

河川生態工法

【以宜蘭小礁溪整治工程及仁澤溫泉－多望溪魚道工程為例】

◎李錦育 / 國立屏東科技大學水土保持系教授

◎余博漫 / 國立屏東科技大學水土保持系碩士班研究生

生態工法在台灣推行十幾年以來，仍有部分成效尚待驗證；以魚類棲地改善方面而言，生態工法本身的確有其效果，兩岸砌石護岸營造的植生遮蔽良好，能提供水棲生物充足的養分來源與降低水溫；而塊石堆積的固床工也能形成不同的水流環境與底床性質，提供不同魚種棲息；但颱風過後的土砂堆積應予以利用或移除，以免影響水棲生物的生存。生態系經營應是全面性的，在河川的上、下游部分都應兼顧到魚類迴游及原生物種生態的考量，避免形成一封閉的群聚社會；而魚道的利用的情形，建議應有一初步生物性調查及魚道水力計算，以瞭解施作魚道後，魚道的集魚情形與魚類是否真如預期的方式前進，宜建立當地魚種及魚道的基本設計資料庫，以提供其餘魚道設計時之參考，才能完全發揮魚道的功能。

一、前言

河川是自然界中珍貴且可以更新的水資源，台灣地形多高山，河流短促且坡度陡峭，河相極不穩定。在傳統水利工程範圍中，多強調河川之物理環境，如：河川地形變遷、洪泛頻率、河道穩定性、護岸穩定性與河岸侵蝕底床切割。為了穩定河床以防河岸崩塌及攔阻土砂，林務局在過去近六十年內，興建超過 3,000 座的防砂壩；且大多數壩高

皆超過 2 m，自然會改變河川原有地形。就河川本身而言，在崩塌災害之防治對策中，河川水利工程為了常著眼於安全考量與耐久性，而使用大量的混凝土；並為求施工的施工性與經濟性，其河川斷面常一成不變，構造物表面也以相同單調的鋪面為主，不僅破壞了景觀，對於河川周圍的生態環境也造成相當大的衝擊。當營養及能量水流產生變化時，物理環境因子及水質環境自然產生變

化，河岸植物、水中附著生物、無脊椎動物及魚類對棲地的利用也會重新組合，必然影響生物之群聚結構。

近幾年來，隨著社會大眾對週遭生活品質的要求日益提高，河川整治問題也被要求符合當地原生生態與綠美化，為維持當地原生物種的生態平衡與多樣性，營造出自然的河川景觀及創造河川與濱岸生物的棲息環境，河川的防砂工程除了原本的土砂攔阻效益外，也被要求注重對當地原生生態的影響與復舊狀況。自然穩定的河岸，通常也為天然植生良好的區域，也能提供生物一個適當的棲息環境，可見植物是生態與水土保持不可或缺的重要部分。而根據工程中，植物使用情況的不同，大多將其區分為工程方法、植生方法與植生混合方法；工程方法係指以符合生態需求的工程構造物為主體，其上可為自然或人工植生，提供景觀效果；植生方法則是利用植物本身對水土保持與土砂攔阻的功能，來用於建立良好之河岸植被，並利用工程方法使用自然材料加強保護；植生混合方法是使用較符合生態需求的工程結構，提供主要的安全需求，並以植生來提供美觀與良好的濱岸水域環境，且利用植物本身具有的工程性質以提供整體結構穩定性。

以往溪流工程多注重於安全性與實用性之考量，使一些治山防洪工程雖達到保障安全的目的；但相對的卻犧牲了溪流的親水性與當地的自然生態平衡，河川水利工程對於下游河域的生態，可能影響：

(一) 為施工所造成的污濁水源，對下游魚群長期的影響。

(二) 魚類棲地，因施工時所帶來的細微泥砂沉積，對底床質改變的影響。

(三) 下游水位的變動。

(四) 水位降低。

(五) 下游河川型態、深潭和淺灘分布位置的改變。

(六) 河川岩盤與底石減少，魚類棲地空間的變化。

(七) 魚類迴游的障礙。

(八) 人工護岸改變天然濱岸帶，而使魚類生存條件劣化。

二、生態工法的理論基礎

生態工法是著眼於生態系永續發展能力的整合性技術，並運用自然的資源作為對環境的控制與設計規劃，強調當地資源與環境的有效發展與外部人為條件的充分配合，其主要的理論基礎為：

