計畫編號：SWCB-111-021

溪流生態友善與蜿蜒營造之創新工法研究 (II)

Innovative methods for eco-friendly stream and meandering restoration (II)

成果報告書

執 行 單 位：國立屏東科技大學

執 行 期 間：111 年 01 月 18 日至 111 年 12 月 31 日

計畫主持人 ：吳嘉俊 教授

研究人員 ：畢媛、張朝瑋、卓研安、陳宥達、吳振遠、陳秋翰

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 111 年 12 月

目次

目次.....I

表次.....II

圖次.....III

摘要.....1

ABSTRACT.....3

第一章　緒論.....1-1

第二章　挑流工之研發與成果.....2-1

第三章　隱入式固床工之研發與成果.....3-1

第四章　挑流工群及隱入式固床工之生態友善評估.....4-1

第五章　結論與建議.....5-1

參考文獻.....參-1

附錄.....附錄-1

附錄一、期初審查意見回覆辦理情形.....附錄-1

附錄二、期中審查意見回覆辦理情形.....附錄-4

附錄三、期中審查意見回覆辦理情形.....附錄-6

附錄四、現場調查記錄.....附錄-7

表次

表 2 - 1. 挑流工動床試驗的試驗控制參數 2-36

表 2 - 2. 挑流工試驗營造溪流蜿蜒之彎曲指數 (SI) 成果.....2-39

表 3 - 1. 挑流工動床試驗的試驗控制參數 3-17

表 3 - 2. 隱入式 E 型固床工所營造溪流蜿蜒的彎曲度指數 3-26

圖次

圖 2 - 1. SCHUMM (1977) 溪流泥沙運移機制分類.....2-3
圖 2 - 2. SCHUMM (1981) 溪流型態分類.....2-4
圖 2 - 3. ROSGEN (1994) 溪流型態分類.....2-5
圖 2 - 4. 彎曲度 (SINUOSITY) 示意圖.....2-6
圖 2 - 5. 侷限蜿蜒 (CONFINED MEANDER).....2-7
圖 2 - 6. 階段-深潭與深潭-湍瀨結構.....2-8
圖 2 - 7. 深潭-溜-湍瀨分布示意圖.....2-9
圖 2 - 8. 影響階段-深潭型態的因子 (OKAZAKI ET AL., 2006).....2-10
圖 2 - 9. 臺東羊橋溪之格柵透水式固床工.....2-14
圖 2 - 10. 野溪治理工程調查點位分布圖.....2-17
圖 2 - 11. 調查樣點之整治段溪床平均坡度及出現頻率.....2-19
圖 2 - 12. 調查樣點之整治段渠道寬度及出現頻率.....2-19
圖 2 - 13. 應用於 RIVER SKERNE 的 A 型挑流工.....2-21
圖 2 - 14. 應用於 RIVER SKERNE 的 B 型挑流工.....2-21
圖 2 - 15. RIVER SKERNE 順直溪段蜿蜒營造之挑流工配置示意圖.....2-22
圖 2 - 16. 變更設計後應用於 RIVER SKERNE 的 A 型挑流工.....2-23
圖 2 - 17. 變更設計後應用於 RIVER SKERNE 的 B 型挑流工.....2-23
圖 2 - 18. A 型挑流工模型之三視圖.....2-24

圖 2 - 19. B 型挑流工模型之三視圖 2-25
圖 2 - 20. A 型與 B 型挑流工群對水流的影響
(45˚-D_I_2L-G_I_14) 2-28
圖 2 - 21. A 型與 B 型挑流工群對水流的影響
(90˚-D_I_2L-G_I_14) 2-29
圖 2 - 22. 動床試驗所採用之改良式 B 型挑流工 (下游).....2-31
圖 2 - 23. 動床試驗所採用之改良式 B 型挑流工 (中游).....2-31
圖 2 - 24. 動床試驗所採用之改良式 B 型挑流工 (上游).....2-32
圖 2 - 25. 改良式 B 型挑流工 3D 列印設計的樣貌 2-32
圖 2 - 26. SHIELDS DIAGRAM.....2-34
圖 2 - 27. 水工試驗渠槽設備 2-35
圖 2 - 28. 動床水工試驗之挑流工群配置示意圖 2-37
圖 2 - 29. 水工試驗相關量測設備 2-38
圖 2 - 30. 水工試驗流程圖 2-39
圖 2 - 31. 挑流工動床試驗成果(Q_{MIN}_GI=38CM_S=2%) 2-40
圖 2 - 32. 挑流工動床試驗成果(Q_{MID}_GI=38CM_S=2%) 2-40
圖 2 - 33. 挑流工動床試驗成果(Q_{MAX}_GI=38CM_S=2%).....2-41
圖 2 - 34. 挑流工動床試驗成果(Q_{MIN}_GI=26CM_S=2%) 2-41
圖 2 - 35. 挑流工動床試驗成果(Q_{MID}_GI=26CM_S=2%) 2-42
圖 2 - 36. 挑流工動床試驗成果(Q_{MAX}_GI=26CM_S=2%).....2-42
圖 2 - 37. 挑流工動床試驗成果(Q_{MID}_GI=32CM_S=2%) 2-43
圖 2 - 38. 挑流工動床試驗成果(Q_{MAX}_GI=32CM_S=2%).....2-43
圖 2 - 39. 挑流工動床試驗成果(Q_{MIN}_GI=32CM_S=2%) 2-44
圖 2 - 40. 挑流工動床試驗成果
(Q_{MIN}_GI=38CM_S=0.5%).....2-44

圖 2 - 41. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MAX}_GI=38CM_S=0.5%) 2-45
圖 2 - 42. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MIN}_GI=26CM_S=0.5%).....2-45
圖 2 - 43. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MAX}_GI=26CM_S=0.5%) 2-46
圖 2 - 44. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MID}_GI=26CM_S=0.5%).....2-46
圖 2 - 45. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MIN}_GI=26CM_S=1.3%).....2-47
圖 2 - 46. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MAX}_GI=26CM_S=1.3%) 2-47
圖 2 - 47. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MID}_GI=26CM_S=1.3%).....2-48
圖 2 - 48. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MIN}_GI=32CM_S=1.3%).....2-48
圖 2 - 49. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MAX}_GI=32CM_S=1.3%) 2-49
圖 2 - 50. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MID}_GI=32CM_S=1.3%).....2-49
圖 2 - 51. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MIN}_GI=32CM_S=0.5%).....2-50
圖 2 - 52. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MAX}_GI=32CM_S=0.5%) 2-50
圖 2 - 53. 挑 流 工 動 床 試 驗 成 果
(Q_{MID}_GI=32CM_S=0.5%).....2-51

圖 2 - 54. 挑流工動床試驗成果 (Q_{MIN}_GI=38CM_S=1.3%).....2-51
圖 2 - 55. 挑流工動床試驗成果 (Q_{MAX}_GI=38CM_S=1.3%).....2-52
圖 2 - 56. 挑流工動床試驗成果 (Q_{MID}_GI=38CM_S=1.3%).....2-52
圖 2 - 57. 挑流工動床試驗成果 (Q_{MID}_GI=38CM_S=0.5%).....2-53
圖 2 - 58. 低流量下，渠床坡度與挑流工組距所營造蜿蜒之彎曲指數.....2-54
圖 2 - 59. 中流量下，渠床坡度與挑流工組距所營造蜿蜒之彎曲指數.....2-54
圖 2 - 60. 高流量下，渠床坡度與挑流工組距所營造蜿蜒之彎曲指數.....2-55
圖 2 - 61. 短組距下挑流工群營造溪流蜿蜒之彎曲指數.....2-59
圖 2 - 62. 中組距下挑流工群營造溪流蜿蜒之彎曲指數.....2-60
圖 2 - 63. 長組距下挑流工群營造溪流蜿蜒之彎曲指數.....2-60

圖 3 - 1. 帶工間溪床淘刷之水力特性.....3-3
圖 3 - 2. 溪流型態 (MONTGOMERY AND BUFFINGTON, 1997).....3-4
圖 3 - 3. 隱入式 A 型固床工設計圖.....3-6
圖 3 - 4. 隱入 B 型固床工設計圖.....3-7
圖 3 - 5. 隱入式 C 型固床工設計圖.....3-8
圖 3 - 6. 隱入式 D 型固床工設計圖.....3-8

圖 3 - 7. 隱入式 D 型固床以縮時所拍的水流狀況及渠床形態 3-12
圖 3 - 8. 羊橋溪整治工程透水式固床工現場 (林志賢秘書 提供).....3-13
圖 3 - 9. 羊橋溪整治工程透水式固床工近照 (林志賢秘書 提供).....3-13
圖 3 - 10. 隱入式固床工的軸向設計改良理念 3-15
圖 3 - 11. 隱入式 E 型固床工配置概念.....3-16
圖 3 - 12. 隱入式 E 型固床工橫斷面設計概念 3-16
圖 3 - 13. 深潭-湍瀨溪床結構與剖面 3-17
圖 3 - 14. 隱入式 E 型固床工模型.....3-18
圖 3 - 15. 隱入式 E 型固床工安裝後渠床床砂回填 3-19
圖 3 - 16. 隱入式 E 型固床工搭配三角錐挑流構造之俯視.....3-20
圖 3 - 17. 隱入式 E 型固床工完成床砂回填後之渠床樣貌.....3-21
圖 3 - 18. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{MIN}_S=0.5%).....3-22
圖 3 - 19. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{MIN}_S=1.3%).....3-22
圖 3 - 20. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{MIN}_S=2.0%).....3-23
圖 3 - 21. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{MID}_S=0.5%).....3-23
圖 3 - 22. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{MID}_S=1.3%).....3-24
圖 3 - 23. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{MID}_S=2.0%).....3-24
圖 3 - 24. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{MAX}_S=0.5%).....3-25
圖 3 - 25. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{MAX}_S=1.3%).....3-25
圖 3 - 26. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{MAX}_S=2.0%).....3-26

圖 3 - 27. 隱入式 E 型固床工所營造蜿蜒的彎曲度指數圖.....3-27
圖 3 - 28. 隱入式 E 型固床工於 49.5 小時 (原型時間) 後的渠床型態 3-29

圖 4 - 1. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MIN}_GI=38CM_S=2%).....4-4
圖 4 - 2. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MID}_GI=38CM_S=2%).....4-5
圖 4 - 3. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MAX}_GI=38CM_S=2%).....4-5
圖 4 - 4. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MIN}_GI=26CM_S=2%).....4-6
圖 4 - 5. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MID}_GI=26CM_S=2%).....4-6
圖 4 - 6. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MAX}_GI=26CM_S=2%).....4-7
圖 4 - 7. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MID}_GI=32CM_S=2%).....4-7
圖 4 - 8. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MAX}_GI=32CM_S=2%).....4-8
圖 4 - 9. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MIN}_GI=32CM_S=2%).....4-8
圖 4 - 10. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MIN}_GI=38CM_S=0.5%).....4-9
圖 4 - 11. 挑流工動床試驗水理分析成果 (Q_{MAX}_GI=38CM_S=0.5%).....4-9

圖 4 - 12. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MIN}_GI=26CM_S=0.5%).....4-10
圖 4 - 13. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MAX}_GI=26CM_S=0.5%).....4-10
圖 4 - 14. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MID}_GI=26CM_S=0.5%).....4-11
圖 4 - 15. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MIN}_GI=26CM_S=1.3%).....4-11
圖 4 - 16. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MAX}_GI=26CM_S=1.3%).....4-12
圖 4 - 17. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MID}_GI=26CM_S=1.3%).....4-12
圖 4 - 18. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MIN}_GI=32CM_S=1.3%).....4-13
圖 4 - 19. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MAX}_GI=32CM_S=1.3%).....4-13
圖 4 - 20. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MID}_GI=32CM_S=1.3%).....4-14
圖 4 - 21. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MIN}_GI=32CM_S=0.5%).....4-14
圖 4 - 22. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MAX}_GI=32CM_S=0.5%).....4-15
圖 4 - 23. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MID}_GI=32CM_S=0.5%).....4-15
圖 4 - 24. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MIN}_GI=38CM_S=1.3%).....4-16

圖 4 - 25. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MAX}_GI=38CM_S=1.3%).....4-16
圖 4 - 26. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MID}_GI=38CM_S=1.3%).....4-17
圖 4 - 27. 挑流工動床試驗水理分析成果
(Q_{MID}_GI=38CM_S=0.5%).....4-17
圖 4 - 28. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{MIN}_
S=0.5%).....4-18
圖 4 - 29. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{MIN}_
S=1.3%).....4-19
圖 4 - 30. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{MIN}_
S=2.0%).....4-19
圖 4 - 31. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{MID}_
S=0.5%).....4-20
圖 4 - 32. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{MID}_
S=1.3%).....4-20
圖 4 - 33. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{MID}_
S=2.0%).....4-21
圖 4 - 34. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{MAX}_
S=0.5%).....4-21
圖 4 - 35. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{MAX}_
S=1.3%).....4-22
圖 4 - 36. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{MAX}_
S=2.0%).....4-22

摘要

野溪治理為水土保持的重要工作項目之一，其目的除了保障周遭及下游保全對象的安全、免於遭受土砂及洪氾威脅，其中，護岸及固床工成為野溪治理的常用手段。現場調查資料中發現，高達 67.02 % 的治理後野溪幅寬小於 8.3 m、治理後溪床的平均坡度小於 2.5 % 者占近 55 %，使得整治後的野溪高度渠道化，倘若可以著手於窄河幅、緩坡降、傳統式固床工充斥於治理區段的野溪整治工法進行改良，應當有利於未來野溪治理朝向棲地友善的目標邁進。

本創新研究計畫為兩年期的應用研究計畫，計畫目的在於突破傳統治理工法對於溪床多樣性營造之困難，利用室內水工試驗瞭解創新工法營造溪流蜿蜒之可行性。除此之外，期望研發出隱入式固床工，創造深潭-淺灘的形態，增加水域的多樣性。

本計畫所設計的挑流工群及其配置可以改變整治後受兩護岸侷限的直線溪段溪床深槽與蜿蜒，蜿蜒之彎曲指數最高可達 1.073，屬於 Morisawa (1985) 溪流型態分類標準的彎曲河道型態營造出被動式蜿蜒 (passive meandering)。

本計畫水工動床試驗發現，單純利用隱入式固床工企圖營造溪流蜿蜒與深潭-湍瀨結構的作法不可行，必須要與本計畫所設計的三角錐挑流結構搭配，採交錯式配置。隱入式固床工與三角錐挑流結構的交錯配置不適用於溪床坡降緩於 1.3%的溪流。當溪床坡降為 1.3% 時，溪流蜿蜒現象開始發生。當溪床坡降為 2% 時，溪流與溪床蜿蜒變得非常明顯。

本計畫所研發的挑流工群及隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造的工法，經室內水工縮尺模型試驗及水理分析結果，可以營造出溪

流蜿蜒及多變的水流境況；尤其是深潭-湍瀨構造，水流福祿數(Froude Number) 亦趨於多變。

挑流工群對於溪流蜿蜒營造效果優於隱入式固床工，隱入式固床工對於溪流境況多變的營造則溪流境況則優於挑流工群。溪床坡度大於 2% 的溪流最好選擇隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造工法，但要留意固床工趾部的溪床局部淘刷；析床坡度小於 2% 溪流，則建議採用挑流工群工法。

關鍵字：挑流工、隱入式固床工、溪流蜿蜒、溪流棲地、深潭-湍瀨、彎曲指數、福祿數

ABSTRACT

Torrent control and management is one of the important tasks of soil and water conservation. Its objective is not only to ensure the safety of surrounding, but also to avoid the threat from sediment and flooding. Bank protections and groundsills have become common measures to achieve the objective. Field survey conducted by this research found that up to 67.02% of the stream breadth from survey sites were less than 8.3 m and the average slope of the treated channel was less than 2.5%, accounting for nearly 55%, which made the controlled torrents highly channelized. Restoring meandering in restrained narrow stream breadth and gentle slope straight channels becomes the objective of this research.

This innovative project is a two-year applied research project. The purpose of the project is to break through the difficulties of traditional management methods to create streambed diversity. This research was conducted in a hydraulic laboratory to test the feasibility of innovative construction methods for the creation of meandering streams. In addition, this research also developed and tested several submerged groundsill designs to restore pool-riffle structures in straight channel.

Results from hydraulic experiment show that the current deflectors can create thalweg and meandering morphology in straight channels provided that current deflectors were set at the proper intervals. The maximum sinuosity index reaches 1.073, which makes a straight channel treated by current deflectors designed by this project into “passive meandering” and the resultant channel falls into meandering category in

Morisawa (1985) stream morphology classification.

Hydraulic experiments found that it is unfeasible to simply use submerged groundsill to create meandering stream and pool-riffle structures. It must be matched with the triangular cone current deflector designed by this project. Nevertheless the combination of submerged groundsill and triangular cone current deflector is not recommended for channels with slope less than 1.3%. Meandering begins to occur when channel slopes reach to 1.3%. Meandering of the stream and the chanel bed becomes noticeable when the bed slope reaches to 2%.

Both current deflectors and submerged groundsill developed in this research can create meandering and alter stream flow regimes; especially creating pool-ruffle structures. Froude Number also becomes diverse.

The effect of current deflectors on the creation of stream meandering is better than that from submerged groundsills; whereas, submerged groundsill create diverse flow regimes better than current deflectors. For streams slope greater than 2%, it is best to choose the submerged groundsill and triangular cone deflector method, but pay attention to the local scour at the toe of groundsill. For streams with slope less than 2%, current deflectors developed in this project is recommended.

Keywords: Current deflector, Submerged groundsill, Stream meandering, Stream habitat, Pool-riffle, Sinuosity Index, Froude Number

第一章　緒論

一、計畫緣起

野溪治理為水土保持的重要工作項目之一，其目的除了保障周遭及下游保全對象的安全、免於遭受土砂及洪氾威脅外，對於坡地水土資源保育一直以來都扮演著重要的角色。

由於臺灣山區溪流坡陡流急、洪枯水位差異懸殊，溪床及源自於上游集水區的土砂被溪水挾帶而下移，除了容易造成土砂災害外，溢淹及溪床縱向淘刷亦威脅濱溪環境、保全對象及溪流本身的安全。為了克服上揭的挑戰，護岸及固床工成為野溪治理的常用手段。

護岸在於防洪流溢淹於未然、保護溪岸不受溪水攻擊而坍陷，亦扮演引導水流的功能。至於固床工，則用於調整溪流的縱向坡降、防止溪床遭受縱向淘刷、引導水流流向，同時可藉由固床工頂緣開口的設置，或是改變固床工頂緣的弧線 (例如：淺碟式固床工)，以達到束縮水流，及延續低流量期間水流流路的連通。

行政院農業委員會水土保持局於 2003 年大力配合政府政策，推動生態工法於坡地保育治理業務、2006 年研發生態檢核機制、2016 年因「水土保持導入生態保育計畫」榮獲國家永續發展獎、2018 年介接國內各生態資料庫，發展「集水區友善生態環境資料庫」、2021 年發布「生態檢核標準作業書」最新修訂版，更於今 (2022) 年 3 月出版的「保育治理工程生態友善措施案例彙編」中明訂工程生態友善設計注意事項、強調溪流棲地特性的維持必要；其中包含的水域棲地品質的要素有溪床底質、流速與水深組合、湍瀨頻率、水流狀態、水

質，以及保留上下游水域縱向廊道通透性朝通透壩或降低與河床面落差規劃等，在溪流整治的規劃上宜順應當地河相特性，以支撐健全的溪流生態系，上述的具體作為與願景，再再凸顯出水土保持局對於溪流生態友善維護的企圖心與強烈責任感。

由於國內生態保育意識的高漲、公民團體的持續監督，使得傳統野溪治理工法備受挑戰，即便採用「以生態為基礎，安全為導向」之生態治理工法，雖能改善工程構造物與生態環境之間的配適性，卻使整治過後的溪流樣貌距離保有原始多變自然溪流形態的目標仍出現落差。

因此，本創新研究計畫之目的在於突破野溪治理所採用的傳統或生態工法對於溪流多樣性營造之困難，以營造野溪河相蜿蜒形態為目標，利用室內水工試驗、工法的創新嘗試，企圖了解創新工法營造溪流蜿蜒之可行性。除此之外，期望研發與測試隱入式固床工，以突破固床工趾部之局部淘刷與水流流路區間化的問題，更期望藉由隱入式固床工的研發，創造深潭-淺灘的溪流形態，增加水域的多樣性。

本計畫為兩年期創新研究計畫，去 (110) 年度執行挑流工 (current deflector) 的研發與溪流蜿蜒可行性的研究，並達到預期目標，今 (111) 年度以研發隱入式固床工為主要的研究項目，並整合兩年的研究成果，提出具體的實務應用建議。

第一年 (110) 之計畫目標如下：

(1) 隱入式固床工設計、測試、設計調整

(2) 隱入式固床工水工試驗

(3) 挑流工及隱入式固床工水理特性改變細部分析

(4) 挑流工及隱入式固床工之蜿蜒營造與生態友善整體評估

第二年 (111) 之計畫目標如下：

(1) 隱入式固床工設計、測試、設計調整

(2) 隱入式固床工水工試驗

(3) 挑流工及隱入式固床工水理特性改變細部分析

(4) 挑流工及隱入式固床工之蜿蜒營造與生態友善整體評估

第二章　挑流工之研發與成果

一、挑流工的設計發想

野溪治理最常使用的挑流結構物當屬丁壩 (spur dike)，其主要功能在於改變水流方向、降低近岸水流流速、促進泥砂的掛淤及造灘、保護溪岸和溪床免受冲刷，。丁壩經常設置於受溪流流路攻擊的溪岸段，但是由於野溪溪幅狹窄，不利於丁壩的設置，因此，「水土保持手冊」不建議於溪幅寬度小於 30 m 使用丁壩。(水土保持手冊，2017)。

丁壩結構可分為透水 (permeable) 及不透水 (impermeable) 兩種，倘若丁壩的設計是要讓水流越過壩頂，則該類型的丁壩稱為浸沒式 (submerged) 丁壩，否則稱為非浸沒式 (non-submerged) 丁壩。

透水丁壩主要用於細砂或粉細砂之溪床床質的沖積平原河道上，與傳統不透水丁壩相比具有一定的透水率，對水流具有導透功能，除了挑流控導的作用外，還可以減緩過壩水流的流速，使泥砂在壩後沉積。同時，壩頭所在位置的溪床局部淘刷深度小於不透水丁壩。

不透水丁壩主要功能在於挑離水流，並於壩間促成淤積。越流式的不透水丁壩，容易於其下游側及壩頭 (丁壩結構物伸向溪流中心的部分稱之) 產生溪床局部淘刷 (local scour)。當溪水流經不越流式之不透水丁壩時，水流大多沿壩身朝向溪流中心集中，致使壩頭處的溪床容易產生激烈沖刷。因此，不透水丁壩一般均採越流式低壩身的方式設計 (水土保持手冊，2017)。

丁壩的效果決定於以下五項因子： (1) 壩身長度、(2) 壩軸方向、(3) 壩頂寬度、(4) 壩頭高度、(5) 壩根向溪流中心之縱坡；其中，壩根係指丁壩壩身與溪岸或護岸相接的部分。各個關鍵因子之間對於

丁壩的設計目標而言，並非完全獨立，事實上，各個決定因子又與溪流的溪幅、溪流的流量、整治段的水力坡降，以及溪床的床質粒徑息息相關。

挑流工的功能性與丁壩相同，雖然國外對於兩者的定義並沒有特別區分，但是產生了兩個不一樣的名詞，丁壩為 spur dike、挑流工為 current deflector。就挑流工的英文名詞而言，較容易觀詞思義，詞義上是將水流「反彈」。本計畫採用「挑流工」的名詞，其目的是希望與慣稱的「丁壩」有所區隔，同時希望避免國人對於「丁壩僅適用於河幅超過 30 m 的河川」的既定印象。

過去對於丁壩或挑流工的研究大多發現 (1).挑流構造物的型式、(2).結構物伸入溪流中的長度、(3).結構物軸向與溪岸或護岸的夾角決定了挑流的成效。然而，如前所述，溪流幅寬、溪流流量、整治段的水力坡降亦影響挑流的成效。

橫向構造物 (transverse structures) 的下游經常會產生淘刷坑(scour hole)，淘刷坑的產生源自於橫向構造物與河床之間高程落差所產生的投潭水流 (plunge flow)，這種型態的淘刷雖然於橫向構造物的趾部形成深潭，有助於溪床型態的多樣、應造水棲生物躲避、繁衍及覓食的空間，但也容易因為淘刷坑深度過深而影響橫向構造物的穩定，連續性的橫向構造物設置亦常將水域生態廊道區隔化，再加上顧及濱溪區域保全對象與溪岸的安全，大多採用護岸的設置，但卻因此改變了溪流原有的溪流型態(stream morphology、fluvial morphology)。

溪流型態是溪水與溪岸、溪床、床質泥沙互動下的產物，過去曾有研究學者與實務工作者企圖量化溪流型態並予以分類；其中最早進行溪流型態分類的當屬 William M. Davis。Davis (1899) 依據 (1).溪流

發展的階段、(2).受溪水侵蝕的程度，將溪流分成年輕、壯年、老年期；然而流量大小及流場特徵對於溪流型態的發育亦存在不可忽視的影響 (Harvey 1969; Stevens et al. 1975)。Beckinsale (1969) 依據溪流的水流境況 (flow regime) 對溪流型態進行分類，但結果發現並無法成功描述溪流型態。

Schumm (1977)自溪流源頭起至出口止，依據泥沙的生產、輸送以及產出，將溪流區分為沖蝕段 (zone of erosion)、輸送段 (zone of transport)、沉積段 (zone of deposition)，如圖 2-1 所示。

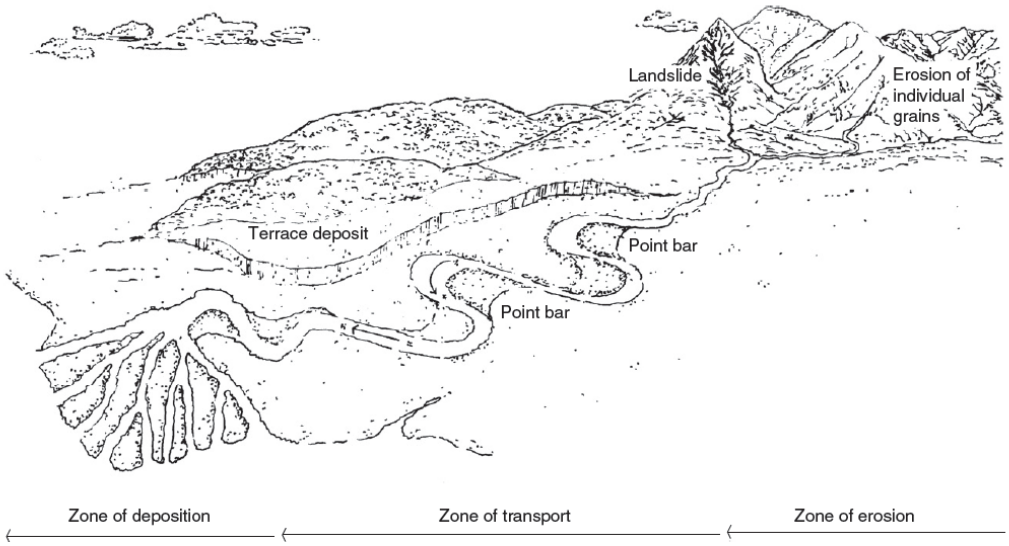


圖 2 - 1. Schumm (1977) 溪流泥沙運移機制分類

Schumm (1981) 以(1).床載 (bedload) 與總泥沙載 (total load) 的比例、(2).泥沙粒徑大小、(3).泥沙量的多寡、(4).流速與河川功率 (stream power) 的高低、(5).溪流的寬深比 (width-depth ratio)，以及(6).溪床坡降的緩急等參數，提出了溪流型態的分類，如圖 2-2 所示。

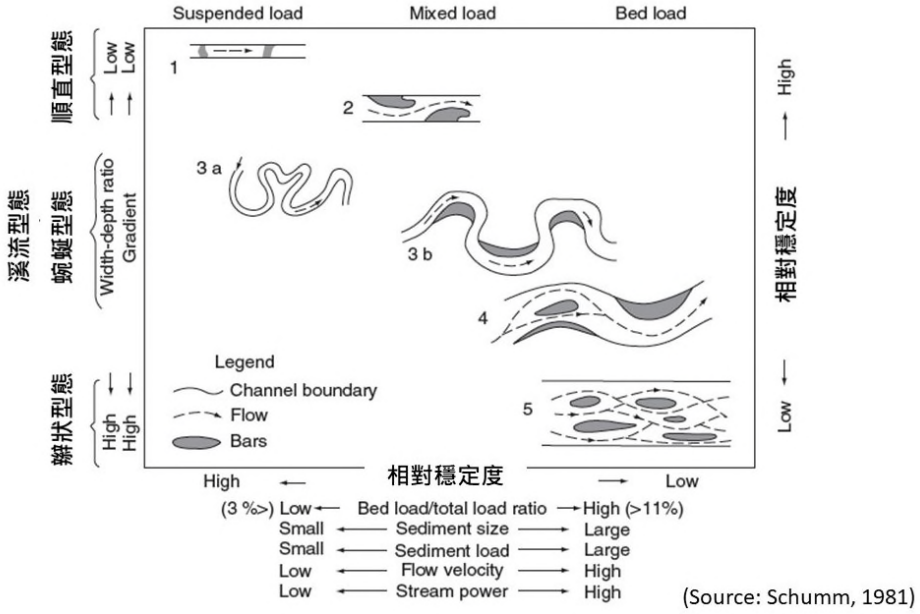


圖 2 - 2. Schumm (1981) 溪流型態分類

Morisawa (1985) 依據溪流的彎曲度 (sinuosity) 將溪流型態分為(1).順直河道 (straight channel)、(2).彎曲河道 (sinuous channel)、(3).蜿蜒河道 (meandering channel)、(4).辮狀河道 (braided channel) 及(5).網狀河道 (anastomosed channel)。順直河道的彎曲度指數 (sinuosity index; SI) 小於 1.05；彎曲河道的彎曲度指數大於 1.05；蜿蜒河道的彎曲度指數大於 1.5；辮狀河道的彎曲度指數大於 1.3；網狀河道的彎曲度指數大於 2.0。

Church (1992) 依據(1).溪流流量、(2).溪流水深與造床粒徑之相對尺度、(3).溪流坡降等參數，將溪流分為小、中、大三類，但成果並不理想。因此，開始有學者嘗試從實務的角度出發，考量溪岸與溪床構成材料，將材料分為黏滯 (cohesive) 與非黏滯 (non-cohesive) 兩類；畢竟組成溪岸與溪床材料的性質影響了後續泥沙的輸送、影響了邊界對水流侵蝕的阻抗能力，以及影響了未來溪流型態的發展，David

L. Rosgen 即為以溪岸與溪床構成材料出發進行溪流型態分類最受矚目的研究學者。

Rosgen (1994) 依據其長年進行溪流調查所收集的資料，將溪流型態分為 41 種類型 (圖 2-3)。分類過程中，除了考量溪岸與溪床構成材料之外，並納入捲揚率 (entrenchment ratio)、彎曲度、溪流的寬深比。捲揚率用於描述溪流的側向侷限 (lateral confinement)，定義為洪氾幅寬 (flood-prone width) 與滿槽幅寬 (bankfull width) 的比值；彎曲度用於量化溪流蜿蜒的程度，定義為溪流深槽長度 (thalweg length; arc length) 與溪流直線長度 (straight length; wavelength) 的比值 (圖 2-4)；寬深比則是反映溪流的斷面形狀與溪流坡降關係。

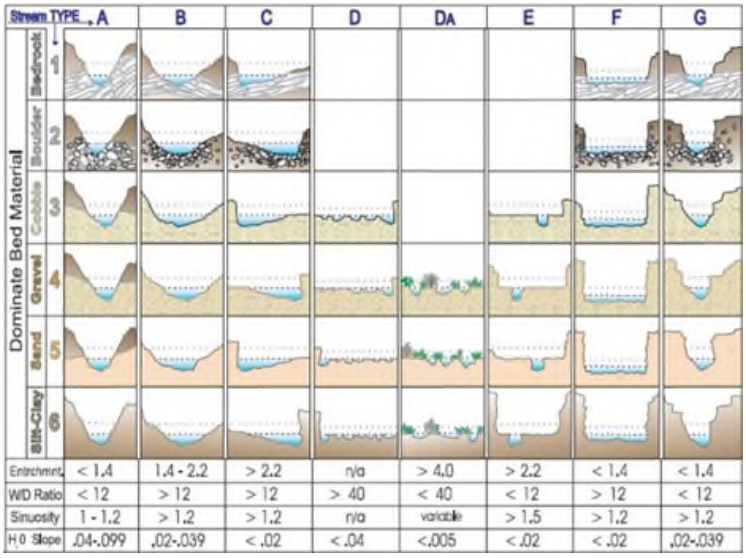


圖 2 - 3. Rosgen (1994) 溪流型態分類

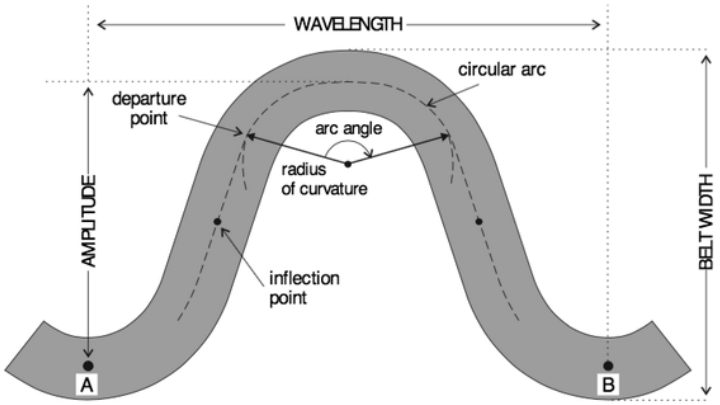


圖 2 - 4. 彎曲度 (sinuosity) 示意圖

Leopold (1994) 發現，過去所調查的大多數溪流型態多落於順直河道 (Rosgen 溪流型態分類中的 Type A)、低彎曲度河道 (low-sinuosity channel；Rosgen 溪流型態分類中的 Type B)、蜿蜒河道 (Rosgen 溪流型態分類中的 Type C)，以及多變河道(multiple channel；Rosgen 溪流型態分類中的 Type D) 之間，而多變河道又包含辮狀河道及網狀河道。

當溪流兩岸因為溪岸地質、地形條件，甚至因為治理的需求，使得溪流無法依其自然趨勢發展時，就形成所謂的侷限蜿蜒 (confined meander)，如圖 2-5 中的赭紅色粗框線所示。侷限溪流的側向發展，讓溪流必須遊走於左右兩岸或是兩護岸之間，過於順直的渠道讓溪水的河川功率 (stream power) 無法消耗，只能於流經之流路中以消耗於溪床的方式發洩，其結果往往造成溪床的縱向淘刷。

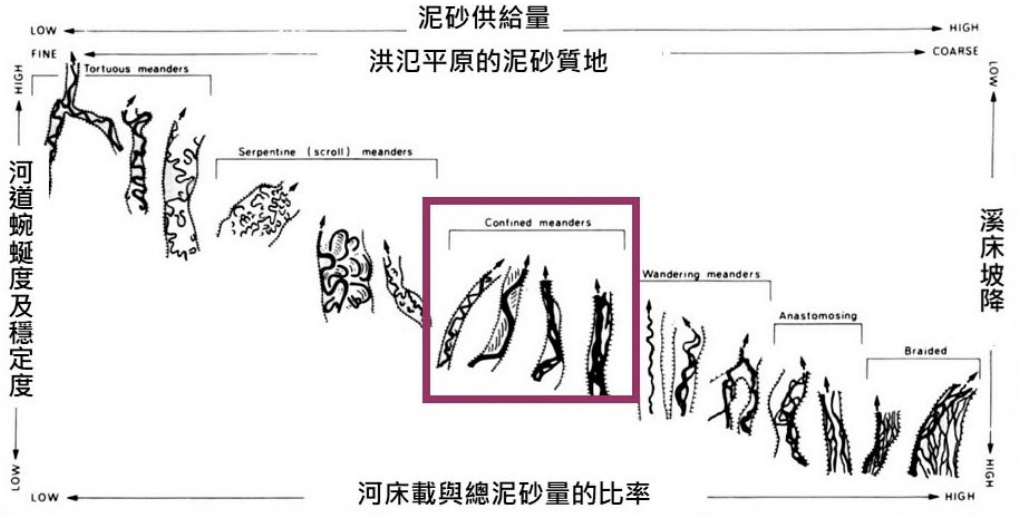
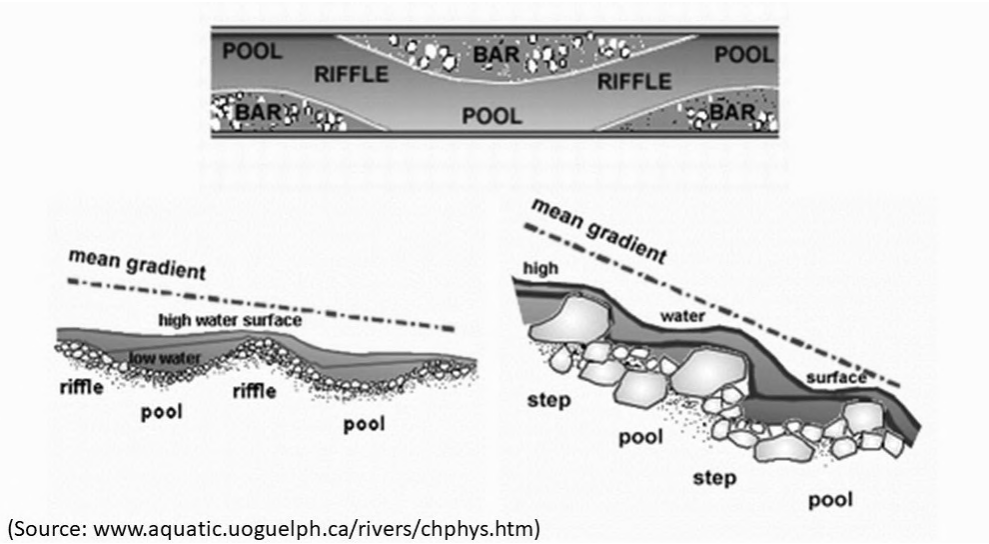


圖 2 - 5. 侷限蜿蜒 (confined meander)

階段-深潭 (step-pool)、深潭-湍瀨 (pool-riffle) 結構，在山區溪流系統中扮演著重要的角色，它們的存在改變了溪水所受到的阻力、分散了溪流的能量、影響了溪流輸送土砂的能力。中、低流量時，溪水攜帶容易啟動的細粒土砂運移，部分啟動的床砂隨著溪水流至下游，部分則有機會在深潭中暫存，等待下一次再啟動。因此，一般而言，階段-深潭、深潭-湍瀨結構降低了山區溪流的不穩定性、減少土砂的運移，同時也為濱溪與水生生態提供健康的棲息環境，有助於水生與濱溪生物的覓食與繁衍。

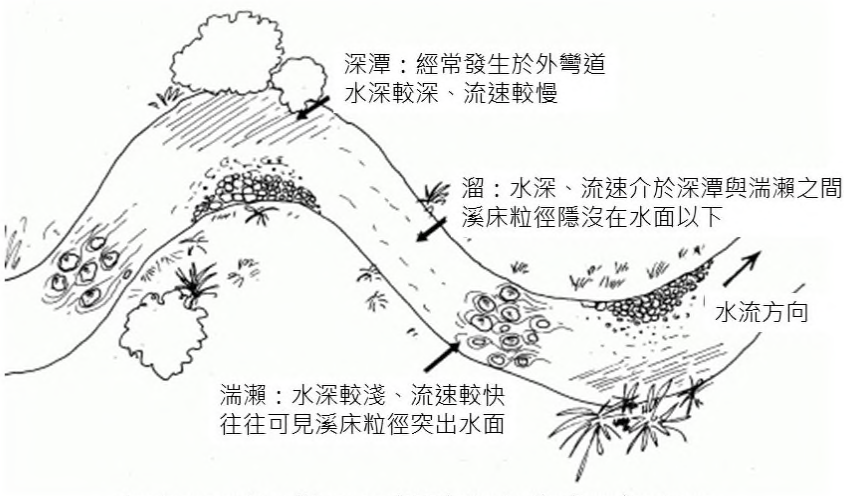
當溪床坡度較陡時，較容易見到階段-深潭的形成；當溪床坡度較緩時，則類似的自然結構通常以深潭-湍瀨的形式存在，如圖 2-6 所示。由於階段-深潭結構增加了其對於水流的阻力、消耗了水流的部分能量，因此被認為具備保護溪床免於淘刷的功能 (Whittaker and Jaeggi 1982; Abrahams et al. 1995)。故由消能的角度觀之，營造階段-深潭結構可以達到降低水流能量之目的。



(Source: www.aquatic.uoguelph.ca/rivers/chphys.htm)

圖 2 - 6. 階段-深潭與深潭-湍瀨結構

就深潭-湍瀨而言，兩者之間的差異在於水深與流速。深潭的水深較深，由於漩渦在其中發生，流場極為紊亂，因此平均流速較慢。反觀湍瀨，通常水深較淺，流速較快，而且往往因為形成湍瀨的溪床床質粒徑較粗的緣故，使得構成湍瀨的溪床床質有機會突出水面，改變了水流的連續性。連接深潭與湍瀨的區間稱為「溜 (run)」，水深及流速介於深潭與湍瀨之間，水流境況相對較湍瀨為平靜，但又比深潭的水流來得紊亂，若無法在深潭中獲得棲地的魚類一般多以溜為棲地。深潭-溜-湍瀨分布示意圖，如圖 2-7 所示。



Drawing source: https://dep.wv.gov/WWE/getinvolved/sos/Pages/Reach.aspx

圖 2 - 7. 深潭-溜-湍瀨分布示意圖

Grant and Mizuyama (1991) 利用動床 (mobile bed) 水工試驗測試清水流情況下階段-深潭的形成與流量及坡度之間的關係，以企圖找出營造階段-深潭的條件。試驗渠槽長度 11 m、寬度 0.5 m，試驗床砂回填深度 10 cm，回填床砂最大粒徑分別為 30 cm 及 64 cm。試驗期間利用測針量測水面與砂面高程，並利用微型流速計記錄沿程的平均流速。同時，以 1 分鐘為間隔，於試驗渠槽下游端承接每 30 秒所流出的土砂量。當試驗流量、上游供水量的清水實驗獲知階段-深潭形成的關係之後，再在試驗渠槽的上游端提供額外的土砂，以模擬上游高產砂條件下階段-深潭的變化。Grant and Mizuyama 研究結果認為，若要維持階段-深潭結構的存在，可以利用溪流幅寬的改變、或是於溪流中加入巨粒、或是營造高阻抗邊界 (high resistant boundary) 等方式，達到改變水流境況之目的。

Wohl and Thompson (2000) 量測具備階段-深潭結構的山區溪流流速剖面 (velocity profile) 發現，階段下游的流場充斥著尾跡紊流 (wake turbulence)，階段上游甚至階段階緣的流場則主要受階段結構

的形狀影響。階段之上、下游因為逆向壓力梯度 (adverse pressure gradient) 的存在，強化了紊流的產生，階段緣的壓力梯度反而抑止了紊流發展，而尾跡紊流則扮演著階段-深潭結構的消能角色。

Chin (2002) 曾在位於 Santa Monica Mountains 的兩處集水區內調查了共計 360 個階段-深潭樣本，經資料整理分析後發現，階段-深潭結構的重現長度；亦即，一組階段-深潭與下一組之間的長度；大約是溪幅寬度的 0.43 ~ 2.40 倍。就水流能量的削減效果而言，階段-深潭系統是一種自然形成的消能機構，但僅限於垂降方向水流的能量削減，無法處理側向水流的能量。

Okazaki et al. (2006) 藉由 35 處、8 個集水區現場山區溪流階段-深潭的調查，獲得影響階段-深潭型態的因子，如圖 2-8 所示。影響因子包含：(1).床質粒徑、(2).溪流坡降、(3).流量、(4).階段間的高差 (step-step drop)、(5).階段寬 (step width)、(6).階段間距 (step wavelength) 等。Okazaki et al. 經由資料整理得知，當山區溪流的坡降超過 0.02 時，溪流中產生階段-深潭結構的機會增加。

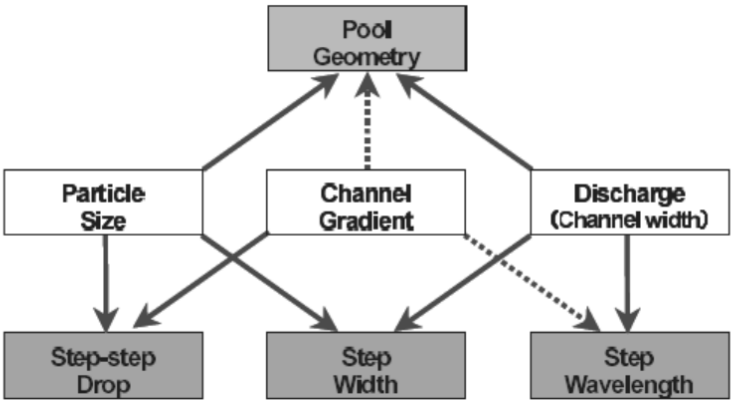


圖 2 - 8. 影響階段-深潭型態的因子 (Okazaki et al., 2006)

Okazaki et al. 認為，床質粒徑影響了階段的落高以及階段的寬度，同時，床質粒徑也控制了床質於水流中的啟動與運移，進而影響深潭的幾何形狀。流量則影響階段-深潭發生的間距，也影響階段的寬度。除此之外，流量的大小影響水流翻越階段時對趾部所產生的淘刷力道，最終影響深潭的幾何形狀。至於溪流坡降，資料分析結果顯示，僅與階段落高有關。

社會經濟發展、聚落的形成往往使得野溪的治理必須面對濱溪區域用地的取得或使用同意；尤其在高度城鄉發展的地區。野溪治理的主管機關於治理設計階段多希望能夠取得足夠的治理腹地，以提高治理區段的危險容忍度，但往往遇到用地取得不易的困難，使得護岸成為野溪治理的必要設施，導致溪流必須在侷限河道 (confined channel) 中發展。

為創造侷限河道內多樣的溪床床型 (bedform) 環境，林原巧 (2005) 透過室內水工模型試驗，探討於固床工頂緣開設不同數量開口後對直線段河道經整治後的溪床床型變化影響，並以 Shannon 歧異度指數 (Shannon Diversity Index, SDI) 量化溪床床型的高程變化，同時，利用達西阻力係數 (Darcy friction coefficient) 量化床型形狀糙度 (form roughness) 的變化。

林原巧 (2005) 研究結果指出，開口式固床工優於傳統固床工，能提供較多樣的溪床床型變化，使得由傳統式固床工的 0.261 溪床床型歧異度，最高可提升至單開口固床工的 2.093。除此之外，研究結果亦發現，開口式固床工之匯流聚能能力隨著固床工阻水比 (flow obstruction ratio) 的降低；亦即，開口數量的減少；而逐漸提昇。因此，單開口固床工趾部的渠床最大淘刷深度約為傳統式固床工的一

倍，對於固床工基礎具有潛在威脅。當渠床坡降較緩時，建議可減少開口數量，以增加水流束縮，提昇床型變化。當渠床坡降較陡時，應選擇高阻水比的多開口式固床工，以達到分散水流、抑制淘刷深度，並兼具維持生態廊道貫通與多樣床型變化之目的 (Wu and Lin, 2006)。

陳沛霖 (2006) 利用水工縮尺模型試驗，探討圓弧型開口式固床工應用於野溪整治的可行性。試驗分析項目包含：水流特性、水流流速、床型的沖淤變化、溪床床型歧異度、達西阻力係數等。研究的結果指出，當圓弧型固床工開口數量少時，其所產生的床型歧異度較開口數量多時為大，可營造多變的床型型態，但必須注意水流匯集所產生局部淘刷對結構物基礎的負面影響。流量增加時，則使投潭淘刷高阻力係數區域範圍增加，低阻力係數區域範圍減少；而圓弧型開口式固床工較直線型開口式固床工更能增加溪床床型歧異度，對水棲生態環境較有貢獻。

何國勇 (2007) 針對近直線之弧型開口式固床工的開口數量、水流流速、渠床床型沖淤變化、床型歧異度指標、達西阻力係數的影響進行探討。近直線弧形固床工的設計，乃介於林原巧 (2005) 的直線型傳統固床工 (構造物的軸向曲率半徑 = ∞) 與陳沛霖 (2006) 的圓弧型固床工 (構造物的軸向曲率半徑 = ½ 溪幅幅寬) 之間，近直線之弧型固床工構造物的軸向曲率半徑等於 0.6 倍的溪幅幅寬。

何國勇 (2007) 研究發現，近直線之弧型固床工開口數量的增加，可以分散水流對固床工趾部溪床的衝擊，使得淘刷坑的範圍縮小、深度變淺，但是當入流水自固床工頂緣溢流時，固床工開口數量的增加，對於固床工下游渠床的淘刷變化影響較不明顯。除此之外，

近直線之弧形開口式固床工所產生溪床床型歧異度普遍大於圓弧形開口式固床工、直線型開口式固床工，甚至大於傳統式固床工。

該研究建議，當溪流坡降大、屬於高變動溪床時，可以採用近直線弧形之開口式固床工，以降低水流對溪床的直接衝擊，並兼具多樣的床型變化與維持生態廊道的貫通。當溪流坡降緩、屬於低變動溪床時，可選擇開口數量較少的近直線弧形開口式固床工設計，以增加水流束縮、提升溪床床型變化及水流雕塑床型的能力；但是，開口少的固床工容易造成水流集中淘刷，應注意構造物基礎的安全。

陳宥達 (2017) 利用水工縮尺模型試驗，企圖改變傳統固床工的設計，採用透水結構取代，同時改變結構體設計，用於反映不同的透水率，並與傳統式固床工進行比較，以探討透水性固床工結構物的實務應用可行性；其中，A 型透過式固床工的水流透過率為 7 %、B 型透過式固床工的水流透過率為 68 %、傳統式固床工的水流透過率設定為 0 %。該研究的發想來自於行政院農業委員會水土保持局臺東分局於羊橋溪所設置的格柵透水式固床工，如圖 2-9 所示。



圖 2 - 9. 臺東羊橋溪之格柵透水式固床工

研究結果發現，透水式固床工改變了上游來水溢過固床工結構體的水流特性、固床工趾部的局部淘刷規模與型態，以及固床工後方的土砂淤積，讓上游的來砂得以選擇性通過透水式固床工，也藉由通透結構體內部的通透孔隙或通道，提供水棲或濱溪生物的縱向活動廊道。

A 型透過式固床工結構體內的礫石孔隙在遭受上游土砂阻塞下仍有機會藉由孔隙的存在改變水流的淘刷角度，達到縮減淘刷坑規模的功能，但水流淘刷溪床的特性、淘刷坑的型態均與傳統式固床工類似。B 型透過式固床工因為結構體的通過孔洞較大，具備粒徑篩選、加速細粒徑土砂輸送，以及於固床工下游產生辮狀河床型態的特性，與傳統式固床工的差異較大。

同時，陳宥達 (2017) 指出，透水式固床工不適合應用於野溪上游區段，應可應用於中下游區段或是設置於節制壩之間，做為生態友

善或是溪床坡降微調之輔助使用。透水式固床工之實務應用上可減少混凝土用量、提供更多的孔隙空間來孕育生態，甚至可以分散投潭水流，達到減緩淘刷規模的功用，因此，透水式固床工具備「表面粗糙化」與「材質自然化」的特質。至於透水式固床工對於洪枯水量落差極大的荒溪是否會增加上游來水的入滲伏流，進而影響水棲生物的生存空間，則有待進一步研究。

吳嘉俊在行政院農業委會水土保持局經費支助下，以三年的時間研發透水式固床工 (行政院農業委會水土保持局，2018)，透水式固床工的型式包含陳宥達 (2017) 的 A、B 兩型之外，並增加 C、D、E 三型；其中，C 型透水式固床工是將 A 型透水式固床工進行改良，將原本結構體內的填充塊石改以箱籠取代，以增加現場施工的便利型；D 型透水式固床工是結合 A、B 兩型透水式固床工的特色，取 B 型透水式固床工高透水的陣列方型箱籠優點，改以單排 5 孔管涵陣列，陣列間以塊石填充，以改變陣列管涵迎水面的整齊劃一，藉以降低固床工的水頭高度、減少溢流水的投潭力道；E 型透水式固床工則是改變水流通過結構體時的水深，於結構體內設置兩串市面上可取得的橢圓形貫穿式浮球，其中一串浮球架設於結構框架內的上層，另一串浮球則緊鄰結構體框架的下游面並位於框架的下層，藉由兩串浮球的設計，讓水流通過結構體時能產生水深的變化。

吳嘉俊三年透水式固床工的研發獲得以下建議，(1).透水式固床工結透體必須採用剛性材料，例如 H 型鋼，以抵擋挾沙水流的撞擊、(2).通透結構體內填充材料的水流通透率影響水流溢流後的投潭效應，若要減少填充材料間間隙的阻塞，則浮球串的設計可以達到土砂自動調節、施工便利、廢物回收再利用的三重功能、(3).若是採用陣

列式箱涵或管涵的設計做為透水式固床工，則宜考慮上、下雙排陣列的設計，各排箱涵或管涵各司其對水流流況的改變功能，並具備「以水制水」的效果。

二、挑流工的設計與測試

由於本創新計畫之全程目標在於野溪治理工法的創新研發，以期解決前述野溪溪床區段化的問題，並創造友善的濱溪生態環境。就目前國內野溪治理的工程案例而言，多可見固床工型式的改變，尚未見到針對溪流蜿蜒營造的案例。雖然如此，現場調查仍有助於對目前野溪治理工法的瞭解。

本計畫於去年 (2021) 透過工程管考系統搜尋近五年南部與東部地區野溪治理的工程案例，並依照工程項目內容、工程完工年份、調查區位之可調查性等因素，篩選出符合本計畫現地調查最大效益者，實施現場調查。現場調查之主要目的，在於歸納調查樣點的野溪整治樣態以及共通點，同時也為本計畫水工試驗的試驗渠道坡度參數提供選擇的參考。

資料庫的來源來自於工程管考系統 105 ~ 110 年度的工程紀錄，搜尋標的包含：(1).流域綜合治理計畫、(2).大規模崩塌計畫、(3).整體性治山防災計畫。資料庫資料撈選的結果，流域綜合治理計畫共計 325 件、大規模崩塌計畫共計 18 件、整體性治山防災計畫共計 668 件。調查的重點在於瞭解各野溪治理工程之 (1).治理溪幅寬度、(2).治理後的溪床平均坡降、(3).相鄰兩橫向構造物之間的間距、(4).相鄰兩橫向構造物之間的溪床沖淤現況、(5).橫向構造物趾部的溪床淘刷情形、(6).橫向構造物迎水面的土砂淤積及表面粒徑取樣、(7).整治段

的現況表徵等。

基於本計畫之目的並非進行構造物體檢與調查，又因為經費限制，故必須針對上述的 1011 件工程進行篩選。篩選的原則，僅保留野溪治理工程案例，且案例中須明確記載曾於整治溪段施作固床工者，對於整治段溪流之幅寬則無設限。篩選階段，首先避免工程點位相鄰的案例，但保留同一個地區具備前後期治理的案例。治理段的系列固床工數量則儘量篩除少於 6 座者，凡施作護岸長度小於 100 m 者亦儘量篩除。除此之外，若工程管考系統紀錄之工程項目僅施作防砂壩、潛壩者亦篩除。

篩選完成後，流域綜合治理計畫入選 56 件、大規模崩塌計畫入選 3 件、整體性治山防災計畫入選 91 件，共計入選 150 件，入選率分別為 17.23 %、16.67 %、13.62 %。最後再將篩選過後之現場調查樣點座標標註於地理資訊系統中，以避免點位過度集中於某些區域。最後得到入選的調查樣點共計 79 處，最終調查之樣點點位分布如圖 2-10 所示。

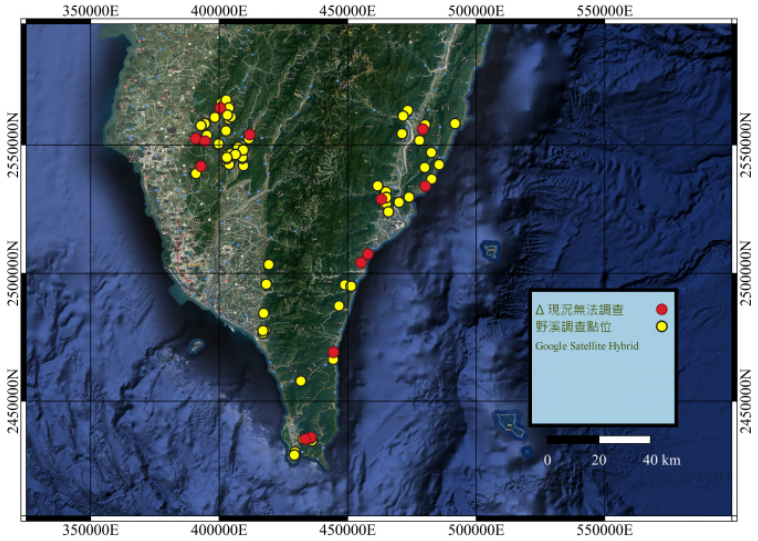


圖 2 - 10. 野溪治理工程調查點位分布圖

野溪治理現況調查所見發現，大多數調查樣點之治理段多呈現較為順直的渠道型態，與下游平原地區所形成的河道蜿蜒型態截然不同。下游平原地區的河川蜿蜒型態通常以數百公尺、甚至數公里的空間尺度呈現，是河川經過長時間的沖刷、沉積運動逐漸形成的。此種蜿蜒型態的生成機制主要源自於河道左、右兩岸流速的不對等，導致河道的外側岸受到水流沖刷能量高於內側岸，逐漸在外側岸形成沖刷，而內側岸則逐漸形成河曲沙丘 (point bar)。

山坡地範圍內的野溪因為受溪流兩岸地形的侷限、地質條件較為複雜、溪流兩岸常見農業為主的土地使用行為以及緊鄰的保全對象，難以讓溪流可以形成與平原地區相同的蜿蜒型態。再方面，為顧及保全對象的安全與需求，山坡地範圍內的溪流兩岸往往沒有辦法取得足夠的空間，使得河道會在較小的範圍內發生大角度的轉彎。除此之外，現勘資料中出現高達 67.02% 的渠道寬度小於 8.3 m，如圖 2-11 及圖 2-12 所示。圖 2-11 及圖 2-12 分別針對調查樣點之治理段溪床平均坡度與渠道寬度的出現頻率百分比繪圖。若要依據「水土保持手冊」對於設置丁壩之溪流寬度須超過 30 m 以上的建議，則本計畫所調查的工程樣點完全沒有設置丁壩的可能。同時，在本計畫現場調查的過程中，亦鮮少見到人工整治後的侷限渠道內有近自然蜿蜒溪流型態的發生。

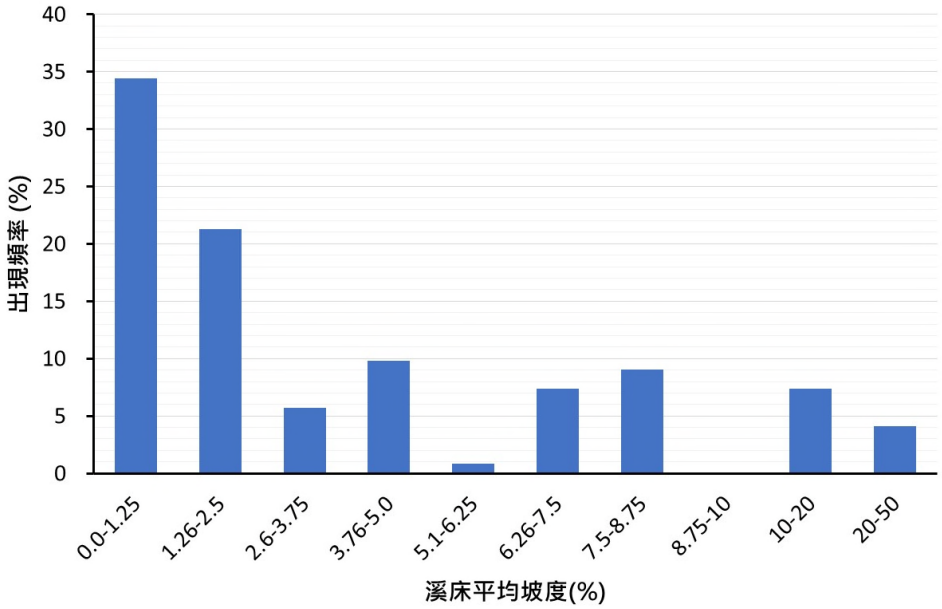


圖 2 - 11. 調查樣點之整治段溪床平均坡度及出現頻率

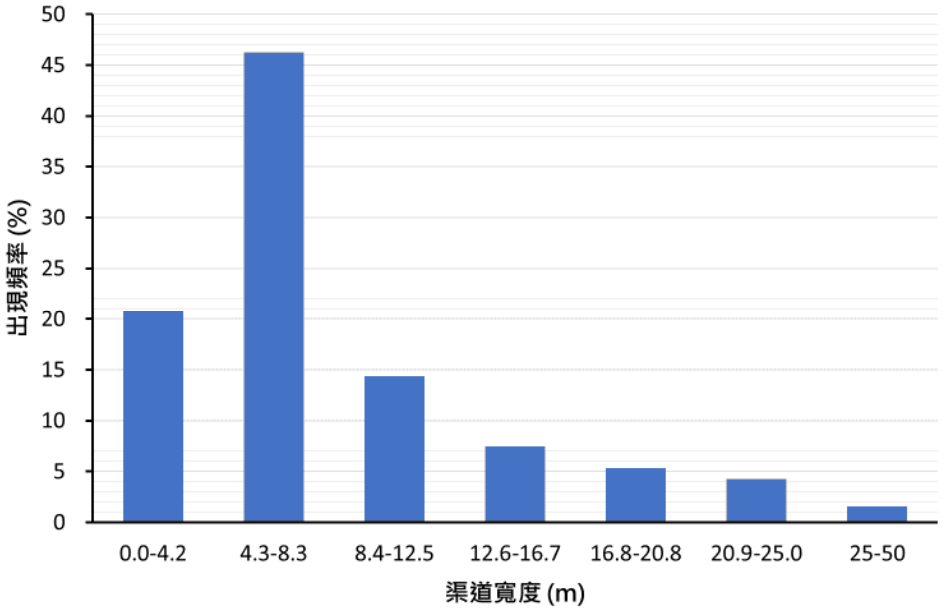


圖 2 - 12. 調查樣點之整治段渠道寬度及出現頻率

為確保保全對象的安全，野溪治理通常利用護岸與固床工構成整流工程。溪流流線接近筆直，既使採用系列式固床工的開口設計，預期讓低水位時的溪流集中於渠道的深槽線中；高水位時，溪流則被兩

側護岸約束。在規模較小的溪流中，幅寬更為窄小，當幅寬小於 10 m 時，兩側護岸對於水流自由擺盪的限制更為明顯，難以於整治後的侷限渠道內形成自然蜿蜒的型態，這種型態的野溪整治工程為現場調查最為常見的一種型態。

由現場調查所見，本計畫認為，山坡地溪流受兩岸地形限制、保全對象的需求等因素，使其發展受限，溪流侷限在左右護岸之間擺盪，形成前述的侷限蜿蜒，造成治理後溪流外觀的不協調以及型態的渠道化。現場調查的照片及紀錄，摘錄於附錄二，提供參考。

傳統的野溪整治工程主要以安全排水、調整溪床坡降為主要訴求，本計畫認為，若改以生態友善、渠道型態多樣為出發點，配合生態檢核的期待，從不同的角度去思考野溪整治，改變傳統的固床觀念、借助挑流工的效果，以營造侷限渠道內的自然蜿蜒是一個選項。

由現場調查之所見，現勘資料中出現高達 67.02% 的治理後渠寬小於 8.3 m、治理後溪床的平均坡度小於 2.5 % 者占近 55 %，使得整治後的野溪高度渠道化，倘若可以著手於窄河幅、緩坡降、傳統式固床工充斥於治理區段的野溪整治工法改良，應當有利於未來野溪治理朝向棲地友善的目標邁進。因此，本計畫基於前人研究以及透水式固床工三年研發的經驗，於去年 (2021) 開始著手朝去除固床工的方向發想。

本計畫挑流工設計的發想緣自於英國的實作案例，該案例乃是對流經英國 Darlington 的 River Skerne 進行溪流復育，復育計畫始於 1995 年，歷時三年的時間。復育計畫中採用挑流工對溪幅幅寬僅 9 m 的順直段進行改造，目標是在順直且侷限的溪段營造出溪流的蜿蜒型態，所採用的挑流工包含 A、B 兩型，設計示意圖如圖 2-13 及 2-14

所示，配置則採用交錯方式排列，如圖 2-15 所示。

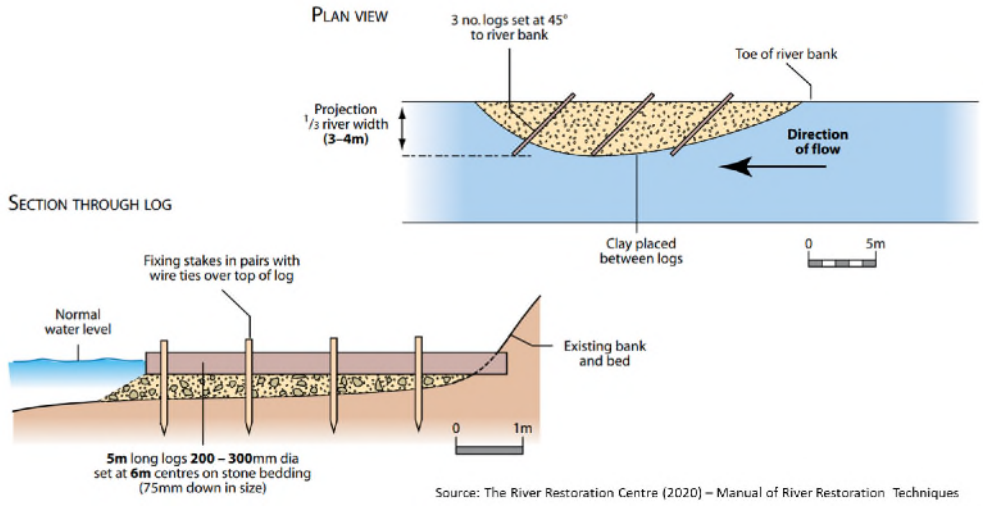


圖 2 - 13. 應用於 River Skerne 的 A 型挑流工

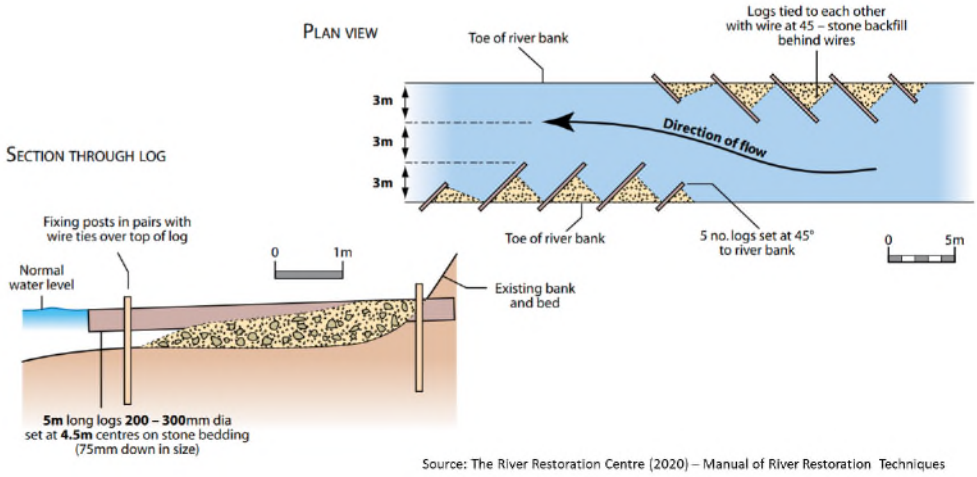
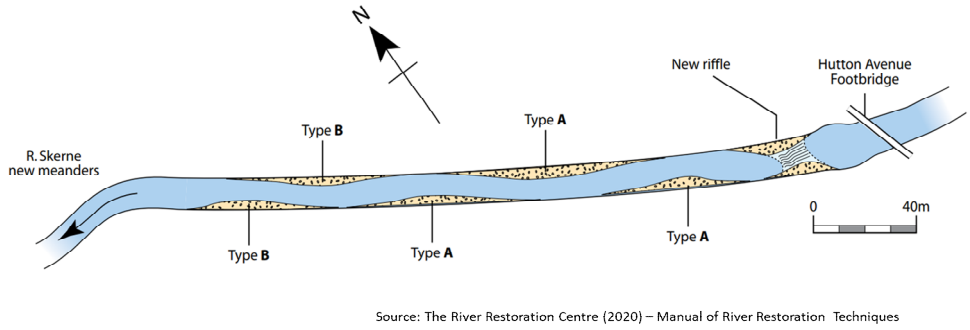


