



圖 / 大山影像

芋仔寮坑野溪治理成果 及後續追蹤

文、圖 | 陳新發 | 林務局嘉義林區管理處治山課課長
李元毅 | 林務局嘉義林區管理處治山課技術士 (通訊作者)
吳重君 | 勇霖工程顧問有限公司土木工程技師
陳佳惠 | 漢林生態顧問有限公司計畫經理

芋仔寮坑位於臺南市南化區關山里，為南化水庫上游支流。前於2008年遭受卡玫基颱風肆虐，造成源頭及坡面產生崩塌，且崩塌土砂受逕流挾帶大量下移，導致原河道容納不下大量之崩塌土砂，河道寬度擴大至25m以上；後於2009年莫拉克颱風期間，上游之崩塌區域明顯擴大，崩塌土砂持續下移，造成下游河道淤滿改道，為土石流潛勢溪流之一（南市DF038）。經分析致災原因，主要為降雨因素、地質因素及土砂堆積影響通洪等三大原因。為確保關山16號橋、當地居民及南化水庫安全，林務局於災後旋即展開調查災害，自2011年起分年分期辦理五期整治工程，投注經費近5千7百萬，本案為接續之第五期整治工程。

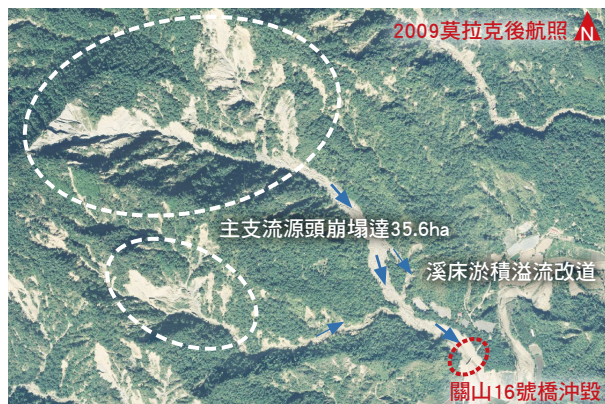


圖1、2009年莫拉克颱風後上游大面積崩塌。



圖2、工程全景。

計畫緣起

芋仔寮坑位於臺南市南化區關山里，為南化水庫上游支流。前於2008年遭受卡玫基颱風肆虐，造成源頭及坡面產生崩塌，且崩塌土砂受逕流挾帶大量下移，原河道容納不下大量之崩塌土砂，導致河道寬度擴大至25m以上；後於2009年莫拉克颱風期間，上游之崩塌區域明顯擴大，崩塌土砂持續下移，造成下游河道淤滿改道，為土石流潛勢溪流之一（南市DF038）。經分析致災原因，主要為降雨因素、地質因素及土砂堆積影響通洪等三大原因（圖1）。為確保關山16號橋、當地居民及南化水庫安全，行政院農業委員會林務局於災後旋即展開調查災害，自2011年起分年分期辦理五期整治工程，投注經費近5千7百萬。

透過歷年UAV航拍監控來監控崩塌地復育情況。上游崩塌地於2009年莫拉克後崩塌面積35.6ha，依2018年UAV航拍判釋，已減少為8.7ha；上游坡面土砂生產量由2009年198萬遞減至2018年坡面土砂生產量26.5萬，成效良好。一至五期施工後節省水庫清淤經費1億450萬，有效減少土砂流入南化水庫，達成延長水庫之目標（圖2）。

