

近自然生態工法之設計原理與應用

圖、文：李錦育／屏東科技大學水土保持系教授

爲了人類良好的生活品質，同時能保護天然環境的利用與貢獻，近自然生態工法的出現，是反映傳統工程實行過程的進步；人類是不可分割或獨立於自然系統之外的生命體，全球人口的成長與消耗資源，都會逐漸對全球生態系產生破壞的壓力。近自然生態工法是設計永續性的系統，考量生態原理，並整合人類社會與自然環境間的共通利益。有機物與其生存環境的關係，設計時複雜的變化與不確定的強制過程，將會對自然系統產生壓迫行為，成功的近自然生態工法，需要與生態原理相調和的設計方法論。茲定義五個設計原理，來管理這些實行中的近自然生態工法，這些原理包括：設計與生態原理相調和、設計的位置與空間環境、維持設計的操作條件各自獨立、能量與資料的設計效益及瞭解設計動機的价值與目的。

近年來，台灣溪流整治工法逐漸嘗試不同方式，亦考量當地生態環境及水中生物棲息，在許多案例中，有些堆石護岸工法，雖然已達到生態保育目的，但是經過雨季或颱風季節後，造成嚴重冲刷破壞；因此，有些地區如攻擊坡，需要工程結構治理抵抗水流衝擊；另一方面，水流較為穩定時，運用近自然工法將是可行。所以在溪流整治時，必須充分瞭解溪流特性，並且經過謹慎評估後，以最佳施工方法及生態觀念相結合，建立適合台灣溪流之近自然生態工法。

一、前言

台灣本島雖然河川眾（129多條重要河川區分為：21條主要河川、27條次要河川及81條普通河川；發源於中央山脈，獨流入海的大小河川總計達401條之多，其中長度在0.5km以上的河流有395條，主流長4km及流域面積大於10km有105條），但水流短急、洪枯比值極大，主要在數十公里之內及流長末有超過200km者；再加上地勢高峻、且地質易碎，經過暴雨侵襲將大量土砂帶至下游，導致溪水混濁及河道蜿蜒曲折，呈現溪流河道不穩定現象。因為溪流長期受到季節性降雨而有明顯的豐枯水期，以致於影響溪流生物的生育或遷徙，尤其上游生態因枯豐水期河道環境變遷，造成不同水域型態及微棲地，自然表現出明顯有交替的生態演變；另一方面，下游生物棲息環境較上游穩定，然而受到下游城鄉發展的影響甚鉅。此外，台灣溪流生態原是由上游高山森林、中游丘陵平地及下游河口濕地，形成連續性的上下游生態演替，將受到內在環境因子（林木覆蓋、海拔高度、河川等級、河床坡度及質地、粒徑分布、流量大小、水質變化、生物交互作用、能量來源）與外在自然（降雨量、降雨強度、降雨延時）與人文環境壓力（人口成長、土地不當使用等）的影響。在維持人類社會本身時，需要一些能保護並提高生態系



功能的設計方式，以用於長遠保存生態系並持續提供人類所需的資源。由於國人對生態保護意識高漲，將改變過去缺乏生態觀念之整治工法，把生態觀念與工程結合，有助於溪流的环境保育，而台灣目前屬於嘗試階段，亦缺乏合適之技術規範，尚須評估近自然生態工法的成效性，以建立適合台灣溪流之近自然生態工法。

二、近自然生態工法之定義、設計原理與應用範圍

在過去數十年間，已有相關學者專家針對近自然生態工法作出定義，而這些定義是依據不同的措施所決定的。近自然生態工法名詞本身主要可歸因於Odum所下的定義“人類運用少數補充的能量，來控制系統並進行環境的改造；而這些能量主要仍來自於自然的資源”（Odum, et al., 1963）。Mitsch and Jrgensen（1989）則定義措施為“符合人類社會與自然環境彼此利益的設計”；這定義稍微改善成“設計永續的生態系整合人類社會與自然環境彼此利益”。Mitsch並建議近自然生態工法的目標為恢復人類干擾的生態系，並發展一含有人類與生態價值的永續生態系統；而此定義有數個重要的成分，亦即：（1）施作措施應基於生態科學的基礎；（2）近自然生態工法應有較寬的定義，以包含所有類型的生態系與潛在的人類及生態系間的相互作用；（3）應包括工程設計的概念；（4）應瞭解系統的基本價值。

