

河溪自然生態工法之研發

林德貴

國立中興大學水土保持學系

摘要

自然生態工法乃源自於歐洲德國、瑞士及奧地利，近年來正逐步推展至世界各國，台灣在九二一災區重建工程亦大量引入自然生態工法之設計理念。本研究先對「自然生態工法」之歷史沿革與定義予以歸納，再調查台灣中部地區現階段河溪自然生態工法之應用現況，進行功能評估及檢討。最後針對台灣河溪特性，建立自然生態工法之研發流程。

一、前言

台灣早期為了山坡地利用與搶災而必須實施水土保持，但所偏重者多為以安全為主要考量的工程設施，甚少配合生態環境施作。因此，雖然達到保護的目的，但對生態環境造成的影響則所知之有限。目前台灣在河川野溪之自然生態工法設計上，仍須面對許多問題，其中最根本且最欠缺者為生態保育及生態環境之現況與過去基本資料。其結果使參予之相關工程人員，無法適時獲得可供參考的數據，將生態考量一併納入規劃設計中。再者，在建立環境生物指標(bio-indicator)系統方面，諸如指標生物之分類、生態檢測系統之建立、生態指標之分級及環境生態等級量化評估方法之訂定等皆付之闕如。

二、自然生態工法之歷史沿革與定義

自然生態工法乃源自於歐洲德國及瑞士，近年來正逐步推展至世界各國。由表 1 所摘示之重要事件可一覽自然生態工法之歷史沿革及其未來發展的趨勢。另外有關「自然生態工法」之定義及內涵，由於各相關研究之專長領域不同，因此對使用名詞之理論架構、實務工作內涵及研究範疇等之認知差異甚大。目前與自然生態工法有關的理念提出不少，常見的情況是將生態、自然、景觀及親水等不同專業領域混為一體。因此，目前有關自然生態工法之定義、應用及適用範圍尚不明確，但綜合國內外文獻資料，*Ecological Engineering* 一詞之廣義內涵為「對周邊環境保存、維護、永續性利用、復舊及改良所施作的工事，包括生物與非生物材料的應用」；而其狹義內涵應為「取當地之可應用資材，在儘可能不破壞當地生態及環境景觀下，對一般邊坡以及河溪，包括對崩塌地等特殊地所做之整治工程與措施」。下列分別敘述相關名詞之定義及其內涵：

1. 生態工法(Ecological Engineering Method)：

生態工法或生態保育工程原則上應以研究某區域或周邊範圍生態系生物與其環境相關性之基本資料調查為基礎，瞭解生態系內生物與其生存基本要素（如大氣、水、地質、日照、食物鏈等）之相互依存關係，強調生態系結構之穩定、生態系環境之多樣性，以及生物棲息廊道連續性之創造工法為目標，所進行之相關措施及工程。一般而言，溪流生態保育研究或工作人員、國家公園或自然保護區之研究人員，較常使用生態工法之名稱，以符合實際之工程設計或規劃理念。

表 1 自然生態工法發展及重要事件表 (郭清江, 2001)