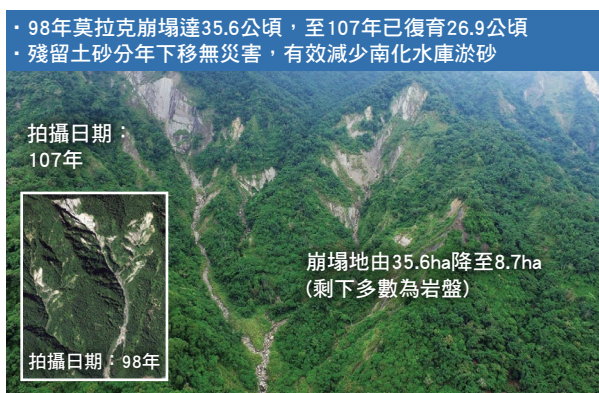


圖3、2017年本工程完工後上游復育情形。

工程概述

南化水庫為供應南部民生用水重要水庫，2009年莫拉克颱風極端降雨，經監測後水庫上游集水區芋仔寮坑產生崩塌，土砂大量崩積，若不即予治理，不安定之堆積土砂將隨之運移，不僅影響水質濁度，增加水源處理經費，進而減少南化水庫庫容，影響經濟及民生甚鉅。有鑑於此，嘉義林區管理處隨即編列經費於2011年至2017年間辦理共五期之整治工程。2017年7月工程整治完成後，不僅穩定溪床及兩側邊坡，並加速崩塌地復育（圖3），達成涵養水源、穩定土石，有效保全周邊林地、南179道路、關山16號橋及下游住戶等，更進而減少水庫淤積，延長南化水庫壽命。

本工程依據分年分期整治，上中下游整體考量，治理及生態兼顧及水土林及生物共存原則，透過完善調查與規劃及周全考量與構思，結合安全、防災、生態、景觀、節能減碳及森林復育永續發展，設計內容如下：

1. 固床工：5座
2. 護岸隔牆：共14座
3. 既有梳子壩改建：1座
4. A式排石混凝土護坦：1,620m²
5. B式排石混凝土護坦：2座
6. A式漿砌石護岸：578m
7. B式漿砌石護岸：118m
8. 巨石保留及填補：1式
9. 漿砌石溝：120m
10. 過路涵管：6支
11. 河道整理：1式
12. 既有道路維護與復舊：1式
13. 裸露坡面鋪稻草蓆：12,000m²

設計與施工技術

依據調查規劃成果，針對工程面、生態面、地景面等不同面向進行全方位考量及構思，作為治理方案評估及相關構造物線型與工法之設計依據，茲分別說明如下。

工程面考量及構思

配合前四期之有效治理，第五期工程以「暢通断面」、「穩定邊坡」及「緩衝淤砂」為考量的主軸，避免土砂進入主水道淤積下游南化水庫，以構造物穩固安全為必然的要件，另為達成生態永續的目標，充分運用現地資材及以節能減碳做為努力的方向，其內容包括：

1. 考量下游既設梳子壩流向、河道流況幾何及淤砂量極大化，依主、支流及匯流後流心設



圖4、弧形固床工控制流心減緩冲刷。



圖5、以溪中塊石，砌築護岸。

計固床工最佳弧形曲率R36m（圖4），預留深槽，控制流心，平順匯入土砂緩衝區，於匯流區內能量互相抵消，減緩河床冲刷，進而使回淤後流心不變。原支流高程較低，導致主流匯流後向支流集中，本工程於匯流點較上游處設置弧形固床工，溢口控制主支流流入土砂緩衝區之高程、水位及流速相同，並設置護坦保護，使匯流後能量消減，減緩流速，減少冲刷。

2. 在安全容許條件內，就地取材篩選堆積溪床中之塊石砌築護岸（圖5），取代鋼筋混凝土，以保護河岸及防治坡地崩塌，並與周遭自然地景融合、營造利於植物導入之多孔隙環境、解決土石清疏及堆置問題、減少地球不可再生資源利用，減低土石清運費，降低工程



圖6、增設鋼管加密，提升攔阻效益。

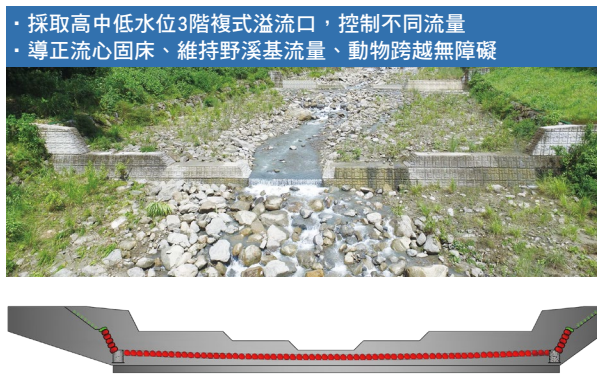


圖7、採取高中低水位控制不同流量。



圖8、規劃土砂緩衝區，沉砂緩流。



圖9、護岸緩坡做生物廊道兼清淤路線。

施工中碳足跡產生，減緩地球溫室效應，符合節能減碳政策，減少對生態環境之負面影響。

3. 本工區下游疏子壩屬八八風災後施作之應急工程，於2012年施作上游梳子壩後，發揮成效攔阻大粒徑塊石，崩場地更逐漸穩定，中粒徑塊石已沉積於中游，下游坑溝崩積塊石明顯粒徑轉小，經現地調查後塊石粒徑大小約為15-40cm，故增設鋼管加密（圖6），設計間距20cm，計畫攔蓄粒徑15cm以上塊石，提升塊石攔阻效益。

