

通透性鋼構壩的多元效益

以北港溪楊岸溪匯流口為例

文圖 | 許文奕（林務局南投林區管理處課長／通訊作者）

李政賢（林務局南投林區管理處處長）

洪思維（林務局南投林區管理處技士）

詹勳全（國立中興大學水土保持學系系主任）

前言

北港溪主流流經南投縣仁愛鄉惠蓀林場區內，水量充沛，溪谷壯麗，林相豐富且風光優美。但歷年颱風豪雨在北港溪周圍造成不同規模的土砂災害，尤以莫拉克颱風後，其子集水區楊岸溪上游產生大面積崩塌，導致楊岸溪與北港溪匯流口淤積大量土砂阻礙河道，影響周遭惠蓀林場聯外道路投80縣道及下游部落之安全（圖①）。南投林區管理處為解決北港溪土砂問題，由集水區資料調查出發，優先理解周圍生態概況，以及河道歷年流心與土砂變化情形，作為工程規劃、設計及施工階段方法擬定參考。配合二維水理模式模擬成果，以定性及定量方式分析工程治理效益，再由工程後生態追蹤調查結果，檢視治理工程對生態環境之影響，達到減災與生態保育兼顧之目的。

集水區資料蒐集與問題分析

為充分了解集水區災害類型及以往致災原因，透過歷年衛星影像繪製流心變遷過程，剖析平時與災害發生後流路變動情況，以判斷集水區可能發生之潛在危害；藉由颱風豪雨事件前後DTM（Digital Terrain Model，數值地形模型）變化情形，分析災害對河段沖淤變化之影響，以利選擇合適之構造物進行工程治理。此外在生態考量方面，為避免工程干擾周圍棲地生態，亦對治理範圍內生態物種及習性進行現場調查，以研擬適當的生態環境維護措施，友善在地物種、降低工程擾動破壞生態平衡之疑慮。

北港溪及楊岸溪治理河段流心變遷分析

本研究蒐集2013—2018年之衛星影像進行河道流心變化分析，透過歷年河道水流流路之行徑，探討崩塌土砂淤積區位對楊岸溪及北港溪河道之影響。經圖②之流心變化圖



① 北港溪及楊岸溪匯流口歷年災害回顧圖

可知，2012年沖積扇形成後，林務局為疏通河道斷面、穩定流心，對北港溪進行河道疏工程，將沖積扇之土砂往楊岸溪左岸堆置，並將流心往順北港溪水流方向導正，促使泥砂可順利排至北港溪中，而在2013—2016年間，因研究區內無大型豪雨事件，最大日降雨量僅204mm，故未有崩塌地大量土砂下移，河道流心尚屬穩定，然2017年0601豪雨事件最大日降雨量達456mm，造成上游崩塌地土砂大量流出，土砂擠壓北港溪主流，致使流心向左岸靠攏，嚴重影響投80線之安全，爾後因匯流口土砂淤積嚴重，2018年楊岸溪河道因而改往左岸地勢低處出流。透過河心變化分析成果可知，如能針對楊岸溪上游土砂進行控制，將可避免大量土砂一次性下移，進而造成北港溪及楊岸溪河心偏移，影響左岸保全對象之情形，

因此如何針對楊岸溪上游崩落之土砂進行有效控制為目前楊岸溪遭遇到之重要課題。

北港溪及楊岸溪治理河段溪床土砂沖淤量體變遷分析

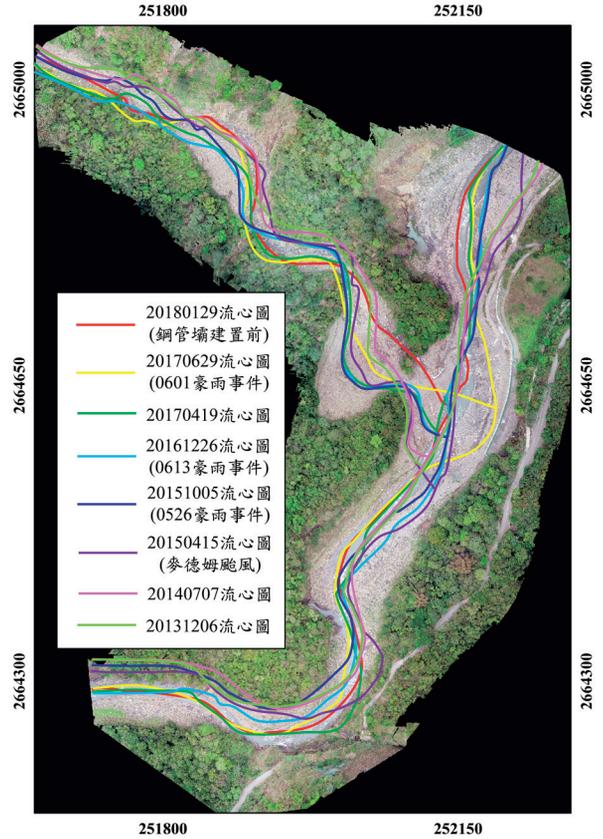
北港溪與楊岸溪沖淤深度變化，乃利用不同時期高程數值資料比對而來，透過2004、2006及2019年5m之數值地形匯入GIS地理資訊系統中，以網格為計算單元將各年之數值地形相減而得，並藉由轉換色階方式利於比較分析。北港溪與楊岸溪於2004—2006年之土砂沖淤變異量及2006—2019年之土砂沖淤變異量呈如圖③。經圖③左可知，北港溪與楊岸溪於莫拉克事件發生前河道多屬沖刷趨勢，於楊岸溪上游左岸有略為淤積之情形，其量體落於4—6m間，而在彎道凹岸則受水流攻擊而產生較明顯之

