

濱水區生態工法評估系統建置之研究

林昭遠¹ 蔡真珍² 馮正一³ 謝政道⁴

摘要

過去工程在規劃設計與施工過程，在時效壓力下，時常忽略環境生態之考量，導致許多生物面臨絕種危機；在傳統工程人定勝天之觀念下，更造成大自然的反撲。鑑此，政府各部門近年來大力推動生態工法，以師法自然為設計理念，期能在兼顧生態與安全的前提下，創造出具有台灣自然特色與風貌的工程。「挑戰 2008 國家發展計畫—水與綠建設」中，亦明定推動水利工程需兼顧生態保育之趨勢與要求，惟目前台灣生態工法在成效評估上多以定性方式說明，缺乏科學化數據之論述，為現階段之議端與推展瓶頸。為尋求合理且可行之方法，本研究乃彙整分析國內外相關模式及調查台灣案例，得生態、安全、成本及社會等因子之評估方式，利用 GIS 建置濱水區生態工法評估系統；評鑑精神係參酌美國 AAA(American Automobile Association) 評鑑制度且兼顧評估單位人力、經費等考量，採取三階段評估治理成效：第一階段工法評估模式係透過區位分析，評估因地制宜之工法類別；第二階段專家現勘模式係由專家至現地填寫調查表再由模式統計查核；第三階段查驗評估模式則為查核實際採樣調查之成果。透過本評估系統可量化評估生態工法成效等級，作為工程評鑑參考之依據。

關鍵詞：生態工法、成效評估模式、地理資訊系統、AAA 評鑑制度

Establishment of Evaluation System for Eco-technology Methods on the Riparian Zone

Chao-Yuan Lin, Chen-Chen Tsai, and Zheng-yi Feng

Professor, Graduate Student and Assistant Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Tachung, Taiwan 402, R.O.C.

Cheng-Daw Hsieh

Water Resource Agency, Ministry of Economic Affairs, Taipei, Taiwan 104, R.O.C.

¹ 國立中興大學水土保持學系教授

² 國立中興大學水土保持學系博士生

³ 國立中興大學水土保持學系助理教授

⁴ 經濟部水利署保育事業組組長

ABSTRACT

In the past, engineers spent less consideration on designing hydraulic structures for ecological requirements because of inadequate planning time for the project. Habitat protections were usually ignored so that specific species were threatened to extinction. The improper concept of traditional construction designing, humans are trying to control over nature, makes nature pounce on us back by disasters. In order to improve this situation, Taiwan government promotes eco-technology methods with great effort in the recent year. The main purpose is creating similar local nature environment based on nature principle, ecological consideration and construction security. According to "The National Development Plans for Challenging Year 2008: The Blue and Green Lines Construction" ecological concerns and concepts become a planning tendency and the basic requirements for implementing hydraulic designs. The performance for the ecological effects of constructions is also critical. However, most evaluations for applying eco-technology methods are qualitative descriptions. Lacking of quantification analysis is a big obstruction to promote eco-technology methods. This study collected some relative models and analyses, meanwhile local cases were investigated. An evaluation model was established using GIS module. It contains four indices, including ecology, construction security, cost and society. The AAA evaluation system used in USA was employed and less manpower and expenses for evaluation processes were also considered. There are total 3 steps for evaluation procedures integrated in this model. The first one is construction method evaluation. Suitable methods can be decided based on the environmental GIS feature analyses. Second one is expert site inspection. After experts filling out survey forms in the field and putting those data into the model, the results will be examined by the software. Third step is advanced evaluation model for checking specific field data. Finally, the grade is determined by this evaluation system after finishing quantification analyses.

Keyword: eco-technology methods, integrated evaluation model, GIS, AAA, evaluation system

一、前言

台灣受地理長期區隔之影響，蘊育了豐富的動植物資源，生物種類與密度舉世聞名，在特有種動物密度上，世界排名第 7，如此生物多樣性的自然環境資源，無論在學術研究及資源保育利用，甚至國際觀光上皆深具價值，因此早享「福爾摩莎」之令譽。然隨著工商業蓬勃發展，工程大肆興建，在地狹人稠的環境下與自然爭地在所難免。但過去工程在規劃設計與施工時，甚少考量生

態因素，導致許多物種面臨絕種危機外，亦造成大自然的反撲。鑑此，政府各部門為導正傳統工程人定勝天的觀念，並加強工程師在生態方面的素養，近年來大力推動生態工法，以期能在兼顧生態與安全的前提下，創造出具有台灣自然特色與風貌的工程，並在「挑戰 2008 國家發展計畫一水與綠建設」中，明定推動水利工程需兼顧生態保育之趨勢與要求。

