

生態工法於集水區整體治理規劃之應用－ 北坑溪集水區之實例探討

王傳益⁽¹⁾ 葉昭憲⁽¹⁾ 李漢鏗⁽¹⁾ 連惠邦⁽²⁾ 李秉乾⁽³⁾ 張俊彥⁽⁴⁾ 黃奕聰⁽⁵⁾

摘 要

水土保持局自 2001 年起即全力推動生態工法，並分別辦理各項治山防災生態工法，惟該等計畫僅為各工法之設計參考斷面圖，蓋侷限於「點」或「線」的工作範疇，未能完全考量集水區地文、水文及土砂災害等條件之整體因子，做整合性之治理規劃。為了將過去之研究成果推廣至「面」之層次，提升其參考應用價值，因此本研究以集水區整體考量進行生態工法之規劃設計。換言之，以集水區為單元進行生態工法規劃，同時建立集水區整體規劃設計之模式，以達到災害防治、自然資源保育與保護人民生命財產安全之目的。藉由此次研究探討出完整的生態工法規劃設計參考模式，期能提供國內相關集水區治理工法之參採。

(**關鍵字**：生態工法、土砂災害、集水區治理)

Application of Integrated Watershed Planning with Ecological Engineering Methods-A Case Study of Bei-Keng River

Chuan-Yi Wang⁽¹⁾, Chao-Hsien Yeh⁽¹⁾, Hang-Keng Lee⁽¹⁾, Hui-Pang Lien⁽²⁾

Associate Professor⁽¹⁾ and Professor⁽²⁾ Department of Water Resources Engineering,
Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

Bing-Jean Lee⁽³⁾

Professor, Department of Civil Engineering, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

Chun-Yen Chang⁽⁴⁾

Professor, Department of Horticulture, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, R.O.C.

Yi-Tsung Huang⁽⁵⁾

Engineer, China Engineering Consultants, Inc. Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

-
- (1)逢甲大學水利工程學系副教授
(2)逢甲大學水利工程學系教授
(3)逢甲大學土木工程學系教授
(4)國立台灣大學園藝學系教授
(5)財團法人中華顧問工程司工程師

ABSTRACT

Since 2001, the Soil and Water Conservation Bureau (SWCB) has promoted the plans of ecological engineering methods for protection against natural disasters. However, these individual plans did not provided intergrated planning point of view. In other words,an integral planning and design using ecological engineering methods are nequirel. One needs to use the entire watershed as a unit for ecological engineering methods planning, while setting up a model at the same time to achieve the objectives of taking precautions against disasters and protecting the natural resources and human lives and properties. It is hoped that the integrated watershed planning using ecological engineering methods as proposed in this study can be served as a reference for watersheds in Taiwan.

(KeyWords: ecological engineering methods, soil calamities, watersheds regulation.)

一、前言

台灣地區由於山坡陡峭，河川短急落差大，且因為季節與地形的影響，雨量豐沛集中，再加上原本岩層、地質及環境的特性，極易造成集水區地理環境的破壞。近年來由於經濟高度發展，河川集水區的開墾行為，因為高山農作及遊憩的蓬勃發展，及對水、土資源需求的日漸加劇，且多有超限利用、過度開發等現象；而這些現象可能引發如崩塌、地滑、土壤或邊坡的沖蝕、土石流等災害。因此，集水區整體的經營與其相關問題均為台灣地區集水區重要的課題。

一般而言，集水區問題約可分為物理問題與沖蝕、土地使用、社經問題、制度問題及技術問題等五類。而游繁結等學者亦曾針對相關研究報告、政府法令及管理單位之主管業務等三類資訊加以整理而綜合歸納出台灣目前之三個集水區經營目標，分別為：(1)減輕災害；(2)保護居民生命財產安全；(3)自然資源保育。而最後一項目標則是最近十數年內，國內外對自然資源永續利用之認知與

推動下所產生的共識。也因此河川集水區整體治理及永續經營的目標即是以落實集水區整體規劃治理、建立生態平衡之永續農業及維護公共的安全。然而對集水區經營而言，所欲保育之自然資源除了構成集水區本體之水、土、森林資源外，尚包含生存及活動於集水區內之生態體系；因此，為達成所對應經營內容時(如坡地保育利用、生態保育、水源涵養)則需考量集水區內生態環境特性。換言之，集水區之治理經營須有全盤性之考量，方能達成上述三大目標。

