



河溪工程生態檢核初探

胡通哲 / 國立臺灣大學水工試驗所 副研究員

本文進行河溪治理相關工程的工程生態檢核探討。文初闡明健康的河溪生態，具有承受干擾的恢復能力，不論是洪水干擾或人為工程的干擾，並以蘇澳鎮圳頭坑溪為例，說明在梅姬颱風洪水土石流的天然干擾後，魚類數量恢復時間為3年，並期許治理工程的恢復期，應小於3年。本文並以規劃設計階段的河溪治理生態保育策略（迴避、縮小、減輕、補償），就各項保育策略，舉例說明。文末以現今的生態成效評估要求，說明如何在有限的計畫期限內，達成量化評估的工作，並據以反饋到規劃設計或施工上。

前言

河溪工程生態檢核可略分為核定、規劃設計、施工及維護管理四個階段，每個階段做法各有不同，若將河溪治理工程視為人的心臟血管阻塞（通洪斷面不足）而進行治療，在核定階段，先進行體檢（檢核）以先瞭解河溪整體，是要進行服藥（非工程手段）或手術（工程手段）處理，有無特別需要注意的地方，若核定之後決定要進行治理，則進入規劃設計階段；此階段宛如擬定手術計畫，規劃設計上應注意迴避、縮小、減輕、補償等生態保育原則，以維護河溪生態環境最大利益為目標；施工階段，宛如進手術室，應落實設計階段擬定之各項生態保育措施；完工維護階段，宛如術後的照護，需進行治理工程的追蹤評估與檢討。

現行的河溪治理相關工程，通常是通洪斷面不足、保護人民生命財產安全而進行，但往往因做了不符合生態保育原則的規劃設計，肇致一些批評，有些位於高度敏感地區的河溪治理工程案，甚至在保育團體的抗議中，做了大幅度的轉彎或戛然而止，虛耗政府單位、設計單位（顧問公司）、施工單位（營造廠）三方的時間精力。

目前工程生態檢核作業事涉五方，包含業主、顧問公司、營造廠、工程生態檢核單位、NGO或保育團體。現行的做法，加入工程生態檢核單位（第四方），

冀望可在提案或規劃階段，及時發現問題並修正。本文著重於河溪治理工程生態檢核的時候，所可能發生的問題與對策進行探討。

河溪的干擾

健康的河溪生態，應具有干擾的恢復能力，干擾分為人為干擾與天然干擾，在臺灣的河溪受到最顯著的天然干擾，應屬於颱風伴隨的洪水，而在進行河溪治理時，被視為一種人為干擾，如何規劃設計使河溪在最短時間以自營力恢復生態，是努力的目標。

洪水干擾對河溪生態恢復的時間長短為何？這個問題沒有標準答案，因為每個地區的河溪特性不同、遭遇洪水的規模不同、過去治理工程設施介入程度不同，推論具有侷限性，但或可參考。

以蘇澳鎮的圳頭坑溪為例，這是一條位置接近蘇花改工程白米脊背橋的溪流，過去吾人做過幾年的魚類調查（2004～2013），期間遭遇聖帕、芭瑪、梅姬、蘇拉等大型風災，颱風洪水對水域生態影響最大^[1]，其中以梅姬颱風期間（單日降雨939.5 mm）爆發土石流對河溪生態損害最大，颱風過後土石淤砂將河床堆滿，目測估計河床淤高3～6公尺不等。由於在梅姬颱風前與颱風後皆有調查，將魚類數量調查結果繪製如圖1，梅姬

