



NPS 調適策略推案例彙編

集水區調適策略推動 案例彙編



行政院農業委員會水土保持局



行政院農業委員會水土保持局
540206 南投縣南投市中興新村光華路6號
<https://www.swcb.gov.tw>

行政院農業委員會水土保持局 編印
中華民國 112年 2月

NbS 調適策略推動手冊

- 案例彙編

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 112 年 2 月

目次

目次	III
表次	V
圖次	VII
第一章 集水區調適策略推動原則	1
第一節 自然解方(Nature-based Solutions, NbS)定義	1
第二節 NbS 概念原則及 7 大社會挑戰.....	4
第二章 集水區調適策略規劃流程.....	8
第一節 NbS 調適策略推動流程.....	8
第二節 集水區調適策略推動主軸.....	11
第三節 NbS 自我評估的 8 大準則及 28 項指標.....	13
第四節 IUCN 之 NbS 案例	21
第三章 集水區調適策略案例彙編.....	36
第一節 大不岸溪示範區	38
第二節 打狗溪示範區	53
第三節 沙河溪示範區	69
第四節 南山溪示範區	85
第五節 樟湖溪示範區	102
第六節 保力溪示範區	117

第七節 台坂溪示範區	130
第四章 結語	146
第一節 集水區調適策略推動建議	146
第二節 NbS 問題釐清	147
參考文獻	150

表次

表 2-1	提高 NbS 使用率的關鍵	10
表 2-2	集水區調適策略四大主軸說明	12
表 2-3	NbS 的 8 大準則及 28 項指標說明	14
表 2-4	美國柯林斯堡卡什拉波德雷河生態恢復計畫的社會挑戰	21
表 2-5	日本宮城縣蕪栗沼濕地永續農業計畫的社會挑戰	25
表 2-6	非洲盧旺達森林景觀恢復計畫的社會挑戰	31
表 3-1	各示範區所屬特性及地質特色簡述	37
表 3-2	大不岸溪示範區之社會挑戰	38
表 3-3	運用 NbS 之 8 大準則評估大不岸溪示範區	38
表 3-4	打狗溪示範區之社會挑戰.....	53
表 3-5	運用 NbS 之 8 大準則評估打狗溪示範區	53
表 3-6	打狗溪集水區調適策略導入規劃方案	62
表 3-7	沙河溪示範區之社會挑戰.....	69
表 3-8	運用 NbS 之 8 大準則評估沙河溪示範區	69
表 3-9	沙河溪濱溪帶區段議題判釋與建議	74
表 3-10	沙河溪集水區調適課題推動區域與策略一覽表	75
表 3-11	南山溪示範區之社會挑戰.....	85
表 3-12	運用 NbS 之 8 大準則評估南山溪示範區	85

表 3-13	眉溪集水區土地利用百分比	87
表 3-14	南山溪示範區課題.....	91
表 3-15	南山溪調適策略建議之協同合作對象及推動順序	94
表 3-16	樟湖溪示範區之社會挑戰.....	102
表 3-17	運用 NbS 之 8 大準則評估樟湖溪示範區	102
表 3-18	傳統治理策略與調適策略比較表	111
表 3-19	樟湖坑溪不同工程內容之碳排放量計算表	112
表 3-20	保力溪示範區之社會挑戰.....	117
表 3-21	運用 NbS 之 8 大準則評估保力溪示範區	117
表 3-22	河川廊道棲地分析混淆矩陣	125
表 3-23	台坂溪示範區之社會挑戰.....	130
表 3-24	運用 NbS 之 8 大準則評估台坂溪示範區	130
表 4-1	NbS 問題說明表	148

圖次

圖 1-1	自然解方(Nature-based Solutions, NbS)概念圖	3
圖 1-2	NbS 的 7 大社會挑戰	5
圖 2-1	NbS 推動流程示意圖	10
圖 2-2	集水區調適策略 4 大主軸與 IUCN 的 7 大社會挑戰對應圖	12
圖 2-3	NbS 的 8 大準則關係圖	13
圖 2-4	NbS 的 8 大準則的自我評估流程	20
圖 2-5	美國科羅拉多州柯林斯堡卡什拉波德雷河的生態恢復計畫	22
圖 2-6	日本宮城縣蕪栗沼濕地的永續農業計畫	26
圖 2-7	一之藏所銷售之蕪栗沼稻米所製清酒	29
圖 2-8	非洲盧旺達的森林景觀恢復行動	32
圖 3-1	大不岸溪與新社海階空拍圖	39
圖 3-2	大不岸溪下游固床工改善試驗前後空拍對照	41
圖 3-3	大不岸溪河口結構物優化前後魚類數量變化	41
圖 3-4	大不岸溪河口固床工現況存在高差之影像	42
圖 3-5	大不岸溪歷年河道範圍套疊	43
圖 3-6	大不岸溪水系 MR 值分布	44
圖 3-7	正射影像判釋大不岸溪歷年崩塌地分布	45
圖 3-8	新社地區沿海海岸線歷年變遷	46

圖 3-9	大不岸溪支流布魯旦溪水砂溢淹區改善模擬	47
圖 3-10	大不岸溪河口右岸緩坡化範圍	48
圖 3-11	河川生態系服務的四個層面	49
圖 3-12	四方林部落位置變遷.....	54
圖 3-13	打狗溪三號壩 0925 豪雨事件後損壞情形	55
圖 3-14	宜蘭縣 2022 年 9 月 25 日降雨分布圖	56
圖 3-15	打狗溪示範區環境現況.....	56
圖 3-16	打狗溪集水區近年崩塌地演變統計圖	57
圖 3-17	打狗溪下游區域左右岸高灘地範圍變化	58
圖 3-18	冬山鄉大進村農地引灌水源可行性規劃打狗溪支流方案圖	59
圖 3-19	打狗溪集水區調適主軸分布圖	61
圖 3-20	打狗溪集水區調適策略導入規劃示意圖	61
圖 3-21	打狗溪集水區 110 年崩塌地分布	63
圖 3-22	緩衝綠帶與水砂溢淹區規劃範圍	64
圖 3-23	打狗溪高灘地緩衝綠帶與水砂溢淹區方案之流速模擬成果	65
圖 3-24	植生淨化槽配置示意圖	66
圖 3-25	打狗溪四號壩切口改善工程示意圖	67
圖 3-26	打狗溪調適策略之河道沖淤變動模擬成果	68
圖 3-27	沙河溪土壤分布圖.....	70

圖 3-28	沙河溪示範區土砂災害資料分布圖	71
圖 3-29	善東橋河道特性示意圖	72
圖 3-30	沙河溪區段生態系服務潛勢與課題評估圖	73
圖 3-31	沙河溪雙合橋至南北橋河段調適策略推動區域	76
圖 3-32	沙河溪南北橋至善東橋下游攔水堰河段調適策略推動區域	77
圖 3-33	沙河溪善東橋上下游河段調適策略推動區域	78
圖 3-34	善東期河段現況二維水砂模擬成果	80
圖 3-35	善東橋河段改善方案一-二維水砂模擬成果	82
圖 3-36	善東橋河段改善方案二-二維水砂模擬成果	83
圖 3-37	南山溪流域歷史事件及環境變化圖	88
圖 3-38	南山溪及眉溪歷史流路及過往土砂災害之沖刷範圍	89
圖 3-39	南山溪示範區受訪人對應 7 大社會挑戰圖	90
圖 3-40	南山溪示範區課題分布位置	92
圖 3-41	南山溪示範區調適策略規劃概念圖	93
圖 3-42	南山溪示範區調適策略規劃項目	95
圖 3-43	南山溪及東眼溪治理策略成效 Q50 沖淤變動圖	97
圖 3-44	南山溪示範區水域生態現況調查以水棲昆蟲為指標	98
圖 3-45	南豐社區之苦茶油產業	99
圖 3-46	混農林型態方式圖	100

圖 3-47	計畫範圍災害及潛勢分布圖	104
圖 3-48	煙寮坑溪河道課題分佈位置圖	105
圖 3-49	樟湖坑溪河道課題分佈位置圖	105
圖 3-50	台牛坑溪上游河道課題分佈位置圖	106
圖 3-51	煙寮坑溪 NbS 調適策略規劃圖	108
圖 3-52	樟湖坑溪 NbS 調適策略規劃圖	109
圖 3-53	台牛坑溪上游 NbS 調適策略規劃圖	109
圖 3-54	樟湖溪示範區集水區調適策略規劃示意圖	110
圖 3-55	植生碳匯降低碳排示意圖.....	113
圖 3-56	煙寮坑溪集水區調適方案模擬水深圖	114
圖 3-57	煙寮坑溪集水區調適方案模擬流速圖	114
圖 3-58	樟湖坑溪集水區調適方案模擬水深圖	115
圖 3-59	樟湖坑溪集水區調適方案模擬流速圖	116
圖 3-60	保力溪出海口正射影像圖.....	118
圖 3-61	保力村竹社段野溪護岸整治工程	119
圖 3-62	保力與四林格山雨量分布圖(2021).....	120
圖 3-63	保力溪 NbS 規劃型態示意圖	121
圖 3-64	水泡柔性工法之示意圖.....	122
圖 3-65	保力林場旁水泡柔性工法潛在運用之水保設施	122

圖 3-66	高屏馬口鐵水深適合度指數分布	123
圖 3-67	高屏馬口鐵流速適合度指數分布圖	123
圖 3-68	高屏馬口鐵底質適合度指數分布圖	124
圖 3-69	水深與流速對應之適合度指標結果	124
圖 3-70	保力溪人工結構物拆除前後棲地適合度(HSI)變化.....	125
圖 3-71	溢淹潛勢區位置圖.....	126
圖 3-72	保力溪水砂溢淹區示意圖.....	128
圖 3-74	台坂溪及拉里吧溪集水區概況	132
圖 3-75	東縣 DF083 潛勢溪流影響範圍	133
圖 3-76	計畫區內大規模崩塌潛勢區地形特徵	134
圖 3-77	台坂溪溪水伏流化情形.....	135
圖 3-78	拉里吧溪無名橋上游固床工下游落差大情形	136
圖 3-79	計畫區全區近自然治理規劃位置	137
圖 3-80	水砂滯洪區規劃圖.....	138
圖 3-81	梳子壩至固床工間河道地形分析結果	139
圖 3-82	水砂滯洪區規劃示意圖.....	140
圖 3-83	水砂滯洪規劃區示意圖.....	140
圖 3-84	水砂滯洪規劃區施作斷面示意圖	141
圖 3-85	農塘活化整體規劃及土地現況	142

圖 3-86	棲地改善規劃區域.....	143
圖 3-87	台坂溪生態基流量模擬結果	144
圖 3-88	構造物緩坡化營造規劃區.....	145
圖 4-1	NbS 調適策略推動建議流程	147

第一章 集水區調適策略推動原則

氣候變遷已成為全球社會挑戰與永續發展目標之重要課題，臺灣在面臨產業結構轉變，都市發展快速，改變環境結構，為因應氣候變遷下極端降雨或乾旱情境，集水區保育治理策略將由工程防治為主，調整為以自然解方(Nature-based Solutions, NbS)為概念進行環境改善作業，主要目標是可持續經濟發展、健康生活環境、水資源保育、恢復退化的生態系統、適應氣候變化和減緩災害衝擊等。透過整合相關環境資料及保育工作推動需求，建立本調適策略推動手冊，並執行示範區推動，以期能掌握 NbS 概念及規劃流程，加強集水區導入 NbS 調適策略規劃及效益評估，以提升水土保持區域社會挑戰、耐受災能力、水土資源保育及生態環境改善等課題。

第一節 自然解方(Nature-based Solutions, NbS)定義

生物多樣性及生態系統服務於國際上逐漸受到重視，而利用或結合自然的減災及調適方法更被認為是能夠永續發展及因應未來變化的趨勢，因此 NbS 正逐漸被廣泛做為氣候變遷下降低災害風險及水資源管理的解決方法。相較於剛性工法僅能達到單一目的，NbS 更能提供許多附加價值(co-benefits)，譬如維持生態平衡、促進經濟及觀光發展以及提升人民參與度等。

聯合國環境規劃署於 2022 年 3 月 2 日在聯合國環境大會 UNEP/EA.5/Res.5 中通過決議，承認自然解方(Nature-based Solutions, NbS)定義為「採取行動保護、養護、恢復、可持續利用和管理自然或經改造的陸

地、淡水、沿海和海洋生態系統，以有效和適應性地應對社會、經濟和環境挑戰，同時對人類福祉、生態系統服務、復原力和生物多樣性產生惠益」，其補充說明如下：

1. 自然解方根據里約三公約「生物多樣性公約」、「聯合國防治荒漠化公約」和「聯合國氣象變化框架公約」，尊重社會和環境保障，包括對地方社區和原住民的保障。

2. 自然解方可根據地方、國家和區域情況實施，符合「2030 年可持續發展議程」，並可進行適應性管理。

3. 自然解方是在全球實現可持續發展目標的總體努力中發揮重要作用的行動之一，具體做法包括切實有效地應對重大的社會、經濟和環境挑戰，如生物多樣性喪失、氣候變化、土地退化、荒漠化、糧食安全、災害風險、城市發展、供水、消除貧困、不平等和失業，以及社會發展、可持續經濟發展、人類健康和廣泛的生態系統服務

4. 自然解方可有助於激發可持續的創新和科學研究。

5. 自然解方可極大促進氣候行動，同時認識到需要分析其影響，包括長期影響，並承認它們不能取代迅速、深入和持續減少溫室氣體排放的需要，但可以改進適應、抵禦和減輕氣候變化及其影響的行動。

6. 自然解方產生的可持續和無害環境的生物基產品、創新和技術的潛力，因為它們有助於可持續消費和生產，有益於自然，並符合關於生物多樣

性、氣候、環境和可持續發展的國際承諾和相關多邊協定，同時認識到潛在的相關風險，包括對地方社區和土著人民的風險

7. 自然解方這一概念為根據「生物多樣性公約」確定的基於生態系統的辦法，以及根據現有國家政策和立法框架實行並根據相關多邊環境協定確立的其他管理和養護辦法。



資料來源：IUCN(2020)

圖1-1 自然解方(Nature-based Solutions, NbS)概念圖

第二節 NbS 概念原則及 7 大社會挑戰

IUCN(2016)為了推動 NbS 的作業框架，讓大眾理解 NbS 概念，提出了八大原則(Principle)，利於對 NbS 定義的了解，原則包含：

原則 1：奉行自然保護規範和原則；

原則 2：策略可獨立實施，也可與應對社會挑戰的其他解決方案（如技術和工程解決方案）結合實施；

原則 3：由特定地域的自然和文化背景決定，包括傳統知識、本土知識和科學知識；

原則 4：公平公正地產生社會效益，提高透明度，促進廣泛參與；

原則 5：維繫生物多樣性和文化多樣性，維護生態系統自然發展的能力；

原則 6：應用於景觀尺度；

原則 7：認識到並解決由發展產生的促進短期經濟利益與長期生態系統服務全面恢復之間的權衡問題；

原則 8：與總體政策方案、措施或行動整合，應對具體挑戰。

調適策略若要被視為 NbS，就必需以綜合方式應對一個或多個社會挑戰。IUCN(2020)將 NbS 的社會挑戰定義為：氣候變遷減緩及適應、減少災害風險、經濟與社會發展、人類健康、糧食安全、水安全及環境劣化與生物多樣性喪失等七項(圖 1-2)。其中更說明如果應對的社會挑戰為生態環境退化與生物多樣性喪失，則在設計調適策略措施時，必需解決至少一個另六項的社會挑戰，以將 NbS 與純粹的自然保育行動做區別。



資料來源：IUCN(2020)

圖1-2 NbS 的 7 大社會挑戰

氣候變遷是現今最大的社會挑戰之一，其可能產生極端降雨、乾旱，甚至疾病及生態系統退化的。人類行為及環境管理的方式，影響自然地景、水資源、土壤及大氣組成等影響，可能造成碳排放增加加速地球暖化。因此 NbS 透過加強保護和管理生態系統的行動，為減緩氣候變遷產生貢獻。「綠碳」是陸地植物透過光合作用，將二氧化碳儲存在植物體及土壤中的碳；而「藍碳」是濕地及海洋生態系生物，包括紅樹林、草澤及海草床所儲存的碳，是地球不可或缺的自然碳匯系統。因此推動 NbS 過程中，這些自然生態系減緩氣候變遷的功能是不容忽視的。

而台灣位於地震帶及颱風通過的主要的路徑上，一年平均會有 2 至 5 個颱風襲台，因此防災減災是台灣必需重視的主要社會挑戰之一。台灣歷年大型災害事件包括民國 88 年的九二一大地震、93 年的七二水災、98 年的芭瑪颱風、99 年的梅姬颱風及 104 年的蘇迪勒颱風等，往往使社會中的生命及財產造成重大損失。同樣的，國外過去十年的重大災害也造成重大的社會損失，美國 2005 年在卡特里娜颶風過後，國會批准了 5 億美元用於恢復其沿海國家公園和鹽沼，因為有證據表明公園和濕地有助於減少災害損失。

日本政府於 2013 年宣佈建立三陸復興國立公園，保護沿海森林形成的緩衝綠帶，這些林地幫助緩解了 2011 年東日本大地震引發的海嘯的影響(Renaud & Murti, 2013)。因此濕地、森林和沿海系統等生態系統可作為保護屏障或緩衝區減少自然災害的物理衝擊。

生態系統、氣候和生物多樣性，越來越被認為是影響人類健康、福祉和社會凝聚力的決定因素(Naeem et al., 2015; Barton and Grant, 2006)。國外研究發現森林和珊瑚礁等生態系統在提供藥物和藥材方面發揮著重要的作用(Stolton and Dudley, 2009; Colfer et al., 2006)，這有助於人類健康和福祉。為了獲取自然對健康和福祉的多重惠益，需要更廣泛的利害關係人合作，以及將自然整合於各級政策領域。

糧食安全是當今世界面臨的主要問題之一(IUCN, 2013a)，雖臺灣位處於副熱帶及熱帶間，氣候合宜適於農作，糧食不易匱乏。但環境劣化伴隨著生物多樣性降低，可能造成病蟲害增加，影響糧食耕作，並使用更多的農藥抑制害蟲，對作物及土地皆產生負面影響。因此，以 NbS 來應對糧食安全問題，包括保護野生遺傳資源(動物和植物)、管理野生物種(尤其是魚類)和供應灌溉用水。透過生態系統恢復、保護和管理以發揮生態系統服務，有助於在自然災害、氣候變化或政治不穩定期間保障糧食供應、獲取和使用(IUCN, 2013b)。具體的實例包括保護植物資源免於病蟲害侵襲(Macleod et al., 2016)、共同解決水和糧食安全問題(Hanjra and Qureshi, 2010)、利用森林

景觀恢復方法(Kumar et al., 2015)以及解決土地保有權問題。

另外僅僅依靠人造設施愈發難以因應未來水安全和抵禦氣候變化影響的能力(Ozment et al., 2015; Dalton and Murti, 2013)。水安全解決方案的需求日益增長，降雨的缺乏及乾旱，地表和地下水的利用量達到或超過可用供應量，這產生沒有額外的水可供生態系統使用或需求，生態基流量缺乏。點源及非點源污染更影響水資源利用，過去臺灣曾發生的烏腳病、鎘米等事件，皆是水污染影響水及糧食安全。山坡地及鄉村地區水資源利用設施缺乏，大多以自行接管的方式，或設置簡易自來水系統，其路徑長受崩塌造成阻塞或斷水，缺乏水資源有效的管理利用。森林、濕地及濱溪地區是涵養水源的重要自然環境，有效保護及恢復有助於降低水資源匱乏的風險。堤防和防砂壩等防洪設施改變自然河流型態，橫向結構物切斷濱溪帶與溪流的連結，亦是導致水域環境退化的主因之一，因此恢復濱溪帶或將水域環境重新連接可以改善水資源管理，同時也保護生態系統價值和功能(Ozment et al., 2015; Opperman et al., 2009)。

第二章 集水區調適策略規劃流程

第一節 NbS 調適策略推動流程

歐盟所出版之 NbS 影響評估從業人員手冊(European Union, 2021)提出監測和評估對於確定實施的 NbS 是否有效應對所確定的挑戰至關重要。NbS 績效和影響評估的主要原則，包括制定適合當地具體情況的可信監測和評估計劃的一般步驟。NbS 項目生命週期評估是一個循環過程而不是順序過程，可能需要在過程中的任何時候重新評估，滾動式修正 NbS 實施策略。

第一步需考量利害關係人參與(Engaging stakeholders)，其行動包含民眾參與、訪談及平台會議等，以了解民眾需求及對環境的看法，並可邀請加入 NbS 行動，規劃參與或公私協力等；第二步為評估(Assessing)，需指認當前議題以及其可能發生位置及根本原因，因此包含環境資源盤點及需解決之社會挑戰或課題，並將系統尺度納入考量，以規劃可解決根本問題的策略方式；第三步為專案規劃(Project planning)，更進一步的確認目標、評估選項、估算成本及效益，使調適策略為經濟可行方案；第四步為行動計畫(Action Planning)，調適策略使度可能涵蓋公私部門，因此針對任務及資源進行指派及分工，可能涵蓋跨機關合作；第五步為實施(Implementing)，實際開始執行明確的專案行動；第六步為監測和評估(Monitoring & Evaluating)，需計算及評估變化程度，並分析成本及效益(圖 2-1)。

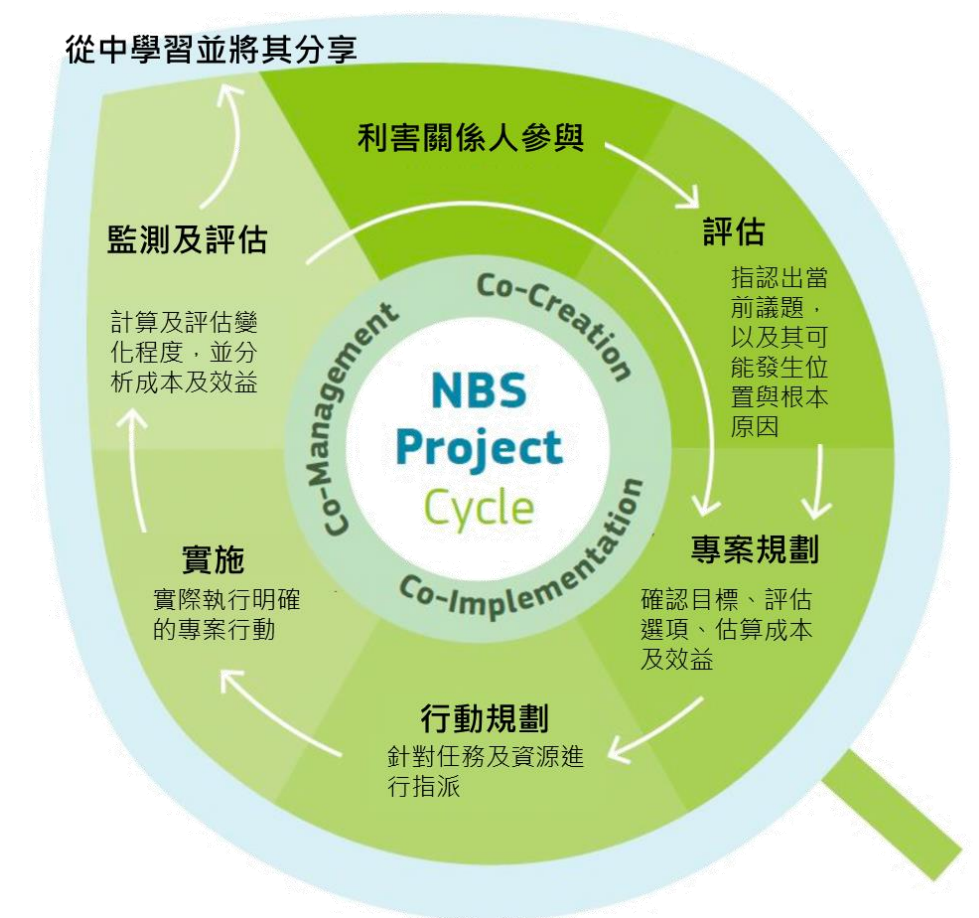
在完成以上 NbS 推動過程後，其累積的經驗、資料可以再運用於下一個欲推動 NbS 之場域，並從中學習及分享，規劃環境教育教案提供民眾或執行人員學習。

歐盟之 Think Nature 計畫(Somarakis et al., 2019)建議提高 NbS 的使用率如表 2-1 所示。包含加強和協調 NbS 的知識和案例，以制定 NbS 標準。因此需在 NbS 的定義、解決目標、效益評估等面向取得共識，才能有效規劃 NbS 調適策略於各個場域當中。

同時制定適用的監測和評估指標，以評估 NbS 之效益是否符合原先規劃預期目標。實際累積經驗及資料亦能運用於其他場域 NbS 規劃，並運用於環境教育當中。跨科學互動和採用參與式方法及有效傳播知識，也是在監測和評估指標累積經驗後，可以進一步規劃及運用的方式。

NbS 目標為一個或多個社會挑戰，因此需要跨領域專業人員的合作，才能達成其目標。因此如何將現有知識和新知識結合，並使其可操作化，是 NbS 推動的關鍵之一。

NbS 的推動可能涉及不同機關的主管範圍，因此法規及制度統一並促進跨單位的協同合作，也包含公部門與私部門的公私協力合作，進而達到創新的合作和治理模式。而 NbS 若能創造融資機會和高效的商業模式，可進一步增加推動 NbS 或民眾參與的誘因。



資料來源：European Union, 2021

圖2-1 NbS 推動流程示意圖

表2-1 提高 NbS 使用率的關鍵

推動 NbS 的建議
加強和協調 NbS 的知識和案例，以制定 NbS 標準。
制定適用的監測和評估指標
跨科學互動和採用參與式方法
現有知識和新知識的操作化
有效傳播知識
創造融資機會和高效的商業模式
法規及制度統一並促進跨單位的協同合作
創新的合作和治理模式

資料來源：Somarakis et al., 2019

第二節 集水區調適策略推動主軸

參考 IUCN(2016)提出 NbS 面對的七大社會挑戰，將其與集水區調適策略規劃可能在水土保持工作上所面臨的課題，篩選出四大類分別為水砂災害減輕、農地水土保持、水土資源保育及生態棲地改善。

水砂災害減輕課題中，包含降低或防範颱風、豪雨、地震等天然災害，保護人民及財產安全。臺灣過去曾發生許多自然災害，包含民國 88 年的九二一大地震、93 年的七二水災、98 年的芭瑪颱風、99 年的梅姬颱風及 104 年的蘇迪勒颱風等，產生的水砂災害往往使社會中的生命及財產造成重大損失。在氣候變遷下，極端的降雨或乾旱事件可能再度發生，是不可輕忽的社會挑戰。

農地水土保持課題中，保護農地水土資源利用及社區之生活、生產結構，並結合社區文化，促進經濟與社會發展。水保局轄區多為農業地區，農業活動可能會對環境產生壓力，也間接影響人類經濟活動，影響土地與水資源，因此也是降低水土保持原因之一。

水土資源保育課題中，需建構安全坡面、緩衝綠帶及滯蓄滯洪等處理措施，提高坡地綠覆保水功能。上游的山地自然崩塌，可能改變下游的水系結構，亦可能產生侵蝕或淤積的危害，維護山區自然坡地的水土保持功能，是環境永續的根本策略。

生態棲地改善課題中，建議改善生物棲地，增加集水區橫向及縱向藍綠網絡連結，並避免棲地破碎化，以維護生物多樣性。人為建造的橫向或縱向

結構物，可能阻斷生物廊道，形成棲地破碎化或是遷徙障礙。台灣生物多樣性豐富，淺山地區有許多珍貴動植物棲息，健康的棲地亦提供多樣的生態系統服務，因此生態棲地改善除了是保護原生物種外，也是維護自然資源、水土保持及氣候變遷調適等重要工作。

在進行集水區調適策略規劃時，建議依照課題類型，區分所屬主軸，釐清彼此間的因果關係及了解課題發生位置，以幫助了解集水區欲改善之目標及與在地民眾溝通，並提出相應解決對策。

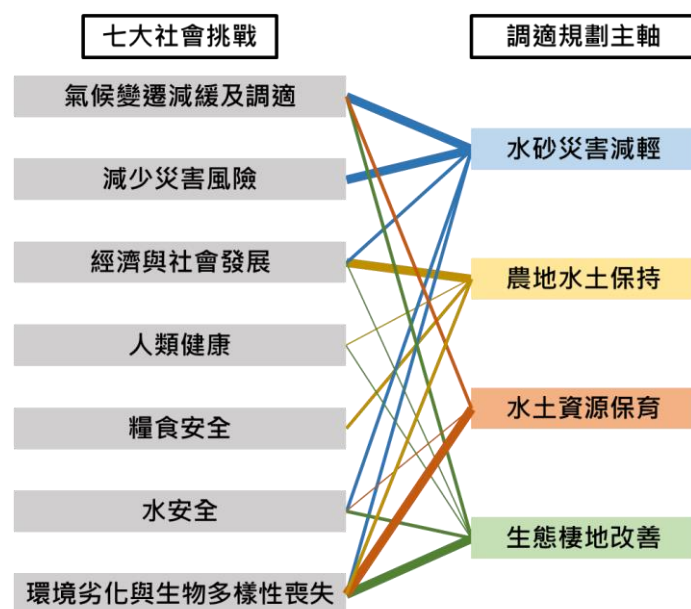


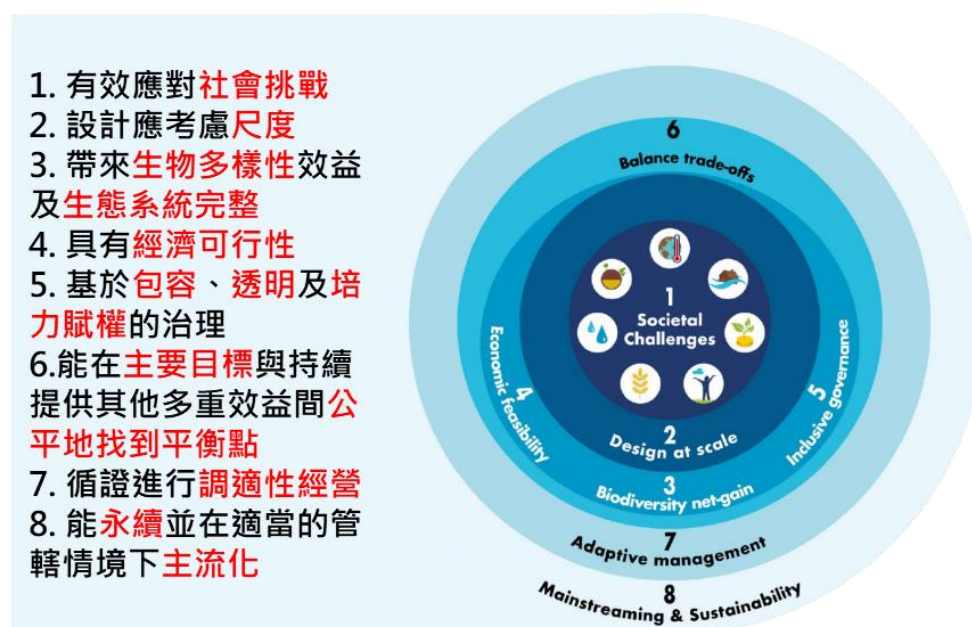
圖2-2 集水區調適策略 4 大主軸與 IUCN 的 7 大社會挑戰對應圖

表2-2 集水區調適策略四大主軸說明

主軸	說明
水砂災害減輕	降低或防範颱風、豪雨、地震等天然災害，保護人民及財產安全。
農地水土保持	保護農地水土資源利用及社區之生活、生產結構，並結合社區文化，促進經濟與社會發展。
水土資源保育	建構安全坡面、緩衝綠帶及滯蓄滯洪等處理措施，提高坡地綠覆保水功能。
生態棲地改善	改善生物棲地，增加集水區橫向及縱向藍綠網絡連結，並避免棲地破碎化，以維護生物多樣性。

第三節 NbS 自我評估的 8 大準則及 28 項指標

IUCN(2016)為了發展 NbS 的作業框架，並且避免環境規劃行動背離 NbS 理念，提出了 NbS 的八大原則(Principle)。並在 2020 提出 NbS 全球標準(global standard)，用以判斷 NbS 的設計是否遵循國際標準，此標準主要針對 NbS 驗證、設計和尺度升級提出系統性學習框架，目的在於作為設計 NbS 時的參考指南且提供為一個檢驗所設計之 NbS 是否達到國際自然保護聯盟(IUCN)標準之要求的工具，透過檢驗、修正並改進其應用設計使得該 NbS 的決策更具說服力，同時更期望可促成全球使用者社群藉彼此經驗互相啟發。該標準包含 NbS 設計的 8 大準則和其對應的共 28 個指標，其中為利於理解準則及指標意涵，提供 IUCN(2020)書件所提供之說明，如圖 2-3 所示及表 2-3 所示。



資料來源：IUCN (2020)

圖2-3 NbS 的 8 大準則關係圖

表2-3 NbS 的 8 大準則及 28 項指標說明

準則	NbS 準則及其對應之指標	說明
1	NbS 能有效應對社會挑戰	● 目的是確保 NbS 被設計為對社會挑戰的回應，該社會挑戰已被那些正在或將受到直接影響的人確定為優先事項挑戰。所有利害關係人，都必須參與用於確定優先挑戰的決策過程(準則 5)。
1.1	優先考慮權利人和受益人最急迫的社會挑戰	➤ NbS 的介入必須解決明確、對社會重要且有可證明的影響的挑戰。識別緊迫社會挑戰，最好要藉由一個透明、包容的協商過程(準則 5)，因為策略可能影響系統外的利害關係人，產生不同意見。
1.2	清楚理解、記錄要處理的社會挑戰	➤ 針對需要解決的挑戰建立明確的理解和理由，確定這些挑戰有被記錄下來，這對於未來優化這些策略以促進人類福祉成果(1.3)很重要。NbS 通常會產出許多社會效益，如創造工作機會或增加生態系服務，這些額外效益也應該被記錄下來。
1.3	識別、設立基準並定期評估自然解方對人類福祉產生的成效	➤ NbS 必須產出對人類福祉有形且具有實質性的效益。應該妥善使用 SMART 目標(明確、可測量、可達成、實際、即時)，因為他們對於問責制和適應性管理很重要(準則 7)。
2	NbS 的設計會注意尺度問題	● 此準則目標為鼓勵 NbS 的設計中，對發生在動態陸地、海洋景觀的複雜性和不確定性有認識。尺度應用不僅止於生物物理或地理的觀點，同時也會影響經濟系統、政策框架和文化觀點重要性。 ● NbS 設計將會根據利害關係人對陸地、海洋景觀不同方面之間相互作用的了解，使用考慮陸地/海洋景觀各部分的三尺度框架。了解影響的各項因子(如:文化價值、法律、土壤、森林和水等)之間的交互作用很重要，因為他們與評估非預期變化之風險或產生理想變化的可能性有關。
2.1	NbS 的設計承認並回應經濟、社會和生態系之間的相互作用。	➤ NbS 的成功將不僅取決於技術上的介入，關鍵在人、經濟與生態系統間的交互作用被如何理解與反應。為使解決方式持久並

準則	NbS 準則及其對應之指標	說明
		延續，NbS 的設計需要一個「系統」框架來認可和解決這些類型的交互作用並且將他們建構到決策過程中。
2.2	NbS 的設計會與其他互補的人為介入措施整合，並尋求跨部門的協力增效。	➤ NbS 會尋求和其他類型的介入措施合作並相互補充，例如工程項目、資訊科技、財務措施等。這類互補行動本質上需要根據個案的具體情況和內容確認跨部門合作。
2.3	NbS 的設計包含入為介入地點之外的風險識別和風險管理。	➤ NbS 有潛在的正面或負面影響，或是受利害關係人、利益和介入區以外的生態系統影響。為讓解決方案持久並延續，決策過程中需要理解和考慮系統外的活動。適當的風險管理選項應納入在介入設計中。
3	NbS 會帶來生物多樣性淨增益及生態系完整性	● 作為自然系統衍伸的商品和服務，NbS 高度依賴生態系統的健康狀況。生物多樣性喪失和生態系統變化會對系統的功能和完整性產生重要影響。因此 NbS 的設計和執行需要避免破壞生態系的完整性，主動尋生態功能和連結性等增益。
3.1	NbS 的行動直接回應生態系現況、劣化和喪失主要驅動因子的實證評估。	➤ 為了發展利用自然的解決辦法，必須要對相關生態系統的現況有充分的了解。基礎的評估需要足夠，以描述生態狀態、生態系統損失的驅動因素和淨效益，盡可能地利用當地知識和科學理解。
3.2	以明確、可衡量的方式識別、制定基準並定期評估生物多樣性保育的成效。	➤ 為 NbS 的設計、監測和評估，應制定提高關鍵生物多樣性價值的目標。對於各個 NbS，目標類型可能不同例如，目標可以是恢復生態系統面積的百分比或恢復關鍵物種。
3.3	監測要包括定期評估 NbS 對自然造成的意外不利影響。	➤ 生態系是複雜的，具有相互依存的組成和過程。生態系統對於特定介入措施或其他外部改變如何反應仍存在一定程度的不確定性。因此在 NbS 的設計和監測上，要能夠減輕策略本身的非預期、可能破壞生態的風險。
3.4	識別強化生態系完整性和銜接性的機會，並將之納入 NbS 的策略。	➤ 使用 NbS 可以為增加生物多樣性保育和生態系管理成果提供機會，其他類型的介入（如傳統工程）無法實現。倘若要在貼近自然系統的地方執行解決方法，而這些

