
應用微型沖刷樁觀測系列固床工下游局部
沖刷深度之動態變化及其合理間距之設計

*Application of micro-scouring piles to
observe local scour depths downstream of a
series of structures Design of Dynamic
Change of Degree and Reasonable Spacing*
(期末報告)

執行單位：逢甲大學

執行期間：109 年 02 月 06 日至 109 年 12 月 31 日

計畫主持人：林秉賢 研究助理教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 109 年 11 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

摘要

本計畫研究區域為苗栗縣苑裡溪集水區石頭溪櫻花橋下游系列固床工、苗栗縣南港溪支流大坪野溪河道治理工程及臺中市草湖溪集水區支流北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程等三處系列固床工之場址，以自行研發之微型沖刷磚架設於固床工下游溪床局部沖刷坑範圍，通過實尺寸現場量測方式了解計畫執行期間歷次颱風豪雨過程各固床工下游溪床之局部沖刷坑深度之動態變化。

雖然本計畫執行期間降雨量較少，但也取得了部分監測成果，包括臺中市草湖溪櫻花橋下游系列固床工沖刷深度達 47cm，相應水深為 57.5 公分；苗栗縣大坪野溪河道治理工程分別於第一次沖刷深度達 53cm，相應水深為 74.2 公分，第二次沖刷深度達 50cm，相應水深為 65 公分；苗栗縣民生橋上游土砂災害治理工程沖刷深度達 50cm，相應水深為 78.2 公分。

本計畫透過變異性分析(ANOVA)建立固床工下游局部沖刷深度公式，可表為

$$\frac{t_s}{y} = 0.542 + 0.965 \frac{L_s}{y}$$

式中， t_s =沖刷深度(cm)； y =水深(cm)； L_s =溪床坡度。

本研究有別於以往研究方式，係採用現場實尺寸量測固床工下游局部沖刷深度，並成功地取得各降雨事件之動態沖刷實況。但是，受限於本年度降雨場次不多且雨量也不大，以至於僅測得四場降雨沖刷成果。因此，建議可以持續進行現場監測，甚至擴大監測場址，以取得更多的實測數據，作為系列固床工基礎及其合理間距之設計依據。

關鍵字：沖刷樁、沖刷深度、固床工

目次

摘要.....	I
目次.....	II
表次.....	IV
圖次.....	VI
第一章 緒論	1-1
第一節 計畫緣起	1-1
第二節 計畫目標	1-4
第三節 工作項目及內容	1-4
第四節 工作項進度及期限	1-5
第二章 相關文獻蒐集評析	2-1
第一節 系列固床工工作原理	2-1
第二節 階梯狀河床相關研究	2-2
第三節 系列固床工間距相關研究	2-3
第四節 局部沖刷坑深度與固床工間距之相關性研究	2-7
第五節 Beacon 相關應用文獻	2-11
第六節 河床沖刷深度觀測	2-13
第三章 基本資料蒐集與調查	3-1
第一節 選定原則	3-1
第二節 選定場址	3-1
第三節 綜合說明	3-27
第四章 微型沖刷樁組成及觀測原理	4-1
第一節 微型沖刷磚組成及其觀測原理	4-1
第二節 水深計規格及觀測原理	4-5
第五章 現場觀測資料擷取	5-1

第一節 石頭溪櫻花橋下游系列固床工.....	5-1
第二節 大坪野溪河道治理工程	5-5
第三節 北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程	5-9
第六章 分析與討論	6-1
第一節 變異數分析(ANOVA).....	6-1
第二節 固床工下游局部冲刷坑冲刷深度分析	6-5
第三節 固床工下游局部冲刷坑冲刷深度分析說明	6-16
第七章 結論與建議	7-1
第一節 結論	7-1
第二節 建議	7-2
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附錄-1
附錄一、會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-1
附錄二、期初審查意見暨回覆辦理情形	附錄-4
附錄三、期中審查意見暨回覆辦理情形	附錄-7
附錄四、石頭溪粒徑調查報告	附錄-9
附錄五、大坪野溪粒徑調查報告	附錄-13
附錄六、北溝溪粒徑調查報告	附錄-17

表次

表 1-1	工作預定進度表	1-5
表 3-1	石頭溪集水區高程統計表	3-3
表 3-2	石頭溪集水區坡度統計表	3-4
表 3-3	石頭溪集水區坡向統計表	3-5
表 3-4	石頭溪集水區地質統計表	3-6
表 3-5	三義氣象站雨量統計表	3-8
表 3-6	石頭溪試驗坑粒徑分析結果	3-9
表 3-7	大坪野溪集水區高程統計表	3-12
表 3-8	大坪野溪集水區坡度統計表	3-13
表 3-9	大坪野溪集水區坡向統計表	3-14
表 3-10	大坪野溪集水區地質統計表	3-15
表 3-11	造橋氣象站雨量統計表	3-16
表 3-12	大坪野溪試驗坑粒徑分析結果	3-17
表 3-13	北溝溪集水區高程統計表	3-20
表 3-14	北溝溪集水區坡度統計表	3-21
表 3-15	北溝溪集水區坡向統計表	3-22
表 3-16	北溝溪集水區地質統計表	3-23
表 3-17	桐林氣象站雨量統計表	3-24
表 3-18	北溝溪試驗坑粒徑分析結果	3-25
表 3-19	基本資料彙整說明表	3-27
表 4-1	小型無線定位發射器(BEACON)規格一覽表	4-3
表 4-2	水深計性能及規格一覽表	4-6
表 6-1	ANOV 分析方法與採用參數	6-5
表 6-2	迴歸統計表	6-6

表 6-3	迴歸參數表	6-7
表 6-4	誤差分析表	6-8
表 6-5	固床工下游局部冲刷深度與固床工間距比較分析表	6-17

圖次

圖 1-1	系列固床工	1-1
圖 1-2	固床工下游基礎淘空裸露	1-2
圖 1-3	系列固床工下游溪床局部沖刷深度與其合理間距、基礎深度 之關聯性	1-3
圖 2-1	階梯式河床結構示意圖	2-2
圖 2-2	有、無固定床面的河床下降比較	2-4
圖 2-3	淘刷坑觀念示意圖	2-8
圖 2-4	系列固床工示意圖	2-10
圖 2-5	BEACON 應用流程示意圖	2-12
圖 2-6	以往沖刷磚塊之觀測方法	2-13
圖 2-7	水利署無線追蹤粒子	2-14
圖 2-8	無線追蹤粒子及配重砂罐組成串磚(清水溪福興護岸河段) 2- 14	
圖 2-9	無線追蹤粒子及配重砂罐	2-15
圖 2-10	無線追蹤粒子受沖刷並發送訊號示意圖	2-16
圖 3-1	石頭溪櫻花橋下游系列固床工位置圖	3-2
圖 3-2	石頭溪集水區高程分布圖	3-3
圖 3-3	石頭溪集水區坡度分布圖	3-4
圖 3-4	石頭溪集水區坡向分布圖	3-5
圖 3-5	石頭溪集水區地質分布圖	3-7
圖 3-6	石頭溪櫻花橋下游系列工程固床位置分布圖	3-10
圖 3-7	石頭溪櫻花橋下游系列工程固床工與護岸銜接示意圖 ...	3-10
圖 3-8	大坪野溪河道治理工程位置圖	3-11
圖 3-9	大坪野溪集水區高程分布圖	3-12

圖 3-10	大坪野溪集水區坡度分布圖	3-13
圖 3-11	大坪野溪集水區坡向分布圖	3-14
圖 3-12	大坪野溪集水區地質分布圖	3-15
圖 3-13	大坪野溪河道治理工程固床工分布圖	3-18
圖 3-14	大坪野溪河道治理工程固床工及護岸銜接示意圖	3-18
圖 3-15	北溝溪河道治理工程位置圖	3-19
圖 3-16	北溝溪集水區高程分布圖	3-20
圖 3-17	北溝溪集水區坡度分布圖	3-21
圖 3-18	北溝溪集水區坡向分布圖	3-22
圖 3-19	北溝溪集水區地質分布圖	3-23
圖 3-20	民生橋上游土砂災害治理工程固床工位置分布圖	3-26
圖 3-21	民生橋上游土砂災害治理工程固床工及護岸示意圖	3-26
圖 4-1	混凝土製圓柱體	4-2
圖 4-2	小型無線定位發射器(BEACON)及其安裝方式	4-3
圖 4-3	小型無線定位發射器(BEACON)置於混凝土製圓柱體	4-4
圖 4-4	沖刷磚布置示意圖	4-5
圖 4-5	水深計示意圖	4-6
圖 4-6	壓力式水深計安裝示意圖	4-7
圖 5-1	石頭溪櫻花橋下游監測設備布置情形	5-2
圖 5-2	石頭溪櫻花橋下游沖刷樁內沖刷磚配置與編號情形	5-2
圖 5-3	櫻花橋下游系列固床工監測成果(6~8 月).....	5-3
圖 5-4	櫻花橋下游系列固床工監測成果(9~10 月).....	5-4
圖 5-5	石頭溪櫻花橋下游固床工下游降雨前、後斷面高程變動情形	5-5
圖 5-6	大坪野溪監測設備布置情形	5-6

圖 5-7	大坪野溪沖刷樁內沖刷磚配置與編號情形	5-7
圖 5-8	大坪野溪河道治理工程監測成果(6~8 月).....	5-8
圖 5-9	大坪野溪河道治理工程監測成果(9~10 月).....	5-8
圖 5-10	大坪野溪固床工下游降雨前、後斷面高程變動情形	5-9
圖 5-11	北溝溪民生橋上游監測設備布置情形	5-10
圖 5-12	北溝溪民生橋沖刷樁內沖刷磚配置與編號情形	5-11
圖 5-13	北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程監測成果(7~8 月).....	5-12
圖 5-14	北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程監測成果(9~10 月).....	5-12
圖 5-15	北溝溪民生橋上游固床工下游降雨前、後斷面高程變動情 形.....	5-13
圖 6-1	變異數分析時之 F 分配.....	6-4
圖 6-2	組別 1 參數迴歸線圖	6-10
圖 6-3	組別 2 參數迴歸線圖	6-11
圖 6-4	組別 3 參數迴歸線圖	6-12
圖 6-5	組別 4 參數迴歸線圖	6-13
圖 6-6	組別 5 參數迴歸線圖	6-14
圖 6-7	組別 6 參數迴歸線圖	6-15

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

固床工(ground sill)係以保護溪床免於被洪水沖刷下切為目的所構築有效高度在一公尺以下之橫向阻水構造物。通常，固床工皆與堤防或護岸共構，且多採用連續施設方式構成一系列固床工，以抑制溪床面泥砂的輸移，有效維持溪床最小的變形，同時緩和床面及兩岸流速，具有整流、導流、減緩沖刷、調整溪床坡度等多項功能，如圖 1-1 為系列固床工。



圖 1-1 系列固床工

系列固床工是台灣山坡地野溪極為常見之野溪工程，不論工法理論或是實務技術均已臻成熟，但是從實務應用結果來看，仍然可以看到一些失敗的案例，如圖 1-2 為固床工下游溪床基礎淘空裸露之案例。

分析其原因，主要是因橫向構造物導致通水斷面突然改變，局部水流紊動增強，水流沖刷河床的能力獲得提升，使在構造物下游河床造成有限範圍之局部沖刷(local scour)現象。



圖 1-2 固床工下游基礎淘空裸露

根據已有的研究得知，固床工下游溪床局部沖刷之發展，除了是受到其上游來水來砂量之影響外，最大的關鍵在於系列固床工之合理間距問題。

由系列固床工之工作原理，主要是後一座固床工一定要在前一座固床工之影響範圍內，這樣才能讓前、後固床工發揮聯合防護溪床免於被沖刷變形。因此，當前、後固床工間距過大時，前一座固床工就無法防護後一座固床工，進而導致後一座固床工下游溪床基礎泥砂遭水流淘空，倘若遇有基礎深度不足之情事，則固床工下游局部沖刷深度之發生及發展，勢必導致固床工之毀損或失去效能。

總結上述，系列固床工間距為其設計之關鍵因子，而固床工下游局部沖刷深度之發生及發展，實為固床工間距合理與否之具體展現；換言之，只要掌握固床工下游局部沖刷深度之動態變化，就能確認系

列固床工間距之合理性，進而就可以提供固床工基礎深度設計之參採，如圖 1-3 所示。



圖 1-3 系列固床工下游溪床局部沖刷深度與其合理間距、基礎深度之關聯性

因此，本研究擬選定三處適當系列固床工之場址，應用自行研發之微型沖刷磚(micro-scouring bricks)架設於 2-4 座固床工下游溪床局部沖刷坑範圍，即時觀測計畫執行期間歷次颱風降雨過程各固床工下游溪床之局部沖刷坑深度之動態變化，試圖建立：

- 一、系列固床工基礎深度設計原則。
- 二、系列固床工下游溪床局部沖刷坑深度公式。
- 三、系列固床工合理間距之設計公式。

第二節 計畫目標

本研究擬通過微型沖刷磚之現場觀測方式，擷取計畫執行期間豪雨過程系列固床工下游溪床局部沖刷坑深度之實測數據，藉以分析建立系列固床工局部沖刷深度公式，提供系列固床工合理間距之參採。

第三節 工作項目及內容

- 一、相關文獻蒐集：蒐集系列固床工、河床沖刷深度觀測等相關文獻，作為本計畫執行之參考資料。
- 二、基本資料蒐集與調查：蒐集施做場址之集水區相關基本資料，以了解集水區特性。
- 三、微型沖刷樁組成及觀測原理：說明沖刷樁製作原理及觀測方法。
- 四、現場觀測資料擷取或（及）渠槽試驗：本計畫執行以現場觀測為主，並將觀測成果進行彙整及說明。若本計畫執行期間至8月底前無法獲得3次以上降雨紀錄，則以室內寬渠槽定量模型試驗補充相關沖刷數據。
- 五、分析與討論：將現場觀測數據或實驗數據分析固床工基礎深度設計原則及下游溪床局部沖刷坑深度公式等。

第四節 工作項進度及期限

本計畫預定執行進度如表 1-1，計畫執行至 109 年 12 月 31 日止。

表 1-1 工作預定進度表

工作項目	工作比重%	預定進度	109 年			
			1-3 月	4-6 月	7-9 月	9-12 月
相關文獻蒐集	5	工作量或內容	相關文獻蒐集			
		預計累計百分比	100			
		實際累積完成百分比	100			
基本資料蒐集與調查	20	工作量或內容	基本資料蒐集	現地調查		
		預計累計百分比	20	100		
		實際累積完成百分比	20	100		
微型沖刷樁組成及觀測原理	20	工作量或內容		微型沖刷樁製作、測試		
		預計累計百分比		100		
		實際累積完成百分比		100		
現場觀測資料擷取	35	工作量或內容		微型沖刷樁 現地安裝	現地觀測及補充圓柱體	現地觀測及補充圓柱體
		預計累計百分比		50	75	100
		實際累積完成百分比		50	75	100
分析與討論	10	工作量或內容				分析與討論
		預計累計百分比				100
		實際累積完成百分比				100
預計累計總進度(%)			20	40	80	100
實際累計總進度(%)			20	40	80	95

第二章 相關文獻蒐集評析

本研究係以系列固床工下游局部沖刷坑沖刷深度及其間距為主軸，藉由現地實尺寸的沖刷和水深量測，建立具有可資參考價值之固床工下游局部沖刷深度公式，並提供固床工間距設計之參採。為此，本研究擬蒐集與本研究相關之文獻，包括系列固床間距及其與系列固床工間距之關係。

第一節 系列固床工工作原理

一般，系列固床工設計除了其座落位置外，就以系列固床工間距為首要，它不僅影響固床工整流穩坡之效能，且與其基礎深度密切相關，相當重要。這表明，系列固床工設計關鍵除了其座落位置外，就以系列固床工間距及基礎深度問題最為重要。

系列固床工(a series of ground sill)係由保護河床免於被沖刷下切之多座橫向阻水構造物所組成，其對河床之穩定效能，與系列防砂壩類似，皆屬仿照階梯狀河床(階梯-深潭)(step-pool)而施設。階梯狀河床為使水流通過時產生逐層跌水消能，以減緩水流流速而達到穩定河床之功能，如圖 2-1 為階梯狀河床結構示意圖。圖中，階梯-深潭是陡坡山區河道常見而又十分重要的河床微地貌形態，河床常由一段陡坡和一段緩坡加上深潭相間連接而成，在河道縱向呈現一系列階梯狀。階梯～深潭系統能有效耗散水流能量，控制河床沖刷下切，並維持良好的河道生態，因而是陡坡山區下切河道維持健康穩定的重要河床結構形態。

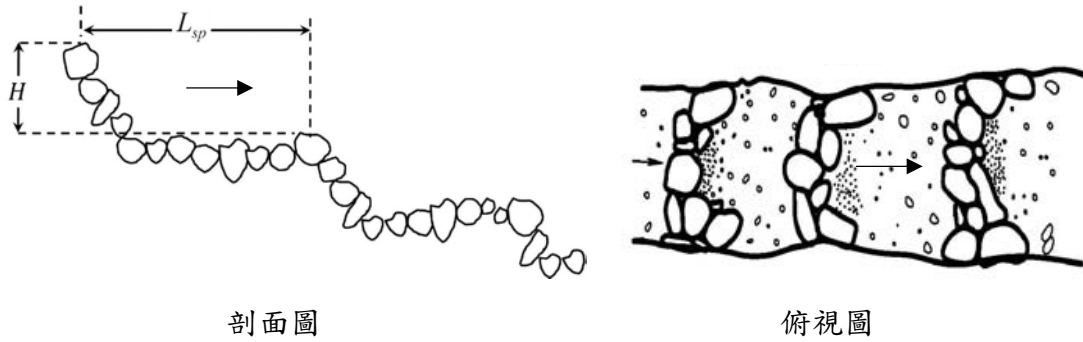


圖 2-1 階梯式河床結構示意圖

Whittaker, et al.(1982)曾在水槽中重演階梯狀河床地形，發現階梯狀河床通常是在高流量後產生，並得知粗顆粒泥砂所以聚集成階梯狀，而不是分散於床面上，是為了滿足有效糙率密度(一般以河段縱剖面上所有礫石高度的總和除以河段長度表示)要求(即阻力最大化)，使河床保持最大的穩定性。Abrahams et al.(1995)、Zimmermann and Church(2001)及 Lee and Ferguson(2002)等經實驗發現，階梯~深潭結構造成的最大水流阻力狀態，可以達到河床的最大穩定性。

第二節 階梯狀河床相關研究

Judd(1964)、Whittaker(1987)、Abrahams et al.(1995)等認為在階梯狀河床之階梯間距與河床坡度間具有以下關係

$$L_{sp} = \frac{H_e}{a S_o^b} \quad (2-1)$$

式中， L_{sp} =階梯與階梯間的距離； S_o =河床平均坡度； H_e =階梯高度； a 、 b =待定常數係數。Whittaker(1987)蒐集紐西蘭 26 處階梯狀河段的資料，獲得以下公式

$$L_{sp} = 0.311 S_o^{-1.188} \quad (2-2)$$

Lenzi(1999)從實驗中建立階梯與階梯之間距可表為

$$\frac{H_e}{L_{sp} S_o} = 1.0 \sim 2.0 \quad (2-3)$$

D'Agostino and Lenzi(1999)於東阿爾卑斯山 49 處天然階梯狀河床性狀歸納出以下公式，即

$$\frac{H_e}{L_{sp} S_o} = 0.5 \sim 2.1 \quad (2-4)$$

其平均值 $(H_e / L_{sp}) / S_o = 1.4$ ，而 Abrahams et al.(1995)建議取 $(H_e / L_{sp}) / S_o = 1.5$ ；另，Lenzi and D'Agostino(1998)也提出 $L_{sp} = (0.5 \sim 1.6)B$ (B = 河道寬度)。Maxwell and Papanicolaou(2001)於渠槽試驗中建立階梯間距之推估公式，即

$$L_{sp} = 7.39 \ln \frac{H_e}{S_o} - 5.52 \quad (2-5)$$

Akiyama and Maita (1997)提出最大階梯間距($L_{sp(m)}$)公式，即

$$L_{sp(m)} = 0.096 S_o^{-2.0} \quad (2-6)$$

第三節 系列固床工間距相關研究

莫海龍(1987)研究粗粒化及階梯狀河床指出，固床工所造成的河床型態與階梯狀河床相近，因而具有減少輸砂量、安定河床之效用，並根據山口伊佐夫(1976)利用泥砂顆粒臨界起動觀念推導出靜態平衡坡度之理論，來探討固床工之間距設計。不過，道上和玲木(1979)從理論及實驗方式，比較分析有、無設置固床工時河床的變形程度，如圖 2-2 所示；從圖中可以看出，固床工雖然能夠有效緩和其上游側河床沖刷程度，惟下游側河床沖刷卻變得更為嚴重，連惠邦(2001)根據這種『先緩後沖』現象，提出了『沖刷區位轉移效應』觀念，認為

系列固床工不僅能夠將河道沖刷產砂區位轉移至其下游處，而且可以將河道上游土砂災害之高潛勢區移至下游低潛勢區河段，倘若下游河段床質良好，且無特別保全對象時，甚至可以使土砂災害消弭於無形。

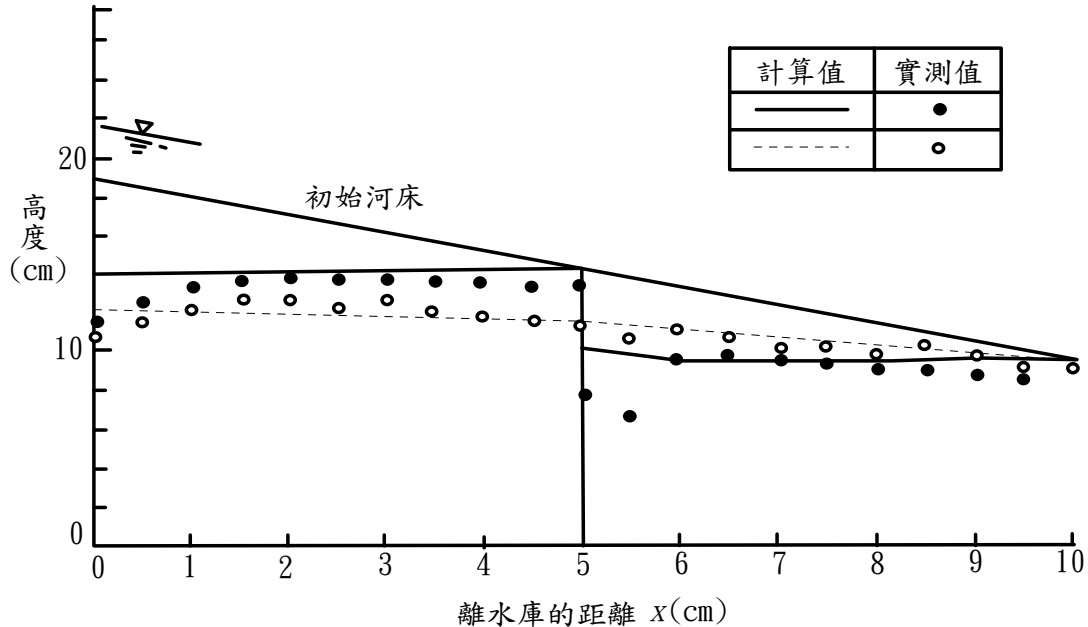


圖 2-2 有、無固定床面的河床下降比較

除了建置區位應以河床已遭沖刷或有沖刷潛勢河段為主外，系列固床工布置係以其間距為首要。與其他橫向阻水構造物一樣，固床工對上游河床具有一段有限長度的影響範圍，在這個保護範圍內河床上的泥砂皆受其保護而不被水流沖刷外移，故系列固床工間距應小於固床工影響範圍，使後一座固床工一定要在前一座固床工的保護範圍內，這樣才能起到系列固床工的聯合作用。因此，系列固床工間距設計與其穩坡固床之效能密切相關，而效能之良窳端視其間距之設計是否得宜。

池谷 浩(1977)由河床安定坡降探討固床工間距，提出固床工間距與計畫河床坡度之關係。

$$L_s = \begin{cases} (1 \sim 2) / S_d & 1/30 > S_d > 1/60 \\ (1 \sim 1.5) / S_d & S_d < 1/60 \end{cases} \quad (2-7)$$

除了未考慮固床工高度外，計畫河床坡度亦屬不易推估的參數，使得上式在實務應用上具有一定的盲點。木村喜代治、高橋迪夫及長林久夫(1990)假設河道為矩形斷面時，針對野外蜿蜒河道之水理特性進行理論推導，求得固床工間距公式

$$L_s = B (\varphi \pi)^{2/3} (B/h)^{-1/3} \quad (2-8)$$

式中， B =河道寬度(m)； φ =流速係數($=v/v_*$ ； v_* =摩擦速度)； h =斷面水深(m)。

黃政達(1995)以動態平衡理論，利用動床試驗，配合野外實地調查資料予以修正，得到固床工間距之關係式，即

$$L_s = 4.67 d_{65}^{0.14} h^{-0.73} S_o^{-0.45} \quad (2-9)$$

式中， d_{65} =河床質代表粒徑(m)； S_o =河床坡度(%)。

游繁結(1996)自 1993 年～1995 年間經由渠槽試驗及現場調查建立系列固床工的間距公式。其中，現場調查包含台東及台中市大坑附近設有固床工的野溪共計 28 條，現場調查項目包含固床工間距、固床工有效高度及厚度、固床工下游沖刷長度及深度、溪床寬、水深、溪床坡度、床質粒徑等。水工模型試驗則採加砂試驗，試驗參數包含流量、固床工間距、固床工高度、床質粒徑、坡度等 5 項，最後得到以下的固床工間距設計公式：

$$L_s = 4.67 \frac{d_{65}^{0.14}}{h^{0.73} S_o^{0.45}} \quad (2-10)$$

式中， L_s =固床工間距(m)； d_{65} =累積通過 65%之床質代表粒徑； S_o =原河床坡度； h =設計水深(m)。

劉世昌(1997)以台東 8 條採用系列固床工進行整治之野溪，進行系列固床工下游沖刷坑幾何形狀的調查與分析，訂定出適用於台東海岸山脈泥岩地不同床質粒徑的系列固床工間距設計公式：

$$\text{床質粒徑偏大者: } L_s = \frac{100 \times H_g}{1.2 + 1.5 \times S_o} \quad (2-11)$$

$$\text{床質粒徑偏小者: } L_s = \frac{100 \times H_g}{4.5 + 1.1 \times S_o} \quad (2-12)$$

式中， H_g = 固床工設計高度(m)； S_o = 原河床坡度(%)。

吳嘉俊(2001)經由室內水工模型試驗，並以構造物基礎安全為優先考量，提出最適系列固床間距之設計公式：

$$L_s = 48.872 \frac{H_g}{\tan^2 \varphi} \left[\frac{Q}{\sqrt{Bh(S_g - 1)gS_o d_{50}^3}} \right]^{-0.399} \quad (2-13)$$

式中， H_g = 固床工高度(m)； φ = 溪床泥砂水中安息角($^\circ$)； Q = 設計洪峰流量(cms)； B = 溪流整治段寬度(m)； h = 設計流量下之正常水深(normal depth, m)； S_g = 溪床泥砂比重(specific gravity)； S_o = 原河床坡度(%)。

根據水土保持手冊(2005)系列固床工設計間距可表為

$$L_s = \frac{H_g}{(1 - S_r)S_o} \quad (2-14)$$

式中， S_r = 淤砂坡度比(= S_d / S_o ； S_d = 計畫河床坡度)。相較於階梯狀河床，上式應為沿用其相關研究結果。

總結以上相關研究結果得知，不論是階梯狀河床或是系列固床工之間距，除了與固床工高度有關外，主要是受到溪床坡度、計畫溪床坡度及粒徑組成等所影響。

由於溪床坡度(S_o)係隨著溪流幾何形態、溪床質、水流特性及固床工高度等因素之變遷而進行有機調整，非屬固定值，目前對系列固床工合理間距之設計，多數仰賴長期積累下來的實務經驗，惟不同溪流地形、幾何形態、溪床質、水流特性並不完全相同，直接套用以往經驗，並不能保證合理。

第四節 局部沖刷坑深度與固床工間距之相關性研究

系列固床工間距會影響固床工下游局部沖刷坑沖刷深度之發生與發展，且固床工間距越小，受到的影響就明顯。

吳尚訓 (2000) 藉由清水流之渠槽試驗，探討固床工設置前後的泥砂運移情形，其研究結果指出，隨著固床工間距減小，可有效抑制部分床砂的運移，進而減緩河床的沖刷。除此之外，並採用水流功率與臨界啟動功率的觀念，推求平均沖刷率與其他相關因子之關係式如下：

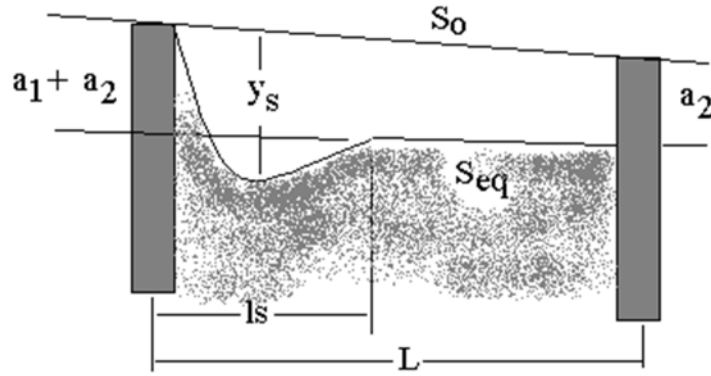
$$\frac{S_{ra}}{\sqrt{gh}} = 2.9 \times 10^{-4} \left(\frac{W - W_c}{W} \right)^{0.86} \left(\frac{L_s}{L_o} \right)^{0.37} S_o^{1.28} \quad (2-15)$$

式中， S_{ra} =河床平均沖刷率； h =水深； L_s =固床工間距； L_o =固床工保護段長度； S_o =渠槽坡度。

Gaudio, et al. (2000) 利用水工模型試驗探討固床工下游沖刷之情形，如圖 2-3 所示。圖中，固床工下游沖刷坑之最大沖刷深度(t_s)與下列參數有關，即

$$t_s = f(g, \nu, \rho_w, \rho_s, q, q_s, h_u, d_{50}, a_1) \quad (2-16)$$

式中， g =重力加速度； ν =流體運動黏滯係數； ρ_w =流體密度； ρ_s =土砂密度； q =單寬流量； q_s =單寬土砂流量； h_u =正常水深； d_{50} =床質中值粒徑； a_1 =型態落差(morphological jump)= $(S_o - S_{eq})L_s$ ； S_o =初始河床坡度； S_{eq} =平衡輸砂坡降。



資料來源：透水式固床工之工法研發與水理特性研究(二、三)

圖 2-3 淘刷坑觀念示意圖

Gaudio, et al.(2000)經水工模型試驗設計相鄰兩固床工的間距具有足夠的長度，使下游相鄰固床工不會影響到上游沖刷坑的發展。經由水工模型試驗，Gaudio, et al (2000)分別提出固床工下游沖刷坑深度(t_s)及沖刷坑長度(I_p)公式，即

$$\frac{t_s}{H_s} = 0.189 \times \frac{a_1}{\Delta d_{50}} + 0.266 \quad (2-17)$$

$$\frac{I_p}{H_s} = 1.87 \times \frac{a_1}{\Delta d_{50}} + 4.02 \quad (2-18)$$

式中， H_s = 臨界比能 (critical specific energy) $[=1.5 (q^2 / g)^{1/3}]$ ； $\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ 。上式適用於 $a_1 / \Delta d_{50} = 1.3 \sim 9.1$ 。使用上述公式之前，必須先利用輸砂公式及 Shields 泥砂起動運動關係圖 (Shields' diagram)，找出該整治河道段的平衡輸砂坡降 S_{eq} 。

Lenzi. et al.(2002)延續 Gaudio et al. (2000) 的研究並將研究成果用於坡度陡峻的山區野溪，更利用水工模型試驗進行驗證，提出適用於緩坡(坡度 ≤ 0.02)及陡坡(坡度 ≥ 0.08)的系列固床工間之下游沖刷公式，如圖 2-4 所示。

一、緩坡河道($S_0 \leq 0.02$)：緩坡河道的沖刷深度及沖刷坑長度，可分別表示為：

$$\frac{t_s}{H_s} = 0.180 \frac{a_1}{(\rho_s / \rho_w - 1) d_{50}} + 0.369 \quad (2-19)$$

$$\frac{I_p}{H_s} = 1.87 \frac{a_1}{(\rho_s / \rho_w - 1) d_{50}} + 4.02 \quad (2-20)$$

$$S_{eq} = \frac{(\rho_s / \rho_w - 1) \theta_c d_{50}}{y} \quad (2-21)$$

二、山區陡坡河道(坡度 ≥ 0.08)：陡坡河道沖刷深度及沖刷坑長度可分別表為：

$$\frac{t_s}{H_s} = 0.436 + 0.06 \left[\frac{a_1}{(\rho_s / \rho_w - 1) d_{95}} \right]^{1.4908} + 1.4525 \left[\frac{a_1}{H_s} \right]^{0.8626} \quad (2-22)$$