生態工法隨著施政導向而形成一股熱

潮，蔚為顯學，產、官、學界皆有所作為，如何將生態工法成功地落實於工程建設中乃是實務上最具關鍵之探討。目前台灣生態工法之案例數量雖逐漸累積，惟在成效評估上多以定性方式說明，且工程界與生物界標準不一，對成效表徵亦無共通語言、有失客觀。若以生態工法之精神論之，當治理工程在規劃設計之初，即對生態、安全有所衡量，完工後亦呈現當時之設計目標，可謂呈現應有之成效，而非生態或安全之單一成效論述。爰此，本研究以此理念為基礎，參酌美國汽車協會（American Automobile Association；AAA）對旅館之評鑑精神並兼顧評估單位人力、經費等考量，採取三階段進行評鑑，量化生態工法之成效等級，並結合台灣相關案例經驗，彙整分析得生態、安全、經濟及社會指標之評估方式彙整於 GIS 系統，以建置濱水區生態工法成效評估模式。

二、研究方法

（一）生態工法之內涵及類型分析

1. 生態工法之內涵

欲分析生態工法之成效，須先了解其內涵，在生物界與工程界中取得共識後，則能對工法彰顯之成效有較一致之看法，試簡述生態工法之精神及內涵，說明如下。

行政院公共工程委員會之生態工法定義，即「生態工法(Ecototechnology)係指人類基於對生態系統的深切認知，為落實生物多樣性保育及永續發展，採取以生態為基礎、安全為導向，減少對生態系統造成傷害的永續系統工程皆稱之。」

（1）對生態系統之深切認知

生態工法乃是建立在對生態系統深切認知之前提下，所採取順應自然、合乎生態法

則之工程方法。生態工法之應用必須是整體性之思維，例如河川整治即使為某一河段，亦應考量到上、中、下游之景況及關聯性。因此，生態工法必須確認本身所處生態系統的特性，而據以研擬生態工法之生態目標。

（2）生態與安全並重

生態工法乃是建構在生態與安全並重之基礎上，因地制宜所採取之工法。例如於都市生態系中應以安全、人本及優質環境為首要考量，反之，在森林溪流生態系中，生態環境之營造或是目標物種之保護則為關鍵性之需求(林金德等，2002)。

2. 生態工法之類型分析

為使評估模式能符合實務所需，因此蒐集目前公部門如公共工程委員會、水利署及水保局等單位所發行之生態工法基本圖，將目前台灣濱水區常應用之整治工法予以納入本評估模式，並將工法分類為護岸型、河道型及邊坡型。

（二）相關模式之蒐集與分析

經蒐集國內外相關模式，可知國外較為常用之生態評估模式有物理性棲地模擬系統(PHABSIM)、溪內流量增量評估法(IFIM)、棲地評估準則(HEP)、生物評估標準技術(BEST)、生態共棲指標(ECI)、水域地形法則(HGM)、濕地評估技術(WET)、科級生物指標(FBI)、腐水度指數(SI)、生物綜合性指標(IBM)、概念模式(Conceptual Model)等，國內近年則有環保署發展之河川生態品質評估系統(ASREQ)。

上述模式皆為單一評估，如對棲地、生物或水質等進行評估，無法反映生態工法整體考量之精神。因此本研究乃參酌其優點，分別就生態工法之精神予以逐項評估，並納

入生態、安全、成本及社會等因素，以因地制宜之觀念作為第一階段工法評估模式之成效基準；再由設計者之理念及工法本身所呈現之功能性等作為第二階段專家現勘模式之成效基準；最後由河川整體環境所呈現之生態系統之完整性作為第三階段查驗評估模式之成效基準。

(三) 評估基準與指標研析

1. 生態指標研析

基於生態完整性與生態多樣性之評估技術過於多樣化，實難以一單項評估對象便可滿足各類動、植物之基本生態系統，且在多種生態工法施做的方式及材料，並未在研究領域建立起一定之生態評價基準。

國外多位學者曾研究不透水面積比 (impermeability) 或所謂的孔隙率 (porosity) 與生態性之關聯性影響，如加拿大學者 McGuckin et al. 於 1995 年曾以不透水面積探討對野生動植物生態系之影響；日本學者 Imbe et al. 在 1998 年亦提出不透水面積會影響生態系統保育與再生之困難；英國學者 Evans et al. 則於 1999 年研究論述孔隙率與草類生長之關係。

本研究乃參酌上述之理論基礎，將各類工法所採用之構造物所形成之不透水面積比率，來代表一般動、植物棲息或入侵之可能性，以建立工法之生態指標。

2. 安全指標研析

依照設計條件，考量生態工法構造物在基準斷面下可能破壞之情況，如滑動、傾倒、沉陷等，並分別推估其安全係數，取安全係數值最小者為代表。本研究對邊坡生態工法、護岸生態工法與河床生態工法構造物之安全係數，分三組分別計算，經群集分析分

