

以溪流狀況指數探討野溪整治護岸設計之成效 -以內厝溪為例

An Evaluation of the Effectiveness of Stream Revetment Design Using the Stream Condition Index

薛方杰 (Fam-Jye Shae) *

摘要

近年來生態意識廣受世界各國所重視，台灣地區亦積極展開各項生態工程作業，其中護岸工程為最主要的項目之一，主要是因為台灣河川災害最直接的破壞形式多發生於護岸；而對生態環境而言，護岸也是一個水生、陸生動植物共同的生態過渡區域。本研究針對台灣溪流特性與相關條件，對溪流狀況指數進行本土化修正，並用以評估護岸設計之成效。所獲得的研究結論包含：在護岸設計上應特別注重多孔性、透水性並創造不同條件的水域環境、護岸坡度需避免過度陡峭、周邊應留設可供多元植栽生長之連續性棲地、並整合周邊污水防制計畫以確保溪流水質。

關鍵字：生態工程、溪流護岸、溪流狀況指數、野溪整治

* 國立宜蘭大學建築與永續規劃研究所助理教授

ABSTRACT

Ecological issues have received increasing attention from countries around the world. Taiwan's government is actively working on multiple ecological engineering projects, including stream revetment engineering. Most stream disasters occur in as a direct result of revetment in Taiwan. Moreover, stream revetment is an important transitional area for both aquatic and terrestrial species. The Stream Condition Index used to examine the effectiveness of stream revetment design is adjusted to adapt Taiwan's stream characteristics. Using the evaluation results, four conclusions are inferred: (1) revetment should include porous and permeable functions to create diverse aquatic environment; (2) the slope of the revetment should not be steep; (3) the surrounding area of revetment should be reserved as a continued habitation area for plants; and (4) the revetment design should integrate existing water pollution prevention plan in order to ensure stream quality.

Keywords : Ecological Engineering, Stream Revetment, Stream Condition Index, Stream Straightening

一、前言

近年來生態意識廣受世界各國所重視，台灣地區也開始推展各類生態工法的運用，其中特別是針對台灣數量眾多的溪流河川上，因與生態關係最為密切而陸續有許多的整治應用案例出現。

在各類河川整治工作中，護岸常為最重要的項目之一，主要是因為台灣地區河川災害的破壞形式多發生於護岸，而護岸一旦遭受破壞其後方的土石與基地也常盡為沖刷。近年來國內在歷經多次風災與土石流等自然災害後，有部份以生態工法施作的案例遭受破壞，而開始出現反對生態工法並要求恢復傳統工法的呼聲。其實，無論是傳統工法或生態工法，在災害侵襲後均有被破壞的案例出現，但因各種環境與背景條件的不同，很難片面去論定何種工法較為優良；但透過那些安然通過災害考驗的案例中則可確認，能因應不同環境背景與條件，因地制宜的選擇適當工程型式，才是確保工程安全的重要關鍵。但應如何進行相關環境評估以執行設計作業，則常是困擾規劃設計者的難題之一。

本研究有鑑於生態工程具有環保、親自然、減少人為工程衝擊等優點，但在執行設計與評估時常相對複雜困難，而一般的生態評估方式又往往受限於各類專業知識條件，而不易讓設計人員理解與操作，因此本研究以「溪流狀況指數」為基礎，針對台灣環境特性與執行條件進行調整，用以探究在生態護岸工程執行上之成效與問題，同時也藉此嘗試提出一可兼顧生態與工程條件，且易於工程人員操作與執行的評估架構與方法，以供相關規劃設計及管理單位參考之用。

二、文獻探討

2-1 台灣溪流整治之課題

台灣地狹人稠，為了居住、生產上的種種需要，常與自然爭地，在河溪周遭之處則尤為明顯；但台灣溪流有其特殊性，常非一般工程整治方式能予因應。台灣山區高聳平原狹短，河床坡度陡峻，水流沖刷力強，加上全年降雨量常集中於數月之間，而有所謂乾濕季之分，且降雨多集中於山區，造成河溪流量變化差異極大（林鎮洋，2003）；此外，台灣山脈多屬沈積岩與變質岩，經高度風化其性質脆弱易斷裂（林才鑿，2004），這些特性常形成溪流整治工作上的困難與挑戰。

溪流整治之主要目的為提升河道的穩定性及災害防制，一般多以水利工程方式處理，如：各類邊坡整治、固床工、護岸工等（陳榮河、林世偉，2001；林信輝，2002）。而在早年的整治工程上，往往僅考量強固性、耐久性、施工便利及最短工期等條件，而多選用鋼筋混凝土結構施作，雖然在短期內滿足了人類開發上的需求，但卻也逐漸反應出諸多問題，如：窄化河道剝奪溢淹緩衝區，造成堤防不斷加高，使人與溪流關係從親近轉為防禦對抗，以及因溪水淘空基礎，造成水泥護堤失敗等（鄭朝陽，2001）；陸仕傑（2006）也指出台灣早年為了經濟的發展，而造成自然環境的傷害，其中尤其以河溪破壞格外嚴重，不透水的護岸堤防、硬式底面工，雖可抵擋強大的洪水，卻也阻絕濱岸生物之棲息繁衍。而汪靜明（1999）亦指出傳統混凝土整治工程對溪流生態所造成的影響包含：（1）平滑無藏匿空間，水、陸生物無法交流，破壞生態循環。（2）混凝土壩體造成落差，魚蝦無法迴遊而形成區域生態。（3）混凝土封地設計加快流速易形成洪害，並喪失地下水補水功能。（4）人為刻意介入，破壞水質、水溫、流速等平衡，自然循環失序。

面對傳統整治工程問題，並呼應全球對於生態議題的重視，我國政府自 1990 年代後期，也逐步展開生態工程的推動，在溪流整治上雖陸續有相關案例出現，但仍常遭受無法兼顧安全性及生態性的質疑，顯見跨領域研究與整合仍是目前在溪流生態工程運用上亟待努力的課題之一。

2-2 溪流生態工程觀念之發展

自 Odum 於 1962 年對生態工程進行系列性論述以來，生態工程概念逐漸為世人所討論與重視。生態工程是一種設計、運作自然界與經濟系統之間關係的技術，進而促使人類與環境間之相互調適（Mitsch, 1989）。而有別於傳統土木、環境與農業等仍以工程為基礎的生態想法，生態工程師需要有能力完成生態與環境間之共同問題（Madock, 1999）。而在各類生態工程議題中，溪流因蘊育著豐富且特殊的動植物相及景觀，且與人類、生物之生命關係密切，因此廣受界各國所重視。

但溪流因生態系統多樣、複雜且脆弱，稍加擾動即易造成原生態環境之破壞與失衡，因此，先進國家在發展生態工程的過程中，多以河川保育為初步研究發展之標的（林鎮洋，2005）。而台灣溪流河川具有獨特性，因此在生態工程的