圖 2 - 14. 應用於 River Skerne 的 B 型挑流工



Source: The River Restoration Centre (2020) – Manual of River Restoration Techniques

圖 2 - 15. River Skerne 順直溪段蜿蜒營造之挑流工配置示意圖

River Skerne 順直溪段蜿蜒營造改善工程完工後持續觀察並進行後續的調整至 2001 年為止，發現 A 型挑流工雖然可以達到預期設計的目標，但是發現完工後的後續維護工作攸關該型挑流工的正常運作，其中主要的因素是當時設計 A 型挑流工的出露水面高度。A 型挑流工的出露高度設計在常時水位，施工時及施工完成後因為受到下游整治工程的影響，使得出露設計高度必須因為下游治理工程導致的回水影響而抬高，而 B 型挑流工則因為型式及挑流方式的不同被迫降低出露水面高度，以至於當下游整治工程完成之後 A、B 兩型挑流工的蜿蜒營造不如預期。

A 型挑流工出露水面高度的抬升，使得水流被過度挑流而造成對岸的淘刷；B 型挑流工出露水面高度的下降，使得挑流效果不佳，導致蜿蜒無法營造。最後設計單位不得不將 A 型挑流工的出露水面高度下降並於挑流工的端部加設纖維毯 (fiber mattress) 保護，至於 B 型挑流工則因為挑流與蜿蜒營造效果不佳，落於建議後期將 B 型挑流工的出露水面高度調整為原設計高度的命運。變更後的 A、B 兩型挑流工設計示意圖，如圖 2-16 及 2-17 所示。

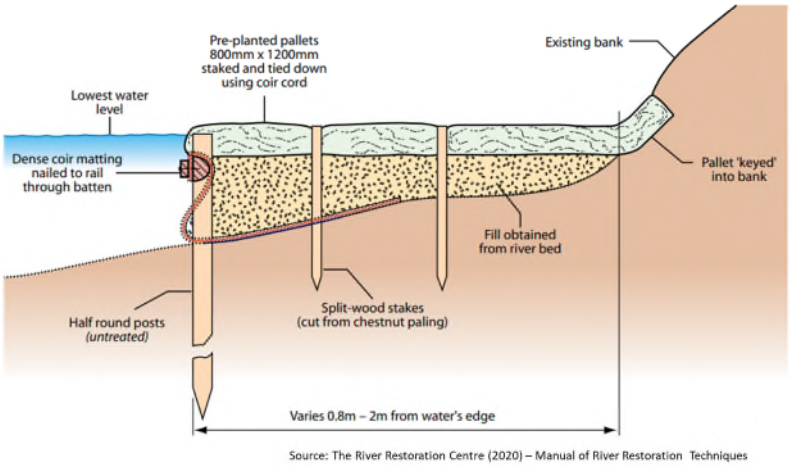


圖 2 - 16. 變更設計後應用於 River Skerne 的 A 型挑流工

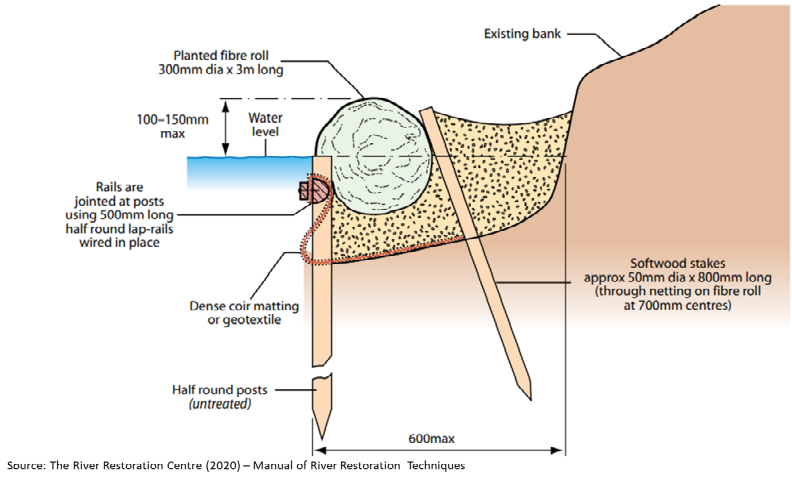


圖 2 - 17. 變更設計後應用於 River Skerne 的 B 型挑流工

有鑑於英國 River Skerne 挑流工案例原設計與變更設計的經驗，本計畫著手進行挑流工的研發與設計，採用兩組為一個單元，一組設置在左岸、另一組在右岸，以交錯方式排列，同時結合日本「低水水制工」及「高水水制工」的概念。

本計畫以挑流工不同出露水面高度進行設計，挑流工組包含三支不同出露水面高度的方式設計，最上游的挑流工採用低水水制工的設計理念，在於降低挑流工軸體與溪床的高程落差，以減少水制工「舌

部」所產生的溪床淘刷規模；最下游的挑流工則運用高水水制工的設計理念，其目的在於因應面對高水位時溪水對於溪岸或護岸的攻擊；位居中間的挑流工則扮演延續上、下游挑流工挑流後的水流曲面，同時顧及挑流工舌部對於水流繞流所產生的漩渦淘刷。

本計畫於去 (110) 年初期設計的挑流工共有 A 型 (圖 2-18) 與 B 型 (圖 2-19) 兩種款式，兩款挑流工最大的差異在於構造物軸體之頭部(以下簡稱舌部) 與尾部 (以下簡稱踵部) 間的傾斜度。A 型挑流工模型的傾斜度較陡，介於 14% ~ 33 %之間，乃是參考日本水制工的設計概念，利用構造物軸體傾斜度偏陡的設計，使挑流工能順應水位高度的變化，並兼顧面對高水位與低水位時的挑流功能。B 型挑流工的軸體傾斜度較緩，介於 1.5% ~ 3.5%之間，用以代表傳統式的丁壩型式。

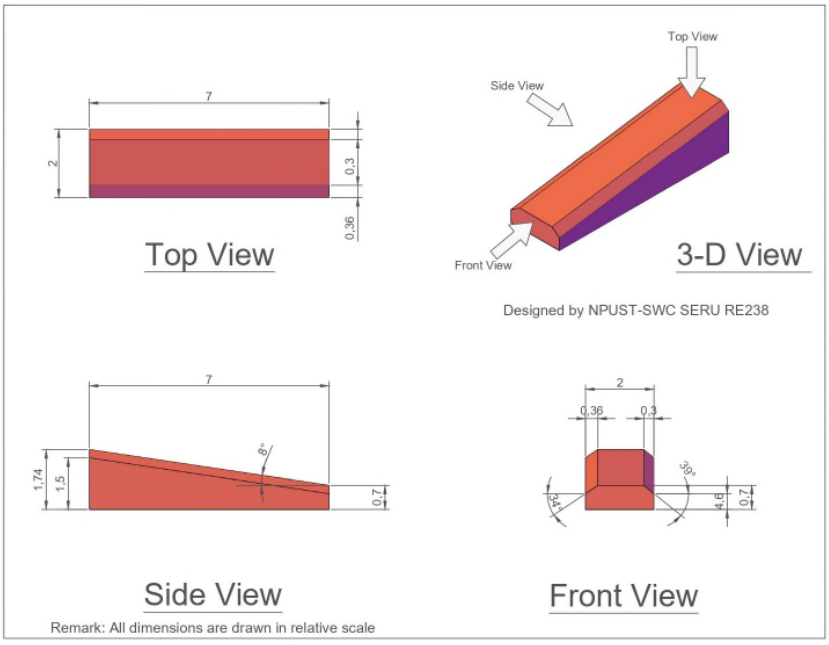


圖 2 - 18. A 型挑流工模型之三視圖

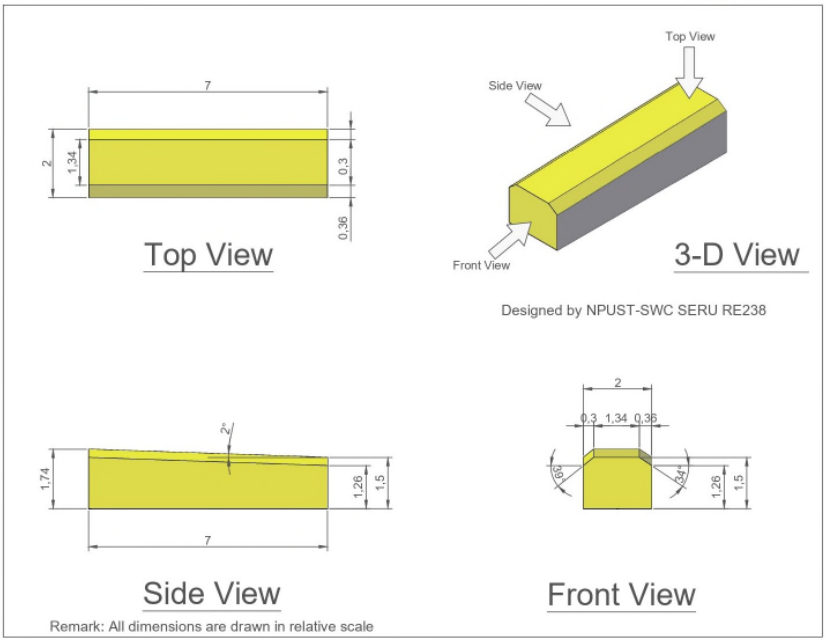


圖 2 - 19. B 型挑流工模型之三視圖

一般而言，當水流通過挑流工時，會受其影響而被趕往溪流中央，隨後將會逐漸偏回岸邊，水流偏回岸邊所需行經的沿程距離代表該挑流工的作用範圍，而影響作用範圍的最大因子為挑流工的長度。本計畫考量「水土保持手冊」(2017) 對於丁壩長度需介於 0.2 ~ 0.3 倍溪幅寬度的要求前提，若要延伸挑流工的作用範圍，並於直線河道的局限範圍內產生蜿蜒，那麼設置系列式挑流工是最簡單的做法，兩座挑流工之間的間距，將影響其作用範圍以及挑流效果的連續性。

本計畫設計的系列挑流工以軸體長度 3 cm、5 cm、7 cm 共 3 座為一組，形成挑流工群。依據本計畫所選擇之水工試驗縮尺 1:50 比例計算，3 cm、5 cm、7 cm 三種軸體長度對應實物長度則分別為 1.5 m、2.5 m、3.5 m。各個挑流工的軸體長度與試驗渠槽寬度的比例分別為 1/10、1/4、1/3，其中 1/3 的長度比例為「水土保持手冊」對於丁壩所做的設計建議。

就挑流工群的配置而言，本計畫將軸體長度 3 cm 的挑流工配置在上游 (以下簡稱「上游挑流工」)、長度 7 cm 的挑流工配置在下游(以下簡稱「下游挑流工」)、長度 5 cm 的挑流工(以下簡稱「中游挑流工」) 則配置在上、下游兩座挑流工之間。相鄰兩座挑流工之間的間距配置,則是以靠上游挑流工軸體長度 (L) 的 2 倍 (2L) 做為設計間距；亦即，上游挑流工與中游挑流工之間的間距以上游挑流工軸體長度 (L) 的 2 倍 (2L) 做為設計間距。同理，中游挑流工與下游挑流工之間的間距以中游挑流工軸體長度 (L) 的 2 倍 (2L) 做為設計間距。

為達到於左右護岸所形成之侷限邊界 (confined boundaries) 內營造出溪流蜿蜒之目的，挑流工群採用交錯配置於試驗渠槽的左、右兩岸，每組挑流工之間以 14 cm 及 28 cm 做為組間的距離 (以下稱為「組距 (group interval)」) 。

本計畫先對所設計的挑流工群進行定床 (fixed bed) 試驗，定床水工測試之主要目的，在於測試 (1).挑流工軸向與護岸法線之夾角，(2).挑流工群對水流挑流的作用範圍、(3). 挑流工軸向與護岸夾角對挑流的影響，挑流工軸向與護岸法線夾角(θ)則選用 45°及 90°兩種；其中，90°夾角為「水土保持手冊」丁壩單元中「垂直丁壩」之所用，軸體軸向與護岸呈 90°夾角、45°夾角乃是依據英國 River Skerne 挑流工的建議角度。

同時，本計畫利用顆粒影像測速法 (Particle Image Velocimetry; PIV) 追蹤目標浮球顆粒通過所研發的挑流工群時之流向變化，圖 2-20 與圖 2-21 為其中兩組定床試驗目標浮球顆粒隨著受挑流工群挑流後水流運移的情況。圖中，D_I 代表相鄰兩座挑流工之間的間距配

置，如前所述，是上游挑流工軸體長度 (L) 的 2 倍 (2L) 做為設計間距；G_I 則代表挑流工群之間的組距。圖中藍色、白色、紅色的標記分別代表由試驗段上游左岸、中心、右岸所釋放的彩色浮標流經挑流工位置。圖中標記是多次釋放彩球並以相機垂直攝影，再從中擷取影像、標註位置，並進行套疊的結果，而藍色、白色、紅色色塊則標定了彩色浮球顆粒於測試階段的最大飄移範圍。

定床試驗結果顯示，溪流的蜿蜒程度確實受到挑流工的型式及不同配置條件的影響。定床比較試驗中發現，B 型挑流工的水流蜿蜒程度高於 A 型挑流工，且彩色浮球顆粒有較高的機會被 B 型挑流工所攔截。試驗過程中也發現 B 型挑流工周遭的水流較為紊亂，A 型挑流工的挑流效果較低，但流線較為平順。

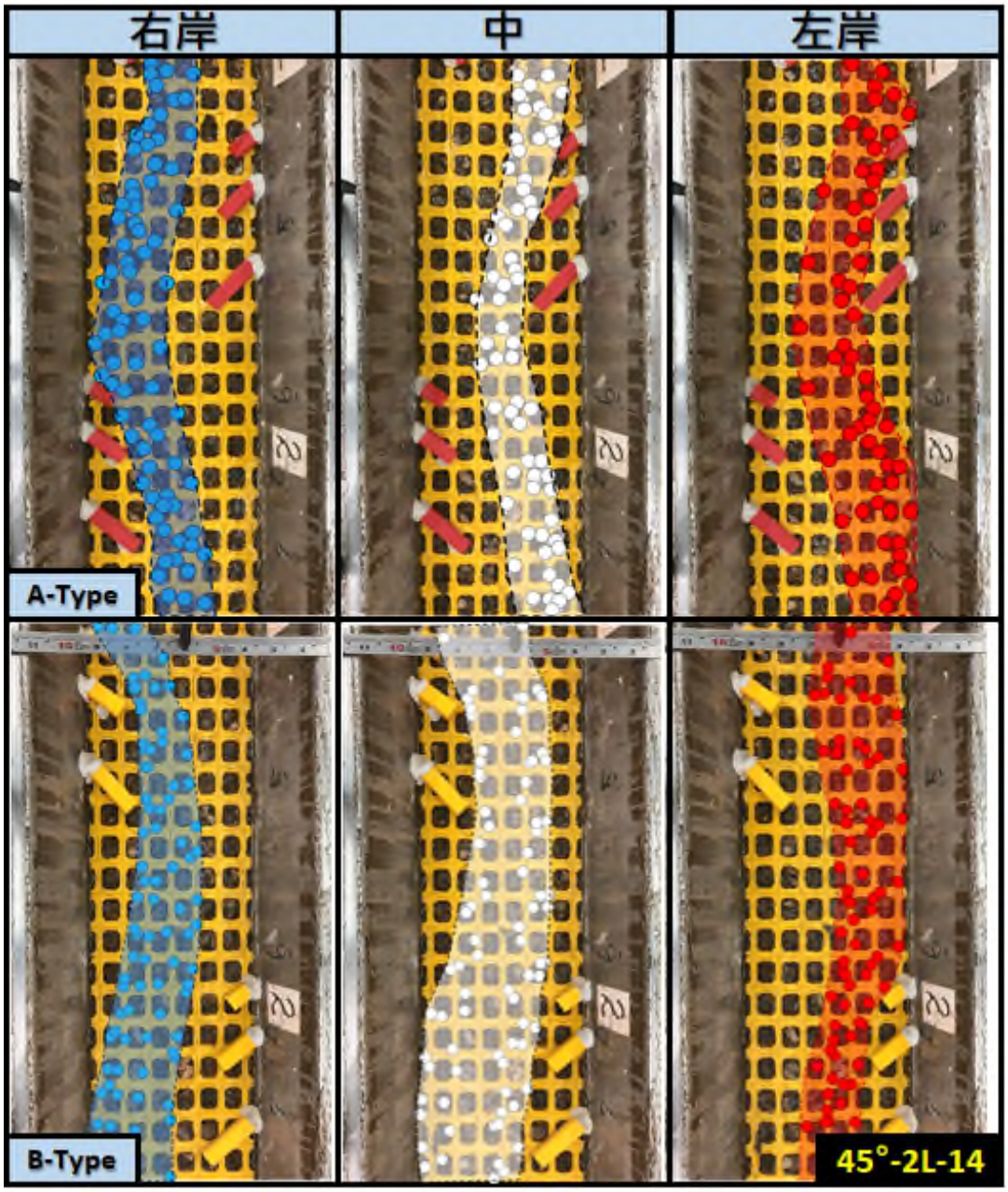


圖 2 - 20. A 型與 B 型挑流工群對水流的影響 (45°-D_I_2L-G_I_14)

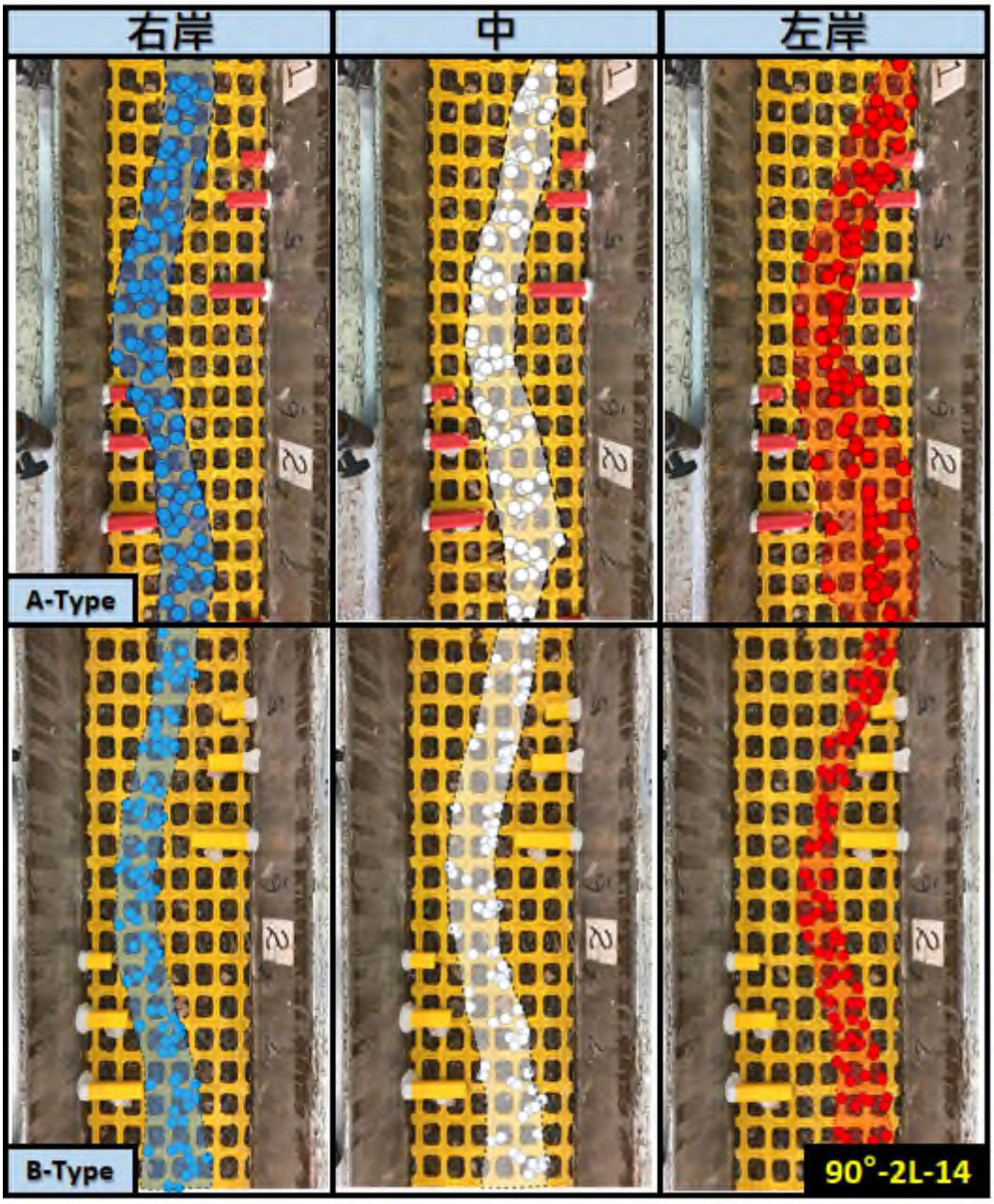


圖 2 - 21. A 型與 B 型挑流工群對水流的影響 (90°-D_I_2L-G_I_14)

A 型挑流工模型的軸身傾斜度較陡，介於 14% ~ 33 %之間，乃是參考日本水制工的設計概念，B 型挑流工模型的軸身傾斜度較緩，介於 1.5% ~ 3.5%之間。由於 A 型挑流工軸身傾斜度較陡，因此在相同的試驗流量條件下，軸舌及軸身潛入水中的程度與範圍較 B 型挑流工為深且廣，造成挑流工結構體與試驗渠床間的高程落差較小，因

此營造出較為平順的流線蜿蜒型態。

B 型挑流工則不然，由於軸身傾斜度較緩，因此當水流遇到 B 型挑流工時，會因為構造物的存在而受阻，水流必須消耗更多的能量在構造物迎水面的渦流中以及繞過軸舌的路徑中，導致浮球顆粒在較低流量時容易受到挑流工的阻攔。

挑流工的間距及組距，或可將其理解為系列式挑流工群的密集程度，亦影響水流流線的蜿蜒程度。挑流工群的密集程度對於溪流蜿蜒具有正向影響，雖然挑流工的挑流力道不會隨挑流工群的密度提高而增加，但會迫使水流在較短的距離內做出擺盪。

定床測試階段亦發現，在挑流工間距為 4L 的配置下，3 座挑流工似乎形成獨立挑流作業，通過挑流工的浮球顆粒常以直線軌跡向下游流動；但是在挑流工間距為 2L 的配置下，3 座挑流工的挑流效果似乎成為一個整體，共同對水流進行挑流作用。因此，間距 2L 的挑流工群具有創造更明顯挑流幅度的潛力。

在定床水工試驗所掌握之基礎上，本計畫隨即進行動床水工試驗，以測試不同試驗參數於動床 (mobile bed) 條件下挑流工群的表現。動床水工試驗所採用之挑流工模型採用改良式的 B 型挑流工設計，主要是源自於定床試驗對 A 型與 B 型的觀察，以及考量動床試驗期間可能為發生的動床淘刷。調整後的改良式 B 型挑流工設計圖如圖 2-22 ~ 圖 2 -24 所示；其中，軸身長分別為 7 cm、5 cm、3 cm，圖 2-25 則為改良式 B 型挑流工 3D 列印設計的樣貌。

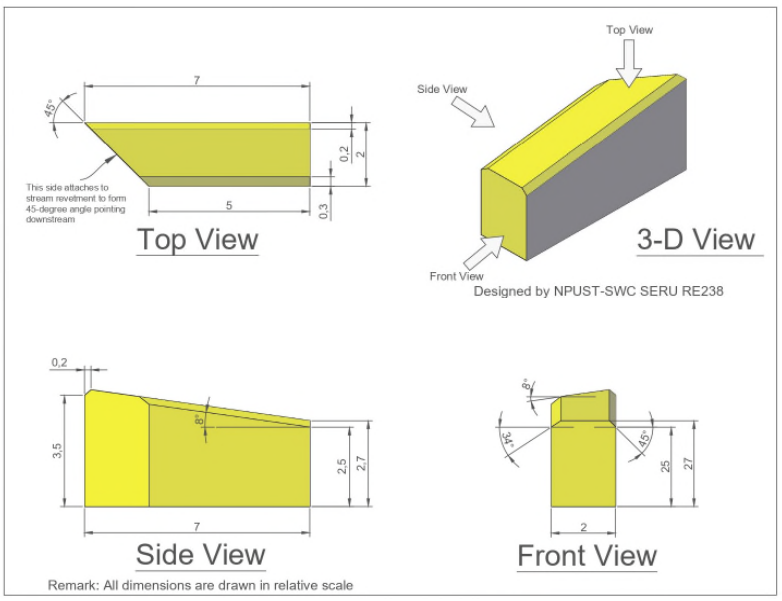


圖 2 - 22. 動床試驗所採用之改良式 B 型挑流工 (下游)

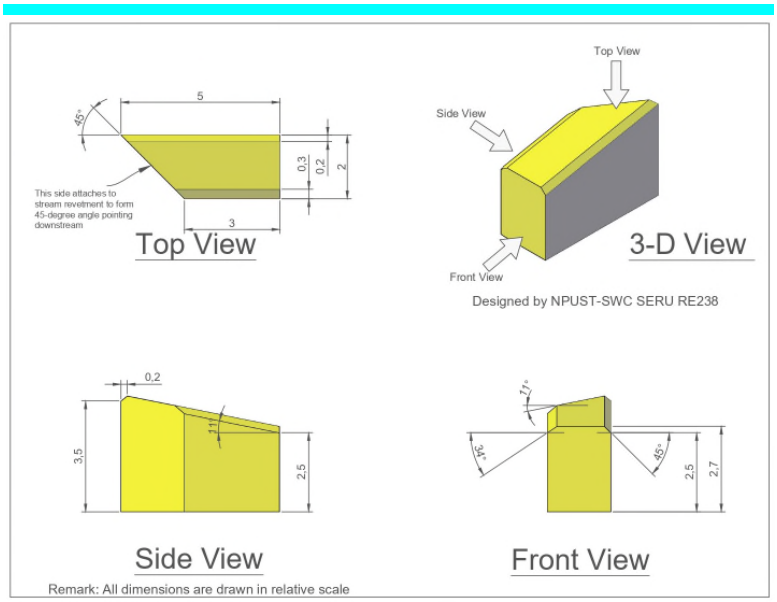


圖 2 - 23. 動床試驗所採用之改良式 B 型挑流工 (中游)

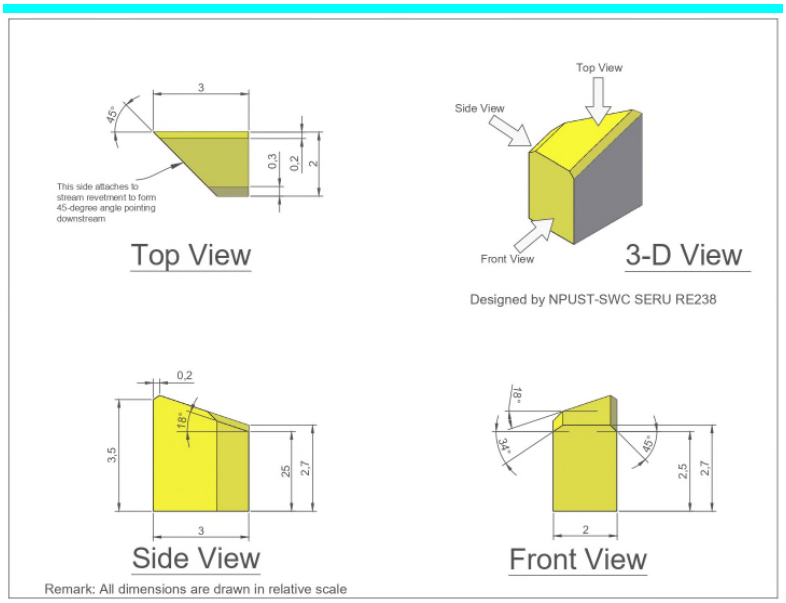


圖 2 - 24. 動床試驗所採用之改良式 B 型挑流工 (上游)

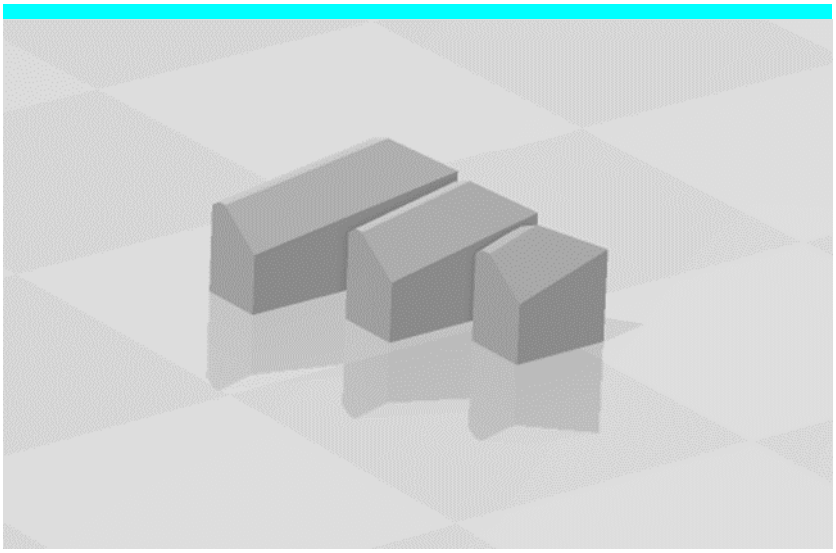


圖 2 - 25. 改良式 B 型挑流工 3D 列印設計的樣貌

定床與動床試驗所使用的 B 型與改良式 B 型挑流工之間以「基礎深度」、「挑流工頂部迎水面之傾斜度」差異最大。變更基礎深度的理由，是為了應付動床水工試驗時可能遭遇的最大淘刷深度，而增加挑流工頂部迎水面傾斜度的理由，則是為了減少水流與挑流工接觸時所引發的渦流。

三、挑流工動床試驗與成果

水工模型試驗採用縮尺試驗，因此必須要符合原型 (prototype) 與模型 (model) 之間的相似定律 (Laws of Similitude)；其中包含幾何相似 (geometric similitude)、運動相似 (kinematic similitude)，以及動力相似 (dynamic similitude)。由於水工試驗涉及明渠流 (open-channel flow)，因此縮尺模型試驗設計必須要符合福祿定律 (Froude Law) (毛壽彭，1987)。

水工試驗縮尺比例的選取，必須考量甚至遷就於 (1)實驗室幫浦所能提供的流量範圍、(2)動床床砂於試驗渠槽坡度範圍下得以啟動的臨界流量、 (3)試驗渠槽側壁對水流產生的邊界效應；亦即水工試驗水深與渠寬的寬深比，以及(4)縮尺後試驗用砂的取得難易及靜電效應。由於無法改變重力大小，因此，本計畫的水工模型試驗屬於不等比模型 (distorted model) 試驗；亦即重力的影響無法依據試驗縮尺而調整其作用力大小。

通常進行動床水工模型試驗時，試驗設計可採加砂 (sediment feed) 試驗或所謂的「清水流」 (clear-flow without sediment feed) 試驗；其中，加砂試驗是於試驗過程中不斷地在試驗渠槽上游以加砂器對試驗渠槽進行加砂，而清水流試驗乃是採用上游不加砂的方式進行，以獲知經由水力淘刷 (hydraulic scour) 及水力洗選 (hydraulic sorting) 之後動床可能發生的最惡劣狀態 (Tregnaghi, et al. 2006)。為瞭解所設計的挑流工對於溪流蜿蜒的營造狀況，本計畫採用「清水流動床」試驗。

溪床粒徑對於溪床床形發展、蜿蜒型態、泥沙啟動運動 (incipient motion)、泥沙運移、遮蔽 (sheltering) 效應 ，以及溪床胄甲 (armoring)

的發生具有影響。由於泥沙輸送是水流與泥沙之間動態作用下的產物，水流對於溪床產生的邊界剪應力 (boundary shear stress) 提供溪床泥沙啟動的驅動力，而泥砂粒徑及其對應的自重 (self-weight) 決定了抵擋外力作用的阻抗力大小。

Shields diagram (圖 2-27) 經常用於決定泥沙輸送所需要的臨界剪應力 (crtitcal shear stress)，是河川治理參考的重要依據。本計畫依據 Shields Diagram 計算的結果、實驗室幫浦能夠提供的流量範圍、經費與執行時間的限制，以過去近 20 年累積的水工試驗經驗，決定採用平均代表粒徑 (D_{50}) 為 1.05 mm 的混和粒徑床砂，該代表粒徑的決定，同時也確定了水工試驗模型的縮尺比例為 1:50。以縮尺比例 1:50 計算，平均代表粒徑 1.05 mm 的試驗床砂相當於實物 52.5 mm 的溪床床砂；其中 5.22 %的實物混和床砂粒徑大於 118.0 mm、12.25 %的實物混和床砂粒徑小於 15.0 mm、82.53 % 的實物混和床砂粒徑介於 15.0 mm ~ 118.0 mm 之間。

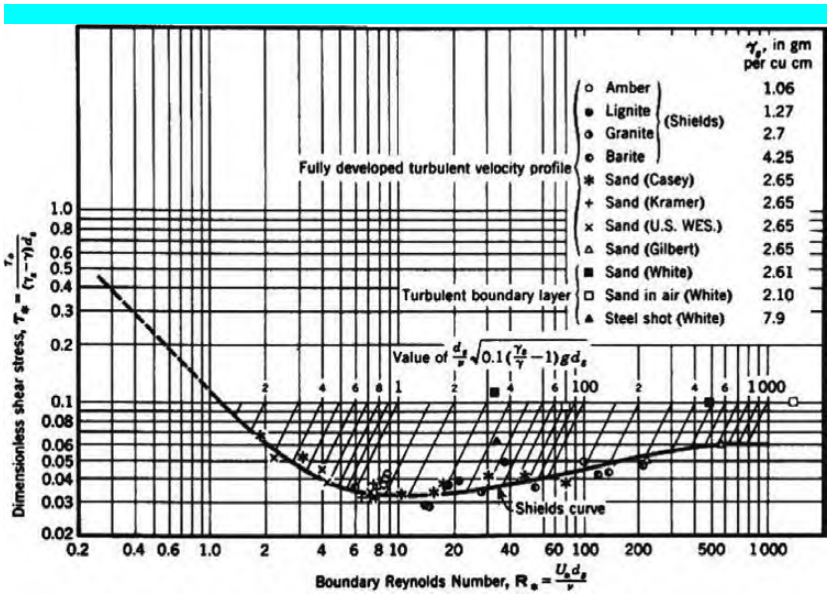


圖 2 - 26. Shields diagram

本計畫之水工試驗使用國立屏東科技大學水土保持系陡坡水工實驗室的半循環式試驗渠槽，渠槽全長 4.0 m、寬 0.9 m、深 0.3 m，渠槽內配有一組不銹鋼材質護岸，護岸岸坡斜率 (V：H) 為 1：0.3，以形成一梯形通水斷面。水工試驗渠槽設備示意圖，如圖 2-27 所示。動床試驗階段，試驗渠槽內全數填滿試驗混合砂，填砂過程中分次夯實、回填至挑流工基礎的預定設置高程，然後先將挑流工群依據試驗的組距固定於兩護岸，待固定的矽利康膠凝固之後，再繼續回填床砂。

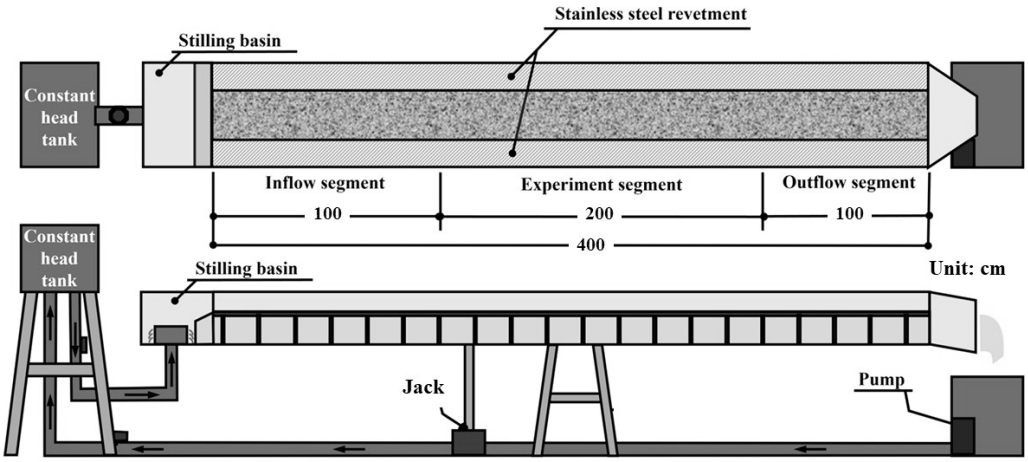


圖 2 - 27. 水工試驗渠槽設備

試驗渠槽全長分為三個部分，從上游穩流箱 (stilling basin) 經過穩流後的水流進入試驗渠槽後仍需要一段流動的長度來適應並調整流況，因此試驗渠槽的上游入流段 (inflow segment) 雖然依然配置挑流工群，但是不在該區間內進行任何的量測。同理，水流即將離開試驗水槽終點時，因位處於控制斷面，水深因此變淺，所試驗渠槽的下游出流段 (outflow segment) 雖然同樣配置挑流工群，但是也不在該

區間內進行任何的量測。試驗渠槽中間 2.0 m 的量測區段，相當於實物 100 m 的直線溪段；0.2 m 的試驗渠寬，相當於實物 10 m 的整治溪幅寬，填砂深度為 0.15 m，相當於實物 7.5 m 的溪床深度。

本計畫根據前述現場調查與定床水工試驗的結果，選擇不同的渠槽坡度 (0.5 % 、1.3%、 2.0 %)、挑流工群組距 (26 cm、32 cm、38 cm)，以及三種試驗流量做為試驗參數。試驗流量乃依照水流流經挑流工時所淹沒的高度定之，分為低水位 (水流淹沒挑流工舌部)、高水位 (水流淹沒挑流工踵部) 以及中水位 (水流介於兩者之間) 三種。據此，動床試驗的試驗控制參數如表 2-1 所示。

表 2 - 1. 挑流工動床試驗的試驗控制參數

控制參數	模型 (model)	原型 (prototype)
平均粒徑 (D_{50}, mm)	1.05	52.5
渠槽坡降 (S, %)	0.5、1.3、2.0	
渠槽全長 (m)	4.0	200.0
試驗段長 (m)	2.0	100.0
試驗渠寬 (m)	0.2	10.0
動床填砂深度 (m)	0.15	7.5
試驗流量 (cms)		
Q_{min}	18×10^{-5}	3.182
Q_{mid}	36×10^{-5}	6.364
Q_{max}	58×10^{-5}	10.253
挑流工群組距 (m)	0.26、0.32、0.38	13.0、16.0、19.0

圖 2-28 為動床水工試驗之挑流工群配置示意圖。圖中，L_1、L_2、

L_3 代表挑流工群之上、中、下游挑流工的軸長，分別為試驗渠槽寬度 (B) 的倍數；$Offset_1$ 與 $Offset_2$ 代表上、中游挑流工舌部之間的距離，$Offset_1$ 為上游挑流工軸長 (L_1) 的兩倍、$Offset_2$ 為上游挑流工軸長 (L_2) 的兩倍；Group Interval (GI) 代表兩組挑流工群之間的距離，計算公式為 $GI_i = X_i \times (Offset_1 + Offset_2)$，本計畫藉由定床試驗發現有三個組距有營造出溪床蜿蜒的潛力，因此，X_1、X_2、X_3 分別代表三種挑流工群之組距。

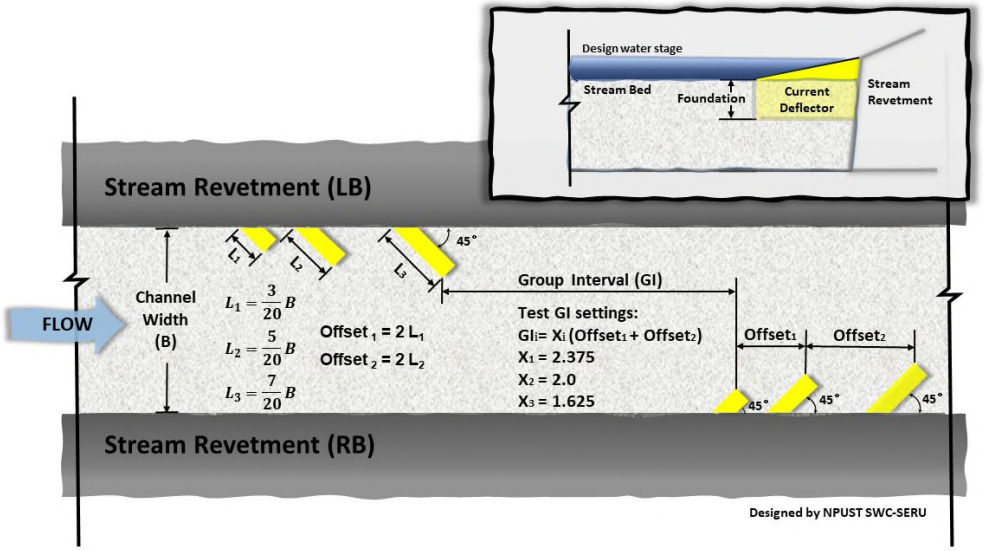


圖 2 - 28. 動床水工試驗之挑流工群配置示意圖

試驗渠槽上配置有一組平行齒軌，用於提供量測儀器臺車行走。儀器臺車以步進馬達 (stepping motor) 驅動並搭配 Arduino UNO 板進行自動往返控制。臺車上另外設有橫向滑軌與小型臺車，其上搭載高解析雷射掃描器，同樣以步進馬達驅動並搭配 Arduino UNO 板進行自動往返控制。試驗渠槽及相關量測設備如圖 2-29 所示。

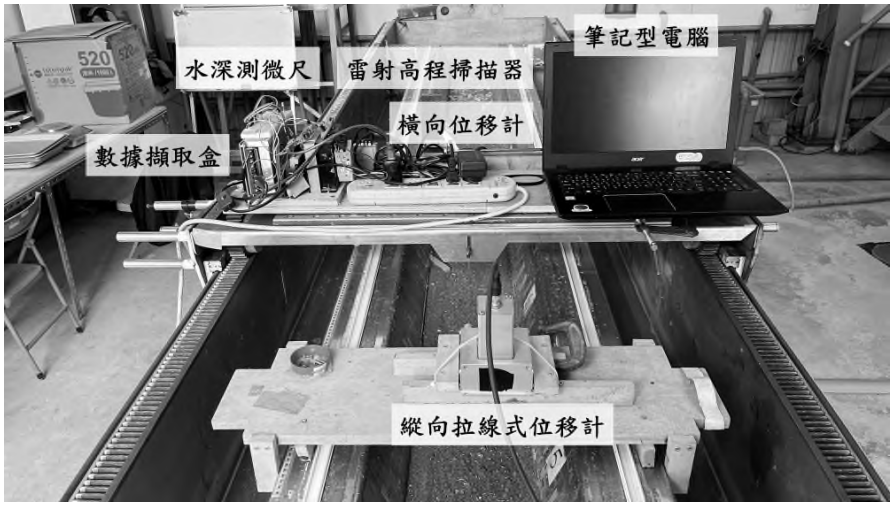


圖 2 - 29. 水工試驗相關量測設備

本計畫採用高解析雷射掃描器；解析度為 75 μm (75×10^{-3} mm)；對試驗渠床進行水工試驗前、後的動床高程掃瞄，掃描的區段為試驗渠槽中央 200 cm 的區段。高解析雷射掃描器由兩組步進馬達牽引，進行 200 cm 量測區間的全域地形掃描。雷射掃描的頻率採 5 Hz，也就是每一秒鐘可以連續掃描產出五筆資料，藉由數據擷取器 (A-D data acquisition system; A-D DAS) 將雷射掃描的訊號送至電腦進行即時儲存，試驗後的後置分析則依據高程掃描的結果進行溪床彎曲度指數 (sinuosity index) 計算，彎曲度指數為深槽線 (thalweg) 長與一個蜿蜒起訖點間；如圖 2-4 中的 A 到 B；直線長度的比值。水工試驗的試驗流程圖，如圖 2-30 所示。

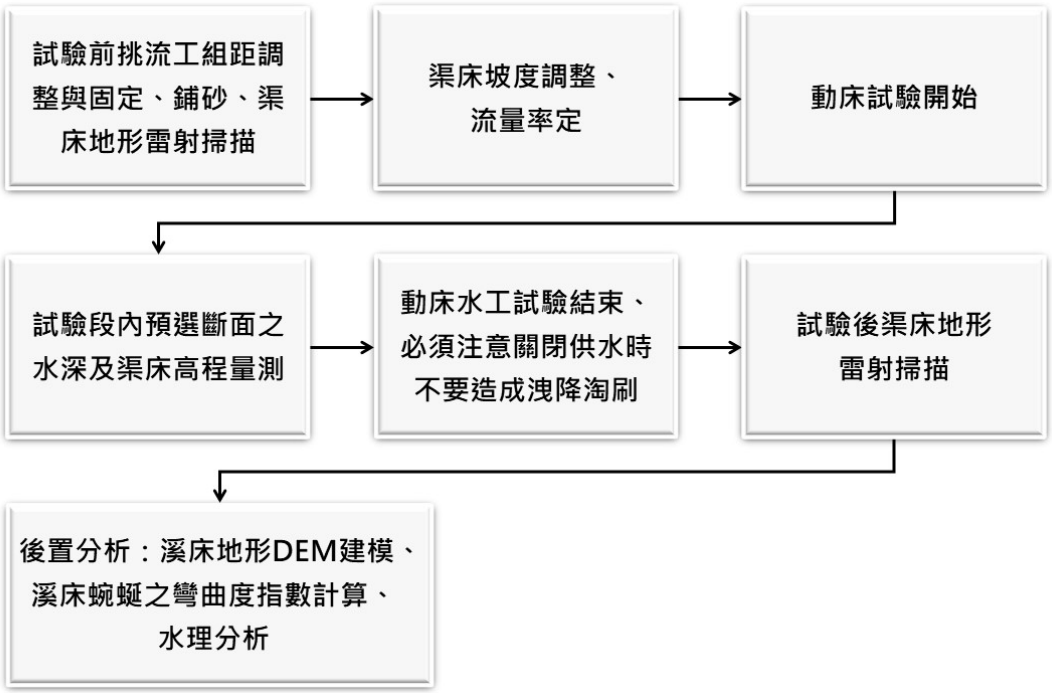


圖 2 - 30. 水工試驗流程圖

表 2-2 為挑流工試驗後分析的溪流深槽彎曲指數成果，圖 2-31 至 2-57 為試驗後溪床高程掃描、試驗後試驗渠床的全景照片，以及數個試驗段的高程剖面。

表 2 - 2. 挑流工試驗營造溪流蜿蜒之彎曲指數 (SI) 成果

組距 (cm)	試驗流量	渠床坡度 (%)		
		0.5	1.3	2.0
26	Q_{min}	1.001	1.023	1.073
	Q_{mid}	1.002	1.012	1.021
	Q_{max}	1.004	1.004	1.003
32	Q_{min}	1.002	1.020	1.029
	Q_{mid}	1.003	1.009	1.012
	Q_{max}	1.008	1.003	1.003
38	Q_{min}	1.005	1.011	1.023
	Q_{mid}	1.013	1.005	1.003
	Q_{max}	1.014	1.002	1.001

備註：Qmin = 0.00015 ~ 0.00022 cms、Qmid = 0.00031 ~ 0.00039 cms、Qmax = 0.00054 ~ 0.00060 cms.

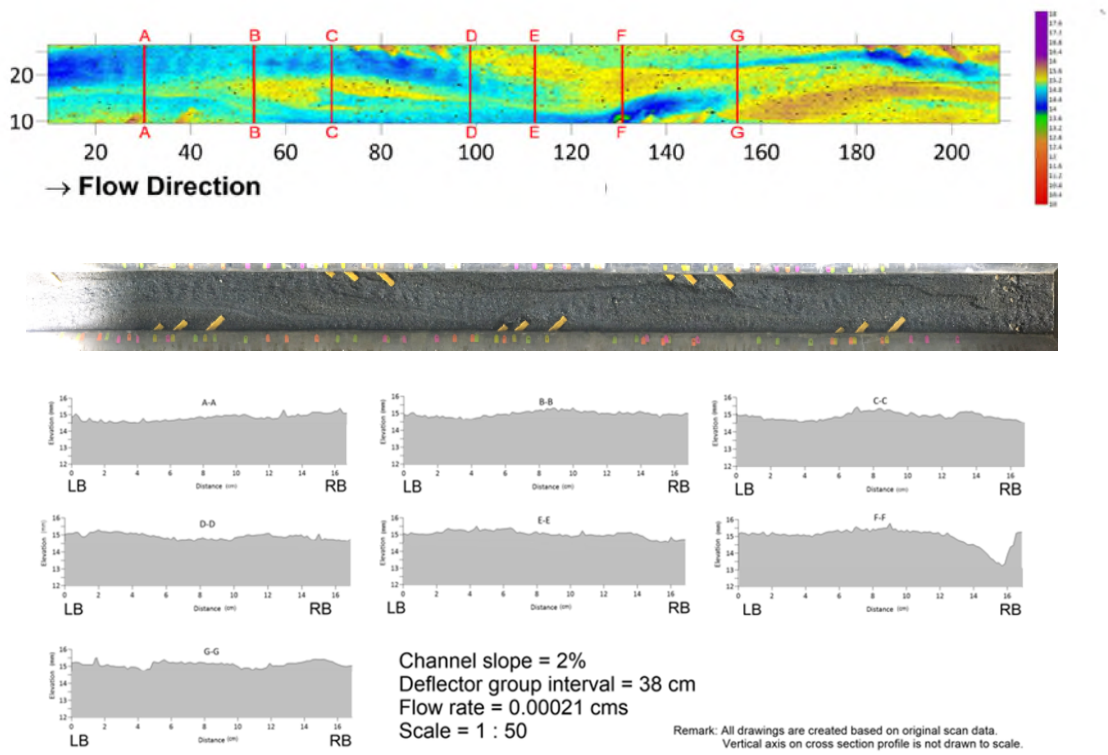


圖 2 - 31. 挑流工動床試驗成果(Q_{min}_GI=38cm_S=2%)

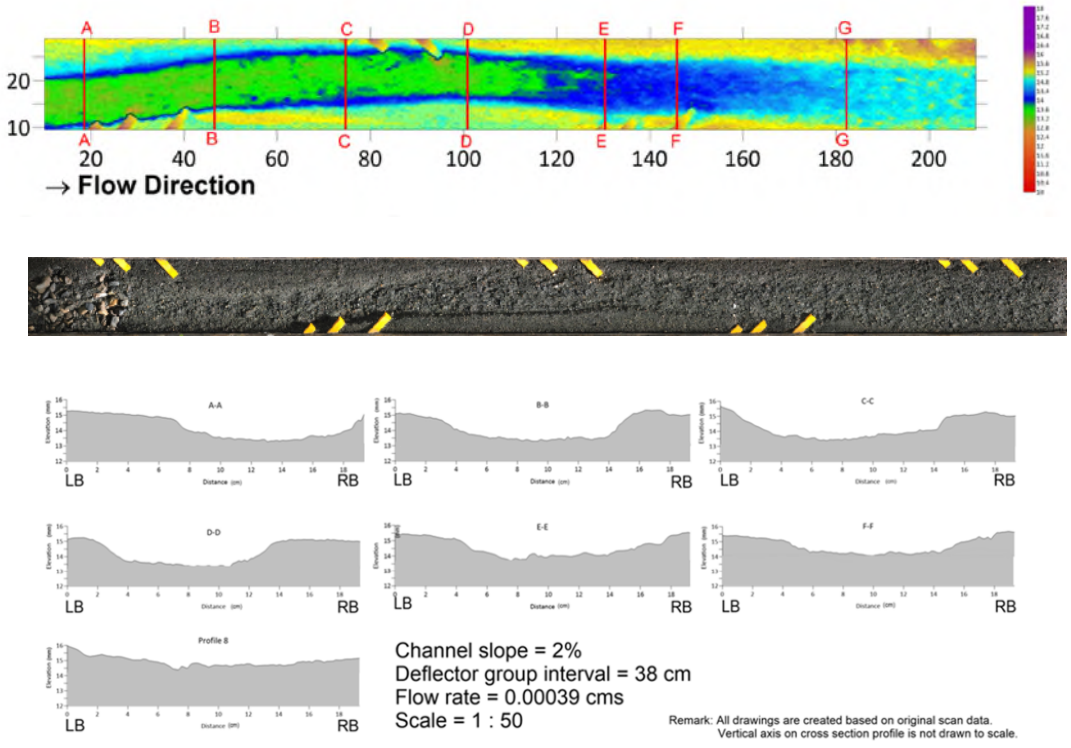


圖 2 - 32. 挑流工動床試驗成果(Q_{mid}_GI=38cm_S=2%)

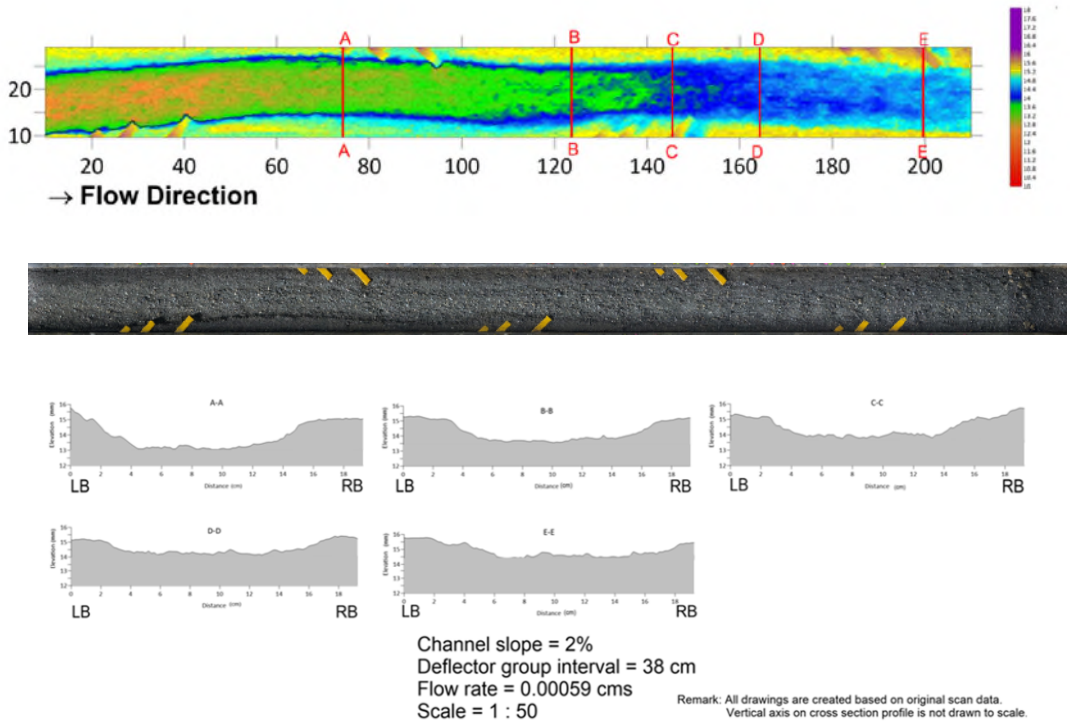


圖 2 - 33. 挑流工動床試驗成果(Q_{max}_GI=38cm_S=2%)

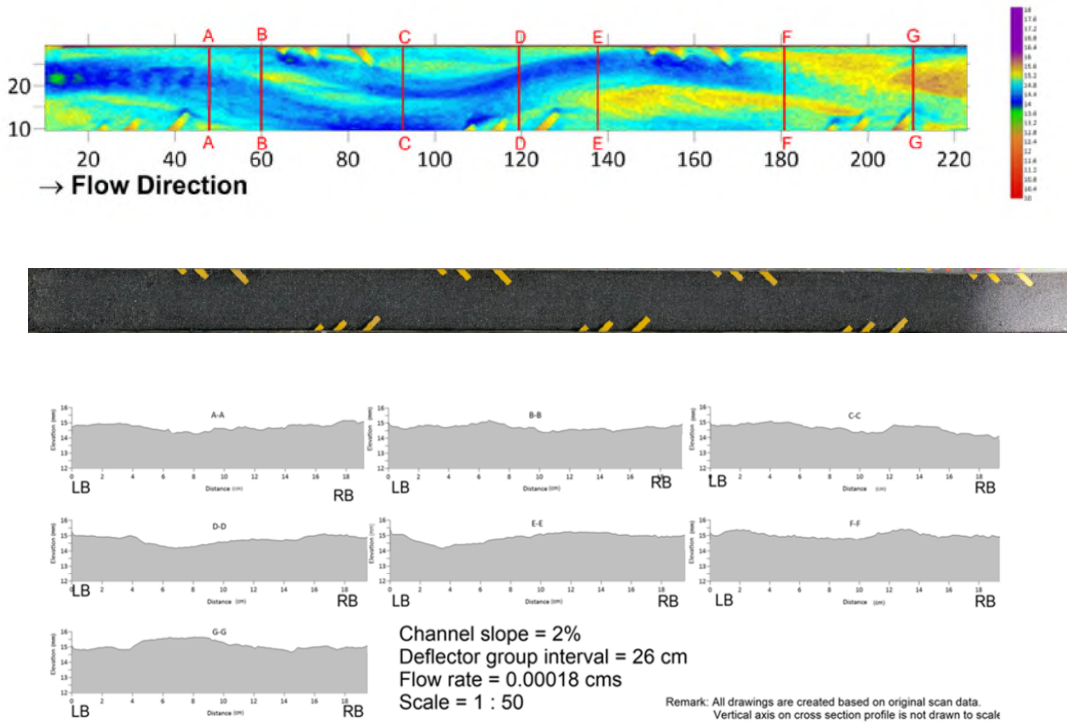


圖 2 - 34. 挑流工動床試驗成果(Q_{min}_GI=26cm_S=2%)

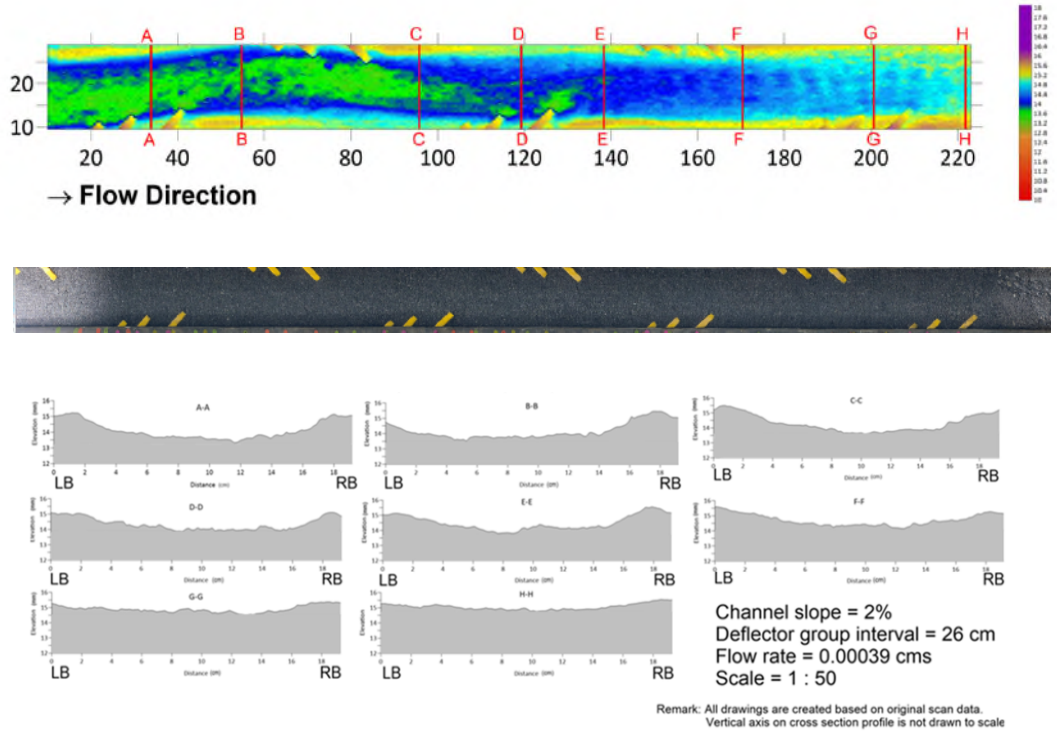


圖 2 - 35. 挑流工動床試驗成果(Q_{mid}_GI=26cm_S=2%)

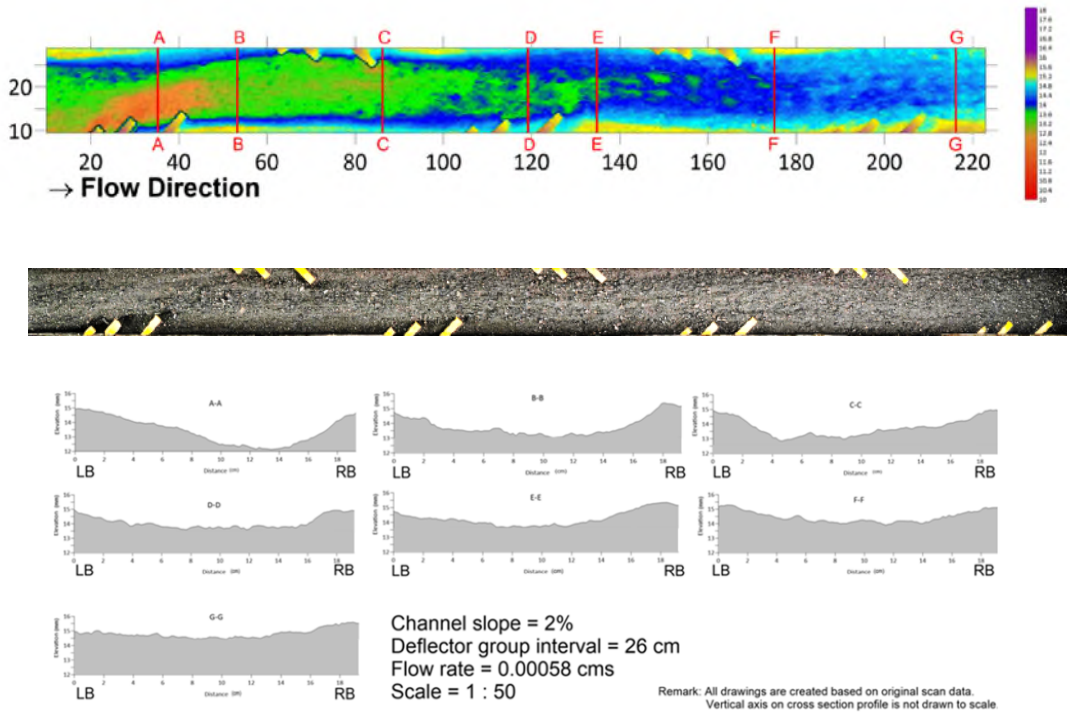


圖 2 - 36. 挑流工動床試驗成果(Q_{max}_GI=26cm_S=2%)

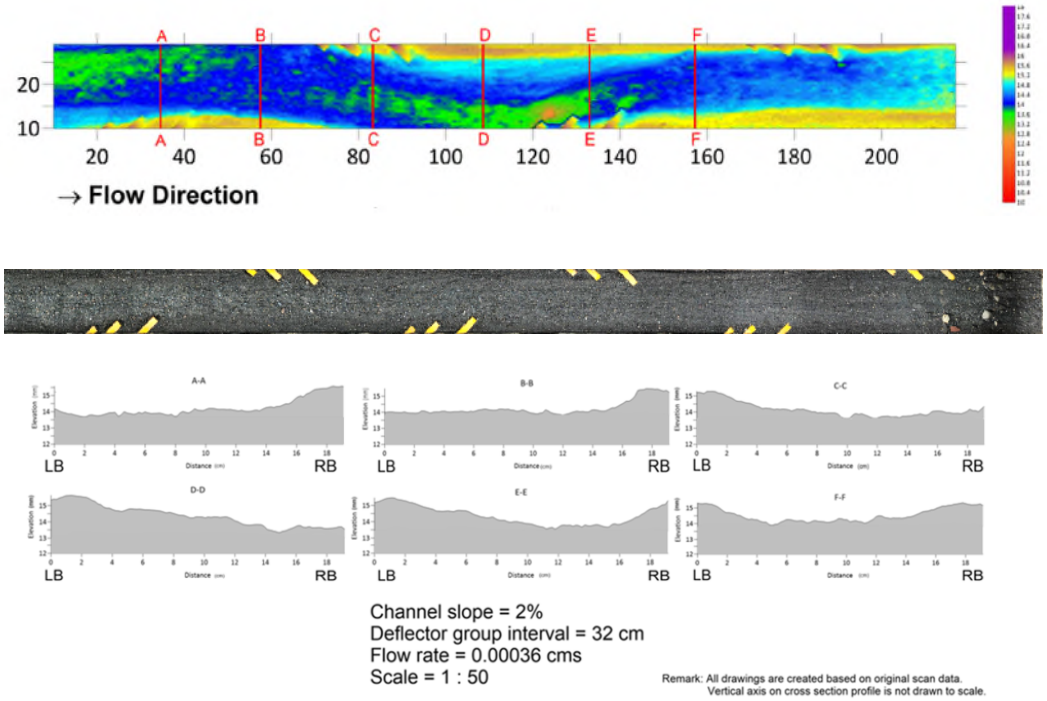


圖 2 - 37. 挑流工動床試驗成果(Q_{mid}_GI=32cm_S=2%)

