

防砂壩改善調適策略對流域環境影響評估-以眉溪集水區為例

吳瑞鵬⁽¹⁾ 黃爾強⁽²⁾ 陳柏宏⁽³⁾ 藍尹圻⁽⁴⁾

摘要

臺灣山區野溪河道因氣候變遷導致野溪土砂災害劇增，防災治理工程常針對河道保全對象或減砂入流之目標進行環境規劃。眉溪集水區因土砂災害，過去興建許多大型跨河防砂工程設施，如防砂壩及固床工等。然於河道坡度穩定後，上游溪流的防砂壩體固定結構造成眉溪河道持續下刷，影響既有護岸及固床工結構安全，亦造成流域生物棲地品質降低，形成環境課題。因此本研究藉由二維動床模擬，評估降低眉溪上游之南山溪及東眼溪防砂壩結構，以恢復土砂運移的調適策略改善眉溪河道下刷之危害，兼顧河道輸砂、防災及生態需求之權衡。

（**關鍵詞**：降壩、土砂運移、二維輸砂模擬）

Evaluate the Environmental Influence on Adaptation Strategies of Check Dam Improvement – A Case Study of Mei River Watershed

Jui-Peng Wu⁽¹⁾ Er-Chiang Huang⁽²⁾ Po-Hung Chen⁽³⁾ Yin-Chi Lan⁽⁴⁾

Doctoral Student ^{(1) (2)}, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan, R.O.C.

Project Manager⁽³⁾, Professional Hydraulic Engineer⁽⁴⁾, IFEM Co., Ltd., Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

The river in the mountain area of Taiwan has caused a sharp increase in sediment disasters in the river due to climate change. Disaster prevention and control projects often target the goal of river course preservation or sand inflow reduction, and many large-scale cross-river sand control engineering facilities, such as sand control dams and bed consolidation Engineering, etc. However, with the passage of time and the stabilization of the river course slope, the sand control dams built in the past due to soil and sand disasters have long been shown to be harmful to the ecology of the wild stream and the continuity of the riverbed. The constant sand control dam structure is difficult to cope with the drastic changes in the soil and sand environment of the stream bed, so reducing the sand control dam is one of the engineering issues that can be considered today. In order to

improve the damage caused by the existing sand control dams to continuously downwash the downstream river, this study explores the improvement of the downstream scouring of the river after the sand control dam is lowered, hoping to make the balancing trade-offs of sand transportation, disaster prevention and ecological needs.

(Keywords : lower dam height, sediment transport, 2D sediment transport simulation)

(1)國立中興大學水土保持學系博士生(通訊作者 e-mail : jpwu1977@gmail.com)

(2)國立中興大學水土保持學系博士生

(3)創聚環境管理顧問股份有限公司專案經理

(4)創聚環境管理顧問股份有限公司水利工程技師

前言

本研究區域為南投縣仁愛鄉南豐村之南山溪，將探討南山溪壩體降壩改善措施，以調適南山溪下游眉溪之保全對象安全課題，南山溪持續具有投入改善措施需求。本研究將蒐集既有水砂觀測資料，應用水砂模式分析及 UAV 調查，進一步評估預期效益評估。當溪水挾帶集水區上游崩塌土砂下移，將造成嚴重之土砂災害，因此災害規模非僅考量一般清水流流況，需考量土砂下移之影響。

本研究以二維動床水理數值模式進行輸砂演算，藉由河道治理前、後水砂運移變化，評估防砂效益；另可藉由不同治理方案分析結果，探討提升土砂運移平衡效益。模擬分析需含基本資料蒐集、模式建立、參數檢定校核、模擬成果分析等。

研究區概況

1. 地理位置

南山溪周圍河谷植群盎然，位於仁愛鄉的南豐村，東面與大同村相接，夾在守城大山、南東眼山與關頭山、埋石山之間。南山溪匯流於眉溪，其源自北東眼山，由於切割劇烈，在霧社北面形成深邃的峽谷，以人止關最為著名。

2. 歷年工程治理

南豐村現轄有楓樹林、楓林口、南山溪（Iyug）及天主堂（Bheygey）等 4 聚落。南山溪自然資源豐富，夏季於溪流及周邊森林可見許多蝶類飛舞，吸引許多人到訪。南山溪的夢谷瀑布，過去曾為一個風景秀麗的雙層瀑布，但在歷經 921 地震以及兩次

颱風引發的土石流災害，包含 2004 年敏督利颱風造成的七二水災以及 2008 年辛樂克颱風，不僅夢谷瀑布遭到土砂掩埋，周圍河谷的棲地與植群也遭受到嚴重破壞，眉溪支流南山溪及東眼溪，亦發生大規模土砂災害。

民國 93 年敏督利颱風造成南山溪(投縣 DF012)上游坡地崩塌、河道兩岸沖刷，仁愛鄉南豐村附近民宅受損及道路橋梁中斷等災害，匯流口淤積嚴重，水保局辦理緊急疏濬工程；97 年辛樂克颱風與 98 年莫拉克颱風後，區內產生多處崩落地而攜出大量土砂，福興橋、夢谷一號橋及護岸遭受掩埋，除了辦理土砂疏濬作業及河道兩岸設置護岸，並於上游設置防砂壩以攔阻土砂。爾後歷經多場颱風豪雨，下游部分河段出現嚴重的土砂淤積現象，並已影響溪流之通洪能力，是以水保局辦理多期治理工程，施作防砂壩、固床工及護岸等縱橫向工程，以減輕沿岸保全對象受洪水及土砂災害之威脅。水保局南投分局 105 年「眉溪阿里山溪等四處集水區土砂控制測量與監測」南山溪下游 0K+500 至眉溪主流河段呈現沖刷趨勢，研判應於 104~105 年期間新增一防砂壩，攔阻土砂於防砂壩上游，且該河段坡度甚陡，致使下游形成沖刷現象，直至匯流處沖刷現象才稍減緩，近年颱風豪雨事件未發生土砂災害，顯示治理工程發揮土砂控制效益。

因此在 2005 年至 2015 年間，在災害後建置多期系列的防砂設施，也有效攔阻土砂下移。但在 2015 年至今，因上游土砂攔阻狀況，眉溪主流河段產生持續沖刷的狀況，造成溪床巨石裸露，眉溪兩側護岸及固床工亦面臨需經常性修復基礎。南山溪流域歷史事件及環境變化如圖 1 所示。



圖 1 南山溪歷史事件及環境演變圖

3.既有水砂觀測站

依據歷史災害及治理情形，本區域主要觀測目地為評估南山溪經治理工程控制後土砂運移情形與匯流後眉溪沖淤關係，經既有觀測設備佈設區位，配合 UAV 拍攝及現勘調查瞭解集水區環境，本研究於南山溪夢谷一號橋、眉溪主流南豐橋及匯流後下游同德橋三處，設置水位及含砂濃度監測設備，位置如圖 2 所示。

(1)夢谷一號橋

夢谷一號橋位於南山溪與眉溪匯流口上游約 150 公尺處，左岸銜接松原巷可通達台 14 線，97 年辛樂克颱風及 98 年莫拉克颱風時，南山溪土石流災害造成夢谷一號橋遭土砂完全掩蓋，並造成下游溪流出口左岸社區活動中心附近建物損壞。經由緊急疏濬及多期治理工程，現況兩側均設有護岸，屬常流水型態並有明顯行水區，通訊狀況良好無遮蔽，可由水砂監測設備據推估流量及含砂量。