冲刷现象；在北港溪河道内亦以冲刷情形较为显著，其发生之区位多位处凹岸处，显示此时期之河道属蜿蜒之冲刷河道。而在图③右之分析结果可知，北港溪与杨岸溪受上游崩落地土砂下移影响，河道特性由冲刷转为淤积，在杨岸溪与北港溪之深槽处皆有大量淤积之情形，其淤积高度达5—10m间，然而在杨岸溪与北港溪皆有一处较大范围之刷深区，研判其刷深之原因为原有岸壁崩落所致。

综合以上所述，北港溪与杨岸溪河道于2004—2006年间，因杨岸溪上游崩落地尚未崩塌，因此河道多于弯道处产生冲刷现象，而在2009年后因杨岸溪上游崩落地土砂崩落并随豪大雨事件下移，促使杨岸溪与北港溪河道底床抬升，进而造成河道冲淤特性改变。据此，若北港溪溪床持续抬升，将可能造成河道通水断面窄缩、水流由左岸溢淹，影响邻近道路及保全对象之安危。

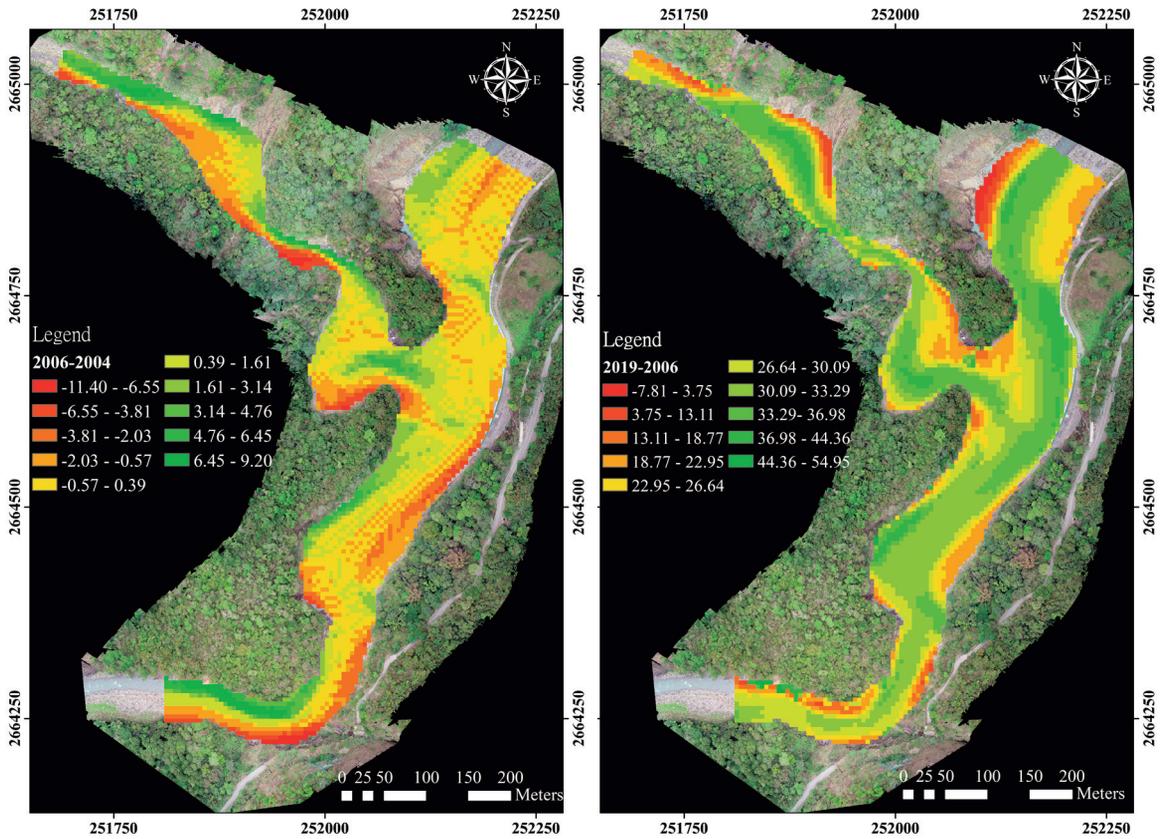
北港溪研究样区周围生态调查成果

本研究为了解北港溪及杨岸溪汇流口周围水陆域生物种类分布情形，作为工程设计生态保育对策研拟之依据，于工程范围周围布设6处鼠笼及4处红外线自动相机，并在河道内规划3处水域调查样站，配置完成后挑选于2018年5月进行施工前生态调查作业，详细生态调查设施布设位置如图④所示。由调查成果显示，工程周边纪录维管束植物有84科200数251种，哺乳类有4目9科9种、鸟类有7目20科33种、两生类有1目4科6种、爬虫类有1目2科3种、蝶类及蜻蜓



② 2013—2018年历年流心变化图

有2目8科56种、鱼类有3目4科6种、底栖生物有1目1科1种、水栖昆虫有7目11科，野生生物种类丰富。纪录物种中包含穿山甲、食蟹獾、台湾野山羊、台湾蓝鹇、台湾山鹧鸪等珍贵稀有保育类野生动物，台湾野山羊及穿山甲之红外线自动相机影像纪录结果如图⑤所示；哺乳类动物纪录多为台湾特有种及特有亚种，如台湾山羌、台湾野猪、台湾獼猴、白鼻心及鼬獾等，物种多于工程范围内纪录；两生类物种纪录有斯文豪氏赤蛙、褐树蛙及盘古蟾蜍等特有物种；爬虫类则有疣尾蝎虎及铅山壁虎，亦以红外线自动相机拍