(一) 整體性原理

整體性原理是綜合瞭解系統，如生態圈、生態系整體性質及全球生態失衡

問題的主要基礎：對單一系統內物種的性質與其他物種間的相互關係進行瞭解，便能對系統的整體性質加以掌握，且相鄰系統間的整體性質與功能，也要加以釐清與整合。

（二）社會－經濟－自然複合生態系統

生態工法研究對象為整體的社會－經濟－自然複合系統，或由不同生態系統與景觀設計所組成；是由各種生物有機體和非生物的物理、化學成分互相作用、相互生存、因果關係所構成。

（三）協調與平衡原理

由於生態系統長期演化與發展的結果，在自然界中任一穩定的生態系統，在一定的時間內均具有相對穩定而協調的內部結構與功能；且在一定時間內，各物種介由相生相剋、轉化、補償及回饋等相互作用，使生態結構與功能達到平衡，而處於一種生態平衡的穩定狀態。

（四）自生原理

生態系自生原理包含自我組織、自我優勢化、自我調節、自我再生、自我繁殖與自我設計等一系列機制。自生作用與機械系統的最大差別，在於是以生物為主體，生態系的自生作用能維持系統相對穩定的結構、功能和動態的穩定與永續發展理論。

（五）循環再生原理

由於生態系內的小型循環與整體地球的大型循環，相互作用保障了地球上的資源供給；並透過過程轉化、分層多次利用與資源再生循環，使再生資源取之不竭。生態工法主要目的在於依循自然法則，利用自然的自我設計與恢復的能力，在防災與生態間取得平衡。

生態工法目前的發展方向包括 1. 工程對生態的衝擊評估 2. 河川棲地的調查研究 3. 生態基流量的估算 4. 棲地模式的發展 5. 棲地復育工程等。

三、魚類棲地改善

魚類棲地改善是生態工法主要的目標與功能之一，從人類觀點而言，河川環境的經營與管理，係以環境科學和生態保育原理為基礎，應用多學科與相關領域之技術來經營河川資源，並保持其潛勢與物種多樣性，以達永續利用的目的；若由生態觀點而言，應以整體生態平衡為主旨，兼顧河川生態與合理運用。結合兩者觀念，棲地改善應透過適當的環境工程與生態工法等措施，將遭受破壞的棲地復原，並增加棲地的負荷量，以提供多種魚類生育與棲息。河川魚類棲地主要可分為物理性棲地（河道底質與流水型態）、化學性棲地（水質）及生物性棲地。一條河川具有良好的河

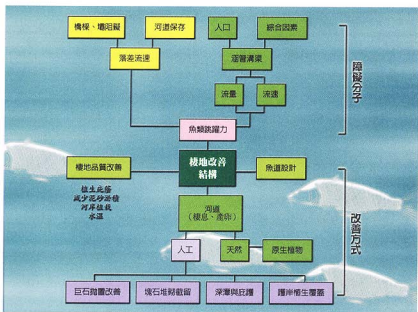


圖 1. 河川魚類棲地環境影響因子與改善關係

道特性，並能提供多變的水流以提供不同魚種利用；近幾年來，台灣地區河川生物資源逐漸枯竭，無法孕育多樣的魚類，與河川棲地遭受人為的破壞有相當大的關聯。

河川魚類棲地的改善，必須瞭解河川物化環境特性、當地保護與利用的標的魚類、食物來源與評估其成本效益後加以規劃設計。河川物理性棲地是由河道特性與流量等兩因素決定，河道特性不佳，無論水質、水文情況如何，都無法增進棲地的容忍量；目前常用的改善

方式包括河岸保護與河道底質的物理性棲地改善工程。基本型式大多分為結構式、非結構式及混合式等三種。非結構式的河道改變，大多是透過挖深潭、拋置塊石來控制水位差，以增加多樣性的水流狀況，有助於不同魚種棲息，淺灘的底床能提供魚類覓食與底棲生物棲息，當一條河川被改善成擁有一定比例的深潭與淺灘時，通常表示棲息間的魚類歧異度會較大。

結構式的魚類棲地改善，具有直接增加魚類生產量及接近自然景觀的優

點；但其缺點為上游泥砂的堆積，會影響結構物的設置目的，一般常見的結構式魚類棲地改善措施有：

（一）設置遮蔽物

運用當地的天然材料提供陰影、阻擋過快的水流並提供魚類避難與棲息地。



圖 2. 在河川魚類棲地設置遮蔽物

（二）安置導流裝置

導流裝置(側堰)目的在增加多樣化流況，改變水流方向與結構，藉由限制溪段寬度以提高流速，用以加寬曲流，形成深潭、淺灘等棲地功能；導流裝置亦有消能並降低河岸沖刷，設計角度在