為 1~0 五類，得安全指標值。

部分不易計算安全係數之工法，如邊坡生態工法之噴植、切枝壓條、土袋、椰纖材、打樁編柵、肥束帶等，則依經驗估計相對安全係數。其安全指標評估流程圖如圖 1 所示。

3. 成本指標

分析各種生態工法於規劃設計、施工與維護等各階段所花費之成本，並以生態工法構造物之單位面積(或單位長度)為分析基準，比較各工法的成本後，排序與繪圖比較，經群集分析由 1~0 分為五類，將相對成本總價最高者訂為 1，未施作訂為 0。

4. 社會/偏好指標

社會指標之評估方式，採問卷調查為主，以統計方法評估生態工法對於社會層面之影響，作為成效評估指標之一，因此以評量問卷建立相關分析程序。

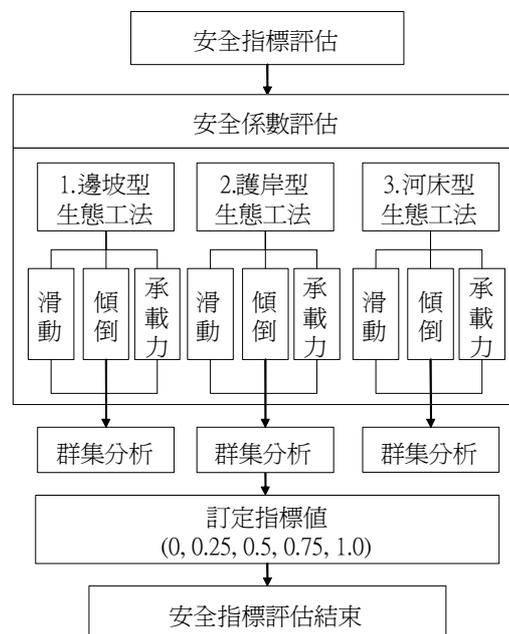


圖 1 安全指標評估流程圖

Fig. 1 The flow chart of construction security index evaluation

(四) GIS 資料庫之環境指標研析

利用 GIS 資料庫進行區位分析，萃取當地環境背景資訊，作為工法優選分析之參數。目前建置供分析圖層為坡度圖、地質圖、土壤圖、河川級序圖及土地利用圖(如表 1)，經分析可反映生態、安全及成本指標。

表 1 GIS 圖層資訊與各分析因子關聯表
Table 1 Relationship between GIS layers and the associate factors

GIS 圖層	生態因子	安全因子	成本因子
坡度圖		☑	☑
河川級序圖	☑		
土壤圖		☑	☑
地質圖		☑	☑
土地利用圖	☑		

1. 坡度圖層

依照坡度大小訂定安全及成本指標，坡度較陡峭區域，建議採用安全性較高之工法；所需投入成本亦相對較大；因而整治時適用指標值較大之工法。本研究將安全及成本指標依據坡度百分比之大小分為 0~1 間之指標(表 2)。

表 2 坡度與安全、成本指標對照表
Table 2 Relationship between slope and construction security/cost index

坡度	安全指標	成本指標
< 5%	0	0
5~15%	0.25	0.25
15~30%	0.5	0.5
30~40%	0.75	0.75
40~55%	1	1

55~100%	1	1
>100%	1	1

2. 河川級序圖層

係利用河川級序來判斷所在區位之生態情況。河川級序為 0 或 1 為通常為林地，或蘊育野溪發源之地，人煙罕至，自然生態環境佳，訂定生態指標值為 1；意指此區域適用生態指標為 1 之工法或採不施作予以處理。指標訂定範圍如表 3。

表 3 河川級序與生態指標對應表
Table 3 Relationship between Horton stream order and ecological index

河川級序	集水區特性	生態指標
0	漫地流區域、林地為主	1
1	野溪型集水區、林地為主	1
2	野溪或常年流集水區、有農地出現	0.75
3	常年流集水區、有農地及道路出現	0.5
4	常年流集水區、有農地、道路及建築物出現	0.25
5	常年流集水區、人為土地利用型態為主	0

3. 土壤圖層

依土壤質地強弱訂定安全及成本指標，土質越弱，需採用安全性較高之工法，所需投入之成本亦較大，因此需採用指標值較大之工法。本研究訂定之安全及成本指標，乃依據所估計之土壤強度分為 0~1 之間五類指標值(表 4)。

表 4 土壤與安全、成本指標對照表

Table 4 Relationship between soil type and construction security/cost index

土壤類別	估計強度 C(kg/cm ²)	安全 指標	成本 指標
石質土	0.4-0.6	0.25	0.25
崩積土	0.02-0.03	1	1
岩石	>5	0	0
黃壤	0.05-0.1	1	1
幼黃壤	0.2-0.3	0.5	0.5
無母質	0.15	0.75	0.75
紅壤	0.3	0.5	0.5
沖積土	0.2	0.75	0.75