時間	重 要 事 件
1938	德國 Seifert 首先提出近自然河溪整治的概念
1962	H. T. Odum 首度提及「ecological engineering」一詞
1971	Schlueter 認為近自然治理 (near nature control) 的目標, 首先要滿足人類對河溪利用的要求, 同時要維護或創造河溪的生態多樣性
1983	Bidner 提出河道整治首要考慮河道的水利學特性、地貌學特點與河溪的自然狀況, 作為衡量河道整治與人為活動干預程度的標準
1985	Holzmann 認為生態治理是通過生態治理創造出一個具有各式各樣水流斷面、不同水深及流路的溪流, 把河岸植被視為具有多種小生態環境的多層結構, 強調生態多樣性在生態治理的重要性, 注重工程治理與自然景觀的和諧性
1989	Pabst 把生態治理視為一種工程治理方式, 溪畔僅用帶石塊的原有土壤或純石塊覆蓋, 河岸植被應是自然形成, 其他一切刻意促進植被恢復和改良土壤的措施均應禁止, 溪流的自然特性依靠自然力去恢復
1989	Mitsch 及 Jørgensn 所撰寫「生態工法」(Ecological Engineering) 一書發行
1991	在瑞典的 Trosa 第一次針對生態工法舉辦國際性研討會
1992	Hohmann 從維護河溪生態系平衡的觀點出發, 認為近自然河溪治理是減輕人為活動對河溪的壓力, 維持河溪環境多樣性、物種多樣性及其河溪生態系統平衡, 並逐漸恢復自然狀況的可行性工程措施
1992	科學期刊「 <i>Ecological Engineering</i> 」問世
1993	科討會「US National Academy of Sciences Workshop on Ecological Engineering」在華盛頓 (Washington, DC) 召開
1993	在重要科學期刊 <i>Environmental Sciences and Technology</i> 中, 專題探討生態工法
1993	國際生態工法協會 (International Ecological Engineering Society, TEES) 在荷蘭 Utrecht 成立
1994	環境問題科學委員會 (Scientific Committee on Problems of the Environment, SCOPE) 之「生態工法及生態系復育計畫 (Ecological engineering and ecosystem restoration)」在法國巴黎正式通過
1994	在美國華盛頓由 NAE (National Academy of Engineering) 所舉辦的研討會中, 將生態工法列入重要議題之一, 報告書在 1996 年完成; 此次研討會中定義: 「The design of sustainable ecosystems that integrate human society with its natural environment for the benefit of both」
1994	期刊 <i>Ecological Engineering</i> 與美國土木工程師協會 (ASCE) 之 <i>Environmental Engineering</i> 合併出版權
1995	在瑞典 Standsund 召開生態技術會議
1995	美國生態協會 (Ecological Society of America) 於美國猶他州第一次召開生態工法研討會
1995	第一個 SCOPE 座談會在愛沙尼亞 (Estonia) 的 Tallinn 舉行
1996	在丹麥 Copenhagen 召開之生態高峰會議將生態工法列入生態學新領域中
1996	在國際水理學會 (IAHR) 成為一獨立的部門 (Section)
1996	在中國大陸北京第一次召開遠東地區生態工法研討會

2. 自然工法(Nature-Working Method)：

自然工法在日本稱「近自然的工事」，或「多自然型建設工法」。自然工法除強調工程與環境之調和、綠美化資材之應用，並兼顧生態保育原則下，提供社區休閒遊憩的機會，創造更和諧、更適意的人類與其他生物共存共榮的景象。例如：以當地現有的石材、木材或植物為材料，於混凝土面可配合造型模板、石塊、堆砌或預鑄塊狀體等，柔化工程硬質感並利植生復育，而固床工、跌水工等應視當地魚類迴游、遷徙等生態習性配合魚道設計，增加水體變化、造成深潭水池及增加溶氧量，以利於水中生物之棲息地保育。

3. 台灣對自然生態工法之定義：

公共工程委員會定義「生態工法」為「基於對生態系統深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取生態為基礎，安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成災害。」另外水土保持局定義「自然生態工法」為「廣義而言，是對於環境中各種生態及生物棲息地的尊重，所作的環境保存、維護、永續利用、復舊及改良工程，包括以生物與非生物材料之最適當應用，而達到環境之和諧性。狹義的內涵，則指因地制宜適地適作，採用當地可應用資材，以融合週邊地形自然景觀，減少造成生態環境之衝擊為理念設計，營造生物多樣性生存空間，創造兼具防災及生態復育功能之工程，其基本精神是『以安全為基礎，生態為導向，永續為目標』。

