

朴子溪河口生態工法實施成效研究—以溪流狀況指數評估

薛方杰* 周正明**

摘要

近年來台灣地區持續推動生態工法之理念，其中在河川整治與維護計畫上更是運用廣泛。但有鑑於目前仍缺乏一兼具代表性、簡明易操作以便於推廣的評估方法可供依憑與檢核之用，因此本研究參考澳洲自然資源與環境部所提出溪流狀況指數(Index of Stream Condition)，並對應台灣的實際環境狀況加以調整提出合適的狀況指數架構。此狀況指數突破以往強調以生物性指標為主的評估觀念，而包括水文、物理狀況、濱河狀況、水質、水生物等五大次指數，雖內容涵蓋水利、土木、植栽、環境及生物學等類別，但透過簡易且具代表性的程序與內容之建立，一般非專業背景人亦可順利的用以評估河川施行生態工法後之生態狀況與成果，進而作為日後進行周邊相關環境規劃設計、施工及維護管理等階段工作時之參考依憑之用。本研究並以嘉義縣朴子溪為例，進行相關之應證調查與分析研究。

關鍵字：生態工法、溪流狀況指數、建成環境用後評估

*薛方杰：國立宜蘭大學建築研究所 助理教授

**周正明：臺灣大學營建管理 碩士

一、緒論

(一)、前言

面對人類對於地球環境的濫用，造成全球性環境的破壞與威脅，綠建築、生態建築或永續建築的概念對應而生，並在數年間廣泛的受到討論與推廣。以台灣地區而言，近年來以綠建築及生態工法等觀念所進行規劃設計之案例持續快速的增加中，無論在建築、景觀、土木類之工程建設中均有許多的運用個案。

永續環境的概念始於先進國家，透過各種管道引入台灣後，因部分人士的大力推廣，已成為目前廣為人知的概念。但環顧目前台灣的發展狀況，仍多偏向以綠建築與生態工法的執行技術與材料的運用為主，而這些觀念與技術，乃多直接移植或引用於國外的案例與知識經驗，其是否能符合台灣的實際環境條件與真實需求，則仍有待於持續的評估與修正。

任何的工程，均起始於規劃設計，落實於營建施工，運用於使用營運，而正如眾所周知的，規劃設計階段對於營建工程的總經費而言，所佔之比例微小，但卻對於其後諸如營建施工、經營管理等階段之經費與執行影響深遠，因此規劃設計階段品質的良窳與否，常成為工程與經營成敗的關鍵因素之一。

規劃設計的執行，常需依靠執行者豐厚的知識與經驗，而準則或理論則有助於導引規劃設計者朝向正確的方向前進。無論是規劃設計的知識、理論或準則，均需要透過不斷持續循環檢核的過程進行探究與精鍊，而「建成環境用後評估 (Post-Occupancy Evaluation, 簡稱 P.O.E)」便是在這種理念下所產生的一種環境評估概念與架構。

如圖 1-1 所示，透過用後評估的作業程序，可以在環境建成後，進行相關的檢討及查核，以瞭解規劃設計的內容是否符合當初的構想、願景，以及使用者或環境之實際需要？是否有地方需要修改或調整？同時也可以導引更新整建或維護管理之進行方向。除此之外，透過持續的檢核驗證與分析精鍊等過程，亦可逐步導引出相關可供規劃設計執行時之參考準則或理論依憑，以供後續執行相似類型之工程專案參考之用，而本研究正是在此一基礎觀念下展開執行作業。

(二)、研究背景

近年來台灣地區許多地區均推動以生態工法進行環境之治理工作，但對於施施工法之成效則仍多處於摸索階段，其主要是因為工程人員對於生態與工法的結合多不甚了解、本土性資料之欠缺以及無適當之評估模式。因此本研究是希望藉由討論朴子溪河口地區實施生態工法之案例，探討與彙整生態工程之基本觀念與方法，以提供建立相關之評估架構、數據以及檢討生態工法之施行成效。

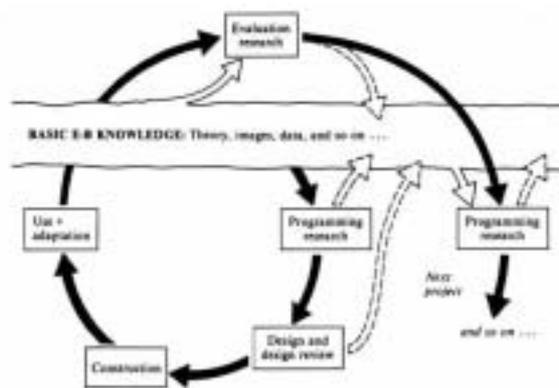


圖 1-1 建成環境用後評估之概念架構圖

目前許多單位嘗試以生態觀念主導環境工程之執行，主要是有鑑於傳統企圖以人力強行改造自然環境的施工法，在面對大自然的挑戰後，已經顯露出許多的缺點及不足，甚至因喪失功能而造成許多環境之災害。因此，世界各先進國家開始省思在環境工程的層面上，是否應該嘗試一種有別過去傳統工法的新工法¹，而生態工法便在此背景下應孕而生。生態工程的發展在先進國家已歷經數十年的研究，對於各類環境議題已累積了部分的成果，但是在台灣地區則仍屬於萌芽階段，許多工程人員對於生態與工程應如何結合仍不甚了解，這也凸顯了我們過去工程專業學門的養成教育中，缺乏對於生態觀念的引入與傳授。而環顧台灣今日的發展與條件，實應重新檢討與思考，將過去強調以經濟為導向、強力以人為介入開發的工程概念，逐步轉化至朝向以生態為導向，尊重與融合自然環境的方向邁進。

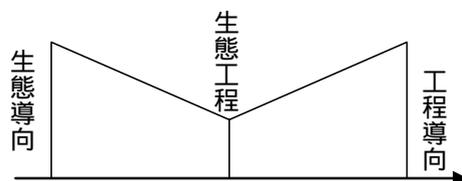


圖 1-2 生態工程概念圖

生態工程的概念提供了一種方法，讓地小人稠且環境遭受嚴重破壞的台灣，能夠降低因經濟發展而對於生態環境的衝擊，甚至希望能藉由生態工程的實施，回復環境的生命力。因此本研究希望藉由系統化的整理生態工程及評估之基本原則與作法，以提供營建工程人員另一種與環境永續共存的工程觀點。

台灣的地理及河川型態與國外環境差異很大，台灣河溪多短小湍急，生物環境從冷溫帶至熱帶均有分佈，這種特殊的環境條件是全球獨一無二的，而針對不同的地域條件，環境的規劃設計也應相對的配合調整，以符合當地環境的需求與條件，因此即使國外已發展出較完整的生態規劃設計程序與規範，仍然需要依據不同的地方特性進行修正。因此總結而論，本研究之發展動機乃是希望能利用此一系列之研究，歸納出因應本土河口地區之條件與基地特性的相關評

¹ David K. Gattie, 2003, 「The Emergence of Ecological Engineering as a Discipline」, Ecol. Eng 20 409-420