（一）設計與生態原理相調和

Kangas and Adeys（1996）提出生態系自我組織清楚的過程，且提供試驗單位用以決定近自然生態工法與恢復生態學。生態系的特徵為複雜與多樣化的自我組織，生態系統在時間與空間過程中，為一複雜的架構、多相與混雜、不均勻的出現與間斷的構造，且生態系不只作用在單一穩定的平衡上。永續生態系統最大的作用空間，需要為接近一單獨平衡點的設計措施，Helling（1996）研究指出：生態系統現存的平衡狀況，應包含生態復原的範圍，多樣化系統是較具生態復原且會持續演進，多樣化能藉由物種的多寡、物種內的基因變異性與作用上的多樣性來清楚表示；設計包含生態特性的系統，應脫離一般工程措施，率願設計的較為生態性，也不利用工程復原方法，並給予系統多樣性、複雜性、自我組織與充分發展與演替，使設計能類似生態系，並利用相同且合適的措施持續作用。

（二）設計的位置與空間環境

自然系統複雜與多樣化，提供較高程度的空間變異性，當生態特性作一般應用的討論時，每一個系統與所在區域都不同；而標準的設計應包含地景，但不考慮會耗費更多能量來維持的單一空間生態，對空間的概念能提供更完整的設計。生態設計考慮上游對下游的影響，在上游地區，我們必需考量什麼是重要的資源？該如何適當的增加與維持？在下游，則需考慮設計環境的明確位置與其對空間所造成的衝擊。在增加設計的物理性條件方面，教育知識的背景非常的重要；當設計過程中，考慮到居住的人民時，設計應

被當地社區所認可，並允許居民共同參與規劃其環境空間，以達社區總體營造的目標。

(三) 維持設計的操作條件各自獨立

儘管考慮現實的狀況，複雜的生態系統往往增加了設計過程中的不確定性，然而我們希望的解決方法是容易且可操作。操作條件是一特別的功能，並希望在設計中能予以解釋；而設計參數則是用於解決操作條件的物理性組成份子。最佳的計畫應包含獨立的操作條件與一個設計參數來解決每一個操作條件；當修正一個設計參數時會影響不只一個操作條件，此計畫將能聯合作用，且寬廣的容受力能允許系統擁有一較大的操作範圍；這也是設計時採用生態復原，而非工程復原另一個重要的條件，因為一般在工程復原設計時，通常採用較嚴苛的容受力。生態系統是由複雜的組成份子互相連結而成，我們不能混淆生態系統功能計畫的操作條件，生態系統能單獨作用且提供社區所需，若我們維持操作條件在解決過程中不互相連結，則更有可能達成計畫。

(四) 能量與資料的設計效益

充分發揮生態系統自我組織的優點，使自然從事工程方法時，在自然資源中流通的最大能量（陽光）進入設計系統中；相反地，在創造與維持系統中只有最小的能量消耗（石油、水力來源等）。在利用這些流動能量時，都應考慮到輸出的干擾，確定在下游部分沒有能量的需求，並維持最小的負面衝擊。類似能量的流動，其設計通則為：設計中應有最小的資料量，能運用最少的資料來描述原理與想法，或讓設計簡單且能成功；

當我們與自然合作，並允許系統自我組織時，這需要最少的能量與資料來供給並維持計畫。寬廣的容受力只需較少的資料，在河川復原實例中，輸入高能量用於控制系統架構與作用，是達不到生態復原的目標。

(五) 瞭解設計動機的價值與目的

近自然生態工法的定義在先前曾予以說明，但大多數的工程慣例都以保護文明為主，我們明白應該放寬保護以包含供應生活所需的自然系統；不管怎樣特殊的型態，計畫執行應瞭解引發動機的價值與目的，這樣才能成功。就生態設計在價值上的變化而言，大多以風險與不確定性的反應為主。Herman（1996）推薦採用預警研究，能對未來發生不穩定的破壞扮演一較保險的預知，為避免發生失敗，設計應針對安全性進行追蹤，不及格的安全性，能瞭解是設計當初的操作條件未能符合，或是突然造成的結果。

我將近自然生態工法定義的較為廣泛，並在幾個問題區域提倡它的應用，而這些保護的應用範圍，應包括：

1. 生態系統的設計（生態技術）。為了滿足多樣化的人類需求，而必須在人為能量集中的方式作一取舍。
2. 毀壞的生態系復原，並減少發展的行為。
3. 經營、利用與保育自然資源。
4. 在建構的環境中維持社會與生態間的完整性。