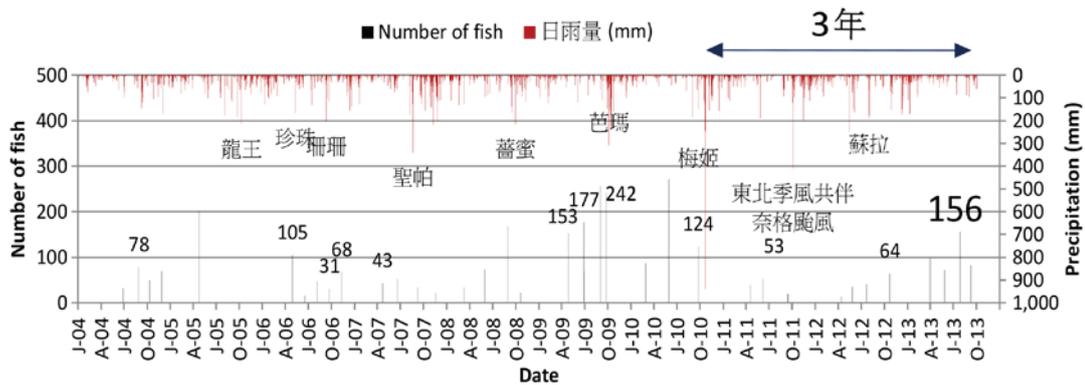


圖 1 圳頭坑溪魚類數量與颱風洪水關係

颱風前 2010/9/23 調查到 124 尾，2010 年 10 月梅姬颱風來襲後魚類數量銳減，到 2013/7/28 恢復到 156 尾，魚類數量恢復程度超越以往，期間大約 3 年，推論圳頭坑溪洪水干擾恢復的時間約為 3 年。

河溪治理之類的人為干擾，應使其恢復生態的時間越短愈好，因此在工程生態檢核，就迴避、縮小、減輕、補償等保育原則，進行評估前，應檢核河溪工程對生態而言，有無恢復的機會。若是要進行生態調查評估成效，2~3 年後進行較妥適，完工後當年度調查結果，較難推論成效。

河溪治理工程，視為人為干擾，有可能造成生態系統不可回復的狀態，應極力避免。

河溪治理生態保育策略

河溪治理工程被視為一種人為干擾，但過去某些三面光的設計，往往造成生態不可回復的狀態，以現在工程生態檢核的觀點，已難再現，但如何規劃設計才能使河溪生態有機會恢復，或至少不要踩到保育團體的「地雷」，事涉生態保育策略、生態專業及水利專業。目前工程生態檢核的相關作業程序，已有林務局的「國有林治理工程生態友善機制作業程序手冊」、水土保持局的「環境友善措施標準作業書」、水利署的「水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊」可供參考，自不在本文敘述的重點，本文提出一些河溪治理應該注意的保育策略，如迴避、縮小、減輕、補償等相對應的做法或案例。

迴避

迴避包含空間的迴避與時間的迴避，河溪治理工程量體與臨時設施物之設置，應避開有生態保全對象

或生態關注物種的區域，施工過程應避開動物大量遷徙或繁殖的時間。

時間的迴避

以臺灣瀕臨絕種野生動物寬尾鳳蝶為例，它們在每年 5、6 月份由太平山飛往棲蘭，期間會在鳩之澤溫泉停留，雄蝶會停留鳩之澤的多望溪河床吸取溫泉結晶物，為未來繁殖做準備，期間河溪工程若有影響到其棲息停留的噪音與震動，應先停工，重車應停止出道路，迴避其遷徙的季節，此為時間上的迴避。

空間的迴避

河溪治理工程，對於法定的生態敏感地區，如國家公園、自然保留區、自然保護區、沿海保護區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境等，應特別注意，能迴避盡量迴避，不能迴避者應採縮小策略，或提出減輕、補償措施。

如果設計區域有保育類野生動物，則考量其生態特性，以宜蘭縣三星鄉出水溪為例，在進行整治工程規劃設計時，原有堤岸規劃設計砌石護岸，但在該階段的工程生態檢核工作中，側流坑溝附近架設的紅外線自動相機，記錄到珍貴稀有（第二級）保育類野生動物食蟹獾，食蟹獾常棲息在溪流旁的森林內，覓食時會移動到溪流附近。有鑑於此，設計上迴避其通行的路徑，在安全無虞情形下，護岸開缺口，使其可以由高處天然林內棲地，經由坑溝移動到出水溪後安全返回，完工後景象如相片 1。

河溪中的巨石與大樹，施工階段應盡可能迴避，巨石能夠保留盡量保留，因為它是穩定河床的要角，也是重要的魚類棲息場所（fish pocket）。如果因故無法迴避，也應該縮小範圍。