估架構與依據。

(三)、朴子溪環境說明

朴子溪全長有 5.67 公里，上游為牛稠溪，流經民雄鄉牛稠山後，下游才稱為朴子溪(圖 1-3)，溪流發源於嘉義縣阿里山西麓的芋菜坑，主流貫穿嘉義縣境內之多數主要鄉鎮市，向南流經嘉義市、民雄、新港鄉、太保市、六腳鄉與朴子市，最後經由東石市流入台灣海峽，於下游處沖積出廣大的河谷平原與濕地，而出海口則連接外傘頂洲。沿岸自然生態與人文景觀豐富，具有富饒而多樣的人文與自然地理景觀。朴子河流域由於開發甚早，工商漁農業發達人口密度高，沿岸河川地及堤岸常被居民堆置垃圾及事業廢棄物，又加上沿岸之鄉鎮市、工業及畜牧廢水等多未經處理即排入溪中，造成水質污濁、沿岸景觀髒亂現象，其中各種污染源的排放量主要為：家庭污水(59.7%)、工業廢水(28.5%)、畜牧廢水(7.7%)、垃圾滲出(4%)等，均造成朴子溪嚴重的污染與環境破壞。

而促使朴子溪脫胎換骨的關鍵推手之一，則是民國 83 年間所成立的「朴子溪畔船仔頭文教基金會」，基金會首先透過朴子溪巡禮活動，率先以在地精神關心朴子溪的污染問題，進行了一連串的清理朴子溪行動，而 84 年時報文教基金會響應船仔頭的訴求，舉辦「再造朴子溪」公聽會，邀環保署、第五河川局、嘉義縣政府及民間團體共襄盛舉，朴子溪的整治與復育工作終為各級政府所重視。環保署即曾將朴子溪選為「河川年」中九條示範整治河川之一，還表示將逐年投資 38 億元美化綠化朴子溪，並興建下水道，其中污染水質最嚴重的家庭及工業區的排放水，未來亦可望能興建污水廠加以處理。

朴子溪可說是嘉義縣近年來河川整治最成功的典範，經過五年有系統的規劃與整治後，使得原本是一條污濁髒亂的朴子溪恢復生機，而河川生態指標之一的紅樹林亦展現出蓬勃的生命力。東石大橋附近的紅樹林帶形成典型沿海林相景觀，其組成樹種包括胎生的水筆仔(*Kandelia cande Druce*)與五梨跤(*Rhizophora mucronata*)，另有非胎生植物馬鞭草科(*Verbenaceae*)之海茄苳(*Avicennia marina Vierh*)等植栽，林相茂密已成為台灣地區最具代表性的混交紅樹林，而沿岸沙洲豐富的魚蝦貝類，更成為鳥類覓食的天堂，今日的朴子溪亦成為全省最佳的賞鳥勝地之一。

而在朴子河流域的經營與管理作業上，嘉義縣政府委託顧問公司研擬，並取得環保署的共識，今後朴子溪將朝向結合環保、生態、觀光的方向發展，在此前提下，相關河川整治工作的規劃設計也多採用了生態工法的概念(圖 1-4)。而本研究即是在此背景下對於朴子溪河口地區之生態工法建成環境進行相關之評估與研究。



圖 1-3 朴子溪水域示意圖



圖 1-4 下游河堤與淤灘生態工程整治

二、現行生態工程介紹

(一)、生態工程 (Ecological Engineering)

Howard T. Odum 自 1962 年起即對於「生態工程 (Ecological Engineering)」有多次之定義，而其最後一次於 1989 年提出，其認為生態工程是一種「設計、運作經濟系統與自然界之間關係的技術，進而促使人類與其環境之間相互調適²」，生態工程設計實是不同於土木、環境工程、農業與生物工程為基礎的生態想法，是一種結合環境工程、土木工程以及生態學之綜合科學(圖 2-1)。而一個生態工程師則需要有能力完成生態與環境的共同問題³。

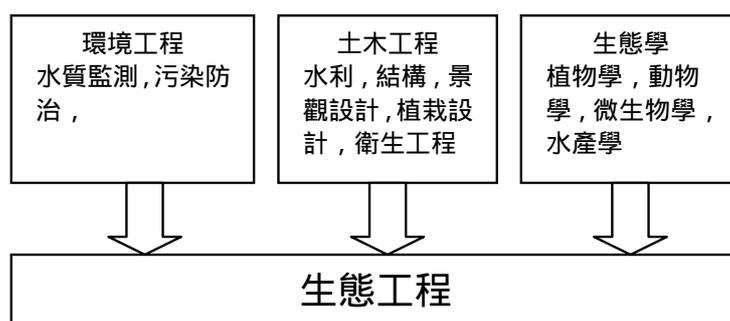


圖 2-1 生態工程組成圖

² H.T. Odum 「Ecological Engineering」

³ Martey D. Matlock 2001 「Ecological engineering: A rationale for standardized curriculum and professional certification in the United States」 Ecol. Eng 17 403-409

(二)、生態工法 (Ecological method)

現行對於生態工法的定義有很多說法，因為各地區的條件不同，對於欲達成目標也不盡相同，相對的對於生態工程之定義也有很多的看法。林鎮洋於 2000 年認為因應台灣之地區特性，生態工法應是以安全為基礎、生態為導向、永續為目標的近自然土木技術⁴。而中國的 Rusong Wang 與 Jinsong Yan 於 1998 年則提出 'hardware'、'software'、'mindware' 等三個向度來討論生態工程之原則與方法，並提出八個可運用於工程中之工法要點⁵。綜合而言，運用生態工法所規劃設計的環境，除了要維護人類的利益外，並應能兼顧永續生態與環境之原則。

而對於生態工法運用於溪流整治工程之研究上，1938 年 Seifert 首先提出「近自然河溪整治」的觀念，主要是指在完成傳統河流整治任務的基礎上，可以達到接近自然、廉價並保持景觀美的一種治理方案。此外在 1971 年 Schlueter 則認為，近自然的治理目標首先是要滿足人類對河溪利用的要求，同時要能維護或創造河溪的生態多樣性。而 Holzmann 對近自然治理則提出一個相當準確的目標，其認為透過生態治理應能創造出一個具有各種各樣的水流斷面、不同水深及不同流速的河溪，而河岸植被應具有多種生物之層級結構⁶。

而 Howard T. Odum (1998) 則認為，一個功能完整的河川生態體系，在其容受力(Carrying Capacity)範圍內，河川生態系可藉由自淨能力排除河川中的污染物質，透過生態系完整性的維護，生態系可藉由自我組織(Self-organization)的能力，來抵抗外界所帶來的影響，其中包括自淨能力，自我復原能力⁷。

三、狀況指數與生態環境規劃

(一)、溪流狀況指數(An Index of Stream Condition)介紹

一般對於河川環境品質評估，多採用指數評估模式，而於早期之研究中，則多著重於「河川水質因子」及「底質的物理及化學環境因子」的評估，這種評估模式，其優點為操作容易、評估過程迅速、評估結果簡明易懂，而其缺點則是僅能評估討論某一段時期之狀況，而無法反映出河川長期的環境變化趨勢與河川生態系統之真實性，對於河川的保育管理無法提供足夠而完整的資訊。

