

# 河川物理棲地評估法在烏溪及濁水溪之應用

陳樹群<sup>(1)</sup> 安軒霏<sup>(2)</sup> 方琦萱<sup>(3)</sup>

## 摘要

近年台灣遭受多次颱風災害，造成河川棲地大幅破壞，而在復育的過程中，則需以棲地評估指標來量化棲地的改變與成效。然而多數棲地評估指標僅說明了棲地的現況，卻不能分辨出評估結果的差異是來自於河相或人為所造成了。有鑑於此，本研究以台灣河川型態五層分類法為基礎，提出包含河相與物理棲地的河川物理棲地評估法。本評估法先分析評估河段之河相，再評估相同河相河段中自然與人為的物理棲地環境。其中自類棲地評估結果做為該河相河段的自然環境基準，而人為與自然棲地評估結果之差異，則可歸咎於構造物之影響。此外本文以烏溪與濁水溪為案例，說明河川物理棲地評估法之用法，並分析構造物在不同河相中對棲地影響的程度。

(**關鍵詞**：河川物理棲地、棲地評估、烏溪、濁水溪)

## Application of Physical River Habitat Assessment Method in Wu River and Chou-Shui River

*Su-Chin Chen*<sup>(1)</sup> *Hsuan-Pei An*<sup>(2)</sup> *Chi-Hsuan Fang*<sup>(3)</sup>

Professor<sup>(1)</sup>, Doctoral Student<sup>(2)</sup>, Master<sup>(3)</sup>, Department of Soil and Water Conservation,

National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

## ABSTRACT

Taiwan has been hit several times by typhoon and food disasters in recent years, leading to substantial damages in river habitats. In the process of habitat restoration, a habitat assessment index is needed to quantify the change of habitat and effectiveness of restoration engineering. Most indices, however, only show the status of habitat without telling the difference from river morphologies and influences of artificial structures. In view of this, the study proposed the River Physics Habitat Assessment Method, which was based on the River Morphology Five Level Classification Method. In our assessment method, the river morphology should be analyzed before habitat assessment. The assessment results of nature habitats in a reach with same river morphology could be used as habitat standard. Furthermore, the differences between nature and artificial habitats can result in the influence

---

(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研究生 (通訊作者 anshuanpey@gmail.com)

(3) 國立中興大學水土保持學系碩士

of artificial structure. In addition, this article explains the influence between structure and habitat in different river morphology, and the procedure of River Physics Habitat Assessment Method with cases of Wu River and Chou-Shui River.

**(Keywords:** Physical River Habitat, Habitat Assessment, Wu River, Chou-Shui River)

## 前言

台灣山區坡陡流急、地質脆弱，故當颶風暴雨發生時，常在河川中引發洪水、高含砂水流或土石流，並造成河川棲地環境的破壞。另外河川兩岸的道路及村落等使用，及堤防、護岸、固床工等河防工程構造物的施作，亦為河川棲地受損的主因。為使棲地遭受破壞後，得以在最短時間內恢復，常透過棲地復育或營造工程來修復破壞的棲地。然而，在未考量河相特性下，相關復育工程往往因河川之自我調整而損毀，無法達到其設計之目的與功效。由此可知，在河川棲地復育工程規劃設計時，即應納入河相行為之考量，以減少工程破壞之風險。

在河川之水砂行為研究方面，Gilbert(1914)提出關係式(1)：

$$\frac{S^3}{B/H} = K \frac{Q_s^{\alpha_1} D^{\alpha_2}}{Q^{\alpha_3}} \quad (1)$$

其中S為坡降，B/H為寬深比，Q為流量， $Q_s$ 為輸砂量，K,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ 為係數；該式說明當河道中水砂條件不變時，河道斷面的型態將以趨向窄深來調整縱坡降的減低。Lane(1955)則將其概念衍生為關係式 $Qd \propto Q_s S$ ，其中d為河床粒徑，透過河道中水流輸砂之行為，來說明河床特性之演變特性。Schumm(1969)則認為流量Q應與(B, h,  $L_m$ )/S等因子有關，為輸砂量 $Q_s$ 則會影響(B,  $L_m$ , S)/(h, r)等因子，其中h為水深， $L_m$ 為河灣跨度，r則為彎曲係數，該關係式說明當來

