



# 逢甲大學學生報告 ePaper

## 生態工法於河川治理規劃之應用



作者：王傳益<sup>(1)</sup> 李俊穎<sup>(2)</sup> 莊怡凱<sup>(3)</sup> 林文隆<sup>(4)</sup>

系級：

- (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研究生
- (3) 逢甲大學建築學系助理
- (4) 民翔環境生態研究有限公司



# 目錄

中文摘要	3
英文摘要	3
一、前言	3
二、北坑溪生態工法規劃作業模式	4
2-1 環境調查與分析作業	4
2-2 生態工法空間配置作業	4
2-3 生態工法安全評估作業	8
2-4 生態工法環境監測作業	12
三、北坑溪生態工程規劃	15
3-1 鹿源橋區段整體規劃配置	15
3-2 港源國小區段整體規劃配置	16
四、結論與建議	19
參考文獻	19



## 生態工法於河川治理規劃之應用

王傳益<sup>[1]</sup>

李俊穎<sup>[2]</sup>

莊怡凱<sup>[3]</sup>

林文隆<sup>[4]</sup>

### 摘要

本文針對北坑溪進行現場調查及分析後，建立該溪流環境調查與分析作業、空間配置作業、工法安全評估作業及環境監測作業等實用模式，並將生態工法整體治理規劃模式應用於該溪流，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。藉由本研究探討出完整的生態工法規劃設計參考模式，期能提供國內河川治理規劃之參採。

關鍵字：空間配置作業、工法安全評估作業、生態工法

## Application of Ecological Engineering Methods for the River Regulation and Planning

Chuan-Yi Wang, Jun-Ying Lee, Yi-Kai Chuang, Wen-Lung Lin

### ABSTRACT

This study establishes the practical models of river environmental investigation and analysis methods, spatial allocation, safety evaluation, and environmental monitor after field investigation and analysis of Pei-Keng Creek. The integral regulation and planning practical models of ecological engineering methods have applied to the Pei-Keng Creek, 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 integral planning using ecological engineering methods as proposed in this study can be served as a reference for similar rivers regulation and planning in Taiwan.

Keywords: spatial allocation, safety evaluation, ecological engineering methods.

### 一、前言

以往防洪工程之生態工法，大部分局限於「點」或「線」的工作範疇，未能完全考量溪流地文、水文及土砂災害等條件之整體因子，做整合性之治理規劃。為了將溪流生態工法推廣至「面」之層次，以提升其參考應用價值。本研究以溪流集水區為單元進行生態工

---

[1] 逢甲大學水利工程學系副教授

Associate Professor, Department of Water Resources Engineering, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

[2] 逢甲大學水利工程學系研究生

Ggraduate Student, Department of Water Resources Engineering, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

[3] 逢甲大學建築學系助理

Research Assistant, Department of Architectur, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

[4] 民翔環境生態研究有限公司

Mishiang Environment Ecology and Research Company, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

法規劃，對集水區整體做一全盤性的考量，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。本研究以南投縣國姓鄉北坑溪為研究區域，藉由此研究探討溪流生態工法規劃設計參考模式，期能提供國內溪流治理生態工法之參採。本研究工作流程詳如圖 1。

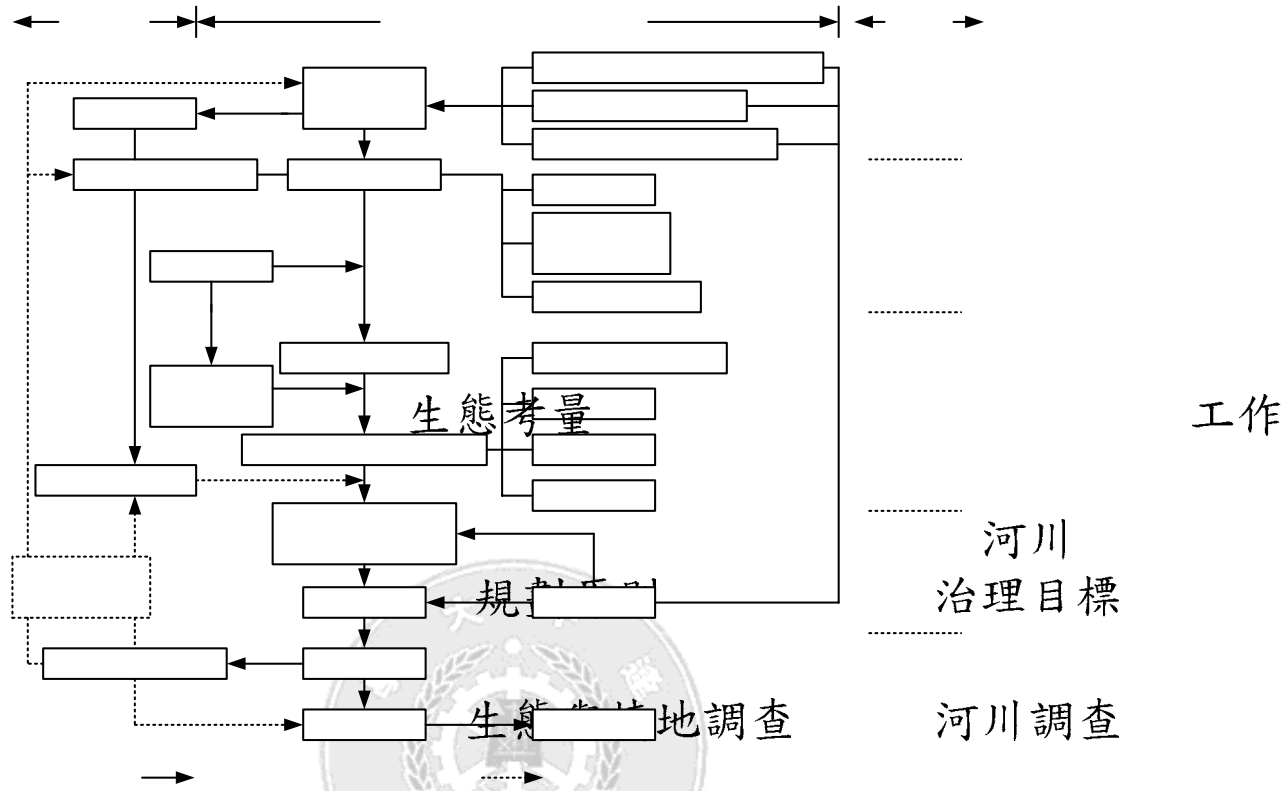


圖 1 河川生態工法規劃作業流程圖  
GIS系統  
二、北坑溪生態工法規劃作業模式

### 2-1 環境調查與分析作業

本研究針對北坑溪區域環境進行相關調查，研究調查與分析法繁多，主要執行重點如下：(1)人文、水文及地文資料調查(人口、農產經濟及土地利用、歷史文化、氣象水文、地形、地質及土壤、溪流現況)；(2)道路交通系統調查；(3)流量與水位調查；(4)水質(化學性棲地環境)調查；(5)溪流棲地流況調查；(6)應用資材調查；(7)水際域或洪況區區位調查；(8)歷年整治概況；(9)歷年災害調查；(10)河溪水理演算等項目。