相片 1 出水溪護岸開缺口（動物通道）

縮小

上述提到迴避敏感物種的棲地，若無法迴避，則採縮小措施，修改設計，縮小工程量體，減少對自然棲地的干擾範圍。

河溪施工過程中的施工便道與土方堆置兩項，對溪流生態有影響，施工便道應縮小，勿開設寬達兩輛重車寬度的便道，土方堆置區域妥慎規劃並縮小。

以坪林的北勢溪支流溪畔崩場地處理工程為例（相片 2），工區位置位於北勢溪上游，屬於水質水量保護區內，不處理的話，土砂會伴隨豪大雨流入翡翠水庫，工程手段有其必要性，而崩場地內有大葉楠樹一株，估計基部到樹冠層的高度與根系深度約略相同，植物根系抓取土壤是坡地穩定很重要的角色，在規劃設計階段，以縮小工區的方式，並圍警示帶避開大葉楠，完工後查看，樹木並未受損，仍維持穩定坡地的功能。



相片 2 崩場地治理工區的大葉楠

減輕

減輕係指減輕工程對環境與生態系功能的衝擊。例如限制臨時設施物對工程周圍環境的影響、保護施工範圍內之既有植被與水域環境、設置動物通道、研擬環境回復計畫等，或採對環境生態傷害較小的工法。

魚道（動物通道）

魚道的建造屬於「減輕」策略的一種，過去對象是魚蝦蟹，現在則擴充解釋為河溪動物通道的一種。有些個人對臺灣山區溪流的防砂壩魚道持負面的看法，認沒有建造之必要（最好是拆壩），本文提出一些看法。

認定魚道有無功效，牽涉到魚道評估的方法是否客觀。魚道評估的方法有多種，例如上下游樣站電捕法、標示再捕法、水中攝影法，吾人認為應以較客觀的方法為主。較合適的魚道功能評估，應為陷阱法，若可將魚類溯上通過路徑，設置只能進入陷阱而被捕獲，較為可行。

過去曾在砂婆礑溪魚道上游設置陷阱，此魚道因內部阻流材磨損嚴重，初判魚類難利用，但經過一週陷阱的放置時間，卻捕獲相當數量的粗糙沼蝦，超出原來的想像，原來雖然魚類難利用魚道，但其他生物仍在利用此魚道。

也有人質疑，設置魚道會使的外來種魚類入侵，曾以過去的調查資料統計，實際上不會造成此情形^[2]。

某些泥砂產量大的山區河溪，因為仍不穩定，若要建造魚道，應儘量建造全斷面型態。過去的經驗，若土砂收支分析顯示該河段屬淤積量大，以全斷面型



相片 3 砂婆礑溪防砂壩魚道陷阱籠捕獲的粗糙沼蝦

態魚道為主，若土砂收支分析為沖刷或淤積量較小，方可考慮進行水槽型態的魚道。而全斷面型態魚道造價較高，扇形魚道為折衷方式，相片 4 為位於八仙山收費站河段的十文溪第四號潛壩魚道，屬於扇形魚道（註：設計上要注意讓水流往中央集中）。

工程單位在規劃設置魚道時，若被要求設置給哺乳動物通行的通道設施，其實大可不必，如果是旁邊有碎石道路或林道，就可讓哺乳類動物通過，野外觀察經驗，常看到山羌往來於林道間，行走其間真的要比走魚道安全多了。

石梁工

河溪設置固床工，為控制縱向坡度的慣行作法，雖然現在工程生態檢核要求固床工與水面之落差不得太大，已經比過去進步，但若採生硬的矩形斷面橫向構造，對水域生態仍有影響的疑慮。

如果仔細觀察未受干擾山區溪流河段的空拍圖，自然河川其實有一道道的天然石梁，這些石梁通常隱沒在水流的瀨區之下，若能採較自然的規劃設計仿照之，例如日本福留脩文的拱型石梁工法，構造上較為自然，石梁下方魚窩地，亦可供魚類棲息（如相片 5），石梁的「輪石」上方形成瀨區，有水棲昆蟲與矽藻，可提供魚類覓食處所。