(2)南豐橋

南豐橋為主流眉溪與南山溪匯流前之橋梁，位於匯流處上游約 165 公尺，橋梁左岸銜接及松原巷可通達台 14 線現況上下游河道植生密布，接近南山溪匯流處有土石堆積情形，南豐橋上下游側河道均已渠化並設有固床設施，屬常流水型態且規則斷面河道，通訊狀況良好無遮蔽，可由水砂監測設備據推估流量及含砂量。

(3)同德橋

同德橋位於南山溪與眉溪匯流口下游約 860 公尺處，兩岸民宅分布密集，右鄰南豐國小，左岸銜接台 14 線，為區內主要通行橋梁，現況河道渠化斷面均勻且兩側均設有護岸，屬固定斷面，上下游佈設系列固床設施，河床粒徑明顯較支流南山溪小，通訊狀況良好無遮蔽，可由監測成果探討南山溪經治理工程控制後土砂運移情形與匯流後眉溪沖淤關係。

(4)水砂觀測資料特性

彙整監測期間(民國 110 年 8 月 1 日至 10 月 30 日)眉溪地區南豐橋、同德橋、以及南山溪夢谷一號橋等 3 處流量監測成果，並蒐集鄰近氣象站(以廬山氣象站為例)之時雨量監測資料進行同步分析，監測期間累積雨量共 850.5mm，累積流量界於 6631.1 萬方至 1.4 億方之間，其中，眉溪南豐橋監測流量與南山溪夢谷一號橋於監測期間之流量總和為 $7080.1+6631.3=13711.2$ 萬方，與眉溪下游同德橋監測流量 1.4 億方之誤差僅為 2.3%(詳圖 3)，顯示監測成果與分析方式具合理性。

此外，監測期間經歷最大降雨事件為 8/5~8/8 盧碧颱風事件，累積降雨量為 293.5mm，最大降雨強度為 19.5mm/hr，前述 3 處監測區域之洪峰流量分別為眉溪地區南豐橋 51.5cms、同德橋 60.4cms、以及南山溪夢谷一號橋 107.3cms，洪峰延時介於 2 至 7 小時之間，彙整如表 1 所示。

表 1 南山溪及眉溪盧碧颱風流量資訊彙整表

降雨事件	監測地點	累積雨量 (mm)	總流量 (萬 m ³)	洪峰流量 (cms)	洪峰延時 (hr)
盧碧颱風 2021/08/05- 2021/08/08	同德橋	293.5	1,826.3	107.3	6
	南豐橋		786.6	51.5	2
	夢谷一號橋		1,298	60.4	7



圖 2 南山溪水位及含砂濃度監測區位圖

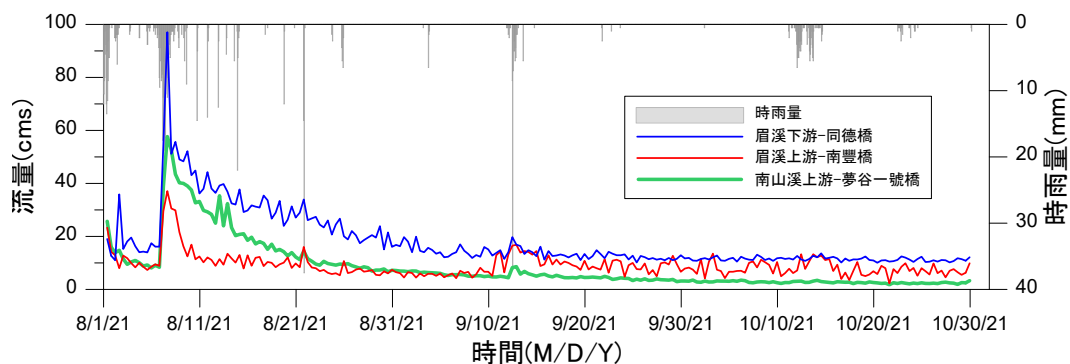


圖 3 夢谷一號橋、南豐橋及同德橋 8/1~10/30 流量變化示意圖

4.生態環境現況

眉溪受南山溪及東眼溪降壩的土砂挹注後，有機會形成沙洲，改善原有棲地單一化的問題。預期環境變化對生物多樣性產生正面效益。策略導入初期可能因環境土砂變動，造成冲刷及淤積狀況改變，最先受到影響的可能是水棲昆蟲分布，其作為魚蝦蟹類等動物的食物來源，會間接影響水域生物多樣性變化。因此本研究以水棲昆蟲作為生態環境現況的評估因子。

水棲昆蟲的豐富度及多樣性具有反應環境狀況及水質條件的功能。本研究以蘇伯氏水網，調查眉溪、南山溪及東眼溪的水棲昆蟲多樣性，以評估防砂壩改善的環境變化。111 年 8 月調查結果顯示，水棲昆蟲調查共發現 7 目 16 科 340 隻次，以南山溪的總個體數最多，東眼溪最少。尤其南

山溪發現最多毛翅目昆蟲，分別有紋石蛾科、流石蛾科及角石蛾科，數量最多為大蚊科 47 隻次；眉溪及東眼溪多為搖蚊科昆蟲，反應水域環境狀況以南山溪較佳。整體水棲昆蟲多樣性同樣以南山溪最高，計算 Shannon-Wiener 生物多樣性指數，眉溪、南山溪及東眼溪分別為 2.28、2.97 及 1.93，顯示南山溪水棲昆蟲最為豐富，如圖 4 所示。

同時，水棲昆蟲的科級鑑定結果，亦可計算 Hilsenhoff (1988) 科級生物指標(family-level biotic index, FBI)以評估水質等級。結果顯示南山溪現況水棲昆蟲多樣性最高，同時水質等級為「非常好」，眉溪及東眼溪水棲昆蟲多樣性略低，水質等級也略低為「好」，因此水棲昆蟲除了反應流域生物多樣性面向，亦可作為評估水域環境狀態的指標，作為了解壩體改善在土砂運移改變的狀況下，環境生態所呈現的樣態。