引進及設計上亦必須做適度的改良，設計單位必須了解生態工程的精神與意義，所設計之工程才能符合我國溪流河川的生態性（鄭紹材、李浩榕，2006）。

一般而言，溪流河川的生態體系包括兩大部分，第一部份為生物環境，由生產者、消費者及分解者等生物組成；第二部份則為物化環境，如空氣、陽光、水體、土壤及化學物質等（郭瓊瑩等，1995；陳鎮華，2000）。而溪流生態系之生物分佈常隨流域呈帶狀變化，因此如郭瓊瑩（1999）及 Madock（1999）等均曾提出了「河川廊道」之概念，範圍包含了沿河川分佈的動植物生長帶（區），而此區域中的「生物多樣性」則為重要的生態指標。常見的河川生物多樣性的環境控制因子包含：河川等級、海拔高度、河床坡度、河床基質、流量大小、水質、能源來源、生物交互作用以及人為因素等（汪靜明，1991）。而因生態環境牽涉範疇廣泛，故必須透過環境指標（environmental indicator）與環境指數（environmental indices）對環境品質進行定性定量之度量，以作為評估管理及環境規劃的決策依據（湯宗達，1997）。而適當的河川環境品質評估系統中應同時涵蓋「生物群聚」及「棲地」兩部份（陳宜清，2003），而汪靜明（1996）也認為生態之豐富度及完整度與棲地是息息相關且呈正向比例的。也正因溪流河川生態與棲地環境對於生態體系極具重要性，應如何進行評估與管理，便成為世界各國所共同關注的重點之一。

2-3 溪流狀況評估方法之探討

台灣過去無論在使用生態或傳統工法上，對於溪流整治優劣之評斷，常僅就工程安全性進行考量，而若以生態觀點檢視，則缺乏一套完善且可適用於各類層面的模式。而理想的評估模式除應考量施工對環境生態的影響外，更應能藉由評估作業來檢核完工後對於生態環境的影響，而在國際間針對評估溪流生態狀況所發展出的各類指數上，大致可分為「生物及環境型指標」以及「綜合型指標」兩大類。

1、生物及環境型指標

在各類生物及環境型指標中，有以魚類為指標生物的「生物整合指數模式(Indexes of Biological Integrity, IBI)」(Karr, 1991)；以魚類耐污染性以監測溪流水質的「科級生物指數(Family-level Biotic Index, FBI)」(Hilsenhoff, 1998)；以水生昆蟲為環境監測指標的「快速生物評估法 III(Rapid

Bioassessment Protocol III, RBP) (Plafkin, 1989), 以及環保署 (1990) 所制定的「河川污染指標 (River Pollution Index, RPI)」等。此類指標主要是以魚類、水生昆蟲等物種為評估對象。

2、綜合型指標

在綜合型指標中，則有 1999 年澳洲維多利亞省自然與資源部所頒布的「溪流狀況指數」 (Index of Stream Condition, ISC) (Ladson et al., 1999), 此指數由五種次指數組成，而每一種次指數則是由量測基礎環境之參數或分級指標所組成。此外，朱達仁 (2006) 則提出「溪流複合式評估模式」 (Stream Integrity Assessment Model, SIAM), 內容包含生物評估模組、水質水文評估模組、環境棲地評估模組及生態評價演算模組等。

以下以表 1 整理比較各類環境指標之特性。透過表 1 可瞭解，目前在相關溪流生態評估方法中，IBI、FBI 以及 RBI 等，多以水生昆蟲、魚類等特定生態物種作為評估指標，在評估生態狀況與監控水質方面相當專業深入，但在實際操作上則需要較高的生物專業性素養與技術，同時相關評估結果也較不易轉換成設計人員在執行生態工程時可供參考之資訊；而 SIAM 以多種指標共同構成，涵蓋面向廣泛，但過多評估模組的組合，也因調查步驟、作業時間以及統計演算方式均較為複雜，所得資料雖相對較為細緻多元，但對於一般工程設計人員在實際運用及轉化上則相對不易。

而 ISC 方法，則是澳洲 Ladson 等學者針對現有各類溪流生態評估方法上的限制，在兼具多元完整性以及易瞭解操作的考量上所發展出之評估方法，此方法主要是為有效進行河川管理，評估結果雖未必能如上述方法獲得精確數值，但其所具有之多元性及明示性，則相對更易於工程專業人員學習使用，而評估結果亦容易直接反應於溪流生態工程之設計作業上。因此本研究即以 ISC 為基礎，並針對台灣環境之條件特性進行調整及評估作業。

表 1 相關環境指標與 ISC 比較表

類別	生物及環境型指標			綜合型指標	
	IBI 生物整合指數 模式	FBI 科級生物 指數法	RBP 快速生物 評估法 III	ISC 溪流狀況指數	SIAM 溪流複合 評估模式
內容說明	<p>主要應用於評估在人為環境下，對於河川生態之影響性。評估內容主要是應用對棲息魚類基礎資料之掌握，對生態環境進行狀況性之評估。</p>	<p>主要針對河川溪流中魚種，依據其對水質污染耐受程度區劃為五種等級，分別授以 0 至 5 分。並據評估結果將水質與指標值區劃為 7 個水質等級。</p>	<p>使用生物豐群、生物指標、刮食者與濾食者比率、蜉蝣目、積翅目及毛翅目相對豐度、優勢種百分比、群聚失落指數等 7 項生物指標評估河川水質環境狀況。</p>	<p>由水文、物理型態、濱河區域、水質、水生物等五種次指數共同組合而成，而各次指數再由量測基礎環境的相關參數或一系列的分級指標所組成。</p>	<p>集合各類型指數組成以下模組。生物評估模組包括 IBI, ISC, FBI 等九種；水質水文模組包括 RPI, WQI, ISC 指數；環境棲地模組包括 QHEI, ISC 指數。</p>
特性分析	<p>主要針對河川中的魚類進行評估，評估方式較為精準，但缺乏對 Ecotone 與河岸等環境狀況進行評估。檢核結果對於土木、景觀等工程設計而言，較不易轉化成實際可運用參考之資料。</p>	<p>主要運用魚類對於生存環境之耐受特性進行相關監測，以對應評估溪流水質之優劣狀況。對於土木、景觀等工程的檢核及設計作業較無直接之關聯性。</p>	<p>主要透過對水生昆蟲生長狀態來監測水質狀況，可檢測出三度空間的生態狀況。選擇需完全變態的生物（昆蟲）乃一良好的環境指標，但對於工程設計人員而言則過於專業，不易瞭解與操作。</p>	<p>主要為進行河川管理目的而設立，除水生物外，並同時對植栽與河岸物理性質等條件進行評估。評估方式具含括性，較不追求精準數值資料，但易理解與操作及轉化成為設計與管理可參考之資料。</p>	<p>此方法共結合超過十種評估方法，並以統計及矩陣方法演算，雖取樣多元周密，但對於工程設計人員而言操作方式較困難且耗時，而調查結果及數值對於工程設計的轉化應用較為不易。</p>