三、自然生態工法生物性評估指標之選定與建立

生態學研究的層次為：個體、生物族群 (biotic population)、生物群聚或群落 (biotic community) 及生態系 (Ecosystem)。其中，生態系指在同一地區生物群聚與非生物環境之組合。生物族群乃棲息在同一地區的同種生物的集合體，而生物群聚則為棲息在同一地區的不同種生物的集合體。在生態受損後採用自然生態工法進行人為復育時，復育之執行準則、介入程度及效果評量皆必須考量生物族群 (或關鍵族群) 之恢復狀況。在此原則下，原有 (或相近的) 生態系的生物族群的基礎資料調查將變得很重要，因為基礎資料將作為復育中生態系恢復程度的對照資料。圖 1 表示生物族群間之關係變化造成生物群聚結構消長變化的互動關係。

1. 生物性指標 (bio-indicator)：

乃是生物在承受週遭環境壓力時，對其組織狀態與反應時間發生變化的一種量測。

2. 指標性生物 (bio-indicator organisms)：

若被量測的生物對不同等級的逆向環境壓力具有可定量的程度性反應，則此生物可作為指標性生物。或是環境的某一特質受其背景因素之長期影響而造成環境中某一類生物族群特別能反應當時環境的時空情境時，該類生物族群即可作為此環境生態系之指標性生物。指標性生物在其所處的環境中，必須是長期存在且具有區域特色，同時對於環境的變化具有可定量的反應，或是相對於其他生物種較能表現環境之變化程度者。