基此，本研究透過適當之「集水區生態工法規劃設計模式」之研發與運用，則除可達成以往傳統工程方法所操作之經營內容外，亦可透過生態工法來達成自然資源保育之目標。而此規劃設計模式所應有之考量因子，除包含一般集水區經營所具備之環境特性因子外，也應涵括集水區域內適當之陸域及水域生態因子，如此才能夠透過有效之規劃設計流程將考量因子所提供之訊息加以結合，進而產生一個達成集水區經營目標之整體生態工法規劃。

二、規劃設計考量因子之確立

為落實並執行集水區經營策略則必先擬具經營計畫，對於如何產生經營計畫，必須提出一套規劃過程。然而，在確認集水區所面臨問題的階段中，應對集水區之自然資源、農業、經濟、社會及文化等層面進行考量，並以系統方法予以架構期間之關聯，而集水區經營計畫應針對包含地形、土壤、地質、氣候、自然水體、地下水、野生動物、植生、人類土地利用、與土地利用有關之社經因子、當地社區組成、法令政策以及工程建設(如道路、水資源工程與管線)等考量因子進行相關資料收集。

2-1 集水區陸域生態因子之考量

對於集水區而言，陸域之植被將是在規劃集水區生態工法中首先必須優先考慮的因子，尤其河溪兩岸之溪濱植物之有無與溪濱植物之種類須優先考慮。其次是集水區內土地利用情形，如都市與農業土地利用的面積，與其佔整個集水區面積之百分比。最後是集水區內的地質與地形，由於不同之地質條件會影響因地下水及風化過程中從土壤釋放流入水體的各類物質總量，而地形則為直接影響風化及沖蝕過程的主要因素之一。

2-2 集水區水域生態因子之考量

有關考量集水區之水域生態因子，主要可分為水體的物理化學特性、河道型式、水棲生物群聚結構與功能組成等三類。而對應之各類因子，分列如下：

1. 水體的物理化學特性

- (1) 物理特性：溶氧、水溫、濁度、流速、流量等。
- (2) 化學特性：pH 值、電導度、硬度、鹼度、無機營養鹽(氮、磷)濃度、重金屬濃度等。

2. 河道型式：如洪水平原的有無、U 或 V 型河道、河道坡度、河岸結構、河床底質石

結構等。

3. 水棲生物群聚結構與功能組成：藻類、無脊椎動物、與魚類之群聚結構與功能組成，其中以無脊椎動物最常作為河溪生物指標。
4. 保育類動植物之生長或分佈情形之調查：藉由此項調查可瞭解指標生物之習性與所需生存條件，於集水區治理規劃時納入整體考量。

2-3 規劃設計流程之確立

綜合以上相關研究考量，歸納集水區生態工法規劃設計之考量因子，並將它們分為自然環境、生態與社經管理等三大類。自然環境考量因子是泛指構成集水區基質之無機物理單元或過程，生態考量因子主要著眼於集水區範圍內生存活動之生物群落及其所處棲地環境，而社經管理考量因子則是指由人類社群活動而產生足以影響集水區狀態的各種可能衝擊。同時，集水區生態工法之規劃設計流程應保留三項規劃原則：

1. 集水區必須先依照其整體經營目標及生態環境特性進行規劃。
2. 各規劃分區中之工程方法選擇必須基於達成集水區經營目標為主要依據。
3. 在可達成目標的各種工程方案中，以同時融合生態的方案為優先選擇。

據此，如圖 1 所示集水區生態工法規劃設計流程可分為集水區經營目標確定、特性調查、規劃單元劃分與工法分析、工法配置與設計、生態評估與教育推廣等五個階段。本經營規劃流程與傳統集水區最大差異處在於每一階段中均增加生態考量之操作步驟(圖 1 之左側)。茲將各階段之工作項目分述如下：

1. 集水區經營目標確定：為使經營措施能夠符合整體集水區經營目標，集水區主管單位、學者專家及當地居民之參與及意見溝通為各階段之重要工作。當確定經營目標

後，後續之規劃步驟則應該遵守前述所提之三項原則。

2.集水區特性調查：調查工作項目如一般規劃流程所含之自然環境、水文資訊、土地利用、社經管理、河道地形外，生態及棲地調查為此規劃設計流程之生態考量基礎。而所得調查資料則透過地理資訊系統加以紀錄，以利顯示及分析集水區之空間特性。

3.規劃單元劃分與工法分析：此階段集水區首先將依其水文、地質、地形等條件劃分為具有相同性質之分析單元(子集水區)。各分析單元之基本經營策略則透過土地適宜性分析加以確認，以保育為主要策略之分區盡量保持原狀避免開發外，對於需要治理之區域則考量傳統及生態工法之型式、材料、水

