計畫編號：112 保發-5.1-保-01-06-001(3)

臺灣山坡地沉砂池設計之適合深度探討

Investigation on Suitable Depth for Designing Settling Basins in Slopeland of Taiwan

執 行 單 位：國立中興大學

執 行 期 間：112 年 2 月 8 日至 112 年 12 月 31 日

計畫主持人：詹勳全 教授

國立中興大學　編印

中華民國 112 年 11 月

目次

目次 I

表次 III

圖次 V

第一章　前言 1-1

第二章　文獻回顧 2-1

第一節　水土保持技術規範 2-2

第二節　沉砂設施設計型態 2-5

第三節　因砂率估算公式 2-6

第四節　沉砂池配置 2-8

第五節　水理模式 2-10

第三章　研究方法 3-1

第一節　研究流程 3-1

第二節　因砂率與配置分析 3-3

第三節　土壤採樣 3-10

第四節　水文分析 3-20

第五節　水理模式 3-30

第四章　結果分析與討論 4-1

第一節　因砂率公式估算結果 4-1

第二節　沉砂設施配置檢核 4-5

第三節　水理模式模擬結果 4-9

第四節　結果分析 4-31

第五節　配置改善建議之水理模式演算 4-33

第五章　結論與建議 5-1

第一節　結論 5-1
第二節　建議 5-2
參考書目 參-1
附錄 附錄-1
附錄一　因砂率估算過程 附錄-1
附錄二　期中審查意見回覆 附錄-19
附錄三　工作會議紀錄 附錄-21

表次

表 2-1、影響沉砂設施沉砂效率之內外條件及說明 2-2
表 2-2、各國對沉砂池之設計建議 2-5
表 2-3、囚砂率估算公式統整 2-7
表 2-4、13 種不同配置之說明 2-10
表 2-5、不同擋板數量模擬結果彙整 2-12
表 3-1、不同土壤顆粒之沉降速度 3-5
表 3-2、水理模式分析對象篩選結果 3-11
表 3-3、粒徑分析數據(一) 3-16
表 3-4、粒徑分析數據(二) 3-17
表 3-5、粒徑分析數據(三) 3-18
表 3-6、粒徑分析數據(四) 3-19
表 3-7、粒徑分析結果彙整 3-19
表 3-8、歷年一日最大暴雨量資料表 3-22
表 3-9、頻率分析結果表 3-25
表 3-10、雨型設計結果 3-26
表 3-11、集水區基本資料與三角單位歷線計算成果表 3-29
表 3-12、各重現期距之洪峰流量 3-29
表 3-13、內面工處理之曼寧粗糙係數 n 值選定參考表 3-33
表 4-1、沉砂設施囚砂率分析結果 4-2
表 4-2、臺灣現有沉砂設施之配置類型統計 4-5
表 4-3、所在區位屬坋質土之沉砂設施配置類型 4-6
表 4-4、水理模式分析對象 4-9
表 4-5、水理模式分析結果 4-32

圖次

圖 2-1、一維水理模式示意圖 2-11
圖 2-2、二維水理模式示意圖 2-11
圖 2-3、三維水理模式示意圖 2-11
圖 2-4、不同擋板數量之主流線圖 2-13
圖 2-5、不同擋板數量之淤砂分布圖 2-13
圖 3-1、研究流程圖 3-2
圖 3-2、土壤質地三角圖 3-4
圖 3-3、沉砂設施斷面積計算方式示意圖 3-6
圖 3-4、沉砂與滯洪設施垂直共構之參數選取示意圖 3-7
圖 3-5、非垂直共構之沉砂設施之參數選取示意圖 3-8
圖 3-6、流長計算之示意圖 3-9
圖 3-7、採樣鏟 3-12
圖 3-8、土鑽採樣組 3-12
圖 3-9、篩組與搖篩機 3-14
圖 3-10、粒徑分布累積頻率曲線(一) 3-16
圖 3-11、粒徑分布累積頻率曲線(二) 3-17
圖 3-12、粒徑分布累積頻率曲線(三) 3-18
圖 3-13、粒徑分布累積頻率曲線(四) 3-19
圖 3-14、三角單位歷線法分析流程圖 3-21
圖 3-15、三角單位歷線示意圖 3-28
圖 3-16、50 年重現期之流量歷線 3-30
圖 3-17、水理模式分析流程圖 3-32
圖 4-1、沉砂設施所在區位之土壤類型 4-1

圖 4-2、泥砂(坋質土)滯留時間與因砂率關係.....4-3
圖 4-3、泥砂(坋質土)沉降時間與因砂率關係.....4-3
圖 4-4、隔水擋版之設置示意圖 4-8
圖 4-5、橫向擋版之設計方式 4-8
圖 4-6、初始地形圖(一).....4-10
圖 4-7、洪峰流速圖(一).....4-10
圖 4-8、出水口周圍流場圖(一).....4-11
圖 4-9、底床變化圖(一).....4-11
圖 4-10、初始地形圖(二).....4-12
圖 4-11、洪峰流速圖(二).....4-12
圖 4-12、底床變化圖(二).....4-12
圖 4-13、初始地形圖(三).....4-13
圖 4-14、洪峰流速圖(三).....4-13
圖 4-15、流場分布圖(三).....4-14
圖 4-16、底床變化圖(三).....4-14
圖 4-17、初始地形圖(四).....4-15
圖 4-18、洪峰流速圖(四).....4-15
圖 4-19、底床變化圖(四).....4-15
圖 4-20、初始地形圖(五).....4-16
圖 4-21、洪峰流速圖(五).....4-16
圖 4-22、底床變化圖(五).....4-17
圖 4-23、初始地形圖(六).....4-18
圖 4-24、洪峰流速圖(六).....4-18
圖 4-25、底床變化圖(六).....4-18
圖 4-26、初始地形圖(七).....4-19

圖 4-27、洪峰流速圖(七)..... 4-19
圖 4-28、底床變化圖(七)..... 4-19
圖 4-29、初始地形圖(八)..... 4-20
圖 4-30、洪峰流速圖(八)..... 4-20
圖 4-31、底床變化圖(八)..... 4-20
圖 4-32、初始地形圖(九)..... 4-21
圖 4-33、洪峰流速圖(九)..... 4-21
圖 4-34、底床變化圖(九)..... 4-22
圖 4-35、初始地形圖(十)..... 4-23
圖 4-36、洪峰流速圖(十)..... 4-23
圖 4-37、底床變化圖(十)..... 4-23
圖 4-38、初始地形圖(十一)..... 4-24
圖 4-39、洪峰流速圖(十一)..... 4-24
圖 4-40、底床變化圖(十一)..... 4-24
圖 4-41、初始地形圖(十二)..... 4-25
圖 4-42、洪峰流速圖(十二)..... 4-25
圖 4-43、底床變化圖(十二)..... 4-25
圖 4-44、初始地形圖(十三)..... 4-26
圖 4-45、洪峰流速圖(十三)..... 4-26
圖 4-46、流場分布圖(十三)..... 4-26
圖 4-47、底床變化圖(十三)..... 4-26
圖 4-48、初始地形圖(十四)..... 4-28
圖 4-49、洪峰流速圖(十四)..... 4-28
圖 4-50、底床變化圖(十四)..... 4-28
圖 4-51、初始地形圖(十五)..... 4-29

圖 4-52、洪峰流速圖(十五)..... 4-29
圖 4-53、底床變化圖(十五)..... 4-29
圖 4-54、初始地形圖(十六)..... 4-30
圖 4-55、洪峰流速圖(十六)..... 4-30
圖 4-56、底床變化圖(十六)..... 4-31
圖 4-57、50 年重現期流量與最大淤砂高度之關係 4-32
圖 4-58、隔水擋板設置前 4-33
圖 4-59、隔水擋板設置後 4-33
圖 4-60、隔水擋板設置前 4-34
圖 4-61、隔水擋板設置後 4-34
圖 4-62、隔水擋板設置前 4-34
圖 4-63、隔水擋板設置後 4-34
圖 4-64、未添加擋板初始地形圖 4-35
圖 4-65、設置橫向擋板之初始地形圖 4-35
圖 4-66、未添加擋板初始洪峰流速圖 4-35
圖 4-67、設置橫向擋板之洪峰流速圖 4-35
圖 4-68、未添加擋板底床變化圖 4-36
圖 4-69、設置橫向擋板之底床變化圖 4-36
圖 4-70、設施改善前初始地形圖 4-37
圖 4-71、設施改善後初始地形圖 4-37
圖 4-72、設施改善前洪峰流速圖 4-37
圖 4-73、設施改善後洪峰流速圖 4-37
圖 4-74、設施改善前底床變化圖 4-37
圖 4-75、設施改善後底床變化圖 4-37

第一章　前言

臺灣因地狹人稠，山區也逐漸成為開發對象，若未經過適當水土保持處理，則發生在山區之強降雨易使坡地逕流夾帶大量土砂。為防止坡面土砂下移，危害下游土地房屋及公共設施安全，故水土保持技術規範第 91 條規定：「山坡地開發利用，宜設置沉砂設施，以攔截或沉積土石，減少土砂下移。」惟現今沉砂設施於設計時僅著墨於容量是否足夠，未探討其沉砂效率；此外，由於開發面積受限，沉砂設施之設計難以效仿國外透過增加面積或長寬比的方式提高效率；與此同時，考慮到近年來推動降低工程碳排放量，需要綜合考量最適規模與資源最佳化規劃，以避免過度設計、減少非必要之土地利用及材料消耗。因此，如何使沉砂設施在有限空間內提高沉砂效率，是未來追求之目標。

目前有關沉砂深度之合宜性尚未定論，沉砂深度設計過小，則底床載有受水流沖刷而再捲揚之可能性，使其排放至下游渠道；沉砂深度設計過大則導致開發資源浪費。

結合以上所述，鑒於當前未有關於沉砂設施之詳細設計準則，且為達到達到資源最佳化利用之目標，因此在沉砂設施設計方式與沉砂效率兩者間關係有探討之必要性。本研究將利用囚砂率估算公式以及水理模式，分析臺灣現有沉砂設施沉砂效率，輔以配置探討其對沉砂效率之影響，並對效率不彰之沉砂設施提出配置改善建議；同時透過水理模式驗證成效，並從中探討效率與深度之關係，以供未來設計沉砂設施時參考。

第二章　文獻回顧

影響沉砂效率之因素可概分為外在與內在兩種條件，外在條件如沉砂設施之入流量與泥砂顆粒特性，沉砂設施入流量在集水區與集水區劃設時，已根據其面積大小、周遭地勢及開發型態決定，並且與降雨量有關；另外，受母岩特性影響，且因不同地區之地文、水文條件影響土壤質地特性，使土壤抗沖蝕能力和粒徑分布形成差異。內在條件則受沉砂設施本身設計型態所影響，重要影響因子如：沉砂設施長寬比、沉砂深度、入出水口的配置與其他附屬設施，沉砂設施長寬比愈大的沉砂池，其流長愈長、泥砂在池內滯留時間愈久，則沉砂效率愈佳；沉砂深度設計過小，則底床淤砂有受水流沖刷而再捲揚之可能性；入出水口配置不良，距離過近則使流長縮短，降低沉砂效率；亦可採用其他附屬設施如擋板、絮凝劑等改善沉砂效率。本研究將以上影響沉砂設施效率之因素彙整於表 2-1。

本研究首先蒐集水土保持技術規範中關於沉砂設施設計規範之條文作為研究參考，接著蒐集有關前述影響沉砂效率之相關文獻研究，包含國內外沉砂設施設計原則、臺灣土壤特性、相關沉砂效率估算公式，以及沉砂設施配置對沉砂效率之影響等，分析影響沉砂效率之因子。最後利用數值模式進行沉砂效率分析，透過數值模擬沉砂設施內流況與泥砂沉降變化，探討深度對沉砂效率之影響。

表 2-1、影響沉砂設施沉砂效率之內外條件及說明

條件		說明
外在條件	沉砂設施入流量	依據集水區的面積大小與降雨量決定其入流量。
	土壤質地特性	母岩特性、地文、水文條件影響，使土壤有不同抗沖蝕能力及粒徑分布。
內在條件	沉砂設施長寬比	沉砂設施長寬比影響水流流長，長寬比愈大的沉砂池，其沉砂效率愈佳。
	沉砂深度	沉砂深度設計過小，則底床淤沙有受水流沖刷而再捲揚之可能性。
	入出水口配置	入出水口設置位置過近則流長縮短，降低沉砂效率。
	其它附屬設施	利用輔助措施，增加沉砂池之沉砂效率，如擋版、絮凝劑、旋流除砂等。

資料來源：本研究彙整

第一節　水土保持技術規範

水土保持技術規範第 2 條說明：「本規範之訂定目的，係為實施水土保持之處理與維護，建立其調查、規劃、設計、施工、監督、檢查、審查等技術準據，俾供從事水土資源保育、開發、經營或使用行為之依循。」水土保持技術規範於中華民國八十五年由行政院農業委員會頒布，歷經多次修正，為國人從事山坡地或森林區土地開發之重要依據。以下整理有關沉砂設施設計之條文，作為研究參考並指出規範未明確說明之處。

一、第 35 條 山坡地土壤流失量之估算

(一) 山坡地土壤流失量之估算得採用通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation USLE)，其公式如下：

Am=Rm×Km×L×S×C×P 式中，Am：土壤流失量(公噸／公頃／年)換算成體積以每立方公尺 1.4 公噸計之。

Rm：降雨沖蝕指數(百萬焦耳.公釐／公頃.小時.年)。

Km：土壤沖蝕指數(公噸.公頃.年／公頃.百萬焦耳.公釐)。

L ：坡長因子。

S ：坡度因子。

C ：覆蓋與管理因子。

P ：水土保持處理因子。

(二) 估算臺灣山坡地年土壤流失量，應使用臺灣各地區之參數值。

開挖整地土壤流失量推估，其覆蓋與管理因子不得小於0.05，水土保持處理因子不得小於 0.5。

二、第 92 條 泥砂生產量之估計

泥砂生產量之估算，採用通用土壤流失公式（Universal Soil Loss Equation USLE）估算之，並符合下列規定：

(一) 臨時性沉砂設施之泥砂生產量估算，依通用土壤流失公式估算值之二分之一。但其計算結果於開挖整地部分，每公頃不得小於二百五十立方公尺；未開挖整地或完成水土保持處理部分，每公頃不得小於三十立方公尺。

(二) 永久性沉砂設施之泥砂生產量估算，其計算結果於完成水土保持處理或未開挖整地部分，每公頃不得小於三十立方公尺。

三、第 93 條 沉砂池設計容量

沉砂設施容量以泥砂生產量計算。沉砂設施設計原則如下：

(一) 沉砂設施深度以一點五公尺至三點五公尺為宜。但沉砂與滯洪設施垂直共構，且其設計具合理性者，不在此限。

(二) 臨時性沉砂設施以就地取材（施作簡易、方便清除），永久性沉砂設施之池壁以穩定之材料構築。

(三) 臨時性沉砂設施容量應以泥砂生產量一點五倍計算。

(四) 為清除沉砂設施內淤砂泥砂之道路，應考慮以機械直接清除及搬運為原則，並防止洪水經由道路溢流。

永久性沉砂設施應隨時檢視其功能並至少每年清除一次，臨時性沉砂設施應於每次豪雨後立即清除。

四、小結

目前臺灣規定之沉砂設施容量以泥砂生產量計算，即設施容量等於估算之泥砂生產量，然而實際情況卻難以使水流中泥砂完全沉降，因此沉砂設施未必能完全攔蓄坡面生產之泥砂。現行水土保持技術規範未對沉砂效率制定相關標準，導致不良沉砂設施規劃與配置設計使沉砂設施效率不佳，無法有效發揮攔蓄土砂之功能。

就實務而言，若沉砂深度設計過小，則底床泥砂有受水流沖刷而再捲揚之可能性。由於臺灣地狹人稠，受限開發面積及土地利用最大化，多數之沉砂與滯洪設施以垂直共構之形式設計，若未定論合宜之沉砂深度，則沉砂設施無設計參照標準，難以確保沉砂效率之維持。

綜上所述，為使沉砂設施充分發揮攔蓄土砂之功能，使設計時有明確標準參照，本研究將探討沉砂深度與沉砂效率之關係，以研提沉砂深度之合宜性，供未來設計沉砂設施時參考。

第二節　沉砂設施設計型態

沉砂設施之型態差異主要為長寬比不同，世界各國為確保泥砂沉降效率，分別對沉砂設施之長寬比與深度訂出建議值，本研究列舉臺灣、美國與澳洲對沉砂設施之設計建議(表 2-2)。臺灣著重於入流溝渠與沉砂池之相對關係；美國及澳洲則規範最小長寬比。由於臺灣受限開發面積規模較小，難以效仿國外以規範池體長寬比方式提升沉砂效率。

表 2-2、各國對沉砂池之設計建議

地區	沉砂池之設計建議	
臺灣	資料來源：行政院農業部農村發展及水土保持署(2017)，水土保持手冊	
	長度與寬度	沉砂池寬度應為入流水寬 3 倍以上
	深度	沉砂池深度應為入流溝渠水深 2 倍以上
美國	資料來源：Alabama Soil and Water Conservation Committee (2018)	
	長度與寬度	沉砂池最小長寬比 2：1
	深度	沉砂深度應介於 1m~1.5m
澳洲	資料來源：International Erosion Control Association (2018)	
	長度與寬度	沉砂池最小長寬比 3：1
	深度	沉砂深度應介於 0.6m~2m

資料來源：本研究彙整

第三節　囚砂率估算公式

為表示沉砂設施之效率好壞，通常使用囚砂率表示沉砂設施之囚砂能力。一般將囚砂率η定義為沉砂設施中泥砂入出量之差與入流量之比值，亦可以下式表示之：

$$\eta = \frac{q_{si} - q_{so}}{q_{si}}$$

式中，q_{si}表示沉砂設施入流之泥砂流量，q_{so}表示沉砂設施出流之泥砂流量。然而泥砂流量不易得知，因此囚砂率η 常藉其他因子以各種公式估算。有關國內外有關囚砂率估算公式之研究統整於表 2-3：Hazen(1904)假設泥砂進入沉砂池後不受水流紊動及其他因素作用影響，定義泥砂在池內滯留時間與沉降時間之比為 Hazen 數(Hazen number)即代表囚砂率；Vetter(1940)假設沉砂池內紊流作用強，底床附近的泥砂濃度與沉砂池內平均濃度相等，得囚砂率與哈真數成指數關係之變化；Camp and Dobbins (1946)針對沉砂池中的紊流提出 Rouse 數(Rouse number)，表示泥砂在沉降與紊動之相對大小；Einstein(1968)藉由水槽試驗修正了淤砂經驗式；Sumer(1977)表示囚砂率高低主要受泥砂沉降速度影響，修正了囚砂率估算公式；Garde et al.(1990)認為即使細顆粒之泥砂在非常長的沉砂池中仍不容易沉降；陳樹群等(1995)提出沉砂池中迴流區對囚砂率的影響。

表 2-3、囚砂率估算公式統整

學者	公式
Hazen(1904)	$H_a = \frac{W_s L}{UH}$
Vetter(1940)	$\eta = 1 - \exp(-H_a)$
Camp and Dobbins (1946)	$\eta = F(\frac{W_s L}{UH}, \frac{W_s H^{\frac{1}{6}}}{nU\sqrt{g}}) = F(H_a, Rouse)$
Einstein(1968)	$q_{so} = q_{si}\exp(-1.005\frac{W_s L}{UH})$
Sumer(1977)	$ln(1-\eta) = -\frac{CU_* L}{15UH}$
Garde et al.(1990)	$\eta = \eta_0\left[1 - \exp(-K\frac{L}{H})\right]$
陳樹群等(1995)	$q_{so} = q_{si}\exp(-1.885\frac{W_s L}{UH})$
備註：H_a表示哈真數，L 表示流長，H 表示水深，U 表示流速，W_s表示沉降速度，C 表示常數，U_*表示剪力速度，K 為與W_s、U_*有關係數	

資料來源：本研究彙整

一、Hazen 數囚砂率估算公式

Hazen(1904)假設泥砂進入沉砂池後不受水流紊動及其他因素作用影響，定義泥砂在池內滯留時間(detention period) t_f與沉降時間(settling period) t_s之比值為 Hazen 數。若流長、水深、流速、泥砂沉降速度分別表示為 L、H、U、W_s，則滯留時間t_f可表示為 L/U；沉降時間t_s表示為 H/W_s：

$$t_f = \frac{L}{U}$$

$$t_s = \frac{H}{W_s}$$

$$H_a = \frac{t_f}{t_s} = \frac{W_s L}{UH}$$

當 Hazen 數大於或等於 1 時，因砂率視為 1，表示進入沉砂池中之泥砂可被完全沉降；若 Hazen 數小於 1 時，哈真數即代表因砂率。惟現實沉砂設施內流況不一定完全無紊流，因此容易使 Hazen 數高估因砂率，使估算結果失準。

二、Vetter 修正之因砂率估算公式

Vetter(1940)提出之因砂率估算公式如下：

$$q_{so} = q_{si}\exp\left(-\frac{W_s L}{UH}\right)$$

假設底床附近泥砂濃度與平均濃度相同，則：

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{W_s L}{UH}\right)$$

上式亦可使用 Hazen 數表達：

$$\eta = 1 - e^{-Ha}$$

Vetter 以較強的紊動作用為假設，而泥砂在此時不易沉降，故此式所估算之因砂率較小，使用此式估算因砂率較為保守。行政院農業部農村發展及水土保持署「水土保持手冊」即使用此式估算因砂率，故本研究亦使用此式估算。

第四節　沉砂池配置

Persson et al.(1999)根據沉砂池入出水口相對位置、長寬比以及擋板設置等，設計 13 種相同體積與深度但不同配置之沉砂池(表 2-4)。為了評估沉砂效率優劣，首先針對沉砂空間利用率進行評估。透過實驗計算有效沉砂空間$V_{effective}$與總沉砂空間V_{total}之體積，並以兩者之比值做為沉砂空間利用率 e：

$$e = \frac{V_{effective}}{V_{total}}$$

並透過實驗結果，計算水體平均滯留時間t_n與洪峰滯留時間t_p之差異比為N：

$$N = \frac{t_n}{t_n - t_p}$$

再定義水力效率(hydraulic efficiency)λ為e與N之函數，以空間利用率與滯留能力兩因子表示沉砂效率之優劣：

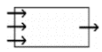
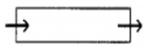
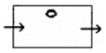
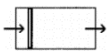
$$\lambda = e(1 - \frac{1}{N})$$

最後分別試驗 13 種沉砂池之沉砂空間利用率與滯留時間，使用此兩因子計算水力效率。依據結果分為高效率(>0.75)、普通效率(0.5~0.75)及低效率(<0.5)。

狹長之沉砂池(J 型)與交錯設置擋板之沉砂池(G 型)，透過加長泥砂在池內之移動距離使滯留時間增加，以達到較好的水力效率；入水口分散之沉砂池(E 型)使水體更廣泛流經設施內各區域，亦可達到好的水力效率；長寬比小於或等於 4:1 之沉砂池(A、B、C、D、H、I 型)屬於水力效率差類型，其中又以(C、H 型) 泥砂在池內之移動距離較短者水力效率最差，透過改變出入水口相對位置能略微改善水力效率；於入水口前設立混凝土構造物(P 型)可使水流撞擊該構造物，達到消能與影響流路之效果，若設置於池側(O 型)則失去消能效果，水力效率不如設置於入口高。

由此可知，具有相同長寬比的沉砂池，由於不同的配置將導致水力效率相當大的差異。因此本研究將參考上述水力效率較高之配置，做為改進現有沉砂設施設計之方向。

表 2-4、13 種不同配置之說明

類型	配置型態	水力效率	說明
A		0.30	長寬比等於 2:1，出入水口相對位置呈對角
B		0.26	長寬比等於 2:1，出入水口於矩形短邊中點
C		0.11	長寬比等於 2:1，出水口位於鄰邊中點
D		0.18	長寬比等於 2:1，出入水口於矩形短邊同側
E		0.76	長寬比等於 2:1，入水口分散
G		0.76	長寬比等於 2:1，池中增設擋板
H		0.11	長寬比等於 1:1，出入水口於矩形短邊中點
I		0.41	長寬比等於 4:1，出入水口於矩形短邊中點
J		0.90	長寬比等於 8:1，出入水口於矩形短邊中點
K		0.36	L 型沉砂池，長寬比約 3:1
O		0.26	池測設置一混凝土構造物以影響流路
P		0.61	設立於入水口前之混凝土構造物，使高速水流消能與影響流路
Q		0.59	池中設置橫向擋板，減緩流速

資料來源：Persson et al. (1999)

第五節　水理模式

水理模式依其維度可分為一維、二維及三維數值模式，各維度水理模式示意圖如圖 2-1 至圖 2-3 所示，不同維度水理模式所適用之模擬尺度與優勢皆有差異，須先瞭解模擬區位之渠道特性，方能選擇合適的維度進行模擬。一般而言，當分析對象之水流特性可用渠道斷面平均表示時，通常採用一維模式即可。若必須考量水流橫向之特性時，需採用二維模式。而垂直方向之水流特性也必須納入考量時，則需採用三維模式。由於三維紊流能量消散理論尚未完整，且需要精度更高之輸入資料，故目前渠道模擬之數值模式仍以一維、二維為主。

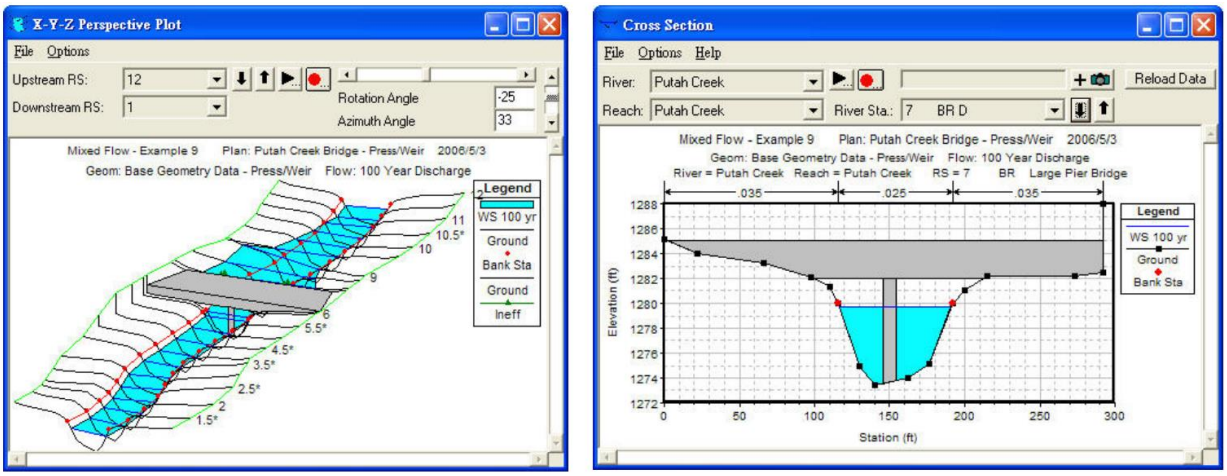


圖 2-1、一維水理模式示意圖

資料來源：HEC-RAS 模式簡介

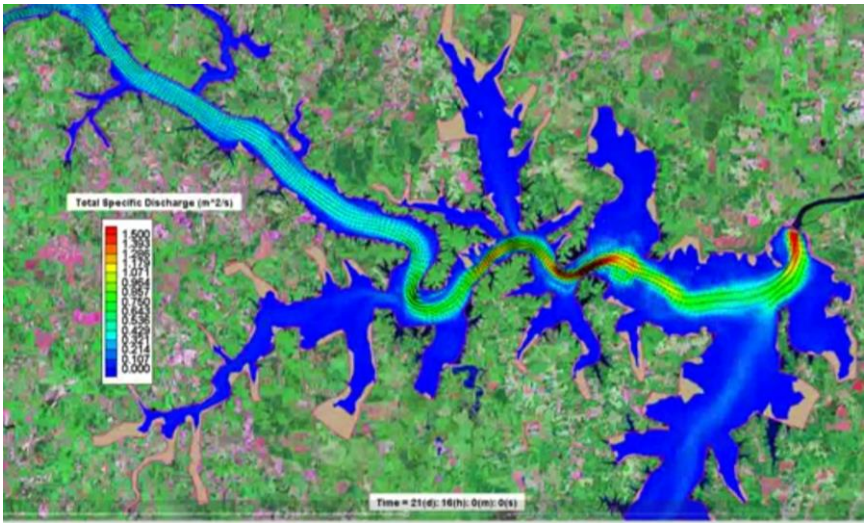


圖 2-2、二維水理模式示意圖

資料來源：CCHE2D-Flow 模式簡介

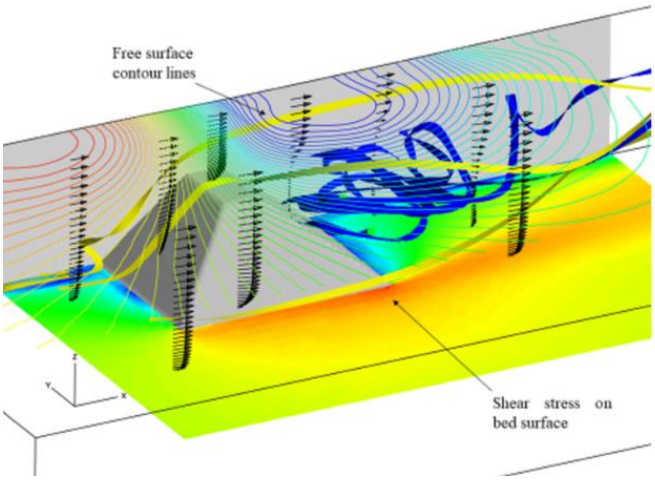


圖 2-3、三維水理模式示意圖

資料來源：CCHE3D-Flow 模式簡介

本研究所分析對象為沉砂滯洪池，池內流況受入出水口配置方式不同而有縱、橫向變化，僅用一維水理模式難以掌握其水理特性。且國內過往已有許多二維水理模式應用於工程或研究之案例，如：沈昱伸(2016)與吳奕汶(2022)，其研究結果均指出二維水理模式具有良好的預測成效，因此本研究採用二維水理模式進行研究分析。

一、沈昱伸(2016)

沈昱伸(2016)以實際案例作為研究對象，以 CCHE-2D 探討滯洪沉砂池在不同入出水口配置與長寬比尺寸對淤砂區位之影響，並指出入出水口距離愈近時容易形成噴射流而無法達到延遲洪峰時間之效果。

二、吳奕汶(2022)

吳奕汶(2022)利用 Wu et al.’s formula 之輸砂公式，分析入出水口不同配置及擋板數量多寡對泥砂沉降位置與效率之影響。該研究以 CCHE-2D 模擬不同入出水口配置與擋板數量對池內流況與囚砂率之變化，模擬結果如表 2-5、圖 2-4、圖 2-5 所示，透過增加擋板數量可有效提高流長與囚砂率，惟須注意擋板數量增加會使水流斷面積下降，使流速提高，若流速過快反而使泥砂不易沉降。

表 2-5、不同擋板數量模擬結果彙整

	主流長 (m)	平均流速 (m/s)	迴流區平均長度(m)	淤砂量體 (m^3)	囚砂率 η(%)
A2	9.48	0.053	0.89	2.074	79
A4	11.49	0.062	0.24	2.539	97

資料來源：吳奕汶(2022)

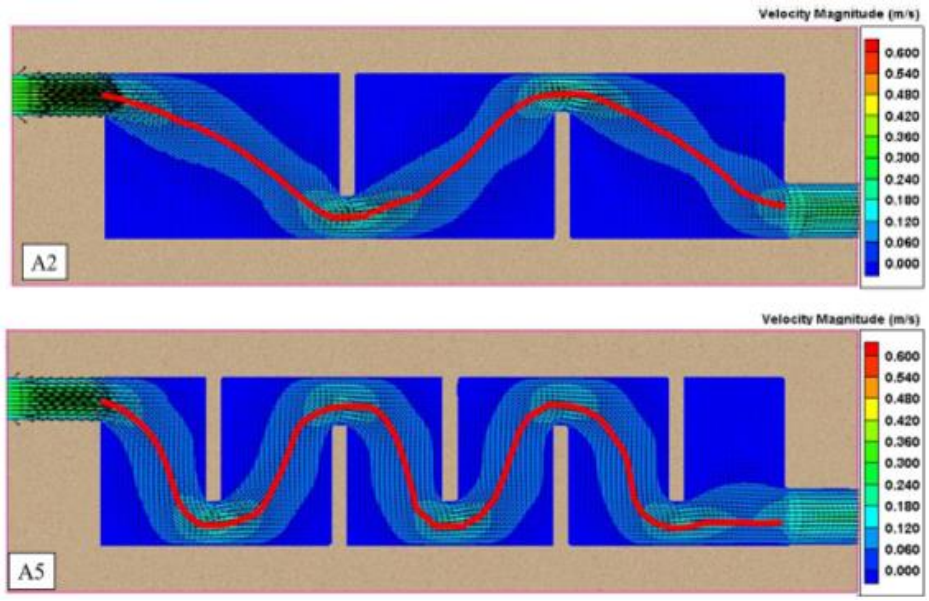


圖 2-4、不同擋板數量之主流線圖

資料來源：吳奕汶(2022)