準則	NbS 準則及其對應之指標	說明
		生態系統是為保育成果而明確管理的，那麼 NbS 的設計應該能夠實現更大的生態系統連通性。此外，經由設計可以復育劣化的生態系統中。
4	NbS 具經濟可行性	● 投資報酬、策略效益、利益與成本分配的公平性是決定 NbS 成功的關鍵因素。應在設計階段和透過監測實施階段，對於策略的經濟可行性進行充分的考量。 ● 為了讓 NbS 延續，經濟層面的考量需深思，如長期收益必須和短期成本平衡，短期行動是建立在長期的目標與計畫。 ● 如果經濟可行性無法解決問題，NbS 可能淪為短期的計畫，在計畫結束後，解決方法和它所提供的利益就不復存在，可能從社區或地景上消失，或是回到比過往更糟的狀況。
4.1	識別、記錄與自然解方相關的直接、間接效益和成本、付費者和受惠者	➤ 隨著時間的推移，確定和紀錄所獲得的主衍生利益，包含他們直接與間接、財務和非財務因素，是評估經濟可行性的關鍵部分。這些訊息應該根據誰獲得收益和誰承擔成本來區分。
4.2	進行成本效益研究（包括相關法規和補貼所可能產生的影響），做為選擇 NbS 的依據。	➤ 大量投資在前期費用，而沒有考量到長期的經濟和財務永續，容易對介入的可行性造成負面衝擊。成本效益的研究不僅可以根據預期建議的介入措施，隨時間推移的預期長期收益檢驗透入費用和管理費用。
4.3	在考慮所有相關外部成本後，NbS 設計的效能仍優於替選解方。	➤ NbS 具備以兼具經濟可行性與經濟效益的方式解決至少一個社會挑戰的能力。代表這個解決方法的成本效益和負擔能力必須被測試。
4.4	NbS 的設計考慮市場的、公部門的、自願的承諾和行動等資源組合的選擇以遵守法規。	➤ NbS 同時為不同的利害關係人提供多種利益這一事實可能會限制某些資金來源，從而破壞干預措施的長期可行性。例如，私人投資者可能不想承擔提供公共產品的成本，或者機關可能不願意為私人獲得的收益支付成本。資金來源包括公部門、貸款、私部門貸款、公私協力和捐款等，需反應風險和回報的公平分配。

準則	NbS 準則及其對應之指標	說明
5	NbS 是基於包容、透明及培力賦權的治理過程	● 這個準則需要 NbS 認可，包容及回應眾多利害關係人，特別是握有權利的人。 ● NbS 必須遵守現行的法律和監管規定，明確法律責任和義務所在。然而，與自然資源的情況一樣，管理需要輔之積極參與的地方社區。
5.1	在啟動 NbS 人為介入措施前，要為所有權益關係人備妥一個明確且完全商定的反饋和申訴解決機制。	➤ 回饋和申訴解決機制可以包括正式的、合法的或非正式的非法律投訴系統，這些系統根據一套明確的程序、角色和規則運作，用於接收投訴和提供補救。它們應該以可預測和公平的方式運作，並以參與和對話為基礎。
5.2	參與的基礎是相互尊重和平等，不分性別、年齡或社會地位，並維護原住民自由事先知情同意的權利 (FPIC)。	➤ 為了使治理安排有效運作，所有受影響的利害關係人都需要在正確的時間獲得正確的信息，並且需要有意義地處理他們提供的輸入。確保傳統上被排斥的群體以維護其尊嚴和鼓勵他們參與的方式積極參與這一進程。當 NbS 介入在原住民的土地和領土上運作或產生影響時尤其如此，他們的自決權和結果應遵循 FPIC 協議(原住民的自由事先知情同意權(Free, Prior and Informed Consent, FPIC))。
5.3	查明受到 NbS 直接、間接影響的權益關係人，並讓他們參與自然解方人為介入措施的所有過程。	➤ 利害關係人的分析確定那些可能直接或間接、積極或消極地受到 NbS 影響的人。這使得介入能夠為受影響的利害關係人提供參與、參與設計和實施的機會，明確倡導維護他們自己的權利和利益。
5.4	在決策過程記錄並回應所有參與方和受影響的權益關係人之權利和利益。	➤ 透明且合宜的文檔記錄了 NbS 決策程序中的關鍵步驟。並在任何爭議或分歧時進行討論。應特別注意哪些利害關係人參與了決策制定以及他們發揮的作用，應鼓勵有效的民眾參與。
5.5	如果 NbS 的尺度超出管轄範圍，則要建立機制，使受影響轄區的權益關係人共同參與決策。	➤ 生態系統邊界不遵循行政邊界。在適當的情況下，跨部門合作促進 NbS 的規劃和實施。
6	NbS 能在達成主要目標與持續提供多重效益的得失間，公平的找到平衡點	● 土地和自然資源管理的權衡是不可避免的。生態系提供價值，但並不是每個人都了解他們的價值。雖然無法避免權衡取

準則	NbS 準則及其對應之指標	說明
		捨，但可以有效和公平地管理它們。 ● 受影響最大的利害關係人應進行可靠的評估、充分溝通和協議。潛在受影響各方就當地機會和生計的任何損害或權衡進行公平和透明的權衡和補償談判。 ● 權衡取捨具有社會和生態限制，超過該限制，某些價值或利益可能會永久喪失。這意味著必須採取保障措施，以確保生態系統的完整性和生態系統服務的長期穩定。
6.1	明確了解與 NbS 人為介入措施的潛在成本、效益及其得失，並明確告知保障措施和所有適當的糾正措施。	➤ NbS 的關鍵功能是確保必要的權衡不會對社會中最弱勢群體產生負面影響。充分了解權衡的成本效益，廣泛分享，並定期重新審視 (6.3)
6.2	承認並尊重不同權益關係人土地和資源的權利、使用、取得及其責任。	➤ 需要尊重和維護地方居民獲取、使用和控制土地和自然資源管理的習慣權利。應使用適當的工具(5.3)，分析和評估利害關係人與 NbS 相關的權利、使用和責任。這在處理原住民社區時尤為重要 (5.2)。
6.3	定期檢討既定的保障措施，以確保各方遵守商定的得失底限，並且不致破壞整個自然解方的穩定	➤ 在風險不可避免的情況下，必須制定保障措施並定期審查，以預測和避免介入措施的不利後果。NbS 設計和策略需要明確說明將解決誰的利益和成本問題，包括何時以及如何對此進行審查。
7	NbS 循證(依證據)進行調適性經營	● NbS 實施計劃包括啟用適應性管理，作為對不確定性的因應和作為有效利用生態系統韌性。 ● 適應性管理的基礎是定期監測和評估提供證據基礎，利用科學理解以及原住民、傳統和地方知識。
7.1	建立 NbS 的策略並以此做為定期監測和評量人為介入措施的基礎。	➤ 對預期目標的精確預測以及如何透過行動實現這些目標。應該告知當前的經濟、社會和生態條件，並清楚地說明這些條件預計如何產生影響。
7.2	在人為介入措施的生命週期中發展並執行監測和評量的計畫。	➤ 監測和評估是了解 NbS 策略是否有效實現預期結果並因應社會挑戰。如果 NbS 與其他介入措施或方法具有協同作用，則應將其包含在監測和評估計劃中。
7.3	在人為介入措施的生命週期中應	➤ 基於證據的學習應該運用在 NbS 的推

準則	NbS 準則及其對應之指標	說明
	用反覆學習的架構，以促成調適性經營。	動。指標 7.1 和 7.2 提供了一個持續的回饋循環來學習和調整 NbS 策略。
8	NbS 為永續的並在適當的管轄情境下主流化	● NbS 的設計和管理重點於長期可持續性，並且考慮到部門、國家和政策框架。
8.1	分享 NbS 的設計、執行及經驗教訓以引發轉型的變革。	➤ 創新變革的特點是政策或計劃主流化。因此設計和推動過程應記錄經驗教訓，並向有興趣的個人和利害關係人提供經驗教訓。
8.2	NbS 注意並強化政策和法規架構，以利社會接受和主流化。	➤ NbS 的實施受一系列政策、法律和部門法規約束。不適的政策和法規可能會限制 NbS 的推動。因此需了解政策和法律限制，以及與地方或國家決策者以及利害關係人合作。
8.3	NbS 為國家和全球的人類福祉、氣候變遷、生物多樣性及人權目標(包括《聯合國原住民族權利宣言(UNDRIP) 》)作出貢獻。	➤ NbS 可以為國家經濟、社會和保護目標做出重大貢獻，並幫助國家在氣候變化、人權、人類發展和生物多樣性等面向等國際進程上實現國際的承諾。使這些關聯明確、記錄和傳達它們，有助於進一步強化 NbS 的推動及長期的可持續性。

資料來源：IUCN (2020)

IUCN(2020)在 NbS 全球標準提供自我評估工具(圖 2-4)，使 NbS 推動的從業人員能夠評估調適策略與 NbS 八大準則的遵循程度，並確定調適策略是否符合 IUCN 的 NbS 全球標準。每一個指標，分為強力遵循(大於 75%)、足夠遵循(50%-75%)、部分遵循(25%-50%)和不遵循(低於 25%)的四種等級。然後對這些指標等級進行標準化處理，使每個準則具有相同的權重，得出總體遵循程度的百分比。但不論總體遵循程度高低，若調適策略在任一項準則的評估為「不遵循(低於 25%)」，則該調適策略將不符合 IUCN 的 NbS 全球標準。

同時 IUCN(2020)建議應在計畫推動週期的不同階段根據 NbS 的標準進行自我評估，其中不應把自我評估視為對 NbS 計畫的一種評判，也就是自我評估不是用以代表各專案計畫間的比較分數，而是用以幫助確定 NbS 推動過程中，可能出現缺失、不足之處，從而進行改善或調整。

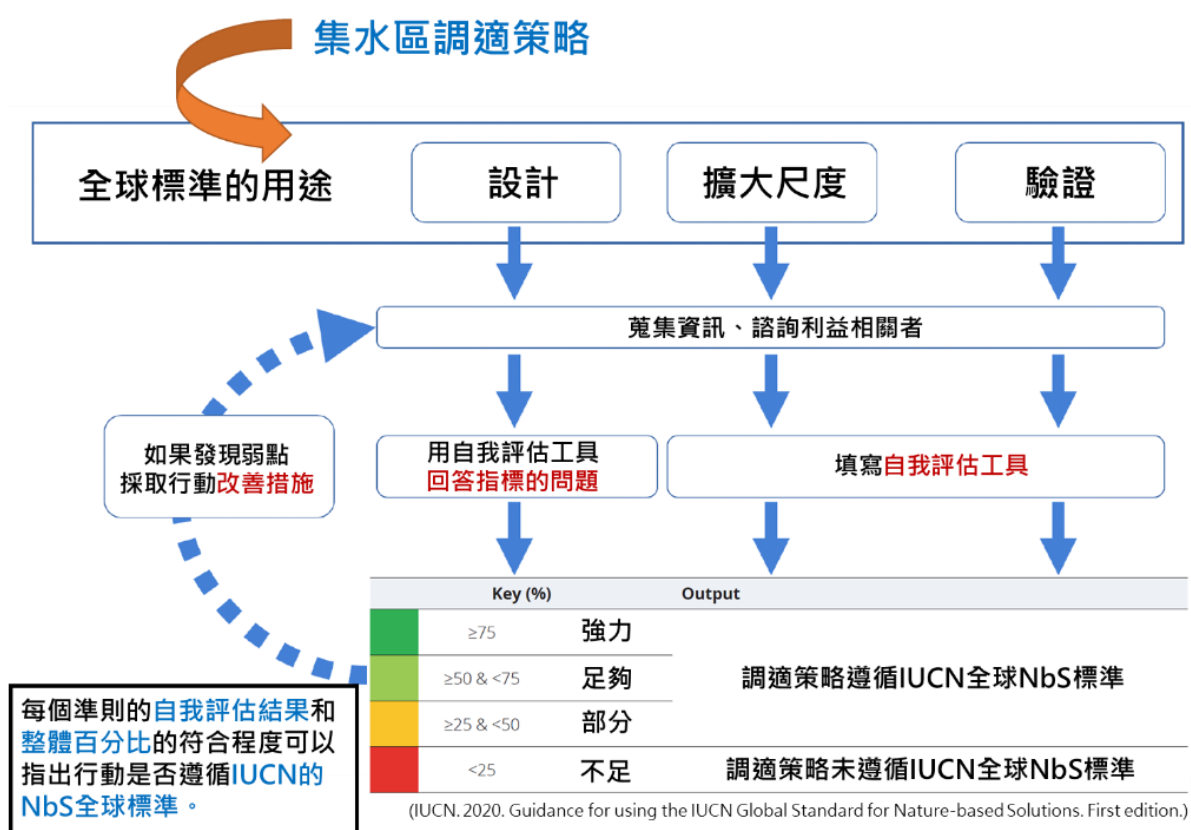


圖2-4 NbS 的 8 大準則的自我評估流程

第四節 IUCN 之 NbS 案例

本手冊彙整 IUCN(2016)所分享的 NbS 推動案例，以作為集水區調適策略推動時的參考案例及經驗學習，依照案例所分享的背景、主要行動、計畫成果及經驗學習進行彙整說明。

一、美國柯林斯堡的卡什拉波德雷河生態恢復計畫

在美國科羅拉多州柯林斯堡的卡什拉波德雷河的案例中，機關與地方民眾取得共識以移除流域中的人工結構物，藉以思考水土保持局轄區集水區防砂壩及固床工，在因應氣候變遷下可進行的溪流復育作為。

表2-4 美國柯林斯堡卡什拉波德雷河生態恢復計畫的社會挑戰

	氣候變遷調適	水安全	減少災害風險
社會挑戰			

(一) 案例背景

卡什拉波德雷河(Cache la Poudre River)是一條季節性融雪河流，發源於洛磯山脈，向東流入低海拔平原。卡什拉波德雷河對柯林斯堡人口早期移居和地方發展的歷史發揮重要的作用。但現今卡什拉波德雷河曾經的洪氾區及周邊土地利用方式的改變，包括採砂和都市化發展，降低了河水在河道中沖刷和沉降沉積物的能力，同時限制了洪氾區的自然通洪，無法很好地輸送

水和重要養分，滋養河岸植被。這如同臺灣許多野溪面臨現況，在流域中的土地利用或是人造結構物，限制了河溪自然的流水空間，亦壓縮原有濱溪帶植被的生長空間。

因此柯林斯堡市透過大規模的規劃，對流域進行投資，收購了卡什拉波德雷河洪氾區約 700 公頃的土地。於 2011 年導入了 NbS 的河流生態恢復計畫，包含斯特林池(Sterling Pond)生態復育計畫及麥克默里(McMurry)自然保護地生態恢復計畫，兩個計畫於相鄰區域，位處於柯林斯堡市中心的上游。



圖2-5 美國科羅拉多州柯林斯堡卡什拉波德雷河的生態恢復計畫

(二) 主要行動

斯特林池(Sterling Pond)和麥克默里(McMurry)恢復計畫的首要目標是移除採砂作業期間為防止河水泛濫而在沿岸建造的人工護岸。這些工程改變了河流及其自然營力，使其功能失調。高聳的護岸使河道與洪氾區分離，也因此河道受限加重使河岸侵蝕增加，破壞了濱溪帶植被和生態。

斯特林池生態恢復計畫涵蓋了波德雷河 600 公尺長的河段，流經過去因採砂作業形成的人工池。在計畫的下游，最初為農田灌溉而建造的堤壩，

如今已廢棄廢棄成為生態系統和河流物理過程的障礙。因此，斯特林地區的生態恢復計畫包含三個關鍵策略：(1)降低河岸高度從而拓寬河岸帶並將河流與其洪氾區連接；(2)池中新增淺水濕地環境；以及(3)拆除廢棄的堤壩。

科羅拉多水資源保護協會（推廣恢復河流生態的 NGO 組織）和柯林斯堡市合作拆除了橫跨河流的混凝土堤壩。拆除堤壩的目的是恢復自然的河水流動，使魚類能夠通過，並提升作為魚類棲息地的河床。拆除堤壩後，團隊恢復了大約 150 公尺的河溪樣態。壩後堆積的沉積物經過挖掘，重新分佈在河道和上游河岸上，加強穩定性。

麥克默里生態恢復計畫中，麥克默里自然保護地佔地 18 公頃，包括 800 米長的河段和兩個相鄰的採砂池。和斯特林計畫一樣，主要目標是降低河岸，在採砂池中重溪營造濕地，復育濱溪帶植生。復育計劃包含種原生種濕地植被及洪氾區，過去因建造人工構造物使洪氾區得不到水、養分和沉積物，使濱溪帶植被所剩無幾。為了方便民眾使用和管理，計畫設計一條步道和捕魚區。如今成為柯林斯堡居民和遊客的休憩場所。

(三) 計畫成果

兩個計畫都對人工結構物進行了拆除，並將河段重新連接到洪氾區。堤壩的拆除帶來了多種生態效益，包括降低河水溫度、連結縱向魚類棲地，以及提高休閒獨木舟的安全。計畫還規劃了休憩功能，該市的自然保護區管理部門負責計畫區內步道和捕魚區的選址和建設。柯林斯堡市繼續與各合作

夥伴開展廣泛多樣的合作，實施生態恢復專案，將河道與其洪氾區連接起來，改善基礎徑流，營造動植物棲地，並為社區提供休憩場所。

(四) 經驗學習

1. 未來水文條件的不確定性

流域生態系面臨的最大挑戰是管理未來多變降雨情境，受氣候變遷和降水量極端化影響，計畫洪水位可能逐年增大。因此，生態恢復和防洪措施需要根據極端流量重新評估。在調適策略推動的規劃設計階段，需要分析豐枯水情境，以便更好了解河流及其洪氾區之間的交互作用，以因應維護管理需求。

2. 建立基礎數據

卡什拉波德雷河是一個被高度開發的系統，具水資源、灌溉、休憩等功能，並且因採砂、防洪、堤壩和土地利用等變化而發生水文和地景的改變。在這樣的系統中，建立基礎流量變得困難，系統的水文狀況也更難預測。應對這些挑戰的方法依靠了解該地區歷史的專家，在建模工作中納入適當的變異性，並在合適的時間辨識流路動向。因此建議在集水區調適策略中，加入歷史流路變遷分析，以了解過往地景樣態，助於了解環境樣態進行規劃。

二、日本宮城縣蕪栗沼濕地的永續農業計畫

日本蕪栗沼濕地案例中，日本政府與地方民眾相互合作，以復育濕地的方式改善居民生計，並同時達成生態保育目的。了解農業系統內生物多樣性保護模式，與農民尋求增加農產品競爭力的需求媒合，並與地方居民協同合作，同時舉辦工作坊，邀集利害關係方包括政府機關、當地農民、學者和 NGO 組織共同討論地方環境規劃課題。其中地方 NGO 組織亦扮演重要角色，提升與地方居民的溝通機會，並將環境保護概念帶入當地居民和學生教育之中。除此之外，生態認證標章及環境友善的補償措施，亦有效運用於案例當中，同時推至日本各地。整體推動方式可應用於轄區農地水土資源保育的永續經營管理概念。

表2-5 日本宮城縣蕪栗沼濕地永續農業計畫的社會挑戰

社會挑戰	糧食安全	減少災害風險
		

(一) 案例背景

由於日本集約式農業增長，在糧食安全和社會發展雙重壓力下，日本約 60% 的濕地環境已經退化，濕地的喪失減少了生態系服務和生物多樣性 (FAO, 2013)。在宮城縣的北部約有 92% 的濕地已經消失，變成了稻田或者

旱地(Kurechi, 2007)。此外，面對日本國內米價下降，農民正在尋求增加農產品價值的方法，以獲得競爭優勢(FAO, 2013)。

由於該縣地景廣闊地勢低窪，因此經常遭洪水漫淹，日本政府自 1970 年以來利用蕪栗沼濕地及其周邊稻田作為防洪流域。濕地生態恢復也使白額雁(日本的保護物種)的數量有所上升，成為重要的度冬棲地(Osaki City, 2015)，遷徙的雁群成為評估濕地和稻田健康的重要指標。政府致力於永續農業政策，不僅透過保護蕪栗沼濕地，並且推廣「冬天用水浸沒稻田」的新措施，恢復稻田常態有水的濕地功能。



圖2-6 日本宮城縣蕪栗沼濕地的永續農業計畫

(二) 主要行動

由於大面積濕地退化和棲地消失，白額雁大量聚集在蕪栗沼濕地(Ministry of the Environment, 2010)，使相關 NGO 與因作物遭雁群破壞而憤怒的農民間發生衝突。1999 年，當地政府開始補償農民遭受的農業損失，嘗試解決此問題。在政府的支援下，當地農民對濕地效益有了更多的認識，因此逐漸開始轉變自己的耕作方式。2003 年，當地農民決定採取一種新的

措施，在冬天用水浸沒稻田(Furuta, 2016)。讓冬季的稻田恢復常態有水的狀態而成為濕地，擴大了冬候鳥的棲息範圍，分散了雁群的棲息密度。由於這項策略，自 2009 年至 2012 年間，不再有農民因雁群破壞農田或農業產量降低而申請農業補助。

同時透過縣政府和日本農業標準協會制定的認證方案，向消費者推廣永續農業措施，如上述冬季用水浸沒稻田和減少農藥使用，以增加農產品的價值(FAO, 2013)。自 1996 年以來，在蕪栗沼濕地周邊種植稻田的農民，採取包括減少化肥和農藥的使用在內的「有助於恢復、持續管理和保護稻田，將其作為濕地的替代生境」的措施，可獲得地方政府補助(FAO, 2013, p.3)。

保護和恢復工作在 1997 年舉辦工作坊，讓利害關係人包括地方政府機關、當地農民、學者和 NGO 組織分享資訊，討論蕪栗沼濕地的重要課題。擴大雁群度冬棲地的計畫與政府增加濕地防洪能力的計畫相衝突，因為防洪計畫可能對濕地產生負面影響。在共同討論之後，相關部門開始採取措施加強防洪力度，同時保護和恢復現有景觀(Furuta, 2016)。例如，選用結合景觀和環境因素的黏土溢流堤，而不是水泥堤防(Osaki City, 2015)，這在日本並非常見做法。蕪栗沼濕地周邊將保持未鋪路面，並禁止汽車進入，以避免驚嚇鳥類(Furuta, 2016)。因此工作坊在保護蕪栗沼濕地發揮了重要作用，為利害關係人間建立共識，以及實施創新解決方案權衡防洪和濕地保護的需求。

大眾過去對蕪栗沼濕地的生態功能了解不多，對環境保護也沒有什麼興趣。在日本野雁保護協會主席吳地正行先生的宣導下，成立了一個非營利組織，在環境教育和提高公眾意識方面發揮了重要作用，尤其在當地居民和學生中成效顯著，顯示地方發起的環境保護行動在推廣 NbS 之重要性。

(三) 計畫成果

1. 保護濕地

1997 年，農民(土地擁有者)共同決定將白鳥區(靠近蕪栗沼濕地的 50 公頃稻田)恢復到原來的濕地狀態。據資料顯示，該地區濕地總面積從 100 公頃增加到 150 公頃，這樣的結果讓濕地和周邊稻田棲息利用的雁群數量增加三倍，顯示生態系統更加健康(FAO, 2013)。

2. 農民創收

根據當地農民的說法，在採用了冬季溢流田的新措施後，作物產量下降了約 20-30%。但成功的產品推廣和生態認證標章幾乎使收益價格增益。當地清酒釀造廠以高價收購冬季溢流米，並將其製作為限量版清酒出售(名為「冬季溢流稻穀清酒」)。此外，濕地的恢復使該地雁群數量增加，遊客在冬季前來賞鳥，使農民在非農業生產月份提供了生態旅遊的替代收益機會(FAO, 2013)。雁群還被當成了一種有效的行銷工具，吸引消費者和社會對購買環保大米產品的關注和支援(FAO, 2013)。雁群帶來的這些經濟效益意味著鳥類成為保證該地未來農業可持續性的重要因素。



圖2-7 一之藏所銷售之蕪栗沼稻米所製清酒

3. 計畫推廣

地方政府補償農民在冬季管理稻田的用水費用，引起了日本國家政府的關注。2011 年，農業、林業和漁業部啟動了一項國家生態系服務給付計畫，以在蕪栗沼濕地實行的補償制度為基礎，對環境友善的耕作方式進行補償(FAO, 2013)。如今，日本多地都開始採用冬季溢流田措施。

4. 農業系統內生物多樣性保護模式

2005 年，計畫加入國際濕地公約，標誌著加快和推廣蕪栗沼濕地保護工作向前邁出了一大步。這是首個有意將稻田納入濕地範圍的「濕地公約」濕地(Ramsar Convention, 2016a)。為了宣傳蕪栗沼濕地經驗，在「濕地公約」

第十次締約方大會上通過了一項決議，鼓勵締約方積極促進提高稻田生物多樣性所需的規劃、實踐和管理，並說明全球提高對稻田在生物多樣性保護中潛在作用的認識(Ramsar Convention, 2016b)。

(四) 經驗學習

1. 協同合作

利害關係人之間必須建立長期合作關係，以分享資訊和共同決策，權衡農業、防災減災和生態保護之間的需求，需要有傾聽利益衝突的意願。因此調適策略推動，建議強化地方民眾參與，理解地方需求，建立夥伴關係，並溝通解決策略。

2. 政策推廣

政策應建立在利害關係人協商討論的基礎上，並能靈活修改，以應對全新的和正在出現的挑戰。當地工作需要地方和國家兩層級的政策支援，以促進計畫的延續和推廣。在此案例中，全球層面的認可，即「濕地公約」，有助於擴大項目規模。

3. 增加在地居民收益

蕪栗沼濕地當地農民參與 NbS 計畫的推動需要政府支援，讓生態保護的同時兼顧居民的生計。因此相關的環境友善給付政策，有助於集水區調適策略的推動，增加居民參與誘因，在為環境付出與收益間取得平衡。同時建立地方特色及品牌，尋求企業加入，亦是蕪栗沼濕地保護成功的助力之一。

三、非洲盧旺達森林景觀恢復計畫

在非洲盧旺達的森林景觀推動恢復作業中，了解到森林生態系的重要性，可提供乾淨的水、食物、木材、減少土壤侵蝕和碳匯功能等，是因應氣候變遷調適的重要的管理措施，其中森林景觀恢復行動中的農林復合、廢耕或休耕土地改善、流域保護及沖蝕防治等作為，是可作為緩衝綠帶規劃的參考方式。

表2-6 非洲盧旺達森林景觀恢復計畫的社會挑戰

社會挑戰	糧食安全	水安全	減少災害風險
			

(一) 案例背景

森林提供多種生態系統服務，如提供乾淨的水、食物和木材、減少土壤侵蝕和碳匯。大部分盧安達居民以自給農業為生，其中木材是其主要生產能源(Ministry of Natural Resources, 2014)。盧安達面臨的主要社會挑戰之一是管理現有資源以滿足日益增長的人口的需求。快速增長的人口給盧安達的森林生態系帶來巨大的壓力，越來越多天然林被開墾為農業用地，小塊林地則因需要獲取薪材而被過度開發。除此之外，大多數人工林的生產力也因處於生產週期末期而不斷減弱，並且由於以桉樹為優勢樹種，而受病蟲害侵襲

(Ministry of Natural Resources, 2014)。



圖2-8 非洲盧旺達的森林景觀恢復行動

(二) 主要行動

1. 國家政策的支持

國家政策的支持對推動盧安達的森林景觀恢復工作非常重要，盧安達的「國家森林政策」在 2004 年時首次制定、2010 年修訂，促進了環境的永續管理、利害關係人在決策中的參與，行動中還包含了農地、農林複合經營以及瀕危物種保護等(Ministry of Forestry and Mines, 2010a)。目標是 2020 年實現 30%的國家森林覆蓋率 (Ministry of Forestry and Mines, 2010a)，顯示林業對國內生產總值貢獻的重要作用。

2. 啟動森林景觀恢復策略

盧安達的自然資源管理局(RNRA)在 IUCN 和世界資源研究所(WRI)的支持下，使用「森林景觀恢復潛力評估」確定最需要恢復的區域和景觀(IUCN & WRI, 2014)。「森林景觀恢復潛力評估」是 IUCN 在 2014 年出版的手冊，是用以評估森林景觀恢復潛力的過程，包含利害關係人分析、潛力圖繪製、

經濟模式估算、碳成本效益等。2015 年，盧安達政府正式啟動「森林景觀恢復潛力評估」，承諾執行報告的五項建議：（1）改善跨政府部門的協調合作；（2）提高苗木品質；（3）創造增加對森林景觀恢復產品的需求；（4）優先考慮森林景觀恢復計畫；以及（5）拓寬森林景觀恢復的融資管道 (Ministry of Natural Resources, 2014)。

(三) 計畫成果

1. 「森林景觀恢復潛力評估」結果

盧安達目前的森林覆蓋率約為 29%。「森林景觀恢復潛力評估」分析表示，在提高森林生態系統的生產力、品質和功能方面，大約 250 萬公頃的土地和淡水資源可以直接受益於森林景觀恢復。計畫確立了四項措施：(1)針對平地和坡地以農林複合經營；(2)改善造林及恢復管理林地；(3)保護和恢復現存天然林；以及(4)在陡坡地和濱溪帶建立防護林。但執行挑戰亦包括：(1)跨部門間對實現國家政策缺乏共同願景和合作模式；(2)優質樹種苗木供應有限；(3)知識和技術能力差距；(4)農民缺乏認知和理解，特別是對原生物種；以及(5)私營部門缺乏重視(公私融資機會和模式)(Ministry of Natural Resources, 2014)。

2. 「森林景觀恢復潛力評估」實施的建議

為回應「森林景觀恢復潛力評估」的建議，相關部門已開展了機構改革和恢復計畫。如成立了跨部門工作小組，以增強政府機關之間、NGO 及國

際技術機構之間的協同合作(Clear Horizon Consulting, 2015)。

盧安達自然資源管理局正在與 IUCN 合作以評估盧安達兩個地區的碳儲量和生態系服務，並實施約 1.8 萬公頃森林劣化區的恢復(Clear1Horizon Consulting, 2015)。計畫將創造大約 6 萬個就業機會；儲存 1,099,500 噸 CO₂e；並透過農林業措施將作物生產力提高 18%。世界銀行資助的專案「森林恢復和保護景觀方法(LAFREC)」，目標包括增加樹木的數量和多樣性，改善土壤肥力、穩固山坡、調節河流流量以及為當地生計擴大資源基礎(World Bank, 2014)。透過永續土地管理和農林複合經營提高農業生產，改善洪水預報和預防工作，並實施梯田化種植以防止土壤侵蝕(World Bank, 2014)。

3. 相關籌資管道

政府資金不足以實現盧安達種植 200 萬公頃樹木的目標，因此需要更多元的資金來源。2013 年，盧安達政府設立了國家氣候與環境基金(FONERWA)，作為公私單位環境計畫的主要融資機制。

(四) 經驗學習

1. 森林景觀恢復

盧安達進行了四項策略：(1)針對平地和坡地以農林複合經營；(2)改善造林及恢復管理林地；(3)保護和恢復現存天然林；以及(4)在陡坡地和河岸帶建立防護林。可以參考用以集水區坡面的經營管理規劃，其中農林複合可推廣至現有的農作模式，增加水土保持能力。改善造林及管理林地可用於上

游崩塌地管理，降低土砂輸入流域。而在陡坡地和濱溪帶建立防護林，則是緩衝綠帶之功能。

2. 協同合作

森林景觀恢復的實施需要政府機構之間的協調，以便跨部門機關與私營部門、NGO 合作，其中環境教育途徑的確立也非常重要。因此建議在明確集水區調適改善目標中，展開跨部門溝通，協調合作模式以及共學營辦理，落實集水區調適策略。

3. 經濟考量

盧安達為了增加森林景觀恢復樹木和產品需求，需要向農民提供支援，以提高他們從恢復活動中獲得的回報，並使他們意識到可以從森林景觀恢復獲益。因此建議確立多種資金管道、方案和模式以支援集水區調適策略，如相關的環境友善給付、企業合作及民眾參與的落實等，是達成集水區調適策略目標不可或缺的協同模式。

4. 示範區推動

在計畫執行的前期，優先評估推動森林景觀恢復的示範區，以測試森林景觀恢復如何透過現有或規劃中的計畫達成效益。因此集水區調適策略的推動過程中，前期示範區推動所累積的經驗，及成效評估成果，是在推動及落實過程中不可或缺的。

第三章 集水區調適策略案例彙編

本手冊案例彙編對象為 111 年度水土保持局暨各分局辦理之集水區調適策略推動計畫，參考水利署水規所(2019)之河相學應用於河川治理規劃參考手冊(草案)，將臺灣分成 13 個「流域區」(river basin district)，各區的河川溪流具有類似的地形、地質及水文條件。流域區共可分為平原曲流、獨立溪流、瓣狀河及失能河等四大類群。

平原曲流包含台北盆地、竹苗丘陵及嘉南平原等 3 處流域區，代表河溪包括新店溪、基隆河、曾文溪及急水溪等，其特性為地勢平緩，自河谷至平原皆為蜿蜒曲流，沖積扇不發達；獨立溪流包含大屯火山群、恆春半島、海岸山脈及東北角丘陵等 4 處流域區，代表河溪包括八連溪、港口溪、豐濱溪及大溪溪等，其特性為小型河川，獨流入海或河川主流，沖積扇不發達，土砂量較小；瓣狀河包含竹苗丘陵、台中盆地周邊、屏東平原、恆春半島、花東縱谷、蘇花海岸及蘭陽平原等 7 處流域區，代表河溪包含後龍溪、大甲溪、濁水溪、高屏溪、四重溪等，其特性為土砂生產量大，沖積扇發達，氾濫平原狹小，至平原仍為瓣狀；失能河包含林口桃園台地、台中盆地周邊等 2 處流域區，代表河溪包含南崁溪、老街溪及新虎尾溪等，其特性為因襲奪、改道而失去山區能量源，具古沖積扇地形，土砂量小。

將 111 年度集水區調適策略示範區加以分類，較特殊的是大不岸溪上游坡降大且土砂來源充足，於河口形成沖積扇，呈現瓣狀河類群的特色，因

此在海岸山脈流域區中展現獨特的辮狀河特性，其中打狗溪及保力溪與大不岸溪有相似特性，是具有沖積扇特色的流域樣態。沙河溪、南山溪、樟湖溪及台坂溪，未於流域上游，其流路受地形及河床顆粒限制，呈現獨立溪樣態，沖積扇不發達，各示範區所屬特性及地質特色簡述如下表所示。

表3-1 各示範區所屬特性及地質特色簡述

示範區	河相特性	平均坡降	地質特性	災害紀錄
大不岸溪	辮狀河，土砂量大。流路易淤積而改道。	0.20	上游都巒山層，中游八里灣層，以及下游沖積層，岩性軟弱	多次土石流致災紀錄
打狗溪	辮狀河，土砂量大。流路易淤積而改道。	0.01	具廬山層及沖積層。	多次水砂溢淹紀錄
沙河溪	獨立溪，小型河川，獨流入海或河川主流，沖積扇不發達，土砂量較小。	0.01	卓蘭層面積佔約 51%為主，其次有南莊層約 23%，其餘包含桂竹林層、南港層及沖積層。	流域多為灘岸型崩塌造成淤積
南山溪	獨立溪，小型河川，獨流入海或河川主流，沖積扇不發達，土砂量較小。	0.06	地質分佈主要為佳陽層佔 80%，達見砂岩佔 20%。	多次土石流致災紀錄
樟湖溪	獨立溪，小型河川，獨流入海或河川主流，沖積扇不發達，土砂量較小。	0.02	沖積層約佔 52.99%，其次為臺地堆積約佔 46.18%	護岸基礎流失、淘空及邊坡崩塌
保力溪	辮狀河，土砂量大。流路易淤積而改道。	0.01	沖積層及瑞芳群層為主。	河道土砂淤積及下游淹水
台坂溪	獨立溪，小型河川，獨流入海或河川主流，沖積扇不發達，土砂量較小。	0.15	以潮州層分布為主，下游溪床以現代沖積層為主	多次土石流致災紀錄

第一節 大不岸溪示範區

大不岸溪示範區資料引用自「111 年度集水區 NbS 調適策略研究計畫-花蓮縣大不岸溪規劃示範區」位於花蓮縣豐濱鄉，過去曾受土石流影響，流域現況具系列防砂壩及固床工，在公私協力合作下取得改善流域之共識。評估面臨的社會挑戰為水安全、減少災害風險及環境劣化與生物多樣性喪失(表 3-2)，運用 NbS 之 8 大準則自我評估如表 3-3 所示。

表3-2 大不岸溪示範區之社會挑戰

	水安全	減少災害風險	環境劣化
社會挑戰			

表3-3 運用 NbS 之 8 大準則評估大不岸溪示範區

準則	自我評估說明
1.NbS 能有效應對社會挑戰	面臨災害風險、海岸後退、生物多樣性喪失及部落文化傳承等課題。
2.NbS 的設計會注意尺度問題	考量大不岸溪流域，及部落社會、經濟及文化。
3.NbS 會帶來生物多樣性淨增益及生態系完整性	現況監測大不岸溪降壩後洄游物種開始增加，持續推動調適規劃。
4.NbS 具經濟可行性	以減法工程降低工程經費，規劃濱溪土地管理，推動韌性坡地補助方案(草案)。
5.NbS 是基於包容、透明及培力賦權的治理過程	辦理平台會議，落實公私協力。
6.NbS 能在達成主要目標與持續提供多重效益的得失間，公平的找到平衡點	將流域規劃方案與地方居民討論後執行。
7.NbS 循證(依證據)進行調適性經營	利用水域生物監測，運用於評估流域規劃方案執行效益。
8.NbS 為永續的並在適當的管轄情境下主流化	建立土石流潛勢溪 NbS 治理原則，具經驗分享與政策推動。

一、案例背景與課題盤點

大不岸溪位於花蓮縣豐濱鄉，居住於大不岸溪上游的是阿美族 Dipid 復興部落，依傍山林地形利用梯田方式耕作農事，並於溪流與山林間運用傳統族人智慧將原生植物與溪流資源，轉化為可供建築、工藝、食材等多元利用方式，展現與環境共生的生活方式。下游的新社半島，是一片經由溪流沖積出來的海階平台，從森林邊緣開始，一階階梯狀的稻田延伸到海邊，海面下 3 公尺則是美麗的珊瑚礁。下游居住著噶瑪蘭族，其為海洋的民族，傳統祭典中有海祭儀式，亦有世代傳承的漁獵文化，在地族人多身兼漁夫、農夫、獵人等多重角色，對山海資源、溪流採集及水稻種植均十分熟悉。因此大不岸溪流域滋養著周邊部落居民，從上至下游，河相的變遷與環境改變皆與在地居民生活息息相關。