理及水質等特性進行工法成效分析，藉此釐清各子集水區可採用之工程方法。

4.工法配置與設計：經由前一階段之分析成果，集水區生態工法之空間配置及其細部工程設計則為此階段之工作重點，而來自集水區管理單位、學者專家及當地居民之意見回饋，則為各工法之配置及設計工作之修正依據。

5.生態監測與教育推廣：集水區經營所需之各種工程施工完畢後，持續進行生態監測調查及解說教育則為最後階段之工作內容。前者除能夠累積生態資料用以呈現生態工法在達成集水區經營目標之現況及成效比較外，生態調查結果亦為施作解說設施及設計解說文宣之重要資料來源。

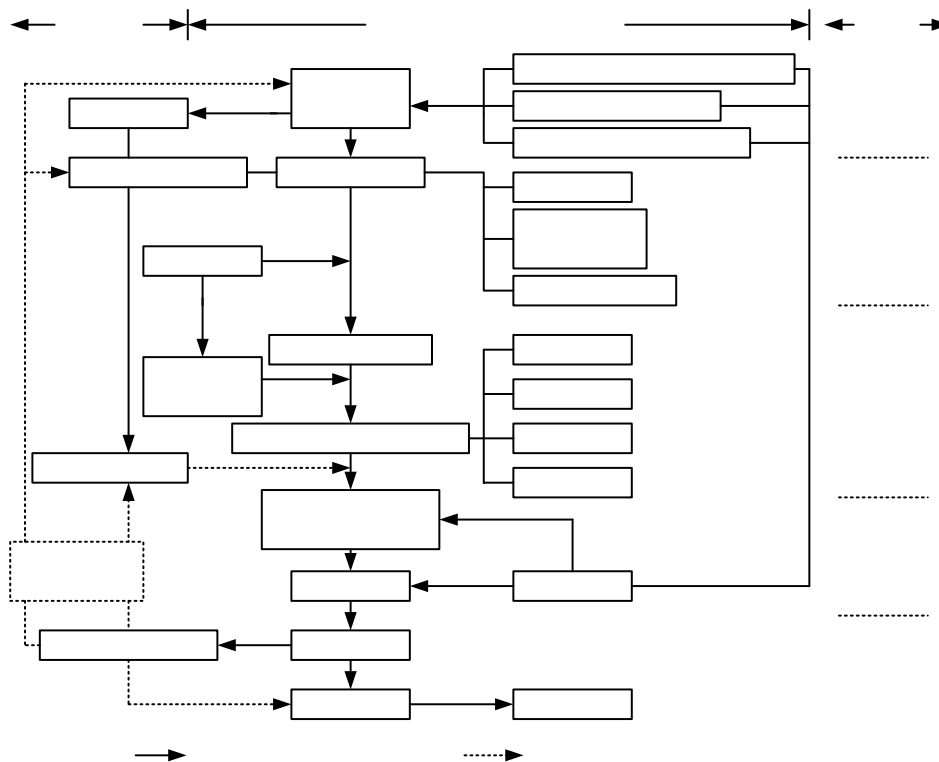


圖 1. 集水區生態工法規劃設計流程

Figure 1. Integrated watershed-level planning and design model of ecological engineering methods.

三、示範集水區之評選

為使集水區生態工法規劃設計流程能夠實際運用，本研究透過一個示範集水區以顯示流程中各單元之操作方式，進而使本研究更具參考價值。然而，如何選擇具示範功能之合適集水區，則須透過選擇適當之評選考量因素、設定因素評等標準、運用綜合評選方法等過程方能獲致。因此，在進入示範區之應用操作之前，詳細之示範集水區評選過程則由下述章節加以說明。

3-1 示範集水區選址之考量因素

為達成本研究之實施目的，首先需確認示範集水區評選之五項主要原則：

1. 集水區內河溪具有常流水，具有遊憩、教育功能及自然資源保育價值者；

2. 集水區內居民參與意願高，而且相關之管理單位也必須具有高度的配合度，土地取得或使用較便利者；

3. 集水區自然環境條件中等或施以適當整治即可復原者為較佳示範區，其次為環境條件不良或需要長期大範圍治理之集水區，若集水區具有豐富完整自然環境則應避免干擾而將之訂為最後考量之對象。但是，避免選擇集水區內有污染產業者為示範區；