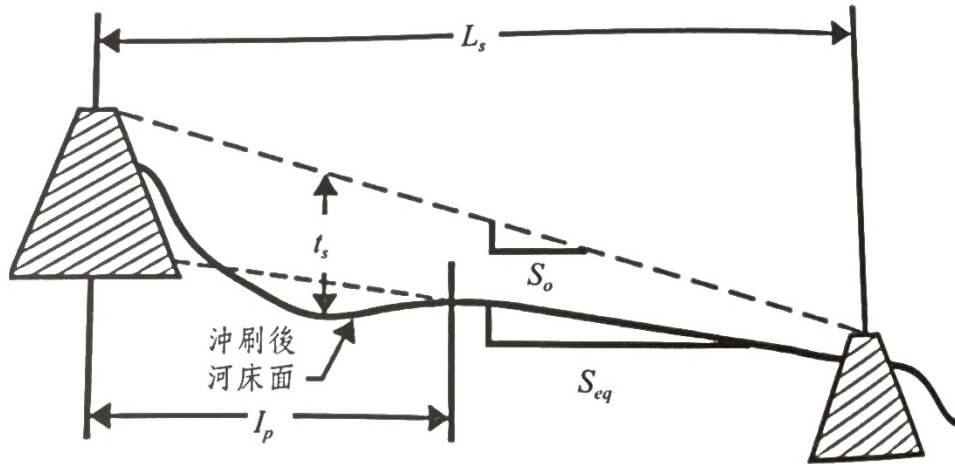
$$\frac{I_p}{H_s} = 4.48 + 2.524 \left[\frac{a_1}{(\rho_s / \rho_w - 1) d_{95}} \right]^{1.129} + 0.023 \left[\frac{a_1}{H_s} \right]^{-1.808} \quad (2-23)$$

式中， t_s = 局部沖刷坑深度； I_p = 沖刷坑長度； L_s = 固床工間距； d_x = 對應於累加百分率 x 之粒徑； H_s = 臨界比能； q = 單寬流量 (m^2/s)； S_0 = 原溪床坡度； S_{eq} = 平衡坡度； θ_c = 無因次臨界剪應力，可表為

$$\theta_c = \frac{0.24}{d_*} + 0.055[1 - \exp(-0.02d_*)] \quad (2-24)$$

$$d_* = D_{50} \left(\frac{1.65 g}{v^2} \right)^{1/3} \quad (2-25)$$

式中， d_* = 無因次泥砂顆粒粒徑。



資料來源：土砂災害與防治

圖 2-4 系列固床工示意圖

連惠邦(2001)以室內渠槽試驗，探討防砂壩之防砂功能及其下游河床演變與固床工整流的功能。研究成果指出防砂壩「上淤下沖」及固床工「先緩後沖」的泥砂輸移特性，並提出「產砂區位轉移效應」的觀念。該觀念認為，防砂壩與下游固床工不僅能夠將河流土砂生產區位轉移至下游，而且可以將河流上游土砂災害之高潛勢區移至下游低潛勢區河段。經由不同固床工間距、渠槽坡降、流量、固床工下游沖刷率及水流功率的分析，推導出固床工的沖刷減少率公式：

$$\frac{S_{r0} - S_r}{\sqrt{gL}} = 8 \times 10^{-5} \left(\frac{W - W_c}{W} \right)^{2.81} \left(\frac{L_o - L_s}{L_o} \right)^{2.81} S_o^{1.23} \quad (2-26)$$

式中， S_{r0} =未設置固床工時之河床平均沖刷率； S_r =設置固床工後之平均沖刷率； L_o =河段長度； L_s =固床工間距； W =水流功率($=\rho_w q S_o$)； W_c =泥砂顆粒臨界起動功率； S_o =河床平均坡降。

王志豪 (2008) 透過現地調查固床工下游沖刷坑所獲得的實測資料，研究花蓮縣土石流災害防砂設施之功效，並將實測刷坑 2 區、22 組數據進行無因次化後，找出固床工下游沖刷坑之最大沖刷深度及最大沖刷長度與臨界比能的迴歸方程式，分別可表為

$$\frac{t_s}{H_s} = 0.318 + 2.314 \left(\frac{a_1}{H_s} \right) - 0.15 \left(\frac{a_1}{\Delta d_{50}} \right) \quad (2-27)$$

$$\frac{I_p}{H_s} = 1.268 - 5.99 \left(\frac{a_1}{H_s} \right) + 0.33 \left(\frac{a_1}{\Delta d_{50}} \right) \quad (2-28)$$

Marion et al. (2004)探討固床工間距及渠床床砂粒徑對於固床工下游局部淘刷深度的影響，進而推導出最大沖刷深度(t_s)與臨界比能(H_s)之關係式：

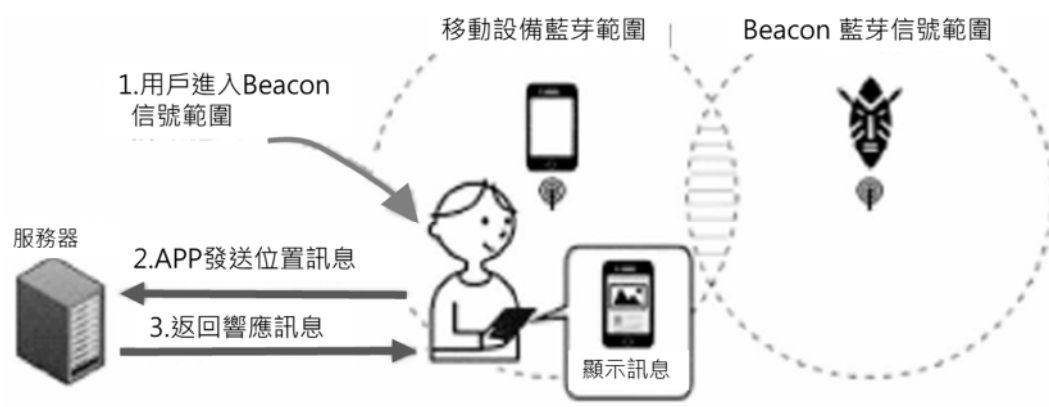
$$\frac{t_s}{H_s} = 2.7 \left(\frac{a_1}{H_s} \right)^{0.43} SI^{-0.19} \left(1 - e^{-0.14 \frac{L_s}{H_s}} \right) \quad (2-29)$$

$$SI = \frac{1}{2} \left(\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right) \quad (2-30)$$

第五節 Beacon 相關應用文獻

Beacon 中文可譯為為燈塔、信標，是一種「鄰近系統(Proximity System)」，可對 Beacon 設備發出的信號進行響應。Beacon 可由一個或多個在一定範圍內發射傳輸其識別碼，且於接收設備上可找到 Beacon 並實現多種功能，此系統中可運行在智能手機、平板電腦、可穿戴及其他計算設備上之應用，並且能夠通知用戶。

Beacon 應用程式以藍芽 4.0 技術為基礎，並發展成為 Beacon 技術，能夠達到精準的室內定位以及不需連網環境的客製化互動，距離可達 30 公尺。企業利用 Beacon 技術多點 Beacon 基地台形成企業特定無線網路環境，並且在店家內建置後台系統，當顧客進入 Beacon 訊號對應之企業特定無線網路區域時，Beacon 基地台即可透過手機上 APP 傳輸各種訊息，其應用流程如圖 2-5 所示。



資料來源:修改自黃悅深,劉敏.Beacon 在基于位置的移动图书馆服务中的应用.图书情报工作,2015,59(3):73-78

圖 2-5 Beacon 應用流程示意圖

由於 Beacon 利用低功耗藍牙可近距離感測之功能，並且應運於各方面，就其相關應用蒐集文獻及運用案例如下：

湯國俊與李來春(2015)透過 Beacon 藍芽發射器研究國立臺北科技大學校史館展場提供參訪者互動的展覽環境。研究顯示透過 Beacon 技術將低功耗藍牙發射器佈置於展場，可大幅減低佈置成本，只要經由導覽 App 即可快速獲得展場推播內容。

義大世界與工研院 (2014) 合作推出 Beacon 導覽 APP，經由 Beacon 藍牙發射裝置搭配 App，讓遊客透過導航功能，帶遊客到他們想去的櫃位及車位，當遊客蒞臨有提供優惠的櫃位時，亦可經由 App 獲得購物優惠之價格及相關優惠訊息。

淡江大學企業管理學系研究生陳加倫 (2015) 發表消費者對使用 Beacon 行為意圖背後關鍵因素並彙整整合性科技接受理論。

黃悅深與劉敏 (2015) 發表基于 Beacon 的移动圖書館應用方案比現有圖書館 LBS 建構方案具有更好情景感知性、易用性和經濟性。應用方案包含無縫式服務簽到、情景化服務互動、黏著式服務推廣。其應用能深化圖書館與讀者的互動關係，使移動式圖書館服務具有更

佳的適用性。

何超(2018)利用硬體系統包括 Beacon 基站和 Beacon 集中器，搭載傳感器的基站和集中器組成傳感網路，作為室內環境監測之硬件平台。提出結合 Beacon 技術和藍芽 5.0 的傳感網方案，Beacon 基站定時採集和廣播傳感數據，Beacon 集中器掃描和轉發給上位機用於監測，此方案可以有效降低藍芽連接帶來的效率和功耗的折損。對於室內定位系統需要複雜的室內環境中解決易部署、高精度、低成本等需求問題。

第六節 河床沖刷深度觀測

臺灣河川或野溪河床沖刷深度之觀測方法與設備演進情形，以往沖刷磚塊之觀測方法為於河床中埋設成串磚塊，通常採用紅磚(高度 6 公分)，洪水後於埋設處開挖並計算流失磚塊數量，用以估算沖刷深度，如圖 2-6 所示。此方法不需要任何電子儀器，僅需要埋設紅磚，係臺灣河川最常見，也最直接的觀測方法。

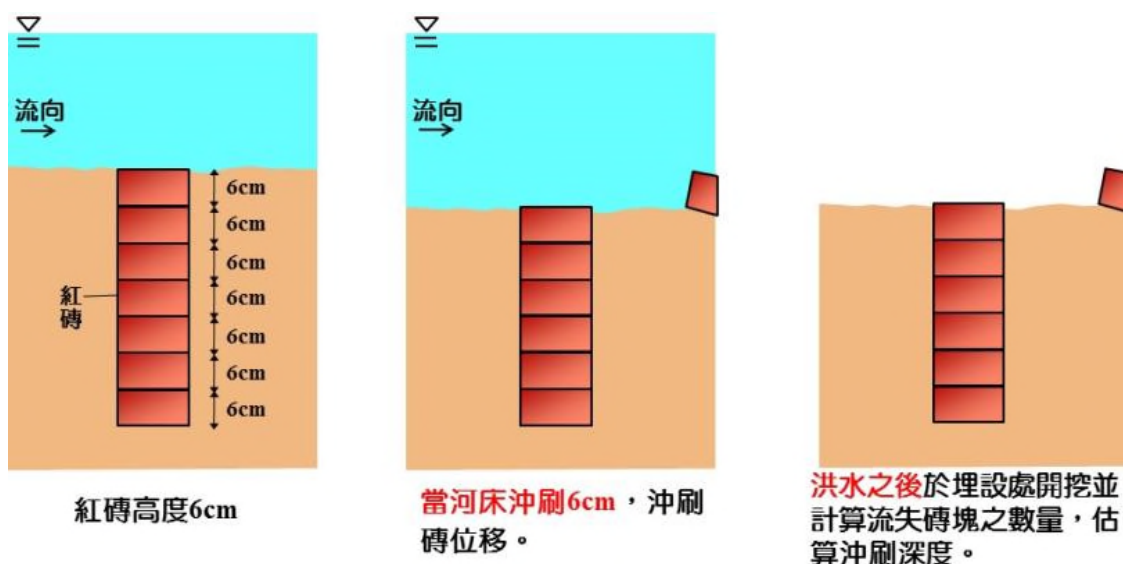


圖 2-6 以往沖刷磚塊之觀測方法

一、運用無線沖刷粒子新科技即時監控颱風動態沖刷變化

水利署第四河川局在濁水溪支流清水溪福興護岸河段，採無線追蹤粒子及配重砂罐組成串磚，並埋入溪床下進行沖刷深度之即時監測，無線追蹤粒子如圖 2-7 所示。當河床受沖刷後，無線追蹤粒子自動充電並浮出水面，發射無線電波，通知目前河床沖刷情形。如圖 2-8 所示，該計畫之沖刷深度解析度為 52.5cm。



圖 2-7 水利署無線追蹤粒子



圖 2-8 無線追蹤粒子及配重砂罐組成串磚(清水溪福興護岸河段)

二、106年度大規模土砂災害集水區野溪溪床沖刷深度監測技術研發計畫

依據「106 年度大規模土砂災害集水區野溪溪床沖刷深度監測技術研發」(水保局，105 年、106 年)，該計畫同樣採用無線追蹤粒子及配重砂罐組成串磚，並埋入溪床下進行沖刷深度之即時監測，如圖 2-9 所示。當河床受沖刷後，無線追蹤粒子自動充電並浮出水面，發射無線電波，通知目前河床沖刷情形，如圖 2-10 所示。

該計畫觀測地點包含南投縣國姓鄉北山坑溪南港二號橋、國姓鄉眉溪南豐橋與豐林橋等河段，而該計畫之沖刷深度解析度為 30cm。

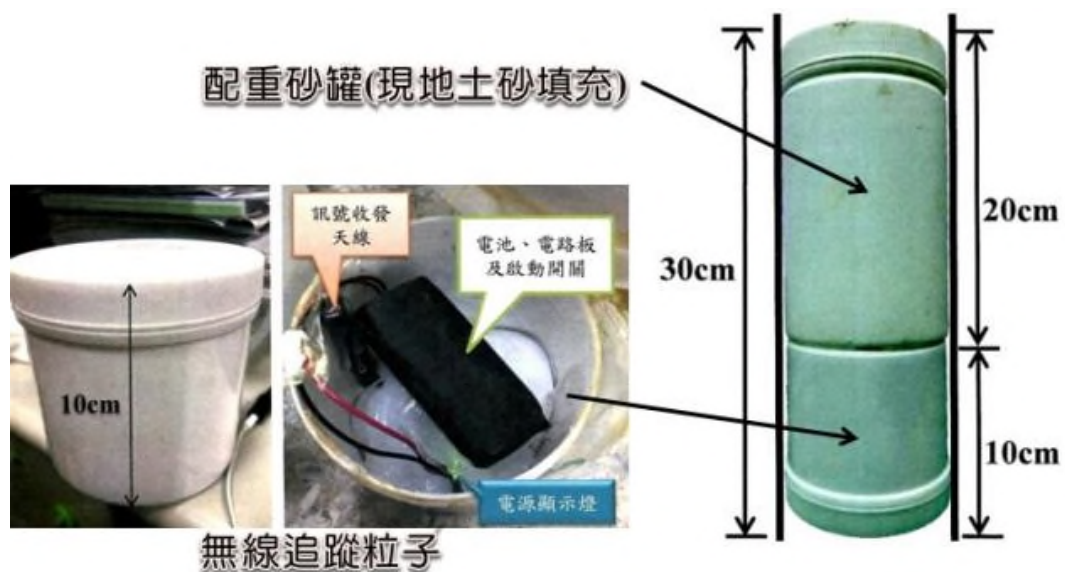


圖 2-9 無線追蹤粒子及配重砂罐

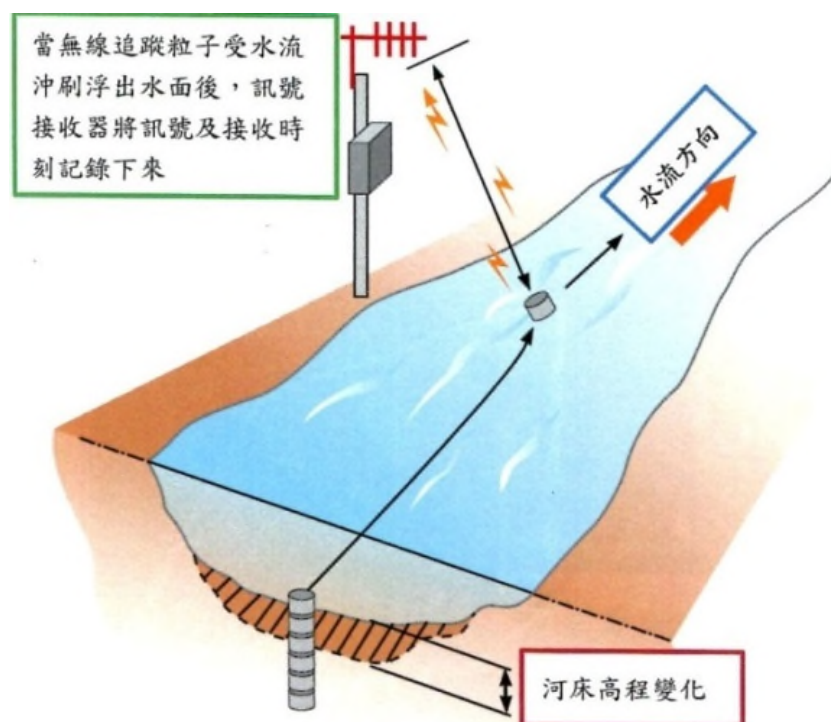


圖 2-10 無線追蹤粒子受沖刷並發送訊號示意圖

第三章 基本資料蒐集與調查

考量本研究係以擷取現場實測數據為基礎，必須選取三處適當之溪流場址，本計畫就選定原則及場址基本資料說明如下：

第一節 選定原則

選取原則包括：

- 一、三處場址應具有3-5座以上系列固床工，且其系列固床工之間距應有所差異。
- 二、三處場址之集水區面積、溪床質、固床工坐落範圍平均溪床坡度、斷面尺寸等均應略有差異。

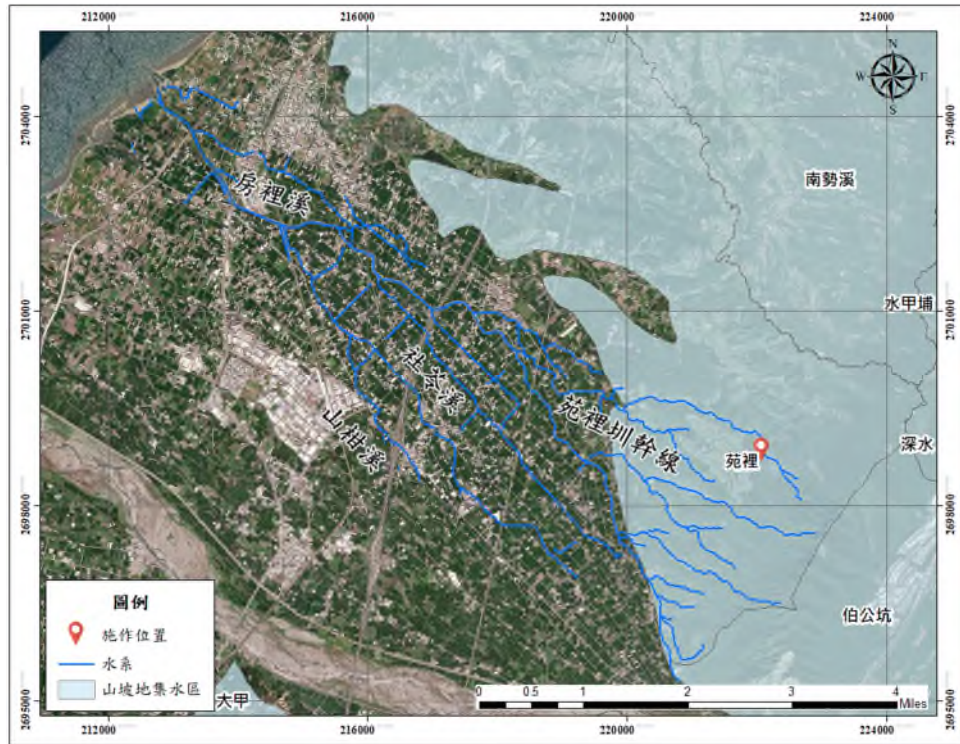
當選定三處場址之後，即應蒐集各場址集水區之基本資料，且應就固床工有效高度、間距、溪床質(樣孔採樣分析)、溪床坡度、斷面尺寸等進行現場調查。

第二節 選定場址

本計畫初步選定苗栗縣 2 處及臺中 1 處水土保持局轄區山坡地所執行包含固床工之治理工程，選定為苗栗縣苑裡溪集水區石頭溪櫻花橋下游系列固床工、苗栗縣南港溪支流大坪野溪河道治理工程及台中市草湖溪集水區支流北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程。根據現地調查結果依據河道特性、固床工間距、固床工數量等條件，及其基本資料說明如下：

一、苗栗縣苑裡溪集水區支流石頭溪櫻花橋下游系列固床工

石頭溪櫻花橋位於苑裡溪集水區，集水面積為 422.17 公頃，其位置詳圖 3-1。石頭溪主流長度共 3.73 公里，匯入苑裡圳幹線之支流，最後匯入房裡溪。



資料來源：本計畫製作

圖 3-1 石頭溪櫻花橋下游系列固床工位置圖

本計畫就石頭溪集水區地文、地質、氣象及水文等基本資料蒐集情形，各項說明如下所示：

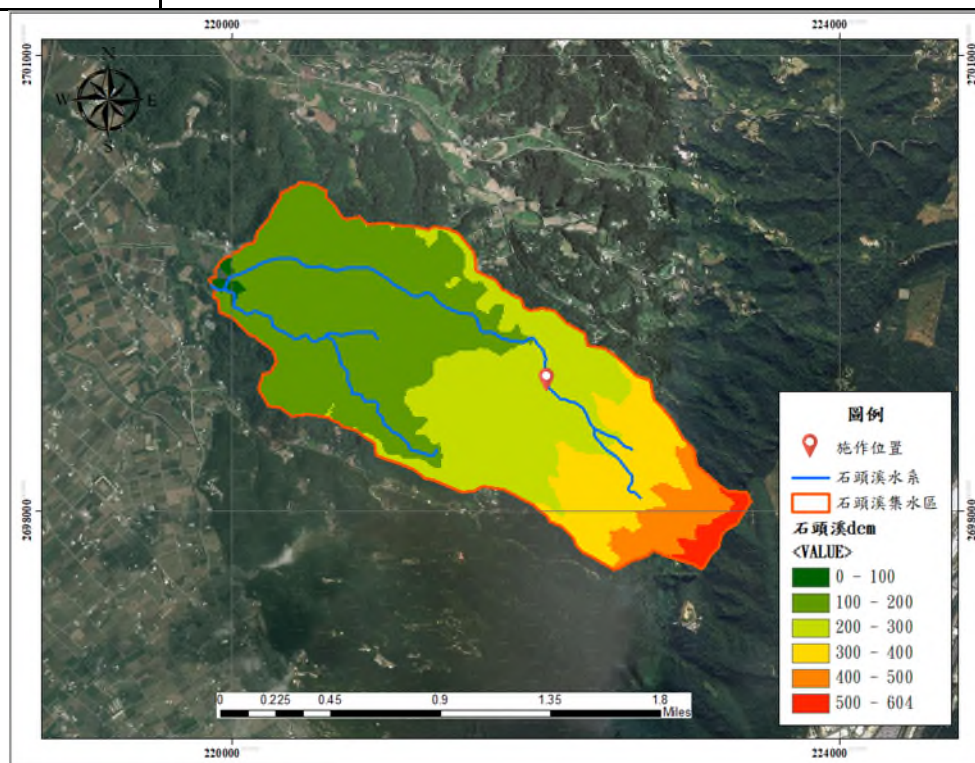
(一)地文

1、高程分布

計畫區內最高高程達 603.4 最低高程為 5.9 公尺，平均高程達 154 公尺，介於 0 公尺~100 公尺所佔面積最多，達 46.4%，其高程分布如圖 3-2 及表 3-1 所示。

表 3-1 石頭溪集水區高程統計表

高程分布(m)	面積(ha)	百分比(%)	高程分布(m)	面積(ha)	百分比(%)
0-100	3	0.69	300-400	60	14.18
100-200	196	46.40	400-500	26	6.18
200-300	129	30.53	500-604	9	2.02
最低高程	5.9(m)				
最高高程	603.4(m)				
面積合計	422(ha)				
平均高程	154(m)				



資料來源：本計畫製作

圖 3-2 石頭溪集水區高程分布圖

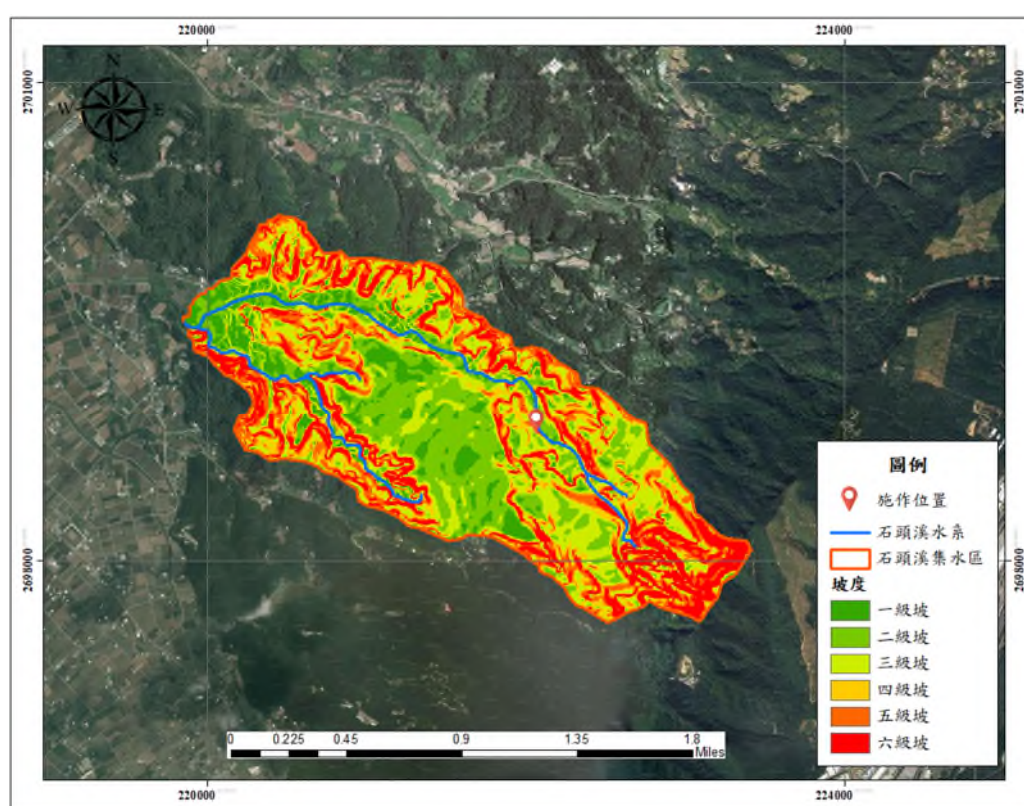
2、坡度分布

坡度主要介於 5%~15%之二級坡，佔總面積約 23.81%；平均坡度為 24.43%。計畫區坡度分布如圖 3-3 及表 3-2 所示。

表 3-2 石頭溪集水區坡度統計表

坡度分級	面積(ha)	百分比(%)	坡度分級	面積(ha)	百分比(%)
一級坡	39.09	9.26	四級坡	53.87	12.76
二級坡	100.52	23.81	五級坡	64.09	15.18
三級坡	91.53	21.68	六級坡	73.08	17.31
面積合計	422.17(ha)				
平均坡度	24.43%				

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-3 石頭溪集水區坡度分布圖

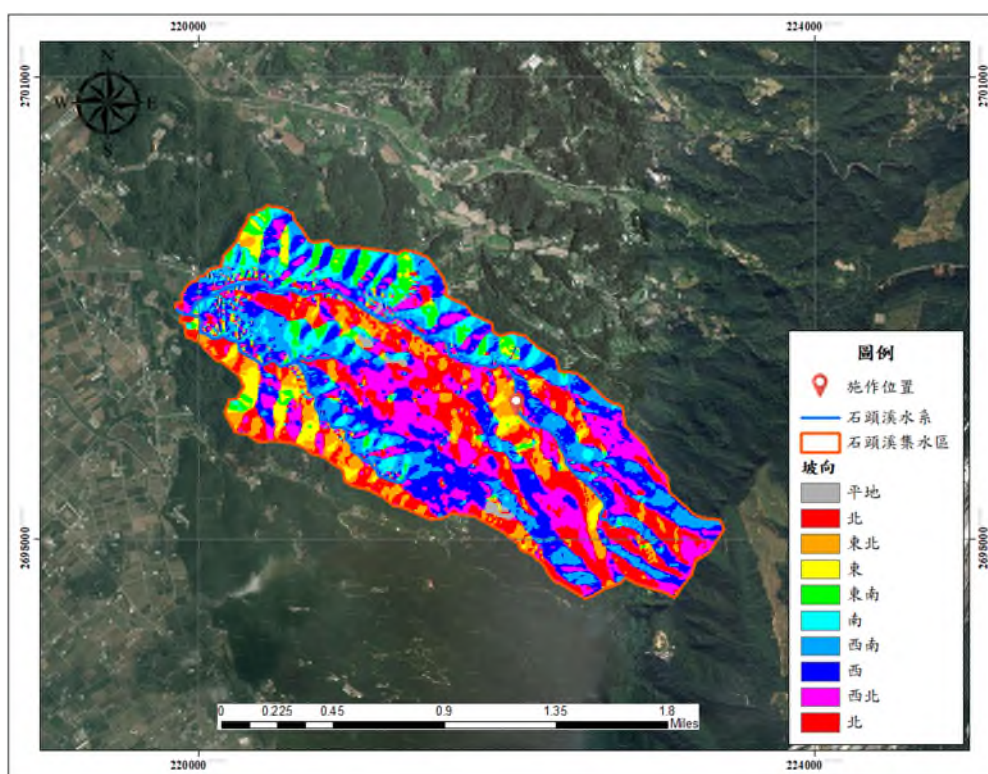
3、坡向分布

計畫區坡向以西向分布最多，佔總面積約 20.64%，坡向分布狀況如圖 3-4 及表 3-3 所示。

表 3-3 石頭溪集水區坡向統計表

坡向分級	面積(ha)	百分比(%)	坡向分級	面積(ha)	百分比(%)
平地	3.88	0.92	南	27.10	6.42
北	81.86	19.39	西南	63.83	15.12
東北	40.57	9.61	西	87.14	20.64
東	18.15	4.30	西北	80.25	19.01
東南	19.38	4.59			
面積合計	422.17(ha)				

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-4 石頭溪集水區坡向分布圖

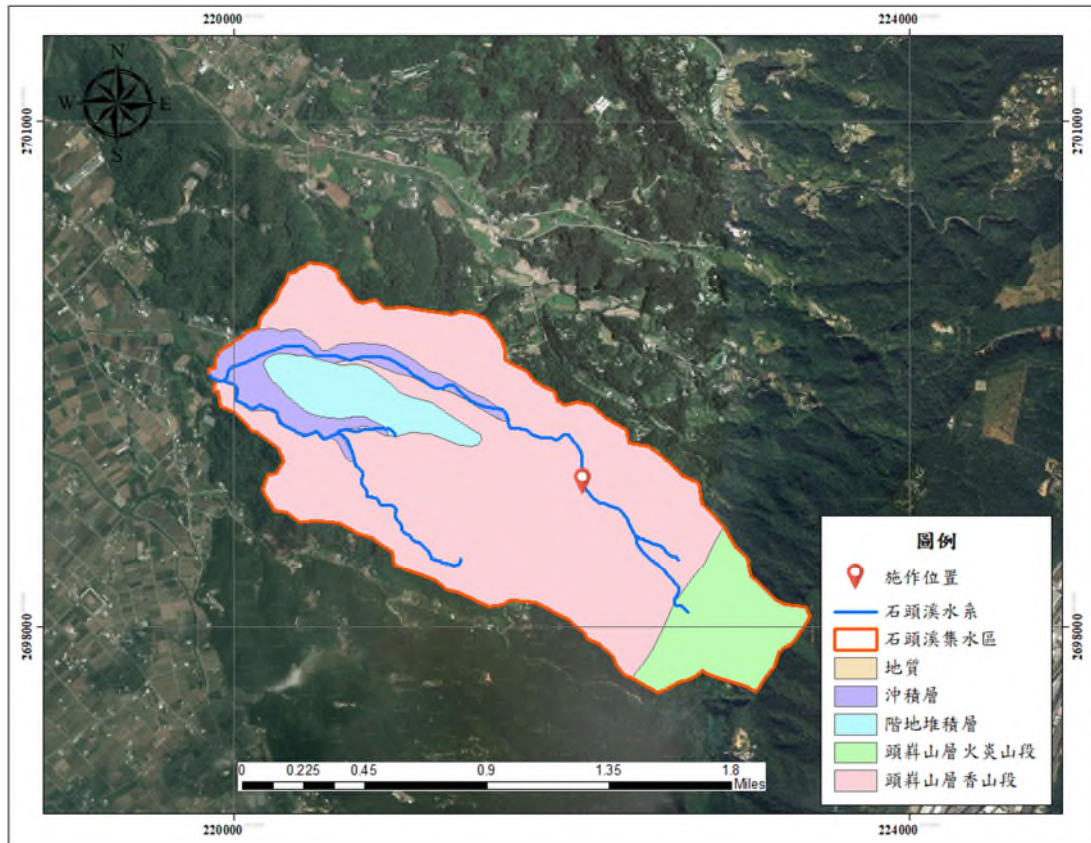
(二)地質

依據經濟部中央地質調查所出版之 2 萬 5000 分之一地層圖幅，計畫區之地層包括沖積層、階地堆積層、頭嵙山層火炎山段及頭嵙山層香山段，分布面積及百分比如表 3-4。其中以頭嵙山層香山段分布最廣，佔集水區總面積之 72.74%，其次為頭嵙山層火炎山段，櫻花橋下游系列固床工則位於頭嵙山層香山段，頭嵙山層香山段岩相為砂岩和頁岩，其下部主要言行為塊狀、淡青灰色至淡灰色、細粒或粉砂質的砂岩，地質分布如圖 3-5 所示。

