

調整型防砂設施 動態活化溪流土砂資源

執行單位：財團法人資源及環境保護服務基金會

執行期間：2024/04/18-2024/12/10

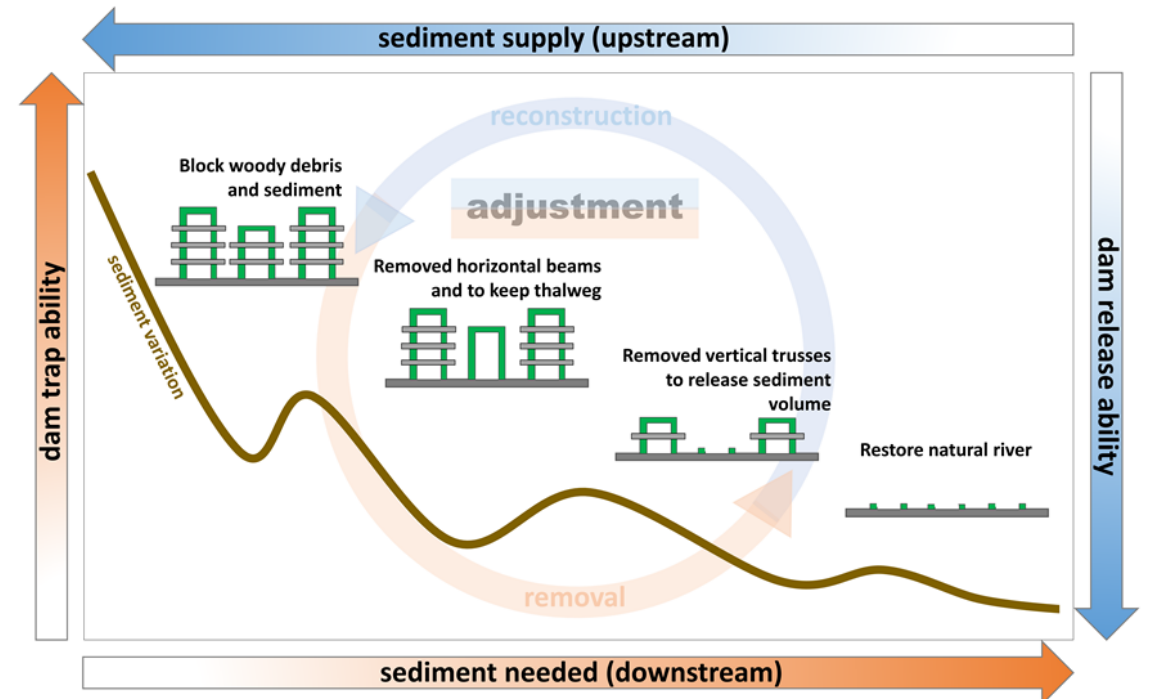
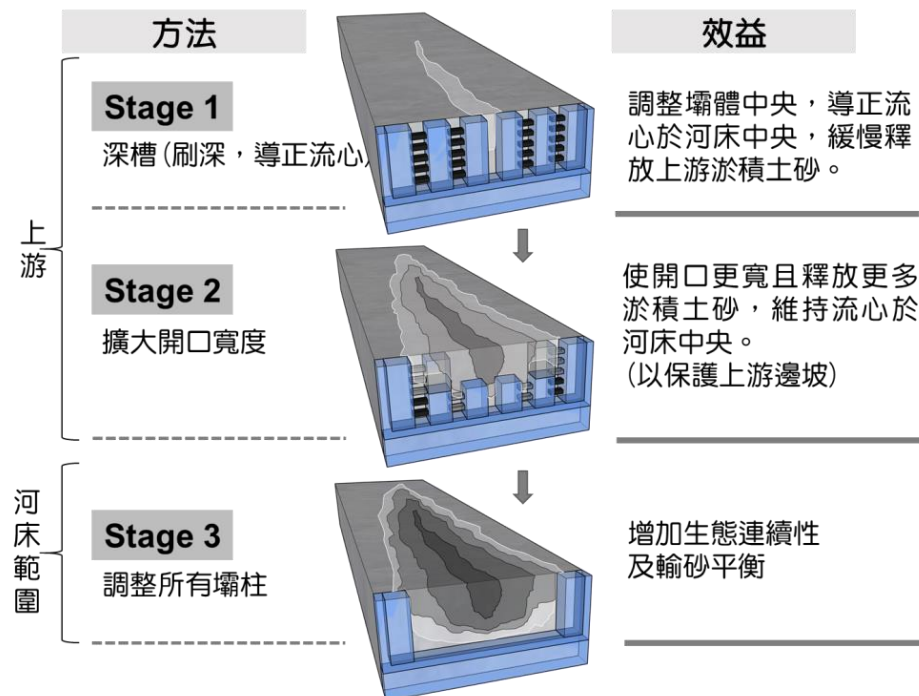
計畫主持人：邱渝方 組長

協同主持人：陳樹群 董事長

2025年04月15日

調整型防砂壩

- 調整型防砂壩為可隨著來砂量改變而調整其結構，以維持各時期的基本輸砂平衡，同時減少防砂壩對溪流環境之損害及生態廊道之阻斷。
- 大致將調整型防砂壩依土砂攔阻特性概分為開口式、孔隙式及封閉式。
- 防砂壩調整之行為可概分為
 - 「一次性調整」壩體在輸砂量減少後進行不同型態的調整降壩，經壩體調整後即提升輸砂效能。
 - 「動態性調整」壩體本身具有調整性元件，可依溪流不同時期輸砂、防災或生態需求進行靈活、反覆性調整作業。



Yu-Fang Chiu, Samkele S. Tfwala, Yung-Ching Hsu, Yen-Yu Chiu, Chen-Yang Lee, Su-Chin Chen*(2021)“Upstream morphological effects of a sequential check dam adjustment process”, *Earth Surface Processed and Landforms*.

調整型防砂壩_開口型防砂壩

- 在承受基礎輸砂量時水流及土砂得以穿越壩體，使壩體上游可維持貯砂空間，以供發生高含砂水流或土石流時，適時發揮攔阻土砂和延遲流出時間之效果。
- 最大流速接近壩體下端，帶動的卵礫石由下端流出，目的是讓細小顆粒能從壩體流出。
- 在實務上，常因壩體上游淤滿而喪失囚砂空間，將面臨防砂壩阻斷輸砂與棲地連通性之窘境。故若能將壩體設計為可因應上游來砂量而調整其攔阻型態，將能有效緩解並同時達到輸砂及生態棲地之平衡。



南投蘭島溪下游鋼管壩



南投蘭島溪上游鋼管壩



宜蘭德荃橋防砂壩



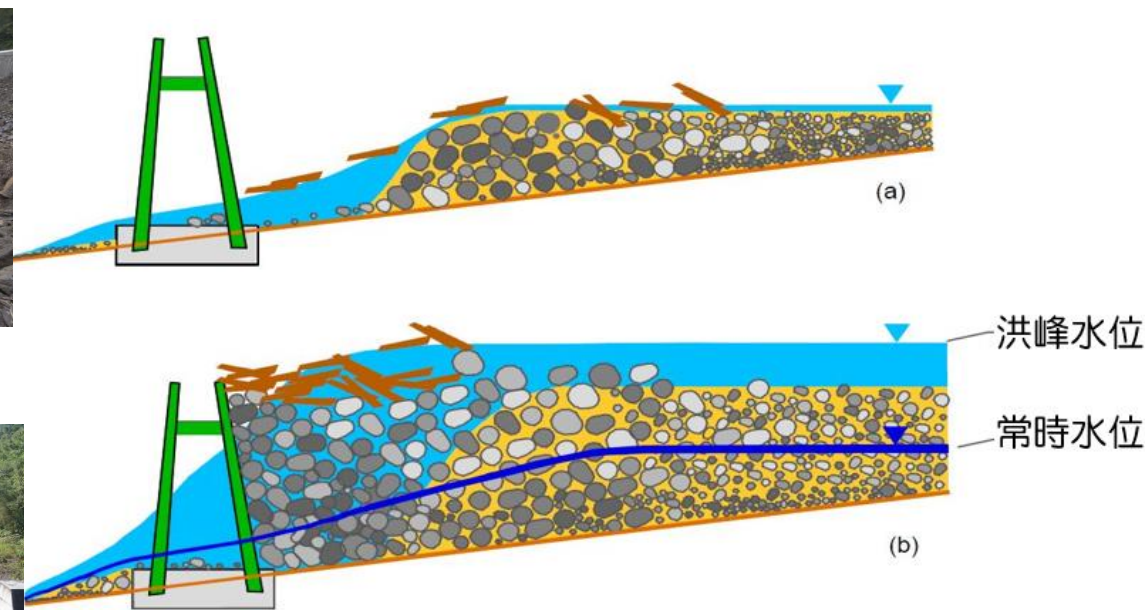
台東庫濃溪防砂壩



花蓮阿夜溪防砂壩



嘉義巴沙娜溪防砂壩



開口型防砂壩 (a) 未淤滿 (b) 礫石淤滿與漂流木攔阻示意圖

調整型防砂壩_孔隙型防砂壩

- 壩身因構築**孔隙材料具有透水性**，在承受基礎輸砂量時，大部份之土砂無法通過壩身，但水流可由孔隙滲流出。
- 早期較少用於施作高壩且不論淤滿與否，水流均能由壩體孔隙流出，用於分離水流，達到**壩後淤積**以減緩河床及壩後沖蝕現象，亦能減緩水流由壩頂向下游淘刷壩體。
- 近年有孔隙型混合鋼構之設計壩型，可加強結構強度，其壩基穩固亦可突破以往壩基不穩，故此已有施作高壩之基礎。



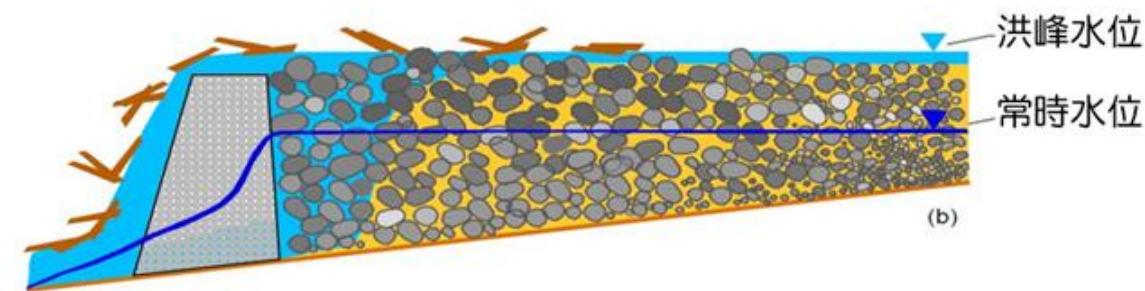
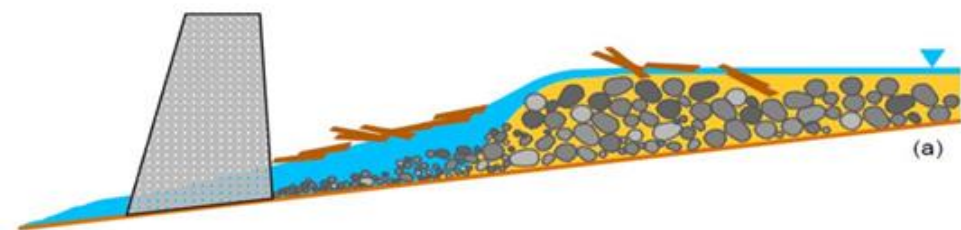
屏東東門溪出火野溪防砂壩



屏東里仁溪防砂壩



台中茄荖寮溪防砂壩



孔隙型防砂壩 (a) 未淤滿 (b) 淤滿的水流與土砂分離示意圖

調整型防砂壩_封閉型防砂壩

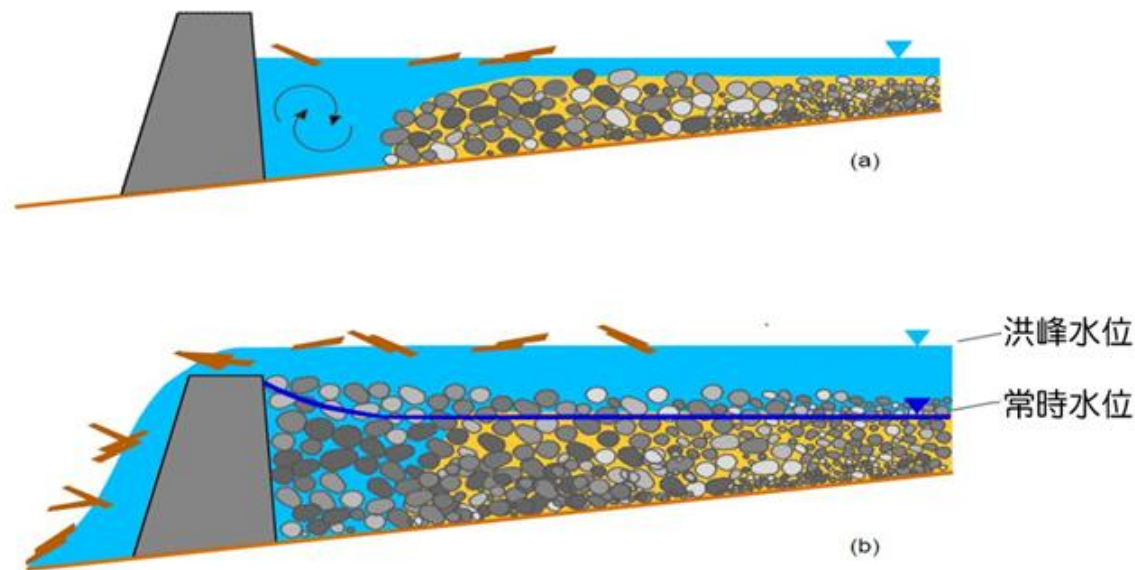
- 平時泥砂無法通過壩體，攔阻土砂不具選擇性，全數土砂皆可被攔阻。
- 壩體經過歷次土砂災害，最終都會達到淤滿狀態，此時的壩尚有固床及穩定坡度等功能。
- 目的為攔阻平日河道中之泥砂，強調穩定上游河道兩岸邊坡與減少沖蝕的功能。
- 防砂壩易直接阻斷河川棲地中之縱向連續性，造成棲地片斷不相連之區塊。
- 若將調整型防砂壩之概念與封閉型防砂壩做結合，將可達到攔阻土砂亦能適時調整輸砂及清淤之目的。