4. 採取高中低水位三階複式溢流口控制不同流量，設計深槽第二階可通過5年洪峰流量；第一階可供常流水時通過（圖7）。

5. 為有效控制土方清淤，在一期梳子壩上游之主流匯流口，規劃土砂緩衝區（圖8），沉砂緩流、減少土砂下移南化水庫，延長水庫壽命。兩側護岸採緩坡，可做為生物廊道，兼可提供未來沉砂清淤所需路線（圖9）。

生態面考量及構思

經集水區自然資源調查，發現當地魚類、兩棲類、鳥類及哺乳類等物種豐富、既存林木種類繁多，於生態面以降低工程配置對原有生態環境棲地之影響，及工程施作過程如何減少衝擊為主要的考量課題，亦即有效利用「迴避」、「縮小」、「減輕」、「補償」等手段，達成尊重物種及生態保育之目標，其內容包括：

生態檢核標準作業程序

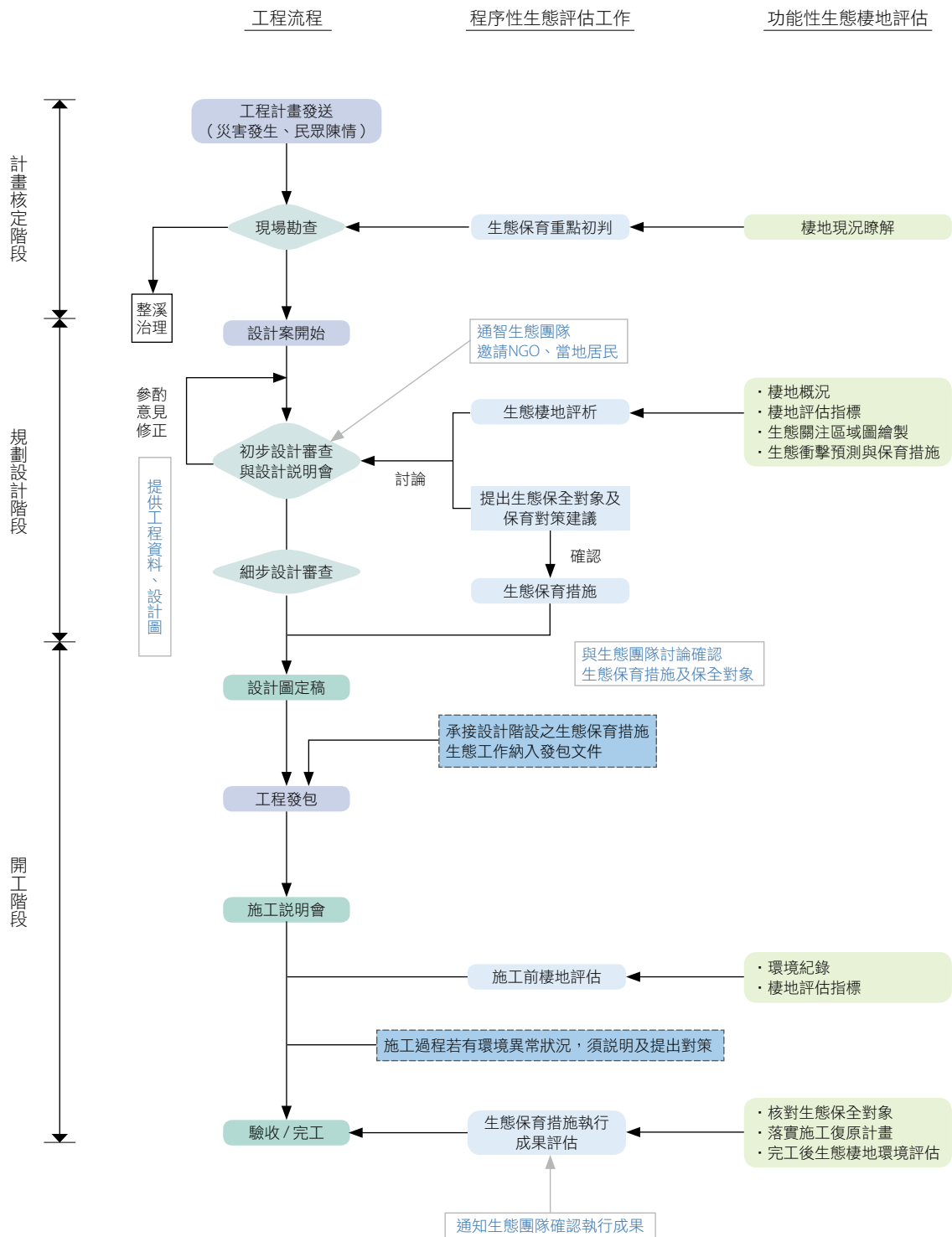




圖10、階梯式親水護岸，維持生態廊道。



圖11、緩坡化護岸，供濱溪生物往來。



圖12、低矮固床工，確保縱向生態廊道。



圖13、溪床緩坡化，利於生物溯游。



圖14、多孔隙環境，增加生物棲息空間。



圖15、護岸孔隙，有利日後植物著生。



圖16、深潭。



圖17、淺瀨。



圖18、急流。



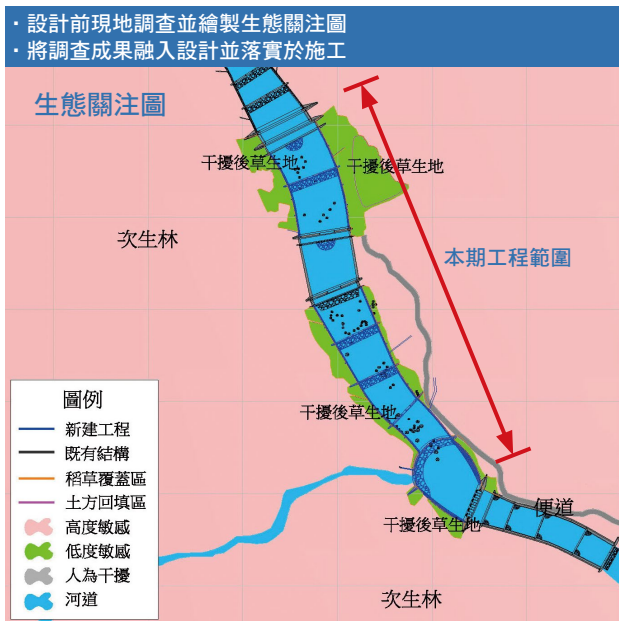
圖19、緩流。