近生態工法是唯一能達到上述幾點的方法，生態恢復與緩和發展一般都屬於恢復生態學的範圍，近自然生態工法能提供正確的



架構（設計）方式，並用於增加這些功能，在生態恢復利用這些設計過程，將能增進學習並改善未來的問題。近自然生態工法的目標，乃在於應維護社會的完整與供應環境間較佳的平衡，在某個區域發生密集的污染時，區域性的生態系統可能會被破壞，當設計包含生態與工程時，我們必需增加所謂「綠」的都市環境，使建構的環境中能提供更多物種與自然間聯絡的管道。

三、河川治理規劃之檢討

國內河川整治大都偏重於水利工程構造物之處理，較少考量生態因素，以致於對原棲地之河川生物造成不利的影響；根據國外的河川治理經驗指出，以防洪為目的之河川渠道化工程本身並未具預防洪水之能力，僅有利於將上游之洪水快速疏導至下游，而河川治本之道，乃在於集水區水土保持之治理，與保護具有防洪能力的自然棲地環境。

水資源之運用必須合理的加以效率管理與調配，並充分瞭解水資源為一種有限的自然資源，水資源的運用，將不再是單純「利水」事業的經營，而是由取之於河川的思維，轉變成回歸於河川水文循環。而早期河川防洪主要目標，在防止河道氾濫，治理規劃以築堤束洪為主要手段；未來的河川流域整體治理規劃，必須同時考量河川上、中、下游之整治，通盤檢討流域整體淹水及積水之原因，改變以往水土分治、主流支分別治理之作法，由前述可知：台灣的自然地形環境與地質條件特殊，上游集水區多屬不穩定的脆弱地質，地表容易崩塌下移，而傳統水利工

法或河川整治，則較偏重水利工程處理，如防砂壩、潛壩、丁壩、固床工及擋土牆設施等，皆構築大量的鋼筋混凝土，以強調其安全性及耐久性，卻較少考量生態環境因素所造成的衝擊，諸如：（1）棲地島嶼化與阻隔通路：生物隨著生活史發育，對棲息地品質要求也有所不同，若往來上、下游水域或濕地間的通路被阻隔，不利生物多樣性的維繫，且中斷生物的族群動態及生活史，如族群年齡組成、數量、生活史及在該分佈區內魚類相的獨特性；（2）單一化棲地：溪流截彎取直後，原來多樣性的棲息環境，如深潭區與急流區的交錯，且溪流蜿蜒的風貌，亦隨之消失；（3）不利生息之護岸材質：水利與防洪工程中，一般仍以混凝土作為護岸的主要材質，卻難免破壞生活於濱溪水路交界處的生物棲地環境；（4）改變水溫：溪流形態、暴露於陽光照射下的水面積與水量的改變都會影響水溫的變化；（5）搬運泥沙：溪流內流量的減少，會降低泥沙搬運能力、破壞河道之淤積平衡；（6）改變流量：水量減少後，棲地物化環境對濱岸帶環境不同的生物產生鉅大的影響；（7）增加曝氣量：人工設施可能造成部分區段水體曝氣過度，使水生生物容易得到「氣泡病」。

因此在治山防洪與生態保育間應有一最佳平衡點，近自然生態工法是減輕人為活動對溪流的壓力，維護溪流生態生物多樣性與生態系統平衡，並恢復自然環境的一種最佳管理措施。根據研究指出，有關溪流環境整治的基本要點，茲分述如下：

1. 地區性物種及脈動的情形是近自然生態工

法的首要思考方向，目標物種的生活習性、水資源環境保護、植生復舊、水流流速及流量等因素。

2. 溪流河道改善，避免過度截彎取直，造成下游強烈的沖蝕與洪患，維持及保存原有的自然蜿蜒，以減緩流速，達到多樣性的環境。例如：深潭、淺灘、離岸緩流、小溪溝、潟湖及濕地等多樣性的水邊環境是生物棲息的最佳場所。
3. 護岸所採用的工法，須考量當地河川水理特性、河床坡度及土地利用現況，以營造出最適合生物生存環境及多孔隙的自然景觀，並考量兩棲類動物的特性與其活動路徑。
4. 溪流地的利用應減少硬鋪面，增加可生長