表 3-4 石頭溪集水區地質統計表

地質類別	面積(ha)	百分比(%)
階地堆積層	30.83	7.30
頭嵙山層香山段	307.07	72.74
頭嵙山層火炎山段	50.31	11.92
沖積層	33.96	8.04
合計	422.17	100.00

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-5 石頭溪集水區地質分布圖

(三)氣象

根據集水區鄰近之中央氣象局三義氣象站 2005 年至 2019 年紀錄統計之結果，年平均溫度約為 21.3°C ，以七月之月均溫為最高有 26.8°C ，最冷為一月 13.9°C 。

(四)水文

本區之降雨量分析採用鄰近集水區之中央氣象局三義氣象站進行降雨量分析，分析年份為 2012 年~2018 年的雨量資料進行分析，分析結果詳如表 3-6，顯示集水區的降雨量多集中在 5~9 月之間，月平均雨量最大有 419.4 毫米，最少亦有 47.9 毫米；逐年雨量分析年平均雨量達 2,128.5 毫米之多，其中以 2007 年的 2,838 毫米為近年最大值。

表 3-5 三義氣象站雨量統計表

年分 /月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年雨量 (mm)
2005	24.5	271.0	225.5	29.5	327.0	473.0	450.5	567.5	109.5	27.0	19.0	31.0	2555.0
2006	35.5	62.0	121.0	460.5	368.0	553.0	407.0	42.5	133.0	2.0	140.5	84.5	2409.5
2007	62.5	35.5	210.5	169.0	240.5	816.0	35.5	456.0	343.5	409.5	30.0	29.5	2838.0
2008	18.5	49.0	71.5	70.5	255.0	187.0	584.0	34.5	1314.0	35.5	36.0	24.5	2680.0
2009	1.0	21.0	180.5	212.5	13.5	231.5	20.5	812.5	52.5	7.0	34.0	23.5	1610.0
2010	43.5	184.5	50.5	143.5	233.5	534.0	213.0	104.0	236.0	3.5	20.5	43.0	1809.5
2012	123.5	161.0	51.5	236.5	191.0	398.0	77.0	984.0	61.5	7.0	238.0	92.5	2621.5
2013	30.5	4.5	78.5	235.0	360.5	107.5	704.5	927.0	78.5	50.5	22.5	144.0	2743.5
2014	0.5	93.0	85.0	39.0	584.0	201.5	72.0	206.0	46.5	6.5	5.0	52.0	1391.0
2015	23.5	49.5	65.0	57.5	470.0	63.0	168.5	368.0	276.5	33.0	1.0	73.0	1648.5
2016	268.0	43.5	316.5	236.0	161.5	250.5	68.0	121.0	330.0	14.0	93.5	7.5	1910.0
2017	13.5	58.5	93.5	165.0	122.0	894.5	311.5	52.5	30.5	39.5	9.5	16.0	1806.5
2018	165.0	41.0	66.5	53.0	77.5	213.5	166.0	431.5	29.5	13.0	20.5	19.0	1296.0
2019	30.0	30.5	296.5	176.0	369.0	436.0	137.0	765.0	80.5	25.0	1.0	134.0	2480.5
平均	60.0	78.9	136.6	163.1	269.5	382.8	243.9	419.4	223.0	48.1	47.9	55.3	2128.5

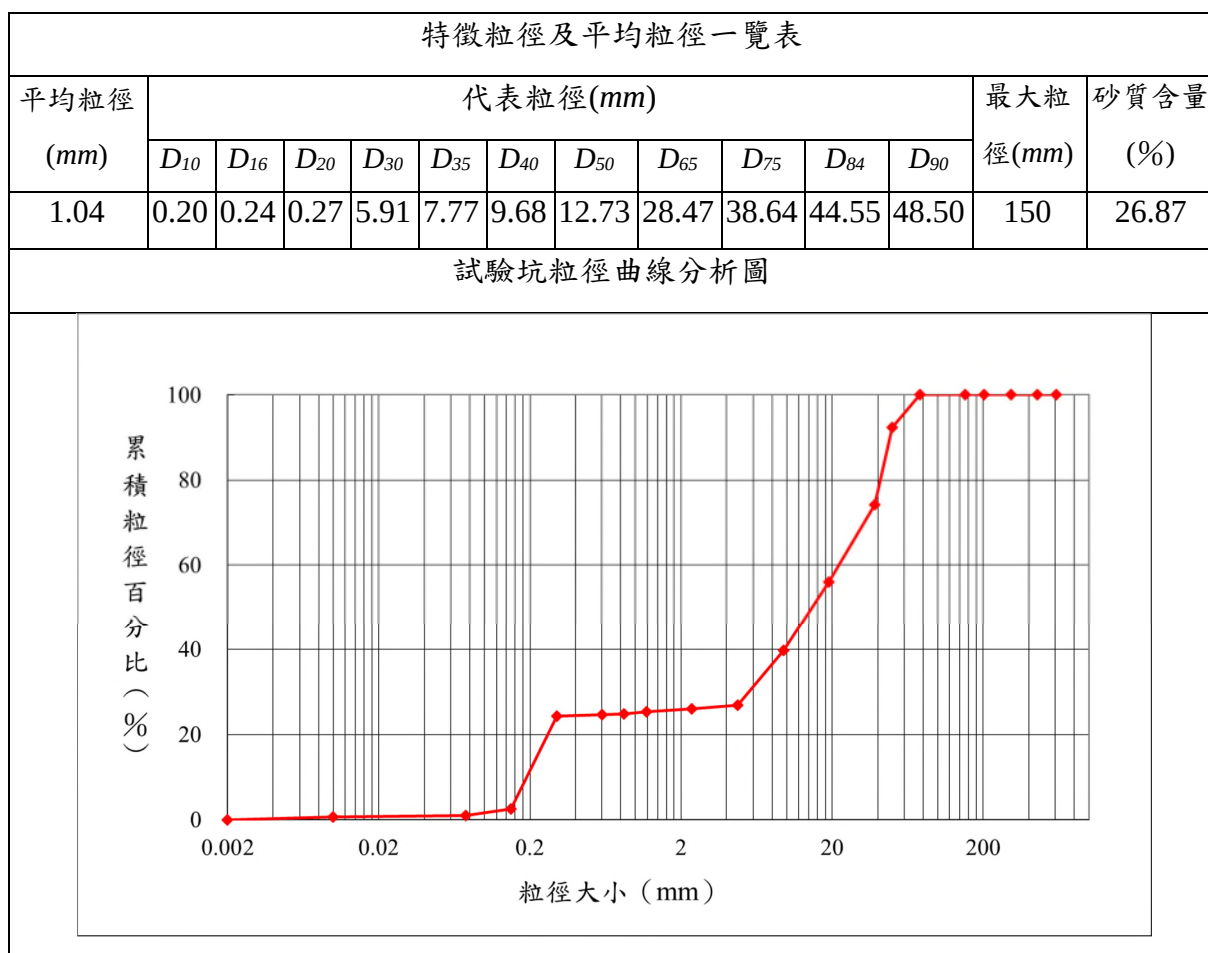
資料來源：彙整中央氣象局氣象資料

(五)河道粒徑分析

本計畫已於 2020/06/04 進行河床值調查，其調查成果報告請詳附錄三。根據粒徑分析成果之粒徑別百分率，繪出各採樣孔之顆粒分佈累積曲線，成果請詳表 3-6。

石頭溪平均粒徑大小為 1.04 公釐，其中 D_{50} 代表粒徑為 12.73 公釐，最大粒徑為 150 公釐，砂質含量為 26.87%。

表 3-6 石頭溪試驗坑粒徑分析結果



資料來源：本計畫製作

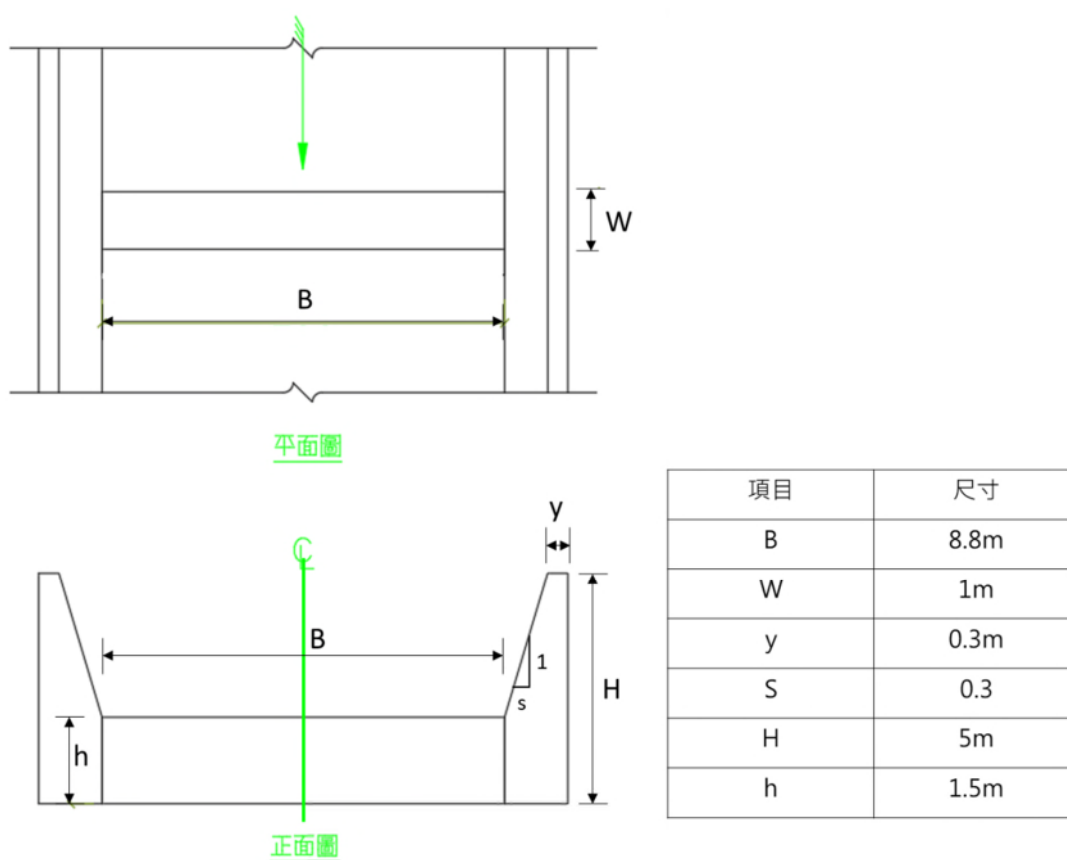
(六)固床工基本資料

櫻花橋下游系列固床工數量共計 10 座，並根據現地勘差發現固床工下游已有輕微沖刷坑產生，故埋設於此區位，其固床工分布情形及沖刷樁埋設位置如圖 3-6。另固床工尺寸與銜接構造物如圖 3-7，固床工厚度為 1 公尺。



資料來源：本計畫製作

圖 3-6 石頭溪櫻花橋下游系列工程固床位置分布圖



資料來源：本計畫製作

圖 3-7 石頭溪櫻花橋下游系列工程固床工與護岸銜接示意圖

二、苗栗縣南港溪支流大坪野溪河道治理工程

大坪野溪屬於苗栗縣南港溪集水區之支流，其集水面積為 709.96 公頃，其主流長度為 5.10 公里，其位置詳圖 3-8。



資料來源：本計畫製作

圖 3-8 大坪野溪河道治理工程位置圖

本計畫就大坪野溪集水區地文、地質、氣象及水文等基本資料蒐集情形，各項說明如下所示：

(一)地文

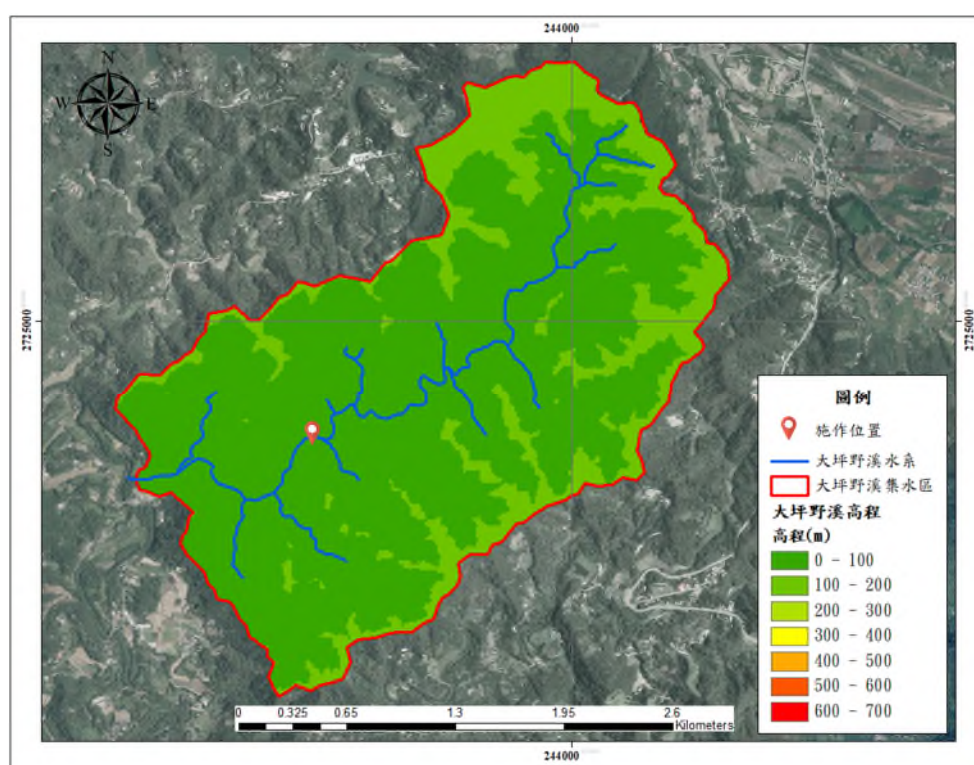
1、高程分布

計畫區內最高高程達 195.4 公尺，最低高程為 13.6 公尺，平均高程為 142.26 公尺，介於 0 公尺~100 公尺所佔面積最多，達 79.27%，其高程分布如圖 3-9 及表 3-7 所示。

表 3-7 大坪野溪集水區高程統計表

高程分布(m)	面積(ha)	百分比(%)	高程分布(m)	面積(ha)	百分比(%)
0-100	563	79.27	200-300	-	0.00
100-200	147	20.73	300-400	-	0.00
最低高程	13.6(m)				
最高高程	195.4(m)				
面積合計	709.96(ha)				
平均高程	142.26(m)				

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-9 大坪野溪集水區高程分布圖

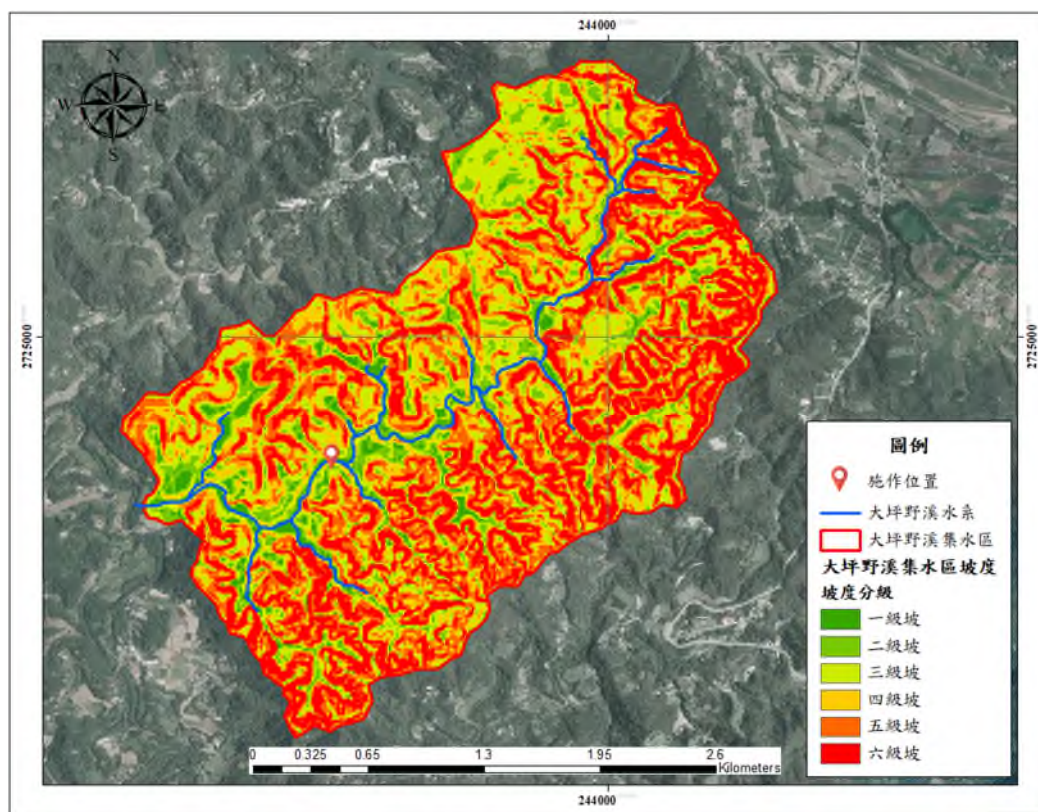
2、坡度分布

坡度主要介於 55%以上之六級坡，佔總面積約 27.06%；平均坡度為 24.43%。計畫區坡度分布如圖 3-10 及表 3-8 所示。

表 3-8 大坪野溪集水區坡度統計表

坡度分級	面積(ha)	百分比(%)	坡度分級	面積(ha)	百分比(%)
一級坡	22.86	3.22	四級坡	117.00	16.48
二級坡	67.30	9.48	五級坡	160.66	22.63
三級坡	150.01	21.13	六級坡	192.12	27.06
面積合計	709.96(ha)				
平均坡度	24.43%				

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-10 大坪野溪集水區坡度分布圖

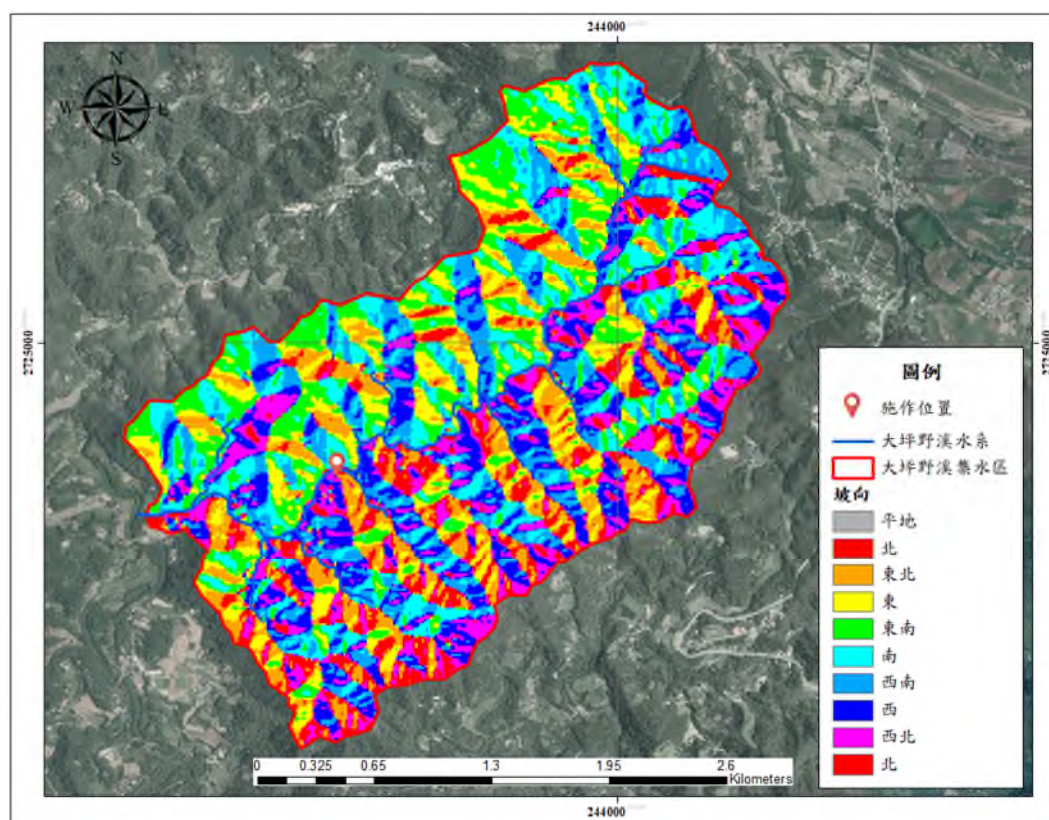
3、坡向分布

計畫區坡向以西南向分布最多，佔總面積約 14.18%，坡向分布狀況如圖 3-11 及表 3-9 所示。

表 3-9 大坪野溪集水區坡向統計表

坡向分級	面積(ha)	百分比(%)	坡向分級	面積(ha)	百分比(%)
平地	0.00	0.00	南	95.70	13.48
北	73.20	10.31	西南	100.67	14.18
東北	88.04	12.40	西	91.73	12.92
東	82.36	11.60	西北	79.37	11.18
東南	98.90	13.93			
面積合計	709.96(ha)				

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-11 大坪野溪集水區坡向分布圖

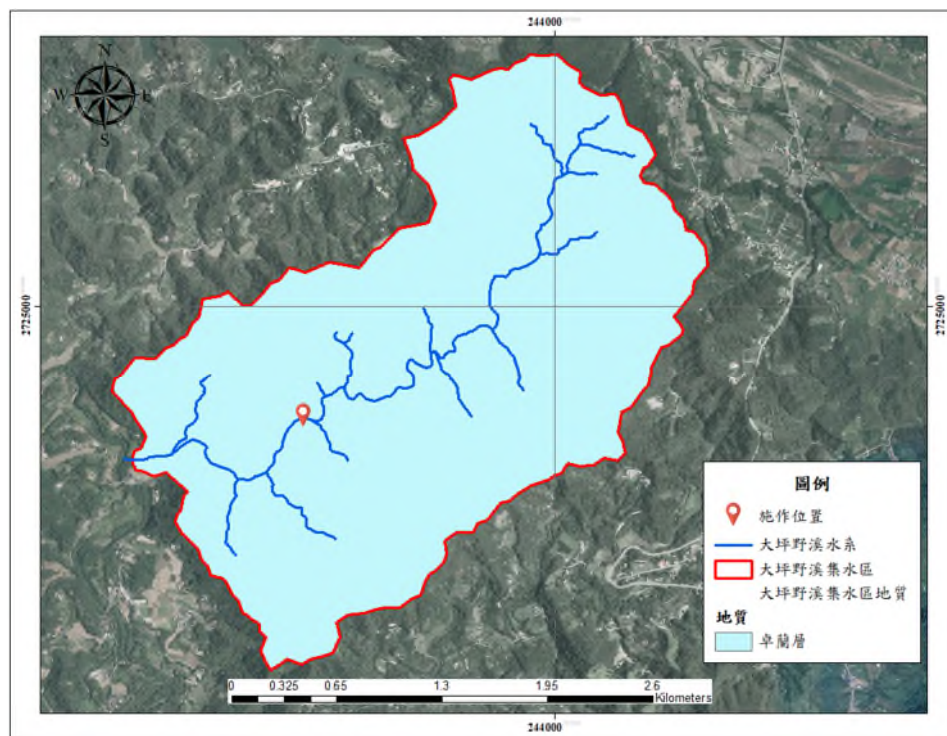
(二)地質

依據經濟部中央地質調查所出版之 2 萬 5000 分之一地層圖幅，大坪野溪集水區地質為卓蘭層。卓蘭層主要由砂岩、粉砂岩、頁岩與泥岩堆疊而成，因結構鬆散，地層內的化石岩化程度不高，很容易風化，其地質分布如圖 3-12 所示。

表 3-10 大坪野溪集水區地質統計表

地質類別	面積(ha)	百分比(%)
卓蘭層	709.96	100.00
合計	709.96	100.00

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-12 大坪野溪集水區地質分布圖

(三)氣象

根據集水區鄰近之中央氣象局造橋氣象站 2012 年至 109 年紀錄統計之結果，年平均溫度約為 22.9℃，以七月之月均溫為最高有 29.3℃，最冷為二月 15.2℃。

(四)水文

本區之降雨量分析採用鄰近集水區之中央氣象局造橋氣象站進行降雨量分析，分析年份為 2012 年~2018 年的雨量資料進行分析，分析結果詳如表 3-11，顯示集水區的降雨量多集中在 5~8 月之間，月平均雨量最大有 297.4 毫米，最少亦有 34.3 毫米；逐年雨量分析年平均雨量達 1,707.3 毫米之多，其中以 2012 年的 2433.5 毫米為近年最大值。

表 3-11 造橋氣象站雨量統計表

年分 /月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年雨量 (mm)
2012	174.5	264.0	75.5	279.0	219.5	264.0	154.0	573.0	16.0	22.0	280.0	122.0	2443.5
2013	54.5	7.5	79.0	222.0	363.0	115.5	501.5	509.5	25.5	42.0	32.0	151.5	2103.5
2014	4.0	137.0	112.0	72.0	396.0	176.0	62.0	229.5	102.0	24.5	4.5	63.0	1382.5
2015	22.0	36.5	93.5	78.5	507.0	75.0	86.0	311.5	242.5	110.5	3.0	79.5	1645.5
2016	247.0	58.5	363.0	260.0	226.5	144.5	41.0	122.5	192.5	11.0	127.0	5.0	1798.5
2017	19.5	32.5	113.5	148.0	102.0	687.5	155.5	39.5	36.5	26.5	22.5	15.5	1399.0
2018	219.5	60.5	50.5	63.5	93.5	48.5	44.5	217.0	116.0	21.0	23.5	23.5	981.5
2019	30.5	52.0	259.5	169.5	296.0	465.5	67.5	377.0	40.5	17.0	0.0	129.5	1904.5
平均	96.4	81.1	143.3	161.6	275.4	247.1	139.0	297.4	96.4	34.3	61.6	73.7	1707.3

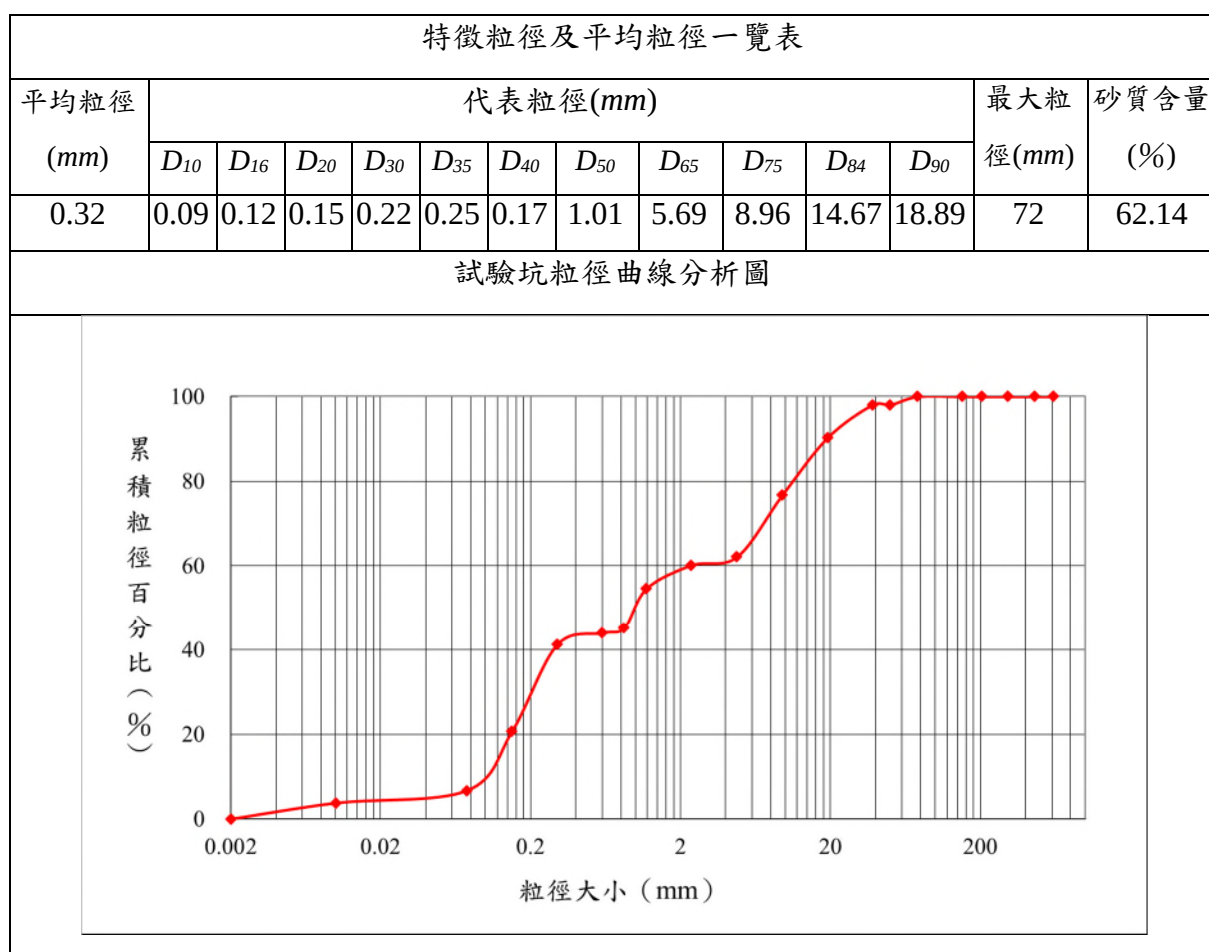
資料來源:彙整中央氣象局氣象資料

(五)河道粒徑分析

本計畫已於 2020/06/04 進行河床值調查，其調查成果報告請詳附錄四。根據粒徑分析成果之粒徑別百分率，繪出各採樣孔之顆粒分佈累積曲線，成果請詳表 3-6。

大坪野溪平均粒徑大小為 0.32 公釐，其中 D_{50} 代表粒徑為 1.01 公釐，最大粒徑為 72 公釐，砂質含量為 62.14%。

表 3-12 大坪野溪試驗坑粒徑分析結果



資料來源:本計劃分析

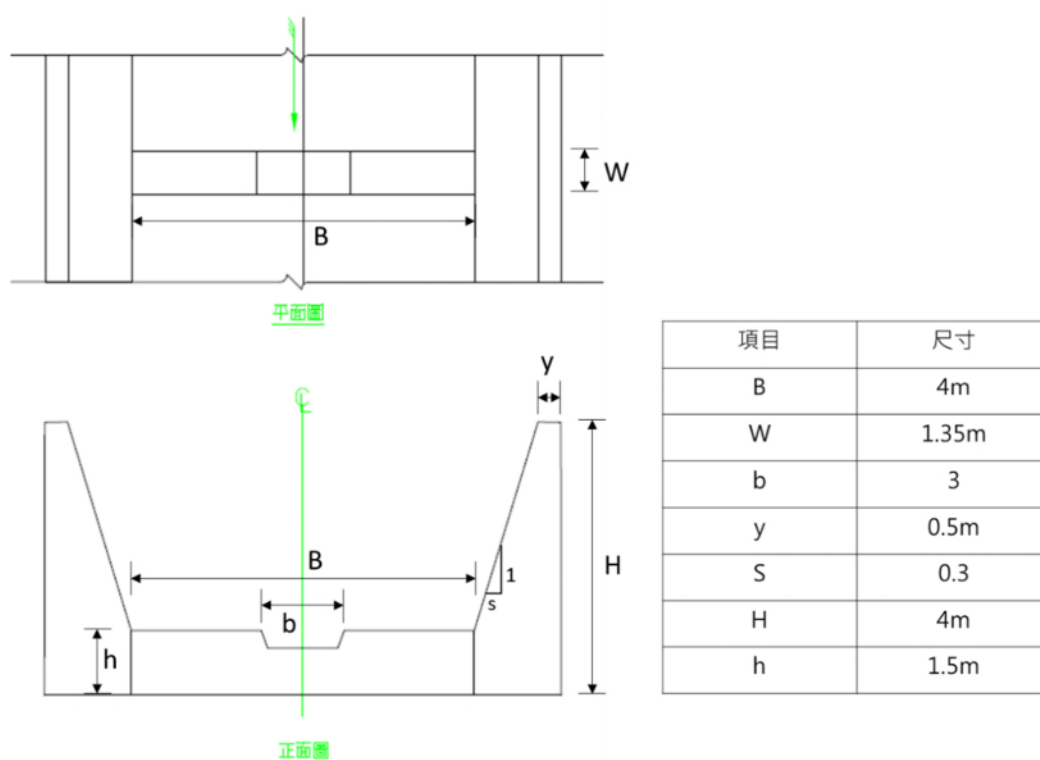
(六)固床工基本資料

大坪野溪河道治理工程系列固床工共計 7 座，並根據現地勘查發現固床工下游已有輕微沖刷坑產生，故埋設於此區位，其固床工分布情形及沖刷樁埋設位置如圖 3-13。固床工尺寸及銜接構造物如圖 3-14，其固床工厚度為 1.35 公尺。