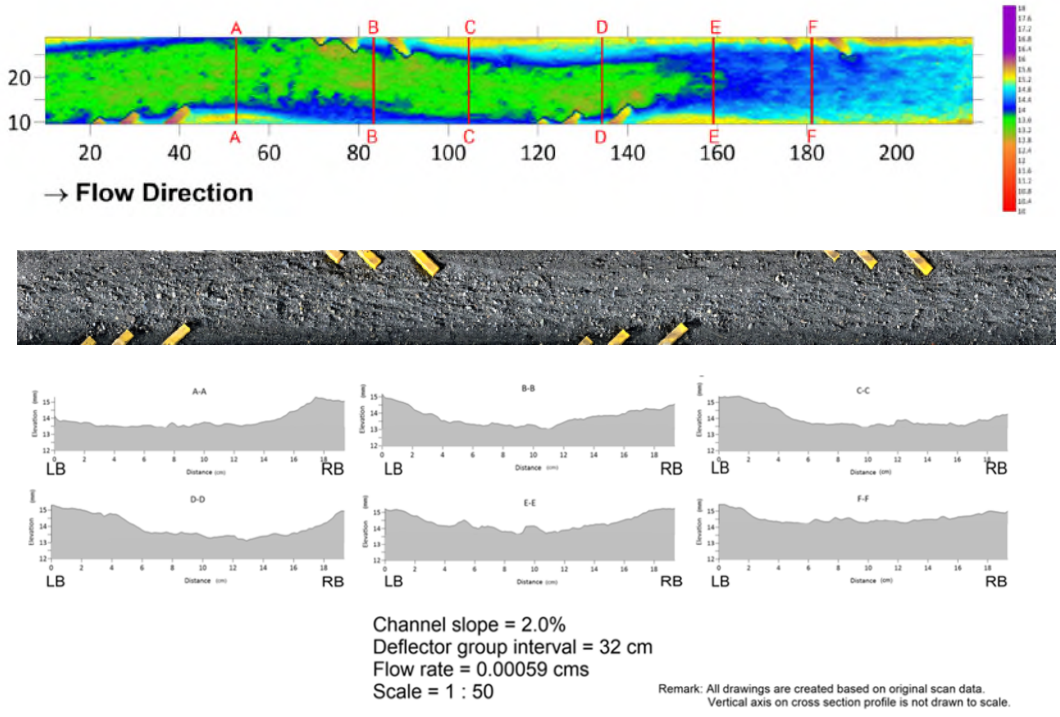


圖 2 - 38. 挑流工動床試驗成果(Q_{max}_GI=32cm_S=2%)

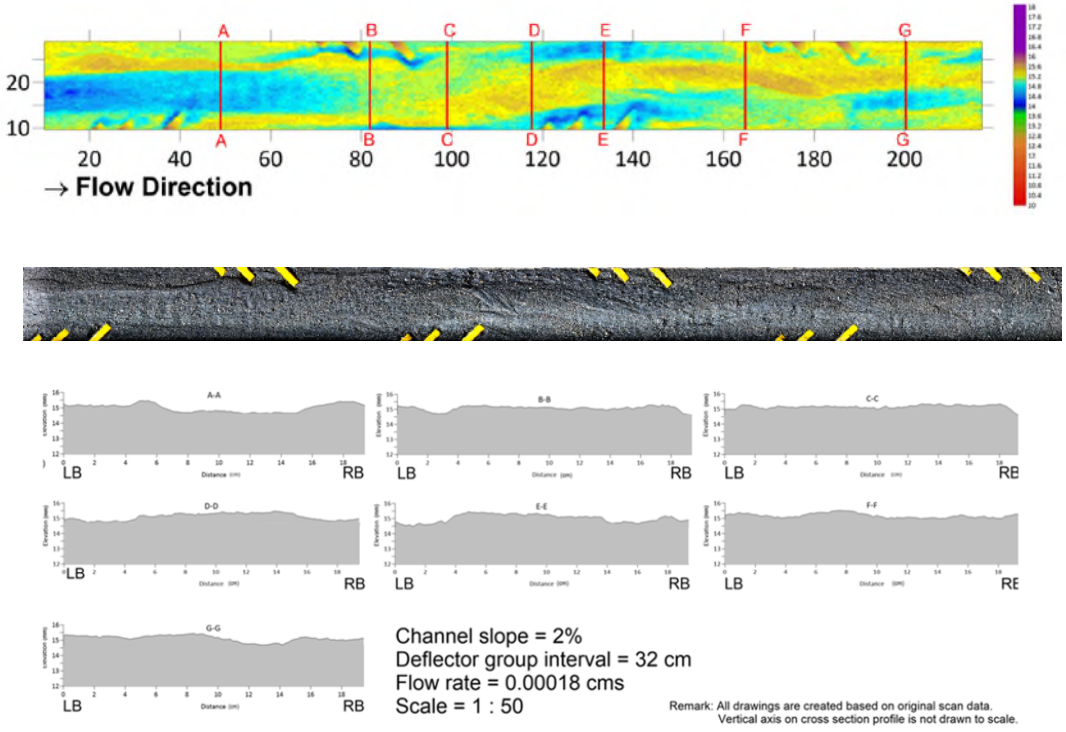


圖 2 - 39. 挑流工動床試驗成果(Q_{min}_GI=32cm_S=2%)

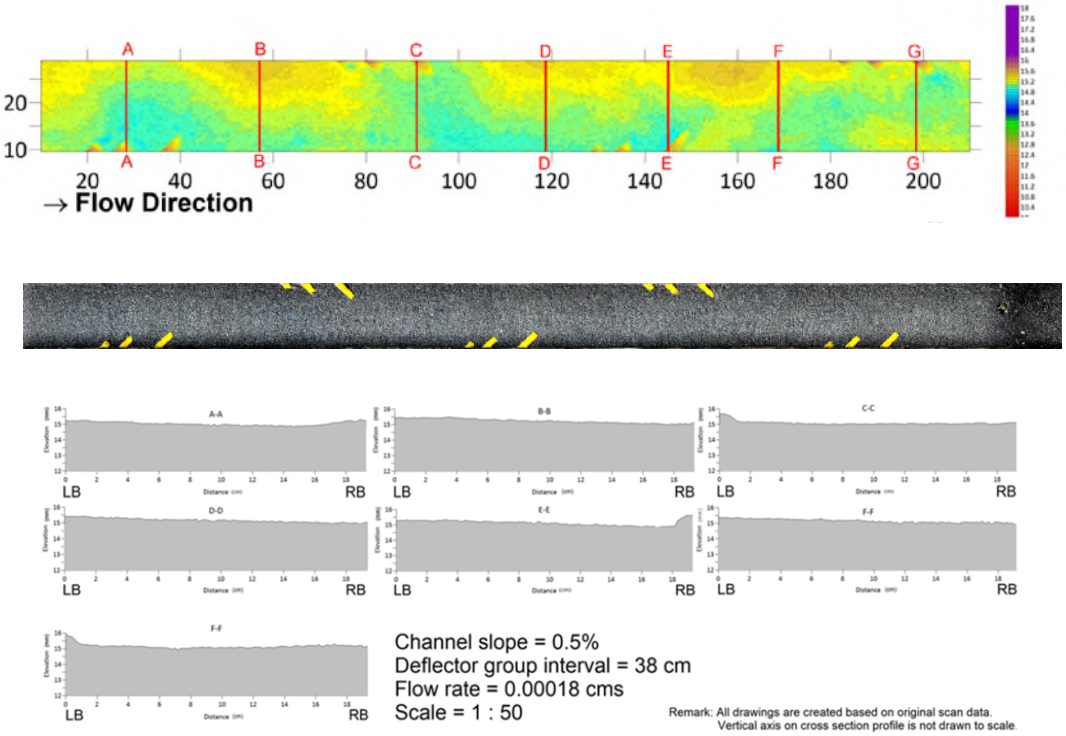


圖 2 - 40. 挑流工動床試驗成果(Q_{min}_GI=38cm_S=0.5%)

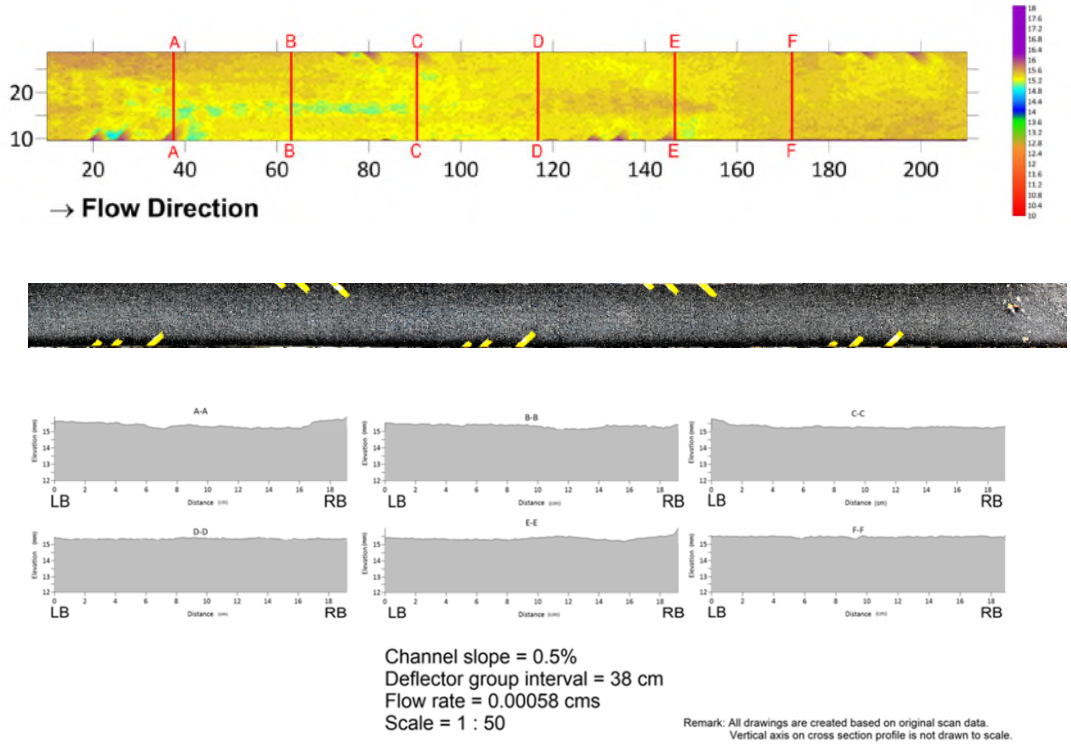


圖 2 - 41. 挑流工動床試驗成果(Q_{max}_GI=38cm_S=0.5%)

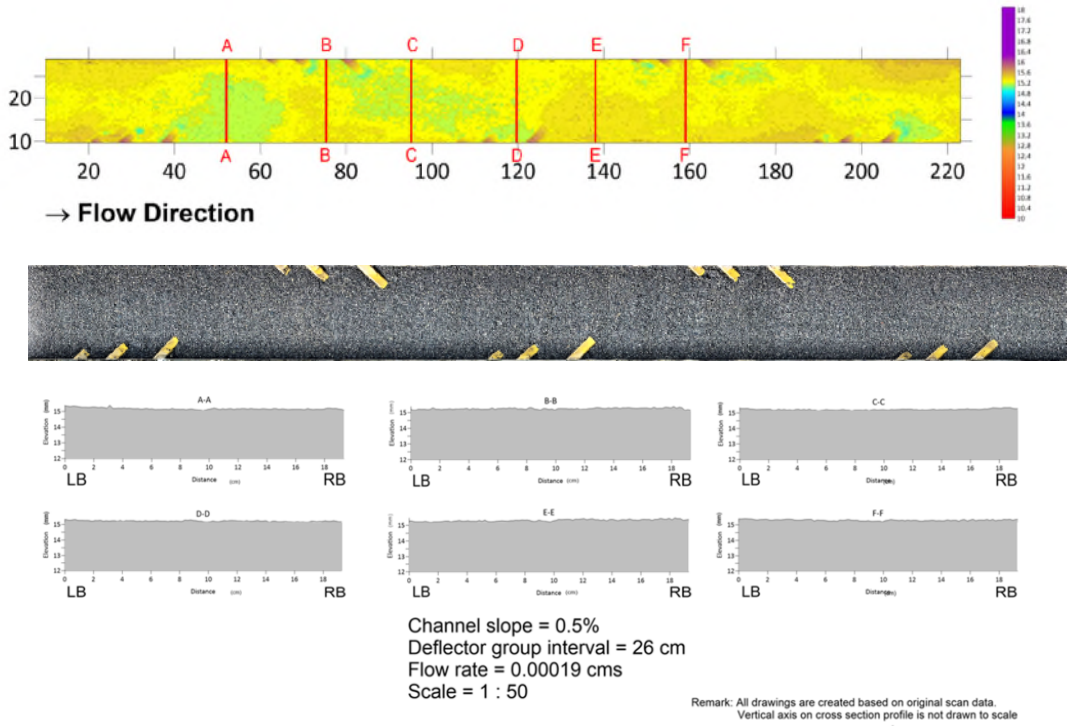


圖 2 - 42. 挑流工動床試驗成果(Q_{min}_GI=26cm_S=0.5%)

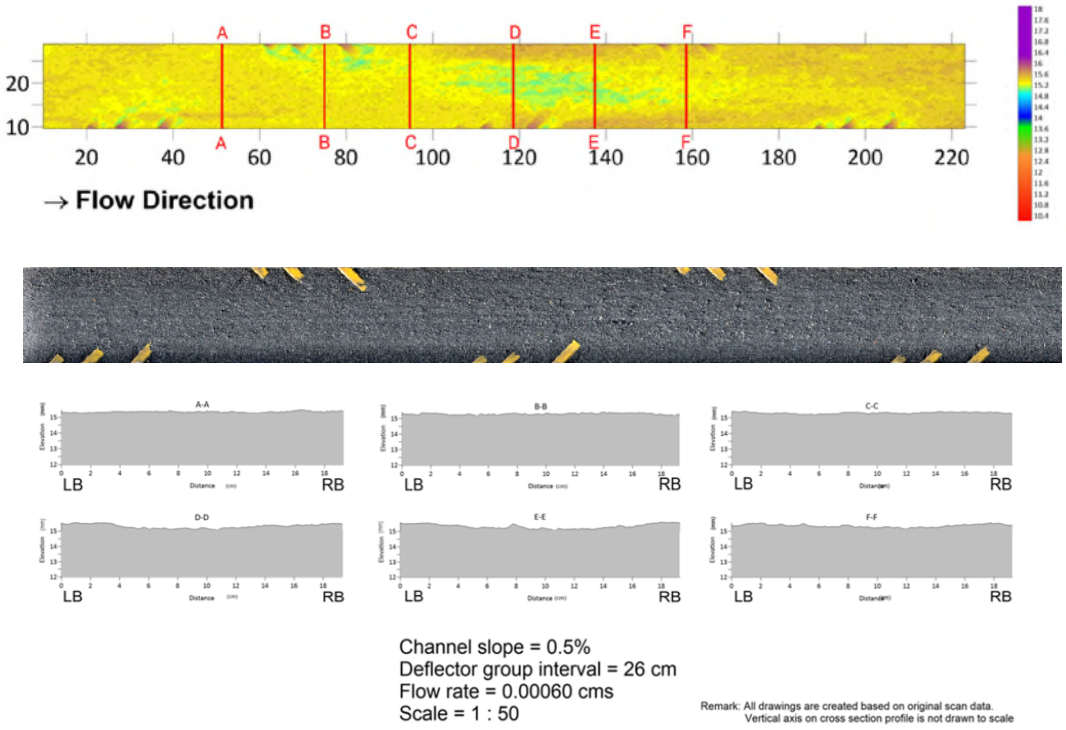


圖 2 - 43. 挑流工動床試驗成果(Q_{max}_GI=26cm_S=0.5%)

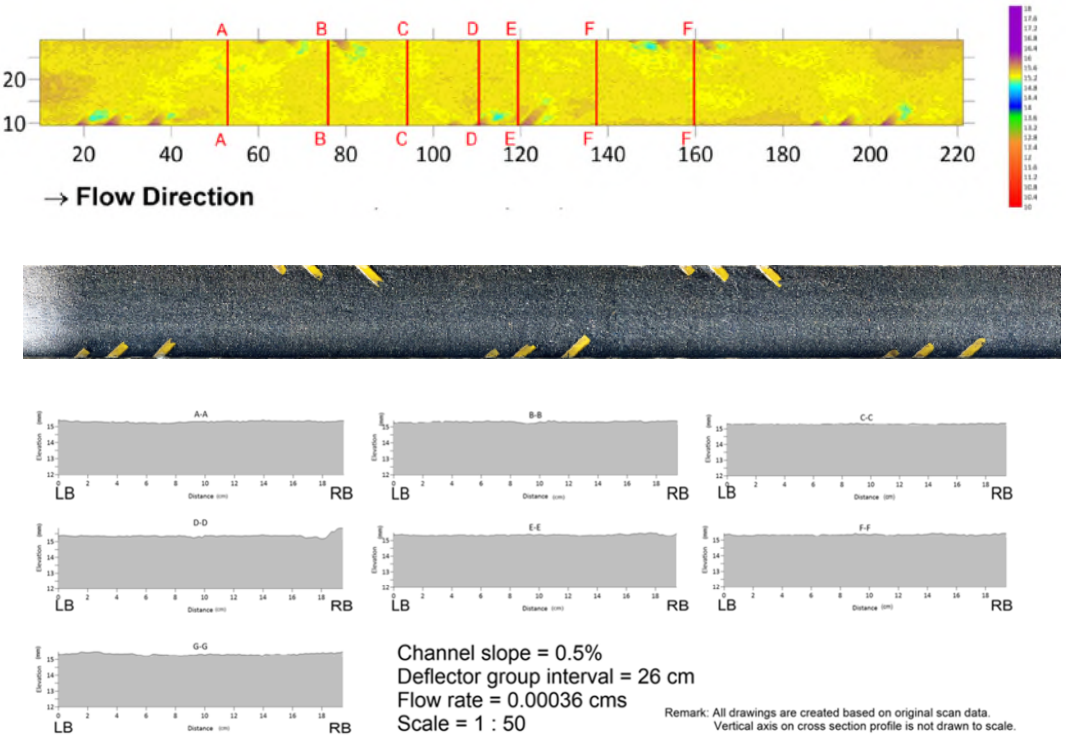


圖 2 - 44. 挑流工動床試驗成果(Q_{mid}_GI=26cm_S=0.5%)

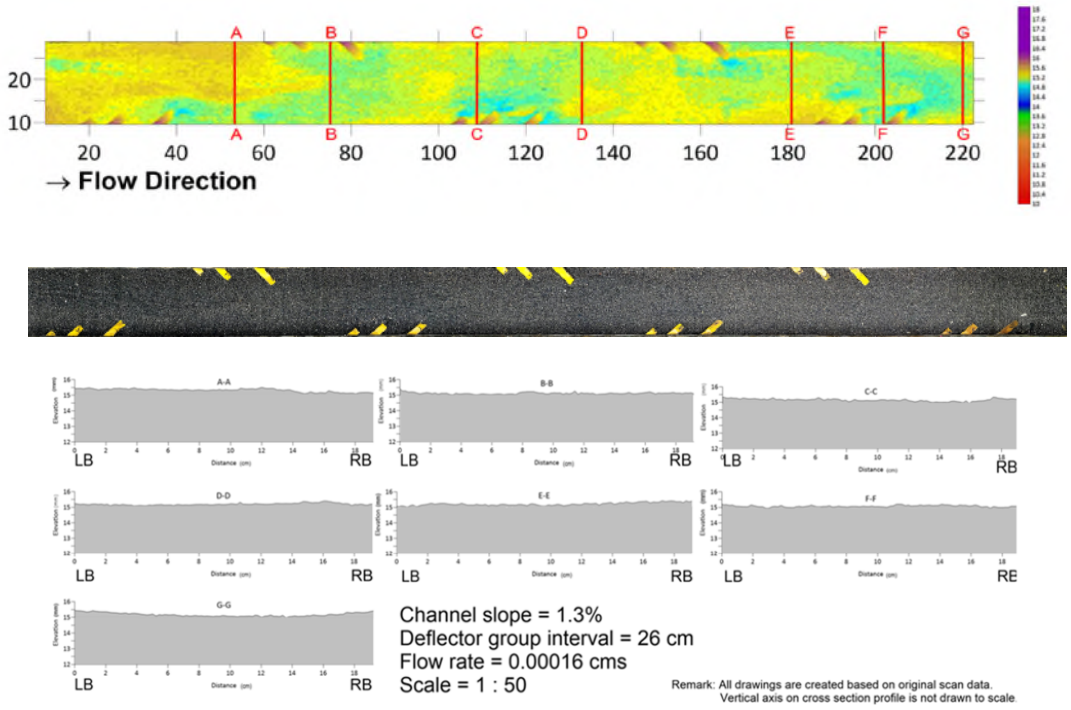


圖 2 - 45. 挑流工動床試驗成果(Q_{min}_GI=26cm_S=1.3%)

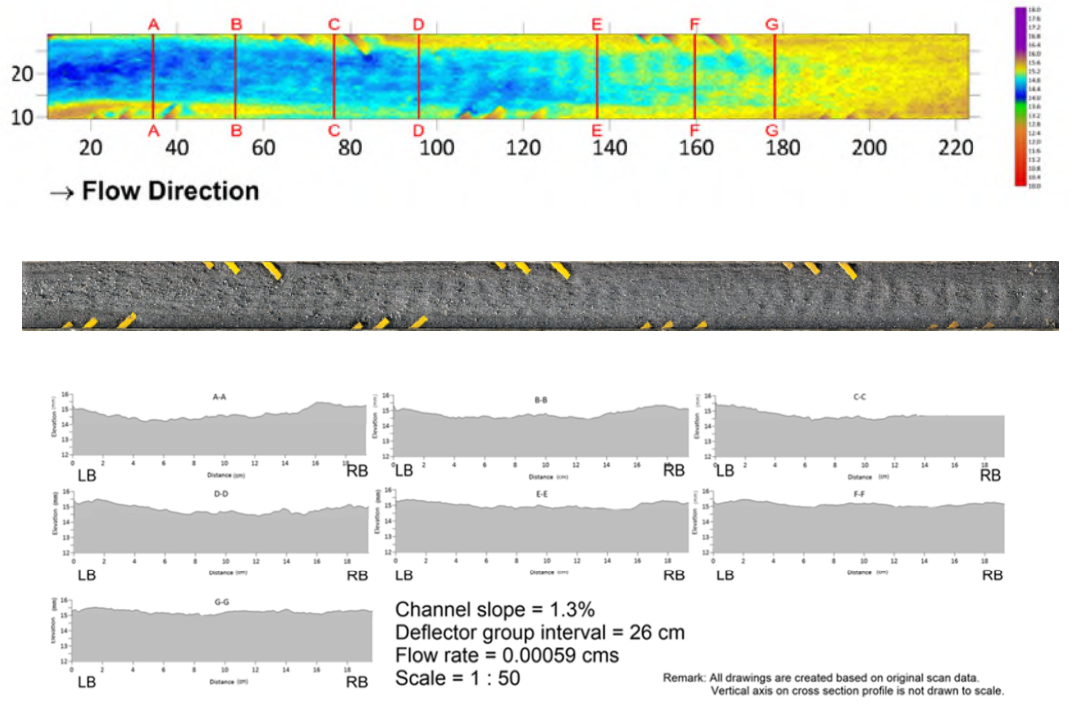


圖 2 - 46. 挑流工動床試驗成果(Q_{max}_GI=26cm_S=1.3%)

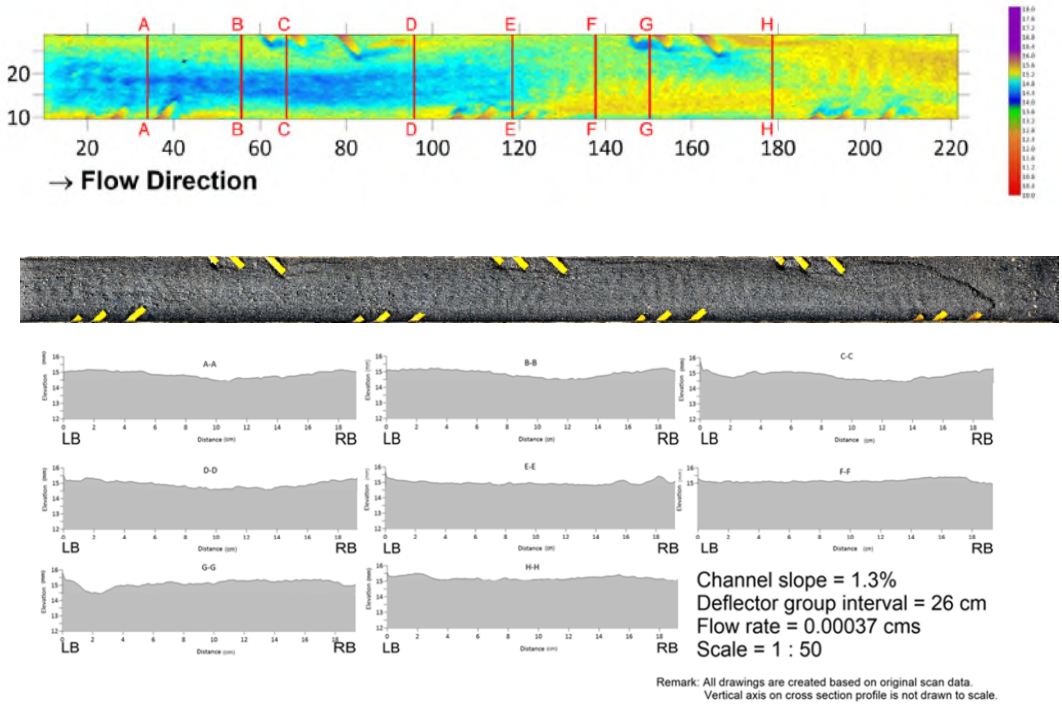


圖 2 - 47. 挑流工動床試驗成果(Q_{mid}_GI=26cm_S=1.3%)

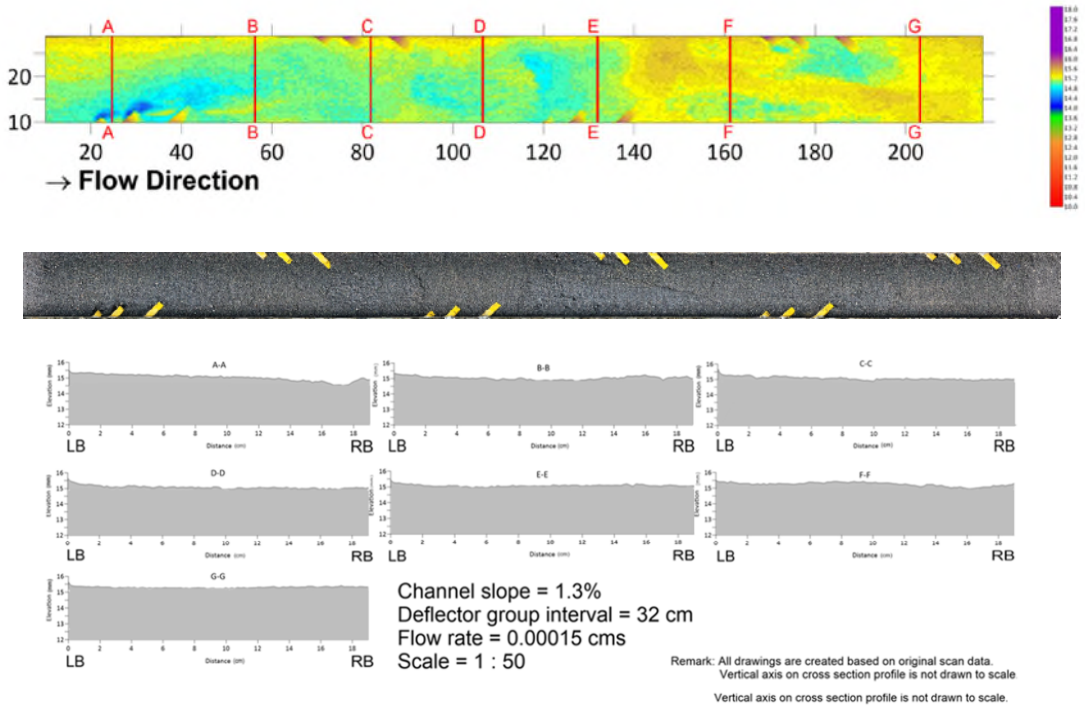


圖 2 - 48. 挑流工動床試驗成果(Q_{min}_GI=32cm_S=1.3%)

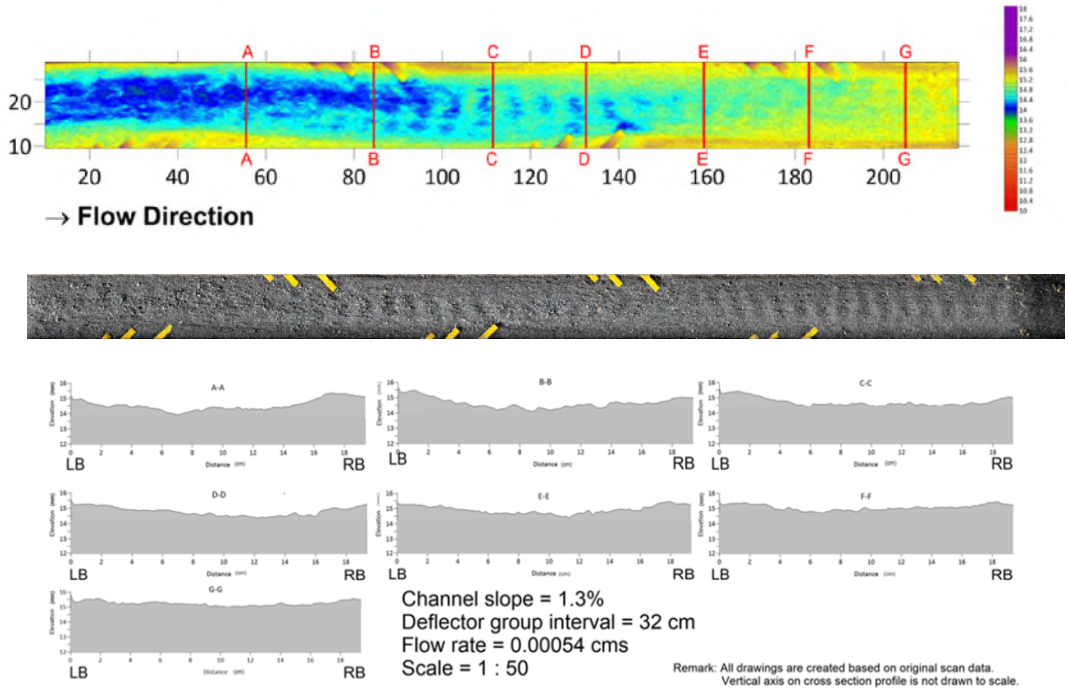


圖 2 - 49. 挑流工動床試驗成果(Q_{max}_GI=32cm_S=1.3%)

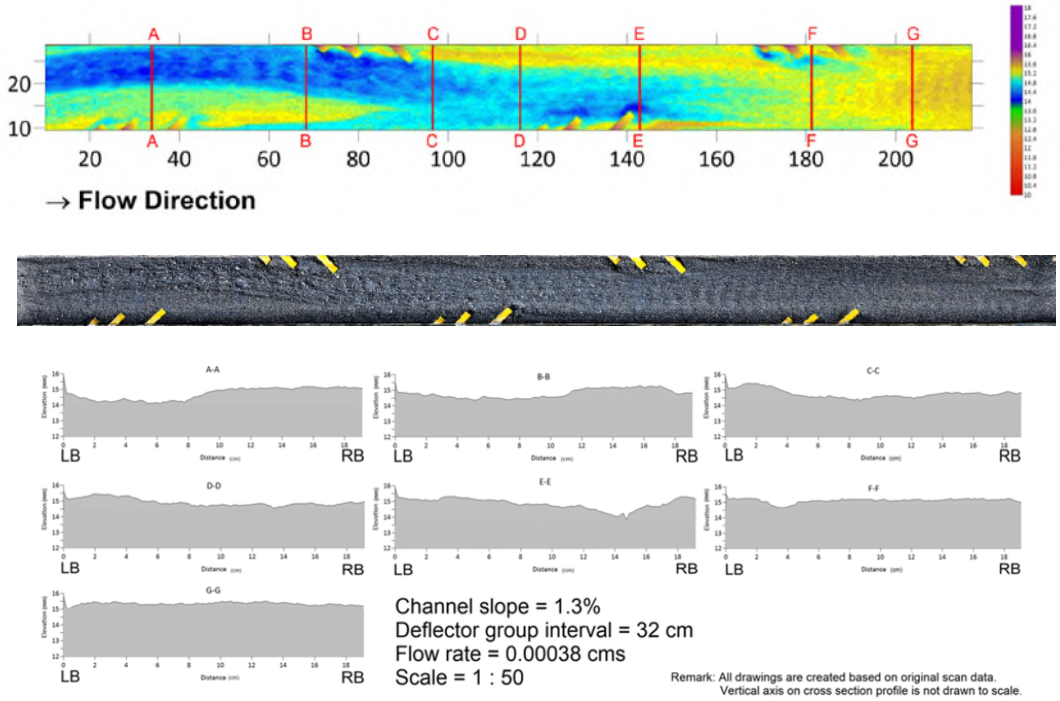


圖 2 - 50. 挑流工動床試驗成果(Q_{mid}_GI=32cm_S=1.3%)

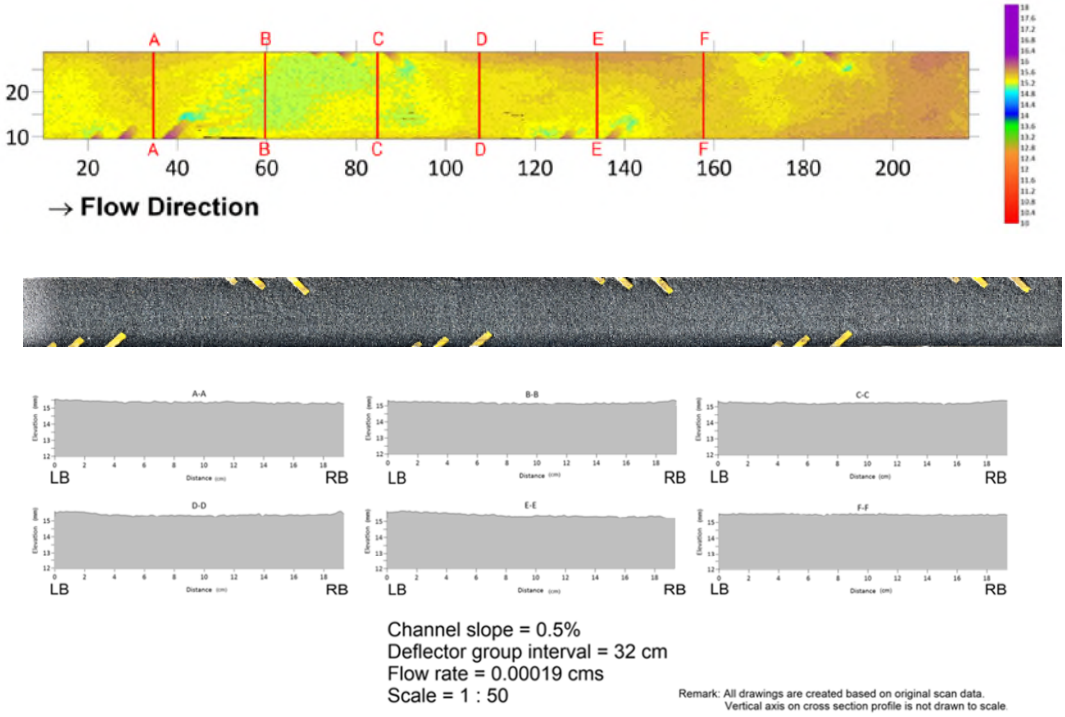


圖 2 - 51. 挑流工動床試驗成果(Q_{min}_GI=32cm_S=0.5%)

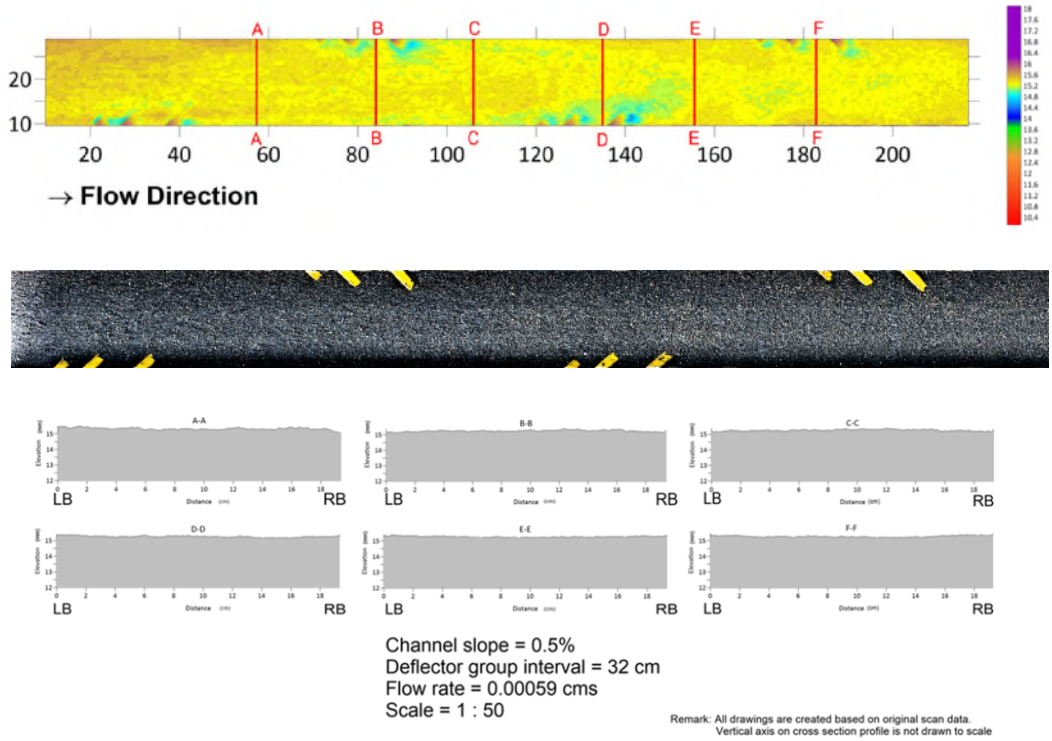


圖 2 - 52. 挑流工動床試驗成果(Q_{max}_GI=32cm_S=0.5%)

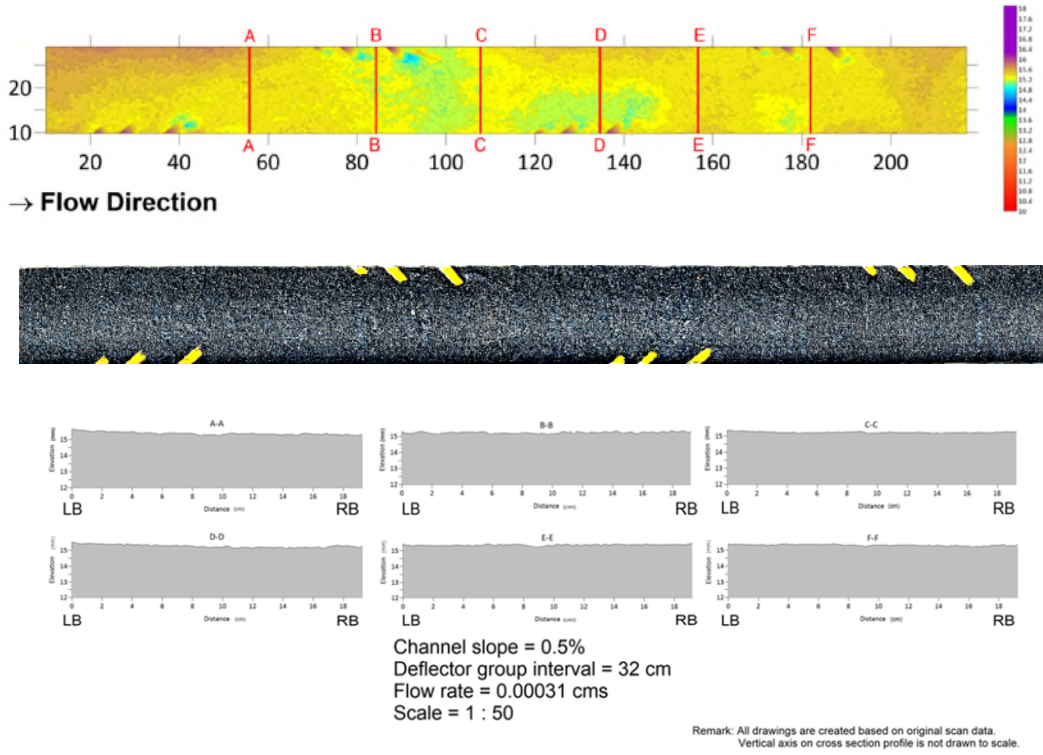


圖 2 - 53. 挑流工動床試驗成果(Q_{mid}_GI=32cm_S=0.5%)

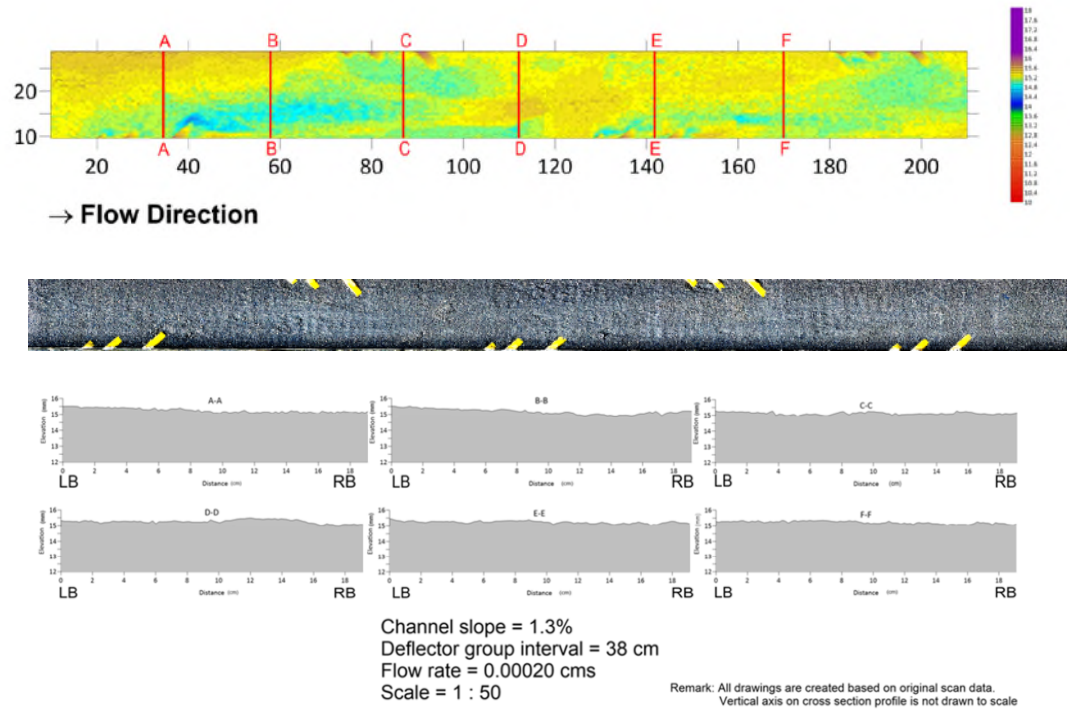


圖 2 - 54. 挑流工動床試驗成果(Q_{min}_GI=38cm_S=1.3%)

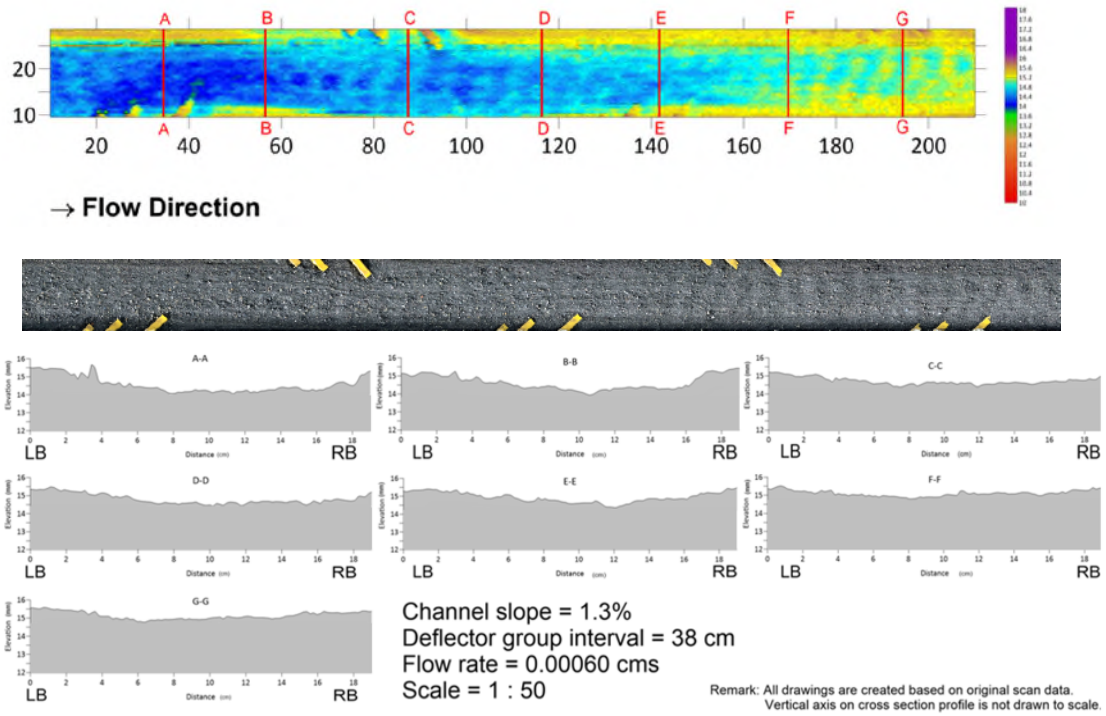


圖 2 - 55. 挑流工動床試驗成果(Q_{max}_GI=38cm_S=1.3%)

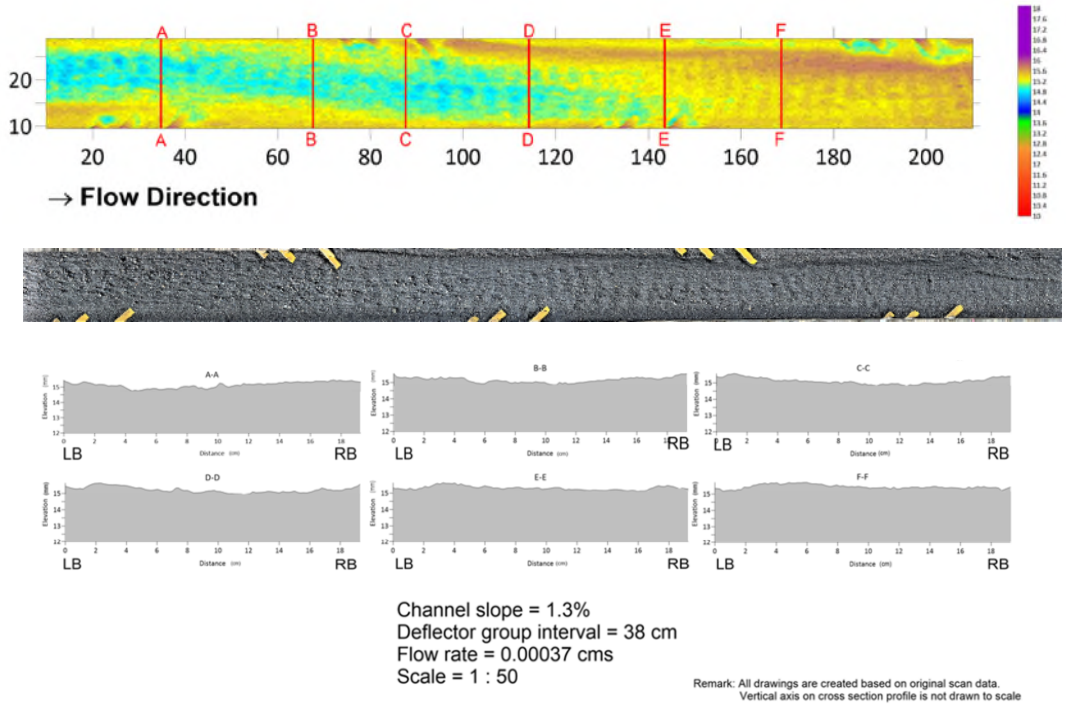


圖 2 - 56. 挑流工動床試驗成果(Q_{mid}_GI=38cm_S=1.3%)

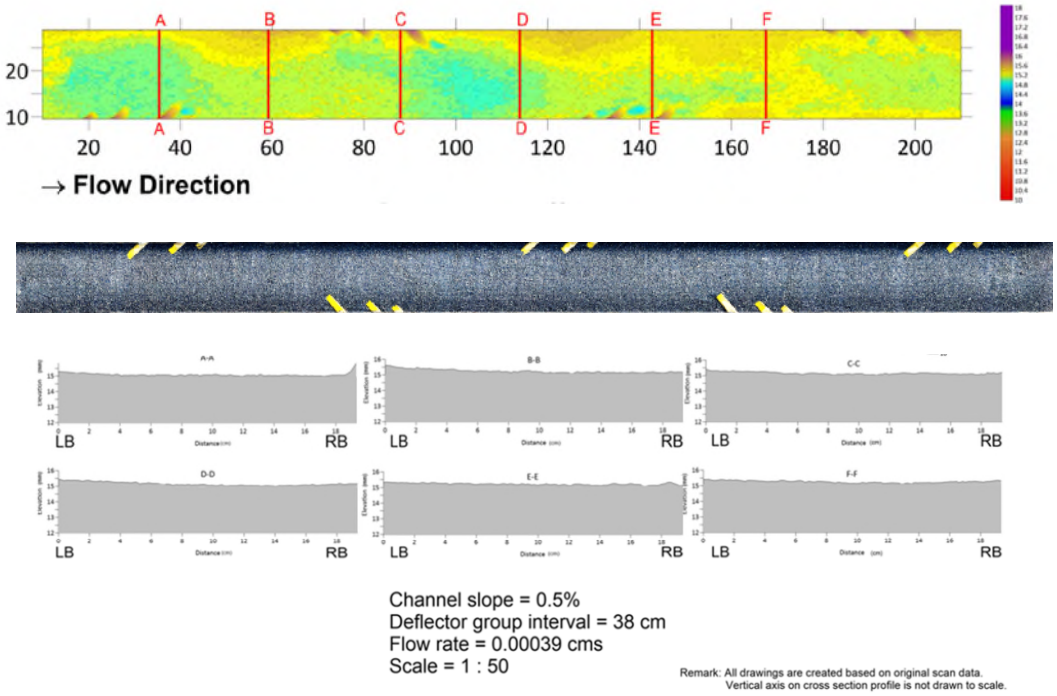


圖 2 - 57. 挑流工動床試驗成果(Q_{mid}_GI=38cm_S=0.5%)

圖 2-58~2-60 則分別以試驗流量的高低 (Q_{min}、Q_{mid}、Q_{max})分類，以試驗渠床坡度 (channel slope)及試驗之挑流工群組距 (group interval, GI)為自變數，對所營造的溪床蜿蜒之彎曲指數 (Sinuosity Index, SI) 進行繪圖。

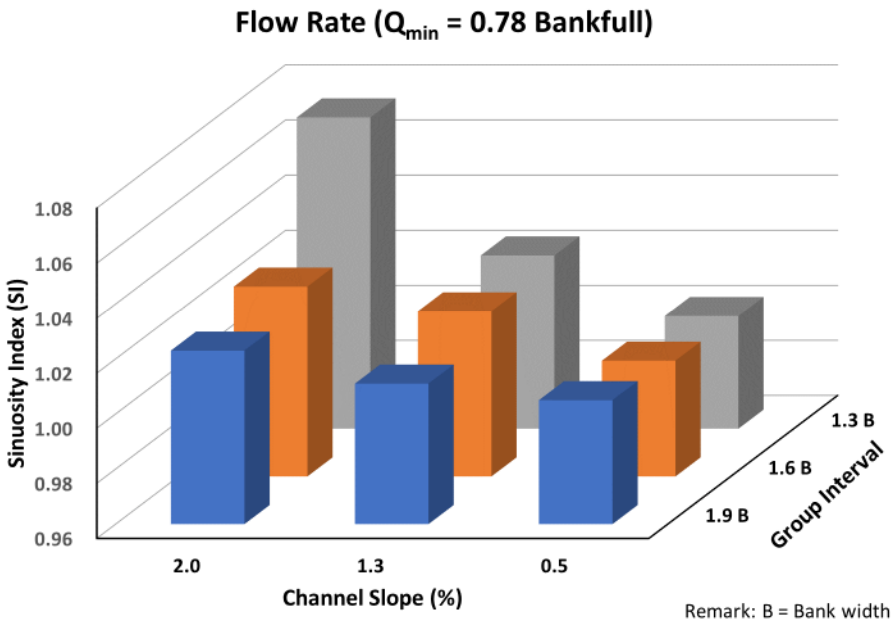


圖 2 - 58. 低流量下，渠床坡度與挑流工組距所營造蜿蜒之彎曲指數

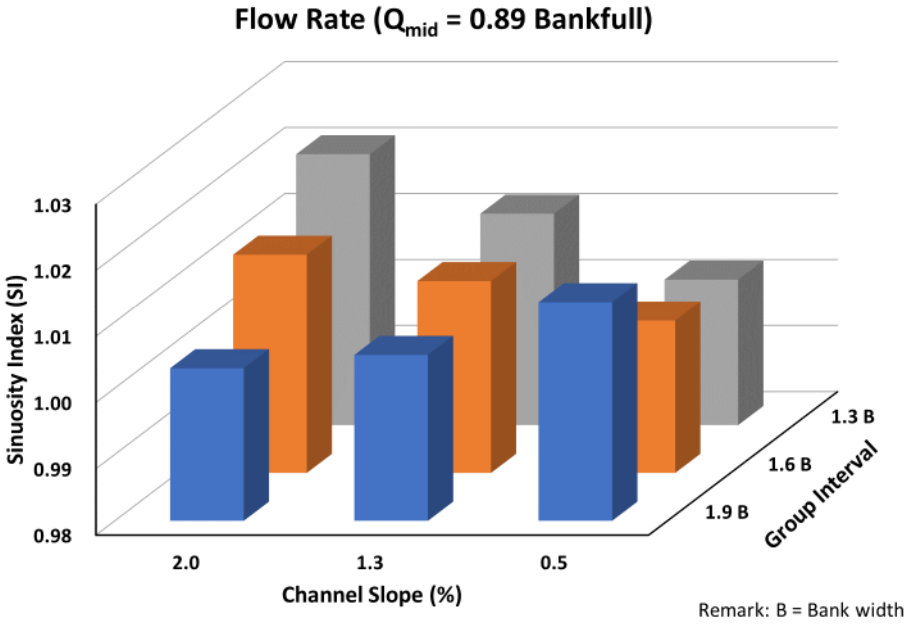


圖 2 - 59. 中流量下，渠床坡度與挑流工組距所營造蜿蜒之彎曲指數

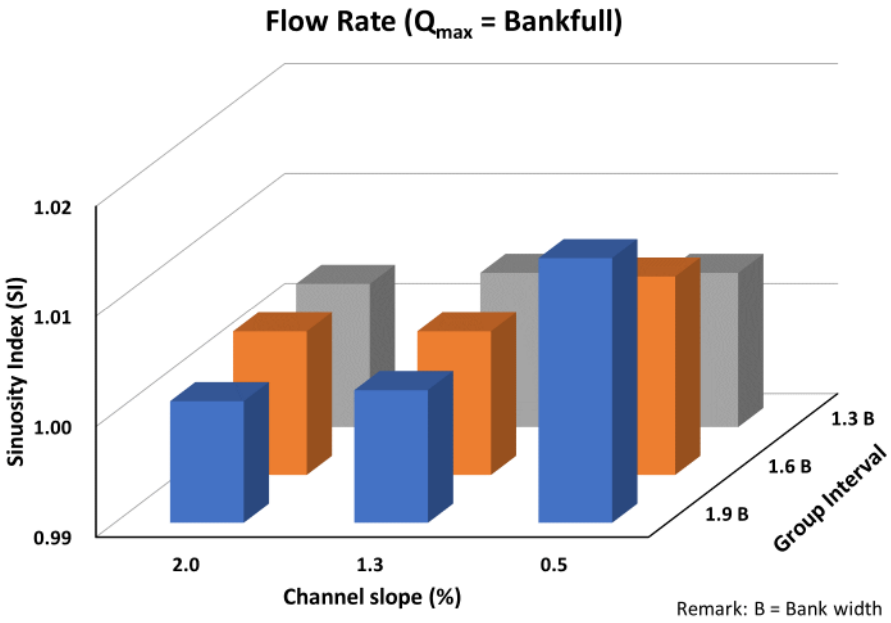


圖 2 - 60. 高流量下，渠床坡度與挑流工組距所營造蜿蜒之彎曲指數

由圖 2-58 至圖 2-60 可以看出：

A.當治理之直線溪段的水位屬於低水位狀態 (圖 2-58)；也就是水流流量僅淹沒上游挑流工的舌部，相當於 0.78 倍的溪流幅寬 (bankfull)；挑流工群所營造溪流蜿蜒之彎曲指數隨著溪床坡度增加而增加，其中又以短組距 (GI_{min} = 26 cm) ；亦即，組距 (GI) 設定在 1.3 倍整治段幅寬 (GI = 1.3B；B = bank width)；最為明顯。隨著挑流群組距的增加，挑流工所營造的溪流蜿蜒變得越來越不明顯，因為經過挑流後的水流逐漸於組距間恢復順直流向，因此長組距 (GI_{max} = 38 cm)；亦即，組距設定在 1.9 倍整治段幅寬 (GI = 1.9 B)；挑流工群對於溪流蜿蜒的營造效果不明顯。

B.當直線溪段的水位屬於中水位狀態 (圖 2-59)；也就是水流流量淹沒至上游挑流工軸體一半的位置，相當於 0.89 倍的溪流

幅寬；挑流工群所營造溪流蜿蜒的彎曲指數隨著溪床坡度增加而增加，尤其是短組距 (GI = 1.3B)、中組距 (GI = 1.6B) ；亦即，組距設定在 1.3 倍、1.6 倍整治段幅寬；最為明顯。當挑流工群的組距為長間距 (GI = 1.9B) 時；亦即，組距設定在 1.9 倍整治段幅寬；挑流工群的挑流效果反而下降並且隨著溪床坡度的上升而下降。

當水流的流量足以淹沒上游挑流工軸體一半的位置時，挑流工對水流的作用開始更加明顯，藉由挑流工軸體向溪流中心傾斜的設計，水流不但被挑往溪流中央，同時也往溪床潛進。由於上游挑流工的長度僅溪幅寬度的 3/20 B、深入溪流的橫向投影長度為 0.11B，而水流涵蓋上游挑流工於垂直護岸方向的投影長度 (以下簡稱橫向投影長度) 為 0.05B，表示僅有少部分的水流會受到挑流的影響，不至於過度挑流。此時，經過上游挑流工些微挑流的溪水混入挑流工舌部外的水流中，造成緊鄰挑流工舌部的水流流況改變。由於僅有少部分的水流受到挑流的影響，再加上挑流工軸體軸向的下傾設計，不但使得水流不會立即面對構造物，而挑流工軸體迎水方向的傾斜設計又讓水流可以順勢通過，使得挑流工舌部的溪床僅受到些微淘刷。

當水流通過上游挑流工隨之進入中游挑流工時，由於兩支挑流工近距離的 offset 設計，讓水流持續順勢往溪流中央並沿著中游挑流工軸體迎水傾斜的方向流動。中游挑流工的長度為溪幅寬度的 5/20、深入溪流的橫向投影長度為 0.18B，而

水流涵蓋中游挑流工橫向投影長度因為(1).上游挑流工的影響，(2).中游挑流工的踵部高程較上游挑流工為高的緣故，使得中游挑流工約有 27.78% 的橫向投影長度被水流所淹沒，中游挑流工的挑流工能得以發揮。原先受上游挑流工舌部挑流的水流再一次有機會被挑流，之後沿著軸體朝溪流中間流動，為接下來的蜿蜒做準備。

當水流通過中游挑流工隨之進入下游挑流工時，兩支挑流工之間採用長距離 offset 的設計理念乃是源自於定床試驗的觀察。定床試驗顯示，中游挑流工已經可以將水流挑離溪岸，如果將下游挑流工以短 offset 配置，只是會讓下游挑流工被埋沒於中游挑流工的庇蔭之下，對於溪流蜿蜒的延續並沒有太大幫助。

下游挑流工的長度為溪幅寬度的 7/20、深入溪流的橫向投影長度為 0.25B，表示有 56.18% 的橫向投影長度被水流所淹沒，使得挑流的效果及水流的蜿蜒得以延續至下一組挑流工。

綜合低水位 (0.78 bankfull) 及中水位 (0.89 bankfull) 的水工試驗結果，在溪床坡度 1.3% 及 2% 的情況下，溪流蜿蜒的彎曲指數均隨著組距的縮小而增加，但在溪床坡度 0.5% 時則不明顯，甚至出現溪床蜿蜒之彎曲指數隨著挑流工組距的縮短而下降的現象，如圖 2-58 及圖 2-59 所示。主要是因為在緩坡降的條件下，水流流速緩，水流原本就有自然蜿蜒的傾向，過短的挑流工群組距；如 GI = 1.3B 及 GI = 1.6B；反而阻礙了溪水自然蜿蜒的發展。因此，本計畫認為，倘若整

治的直線溪段坡度平緩時，若要營造出溪流蜿蜒的型態，則挑流工群的組距不宜小於整治段溪流幅寬的 1.6 倍。

C.當直線溪段的水位屬於高水位狀態時 (圖 2-60)；也就是水流流量淹沒至上游挑流工軸體的踵部位置，相當於溪流的幅寬，除了溪床坡度 0.5% 之外，溪流蜿蜒的彎曲指數仍隨挑流工群組距的縮短而些微增加，只是彎曲指數增加的幅度不如低水位及中水位。此時整個挑流工群全數淹沒在水流中，既使隱沒的挑流工對水流仍有改變流速及流向的作用，但受到淹沒水流的遮蔽，對於水面下的溪床蜿蜒營造無法產生實質貢獻，而水流表面亦明顯變得較為平穩。

雖然本計畫所研發的挑流工在面對高水位狀態時對於溪流蜿蜒的營造並不明顯，但並不代表該設計的失敗。本計畫進行縮尺水工試驗時每一組試驗均歷時至少 3 小時，且以定量流進行試驗，若以 1:50 縮尺比例計算，歷時 3 小時的試驗相當於原型狀態下 21.21 小時的定量流情境，而實際溪流流量的變化會隨上游水流的匯集，洪峰逐漸到達，隨後隨著降雨的停止，溪流流量逐漸下降。因此，當治理溪段的流量隨著時間的進程而逐漸增加、洪峰到達、洪水消退的過程，等於是面對了水工試驗的低、中、高、中、低水位的情境，溪流的蜿蜒營造也會隨之發生、發展、消退，直到溪流水位再一次降低至低流量時，溪流與溪床的蜿蜒會再一次出現。

圖 2-61 至圖 2-63 乃是分別挑流工群的組距 (GI) 進行分類繪

圖，組距的表示方式是以整治段溪流的寬度 (Bank width) 比例呈現。圖中的 X 軸代表整治溪段的縱向設計坡度，Y 軸則是代表整治溪段面對的水流水位，並以 Bankfull 代表滿槽流量 (本計畫水工試驗所謂的高水位流量)、0.89 Bankfull 代表本計畫水工試驗所謂的中水位流量，而 0.78 Bankfull 則代表本計畫水工試驗所謂的低水位流量。以低、中、高水位來表示挑流工群所要面對水流流量的作法，乃是效法日本福留 脩文先生生前所推動的低水水制工及高水水制工的概念。