要有充分的時間及適當的保護，將可使自然的原生植被重新穩固被破壞的河岸。

6. 溪流生態環境的調查，必須長期監測，以免以偏概全，導致判斷錯誤。

四、近自然生態工法的應用

為創造一個適合生物生長的多樣性溪流，因此溪流治理之重點，乃在於增加生物的歧異度，且必須從溪流平面及其縱、橫斷面形式的配置上，予以充分的整體考量。

(一) 護岸種類

1. 塊石乾砌工：施作於斜坡底之矮牆（一般高度小於3m），外觀具天然之型態，其石縫則有利於動、植物生存，並符合近自然生態工法之精神（如圖1）。

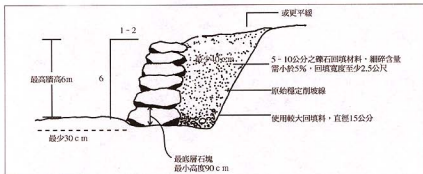


圖1. 塊石乾砌工

植物的土壤面積，若需設計必要的硬鋪面，則應採透水性的自然材料，以儘量保存河溪自然原貌。

5. 保護溪流生態中的原生植物與植被型態，儘可能增加綠覆率。復育河岸的自然植被，是穩固河岸最經濟及永續的方法，只

2. 蛇籠綠化工：將蛇籠於編成六角狀之鉛絲籠，並於其中填入石塊之工法，而在蛇籠間可以發芽根之活枝條栽入，除可美化景觀外，樹木之遮陰效果，將有利於生物之棲息及降低水溫；而其根系之發展，更可使蛇籠結構與背填土緊密結合，以穩定邊坡。

- 3.塊石護岸：創造大量的孔隙，石縫內可提供植物入侵或做為水岸動物棲息場所，達到自然生態的環境綠化效果。
- 4.拋石護岸：適用於較緩地區，河岸穩定性良好，在拋石與現地土壤間，鋪設一層碎石級配料加以隔絕，以避免淘空（如圖2）。

- 6.抗沖蝕網配合植生：將包覆在土壤中的植物種子，能與土壤和水分接觸而持續生長，重新復育原有的植被；正確的溪流護岸施工方法，將溪流生態藉由人為工法而得以迅速完成復育。
- 7.拋石（砌基）工：是一種運用塊石放於溪流基部，用以保護河岸的常見手法，與蛇

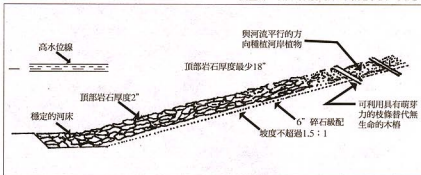


圖2. 岩石拋置示意圖

- 5.抗沖蝕網：係一種自然（如稻草、麻等）或合成纖維製成的織布或不織布，具有較高之撓曲性，可用來保護河岸土壤避免沖蝕（如圖3）。

籠極為相近。

- 8.木框格牆上加植栽：以木樁框形成穩定護岸的格牆，並在木樁框間回填土壤，栽植樹木予以綠化。
- 9.打樁編柵：適用於溪流水位變動大或沖蝕

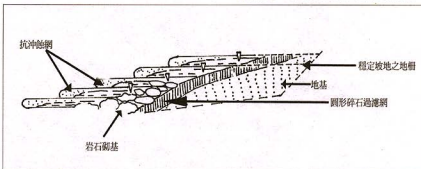


圖3. 抗沖蝕網

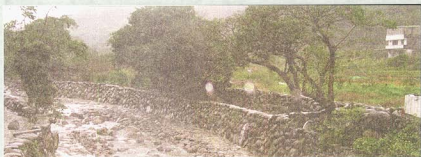
嚴重地區，以木樁間編織枝條，來抵抗較大之水流衝擊；若氣候條件適合，則枝條充分萌芽綠化將與周遭自然環境融合為一。

(二)固床工

- 1.石樑固床工：以大型天然石塊構築河床中之橫向構造物，設計時應避免全断面阻絕，應留有高低之水流路，以利水生生物遷移（如照片1）。



照片1. 石樑固床工



照片2. 河床拋石



照片3. 潛堰



照片4. 原木潛壩



照片5. 低矮之連續性潛壩

- 2.河床拋石：於河道中將阻流石不規則分佈於河床，改變水流流向，以減低水流速度（如照片2）。
- 3.潛壩：以新鮮的檜、柳的枝條編於木樁之間，而以河道中央的部分較低作為壅口；且枝條須向下游延伸，以構成一平台，避免下游受到水流衝擊（如照片3）。
- 4.圓木潛壩：將圓木埋設於溪床兩岸，可於單獨大圓木或堆疊組成，低流量時，水流可由圓木間孔隙流出；在高流量時，水流便可以階梯形式由壩頂溢出，可降低水流流速（如照片4）。