圖3-1 大不岸溪與新社海階空拍圖

由於 1980 年代後期土石流災害影響，屢次破壞道路、耕地及住屋。大約在 1990 年代中期以後，政府開始著手溪流整治工程，以防治連年發生的

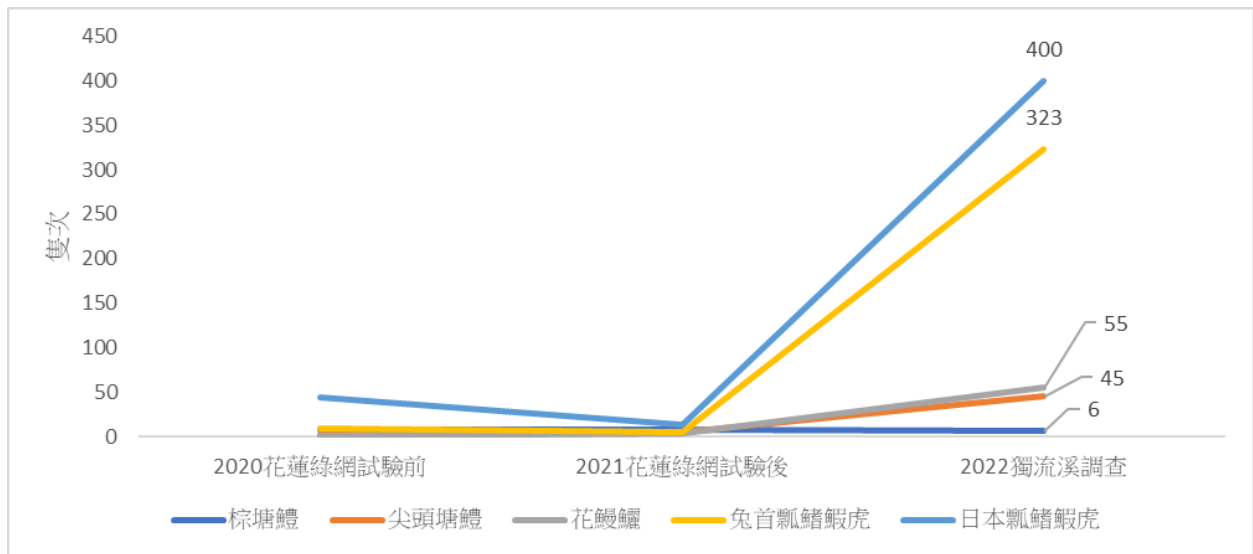
土石流災害，依據調查，大不岸溪流域現共有 185 座橫向構造物。根據在地族人回憶，早期大不岸溪及加塹溪原始溪流的樣貌是植被茂密、魚蝦豐富、容易親近的；河流整治後，溪床兩岸堤防加高，不僅魚蝦蟹生物量減少，也因為堤防的隔絕，河流不如以往容易親近。

在以里山倡議精神及生態農業技術，促進部落與自然和諧共生的永續農漁村願景的目標下，大不岸溪成立協同治理模式，其可追溯至 2016 年 10 月在東華大學和花蓮區農業改良場的倡議下，結合花蓮林管處、水保局花蓮分局，共同與在地阿美族 Dipid 復興部落和噶瑪蘭族新社部落，組成跨部門、跨社區、跨專業的調適性協同經營平台，發起「花蓮縣豐濱鄉新社村森-川-里-海生態農業倡議」，並於 2016 年召開第一次核心工作小組會議，至 110 年度為止，已舉辦逾十場次平台會議。

由於大不岸溪具有豐富的环境生態資源，並實現里山倡議精神，2020 年花蓮縣政府建設處與花蓮林區管理處，為了恢復溪流縱向的生態廊道讓溪流洄游魚蝦上溯，合作進行「大不岸溪改善試驗工程」，在河口第 1 支固床工打除後，河口與大海間的連結重新打通，溪水可順暢流入大海，溪水與海水的自然交換讓洄游生物的移動機會增加。第 2~9 支固床工的中央三分之一降壩 30~50 cm 後，於河道中央形成流心，兩側灘地亦逐漸穩定，其復育過程也讓魚類數量出現成效(圖 3-3)。



圖3-2 大不岸溪下游固床工改善試驗前後空拍對照



資料來源：洄瀾風生態顧問有限公司，2022

圖3-3 大不岸溪河口結構物優化前後魚類數量變化

然而由於上游來砂仍受阻礙，第 1 支固床工只降至現有床面，尚未達到系統沖淤平衡，因此近一年後落差又再度出現。現場勘查目前落差大約有 1m 高，河水僅能從左岸缺口流入大海(圖 3-4)。同時，隨著土砂災害高峰期逐漸過去，部落居民生態保育觀念的興起，目前大不岸溪正朝向減法工程(移除人工構造物)的方向邁進。面對仍存在的土砂災害威脅，如何提出平衡的解決方案，考驗各方的智慧。因此需包含溪流沖淤廊道的界定與濱溪土地管理策略的應用。



圖3-4 大不岸溪河口固床工現況存在高差之影像

河川生態基流量(ecological reference flow)係指河川維持正常機能下所必要的最低流量。在水資源的利用必須有所權衡(trade-off)，才有機會與自然共存，因此以河川的保育工作上，水質與水量的維持必須並重。為釐清在地水資源運用現況，調查在地取水位置與取水渠道，了解在地水資源運用與在地產業發展關聯性。將透過在地居民的訪談與資料蒐集，與地方關注主題與在地產生連結。

大不岸溪在山區的河段，因受谷壁限制而沒有明顯變動。進入下游寬廣的新社海階，則有擺盪與改道的紀錄，新社海階即由大不岸溪長期沖積加上地表抬升而形成。將各期流路套疊(圖 3-5)，呈現的聯集範圍即為大不岸溪的歷史廊道。1990 年與 2001 年的兩次土石流事件，創造出較其他年度寬廣的河幅，此為大規模事件所需的土砂沖淤空間。顯示大不岸溪目前的構造物布設給予大規模事件的沖淤與消能空間是不足的。若能在局部河段還地於河，對於災害防治與景觀改善都將有正面助益。

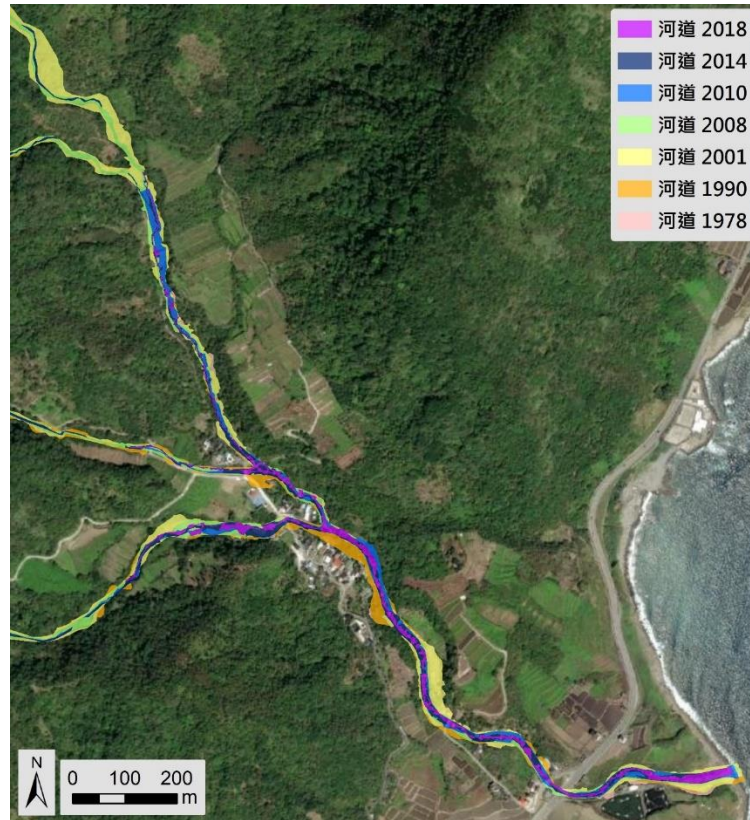


圖3-5 大不岸溪歷年河道範圍套疊

周憲德(2019)探討如何以集水區地文參數判別洪水與土石流等土砂災害類型，使用集水區險峻值(Melton Ratio, MR)作為其中一項判定條件。以大不岸溪全流域來說，其流域長度僅 3.3 km，MR 值則為 0.39，屬於高含砂水流(debris flood)過渡到土石流的範圍。若以 20m DEM 計算水系中各點的 MR 值(圖 3-6)，顯示主流及各支流的 MR 值均 >0.43 ，具備土石流生成的地文條件，其中又以支流 B 最陡峻。匯入支流後的下游河段，MR 降至 0.43 以下，性質轉為高含砂水流。

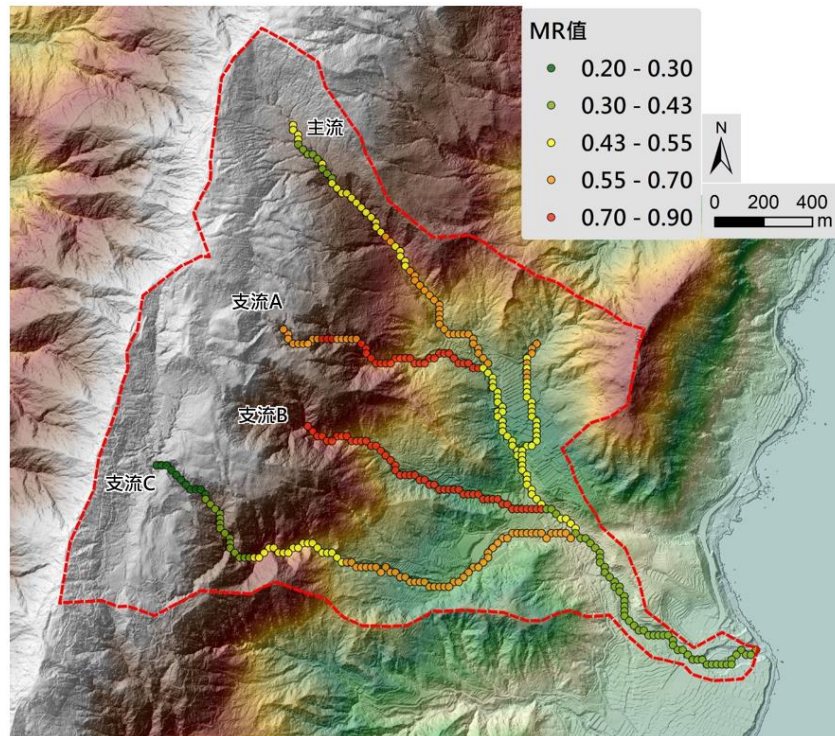


圖3-6 大不岸溪水系 MR 值分布

歷年的崩塌地主要發生在各支流上游坡度最陡的區域，地形的陡降推測因軟硬岩的交界帶所致，各條支流以新社斷層為基準線，長期且持續地向源頭侵蝕，圖 3-7 的陡崖上緣線即為目前向源侵蝕到達的位置，此線以上至分水嶺的地勢反而較為平緩。各支流陡崖上緣線所圈出的範圍，為崩塌地最密集之處。不同的降雨事件可能誘發不同支流的土石流，然而，因復興部落位於三條溪流的匯流處，故存在一定的受災風險。

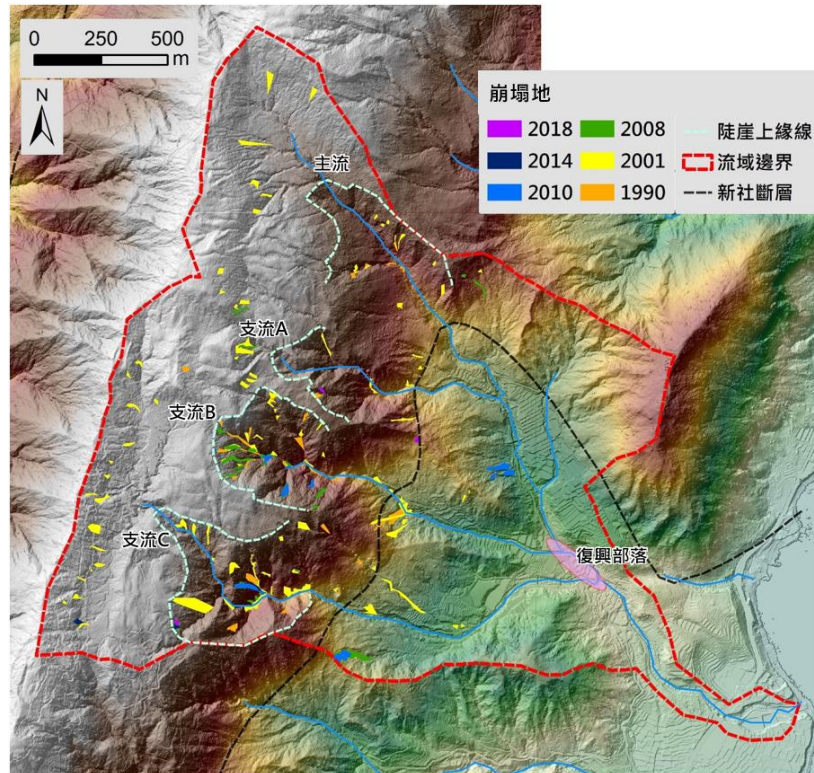


圖3-7 正射影像判釋大不岸溪歷年崩塌地分布

新社沿海的海岸線變遷如圖 3-8 所示，新社沿海除了北側(圖中 A 處)因興建養殖池及保護工事因而淤積之外，整體來說呈現明顯的海岸後退趨勢。大不岸溪河口南測的海階下方(B 處)，40 年來海岸後退超過 20 m；海階南側(C 處)一樣後退明顯。即便投入大量消波塊並興建海堤，也沒有抑止後退的趨勢，反而造成景觀破壞，並阻隔了人與海的互動關係。倘若大不岸溪等沿海溪流可以透過構造物改善而釋放河道內貯存的土砂漸次入海，應可補助沿岸土砂，減緩海岸後退的情形。

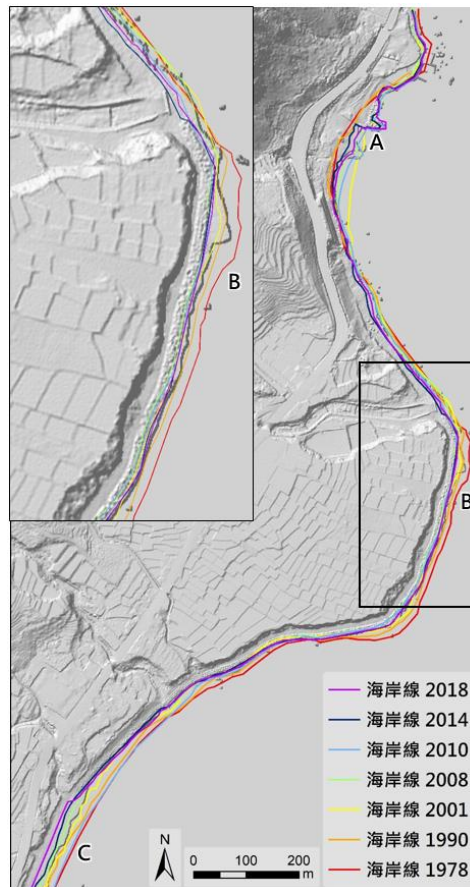


圖3-8 新社地區沿海海岸線歷年變遷

二、調適策略規劃及預期效益

透過地方座談會的運作，和部落居民溝通改善理念，已獲得居民的認同與正向回饋。規劃團隊透過土石流模擬成果指認高風險區域，分析主要溢淹原因並據此提出改善構想。另一方面結合居民提出的需求與建議，規劃適宜的親水區域。以下分別說明上游復興部落與下游新社部落的河段改善與調適策略規劃。

以 Q50 洪峰流量模擬大不岸溪土石流的結果，顯示復興部落的水砂溢淹主要來自於支流布魯旦溪上游防砂壩右岸的溢淹(圖紅色虛線)，溢淹的水砂一路順地勢而下，漫淹至梯田(含一處私有地)及堤岸道路，影響範圍可達

下方社區。進一步探究原因，發現防砂壩壩高有 6 m，因壩體後方已淤滿，遇颱風事件時水砂容易從這裡漫淹出去。2010 年的豪雨事件，水保局公布的土石災例速報也記錄了此一曾經發生的事實。為了降低溢淹的風險，建議將目前近乎垂直的壩體，調整為瀑階形貌。降低河床的同時，也逐漸釋放淤積的土砂，漸次下移至下游河道，改為瀑階形貌亦有均勻分散消能的效益。

除了改善壩體調整河床高程，需搭配右岸設置水砂溢淹區，藉此增加溪流的沖淤空間。模擬方案的改善成效，結果如圖 3-9 所示。水砂溢淹區成為水砂儲存的口袋空間，發揮良好功效，讓水砂不再溢淹至河道外土地，大幅降低社區受災風險。降壩構想亦運用於大不岸溪另一支流「加塿溪」及「力比旦溪」中。

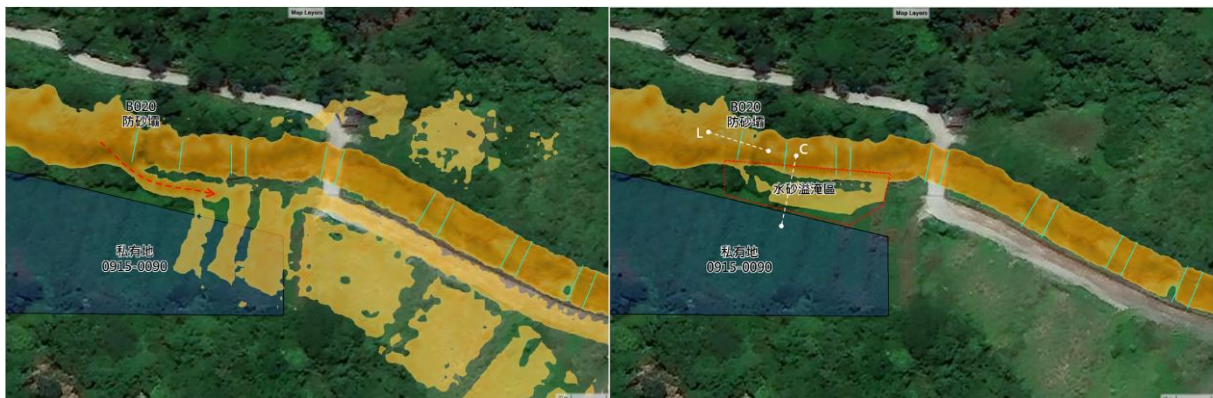


圖3-9 大不岸溪支流布魯旦溪水砂溢淹區改善模擬

地方座談會中，新社國小老師以及居民均表示，因護岸陡直，不易接近溪床。故規劃的構想主要是將右岸陡直的護岸卸除，改以乾砌塊石緩坡化(圖 3-10)。另搭配濱水植生的復植，可嘗試進行原生物種毛翹蘆竹的野外復育。緩坡化後的環境不僅便於親水，可望成為學校及社區的環境教育場所，

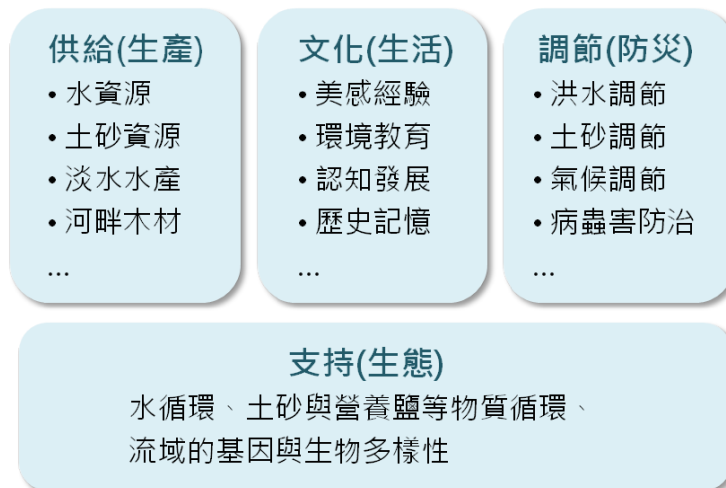
更能提供河口較大的沖淤空間，形成更為自然健康的河口環境。



圖3-10 大不岸溪河口右岸緩坡化範圍

完整的 NbS 調適策略須納入生態系服務概念，其成效評估需從機能面著手。大不岸溪復育關注的機能包含生態、生產、生活，以及防災機能，這四項機能可進一步對應至生態系服務的支持(supporting)、供給(provisioning)、文化(cultural)、調節(regulating)服務(圖 3-11)。其中支持服務又是其他三者的基礎。這四種服務涵蓋甚廣，以下僅針對大不岸溪提出易於操作、可量化的復育成效評估指標。此與新社平台會議所提出的韌性指標評估有相同的理念，可結合社區共識，完整地評估策略成效。

河川的生態系服務



資料來源：鯉溪河川復育方案（九河局，2020）

圖3-11 河川生態系服務的四個層面

健康河川的支持服務包括水循環、土砂與營養鹽等物質循環，以及流域的基因與生物多樣性，即構成健全生態系的基本項目。欲達成這些支持服務，河川的水質、水量、河相、生物相都需達到健康的水準。

健康河川的供給服務包括水資源、土砂資源、食物、木材等可供人類生活直接利用的物資。大不岸溪乃新社梯田的主要灌溉水源；另大不岸溪於洪流時土砂產量大，但非屬固定砂石資源；淡水魚產目前量很少且須保護；不多的河畔林亦需要保護，因此大不岸溪的供給服務主要探討水資源的利用。

近年來下游的新社梯田有部分部落族人轉作有機農法，期望減輕肥料對土地與海洋的負擔，並與花蓮農改場合作，透過溼地植生緩衝帶經營管理。後續可進一步探究與分析引水灌溉的適宜水量做為評估指標，以兼顧溪流生態與部落生產。

健康河川的文化服務包括親近自然的遊憩而產生的美感經驗、環境教

育、認知發展、歷史記憶傳承等人類精神層面的服務。大不岸溪生命力的恢復，除了生態多樣性之外，還有人與河之間的互動關係。復育後的大不岸溪是否再度成為部落居民想親近的對象？它是否能重新成為地方文化的養份？對部落居民而言，大不岸溪曾經具有高度的文化服務機能，這反映在訪談、歷史照片、文獻及祭典等文化活動中。

不定期辦理社區問卷調查。調查項目可包括對大不岸溪的價值感、認知，以及使用大不岸溪的方式。諸如在溪流擁有美好經驗的受調者比例、願意投入護溪活動的受調者比例、對現況感到滿意的受調者比例等，都可以作為文化服務的評估指標。復育越成功，就越能促成居民與溪流的互動，從而提升這些指標的表現。

紀錄與大不岸溪有關的文化活動，例如豐年祭的捕魚儀式。每年相關文化活動的參加人數、主題藝術作品的數目等可作為評估指標。

亦可透過不定期田野訪視，了解大不岸溪「日常型親水」的發展情形。日常型親水意指未經特意安排，鄰近居民自發性、創造性的親水活動，其概念相對於設施或渡假導向的親水。使用者與溪流的互動程度、使用樣態的多樣性等可作為評估指標。

健康河川的調節服務包括洪水調節、土砂調節、氣候調節、病蟲害防治等使人類生活免於受突發狀況威脅的服務。大不岸溪示範區的調適策略推動以保留歷史廊道、土砂無害下移、工程最小化為兼顧防災與生態復育的方

針，期能讓大不岸溪在河川廊道內發揮洪水與土砂調節機能。若大不岸溪物理棲地復育成功，則河道可達動態平衡，不需大量投入防減災工程，亦可將流域的災害損失降至最低。

三、經驗學習

1. 理解大不岸溪河相

溪流是一個能量系統，有其消能與自我平衡的機制。正如同醫者需明白人體健康的狀態，河溪的治理與管理者也需了解溪流自然的面貌，以及在不同營力作用下會朝何種方向演變。

2. 鼓勵順應河相的治理作為

過往一般民眾通常假設治理工程對生態有負面影響，所以才需要生態檢核。工程師的天職即為做工程，而隨著生態專業對敏感區、熱區的指認越來越完備，衝突會日益增加，工程師在大自然中的角色也逐漸缺乏正當性。事實上工程不是只能破壞生態，也可以幫助生態。但要做到這點，工程人員除了需要理解河相，也需擁有多樣的工法與技術工具，來對應自然世界的多樣性。為達到此目的，應鼓勵治理的嘗試與創新，尤其是順應河相、使用自然材料、減少混凝土工程的近自然工法，在世界各國已有諸多實績。但這些工法需要運用本土的植生、木、石材料，需有更多研究的投入與實務的實踐。

3. 界定大不岸溪沖淤廊道

工程的作為有其限度，而溪流作為能量系統，本來就需要一定的消能空

間。參考各國經驗可知，界定溪流沖淤廊道已是發展野溪自然解方不可或缺的一環，其劃設技術已經成熟，在台灣也已有相關研究與劃設案例。溪流沖淤變動的空間確立後，公私部門才能正確評估濱溪土地風險，擁有共同的發展願景。

4. 研擬濱溪土地管理策略

濱溪土地管理可以包括堤防開口與退縮、預留改道空間(引導式改道)、私有地範圍內資產重新分配、遷移、換地等。這些土地管理策略需檢視現有資產配置與土地風險評估，且需要與社區溝通，以理解社區產業發展與農村再生願景，因此需要一連串的公私協力作為。

5. 發展非工程手段配套工具

近年來台灣已逐漸發展防災的非工程手段，如土石流預警系統、撤離機制，然而尚有多種未來可應用於野溪沖淤廊道管理的工具，如洪水或土砂災害保險、環境信託、保育地役權等，值得未來持續研究。這些工具不一定要形成公部門的政策方能執行，也可透過在地的流域管理平台辦理。

第二節 打狗溪示範區

打狗溪示範區資料引用自「111 年度臺北分局集水區治理規劃導入 NbS 調適策略研究及防砂設施減碳綠能加值計畫」，示範區位於宜蘭縣大同鄉及冬山鄉內屬蘭陽溪流域，受水砂災害影響，流域現況具大型防砂壩，河床淤積，常態呈現伏流水狀態，宜蘭縣府不定期辦理四號壩上游河道清疏工程，以增加流域通洪。評估面臨的社會挑戰為水安全、減少災害風險及環境劣化與生物多樣性喪失(表 3-4)，運用 NbS 之 8 大準則自我評估如表 3-5 所示。

表3-4 打狗溪示範區之社會挑戰

	水安全	減少災害風險	環境劣化
社會挑戰			

表3-5 運用 NbS 之 8 大準則評估打狗溪示範區

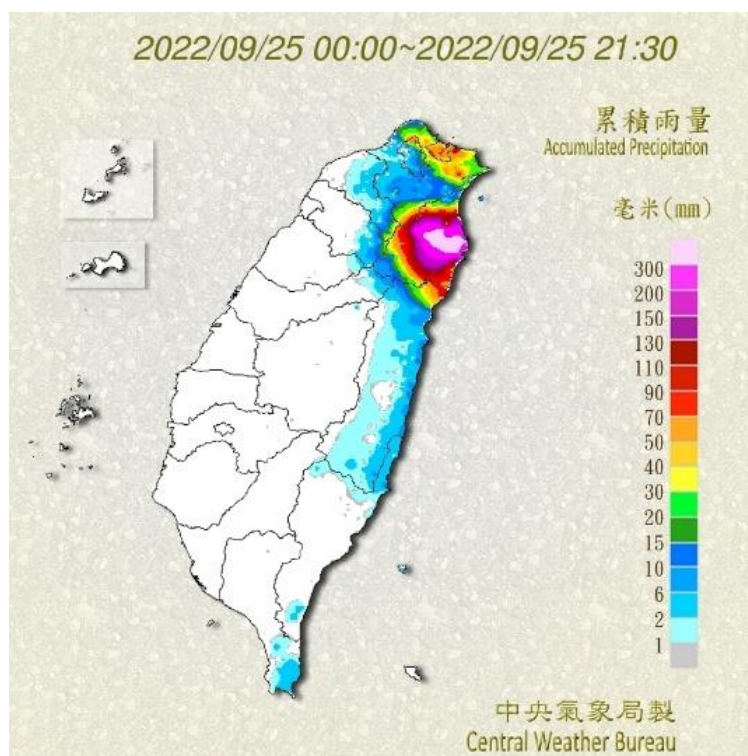
準則	自我評估說明
1.NbS 能有效應對社會挑戰	面臨高灘地溢淹、河床抬升等水砂災害及水域棲地劣化等生態棲地課題
2.NbS 的設計會注意尺度問題	考量打狗溪流域，及部落民眾想法。
3.NbS 會帶來生物多樣性淨增益及生態系完整性	預期改善伏流水狀態，恢復溪流自然營力及水域棲地。
4.NbS 具經濟可行性	預期恢復溪流自然營力後，增加土砂運移能力，優於現況常態的疏濬作業。
5.NbS 是基於包容、透明及培力賦權的治理過程	舉辦四方林部落的訪談、工作坊及會勘，了解居民想法。
6.NbS 能在達成主要目標與持續提供多重效益的得失間，公平的找到平衡點	考量四方林部落過去使用土地位置及其因災遷移狀態進行規劃。
7.NbS 循證(依證據)進行調適性經營	設置水砂觀測裝置，運用於後續水砂運移效益評估。
8.NbS 為永續的並在適當的管轄情境下主	推動集水區因應氣候變遷調適，導入韌

已達 25 年重現期，而最大 24 小時雨量更達 754 mm，達至 50 年重現期。

而宜蘭縣位於東北季風的面風區，因此強降雨發生位置在宜蘭縣週邊山區包含打狗溪流域上游山區(圖 3-14)，因此在全球氣候變遷的環境課題下，可能產生的效應是極端降雨量的發生頻率上升。



圖3-13 打狗溪三號壩 0925 豪雨事件後損壞情形



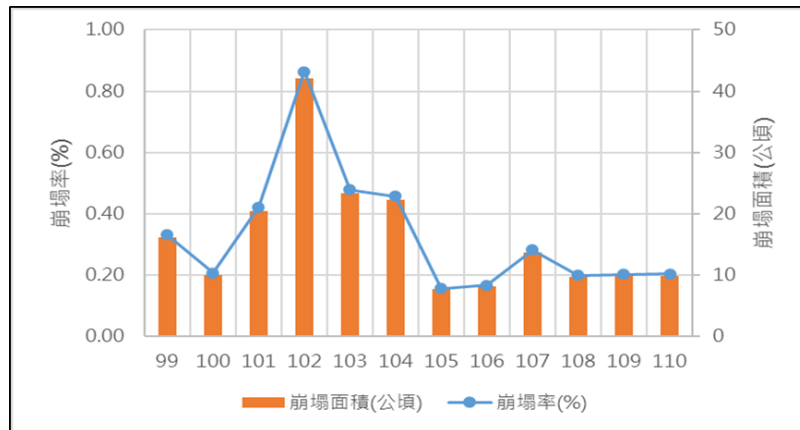
資料來源：中央氣象局(2022/09/25)

圖3-14 宜蘭縣 2022 年 9 月 25 日降雨分布圖

而打狗溪集水區的環境現況(圖 3-15)，於中下游河道區域，現況溪床土砂堆積，系列性防砂工程與整流固床工幾乎淤埋，溪床流路痕跡分歧且溪水為伏流狀態，而若發生大雨事件則溪床將短暫出現表面逕流。於中游河道部分，溪床亦有土砂堆積，溪水亦為伏流狀態。打狗溪集水區近 3 年崩塌地逐漸有植生復育情形，舊有崩塌地面積逐漸縮小及崩塌率降低如圖 3-16 所示，但近年每逢颱風事件仍有小規模土砂遞移，因此下游河道呈現淤積趨勢，若不辦理清疏則河床高程將不斷抬升進而造成河道旁之保全對象因河階低處破口溢流而影響生命財產安全。本區域由宜蘭縣府不定期辦理四號壩上游河道清疏工程，如圖 3-15 所示。



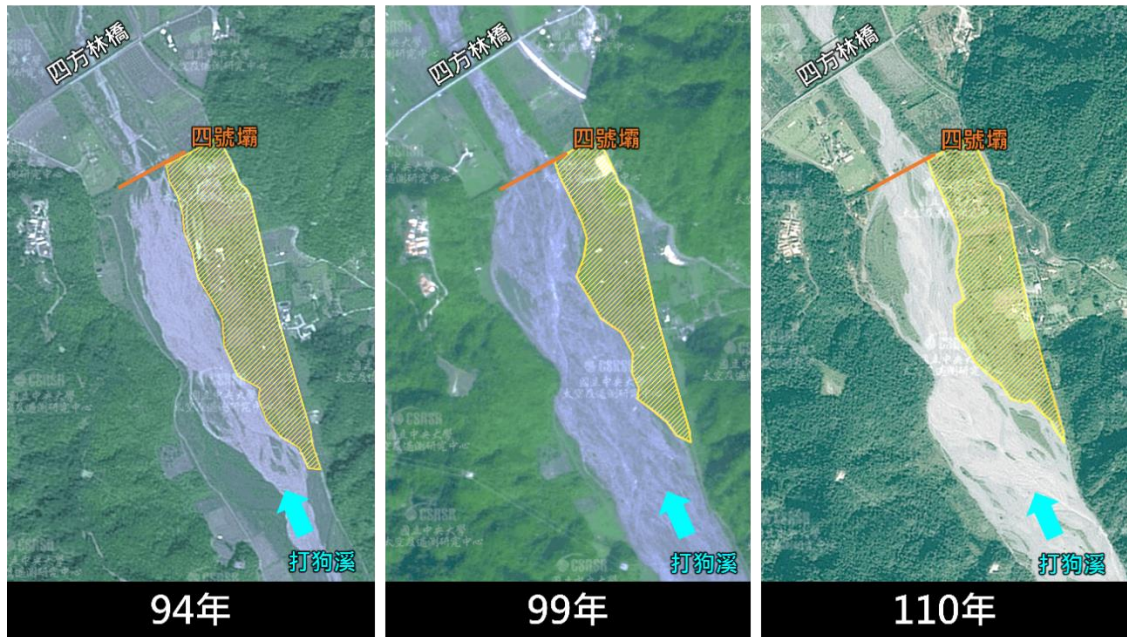
圖3-15 打狗溪示範區環境現況



資料來源：臺北分局 110 年「110 年度宜蘭地區野溪水文特性調查分析與運用」

圖3-16 打狗溪集水區近年崩塌地演變統計圖

以打狗溪河段中尺度範圍來看，近 20 年之彩色正射影像可發現打狗溪中下游間河道土砂淤積、溪床流路變化大，溪水多為伏流狀態，溪床表面未見常流水。而由打狗溪下游溪床土砂堆積，溪床流路痕跡分歧，且四號壩與下游整流固床工幾乎淤埋。推斷溪床變動主要受土砂供應與輸送間交互關係，溪床變動於清疏後降低，但於颱風事件後又恢復清疏前高程，經評估清疏為降挖主深槽將土砂堆置兩岸並無外運，洪水沖刷兩岸堆置土砂恢復主河道高程，故河床變動並不全受上游土砂供輸影響。而由近 20 年之彩色正射影像亦可發現打狗溪下游左右岸高灘地面積有逐年減少之趨勢，如圖 3-17 所示。



影像來源：中央大學太遙中心

圖3-17 打狗溪下游區域左右岸高灘地範圍變化

除了災害課題外，冬山鄉大進地區有農業灌溉用水需求，農民於打狗溪上游左岸支流既有攔砂壩處取水並自設PVC輸水管路沿打狗溪一號壩跨越至打狗溪主流右岸，沿右岸往下游輸水至冬山鄉大進地區。然而逢颱風豪雨時期容易遭洪水與落石損毀，便須重新佈設。農田水利署宜蘭管理處曾規劃引水灌溉方案(圖 3-18)，然其上游地區之部落族人考量部落發展，希望區內水資源留於部落發展，因此灌溉規劃可能須待相關利害關係人有進一步共識時方可推動。



資料來源：農田水利署宜蘭管理處 111 年「宜蘭縣冬山鄉大進村農地引灌水源暨灌溉系統可行性規劃評估」

圖3-18 冬山鄉大進村農地引灌水源可行性規劃打狗溪支流方案圖

綜合環境分析及利害關係人訪談，可知打狗溪集水區因上游崩塌地導致土砂生產，此量體因高於下游河道輸砂能力因此土砂持續淤積在打狗溪三號壩至四方林大橋之大片區域，造成河床高程抬升使得河川伏流、河相單一化，並增加兩岸高灘地溢淹風險。

經評估雖打狗溪集水區近年土砂料源之生產量較低，但仍有部分量體經由河道輸送至下游，且因下游河道土砂輸送能力受控制而造成河道淤積。使河床高程抬升增加兩岸高灘地及農地溢淹風險。

同時集水區農地多分布於打狗溪下游右岸支流谷地，其因灌溉或降雨事件所產生之地表逕流將直接排入支流中，最後匯入打狗溪主流，故肥料、殘餘資材或其它汙染物將可能隨支流而下，進而影響打狗溪水質。

二、調適策略規劃及預期效益

打狗溪集水區調適策略規劃將由前述所盤點之課題進行研擬。綜整集水區之災害防治課題為「上游崩塌地土砂生產」、「高灘地溢淹風險」、「農業活動非點源汙染」、「河床高程抬升河川伏流」，並規劃分別採取崩塌地治理、緩衝綠帶與水砂溢淹區設置、植生淨化槽與滯洪沉砂農塘設置、防砂壩改善等策略。

而在生態環境課題方面為「河川伏流及水域棲地劣化」、「提升生態系服務」，規劃採取防砂壩改善與緩衝綠帶設置等策略。上述調適策略規劃可在減輕水砂災害的同時亦改善生態棲地，以提升集水區生態系服務。本計畫調適課題主軸分布如圖 3-19 所示，調適策略導入規劃如圖 3-20 所示，而各項調適策略方案、執行順序、經費需求及成效評估等簡述如表 3-6 所示，建議以崩塌地治理、緩衝綠帶與水砂溢淹區的設置為優先推動之調適策略方案。其中，崩塌地治理範圍規劃位處於林班地範圍，建議後續和林務局羅東林管處協調相關作業規劃；其餘調適策略將由臺北分局於後續視經費及現地狀況檢討進度規劃。