台中廬仔溪防砂壩



屏東東門溪三台山防砂壩

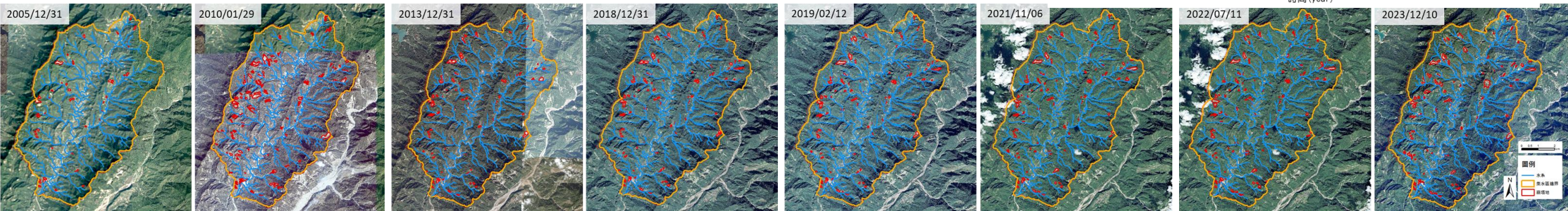
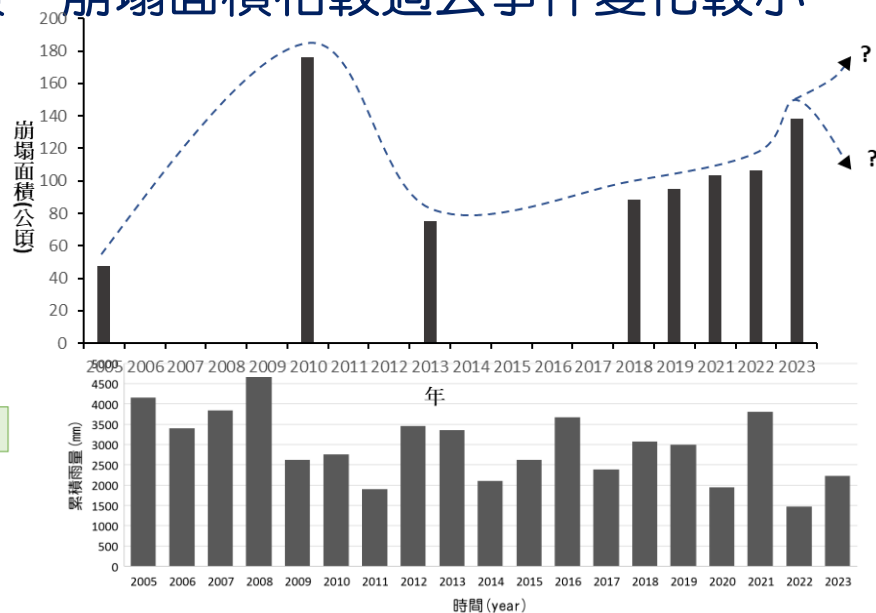
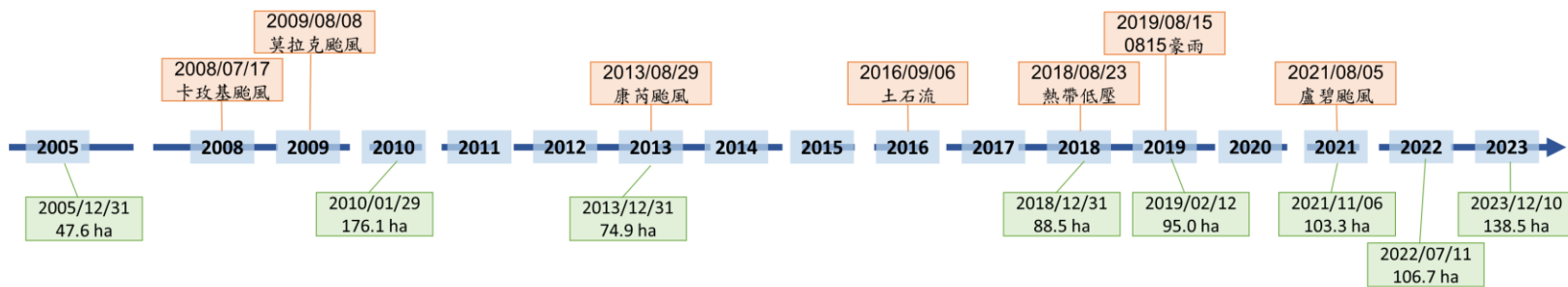


封閉型防砂壩 (a) 及淤滿 (b) 對於土砂攔阻示意圖

台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

歷史影像資料

- 2005年崩塌面積47.6公頃，2008年卡玫基與2009年莫拉克颱風，於2010年崩塌面積增加至176.1公頃。
- 2013年康芮颱風造成幾處崩塌，裸露面積74.9公頃，過去災害造成的崩塌因過去三年未受到明顯災害影響，使植生恢復良好崩塌面積明顯下降。
- 2017年7月關山九號橋防砂壩竣工，2021年盧碧颱風增至103.3公頃，崩塌面積相較過去事件變化較小，推估防砂壩有效減緩上游的崩塌情形。
- 推斷未來仍有崩塌面積增減之趨勢。



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

台灣河川型態五層分類法

- 陳樹群等(2002,2012) 提出台灣河川型態五層分類法，依據空間尺寸大小於各層級分析環境情況。

- 橫向構造物之調整，最直接影響第四層河道特性及第五層棲地特性。

第一層流域特性

- 後堀溪為曾文溪上游支流，子集水區面積約16,590he，溪流長度約51.059km，溪流坡度3.4%，地質以北寮頁岩為主。

第二層水系特性

- 後堀溪流域呈狹長幾何型態，水流至集水區出口時間較長。
- 許多支流從不同方向匯入主河道，屬樹枝狀水系。

第三層主流特性

- 壩體位於主流中上游段，能有效容納大量水流，屬第四級河川。

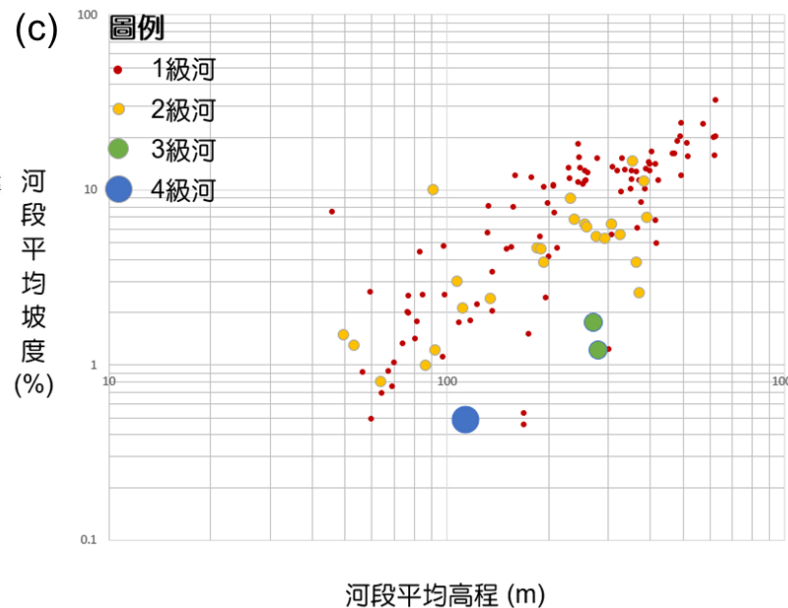
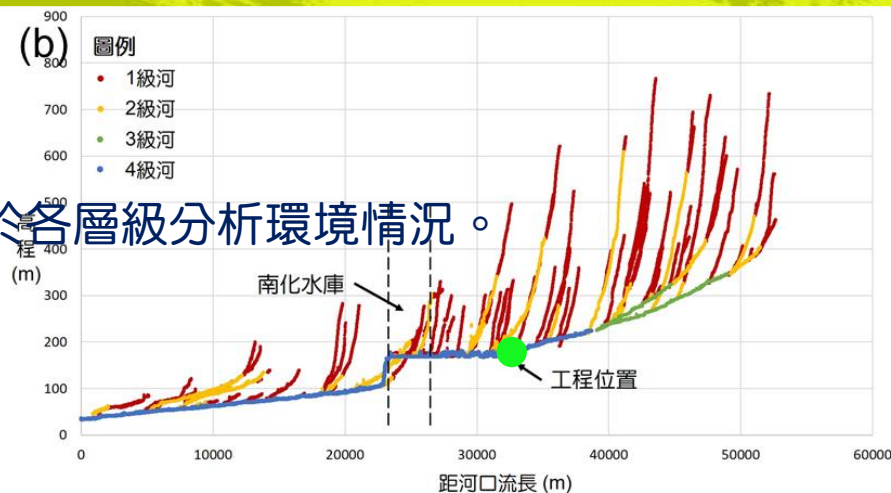
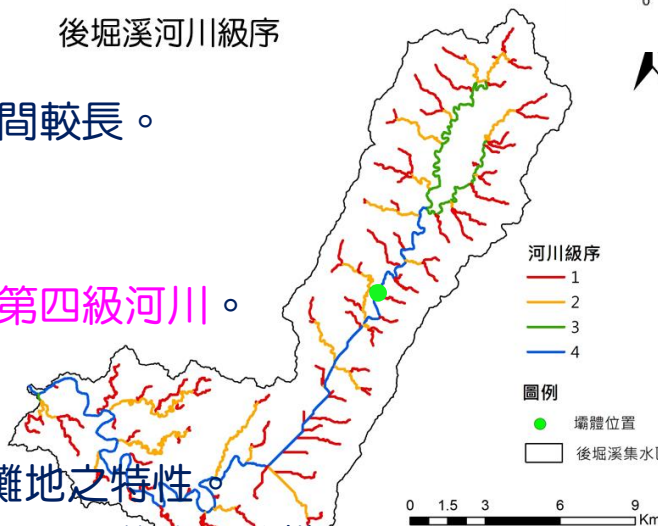
第四層河道特性

- 研究範圍河道偏向蜿蜒及辮狀，易於水流分隔、高灘地之特性。
- 避免土砂進入庫區興建橫向構造物，河道來水來砂量大，導致土砂幾乎淤滿。

第五層棲地特性

- 辮狀河川受大型洪水事件，水流將溢淹至整個河道。
- 河道內沙洲、邊灘刷新，致植生長環境不穩定、演化速度快。
- 河道來砂量大，致泥砂淤積量、迴水範圍增加，水流多樣性降低。
- 橫向廊道受土砂災害破壞，影響水、陸域生態棲地之連續性。