資料來源：本計畫製作

圖 3-13 大坪野溪河道治理工程固床工分布圖

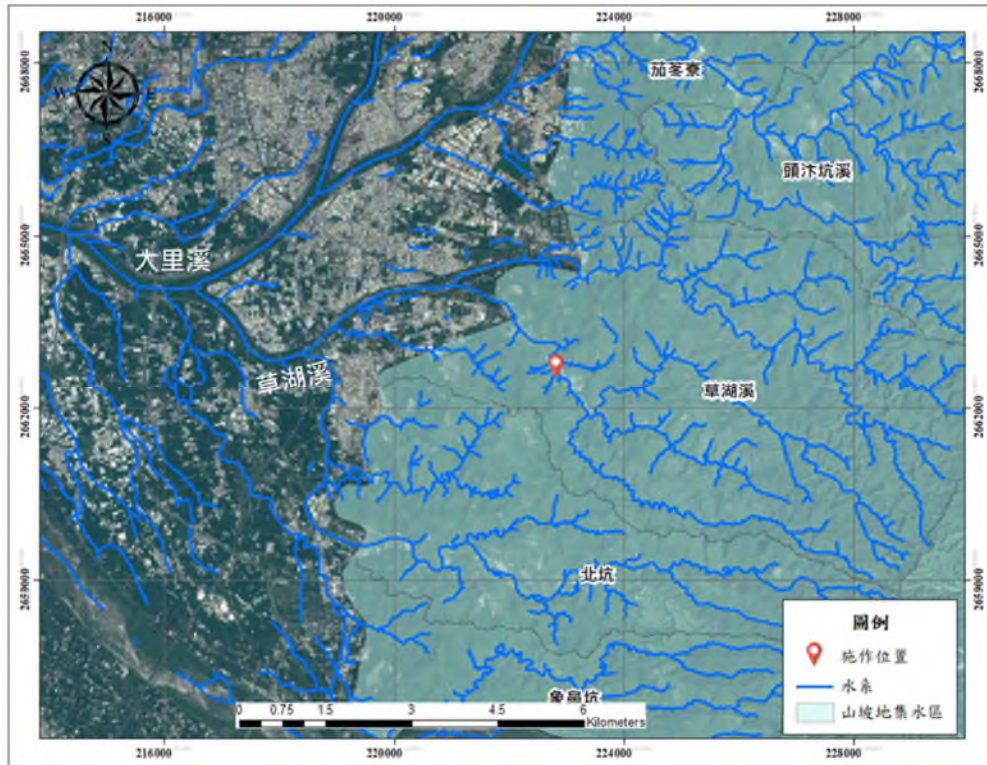


資料來源：本計畫製作

圖 3-14 大坪野溪河道治理工程固床工及護岸銜接示意圖

三、臺中市草湖溪集水區支流北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程

北溝溪民生橋位於上草湖溪集水區內，集水面積為 2003.7 公頃，其主流長度為 13.3 公里，其位置詳圖 3-15。



資料來源：本計畫製作

圖 3-15 北溝溪河道治理工程位置圖

本計畫就北溝溪集水區地文、地質、氣象及水文等基本資料蒐集情形，各項說明如下所示：

(一)地文

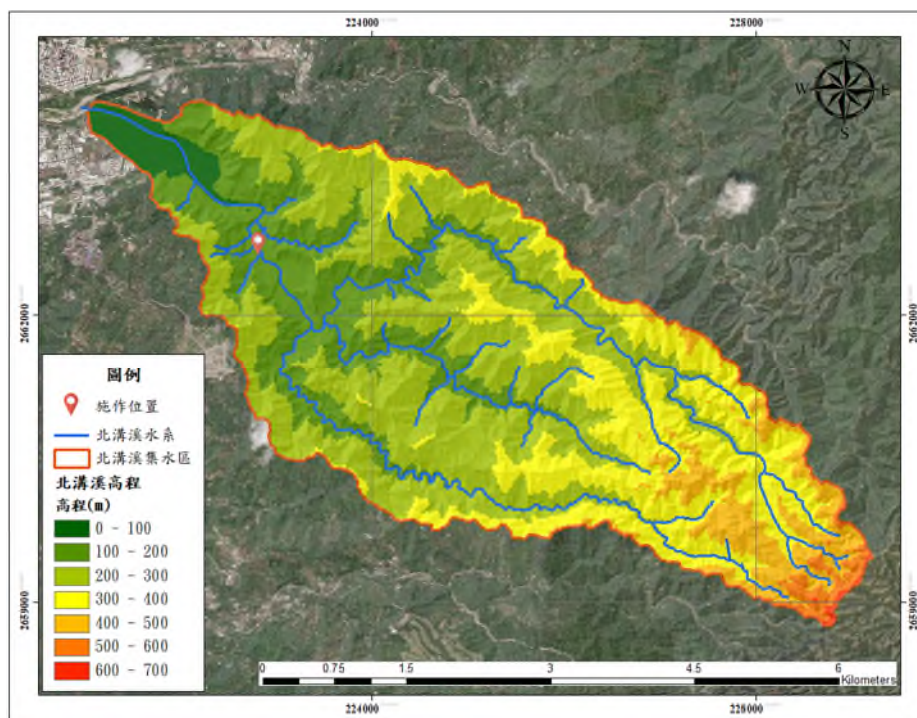
1、高程分布

計畫區內最高高程達 683.2 公尺，最低高程為 64.7 公尺，平均高程為 264.1 公尺，介於 300 公尺~400 公尺所佔面積最多，達 41.85%，其高程分布如圖 3-16 及表 3-13 所示。

表 3-13 北溝溪集水區高程統計表

高程分布(m)	面積(ha)	百分比(%)	高程分布(m)	面積(ha)	百分比(%)
0-100	64.2	3.20	400-500	159.4	7.96
100-200	448.5	22.39	500-600	28.8	1.44
300-400	838.5	41.85	600-700	3.8	0.19
300-400	460.4	22.98	-	-	-
最低高程	64.7(m)				
最高高程	683.2(m)				
面積合計	2003.7(ha)				
平均高程	264.1(m)				

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-16 北溝溪集水區高程分布圖

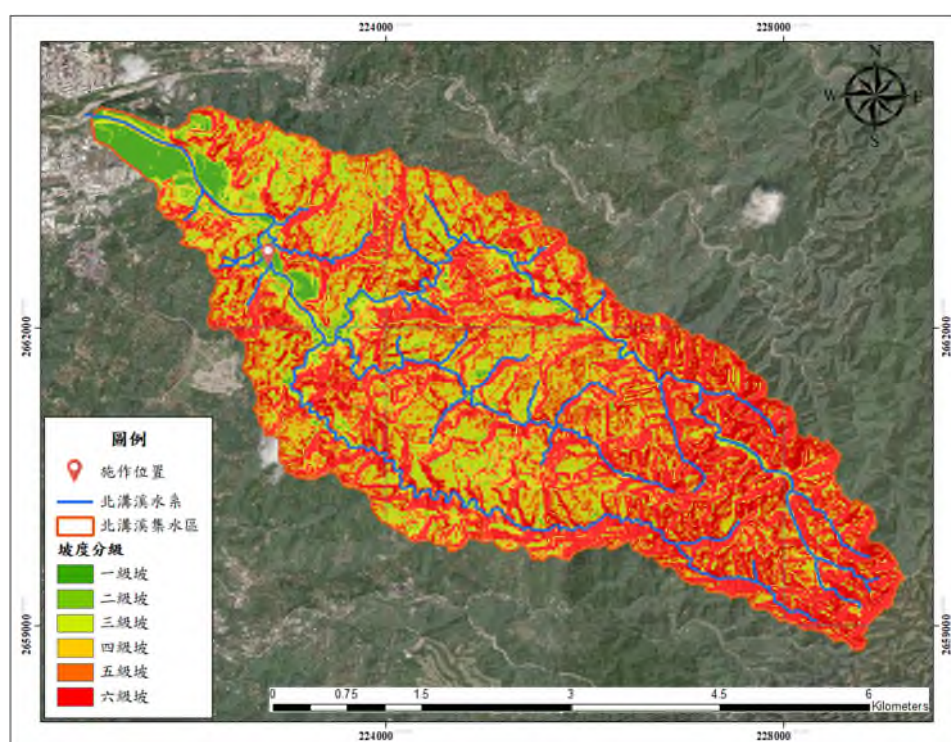
2、坡度分布

坡度主要介於 55%以上之六級坡，佔總面積約 36.41%；平均坡度為 51.30%。計畫區坡度分布如圖 3-17 及表 3-14 所示。

表 3-14 北溝溪集水區坡度統計表

坡度分級	面積(ha)	百分比(%)	坡度分級	面積(ha)	百分比(%)
一級坡	57.03	2.85	四級坡	352.11	17.57
二級坡	90.56	4.52	五級坡	460.65	22.99
三級坡	313.75	15.66	六級坡	729.59	36.41
面積合計	2003.7(ha)				
平均坡度	51.30%				

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-17 北溝溪集水區坡度分布圖

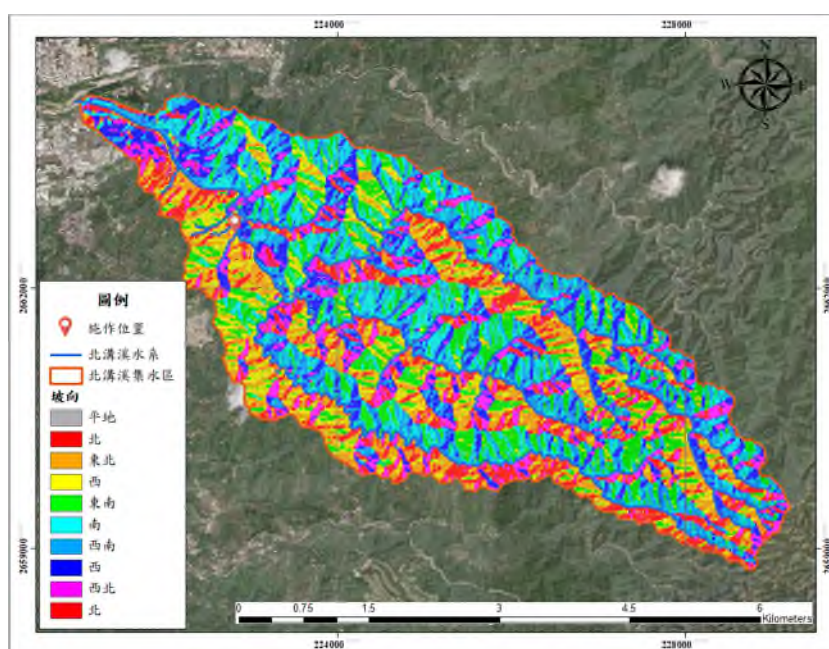
3、坡向分布

計畫區坡向以東南向分布最多，佔總面積約 14.66%，坡向分布狀況如圖 3-18 及表 3-15 所示。

表 3-15 北溝溪集水區坡向統計表

坡向分級	面積(ha)	百分比(%)	坡向分級	面積(ha)	百分比(%)
平地	0.12	0.01	南	273.88	13.67
北	261.29	13.04	西南	293.22	14.63
東北	261.55	13.05	西	238.28	11.89
東	193.37	9.65	西北	188.22	9.39
東南	293.77	14.66			
面積合計	2003.7(ha)				

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-18 北溝溪集水區坡向分布圖

(二)地質

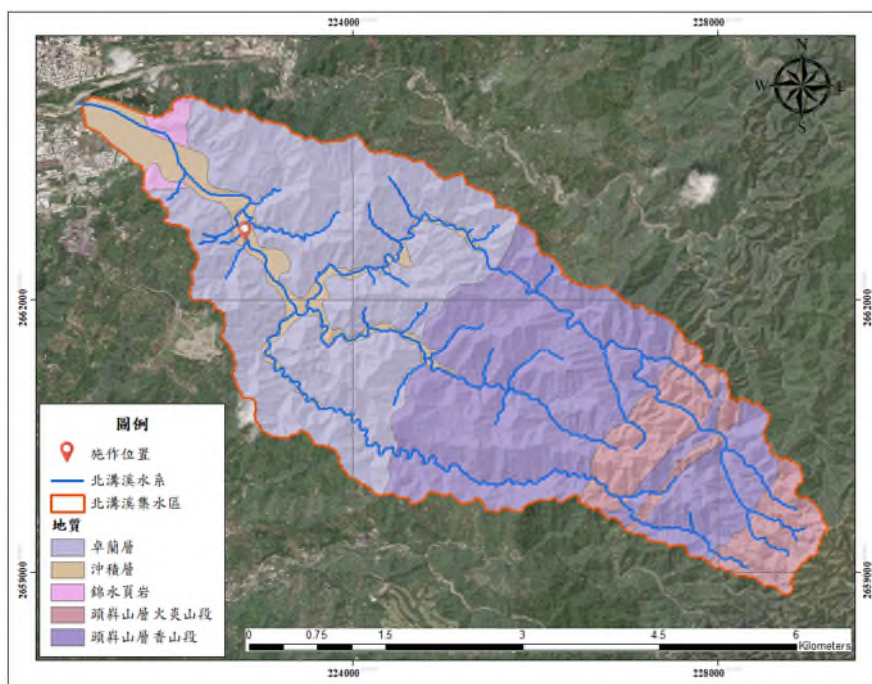
依據經濟部中央地質調查所出版之 2 萬 5000 分之一地層圖幅，北溝溪集水區主要地質屬卓蘭層，佔集水區面積 41%，其餘為沖積層、錦水頁岩、頭嵙山層火炎山段及頭嵙山層香山段。卓蘭層主要由砂岩、粉砂岩、頁岩與泥岩堆疊而成，因結構鬆散，地層內的化石岩化程度不高，很容易風

化，其地質分布如圖 3-19 所示。

表 3-16 北溝溪集水區地質統計表

地質類別	面積(ha)	百分比(%)
沖積層	147.65	7.37
卓蘭層	821.60	41.00
錦水頁岩	23.98	1.20
頭嵙山層火炎山段	241.13	12.03
頭嵙山層香山段	769.34	38.40
合計	2003.70	100.00

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 3-19 北溝溪集水區地質分布圖

(三)氣象

北溝溪集水區內之中央氣象局為桐林站，但其測站僅監測雨量，故採蒐集鄰近中竹林氣象站，其 2012 年至 2019 年紀錄統計之結果，年平均溫度約為 21.8℃，以七月之月均溫為最高有 26.4℃，最冷為一月 15.7℃。

(四)水文

本區之降雨量分析採用集水區內之中央氣象局桐林氣象站進行降雨量分析，分析年份為 2005 年~2019 年的雨量資料進行分析，分析結果詳如表 3-17，顯示集水區的降雨量多集中在 5~8 月之間，月平均雨量最大有 481.1 毫米，最少亦有 32.4 毫米；逐年雨量分析年平均雨量達 2,249.0 毫米之多，其中以 2005 年的 2754.5 毫米為近年最大值。

表 3-17 桐林氣象站雨量統計表

年分 /月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年雨量 (mm)
2005	12	186	228	75.5	585.5	523	504.5	486.5	117	19	4	13.5	2754.5
2006	28.5	20	92.5	202	255	777	420.5	95.5	186	0	110	54	2241.0
2007	58	26	82.5	125.5	177	784.5	46	692	377.5	251.5	23	7	2650.5
2008	23.5	30	35	44	334.5	245.5	841	149	924.5	32.5	28	12	2699.5
2009	0	5	148.5	159.5	26	414	96	732.5	114.5	15	10	23	1744.0
2010	36	113	23	140.5	180	591	546.5	408.5	172	2	25.5	22.5	2260.5
2011	29.5	21.0	32.5	4.0	22.5	-	-	-	-	-	154.5	44.0	-
2012	56	117.5	25.5	241.5	294.5	420	281	885.5	127	0.5	134	68.5	2651.5
2013	16	0.5	35	299	363.5	110.5	894	831.5	95	0.5	17.5	84	2747.0
2014	5	35	66	13.5	620	288	260	307	59.5	0	1.5	33.5	1689.0
2015	8.5	14	13	34	588.5	82.5	128	402.5	205	13.5	1	42	1532.5
2016	225	31.5	211.5	197	90	433.5	243.5	232.5	209	21	70.5	13.5	1978.5
2017	5.5	17	59	141	113	1189.5	435.5	141	78	67	22.5	16.5	2285.5
2018	119	39.5	31	36	128	265	416	544.5	27	10	16.5	1	1633.5
2019	14	10.5	158.5	108	534.5	612	179.5	722	155	20.5	0	104	2618.5
平均	43.4	46.1	86.4	129.8	306.4	481.1	378.0	473.6	203.4	32.4	33.1	35.4	2249.0
備註:由於原桐林(C1F9B0)站因儀器汰換，於 2011/11/1 更變為(C1F9B1)站，故 6~10 月無監測資料。													

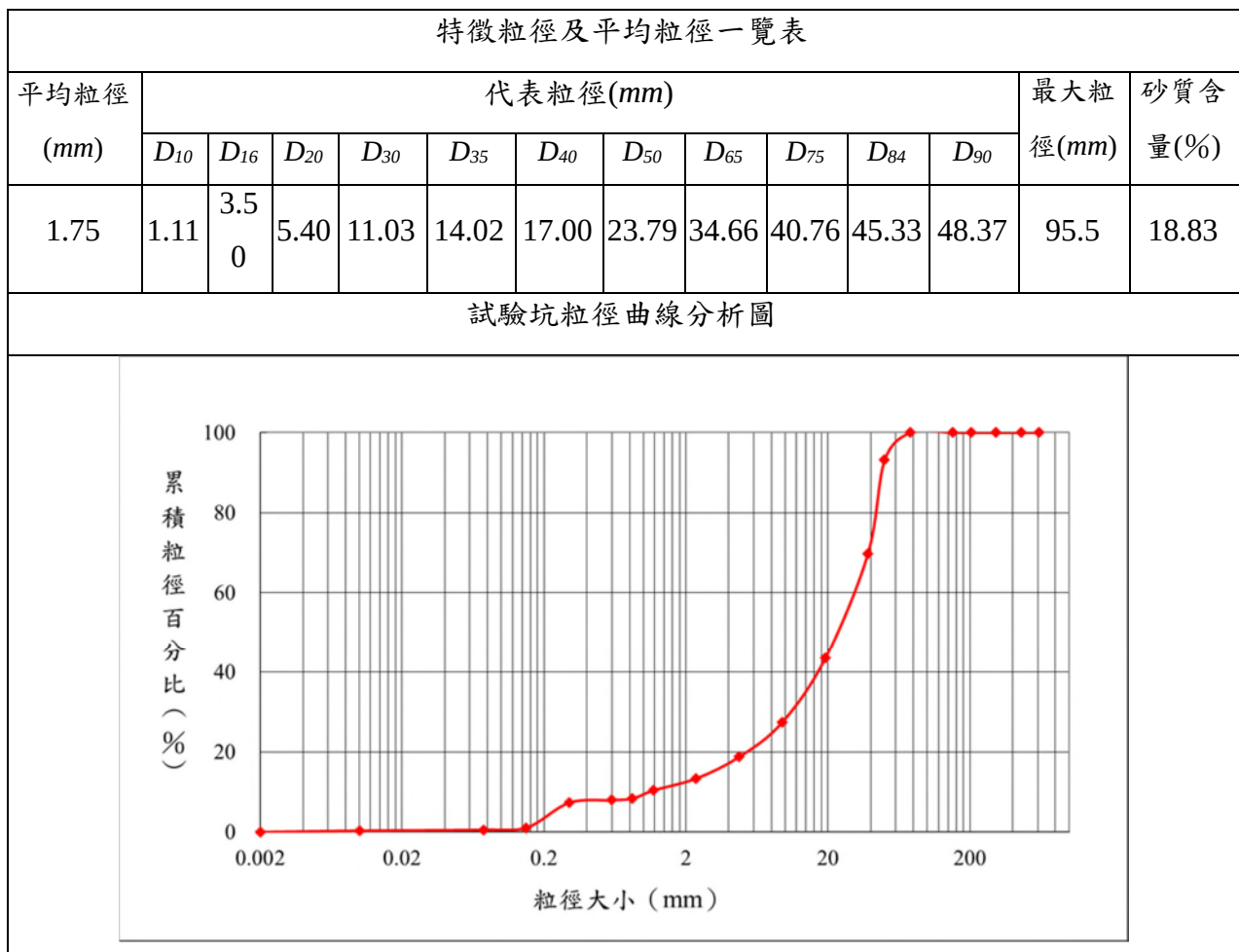
資料來源：彙整中央氣象局氣象資料

(五)河道粒徑分析

本計畫已於 2020/07/17 進行河床值調查，其調查成果報告請詳附錄五。根據粒徑分析成果之粒徑別百分率，繪出各採樣孔之顆粒分佈累積曲線，成果請詳表 3-6。

北溝溪平均粒徑大小為 1.75 公釐，其中 D_{50} 代表粒徑為 23.79 公釐，最大粒徑為 95.5 公釐，砂質含量為 18.83%。

表 3-18 北溝溪試驗坑粒徑分析結果



資料來源：本計畫分析製作

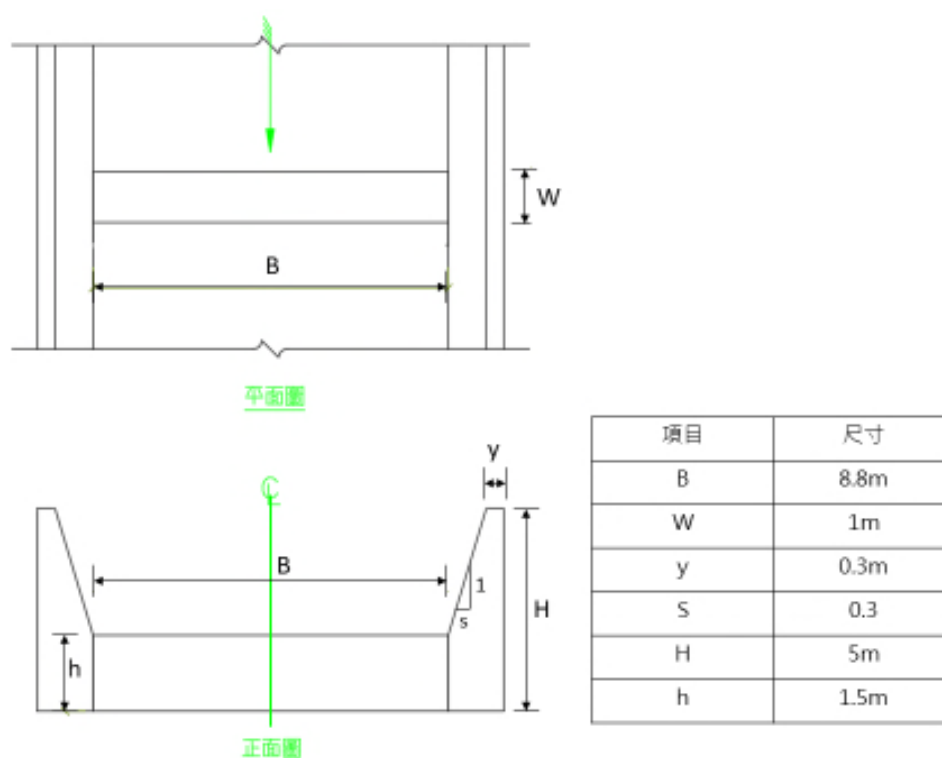
(六)固床工基本資料

民生橋上游土砂災害治理工程系列固床工共計 5 座，固床工位置分布詳圖 3-20，其固床工及護岸銜接尺寸詳圖 3-21，固床工厚度為 1 公尺。



資料來源：本計畫製作

圖 3-20 民生橋上游土砂災害治理工程固床工位置分布圖



資料來源：本計畫製作

圖 3-21 民生橋上游土砂災害治理工程固床工及護岸示意圖

第三節 綜合說明

本節就選定三處場址基本資料進行彙整，彙整結果如表 3-19 所示。表中，所選定場址集水區特性及固床工皆有所差異，透過不同集水區特性進行後續分析。

表 3-19 基本資料彙整說明表

名稱/項目	石頭溪櫻花橋下游	大坪野溪	北溝溪民生橋上游
集水區面積(ha)	422.17	709.96	2003.70
主流長度(m)	3.7	5.1	13.3
最低高程(m)	603.4	13.6	64.7
最高高程(m)	422	195.4	683.2
平均高程(m)	154	142	264
集水區主要坡度	二級坡	六級坡	六級坡
集水區主要坡向	西向	西南	東南
集水區主要地質	頭嵙山層香山段	卓蘭層	卓蘭層
平均氣溫(°C)	21.3	22.9	21.8
年平均雨量(mm)	2,128.5	1,707.3	2,249.0
平均粒徑(mm)	1.04	0.32	1.75
D_{50} 代表粒徑 (mm)	12.73	1.01	23.79
固床工數量	10	7	5
監測處有效高度 (cm)	40	0	60
監測處固床工 間距(m)	39	34.9	9.2

資料來源：本計畫製作

第四章 微型沖刷樁組成及觀測原理

為達成本研究之目的，當選定觀測場址後安裝架設微型沖刷磚及水深計，擷取溪床局部沖刷坑深度及其相應水深數據，以利後續分析之用途。

第一節 微型沖刷磚組成及其觀測原理

一、微型沖刷磚

本沖刷磚係由小型無線定位發射器(Beacon)與混凝土製圓柱體所組成，前者係以通報特定混凝土圓柱體被沖刷外移，而後者有度量沖刷深度及裝置小型無線定位發射器之功能。茲分述如下：

(一)混凝土製圓柱體

混凝土製圓柱體係由混凝土包覆 PVC 管所組成之圓柱體，如圖 4-1 所示。圖中，圓柱體最小高度為 5cm(或更大)，直徑為 10cm，而圓柱體頂面預留一直徑約 7.7cm，深度約 2-7cm 的圓柱形空間，以嵌入小型無線定位發射器。



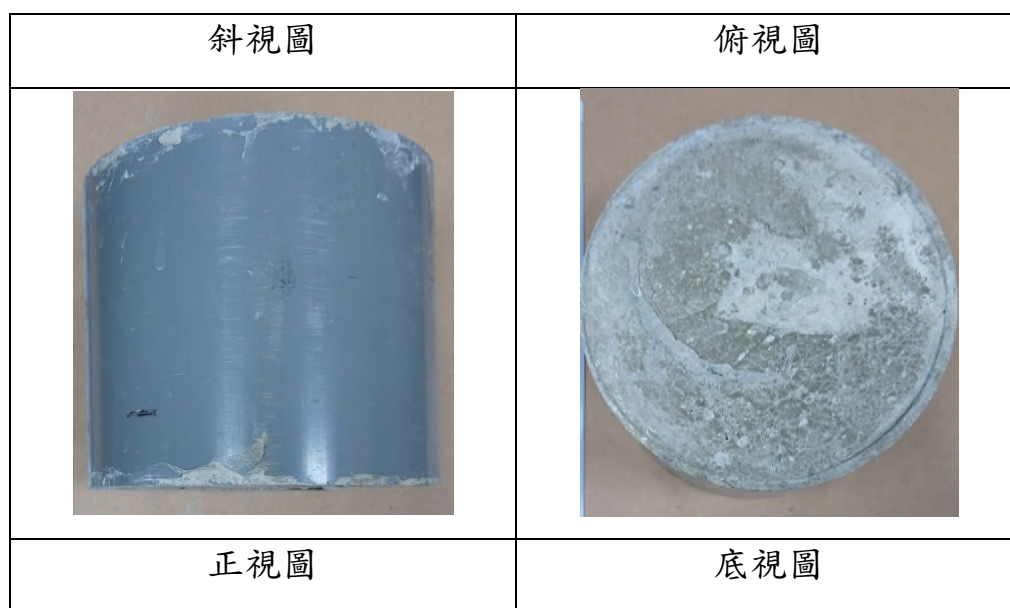


圖 4-1 混凝土製圓柱體

(二)小型無線定位發射器(Beacon)

考量監測目的、效果、成本、電力及傳輸距離等因素，本研究擬以 Beacon 作為沖刷深度動態監測的關鍵介質(或謂無線追蹤粒子)。Beacon 是應用藍牙(bluetooth)低功耗技術的代表性產品。它是一種小型信號發報器，具有低功耗及低成本之特點，且能夠讓附近(室外約 70 公尺)電子設備容易偵測到傳送的信號，已被廣泛應用於室內導航、行動支付、店內導覽、室內定位及物品追蹤等等。

為此，本計畫採用防水等級 IP67 低耗電 Beacon 作為無線定位發射器，其相關規格如表 4-1 所示，惟因本型 Beacon 密度略高於水體，無法浮出水面，故將之置於中空壓克力盒內，並於壓克力盒蓋與盒身處塗上防水膠水及黏貼防水膠布以避免溪水滲入，壓克力盒除了讓 Beacon 可以浮出水面，透過防水膠水與防水膠布亦可強化其防水等級，如圖 4-2 所示，圖 4-3 為小型無線定位發射器置於混凝土製圓柱體內。

表 4-1 小型無線定位發射器(Beacon)規格一覽表

項目	規格
芯片	Dialog DA14580
支持協議	Bluetooth BLE 4.0，蘋果公司標準 iBeacon 協議
電池方案	1050mAh CR2477 鈕扣電池
發射功率	0dBm 或 -20dBm
覆蓋範圍	可達 70m
續航時間	1.5~2 年
防水等級	IP67
外形尺寸	直徑 48mm，厚度 16mm
重量	27.8 克
適用系統	iOS7.0 及以上，Android 4.3 及以上
安全性	密碼保護，防篡改，防盜用
手機 APP 配置	支持修改 UUID，Major，Minor，廣播間隔，廣播功率，設置防篡改密鑰等

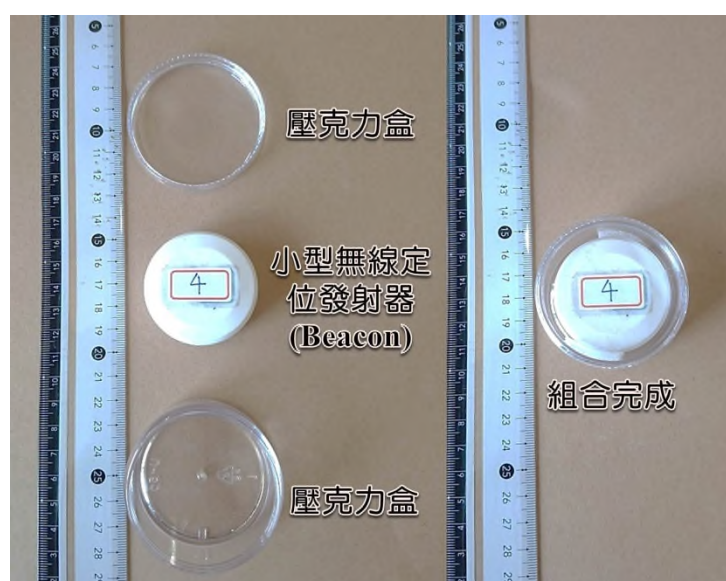


圖 4-2 小型無線定位發射器(Beacon)及其安裝方式

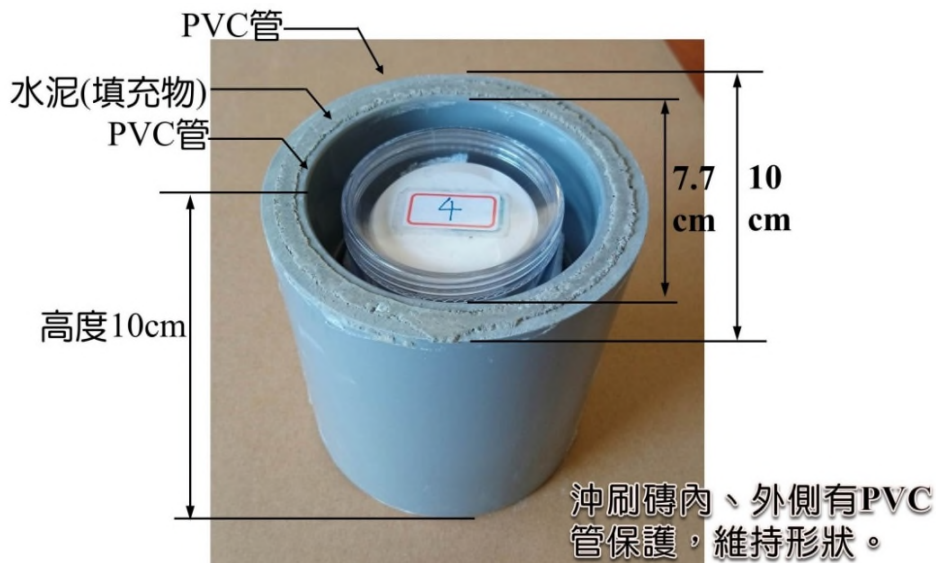


圖 4-3 小型無線定位發射器(Beacon)置於混凝土製圓柱體

二、微型沖刷磚布置與觀測原理

沖刷磚係由數個混凝土製圓柱體內含小型無線定位發射器疊置而成，如圖 4-4 所示。圖中，除了溪床表面處沖刷磚無預留 Beacon 放置空間外，其餘沖刷磚皆放置 Beacon。其觀測原理如下：

- (一)當圓柱體被水流沖刷流失後，下一個圓柱體上的 Beacon 隨即浮出水面，Beacon 接觸到空氣後開始傳出訊號。
- (二)由架設於岸上之 Beacon 接收器接收其訊號及編碼，並將資料現地儲存。
- (三)現地儲存資料包含 Beacon 編號與浮出水面時間，因此獲得沖刷深度及其對應時間。