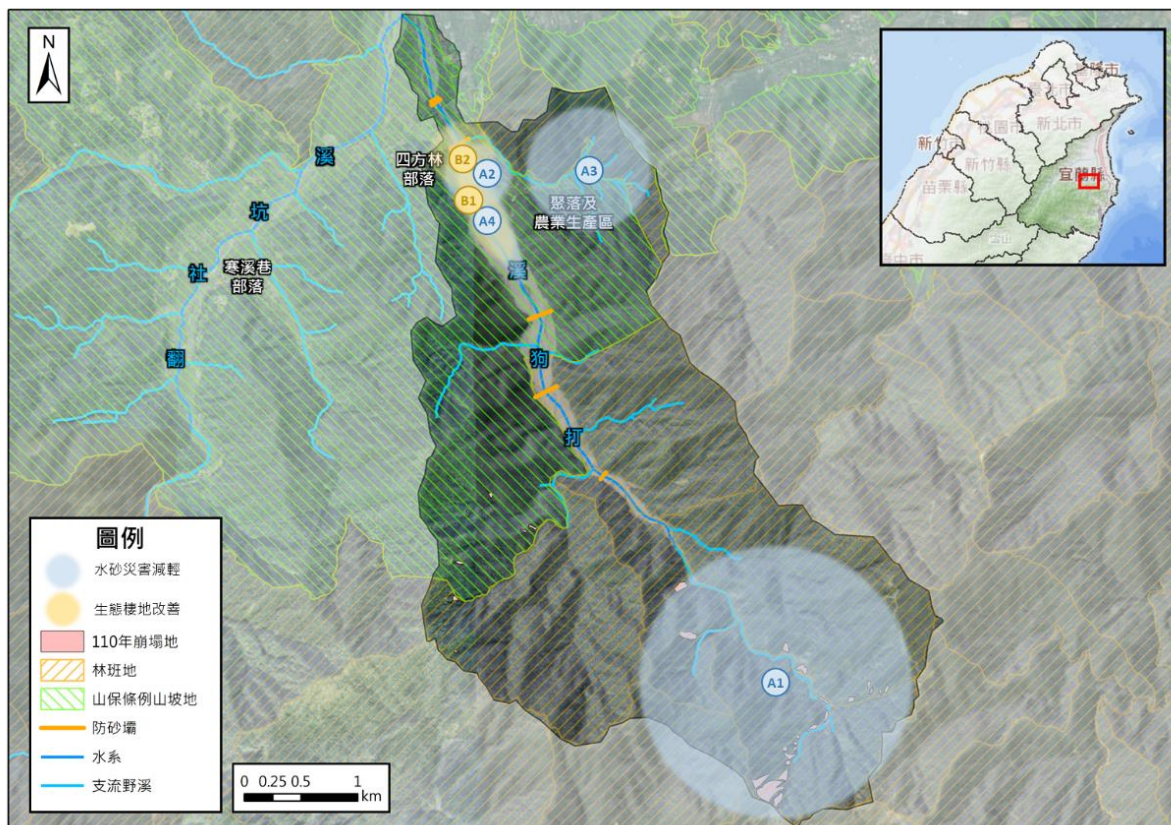


圖3-19 打狗溪集水區調適主軸分布圖



圖3-20 打狗溪集水區調適策略導入規劃示意圖

表3-6 打狗溪集水區調適策略導入規劃方案

主軸	課題		調適策略	執行順序	經費概估
水砂災害減輕	A1	上游崩塌地土砂生產	崩塌地治理	優先	2,423 萬元
	A2	高灘地溢淹風險	緩衝綠帶、水砂溢淹區	優先	緩衝綠帶區 4,440 萬元 水砂溢淹區 1,081 萬元 總計 5,521 萬元
	A3	農業活動非點源汙染	植生淨化槽、滯洪沉砂農塘	中程	植生淨化槽 3,237 萬元 滯洪沉砂農塘 240 萬元 總計 3,477 萬元
	A4	河床高程抬升 河川伏流	四號防砂壩改善	遠程	1,029 萬元
生態棲地改善	B1	河川伏流及水域棲地劣化	緩衝綠帶	優先	4,440 萬元
			四號防砂壩改善	遠程	1,029 萬元
	B2	提升生態系服務	緩衝綠帶	優先	4,440 萬元
			四號防砂壩改善	遠程	1,029 萬元

打狗溪集水區 110 年崩塌地分布位置以打狗溪集水區上游邊坡為主，如圖 3-21，其交通可及性極低，且鄰近區域無保全對象。因崩塌地自然復育速度緩慢，若遇極端降雨事件則易造成崩塌持續擴大或土砂下移等情形，故建議採用無人飛行載具(UAV)航空植生工法，以遙控 UAV 撒播種子方式復育崩塌地植生，以穩定坡面降低土砂料源生產量，減輕下游河道淤積情形。建議後續 UAV 撒播種子作業完成後，應利用 UAV 搭載近紅外光相機拍攝投擲後影像，並以 NDVI 指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)進行比對與分析，藉以確認投擲後的植物生長情況，評估投擲前後之植生覆

蓋率，而覆蓋率係指植株垂直投影於坡面上面積之比率

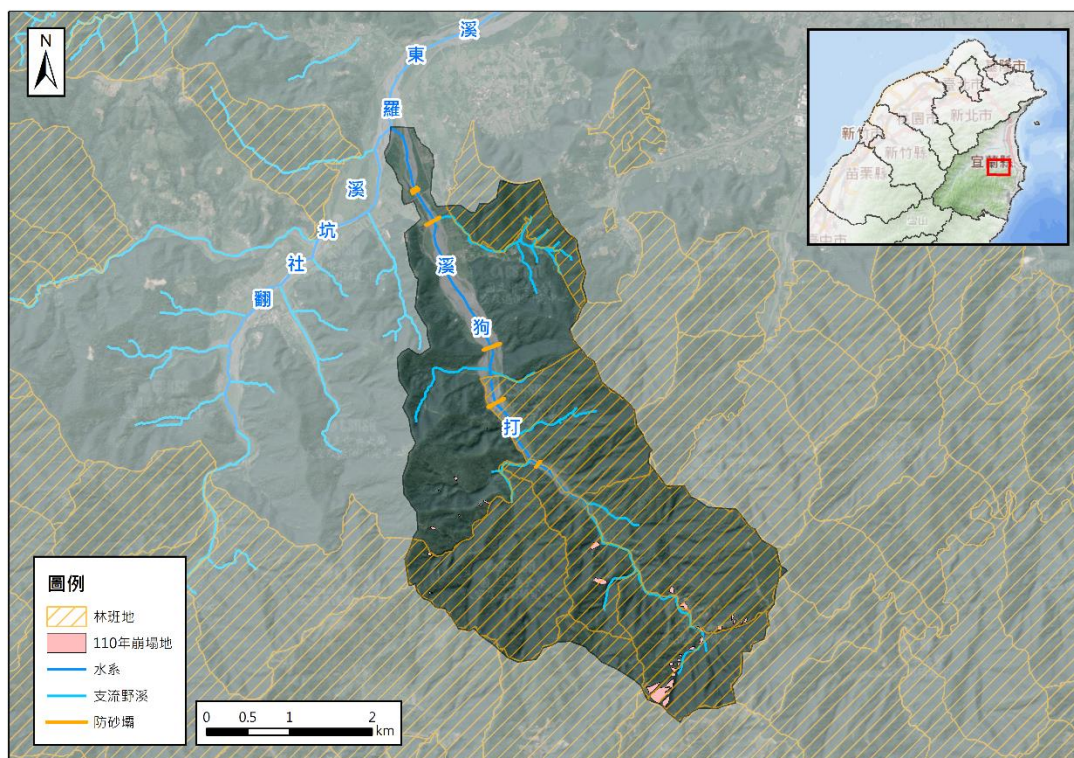


圖3-21 打狗溪集水區 110 年崩塌地分布

打狗溪四號壩上游兩岸高灘地除颱風期間外，較不易受河水影響，於此規劃緩衝綠帶將能降低洪水侵襲右岸農路農田及左岸四方林部落高地坡腳之機率，並增加陸域棲地的面積，提供野生動物由森林至溪流間之廊道使生態環境更為多元，同時移除濱溪帶入侵外來種之銀合歡植株，有助於恢復原生物種棲地環境並減少碳排放，利於維護在地居民生命財產安全與生活品質以及維護野生動物活動空間。緩衝綠帶範圍內將部分降挖設置水砂溢淹區及引水退水路，可於洪水來臨時導引水砂進入溢淹區沉澱，減少輸出至下游羅東溪之土砂量體，並能遲滯洪峰流量。

本計畫高灘地緩衝綠帶與水砂溢淹區之規劃如圖 3-22 所示。打狗溪下

游左岸及右岸高灘地，規劃環狀之緩衝綠帶及水砂溢淹區。緩衝綠帶區可能受洪水上灘影響，臨溪側應種植對潮濕環境耐性較高之樹種，能適應洪水期間造成的水砂溢淹，增加樹木於溢淹期間的存活率，並以原生及適生種的樹種為主。營造緩衝綠帶時，若該區位已有局部灌木或草本植被，則建議搭配表土保存，以保留營造範圍中已生長植被區域且植被組成以原生植物為主的範圍之表土，並於完工後藉由將含有原地植被種子的表土回填，加速緩衝綠帶中植被的生長回復。由圖 3-23 河道流速分布模擬成果可發現在改善工程治理後，洪水至三號壩下游後受深槽疏濬影響，水流多集中於流心深槽內；而三號壩下游右岸因堆置土堤阻擋水流影響，故直至四號壩前均鮮有水流漫灘之情況；而三號壩下游左岸部分，規劃之水砂溢淹區受引道引洪水入流，可見水流上灘至左岸水砂溢淹區，且流速緩慢將有利泥砂落淤於此。

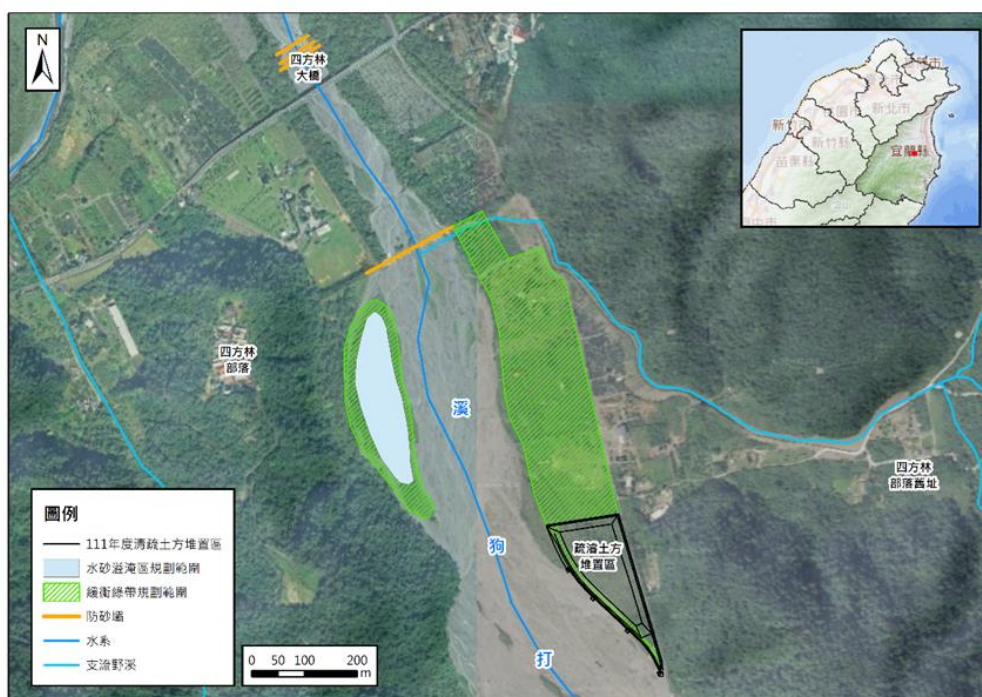
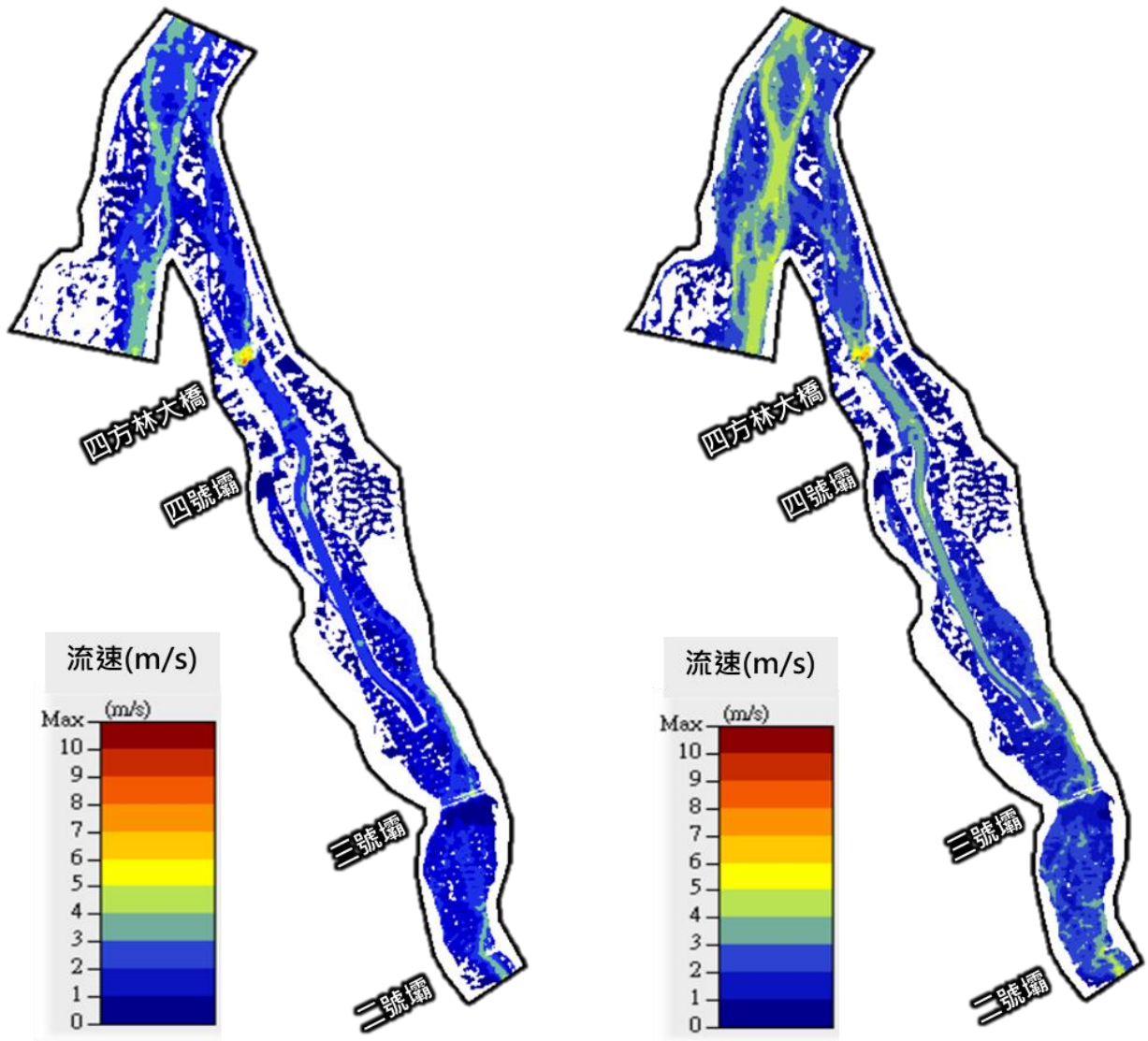


圖3-22 緩衝綠帶與水砂溢淹區規劃範圍



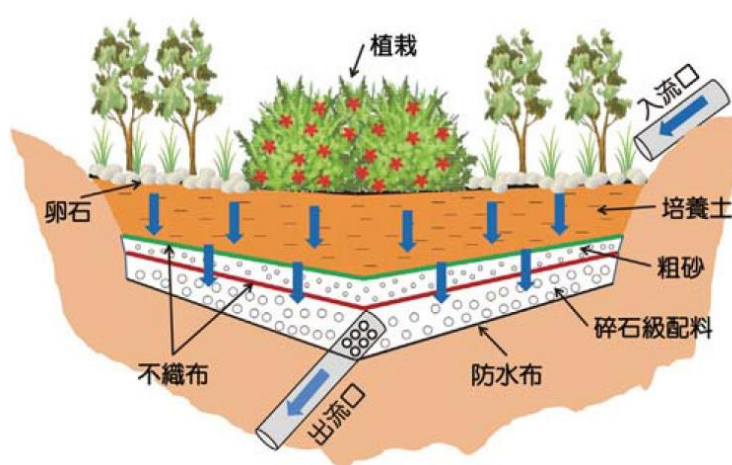
(a) 5 年重現期

(b) 50 年重現期

圖3-23 打狗溪高灘地緩衝綠帶與水砂溢淹區方案之流速模擬成果

打狗溪下游右岸支流谷地之農業活動污染物將可能隨地表逕流排入支流，進而影響打狗溪水質。為減輕農業活動污染物所造成之衝擊，後續可規劃於支流下游處(即打狗溪四號壩上游右岸高灘地)設置植生淨化槽及滯洪沉砂農塘，於降雨期間引導過濾支流洪水以削減汙染，並由農塘貯存過濾後水以降低洪峰流量並沉滯泥沙，同時可作為緩衝綠帶植株澆灌之用，有利於

在地與整體流域居民之生活品質，以及維護生物棲地環境，結構如圖 3-24 所示。建議後續於植生淨化槽設置後進行暴雨採樣，即採集地表逕流水進入植生淨化槽前之水樣以及過濾後之水樣，並依據行政院環境保護署環境檢驗所公告之水質檢測方法進行懸浮固體(Suspended Solids, SS)、氨氮(NH₃-N)、透視度(Transparency, TP)…等水質項目濃度檢測，以分析汙染削減效益。



資料來源：土木水利會刊第四十三卷第五期(2016年10月)，何嘉浚、張峰毓「以植生滯留槽控制農業非點源汙染」

圖3-24 植生淨化槽配置示意圖

打狗溪四號壩的設置發揮土砂調控功能，然因打狗溪下游河道土砂輸送能力受控，造成四方林大橋至打狗溪三號壩之間土砂持續淤積，使河床高程抬升並造成河川伏流。後續若崩塌地治理及緩衝綠帶區與水砂溢淹區方案實施後成效良好，則可評估在河道環境穩定且不影響安全的情境下，局部改善打狗溪四號壩體，藉由河川自然營力調節土砂，使細顆粒土砂可被輸送出至下游但同時防止大顆粒土砂下移，使河床逐漸形成較為固定之主深槽減緩流心擺盪幅度，進一步降低打狗溪集水區下游左右岸高灘地受洪水溢

淹之風險，降低辦理清疏工程之頻率減少對灘地的擾動，並恢復溪床面之常流水以改善水域棲地品質使物種更為多元，利於整體生態環境，甚而在常流水恢復後可於不影響水域環境的前提下做為鄰近農地用水來源，對於在地居民生活品質及生物棲地環境有良好助益，方案示意詳圖 3-25 所示。

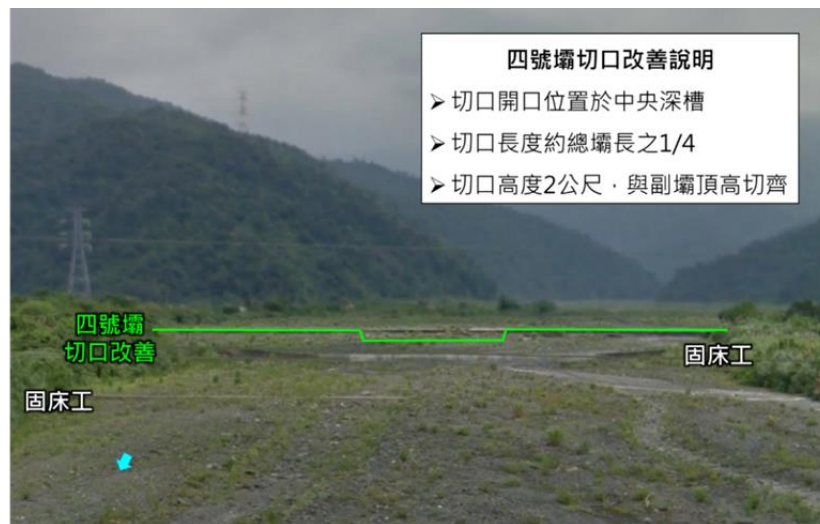
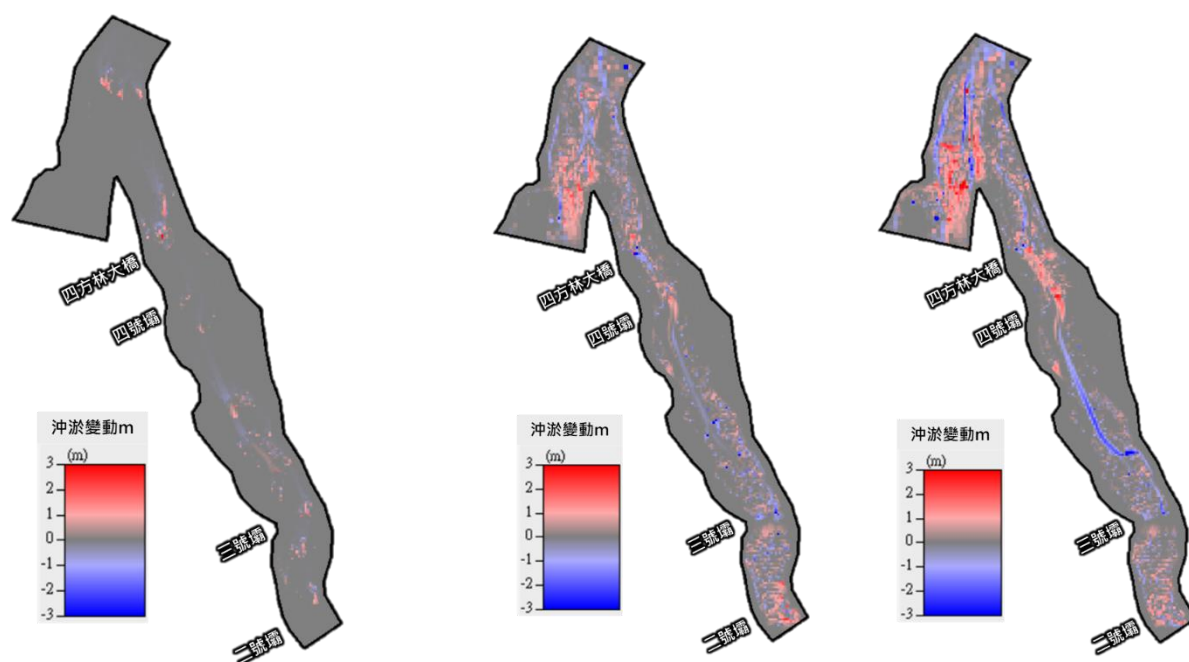


圖3-25 打狗溪四號壩切口改善工程示意圖

由圖 3-26 河道沖淤變動模擬成果可發現在改善工程治理後，受三號壩可調式防砂壩工程治理影響，洪水流速有效減緩，水深提高，有利泥砂落淤於三號壩，其上游底床河道底床沖刷之泥砂大多攔蓄於此；而三號壩下游因深槽疏濬影響，水流集中於流心深槽內流速增加，使底床挾砂力道增強，於洪水事件過後深槽具下刷趨勢，而沖刷之土砂直至四號壩前堆積；三號壩下游左岸土砂溢淹區由引道引流上灘後，亦呈現土砂淤積趨勢；另四號壩改善工程將有效控制河心流路，使主深槽流速增加，提高清疏深槽土砂運移之挾砂能力，而四號壩及其下游之固床工群，因河道坡度較緩，結構物間高差低現況底床變動呈現沖淤互現狀態，相對穩定，對四方林橋應無明顯不良影響。

由模擬成果亦可發現改善工程對於羅東溪之河床沖淤情形應無明顯影響。



a)5 年重現期

(b)50 年重現期

(c)歷史 10 年大型洪水

圖3-26 打狗溪調適策略之河道沖淤變動模擬成果

三、經驗學習

1. 規劃復育打狗溪常流水生態

打狗溪中下游區域現況底床淤高，為伏流水狀態，僅在強降雨時會形成流路，水域生態功能劣化。因此藉由改善方案利用自然營力調節土砂，恢復打狗溪常流水，應能有效增加水域環境原有之生態系服務。

2. 植生淨化槽建議

植生淨化槽為結合物理性、化學性與生物性過濾的暴雨逕流收集與污染削減之 LID 設施。其基本組成包含植物、土壤介質層、礫石過濾層及出流設施。因此在農地水土保持上，可藉以淨化坡面水體。

第三節 沙河溪示範區

沙河溪示範區資料引用自「111 年度後龍溪導入 NbS 調適研究計畫」，示範區位於苗栗縣後龍溪流域，河道兩岸多為青灰色泥質砂岩、灰色至白灰色砂岩及頁岩或砂質頁岩組成，造就現地多為灘岸崩塌，推估與現地土壤多為白細沙有關，雖不易造成大型土砂災害，但沿岸皆常見土砂淤積情形。其中區域尺度調適策略規劃，針對善東橋上下游河段辦理，受下游取水堰影響，溪床長年淤積具有溢淹潛勢，需定期辦理疏浚，淤積土砂阻塞取水堰既有引水渠道且淤積河床影響兩岸抽水灌溉利用，同時該河段評估具高生態系服務，亦為珍貴物種石虎及飯島氏銀鮎棲地。整體評估面臨的社會挑戰為水安全、減少災害風險及環境劣化(表 3-7)，運用 NbS 之 8 大準則自我評估如表 3-8 所示。

表3-7 沙河溪示範區之社會挑戰

社會挑戰	水安全	減少災害風險	環境劣化
			

表3-8 運用 NbS 之 8 大準則評估沙河溪示範區

準則	自我評估說明
1.NbS 能有效應對社會挑戰	面臨灘岸崩塌、水砂溢淹及珍貴物種棲地劣化課題。
2.NbS 的設計會注意尺度問題	由大尺度之後龍溪聚焦至小尺度善東橋河段。
3.NbS 會帶來生物多樣性淨增益及	預期改善珍貴物種棲地，連結流域橫向及縱向

生態系完整性	生態廊道。
4.NbS 具經濟可行性	藉由改善壩體調適流域土砂運移平衡。
5.NbS 是基於包容、透明及培力賦權的治理過程	舉辦說明會了解地方民意需求，並擇定取水堰改善方案。
6.NbS 能在達成主要目標與持續提供多重效益的得失間，公平的找到平衡點	經多次地方溝通，於用地取得條件考量下，調整取水堰改善方案，降低淤積災害潛勢及改善棲地環境功能。
7.NbS 循證(依證據)進行調適性經營	設置水砂觀測裝置，運用於後續水砂運移效益評估。
8.NbS 為永續的並在適當的管轄情境下主流化	推動集水區因應氣候變遷調適，導入韌性坡地補助方案(草案)，推動水砂溢淹區。

一、案例背景與課題盤點

沙河溪示範區位於苗栗縣後龍溪流域，其陡流急，福基以上河道平均坡降約為 1/160，福基以下河道坡降約為 1/260。此外後龍溪自福基以下為廣闊之苗栗平原，平原兩側之丘陵上有舊河道形成高位段丘面、以及大湖丘陵覆蓋紅壤；泰安、南湖地區則為石質土，老雞籠河大致為黃壤，其餘地區則大部分為黃壤、石質土及部分紅壤(圖 3-27)。

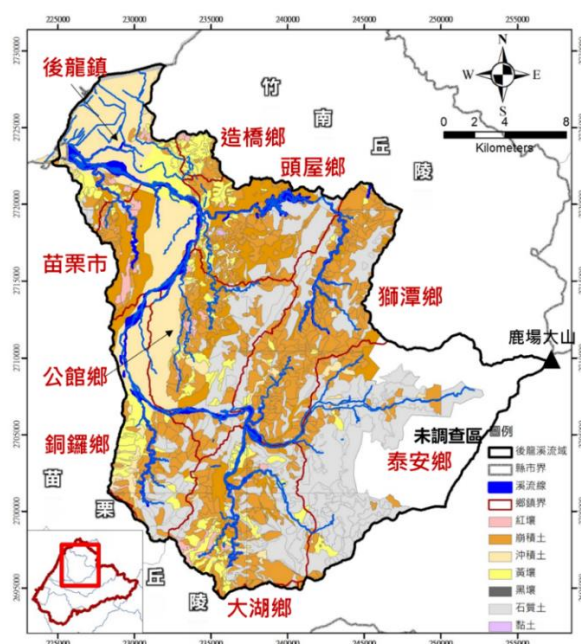


圖3-27 沙河溪土壤分布圖

後龍溪流域生態資源豐富，上游的沙河溪是飯島氏銀鮐棲地，其為臺灣的 1 級「瀕臨絕種保育類野生動物」，在臺灣僅分布於後龍溪、頭前溪及其支流等。陸域動物部分，具臺灣明星物種「石虎」，是臺灣僅存的野生貓科動物，生存棲地僅在臺灣苗栗、台中及南投一帶。

沙河溪集水區主要災害為下游淤砂及洪患問題，研判其肇因並非單一因子造成，下游河道斷面不足、後龍溪水位高漲、河道坡度過緩皆為直接造成災害之因素。此外，集水區上游地質條件不佳、道路開闢、土地利用、礦產開墾等，造成坡面及溪岸之崩塌、沖蝕，提供了下游土砂之料源，加以汛期之豐沛雨量提供致災的動力。依據水保局公開之 1,726 條土石流潛勢溪流圖層可知，於後龍溪流域內共計 38 條土石流潛勢溪流，其中分布於中上游集水區，大部分屬大湖鄉外埔大排、汶水溪及南湖溪之支流，為本流域土砂主要來源。

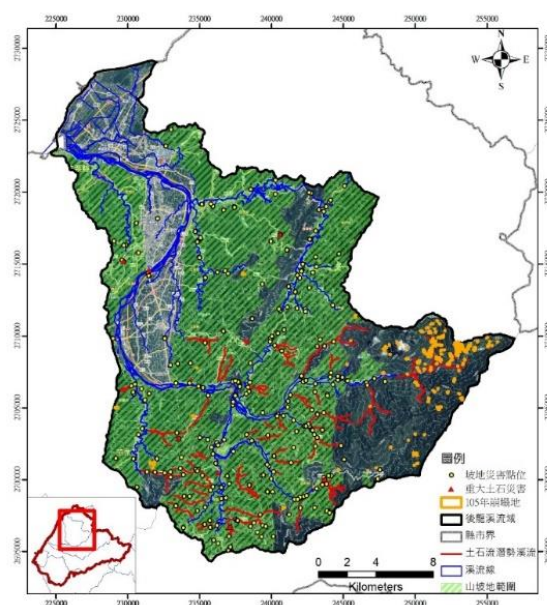


圖3-28 沙河溪示範區土砂災害資料分布圖

而由於沙河溪底床泥砂沖淤變動受河道坡度、流速及泥砂組成影響甚巨，因善東橋河道特性為多急彎道(圖 3-29)，水流易受離心力影響形成二次流況，水流衝擊攻擊側護岸易形成沖刷，故由模擬分析成果可知於河道彎道攻擊側皆有彎道沖刷的趨勢，惟善東橋下游右側凹岸因受既有固床工控制底床之緣故，無明顯下刷趨勢，可知現況固床工應具備底床控制之效益。而於攔河堰下游因受壩高跌水影響，洪水形成局部沖刷坑趨勢明顯，其沖刷坑平均下刷深度約為 2.2 m。

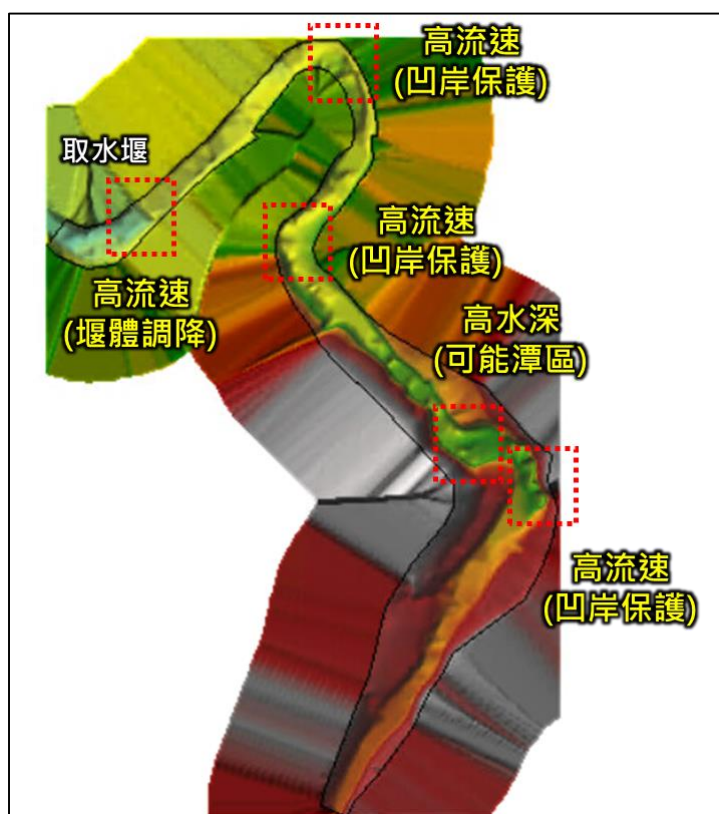


圖3-29 善東橋河道特性示意圖

由現地勘查可以發現，沙河溪集水區中下游河段，兩岸常見農塘、農地及水田，沿岸多有農民自設取水管，為有效水資源利用及延遲極端氣候發生時洪峰時間，未來可規劃活化改善工程、設置區域進、出水共用設施及用地

給付、補助等，以達坡地滯洪目標。

在後龍溪流域範圍內，可區分潛在的溪流生態系服務，如河溪作為水資源的主要來源，所提供的灌溉、生活用水等供給服務，溪流濱溪植被所提供的授粉、調節物質進入溪流水體、碳匯、穩定水質與溪流微氣候、以及減輕洪氾與沖刷災害影響等服務(Riis, et al., 2020)。此類生態系服務，與服務所依賴的生態系功能，屬於重要關注面相，擬優先評估所擇定優先推動區域中尺度子集水區內。

以正攝影像資料進行土地利用與覆蓋分類(land use and land cover, LULC)，作為評估濱溪帶生態系服務的主要參考資料與空間範疇，評估沙河溪濱溪帶範圍內不同溪流區段的生態功能與生態系服務的類別與性質，分為「高生態系服務產出潛勢」、「建議推動服務修補」及「無特別議題」繪製流域分區圖 3-30。



圖3-30 沙河溪區段生態系服務潛勢與課題評估圖

其中高生態系服務產出潛勢為濱溪帶經常為大面積連續自然植生，水域棲地多樣性高；建議推動服務修補經常為周邊聚落密集區域；無特別議題

則需依區段狀態而定。針對不同議題判釋，提出可投入規劃方向建議，如表 3-9 所示。

表3-9 沙河溪濱溪帶區段議題判釋與建議

議題判釋類別	生態資源要點	主要課題	規劃建議方向
高生態系服務產出潛勢	濱溪帶經常為大面積連續自然植生，水域棲地多樣性高	既有高生態系服務潛勢區域保全	最小化工程擾動 社區自主防減災規劃與推動生態系服務給付
建議推動服務修補	經常為周邊聚落密集區域	推動細部評析確認服務修補措施與方案	增加植生緩衝帶 劃設溢淹區與推動生態系服務給付
無特別議題	依區段狀態而定	區段內既有較佳生態系單元保全與擴大	定期監測與檢討災害、生態資源風險

沙河溪歷年崩塌面積及崩塌率皆低，且現地勘查發現崩塌型態多為灘岸崩塌，推估與現地土壤多為白細沙有關，雖不易造成大型土砂災害，但沿岸皆常見土砂淤積情形，為避免未來發生極端洪水事件，造成兩岸重要保全對象災害受損，因此可配合水砂易淹區規劃，以有效控制集水區水砂流出量。

並由現地勘查可以發現，沙河溪集水區中下游河段，兩岸常見農塘、農地及水田，沿岸多有農民自設取水管，為有效水資源利用及延遲極端氣候發生時洪峰時間，未來可規劃活化改善工程、設置區域進、出水共用設施及用地給付、補助等，以達坡地滯洪目標。其中區域尺度調適策略規劃，針對善東橋上下游河段辦理，受下游取水堰影響，溪床長年淤積具有溢淹潛勢，需定期辦理疏浚，淤積土砂阻塞取水堰既有引水渠道且淤積河床影響兩岸抽水灌溉利用。

善東橋下游攔水堰現況雖已無操作取水，但其堰高約 2.5 m，且參考生態資料盤點，可以發現珍貴物種飯島式銀鮎，自新庄橋以上，歷年皆無紀錄，可見善東橋下游之取水堰改善為區域關鍵課題，未來亦可藉由棲地補償作為調適目標，此外兩岸濱溪帶之保留、維持及未來維護等，亦可增加水陸域生物棲地生態系服務。綜上成為沙河溪之調適策略課題。

二、調適策略規劃及預期效益

經地方課題盤點分析及調適課題，並考量現地土地權屬與在地居民需求，研擬各課題推動區域、策略、初步建議措施及優先順序如表 3-10 及圖 3-31~圖 3-33 所示，其中善東橋上下游河段建議為優先推動河段。

表3-10 沙河溪集水區調適課題推動區域與策略一覽表

主軸	課題	策略	建議措施	建議順序
水砂災害減輕 (A)	A1 宮前橋河段水砂溢淹區	宮前橋上游水砂溢淹區規劃	- 水砂溢淹區面積約 560 平方公尺 - 緩衝綠帶長度約 150 平方公尺	後續推動
	A2 長壽橋下游水砂溢淹區	長壽橋下游水砂溢淹區規劃	- 水砂溢淹區面積約 300 平方公尺 - 緩衝綠帶長度約 110 平方公尺	後續推動
	A3 金沙橋下游水砂溢淹區	金沙橋下游水砂溢淹區規劃	- 水砂溢淹區面積約 920 平方公尺 - 緩衝綠帶長度約 180 平方公尺	後續推動
	A4 桂河橋下游水砂溢淹區	桂河橋下游水砂溢淹區	- 水砂溢淹區面積約 320 平方公尺 - 緩衝綠帶長度約 90 平方公尺	後續推動
	A5 雙河橋下游水砂溢淹區	運用自然作用減少水砂災害	- 面積約 2,600 平方公尺 - 緩衝綠帶長度約 230 平方公尺	後續推動
	A6 善東橋下游攔水堰右岸水砂溢淹區	運用自然作用減少水砂災害	- 新設七座固床工(自然素材) - 護岸基礎補強 174 公尺 - 引水渠道改善 115 公尺	優先推動
水土資源保育(C)	C1 南坑橋下游邊坡崩塌	無名橋右岸邊坡水土資源保育	面積約 50 平方公尺	後續推動
	C2 善東橋上游	灘岸邊坡水土	砌石護岸 60 公尺	優先推動

	灘岸崩塌	資源保育		
棲地功能復育(D)	D1 南北橋下游河段高生態系服務潛勢區域	棲地保全敏感區域維護	• 濱溪帶復育長度約 200 公尺	後續推動
	D2 新庄橋下游河段高生態系服務潛勢區域	棲地保全敏感區域修復	• 濱溪帶復育長度約 290 公尺	後續推動
	D3 善東橋下游攔水堰改善	改善生態條件推動服務修補區域	• 既有取水堰改善開口 • 河道縱向坡度調整 200 公尺	優先推動