砂量增加時，會導致河道之河寬、跨度及坡降增加，水深與彎曲係數則減少，此時河川乃向扇狀流路演變。Li et al. (1982)則將Lane(1955)的關係式修正為 $Q_s d / C_F \propto Q S$ ，其中 $C_F$ 為細顆粒的濃度，並再加入植被覆蓋率對河道地貌的影響。由於不同的河段擁有不同的水砂條件，因此一條河川依其地形區位、地質、地形與流量等因素分析，可將河川區分為數段具有相同河相型態的河段，Rosgen(1996)首先以河川演變之研究建立河川型態分類系統；然而實際上將Rosgen之系統應用於台灣河川分類時，卻發現部份類型之河川型態無法納入該系統中，於是陳樹群等(2002)以台灣河川為基礎修改Rosgen的河川分類系統，並建立適用於台灣地區的台灣河川型態五層分類法。

透過河川型態分類可將一條河川區分為數個具有相同河相的河段，而各河相則會在該河段中演化出特有的河川棲地環境。當人為介入河川棲地後，則會造成棲地的變動，而比較相同河相中的自然與人為棲地，則可得知人為活動對河川棲地的影響程度。要比較棲地間之差異，則需將棲地環境加以量化，即透過河川棲地評估法對棲地進行評估。而將河川棲地評估法以其評估項目分類，可將評估法區分為生物、化學、物理與綜合評估法四類。常見的河川化學棲地評估指標有河川水質指數(WQI, Horton, 1965)、河川污染指標(RPI, McDuffie, 1973)及卡爾森優養指數法(CTSI, Carlson, 1977)，生物棲地之評估指標則有

生物整合指標(Index of Biotic Integrity, IBI, Karr, 1981)、河川附著藻類腐水指數(SI, Sladeczek, 1986)、科級生物指標(Family-level Biotic Index, FBI, Hilsenhoff, 1987)及河川附著藻類藻屬指數(GI, Wu, 1999)等。在物棲地地評估指標方面, Rankin (1989)修改俄亥俄州環保署於 1972 年發展的定性棲地評估指標 (QHEI), Milhous et al.(1990)提出 PHABSIM 模式系統;另加州漁獵部 CDFG(1999)的加州河川生態評估準則(CSBP)、森下郁子等(2000) 的河川生息環境評估法(HIM)及 Azzellino et al.(2001)的深潭品質指標(PQI),皆常用於河川物理棲地的評估。此外,美國環保署(EPA, 1989)之可跨越性溪流快速生物評估法(RBP)、Ladson et al. (1999)所提出的溪流狀況指標 (ISC),與國內巨廷公司 (2005)的河溪環境快速評估系統(SERAS)、朱達仁 (2006)之應用溪流複合式指標評估模式 (SIAM)等,皆為整合物理、化學與生物三項河川棲地環節所建立出之綜合評估指標。

分析相關河川棲地評估方法可知,棲地中應用物理、化學與生物三項元素所組成。當河川集水區中發生崩塌、洪水或土石流等事件常,便造成河川型態的改變。而這類改變直接影響棲地中的物理組成,如潭瀾結構淤理、泥砂孔隙被細砂填塞或沙洲植生流失等。其中潭瀾、孔隙及植生等物理組成因子皆為提供生物棲地之空間,而這些空間受河相調整而變動時,則進一步影響了河川棲地中的生物組成。由此可知,河相特性的改變對棲地的物理組成較為直接且明顯,而工程構造物在河川中又多以物理影響的型式改變河川型態特性。因此本研究在探討構造物對棲地特性之影響時,便著重於棲地中之物理棲地環境,並以烏溪與濁水溪為例,依河相特性將兩條河川分為十三個河段,透過物理棲地之評估量化各河段