資料來源：本研究整理

三、研究方法與對象

3-1 研究方法與流程

本研究透過以下之研究方法針對案例對象進行連續一年（2007/1~2007/12）之調查評估作業，以獲得各項研究分析所需之資訊。研究流程如圖 1。

- 1、歷史資料分析：蒐集專案計畫書、水文資料、專案調查報告等資料進行分析，以作為本研究執行調查、評估與分析之依據。
- 2、現地觀察紀錄：針對研究案例進行現地觀察紀錄，內容包含設計型式、河岸及河床狀況、人工構造物影響、棲地狀況、河濱植栽、生物生長狀況與數量等。
- 3、實驗調查：對於水質、水生物等進行實驗性調查。

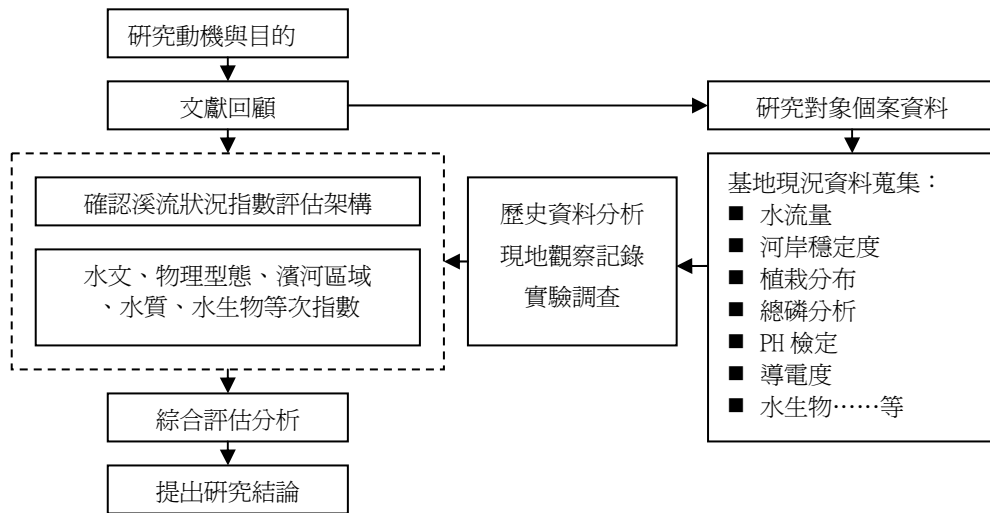


圖 1 本研究執行流程示意圖

3-2 研究案例對象

生態工程施作於溪流環境中主要包含護岸、潛霸、固床工以及植栽工程等四大項（朱達仁，2006）。本研究主要針對護岸工程進行探討，在案例對象選取上有以下之考量原則。

- 1、完工使用期程：為求護岸工程已具有一定之穩定度，選取以完工 7 年以上者為原則。
- 2、護岸形式：在目前溪流整治工程中，以砌石護岸與仿石塊造型模板護岸最常被使用，故針對此兩類型護岸進行選取。
- 3、降雨區域條件：因降雨量會直接影響河川流量，為利於比較分析，在案例選取上以同一降雨區域為原則，說明如下。

綜合以上條件，本研究選取位於台北市士林區之「內寮山溝整治工程」與「內厝溪中游整治工程」作為研究評估之對象案例（表 2）。

1. 內寮山溝整治工程

內寮山溝位於內厝溪上游，源發於標高 799m 的擎天崗南麓，往南經內厝溪中下游匯入雙溪。內厝河流域總長約 4200m，集水面積 240 公頃，該溪流經內寮及內厝地區，護岸坡度多為 80 度以上，主要是因為鄰近土地多已開發，已無河岸緩衝地帶（中興大學水土保持系，1999）。而在護岸整治上乃採取仿石塊造型模版型式設計。

2. 內厝溪中游整治工程

內厝溪中游整治工程是台北市建設局為維護溪流兩岸居民及農耕地區安全所進行之工程；自 82 年度起，先從平菁街 93 巷底之上游內寮段整治 480m，而於 84 年度接續整治平菁街 95 巷內厝橋之中游段 320m。工程項目包括護岸整治、溪床內面工、跌水工、固床工、橋樑欄杆等，在護岸整治型式上則採取自然砌石型式設計。

四、溪流狀況指數修正與操作分析

4-1 溪流狀況指數之修正

ISC 指數系由 Ladson 等人於 1955 年開始發展，而本研究主要參考澳洲維多利亞省自然與資源部所頒布的「溪流狀況指數」（Index of Stream Condition，簡稱 ISC）作為基礎架構，而此指數亦為 Ladson 於 1999 年所提出的第二次修正版本。整體指數由「水文」(Hydrology)、「物理型態」(Physical Form)、「濱河區域」

(Streamside Zone)、「水質」(Water Quality)及「水生物」(Aquatic Life)等五種次指數(Sub-index)所共同組成，除可整體反應溪流之生態環境狀況外，同時各分項次指數亦可提供不同資訊回饋於環境管理及設計作業時之參考。但因各地區環境條件不同，若欲運用於台灣地區，則仍須針對台灣現行之野溪環境特性、實務執行條件以及生物資料庫建置狀況等條件進行調整修正，本研究於考量各項條件後修正整理如表 3。

表 2 研究案例現況說明表

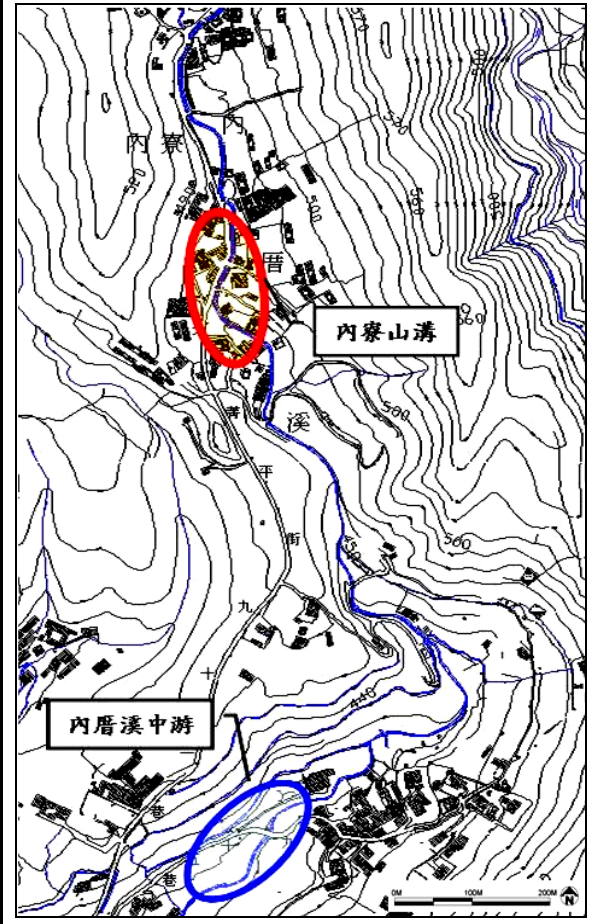
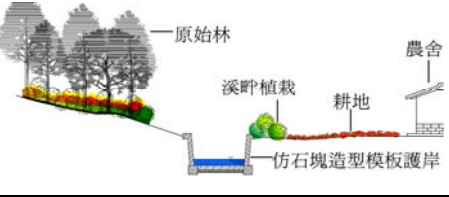