圖3-31 沙河溪雙合橋至南北橋河段調適策略推動區域



圖3-32 沙河溪南北橋至善東橋下游攔水堰河段調適策略推動區域

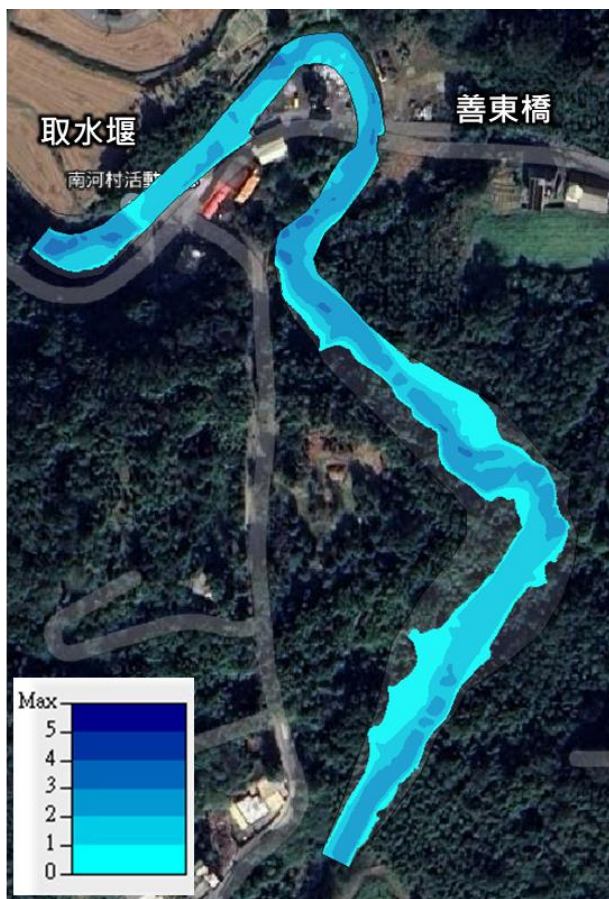


圖3-33 沙河溪善東橋上下游河段調適策略推動區域

針對善東橋河段進行水砂演算，藉由河道治理前、後水砂運移變化，評估集水區調適策略效益，另藉由治理方案分析結果，探討土砂運移平衡效益。

善東橋河段洪水自上游邊界入流後平順流直，直至一左彎河道於凹岸形成一高流速區，其流速約為 5.2 m/s ~ 5.5 m/s，而後緊接一右彎河道，並於 2 彎道中間處區域河段形成一深潭區域，其水深平均約為 3.5 m，而後河道平順流直，流速漸增至 6.5 m/s，直至善東橋下游遇 U 型彎道，並於凹岸處形成一高流速區，其平均流速約 6.7 m/s，河道受攔河堰影響坡度漸緩，易使土砂落淤，而後水流至攔水堰高跌水(壩高約 2.5 m)影響，於攔河堰下方形成高流速跌水區，其平均流速約為 9.7 m/s。

底床泥砂沖淤變動受河道坡度、流速及泥砂組成影響甚巨，因善東橋河道特性為多急彎道，水流易受離心力影響形成二次流況，水流沖擊攻擊側護岸易形成沖刷，故由模擬成果可知於河道彎道攻擊側皆有彎道沖刷的趨勢，惟善東橋下游右側凹岸因受既有固床工控制底床之緣故，無明顯下刷趨勢，可知現況固床工應具備底床控制之效益。而於攔河堰下游因受壩高跌水影響，洪水形成局部沖刷坑趨勢明顯，其沖刷坑平均下刷深度約為 2.2 m。



(a)水深分布圖



(b)流速分布圖



(c)沖淤變動圖

圖3-34 善東期河段現況二維水砂模擬成果

1. 改善方案一:取水堰降堰 1 公尺

由模擬結果(圖 3-35)可知，攔水堰降壩 1 m 後，因上游河道坡度增加，底床明顯呈現下刷趨勢，攔水堰至善東橋河段尤為明顯，由原本淤積趨勢轉為沖刷；而善東橋上游亦受降壩影響，主深槽更為深化，其上游底床河道底床沖刷整體下刷至約 3.0 m。

2. 改善方案二:取水堰切口調降 1 公尺

由模擬結果(圖 3-36)可知，攔水堰降壩 1 m 後，因主深槽平均坡度增加緣故，底床由現況淤積轉為沖刷趨勢，攔水堰上游主深槽流速明顯增加；而善東橋河段受切口調降影響，主深槽輕微下刷，其上游底床河道底床沖刷整體下刷至約 2.5 m。

因善東橋上游之現況底床為中大礫石及小泥砂粒徑組成之多樣態河道環境特性，故現況及改善方案均無固床工設置之需求考量。由上述 2 種改善方案之模擬結果可知，改善方案可增加通洪斷面，提升河道輸砂能力同時改善單一砂質水域環境，並提升抽水運用便利性，惟缺點部份為河道底床影響範圍過大(約 500 m)，恐影響至善東橋上游原本河道多樣態特性，且改善工程後橫向生態廊道仍受阻隔，且無濱溪帶等，故改善工法應同時考慮有效減少上游河道底床沖刷影響範圍，亦可達到善東橋至攔水堰之間河段單一細砂粒徑之底床環境之目的。



(a)水深分布圖



(b)流速分布圖



(c)沖淤變動圖

圖3-35 善東橋河段改善方案一-二維水砂模擬成果



(a)水深分布圖



(b)流速分布圖



(c)沖淤變動圖

圖3-36 善東橋河段改善方案二-二維水砂模擬成果

三、經驗學習

1. 濱溪帶生態系服務評估

生態系服務包含支持、調節、供給及文化，提供生物棲地、水資源、食物、調節氣候或洪水及增加地方觀光資源等，是評估集水區調適策略之重要指標。經由生態系服務評估，可藉由了解集水區之土地使用探討與環境之間的交互作用，評估調適重點。

2. 藉由民眾參與討論集水區調適策略方案

調適策略的可持續性，取決於地方民眾的認同及意願，經由公民參與作業方式，讓不同利害關係人於場合中討論交流，以取得彼此共識，達到賦權及包容目標。

第四節 南山溪示範區

南山溪示範區資料引用自「111 年度集水區 NbS 調適策略推動專案管理計畫」，示範區位於南投縣仁愛鄉眉溪集水區，在 921 地震後曾經歷多次風災，造成土石流災害。在建製系列防砂壩及固床工後，有效抑制土砂下刷，但也造成眉溪一帶護岸及固床工掏刷課題。整體評估面臨的社會挑戰為水安全、減少災害風險及環境劣化(表 3-11)，運用 NbS 之 8 大準則自我評估如表 3-12 所示。

表3-11 南山溪示範區之社會挑戰

	水安全	減少災害風險	環境劣化
社會挑戰			

表3-12 運用 NbS 之 8 大準則評估南山溪示範區

準則	自我評估說明
1.NbS 能有效應對社會挑戰	利用 8 大準則設計訪綱，以深度訪談進行開放問題、不限定特定議題的方式蒐集地方意見。
2.NbS 的設計會注意尺度問題	了解地方水資源利用及關注狀況，並依據土地利用及壩體改善策略影響上下游程度，規劃眉溪集水區範圍。
3.NbS 會帶來生物多樣性淨增益及生態系完整性	提出壩體改善、復育緩衝綠帶、推廣混農林等策略，預期改善邊坡水土保持能力及生物棲地。
4.NbS 具經濟可行性	以壩體改善策略恢復溪流自然營力，增加下游護岸及固床安全，預期較持續投入工程經費修復更具經濟可行性。
5.NbS 是基於包容、透明及培力賦權的治理過程	蒐集地方利害關係人意見，提出調適策略可能需要的協同合作對象，利於調適策略的可持續性。

6.NbS 能在達成主要目標與持續提供多重效益的得失間，公平的找到平衡點	了解南豐及楓林社區過去面臨災害的應變，及歷史影像了解過往土砂災害及壩體改善措施的影響範圍。
7.NbS 循證(依證據)進行調適性經營	設置水砂觀測裝置，運用於後續水砂運移效益評估。111 年度進行生態環境調查，了解現地環境現況，建議持續推動。
8.NbS 為永續的並在適當的管轄情境下主流化	導入韌性坡地補助方案(草案)，建議營造緩衝綠帶。

一、案例背景與課題盤點

南山溪示範區位於南投縣仁愛鄉眉溪集水區，集水區共包含東眼溪、南山溪、食菜坑溪、天主堂野溪、南山橋野溪、楓子林橋野溪及本部溪等集水分區，並受上游合望溪影響。眉溪集水區主要為林班地及山坡地保留地。土壤包括沖積土、石質土與黃壤，其中以石質土為最多，其次為黃壤。

石質土為含石量多的一種底質，其特性排水與通氣良好，具有易崩塌特性，不宜農牧用途，較建議進行水土保持或植生造林等工作，利於土質改良。因此可能因過度的土地利用，在遇到強大的自然營力時，容易產生較大的災害。

而依據土地利用分析，眉溪集水區目前之土地利用現況，以闊葉林分布最廣，佔全區面積 76.50%；其次為茶園，佔全區面積 4.51%，道路沿線為聚落聚集之處，同時也是建築區分布面積有 23.94 ha，佔全區面積 0.50%。其中南山溪及眉溪附近人為開發較為頻繁，大都以種植林木、果園、蔬菜及溫室花卉為主，其餘地區之開發較少。在土壤質地較不適種植並在流域兩岸頻繁的人為開發行為的條件下，可能加劇影響集水區的水土保持功能。

表3-13 眉溪集水區土地利用百分比

土地利用	面積(ha)	百分比(%)	土地利用	面積(ha)	百分比(%)
灌木林	3.0	0.06	旱田	58.6	1.23
道路	8.0	0.17	果園	101.4	2.12
河流	15.4	0.32	針葉林	100.3	2.10
崩塌地	167.5	3.51	草生地	112.7	2.36
建築區	23.9	0.50	荒地	147.8	3.09
檳榔	28.7	0.60	茶園	215.5	4.51
竹林	38.1	0.80	闊葉林	3,714.1	77.73
雞豬社寮	42.9	0.90	合計	4,778.0	100.00

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，其中天主堂與南山溪兩聚落為賽德克族居多，其餘為平埔族噶哈巫族群所住。眉溪集水區住民從日據時期，日本政府為了方便管理山區人口，將原住民從山區遷居至南山溪、東眼溪、及眉溪一帶，也形成現今的聚落。居民遷居後，相對的土地利用活動更加的頻繁。在土質特性跟土地利用增加下，可能會增加土石下刷機會。

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。也是本計畫將集水區規劃尺度，聚焦至南山溪一帶之主因。

在土砂災害後，除了辦理土砂清疏作業及河道兩岸設置護岸，在 2005

年至 2015 年間，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 3-37 所示。

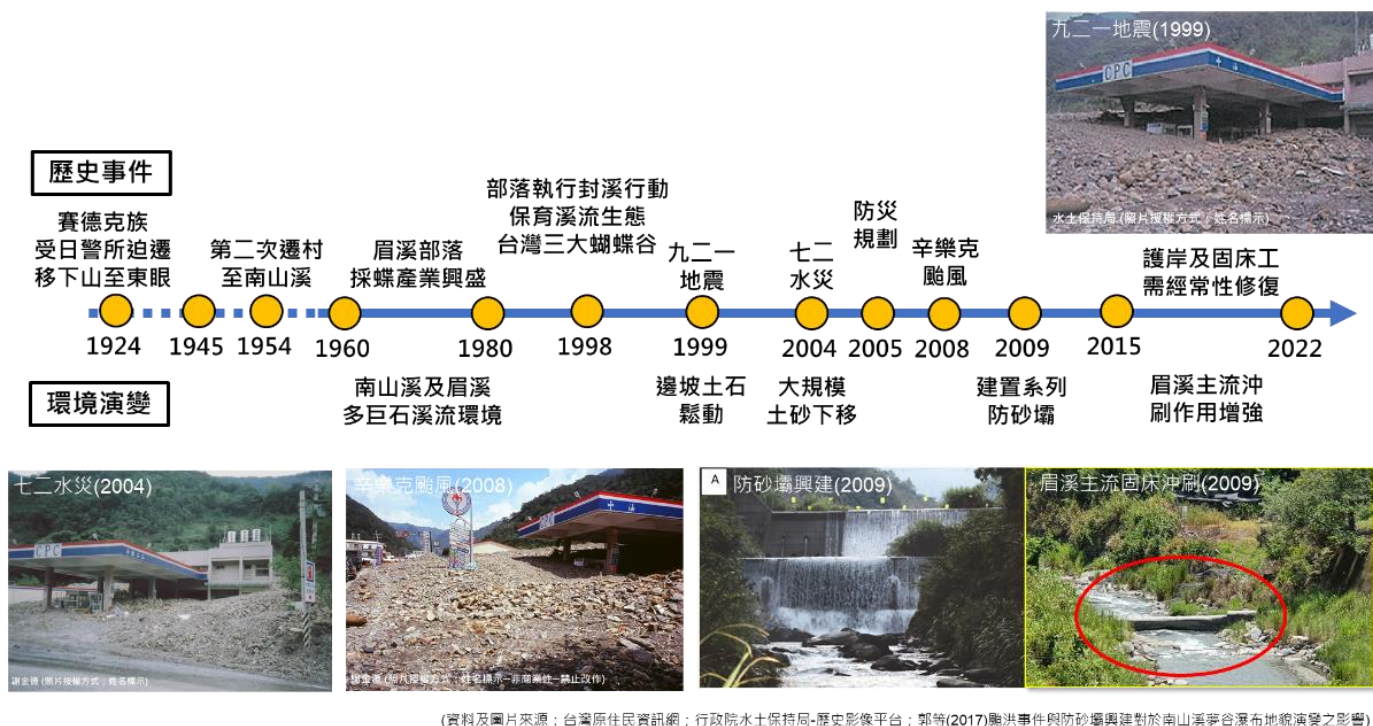


圖3-37 南山溪流域歷史事件及環境變化圖

為維護環境永續發展，了解部落之生活、生產及生態狀況是推動集水區調適策略關鍵。因此規劃訪談大綱以深入了解部落需求、對環境之觀念及對部落未來發展之願景及規劃，有助於地方施行政策的落實。訪談大綱參考NbS 的八大準則，以開放訪談的方式，了解部落基本資料、環境或災害狀況、了解過去環境樣態、現有之自然資源及未來規劃等。為考慮受災及調適策略可能的影響範圍，受訪對象擴及上下游居民。

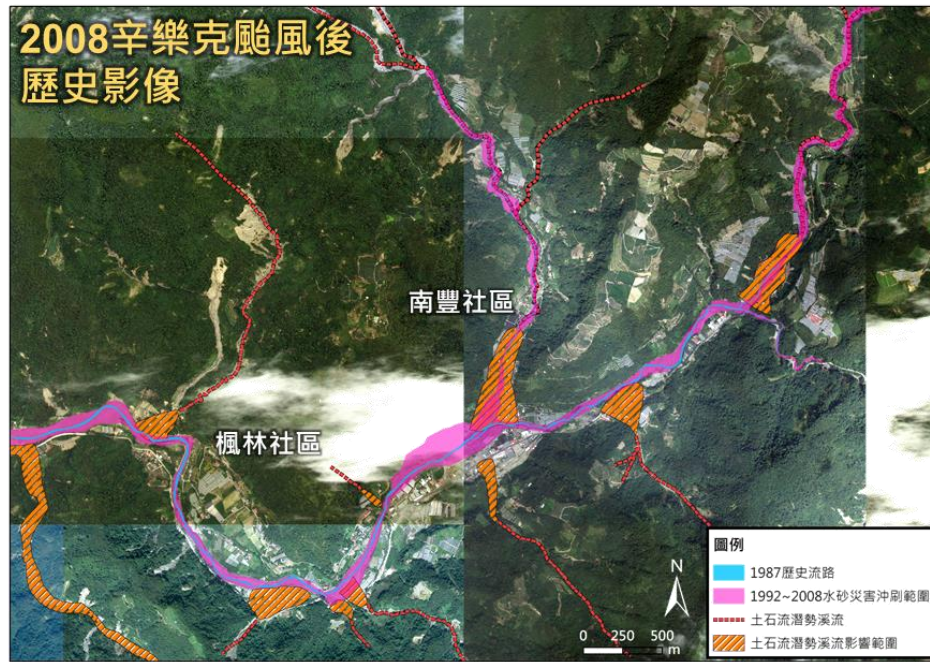


圖3-38 南山溪及眉溪歷史流路及過往土砂災害之沖刷範圍

根據深度訪談結果，評估分析地方優先關注的社會挑戰為「經濟與社會發展」，其次為「水安全」及「生態環境退化與生物多樣性喪失」。經濟與社會發展來自受訪人希望能發展地方特色與產業，吸引年輕人回鄉；水安全來自受訪人對水資源取得具有擔憂情況，擔心缺水及水質受週邊土地農耕汙染，而設置防災措施，如攔沙壩、固床工、護岸等，亦有破溪流自然平衡，進而影響水安全之慮；生態環境劣化與生物多樣性喪失來自受訪人理解地方蝴蝶資源之重要性，且對土地超限利用產生擔憂。防災減災的回應數量較低，主要來自受訪人肯定機關在地方建置的防減災設施，以及近 15 年未有大規模土砂災害。也呈現周邊租地耕作情形及商店開發亦有逐年增加狀況，顯示民眾因應天然災後有其適應之恢復能力。

雖然全球大氣二氧化碳濃度逐年上升，但在民眾日常生活感受上，可能

較難直接由平日作息感受到氣候變遷的改變，因此受訪結果中，未對氣候變遷調適課題產生意見。但這並不代表氣候變遷不重要，因在解決其他項目之社會挑戰過程中，若以 NbS 概念利用生態功能行動進行相關規劃，在恢復及修復生態環境的過程當中，亦有減緩氣候變遷之調適功能。

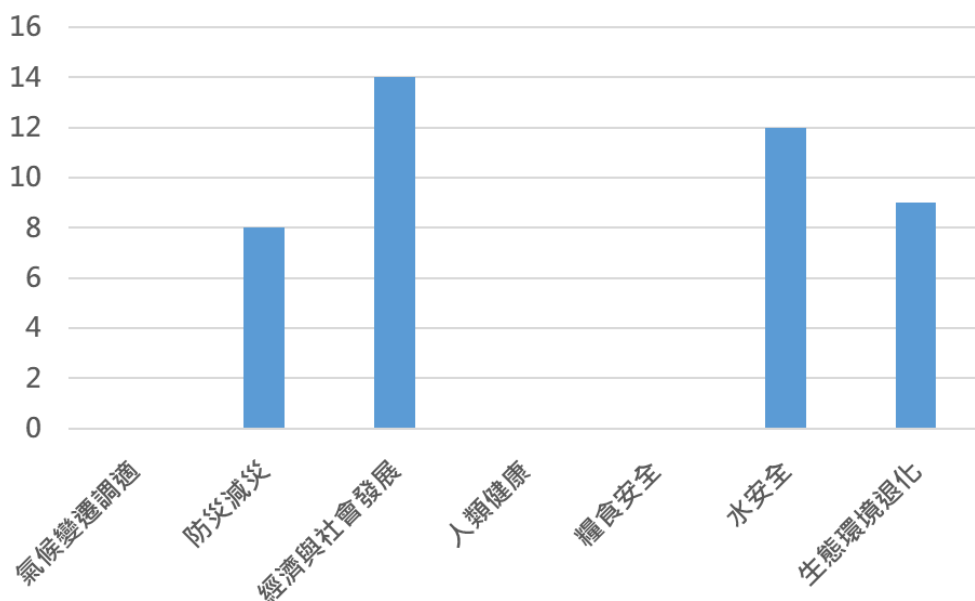


圖3-39 南山溪示範區受訪人對應 7 大社會挑戰圖

綜整眉溪集水區背景資料及訪談結果彙整出地方課題，並區分為 4 大主軸以利規劃分析及論述說明。水砂災害減輕項目中，防砂設施淤積、夢谷瀑布下層淤積及過往土砂災害是經背景資料盤點所了解，訪談作業時，大多居民也了解這樣的情況。而眉溪護岸固床沖刷問題，為透過背景資料盤點及現地勘查了解，目前僅 1 位居住於眉溪旁的受訪人有提到此一課題，大多數受訪人並未主動提出此一疑慮。

農地水土保持項目中地方產業、賞蝶路線等觀光推廣課題，為多數受訪

人所提出，也是大多數社區面臨的經濟產業狀況，造成社區人口老化、年輕人外移等問題，因此是大多數人所關注的社會挑戰。而在這樣的社區人口外移的背景條件下，閒置土地出租給外地人耕種成為利用土地的結果之一，其產生的課題是對土地的愛護程度可能不較地主高，而造成土地過度利用的問題，並種植淺根作物，間接影響水土保持能力。

在水土資源保育的項目中，社區居民的民生用水來源，是大多數受訪人最有感且提出需求的課題，取水管線受崩塌、大雨或是災害阻斷，可能造成居民用水，因此維持坡地水土保持及規劃完善的自來水系統是地方規劃需優先考量的項目之一。而上游坡地的崩塌，是受自然營力所形成，也是流域土砂生產的主因，在流域因土質特性易於崩塌地背景條件下，需有相對應的調適策略。

在生態棲地改善的項目中，與前述三主軸相輔相成，為了阻擋過多的土砂下移所建造的防砂壩及護岸是阻擋生物棲地連通的結果之一，除了攔阻效應外，流域過度的沖刷狀況亦可能使生物棲地劣化，同時也降低上游有機碎屑傳輸至下游的總量及化學訊號。整體情況亦產生植被棲地降低的狀況，不利綠帶的植生及自然的碳匯功能。

表3-14 南山溪示範區課題

主軸	課題
水砂災害減輕	A1 南山溪及東眼溪防砂設施淤積
	A2 夢谷瀑布下層淤積
	A3 眉溪護岸固床沖刷
	A4 過往土石流致災

農地水土保持	B1 缺乏地方產業及活動推廣規劃
	B2 缺乏親水空間及賞蝶活動路線
	B3 邊坡多淺根系作物不利水土保持
水土資源保育	C1 流域上游部分坡地崩塌
	C2 缺乏完善民生用水來源
生態棲地改善	D1 防砂設施影響縱向魚類棲地連通
	D2 眉溪沖刷狀況影響生物棲地
	D3 垂直護岸影響橫向棲地連通及濱溪帶



圖3-40 南山溪示範區課題分布位置

二、調適策略規劃及預期效益

南山溪之調適策略規劃作業參考歐盟之 NbS 推動流程，以在地訪談及環境資料盤點作為優先的評估項目，並進一步規劃調適策略。在水砂災害減輕的主軸中，提出以改善防砂壩結構，恢復溪流自然的土砂運移能力，增加河溪兩岸安全，同時需根本的強化上游崩塌地復育，以根本的減緩土砂輸入。在農地水土保持主軸中，關係地方居民農業活動及對自然資源的利用，因此

建議串聯流域及森林生態廊道連結，規劃眉溪賞蝶步道，並復育濱溪帶作為緩衝綠帶，助部落經濟發展途徑。農業行為為影響邊坡水土保持的主要課題，因此建議推廣混農林或是深耕性作物，及緩衝綠帶設置並配合韌性坡地補助方案(草案)，除強化水土保持外同時具碳匯功能效益。水土資源保育中，增加居民的水資源利用，也是地方居民最關注的課題之一，因此建議推動強化簡易自來水系統，有效管理水資源利用課題。整體的環境改善，預期具有生態系增益的效益，這也同時能改善生態棲地在水陸域棲地的破碎化課題。

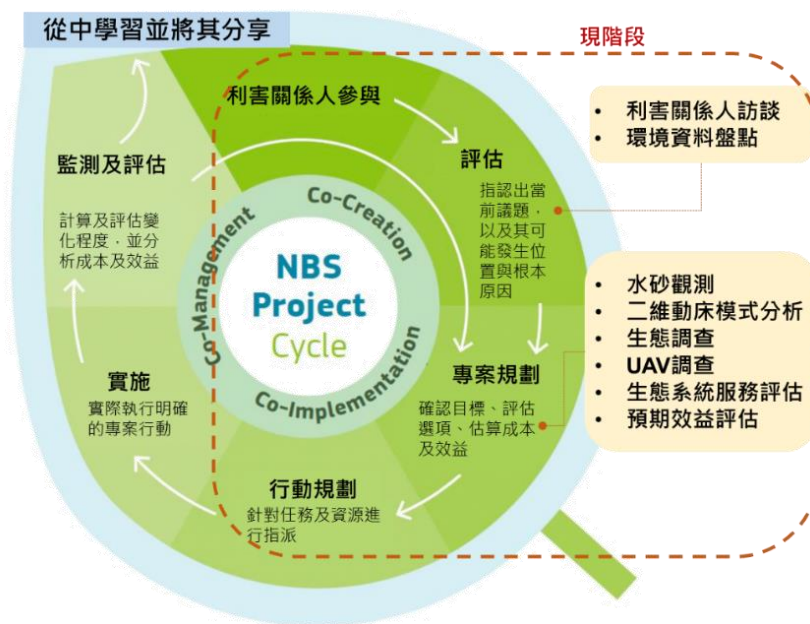


圖3-41 南山溪示範區調適策略規劃概念圖

表3-15 南山溪調適策略建議之協同合作對象及推動順序

主軸	課題	策略/行動規劃	建議協同合作	推動順序
水砂災害減輕	A1 南山溪及東眼溪防砂設施淤積	規劃南山溪及東眼溪壩體改善作業，恢復自然營力之土砂挹注量，使眉溪護岸橋梁基礎安全提升。	水保局	短期
	A2 夢谷瀑布下層淤積			
	A3 眉溪護岸固床冲刷			
	A4 過往土石流致災	強化上游水土保持等土地利用行為，如以 UAV 進行崩塌地復育、造林及混農林推廣。	水保局、林務局、地方居民	中長期
農地水土保持	B1 缺乏地方產業及活動推廣規劃	串聯流域及森林生態廊道連結，規劃眉溪賞蝶步道，並復育濱溪帶作為緩衝綠帶，助部落經濟發展途徑。	縣政府、水保局、林務局、特生中心、原民會、地方居民	短期
	B2 缺乏親水空間及賞蝶活動路線			
	B3 邊坡多淺根系作物及棚架不利水土保持	推廣混農林及苦茶產業等深根性作物，強化邊坡水土保持，並配合韌性坡地補助方案(草案)，同時具強化碳匯功能的效益。		中長期
水土資源保育	C1 流域上游部分坡地崩塌	規劃上游崩塌地撒播草種，強化造林。	水保局、林務局	中長期
	C2 缺乏完善民生用水來源	強化南山溪等簡易自來水系統，有效設置取水、過濾、蓄水、消毒及配水等系統。	水保局、縣政府、中水局、地方居民	短期
生態棲地改善	D1 防砂設施影響縱向魚類棲地連通	藉由南山溪及東眼溪壩體改善恢復自然營力，增加有機質向下游傳遞的能力，提升濱溪帶肥沃度。	水保局、林務局、特生中心、地方居民	短期
	D2 眉溪冲刷狀況影響生物棲地			
	D3 垂直護岸影響橫向棲地連通及濱溪帶	強化眉溪緩衝綠帶及濱溪帶復育，提升水質過濾及養分吸存功能，配合韌性坡地補助方案(草案)。		中長期



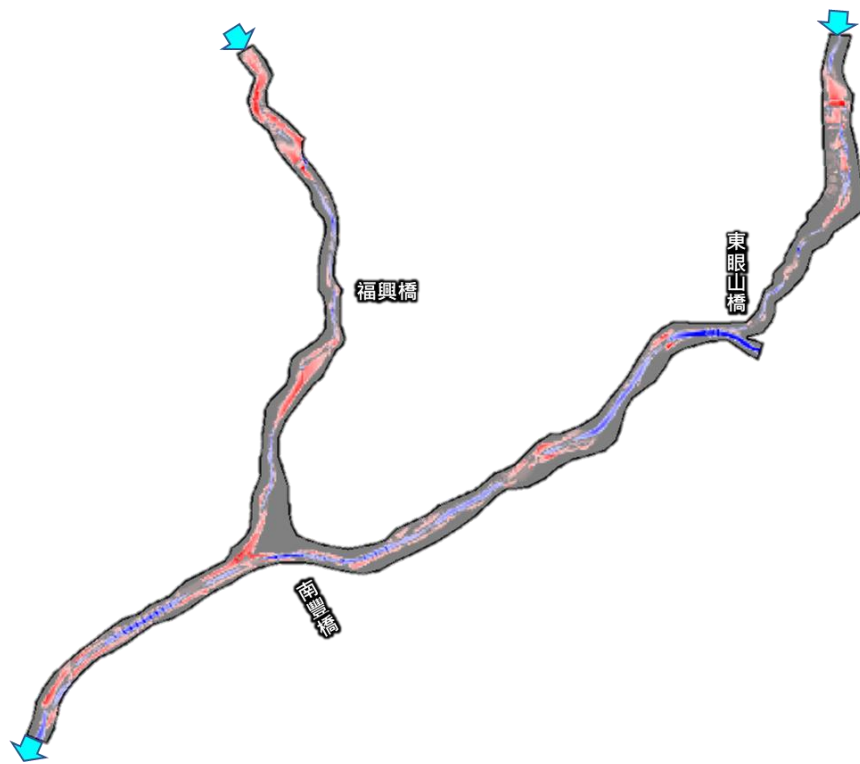
圖3-42 南山溪示範區調適策略規劃項目

在根本的改善崩塌地方面，建議可採用無人飛行載具(UAV)以撒播種子方式復育崩塌地植生，以穩定坡面植生綠覆，減輕土砂輸入流域。同時南山溪於主河道既有 2 座防砂壩進行壩體降壩，以二維水理模擬分析預期效益，並規劃利用南山溪及眉溪一帶亦設置水砂觀測儀，用以長期監測土砂運移變化所產生的可能風險。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 3-43。

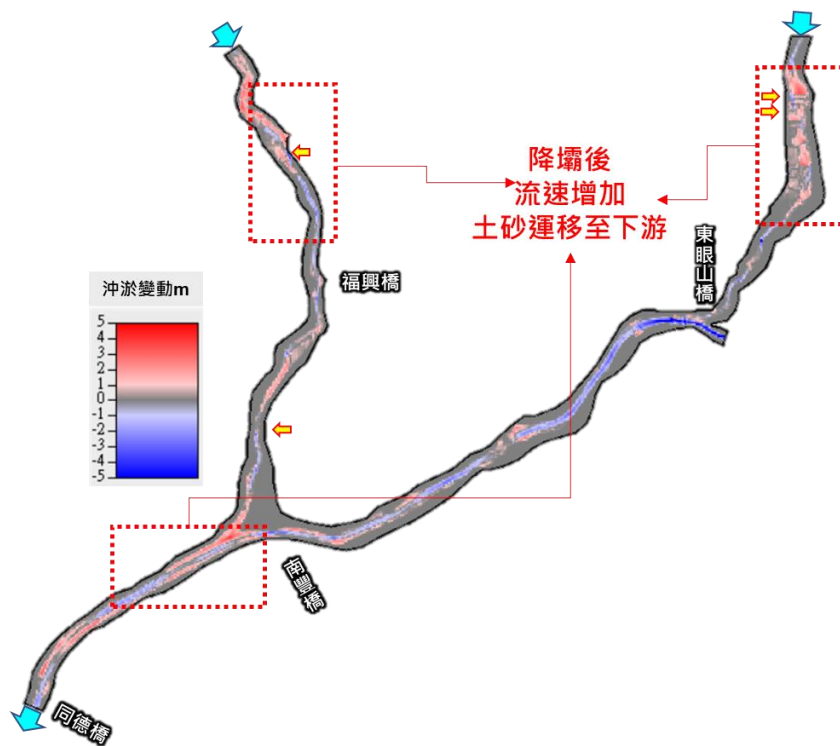
模擬結果顯示眉溪於支流之壩體降壩後，可減緩原壩體高差造成之下

游冲刷，降低基礎掏刷危害，且適度將土砂帶往下游原冲刷河段，改善南山溪因壩體高差造成之冲淤不平衡情形。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，故冲刷力道較為強勁，出口於現況情境下將產生 46.96 萬 m^3 土砂產出量，而於壩體改善(降壩)後，出口產砂量體為 47.91 萬 m^3 ，增加 0.95 萬 m^3 ，略為減緩眉溪主流匯流後河段冲刷情形。

在落淤過程中，預計眉溪主河道能增加沙洲面積約 3192.3 m^2 ，形成濱溪帶植物的著生基質，提供多樣的棲地環境，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。除此之外，在沙洲形成的環境下，增加植被生長的环境亦有助於有機碎屑埋藏，因此可提升溪流環境的碳儲存量，增加眉溪的生態系統服務。預期環境變化對生物多樣性產生惠益，策略導入初期因環境土砂變動，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，因此魚蝦蟹類多樣性會接著受到其影響。因此以水棲昆蟲多樣性為水域指標生物(圖 3-44)，同時水棲昆蟲的科級鑑定結果，亦可計算 Hilsenhoff 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(Shannon-Wiener 多樣性指數為 2.97)，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(Shannon-Wiener 多樣性指數為 2.28 及 1.93)，水質等級也略低為「好」，因此除生物多樣性面向，亦可作為評估水域環境狀態的指標，作為了解壩體改善風險的因子之一。



(a) 降壩前



(b) 降壩後

圖3-43 南山溪及東眼溪治理策略成效 Q50 沖淤變動圖

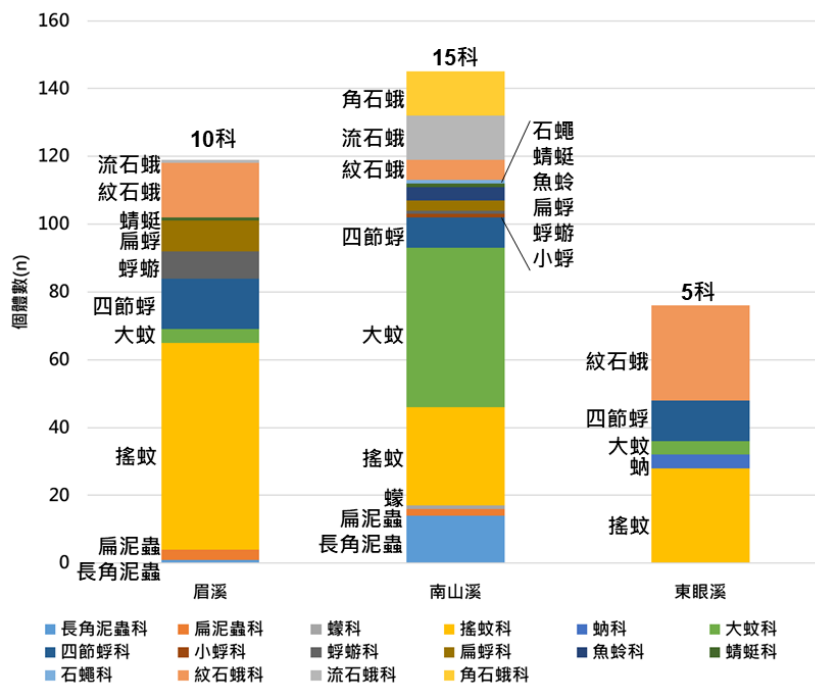


圖3-44 南山溪示範區水域生態現況調查以水棲昆蟲為指標

南豐社區現況朝著實現原鄉苦茶油產業化的願景邁進(圖 3-45)，據訪談了解社區進行農村再生時，意外發現部落有十幾公頃大的油茶種植面積。起因是早年政府為了水土保持頒布獎勵造林政策，為換取造林補助而種。但由於過往採粗放管理和品種差異，造成地方產出的苦茶油質量不足。爾後社區與相關機關合作導入相關知識技術，才讓產業化的理想漸上軌道。而南豐村現況大多以淺根作物種植，或以棚架進行耕作，水土保持能力相對不佳，若輔導農業轉型，經社區居民合作，除有機會創造地方產業及品牌外，亦可提升農地水土保持，同時也是與企業合作產品推廣之機會，以期改善土地過度利用課題。



資料來源：農傳媒，2022/02/21，擦亮賽德克部落風采 南豐社區串連返鄉青年、實踐苦茶油產業六級化。

圖3-45 南豐社區之苦茶油產業

在農作耕種型態上，亦建議推廣混農林的型態(圖 3-46)，以改善眉溪集水區本身為石質土建議植生造林改善土質的特性。混農林為結合農業與林業的經營，兼顧水土保持、自然保育及地方生計的目標，也是因應氣候變遷及災害減緩的農業方式，改善土地的超限利用。合適的植栽亦是混農林規劃的主要課題，關係到農民意願及成本效益，且混農林無可避免的可能降低農作的生產收益，因此相關的配套補助方案的加入，為其推動的重點之一。混農的樹種選擇，如能同時的穩定提供農民收益，亦可能增加農民加入的意願。在南山溪過往大規模的土砂災害後，環境土質更新，變動為需重新演替的生態環境，因此大環境土壤有機質累積減緩崩塌特性是環境規劃的重要歷程。

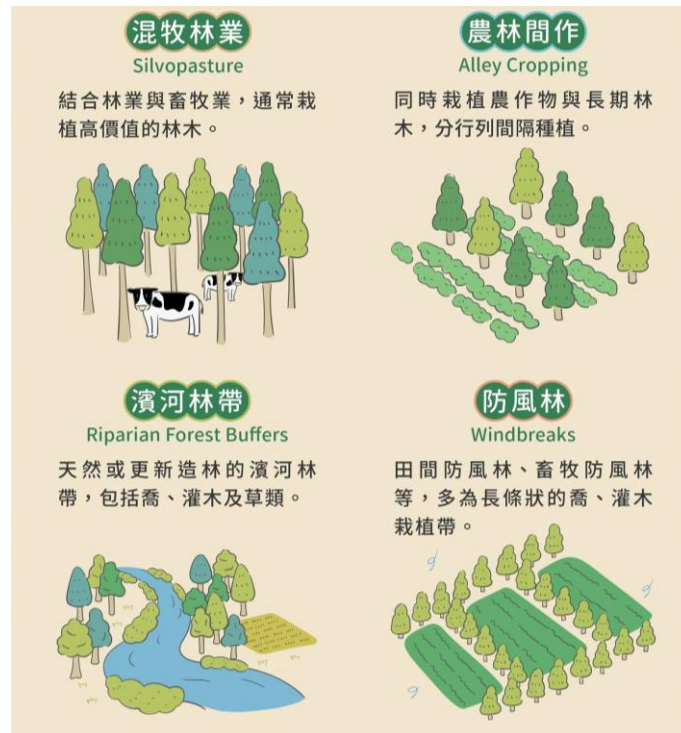


圖3-46 混農林型態方式圖

三、經驗學習

1. 優先考慮地方利害關係人的社會挑戰

NbS 準則 1 提到需優先考慮地方利害關係人的社會挑戰，因其有助於調適策略在地方的可持續推動。南山溪示範區推動採以深度訪談的方式，理解利害關係人關注的流域課題，用以評估策略推動的優先順序。