### 2-2 生態工法空間配置作業

生態工法空間配置之實施主要在建立土地適宜性分析及分區工法規劃等兩項配置過程，前者係以地理資訊系統為工具對生態資源發展潛力之分析，後者則配合崩塌地與土石流潛勢溪流現有 GIS 圖層、水理分析模式之滾水潛勢以及水質與生態現場調查結果等資訊，最後將流域依其特性而分為自然保育分區、土石災害防治分區及生態工法改善分區(含景觀遊憩設施分區)等三類。

然而，欲完成此空間配置之操作程序，必須同時具備前一階段環境調查與分析作業之部分成果方能順利進行。因此空間配置作業所需資料，依其來源可分為現場調查及電腦分析兩種；前一類資訊包含集水區環境、生態及河川水質(化學性棲地環境)，後一類資訊則包含土地發展潛力、崩塌地分佈、土石流潛勢溪流及淹水潛勢等。將這兩類資料與前一階段環境調查與分析作業之成果加以結合則可得表 1。

表 1 生態工法空間配置作業所需資訊及條件

空間配置操作程序	所需資訊		與「環境調查與分析作業」之關聯									
	類別	獲得方式	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
分析單元劃分	地形圖	室內分析、現場確認	○									
土地適宜性分析	發展潛力	GIS 疊圖分析	○	○					○	○	○	
分區工法規劃	生態環境	環境調查	○		○	○	○					
	自然災害潛勢	環境調查、電腦分析	○		○			○	○	○	○	○
	社會人文遊憩價值	環境調查	○	○	○	○		○				

註：一、人文、水文及地文資料調查作業  
 二、道路交通系統調查作業  
 三、流量與水位調查作業  
 四、水質(化學性棲地環境)調查  
 五、溪流棲地流況調查  
 六、應用資材調查  
 七、水際域或洪氾區區位調查  
 八、歷年整治概況  
 九、歷年災害調查  
 十、河溪水理演算

藉由「土地適宜性分析」及地理資訊系統對規劃區之土地資源容受力進行瞭解，由分析單元為 40m×40m 之土地適宜性分析成果(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，而崩塌地較多之左岸五條支流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。而後利用前述之土地適宜性分析結果(中等以上發展潛力區)，並彙整與「社會人文遊憩價值」有關之環境調查項目而成表 2。

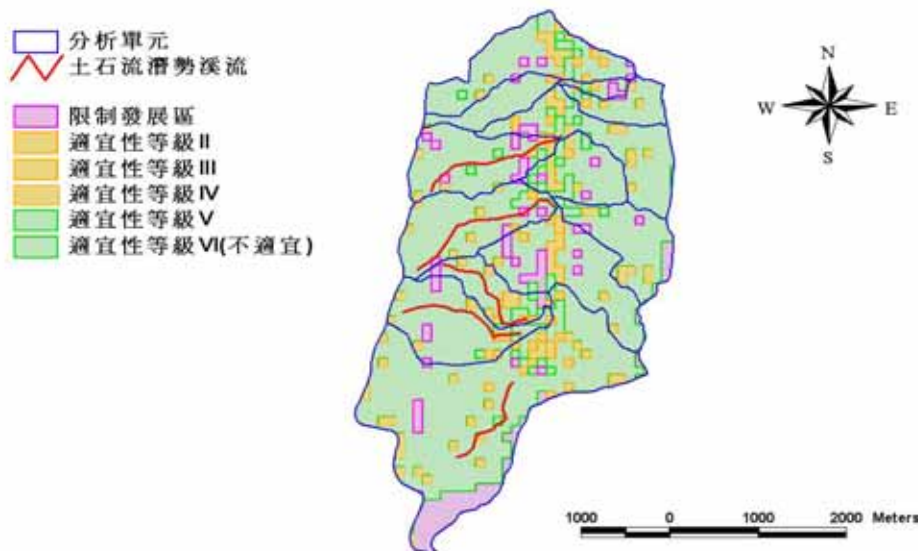


圖 2 規劃區域土地適宜性分析結果

表 2 北坑溪各分區之「社會人文遊憩價值」分析

子集水區編號	名稱	中等以上發展潛力區 (面積百分比)	人口及社區經濟	河岸發展空間	人文遊憩資源
1	奄江岸坑	12.95%	散戶	-	-
2	蓮生坑	15.55%	散戶	-	港源國小
3		32.77%	涵蓋部分盧厝(53戶)	-	港源一號橋附近河道因岩盤地形形成特殊流況
4	紅仙水坑	18.40%	散戶	右岸具平坦野溪出口堆積地	廢棄陶土廠房
5		21.13%	散戶	-	港源國小
6	三合溪	16.97%	散戶	-	-
7		32.02%	散戶	-	-
8	富山坑	16.73%	散戶	-	-
9		8.68%	涵蓋部分林厝(38戶)	-	-
10		16.03%	涵蓋部分林厝(38戶)	-	-
11		31.47%	涵蓋部分南港社區(179戶)	鹿源橋附近溪幅寬廣，河岸植生茂密	林家養鹿場
12		37.58%	涵蓋部分林厝(38戶)	-	-
13		22.23%	涵蓋部分盧厝(53戶)	協興橋附近河道較寬約40m，護岸保持良好	-

而利用環境調查成果之土砂災害(崩塌地、土石流潛勢溪流、水災潛勢)分佈狀況及水質調查結果，彙整成表 3。

表 3 北坑溪各子集水區之「生態環境及自然災害潛勢」分析

編號	名稱	崩塌地 (面積百分比)	土石流 潛勢溪流	淹水 潛勢	生態調查 (保育類數)	水質 (河川水質指數)			
						1	2	3	4
1	奄江岸坑	9.86%	●	●	陸域生態 (一)植物：無 (二)鳥類：7 (三)哺乳類：1 (四)爬蟲類：2 (五)兩生類：3 (六)蝶類：無 水域生態 (一)魚類：2 (二)蝦蟹類：0	-			
2	蓮生坑	12.60%	●	-		丙	丁	乙	丙
3		0.83%	-	●		-			
4	紅仙水坑	1.75%	-	-		丙	丁	乙	丙
5		0.81%	-	-		丙	丁	乙	丙
6	三合溪	7.04%	●	-		丙	丁	丙	丙
7		3.54%	●	-		丙	丁	丙	丙
8	富山坑	15.01%	●	-		丙	丁	丙	丙
9		3.47%	-	-		-			
10		1.36%	-	-		-			