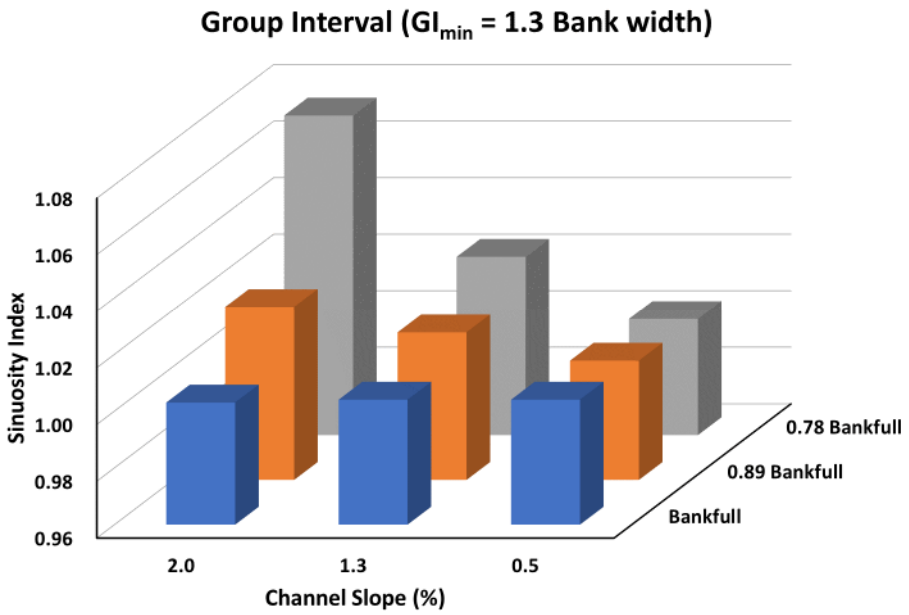


圖 2 - 61. 短組距下挑流工群營造溪流蜿蜒之彎曲指數

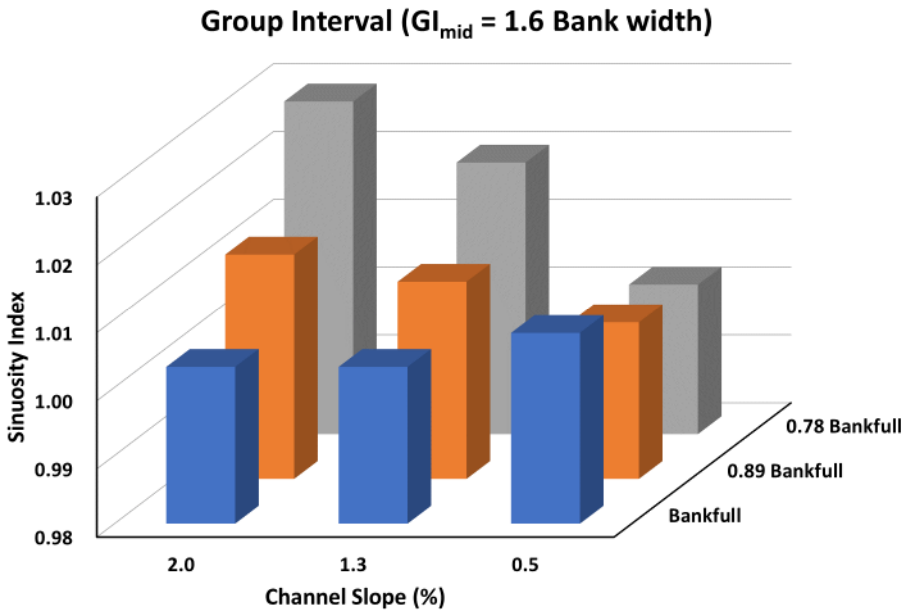


圖 2 - 62. 中組距下挑流工群營造溪流蜿蜒之彎曲指數

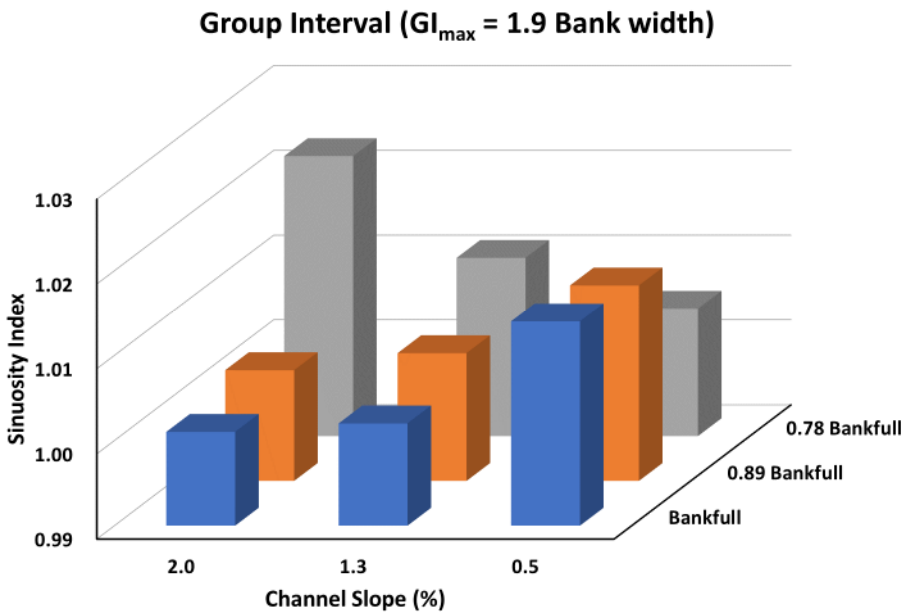


圖 2 - 63. 長組距下挑流工群營造溪流蜿蜒之彎曲指數

整體而言，雖然在低水位、溪床坡度小於 2 % 時，挑流工群的設置雖然對於溪流蜿蜒沒有明顯貢獻，屬於 Morisawa (1985) 溪流型態分類標準的順直河道 (straight channel)，但是當低水位、溪床坡度

為2％ 時,溪流蜿蜒之彎曲指數達到 1.073,屬於 Morisawa (1985) 溪流型態分類標準的彎曲河道 (meander channel)，使溪流樣貌趨向多變。

四、小結

本計畫所設計的挑流工群及其配置可以改變溪床深槽及兩岸的蜿蜒，深槽彎曲指數最高可達 1.073，若依據 Morisawa (1985) 對於溪流彎曲度的溪流型態分類標準，順直河道的彎曲指數小於 1.05、彎曲河道的彎曲指數大於 1.05、蜿蜒河道的彎曲指數大於 1.50、辮狀河道的彎曲指數大於 1.30、網狀河道的彎曲指數大於 2.00，可見本計畫所設計的挑流工群可以在兩岸受護岸所侷限的環境下形成彎曲河道的型態。因此，透過本計畫研發的挑流工群，可以在整治後受兩護岸侷限的直線溪段營造出被動式蜿蜒 (passive meandering)。

就實務應用層面而言，本計畫提出以下幾點建議：

1.對於溪床坡降緩於 2%的溪流，應再評估是否需要設計系列固床工的必要。本計畫水工試驗是在試驗渠道完全沒有系列固床工的情況下進行，以挑流工群的方式進行溪流蜿蜒的營造，且試驗觀察發現，不但沒有溪床縱向淘刷的疑慮，而且可以達到多樣的溪流型態。

2.挑流工群間的組距對於受兩岸護岸所侷限之溪流蜿蜒具有確定的影響，太緩的溪床坡降；例如 0.5%；建議挑流工群的組距採用約 1.9 倍的溪流幅寬，讓溪流蜿蜒可以順自然趨勢發展。溪床坡降達到 2.0%時，則建議挑流工組距可以採用 1.6 倍溪幅寬度配置；若要營造出更為明顯的溪床與溪流蜿蜒，則可以考慮組距採用 1.3 倍溪幅寬度配置。

3.挑流工群不建議採用等軸長的方式設計，上游端的挑流工軸長宜短，中間及下游挑流工的軸長則應逐漸加長，同時，中、下游挑流工之間的 offset 距離建議增加，以免下游端的挑流工受到中間挑流工挑流的庇蔭而失去其設置的目的。詳細的挑流工群設計，可參考圖 2-28。

4.挑流工軸體宜採用向溪流中間傾斜的方式設計，上游端挑流工軸體的傾斜角度可以加大，藉由短軸長、高傾斜角的設計，讓上游水流可以提前但小幅度的挑流，且提早潛入水流中。中間的挑流工軸體傾斜角則設計較上游挑流工為緩，讓挑流及翻越上游挑流工的水流可以順勢翻越，減少構造物對水流所造成的阻力與下沉渦流對軸體基礎之溪床的淘刷。

5.本計畫所採用動床水工試驗的床砂平均粒徑 (D_{50}) 為 1.05 mm，相當於原型實物床砂粒徑 52.5 mm，倘若整治段溪流床砂平均粒徑小於 52.5 mm，則建議上游挑流工的基礎深度可再加深，或是減緩上游挑流工軸體之軸向傾斜角度，以減少水流遇到上游挑流工所形成下沉渦流對溪床淘刷的規模。倘若整治段溪流床砂平均粒徑大於 52.5 mm，則建議直接採用本計畫的設計及建議組距，但若要讓整治段溪流能夠在較大床砂粒徑條件下形成更明顯的蜿蜒，本計畫建議挑流工群的組距可以採用 1.3 倍溪幅寬度配置。

6.為簡化應用挑流工群於整治溪流之直線段營造溪流蜿蜒型態，本計畫建議挑流工群的組距採用 1.5 ~ 1.6 倍溪幅寬度配置。

7.對於溪床平均坡度超過 2% 之溪流蜿蜒營造而言，本計畫水工試驗之最大試驗坡度為 2%，但由最大試驗坡度的觀察與分析結果推斷，本計畫認為挑流工群的組距儀不宜過長，因為在較陡的溪床坡

度情況下，水流受挑流後恢復直近的潛勢高於其在緩溪床坡度的環境，且恢復直近所需要的流長較緩溪床坡度的環境為短，因此，在坡度較陡的整治直線段不宜採用 1.9 倍、甚至 2 倍溪幅寬度配置，所造成溪床縱向淘刷的機會會因長組距而增加。故，建議採用 1.3～1.6 倍溪幅寬度配置，但不宜採用小於 1.3 倍溪幅寬度配置，因為在坡度較陡的整治直線段採用過短的挑流工組距將會使得水流於短距離內連續蜿蜒而導致挑流工舌部與軸體迎水面下方近基礎位置溪床的淘刷。

第三章 隱入式固床工之研發與成果

本計畫為兩年期計畫，去 (110) 年度主要的重點工作是以水工縮尺試驗，測試所研發的挑流構造物於試驗條件下營造溪流蜿蜒的可行性。水工試驗的結果證實本計畫所研發的挑流工群，可以達到溪流蜿蜒營造的目標。今年度則設計、測試隱入式固床工並對其進行水工縮尺試驗，以探討隱入式固床工營造深潭-溜-湍瀨結構的可能性。

一、隱入式固床工的設計發想

目前國內所使用的固床工，無論是傳統式、淺碟式、開口式、踏步式、弧形，均存在固床工趾部溪床局部淘刷 (local scour) 的問題。為了解決固床工趾部溪床局部淘刷的問題，吳嘉俊等 (2016) 曾進行拋石保護控制固床工趾部局部淘刷之研究，以探討拋石保護段長度及拋石粒徑大小對減輕固床工趾部渠床淘刷的效益。除了瞭解拋石保護措施下渠床局部淘刷的縮減與淘刷機制外，更透過因次分析，尋求拋石保護段長度與拋石粒徑之無因次設計公式。

吳嘉俊等 (2016) 研究結果顯示，拋石雖可以減輕固床工趾部溪床的局部淘刷，但並不能完全消除。當拋石保護段的長度為固床工間距長度的 1/4 時，渠床淘刷深度的最大縮減百分比隨著拋石粒徑與渠床床砂粒徑比的增加而從 83% 降低為 76%；當拋石保護段的長度為固床工間距的 1/2 時，淘刷深度的最大縮減百分比則大致持平。至於淘刷坑長度的最大縮減百分比，則隨著拋石粒徑與渠床床砂粒徑比的增加由 64% 提高為 84%。

國內早期曾採用的「帶工」的名詞，指的是橫向構造物的頂緣與

溪床切齊，完全沒入在溪床中。吳嘉俊自 1998 至 2000 年受行政院農業委員會委託研究固床工間連續帶工間距的試驗研究，以瞭解帶工的水力淘刷特性，並從動床水工試驗中獲得帶工間距的設計公式。

Wu et al. (2002) 將吳嘉俊 (2000) 的研究資料進行彙整分析，獲得帶工下游淘刷坑的幾何形狀公式如下，

$$\frac{d_{sc}}{L_{sc}} = 2.7046\left[\frac{1}{(S_g-1)D_{50}\cdot S\cdot L_I}\sqrt[3]{\frac{q^4}{g^2}}\right]^{-0.3384}$$

其中，d_{sc} = 帶工下游溪床最大淘刷深度 (m)、L_{sc} = 帶工構造物下游面至下游最大淘刷深度的水平距離 (m)、S_g = 溪床床質比密度、D_{50} = 溪床床質中值粒徑 (m)、S = 溪床坡降、L_I = 帶工間距 (m)、q = 整治段之單寬流量 (cms/m)、g = 重力加速度 = 9.81 m/s^2。

吳嘉俊 (2000) 及 Wu et al. (2002) 對系列帶工動床水工試驗的研究發現，系列帶工與系列固床工水力特性不同之處在於投潭水流 (plunge flow)。由於帶工結構緊貼溪床床面，與溪床之間完全沒有高程落差，因此帶工趾部的淘刷受相鄰兩帶工間距的影響甚鉅。當相鄰兩帶工之實物(原型) 間距為 10.0 m 時，溢過帶工的水流於相鄰兩帶工間形成潛流水躍 (submerged hydraulic jump)；當實物間距為 40.0 m 時，溢過帶工的水流於相鄰兩帶工間形成似投潭水流 (pseudo-plunged flow)。當相鄰兩帶工之實物間距為 20.0 m 時，溢過帶工的水流境況則遊走於潛流水躍與似投潭水流之間，如圖 3-1 所示。

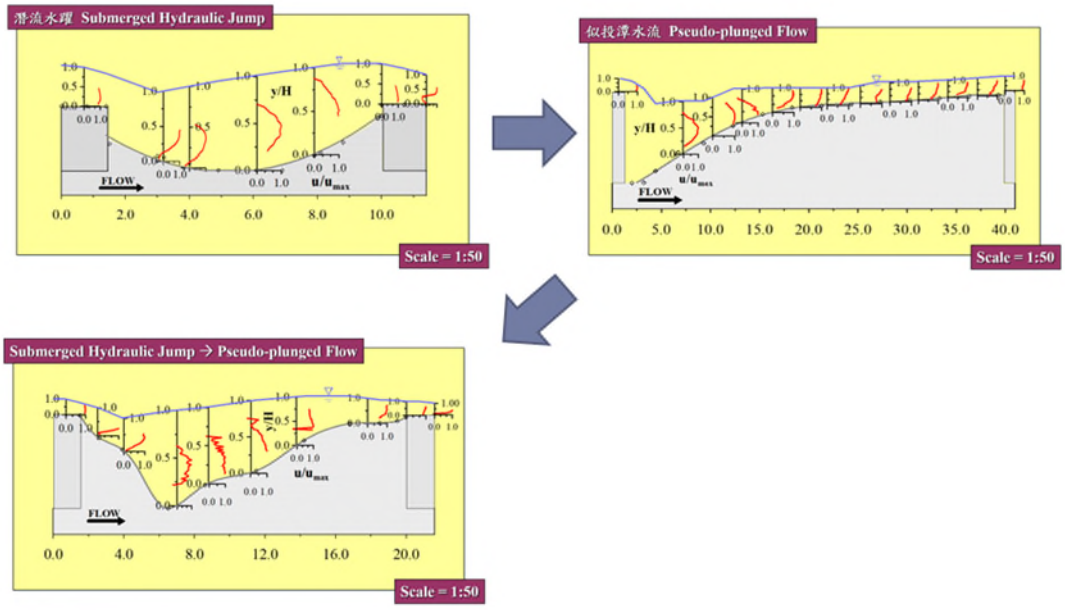


圖 3 - 1. 帶工間溪床淘刷之水力特性

營造深潭-湍瀨 (pool-riffle) 或階段-深潭 (step-pool) 結構之溪流型態構造有其必要的條件。

Montgomery and Buffington (1997) 提出溪流型態觀念示意圖，如圖 3-2 所示。圖中左半邊為溪流型態的平面圖、右半邊為溪流型態的縱剖面圖；其中，平面圖中標示出溪流型態的表徵、縱剖面圖除了標示出溪流型態的成溪床質之外，亦標示出水流的表面。

圖中 A 代表階槽 (cascade) 型態，多出現於溪流出現巨粒且水流流況常處於高紊流狀態、B 代表階段-深潭型態，水流境況在階段區間呈現高度紊流流況，在深潭區間則呈現較為平靜的流況、C 代表平床 (plane bed) 型態，偶而會見到單一巨粒出現在均勻流況中的樣態、D 代表深潭-湍瀨型態，溪流兩岸常伴隨點狀沙丘 (point bars) 交錯出現於溪流兩岸，點狀沙丘之間則出現高度紊流的湍瀨、E 代表沙丘-波紋 (dune-ripple) 型態，兩種型態的床型常橫互於兩岸。

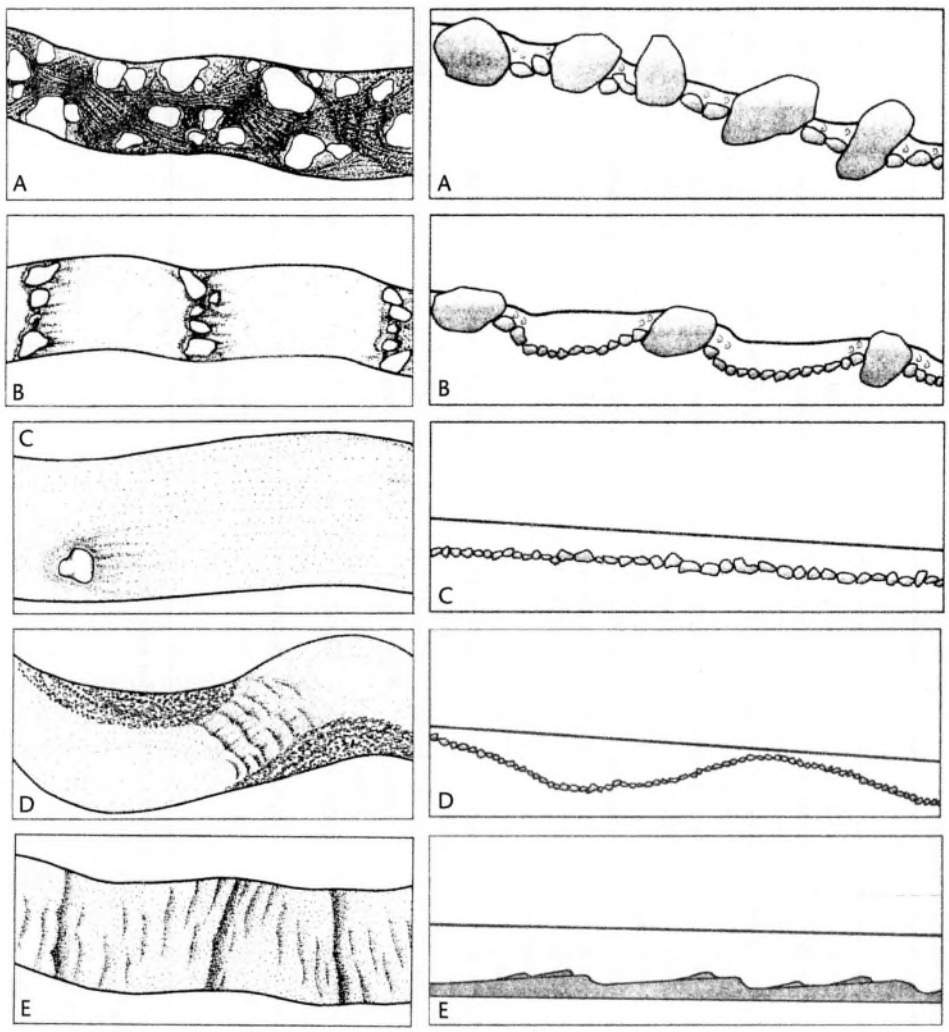


圖 3 - 2. 溪流型態 (Montgomery and Buffington, 1997)

Chin (2002) 曾於 Santa Monica Mountains 的兩處集水區調查 360 個階段-深潭 (step-pool) 樣本，經分析發現，階段-深潭系統重現的溪流長度大約為溪幅寬度的 0.43 ~ 2.40 倍。Chin (2002) 認為，階段-深潭是一種自然形成的消能系統，但它僅限於垂降方向水流的能量削減，無法處理側向水流的能量。換句話說，要利用階段-深潭，甚至深潭-湍瀨結構來營造出溪流蜿蜒是有困難的。

Okazaki et al. (2006) 藉由 35 處、8 個集水區溪流階段-深潭的現

場調查得知，影響深潭型態的因子包含：床質粒徑、溪流坡降、入流流量、階段間的高差、階段寬、階段間距等。除此之外，Okazaki et al. 亦發現，當山區溪流的坡降超過 0.02 時，溪流中產生階段-深潭的機會增加。

二、隱入式固床工的設計與測試

隱入式固床工主要的設計理念係為解決傳統式固床工無法避免的高度落差問題，希望在鞏固溪床安定的同時，也能避免高程落差所帶來投潭水流對固床工趾部溪床產生局部淘刷的負面影響。

隱入式固床工的概念類似於國內早期曾採用的帶工，整體構造物完全沒入在溪床中。本計畫對於隱入式固床工的設計概念是要降低固床工與溪床之間的高程落差，形同類似於帶工的結構，讓固床工完全隱沒在治理後的溪床之下，除了降低固床工的出露高度、消弭投潭水發生的機會之外，更希望能提高整治後溪段在視覺上的協調。

本計畫的隱入式固床工的設計結合了日本水制工「以水制水」的概念，結構高度以中心為最低，向兩岸方向漸次提高，以期在不同水位條件下誘導水流集中。由於水流溢流過橫向構造物時，水流的方向均與橫向構造物的軸線垂直，因此，若要利用隱入式固床工創造出深潭-湍瀨的結構，則隱入式固床工的軸線必須要挑戰傳統式固床工軸線與護岸垂直的設計，以營造出被動式蜿蜒，甚至深潭-湍瀨的溪流型態。

本計畫設計四款隱入式固床工，圖 3-3 的隱入式 A 型固床工設計理念源自於淺碟式固床工，所採用結構體的幾何形狀儘量避免直角設計，以引導水流順勢溢流而過。隱入式 A 型固床工的設計理念乃

結合日本水制工的概念，改採單一構造物的方式，以達到「高水水制」及「低水水制」的功能；亦即，當流量降低時，水流可以由中間的下凹段溢流而過；當水位上升時，左右兩翼的結構則具備挑流的功能。除此之外，固床工的軸心不再與兩岸垂直，而是採用偏角設計，期望能引導水流的蜿蜒。

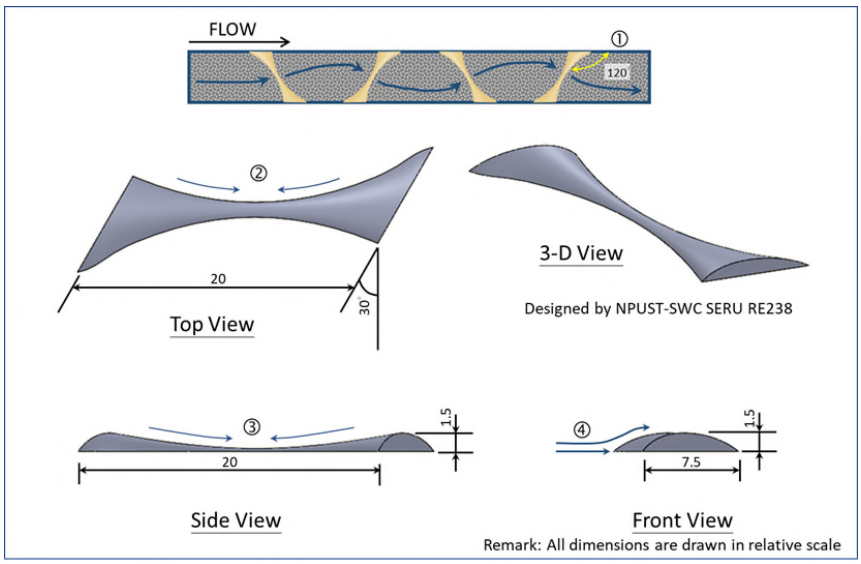


圖 3 - 3. 隱入式 A 型固床工設計圖

圖 3-4 ~ 3-6 隱入式固床工的設計理念與隱入式 A 型固床工相同，只不過在幾何形狀上做了改變，主要的考量是要降低現場施工的複雜度。三款隱入式固床工採中空設計，內填塊石，以形成透水的固床工。計畫主持人曾受行政院農業委員會水土保持局創新研究計畫「透水式固床工之工法研發與水理特性研究」的三年補助 (105 ~ 107 年度)，透過水工試驗方式，測試數款透水式固床工，試驗結果及 Chen and Wu (2020) 之資料分析顯示，透水式固床工可以降低固床工趾部的溪床淘刷問題。因此，這三款隱入式固床工的設計發想乃是取上述三年補助計畫中表現最佳的透水式固床工設計，但是將結透體埋入試

驗渠床中。

隱入式 B 型固床工 (圖 3-4) 的結構體外觀單純，內採中空設計，結構體外框內填塊石，固床工頂緣則與溪床切齊。就現場施工而言，並不會增加施工的困難度，僅需將固床工基礎所在位置的溪床挖開，以鋼筋搭配混凝土澆置形成外框，或是採用 H 型鋼，先行進行裁切需要的尺寸，再於現場組裝，即可完成外框結構。

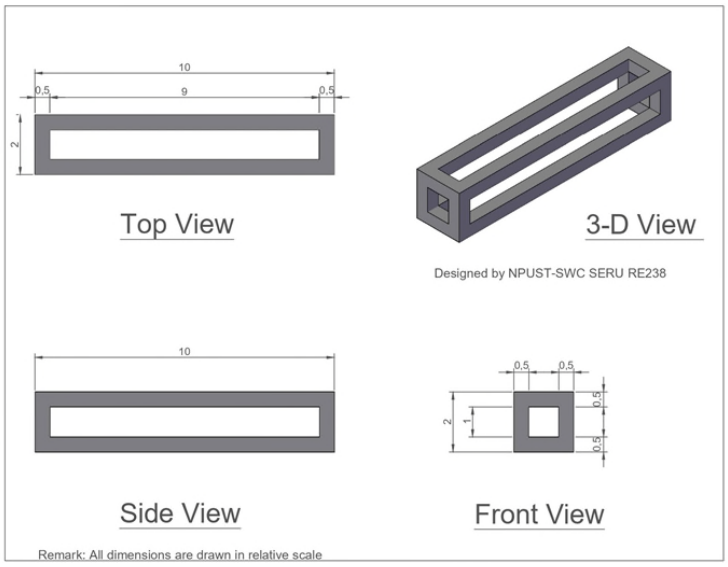


圖 3 - 4. 隱入 B 型固床工設計圖

隱入式 C 型固床工 (圖 3-5) 的結構體外觀仍採中空設計，但是固床工頂緣採向中心傾斜的設計 (V : H ~ 1.0 : 5.6)，其目的是希望能強化水流向中心集中的功能。

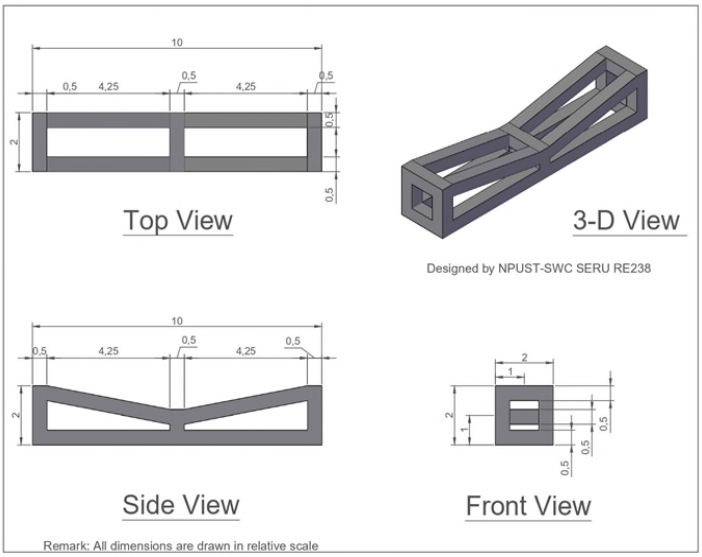


圖 3 - 5. 隱入式 C 型固床工設計圖

隱入式 D 型固床工 (圖 3-6) 的結構體外觀大致上與隱入式 C 型類似，除了在固床工頂緣採用與隱入式 C 型相同的傾斜設計外，於固床工的上、下游面亦採用傾斜設計。設計之目的是希望能更強化水流向中心以及向下游趾部集中的功能，讓水流通過隱入式 D 型固床工後能集中產生深潭。

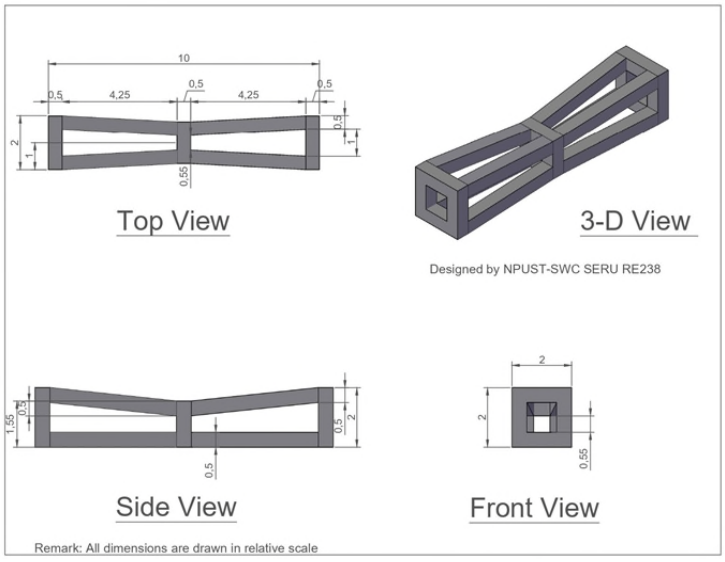


圖 3 - 6. 隱入式 D 型固床工設計圖

隱入式 C 型及 D 型固床工於水工試驗渠槽中配置時，左右兩翼與渠床床面切齊，因此，構造物下凹的部分將低於渠床床面。由於整個結構物隱入溪床中，既使在固床工下游會產生不可避免的局部淘刷，但預期不會影響到結構的基礎。

為瞭解隱入式固床工對於深潭-湍瀨甚至溪流蜿蜒營造的可行性，本研究仍採用清水流試驗；亦即試驗期間不在渠道上游加砂。隱入式 B、C、D 型固床工的內填塊石粒徑則使用參考 105 ~ 107 年度透水式固床工水工試驗的最佳粒徑。

四款隱入式固床工模型依據 1:50 的縮尺比例進行縮小，然後利用 3D 列印技術進行列印，其中 B、C、D 型固床工的頂版採分開列印，待內填縮小塊石之後再將頂版以膠水固定。完成組裝後，最後以矽利康固定於試驗渠槽的兩岸。透水式 A 型固床工模型的製作，因為受到 3D 列印機機台面積的限制，不得不將透水式 A 型固床工模型自結構體切開成為等長度的兩段，列印之後再進行黏合。

為減少隱入式固床工研發所需要的時間，本計畫於隱入式固床工測試階段僅採用最大的 2% 試驗坡度，以及最大的試驗流量 (最大試驗流量與挑流工試驗相同)。測試期間僅對測試的隱入式固床工進行觀察，並從中吸取失敗的經驗，並未對失敗的設計進行詳細的水深量測與試驗的雷射地形掃描，以減少不必要的人力及時間投入。測試的重點在於瞭解各型隱入式固床工的優缺點、軸心方向，以及相鄰兩隱入式固床工間的間距，以做為調整隱入式固床工設計的參考。

四款隱入式固床工簡易測試發現，隱入式 A 型固床工兩側端點雖然採用圓滑曲線設計，結構體完全沒有直角，但是，兩端點的高程與結構體中央最低結構間的高程落差太大，使得於測試階段水流迅速

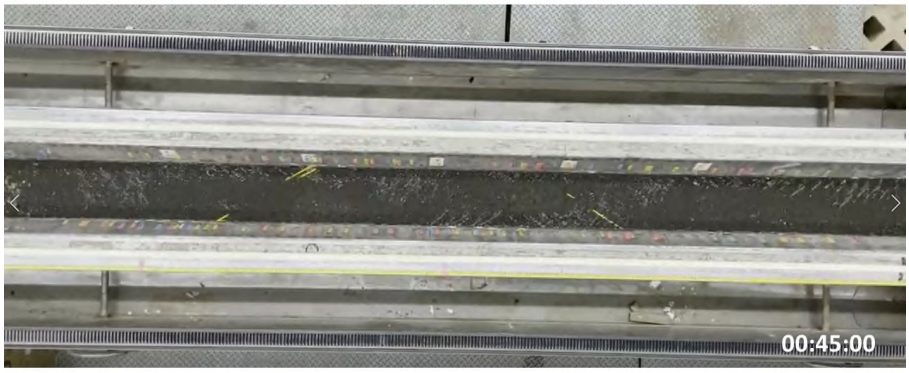
將床砂淘離、溪床嚴重下刷，顯示出隱入式 A 型固床工的設計缺點在於結構體兩端點與中心點高程的落差太大，造成嚴重的水流束縮，完全不利用深潭-湍瀨形成，而溪流蜿蜒營造的目的更無法產生。除此之外，圓滑曲線的結構體對於水流的消能效果不佳，使得流過隱入式 A 型固床工的水流受到束縮的影響而加速對渠床床砂的搬運。

隱入式 B、C、D 型固床工亦無法達到營造深潭-湍瀨甚至溪流蜿蜒的預期成果。隱入式 B 型固床工因為整體結構簡單，完全沒有束縮水流的功能，使得水流逐漸將隱入式 B 型固床工附近的底床床砂帶離之後，水流呈現均勻分布於固床工頂緣的狀態。雖然隱入式固床工與原渠床之間沒有高程落差，不易發生明顯的投潭現象，但是，仍可見固床工下游趾部的局部淘刷現象，且淘刷坑的外觀均一。由於隱入式固床工的設置採用構造物軸線不再與護岸垂直，改採偏角設計，因此，當水流流過透水式固床工頂緣後，水流直衝護岸坡腳，隨後被迫轉向，周而復始，並未見到深潭-湍瀨的形成，溪流蜿蜒亦不如挑流工群明顯。

隱入式 C、D 型固床工與 B 型不同之處，在於結構體頂緣採用傾角設計，希望藉由兩端較高的結構體達到加速水流匯集之目的。但是，測試試驗結果仍宣告失敗。本計畫懷疑是因為該二型隱入式固床工採用透水式設計，結構體中空、結構體內部採填充塊石的緣故。雖然中間凹陷的部分可以達到水流匯集的目的，但是透水結構讓水流有機會從塊石縫隙間滲流而過。

測試期間可以看到水流束縮、固床工下游趾部逐漸形成局部淘刷的深潭，但是隨之而來的是通過內填塊石縫隙的水流對渠床所產生的「滲流淘刷」，改變了先前營造出的趾部深潭，使得深潭逐漸往兩側

發展，原有深潭的空間逐漸被土砂所掩埋。圖 3-7 僅呈現隱入式 D 型固床工於測試期間以縮時所拍得水流流過隱入式固床工時的水流狀況及渠床形態，B 型與 C 型都呈現類似的狀況。





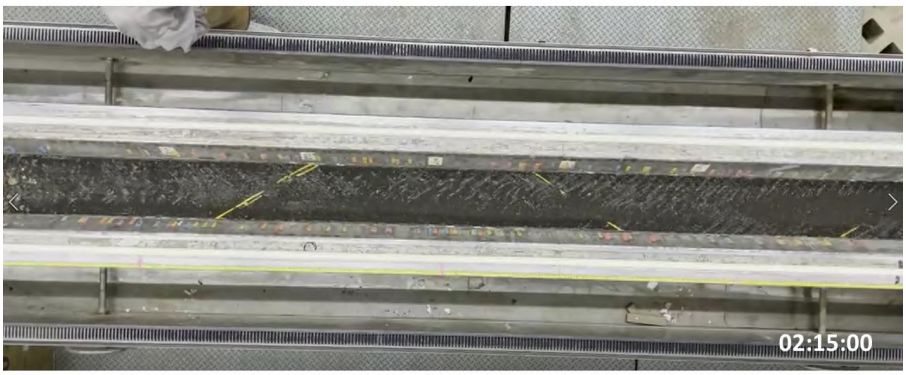




圖 3 - 7. 隱入式 D 型固床以縮時所拍的水流狀況及渠床形態

測試的結果顯示，透水式固床工可以降低固床工趾部的溪床淘刷問題，但是採用透水式 B、C、D 型設計之隱入式固床工無法營造出預期的溪流蜿蜒與深潭-湍瀨構造。雖然表徵上可以看到水流流路的蜿蜒，但效果不及挑流工群。

圖 3-8 及 3-9 為臺東縣羊橋溪整治工程使用透水式固床工後，歷經 14 年時間的現場情況。羊橋溪整治工程考量到縱向的生態廊道，以及傳統式固床工趾部淘刷的問題，因此採用低水頭設計，透水式固床工結構以 H 型鋼建構，內填現場塊石，除增加結構體通透性外，更加速現場施工速度，減少對附近濱溪棲地擾動的時間。由圖片中可以發現三個現象：(1).透水式固床工趾部淘刷問題因為水頭的降低而改善、(2).透水式固床工結構體內原填充的塊石仍保有原有的空隙；既使部分受到空隙受到阻塞、(3).透水式固床工上游仍會受到土砂淤積。這些現象在本計畫所設計的透水式 B、C、D 型隱入式固床工再次重現，只不過本計畫所設計的透水式 B、C、D 型隱入式固床工採用軸向角不與護岸垂直，企圖營造出溪流的蜿蜒，但最終仍因為與上述羊橋溪整治工程相同現象必須宣告失敗。



圖 3 - 8. 羊橋溪整治工程透水式固床工現場 (林志賢 秘書 提供)



圖 3 - 9. 羊橋溪整治工程透水式固床工近照 (林志賢 秘書 提供)

隱入式固床工測試的失敗經驗，本計畫轉為參考 Leopold (1994) 及 Knighton (1998) 現場調查溪流自然蜿蜒所歸納得到的結果，進行隱入式固床工軸向角度的設計改良，設計改良的發想如圖 3-10 所示。圖中，橘色的部分代表隱入式固床工，藍色的曲線代表溪流蜿蜒的流路，兩側由左右護岸所侷限。

Leopold (1994) 及 Knighton (1998) 現場調查歸納發現，溪流蜿蜒的波長 (meandering wavelength; λ_m) 大約等於溪流幅寬 (WBF) 的 10 ~ 14 倍；亦即，$\lambda_m \fallingdotseq 10 \sim 14$ WBF、蜿蜒的曲率半徑 (R_m) 大約為溪流幅寬的 2 ~ 3 倍；亦即，$R_m \fallingdotseq 2 \sim 3$ WBF。至於溪流完成轉彎回復到直線流路的流心線與溪流中心線的夾角 θ 大約介於 120° ~ 150° 之間。據此，本計畫選用 $\theta = 120°$、$\lambda_m = 11$WBF、$R_m = 2.3$WBF 對隱入式固床工的軸向偏角及間距進行透水式固床工的設計改良。

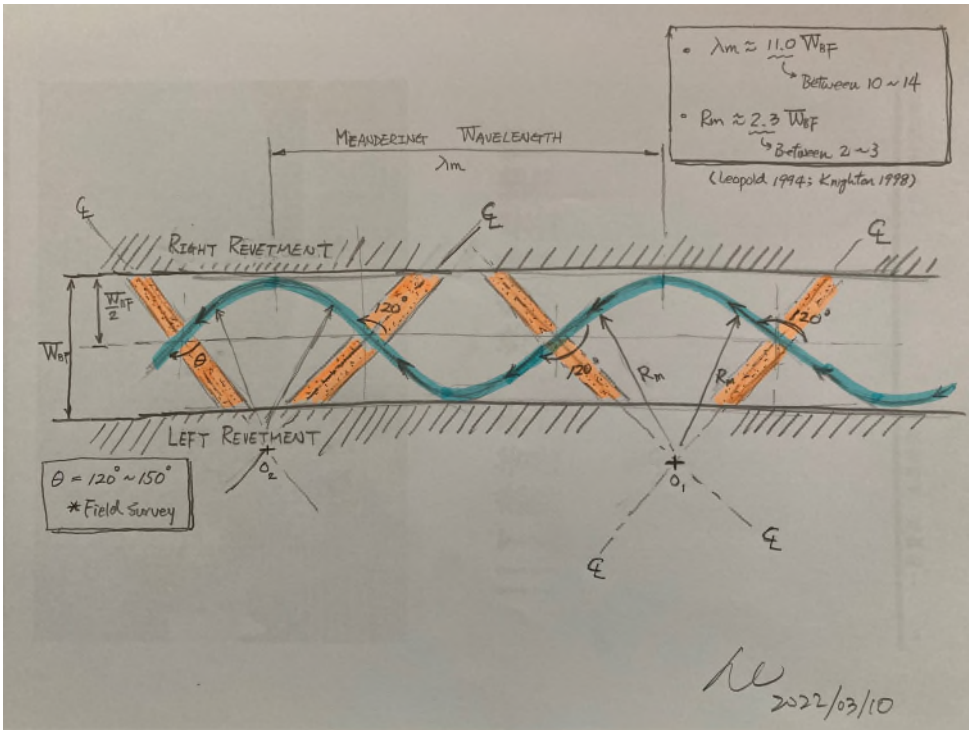


圖 3 - 10. 隱入式固床工的軸向設計改良理念

本計畫認為，若是希望藉由隱入式固床工營造出如圖 3-2 中 D 圖的溪流型態，就必須要能夠在試驗水槽中產生點狀沙丘，且在點狀沙丘之間要能夠如圖 3-2 中 D 圖縱剖面的底床突起；也就是湍瀨存在的位置，讓通過的水流可以從深潭的慢速水流立即轉變成為高紊流的狀態，而且底床突起必須要能夠持續，這是測試的隱入式 A、B、C、D 型固床工無法辦到的。

改良後另一種隱入式固床工的設計理念如圖 3-11 所示，稱為隱入式 E 型固床工。圖中右岸三個三角形的構造代表以拋石所形成的挑流構造，採用類似於挑流群的設計，以挑離近岸水流並營造出點狀沙丘；固床工則採用隱入式設計，結構體基礎採用樑結構設計、上崁嵌塊石，結構體軸向角度採用 120° 設計，設計示意圖如圖 3-12 所示，圖中 STREAM BED 代表溪床的床面位置。

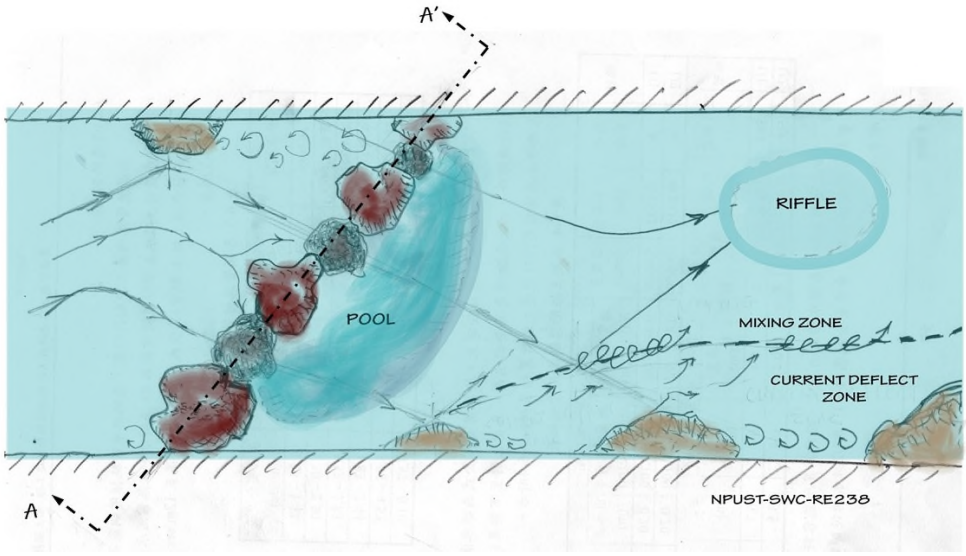


圖 3 - 11. 隱入式 E 型固床工配置概念

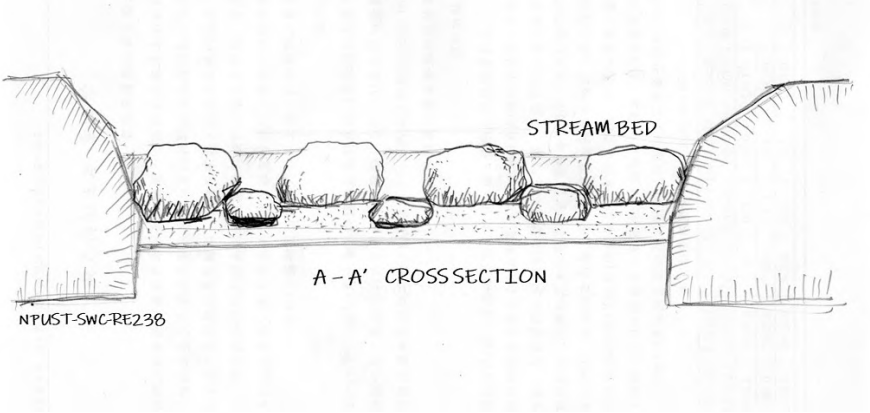


圖 3 - 12. 隱入式 E 型固床工橫斷面設計概念

隱入式 E 型固床工的設計理念,相當於將踏步式或稱為開口式固床工埋藏在溪床之下。隱入式 E 型固床工的配置位置則鎖定在形成湍瀨的形成，如圖 3-13 紅色箭頭所示。再藉由相鄰兩塊石或巨粒間的空隙對水流產生束縮，於固床工下游形成深潭。由於隱入式 E 型固床工埋藏在溪床之下，而結構體上間隔崁嵌塊石，形成不連續的斷面，因此，預期不易於固床工上游形成土砂淤積。再加上固床工結構體為

剛性材料，根據過去對於開口式固床工的研究經驗，踏步段的後方將會因為水流繞流及阻水效應，自然發展出微型淘刷坑，如同圖 3-13 的溪床剖面所示。

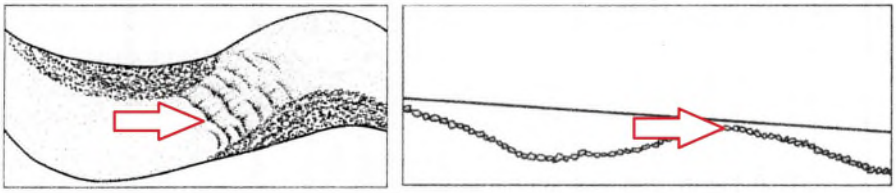


圖 3 - 13. 深潭-湍瀨溪床結構與剖面

經過測試發現，隱入式 E 型固床工的設計理念可行性高，可以滿足溪流蜿蜒與深潭-湍瀨溪床結構的營造。

三、隱入式E型固床工動床試驗與成果

隱入式 E 型固床工的水工試驗採用動床試驗，試驗的控制變數包含渠道坡度與流量，如表 3-1 所示。動床床砂粒徑採用與挑流工試驗相同的代表粒徑，水工試驗的縮尺比例為 1:50。

表 3 - 1. 挑流工動床試驗的試驗控制參數

控制參數	模型 (model)	原型 (prototype)
平均粒徑 (D_{50}, mm)	1.05	52.5
渠槽坡降 (S, %)	0.5、1.3、2.0	
試驗流量 (cms)		
Q_{min}	18×10^{-5}	3.182
Q_{mid}	36×10^{-5}	6.364
Q_{max}	58×10^{-5}	10.253

圖 3-14 ~ 圖 3-17 分別為隱入式 E 型固床工於試驗渠槽中安裝中、安裝後的情形。隱入式 E 型固床工的設計，基礎為樑結構，與傳統式固床工相同，模型基礎的寬度為 2.0 cm、基礎深度 3.0 cm、長度橫跨兩護岸之間、試驗渠槽幅寬 20.0 cm，若以縮尺比例 1:50 換算，則相當實物 (原型) 樑結構寬 1.0 m、基礎深 1.5 m、兩護岸間的跨距 10.0 m。樑結構的軸與護岸成 45°，因此，若以實物計算，樑結構的長度為 14.14 m，45°斜角乃是依據本計畫所研發的挑流工斜角設計。

為減少樑結構趾部可能發生的溪床淘刷，本計畫於模型樑的趾部採用拋石處理，拋石處理的塊石底與樑基礎齊平。隱入式 E 型固床工的頂緣則以矽利康膠將其上的塊石與結構固定，塊石的大小則安排近兩護岸處的塊石粒徑稍大，但各個塊石的粒徑並不統一，以模擬現場塊石料源粒徑大小的不均。



圖 3 - 14. 隱入式 E 型固床工模型

相鄰兩座隱入式 E 型固床工軸向的擺放採用交替的方式，如圖 3-15 所示，主要的目的是希望藉由軸向角度交替的方式營造出溪流的蜿蜒。為了減少隱入式 E 型固床工對水流方向的調整所導致護岸的淘刷，本計畫於相鄰兩座隱入式 E 型固床工之間配置三角錐形的挑流構造，如圖 3-16 所示。

三角錐形的挑流構造是由塊石堆砌而成，上游迎水面的塊石粒徑較小，其目的是要(1).減少水流突然遇到結構時所產生的下沉渦流，以減少趾部溪床的淘刷、(2).讓水流能夠順勢偏移其流向。這樣的做法乃是仿造本計畫所研發挑流工群的上游挑流工。



圖 3 - 15. 隱入式 E 型固床工安裝後渠床床砂回填

離開三角錐形挑流工最上游迎水面 (舌部) 後的塊石粒徑採用逐漸增加的設計，設置高度亦逐漸增高。三角錐形挑流工最外側 (端部) 伸入溪床並垂直於護岸的寬度亦源自於本計畫所研發的挑流工群之下游端挑流工設計，為 1/3 整治段的幅寬；而從三角錐形挑流工舌部到端部之間長度(沿護岸方向)，則選用本計畫所研發挑流工群之 Offset 設計，為 $Offset_1 + Offset_2$，詳見圖 2-28。

至於從三角錐形挑流工端部到尾部沿護岸方向的長度，則採用 1/8 倍 ($Offset_1 + Offset_2$)，主要是吸取前述隱入式固床工的失敗經驗，以及三角錐形挑流工的外形特性。倘若設計太長，只是徒增塊石用量、增加現場施工成本。



圖 3 - 16. 隱入式 E 型固床工搭配三角錐挑流構造之俯視

當隱入式 E 型固床工及三角錐形挑流構造完成設置後，隨即進行溪床床砂的回填，回填高度至隱入式 E 型固床工及三角錐形挑流構造的頂部，如圖 3-17 所示。完成回填後的渠床幾乎看不到任何構造物的存在。

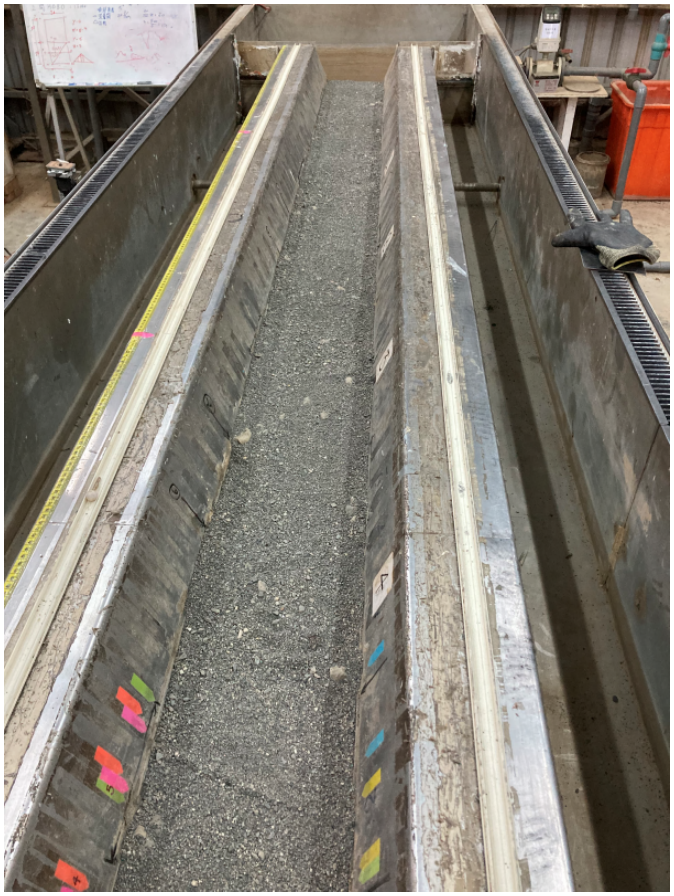


圖 3 - 17. 隱入式 E 型固床工完成床砂回填後之渠床樣貌

動床水工試驗的試驗流程與本計畫挑流工相同，只是隱入式固床工沒有像挑流工動床試驗需要調整挑流工群之組距的步驟。圖 3-18 至圖 3-26 為隱入式 E 型固床工動床水工試驗的成果；其中，彩色色階圖產製於試驗結束後的高解析雷射掃描地形，下方則為試驗結束後試驗渠槽全長度的渠床全景樣貌。

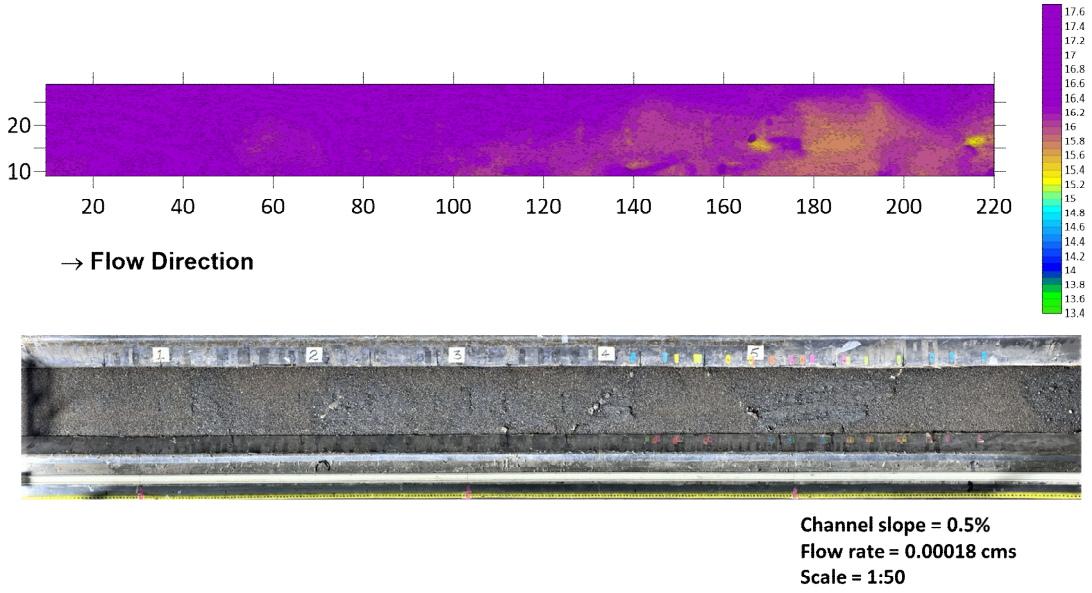


圖 3 - 18. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{min}_S=0.5%)

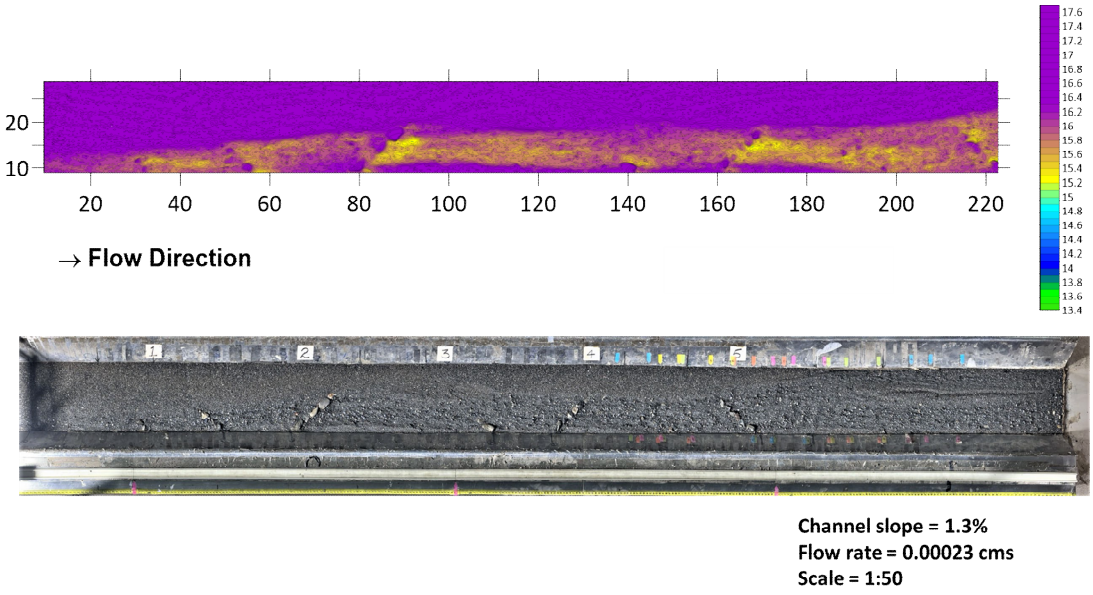


圖 3 - 19. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{min}_S=1.3%)

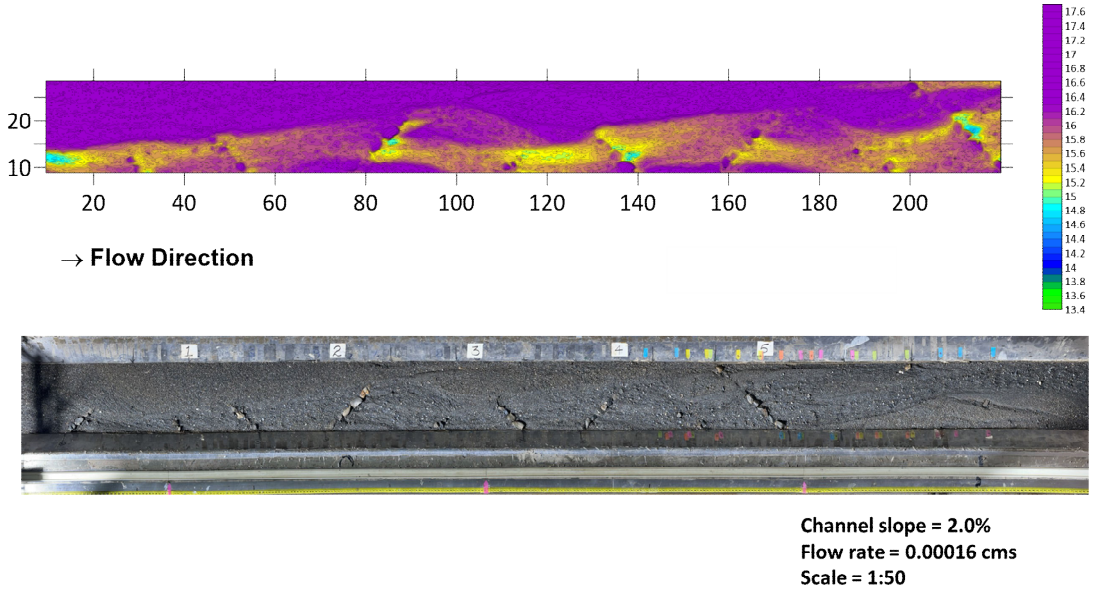


圖 3 - 20. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{min}_S=2.0%)

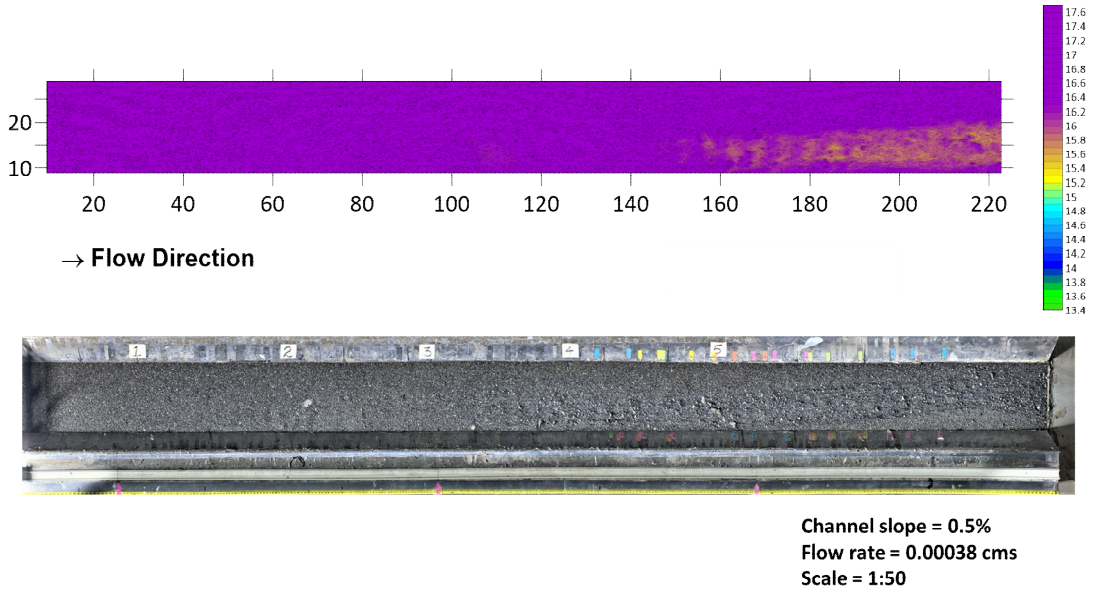


圖 3 - 21. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{mid}_S=0.5%)

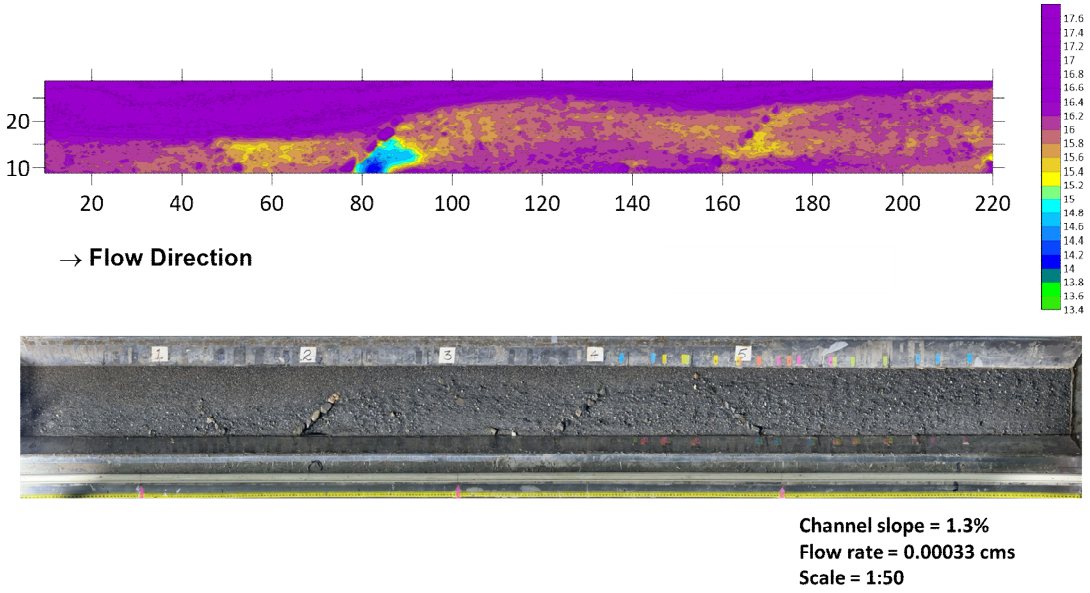


圖 3 - 22. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{mid}_S=1.3%)

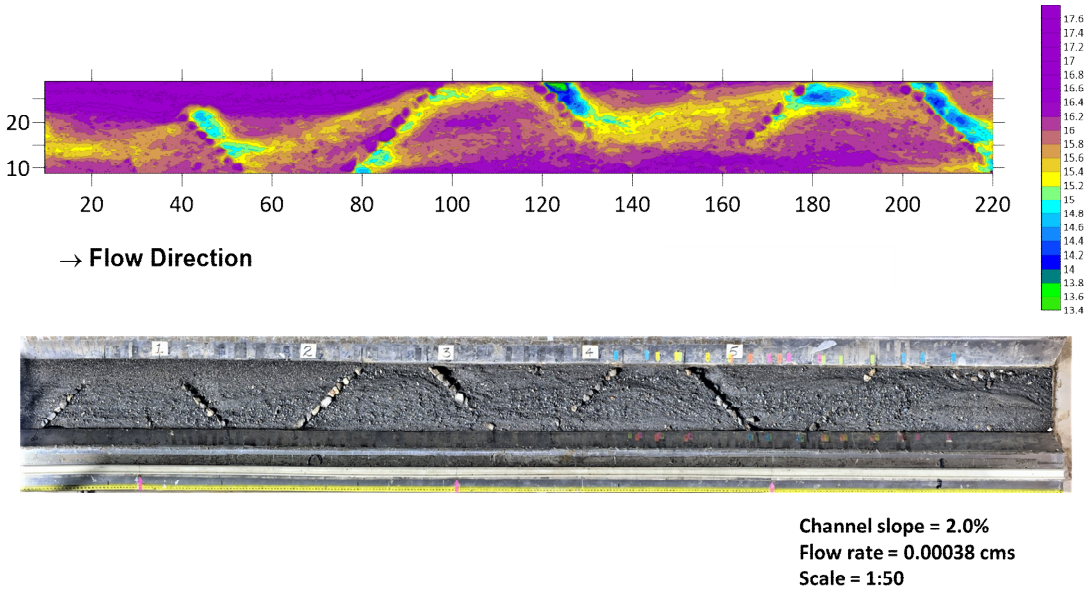


圖 3 - 23. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{mid}_S=2.0%)

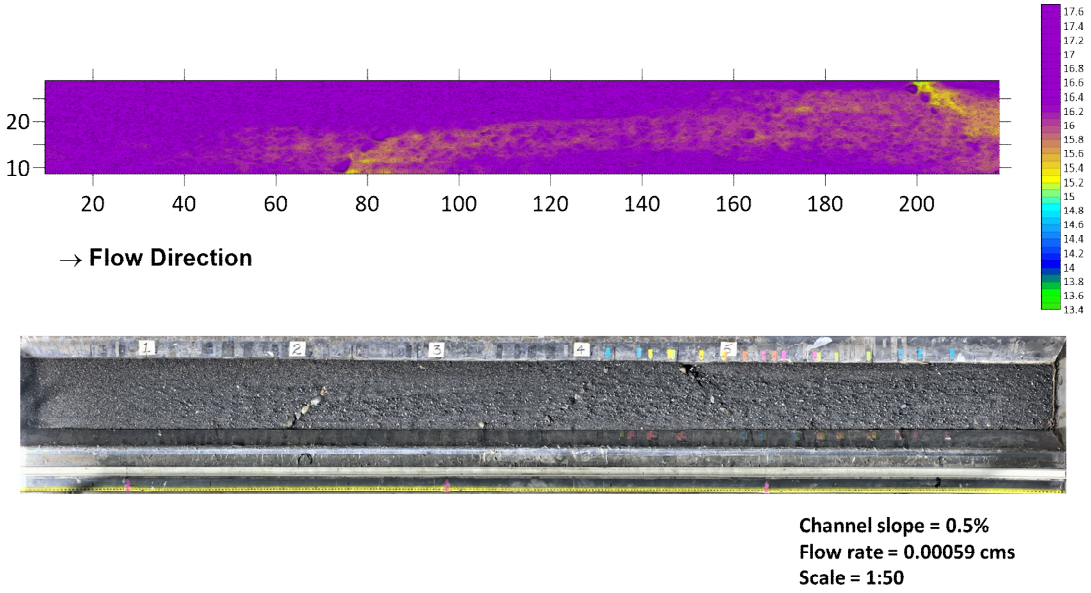


圖 3 - 24. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{max}_S=0.5%)