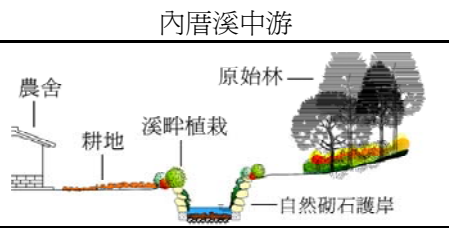

研究對象地區現況地形圖	內寮山溝
	
	
	
	

表3 溪流狀況指數修正後之構成指標

次指數	考慮內容	指 標	修正
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	刪除溪內沙洲指標
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	以總磷替換氨氮指標與水中溶氧量
水生物	指標物種 (修正)	指標性魚類的種類。	替換大型無脊椎動物指標

註：有調整修正之次指數以深色網底標示。

本研究修正調整部份主要為物理型態、水質以及水生物等三項次指數。在物理型態次指數中，考量原有之溪內沙洲（Instream bars）指標，因台灣野溪之寬度狹窄，多為侵蝕狀況，同時上游野溪部分多為大型礫石少有沙洲（曾森煌，2002），故不予考量。

而在水質次指數的考量上，水質中氨氮與總磷是生物活動及有機物質分解後之產物，均可顯示出水質污染程度，但因氨氮值在檢測上較為困難不易執行（蔡政賢，2002），為兼顧工程設計人員對測量的掌握性及相關數據之代表性，故在本項次指數中以總磷替換氨氮指標。而以總磷、濁度、導電度及 pH 值等四項作為指標，多可直接運用攜帶型儀器進行現場量測，且測定方法簡易。

此外，在水生物次指數中則將原指標物種「大型無脊椎動物（macroinvertebrate）」改以「指標性魚類」替代，主要是考量目前台灣地區對於各流域大型無脊椎動物之研究資料不足，在評估應用上有其困難，而相對指標魚

類的研究則較為充實，且對於非生物學背景之操作者而言亦較易判定，因此國內也多以魚類作為相關指標，本研究即參考環保署環境檢驗所以雙溪為對象所提出之魚類資訊指標（田志仁、汪碧涵，2004），作為修正依據。為有助於各界以及工程設計人員理解與操作，以下便依序對各項次指數意涵、評估程序及結果分析進行說明。

4-2 溪流狀況指數之操作與分析

4-2-1 水文次指數

主要在於評估溪流水文狀況。河川流量與生態環境有密切關係，生態基本流量（Ecological Basic Flow）可確保河川生物的生存之最低要求；而護岸構造物則與流量的變動有關，主要因為構造物的材質型式常會影響滲透流量之多寡（楊佳寧，2006）。

1. 評估程序

- 步驟 1. 比較自然月流量與實際月流量。實際流量由降雨量計算後獲得，而自然月流量為過去 6 年間之平均月流量，若資料取得不易，則可以每一測區之平均月流量作為自然月流量。
- 步驟 2. 計算變異率：水文變異率 = $(\sum |全年中實際月流量 - 自然月流量|) / 年自然流量$ 。再依表 4 求得水文次指數值。
- 步驟 3. 評估流域滲透改變每日流量之變化，流域中有超過 12% 之人為開發面積時則指數值減 1。
- 步驟 4. 評估集水區是否受水力發電廠影響而引起激流，若受影響則次指數值減 1。
- 步驟 5. 求得最終之水文次指數值，由表 5 中三個分項之積分組合而成，如式(1)。

$$\begin{aligned} \text{水文次指數} = & \text{水文指標} - \text{由流域滲透改變每日流量變化指標} \\ & - \text{由水利設施改變每日流量變化指標} \end{aligned} \quad (1)$$

表 4 水文指標換算分級表

水文變異率	指標值
<0.1	10
0.1-0.2	9
>0.2-0.3	8
>0.3-0.5	7
>0.5-1.0	6
>1-1.5	5
>1.5-2	4
>2-3	3
>3-4	2
>4-5	1
>5	0

資料來源：參考 Ladson et al. (1999)

表 5 水文次指數之分項指標值表

指標	指標值範圍
水文指標	0-10
由流域滲透改變每日流量變化指標	0-10
由水利設施改變每日流量變化指標	0-10

資料來源：參考 Ladson et al. (1999)

2. 評估分析

在自然流量部分採每月降雨量作為計算基準，資料引用中央氣象局竹子湖觀測站 2007 年資料。而各數值之計算如式(2~5)。經現場調查後其實際流數量如表 6 所示。

$$\text{水文偏差值} = \frac{\sum_{j=1}^{12} |c_{ij} - n_{ij}|}{\sum_{i=1}^{12} n_{ij}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{水流變化偏差} = \sum_{j=1}^{12} \left[\left(\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} r_{ij} \right) - 1 \right] \quad \text{其中 } r_{ij} = \frac{c_{ij}}{n_{ij}} \text{ if } c_{ij} \geq n_{ij} \quad \text{or } \frac{n_{ij}}{c_{ij}} \text{ if } n_{ij} \geq c_{ij} \quad (3)$$

$$\text{全年水流比例偏差} = \sum_{j=1}^{12} \left[\sum_{i=1}^{12} \left[\frac{c_{ij} - n_{ij}}{n_{ij}} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\text{水文次指標指數比率} = \sum_{j=1}^{12} \left[\sum_{i=1}^{12} \left[\frac{c_{ij} - n_{ij}}{n_j} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{其中 } \bar{n}_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} n_{ij} \quad (5)$$

c_{ij} = 第 j 年第 i 月的實際流量； n_{ij} = 第 j 年第 i 月的自然流量

表 6 月流量與實際流量統計表（單位：m³）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
月自然 流量 (ni)	417,120	786,960	838,080	150,000	1,792,800	660,000	1,218,000	1,861,200	1,258,800	1,798,800	656,400	470,400
內寮月 實際流 量(Cj)	40,176	96,422	120,528	32,141	80,352	120,528	80,352	40,176	80,352	80,352	40,176	40,176
內厝月 實際流 量(Cj)	321,408	482,112	723,168	120,528	1,124,928	241,056	964,224	803,520	803,520	1,285,632	602,640	361,584