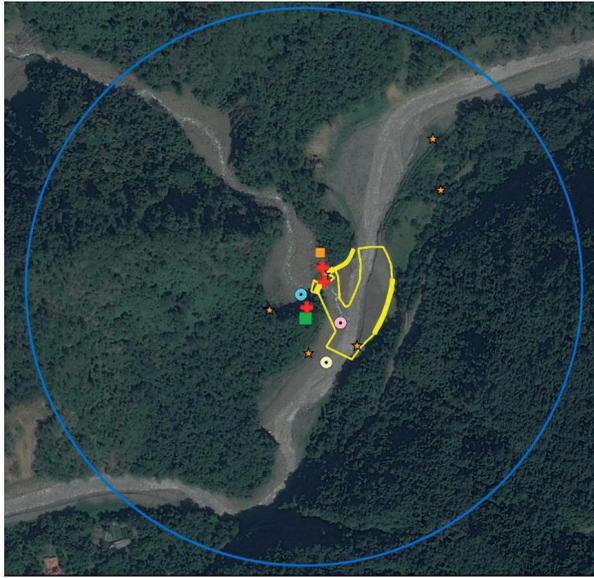
③ 研究樣區內溪床土砂沖淤變化圖 ◀ 2004—2006年變化圖 ▶ 2006—2019年變化圖

攝到南蛇；鳥類紀錄8種特有種及11種特有亞種，如小彎嘴、繡眼畫眉、臺灣紫嘯鶇、五色鳥、黑枕藍鶇、山紅頭、樹鵲、白頭翁、紅嘴黑鶇、白尾鶇及鉛色水鶇等；魚類紀錄臺灣間爬岩鰍、纓口臺鰍、臺灣石鱚、短臀瘋鱚及明潭吻鰕虎等多種特有種；河道兩側淺灘地有多種蝶類吸食濕地上的液體，或於護岸上隻草生地活動，其中紀錄有臺灣翠蛺蝶、蓬萊環蛺蝶、臺灣鳳蝶及密紋波眼蝶等為臺灣特有種；蜻蜓類則多停棲於河床礫石上，其珍稀植物及保育類物種分布情形如圖⑥所示。由圖可知，珍稀植物及保

育類生物多分布於楊岸溪匯流口左右兩岸，以及河道中央樹島處，故在工程範圍劃定時，避開重要動植物棲息區域，以維持現地良好之棲地環境，降低工程施作對現地原有生物棲地之影響。

工程規劃理念與構想

北港溪治理工程為在工程與生態間取得平衡，匯集多方意見進行河道治理，以求最大化治理效益，在規劃設計及施工階段恪守跨域整合、生態先行、減量工法及效益加成

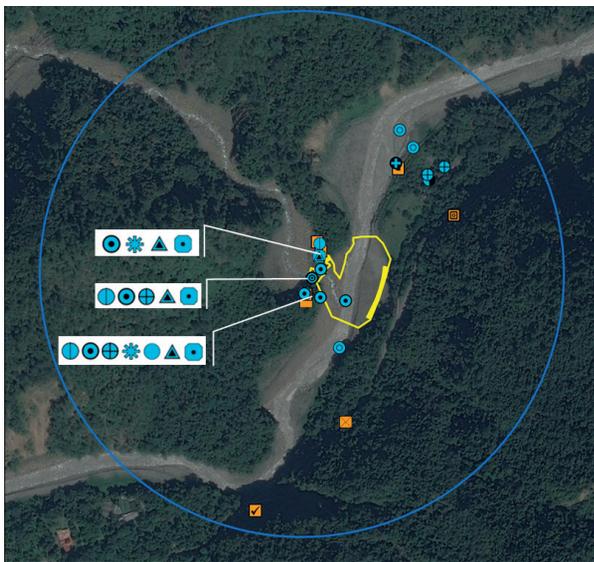


④ 北港溪研究樣區內紅外線自動相機影像紀錄結果圖

- | | | | |
|---|---|---------|--------|
| Ⓐ | Ⓑ | Ⓐ 臺灣野山羊 | Ⓒ 穿山甲 |
| Ⓒ | Ⓓ | Ⓑ 臺灣紫嘯鶉 | Ⓓ 臺灣藍鵲 |



⑤ 北港溪研究樣區內工程治理前生態調查物種圖



⑥ 北港溪研究樣區內紅外線自動相機影像紀錄結果圖

四大原則，在規劃前邀集不同領域專家、學者及民眾商討整合各方意見，構造物設計因地制宜，以替代材料減少混凝土用量，配合植栽種植達到工程減碳與固碳之目的，工程施作則以迴避、縮小、減輕及補償的方式減少人為影響棲地生態，以求在保障民眾生命財產安全的前提下，拓展治理效益，工程治理原則如圖⑦所示。

由集水區資料蒐集與分析成果可知，研究樣區重點問題在於楊岸溪上游存有大量土砂，在豪雨時期土砂隨水流運移至下游，並在匯流口處產生嚴重淤積，導致北港溪主流通水斷面束縮、水流流心向左岸偏移，直接衝擊左側護岸，造成護岸有基礎沖刷之疑慮，更可能危及投80線之安全，因此治理工程以在楊岸溪設置防砂壩調節土砂為主，考量楊岸溪與北港溪匯流口處通水斷面窄縮，且窄縮段上游斷面突擴，具有充足之囚砂空間，故選以楊岸溪