1. 為確保橫向生態廊道暢通，於野溪左右兩各設置階梯式漿砌石溝（圖10），除作為橫向截排水外，亦供濱溪及兩棲生物往來溪流及陸域動物環境間覓食或飲水，另將下游砌石護岸緩坡化（圖11），提供動物便於橫跨兩岸，避免棲地破碎化。

2. 參考林務局「國有林生態工法之研究（2006）」，為避免切割棲地及考量縱向生態廊道連結，設計連續性低矮化複式斷面固床工，除導正流心外，亦維持水域生物往上下游

遷移、溯游，並利用溪床大小塊石，營造自然錯落之多孔隙環境，另保留部分河中大石，以利水流激盪增加水中含氧量，並創造「深潭」、「淺瀨」、「急流」、「緩流」等多樣化生物棲息空間（圖12-19）。

3. 於初步調查即標註工區生態關注點圖，期保護原有生態環境。預先評估設置動物通道，並協請工作站持續觀察生態物種，建立工區周邊野生動物出沒資料庫。



標註生態關注圖。





圖20、邊坡鋪蓋稻草蓆及撒播草籽。



圖21、植栽陽性樹種—臺灣欒、烏白。



圖22、動物圖騰融入當地生態環境教育。



圖23、留河床上巨礫，維護自然生態。

地景面考量及構思

南化水庫主要由後堀溪注入水源，孛仔寮坑為後堀溪支流之一，溪岸為當地林農實施撫育作業主要路徑，本期工程延續及串聯前四期工程，融合當地地景環境、區域景色，以重塑生命河流為考量，提供居民及林農安全駐足空間，以大尺度之地景營造精緻小區域空間，將治理工程昇華至另一境界，其內容包括：