對拆壩的看法

臺灣的河溪過去建造很多的防砂壩，有些團體主張拆壩，而這些壩，過去確有穩定河床的功能，拆除後會有一段時間處於不穩定的狀態，如何設計維持拆壩的河床縱坡，可使河床加速穩定且生態棲地得到保全，目前已有設計方式可以滿足（不在此贅述）。

如果僅是單純的拆（不論是水平或垂直），而沒有輔助設計，就要審慎。以巴陵壩潰壩後的例子作說明



相片 4 十文溪四號潛壩扇形魚道
（註：該案獲 107 年金質獎水利工程類優等）



相片 5 出水溪整治工程石梁工下游的魚窩地

(如相片 6)，巴陵壩在 2007 年 9 月韋帕颱風侵台期間潰壩，潰壩可被視為拆壩的一種（自然力量拆掉），但後續因潰壩上游端使淤砂坡度因河道下切（incision）、溯源沖蝕（headcutting）使河床下降，導致兩側邊坡裸露，過去長年被土砂掩埋區域，暴露後易被風化而「軟腳」，造成上方邊坡崩塌，反而造成大量的土石進入河床。另外這些原來堆積在河床的細顆粒泥砂土石（細沙、淤泥），在下次洪水可能埋掉下游河床原有的深潭與淺灘，成為「細砂填縫」現象。根據在吾人大漢溪調查結果，下游魚類棲地的魚類族群與多樣性，並沒有因潰壩而增加。另外，巴陵壩上游有一些居民憂心地反映，過去大漢溪的溪水就在他們家門前的腳底下，現在溪水深度卻距離他們家有兩層樓高，也就是河床已明顯下降，後續邊坡可能持續風化，他們擔心自家房屋會滑到溪裡面。

再以蘭陽溪支流的粗坑溪與田古爾溪的魚類調查說明，這兩條溪流經過多年的魚類調查，粗坑溪調查期間為 2002 ~ 2013，田古爾溪為 2007 ~ 2013，調查方法採用電捕法（理論上電捕範圍的魚類均可捕獲），同一組人、相同方式調查。粗坑溪的防砂壩有三座，皆附設魚道，田古爾溪過去有防砂壩（高壩），因為某些因素有段時間未進行治理，因此從蘭陽溪到田古爾溪上游，對魚類洄游需求是暢通的，但是河床極不穩定，上游多處崩塌，只要下大雨，土砂即劇烈移動，本文將溪流調查樣站的魚類數量繪製如圖 2，其中粗坑溪魚類數量明顯比田古爾溪多，魚種豐度與多樣性較多，而田古爾溪 39 站次調查中，有 13 次是完全抓不到魚（約有 1/3 的機率）。推測粗坑溪雖有高壩但附設魚道有作用，而田古爾溪雖然沒有縱向障礙，但棲地不穩定，大尺度河相與棲地的穩定，要比縱向生物通道議題重要。



相片 6 巴陵壩潰壩後景象 (2010/6/20 攝)