⑦北港溪治理工程規劃、設計與施工原則圖

及北港溪匯流口處作為防砂壩設置區位，而為維持北港溪低水時期水深、穩定主流流心，於北港溪河道中心處營造順直深槽，以利在地水域生物上溯，此外在防砂壩施工時避免重機具擾動左右岸天然林相，保留珍稀植物及保育類生物原有棲息空間，以確保生態系統不受工程干擾而破壞，北港溪治理工程規劃配置圖如圖⑧所示。

由於楊岸溪上游殘存土砂眾多，若以全攔阻式傳統型防砂壩攔阻土砂，可能有壩體經常性淤滿而失能，豪大雨事件後即需執行清淤作業之問題，將使後續維護管理經費提升，況且傳統壩的使用將破壞左右岸及中間樹島之天然林相，而採用透過性壩調節土砂，能有效控制下移土砂粒徑，以北港溪自身水流動力排砂，減少維護管理費用，亦能維持兩岸及樹島之天然林地，再配合鋼構材料的使用，可同時滿足經濟及環境考量需求。鋼構壩配置情形如圖⑨至圖⑪所示，本工程將鋼構壩以圓弧狀型式向偏向流心處擺

放，引導水流向流心處聚集，避免水流攻擊兩岸坡面，造成基腳沖刷而邊坡不穩定之情形，另為攔阻下移巨礫，使北港溪能以自身水流動能排除細顆粒土砂，上游側壩柱間距以D75的1.5倍（2.8m）進行設計，而下游側則採2.3m為之。此外，鋼構壩設計有效壩高為4m，設計淤砂坡度為3%，計算後壩上游具有約50,000m³之囚砂空間，滿足治理區域之囚砂需求，但當洪水期間水流高於壩頂時，過壩水流將形成水舌衝擊壩體下游底床面，可能造成基礎淘刷之情形，故本工程於壩體下游設置護坦保護鋼構壩基礎，確保構造物安全無虞。

生態環境維護措施

除了專注於解決治理範圍致災問題外，治理工程亦由生態的角度在規劃設計、施工及維護管理階段擬定數項生態環境友善措施，以避免施工過程過度擾動在地生物棲息



⑧ 北港溪治理工程規劃目標配置圖

環境，並利於工程後迅速恢復生態平衡，以下就規劃設計、施工及維護管理階段生態環境友善措施分述條列說明，而納入生態友善考量之工程施作成果及生態恢復情形如圖⑫所示。

提報階段

1. 成立生態友善工作圈，並將個案工程依生態友善檢核機制分級。
2. 蒐集生態人員提出後續友善措施對策及在地關心地區生態保育議題之NGO意見，納入友善生態整治方案。

規劃設計階段

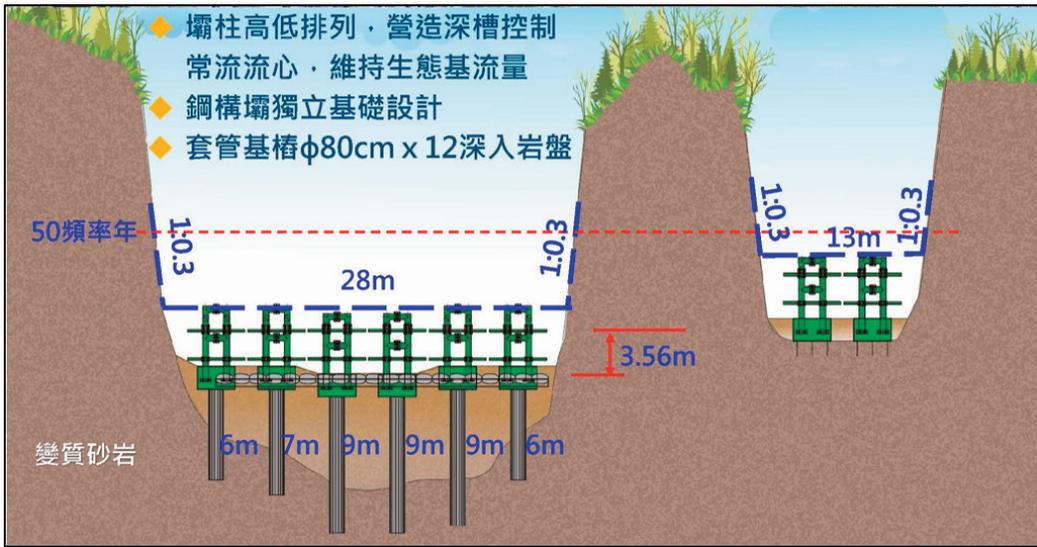
1. 鋼構壩各組成之單元，皆具有獨立性、高透水性及混凝土減量化等特性，並搭配緩坡塊石護坦，方能營造生態多樣性

的空間環境以適合生物棲息。

2. 考量原有自然環境，以現地塊石漿砌護岸，融合現地景觀，並可營造多孔性生態環境，並預留動物通道，以利物種發展。
3. 漿砌護岸後方可堆置清疏土方，搭配使用客土袋護坡，藉袋體結構之抗拉力，加強土體之安定，營造緩衝綠帶，最終目標則在於提供保護大地之功能，可以提高邊坡安全並兼顧植生綠化效果。