4. 交通便利，可結合附近景點構成完整親水景觀和生態遊憩動線；

5. 集水區開發所受法令或規章的限制與管制較低，易於處理者。

此外，為配合本研究之工作流程，針對集水區內現況、整體特性、陸域及水域生態因子等考量，將各候選集水區地文、水文資料、環境生態資源及應用資材、歷年集水區內整治概況及以往災情、地景生態結構等資訊加以蒐集，並將所得資料以表格加以歸類紀錄，最後以一份包含基本資料、集水區現況調查、溪流現況調查、其他現況及訪談調

查等四大類資訊之候選集水區調查成果表予以留存，並作為示範區選址評估之依據。

3-2 示範集水區選址之綜合評選方法

決策 (decision making) 通常是由眾多備選方案 (alternatives) 中選取一個可能的方案以滿足所訂定的目標；然而，若此目標事實上包含許多影響決策之子目標，即所謂準則 (criteria) 或稱屬性 (attribute)。此時，傳統的優選方法可能遭遇到各目標價值的測量單位並不相同 (non-commensurable)、質化與量化評準或屬性同時存在、各目標相互衝突無法同時達成等難題。因此，面對此種多評準 (屬性) 決策的情況時，一種獲致最後方案的方式便是在這些子目標內進行價值權衡 (trade-off) 的操作。藉此權衡過程，評估各方案之效用 (utility) 標準是否決策者之需求滿足。而多評準 (屬性) 決策問題的一般形式，可以數學方式表示為：

$$\text{Optimize } Z_k(x) = [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_p(x)] \quad (1)$$

$$\text{Subject to: } g_i(x) \leq 0; i = 1, 2, \dots, m$$

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$$

$$x_j \geq 0; j = 1, 2, \dots, n$$

其中， $Z_k(x)$ 為目標函數； $k = 1, 2, \dots, p$ ； x_j 為決策變數； $j = 1, 2, \dots, n$ ； $g_i(x)$ 為限制式； $i = 1, 2, \dots, m$ 。

3-3 示範集水區之評選結果

為確保研究結果具有實際之示範作用，透過水土保持局之協助及聯繫，針對全國十五處候選集水區進行現場調查，經過現場勘查、訪談及資料分析。本研究對各候選集水區在集水區現況、溪流現況、其它現況及訪談調查等四個類別資料分別予以評分。針對四類因素評分為「集水區現況」與「溪流現況」兩類因素之相對權重皆設為 0.35；而相對於集水區之「基本資料」而言，法令規範

及地方政府居民之配合意願等「其它因素」較顯重要，故將剩餘之權重以 2：1 之比例而分別配予 0.2 及 0.1 之權重。四類考量因素之

權重分配實際上是反應決策者之偏好及重視方向，並非固定不變之分配方式，評分結果示如表 1。

表 1. 候選集水區之評選結果

Table 1. Elect result of slate watersheds.

集水區名稱	基本資料	集水區現況	溪流現況	其他現況	多屬性評估	簡單加權
荖溪	2	2.67	3	2	非劣解	2.58
阿里荖溪	1.33	2.22	2.2	2.375	劣解	2.16
磺溪	3	2.33	2.8	2	非劣解	2.50
六重溪	1.67	2.56	2.8	2.375	非劣解	2.52
南清水溝溪	3	2.78	2.2	2.25	非劣解	2.49
萬安溪	1.67	2.11	1.6	2.375	劣解	1.94
南河	1.33	2.44	2.6	2.375	劣解	2.38
軟埤坑溪	2.33	2.44	2.2	2.125	劣解	2.29
北門溪	1.67	2.11	2.8	1.875	劣解	2.26
九寮溪	1.67	2.67	2.4	2.5	非劣解	2.44
粗坑溪	1.67	1.56	2	1.625	劣解	1.74
中坑溪	2.67	2.22	2.2	1.875	劣解	2.19
坪林溪	1.67	2.22	2.4	2.125	劣解	2.21
樟平溪上游	2	2.11	2.2	1.75	劣解	2.06
北坑溪	2.67	2.22	2.8	2.75	非劣解	2.57

應用多目標規劃之觀念，首先應將各類因素皆遜於其它集水區之劣解集水區加以過濾並排除（例如台北縣石門鄉阿里荖溪無法找到至少一類因素較台南縣白河鎮六重溪優異，故阿里荖溪為相對於六重溪之劣解）。

同時以多評準評估中之最便利操作方法（簡單加權法）對所有集水區加以評分，發現花蓮縣壽豐鄉荖溪及南投縣國姓鄉北坑溪兩處集水區之適合度相近，但考量北坑溪集水區(1)後續研究實施過程所需資料調查之便利性；(2)當地居民與代表之高配合度；(3)研究執行之進度易於掌控；(4)南港二號橋右岸生態教育解說館已進行實質規劃設計；(5)該集水區與九份二山治山防災工法景點結合，即可完整呈現集水區不同區位因地制宜之工程設計等有利條件，本研究決定以南投縣國姓鄉北坑溪為示範集水區。

