot A \cdot R_e}{T_p} \quad (3.24)$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6t_c \quad (3.25)$$

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(km²)； T_p =歷線開始至到達洪峰流量時間(hr)。

因此，計算三角單位歷線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)，計算過程所需之參數整理於表 3-9，計算過程之如



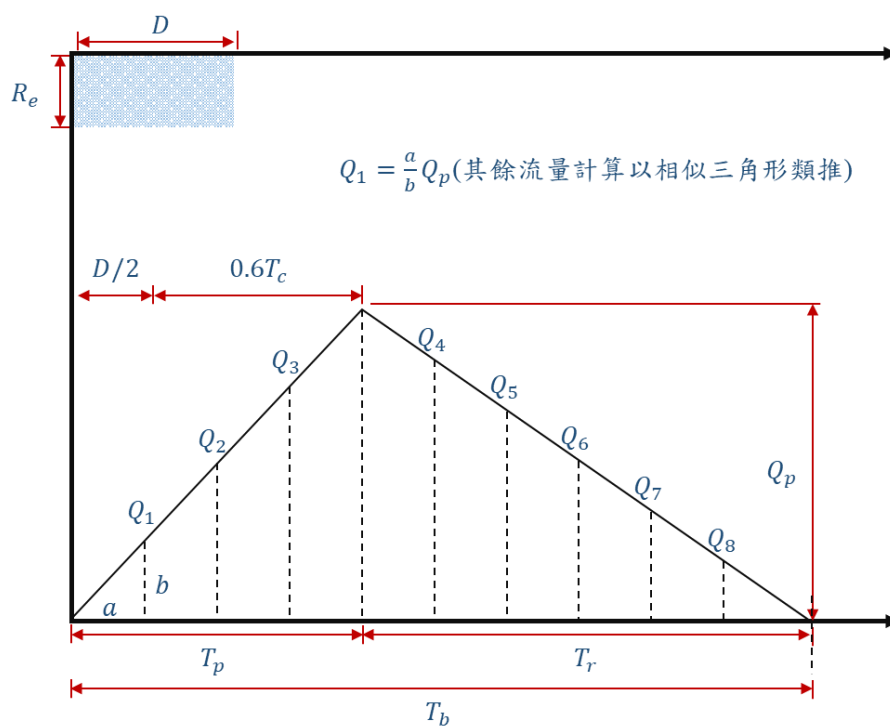


圖 3-8 所示。

表 3-9 三角單位歷線所需之參數表

參數	公式計算	單位	備註
單位超滲降雨量 R_e		mm	單位超滲降雨量多 假設 10mm
單位降雨延時 D	$D \leq 0.133t_c$	hr	
開始漲水至洪峰流量 發生時間 T_p	$T_p = D/2 + 0.6t_c$	hr	
修正三角形單位歷線 之基期 T_b	$T_b = 2.67T_p$	hr	設 $T_r = mT_p$ ，且 $m=1.67$ 。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	$Q_p = 0.208 A R_e / T_p$	cms	

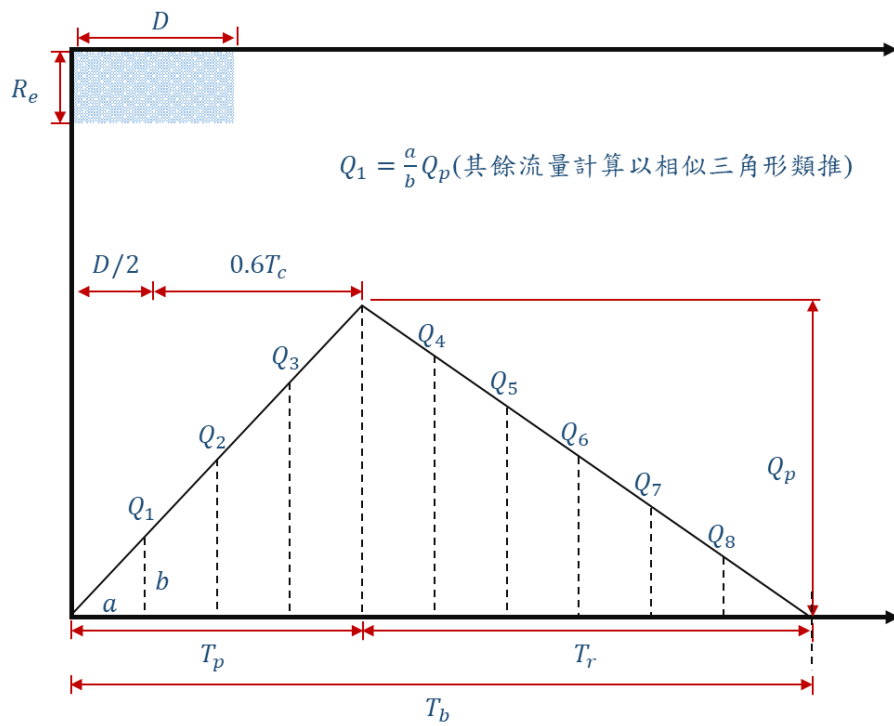
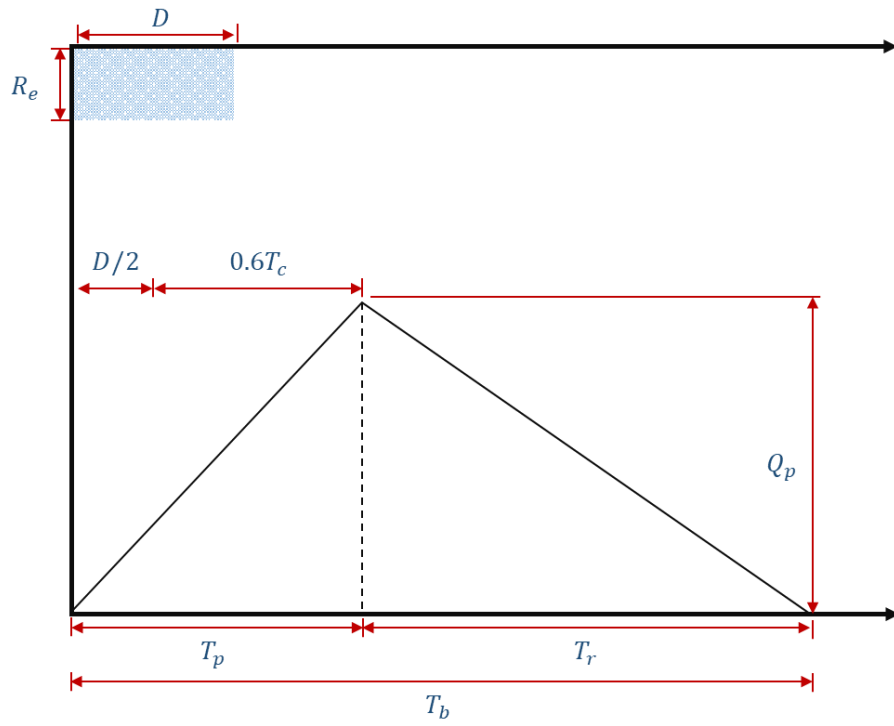


圖 3-8 三角單位歷線計算示意圖

A. 洪峰係數修正：

公式 $Q_p = 0.208 A R_e / T_p$ 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，應修正公式中的係數值，以符合集水區逕流特性，如表 3-10 所示。

表 3-10 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)

B. 單位降雨延時(D)計算：

由公式 $T_p = D/2 + 0.6t_c$ 得知，單位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單位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 3-11 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 3-11 單位降雨延時推估

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)

(4) 流量歷線：

A. S 歷線轉換：

使用修正三角形單位歷線推定流量歷線時需配合前述雨型及推算其時間間距，若設計雨型時間間距與修正三角形單位歷線之單位降雨延時一致時，修正三角形單位歷線不需再經過 S 歷線轉換，即可配合求得之設計雨型，進行洪峰流量歷線及其相應之洪峰流量推估；若設計雨型時間間距與修正三角形單位歷線之單位降雨延時不一致時，則須經由 S 歷線轉換，將單位降雨延時由 D 轉換為設計雨型之時間間距 D'，轉換公式如下：

$$U(D', t) = \frac{D}{D'} [S(t) - S(t - D')] \quad (3.26)$$

B. 流量歷線疊加：

取用上述最佳之頻率分析方式之雨量計算結果，配合計算降雨延時之單位歷線進行流量疊加，疊加步驟如下：

- (a) 將一日降雨量依雨型百分比分配於各延時中。
- (b) 將降雨延時 1 小時之單位歷線與超滲降雨量相乘，可獲得各小時延時降雨之流量歷線。
- (c) 透過各延時流量歷線疊加，即可求得流量歷線。

四、設計洪峰流量(Q_p)

考量實際洪水挾砂之影響，使清水流洪峰流量(Q_i)往往低於設計洪水量(Q_p)，故必須以水流中泥砂混合率予以修正：

$$Q_p = (1 + \alpha)Q_i \quad (3.27)$$

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

而陡坡坡面工程多位於農地區位，其自然環境為植生覆蓋之土壤，係以土壤流失為主，其水流含砂量較天然集水區低，根據資料蒐集建議可預先以 UAV 針對治理工程周遭集水範圍進行調查，判斷各整治段上中下游可能來砂狀況，並依據現場治理工程類型及現場狀況勘查選取合適之泥砂混合率進行計算。

3.4 水力分析

本小節說明水流與固體邊界間所形成的各種流動狀況，針對曼寧公式、福祿數、水流穩定檢算、消能型態、水躍型態、消能效益計算說明。

一、曼寧公式

(一) 平均流速(V)：

目前在工程界比較廣泛採用之均勻流公式，係以曼寧公式(Manning's formula)為主要，已普遍運用於水土保持坡地排水和河溪整治工程中，其方程式可寫為：

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (3.28)$$

式中， V =平均流速(m/s)； n =曼寧粗糙係數； R =水力半徑($=A/P$ ； m)； A =通水斷面積(m^2)； P =潤周長(m)； S_o =底床坡度。

(二) 設計排放量(Q)：

根據定量流連續方程式 $Q = AV$ ，式中， Q =設計排放量(cms)； A =通水斷面積(m^2)； V =平均流速(m/s)，可得渠道設計之排放量為：

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (3.29)$$

(1) 排水設施最大容許流速：

水土保持技術規範第 85 條規定，坡地排水之平均流速，應小於最大容許流速。超過其最大容許流速者，應於適當位置，設置消能設施。常流水之最大容許流速依下表選定之：

表 3-12 不同材料之排水設施最大容許流速表

土 質	最大安全流速(m/s)	土 質	最大安全流速(m/s)
純細砂	0.23-0.30	平常礫土	1.23-1.52
不緻密之細砂	0.30-0.46	全面密草生	1.50-2.50
粗石及細砂石	0.46-0.61	粗礫、石礫及砂礫	1.52-1.83
平常砂土	0.61-0.76	礫岩、硬土層、軟質、水成岩	1.83-2.44
砂質壤土	0.76-0.84	硬岩	3.05-4.57
堅壤土及粘質壤土	0.91-1.14	混凝土	4.57-6.10

資料來源：水土保持技術規範

無常流水之最大容許流速可提高如下：

- A. 混凝土或混凝土砌塊石：最大容許流速為每秒 6.1 公尺。
- B. 鋼筋混凝土：採最大容許流速為每秒 12 公尺。可依混凝土抗壓強度比例調整最大容許流速。

(2) 曼寧粗糙係數(n)：

參考水土保持手冊(2017)工程篇第 2.18 排水溝章節，曼寧粗糙係數其大小因溝內物質之光滑程度而異，按溝內物質及其狀態列表如表 3-13。

表 3-13 曼寧粗糙係數 n 值表

溝內物質		n 值範圍	平均值	溝內物質		n 值範圍	平均值
無 內 面 工	粘土質	0.016-0.022	0.020	有 內 面 工	漿砌磚	0.012-0.017	0.014
	溝身整齊者 砂壤、粘壤土	-	0.020		漿砌石	0.017-0.030	0.020
	溝身整齊者 稀疏草生	0.035-0.045	0.040		乾砌石	0.025-0.035	0.030
	全面密草生	0.040-0.060	0.050		有規則土 底兩岸砌石	-	0.025
	雜有直徑 1.3 公分小石	-	0.022		不規則土 底兩岸砌石	0.023-0.035	0.030
	雜有直徑 2.6 公分小石	-	0.025		純水泥漿 平滑者	0.010-0.014	0.012
	平滑均勻岩質	0.030-0.035	0.033		礫石底兩 岸混凝土	0.015-0.025	0.020
	不平滑岩質	0.035-0.045	0.040				

資料來源：水土保持手冊(2017)

A. 消能檻之曼寧係數

本叢書列舉之消能檻工法，因其消能檻之設計尺寸差異，造成渠道內部水理狀態大相逕庭，故本叢書綜整前人之研究成果，首先依據 JUANG(1994)計算消能檻設計之粗糙度(f_r)，依據本叢書工法修改為下式：

$$f_r = \left(\frac{h_s}{s_s}\right)\left(\frac{w_s}{s_s + h_s}\right) \quad (3.30)$$

其中， h_s 為消能檻設計高度； s_s 為消能檻設計間距； w_s 為消能檻設計寬度

並將其粗糙度代入由謝冠文(2019)提出之曼寧粗糙係數回歸公式，如下式，即可獲取消能檻之曼寧係數(n)，供設計者參考。

$$n = 0.0122 + 0.033(1 - e^{(-12.4457 \times f_r)}) \quad (3.31)$$

B. 階梯式洩槽之曼寧係數

本叢書列舉之階梯式洩槽工法，因其流態隨流量變化將有所不同，當流態為舌流時，水流隨階梯跌落，但階梯底部又形成一渦流區，此時對於水流之消能效果較佳，水流之深度沿程變異較大；而當流態為過度流及滑移流時，此時水流已淹沒階梯，沿階梯頂端之連線流動，此時水深沿程變異較小，然不論流態之差別，渠底之階梯式設計對於水流仍有相當之消能效果。故本叢書參考陳怡良(2012)之研究成果，建議階梯式洩槽之曼寧係數(n)選取 0.03 至 0.04，若設計流態為舌流，則可使用較高之曼寧係數 0.04。

C. 皺紋鋼板溝之曼寧係數

本叢書列舉之皺紋鋼板溝工法，係利用渠道表面之皺紋起伏進行消能，其設計原則重點在於曼寧係數(n)之選用，本叢書係結合水土保持局台中分局(2021)之試驗成果，曼寧係數與設計坡度(S)、單寬流量(q)及皺褶高度(h_n)相關，相關之曼寧係數推估公式可參考第 3.8 小節之 3.46 式。

二、福祿數

福祿數為流體力學中無單位的純量，為慣性力和重力效應之比值，在明渠流中可以下方公式表示：

$$F = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (3.32)$$

式中， V ：流體速度(m/s)； g ：重力加速度(m/s²)； D ：水力深度(m)。

- (1) 當 $F > 1$ ，為超臨界流，為流速急湍，水深小的流況，表示慣性力對流動之影響較重力為大，常見於山區之緩流及溢洪道或洩水槽之急流。
- (2) 當 $F < 1$ ，為亞臨界流，為流速緩慢水深大的流況，一般渠流、天然河川多屬此。
- (3) 當 $F = 1$ ，為臨界流，渠道中某點受到干擾，擾動可在原處形成駐波。

三、水流不穩定檢算

有鑑於目前水土保持手冊與水土保持技術規範僅採用曼寧公式進行排水渠道設計之依據，然陡坡渠道除了考量安全流速與排放量之外，可增加陡坡水流不穩定現象之判斷，減少不穩定現象發生時可能帶來之災害風險。

超臨界流常出現於陡坡渠道中，其中渠道水流之穩定性、表面粗糙度及底床坡度，皆係影響水流中微小擾動發展的因素，由圖 3-9 之示意圖可發現，當水流自靜水池入流至陡坡排水渠道內時，最終將發展成為不穩定水流，由圖 3-10 微觀示意圖可見，受到底床表面粗糙或渠道斷面變化等因素發生擾動，最後擾動可能會消散或者擴大而產生滾波，使水流發生不穩定現象，陡坡現場渠道之水流不穩定狀態詳圖 3-11。

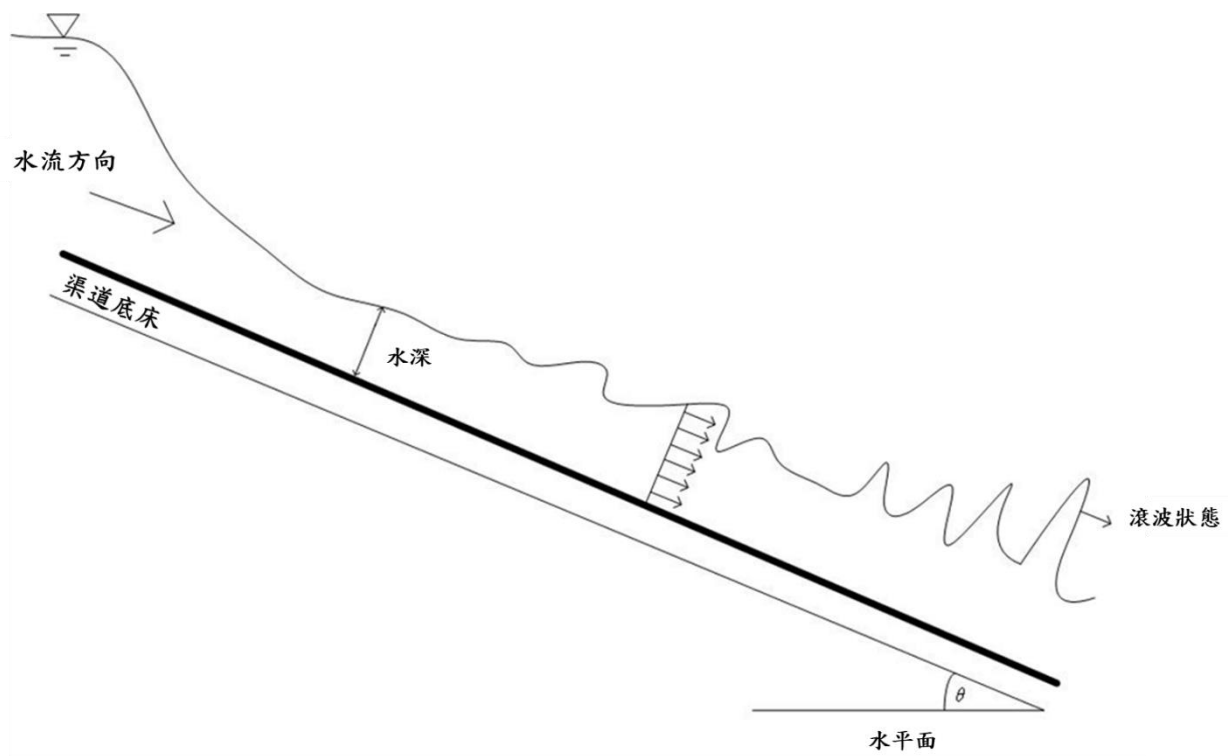


圖 3-9 陡坡渠道水流不穩定現象示意圖

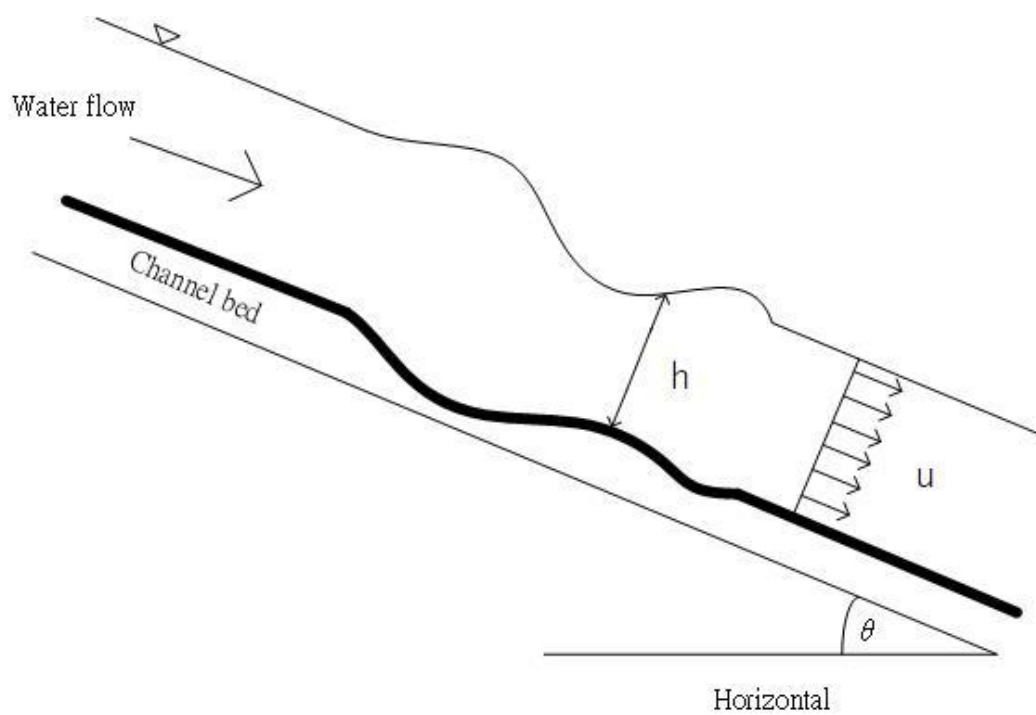


圖 3-10 水流不穩定現象微觀示意圖



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 3-11 現場渠道內之水流不穩定現象圖片

Vedernikov number 可用來分析陡坡渠道內的水流穩定性，且對其可能產生的滾波進行預測，由於均勻流不能充分解決超臨界流的滾波和能量消耗問題，且為了符合安全流速之規定，在陡坡上之均勻流渠道型式多為寬淺斷面，此設計型式進而衍生水流不穩定現象發生，目前在水流不穩定現象之探討，可利用 Guo 及 Ponce 兩位學者提出之檢算方式進行水流不穩定現象之檢討。

(一) Guo (2006)檢算公式

Guo (2006)探討陡坡上的均勻流不穩定現象，並用 Vedernikov number 來判定陡坡渠道中之流況穩定依據，其針對 Vedernikov number 之定義如下：

$$N_v = m \left(1 - R \frac{dP}{dA} \right) F \quad (3.33)$$

式中，當採用曼寧公式計算時， $m=2/3$ ，採用蔡司公式計算時， $m=1/2$ ； R 為水力半徑； P 為濕周； F 為福祿數； A 為通水斷面積；當 $N_v \leq 1$ 時，水流為穩定均勻流。將式(3.33)應用於梯形渠道時，各參數整理如下：

$$R = \frac{A}{P} = \frac{y(b + zy)}{b + 2ky} \quad (3.34)$$

$$k = \sqrt{1 + z^2} \quad (3.35)$$

$$\frac{dP}{dA} = \frac{2k}{b + 2zy} \quad (3.36)$$

式中， y 為水深； b 為渠道底部寬度， z 為渠道邊壁斜率，因此將式(3.34)(3.35)(3.36)整理並帶入式(3.33)，可得出臨界福祿數 F_{ns} ：

$$F_{ns} = \frac{3}{2} \left[\frac{(1 + 2kY^*)(1 + 2zY^*)}{1 + 2zY^* + 2kzY^{*2}} \right] \quad (3.37)$$

$$Y^* = \frac{y}{b} \quad (3.38)$$

臨界福祿數 F_{ns} 係維持梯形渠道中穩定均勻流之極限值，當渠道水流之福祿數 F 大於臨界福祿數 F_{ns} 時，水流即為不穩定狀態。

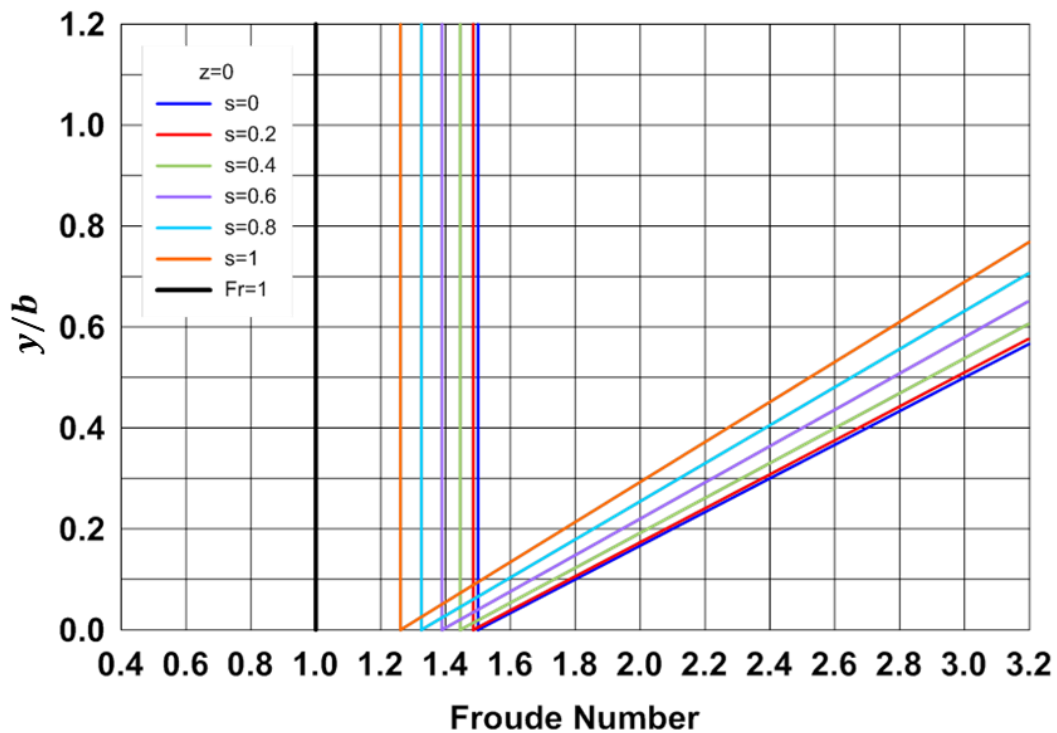
圖 3-12~圖 3-15 為水平渠道且 $z=0.0, 1.0, 2.0, 3.0$ 時之臨界福祿數曲線，由圖中可觀察出這些曲線於 $F=1.5$ 時收斂，而當 $F<1.5$ 時，水流狀態可維持超臨界流穩定之狀態，反之將根據不同斷面型態而產生滾波。

應用臨界福祿數可做為判斷水流穩定的依據，當 $F>1.5$ 時，式(3.37)可進一

步將水流分成兩種狀態：(1) $F < F_{ns}$ 時，為穩定之均勻流；(2) $F > F_{ns}$ 時，為不穩定之脈動流。

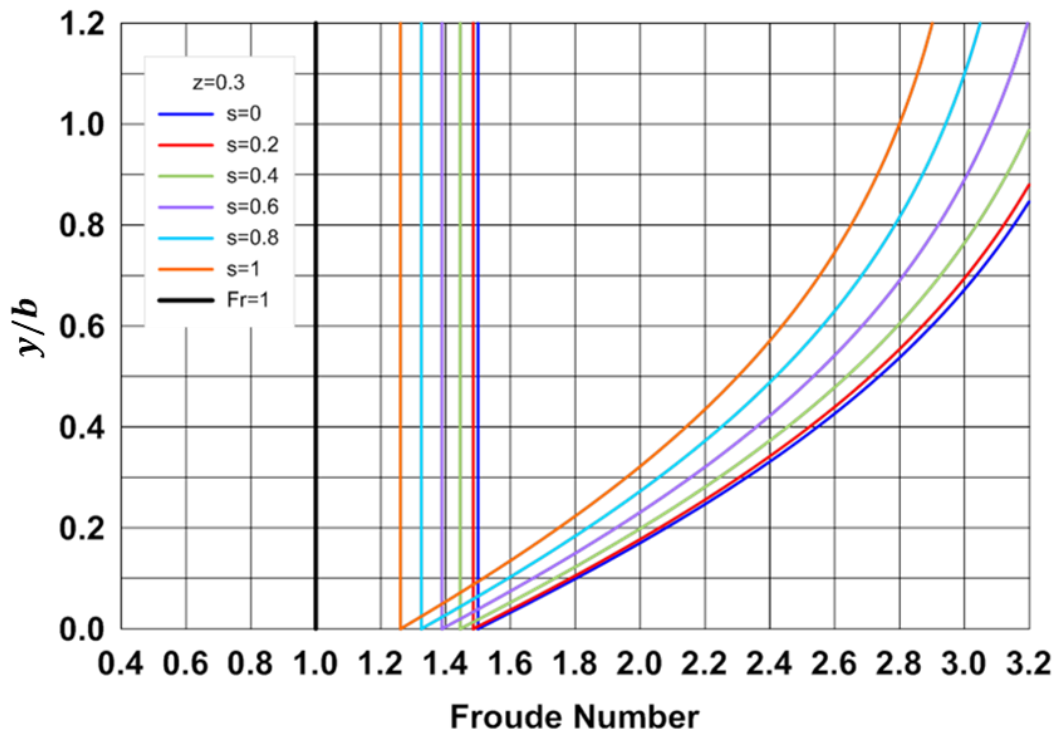
藉由蒐集常用之設計渠道邊壁斜率為 $z=0.0, 0.3, 0.5, 1.0$ ，因此以式(3.37)分別計算不同坡度條件下，常用渠道邊壁斜率之臨界福祿數值如圖 3-12 至圖 3-15，隨著坡度 s 上升時，水流穩定區域範圍變小，表示坡度愈陡時，愈不易維持水流之穩定現象；此外，當斷面由矩形擴展至梯形時，其 z 值愈大，穩定區域範圍愈小，表示梯形斷面較矩形斷面更容易發生不穩定現象；由各斷面所示，當渠道寬深比 y/b 值增加時，臨界福祿數皆隨之增加，表示水流於窄深斷面時，較易維持水流穩定，反之渠道設計若為寬淺型式之斷面，則較易發生水流不穩定現象。

因此在設計陡坡渠道時必須非常謹慎，渠道之斷面根據 y/b 、渠道坡度(s)及表面粗糙度應按照上述準則進行選擇，以避免滾波的產生，否則設計時必須增加額外的出水高度。



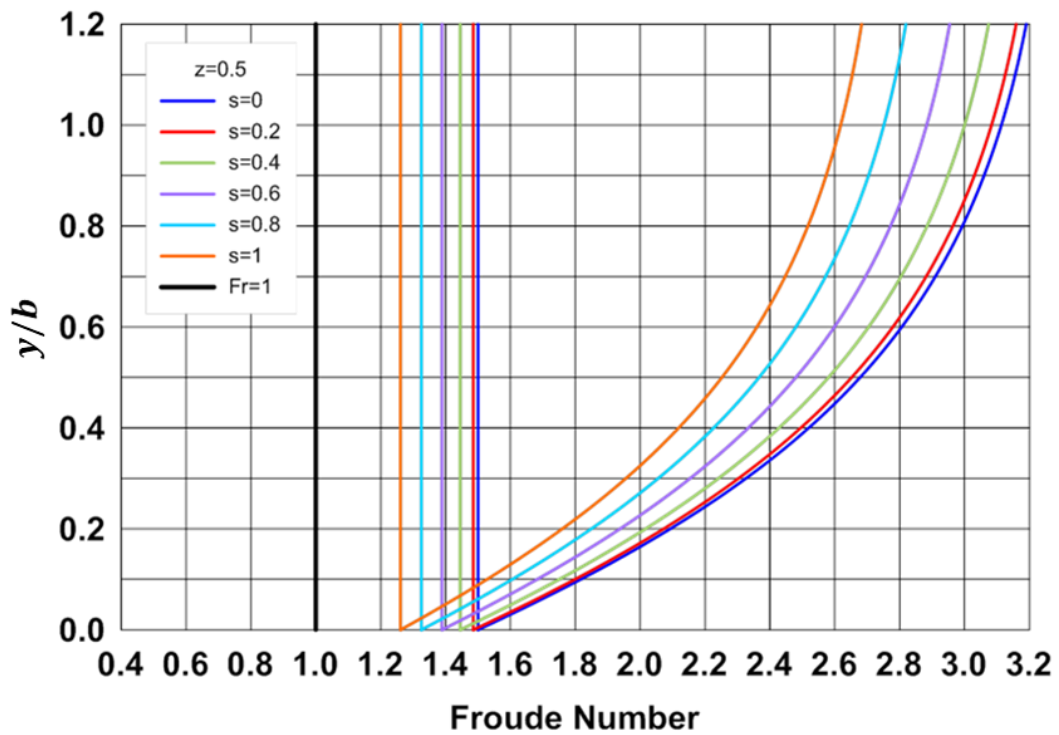
Regimes for Open Channel Flows (for $z=0$)