施工階段

1. 迴避工區兩岸天然林及雜木林。
2. 工程施作時，勿將溪床整平或過度清理，且保留溪床巨石、塊石及礫石等，降低工程對水生生物之衝擊。
3. 護岸以緩坡化及多孔隙為主，有利於野



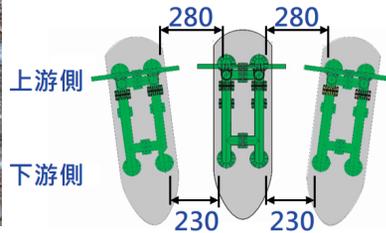
◎ 北港溪治理工程鋼構防砂壩立面配置圖

⑩ 北港溪治理工程鋼構防砂壩平面配置圖

- ◀ 鋼構防砂壩鳥瞰照片
- ▶ 鋼構防砂壩平面設計圖

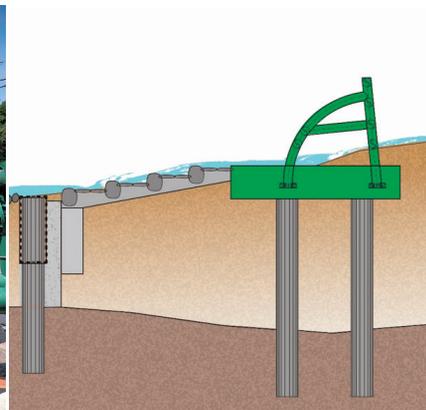


抗土石流衝擊力(t)	32.19 (單座)
設計粒徑 D_{50}	147.8cm
設計間距 (上游)	280cm
設計間距 (下游)	230cm



⑪ 北港溪治理工程鋼構防砂壩縱斷面配置圖

- ◀ 鋼構防砂壩側視照片
- ▶ 鋼構防砂壩側視設計圖



- | | |
|-----|-----|
| (A) | (B) |
| (C) | (D) |
- (A) 原始林相施工前後均無擾動
(C) 動物通道不阻隔生物遷徙



- (B) 緩衝綠帶植生覆蓋良好
(D) 營造生態多樣性空間



⑫ 北港溪治理工程生態友善作為成果展示圖

生動物利用或攀爬，亦可利於植生攀附生長。

4. 施工時使用既有道路、施工便道及沿線河床裸露灘地，避免開闢新便道，以周邊植生環境，連帶保護林內動物棲地。
5. 工程於溪床施作時設置擋排水設施及靜水沉砂設施，降低工程對水質之影響。

管理維護階段

1. 持續調查生態環境，並比較施工前後有關植群及指標動物數量的分布變化。
2. 加強植生造林工作，植生綠美化覆蓋裸露邊坡已具成效。

治理工程防洪減災效益分析

為了解工程治理前後河道改善情形，採用水工模型試驗搭配水理數值模式的方式，以水工模型試驗成果檢定及驗證水理數值模式，在確定數值模式具有反映現場流況能力後，再由數值模式模擬河道內水深、流速、底床變動及泥砂粒徑分布情形，探討治理工程防洪減災之成效。本研究採用美國密西西比大學內之國家水科學及工程中心（National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE）發展之CCHE2D二維水理數值模式進行分析，

模式參數設定主要由現場調查而得，透過工程治理前現場空拍影像鑲嵌合成，計算數值地表模型（Digital Surface Model, DSM），作為模式數值網格建置之原始資料，而在模式泥砂條件及河床曼寧糙度方面，參考楊岸溪粒徑分析調查成果，考量未來匯流口處下移之土砂多來自楊岸溪上游，故泥砂粒徑在選擇上取代表粒徑 D_{65} 至 D_{75} 間，視為現地土砂之代表粒徑，再由Meyer and Peter (1948)、Lane-Carlson (1953)、Strickler (1923)、Einstein (1950)等四種曼寧糙度推估經驗公式計算平均糙度，作為模式設定之河道粗糙度，最後在模式入流條件方面，則分別採用惠蓀(2)及八仙山(1)雨量站作為北港溪及楊岸溪之代表雨量站，蒐集雨量站之歷年雨量資料，透過三角形單位歷線計算方法分析各重現期之流量歷線，作為不同方案入流邊界條件設定之依據。

在模擬方案的設定方面，為探討在有無鋼管壩工程情況下，楊岸溪土砂下移對北港溪主流之影響，以量化工程治理效益，擬定治理前及治理後河道為方案0及方案1，分別計算在遭遇50年重現期洪水時，河道水深、流速及底床變化情形，另考量近年降雨量受氣候變遷影響，多有短延時強降雨現象發生，將可能造成河道流量驟增之事態，故設定治理後河道遭遇100年重現期洪水為方案2，透過模擬結果判斷在極端降雨事件下河道及治理工程有無安全上之疑慮，各方案工程配置及水砂條件設定如表1所示。

由方案0模擬結果可知（圖⑬），楊岸溪與北港溪於匯流口處形成低流速區，使楊岸

溪上游下移之土砂在匯流口處形成1m左右之淤積扇，推擠北港溪主流，導致北港溪主流往左岸偏移而溢淹，顯示北港溪及楊岸溪匯流口具迫切治理之需求，故以方案1瞭解鋼管壩佈設後控制土砂之情況，經方案1模擬可知，如圖⑭。