註：上表中強度 C(kg/cm²)之推估係參考 Kulhawy and Mayne (1990)

4. 地質圖層

依照地質材料強度訂定安全及成本指標。地質越弱，則需較安全之工法，所投入之成本亦較大，因而整治時適用指標值較大之工法，本研究係先推估 GIS 圖層中地質各類別之單壓強度，再將各地質類別依單壓強度大小分為 0~1 之間五類指標值(表 5)。

表 5 地質類別與安全、成本指標對照表

Table 5 Relationship between geology and construction security/cost index

地質類別	估計單壓 強度 (MPa)	安全 指標	成本 指標
硬頁岩夾泥質砂岩	50-100	0.25	0.25
砂岩及頁岩、白砂岩，含煤層	25-50	0.5	0.5
紅土、礫石、砂及粘土	0.078-0.44	1	1

砂岩及頁岩互層，含煤層	25-50	0.5	0.5
硬頁岩夾薄至厚層砂岩	50-100	0.25	0.25
礫石、砂及粘土	0.078-0.33	1	1
玄武岩質凝灰岩及岩流	1-25	0.75	0.75
塊狀砂岩及頁岩	50-100	0.25	0.25
硬頁岩及板岩	50-100	0.25	0.25
礫石、砂及粘土	0.078-0.44	1	1
深灰色板岩和千枚岩質板岩、夾石英砂岩互層	50-100	0.25	0.25
厚層或塊狀白色中至極粗粒石英岩及硬頁岩	200	0	0

註：上表中單壓強度(MPa)之推估係參考 U.S. Department of Transportation (1989)

5. 土地利用圖

依土地利用型態之逕流係數推算生態指標，土地利用之逕流係數係參考國外 American Society of Civil Engineers(1969)，McCuen(1998)與國內交通部「公路排水設計規範」及水土保持技術規範，分析如表 6。

人煙干擾甚少之處如闊葉林、針葉林、果園及草生地等區域，應選用較生態的工法，因此整治時適用生態指標值越大之工法。

表 6 土地利用與生態指標對照表

Table 6 Relationship between landuse and ecological index

類別	逕流係數 平均值	生態指標
水田	0.70	0.50
旱田	0.60	0.75

闊葉林	0.35	1.00
針葉林	0.40	1.00
竹林	0.45	0.75
灌木區	0.40	1.00
建築區	0.80	0.25
墓地	0.50	0.50
花圃	0.50	0.50
檳榔椰子	0.50	0.50
香蕉園	0.45	0.75
茶園	0.45	0.75
鳳梨	0.50	0.50
果園	0.40	1.00
草生地	0.40	1.00
崩塌地	0.70	0.50
河流	0.80	0.25
道路	0.90	0.00
高爾夫球場	0.50	0.50
水田	0.70	0.50
水池	0.80	0.25
荒地	0.70	0.50
公園	0.50	0.50
伐木地	0.70	0.50
開墾地	0.70	0.50
景觀區	0.70	0.50

(五) 多評準決策分析方法

多目標決策過程分為多目標規劃、目標權重估測及多目標評估等三種，而評估方法依所能處理之資料型態分為質化評估法如 AHP 及量化評估法如 ELECTRE 及 PROMETHEE 等(葉昭憲，1997)，其中 PROMETHEE 法為 1984 年由 Brans、Vincke and Mareschal 等人所共同提出，此法提供客觀之數學觀念來量化分析多目標問題，且目

前已有甚多研究將其與 GIS 相結合，因此本研究採用 PROMETHEE 法作為第一階段工法評估模式優選工法之分析方法。

PROMETHEE 分析流程為 1. 建立方案—準則評估表，2. 選擇偏好函數(H)，偏好函數係選擇 GAUSS CRITERION，3. 計算偏好指標(π)，4. 計算整體偏好函數流量(ϕ)。

三、評估指標研析

(一) 工法評估模式之指標研析

1. 生態指標

試以護岸型工法為例，其平均不透水面積分析如圖 2，透過群集分析將不透水面積比率分類於 0~1 區間(表 7)，可得各類生態工法之生態指標值(表 8)。

2. 安全指標

以護岸工法為例，假設坡高 3 公尺，坡面 30°，凝聚力 C=0，摩擦角 $\phi=30^\circ$ ，地下水位高 1 公尺，對各護岸工法進行安全係數分析。工法不易進行安全性分析者，則採估算方式，如以植生為本質之工法，其安全係數估計為 1。求出各工法之安全係數值後，再經群集分析分為 0、0.25、0.5、0.75 與 1.0 等五類，分析如表 9 所示。