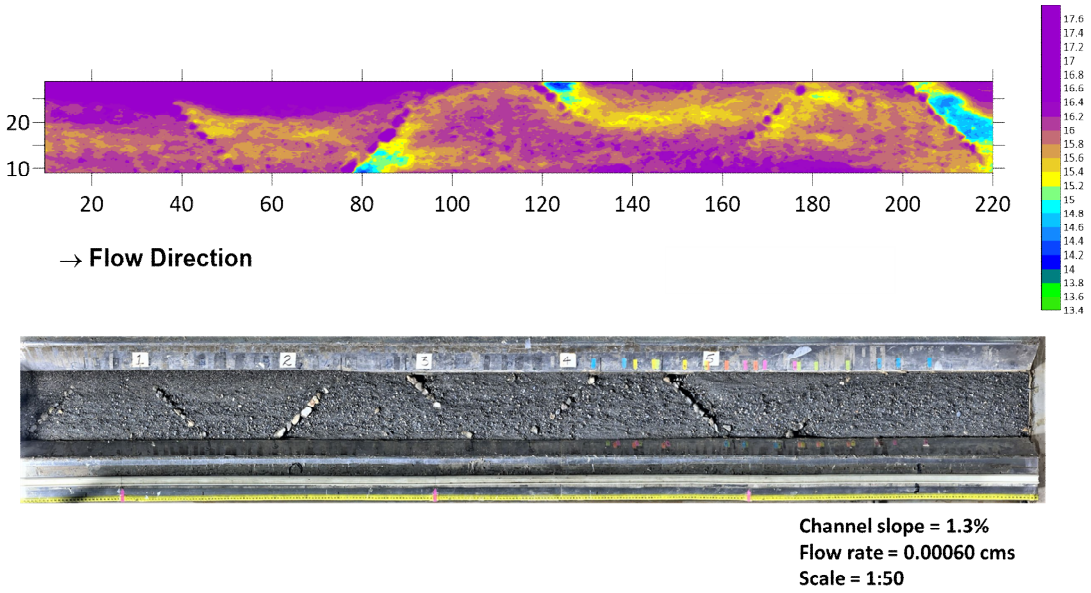


圖 3 - 25. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{max}_S=1.3%)

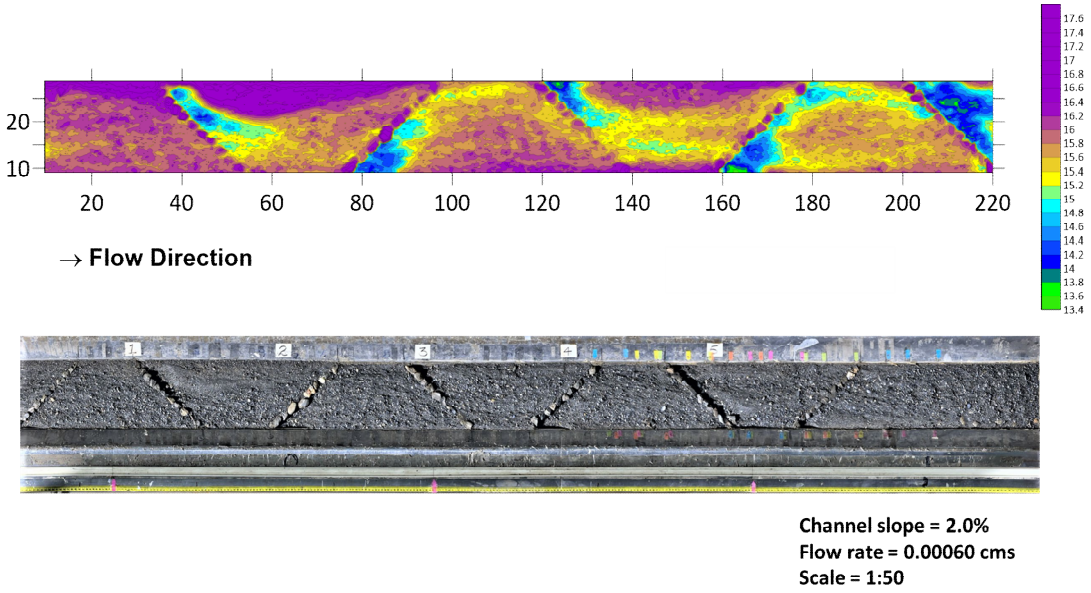


圖 3 - 26. 隱入式固床工動床試驗成果(Q_{max}_S=2.0%)

表 3-2 為隱入式 E 型固床工搭配三角錐挑流構造所營造溪流蜿蜒的彎曲度指數，圖 3-27 則是依據流量及渠床坡度對彎曲度指數繪圖的結果。

表 3 - 2. 隱入式 E 型固床工所營造溪流蜿蜒的彎曲度指數

試驗 流量	渠床坡度 (%)		
	0.5	1.3	2.0
Q_{min} = 0.78 bankfull	1.001	1.000	1.016
Q_{mid}= 0.89 bankfull	1.000	1.003	1.000
Q_{max}= bankfull	1.000	1.000	1.001

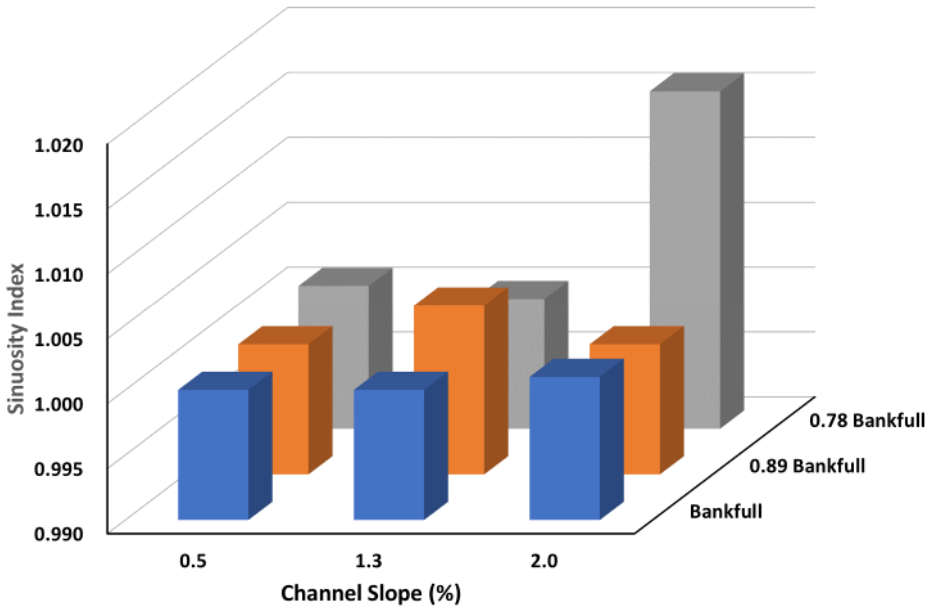


圖 3 - 27. 隱入式 E 型固床工所營造蜿蜒的彎曲度指數圖

由表 3-2 及圖 3-27 可以發現，隱入式 E 型固床工對於溪流蜿蜒之彎曲度指數提升的貢獻並不理想，所形成的彎曲度指數多為 1.0，形同順直渠道。雖然高解析雷射地形掃描的結果於渠床坡度 1.3% 及 2.0%多出現溪床蜿蜒的型態，如圖 3-19、3-20、3-22、3-23、3-25、3-26，但是將雷射地形掃描所建構的數值地形模型進行深槽線的萃取及彎曲度指數的分析時，卻不易萃取出深槽線。

由圖 3-19、3-20、3-22、3-23、3-25、3-26 中的高解析雷射掃描地形圖可以看出，隱入式 E 型固床工趾部出現局部的淘刷現象；尤其是受到三角錐形挑流構造挑流後直接迎向水流的隱入式固床工趾部。受溪水淘刷所產生的土砂隨著溪水的攜帶，於兩座固床工間運移過程又受到下游緊鄰三角錐形挑流構造的影響，接近挑流造的土砂出現沉積的現象，有點類似於點沙丘 (point bar) 的土砂堆積逐漸形成，這也就是為何圖 3-19、3-20、3-22、3-23、3-25、3-26 高解析雷

射掃描地形圖中出現溪床蜿蜒的型態。

就蜿蜒之彎曲度指數的分析而言，高解析雷射掃描數值地形模型的萃取因為隱入式固床工趾部淘刷坑的影響，讓深槽的萃取不易獲得，但是以採用人工自將近 50,000 筆雷射掃描高程點中萃取，並且避開趾部淘刷坑的位置，那麼所獲得的溪床蜿蜒之彎曲度指數可高達 27.73。如此高的彎曲度指數非國外過去田間調查之常見，因此僅提供參考，而未列於表 3-2 中，以免造成誤解。

行政院農業委員會水土保持局臺東分局林志賢秘書曾於 2004 年初以當年稱呼的「帶工」設計於羊橋溪整治工程中，「帶工」治理段溪幅寬 20 m、整治段長 300 m、集水面積達 450 ha、設計流量 110 cms，完工至今達 18 年之久。經林秘書多次於颱洪期間現場觀察發現，「帶工」設計雖仍有部分局部淘刷問題，但仍能滿足當年設計的整流目標。

四、小結

本計畫所設計的隱入式 E 型固床工搭配三角錐形挑流構造與交錯配置可以改變溪床的蜿蜒型態，但僅限於溪床平均坡度較陡的溪段。以本計畫試驗渠床坡度 2 % 而言，當溪流流量達到 0.78 滿幅流量 (bankfull discharge) 時，溪床的蜿蜒開始出現 (圖 3-24)；當溪流流量達到 0.89 滿幅流量甚至滿幅流量時，溪床蜿蜒變得非常明顯。

經由動床水工試驗發現，在滿幅流量及溪床平均坡度 2% 的情況下，前述隱入式 E 型固床工趾部的局部最大淘刷深度；若以縮尺比例 1:50 換算；相當於實物淘刷深度 1.5 m，但在動床試驗期間並未見到隱入式 E 型固床工基礎淘空的現象。

本計畫特別以7小時的時間測試隱入式E固床工於溪床平均坡度2%、0.78 滿幅流量條件下的溪床變化，7 小時的試驗時間相當於實物 49.5 小時 (換算為原型時間)；亦即，現場出現連續 49.5 小時、0.78 滿幅流量的水量，試驗後的高解析雷射地形掃描結果如圖 3-28 所示。

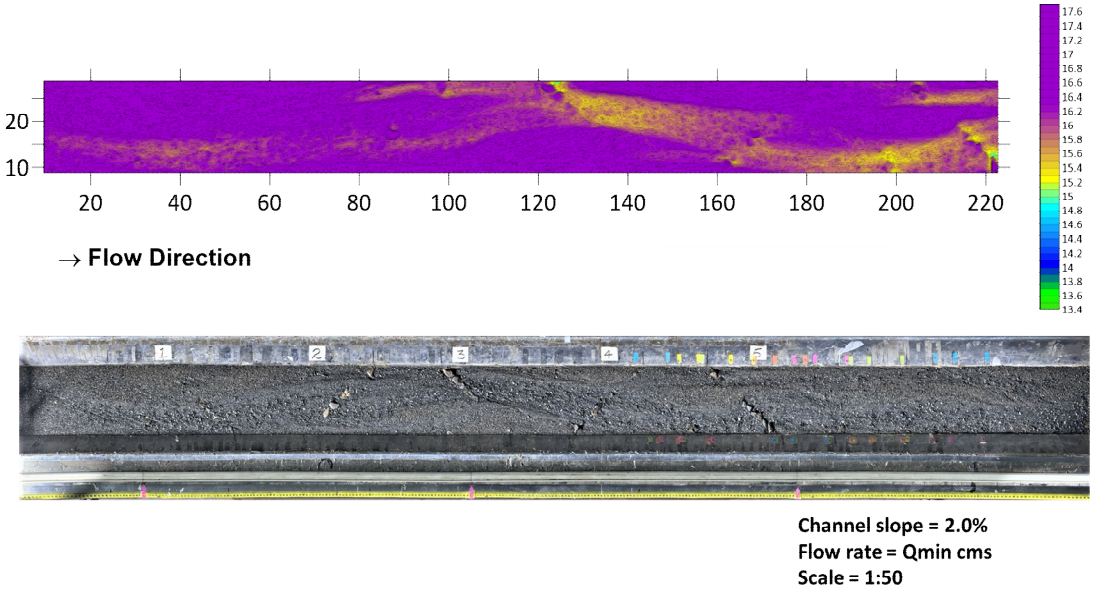


圖 3 - 28. 隱入式 E 型固床工於 49.5 小時 (原型時間) 後的渠床型態

由圖 3-28 中可以發現，三角錐形挑流構造並未出露、隱入式 E 型固床工亦隱約可見固床工頂部的塊石，原先出現於固床工趾部的淘刷坑在 0.78 幅寬水流所挾帶土砂的逐漸回填作用下幾乎消失，取代的是相鄰兩座隱入式 E 型固床工間溪床的蜿蜒，更值得注意的是，在2% 溪床坡度下並未見到溪床的下切。

就實物應用而言，本計畫針對隱入式固床工提出以下幾點建議：

1.本計畫水工動床試驗發現，當溪床坡降為 1.3%時，面對 0.89 滿幅流量的衝擊下，溪流蜿蜒現象開始發生。當溪床坡降為 2% 時，溪流與溪床蜿蜒變得非常明顯；尤其是面對 0.89 及滿幅流量時。所以，

利用隱入式固床工企圖營造溪流蜿蜒與深潭-湍瀨結構的作法，不適用於溪床坡降緩於 1.3%的溪流。

2.隱入式 A 型固床工的設計考量流線型設計，外觀柔和，但因為兩端與固床工中央的落差較大，加上表面光滑，使得水流通過時加速匯集，於固床工趾部造成明顯溪床淘刷。因此，若要以流線型設計並考量外形之美觀，建議降低兩端與固床工之間的落差，並增加固床工表面糙度，而現場施工的複雜度亦需要加入設計考量。

3.隱入式 B、C、D 型固床工均屬於透水式固床工，只是固床工頂緣與溪流整治段的設計線同高度，讓固床工完全隱沒於溪床之下。若要使用該類型的隱入式固床工，則結構體內部填充塊石應儘量降低結構體完成後的透水率，以免因為滲流淘刷的影響而失敗。

4.隱入式 B、C、D 型固床工的差異在於結構體頂緣及下游面的斜率，B 型採用長方形設計、C 型於固床工頂緣採兩翼端向中央傾斜的設計、D 型則增加固床工下游面內凹的設計。雖然三種隱入式固床工均以 H 型鋼做為結構體的骨架，但 C 型與 D 型之頂緣向中心傾斜及下游內凹設計會因為結構體的透水特性，讓固床工趾部溪床的淘刷更加快速產生，宜特別留意趾部淘刷所衍生的問題。

5.本計畫所設計的隱入式 E 型固床工，設計及施工相對簡單，軸向不與兩側護岸垂直，希望能營造溪流蜿蜒，但蜿蜒的結果對於水流攻擊岸會產生基礎淘刷問題，建議與本計畫所建議的三角錐挑流結構搭配，採交錯式配置。

6.隱入式 E 型固床工基礎採樑結構，樑的趾部採用拋石處理，樑結構頂緣則沿軸向漿砌塊石固定，但塊石的粒徑不需要統一規格，以增加不同的水流境況，且一旦出露後，更可以減少視覺上的單調，達

到近自然溪流的目標。固床工近兩護岸漿砌的塊石宜採用稍大粒徑，用於協助水流向中心匯集，但粒徑不可以過度懸殊。

7.隱入式 E 型固床工的軸向建議與護岸成 45°，三角錐形挑流構造最外側端部伸入溪床並垂直於護岸的寬度建議採用 1/3 整治段的幅寬，三角錐形挑流結構最上端的舌部到端部之間長度 (沿護岸方向)，則建議選用本計畫所研發挑流工群之 Offset 設計，為 $Offset_1$ + $Offset_2$，Offset 設計請詳見圖 2-28。至於從三角錐形挑流結構端部到結構尾部沿護岸方向的長度，則建議採用 1/8 倍 ($Offset_1$ + $Offset_2$)。倘若設計太長，只是徒增施工成本。

第四章　挑流工群及隱入式固床工之生態友善評估

無論溪流中存在的是階段-深潭或是深潭-湍瀨構造，構造的存在為水生生物提供了覓食與繁衍的棲地。通常具備階段-深潭或是深潭-湍瀨構造的溪流，水中的無脊椎動物的數量遠高於無類似構造的溪流(Cereghino et al. 2001)。

棲地多樣性指數 (habitat diversity index) 常被用於描述溪流階段-深潭或是深潭-湍瀨構造的特徵，而營造棲地多樣性溪流的必要參數包含：(1) 底床床質、(2) 水深、(3) 流速 (Gorman and Karr 1978)，不同的溪流物理條件，提供了不同水生生物棲息之所需。

水深低於 0.1 m 的溪流環境，大多由喜好高溶氧及充足陽光的生物所棲息；水深高於 0.5 m 的水域，則恰好相反。根據 Wang et al. (2009) 的研究發現，大多數的調查生物多出現於水深界於 0.1 ~ 0.5 m 之間的水域，研究亦發現，活動力較差的水生生物喜好在流速低於 0.3 m/s 的水域棲息；高活動力的生物則喜好在流速高於 1 m/s 的水域棲息。

深潭-湍瀨結構的營造，是野溪治理的終極目標。湍瀨指的是當水流流經塊石時，因為該區域的水深較淺、流速因為水流與石塊接觸，甚至由石塊間縫隙流過而產生不同的流速變化。深潭因為水深較深，流速較慢，提供水棲生物暫時歇息與躲避被掠食的場域。至於溪流蜿蜒，以水力的角度觀之，為水砂互動的結果，水流因為流路的蜿蜒而逐漸消能，進而改變流速及輸送土砂的能力，最終形成溪床蜿蜒型態甚至於內彎道逐漸發展出點沙丘，隨之而來的是植物自然入侵於點沙丘，提供濱溪生態近水域的繁衍處所。因此，深潭-湍瀨結構經

常被生物學家用於水棲生物取樣的樣區，藉此了解棲地的使用狀況(Glova & Duncan, 1985; Pridmore & Roper, 1985)。

深潭-湍瀨結構之實務認定操作上有其困難存在，過去曾有研究學者企圖建議認定標準，例如：以溪床床砂粒徑 (Leopold et al., 1964; Mosley, 1982)、溪流水面坡降 (Yang, 1971)、溪流水深與流速 (Allen, 1951)、溪床地形 (Richards, 1976)、福祿數 (Wolman, 1955)，以及溪流水面表徵 (Mosley, 1982)等；其中又以福祿數做為深潭-湍瀨結構之認定標準較易被接受，因為福祿數反應水流多平穩或湍急，而福祿數使用被發現與部分水棲昆蟲的分布有關。(Statzner, 1981; Orth & Maughan, 1983)。

Jowett (1991) 選擇位於 Mt. Somers 及出海口之間的三個溪段，以 59 個斷面、每個斷面 19 次的現場調查進行水深、流速、斷面底床床取樣，結果發現，當福祿數小於 0.18 或是流速-水深比小於 1.24，則可以將該段面視為是深潭結構；若不滿足以上條件但水面坡降小於 0.0099 者，則視為「溜 (run)」，但若是水面坡降大於 0.0099 者，則視為湍瀨。

維持陸水域橫向廊道暢通之主要訴求在於降低兩岸與溪流之間的落差，以便於生物橫越及利用溪水；保留上下游水域縱向廊道通透，是為了降低水棲生物於上下游移動的障礙。

溪流治理利用橫向構造物，例如：節制壩及固床工，有其必要性，旨在藉由構造物來調整溪床的坡降，進而改變水流的方向。因此，橫向構造物就功能性而言，國外多將橫向構造物歸類為坡降調節結構(grade-control structure)。然而，過度使用橫向構造物於不需要的溪流反而增加了溪流縱向廊道的通透，且將溪流水域區間化，讓整治後的

溪流不但支離破碎，且造成景觀上的不協調。

溪流棲地評估的指標多元，例如美國所訂定的科級生物指標(Family-level Biotic Index, FBI)、快速生物評估法(Rapid Bioassessment Protocol, RBP)、以魚類為指標生物的生物整合指標(Index of Biotic Integrity, IBI)、以及以溪流棲地狀態的定性棲地評估指標(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) 等。除此之外，還有利用數值模式模擬或搭配可用棲地面積權重的方法，評估魚類棲地的適合度(Habitat Suitability Index, HIS) (Bechara & Belzile, 1996；Steffler & Blackburn, 2002；Gillenwater et al., 2006；陳淑媛 等, 2022)。

行政院農業委員會水土保持局及經濟部水利署採用相同的標準，對河溪棲地進行評估，評估的項目包含八項河溪地形棲地因子及兩項濱溪植被因子。就河溪地形棲地因子而言，則包含：(1).底棲生物棲地基質是否存在深潭、巨粒、(2).河床底質包埋度、(3).流速與水深組合，是否存在急流、緩流、與水深變化、(4).沉積物堆積、(5).河道水流狀態、(6).人為河道變化是否產生工程設施干擾及棲地阻隔、(7).湍瀨出現頻率，以及(8).堤岸穩定度。

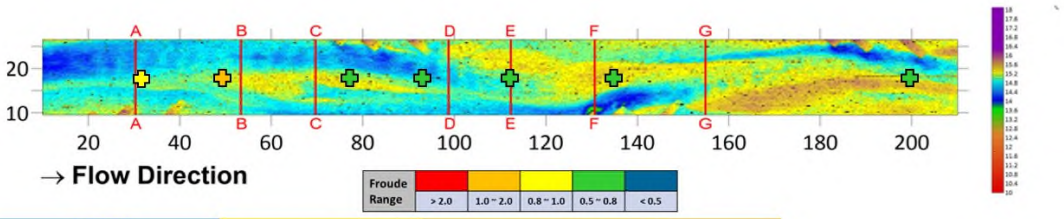
簡言之，溪流棲地評估的指標，大多採用(1).水質類評估指標；其中著重於水中溶氧量 (Dissolved Oxygen, DO)、生化需氧量 (Biochemical Oxygen Demand, BOD)、懸浮固體 (Suspended Solie, SS) 及氨氮 (NH_3-N) 含量等水質參數加以評定，以及 (2).水文、水理類評估指標；其中包含流量、流速、水深、水面寬，以及福祿數等。

綜合上述多樣化的評估方法，本計畫對所研發的挑流工群及隱入式 E 型固床工搭配三角錐形挑流構造，以福祿數 (Froude Number)進行分析，分析結果分別呈現如下：

一、挑流工群所營造之生態友善評估

圖 4-1 至圖 4-27 分別為挑流工群的成果，圖中的╪符號代表試驗期間量測水深的斷面位置，圖中紅色斷面標線，則代表試驗後渠床剖面的位置，可搭配第二章的剖面圖做為對照參考。

圖中所列原型 (Prototype) 的分析則是依據水工模型縮尺比例 1:50 反算的結果。福祿數(Froude Number) 與寬深比 (Width / Hydraulic Depth) 屬於無因次參數，因此不需要反算，至於縮尺模型試驗所獲得的平均流速 (Avg. U)，則是採用試驗期間量測斷面各量測點的水深計算平均流速之後，採面積積分的方式獲得，寬深比採用的水深是以水力深度 (hydraulic depth) 計算。福祿數範圍(Froude Range)的區分並沒有任何標準，僅是為了方便閱讀。

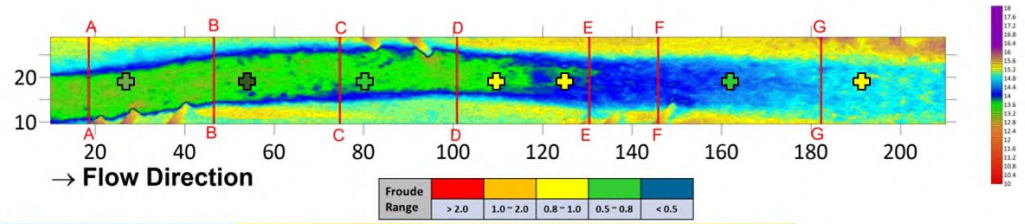


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
32.3	0.205	0.915	39.067	1.450	50.221	0.224
48.6	0.232	1.104	44.282	1.644	44.306	0.210
77.7	0.161	0.637	30.694	1.139	63.920	0.253
91.3	0.161	0.637	30.685	1.139	63.941	0.253
109.7	0.172	0.702	32.738	1.215	59.931	0.245
133.9	0.155	0.603	29.597	1.099	66.291	0.257
199.5	0.184	0.780	35.121	1.304	55.864	0.236

Channel slope = 2%
Deflector group interval = 38 cm
Flow rate = 0.00021 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 1. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_GI=38cm_S=2%)

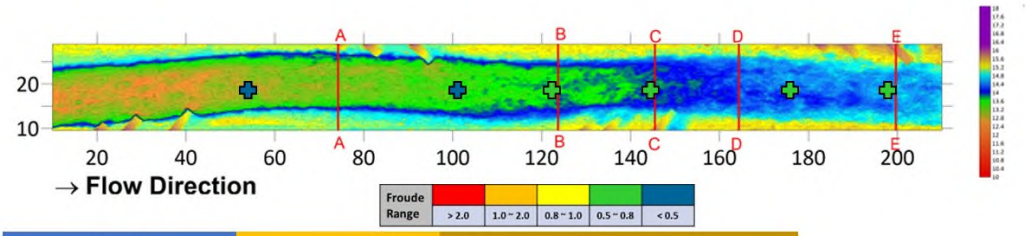


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
25.6	0.141	0.384	14.493	0.999	135.375	0.368
53.6	0.108	0.256	11.061	0.763	177.382	0.421
79.8	0.213	0.713	21.897	1.510	89.603	0.299
109.4	0.263	0.976	26.994	1.861	72.684	0.270
124.8	0.247	0.887	25.322	1.746	77.483	0.278
161.2	0.220	0.744	22.522	1.553	87.116	0.295
192.5	0.241	0.858	24.762	1.707	79.235	0.281

Channel slope = 2%
Deflector group interval = 38 cm
Flow rate = 0.00039 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 2. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_GI=38cm_S=2%)

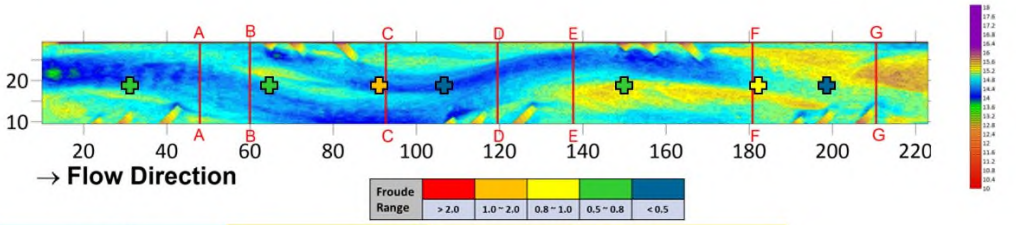


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
53.20	0.146	0.328	9.900	1.033	198.19	0.445
102.70	0.191	0.491	12.956	1.351	151.44	0.389
124.40	0.253	0.749	17.171	1.791	114.26	0.338
143.50	0.244	0.707	16.519	1.723	118.77	0.345
178.60	0.260	0.779	17.622	1.838	111.34	0.334
197.50	0.233	0.660	15.781	1.646	124.33	0.353

Channel slope = 2%
Deflector group interval = 38 cm
Flow rate = 0.00059 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 3. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_GI=38cm_S=2%)

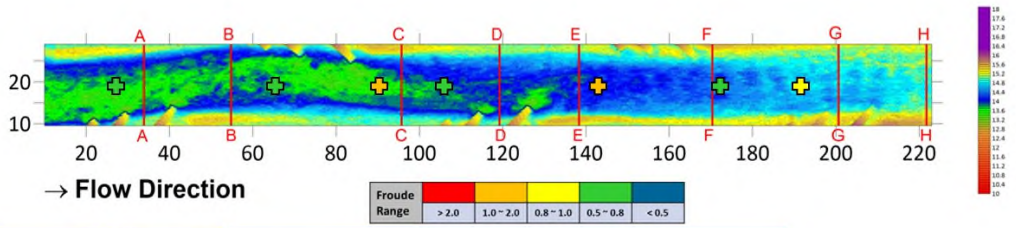


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
30.90	0.132	0.512	29.399	0.935	66.736	0.258
63.60	0.164	0.704	36.335	1.156	53.997	0.232
90.40	0.210	1.026	46.728	1.487	41.987	0.205
108.60	0.102	0.345	22.584	0.719	86.876	0.295
151.80	0.178	0.799	39.563	1.259	49.591	0.223
181.50	0.185	0.845	41.051	1.306	47.794	0.219
196.05	0.075	0.216	16.557	0.527	118.497	0.344

Channel slope = 2%
Deflector group interval = 26 cm
Flow rate = 0.00018 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 4. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_GI=26cm_S=2%)

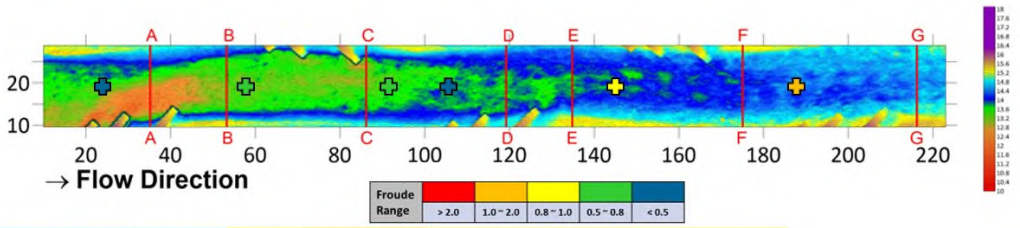


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
25.70	0.198	0.636	20.280	1.398	96.746	0.311
66.70	0.213	0.711	21.841	1.506	89.830	0.300
90.20	0.274	1.038	28.120	1.939	69.774	0.264
109.30	0.218	0.735	22.331	1.540	87.861	0.296
141.30	0.271	1.019	27.771	1.915	70.648	0.266
171.60	0.230	0.798	23.594	1.627	83.156	0.288
192.70	0.234	0.821	24.047	1.658	81.592	0.286

Channel slope = 2%
Deflector group interval = 26 cm
Flow rate = 0.00039 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 5. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_GI=26cm_S=2%)

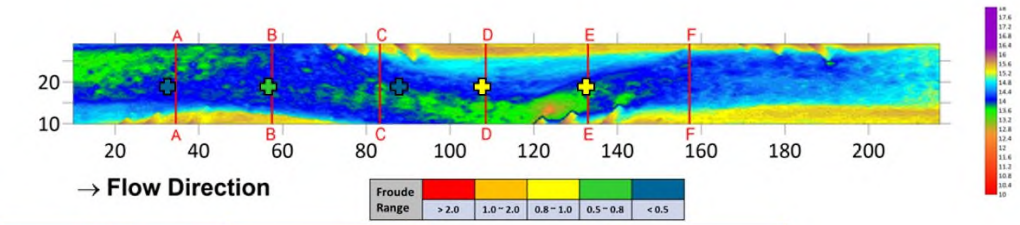


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
24.20	0.157	0.370	10.843	1.112	180.944	0.425
57.20	0.247	0.730	17.062	1.749	114.990	0.339
90.22	0.254	0.760	17.534	1.798	111.895	0.335
105.85	0.168	0.409	11.602	1.190	169.102	0.411
146.10	0.284	0.897	19.579	2.007	100.208	0.317
187.20	0.326	1.103	22.479	2.305	87.281	0.295

Channel slope = 2%
Deflector group interval = 26 cm
Flow rate = 0.00058 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 6. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_GI=26cm_S=2%)

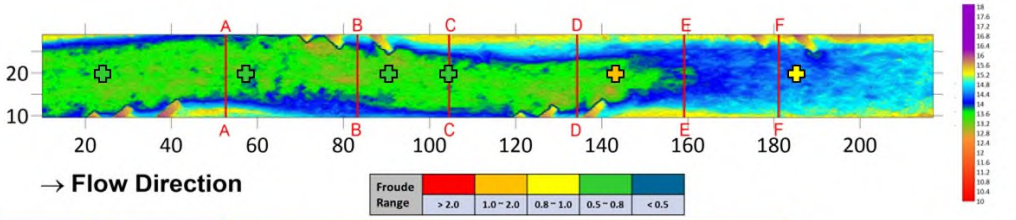


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
33.90	0.146	0.419	16.199	1.031	121.117	0.348
59.70	0.196	0.653	21.777	1.386	90.095	0.300
85.00	0.157	0.467	17.428	1.109	112.580	0.336
109.40	0.209	0.719	23.219	1.478	84.500	0.291
133.60	0.216	0.753	23.955	1.524	81.903	0.286

Channel slope = 2%
Deflector group interval = 32 cm
Flow rate = 0.00036 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 7. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_GI=32cm_S=2%)

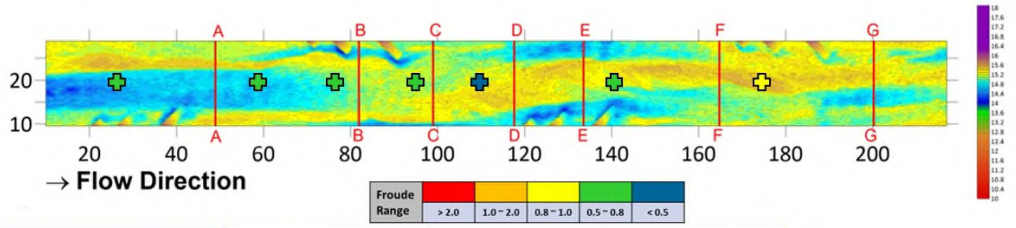


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
29.10	0.200	0.528	13.589	1.417	144.381	0.380
59.70	0.240	0.690	16.259	1.696	120.674	0.347
81.00	0.217	0.593	14.685	1.532	133.607	0.366
110.70	0.243	0.702	16.441	1.715	119.338	0.345
135.60	0.315	1.042	21.387	2.231	91.739	0.303
157.60	0.277	0.858	18.788	1.960	104.428	0.323

Channel slope = 2.0%
Deflector group interval = 32 cm
Flow rate = 0.00059 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 8. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_GI=32cm_S=2%)

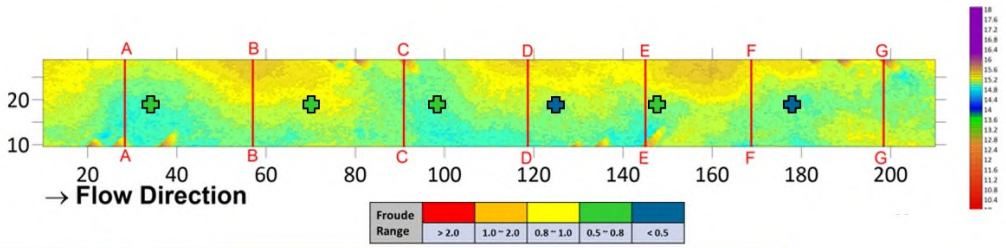


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
25.40	0.144	0.582	32.033	1.019	61.250	0.247
58.40	0.137	0.539	30.431	0.968	64.474	0.254
75.45	0.144	0.581	31.963	1.017	61.383	0.248
94.10	0.167	0.724	37.036	1.178	52.975	0.230
110.00	0.091	0.293	20.264	0.645	96.820	0.311
141.20	0.151	0.628	33.666	1.071	58.278	0.241
176.70	0.179	0.805	39.746	1.265	49.363	0.222

Channel slope = 2%
Deflector group interval = 32 cm
Flow rate = 0.00018 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 9. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_GI=32cm_S=2%)

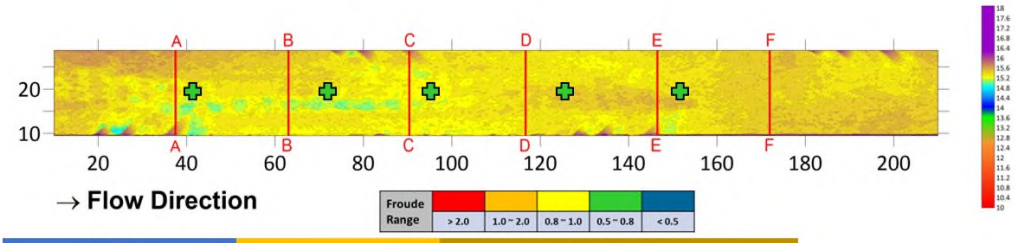


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
36.02	0.131	0.504	29.090	0.926	16.861	0.130
69.80	0.145	0.589	32.279	1.027	15.196	0.123
97.65	0.148	0.604	32.810	1.044	14.950	0.122
124.00	0.116	0.419	25.700	0.818	19.086	0.138
147.75	0.138	0.548	30.775	0.979	15.938	0.126
177.41	0.123	0.458	27.284	0.868	17.978	0.134

Channel slope = 0.5%
Deflector group interval = 38 cm
Flow rate = 0.00018 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 10. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_GI=38cm_S=0.5%)

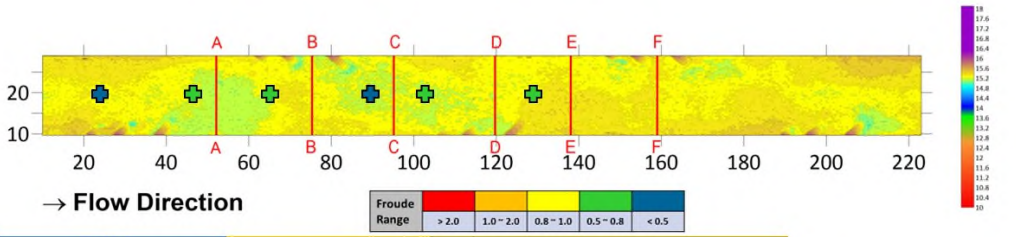


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
42.00	0.251	0.745	17.296	1.773	28.359	0.168
69.30	0.235	0.675	16.193	1.660	30.291	0.174
95.70	0.249	0.735	17.140	1.757	28.617	0.169
125.50	0.217	0.598	14.950	1.533	32.808	0.181
150.90	0.252	0.750	17.382	1.782	28.219	0.168

Channel slope = 0.5%
Deflector group interval = 38 cm
Flow rate = 0.00058 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 11. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_GI=38cm_S=0.5%)

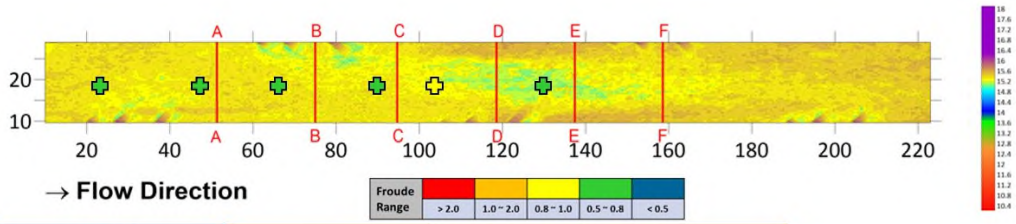


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
23.10	0.125	0.457	26.274	0.882	18.669	0.137
46.30	0.134	0.509	28.244	0.949	17.367	0.132
66.10	0.139	0.534	29.167	0.980	16.817	0.130
90.60	0.130	0.488	27.466	0.923	17.858	0.134
109.00	0.169	0.717	35.500	1.192	13.817	0.118
130.00	0.155	0.631	32.604	1.095	15.044	0.123

Channel slope = 0.5%
Deflector group interval = 26 cm
Flow rate = 0.00019 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 12. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_GI=26cm_S=0.5%)

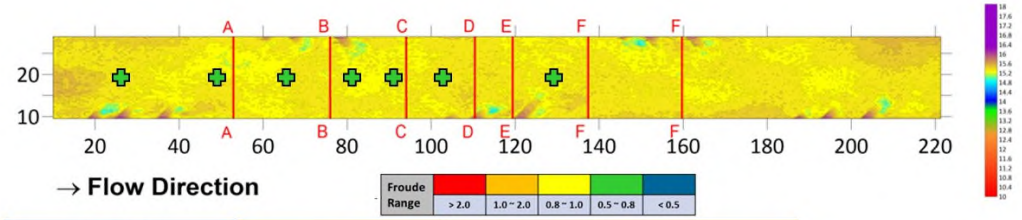


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
22.30	0.238	0.678	15.886	1.685	30.876	0.176
46.00	0.214	0.578	14.280	1.515	34.348	0.185
65.70	0.232	0.650	15.437	1.637	31.773	0.178
89.60	0.238	0.679	15.897	1.686	30.855	0.176
108.40	0.281	0.869	18.748	1.989	26.163	0.162
129.60	0.244	0.702	16.264	1.725	30.158	0.174

Channel slope = 0.5%
Deflector group interval = 26 cm
Flow rate = 0.00060 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 13. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_GI=26cm_S=0.5%)

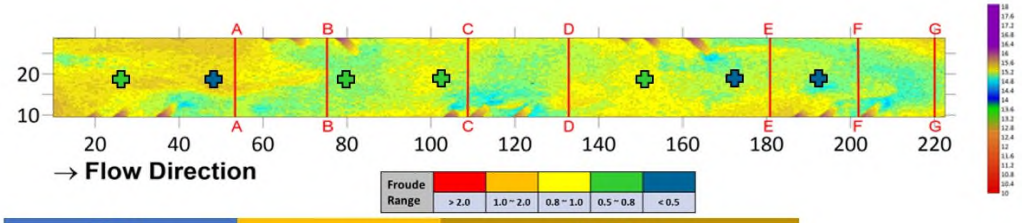


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
23.90	0.169	0.523	18.791	1.196	26.103	0.162
46.90	0.177	0.559	19.631	1.249	24.986	0.158
65.00	0.178	0.567	19.811	1.261	24.759	0.157
81.40	0.198	0.637	21.429	1.364	22.889	0.151
90.40	0.183	0.590	20.359	1.296	24.093	0.155
108.30	0.194	0.641	21.506	1.369	22.808	0.151
130.70	0.195	0.647	21.651	1.378	22.654	0.151

Channel slope = 0.5%
Deflector group interval = 26 cm
Flow rate = 0.00036 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 14. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_GI=26cm_S=0.5%)

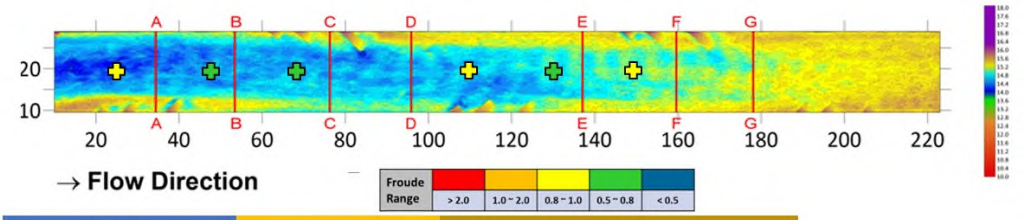


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
24.30	0.159	0.718	39.841	1.127	32.010	0.179
46.20	0.118	0.458	29.512	0.835	43.214	0.208
79.80	0.140	0.590	34.939	0.988	36.501	0.191
103.80	0.153	0.673	38.151	1.079	33.427	0.183
151.80	0.159	0.717	39.783	1.125	32.057	0.179
172.70	0.124	0.495	31.076	0.879	41.038	0.203
191.00	0.120	0.471	30.067	0.850	42.416	0.206

Channel slope = 1.3%
Deflector group interval = 26 cm
Flow rate = 0.00016 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 15. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_GI=26cm_S=1.3%)

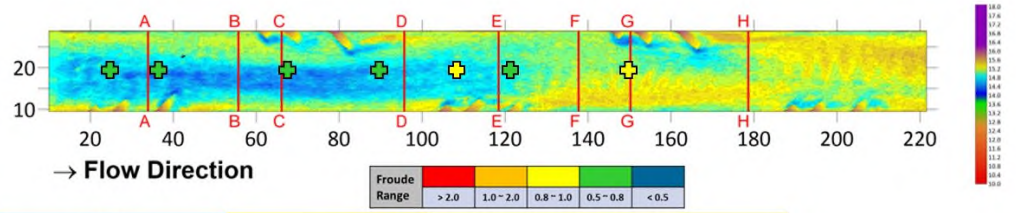


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
24.40	0.290	0.917	19.644	2.049	64.922	0.255
47.20	0.250	0.735	16.958	1.769	75.203	0.274
66.80	0.264	0.797	17.899	1.867	71.250	0.267
108.00	0.296	0.946	20.061	2.092	63.572	0.252
130.60	0.259	0.776	17.577	1.833	72.554	0.269
149.00	0.265	0.801	17.954	1.873	71.031	0.267

Channel slope = 1.3%
Deflector group interval = 26 cm
Flow rate = 0.00059 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 16. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_GI=26cm_S=1.3%)

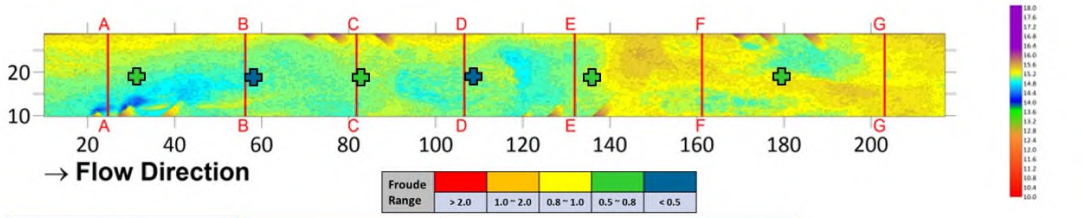


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
26.70	0.222	0.776	23.985	1.569	53.171	0.231
37.10	0.194	0.634	20.973	1.372	60.808	0.247
66.70	0.225	0.790	24.274	1.588	52.538	0.229
89.40	0.210	0.714	22.694	1.484	56.195	0.237
108.70	0.228	0.806	24.598	1.609	51.845	0.228
121.20	0.206	0.696	22.302	1.459	57.184	0.239
149.60	0.235	0.845	25.384	1.660	50.240	0.224

Channel slope = 1.3%
Deflector group interval = 26 cm
Flow rate = 0.00037 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 17. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_GI=26cm_S=1.3%)

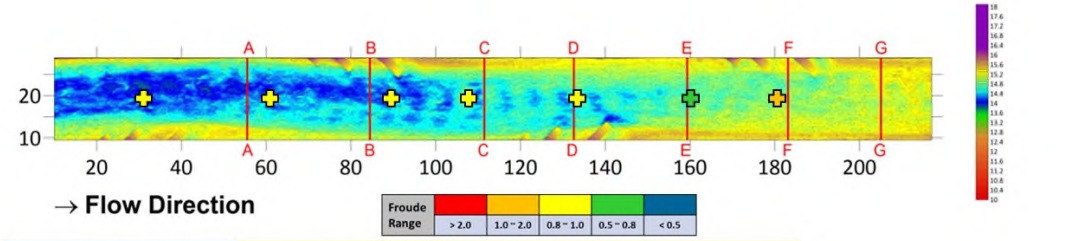


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
32.70	0.126	0.523	33.689	0.893	37.855	0.195
58.30	0.116	0.462	30.977	0.821	41.169	0.203
83.00	0.153	0.696	40.741	1.080	31.302	0.177
108.40	0.095	0.340	25.253	0.670	50.501	0.225
137.60	0.146	0.647	38.809	1.029	32.861	0.181
179.60	0.146	0.653	39.053	1.036	32.656	0.181

Channel slope = 1.3%
Deflector group interval = 32 cm
Flow rate = 0.00015 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

圖 4 - 18. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_GI=32cm_S=1.3%)

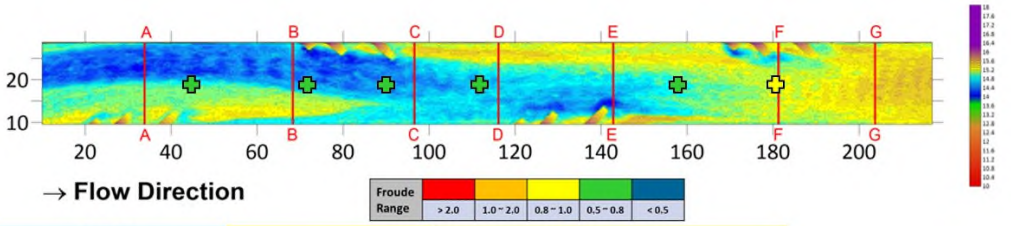


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
32.00	0.269	0.855	19.892	1.899	64.110	0.253
60.90	0.279	0.904	20.646	1.971	61.768	0.249
87.90	0.268	0.855	19.889	1.899	64.122	0.253
109.00	0.279	0.903	20.630	1.969	61.818	0.249
135.80	0.287	0.943	21,239	2.027	60.045	0.245
159.60	0.251	0.772	18.583	1.774	68.629	0.262
181.50	0.270	1.011	27.501	1.910	46.373	0.215

Channel slope = 1.3%
Deflector group interval = 32 cm
Flow rate = 0.00054 cms
Scale = 1 : 50

Location of X-Coord.

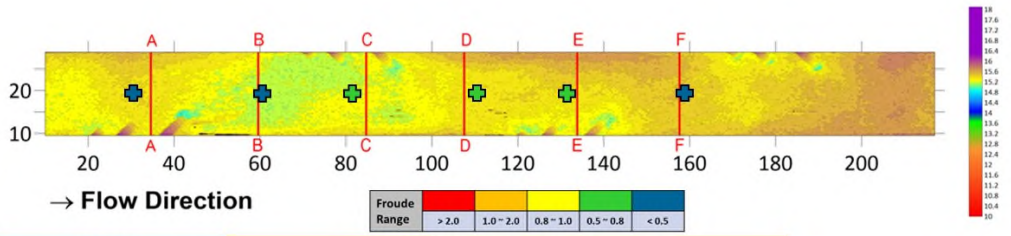
圖 4 - 19. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_GI=32cm_S=1.3%)



Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
44.85	0.226	0.785	23.749	1.595	53.699	0.232
73.10	0.195	0.632	20.552	1.381	62.052	0.249
92.60	0.219	0.752	23.088	1.551	55.236	0.235
119.30	0.194	0.627	20.445	1.373	62.377	0.250
157.70	0.205	0.679	21.556	1.448	59.162	0.243
180.20	0.230	0.806	24.172	1.624	52.759	0.230

Channel slope = 1.3%
Deflector group interval = 32 cm
Flow rate = 0.00038 cms
Scale = 1 : 50
Location of X-Coord.

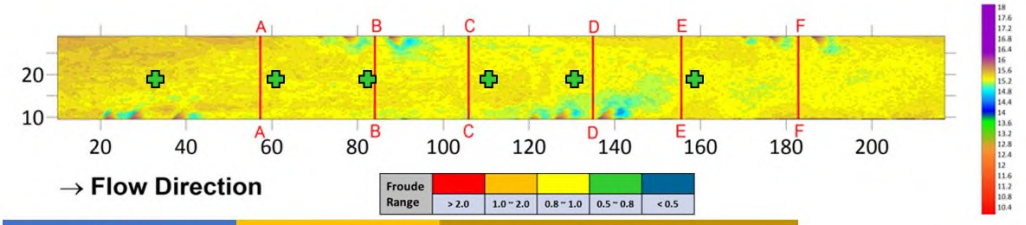
圖 4 - 20. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_GI=32cm_S=1.3%)



Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
31.90	0.124	0.451	26.064	0.875	18.819	0.137
60.80	0.130	0.483	27.285	0.916	17.977	0.134
81.40	0.167	0.709	35.219	1.183	13.927	0.118
110.90	0.134	0.506	28.135	0.945	17.434	0.132
132.30	0.163	0.680	34.250	1.150	14.321	0.120
158.90	0.116	0.407	24.345	0.818	20.148	0.142

Channel slope = 0.5%
Deflector group interval = 32 cm
Flow rate = 0.00019 cms
Scale = 1 : 50
Location of X-Coord.

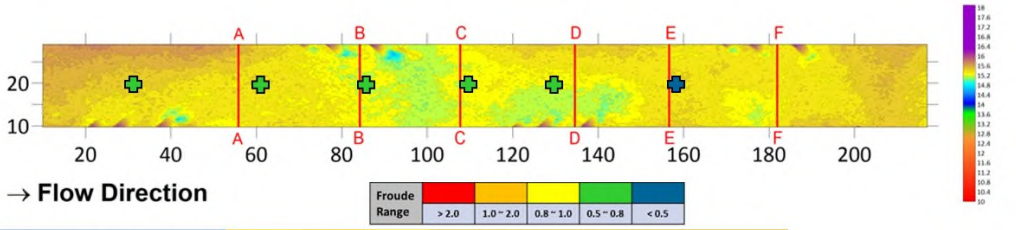
圖 4 - 21. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_GI=32cm_S=0.5%)



Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
33.80	0259	0.774	17.552	1.831	27.946	0.167
60.50	0.235	0.669	15.926	1.661	30.798	0.175
82.40	0.240	0.690	16.247	1.695	30.190	0.174
111.40	0.245	0.713	16.619	1.733	29.515	0.172
132.00	0.243	0.703	16.460	1.717	29.799	0.173
159.30	0.223	0.617	15.087	1.574	32.512	0.180

Channel slope = 0.5%
Deflector group interval = 32 cm
Flow rate = 0.00059 cms
Scale = 1 : 50
Location of X-Coord.

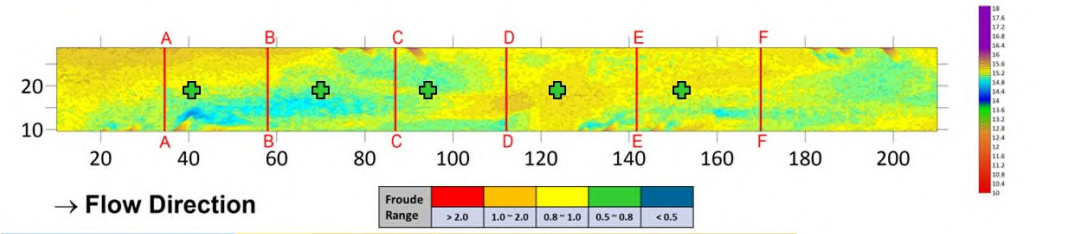
圖 4 - 22. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_GI=32cm_S=0.5%)



Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
32.30	0.207	0.765	26.736	1.465	18.346	0.135
60.70	0.192	0.681	24.735	1.356	19.830	0.141
84.20	0.173	0.584	22.345	1.225	21.952	0.148
111.00	0.165	0.542	21.250	1.164	23.083	0.152
133.10	0.175	0.595	22.619	1.240	21.686	0.147
158.40	0.151	0.476	19.479	1.067	25.181	0159

Channel slope = 0.5%
Deflector group interval = 32 cm
Flow rate = 0.00031 cms
Scale = 1 : 50
Location of X-Coord.

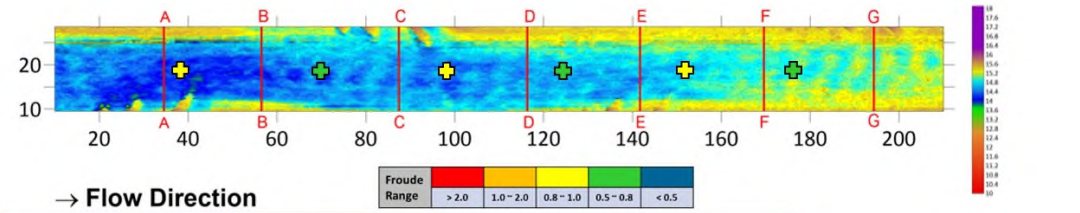
圖 4 - 23. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_GI=32cm_S=0.5%)



Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
40.40	0.148	0.575	29.622	1.047	43.053	0.207
69.40	0.136	0.506	27.196	0.962	46.893	0.217
94.60	0.154	0.612	30.854	1.091	41.333	0.203
124.20	0.148	0.574	29.554	1.045	43.152	0.208
152.20	0.150	0.585	29.958	1.059	42.569	0.206

Channel slope = 1.3%
Deflector group interval = 38 cm
Flow rate = 0.00020 cms
Scale = 1 : 50
Location of X-Coord.

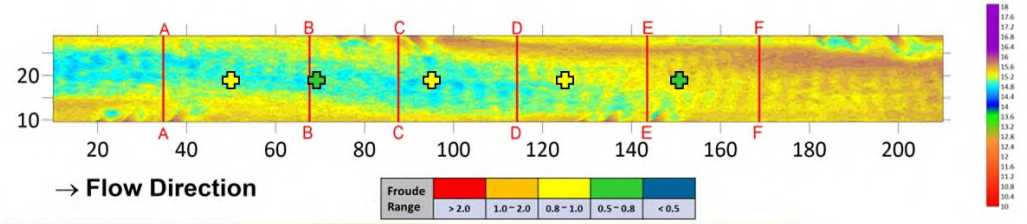
圖 4 - 24. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_GI=38cm_S=1.3%)



Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
39.00	0.266	0.802	17.763	1.884	71.797	0.268
69.90	0.255	0.751	17.006	1.804	74.991	0.274
98.80	0.272	0.826	18.118	1.922	70.388	0.265
124.20	0.261	0.776	17.377	1.843	73.392	0.271
152.00	0.270	0.820	18.028	1.912	70.742	0.266
176.80	0.266	0.798	17.706	1.878	72.025	0.268

Channel slope = 1.3%
Deflector group interval = 38 cm
Flow rate = 0.00060 cms
Scale = 1 : 50
Location of X-Coord.

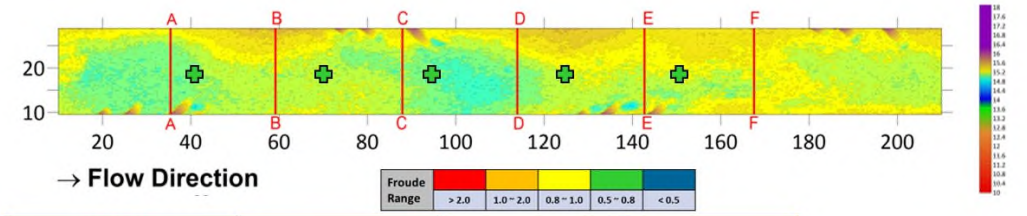
圖 4 - 25. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_GI=38cm_S=1.3%)



Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
50.10	0.242	0.881	26.109	1.708	48.846	0.221
70.10	0.206	0.693	22.249	1.455	57.320	0.239
96.70	0.233	0.833	25.161	1.646	50.685	0.225
126.00	0.228	0.807	24.628	1.611	51.783	0.228
151.20	0.225	0.792	24.321	1.591	52.436	0.229

Channel slope = 1.3%
Deflector group interval = 38 cm
Flow rate = 0.00037 cms
Scale = 1 : 50
Location of X-Coord.

圖 4 - 26. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_GI=38cm_S=1.3%)



Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
41.60	0.207	0.711	23.045	1.467	21.284	0.146
70.40	0.195	0.646	21.616	1.376	22.692	0.151
96.40	0.202	0.684	22.461	1.429	21.838	0.148
125.20	0.192	0.633	21.338	1.358	22.987	0.152
150.00	0.207	0.710	23.026	1.465	21.302	0.146

Channel slope = 0.5%
Deflector group interval = 38 cm
Flow rate = 0.00039 cms
Scale = 1 : 50
Location of X-Coord.

圖 4 - 27. 挑流工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_GI=38cm_S=0.5%)

整體而言，運用挑流工群於坡度較緩；例如 0.5%；的渠道，福祿數變化較為單一，大多落於 0.5 ~ 0.8 的範圍；當渠道坡度逐漸便陡之後，則可以產生較為多變的流況。多變的流況營造出福祿數大於 1.0 的超臨界流 (supercritical flow) 與小於 1.0 的亞臨界流 (subcritical flow)，例如圖 4-4 所示。

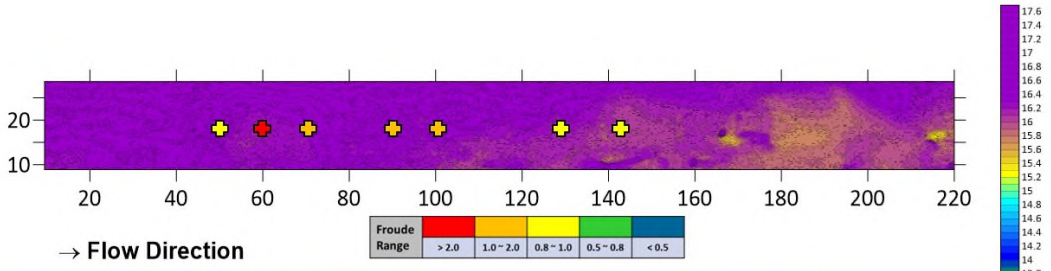
挑流工舌部外的流況受到挑流的影響，隨試驗期間量測的位置，

可以發現超臨界流的產生，隨後在其下游因為溪床淘刷影響，流速減緩，產生亞臨界流，福祿數甚至可降低至 0.5 以下。

由上列的圖中以發現，挑流工群的組距對於水流流況具有影響，渠床坡度緩、挑流工組距拉大時，水流流況變得較為均一，由福祿數的分析結果也應證了本計畫對於挑流工群營造溪流蜿蜒的結論。

二、隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造所營造之生態友善評估

圖 4-28 至圖 4-36 分別為二、隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造的成果，圖中╪符號、福祿數，以及顏色表示的區間均與前一節挑流工群相同。

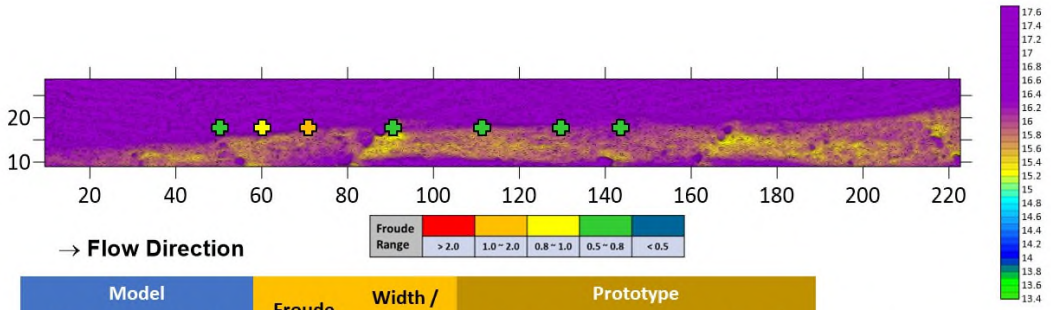


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
49.30	0.200	0.955	44.551	1.418	11.010	0.105
59.50	0.335	2.067	74.524	2.371	6.582	0.081
70.40	0.240	1.249	53.257	1.695	9.210	0.096
90.80	0.251	1.340	55.815	1.776	8.788	0.094
103.00	0.233	1.199	51.844	1.650	9.461	0.097
129.70	0.188	0.864	41.678	1.326	11.769	0.108
142.00	0.171	0.751	37.962	1.208	12.921	0.114

Channel slope = 0.5%
Flow rate = 0.00018 cms
Scale = 1:50

Location of X-Coord.

圖 4 - 28. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_ S=0.5%)

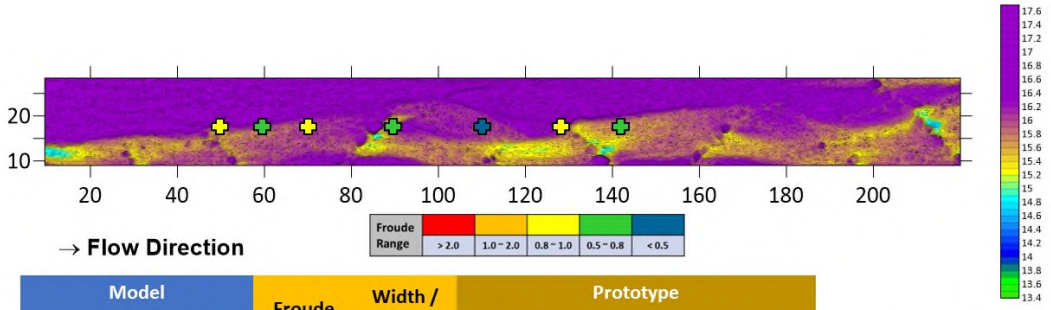


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
49.50	0.175	0.688	30.385	1.235	41.971	0.205
59.50	0.206	0.881	35.840	1.457	35.584	0.189
70.10	0.229	1.030	39.789	1.618	32.051	0.179
90.90	0.186	0.757	32.397	1.317	39.364	0.198
113.20	0.148	0.535	25.704	1.045	49.615	0.223
130.50	0.183	0.740	31.902	1.297	39.976	0.200
142.00	0.180	0.719	31.290	1.272	40.757	0.202

Channel slope = 1.3%
Flow rate = 0.00023 cms
Scale = 1:50

Location of X-Coord.

圖 4 - 29. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_ S=1.3%)

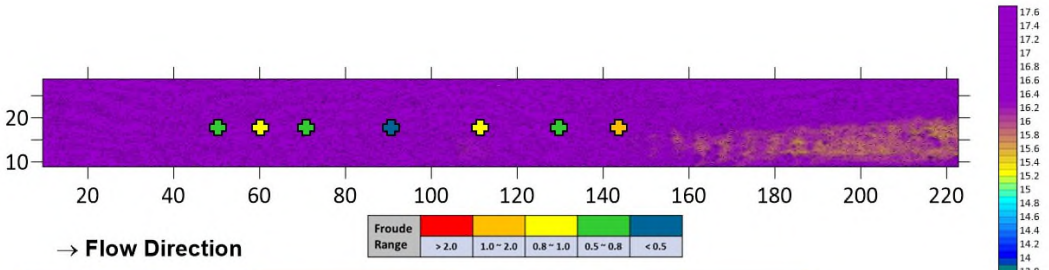


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
49.20	0.178	0.850	44.589	1.261	44.002	0.210
59.50	0.140	0.590	34.957	0.989	56.126	0.237
70.60	0.186	0.903	46.426	1.313	42.261	0.206
90.90	0.146	0.631	36.540	1.033	53.695	0.232
113.10	0.108	0.402	27.066	0.766	72.491	0.269
130.20	0.179	0.853	44.692	1.264	43.900	0.210
142.10	0.165	0.759	41.353	1.170	47.445	0.218

Channel slope = 2.0%
Flow rate = 0.00016 cms
Scale = 1:50

Location of X-Coord.

圖 4 - 30. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{min}_ S=2.0%)

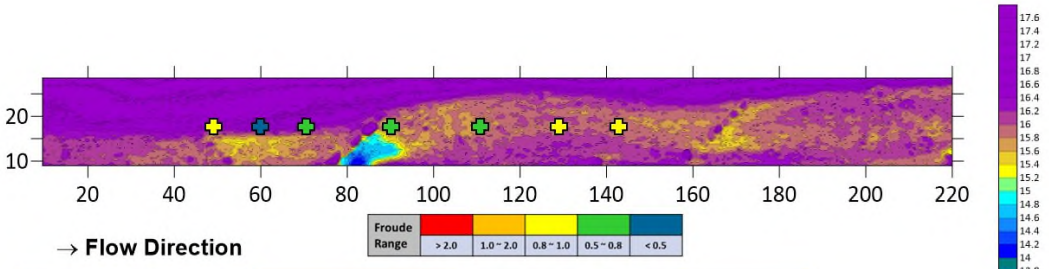


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
48.70	0.204	0.673	21.432	1.440	22.886	0.151
59.60	0.245	0.887	25.759	1.730	19.042	0.138
70.70	0.192	0.614	20.169	1.355	24.319	0.156
90.60	0.153	0.439	16.115	1.083	30.437	0.174
112.80	0.252	0.926	26.522	1.782	18.494	0.136
129.80	0.227	0.790	23.856	1.603	20.561	0.143
142.20	0.306	1.241	32.235	2.165	15.216	0.123

Channel slope = 0.5%
Flow rate = 0.00038 cms
Scale = 1:50

Location of X-Coord.