註：此表月自然流量為月降雨量乘以集水面積

水文次指數值經計算後四捨五入，內寮山溝部分為 2；內厝溪中游為 4。

水文次指數值的高低代表了水流量的大小，也直接反應了水生物所需的最低生存環境狀況。就生態觀點而言，季節性的水流量變化應能滿足生態維繫的需水量（Base Stream flow）（王傳益，2005）。經本研究連續一年的調查結果顯示，在仿石塊造型模板護岸區段中，自然流量普遍低於下游砌石護岸區段，而主要關鍵在於能否獲得地下水之補注，仿石塊模板護岸的不透水性無法讓雨水滲透進入地表，在少雨季節中地下水亦無法釋出，造成該區域水量極大的變化；而砌石護岸區段因具透水性，溪流於少雨季節中仍可獲得地下水之補注，因此水量變化偏差相對較小。顯示自然砌石護岸較能維持穩定的水流量。

4-2-2 物理型態次指數

本項此指數主要在於評河川穩定度與物理性棲地品質。影響河岸穩定度的成因很多，包含植生覆蓋情況、逕流沖擊以及水體對河岸底部沖刷等；而在物理型態次指數中的河岸穩定度、河床狀況、人工構造物的影響、河川物理性棲地狀況等四項指標，對於護岸均具有影響性（林昭遠，2005），透過指標評估可對護岸設計與維護上提出較明確之方向與參考。

1. 評估程序

步驟 1. 運用表 7-(1)對河岸穩定度進行評估。

步驟 2. 運用表 7-(2)對河床狀況進行評估。

步驟 3. 運用表 7-(3)評估是否有人工構造物對下游地區產生影響，若無則跳過。

步驟 4. 考量下游是否為洪泛平原區：若是則運用表 7-(4)對溪流物理棲地進行評估。

步驟 5. 運用式(6)求得物理型態次指數值。

$$\text{物理型態次指數} = \frac{10}{16} \left[\text{河岸穩定度比率分級} + \text{河床狀況評估分級比率} + \text{人工構造物評估分級} + \text{溪流物理棲地評估分級} \right] \quad (6)$$

表 7 物理型態次指數之評估分級比率表

(1) 河岸穩定度分級比率表		
分級	評估狀態	指標值
穩定	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	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	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	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
極端不穩定	加速沖蝕的跡象、無有效植生、甚不穩定基腳	0
(2) 河床狀況評估分級比率表		
分級	評估狀態	指標值
些微侵蝕或堆積	無侵蝕或堆積現象	4
中度河床侵蝕	急劇升降的河床、缺乏沖積物、涓涓細流、河岸侵蝕、近期少量加深侵蝕現象	2
中度河床堆積	沉積物累積、河床傾向平坦、相同粒徑大小沉積物阻塞河床上、少量淤泥阻塞	
極端河床堆積	河床河岸寬深比低、近期有侵蝕現象、河岸裸露、河岸沖蝕，可能有沖蝕源頭	0
極端河床堆積	高的河床河岸寬深比、河床平坦、大的渠流、淤泥現象	

(3) 人工構造物評估分級比率表		
評估狀態	指標值	
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	
(4) 溪流物理棲地評估分級比率表		
分級	評估狀態	指標值
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

資料來源：參考 Ladson et al. (1999)

2. 評估分析

在物理型態次指數評估上，內寮山溝評估值為 7，內厝溪中游為 8，顯示兩類護岸均具良好之河岸穩定度，但在生態環境上仍具差異性而整理以表 8 說明之。此外，兩處護岸因腹地受限，在有限面積上為求高流量均以近九十度之 U 型斷面進行設計並以固床工強化河床，在河岸穩定度上似乎相對穩定，但也使得溪流原有的沖刷、堆積、侵蝕等作用均無法發生，而創造了一個僅就工程安全考量，卻不適合生物生存的環境。

表 8 物理型態次指數比率說明



內寮山溝-仿石塊造型模板護岸	
現況照片	次指數值計算
	河岸穩定度比率分級=4 河床狀況評估分級比率=4 人工構造物評估分級=2 溪流物理棲地評估分級=1 物理型態次指數 = $\frac{10}{16} (4+4+2+1)=7$
	分析說明
	河岸屬於穩定狀況；河床無侵蝕或堆積現象；在河道上設有潛壩只有小型魚類可以通過。此外，因為河道已整修完成，兩岸已有人為開發，河道中僅有少數的粗木殘骸；生物棲地不易形成。

表 8 物理型態次指數比率說明（接續）

內厝溪中游-自然砌石護岸	
現況照片	次指數值計算
	河岸穩定度比率分級=4 河床狀況評估分級比率=4 人工構造物評估分級=2 溪流物理棲地評估分級=2 物理型態次指數= $\frac{10}{16} (4+4+2+2)=8$
	分析說明
	河岸屬於穩定狀況；河床無侵蝕或堆積現象；在河道上設有設有潛壩中型魚類可通過。此外，因河道已整修完成，兩岸有人為開發，河道及護岸有部分植栽聚落，可提供做為小型生物之棲地。

4-2-3 濱河區域次指數

濱河區域是指與河川相鄰接之植被區域，亦為連接河川與陸地的區域，有遮蔽陽光、提供生態資源、提供生物棲息地及景觀價值等功能。濱河區域寬度的界定乃以水際邊緣到改變土地使用之內容為界，此河岸的縱深大小直接影響生物棲地狀態；此外，沿河岸植物生長的連續性對生物廊道（Eco-Corridor）的形成有關，許多動、植物必須藉此進行遷徙與覓食。

1. 評估程序

步驟 1. 運用表 9-(1)對濱河區域寬度進行評估。

步驟 2. 運用表 9-(2)對植生連續性進行評估。

步驟 3. 運用表 9-(3)對植生結構完整性進行評估，並以式(7)計算之。

$$\text{植生結構指數} = \frac{2}{3} (\text{植生結構指數 (喬木)} + \text{植生結構指數 (灌木)} + \text{植生結構指數 (草地)}) \quad (7)$$

步驟 4. 運用表 9-(4)對外來種植生之覆蓋比例進行評估，並以式(8)計算之。

$$\text{來種植生指數} = \frac{2}{3} (\text{外來種植生指數 (喬木)} + \text{外來種植生指數 (灌木)} + \text{外來種植生指數 (草地)}) \quad (8)$$