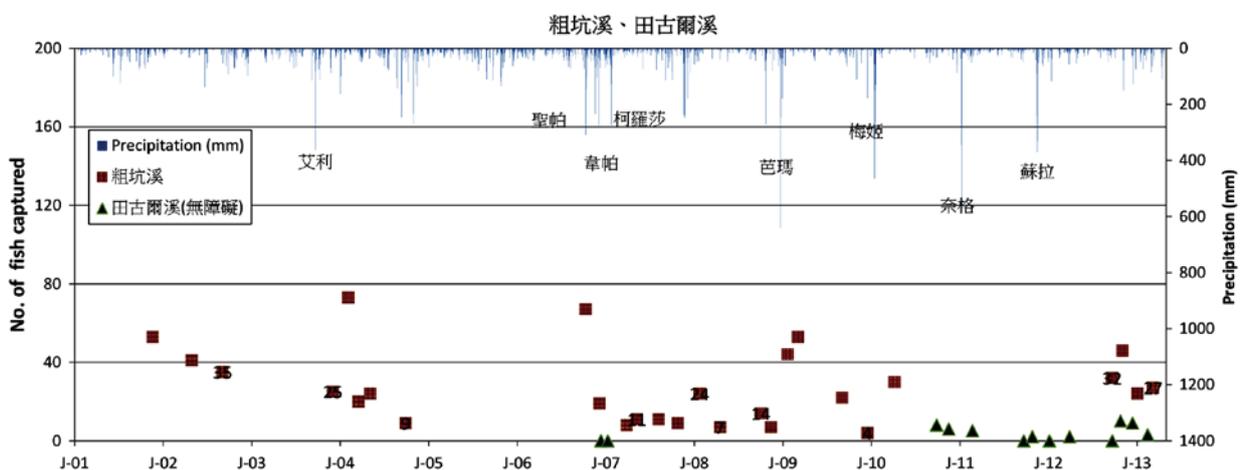


圖 2 粗坑溪、田古爾溪魚類調查數

在進行河溪壩體生態面向改善的檢核時，若河川是屬於 U 型河谷，降低原有壩的高度搭配河床縱坡度的維持（有一些工法可行），兩側的邊坡影響比較小，如果是 V 型河谷，兩側邊坡就是高聳的山壁，要審慎考量。除非是國寶魚的棲地，為生物暢通洄游路徑但大尺度的河相與棲地卻不穩定，造成細砂填縫與土石流風險，可能會持續地調整十數年，是否值得？，該進一步思考。

拆壩是「減輕」的一種保育措施，但本文採保守看待的態度。

坑溝

對於河溪治理工程，河道與河灘地採用對生態環境友善的做法，是一般性的共識，但坑溝與河溪的連結處，容易被忽略，其實該處是很重要的動物通道連結點。進行河溪治理，盡量避免阻斷側向的生物通道，側坑溝往往是山羌、食蟹獾及其他小型哺乳類動物進出河溪重要通道，避免用垂直落差的方式處理。

曾經在颱風期間，看到蘭陽溪的土場附近，大量的臺灣白甲魚（苦花）聚集在坑溝的集水井中，原來它們在颱風，會從蘭陽溪主流，跑到坑溝避難。

護岸

對於河溪的護岸，用地條件許可的話，師法自然的設計較佳。盡量不要用垂直的混凝土護岸，採用 1:1 或更平緩的坡度，在臨水的外側護岸覆土更佳，溪蟹科的螃蟹（如宜蘭澤蟹、灰甲澤蟹），會挖洞築巢約 50 公分深度，若全採用土堤，有被鑿洞漏水的風險，採用內裡是混凝土核心，外面再加一覆土，溪蟹可築巢，亦避免螃蟹挖洞破壞。

落差處理

河溪中的人工垂直落差，在下游端採凌亂拋石減低落差的做法，並非好的做法。原因是凌亂拋石在流量大的時候，雖然可以降低落差，但是在流量小的時候，水流會從石頭之間下滲，原本有機會跳過去的魚類，反而因為水流下滲成為伏流水，適得其反，鰕虎科的魚類更不用說了。

河溪棲地評估

進行河溪棲地評估時，有十項因子：底棲生物的棲地基質、河床底質包埋度、流速水深組合、沉積物堆

積、河道水流狀態、人為河道變化、湍瀨出現頻率、堤岸穩定度、河岸植生覆蓋狀況、河岸植生帶寬度。本文認為評估者應親自到評估對象河溪進行調查，例如穿越線調查量測（可以穿越的條件下施行），沿穿越線上量測每公尺水深流速，以及估算底質的組成，底質可以分成六級或五級，一般是採用六級較多（大漂石、小漂石、圓石、卵石、礫石、砂或更細的黏土粉粒等）。評估者掌握河溪特性，對於上述十項因子中的第 1、2、3、4、5、6、7 等項，較能做出合理可信的評估。

補償

為補償工程造成的重要生態損失，以人為方式於他處重建相似或等同之生態環境，例如：於施工後以人工營造手段，加速植生與自然棲地復育。對於河溪需要實施的情形，如下：

生態基流量

上游取水工程，造成下游河溪斷流最不該，管理機構應該維持生態基流量，這是「補償」措施應做的最低限度，可在工程生態檢核之維護管理階段進行。

相片 7 中的河段受上游取水而水量大減，魚類退縮到快乾涸的水塘，成群的白鷺鷥圍住水塘（好像在討論要如何開始享用大餐），令人印象深刻。

魚類可用棲地可由水理模擬計算流速水深，推估工程案的影響，若會造成可用棲地面積大幅減小，儘早規劃棲地改善方案，作為補償。

施工便道

施工時不可避免要開闢施工便道，而施工便道量體縮小是原則，可採裸露地植生進行補償，完工後河灘地的施工便道需移除復舊，但河灘地到堤頂的便道可做部分保留，作為兩爬類的生物通道，以補償因施工受損的自然生物通道。