圖 4 - 31. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_ S=0.5%)

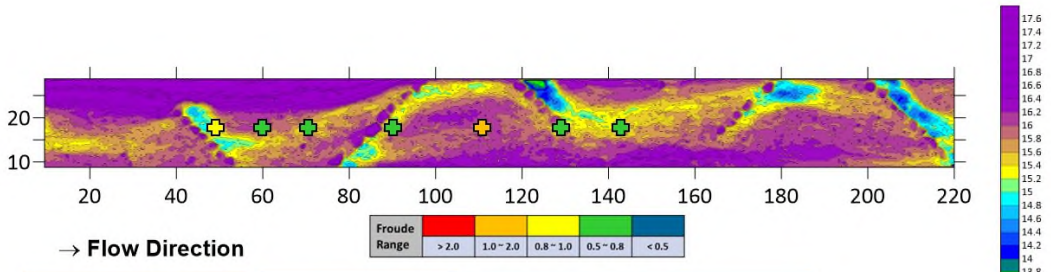


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
49.00	0.235	0.896	28.497	1.662	44.753	0.212
59.50	0.154	0.477	18.716	1.092	68.139	0.261
70.90	0.194	0.672	23.518	1.372	54.226	0.233
90.50	0.179	0.597	21.738	1.268	58.667	0.242
112.70	0.189	0.648	22.961	1.339	55.542	0.236
129.80	0.222	0.823	26.920	1.570	47.373	0.218
142.10	0.225	0.840	27.300	1.593	46.714	0.216

Channel slope = 1.3%
Flow rate = 0.00033 cms
Scale = 1:50

Location of X-Coord.

圖 4 - 32. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_ S=1.3%)

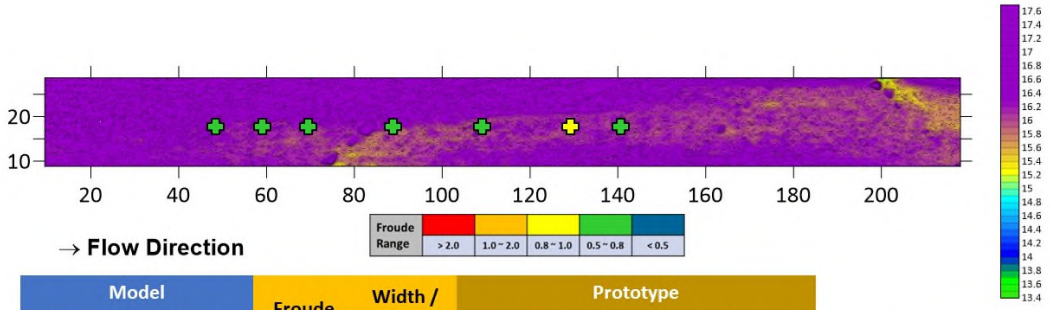


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
48.90	0.261	0.977	27.481	1.846	71.396	0.267
59.50	0.177	0.547	18.678	1.255	105.045	0.324
70.80	0.195	0.632	20.544	1.380	95.503	0.309
90.50	0.227	0.791	23.876	1.604	82.173	0.287
112.00	0.289	1.137	30.412	2.043	64.515	0.254
129.80	0.199	0.652	20.977	1.409	93.532	0.306
141.30	0.204	0.674	21.445	1.441	91.490	0.302

Channel slope = 2.0%
Flow rate = 0.00038 cms
Scale = 1:50

Location of X-Coord.

圖 4 - 33. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{mid}_ S=2.0%)

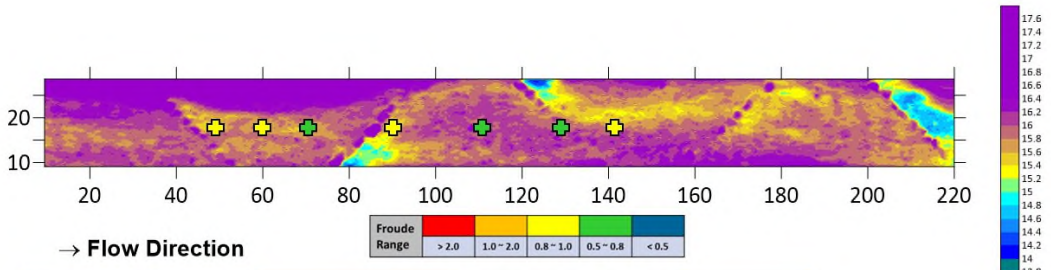


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
48.70	0.230	0.648	15.590	1.626	31.462	0.177
59.50	0.218	0.600	14.812	1.545	33.116	0.182
71.30	0.247	0.723	16.760	1.748	29.267	0.171
90.60	0.217	0.595	14.726	1.536	33.309	0.183
112.70	0.229	0.646	15.547	1.622	31.550	0.178
129.70	0.271	0.831	18.399	1.919	26.658	0.163
140.30	0.259	0.775	17.568	1.832	27.920	0.167

Channel slope = 0.5%
Flow rate = 0.00059 cms
Scale = 1:50

Location of X-Coord.

圖 4 - 34. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_ S=0.5%)

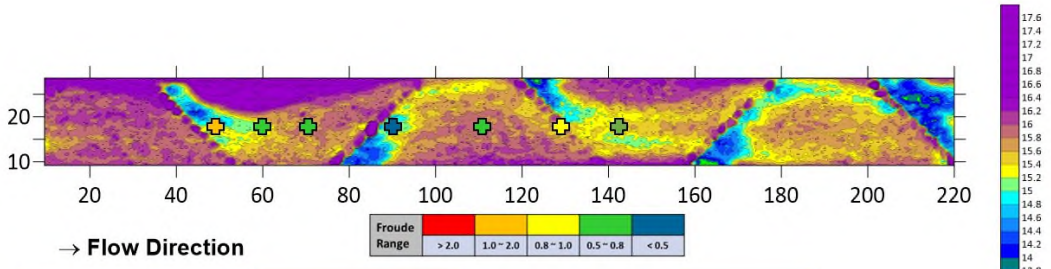


Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
48.70	0.306	0.989	20.431	2.167	62.419	0.250
59.60	0.285	0.886	18.981	2.013	67.188	0.259
70.80	0.258	0.765	17.220	1.826	74.058	0.272
90.60	0.291	0.914	19.383	2.056	65.795	0.257
113.50	0.240	0.685	15.993	1.696	79.743	0.282
129.70	0.259	0.766	17.234	1.828	73.999	0.272
141.20	0.300	0.960	20.030	2.125	63.668	0.252

Channel slope = 1.3%
Flow rate = 0.00060 cms
Scale = 1:50

Location of X-Coord.

圖 4 - 35. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_ S=1.3%)



Model		Froude No.	Width / Hydraulic Depth	Prototype		
X-Coord. (cm)	Avg. U (m/s)			Avg. U (m/s)	Avg. τ (N/m²)	Avg. U* (m/s)
49.30	0.390	1.418	25.984	2.756	75.508	0.275
59.60	0.206	0.544	12.714	1.455	143.065	0.378
70.20	0.255	0.751	17.010	1.804	115.345	0.340
90.50	0.180	0.445	11.993	1.272	163.600	0.404
113.40	0.244	0.703	16.277	1.726	120.537	0.347
129.70	0.302	0.969	20.162	2.138	97.313	0.312
142.00	0.187	0.471	12.463	1.322	157.430	0.397

Channel slope = 2.0%
Flow rate = 0.00060 cms
Scale = 1:50

Location of X-Coord.

圖 4 - 36. 隱入式固床工動床試驗水理分析成果(Q_{max}_ S=2.0%)

由上列的圖中可以看出，隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造所營造的水流境況較挑流工群來得複雜許多，尤其是面對較陡的渠床坡度及滿幅流量時，如圖 4-36 所示。隱入式固床工趾部溪床一旦發生局部淘刷時，福祿數可以降低到 0.5 以下，宛如深潭結構。

水流通過深潭區持續往下游前進時，福祿數逐漸提高，代表水流加速或是因為潭區淘刷所產生的土砂於運移過程中產生沉積導致水深變淺。當水流逐漸接近下游緊鄰的隱入式固床工時，臨界流開始發生，此時，福祿數近逼 1.0。越過之後，福祿數又一次快速下降，如此周而復始，營造出「人造深潭-湍瀨」結構的多變水流境況。

三、小結

如前所述，溪流生態友善與棲地評估的方法多元，就水理評估的角度而言，確實很不容易訂出一個確切的指標，無論是以流速、流量、溪流寬深比，或是福祿數，主要是因為水棲生物所需要的水理條件不同。良好的水理條件可以對微小生物有益，進而繁衍，但是不一定對於其他水棲生物適合，雖然可以從中獲得獵食微小生物的機會，但是也能因此增加被獵殺的風險。

本計畫所研發的挑流工群及隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造的工法，經室內水工縮尺模型試驗及水理分析結果，可以營造出溪流蜿蜒及多變的水流境況。

就溪流蜿蜒之彎曲指數而言，挑流工群效果優於隱入式固床工；就溪流境況而言，隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造的作法優於挑流工群。就溪床縱向淘刷的隱憂而言，挑流工群效果低於隱入式固床工，並且可以在溪床中產生明顯的深槽，但是較不容易產生深潭-湍

瀨構造是其缺點。反觀隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造的作法，雖然隱入式固床工隱沒於溪床之中，但是對於水流的流動仍所不可避免的影響，因次，既使降低固床工的水頭高度，趾部溪床的局部淘刷現象依然存在，只不過規模與深度都大幅縮減，進而營造出潭區，潭區下游端逐漸產生湍瀨及接近臨界流的場域。

就實務而言，如何由本計畫所研發的挑流工群及隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造工法當中挑選？本計畫建議，溪床坡度大於 2% 的溪流，最好選擇隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造工法，但要留意固床工趾部的溪床局部淘刷；析床坡度小於 2% 溪流，則建議採用挑流工群工法，以營造出溪流的「被動式」蜿蜒與深槽，但是挑流工群之間的組距不宜過大，以免降低蜿蜒的發生，亦不可以過窄，以免過度強迫溪流蜿蜒而產生挑流工群舌部與軸體附近溪床的淘刷。詳細設計，請參閱本計畫挑流工群的小結。

第五章　結論與建議

本計畫屬工程技術研發領域之創新計畫，以兩年度做為全程創研規劃，計畫執行的在於突破野溪治理所採用的傳統或生態工法對於溪流多樣性營造之困難，以營造野溪河相蜿蜒形態為目標，利用室內水工試驗、工法的創新嘗試，企圖了解創新工法營造溪流蜿蜒之可行性。除此之外，期望研發與測試隱入式固床工，以突破固床工趾部之局部淘刷與水流流路區間化的問題，更期望藉由隱入式固床工的研發，創造深潭-淺灘的溪流形態，增加水域的多樣性。全程計畫始於 110 年 1 月 19 日，止於 111 年 12 月 31 日。

一、結論

本計畫所設計的挑流工群及其配置可以改變溪床深槽及兩岸的蜿蜒，深槽彎曲指數最高可達 1.073，若依據 Morisawa (1985) 對於溪流彎曲度的溪流型態分類標準，順直河道的彎曲指數小於 1.05、彎曲河道的彎曲指數大於 1.05、蜿蜒河道的彎曲指數大於 1.50、辮狀河道的彎曲指數大於 1.30、網狀河道的彎曲指數大於 2.00，可見本計畫所設計的挑流工群可以在兩岸受護岸所侷限的環境下形成彎曲河道的型態。因此，透過本計畫研發的挑流工群，可以在整治後受兩護岸侷限的直線溪段營造出被動式蜿蜒 (passive meandering)。

本計畫水工動床試驗發現，單純利用隱入式固床工企圖營造溪流

蜿蜒與深潭-湍瀨結構的作法不可行，必須要與本計畫所設計的三角錐挑流結構搭配，採交錯式配置。同時，隱入式固床工與三角錐挑流結構的交錯配置不適用於溪床坡降緩於 1.3%的溪流。但是當溪床坡降為 1.3% 時，溪流蜿蜒現象開始發生；當溪床坡降為 2% 時，溪流與溪床蜿蜒變得非常明顯；尤其是面對 0.89 滿幅流量 (bankfull discharge) 以上的流量時。

本計畫所研發的挑流工群及隱入式固床工搭配三角錐挑流構造的工法，經室內水工縮尺模型試驗及水理分析結果，可以營造出溪流蜿蜒及多變的水流境況。

二、建議

就挑流工實務應用而言，本計畫提出以下幾點建議：

1.對於溪床坡降緩於 2%的溪流，建議未來國內執行野溪整治理時應再評估是否需要如同過往設計系列固床工的必要。本計畫試驗觀察發現，以挑流工群的方式進行溪流蜿蜒的營造，不但沒有溪床縱向淘刷的疑慮，且可達到多樣的溪流型態。

2.挑流工群間的組距對於受護岸侷限之溪流蜿蜒具有確定的影響，太緩的溪床坡降；例如 0.5%；建議挑流工群的組距採用約 1.9 倍的溪流幅寬，讓溪流蜿蜒可以順自然趨勢發展。溪床坡降達到 2.0% 時，

則建議挑流工組距可採用 1.6 倍溪幅寬度配置。若要營造出更為明顯的溪床與溪流蜿蜒，則組距可考慮採用 1.3 倍溪幅寬度配置。

3.挑流工群不建議採用等軸長的方式設計，上游端的挑流工軸長宜短，中間及下游挑流工的軸長則應逐漸加長，同時，中、下游挑流工之間的 offset 距離建議增加，以免下游端的挑流工受到中間挑流工挑流的庇蔭而失去其設置目的。

4.挑流工軸體宜採用向溪流中間傾斜的方式設計，上游端挑流工藉由短軸長、軸體高傾斜角的設計，讓上游水流可以提前但小幅度的挑流，且提早潛入水流中。中間的挑流工軸體傾斜角則設計較上游挑流工為緩，減少構造物對水流所造成的阻力與下沉渦流對軸體基礎溪床的淘刷。

5.本計畫所採用動床水工試驗的床砂平均粒徑 (D_{50}) 為 1.05 mm，相當於原型實物床砂粒徑 52.5 mm，倘若整治段溪流床砂平均粒徑小於 52.5 mm，則建議上游挑流工的基礎深度可再加深，或是減緩上游挑流工軸體之軸向傾斜角度。倘若整治段溪流床砂平均粒徑大於 52.5 mm，則建議直接採用本計畫的設計及建議組距。若要讓整治段溪流能夠在較大床砂粒徑條件下形成更明顯的蜿蜒，本計畫建議挑流工群的組距可以採用 1.3 倍溪幅寬度配置。

6.本計畫水工試驗之最大試驗坡度為 2%，對於溪床平均坡度超過 2%

之溪流蜿蜒營造而言，由試驗觀察與分析結果推斷，挑流工群的組距不宜過長，因為在較陡的溪床坡度情況下，水流受挑流後恢復直近的潛勢高於其在緩坡度的環境，且恢復直近所需要的流長較緩溪床坡度的環境為短，因此建議採用 1.3 ~ 1.6 倍溪幅寬度配置，但不宜採用小於 1.3 倍溪幅寬度配置，以減少水流於短距離內連續蜿蜒而導致挑流工舌部與軸體迎水面下方近基礎位置溪床的淘刷。

7.為簡化應用挑流工群於整治溪流之直線段營造溪流蜿蜒型態，本計畫建議挑流工群的組距採用 1.5 ~ 1.6 倍溪幅寬度配置。

就隱入式固床工實務應用而言，本計畫提出以下幾點建議：

1.利用隱入式固床工企圖營造溪流蜿蜒與深潭-湍瀨結構的作法，不適用於溪床坡降緩於 1.3%的溪流。

2.本計畫所設計的隱入式 A 型固床工，設計考量流線型及外觀柔和，但因為固床工兩端與中央的落差較大，加上結構體表面光滑，使得水流通過時加速匯集。因此，若要以流線型設計並考量外形美觀，建議降低兩端與固床工中央之間的落差，並增加固床工表面糙度。

3.隱入式 B、C、D 型固床工均屬於透水式固床工，只是固床工頂緣與溪流整治段的設計線同高，讓固床工完全隱沒於溪床之下。若要使用該類型的隱入式固床工，則結構體應儘量降低透水率，以免受

到滲流淘刷的影響。

4.本計畫所設計的隱入式 E 型固床工，設計及施工相對簡單，軸角與其他形式的隱入式固床工相同不與兩側護岸垂直，希望能營造溪流蜿蜒，但蜿蜒的結果對於水流攻擊岸會產生基礎淘刷問題，建議與本計畫所設計的三角錐挑流結構搭配，採交錯式配置。

5.隱入式 E 型固床工的軸向建議與護岸成 45°，三角錐形挑流構造最外側端部伸入溪床並垂直於護岸的寬度建議採用 1/3 整治段的幅寬，三角錐形挑流結構最上端的舌部到端部之間長度 (沿護岸方向)，則建議選用本計畫所研發挑流工群之 Offset 設計，為 $Offset_1$ + $Offset_2$，Offset 設計請詳見圖 2-28。至於從三角錐形挑流結構端部到結構尾部沿護岸方向的長度，則建議採用 1/8 倍 ($Offset_1$ + $Offset_2$)。倘若設計太長，只是徒增施工成本。

就挑流工群及隱入式固床工對溪流生態友善與棲地評估而言，本計畫提出以下幾點建議：

1.挑流工群對於溪流蜿蜒營造效果優於隱入式固床工，隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造的作法對於溪流境況多變的營造則溪流境況優於挑流工群。

2.就溪床縱向淘刷的隱憂而言，挑流工群效果低於隱入式固床工，但

較不容易產生深潭-湍瀨構造。隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造的作法，雖然趾部溪床的局部淘刷現象依然存在，但規模與深度都大幅縮減，進而營造出潭區，潭區下游端逐漸產生湍瀨及接近臨界流的場域。

3.就實務而言，溪床坡度大於 2% 的溪流最好選擇隱入式固床工搭配三角錐形挑流構造工法，但要留意固床工趾部的溪床局部淘刷；析床坡度小於 2% 溪流，則建議採用挑流工群工法，以營造出溪流的「被動式」蜿蜒與深槽。

參考文獻

1. 毛壽彭，水工模型試驗，中國土木水利工程學會，臺灣，14-7～14-57，1987。
2. 水土保持手冊，工程篇，行政院農業委員會水土保持局，2017。
3. 行政院農業委員會水土保持局，"透水式固床工之工法研發與水理特性研究 (三) – 成果報告書"， 行政院農業委員會水土保持局，2018。
4. 何國勇，"近直線弧型開口式固床工應用於野溪治理之研究"，國立屏東科技大學水土保持系，162 頁，碩士論文，2007。
5. 吳嘉俊，"固床工間連續帶工間距之研究 (三)"，89 年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編，69-98 頁，2000。
6. 吳嘉俊、黃炳琦、吳雅筠，"拋石保護控制固床工趾部局部淘刷之研究"，中華水土保持學報，47(3): 147-155，2016。
7. 林原巧，"開口式固床工應用於野溪整治之研究，國立屏東科技大學水土保持系，碩士論文，98 頁，2005。
8. 林瑞仁，"開口式帶工對整治後溪流蜿蜒促成可行性之研究"，國立屏東科技大學水土保持系，碩士論文，65 頁，2004。
9. 陳沛霖，"圓弧型開口式固床工應用於野溪整治之研究"，國立屏

東科技大學水土保持系，碩士論文，143 頁，2006。

10. 陳宥達，"透過式固床工水理特性及抑制淘刷效果之研究"，國立屏東科技大學水土保持系，碩士論文，93 頁，2017。
11. 陳淑媛、陳兆鈿、梁家齊、胡通哲、鍾景光、"溪流棲地量化評估方法探討"，中華水土保持學報，53(3):190-201，2022。
12. A.D. Abrahams, G. Li, and J.F. Atkinson, "Step-pool streams: Adjustment to maximum flow resistance," *Water Resources Research* 31, 2593-2602, 1995.
13. Allen, K. R. 1951: The Horokiwi Stream. Fisheries bulletin 10, New Zealand Marine Department, Wellington. 231 p.
14. Bechara, J.A., and Belzile, L. (1996). "Numerical method for modelling spawning habitat dynamics of landlocked salmon, Salmo salar." Regulated Rivers: Research & Management, 12, 73-285.
15. R.P. Beckinsale, "River regimes," *In*: Chorley, R.J. (ed.), *Introduction to physical hydrology*, London, Methuen, 176-192, 1969.
16. D.I. Bray, "Regime Equations for Gravel-bed Rivers," In：Hey, R.D., Bathurst, J.C. and Thorne, C.R. (eds), *Gravel-bed Rivers*. Wiley, Chichester, 517-552, 1980.
17. R. Cereghino, J.L. Giraydel, and A. Compin, "Spatial analysis of stream invertebrates distribution in the Adour-Garonne drainage

basin (France), using Kohonen self organizing maps," *Ecol. Modell*. 146(1-3), 167-180, 2001.

18. Y.-D. Chen and C.-C. Wu, " Permeable Groundsills in Flow Alternation and Scour Control for Headwater Streams," River Flow 2020, *Proceedings of the 10th Conference on Fluvial Hydraulics*, July 7th -10th , Delft, Netherlands, 2020.
19. A. Chin, " The Periodic Nature of Step-pool Mountain Streams," *American Journal of Science*, 302, 144-167, 2002.
20. M. Church, " Channel morphology and typology," In: Calow, P. and Petts, G.E. (eds), *The river's handbook: hydrological and ecological principles*. Oxford: Blackwell, 126-143, 1992.
21. W.M. Davis, " The geographical cycle," *Geographical Journal* 14, 481-504, 1899.
22. R.I. Ferguson, " The Threshold Between Meandering and Braiding," In：Smith, K.V.A. (ed.), *Channels and Channel Control Structures, Proceedings of the First International Conference on Hydraulic Design in Water Resources Engineering*. Springer-Verlag, Berlin, 6.15-6.29, 1984.
23. J. Fredsøe, " Meandering and Braiding of Rivers," *Journal of Fluid Mechanics*, 84, 609-624, 1978.
24. D. Gillenwater, T. Granata, and U. Zika, " GISbased modeling of spawning habitat suitability for walleye in the Sandusky River, Ohio,

and implications for dam removal and river restoration." *Ecological Engineering*, 28, 311-323, 2006.

25. G. Glova and M.J. Duncan, " Potential effects of reduced flows on fish habitats in a large braided river, New Zealand." *Transactions of the American Fisheries Society* 114: 165-181, 1985.
26. O.T. Gorman and J.R. Karr, " Habitat Structure and Stream Fish Communities," *Ecology*, 59(3), 507-515, 1978.
27. G.E. Grant and T.Mizuyama, " Origin of step-pool sequences in high-gradient streams: A flume experiment," *Proceedings of the Japan-U.S. Workshop on Snow Avalanche, Landslide, Debris Flow Prediction and Control*. Sept. 30 – Oct. 2, 1991. Tsukuba, JAPAN: 523-532, 1991.
28. A.M. Harvey, " Chanel capacity and the adjustment of streams to hydrologic regime, " *Journal of Hydrology* 8, 82-98, 1969.
29. R.D. Hey and C.R. Thorne, " Stable Channel with Mobile Gravel Beds," *Journal of Hydraulic Engineering*, 112, 671-689, 1986.
30. R.D. Hey, " Stable River Morphology," In: *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, C.R. Throne, R.D. Hey, and M.D. Newson (eds), Wiley, Chichester, p. 237-268, 1997.
31. I.G. Jowett, " A method for objectively identifying pool, run, and

riffle habitats from physical measurements, New Zealand." *Journal of Marine and Freshwater Research*, 27:2, 241-248, 1993.

32. D. Knighton, *Fluvial Forms and Processes*, London: Arnold. 1998.
33. L. B. Leopold, *A View of the River*, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 298, 1994.
34. L.B. Leopold and M.G. Wolman, River Channel Patterns — Braided, Meandering and Straight, *USGS, Professional Paper 282B*, 1957.
35. L.B. Leopold, M.G. Wolman, and J.P. Miller, *Fluvial Processes in Geomorphology*, Freeman, San Francisco, 1964.
36. D.R. Montgomery and J.M. Buffington, "Channel-reach morphology in mountain drainage basins," *Geological Society of America Bulletin* 109: 596-611, 1997.
37. M. Morisawa, *River - Forms and Process*, Longman, London, 1985.
38. M.P. Mosley, "A procedure for characterizing river channels." *Water and soil miscellaneous publication* 32, Ministry of Works and Development, Wellington, 90 p, 1982.
39. T. Okazaki, Y. Gonda, Y. Nissii, and H. Kawabe, "Characteristics of Step-Pool Morphology in the Mountain Streams of Japan," *Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides*, 379-390, 2006.
40. D.J. Orth and O.E. Maughan, "Microhabitat preferences of benthic fauna in a woodland stream." *Hydrobiologia* 106: 157-168, 1983.

41. G. Parker, " On the Cause and Characteristic Scales of Meandering and Braiding in Rivers," *American Journal of Science*, 278, 1253-1268, 1976.
42. R.D. Pridmore and D.S. Roper, " Comparison of the macroinvertebrate faunas of runs and riffles in three New Zealand streams." *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 19: 283-291, 1985.
43. K.S. Richards, " The morphology of riffle-pool sequences." *Earth Surface Proceedings* 1: 71-88, 1976.
44. D.L. Rosgen, " A Classification of Natural Rivers," *Catena*, 22, 169~199, 1994.
45. S.A. Schumm, " Evolution and response of the fluvial system, sedimentological implications," In: Ethridge, F.G., Flores, R.M. (Eds.), *Recent and Nonmarine Depositional Environments*. SEPM (Society for Sedimentary Geology), Special Publication 31, 1981.
46. S.A. Schumm, *The Fluvial System*, New York, John Wiley &Sons, 338 p, 1977.
47. B. Statzner, " A method to estimate the population size of benthic macroinvertebrates in streams." *Oecologia* 51: 157-16, 1981.
48. P. Steffler and J. Blackburn, " River2D, Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat, Introduction to Depth Averaged Modeling and User's Manual."

Technical Report of Uuiversity of Alberta, Canada, 2002.

49. M.A. Stevens, D.B. Simons, and E.V. Richardson, " Non-equilibrium river form," *Journal of Hydraulics Division American Society of Civil Engineers* 101, HY5, 557-566, 1975.
50. C.R. Thorne, R.D. Hey, and M.D. Newson, *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, John Wiley & Sons Ltd., 376 pp., 1997.
51. Z.Y. Wang, C.S. Melching, X.H. Duan, and G.A. Yu. "Ecological and hydraulic studies of step-pool systems," *Journal of Hydraulic Engineering* 135(9): 705-717, 2009.
52. J.G. Whittaker and M.N.R. Jaeggi, " Origin of step-pool systems in mountain streams," *Journal of Hydraulics Division American Society of Civil Engineers* 108: 758-773, 1982.
53. E.E. Wohl and D.M. Thompson, " Velocity characteristics along a small step-pool channel," *Earth Surface Processes and Landforms* 25: 353-367, 2000.
54. M.G. Wolman, " The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania." *United States Geological Survey professional paper* 271, 1955.
55. C.C. Wu. C.H. Hou, C.N. Chen, and C.Y Shih. Determination of groundsills interval for stream training. *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics* 4(6):1109-1116, 2002.

56. C.C. Wu and Y.C. Lin, "Diversity of streambed features caused by open-slot groundsills," In: *River Flow 2006*, edited by Ferreira, Alves, Leal and Cardoso. *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics*, Lisbon, Portugal, Sept. 6-8, Taylor & Francis, pp. 1665-1671, 2006.
57. T.C. Yang, T. C. "Formation of riffles and pools." *Water Resources Research* 7: 1567-1574, 1971.

附錄

附錄一、期初審查意見回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
李嶸泰 委員：		
1	採用之二款隱入式固床工，立意良好，惟建議考慮未來實際應用之施工性是否可行。	截至目前為止，隱入式B、C、D型固床工測試仍失敗，期中報告完成後將測試外觀複雜的A型固床工。A型的最大缺點是施工不易，倘若測試仍失敗，本計畫將設計E型固床工，設計理念請參閱 P.4-14～P.4-16。
2	另固床工原有保護河床，減緩流速.....等功能，是否會影影響。	固床工造成溪流水域區間化是一直存在的問題，本計畫認為目前國內業界廣泛應用，但卻往往出現用在不需要用到的地方，甚至有部分業界將固床工用來支撐兩岸護岸結構的亂象。本計畫希望能透過創研計畫測試隱入式固床工的可行性，以打破目前野溪整治外觀上的不協調。
3	目前試驗所採用之流量及粒徑其適用於現地約多大之流量、坡度及粒徑。未來應用時之設計如何因應之。	已補充試驗參數，請參閱P.3-17表3-1；其中包含模型及所對應原型的參數。 至於應用設計上的因應，將於期末報告中說明。
何嘉浚 委員：		

項次	審查意見	回覆辦理情形
1	在低流量的條件下，河川蜿蜒的營造成效較不佳，對應之河川流量大約為多少。	已補充試驗參數，請參閱P.3-17表3-1；其中包含模型及所對應原型的參數。
2	本研究是否有考量長期沖刷下的影響。	本計畫水工試驗採用「清水流」試驗，以模擬最大沖刷情況下的溪床型態改變，請參閱P.3-16說明。同時，一次水工試驗的時間，從水流穩定起算，至少2.5小時，若依試驗比例尺反算，相當於原型17.68小時。
3	隱入式固床工立意良善，然主要發展機制應該是因縮短流徑而提高流速並產生較大的流速所致，建議應增加蜿蜒沖蝕之機制描述。	縮短流徑的結果，誠如委員所述，將加大水流流速，無法營造蜿蜒，與本計畫的目標相違。
4	隱入式固床工是否以長期的隱沒於河床底部，會否一段時間後便出露於河床表面而造成流況的變化。	委員所述甚是，經過本年度測試結果，確實如此，請參閱P.4-10 ~ P.4-13及圖4-8。
周良勳 委員：		
1	P2-1 敘明挑流工和水土保持技術規範第106、107、108條丁壩的差異性。	已補充說明於第二章第三節，請參閱P.2-9 ~ P.2-10。
2	P2-5 彎曲指數1.279 宜敘明在表2-1。	原表2-1重新依據其中報告內容的編排列為第三章表3-2，表中的彎曲指數1.279改正為1.234。
3	P2-1 試驗流量宜敘明。	已依據其中報告內容的重新編排至第三章並補充試驗參數，請參閱P.3-17表3-1；其中包含模型及所對應原型的參數。

項次	審查意見	回覆辦理情形
4	P2-5 隱入式透水固床工和潛壩之差異性。	隱入式透水固床工的設計理念請參閱P.4-3 ~ P.4-6。
5	宜列計畫編號。	已依據意見補遺。
詹連昌 委員：		
1	P3-3 本年度計畫,單獨以四種形式隱入式固床工，改變軸向，調整流心試驗，試驗結果之可行方案，建議能提出實務上可行性及溪流環境條件。	截至目前為止，隱入式B、C、D型固床工測試仍失敗，期中報告完成後將測試外觀複雜的A型固床工。A型的最大缺點是施工不易，倘若測試仍失敗，本計畫將設計E型固床工，設計理念請參閱 P.4-14 ~ P.4-16。
2	P3-11 第四項工作兩者均在水槽實驗如何評估生態友善，補充說明。	生態友善整體評估的指標包含：(1) 深槽蜿蜒與水理條件間的關係、(2) 溪流兩岸蜿蜒與水理條件間的關係、(3) 水流流速及水深的改變。 水工試驗期間，均對各場試驗均進行顆粒影像流速法 (PIV) 的水流表面流速量測及斷面水深的取樣量測，期中報告完成後將總整水工試驗所量測到的水理參數，分析水流流況、流速、水深等水理參數的改變，以瞭解流況與流速歧異度的變化。最後再與上述的評估指標進行連結，以評估挑流工及隱入式固床工的優缺點。

附錄二、期中審查意見回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
1	建議於章節前段增加表格，羅列本案應辦工作項目、進度及截至期中完成辦理情形，俾便了解執行狀況。	由於期末報告撰寫的方式朝向兩年期的總整報告撰寫，因此委員的建議將列於第一章的最後。
2	本案為創新工法研究案，所採用之方法或理論散見於報告告章節內，建議本年度研究於蒐集各前人研究結果後，敘明本研究採納選用之參數或方法、原因，並製作研究流程圖，以便更能掌握整體執行架構。	遵照辦理。本年度為全期計畫的結束年，期末報告書的內容撰寫與編排將重新調整，並將委員意見融入其中。 同時，增加水工試驗流程圖，如圖2-30。
3	P.3-2第一段(3)整體性計畫請修正為「整體性治山防災計畫」。	遵照辦理，由於期末報告撰寫的方式朝向兩年期的總整報告撰寫，因此該內容的敘述移至第二章 P.2-14。
4	P.4-10 提到B、C、D型固床工未能達到預期成果，是否可補充其測試研究或觀測資料。	感謝指教，本年度B、C、D型固床工未能達到預期成果，乃是根據測試試驗的渠床型態進行判斷。倘若測試試驗在最大試驗流量及坡度條件下已出現失敗，無法如預期產生目標的渠床型態，則沒有必要再花時間進行量測。直到該創新設計具可行性之後，才會啟動正式的觀測與量測，以減少人力、材料成本及時間的妥善運用。
5	P.4-11圖4-8縮時攝影截圖不易看出渠床表面變化，可否利用研究內遂提雷射高程掃描結果以色差漸層標示渠床表面	感謝指教，縮時攝影截圖是為了讓測試階段了解創新設計之固床工於最大試驗流量及坡度條件下對於渠床的反

項次	審查意見	回覆辦理情形
	差異變化，並標註各截圖之時間。	應，以做為變更設計的參考。倘若無法如預期產生目標的渠床型態，則沒有必要再花時間進行量測，以減少人力、材料成本。
6	P.5-3 所提生態友善整體評估指標，建議或可參考本局河溪棲地復育評估指標部分內容。	感謝指導，將於期末報告書中參考，並結合本計畫的成果進行評估。
7	P.3-20、圖3-17三種水位、三種坡度、三種組距組合試驗彎曲指數，成果不易判讀各類組合差異及變化趨勢，雖然還原原型尺寸及流量，也只能參考。為利於瞭解類組差異性及趨勢，建議試以無因次比值曲線圖表示，利於提供應用於野溪原型條件參考。	感謝指教，影響挑流工群營造溪流蜿蜒現象的主要控制因子為溪流流量、溪床坡度、挑流工群的組距，以無因次比值方式仍不易呈現。因此，原圖3-17改變方式呈現，較為明顯易懂。
8	為友善溪流生態及營造蜿蜒溪流，本研究提出數種創意工法，藉由渠槽試驗分析成效，建議針對成效良好之固床工型式，評估看如何可能落實於現地設計，本局後續可推薦分局納入實行野溪整治工程設計中。	感謝指教，將於期末報告書中增加一章，對於連續兩年成效良好的創意工法研發成果及未來實際現場運用做評估與說明，以供參考。

附錄三、期中審查意見回覆辦理情形

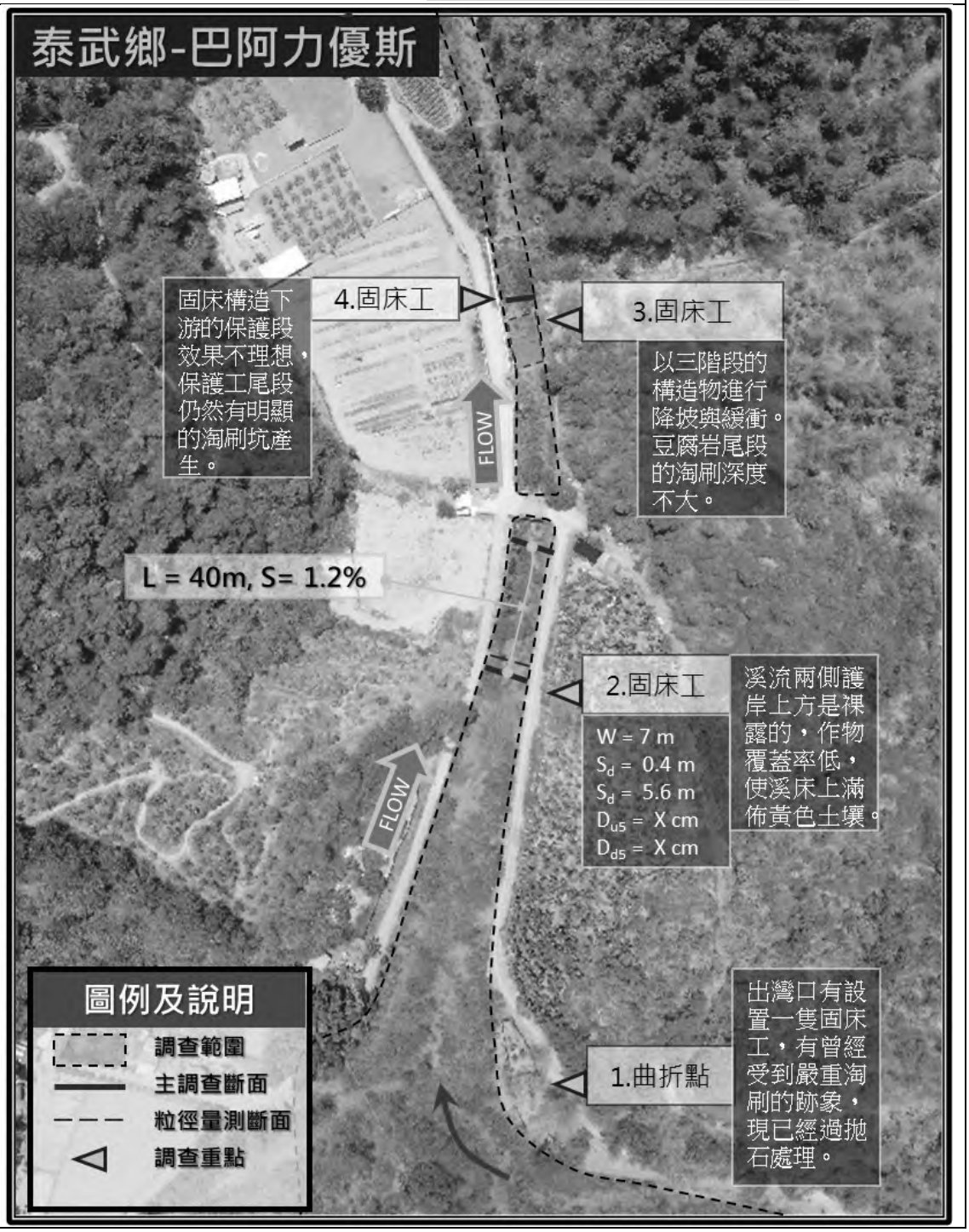
項次	審查意見	回覆辦理情形
1	挑流工群設置後，水流有些地方可能從超臨界流變成亞臨界流，這樣會產生紊流的水躍，這樣對生態環境是好的嗎？	超臨界流進入亞臨界流而生的水躍現象，是深潭-湍瀨結構必定會產生的現象，可以增加溪水的曝氣量與溶氧量，有利於水棲生物棲地環境。
2	可以考慮工程操作的SOP。	本研究屬於創新研究，重點在於研發有利於溪流生態友善及蜿蜒營造的可行方法，工程操作的SOP於工法研發過程當中已考量施工的便利性。
3	挑流工容易災害轉移，固床工是調整溪床坡降，與防止溪床刷深，簍空型固床工實用性不高，建議加入各構造物原施作目的探討為宜。	固床工施作的目的常被誤用，這是本研究計畫想要嘗試導正的，希望能藉由本計畫研發工法的成果，適地適用，以提供不同的工法選擇。
4	坡度2%以上建議使用透過性固床工，其使用坡度上限是否有建議值？	透過性固床工有其缺點，亦有其坡度適用上限，建請參閱參考文獻#10。
5	在工程設計最大流量情形下，流況為何？其對結構安全性之影響？	本研究計畫以滿幅流量(bankfull discharge) 做為水工試驗的最大流量，流況分析請詳見報告P.4-4 ~ P.4-22。 水工試驗主要目標是在探討研發工法對於蜿蜒營造及溪流生態友善的改善，結構安全非本研究的重點，但是，水工試驗後的高精度雷射掃描可以看出隱入式固床工趾部的溪床淘刷熱點，可以提供未來現場施作的參考。

附錄四、現場調查記錄

日期：2021/05/13	地點：萬安親水公園旁及武潭野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛		
調查點位座標(TWD97)	X：213715	Y：2502532
固床工 7 座、護岸 218.5 m、排水溝 20.5 m、動物逃生道 18.7m、堤頭工 1 座、護坦 2 座、封牆 2 座、危險警告標誌 2 組、截水牆 2 座、消能檻 11 組、止滑樁 4 組 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/05/13	地點：巴阿力優斯野溪二期整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛		
調查點位座標(TWD97)	X：212644	Y：2434007
固床工 7 座、護岸 265 m、堤頭工 1 座、側牆 11.3 m、土包袋 1375 包、水墊 50.4 m^2、尾檻 1 座、危險警告標誌 1 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/05/13	地點：潘壽野溪整治七期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛		
調查點位座標(TWD97)	X：211465	Y：2483595
固床工 8 座、護岸 270 m、版橋 1 座、土石袋 270 m、既有箱涵保護 2 座、空氣汙染防制鋪面 50 m2、警告標示牌 2 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/05/14	地點：內寮村上游野溪整治二期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：211098	Y：2476849
固床工 13 座、護岸 322.5 m、排水溝 9 m、警告標示牌 2 座、稻草蓆 968 m^2、生物通道 2 處 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/05/14	地點：巴莎野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：211930	Y：2476908
固床工 22 座、護岸 415.1 m、排水溝 32 m、跌水 8 座、警告禁止標誌 2 支 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/05/14	地點：蜈蚣溝上游坑溝整治工程

調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：211167	Y：2475849
固床工 15 座、護岸 261 m、版橋 2 座、箱型石籠跌水工 17 m、RC 渠首(尾)工 2 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/05/20	地點：林祿溪射麻裡段 406-6 等地號旁野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛		
調查點位座標(TWD97)	X：229180	Y：2434447
固床工 10 座、護岸 389.5 m、基礎工 3.5 m、生態通道 4 座、空氣汙染防治鋪面 100 m^2、新舊構造物銜接修順 1 式、稻草蓆 2721 m^2、石籠 391 籠、預力基樁 30 支、生態迴避孔 76 處(工程管考系統登錄之工程內容)		



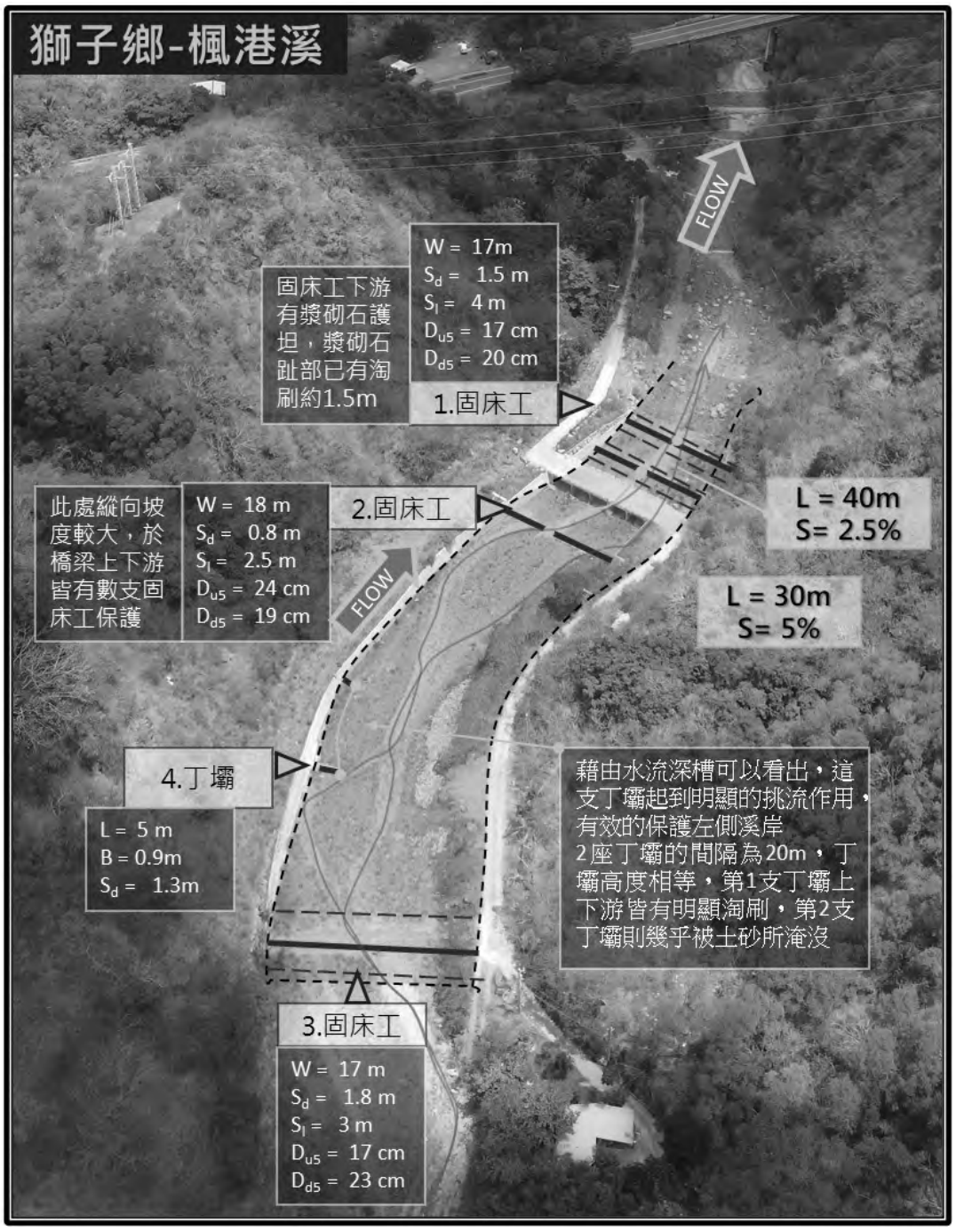
日期：2021/05/20	地點：林祿溪野溪治理二期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛		
調查點位座標(TWD97)	X：229624	Y：2433380
固床工 7 座、護岸 718 m、護欄 120 m、內面工 6.5 m、警告標示牌 2 座、生物通道 3 處、稻草蓆 2130 m^2、基礎保護工 17 座、水泥仿木欄杆 250 m、回填區留設拋物線型溝 3 處、既有版橋改善 1 處、箱涵 1 處 (工程管考系統登錄之工程內容)		



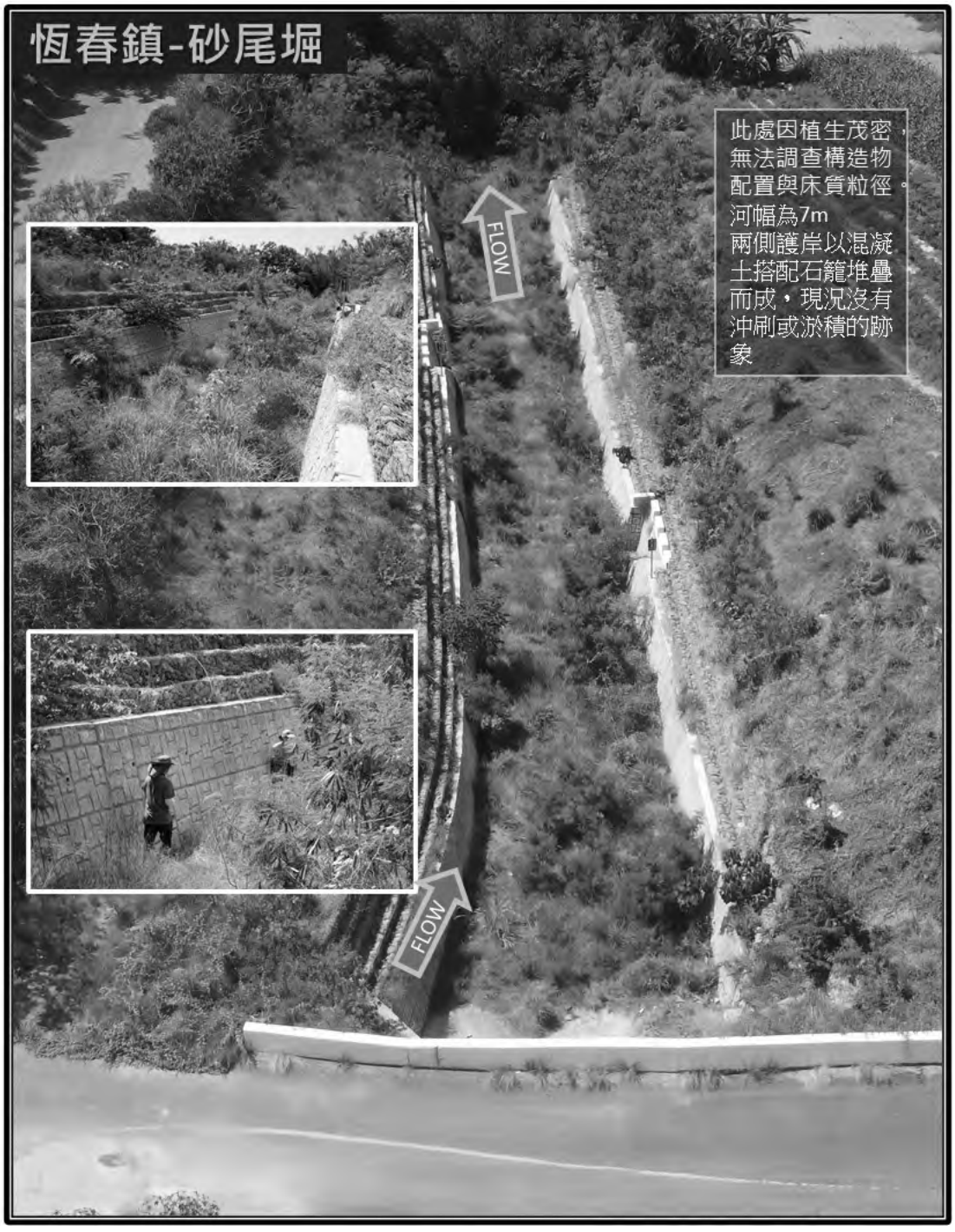
日期：2021/05/20	地點：出火風景區旁東門溪上游支流野溪(未治理之野溪段)	
調查人員：陳宥達、畢媛		
調查點位座標(TWD97)	X：226271	Y：2434007
固床工 5 座、護岸 110.5 m、蓄水池 1 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



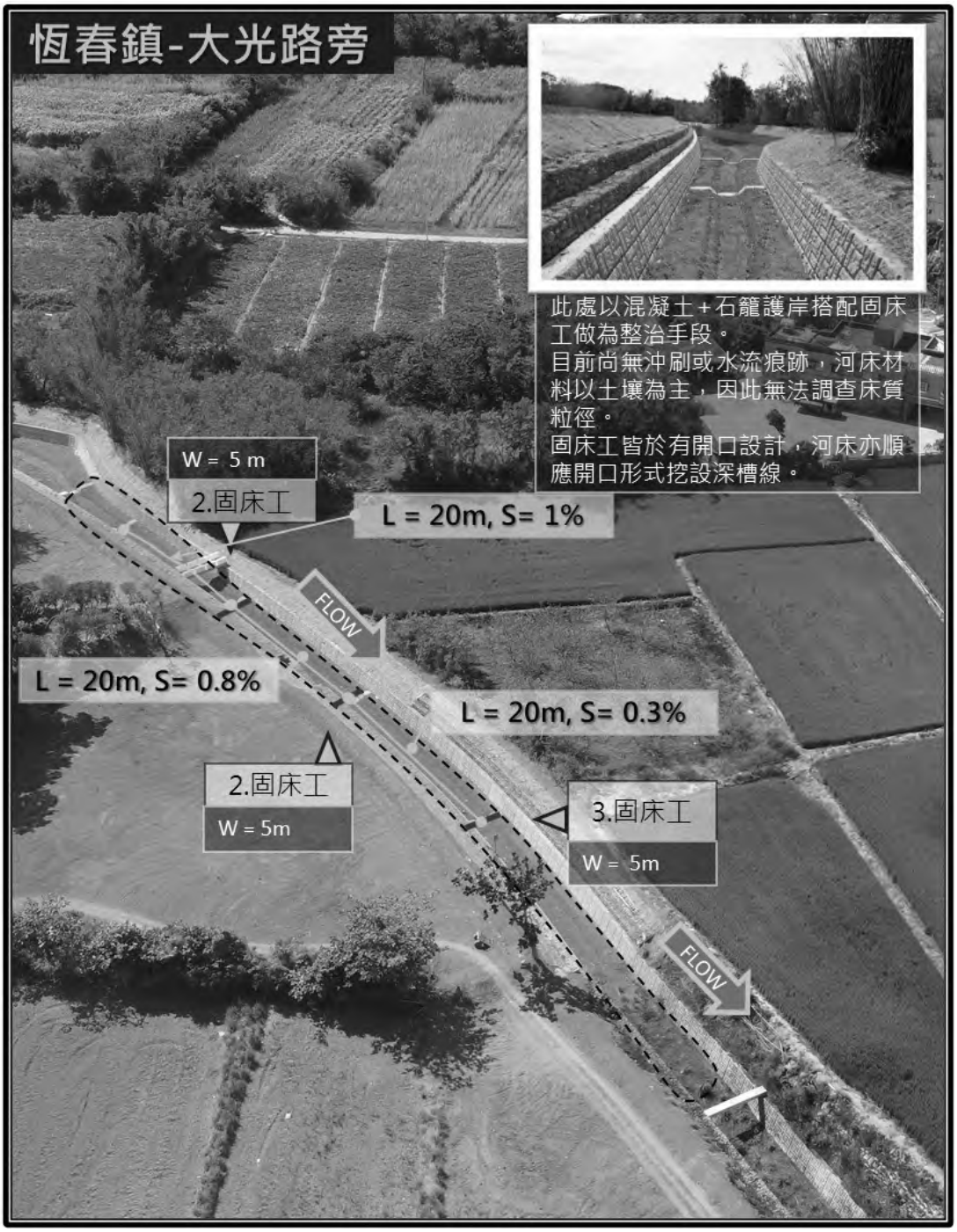
日期：2021/05/21	地點：獅子鄉丹路段及楓林段台 9 線旁野溪護岸整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠、陳秋翰		
調查點位座標(TWD97)	X：225579	Y：2456938
護岸（含基礎）高約 3m、長約 300 m、護岸（含基礎）高約 2 m、長約 200 m、固床工約 13 座(工程管考系統登錄之工程內容)		



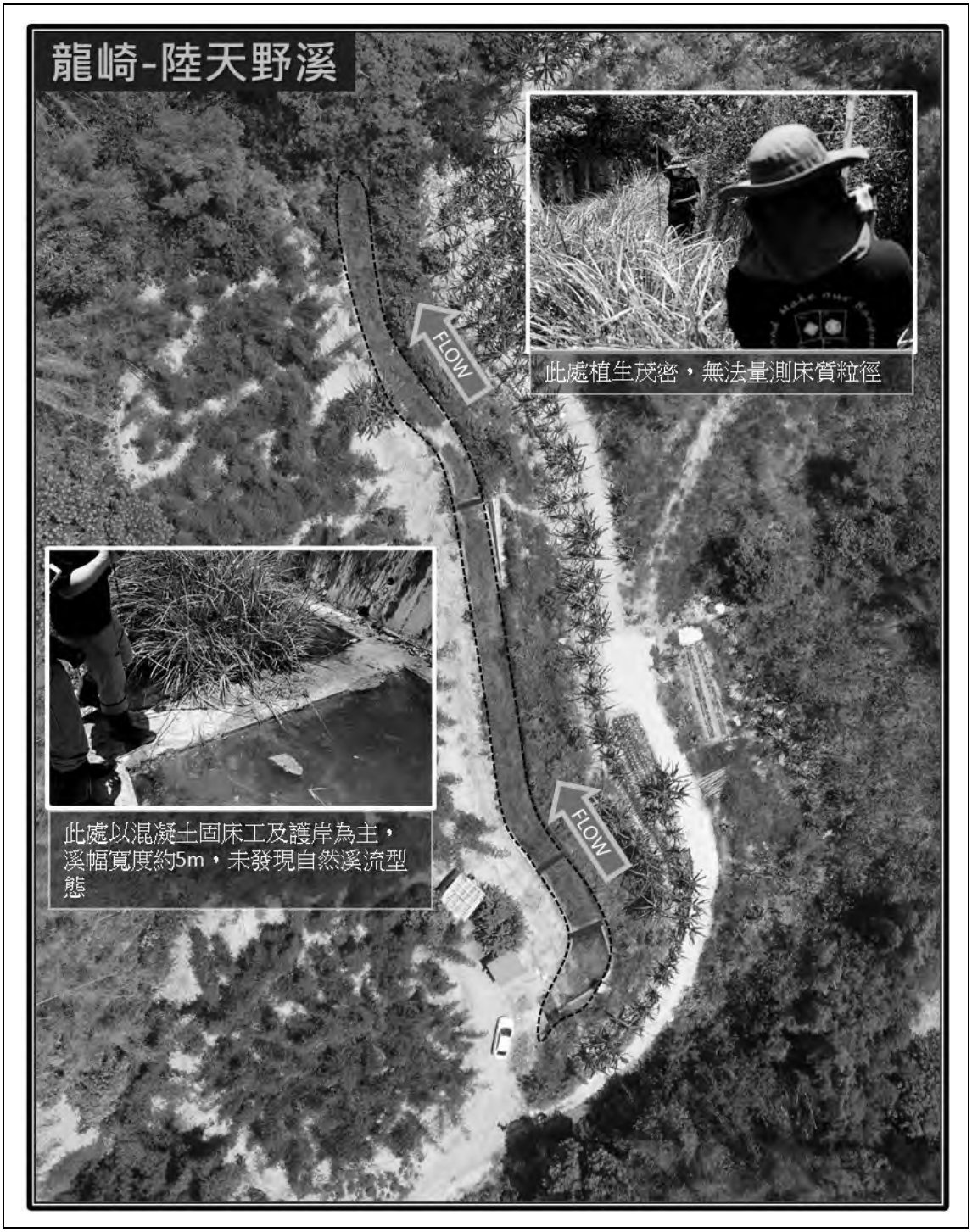
日期：2021/05/21	地點：砂尾堀旁野溪整治三期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠、陳秋翰		
調查點位座標(TWD97)	X：222865	Y：2429096
固床工 5 座、護岸 144 m、石籠護岸 142 m、警告標示牌 2 座、排水缺口 1 處、箱涵保護工 68 m^2、土石袋溝保護 4.5 m、生物通道 2 處、稻草蓆 568 m^2 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/05/21	地點：大光路野溪整治二期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠、陳秋翰		
調查點位座標(TWD97)	X：222671	Y：2427912
固床工 8 座、護岸 323 m、警告標示牌 2 座、橫向支撐 2 座、塊狀護欄 16 塊、稻草蓆鋪設 650 m^2、生物通道 2 處(工程管考系統登錄之工程內容)		

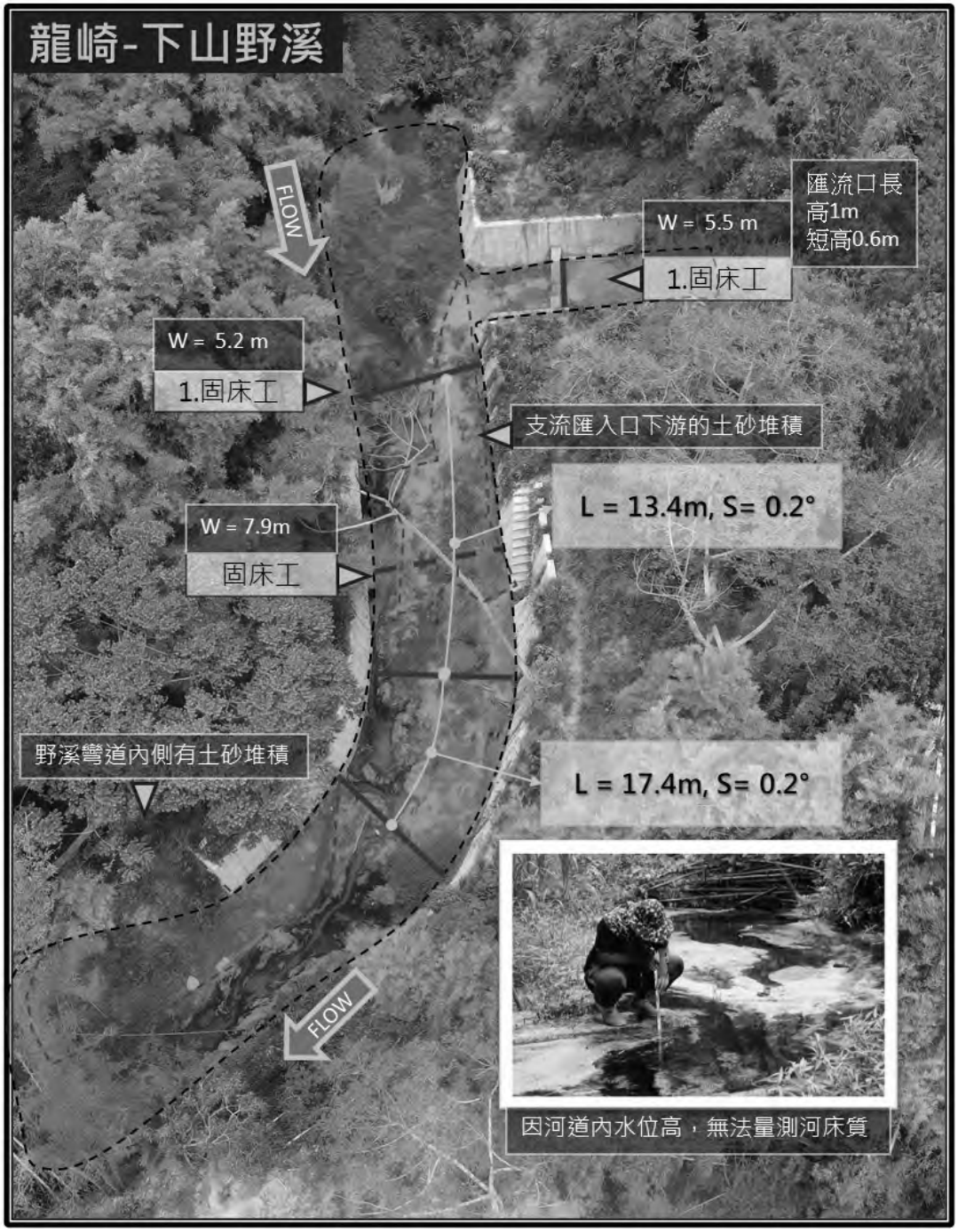


日期：2021/05/28	地點：陸天野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠、蔡博仰		
調查點位座標(TWD97)	X：185883	Y：2538361
固床工 5 座、護岸 177.3 m、水墊 1 座、動物通道 2 處 (工程管考系統登錄之工程內容)		

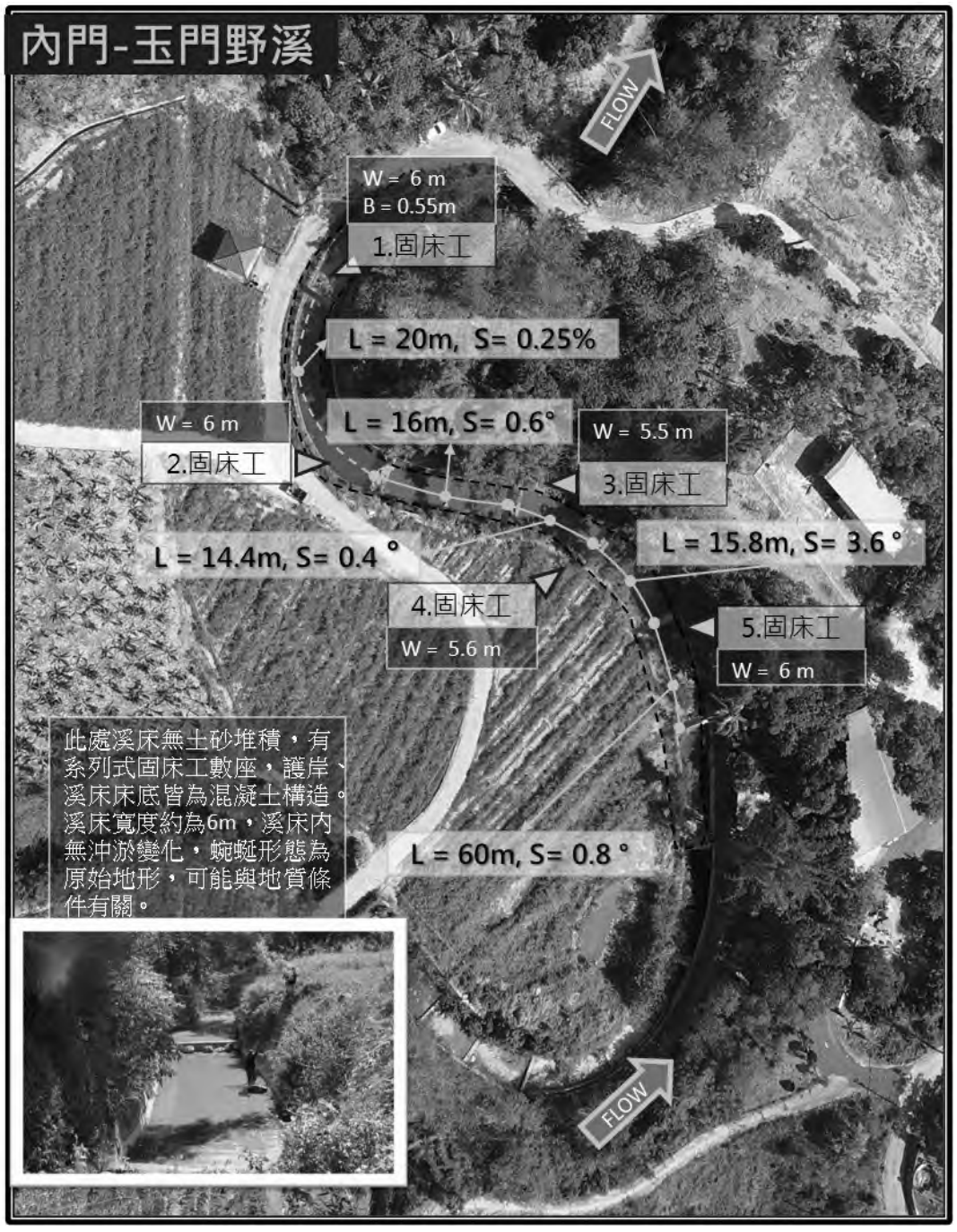


日期：2021/05/28	地點：下山溪野溪整治二期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠、蔡博仰		
調查點位座標(TWD97)	X：187902	Y：2541529
固床工 11 座、護岸 320 m、生物通道 2 座、混凝土基樁 339 m (工程管考系統登		

錄之工程內容)



日期：2021/05/28	地點：玉門野溪整治三期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠、蔡博仰		
調查點位座標(TWD97)	X：197817	Y：2542709
固床工 12 座、護岸 371.8 m、乾砌塊石 6 m^2、拋填塊石 61.4 m^3、預留缺口 2 處、		