3. 成本指標

成本指標之訂定，依照其單位面積(長度)所需之成本來計算相對成本值，包含規劃設計、工料分析、維護管理等，對成本排序後，分成五級，各對應到 0、0.25、0.5、0.75 與 1.0 等指標值，以邊坡型生態工法為例，如表 10 所示。

4. 社會/偏好指標

以問卷方式調查試區桃園縣復興鄉三民村居民，經統計分析可知一般民眾偏愛混凝

土類、合成類及植栽類之工法。以河床型生態工法為例，整理如表 11。

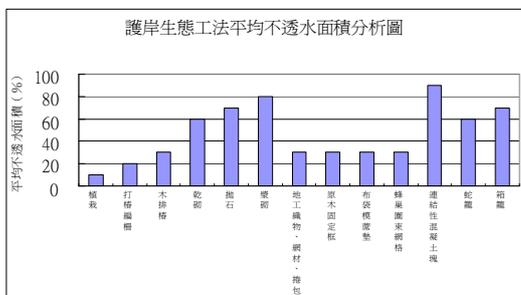


圖 2 護岸生態工法材料不透水面積分析圖
Fig. 2 The impermeability of material for eco-technology methods on riverbank

表 7 護岸生態工法材料不透水面積率與生態指標對照表

Table 7 Material impermeability and the correspondent ecological index

護岸生態工法不透水面積率	生態指標
$X \leq 15\%$	1.00
$15\% < X \leq 30\%$	0.75
$30\% < X \leq 65\%$	0.50
$65\% < X \leq 85\%$	0.25
$X > 85\%$	0.00

表 8 護岸生態工法生態指標分析表

Table 8 Classified results of ecological index for each method on riverbank

材料類別	護岸工法	生態指標
植生類	植栽	1
木材類	原木固定框	0.75
	木排樁	0.75

	打樁編柵	0.75
石材類	拋石	0.25
	乾砌石	0.50
	漿砌石	0.25
	蛇籠	0.5
	箱籠	0.25
混凝土類	連結型混凝土塊	0
	砌混凝土塊	0
	多孔性混凝土	0.5
合成類	捲包	0.75
	布袋模蓆墊	0.75
	蜂巢圍束網格	0.75
對照組	未施作	1

表 9 護岸工法安全指標分析表

Table 9 Classified results of construction security index for each method on riverbank

護岸工法	相對安全係數	相對安全指標
木排樁	1.00	0.25
布袋模蓆墊	1.00	0.25
打樁編柵	1.00	0.25
捲包	1.00	0.25
植栽	1.00	0.25
拋石	1.10	0.5
乾砌石	1.24	0.5
蜂巢圍束網格	2.33	0.75
蛇籠	2.42	0.75
漿砌石	2.70	0.75
原木固定框	2.90	0.75
多孔性混凝土護岸	3.12	1
砌混凝土塊	3.12	1

連結性混凝土塊	3.12	1
箱籠	3.31	1
對照組	未施作	0

表 10 邊坡生態工法之成本指標分析表

Table 10 Classified results of construction cost index for each method on slopes

護坡工法	相對成本值	成本指標
噴植	261	0.25
樹木枝條	329	0.25
土袋	623	0.25
椰纖維材	1438	0.25
打樁編柵	1850	0.5
加勁	2151	0.5
肥束帶	2226	0.5
乾砌石	2388	0.5
原木固定框	3177	0.75
漿砌石	3307	0.75
木格框	4803	0.75
蛇籠	13154	1
土石籠	13458	1
箱籠	19062	1
格框擋土牆	24614	1
對照組	未施作	0

註：成本以每公尺計算

表 11 河床工法之偏好指標分析表

Table 11 Classified results of preference index for each method on riverbed

材料類別	河床工法	偏好指標
木材類	木樁壩	0.25

石材類	丁壩	0.25
	拋石固床工	0.25
	砌石固床工	0.5
	箱籠潛壩	0.25
	蛇籠潛壩	0.75
混凝土類	格框潛壩	0.5
	梳子壩	0.5
	斜坡式固床工	0.75
	嵌石踏步式固床工	0.5
對照組	未施作	0

(二) 專家現勘模式之指標研析

專家現勘模式以現場檢核之方式填寫工法成效；本研究提出目視評估綜合判斷生態工法，在生態指標方面係分別由河床、護岸、坡面上之生物多樣性與棲地多樣性進行評估，其項目係參酌並修改自行政院農業委員會 2002 年所出版之「野溪自然生態工法評估指標及設計參考圖冊之建立」，以建立生態評估檢核表。在安全及成本方面之檢核表，則參考修改自公共工程委員金質獎之調查表。

生態工法檢核評估表後為定性之判斷基準，因此在專家現勘模式則將定性之鑑別轉換成定量之指標或模式，透過統計模式之建立，將其分類為定量之參數值或指標分數，再進行顯著性差異與判別分析。