中自然棲地之標準,再將該標準與相同河相中各類構造物介入之棲地評分比較,即可量化工程構造物對棲地物理環境之影響。

## 研究方法

### 1. 棲地物理環境評估

本研究使用羅文琴(2007)所提出的河溪物理性棲地環境評估表(表 1)對河川棲地進行評估,該評估表乃參考 Plafkin et al. (1989) 發所展的可跨越性溪流快速生物評估法(RBP),並以陳樹群等(2002)所提出之台灣河川型態五層分類法加以修正,使該評估法能適用於台灣之河川。本評估法共有 17 個子項,依其評估內容分為五大類,各類別及其總分各為泥砂 (80 分)、水流 (40 分)、地形 (60 分)、植生 (60 分)與人為 (100 分)。子項評估值依類別分別加總後,將其除以該類別之總分再乘以 100,即可得到以 0 至 100 為級距的子標值。以烏溪支流之水常流溪為例,在調查點位「水 1」中,泥砂類別的子指標值為 45、水流 33、地形 70、植生 20 與人為 29 (如圖 1 所示)。

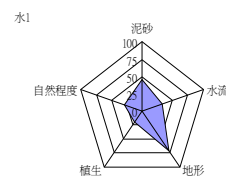


圖 1 水 1 之棲地評估結果雷達圖

Figure 1. Physical habitat assessment result of NO. WS01

雖然在相同河相的河段中,不同點位的自然棲地應具有類似的組成,即其子指標值應相同。但自然環境中具有異質性,導致相同河相中的各自然棲地評估結果皆有所不同。唯其差異並不會

過大，使評估結果落在一定的範圍中，並在雷達圖上形成特定的圖型。本研究為說明相同河相中自然棲地間之差異性，並分析不同河相間自然棲地之差別，故將烏溪與濁水溪之調查點位歸類至各河相中，再把具有相同河相的棲地點位評估結果進行統計分析，計算各子指標之 90%信賴區間，並將其區間視為自然棲地之子指標區間。

## 2. 調查區位概述

烏溪位於台灣中西部，發源於中央山脈合歡山西麓，東以中央山脈為界，北鄰大甲河流域，西臨台灣海峽，南鄰濁水溪流域，幹流長 119.1 公里，流域面積 2,025 平方公里，流域平均標高約 651 公尺，地勢自東北向西南走向。主要水系

有眉溪水系、北港溪水系、南港溪水系、大里溪水系、貓羅溪水系及烏溪主流等。流域狹長度為 0.64，流域之碎形維度為 1.85，河網密度則為高達 0.96。

濁水溪位於台灣中西部，東以中央山脈為界，分水嶺有能高山、大石公山、丹大山、馬博拉斯山等，南接玉山。發源於合歡山主峰與東峰之佐久間鞍部，最上游為霧社溪，集合歡山西坡之水，沿北北東間之縱谷流下，至廬山附近與大羅灣溪匯合，至萬大附近有與萬大溪合流，再併丹大溪、郡大溪、巒大溪、水里溪、陳有蘭溪、東埔蚋溪與清水溪後，流入章雲平原，於彰化縣大城鄉海墘村與雲林縣麥寮鄉許厝寮間流入台