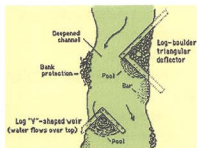


圖 3. 在河川魚類棲地安置導流裝置

$30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，高度低於0.5 m，以三角形導流側堰堰較佳，可避免洪峰流量對側堰河岸之沖蝕。

（三）護岸設施

運用岩石置放於河床與河岸基部，用以保護沖蝕嚴重的河岸，岩石的縫隙會積聚泥土，進而植物根系生長，使河岸結構更加穩固；水中的石塊縫隙提供小型甲殼類、無脊椎動物、水棲昆蟲或幼魚棲息。

在進行魚類棲地改善工程時，必須注意選取地點，以免造成干擾或傷害現存原生種魚類生存；且應先進行集水區與河川之環境生態調查，並妥善做好集水區之經營管理措施。在進行可行性評

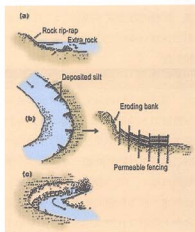


圖 4. 河川魚類棲地之護岸設施

表 1. 魚道形式選定上應注意事項

| 類別 | 魚道形式 | 水位變動 | 其他事項 |
|--------|------|------------|-------------|
| 水池型 | 階段式 | 流速、流量均變化 | 不安定性探討 |
| | 潛孔式 | 流速、流量均不變 | 低流速、需陡坡 |
| | 豎縫式 | 流速不變、流量依比例 | 低流速、需陡坡 |
| 水路 | 緩坡迂迴 | 流速、流量均變化 | 流量、流速預測精度 |
| | 緩衝斜坡 | 流速、流量均變化 | 流況的預測精度 |
| | 導流槽式 | 流速、流量均變化 | 低流速、需陡坡 |
| | 丹尼爾 | | 流量、流速預測精度 |
| | 標準型 | 流速、流量均變化 | 底部低流速，表面高流速 |
| | 陡通式 | 流速、流量均變化 | 底部低流速，表面低流 |
| 閘門型與其他 | 涵管式 | 依內部構造而異 | 速依流速、需陡坡 |
| | 閘門型 | 無關係 | 需特別操作 |
| | 升降式 | 無關係 | 需特別操作 |
| | 抽魚式 | 無關係 | 需特別操作 |
| | 葡萄式 | 無關係 | 需特別操作 |

估時，應考量河道型態、河床、河岸穩定性、魚類生存之最小生態基流量、保育對象及其棲地的生態特性等，同時應考慮工程結構物所能承受的沖刷、淤積量、結構的經濟成本效益、以及河川能否回復原有多樣性的流水型態以提供魚類生存。

四、魚道設計

魚道是人類為保育魚類資源與生態所設置的水路或設施，魚道不僅為魚類逆水上游或順水下流之狹義的魚梯或水路之構造本身設計問題，應廣義的考慮整體河系上、中下游的自然生態環境。近年來，在水資源開發與生態保育兼顧之下，魚道設計變成是進行河川整治工程時必須考量的項目之一；魚道可依使

用目的、水理、形狀及設置場所分類之。

(一) 依使用目的分類

1. 溯上用魚道

專供魚類逆流而上用。

2. 降下用魚道

專供魚類順流而下用。

3. 採捕用魚道

在河川上游處設網捕採特種魚類，並在特殊地方放流。

4. 選別用魚道

選擇特殊魚類才能通過的階段式魚道。

5. 觀察用魚道

設在現場或試驗室內供觀察實驗用。

（二）依水力分類

1. 水池型魚道

在魚道設多數的隔牆成台階式的水池，缺口可設成階段式、潛孔式或豎縫式。

2. 水路式魚道

除了入水口與中途休息用水池外，並無水池的魚道，一般常見的有導流式及緩衝斜坡（使用塊石堆砌或混凝土澆置）、丹尼爾式與坡紋涵管。雖有緩坡式迂迴魚道，但佔地廣闊一般地形並不適宜。