(三) 查驗評估模式之指標研析

回顧生態工法之相關研究文獻，可知水質、水量及生物多樣性等指標皆可視為生態工法之生態成效指標，惟此評估指標需由長期監測、分析數據而得，因此評估單位可視其需要予以選擇性評估。

1. 水質評估

水質方面採用環保署水質分類等級 RPI

指標(River Pollution Index, RPI)，其以實測溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD5)、懸浮固體(SS)及氨氮(NH₃-N)等四項水質參數後，進行積分法計算。RPI 等級與生態指標評分標準值，換算採計方式如表 12。

樣區水質分析結果若屬於「RPI 等級 A」，則為符合水質標準，則通過此項之評鑑。

2. 水量評估

溪內流量 (Instream flow) 或稱內水流量，為河川在單位時間內通過之水量。溪內流量為建構河川環境的主要因子，與河川生態息息相關，故生態工法為確保適當流量以維護河川正常功能，列入重要的評估項目之一。溪內流量可採用的評估方法中為數眾多，若以 Tennant (1976)，Stalnaker (1976)，EA Engineering, Science and Technology Inc. (1986)等的文獻分類，這些評估方法通常可分為：棲地評估法 (Habitat Preference Methods)、水力評估法 (Hydraulic Rating Methods)、流量評估法(Discharge Methods)等三種。

本研究將採用最簡易之流量評估法，Tennant 法予以統計，其建構於平均年流量 (Mean Annual Flow, MAF) 之比率，可反映水生棲地的狀態與平均年流量具有相對應的關係。依 Tennant 法表中所列 10%MAF 的流量為河川生物生存的最小流量，30%MAF 的流量則可提供一個良好的棲地條件。本研究採用 10%及 30%MAF，以瞭解維持棲地的最小流量以及免除棲地情況發生惡化的流量。為便於建立評估生態條件標準，以實測流量值進行統計分析並針對 Tennant 法建議之流量表進行生態指標評分換算，建議標準如表 13。

樣區流量分析結果若屬於「良好值」者(生

態指標評分為 0.75)，則為符合流量標準，並通過此項之評鑑。

3. 生物多樣性

生物的多樣性通常以生物群聚的歧異度 (Species diversity)變化來了解，而歧異度是以生物種類組成的結構關係，可用來表示自然集合群聚之變化情形。本研究使用 Shannon 物種歧異度指數(Shannon diversity, H')進行水域生物分析。

坡面治理常導入外來先驅植物，因此植群方面則使用 Jaccard 相似性指數進行評估，若植群與鄰近未擾動區相似度高，則謂復育良好，示如表 14。

經現場調查所得之相對歧異度值或相對相似性指數值若大於 0.75 者，即則為符合生物多樣性之標準，並通過此項之評鑑。

表 12 RPI 與生態指標關聯表

Table 12 Relationship between RPI and ecological index

項目 \ 污染程度	無或稍微	輕度	中度	嚴重
溶氧量 (DO)mg/L	≥ 6.5	4.6~6.5	2.0~4.5	≤ 32
生化需氧量 (BOD ₅) mg/L	≤ 3.0	3.0~4.9	5.0~15	≥ 15
懸浮固體(SS) mg/L	≤ 20	20~49	50~100	≥ 100
氨氮(NH ₃ -N) mg/L	≤ 0.5	0.50~0.99	1.0~3.0	≥ 3.0
點數	1	3	6	10
積分	≤ 2	2.0~3.0	3.1~6.0	≥ 6.0
等級	A	B	C	D
生態指標值	0.75	0.50	0.25	0.00

表 13 流量與生態指標關聯表

Table 13 Relationship between discharge and ecological index

流量說明	實測流量 (% of MAF)	實測流量 (% of MAF)	生態指標
	10-3 月	4-9 月	
洪水或最大 值	200	200	1
最佳值	60-100	60-100	1
極佳值	40	60	1
佳值	30	50	0.75

良好值	20	40	0.75
好或開始 惡化	10	30	0.5
差或最小 需求	10	10	0.25
嚴重惡化	<10	<10	0

表 14 生物多樣性評估分析表

Table 14 Relationship between biological diversity and similarity indices

評估基準	評估項目	評分方式	適用對象
魚類相對歧異度指數	Shannon 歧異度指數 平均 H' 與基準狀態 H_0' 之比值	魚類 (H'/H_0')	護岸 河床
水棲昆蟲相對歧異度指數	Shannon 歧異度指數 平均 H' 與基準狀態 H_0' 之比值	水棲昆蟲 (H'/H_0')	護岸 河床
植群相對相似性指數	Jaccard 相似性指數 RIS_j	植群 RIS_j	護岸 邊坡