三、設置原則

本計畫沖刷坑埋設位置以河道內已有沖刷坑為主要埋設位置，且埋設於沖刷坑最深處，如無沖刷坑則以溪流中心線固床工中間下游 0.5m 處，並依據現地進行調整。

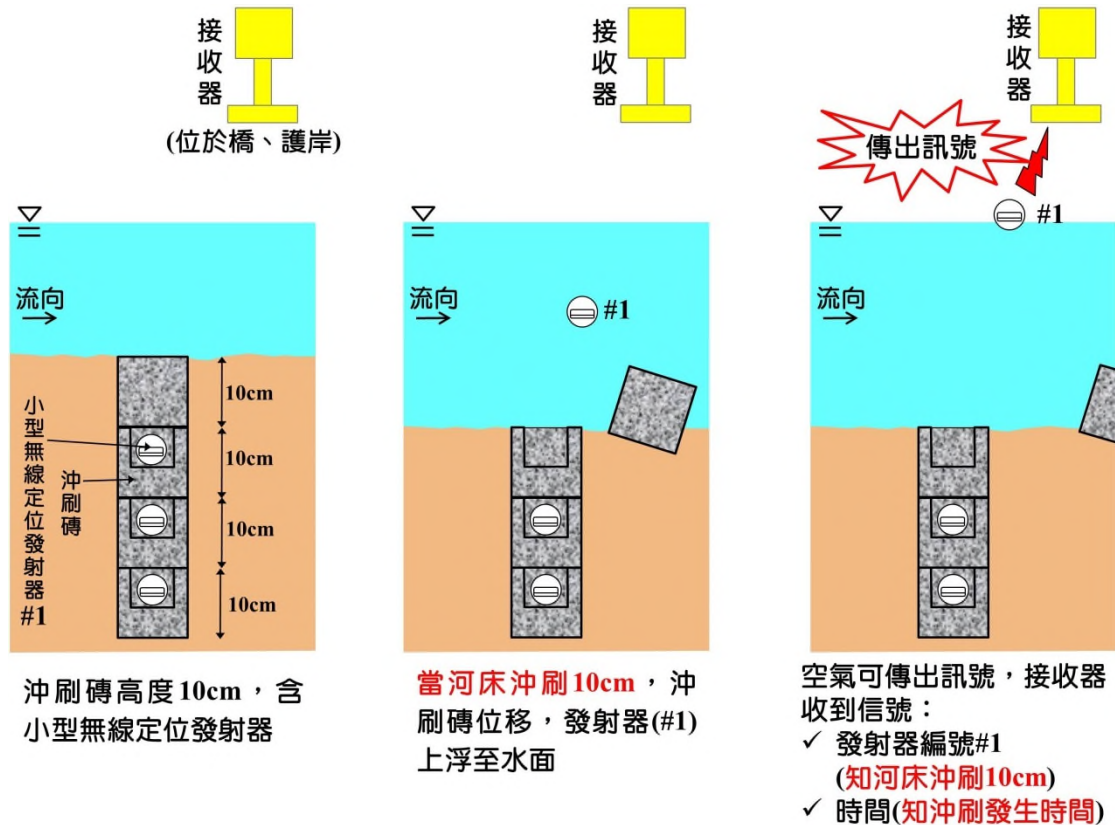


圖 4-4 沖刷磚布置示意圖

第二節 水深計規格及觀測原理

水深計採自計式壓力式水深計，並以採 10 分鐘紀錄一筆，其規格及相關說明如表 4-2，水深計示意圖如圖 4-5 所示。

本計畫採用加拿大 Heron 自計式水深計 dipper Log NANO，利用所測液體靜壓與該液體的高度成比例的原理，將靜壓轉換為電流信號，再經過溫度補償和線性修正，轉化成 4-20mA 輸出。感測器採用進口高性能擴散矽壓阻式壓力元件，感測器本體為全密封不銹鋼結構，投入式設計，具精度高、體積小、安裝使用方便等特點。纜線可抗弱酸鹼性腐蝕，可適應海水環境觀測。廣泛用於水廠、污水處理廠、城市供水、高樓水池、水井、水庫、河道等場所之水深測量。壓力式水深計安裝示意圖，如圖 4-6 所示，且每個月定期前往現地讀取資料。

表 4-2 水深計性能及規格一覽表

名稱	規格	觀測參數
壓力式水深計 (自計式) (加拿大 Heron 自計式水深計 dipper Log NANO)	結構：不鏽鋼 316L 量測範圍：0-10m 準確性(標準)：0.05%FS 解係度：0.006%FS 電池型式：3.6V 鋰電池 最大下載讀值：32000 筆(水深跟溫度) 通訊方式：USB，RS232，SDI12 下 載速度 32000 筆資料/1.5 分鐘 測量單位：英尺跟 m 紀錄間隔：秒，分鐘，小時-分鐘.1 秒，最多 255 小時	水壓力與水 深關係(10 分 鐘紀錄一筆)

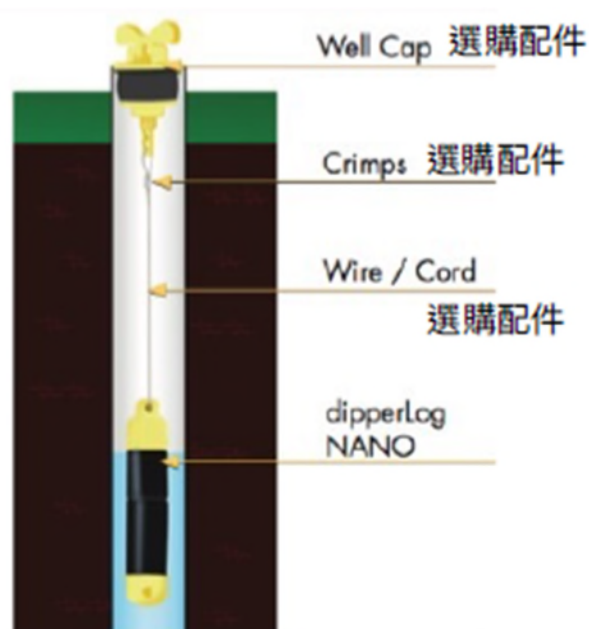


圖 4-5 水深計示意圖

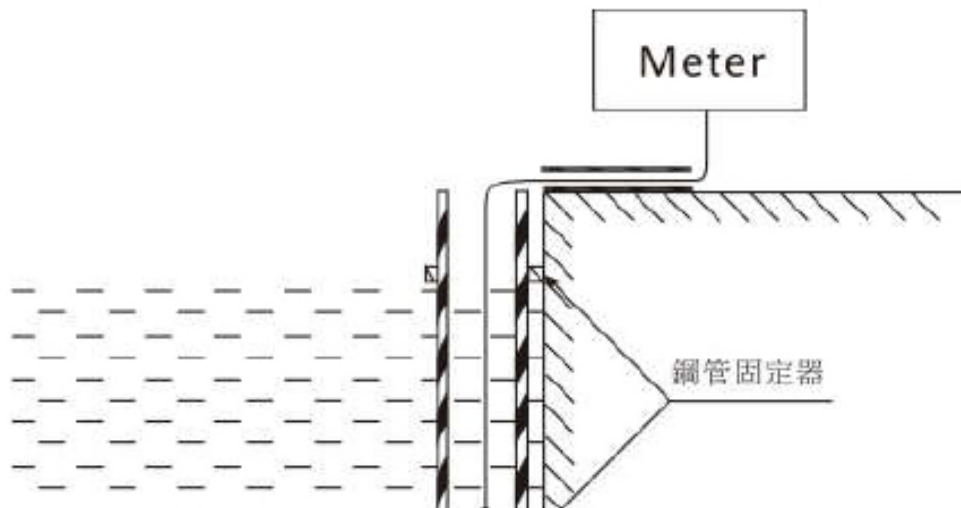


圖 4-6 壓力式水深計安裝示意圖

第五章 現場觀測資料擷取

本計畫針對三處現地布設位置、布設情形等進行說明，現場觀測資料及彙整情形，綜合說明如下。

第一節 石頭溪櫻花橋下游系列固床工

一、布置情形

石頭溪櫻花橋下游系列固床工之沖刷磚接收站、水深計及沖刷樁埋設等，分布位置如圖 5-1 所示。圖中，系列固床間距為 15.6 公尺，而沖刷樁埋設於距離固床工下游中間位置約 2.0 公尺處，沖刷磚接收器與水深計共構，設於沖刷樁下游約 58.7 公尺固床工上游處，且鄰近護岸旁。另，沖刷樁設置於既有沖刷坑內之最底部，與溪床間距約 25-28 公分，並往下配置 10 顆沖刷磚，每顆沖刷磚均為 10 公分，如圖 5-2 所示。



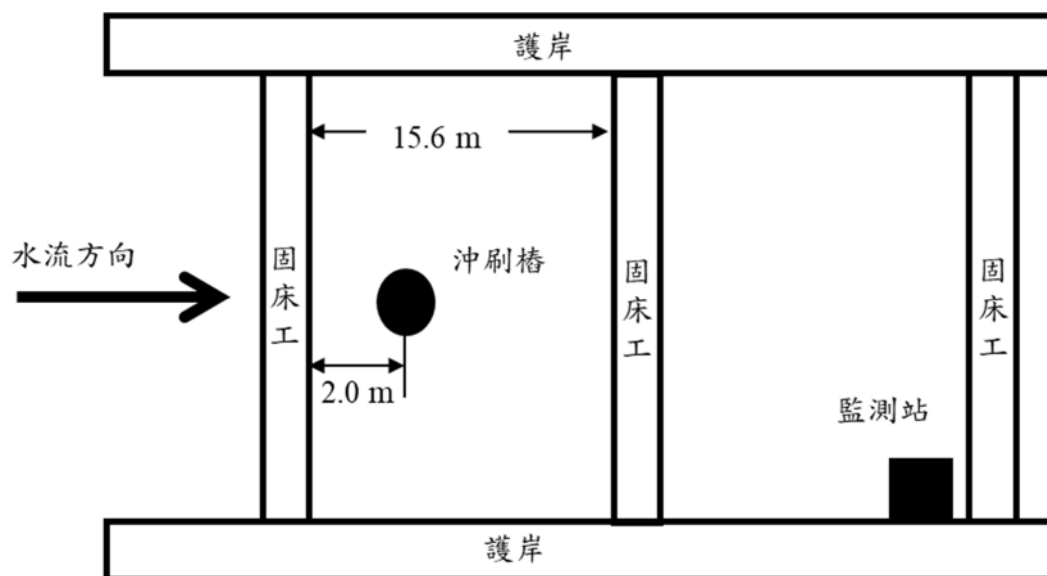


圖 5-1 石頭溪櫻花橋下游監測設備布置情形

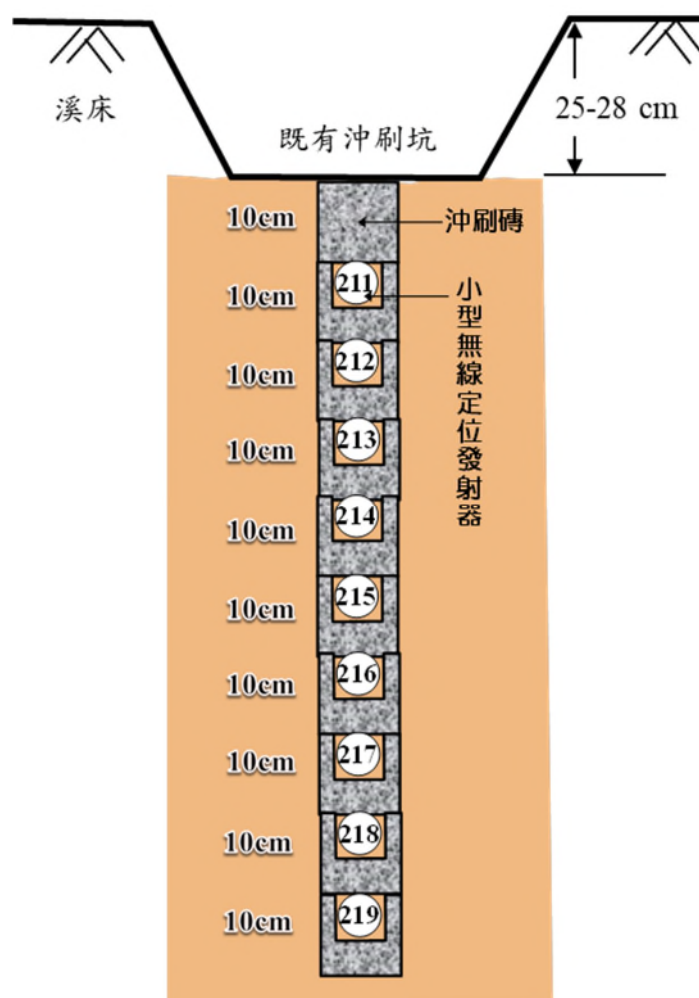


圖 5-2 石頭溪櫻花橋下游沖刷樁內沖刷磚配置與編號情形

二、監測情形

(一)冲刷樁監測成果

本計畫監測汛期間豪雨事件，蒐集鄰近三義雨量站時雨量資料，紀錄冲刷樁內冲刷磚被冲刷出之時間及其相應之水深資料，以取得降雨事件所造成之冲刷情形，包括冲刷深度、冲刷時間及相應水深。

本場址自 5 月份完成相關監測設備架設之後，自 6 月 1 日開始實施監測，直到 10 月 31 日止，僅於 7 月 17 日 14 點 15 分發生一次較顯著的降雨事件，並沖出兩個冲刷磚，顯示冲刷深度為 20 公分，而相應水深為 57.5 公分，其監測成果如圖 5-3 及圖 5-4 所示。

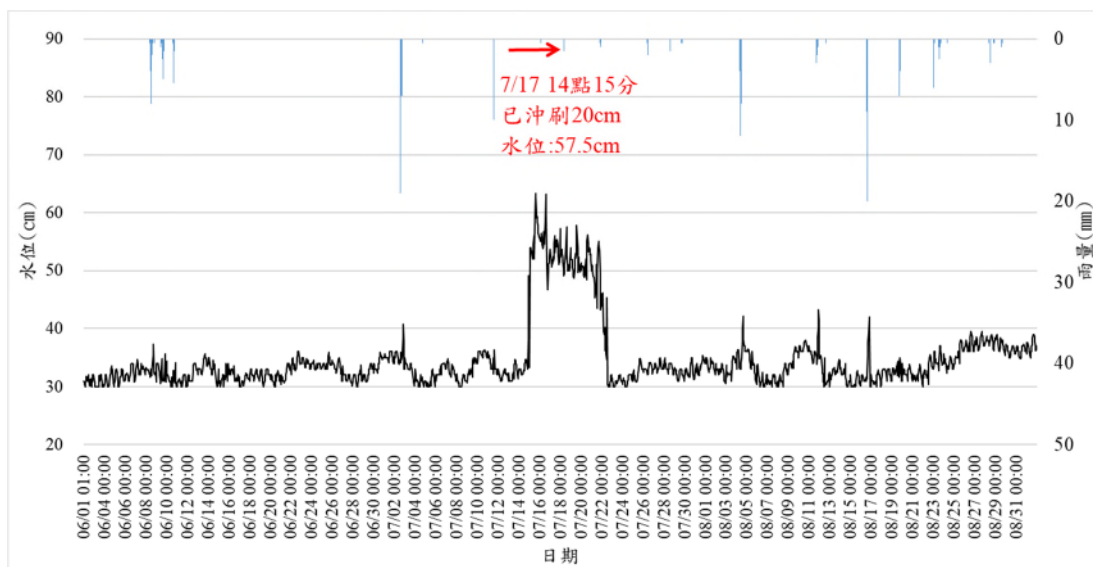


圖 5-3 櫻花橋下游系列固床工監測成果(6~8 月)

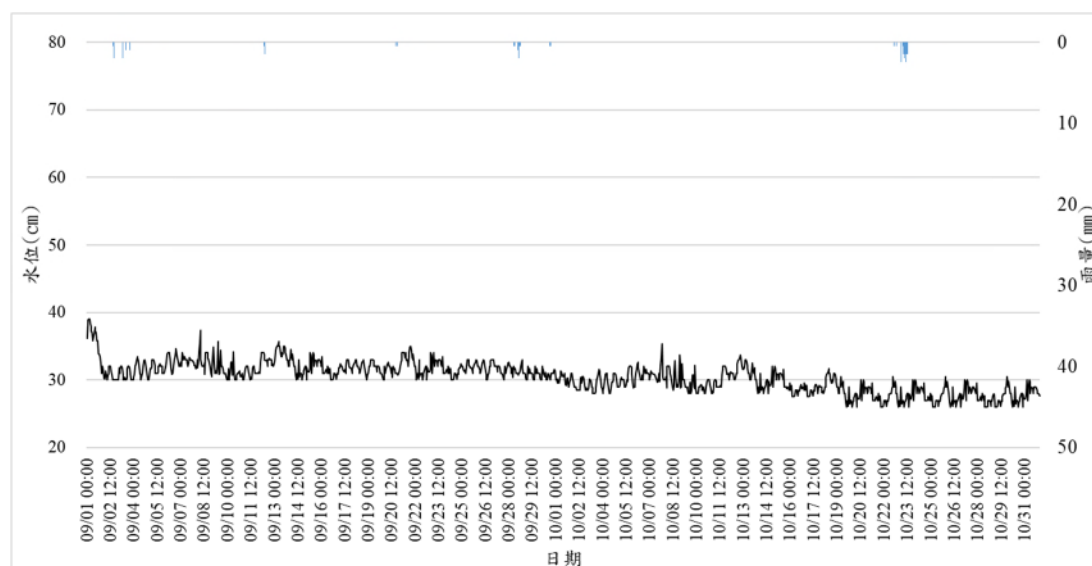


圖 5-4 櫻花橋下游系列固床工監測成果(9~10月)

(二)固床工下游斷面變動

經降雨事件沖刷之後，本研究於固床工下游溪床實施現地調查及 UAV 拍攝工作，並繪出沖刷樁斷面之高程變動情形，如圖 5-5 所示。圖中，於降雨沖刷過程，有兩個沖刷磚被沖出沖，故刷深度介於 20-30 公分之間，又原沖刷樁頂部與溪床之間距為 25-28 公分，故實際沖刷深度達 47 公分，惟現況實際沖刷坑深度為 30 公分，顯然沖刷坑在洪水退去之後遭土砂回淤達 17-20 公分，這表徵最大沖刷坑深度係發生於降雨過程，降雨之後所顯現出來的沖刷情形，實無法反映真實的沖刷程度。

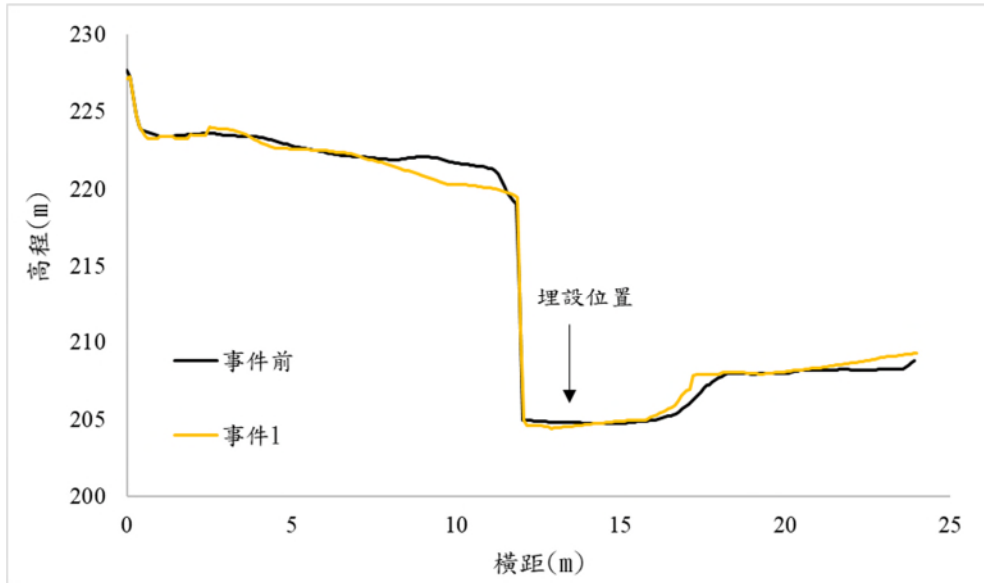


圖 5-5 石頭溪櫻花橋下游固床工下游降雨前、後斷面高程變動情形

第二節 大坪野溪河道治理工程

一、布置情形

大坪野溪系列固床工之沖刷樁接收站、資料紀錄器、水深計及沖刷樁埋設等，配置情形如圖 5-11 所示。圖中，沖刷樁埋設於緊鄰固床工下游中間約 2.7 公尺處，而沖刷磚接收器與水深計共構，設於沖刷樁下游約 17.6 公尺的固床工上游處，且鄰近護岸旁。另，沖刷樁設於既有沖刷坑底部，與溪床之間距介於 40-45 公分，並往下配置 10 顆沖刷磚，每顆沖刷磚均為 10 公分，如圖 5-2 所示。

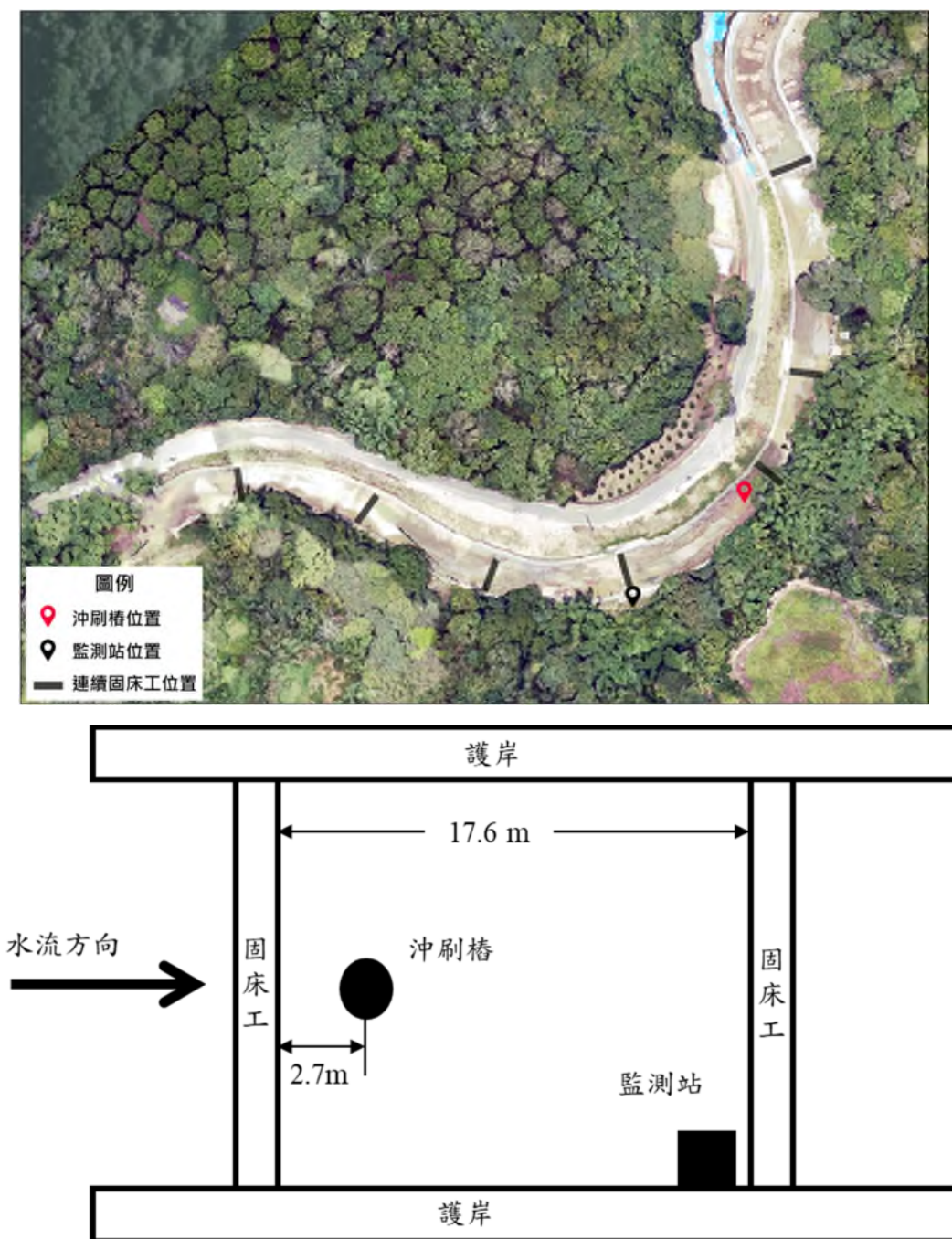


圖 5-6 大坪野溪監測設備布置情形

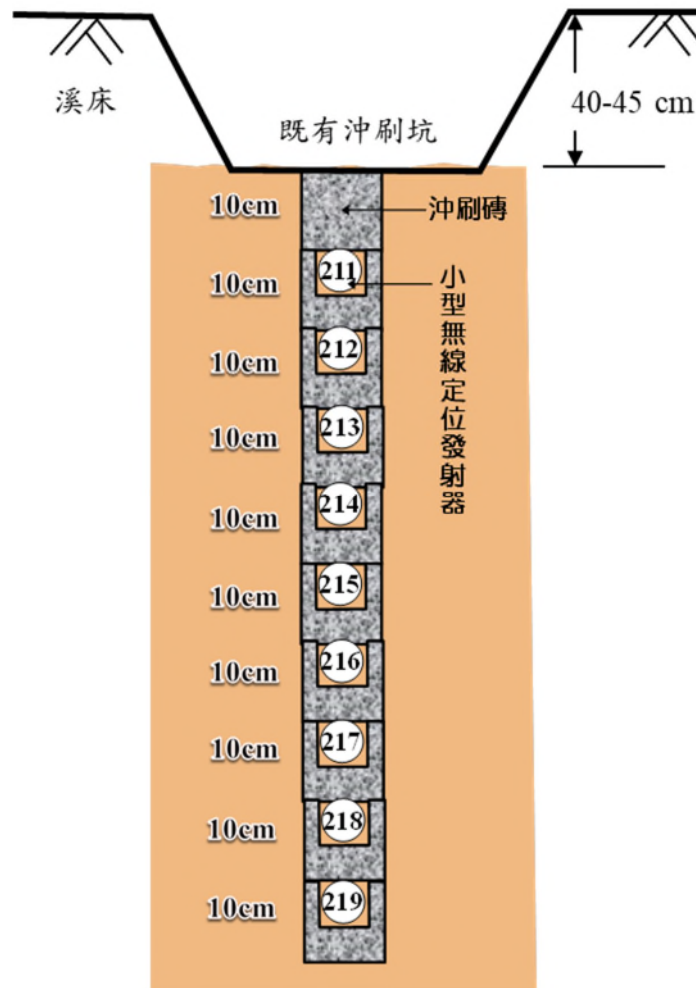


圖 5-7 大坪野溪冲刷樁內冲刷磚配置與編號情形

二、監測情形

(一)冲刷樁監測成果

本場址自 5 月份完成相關監測設備架設之後，自 6 月 1 日開始實施監測，直到 10 月 31 日止，分別 8 月 16 日 16 點 26 分沖出一個冲刷樁，其相應冲刷深度為 10 公分，此時固床工上相應水深為 74.2 公分；第二次冲刷樁沖出時間為 8 月 31 日 18 點 30 分，沖出深度為 10 公分，固床工上相應水深為 65 公分，其全程監測成果如圖 5-8 及圖 5-9 所示。

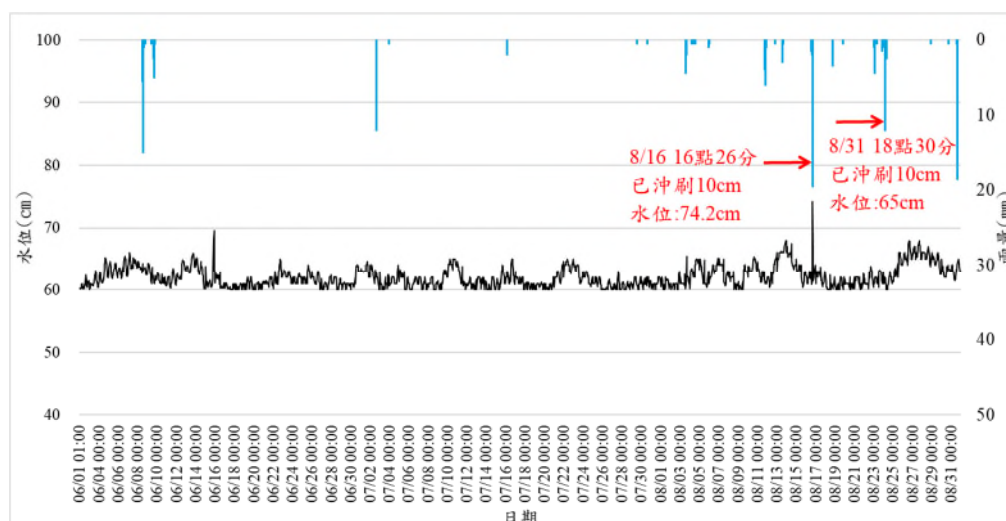


圖 5-8 大坪野溪河道治理工程監測成果(6~8 月)

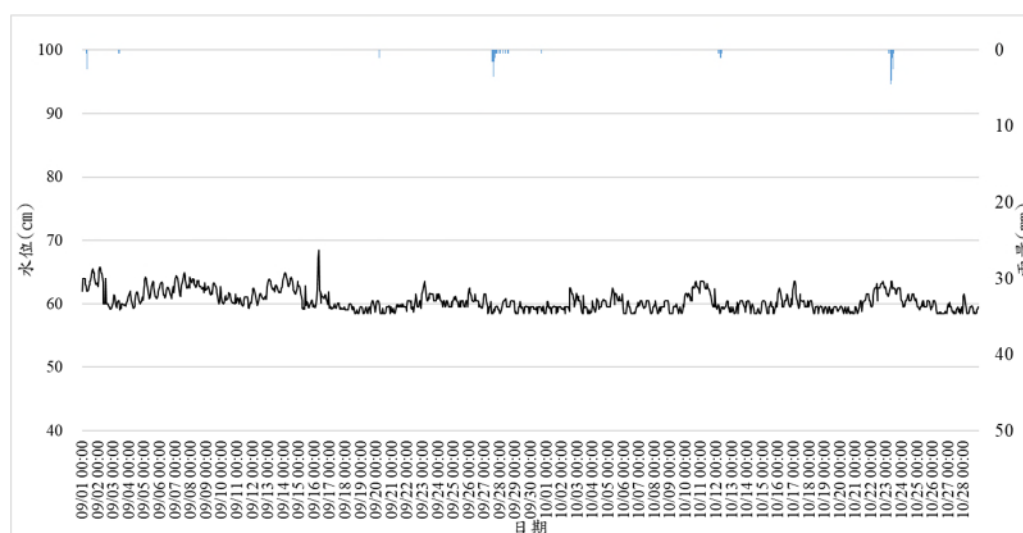


圖 5-9 大坪野溪河道治理工程監測成果(9~10 月)

(二)固床工下游斷面變動

經降雨事件沖刷之後，本研究於固床工下游溪床實施現地調查及 UAV 拍攝工作，並繪出其斷面高程變動情形，如圖 5-10 所示。圖中，第一次降雨事件，雖遭水流沖出一個沖刷磚，惟現況沖刷坑深度僅為 43 公分，顯然有部分沖刷深度遭土砂回淤，其沖刷痕跡已不可見；但第二次降雨事件，溪床卻有明顯地下降，其沖刷深度約達 10 公分，並無被土砂所回淤，現況沖刷坑深度達 50 公分。

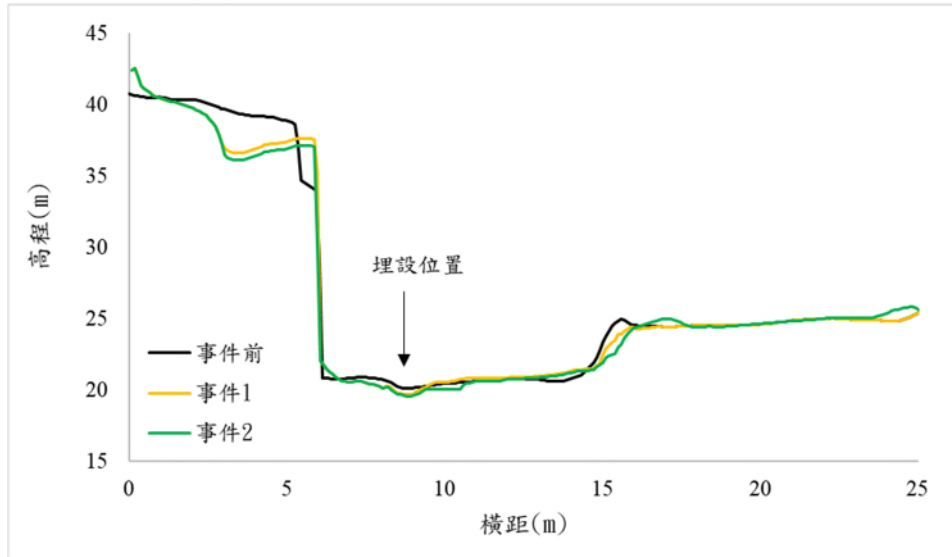


圖 5-10 大坪野溪固床工下游降雨前、後斷面高程變動情形

第三節 北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程

一、布置情形

北溝溪民生橋上游固床工之沖刷樁接收站、資料紀錄器、水深計及沖刷樁埋設等，配置情形如圖 5-11 所示。圖中，沖刷樁埋設於緊鄰固床工下游中間約 1.5 公尺處，而沖刷磚接收器與水深計共構，設於沖刷樁下游約 9.2 公尺固床工上游處，且鄰近護岸旁。另，沖刷樁設於既有沖刷坑底部，與溪床之間距介於 40 公分，並往下配置 10 顆沖刷磚，每顆沖刷磚均為 10 公分，如圖 5-12 所示。