3. 閘門式魚道

在低壩與堰間設閘門以調節水位，使魚類能上下之設備。

4. 升降式魚道

設升降水槽游水壩下方將魚類送到水壩上游，一般成本較高，不符合經濟效益所以較少採用。

河川的魚道設置，對迴游性魚類具有重要的生態保育功能；但多年來以台灣的經驗為例，魚道興建與維護成本均高，其成效時常不佳。因此，魚道設計時常與攔水堰及防砂壩一起興建，其興建時應考慮當地河川棲息地中是否具有迴游習性的特殊魚種，並顧及工程技術與經費之考量，一般魚道的位置選定需考慮：

1. 設置河川應有穩定之水文狀況及常流之生態基流量。

2. 魚道的集魚效果，設置河段需有迴游習性與能力之原生種魚類。

3. 魚道設置河段之地質狀況，特別是土砂堆積與泥砂輸送等問題，避免發生河道變遷與淤積的狀況。

4. 魚道設計的出入口位置、寬度、坡度、方向、長度、誘導水量及流速等，都要能方便魚類迴游。

5. 應有永續營造與維護的觀念。

五、個案分析

（一）小礮溪整治工程

小礮溪位於宜蘭縣礁溪鄉崙寮村，屬於羅東林區管理處所轄宜蘭事業區第32林班，集水區面積為377.17ha，小礮溪的整治工程是林務局八十七年度東部地區治山防災計劃中的一部分，主要是以生態保育的理念，採行生態工法設計，其構造包括固床工與砌石護岸、防砂壩（包括魚道及保護魚道結構的舌部構造）總經費6,622,830元。在歷經了數個颱風後，防砂壩主體與魚道仍呈現滿流量豐沛、砌石護岸植生覆蓋良好；但在固床工部分，由於上游崩塌地面積過大，造成土石大量流入河道，產生淤積狀態，使固床工主要功能大大減低，且有部分破壞跡象。



圖 5. 魚道需流狀況

小礁溪上游仍在施作防砂壩工程，運用造型模板來美化混凝土表面；但似乎沒有考慮到某些吸附式魚類的迴游情況，防砂壩應該將壩體表面粗糙化，即可提供吸附的表層，若刻意尋求造型與美化景觀，則無法表現出保育當地原生生態的感覺。

施工工地旁的大規模崩塌地，仍不斷有湧水發生，造成現場施工的不便，對工作人員的產生威脅；且不斷提供下游端土砂的來源，形成治理上的不便，也易在颱風季節發生二次災害，而針對崩塌地可採行的治理方式有：

1. 鋪網噴植與種子直接噴植
2. 打萌芽椿與編柵
3. 坡頂排水與坡面排水
4. 袋苗客土穴植法

5. 人工條狀撒播

以上述引導原生植物入侵的先期工程，且施工較具生態性的植生工程方式；若能將崩塌地加以穩定後再進行防砂壩工程，或許能提高防砂壩的功能且保障現場施工人員的安全。生態工法主要目的在於

提昇當地原生物種的數量與多樣性，並對景觀綠美化，營造親水環境。小礁溪生態工法施作至今，其成效已逐漸明顯，兩岸的植生覆蓋良好，塊石堆砌的縫中也有植物入侵生長，也能提供當地居民休閒遊憩；但由於水量並不豐富，所以無法看出是否能提供魚類遮蔽與食物來源，對當地生態性有否提昇仍有待進一步的調查，而象神颱風所造成的土砂堆積，也應予以移除或再利用，以免阻礙水流增加泥砂含量，而使河川生態遭受破壞。

(二) 仁澤溫泉 - 多望溪魚道工程

仁澤溫泉位於宜蘭縣大同鄉土場村，海拔約 520m，舊稱「鳩潭」，又稱「燒水」，以地熱聞名，溫泉為弱鹼性的碳酸鈣泉，水溫可達 140℃，溫泉來源為

多望溪上游，植物相以常綠闊葉林為主，為羅東林管處太平山森林遊樂區之一部分。由於多望溪土砂量相當豐富，需設置連續的防砂壩以攔阻土砂；但一連串的防砂壩阻礙魚群溯流，且工程施工影響範圍包括水文、水質和生物棲地環境等，在河川中興建水利工程設施會引發相關問題包含：