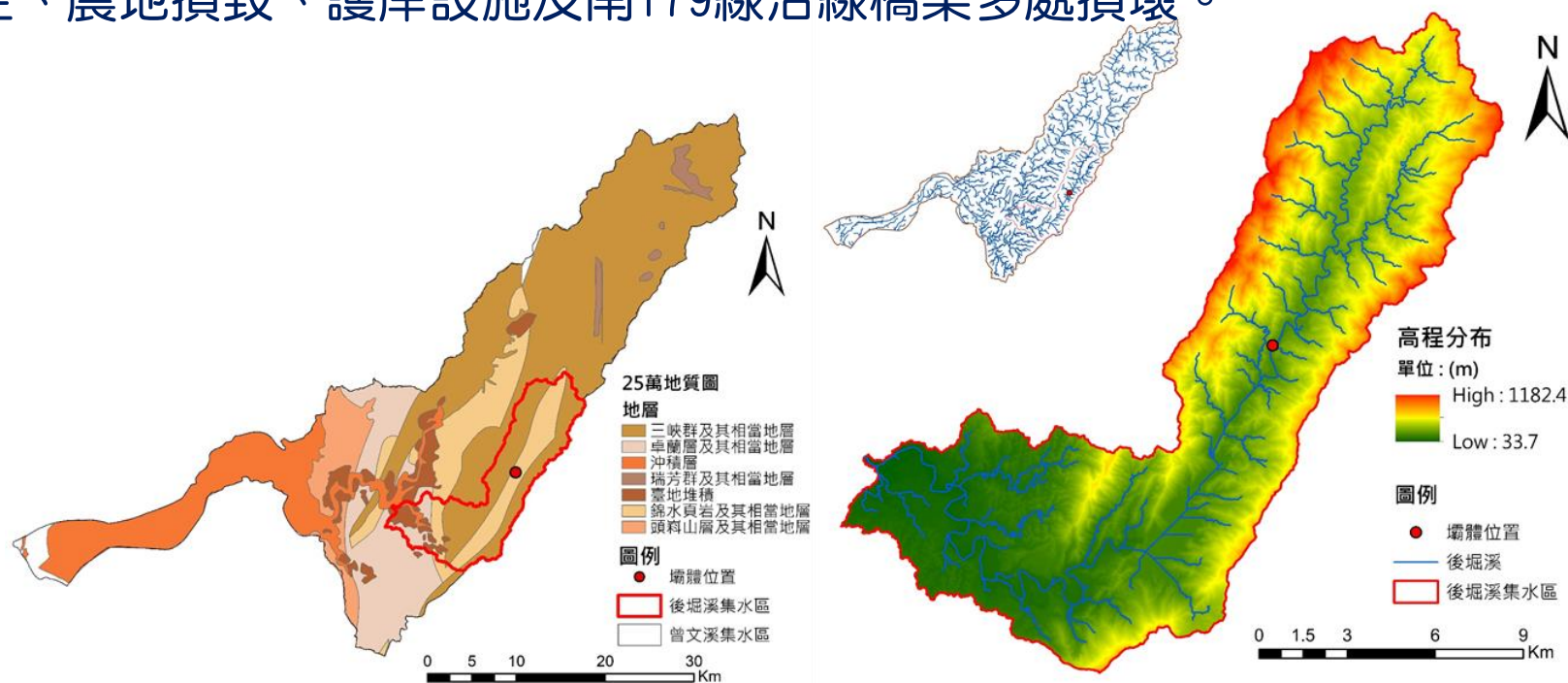
(a) 後堀溪河川級序



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

背景調查

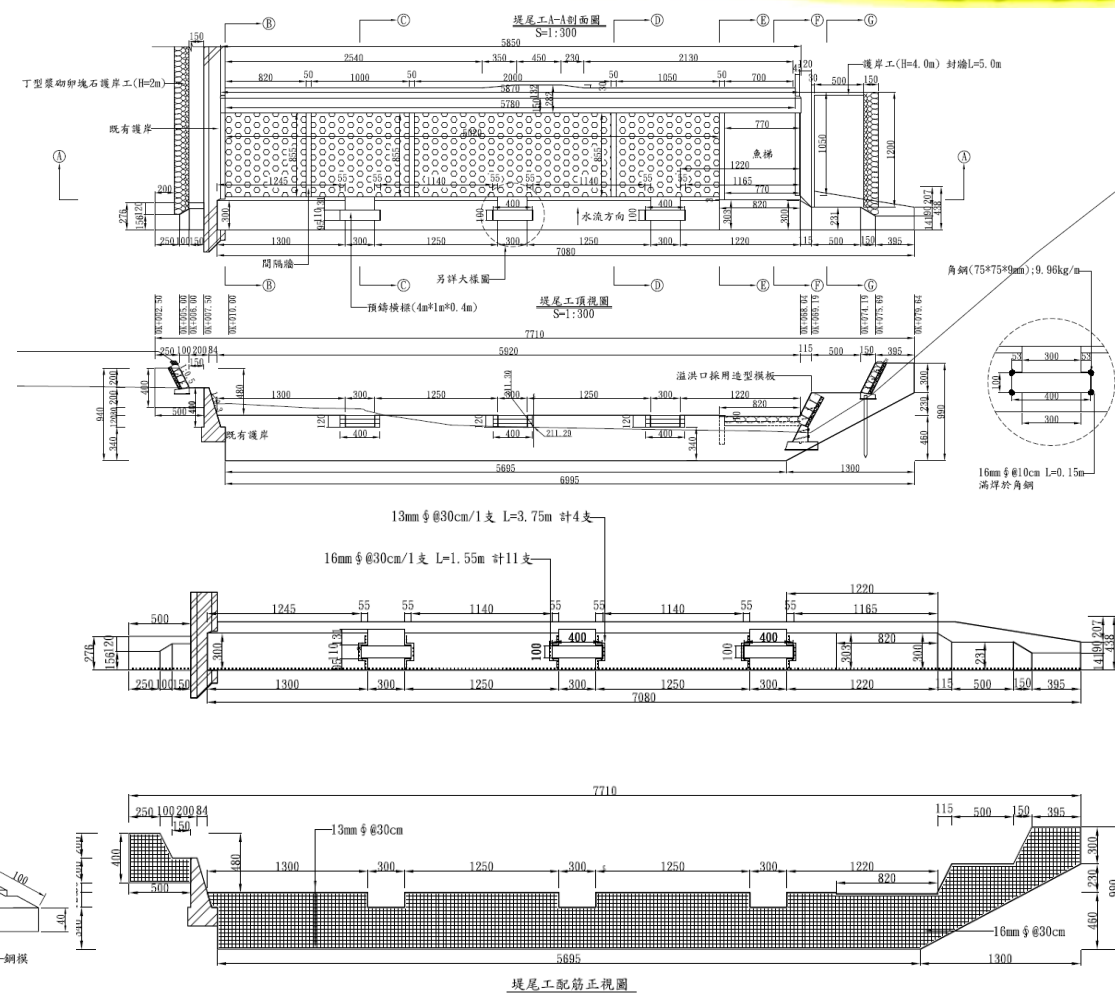
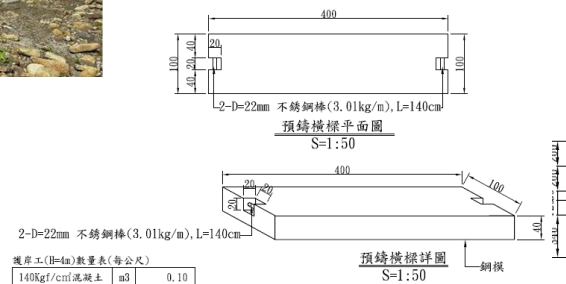
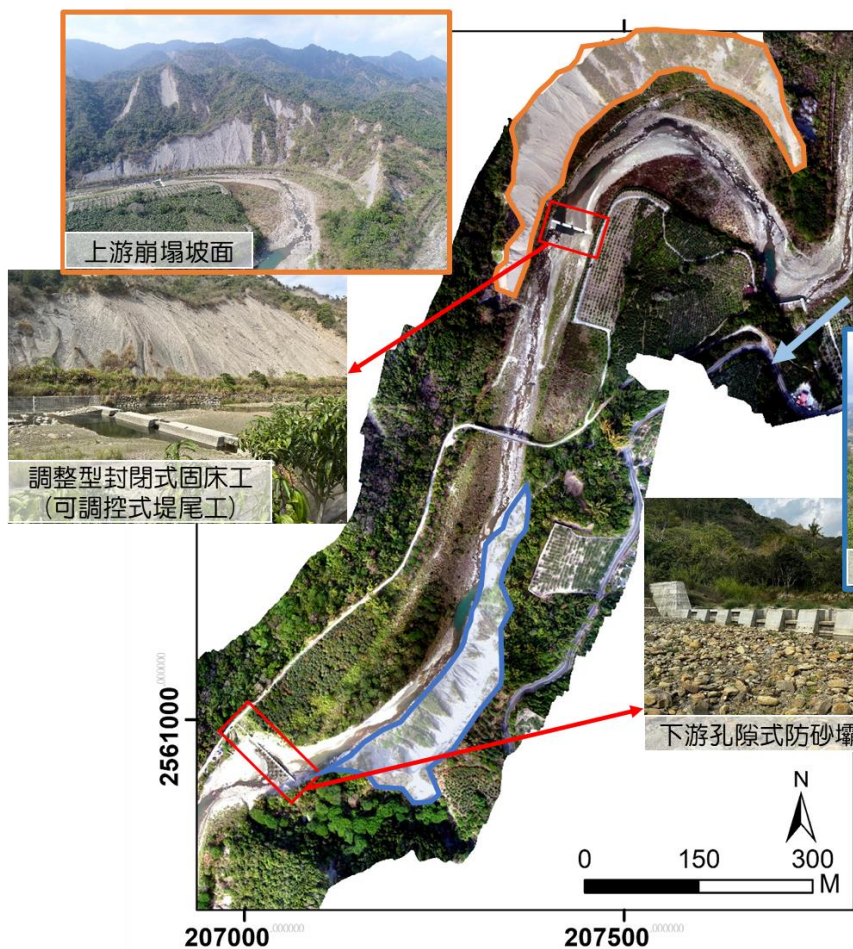
- 後堀溪為曾文溪上游之支流，下游匯入南化水庫，研究區域下游橫向構造物距離南化水庫約6公里。
- 南化水庫自1993年啟用後至今，每次遇颱風侵襲皆造成大量土石沖入淤積。2012年測量有效蓄水量僅剩9,943萬立方公尺，可顯見淤積已嚴重影響水庫蓄水功能。
- 生態資源豐富，特別魚類、昆蟲及鳥類之種類多樣，然而受上游土砂下移，溪流沿岸縱向廊道受土砂災害破壞，影響水、陸域生態棲地之連續性。
- 工程起源受2008年卡玫基及2009年莫拉克颱風之高強度及長延時降雨影響，造成溪水暴漲溢流，致使路基淘空、農地損毀、護岸設施及南179線沿線橋梁多處損壞。



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

上游調整型封閉式固床工(堤尾工)

上、下游皆有一座調整型橫向構造物，上游為調整型封閉式固床工(堤尾工)，而下游為調整型孔隙式防砂壩，上、下游構造物間距離約850m，構造物上游皆有明顯崩塌坡面之跡象。



上游調整型封閉式固床工(堤尾工)

- [illegible]



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

下游調整型孔隙式防砂壩

- 下游壩為**調整型孔隙式防砂壩**，「關山九號橋下游防砂工程」於2023年5月29日竣工。
- 橫樑設計為**預鑄橫樑**，橫樑間設有**格網並回填塊石**，共有17處缺口。
- 靠近右岸有8處缺口，橫向元件僅配置1m高(每個缺口移除兩塊預鑄橫樑及橫樑間之塊石)，推估為**適量輸砂及引導水流**所致。



預鑄橫樑間設有格網回填塊石



上游側土砂概況



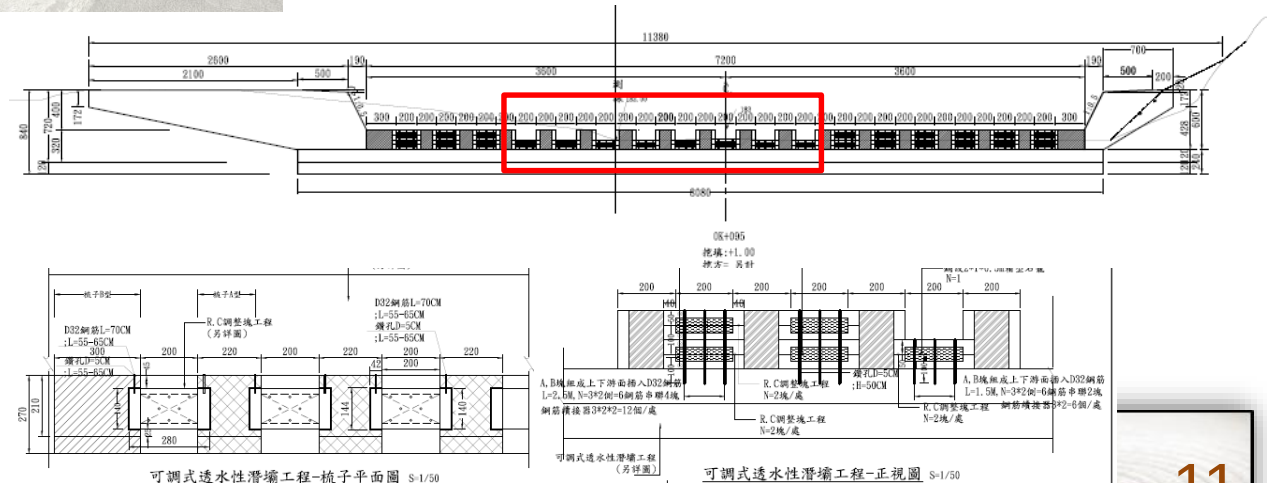
壩體上游崩塌坡面



下游側土砂概況



右岸八處缺口壩體調降



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

凱米颱風(Typhoon Gaemi)概況_上游調整型封閉式固床工

- 2024年7月強烈凱米颱風，根據氣象署的監測資料於台南市關山地區累積降雨量高達約1,245mm。
- 上游之調整型封閉式固床工(堤尾工) 洪水水位漫淹至複式漿砌石護岸之洪峰水位高(紅線處)。
- 凱米颱風前(2024/02/06)固床工上游右岸凹岸有大面積淤積灘地(黃圈處)，而凱米颱風過後右岸淤積之土砂被帶往下游，可明顯看出洪水將B型基礎固床工被沖毀之情況。



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

康芮颱風(Typhoon Kong-rey)概況_上游調整型封閉式固床工

- 於2024年10月強烈**康芮颱風**侵襲，根據土石流及大規模崩塌防災應變系統之監測數據，南化(關山測站) **累積雨量達139mm**，全台最大陣風皆達10級以上。
- 上游之調整型封閉式固床工(堤尾工) **洪水水位上升**接近複式漿砌石護岸之**洪峰水位高(紅線處)**，與凱米颱風相比水位稍低。



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

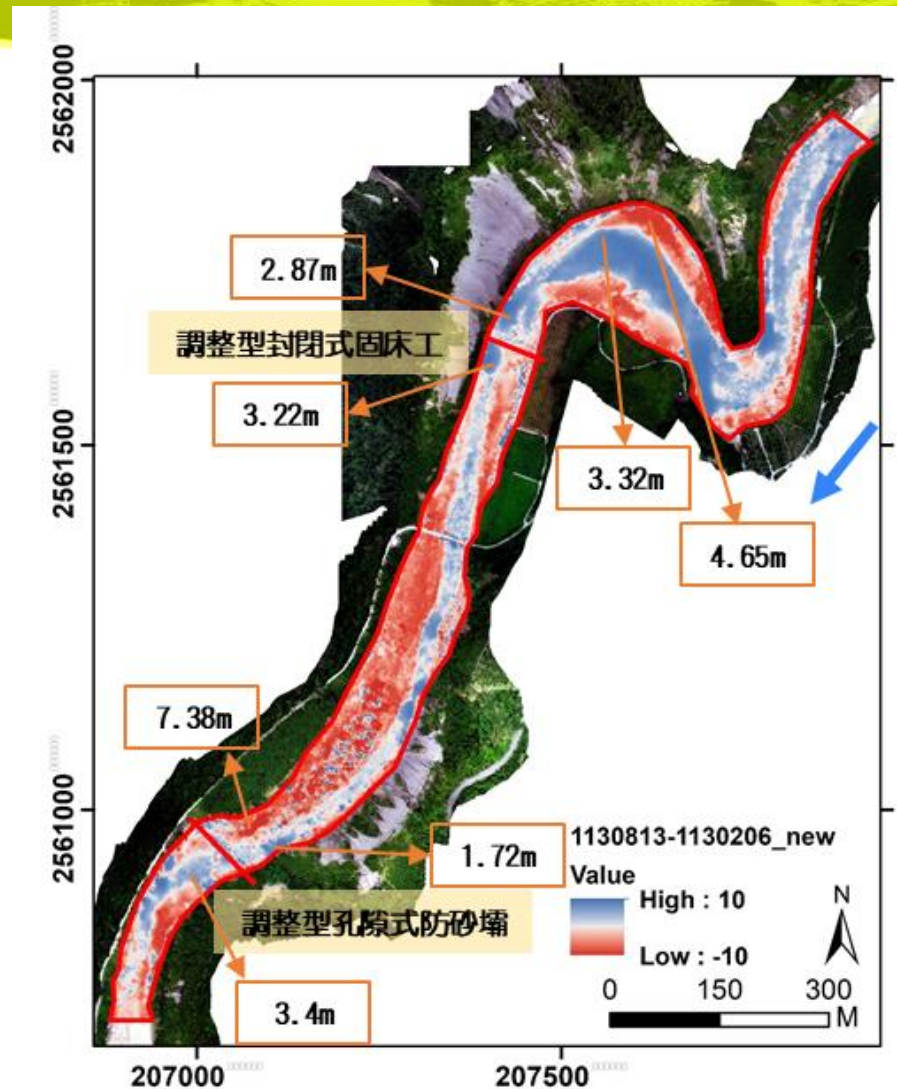
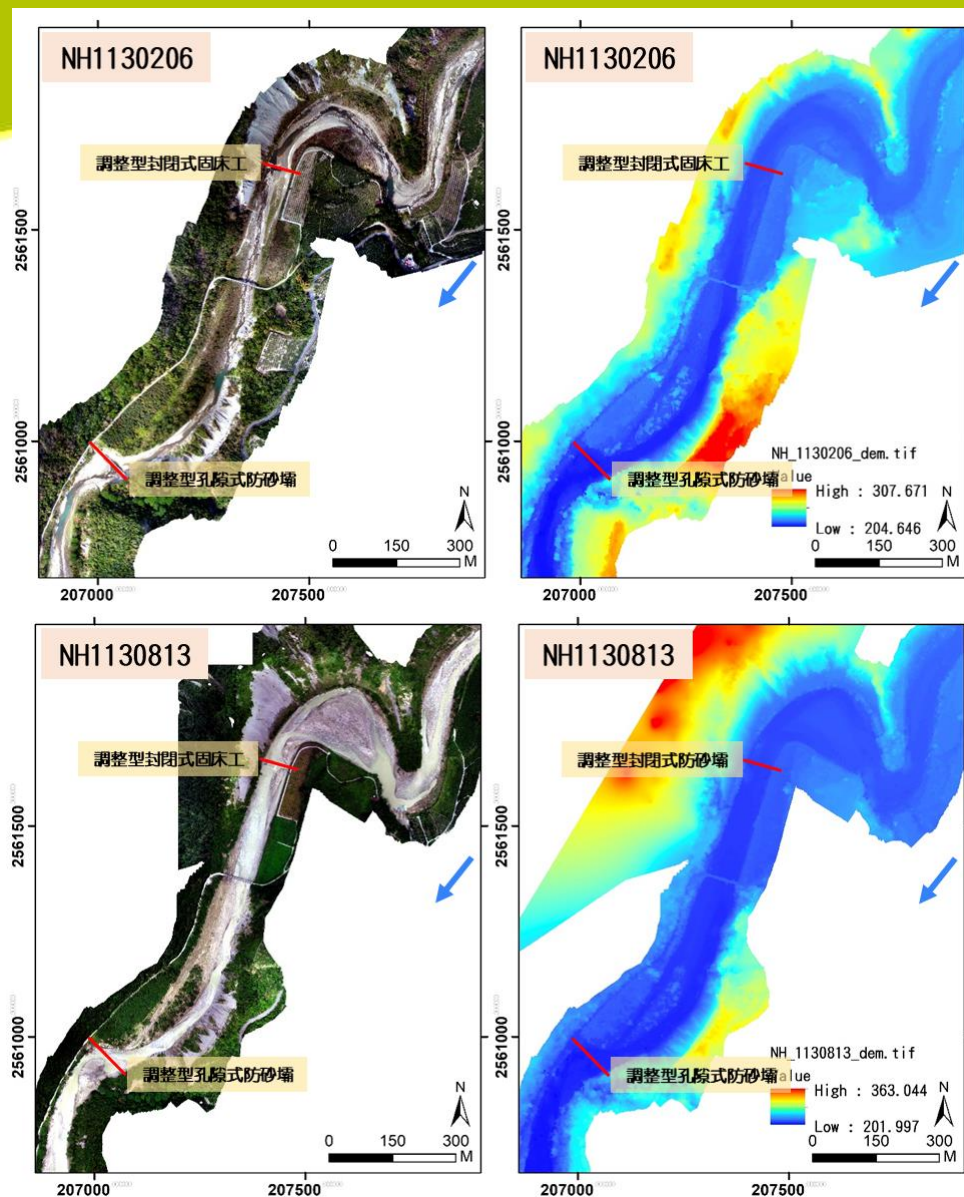
凱米颱風(Typhoon Gaemi)概況_下游調整型孔隙式防砂壩