因此，之後便發展出「生物指標(Biological Indicators)⁸」加以修正，此因子模式的加入固然可反應出一水體的變化，以修正前述物理化學因子評估的缺失，但其缺點則是忽略物理化學環境各評估因子間之關聯性，而依然無法反映出河川生態系統整體環境品質的真實性。

要建立一個能反映出生態系統之環境品質的評估架構，其評估範圍須包括生態系中大部分

⁴ 北科大水環境研究中心，Jun 2001，「生態工法執行問題之探討」座談會 P7 16

⁵ Rusong Wang & Jinsong Yan 1998「Integrating hardware, software and mindware for sustainable ecosystem development: Principles and methods of ecological engineering in China」Ecol. Eng II 277-289

⁶ 高甲榮，Jan 1999，「近自然治理—以景觀生態學為基礎的荒溪治理工程」，北京大學林業學報 P81 Vol21, No1

⁷ Howard T. Odum, 1988，「Self-organization, Transformity, and Information」Science 242 1132-1139

⁸ 莊進源，1986，「以生物方法對新店溪水質之判定研究報告」行政院環境保護署 p1

的訊息。例如，生態功能是否正常、結構是否完整、以及棲地是否為受破壞⁹等。而在目前台灣地區推行生態工程時，於規劃設計階段上最常遇到的問題則是對於欲規劃地區之環境生態瞭解度不足，因此極需要一綜合指標，以瞭解最基本之生態需求，而此一需求是因地制宜的，並非過去一般環境研究單位所提出的齊頭式之標準。

「溪流狀況指數」是在 1995 年由 Ladson 等人所開始發展；主要是由水文(Hydrology)、物理型態、濱河區域(Streamside Zone)、水質(Water Quality)及水生物等五種次指數(Sub-index)組合而成，而各指數則是由量測基礎環境之參數或一系列分級指標所組成。本研究中之溪流狀況指數主要是參考澳洲維多利亞省自然與資源部所頒布的 ISC(Index of Stream Condition)指標為主，而這套指數則正是由 Anthony Ladson et al 於 1999 年所提出的第二次修正版本¹⁰。

本溪流狀況指數乃是由專家顧問團決定指標內容，其決定方式是先發展指標概念，繼而針對概念構想進行試驗與討論使其更為精簡，之後再建立成指標型態作為指數評估之依據。而其中概念的建立是蒐集世界各國相關文獻討論而成，這種的文獻整理方式再加上本土化的修正，在經濟效益上具有相當可取之處。

所謂指標(Indicator)的組成並非一成不變的，它會隨著時間與技術的發展而有所變動，此變動主要建立於「基礎生態環境資料的更新」以及「新理論與技術的發展」上。另外，由各指標組成的次指數計算並不牽涉到複雜的統計分析，一般人員均可以輕易的上手使用，且其結果易於閱讀，相當適合推廣。

溪流狀況指數的組成為層級性，由數個指標(indicator)組成五種次指數(sub-index)，而共同成為溪流狀況指數組成因子；各次指數中的指標會因實際需求而改變，而次指數則因作為主要評估之項目故不做經常性之變動。各指標滿分為 10 分，總指數為 50 分；總分數越高則代表環境越趨近於自然。

本研究所提出的評估方式與內容，主要是針對台灣地區現行執行難易度與資料庫完整性加以考量，評估構成因子內容如表 3-1。此外，因考量河口棲地條件與研究之可及性，本次研究共選取以物理環境、河濱區域、水質等三項評估次指標進行調查分析。

⁹ 湯宗達，1997，「以生態系統完整性為中心之河川生態品質評估架構」中興大學資源管理研究所 p2

¹⁰ http://www.civag.unimelb.edu.au/~arlads/index_of_stream_condition.htm

表 3-1 修正後溪流狀況指數構成因子表

次指數	考慮內容	指標
水文	實際流量與月流量之比較	1. 水文變異：比較月流量 2. 河川流域滲透因素影響流量 3. 有無水力發電廠的影響
物理型態	河川穩定度與物理性棲地品質	1. 河岸穩定度 2. 河床狀況 3. 人工構造物的影響 4. 河川物理性棲地狀況
濱河區域	濱河區域之植物生長品質與數量	1. 植生寬度 2. 植生連續性 3. 植生結構完整性 4. 本土種覆蓋百分比 5. 本土種之再生率 6. 溼地池沼狀況
水質	關鍵性水質參數	1. 總磷 2. 濁度 3. 導電度 4. PH 值
水生物	指標物種	1. 指標性魚類出現

資料來源：本研究修正

(二)、溪流狀況指數與規劃之關係

生態工程並非僅是一開發案，而是一針對生態與人類利益而設計之工程，因此對於引入本指數評估系統將會對於水利管理單位、環境單位、環境設計單位進行工程之規劃設計、施工與管理維護作業時將有一定的助益。這助益將會建立在：

- 1、有助於考量是否引入生態工程。
- 2、有助於考慮規劃設計時生態與工程之強度。
- 3、提供日後維護管理項目與內容之適當依據。

透過溪流狀況指數之導入，將對於環境之規劃設計作業產生一循環性之評估與導引之效能，除能有助於提供相關規劃設計之依據外，同時對於建成環境之維護管理或改善更新均有一定之助益。其整體評估概念整理如圖 3-1 所示。另外，對於整體生態工程之整體計劃流程則請參考附件一。

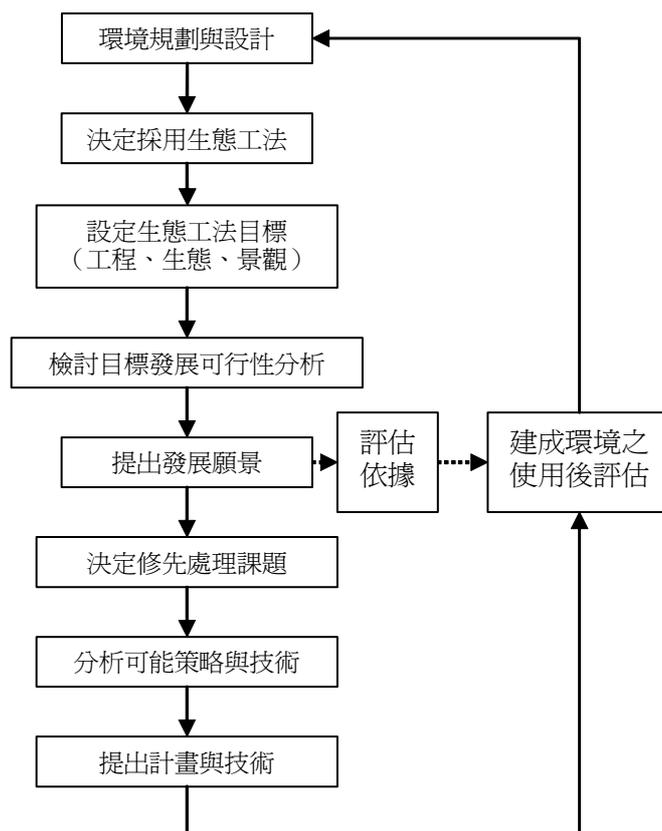


圖 3-1 溪流狀況指數引入規劃之流程
資料來源：本研究整理

四、評估方式說明

針對河川環境品質評估，在早期研究中多著重於河川水質及底質的物理及化學環境因子的評估，這種評估模式，其優點為操作容易、評估過程迅速、評估結果簡明易懂，而其缺點則是只能評估一段時期的狀況，無法反映出河川長期的環境變化趨勢與河川生態系統之真實性，因此對於河川的保育管理無法提供足夠而完整的資訊。而本評估方式包括五大指標，對於各項領域皆有所考慮，但其缺點則是在於相關數值多屬於概括性，不盡能滿足專業性學門深度研究之要求，但對於工程性而言則可提出全面性的考量因子。本次研究因考量研究時間、能力與人力等條件，暫僅針對「物理型態次指數」、「河濱區域次指數」以及「水質次指數」進行評估，各次指數內容說明如下。