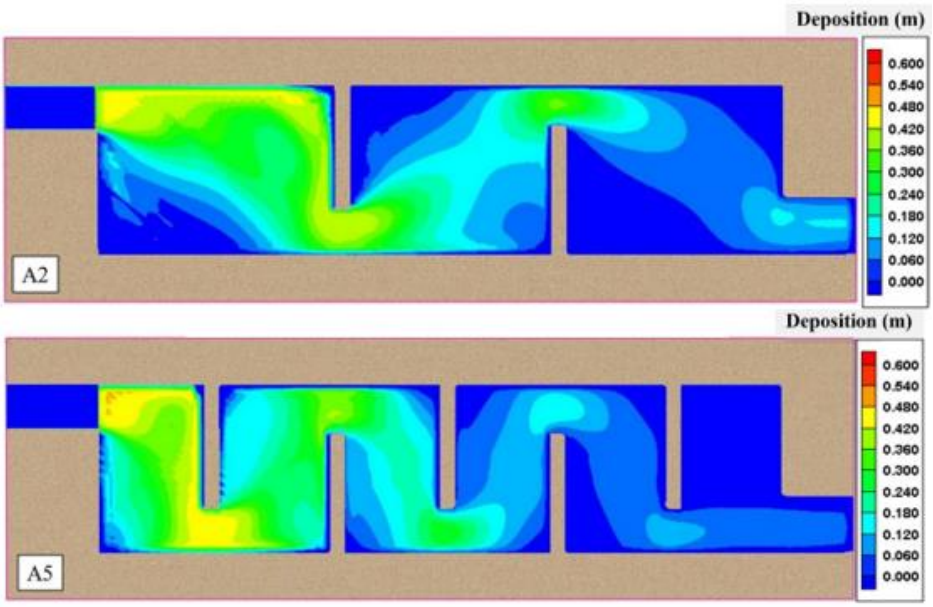


圖 2-5、不同擋板數量之淤砂分布圖

資料來源：吳奕汶(2022)

第三章　研究方法

第一節　研究流程

本研究流程可分為四個部分，首先使用行政院農業部農村發展及水土保持署「水土保持手冊」建議之囚砂率估算公式，蒐集已核定之中央公共工程水土保持計畫，分析其沉砂設施之囚砂率，並透過Persson et al.(1999)提出之13種配置類型，分類並統計臺灣現有沉砂設施之配置型態，並對囚砂率低之沉砂設施提出配置改善建議。另外，選定臺灣北、中、南、東四區，根據前項步驟分析結果，各選取五處不同配置之沉砂設施，採集其座落區位之土樣，分析其土壤粒徑，做為二維水理模式模擬之設定參數；再針對選定之沉砂設施，以二維水理模式模擬分析池內之流況與淤砂分布，並從中探討水流特性與沉砂池的幾何特性對囚砂率之影響。

最後針對效率低之沉砂設施，依據研究流程第一步提出之配置改善建議，透過水理模式以驗證成效。整體研究流程圖如圖 3-1 所示。

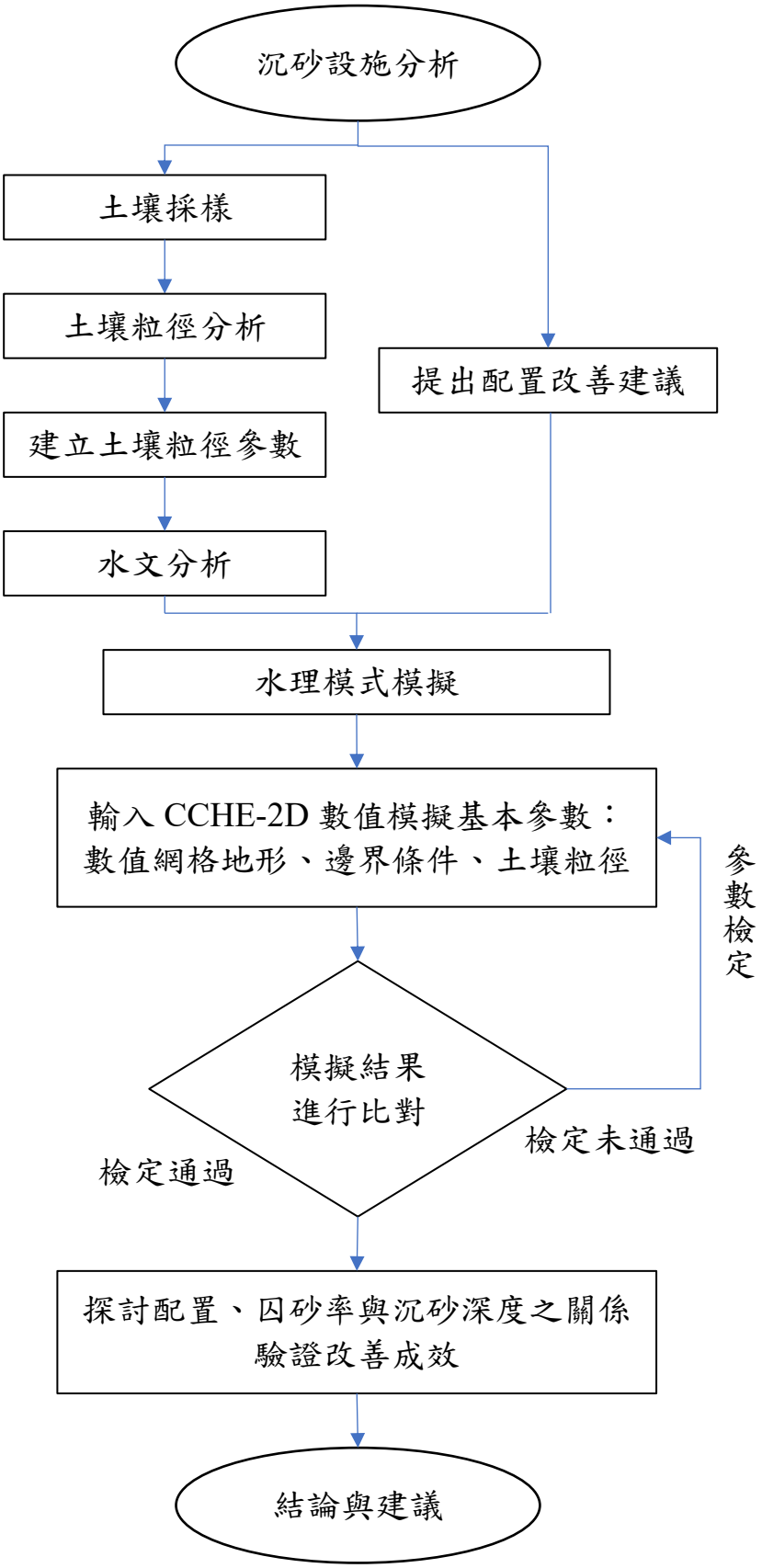


圖 3-1、研究流程圖

資料來源：本研究彙整

第二節　　因砂率與配置分析

為分析臺灣現有沉砂設施之因砂率，本研究使用行政院農業部農村發展及水土保持署山坡地管理資訊系統，蒐集民國 82 年至 111 年間已核定之中央公共工程共 146 件，其中部分資料缺漏之案件則聯絡設計單位取得文件並補遺，最後一共針對 125 件案件進行研究分析。另因部分案件於基地內設置多座沉砂設施，且沉砂設施具有多種形式，本研究僅針對以池體方式進行沉砂之設施進行分析，沉砂溝與沉砂井等設施量體較小，本研究在分析過程予以剔除，最終共針對 260 座沉砂設施進行分析作業。

因砂率分析方式使用行政院農業部農村發展及水土保持署編修之水土保持手冊之因砂率估算公式，式中所需因子如泥砂沉降速度 W_s、流速 U、流長 L、水深 H，於不同案件之水土保持計畫中設計資料取得，本節後續將進一步說明上述因子之取得方式；另外，透過 Persson et al.(1999)提出之 13 種配置類型，分類並統計前述 260 個沉砂設施之配置型態，依據分類結果歸納分析其水力效率。因砂率分析參數之取得：

一、泥砂沉降速度 W_s

沉砂設施中泥砂來源為座落區位內坡地逕流所夾帶之表層土砂，受母岩質地、礦物成分等特性影響，再加上不同地區之地文、水文條件不同，使臺灣各區域化育為不同類型之土壤。本研究根據水土保持計畫審核監督辦法，於水土保持計畫內容之 4-4 節，或其他有關計畫範圍內土壤資訊之章節，查詢該案件座落區位內之土壤類型，以做為計算泥砂沉降速度之依據。

美國農業部（United States Department of Agriculture USDA）透過粒徑大小將土壤顆粒分為砂粒、坋粒與黏粒，根據土壤中三

種顆粒之百分比，將所有土壤分為 12 種質地，可以透過土壤質地三角圖(圖 3-2)查詢土壤所含三種顆粒之含量。

沉降速度主要受土壤粒徑影響，本研究根據土壤質地三角圖中三種顆粒之粒徑區間，將其中間值作為代表粒徑：砂粒之粒徑範圍為 2mm~0.05mm；坋粒之粒徑範圍為 0.05mm~0.002mm；小於 0.002mm 之粒徑屬於黏粒。本研究將砂粒之粒徑範圍中間值 1.025mm 作為代表粒徑；坋粒之粒徑範圍中間值 0.026mm 作為代表粒徑；黏粒由於粒徑下限值不易得知，使其粒徑範圍之中間值無參考依據，因此以 0.002mm 作為代表粒徑。

本研究將沉砂設施所在區位之土壤類型，透過土壤質地三角圖查詢含量最高之顆粒，概分為以砂粒為主之砂質土、以坋粒為主之坋質土、以黏粒為主之黏質土，共三種類型的土壤，再利用其代表粒徑，透過 Van Rijn (1984)推估模式，計算其沉降速度 W_s(公尺/秒)。

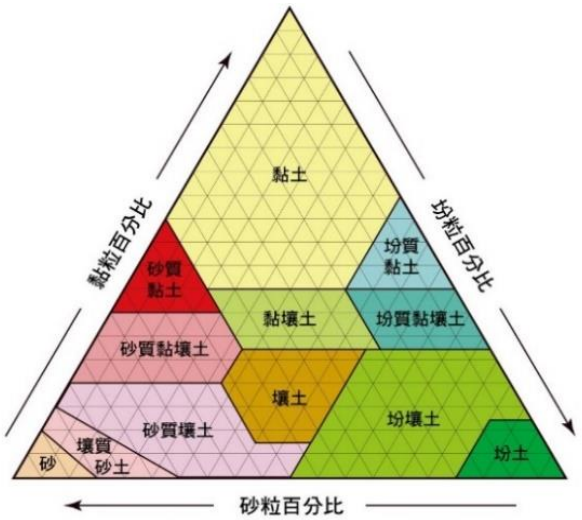


圖 3-2、土壤質地三角圖

資料來源：美國農業部（United States Department of Agriculture USDA）

$$W_s = 1.1\sqrt{(S-1)gD} \text{ for D > 1mm}$$

$$W_s = 10\frac{\nu}{D}\left(\sqrt{1+\frac{0.01(S-1)gD^3}{\nu^2}}-1\right) \text{ for 0.1mm < D < 1mm}$$

$$Ws = \frac{1}{18}\frac{(S-1)gD^2}{\nu} \text{ for D < 0.1mm}$$

式中，S 為泥沙比重(約 2.65)；D 為泥沙粒徑(m)；ν 為 20℃水溫之運動黏滯係數。各土壤類型之代表粒徑與沉降速度計算結果如表 3-1 所示。

表 3-1、不同土壤顆粒之沉降速度

主要土壤類型	砂質土	坋質土	黏質土
顆粒粒徑範圍(mm)	2~0.05	0.05~0.002	<0.002
代表粒徑(mm)	1.025	0.026	0.002
沉降速度(m/s)	1.4×10^{-1}	6.1×10^{-4}	3.6×10^{-6}

資料來源：本研究分析

二、流速 *U*、水深 *H*

沉砂設施內流速快慢影響泥砂在池內的停留時間，若流速過快則泥砂未完成沉降即被排放至下游，使因砂能力下降。本研究以沉砂設施出流量除以平均斷面積之方式，計算沉砂設施內流速。以圖 3-3 為例，非矩形設計之沉砂設施，由於斷面積非定值，因此於水流匯集處之斷面積作為A_1、沉砂設施末段之斷面積作為A_2，以兩者之面積之平均值作為計算依據，將出流量 Q 除以平均斷面積 A，以計算沉砂設施內流速。

沉砂設施設置之目的為減少土砂下移，防止下游地區衍生災害，為彰顯其防災功能，故假設降雨事件後滿水位進行分析。而沉砂設施是否與滯洪設施垂直共構，使水深計算方式有差異，因此就共構方式分為兩種類型討論。

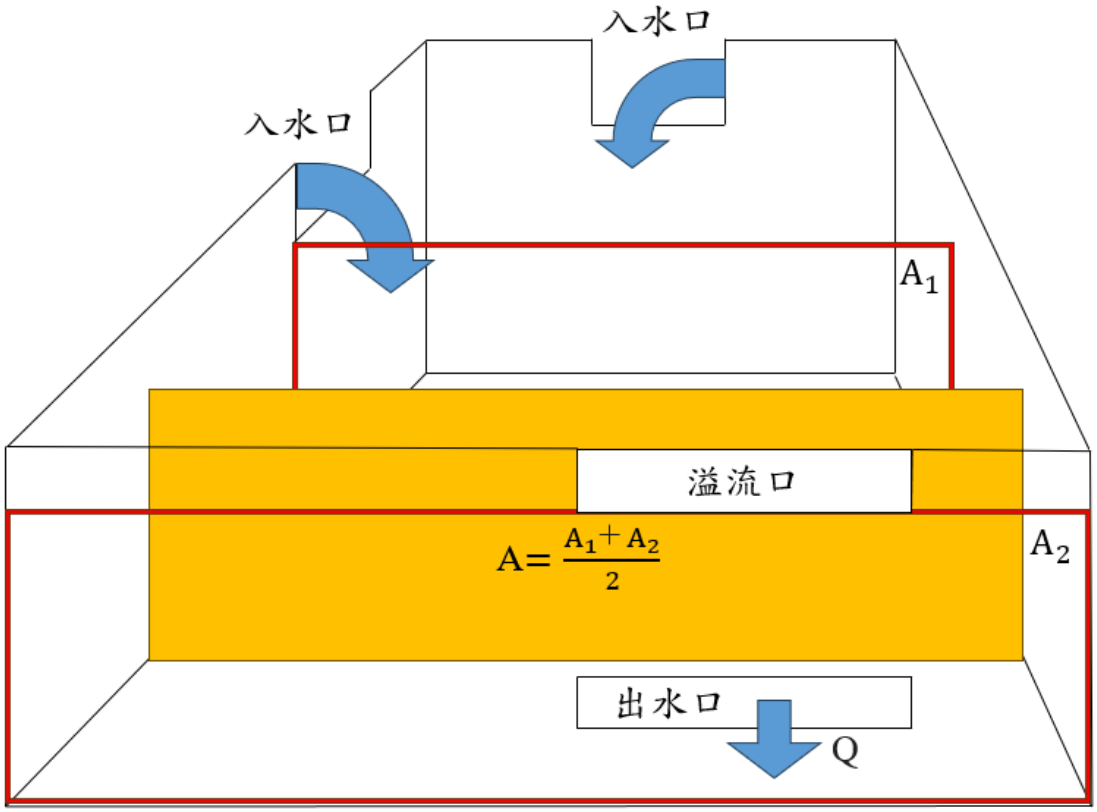


圖 3-3、沉砂設施斷面積計算方式示意圖

資料來源：本研究繪製

沉砂與滯洪設施垂直共構者，根據水土保持計畫審核監督辦法，於水土保持計畫內容之 6-3 節，或其他有關沉砂滯洪設施設計資訊之章節，查詢出流量資料。並參考沉砂設施設計圖，如圖 3-4 所示，斷面積位置選擇於所有入水口匯流處計算，水深計算方式為設計沉砂深度與滯洪深度之和。將出流量除以斷面積即可得該沉砂設施之流速。

非垂直共構之沉砂設施，根據水土保持計畫審核監督辦法，於水土保持計畫內容之 6-2 節，或其他有關沉砂設施設計資訊之章節，查詢連接該沉砂設施出水口之排水溝逕流量與設計通水深度。並參考沉砂設施設計圖，如圖 3-5 所示，斷面積位置選擇於所有入水口匯流處計算，水深計算方式為設計沉砂深度與排水溝設計通水深度。將出流量除以斷面積即可得該沉砂設施之流速。

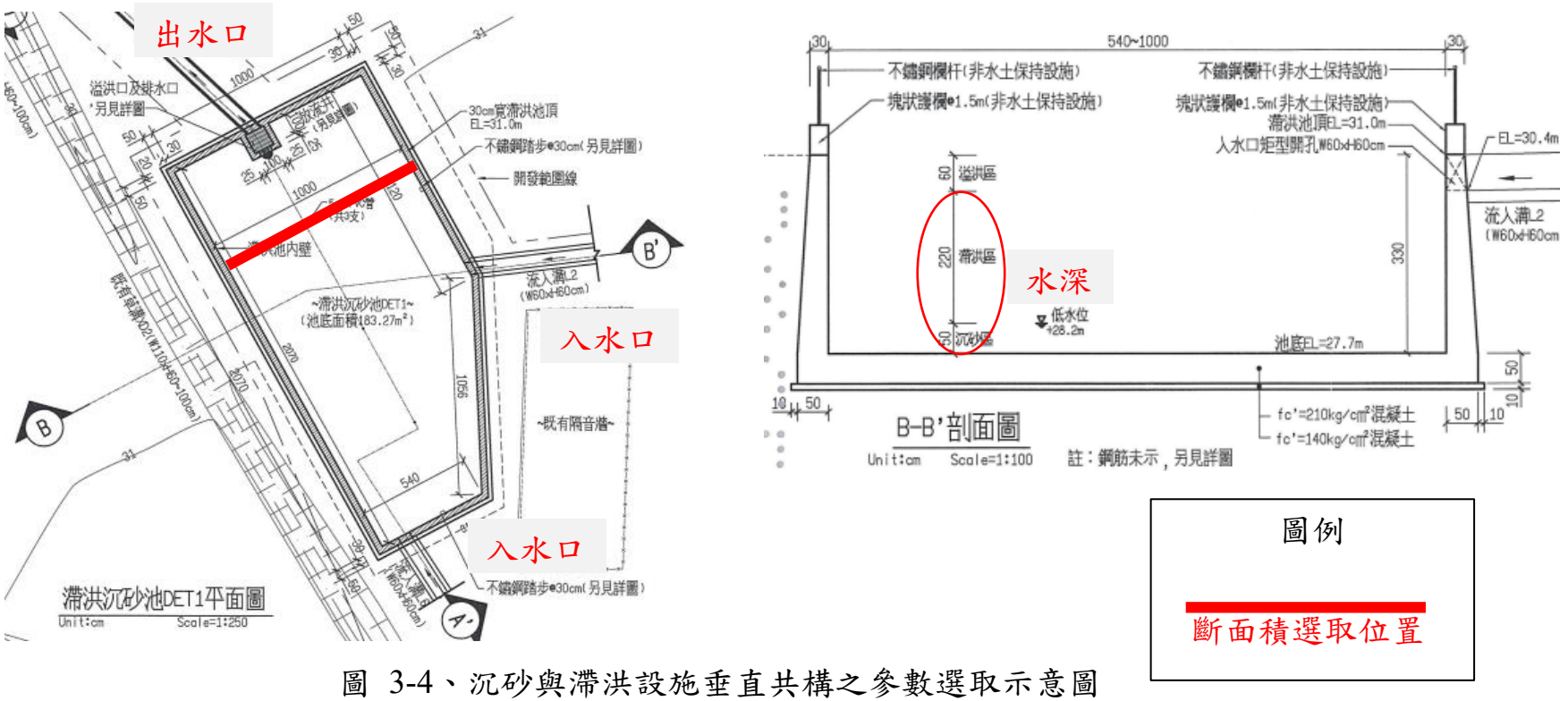


圖 3-4、沉砂與滯洪設施垂直共構之參數選取示意圖

資料來源：72 高地暨貓仔坑訓場地坪整建工程水土保持計畫書

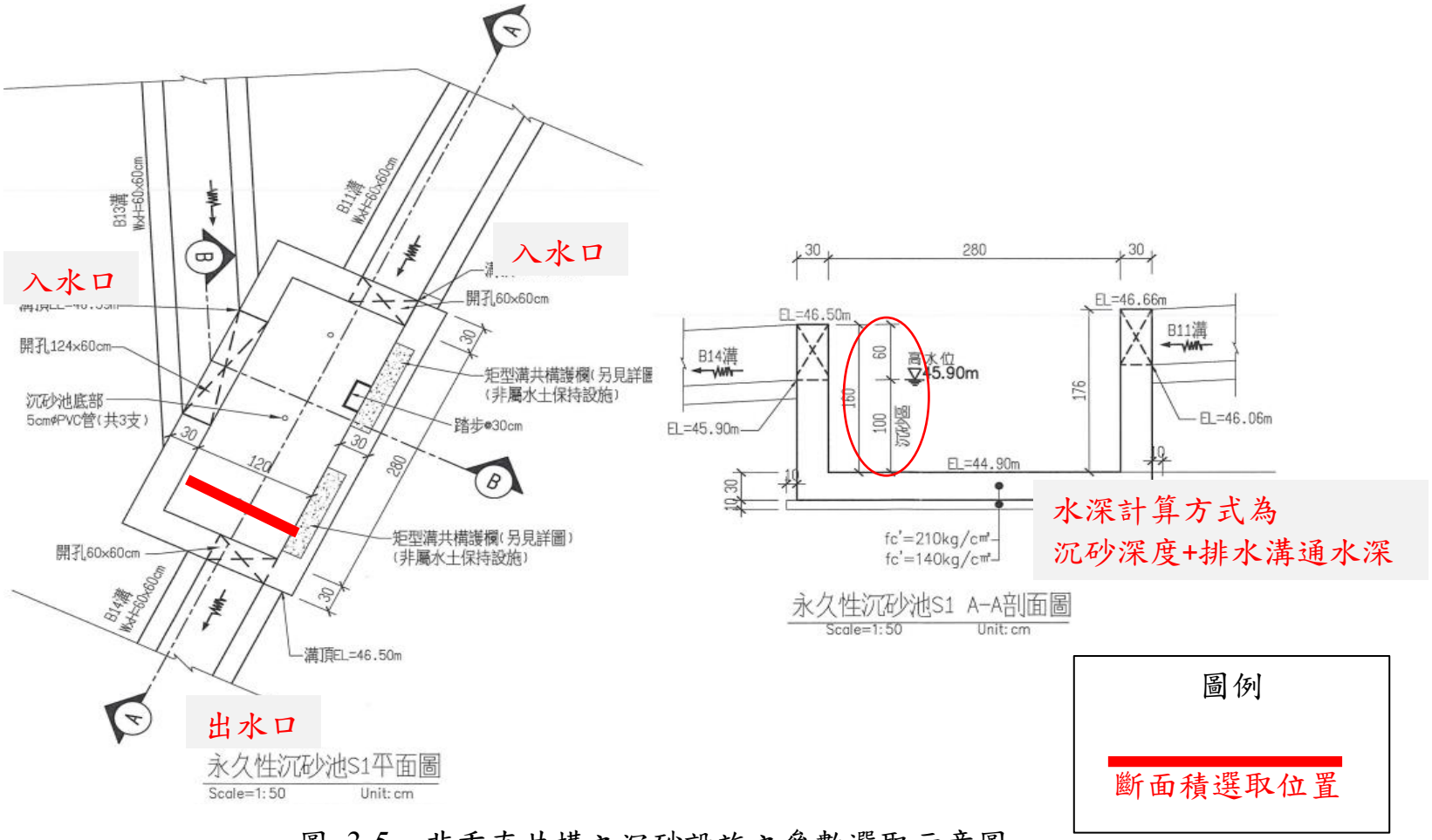


圖 3-5、非垂直共構之沉砂設施之參數選取示意圖

資料來源：72 高地暨貓仔坑訓場地坪整建工程水土保持計畫

三、流長 L

Hazen 數理論中，泥砂滯留時間為流長除以流速之結果，當此值愈大則表示泥砂滯留時間提升，因砂率愈高；且根據 Persson et al.(1999)提出之 13 種配置中，泥砂在沉砂設施內移動距離愈長者水力效率愈佳。因此若能設法提高流長，因砂率可有效提升。為保守估算，本研究選取沉砂設施內入出水口之最短距離進行因砂率分析，以圖 3-6 之沉砂設施為例，設施共設置 2 處入水口，其中位於左側之入水口距離下方出水口最近，因此以左側入水口中心點至出水口中心點距離作為流長 L 計算之參考值。

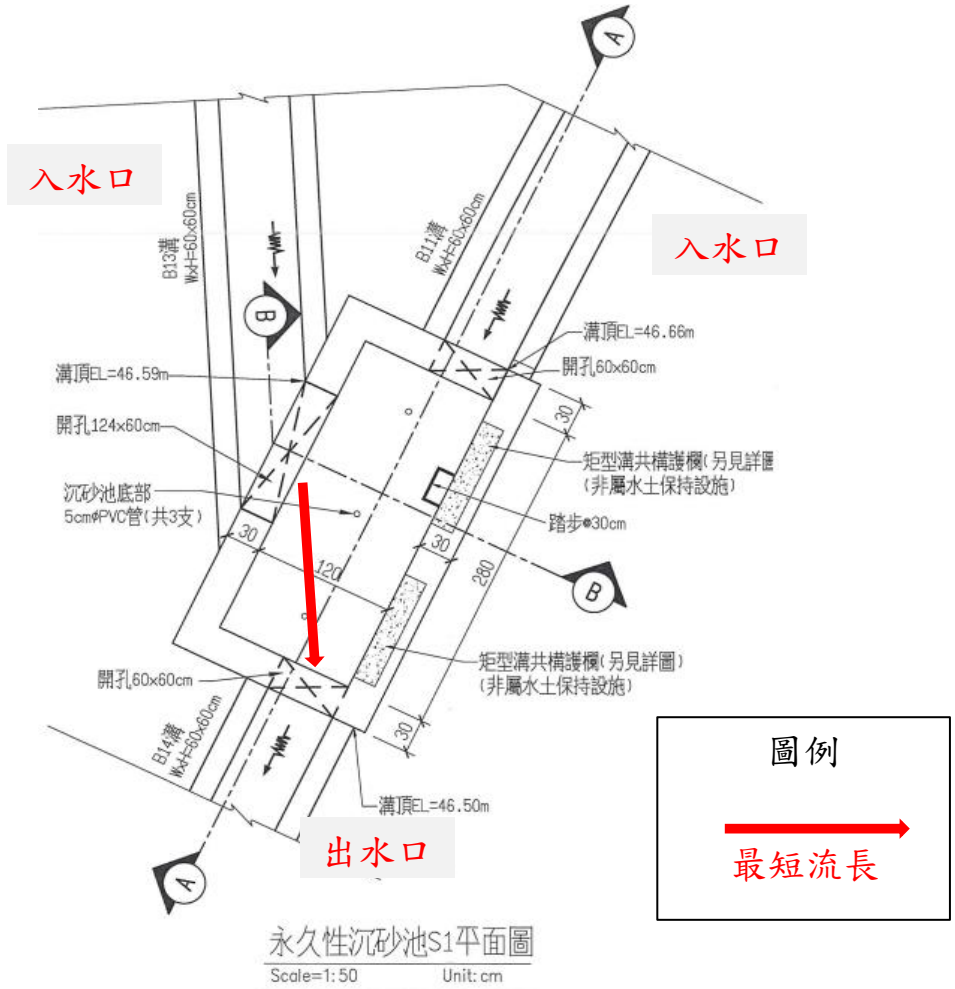


圖 3-6、流長計算之示意圖

資料來源：72 高地暨貓仔坑訓場地坪整建工程水土保持計畫

第三節　土壤採樣

一、分析對象篩選

將所分析之 260 座沉砂設施扣除軍事區後，於臺灣北、中、南、東四區各選定常見之 A 型、C 型、D 型、H 型配置以及本研究欲探討之 Q 型配置，共 5 種配置之沉砂設施進一步利用水理模式分析，以比較不同配置對囚砂率之影響，篩選結果如表 3-2 所示。茲因臺灣中、南兩區無符合篩選條件之 Q 型設施，故額外挑選一座 A 型、H 型配置，以比較同類型配置之沉砂設施於流況和效率上的差異。而臺灣東部可分析案件數量較少，經篩選過後僅 1 件案件符合條件，故以該案件之 G 型配置沉砂設施作為分析對象。

本研究透過現地採樣與查詢土壤資料兩種方式，以取得土壤粒徑參數 D_{50}，作為水理模式之土壤參數。針對石門水庫阿姆坪防淤隧道工程、楊梅市 I-9-15 都市計畫道路開闢工程、壽山國家自然公園環境教育紀行政服務園區整建工程、曾文南化聯通管統包工程 A1 標等 4 筆案件，進行該集水區的土樣採集；其餘案件則因計畫完工後，現場無代表之採樣點位，對應開發過程擾動坡面受逕流沖蝕流入沉砂設施之土壤類型，故以水土保持計畫內沉砂設施座落處之土壤類型，利用美國農業部土壤質地三角圖不同顆粒之粒徑區間，以中間值作為代表粒徑。

表 3-2、水理模式分析對象篩選結果

分區	計畫名稱	沉砂設施編號	配置類型	土壤參數
北	石門水庫阿姆坪防淤隧道工程	Det2	A	採樣
	北區老人之家養護中心新建及院區排水、電力改善及餐廳耐震補強		C	黏質土
	北區土石流防災應變及混凝土試驗辦公室新建工程)		D	坋質土
	國立海洋科技博物館海洋科學與科技建築新建工程南區	SB2	H	坋質土
	楊梅市 I-9-15 都市計畫道路開闢工程	B	Q	採樣
中	臺中市東山路縣道 129 線(D 標末至中興嶺段拓寬工程	P4	A	砂質土
	法務部矯正署臺中看守所汙水處理廠增擴建工程	E2	C	坋質土
	湖山水庫管理中心新建工程	TP2	D	坋質土
	臺中市東山路縣道 129 線(D 標末至中興嶺段拓寬工程)	P7	H	砂質土
	臺中市東山路縣道 129 線(D 標末至中興嶺段拓寬工程)	P8	H	砂質土
南	壽山國家自然公園環境教育紀行政服務園區整建工程	DA1	A	採樣
	曾文南化聯通管統包工程 A1 標	II	A	採樣
	壽山國家自然公園環境教育紀行政服務園區整建工程	DA2	C	採樣
	曾文水庫越域引水工程計畫－隧道工程	C2-RS-01	D	坋質土
	曾文南化聯通管統包工程 A1 標	DA	H	採樣
東	池南森林遊樂區入口停車場工程		G	坋質土

資料來源：本研究篩選結果

二、土壤採樣方法

為取得土壤粒徑參數以做為水理模式模擬之依據，本研究根據前節配置分析結果，於臺灣北、中、南、東四區各篩選五種不同配置之沉砂設施，以比較不同配置對囚砂率之影響。本研究土壤採樣方式參照行政院環境保護署公告之土壤採樣方法(NIEA S102.64B)為技術指引。

(一) 採樣器具

1. 採樣鏟(Hand-held shovel)

如圖 3-7，常用不銹鋼材質製品，或其表面具有塑膠、鐵氟龍塗佈者。先移除地表覆蓋物（如石礫、植被），再使用採樣鏟挖取表土以採集土樣。此器具對土壤擾動程度較大，且採樣位置與深度較不精確。

2. 土鑽採樣組

如圖 3-8，一般包含轉動把手、連接桿、採樣頭（或採樣管)三部分，根據採樣土壤性質不同使用各型採樣管。如以旋轉方式採樣，所得為受擾動之土壤樣品；如直接以壓力迫使土壤移入中空採樣管中，則可得較不擾動之土壤樣品。此器具可精確掌握採樣位置與深度。

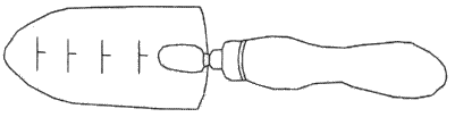


圖 3-7、採樣鏟



圖 3-8、土鑽採樣組

資料來源：行政院環境保護署

(二) 採樣執行流程

依據現場範圍、地形地物，決定採樣點分布後進行現場標示。

選擇適當採樣器具、樣品容器、包裝用品及標示標籤，並備妥足夠之採樣器具或清洗設施。

於擬採樣點上，以適當採樣器具採取。採集表土時，需先清除地表大塊石礫、植被，再採取表層土樣；採集剖面土樣時，可以鑽探設備鑽入預定採樣之深度後採樣。

依地質特性選擇適用之採樣器具（參考採樣器具之使用）進行採樣。觀察並記錄土壤樣品的物理特性。

進行採樣器具之除污作業，除污是為減少土壤樣品間的接觸與相互參雜的可能，在採樣前、後，依照需求標準，徹底清洗採樣系統各部零件。與樣品接觸的土鑽採樣元件使用後須更換或清理乾淨，方能重複使用。