- 下游調整型孔隙式防砂壩於凱米颱風期間，依地形及現況河道水流流路主要衝擊左岸及其邊坡，壩體左岸預鑄橫樑在洪水的沖刷下被沖翻，預鑄橫樑間6處鋼筋續接處被洪水沖起使預鑄塊被掀起。
- 根據當地居民描述洪水淹及右岸的道路，故陳情要求提高右岸道路，避免阻斷聯外道路之通行。



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

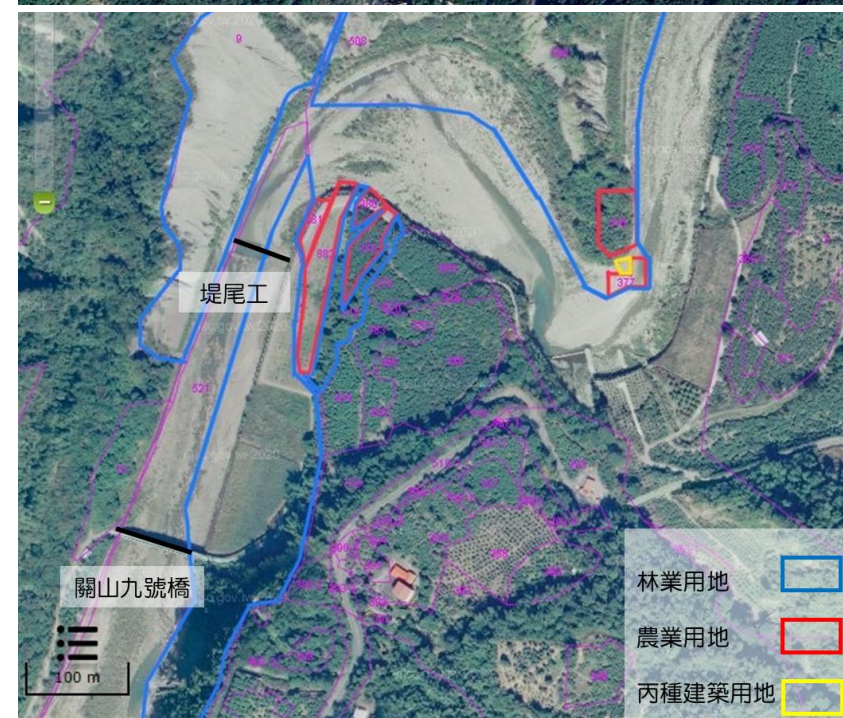
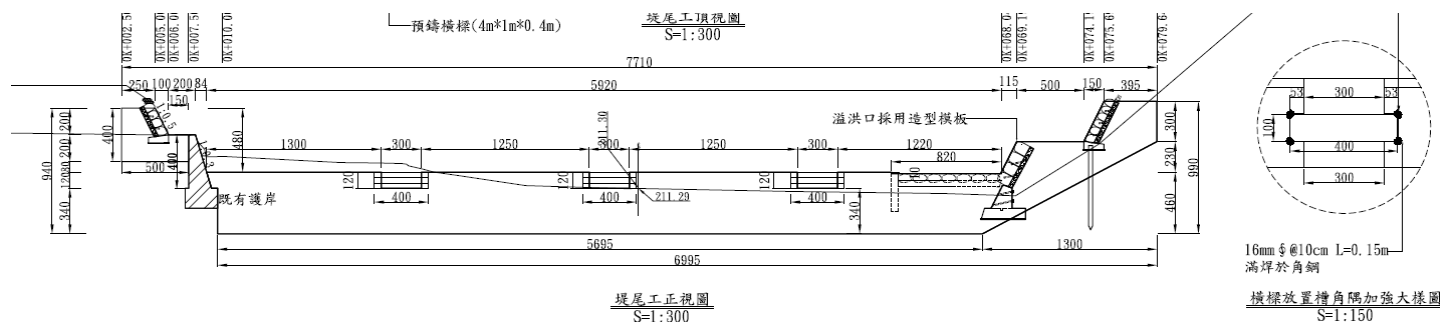
- 以6月豪雨及凱米颱風前、後為分界，繪製河床沖淤變化圖。



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

改善對策

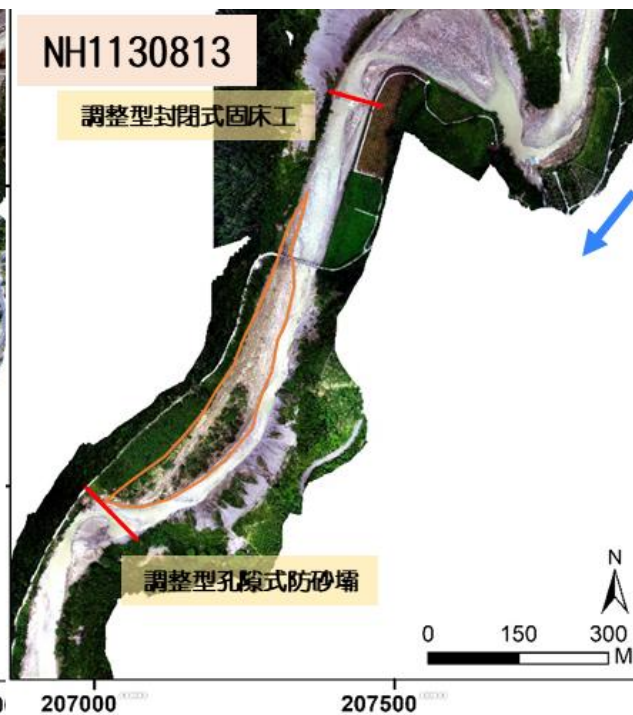
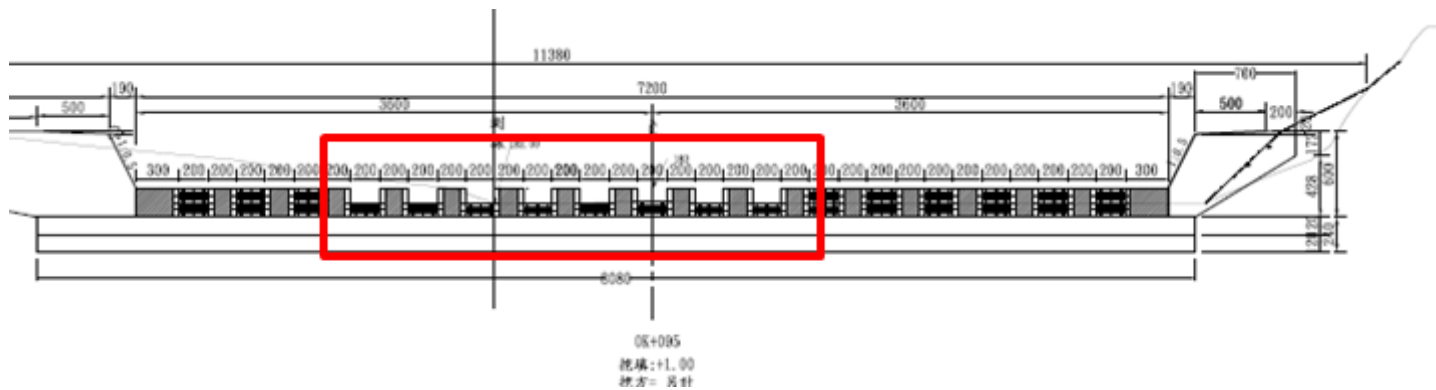
- 建議上游調整型封閉式固床工(堤尾工)全數調降預鑄橫樑，以自然力輸砂。受限橫樑高度僅1.2m，推估輸砂效果有限。另可利用清淤通道，對上游淤積土方進行人工清淤。
- 右岸估算沿線有長1km、高2m之土方回填區；壩體左岸芒果樹種植區為國有土地，以達到土方去化、交換之效果。土方暫置區屬8049北勢段，分別為林業用地、農牧用地之使用地。
- 評估土方暫置區不會受到洪水擾動及沖刷，建議採用拋塊石或土布袋方式進行穩定即可，以避免使用混凝土。



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

改善對策

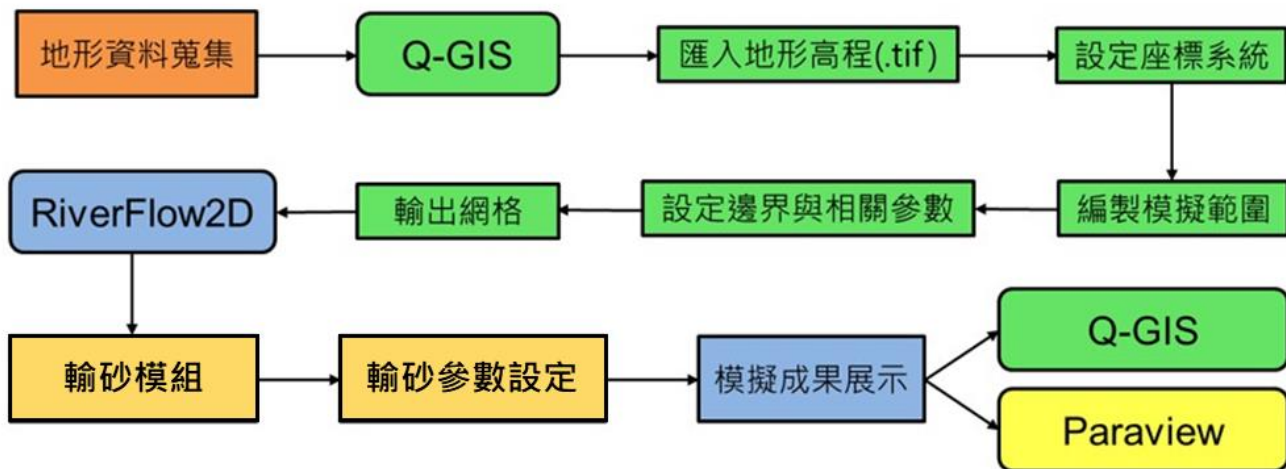
- 下游調整型孔隙式防砂壩左岸崩場地與南 179 號線間距僅剩約30m，建議可回填土方於此，以減緩崩塌範圍持續擴大。
- 上游右岸有大面積之淤積灘地，將壩體上游之河道由原先約112m寬，束縮後僅剩約22m。可利用此灘地，規劃部分清淤以引導水流流向，以避免水流持續攻擊左岸。
 - 下游調整型孔隙式防砂壩之上游右岸淤積灘地，於2024年凱米颱風後可明顯看出高灘地中有一條洪水沖出之流路痕跡。
 - 建議利用高灘地內之此流路，進行模擬後建議之河寬寬度約10-15m內範圍進行分流清淤作業，於常流水時就能引導水流，減緩水流對於左岸邊坡沖刷之風險，亦保護南 179 號線。



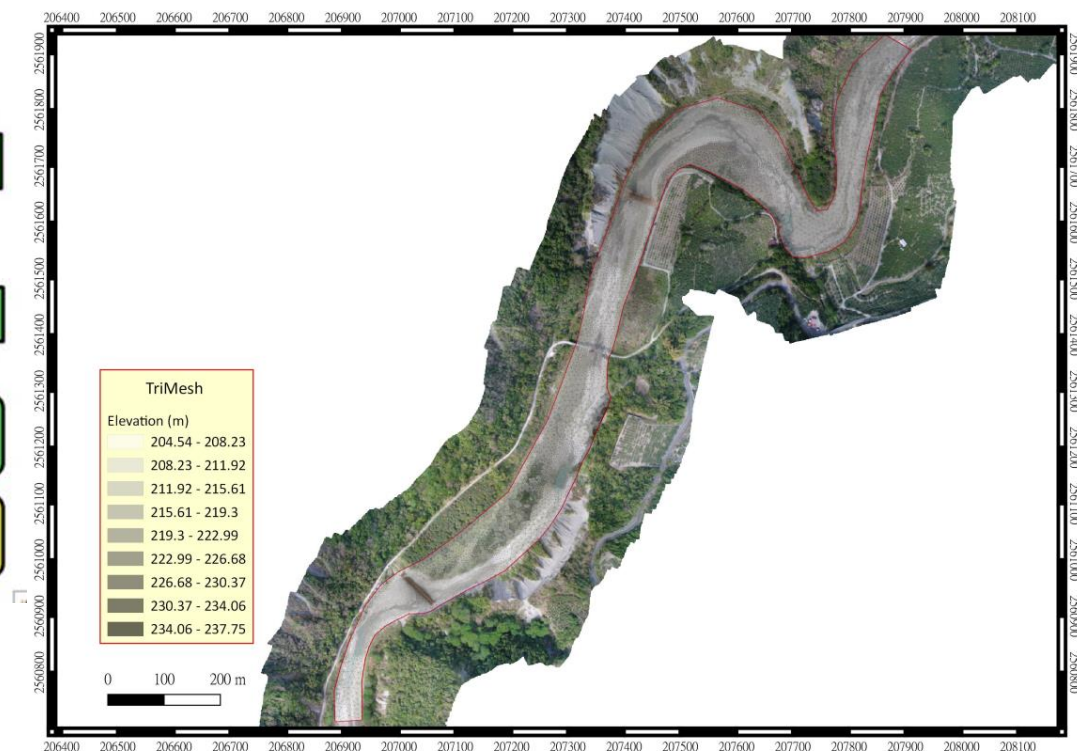
台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

動態調整前後之數值模擬，探討可能之沖淤變動及河道演變趨勢

- 利用RiverFlow2D模式對壩體調整前後狀況進行模擬。
 - 邊界條件：上游流量邊界採用水砂觀測站資料，下游設開放邊界。
 - 檢定合適輸砂模組，依調查底床值粒徑設定相關參數。
 - 網格採用非結構性(三角形)網格，應用UAV建置DEM地形進行網格地形內插。
 - 取出數值模擬橫斷面比較壩體斷面前後高程變化趨勢，了解沖淤過程之地形變化。