附註：

Shannon 歧異度指數 (H') $H' = -\sum (ni/N) \ln (ni/N)$

ni ：表示為該測站第 i 種生物之個體數、 N ：表示為該測站所有生物種類之總個體數

基準狀態代表：未受擾動之鄰近相似條件的自然狀態河段各指標值

$$IS_j = \frac{c}{a+b+c} \times 100$$

式中， IS_j 為 Jaccard 相似性指數、 c 為 A 區及 B 區之共有種數、 a 為 A 區（對照區）之非共有種數、 b 為 B 區（擾動區）之非共有種數。本研究將 IS_j 計算後之數值除以 100，以將其值域區間重新分佈於 0~1 之間，故提出之相對相似性指數之計算公式為：

$$RIS_j = \frac{IS_j}{100} = \frac{c}{a+b+c}$$

式中， RIS_j 為擾動區對未擾動區之「相對相似性指數」（無單位、分佈 0~1 之間）、 IS_j 為 Jaccard 相似性指數。以此「相對相似性指數」（ RIS_j ）便可評估植群復育之合理性。

四、模式建置

評估單位可依欲評估工程之重要性予以

選擇是否進入進階評估，通過第一階段(工法評估模式)者，該工程之生態工法成效等級為

E 級、通過第二階段(專家現勘模式)者為 D 級；第三階段(查驗評估模式)包含水質、水量及生物多樣性等三項評估調查工作，每通過一項者，可再晉升一級，三項皆符合者，則生態工法之累計成效為 A 級。

(一) 工法評估模式

登入系統後，即選擇欲評估工法類型(護岸、河道及邊坡型)如圖 3，再輸入工程座標位置或直接或由 GIS 圖面點選基地位置，模式即進行環境資訊區位分析(如圖 4)。接著由環境區位分析適合當地之工法種類，最後經多評準決策分析篩選出工法優先順序(圖 5)。

若當地工法設計符合排名前 50% 之工法種類者，則通過第一階段之工法評估，若不符合者，則需填寫設計之特殊考量，經評估者複核是否予以通過。

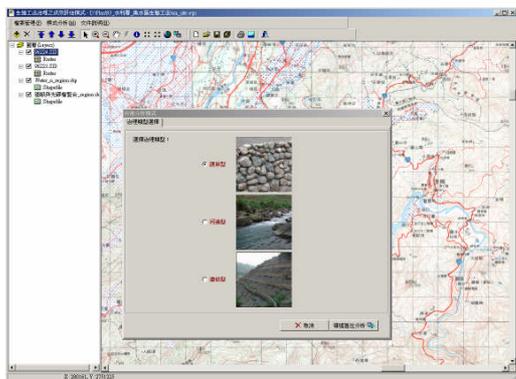


圖 3 選擇治理類型視窗

Fig. 3 Display menu for selecting constructing types

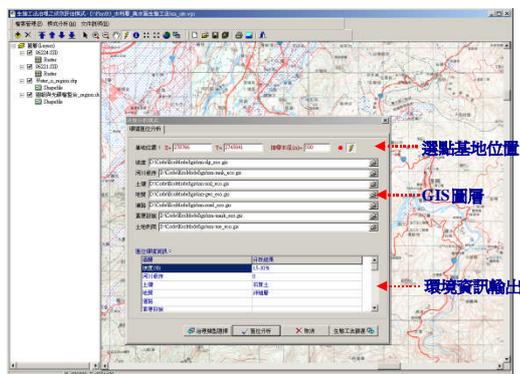


圖 4 區位環境資訊分析視窗

Fig. 4 Display window for site analysis

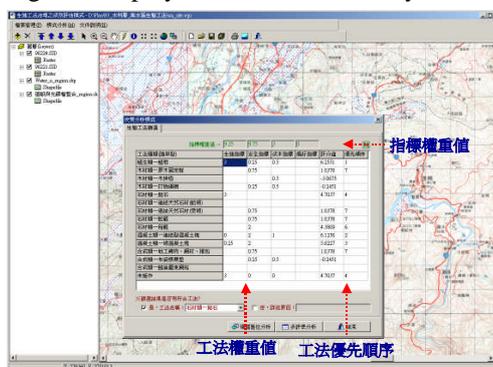


圖 5 工法篩選視窗

Fig. 5 Display window for construction method selection

(二) 專家現勘模式

係由欲評估工程之現地資訊分別勾選生態、安全及成本之評估表(如圖 6)，最後可以由不同統計方式如全部採用、一個標準偏差內、二個標準偏差內及平均值等多項計分予以統計多位專家之評估表(如圖 7)，各項評估值達 0.75 即為通過該項查核。