1. 為補償施工運輸路徑開設及清淤野溪回填兩岸原有草生地之綠地損失，於裸露邊坡鋪蓋稻草蓆及灑播草籽於短期內迅速綠化（圖20），再植栽臺灣欒1,500株、烏白1,500株適生裸地

之陽性樹種（圖21），達成融入地景、涵養水源及碳吸存效益。

2. 固床工1號雖採弧形施作，模版放樣精準、施工品質精良，線型優美；此外，中央融合當地動物圖騰（圖22），美化混凝土表面及融入當地生態環境教育，搭配生態監測照片等具體說明生態復育效益。

3. 保留河床上巨礫及大塊石，利用水流變化營造淺瀨、深潭、岸邊緩流、急流等多樣化的棲地環境，維護自然生態（圖23）。

工程特色、創新、挑戰、周延性

芋仔寮坑位處偏遠山區，地形條件艱鉅，施工路程、人員及機具調配相對困難，期間更歷經多次颱風豪雨，為達成整治願景及目標，於設計時除了周延的考量外，施工的挑戰性更是整治成敗的關鍵，有關工程的創新性、挑戰性及周延性分別說明如下。

創新性

1. 全程錄影

為確保工程品質，於契約圖說中載明混凝土結構物於進行混凝土澆置過程全程錄影，並將影像檔以光碟錄製後提報監造單位審核，截錄圖像於監造半月報表中提送主辦單位備查，並配合實施厚度穿透，經實施後有效提升工程品質。

2. 擴大參與層面

由林務局委託生態檢核專家及NGO團體人員至現勘指導，提示生態關注點位及製作生態自主檢核表，並以生態檢核表量化指標，進行施工階段的生態影響控管，邀請在地住民共同討論及參與植樹活動，廣植在地原生木對種，為環境生態共盡心力。

3. 設計巧思

本工程下游段沉砂設施以砌石坡度變化使河岸曲線蜿蜒，整體造型優美，面層另以土袋包進行收邊，作為材料介面剛柔轉換相當適切；護岸採緩坡施作，可做為動物通道，兼可提供未來沉砂池清淤所需路線。

4. 重塑環境

依河道地形施作固床工，保留河床大塊石減緩水流，於護岸基礎開挖處回填現地塊石，營造多孔隙多樣化水域，提供不同生物棲地，重塑野溪新生命。

5. 環境營造

利用治理完成後之護岸裸露地，參考現地植群屬性及自有苗圃之健壯苗，依地形廣植本土性喬灌木，營造複層式植被環境，以提供當地生物棲息躲避空間。

6. 節能減碳

現地河床堆積大量土砂，河道疏通同時篩選現地質優塊石作為護岸砌石材料，有效利用及



減少土石清運與石材外購費用。護岸頂面砌石以土袋包收邊，輔以兩側苗木植栽，使結構物與周邊林相景觀結合，符合節能減碳、降低混凝土用量與增加碳吸存的環保策略。

7. 地景融合

固床工及護岸低矮化並採複式斷面，滿足汛期與枯水期之排洪需求，控制流心與減緩流速，有效排放洪水保護兩岸土地免遭掏刷沖

蝕，減少土壤流失，達成國土保存政策，固床工採用造型模板型式，其粗糙面更易濱水動物攀爬，並更能融入周邊自然景觀。

8. 生態考量

以連續式橫向設施跌水調整縱向坡度，不僅有蓄水及調洪作用，和緩坡度更有利生物溯游與攀行。



圖 / 大山影像

9. 弧型固床工

本工程於主支流匯流口，設置弧型固床工，可導正主支流流向，調整主支流河床高差，集中水流控制匯流後流心，減緩流速消能，保護下游既有結構物。

挑戰性

1. 颱風考驗

施工期間遭遇2017年汛期多場豪雨及颱風侵襲，因施工團隊調整工進與應對得宜，工區與周邊未曾發生災情，居民安全獲得保障。

2. 零工安達成

工區河道堆滿土石，加上施作期間交通與氣候等施工條件嚴峻，經充分協調施工作業流程與加強施工安全及臨時防災措施，達成零工安事件與如期如質完工之目標。

3. 保護林相

由於工區四周林相優美，嚴格要求施工中保留既有原生樹種，充分協調施工動線與工項以排除不必要之土方開挖，降低河道之懸浮微粒；基礎開挖土方儘快回填，並設置臨時沉砂池以減少土砂下移。