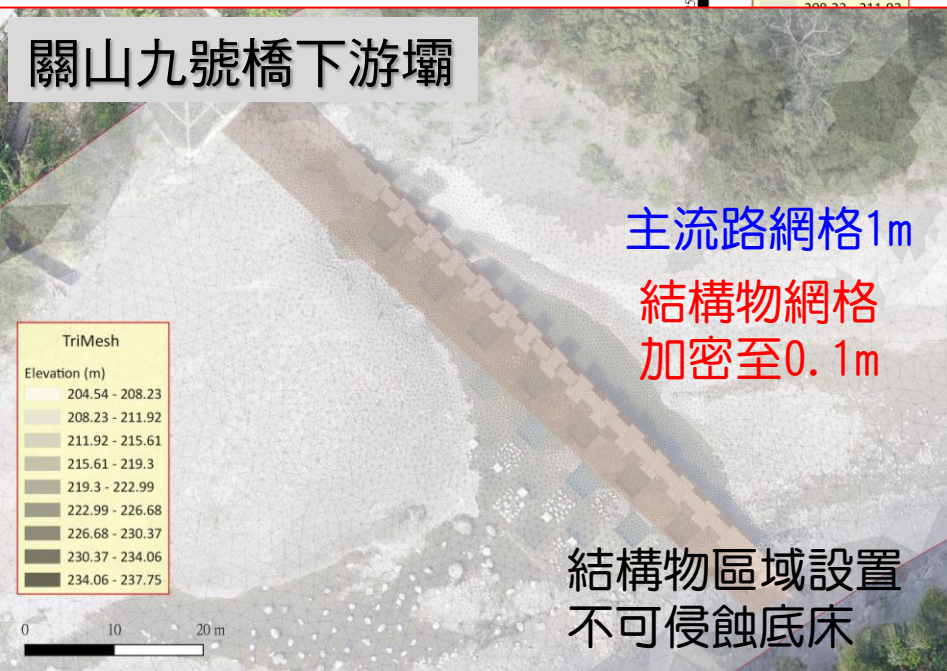
RiverFlow2D模擬建置流程圖



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

動態調整前後之數值模擬，探討可能之沖淤變動及河道演變趨勢

流量邊界	流量	模擬時間
常流量	2 cms	3小時
高流量(洪峰)	250 cms	1小時48分鐘

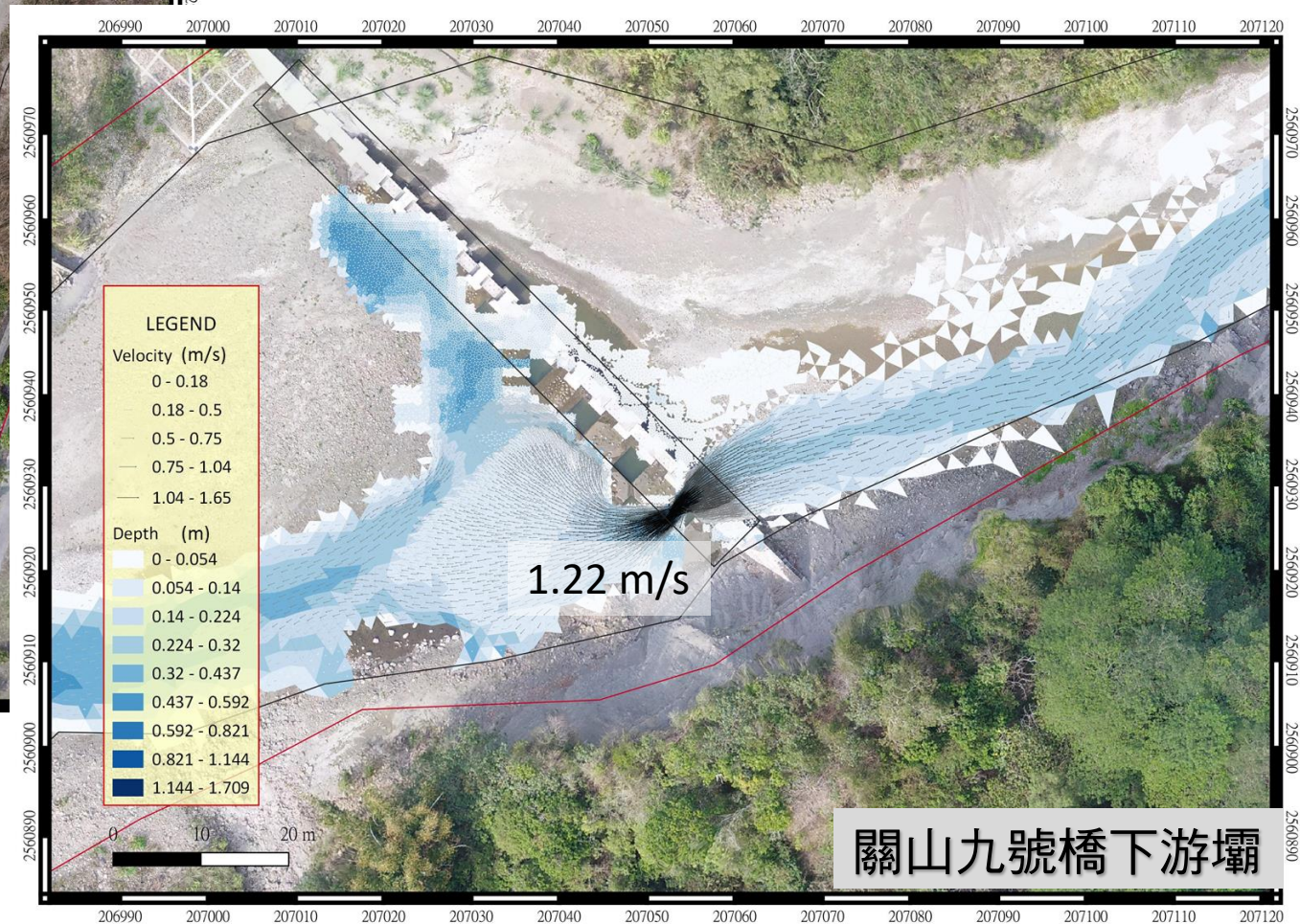
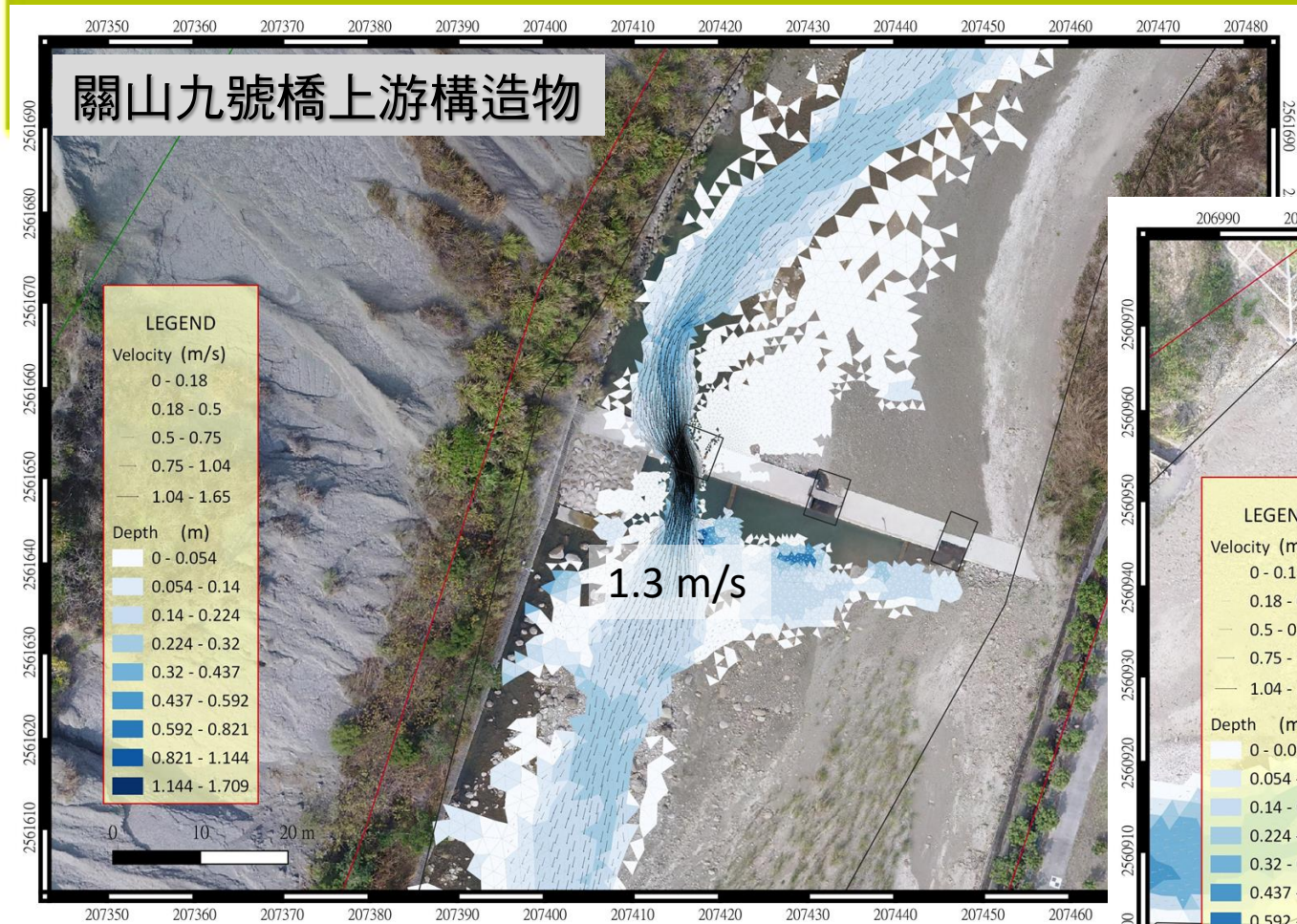


參數	數值
曼寧粗糙係數 n	0.035
土砂顆粒密度 $\text{density}(\text{kg/m}^3)$	2650
推移質中值粒徑 (m)	0.11
懸浮質中值粒徑 (m)	0.00015
孔隙度 porosity	0.4
摩擦角度 $\text{friction angle} (^{\circ})$	25

台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

數值模擬_常流量-流速水深

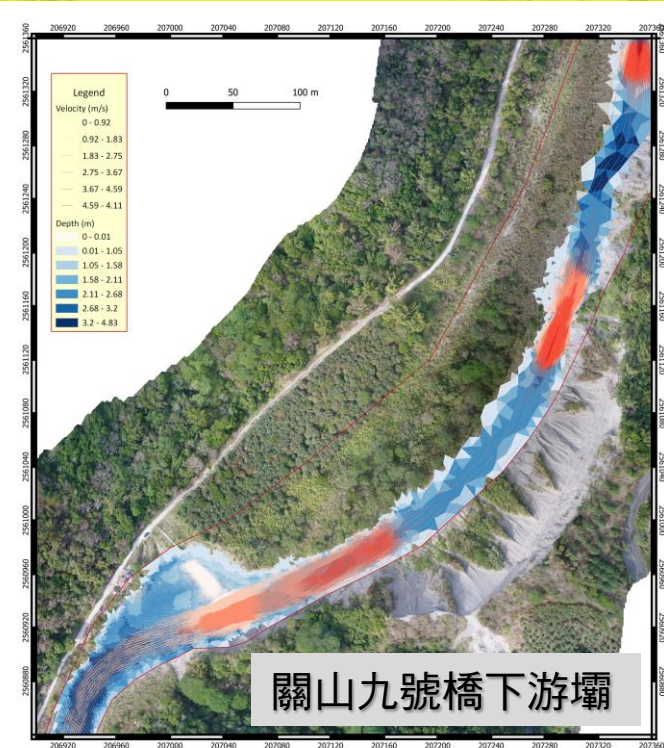
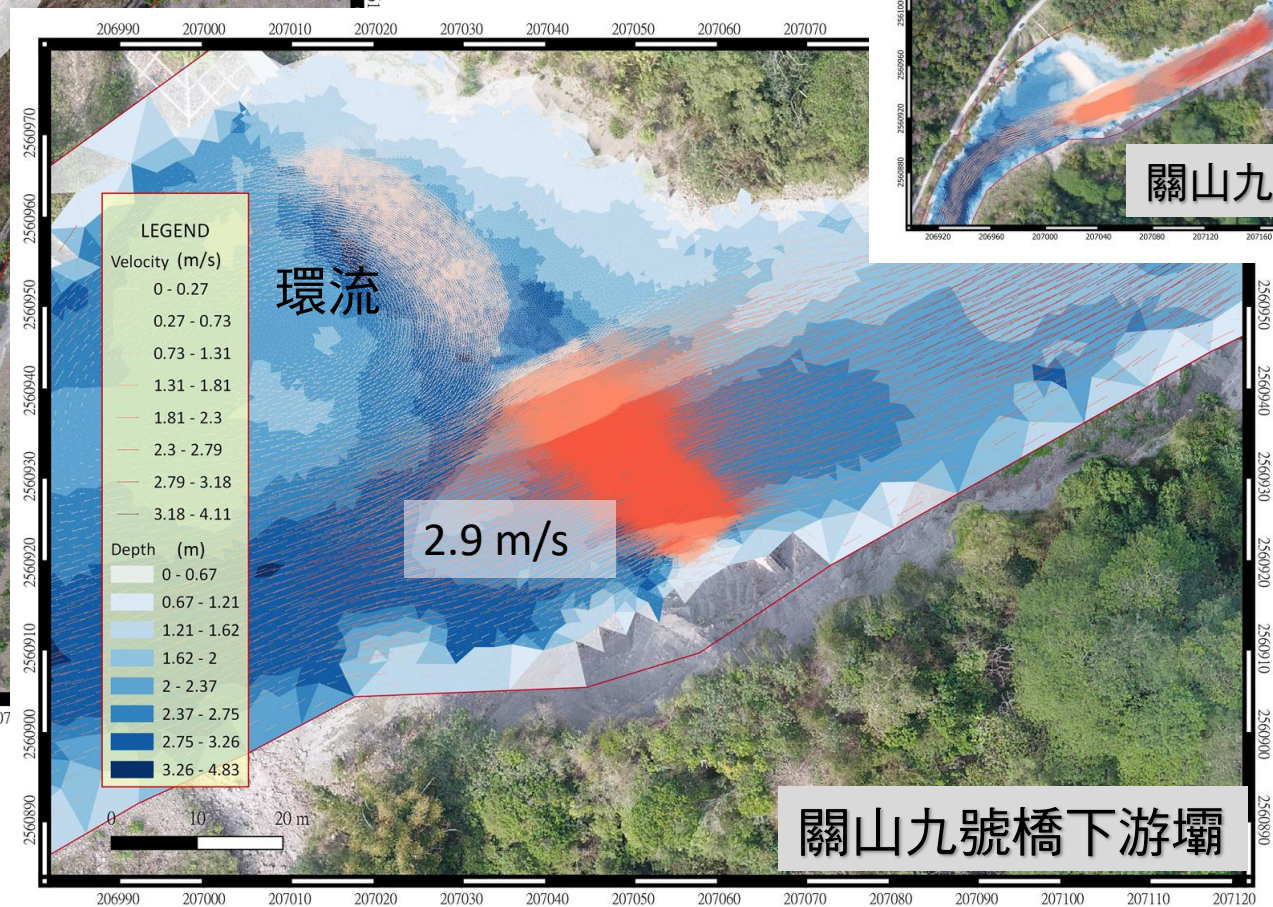
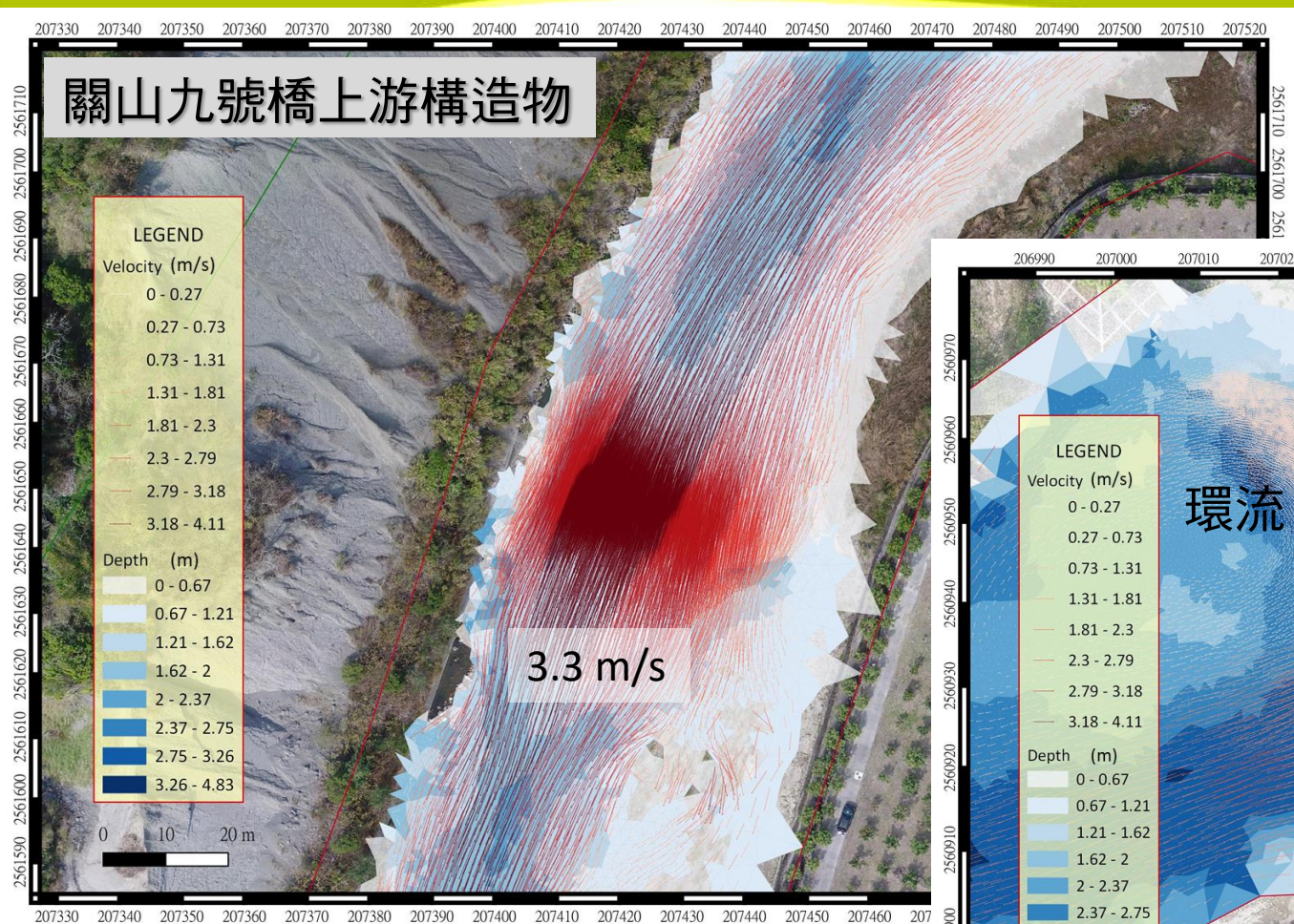
關山九號橋上游構造物