鋼管壩將土砂攔於壩體上游面，其淤砂高度由治理前0.5m上升至1m左右；在匯流口處因利用鋼管壩攔阻土砂，並於楊岸溪出口左岸進行土方堆填作業，以東水攻砂方式調節下移土砂量，使治理後匯流口處淤積量體由治理前1m左右降至0.2m以下，解決匯流口土砂淤積造成北港溪水流偏移之問題。此外，高重現期降雨事件（Q100）情況模擬結果如圖⑮所示，北港溪左岸部分水流有溢流之現象，然由流速分布狀況可知，水流流心仍沿營造之深槽順直流動，且河道兩岸或工程構造物設置區位皆未有明顯高流速情況產生，顯示治理後之北港溪河道在遭受100年重現期洪水考驗時，雖河道內有部分水流溢淹，卻未影響河道及工程安全，可承受極端氣候之考驗。

完工後生態追蹤調查 與魚類標記試驗

在治理工程施工完成後，於2019年9月及11月赴現場執行生態追蹤調查作業，透過對樣區內哺乳類、鳥類、兩生類、爬蟲類、昆蟲類、魚類及底棲類的觀察，判斷施工過程對研究樣區內生態環境之影響，此外考量治理工程於楊岸溪及北港溪匯流口處興建鋼

表1 水理模式模擬各方案模擬情境彙整表

模擬條件	主要工程配置	入流水流條件 (cms)	北港溪入流泥砂粒徑 (m)	楊岸溪入流泥砂粒徑 (m)	曼寧糙度設定
方案0		北港溪 $Q_p^{50}=3925.54$ 楊岸溪 $Q_p^{50}=401.85$	$D_{50}=0.078$	$D_{50}=0.078$	底床糙度0.032 底床糙度0.032 鋼管壩糙度0.015 護坦糙度0.035
方案1	設計開口尺寸之鋼管壩+護坦	北港溪 $Q_p^{50}=3925.54$ 楊岸溪 $Q_p^{50}=401.85$	$D_{50}=0.078$	$D_{50}=0.078$	
方案2	設計開口尺寸之鋼管壩+護坦	北港溪 $Q_p^{100}=4494.18$ 楊岸溪 $Q_p^{100}=494.43$	$D_{50}=0.078$	$D_{50}=0.078$	

管壩及跌水工，為檢視構造物對於楊岸溪縱向連結性之影響，本研究另透過魚類標誌試驗，確認水生動物活動狀況。

完工後生態追蹤調查結果

本研究由治理工程前後生態調查成果發現，樣區內紀錄有臺灣野山羊、臺灣獼猴、臺灣山羌、臺灣野豬、白鼻心、鼬獾、食蟹獾及穿山甲等8種特有種或保育類哺乳類動物，其優勢物種為臺灣獼猴15隻次，占調查數量的71.4%。

黑枕藍鶺鴒、小彎嘴、山紅頭、朱鷗、臺灣藍鵲、樹鵲、繡眼畫眉、白頭翁、紅嘴黑鵝、白尾鵠、鉛色水鵝、臺灣紫嘯鵝、黃嘴角鵝、五色鳥、臺灣山鷓鴣、臺灣竹雞、藍腹鵲、大冠鷲及鳳頭蒼鷹等19種特有種鳥類動物。其中以紅嘴黑鵝38隻最多，其次為繡眼畫眉18隻。

斯文豪氏赤蛙、褐樹蛙及盤古蟾蜍等3種特有種兩生動物，其中優勢物種為拉都希氏赤蛙，共紀錄21隻次，占調查數量的36.2%，其次為日本樹蛙17隻次，占調查數量的29.3%。

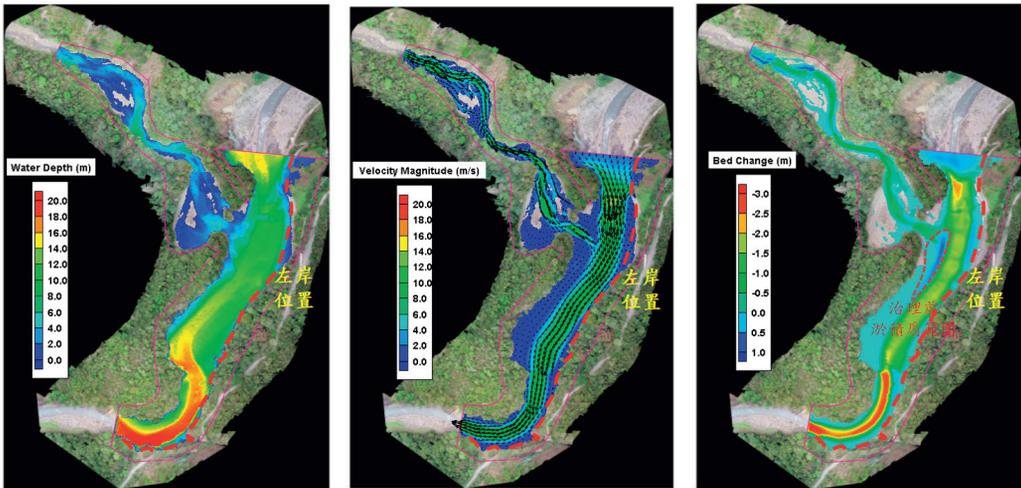
短腹幽蟪、中華珈蟪南臺亞種、密紋波灰蝶、臺灣翠蛺蝶、蓬萊環蛺蝶及臺灣鳳蝶等6種特有種昆蟲類，其中以鋸粉蝶數量最多42隻，其次為薄翅蜻蜓及異粉蝶各18隻。