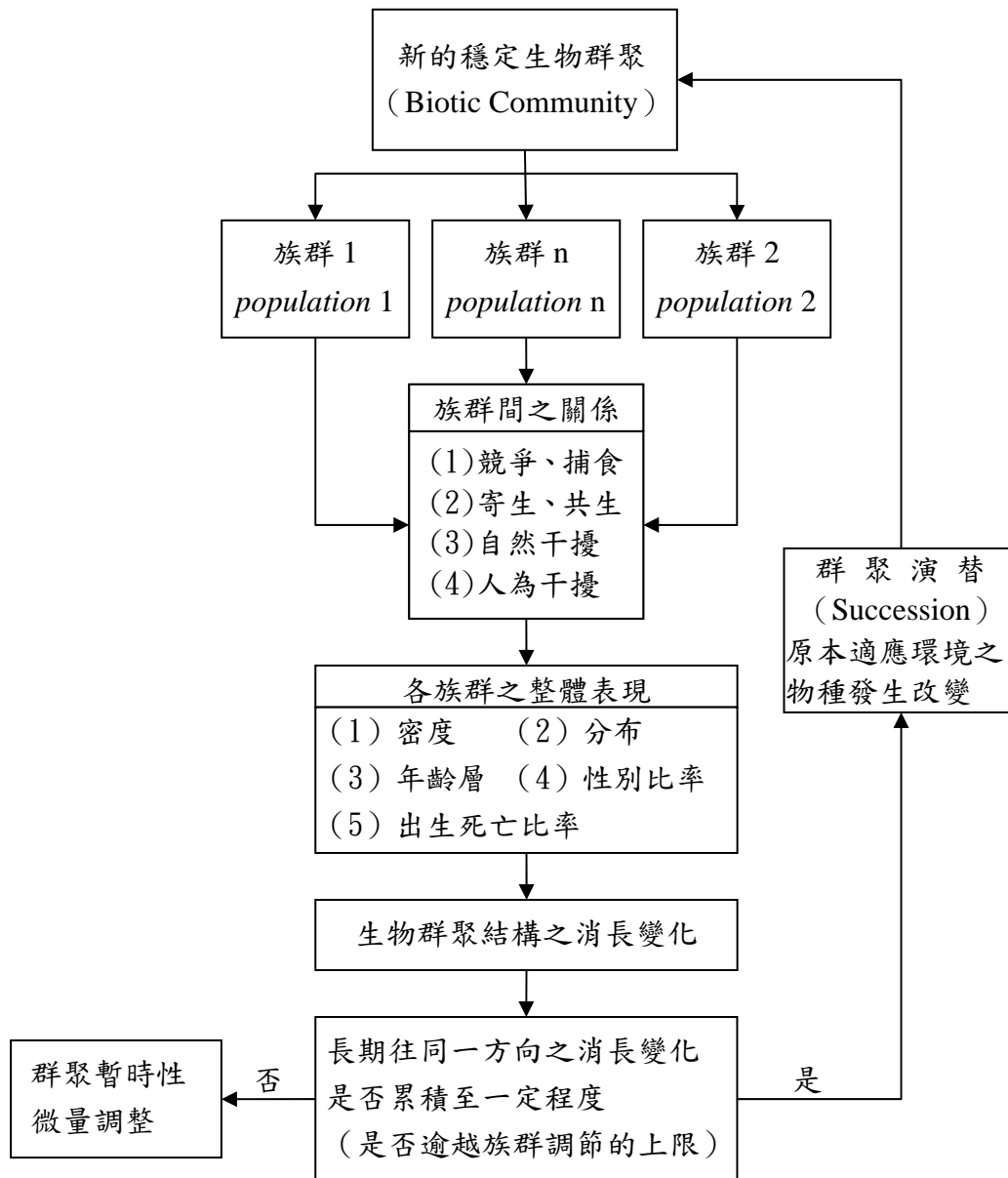


圖 1 生物族群與生物群聚消長的互動關係

3. 生物性指標在特定自然生態工法之應用：

台灣目前利用生物性指標來監測環境，多以指標生物存在與否或族群及群聚的變化程度作為指標，而很少量測族群生理、生化或型態上之反應。依生物性指標之功能性可將指標生物分類如下：

- (1) 生態系指標生物：指示某種原有生態環境的存在（指標性生物應是長存在於該環境之代表性生物種）。
- (2) 環境擾動指標生物：指示某種生態環境改變的程度。
- (3) 環境復育評量指標生物：指示某種生態環境破壞後，恢復的程度。（目前台灣許多補救式生態工法即採用此類型之生物指標作為生態破壞後回復的依據）

四、台灣河溪自然生態工法整理及研發

1. 台灣地區現代工程對河溪造成之生態問題

(1) 河溪渠道化：

截彎取直，將河道寬度與流線規格化，施工後河道斷面與河床坡度改變，流量與流速、輸送與沉積機制亦隨之改變。

(2) 整治工水泥化：

大量採用混凝土造成內面工光滑化及底床封底，影響生物棲息地的自然環境。施工造成懸浮土砂量增加，水質濁度改變。

(3) 河道高灘地景觀遊憩化：

佔用生物棲息地、消滅生物之棲息空間。水溫隨河岸植生破壞或水深改變而升高。水溫為影響河溪生態最重要的因素，其對生物之影響主要呈現在生物的新陳代謝速率上。

(4) 棲地島嶼化：

大型橫向構造物切斷棲地間之通路，阻隔河溪水流並改變河溪流量，導致生態環境的改變。不同生物群聚的互動關係被迫隔絕，大幅降低生物對環境變動之可應變空間與時間。

(5) 渠道地下化：

不當排除廢棄物造成水質與生態環境的惡化。

2. 現有防災構造物調查及其對自然生態功能之評估

調查苗栗縣、台中縣、台中市、南投縣、雲林縣、嘉義縣等地區之現有治山防災構造物，並分為傳統工法及自然生態工法兩類作為評估比較。首先以各地區現有之治山防災構造物之施作依其護坡種類、固床工施作法、生態考量及植生等項製作成表 2。

將自然生態工法及傳統工法依照其河道類型分類，並對於構造目的的達成性、週遭景觀相符性、水體環境維護性、工程材料當地性、棲地復育情形、休閒遊憩可及性及當地民眾街受性等項作為評估，製作成表 3，

3. 自然生態工法構造物調查地點共通特徵

(1) 縱向構造物（大多為乾砌石或漿砌石護岸）表面孔隙多，可蓄積土砂或與護岸後方土層連接，植物入侵明顯多於混凝土護岸，提供附近生物食料及生育棲息處所。

(2) 調查近來的傳統（習慣）工法施設，發現部份的治山防災工程仍沿襲傳統觀念，並未考量當地環境特性與生態保育，故仍不乏溪床封底不透水、高壩趾部沖刷嚴重或護岸坡度過陡且多以混凝土澆製植生綠化不易的情形，影響景觀與生態。