(三) 採樣品處理

1. 裝填樣品至樣品容器時，目視以手剔除石礫、樹枝等雜物後，儘可能將樣品容器內需儘量充滿樣品，不做其他會擾動樣品的處理，並將其密封以防洩漏。
2. 於樣品容器外加貼標籤及封條，以利保存與辨識作業。

三、粒徑分析方法

透過土壤粒徑分析，可求得土壤粒徑分佈曲線，除可用於分類土壤以外，尚可用來處理入滲、水理分析、挖填土方及構造物設計等工程問題。本研究將各地區採集之土樣透過粒徑分析試驗，求得土壤之粒徑分佈曲線，以作為後續數值模式參數之依據。分析流程如下：

(一) 篩分析

1. 將採集土樣置入烘箱烘乾 24 小時
2. 採用美國標準篩號#4、#10、#20、#40、#60、#100、#140、#200、底盤進行室內篩分析。
3. 組合所有空篩，將樣本倒入最上方之#4 號篩，蓋好後置入搖篩機搖篩 20 分鐘。實驗過程詳圖 3-9。
4. 將停留於每個篩號之樣本分別取出，並以電子磅秤秤重與紀錄。



圖 3-9、篩組與搖篩機

資料來源：本研究實驗過程

(二) 比重計分析

1. 取 50gm 之烘乾土，加入 100ml 蒸餾水及 50ml 的 5% 偏磷酸鈉，並用超音波分散器分散 10 分鐘，若質地較細的土壤建議分散 15 分鐘以上。
2. 同時準備一對照組並以此水溶液練習比重計之放置與讀數，並且量取量筒(1000ml)之截面積(斷面 A')。
3. 將攪拌後之懸浮液洗入已量斷面 A'之量筒並加水至 1000ml，接著以手掌緊壓量筒口，上下翻轉使懸浮液均勻混合，翻轉時若有土粒黏於底部，則用力震動使之鬆動落下，需注意溶液不可逸出。

4. 迅速將量筒置於恆溫槽中，隨即小心放入比重計並記錄時間，於 1/2、1、2、5、15、30、60、120 及 1440 分鐘時讀取比重計之讀數。此時 2min 之前的比重計是放置懸浮液中，而 2min 之後則將比重計取出，於每一讀數之前 30 秒再將比重計放入懸浮液中，同時讀取對照組之讀數及水溫。
5. 比重計分析完後將懸浮液倒入#200(0.074mm)篩內以水沖洗至出水為清水為止，接著將留於篩內之顆粒洗入燒杯中，並使用 105℃之溫度烘乾稱重。
6. 最後將烘乾之土樣倒入篩組中進行篩分析，可利用刷子將附於篩孔上之顆粒清理乾淨。而篩前與篩後之乾土重差別不得大於 2%。

完成土壤比重計分析後，可透過下式計算出#200 篩以下之粒徑分佈情形，配合篩分析結果以計算完整累積粒徑分佈曲線，以作為作為後續數值模式參數之依據

$$D(\text{mm}) = \sqrt{\frac{30\eta}{\gamma_s - \gamma_w}}\sqrt{\frac{L}{t}} = k\sqrt{\frac{L(cm)}{t(min)}}$$

四、粒徑分析結果

透過粒徑分析實驗，取得土壤粒徑參數 D_{50}，作為水理模式之土壤參數。進行篩分析試驗時，若通過 200 號篩之重量大於總重量之 50%，則再搭配比重計分析使用。最後根據累積通過百分比與篩孔徑，利用內插法計算土壤粒徑 D_{50}。各案件粒徑分析結果如表 3-3 至表 3-7、圖 3-10 至圖 3-13 所示。

(一) 石門水庫阿姆坪防淤隧道工程

表 3-3、粒徑分析數據(一)

篩號	篩孔徑(mm)	重量(g)	占比(%)	累積通過百分比(%)
4	4.75	454	14.7	85.3
10	2	356	11.5	73.8
20	0.85	414	13.4	60.4
40	0.425	373	12.1	48.3
60	0.25	255	8.3	40.0
100	0.15	307	9.9	30.1
140	0.106	243	7.9	22.2
200	0.075	336	10.9	11.4
底盤	0	351	11.4	0.0
合計		3089	0	0

資料來源：本研究分析結果

經內插法計算後本區之土壤粒徑 D_{50} 為 0.469mm。

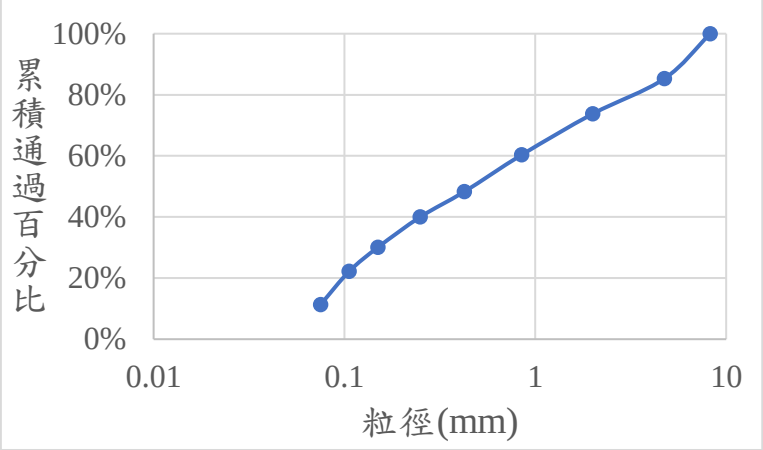


圖 3-10、粒徑分布累積頻率曲線(一)

資料來源：本研究分析結果

(二) 楊梅市 I-9-15 都市計畫道路開闢工程

表 3-4、粒徑分析數據(二)

篩號	篩孔徑(mm)	重量(g)	占比(%)	累積通過百分比(%)
4	4.75	326	22.3	77.7
10	2	214	14.6	63.1
20	0.85	158	10.8	52.3
40	0.425	139	9.5	42.8
60	0.25	101	6.9	35.9
100	0.15	116	7.9	28.0
140	0.106	95	6.5	21.5
200	0.075	128	8.7	12.8
底盤	0	187	12.8	0.0
合計		1464	0	0

資料來源：本研究分析結果

經計算後本區之土壤粒徑 D_{50} 為 0.717mm。

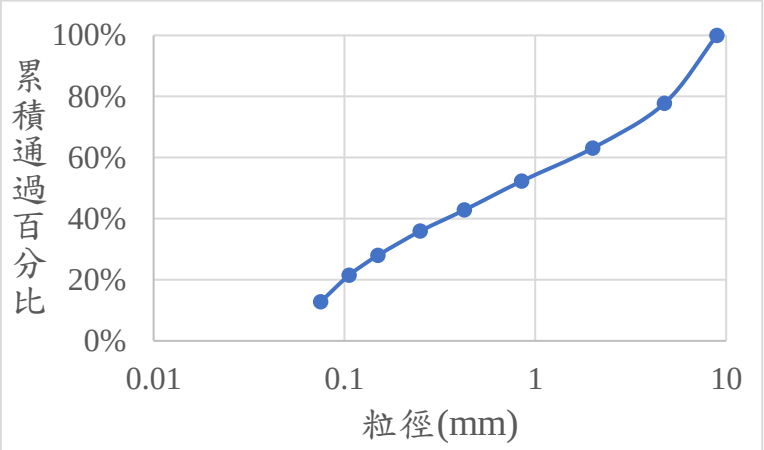


圖 3-11、粒徑分布累積頻率曲線(二)

資料來源：本研究分析結果

(三) 壽山國家自然公園環境教育紀行政服務園區整建工程

表 3-5、粒徑分析數據(三)

篩號	篩孔徑(mm)	重量(g)	占比(%)	累積通過百分比(%)
4	4.75	0	0.0	100.0
10	2	10	0.5	99.5
20	0.85	53	2.5	97.1
40	0.425	66	3.1	94.0
60	0.25	50	2.3	91.7
100	0.15	232	10.7	81.0
140	0.106	286	13.2	67.7
200	0.075	1264	58.5	9.3
底盤	0	200	9.3	0.0
合計		2161	0	0

資料來源：本研究分析結果

經計算後本區之土壤粒徑 D_{50} 為 0.095mm。

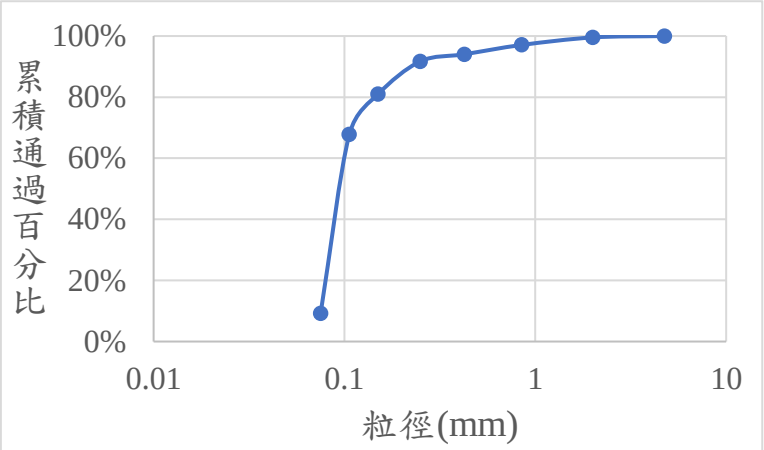


圖 3-12、粒徑分布累積頻率曲線(三)

資料來源：本研究分析結果

(四) 曾文南化聯通管統包工程 A1 標

表 3-6、粒徑分析數據(四)

篩號	篩孔徑(mm)	重量(g)	占比(%)	累積通過百分比(%)
4	4.75	142	2.8	97.2
10	2	97	1.9	95.3
20	0.85	248	4.9	90.4
40	0.425	913	18.0	72.3
60	0.25	1099	21.7	50.6
100	0.15	802	15.8	34.8
140	0.106	300	5.9	28.8
200	0.075	1098	21.7	7.1
底盤	0	361	7.1	0.0
合計		5060	0	0

資料來源：本研究分析結果

經計算後本區之土壤粒徑 D_{50} 為 0.245mm。

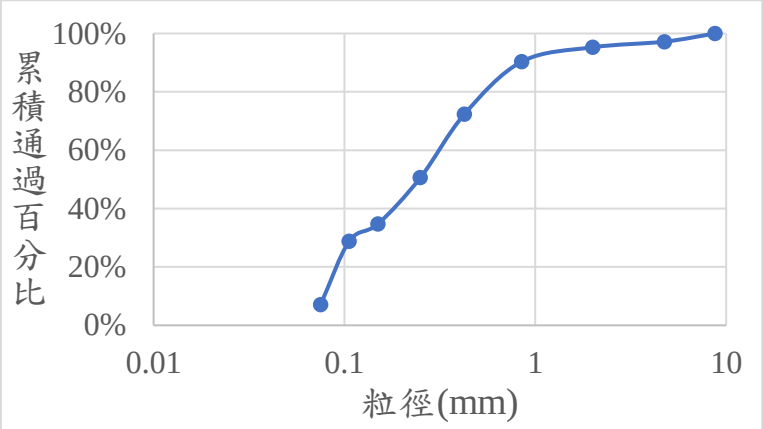


圖 3-13、粒徑分布累積頻率曲線(四)

資料來源：本研究分析結果

表 3-7、粒徑分析結果彙整

分區	計畫名稱	D_{50}(mm)	配置類型
北	石門水庫阿姆坪防淤隧道工程	0.469	A
	楊梅市 I-9-15 都市計畫道路開闢工程	0.717	Q
南	壽山國家自然公園環境教育紀行政服務園區整建工程	0.095	A、C
	曾文南化聯通管統包工程 A1 標	0.245	A、H

資料來源：本研究分析結果

第四節　水文分析

根據水土保持技術規範第十七條所述，當集水區面積在 1,000 公頃以內者，無實測資料時採用合理化公式計算洪峰流量，而當集水區面積大於 1,000 公頃或有實測資料時，應採用三角單位歷線為之。本研究所分析之案件中，於開發前、中、後已完成相關資料實測與調查，故本研究之水文分析將採用三角單位歷線法，有關資料將於各案件之水土保持計畫中查詢。

三角單位歷線法分析過程主要可分為雨量資料蒐集與分析及三角單位歷線計算兩部分，雨量資料蒐集與分析係蒐集各年之一日最大暴雨量資料，以頻率分析方式計算各重現期之一日最大暴雨量，再配合雨型分析結果推算各重現期 24 小時內每小時之降雨量；三角單位歷線法則是透過集水區地文資訊的蒐集，以美國水土保持局 SCS 所引進的無因次單位歷線計算方法求得集水區之三角單位歷線，最後將三角單位歷線乘以各小時之降雨量進行疊加，以獲得各重現期之逕流歷線，以上三角單位歷線法分析過程之流程圖如圖 3-17 所示，本節以石門水庫阿姆坪防淤隧道工程為例，於下茲就分析結果逐項說明之。

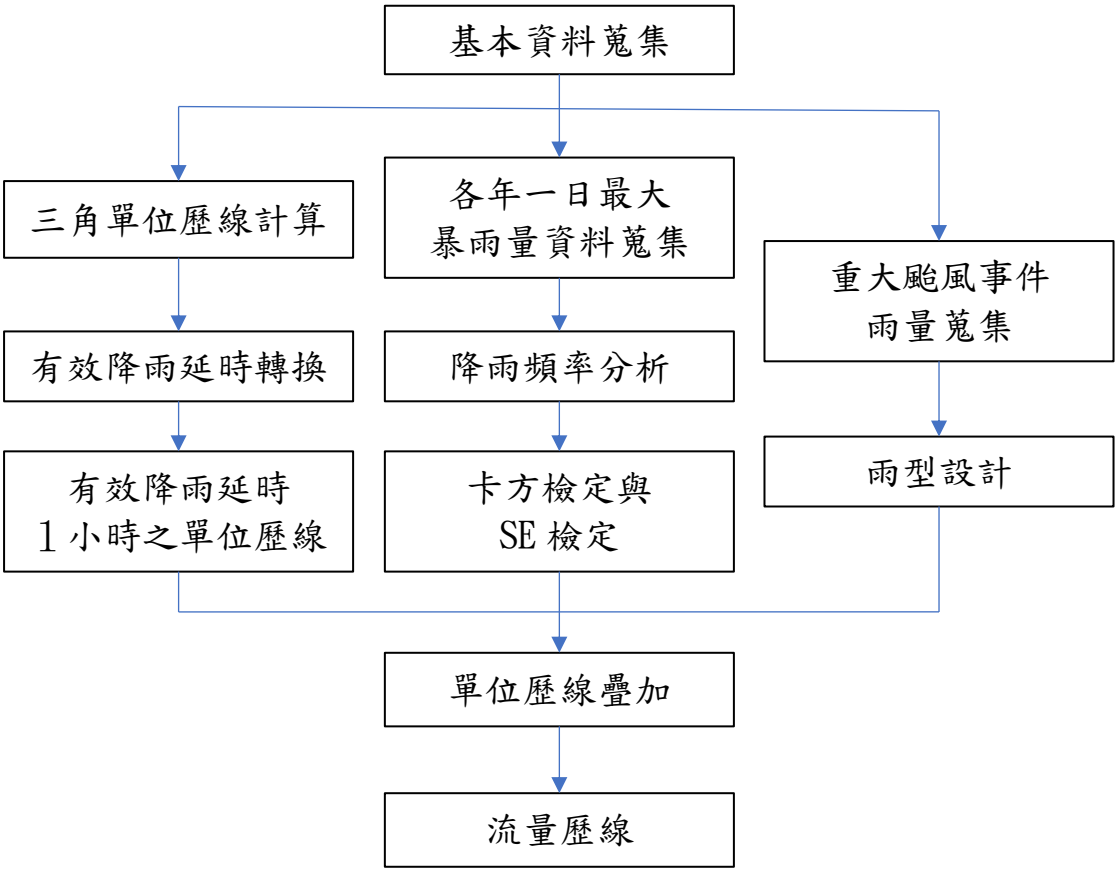


圖 3-14、三角單位歷線法分析流程圖

資料來源：本研究繪製

一、雨量資料蒐集與分析

在三角單位歷線法計算過程中，雨量資料的數量及正確性攸關分析結果之準確度。雨量站的選定採用各案件水土保持計畫中水文分析時採用之雨量站，其次透過氣象局觀測資料查詢系統，蒐集 2023 年前有紀錄之各年一日最大暴雨量資料，並將蒐集結果列於表 3-8，其雨量站資料總筆數共 15 筆，最高之一日最大暴雨量發生於 2012 年蘇拉颱風期間，於一日內造成 446.5 毫米之暴雨量。雨量資料彙總完成後，再以三參數對數常態分布、極端值一型分布 (EVI)、皮爾遜三型分布 (Person TYPE III)及對數皮爾遜第三類(Log Person TYPE III)分布法等四種方法進行頻率分析，以取得各重現期之一日最大降雨量，以下針對各頻率分析方法概要闡述。

表 3-8、歷年一日最大暴雨量資料表

年份	一日最大暴雨量
2008	374.5
2009	277
2010	155.5
2011	186.5
2012	446.5
2013	253.5
2014	116.5
2015	314.5
2016	360
2017	231
2018	88.5
2019	139
2020	126
2021	174
2022	160

資料來源：本研究資料蒐集結果

(一) 極端值一型分布(Extreme Value Type 1，EV1)

極端值是從資料中選取最大值或最小值的集合，由於極端值分布中的水文資料選自於原資料序列之極端值，故極端值分布將明顯地異於母體之機率分布。極端值第一型分布又稱為甘保氏分布（Gumbel distribution），在工程水文分析中，暴雨與洪峰流量常以極端值第一型分布近似之。極端值第一型分布之累積分布函數可以表示為:

$$F_{(x)} = P(X \leq x) = e^{-e^{-y}}$$

式中，$y = \alpha(x - \beta)$；$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}\sigma}$；$\beta = \mu - \frac{0.5772}{\alpha}$，，推導後可求得頻率因子$K_T$值，透過重現期距 T 之水文量$x_T$計算即獲得重現期距 T 之水文量。

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

$$x_T = \bar{x} + K_T s$$

式中，T 為重現期距；K_T重現期距 T 之頻率因子；$\bar{x}$為一日最大暴雨量平均值；s 為一日最大暴雨量標準差值。

(二) 皮爾遜三型分布(Pearson Type III Distribution，PT3)

皮爾遜第三型分布是一個較有彈性的分佈，隨著機率分布參數之變化，可以轉換成為不同的分布。皮爾遜第三型分布之機率密度函數可表示為：

$$f_{(x)} = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\beta)}(\frac{x-x_0}{\alpha})^{\beta-1}e^{(-\frac{x-x_0}{\alpha})}$$

式中，$\alpha = \frac{\sigma C_s}{2}$；$\beta = (\frac{2}{C_s})^2$；$x_0 = \mu - \alpha\beta$，至於該分布應用至水文樣本分析時，其所推求水文量$x_T$與頻率因子$K_T$之關係表示如下：

$$x_T = \bar{x} + K_T s$$

$$K_T = t + (t^2-1)\frac{C_s'}{6} + \frac{1}{3}(t^3-6t)\left(\frac{C_s'}{6}\right)^2 - (t^2-1)\left(\frac{C_s'}{6}\right)^3 + t\left(\frac{C_s'}{6}\right)^4 + \frac{1}{3}\left(\frac{C_s'}{6}\right)^5$$

式中，$\alpha = \frac{\sigma C_s}{2}$；$\beta = (\frac{2}{C_s})^2$；$x_0 = \mu - \alpha\beta$，至於該分布應用至

其中，C_s',為修正後之偏態係數，而標準常態值 t 可由下式求得：

$$t \approx W - \frac{C_0+C_1W+C_2W^2}{1+d_0W+d_1W^2+d_2W^3} \text{ for } (0 < P \leq 0.5)$$

$$t \approx -\left(W - \frac{C_0+C_1W+C_2W^2}{1+d_0W+d_1W^2+d_2W^3}\right), \text{for } (P > 0.5)$$

其中 P 為超越機率，C_0="2.515517"；C_1="0.802853"；C_2="0.010328"；$d_0 = 1.432788$；$d_1 = 1.189269$；$d_2 = 0.001308$。

$$W = \sqrt{\ln(\frac{1}{P^2})}，(0 < P \leq 0.5)$$

$$W=\sqrt{\ln[\frac{1}{(1-P)^2}]}\text{，}(P>0.5)$$

(三) 對數皮爾遜三型分布(Log-Pearson Type III Distribution，LPT3)

當水文紀錄資料的偏度很大時，可嘗試採對數轉換以降低偏度，此時之分布稱作對數皮爾遜第三型分布。對數皮爾遜第三型分布之機率密度函數表示如下：

$$f_{(x)}=\frac{1}{|\alpha|\Gamma(\beta)x}(\frac{ln(x)-y_0}{\alpha})^{\beta-1}e^{(-\frac{ln(x)-y_0}{\alpha})}$$

式中，$\alpha=\frac{\sigma C_{sy}}{2}$；$\beta=(\frac{2}{C_{sy}})^2$；$y_0=\mu_y-\alpha\beta$，至於該分布應用至水文樣本分析時，其所推求水文量與頻率因子之關係表示如下：

$$y_T=\bar{y}+K_T s_y$$

$$K_T=t+(t^2-1)\frac{C_{sy'}}{6}+\frac{1}{3}(t^3-6t)\left(\frac{C_{sy'}}{6}\right)^2-(t^2-1)\left(\frac{C_{sy'}}{6}\right)^3+t\left(\frac{C_{sy'}}{6}\right)^4+\frac{1}{3}\left(\frac{C_{sy'}}{6}\right)^5$$

其中，t為標準常態值；$C_{sy'}$為樣本取對數後之修正後偏態係數；$\bar{y}$為樣本取對數後之平均值；s_y為樣本取對數後之標準偏差。

(四) 三參數對數常態分布(Three-Parameter Lognormal Distribution，LN3)

對數皮爾遜第三型分布之機率密度函數 f(x)(Probability density function，pdf)，定義如下：

$$f_{(x)}=\frac{1}{(x-a)\sigma_y\sqrt{2\pi}}e^{\frac{-[\ln(x-a)-\mu_y]^2}{2{\sigma_y}^2}}$$

其中，μ_y為$\ln(x-a)$之平均值；σ_y為$\ln(x-a)$之標準偏差，至於該分布應用至水文樣本分析時，其所推求水文量與頻率因子之關係表示如下：

$$x_T = \bar{x} + K_T \mathrm{s}$$

$$K_T = \frac{e^{[\ln(1+Z_2{}^2)]^{1/2}t - [\ln(1+Z_2{}^2)]/2} - 1}{Z_2}$$

式中，Z_2為$(x-a)$分布之變異係數，$Z_2 = \frac{1-w^{2/3}}{w^{1/3}}$；$w = \frac{[-r_1+(r_1{}^2+4)^{1/2}]}{2}$；$r_1 = \frac{e^{3s_y{}^2}-3e^{s_y{}^2}+2}{(e^{s_y{}^2}-1)^{3/2}}$；$s_y$為樣本取對數後之標準偏差；$t$為標準常態值。

本研究依據上述四種頻率分析方法，利用雨量站雨量資料進行不同重現期距之一日最大降雨量推估，由於四種頻率分析方法所計算之結果皆不相同，為挑選適用於該計畫區之頻率分析方法，本研究將參考經濟部水利署於 2001 年發行之水文設計應用手冊，根據其卡方檢定及 SE 檢定成果，選用 SE 值最低者作為後續分析使用之一日暴雨量，其計算結果如表 3-9 所示。

在各重現期一日暴雨量計算完成後，為瞭解一日暴雨量分佈於每小時之降雨百分比，參採水文設計應用手冊於各地區以簡單尺度不變性高斯馬可夫雨型(Simple Scaling Gauss-Markov, 簡稱 SSGM)分析結果，作為本研究雨型設計之依據，如表 3-10 所示。最後將設計雨型乘以各重現期之一日暴雨量，獲得各重現期每小時之設計暴雨量，以利與後續三角單位歷線分析結果進行疊加。

表 3-9、頻率分析結果表

最大降雨	頻率年	頻率分析結果			
		極端值一型	皮爾森三型	對數皮爾森三型	三參數對數常態
一日最大暴雨量	2	209.20	208.12	203.54	203.93
	5	304.23	306.79	305.14	297.67
	10	367.15	370.40	377.84	363.98
	20	427.50	429.67	451.18	430.30
	50	505.62	504.13	551.42	520.10
	100	564.16	558.54	630.70	590.49
	200	622.49	611.83	713.51	663.47
SE 值		24.51	23.78	22.49	28.72

資料來源：本研究分析結果

表 3-10、雨型設計結果

雨型計算表											
24小時雨量	蘇拉 2012/8/2		辛樂克 2008/9/13		梅姬 2016/9/27		蘇迪勒 2015/8/8		百分比總數(%)	百分比平均(%)	設計雨型(%)
時間(hr)	雨量(mm)	百分比(%)	雨量(mm)	百分比(%)	雨量(mm)	百分比(%)	雨量(mm)	百分比(%)			
1	66.5	14.89	44.5	11.85	45.5	12.64	53	16.85	56.24	14.06	0.38
2	54.5	12.21	40.5	10.79	41	11.39	38	12.08	46.46	11.62	0.54
3	51	11.42	38	10.12	34.5	9.58	34.5	10.97	42.10	10.52	0.75
4	46	10.30	30.5	8.12	33.5	9.31	31	9.86	37.59	9.40	1.21
5	45.5	10.19	29.5	7.86	30	8.33	27	8.59	34.96	8.74	1.69
6	37.5	8.40	20	5.33	24.5	6.81	26	8.27	28.80	7.20	2.29
7	33	7.39	19	5.06	20	5.56	22.5	7.15	25.16	6.29	3.36
8	17	3.81	16	4.26	19.5	5.42	21.5	6.84	20.32	5.08	4.59
9	16	3.58	15.5	4.13	16	4.44	19.5	6.20	18.36	4.59	6.29
10	13.5	3.02	14	3.73	15	4.17	12.5	3.97	14.89	3.72	8.74
11	11	2.46	12.5	3.33	15	4.17	11	3.50	13.46	3.36	10.52
12	10	2.24	11.5	3.06	11.5	3.19	7	2.23	10.72	2.68	14.06
13	7.5	1.68	10.5	2.80	10.5	2.92	5.5	1.75	9.14	2.29	11.62
14	7.5	1.68	10.5	2.80	10.5	2.92	3	0.95	8.35	2.09	9.40
15	5.5	1.23	10	2.66	8	2.22	2	0.64	6.75	1.69	7.20
16	4.5	1.01	8.5	2.26	7.5	2.08	0.5	0.16	5.51	1.38	5.08
17	3.5	0.78	8	2.13	7	1.94	0	0.00	4.86	1.21	3.72
18	3	0.67	7.5	2.00	4.5	1.25	0	0.00	3.92	0.98	2.68
19	2.5	0.56	6	1.60	3	0.83	0	0.00	2.99	0.75	2.09
20	2.5	0.56	5.5	1.46	2.5	0.69	0	0.00	2.72	0.68	1.38
21	2.5	0.56	5.5	1.46	0.5	0.14	0	0.00	2.16	0.54	0.98
22	2.5	0.56	4.5	1.20	0	0.00	0	0.00	1.76	0.44	0.68
23	2	0.45	4	1.07	0	0.00	0	0.00	1.51	0.38	0.44
24	1.5	0.34	3.5	0.93	0	0.00	0	0.00	1.27	0.32	0.32
合計	446.5	100	375.5	100	360	100	314.5	100	400	100	100

資料來源：本研究分析結果

二、三角單位歷線與洪峰流量分析

美國水土保持局(Soil Conservation Service, 1957)發展三角形無因次單位歷線，以推求無紀錄地區之降雨逕流關係，為使計算簡化，將歷線假設為三角形，以其簡單概念來分析水文歷線之特性，尤其便於海洋島嶼型小集水區之水文歷線分析，三角單位歷線示意圖如圖 3-15 所示，三角單位歷線之計算方式如以下公式說明。

$$Q_T = \frac{0.208 \cdot A \cdot R_e}{T_p}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6T_c$$

$$T_c = \frac{L}{W}\text{；W} = 72(\frac{H}{L})^{0.6}$$

$$T_b = T_p + T_r = 2.67T_p$$

式中，R_e為單位超滲雨量(mm)，本研究採用之滲漏損失為 10 mm；T_p為開始漲水至尖峰流量發生之時間(hr)；T_r為超滲雨量單位時間(hr)；Q_T為三角單位歷線之洪峰流量(cms)；T_c為集流時間(hr)；D為單位降雨時間(hr)；T_b為單位流量歷線基期(hr)；L為集水區主流長度(km)；H為集水區最高點至控制點高差(km)；W為洪水傳遞速度(km/hr)；A為集水區面積(km^2)。依集流時間(T_c)之大小，決定單位降雨時間(D)，即(a) $T_c \geqq$ 6hr，D＝1hr；(b)3hr＜T_c＜6 hr，D＝0.8hr；(c)1hr＜T_c＜3 hr，D＝0.4hr；(d) $T_c \leqq$ 1hr，D＝0.15hr。

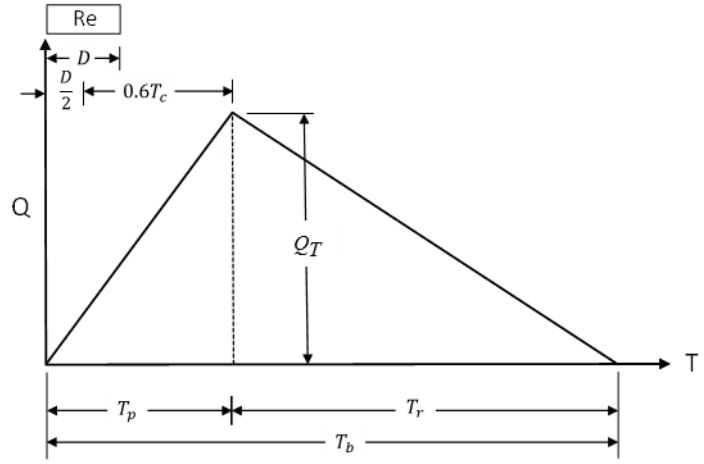


圖 3-15、三角單位歷線示意圖

為以上述公式計算出各沉砂設施集水區之三角單位歷線，本研究於該案件之水土保持計畫中，蒐集有關集水區之基本地文資料，包含:坡面長度、渠道長度、集水區面積及渠道高程差等，再經過上述公式逐一計算單位降雨時間、漲水段至洪峰之時間、單位歷線基期及三角單位歷線之洪峰流量等，最後將集水區之基本參數及計算成果列於表 3-11。而三角形單位歷線係為一公分有效降雨所產生之逕流歷線，並非集水區之流量歷線，須再經由三角單位歷線乘以每小時之有效降雨量進行疊加，方可獲得集水區內在各重現期雨量下之流量變動過程，故本研究根據前述各重現期降雨量及設計雨型分析結果，與集水區之三角單位歷線進行疊加作業，計算各重現期之洪峰流量列於表 3-12，作為後續水理模式分析之入流邊界條件。由於臺灣現有沉砂滯洪設施以 50 年重現期距為設計標準，故以 50 年重現期距之洪水作為後續水理模式分析之入流邊界條件依據(圖 3-16)。

表 3-11、集水區基本資料與三角單位歷線計算成果表

集水區基本資料	坡面長度 L_1	20 m
	坡面流速 V	0.45 m/sec
	坡面逕流時間 t_1	0.012 hr
	溪流長度 L_2	135 m
	溪流縱斷面高程差 H	3.7 m
	河道逕流時間 t_2	0.016 hr
	集流時間 t_c	0.029 hr
單位歷線計算成果	超滲降雨量R_e	10 mm
	單位降雨時間 D	0.01 hr
	漲水段至洪峰時間T_p	0.02 hr
	單位流量歷線基期 T_b	0.1 hr
	歷線洪峰流量 Q_T	0.4 cms