四、集水區生態工法整體治理規劃

本研究首先運用地理資訊系統進行土地適宜性分析，並結合自然環境、社經管理、土地利用、河道地形、水陸域生態及棲地等現場調查成果而將示範集水區加以規劃分區。

4-1 分析單元劃分

一、分析單元劃分：

集水區經營過程依集水區之地形特性及水系分佈狀況而細分為許多治理或分析單元。由於本研究之示範集水區主體為北坑溪，其下游段有來自九份二山之韭菜湖溪於南興橋匯入，因此分析單元之劃定範圍為南興橋以上之北坑溪集水區。分段劃分原則是支流集水區單獨成爲一個分析單元，對於

沒有明顯集水範圍之河段則以各支流在北坑溪之匯流點以及其它支流集水區之邊界加以切分。基此，本研究將集水區劃分為 13 區。

二、土地適宜性分析：

土地適宜性分析原為環境規劃工具，透過分析自然環境對各種土地使用之潛力與限制以瞭解開發行為與環境保育之相容狀況，進而有效將土地資源做合適之空間分配。同時藉此工具以及地理資訊系統對示範集水區之土地資源容受力進行瞭解，以便做為後續生態工法配置以及景觀遊憩目的之土地使用規劃分析之基礎。

經由單元劃分及土地適宜性分析成果（如圖 2）可知，北坑溪較適合發展遊憩景觀活動之區域多位於中下河道附近，而崩塌地較多之幾個左岸支流(左岸水系)亦為土石流潛勢溪流，經分析研判分為限制發展區或適宜性最低區域。

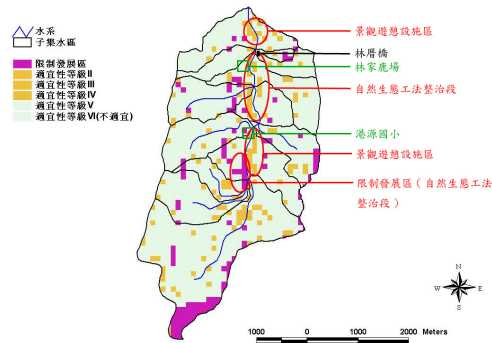


圖 2. 北坑溪集水區土地適宜性分析成果
Figure 2. Analysis of land appropriation on Bei-Keng stream watershed.

4-2 工法之分區規劃

利用前述之土地適宜性分析結果（限制發展區及發展潛力區之面積百分比）、土砂災害（崩塌地、土石流潛勢溪流、水災潛勢）之分佈狀況及水質調查結果，針對各子集水區之特性加以彙整而成表 2。

表 2. 北坑溪各子集水區之特性分析

Table 2. Characteristic analysis of Bei-Keng stream sub-watershed.

集水區 編號	限制發展 區(面積%)	發展潛力區 (面積%)	崩塌地 (面積%)	土石流 潛勢溪流	水災潛勢	水質採樣位置、等級			
						1	2	3	4
1	8.2	12.9	9.9	●	●	-			
2	3.9	15.5	12.6	●	-	丙	丁	乙	丙
3	5.6	32.8	0.8	-	●	-			
4	9.6	18.3	1.8	-	-	丙	丁	乙	丙
5	11.3	21.1	0.8	-	-	丙	丁	乙	丙
6	11.8	17.0	7.0	●	-	丙	丁	丙	丙
7	5.8	32.0	3.5	●	-	丙	丁	丙	丙
8	4.2	16.7	15.0	●	-	丙	丁	丙	丙
9	1.2	8.7	3.5	-	-	-			
10	2.7	16.0	1.4	-	-	-			
11	3.1	31.5	1.0	-	-	丙	丁	乙	丙
12	20.3	37.6	2.3	-	-	-			
13	2.3	22.2	1.2	-	●	-			

土石流及崩場地之分佈區域雖多屬本集水區居住人口較少之範圍，但考量其潛在災後危險性故仍需加強防砂工程之規劃；而部份子集水區具發展潛力之面積百分比高且較無土砂災害威脅，則可考量以生態工法進行溪流整治之改善工程並配合景觀遊憩之規劃（見表3）。

表3.北坑溪各子集水區之工法分區規劃成果
Table 3. Treatment planning results for all sub-watershed of Bei-Keng stream.