(一)、物理型態次指數

1. 物理型態指數之意義

河川基本物理型態的內容主要在檢視河床、河岸、護岸、侵蝕與堆積、以及河川物理性棲

地等之狀況，而反應於評估指標則包含「河岸穩定度」、「河床狀況」、「人工構造物的影響」以及「河川物理性棲地狀況」等項目。

一般而言，影響「河岸穩定度」之成因多元，河岸的土石與泥砂是造成河川侵蝕與堆積的主要物質。台灣地區因地質狀況不同，部分區域河川輸砂量大，相對的上游河川侵蝕嚴重，下游河川之堆積也多較為嚴重，透過研究調查可瞭解，集水區域的土地使用狀況會影響到水流量的大小，進而影響輸砂量¹¹。這些形成因子主要包含如：植生覆蓋情況、逕流沖擊大小、以及水體對河岸底部沖刷等；而反應於空間形貌上，則常見於是否顯現大量沖蝕殘餘土壤、河岸結構或植生有無顯著損害等現象。

而「河床狀況」與淤砂粒徑具有密切之關係，通常淤砂粒徑越大河床則越趨穩定，另外淤砂本身的形狀以及顆粒間的排列與壓密狀況也會影響其穩定性。此外，河川的侵蝕與堆積對於底質的改變有相對的影響性，例如：下游河床較具有不穩定性質，水生物歧異度低，相對的水生植物的生長則適合魚類生長於此，使此一區域成為底棲動物活動之場所¹²。

而「人工構造物影響」主要是針對於水生物棲息移動之可行性進行檢視，許多魚類均有迴游習性，而不同的魚類具有不同行為的迴游特性；例如櫻花鉤吻鮭是以連線型身體跳躍而上；爬岩鰍科魚類則以胸、腹鰭緊貼底質方式迴游；脂鯢則只有在夜間迴游¹³。而此所述之人工構造物則包含諸如：水庫、水壩、攔砂壩、水閘門、潛壩等足以阻擋水生物移動的設施物。

「物理性棲地狀況」則主要是指大型粗木殘骸。河川中大型粗木殘骸之累積，可形成阻斷構造物，改變水流方向，減緩水流速率，攔截泥砂及有機物殘屑，並可以改善河床底質，增加水生環境的變化多樣性¹⁴。此外，枯枝落葉與樹上之昆蟲可成為水生物的食物來源，而底質情況依據河川位置的不同可分為平原與高山地區，一般對於高山地區的環境要求需更趨於自然狀況。此外，於本指標中只評估底質長期穩定狀況與否，而對於底質之種類並不予考量，主要是基於不同的水生物有其不同的需求環境之考量。

在評估生態工程之河川整治成效時，本指數是最直接反應其成效的項目之一，其數值的優劣可直接反應出工程介入之程度與方式。過去一般河川工程之規劃設計多僅集中於「安全性」之分析與思考，而此一評估指標則多提供了以「考量生物生態棲地合理性」之另類思考向度，在工法的規劃設計上若能綜合考量此指標所代表的河川生態現行狀況以及其安全性，則是提出此指標之最大意義。

2. 評估作業流程

依據溪流狀況指數中所設定評估作業流程說明如下：

步驟一：評估河岸穩定度：使用表 4-1 計算河岸穩定度。

¹¹ 林壯沛，2000，「森林及水區水文泥砂及土地利用關係研究(三)」，水利工程研討會論文集，水土保持局

¹² 徐美玲，1996，「河道形態與淤砂搬運」，林務局八十五年度溪流棲地改善研習班講義，林務局保育科，p3

¹³ 曹先紹，1996，「評鑑既有魚道的生物學考量」，林務局八十五年度溪流棲地改善研習班講義，林務局保育科，p41

¹⁴ 王立志，1997，「濱溪生態與保育」，林務局八十六年度溪流環境保育研討會講義，行政院農委會，p54

步驟二：評估河床狀況：對於測站之河床狀況，使用表 4-2 決定其分級比率。

表 4-1 河岸穩定度比率分級表

分級	評估狀態	比率
穩定	<ul style="list-style-type: none"> ● 具有大量沖蝕殘餘土壤 ● 無河岸底部沖刷 ● 逕流沖擊溫和 ● 植生覆蓋良好 ● 河岸結構或植生無顯著損害 ● 無裸露根系 	4
輕微沖蝕	<ul style="list-style-type: none"> ● 植生覆蓋佳 ● 只有某些少量沖蝕 ● 河岸結構或植生無連續性損害 ● 具有少量沖蝕根系 	3
中度沖蝕	<ul style="list-style-type: none"> ● 河岸靠不連續性的植生支撐 ● 河岸結構或植生有某些可見的損害 ● 中度穩定的基腳 ● 具有中度沖蝕根系 	2
強烈沖蝕	<ul style="list-style-type: none"> ● 少量的有效植生 ● 近期有河岸移動 ● 大多數的不穩定基礎 ● 大量沖蝕根系 	1
極不穩定	<ul style="list-style-type: none"> ● 加速沖蝕的跡象 ● 無有效植生 ● 甚不穩定基腳 	0

表 4-2 河床狀況評估分級比率表

分級	評估狀態	比率
些微侵蝕或堆積	<ul style="list-style-type: none"> ● 無侵蝕或堆積現象 	4
中度河床侵蝕	<ul style="list-style-type: none"> ● 急劇升降的河床 ● 缺乏沖積物 ● 涓涓細流 ● 河岸侵蝕 ● 近期少量加深侵蝕的現象 	2
中度河床堆積	<ul style="list-style-type: none"> ● 沉積物累積 ● 河床傾向於平坦 ● 相同粒徑大小隻沉積物阻塞在河床上 ● 少量於泥阻塞 	
極端河床堆積	<ul style="list-style-type: none"> ● 低的河床河岸寬深比 ● 近期有侵蝕現象 ● 裸露的河岸 ● 河岸沖蝕，可能有沖蝕源頭 	0
極端河床堆積	<ul style="list-style-type: none"> ● 高的河床河岸寬深比 ● 河床平坦 ● 大的渠流 ● 淤泥現象 	