4. 提早發揮功效

經監造單位與施工單位密切配合，工區內之固床工、漿砌石護岸基礎提前於汛期前施作完成，亦提前發揮其功效，有效防止災害發生。

5. 弧型固床工線形複雜

本工程因應工區地處主支流匯流口及配合主流流向採近半弧線型設計固床工，放樣與施工相對困難。

6. 現地材料

工地溪床有大量裸露塊石，於設計時規劃

採用現場塊石以符節能減碳需求，經實際開挖後，發現現地塊石體積大且質地不均，為達設計需求，經團隊多次現場會勘討論後，擬定塊石篩選及處理原則以達節能減碳最大效益。

7. 現地因應調整

於設計時工地溪床有大量露床石塊，故施工全數採用現場塊石以符節能減碳需求，經實際整地開挖後，發現現地塊石體積大且質地不均，無法完全提供原設計所需塊石大小及硬度，經施工團隊現場會勘協調後，改以剖石方式進行塊石篩選，以求發揮最大效益。

周延性

1. 落實審查

落實工程設計審查工作，於初步設計即邀請專家學者現勘審查，並於細部階段再次邀請專家學者審核，俾使設計內容符合整治要求，確保整治內容更臻完善。

2. 生態檢核

邀請生態景觀專家指導並以生態檢核表量化指標，建立當地民眾參與機制，減少對自然生態衝擊，將施工妨礙降至最低。

3. 整體效益

配合國有林班地經營管理、維護工作之執行，並考量現場生態環境，進行野溪整治與既有造林坡面整理，有效疏浚河道與減少土砂下移，有助林業經營管理及維護鄰近居民生命財產安全，並保全公共財產設施。

4. 節能防災

完全使用現地塊石做為材料，減少混凝土使用量，工程設計除具備防災功能與符合節能減碳政策外，另可解決淤積河道土石之清疏與堆置等問題。

5. 棲地營造

護岸後方回填區域採撒播草籽、覆蓋稻草蓆並加強栽植苗木，同時配合灑水以加速綠化，期營造陸生與兩棲動物棲息繁衍空間。近期觀察結果已有天然苗木萌芽，顯示回填區之植生立地條件的改善已初見成效。

6. 空庫防淤規劃

移除坑溝內不安定土砂，並依地形設置沉砂池，庫容量達12,200立方公尺，以空庫防淤設計減少土砂下移南化水庫，延長水庫壽命。

7. 標竿學習場域

施工階段於弧形固床工翼牆，經三方認可設置一面當地物種之代表性圖騰融入當地生態環境，搭配生態監測照片等具體說明生態復育效益，以及空庫防淤治理成效與解說就地取材砌石護岸等內容。

8. 重啟既有結構物之功能

本工程下游梳子壩屬八八風災後施作之應急工程，於2012年施作上游梳子壩後已無梳子壩功能，因上游梳子壩已攔阻大粒徑塊石，故本次設計鋼管加固改建重生使下游可攔阻中粒徑塊石，減少土石料流入南化水庫。

9. 生態友善措施

- (1) 種植九芎及臺灣楠原生苗木，並依據設計審查時要求保留兩岸既有樹群，縮小工程量及減少施工干擾範圍，避免移除原有植被。
- (2) 溪流右岸主支流匯流口之原生樹林，於工程施作時不予擾動，並維持現況範圍，無再有任何形式的工程開挖影響。
- (3) 設置森林保護圍籬（或以警示帶等方

式進行標記），避免土方暫置或機具擾動，復於竣工後拆除。

- (4) 不在原生樹林區域樹木基部覆土，避免樹勢衰弱或死亡。
- (5) 土方回填在原造林便道或施工裸露地處堆置，不影響天然林或造林地。
- (6) 表土回填土方區（造林便道以外）於表層20-30cm鋪設疏鬆土壤，以利植物拓植生長。
- (7) 兩處既有固床工護坦落差過大，每一階再增加排石護坦，使塊石間垂直落差小於50cm，以利動物通行。
- (8) 既有梳子壩與下游固床工間高差大造成野生動物受困，已在既有梳子壩及既有固床工基腳堆置塊石作為動物通行坡道。動物逃生坡道寬度 $>0.6\text{M}$ ，坡度 <45 度。