集水區 編號	規劃區位工法		
	防砂工程	生態工法	景觀遊憩
1	●	-	-
2	●	-	-
3	●	●	-
4	-	●	-
5	-	●	●
6	-	-	-
7	●	-	-
8	●	-	-
9	-	●	-
10	-	●	-
11	-	●	-
12	-	●	-
13	●	●	-

基於前述之規劃重點、兩次地方說明會之地方意見，以及地景生態結構之分析成果，北坑溪上游地區將減少開發以保持現況並避免大型區塊之切割，而中下游地區則朝向搭配景觀遊憩功能之生態工法設計。若將上述規劃過程以圖示表現，則可獲得北坑溪生態工法區位之規劃流程圖（圖3）。

同時，將示範集水區分為三類規劃分區，分別為自然保育分區、土砂災害防治分區及生態工法改善分區，茲將集水區整體治理規劃工法分區示如圖4，而各分區之特性及規劃重點分述如下。

1. 自然保育分區：若一子集水區之溪流生態狀況良好且無嚴重之泥砂災害需治理，則建議避免人為開發或整治工程進入，以保留其

原有河溪及子集水區之生態環境。對北坑溪而言，由於具有此條件，雖然有部分河段被設定為土石流潛勢溪流，但因保全對象較少，故將之規劃為自然保育分區(第6區)。

2. 土砂災害防治分區：對於土砂災害嚴重、崩塌地面積較廣、溪流坡度較陡、河道寬度較窄或河岸保全對象分佈較密之子集水區，由於考量工程構造物對當地居民所提供之安全感，此類分區建議以傳統工法施作較為合適。對北坑溪而言，因為左岸四條支流已列為土石流潛勢溪流，且多已經利用混凝土護岸及固床工保護支流河道，因而將此四個子集水區設定為土砂災害防治分區(第1、2、7、8區)。

3. 生態工法改善分區：若某一河段或子集水區之土地適宜性屬於中上等級且並非土石流潛勢溪流，則可將之歸類為生態工法改善分區(第3、4、5及9~13區)；若該區尚具有其它開發優勢，則可進一步規劃為景觀遊憩區。對北坑溪而言，共有三個生態工法改善分區，由上游至下游分別為位於港源國小、盧厝橋以及鹿源橋等三處。

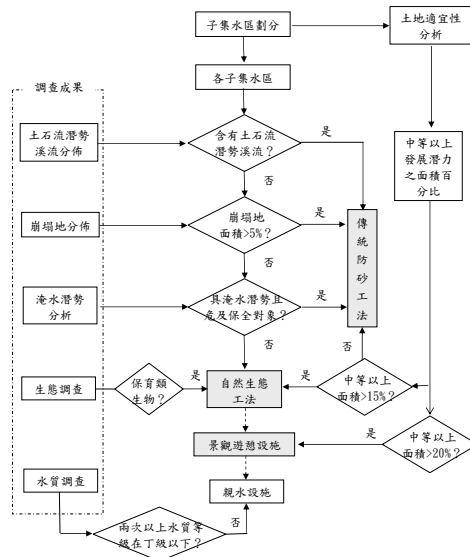


圖3. 北坑溪生態工法區位之規劃流程圖
Figure 3. Integrated treatments planning for Bei-Keng stream watershed.

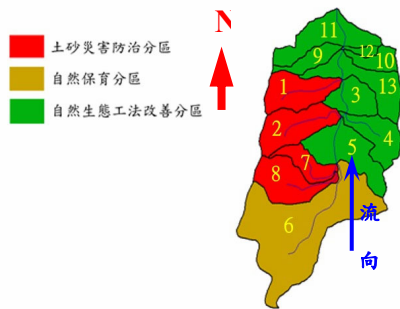


圖 4. 北坑溪集水區整體治理規劃工法分區
Figure 4. Integrated regulation and planning zones of the study watershed.

4-3 整體治理規劃

依據本研究前述章節規劃設計模式之各項調查分析資料，提出如下之規劃設計原則：

一、規劃理念

集水區治理工程為避免戕害溪流生態，造成不可挽回之環境傷害，工程規劃設計除考慮安全排洪功能外，並以兼顧環境調和及生態復育，同時注意鄰近聚落休閒遊憩環境之需求為規劃目標。為了有效實施集水區之治理計畫，維護原有流域及週邊生態及符合多數民眾需求等目標，視溪流天然條件適當引入親水設施提供遊客親水空間，結合現有人為設施及溪溝自然環境立地條件(如生態園區、農塘、景觀步道、遊憩涼亭、停車場、生態池、植物園等設施)，提供完善之規劃以滿足人們親近生態環境之渴望，並儘量以就地取材為原則，期能符合生態工法之目標。