11		1.04%	-	-	(三)底棲生物：各樣點差異不大	丙	丁	乙	丙
12		2.32%	-	-		-			
13		1.15%	-	●		-			

最後，依據上述所建議之流域分區分類原則，並利用前述規劃及現場調查之資料類別而對北坑溪各區之經營型態進行研判。此外，針對生態工法改善分區中，具有適當土地開發潛力者設定為景觀遊憩區，其結果如表 4 與圖 3 所示。

表 4 北坑溪各分區之經營類型綜合分析

編號	名稱	生態環境	自然災害潛勢	社會人文遊憩價值	經營分區
1	奄江岸坑	全區無明顯差異，但區內發現 13 種保育類陸域生物及 2 種保育類魚類	高崩塌率、土石流及淹水潛勢	低(散戶)	土砂災害防治
2	蓮生坑		高崩塌率、土石流潛勢	中(散戶)	土砂災害防治
3			淹水潛勢	高	生態工法
4	紅仙水坑		無嚴重災害潛勢	中(散戶)	生態工法
5			無嚴重災害潛勢	高(散戶)	遊憩景觀
6	三合溪		土石流潛勢	低(散戶)	自然保育
7			土石流潛勢	中(散戶)	土砂災害防治
8	富山坑		高崩塌率、土石流潛勢	低(散戶)	-
9			無嚴重災害潛勢	低	自然保育
10			無嚴重災害潛勢	低	自然保育
11			無嚴重災害潛勢	極高	遊憩景觀
12			無嚴重災害潛勢	中	生態工法
13			淹水潛勢	高	生態工法

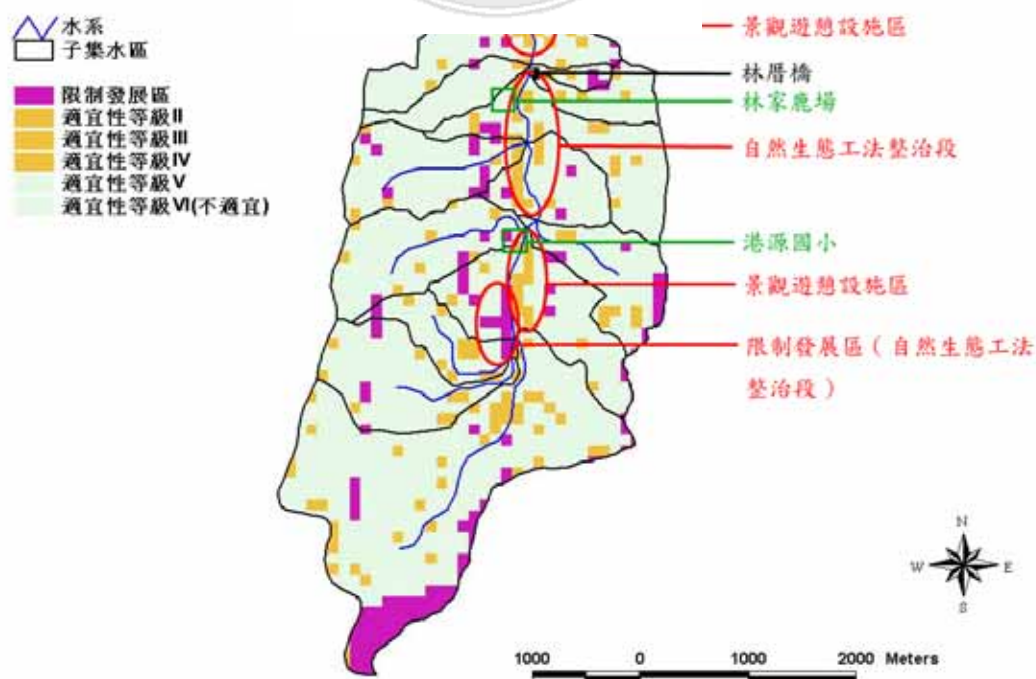


圖 3 生態工法改善分區(含景觀遊憩設施分區)

### 2-3 生態工法安全評估作業

生態工法是近年來工程的趨勢，但是並非所有地方皆適合施作，除了考量當地水文及地文條件外，保全對象的考量為施作背景條件，因此需「因地制宜」，在安全無虞之前提下，兼顧對生態之保障。生態工法不可為了生態而做大規模的破壞，也更不可單為了景觀而忽略安全與永續經營的理念。因此在集水區進行生態工法的施作前後，工程的安全評估列為首要重點，圖 4 為北坑溪生態工法安全評估所需考量之因子。

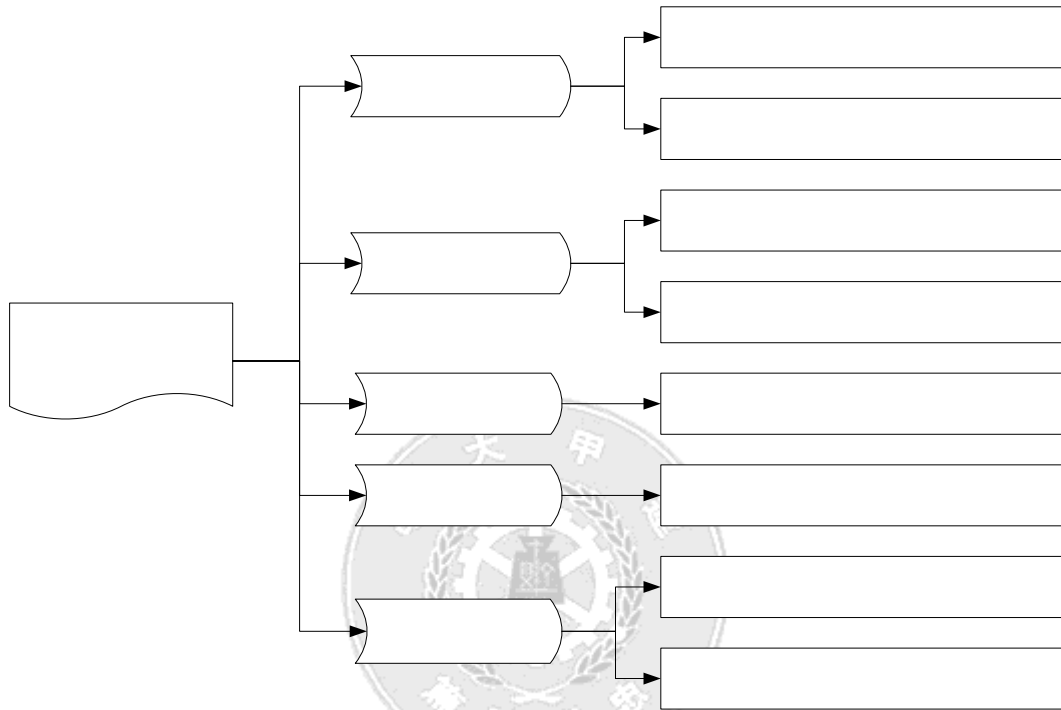


圖 4 生態工法安全評估作業

#### 2-3-1 結構穩定安全性：

生態工法種類繁多，依照保護對象及順應地形坡向而有不同的設計，但是所有工法的最基本原則在於結構物需符合安全穩定要求。結構物可分剛性與柔性兩種工法，在進行應力分析時，則視為一個剛體來分析，其中結構的安全可就兩方面探討，一為外應力所造成的結構物傾倒、滑動與沉陷，另一種則為內應力所造成的結構物崩解或損壞。