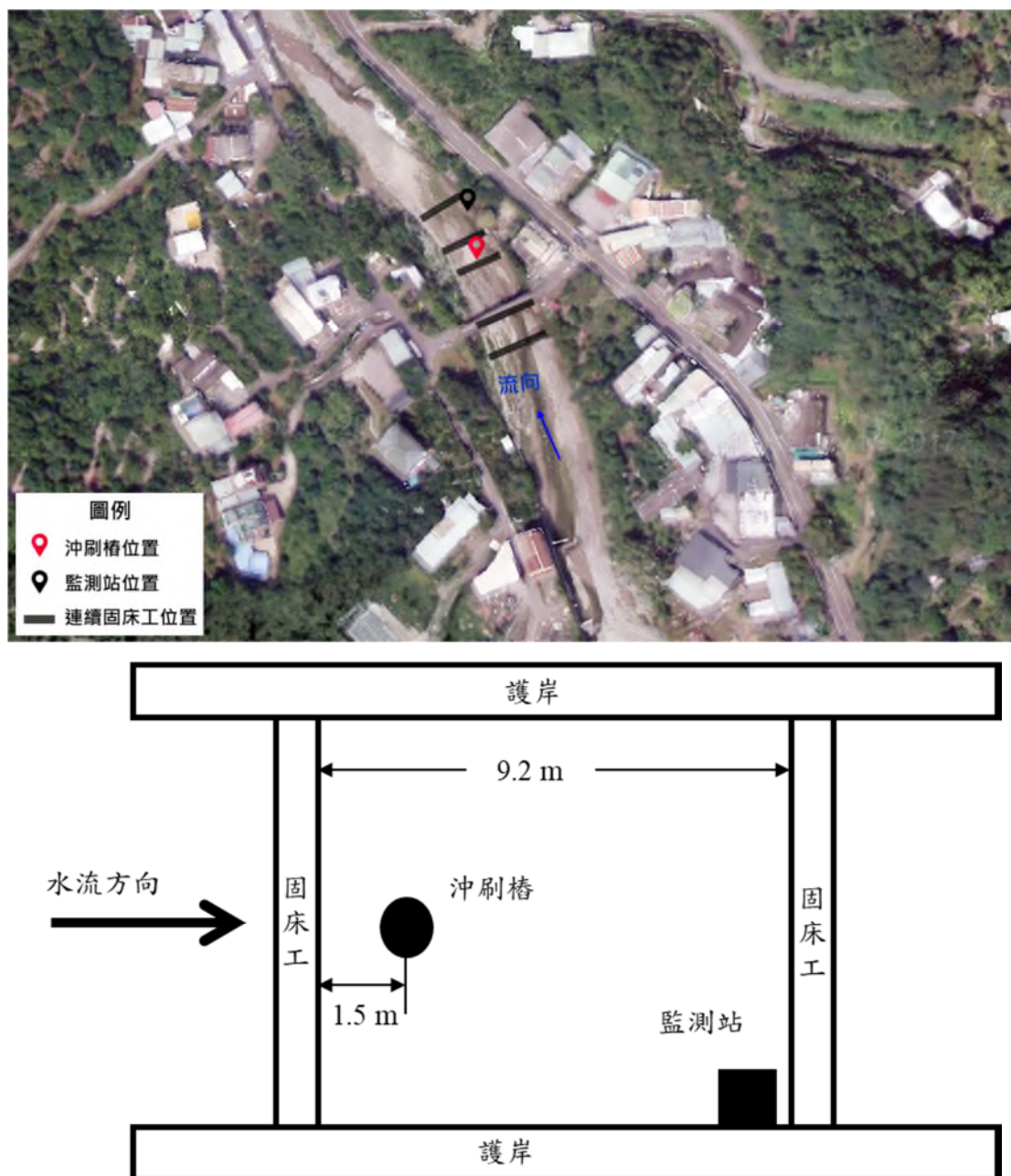


圖 5-11 北溝溪民生橋上游監測設備布置情形

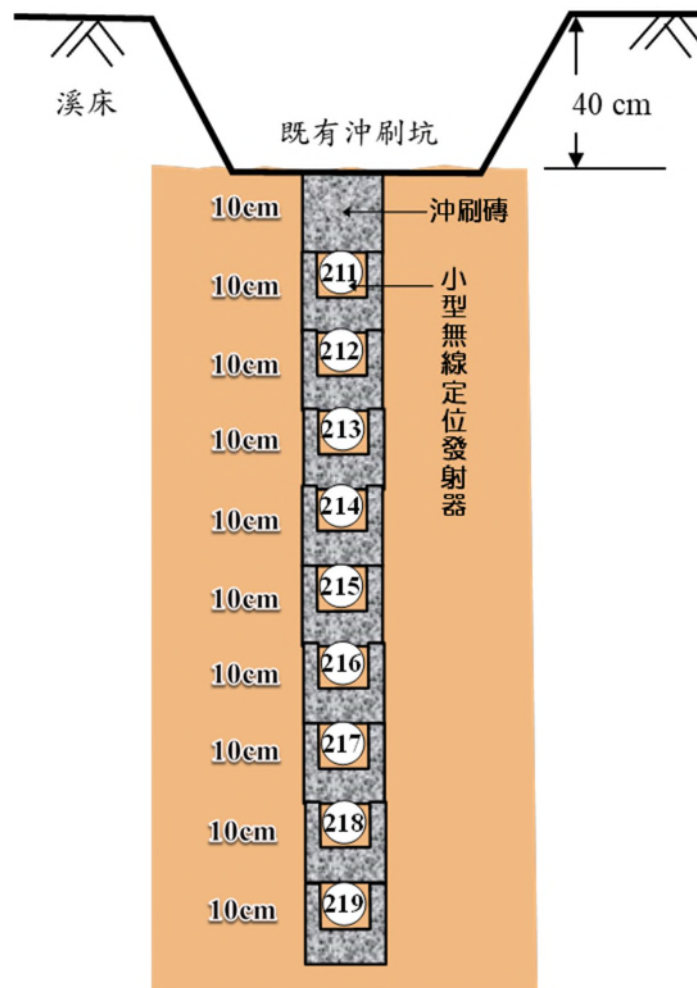


圖 5-12 北溝溪民生橋冲刷樁內冲刷磚配置與編號情形

二、監測情形

(一)冲刷樁監測成果

本場址自 7 月份完成相關監測設備架設之後，自 7 月 24 日開始實施監測，直到 10 月 31 日止，僅於 8 月 03 日 16 點 37 分發生一次較顯著的降雨事件，並沖出一個冲刷磚，顯示冲刷深度為 10 公分，而相應水深為 78.2 公分，其監測成果如圖 5-13 及圖 5-14 所示。

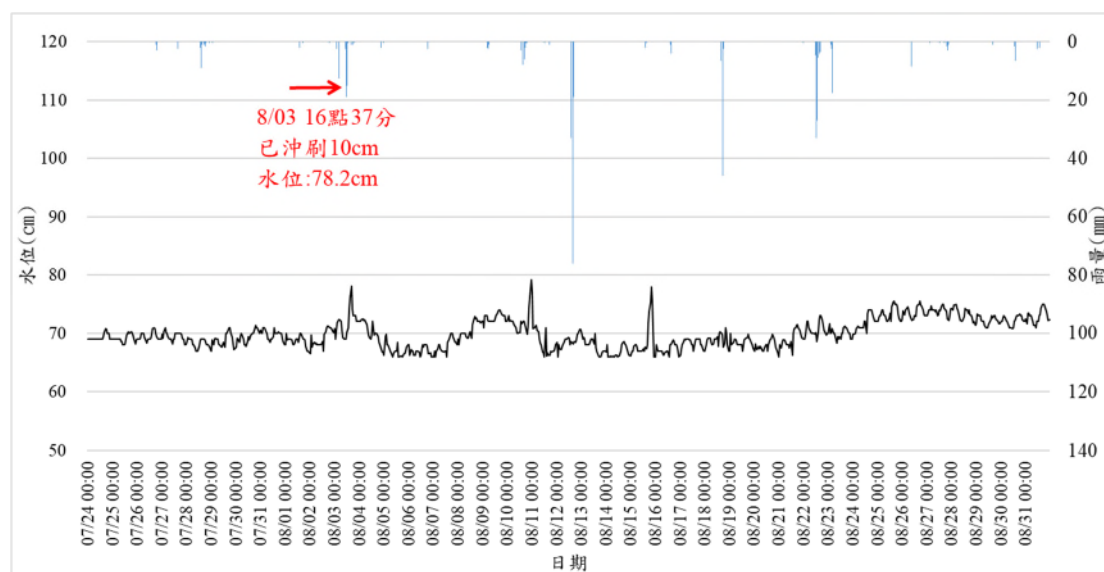


圖 5-13 北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程監測成果(7~8月)

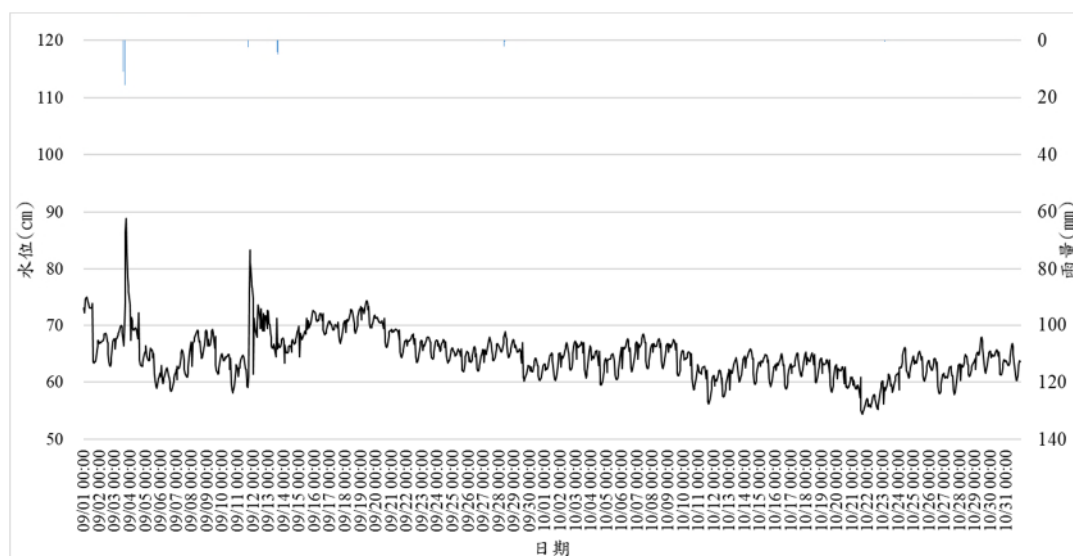


圖 5-14 北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程監測成果(9~10月)

(二)固床工下游斷面變動

經降雨事件沖刷之後，本研究於固床工下游溪床實施現地調查，並繪出其斷面高程變動情形，如圖 5-15 所示。圖中，於降雨事件所沖刷之深度並無回淤情形，而且在監測位置以外溪床斷面均有沖刷下降的痕跡，顯示溪流目前正處於溪床沖刷下降之發展趨勢。此外，本場址因沖刷樁頂部與溪床間距達 40 公分，加上約 10 公分的沖刷深度，故實際沖刷深度達 50 公分。

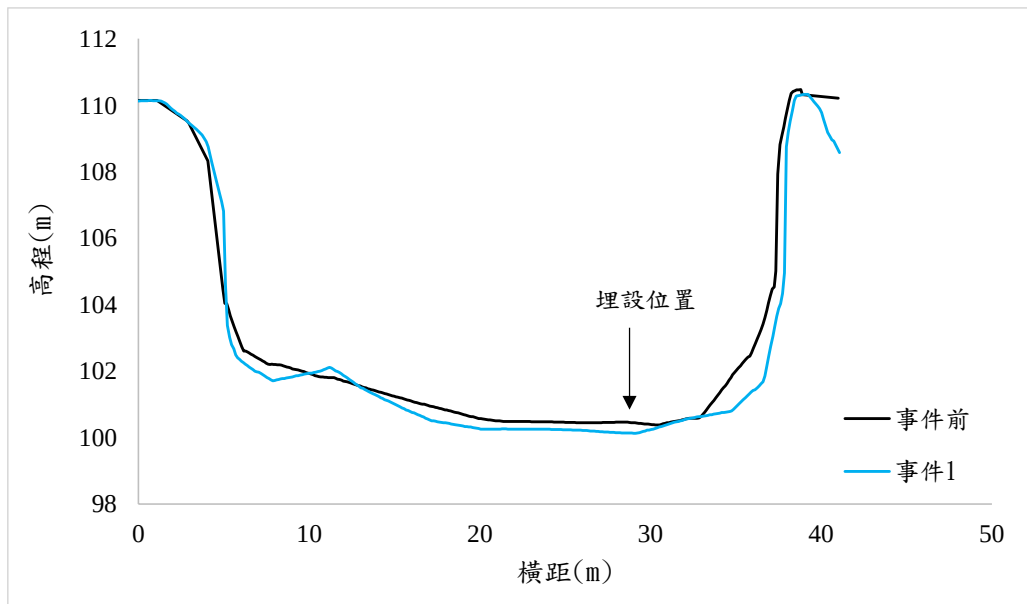


圖 5-15 北溝溪民生橋上游固床工下游降雨前、後斷面高程變動情形

第六章 分析與討論

本研究於計畫執行期間，於三處監測場址僅僅觀測到四場降雨事件所造成的顯著沖刷現象，雖不足以建構其相關降雨與沖刷之規律，惟通過變異性分析(Analysis of variance，簡稱 ANOVA)，並參考前人研究成果，仍能建立固床工下游局部沖刷坑深度之關係，以及固床工間距、沖刷坑深度與相關水理因子之相關性。

第一節 變異數分析(ANOVA)

一、理論說明

變異數分析(ANOVA)是試驗設計資料常用之基本統計分析工具，此分析法基本上適用在兩個以上樣本間之比較。透過比較因子間對某一以等距/比值尺度測量之變項，在平均數上的差異是否達到顯著時，是一種比較多樣本之情況。

ANOVA 是以 F-test 來檢測差異的顯著性，是依據二獨立的樣本變異數之比呈現一 F-分佈，將二不同情況下的變異數代入分子及分母，會得到檢測的 F-值，及相對的 p-值。

變異數分析是一種假設檢定，虛無假設 H_0 是 $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$ ，也就是「各組樣本的母體平均數沒有顯著差異(或是各組樣本是來自於同一母群體)」，所有樣本均是來自同一母群，或是各樣本來自的各個母群在平均數上沒有無差異。從這 H_0 之型式可看出是兩樣本間 t-test 之延伸。至於說 H_1 則為「至少有一類別在某一特性上與其它類別有差異」。

變異數分析(ANOVA)中基本可再分為單因子變異數分析法(one-way analysis of variance)、二因子變異數分析法(two-way analysis of variance)及多因子變異數分析法(multivariate analysis of variance)，相關說明分述下：

(一)單因子變異數分析法(one-way analysis of variance)

表示僅有一個自變項和一個應變項，每組獨立樣本量測過程中，只受一種變數影響。

(二)二因子變異數分析法(two-way analysis of variance)

為有二個自變項和一個應變項，分為隨機獨立和重複量數樣本，簡單來說就是某現象並非僅受單一因子的影響，甚至存在另一個因子的效應。探討重點在於瞭解因子與依變項之間是否真有關係存在，或是為因子 1 在因子 2 之間或因子 2 在因子 1 之間的效果差異，亦或是兩種因子是存在交互作用。

(三)多因子變異數分析法(multivariate analysis of variance)

有二個以上自變項和一個應變項，各因子共同作用時，是否對應變項產生獨立影響，與其影響的程度。

二、ANOVA計算方法

根據關秉寅(2008 年)社會統計說明 ANOVA 之第一步是變項分數之總離散的程度，是由總離均差平均和 (total sum of squares，簡稱 SST) 來計算，SST 是要將所有各樣本合併，然後計算所有分數離散之狀況，其公式如下：

$$SST = \sum(X_i - \bar{X})^2 \quad (6-1)$$

式中， X_i =合併樣本中之各分數； $\bar{X}$ =合併樣本之平均數。

SST 事實上反映了兩種離散之狀況，一是各類別內之離散，另一為各類別間之離散，因此

$$SST = SSW + SSB \quad (6-2)$$

$$SSW = \sum (X_i - \bar{X}_k)^2 \quad (6-3)$$

式中，SSW 為組內離均差平方和(Sum of Squares Within)， $\bar{X}_k$ 是每類別或組別之平均數。

因此，求得 SSW 方法是將各組每一分數減去此組之平均數，再求其平方後相加，並將每組重複上述計算後全部相加即得 SSW。而 SSB (Sum of Squares Between) 之公式如下：

$$SSB = \sum N_k (\bar{X}_k - \bar{X})^2 \quad (6-4)$$

N_k = 各組之樣本數； $\bar{X}_k$ = 各組之平均數； $\bar{X}$ = 合併樣本之平均數。

知道 SSW 及 SSB 的目的是要知道類別間的差異是否夠大。如果虛無假設為真，則相對於類別內的差異，類別間的差異並不會太大，也就是 SSW 與 SSB 應該差不多。反之，如果兩個離散程度估計的差異越大的話，則拒絕虛無假設的可能性也愈大。

之後計算 SSW 及 SSB 得到兩種對母群體之 σ^2 估計值，這兩種估計值稱為均方估計值 (mean square estimates)。估計值如下：

$$\text{組內估計值} = SSW / dfw \quad (6-5)$$

$$\text{組間估計值} = SSB / dfb \quad (6-6)$$

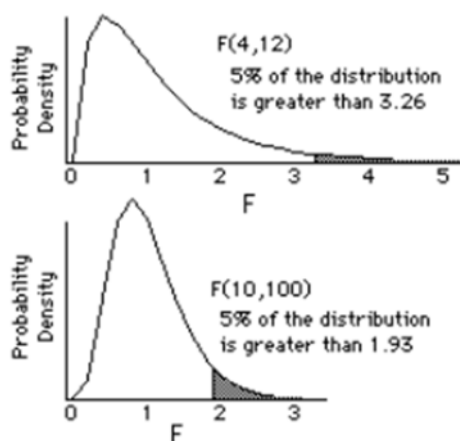
其中 $dfw = N - K$ ； N = 全部合併樣本數； K = 組數； $dfb = K - 1$ 。

而 ANOVA 即在求，兩估計值間的相對大小，更具體說是求一個 Fratio。

$$F = \text{Between estimate} / \text{Within estimate} = (SSB / dfb) / (SSW / dfw)$$

從公式可知 F 比值是與類別間之變異量及類別內之變異量的相

對大小有關，如果 $F=0$ ，即表示組間變異數為 0，即各組平均數相同。此外，這個 F 值之抽樣分配是隨 dfb 及 dfw 而變化，其分配之圖形如圖 6-1：



資料來源：關秉寅，社會統計第十章，假設測定 III：變異量（數）分析

圖 6-1 變異數分析時之 F 分配

上述之計算公式為依原理所設計的， SST 及 SSB 事實上可簡化為：

$$SST = \sum X^2 - N\bar{X}^2 \quad (6-7)$$

$$SSW = SST - SSB \quad (6-8)$$

彙整上述理論後，計算 ANOVA 步驟如下：

(一)計算 SST

(二)計算 SSB

(三)以 SST 減去 SSB 來算出 SSW

(四)計算兩個與 SSB 及 SSW 對應的 degrees of freedom

(五)分別將 SSB 及 SSW 與相對應之自由度相除，以計算兩個均方估計值來推估母群體的變異量

(六)計算 F 比值。

第二節 固床工下游局部沖刷坑沖刷深度分析

本計畫依據上述方法，採用二因子變異數分析法，推求不同公式參數之間關係並加以比較分析，參數包含固床工所在溪床坡度(S_0)、溪床質代表粒徑(D_{50})、固床工間距(L_s)及水深條件(y)等參數，及利用本計畫觀測四筆數據，以推求沖刷深度最佳公式，各項組別採用參數及分析方法詳表 6-1 所示。

表 6-1 ANOV 分析方法與採用參數

分析方法	組別	採用參數	
二因子 變異數分析	組別 1	水深條件(y)	溪床質代表粒徑(D_{50})
	組別 2	水深條件(y)	溪床坡度(S_0)
	組別 3	水深條件(y)	固床工間距(L_s)
	組別 4	溪床質代表粒徑(D_{50})	溪床坡度(S_0)
	組別 5	溪床質代表粒徑(D_{50})	固床工間距(L_s)
	組別 6	溪床坡度(S_0)	固床工間距(L_s)

資料來源：本計畫製作

經採用 ANOV 分析結果，茲彙整於表 6-2 至表 6-4，並就分析結果分述說明如下：

一、迴歸統計表

統計表主要包含相關係數(R)、相關係數平方(R^2)、調整後相關係數平方(調整後 R^2)、 F 檢定(F)及顯著值。表中， R 表示用來衡量沖刷深度與參數之間相關程度大小， R^2 用來說明自變量解釋因變量變差的程度，當 R^2 值越接近 1，表示擬合程度越好；調整後 R^2 表示說明方程式收到該參數影響力，假設調整後 R^2 為 0.8，表示該方程式到 80% 所採用之參數影響。另外，20% 則為其他未知參數來解釋；另外，顯著性越小，表示其迴歸模型顯著，

具有預測能力。

根據表 6-2 統計結果以組別 3 推估成果最佳，其相關係數 (R)、相關係數平方(R^2)趨近於 1，表示擬合程度為最高。

表 6-2 迴歸統計表

分析方法	組別	統計結果				
		R	R^2	調整後 R^2	F	顯著值
二因子 變異數分析	組別 1	0.9968	0.9936	0.4904	155.04	0.06
	組別 2	0.9979	0.9959	0.4938	242.06	0.05
	組別 3	0.9999	0.9998	0.4997	5925.46	0.01
	組別 4	0.8481	0.7193	0.0790	2.56	0.40
	組別 5	0.9860	0.9722	0.4584	35.02	0.12
	組別 6	0.9776	0.9558	0.4337	21.61	0.15

資料來源：本計畫製作

二、迴歸參數表

迴歸參數表彙整如表 6-3，包含不同參數之係數、t 檢定及分析公式成果等，P 值<0.05 表示其迴歸模型顯著，具有預測能力，由於本計畫數據有限，故以現有分析結果顯示，並配合上述表 6-2 分析結果顯示，以組別 3 結果為最佳，其公式可表為

$$\frac{t_s}{y} = 0.542 + 0.965 \frac{L_s}{y} \quad (6-9)$$

式中， t_s =沖刷深度(cm)； y =水深(cm)； L_s =固床工間距。

表 6-3 迴歸參數表

組別	參數	係數	標準誤差	t 檢定	P 值	沖刷公式
組別 1	y	0.752	0.06	12.55	0.01	$t_s = 0.752y - 0.226D_{50}$
	D_{50}	-0.226	0.31	-0.73	0.54	
組別 2	y	0.661	0.05	12.27	0.01	$t_s = 0.661y + 184.053S_o$
	S_o	184.053	131.61	1.40	0.30	
組別 3	y	0.524	0.02	24.59	0.00	$t_s = 0.542y + 0.965L_s$
	L_s	0.965	0.10	9.72	0.01	
組別 4	D_{50}	0.923	1.90	0.49	0.68	$t_s = 10.923D_{50} + 1162.913S_o$
	S_o	1162.913	908.28	1.28	0.33	
組別 5	D_{50}	0.703	0.54	1.30	0.32	$t_s = 0.703D_{50} + 2.906L_s$
	L_s	2.906	0.49	5.90	0.03	
組別 6	S_o	-322.870	575.56	-0.56	0.63	$t_s = -332.87S_o + 3.832L_s$
	L_s	3.832	1.10	3.49	0.07	
備註：沖刷深度= t_s (cm)、溪床坡度= S_o 、溪床質代表粒徑= D_{50} (mm)、固床工間距= L_s (m)、水深條件= y (cm)						

資料來源：本計畫製作

三、誤差分析表

本計畫彙整實際沖刷深度與本計畫所分析之沖刷深度結果，進行誤差百分比與平均誤差百分比比對。根據表 6-4 結果顯示，誤差百分比以組別 3 之誤差為最小，其值為 1.0%；另外，誤差百分比以組別 4 誤差為最大，值為 49.0%。

若以平均誤差百分比結果顯示，平均誤差百分比為 0.4%~9.2%，以組別 3 為最佳。

表 6-4 誤差分析表

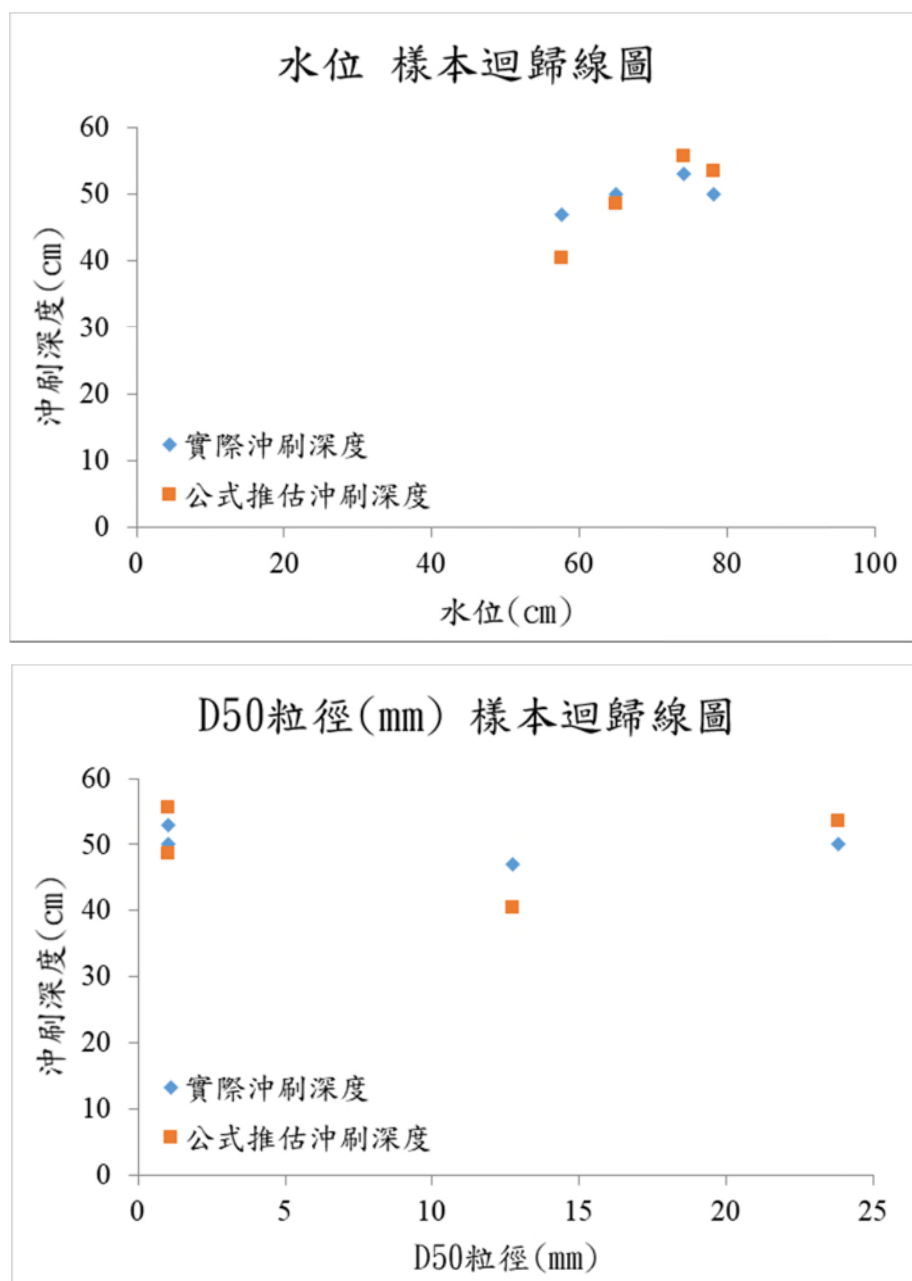
組別	本計畫監測降雨事件	實際沖刷深度 (cm)	公式推估沖刷深度 (cm)	誤差百分比 (%)	平均誤差百分比 (%)
組別 1	櫻花橋下游系列固床工(事件 1)	47	40.40	14.0%	7.1%
	大坪野溪河道治理工程(事件 1)	53	55.61	4.9%	
	大坪野溪河道治理工程(事件 2)	50	48.68	2.6%	
	民生橋上游土砂災害治理工程(事件 1)	50	53.48	7.0%	
組別 2	櫻花橋下游系列固床工(事件 1)	47	47.19	0.4%	5.1%
	大坪野溪河道治理工程(事件 1)	53	51.78	2.3%	
	大坪野溪河道治理工程(事件 2)	50	45.70	8.6%	
	民生橋上游土砂災害治理工程(事件 1)	50	54.60	9.2%	
組別 3	櫻花橋下游系列固床工(事件 1)	47	47.09	0.2%	1.0%
	大坪野溪河道治理工程(事件 1)	53	53.91	1.7%	
	大坪野溪河道治理工程(事件 2)	50	49.09	1.8%	
	民生橋上游土砂災害治理工程(事件 1)	50	49.83	0.3%	
組別 4	櫻花橋下游系列固床工(事件 1)	47	69.89	48.7%	49.0%
	大坪野溪河道治理工程(事件 1)	53	18.38	65.3%	
	大坪野溪河道治理工程(事件 2)	50	18.38	63.2%	
	民生橋上游土砂災害治理工程(事件 1)	50	40.57	18.9%	

組別	本計畫監測降雨事件	實際沖刷深度 (cm)	公式推估沖刷深度 (cm)	誤差百分比 (%)	平均誤差百分比 (%)
組別 5	櫻花橋下游系列固床工(事件 1)	47	60.09	27.9%	15.5%
	大坪野溪河道治理工程(事件 1)	53	46.04	13.1%	
	大坪野溪河道治理工程(事件 2)	50	46.04	7.9%	
	民生橋上游土砂災害治理工程(事件 1)	50	43.46	13.1%	
組別 6	櫻花橋下游系列固床工(事件 1)	47	51.31	9.2%	15.6%
	大坪野溪河道治理工程(事件 1)	53	54.94	3.7%	
	大坪野溪河道治理工程(事件 2)	50	54.94	9.9%	
	民生橋上游土砂災害治理工程(事件 1)	50	30.09	39.8%	
備註:誤差百分比(%)= 實際沖刷深度-公式推估沖刷深度 /實際沖刷深度*100% ; 平均誤差百分比(%)=∑ 誤差百分比 /個數					
組別 1 參數：水深條件(y)、溪床質代表粒徑(d_{50})					
組別 2 參數：水深條件(y)、溪床坡度(S_o)					
組別 3 參數：水深條件(y)、固床工間距(L_s)					
組別 4 參數：溪床質代表粒徑(d_{50})、溪床坡度(S_o)					
組別 5 參數：溪床質代表粒徑(d_{50})、固床工間距(L_s)					
組別 6 參數：溪床坡度(S_o)、固床工間距(L_s)					

資料來源：本計畫製作

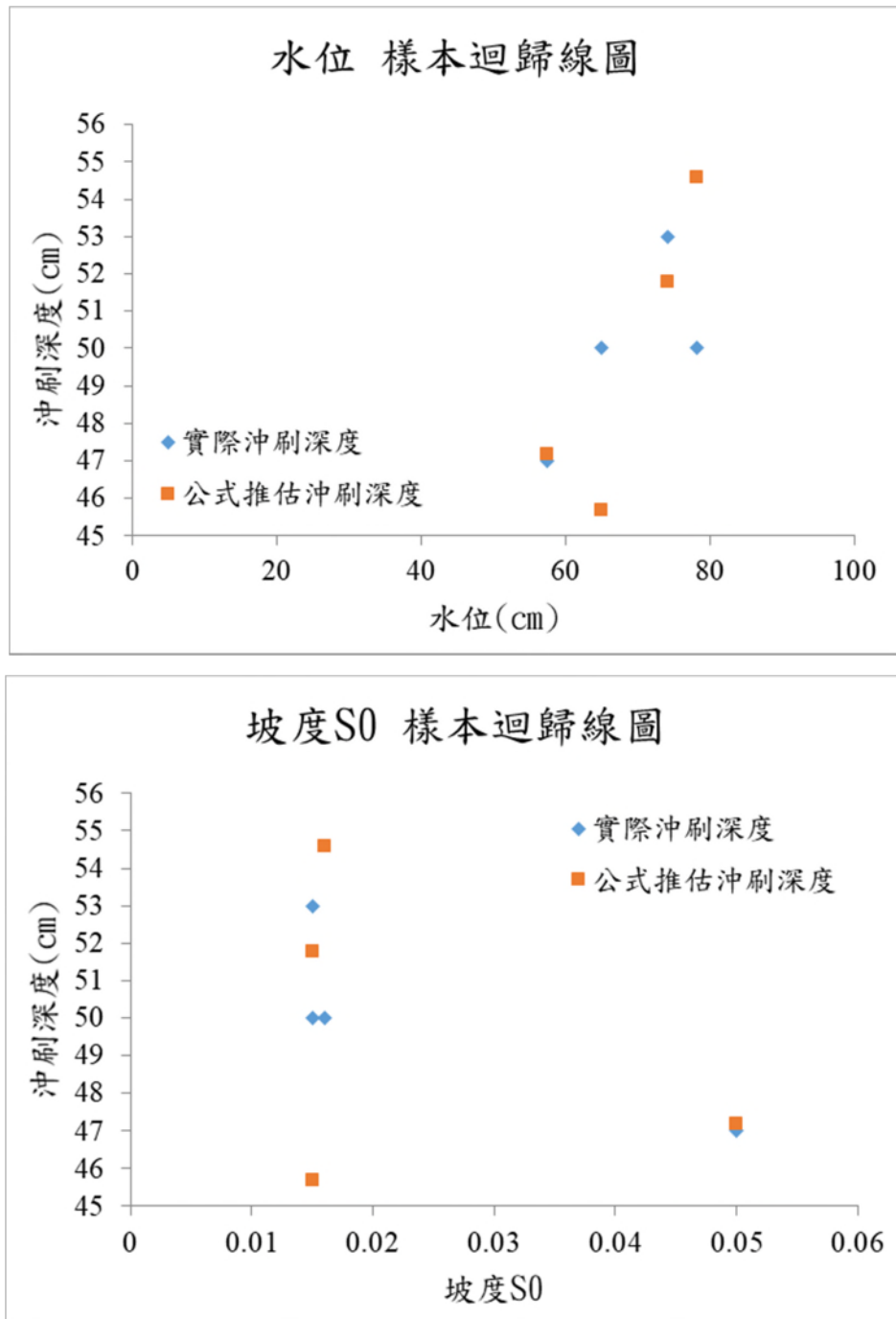
四、不同組別參數迴歸線圖

本計畫將不同組別內各別參數與沖刷深度進行迴歸，實際沖刷深度與公式所推估沖刷深度進行比對，繪製成果如圖 6-2 至圖 6-7，根據結果顯示組別 1~組別 6 中以組別 3 結果最為接近。