二、設計原則

設計考量兼顧防災安全、休閒景觀、親水遊憩及生態保育等目標，以下列四項原則交互應用。

1. 創造環境多樣性及營造生態空間：

採用當地植物(如台灣欒樹)及卵塊石材料，利用原有河道蜿蜒地形及緩坡護岸基礎上方河床加設大小塊石，造就不同之深潭、淺瀨、急流及緩流等多樣性之棲息環境。人行步道週邊栽植原生鄉土植物，創造多樣化

之水邊叢林，以利各種動物之棲息。

2. 生物廊道維持及水域生態環境之維護：

順應溪流原有自然地形，避免截彎取直之設計以維持原有自然野溪蜿蜒之風貌，於護岸坡腳安置大小塊石，利用原有水文環境營造多孔隙之生物棲地，同時考量動物遷徙之通道，設置水路域間緩衝帶，降低廊道的破壞。

3. 綠帶與藍帶之結合與環境景觀之調和：

河溪整治時於砌石坡頂設置植草觀景步道，將遊憩動線適度的引入溪流，設計緩坡式護岸銜接大小塊石群，提供民眾親水之機會，並可經由完善之步道系統、附近景觀、地方特色(水鹿文化等)及生態教育解說站等遊憩點做有效之串聯。

4. 因地制宜的規劃及提高民眾參與：

生態工法必須因地制宜，以因應當地生態系統，並邀請該區的民眾積極參與、維護與管理，期盼完工後生態環境能永續經營及發展。因此本研究積極辦理地方說明會，以獲致地方共識，達到社區總體營造永續經營之目標。

4-3-1 土砂災害防治規劃

根據歷年災害調查報告與現地調查結果現場調查中彙整資料顯示，該集水區主要災害類型屬於崩坍滑落之現象，尤其以區內五處土石流潛在危險溪流發生之災情最為嚴重。同時針對土砂災害嚴重地區(圖 5)規劃說明如下：

1. A 區最上游規劃設置兩座透水性梳子壩。
2. B 區崩坍處上游右彎處須設置防砂壩，並於崩坍基腳處予以設置擋土牆，避免洪流來時造成邊坡基腳淘刷，以穩定崩坍處周圍之床面穩定。
3. C 區與 D 區須做部分穩定邊坡與岸坡基腳之措施，避免過多土砂進入河道，以保護下游河道安全。

(圖 6)：

- 1.可藉由「港源國小生態遊憩區」、「教育解說站」以及港源國小的教育資源，凸顯生態池的特色與重要性。
- 2.此地資源可與港源國小生態教育解說館、港源社區客家文化及鄰近養鹿場結合為一生態休閒親水遊憩景點。
- 3.生態池預定地係國有土地，較易取得及處理。
- 4.生態池預定地上游既有灌溉取水路，可提供充足水源。並可利用地形坡降順利將流經生態池之水回歸下游河道。
- 5.生態池預定地日照充足，有利各類動植物繁殖生長。
- 6.生態池預定地位處港源國小旁，水源及植生管理容易，將來建請小學生、老師與社區居民一起參與維護、管理與利用工作，以達生態教育的目的。且池中及岸邊植物可視其生長情形隨時做必要之整理，有助於多樣化水池生態系之維持。
- 7.生態池預定地周圍既有工程構造物鮮少，植生情況良好，河道坡度較緩，有利於良好棲地環境之營造。

4-3-5 健行步道

經現地調查，位於北坑溪上游處(圖 6)，具有天然資源如瀑布，水量尚稱充沛。同時為了配合連結「港源國小生態遊憩區」，因此以永元橋為起點，沿著北坑溪河道右岸，向上游興建一沿河步道直達瀑布，並配合港源社區發展協會提議興建之南港村環山步道，形成一環區網連貫各區，達成生態休閒、觀光遊憩、學習及教育之需求。

依據上述分析評估結果，將集水區整體治理規劃配置如圖 5。

4-3-6 解說教育系統

本研究針對北坑溪周邊鄰近之自然環境和人文產業進行分析，並確立解說資源。同

時配合生態戶外教育系統 A、B、C 三個不同層級之解說站並利用不同解說媒體組合，依照基地環境而做妥善的設置(圖 7)，使遊客在有限的時間內能夠得到最佳的遊憩體驗，增加對教育園區的瞭解，更有助於戶外教育園區的經營與管理，發揮「生態戶外教育系統」應有的功能，以建立良好之教育解說系統。