臺灣間爬岩鰍、纓口臺鰍、臺灣石鱚、短臀瘋鱚及明潭吻鰕虎等5種特有種魚類，其中以臺灣間爬岩鰍數量最多99隻，其次為臺灣白甲魚62隻，而爬蟲類及底棲類則未有特有種紀錄，分別僅存在疣尾蝎虎、鉛山壁虎、南蛇，以及粗糙沼蝦。

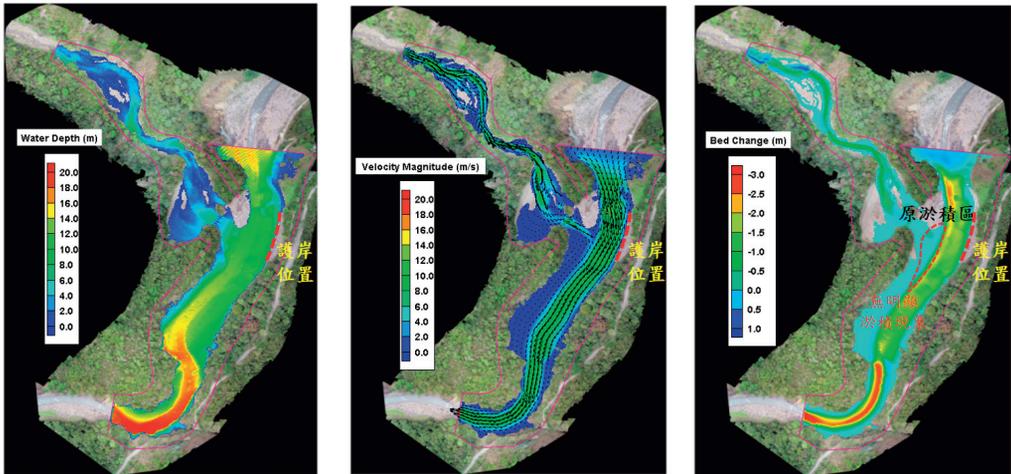
而由工程後生態調查成果可知，樣區內紀錄有臺灣野山羊1隻、臺灣山羌1隻、臺灣野豬1隻、食蟹獾1隻及臺灣獼猴13隻等保育類或特有種哺乳類。

黑枕藍鶺鴒5隻、小彎嘴13隻、山紅頭3隻、臺灣藍鵲5隻、樹鵲3隻、繡眼畫眉10隻、白頭翁13隻、紅嘴黑鵝26隻、鉛色水鵝5隻、臺灣紫嘯鵝8隻、五色鳥6隻、臺灣竹雞4隻及鳳頭蒼鷹1隻等特有種鳥類；斯文豪氏赤蛙7隻、褐樹蛙4隻及盤古蟾蜍3隻等特有種兩生類。