4. 自然生態工法可行性方案研擬

(1) 砌石護岸沖毀多因基腳掏刷崩壞，若設計時考量當地基礎地質及河道流量，增加混凝土基座，則安定性可大為提升（龍興橋、月桃橋）。

(2) 全面魚道式潛壩適用於河床質較小，對構造物衝擊力較小之地區使用，若上游蘊藏粗大土石則構造物易於洪水期損害。枯水期可蓄積土砂於

構造物上、下游並保持溢流水深，洪水期可攜走蓄積土砂。

- (3) 若上游存有大面積未整治崩塌地，則自然生態工法構造物使用年限縮短，常導致自然生態工法「不安全」、「不經濟」之偏差觀念。本次調查如神木溪及山豬湖溪等地之構造物均於颱風季節後遭受程度不等的損壞，但如月桃橋、和興溪、新店溪等地者均通過考驗，探其損壞原因，多與上游存在大面積未整治崩塌地有關。
- (4) 調查發現部分工程設計已融入生態觀念，雖然仍採用混凝土材料，但已儘可能配合自然生態工法就地取材、營造透水、多孔、親水、遊憩與注重溪流生物棲息的觀念。尤其是全斷面式魚道（斜坡階梯式潛壩）、踏步式固床工、三明治式護岸工與不填縫之混凝土砌石工的大量使用，兼顧強度與景觀柔合度。另外，可將材料擴及鋼軌、鋼樑及版樁，使河溪工程更多樣化與生態化。

表 2 自然生態工法個案之措施概述

地點 簡稱	措施	護岸種類										固床工			生態考量		植生			備註			
		複式斷面*	護岸坡面	卵石漿砌工	卵石乾切工	塊石漿砌工	塊石乾砌工	蛇籠護岸	造型模板工	親水護岸	內襯混凝土工	自然拋石	封底工法	不封底工法	封底面鋪石	棲地改善措施	棲地調查	水質確保	景觀區綠美化		護岸斷面植栽	護岸塊石穴植	河岸綠美化
南投縣竹山鎮大湖底			S				○					○		○		△		△					
南投縣溪頭神木溪		○	S				○		○			○		○	△		△						○
南投縣魚池鄉五城村			S				○						○		△		△						
南投縣中寮鄉龍興橋			S			○	○		○	○			○		△	○	△	○	○				○
台中縣大坑溪東龍橋			S							○			○		△	○	△	○					
台中縣廬仔坑溪民政橋		○	G	○					○	○			○		△	○	△	○	○				○
南投縣中寮鄉月桃橋		○	G			○	○		○	○			○		△		△	○	○				○
南投縣中寮清水村			S				○						○		△	○	△						
苗栗縣卓蘭鎮實水坑			S							○			○		△	○	△						
苗栗縣小雪壩瀑布休閒村			S						○	○			○		△	○	△	○					○
苗栗縣獅潭鄉和興溪			S			○	○			○			○		△	○	△						
苗栗縣獅潭鄉新店溪			S				○		○	○			○		△	○	△	○	○				○
雲林縣華山村華山溪			S			○							○		△	○	△						
雲林縣華山村山豬湖溪			S			○							○		△	○	△						○
雲林縣荷苞村大埔口溪		○	G										○		△		△	○					○
雲林縣荷苞村尖山坑溪		○	G	○									○		△		△	○					○