替代設施

魚類在颱風洪水時，經常躲避到與溪流相連接的坑溝內，若該處因為進行排水改善而需要拆除，應設置優於原來條件的設施，例如仿自然的生態溝。

生態成效量化評估

目前實施的河溪治理工程生態檢核案，如何在有



相片 7 受上游取水影響而幾近乾涸的溪流（白鶯鶯圍水塘成一圈）

限時間（多數計畫為一年期）內得到量化的生態成效結果？若要進行生物調查，往往河溪生態在施工後尚未復原，數量變化不明顯，或有成效不彰的結論。

可運用無人空拍機 UAV 的功能，以無人機 UAV 拍攝施工前、完工後相片，進行解算後取得數值地表模型，另以重要值分析決定模擬的目標魚種，進行魚類棲地適合度（Habitat suitability index, HSI）計算，以比較施工前後 HSI 面積大小，量化生態面向的成效。

過去在大興村錦豐橋的河段曾進行魚類棲地適合度評估，另在大甲溪上游八仙山遊樂區收費站附近的十文溪河段^[3]，也有進行類似評估工作。有賴 UAV 空拍工區範圍的相片，再帶回進行解算，可以產出正射影像、DSM 及 3D 模型，經由二維水理數值模式計算流速與水深，配合目標魚種的適合度，推算每格點的棲地適合度，再利用空間內插方法，繪製二維的魚類棲地適合度空間分布，經由上述的魚類棲地適合度計算檢核的步驟，可得知河溪棲地工區完工後棲地的變化。

若是施工後的河溪復舊未確實執行，HSI 數據即可顯示，即用以反饋到施工監造的改進；若規劃設計的成效良好，使棲地往正面發展，可用來展現成效。

結論與建議

河溪人為干擾（治理工程），有可能造成生態系統不可回復的狀態，應極力避免。治理工程的生態回復，雖難以預測，但以三年為努力目標，亦即在三年後進行「完工後生態友善措施執行狀況評估」相關調查，較為妥適，完工當年度進行生態調查，操之過急。

現有的河溪治理工程，生態保育策略：迴避、縮小、減輕、補償等四種中，以「減輕」策略最多，未來工程規劃設計階段，應多方探討其他策略與措施的可能性。

河溪治理工程生態成效量化評估，除了進行施工前、施工中及施工後的調查，瞭解生物的數量與指數變化，亦可進行魚類棲地適合度 HSI 計算，以水理模擬方式，在短期內得到量化的成果並回饋到工程的施工階段檢核，作為施工監造檢討改進的輔助工具。

參考文獻

1. Chen Yu-Chi, Tung-Jer Hu and Yan-Chyuan Shiau (2013), A study on the Potential Disaster Caused by Precipitation for the Aquatic Ecology of Zuntoukeng Stream in Taiwan, *Disaster Advances* 6(S6): 93-101.
2. 胡通哲、林志明、黃至用、吳文欽（2015），國有林溪流魚道與外來魚種入侵問題之探討，*臺灣林業期刊* 41(3): 67-70。
3. 胡通哲（2018），「東勢處轄內野溪縱橫向構造物多元功能研究」計畫成果報告，林務局東勢林區管理處委託辦理。
4. 林務局（2018），國有林治理工程生態友善機制作業程序手冊（初稿）V1.1。

作者介紹

作者胡通哲現為台大水工所副研究員，研究興趣為河溪生態工程，曾任職於經濟部水資源統一規劃委員會、農委會特有生物研究保育中心等，從事河溪生態相關研究計畫逾八十件，著有 2 本生態水利學的專書「河川廊道棲地復育—理論與實證」、「水域生態工程」。