圖 3-12 各坡度矩形渠道($z=0$)之穩定福祿數曲線圖



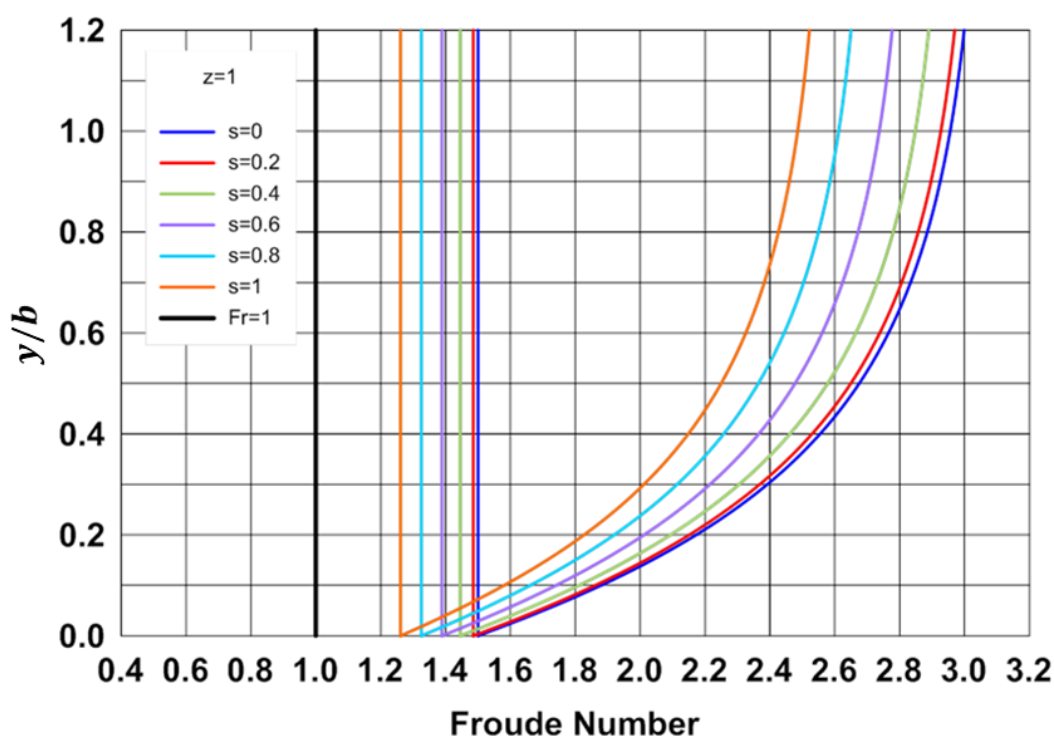
Regimes for Open Channel Flows (for $z=0.3$)

圖 3-13 各坡度梯形渠道($z=0.3$)之穩定福祿數曲線圖



Regimes for Open Channel Flows (for $z=0.5$)

圖 3-14 各坡度梯形渠道($z=0.5$)之穩定福祿數曲線圖



Regimes for Open Channel Flows (for $z=1$)

圖 3-15 各坡度梯形渠道($z=1$)之穩定福祿數曲線圖

(二) Ponce (2014)檢算公式

Ponce (2014)定義 β 值與 Vedernikov number、福祿數之間的關係，定義如下：

$$\beta = 1 + \frac{N_v}{F} \quad (3.39)$$

式中， β 為流量與通水斷面積之率定曲線指數； F 為福祿數；當 $N_v \leq 1$ 時，水流為穩定均勻流。因此可將公式整理得出臨界福祿數 F_{ns} ：

$$F_{ns} = \frac{1}{\beta - 1} \quad (3.40)$$

Ponce 在計算時除了考量設計水深、梯形斷面形式、渠道底寬等，還考慮了不同水深下的流量與通水斷面積之率定曲線，於實務上難以應用，其中計算所需之參數較難以獲得，如摩擦型態在實務上定義困難，導致 β 值無法獲得。

多數陡坡坡面排水渠道工程部分加設截牆、酌加出水高高度，除銜接兩岸地貌、避免水流不穩定之狀況飛濺至渠道外，造成坡面災害。

四、消能型態

本書列舉三項消能設施，而不同消能設施消除水流動能之機制不盡相同，臺灣省水利局(1978)於灌溉排水工程設計之跌水工章節中指出，水流消能機制主要可分為碰撞(Collision)、表面摩擦(Friction of Surface)、灌氣(Airation)及水躍(Hydraulic jump)等四種形式，如圖 3-16 所示，以下就四種消能方式分項說明。

(一) 碰撞

流體與固體或流體相互碰撞，部分能量化為熱量而消失，使動能減低、流速降緩，減緩水流淘刷能力。

(二) 表面摩擦

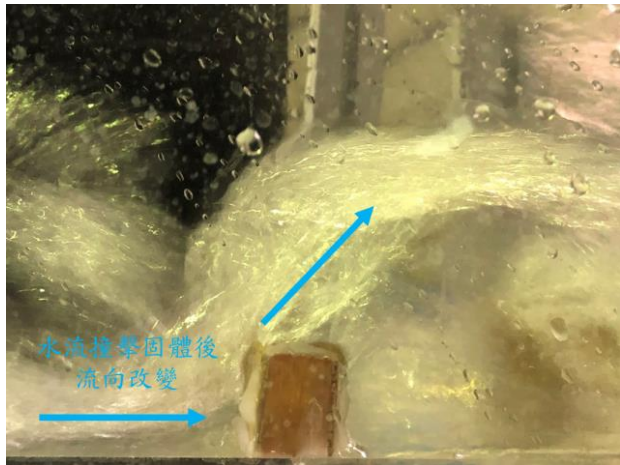
水流在流動過程中常因摩擦生熱而損失能量，摩擦之消能方式可分為內摩擦及外摩擦兩種，內摩擦指水流中分子間互相碰擊產生之摩擦，而外摩擦係指水流與河床或渠底相互接觸所生之摩擦。其中，外摩擦與渠道及河床之粗糙率係數成正比。

(三) 灌氣

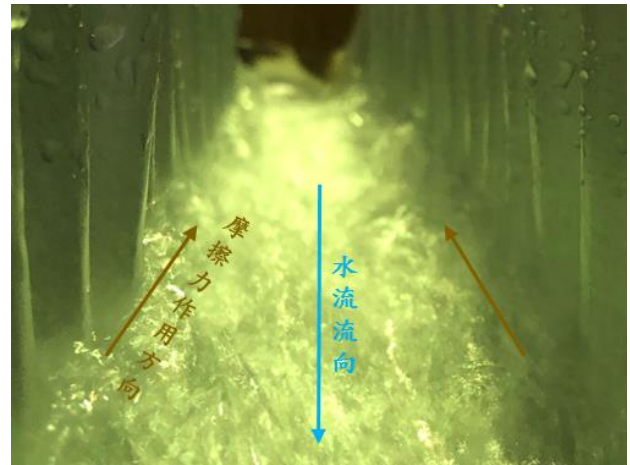
急流向上射入空氣中復行墜落，當急流射入空中時，逐漸變為挾帶大量空氣之水流，有如乳狀液體，水流內部之流線遭切斷，產生分子間之碰撞，使能量化為熱能而消失。

(四) 水躍

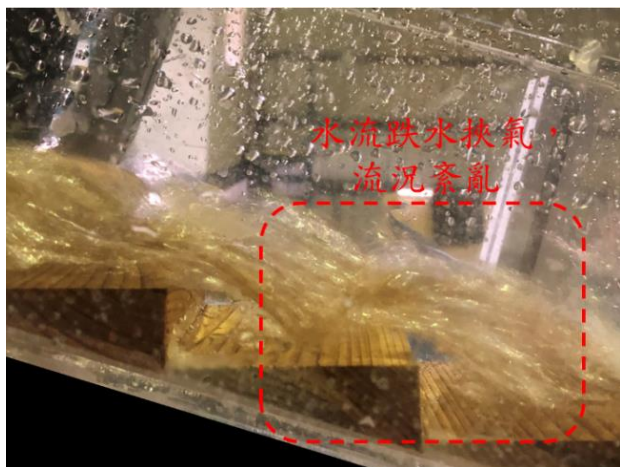
於陡槽中跌水工之下游水流甚急，流速大，沖刷能力難以在短距離內予以消滅，在此情況下，最有效之消能措施即為促成水躍。當水躍形成後除大部分動能消耗外，一部分動能轉為位能，使水深大增、流速減緩，水流漸近於常流而不致發生沖刷災害，此項消能設施最廣泛受到採用。



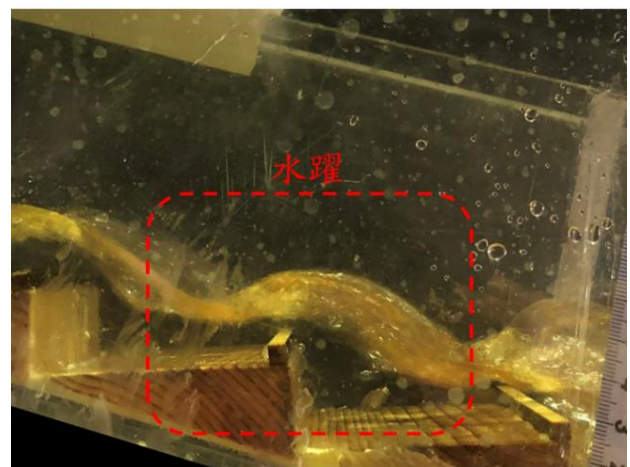
(a) 碰撞



(b) 表面摩擦



(c) 灌氣



(d) 水躍

圖 3-16 水流消能機制示意圖

五、消能效益檢討

(一) 水流流速減緩檢討

本叢書介紹之三種工法，其水流消能型態皆有所差異，以致達到減緩水流流速之功效，可以一般常見之曼寧公式，針對未設置消能設施之平滑表面渠道先行計算設計流速(v_1)；再與本叢書針對各工法建議之曼寧粗糙係數，代入設計消能設施後之設計流速(v_2)進行比較，最後則針對施工完成後之實際降雨時水流流速進行流速(v_3)量測，相關監測方式可參考後續第 3.9 小節之二、監測系統建置，經由實際觀測之 v_3 可與 v_1 及 v_2 進行比較，藉由實際流速與理論流速之探討，可用於回饋未來之設計參數修正上。

(二) 水流動位能、消能率檢討

消能效益的比較係以能量方程式為之，一般運用該式計算同一渠道不同斷面之動位能轉換情況，亦可評估(1)設置消能設施前及設置消能設施之能量變化情形(消能率)、(2)評估不同消能設施於同一斷面之能量差異情形。透過消能率之計算可進行消能成效分析。相關方程式公式如下：

$$E_1 = Z_1 + h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \quad (3.41)$$

$$E_2 = Z_2 + h_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.42)$$

$$\Delta E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \quad (3.43)$$

式中， E_1 為未設置消能設施前之渠道總能量(m)； Z_1 為未設置消能設施時基準面至選定斷面處之渠底高(m)； h_1 為未設置消能設施時選定斷面之水深(m)； α_1 為未設置消能設施時選定斷面之動能修正係數，通常 $\alpha_1 = 1.05 \sim 1.1$ ； V_1 為未設置消能設施時選定斷面處之流速(m/s)； E_2 為已設置消能設施後之渠道總能量(m)， Z_2 為已設置消能設施後基準面至選定斷面處之渠底高(m)； h_2 為已設置消能設施後選定斷面之水深(m)； α_2 為已設置消能設施後選定斷面之動能修正係數，通常 $\alpha_2 = 1.05 \sim 1.1$ ； V_2 為已設置消能設施後選定斷面處之流速(m/s)； g 為重力加速度，一般為 $9.8(\text{m/s}^2)$ ； ΔE 為能量消能率。

3.5 生態友善措施

為減輕公共工程對生態環境造成之負面影響，秉持生態保育、公民參與及資訊公開之原則，政府訂定相關生態檢核措施，其又為落實生態友善之原則，本小節舉出常見於排水渠道中之生物通道設計、供設計者參考使用。

一、生態檢核

有鑑於治理工程施工對於當地環境造成一定之影響，故參考「公共工程生態檢核注意事項」，針對當地生態建置生態檢核機制，生態保育措施依迴避、縮小、減輕與補償等四項生態保育策略之優先順序考量與實施，以達到生態最小化衝擊，生態檢核作業流程圖如圖 3-17。

(一) 工程計畫核定階段：

本階段目標為評估計畫可行性、需求性及對生態環境衝擊程度，決定採零方案或可行工程計畫方案。其作業原則如下：

- (1) 蒐集計畫施作區域既有生態環境及議題等資料，並由生態背景人員現場勘查記錄生態環境現況及分析工程計畫對生態環境之影響。
- (2) 依工程規模及性質，計畫內容得考量替代方案，並應將零方案納入，評估比較各方案對生態、環境、安全、經濟及社會等層面之影響後，決定採零方案或提出對生態環境衝擊較小之可行工程方案。
- (3) 邀集生態背景人員、相關單位、在地民眾及關心相關議題之民間團體辦理現場勘查，溝通工程計畫構想方案及可能之生態保育原則。
- (4) 決定可行工程計畫方案及生態保育原則，並研擬必要之生態專案調查項目及費用。

(二) 規劃階段：

本階段目標為生態衝擊之減輕及因應對策之研擬，決定工程配置方案。其作業原則如下：

- (1) 組成含生態背景及工程專業之跨領域工作團隊，透過現場勘查，評估潛在生態課題、確認工程範圍及週邊環境之生態議題與生態保全對象。
- (2) 辦理生態調查及評析，據以研擬符合迴避、縮小、減輕及補償策略之生態保育對策，提出合宜之工程配置方案。
- (3) 邀集生態背景人員、相關單位、在地民眾及關心相關議題之民間團體辦理規劃說明會，蒐集整合並溝通相關意見。

(三) 設計階段：

本階段目標為落實規劃作業成果至工程設計中。其作業原則如下：

- (1) 根據生態保育對策辦理細部之生態調查及評析工作。
- (2) 根據生態調查、評析成果提出生態保育措施及工程方案，並透過生態及工程人員之意見往復確認可行性後，完成細部設計。
- (3) 根據生態保育措施，提出施工階段所需之環境生態異常狀況處理原則，以及生態保育措施自主檢查表。

(四) 施工階段：

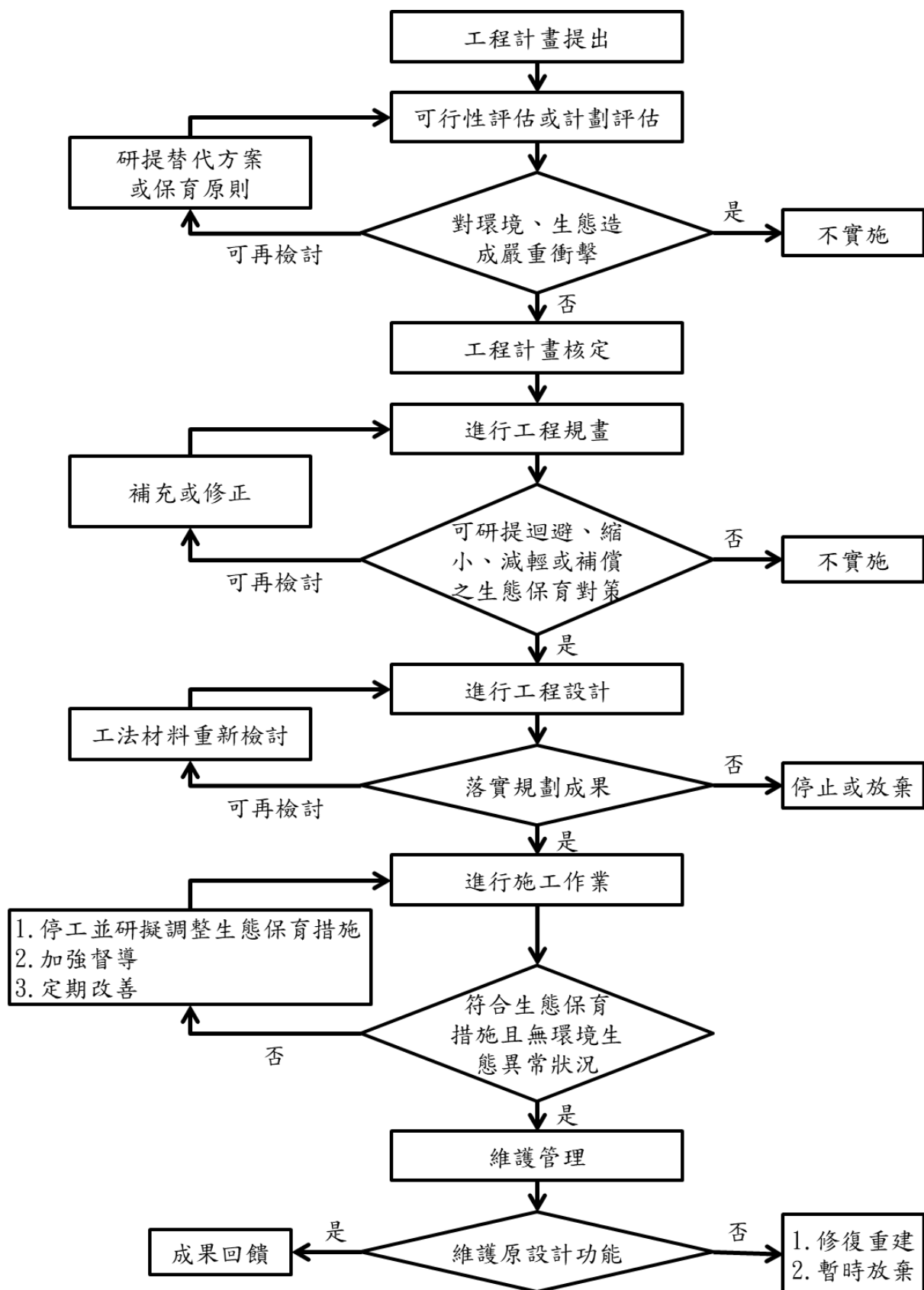
本階段目標為落實前兩階段所擬定之生態保育對策、措施及工程方案，確保生態保全對象、生態關注區域完好及維護環境品質。其作業原則如下：

(1) 開工前準備作業：

- A. 組織含生態背景及工程專業之跨領域工作團隊，以確認生態保育措施實行方案、執行生態評估，以及確認環境生態異常狀況處理原則。
 - B. 辦理施工人員及生態背景人員現場勘查，確認施工廠商清楚瞭解生態保全對象位置，並擬定生態保育措施及環境影響注意事項。
 - C. 施工計畫書應考量減少環境擾動之工序，並包含生態保育措施，說明施工擾動範圍〈含施工便道、土方及材料堆置區〉，並以圖面呈現與生態保全對象之相對應位置。
 - D. 履約文件應有生態保育措施自主檢查表。
 - E. 施工前環境保護教育訓練計畫應含生態保育措施之宣導。
 - F. 邀集生態背景人員、相關單位、在地民眾及關心相關議題之民間團體辦理施工說明會，蒐集整合並溝通相關意見。
- (2) 確實依核定之生態保育措施執行，於施工過程中注意對生態之影響。若遇環境生態異常時，停止施工並調整生態保育措施。施工執行狀況納入相關工程督導重點，完工後列入檢核項目。

(五) 維護管理階段：

目標為維護原設計功能，檢視生態環境恢復情況。其作業原則：定期視需要監測評估範圍之棲地品質並分析，確認生態保全對象狀況，分析工程生態保育措施成效。



資料來源：「公共工程生態檢核注意事項」

圖 3-17 生態檢核作業流程

二、生物通道

生物通道係為幫助野生動物縱橫向移動或脫離陷阱之工程附屬設施，而陡坡坡面排水渠道消能設施常用野溪及坑溝、排水改善之治理工程，針對動物形成陷阱的主要關鍵在於：1.兩側具有一定高度垂直或近乎垂直之混凝土壁面，讓身陷其內的部分野生動物無法自行脫困而面臨死亡之威脅；2.阻攔野生動物縱、橫向通行。因此，在維持排水渠道排除引導地表流功能之前提下，需適度改善渠壁面垂直問題及營造縱橫向通行立足點。

根據生態調查及生態檢核成果，及水文水理分析及用地範圍，規劃排水溝斷面、襯砌材料及排水溝兩側環境條件，優選適宜之解決方案，參考「水土保持設施常見生物通道」一書，茲就適用於陡坡坡面排水渠道消能設施之生態友善措施舉例，包括各式緩斜坡道及橫向移動通道。

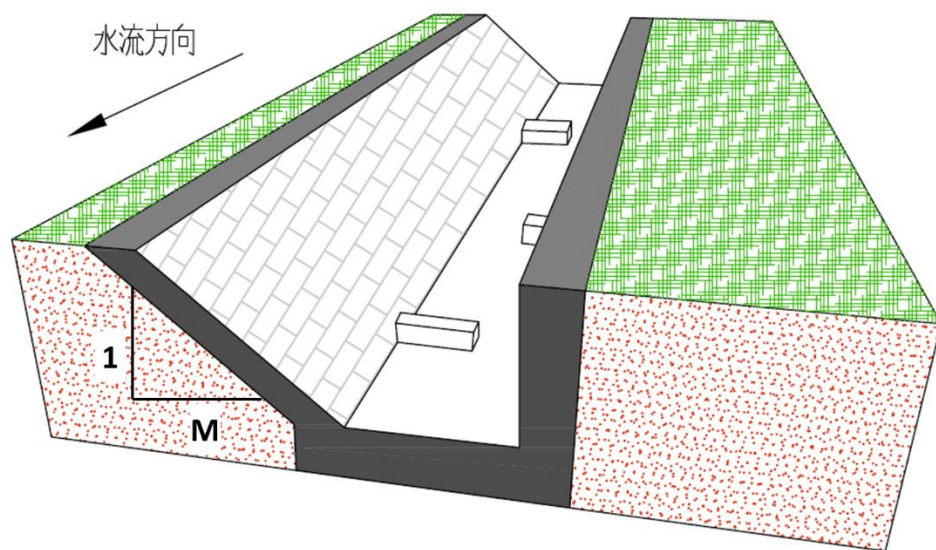
(一) 緩斜坡道

排水系統沿線壁面之全部或部分緩斜坡化，對協助野生動物逃生是相當直接有效的方式。

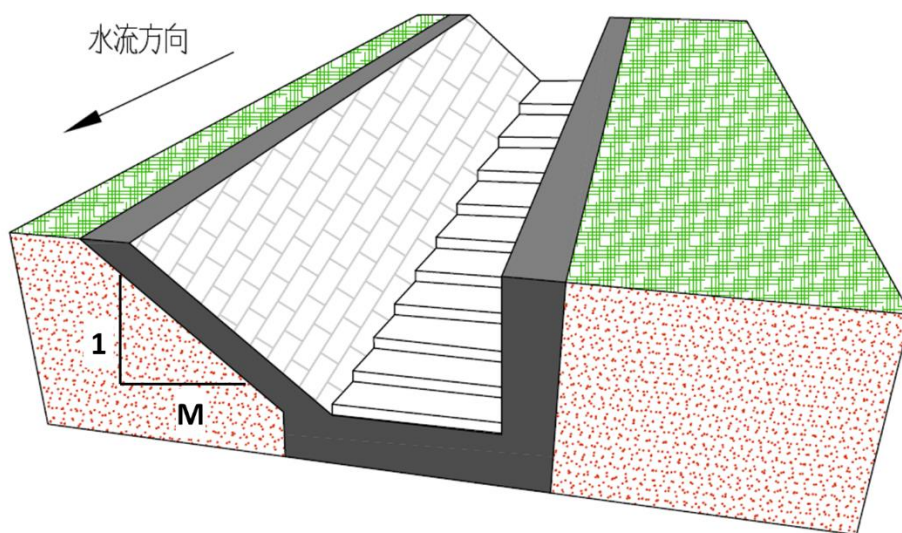
(1) 單側壁面垂向緩斜坡道

排水系統單側予以緩斜坡化，類似 L 型側溝結構。此為排水溝改善逃生通道之最佳方案，其設計原則如下：

- A. 坡道坡度在符合排水斷面需求之前提下，應設計邊坡數 $M=1.2\sim2.0$ (40 度 $\sim$ 26.6 度)之緩斜坡道。惟具體妥適坡度應參考生態資料之目標物種調整。
- B. 坡道鋪面材料糙度：緩斜坡道應採用砂質面(75 μ m $\sim$ 2mm)至中礫面(4.75mm $\sim$ 53mm)之鋪面材料，以利動物攀爬。(日本國土交通省,2018)
- C. 坡道入口：緩斜坡道入口應自渠底傾斜；惟有泥砂淤塞之虞，則斜坡道可以自溝底以上約 3-5cm 處傾斜，以利束水沖刷，減緩泥砂淤塞和積水問題。
- D. 坡道出口：緩斜坡道出口(渠頂)應有草叢掩蔽，且遠離道路或人類生活作息之空間。



(a) 配置消能檻之單側壁面垂向緩斜坡道示意圖



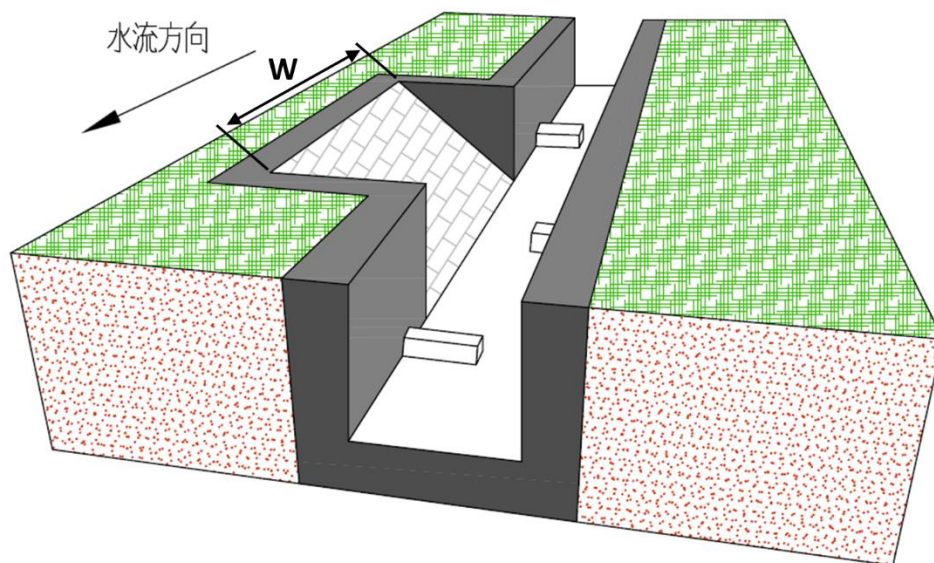
(b) 配置階梯式洩槽之單側壁面垂向緩斜坡道示意圖

圖 3-18 排水系統單側壁面垂向緩斜坡道示意圖

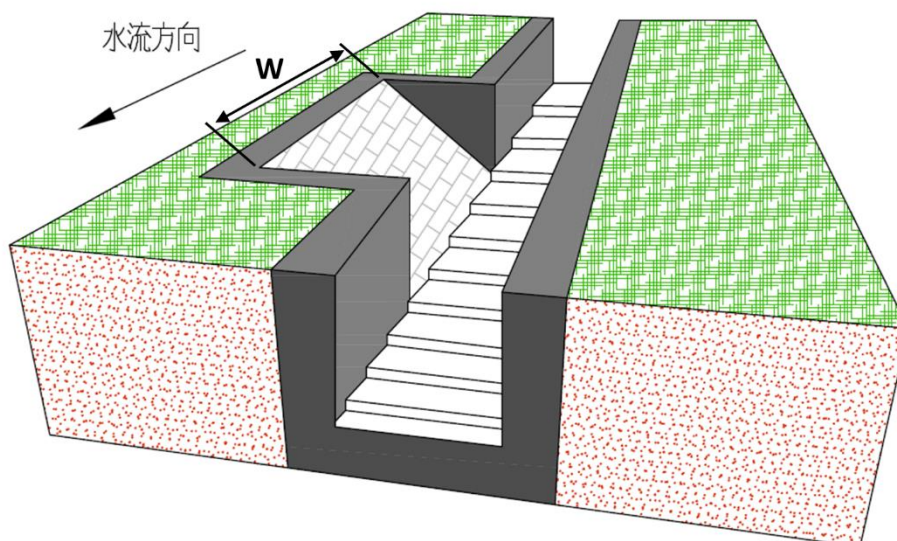
(2) 部分壁面垂向緩斜坡道

每隔適當距離(20-50m)將垂直溝壁沿著與水流方向垂直的方向設置一定寬度之緩斜坡道，以利野生動物攀爬脫困。其設計原則如下：

- A. 緩斜坡道邊坡係數 $M=1.2\sim2.0$ 之間。
- B. 斜坡面應採用砂質面(75 $\mu\text{m}\sim2\text{mm}$)至中礫面(4.75mm $\sim53\text{mm}$)之鋪面材料，以利野生動物攀爬。(日本國土交通省,2018)
- C. 坡道入口及寬度：緩斜坡道寬度 $W=0.5\sim1.0\text{m}$ ，且應自溝底傾斜；惟考量緩斜坡道處因斷面突增，致水流流速降低而有土砂淤積之虞，故其入口可以略高於溝底約 3-5cm，以利東水沖刷，減緩泥砂淤塞和積水問題。
- D. 坡道出口：緩斜坡道出口(位於溝頂)應有草叢掩蔽，且宜遠離道路或人類生活作息之空間。



(a) 配置消能檻之部分壁面垂向緩斜坡道示意圖



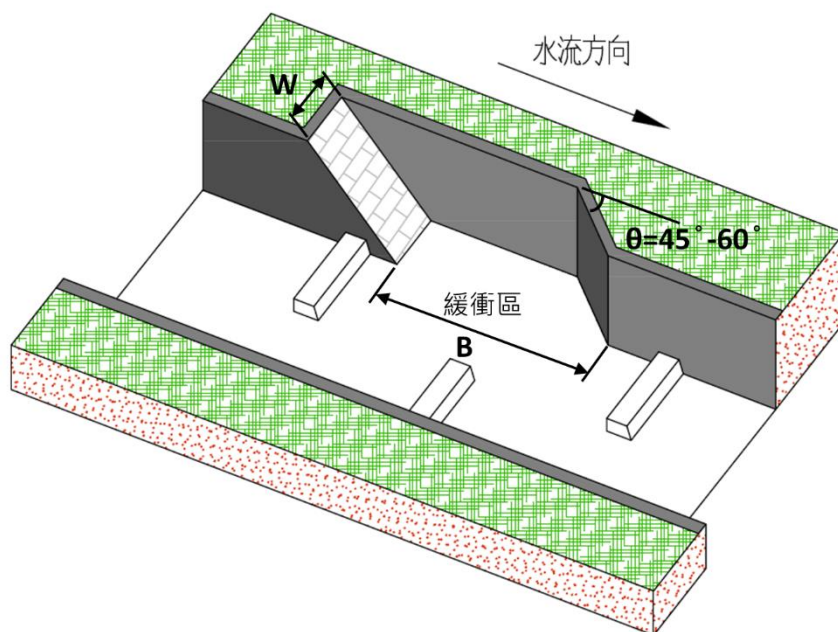
(b) 配置階梯式洩槽之部分壁面垂向緩斜坡道示意圖

圖 3-19 排水系統部分壁面垂向緩斜坡道示意圖

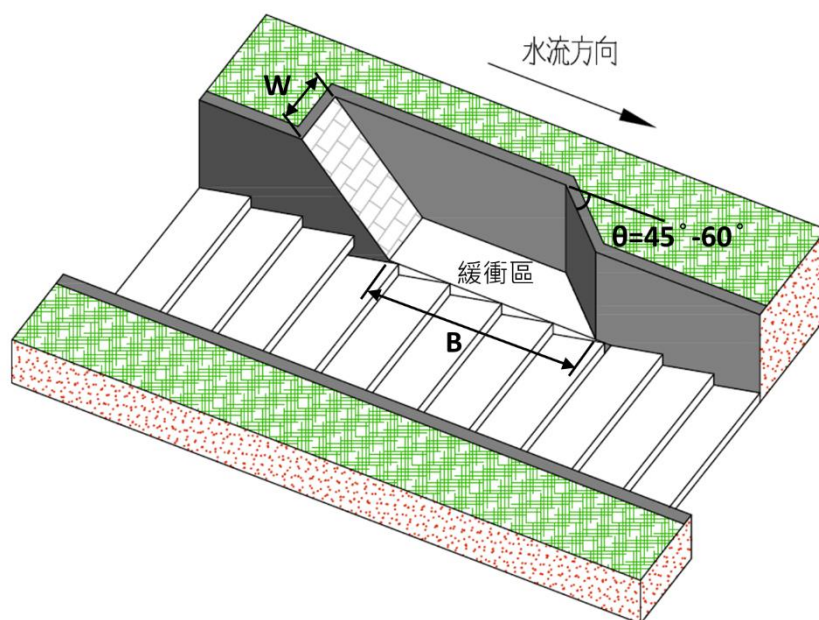
(3) 部分壁面側向緩斜坡道

受限於排洪功能或溝渠兩側腹地問題，而無法將排水溝緩斜坡道以垂直水流方向設置時，採取與水流方向平行且沿著部分壁面設置之側向緩斜坡道措施，是可行的替代方案，如圖 3-20、圖 3-21 及圖 3-22 為三種部分壁面側向緩斜坡道類型。其設計原則如下：