10. 節能減碳量化指標

- (1) 混凝土減量：護岸砌石節省混凝土數量約 495.8m^3 ，每減少 1m^3 混凝土減碳量 148.95kg ， 497m^3 混凝土減碳量達 $73,849\text{kg}$ 。
- (2) 鋼筋減量：少用鋼筋量約 $29,820\text{kg}$ ，每減少 1kg 鋼筋減碳量 0.8kg ， $29,820\text{g}$ 鋼筋減碳量達 $23,856\text{kg}$ 。
- (3) 植栽固碳：撒播草籽約 $12,000\text{m}^3$ ，固碳量 $240,000\text{kg}$ ，喬木 $3,000$ 株，固碳量 $30,000\text{kg}$ ，減碳量達 $270,000\text{kg}$ 。

(4) 碳足跡減量：土方平衡、土方不外運，土方挖填約 $36,952\text{m}^3$ ，每 m^3 約減少 $2.5\text{kg}/\text{趟}$ ，減碳量達 $92,380\text{kg}$ 。

(5) 總減碳量 $460,085\text{kg}$ 。

11. 科技運用

透過無人載具、林班GIS及現地調查等，持續掌握上游河道變化及林地復育狀況，作為治理方向及工程設計參考；並持續以紅外線攝影

機進行野生動物觀察，追蹤了解相關生態通道之效果及工區周邊野生動物。

維護管理

定期清疏機制

預先擬定清疏計畫，劃設堆置區與清疏便道，並於汛期前或颱風豪雨來臨前後，檢視庫容，若淤積已達鋼管指標，立即啟動清疏作業，維持淤砂容量（圖24-27）。



圖24、淤積已達鋼管指標。



圖25、啟動清疏作業。



圖26、清疏作業施工。



圖27、清疏作業完成。

生態追蹤（完工後2年）

1. 濱溪植被回復生長



2. 溪流環境維持多樣性棲地



3. 緩坡化砌石護岸有利動植物利用



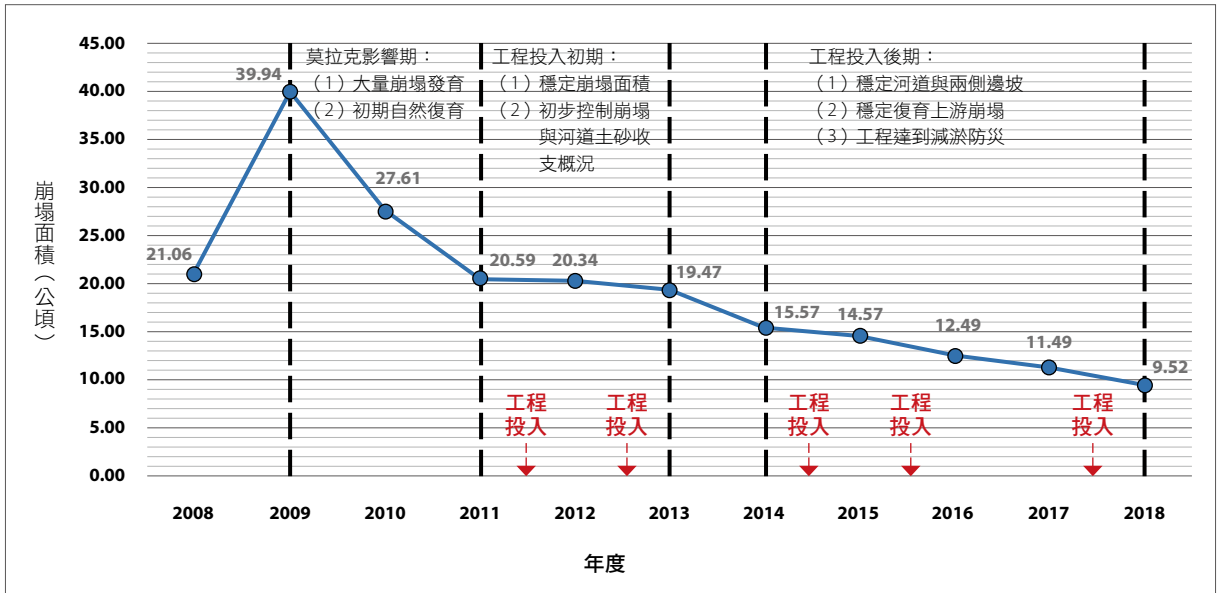


圖28、2009年至2018年崩塌總面積與工程河道防砂工程關係圖。

無人載具 (UAV) 和遙測影像技術持續監測

為進行集水區內工程完工後之工程檢視，利用無人載具調查分析。

工程優良事蹟及顯著效益

本工程自2016年9月委外辦理規劃設計業務，11月上網公告招標，並於2016年12月11日開工，2017年7月7日竣工，執行過程皆依原先規劃整治願景及目標逐一達成，且提前於契約工期完工，相關的工程效益及優良事蹟分別說明如下：

工程效益

1. 以少於1,500萬之工程經費，整治溪床整治長度約440M，治理成效優良，除達到野溪整治效益外，師法自然之環境，獲得當地居民認同，以最少的工程經費達到最大的整治及經濟效益。