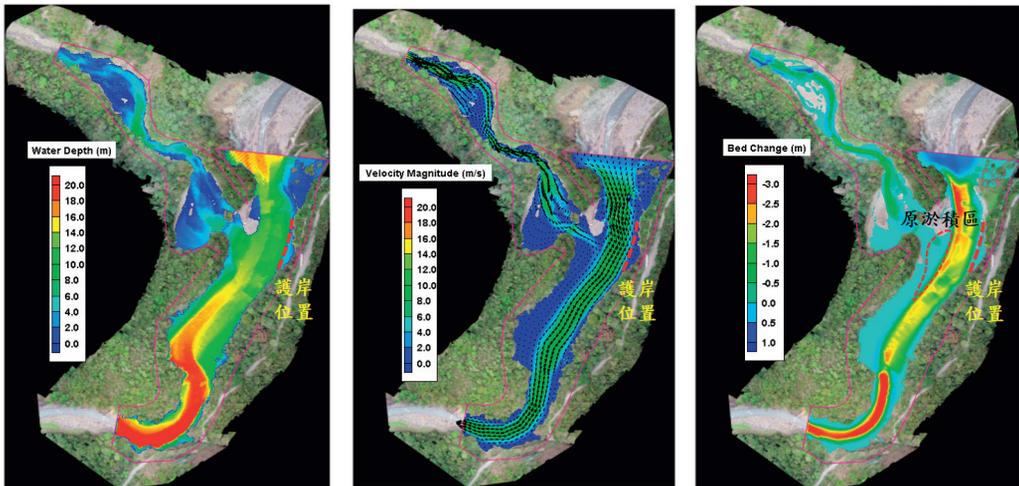
疣尾蝎虎4隻及鉛山壁虎3隻等爬蟲類。



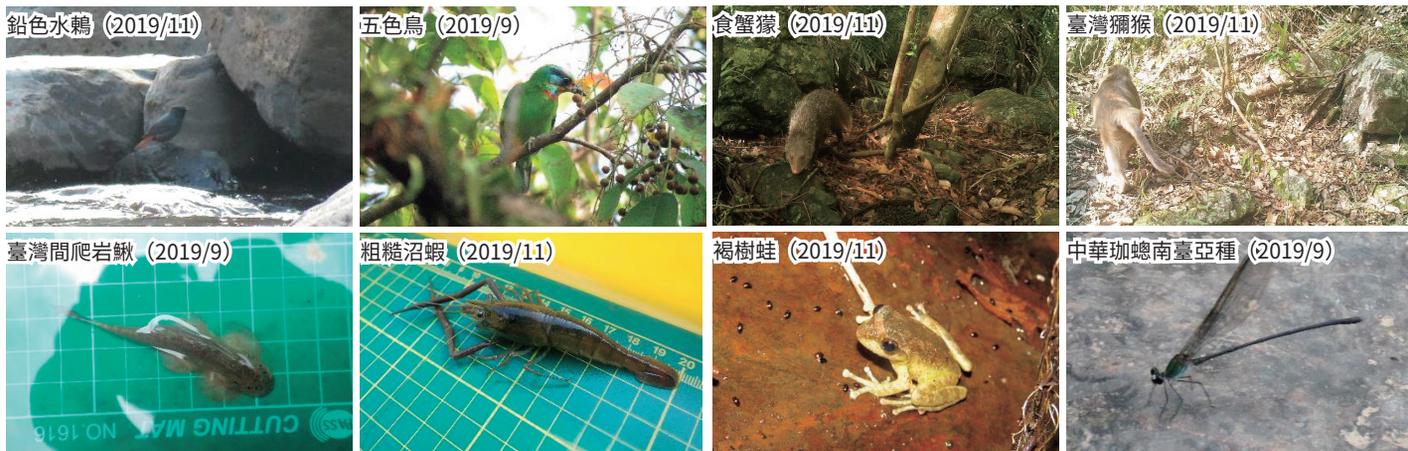
⑬ 方案0水理模式模擬結果圖。自左而右分別為模擬洪峰水深圖、洪峰流速圖、底床變化圖。



⑭ 方案1水理模式模擬結果圖。自左而右分別為模擬洪峰水深圖、洪峰流速圖、底床變化圖。



⑮ 方案2水理模式模擬結果圖。自左而右分別為模擬洪峰水深圖、洪峰流速圖、底床變化圖。



⑩ 工程完工後生態追蹤調查記錄圖

短腹幽蟪3隻、中華珈蟪南臺亞種2隻、密紋波灰蝶3隻、臺灣翠蛺蝶1隻、蓬萊環蛺蝶3隻及臺灣鳳蝶4隻等特有種昆蟲類。

臺灣間爬岩鰍66隻、臺灣石鱚8隻、短臀瘋鱚2隻及明潭吻鰕虎8隻等特有種魚類；粗糙沼蝦6隻等底棲類，工程完工後生態調查結果如圖⑩所示。

經完整生態調查成果與完工後生態調查成果比較發現，工程完工後樣區內仍具有多數特有種生物，且優勢物種亦未改變，顯示治理工程對北港溪生態系之影響不顯著，間接證實生態友善作為確實具有保護在地生態環境之功效。

魚類標誌試驗成果

本研究採用魚類標註試驗檢視鋼構壩工程對縱向生態連結之影響，其試驗流程係先將護坦下游處潭區以圍網圍圈，以減少捕捉到之魚類樣本朝下游移動，再以背負式電魚器採集魚類進行標記，待測量其體高、體長、頭長及體重，測量後放入護坦下游處潭

區，並於護坦上以水下攝影方式觀察魚類上溯情況，配合鋼構壩上游放置10個蝦籠陷阱，於次日回收且量測紀錄，以完成標註試驗，試驗過程如圖⑪所示。

本次試驗以電魚法捕捉並進行標誌的魚類，共計2目3科3種51尾，種類分別為臺灣間爬岩鰍、臺灣白甲魚及短臀瘋鱚。捕獲魚種大多為臺灣間爬岩鰍，捕獲42尾，平均體長5.3cm，體高0.90cm，頭長1.0cm體重3.7g。

臺灣白甲魚捕獲8尾，平均體長9.6cm，體高2.2cm，頭長2.0cm，體重19.6g；短臀瘋鱚僅捕獲1尾，體長8.5cm，體高1.5cm，頭長1.5cm，體重6.0g。試驗結果顯示捕捉回收及水下攝影拍攝到之魚類個體，在體型上與捕捉標誌之個體並無明顯差異。

回收、捕捉到的魚種以臺灣間爬岩鰍最多，推測因其為底棲性魚種，喜愛水流湍急之水域，並可附著於溪中岩石的表面，故較其他魚種更容易上溯成功。由標註試驗證明新建之鋼構壩及低落差護坦對河道之縱向連



⑰ 魚類標誌試驗流程

結性影響小，雖水流速度較快，但施工中保留之塊石放置回河道中，可供上溯之魚類短暫休息之空間，能夠增加魚類順利通過鋼構壩及護坦上溯的機率，水下攝影亦有魚類躲藏於塊石後方之紀錄，如圖⑱所示。

結論

透過集水區資料蒐集與問題分析，了解到崩場地生成後，北港溪治理河段溪床變化由沖刷轉為嚴重淤積，且在大量土砂堆積於匯流口處，造成北港溪主流往左岸偏移，直接衝擊左側護岸，因此治理工程在權衡工程及生態考量下，設計鋼管式防砂壩調節下移土砂，並在施工過程中納入多項生態環境維護措施，以避免工程擾動影響生物棲地。由水理數值模式分析河道治理前後水深、流速及底床變化，分析工程改善效益，配合100年重現期洪水之極端事件模擬，確定治理工



⑱ 魚類標誌試驗—水下攝影記錄臺灣白甲魚及臺灣間爬岩鰱

程具有調解土砂之能力，且能通過高重現期洪水之考驗。最後，透過生態追蹤調查及標註試驗成果發現，治理工程施工對北港溪生態系並無顯著影響，且鋼構壩及護坦亦不阻礙魚類上溯，顯示工程在兼顧工程及生態平衡下解決致災問題。🌿

(參考文獻請逕洽作者)