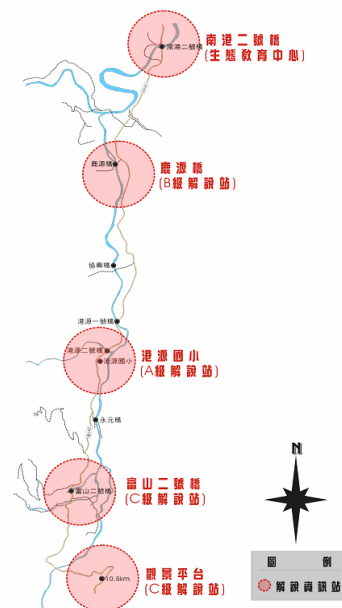


圖 7. 教育解說站分級位置圖
Figure 7. Location of education exposition stations.

五、結論與建議

透過集水區生態工法規劃設計參考模式之操作流程，運用地理資訊系統進行土地適宜性分析，並結合自然環境、社經管理、土地利用、河道地形、水陸域生態及棲地等現場調查成果而將集水區加以分區，進而據以施行工程之規劃設計，以完成過去傳統工程方法減輕災害、保護居民生命財產安全之目標外，並可藉由生態工法來達成自然資源保育之目的。

本研究成果需為後續案例探討及實務補實之基礎資料，首先經由環境與生態資料調

查及規劃設計流程之確立，進行整體治理規劃之生態工法設計，並初步建立解說教育系統；其後應針對規劃案例之探討及實務之補遺，並加強辦理解說教育系統；最終確立規劃設計之模式，藉由資訊之運用及觀摩研習，達到推廣生態工法之目的。

集水區生態工法規劃設計參考模式稍嫌繁複，若一般工程規劃設計皆採此法，則承辦單位將無人力辦理，因此未來應朝簡化之規劃設計參考模式進行，以利工程人員參採。集水區涵蓋水域及陸域兩區，因此未來進行實質規劃應將陸域之邊坡、道路及土砂災害治理之生態工法納入。

誌 謝

本研究承蒙 行政院農業委員會水土保持局經費支持，靜宜大學謝森和教授、民翔環境生態研究有限公司、逢甲大學建設學院營建及防災研究中心巫仲明博士與生態工法研究團隊研究生鼎力協助，特此一併致謝。

參考文獻

1. 王傳益、連惠邦、葉昭憲、張俊彥、李漢鏗、李秉乾、黃奕聰(2003)，「集水區自然生態工法規劃設計參考模式之建立」成果報告，行政院農業委員會水土保持局。
2. 行政院農委會特有生物研究保育中心(2003)，「生意盎然的生態水池」。
3. 李素馨、連惠邦(1998)，台中市大坑風景區野溪整治暨登山步道環境改善計畫。
4. 林信輝(2002)，「野溪生態工法評估指標及設計參考圖測之建立」，行政院水土保持局。
5. 胡蘇澄，(1996)，「建立集水區整體治理集永續經營模式之研究-水里溪集水區個案」，水里溪集水區水土資源整體經營計劃研討會。
6. 陳獻(2000)，「近自然工法之中小河川整

- 治」，近自然工法研討會，第 33-62 頁。
7. 游繁結、周天穎、葉昭憲、賴如慧(1999)，「集水區整治率評估模式之探討」，中華水土保持學報，第 30 期，第 137-147 頁。
8. 顏宏哲(2002)，「營造河域近生態環境實務」。
9. 山口伊佐夫著、陳信雄等譯(1986)，「集水區經營計畫學」。
10. Fiebigger, G. (1993), "Chapter 14: Watershed Management" in *Tropical Forestry Handbook*, Laslo Pancel Ed., Springer-Verlag, Berlin, Germany.
11. Pino, J., Roda, F., Ribas, J., & Pons, X. (2000). Landscape structure and bird species richness: implications for conservation in rural areas between natural parks. *Landscape and Urban Planning*, 49: 35-48.
12. Sheng, T.C. (1994), "Approaches and Strategies in Watershed Management," FAQ, Watershed Management Training Course, Feb 1 to April 9.
13. Sheng, T.C. (1975), "Soil Conservation Programme for Marginal Zones - A Conceptual Introduction", National Watershed Management and Soil Conservation Course, San Salvador, October.
14. Sheng, T.C. (1985), "Watershed Management Planning: Practical Approaches", FAO/ICIMOD/East-West Center Expert Meeting on Strategies, Approaches and Systems for Integrated Watershed Management, Kathmandu, Nepal, Feb 25 to Mar. 1.

95 年 07 月 01 日 收稿

95 年 08 月 15 日 修改

95 年 08 月 22 日 接受