2. 以水棲昆蟲作為水域環境生物指標反應土砂運移

指標生物具有反應環境變化的能力，水棲昆蟲具有作為反應生物多樣性、底質變化及水質等環境變化條件。陸域生物中的鳥類及蝶類等，亦具有其指標性，但需依環境樣態考量合適的生物多樣性指標。

3. 推廣深根作物及混農林等非工程之農地水土保持策略

在大氣二氧化碳上升過程中，有施肥效應促進植物生長，相對的也增加植物的碳吸存能力，是生態系的韌性(恢復力)，也是可運用因應氣候變遷的策略之一。因此如何利用森林景觀恢復等手段，對生態系增益為重要的思考重點。

第五節 樟湖溪示範區

樟湖溪示範區資料引用自「111 年度集水區 NbS 調適策略研究計畫-南投縣樟湖溪規劃示範區」，示範區位於南投縣埔里鎮，為珍貴魚類臺灣副細鯽棲地。集水區水源豐枯差異大，因流域旁農耕地的農藥及除草劑使用，亦有不生物生存狀況。部分溪流發現有構造物落差大，不利生物縱向廊道，因此可能產生魚類遷移之影響。同時河道土砂堆積情況，可能產生通洪斷面不足等環境課題。評估面臨的社會挑戰為水安全、減少災害風險及環境劣化與生物多樣性喪失(表 3-16)，運用 NbS 之 8 大準則自我評估如表 3-17 所示。

表3-16 樟湖溪示範區之社會挑戰

	水安全	減少災害風險	環境劣化
社會挑戰			

表3-17 運用 NbS 之 8 大準則評估樟湖溪示範區

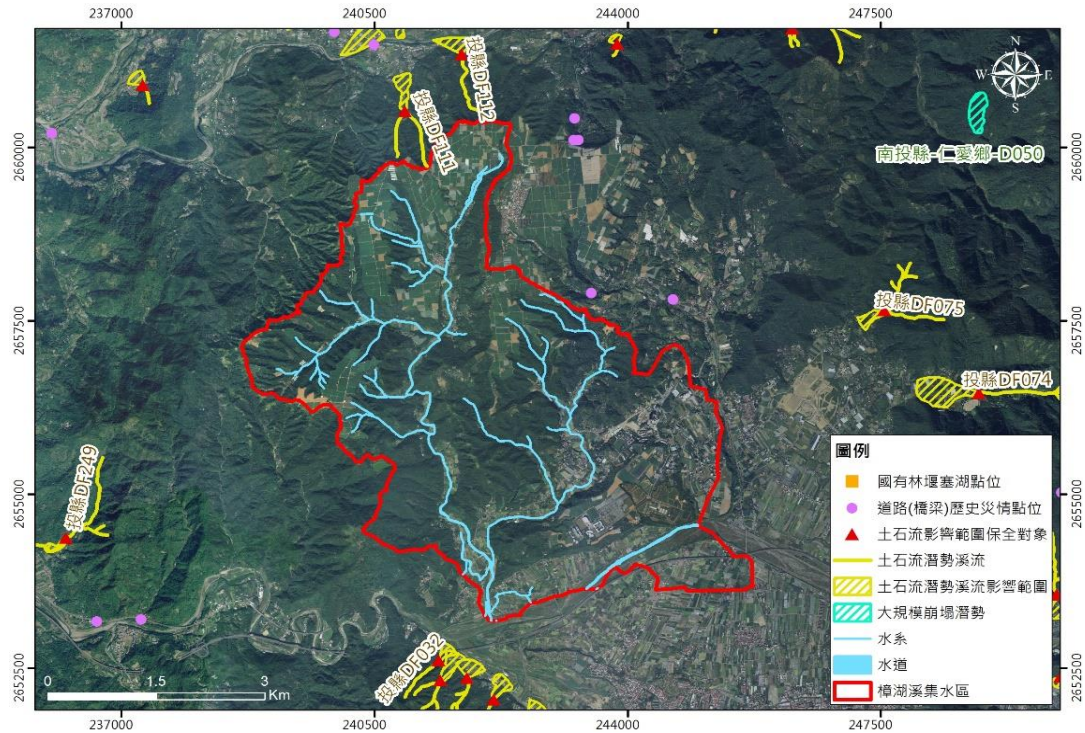
準則	自我評估說明
1.NbS 能有效應對社會挑戰	面臨土地利用、河道淤積、棲地劣化等環境課題
2.NbS 的設計會注意尺度問題	考量樟湖溪集水區，及社區民眾想法。
3.NbS 會帶來生物多樣性淨增益及生態系完整性	預期改善魚類棲地，增加魚類避難池
4.NbS 具經濟可行性	評估調適策略推動經費優於傳統工程。
5.NbS 是基於包容、透明及培力賦權的治理過程	透過訪談及工作坊辦理，了解地方居民需求。
6.NbS 能在達成主要目標與持續提供多重效益的得失間，公平的找到平衡	透過了解地方農作產業，經與民眾溝通協調，推動與棲地改善方案結合，作為魚類避

點	難池。
7.NbS 循證(依證據)進行調適性經營	設置水砂觀測裝置，運用於後續水砂運移效益評估。
8.NbS 為永續的並在適當的管轄情境下主流化	導入韌性坡地補助方案(草案)，建議營造水砂溢淹區建議

一、案例背景與課題盤點

樟湖溪示範區流域位於南投縣埔里鎮，水系可分為三部分，由東向西分別為眉溪水系、台牛坑(含樟湖坑、煙寮坑)以及水流東溪(含北寮坑)。因周邊地形平坦且水質充沛甘美，為茭白筍的主要產地，且另有絲瓜、百香果、木瓜、香蕉為大宗之經濟收入。樟湖溪集水區為保育類動物臺灣副細鯽(*Pararasbora moltrechti*)又稱臺灣白魚分佈區域，屬珍貴稀有保育類野生動物。目前的分布地僅剩埔里鎮一新里的樟湖坑溪、煙寮坑溪、台牛坑溪、合成里的水流東溪，以及台中市新社區食水崙溪等 5 條河川上游，因此呈現生物多樣性喪失的社會挑戰。

盤點樟湖溪集水區無土石流潛勢溪流，僅於集水區北側有兩條土石流潛勢溪流臨近計畫區，另計畫範圍內無大規模崩塌潛勢區，亦無堰塞湖，計畫區歷史災害及潛勢分布如圖 3-47 所示。



資料來源：國土測繪中心-內政資料開放平臺。

圖3-47 計畫範圍災害及潛勢分布圖

規劃團隊在集水區推動過程中實地與在地團體，溝通討論、了解需求，並依前述之資料蒐集、圖層套疊及調查成果，據以通盤瞭解集水區現況治理樣態及在地需求。

在北寮坑溪、水流東溪、台牛坑溪、煙寮坑溪及樟湖坑溪中，有發現其水源豐枯差異大，因此不利農業發展的課題。除此之外流域旁農耕地的農藥及除草劑使用，亦有不生物生存狀況。部分溪流發現有構造物落差大，不利生物縱向廊道，因此可能產生魚類遷移之影響。同時部分土壤沖蝕區域。或土砂堆積情況，可能產生通洪斷面不足等環境課題。這些課題可對應到水安全、減少災害風險及環境劣化與生物多樣性喪失等(圖 3-48~圖 3-50)。

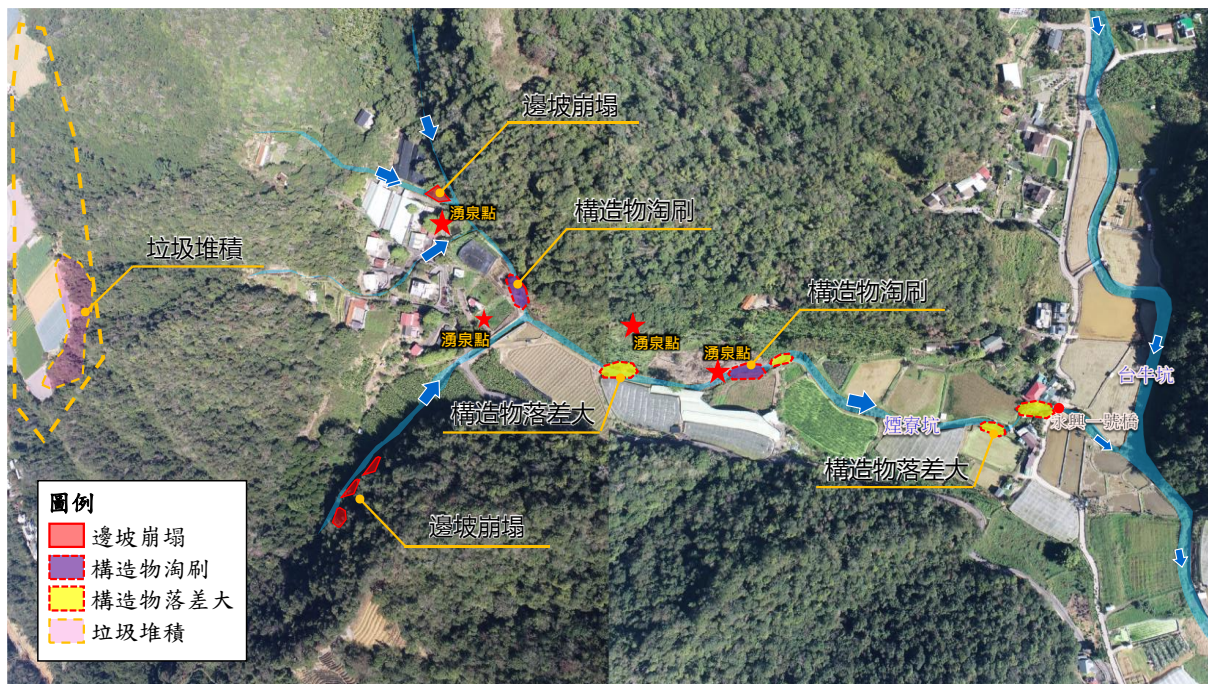


圖3-48 煙寮坑溪河道課題分佈位置圖

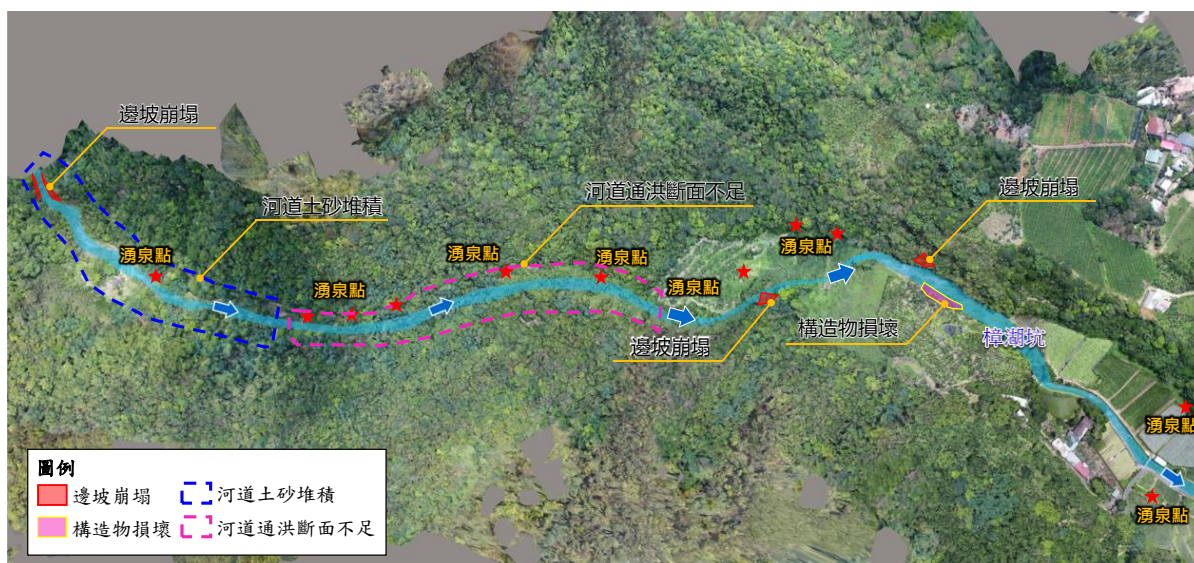


圖3-49 樟湖坑溪河道課題分佈位置圖



圖3-50 台牛坑溪上游河道課題分佈位置圖

二、調適策略規劃及預期效益

傳統對策以減少土砂生產、移動、穩定溪流之流心為主要課題，減少未來之泥砂災害。治理項目可區分崩塌地（含地滑地）處理、溪流治理。

崩塌地處理其方法可由消除或減除導致崩塌之誘因著手，或以工程構造物來增加土體之內抗力，以達成安定之目的。必要時，可由兩者互相配合實施，再配合植生處理，以增加成功率。

溪流治理係指因天然因素或人為開發之影響，致使溪岸溪床發生侵蝕、淘刷、崩塌、產生土石淤積河道及亂流之不穩定河道所實施之治理工程。其目的在有效控制土砂生產與移動，達成穩定流心，減少洪水與泥砂災害。

鑑於現今之集水區治理，不僅只希望以各種傳統工程的手法來進行，並且希望提昇整個河川之價值，冀能兼顧資源、防災、遊憩及動植物生態保育之功能，達到集水區永續發展之目的。

進行集水區治理時，應考慮原有生態環境，儘可能降低工程治理對生態環境影響，創造富安全及自然的溪流。針對河溪治理注重安全、防災與生態、景觀兼具並重下，採行近自然型態之工法治理及規劃自然形態之河岸、溪畔、深潭、淺灘、高灘地綠美化及遊憩親水空間，以利魚蝦及水中動物之洄游、維護生態環境，達到環境諧和及河溪水土資源之永續利用。

由於魚類多出現於溪流之深潭及淺灘中，工程治理時應注意是否會影響到保育類物種，故在評估各項治理工法之影響後，提出野溪治理工法，需以減少工程構造物，對生態環境之破壞，並營造溪床環境的多樣性，增加生物棲地為主要目標。

依據不同集水單元中擬定調適策略(圖 3-51)。如利用階段式固床工取代單一高落差結構物，並改善原基礎淘刷情形，除穩定河床及兩岸農地外，亦可維持水域縱向生態廊道，如圖 3-54-(f)。並於適當位置放寬河道寬度、增加渠底深度，營造緩流區並種植水生植物，可於豪雨事件期間，提供魚類避難場所及棲息地，圖 3-54-(e)。在農耕地區，設置田中簡易之魚道，維持避難池與溪流的連結，低落差維持流路通暢，增加魚類生存及棲息空間，圖 3-54-(c)。針對無明顯保全對象之崩塌地，改以順應自然植生恢復，取代大量水泥構造物保護邊坡之傳統設計思維，減少工程碳排放量。

配合閒置之茭白筍田及湧泉位置，設置臺灣白魚避難池及田中避難池(圖 3-54-(a、b))，可增加魚類生存及棲息空間，並可結合學校在地參與及生

態導覽。推廣魚筍共生(水資源管理)，利用湧泉於茭白筍田設置田中避難池，除可供農業用水，亦可於枯水期增加魚類生存及棲息空間。

比較傳統治理策略，如以鋪網噴漿，避免邊坡崩塌裸露後，持續被降雨或地表逕流沖刷。利用既有構造物補強，既有構造物因水流淘刷或岩石磨損，影響其功能，故進行補強以維持其功能。新設混凝土護岸，防止水流沖刷及侵蝕坡腳部，導致崩塌等災害，或維持水流主流線之保護工程設施。或新設固床工，抑制河床面泥沙的輸移，防止河床產生嚴重沖刷現象，緩和床面及兩岸的流速，具有整流、導流、減緩沖刷、調整河床坡度等功能。新設跌水工，用於消能、減低落差、約束流心，以減緩水流對河床的掏刷，穩定河床，避免災害產生。



圖3-51 煙寮坑溪 NbS 調適策略規劃圖



圖3-52 樟湖坑溪 NbS 調適策略規劃圖



圖3-53 台牛坑溪上游 NbS 調適策略規劃圖

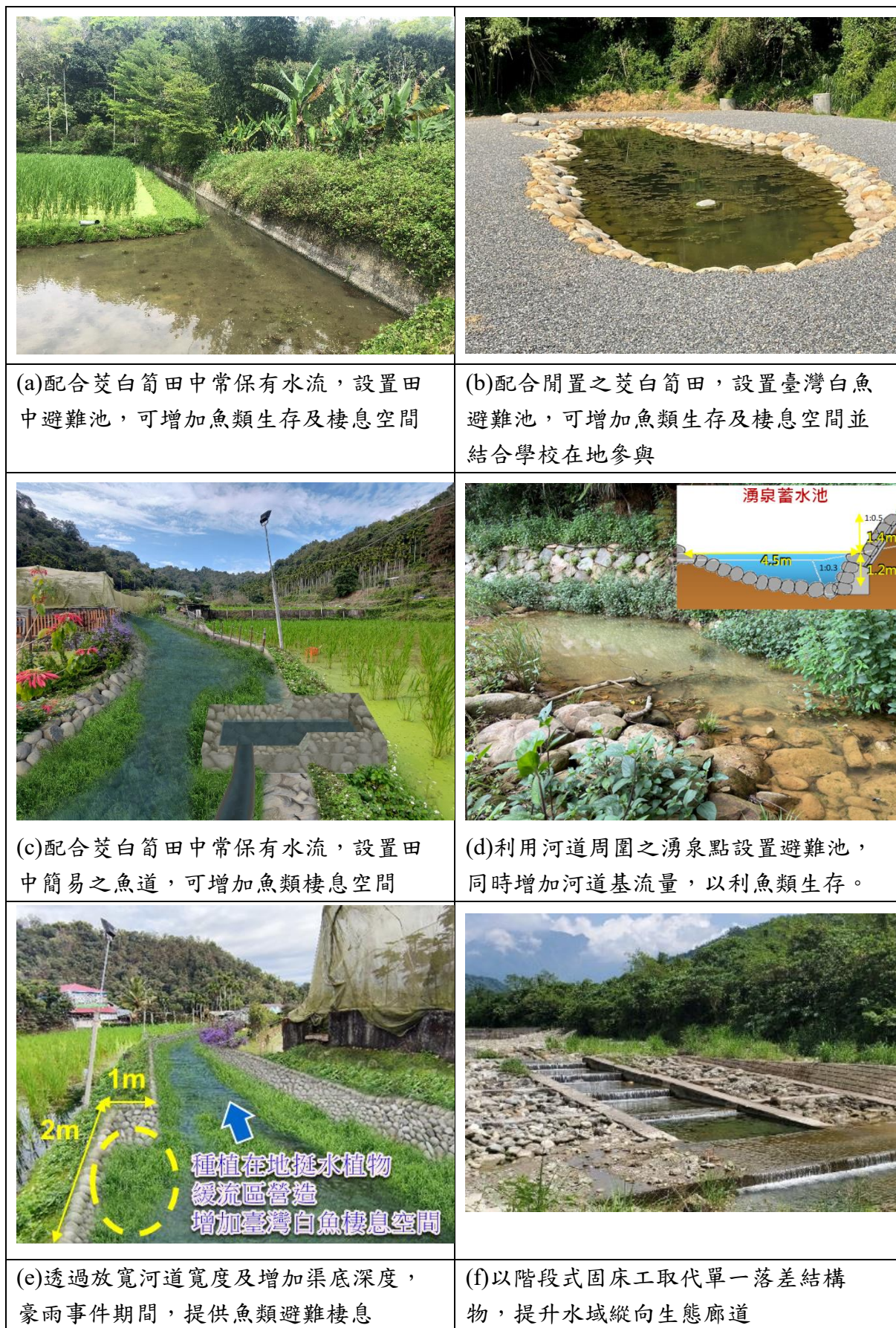


圖3-54 樟湖溪示範區集水區調適策略規劃示意圖

傳統的集水區治理工法，多採不透水的鋪面及河道截彎取直等剛性工法，較少或完全沒有考慮生態因素，故容易對自然環境帶來威脅；集水區調適策略則是以多目標的行動策略應對社會、經濟和環境挑戰，且能同時兼顧人類福祉及生物多樣性。考量本案區內豐富之生態環境、保育物種(穿山甲、食蟹獐、臺灣白魚等)及產業經濟發展課題，為求多元規劃平衡發展，本案以集水區調適策略進行後續評估，以求兼顧人類福祉及生物多樣性。

表3-18 傳統治理策略與調適策略比較表

採取策略	優點	缺點
傳統治理策略	以防災為主要考量，多以剛性工法規劃，施工快速，適合具迫切性之災害區位。	1.構造物多以鋼筋混凝土設計且無考量生態環境。 2.構造物表面不利生物爬行，縱向、橫向阻隔，影響生物活動並造成棲地碎裂生態廊道阻絕。 3.施工時破壞生物棲地，機率較大。
調適策略	多目標的行動策略應對社會、經濟和環境挑戰，同時兼顧人類福祉及生物多樣性。	多元課題同時考量，需與多方單位及在地團體溝通協調，共同討論規劃，從規劃、施工到完工等期程較長。

以調適策略進行集水區規劃亦具有碳減排之效益，一般工程碳排計算需取得詳細的工程工單資料，精算與加總每項工程工項自材料、運輸到施工之碳排量，獲得較準確的碳排資訊，惟樟湖坑溪規劃成果目前仍處規劃設計階段，尚未有詳細之預算書等工程內容，故僅以目前規劃結果，來估算碳排資料，並進行後續淨零碳排分析。

以傳統均採鋼筋混凝土(方案 0)進行設計與本案規劃成果(方案 1)進行

碳排放量計算，如表 3-19 所示，目前方案 0(傳統方案)總碳排放量為 2,560,833.95 kg CO₂e，方案 1(目前設計方案)總碳排放量為 735,222.99 kg CO₂e，方案 1 較傳統設計方案 0 約減少 71%之碳排放量，預期有顯著的碳減排效益。

表3-19 樟湖坑溪不同工程內容之碳排放量計算表

工程內容	方案 0 傳統鋼筋混凝土設計	方案 1 調適策略規劃方案	方案 2 調適策略規劃方案 (高爐混凝土)
	碳排放量(kg CO ₂ e)		
砌石護岸 940m	2,480,242.08	722,474.68	545,629.60
河道整理 450m	7,776	7,776	7,776
蓄水池 4 座	72,815.87	4,972.31	4,972.31
合計	2,560,833.95	735,222.99	558,377.91

本案樟湖坑溪規劃成果經計算有 735,222.99 kgCO₂e 之碳排放量(方案 1)，而為了達到淨零碳排的目標，可採減少混凝土碳排和增加碳匯為手段，藉由高爐混凝土替換預拌混凝土約可降低 26.3%之混凝土碳排放量(方案 2)，並於施工範圍內種植植生(增加碳匯量)，以此達成淨零碳排之目標。

方案 1 之預拌混凝土全換成飛灰爐石粉替代率 30%之混凝土，可使本案工程碳排放量降低為 558,377.91 kg CO₂e(表 3-19)，方案 2 較傳統設計方案 0 約減少 78%之碳排放量。經過混凝土材料替換後仍有 558,377.91 kg CO₂e 之碳排放量，為將碳排放量完全淨零，可於施工範圍兩岸營造複層林(圖 3-55)，以達到工程淨零排放之目標。



圖3-55 植生碳匯降低碳排示意圖

(一)煙寮坑溪水理模式模擬結果

根據調查成果顯示，煙寮坑溪主要課題為構造物落差甚大，不利生態縱向連續性、護岸及固床工基礎淘刷與關注物種生存危機(圖 3-48)，因此提出以河道拓寬及低落差階段式固床工之方式，維持生態縱向連續性，改善固床工基礎淘刷問題，並增加關注物種臺灣白魚生存及棲息空間。

由圖 3-56 及圖 3-57 可知在 50 年重現期洪水下，煙寮坑溪 2 處河道拓寬處洪峰時平均水深約為 0.7 m，而平均流速約為 0.4 m/s，水深及流速均適合臺灣白魚棲息之流況，於颱風豪雨期間，可作為魚類避難場所及提供棲息地；另本案以階段式固床工取代原單一高落差固床工，由圖 3-57 局部放大圖可知水流在階段式固床工上游最大流速約 6 m/s，通過階段式固床工時，受跌水影響，局部流速上升至 7 m/s，而在通過階段式固床工後，流速降至約 5 m/s，顯示以階段式固床工取代原單一落差結構物，仍可維持削減水流

動能之功用，並藉由低落差之方式維持水域縱向生態廊道。

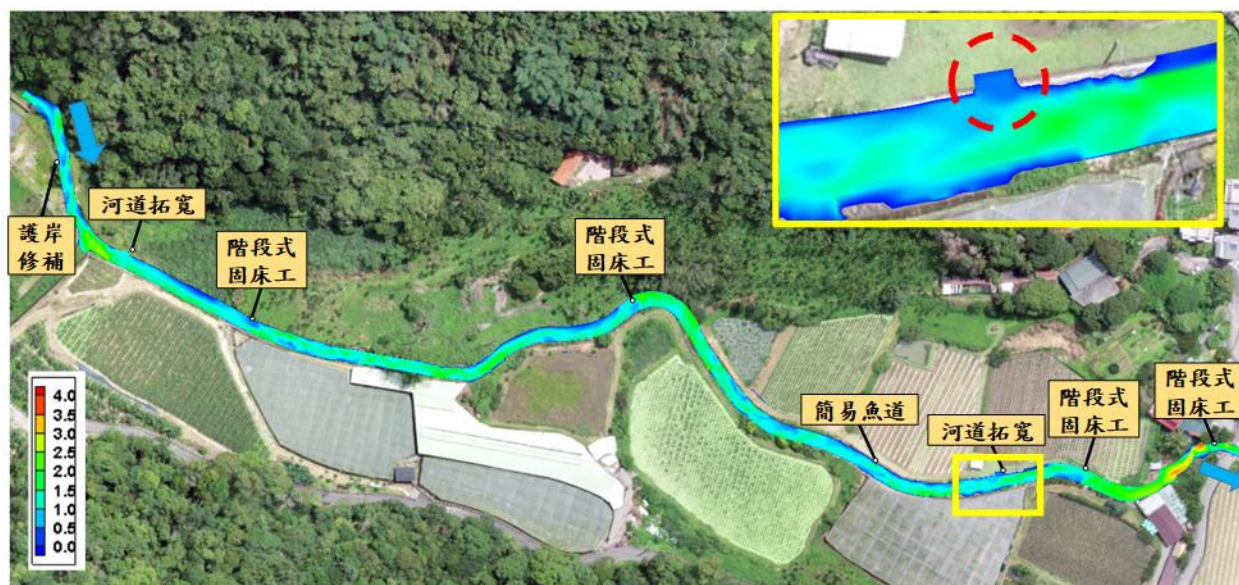


圖3-56 煙寮坑溪集水區調適方案模擬水深圖

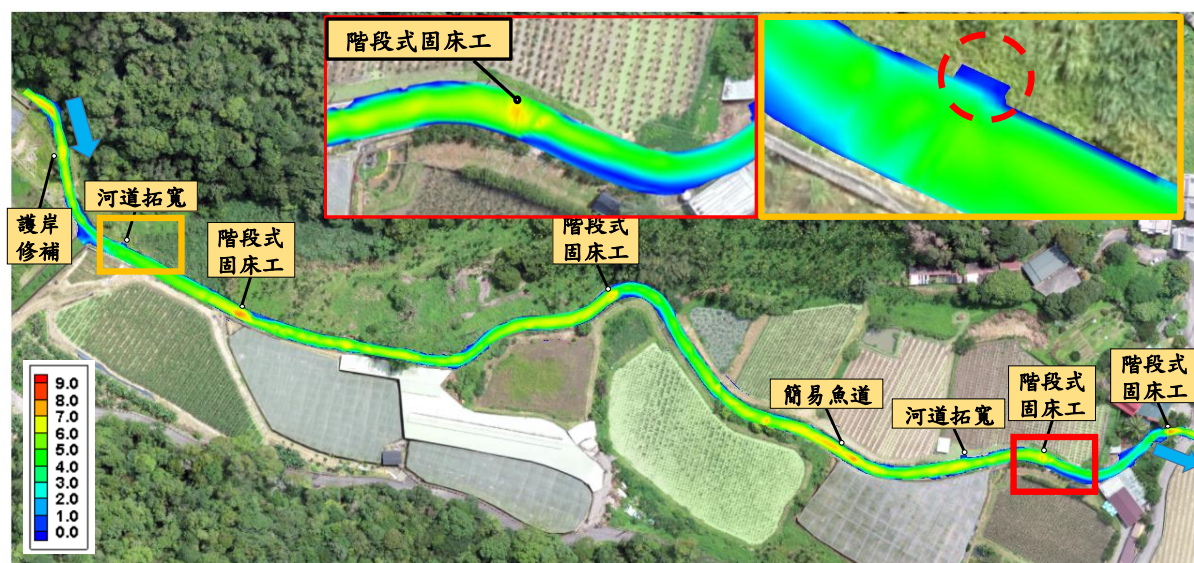


圖3-57 煙寮坑溪集水區調適方案模擬流速圖

樟湖坑溪主要課題為部份河段通洪斷面不足、上游土砂堆積嚴重與溪床陸化棲地消失(圖 3-49)，本計畫提出以河道整理及緩坡砌石護岸設置，維持生物縱橫向廊道，消弭藍綠帶之隔閡，恢復棲息空間，並針對無明顯保全

對象且通洪斷面不足之河段，以順應自然，保留河道周圍竹林，做為滯洪減災空間之規劃理念，取代傳統水泥構造河道渠道化之設計思維，減少工程碳排放量。

由圖 3-58 及圖 3-59 可知樟湖坑溪上游經過河道整理及緩坡砌石護岸後，已恢復河道通洪斷面，增加生物棲息空間，並藉由深槽的營造，遭遇 50 年重現期洪水時，水流流心仍可控制在河道深槽線內，整體平均流速約在 4-6 m/s；而順應自然河段，因保留河道周圍竹林，作為滯洪減災空間，在 50 年重現期洪水下確實發揮韌性滯洪功能(如圖 3-58 之局部放大圖)。

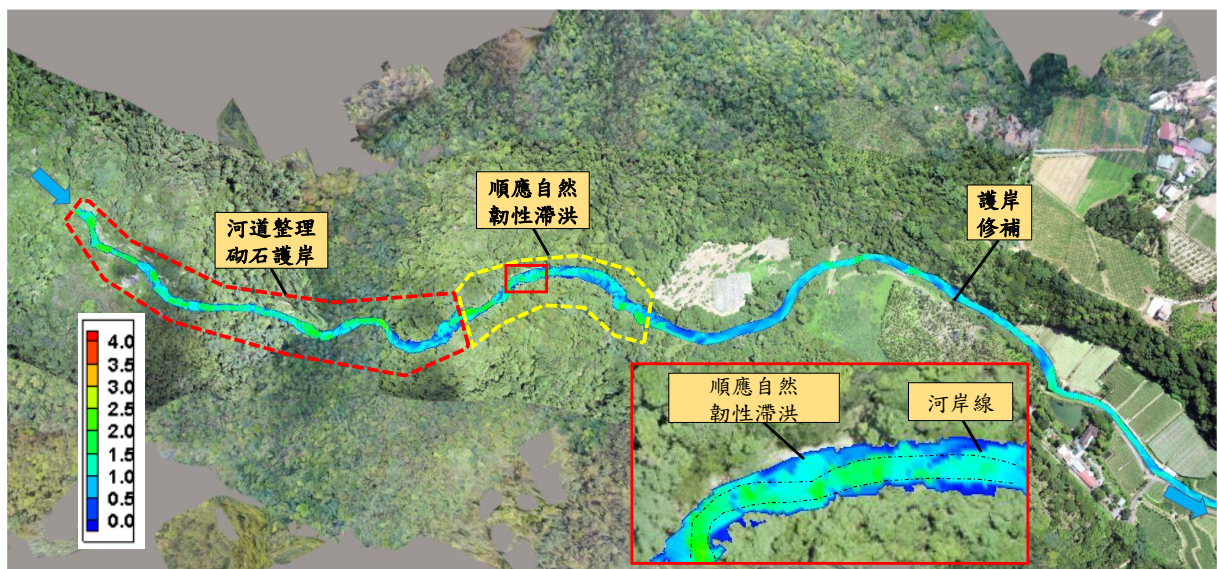


圖3-58 樟湖坑溪集水區調適方案模擬水深圖

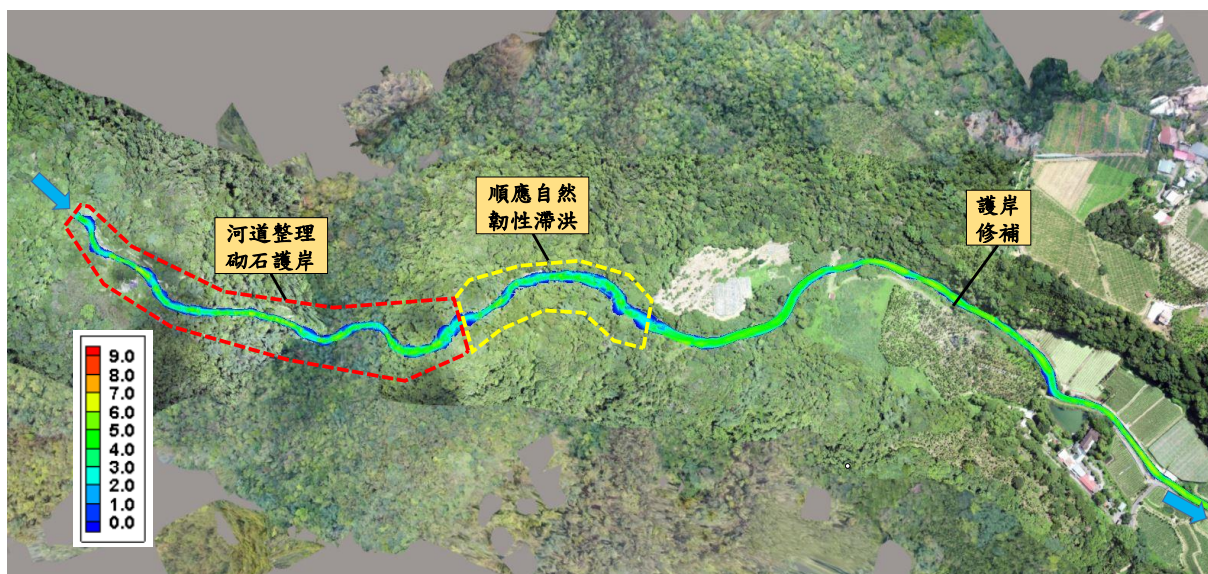


圖3-59 樟湖坑溪集水區調適方案模擬流速圖

三、經驗學習

1. 比較傳統治理策略與調適策略之不同方案

以防災為主要考量，多以剛性工法規劃，施工快速，適合具迫切性之災害區位。而多目標的調適策略行動應對社會、經濟和環境挑戰，同時兼顧人類福祉及生物多樣性。

2. 工程碳減排評估

經由計算不同方案之碳減排量，可以加強調適策略方案選擇之依據，結果顯示調適策略能減少碳排放，同時在濱溪環境進行植生營造，亦有助於淨零碳排之目標，同時恢復多樣的生態系服務。

第六節 保力溪示範區

保力溪示範區資料引用自「111 年度臺南分局集水區治理規劃導入 NbS 調適研究計畫」，示範區為屏東縣管河川，是南臺灣重要的陸蟹流域棲地，棲地的喪失是保力溪面臨的課題項目。除此之外，保力溪的旱季明顯，缺水是當地居民必須面對的問題。評估面臨的社會挑戰為水安全、減少災害風險及環境劣化與生物多樣性喪失(表 3-20)，運用 NbS 之 8 大準則自我評估如表 3-21 所示。

表3-20 保力溪示範區之社會挑戰

	水安全	減少災害風險	環境劣化
社會挑戰			

表3-21 運用 NbS 之 8 大準則評估保力溪示範區

準則	自我評估說明
1.NbS 能有效應對社會挑戰	面臨陸蟹棲地劣化、旱季缺水、水砂溢淹等課題。
2.NbS 的設計會注意尺度問題	考量保力溪流域，及社區民眾想法。
3.NbS 會帶來生物多樣性淨增益及生態系完整性	進行生態調查了解棲地現況，並評估水域棲地改善方案。
4.NbS 具經濟可行性	主要由主管機關進行環境改善作業。
5.NbS 是基於包容、透明及培力賦權的治理過程	透過工作坊了解民眾需求。
6.NbS 能在達成主要目標與持續提供多重效益的得失間，公平的找到平衡點	評估生態需求及工程治理之權衡空間。

7.NbS 循證(依證據)進行調適性經營	進行現地生態調查及棲地適合度分析，評估環境變化。
8.NbS 為永續的並在適當的管轄情境下主流化	推動韌性坡地補助方案(草案)之水砂溢淹區。

一、案例背景與課題盤點

保力溪示範區為屏東縣管河川，主流長度 20.70 公里，流域面積約 9768 公頃。集水區東接中央山脈、西面臺灣海峽、南臨巴士海峽、北以四重溪為界，屬屏東縣恆春鎮及車城鄉境內。



圖3-60 保力溪出海口正射影像圖

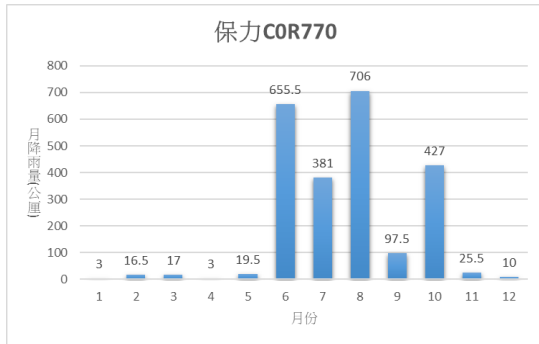
保力溪為恆春半島西部重要的河川，常見之蟹類包括：大眼蟹科、沙蟹科、新脹蟹屬(*Neosarmatium* spp.)及凶狠圓軸蟹(*Cardisoma carnifex*)等。其中新脹蟹全臺灣共有七種，此處可以發現六種，其中五種又是以保力溪為首次發現地點。除此之外，保力溪右岸共可發現 32 種陸蟹。因保力溪河口並不在墾丁國家公園的區域範圍內，因此不受國家公園法保護，陸蟹棲地受到相