- A. 坡道坡度緩斜坡道邊係數 $M=1.2\sim2.0$ 。具體妥適坡度應參考生態資料之目標物種調整。
- B. 坡道寬度：緩斜坡道寬度 $W=20\text{cm}\sim40\text{cm}$ ，且應自緩衝區底部傾斜。
- C. 坡道鋪面材料性質：斜坡面應採用砂質面($75\mu\text{m}\sim2\text{mm}$)至中礫面($4.75\text{mm}\sim53\text{mm}$)之鋪面材料，以利野生動物攀爬。(日本國土交通省,2018)
- D. 坡道緩衝區：緩衝區入口寬度 $B=30\sim50\text{cm}$ ；且因緩衝區入口因垂直於溝渠排水方向，泥砂進入後不易排出，恐有泥砂淤塞之虞，故除了將緩衝區外斜 $1:0.5\sim1:1$ 之坡度外，靠近下游側壁面亦應呈外斜，其角度 $=45^\circ\sim60^\circ$ ，以利排砂，如圖所示。
- E. 坡道出口：緩斜坡出口(位於渠頂)應有草叢掩蔽，且應遠離道路或人類生活作息之空間。
- F. 維護管理：相較於全部或部分壁面垂向緩斜坡道，部分壁面側向緩斜坡道易遭泥砂淤塞而失去效能，故必須經常性地實施維護清理。

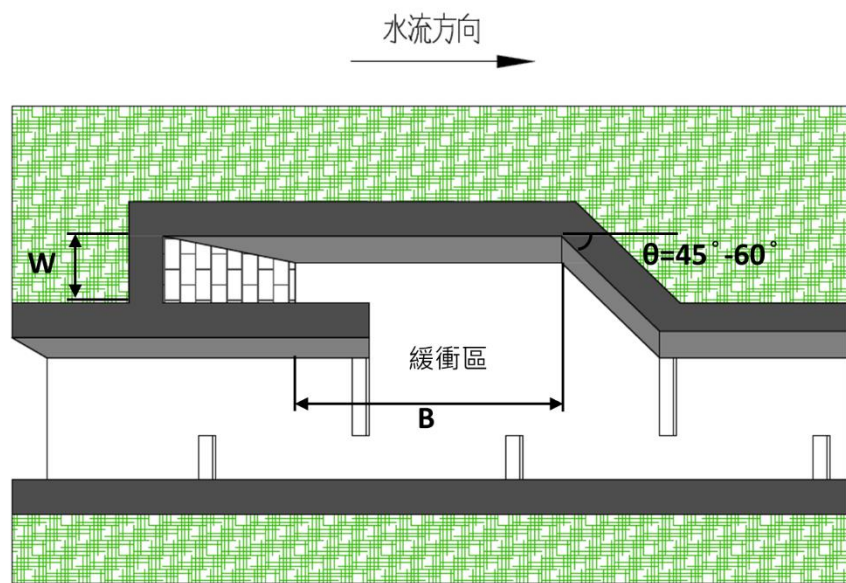


(a) 配置消能檻之部分單側向緩斜坡道(I 型)示意圖

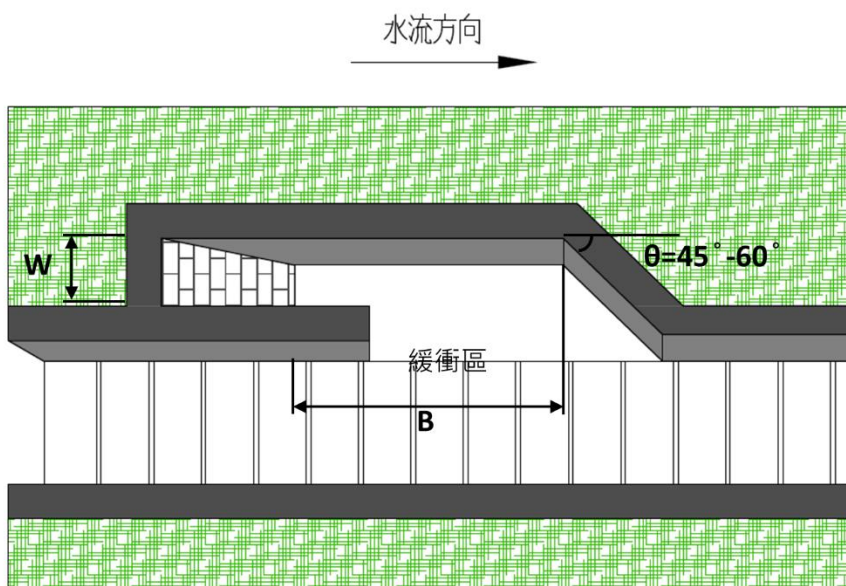


(b) 配置階梯式洩槽之部分單側向緩斜坡道(I 型)示意圖

圖 3-20 排水系統單側向緩斜坡道(I 型)示意圖

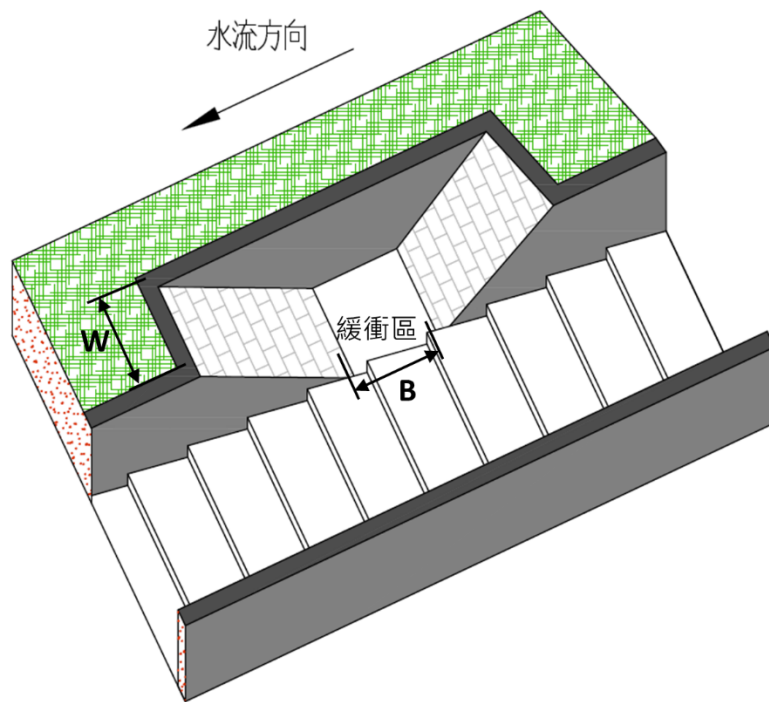


(a) 配置消能檻之單側向緩斜坡道(Ⅱ型)示意圖

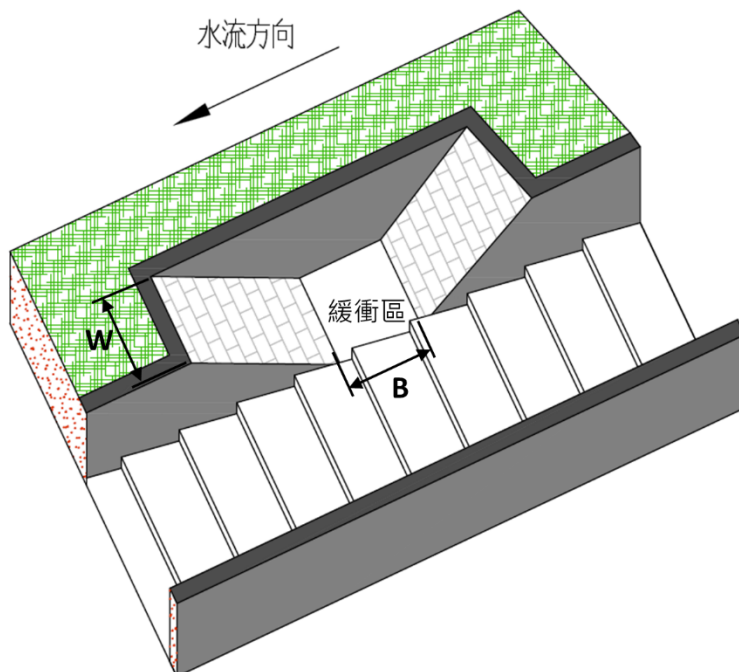


(b) 配置階梯式洩槽之單側向緩斜坡道(Ⅱ型)示意圖

圖 3-21 排水系統單側向緩斜坡道(Ⅱ型)示意圖



(a) 配置消能槛之單側向緩斜坡道(III 型)示意圖



(b) 配置阶梯式洩槽之單側向緩斜坡道(III 型)示意圖

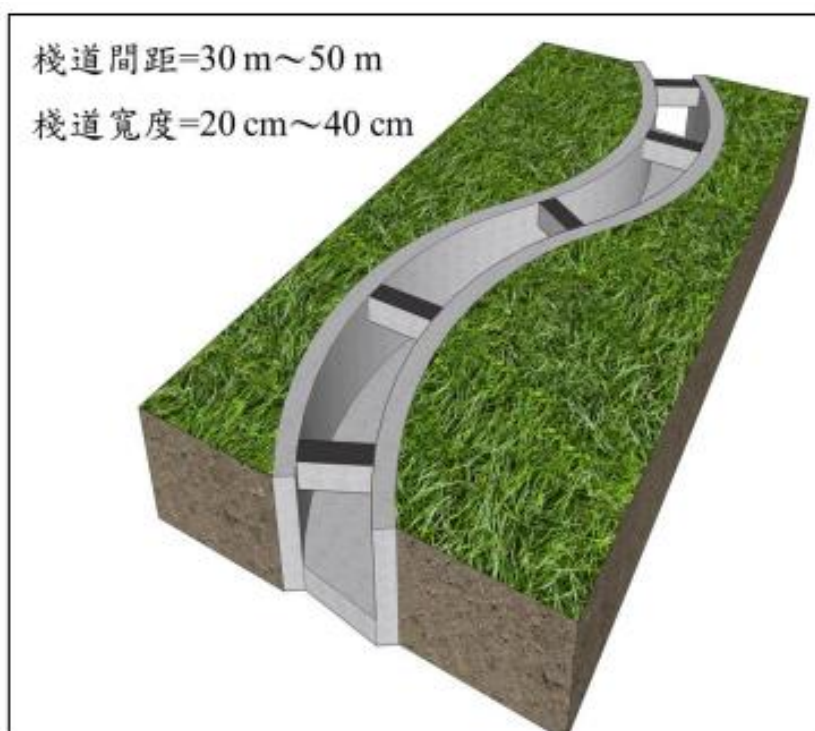
圖 3-22 排水系統單側向緩斜坡道(III 型)示意圖

(二) 跨越型移動通道

(1) 橫向跨越型移動通道

由於線狀渠道切割了部分野生動物棲地，並形成自由移動阻礙，故在溝渠設計時，必須考量設置橫向跨越渠道之人工棧道，如圖 3-23 所示。

- A. 棧道間距：每 30~50m 設棧道為原則，其寬度約介於 20-40cm 之間。
- B. 棧道坡度：棧道坡度以水平或略為傾斜為原則，且兩端宜與地面齊平。
- C. 棧道使用材料：棧道應採用自然資材為原則，惟如採用混凝土材料時，應設計可供客土植生且具排水功能。
- D. 棧道兩端：棧道兩端應有草叢掩蔽空間，且並遠離道路或人類生活作息之空間。



資料來源：「水土保持設施常見生物通道」

圖 3-23 排水渠道設置跨越型棧道示意圖

3.6 消能檻設計要點

本小節針對消能檻之圖說名詞、消能原理、設計要點進行說明，包括各細部設計及檢算方式。如流量與渠道寬度之關係、消能檻長度、間距及型式等詳細說明。

一、各部圖說

消能檻為橫置於排水設施底部之方柱形混凝土構造物，利用橫向方柱抵擋水流之能量，減緩流速持續增加，其中消能檻相關設計之名詞有消能檻長度、消能檻寬度、消能檻高度、消能檻間距...等，相關圖說詳圖 3-24 至圖 3-27

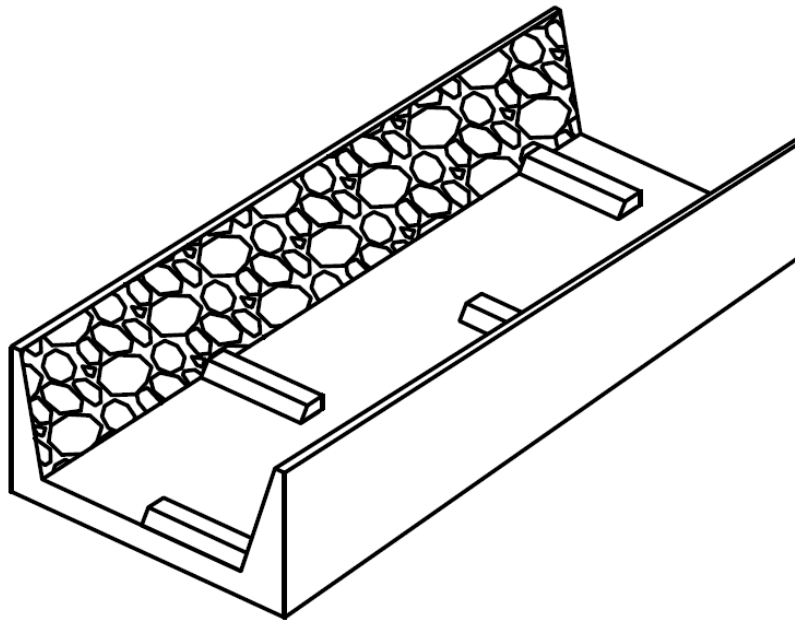


圖 3-24 消能檻立體圖

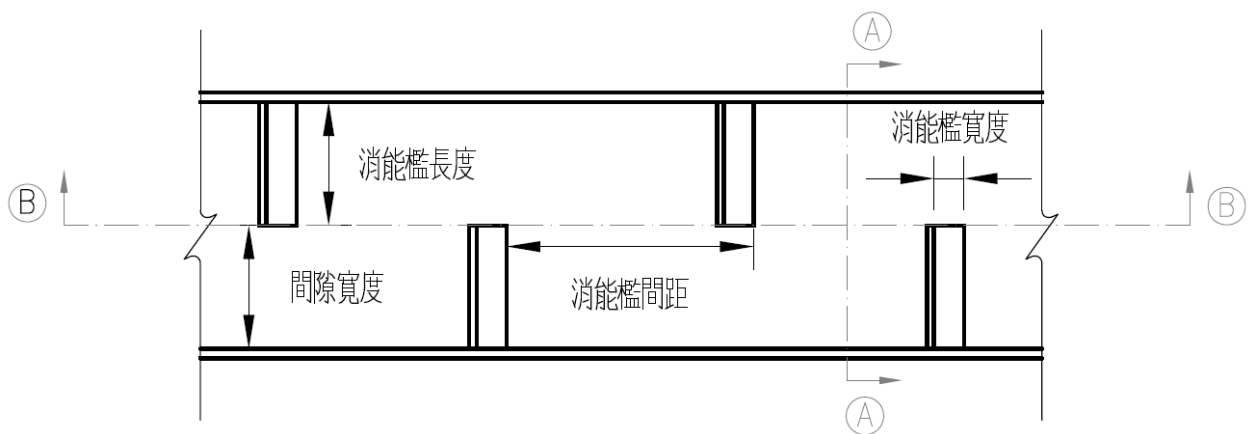


圖 3-25 消能檻俯視圖

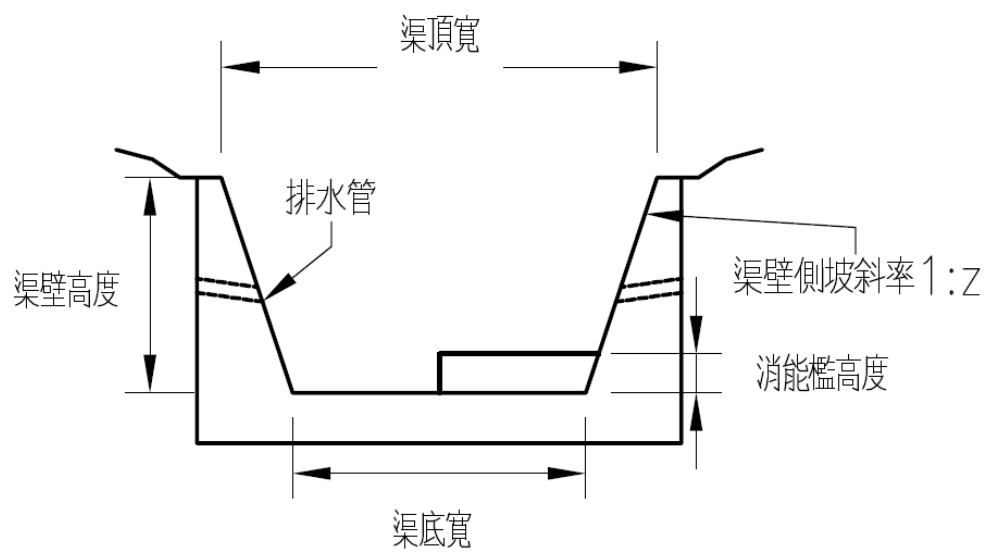


圖 3-26 消能檻剖面圖 A-A

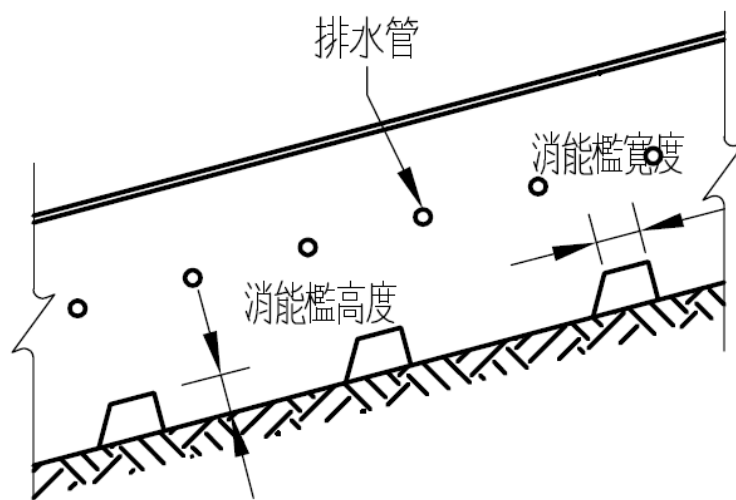


圖 3-27 消能檻剖面圖 B-B

二、消能原理

消能檻為橫置於排水設施底部之方柱形混凝土構造物，其功效為藉由水流與消能檻產生碰撞以達到消能之目的，可有效降低水流能量，水流撞擊消能檻後即產生各式水流形態，如圖 3-28，水流依其流況可區分為主流區、迴流區及混合區(Masjedi and Foroushani,2012)，水流撞擊消能檻，於消能檻頂部形成水流分流點，此時大部分水流由消能頂部通過並向下游流動，而少部分水流則將於消能檻後方產生迴流現象，造成交接處流況紊亂之情形，陡坡渠道中水流受重力影響而不斷加速，在撞擊消能檻後以消彌過甚之動能，水流在分離點處流線分離，透過噴濺之形式強迫挾氣，以分子間撞擊降低流速。

經以上資訊可知，消能檻主要透過撞擊與挾氣之方式達到降低水流流速之目的。

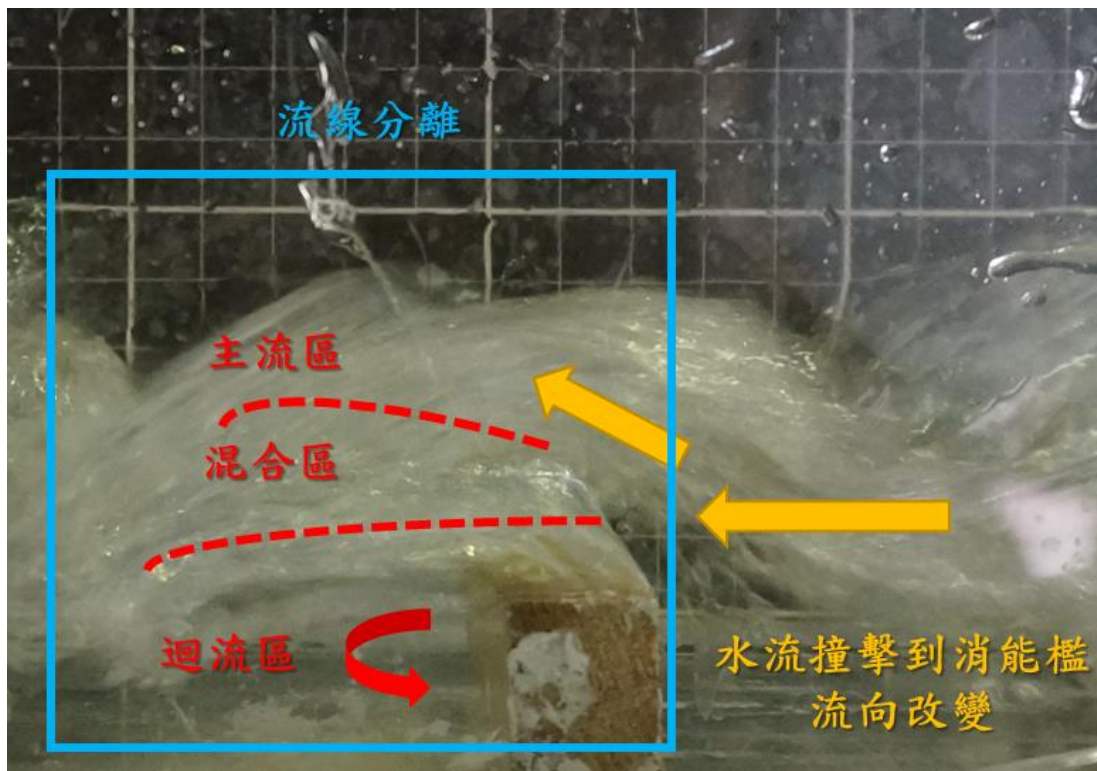


圖 3-28 消能檻水流消能機制示意圖

三、設計原則

以往消能檻並無相關設計原則，易造成消能效果不佳及水流飛濺情形，因此以下首先針對消能檻常見設計問題進行說明。

(一) 排水能力

以往坡地排水工程進行通水能力檢討時皆採用曼寧公式計算設計流速及設計流量，以檢核設計流速是否符合混凝土可容許流速，以及設計通洪斷面是否充足等問題，卻忽略可容許單寬流量過大可能造成流速過快、水流動能增加，難以消彌水流能量之情形。

另在出水高度不足之情況下，易造成水流濺出渠道，影響坡面及道路安危，為目前陡坡排水常見之問題，需藉由大量挾氣消除水中動能，故噴濺高度驟增發生溢流，可透過放大斷面寬度或增加渠壁安全係數解決此問題

(二) 消能檻尺寸

消能檻高度影響消能之能力及水流噴濺高度，以往無相關設計原則，因此在消能檻高度設定多以 0.2 m 或 0.3 m 進行設計，因此以往設計之消能檻高度較為不足，降低撞擊產生之消能效果，迫使水流需挾入大量氣體以減緩流速，造成飛濺之高度增加。消能檻長度影響間隙水流流速，目前較常見之長度為渠道寬度 1/2 型之消能檻、渠道寬度 3/4 型之消能檻，惟無統一之選用原則造成設計長度不適當使水流通過間隙時流速增加，可能造成間隙底床混凝土穴蝕。而消能檻間距影響水流受重力加速之距離，當間距設計過當易導致水流受重力作用加速之距離增長，動能隨之增加，使水流撞擊消能檻後需大量挾氣，藉由分子間碰撞降低能量。

鑒於上述消能檻常見問題，消能檻設計目前無統一設計原則，故參考美國墾務局齒坡工法設計流程，係透過齒狀構造物的設置，其消能原理與消能檻相同，使水流撞擊並飛濺，藉以消除水流之動能、阻止水流持續加速，消能檻設計流程圖如圖 3-29。設計原則研提可容許單寬流量之概念，避免渠道寬度不足導致渠道動能增加之情況，同時彙整水保局台中分局(2021)之試驗成果，擬定消能檻之設計原則。以下就消能檻設計原則進行說明，設計過程中參數對應之符號說明詳如表 3-14。

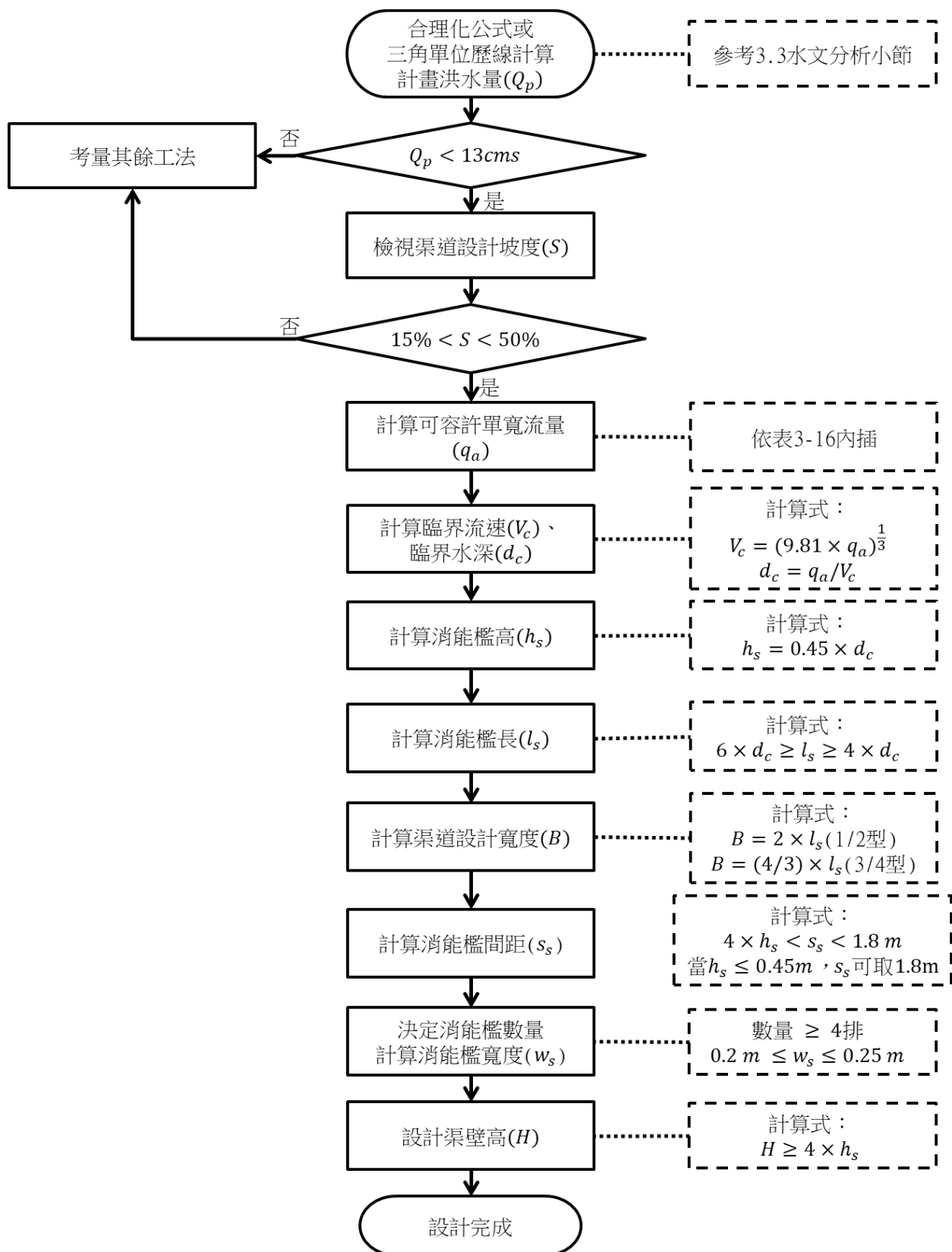


圖 3-29 消能檻設計流程圖

表 3-14 消能檻設計所需公式符號表

符號	名稱	單位	符號	名稱	單位
Q_p	計畫洪水量	m^3/s	h_s	消能檻高度	m
S	渠道坡度	-	l_s	消能檻長度	m
q_a	可容許單寬流量	m^2/s	s_s	消能檻間距	m
B	渠道寬度	m	w_s	消能檻寬度	m
V_c	臨界流速	m/s	H	渠壁高	m
d_c	臨界水深	m			

- (一) 以合理化公式及三角單位歷線法計算計畫洪水量(Q_p)，並依據表 3-16 檢討是否小於 13 cms，若大於 13cms 建議選取其他工法設計。
- (二) 鑒於坡度在 15%至 50%時，消能檻具有較佳之消能效果，故適用渠道設計坡度(S)為 0.15 至 0.5，若不符該範圍，建議選取其他工法設計。
- (三) 渠道設計之可容許單寬流量(q_a)可透過計畫洪水量(Q_p)以表 3-16 內差而得。
- (四) 銜接消能檻設施前之渠道流速需小於 $V_c/2$ ，使渠道水流有較小之飛濺高度，反之，將易導致高速水流撞擊消能檻設施產生飛濺狀況，其中， $V_c = (9.81 \times q_a)^{\frac{1}{3}}$ ；計算臨界流速為 $d_c = q_a/V_c$ 。
- (五) 消能檻高度(h_s)應為 0.45 倍之臨界水深(d_c)。
- (六) 計算消能檻長度(l_s)及消能檻形式：(1)消能檻長度不得小於 4 倍消能檻高度，且不得大於 6 倍消能檻高度。(2)消能檻之排列方式需為交錯排列。(3)消能檻之形式選用，其渠道寬度 3/4 型於坡度較大之設計條件下，能及時阻擋高速水流；而渠道寬度 1/2 型則適用於坡度較緩之設計條件下，避免高速水流無法及時阻擋使水流撞擊消能檻時產生噴濺情況。設計時建議依下表建議條件進行選擇。

表 3-15 消能檻設計形式建議條件表

可容許單寬流量(q_a)	渠道設計坡度(S)	消能檻建議形式
$> 1 \text{ } m^2/s$	15% 至 34%	渠道寬度 1/2 型
$> 1 \text{ } m^2/s$	34% 至 50%	渠道寬度 3/4 型
$< 1 \text{ } m^2/s$	15% 至 34%	渠道寬度 1/2 型
$< 1 \text{ } m^2/s$	34% 至 50%	渠道寬度 3/4 型

- (七) 根據消能檻長度(l_s)決定渠道寬度(B)，
 若消能檻形式為渠道寬度 1/2 型，渠道寬度以 $B = 2 \times l_s$ 計算之；
 若消能檻形式為渠道寬度 3/4 型，渠道寬度以 $B = (4/3) \times l_s$ 計算之。
- (八) 消能檻間距離(s_s)至少應為 4 倍消能檻高度(h_s)，但不得超過 1.8m。而當所有消能檻高度等於或小於 0.45m 時，消能檻間距亦可使用 1.8m。
- (九) 設計數量時至少需使用四排消能檻，消能檻寬度(w_s)需大於 0.2m，但不得大於 0.25m。
- (十) 渠壁高(H)需提供足夠之出水高，建議採至少 4 倍之消能檻高度(h_s)進行設置。

表 3-16 消能檻設計流量與可容許單寬流量對照表

$Q_p \text{ (m}^3/\text{s)}$		$q_a \text{ (m}^2/\text{s)}$	
區間下限值	區間上限值	區間下限值	區間上限值
0.00	1.10	0.46	0.93
1.13	2.80	0.93	1.39
2.83	5.35	1.39	1.86
5.38	13.03	1.86	2.79

資料來源：美國墾務局技術報告，Aisenbrey(1978)

3.7 階梯式洩槽設計要點

本小節針對階梯式洩槽之圖說名詞、消能原理、設計要點進行說明，包括各細部設計及檢算方式。如不同流態下設計之階梯長度、高度，並說明加入尾檻之改良型等詳細說明。

一、各部圖說

階梯式洩槽為直接構築階梯狀之渠槽底部，利用階梯狀使水流不斷跌落、撞擊，減緩流速持續增加，其中階梯式洩槽相關設計之名詞有階梯長度、階梯高度...等，相關圖說詳圖 3-30 至圖 3-33