根據現場調查與分析，發現該區域 50 年頻率洪峰流量條件下，全河段之河寬約為 15m 至 48 m，最大流速位於火龍果園旁及無名橋附近約可達 5.2 m/sec。惟經水理分析後，當火龍果園段退縮 1.5 m，最大流速可降至 5.0 m/sec 以下。配合當地土砂調查發現為達到堤防邊坡穩定，由圖 5 分析結果可知乾砌石工法達 1.00 m 方符合安全要求。本研究區段位處北坑溪中游段 D<sub>50</sub> 粒徑約為 0.69 以乾砌石工法施設護岸，無法達到穩定要求，因此建議採用漿砌石工法，以符安全需求。

結構穩定性  
功能

治水與防冲  
功能

生態保育與  
復育功能

植生功能



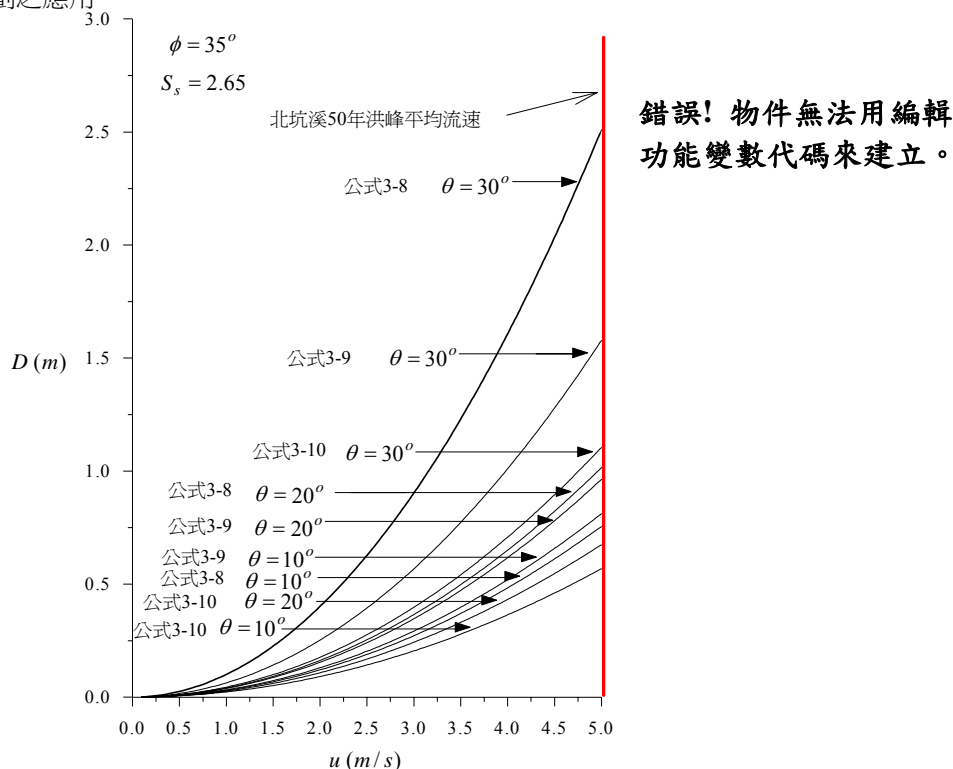


圖 5 堤坡坡度( $\theta$ )在流速( $u$ )條件下採用乾砌塊石工法所需最小石徑( $D$ )

### 2-3-2 土砂生產安全性

土砂生產的安全性控制除需瞭解土砂生產的原因、類型與致災特性，另一方面須針對問題提出生態化治理對策，使土砂的生產控制在適當且安全的範圍內。生態工法的設置，必須考量兩種土砂生產的區位，一種為該區域曾經或目前已發生土砂災害的坡面或河道進行緊急搶修或長久治理，另一種則根據學理找出區域內具有潛勢災害特性之地方，以工法消除或減少危險之疑慮。

根據現場調查與 GIS 的土壤與地質研判，圖 6 為北坑溪土壤特性分布。得知本區土壤北面為暗色崩積土，此類土壤多為發育較新之土壤，主要由砂頁岩、泥岩風化物之崩積化育所成之崩積土。南區多為崩積土，地質鬆軟，再加上 921 大地震後地表崩積土多，以及桃芝颱風的摧殘，形成相當多之崩塌與土石流堆積區。該區亦是由砂岩、頁岩、泥岩等風化物崩積化育而成，土色多為黃色至灰黃色，石礫含量相當豐富。整體而言，該區多半坡面屬於砂岩與崩積土，因此坡面整治與土砂的控制相當重要。

土砂生產方面主要來源有二，其一為來自上游坡面的崩塌與逕流，另一部分則來自於溪床面的輸砂。土砂生產主要來自於北坑溪四處支流之土石流危險溪流（奄江岸坑、蓮生坑、富山坑與三合坑）以及紅仙水坑集水區內之崩塌坡面與溪床沖刷。