附註：

護岸坡面: V 垂直， S 陡坡面(坡面與水平面夾角大於土壤內摩擦角)， ○表有施作 G 緩坡面(坡面與水平面夾角小於土壤內摩擦角)， △表不確定。

表 3 自然生態工法對自然棲息地及環境景觀影響評估

地點 簡稱	措施	河道 類型	構造 目的 達成 性	週遭 景觀 相符 性	水體 環境 維護 性	工程 材料 當地 性	棲地 復育 情形	休閒 遊憩 可及 性	當地 民眾 接受 性
南投縣竹山鎮大湖底		PR	×	√	※	√	√	×	×
南投縣溪頭神木溪		CA	×	√	√	√	√	√	√
南投縣魚池鄉五城村		PB	√	√	※	√	√	×	√
南投縣中寮鄉龍興橋		SP,CA	√	√	√	√	√	√	√
台中縣大坑溪東龍橋		SP,DR	√	√	√	×	√	×	√
台中縣廂仔坑溪民政橋		PB,DR	√	√	√	×	√	√	√
南投縣中寮鄉月桃橋		PB	√	√	√	√	√	√	√
南投縣中寮清水村		SP	√	√	√	√	√	×	√
苗栗縣卓蘭鎮實水坑		DR	√	√	√	×	√	×	√
苗栗縣小雪壩瀑布休閒村		CA,BR	√	√	√	×	√	√	√
苗栗縣獅潭鄉和興溪		CA,BR	√	√	√	√	√	√	√
苗栗縣獅潭鄉新店溪		SP,PR	√	√	√	√	√	√	√
雲林縣華山村華山溪		CA,SP	√	√	※	√	√	×	√
雲林縣華山村山豬湖溪		CA,SP	√	√	※	√	√	×	√
雲林縣荷苞村大埔口溪		SP,PB	√	√	√	√	√	√	√
雲林縣荷苞村尖山坑溪		SP,PB	√	√	√	√	√	√	√

附註：

- BR：岩床(bedrock) PB：緩床(plane-bed) SP：河梯(step-pool)
 CA：瀑流(cascade) DR：灘流(dune-ripple) PR：急流(pool-riffle)
 √：符合 ×：不符合 —：未與民眾訪談

因此，自然生態工法之最終目標在使施作之工程構造物對河溪之生態系統衝擊最小，同時大量創造動物棲息及植物生長所需之多樣化生活空間。依中興大學水土保持學系自然生態工法研發成果（林信輝及林德貴，2001）自然生態工法之設計可依下列六點原則進行：

- a. 規模最小化（結構尺寸低薄化）
- b. 外型緩坡化（結構形狀階梯化）
- c. 內外透水化（結構體內外多孔化）
- d. 表面粗糙化（結構表面凹凸化）
- e. 材質自然化（材料多樣化）
- f. 成本經濟化（規劃施工依地化）

5. 自然生態工法研發流程之建立

運用自然生態工法設置工程構造物時除了安全首要考量外亦應納入生態方面之設計理念。生態方面，主要有棲息地之形成、河流之廊道寬度、溪流廊道之連結性、以及治山防災區域的生態背景資料調查；景觀方面，需考量構造物的設置與週邊環境之相融以及種植、植栽綠美化之適宜性；在遊憩方面，除了考慮構造物的週邊環境可提供遊憩使用外，更需考量遊憩使用上的安全。圖 2 為河溪工程構造物運用自然生態工法之工法研發流程：