資料來源：本研究分析結果

表 3-12、各重現期距之洪峰流量

重現期距	洪峰流量(cms)
2	0.059
5	0.086
10	0.104
20	0.121
50	0.142
100	0.157
200	0.172

資料來源：本研究分析結果

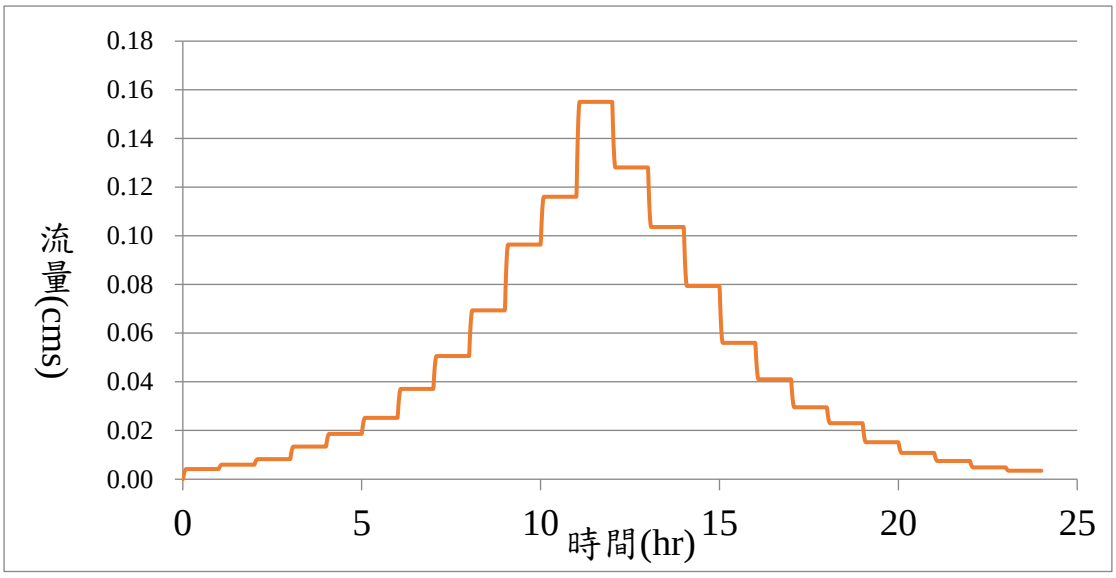


圖 3-16、50 年重現期之流量歷線

資料來源：本研究分析結果

第五節　水理模式

一、水理模式簡介

CCHE-2D 為美國水科學工程計算研究中心(National Center for Computational Hydroscience and Engineering, 簡稱 NCCHE)所發展之二維動床水理輸砂模式，適用於變量流(Usteady flow)及紊流(Turbulent flow)等情況。模式理論係以二維水深平均方式分析變量流與相關之泥砂輸送，能模擬複雜之變量流自由液面問題，其採用有效元素法（Efficient element method）或指數差分法（Exponential difference scheme）離散控制方程式，水理模組採用交錯格網方式求解連續方程式之水位，特別之速度校正法來求解系統方程式；變量流模擬採用隱式時間推進法求解，洪水變量流過程衍生之河道乾濕點問題處理採用移動邊界法；紊流模式部分，除了兩種零方程渦黏滯模式，還可選用 k-ε 紊流模式；懸浮載傳輸為求解對流傳輸方程式，推移載傳輸採用非平衡輸砂方程式，且考慮底床坡度與彎道二次流效應。

二、使用方法

本研究將透過前節選定土壤採樣之沉砂設施，透過土壤特性分析結果，於水理模式輸入相關參數，模擬池內流況與淤砂分布，並從中探討沉砂深度與囚砂率之關係。針對囚砂率不佳之沉砂設施，則參考 Persson et al.(1999)提出之水力效率較佳之沉砂池配置，提出改善方案並模擬其囚砂率改善結果。

(一) 水理模式參數設定

CCHE-2D 模式所需輸入之基本資料包含：數值地形模型資料、邊界條件資料、泥砂資料等，模式計算模擬流程如圖 3-17。

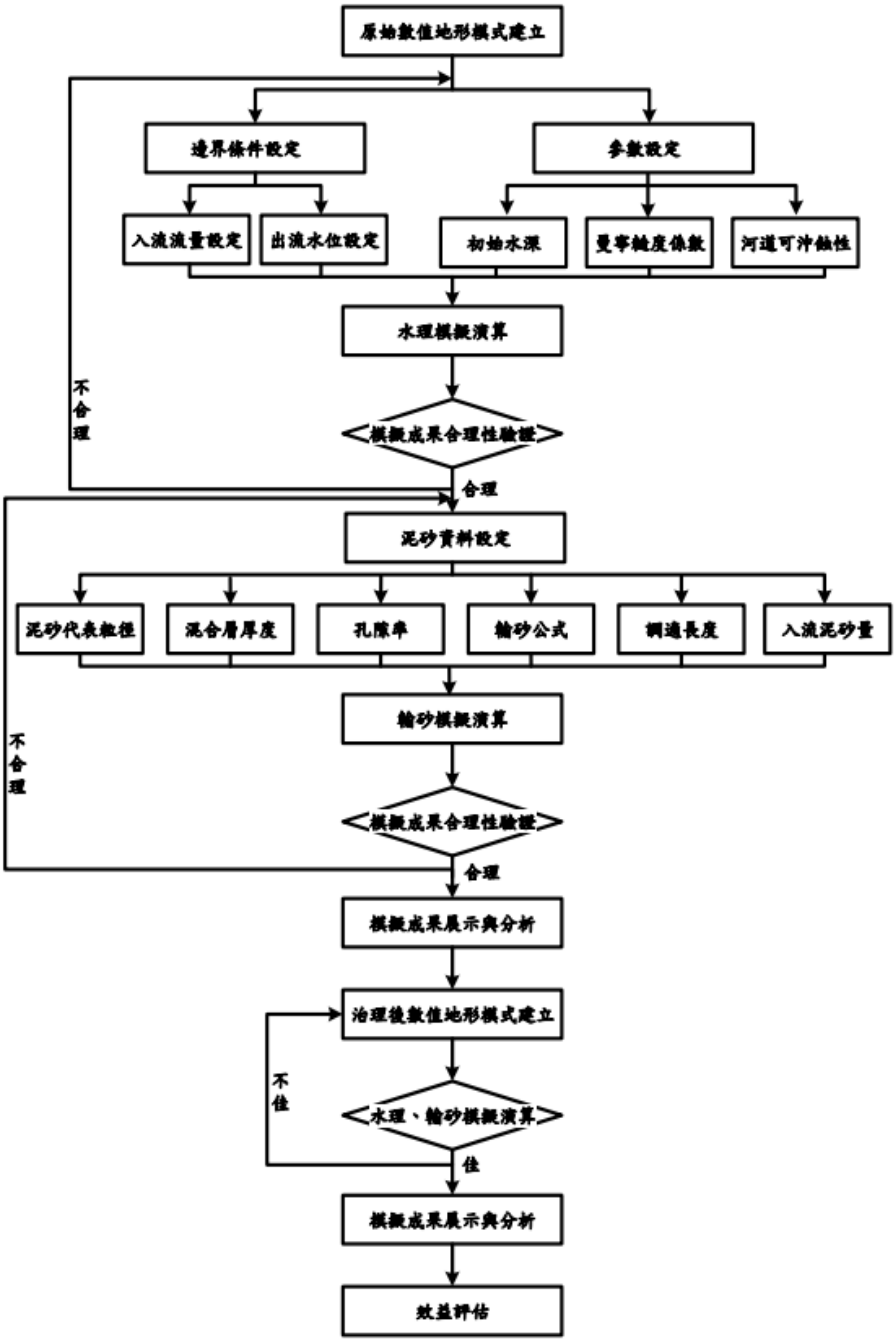


圖 3-17、水理模式分析流程圖

資料來源：CCHE-2D 模式軟體操作手冊(2017)

1. 網格及地形建置

透過水土保持計畫內容中沉砂設施設計圖，取得沉砂設施之尺寸、配置等資訊，以建置數值格網。設有多處入水口之沉砂設施，為探討不良配置對流況之影響，故本研究針對入出水口之最短距離者進行模擬。

2. 泥砂粒徑

透過土壤採樣與分析後，可得知各沉砂設施座落區位內粒徑分布，本研究以粒徑分佈中間值D_{50}作為代表粒徑。

3. 底床粗糙度

曼寧粗糙係數 n 值受諸多因素之影響而有所改變，如表面粗糙度、植生狀態、河槽不規則程度、河川大小及形狀、沖淤、障礙物、河川水位及流量、季節變化及懸移載與河床載影響。因沉砂設施皆有進行內面工處理，因此可參考水土保持手冊之糙度係數表給定，如表 3-13 所示

表 3-13、內面工處理之曼寧粗糙係數 n 值選定參考表

溝內物質	n 值範圍	平均值
漿砌石	0.012-0.017	0.014
乾砌石	0.017-0.030	0.025
有規則土底兩岸砌石	0.025-0.035	0.033
不規則土底兩岸砌石	-	0.025
純水泥砂漿平滑者	0.010-0.014	0.012
礫石底兩岸混凝土	0.015-0.025	0.020

資料來源：水土保持手冊之糙度係數表

4. 混合層厚度

為了考慮河床質粒徑垂向分層之變化關係，在不可沖刷層上方之河床質通常會區分數層土層進行計算，最上層通常為懸浮載、推移載與河床質之交換區域，該層即可稱為混合層。混合層厚度與輸砂變化之時間尺度有關，對於較小時間尺度問題來說，如泥砂顆粒於沖刷坑之淘起沖刷過程，混合層厚度與泥砂粒徑大小有關，且相對較為敏感；對於較大時間尺度問題來說，如床形波長之形成過程，混合層厚度可為床形高度之尺度。本模式混合層厚度設置以手冊上建議值為兩倍之 D_{50}。

5. 調適長度

為河床上游非平衡至平衡輸砂過程之特徵長度，但調適長度並非為移動之絕對距離。調適長度通常與現地之推移載輸砂過程相關，調適長度之尺度大小取決於泥砂輸送過程至落淤形成床形（bed forms）之距離。本研究將根據不同沉砂設施採用不同距離，使沖淤變化情形與實際相符。

6. 輸砂公式

吳奕汶(2022)模擬不同配置對淤砂位置與囚砂率時，利用 Wu et al.’s formula 之輸砂公式有較符合典型沉砂池淤砂特性，因此本研究採用此輸砂公式。

7. 入流邊界條件

利用集水區內氣象站資料，經過水文分析後可得知各重現其之洪峰流量，由於臺灣現有沉砂滯洪設施以 50 年重現期距為設計標準，故採用 50 年重現期距之洪水作為入流邊界條件以模擬變量流。

8. 泥砂入流條件

入流邊界條件所需之泥砂入流歷線，根據水土保持技術規範建議以 Schoklitsch(1950)公式推移載運移量進行推估。估算方式乃將流量歷線除以入流邊界處之河寬，轉換為平均單寬流量歷線後代入 Schoklitsch(1950)公式中，可順利推得單位河寬之泥砂入流量。Schoklitsch(1950)推移載公式表示方式如下：

$$q_s = \frac{2500}{\gamma_s} {S_r}^{3/2} (q - q_d)$$

$$q_d = 0.26(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma})^{5/3} \frac{D^{3/2}}{{S_r}^{7/6}}$$

式中q_s＝單位河寬底床載運移量(kg/sec/m)；q_d＝單位河寬之底床載啟動流量(cms/m) ；q＝單位河寬流量(cms/m) ；γ_s＝泥砂單位重(N/m3) ；γ＝水單位重(N/m3) ；S_r＝河床平均坡降(%)；D＝底床載之粒徑(m)，以D_{50}為代表粒徑。

9. 出流邊界條件

出流條件之設定，由於沉砂設施之下游屬自由開放之出流型態，因此將下游出流水位邊界條件設置為自由出流邊界條件(Open Boundary Condition)。

第四章　結果分析與討論

本研究使用行政院農業部農村發展及水土保持署山坡地管理資訊系統進行資料收集，針對 260 沉砂設施進行分析作業。影響囚砂率之參數包括：泥砂沉降速度、流速、流長、水深以及沉砂設施配置型態等，針對不同參數對囚砂率影響之分析結果說明如下。

第一節　囚砂率公式估算結果

本研究依據前述 260 座沉砂設施所在區位之土壤資訊，並參考圖 3-2 之土壤分類標準，根據土壤中最高含量之顆粒，將土壤分為砂質土、坋質土及黏質土三種類型的土壤。發現沉砂設施所在區位之土壤類型中，屬砂質土者共有 78 座，屬坋質土者有 146 座，屬黏質土者則有 36 座，沉砂設施在不同土壤類型所占之比例如圖 4-1 所示，囚砂率估算過程及對應參數詳見附錄一、估算結果彙整如表 4-1。

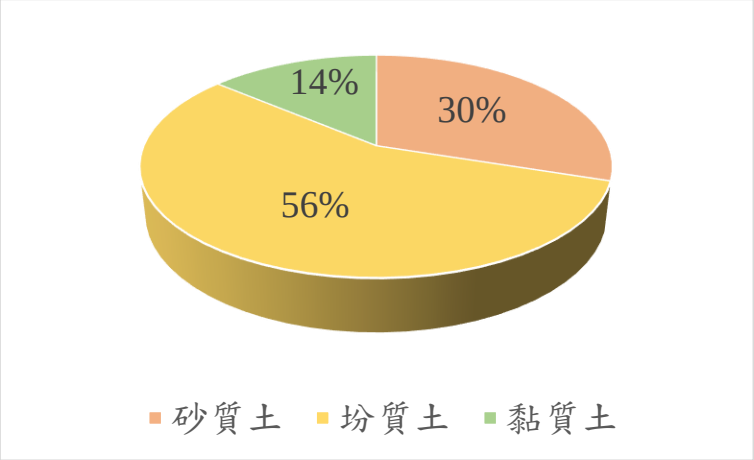


圖 4-1、沉砂設施所在區位之土壤類型
資料來源：本研究分析結果

表 4-1、沉砂設施囚砂率分析結果

囚砂率 (%)	砂質土 (座)	坋質土 (座)	黏質土 (座)
0.8~1	75	8	0
0.6~0.8	1	11	0
0.4~0.6	2	21	0
0.2~0.4	0	35	0
0~0.2	0	71	36
合計	78	146	36

資料來源：本研究分析結果

一、砂質土

砂質土在土壤分類中屬於粗顆粒類型，其代表粒徑之沉降速度為 0.14 m/s，不需花費長時間即可完成沉降。本研究所分析之沉砂設施中，所在區位之土壤類型屬砂質土之沉砂設施共 78 座，其中囚砂率分析結果大於 80%，佔多數達 76 座，屬於沉砂效率高之類型；另外，經囚砂率分析結果顯示僅有 2 座之囚砂率低於 80%，檢視其設計發現造成囚砂率低之原因為流長過短。由於土壤之沉降特性影響，當沉砂設施坐落於砂質土之區位時，無需設置額外附屬設施，即可達到較好的沉砂效率，惟應避免人為設計錯誤導致囚砂率下降。

二、坋質土

坋質土在土壤分類中屬於細顆粒類型，沉降速度為 6.1×10^{-4}m/s，沉降速度較慢。本研究分析之沉砂設施中，所在區位之土壤類型屬坋質土之沉砂設施共 146 座，囚砂率介於 80%~100%者共 8 座；囚砂率介於 60%~80%者共 11 座；囚砂率介於 40%~60%者共 21 座；囚砂率介於 20%~40%者共 35 座；囚砂率介於 0%~20%者共 71 座。由分析結果可發現，坐落於坋質土區位之沉砂設施，囚砂率分布於 0%~100%，本節將透過數據分析進一步探討此結果之成因。

Hazen 數理論中，泥砂滯留時間為流長 L 除以流速 U 之結果，以上兩因子與沉砂設施配置相關：入出水口距離過近將使流長降低、斷面積較窄之沉砂設施可能使流速加快。比較泥砂滯留時間與因砂率之關係(圖 4-2)，由分析結果顯示泥砂滯留時間愈長，因砂率亦隨之提高：當泥砂滯留時間小於 100 秒時因砂率皆低於 10%；泥砂滯留時間約 1000 秒時因砂率可達 20%-60%；泥砂滯留時間約 4000 秒時因砂率可達 60%以上。

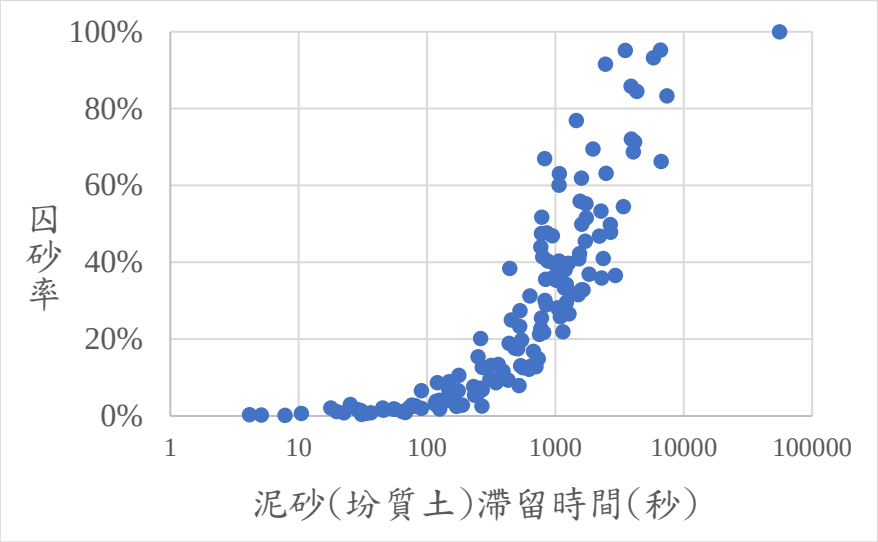


圖 4-2、泥砂(坋質土)滯留時間與因砂率關係

資料來源：本研究分析結果

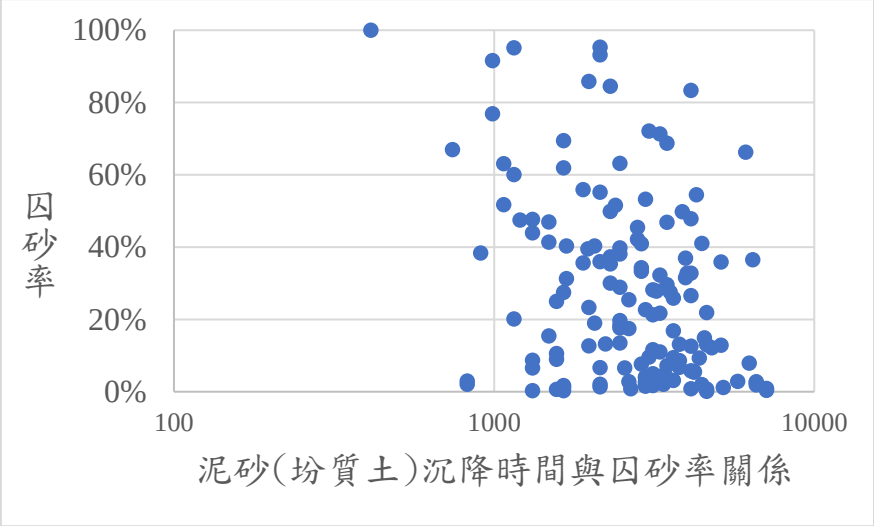


圖 4-3、泥砂(坋質土)沉降時間與因砂率關係

資料來源：本研究分析結果

此外，泥砂沉降時間為水深 H 除以泥砂沉降速度W_s之結果。由於沉降速度一致，泥砂沉降時間僅受水深影響。比較泥砂沉降時間與因砂率之關係(圖 4-3)，分析結果顯示泥砂沉降時間愈長，因砂率可能會稍微降低，但兩者之間無明顯關係，表示水深並不直接影響因砂率，主要仍是受泥砂滯留時間影響，因此設計時流速及流長之檢討為影響泥砂效率之重要因子。

三、黏質土

黏質土之粒徑極細，沉降速度為沉降速度為 3.6×10^{-6}m/s，相較於砂質土與坋質土，此類土壤之沉降速度非常緩慢。本研究分析之沉砂設施中，所在區位之土壤類型屬黏質土之沉砂設施共 36 座，經因砂分析結果皆接近於 0%。僅透過沉砂池構造改變之設計對策難以使其沉降，若額外透過絮凝劑添加措施，可攔蓄之最小粒徑可達 50μm (Kang, 2014)。

第二節　沉砂設施配置檢核

一、配置統計與分析

本研究將臺灣現有沉砂設施根據 Persson et al. (1999)提出之 13 種沉砂池配置類型，將 260 座沉砂設施統計與分類，分析結果如表 4-2 所示。由於沉砂設施大多設置於開發範圍內高程較低處或計畫範圍邊緣，受地勢或開發面積影響，入出水口設置位置受限，因此出入水口距離較短之 C 型與 H 型配置類型比例較多，合計占比超過 60%，表示臺灣現有沉砂設施超過半數屬於配置不佳之類型。

表 4-2、臺灣現有沉砂設施之配置類型統計

配置類型	水力效率	數量	占比(%)
A	0.30	17	6.5
B	0.26	17	6.5
C	0.11	96	36.9
D	0.18	26	10.0
E	0.76	3	1.2
G	0.76	10	3.9
H	0.11	65	25.0
I	0.41	9	3.5
J	0.90	6	2.3
K	0.36	1	0.4
O	0.26	0	0.0
P	0.61	2	0.8
Q	0.59	8	3.1
合計		260	100

資料來源：本研究分析結果

泥砂滯留時間為流長除以流速之結果，沉砂設施若入出水口距離過短，或是因不良設計方式而使流速加快，將使因砂率降低。由前節分析結果發現，沉砂設施所在區位之土壤類型屬坋質土者，因砂率主要受配置方式影響。本研究將此類沉砂設施依照因砂率分析結果高低進行排序，針對因砂率前 20%與後 20%配置類型、平均流速進行探討。

C 型配置與 H 型配置為入出水口距離較短之類型，由表 4-3 可發現，因砂率前 20%之沉砂設施中，此類型配置合計佔 37.9%；而因砂率後 20%之沉砂設施，此類型配置合計佔比高達 93.2%。表示此類短流長之配置易使因砂率降低。除流長因素以外，流速亦影響泥砂在沉砂設施內的滯留時間。經本研究分析，發現因砂率前 20%之沉砂設施平均流速為 0.015 m/s，因砂率後 20%之沉砂設施平均流速為 0.133 m/s，平均流速較後 20%慢約 10 倍，相當於泥砂滯留時間相差 10 倍。由圖 4-2 滯留時間與因砂率之關係圖，發現當泥砂滯留時間相差 10 倍，因砂率可相差 30%以上。因此在設計沉砂設施時，除注意入出水口之間的距離以外，尚需檢核池內流速是否合適。

表 4-3、所在區位屬坋質土之沉砂設施配置類型

因砂率前 20%			
類型	水力效率	數量	占比(%)
E	0.76	1	3.4
G	0.76	2	6.9
I	0.41	4	13.8
A	0.3	4	13.8
B	0.26	1	3.4
D	0.18	6	20.7
C	0.11	4	37.9
H	0.11	7	
合計		29	100

因砂率後 20%			
類型	水力效率	數量	占比(%)
G	0.76	1	3.4
B	0.26	1	3.4
C	0.11	16	93.2
H	0.11	11	
合計		29	100

資料來源：本研究分析結果

二、配置改善建議

由滯留時間與囚砂率關係圖(圖 4-2)得知，當泥砂滯留時間小於 100 秒時囚砂率皆低於 10%；泥砂滯留時間約 1000 秒時囚砂率可達 20%-60%；泥砂滯留時間約 4000 秒時囚砂率可達 60%以上。因此對於囚砂率較低之沉砂設施，應設法提高泥砂滯留時間，由 Hazen 數理論可得知泥砂滯留時間為流長 L 除以流速 U 之結果，因此改善方式應以加長水流流長或減緩流速為目標。本研究針對不同改善目標初步研提三種配置改善建議，後續將透過水理模式驗證其改善效益，以供未來設計參考。

(一) 隔水擋板

對於入出水口距離較短之沉砂設施，若池內空間足夠，本研究建議於原流路中增設隔水擋版(圖 4-4)，透過改變原流路、使流長增加，以延長泥砂滯留時間。根據吳奕汶(2022)模擬不同數量擋板對泥砂沉降位置與效率之影響，發現擋版之設置會使通水斷面積降低，可能使流速略為上升，若流速過快則反而造成泥砂不易沉降。

(二) 橫向擋板

針對流速過快之沉砂設施，本研究建議參考 Persson et al.(1999)設計之 Q 型配置，於沉砂設施中設置橫向擋板(圖 4-5)，除可達到減緩流速的效果，橫向擋板之設置將可能改變底床淤砂分布。根據本研究統計結果，在分析之 243 座沉砂設施中，僅 8 座屬於 Q 型配置，佔比為 3.1%，目前尚未被廣泛應用。本研究後續將透過水理模式，模擬此類型配置之底床淤砂分布，並驗證對囚砂率之提升程度，以供未來沉砂設施設計時參考。

(三) 入出水口設施

受限於空間狹小而無法設置擋板者，本研究建議對於距離過近之入出水口，透過改善排水系統或池外整地等方式，改變該入出水口相對位置，將入水口調整至與出水口一定距離處，使流長增加，以提升泥砂滯留時間。



圖 4-4、隔水擋版之設置示意圖

資料來源：飛鎧二號設施工程(高雄林園二橋營區)

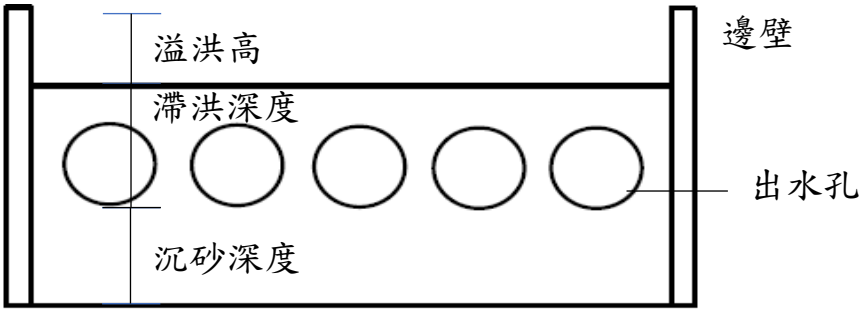


圖 4-5、橫向擋版之設計方式

資料來源：本研究設計

第三節　水理模式模擬結果

本節將針對一共 16 座沉砂設施利用水理模式分析流況，並依照配置類型逐一分析，彙整如表 4-4 所示。

表 4-4、水理模式分析對象

配置類型	計畫名稱	沉砂設施編號
A(1)	石門水庫阿姆坪防淤隧道工程	Det2
A(2)	壽山國家自然公園環境教育紀行政服務園區整建工程	DA1
A(3)	曾文南化聯通管統包工程 A1 標	II
A(4)	臺中市東山路縣道 129 線(D 標末至中興嶺段拓寬工程)	P4
C(1)	壽山國家自然公園環境教育紀行政服務園區整建工程	DA2
C(2)	北區老人之家養護中心新建及院區排水、電力改善及餐廳耐震補強	
C(3)	法務部矯正署臺中看守所汙水處理廠增擴建工程	E2
D(1)	北區土石流防災應變及混凝土試驗辦公室新建工程	
D(2)	「湖山水庫管理中心新建工程」水土保持計畫	TP2
D(3)	曾文水庫越域引水工程計畫－隧道工程水土保持計畫	C2-RS-01
G(1)	池南森林遊樂區入口停車場工程	
H(1)	曾文南化聯通管統包工程 A1 標	DA
H(2)	國立海洋科技博物館海洋科學與科技建築新建工程南區	SB2
H(3)	臺中市東山路縣道 129 線(D 標末至中興嶺段拓寬工程)	P7
H(4)	臺中市東山路縣道 129 線(D 標末至中興嶺段拓寬工程)	P8
Q(1)	楊梅市 I-9-15 都市計畫道路開闢工程	B

資料來源：本研究分析結果

一、A(1)沉砂設施

本座沉砂設施長約 14m、寬約 8m，入水口位於初始地形圖(圖 4-6)下方、出水口位於上方，兩者呈對角排列，屬 A 型配置。本座沉砂設施於距離入口約 1~6m 處再向池底挖掘 0.5m 以作為沉砂空間，採用複式底床設計。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.142cms，經粒徑分析後 D_{50} 為 0.469mm。

由洪峰流速圖(圖 4-7)發現，水體流入沉砂設施後起初流心偏向右側，最後朝向出水口方向排出，流速約為 0.25m/s，另外，注意到設施左側有部分區域流速較快，經由流場分布圖(圖 4-8)

發現，造成此現象的成因是部分水體於出水口前產生迴流所致。

由底床變化圖(圖 4-9)看出，由於入水口處斷面突擴效應，造成流速減緩，並於入口段造成明顯淤砂；另外在圖中右上方也有發生淤砂，配合流速圖得知：由於流向右上方的水流，將泥砂攜入右上方流速較慢之區域所致；因設施左側發生迴流，故在圖中左下方流速較緩處有明顯淤砂，淤砂最大高度約 0.17m。本座沉砂設施因砂率為 63.62%。

值得注意的是，該沉砂設施的設計中，沉砂空間與入水口距離相當接近，根據洪峰流速圖得知，沉砂空間周圍之流場變化較強，因此泥砂難以沉降於設計沉砂空間。因此建議未來若採用類似複式底床設計，應將沉砂空間設計於遠離入水口處，以避免入水口處紊動情況對沉降產生影響。

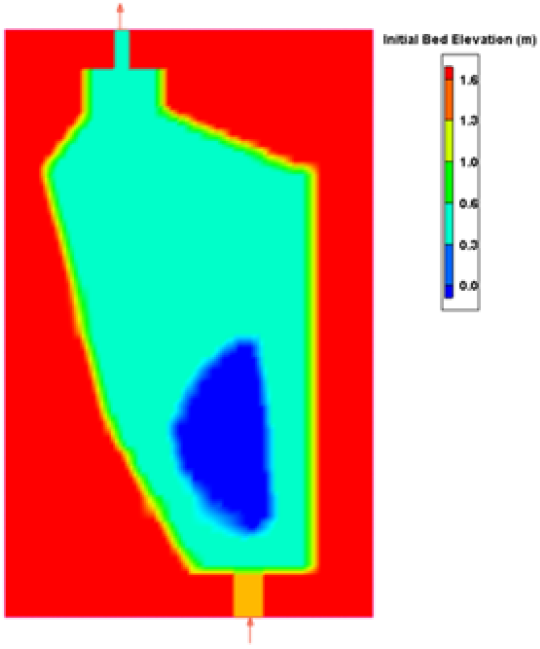


圖 4-6、初始地形圖(一)
資料來源：本研究分析結果

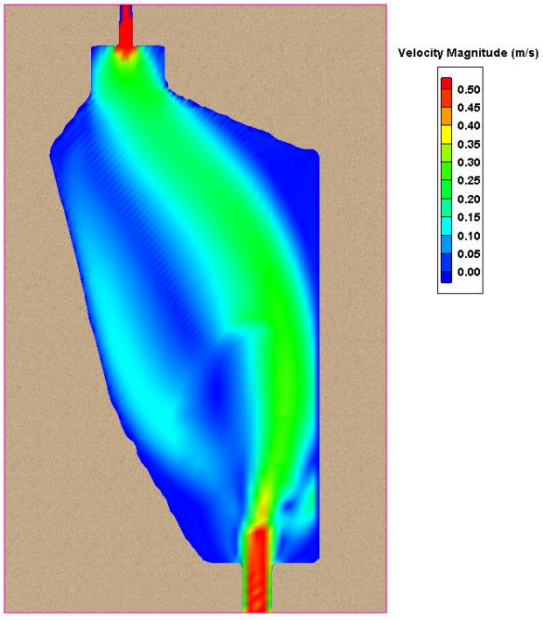


圖 4-7、洪峰流速圖(一)
資料來源：本研究分析結果

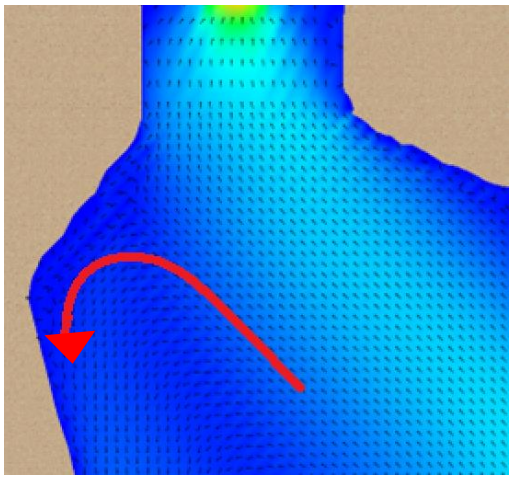


圖 4-8、出水口周圍流場圖(一)
資料來源：本研究分析結果

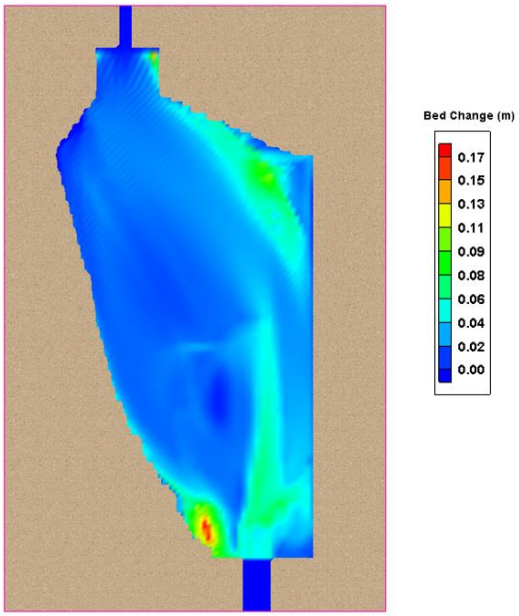


圖 4-9、底床變化圖(一)
資料來源：本研究分析結果

二、A(2)沉砂設施

本座沉砂設施長約 10m、寬約 5m，入水口位於初始地形圖(圖 4-10)上方、出水口位於下方並設置一集水井，兩者呈對角排列，屬 A 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.268cms，經粒徑分析後 D_{50} 為 0.095mm。