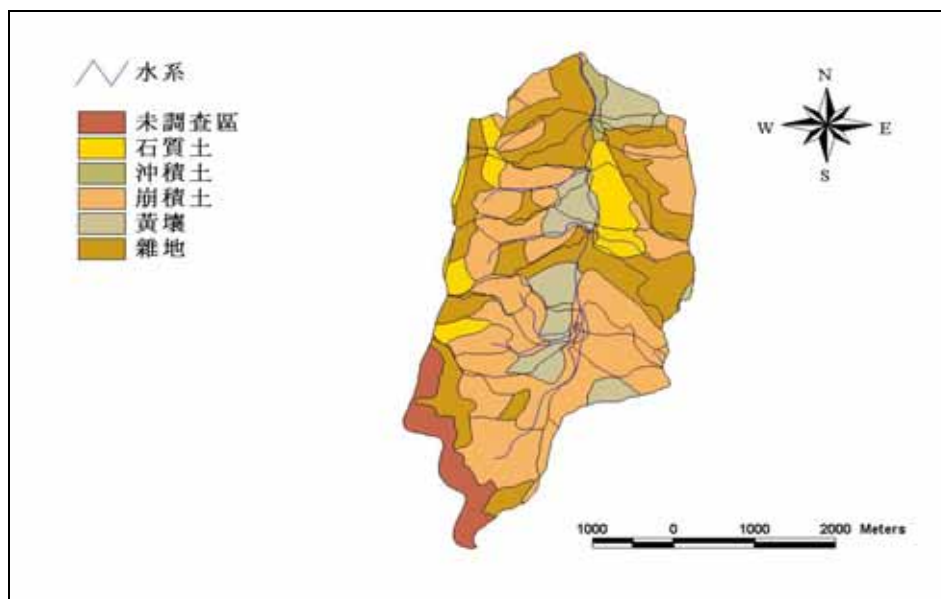


圖 6 北坑溪土壤特性分布

### 2-3-3 河道穩定安全性

工程構造物施設於河道中主要目的在控制流心，並且保護岸坡與溪床避免無限制橫向沖蝕與縱向沖刷。另一方面，河道設置縱橫向之人工構造物亦可透過水流與泥砂的作用，創造不同的棲地環境，如深潭、淺灘等。設置生態工法後，該構造物必須肩負水流與河道安全之責任，亦即，除了創造不同類型之流況以利生物生存外，河道本身的穩定，亦是生物長久生存的必要條件。

本研究根據北坑溪植被特性，配合幾何變化，利用 WinGrid 集水區資訊系統，分析此五區之特性與水流狀況，並計算在不同降雨特性條件下洪峰流量之推估值，做為溪流結構物安全設計與河道穩定之依據。此外，根據河床質與床面幾何的調查，可由錢寧河道穩定性指標來研判各河段之相對穩定性，以瞭解河川水流橫向與縱向擴床與沖刷行為。表 5 為北坑溪上下游河道穩定分析結果，顯示目前而言北坑溪上游河道較下游河道穩定。

表 5 北坑溪上下游河道穩定度

項目	單位	上游	中游	下游
中值粒徑(D)	m	2.50	0.69	0.35
水深(h)	m	0.13	0.22	0.35
h/B	-	0.018	0.015	0.025
河床坡度(S)	-	0.038	0.019	0.014
穩定性指標 $Ks=D/hS$	-	506.07	165.07	71.4

註：D 為中值粒徑，h 為水深，S 為河床坡度。

### 2-3-4 生態保育與復育功能

生態工法的施設，其中一個主要目的在於營造更多適合生物棲息之場所，並且利用工程的方法予以穩定，使棲地能永續發展。棲地環境的穩定、物種之穩定與空間之連續性皆

為考量之因素，而棲地與物種的數量必須做詳細考量，避免出現所謂優勢物種或型態的產生，造成整體環境之單調化與物種趨向滅亡。

棲地保育構造物設施可概分為：

1. 卵石組串堆：卵石群鋪置於渠道底床，提供覆蓋、並創造不同流況之多樣性棲地。
2. 壩堤或橫向踏步式固床工法：於河道橫向鋪置具多孔性混凝土、原木、卵石或是採石場石材，並將其固定於河岸或河床上，以創造淵瀨棲地，控制河床沖蝕或聚集，並繫留砂礫性河床質。
3. 防遷移障礙物：在策略性地點設置障礙物以防止下游或區域外之物種接近上游。
4. 河道坡降控制措施：採用岩塊、木材、多孔性材料等，構成單一或連續橫跨河岸之構造物(目前常用連續性潛壩)，以抵抗河床之沖蝕力並減少上游之能量坡降以防止河床沖刷。
5. 多孔性混凝土通常較目前常用之混凝土材料強度低，因此，急流河川、河川凹岸或受水衝擊部位等受強大外力作用之地點施設多孔性護岸時，須參考以往災情，充分瞭解河道特性及視護岸結構及位置，並以良好之植生配合，以符合安全要求。

### 2-3-5 植生功能安全性

植生工法在生態工法內佔有相當重要的角色，除了景觀綠美化的功能外，植生工法亦有穩定邊坡、提供棲息遮蔭以及防風定沙的效果。植生工法的應用需考量植物的立地條件，亦即其生活環境是否適宜，且在移栽過程對植物生命之影響，以及與其周遭植物間的互動，是否產生優勢族群的現象等，皆是植生環境的應用安全考量。

根據現場調查結果發現北坑溪集水區植生條件良好，並同時對動線周遭的植生與河岸改善進行規劃考量，以增加景觀綠美化之功效。針對生態工法常見植物立地條件，篩選出適合本區之植物，詳如表 6。

表 6 北坑溪生態工法適栽植物

植物名稱	生長區域海拔	土壤性質	耐水性	耐旱性	耐鹽、鹼性	耐脊性	抗風性
相思樹	臺灣全島低海拔地區	砂質壤土	△	○	○	○	○
赤楊	臺灣平地至海拔 3000m 山區	砂質壤土	△	○	×	○	△
朴樹	臺灣全島平地至山麓	粉質壤土	△	△	△	△	○
構樹	臺灣平地至中海拔山地	砂質壤土	△	○	△	○	△
烏柏	臺灣全島平地至山麓	粉質壤土	△	△	△	○	△
白雞油	臺灣低海拔地區	砂質壤土	△	○	△	○	△
福木	臺灣全島平地及海岸皆有	砂質壤土	△	○	○	○	○
血桐	臺灣平地、海岸至海拔 1000m 之山區	砂質壤土	△	○	○	○	△
破布子	臺灣平地山野	壤土	△	○	○	△	△
台灣欒樹	臺灣全島平地至山麓	砂質壤土	△	○	△	△	△
樟樹	臺灣平地至海拔 1800m 之山區	壤土	△	△	△	△	△
野桐	臺灣平地至低海拔山麓	壤土	△	○	○	○	△
大葉桃花心木	普遍栽植台灣各地	壤土	△	○	△	△	×

山鹽菁	臺灣全島山麓	壤土	△	○	△	○	○
檫	臺灣海拔 300-1400m 山區	壤土	△	○	○	○	△
白匏仔	臺灣低海拔山區	砂質壤土	△	△	△	△	△
小葉桑	臺灣山麓叢林至海拔 1500m	壤土	△	○	△	○	△
棟樹	臺灣海邊、平地、山麓	砂質壤土	△	○	○	○	○

### 2-3-6 親水遊憩安全性

水環境的必備條件可分為兩種，一為親水路途的安全性，包含是否容易親近與阻隔程度的關係說明，另一種則為當可以近水，水域環境是否適合戲水為使人類能接近河川與大自然，工程不致太僵化，且不因工程的設置，而阻隔生物接近水源的能力。因此避免坡度過於陡峻，且提供更多且更安全的人與水接觸的機會。