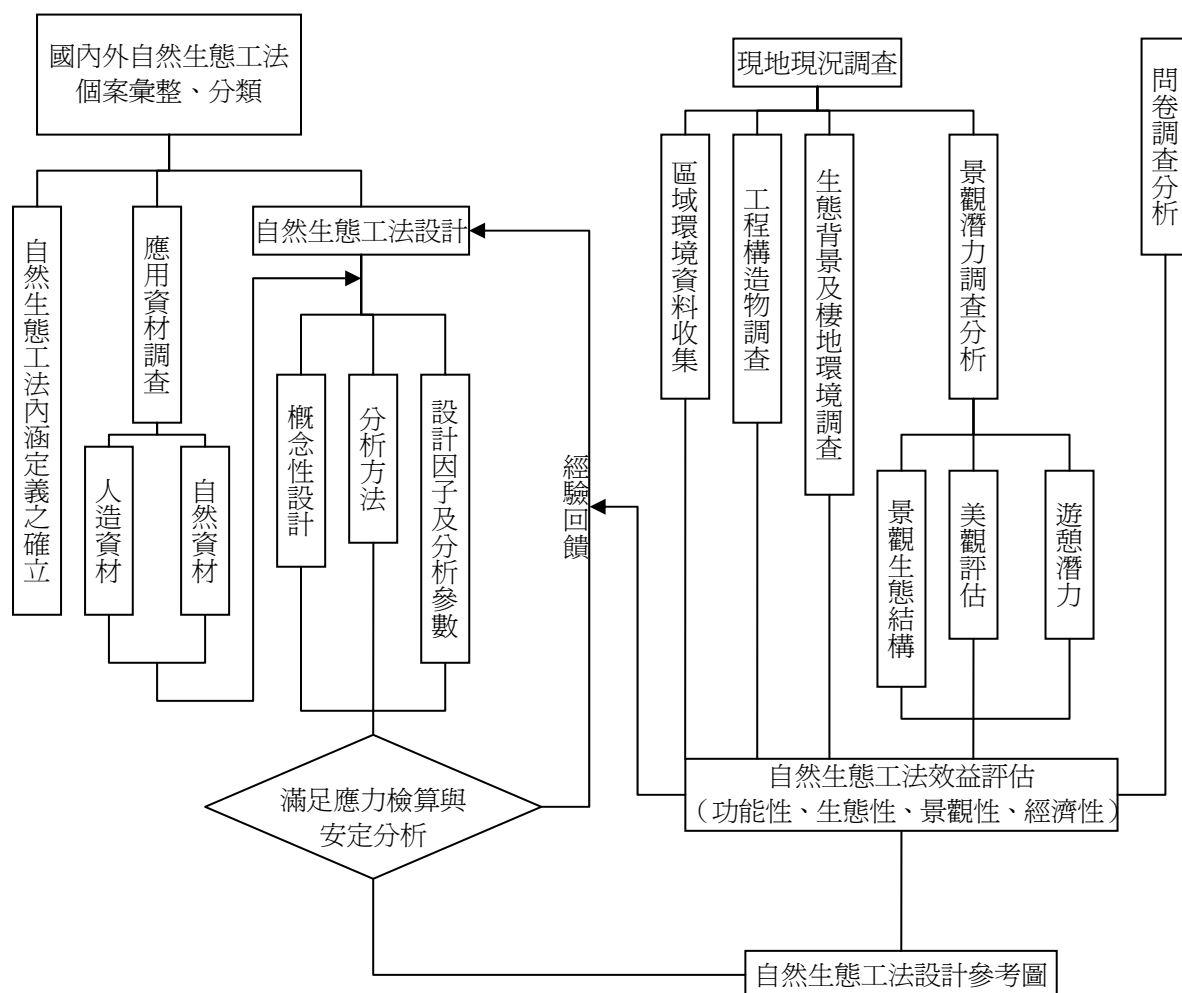


圖 2 河溪自然生態工法研發流程

河溪工程構造物運用自然生態工法的設計，應盡可能考量河岸生物的特性與活動路徑，維持河流兩岸的物種交流。構造物設置盡量以不造成區隔，影響物種的連結為原則，同時也應盡可能維持河流縱向的物種交流：例如在河底設置涵洞、魚梯等。而跌水設施或防砂壩的高度以 30cm 至 50cm 為宜。如落差必須高於上述尺寸時，需在河道一側設計魚梯以保障魚類溯游繁殖的需求。另外，河岸旁設緩衝帶，可過濾地表逕流、改善河川水質、提供野生動物的棲息場所，美化河溪景觀。除了配合防洪機能外，儘可能減少河道與河岸的整地範圍，並保留原有之洞穴、亂石堆，避免干擾動物棲息地為原則。灌溉或排水溝渠的設計，可多採用自然草溝或卵塊石乾砌水道。河岸地的利用應減少鋪面層或採透水材料施