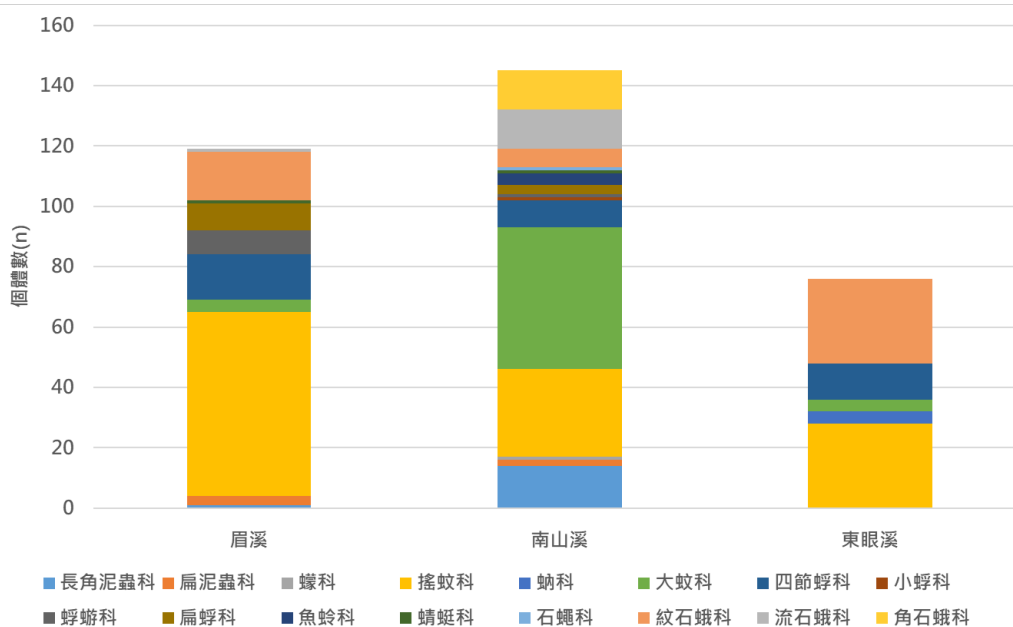


圖 4 眉溪集水區水棲昆蟲

研究目的

眉溪集水區因受上游南山溪及東眼溪的防砂壩過度攔阻土砂下移，產生眉溪持續沖刷的狀況，造成溪床巨石裸露，眉溪兩側護岸及固床工亦面臨需經常性修復基礎，及水域棲地劣化課題。因此，本研究探討藉由防砂壩改善調適策略，恢復溪流的自然營力以增加眉溪護岸及固床工安全及對流域環境影響。

研究方法

本研究分析模式採用 HEC-RAS2D，運用研究監測之水位等實測數據及測量資料率定相關水文水理參數，進行後續進行降雨事件情境分析。河道土砂運移分析模式之模型建立包括：模擬範圍選定、地形建置、水理及輸砂參數設定等。河道模擬範圍，主要為河道區域具治理工程河段。河道地形建置需以模擬案例起始時間之地形測量及河道大斷面測量資料建置模擬區域起始地形。

模式模擬所需之基本資料，包括地文資料(河道斷面、地形、橋梁、堤防、水工構造物、高灘地植生情況、崩場地分佈及歷年疏浚資料等)、水文資料(河道流量、水位、水位流量關係等)及泥砂資料(河床質採樣分析之河床粒徑組成及孔隙率資料、河床沖積層厚度、河段內輸砂量觀測資料等)等三大類，模擬分析說明如后。

水理參數設定則包括：模擬區域糙度係數、上下游邊界條件、水理起始條件(如水位)等。其中，糙度係數可視河床質條件

及治理報告採用之曼寧糙度值設定。上游邊界條件為模擬之降雨事件下河道逕流量歷線，乃由降雨逕流分析結果得知。下游邊界條件則視模擬範圍下游出流區域而定，例如溪流出口直接入海，通常可採用邊界變數梯度變化為零(Zero Gradient)設定；若下游邊界處有水位流量觀測資料，則可採用水位流量率定關係給定；當下游注入水庫或河口，則以水位條件設定。起始條件之設定，乃採用上游初始入流量以定量流模擬至模擬區域皆有收斂值後，以該定量流之模擬結果作為模擬區域之水理起始條件。

輸砂參數設定則包括：起始河床粒徑組成設定、上游來砂量邊界條件、輸砂公式選用等。其中，起始河床粒徑組成，可依模擬區域河床質採樣分析成果給定，若無，則需先以現勘資料判斷。上游來砂量，則可考量以流量-輸砂量關係、清水流、平衡輸砂等條件給定。當模擬區域有輸砂量觀測資料，則可採分析後之流量-輸砂量關係給定。若無觀測資料，而上游較無崩塌事件，河道河床質粒徑大，則上游來砂量可以清水流給定；當上游仍具崩塌事件，則可採河道平衡輸砂條件(即河道最大輸砂量)或崩塌土砂之遞移量給定上游來砂量。輸砂公式通常需透過檢定校核後選定。

(1)模擬範圍

依據治理工程點位、保全對象及歷史深槽位置研訂模擬範圍，南山溪土砂分析之上游邊界位於南山溪福興橋位置上游約 925 公尺處(約夢谷瀑布停車場)，下游邊界為考量眉溪匯流效應影響，納入眉溪河道主流總長約 1,472 公尺，上游邊界位於眉溪南豐橋上游約 395 公尺，下游則延伸至眉溪同德橋下游 40 公

尺。模式率定之地形依據 101 年內政部 5 公尺精度數值地形為初始地形，並以 105 年實際斷面測量率定模式；驗證部分依據 108 年內政部 1 公尺精度數值地形為初始地形，並以 110 年實際測量斷面驗證模式正確性。

(2) 上游邊界

南山溪上游邊界流量，依據水土保持局南投分局 108 年「南山溪上游野溪整治三期工程」水理計算書之三角形單位歷線配合歷史降雨量資料，以單位歷線法推估南山溪流量，而後以比流量法推估眉溪上游之入流量。南山溪子集水區歷史較大降雨事件，以 101 年 0610 水災(圖 5(a))進行模式輸砂公式率定；以 110 年盧碧颱風(圖 5(b))進行模式驗證工作。

(3) 下游邊界

眉溪下游邊界依據模型初始地形之平均坡度($S=0.025$)為參考，作為正常水深之

能量坡降(S_f)輸入條件進行給定。

(4) 曼寧粗糙係數

曼寧粗糙係數參考水土保持局南投分局 108 年「南山溪上游野溪整治三期工程」水理計算書建議，河道區域之曼寧係數採用 0.035。

(5) 河床質

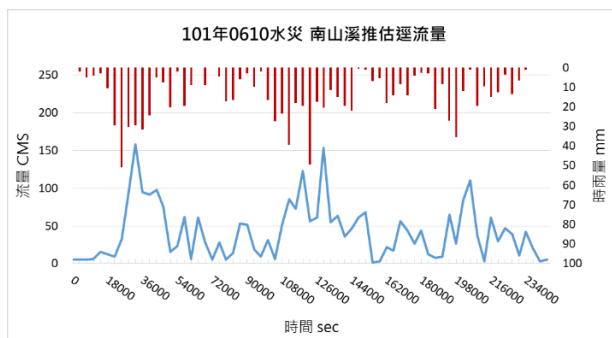
模式之河床質粒徑比例依據本河床質粒徑調查成果，以表 2 之粒徑比例，作為本模式河床質輸入之條件。

(6) 土砂入砂量

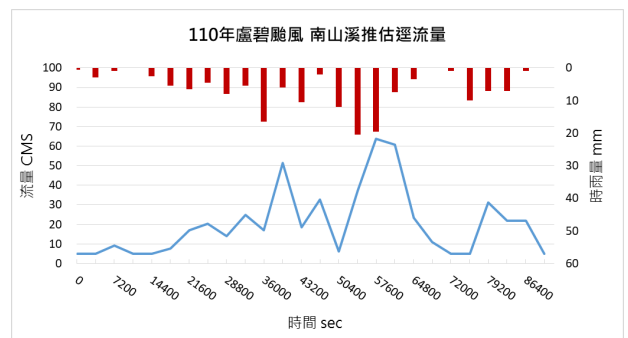
由於集水區上游無歷史之流量含砂觀測資料，故模式以平衡輸砂(Equilibrium Load)條件作為設定，此方法係依據上游邊界位置之粒徑級配及河床輸送能力條件計算土砂入砂量。