步驟 5. 運用表 9-(5)對本土樹種再生率進行評估。

步驟 6. 運用式(9)求得濱河區域指數值。

$$\text{濱河區域指數值} = \frac{10}{19} \left[\text{濱河區域寬度評估分級} + \text{植生連續性評估分級} + \text{植生結構完整性評估分級} + \text{本土種植生覆蓋比例分級} + \text{本土樹種再生率比例分級} \right] \quad (9)$$

步驟 7. 評估是否有 50%以上接近自然狀態，若無則指數值減 1。

2. 評估分析

在河濱區域次指數評估上，內寮山溝之評估值為 3，內厝溪中游之評估值為 6（表 10），顯示自然砌石護岸表現較佳。仿石塊造型模板護岸表面少有孔隙而不利於植物生長，並因不透水性導致表面溫差大而不適合生物依附生存，同時護岸角度過大，喬灌木等植物無法生存而僅有部分草本類植物能勉強生長，缺乏植物多樣性。相對自然砌石護岸則較具有多孔性，易讓多元植物在石縫中附著生長。

表 9 濱河區域次指數之評估分級比率表

(1) 濱河區域寬度評估分級比率表				
小溪流 ≤ 15M 寬之植生	大溪流 ≥ 15M 寬之植生			指標值
≥ 40.1M	≥ 3.01 倍渠道寬			4
30.1~40M	1.51~3.00 倍渠道寬			3
10.1~30M	0.51~1.50 倍渠道寬			2
5.1~10M	0.26~0.50 倍渠道寬			1
≤ 5M	≤ 0.25 倍渠道寬			0
(2) 植生連續性評估分級表				
河岸植生 長度比例	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
95-100%	4	3	不可能(NP)	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

表 9 濱河區域次指數之評估分級比率表(接續)

(3) 植生結構完整性評估分級表			
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
(4) 本土種植生覆蓋率分級表			
本土種植生覆蓋率			指標值
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
(5) 本土樹種再生率分級表			
狀態描述			指標值
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

資料來源：參考 Ladson et al. (1999)

表 10 河濱區域次指數比率說明



內寮山溝-仿石塊造型模板護岸	
現況照片	次指數值計算
	濱河區域寬度評估分級=0 植生連續性評估分級=1 植生結構完整性評估分級=1 本土種植生覆蓋比例分級=2 本土樹種再生率比例分級=2 $\text{濱河區域指數} = \frac{10}{19} (0+1+1+2+2) = 3$
	分析說明
	溪岸側因農業開發植生區域小於 5m。於每 1000m 顯著不連續植栽調查中只有約 50%有植栽生長，其餘為水泥欄杆及人造物。在植生結構完整性評估上河岸植栽稀疏錯落無群聚效果。在本土種植生覆蓋比例上約僅有 50%。而河岸上新種植栽生長狀況良好。

表 10 河濱區域次指數比率說明（接續）

內厝溪中游-自然砌石護岸	
現況照片	次指數值計算
	濱河區域寬度評估分級=0 植生連續性評估分級=3 植生結構完整性評估分級=2 本土種植生覆蓋比例分級=3 本土樹種再生率比例分級=2 濱河區域指數 = $\frac{10(0+3+2+3+2)}{19}=6$
	分析說明 溪岸側因農業開發植生區域小於 5m。於每 1000m 顯著不連續植栽調查中約有 80%有植栽生長，其餘則為水泥欄杆及人造物。在植生結構完整性評估上河岸植栽群落完整有群聚效果。在本土種植生覆蓋比例上約有 80%。而河岸上新種植植栽生長狀況良好。

4-2-4 水質次指數

水質次指標是一主要的環境代表因子，可顯示出人類行為與水質間之因果關係。而由下列四種指標所組成。

- (1) 總磷：總磷值的增加常是因鄰近土地使用化學物質與河川優養化等現象所造成。
- (2) 濁度：水中土砂量與浮游生物的增加常為濁度增加的主因。
- (3) 導電度：鹽類對工程而言並無太多意義，但在生態上卻具有相當之指標意義；而導電度可作為反應鹽類的指標，因水中總離子濃度與導電度大致成正比，故可藉此概估出水中溶解物質離子化之量，同時亦可藉此瞭解天然水之總溶解固體量，顯示出水質礦化程度（曹先紹，2001）。
- (4) pH 值：主要常受工業廢水等污染以及水生植物自然分解物質等因素影響，應朝向管制人為污染以及防止藻類繁殖等自然因素方面著手改善。

1. 評估程序

步驟 1. 決定溪流位置進行取樣測定。

步驟 2. 運用表 11-(1)評估總磷指標值；運用表 11-(2)評估濁度指標值；運用表 11-(3)評估導電度指標值；運用表 11-(4)評估 pH 值指標值。

步驟 3. 運用式(10)求得水質次指數值。

$$\text{水質次指數} = \frac{10}{16} \left[\text{總磷指標分級比率} + \text{濁度指標分級比率} + \text{導電度指標分級比率} + \text{PH 值指標分級比率} \right] \quad (10)$$

表 11 水質次指數指標分級比率表

(1) 總磷指標分級表 單位：mg m-3		
高山地區	平原地區	指標值
<10	<20	4
10-<20	20-<40	3
20-<30	40-<75	2
30-<40	75-<100	1
≥40	≥100	0
(2) 濁度指標分級表 單位：NTU		
高山地區	平原地區	指標值
<5	<15	4
5-<7.5	15-<17.5	3
7.5-<10	17.5-<20	2
10-<12.5	20-<30	1
≥12.5	≥30	0
(3) 導電度指標分級表 單位：μS/cm		
高山地區	平原地區	指標值
<50	<100	4
50-<150	100-<300	3
150-<300	300-<500	2
300-<500	500-<800	1
≥500	≥800	0
(4) pH 值指標分級表		
ph 值	指標值	
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：參考 Ladson et al. (1999)

2. 評估分析

在水質次指數評估上，內寮山溝與內厝溪中游案例的評估值均為 7(表 12)，為中等偏好。兩處案例均位處水源區，就先天而言水質良好，但目前兩岸均有住宅聚落及農業開發行為，所產生的農業污染及生活廢水對於水質有明顯的影響（廣瀨利雄，1999），從總磷檢測的數值不佳中可見端倪；此外，在本區中因已完成溪流整治工作，土壤泥石不會大量進入溪流中，因此反應在濁度指標上則表現較佳；而在導電度與 pH 值上，護岸的設置亦將部分影響因素隔絕在外，因此均能保持一定之程度。

表 12 水質次指數及分項指標狀況表

指標	案例地區	內寮山溝		內厝溪中游	
		數值	指標值	數值	指標值
總磷		395	0	569	0
濁度		54	4	65	4
導電度		227	3	247	3
pH 值		6.8	4	6.5	4
水質次指數值		--	7	--	7