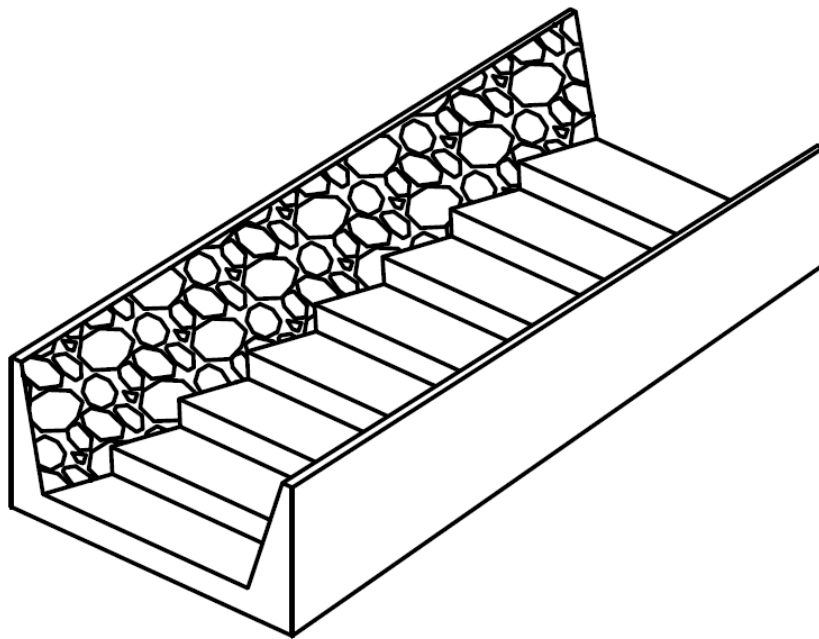


圖 3-30 階梯式洩槽立體圖

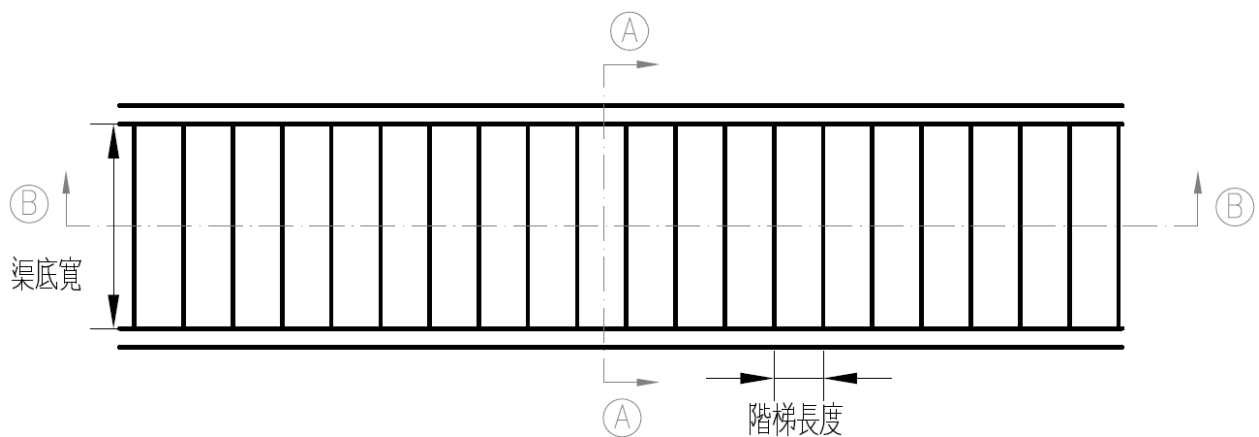


圖 3-31 階梯式洩槽平面圖

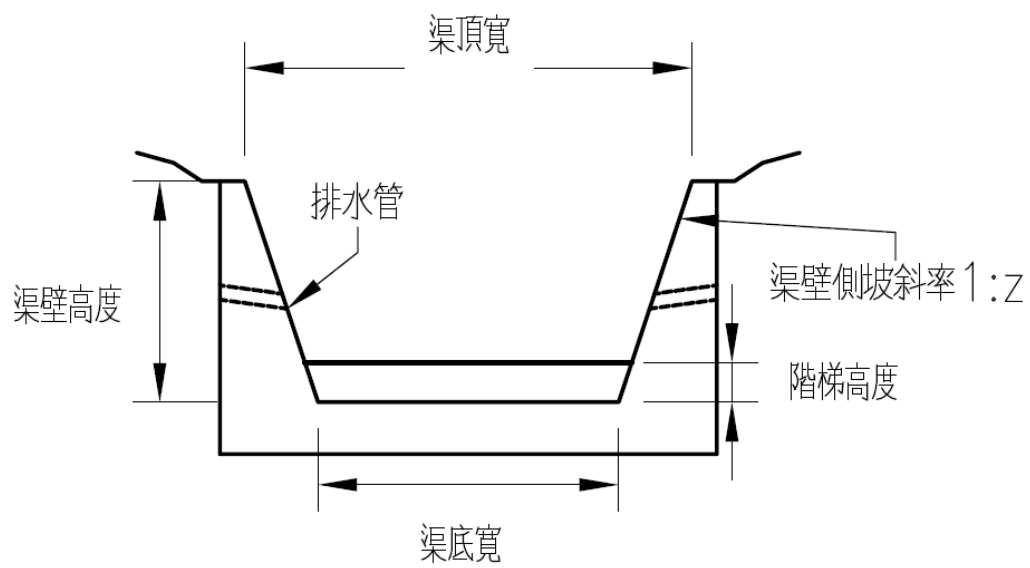


圖 3-32 階梯式洩槽剖面圖 A-A

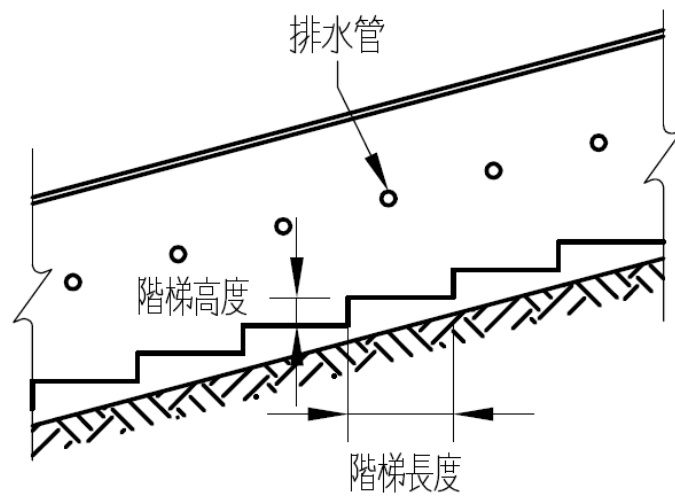
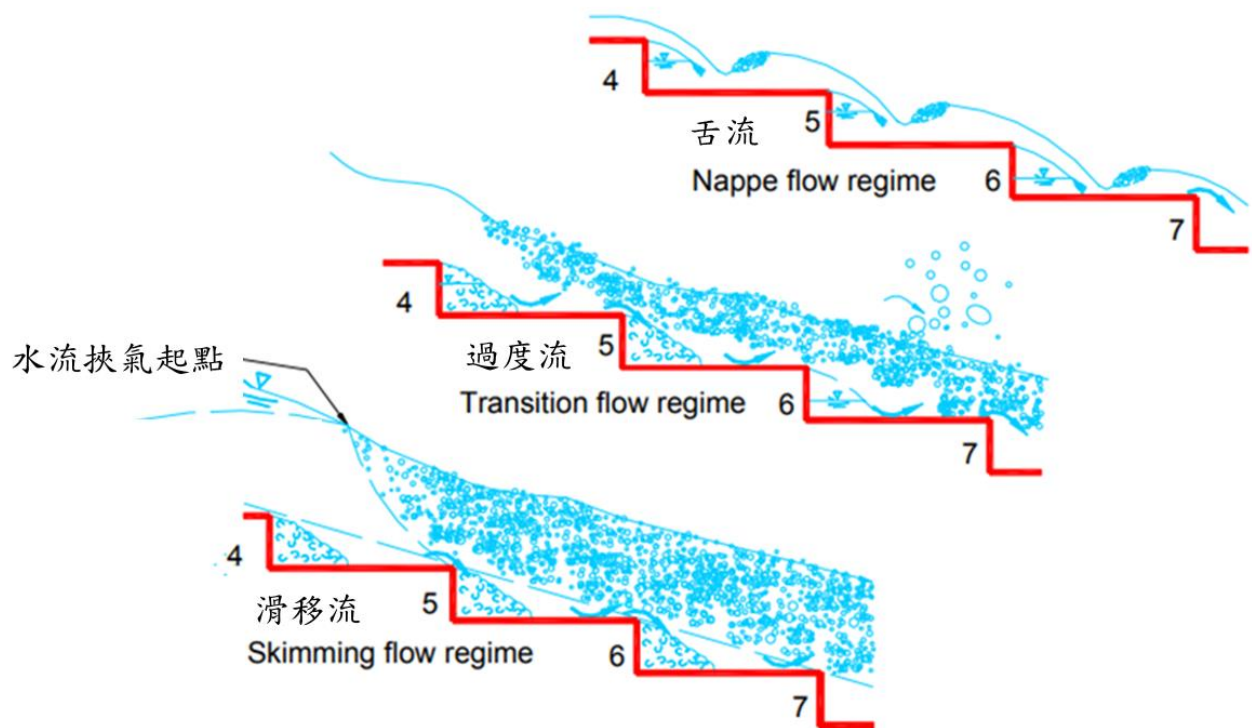


圖 3-33 階梯式洩槽剖面圖 B-B

二、消能原理

階梯式洩槽為階梯狀之消能設施，其水流特性係透過跌落、翻滾與水躍等現象，使得流況於超臨界流與亞臨界流間轉換。而就其消能機制而言，階梯式洩槽設計原理係期望水流經由階段式跌水不斷產生撞擊及挾氣現象，以削弱陡坡水流之動能。

對水流形態方面，Gonzalez (2005)根據水流特性的不同將階梯式洩槽分為三種不同流態，包含：舌流(Nappe flow regime)、過度流(Transition flow regime)及滑移流(Skimming flow regime)，如圖 3-34 所示，以下就三種流況分述說明。



資料來源：修改自 Gonzalez(2005)

圖 3-34 階梯式洩槽之水流形態示意圖

(一) 舌流

舌流發生於渠道流量較小之情況下，當水流進入渠槽後於前端階梯處產生固態流(Solid flow)之形式，此時水流尚未發生撞擊或挾氣等消能現象，隨後水流以跌水的形式由一臺階撞擊另一臺階，形成舌流狀態，特徵為水流與階梯間有一氣腔，開始逐漸消能，如圖 3-35 所示，有時甚至於臺階末端發生水躍之現象，提升消能效益。



圖 3-35 舌流流態示意圖

(二) 過度流

過度流主要發生於渠道中等流量情況下，此流態之特徵為自由水面附近將產生強烈波動及水流飛濺情形，且在渠道前端之階梯下游可觀察到大小不同的氣腔及渦流區，如圖 3-36。Chanson and Toombes (2004)由試驗水面的變化解釋過度流之特徵，過度流水面為不光滑之自由水面，常發生水流噴濺現象，其水流噴射高度可達 3 倍至 8 倍之階梯高度，與舌流及推移流表現特徵不相同。



圖 3-36 過度流流態示意圖

(三) 滑移流

滑移流發生於渠道流量較大之情況下，水流於渠道中沿著階梯以滑行的方式向下游逕行，此時階梯高度形同粗糙高度，導致底床糙度增加、水位抬升，水面線大致與階梯邊緣連線平行，如圖 3-37 所示。而滑移流的形成過程可分為光滑水流、挾氣過度區及完全挾氣水流三階段，在階梯式洩槽前端水面線呈平滑狀，近渠底處之邊界層開始發展，當邊界層外圍已發展至自由液面，渦流剪應力克服浮力與表面張力之作用，水流開始大量挾氣，消能作用隨之形成。

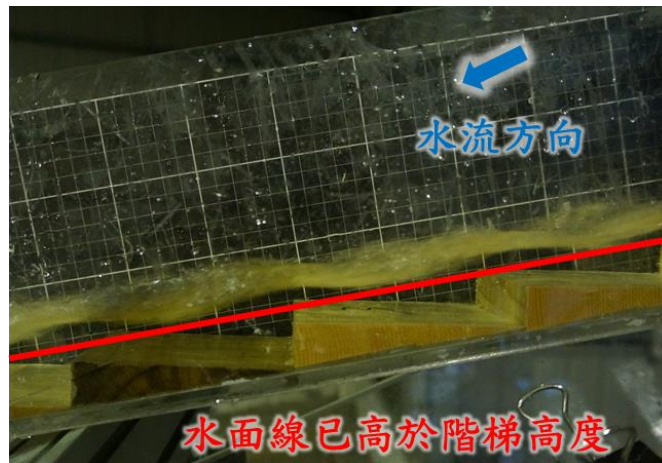


圖 3-37 滑移流流態示意圖

三、設計原則

(一) 階梯式洩槽

階梯式洩槽設計原則參考自 Chanson (2004) 提出之過度流上下限計算公式，首先透過作圖的方式檢算設計水流流態，達到提升消能效益之目的，工程設計檢算方法於下進行說明，其檢算過程配合陡坡排水渠道斷面設計方式，提出工程設計流程如圖 3-38 所示。

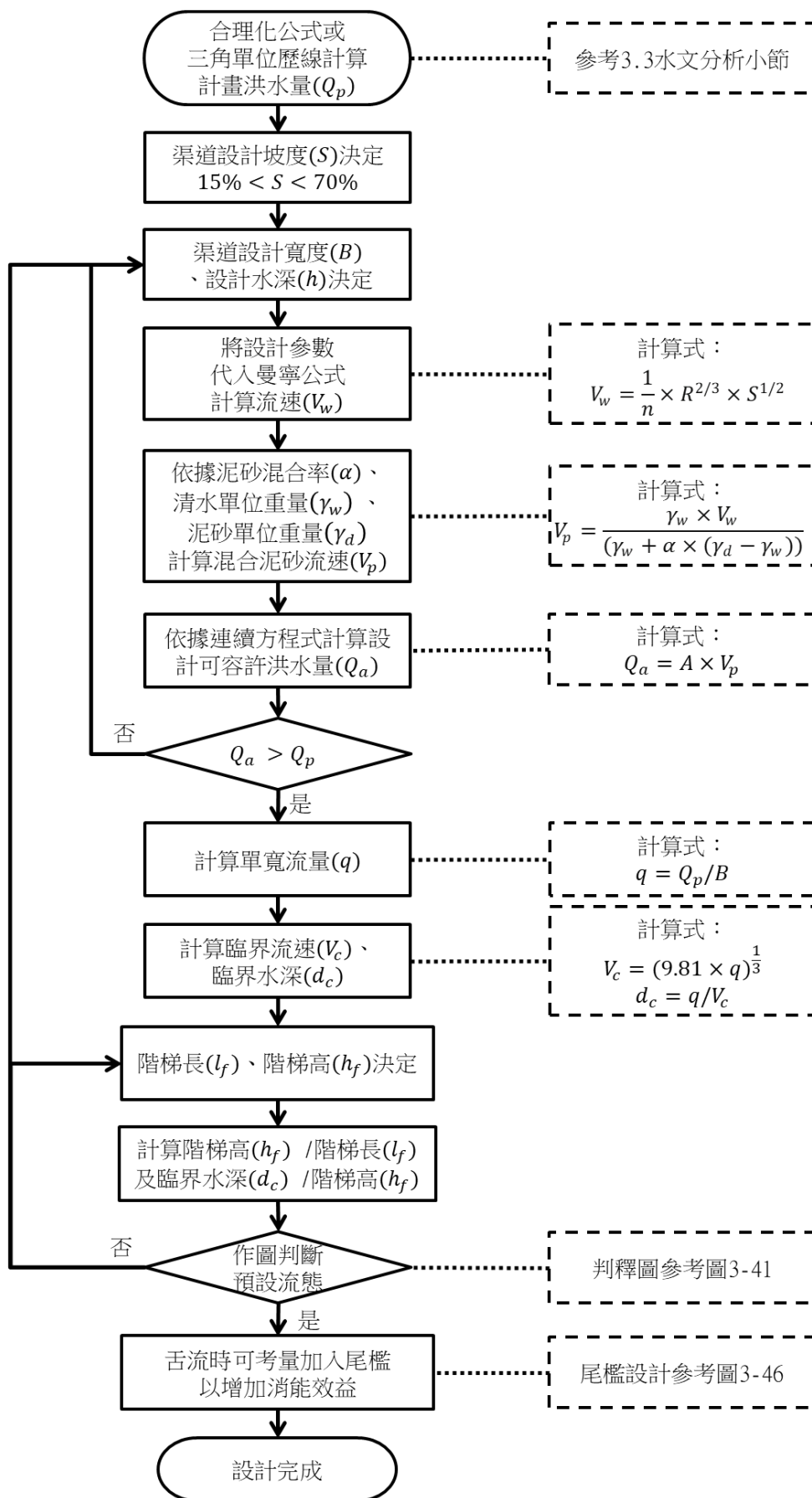


圖 3-38 階梯式洩槽設計流程圖

表 3-17 階梯式洩槽設計所需公式符號表

符號	名稱	單位	符號	名稱	單位
Q_p	計畫洪水量	m^3/s	Q_a	可容許洪水量	m^3/s
S	渠道坡度	-	q	單寬流量	m^2/s
B	渠道寬度	m	B	渠道寬度	m
h	設計水深	m	V_c	臨界流速	m/s
V_w	清水流流速	m/s	d_c	臨界水深	m
α	泥砂混合率	-	l_f	階梯長度	m
γ_w	清水單位重量	m	h_f	階梯高度	m
γ_d	泥砂單位重量	m			
V_p	混合泥砂流速	m/s			

- (1) 以合理化公式及三角單位歷線法計算計畫洪水量(Q_p)，並決定渠道基本尺寸，進行相關水理檢算，並檢討設計渠道之可容許洪水量(Q_a)是否滿足計畫洪水量。
- (2) 依據渠道斷面型式計算單寬流量(q)，以 $q = Q_p/B$ 計算之。
- (3) 計算臨界流速(V_c)及臨界水深(d_c)，渠道臨界流速採用 $V_c = (9.81 \times q)^{\frac{1}{3}}$ 計算，爾後以 $d_c = q/V_c$ 計算臨界水深。
- (4) 依據渠道設計坡度(S)坡度決定階梯高度(h_f) 及 階梯長度(l_f)。
- (5) 計算階梯高度(h_f) / 階梯長度(l_f) 及 臨界水深(d_c) /階梯高度(h_f)。
- (6) 根據計算成果將階梯高度/階梯長度以及臨界水深/階梯高，依據上下邊界公式：

$$\frac{d_c}{h_f} > 0.9174 - 0.381 \frac{h_f}{l_f} \quad (0 < \frac{h_f}{l_f} < 1.7) \quad (3.44)$$

$$\frac{d_c}{h_f} < \frac{0.9821}{\left[\left(\frac{h_f}{l_f}\right) + 0.388\right]^{0.384}} \quad (0 < \frac{h_f}{l_f} < 1.5) \quad (3.45)$$

- (7) 繪製於階梯式洩槽流態判釋圖(圖 3-39)上，即可透過輸入值座落之區間判斷階梯式洩槽水流流態。

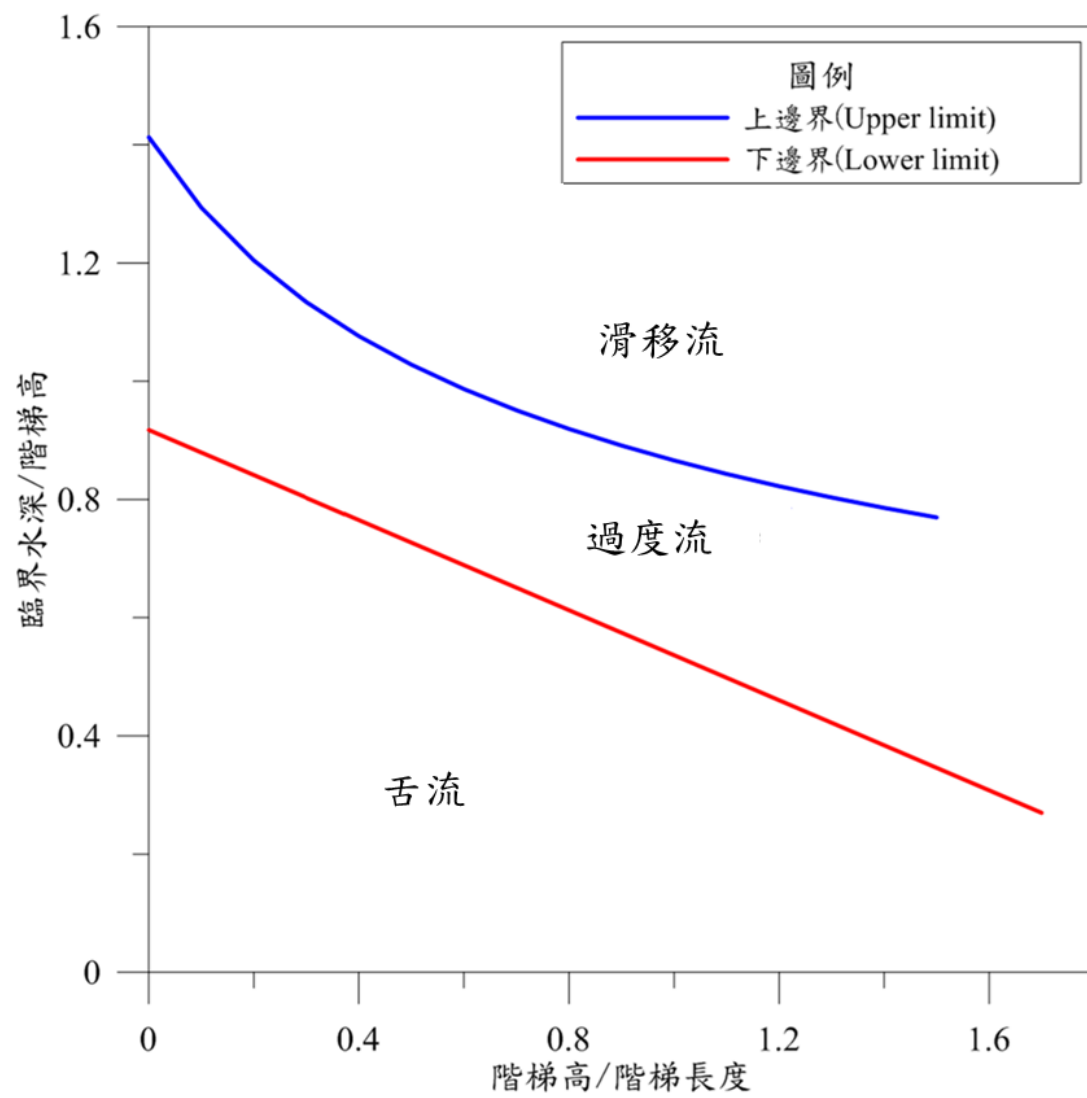


圖 3-39 階梯式洩槽流態判釋圖

以下舉例進行講解，下表為階梯式洩槽水工試驗條件設計表，根據其試驗條件進行計算，並繪製於階梯式洩槽流態判釋圖上，判斷階梯式洩槽水流流態。

表 3-18 階梯式洩槽水工試驗條件設計表

水工試驗條件 \ 組別	試驗組 1	試驗組 2
流量(cms)	0.0007	0.0007
渠道寬度(m)	0.1000	0.1000
階梯長度(m)	0.0200	0.0700
階梯高度(m)	0.0250	0.0250

A. 計算單寬流量

試驗組 1 及 2 之單寬流量皆為 $0.0007/0.1 = 0.007 \text{ (m}^2/\text{s)}$ 。

B. 計算臨界流速及水深

試驗組 1 及 2 之渠道臨界流速 V_c 皆為 $\sqrt[3]{9.81 \times 0.007} = 0.4095 \text{ (m}^2/\text{s)}$ ，而臨界水深 d_c 皆為 $q/V_c = 0.0171 \text{ (m)}$ 。

C. 計算階梯高度除以階梯長度(h_f/l_f)及臨界水深除以階梯高度(d_c/h_f)。

試驗組 1：

階梯高度/階梯長度為 1.2500，臨界水深/階梯高度為 0.6840。

試驗組 2：

階梯高度/階梯長度為 0.3571，臨界水深/階梯高度為 0.6840。

D. 繪製於階梯式洩槽流態判釋圖上，如圖 3-40 所示。

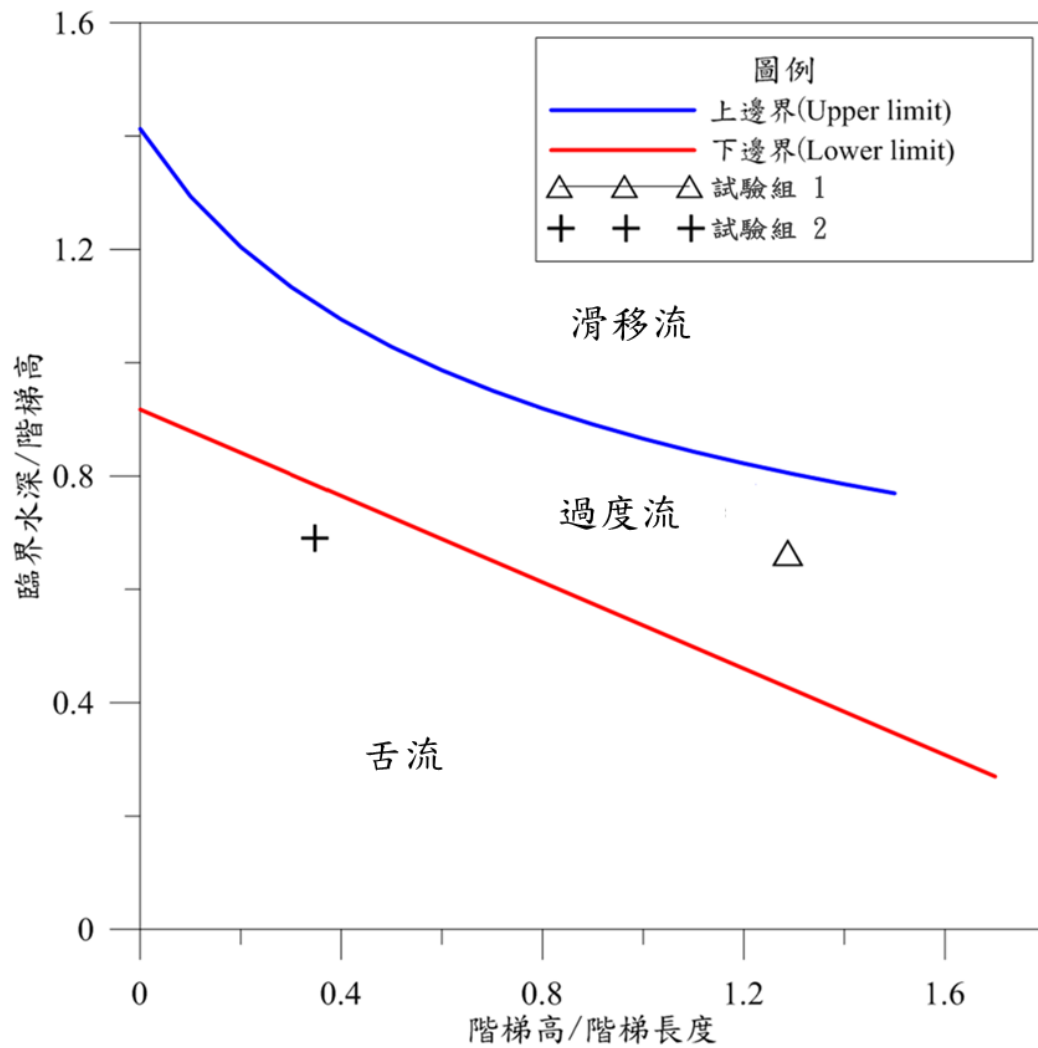


圖 3-40 試驗組階梯式洩槽流態判釋圖

由試驗結果及流態判釋圖可得之試驗組 1 之階梯式洩槽水流流態為過度流，然而，舌流流態下階梯式洩槽將產生撞擊、挾氣甚至水躍等三種消能機制，具有較良好之消能成效，故針對階梯長度進行調整，將試驗組 2 中階梯式洩槽階梯長度修改為 0.07m，使其水流流況落於舌流流態範圍內，以達到較良好的消能成效，如圖 3-41 所示。

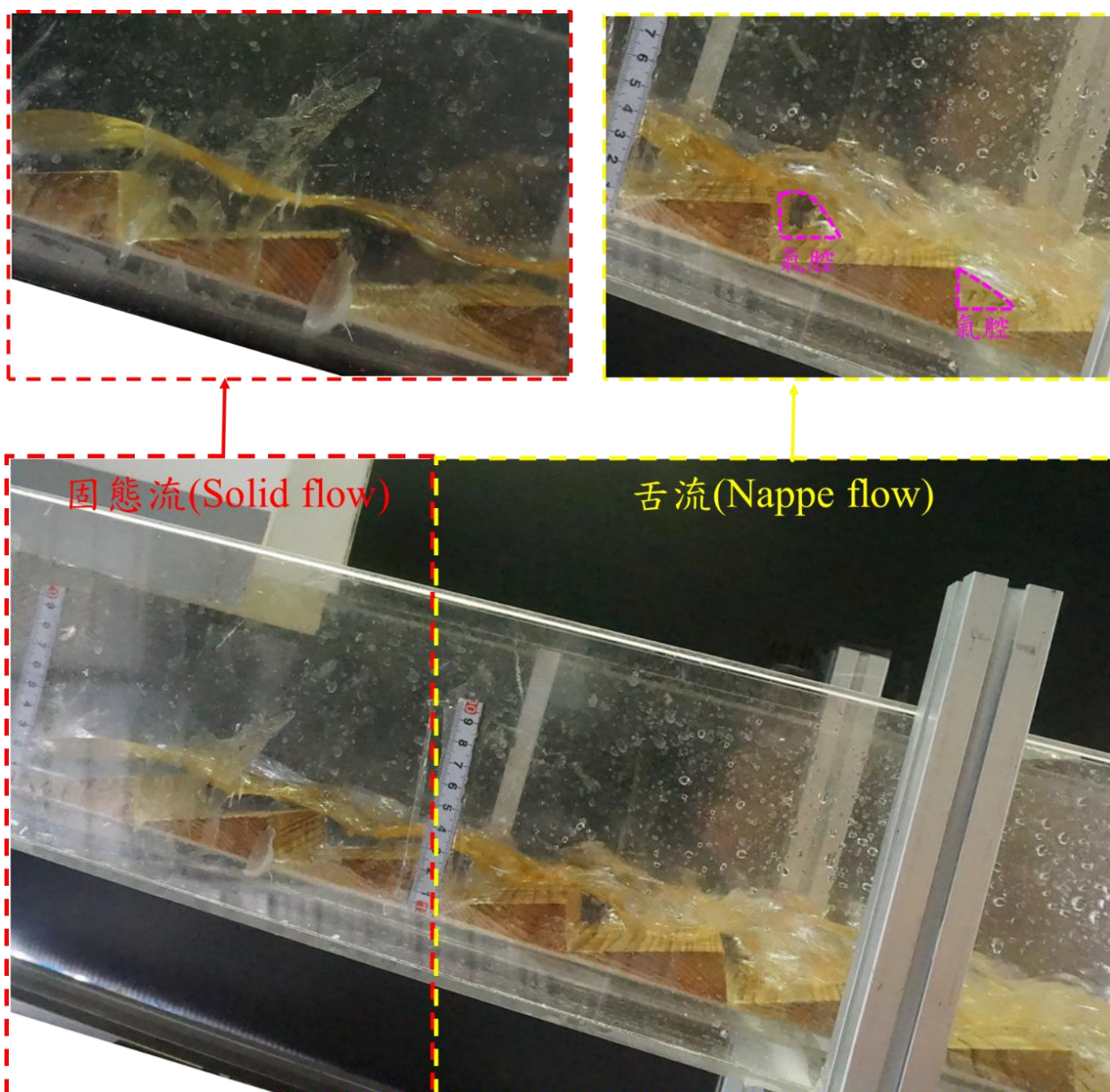
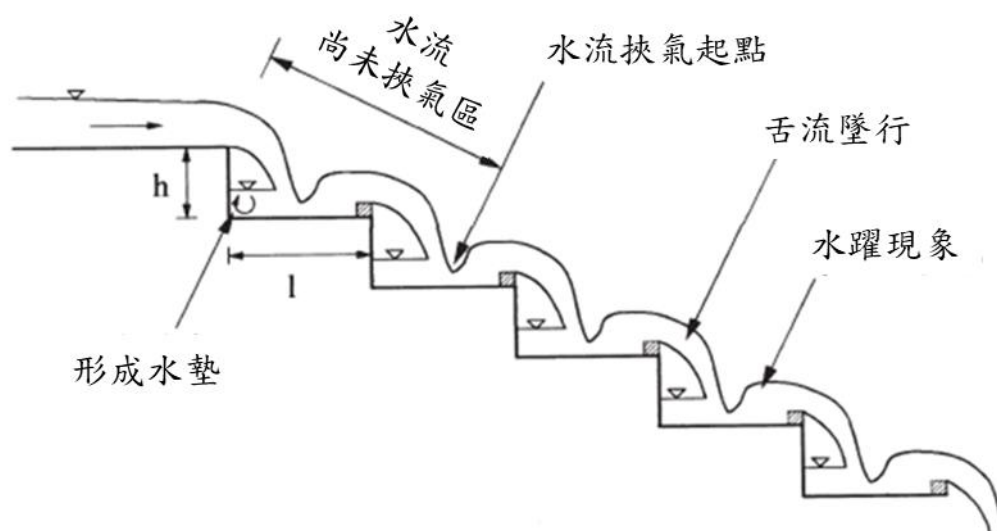