2. 工程規劃設計與施工階段召開多次協調會，與當地里長及居民詳細探討並與其他機關協調溝通，施工後河道穩定與景觀優美，當地居民肯定嘉義林區管理處與工程團隊的用心與治理成效。

3. 設計階段已預先將災害控制、植生綠化與營造生態環境納入工程目標。利用林管處苗圃自有苗木進行兩岸綠化，現地塊石作為護岸砌築與河道拋石料源，達成精簡預算、生態工程與節能減碳之預期目標。

4. 與前期施工界面順暢一致，合宜的生態通道及妥善考量植物生長空間，以工程結合環境加速天然林相更新演替，不過度夯實回填區表土提供良好天然下種環境，達到自然生態、經濟安全並存之環境。

5. 崩塌整治地後經統計評估，土砂清疏堆置約36,952m³，土砂緩衝區可容淤積約



圖29、106年度優良農業建設工程獎。



圖30、第18屆公共工程金質獎。

12,200m³，未來辦理清疏即可恢復功能，重複循環使用。單以工程清疏與未來清淤4次來評估，本工程發包費1,463萬元可清疏土方數量=（1次36,952+4次*12,200）=85,752m³，每方土石為171元，遠比下游救災低廉。

6. 整體效益：（1）減少土石災害危害生態及國土保育。（2）導正水流減少土砂危害兩岸樹林及減緩國土流失。（3）有效控制土砂危害範圍，提高土地之使用價值，增加土地利用效益。（4）減少土砂流入南化水庫，延長水庫使用壽命。

優良事蹟

1. 工程規劃設計與施工階段召開多次協調會，與當地居民詳細探討與協調溝通，施工後河道穩定與景觀優美，當地居民肯定嘉義林管處與工程團隊的用心與治理成效。

2. 已預先將災害控制、植生綠化與營造生態環境納入工程目標並邀請NGO專家學者參與審圖作業。且利用林管處苗圃自有苗木進行兩岸綠化，現地砌石作為護岸填石與河道拋石料源，達成精簡預算、生態工程與節能減碳之預期目標。

3. 與上游前期施工界面順暢一致，有利動物移動空間及植物生長基盤，達到自然生態、安全並存之環境。

4. 玉井區第51林班孛仔寮坑野溪治理工程，榮獲106年度優良農建工程優等獎（圖29），更蒙行政院農業委員會推薦參加全國性第18屆公共工程金質獎選拔，榮獲水利類佳作獎（圖30）。

結語

孛仔寮坑整治從願景的擘劃階段即融入水土保持及生態景觀等元素，設計階段更邀集國內這兩方面經驗豐富的執業人員相互腦力激盪，以「就地取材」、「穩固邊坡」、「植生綠化」、「棲地重建」及「景觀再造」為方針辦理治理復育工作，審查階段更感謝各領域專家、學者的傾囊相授，使內容產生更耀眼的亮點，主動邀請在地參與，結合監造廠商、施工承商同心協力克服困難並達成目標，除完成國土保安「治洪防災」之基本目的外，其師法自然，尊重各類物種，並以人本思考所營造的「複合型水域」、「多孔性環境」、「多元化景色」、「生態廊道」及「延長水庫壽命」，深受專家學者及當地居民讚賞，而節能減碳之優異成效，亦為整體「地球村」盡一份心力。🌱