4-2-5 水生物次指數

本次指數在溪流生態工程上主要是著眼於棲地環境的創造與維護，反映部分的生態環境品質。本研究依據不同魚類所具有之抗污染性不同作為評估指標，而反應在護岸工程上，則是為集合上述其他次指數，以綜合性的觀點考量生物棲息地應有之營造方向。

1. 評估程序

步驟 1. 採集魚種。

步驟 2. 運用表 13 評估溪流魚種之指標值。

步驟 3. 利用式 (11) 值計算水生物次指數值。

$$\text{水生物次指數值} = \frac{10}{4} \sum \text{水生物指標值 } r \quad (11)$$

表 13 水生物評估分級表

魚種	指標值 (r)
鯛魚	4
石濱、台灣纓口鯽	3
溪哥魚種	2
烏魚、花身雞魚、環球海鯨、鯉魚	1
大眼海鯢、吳郭魚、泰國鱧魚、大鱗鯔、琵琶鼠	0

註：參考田志仁、汪碧涵（2004）

2. 評估分析

在本次指數之評估結果上，內寮山溝評估值為 0，內厝溪中游為 2。在仿石塊造型模板護岸區域中因缺乏地下水的供給補充常造成水量不足，同時又缺乏生物隱蔽區域，較難以提供魚群的生長活動，因此在數量上十分稀少；相對在自然砌石護岸區域中，因較容易獲得地下水源的補充，水量上相對較為豐沛，且因兩側護岸及溪流底部均由具透水性及多孔性的石材所構成，加上潛霸的設計容易形成水潭，均提供了動、植物較佳的生活環境，而有數量較多的溪哥等魚類棲息。

五、綜合分析

5-1 溪流狀況指數之分析

在完成各項次指數評估後，以式(12)以求得溪流狀況指數。每項次指數值滿分為 10 分，故溪流狀況指數滿分為 50 分，得分越高代表環境越符合自然生態條件（表 14）。

$$\text{溪流狀況指數} = \text{水文次指數} + \text{物理型態次指數} + \text{濱河區域次指數} + \text{水質次指數} + \text{水生物次指數} \quad (12)$$

表 14 溪流狀況指數分級表

溪流狀況指數值	河川狀況
45-50	極佳
35-44	好
25-34	普通
15-24	不好
<14	極差

綜合分析結果，在溪流狀況指數的表現上「內寮山溝-仿石塊造型模板護岸」為 19，屬於不佳；而「內厝溪中游-自然砌石護岸」為 27，則屬於普通。而此數值若與其鄰近未施作區域的溪流狀況指數表現相比較，內寮山溝段整治後的狀態較未整治之狀況為差，而內厝溪中游於整治後則較未整治之狀況為佳（表 15）。

表 15 整體指數值及分項次指數值整理表

照片	次指數	內寮山溝		內厝溪中游	
		施作	未施作	施作	未施作
	水 文	2	3	4	4
	物理型態				
	(1)河岸穩定度評估	4	2	4	2
	(2)河床狀況評估	4	1	4	2
	(3)人工構造物評估	2	2	2	2
(4)溪流物理棲地評估	1	1	2	2	
次指數 =10/16((1)+(2)+(3)+(4))	7	4	8	5	
	濱河區域				
	(1)濱河區域寬度評估	0	1	1	1
	(2)植生連續性評估	1	3	3	3
	(3)植生結構完整評估	1	2	2	2
	(4)本土植生覆蓋評估	2	4	3	4
(5)本土種再生率評估	2	2	2	2	
次指數 = 10/19((1)+(2)+(3)+(4))+(5))	3	7	6	7	
	水 質				
	(1)總磷	0	3	0	0
	(2)濁度	4	4	4	4
	(3)導電度	3	3	3	3
	(4)ph 值	4	4	4	4
次指數=(1)+(2)+(3)+(4))	7	7	7	7	
水 生 物	0	1	2	1	
溪流狀況指數值	19	22	27	24	

從評估結果中可知，以自然砌石型式設計的護岸可創造出較好的生態環境，特別是在物理型態部分較未施作前有明顯的改善，但在設計上仍有：護坡型式過於垂直陡峭而不利於大型植栽生長及動物親近與移動、周邊農業及居住行為造成污染，以及周邊可供動植物生長之棲地範圍不足等問題而有待改善。

而仿石塊造型模板護岸在水文、濱河區域、水生物等指數表現上，均較自然砌石護岸為差；若再與其鄰近未施作區域比較，雖然在物理型態部分獲得改善，但在水文、濱河區域及水生物等指數表現上均較未施作區域差。其中最主要的問題在於護岸材質缺乏孔隙，除植物無法附著生長外，亦無法讓水分在降雨時滲透入地面、非降雨期間獲得補注，而使溪流水量呈現明顯豐枯狀況不利於生物生存，因此就生態環境觀點建議應避免使用此類型護岸。

5-2 評估結果應用於生態護岸工程上之討論

本研究中仿石塊造型模板護岸因材質無法透水，較自然砌石護岸產生了更大的水量榮枯變化，顯示未來在護岸設計上應儘量採多孔性材質，以利水文平衡及多元生物棲地的形成；而在現況上可考量修改部份護岸區域以透水性材質改良施作，以混和配置方式改善現有問題。

在物理型態的評估上顯示兩類護岸在河岸及河床穩定度上均有其成效，但良好的生態工程不能僅就單一方面討論，此兩個案例雖在物理型態上有一定成效，但在濱河區域表現上則不佳，顯示對於創造生物棲息環境上仍有所不足，其中自然砌石護岸雖相對較利於植物生長，但限於環境條件，現況中仍多以草本植物為主，顯示未來在護岸設計上，應儘量以緩坡設置，並於坡腳，坡面及坡頂處儘量留設較大之植生區域或樹穴以供大型植物生長，而在護岸興建上也不必然以連串施作，可於適當處保有原地形地貌以兼顧工程穩定及自然特性，同時亦可運用於護岸坡腳處設置竹編物等手法，以創造更多元、具連續性之棲地環境。

在水質方面，現況中鄰近住宅之生活廢排水仍會排放至溪流中而破壞水質，顯示未來在溪流整治工程上，應一併考量周遭活動狀況，亦可考量優先設置污水下水道系統，以從根本上去保護自然溪流之水質。

而面對仿石塊造型模板護岸造成水生物無法生長之問題，則可利用竹編、拋石等方式，儘量增加可供植物生長、生物躲藏之棲地；而在根本上，則可考慮

適當遷移部份仿石護岸，而改以透水多孔性材質補充，除有利於地下水滲透補給及植生生長外，同時亦可打破僵硬、連續的非生態邊界。

六、結論

生態工程是重要的工程類型之一，但在生態環境的評估方式上，一般工程人員較難以瞭解與掌握，因此在執行設計與管理時，常僅能依靠直覺、經驗進行，除造成工程人員的困擾外，對於生態環境之成效亦難以確保。而溪流狀況指數評估方法正可以協助設計及管理人員瞭解及掌握溪流生態之狀況，本研究在針對野溪護岸整治設計案例進行評估後提出以下之結論。