### 2-4 生態工法環境監測作業

集水區治理是否達到原先設定之經營目標，有賴於治理設施實施後之調查分析，方能依據調查相關資料加以評估。對於生態工法實施成效之確認，則需以環境調查作業呈現工法在生態環境之成果或影響。因此，生態工法環境監測作業即為以水質（化學性棲地環境）及生態系（含陸域生態及水域生態）為主要調查作業項目，調查結果亦可回饋至前三階段做為調適式管理（adaptive management）的基礎資訊來源，其關聯性示如表 7。

表 7 環境調查項目與模式前三階段比較之操作內容

實用模式		環境調查項目		
階段	操作內容	水質	陸域生態	水域生態
環境調查 與分析	一、人文、水文及地文資料調查作業(人口、農產經濟、土地利用、歷史文化、氣象水文、地形、地質及土壤及溪流現況)		○	○
	四、水質簡易調查	○		
	五、溪流棲地流況調查			○
空間配置(分區 工法規劃)	生態環境		○	○
	自然災害潛勢		○	○
	社會人文遊憩價值	○	○	○
工法安全評估	生態保育安全性	○	○	○
	植生綠化安全性		○	
	親水安全性	○		○

#### 2-4-1 化學棲地環境調查(水質調查)

生態工法化學棲地環境調查水質採樣調查工作，主要是針對北坑溪於生態工法施作區段施工前、施工中及施工後水質之差異做比較及評比，研究期間總共調查 6 次，並分別選擇 4 個人口較稠密之區域採樣。綜合整體水質資料評估，在天氣狀況良好條件下，北坑溪

水質屬於未受污染的乙類水質，可作為公共用水及灌溉用水之水源，而河川水質清澈，親水性佳，且流量不大較不容易發生危險，可以規劃為適合娛樂、親水及遊憩活動使用。

### 2-4-2 生態調查


生態調查主要是以瞭解鄰近溪流之生態環境現況，研判生物組成，並可反應人為干擾程度與自然景觀現況，同時針對現有保育動物加以保護與培育。主要調查之項目有：(1)植物；(2)鳥類；(3)哺乳類；(4)爬蟲類；(5)兩生類；(6)蜻蜓類；(7)魚、蝦、蟹類；(8)水生昆蟲等。

北坑溪生態工法主要是以鹿源橋與港源二號橋(港源國小旁)兩區段作為生態工法施作點，同時比較施作前後在生態上的差異，作為生態工法成效的依據，並進一步分類出北坑溪水域生物生態習性及魚類特性適用之生態工法，詳如表 8。

表 8 北坑溪水域生物生態習性及生態工法適用之魚類特性表

<p>魚種</p> <p>生態習性簡述</p> 	<p>台灣馬口魚</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 主要分布在小型溪澗，巨石圍成的小型潭區在小型山澗內隨意分布。</li> <li>2. 為非嗜流性魚類，能適應棲地的劇烈變化。</li> <li>3. 其卵可能埋在潮濕的砂礫間，等待適當時機孵化，或者是成魚由下游上溯等。</li> </ol>
<p>適用之生態工法</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 小溪澗維持原貌，不需整治。</li> <li>2. 主流族群則可適應針對上游魚類的任何工法。</li> </ol>
<p>魚種</p> <p>生態習性簡述</p> 	<p>粗首鱻</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 棲息於河川的上游至中、下游，端視河域的長度而定。</li> <li>2. 粗首鱻分布的河段廣，舉凡淵、瀨、川、渠、圳、潭、池、湖等一般定義的水域環境皆有。</li> <li>3. 對水中的物理或化學因子要求並不嚴苛，因此一般的生態工法皆能滿足粗首鱻的需求。</li> </ol>
<p>適用之生態工法</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 一般的生態工法皆可符合粗首鱻的需求，惟底部固床工儘可能保留一定面積的砂礫石區，以供其產卵之用（塑造多樣化棲地）。</li> <li>2. 由於本種以水生昆蟲為食，施工設計上需要有供水生昆蟲躲藏的硬體結構，如卵石比例增加（蛇籠護岸），或是有可供水生植物生長的區域。</li> </ol>
<p>魚種</p> <p>生態習性簡述</p> 	<p>台灣石魚賓</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 石魚賓耐低溫的能力較強，所以出現的河段略較粗首鱻高。</li> <li>2. 主要食物為刮食石頭上的附著性藻類，為嗜流性魚類。</li> <li>3. 主要活動在水域下層，一遇敵害即躲入石縫中，因此在生態工法設計上，相關的避難所設計相當重要。</li> </ol>
<p>適用之生態工法</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 豐水期以流速 0.8~1.2 m/s 較適合。</li> <li>2. 操作河段需有一定比例的大型卵石供附著藻滋生，以利台灣石魚賓取食。</li> </ol>
<p>魚種</p>	<p>中華花鰍</p>

<p>生態習性簡述</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.主要棲息在河川上游末端，底質多由小型卵、礫石與砂石構成的河段，以過濾砂石中小型動物為食。</li> <li>2.偏好於緩流處活動，主要濾食過程比較不會受到急流的影響。</li> <li>3.花鰍遇到敵害通常會快速的埋入砂石中，靠著自身的偽裝顏色與環境融合在一起，躲避天敵的捕食。</li> </ol>
<p>適用之生態工法</p>	<p>工法操作上只須注意底質的組成是否可滿足花鰍躲藏的需求即可。</p>
<p>魚種</p>	<p>台灣纓口鰍</p>
<p>生態習性簡述</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.主要以附著性藻類為食，而大型卵石的向陽面常滋生大量的附著藻，也因此可發現為數頗多的纓口鰍在此覓食。</li> <li>2.台灣纓口鰍屬於嗜流性魚類，因此河川需保留瀨區，加上取食的需要，河川也要保留一定比例的巨大石頭，同時必須能有充分的陽光照射。</li> </ol>
<p>適用之生態工法</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.豐水期以流速 0.8~1.2 m/s 較適合，水淺水急，河床質則以漂石及卵石為主。</li> <li>2.操作河段需有一定比例的大型卵石供附著藻滋生，以利台灣纓口鰍取食。</li> </ol>
<p>魚種</p>	<p>埔里中華爬岩鰍（保育類）</p>
<p>生態習性簡述</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.主要以附著性藻類為食。</li> <li>2.屬於嗜流性魚類，因此河川需保留瀨區，加上取食的需要，河川也要保留一定比例的巨大石頭，同時必須能有充分的陽光照射。</li> </ol>
<p>適用之生態工法</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.豐水期以流速 0.8~1.2 m/s 較適合。</li> <li>2.操作河段需有一定比例的大型卵石供附著藻滋生，以利埔里中華爬岩鰍取食。</li> <li>3.由於埔里中華爬岩鰍屬於珍貴稀有的二級保育類，可以當做水域生物的指標物種，因此在施工後必須持續掌握埔里中華爬岩鰍的族群狀態，以評估工法的優缺點，適時進行改善。</li> </ol>
<p>魚種</p>	<p>短臀鮠</p>
<p>生態習性簡述</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.主要是夜行性，白天躲藏在石縫，夜晚則穿梭在各巨石之間，以小魚、蝦或是水生昆蟲為食。</li> <li>2.短臀鮠屬於嗜流性魚類，因此瀨區是其較常發現的水域環境。</li> </ol>
<p>適用之生態工法</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.豐水期以流速 0.8~1.2 m/s 較適合。</li> <li>2.操作河段需有一定比例的大型卵石供其躲藏，同時必須隨時掌控水域中蝦類與水生昆蟲的數量狀況，以滿足其取食的需求。</li> </ol>
<p>魚種</p>	<p>明潭吻鰕虎</p>
<p>生態習性簡述</p> 	<p>為一種肉食性底棲的小魚，以中上游較多。</p>
<p>適用之生態工法</p>	<p>皆能適應一般溪流魚類的工法。</p>
<p>魚種</p>	<p>鱸鰻（保育類）</p>
<p>生態習性簡述</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.為夜行性，晚上會至河岸邊捕食小型動物，白天則躲藏在深潭</li> </ol>