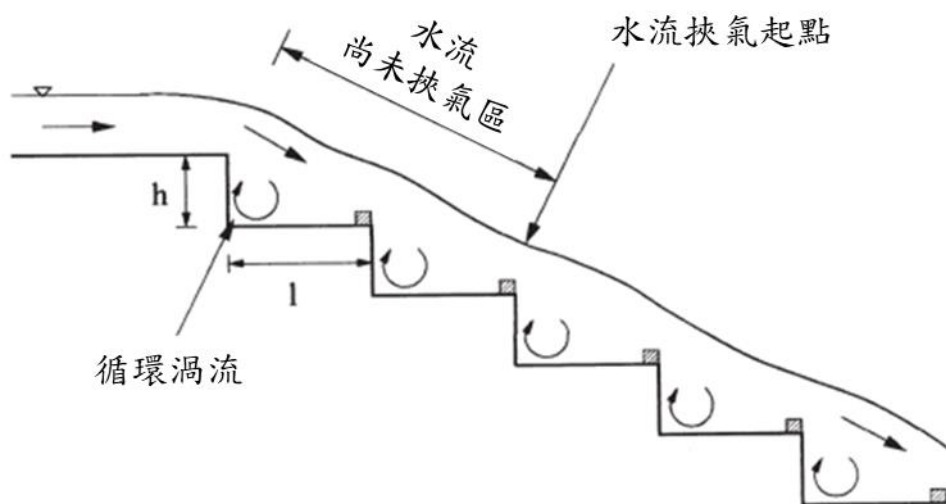
圖 3-41 階梯式洩槽水工試驗成果圖

(二) 改良型階梯式洩槽

改良型階梯式洩槽因其低成本和施工快速之特性，已逐漸開始被採用，並可改善既有已完工之工程，藉兩旁渠壁裝設滑槽，藉由滑槽裝置安裝尾檻，其水流形態則與階梯式洩槽相同，大致可分為舌流及滑移流兩種形式，如圖 3-42 所示；Dermawan (2016)藉由室內渠槽試驗研究階梯式洩槽與改良型階梯式洩槽之消能成效，加入尾檻之階梯式洩槽具有較佳之消能效果，且隨著水流福祿數增加，消能效果效果越發顯著，如圖 3-43 所示，其原因為水流通過改良型階梯式洩槽將於各階段末端產生水躍現象，在水躍現象形成的狀況下具有最佳之消能效果。



(a) 舌流流態示意



(b) 滑移流流態示意

圖 3-42 改良型階梯式洩槽之水流流態示意圖

資料來源：修改自 Emiroglu(2003)

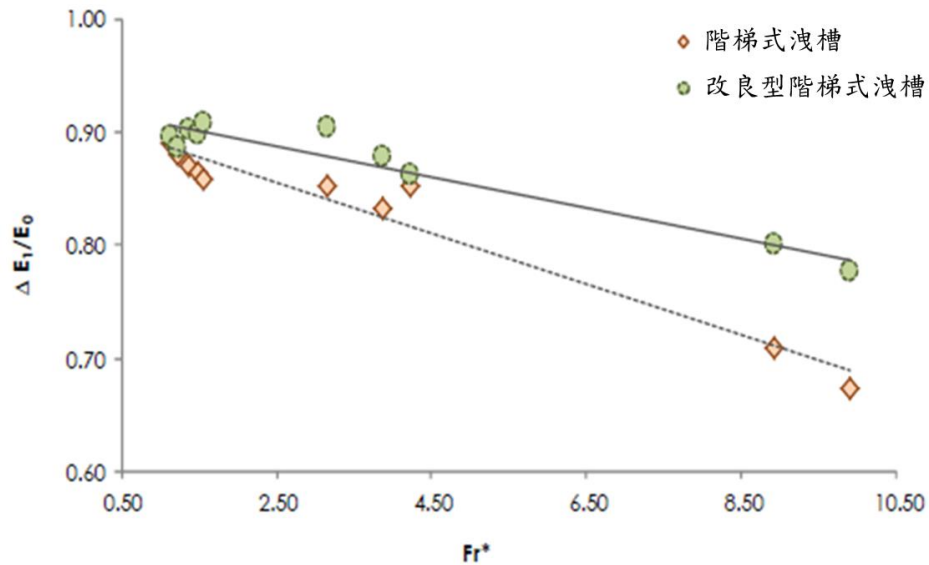


圖 3-43 階梯式洩槽與改良型階梯式洩槽之消能成效比較圖

資料來源：修改自 Dermawan(2016)

其設計流程與階梯式洩槽相同，僅尾檻高度設計方式如圖 3-44 所示，其中 w 為尾檻高度，曲線即表示 w/h_f 對 h_f/l_f 作圖，當計算數值落於曲線左下方時，設計之改良型階梯式溢洪道將產生水躍之現象以達到更良好的消能效果。

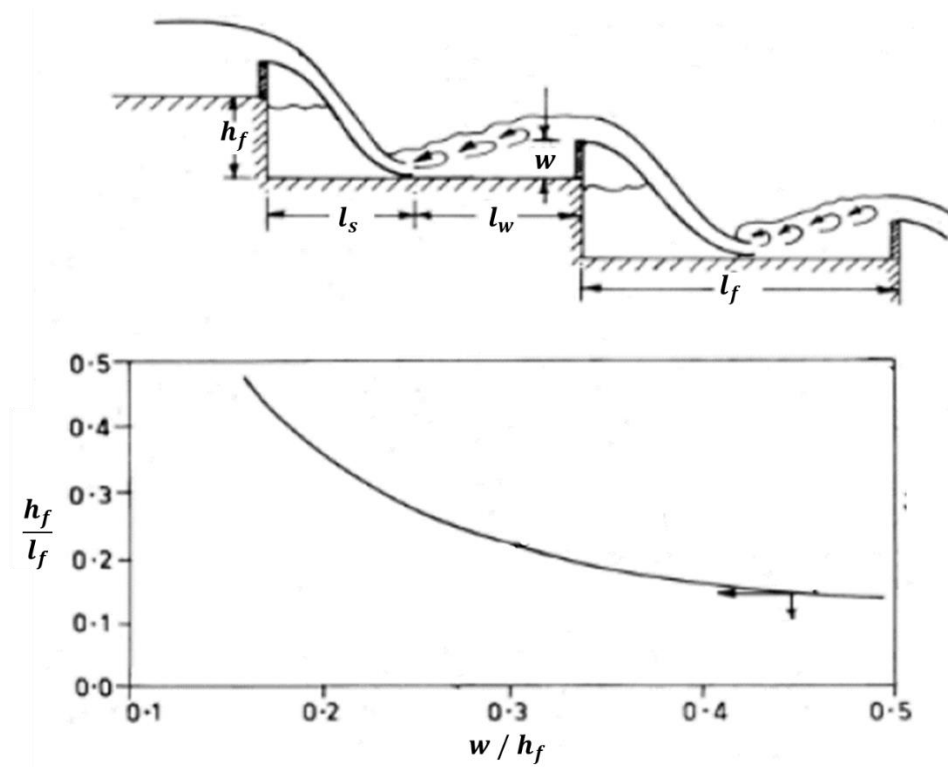


圖 3-44 改良型階梯式洩槽尺寸計算圖

資料來源：修改自 Aigner(2001)

3.8 皺紋鋼鋁溝設計要點

本小節針對皺紋鋼鋁溝之圖說名詞、消能原理、設計要點進行說明，包括各細部設計及檢算方式。如曼寧糙度選用及檢算水流穩定情況等詳細說明。

一、各部圖說

皺紋鋼鋁溝為利用模具壓製而成之波浪型渠壁構造物，藉以渠壁、渠底之波浪狀增加摩擦力，進而減緩水流流速，其中皺紋鋼鋁溝相關設計之名詞有溝深、皺褶高度...等，相關圖說詳圖 3-45 至圖 3-48。

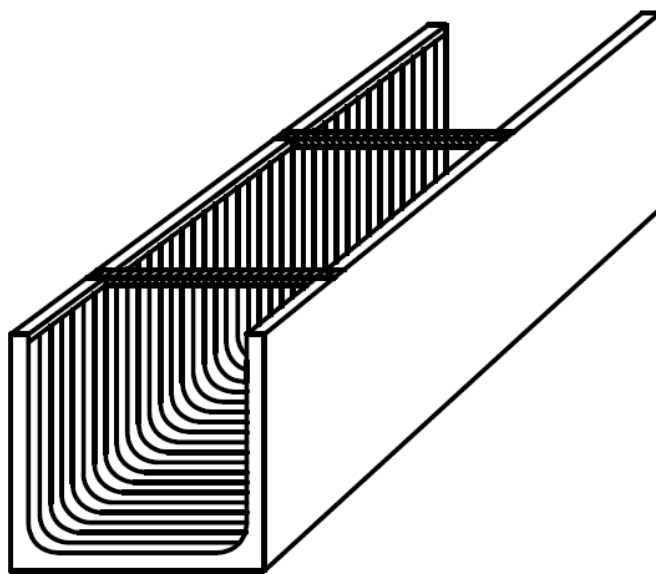


圖 3-45 皺紋鋼鋁溝立體圖

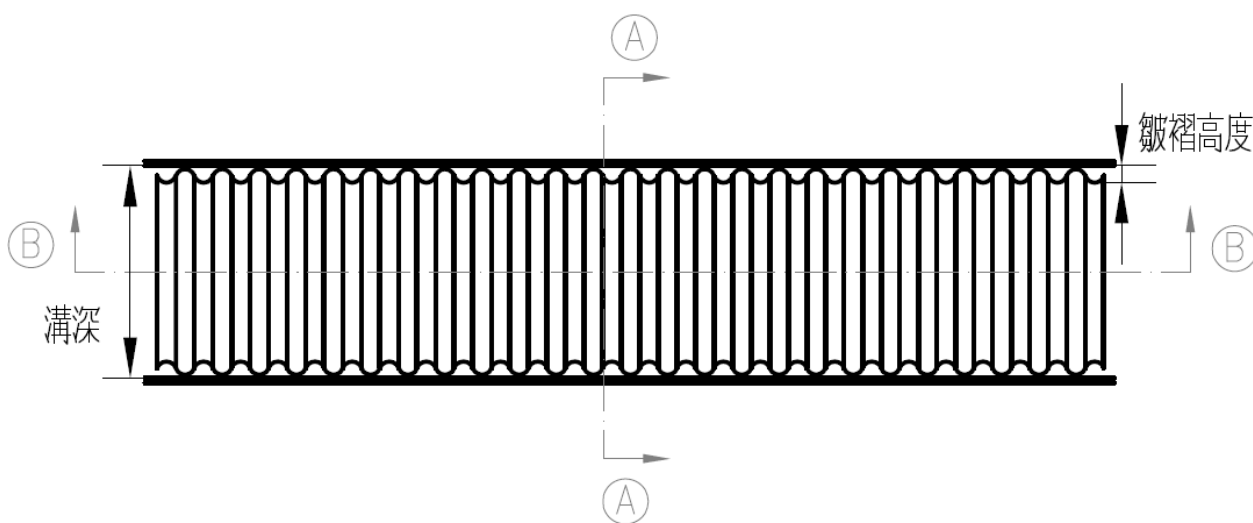


圖 3-46 皺紋鋼鋁溝平面圖

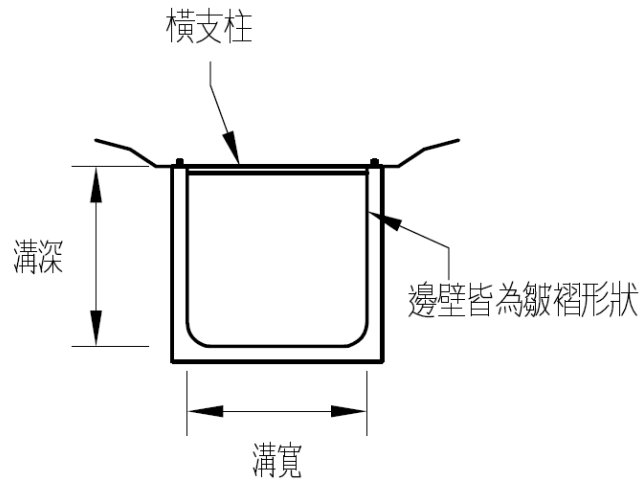


圖 3-47 皺紋鋼鈹溝剖面圖 A-A

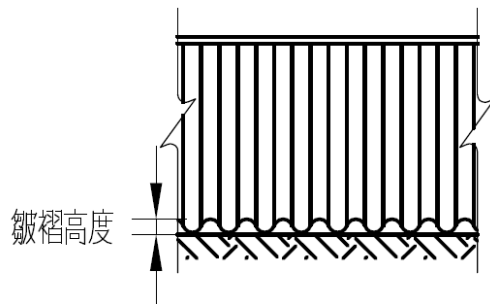


圖 3-48 皺紋鋼鈹溝剖面圖 B-B

二、消能原理

皺紋鋼鈹溝為利用金屬可塑造之特性，以渠壁之起伏型態及起伏高度影響水流邊界層發展。於洪峰流量時，利用其皺褶起伏高度直接作為渠底之粗糙因子，避免陡坡水流沿光滑渠道持續加速；於常流水、較小流量時，則能使水流沿皺摺之表面流動，使之安全排放至下游。其消能原理主要係增加水流與邊壁的外摩擦力、並利用其起伏之表面使水生成渦流並消散，為內摩擦損失之主要來源，利用水流摩擦之特性，可有效降低水流能量，其示意圖如圖 3-49。

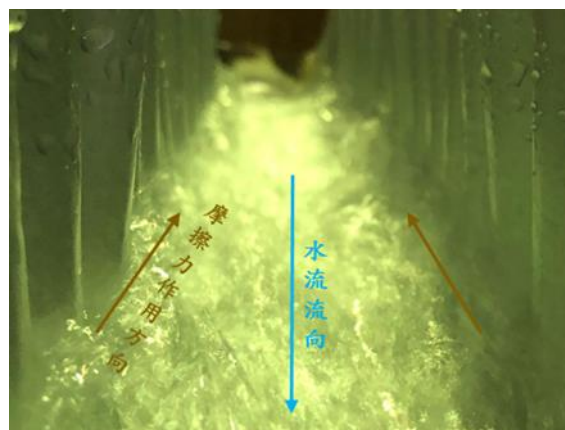


圖 3-49 利用摩擦力消能機制圖

三、設計原則

由於現今工程之鋼鈹溝設計及檢算無統一之原則，故透過參考國外以不同渠底粗糙係數、流量及坡度對於水流影響之研究，Hessel (2003) 指出坡度隨曼寧糙度呈線性正相關，其坡度與曼寧糙度迴歸公式決定係數約為 0.7，有一定的判釋能力；Lau (2013)透過改變不同試驗條件，以流量、坡度及粒徑為可調整之參數，利用試驗成果探討曼寧糙度之變化情況，結果顯示坡度對曼寧糙度之影響最為顯著，而流量則次之；Ibrahim (2014)則在針對 6 種不同之試驗材料探討曼寧糙度與水深及流量間之關係，並以福祿數對曼寧糙度進行幕次回歸，其回歸方程式之判定係數達 0.99，顯示福祿數與曼寧糙度間呈高度相關。

彙整相關資料可知，鋼鈹溝因其皺摺表面之特性，設計重點為曼寧粗糙係數之選用，依據水保局台中分局(2021)試驗成果，渠道曼寧糙度隨流量減少、坡度下降而遞增；反之，隨流量增加、坡度上升而遞減，悉此，本設計原則建立坡度、流量及皺摺高度對於曼寧粗糙係數之推估公式，並依據回歸公式推估值與試驗數據實際值進行比較並繪製誤差±30%之誤差百分比內，如圖 3-50，亦再顯示推估方程式之成效良好，能精確預測曼寧糙度與三項條件之關係，並規劃相關設計流程，如圖 3-51。

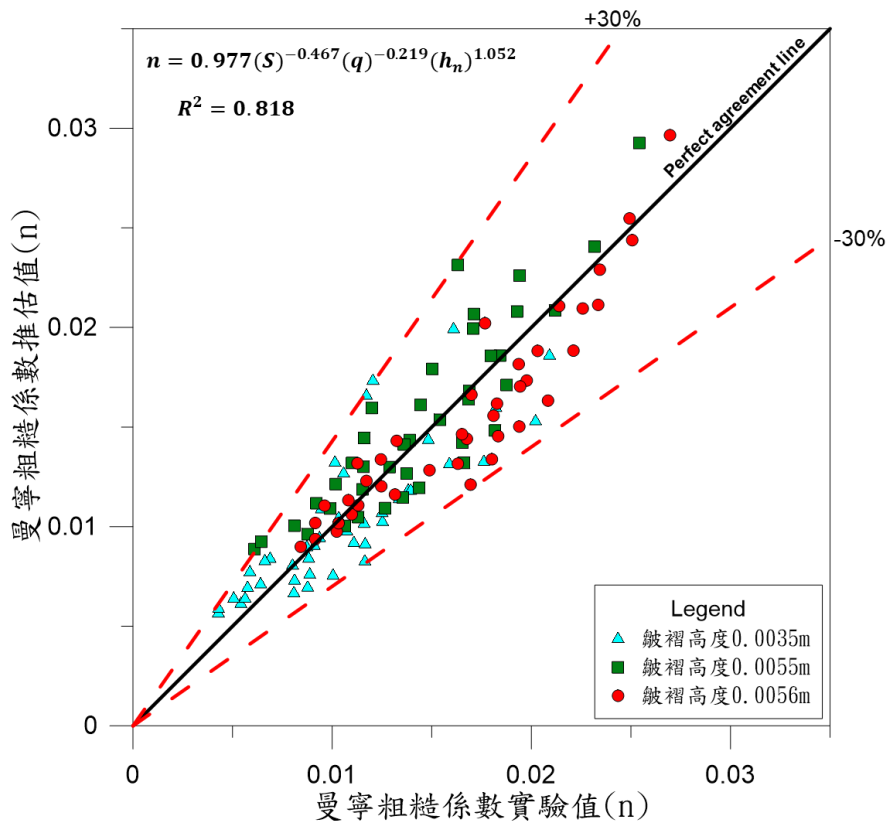


圖 3-50 曼寧粗糙係數推估值與實際值比較

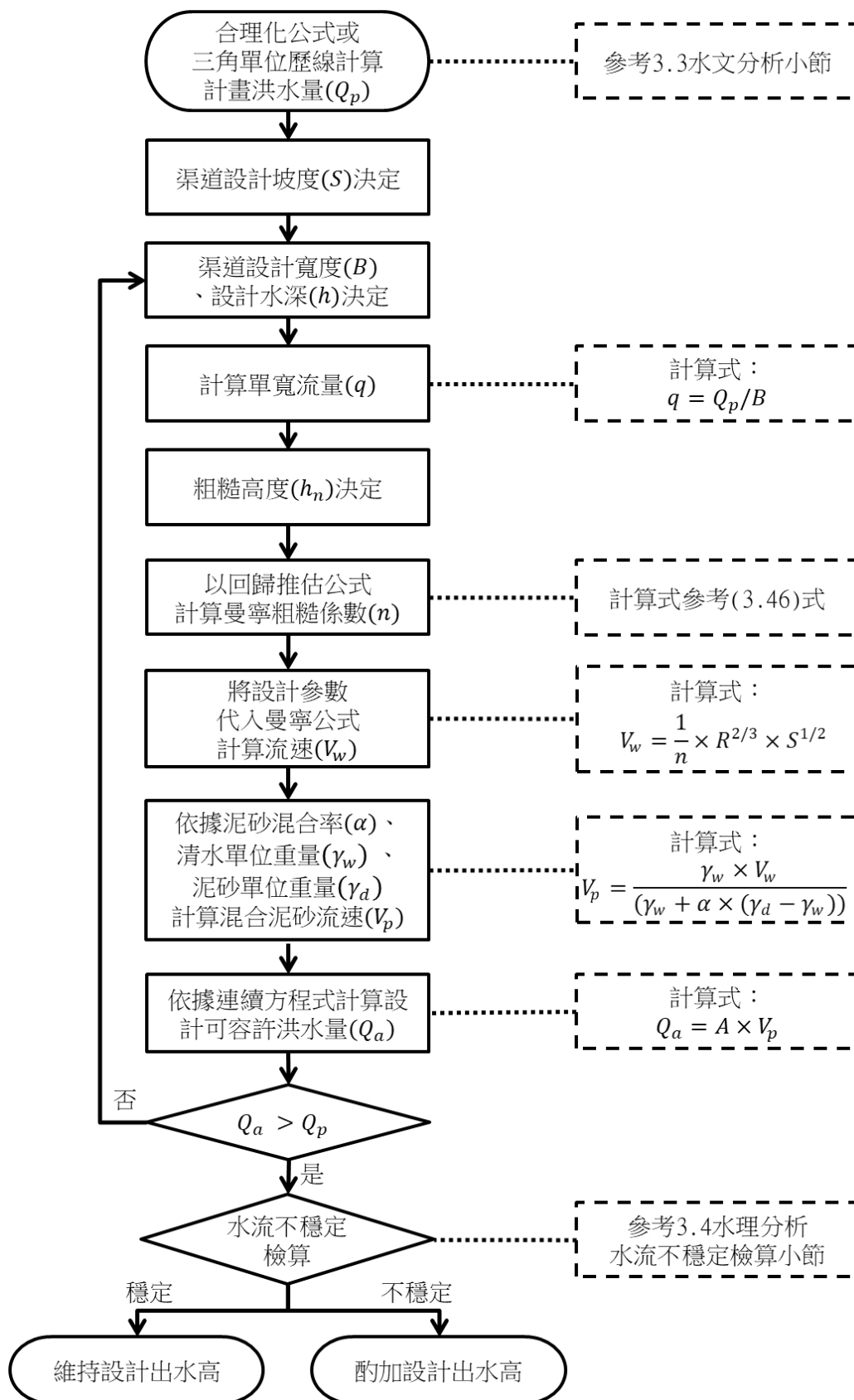


圖 3-51 鋼板溝設計流程

表 3-19 皺紋鋼鈹溝設計所需公式符號表

符號	名稱	單位	符號	名稱	單位
Q_p	計畫洪水量	m^3/s	V_w	清水流流速	m/s
S	渠道坡度	-	α	泥砂混合率	-
B	渠道寬度	m	γ_w	清水單位重量	m
h	設計水深	m	γ_d	泥砂單位重量	m
q	單寬流量	m^2/s	V_p	混合泥砂流速	m/s
h_n	粗糙高度	m	Q_a	可容許洪水量	m^3/s
n	曼寧粗糙係數	-			

- (一) 以基本資料蒐集計算出計畫洪水量(Q_p)，並根據現地狀況決定設計渠道坡度(S)、設計水深(h)及設計渠寬(B)。
- (二) 以 $q = Q_p/B$ 計算單寬流量(q)。
- (三) 鋼鈹溝粗糙高度(h_n)決定。
- (四) 以設計渠道坡度(S)、單寬流量(q)、鋼鈹溝粗糙高度(h_n)之回歸公式計算曼寧粗糙係數(n)，推估式為：

$$n = 0.977(S)^{-0.467}(q)^{-0.219}(h_n)^{1.052} \quad (3.46)$$

- (五) 根據曼寧公式代入計算設計流速(V_w)，依據泥砂混合率(α)、清水單位重量(γ_w)、泥砂單位重量(γ_d)計算混合泥砂流速(V_p)。
- (六) 依據 $Q_a = A \times V_p$ 計算設計可容許洪水量(Q_a)，並檢核設計可容許洪水量是否滿足計算洪水量，若無，則需調整設計參數，直到設計可容許洪水量滿足計算洪水量。
- (七) 根據設計尺寸以水流不穩定檢算公式檢討其穩定狀態，若為不穩定狀態建議酌加設計出水高，避免水流飛濺導致災害。

3.9 維護管理規劃

陡坡坡面排水渠道消能設施依據前述設計原則設計及施工後之維護管理規劃，如檢修養護、監測系統建置等。

一、檢修及養護

依據行政院農業委員會治山防災工程養護管理要點辦理相關工作：

- (一) 治山防災工程之養護與管理，以行政院農業委員會為主管機關；林務局及水土保持局為主機關；直轄市、各縣(市)政府及林務局、水土保持局等所屬各單位為執行機關。
- (二) 治山防災工程之養護、管理範圍以主辦機關歷年興建或輔建工程之平時養護、管理及災害之緊急搶修為主。
- (三) 治山防災工程之養護、管理權責劃分如下：
 - (1) 由水土保持局所屬工程所興建之治山防災工程，於完工驗收後一個月內附具圖冊移交當地直轄市、縣(市)政府負責平時之巡查、養護、管理工作；但如有破損待加強維修時，由原興建機關負責籌款修復。
 - (2) 前款興建之治山防災工程跨越兩個行政區域以上者，移交前應由該興建工程機關協調該直轄市、縣(市)政府共同負責養護、管理。
 - (3) 林務局、水土保持局等輔助興建之治山防災工程，由該興建機關負責籌款養護、管理及修復。
 - (4) 國有林地及保安林地內治山防災工程，由原興建機關負責養護、管理及修復。
 - (5) 本會所屬機關接受其他機關(構)委託興辦之治山防災工程，於完工驗收後一個月內附具圖冊移交各該委託機關(構)負責籌款養護、管理及修復。
 - (6) 各目的事業機關(構)興辦之治山防災工程，由各該管治理機關(構)負責養護。
- (四) 負責養護管理機關，應於每年五至十一月防汛時期經常派員巡查前述之治山防災工程。

二、 監測系統建置

考量陡坡坡面渠道設置消能設施後水理機制與普通渠道相差甚遠，為掌握消能設施設置後之治理成效及觀察水流流況消能之變化，如水深、流速、水流流況變化等，並可依據觀測成果持續回饋設計參數應用、修正相關設計原則等，因此可以監測系統輔助，常用於排水渠道之監測系統包括自計式觀測系統水位計、流速觀測系統及縮時攝影，下圖為監測系統建置之示意圖。



圖 3-52 監測儀器架設示意圖

(一) 水位觀測系統

可採用自計壓力式水位計(圖 3-53)進行渠道水位監測，一般架設於待觀測渠道之渠壁上或硬質地之上可固定其支桿處，須注意測量水位之壓力感測器需貼緊渠底處，並以 PVC 硬管保護其感測器電纜，避免電纜晃動使水位之監測資料出現誤差，壓力感測器經由防水電纜連接至資料紀錄器主機，紀錄器主機可直接放置在直徑 2 英吋的井管上面，安裝容易且快速，且監測資料為即時傳輸至雲端資料收集平台，可隨時查詢水位資料(圖 3-54)，圖 3-55。



(a) 壓力感應器

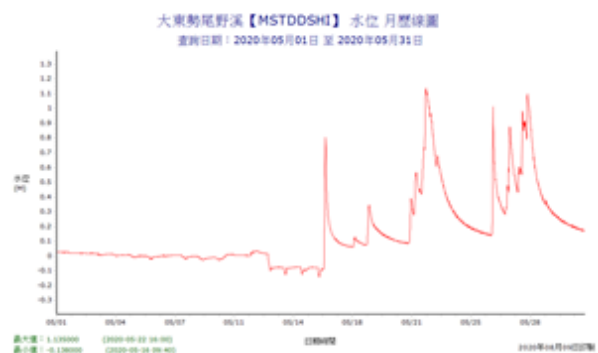


(b) 紀錄器主機

圖 3-53 自計壓力式水位計

站碼	站名	時間	系統電力
MSTD05H	大東勢尾野溪	2020/06/09 18:40:00	電池電壓 7.35 水位 -0.038
ZK58FLQ	豐林橋	2020/06/09 18:40:00	電池電壓 13.11 水位 640.596 流速 0.654
ZK58T5A	豐林橋	2020/04/24 09:20:00	電池電壓 7.85 水位 0.006
ZK58F13L	和平橋水位	2020/06/09 18:40:00	電池電壓 7.21 水位 -11.821
ZK58F13V	和平橋流速	2020/06/09 18:40:00	電池電壓 7.21 流速 0

(a) 線上平台頁面



(b) 即時監測資料

圖 3-54 監測資料即時傳輸至雲端資料收集平台



(a) 放置水位計感測器



(b) 主機架設於階段式固床工之翼牆頂面

資料來源：109 年度陡坡坡面排水設施與工法試驗及監測

圖 3-55 自計壓力式水位計於現地架設之情形

(二) 流速觀測系統

(1) 雷達波式流速儀

可採用雷達波式流速儀(圖 3-56)進行流速觀測，依據 106 及 107 年水保局「大規模土砂災害集水區野溪溪床冲刷深度監測技術研發」採用自計式雷達波流速儀進行河川水文資訊蒐集且成效良好，陡坡渠道同樣可使用此系統進行觀測，並配合太陽能供電系統持續運作，以確保觀測資料蒐集之完整性，需注意裝設時保護外箱及支桿需穩定固定在硬質構造物上，避免墜落導致儀器受損，流速儀之觀測角度同樣需進行調校，確認流速觀測點為理想位置。

雷達波式流速儀被廣泛地應用於水流表面的速度量測，早期多數用於海流的流速流場量測。日本學者 Yamaguchi 自 1990 年代起多次利用 24GHz 連續波雷達架設於都市型河川之橋樑上，長時間觀測洪水漲退之流量變化過程，藉量測表面流速，配合斷面及平均流速之率定以建立洪水流量觀測系統。美國地質調查所(USGS) Coasta, J.E.、華盛頓大學 Plant, W.J.及成功大學賴泉基教授等學者專家則自 2000 年起則合作發展利用單具 9.36GHz 脈衝式都普勒微波雷達架設於河岸以量測河川表面流速橫向分布，利用速剖公式推計平均流速、水深等進而獲得流量。



備註：小圖為 RG-24 流速儀外觀，安裝於保護外殼內並以支架伸出橋梁以量測流速

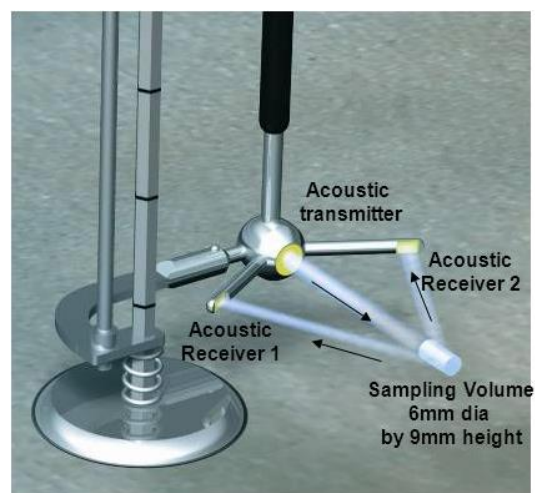
圖 3-56 自計式雷達波流速儀於現地架設示意圖

(2) 手持式流速儀

此流速儀是利用發射聲波撞擊水中的懸浮粒子產生反射，因其發射及接收頻率之不同，進而計算流速，其在量測時從底部探頭中央發射聲波，而由發射器兩旁之接收器接收反射訊號，故量測之流速為探頭前方約 10 公分處之二維單點流速。流速量測可於低水位時施測，詳細儀器示意圖如圖 3-57。



(a) 主機及探頭



(b) 測杆架設與測點位置示意圖



(c) 流速量測示意圖示意圖

資料來源：109 年度陡坡坡面排水設施與工法試驗及監測

圖 3-57 手持式都普勒流速儀(ADV)示意圖

(三) 縮時攝影觀測系統

為了解陡坡渠道於實際降雨狀況下之流況演變，需藉由攝影器材進行輔助判釋，而縮時攝影機是能自動拍照並自動產生縮時影片的專用器材，適用於長時間渠道流況演變紀錄，架設前需事先於現地勘查找尋合適設置點，需注意縮時攝影器材架設需以腳架固定於硬質構造物上，並確保儀器不隨風雨擺盪，避免攝影畫面晃動，另因有供電之問題，依據攝影時間間隔有不同之耗電情況，故該類儀器需以人工方式更換的方式進行電力延續，可與當地居民協調於汛期時裝設並定期更換電池，非汛期拆除以確保儀器完好，圖 3-58 為實際運用於渠道觀測之縮時攝影機架設，而圖 3-59 為應用縮時攝影機於無降雨事件時河道水流流況，圖 3-60 為降雨事件下河道水流流況。



(a)裝設位置-1



(b)裝設位置-2

圖 3-58 縮時攝影機架設示意圖



(a) 河道流況-1



(b) 河道流況-2

圖 3-59 無降雨事件下河道水流流況



(a) 河道流況-1



(b) 河道流況-2

圖 3-60 降雨事件下河道水流流況

第四章 實際案例

行政院農業委員會水土保持局台中分局近年常運用前述所列舉三項消能設施於台中大梨山地區、苗栗南庄及泰安之陡坡地區，為求減緩水流能量，在各地區運用各種消能設施上也受到當地居民之支持，以下分享各消能設施具體之案例。