步驟三：決定人工構造物是否影響下游地區：標示人工構造物以決定其對下游地區之影響；若工構造物，則至步驟五，否則至步驟四。

步驟四：若無人工構造物，設定其分級比率至步驟六。

步驟五：依表 4-3 評估人工構造物對下游地區之影響。

步驟六：下游是否為洪泛平原區：在洪泛平原地區評估平原地區溪流物理棲地指數，若為洪泛地區則至步驟七，否則至步驟八。

表 4-3 人工構造物評估分級比率表

評估狀態	比率
水庫、攔砂壩等人工構造物設有魚道，水生物移動不受影響	4
魚道只提供週期性機會讓魚移動，潛壩只提供小型魚類通過	2
沒有設置魚道的高壩水庫以及魚類根本無法通過的人工構造物	0

步驟七：依表 4-4 評估平原地區溪流物理棲地指標。

表 4-4 平原地區溪流物理棲地評估分級比率表

分級	評估狀態	比率
極佳棲地	大量的粗木殘骸，植物生長環境未遭壞	4
良好棲地	河道中有大量的粗木殘骸或少量外來種粗木殘骸	3
普通棲地	河道中有中度可見的本土種或外來種粗木殘骸	2
貧乏棲地	河道中有少數可見的粗木殘骸	1
極差棲地	河道中無可見的粗木殘骸	0

步驟八：求得物理型態次指數值。

$$\text{物理型態次指數} = \frac{10}{16} \left[\text{河岸穩定度比率分級} + \text{河床狀況評估分級比率} + \text{人工構造物評估分級} + \text{溪流物理棲地評估分級} \right]$$

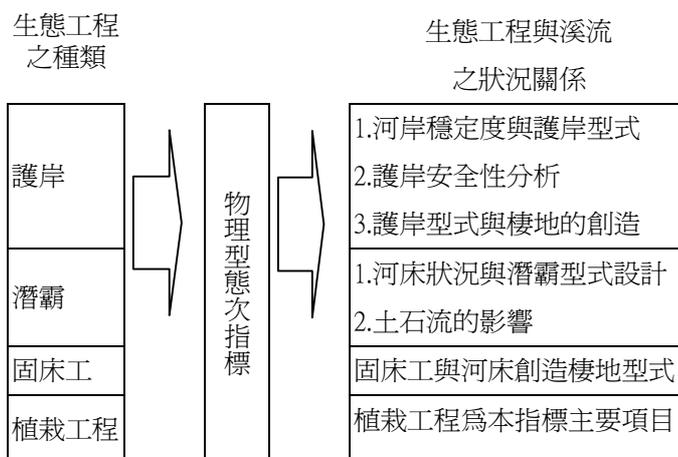
3. 實際生態工程上思考的轉換

物理型態次指標對於生態工程的思考上具有相當之重要性，透過次指標的評估內容，對於生態工程在規劃設計與日後管理維護上可導引出明確的發展方向及改善建議（表 4-5）。而針對生態工程利用在物理型態次指數中之相對關係狀況則如表 4-6 所示。

表 4-5 物理型態次指數與指標說明表

指標	現況	對策
河岸穩定度	1.水體侵蝕力弱。 2.河岸地質穩定。 3.河岸植生狀況良。	目前河岸穩定度高，主要以防止洪泛為主；對策為：種植深根系植物或適合於當地地形地質植栽。
河床狀況	1.水體下切力小造成堆積。 2.深潭與沼澤地的改變。	1.若非自然成因考量以施行河流流心疏通。 2.在流域中要保持深潭與沼澤區域的形成。
人工構造物的影響	堤防改變兩棲生物移動的可能性。	應儘可能考慮生態廊道以維持一定生態區域範圍。
河川物理性棲地狀況	人為開發影響棲地穩定性。	1.檢討治理的方式 2.以法定規定

表 4-6 生態工程種類與物理型態次指數關係表



4. 應用在生態工程上的意義

在本項指標中主要有四種考量因子，指標滿分為 10 分，其總分越高代表溪流狀況越好，相對較適合於自然環境，而生態工程之介入程度就應該減到最輕。此外，在維護管理階段，主要是要透過各指標評估實際之溪流狀況，再考量應如何導入生態工程進行修復或是復育。針對這些次指標在生態工程上的意義，說明如下（表 4-7）：

- 護岸：河岸穩定度指標偏低時，短期以構造式護岸補強，長期則應追蹤調查其原因並加強植被。
- 潛霸與固床工：河床有堆積或是侵蝕情況，表示原先規劃設計之人工構造物不當，應加以補強或是更改設計。
- 植栽工程：植栽的設立應不影響原有侵蝕與堆積現象，若產生影響則應分析判斷原因，增加植栽或是適度的砍伐。

表 4-7 物理型態次指標在規劃與設計階段關係表

生態工程種類	物理型態次指數在維護管理階段上的意義
護岸	堆積現象產生
潛霸或固床工	人工構造規劃設計不當，應加補強或更改
植栽工程	若破壞原因為植栽則應以適度的增植或是砍伐

5. 實際評估成果說明

依據上述評估方式，本區段的評估值如後附件二：

6. 小結

整體而言，本案例於一次指標之評估結果為「中上」，未來在維護管理上應注意以下幾點：

1. 現有河岸、深潭與溼地之自然狀況。
2. 之生態工程手法，以維持生物棲地。

(二)、濱河區域次指數

1. 濱河區域指數之意義

「濱河區域」是指與河川相鄰接的植被區，為一連接河川與陸地之區域。對於河川而言，這區域是提供兩生動物的棲息地，同時對於堤岸的侵蝕性與提供自然景色也有相當之關係，這種區域我們稱為「Ecotone」¹⁵（圖 4-1）。其中，沼地與溼地對於常處於低地水位的台灣河川而言，是常見的型態。對於生態而言則應積極引入「自淨作用(self-clearing)」來改善河川污染或破壞的狀況。這種自淨作用主要是指在能量間之轉換，而環境設計中過度的人為設計則會影響到整體的能量平衡¹⁶。



圖 4-1 河岸區域由植栽所形成之「Ecotone」

河濱常是人為影響最多的區域，例如因農地的開發造成棲息地的消失或破壞、河道的整治造成護岸植生的破壞或環境水泥化、溝渠化，以及河川流經都市化地區常遭到過度的使用，像是休閒遊憩行為的介入。

濱河區域對於光線的遮蔽、生態資源的提供(如枯枝、樹葉及昆蟲的掉落)、提供陸地生物棲息地以及景觀上均具有價值。而濱河區域的植物生長寬度、沿河岸植生的連續性、植物生長結構的完整性以及本土植栽的比率，均會對區域的生態品質產生影響。

濱河區域的寬度是以水際邊緣到改變土地使用之內容為界，此一河岸的縱深、大小與生物棲地及河川生態均具有直接之關係，乃為河川中食物的來源與生物的棲息地，例如：蜻蜓與螢火蟲的羽化過程，便需要有這些區域的存在。樹木的枯枝、樹葉與昆蟲掉落到河川中可為水生動物的食物來源，而透過植被的適當遮擋陽光，水溫也可常保季節性的恆溫，可有效防止水藻的生長。