	<p>之中，因此環境中必須有可供其躲藏的深潭。 2.在棲地營造上，躲藏處的設計可能是保存這種魚類的關鍵。</p>
<p>適用之生態工法</p>	<p>1.生態工法設計上，一定比例的深潭實屬必要，深潭的深度可設計在 0.60~1.00m，週邊並以卵石堆砌，空隙可供其躲藏。 2.鱸鰻屬於珍貴稀有的二級保育類，因此可針對此物種進行族群監測。</p>

由於水生昆蟲為高度依賴溪流的一群生物，同時亦有相關研究探討水生昆蟲與水質的關係，因此是評估生態工法成功與否相當好的依據。本研究同時利用高度依賴溪流的水生昆蟲來建立 Hilsenhoff 科級生物指標值(Family-lever Biotic Index, FBI)，以評估方式進行水質的初步檢定，其公式如下：

$$FBI \text{ value} = \frac{\sum(ai \times ni)}{N} \quad (1)$$

其中，ai：第 i 科水棲昆蟲之污染忍受值。

ni：第 i 科水棲昆蟲之個體數。

N：各採樣站水棲昆蟲之總體個數。

調查結果鹿源橋之 FBI 值為 4.09，屬於 very good 等級；港源二號橋（港源國小旁）之 FBI 值為 4.38，屬於 good 等級。

由於北坑溪水生物調查結果僅有 9 種魚類，如果以生物整合指標(IBM)評分標準需建立最大物種豐度標準線(Maximum Species Richness lines, MSR lines)，則無法達到優良等級；因此若欲以生物整合指標來評估北坑溪在工程前後的環境變化，在工程施工前需建立本河川或相似河川的基礎資料庫，才能作為評分的標準。

### 三、北坑溪生態工程規劃

針對北坑溪示範河段鹿源橋上游與港源國小二區塊進行規劃，先進行點的發展，而後再進行線的串連。主要規劃原則如下：

1. 尊重基地地形條件，區塊之開發與建設應加以融合。
2. 展現當地資源特色，適當的保留區塊內以存在之農田景觀（如牧草）及養鹿文化等，做為此區域之解說展示內容。
3. 呼應地方風格與整體意象，展現屬於北坑溪獨特的農業文化與人文意涵。
4. 規劃戶外生物多樣性教育園區（如生態池），營造生態多樣性棲地環境，提供中小學戶外教學場所。
5. 整備完善之遊園路線及步道系統，同時搭配戶外展示與體驗教育解說環境，達到休閒富麗農村之目標。
6. 結合溪流岸邊特色與親水設施，營造多樣化棲地型態及親水空間。
7. 以安全為基礎，對於已遭破壞工程結構物妥善處理，並融入生態及景觀概念，在最低之衝擊影響條件下，進行棲地改善。

#### 3-1 鹿源橋區段整體規劃配置

為有效實施河川治理，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，提供完善之規劃以滿足人們親近自然生態環境之渴望。考量生態永續設計理念，以低維護、低遊客量的設施規劃設計方式，本區段規劃詳如圖 7，各分項目說明如下：

### 1.親水河岸改善

- (1)深潭淺瀨營造：以當地石材構築踏步式固床工(steped consolidation works)或短丁壩(short spur dikes)，營造區域內蜿蜒水流、部分區段之跌水並且製造深潭、淺瀨與急流區等多樣性棲地，以利水生生物之生存。
- (2)親水空間營造：在護岸基礎上方堆砌塊石，除可保護基礎外，亦可營造具深潭淺瀨變化的棲地環境及親水空間。
- (3)護岸植生改善：由於現有施工完成之右岸護岸採用混凝土塊石法，石塊並無植栽生長的空間，必須植生加以改善，增加生態工法中多孔隙棲地的營造。
- (4)左岸護岸規劃：左岸由於灘岸尚稱穩定，93 年並未施設工程構造物，經 7 月 2 日敏督利颱風來襲造成左岸區段砌石護岸破壞損毀，為避免因水流淘刷坡腳侵蝕河岸，造成崩塌而危及堤後百姓安全，因此於此區段興建護岸。原則上凹岸區域採全斷面混凝土漿砌石護岸，凸岸採下斷面混凝土漿砌石，上斷面採木排樁方式。

### 2.河濱空間規劃

- (1)服務中心：以小規模低維護的基本原則設計，提供當地自然生態與人文解說導覽的空間，並適時引入養鹿文化，讓民眾可以透過解說牌解說或人員解說來了解當地的環境生態與展示、推廣當地農特產。
- (2)停車場：於投 147 線道路旁空地可作為停車場使用，經規劃為 30-40 個小客車的停車位，提供遊客停車。
- (3)苗圃區(原生植物、花卉)：以天然當地原生植物花卉為主，提供本區植栽維護所需的植物、花卉，並兼具景觀美化的功效。
- (4)觀景區：位於鄰近護岸的高地。包含草坪式活動空間、野餐區、休憩亭、步道、自行車道等設施。
- (5)牧草區：現地已種植許多牧草，考量當地養鹿的人文環境，以當地牧草營造整體景觀，兼具生產與觀賞價值。
- (6)堤頂步道：將現有堤頂步道改善，在視野寬闊、景觀良好之地點局部增加寬度創造口袋型空間以增加休憩點，設置休憩亭、木平台、休憩平台，運用動線系統將其串連，並引導遊客體驗本區風光。
- (7)解說站：主要包含人文與自然環境與生態工法解說。