1. 河道穩定與防洪安全性。
2. 水域生態和濱岸生態問題。
3. 河川景觀及綠美化問題。
4. 工程用地與行水區土地利用型態問題。
5. 下水水資源利用問題。

90年2月，羅東林管處在多望溪上游處設置了一段新型的魚骨式魚道，主要目的在於增加上下游魚群的迴溯狀況，避免因封閉的生育環境而使魚群近親繁殖，造成基因劣化而使魚種及數目減少。魚道設計本身應考量到標的魚種之習性與河域水文、地文條件差異，目前台灣地區魚道設計的困難處在於河川魚類分布的資料不足，其游泳習性與能力的資料尚待建立，且台灣地區河川大多坡陡流短，泥砂及土石量豐富，對於亞熱帶地區以蝦虎魚科、小型鯉科等河海與內河迴游性魚類為主的河川而言，設計的構造能否發揮功能，則仍有待調

查。

在河床粒徑較小、磨蝕力較低之河川野溪，可將壩體下游面設置為1/5~1/10之變坡流水面，供各類水生生物依其自身能力加以運用；在土石來源較多或有磨蝕顧慮之河段，則可將溢洪口加設較原河床深知槽狀缺口，構築成穿透性壩方式，提供一個無阻斷之河道，使魚類或其他水生生物順利通過。

六、結論與建議

(一) 魚道的設計應考量當地迴游魚類的游水速度，游水速度分為巡航速度與突進速度，巡航速度為魚類長時間能繼續游水之速度，而突進速度為魚類瞬間所出之最大速度。魚道設計若坡度過陡，造成流速過快，魚類突進能力不足無法迴溯；且流量應予控制，使魚類能在短時間內容易且能安全上游。一般而言，魚道設計不宜過長，應有水流平緩的休息區域，並對魚道的水理計算應加以考量。

(二) 魚道最好設置在河川主要側，上游魚道入口水深應有30 cm以上，易於取水，使魚類能夠游行，並應避免土石淤積及堵塞。下游入口宜與河川平行，或成40°~60°，如河川大且流量豐富，則經過魚道的流量過小則很難誘導魚類游至魚道入口，因此需要有誘導水

量，國外設計一般在河川流量的1~5%；但在台灣河川小且流量不穩，應有更進一步的流量資料，以發揮魚道的集魚效果。仁澤溫泉魚道的設置大多符合魚道設置的基本要求，但魚道本身的集魚效果仍有待觀察，建議應利用設置的觀察箱進行魚類回溯的調查，並針對流量、水位、流速的水理設計加以觀測，以瞭解魚道的水理特性。

(三)經實地觀察後，以魚類棲地改善方面而言，生態工法本身的確有效果，兩岸砌石護岸的植生遮蔽良好，能提供水棲生物充足的養分來源與降低水溫，而塊石堆積的固床工也能營造不同的水流環境與底床性質，提供不同魚種棲息；但生態系經營應是全面性的，在河川的上、下游部分都應兼顧到魚類迴游及水棲生物的活動特性的，避免形成一封閉的群聚社會。生態工法應該避免在施工過程中對週遭環境造成破壞，對工作現場應加以管理與掌控，盡量維持原本的地表狀況與植生物種。

(四)生態工法的規劃設計除須考慮排洪安全外，更應同時注重環境的調和及生態復育，以達保護溪流生態為目標。國內對於生態工法理論探討或生態衝擊調查評估尚在起步階段；但工程界及民眾相當能夠接受生態工法的理念及

做法，由於缺乏相關研究與規範手冊引導，以致進行相當緩慢，甚至在施工過程中易常造成當地環境與原生生態的嚴重衝擊，而得到相反效果。在從事河川水利工程時，應跳脫傳統之工程思考方式，除考量結構物安全外，並應就生態學觀點來考慮工程施作對當地生態所造成的衝擊，並藉由規範手冊使衝擊減至最低，以回復溪流原有之動態生命力。

(五)為使生態工法設計符合生態之理念與需求，建議應瞭解設計之要求及相關理論依據，並深入探討本土溪流生物之生態特性，河川基本地形型態與週遭環境之相關性；另一方面也須運用生物指標的監測，提供具生態考量之工程設計參數，融入工程設計中，並對工程執行適當之追蹤調整與修正，使工程施工能兼顧生態環境，以順利推行生態工法，達到安全排洪、調和景觀、維護生態、回復自然溪流生命力之境界。

(六)仁澤溫泉的魚道設計，應可對當地地形型態配置部分生態工法的相關設施，考慮親水設施，在水質、環境許可下營造親水環境，讓當地遊客易於接近。利用生態系的自我回復及設計觀念，使魚類棲地改善，進而使生態工法觀念能落實，以充分達到教育與推廣的目的。(參考文獻請逕洽作者) 