表 2 南山溪二維動床模式河床質粒徑表

粒徑別(mm)	0.01	0.075	0.15	0.3	0.6	0.84	1.18
通過百分率(%)	0.00	0.48	0.82	1.91	4.96	7.86	10.87
粒徑別(mm)	2.36	4.75	9.52	12.7	19.1	25.4	76.2
通過百分率(%)	12.04	12.04	12.04	35.44	52.75	67.23	100.00



(a) 民國 101 年 0610 水災



(b) 民國 110 年盧碧颱風

圖 5 南山溪推估洪水歷線圖

動床模式率定成果

1. 輸砂公式率定

輸砂公式率定方式係以不同之輸砂公式進行致災颱風事件河道沖淤變遷模擬，比較模擬成果地形變化趨勢與歷史實測數值地形變化結果，選用接近實際變化者，作為採用之輸砂公式。動床模式採用之溪流輸砂公式，以 HEC-RAS6.3 版本現行提供之 3 種二維輸砂公式，包括：Wu(2000)、Soulsby-van Rijn(1997)及 van Rijn (1984)等輸砂公式進行土砂運移模擬，模式初始地形以 101 年內政部地形 5 公尺數值地形，並以 105 年實際斷面測量成果進行率定，模擬流量以 101 年至 105 年期間南山溪最大之 101 年 0610 水災事件情境假設，以最接近斷面測量之輸砂公式選定做為後續土砂運移模擬之輸砂公式。

2. 率定成果

配合 101 年至 105 年期間南山溪最大

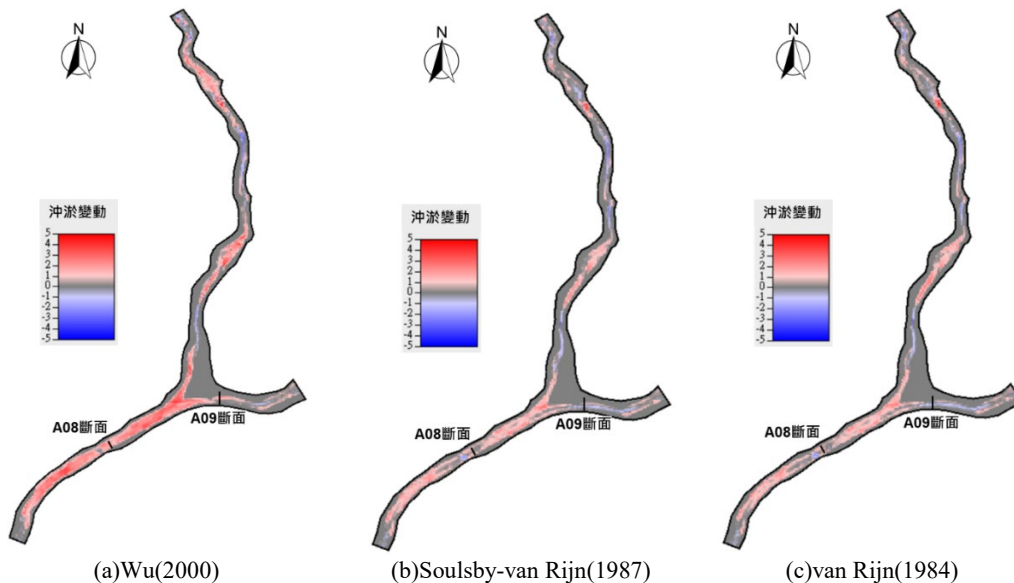
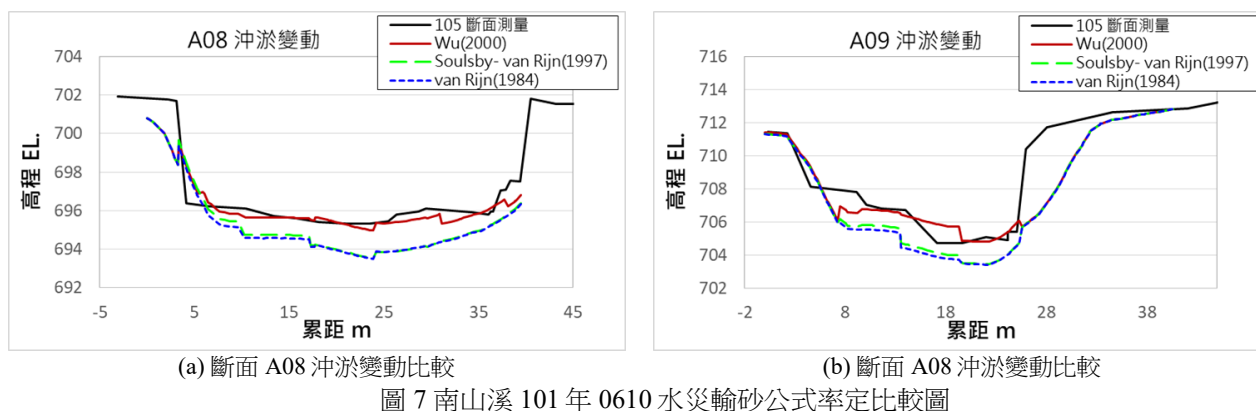


圖 6 南山溪 101 年 0610 水災底床變動模擬成果

之 101 年 0610 水災事件情境之流量進行二維動床水理分析，3 種輸砂公式包含 Wu(2000)、Soulsby-van Rijn(1997)及 van Rijn (1984)模擬結果如圖 6 所示，結果顯示南山溪河道土砂運移受既有河道防砂壩影響，大部分土砂落淤於防砂壩之囚砂庫容區呈現淤積情況，而囚砂區滿淤後之土砂將持續運移直至南山溪出口與眉溪匯流，並於匯流後淤積於河口，河道呈現淤積趨勢。

將 3 種輸砂公式模擬斷面比較民國 105 年實際斷面測量結果可知(圖 7)，3 種輸砂公式皆符合整體河段之沖淤趨勢，尤以 Wu 公式，於模擬區域與實際斷面測量成果趨勢最為接近；Soulsby-van Rijn 公式及 van Rijn 公式河道雖呈現淤積情況，Wu 公式淤積量體與前期模擬底床變動趨勢較接近，故經評估後本集水區選用 Wu 輸砂公式進行後續之土砂運移模擬分析。



動床模式驗證成果

依據本次建置之 HEC RAS 二維動床模型配合前述已率定完成之 Wu (2000) 輸砂公式及相關設置參數，以 108~110 年期間最大降雨事件 0806 盧碧颱風進行動床分析，並以 110 年實際斷面測量資料進行模式正確性驗證。

1.地形資料

驗證階段之模擬範圍與率定階段之範圍相同，上游邊界位於南山溪福興橋位置上游約 925 公尺處(約夢谷瀑布停車場)，下游邊界納入眉溪河道主流總長約 1,472 公尺，眉溪上游邊界位於南豐橋上游約 395 公尺，下游則延伸至眉溪同德橋下游 40 公尺，分析地形資料則採用地形資料完整之 108 年內政部 1 公尺精度之數值地形(DEM)，並依據治理工程竣工圖於初始地形修建地形。