- 1、在生態環境成效表現上，仿石塊造型模版護岸較未施作前為差，而砌石護岸則較未施作前為佳。主要原因之一在於仿石塊護岸因缺乏透水性而使水體有明顯豐枯狀況，同時易受陽光漫射影響而使水溫上升，不利於植栽與生物生存；相對的自然砌石護岸的多孔性件則較有利於溪水平衡及生物生存。因此未來在護岸設計上應避免使用仿石造型模版等不透水性護岸，而儘量以多孔性材質施作；此外兩處案例均未考量到溪流應有深潭及激流等變化，而造成魚類等生物生長與活動的限制，在未來設計上，應運用護岸及河床保留不同深度、寬度與流速之區域，以利多元物種的生長棲息。
- 2、兩處案例歷經多次颱風侵襲均通過考驗，在物理型態指數評估上亦均為中上，顯示均符合工程安全上之要求，但在設計上卻同樣存在護坡過於陡峭等問題。在未來設計上，不應僅以處理水患、爭取人類活動範圍為目的，而應儘量採用緩坡護岸，並避免單一僵化的護岸型式，以利多元生態活動與交流的產生。
- 3、仿石塊造型護岸因缺乏孔隙無法讓植栽附著生存，不符生態環境的要求，而自然砌石護岸則雖相對具有孔隙，但多僅有草本植物生長；同時兩處護岸均坡度陡峭且未能留設適當植栽生長空間，不利於喬灌木等植栽生長，以形成連續性的多元棲地，顯示未來在設計上，應在護岸之坡腳、坡面及坡頂等處儘量留設出適當植生區以利各類植物生長。
- 4、兩處案例之水質均受周遭農作及家庭廢排水影響，此問題亦普遍存在台灣溪流河川中，顯示未來在溪流整治工作上，應一併考量周遭活動狀況，除

加強法令、教育及管理外，應改變由都會地區優先鋪設污水下水道之觀念，配合溪流整治工程優先設置下水道，以從根本確保水體與環境之品質。

參考文獻

1. 中興大學水土保持系，1999，《台灣地區邊坡暨河溪綠美化自然工法-個案調查與探討》，臺北：水土保持局。
2. 王傳益，2005，〈濁水溪中上游生態基流量之推估與應用〉，《水土保持學報》，37卷1期》，pp.69-82。
3. 田志仁、汪碧涵，2004，〈淡水生物多樣性調查方法與評估指標〉，《環境檢驗季刊50期》，pp.14-21。
4. 朱達仁，2006，〈溪流環境評估常使用的量化生態指標簡介〉，《台灣林業4月號》，pp.30-39。
5. 汪靜明，1991，〈台灣河川的生態保育〉，《科學月刊22卷12期》，pp.930-937。
6. 汪靜明，1996，〈河川生態保育原理〉，《環境教育季刊31期》，pp.27-53。
7. 汪靜明，1999，〈河川生物多樣性的內涵與生態保育〉，《環境教育季刊38期》，pp.34-44。
8. 林才鑿，2004，《溪流生態工法之研選-以大屯溪凹岸為例》，臺北科技大學土木與防災所碩士論文。
9. 林昭遠，2005，〈濱水區生態工法評估系統建置之研究〉，《水土保持學報37卷1期》，pp.11-26。
10. 林信輝，2002，《野溪自然生態工法評估指標及設計參考圖冊之建立》，臺北：行政院農委會水土保持局。
11. 林鎮洋，2003，〈集水區親水及生態工法之建立〉，《生態工法技術參考手冊》，臺北：經濟部水利署。
12. 林鎮洋，2005，〈以雷達圖法導引溪流生態工法之研究〉，《水土保持學報36卷1期》，pp.89-99。
13. 陸仕傑，2006，《河溪整治工程之成本分析》，中華大學營建管理所碩士論文。
14. 曹先紹，2001，《生態工程與自然工法》，臺北：中國文化大學景觀學系。

- 15.陳宜清，2003，〈建立以棲地評估程序於生態工法之評估準則-應用於台灣野溪治理〉，國科會專題研究計畫成果報告。
- 16.陳鎮華，2000，《河川綜合環境品質評估模式之建立與應用以高屏溪為例》，東華大學自然資源管理所碩士論文。
- 17.陳榮河、林世偉，2001，〈生態考量之新工法〉，《土木技術 4 卷 4 期》，pp.29-37。
- 18.郭瓊瑩，1999，〈河川廊道之生態規劃與設計〉，《生態工程與自然工法研習會》，pp.82-121。
- 19.郭瓊瑩、郭育任、林大元，1995，《流域河川生態設計準則》，台北：行政院環境保護署。
- 20.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》，中興大學資源管理所碩士論文。
- 21.曾森煌，2002，《土石流顆粒碰撞之模擬研究》，國立中興大學水土保持學系博士論文。
- 22.楊佳寧，2006，〈從沖積河川學談生態工法在河道棲地復育之應用〉，《水土保持學報 37 卷 1 期》，pp.77-90。
- 23.蔡政賢，1992，《多目標非點源污染總量管制策略分析--以寶山水庫的總磷管制為案例》，國立交通大學環境工程所碩士論文。
- 24.鄭朝陽，2001，〈台灣溪流的前景即將斷送在「水泥化的溪流整治」〉，[<http://e-info.org.tw/against/2001/against-01072301.htm>]
- 25.鄭紹材、李浩榕，2006，〈以 AHP 建置河川水域生態工程管理要項之研究〉，《建築學報 57 期》，pp.69-82。
- 26.環保署，1990，《河川整治工程環境影響評估技術手冊》，台北：環保署。
- 27.廣瀨利雄，1999，《增補應用生態工學序說：生態學と土木工學の融合を目指して》，東京：信山社サイテック。
- 28.Hilsenhoff, W.L.(1988)Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index, J.N. Am. Benthol. Soc, Vol. 7:65-68.
- 29.Karr, J.R.(1991)Biological integrity: A Long-Neglected Aspect of Water Resource Management, Ecological Applications, Vol. 1:66-84.
- 30.Ladson, A.R. and White, L.J.(1999)An Index of Stream Condition: Reference Manual. Department of Natural Resources and Environment, Victoria, Australia.
- 31.Madock, I.(1999)The importance of physical habitat assessment for evaluation river health, Freshwater Biology, Vol. 41, No. 2: 373-390.

32. Mitsch, W.J.(1989)Ecological Engineering: An Introduction to Ecotechnology, John Wiley & Sons, New York.
33. Plafkin, J.L., Barbour, M.T., Porter, K.D., Gross, S.K. and Hughes, R.M.(1989)Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish, United States Environment Protection Agency, Washington, D.C..