## 3-2 港源國小區段整體規劃配置

本研究規劃配置主要是以港源國小為中心向外延伸，同時配合生態池、生態植物體驗區、棲地改善、解說亭等設施，此外並結合國小之教育系統與既有資源，發展港源社區客家文化特色。主要規劃詳如圖 8，各分項目說明如下：

### 1.親水河岸改善

- (1)生態池：此地資源可與港源國小生態教育解說站、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。
- (2)港源國小旁無名橋改善工程：基於防洪安全與景觀考量，經水理演算結果顯示港源國小旁無名橋通水斷面不足，因此需重建為木拱橋或鋼拱橋的形式，塑造港源國小河段之入口意象，





圖 7 鹿源橋區段整體規劃配置圖

- (3)無名橋至永元橋行水區棲地改善：應用階梯式與砌石固床工法，將永元橋下游之固床工落差減緩，同時利用當地天然塊石營造蜿蜒流路，並以巨石拋石之自然工法加以營造棲地型態。
- (4)河岸改善：經水理分析演算發現永元橋下游左岸護岸其出水高稍嫌不足，因此左岸需

以複式護岸興建，並營造親水遊憩空間。

## 2. 河濱空間規劃

- (1) 生態植物體驗區：河濱空間設計上，將永元橋下游左岸火龍果園再利用，作為生態植物體驗區，提供港源國小師生教學使用，創造生態景觀，並增加生態廊道寬度。
- (2) 生態解說規劃：配合港源國小設計風格，以木構造並以灰瓦為材料，營造當地特色原生植物解說與展示的空間，同時展現此區段之生態工法。
- (3) 湧泉體驗區：經現地調查發現，永元橋上游橋台下方右岸有天然清澈之水源（為右岸山區之地下水層所湧出），經水質調查發現其水質非常潔淨，並經水質檢驗屬於甲等，因此規劃為水源體驗區，供遊客遊憩體驗天然水源。



圖 8 港源國小區段整體規劃配置圖

#### 四、結論與建議

1. 透過河川治理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河川加以分區，進而據以施行工程之規劃設計，除可達到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。
2. 工程營造除考慮安全排洪要求及維護原有野溪之生態環境外，並兼顧鄰近聚落休閒遊憩環境之需求為目標，整治時依現有野溪環境研判，並儘量以就地取材為原則，期能符合生態工法之目標。需考量設計原則為(1)創造環境多樣性及營造自然生態空間；(2)綠帶與藍帶之結合與環境景觀之調和；(3)生物廊道維持及水域生態環境之維護；(4)因地制宜的規劃及提高民眾參與。
3. 河川治理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。
4. 河川區域涵蓋水域及陸域廊道，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。

#### 參考文獻

- (a) Center for Watershed Protection(1999), "The Tools of Watershed Protection" in Rapid watershed planning handbook: A comprehensive guide for managing urbanizing watersheds. Ellicott City, Maryland: CWP, Chapter 2.
- (b) Juang, L. H., Burati J. L., and Kalidindi S. N.(1987), "A fuzzy system forbid proposal evaluation using microcomputers" , Civil Engineering System, Vol. 4, pp. 134-140.
- (c) Perry, J., Vanderklein, E.(1996), "Water Quality Management of a Natural Resource" . Blackwell Science. Cambridge, USA, pp.639.
- (d) Sheng, T.C.(1994), "Approaches and Strategies in Watershed Management," FAQ, Watershed Management Training Course.
- (e) Willian J. Mitsch & Sven Erik Jorgensen(2004), "Ecological Engineering and Ecosystem Restoration" .
- (f) 王傳益、林保獅、施漢鵬(2002)，「自然生態工法於環境改善功能之調查與分析」，第一屆自然生態工法理論與實務研討會，中興大學，十二月，頁 89-101。
- (g) 王傳益、葉昭憲、連惠邦、李漢鏗、李秉乾等(2003)，「集水區自然生態工法整體規劃之研究」，自然生態工法棲地改善技術研討會，台灣大學，十月，頁 164-179。
- (h) 王傳益、連惠邦、葉昭憲、李漢鏗、張俊彥、李秉乾、黃奕聰等(2003)，「自然生態工法於北坑溪集水區整體治理規劃之應用」，水土保持科技與研發展望研討會，中興大學，十二月，頁七-1~七-15。
- (i) 王傳益、連惠邦、葉昭憲、李秉乾、李漢鏗、張俊彥、黃奕聰等(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。
- (j) 王傳益、連惠邦、葉昭憲、李漢鏗、許少華、李素馨、黃奕聰等(2004)，「集水區生

- 態工法規劃設計參考模式之建立(第二年)」成果報告，行政院農業委員會水土保持局。
- (k) 行政院農業委員會特有生物研究保育中心(2001)，「九十年度近自然工法研討會資料彙編」，行政院經濟部水利處水利規劃試驗所委辦計畫，頁 336。
- (l) 周正明、黃世孟(2003)，「生態工法評估程序建立—溪流狀況指數為例」，中華水土保持學報，34(1)，頁 25-39。
- (m) 林信輝、林德貴、王傳益等(2003)，「野溪生態調查及棲地改善模式之建置」成果報告，行政院農業委員會水土保持局。
- (n) 林信輝、林德貴、王傳益等(2004)，「野溪生態調查及棲地改善模式之建置(第二年)」成果報告，行政院農業委員會水土保持局。
- (o) 林信輝(2001)，「水土保持植生工程」。
- (p) 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。
- (q) 孫明德(2001)，「近自然工法規劃設計探討」，水資源保育生態工程與自然工法研討會，頁 135-148。
- (r) 謝政道(2000)，「集水區親水及生態工法設計規範手冊之研擬」，台北科技大學土木工程環境所生態工法-理論與實務研討會，頁 43-78。
- (s) 土屋昭彥(1980)，「河川・防砂用語事典」，山海堂，pp.256-258。
- (t) 山海堂(1998)，「護岸の力學設計法」。
- (u) 木村喜代治、高橋迪夫、長林久夫(1990)，「流路工床固工間隔關 研究」，新砂防，Vol. 43，No.2，pp.20-24。
- (v) 中小河川における多自然型川づくり研究会(1998)，「中小河川における多自然型川づくり、河道計画の基礎技術」，財団法人リバーフロント設備センター。
- (w) 財団法人バーフロント整備センター(1996)，「まちと水辺に豊かな自然をⅢ,多自然型川づくりの取り組みとポイント」，山海堂。