4.1 消能檻設計案例

針對選定之案例解說其工程緣由、水文水理分析、設計圖說、工程照片等。

一、臺中市和平區達觀里坑溝整治工程

該坑溝整治工程地點位於臺中市和平區境內，集水面積為 22 ha，其保全對象為當地居民通行農路及農地，該坑溝坡度達 35%~50%不等，至汛期期間，常造成坑溝兩側邊坡土石崩落河道且有擴大導致二次災害之虞，經由地主及地方人士陳情後，考量整體規劃故整治之，該工程設計之項目包括固床工、新設護岸、截牆等，消能設施則有消能檻，而因本小節為消能檻之設計案例，故僅針對消能檻檢算及設計部分說明。



坑溝邊坡遭沖蝕



自然土堤崩塌流失



農路基礎崩塌流失



坑溝流入下游既有 RC 水溝

圖 4-1 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程施工前現地狀況

(一) 基本資料蒐集

表 4-1 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程水文基本參數

項次	參數名稱	符號	數值	計算式	對應編號
1	集水區面積(<i>ha</i>)	<i>A</i>	22		
2	山坡長度(<i>m</i>)	<i>l</i> ₁	100		
3	溪流長度(<i>m</i>)	<i>l</i> ₂	1030		
4	高差(<i>m</i>)	Δh	460		
5	坡面逕流(漫地流)流速(<i>m/s</i>)	<i>v</i> ₁	0.6		
6	逕流係數	<i>C</i>	0.8		
7	流入時間(<i>sec</i>)	<i>t</i> ₁	166.67	$t_1 = l_1 / v_1$ $t_1 = 100 / 0.6$	3.18 式
8	流下時間(<i>sec</i>)	<i>t</i> ₂	83.53	$t_2 = l_2 / v_2$ $v_2 = 20 (\Delta h / l_2)^{0.6}$ $t_2 = 1030 / 20 (460 / 1030)^{0.6}$	3.19 式
9	集流時間(<i>min</i>)	<i>t</i> _c	4.2	$t = (t_1 + t_2) / 60$ $t = (166.67 + 83.53) / 60$	3.17 式
10	年平均降雨量(<i>mm</i>)	<i>P</i>	2423.40		
11	重現期距(年)	<i>T</i>	50		
12	降雨強度(<i>mm/hr</i>)	<i>I</i>	158.91	$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{(25.29 + 0.094 \times P)} \right)^2$ $= 91.69 \text{ mm/hr}$ $A = \left(\frac{P}{(-189.96 + 0.31 \times P)} \right)^2$ $= 18.641$ $B = 55$ $C = \left(\frac{P}{(-381.71 + 1.45 \times P)} \right)^2$ $= 0.5986$ $G = \left(\frac{P}{(42.89 + 1.33 \times P)} \right)^2$ $= 0.5506$ $H = \left(\frac{P}{(-65.33 + 1.836 \times P)} \right)^2$ $= 0.3056$ $I_t^T = I_{60}^{25} \times (G + H \times \log T)$ $\times \frac{A}{(t + B)^C} = 158.91$	3.9式 至 3.15式
13	計畫清水流洪水量(<i>cms</i>)	<i>Q</i> _i	7.77	合理化公式： $\frac{1}{360} CIA$ $= \frac{1}{360} \times 0.8 \times 158.91 \times 22$	3.6 式
14	泥砂混合率	α	0.1	一般採用 5%~10%，最大值為 50%	
15	計畫泥砂流洪水量(<i>cms</i>)	<i>Q</i> _p	8.55	$Q_p = (1 + \alpha) \times Q_i$ $= (1 + 0.1) \times 7.77$	3.27 式

(二) 渠道整治斷面設計參數

該工程之水力計算針對 2 種設計坡度(35.7%、50%)進行檢算，各坡度之水力計算及設計值如下：

表 4-2 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 35.7%)

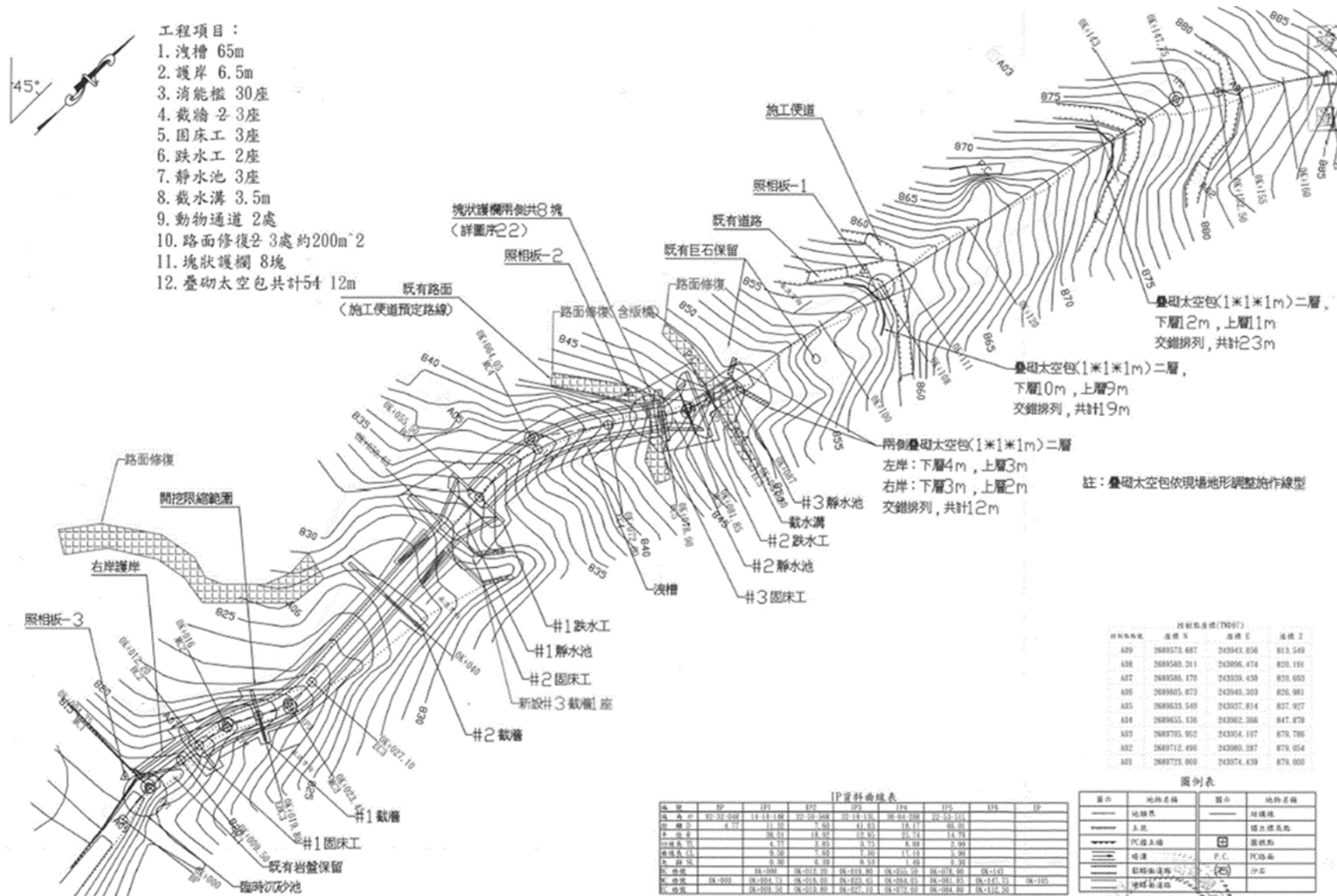
項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	渠底寬(m)	B	2.12	
2	側坡斜率(m)	z	0.3	
3	設計水深(m)	h	0.8	
4	河床坡降	S	0.357	
5	曼寧係數	n	0.035	
6	通水斷面積(m^2)	A	1.89	$A = (B + h \times z) \times h$ $A = (2.12 + 0.8 \times 0.3) \times 0.8$
7	濕周(m)	P	3.79	$P = B + h \times (2 \times \sqrt{1 + z^2})$ $P = 2.12 + 0.8 \times (2 \times \sqrt{1 + 0.3^2})$
8	水力半徑(m)	R	0.50	$R = A / P$
9	設計清水流速(m/s)	V_w	10.75	$V_w = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$ $V_w = \frac{1}{0.035} \times 0.5^{2/3} \times 0.357^{1/2}$
10	清水單位重量(t/m^3)	γ_w	1.0	
11	泥砂單位重量(t/m^3)	γ_d	2.4	
12	設計混合泥砂流速(m/s)	V_p	8.40	$V_p = \frac{\gamma_w \times V_w}{(\gamma_w + \alpha \times (\gamma_d - \gamma_w))}$ $V_p = \frac{1 \times 10.75}{(1 + 0.1 \times (2.4 - 1))}$
13	設計可容許洪水量(cms)	Q_a	15.88	$Q_a = A \times V_p$ $Q_a = 1.89 \times 8.4$ 計算值大於計畫泥砂流洪水量，OK
14	設計出水高(m)	h'	0.6	

表 4-3 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 50%)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	渠底寬(m)	B	2.12	
2	側坡斜率(m)	z	0.3	
3	設計水深(m)	h	0.7	
4	河床坡降	S	0.5	
5	曼寧係數	n	0.035	
6	通水斷面積(m^2)	A	1.63	$A = (B + h \times z) \times h$ $A = (2.12 + 0.7 \times 0.3) \times 0.7$
7	濕周(m)	P	3.58	$P = B + h \times (2 \times \sqrt{1 + z^2})$ $P = 2.12 + 0.7 \times (2 \times \sqrt{1 + 0.3^2})$
8	水力半徑(m)	R	0.46	$R = A / P$
9	設計清水流速(m/s)	V_w	12.04	$V_w = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$ $V_w = \frac{1}{0.035} \times 0.46^{2/3} \times 0.5^{1/2}$
10	清水單位重量(t/m^3)	γ_w	1	
11	泥砂單位重量(t/m^3)	γ_d	2.4	
12	設計混合泥砂流速(m/s)	V_p	9.41	$V_p = \frac{\gamma_w \times V_w}{(\gamma_w + \alpha \times (\gamma_d - \gamma_w))}$ $V_p = \frac{1 \times 12.04}{(1 + 0.1 \times (2.4 - 1))}$
13	設計可容許洪水量(cms)	Q_a	15.34	$Q_a = A \times V_p$ $Q_a = 1.63 \times 9.41$ 計算值大於計畫泥砂流洪水量，OK
14	設計出水高(m)	h'	0.6	

(三) 設計圖說

該工程設計坡度 35.7%、50%使用消能檻進行設計，設計之消能檻型式為渠道寬度 3/4 型；渠壁及渠底皆設置排水管增加地表逕流排水能力，坡度變化處施作靜水池以達銜接，相關工程平面配置及詳細設計圖說如下。



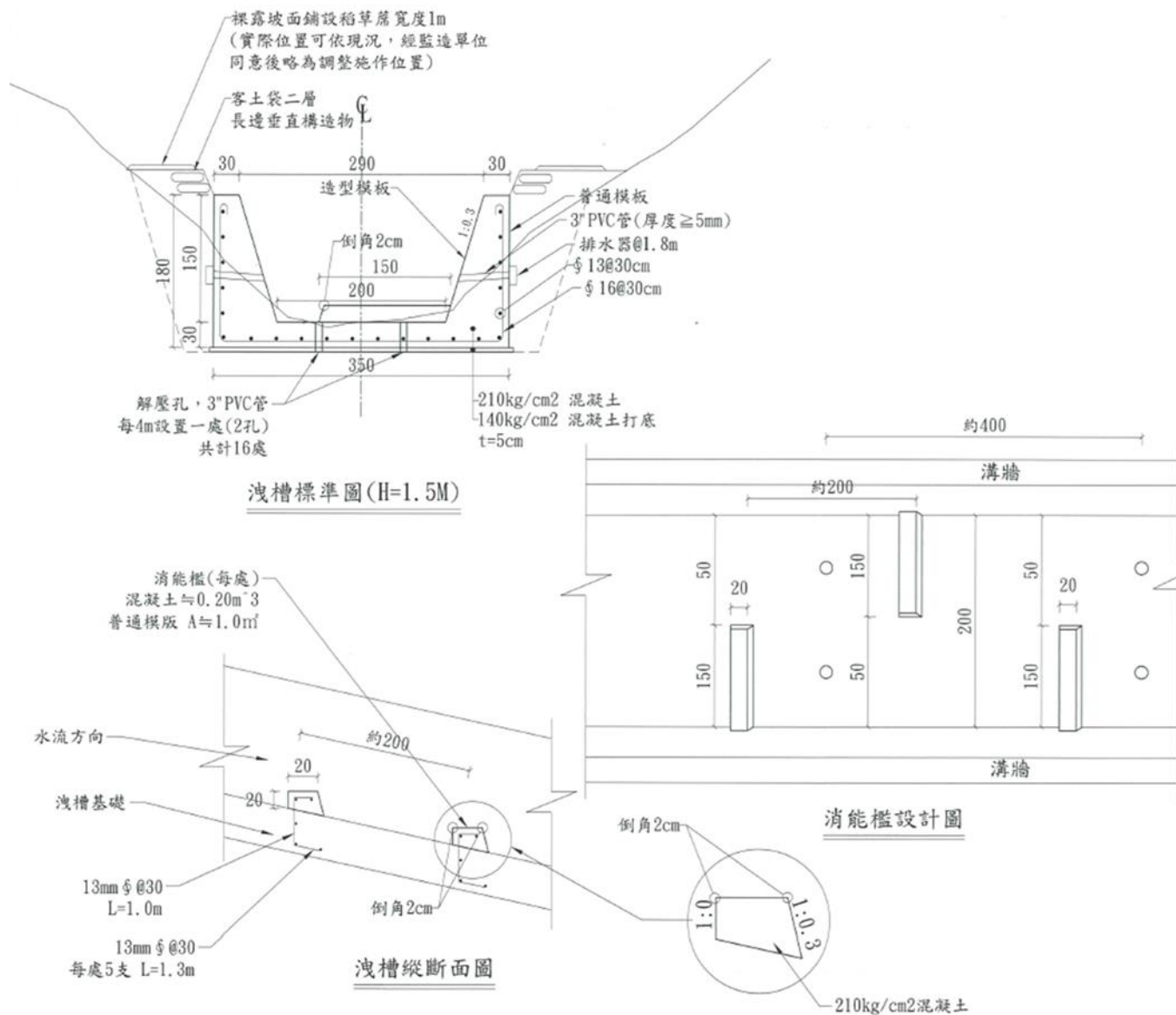


圖 4-3 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程消能檻設計圖

(四) 設計原則檢算

以該工程做為消能檻之檢算範例，將設計參數代入第 3.6 小節消能檻設計原則進行檢算，檢討是否符合本叢書所列之設計原則，檢算流程如下：

步驟一：依據表 4-1 水文基本參數得知，該工程之計畫泥砂流洪水量(Q_p)為 8.55 cms，小於 13 cms，故消能檻工法適用。

步驟二：依據設計原則，15%至 50%之渠道坡度(S)為其適用範圍，參照表 4-2、表 4-3 之設計參數，設計渠道坡度為 35.7%及 50%，故消能檻工法適用。

步驟三：以泥砂流洪水量(Q_p)=8.55 cms 透過表 3-16 進行內插計算，可得可容許單寬流量(q_a)為 2.24 cms/m。

步驟四：計算臨界流速(V_c)，利用 $V_c = (9.81 \times q_a)^{\frac{1}{3}}$ 計算，為 2.8 m/s；計算臨界流速(d_c)，利用 $d_c = q_a/V_c$ 計算，為 0.8 m。

步驟五：計算消能檻高度(h_s)為 0.45 倍之臨界水深(d_c)，為 0.36 m，本設計案例之消能檻高度為 0.2 m，宜進行改善。

步驟六：計算消能檻長度(l_s)，以 $6 \times d_c \geq l_s \geq 4 \times d_c$ 決定，可得消能檻長度需為 1.44m 至 2.16m 之間，本案例以長度 1.5m 設計，符合本設計原則。

消能檻形式則以表 3-15 建議之條件檢算，本案例之可容許單寬流量(q_a)為 2.24 cms/m，坡度則為 35.7%及 50%，消能檻形式皆建議為渠道寬度 3/4 型，本設計案例之消能檻形式同樣以渠道寬度 3/4 型設計，符合本設計原則。

步驟七：依據消能檻長度(l_s)計算渠道寬度(B)，消能檻形式為渠道寬度 3/4 型，渠道寬度以 $B = (4/3) \times l_s$ 計算之，渠道寬度為 2 m，本案例渠道寬度同樣以 2 m 進行設計，符合本設計原則。

步驟八：消能檻間距離(s_s)以 $4 \times h_s < s_s < 1.8 m$ 決定，當 $h_s \leq 0.45m$ ，消能檻間距離可取 1.8m，可得消能檻間距需為 1.44m 至 1.8m 之間，本案例之消能檻間距以 2m 設計，宜進行改善。

步驟九：檢視消能檻設計數量是否大於四排，本設計案例大於四排，符合設計原則；消能檻寬度(w_s)需大於 0.2 m，但不得大於 0.25 m，本案例設計消能檻寬度為 0.2 m，符合設計原則。

步驟十：計算設計渠壁高度(H)，以至少 4 倍之消能檻高度(h_s)進行設計，可得渠壁高度至少需為 1.44 m，本案例設計渠壁高度為 1.5 m，符合本設計原則。

(五) 工程照片



0K+005~0K+050 施工前



0K+005~0K+050 施工後



0K+050~0K+090 施工前



0K+050~0K+090 施工後



0K+090~0K+105 施工前



0K+090~0K+105 施工後

圖 4-4 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程施工前後照片



現況照片-1



現況照片-2



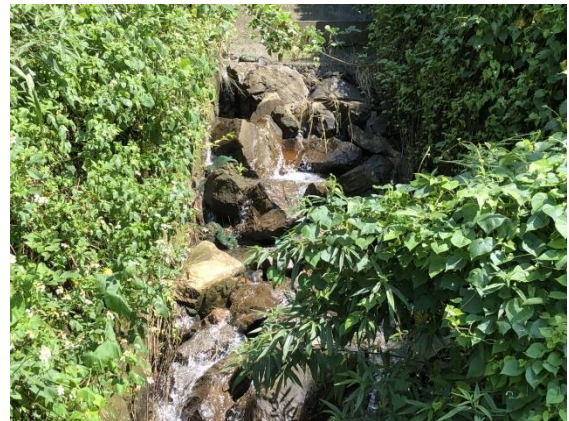
現況照片-3



現況照片-4



現況照片-5



現況照片-6

圖 4-5 臺中市和平區達觀里坑溝整治工程現況照片

4.2 階梯式洩槽設計案例

針對選定之案例解說其工程原由、水文水理分析、設計圖說、工程照片等。

一、臺中市和平區平等里坑溝整治工程

該坑溝整治工程地點位於臺中市和平區境內，集水面積為 8.52ha，其保全對象為農路、農地及當地居民，該坑溝坡度達 15%~40%不等，因豪雨造成邊坡崩塌，每逢大雨造成土砂陶刷及邊坡崩塌，如圖，基於整體規劃及緊急防汛之考量急需解決。



邊坡崩塌



邊坡崩塌



既有跨溪道路



邊坡崩塌及箱涵阻塞

圖 4-6 臺中市和平區平等里坑溝整治工程施工前現地狀況

(一) 基本資料蒐集

表 4-4 臺中市和平區平等里坑溝整治工程水文基本參數

項次	參數名稱	符號	數值	計算式	對應編號
1	集水區面積(ha)	A	8.52		
2	山坡長度(m)	l_1	100		
3	溪流長度(m)	l_2	342		
4	高差(m)	Δh	84		
5	坡面逕流(漫地流)流速(m/s)	v_1	0.6		
6	逕流係數	C	0.8		
7	流入時間(sec)	t_1	166.67	$t_1 = l_1 / v_1$ $t_1 = 100 / 0.6$	3.18 式
8	流下時間(sec)	t_2	39.7	$t_2 = l_2 / v_2$ $v_2 = 20 (\Delta h / l_2)^{0.6}$ $t_2 = 342 / 20 (84 / 342)^{0.6}$	3.19 式
9	集流時間(min)	t_c	3.4	$t = (t_1 + t_2) / 60$ $t = (166.67 + 39.7) / 60$	3.17 式
10	年平均降雨量(mm)	P	2172.50		
11	重現期距(年)	T	50		
12	降雨強度(mm/hr)	I	158.13	$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{(25.29 + 0.094 \times P)} \right)^2$ $= 89.61 \text{ mm/hr}$ $A = \left(\frac{P}{(-189.96 + 0.31 \times P)} \right)^2$ $= 20.1883$ $B = 55$ $C = \left(\frac{P}{(-381.71 + 1.45 \times P)} \right)^2$ $= 0.6158$ $G = \left(\frac{P}{(42.89 + 1.33 \times P)} \right)^2$ $= 0.5489$ $H = \left(\frac{P}{(-65.33 + 1.836 \times P)} \right)^2$ $= 0.3066$ $I_t^T = I_{60}^{25} \times (G + H \times \log T)$ $\times \frac{A}{(t + B)^C} = 158.13$	3.9式 至 3.15式
13	計畫清水流洪水量(cms)	Q_i	2.99	合理化公式： $\frac{1}{360} CIA$ $= \frac{1}{360} \times 0.8 \times 158.13 \times 8.52$	3.6 式
14	泥砂混合率	α	0.1	一般採用 5%~10%，最大值為 50%	
15	計畫泥砂流洪水量(cms)	Q_p	3.29	$Q_p = (1 + \alpha) \times Q_i$ $= (1 + 0.1) \times 2.99$	3.27 式

(二) 渠道整治斷面設計參數

由於坑溝非單一坡度，因此該工程之水理計算針對 4 種坡度(15%、25%、30%、40%)進行設計，各坡度之水理計算及設計值如下：

表 4-5 臺中市和平區平等里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 15%)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	渠底寬(m)	B	2	
2	側坡斜率(m)	z	0.3	
3	設計水深(m)	h	0.2	
4	河床坡降	S	0.15	
5	曼寧係數	n	0.012	
6	通水斷面積(m^2)	A	0.41	$A = (B + h \times Z) \times h$ $A = (2 + 0.2 \times 0.3) \times 0.2$
7	濕周(m)	P	2.42	$P = B + h \times (2 \times \sqrt{1 + z^2})$ $P = 2 + 0.2 \times (2 \times \sqrt{1 + 0.3^2})$
8	水力半徑(m)	R	0.17	$R = A / P$
9	設計清水流速(m/s)	V_w	9.90	$V_w = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$ $V_w = \frac{1}{0.012} \times 0.17^{2/3} \times 0.15^{1/2}$
10	清水單位重量(t/m^3)	γ_w	1.0	
11	泥砂單位重量(t/m^3)	γ_d	2.4	
12	設計混合泥砂流速(m/s)	V_p	8.68	$V_p = \frac{\gamma_w \times V_w}{(\gamma_w + \alpha \times (\gamma_d - \gamma_w))}$ $V_p = \frac{1 \times 9.9}{(1 + 0.1 \times (2.4 - 1))}$
13	設計可容許洪水量(cms)	Q_a	3.56	$Q_a = A \times V_p$ $Q_a = 0.41 \times 8.68$ 計算值大於計畫泥砂流洪水量，OK
14	設計出水高(m)	h'	0.8	

表 4-6 臺中市和平區平等里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 25%)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	渠底寬(m)	B	2	
2	側坡斜率(m)	z	0.3	
3	設計水深(m)	h	0.2	
4	河床坡降	S	0.25	
5	曼寧係數	n	0.012	
6	通水斷面積(m^2)	A	0.41	$A = (B + h \times Z) \times h$ $A = (2 + 0.2 \times 0.3) \times 0.2$
7	濕周(m)	P	2.42	$P = B + h \times (2 \times \sqrt{1 + z^2})$ $P = 2 + 0.2 \times (2 \times \sqrt{1 + 0.3^2})$
8	水力半徑(m)	R	0.17	$R = A / P$
9	設計清水流速(m/s)	V_w	12.79	$V_w = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$ $V_w = \frac{1}{0.012} \times 0.17^{2/3} \times 0.25^{1/2}$
10	清水單位重量(t/m^3)	γ_w	1.0	
11	泥砂單位重量(t/m^3)	γ_d	2.4	
12	設計混合泥砂流速(m/s)	V_p	11.22	$V_p = \frac{\gamma_w \times V_w}{(\gamma_w + \alpha \times (\gamma_d - \gamma_w))}$ $V_p = \frac{1 \times 12.79}{(1 + 0.1 \times (2.4 - 1))}$
13	設計可容許洪水量(cms)	Q_a	4.60	$Q_a = A \times V_p$ $Q_a = 0.41 \times 11.22$ 計算值大於計畫泥砂流洪水量，OK
14	設計出水高(m)	h'	0.8	

表 4-7 臺中市和平區平等里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 30%)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	渠底寬(m)	B	2	
2	側坡斜率(m)	z	0.3	
3	設計水深(m)	h	0.2	
4	河床坡降	S	0.30	
5	曼寧係數	n	0.012	
6	通水斷面積(m^2)	A	0.41	$A = (B + h \times Z) \times h$ $A = (2 + 0.2 \times 0.3) \times 0.2$
7	濕周(m)	P	2.42	$P = B + h \times (2 \times \sqrt{1 + z^2})$ $P = 2 + 0.2 \times (2 \times \sqrt{1 + 0.3^2})$
8	水力半徑(m)	R	0.17	$R = A / P$
9	設計清水流速(m/s)	V_w	14.01	$V_w = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$ $V_w = \frac{1}{0.012} \times 0.17^{2/3} \times 0.3^{1/2}$
10	清水單位重量(t/m^3)	γ_w	1.0	
11	泥砂單位重量(t/m^3)	γ_d	2.4	
12	設計混合泥砂流速(m/s)	V_p	12.29	$V_p = \frac{\gamma_w \times V_w}{(\gamma_w + \alpha \times (\gamma_d - \gamma_w))}$ $V_p = \frac{1 \times 14.01}{(1 + 0.1 \times (2.4 - 1))}$
13	設計可容許洪水量(cms)	Q_a	5.04	$Q_a = A \times V_p$ $Q_a = 0.41 \times 12.29$ 計算值大於計畫泥砂流洪水量，OK
14	設計出水高(m)	h'	0.8	

表 4-8 臺中市和平區平等里坑溝整治工程渠道整治斷面設計參數(坡度 40%)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	渠底寬(m)	B	2	
2	側坡斜率(m)	z	0.3	
3	設計水深(m)	h	0.2	
4	河床坡降	S	0.40	
5	曼寧係數	n	0.012	
6	通水斷面積(m^2)	A	0.41	$A = (B + h \times Z) \times h$ $A = (2 + 0.2 \times 0.3) \times 0.2$
7	濕周(m)	P	2.42	$P = B + h \times (2 \times \sqrt{1 + z^2})$ $P = 2 + 0.2 \times (2 \times \sqrt{1 + 0.3^2})$
8	水力半徑(m)	R	0.17	$R = A / P$
9	設計清水流速(m/s)	V_w	16.17	$V_w = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$ $V_w = \frac{1}{0.012} \times 0.17^{2/3} \times 0.4^{1/2}$
10	清水單位重量(t/m^3)	γ_w	1.0	
11	泥砂單位重量(t/m^3)	γ_d	2.4	
12	設計混合泥砂流速(m/s)	V_p	14.18	$V_p = \frac{\gamma_w \times V_w}{(\gamma_w + \alpha \times (\gamma_d - \gamma_w))}$ $V_p = \frac{1 \times 16.17}{(1 + 0.1 \times (2.4 - 1))}$
13	設計可容許洪水量(cms)	Q_a	5.81	$Q_a = A \times V_p$ $Q_a = 0.41 \times 14.18$ 計算值大於計畫泥砂流洪水量，OK
14	設計出水高(m)	h'	0.8	

(三) 設計圖說

該工程整段皆以階梯式洩槽施作，洩槽之渠壁皆設置排水管增加坡面排水能力；並施作靜水池以達銜接及避免渠道水流能量持續增大之作用；配合過路面，部分渠段施加蓋板及渠壁加高，相關平面配置及詳細設計圖說如下。

工程內容:0K+000.00-0K+120.62

1. 新設洩槽 共計101.7M

(各型式地作長度經監造公司同意後,得依現況調整)

- #1 階梯式洩槽 H=1.45m(h=0.15m、l=0.50m)計35.3 22.2m
- #1-1階梯式洩槽 H=2.95m-1.45m-1.45m漸變(h=0.15m、l=0.50m)計12.1m
- #2 階梯式洩槽 H=1.50(h=0.20m、l=0.50m)計33.2 34.2m
- #3 階梯式洩槽 H=1.55m(h=0.25m、l=1.00m)計12.3m
- #4 階梯式洩槽 H=2.28m-1.45m漸變(h=0.15m、l=1.00m)計10.0m
- #5 階梯式洩槽 H=1.50m-H=3.50m漸變、
W=2.00m-H=4.00m漸變(h=0.20m、l=0.50m)計10.9m

- 2. 跌水工 3座
- 3. 截牆 8座
- 4. 洩槽加蓋及抗石欄杆 2處
- 5. 路面修復 400 368M²
- 6. 塊狀護欄 18座
- 7. 鍍鋅鋼欄杆(TNM=90) 3座
- 8. 既有破損構造物拆除 1式
- 9. 漿砌石護坦 1式

圖例表

圖示	地物名稱	圖示	地物名稱
——	地籍界	——	橋樑
——	主溝	——	官溝線
——	自然堤	——	計畫線
——	灌溉排水設施	——	排水溝或點
——	PC箱涵	——	排水池
——	暗渠	——	埋管線
——	明渠	——	排水溝或點
——	永久路基	——	界線點
——	鐵路(復線)	——	水流路面
——	鐵路單線	——	水流方向
——	水溝線	——	荒地

TWD97 座標表

點號	X座標	Y座標	高程	備註
D1	281823.000	2691347.000	1998.000	(B.W)
D2	281824.292	2691341.149	1997.719	
D2A	281795.174	2691285.888	1996.780	
D3	281813.963	2691315.475	1996.358	
D4	281849.018	2691265.108	1979.656	

IP資料曲線表

站號	IP1	IP2	IP3	IP4	IP5
195+52.50	28+55.134	36+48.308	15+31.036	39+27.308	
196+00	38+00	28+00	15+00	18+00	
196+50	48+53	18+02	38+59	14+73	
197+00	58+00	8+00	28+00	4+00	
197+50	68+48	11+58	18+54	7+52	
198+00	78+00	9+00	8+00	0+00	
198+50	88+48	0+00	0+00	0+00	
199+00	98+00	0+00	0+00	0+00	
199+50	108+48	0+00	0+00	0+00	