由洪峰流速圖(圖 4-11)發現，水體流入沉砂設施後，流經擋板左側後由出水口排出，流速約為 0.09m/s，而擋板右側水體趨於靜止。透過底床變化圖(圖 4-12)看出，由於入水口處斷面突擴效應，造成流速減緩，並於入口段造成明顯淤砂，此處淤砂最大高度約 0.07m；另外，在擋板右側也有部分淤砂，是因為入水口朝向此處，流向下方的水流將部分泥砂攜入此區域，使泥砂在此處沉降。本座沉砂設施因砂率為 76.20%，無需再額外增加附屬設施即可達到較高的沉砂效率。

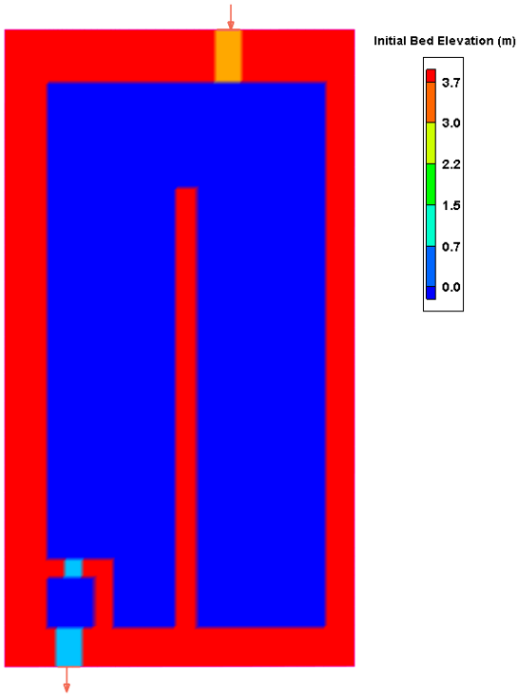


圖 4-10、初始地形圖(二)

資料來源：本研究分析結果

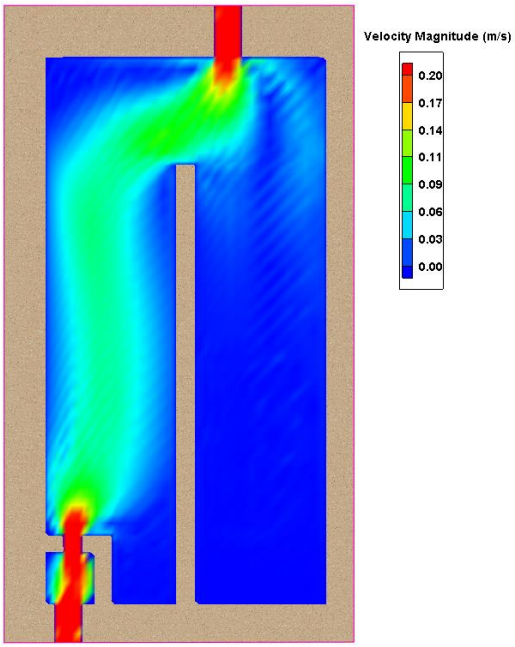


圖 4-11、洪峰流速圖(二)

資料來源：本研究分析結果

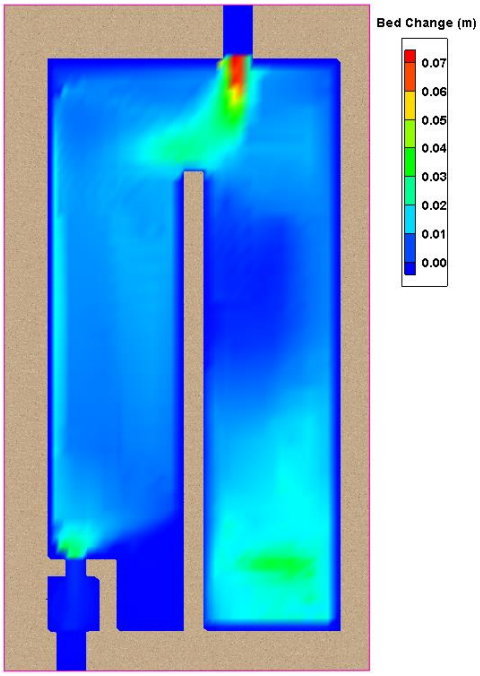


圖 4-12、底床變化圖(二)

資料來源：本研究分析結果

三、A(3)沉砂設施

本座沉砂設施長約 3.6m、寬約 1.2m，入水口位於初始地形圖(圖 4-13)下方、出水口位於右上方，兩者呈對角排列，屬 A 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.285cms，經粒徑分析後 D_{50} 為 0.245mm。

由洪峰流速圖(圖 4-14)看出，於入水口有兩處流速較快之分支，經由流場分布圖(圖 4-15)分析，是因為本座沉砂設施規模較小，導致入水口附近流況複雜，因此造成紊流的做動。由於水體持續於入口處迴流，因此在底床變化(圖 4-16)發現淤砂主要分布於沉砂設施前段，最大淤砂高度約 0.2m。本座沉砂設施因砂率為 67.47%，無需再額外增加附屬設施即可達到較好的沉砂效率。

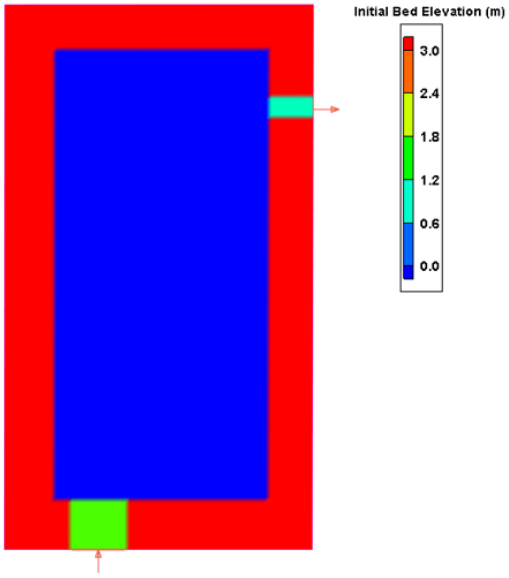


圖 4-13、初始地形圖(三)
資料來源：本研究分析結果

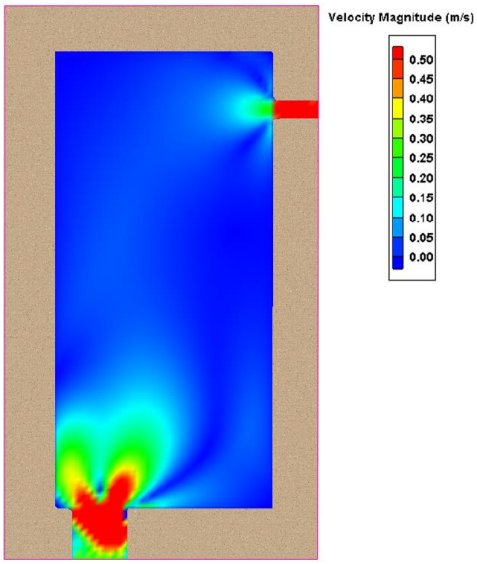


圖 4-14、洪峰流速圖(三)
資料來源：本研究分析結果

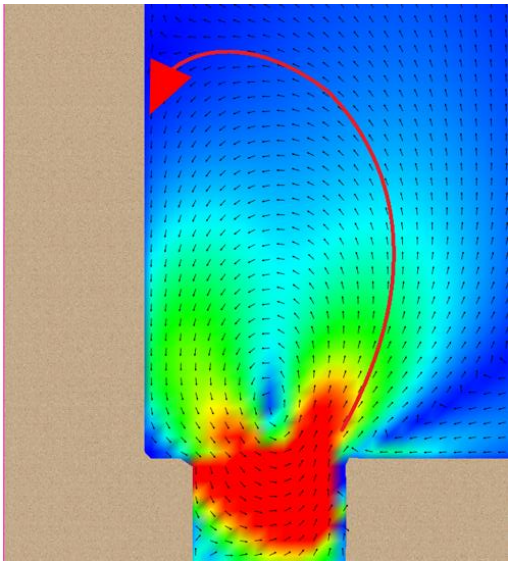


圖 4-15、流場分布圖(三)
資料來源：本研究分析結果

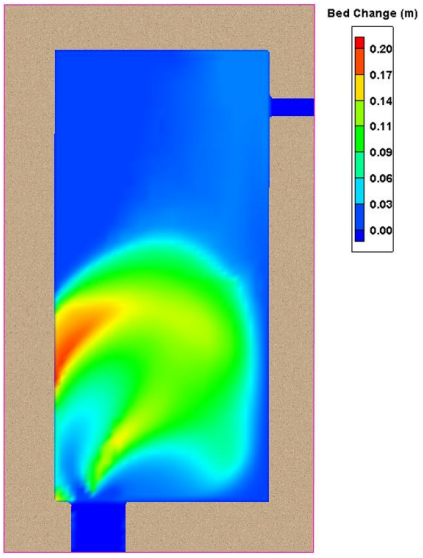


圖 4-16、底床變化圖(三)
資料來源：本研究分析結果

四、A(4)沉砂設施

本座沉砂設施長約 12m，寬約 6~12m，入水口位於初始地形圖(圖 4-17)右方、出水口位於左下方並設置一集水井，兩者呈對角排列，屬 A 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.252cms，D_{50} 為砂質土之代表粒徑 1.025mm。

由洪峰流速圖(圖 4-18)看出，水體流入設施後直接流向出水口，流速為 0.1m/s，少部分未排出之水體在池內發生迴流。由於粗粒徑之土壤沉降速度較快，故由底床變化(圖 4-19)發現，淤砂集中分布於沉砂設施前段，此處淤砂最大高度約 0.13m，本座沉砂設施因砂率為 100%，無需再額外增加附屬設施即可達到較好的沉砂效率。

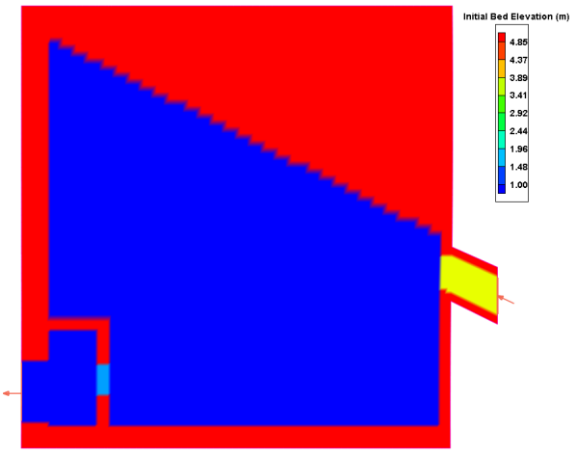


圖 4-17、初始地形圖(四)
資料來源：本研究分析結果

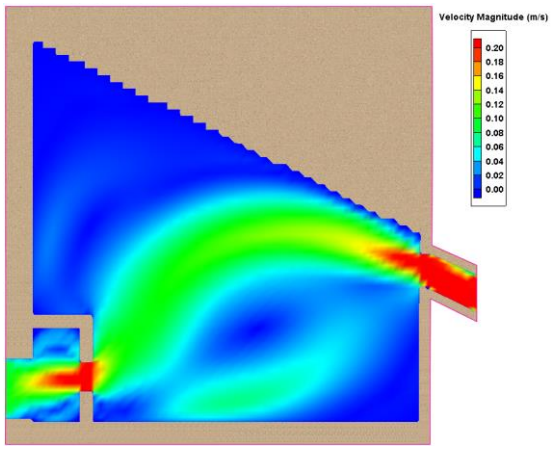


圖 4-18、洪峰流速圖(四)
資料來源：本研究分析結果

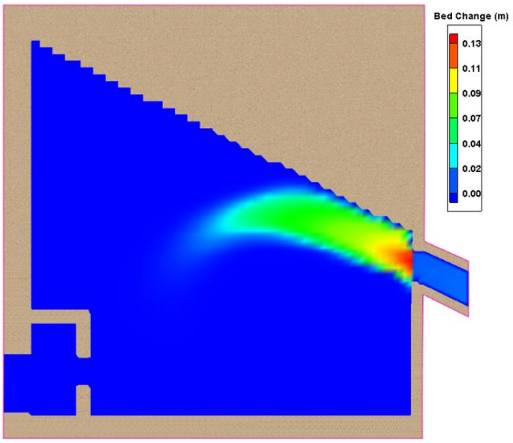


圖 4-19、底床變化圖(四)
資料來源：本研究分析結果

透過模擬 4 座 A 型配置之沉砂設施後，發現由於入出水口呈對角排列，水體在進入沉砂設施段後會改變方向，最終流往出水口。此外，部分泥砂可能會繼續沿原先流向前進，最終於流速較緩之區域沉降。也觀察到較小規模之沉砂設施會導致紊流的產生。4 座沉砂設施經模擬後，沉砂效率尚可，無須透過額外增設附屬設施以提高囚砂率。

五、C(1)沉砂設施

本座沉砂設施長約 10m、寬約 8m，入水口位於初始地形圖(圖 4-20)右方、出水口位於下方並設置一集水井，兩者位置相鄰，屬 C 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.198cms，經粒徑分析後 D_{50} 為 0.095mm。

透過洪峰流速圖(圖 4-21)看出，水體流入沉砂設施後即由出水口排出，流速約為 0.11m/s，主流路徑集中於入出水口周圍，其餘水體趨於靜止。另透過底床變化圖(圖 4-22)發現，淤砂主要分布於入出水口處，淤砂最大高度約 0.015m，無法觀察到明顯淤積。由於入出水口鄰近，水體進入沉砂設施後不久迅速由出水口排出，無法發揮沉砂功能，因砂率為 6.39%。建議於設計入出水口時應避免兩者距離過近，亦可透過於外部整地或調整排水系統，將入水口移至他處，以避免人為設計錯誤導致沉砂效率不彰。

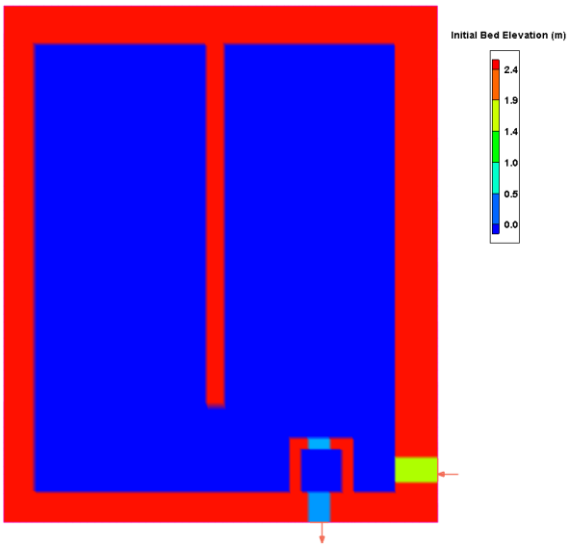


圖 4-20、初始地形圖(五)
資料來源：本研究分析結果

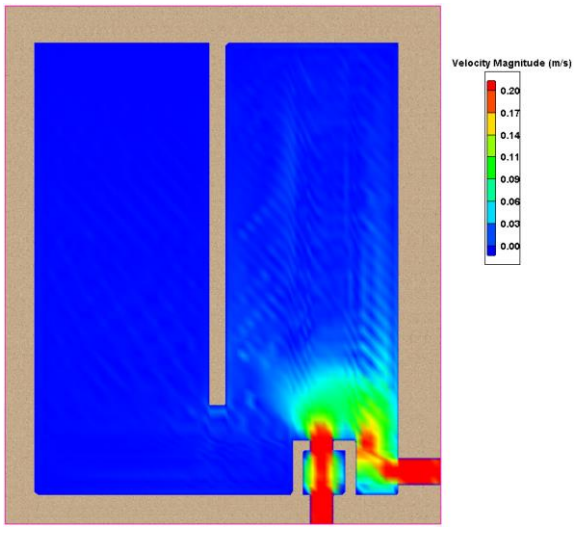


圖 4-21、洪峰流速圖(五)
資料來源：本研究分析結果

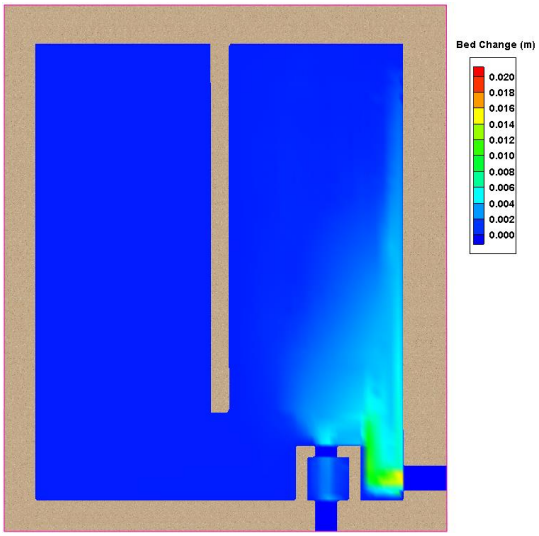


圖 4-22、底床變化圖(五)

資料來源：本研究分析結果

六、C(2)沉砂設施

本座沉砂設施長約 28m，寬約 15m，入水口位於初始地形圖(圖 4-23)左下方、出水口位於正下方並設置一集水井，兩者位置相鄰，故歸類於 C 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.341cms，D_{50} 為黏質土之代表粒徑 0.002mm。

本座沉砂設施於頂部加蓋，並於內部設置多道混凝土牆，由洪峰流速圖(圖 4-24)看出，水體流入設施後，流經混凝土牆之間的間隔後流向出水口排出。因此，未來設計沉砂設施內混凝土牆時，應避免於水流路徑中保留間隔，以避免部分水流由間隔流出，導致流路縮短，而無法妥善利用沉砂空間。

由於細粒徑之土壤沉降速度較慢，故從底床變化圖(圖 4-25)發現，最大淤積高度僅 3cm，因砂率為 9.07%。表示即使透過設置隔水擋板增加流長，僅憑藉其物理性質難以通過重力沉降處理細粒徑的土砂，需額外使用附屬設施如絮凝劑等，改變其化學性質，促進細顆粒團粒化，以利於沉降。

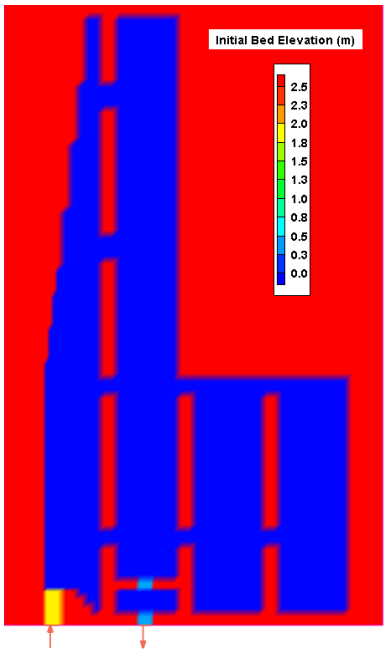


圖 4-23、初始地形圖(六)
資料來源：本研究分析結果

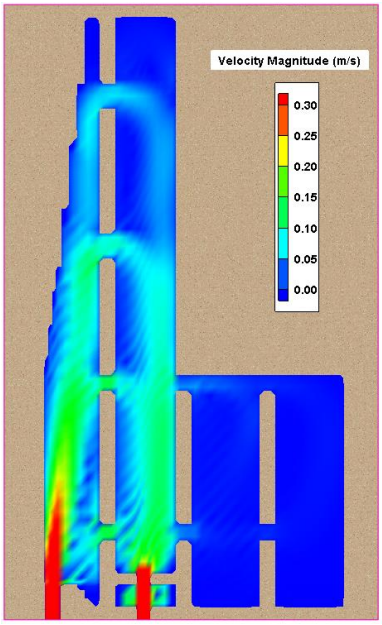


圖 4-24、洪峰流速圖(六)
資料來源：本研究分析結果

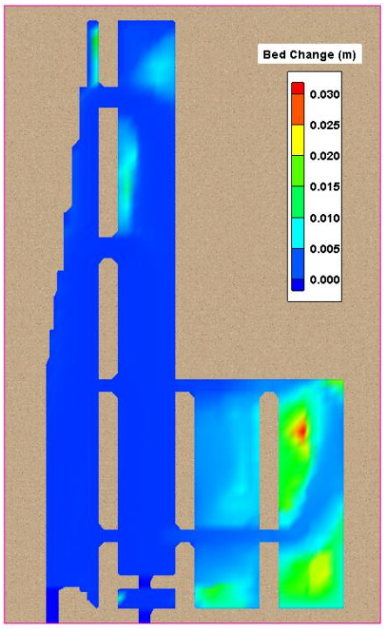


圖 4-25、底床變化圖(六)
資料來源：本研究分析結果

七、C(3)沉砂設施

本座三角形沉砂設施邊長約 11m，入水口位於初始地形圖(圖 4-26)上方、出水口位於右下方並設置一集水井，兩者位於鄰邊，故歸類於 C 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.039cms，D_{50} 為坋質土之代表粒徑 0.026mm。

由洪峰流速圖(圖 4-27)看出，水體流入設施後流向下方池壁，最後朝向出水口排出，流速約 0.07m/s。另有部分水體於設施左右側發生迴流。

由於流速較慢，故從底床變化圖(圖 4-28)發現，淤砂主要分布於沉砂設施前段，此處淤砂最大高度約 0.04m。本座沉砂設施囚砂率為 72.39%，無需再額外增加附屬設施即可達到較好的沉砂效率。

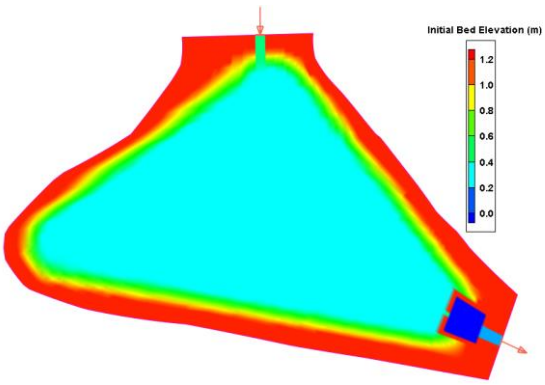


圖 4-26、初始地形圖(七)
資料來源：本研究分析結果

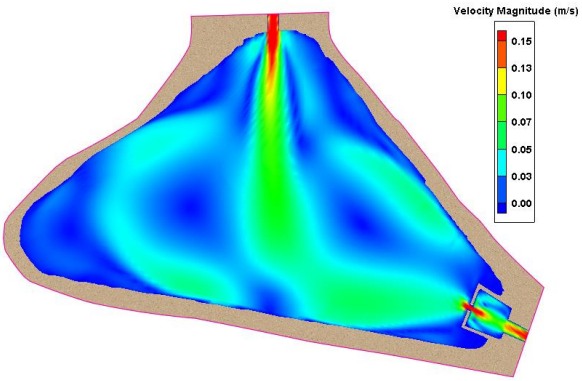


圖 4-27、洪峰流速圖(七)
資料來源：本研究分析結果

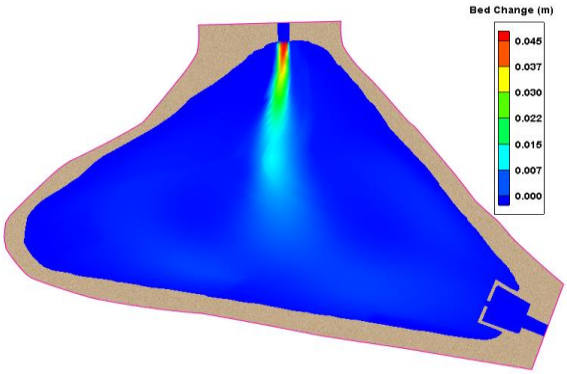


圖 4-28、底床變化圖(七)
資料來源：本研究分析結果

透過模擬 3 座 C 型配置之沉砂設施，發現由於 C(1)、C(2)沉砂設施入出水口相鄰且距離過近，使水體在進入沉砂設施後迅速由出水口排出，未能給予泥砂足夠時間沉降。另外經由底床變化圖可歸納出，由於流長較短，未能妥善利用沉砂空間，經模擬後沉砂效率皆不理想。對於此類型入出水口距離過近之沉砂設施，若空間足夠，建議增設隔水擋板，以增加對整體沉砂空間的利用，進而提高囚砂率。

八、D(1)沉砂設施

本座沉砂設施長約 12m，寬約 4m，入水口位於初始地形圖(圖 4-29)左方、出水口位於右方並設置一集水井，兩者位於矩形短邊同側，故歸類於 D 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.043cms，D_{50} 為坋質土之代表粒徑 0.026mm。

由洪峰流速圖(圖 4-30)看出，水體流入設施後即流向出水口方向，流速約 0.14m/s，另有部分未直接排出水體在池內迴流。

由底床變化圖(圖 4-31)發現，淤砂主要分布於入出水口之間，此處淤砂最大高度約 0.034m；由於部分水體於池內迴流，故在主流路以外的空間也發生了泥沙沉降。本座沉砂設施因砂率為65.98%，建議於入出水口之間增設隔水擋板，除了提高對整體沉砂空間的利用，也有助於沉砂效率的提升。



圖 4-29、初始地形圖(八)

資料來源：本研究分析結果

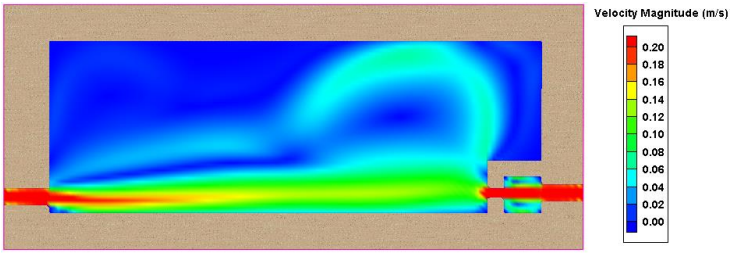


圖 4-30、洪峰流速圖(八)

資料來源：本研究分析結果

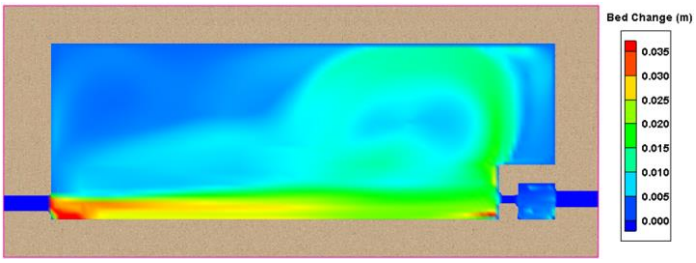


圖 4-31、底床變化圖(八)

資料來源：本研究分析結果

九、D(2)沉砂設施

本座沉砂設施長約 15m，寬約 12m，入水口位於初始地形圖(圖 4-32)右下方、出水口位於右上方並設置一集水井，兩者位於矩形短邊同側，故歸類於 D 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.171cms，D_{50} 為坋質土之代表粒徑 0.026mm。

由洪峰流速圖(圖 4-33)看出，水體流入設施後即流向出水口方向，流速約 0.2m/s，另有部分未直接排出水體在池內迴流。

由底床變化圖(圖 4-34)發現，淤砂主要分布於主流路範圍，此處淤砂最大高度約 0.05m；由於部分水體於池內迴流，故在設施內其他流速較慢之邊角區域也有泥沙沉降。本座沉砂設施因砂率為 50.1%，建議於入出水口之間增設隔水擋板，除了提高對整體沉砂空間的利用，也有助於沉砂效率的提升。

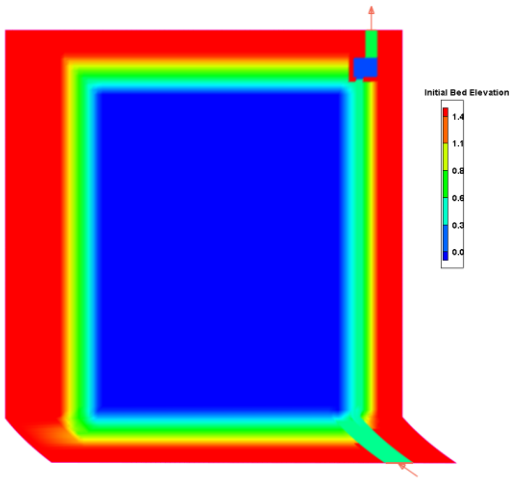


圖 4-32、初始地形圖(九)
資料來源：本研究分析結果

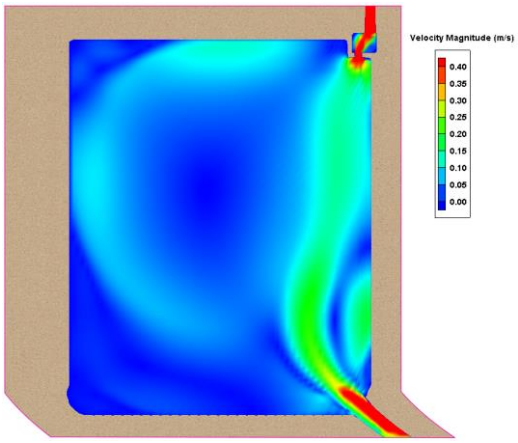


圖 4-33、洪峰流速圖(九)
資料來源：本研究分析結果

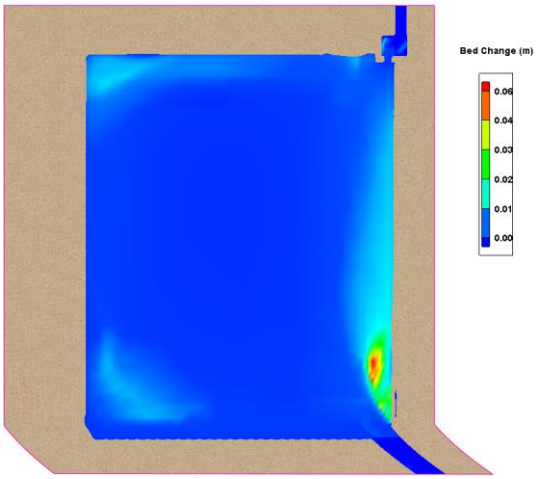


圖 4-34、底床變化圖(九)

資料來源：本研究分析結果

十、D(3)沉砂設施

本座沉砂設施長約 22m，寬約 12m，入水口位於初始地形圖(圖 4-35)右上方、出水口位於左上方，兩者位於矩形短邊同側，故歸類於 D 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.593cms，D_{50} 為坋質土之代表粒徑 0.026mm。

由洪峰流速圖(圖 4-36)發現，水體流入設施後即流向出水口方向，流速約 0.4m/s。另有部分未直接排出水體在池內迴流。

由底床變化圖(圖 4-37)發現，淤砂主要分布於主流路範圍，此處淤砂最大高度約 0.11m；由於迴流現象較強，故在主流路以外之區域如圖中右下方角落發現量體較大之淤砂。本座沉砂設施囚砂率為 75.15%，建議於入出水口之間增設隔水擋板，除了提高對整體沉砂空間的利用，也有助於沉砂效率的提升。

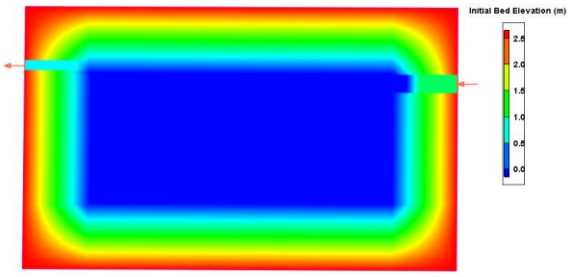


圖 4-35、初始地形圖(十)

資料來源：本研究分析結果

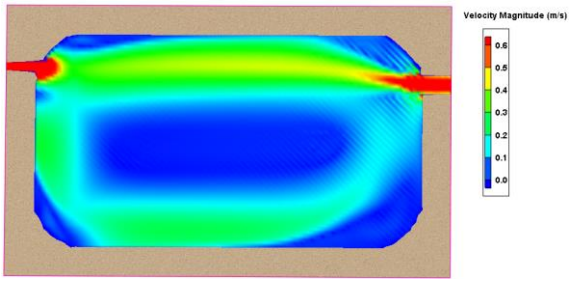


圖 4-36、洪峰流速圖(十)

資料來源：本研究分析結果

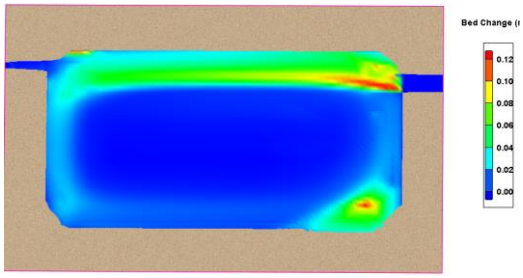


圖 4-37、底床變化圖(十)