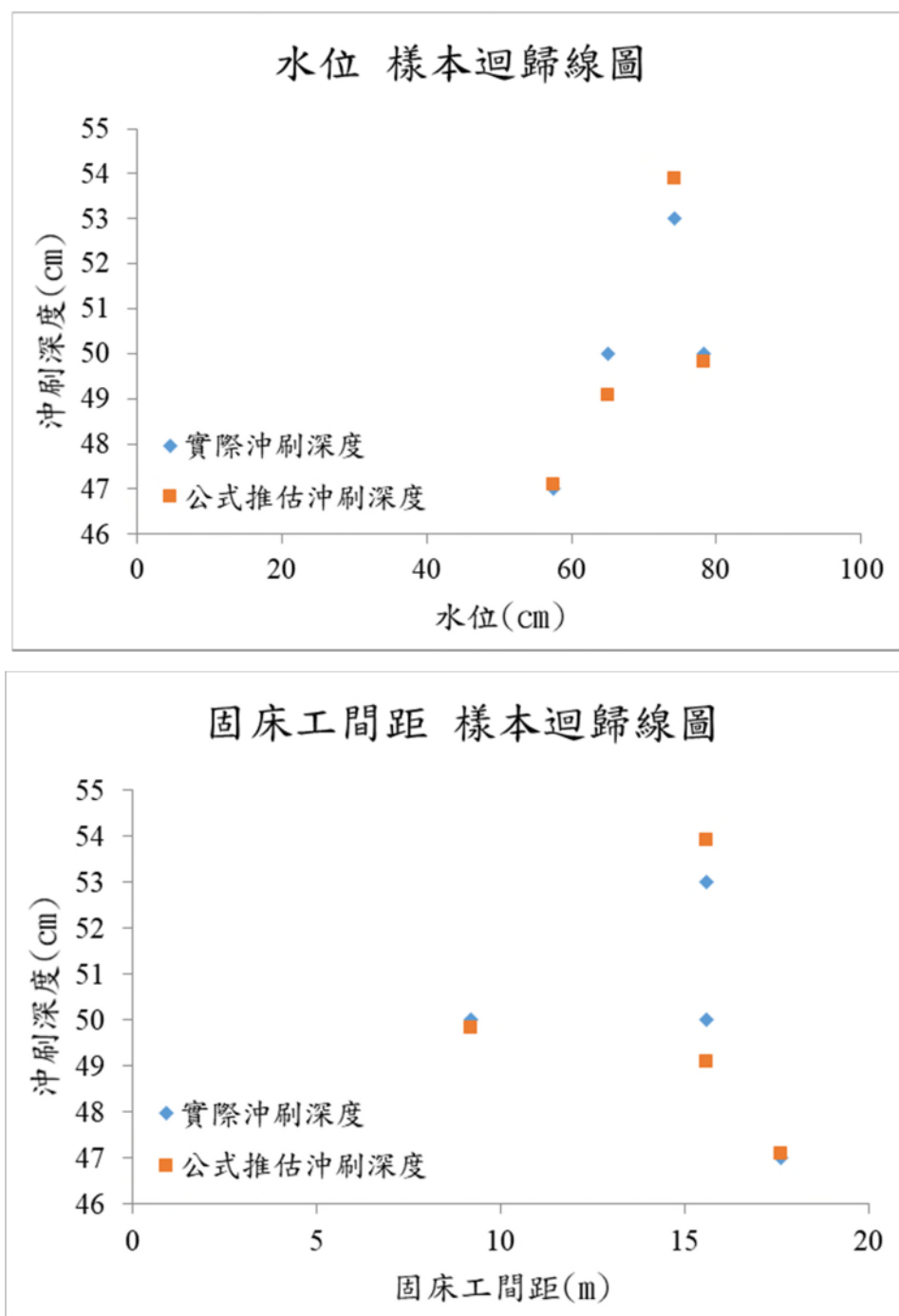
資料來源：本計畫製作

圖 6-2 組別 1 參數迴歸線圖



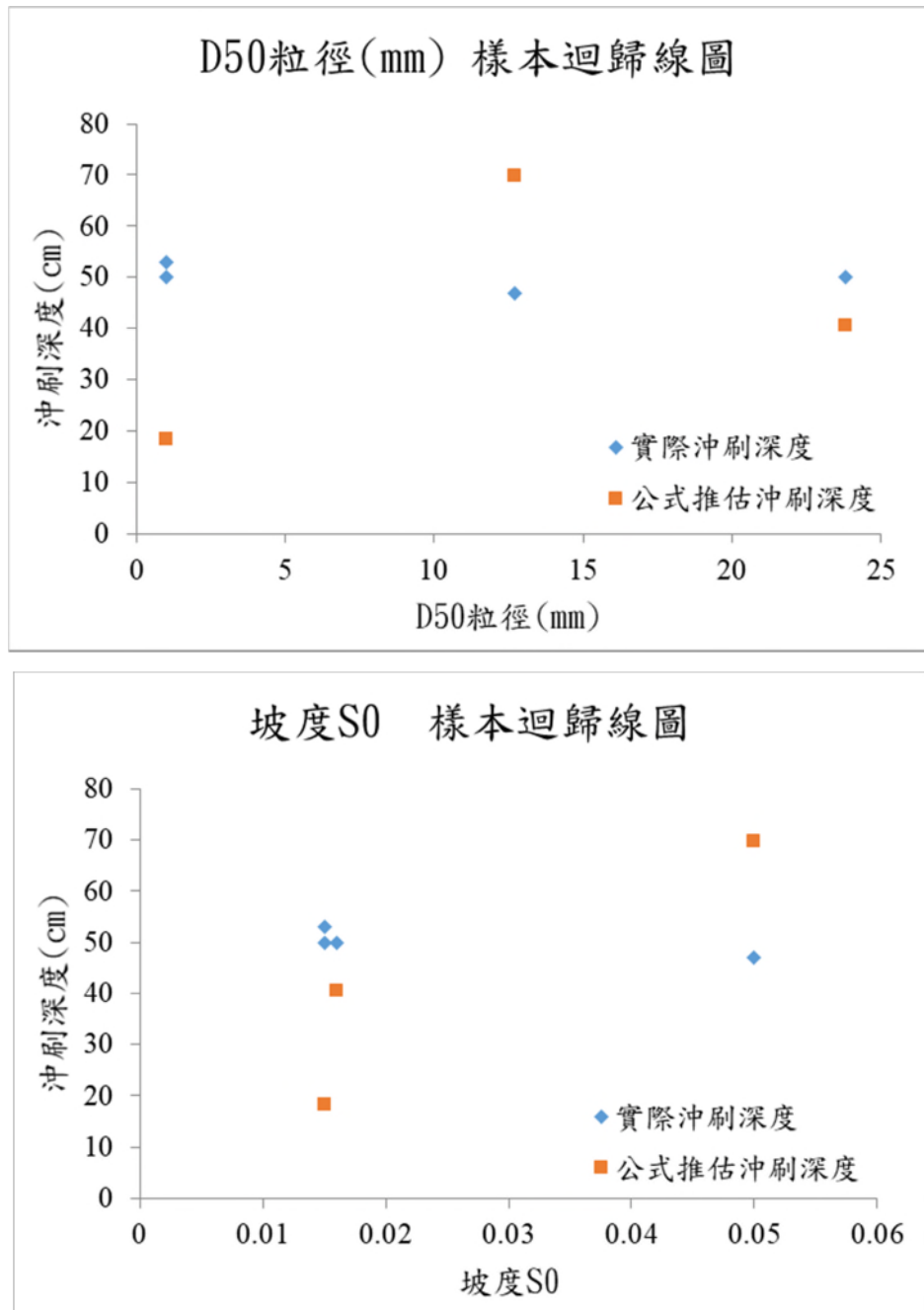
資料來源：本計畫製作

圖 6-3 組別 2 參數迴歸線圖



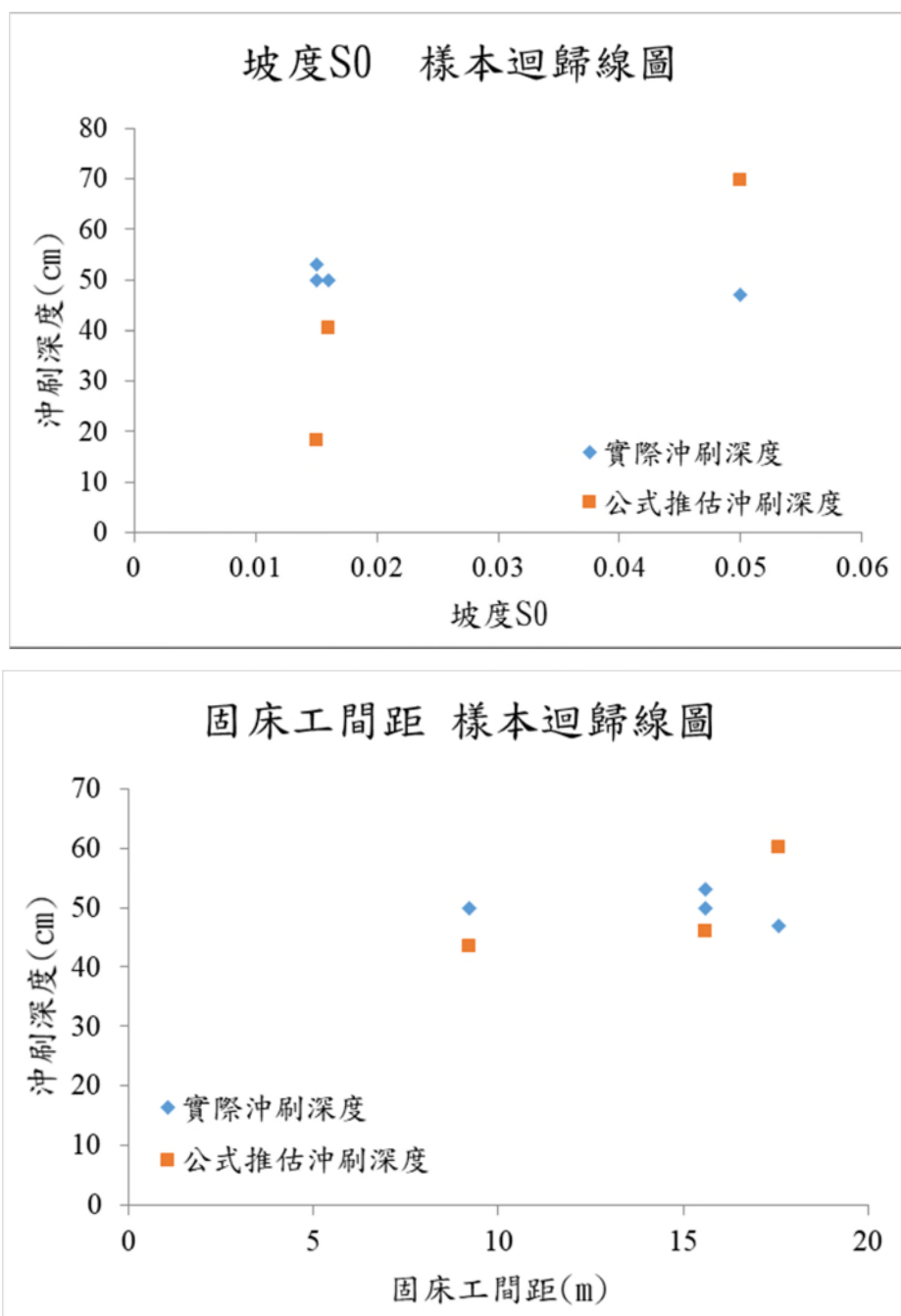
資料來源：本計畫製作

圖 6-4 組別 3 參數迴歸線圖



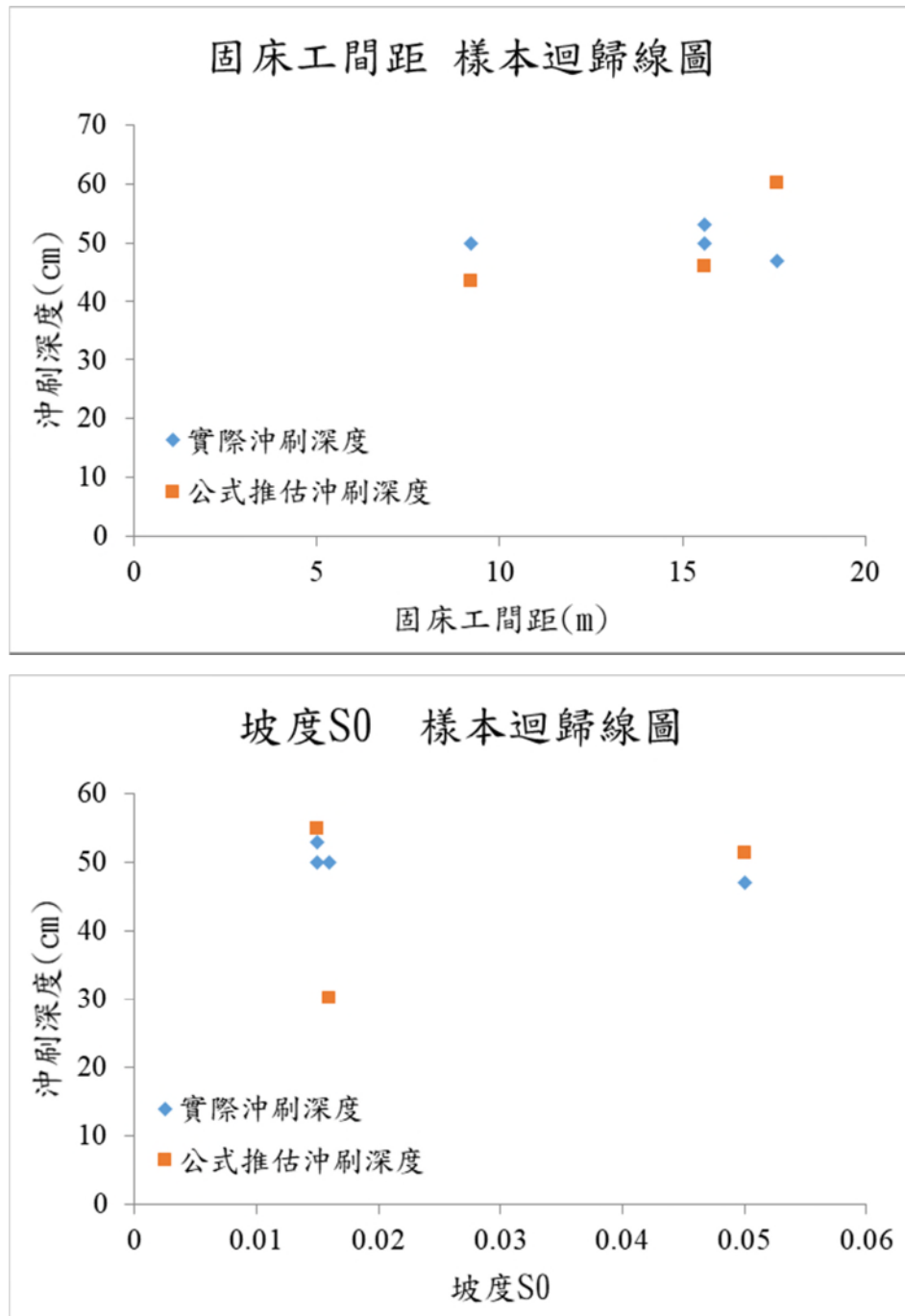
資料來源：本計畫製作

圖 6-5 組別 4 參數迴歸線圖



資料來源：本計畫製作

圖 6-6 組別 5 參數迴歸線圖



資料來源：本計畫製作

圖 6-7 組別 6 參數迴歸線圖

第三節 固床工下游局部沖刷坑沖刷深度分析說明

由於以往固床工局部沖刷公式內參數較為複雜，難以透現地簡易監測得到相關數據，因此本計畫利用所蒐集相關文獻，挑選相關參數透過統計學角度推求固床工局部沖刷公式，所求得公式亦能具有物理意義。

本計畫採用 ANOVA 方法推求沖刷坑公式，礙於本年度發生多次降雨事件，因降雨強度不足僅造成 4 場沖刷樁沖出事件，故在分析過程中，無法獲取足夠多數據以推求更準確公式，因此依據現況分析結果顯示，以組別 3 表現為最佳，故推求出公式為下式：

$$\frac{t_s}{y} = 0.542 + 0.965 \frac{L_s}{y} \quad (6-9)$$

式中， t_s =沖刷深度(cm)； y =水深(cm)； L_s =溪床坡度。

本計畫透過自行研發之微型沖刷磚，可以做到沖刷深度的即時動態監測，相當適用於野溪沖淤變動激烈之環境。但是，由於本年度無較大降雨事件，故所推估公式較適用於低強度降雨事件，期望未來可以於不同區域透過持續監測，以求得包含較大降雨場次所分析之公式，並延伸運用推求適用於陡、緩坡、礫石河床或砂質河床等各別所適用之公式。

第四節 固床工下游局部沖刷坑深度與其間距驗證

除了通過變異性分析取得三處場址局部沖刷深度與水深溪床坡度之關係外，本研究分別選取 Gaudio, et al. (2000)及 Lenzi. et al.(2002)之局部沖刷公式進行比較分析，如表 6-5 所示。比較實測局部沖刷坑深度與 Gaudio 及 Lenzi 計算結果顯示，Lenzi 計算結果與實測值較為接近，雖然各場址普遍偏低約 10cm，惟已掌握了一定的變化趨勢；不過，Gaudio 計算結果的差異性就較 Lenzi 為高。

總結以上比較分析，本研究三場址的實測結果應可參照 Lenzi. et al.(2002)的局部沖刷坑深度公式進行推估。

表 6-5 固床工下游局部沖刷深度與固床工間距比較分析表

項目 \ 場址	石頭溪 櫻花橋下游	大坪野溪		北溝溪民生 橋上游
		第一次	第二次	
實測沖刷深度(cm)	47	53	50	50
實測水深(cm)	57.5	74.2	65.0	78.2
d_{50} (mm)	12.72	1.01	1.01	23.79
d_{65} (mm)	28.47	5.69	5.69	34.66
d_{95} (mm)	52.3	20.1	20.1	52.61
溪床坡度	0.05	0.015	0.015	0.016
固床工間距(m)	15.6	17.6	17.6	9.2
S_{eq}	0.025	0.008	0.008	0.008
H_s (m)	0.863	1.113	0.975	1.173
$\rho_w (g / cm^3)$	1.0	1.0	1.0	1.0
$\rho_s (g / cm^3)$	2.3	2.3	2.3	2.3
a_1 (m)	0.975	0.132	0.132	0.0736
Gaudio(cm)	22.9	29.6	25.9	31.2
Lenzi(cm)	31.8	40.07	36.0	43.3
劉世昌(1997)	39.2	70.3	70.3	32.7
水土保持手冊 (2005)	20.0	114.7	114.7	50.0

第五節 固床工間距分析

雖然 Gaudio, et al. (2000)及 Lenzi. et al.(2002)已建構固床工下游沖刷坑深度與其間距之關係，惟從已知固床工有效高度及溪床坡度，也能獲得系列固床工之設計間距，如表 6-5 中劉世昌(1997)及水土保持手冊(2005)之計算結果。表中，兩公式之計算結果，在溪床坡度較為平緩的情況下，其間距過大而失去系列固床工互為保護之效果，故不適用之，即便在溪床坡度較陡的溪流，兩公式的計算結果也都超過合理間距(=25 公尺)(水土保持手冊，2017)。

第七章 結論與建議

第一節 結論

一、本計畫成功驗證可透過自行研發之微型沖刷磚，可以做到局部沖刷坑沖刷深度的即時動態監測，相當適用於野溪沖淤變動激烈之環境。不過，本年度因無較大降雨事件發生，沖刷變動並不顯著，固所實測沖刷數據僅適用於低流量事件。

二、三處研究區域監測成果說明如下：

(一)苗栗縣苑裡溪集水區石頭溪櫻花橋下游系列固床工：沖刷樁沖出時間為 109 年 7 月 17 日 14 點 15 分，沖出深度為 20 公分，加上既有沖刷坑深度，沖刷深度達 47cm，其固床工上相應水深為 57.5 公分。

(二)苗栗縣南港溪支流大坪野溪河道治理工程：第一次沖刷樁沖出時間為 109 年 8 月 16 日 16 點 26 分，沖出深度為 10 公分，加上既有沖刷坑深度，沖刷深度達 53cm，其固床工上相應水深為 74.2 公分；第二次沖刷樁沖出時間為 109 年 8 月 31 日 18 點 30 分，沖出深度為 10 公分，加上既有沖刷坑深度，沖刷深度達 50cm，其固床工上相應水深為 65 公分。

(三)台中市草湖溪集水區支流北溝溪民生橋上游土砂災害治理工程：109 年 8 月 03 日 16 點 37 分，沖出深度為 10 公分，加上既有沖刷坑深度，沖刷深度達 50cm，其固床工上相應水深為 78.2 公分。

三、本計畫採用變異性分析(ANOVA)方法推求沖刷坑公式，以組別3其相關係數及顯著性等，表現為最佳。

四、本計畫研究區域推估成果如下：

$$\frac{t_s}{y} = 0.542 + 0.965 \frac{L_s}{y}$$

式中， t_s = 沖刷深度(cm)； y = 水深(cm)； L_s = 溪床坡度。

五、採用本研究三處場址之實測資料，經比較Gaudio, et al. (2000)及Lenzi. et al.(2002)之沖刷深度與固床工間距公式，結果顯示Lenzi在已知的溪床坡度、固床工間距及水流條件下之沖刷坑深度，與實測沖刷坑深度普遍約低於10cm，惟其變化趨勢已略有掌握。

六、採用劉世昌(1997)及水土保持手冊(2005)公式推估三處場址在已知固床工有效高度及其所在溪床坡度下之固床工間距，結果顯示兩公式與實際固床工間距差距甚大，尤其在坡度較為平緩的溪流，兩公式所推估之固床工間距，顯然無法發揮系列固床工互為保護之機能。

第二節 建議

一、本研究有別於以往研究方式，係採用現場實尺寸量測固床工下游局部沖刷深度，並成功地取得各降雨事件之動態沖刷實況。但是，受限於本年度降雨場次不多且雨量也不大，以至於僅測得四場降雨沖刷成果。因此，建議可以持續進行現場監測，甚至擴大監測場址，以取得更多的實測數據，作為系列固床工基礎及其合理間距之設計依據。

二、可以利用現地之地文及水文等資料，採用二維或三維河道動床數值模式進行模擬分析，藉以建立固床工下游局部沖刷深度及其合理間距之通用公式。

參考文獻

1. 王志豪(2008)，「花蓮縣土石流災害防砂設施之功效調查及淘刷分析」，國立屏東科技大學水土保持系碩士論文。
2. 行政院農業委員會水土保持局，2005，「水土保持手冊」。
3. 吳嘉俊等(2009)，「斜坡式固床工對減緩河床沖刷效能之研究」，第十三屆海峽兩岸水利科技交流研討會。
4. 莫海龍(1987)，「粗粒化現象及階梯狀河床之形成對推移質輸砂量影響之研究」，中興大學水土保持學研究所碩士論文。
5. 盧昭堯(2010)，「變量流作用下之固床工沖刷室內試驗研究」，國立中興大學土木工程學士研究所碩士學位論文。
6. 水利規劃試驗所(2015)，「颱風河道之沖刷觀測」，水利署電子報第 0137 期。
7. 吳尚訓(2000)，「固床工間距對河床穩定效果之研究」，逢甲大學水利工程學系碩士論文。
8. 湯國俊、李來春(2015)，「應用藍芽室內定位技術於展館行動導覽之研究」，中華民國設計學會研究論文，P.214-219。
(<http://dx.doi.org/10.6668/CID-IDSFC.201505.0030>)
9. 行政院農業委員會水土保持局(2016)，「透水式固床工之工法研發與水理特性研究(二)」。
10. 關秉寅(2008)，「社會統計第十章，假設測定 III：變異量（數）分析」，政治大學社會學系關秉寅教學網頁。
(http://www3.nccu.edu.tw/~soci1005/social_stat.htm)
11. 黃悅深、劉敏(2015)，「Beacon 在基於位置的移動圖書館服務中的應用」，圖書館情報工作，第 59 卷第 3 期。

12. 劉世昌(1997)，「台東地區野溪帶工之研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
13. 連惠邦(2001)，「防砂壩下游河床演變及其整流工程配置模式之研究(二)」，行政院農業委員會補助研究計畫成果報告。
14. 連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南出版社。
15. 行政院農業委員會水土保持局(2016、2017)，「106 年度大規模土砂災害集水區野溪溪床沖刷深度監測技術研發」。
16. 何超(2018)，「基於藍牙 5.0 的多協議 Beacon 系統設計」，電子科技大學碩士論文。
17. 高忠人(2018 年)，「渠床沖刷機制之探討」，水利技師公會，水利會訊第二十一期。
18. 黃政達(1995)，「由動床試驗探討固床工之間距」，中興大學水土保持學研究所碩士論文。
19. 游繁結(1996)，「固床工間距之調查研究(三)」，84 年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編，農委會林業特刊第 50 號：541- 549。
20. 池谷浩(1977)，「昭和 51 年 9 月 17 守家雨による小豆島の土石流災害に関する一考察」，新房砂，103，24-28，1977。
21. 山口伊佐夫(1985)，「防砂工程學」，國立台灣大學森林學系譯。
22. 木村喜代治、高橋迪夫、長林久夫(1990)，「流路工における床固工の間隔に関する研究」，新砂防，43(2)：20-24。
23. 道上正規、鈴木幸一，1979「床固めの水理機能に関する研究」，京都大學防災研究所年報 22B-2，507-519。
24. Abrahams, A.D., Li, G., Atkinson, J.F.(1995) “Step-pool streams: Adjustment to maximum flow resistance.” Water Resour. Res.

- 31,2593-2602.
25. Akiyama, T. & Maita, S.(1997) “Analysis of step-pool in small drainage basin.” Proceedings of Annual Meeting, Japan Society of Erosion Control Engineering, 114-5. (In Japanese)
 26. D’ Agostino, V. & Lenzi, M.A.(1999) “Bedload transport in the instrumented catchment of the Rio Cordon Part II : Analysis of the bedload rate.” Catena 36: 191-204.
 27. Judd, H.E.(1964) “A study of bed characteristics in relation to flow in rough high gradient natural streams.” PhD dissertation, Utah State University, p.182.
 28. Whittaker, J.G.(1987) “Sediment Transport in Step-pool Streams. Sediment Transport in Gravel-bed Rivers, eds.” C.R. Thorne, J.C. Bathurst and R.D. Hey, John Wiley & Sons, Ltd., 545-579
 29. Rickenmann,D. and Zimmermann,M.(1993) “The 1987 debris flow in Switzerland,documentation and analysis.” Geomorphology.
 30. Corominas,J. “The angle of reach as a mobility index for small and large landslides”,Canadian Geotechnical Journal 33,260-271,1996
 31. Rickenmann D.(2008) “Empirical relationships for debris flow.” Natural Hazards,19,47-77.
 32. Wu, C.C., Hou, C.H., Chen, C.N., and Shih, C.Y.(2002). “Determination of groundsills interval for stream training, In: River Flow 2002, edited by D. Bousmar and Y. Zech” . Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Louvain-La-Neuve, Belgium, Sept. 4-6. A.A. Balkema Publishers: 1109-1116.
 33. Lenzi, M.A. & D’ Agostino, V.(1998) “Dinamica dei torrenti con morfologia a gradinatae interventi di sistemazione dell alveo.” Quaderni di Idronomia Montana 17: 31-56. Cosenza: Bios.

34. Lenzi MA, D' Agostino V, Billi P.(1999) "Bedload transport in the instrumented catchment of the Rio Cordon Part I: Analysis of bedload records, conditions and threshold of bedload entrainment." Catena 36: 171 – 190.
35. Lenzi, M.A., Marion, A., Comiti, F., and Gaudio, R.(2002) "Local scouring in low and high gradient streams at bed sills." Journal of Hydraulic Research 40(6): 731-739.
36. Maxwell, A.R. (2001) "Step-pool morphology in high-gradient streams." January 2001, International Journal of Sediment Research 16(3),380-390.
37. Gaudio, R., Marion, A., and Bovolin, V.(2000) "Morphological effects of bed sills in degrading rivers." Journal of Hydraulic Research, Vol. 38(2): 89-96.