圖 6 個項評估選單

Fig. 6 Display sheet of evaluation forms

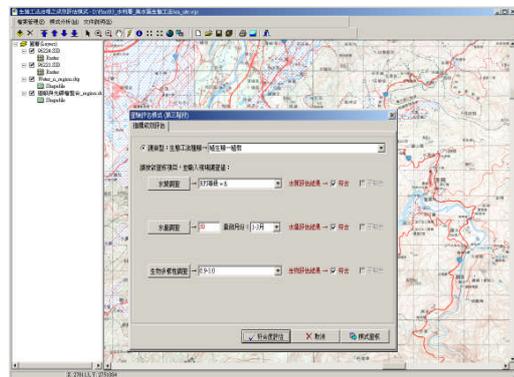


圖 8 野外取樣資料評估選單

Fig. 8 Evaluation forms of field sampling

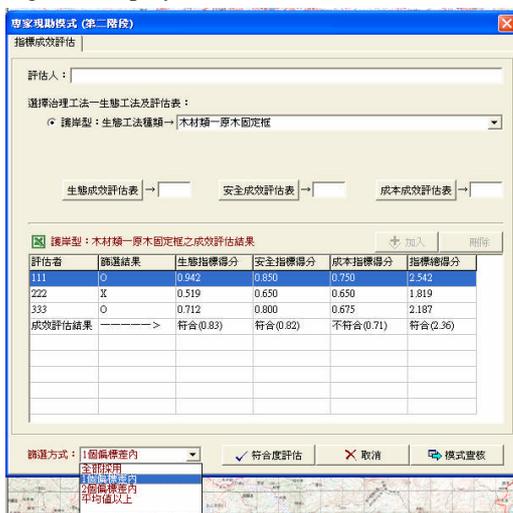


圖 7 系統計分選單

Fig.7 Display window for scoring of selected eco-technology



圖 9 成效查核視窗

Fig. 9 Display window for assessment results

(三) 查驗評估模式

就現地採樣資料予以輸入本查驗評估模式進行查核(如圖 8)，水質、水量及生物多樣性調查等三項，凡通過一項者其成效等級為 C 級，通過任二項者為 B 級，三項皆通過則為 A 級評鑑。查驗評估模式之成效查核畫面示如圖 9。

五、結語

工程在規劃設計之初，即對該處之生態系有所了解，而對生態、安全有所衡量並考量成本及社會等因子予以規劃設計；完工後若能符合當時之設計目標，可謂呈現應有之成效，因此就生態工法之精神而言，探討其成效不適宜單一論述生態或安全之表象。

本評估系統係以點、線、面分階段評估；點：對設計者選用工法之適宜性進行評估；線：工法施作後對河川廊道之功能性予以評估；面：河川生態特性之水質、水量及生物多樣性等實測資料逐項評估，據此量化流域治理應用生態工法之成效等級，供規劃治理

者進行不同區位不同工法之成效評估，可望有一致且客觀之評定標準，作為棲地改善之依據或作為工程集體評鑑之方法。

六、參考文獻

1. 交通部(2002)，公路排水設計規範。
2. 林金德，黃于玻，蔡真珍(2002)「現階段生態工法推展所面臨的問題與對策」，第一屆自然生態工法理論與實務研討會論文集。
3. 葉昭憲(1997)，「運用多目標遺傳演算於滯洪壩系統之規劃」，中華水土保持年會。
4. 農委會(2002)，野溪自然生態工法評估指標及設計參考圖冊之建立。
5. 農委會(2003)，野溪生態調查及棲地改善模式之建置。
6. 農委會(2003)，水土保持技術規範。
7. American Society of Civil Engineers(1969), Design and construction of sanitary storm sewers. ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 37, ASCE, New York, USA.
8. EA Engineering, Science and Technology Inc. (1986), Instream flow methodologies. Report prepared for the Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, Research Project 2194-2.
9. Evans, S.P., Mayr, T.R., Hollis, J.M., Brown, C.D. (1999), SWBCM: a soil water balance capacity model for environmental applications in the UK. *Ecological Modelling*, 121, 17-49.
10. Imbe, M., Ohta, T., Takano, N. (1998), Quantitative assessment of improvements in hydrological water cycle in urbanized river basin. *Wat. Sci. Tech.*, 36, 219-222.
11. Kulhawy and Mayne(1990) "Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design" Ithaca, New York 14853-3501.
McCuen, R.H., 1998, *Hydrologic Analysis and Design*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.
12. McGuckin, C.P., Brown, R.D. (1995), A landscape ecological model for wildlife enhancement of stormwater management practices in urban greenways. *Landscape and Urban Planning*, 33, 227-246.
13. Stalnaker, C. B., and Arnette, J. L. (ed.) (1976), *Methodologies for the determination of stream resource flow requirements: An assessment*. Utah State University, Logan, Utah, FWS/OBS-76/03.
14. Tennant, D. L. (1976), Instream Flow Requirements for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1(4), 6-10.
15. U.S. Department of Transportation(1989), "Rock Slopes: Design, Excavation, Stabilization" Publication NO. FHWA-TS-89-045.