作，儘量維持可植生自然表面土層。

五、結語

1. 自然生態工法推行因難之原因：

台灣的自然生態工法在技術上尚屬於研究起步階段，在規劃設計上，需具備水保、水利、土木、大地、生態、景觀等方面之專業知識，而設計者常因限於本身之職責或學經歷背景，無法整合、歸納後加以應用，以致於在整體上常忽略其中一環。自然生態工法雖已推行數年，惟現今仍無一明確之方向。究其原因，除了台灣地形、地質等自然條件所增加之困難度外，從業人員牢不可搖的傳統單一整治理念，亦為施行窒礙之因素。茲將目前所遭遇之問題概述如下：

- (1). 台灣河溪河床比降大，地質脆弱侵蝕作用旺盛，河溪泥砂含量高流量豐枯變異大，施工困難度高。若工法採用不當，常使完工措施在二至三年間即受到自然力的摧毀。
- (2). 中南部及東部河溪中、上游集水區內陡峻坡地地質不穩定，加上不當開發利用，使地表侵蝕、風化情形加劇，導致颱風雨季來臨時，易嚴重崩塌，其間伴隨的龐大土石流常造成工法措施嚴重破壞。
- (3). 以往河溪治理多採用束制水流、渠道化整治措施，常導致治理河段之溪岸植物被清除，使其原有之減緩流速、保護河岸及淨化水質等功能喪失，進而間接影響水棲生物之食物供給、遮蔭、覆蓋及隱藏機制。
- (4). 目前自然資材缺少，尤其是自然石材，河床中漂石、底石於工程進行中，多被移去他用，破壞了河溪生物賴以棲息、生育之多樣化棲地(淺灘、水潭、曲流、河階、瀑布等)，對於河溪生態及自然景觀造成嚴重衝擊。有違自然生態工法之真義。
- (5). 集水區不當之取水措施、植被濫伐與地表開發，使多數河溪流量逐年減少，目前中南部及東部部分河溪，水棲生物最低需求水量已有不足之情形。此過度利用自然資源的結果，已導致河溪生態環境受到不良的影響。
- (6). 多數有棲地改善措施之河段，因無足夠資料或未考慮其原棲地生物群落或河段之特性，且自然環境之營造工程在工法、材料施用上常涉及景觀美學與生態復育。因此，難以文字規範來落實規劃理念發揮其預期成效。
- (7). 相關權責主管單位之整治措施與認知不同，常造成地方之配合度不高，同一單位之工程人員與生態保育規劃人員無法充份配合，而各相關單位之認知與處理原則不一，工作欠缺整合，使得自然生態工法措施祇為整體工程構造物施作之點綴性附屬品。
- (8). 自然生態工法與傳統工法之風險評估與經濟效益難以界定，自然生態工法由於採用資材的特性使其安定性相對偏低，以致設計人員必須採取較保守之整治工法。
- (9). 河溪整治區之鄰近土地一般取得困難，故工法措施必須採陡坡設計，使得自然生態工法措施喪失原義。

2. 國內推展生態工法可再努力的方向

- (1).彙整生物生態環境之現況資料，以提供工法設計參考。
- (2).建立環境生物指標系統，內容應涵蓋指標生物之分類、生態檢測系統之建立、生態指標之分級及環境生態等級量化評估方法之訂定。
- (3).研發本土化生態工法及技術以符合本土的生態條件。
- (4).訂定可供遵循之設計規範及施工標準。
- (5).加強生態工法之教育宣導及推廣。

參考文獻

1. 國立中興大學(2001)，「九二一震災重建區治山防災構造物運用自然生態工法之調查評估及新工法之研發計畫」，行政院農委會水土保持局。
2. 國立中興大學(2002)，「野溪自然生態工法評估指標及設計參考圖冊之建立」，行政院農委會水土保持局。
3. 林德貴等 (2002)，「自然生態工法之應用」，自然生態工法研究會(主管班)，11月13~15日，行政院農委會、中華民國環境綠化協會。