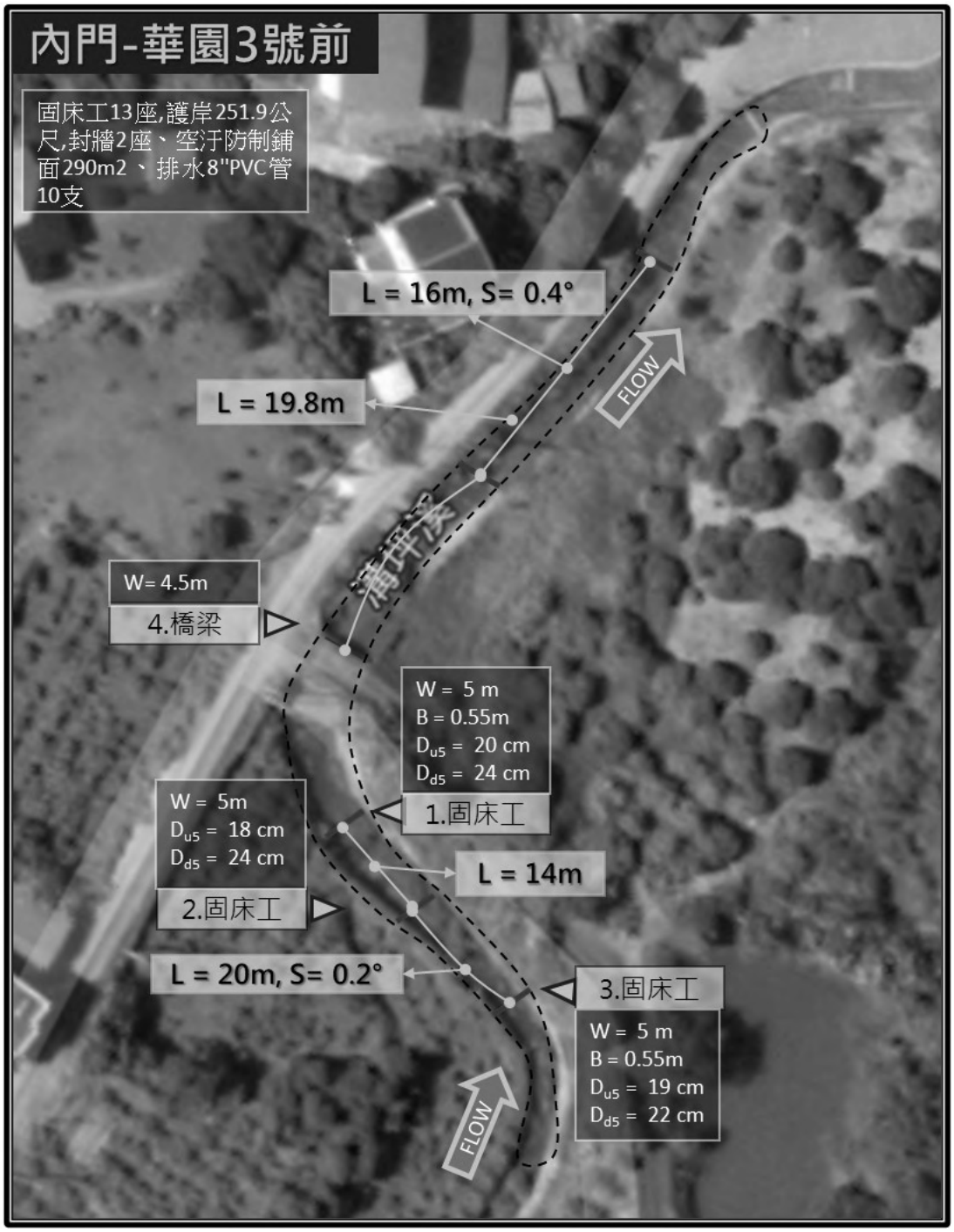
警告禁止標誌牌 1 座 (工程管考系統登錄之工程內容)


日期：2021/06/04	地點：園頂野溪整治三期工程	
調查人員：陳宥達、蔡宜曄		
調查點位座標(TWD97)	X：198838	Y：2541752
固床工 10 座,護岸 335.9 公尺,排水溝 9.3 公尺,生態廊道 5 座、空氣汙染防制鋪面		

150m^2、稻草蓆 3000m^2、警告禁止標誌牌面 1 座 (工程管考系統登錄之工程內容)


日期：2021/06/04	地點：華園 3 號前二期及上游野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、蔡宜曄		
調查點位座標(TWD97)	X：197893	Y：2544045
固床工 13 座、護岸 251.9 m、封牆 2 座、空汙防制鋪面 290 m^2、排水 8"PVC 管		

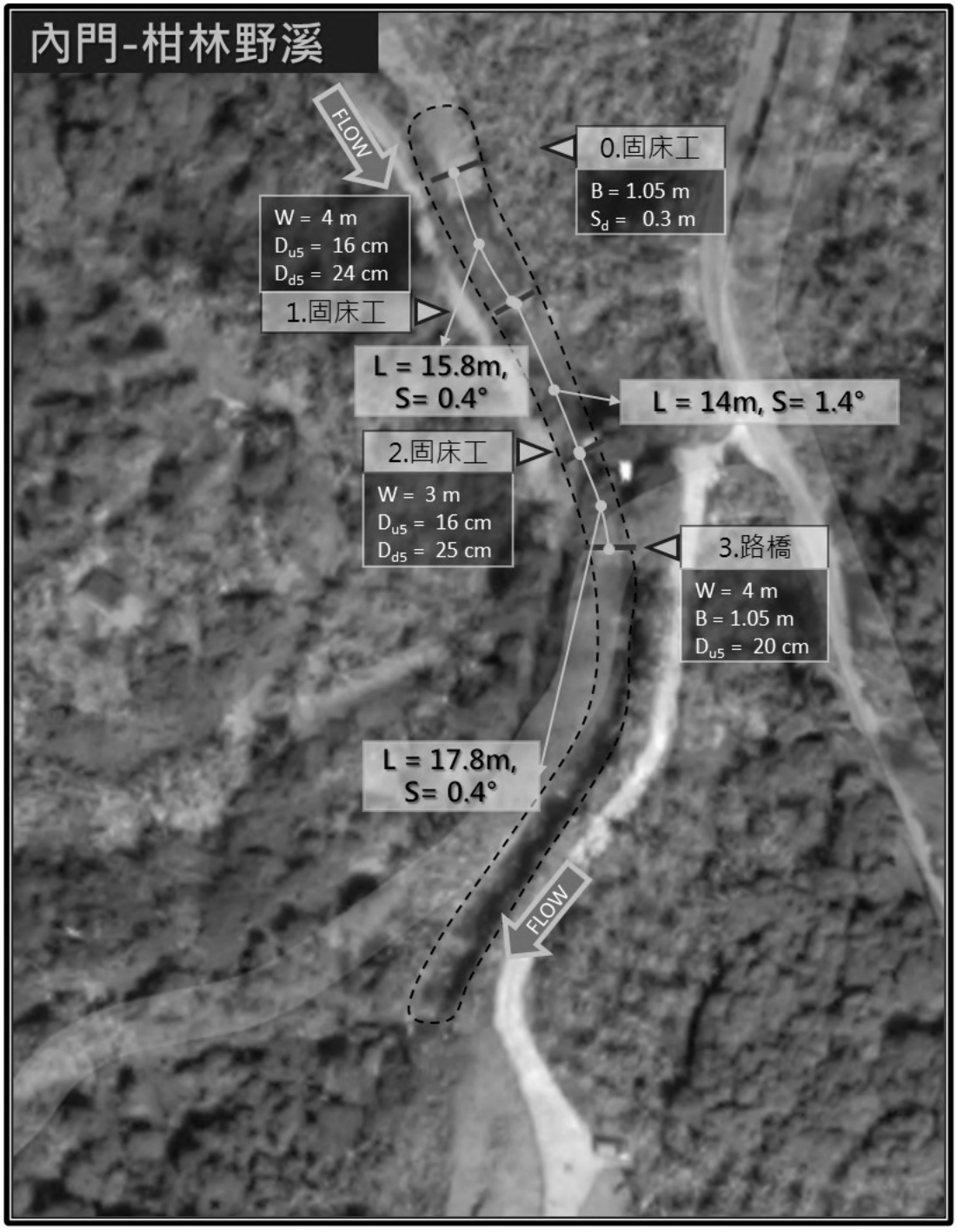
10 支 (工程管考系統登錄之工程內容)



日期：2021/06/04	地點：溝坪段 684 地號等野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、蔡宜曄		
調查點位座標(TWD97)	X：197942	Y：2544452
固床工 11 座、護岸 206 m、動物通道 2 座、封牆 4 座、稻草蓆 654 m^2、土包袋		

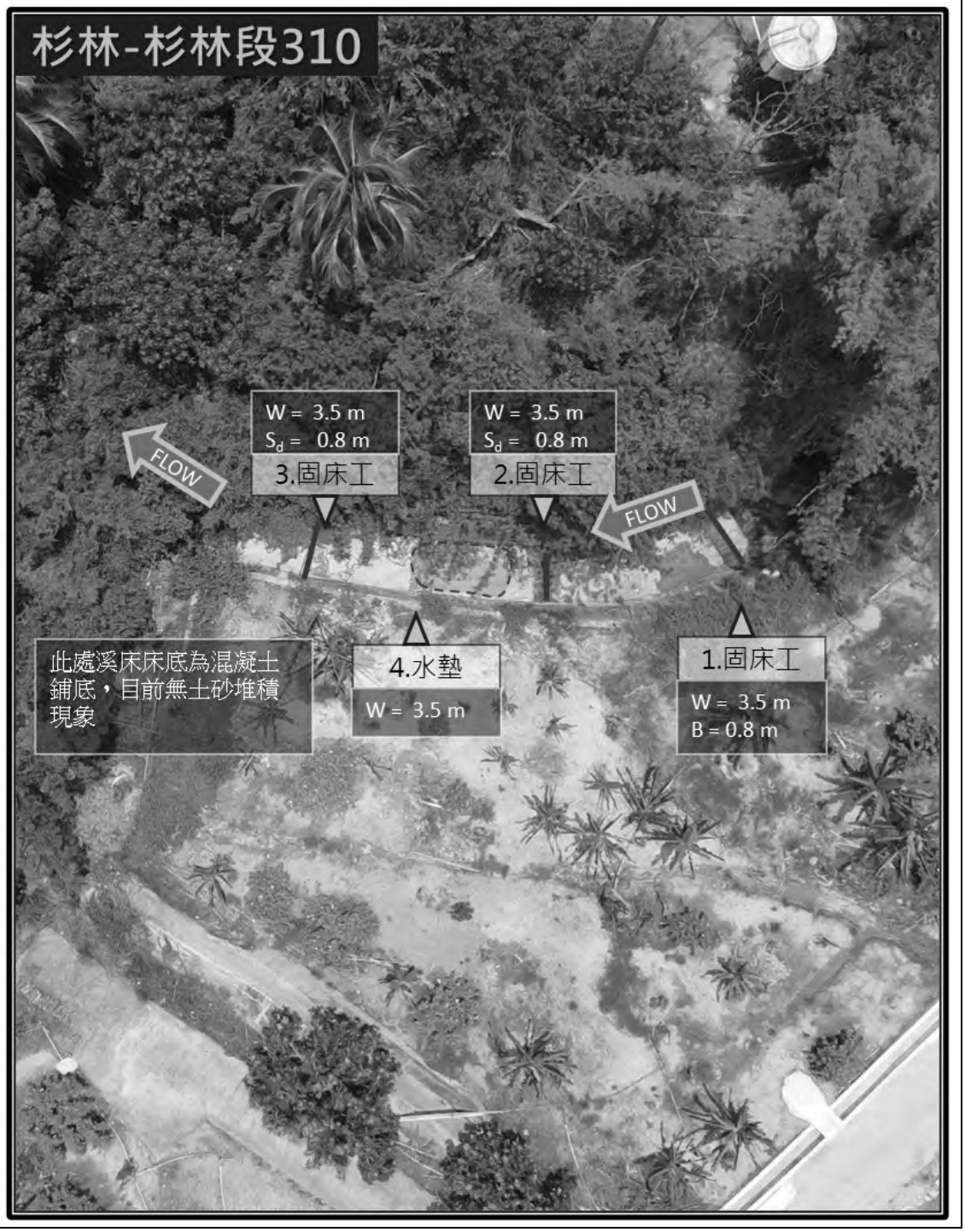
1428 袋、警告禁止標誌牌 2 座、空氣汙染防制鋪面 100 m^2 (工程管考系統登錄之工程內容)


日期：2021/06/04	地點：柑林野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、蔡宜曄		
調查點位座標(TWD97)	X：198970	Y：2544964

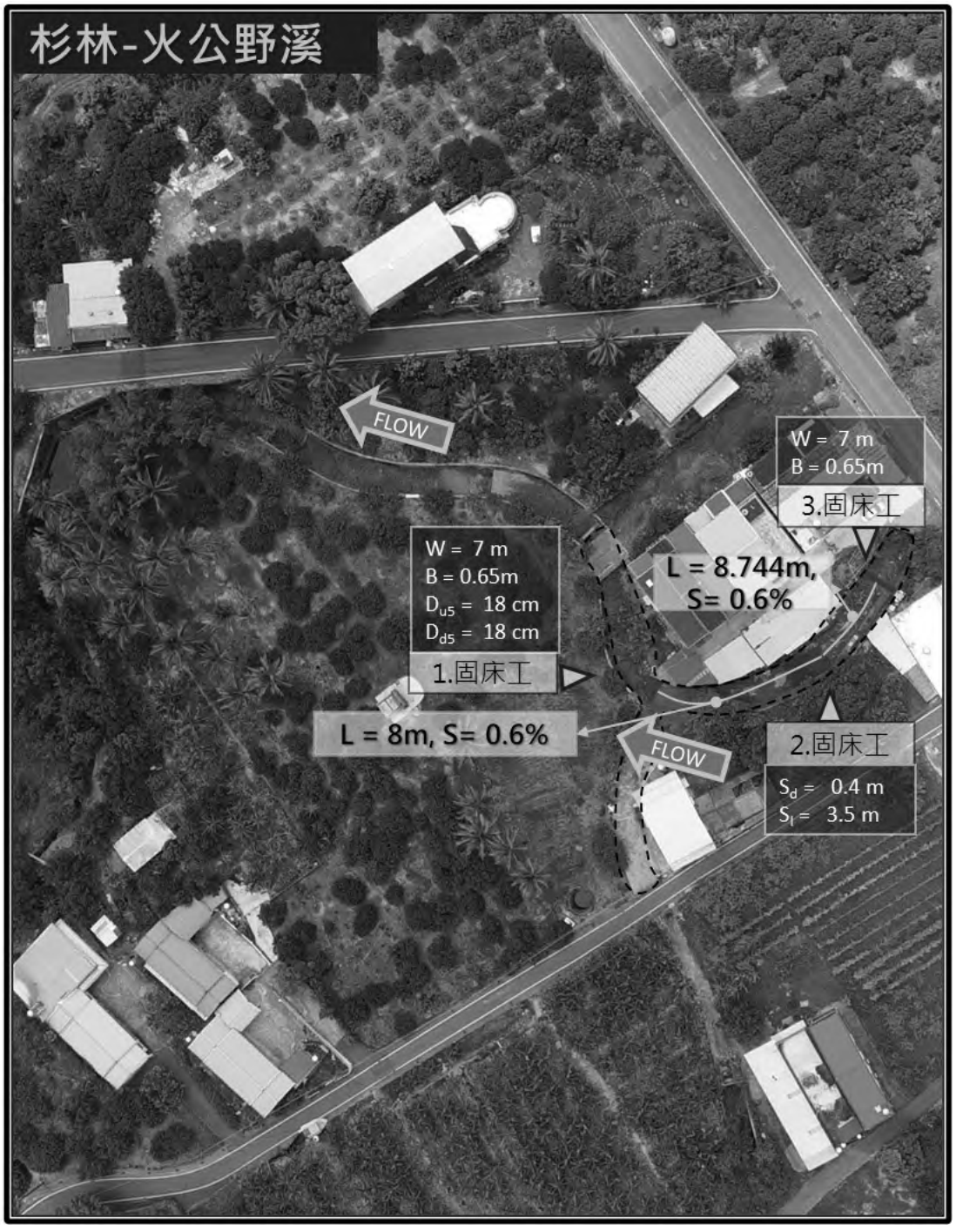
固床工 10 座、護岸 275.1 m、新設護岸漿砌塊石 183 m (工程管考系統登錄之工程內容)


日期：2021/06/04	地點：杉林段 310-3 地號旁野溪整治二期工程	
調查人員：畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：203977	Y：2544490

固床工 9 座、護岸 119.4 m、箱型石籠 18 m、擋土牆及 L 型溝 77.2 m、擋土牆及集水井 2 m (工程管考系統登錄之工程內容)



日期：2021/06/04	地點：火公野溪整治二期工程	
調查人員：畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：204007	Y：2544070
固床工 22 座、護岸 432.8 m、版橋 2 座、人行版橋 1 座、加載型版橋 2 座、溢流		

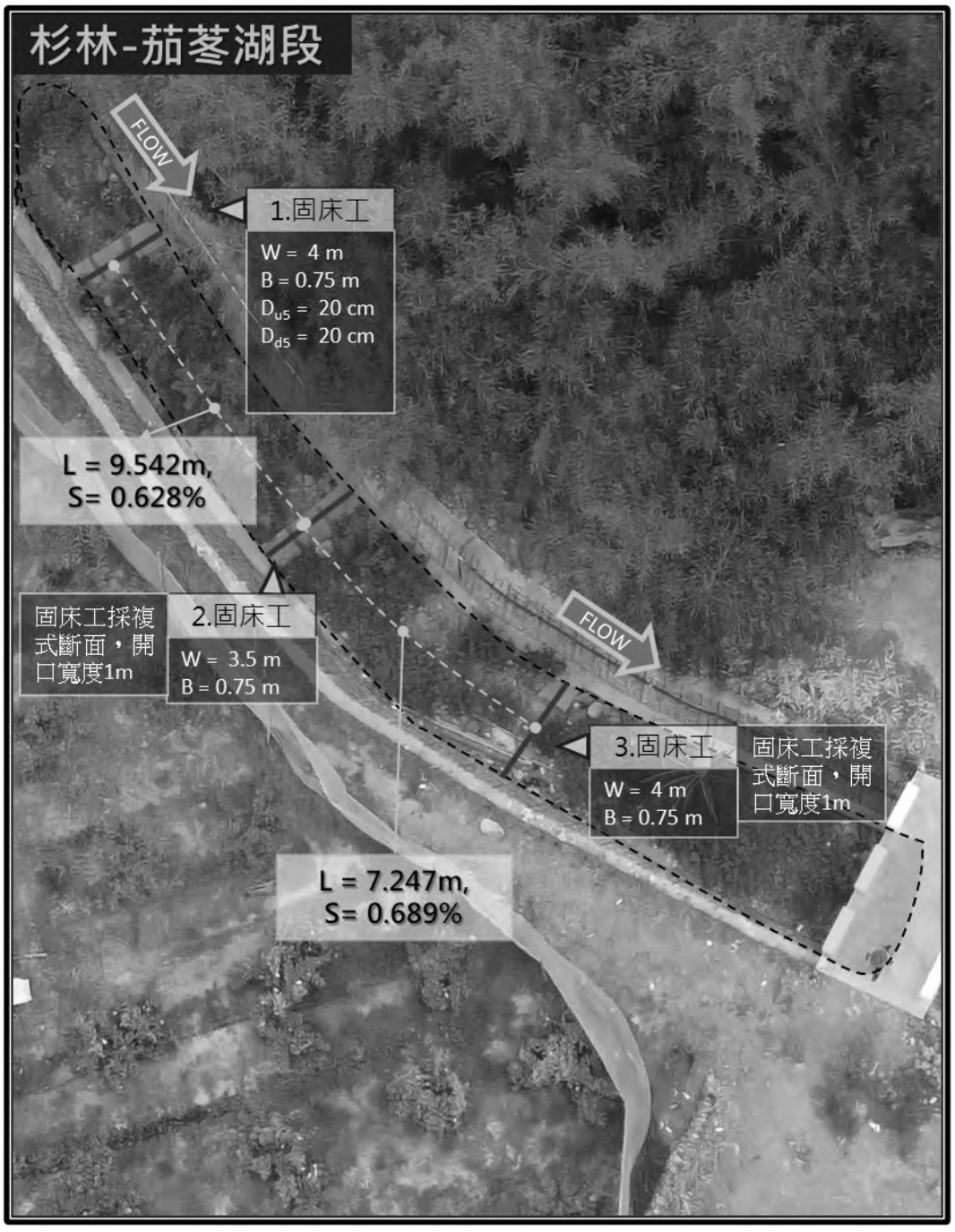
箱涵 30.3 m、結束工 1 座、截水牆 3 處、警告禁止標誌牌 2 只 (工程管考系統登錄之工程內容)


日期：2021/06/04	地點：大坑野溪整治二期工程	
調查人員：畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：204401	Y：2541190

固床工 22 座、護岸 580 m、護岸高約 3.5 m、長約 580 m，固床工約 22 座，高約 1.5 m、長約 5 m 等 (工程管考系統登錄之工程內容)

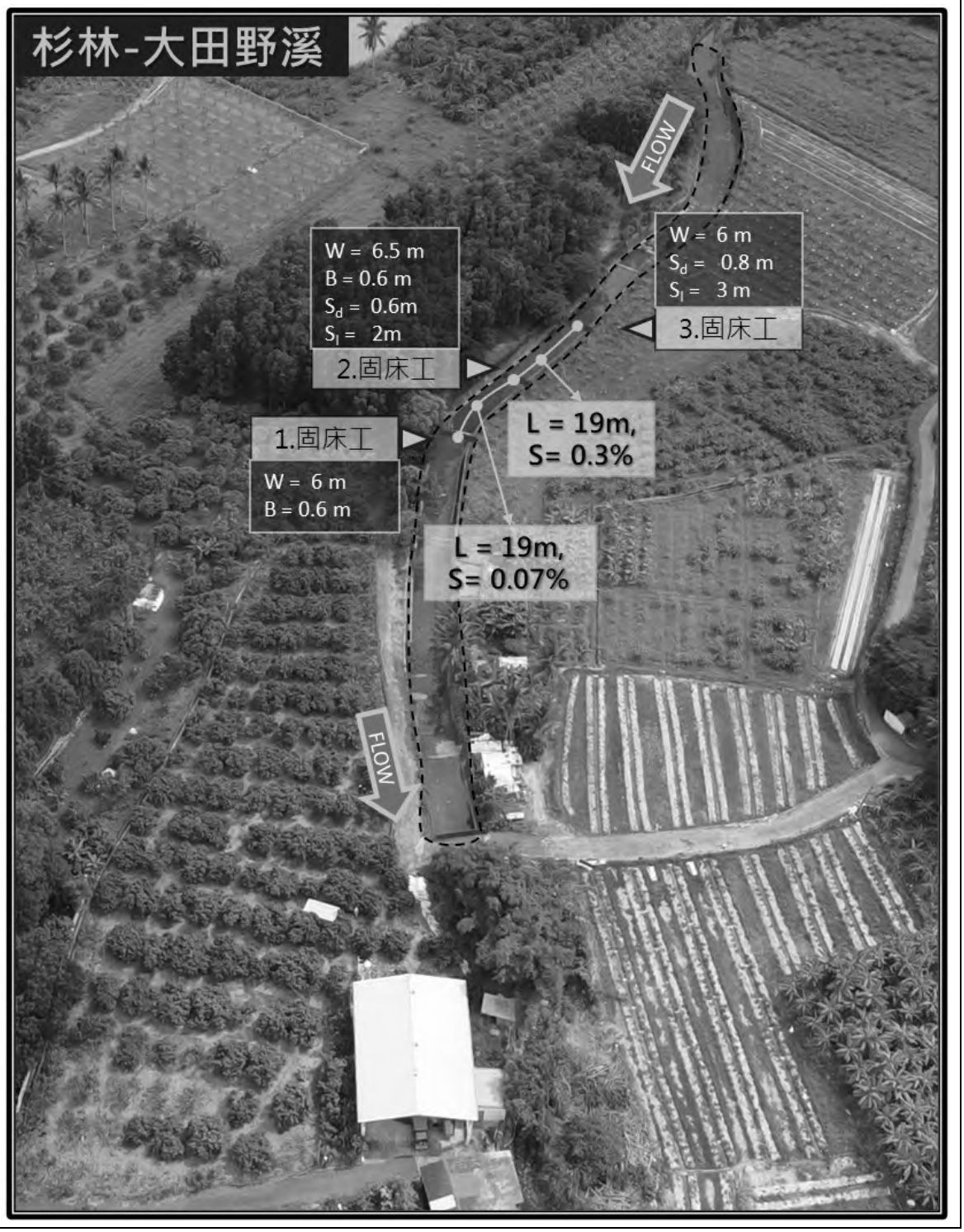


日期：2021/06/04	地點：茄苳湖段 134 等地號旁野溪整治工程	
調查人員：畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：204372	Y：2547286

固床工 12 座、護岸 198 公尺、矩型明溝 17m、過路蓋板 1 座、動物通道 2 座、封牆 2 座、稻草蓆 662m2、土包袋 1102 袋、警告禁止標誌牌 2 座、混凝土水墊 10.4m^2 (工程管考系統登錄之工程內容)


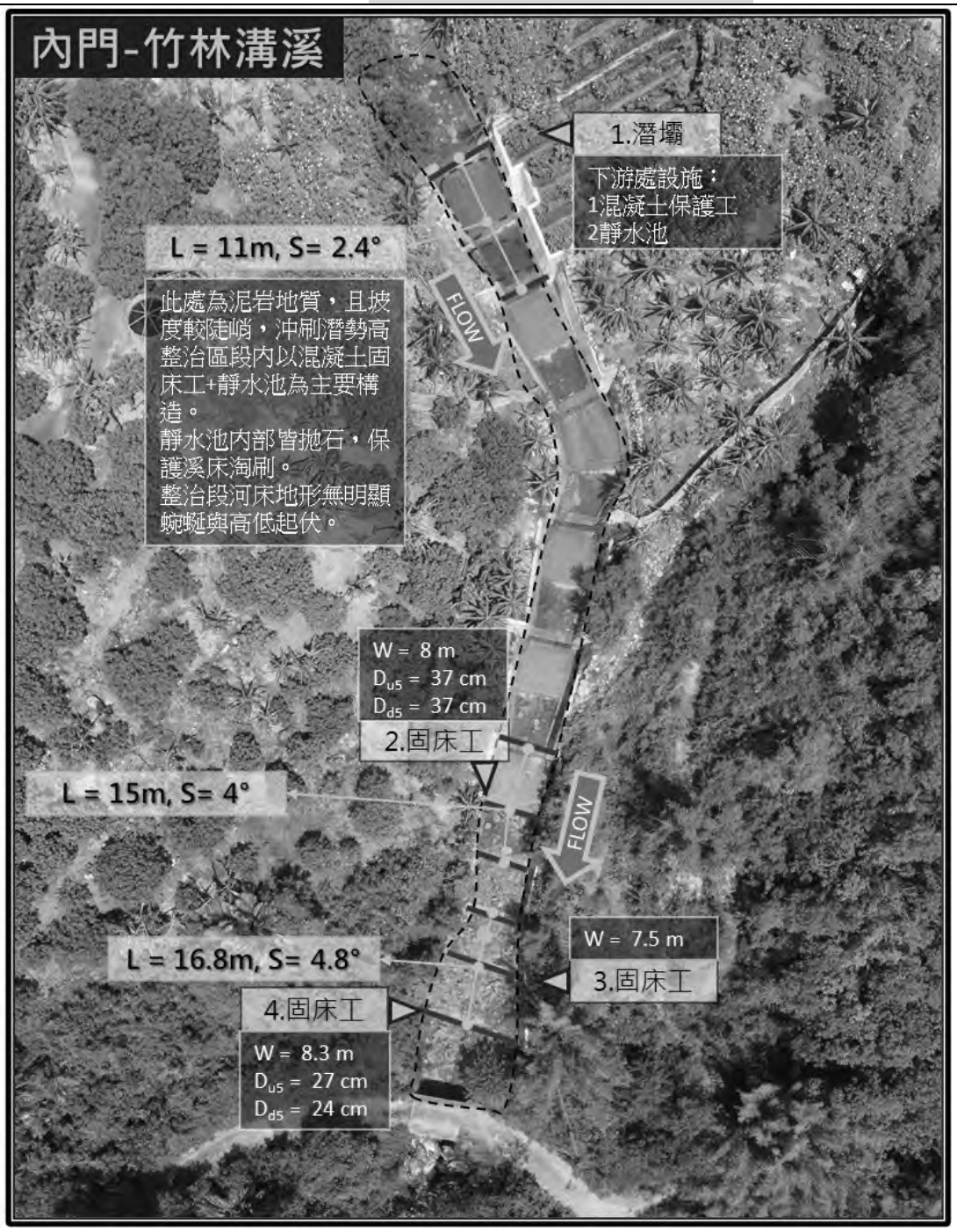
日期：2021/06/04	地點：大田野溪整治工程
調查人員：畢媛、吳振遠	

調查點位座標(TWD97)	X：206638	Y：2551564
固床工 10 座、護岸 300 m、護岸高約 3.5m、長約 300 m、固床工約 10 座高約 1.5 m、長約 5 m 等 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/06/11	地點：竹林溝野溪整治二期工程
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠	

調查點位座標(TWD97)	X：198116	Y：2545483
固床工 20 座、護岸 212 公尺,、跌水 6 座、封牆 2 座、混凝土水墊 8 座、生物通道 4 座、既有混凝土路面毀損復舊 100 m^2、乾砌塊石護岸 16 處、稻草蓆 400 m^2、既有管井暫時遷移及復舊 1 式 (工程管考系統登錄之工程內容)		



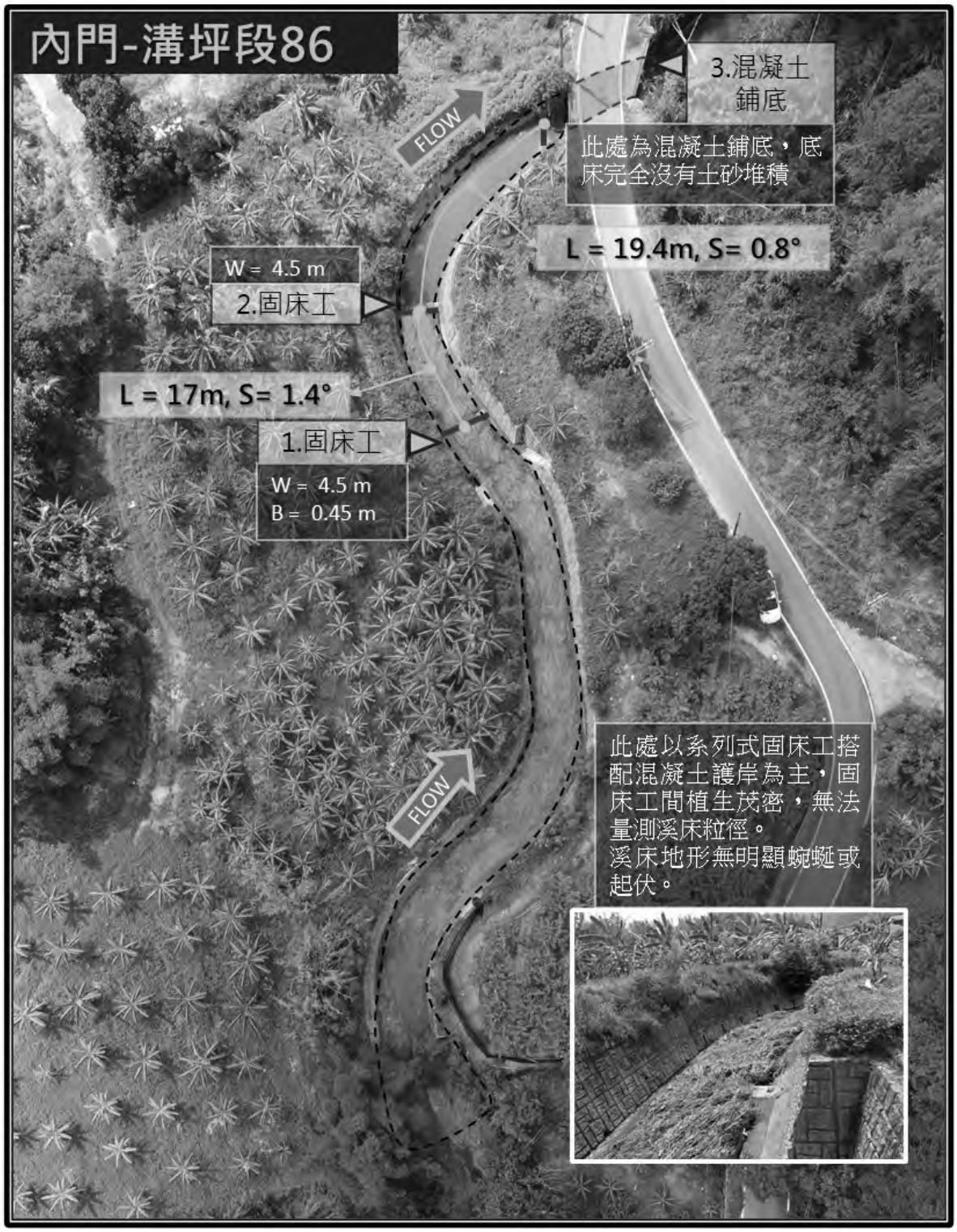
日期：2021/06/11	地點：大竹崙野溪整治工程
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠	

調查點位座標(TWD97)	X：199503	Y：2545909
固床工 5 座、護岸 124.8 m、丁壩 1 座、安全告示牌 1 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



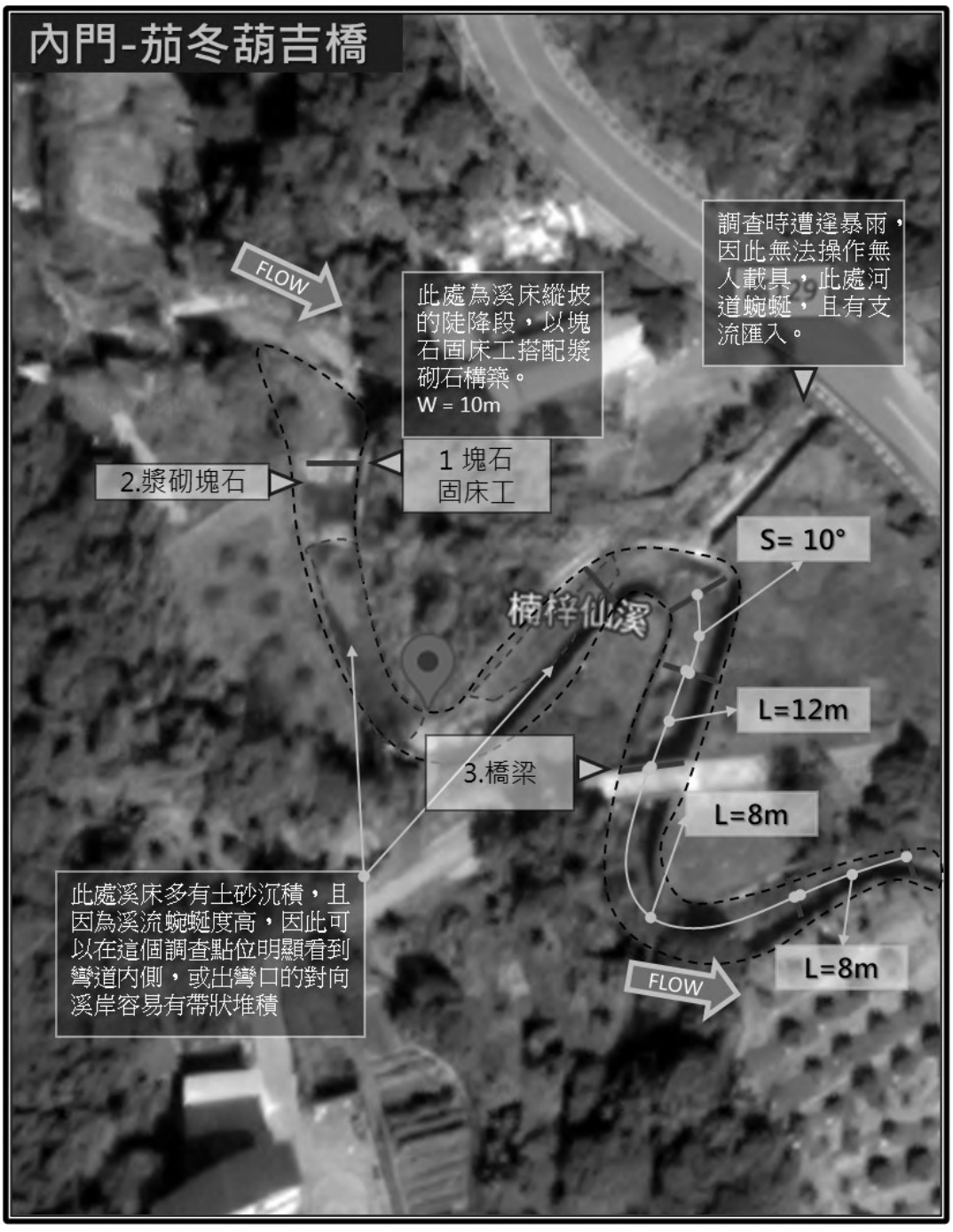
日期：2021/06/11	地點：溝坪段 86 地號等野溪整治工程
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠	

調查點位座標(TWD97)	X：201300	Y：2545532
固床工 11 座、護岸 167.5 m、動物通道 2 座、封牆 2 座、混凝土水墊 47.8 m^2、稻草蓆 358 m^2、土包袋 1171 袋、警告禁止標誌牌 2 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



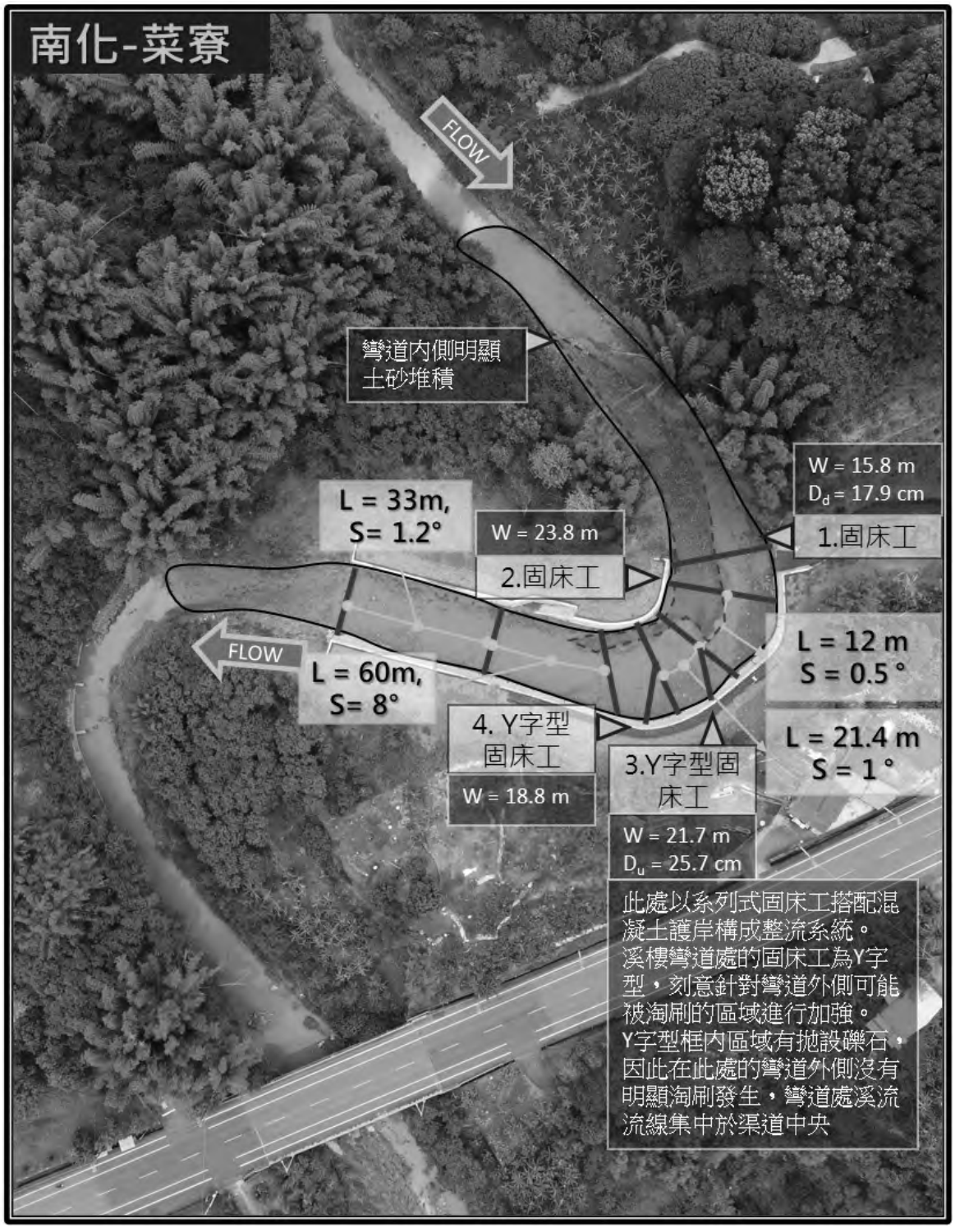
日期：2021/06/11	地點：茄苳湖吉橋下游整治工程

調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：202407	Y：2548300
造型護岸 587 m；造型護岸漸變段 35 m；乾砌石護岸 602 m；生態廊道 5 座；塊石固床工 16 座；取水工 7 座；造型版橋 1 座；翼牆 4 座；鋼管護欄 17.2 m；進橋版 40 m^3 (工程管考系統登錄之工程內容)		

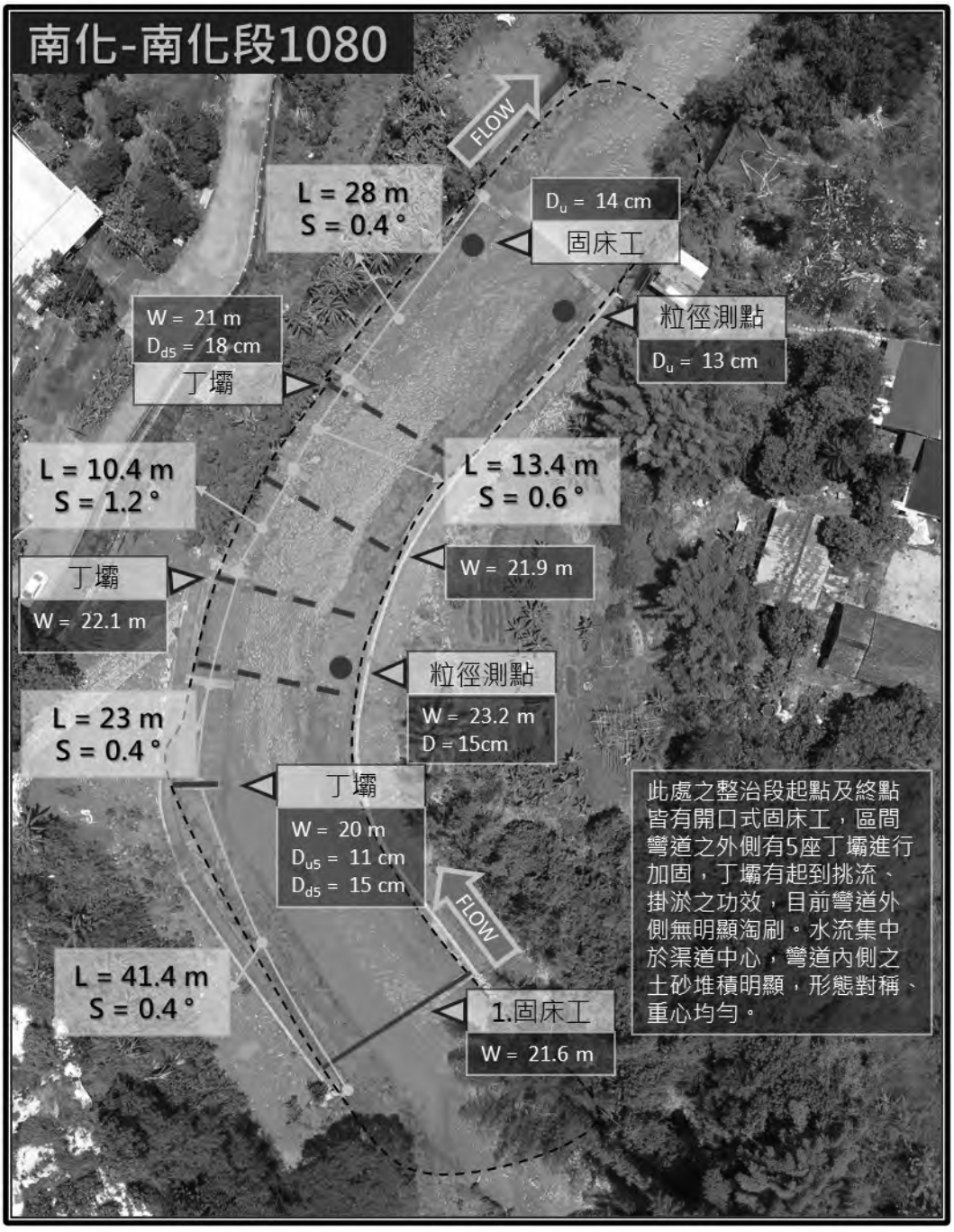


日期：2021/06/18	地點：菜寮野溪護岸修復工程

調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：194587	Y：2549531
固床工 9 座、護岸 194.3 m、排水溝 3.4 m、護岸加高土石籠 176 組、生物廊道 1 處、封牆 4 處 (工程管考系統登錄之工程內容)		



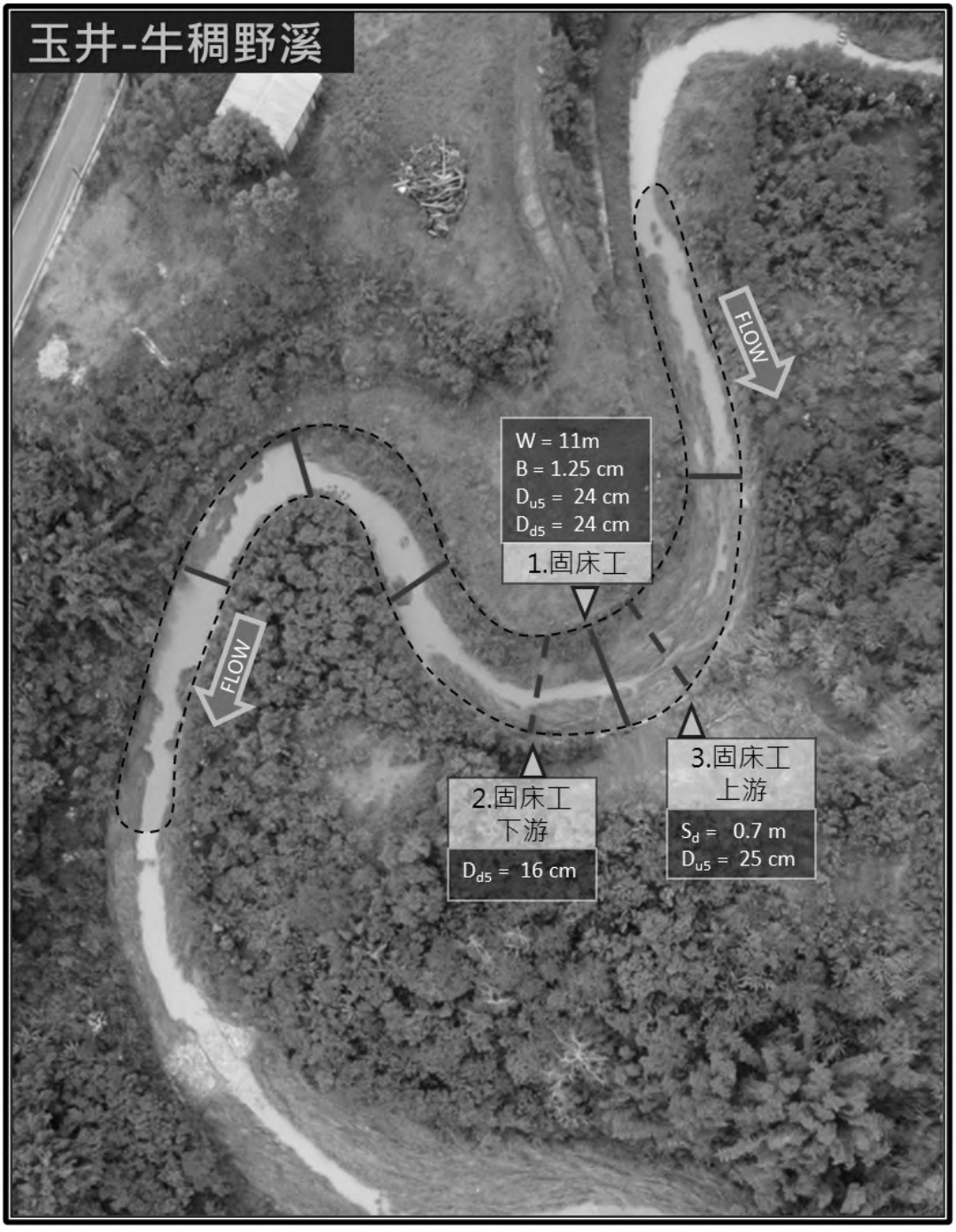
日期：2021/06/18	地點：南化段 1080 等地號野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：194807	Y：2549764
護岸 163.6 m、生態通道 7.34 m、丁壩 3 座、石籠溝 25 m、堤首工 21.01 m、固床工 19.9 m (工程管考系統登錄之工程內容)		



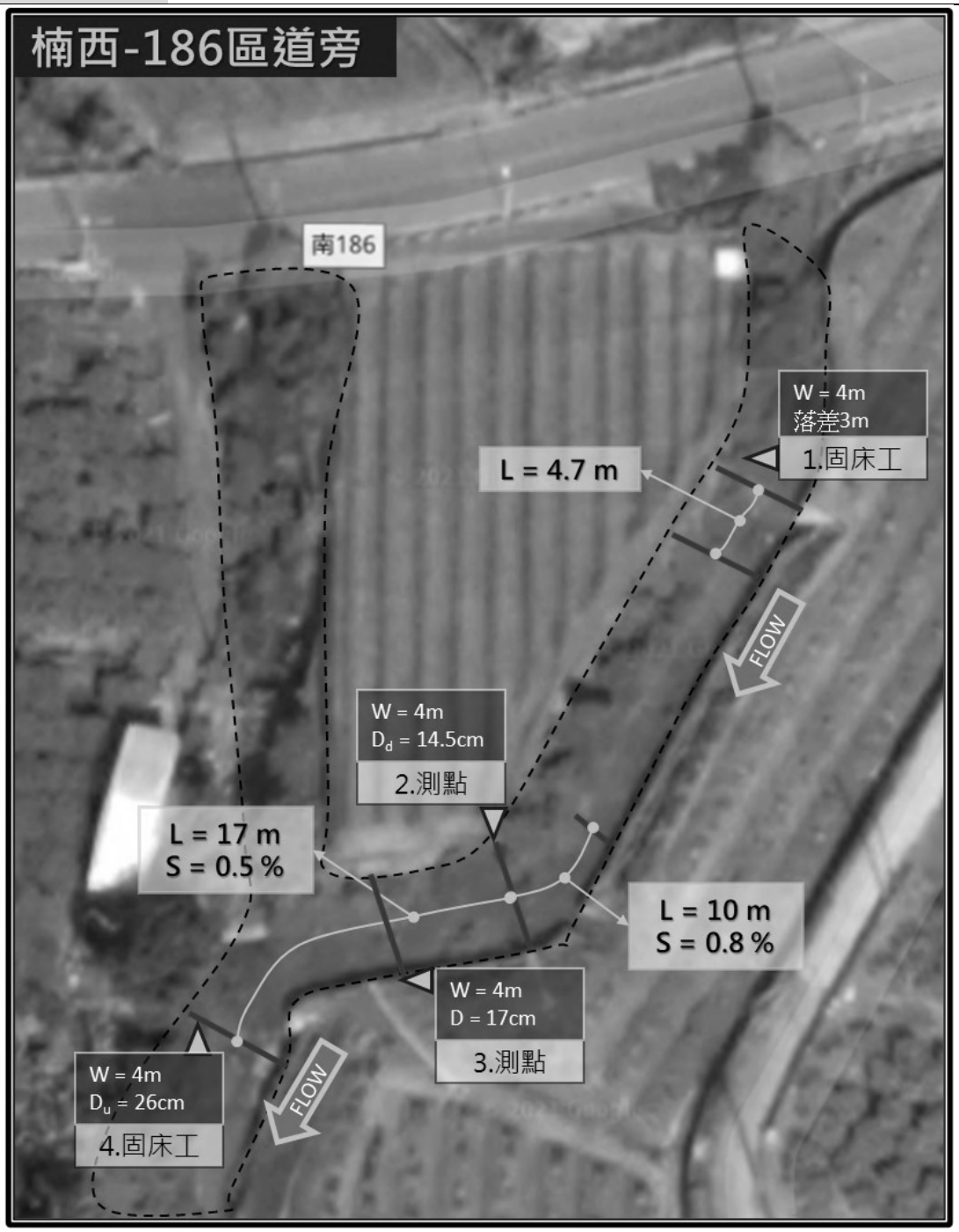
日期：2021/06/18	地點：九層林段 0593-002 等地號野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：190322	Y：2553116
固床工 7 座、護岸 268.5 m、基礎加強工程 28 m、堤頭工 1 座、堤尾工 1 座、動物通道 2 座、空氣汙染防制鋪面 150 m^2、警告禁止標誌 2 支 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/06/25	地點：牛稠野溪整治四期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：197785	Y：2554801
固床工 5 座、護岸 278.1 m、排水溝 15 m、箱籠護坦 2 處、既有封牆改善 2 處、斜坡護坦 1 處、警告標誌牌 1 面、封牆 2 座、生態廊道兼側向排水 1 處 (工程管考系統登錄之工程內容)		



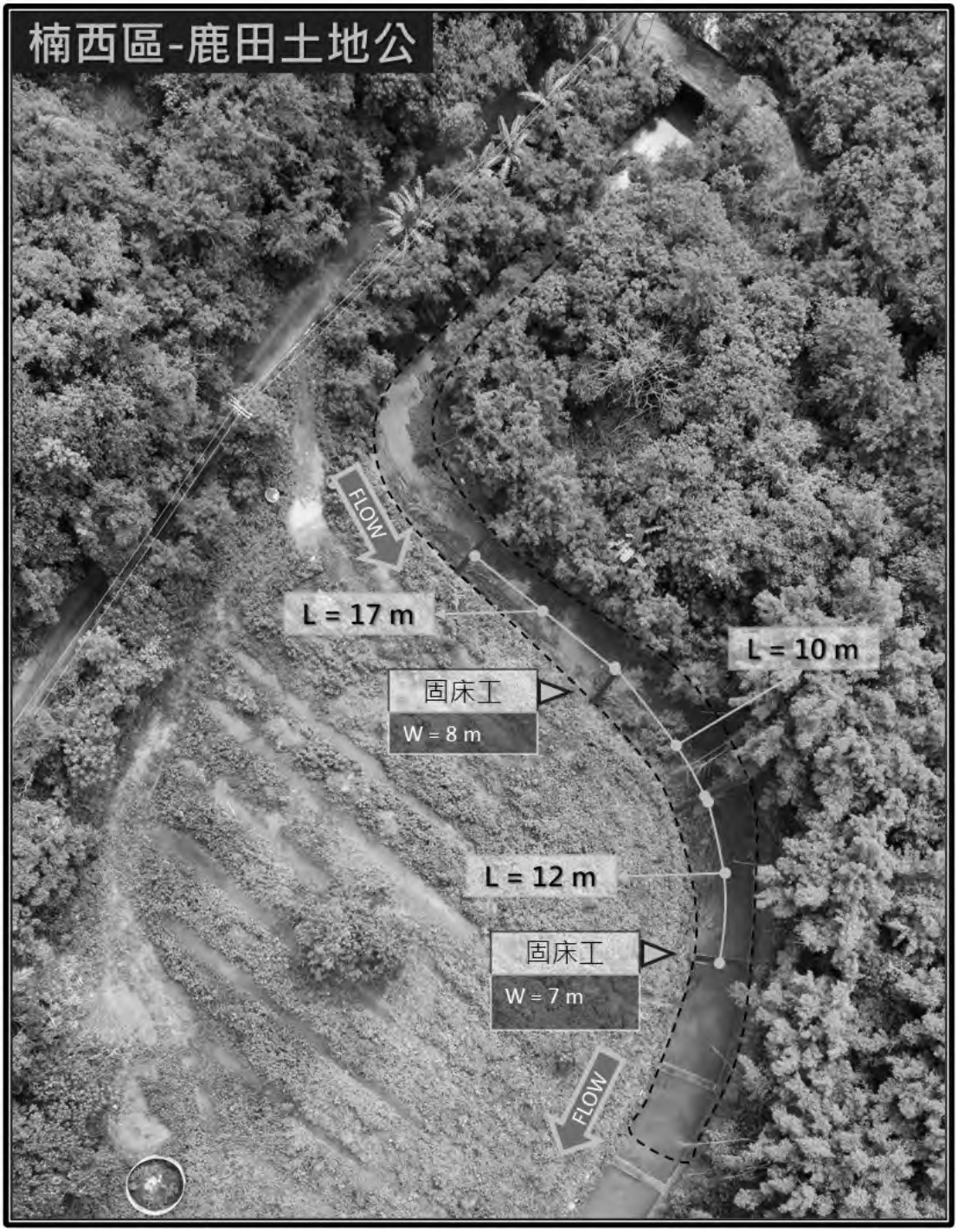
日期：2021/06/25	地點：186 區道旁野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：198987	Y：2559354
固床工 13 座、護岸 288.5 m、排水溝 15.5 m、靜水池 2 座、空氣汙染防制鋪面 280 m、漿拋石護坦 80.9 m^2、桃花心木 100 株、生物廊道 4 處 (工程管考系統登錄之工程內容)		



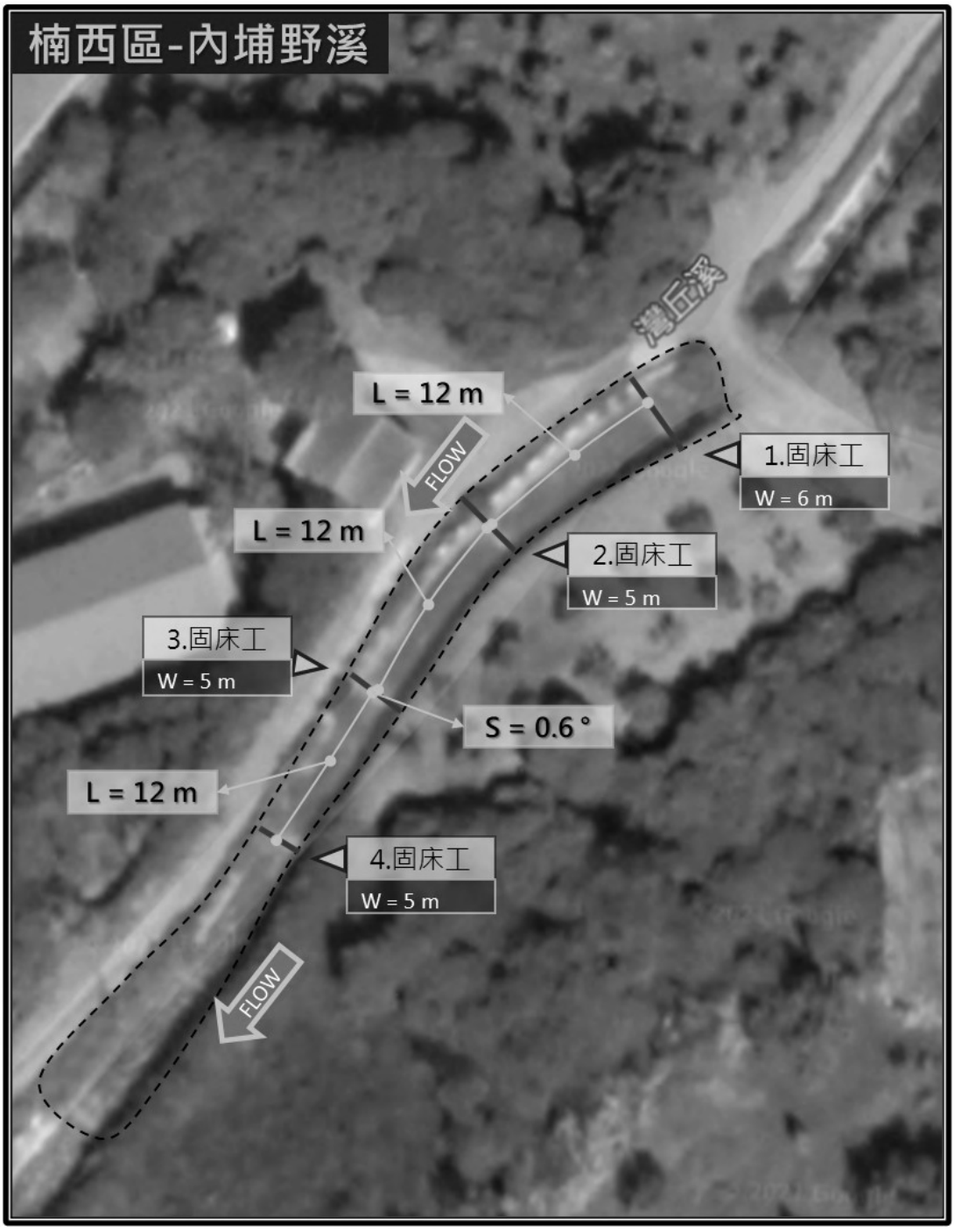
日期：2021/06/25	地點：龜丹王萊野溪整治三期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：199832	Y：2560190
固床工 7 座、護岸 327 m、封牆 3 面、動物通道 3 座、箱籠堆疊 16 m、乾砌石護坡 30 m、警告標誌 2 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



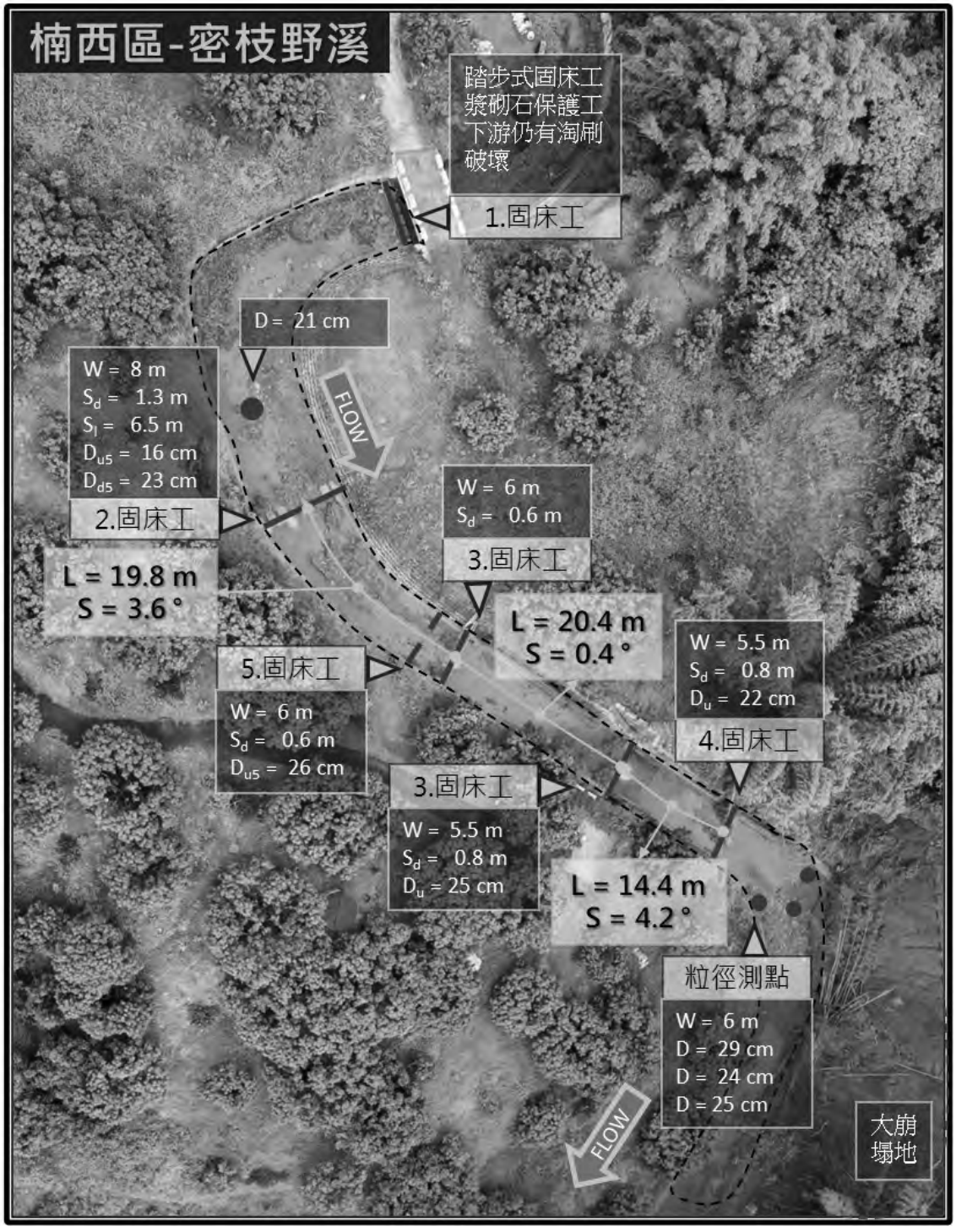
日期：2021/06/25	地點：鹿田土地公野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：198420	Y：2561024
固床工 12 座,護岸 249 公尺,封牆 6 座、既有混凝土水墊修復 1 處、生態廊道 2 座(工程管考系統登錄之工程內容)		