2.模式設定

南山溪二維動床模式水理、輸砂參數設定方式詳見表 3 所示，模式以平衡輸砂(Equilibrium Load)條件作為設定，此方法

係依據上游邊界位置之粒徑級配及河床輸送能力條件計算土砂入砂量，以分析南山溪及其主流眉溪河床 108 年度至今較大之降雨事件盧碧颱風變動情形，地形修建之構造物設定為固定底床(Non-erodible surface)

3.驗證成果

依據本研究建置之 HEC RAS 二維動床模型配合前述已率定完成之 Wu (2000) 輸砂計算公式，配合地形資料時間較大之降雨事件為 0806 盧碧颱風進行動床分析。

(1) 地形斷面驗證成果

動床沖淤模擬結果(圖 8)，南山溪河道運移土砂於盧碧颱風洪水後，既有河道防砂壩攔蓄大部分土砂，其因砂庫容區呈現淤積情況，而眉溪之入流土砂多淤積於南山溪匯流口處下游，其入流口河道呈現輕微沖刷趨勢。

本模式驗證階段將就南山溪之 K01-1 斷面及眉溪之 A09 斷面進行斷面驗證，其模擬結果與 110 年斷面測量成果比較如圖 9 所示，顯示南山溪 K01-1 斷面之模擬結果

底床高程變動與實測斷面趨勢相符，以河岸深槽流心狀況尤為明顯，A09 斷面流心偏向右岸，而斷面 K01-1 流心位置居中，比較模擬成果河床深槽趨勢符合，模擬之沖淤趨勢特性變化亦大致吻合，故本研究採用之 HEC RAS 二維動床模式應適用於本次模擬河段。

(2) 實測水位驗證

水位驗證部分依據本研究建置於南山溪夢谷一號橋之水位計紀錄資料，捕捉較大之降雨事件為 110 年 0806 盧碧颱風，盧

山雨量站觀測紀錄 24 小時最大累積降雨量約 218mm，盧碧颱風觀測最大洪峰水深約 0.81 m。

比較本模式模擬成果，HEC RAS 模擬洪峰水深約為 1.4 m，對照斷面水位約 705.80 m，水位計紀錄盧碧颱風最大洪峰水深約為 705.21 m，綜合考量地形、雨量、水位量測及模式計算等誤差後，本模式應可真實反映現況河道情形，水位驗證通過，橫斷面水位比較成果詳圖 10 所示。

表 3 南山溪二維動床模式參數表

類別	項目	說明
水理參數	糙度係數	南山溪主流採用 0.035。
	上游邊界	南山溪以盧碧颱風推估歷線，眉溪則以集水區比流量法推估。
	下游邊界	以正常水深之能量坡降($S_f=0.025$)作為下游邊界設定參採。
輸砂參數	起始河床粒徑組成設定	依據本研究河床質採樣分析成果，將河床質以表 1 進行輸入。
	土砂入流量	河道平衡輸砂條件(Equilibrium Load)
	土砂運移公式	Wu(2000)輸砂公式

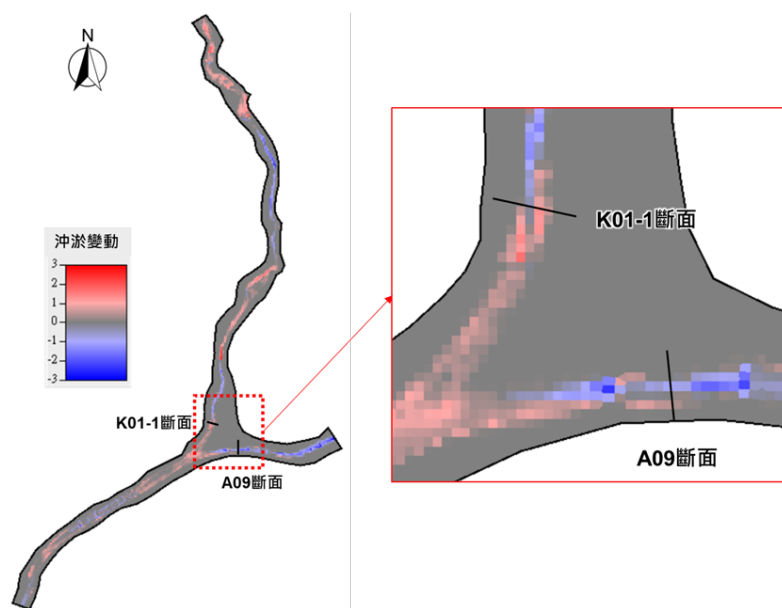
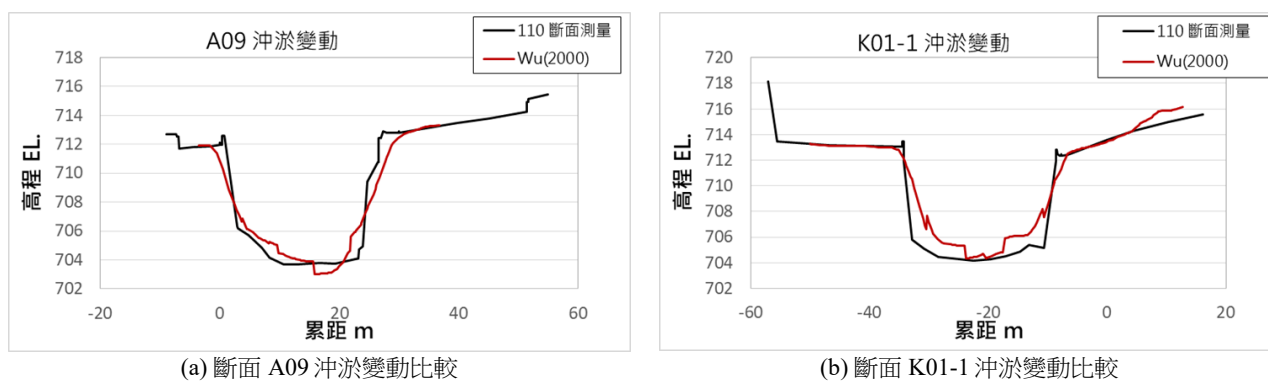