表 1 河溪物理棲地環境評估表

Table 1. Stream physics habitat assessment table

		水城			
		卵石、礫石、塊石間之孔隙被砂粒填滿 25%以下，表層提供多樣的孔隙。	礫石、卵石、塊石間之孔隙被砂粒填滿 25%-50%。	礫石、卵石、塊石間之孔隙被砂粒填滿 50%-75%。	礫石、卵石、塊石間之孔隙被砂粒填滿 75%以上。
泥砂	底質孔隙多樣性	16-20	11-15	6-10	0-5
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
地形	土砂堆積程度	少於25%的水域受到泥砂堆積影響。	主要由礫石、砂與細砂組成，5-30%的水域受到泥砂堆積影響。深潭中輕微泥砂堆積或出現穩定沙洲。	中度泥砂堆積，30-50% (僅50-80%) 的水域受到泥砂堆積影響，水道阻礙、束縮、彎曲處及深潭受到中等泥砂堆積影響或出現規則式沙洲。	強烈的泥砂堆積，或大量沙洲增長，為不穩定沙洲，50% 以上的水域受到泥砂堆積影響，深潭因而幾乎消失。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
水流	水流穩定性	日常流量下有效河道皆有水流流動，只有很少的河川底質暴露出來。	日常流量下水流填滿有效河道之75%以上，或是少於25%的河床底質暴露出來。	日常流量下水流填滿有效河道之25-75%，或淺灘的床質暴露出來。	日常流量下河道幾乎無水流，或只在深潭中存在水流，形成靜水潭。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
地形	水流多樣性	淺灘/淺流/深潭/深流四種型態皆出現。	淺灘/淺流/深潭/深流四種型態出現其中三種。	淺灘/淺流/深潭/深流四種型態出現其中二種。	淺灘/淺流/深潭/深流四種型態出現其中一種。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
植生	基質之穩定性	超過70%的穩定底床質適合營造新的棲地，或可供水域生物生存，此類區域通常存在不是新落下的落葉、枯木、深木的突出部份，巨礫大卵石或其他穩定棲息地之要素。	40-70%之底床質適合生物拓殖使用，或較為穩定不常被移除。	20-40%之底床質適合生物拓殖使用，基質經常被擾動或移除。	少於20%的穩定良好棲地存在，底床質不穩定或缺乏。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
人為	地形多樣性	淺灘出現頻率高，淺灘間距與河寬之比值小於1；深潭中淺灘具有連通性，且淺灘為自之塊石或更大之石塊所組成。	淺灘出現頻率低，淺灘間距與河寬之比值為1-2。	淺灘不常見，底床提供些許棲地空間，淺灘間距與河寬之比值為3-5。	大量平坦河床或水流全為淺水之淺灘，淺灘間距與河寬之比值大於5。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
人為	人工構造物種類	沒有人工構造物，也無工程活動。	人工構造物為自然資材。	人工構造物為自然資材。	人工構造物全為人造。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
人為	人工構造物高度	沒有人工構造物，也無工程活動。	人工構造物高度 0.3-1m，抑制了區段裡生物之移動，如：圍床工。	人工構造物高度 1-5m，也許附設功能良好魚道，如：潛壩。	人工構造物高度5m 以上，也許附設功能良好魚道，如：防砂壩。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
人為	人工構造物排列密度	沒有人工構造物，也無工程活動。	只有單一構造物。	連續的人工構造物。	密集的人工構造物，甚至水域底床為水泥封底。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5

		清水區			
		卵石、礫石、塊石間之孔隙被砂粒填滿 25%以下或無邊灘出現，表層提供多樣的孔隙。	礫石、卵石、塊石間之孔隙被砂粒填滿 25%-50%。	礫石、卵石、塊石間之孔隙被砂粒填滿 50%-75%。	礫石、卵石、塊石間之孔隙被砂粒填滿 75%以上。
泥砂	底質孔隙多樣性	16-20	11-15	6-10	0-5
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
地形	土砂堆積程度	少數邊灘出現，或凸岸具有邊灘。	邊灘由礫石、細砂所組成，除凸岸外有少數邊灘。	新舊邊灘上有中等程度的礫石、細砂淤積。	大量細顆粒泥砂淤積並使邊灘增長。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
地形	河岸穩定度	河岸穩定，幾乎很少被冲刷，小於5%的河岸受到影響。	中度穩定，有小區域的冲刷發生但穩定，5-30%的河岸有被冲刷的影響。	中度穩定，有小區域的冲刷發生但穩定，50-60%的河岸受到冲刷影響。	極不穩定，河岸明顯的被破壞，60%以上的河岸受到冲刷影響。
	左岸	9-10	6-8	3-5	0-2
	右岸	9-10	6-8	3-5	0-2
植生	河岸植生保護程度	清水區植生覆蓋超過 90%，包括各類深潭植物，沒有明顯的人為放牧及除草行為，植生大部分都自然生長。	清水區植生覆蓋在 70-90%之間，少許人為活動介入，但少許人為放牧及除草行為，植生大部分都自然生長。	清水區植生覆蓋在 50-70%之間，明顯的人為擾動，河岸存在非典型的荒地或植生非深潭植生而為農作物。	清水區植生覆蓋小於 50%，高度人為開發活動，嚴重破壞深潭植生環境。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
植生	植生族群種類	出現喬木。	出現灌木。	出現草本植物。	無植生出現。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
人為	人為影響程度	四種以上。	三-四種。	一-二種。	無。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
人為	人為影響程度	河岸被渠化或控流的程度很低，保有原始的自然狀態。	通常只有在橋樑附近，有部分河岸被渠化，有少許控流，人為設施是原有的不是新介入的。	河岸被渠化的程度很高，堤防或是截彎出現在兩個河岸，40-80%的河岸被改變或擾動。	河岸為箱體或水泥，超過80%的河川被渠化或擾動，使得兩岸棲地地帶大多被影響甚至完全破壞。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
人為	資材種類	無，範圍或影響不大。	只有堤防或只有卵石護岸。	卵石護岸比例大於水泥護岸。	水泥護岸多數。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5