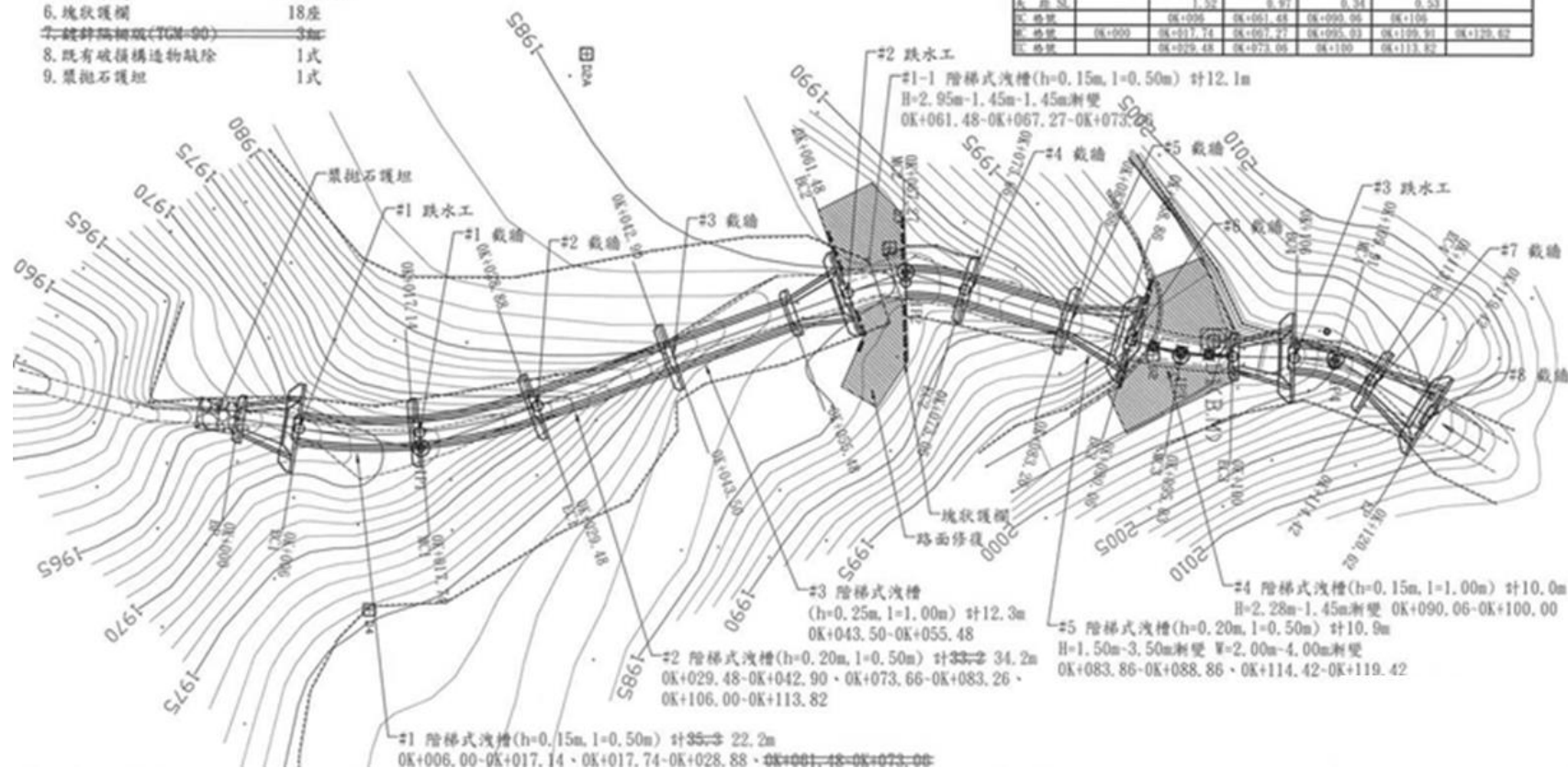


圖 4-7 臺中市和平區平等里坑溝整治工程平面配置圖

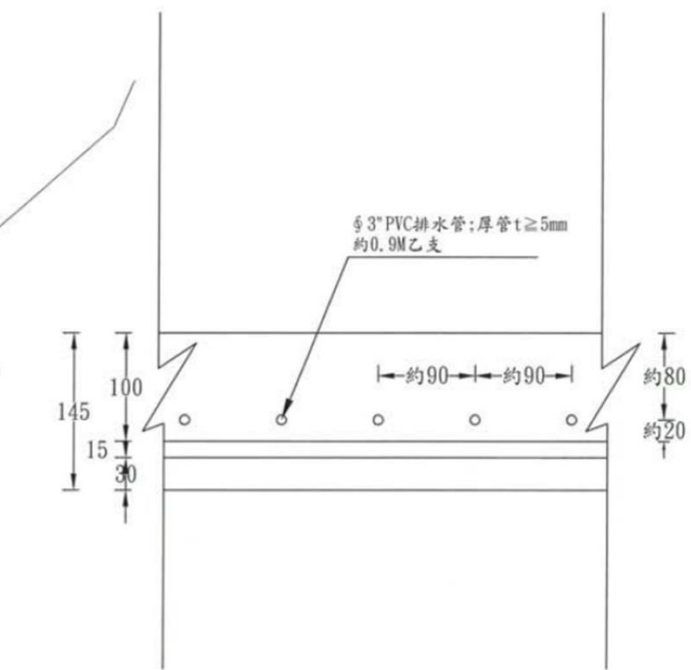
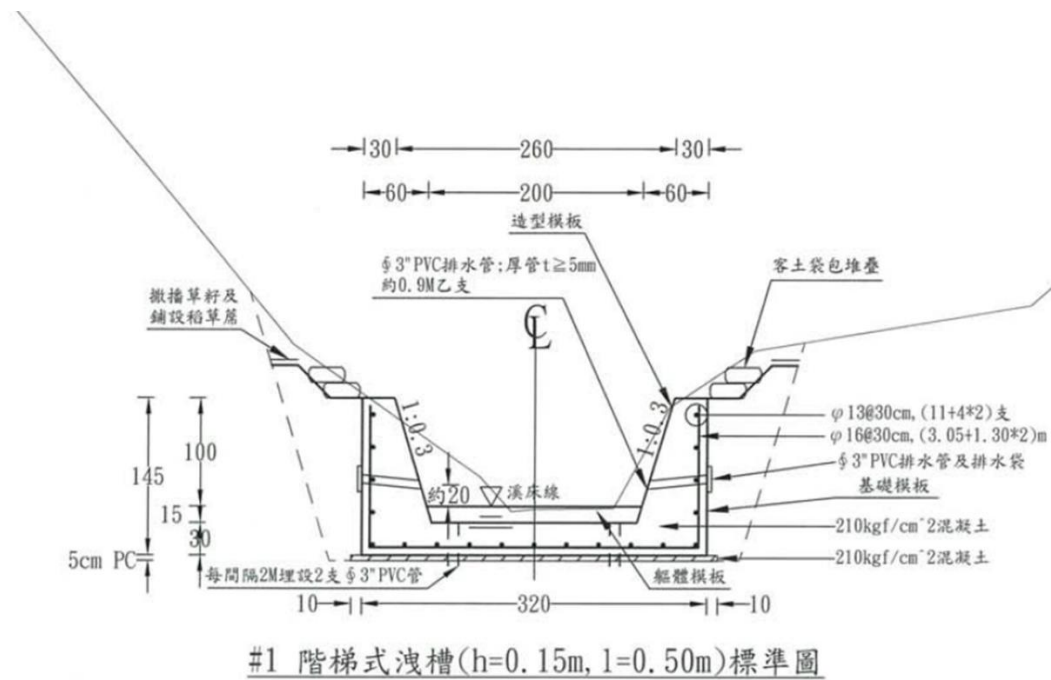


圖 4-8 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖(坡度 30%)

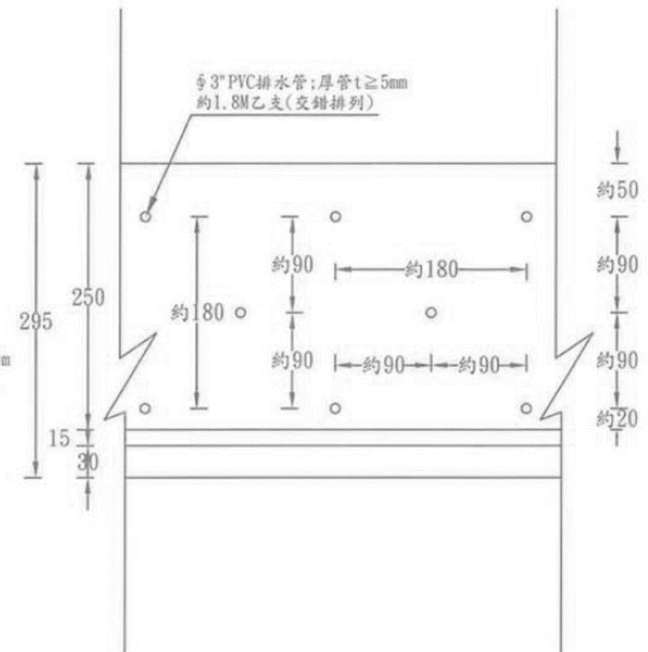
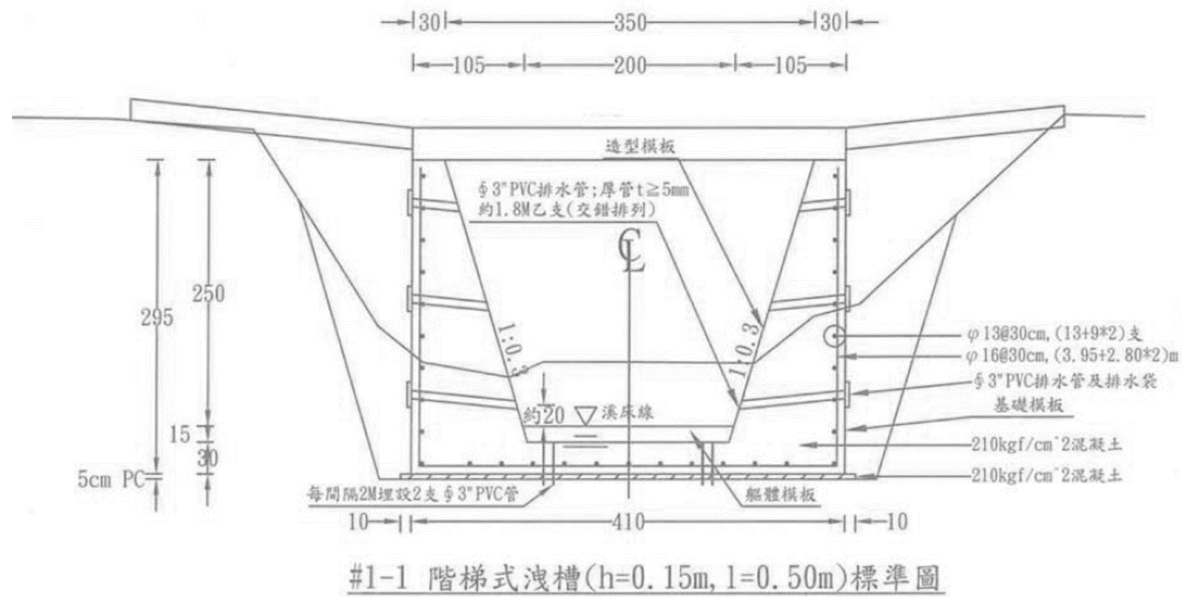
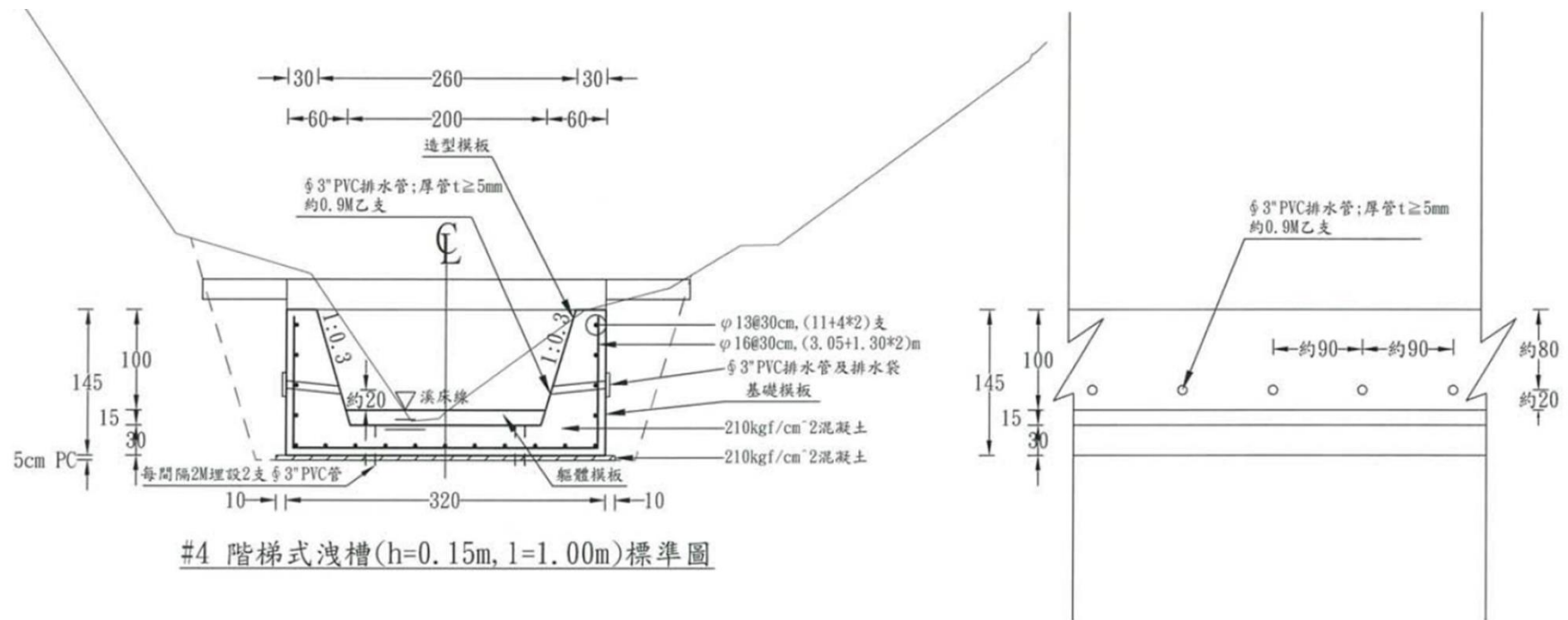
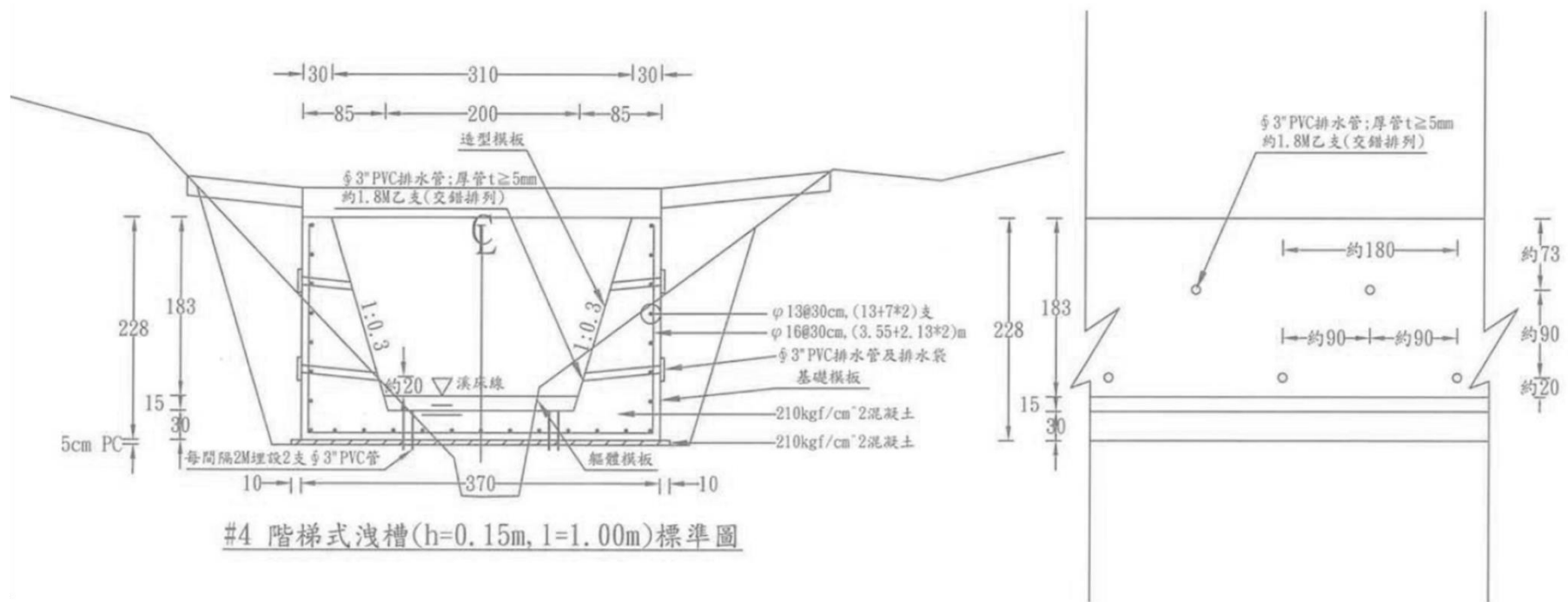


圖 4-9 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖(坡度 30%、加蓋板)



#4 階梯式洩槽(h=0.15m, l=1.00m)排水管排列參考圖

圖 4-12 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖-1(坡度 15%、加蓋板)



#4 階梯式洩槽(h=0.15m, l=1.00m)排水管排列參考圖

圖 4-13 臺中市和平區平等里坑溝整治工程階梯尺寸設計圖-2(坡度 15%、加蓋板)

(四) 設計原則檢算

以該工程做為階梯式洩槽之檢算範例，將設計參數代入第 3.7 小節階梯式洩槽設計原則進行檢算，檢討是否符合本叢書所列之設計原則，檢算流程如下：

步驟一：依據表 4-4 之水文基本參數得知，該工程之計畫泥砂流洪水量(Q_p)為 3.29 cms，由表 4-5 至表 4-8 渠道整治斷面設計參數得知，四種不同渠道設計坡度(15%、25%、30%、40%)之設計之可容許洪水量(Q_a)為 3.56 cms、4.60 cms、5.04 cms、5.81 cms，皆滿足計畫洪水量。

步驟二：計算四種渠道設計坡度之單寬流量(q)，其設計渠道寬度(B)皆為 2 m，因此依據 $q = Q_p/B$ 計算之，可得單寬流量皆為 1.645 cms/m。

步驟三：計算臨界流速(V_c)，利用 $V_c = (9.81 \times q)^{\frac{1}{3}}$ 計算，為 2.53 m/s；計算臨界水深(d_c)，利用 $d_c = q/V_c$ 計算，為 0.65 m。

步驟四：依據渠道設計坡度(S)決定階梯高度(h_f) 及 階梯長度(l_f)，本案例渠道設計坡度之 15%及 25%係固定階梯長度為 1 m，階梯高度則依據設計坡度不同，有所差異，分別為 0.15 m 及 0.25 m，而渠道設計坡度之 30%及 40%係固定階梯長度為 0.5 m，階梯高度則依據設計坡度不同，有所差異，分別為 0.15 m 及 0.2 m。

步驟五：計算階梯高度(h_f) / 階梯長度(l_f) 及 臨界水深(d_c) / 階梯高度(h_f)，其計算成果如下：

坡度 15%之 h_f/l_f 為 0.15、 d_f/h_f 為 4.34

坡度 25%之 h_f/l_f 為 0.25、 d_f/h_f 為 2.60

坡度 30%之 h_f/l_f 為 0.30、 d_f/h_f 為 4.34

坡度 40%之 h_f/l_f 為 0.40、 d_f/h_f 為 3.25

步驟六：依據 3.44 式、3.45 式之上下邊界公式繪製階梯式洩槽判釋圖，透過步驟五之計算值輸入於判釋圖中，判斷階梯式洩槽水流流態，若為舌流則為較佳之消能效果，而本設計案例於洪峰流量之狀況下流態皆位於滑移流之區域，如圖 4-14，建議可調整階梯長度、階梯高度及渠道寬度。

表 4-9 臺中市和平區平等里坑溝整治工程之階梯設計參數

設計流量 (cms)	整治段坡度 (%)	階梯長度(m)	階梯高度(m)	臨界水深(m)	h_f/l_f	d_f/h_f
3.29	15	1.0	0.15	0.65m	0.15	4.34
	25	1.0	0.25		0.25	2.60
	30	0.5	0.15		0.30	4.34
	40	0.5	0.2		0.40	3.25

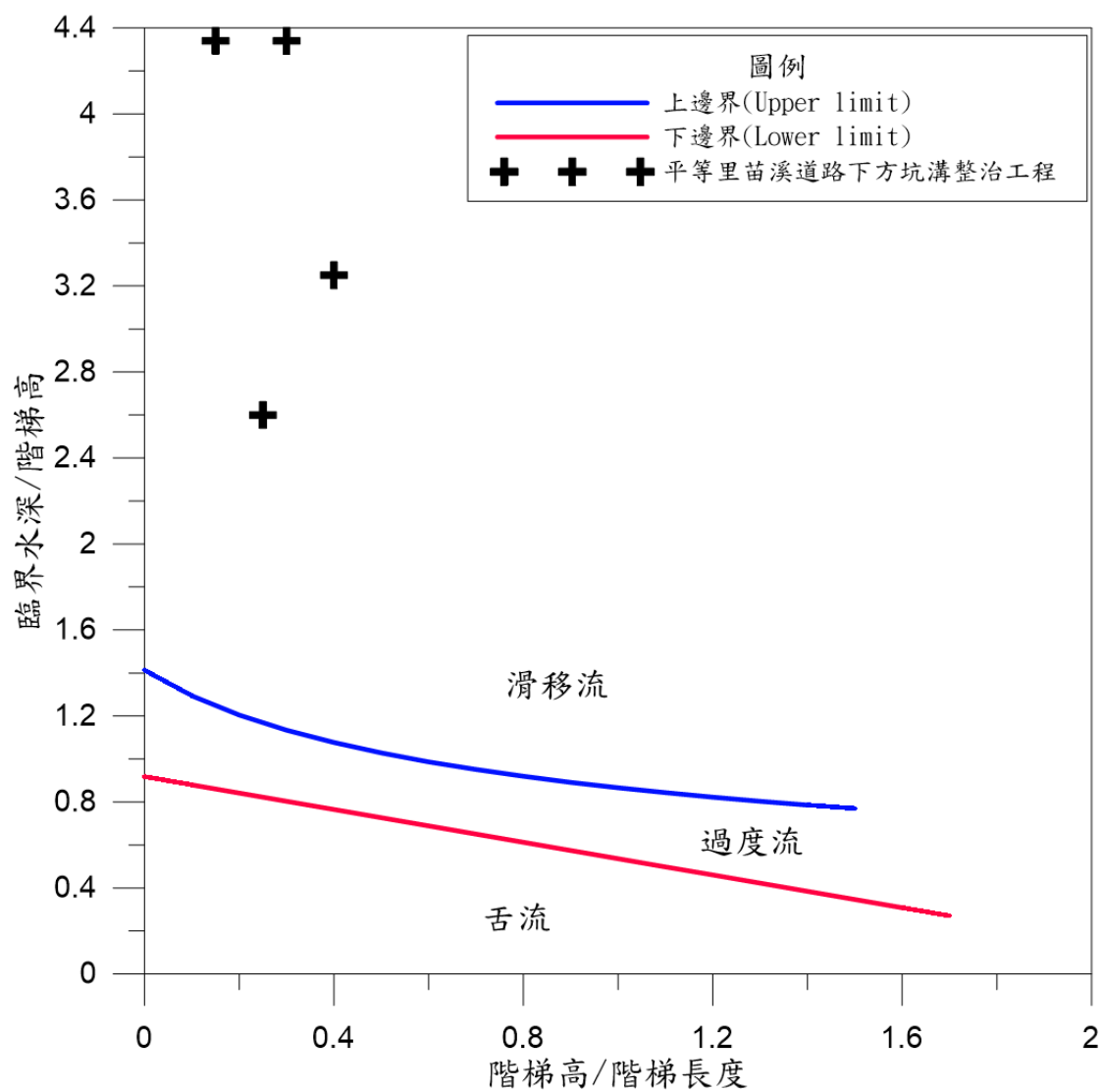


圖 4-14 臺中市和平區平等里坑溝整治工程流態檢算成果

(五) 工程照片



0K+100~0K+120 施工前



0K+100~0K+120 施工後



0K+061~0K+068 施工前



0K+061~0K+068 施工後



0K+006~0K+055 施工前



0K+006~0K+055 施工後

圖 4-15 臺中市和平區平等里坑溝整治工程施工前、後照片



現況照片-1



現況照片-2



現況照片-3



現況照片-4



現況照片-5



現況照片-6

圖 4-16 臺中市和平區平等里坑溝整治工程現況照片

4.3 皺紋鋼鈹溝設計案例

針對選定之案例解說其工程原由、水文水理分析、設計圖說、工程照片等

一、臺中市和平區梨山里縱向排水工程

此工程位於台中市和平區梨山里，其保全對象為農路、農地及當地居民，因豪雨造成既有洩槽傾斜斷裂，如圖 4-17，每逢大雨造成土砂掏刷及漫流，基於整體規劃及緊急防汛之考量急需解決。



既有洩槽傾斜斷裂



既有洩槽傾斜斷裂



既有沖蝕溝



既有洩槽傾斜斷裂

圖 4-17 臺中市和平區梨山里縱向排水工程施工前現地狀況

(一) 基本資料蒐集

表 4-10 臺中市和平區梨山里縱向排水工程水文基本參數(A 工區)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式	對應編號
1	集水區面積(ha)	A	8.48		
2	山坡長度(m)	l_1	100		
3	溪流長度(m)	l_2	353		
4	高差(m)	Δh	133		
5	坡面逕流(漫地流)流速(m/s)	v_1	0.6		
6	逕流係數	C	0.8		
7	流入時間(sec)	t_1	166.67	$t_1 = l_1 / v_1$ $t_1 = 100 / 0.6$	3.18 式
8	流下時間(sec)	t_2	31.70	$t_2 = l_2 / v_2$ $v_2 = 20 (\Delta h / l_2)^{0.6}$ $t_2 = 353 / 20 (133 / 353)^{0.6}$	3.19 式
9	集流時間(min)	t_c	3.3	$t = (t_1 + t_2) / 60$ $t = (166.67 + 31.70) / 60$	3.17 式
10	年平均降雨量(mm)	P	2196.90		
11	重現期距(年)	T	50		
12	降雨強度(mm/hr)	I	158.53	$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{(25.29 + 0.094 \times P)} \right)^2$ $= 89.83 mm/hr$ $A = \left(\frac{P}{(-189.96 + 0.31 \times P)} \right)^2$ $= 20.0133$ $B = 55$ $C = \left(\frac{P}{(-381.71 + 1.45 \times P)} \right)^2$ $= 0.6139$ $G = \left(\frac{P}{(42.89 + 1.33 \times P)} \right)^2$ $= 0.5491$ $H = \left(\frac{P}{(-65.33 + 1.836 \times P)} \right)^2$ $= 0.3065$ $I_t^T = I_{60}^{25} \times (G + H \times \log T)$ $\times \frac{A}{(t + B)^C} = 158.53$	3.9式 至 3.15式
13	計畫清水流洪水量(cms)	Q_i	2.99	合理化公式： $\frac{1}{360} CIA$ $= \frac{1}{360} \times 0.8 \times 158.53 \times 8.48$	3.6 式
14	泥砂混合率	α	0.1	一般採用 5%~10%，最大值為 50%	
15	計畫泥砂流洪水量(cms)	Q_p	3.29	$Q_p = (1 + \alpha) \times Q_i$ $= (1 + 0.1) \times 2.99$	3.27 式

表 4-11 臺中市和平區梨山里縱向排水工程水文基本參數(B 工區)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	集水區面積(ha)	A	13.02	
2	山坡長度(m)	l_1	100	
3	溪流長度(m)	l_2	542	
4	高差(m)	Δh	262	
5	坡面逕流(漫地流)流速(m/s)	v_1	0.6	
6	逕流係數	C	0.8	
7	流入時間(sec)	t_1	166.67	$t_1 = l_1 / v_1$ $t_1 = 100 / 0.6$
8	流下時間(sec)	t_2	41.92	$t_2 = l_2 / v_2$ $v_2 = 20 (\Delta h / l_2)^{0.6}$ $t_2 = 542 / 20 (262 / 542)^{0.6}$
9	集流時間(min)	t_c	3.5	$t = (t_1 + t_2) / 60$ $t = (166.67 + 41.92) / 60$
10	年平均降雨量(mm)	P	2196.90	
11	重現期距(年)	T	50	
12	降雨強度(mm/hr)	I	158.20	$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{(25.29 + 0.094 \times P)} \right)^2$ $= 89.83 \text{ mm/hr}$ $A = \left(\frac{P}{(-189.96 + 0.31 \times P)} \right)^2$ $= 20.0133$ $B = 55$ $C = \left(\frac{P}{(-381.71 + 1.45 \times P)} \right)^2$ $= 0.6139$ $G = \left(\frac{P}{(42.89 + 1.33 \times P)} \right)^2$ $= 0.5491$ $H = \left(\frac{P}{(-65.33 + 1.836 \times P)} \right)^2$ $= 0.3065$ $I_t^T = I_{60}^{25} \times (G + H \times \log T)$ $\times \frac{A}{(t + B)^c} = 158.20$
13	計畫清水流洪水量(cms)	Q_i	4.58	合理化公式： $\frac{1}{360} CIA$ $= \frac{1}{360} \times 0.8 \times 158.20 \times 13.02$
14	泥砂混合率	α	0.1	一般採用 5%~10%，最大值為 50%
15	計畫泥砂流洪水量(cms)	Q_p	5.04	$Q_p = (1 + \alpha) \times Q_i$ $= (1 + 0.1) \times 4.58$

(二) 渠道整治斷面設計參數

由於該工程具兩處治理工區且非單一坡度，因此該工程之水理計算針對 2 處工區 2 種坡度(15%及 60%)進行設計，各坡度之水理計算及設計值如下：

表 4-12 臺中市和平區梨山里縱向排水工程渠道整治斷面設計參數(A 工區坡度 60%)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	渠底寬(m)	B	0.8	
2	側坡斜率(m)	z	0	
3	設計水深(m)	h	0.35	
4	河床坡降	S	0.6	
5	曼寧係數	n	0.015	
6	通水斷面積(m^2)	A	0.28	$A = (B + h \times Z) \times h$ $A = (0.8 + 0.35 \times 0) \times 0.35$
7	濕周(m)	P	1.50	$P = B + h \times (2 \times \sqrt{1 + z^2})$ $P = 0.8 + 0.35 \times (2 \times \sqrt{1 + 0^2})$
8	水力半徑(m)	R	0.19	$R = A / P$
9	設計清水流速(m/s)	V_w	17.07	$V_w = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$ $V_w = \frac{1}{0.015} \times 0.19^{2/3} \times 0.6^{1/2}$
10	清水單位重量(t/m^3)	γ_w	1.0	
11	泥砂單位重量(t/m^3)	γ_d	2.4	
12	設計混合泥砂流速(m/s)	V_p	14.97	$V_p = \frac{\gamma_w \times V_w}{(\gamma_w + \alpha \times (\gamma_d - \gamma_w))}$ $V_p = \frac{1 \times 17.07}{(1 + 0.1 \times (2.4 - 1))}$
13	設計可容許洪水量(cms)	Q_a	4.19	$Q_a = A \times V_p$ $Q_a = 0.28 \times 14.97$ 計算值大於計畫泥砂流洪水量，OK
14	設計出水高(m)	h'	0.45	

表 4-13 臺中市和平區梨山里縱向排水工程渠道整治斷面設計參數(A 工區坡度 15%)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	渠底寬(m)	B	0.8	
2	側坡斜率(m)	z	0	
3	設計水深(m)	h	0.5	
4	河床坡降	S	0.15	
5	曼寧係數	n	0.015	
6	通水斷面積(m^2)	A	0.4	$A = (B + h \times Z) \times h$ $A = (0.8 + 0.5 \times 0) \times 0.5$
7	濕周(m)	P	1.8	$P = B + h \times (2 \times \sqrt{1 + z^2})$ $P = 0.8 + 0.5 \times (2 \times \sqrt{1 + 0^2})$
8	水力半徑(m)	R	0.22	$R = A / P$
9	設計清水流速(m/s)	V_w	9.41	$V_w = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$ $V_w = \frac{1}{0.015} \times 0.22^{2/3} \times 0.15^{1/2}$
10	清水單位重量(t/m^3)	γ_w	1.0	
11	泥砂單位重量(t/m^3)	γ_d	2.4	
12	設計混合泥砂流速(m/s)	V_p	8.25	$V_p = \frac{\gamma_w \times V_w}{(\gamma_w + \alpha \times (\gamma_d - \gamma_w))}$ $V_p = \frac{1 \times 9.41}{(1 + 0.1 \times (2.4 - 1))}$
13	設計可容許洪水量(cms)	Q_a	3.30	$Q_a = A \times V_p$ $Q_a = 0.4 \times 8.25$ 計算值大於計畫泥砂流洪水量，OK
14	設計出水高(m)	h'	0.3	

表 4-14 臺中市和平區梨山里縱向排水工程渠道整治斷面設計參數(B 工區坡度 60%)

項次	參數名稱	符號	數值	計算式
1	渠底寬(m)	B	0.8	
2	側坡斜率(m)	z	0	
3	設計水深(m)	h	0.45	
4	河床坡降	S	0.6	
5	曼寧係數	n	0.015	
6	通水斷面積(m^2)	A	0.36	$A = (B + h \times Z) \times h$ $A = (0.8 + 0.45 \times 0) \times 0.45$
7	濕周(m)	P	1.7	$P = B + h \times (2 \times \sqrt{1 + z^2})$ $P = 0.8 + 0.45 \times (2 \times \sqrt{1 + 0^2})$
8	水力半徑(m)	R	0.21	$R = A / P$
9	設計清水流速(m/s)	V_w	18.24	$V_w = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$ $V_w = \frac{1}{0.015} \times 0.21^{2/3} \times 0.6^{1/2}$
10	清水單位重量(t/m^3)	γ_w	1.0	
11	泥砂單位重量(t/m^3)	γ_d	2.4	
12	設計混合泥砂流速(m/s)	V_p	16	$V_p = \frac{\gamma_w \times V_w}{(\gamma_w + \alpha \times (\gamma_d - \gamma_w))}$ $V_p = \frac{1 \times 18.24}{(1 + 0.1 \times (2.4 - 1))}$
13	設計可容許洪水量(cms)	Q_a	5.76	$Q_a = A \times V_p$ $Q_a = 0.36 \times 16$ 計算值大於計畫泥砂流洪水量，OK
14	設計出水高(m)	h'	0.35	