¹⁵ Willian J. Mitsch 「Ecological Engineering」 1989 p24

¹⁶ Howard T. Odum, 2003, 「Concepts and Methods of Ecological Engineering」 Ecol. Eng 20 339-361

此外，沿河岸連續生長的植物可形成「生物廊道(Eco-Corridor)¹⁷」，許多動植物必須藉由植栽綠帶來達到遷徙與覓食的目的，此一區域必須是在單位面積中超過 20%的喬木與灌木交生的綠帶¹⁸，亦即中大型的植栽必須能達到基本的連續性。

而河口地區「植栽結構的完整度」主要是討論植栽之垂直分布議題。一般在植栽型態的討論上，可概略區分為以下三種類型：

- 1、5 公尺以上的樹木層：通常是指一些單株的樹木，例如樟樹。
- 2、5 公尺至 1.5 公尺的灌木層：通常是指一些叢生型式生長的植栽，例如野牡丹。
- 3、1.5 公尺以下的地面層：通常為草本植物，例如蘆葦、青苔、草地等。

雖然不同的物種有其不同生存環境之考量，但在本評估架構中則認為，環境的組成是以一總括性的比例存在，因為地方性的不同，所以各層級之間的比例是無意義的¹⁹，而可以比較的則是濱河區域之覆蓋比率關係。

植栽的種類與棲息的物種有相當的關係，台灣屬於典型的島嶼生態系，外來種²⁰將對台灣生物多樣性造成極大的衝擊，例如近年來松材線蟲等入侵害蟲和福壽螺等農業害蟲，均對台灣生態系統產生破壞，因此在評估植栽覆蓋率時應以本土性植栽為主。

2. 評估作業流程

依據溪流狀況指數中所設定評估作業流程說明如下：

步驟一：評估濱河區域寬度：依表 4-8 植生寬度評估分級比率表評估植生寬度。

步驟二：評估植生連續性：依表 4-9 計算有植生之河岸長度，植生層的覆蓋數目。

步驟三：評估結構完整性：依表 4-10 評估植生結構加總並轉換其權重。

$$\text{植生結構指數} = \frac{2}{3} (\text{植生結構指數}_{\text{樹}} + \text{植生結構指數}_{\text{灌木}} + \text{植生結構指數}_{\text{草地}})$$

步驟四：依表 4-11 評估本土種植生之覆蓋比例。

$$\text{本土種植生指數} = \frac{2}{3} (\text{本土種植生指數}_{\text{樹}} + \text{本土種植生指數}_{\text{灌木}} + \text{本土種植生指數}_{\text{草地}})$$

步驟五：評估本土樹種再生率（表 4-12）。

¹⁷ 郭瓊瑩「九十年創設台灣城鄉新風貌示範計劃講習會」論文集 2001 p-3-6

¹⁸ ISC 中指出以水域邊界為起，深度 5 公尺內為調查區域。

¹⁹ Chang-Fang Zhou, 2003, 「Vegetating Coastal Areas of East China: Species Selection Seeding Cloning and Transplantation Ecol. Eng 20 275-286

²⁰ 外來種 (Alien, non-native, non-indigenous, foreign, exotic species)：指一物種、亞種乃至於更低的分類群並包含該物種可能存活與繁殖的任何一部份，出現於其自然分布疆界及可擴散範圍之外。

表 4-8 濱河區域寬度評估分級比率表

大溪流 ≥15M 寬之植生	比率
≥3.01 倍渠道寬	4
1.51~3.00 倍渠道寬	3
0.51~1.50 倍渠道寬	2
0.26~0.50 倍渠道寬	1
≤0.25 倍渠道寬	0

表 4-9 植生連續性評估分級比率表

		每單位長顯著不連續數目			
		0-2 每 1000m 顯著不 連續	3-5 每 1000m 顯著不 連續	6-19 每 1000m 顯著不 連續	≥20 每 1000m 顯著不 連續
河岸 植生 長度之 比例	95-100%	4	3	不可能	NP
	80-94%	3	2	1	NP
	65-79%	2	1	1	0
	40-64%	1	1	0	0
	0-39%	0	0	0	0

資料來源：ISC Reference manual 1999

表 4-10 植生結構完整性評估分級比率表

	實際狀態		
自然狀態	>80%覆蓋	20-80%覆蓋	<20%覆蓋
>80%覆蓋	2	1	0
20-80%覆蓋	1	2	1
<20%覆蓋	0	1	2

表 4-11 本土種植生覆蓋比例分級表

本土種植生覆蓋比例	比率
95-100%覆蓋	4
85-94%覆蓋	3
65-84%覆蓋	2
40-64%覆蓋	1
0-39%覆蓋	0

表 4-12 本土樹種再生率比例分級表

描述	比率
大量且完整狀態：有>5%復育的本土樹種成長良好	2
維持現況：有 1%~5%復育的本土樹種成長或是>5%復育狀況不良	1
再生狀況差：<1%復育的本土樹種成長	0

步驟六：是否位於洪泛平原地區：若是，則至步驟七，否則至步驟九。

步驟七：至少有 50%的池沼接近自然狀況，若有則至步驟八，若無則至步驟九。

步驟八：若不是接近自然。濱河區域指數值減 1。

步驟九：求得濱河區域指數。

$$\text{濱河區域指數} = \frac{10}{19} \left[\text{濱河區域寬度評估分級} + \text{植生連續性評估分級} + \text{植生結構完整性評估分級} + \text{本土種植生覆蓋比例分級} + \text{本土樹種再生率比例分級} \right]$$

3. 維護管理階段

濱河區域之維護管理工作是非常重要的，許多工程的成敗均取決於後期維護管理的狀況。濱河區域緩衝帶或經營帶之設置一般可分為：固定寬度、變動寬度以及塊狀等三種方式²¹，其策略內容說明如下。

- 1、固定寬度方式：乃是於河溪兩岸間離岸之固定距離內劃定經營緩衝地帶，其設定方式可依 ISC 指標所定立之調查範圍劃設。
 - 2、變動寬度方式：是考慮物種的特性與人類活動協調之結果，其設定方式目前台灣主要是以人為主體的考慮方式，而未來期望能朝向以物種為考量的方式進行規劃設計。
 - 3、塊狀方式：主要是運用於特殊地帶，如河口區域紅樹林的保育區，以塊狀集中的方式進行規劃與復育。
- 一般可視不同之河川狀況與區段，進行相關規劃設計工作以及擬定經營管理目標。

4. 實際評估成果說明

依據上述評估方式，本區段的評估值如附件三。

(三)、水質次指數

1. 水質次指數意義

「水質次指標」在溪流狀況中是一個主要的環境因子，例如過高的營養鹽會導致優氧化現象、水草過度繁殖會產生氰化物的毒性物質。此外，水中的懸浮物質會影響光線的透射狀況，將直接對於存活於溪流底層物種的生長產生影響。而當河川流經農業地區時，肥料與農藥會導致水中氨氮與總磷的增加，將改變水中的營養度。

另外，pH 值則亦是一個重要的水質環境指標，pH 值乃水中氫離子濃度倒數的對數值，一般自然水之 pH 值多在中性或略鹼性範圍內，但若受到工業廢水、農業或礦場廢水等污染時，則 pH 值則可能相差很大。pH 值會直接影響生物的生長、物質的沈澱與溶解、水及廢水的處理等狀況。