資料來源：本研究分析結果

透過模擬 3 座 D 型配置之沉砂設施，發現由於入出水口位於矩形短邊同側，使水體沿直線流向出水口排出，導致整體沉砂空間利用率低。經模擬後，沉砂效率仍有改善空間，若於流路中央增設隔水擋板，可以使水體更廣泛流經設施內各區域，進而提高囚砂率。

十一、 G(1)沉砂設施

本座沉砂設施長與寬約 10m，入水口位於初始地形圖(圖 4-38)左下方、出水口位於右上方並設置一集水井，設施內部設置兩道隔水擋板以延長流路，歸類於 G 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.308cms。

由洪峰流速圖(圖 4-39)看出，水體流入設施後受擋板影響，使水體廣泛流經設施內各區域，流速約 0.15m/s。透過擋板交錯設置，對於整體空間的利用更完全。由底床變化圖(圖 4-40)發現，泥砂在各個流速較慢之角落都有明顯淤積。本座沉砂設施淤砂最大高度約 0.1m，，囚砂率為 90.96%。

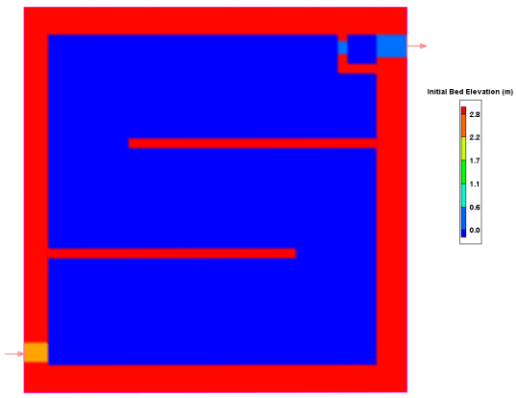


圖 4-38、初始地形圖(十一)
資料來源：本研究分析結果

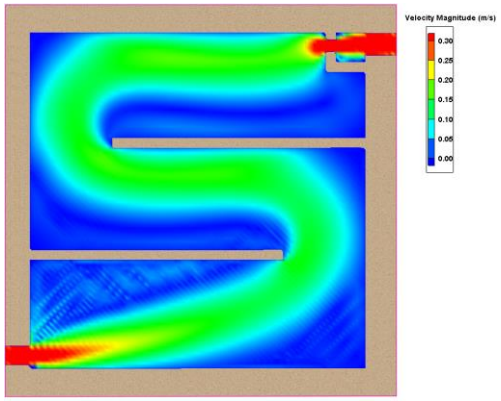


圖 4-39、洪峰流速圖(十一)
資料來源：本研究分析結果

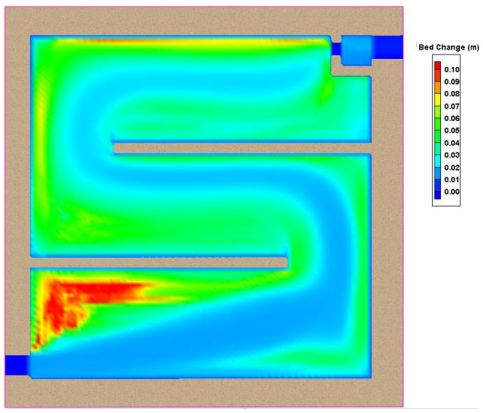


圖 4-40、底床變化圖(十一)
資料來源：本研究分析結果

設有擋板的 G 型沉砂設施，使水體廣泛流經設施內各區域，經模擬後發現囚砂率高達 90%，建議未來沉砂設施可參考此類型設計方式，以實現更優異的沉砂效率

十二、 H(1)沉砂設施

本座沉砂設施長與寬約 20m，入水口位於初始地形圖(圖 4-41)右下方、出水口位於左下方並設置一集水井，沉砂設施長寬比約 1：1，屬 H 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 1.148 cms，經粒徑分析後 D_{50} 為 0.245mm。

由洪峰流速圖(圖 4-42)看出，水體流入設施後即流向出水口方向，流速約 0.25m/s。另有部分未直接排出水體在池內迴流。

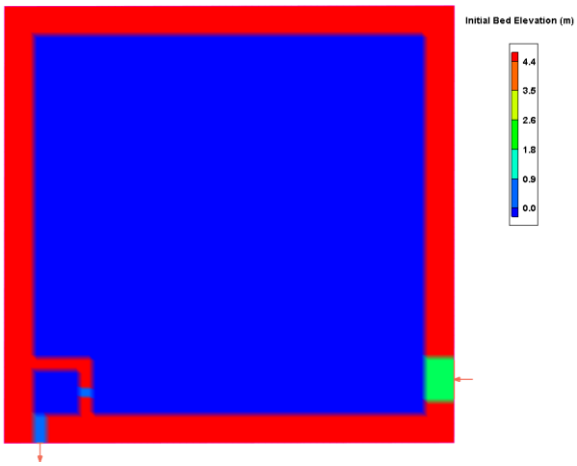


圖 4-41、初始地形圖(十二)

資料來源：本研究分析結果

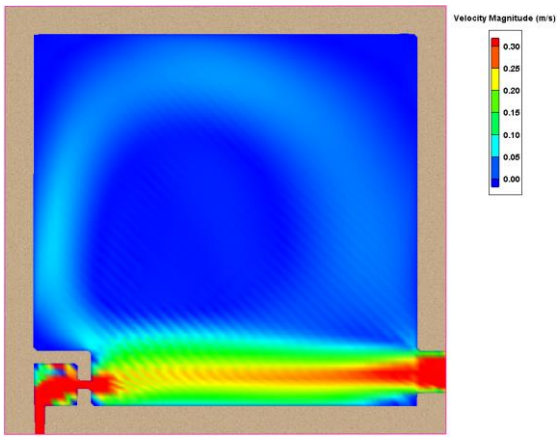


圖 4-42、洪峰流速圖(十二)

資料來源：本研究分析結果

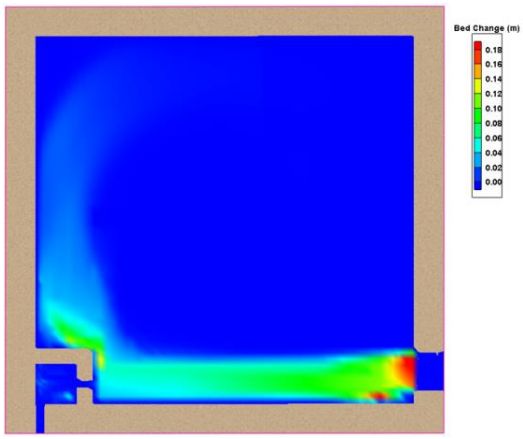


圖 4-43、底床變化圖(十二)

資料來源：本研究分析結果

另透過底床變化(圖 4-43)發現，淤砂主要分布於入出水口之間，此處淤砂最大高度約 0.16m；另有部分泥砂沉降於左側，是因為部分水體迴流所致。

本座沉砂設施未能妥善運用整體沉砂空間，因砂率為 55.68%。建議於入出水口之間增設隔水擋板，除了提高對整體沉砂空間的利用，也有助於沉砂效率的提升。

十三、 H(2)沉砂設施

本座沉砂設施長與寬約 3m，入水口位於初始地形圖(圖 4-44)右下方、出水口位於左下方，沉砂設施長寬比約 1：1，屬 H 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.275cms，D_{50} 為坋質土之

代表粒徑 0.026mm。

由洪峰流速圖(圖 4-45)看出，於入水口有兩處流速較快之分支，經由流場分布圖(圖 4-46)分析，是因為本座沉砂設施規模較小，導致入水口附近流況複雜，因此造成紊流的做動。

本座沉砂設施流況與前節分析之 A(3)沉砂設施類似(圖 4-13~圖 4-16)。發現由於兩座沉砂設施規模較小，故紊流做動更加明顯。而導致淤砂分布不同之因素，可歸咎於紊流作動區與出水口之間距離不同：圖 4-16 中，紊流做動區距離出水口較遠，使水體持續迴流，從而導致淤砂集中於設施前部；而圖 4-47 中紊流做動區距離出水口較近，使部分水體得以直接由排出，故淤砂範圍分布較廣。

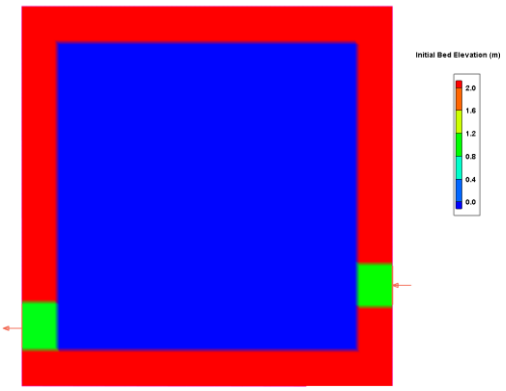


圖 4-44、初始地形圖(十三)
資料來源：本研究分析結果

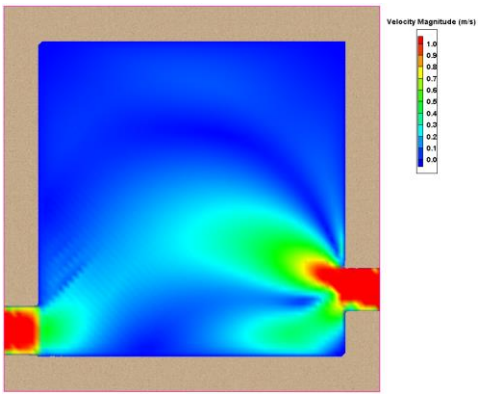


圖 4-45、洪峰流速圖(十三)
資料來源：本研究分析結果

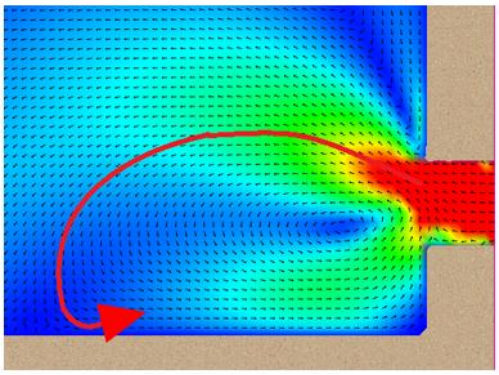


圖 4-46、流場分布圖(十三)
資料來源：本研究分析結果

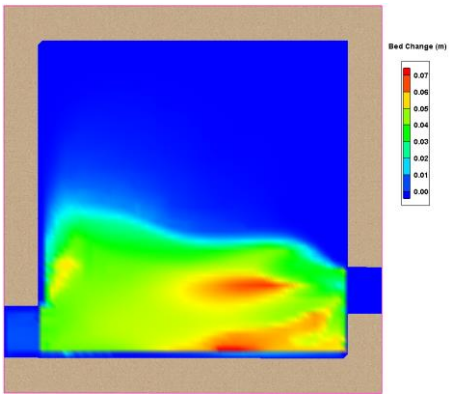


圖 4-47、底床變化圖(十三)
資料來源：本研究分析結果

由於入出水口距離僅約3m，本座沉砂設施囚砂率為29.70%，建議於入出水口之間增設隔水擋板，除了提高對整體沉砂空間的利用，也有助於沉砂效率的提升。

十四、 H(3)沉砂設施

本座沉砂設施長約 14m，寬約 8m，入水口位於初始地形圖(圖 4-48)右上方、出水口位於左上方並設置一集水井，兩者位於矩形長邊同側，與 D 型配置之分類原則不相符，故將本座沉砂設施歸類 H 型配置，其流路較短。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.958cms，D_{50} 為砂質土之代表粒徑 1.025mm。

本座沉砂設施於頂部加蓋，並且於設施中央設置 8 根混凝土柱。由洪峰流速圖(圖 4-49)看出，水體進入設施後流經混凝土柱之間隔，最後朝向出水口排出。本座沉砂設施類似於前節 C(2)沉砂設施，兩者皆於設施中央設有結構物支撐並於頂部加蓋。未來設置此類沉砂設施時，建議使用連續性之牆體作為支撐結構物，避免水體經由間隔流出，並且可以達到隔水擋板之效果。

由於粗粒徑之土壤沉降速度較快，故由底床變化(圖 4-50)發現，淤砂集中分布於沉砂設施前段，此處淤砂最大高度約 0.2m，本座沉砂設施囚砂率為 100%，無需再額外增加附屬設施即可達到較好的沉砂效率。

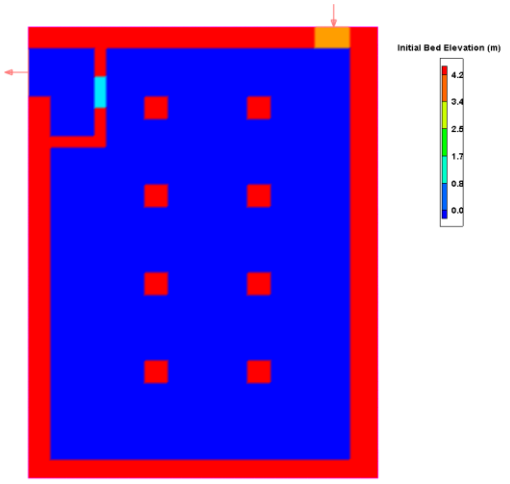


圖 4-48、初始地形圖(十四)
資料來源：本研究分析結果

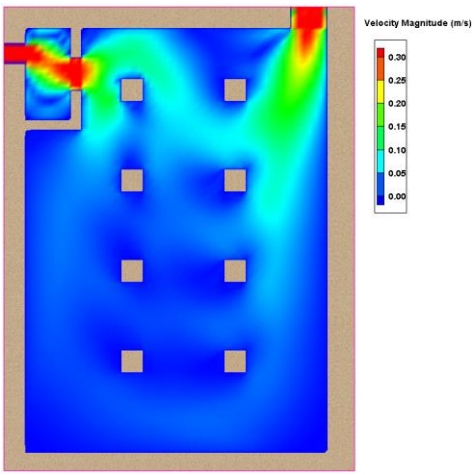


圖 4-49、洪峰流速圖(十四)
資料來源：本研究分析結果

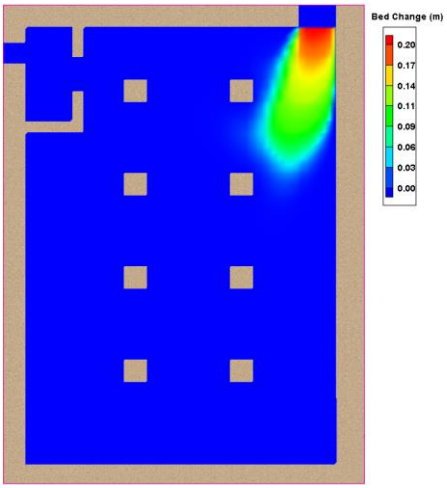


圖 4-50、底床變化圖(十四)
資料來源：本研究分析結果

十五、 H(4)沉砂設施

本座沉砂設施長約 15m，寬約 5m，入水口位於初始地形圖(圖 4-51)右上方、出水口位於左上方並設置一集水井，設計方式和配置分類原則與 H(3)沉砂設施相同，屬 H 型配置。本座沉砂設施之洪峰流量為 1.019cms，D_{50} 為砂質土之代表粒徑 1.025mm。

與 H(3)沉砂設施不同之處在於，本座沉砂設施入水口面向出水口設置。由洪峰流速圖(圖 4-52)看出，入水口的設計方向影響主要流向與淤砂分布，使水體直接流入沉砂設施後迅速朝向出水

口排出。若支撐頂部之結構物使用連續性之牆體，即可避免水體經由間隔流出，達到隔水擋板之效果。

由於入水口面向出水口設置，且混凝土柱未能阻擋水流，因此可由底床變化(圖 4-53)發現，雖然與 H(3)沉砂設施同樣使用砂質土之粒徑模擬，仍有部分泥砂未能完全沉降。本座沉砂設施囚砂率為 83.02%，主流路上淤砂最大高度約 0.16m。

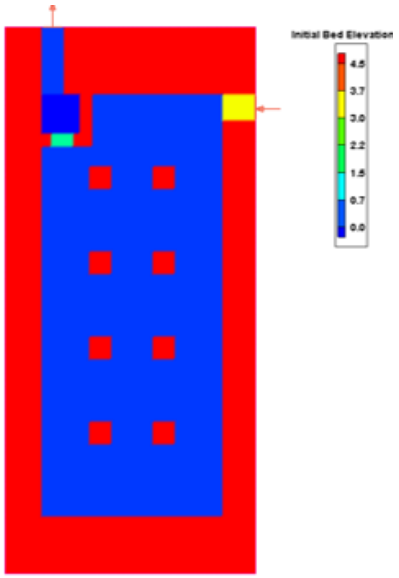


圖 4-51、初始地形圖(十五)

資料來源：本研究分析結果

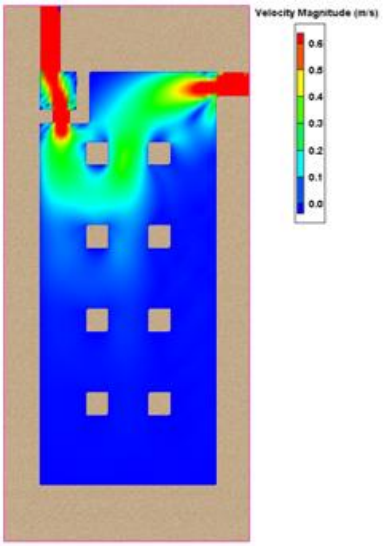


圖 4-52、洪峰流速圖(十五)

資料來源：本研究分析結果

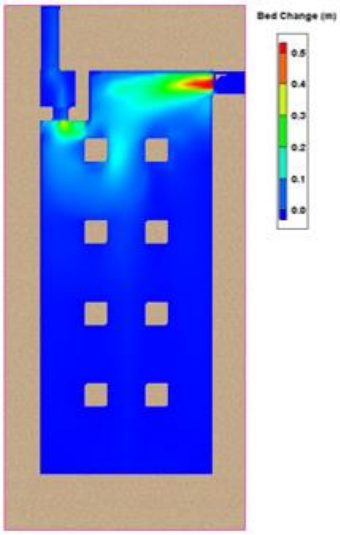


圖 4-53、底床變化圖(十五)

資料來源：本研究分析結果

透過模擬 4 座 H 型配置之沉砂設施，發現除了入出水口位於同側以外，沉砂設施之幾何形狀屬於方形，導致其流長較短。經模擬後發現，除粗粒徑部分以外，沉砂效率不佳。若於入出水口之間增設隔水擋板，或是使用連續性牆體替代混凝土柱，可以使水體更廣泛流經設施內各區域，進而提高囚砂率。

十六、 Q(1)沉砂設施

本座沉砂設施長約 47m、寬約 8m，入水口位於初始地形圖(圖 4-54)右方、出水口位於左方。本座沉砂設施之洪峰流量為 0.51cms，D_{50} 為坋質土之代表粒徑 0.026mm。本座沉砂設施使用類似 Q 型配置之橫向擋板，採分階方式滯洪調節，分為 6 個區間，故歸類於 Q 型配置。

由洪峰流速圖(圖 4-55)看出，水體流經橫向構造物的孔口時，由於孔口連貫設置，導致水流加速並造成主流路束縮，且愈接近出水口有逐漸加速之趨勢，流速最高達 1m/s；另有部分水體受到橫向構造物之阻擋並於間隔內迴流。

透過底床變化(圖 4-56)發現，除了在主流路上有明顯瘀積，橫向構造物的設置有助於將挾砂水流滯留於各個區間，利於泥砂沉降。本座沉砂設施淤砂最大高度約 0.06m、囚砂率為 50.32%。儘管橫向構造物可以阻攔水流，但是由於連貫設置的孔口使流速加快且造成主流路束縮，導致沉砂效率不如預期。

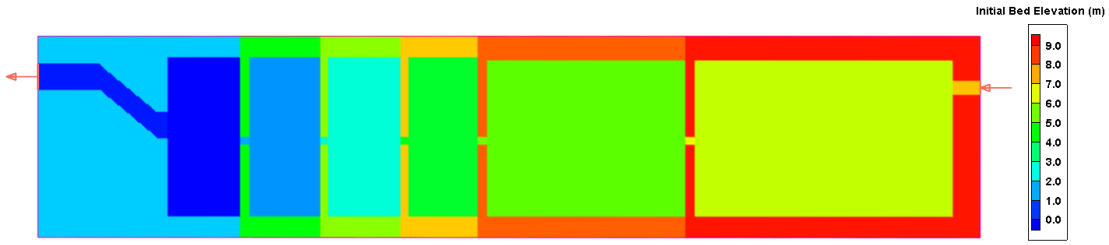


圖 4-54、初始地形圖(十六)
資料來源：本研究分析結果

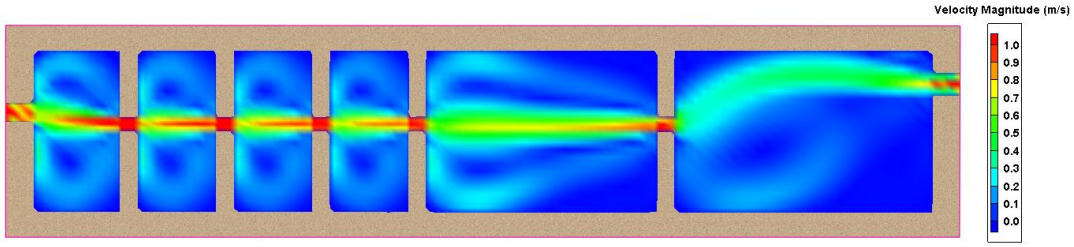


圖 4-55、洪峰流速圖(十六)
資料來源：本研究分析結果

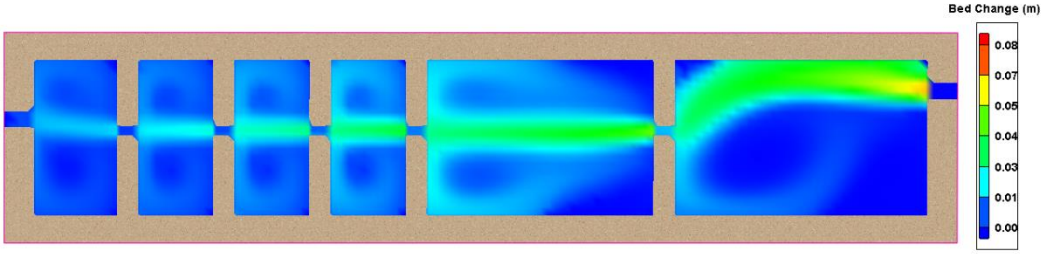


圖 4-56、底床變化圖(十六)
資料來源：本研究分析結果

第四節　結果分析

本研究結合現地採樣與土壤質地調查資料，使用不同土壤參數對沉砂設施進行水理模式分析，將所有分析結果彙整如表 4-5 所示。由於入水口處斷面突擴效應，多數沉砂設施於入口處觀察到最大淤砂高度；而 A(3)、C(2)沉砂設施受紊流影響、H(2)沉砂設施之土壤參數選用黏質土導致沉降速度緩慢，無法觀察到堆積於入口處之淤砂。

透過使用不同土壤粒徑模擬，發現粒徑粗細於淤砂分布與囚砂率表現上具有明顯差異，與本研究 4-1 節囚砂率公式估算結果符合。對於粒徑大於 1mm 之土壤無需設置額外附屬設施，即可達到較好的沉砂效率，惟應避免人為設計錯誤導致囚砂率下降；粒徑介於 1mm 與 0.002m 之土壤易受配置方式影響其囚砂率；而粒徑小於 0.002m 之細微顆粒，僅憑藉其物理性質難以透過重力沉降處理細粒徑的土砂，需額外使用附屬設施如絮凝劑等，改變其化學性質，促進細顆粒團粒化，以利於沉降。

經過迴歸分析發現，隨著 50 年重現期之洪峰流量上升，淤砂高度呈現上升趨勢(圖 4-57)。此外，透過進一步分析圖 4-57 中偏離趨勢線較大之數據點，發現位於趨勢線上方之數據點位屬於沉砂效率良好者；而位於趨勢線下方者反之。表示沉砂效率優劣亦影響淤砂高度。

表 4-5、水理模式分析結果

配置類型	D_{50}(mm)	洪峰流量(cms)	入口最大淤砂高度(m)	囚砂率(%)
A(1)	0.469	0.142	0.067	63.62
A(2)	0.095	0.268	0.065	76.20
A(3)	0.245	0.285	-	67.47
A(4)	1.025	0.252	0.126	100.00
C(1)	0.095	0.198	0.016	6.39
C(2)	0.002	0.341	-	29.07
C(3)	0.026	0.039	0.045	72.39
D(1)	0.026	0.043	0.017	65.98
D(2)	0.026	0.171	0.052	50.12
D(3)	0.026	0.593	0.114	75.15
G(1)	0.026	0.308	0.082	90.96
H(1)	0.245	1.148	0.162	66.42
H(2)	0.026	0.275	-	9.71
H(3)	1.025	0.958	0.204	100.00
H(4)	1.025	1.019	0.164	83.03
Q(1)	0.717	0.51	0.064	50.32

資料來源：本研究分析結果

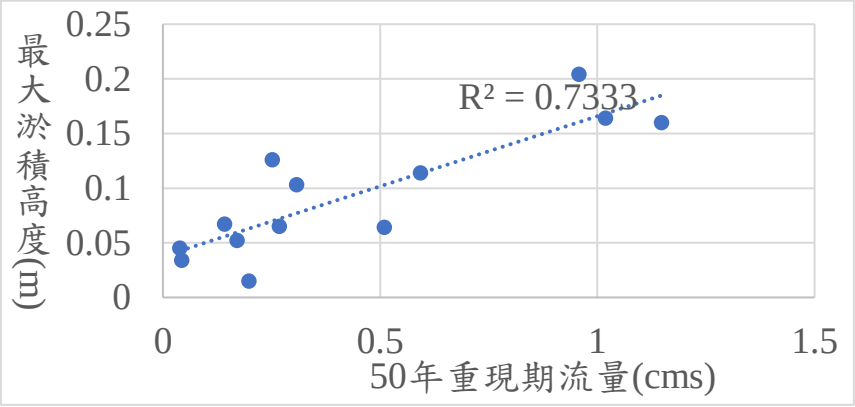


圖 4-57、50 年重現期流量與最大淤砂高度之關係

資料來源：本研究分析結果

經分析結果得知沉砂深度為 20cm 時，足以負荷所有分析沉砂設施產生之淤砂量。然而為避免出水口段流場較強，可能將已沉降之泥砂捲揚；另外考量現場裝設攔汙柵之施工便利性，建議在原先深度上預留空間。因此建議適合之最小沉砂深度為 30cm。

第五節　配置改善建議之水理模式演算

本節根據第四章第二節提出之三點配置改善建議：隔水擋板、橫向擋板以及入出水口設施，利用水理模式分析改善成效。

一、隔水擋板

針對入出水口距離較短之沉砂設施，若池內空間足夠，可考慮於原流路中增設隔水擋版，.可以使水體更廣泛流經設施內各區域，進而提高因砂率。本研究以入出水口較近之 H(1)沉砂設施為基礎，模擬新增隔水擋板後對流況的影響(圖 4-58 圖 4-59)。於洪峰流速圖(圖 4-60 圖 4-61)看出，在設置隔水擋板後成功地增加流長，並提高了對於整體沉砂空間的利用。觀察改善前後底床變化圖(圖 4-62、圖 4-63)發現，淤砂的分布更為廣泛，因砂率也有顯著的提升。

本座沉砂設施原始因砂率 56.42%，增設擋板後因砂率提升至 91.24%。由此可證隔水擋板之設置能夠有效地提高沉砂效率。

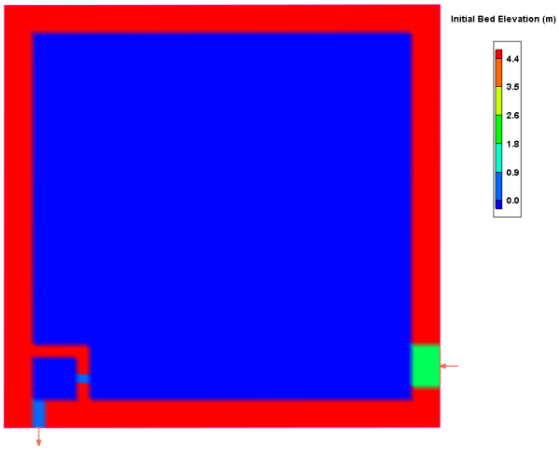


圖 4-58、隔水擋板設置前初始地形圖
資料來源：本研究分析結果

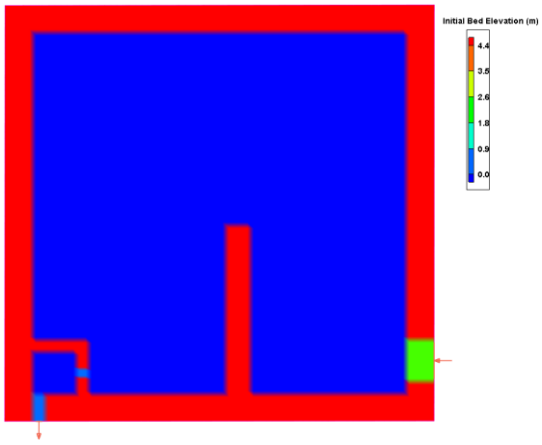


圖 4-59、隔水擋板設置後初始地形圖
資料來源：本研究分析結果

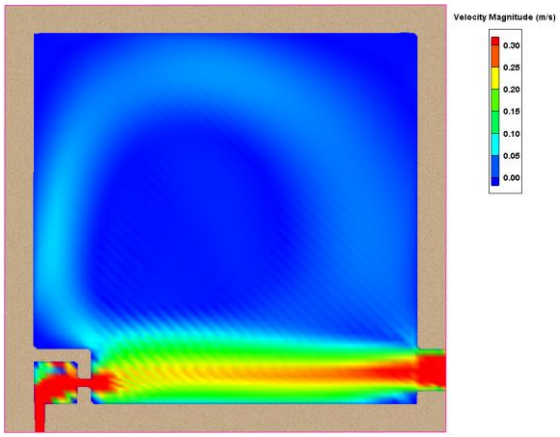


圖 4-60、隔水擋板設置前洪峰流速圖

資料來源：本研究分析結果

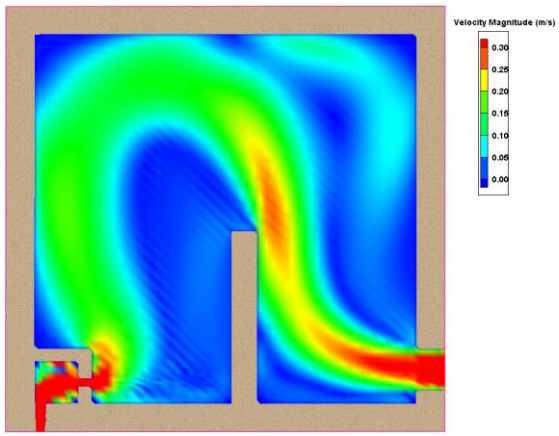


圖 4-61、隔水擋板設置後洪峰流速圖

資料來源：本研究分析結果

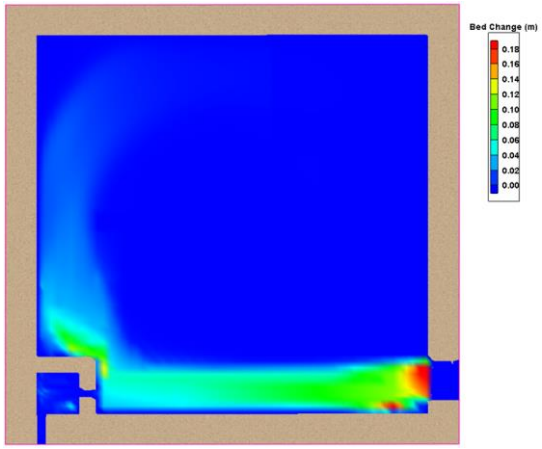


圖 4-62、隔水擋板設置前底床變化圖

資料來源：本研究分析結果

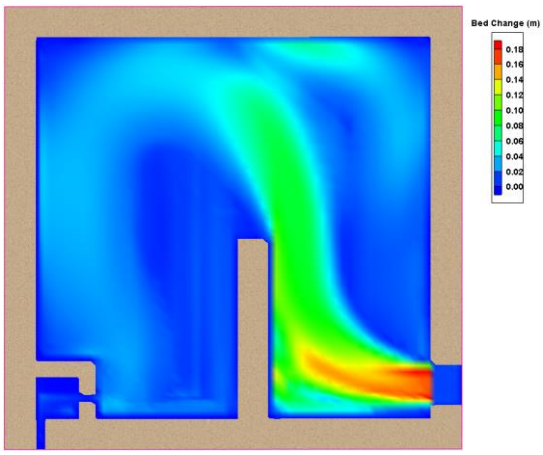


圖 4-63、隔水擋板設置後底床變化圖

資料來源：本研究分析結果

二、橫向擋板

Persson et al.(1999)設計之 Q 型配置，於沉砂設施中設置橫向擋板，不僅可達到減緩流速的效果，還可能改變底床淤砂分布。本研究以設有橫向擋板之序號 8 沉砂設施為基礎，模擬設置橫向擋板前後對流況的影響(圖 4-64、圖 4-65)。