(三) 設計圖說

該工程因橫跨農民之作物場所，避免設計工程量體過大，整段主要以皺紋鋼板溝施作為主，並施作靜水池以達銜接及避免渠道水流能量持續增大之作用；A 工區起點端設計涵管及部分階梯式洩槽以承接上游集水逕流，相關平面配置及詳細設計圖說如下。

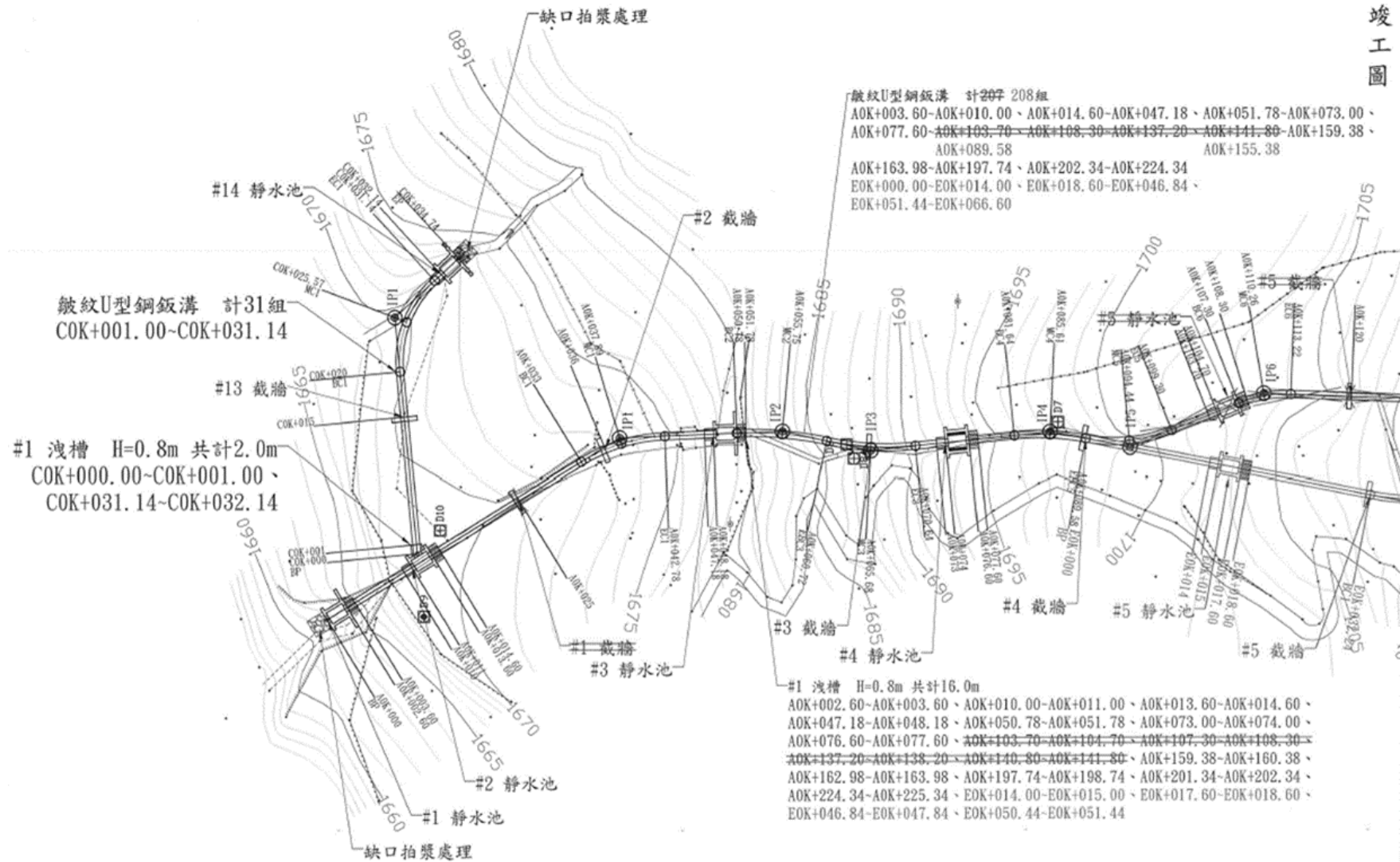


圖 4-18 臺中市和平區梨山里縱向排水工程 A 工區平面配置圖

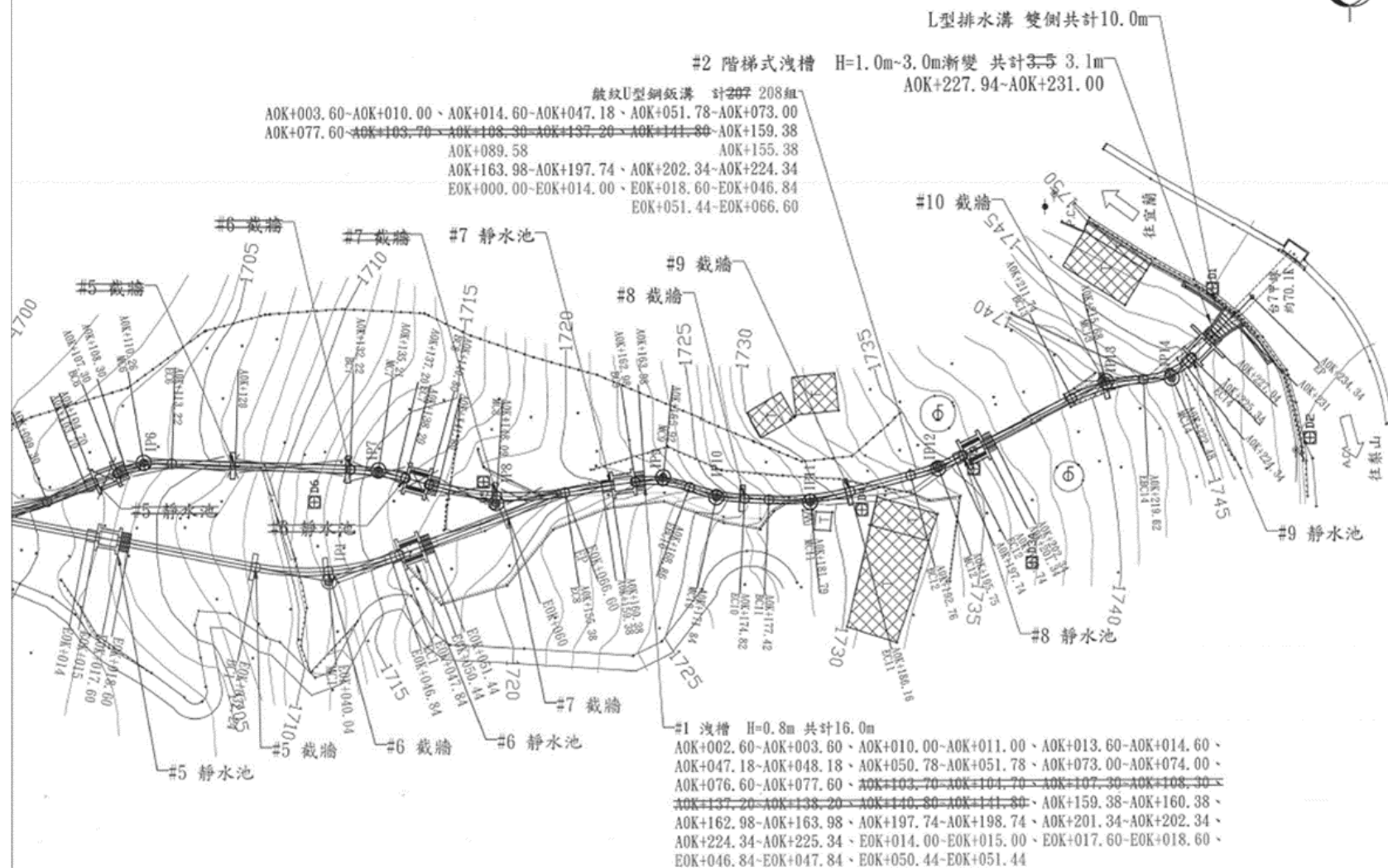


圖 4-19 臺中市和平區梨山里縱向排水工程 A 工區平面配置圖(續)

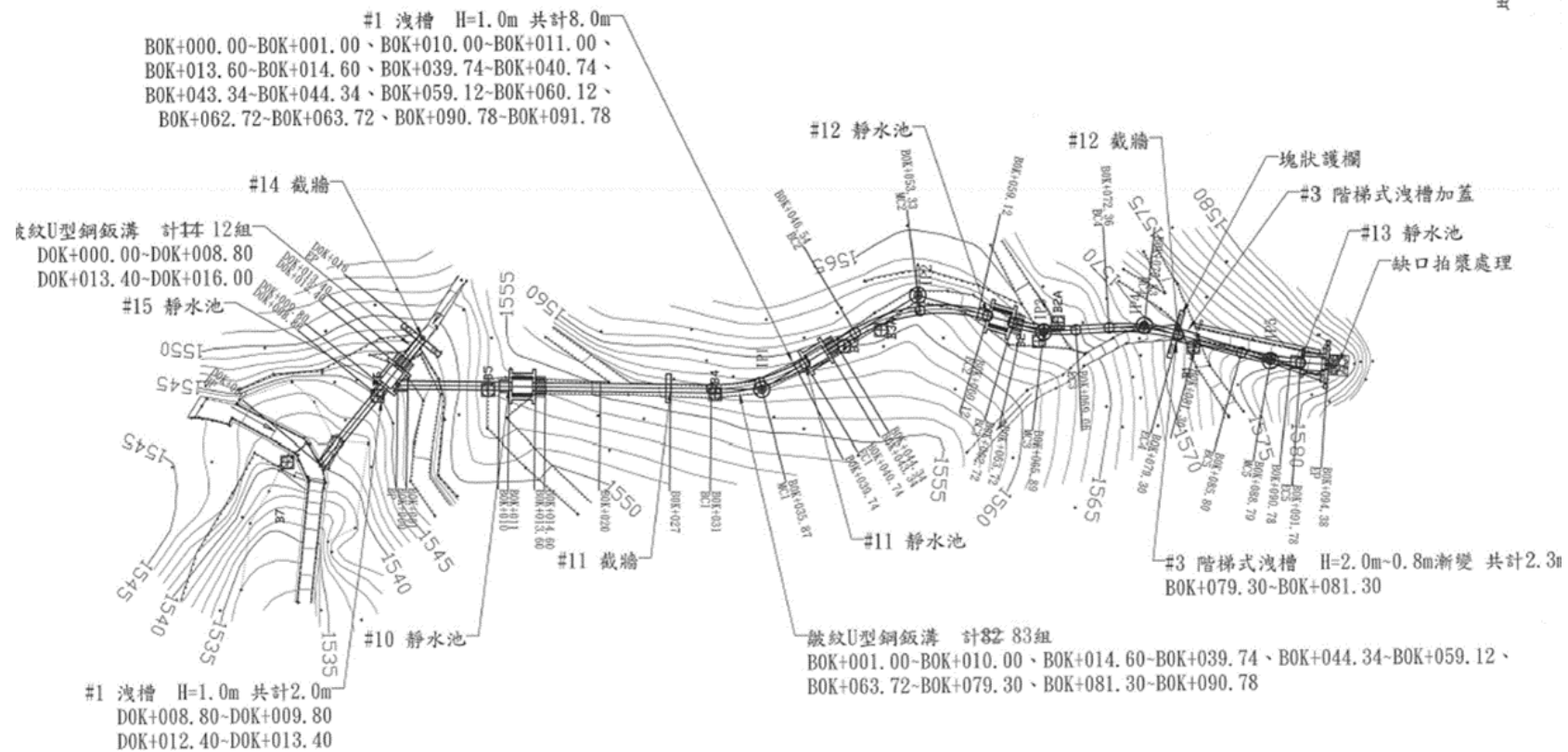


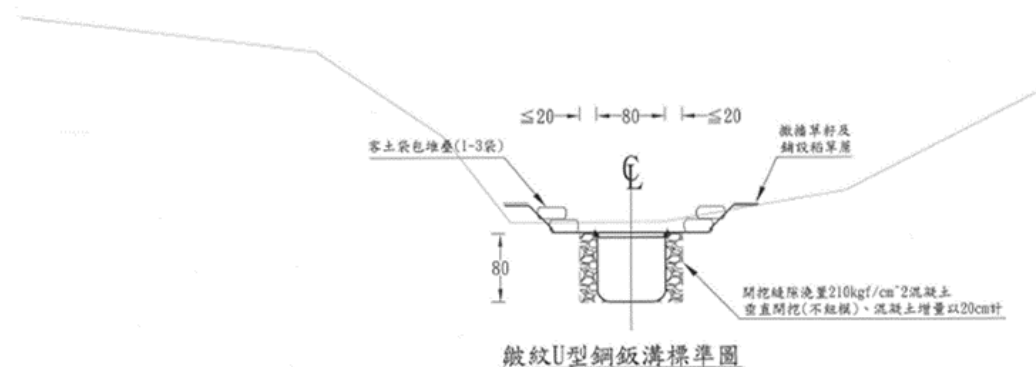
圖 4-19 臺中市和平區梨山里縱向排水工程 B 工區平面配置圖

皺紋U型鋼板溝建議施工程序：

1. 小型挖土機開挖(開挖縫隙以不超過20cm為原則)及修坡。
2. 人工溝底整平、線型及高程檢測。
3. 皺紋U型鋼板溝人工搬運擺放。
4. 溝頂角鋼架及橫支柱角鋼架與上下鋼板溝螺栓鎖固。
(皺紋U型鋼板溝螺栓組裝方向為由內向外，以增加錨定效果)
5. 調整組裝線型及高程，陡坡處以手拉器細綁帶輔助固定。
6. 皺紋U型鋼板溝與#1洩槽縫隙以砂利康填縫處理。
7. 開挖縫隙澆置 210kgf/cm^2 混凝土。
8. 客土袋包堆疊、撒播草籽及鋪設稻草蓆以加速植生復育。

皺紋U型鋼板溝材料特殊說明：

1. 施工廠商需提送鋼板材料(含皺紋)、螺栓、角鋼等實品圖及材料規格說明書等文件，經監造單位審核同意後方可使用。
2. 皺紋可為三角楔型或圓弧形。
3. 施工廠商材料鍍鋅後出廠運送至工地前，應辦理場內試組裝(至少3組)，經監造單位會同廠商檢視能順利組裝無誤後，方得運送出廠。



說明：

1. 皺紋U型鋼板溝工程 W=0.80m H=0.80m L=1.00m 共計334組

2. 施作位置：

A0K+003.60-A0K+010.00、A0K+014.60-A0K+047.18、A0K+051.78-A0K+073.00、
A0K+077.60-A0K+103.70、A0K+108.30-A0K+137.20、A0K+141.80-A0K+159.38、
A0K+089.58 A0K+155.38
A0K+163.98-A0K+197.74、A0K+202.34-A0K+224.34
B0K+001.00-B0K+010.00、B0K+014.60-B0K+039.74、B0K+044.34-B0K+059.12、
B0K+063.72-B0K+079.30、B0K+081.30-B0K+090.78
C0K+001.00-C0K+031.14
D0K+000.00-D0K+008.80、D0K+013.40-D0K+016.00
E0K+000.00-E0K+014.00、E0K+018.60-E0K+046.84、E0K+051.44-E0K+066.60

3. 皺紋U型鋼板溝不截切，需延伸至#1洩槽，

鋼板溝與洩槽縫隙以砂利康填縫處理。

(詳設計圖31/59-34/59、37/59、41/59、44/59、47/59)

4. 每組皺紋U型鋼板溝 210kgf/cm^2 混凝土數量以 0.32M^3 計價。

5. 客土袋包堆疊1-3袋(視現況地形調整)並加強邊坡截水

圖 4-20 臺中市和平區梨山里縱向排水工程皺紋鋼板溝設計圖-1

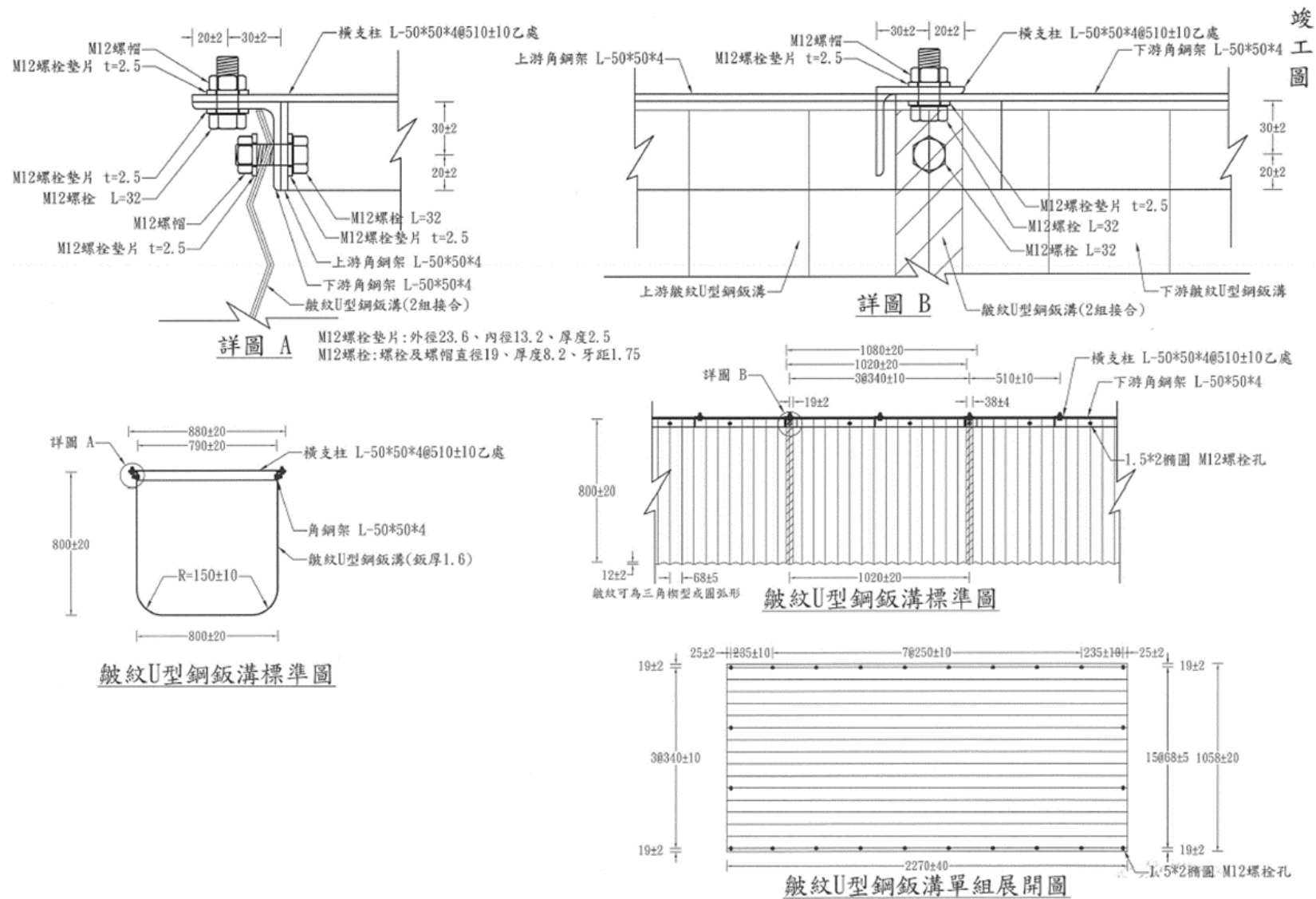


圖 4-21 臺中市和平區梨山里縱向排水工程皺紋鋼板溝設計圖-2

(四) 設計原則檢算

以該工程做為皺紋鋼鈹溝之檢算範例，將設計參數代入第 3.8 小節皺紋鋼鈹溝設計原則進行檢算，檢討是否符合本叢書所列之設計原則，檢算流程如下：

步驟一：依據表 4-10 至表 4-11 之水文基本參數得知，該工程 A 區及 B 區之計畫泥砂流洪水量(Q_p)分別為 3.29 cms、5.04cms，而由表 4-12 至表 4-14 渠道整治斷面設計參數得知，A 區有兩種不同渠道設計坡度(S)為 0.15 及 0.6、B 區之渠道設計坡度(S)為 0.6。

渠道寬度(B)皆設計為 0.8 m。

渠道設計水深(h)分別為，0.5 m(A 區坡度 15%)、0.35 m(A 區坡度 60%)、0.45 m(B 區坡度 60%)。

步驟二：以 $q = Q_p/B$ 計算單寬流量(q)，A 區之單寬流量為 4.11 cms/m，B 區之單寬流量為 6.3 cms/m。

步驟三：決定皺紋鋼鈹溝之粗糙高度(h_n)，依據設計圖說其粗糙高度(皺褶高度)皆為 0.012 ± 0.002 m，本檢算流程以 0.0014 m 代入。

步驟四：依據 3.44 式將前述之設計渠道坡度(S)、單寬流量(q)、鋼鈹溝粗糙高度(h_n)計算曼寧粗糙係數(n)，可得其 n 值：

A 區坡度 15%：0.019

A 區坡度 60%：0.010

B 區坡度 60%：0.009

步驟五：根據曼寧公式計算設計流速(V_w)，依據表 4-12 至表 4-14 之泥砂混合率(α)、清水單位重量(γ_w)、泥砂單位重量(γ_d)計算混合泥砂流速(V_p)，整理如下表：

表 4-15 臺中市和平區梨山里縱向排水工程流速檢算

計畫區域	渠道設計坡度(S)	曼寧粗糙係數(n)	設計流速(V_w)	混合泥砂流速(V_p)
A 區	0.15	0.019	7.42 m/s	6.5 m/s
A 區	0.6	0.010	25.6 m/s	22.45 m/s
B 區	0.6	0.009	30.4 m/s	26.67 m/s

步驟六：依據 $Q_a = A \times V_p$ 計算設計可容許洪水量(Q_a)，並檢核設計可容許洪水量是否滿足計算洪水量(Q_p)，可整理為下表：

表 4-16 臺中市和平區梨山里縱向排水工程可容許流量檢算

計畫區域	渠道設計坡度(S)	可容許洪水量(Q_a)	計算洪水量(Q_p)	檢算成果
A 區	0.15	2.6 cms	3.29 cms	$Q_a < Q_p$ ，需重新設計渠道寬度(B)或設計水深(h)
A 區	0.6	6.28 cms	3.29 cms	$Q_a > Q_p$ ，設計完成
B 區	0.6	9.6 cms	5.04 cms	$Q_a > Q_p$ ，設計完成

由表 4-16 得知 A 區坡度 15%之設計可容許洪水量(Q_a)無法滿足計算洪水量(Q_p)，因此需進行設計參數調整，本檢算案例將設計水深(h)由 0.5m 調整為 0.6m 重新進行檢算，即可完成使可容許洪水量滿足計算洪水量，相關計算參數整理為下表：

表 4-17 臺中市和平區梨山里縱向排水工程設計參數調整

項目	調整前	調整後
計畫區域	A 區	A 區
渠道設計坡度(S)	0.15	0.15
設計水深(h)	0.5 m	0.6 m
通水斷面積(A)	0.4 m ²	0.48 m ²
濕周(P)	1.8 m	2 m
水力半徑(R)	0.22 m	0.24 m
曼寧粗糙係數(n)	0.019	0.019
設計清水流速(V_w)	7.42 m/s	7.87 m/s
清水單位重量(γ_w)	1.0 t/m ³	1.0 t/m ³
泥砂單位重量(γ_d)	2.4 t/m ³	2.4 t/m ³
設計混合泥砂流速(V_p)	6.5 m/s	6.89 m/s
設計可容許洪水量(Q_a)	2.6 cms	3.3 cms
計算洪水量(Q_p)	3.29 cms	3.29 cms
檢算成果	$Q_a < Q_p$ ，不足	$Q_a > Q_p$ ，完成

步驟七：根據設計尺寸以水流不穩定檢算公式檢討其穩定狀態，其檢算步驟可參考第 3.4 小節之三、水流不穩定檢算及附錄一之檢算步驟，該案例之檢算成果皆為不穩定狀態，目前之出水高分別為 0.3 m(A 區坡度 15%)、0.45 m(A 區坡度 60%)、0.55 m(B 區坡度 60%)，皆有符合最小出水高之設計規範，建議酌加設計出水高。

(五) 工程照片



施工前-1



施工後-1



施工前-2



施工後-2



施工前-3



施工後-3

圖 4-22 臺中市和平區梨山里縱向排水工程施工前後照片



現況照片-1



現況照片-2



現況照片-3



現況照片-4



現況照片-5



現況照片-6

圖 4-23 臺中市和平區梨山里縱向排水工程現況照片

附錄一 相關參數、公式及計算範例

一、臺灣各區 Horner 公式相關係數值

附表 1-1 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

附表 1-1 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

附表 1-1 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
	太閤南	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

附表 1-1 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)

附表 1-2 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

附表 1-2 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

附表 1-2 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

附表 1-2 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
	頭汙	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
	頭汙坑	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

附表 1-2 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

附表 1-2 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)

附表 1-3 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

附表 1-3 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

附表 1-3 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)

附表 1-4 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	合歡壠口	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

附表 1-4 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

附表 1-4 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)

二、無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 等係數表

附表 1-5 離島各雨量站無因次降雨強度公式 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

附表 1-6 北部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和年平均雨量表

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	* * *

附表 1-7 中部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和年平均雨量表

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

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
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
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

附表 1-8 南部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和年平均雨量表

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

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
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	* * *

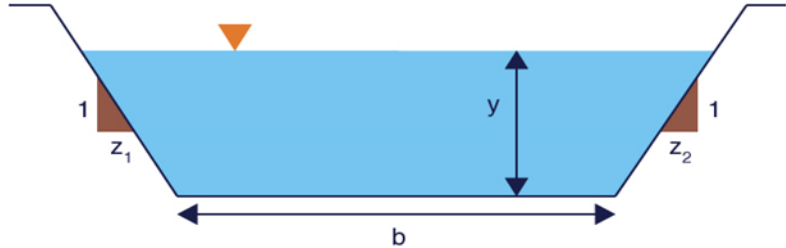
附表 1-9 東部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和年平均雨量表

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

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
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	* * *

三、水流不穩定檢算流程及參數計算

步驟一：依據設計尺寸、相關水理計算表獲取設計渠道之基本資訊作為輸入資料。

定型渠道示意圖	
	
輸入資料(Input data)	
設計渠底寬度(b)	1.2 m
設計水深(y)	0.25 m
設計邊壁斜率(1: z)	0
曼寧係數(n)	0.015
渠道設計坡度(S)	0.2
水流中含砂率(α)	0.1

步驟二：依據相關計算式先行計算所需檢算參數。

計算參數(Computation Parameter)		計算式(Formula)
重力加速度(g)	9.81 m/s ²	-
濕周(P)	2 m	$P = b + 2y(1 + z^2)^{1/2}$
渠頂寬度(T)	1.2 m	$T = b + 2zy$
水流斷面積(A)	0.48 m ²	$A = y(b + zy)$
水力半徑(R)	0.24 m	$R = A/P$
水力深度(D)	0.4 m	$D = A/T$

步驟三：依據上述參數計算，輸出渠道計算福祿數資料成果。

輸出資料(Output data)		計算式(Formula)
設計混合泥砂流速(V_p)	10.1 m/s	$V_p = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$
設計混合泥砂流量(Q_a)	4.848 m ³ /s	$Q_a = A \cdot V_p$
渠道計算福祿數(F)	5.1	$F = \frac{V_p}{\sqrt{gD}}$

步驟四：分別計算 Guo 及 Ponce 之所需參數及臨界福祿數

Guo 檢算公式		
所需參數 k	1	$k = \sqrt{1 + z^2}$
所需參數 Y^*	0.33	$Y^* = y/b$
臨界福祿數(F_{ns})	2.5	$F_{ns} = \frac{3}{2} \left[\frac{(1 + 2kY^*)(1 + 2zY^*)}{1 + 2zY^* + 2kzY^{*2}} \right]$
Ponce 檢算公式		
所需參數 β	1.57	流量與通水斷面積之率定曲線 $Q = \alpha \cdot A^\beta$
臨界福祿數(F_{ns})	1.76	$F_{ns} = \frac{1}{\beta - 1}$

步驟五：將 Guo 及 Ponce 檢算公式得出之臨界福祿數成果與前述之渠道計算福祿數(F)進行比較，查看設計渠道之水流不穩定狀況。

渠道計算福祿數(F)	Guo 檢算公式		Ponce 檢算公式	
	臨界福祿數(F_{ns})	水流穩定檢核結果	臨界福祿數(F_{ns})	水流穩定檢核結果
5.1	2.5	不穩定	1.76	不穩定

註：渠道計算福祿數(F) > 臨界福祿數(F_{ns})：水流為不穩定之現象

渠道計算福祿數(F) < 臨界福祿數(F_{ns})：水流為穩定之現象

步驟六：依據檢算之成果，檢討工程設計尺寸是否需進行改善，或針對不穩定現象酌加出水高高度避免水流飛濺至兩岸沖蝕背填土。

附錄二 參考文獻

1. 水土保持局，水土保持技術規範，行政院農業委員會水土保持局，2014。
2. 水土保持局，水土保持手冊，行政院農業委員會水土保持局，2017。
3. 水土保持局，水土保持設施常見生物通道，行政院農業委員會水土保持局，2020。
4. 水土保持局臺中分局，梨山、南庄、泰安地區陡坡坡面排水設計基本原則研擬與適用排水設施成效分析，行政院農業委員會水土保持局，2019。
5. 水土保持局臺中分局，陡坡坡面排水設施與工法試驗及監測，行政院農業委員會水土保持局，2020。
6. 水土保持局臺中分局，陡坡坡面排水渠道消能設施應用及監測，行政院農業委員會水土保持局，2021。
7. 行政院公共工程委員會，公共工程生態檢核注意事項，2019。
8. 陳怡良、李光敦，階梯河道水流型態模擬與阻力分析，中華水土保持學報，2012。
9. 謝冠文，高低交錯排列消能砥墩於渠道中之水理現象探討，中原大學，2019。
10. 國土交通省及國土保全局，守護美麗山河之災害復舊基本方針，2018。
11. 臺灣省水利局，灌溉排水工程設計，臺灣省政府建設廳水利局，1978。
12. Aigner, "Hydraulic design of pooled step cascades," [http://rcswww.urz.tuetschen.De/dainger/CASCADE.htm](http://rcswww.urz.tuetschen.de/dainger/CASCADE.htm), 2004.
13. Aisenbrey, A.J., Hayes, R.B., Warren, H.J., Winsett, D.L., and Young, R.B., "Engineering Technology Pertaining Primarily to the Design of Small Canal Structures of Less Than 100-Cubic-Feet-Per-Second Capacity," Government

Printing Office, Washington, 1978.

14. Baylar, A., and Emiroglu, M.E., "Study of aeration efficiency at stepped channels," *Proc.Inst. Civil. Eng. - Water Marit. Eng.*, 156(3), 257-263, 2003.
15. Chanson, H., and Toombes, L., "Hydraulics of Stepped Chutes: The transition flow," *Journal of Hydraulic Research*, 42(1), 2004.
16. Gonzalez, C.A., "An Experimental Study of Free-surface Aeration on Embankment Stepped Chutes," Ph.D. thesis, The University of Queensland, Brisbane, 2005.
17. Guo, C. Y., "Urban Hydrology and Hydraulics Design," Water Resources Publications, USA, 2006.
18. Hessel, R., Jetten, V., and Guanghui, Z., "Estimating Manning's n for steep slopes," *CATENA*, 54, 77-91, 2003.
19. Ibrahim, M.M., and Abdel-Mageed, N.B., "Effect of bed roughness on flow characteristics," *International Journal of Academic Research Part A*, 6(5), 169-178, 2014.
20. Juang, J. T., "Effect on roughness to irregular wave run-up", *Proc. 24th Conf. on Coastal Engineering*, ASCE, 1994.
21. Lau, T.W., and Afshar, N.R., "Effect of roughness on Discharge," *UNIMAS e-journal of civil engineering*, 4(3), 29-33, 2013.
22. Masjedi, A., and Foroushani, E.P., "Investigation of hydrodynamics on local scour by shape of single spur dike in river bend," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, United Kingdom, 15(3), 052025, 2012.
23. Ponce, V. M., "Chow, Froude, and Vedernikov," *World Environmental and Water Resources Congress 2014: Water without Borders*, Portland,

10.1061/9780784413548.077, 2014.

24. Sholichin, M., Dermawan, V., Suhardjono, and Krisnayanti, D., "Energy Dissipation of Skimming Flow on Flat and Pooled Stepped Spillways," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(6), 62-68, 2016.