關山九號橋下游壩

台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

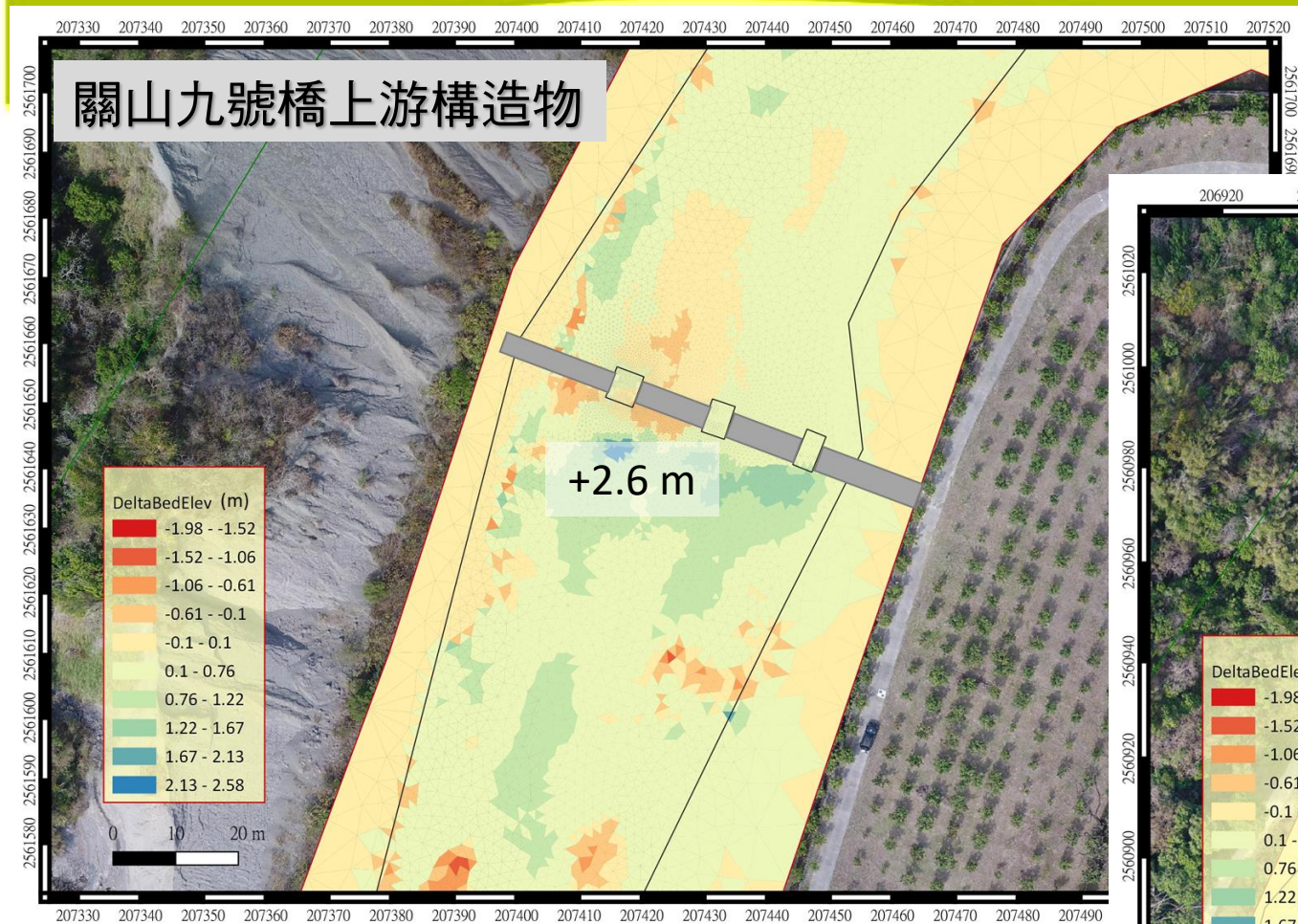
數值模擬_高流量-流速水深



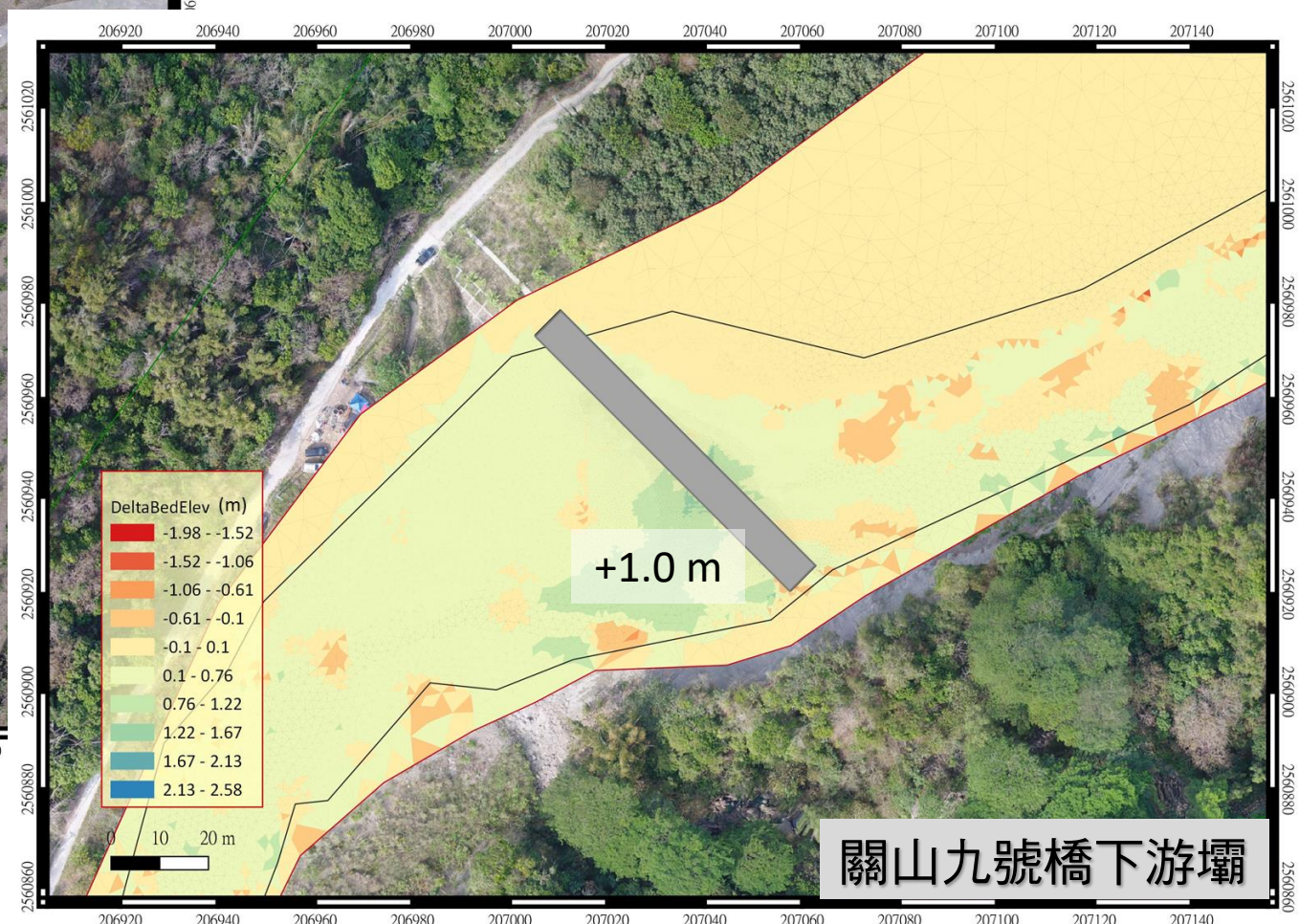
台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

數值模擬_高流量-底床地形變化

關山九號橋上游構造物



+1.0 m



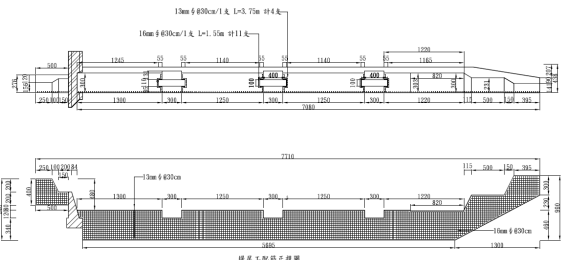
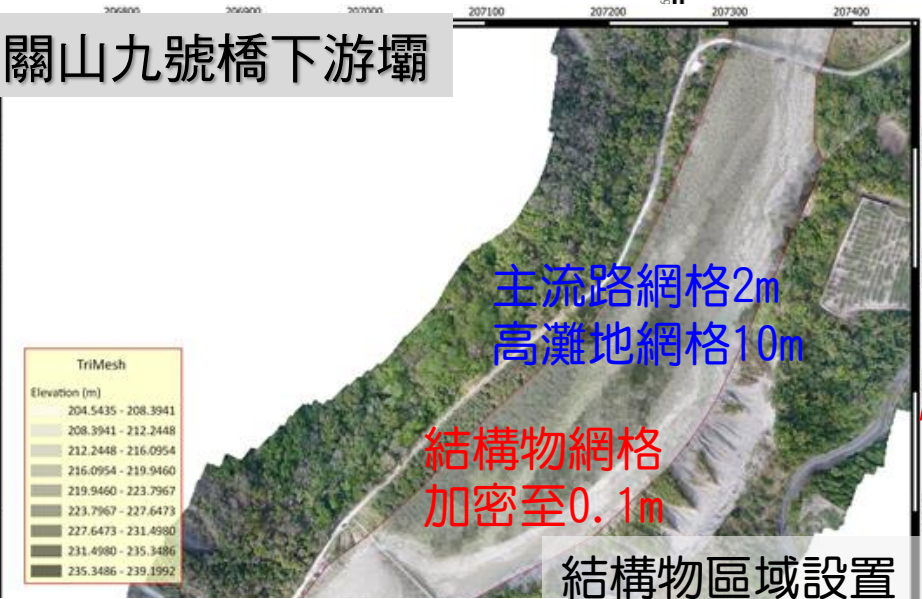
關山九號橋下游壩

台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

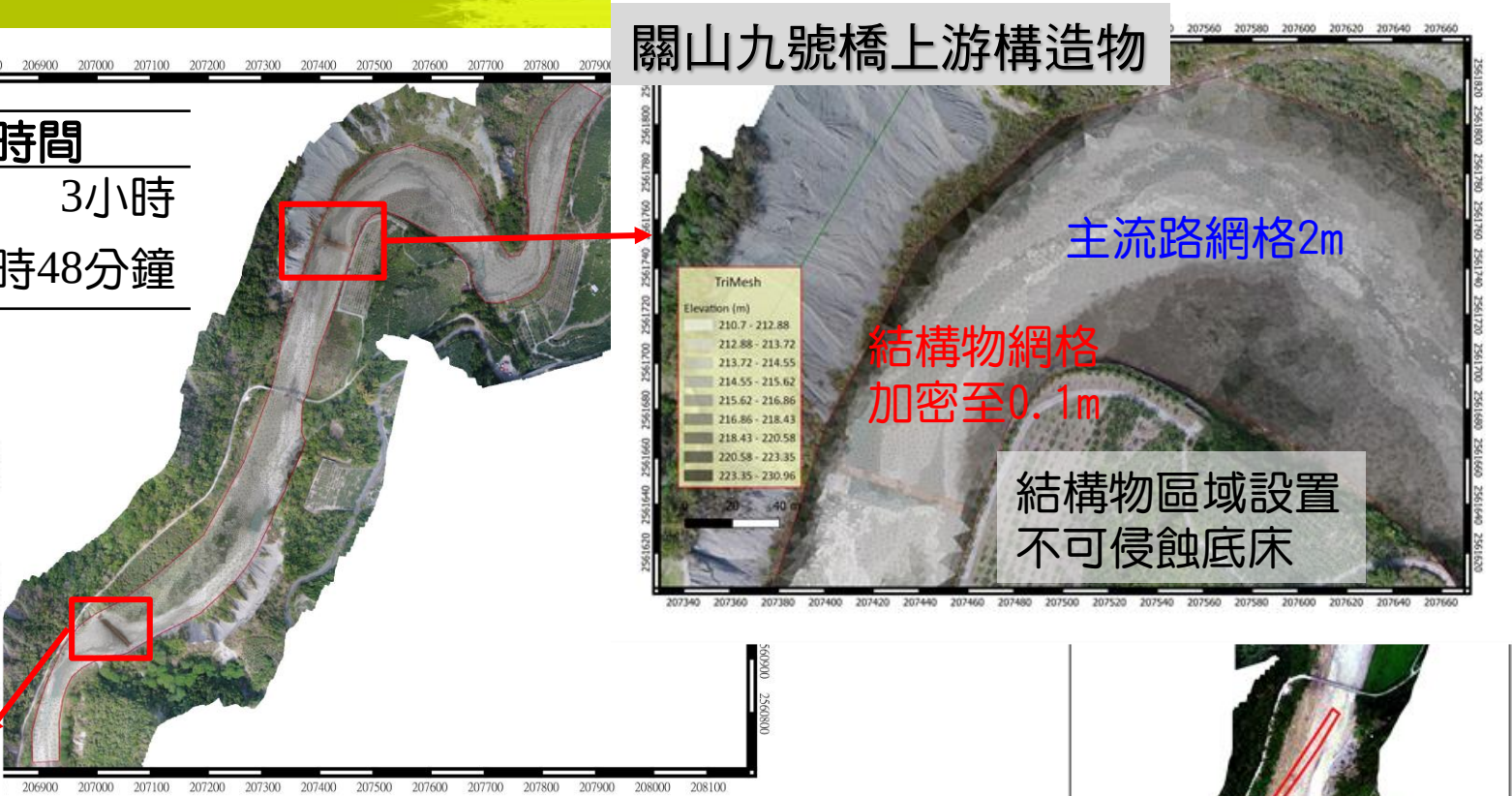
數值模擬_高流量-壩體調整後

流量邊界	流量	模擬時間
常流量	2 cms	3小時
高流量(洪峰)	250 cms	1小時48分鐘

關山九號橋下游壩



關山九號橋上游構造物



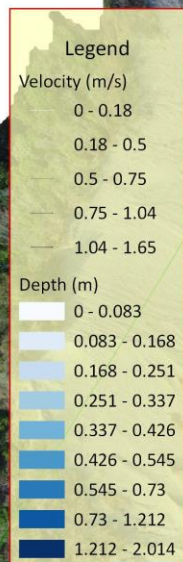
參數	數值
曼寧粗糙係數 n	0.035
土砂顆粒密度 $\text{density}(\text{kg/m}^3)$	2650
推移質中值粒徑 (m)	0.11
懸浮質中值粒徑 (m)	0.00015
孔隙度 porosity	0.4
摩擦角度 $\text{friction angle} (^{\circ})$	25