圖 8 南山溪及眉溪盧碧颱風沖淤模擬成果



(a) 斷面 A09 沖淤變動比較

(b) 斷面 K01-1 沖淤變動比較

圖 9 南山溪及眉溪斷面實測值與模擬值比較圖

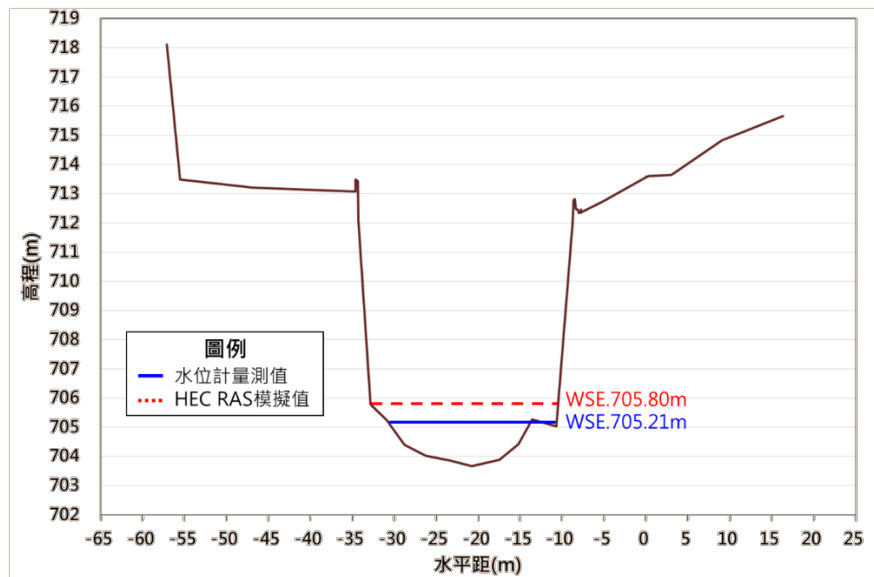


圖 10 夢谷一號橋斷面模擬洪峰水位與水位計量測值比較圖

降壩工程方案模擬成果

南山溪及東眼溪主流於出口與眉溪合流，具有保全對象之區位為沿岸之聚落及聯絡道路，97年辛樂克颱風與98年莫拉克颱風後，南山溪區內產生多處崩塌地而攜出大量土砂，福興橋、夢谷一號橋及護岸遭受掩埋，除了辦理土砂清疏作業及河道兩岸設置護岸，並於上游設置防砂壩以攔阻土砂。爾後歷經多場颱風豪雨，下游部分河段出現嚴重的土砂淤積現象，並已影響溪流之通洪能力，故水保局辦理多期治理工程，施作防砂壩、固床工及護岸等縱橫向工程成效顯著，已將南山溪土砂攔蓄於上游避免匯流口淤積情形。

直至近期水保局南投分局 105 年「眉溪阿里山溪等四處集水區土砂控制測量與監測」計畫成果可知，南山溪下游 0K+500

至眉溪主流河段呈現冲刷趨勢，研判因於 99 及 104 年期間新增之 2 座防砂壩，攔阻土砂於防砂壩上游，且壩體下游河段坡度甚陡，致使下游形成冲刷現象，直至匯流處冲刷現象才稍減緩，故針對現況河道之保育治理課題為南山溪下游至眉溪主河道之低重現期年(<Q5)河道冲刷問題。

1. 工程改善方案研擬

根據上述課題擬定策略，為避免南山溪至眉溪主流於低重現期(<Q5)時河道冲刷影響河岸基礎及河防安全，擬降低南山溪及東眼溪共 4 座防砂壩高程，期使壩體上游之河道坡度增加提升流速，增加底床土砂運移之能量使部分土砂下移，減少低重現期低含砂濃度冲刷，防砂壩降壩位置如圖 11 所示。



圖 11 南山溪及東眼溪既有防砂壩降壩方案位置圖

2. 調適策略效益

(1) 流速變動

降壩前情境下，在 5 年及 50 年重現期流量時，南山溪及東眼溪主流之現況壩體既有防砂壩可攔蓄大部分土砂於庫容區內，且由於防砂壩上游河道坡度受淤積而趨緩，河道深槽流速較低，Q5 情境下南山溪最上游防砂壩流速約 4.5 m/s，Q50 情境約 5.7 m/s。而壩體改善(降壩)後，防砂壩可攔蓄土砂庫容下降，同時影響上游河道坡度，較改善前陡峭亦使流速增加，Q5 情境下南山溪最上游防砂壩流速約 5.8 m/s，Q50 情境約 6.5 m/s。可見降壩後將增加使原本河道坡度增加，造成流速增加。詳圖 12 及圖 13。

(2) 沖淤變動

現況河道情境下，5 年及 50 年重現期流量，南山溪及東眼溪主流防砂壩將攔蓄大部分土砂於庫容區內，而壩體下游則因坡度陡流速快不易形成落淤，致使河道整體呈現沖刷結果。而壩體改善(降壩)後，原本庫容區之土砂向壩體下游運移帶出，並於壩體下游沖刷區域落淤，使河道不致持續沖刷，詳圖 14 及圖 15。

(3) 環境變動

模擬結果顯示眉溪於支流之壩體降壩後，可減緩原壩體高差造成之下游沖刷，降低基礎掏刷危害，且適度將土砂帶往下游原沖刷河段，改善南山溪因壩體高差造成之沖淤不平衡情形。

於 Q5 情境時，一般而言為水流含砂

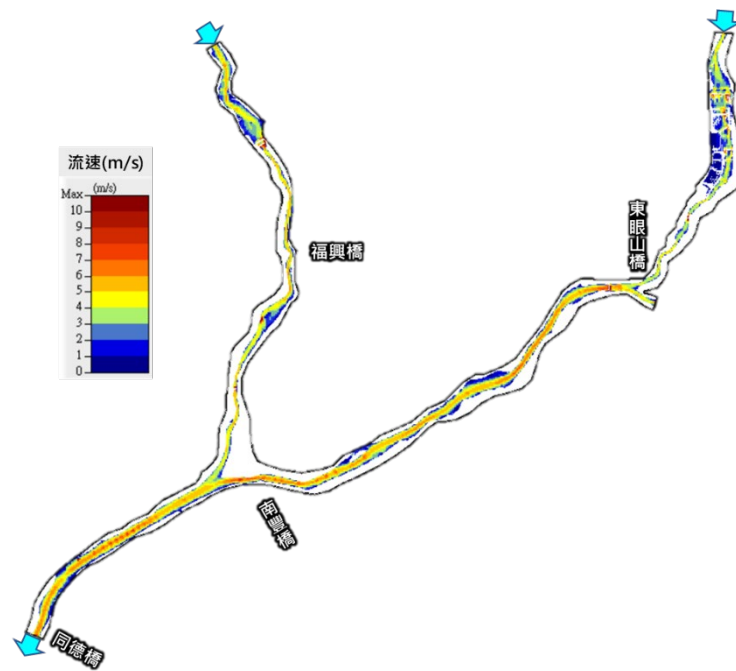
量較低之清水流，因泥砂落淤較少，故沖刷力道較為強勁，出口於現況情境下將產生 46.96 萬 m³ 土砂產出量，而於壩體改善(降壩)後，出口產砂量體為 47.91 萬 m³，增加 0.95 萬 m³，略為減緩眉溪主流匯流後河段沖刷情形。

(4) 生態功能增益

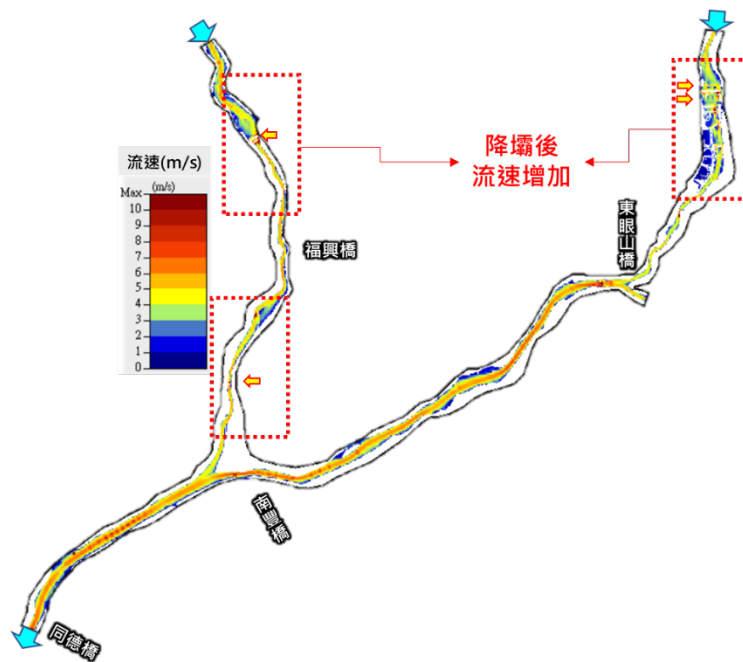
防砂壩的建置對下游生態的影響，是讓上游的有機質無法有效的往下游傳遞，因而降低流域的棲地品質(Poff et al., 1997)，同時魚類亦需要上游的化學物質傳輸作為遷徙訊號(Baran, 2006)，因此壩體調降有助於恢復流域的生態功能。