- 5.低矮之連續性潛壩：於溪流小斷面，坡度大之上游山谷或山溝，為避免水流急流而下，對河床及坡趾之冲刷，可置連續性之低壩（如照片5）。

6.河岸植物應具備條件

- (1) 支根多而密：可以提供良好之主體支持與河岸土砂之吸附固著效果（如圖4）。
- (2) 生長快速、樹性強健：可以在短時間內達到綠化與河岸邊波穩定效果（如照片6）。
- (3) 耐水浸泡：短期內浸泡於洪水中，不致受到傷害或死亡。
- (4) 少病蟲害、適應性強、樹型潔淨：以減

少管理及維護之困難。

- (5) 餌食與蜜源植物：在植物種類可以選擇之條件下，儘可能使用餌食與蜜源植物，以增加動物之食源與棲息環境。



圖4. 濱岸林



照片6. 良好濱岸林

五、溪流整治個案分析

(一) 調查地點

1. 北部：基隆市友蚋溪、台北市虎山溪、內湖大溝溪及台北縣大屯溪。
2. 中部：台中市梅川。
3. 南部：屏東縣新埤鄉建功村森林親水園。
4. 2東部：宜蘭縣礁溪鄉龜崙村小礁溪。

(二) 整治項目

1. 岸種類複式断面、護岸坡面、卵石漿砌工、塊石漿砌工、塊石乾砌工、蛇籠護岸、造型模板工、親水護岸及內襯式混凝土工。
2. 固床工自然拋石、封底工法、不封底工法

及封底面鋪石。

3. 生態考量調查棲地生態、改善棲地措施及確保水質。
4. 植生景觀區綠美化、護岸断面植栽、護岸塊石穴植及河岸綠美化。

(三) 分析探討

1. 北部

(1) 基隆市友蚋溪

採用自然塊石堆砌而成的緩坡護岸，提供植物及水岸動物棲息環境，並減少運用混凝土擋土牆及護岸，考慮溪流生態環境與工程結合（如照片7）。而其下游段，則因流量穩定，溪岸較無沖蝕情形，大部分保留其自然狀況；中游段為自然塊石堆砌護岸，保有多孔隙以提供山水柳、野桐、五節芒、孟仁草和蕨類等植物入侵，並配置蛇籠以增加護岸之安全性（如照片8）。

(2) 台北市內湖大溝溪

採用不封底式固床工，有利於地下水補



照片7. 自然塊石堆砌護岸



照片8. 蛇籠護岸

注，溪床設置魚礁及考慮魚類躲避處，而跌

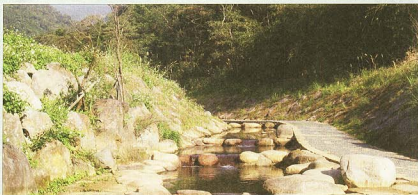
水工不僅具有消能、防止縱向沖蝕、穩定河床等功能外，更增加水中含氧量，以利於水中生物生存（如照片9）。固床工結合魚道理念，模仿天然魚道形式，有利於魚類通行，並以拋石工法創造近自然棲底環境，如深潭、淺灘及急流等溪流型態（如照片10）。在護岸斷面上栽植矮莖綠美化植物，以綠化渠道及社區環境，供鄰近居民觀賞。

（3）台北市虎山溪

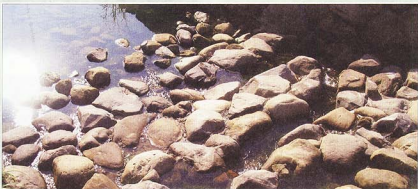
工程項目配置有潛壩、梯形跌水工、淨水池、防砂壩、砌石固床工、水潭、戲水平台及木長廊等，砌石護岸有利於動植物之附著生長，原隙縫栽植鳳仙花、九重葛、腎蕨、筆筒樹等植物；並以原石疊砌之固床工分段蓄水、增加地下水補注，而由不同水深營造出多樣性棲水環境（如照片11-12）。