影響水質濁度之因素主要為粘土、矽土、淤泥、無機及有機微粒、浮游生物細菌等物質。濁度會影響水體外觀，阻止光的滲透而影響水生植物的光合作用、魚類的生長與繁殖，並且干擾消毒作用。若濁度越高，水的過濾將越困難且昂貴，當下雨過後，地下水混濁度的變化可視為地表污染或其他污染的指標。

「氨氮」與「總磷」是生物活動及含氮與磷之有機物分解的產物，可指示污染狀況。硝酸

²¹ 王立志，1997，「濱溪生態與保育」，林務局八十六年度溪流環境保育研討會講義，行政院農委會，p56

鹽是有機氮的最終產物，自然的水中很少，但受肥料或廢水、污水污染時，含量可能很高。若存在於湖泊、水庫則會造成優養，促使藻類過度繁殖造成污染。而以總磷作為指標是因其最能代表河川中之狀況，而氨氮值的檢測因為比總磷來得困難，故本研究不以氨氮值作為指標而以總磷值作為代表。

針對鹽類的測試是以導電度作為指標，這可以說明出水中鹽類的多寡，而鹽類的種類在工程上是沒有太大意義的，但是導電度在生態上卻相對具有意義，一般而言，水中總離子濃度與導電度大致成正比，藉此可以估算出水中溶解物質離子化之數量，由導電度可以知道天然水之總溶解固體量，而可以表示出水質礦化的程度²²。

在一般的河川中因流水關係，水質一直保持穩定狀態，但若遇到久旱不雨或因低水位造成臨時性的水潭，整個河川生態系則會因水質而產生變化。此外，外部之影響也會造成循環性的現象產生，例如污水的流入，會造成營養鹽的變化，進而導致總磷、濁度、pH 值、導電度值等的連鎖變化。我們可以簡易的從水草增加或減少之現象中進行初步的判定²³。我們可從河川的透明程度來觀察生態循環狀況，若是形成的因素為自然原因則生態自有自淨作用來達成平衡，反之，若受人為因素影響，則需要以適當的對策來加以控制。

2. 評估作業流程

本次因研究條件限制，故於溪流狀況指數中只取「導電度」與「pH 值」兩者數據進行分析。其評估作業流程說明如下：

- 步驟一：決定溪流位置。
- 步驟二：依下表 4-13 評估導電度指標分級比率。
- 步驟三：依下表 4-14 評估 pH 值指標分級比率。
- 步驟四：求得水質次指標。

$$\text{水質次指標} = \frac{10}{8} [\text{導電度指標分級比率} + \text{pH 值指標分級比率}]$$

表 4-13 導電度指標分級比率表

平原地區	比率
<100	4
100-<300	3
300-<500	2
500-<800	1
≥ 800	0

資料來源：ISC Reference manual 1999

(單位：μ S/cm)

表 4-14 pH 值指標分級比率

pH 值	比率
6.5-7.5	4
6.0-<6.5 或 >7.5-8.0	3
5.5-<6.0 或 >8.0-8.5	2
4.5-<5.5 或 >8.5-9.4	1
<4.5 或 >9.5	0

資料來源：ISC Reference manual 1999

²² 郭勝豐，2000，「自然河川生態系統之整備研究」，經濟部水資源局，p14

²³ Robert L. Knight，2003，「Long-term phosphorus removal in Florida aquatic system dominated by submerged aquatic vegetation」Ecol. Eng 20,45-63

3. 研究區域內各項評估指標分析

本研究中主要評估指標內容為導電度與 PH 值，經由現場調查後結果如表 4-15 所示。綜合而言，本河口地區其水質次指標為=6。

表 4-15 水質次指數測量結果

位置 指標	A	B	C	D	觀測點總比率
導電度	206	242	256	263	3
PH 值	8.2	7.9	7.9	7.9	2

資料來源：本研究調查

五、溪流狀況指標之評估結果

在完成各項指標之調查分析後，加總上述各項次指之數值結果，以求得溪流狀況指數，亦即：

$$\text{溪流狀況指數} = \text{物理型態次指數} + \text{濱河區域次指數} + \text{水質次指數} = (8+4+6) = 18$$

而於本研究中，總計滿分為 30 分，而本研究調查評估結果為 18，因此在建成環境用後成效之評估狀況乃為「中等」。

六、結論

經由實地之調查分析後，本河口區域案例施行生態工法整治之成效為「中等」。而本案之工程主要是以堤岸整建以及紅樹林溼地的整理復育為主。在透過以上之評估分析，可提出以下之重要結論：

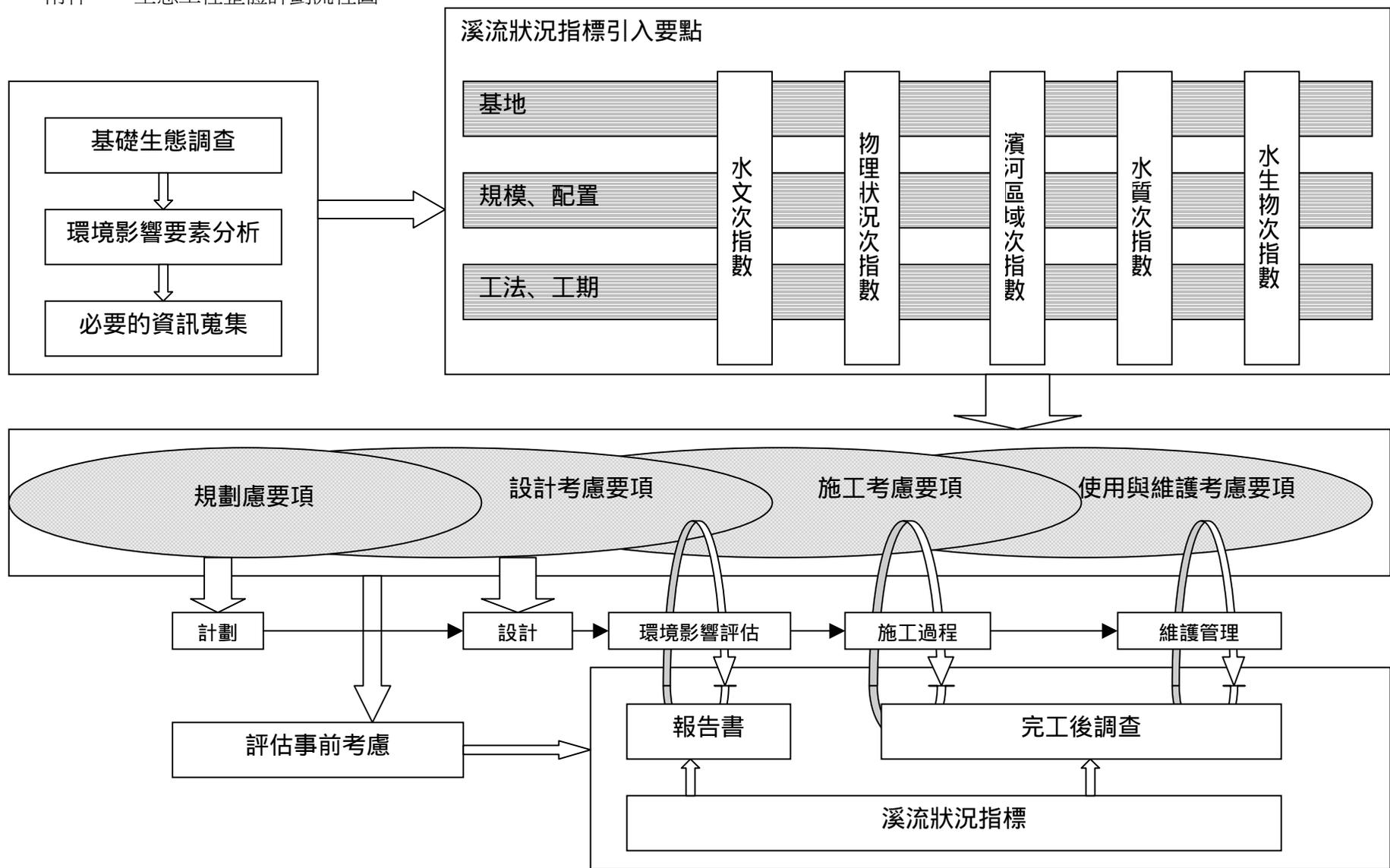
1. 透過本研究之物理型態次指數的評估發現，本河口地區之狀態為良好，主要是因為本地區為河口地帶，水流緩慢，整體河川狀況穩定。但台灣地區之河川多屬於短小激流型，在豪大雨期間大部分的棲地均會受到影響，而以本案為例，以生態工法整建河堤是最恰當之方式，日後於整體水理穩固後，宜繼續進行復育以建立區域性之生態圈，以利潮間帶多樣生物之生存。