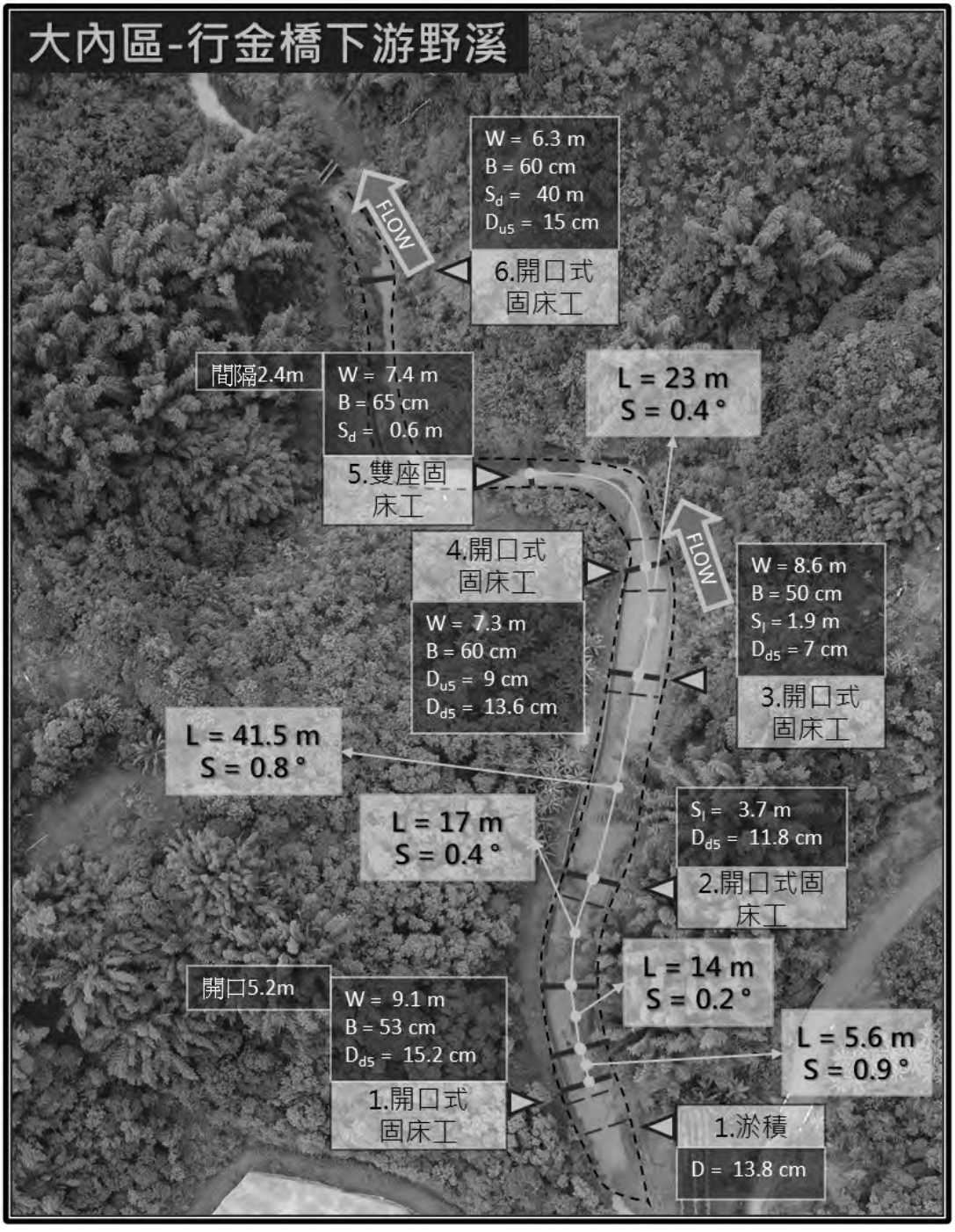
日期：2021/06/25	地點：內埔野溪支流二期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：199041	Y：2563684
固床工 7 座、護岸 187.5 m、跌水 1 座、生物通道 2 座、水墊 30 m^2、護欄 53 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/06/25	地點：密枝野溪治理二期工程	
調查人員：陳宥達、畢媛、吳振遠		
調查點位座標(TWD97)	X：199169	Y：2564658
固床工 10 座、護岸 401.2m、版橋 1 座、動物通道 2 處、橋台 8 m、塊狀護欄 20 個 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/07/29	地點：行金橋下游野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、陳秋翰、謝政運、卓研安		
調查點位座標(TWD97)	X：189622	Y：2557680
固床工 9 座、護岸 283 公尺、橋樑 1 座、支流既有護岸加高 20m、靜水池 2 座、生物廊道 2 處、封牆 4 處、空氣汙染防制鋪面 90m^2 (工程管考系統登錄之工程內容)		



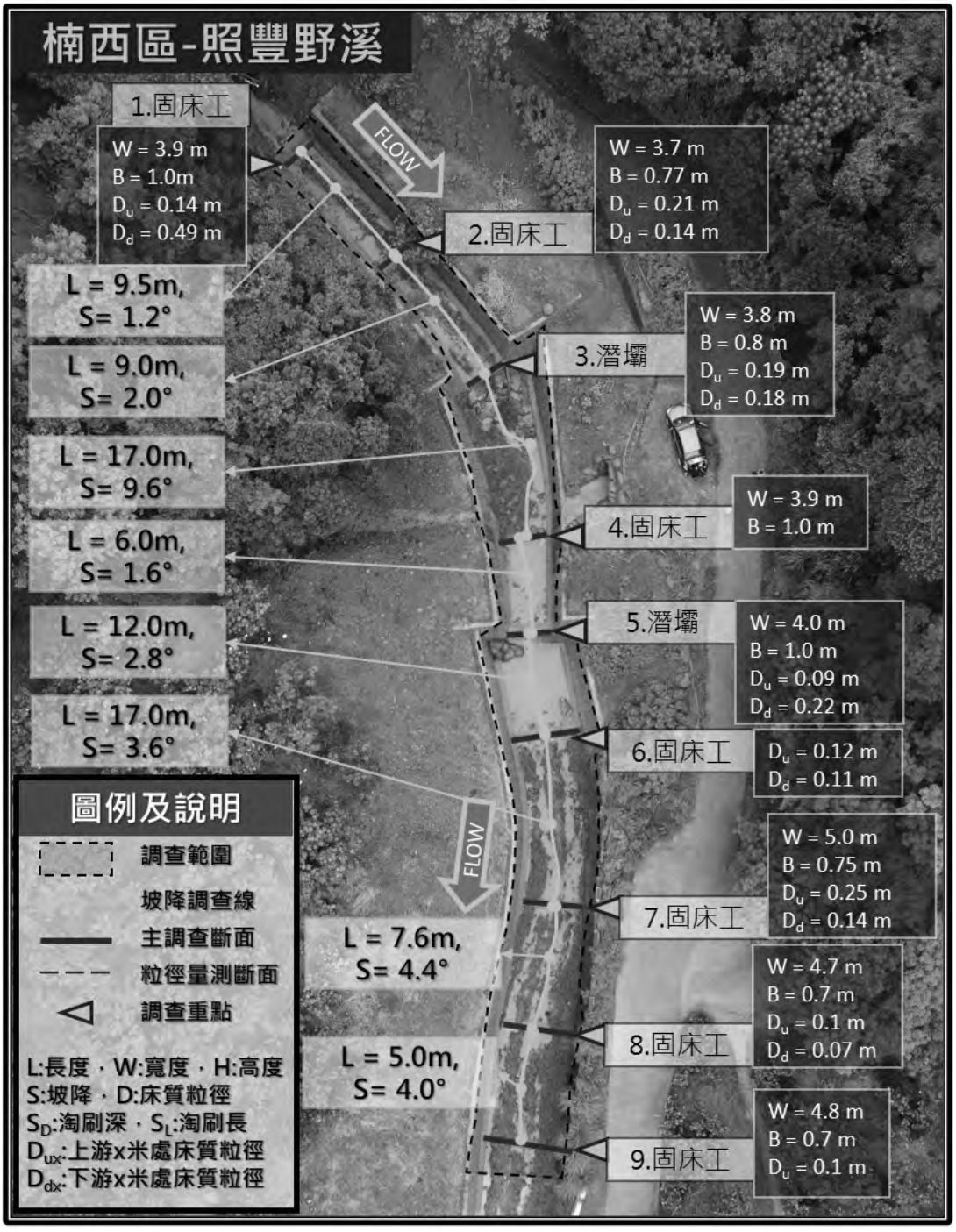
日期：2021/07/29	地點：山腳野溪整治二期工程	
調查人員：陳宥達、陳秋翰、謝政運、卓研安		
調查點位座標(TWD97)	X：193500	Y：2560104
固床工 11 座、護岸 222.9 公尺、排水溝 13.5 公尺、尾檻 2 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



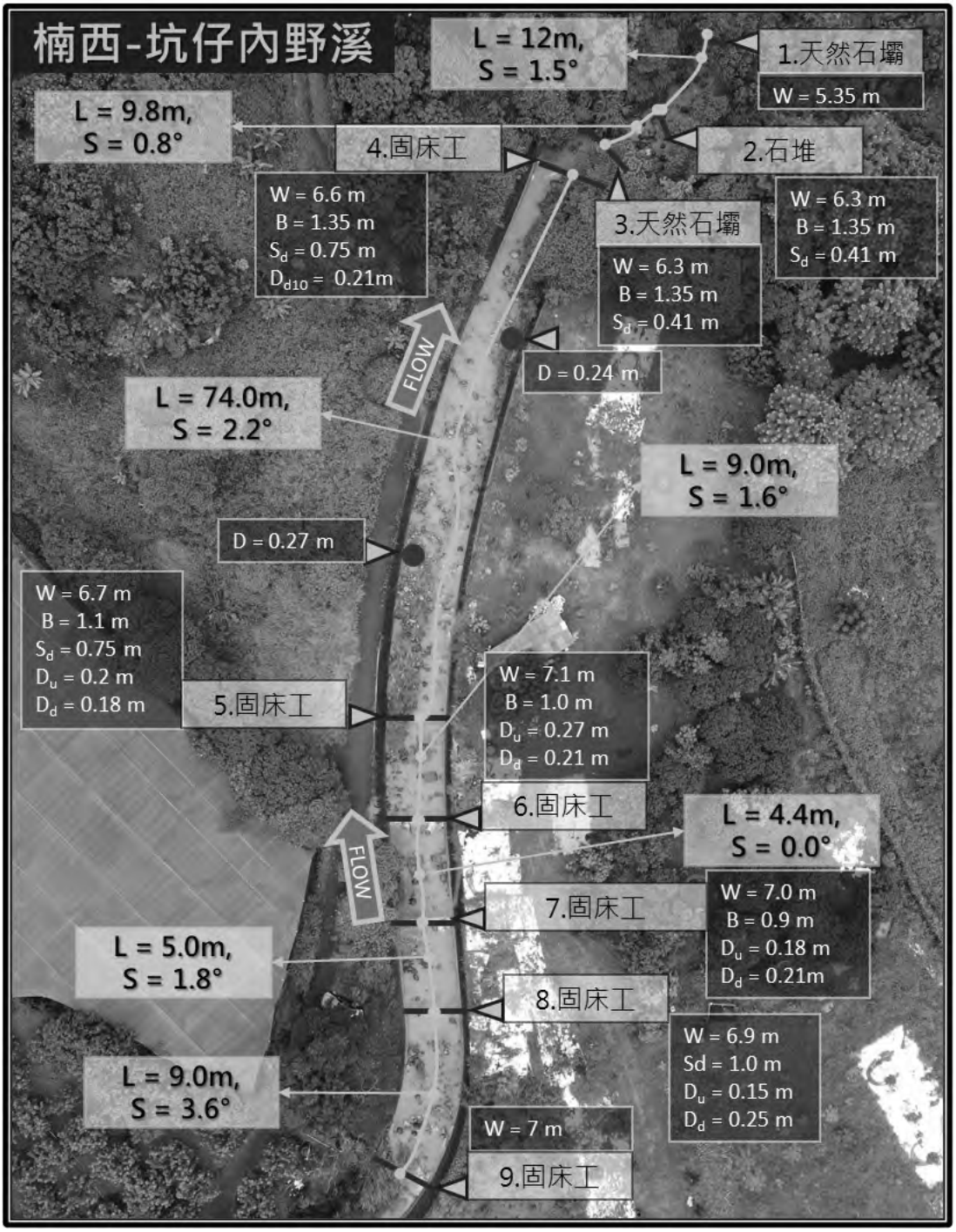
日期：2021/07/30	地點：萊宅野溪支流整治工程	
調查人員：陳宥達、張朝瑋、林羿均、林欣潔、劉恣峰		
調查點位座標(TWD97)	X：198045	Y：2566819
固床工 5 座、護岸 181 m、土包袋堆疊 1267 個、稻草蓆 362m^2、警告標示牌 1 座、生態廊道 2 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/07/30	地點：照豐野溪整治工程	
調查人員：陳宥達、張朝瑋、林羿均、林欣潔、劉恣峰		
調查點位座標(TWD97)	X：195693	Y：2563739
固床工 7 座、護岸 141.5m、跌水 3 座、封牆 2 座、空氣汙染防治鋪面 135m^2、稻草蓆 283m^2、土包袋 934 袋、警告標誌牌 2 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



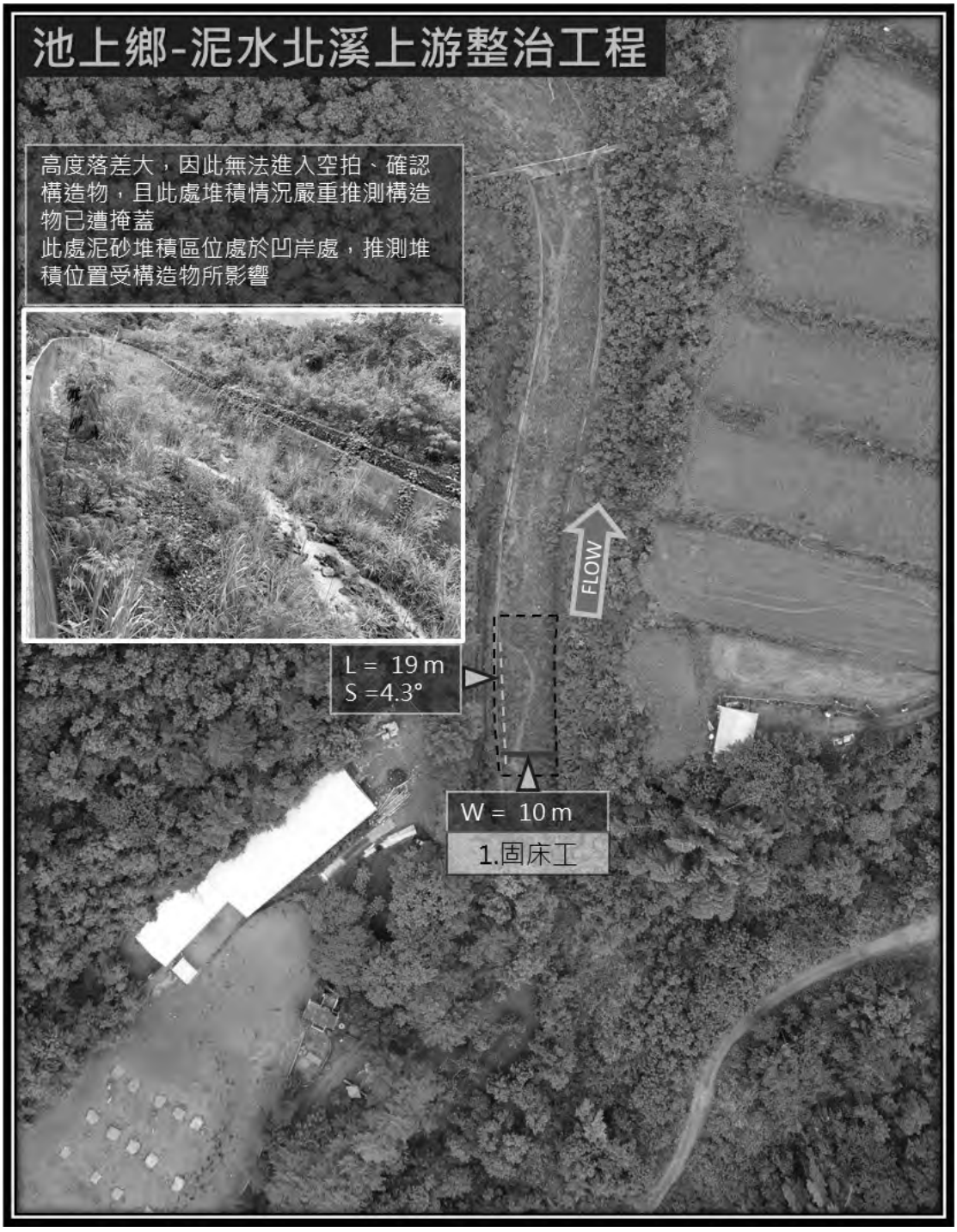
日期：2021/07/30	地點：坑仔內野溪整治及護岸改善工程	
調查人員：陳宥達、張朝瑋、林羿均、林欣潔、劉恣峰		
調查點位座標(TWD97)	X：196048	Y：2565764
固床工 10 座、護岸 192 m、土包袋堆疊 1341 個、稻草蓆 383m^2、警告標示牌 2 座、生態緩坡 1 處 (工程管考系統登錄之工程內容)		



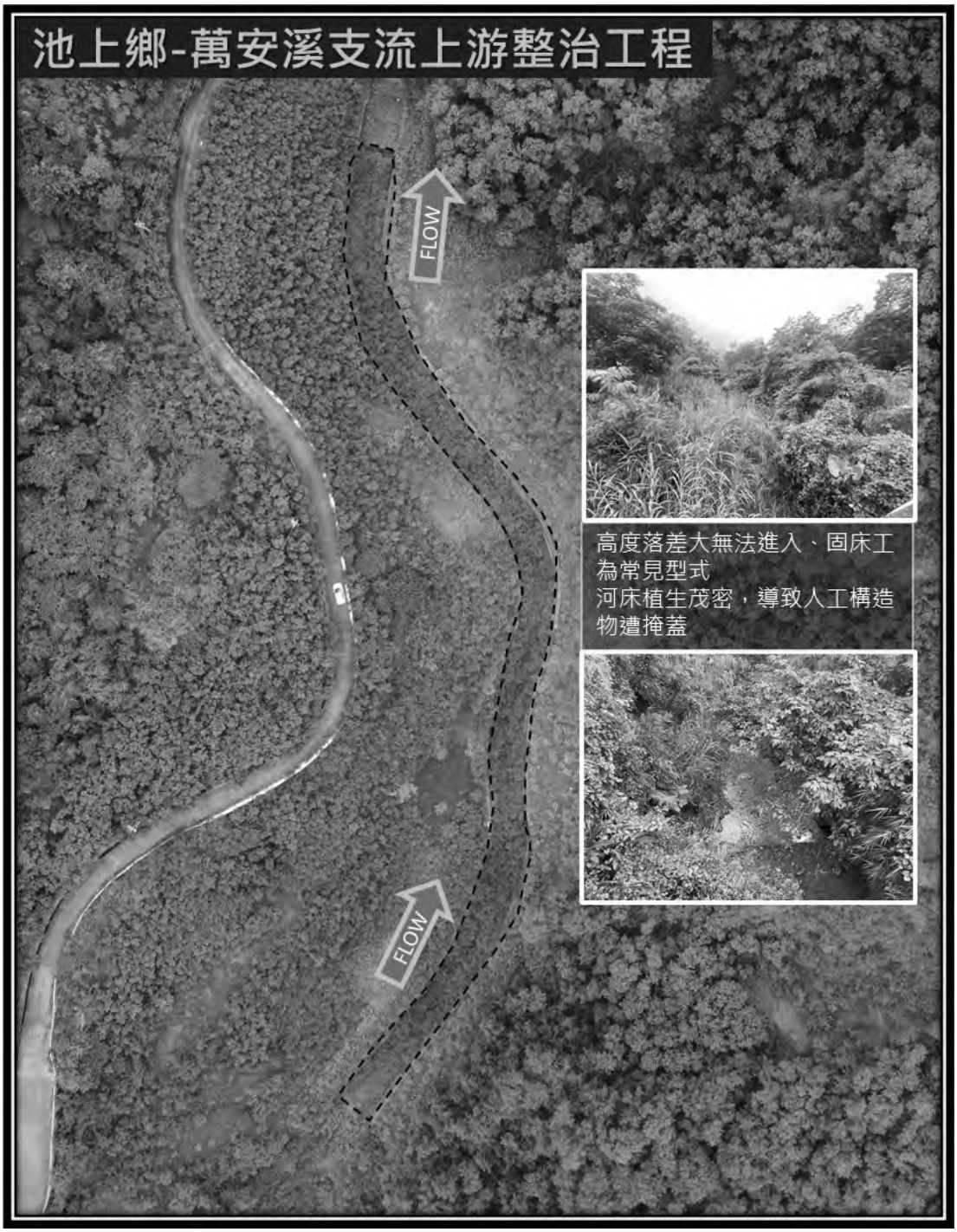
日期：2021/08/04	地點：錦屏野溪治理工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：266694	Y：2559598
1.A 型砌石護岸 54 m、2.B 型砌石護岸 122.5 m、3.A 型固床工 10 座、4.B 型固床工 7 座、5. C 型固床工 2 座、6.端牆 2 座、7.保護工 102 顆 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/04	地點：泥水北溪上游治理工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：272951	Y：2550002
箱型石籠護岸 236 m、混凝土砌塊石護岸 44 m、A 型固工 1 座、B 型固床工 1 座、C 型固床工 6 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		

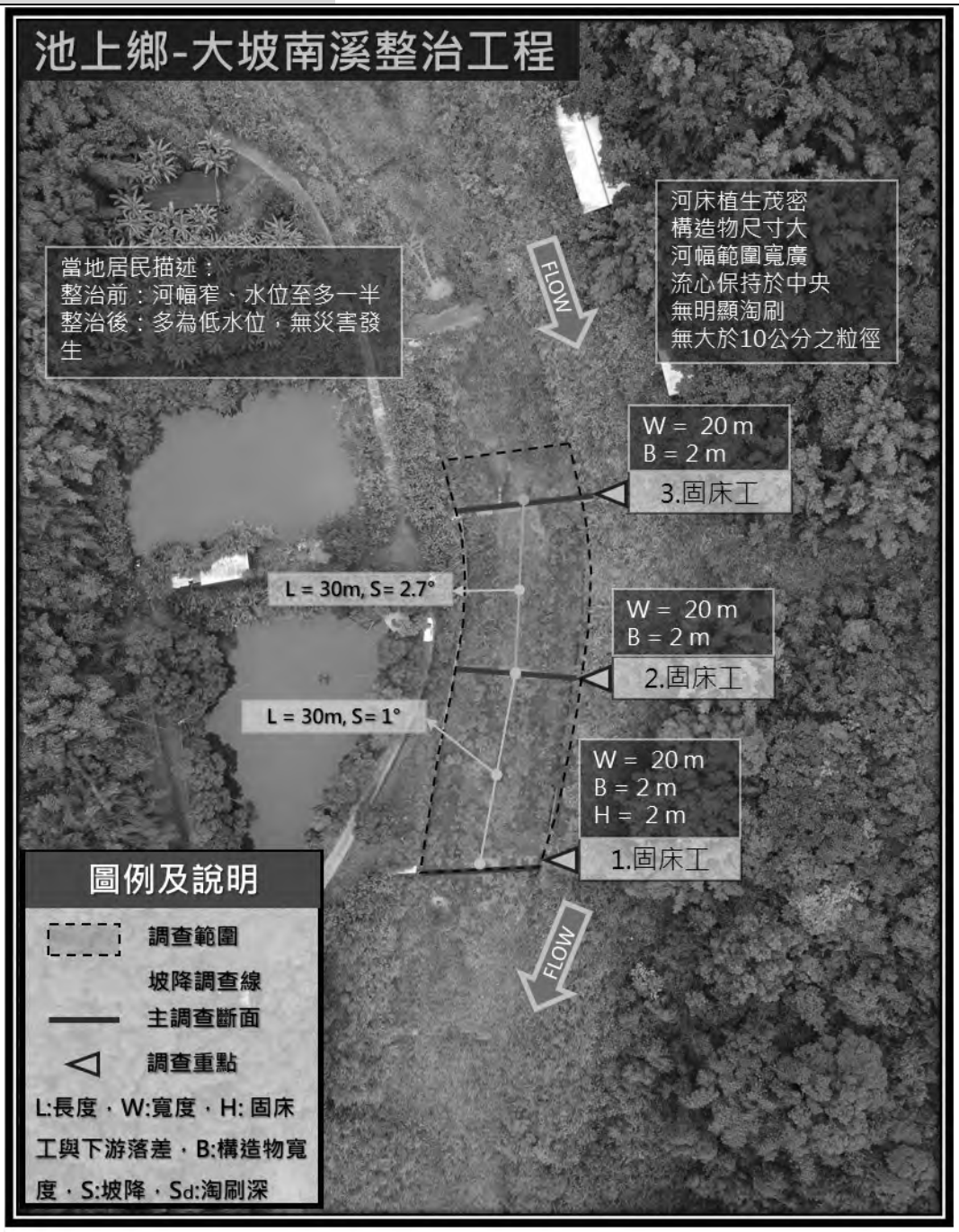


日期：2021/08/04	地點：萬安溪支流上游整治工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：274310	Y：2554376
4. 石籠護岸(含 A 型預鑄塊) 415.2 m、2. 固床工 11 座(A 型固床工 6 座、B 型固床工 5 座)、3. 消能設施 1 座、4. B 型預鑄塊 88 顆 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/04	地點：大坡南溪整治工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：275258	Y：2556086

1.(護岸)854 m、2.A 型固床工 3 座、3.B 型固床工 8 座、4.C 型固床工 2 座、5.道路修復 450 m^2、6.翼牆改善 3 處、7.箱涵 11 m、8.靜水池 1 座(塊狀護欄 6 組) (工程管考系統登錄之工程內容)



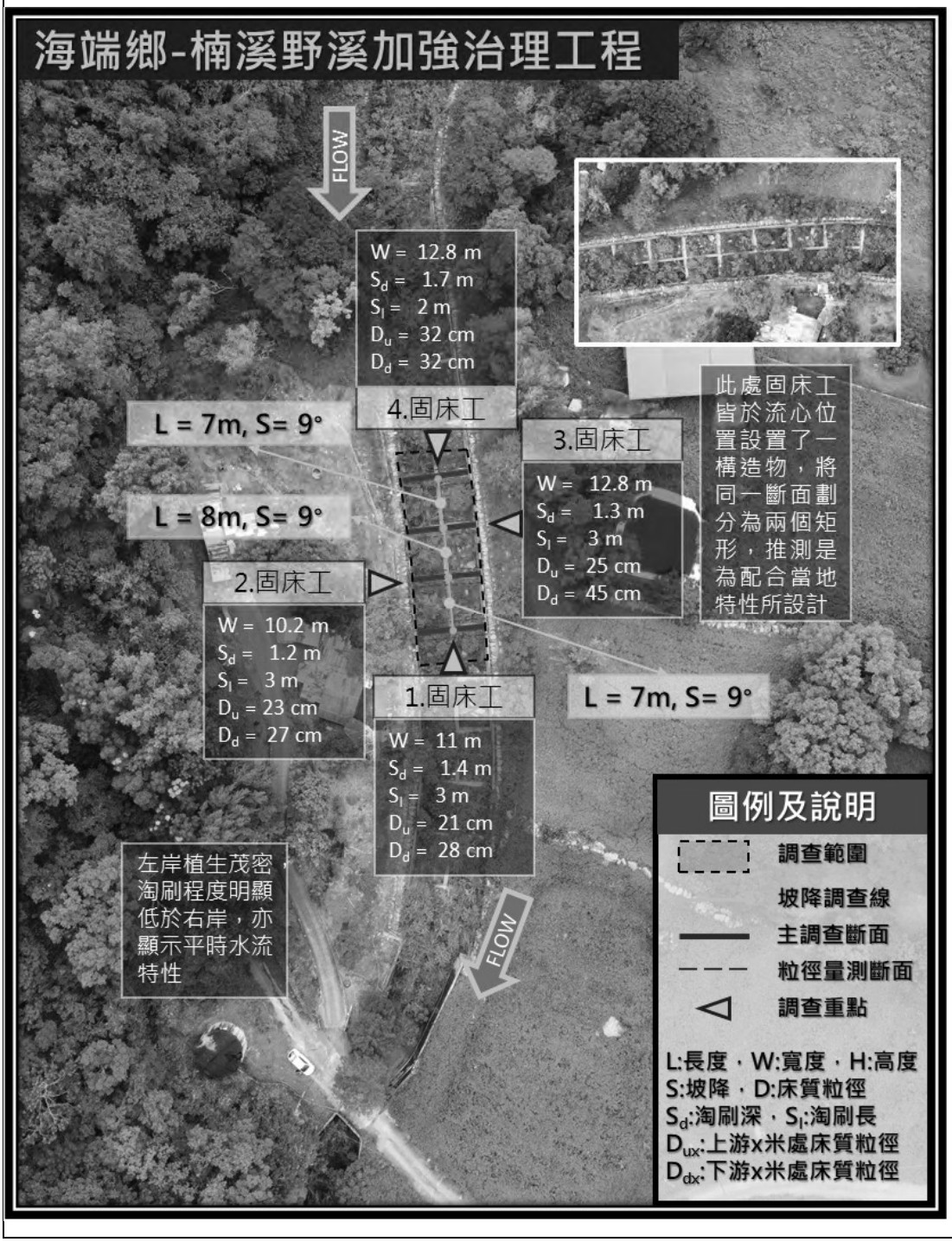
日期：2021/08/05	地點：成功橘子山野溪治理工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：286875	Y：2556374
固床工 17 座、護岸 427 m、版橋 1 座、格框工 1 處、混凝土護欄 10 塊 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/05	地點：楠溪護岸三期工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：274865	Y：2539507
1.固床工(1)36.5 m、2.固床工(2)25 m、3.保護工 45 m、4.混凝土砌石(護岸)86 m、5.封牆 2 處、6.消能塊 15 塊 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/05	地點：楠溪野溪加強工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：245617	Y：2493695
護岸:高 3.2 長 400 m (雙側總長) A 型固床工：4 座，高 2.8 長 7 m、B 型固床工：23 座，高 1.8 長 5 m (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/05	地點：龍泉部落野溪整治二期工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：268574	Y：2561817
1.A 護岸 243.5 m、2.潛壩 1 座、3.A 型固床工 2 座、4.B 型固床工 10 座、5.C 型固床工 4 座、6.箱涵 1 座、7.道路修復 160 m2 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/05	地點:泰源 16 鄰野溪三期及鄰近野溪整治工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：277511	Y：2545275
排水溝一處		



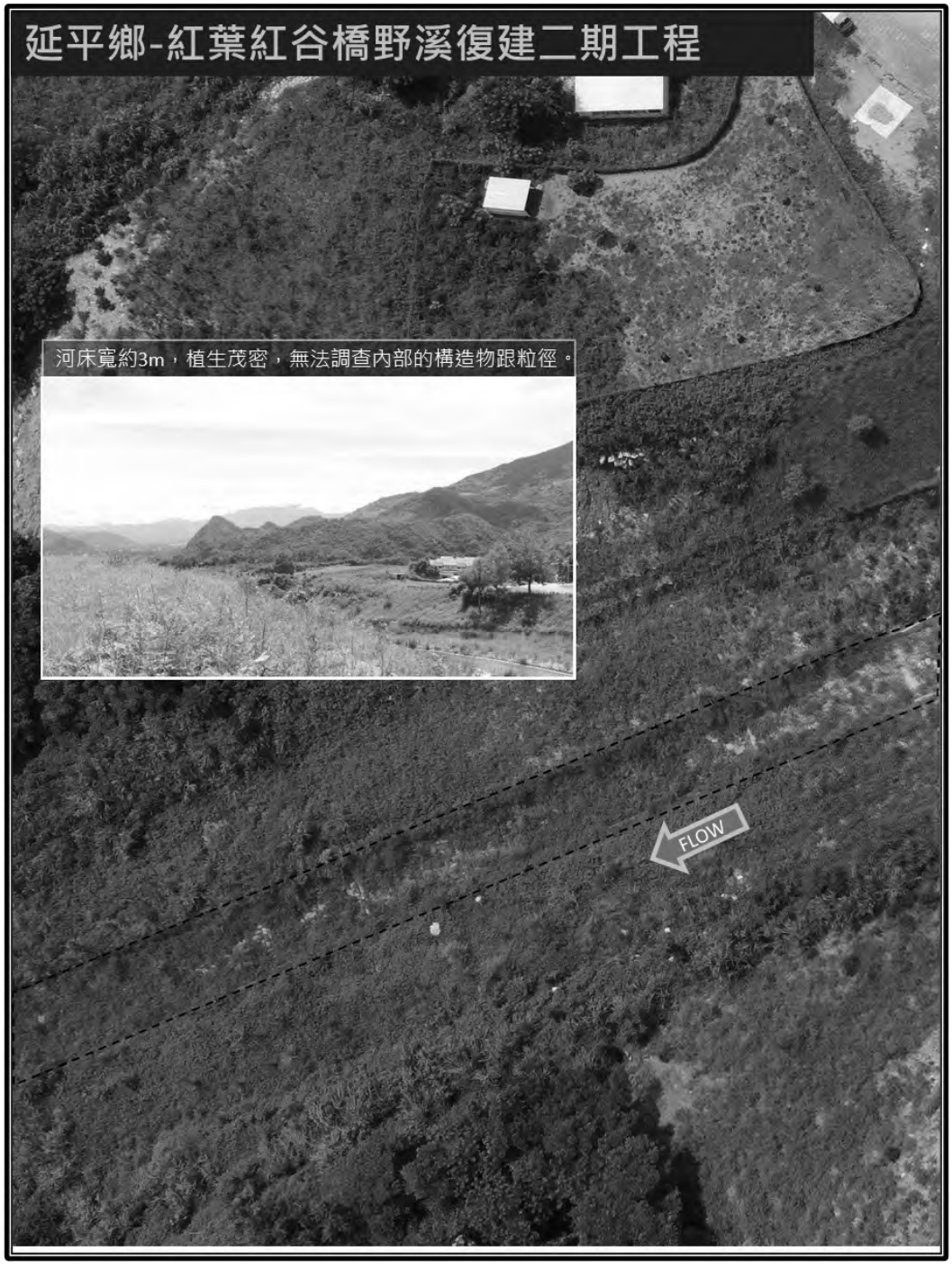
日期：2021/08/05	地點:知路橋及泰源 16 鄰等鄰近野溪整治工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：280457	Y：2540517
護岸 261.6 m、固床工 22 座、鋼管護欄 8 組、原有固床工補強 7 處、原有固床工加固 1 處、支線排水溝 74 m、蓋版 1 處、護欄 10 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/05	地點：羊橋溪等鄰近野溪加強維護改善工程	
調查人員：吳振遠、畢媛、謝政運、林欣潔		
調查點位座標(TWD97)	X：277497	Y：2534973
1.碇橋溪：固床工改善 3 座、橋台保護工改善 1 座、跌水工改善 1 座。2.羊橋溪：固床工改善 6 座。3.籐橋溪：固床工改善 12 座。4.八里溪：固床工改善 10 座。5.都蘭溪：固床工改善 7 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/11	地點：紅葉紅谷橋野溪復建二期工程	
調查人員：畢媛、林羿均、劉忞峰、張朝瑋		
調查點位座標(TWD97)	X：256550	Y：2534973
1.護岸 290 m、2.A 型固床工 4 座、3.B 型固床工 13 座、4.整流工 1 座、5.重力式擋土牆 28 m、6.箱涵 1 座、7.保護工 2 區(主線 26 個、整流工 10 個)、8.河道整理 100 m、9.RC 牆 242.5 m、10.矮牆 290 m (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/11	地點：紅葉紅谷橋野溪復建三期工程	
調查人員：畢媛、林羿均、劉忞峰、張朝瑋		
調查點位座標(TWD97)	X：256464	Y：2532600
A 工區:1.A 型固床工 1 座、2.B 型固床工 10 座、3.C 型固床工、4 座 4.D 型固床工 4 座、5.A 型護岸 102 m、5.A 型護岸 102 m、6.B 型護岸 172 m、7.C 型護岸 75 m、		

8.D 型護岸 24 m、9.高水位截牆工 1 處、10.跌水工 1 處、11.鋪網客土噴植 950 m^2，B 工區:12.土包袋溝 4 m、13.靜水池加強 1 處 (工程管考系統登錄之工程內容)



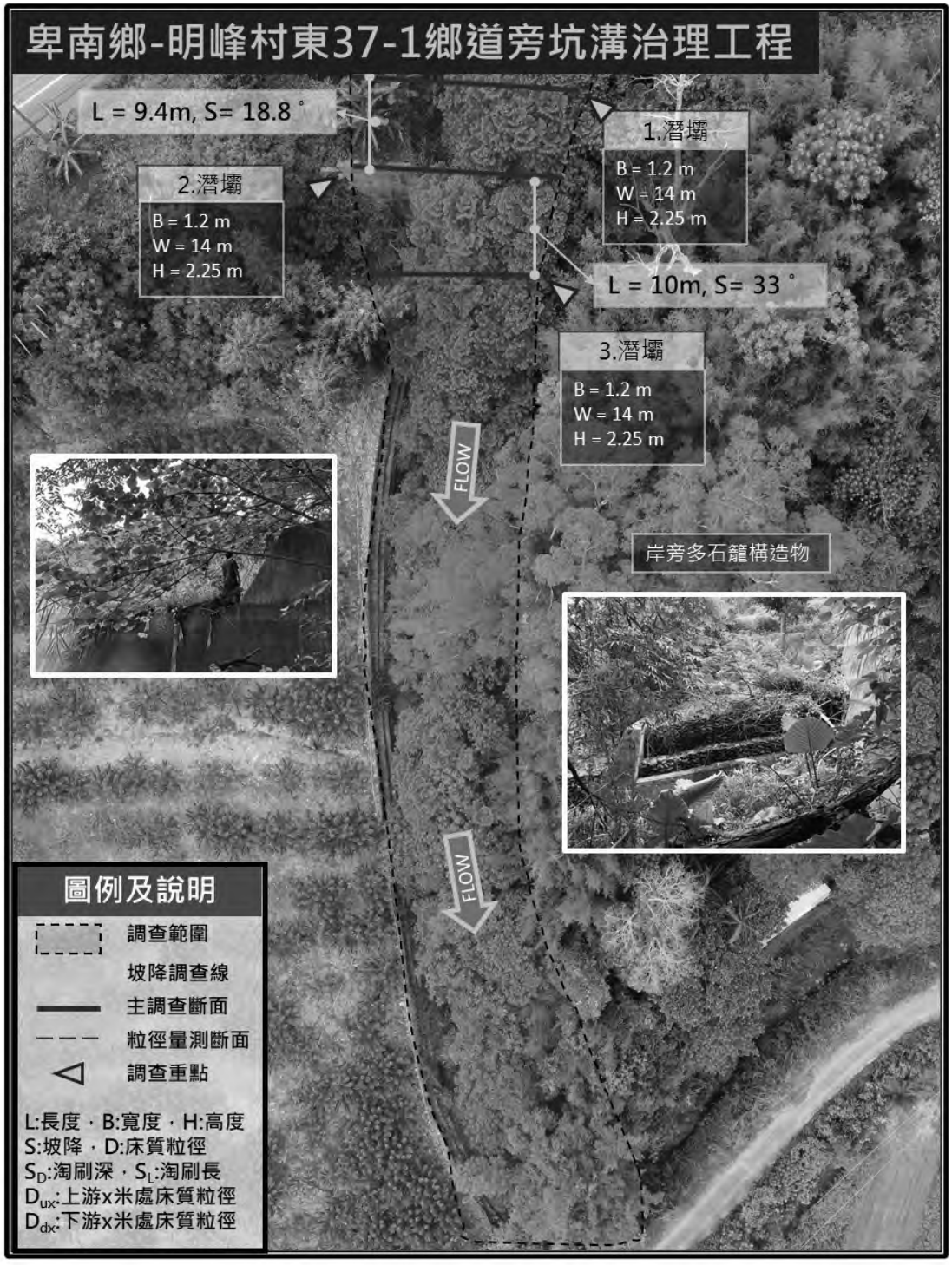
日期：2021/08/11	地點：東縣 DF038 野溪上游治理工程	
調查人員：畢媛、林羿均、劉忞峰、張朝瑋		
調查點位座標(TWD97)	X：259707	Y：2530185
複式護岸長約 260 m、A 型固床工約 3 座、B 型固床工約 7 座、下沉式沉砂池約 3		

座等 (工程管考系統登錄之工程內容)



日期：2021/08/11	地點：明峰村東 37-1 鄉道旁坑溝治理工程	
調查人員：畢媛、林羿均、劉忞峰、張朝瑋		
調查點位座標(TWD97)	X：259797	Y：2527994

固床工 11 座、護岸 167 m、坑溝治理高約 1.5-2 m 寬約 3-5 m 長約 75 m、節制壩約 5 座高約 1-1.5 m 長約 5-7 m，固床工 5 座高約 1 m 長約 3-5 m，消能設施 1 處 (工程管考系統登錄之工程內容)

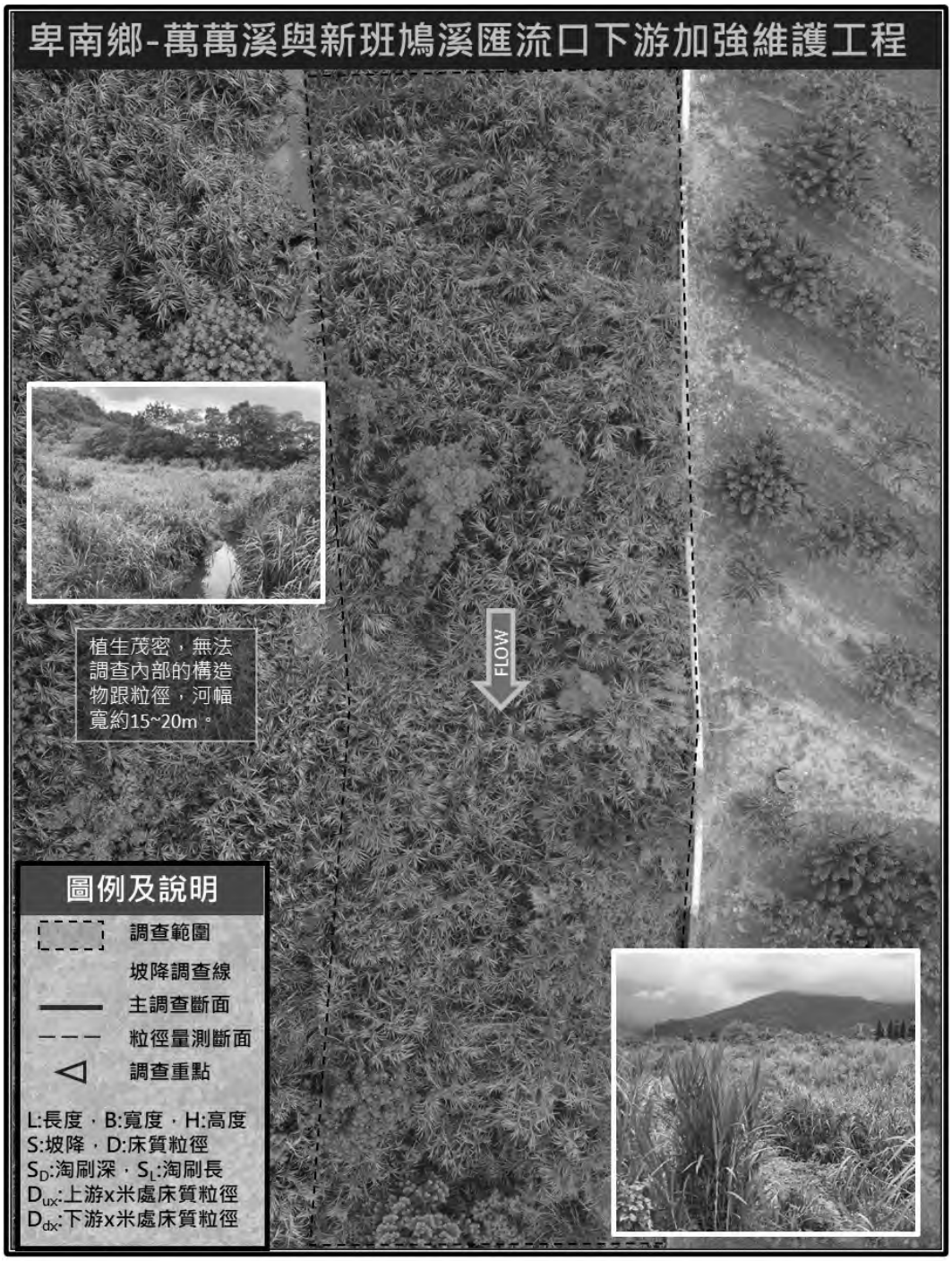


日期：2021/08/11	地點：新斑鳩溪整治一期工程	
調查人員：畢媛、林羿均、劉忞峰、張朝瑋		
調查點位座標(TWD97)	X：257905	Y：2527371
固床工 5 座、護岸 455 m、排水溝 34 m、新斑鳩溪 6 號壩加高 1 處、新斑鳩溪 5		

號壩基礎保護工 1 座、混凝土基礎保護工共 1 座、水制工 20 座 (工程管考系統登錄之工程內容)


日期：2021/08/12	地點：萬萬溪與新班鳩溪匯流口下游加強維護工程
調查人員：畢媛、林羿均、劉忞峰、張朝瑋	

調查點位座標(TWD97)	X：259745	Y：2525659
1.固床工 6 座、2.護岸修復 50 m、3.調整流心處理 1 處、4.保護工 9 顆 (工程管考系統登錄之工程內容)		



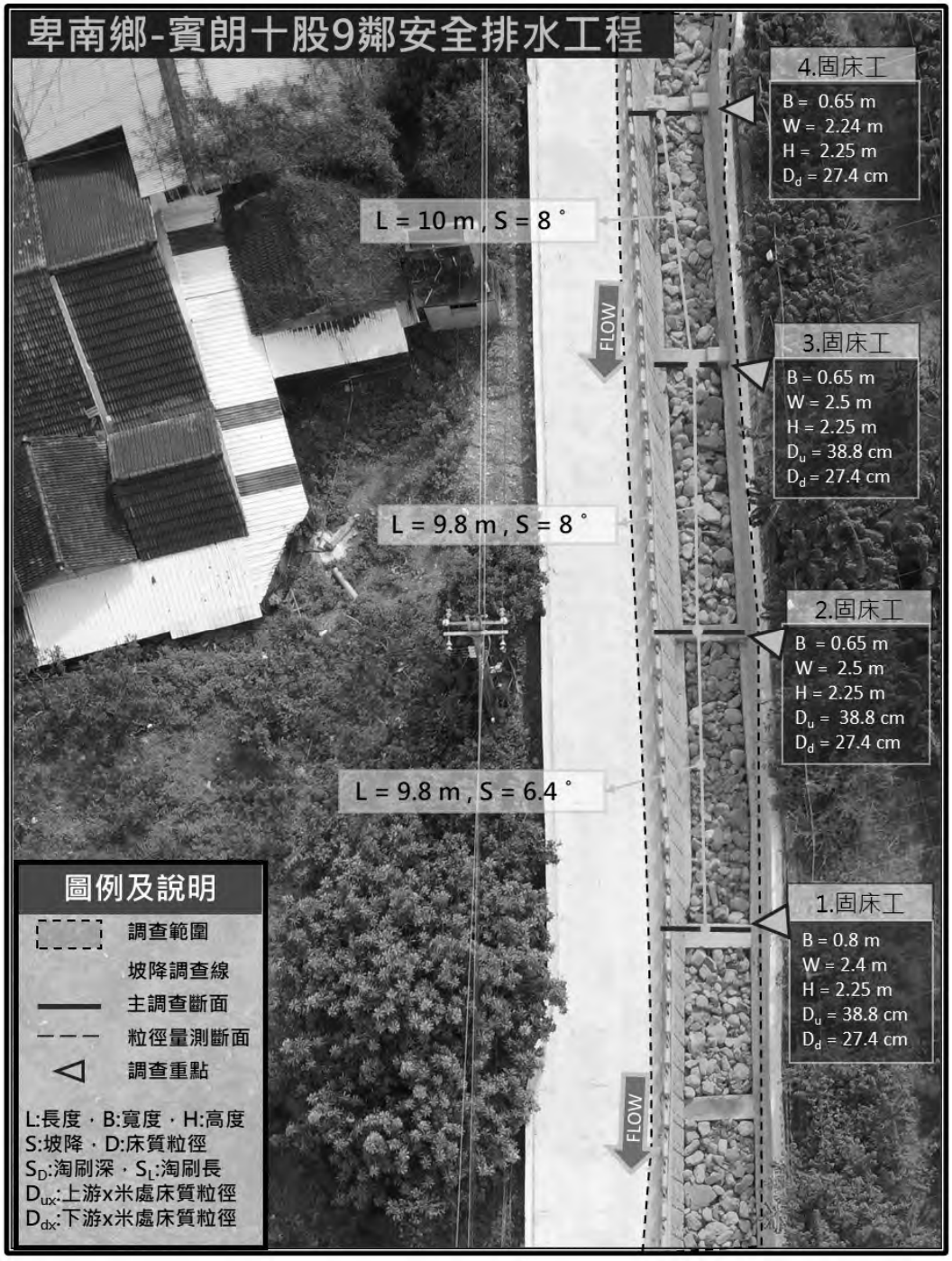
日期：2021/08/12	地點：舊斑鳩溪九期整治工程
調查人員：畢媛、林羿均、劉忞峰、張朝瑋	

調查點位座標(TWD97)	X：259158	Y：2525252
護岸 251.3 m、新設沉砂池 334 m、固床工 7 座、沉砂池隔牆工 4 座、清淤坡道 25 m、既有固床工修復 2 處 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/12	地點：賓朗十股 9 鄰安全排水工程
調查人員：畢媛、林羿均、劉忞峰、張朝瑋	

調查點位座標(TWD97)	X：260518	Y：2522413
固床工 18 座、RC 護岸 99.8 m、道路修復 2015.5 m^2、道路截水溝 9.1 m、既有護岸基礎改善 14.3 m、既有擋土牆改善 207 m 等 (工程管考系統登錄之工程內容)		



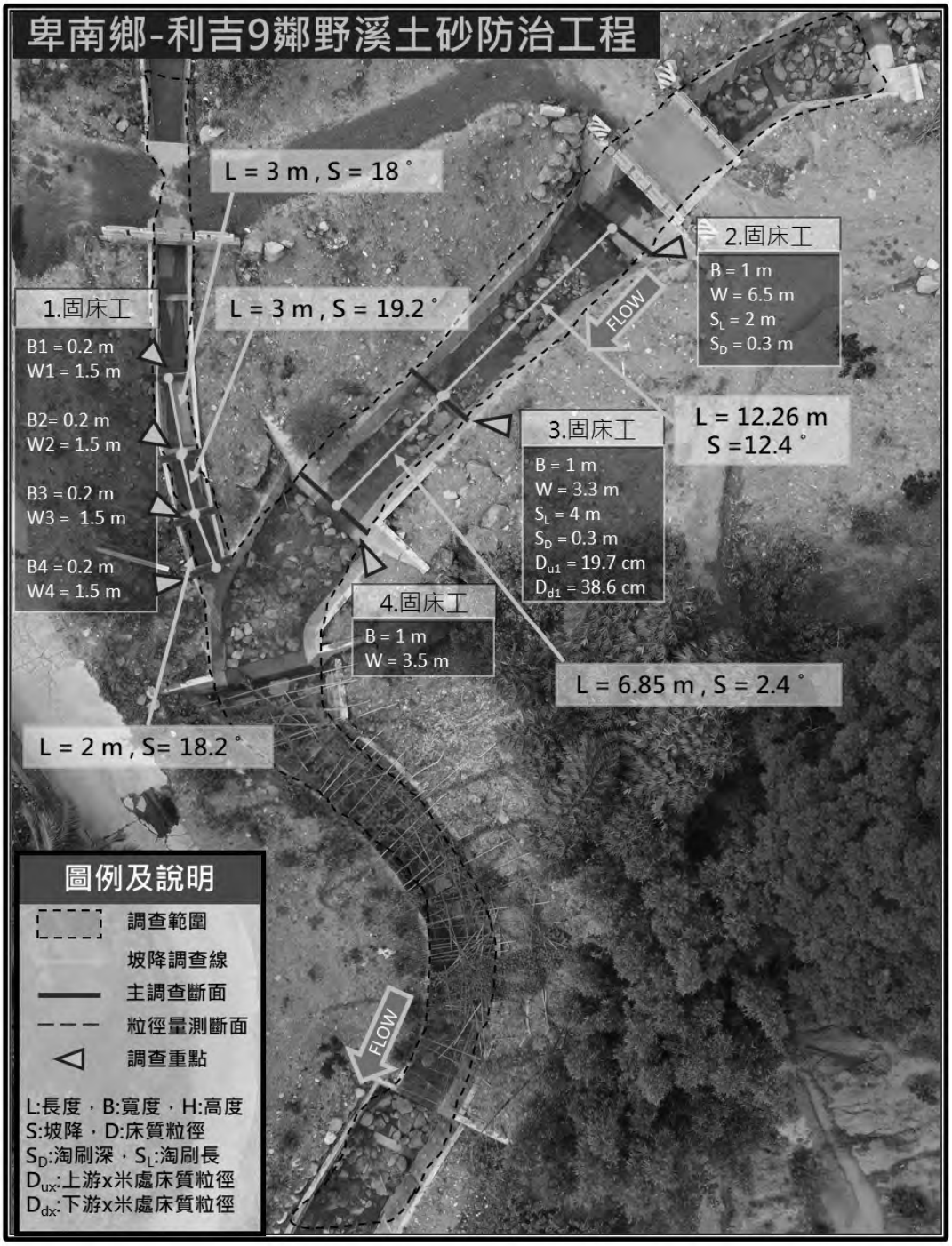
日期：2021/08/12	地點：郡界野溪整治二期工程
調查人員：畢媛、林羿均、劉忞峰、張朝	

瑋		
調查點位座標(TWD97)	X：268621	Y：2528035
主線工區：漿砌塊石護岸 L=470m、固床工 14 座、既有整治固床工維護 1 座、既有護岸基礎保護工 L=34m。B 工區、L 型擋土牆 L=21m (工程管考系統登錄之工程內容)		



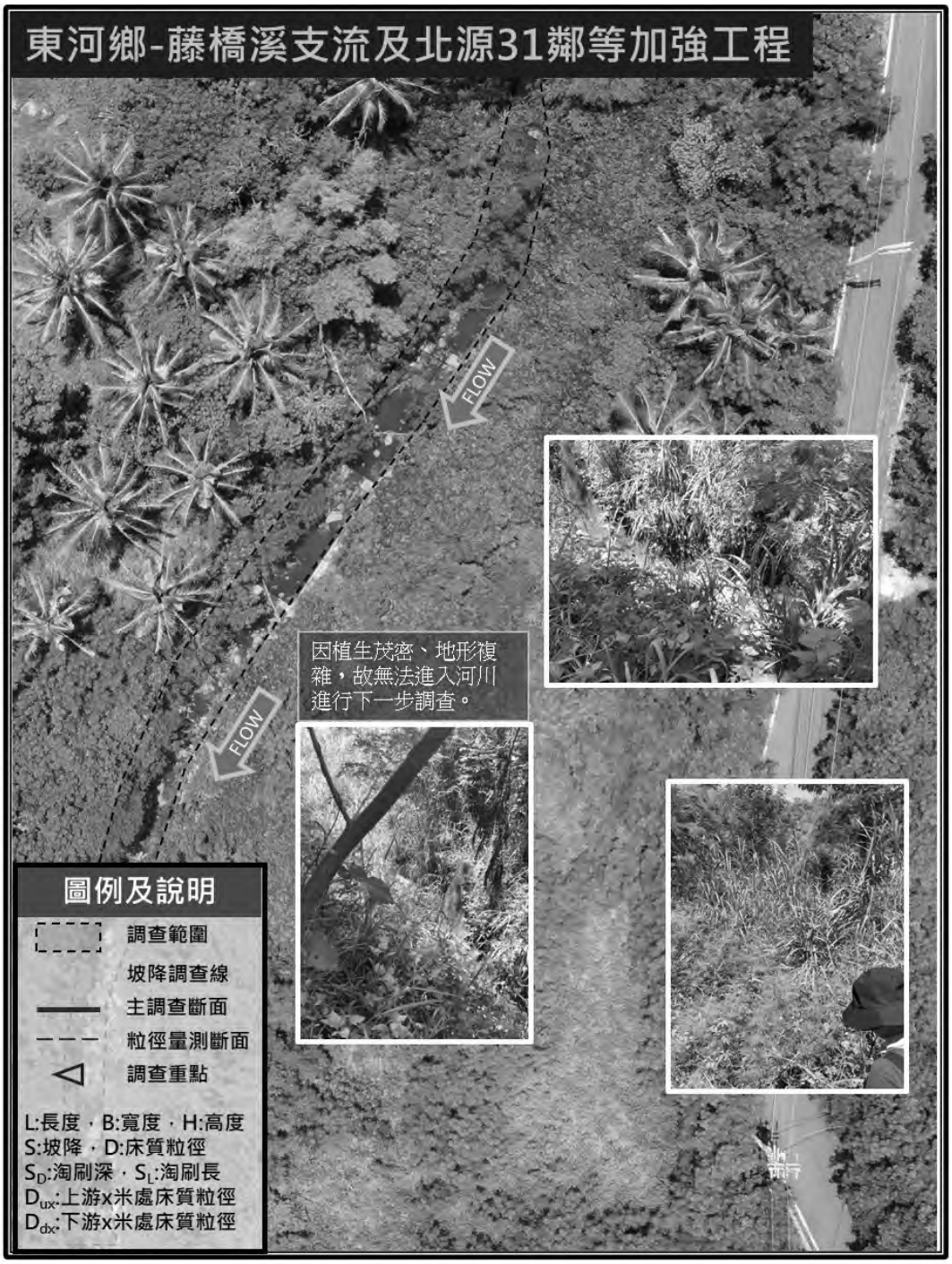
日期：2021/08/12	地點：利吉 9 鄰野溪土砂防治工程

調查人員：畢媛、林羿均、劉恣峰、張朝瑋		
調查點位座標(TWD97)	X：264686	Y：2526077
護岸長約 244 m，A 型固床工約 10 座，B 型固床工約 19 座，(箱涵)約 2 座，過水路面約 2 處等 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/12	地點： 藤橋溪支流及北源 31 鄰等加強工程

調查人員：畢媛、林羿均、劉恣峰、張朝瑋		
調查點位座標(TWD97)	X：274955	Y：2532214
A 工區：1.新建排水溝 117 m、2.A 型固床工 1 座、3.B 型固床工 11 座，B 工區：4.新建排水溝 44 m、5.B 型固床工 4 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/18	地點： 太麻里鄉舊省道南坑護岸改善工程

調查人員：吳振遠、陳秋翰、蔡博仰、陳士楑、卓研安		
調查點位座標(TWD97)	X：252351	Y：2506113
1.A 型護岸 73.3 m、2.B 型護岸 17.49 m、3.A 型固床工 3 座、4.B 型固床工 3 座、5.C 型固床工 1 座、6.石籠護坡 41 m (工程管考系統登錄之工程內容)		



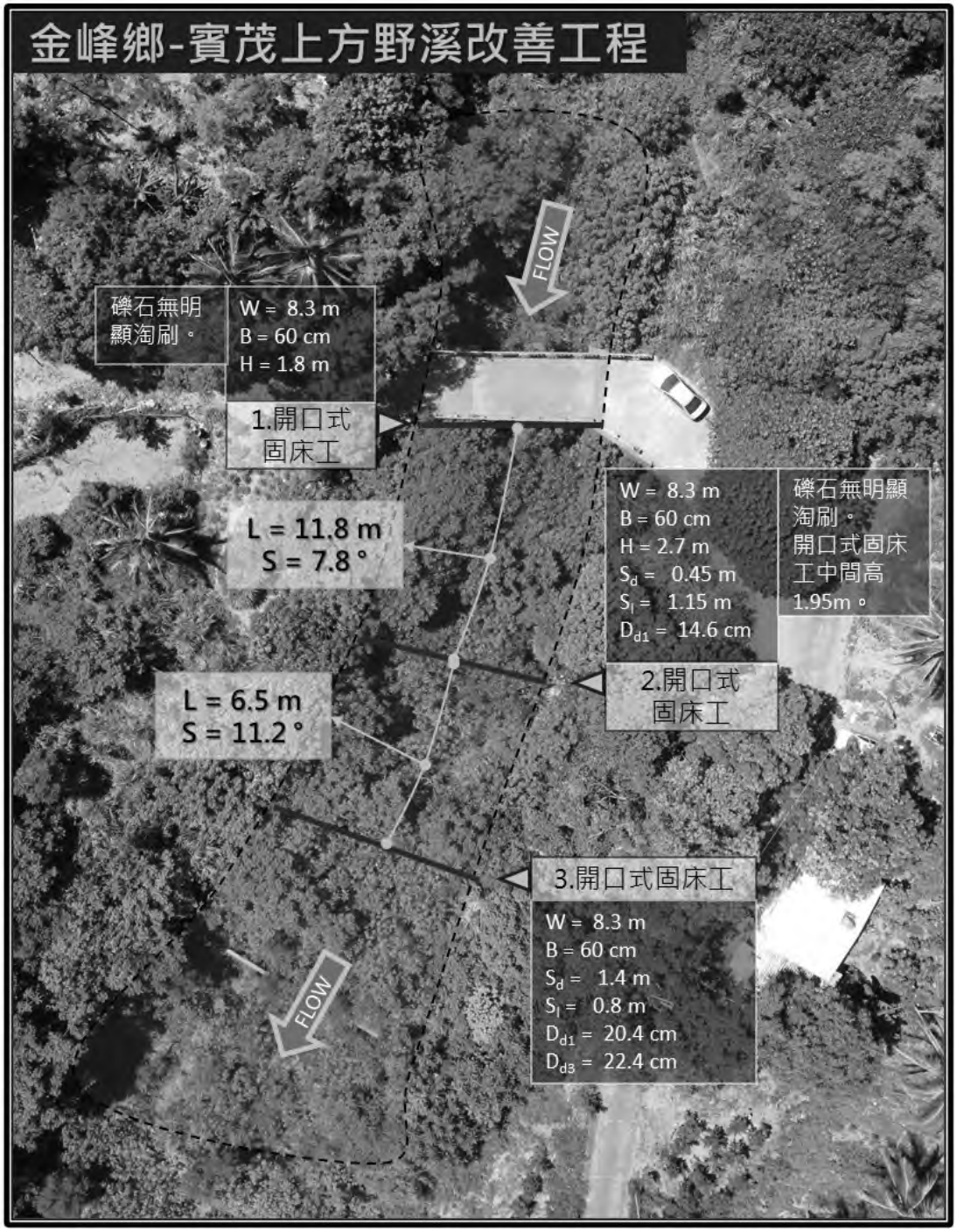
日期：2021/08/18	地點：太麻里溪沙崙野溪加強工程	
調查人員：吳振遠、陳秋翰、蔡博仰、陳士楑、卓研安		
調查點位座標(TWD97)	X：249638	Y：2502799
1.護岸加固 530 m，固床工加固約 20 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



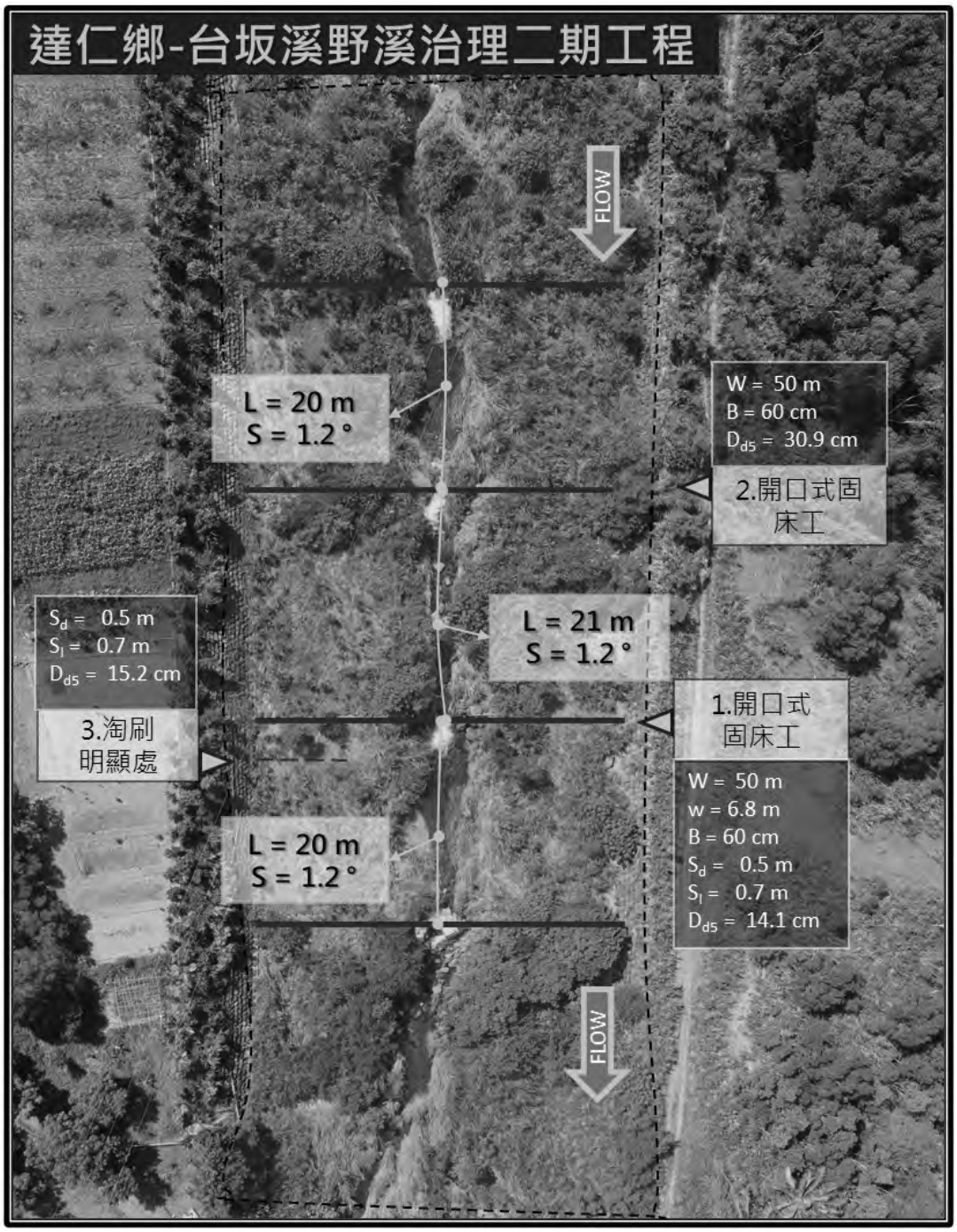
日期：2021/08/18	地點：溫泉野溪上游河道整治工程	
調查人員：吳振遠、陳秋翰、蔡博仰、陳士楑、卓研安		
調查點位座標(TWD97)	X：243165	Y：2494259
固床工 12 座、A 型固床工 11 座、B 型固床工 1 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/18	地點：賓茂上方野溪改善工程	
調查人員：吳振遠、陳秋翰、蔡博仰、陳士榤、卓研安		
調查點位座標(TWD97)	X：245617	Y：2493695
固床工 21 座、跌水 2 座、護岸 185.5 m、河道整理 70 m、消能塊 15 組 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/18	地點：台坂溪野溪治理二期工程	
調查人員：吳振遠、陳秋翰、蔡博仰、陳士楑、卓研安		
調查點位座標(TWD97)	X：240798	Y：2486075
固床工 11 座、護岸 702 公尺、梳子壩 1 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/18	地點：南興村坡面蝕溝整治二期及鄰近蝕溝加強工程	
調查人員：吳振遠、陳秋翰、蔡博仰、陳士楑、卓研安		
調查點位座標(TWD97)	X：238394	Y：2468143
固床工 9 座、護岸 332 m、箱涵 2 座 (工程管考系統登錄之工程內容)		



日期：2021/08/18	地點：南田村第一大排上游野溪整治二期工程	
調查人員：吳振遠、陳秋翰、蔡博仰、陳士楑、卓研安		
調查點位座標(TWD97)	X：238273	Y：2465305
固床工 6 座、護岸 148.4 m (工程管考系統登錄之工程內容)		