對嚴重的威脅。2019 後許多民間團體已與政府部門攜手合作希望把保力溪的濕地恢復成原本樣貌，希望能重新吸引陸蟹遷回棲息，營造溪地生態園區。2022 年保力溪竹社段野溪護岸整治工程，將大量植生移除，且於左岸設置了護岸工程，可能破壞陸蟹棲地。而保力溪原有的草澤環境，除了是陸蟹棲地外，亦提供碳匯或淨化水質等諸多生態系服務，顯示流域的環境劣化與生物多樣性喪失課題。

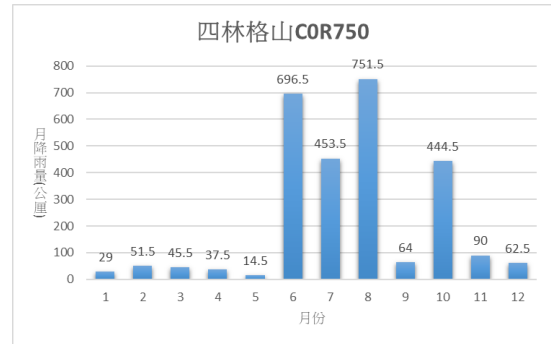


圖3-61 保力村竹社段野溪護岸整治工程

保力溪雖然平均雨量並不低，但旱季明顯，缺水是當地居民必須面對的問題，如圖 3-62 所示為中央氣象局保力以及四林格山雨量站 2021 的逐月紀錄，由圖可知，雨量嚴重不均。因此，農塘在保力溪並不罕見。將沿著既有農塘概念延伸一些新的調適策略，例如持續於可行地區依地形設計階梯式與串聯式農塘，達到保土保水的目的。



保力站



四林格山站

圖3-62 保力與四林格山雨量分布圖(2021)

農塘屬於傳統農業灌溉設施，面對氣候變遷挑戰，山坡地農塘擁有灌溉保水、滯洪防災、泥砂削減、微氣候調節及遊憩觀光等功能，尤其保力林場於11月至5月這段期間較容易發生缺水的情形，農塘活化可以適時發揮調豐濟枯的特性；保力林場由於位處深山，鮮少人會來到此地，因此可利用農塘開發娛樂設施(例如釣魚、休憩)，吸引遊客前往促進當地旅遊盛氣，同時讓夠多人認識保力林場，達到造福人民的目標。

二、調適策略規劃及預期效益

依據集水區現勘調查成果，歸納保育治理課題，配合地方民意及需求，目前研擬的調適策略計有，農塘活化、微水力發電、水泡柔性工法、河川廊道棲地分析與評估、水砂溢淹緩衝區等規劃，如圖 3-63 所示。



圖3-63 保力溪 NbS 規劃型態示意圖

水保設施如防砂壩其下游經常以鋼筋混凝土施作消能設施，沖刷是常見的問題。水泡柔性工法係在溪流中設置管線並注水流來削減水流動能，達到減緩水流沖擊力，解決下游沖刷問題。水泡柔性工法避開生產與運輸時的碳排外，現場僅須擾度甚低的施工，可大幅減低對生態的衝擊。

因考慮現地如防砂壩所建置的位置環境，未必有足夠電力設備足以供應打氣，故提出改變管內的流體性質，即將空氣改為水，即為水泡柔性工法。水泡柔性工法已經由渠槽實驗與 FLOW-3D 數值模擬證實可有效減低下游沖刷。以渠槽試驗為例，水泡柔性工法在近壩處平均減緩效益為 62.01%，而在沖刷坑的最大沖刷深度處平均減緩效益為 44.17%。圖 3-64 為水泡柔性工法之示意圖。現勘時團隊發現農塘的輸水管水量穩定，且其出口處位於圖

3-65 水保設施附近，此水保設施因沖刷毀損於近年才剛完成重建，從歷史可知，此處具有相當的沖刷風險，因此，可以嘗試設置水泡柔性工法減緩沖刷潛勢。



圖3-64 水泡柔性工法之示意圖



圖3-65 保力林場旁水泡柔性工法潛在運用之水保設施

保力溪具有樣的魚類生態，根據過往資料共紀錄魚類 6 目 11 科 13 種，其中特有種魚類為高屏馬口鱮。魚類在不同流速、水深、底床質的出現機率高低、族群數量等統計資料，來建立其流速、水深、底床質的棲地適合度指

標(Habitat Suitability Index, HSI)進而推求出適合度曲線(Habitat Suitability Curve, HSC),有利於環境規畫評估分析。而高屏馬口鱖為本流域特有種原生魚類,對水域環境敏感度高,因此將以高屏馬口鱖作為指標物種,並進行 HSI 分析。首先利用 HEC-RAS 2D 進行水理分析,並蒐集高屏馬口鱖偏好之流速、水深、底床質的棲地,計算高屏馬口鱖物種棲地適宜性指數(圖 3-66~圖 3-68),配合水深與流速模擬結果,進行棲地適合度指標參照,如圖 3-69 所示。

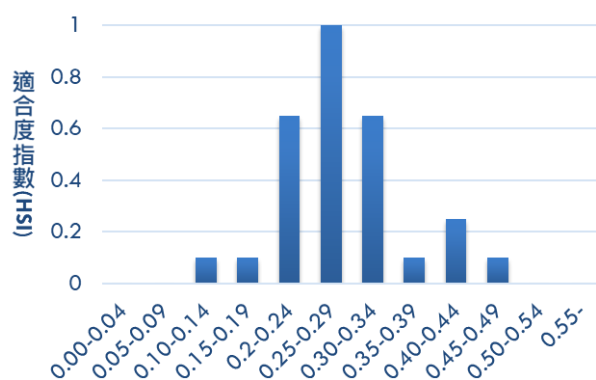


圖3-66 高屏馬口鱖水深適合度指數分布

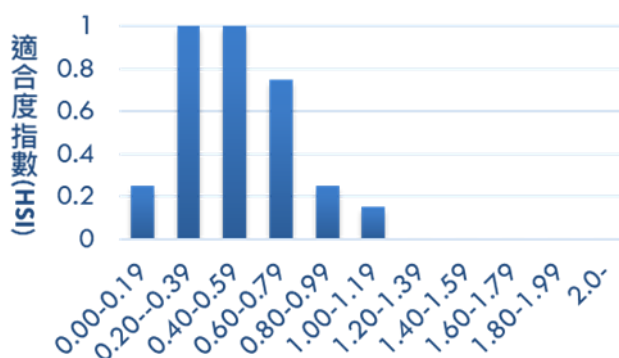


圖3-67 高屏馬口鱖流速適合度指數分布圖

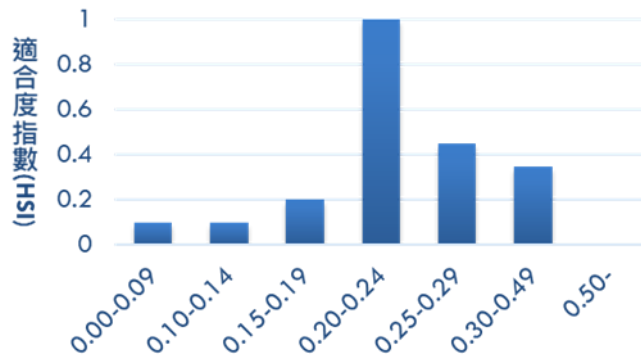


圖3-68 高屏馬口鰾底質適合度指數分布圖



圖3-69 水深與流速對應之適合度指標結果

同時，為比較 HSI 模擬與實際環境現況，依據 HSI 模擬分析結果，由下游到上游選定了三個 HSI 較佳，與兩個 HIS 較差之點位選進行現地調查。保力溪上游水質佳、常流水，雖有多處系列固床工，但固床工高度不高，目前護岸工程的影響區域也較低，溪流的棲地多樣性豐富，也保有相當多台灣特有物種。HSI 模擬預測的數值雖無法完全與現地狀況相符，但整體模擬結果還是可約略捕抓到目標物種棲息地的優劣趨勢。3 個 HSI 較佳與 2 個 HIS 較差之點位，在現地狀況皆視為良好的棲地，可列混淆矩陣如表 3-22 所示。本次模擬主要是以水深及流速作為棲地適合度的分析因子，然而影響現地生物棲地的因子還包括水質、底質、流況多樣性等因子，若單就水深及流速

進行分析實屬不足，也是目前分析模式欠缺之處，因此生態狀況與棲地適合度判斷仍宜以現勘結果為主。

表3-22 河川廊道棲地分析混淆矩陣

		真實	
		佳	差
預測	佳	3	-
	差	2	-

保力溪目前固床工、淺壩、護岸等人工構造物，可能影響流域的生態廊道，因此進一步探討人工構造物的影響。藉由 HSI 模擬結果如圖 3-70 所示。推測拆除固床工前上游位置水深可能較深，HSI 指數並不高，而固床工河段下游，水流動能降低，容易淤積使水深變淺，因此適合區域多位於固床工河段下游。拆除固床工後河道土砂釋放，原本固床工溢流口的深潭可能淤積，水深變淺，因此適合區域向上游移動。整體而言拆除固床工之棲地適合度指標略高於拆除前，推測拆除固床工能增加河川棲地之連續性，減少河川棲地分割。

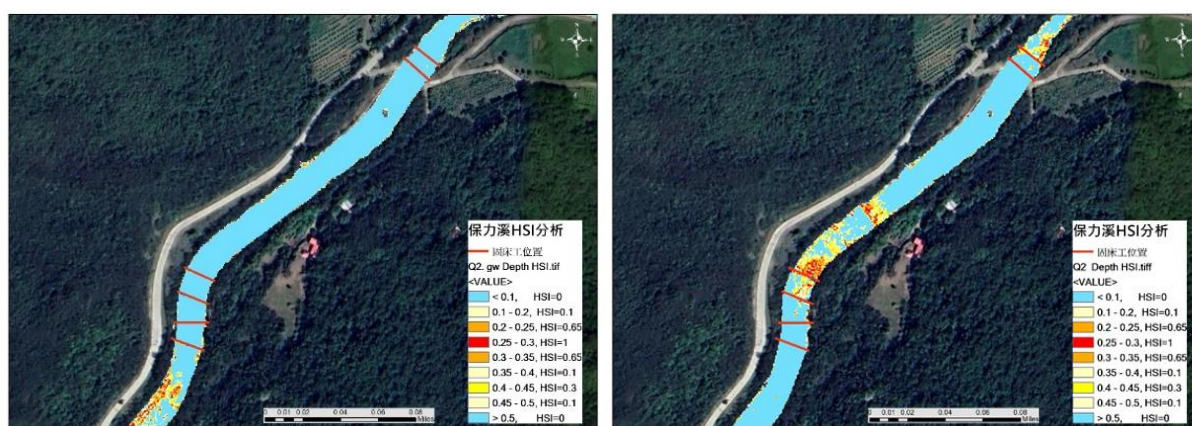


圖3-70 保力溪人工結構物拆除前後棲地適合度(HSI)變化

在保力溪河道沖淤現況方面，河岸凹岸處為溪流攻擊處，其河岸遭淘刷

導致坡面崩塌，恐危及位處河岸坡面上方高壓電塔，為圖 3-71 中黃色圓圈處。因此考慮於其上游河段規劃水砂溢淹區。水砂溢淹區的設置除了減緩下游的水砂災害，對於更下游的保力溪出海口而言，也可以減緩出海口泥砂淤積而導致出海口逐漸限縮的問題。依照模擬結果進行初步規劃，將列出五處具有水砂溢淹區功能的溢淹潛勢區，如圖 3-71。

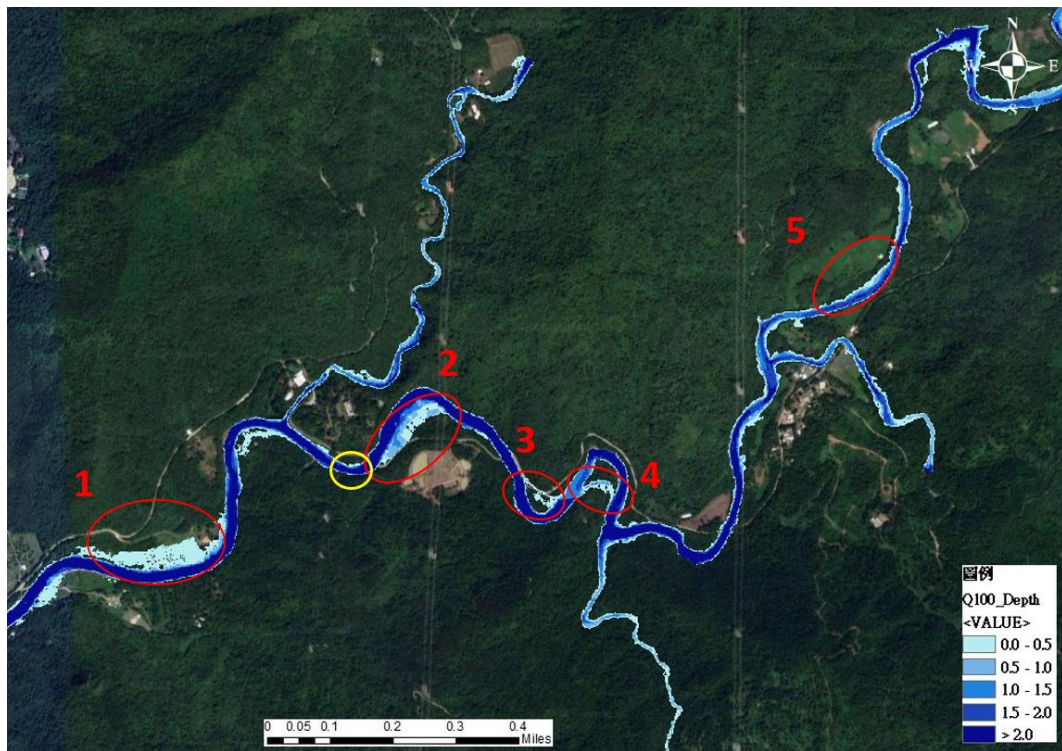


圖3-71 溢淹潛勢區位置圖

保力溪中上游待解決的問題為崩塌地與溪流沖刷等問題，其中保力溪崩塌地與溪流沖刷問題係以點狀存在於不同處，通常多處於凹岸沖刷處。以保竹三號橋附近的凹岸處作為範例，利用水泡工法、河川廊道棲地分析與評估以及水砂溢淹緩衝區的規劃，降低保力溪中上游的災害風險，同時，提升生態的友善與豐富度。

根據調查，保力溪中上游溪流具有較高沖刷潛勢且易引至邊坡崩塌的區位如圖 3-72 中所示的 1、2 與 3 號位置(黃色)，其中，1 號(黃色)位於保竹三號橋下游處，2 號(黃色)位於保竹四號橋上游處、3 號(黃色)位於保竹五號橋下游處。以 1 號(黃色)位於保竹三號橋下游處說明利用水泡工法、河川廊道棲地分析與評估以及水砂溢淹緩衝區的相關規劃內容。

首先，利用河川廊道棲地分析中的二維水理分析結果確認淹水潛勢較高的地區，如圖 3-72 中的 1~5 號位置(紅色)。其中，2~5 號位置(紅色)均位於保竹三號橋的上游，如果設置水砂溢淹區，可以延遲洪水到達保竹三號橋的時間並有效降低洪峰流量。2 號位置(紅色)因為緊鄰保竹三號橋，並不適合規劃為水砂溢淹區，因此，若以 1 號的凹岸邊坡(黃色)為保全對象，根據二維水理分析結果，水砂溢淹區的規劃如圖 3-72 所示。除此之外，為加強保全凹岸處及其上方的高壓電塔，另規劃利用竹社溪上游的渠首工所形成的水位能，將其引用至 1 號的凹岸邊坡(黃色)以水泡工法減緩沖刷。凹岸邊坡的治理對策通常為系列固床工降能、護岸抵抗衝擊與丁壩達到掛淤，造灘與挑流等作用，如 3 號的凹岸邊坡(黃色，保竹 5 號橋上游)的丁壩設施與護岸設施。

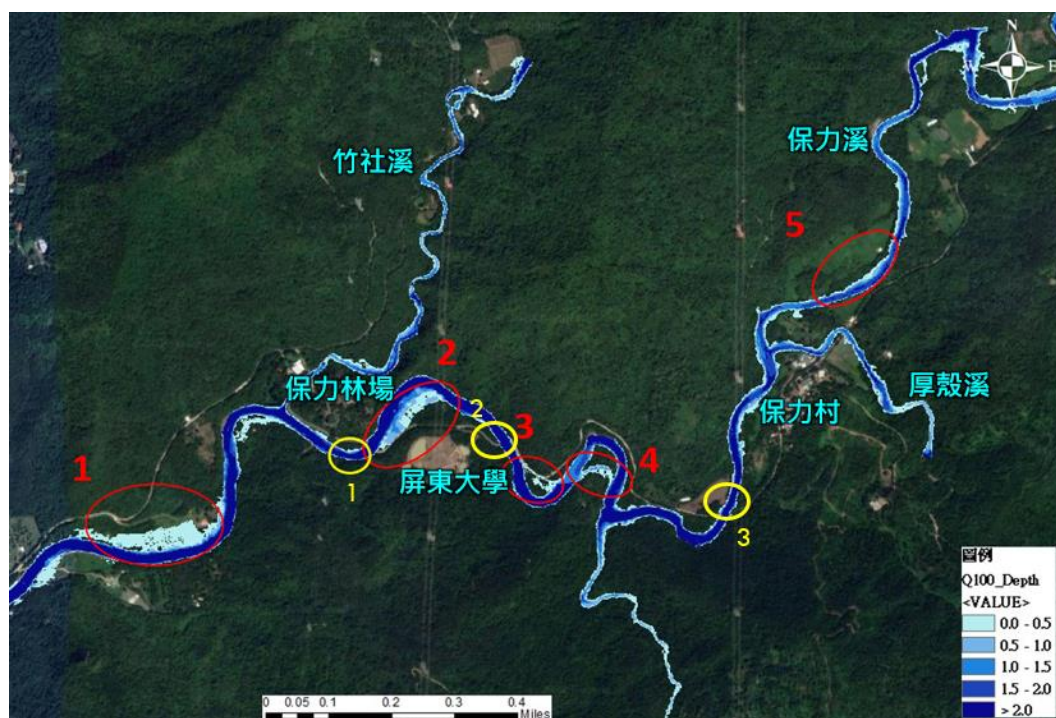


圖3-72 保力溪水砂溢淹區示意圖

欲解決的問題為保力溪中上游的崩塌與野溪沖刷，提出的解方為水泡工法、河川廊道棲地分析與評估與水砂溢淹緩衝區。河川廊道棲地分析的內涵為二維水理輸砂分析與其對應後續的規劃，尤其是著重於生態保育與環境提升方面的規劃。二維水理輸砂分析是集水區進行規劃時常用的工具，也是理論的基礎，關於這點，本計畫與傳統解方並無不同。後續的規劃內容根據前述，探討固床工對溪流中的魚蝦是否有重要影響。雖然根據目前的現地調查結果，魚蝦分布僅受固床工輕微的影響，不過，同時也了解到二維水理分析雖然無法對局部地區提出正確的棲息地判斷，但確實可以捕抓到棲息地適合度的趨勢，因此利用水理分析進一步探討固床工對生態的最佳設計(如間距與數量)。即使分析結果傾向減少部份固床工，這樣規劃在國內雖非創舉，但仍屬少數，若證實對保力溪防災無害且有助提升生態環境，仍值得

嘗試。另一方面，水理分析證實了文獻中提及保力溪溪流凹處沖刷的問題。

凹沖凸淤是河川營利自然的結果，工程師先前利用各式護岸、上游系列固床工降能與丁壩挑流等技術嘗試解決這樣的問題，嘗試利用上游設置水砂溢淹區以及水泡工法解決問題。目前規劃了數個水砂溢淹區，將與當地居民、地方政府與環團人士溝通、了解與討論對於這樣的規劃的意見。

根據水理分析，保力溪中上游有多處凹沖凸淤的地點，這點也符合保力溪的災害多屬點狀分布的概念；若該地點無保全對象且對邊坡穩定無害，則規劃為水砂溢淹區；反之，則藉由其上游水砂溢淹區的設置與水泡工法減緩災害的程度。

三、經驗學習

以棲地適合度指標評估保力溪生態環境並進行現地調查比較驗證

透過篩選指標溪流魚類物種，利用棲地適合度指標，利用水理分析及物種偏好之流速、水深及底床質，探討環境變化對魚類物種之影響。並利用現地的魚類調查，比較驗證 HSI 評估結果。

第七節 台坂溪示範區

台坂溪示範區資料引用自 111 年度「臺東縣台坂溪及鄰近集水區近自然治理復育與永續經營策略規劃」，示範區位於臺東縣南區達仁鄉台坂村，為排灣族人所形成的部落，具「毛蟹祭」之節慶，但因莫拉克風災後的環境破壞，造成毛蟹數量銳減。同時集水區有兩處大規模崩塌潛勢區及土石流潛勢溪流存在，並在流域兩岸周圍有農耕的情形，聚落水源供應亦不穩定。評估面臨的社會挑戰為水安全、減少災害風險及環境劣化與生物多樣性喪失(表 3-23)，運用 NbS 之 8 大準則自我評估如表 3-24 所示。

表3-23 台坂溪示範區之社會挑戰

	水安全	減少災害風險	環境劣化
社會挑戰			

表3-24 運用 NbS 之 8 大準則評估台坂溪示範區

準則	自我評估說明
1.NbS 能有效應對社會挑戰	面臨集水區崩塌、土地超限利用及流域生態棲地破碎等課題。
2.NbS 的設計會注意尺度問題	考量台坂溪集水區，及部落民眾想法。
3.NbS 會帶來生物多樣性淨增益及生態系完整性	建議改善固床工結構，利於流域縱向棲地連結。
4.NbS 具經濟可行性	主要由主管機關進行環境改善作業。
5.NbS 是基於包容、透明及培力賦權的治理過程	透過訪談及說明會，了解地方居民需求。
6.NbS 能在達成主要目標與持續提供多重效	評估調適策略優於傳統治理方案。

益的得失間，公平的找到平衡點	
7.NbS 循證(依證據)進行調適性經營	設置水砂觀測站，作為流域環境變化指標。
8.NbS 為永續的並在適當的管轄情境下主流化	推動韌性坡地補助方案(草案)之水砂溢淹區。

一、案例背景與課題盤點

台坂溪示範區位於臺東縣南區達仁鄉台坂村，村內有拉里吧溪及台坂溪，拉里吧溪發源於呀里叭山由北向東南流與台坂溪合流，台坂溪發源於拖狗山由西北向東南流，經台坂橋後匯入拉里吧溪內，最後流入大竹溪，集水區面積約為 1,982 ha。台坂村最早由四個部落組成分別為 Jauvanaq、Joumons、Tjoumons 及 Laliba 部落，部落是由不同時期遷徙來的排灣族人所形成的部落，部落內尚保留傳統頭目部落、祖靈屋以及巫師祭儀。台坂村主要的農特產品主要有小米、紅藜、洛神花、橄欖(露)、羊奶頭、火龍果、香蕉、芋頭等，目前有成立台坂蔬菜產銷班。

每年的 3 到 6 月為捕捉毛蟹的季節，排灣族的頭目與巫師會為捕蟹人舉行一場「毛蟹祭」，先是以樹葉與小米酒灑向大地，並以母語唸誦告知祖先、神靈，即將展開捕蟹的活動，以期盼捕蟹順利、豐收。毛蟹是排灣族溪流漁獵文化中最為重要的資源之一，隨著達仁鄉公所的推動發展「毛蟹祭」儼然成為每年的重大盛事。但隨著莫拉克風災帶來土砂的影響，改變了大竹溪的河道沖淤形態及上游各集水區的野溪樣貌，使近年來在大竹溪毛蟹蹤跡不復以往。

蒐集彙整民國 78 年至 110 年，於計畫範圍內有三件歷史災害事件，皆

是在 2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風期間帶來的豪大雨量，造成計畫區內上游邊坡數個大型邊坡崩塌，崩落之土砂隨著台坂溪溪流攜帶運移至台坂橋溪段，因坡度變緩而堆積，造成台坂橋溪段通洪斷面不足。



圖3-74 台坂溪及拉里吧溪集水區概況

拉里吧溪集水區內有一條中潛勢土石流潛勢溪流，位於拉里吧溪無名橋上游，係溪流型土石流災害類型，溪流長度 2,808 公尺，溪床寬度 10-30 公尺，集水面積 605 公頃，高差約 500 公尺，整體溪床坡度約在 15%(8.5 度) 左右，土石流潛勢溪流下游保全對象有拉里吧無名橋、拉里吧橋、土坂一號橋、鄉道(東 68-1 線、東 68 線)兩岸農田及保全戶約 5 戶，雨量警戒值為 500mm，影響範圍如圖 3-75 所示。

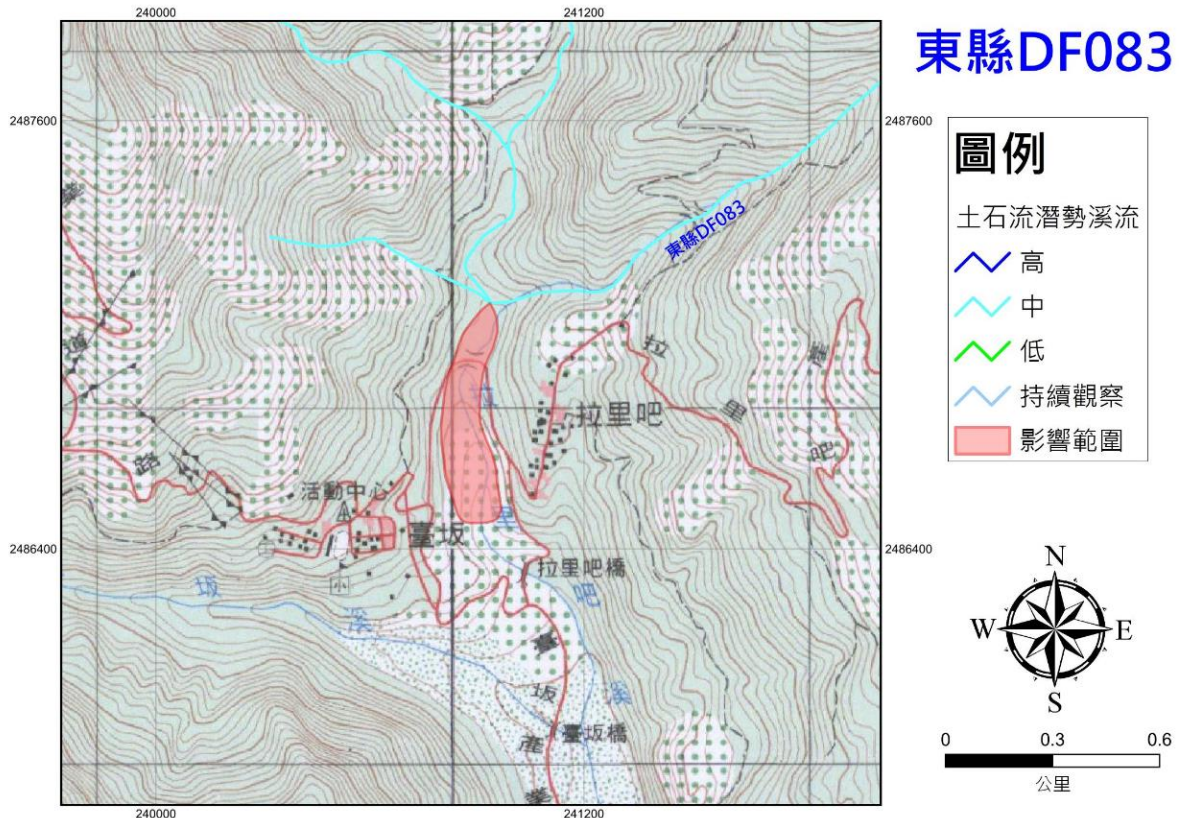
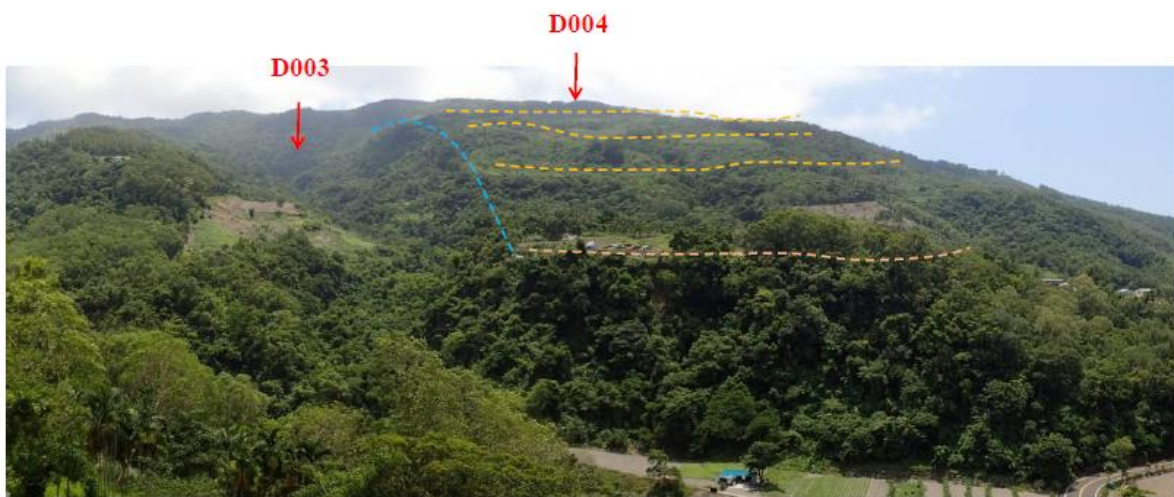


圖3-75 東縣 DF083 潛勢溪流影響範圍

經現地勘查結果，潛勢溪流溪床坡度約介於 6~11 度之間，在末端處溪床坡度只有 4.7 度，河道兩岸邊坡尚屬穩定植生狀況良好，河道內可見大塊石的分布，細顆粒材料受水流影響帶至下游，掛淤於野溪內之橫向構造物兩側。潛勢溪流現況雖穩定，但相關防災演練及宣導，在台坂村近年來(100~109 年)皆沒有辦理過，且因東縣 DF083 潛勢等級屬中潛勢土石流潛勢溪流，仍是有會有致災的可能，因此在相關的軟硬體防災資訊更新上不可輕視。

拉里吧溪集水區內有兩處大規模崩塌潛勢區地位於拉里吧部落後方邊坡，如圖 3-76 所示，D003 及 D004 大規模崩塌潛勢區岩層弱面(劈理面、節理面)主要略呈南北向朝東傾斜的趨勢與坡面傾角呈現逆向，主要為逆向坡

至斜交坡，少數受蝕溝發育影響而有順向坡潛勢。影響其崩塌發育為拉里吧溪的發育，以及邊坡蝕溝發育。隨著蝕溝發育越具規模以及人為土地開發，向源及向下侵蝕越劇，所發育的崩塌型態越來越複雜，規模也越來越大(行政院農業委員會水土保持局臺東分局，2017)。



資料來源：行政院農業委員會水土保持局臺東分局(2017)「土坂集水區(臺東縣-達仁鄉-D003 及 D004 大規模崩塌地區)設施調查及土砂災害風險評估與策略因應」

圖3-76 計畫區內大規模崩塌潛勢區地形特徵

台坂溪於莫拉克風災後，因上游集水區發生崩塌情形，大量土砂下移堆積於溪床內，並造成下游台坂橋的通洪斷面不足，經由臺東分局民國 98-99 年間進行台坂橋上游護岸災害復建工程的施作，在台坂橋上游設置 8 座固床工及護岸 225 公尺，在野溪構造物的調查中，以台坂橋為起點，在枯水期時台坂橋上游編號 1 號固床工至編號 6 號固床工間台坂溪溪水有斷流、溪水伏流化的情形，圖 3-77 所示。



圖3-77 台坂溪溪水伏流化情形

拉里吧溪的構造物調查中，可發現在拉里吧無名橋上游第二座固床工與溪床最大落差達 3.7 公尺，如圖 3-78 所示，固床工造成的高落差，會使具洄游性之水生生物縱向生態廊道有阻斷的情形，經生態資料的蒐集在計畫區內具洄游性之水生生物如日本瓢鰭鰕虎、大吻鰕虎、兔頭瓢鰭鰕虎、粗糙沼蝦、大和沼蝦、臺灣絨螯蟹等。

透過前基本資料的蒐集及現地調查後，針對兩處集水區進行集水區的問題分析，發現以下幾個問題：1.台坂溪因集水面積大，因此在因應氣候變遷帶來的極端環境上，應有水砂承洪區，在極端降雨事件發生時可遲滯洪峰，避免下游水砂溢淹的的情形；2.拉里吧溪集水區內因有兩處大規模崩塌潛勢區及土石流潛勢溪流存在，並在調查的過程中有發現，地表有崩塌的特徵存

在；此外在兩個集水區兩岸周圍有農耕的情形，但 3.水源供應上並不穩定；

4.溪床內因為既有構造物造成溪床的落差影響水域生態廊道的串連。



圖3-78 拉里吧溪無名橋上游固床工下游落差大情形

二、調適策略規劃及預期效益

台坂溪及拉里吧溪集水區在歷經十餘年降雨事件，投入之水土保持治理措施頗具成效，近年來隨著近自然治理復育與永續經營之 NbS 理念意識高漲，以集水區為規劃，針對兩處集水區的局部區域以近自然治理的環境為規劃目標，因此在規劃較接近 NbS 小尺度規模的防洪減災措施；綜上收集之基本資料、現地調查及集水區問題分析後，分別進行棲地改善、農塘活化、韌性滯洪及降限利用等策略評估與配置規劃，如圖 3-79 所示，並以降低致災發生的可能、提高聚落承受災害的韌性及恢復當地(青)毛蟹的棲地為主。

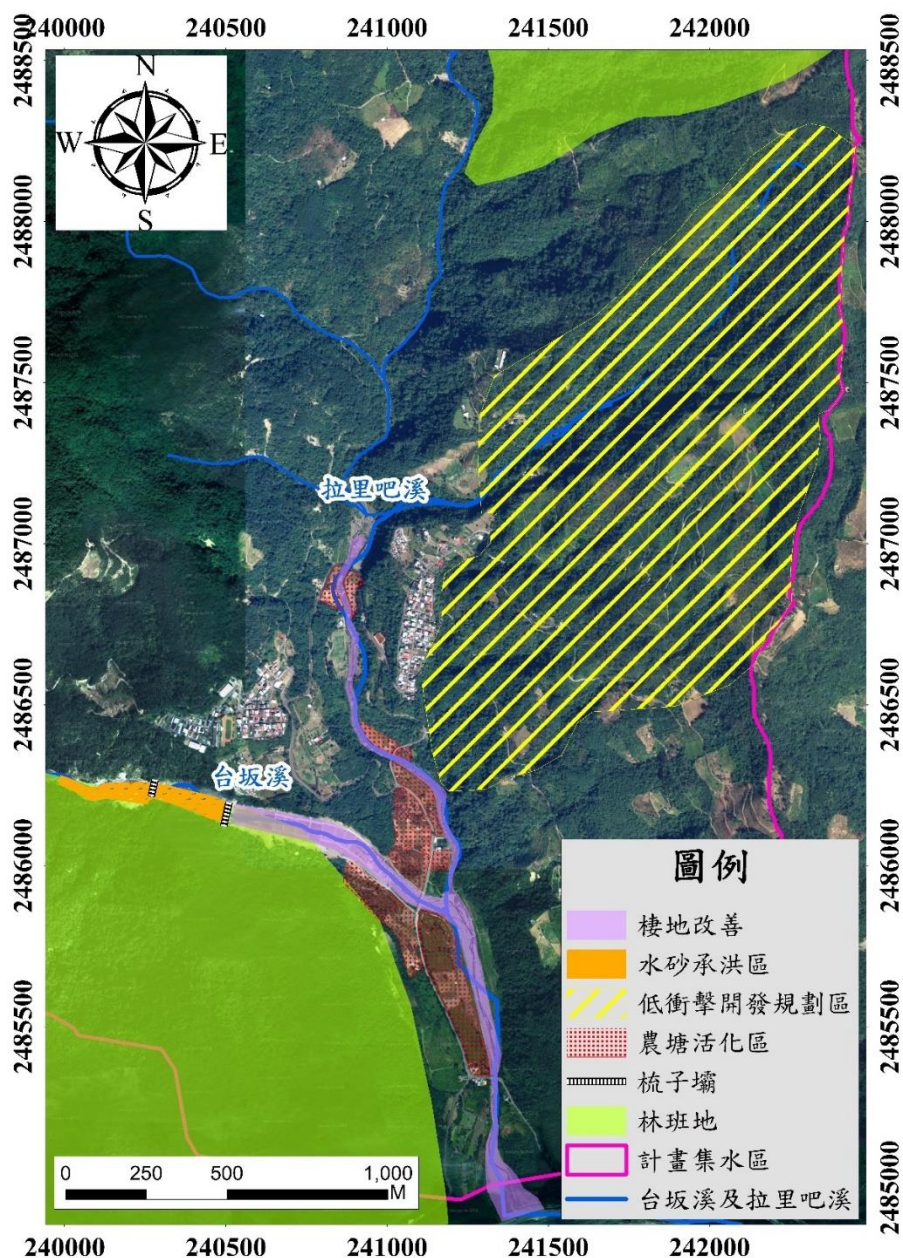


圖3-79 計畫區全區近自然治理規劃位置

降限利用的核心以低衝擊自然環境開發、緩衝綠帶的設置、退耕還林的對策為概念進行降限利用的規劃，經由集水區的資料蒐集及現地調查後，將兩處大規模崩塌地區設為降限利用規劃區域。文獻資料亦提到兩處在受到降雨事件的影響下，邊坡有傾斜變位加速及地下水位上升影響之連動；且如需進行降限利用的推動與部落參與協商並無相關利誘策略或相關法條約束，

在規劃上部落居民配合意願就相對降低，因此本團隊亦提供其他單位針對土地管理等相關補助的法規供臺東分局相關利誘策略的參考，以利降限利用、退耕還林的推行；蒐集到的法規資料包含 1. 行政院農業委員會—獎勵造林實施要點第七點；2. 經濟部水利署暨所屬機關辦理在地滯洪獎勵及補償作業要點第四點；3. 國土計畫法第 32 條。