2. 透過水質部分的調查分析後，發現到本案因屬於潮間帶區域，整體河川中之污染物質均被海水稀釋，同時因淡水之注入量不足，故該地區直到調查區域四百公尺處均為近海水性質，相對以此水質，部分淡水性植栽將無法生存，而只有潮間帶及耐鹽性植物可以存活，因此亦導致整體濱河區域次指數偏低。未來於擬定溪流之維護管理方式上，應以整體環境之使用管制為主，而於工程方面則可對於植栽與水生物棲地的保存方式上進行努力，以助此地區能依照自然之方式產生變化。

3. 在本案中之河口地區運用生態工法概念進行整治，的確有助於保存生物棲地及植物廊道的建立，但高聳獨立的堤防，固然是基於防洪之考量，但是對於生物移動、整體環境與景觀之串連性亦將產生阻隔，同時也造成堤內過度的人為開發（如養殖及耕作），未來應重新思考以另類兼具防洪、生態與景觀的整治方式進行改善規劃設計。

4. 透過持續、定期的建成環境用後評估作業，將有助於有效檢核與檢討生態工程施行之成效，同時亦能持續提供未來在進行相關生態工程之規劃設計時之參考依據。

附件一：生態工程整體計劃流程圖



附件二 物理型態次指數

左岸 物理型態	現況				
	物理性棲地	2	3	3	3
	人工構造物	4	4	4	4
	河床狀況	2	2	2	2
	河岸穩定度	3	3	3	3
觀測位置	0k+80(下游處)		0k+200	0k+300	0k+440
右岸 物理型態	河岸穩定度	3	3	3	3
	河床狀況	2	2	2	2
	人工構造物	4	4	4	4
	物理性棲地	2	3	3	3
	現況				
各段次指數	7	8	8	8	
物理型態次指數為 8					

資料來源：本研究整理

附件三 濱河區域次指數

各段次指數		4	4	3	3
左岸濱河區域指數	現況				
	本土種覆蓋百分比	2	2	1	1
	植生結構完整性	2	2	2	2
	植生連續性	1	1	1	1
	植生連續性	1	1	1	1
	植生寬度	2	2	1	1
	觀測位置	0k+0~100 紅樹林	0k+101~200 紅樹林	0k+201~300 雜林	0k+301~400 雜林
右岸濱河區域指數	觀測位置	0k+0~100 紅樹林	0k+101~200 紅樹林	0k+201~300 雜林	0k+301~400 雜林
	植生寬度	2	2	1	1
	植生連續性	1	1	1	1
	植生結構完整性	1	1	1	1
	本土種覆蓋百分比	2	2	2	2
	本土種再生率	2	2	1	1
	現況				
各段次指數	4	4	3	3	

濱河區域次指數為：4

資料來源：本研究整理

參考文獻

1. 王立志，1997，「濱溪生態與保育」，林務局八十六年度溪流環境保育研討會講義，行政院農委會
2. 北科大水環境研究中心，Jun 2001，「生態工法執行問題之探討」座談會 P7 16
3. 林壯沛，2000，「森林及水區水文泥砂及土地利用關係研究(三)」，水利工程研討會論文集，水土保持局
4. 高甲榮，Jan 1999，「近自然治理—以景觀生態學為基礎的荒溪治理工程」，北京大學林業學報 P81 Vol21, No1
5. 徐美玲，1996，「河道形態與淤砂搬運」，林務局八十五年度溪流棲地改善研習班講義，林務局保育科，p3
6. 曹先紹，1996，「評鑑既有魚道的生物學考量」，林務局八十五年度溪流棲地改善研習班講義，林務局保育科，p41
7. 莊進源，1986，「以生物方法對新店溪水質之判定研究報告」行政院環境保護署 p1
8. 湯宗達，1997，「以生態系統完整性為中心之河川生態品質評估架構」中興大學資源管理研究所，p2
9. 郭瓊瑩「九十年創造台灣城鄉新風貌示範計劃講習會」論文集 2001 p-3-6
10. 郭勝豐，2000，「自然河川生態系統之整備研究」，經濟部水資源局，p14
11. Chang-Fang Zhou, 2003, 「Vegetating Coastal Areas of East China: Species Selection Seeding Cloning and Transplantation Ecol. Eng 20 275-286
12. David K. Gattie, 2003, 「The Emergence of Ecological Engineering as a Discipline」, Ecol. Eng 20 409-420
13. Howard T. Odum, 2003, 「Concepts and Methods of Ecological Engineering」 Ecol. Eng 20 339-361
14. Howard T. Odum, 1988, 「Self-organization, Transformity, and Information」 Science 242 1132-1139
15. H.T. Odum 「Ecological Engineering」
16. Martey D. Matlock 2001 「Ecological engineering: A rationale for standardized curriculum and professional certification in the United States」 Ecol. Eng 17 403-409
17. Robert L. Knight, 2003, 「Long-term phosphorus removal in Florida aquatic system dominated by submerged aquatic vegetation」 Ecol. Eng 20 45-63
18. Rusong Wang & Jingsong Yan 1998 「Integrating hardware, software and mindware for sustainable ecosystem development: Principles and methods of ecological engineering in China」 Ecol. Eng II 277-289
19. Willian J. Mitsch 「Ecological Engineering」 1989 p24
20. http://www.civag.unimelb.edu.au/~arlads/index_of_stream_condition.htm