附錄

附錄一、會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	集水區因地質水文條件不同，所展現河道沖淤狀態不一、差異甚大，僅以三處調查資料，即能推估固床工合理間距、沖刷坑深度經驗公式及系列固床工之合理間距公式，其作法不足且過於武斷。	1. 據估計每處需要約 23 萬元的設備經費(含微型沖刷樁、水深計及其訊號接收等)，同時考量本創新計畫有 100 萬元最高經費限制，故僅能實施 3 處現地實測工作。 2. 因屬現地實測工作(即原型試驗)，其結果僅能適用於此 3 處的溪流環境，從嚴謹的角度，基本上是不能延推至其他溪流條件，但如通過無因次分析方法，仍具有一定的參考價值。 3. 因計畫經費被刪去 1/3，限於經費僅能進行兩處現地固床工布設情形進行實測。
二	IP67 僅能埋設於水深 1 公尺內之河道，而沖刷坑常大於 1 公尺，追跡器之防水等級宜提升為 IP68 等級，或再加強防水機能。	1. 現地埋設深度至少應達 1.0 公尺。 2. 本計畫採用之微型沖刷樁於 108 年曾經實際應用台中茄冬寮溪，埋設深度介於 1.0m 至 1.5m 之間，歷時約 6 個月，其性能皆為維持正常。

項次	審查意見	回覆辦理情形
		3.本計畫會依委員建議，在不影響沖刷樁訊號傳遞功能的條件下，盡量加強防水機能。
三	本計畫擬藉由歷次颱風豪雨過程各固床工下游溪床之沖刷之觀測，探討系列固床工合理間距之設計公式、系列固床工基礎深度設計原則及系列固床工下游溪床局部沖刷坑深度公式。因現場實驗變數多，建議述明場址選定何謂適合？除其地文條件外其水文量範圍為何？及微型沖刷樁埋設深度等資訊。 微型樁布設方法(位置、數量)與配合公式無詳細說明。	1.受限於經費本計畫目前僅能就 2 處現地進行實測。 2.實測場址會依據其集水區面積、溪流坡度、溪床質及固床工布設間距等因子，選取差異性較大的兩處場址進行實測及研究。 3.依計畫目的，每處場址約裝置 2-3 處微型沖刷樁，惟會視場址條件而調整。 4.微型沖刷樁埋設深度約介於 1.0m 至 1.5m 之間。 5.微型沖刷樁埋設位置以溪流中心線為原則，惟如固床工有低水斷面者，會埋設於低水斷面處之下游溪床。
四	微型樁布設方法(位置、數量)與配合公式無詳細說明。	請參考上述處理情形。

項次	審查意見	回覆辦理情形
五	選擇三處且條件均不同之野溪進行觀測，所得結果是否具代表性，並是否適用套用至其他地區及未來如何應用？	1.會盡量選擇集水區面積、溪流坡度、溪床質及固床工布設間距等因子差異性較顯著的場址。 2.因屬現地實測工作(即原型試驗)，其結果僅能適用於此3處的溪流環境，從嚴謹的角度，基本上是不能延推至其他溪流條件，但如通過無因次分析方法，仍具有一定的參考價值。

附錄二、期初審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	核定至擬定期初報告足有 2 個月時間，期初報告內容多僅抄錄核定計畫，應將工作方式、裝置方法與地點具體以量化呈現。	本計畫已補充說明，請詳各章節。
二	研究需選定三處適當系列固床工場址，惟僅選擇櫻花橋及大坪野溪二處，距計畫結束時間僅剩 7 個月，若遇颱風豪雨則喪失觀測機會。回復理由係因計畫經費被刪 1/3，僅能選擇 2 處，但核定計畫仍為 3 處，請速擇定三處研究地點，避免違約。	已新增一處民生橋上游土砂災害治理工程研究地點，其相關說明詳如第三章第二節。
三	以全流域所獲之高程、坡度、坡向、地質、氣相、水文，應詳述如何做為研究區域之參考，已蒐集之二處場址基本資料應以觀測區域做更細緻蒐集，並非抄錄大面積之既有規劃報告資料，亦請加以校對，例如櫻花橋位於房裡溪支流上，敘述位於苑裡集水區面積 3968 公頃，房裡溪主流流域面積 39.3 平方公里，其語意不清，其相關水理分析，無所依據。	本計畫係依據水土保持局山坡地集水區蒐集本資料後，再進行分析。由於本計畫所選擇場址皆為上游野溪，故本計畫依據委員意見，以觀測區域重新分析集水區基本資料，請詳第三章第二節(P3-3)。

項次	審查意見	回覆辦理情形
四	Beacon 採 IP67 防水等級，此等級浸水時間僅可達 30 分鐘，如何保持其有效運作，請依前審查意見予以研究提升至 IP68 等級。	本計畫 Beacon 為 IP67 防水等級，浸水時間僅可達 30 分鐘，故將 Beacon 裝於壓克力塑膠盒內，並將封口塗上防水膠水，再進一步以防水膠帶黏貼封口，以確保溪水不會滲入 Beacon 內。
五	現地勘查時應調查現有固床工施設時期、形式、斷面、高程配置等基本圖資。	本計劃已於第三章第二節個選定場址內新增固床工基本資料進行說明(P3-10、P3-18 及 P3-26)。
六	本計畫擬藉由微型沖刷樁觀測系列固床工下游局部沖刷深度變化，此等新興感測元件之應用有助於對河溪沖淤特性之掌握，惟此等資料屬於點觀測資料，建議對研究區同時進行事件前後之高解析度地形測量，以利比對分析，並掌握面資料。	已補充研究區高解析度地形測量，請詳 P5-4 及 P5-9。
七	本計畫選取兩處固床工工程進行現地勘查，從本局工程篩選六處後依本計畫選取原則挑選 2 處，請補充說明篩選過程及選取原因。	業已補充篩選方法及原因，請詳第三章第一節之選定原則。
八	P.3-2 表 3-1，編號 1 請補充完整工程名稱。	業已修正。
九	針對前次審查意見回覆有關微型樁布設方法，請納入報告書本文。又本次選取案例為系列式固床工，微型樁與系列固床工如何配置請補充說明，水深計亦同。	本計劃補充個場址沖刷樁埋設與測站位置配置圖，請詳 P5-1、P5-6 及 P5-11。

項次	審查意見	回覆辦理情形
十	第五實測數據擷取與分析，內容過於簡略，無分析方法及欲建立之公式等，及水深計數據如何應用亦無說明。	針對實測數據擷取與分析說明補充於第五章及第六章。另外，公式內水深參數依據現地水深計量測成果進行分析。

附錄三、期中審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	期中報告應補附”摘要”，敘述各工作項目及已獲致之初步結論；檢視已完成項目、數量即完成百分比；待完成項目、期程。	於期末報告中補充摘要，說明目前完程之工作項目及內容，請詳 P.I 頁；預期完成進度與目前完成進度及期程請詳第一章第四節(P1-5)。
二	櫻花橋、大坪野溪、民生橋三處收集之高程、坡度、坡向、地質、氣象、水文，能未詳述如何作為研究區域之參考；三處集水區均未臨海，高程資料應註明最低出高程，統計表一併修正。	在進行沖刷樁埋設前，需先了解研究區域集水區基本特性，而非僅單純進行實驗，另外進一步運用上述基本資料分析成果，了解三處場址之集水區面積、溪床質、固床工坐落範圍平均溪床坡度等是否均應略有差異；本計畫之高程分析皆採絕對高程，並補充最低高程與最高高程說明，請詳 P3-27。
三	各區域固床工尺寸圖，請補繪相接構造物現況、系列固床工配置圖等。	本計畫補充各區域固床工尺寸及相關配置等，請詳 P5-2、P5-6 及 P5-10。
四	擬取得颱風豪雨過程沖刷坑實測資料，其實測方法為何，應詳加說明。	本計畫沖刷坑實測方法為設置沖刷後，當沖刷樁被水流沖刷流失 Beacon 會浮出水面後，便會傳出訊號給接收站，因而獲得沖刷深度及其對應時間，詳細說明請詳 P4-4~P4-5。
五	圖 2-1 示意圖，需符合內文所述階梯—深潭意涵，並標示水流狀態。	圖 2-1(P2-2)示意圖為階梯—深潭之側視圖與俯視圖，並補充水流方向。

項次	審查意見	回覆辦理情形
六	第二章列舉之各項公式，請加以列表比對，檢討分析挑選最適合野溪之公式。	本計畫第二章所列舉之各項公式，為參考後續公式推估所採用相關參數，並進行推估成果比較，配合現地監測資料以求得野溪公式，詳細分析方法請詳第六章(P6-1)。
七	沖刷樁是設置在關注之系列固床工的最下游？報告中沒有清楚標示系列固床工與沖刷樁的相對位置，也沒有說明設置沖刷樁位置原則。建議標示出來並說明原因。	本計畫沖刷坑埋設位置以有沖刷坑位置，如無沖刷坑則以溪流中心線固床工中間下游 0.5m 處，各區域埋設位置說明及圖示請詳 P5-2、P5-6 及 P5-10。
八	圖 5-6、圖 5-15、圖 5-20 為設置沖刷樁的橫斷面圖，建議標示出沖刷樁的位置，並說明設置該處的原因，因橫斷面圖會隨時間變化，沖刷樁設置在橫斷面的不同位置，其沖刷深度亦有差異。	本計畫已標示設置位置，其設置原則詳如 P4-4，由於根據現況所設置位置有所調整，各區域埋設位置詳 P5-2、P5-6 及 P5-10。
九	若沒有 3 場以上的豪雨事件，其備案是做渠槽試驗，有關試驗設定是參考 3 處場址之地文條件進行？建議說明渠槽試驗的規劃內容。	本計畫目前已取得 3 場以上豪雨事件，故於期末報告內僅呈現現地觀測成果及相關說明。
十	第 6-1 業第二段表示將應用 3 處的監測數據去調整相關文獻的局部沖刷公式？3 筆資料不足已修正公式，建議說明調整公式的方法。	因屬現地實測工作(即原型試驗)，其結果僅能適用於此 3 處的溪流環境，且本計畫為研究型計畫，從嚴謹的角度，基本上雖是不能延推至其他溪流條件，但如通過無因次分析方法，仍具有一定的參考價值。

附錄四、石頭溪粒徑調查報告

一、調查範圍

為瞭解本計畫區埋設沖刷樁位置之粒徑分布情形以及各研究區域粒徑之差異，故本次進行河床質粒徑調查，亦供後續追蹤、研究使用，粒徑調查位置如圖一所示。



資料來源：本計畫製作

圖一 調查點位

二、調查與分析方法

本次調查係依水土保持技術規範第三十七條，取一平方公尺，深度六十公分之採樣坑，並同時進行野外粗顆粒篩分析，並記錄採樣孔尺寸，推算採樣體積，紀錄最大石徑之尺寸。

(一)野外粗顆粒分析

凡大於標準篩 3/8 吋以上之礫石，分用 1 吋、1/2 吋、3/4 吋及 3/8 吋之方孔篩，於挖掘現場做篩分析，將各篩上

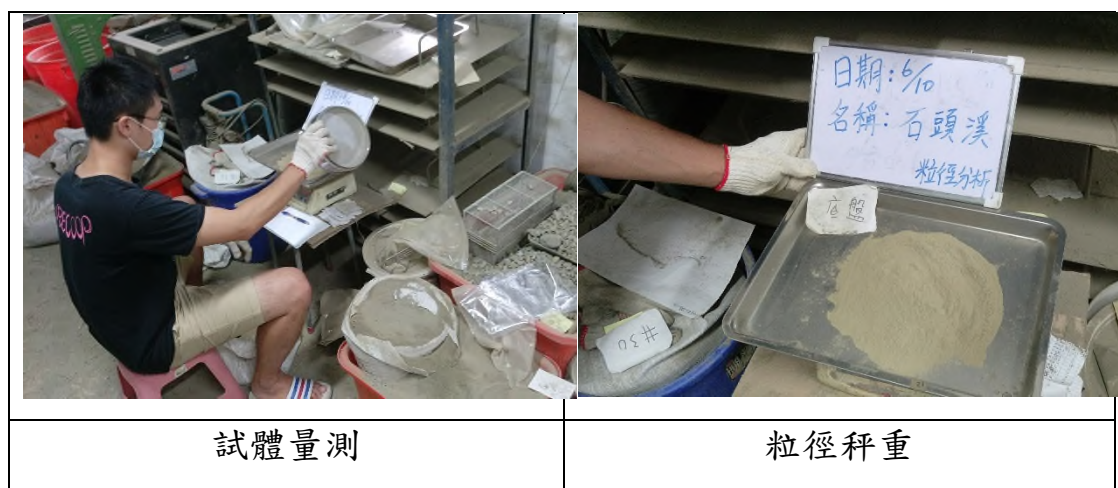
停留之礫石分別秤重記錄，大於 3 吋以上之礫石，則直接使用鋼卷尺量其粒徑並秤重，同時記錄各樣孔之最大石徑，工作狀況如圖二所示。



圖二 粒徑現地調查工作狀況

(二)室內篩分析

通過 3/8 吋之顆粒，秤總重以四分法檢取約二公斤重之樣品，烘乾秤重，再於室內以標準篩#4、#8、#16、#30、#50、#100、#200 號分別做篩分析，將各篩上停留之砂秤重記量，依樣品重與採樣總重之比例，換算各粒徑別之停留重量，再與野外粗顆粒分析結果合併，依各粒徑分別算出其停留百分率及通過百分率，室內篩工作狀況如圖三所示。

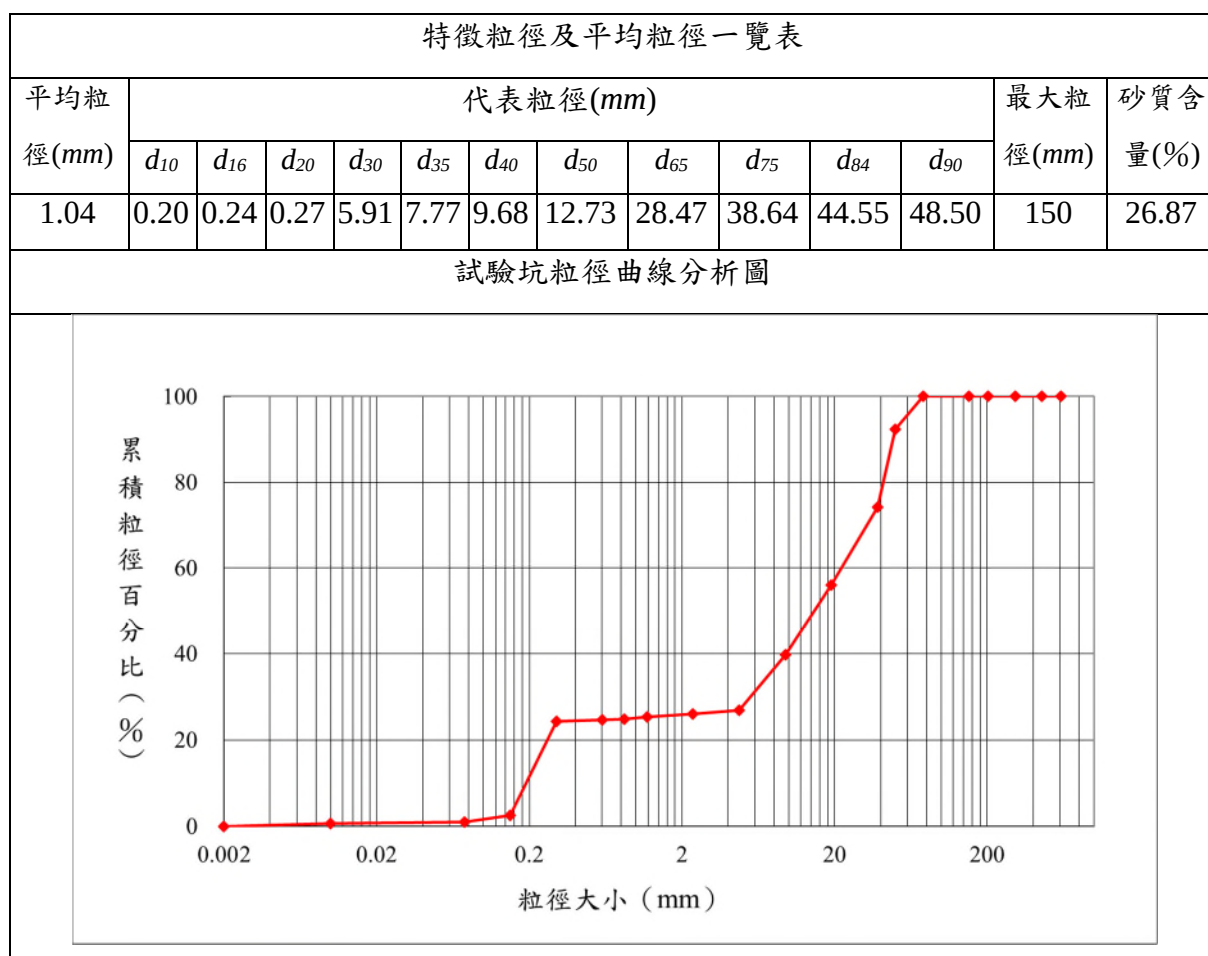


圖三 粒徑現地室內篩工作狀況

(三)粒徑分析

以顆粒分析結果之粒徑別百分率，繪出各採樣孔之顆粒分佈累積曲線，各試驗坑粒徑分析結果如表一所示。

表一、石頭溪試驗坑粒徑分析結果



註：砂質含量(%)：以 USCS (統一土壤分類法) 4 號篩至 200 號篩為砂土。

石頭溪 河床質調查記錄表

施作位置	石頭溪	編號	-	日期	2020/06/04		天氣	晴
調查單位	逢甲大學	調查人員	曾○潔、鍾○育、唐○倫	坐標 (TM2-97)	X	222078		
					Y	2698834		
採樣孔粒徑調查記錄表								
篩號	粒徑 (mm)	淨重(kg)			試坑體積(m³)			
24"	610	0.00			0.6			
18"	457	0.00			樣品總重量(kg)			
12"	305	0.00			1070			
8"	203	0.00			最大粒徑(a×b×c)			
6"	152	0.00			893 立方公分			
3"	76.2	82.50			帶回重量(KG)			
1"	25.4	193.75			10			
¾"	19.1	193.75			斷面描述			
1/2"	12.7	175.00						
⅜"	9.52	137.50						
底盤	<9.52	0.00						
合計		1070						
採樣孔粒徑調查一覽表								
篩號	粒徑別 (mm)	各別停留 重量(g)	累計重量 (g)	各別停留 百分率(%)	累計停留百分率 (%)	通過百分率 (%)		
24"	610	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
18"	457	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
12"	305	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
8"	203	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
6"	152	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3"	76.2	82.50	82.50	7.71	7.71	92.29		
1	50	193.75	276.25	18.11	25.82	74.18		
1½"	38.1	193.75	470.00	18.11	43.93	56.07		
¾"	19.1	175.00	645.00	16.36	60.28	39.72		
⅜"	9.52	137.50	782.50	12.85	73.13	26.87		
4	4.75	9.89	792.39	0.92	74.06	25.94		
8	2.36	7.06	799.45	0.66	74.72	25.28		
16	1.18	5.65	805.10	0.53	75.24	24.76		
20	0.84	1.06	806.16	0.10	75.34	24.66		
30	0.6	3.89	810.05	0.36	75.71	24.29		
50	0.3	232.05	1042.10	21.69	97.39	2.61		
100	0.15	17.66	1059.76	1.65	99.04	0.96		
200	0.075	4.24	1064.00	0.40	99.44	0.56		
底盤	0.037	6.00	1070.00	0.56	100.00	0.00		
合計		1070						

附錄五、大坪野溪粒徑調查報告

一、調查範圍

為瞭解本計畫區埋設沖刷樁位置之粒徑分布情形以及各研究區域粒徑之差異，故本次進行河床質粒徑調查，亦供後續追蹤、研究使用，粒徑調查位置如圖一所示。



資料來源：本計畫製作

圖一 調查點位

二、調查與分析方法

本次調查係依水土保持技術規範第三十七條，取一平方公尺，深度六十公分之採樣坑，並同時進行野外粗顆粒篩分析，並記錄採樣孔尺寸，推算採樣體積，紀錄最大石徑之尺寸。

(一)野外粗顆粒分析

凡大於標準篩 3/8 吋以上之礫石，分用 1 吋、1/2 吋、3/4 吋及 3/8 吋之方孔篩，於挖掘現場做篩分析，將各篩上停留之礫石分別秤重記錄，大於 3 吋以上之礫石，則直接

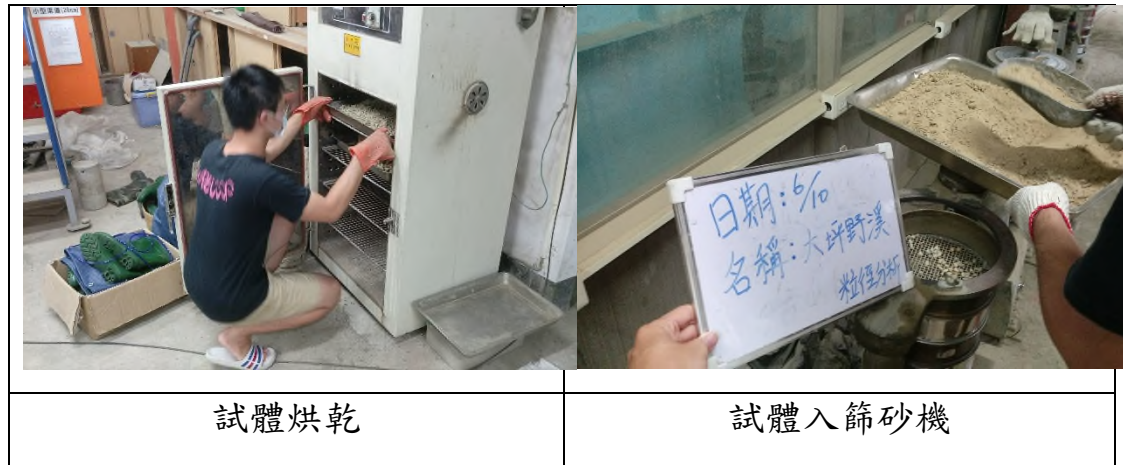
使用鋼卷尺量其粒徑並秤重，同時記錄各樣孔之最大石徑，工作狀況如圖二所示。



圖二 粒徑現地調查工作狀況

(二)室內篩分析

通過 3/8 吋之顆粒，秤總重以四分法檢取約二公斤重之樣品，烘乾秤重，再於室內以標準篩#4、#8、#16、#30、#50、#100、#200 號分別做篩分析，將各篩上停留之砂秤重記量，依樣品重與採樣總重之比例，換算各粒徑別之停留重量，再與野外粗顆粒分析結果合併，依各粒徑分別算出其停留百分率及通過百分率，室內篩工作狀況如圖三所示。

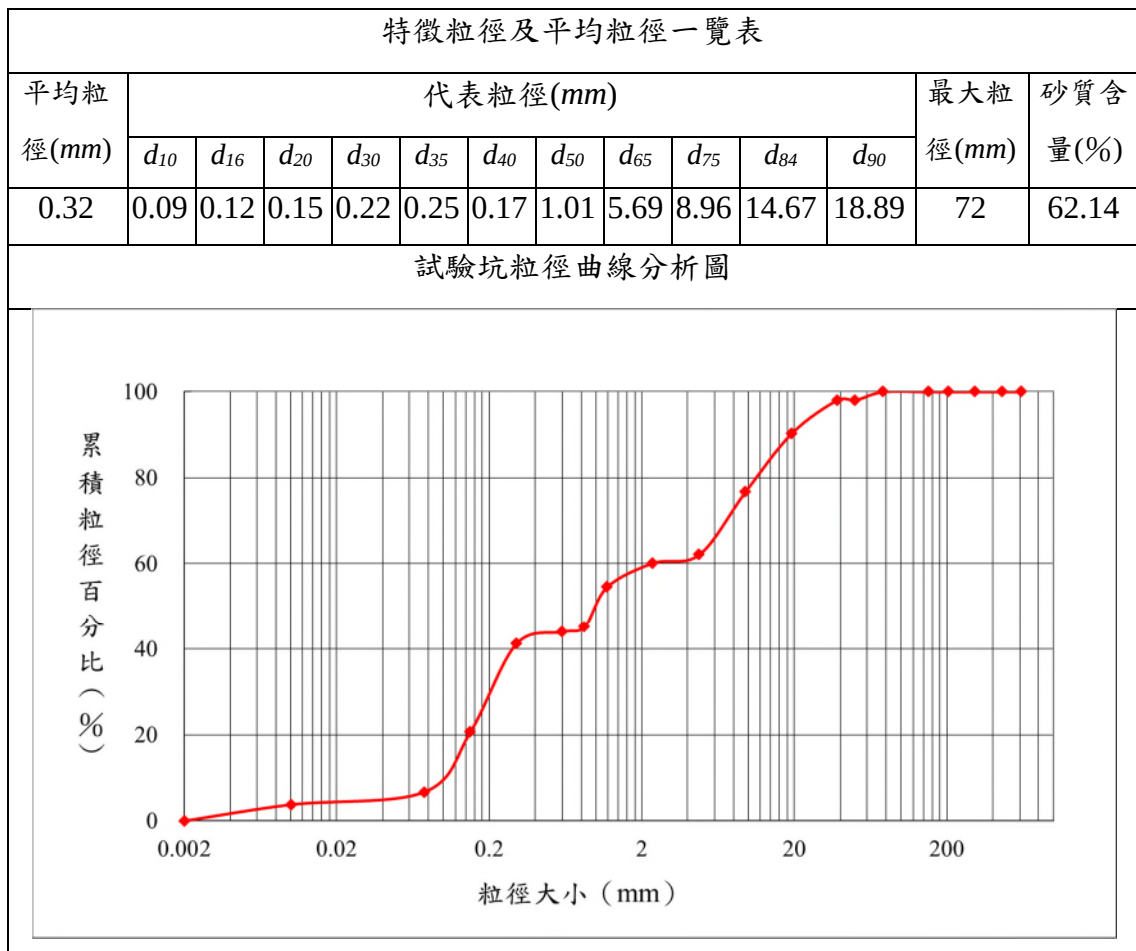


圖三 粒徑現地室內篩工作狀況

(三)粒徑分析

以顆粒分析結果之粒徑別百分率，繪出各採樣孔之顆粒分佈累積曲線，各試驗坑粒徑分析結果如表一所示。

表一、大坪野析試驗坑粒徑分析結果



註：砂質含量(%)：以 USCS (統一土壤分類法) 4 號篩至 200 號篩為砂土。

大坪野溪 河床質調查記錄表

施作位置	大坪野溪	編號	-	日期	2020/06/04		天氣	晴
調查單位	逢甲大學	調查人員	曾○潔、鍾○育、唐○倫	坐標 (TM2-97)	X	242546		
					Y	2724290		
採樣孔粒徑調查記錄表								
篩號	粒徑 (mm)	淨重(kg)			試坑體積(m³)			
24"	610	0.00			0.6			
18"	457	0.00			樣品總重量(kg)			
12"	305	0.00			1081.5			
8"	203	0.00			最大粒徑(a×b×c)			
6"	152	0.00			343 立方公分			
3"	76.2	21.00			帶回重量(KG)			
1"	25.4	0.00			8			
¾"	19.1	84.00			斷面描述			
1/2"	12.7	147.00						
⅜"	9.52	157.50						
底盤	<9.52	0.00						
合計		1081.5						
採樣孔粒徑調查一覽表								
篩號	粒徑別 (mm)	各別停留 重量(g)	累計重量 (g)	各別停留 百分率(%)	累計停留百分率 (%)	通過百分率 (%)		
24"	610	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
18"	457	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
12"	305	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
8"	203	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
6"	152	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3"	76.2	21.00	21.00	1.94	1.94	98.06		
1	50	0.00	21.00	0.00	1.94	98.06		
1½"	38.1	84.00	105.00	7.77	9.71	90.29		
¾"	19.1	147.00	252.00	13.59	23.30	76.70		
⅜"	9.52	157.50	409.50	14.56	37.86	62.14		
4	4.75	21.31	430.81	1.97	39.83	60.17		
8	2.36	60.36	491.17	5.58	45.42	54.58		
16	1.18	101.20	592.37	9.36	54.77	45.23		
20	0.84	13.32	605.68	1.23	56.00	44.00		
30	0.6	30.18	635.87	2.79	58.79	41.21		
50	0.3	221.93	857.80	20.52	79.32	20.68		
100	0.15	150.91	1008.71	13.95	93.27	6.73		
200	0.075	31.96	1040.67	2.95	96.22	3.78		
底盤	0.037	40.83	1081.50	3.78	100.00	0.00		
合計		1081.5						

附錄六、北溝溪粒徑調查報告

一、調查範圍

為瞭解本計畫區埋設沖刷樁位置之粒徑分布情形以及各研究區域粒徑之差異，故本次進行河床質粒徑調查，亦供後續追蹤、研究使用，粒徑調查位置如圖一所示。



資料來源：本計畫製作

圖一 調查點位

二、調查與分析方法

本次調查係依水土保持技術規範第三十七條，取一平方公尺，深度六十公分之採樣坑，並同時進行野外粗顆粒篩分析，並記錄採樣孔尺寸，推算採樣體積，紀錄最大石徑之尺寸。

(一)野外粗顆粒分析

凡大於標準篩 3/8 吋以上之礫石，分用 1 吋、1/2 吋、3/4 吋及 3/8 吋之方孔篩，於挖掘現場做篩分析，將各篩上停留之礫石分別秤重記錄，大於 3 吋以上之礫石，則直接

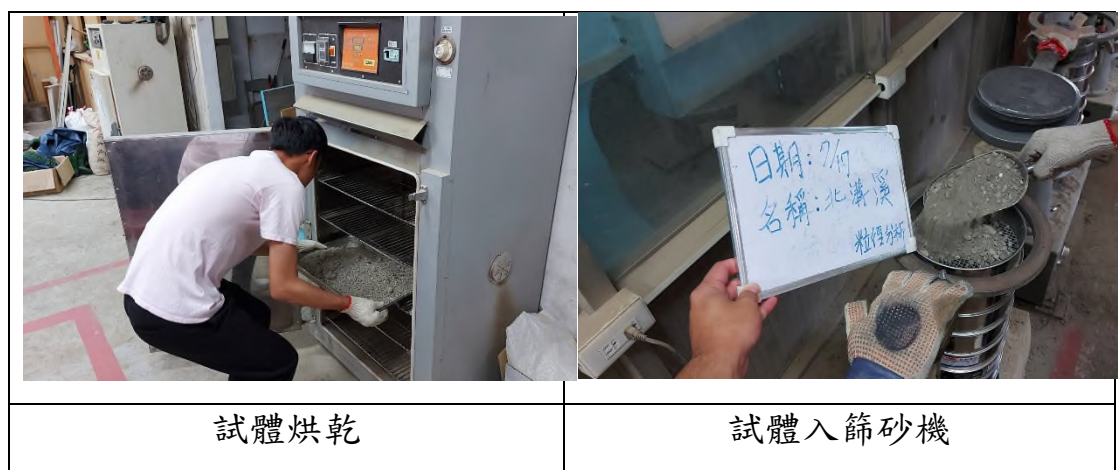
使用鋼卷尺量其粒徑並秤重，同時記錄各樣孔之最大石徑，工作狀況如圖二所示。



圖二 粒徑現地調查工作狀況

(二)室內篩分析

通過 3/8 吋之顆粒，秤總重以四分法檢取約二公斤重之樣品，烘乾秤重，再於室內以標準篩#4、#8、#16、#30、#50、#100、#200 號分別做篩分析，將各篩上停留之砂秤重記量，依樣品重與採樣總重之比例，換算各粒徑別之停留重量，再與野外粗顆粒分析結果合併，依各粒徑分別算出其停留百分率及通過百分率，室內篩工作狀況如圖三所示。

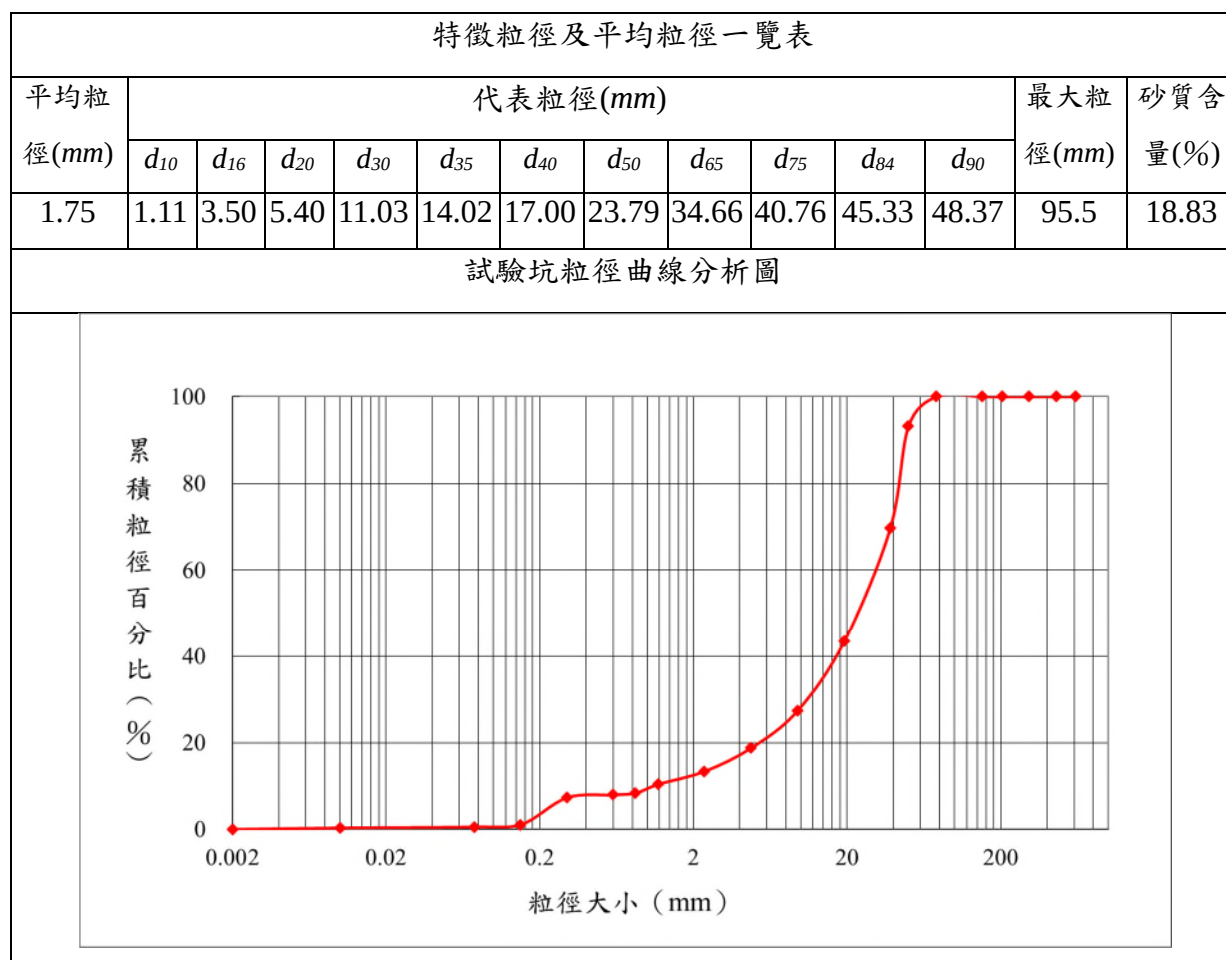


圖三 粒徑現地室內篩工作狀況

(三)粒徑分析

以顆粒分析結果之粒徑別百分率，繪出各採樣孔之顆粒分佈累積曲線，各試驗坑粒徑分析結果如表一所示。

表一、北坑溪試驗坑粒徑分析結果



註：砂質含量(%)：以 USCS (統一土壤分類法) 4 號篩至 200 號篩為砂土。

北坑溪 河床質調查記錄表

施作位置	北坑溪	編號	-	日期	2020/07/17		天氣	晴
調查單位	逢甲大學	調查人員	曾○潔、鍾○育、唐○倫	坐標 (TM2-97)	X	222823		
					Y	2662723		
採樣孔粒徑調查記錄表								
篩號	粒徑 (mm)	淨重(kg)			試坑體積(m³)			
24"	610	0.00			0.6			
18"	457	0.00			樣品總重量(kg)			
12"	305	0.00			1069			
8"	203	0.00			最大粒徑(a×b×c)			
6"	152	0.00			367 立方公分			
3"	76.2	72.60			帶回重量(KG)			
1"	25.4	250.80			15			
¾"	19.1	280.50			斷面描述			
1/2"	12.7	171.60						
⅜"	9.52	92.40						
底盤	<9.52	58.00						
合計		1081.5						
採樣孔粒徑調查一覽表								
篩號	粒徑別 (mm)	各別停留 重量(g)	累計重量 (g)	各別停留 百分率(%)	累計停留百分率 (%)	通過百 分率 (%)		
24"	610	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
18"	457	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
12"	305	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
8"	203	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
6"	152	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3"	76.2	72.60	72.60	6.79	6.79	93.21		
1	50	250.80	323.40	23.46	30.25	69.75		
1½"	38.1	280.50	603.90	26.23	56.48	43.52		
¾"	19.1	171.60	775.50	16.05	72.53	27.47		
⅜"	9.52	92.40	867.90	8.64	81.17	18.83		
4	4.75	58.00	925.90	5.42	86.60	13.40		
8	2.36	31.86	957.76	2.98	89.58	10.42		
16	1.18	21.70	979.46	2.03	91.61	8.39		
20	0.84	4.68	984.14	0.44	92.04	7.96		
30	0.6	6.68	990.81	0.62	92.67	7.33		
50	0.3	66.97	1057.78	6.26	98.93	1.07		
100	0.15	5.45	1063.24	0.51	99.44	0.56		
200	0.075	2.44	1065.68	0.23	99.67	0.33		
底盤	0.037	3.52	1069.20	0.33	100.00	0.00		
合計		1069.20						