過去台坂村較嚴重的災害發生在莫拉克颱風的時候，台坂橋因台坂溪內大量的土砂造成通洪斷面的不足且因甚大的水流流量夾帶大量的土砂與拉里吧溪一同匯流後沖毀土坂一號橋形成孤島。考量未來極端氣候造成的長延時強降雨再次帶來甚大的水流流量，造成下游溢淹、橋樑毀損的情形；因此，需要進行遲滯洪峰的規劃，在規劃上台坂溪的溪幅較拉里吧溪寬、集水面積又較大，因此優先考量台坂溪進行水砂滯洪區的規劃，規劃設置區如圖 3-80 所示。

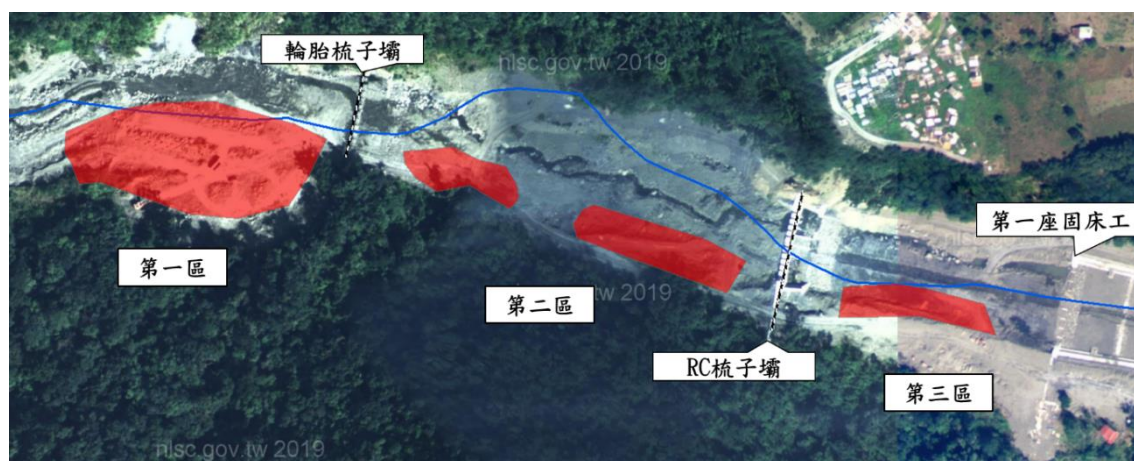


圖3-80 水砂滯洪區規劃圖

水砂滯洪區位置的選擇主要是考量以壩體下游自然的淘刷坑及梳子壩

上游維持土砂庫容所進行的適當的土砂清疏，將這些深潭區設置在台坂溪的上游；使期能達遲滯紅峰效用，在計畫調查溪段過程中，在此區段也有調查到一些天然的潭區。並經由歷年地形資料(DEM)分析，也可以看到此段台坂溪自然刷深的區域，分析結果如圖 3-81 所示。

在規劃上以在槽式滯洪池為概念進行規劃，在此區間規劃數個深潭區，並可運用現地清疏後的大塊石堆疊，將潭區與常流水作為分隔，使台坂溪水流量大時水可進入潭區，水流量小時仍有水留在潭區內，使規劃的潭區在旱季時可作為毛蟹的棲地使用，雨季時可進行遲滯洪峰，降低台坂溪水的流量達到逕流分散的理念，示意圖如圖 3-82 所示。

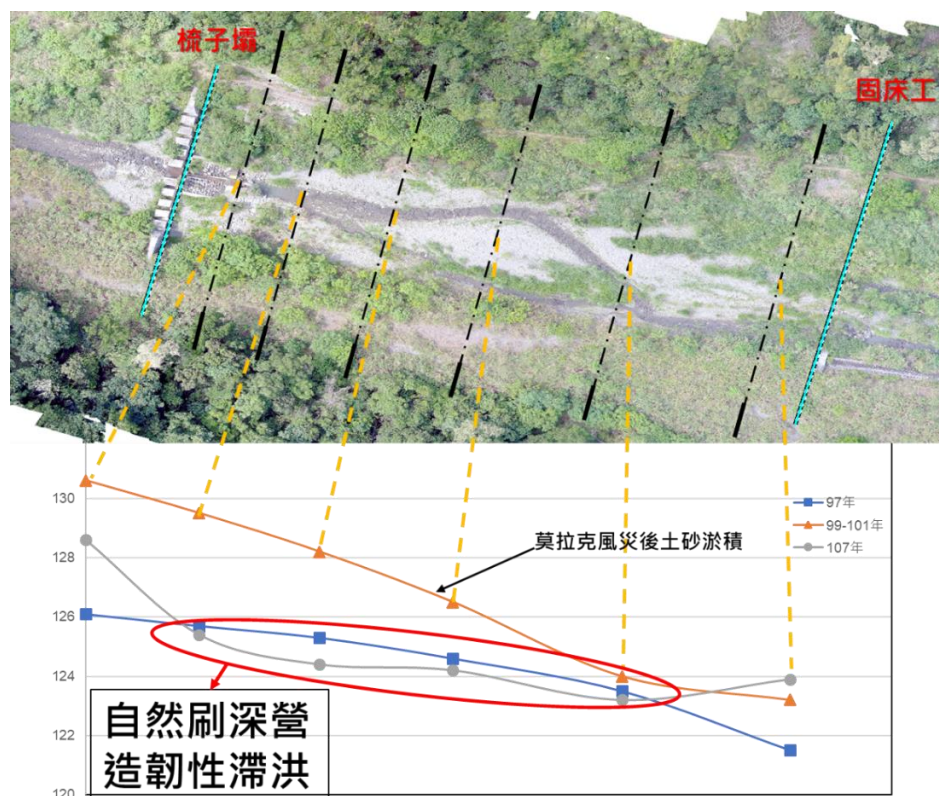


圖3-81 梳子壩至固床工間河道地形分析結果

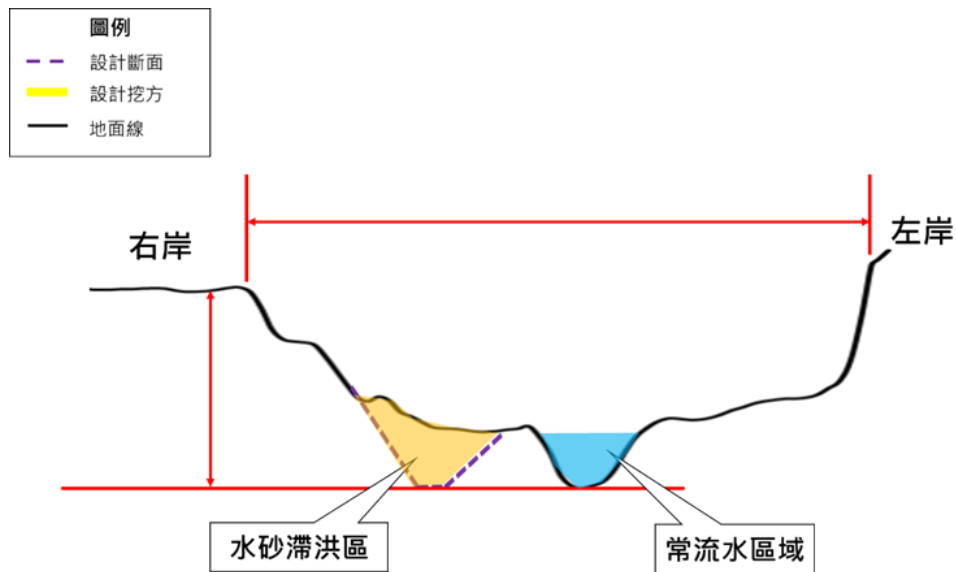


圖3-82 水砂滯洪區規劃示意圖

經過與部落居民、NGO 團體及各機關團體的說明會，綜合考量現地調查、生態復育、環境承災能力及為使梳子壩的上游保有土砂庫容區使其功能持續的發揮，因此將水砂滯洪區設在梳子壩上游、梳子壩之間及第一座固床工上游共三區，如圖 3-83、圖 3-84 所示。在工法的配置選擇上也應以友善生態為基礎並結合周遭環境現況(淺灘區、沼澤區、窪地等)以現地既有材料(如大塊石、植物等)做設計為佳。



圖3-83 水砂滯洪規劃區示意圖

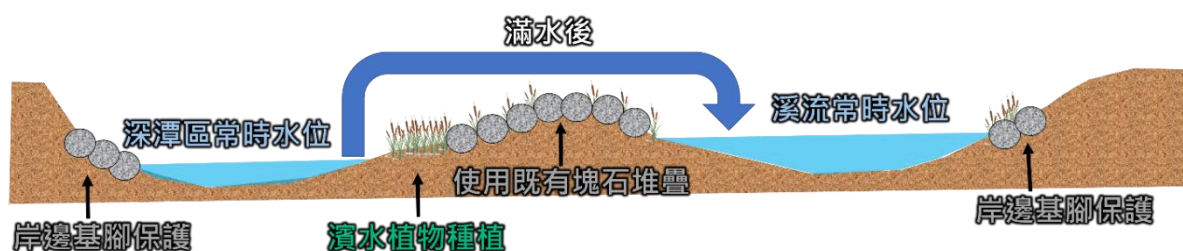


圖3-84 水砂滯洪規劃區施作斷面示意圖

經集水區內的灌溉設施進行調查，灌溉設施(含蓄水池)一共有 13 處。從調查中可以發現當地居民皆是自己下至台坂溪及拉里吧溪進行引水、接水至自己的農地內使用；台坂溪右岸原先農業使用的行為因莫拉克風災後，現況為荒地，拉里吧溪現況有少部分區域仍作為農業使用，但已設有農塘；因此本團隊在農塘規劃上以參考現地地形地勢(坡度、坡向)、部落內荒廢的農塘位置、養殖池位置、既有農塘位置及溪流兩岸土地使用現況等進行農塘設置的規劃。

規劃的農塘以恢復毛蟹棲地及滯洪防災為主，蓄水灌溉使用為輔進行規劃，是希望藉由農塘的引水、串連、設置，使毛蟹有可以棲息、繁衍的空間，並搭配沿著串連的農塘溝渠邊規劃生態步道，可供在地居民進行檢修串連各農塘的溝渠用，也附加觀光旅遊之價值。農塘的設置蓄水後可供周遭農地自行引水耕種使用，在引水上更為便利，使荒廢的農地也能重新恢復生產力，生態步道亦是沿著兩階護岸中的平臺進行規劃

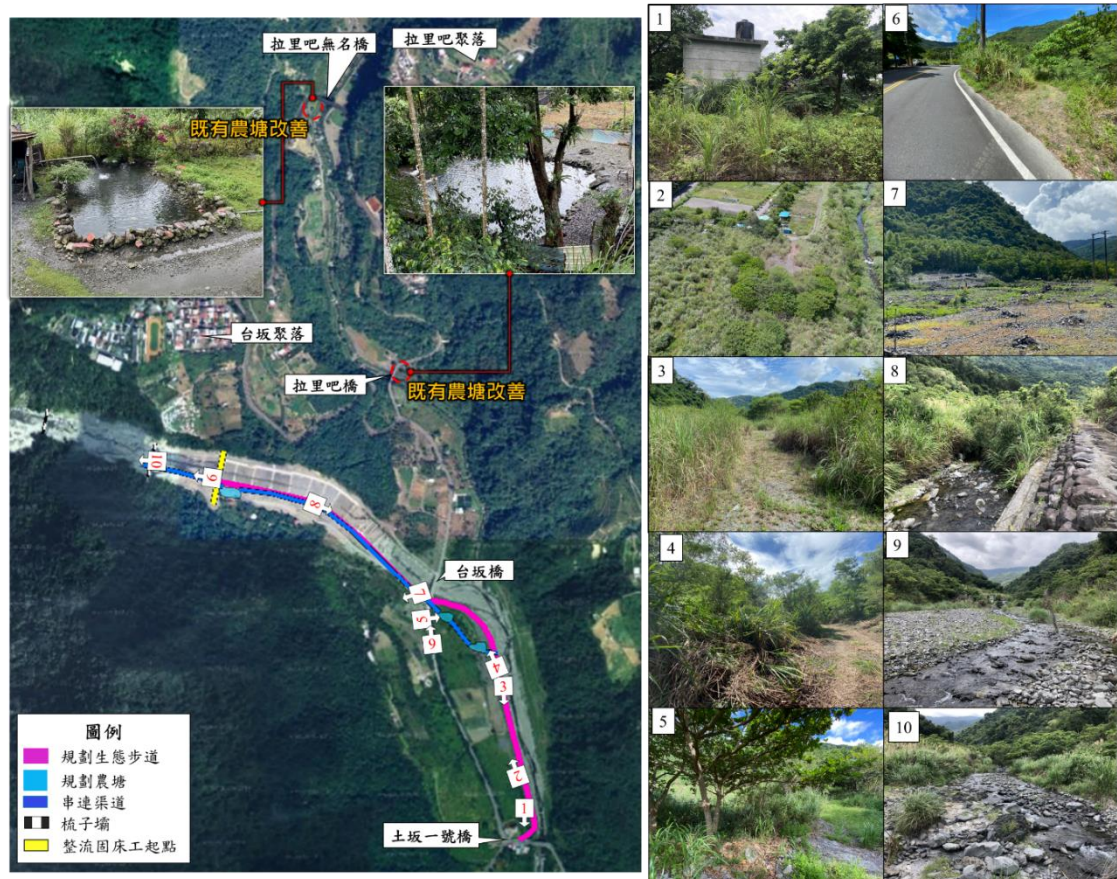


圖3-85 農塘活化整體規劃及土地現況

台坂溪棲地改善主要執行的目標是改善在莫拉克風災後消失的臺灣絨螯蟹(青毛蟹)的棲地，早年在太竹高溪(太竹溪)可見成群毛蟹從溪口溯游到太竹溪上游各小集水區內(台坂溪、拉里吧溪、新興野溪等)產卵的景象。因此制訂之棲地改善目標是以毛蟹復育為出發點確保毛蟹溯游產卵的縱向廊道不受工程構造物的影響而中斷。在野溪及水土保持工程構造物的調查中，可以發現台坂溪水域生態相當豐富，也見到毛蟹在固床工下游遊走的的情形。

此外溯游的生物還有像日本瓢鰭鰕虎、大吻鰕虎、兔頭瓢鰭鰕虎、粗糙沼蝦、大和沼蝦等物種，因此在台坂溪及拉里吧溪的水域中縱向廊道連結甚

為重要。經現地調查後可以發現在水域廊道連結上有三處可能造成溯游生物的溯游中斷，這三處分別位於土坂一號橋下游的溪床與固床設施落差達 3.1 公尺、台坂橋上游的固床工枯水期有斷流溪水伏流化的情形及拉里吧無名橋上游固床工與溪床落差約 2.5 公尺這三處，會使水域生態生物的廊道受到阻斷，因此本團隊針對這三處提出棲地改善的構想，使毛蟹及其他溯游生物得以回到上游進行產卵繁衍下一代，其規劃位置如圖 3-86 所示，規劃改善項目以低水流路缺口營造及構造物緩坡化進行棲地的改善。

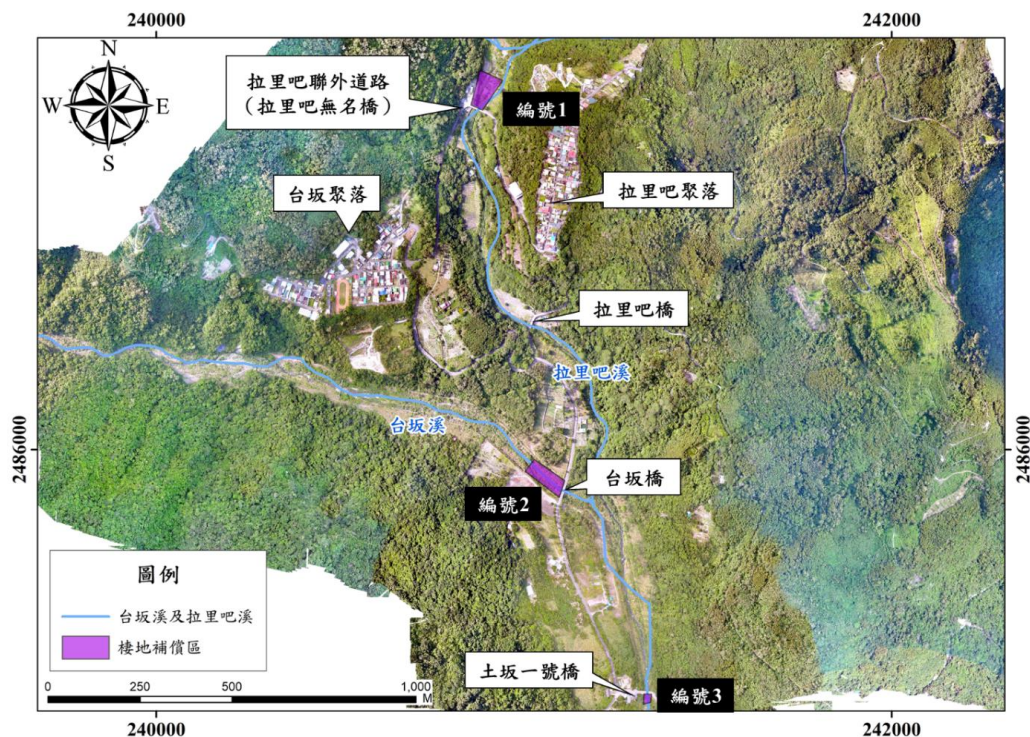


圖3-86 棲地改善規劃區域

2. 台坂溪及拉里吧溪生態基流量

生態基流量是指河川水域環境提供之保護，其設計原理為維護或改善河川生物生長、生存及生育之所需流量。為維護或改善台坂溪及拉里吧溪生

物棲地，利用生態基流量估算方法計算出台坂溪及拉里吧溪集水區之生態基流量為 1.006 cms~3.018 cms 及 0.976 cms~2.928 cms，並利用 HEC-RAS 模擬台坂溪溪流平均水深約為 0.1 公尺及 1 公尺，模擬成果如圖 3-87 所示。

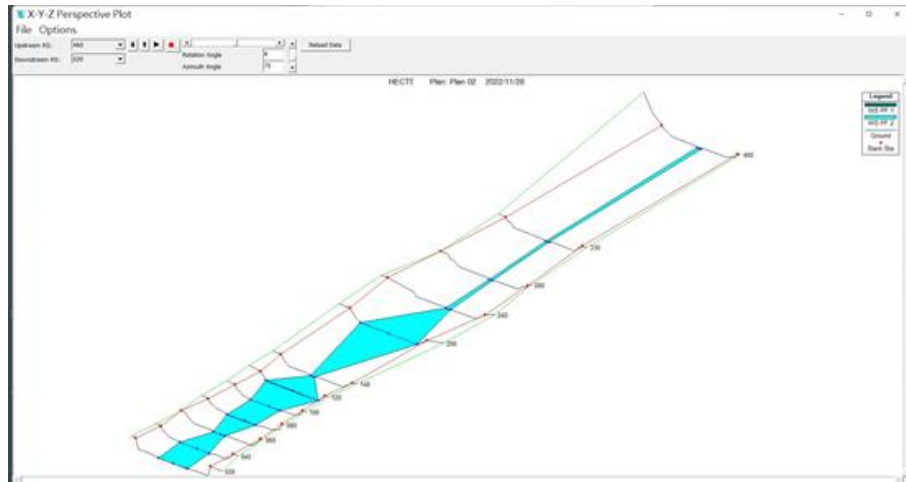


圖3-87 台坂溪生態基流量模擬結果

另外在拉里吧溪溪水無斷流的情形，構造物大多也皆為透過性固床設施，但在進行集水區調查的過程中，有發現在拉里吧溪有兩處固床工與下游溪床落差較大，分別為編號 3 號，土坂一號橋下游一座固床工及編號 1 號拉里吧無名橋上游第二座固床工，兩處構造物與下游溪床面高程落差大且構造物表面光滑平順使水域廊道中斷；毛蟹溯游而上的能力下降及在溯游過程遇到天敵補時的機率上升，因此本團隊規劃在這兩處進行構造物緩坡化的規劃，規劃可參照臺東分局東海岸 5 條野溪調整的方式或是進行魚道的設置，在土坂一號橋下游固床工，因位於野溪治理界點外，非屬臺東分局管轄範圍，因此建議應由臺東縣政府進行此處構造物友善環境的改善，規劃位置如圖 3-88 所示。

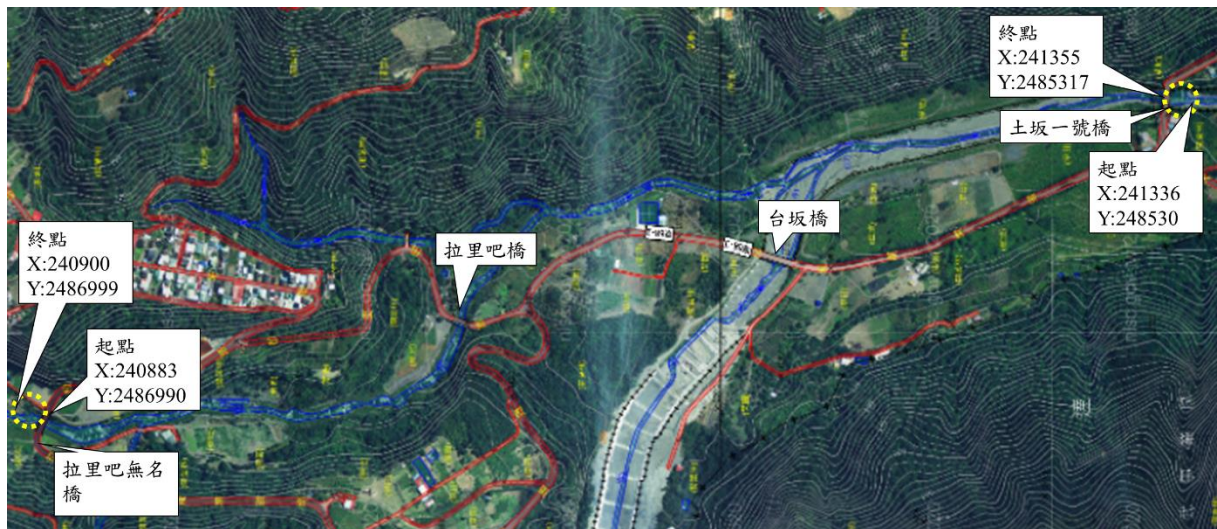


圖3-88 構造物緩坡化營造規劃區

三、經驗學習

評估流域生態基流量

台灣地區河川豐枯流量變化極大，加上河川上、中游常設有水庫或攔水設施，枯水季時，常導致該設施下游流量枯竭，改變原有的河川流水型態及魚類棲地，嚴重破壞生態，此皆因未充分考量河川正常流量所造成，若水量低於生態基流量，甚至可能出現斷流、地表水伏流化情況，降低水域生態系服務，因此生態基流量，是復育水域生態的重要評估指標之一。

第四章 結語

第一節 集水區調適策略推動建議

一、地方參與作業推動

建議依地方特性盤點課題，確認欲解決的社會挑戰及改善目標，並參考 NbS 準則 1 之優先考慮利害關係人最急迫的社會挑戰，並指出課題發生位置及發生原因(圖 4-1)。

二、NbS 全球標準運用於調適策略規劃

建議於集水區調適策略推動作業遵循 IUCN 的 NbS 全球標準之 8 大準則，規劃推動作業，並在推動流程反覆檢視 NbS 之 8 大準則之符合程度，了解不足之處加以補充(圖 4-1)。

三、調適策略效益評估指標規劃

建議依據集水區需解決的社會挑戰、議題與在地狀況，運用合適的效益評估方式。如水砂分析可運用在河溪廊道結構改變之預期效益評估，用以預期不同方案之環境變動條件；生態功能改善涉及內容較廣，如欲以指標物種作為改善的指標效益，需先釐清物種與地方環境之交互作用，及其代表特徵。如改善自然地景，可以利用範圍評估或是土地利用的改變進行效益評估，或強化運用生態系服務估算。

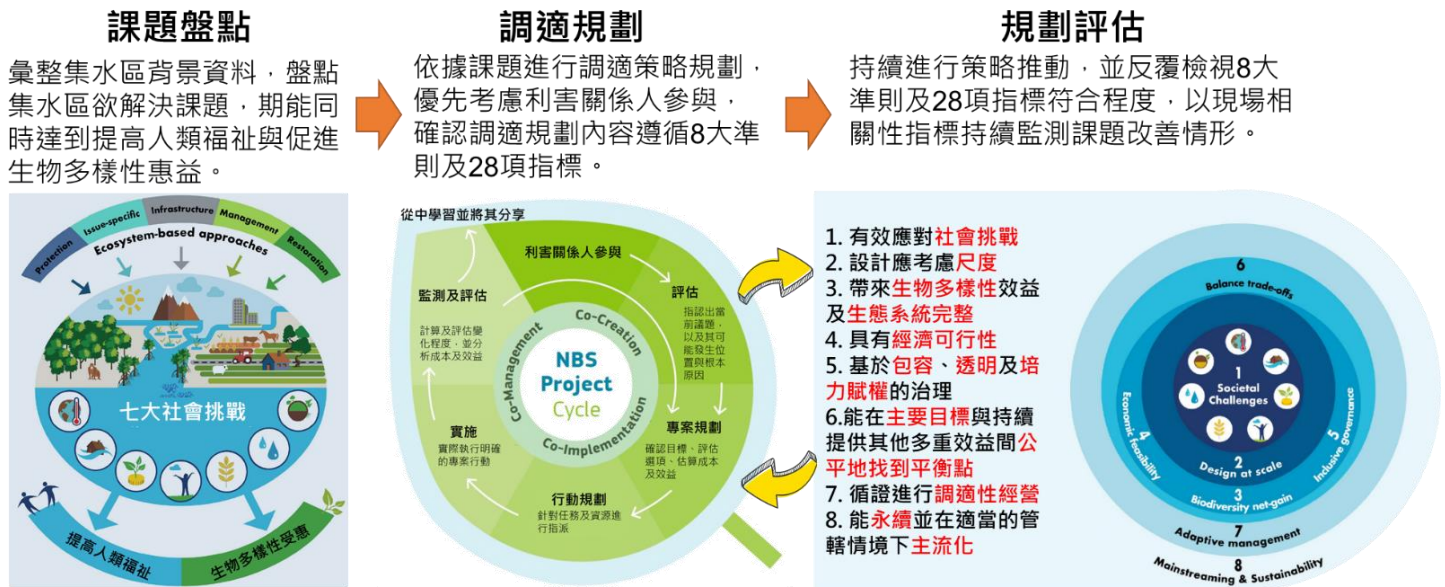


圖4-1 NbS 調適策略推動建議流程

第二節 NbS 問題釐清

NbS 是考量環境、社會、文化及經濟的環境規畫概念，IUCN(2016)提出了 NbS 的 8 項基本原則，於 IUCN(2020)制定了全球標準之 8 大準則及 28 項指標，期能遵循準則達到提高人類福祉及生物多樣性受惠並解決人類社會所面臨的社會挑戰，達到自然資源永續利用之目標。在 NbS 推動中，可能對 NbS 之概念產生疑問，下表整理常見到之 NbS 推動疑問，提供參考。

表4-1 NbS 問題說明表

Q1. NbS 的定義為何? A1. 2022 年 3 月 2 日 UNEP/EA.5/Res.5 中通過決議，將 NbS 定義為「採取行動保護、養護、恢復、可持續利用和管理自然或經改造的陸地、淡水、沿海和海洋生態系統，以有效和適應性地應對社會、經濟和環境挑戰，同時對人類福祉、生態系統服務、復原力和生物多樣性產生惠益」。
Q2. 哪些工法屬於 NbS? A2. NbS 非單一工法，而是環境規劃的概念。需了解環境課題發生的根本原因、因果關係及發生位置，藉由景觀尺度的視野進行規劃，並考量系統的社會、經濟及環境條件，需跨科學領域、地方社區、公私單位及不同機關部門的協同合作。
Q3. 保育關注物種是否為 NbS? A3. NbS 非純粹的保育行動，而是需明確解決人類社會的七大挑戰，如需解決的社會挑戰為環境劣化及生物多樣性喪失，則需另外解決另六大社會挑戰，以將 NbS 與純粹的保育行動區分。而關注物種所扮演的角色，是反應解決社會挑戰的過程中，生物多樣性受惠的指標因子，因此需思考關注物種如何界定調適策略成效，並藉由關注物種變化，調整相關措施，達到適應性管理目的。
Q4. 綠能建設是否為 NbS?

A4. 綠能建設屬人為介入措施進行自然資源的利用，未進行生態系增益的規劃，因此非 NbS。

Q5. 生態檢核是否為 NbS?

A5. 生態檢核非 NbS，生態檢核旨在減輕公共工程對生態環境造成之負面影響，了解公共工程涉及之生態議題與影響評估其可行性及妥適，提出迴避、縮小、減輕及補償措施。而 NbS 定義、原則及準則之根本，需保護、恢復和修復生態系功能及過程，對生態系要有所增益。

Q6. 如何了解調適策略是否符合 NbS?

A6. 可以藉由 IUCN 所提之 8 大準則及 28 項指標於推動過程反覆檢視，以了解調適策略推動過程是否遵循 NbS 概念。

Q7 如何進行 NbS 推動規劃?

A7. 可以藉由參考歐盟之推動流程(見第二章，圖 2-1)，優先考慮地方利害關係人，並釐清需優先解決的社會挑戰，盤點課題發生位置及根本原因，達到協同合作目標，並以 8 大準則及 28 項指標進行反覆檢視推動流程之遵循程度。

參考文獻

1. 內政部營建署，2015，「水環境低衝擊開發設施操作手冊編製與案例評估計畫」。
2. 行政院農業委員會水土保持局-台北分局，2022，111 年度臺北分局集水區治理規劃導入 NbS 調適策略及防砂設施減碳綠能加值計畫。
3. 行政院農業委員會水土保持局-台中分局，2022，111 年後龍溪導入 NbS 調適研究計畫。
4. 行政院農業委員會水土保持局-南投分局，2022，111 年度集水區 NbS 調適策略研究計畫-南投縣樟湖溪規劃示範區。
5. 行政院農業委員會水土保持局-台南分局，2022，111 年臺南分局集水區治理規劃導入 NbS 調適研究計畫。
6. 行政院農業委員會水土保持局-台東分局，2022，臺東縣台坂溪及鄰近集水區近自然治理復育與永續經營策略規劃。
7. 行政院農業委員會水土保持局，2022，111 年度集水區 NbS 調適策略研究計畫花蓮縣大不岸溪規劃示範區。
8. 沈怡瑩，2008，噶瑪蘭新社部落生活空間資源之利用、變遷與再發現，國立臺灣師範大學地理學系碩士論文。
9. 花蓮縣政府，2002，豐濱復興社區土石流防治整體治理工程規劃及細部設計工作，執行單位：中華防災學會。
10. 邱祈榮、林俊成，2017，森林生態系服務面面觀。科學發展:529 期
11. 陳彥勳、李盈潔，2020，農地景觀特徵之生態系統服務功能初探。
Journal of Agriculture and Forestry,67(4):233-248。
12. 陳思宏、吳振發、陳添水，2021，淺談臺灣農田，重要生態棲地評估。自然保育季刊，2021/12，NO.116，第 4 至 13 頁。
13. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2021，連結歐盟 NbS 計畫及共同開發評估模式(108-110)(3/3)。
14. 楊佳寧、郭鎮維、游牧笛、沈淑敏，2022，「臺灣河川流域區、地形分段與類群的建構與分析」，中華水土保持學報，53(1): 13-24。
15. Altieri, M. A. ,2002, Agroecological principles for sustainable agriculture. Agroecological innovations: Increasing food production with participatory development, 40-46.
16. Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z., Sanchez, A., 2019, “Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management”, Journal of Environmental Management, Vol.239, Issue 1, pp.244-254.
17. Burgess-Gamble, L., Ngai, R., Wilkinson, M., Nisbet, T., Pontee, N., Harvey, R., Kipling, K., Addy, S., Rose, S., Maslen, S., Jay, H., Nicholson, A., Page, T., Jonczyk, J., Quinn, P., 2018, “Working with Natural Processes - Evidence Directory”, SC150005. Environment Agency, Bristol.
18. Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y. T., Xu, Y. Thorne, C. R., 2018, “"Sponge City" in China—A breakthrough of

- planning and flood risk management in the urban context”, Land use policy, Vol.76, pp.772-778.
19. Chou, R. J., 2016, “Achieving successful river restoration in dense urban areas: Lessons from Taiwan”, Sustainability, Vol.8, Issue 11.
20. Cohen-Shacham, E., Andrade, A., Dalton, J., Dudley, N., Jones, M., Kumar, C., Maginnis, S., Maynard, S., Nelson, C. R., Renaud, F. G., Welling, R., Walters, G., 2019, “Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions”, Environmental Science & Policy, Vol. 98, pp. 20-29.
21. Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., and Maginnis, S. (Eds.), 2016, Nature-based Solutions to address global societal challenges, International Union for the Conservation of Nature, Gland, Switzerland.
22. Czemieli Berndtsson, J., 2010, “Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review”, Ecological Engineering, Vol.36, Issue 4, pp.351-360.
23. Damodaram, C., Giacomoni, M. H., Prakash Khedun, C., Holmes, H., Ryan, A., Saour, W. and Zechman, E. M., 2010, “Simulation of combined best management practices and low impact development for sustainable stormwater management”, JAWRA Journal of the American Water Resources Association, Vol.46, Issue 5, pp.907-918.
24. Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G., Clar, M., 2009, “Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs”, Journal of Environmental Engineering. Vol.135, Issue 3, pp.109-117.
25. De Vleeschauwer, K., Weustenraad, J., Nolf, C., Wolfs, V., De Meulder, B., Shannon, K., & Willems, P, 2014, Green-blue water in the city: quantification of impact of source control versus end-of-pipe solutions on sewer and river floods. Water Science and Technology, 70(11), 1825-1837.
26. Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J.M.N., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., Fady, B., Grube, M., Keune, H., Lamarque, P., Reuter, K., Smith, M., van Ham, C., Weisser, W.W., and Le Roux, X., 2015, ‘Nature-based solutions: New influence for environmental management and research in Europe’, GAIA, Vol. 24, No 4, pp. 243-248.
27. Ehrenfeld, J., & Gertler, N, 1997, Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. Journal of industrial Ecology, 1.1: 67-79.
28. Ehrenfeld, John, 2004, Industrial ecology: a new field or only a metaphor?. Journal of cleaner production, 12.8-10: 825-831.
29. Erkman, Suren, 1997, Industrial ecology: an historical view. Journal of cleaner production, 5.1-2: 1-10.
30. European Union, 2021, "Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners."
31. Haines-Young, Roy, and Marion Potschin , 2010, "The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being." Ecosystem Ecology: a new synthesis 1: 110-139.

32. International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2020, Global Standard for Naturebased Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition. Gland, Switzerland: IUCN.
33. International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2020, Guidance for Using the IUCN Global Standard for Nature-Based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of Nature-based Solutions. First edition. Gland, Switzerland: IUCN.
34. International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2022, "Aquaculture and Nature-based Solutions."
35. International Union for Conservation of Nature (IUCN), et al, 2021, "IUCN welcomes recognition of nature's role at COP26 and calls for more ambition."
36. Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A., 2017, Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice. Springer Nature.
37. Klijn, F., Bruin, D. De, Hoog, M. C. De, Jansen, S., Sijmons, D. F., Klijn, F., Bruin, D. De, Hoog, M. C. De, Jansen, S. and Sijmons, D. F., 2013, "Design quality of room-for-the-river measures in the Netherlands : role and assessment of the quality team (Q-team)", International Journal of River Basin Management, Vol.11, Issue 3 ,pp.287-299.
38. Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R., & Turner, R. K. (Eds.), 2016, Routledge handbook of ecosystem services.
39. Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., ... & Zurek, M. B., 2005, Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press.
40. Reid, Walter V., 2005, et al. Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press.
41. Riis, Tenna, Mary Kelly-Quinn, Francisca C. Aguiar, Paraskevi Manolaki, Daniel Bruno, María D. Bejarano, Nicola Clerici, et al., 2020, "Global Overview of Ecosystem Services Provided by Riparian Vegetation." Bioscience 70 (6): 501–14.
42. Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Di Sabatino, S., Leo, L. S., Capobianco, V., Oen, A. M. P., McClain, M., Lopez-Gunn, E., 2020, "Nature-Based Solutions for hydro-meteorological risk reduction: A state-of-the-art review of the research area", Natural Hazards and Earth System Sciences. Discuss, Vol.20, pp.243-270.
43. Shafique, M., Kim, R. Kyung-Ho, K., 2018, "Rainfall runoff mitigation by retrofitted permeable pavement in an urban area", Sustainability, Vol. 10, Issue 4.
44. Sharma, R., Rimal, B., Baral, H., Nehren, U., Paudyal, K., Sharma, S., ... & Kandel, P., 2019, Impact of land cover change on ecosystem services in a tropical forested landscape. Resources, 8(1), 18.
45. Somarakis, G., Stagakis, S., Chrysoulakis, N., Mesimäki, M., & Lehvävirta, S., 2019, ThinkNature nature-based solutions handbook.

46. Thorslund, J., Jarsjo, J., Jaramillo, F., Jawitz, J. W., Manzoni, S., Basu, N. B., Chalov, S. R., Cohen, M. J., Creed, I. F., 5 Goldenberg, R., Hylin, A., Kalantari, Z., Koussis, A. D., Lyon, S. W., Mazi, K., Mard, J., Persson, K., Pietro, J., Prieto, C., Quin, A., Van Meter, K. Destouni, G., 2017, "Wetlands as large- scale nature-based solutions: Status and challenges for research, engineering and management", *Ecological Engineering*, Vol.108, pp.489-497.
47. Vojinovic, Z, 2015, "Flood Risk: The holistic perspective".
48. Wallemacq, P., House, R., 2018, "Economic Losses, Poverty and Disasters 1998-2017".
49. Wu, J., Yang, R. Song, J., 2018, "Effectiveness of low-impact development for urban inundation risk mitigation under different scenarios: A case study in Shenzhen, China", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol.18, Issue 9, pp.2525-2536.
50. Wu, W., Wang, S. S., & Jia, Y.,2000, Nonuniform sediment transport in alluvial rivers. *Journal of hydraulic research*, 38(6), 427-434.
51. Yirsaw, Eshetu, Wei Wu, Xiaoping Shi, Habtamu Temesgen, and Belew Bekele, 2017, "Land Use/Land Cover Change Modeling and the Prediction of Subsequent Changes in Ecosystem Service Values in a Coastal Area of China, the Su-Xi-Chang Region." *Sustainability: Science Practice and Policy* 9 (7): 1204.