（4）台北縣大屯溪

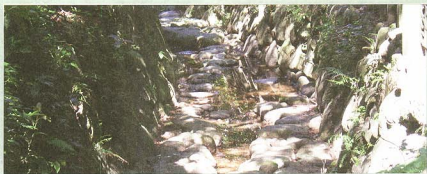
大屯溪位於台北縣，發源自大屯山系的小



照片9. 不封底式固床工



照片10. 固床工結合魚道功能



照片11. 自然塊石之護岸有利植物生長



照片12. 防砂壩

觀音山（海拔1,066m）與菜公坑山（海拔877m），流經石槽坑、三角埔子、草尾埔及大屯橋，而於北海岸流入東海。大屯溪由東南向西北，流經三芝鄉與淡水鎮，全長14.5km，河床平均坡降約7.5%。大屯溪的流域面積約15.7km²，為台灣北海岸大屯山系獨流入海的縣管河川，為淡水鎮第二大河川（如照片13）。為了保有大屯溪自然溪流景觀及發揮濱岸林功能，濱岸林可提供遮陰效果，降低溪流水溫，然而水溫升高以後，也非常不利於這些魚蝦的生存，所以保

留濱岸林，如百年茄苳等。有些水中的生物，需要植被的落葉來作為食物，也是食物鏈的一環，但施作水泥護岸後，將對整個生態保育工作，產生非常不良的影響；另一方面，為了溪中的迴游魚類，亦設置了魚道（如照片14）。

2.中部

梅川河岸空間景觀綠化位於台中市文化中心及美術館，讓梅川重回自然之模樣，同時與藝術文化相結合，將文化中心、美術館及園道之休閒空間作完整串連結，重現都市

藍帶與綠帶為設計構想；改善成為具有親水、遊戲、休閒等活動功能之河岸空間，加強地區之文化意象，使其兼具文化（以龍為



照片13. 保留濱岸林



照片14. 大屯溪下游設置魚道

主題之意象設計以及文化牆面）、社交及教育（生態解說、綠化）之功能。打破原有U型排水溝護岸與欄杆，以降低整體坡度和塑造自然之河道空間，為避免空間改善後之河道遭受冲刷，採用預鑄混凝土連鎖板塊予以保護河床及河岸，板塊上設計預留孔使能夠種植水生植物，並能藉由其過濾水質，而亦可增加透水性予以補充地下水。在河道上游則設計沈沙池、粗細網目標欄網、木炭放置籠以及河道噴泉，藉著沈沙、過濾、除臭及曝氣

之步驟，以物理方式達到都市水質初步淨化之目的（如照片15-16）。

3.南部

屏東縣新埤鄉建功村森林親水公園，地勢



照片15. 梅川河岸空間景觀綠化



照片16. 河道中創造小島，提供水生生物棲息環境

低窪平坦，面積約為23ha，規劃區內擁有四處湧泉（如照片17），並列為水源涵養保安林，而景觀池區邊緣與池底的變化性包含坡度很緩的堤岸設計，有不同的深度及生長行為的原生的濕地植被，草類及灌木叢，對棲息地的創造是相當的重要。

4.東部

小礁溪位於宜蘭縣礁溪鄉施厝村，屬於羅東林區管處所轄宜蘭事業區第32林班，集水區面積為377.2ha。由於早期開發甚早，區內整果園遍佈，對於水土保持保育工作未



照片17. 天然湧泉



照片18. 砌石護岸

被重視，導致嚴重山崩；而在2000年11月的象神颱風，並有大量伏流水滲出，對於岩壁之穩定造成相當大的影響，產生大量土石堆積山谷，洪水氾濫造成嚴重災害。小礮溪主要以階段式開口固床工並且表面砌石，護岸採用內襯式混凝土砌石，防砂壩採用複式溢



照片19. 塊石漿砌固床工

洪口斷面，魚道懸掛於壩體下游面，沿壩體面「Z」字型迂迴上升（如照片18-19）。

六、結論

台灣近年來，溪流整治工法將逐漸嘗試不同方式，亦考量當地生態環境及水中生物棲息，如台北市許多整治案例，不僅考慮安全性，更發揮溪流的遊憩功能、供居民親近溪流機會。改變過去將溪流以排水溝方式整治，溝渠化所造成景觀不協調及人們無法親近，同時嚴重破壞溪流生態，如濱岸林、棲底生物或魚類生存等。近自然生態工法是未來必行之趨勢，台灣目前成功案例並不多，此時嘗試階段，從錯誤中學習經驗，大部分引用國外方式，所以台灣溪流整治方式迫切需要以整體性來深入探討，以提供不同溪流環境，實施適合之近自然生態工法。

參考文獻（請逕洽作者）