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

數值模擬_高流量-壩體調整後_常流量-流速水深

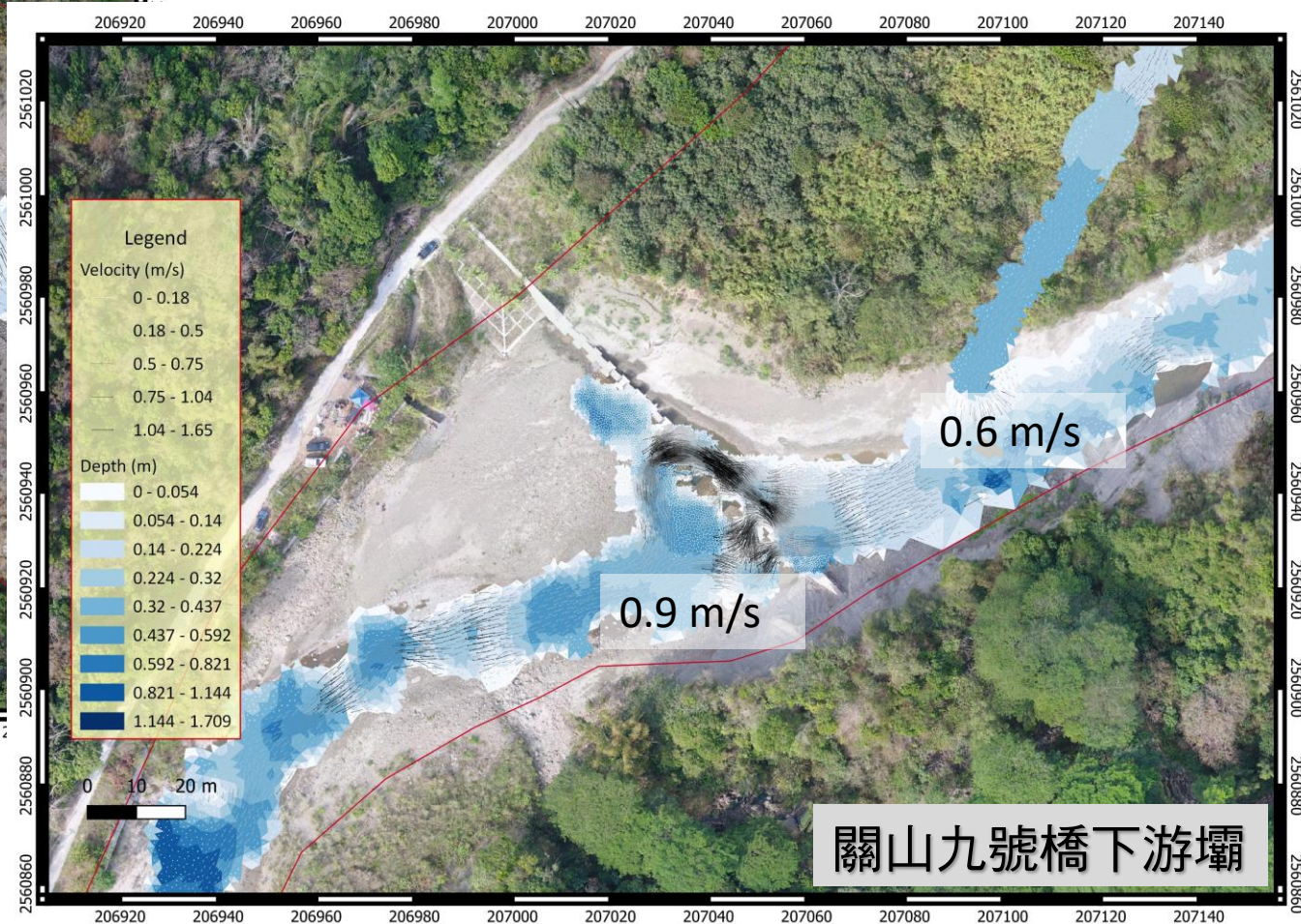
關山九號橋上游構造物



最大水深0.9 m

1.2 m/s

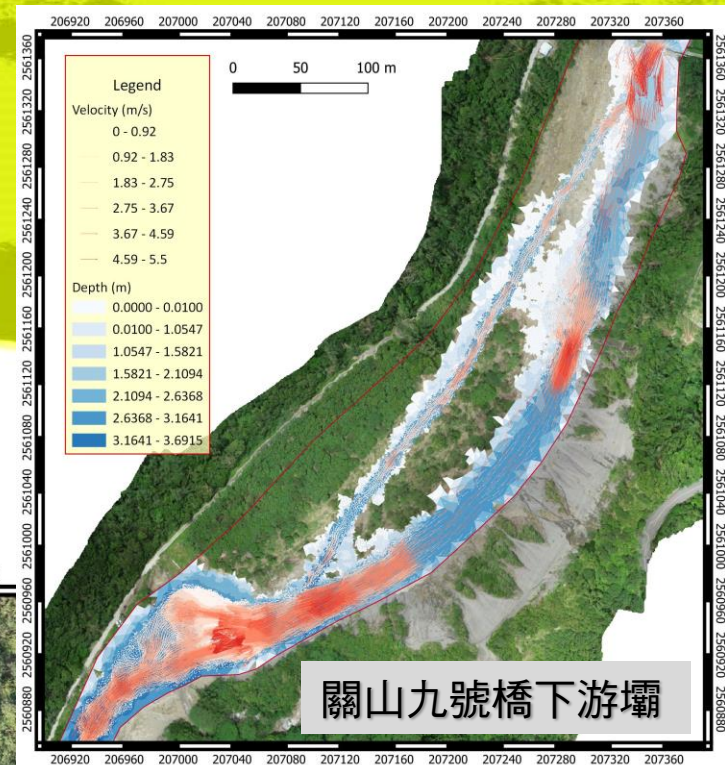
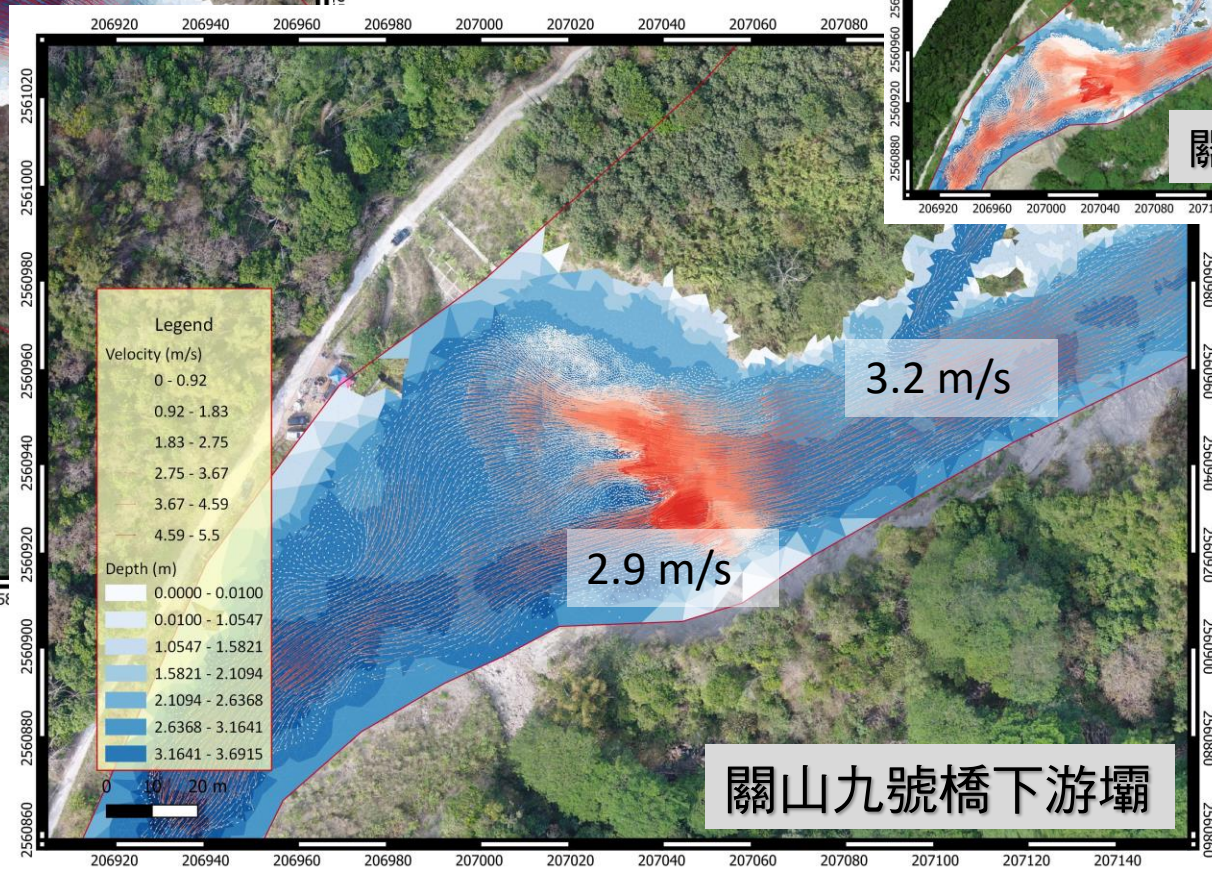
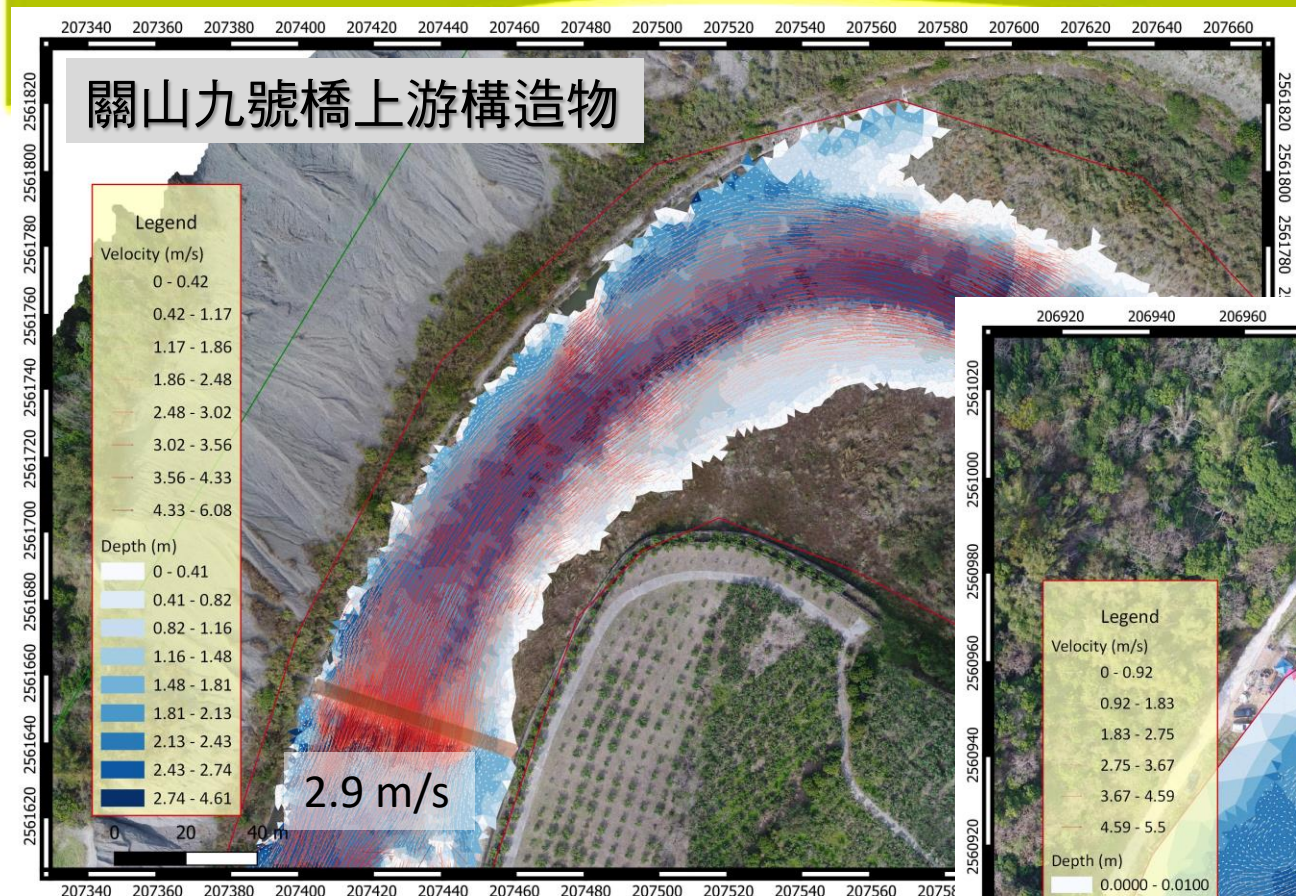
0.8 m/s