由未添加擋板初始洪峰流速圖(圖 4-66)看出，水體流入設施後直接流向出水口。在設置橫向擋板後(圖 4-67)，主流路受到阻攔而延緩流至出水口的時間，擋板上多個孔口的設計也有助於分散水流，從而減緩流速。由底床變化圖(圖 4-68、圖 4-69)可以明顯地發現，設置橫向擋板後之淤砂分布較為廣泛，表示此類設計方式可以妥善運用沉砂空間。



圖 4-64、未添加擋板初始地形圖

資料來源：本研究分析結果

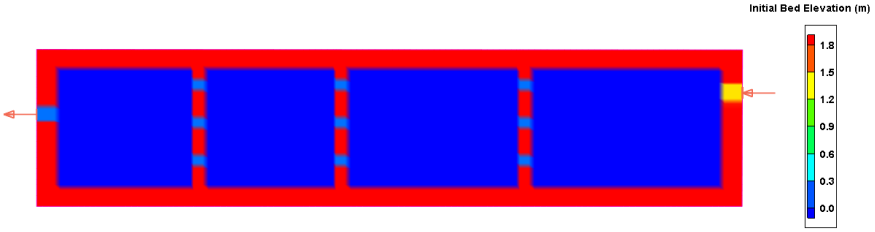


圖 4-65、設置橫向擋板之初始地形圖

資料來源：本研究分析結果

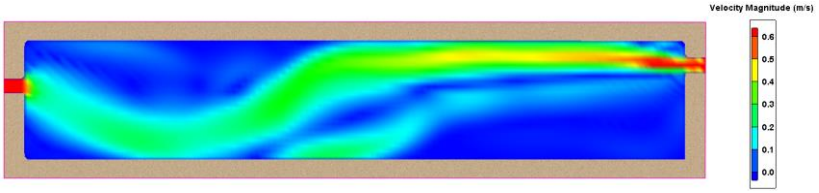


圖 4-66、未添加擋板初始洪峰流速圖

資料來源：本研究分析結果

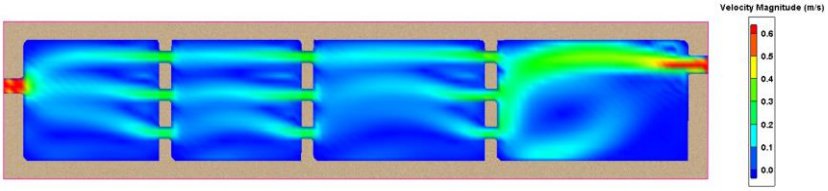


圖 4-67、設置橫向擋板之洪峰流速圖

資料來源：本研究分析結果

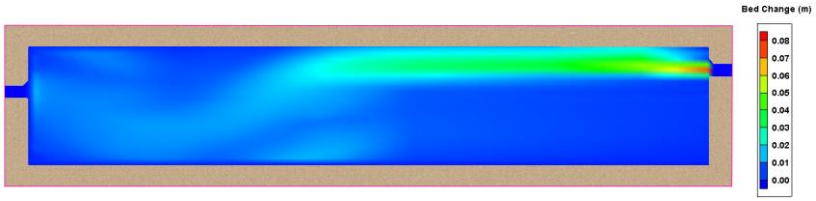


圖 4-68、未添加擋板底床變化圖
資料來源：本研究分析結果

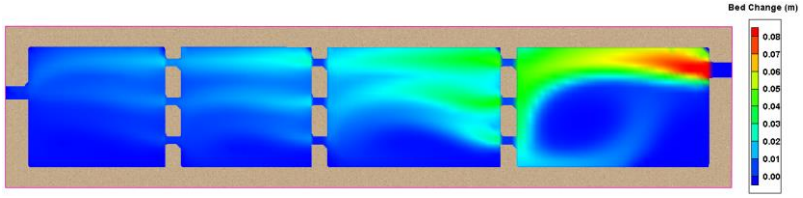


圖 4-69、設置橫向擋板之底床變化圖
資料來源：本研究分析結果

三、入出水口設施

受限於空間狹小而無法設置擋板的情況，可以透過改善排水系統或對池外地勢調整等方式，改變該入出水口相對位置，以增加流長並提高效率。

建於沉砂設施已竣工，若欲提高沉砂效率，需進行大規模改建現有不良配置。基於成本考量，本研究以 C(1)沉砂設施為例，該案例出入水口鄰近，模擬在僅透過改變出水口方向，而不需調整整體設計結構，探討對流況的影響程度 (圖 4-70、圖 4-71)。

透過將出水口方向調整至距離入水口較遠之位置，除了由改善前後之洪峰流速圖(圖 4-72、圖 4-73)看出能夠增加流路，對於沉砂空間的利用也有顯著的提升。由於挾砂水流不再立即排出，使泥砂有足夠時間運移至圖中上方區域沉降(圖 4-74、圖 4-75)。

本座沉砂設施原始囚砂率 6.39%，增設擋板後囚砂率提升至 27.83%。由此可證僅透過改變入出水口之相對方向，有助於囚砂率之提升。未來設計時仍須避免此類入出水口距離過近之設計。

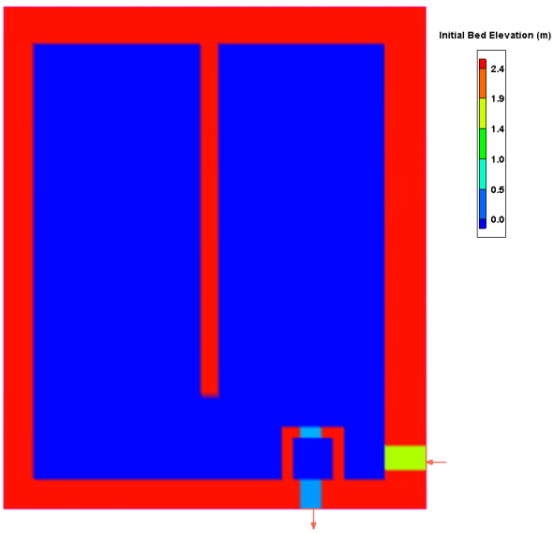


圖 4-70、設施改善前初始地形圖
資料來源：本研究分析結果

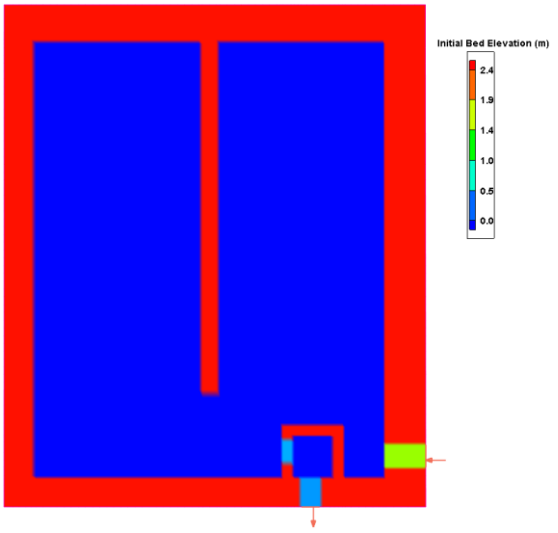


圖 4-71、設施改善後初始地形圖
資料來源：本研究分析結果

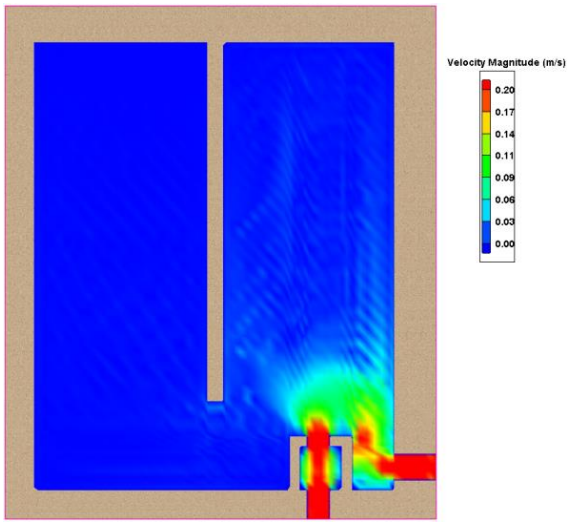


圖 4-72、設施改善前洪峰流速圖
資料來源：本研究分析結果

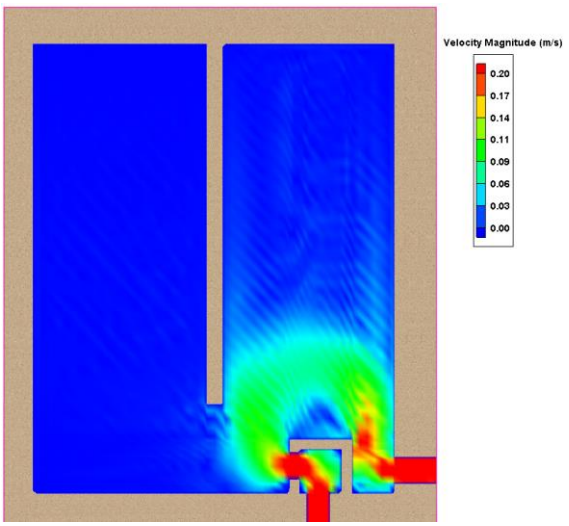


圖 4-73、設施改善後洪峰流速圖
資料來源：本研究分析結果

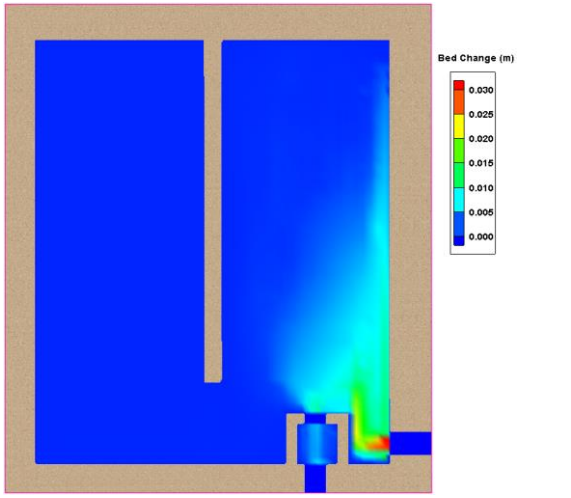


圖 4-74、設施改善前底床變化圖
資料來源：本研究分析結果

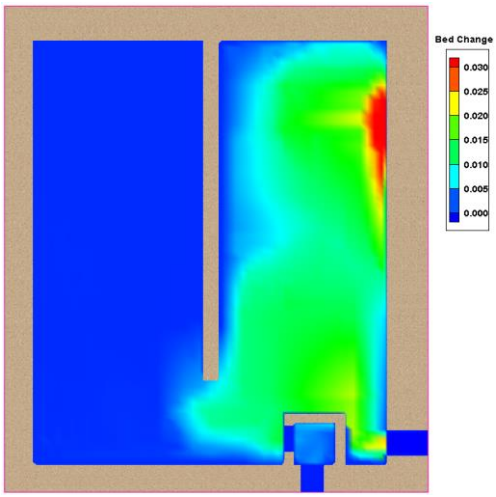


圖 4-75、設施改善後底床變化圖
資料來源：本研究分析結果

第五章　結論與建議

本研究分別利用囚砂率估算公式與水理模式探討沉砂設施配置對流況與囚砂率的影響，並從中歸納出對沉砂深度之影響，最後根據本研究提出之改善方案，使用水理模式驗證成效，期望未來可供沉砂設施之設計參考，提高工程效益，落實資源最佳化規劃。

第一節　結論

一、由囚砂率估算結果發現，影響囚砂率主要因子為泥砂在沉砂設施中滯留時間。因此若欲提升囚砂率，應以提升泥砂滯留時間為首要目標。

二、由分析結果得知當沉砂深度為 20cm 時，足以負荷本研究所分析之沉砂設施之淤砂量，然而為避免出水口泥砂捲揚及考量現場施工便利性，建議適合之最小沉砂深度為 30cm。

三、依據本研究提出之改善建議，經模式分析後，發現交錯的隔水擋版與橫向擋板的設置，可以使水體更廣泛流經設施內各區域，進而提高囚砂率，未來沉砂設施設計時可以參考以上配置方式。

四、針對已竣工之沉砂設施，基於成本考量，在僅透過改變出水口方向，而不需調整整體設計結構的條件下，經模式分析後沉砂效率也有明顯地改善。

第二節　建議

一、影響囚砂率主要因子為泥砂在沉砂設施中的滯留時間，而滯留時間受流長和流速的影響。透過本研究水理模式模擬成果已知流長對囚砂率之影響，建議未來可針對流速大小對囚砂率之影響性進行探討。

二、複式底床設計之沉砂設施，若沉砂空間與入水口距離接近，則易受入水口周圍紊動影響，使泥砂難以沉降於設計沉砂空間。因此設計位置應遠離入水口處，以避免沉砂效率不佳。

三、除了入出水口配置方式會影響囚砂率以外，入水口設計方向主導泥砂運移的方向，若面朝出水口設計，易使水體流入沉砂設施後迅速排出，而減少泥砂在池內運移的時間與路徑。

四、絕大部分沉砂設施之淤砂範圍集中於入出水口之間，對於整體空間利用率較低，若於其中央增設隔水擋板，不僅能夠提升對體空間的利用率，也有助於囚砂率的提高

五、橫向擋板有助於阻擋泥砂，但沿直線連貫設置之孔口會使水流加速。因此設計時應將孔口交錯設置，或是設置多個孔口以分散水流。

六、設計頂部加蓋之沉砂設施時，支撐結構物應減少使用多間隔牆體或是梁柱之型式，而是採用連續性牆體，可避免水體經由間隔流出，而使流路縮短並降低囚砂率。

參考書目

1. 行政院農業部農村發展及水土保持署，水土保持手冊，2017。
2. 行政院農業部農村發展及水土保持署，水土保持計畫審核監督辦法，2023。
3. 行政院農業部農村發展及水土保持署南投分局，CCHE-2D 模式軟體操作手冊，2017。
4. 行政院農業委員會，水土保持技術規範，2023。
5. 行政院環境保護署，土壤採樣方法(NIEA S102.64B) ，2022。
6. 巫仲明、陳樹群，“山坡地開發區沉砂池長度設計方法之研究”，中華水土保持學報，第三十二卷，第一期，41-50 頁，2000。
7. 吳奕汶，碩士論文，沉砂池改善設施效益評比及水理模擬分析，國立中興大學，2022。
8. 沈昱伸，碩士論文，利用水理模式探討滯洪沉砂池沉砂效率之研究，國立中興大學，2016。
9. Alabama Soil and Water Conservation Committee, “Erosion Control, Sediment Control and Stormwater Management on Construction Sites and Urban Areas.” 2018.
10. Camp, T. R., “Discussion on: effect of turbulence on sedimentation.” Trans., ASCE, Vol:109, pp.660-666, 1946.
11. Dobbins, W. E., “Effect of turbulence on sedimentation.” Trans., ASCE, Vol:109, pp.629-653, 1944.
12. Einstein, H. A., “Deposition of suspended particles in a gravel bed.”Journal of Hydaulics Division, ASCE, Vol:94, No:5, pp.354-362, 1968.

13. Grade, R. J., Raju K. G. R. and Sujudi, A. W. R., “Design of settling basins.” Journal of Hydraulic Research, Vol:208, No:1, pp.81-91, 1990.
14. Hazen, A., “On sedimentation.”Trans., ASCE, Vol:53, pp.45-71.
15. International Erosion Control Association, “Best Practice Erosion and Sediment Control (BPESC) document”, IECA, 2018.
16. Jpersson, J, Somes N.L.G.and Wong T.H.F.,“Hydraulics Efficiency of Constructed Wetlands and Ponds.” Water Science and Technology, Vol.40, No.3, pp.291-300, 1999.
17. Kang, J. King, S. and McLaughlin, R. “Impacts of Flocculation on Sediment Basin Performance and Design.”, Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), 57(4): 1099-1107.
18. United States Department of Agriculture (USDA), “Soil texture triangle.”, 1999.
19. United States Department of Agriculture (USDA), “Soil taxonomy.”, 1999.
20. Vetter, C.P.,“Technical aspects of the silt problem on the Colorado River.”Civil Engineering, Vol:10, No:11, pp.698-701, 1940.

附錄

附錄一　因砂率估算過程

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	因砂率
1	YUBW08201001	內政部警政署保安警察第一總隊新北市三峽區大埔段大埔小段 286-1 地號等 9 筆土地七層營舍(日新樓)新建工程	DET-A1	G	20.11	2.7	0.0797	5.67	砂質土	0.014056	0.141687	1430.899	19.05604	75.08901	100.00%
			DET-A2	C	1.00	3.1	0.2027	6.82	砂質土	0.029721	0.141687	33.64578	21.87916	1.537801	78.51%
2	YUBW09312003	曾文水庫越域引水工程計畫－隧道工程水土保持計畫	C1-S-01	A	4.00	2.2	0.077	6.96	坋質土	0.011063	0.000606	361.5584	3629.915	0.099605	9.48%
			C1-S-02	A	4.78	2.2	0.139	3.36	坋質土	0.041369	0.000606	115.4709	3629.915	0.031811	3.13%
			C2-RS-01	D	18.40	2	0.262	18.335	坋質土	0.01429	0.000606	1287.649	3299.923	0.390206	32.31%
			C3-RS-01	C	17.29	1.4	0.612	35.7	坋質土	0.017143	0.000606	1008.511	2309.946	0.436595	35.38%
			C3-RS-02	C	14.73	1.9	0.216	5.7	坋質土	0.037895	0.000606	388.8132	3134.927	0.124026	11.66%
			C3-RS-03	C	4.44	2.5	0.612	5	坋質土	0.1224	0.000606	36.29937	4124.904	0.0088	0.88%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
3	YUBW09403002	園區四期銅鑼基地開發工程水土保持計畫	無設置												
4	YUBW09708003	綠島人權紀念園區新生訓導處局部復原及原點紀念空間工程水土保持計畫		C	5.50	0.8	0.348	5.96	砂質土	0.058389	0.141687	94.1954	5.646234	16.68287	100.00%
5	YUBW09712002	國立海洋科技博物館海洋科學與科技建築新建工程南區	SA1	Q	6.50	3.1	0.163	17.64	坋質土	0.00924	0.000606	703.4356	5114.88	0.137527	12.85%
			SA2	C	2.00	2.8	0.944	15.8	坋質土	0.059747	0.000606	33.47458	4619.892	0.007246	0.72%
			SB1	D	18.00	1.7	0.138	13.05	坋質土	0.010575	0.000606	1702.174	2804.934	0.60685	45.49%
			SB2	H	3.00	1.3	0.517	5.25	坋質土	0.098476	0.000606	30.46422	2144.95	0.014203	1.41%
6	YUBW09802001	國立海洋科技博物館海洋科學與科技建築新建工程區域探索館區		C	8.00	1.3	1.81	10.2	坋質土	0.177451	0.000606	45.08287	2144.95	0.021018	2.08%
7	YUBW09806001	清境農場藝品特產店新建工程		B	7.00	2.1	0.146	11.55	砂質土	0.012641	0.141687	553.7671	14.82136	37.36276	100.00%
8	YUBW09806002	北區土石流防災應變及混凝土試驗辦公室新建工程」		D	12.35	0.65	0.033	2.86	坋質土	0.011538	0.000606	1070.333	1072.475	0.998003	63.14%
9	YUBW09810001	國立海洋科技博物館海洋科學與科技建築新建工程環保復育公園區	SA	D	34.50	2	1.14	26.73	坋質土	0.042649	0.000606	808.9342	3299.923	0.245137	21.74%
			SB	H	12.48	1.6	0.897	36.47	坋質土	0.024596	0.000606	507.4087	2639.938	0.192205	17.49%
10	YUBW09904001	國家射擊訓練基地-公西靶場整建計畫	S1-A	C	1.40	4.3	0.7389	35.78	坋質土	0.020651	0.000606	67.79266	7094.834	0.009555	0.95%
			S1-B	C	4.37	4.3	5.0574	35.78	坋質土	0.141347	0.000606	30.89911	7094.834	0.004355	0.43%
11	YUBW09909001	臺中市東山路縣道129線(D標末至中興嶺段拓寬工程)	P1	C	1.00	1.85	2.235	18.5	砂質土	0.120811	0.141687	8.277405	13.05692	0.633948	46.95%
			P2	D	6.50	2.7	0.316	18.9	砂質土	0.01672	0.141687	388.7658	19.05604	20.40119	100.00%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長 (m)	深度 (m)	出流量 (cms)	斷面積 (m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
			P3	C	1.00	2.5	1.763	20	砂質土	0.08815	0.141687	11.3443	17.64448	0.642938	47.43%
			P4	A	11.00	3.45	1.999	31.05	砂質土	0.06438	0.141687	170.8604	24.34939	7.017033	99.91%
			P5	P	13.80	2.6	1.04	16.38	砂質土	0.063492	0.141687	217.35	18.35026	11.84452	100.00%
			P6	D	12.00	2.3	1.662	22.325	砂質土	0.074446	0.141687	161.1913	16.23292	9.929902	100.00%
			P7	H	7.50	3.8	1.876	52.5	砂質土	0.035733	0.141687	209.8881	26.81961	7.825917	99.96%
			P8	H	6.08	3.8	0.887	24.7	砂質土	0.035911	0.141687	169.3847	26.81961	6.315703	99.82%
12	YUBW09912002	楊梅市 I-9-15 都市計畫道路開闢工程	A	B	16.00	2.43	0.19	18.94	坋質土	0.010032	0.000606	1594.947	4009.406	0.397801	32.82%
			B	Q	31.05	2.4	0.2684	13	坋質土	0.020646	0.000606	1503.912	3959.907	0.379785	31.60%
13	YUBW09912004	內政部空中勤務總隊第二大隊勤務廳舍新建工程水土保持計畫		H	5.60	1.8	0.44	6.36	坋質土	0.069182	0.000606	80.94545	2969.931	0.027255	2.69%
14	YUBW10009002	東光種原保存園區		C	53.00	2.2	2.717	34.42	坋質土	0.078937	0.000606	671.4244	3629.915	0.18497	16.89%
15	YUBW10101001	光復營區新建工程	1	H	3.36	1.25	0.136	15	砂質土	0.009067	0.141687	370.7108	8.822241	42.02002	100.00%
			2	H	3.06	1.25	0.136	15	砂質土	0.009067	0.141687	337.0098	8.822241	38.20002	100.00%
16	YUBW10102002	「J024 新建工程」水土保持計畫	TW-01	C	2.00	2.05	0.8	28.844	坋質土	0.027735	0.000606	72.11	3382.421	0.021319	2.11%
			TW-02	D	21.41	1.3	0.149	12	坋質土	0.012417	0.000606	1724.437	2144.95	0.803952	55.24%
17	YUBW10105002	國家生技研究園區水土保持計畫		C	21.33	1.6	34	121.09	坋質土	0.280783	0.000606	75.97804	2639.938	0.02878	2.84%
18	YUBW10106001	國立海洋科技博物館海洋科學與科技建築新建工程(海洋教育與遊憩活動訓練設施)		C	1.50	1.8	0.165	5.69	砂質土	0.028998	0.141687	51.72727	12.70403	4.071722	98.30%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長 (m)	深度 (m)	出流量 (cms)	斷面積 (m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
19	YUBW10201004	「臺中清泉崗警衛營整建工程」水土保持計畫	西側	Q	9.60	1.8	0.05457	5.78	砂質土	0.009441	0.141687	1016.822	12.70403	80.03938	100.00%
			東側	D	6.00	0.58	0.01888	3.77	砂質土	0.005008	0.141687	1198.093	4.09352	292.6804	100.00%
20	YUBW10209001	志航基地飛機支援設施新建工程水土保持計畫	甲一	A	20.81	1.45	0.313	26.1	坋質土	0.011992	0.000606	1735.162	2392.444	0.725268	51.58%
			甲二	D	17.12	1.35	0.183	3.375	坋質土	0.054222	0.000606	315.6869	2227.448	0.141726	13.21%
			乙	D	9.50	1.25	0.078	8.75	坋質土	0.008914	0.000606	1065.705	2062.452	0.516718	40.35%
			丙	I	22.00	0.73	0.176	6.205	坋質土	0.028364	0.000606	775.625	1204.472	0.643954	47.48%
21	YUBW10210004	苗栗園區人行入口景觀改善及遊客服務中心新建工程水土保持計畫	無設置												
22	YUBW10211002	高雄市鼓山區壽山段 137-11 等 3 筆地號壽山國家自然公園環境教育紀行政服務園區整建工程	DA1	A	8.50	3.2	0.208	7.84	黏質土	0.026531	3.59E-06	320.3846	892299.1	0.000359	0.04%
			DA2	C	2.00	1.6	0.179	6.16	黏質土	0.029058	3.59E-06	68.82682	446149.6	0.000154	0.02%
23	YUBW10212001	陣地工程桃園銀河營區整建工程	DA	J	23.00	2.2	0.4217	18.7	砂質土	0.022551	0.141687	1019.919	15.52714	65.68622	100.00%
			DB	C	18.29	2.05	0.9152	20.79	砂質土	0.044021	0.141687	415.3846	14.46848	28.70963	100.00%
			DC	H	10.00	2.15	0.2425	18	砂質土	0.013472	0.141687	742.268	15.17425	48.91628	100.00%
24	YUBW10302002	曾文水庫防淤隧道工程計畫-操作控制室	D1	D	19.00	0.6	0.055	4.2	坋質土	0.013095	0.000606	1450.909	989.9769	1.465599	76.91%
25	YUBW10305001	國藥用植物園既有林道改善暨相關附屬設施	DA1	B	8.00	1.6	0.044	4	砂質土	0.011	0.141687	727.2727	11.29247	64.40334	100.00%
			DA3	C	3.00	1.9	0.085	7.6	砂質土	0.011184	0.141687	268.2353	13.40981	20.00292	100.00%
			SA1	E	2.67	0.55	0.66263	6.23	砂質土	0.106361	0.141687	25.07181	3.881786	6.458833	99.84%
			SB1	E	5.00	1.5	0.82828	5.63	砂質土	0.147119	0.141687	33.98609	10.58669	3.210266	95.97%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
26	YUBW10305002	苗栗縣南庄鄉樂山段 1 地號及泰安鄉曙光段 15-1 地號等 2 筆土地水土保持計畫		Q	13.00	1.25	0.139	4.64	坋質土	0.029957	0.000606	433.9568	2062.452	0.210408	18.97%
27	YUBW10312003	福壽山農場賓館新建工程		H	10.77	2.8	0.1204	28.48	砂質土	0.004228	0.141687	2547.406	19.76182	128.9054	100.00%
28	YUBW10402003	「湖山水庫管理中心新建工程」水土保持計畫	TP1	C	17.88	1.15	0.225	10.52	坋質土	0.021388	0.000606	835.7556	1897.456	0.440461	35.63%
			TP2	D	11.00	1.15	0.099	13.98	坋質土	0.007082	0.000606	1553.333	1897.456	0.81864	55.90%
29	YUBW10404001	石門水庫既有設施防淤功能改善工程計畫-電廠防淤第二期工程(重新提送審查)		H	6.90	2.75	0.308	90.2	砂質土	0.003415	0.141687	2020.714	19.40893	104.1126	100.00%
30	YUBW10411001	北區老人之家養護中心新建及院區排水、電力改善及餐廳耐震補強		C	6.67	1.5	0.2125	21.75	黏質土	0.00977	3.59E-06	682.3529	418265.2	0.001631	0.16%
31	YUBW10412002	國家免疫馬匹畜牧場水土保持計畫	DET1	I	34.00	0.7	0.034	3.5	坋質土	0.009714	0.000606	3500	1154.973	3.030374	95.17%
			DET2	I	38.00	0.7	0.161	4.5	坋質土	0.035778	0.000606	1062.112	1154.973	0.919599	60.13%
			DET3	I	41.00	0.8	0.174	3.25	坋質土	0.053538	0.000606	765.8046	1319.969	0.580169	44.02%
			DET4	I	34.00	0.65	0.185	4.25	坋質土	0.043529	0.000606	781.0811	1072.475	0.728298	51.73%
			DET5	I	26.00	0.45	0.158	5	坋質土	0.0316	0.000606	822.7848	742.4826	1.108154	66.98%
			DET6	C	6.05	0.8	0.336	5	坋質土	0.0672	0.000606	90.02976	1319.969	0.068206	6.59%
32	YUBW10501001	臺北歐洲學校陽明山校區新建工程第三基地水土保持計畫	DETA	C	10.00	2.37	0.0819	9.48	砂質土	0.008639	0.141687	1157.509	16.72697	69.20017	100.00%
			DETB	H	3.00	0.55	0.0664	9.99	砂質土	0.006647	0.141687	451.3554	3.881786	116.2752	100.00%
33	YUBW10509001	J025 新建工程	PS	H	35.00	2.5	1.496	70.2	坋質土	0.021311	0.000606	1642.38	4124.904	0.398162	32.84%
			PS2	C	18.00	3.1	0.383	48.5	坋質土	0.007897	0.000606	2279.373	5114.88	0.445636	35.96%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
34	YUBW10509002	J026 新建工程水土保持計畫	PS1	G	320.00	1.85	0.759	9.25	坋質土	0.082054	0.000606	3899.868	3052.429	1.277628	72.13%
			PS2	A	23.00	2.1	0.234	41	坋質土	0.005707	0.000606	4029.915	3464.919	1.163062	68.75%
			PS3	H	15.00	3.8	0.547	19	坋質土	0.028789	0.000606	521.0238	6269.853	0.0831	7.97%
35	YUBW10511001	新竹縣新豐鄉上坑段 94-2 地號等 1 筆土地坑子口訓練場鳳山連遷建工程		C	3.33	2.4	0.32	14.18	黏質土	0.022567	3.59E-06	147.7083	669224.4	0.000221	0.02%
36	YUBW10603002	「成功嶺營區新建工程」水土保持計畫		B	59.38	2.25	1.84	43.031	砂質土	0.04276	0.141687	1388.568	15.88003	87.44114	100.00%
37	YUBW10604002	園區四期銅鑼基地開發工程銅科六路延伸工程水土保持計畫	無設置												
38	YUBW10607001	屏東縣三軍聯訓基地-厚殼、下仁一路及赤牛嶺三處訓場道路興建工程水土保持計畫	C1-RS1	H	6.00	0.8	0.101	14.4	坋質土	0.007014	0.000606	855.4455	1319.969	0.64808	47.70%
			C2-RS1	C	9.60	1	0.107	17.76	坋質土	0.006025	0.000606	1593.421	1649.961	0.965732	61.93%
			C3-RS1	C	1.91	1.8	0.074	4.55	坋質土	0.016264	0.000606	117.3833	2969.931	0.039524	3.88%
			C3-RS2	C	1.50	0.8	0.03	2.4	坋質土	0.0125	0.000606	120	1319.969	0.090911	8.69%
39	YUBW10608001	繼光營區新建工程	A	G	170.44	1.4	1.39	6.75	坋質土	0.205926	0.000606	827.6586	2309.946	0.358302	30.11%
40	YUBW10608002	二重溪營區新建工程	A	C	22.88	1	1.1626	51.83	砂質土	0.022431	0.141687	1019.793	7.057793	144.4918	100.00%
			B	C	45.00	1.6	1.0101	44.27	砂質土	0.022817	0.141687	1972.23	11.29247	174.6501	100.00%
41	YUBW10611001	保力營區新建工程	A	H	6.60	0.45	0.229	3.96	砂質土	0.057828	0.141687	114.131	3.176007	35.93538	100.00%
			B	Q	2.50	1.3	1.225	79.3	砂質土	0.015448	0.141687	161.8367	9.175131	17.63863	100.00%
42			P1	D	25.00	2.5	4.032	39.75	坋質土	0.101434	0.000606	246.4658	4124.904	0.059751	5.80%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
	YUBW10611002	國防部軍備局生產製造中心第 205 廠遷建-國家中山科學研究院林園營區新建工程	P2	D	22.19	2.65	2.681	51.75	坋質土	0.051807	0.000606	428.3225	4372.398	0.097961	9.33%
			P3	I	27.48	2.55	1.298	11.06	坋質土	0.11736	0.000606	234.1699	4207.402	0.055657	5.41%
43	YUBW10612001	石門水庫阿姆坪防淤隧道工程	Det1	B	15.00	2.2	0.176	12.76	坋質土	0.013793	0.000606	1087.5	3629.915	0.299594	25.89%
			Det2	A	15.00	1.3	0.018	6.94	坋質土	0.002594	0.000606	5783.333	2144.95	2.696256	93.25%
44	YUBW10612002	國防部軍備局生產製造中心第 205 廠光復營區新建工程	1	H	52.88	2.1	1.9643	9.69	坋質土	0.202714	0.000606	260.8705	3464.919	0.075289	7.25%
			2	H	1.50	1.9	0.3917	14.59	坋質土	0.026847	0.000606	55.87184	3134.927	0.017822	1.77%
			3	B	21.00	2.75	1.656	57.82	坋質土	0.028641	0.000606	733.2246	4537.394	0.161596	14.92%
			4	C	23.89	2	1.1846	7.13	坋質土	0.166143	0.000606	143.8118	3299.923	0.04358	4.26%
			5	K	4.00	2.1	0.3813	13.13	坋質土	0.02904	0.000606	137.7393	3464.919	0.039753	3.90%
			6	Q	11.85	1.6	0.1488	9.76	坋質土	0.015246	0.000606	777.2581	2639.938	0.294423	25.50%
			7	A	56.88	1.5	2.2424	49.5	坋質土	0.045301	0.000606	1255.656	2474.942	0.507348	39.79%
			8	D	11.10	0.9	0.1686	12.06	坋質土	0.01398	0.000606	793.9858	1484.965	0.534683	41.41%
			9	C	9.07	1.5	0.1608	15	坋質土	0.01072	0.000606	846.3779	2474.942	0.341979	28.96%
			10	C	7.64	1	0.0577	14.8	坋質土	0.003899	0.000606	1959.368	1649.961	1.187524	69.50%
45	YUBW10612003	國防部軍備局生產製造中心第 205 廠大樹北營區新建工程	1	I	10.67	1.55	0.3105	23.76	黏質土	0.013068	3.59E-06	816.2319	432207.4	0.001889	0.19%
			2	C	14.00	1.2	0.0801	8.82	黏質土	0.009082	3.59E-06	1541.573	334612.2	0.004607	0.46%
			3	H	26.00	6.3	3.9788	45	黏質土	0.088418	3.59E-06	294.0585	1756714	0.000167	0.02%
			4	B	10.00	0.7	0.2613	8.4	黏質土	0.031107	3.59E-06	321.4696	195190.4	0.001647	0.16%
			5	H	14.40	2.1	0.9739	29.51	黏質土	0.033002	3.59E-06	436.3323	585571.3	0.000745	0.07%
			6	C	13.40	2.1	0.8583	30.24	黏質土	0.028383	3.59E-06	472.1146	585571.3	0.000806	0.08%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
			7	H	114.62	0.8	0.406	9.44	黏質土	0.043008	3.59E-06	2665.056	223074.8	0.011947	1.19%
46	YUBW10703001	祝山車站改建工程水土保持計畫		C	10.60	1	0.1052	5.26	坋質土	0.02	0.000606	530	1649.961	0.32122	27.47%
47	YUBW10704001	岳崗營區工務大樓新建工程		D	13.80	1.5	0.3304	12.02	坋質土	0.027488	0.000606	502.046	2474.942	0.202852	18.36%
48	YUBW10705001	臺灣警察專科學校學生宿舍大樓新建工程水土保持計畫		H	2.70	1.9	0.0957	5.7	坋質土	0.016789	0.000606	160.815	3134.927	0.051298	5.00%
49	YUBW10705002	臺北榮民總醫院新建醫療大樓工程水土保持計畫	E1	C	1.67	1.55	0.0868	6.08	砂質土	0.014276	0.141687	116.7435	10.93958	10.67166	100.00%
			E2	C	3.43	2.1	0.0795	7.21	砂質土	0.011026	0.141687	311.073	14.82136	20.98814	100.00%
50	YUBW10706001	法務部矯正署臺中看守所汙水處理廠增擴建工程	E1	C	4.35	0.65	0.038	9.6	黏質土	0.003958	3.59E-06	1098.947	181248.3	0.006063	0.60%
			E2	C	12.00	0.9	0.017	5.3	黏質土	0.003208	3.59E-06	3741.176	250959.1	0.014908	1.48%
51	YUBW10707001	步兵一０四旅成六訓練場手榴彈實投擲場整修工程		H	35.00	1.5	0.023	75.9	砂質土	0.000303	0.141687	115500	10.58669	10909.93	100.00%
52	YUBW10707002	72 高地暨貓仔坑訓場地坪整建工程	DET1	J	10.00	2.7	0.342	27	黏質土	0.012667	3.59E-06	789.4737	752877.4	0.001049	0.10%
			DET2	B	10.60	1.9	0.069	10.64	黏質土	0.006485	3.59E-06	1634.551	529802.6	0.003085	0.31%
			DET3	C	14.08	3.1	0.168	19.84	黏質土	0.008468	3.59E-06	1662.781	864414.8	0.001924	0.19%
			DET4	C	8.25	2.2	0.419	17.6	黏質土	0.023807	3.59E-06	346.5394	613455.7	0.000565	0.06%
			DET5	C	40.60	1.7	0.232	8.5	黏質土	0.027294	3.59E-06	1487.5	474033.9	0.003138	0.31%
			S1	C	1.20	1.4	0.524	1.92	黏質土	0.272917	3.59E-06	4.396947	390380.9	1.13E-05	0.00%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長 (m)	深度 (m)	出流量 (cms)	斷面積 (m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
53	YUBW10707003	光華營區污水下水道新建工程水土保持計畫		C	2.14	1.8	0.58368	12.38	坋質土	0.047147	0.000606	45.45054	2969.931	0.015304	1.52%
54	YUBW10707004	考潭營區新建工程	E1	B	38.15	1.02	0.805	18.36	坋質土	0.043845	0.000606	870.0166	1682.961	0.516956	40.37%
			E2	A	4.80	0.95	0.093	8.76	坋質土	0.010616	0.000606	452.129	1567.463	0.288446	25.06%
			E3	H	16.61	1.02	0.998	37.95	坋質土	0.026298	0.000606	631.655	1682.961	0.375324	31.29%
			E4	C	21.00	1.19	0.144	6.78	坋質土	0.021239	0.000606	988.75	1963.454	0.503577	39.56%
55	YUBW10709002	福興營區營舍整建統包工程	WS-1	C	18.94	4	1.167	11.6	坋質土	0.100603	0.000606	188.2923	6599.846	0.02853	2.81%
			WS-2	C	5.00	4	0.247	8.4	坋質土	0.029405	0.000606	170.0405	6599.846	0.025764	2.54%
			WS-3	C	5.00	4	0.335	8.4	坋質土	0.039881	0.000606	125.3731	6599.846	0.018996	1.88%
56	YUBW10710001	空軍 H002 工程	P1	C	1.59	1.95	1.271	36	黏質土	0.035306	3.59E-06	45.14162	543744.8	8.3E-05	0.01%
			P2	H	1.25	1.3	0.262	13	黏質土	0.020154	3.59E-06	62.0229	362496.5	0.000171	0.02%
57	YUBW10712001	「DN 專案」新建工程水土保持計畫	DA1	Q	12.80	1.75	0.0736	8.75	坋質土	0.008411	0.000606	1521.739	2887.432	0.527022	40.96%
			DA2	B	10.00	1.75	0.112	13.13	坋質土	0.00853	0.000606	1172.321	2887.432	0.406008	33.37%
			DA3	B	10.30	1.75	0.0899	10.58	坋質土	0.008497	0.000606	1212.391	2887.432	0.419886	34.29%
			DB1	H	4.20	1.75	0.1914	10.5	坋質土	0.018229	0.000606	230.4075	2887.432	0.079797	7.67%
			DB2	D	32.00	1.7	0.3554	17.1	坋質土	0.020784	0.000606	1539.674	2804.934	0.548916	42.24%
			DC	H	26.00	2.1	0.2994	14	坋質土	0.021386	0.000606	1215.765	3464.919	0.350878	29.59%
58	YUBW10802001	飛鎧二號設施工程(苗栗西湖營區)水土保持計畫	WA	C	13.72	1.8	1.688	40.64	黏質土	0.041535	3.59E-06	330.3204	501918.3	0.000658	0.07%
			WB	C	14.13	2	0.517	10.6	黏質土	0.048774	3.59E-06	289.7743	557687	0.00052	0.05%
59		阿里山森林鐵路 42 號隧道計畫水土保持計畫	DA	H	1.50	0.8	0.244	18.87	砂質土	0.012931	0.141687	116.0041	5.646234	20.54539	100.00%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
	YUBW10803001		DC	C	2.63	0.8	0.016	1.2	砂質土	0.013333	0.141687	196.875	5.646234	34.86837	100.00%
			DD	C	2.00	1.8	0.016	3.6	砂質土	0.004444	0.141687	450	12.70403	35.42184	100.00%
			DE	H	1.67	1.1	0.005	1.65	砂質土	0.00303	0.141687	550	7.763572	70.84368	100.00%
60	YUBW10804001	飛鎧二號設施工程花蓮美侖營區	DA1	D	45.00	1.9	2.5105	57.95	坋質土	0.043322	0.000606	1038.737	3134.927	0.331343	28.20%
			DB1	D	37.80	2.8	0.3707	11.2	坋質土	0.033098	0.000606	1142.056	4619.892	0.247204	21.90%
			DC1	G	16.45	0.9	0.0786	4.5	坋質土	0.017467	0.000606	941.7136	1484.965	0.634165	46.96%
61	YUBW10804003	飛鎧二號設施工程(高雄林園二橋營區)	DA1	H	3.60	1	1.6185	2.3	坋質土	0.703696	0.000606	5.115848	1649.961	0.003101	0.31%
			DA2	C	3.00	0.95	0.43	1.5	坋質土	0.286667	0.000606	10.46512	1567.463	0.006676	0.67%
62	YUBW10804004	飛鎧二號設施工程（高雄林園鳳鼻頭營區）	DA1	G	22.22	0.95	1.6185	12.83	坋質土	0.12615	0.000606	176.1576	1567.463	0.112384	10.63%
			DB1	C	38.46	2.4	0.2274	10.8	坋質土	0.021056	0.000606	1826.669	3959.907	0.461291	36.95%
			DB2	H	20.25	1.2	0.8762	22.75	坋質土	0.038514	0.000606	525.7789	1979.954	0.265551	23.32%
63	YUBW10804005	飛鎧二號設施工程(宜蘭蘇澳砲臺山營區)	PS	G	76.00	2.3	1.1454	8.05	坋質土	0.142286	0.000606	534.1365	3794.911	0.140751	13.13%
64	YUBW10804006	飛鎧二號設施工程(桃園龜山營區)水土保持計畫		C	31.17	1.6	3.055	31.86	黏質土	0.095888	3.59E-06	325.0537	446149.6	0.000729	0.07%
65	YUBW10804007	飛鎧二號設施工程(桃園山腳營區)水土保保持計畫	PS1	C	62.31	2	0.951	5.88	坋質土	0.161735	0.000606	385.2463	3299.923	0.116744	11.02%
			PS2	B	9.60	1.85	0.323	10.36	坋質土	0.031178	0.000606	307.9133	3052.429	0.100875	9.60%
			PS3	H	9.63	2.1	0.173	39.4	坋質土	0.004391	0.000606	2192.052	3464.919	0.632642	46.88%
66	YUBW10805001	陸軍「清泉崗營區新建工程」水土保持計畫	A	C	14.60	2.3	3.24	59.42	坋質土	0.054527	0.000606	267.7568	3794.911	0.070557	6.81%
			B	C	20.00	2.5	5.12	142.17	坋質土	0.036013	0.000606	555.3516	4124.904	0.134634	12.60%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
			C	C	20.00	2.3	2.98	51.25	坋質土	0.058146	0.000606	343.9597	3794.911	0.090637	8.67%
67	YUBW10806001	中正基地艦隊營舍設施新建工程水土保持計畫	沉砂溝												
68	YUBW10806002	白河水庫繞庫防淤工程	Det-A11	A	10.00	1.3	0.68	17.85	砂質土	0.038095	0.141687	262.5	9.175131	28.60995	100.00%
			Det-A12	A	5.40	1.3	0.68	17.85	砂質土	0.038095	0.141687	141.75	9.175131	15.44937	100.00%
			Det-A33	A	11.70	0.4	0.024	4.5	砂質土	0.005333	0.141687	2193.75	2.823117	777.0666	100.00%
			Det-A34	A	10.80	0.4	0.024	2.71	砂質土	0.008856	0.141687	1219.5	2.823117	431.9693	100.00%
			Det-A35	H	8.10	0.35	0.011	1.34	砂質土	0.008209	0.141687	986.7273	2.470227	399.4479	100.00%
			Det-A36	H	9.90	0.35	0.011	1.57	砂質土	0.007006	0.141687	1413	2.470227	572.0121	100.00%
			Det-B1	C	7.14	1.3	0.061	12.87	砂質土	0.00474	0.141687	1507.026	9.175131	164.2511	100.00%
			Det-B2	C	7.14	1.3	0.061	20.79	砂質土	0.002934	0.141687	2434.426	9.175131	265.3288	100.00%
69	YUBW10808001	國軍忠靈二殿興建工程	DET1	C	9.00	2.56	0.315	8.45	坋質土	0.037278	0.000606	241.4286	4223.901	0.057158	5.56%
			DET2	G	2.50	1.55	0.1112	7.75	坋質土	0.014348	0.000606	174.2356	2557.44	0.068129	6.59%
70	YUBW10808003	新竹科學園區(寶山用地)擴建工程	MA	B	7.88	0.6	0.015	4.668	坋質土	0.003213	0.000606	2450.7	989.9769	2.475512	91.59%
71	YUBW10809001	生物安全等級四級實驗室設備暨設施案	D1	I	12.22	5.95	0.7704	35.7	砂質土	0.02158	0.141687	566.1852	41.99387	13.48257	100.00%
72	YUBW10809002	臺東深層海水試驗管工程	無設置												