除此之外，因壩體在流域中的阻斷，讓養分傳輸無法傳輸到下游的情況下，也使下游濱溪帶植被缺乏來自上游的養分。濱溪帶植被具有高效的碳吸存能力(Dybala et al., 2019)，如能調降壩體而恢復流域養分傳輸功能，亦有助於下游濱溪帶植被生長，增加植生復育及碳吸存。

南山溪壩體調降後，由於自然營力的恢復，會在下游落淤過程中增加沙洲面積。經模式分析預計使眉溪主河道能增加沙洲面積約 3192.3 m²，形成濱溪帶植物的著生基質，提供多樣的棲地環境，亦可能有助於增加蝶類覓食沙洲，對流域生物多樣性產生增益。濱溪帶植被底質的碳儲存能力，是重要的生態系服務之一(Rieger et al., 2014)。在眉溪沙洲形成的環境下，增加植被生長的環境有助於有機碎屑埋藏，因此可提升溪流環境的碳儲存量，提升流域的碳匯能力。

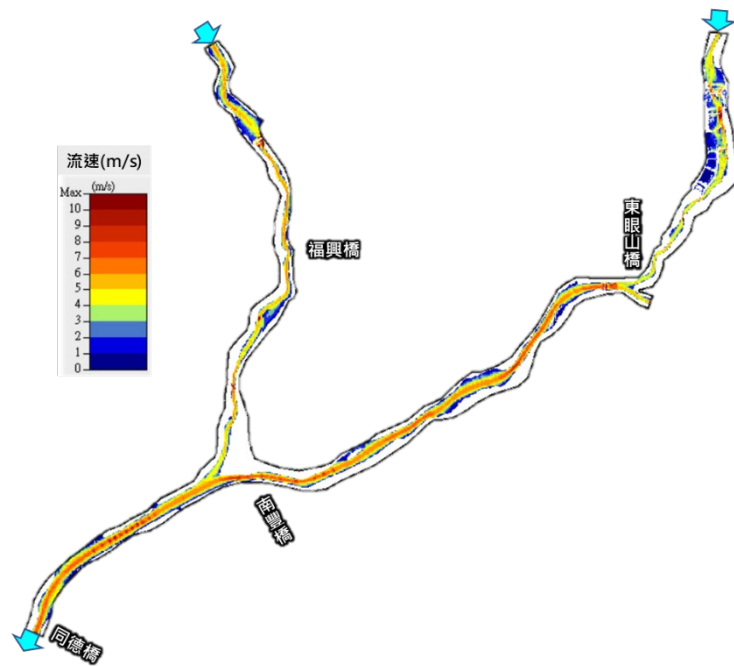


(a) 降壩前

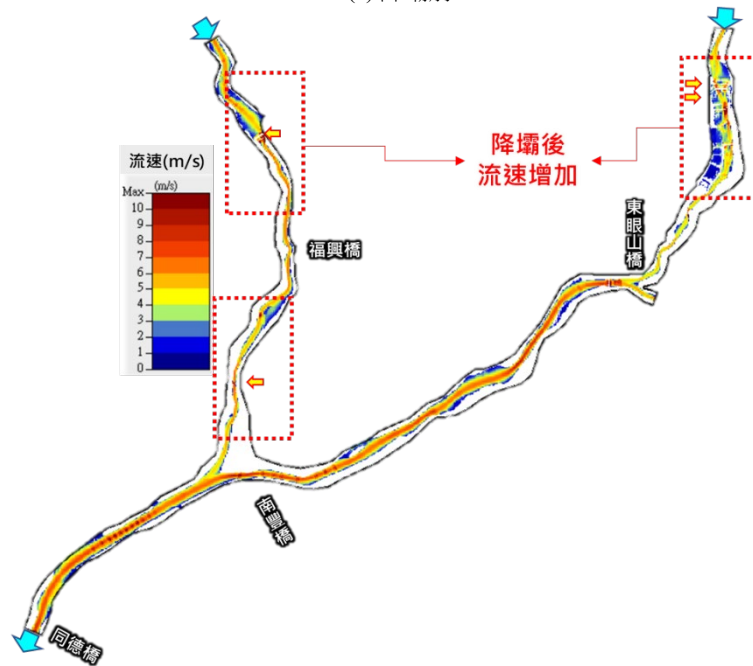


(b) 降壩後

圖 12 南山溪及東眼溪治理策略成效 Q5 流速比較圖

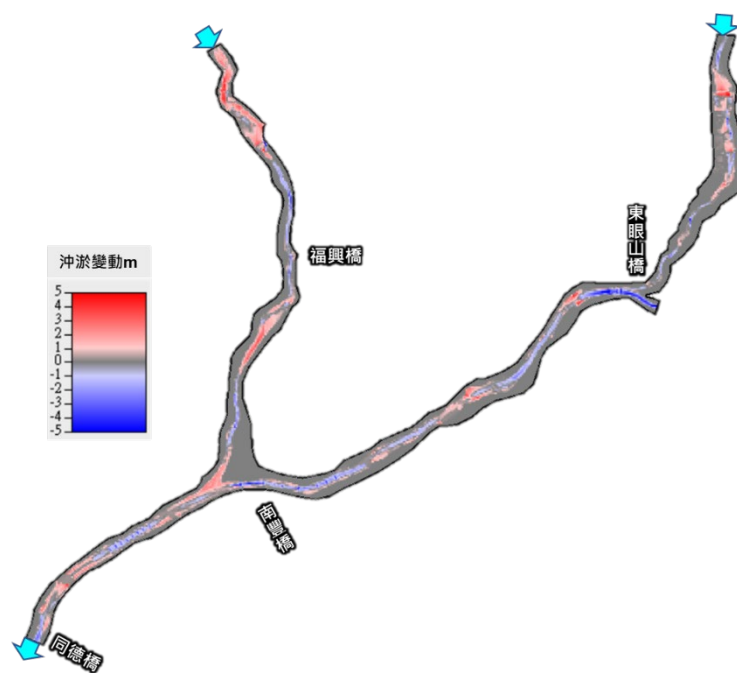


(a) 降壩前

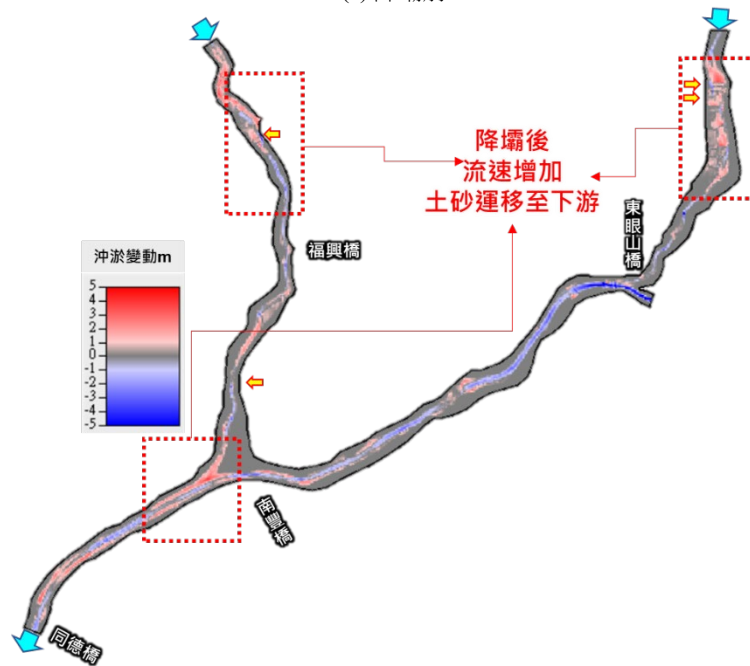


(b) 降壩後

圖 13 南山溪及東眼溪治理策略成效 Q50 流速比較圖



(a) 降壩前



(b) 降壩後

圖 14 南山溪及東眼溪治理策略成效 Q5 沖淤變動圖

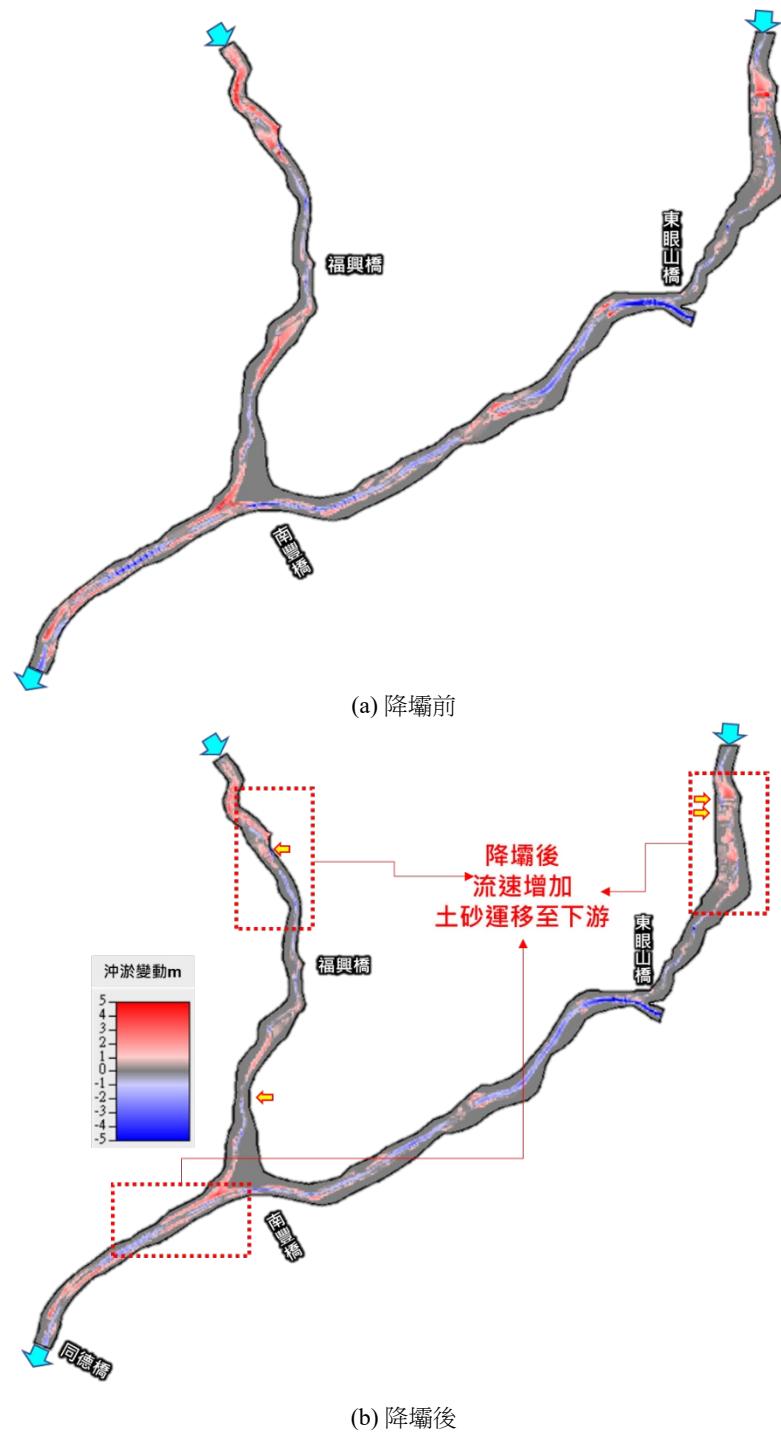


圖 15 南山溪及東眼溪治理策略成效 Q50 沖淤變動圖

結論

1. 本研究以 HEC-RAS 二維動床模式之模擬成果已可有效預測實際河道之沖淤趨勢，本次研究之眉溪及其支流已完成輸砂公式之率定，以 Wu(2000)之經驗式與實際觀測資料較為相近。
2. 南山溪及東眼溪於壩體降壩後，可減緩原壩體高差造成之下游沖刷，降低基礎掏刷危害，且適度將土砂帶往下游原沖刷河段，改善南山溪因壩體高差造成之沖淤不平衡情形，並略為減緩眉溪主流匯流後河段沖刷情形。
3. 預期降壩作業增加眉溪的土砂挹注，改善原有棲地單一化的問題，並能在眉溪主河道增加沙洲面積約 3192.3 m²，形成濱溪帶植物的著生基質，成為生物棲地，對流域生物多樣性及碳匯功能產生增益。

參考文獻

1. 水土保持局南投分局(2016)，「眉溪阿里山溪等四處集水區土砂控制測量與監測」-成果報告書