台南市南化區關山九號橋後堀溪試區

數值模擬_高流量-壩體調整後_高流量-流速水深

關山九號橋上游構造物



關山九號橋下游壩

關山九號橋下游壩

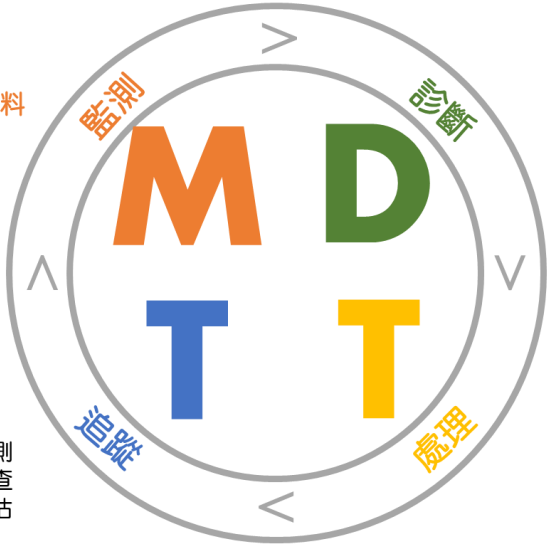
調整型防砂壩之維護管理

壩體現況及監測資料

- 1. 地文、水文概況
- 2. 壩體基本資料
- 3. 監測資料彙整

維護管理

- 1. 土砂平衡長期觀測
- 2. 生態連續長期調查
- 3. 保全對象安全評估



維護管理作業SOP

釐清環境面臨困境

- 1. 集水區崩塌及土壤流失
- 2. 壩體上游淤積及下游淘刷
- 3. 壩體安全結構
- 4. 生態連續性議題

因應對策

- 1. 縱向刷深穩定流心
- 2. 橫向擴寬排出土砂
- 3. 全面卸除回歸自然
- 4. 反向操作預防災害



維護管理流程

防砂壩動態活化策略

- 根據河川型態的五層分類法，評估橫向構造物所在區域的流域特性及河道變化，並透過橫向構造物之基本環境調查，結合坡度、粒徑變化進行綜合探討，有助於制定更適應性的活化策略及調整方案，以達到延長防砂壩的使用壽命，提升砂庫的利用效率，並實現可持續的河道管理。
- 主要分為三個層級進行分項說明：
- 考量下游所需的沉積量和上游潛在的沉積供應量，將是調整壩體的主要因素。
- 經常性的反覆調整-當防砂壩上游已淤滿，未能保有庫容以攔阻下次土砂來襲，且防砂壩下游有淘刷嚴重之情況或風險時，此時可於非汛期調整橫材以讓適量土砂下移，於汛期時在將橫材裝回預防下次土砂事件。
- 長久性調整-評估河道已進入土砂穩定期，預期未來不會再有大型土砂事件時，則可調整縱材，使開口更寬且釋放更多淤積土砂，增加縱向廊道，恢復生態與土砂連續性。

防砂壩動態活化策略

防砂壩壩體延壽

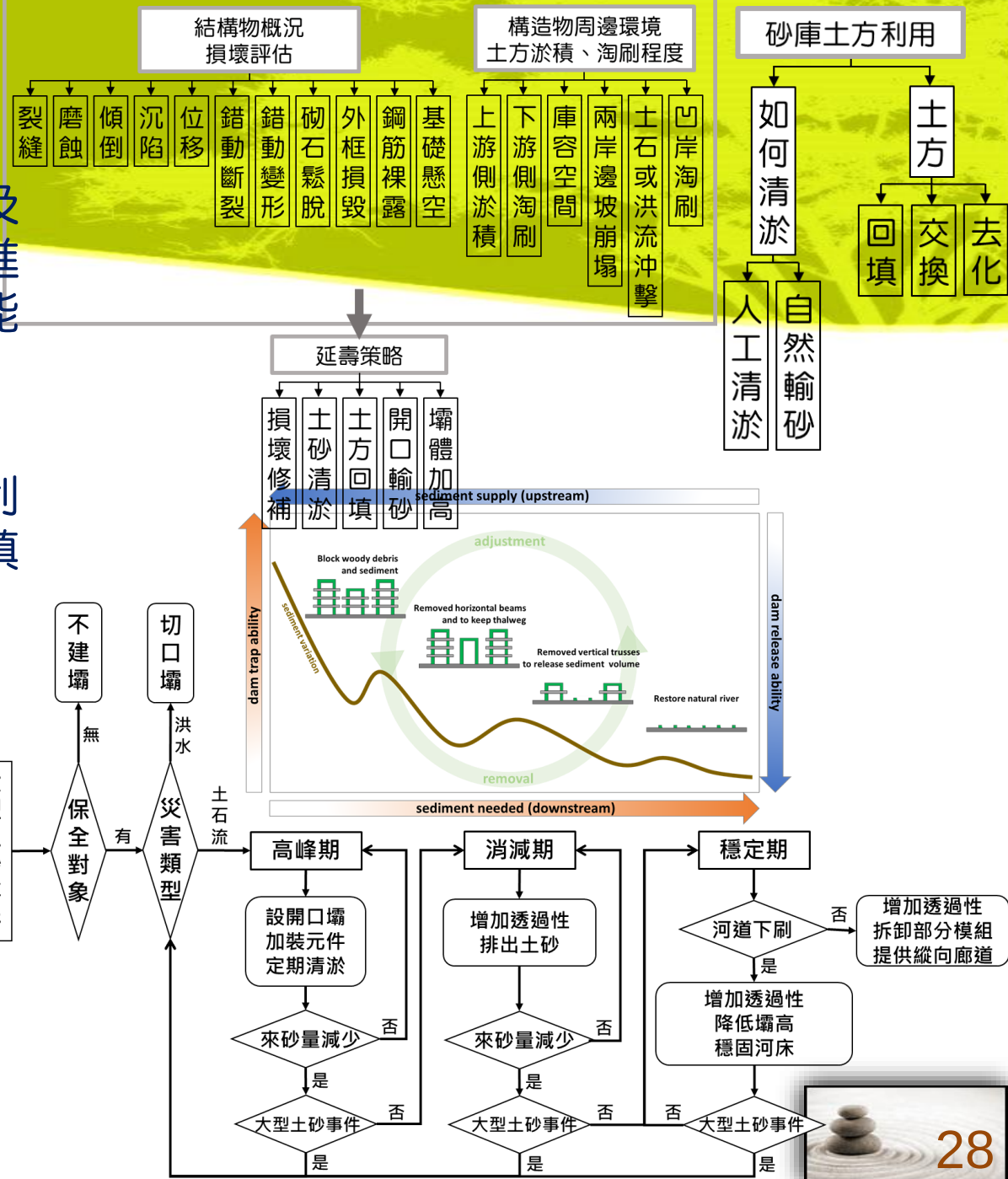
- 環境概況評估，主要可分為**結構物概況** (損壞評估) 及 **構造物周邊環境** (土方淤積、淘刷程度) 進行評估，進而提出**延壽策略**，以延長橫向構造物使用壽命及效能為目標。

砂庫土方利用

- 橫向構造物上游之**淤積土方**，進行優化砂庫的土方利用評估，以提升沉積物的有效處理及利用。如：回填下游淘刷、土方交換、土方去化、囚砂效率…等。

永續發展

- 設計及調整橫向構造物應考慮**長期土砂量變化及河道演變趨勢**，需根據**流域及河道特性**進行評估
- 利用**自然力量**進行輸砂、排砂，以河道縱橫向之**生態連續性、土砂管理**為目標。
- 下游所需的**沉積量**及上游潛在**供應量**，為調整橫向構造物的主要考量因素。
- 調整橫向構造物之**開口**程度，將會改變沉積物的攔截及釋放能力，從而創造一個新的平衡。

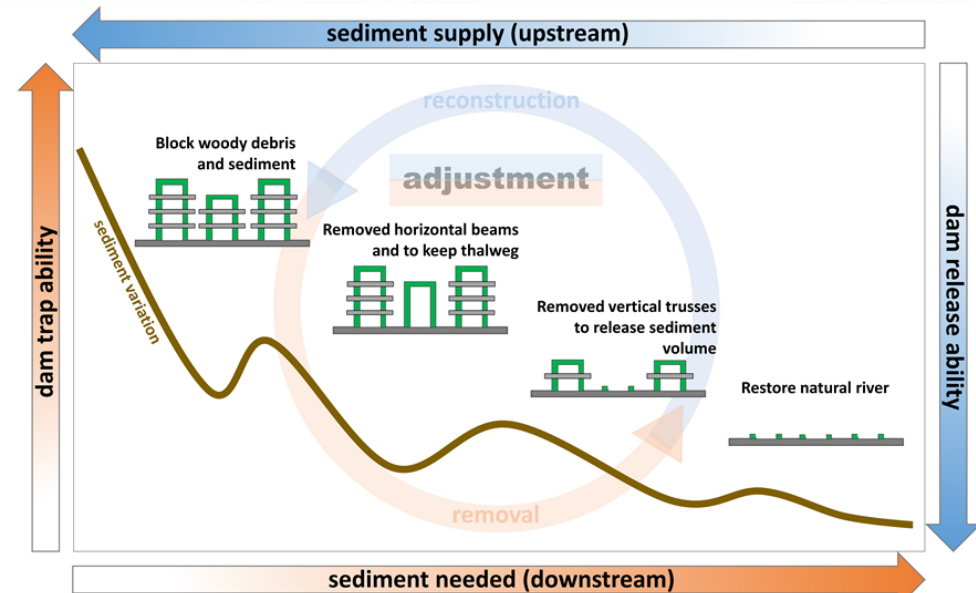


因應土砂變化調整

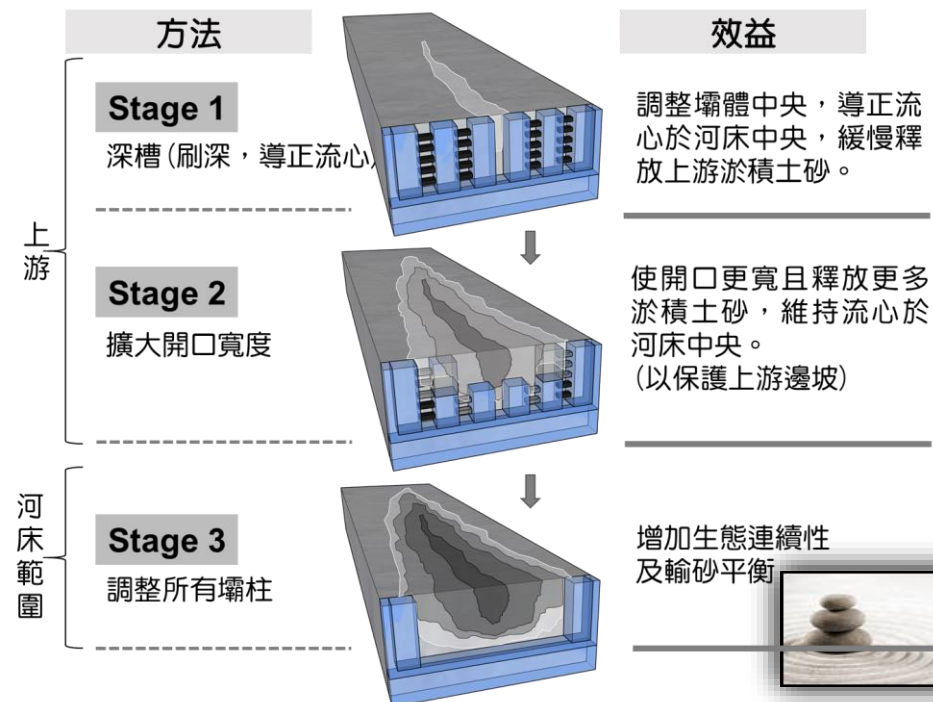
- 自然界中土砂量的變動會直接影響防砂壩的壽命(效用)、友善生態、輸砂平衡等。
- 面對土砂量高度變動的野溪，必須常態性經營管理防砂壩。
- 依據土石流發生狀況及攔阻情形，改變壩體之透過性機能。
- 壩體縱向間距至少一處開口寬最小3.0 m，以作為人工清淤通道(機具進出)，同時有利於河道之自然水力下洩土砂。

防砂壩調整可概分為三大步驟及土砂釋放程度

- 1) 第一步為先調整壩體**中央橫材**，自然排砂刷出一條**深槽線**，以導正流心於河床中央範圍，緩慢釋放上游之淤積土砂。
- 2) 第二步驟為適量調整**縱材寬度**範圍，增加壩口寬度以釋放更多上游淤積土砂。使時不僅可維持流心於河床中央，亦可同時保護上游兩岸邊坡穩定。
- 3) 第三步驟為持續**增加橫材、縱材之調整範圍**，以增加縱向廊道，恢復生態與土砂連續性及輸砂平衡。

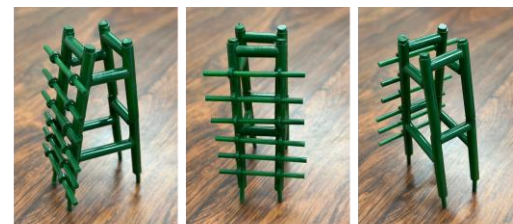


Yu-Fang Chiu, Samkele S. Tfwala, Yung-Ching Hsu, Yen-Yu Chiu, Chen-Yang Lee, Su-Chin Chen*(2021)“Upstream morphological effects of a sequential check dam adjustment process”, *Earth Surface Processed and Landforms*.

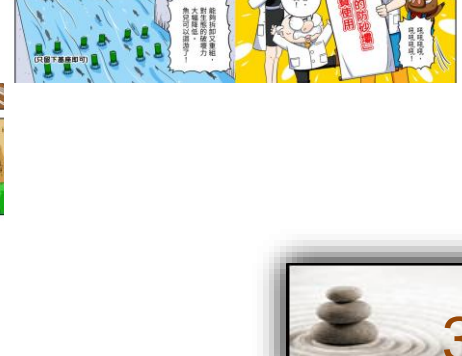


調整型防砂壩-模型

- 模型主要呈現調整型防砂壩之「可調整式」功能操作示意為主，比例尺縮比約為1:75。
- 依輸砂量由大到小而不斷拆解，可因應不同時期防砂量，保持泥砂量的均衡性及溪流生態連續性。防砂壩之縱向元件主要為架設橫向元件之基礎，其土砂通過率由橫材之間距來調節。
- 縱向間距至少一處開口寬最小維持3.0m，便於清淤機具之進出，亦有利於河道之自然水利下洩土砂。
- 分為調整型鋼構壩、調整型混凝土壩



調整型防砂壩-漫畫



結論

- 台灣早期防砂工程於當時皆有其時空背景及需求，主要為攔阻砂石、穩定河床，並未考慮平衡土砂及生態之未來性。
- 自然界的泥砂量是變動的，幾年後，因上游崩塌地的自然復育或人為防砂壩的治理效果，泥砂量會減少，導致下游泥砂量補充不足，從而引起河道下切。
- 壩體基座常因水流沖蝕而嚴重淘刷，造成輸砂不平衡，破壞河床的自然演變。
- 現今因生態與環境需求重視度提升，需思考防砂壩的設計也需重視與自然相協調方式。
- **調整型防砂壩**即在打破壩體固定不變之觀念，考量未來土砂量增減變化之可能，於規劃時就必須針對溪流特性及其所欲發揮的功能進行調整設計。
- 設計需因應社會觀念演變和氣候變遷等，隨時間變動的溪床土砂環境進行常態性經營和管理。
- 可滿足溪流在不同時期的輸砂、防災或生態需求，延長防砂壩的使用壽命，並促進其在溪流棲地環境復育中的作用，最終實現回歸自然野溪的永續發展原則。

建議

以下是幾點未來研究建議，以進一步探討和完善防砂壩設計、調整及維護管理策略，以確保其適應未來氣候條件：

- **調整案例推動及研究分析**：研究試區後續之調整方案推動，並研究分析其成效，以促進廣納相關案例，以精進「防砂壩維護管理手冊」之案例說明。
- **長期效果評估**：建議進行長期的效果評估研究，追蹤調整型防砂壩對河床變化、生態系統和土砂平衡的實際影響。可以幫助驗證這些結構的有效性並調整管理策略。
- **生態影響分析**：研究防砂壩對生態系統的影響，特別是對水生生物的棲息地、遷徙路徑和繁殖行為的影響。可幫助制定更具生態友善的設計和管理措施。
- **社會觀念影響**：加強推廣防砂壩調整及調整型防砂壩於官方、學界、社會大眾之觀念及教育，以提高接受度和支持力。
- **維護與管理策略**：推動防砂壩定期檢查及調整措施之執行，以達到壩體活化、防砂壩延壽、砂庫土砂利用及永續發展之目的。
- **技術創新應用**：探索和試驗新技術，如智能感測器和數據分析工具，以提高防砂壩的監控和調整可行性，實現更加精確的管理。

感謝聆聽
敬請給予指正