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
73	YUBW10810001	船帆石停車場新建工程		C	9.17	0.18	0.05	0.99	砂質土	0.050505	0.141687	181.5	1.270403	142.8681	100.00%
74	YUBW10812001	「后里園區七星基地專 2 用地增闢道路及附屬設施工程」水土保持計畫	無設置												
75	YUBW10903001	水上特種作戰訓練場新建工程水土保持計畫	Det	J	54.00	1.85	0.1551	5.55	黏質土	0.027946	3.59E-06	1932.302	515860.4	0.003746	0.37%
76	YUBW10904001	曾文南化聯通管統包工程 A1 標	I	J	15.00	1.5	0.147	3.51	坋質土	0.04188	0.000606	358.1633	2474.942	0.144716	13.47%
			II	A	6.00	1.95	0.012	2.1	坋質土	0.005714	0.000606	1050	3217.425	0.326348	27.84%
			DA	H	16.67	1.8	0.504	68.4	坋質土	0.007368	0.000606	2261.905	2969.931	0.761602	53.31%
77	YUBW10907001	陸航清泉崗基地設施新建工程水土保持計畫	無設置	D	76.00	1.4	0.829	25.62	砂質土	0.032358	0.141687	2348.758	9.88091	237.7066	100.00%
79	YUBW10908001	『銅鑼科學園區污水處理廠第二期工程-導電度處理設施功能提昇』統包工程													
80	YUBW10910001	內角營區新建工程水土保持計畫	A	B	14.00	0.95	1.616	17.01	坋質土	0.095003	0.000606	147.3639	1567.463	0.094014	8.97%
			B	C	20.00	1.5	1.057	28.76	坋質土	0.036752	0.000606	544.1816	2474.942	0.219877	19.74%
81	YUBW10911001	臺中清泉崗基地機庫堡等軍事設施整建工程	S1	H	1.10	1.62	0.475	9.72	坋質土	0.048868	0.000606	22.50947	2672.938	0.008421	0.84%
			S2	H	1.10	1.8	0.095	10.8	坋質土	0.008796	0.000606	125.0526	2969.931	0.042106	4.12%
			S3	H	4.22	0.25	0.006	79.125	坋質土	7.58E-05	0.000606	55651.25	412.4904	134.9153	100.00%
82	YUBW10911002	重型魚雷場房整建工程水土保持計畫	DS1	H	3.54	2.7	0.3704	9.45	坋質土	0.039196	0.000606	90.3584	4454.896	0.020283	2.01%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
83	YUBW11001001	曾文南化聯通管統包工程 A2 標	無設置												
84	YUBW11001003	都會原住民長照大樓新建統包工程		C	4.26	1.9	0.0323	9.88	砂質土	0.003269	0.141687	1301.627	13.40981	97.06531	100.00%
85	YUBW11001004	臺灣嘉南瑠公國際農業旱作灌溉新建工程水土保持計畫	DET	A	29.41	2.6	0.6156	70.72	坋質土	0.008705	0.000606	3378.615	4289.9	0.787574	54.51%
86	YUBW11002001	飛鎧二號設施工程(新北萬里營區)	PSA	C	15.40	4.65	0.885	16.275	黏質土	0.054378	3.59E-06	283.2571	1296622	0.000218	0.02%
			PSB	C	18.93	2.7	0.452	7.56	黏質土	0.059788	3.59E-06	316.5749	752877.4	0.00042	0.04%
			PSC	C	2.00	1.9	0.531	7.03	黏質土	0.075533	3.59E-06	26.47834	529802.6	5E-05	0.00%
87	YUBW11003001	飛鎧二號設施工程(新北三芝營區)	PS1	H	12.99	2.6	0.821	57.2	黏質土	0.014353	3.59E-06	904.9835	724993	0.001248	0.12%
			PS2	H	10.91	3.1	0.383	11.47	黏質土	0.033391	3.59E-06	326.7031	864414.8	0.000378	0.04%
88	YUBW11003002	神鋒崗營區新建統包工程	A	C	22.50	1.15	0.8523	26.8	黏質土	0.031802	3.59E-06	707.4974	320670	0.002206	0.22%
			B	C	10.80	2.21	0.2732	22.47	黏質土	0.012158	3.59E-06	888.2723	616244.1	0.001441	0.14%
89	YUBW11003003	「公 11 配水池新建工程」水土保持計畫(含地下水補注地質敏感區基地地質調查及地質安全評估報告)	無設置												
90	YUBW11003004	「飛鎧二號設施工程(臺中大肚 2 營區)」水土保持計畫	DA1	H	16.35	0.7	0.97	16.6	砂質土	0.058434	0.141687	279.8041	4.940455	56.63529	100.00%
			DB1	C	31.45	1.1	0.9052	33.65	砂質土	0.0269	0.141687	1169.295	7.763572	150.613	100.00%
91	YUBW11004001	池南森林遊樂區入口停車場工程		G	2.25	1.8	0.2465	6	坋質土	0.041083	0.000606	54.76673	2969.931	0.01844	1.83%
92		新北 P040 案新建工程（新北市三芝大片頭營區）	DN	J	19.17	1.8	0.5006	20	坋質土	0.02503	0.000606	765.7478	2969.931	0.257834	22.73%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
	YUBW11004002		DS	G	53.33	1.4	0.6765	20.28	坋質土	0.033358	0.000606	1598.817	2309.946	0.692145	49.95%
93	YUBW11005001	鵝鑾鼻營區綜合大樓新建統包工程		H	35.00	0.25	0.1783	8.75	砂質土	0.020377	0.141687	1717.611	1.764448	973.4549	100.00%
94	YUBW11006004	飛鎧二號設施工程(高雄田寮營區)	DA1	C	25.50	1.7	0.8671	29.722	砂質土	0.029174	0.141687	874.0757	11.99825	72.85028	100.00%
			DB1	C	6.00	0.6	0.2232	8.85	砂質土	0.02522	0.141687	237.9032	4.234676	56.1798	100.00%
			DC1	H	20.00	0.7	0.4242	10.5	砂質土	0.0404	0.141687	495.0495	4.940455	100.2032	100.00%
			DD1	C	25.00	0.9	0.5842	36.525	砂質土	0.015995	0.141687	1563.035	6.352014	246.0692	100.00%
95	YUBW11006005	飛鎧二號設施工程(臺中大肚山1營區)水土保持計畫	DA1	A	55.00	3.2	0.4063	13.44	砂質土	0.030231	0.141687	1819.345	22.58494	80.5557	100.00%
			DB1	G	8.31	0.65	0.3774	14.92	砂質土	0.025295	0.141687	328.4334	4.587565	71.59209	100.00%
			DC1	C	37.27	0.7	0.1301	8.33	砂質土	0.015618	0.141687	2386.262	4.940455	483.0045	100.00%
96	YUBW11008001	涼山營區新建工程	Det1	H	14.19	1.2	1.37	25.97	坋質土	0.052753	0.000606	269.0728	1979.954	0.135899	12.71%
			Det2	C	19.02	1.4	0.89	50.56	坋質土	0.017603	0.000606	1080.606	2309.946	0.467806	37.36%
97	YUBW11009001	高生物安全檢驗及動物試驗中心與動物疫苗先導工廠新建工程	S1	B	15.21	1.3	0.124	7.8	坋質土	0.015897	0.000606	956.5635	2144.95	0.445961	35.98%
			S2	H	1.50	1	0.114	1.5	坋質土	0.076	0.000606	19.73684	1649.961	0.011962	1.19%
			S3	H	1.00	1	0.035	1	坋質土	0.035	0.000606	28.57143	1649.961	0.017316	1.72%
98	YUBW11010001	「新竹科學園區(寶山用地)第2期擴建計畫」國道1號以東、客雅溪以北水土保持計畫	1	C	25.64	3.5	9.44	61.6	坋質土	0.153247	0.000606	167.3186	5774.865	0.028974	2.86%
			2	H	153.85	3.7	9.44	407.295	坋質土	0.023177	0.000606	6637.793	6104.857	1.087297	66.29%
			3	C	60.00	2	3.52	241.92	坋質土	0.01455	0.000606	4123.636	3299.923	1.249616	71.34%
99			4	C	14.40	2.5	0.48	42.5	坋質土	0.011294	0.000606	1275	4124.904	0.309098	26.59%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
	YUBW11010002	「新竹科學園區(寶山用地)第 2 期擴建計畫」國道 1 號以西水土保持計畫	5	C	30.40	2.7	0.97	75.06	坋質土	0.012923	0.000606	2352.396	4454.896	0.528047	41.02%
			6	D	36.00	2.5	0.28	57.5	坋質土	0.00487	0.000606	7392.857	4124.904	1.79225	83.34%
100	YUBW11010003	下湖東營區新建統包工程水土保持計畫	DA1	C	20.43	2.2	0.3072	15.88	砂質土	0.019345	0.141687	1056.008	15.52714	68.01046	100.00%
101	YUBW11010003	下湖東營區新建統包工程水土保持計畫	DA2	B	112.00	1.6	0.9813	18.2	砂質土	0.053918	0.141687	2077.244	11.29247	183.9495	100.00%
				H	13.08	2.8	1.06	52.304	坋質土	0.020266	0.000606	645.2598	4619.892	0.13967	13.04%
102	YUBW11101001	桃園 E117 新建工程	DTA1	A	21.00	2.8	0.6731	35.84	黏質土	0.018781	3.59E-06	1118.17	780761.7	0.001432	0.14%
			DTA2	C	9.00	1.6	0.4326	12.16	黏質土	0.035576	3.59E-06	252.982	446149.6	0.000567	0.06%
			DTA3	J	100.00	2.65	1.0822	14.0662	黏質土	0.076936	3.59E-06	1299.778	738935.2	0.001759	0.18%
103	YUBW11102001	至善路入口無障礙通道新建工程	DETA	C	10.00	2.12	0.1437	6.36	砂質土	0.022594	0.141687	442.5887	14.96252	29.57982	100.00%
			DETB	D	3.00	2.3	0.0034	3.45	砂質土	0.000986	0.141687	3044.118	16.23292	187.5274	100.00%
104	YUBW11103001	「曾文南化聯通管統包工程 A3 標」鏡面水庫平壓管段 0K+450 至鏡面水庫平壓管放流工	P11	C	1.80	0.8	0.626	1.44	坋質土	0.434722	0.000606	4.140575	1319.969	0.003137	0.31%
			P12	H	2.12	1.8	0.098	3.6	坋質土	0.027222	0.000606	77.92605	2969.931	0.026238	2.59%
105	YUBW11104001	南雅安檢所新建工程	沉砂溝												
106	YUBW11104002	「臺中 J048 新建工程」水土保持計畫	沉砂井												
107	YUBW11104003	H004 統包工程	DP01	D	8.82	0.7	0.1994	5.88	坋質土	0.033912	0.000606	260.1845	1154.973	0.225273	20.17%
			EP01	C	8.50	2.5	0.0285	9	坋質土	0.003167	0.000606	2684.211	4124.904	0.650733	47.83%
			EP02	H	4.00	0.55	0.0295	3.245	坋質土	0.009091	0.000606	440	907.4788	0.48486	38.42%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
108	YUBW11105001	B29 物品倉庫庫房整建工程	沉砂井												
			沉砂井												
109	YUBW11106001	育勤營區第二階段新建工程		E	57.00	1.2	1.006	68.4	坋質土	0.014708	0.000606	3875.547	1979.954	1.957393	85.88%
110	YUBW11106002	武嶺營區新建統包工程		C	21.33	0.85	0.0698	18.853	砂質土	0.003702	0.141687	5762.139	5.999124	960.4968	100.00%
111	YUBW11106003	高雄大寮區衛生福利部保安處分處所興建工程	DA	C	13.00	1.95	0.241	13.065	砂質土	0.018446	0.141687	704.751	13.7627	51.20734	100.00%
			DB	C	13.95	1.3	0.1336	10.4	砂質土	0.012846	0.141687	1085.928	9.175131	118.3556	100.00%
			DC	C	10.00	2.15	0.3841	12.255	砂質土	0.031342	0.141687	319.0575	15.17425	21.02624	100.00%
112	YUBW11107001	東海營區官兵生活大樓新建統包工程		D	8.25	1.165	0.6512	2.33	砂質土	0.279485	0.141687	29.50502	8.222329	3.588403	97.24%
113	YUBW11107002	「樂山陣地綜合大樓(N001)新建工程」水土保持計畫		Q	2.00	1.4	0.1053	2.8	砂質土	0.037607	0.141687	53.18139	9.88091	5.382236	99.54%
114	YUBW11107003	陸軍「斗煥坪營區新建統包工程」水土保持計畫	A	H	6.00	1.9	0.5314	66.41	坋質土	0.008002	0.000606	749.8306	3134.927	0.239186	21.27%
115	YUBW11108004	中科台中園區擴建二期開發計畫水土保持計畫		H	30.00	6.1	20.519	183	坋質土	0.112126	0.000606	267.5569	10064.76	0.026584	2.62%
116	YUBW11108005	「成功嶺北營區新建統包工程」水土保持計畫	A	H	8.00	1.5	0.096	14.25	坋質土	0.006737	0.000606	1187.5	2474.942	0.479809	38.11%
			B	H	6.80	1.5	0.176	12.45	坋質土	0.014137	0.000606	481.0227	2474.942	0.194357	17.66%
			C	H	14.10	1.4	0.071	21.7	坋質土	0.003272	0.000606	4309.437	2309.946	1.865601	84.52%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長(m)	深度(m)	出流量(cms)	斷面積(m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
117	YUBW11108006	「成功嶺南營區新建統包工程」水土保持計畫		H	12.83	3.9	0.229	52.31	坋質土	0.004378	0.000606	2930.49	6434.85	0.455409	36.58%
118	YUBW11108007	「天倫營區新建統包工程」水土保持計畫	DetA	H	48.00	2.35	0.589	32.806	坋質土	0.017954	0.000606	2673.494	3877.409	0.689505	49.82%
			DetB	D	25.30	1.5	0.426	41.625	坋質土	0.010234	0.000606	2472.095	2474.942	0.99885	63.17%
119	YUBW11109001	「頭嵙山營區新建統包工程」水土保持計畫		C	49.02	2.9	7.266	92.162	坋質土	0.078839	0.000606	621.7997	4784.888	0.129951	12.19%
120	YUBW11110003	興中山莊營區新建統包工程	S1	H	25.00	1.1	0.224	5.115	砂質土	0.043793	0.141687	570.8705	7.763572	73.53194	100.00%
			S2	P	56.45	1	0.672	69.242	砂質土	0.009705	0.141687	5816.7	7.057793	824.1529	100.00%
			S3	C	5.00	1.5	2.346	41.325	砂質土	0.05677	0.141687	88.07545	10.58669	8.319451	99.98%
			S4 沉砂溝												
			S5	C	3.00	1.4	0.298	4.2	砂質土	0.070952	0.141687	42.28188	9.88091	4.279148	98.61%
			S6	H	3.00	1.2	0.222	3.6	砂質土	0.061667	0.141687	48.64865	8.469351	5.744082	99.68%
			DC		7.24	0.9	0.1516	5.211	坋質土	0.029092	0.000606	248.8631	1484.965	0.167588	15.43%
121	YUBW11111003	田單營區新建統包工程	沉砂井												
122	YUBW11111004	「111 年度自來水改善計畫」水土保持計畫(含地下水補注地質敏感區基地地質調查及地質安全評估報告)		H	4.90	2.15	0.113	26.417	坋質土	0.004278	0.000606	1145.516	3547.417	0.322915	27.60%
123	YUBW11111005	陸軍湖口營區新建統包工程(第二標)	A	H	59.40	1.3	0.717	79.19	坋質土	0.009054	0.000606	6560.51	2144.95	3.058585	95.30%
			B	C	24.00	1.3	5.638	34.77	坋質土	0.162151	0.000606	148.0099	2144.95	0.069004	6.67%

項次	案件主鍵	計畫名稱	沉沙池編號	配置類型	流長 (m)	深度 (m)	出流量 (cms)	斷面積 (m2)	土壤分類	流速(m/s)	沉降速度	滯留時間	沉降時間	哈真數	囚砂率
124	YUBW11111006	陸軍湖口營區新建統包工程(第一標)	A	H	23.71	3.5	6.33	96.6	黏質土	0.065528	3.59E-06	361.7775	975952.2	0.000371	0.04%
125	YUBW11112002	屏東 S022 新建工程	WA	C	3.54	3.15	0.6101	11.025	坋質土	0.055338	0.000606	63.88995	5197.378	0.012293	1.22%
			WC	H	3.00	2.1	0.1446	6.2	坋質土	0.023323	0.000606	128.6307	3464.919	0.037124	3.64%
			WD	B	4.50	0.5	0.381	1.5	坋質土	0.254	0.000606	17.71654	824.9807	0.021475	2.12%
			WF	C	2.00	0.5	0.0793	1	坋質土	0.0793	0.000606	25.22068	824.9807	0.030571	3.01%
			WH	H	2.00	2.8	1.4311	5.6	坋質土	0.255554	0.000606	7.826148	4619.892	0.001694	0.17%

附錄二　期中審查意見回覆

1. P.2-7 表 2-3 為因砂率估算公式統整表，應針對各公式中之符號其所代表之物理意義補充說明。	1. 已補充各公式中之符號所代表之物理意義，請詳表 2-3。
2. .P.2-9 內文中應針對表 2-5 中之水力效率有所定義，其與沉砂池之長寬比與出入口施設位置關係為何，應有所說明。	2. 已補充水力效率之定義，並說明其與沉砂設施配置之關聯性，請詳內文 P.2-8~P.2.9。
3. 研究中採 CCHE-2D 進行水理模擬，因其為深度平均之二維度數值模擬，其入口、出口渠深與沉砂池渠深不同，會造成流速其於深度不同上之實際與模擬上之差異，後續是否會影響輸砂及沉砂量體之估算，建議於報告中可加以探討。	3. 由於三維水理模式紊流能量消散理論尚未完整，且國內過往已有許多應用於工程或研究之案例，具有良好的預測結果，故本研究採用二維水理模式作為分析工具，請詳內文 P.2-10~P.2.13。
4. 表 4-1 為不同因砂率分析結果，分析過程為依各滯洪沉砂池所在位置不同之土壤條件進行模擬，建議另外可分析以不同材質土壤對 243 座	4. 本案透過現地採樣與查詢土壤資料兩種方式，對篩選之 16 座沉砂設施進行模擬。經模擬結果發現，三種不同粒徑土壤於淤砂分布與因砂率

滯洪沉砂池進行模擬，以確認及探討影響囚砂率大小之主要因子，其因子為土壤材質或為滯洪沉砂池之形狀及深度等。	表現上具有明顯差異，與本研究 4-1 節囚砂率公式估算結果吻合，故可推斷土壤因子對囚砂率之影響。請詳 P.4-31
5. 因應 112 年 8 月 1 日農業部農村發展及水土保持發展署組織法施行，請盤點修正本署署名，封面改制前局徽亦請併予修正為本署署徽。	5. 已針對署名與署徽進行修正。
6. 請將工作會議紀錄納入附錄；本案採數值模型推估，建議參考配合「建立臺灣中部地區區域無因次降雨強度暨山坡地沉砂設施量體初步探討」委辦案現地數據對照驗證及對照比較。	6. 已將工作會議紀錄納入附錄，請詳附錄三。本案透過數值模擬得知最適沉砂深度，有關現地調查結果詳見「建立臺灣中部地區區域無因次降雨強度暨山坡地沉砂設施量體初步探討」之成果報告。
7. 建議報告書文字說明應加強論述相關研究區域樣區選擇依據，另建議適度放大附錄一囚砂率分析過程資料俾利判讀。	7. 已針對樣區篩選原則進行說明，請詳 P.3-10。
8. 期中如有小結論，應可納入，並增補接下來之工作內容進度尤佳。	8. 期中結論與期末結論統一彙整於本文第五章，請詳內文 P.5-1。

附錄三　工作會議紀錄