2. 水土保持局南投分局(2021)，「110年度南投分局重點集水區土砂災害科技監測暨分析評估」-成果報告書。
3. 水土保持局(2022)，「111年度集水區 NbS 調適策略推動專案管理計畫」-期中報告書。
4. Baran, E. (2006), "Fish migration triggers in the Lower Mekong Basin and other freshwater tropical systems."
5. Dybala, K. E., Matzek, V., Gardali, T., and N. E. Seavy (2019), "Carbon sequestration in riparian forests: A global synthesis and meta-analysis," *Global Change Biology*, 25(1), 57-67.
6. Hilsenhoff, W. L. (1988), "Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index," *Journal of the North American benthological society*, 7(1), 65-68.
7. Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. and J.C. Stromberg (1997), "The natural flow regime," *Bioscience*, 47(11), 769-784.
8. Rieger, I., Lang, F., Kowarik, I., and A. Cierjacks (2014), "The interplay of sedimentation and carbon accretion in riparian forests," *Geomorphology*, 214, 157-167.
9. Wu, W., Wang, S. S., and Y. Jia, (2000), "Nonuniform sediment transport in alluvial rivers," *Journal of hydraulic research*, 38(6), 427-434.

111 年 12 月 26 日收稿

112 年 01 月 13 日修改

112 年 03 月 06 日接受