灣海峽。幹流長約 186.6 公里，流域面積約 3,157 平方公里，僅次於高屏河流域。流域狹長度為 0.56，型態要素為 0.24，流域之碎形維度為 1.57，河網密度高達 1.65。

### 3. 烏溪與濁水溪之第一層流域與第二層水系特性

烏溪與濁水溪之第一層流域分析結果如表 2 所示，表 3 則為烏溪與濁水溪之第二層流域水系特性表。由表 2 可知，烏溪之流域狹長度為 0.64，顯示烏溪流域形狀略偏狹長，岩性複雜且坡度陡、高差大。第二層水系特性如所示，其中烏溪流域之碎形維度為

1.85，表示烏溪水系分岔眾多且複雜，已接近二維之平面型態；另河網密度高達 0.96，顯示其流域內單位面積中各級序河流密佈，具有高切割程度。

濁水河流域面積約 3,157 平方公里，僅次於高屏河流域，流域狹長度為 0.56，型態要素為 0.24，顯示流域之形狀較為狹長，表示流域幾何特性具有岩性複雜、坡度陡與高差大之特性。水系之碎形維度為 1.57，河網密度高達 1.65，顯示其流域內單位面積中各級序河流密佈，河道分岔眾多且複雜，具有高切割程度。

表 2 烏溪及濁水河流域第一層流域特性表

Table 2. Level I: Basin characteristic of Wu River and Chou-Shui River

項目	說明	單位	烏溪	濁水溪
流域面積	$A$	$\text{km}^2$	2054.83	3167.51
流域最大長度	$L_b$	km	80.37	114.37
平均寬度	$A/\text{主流長}$	km	17.26	16.97
流域周長	$P$	km	301.83	414.48
流域圓度	$R_c = A/(\text{具同一周長的圓面積})$	-	0.28	0.23
流域狹長度	$R_e = (\text{具有同一面積的圓直徑})/L_b$	-	0.64	0.56
型態要素	$R_f = A/L_b^2$	-	0.32	0.24
流域密度	$C = (\text{同面積圓周長})/(\text{流域周長})$	-	0.54	0.48

表 3 烏溪流域第二層水系特性表

Table 3. Level II: Drainage characteristic of Wu River and Chou-Shui River

項目	說明	單位	烏溪	濁水溪	
河流級別	$u$ (下標)	-	1~6	1~6	
主流長度	$L_o$	km	119.00	186.00	
水系特性	平均分歧比	$R_b = N_u/N_{u+1}$	-	3.654	4.03
	平均流長比	$R_l = \bar{L}_u/\bar{L}_{u-1}$	-	2.015	2.43
	平均凹度	$R_c = S_u/S_{u+1}$	-	2.321	2.26
	河川碎形維度	$D_b = \log R_b/\log R_l$	-	1.850	1.57
	水系類型	-	樹枝狀	樹枝狀	
切割程度	1.河網密度	$D_u = (\Sigma L_u)/A$	$\text{km}^{-1}$	0.96	1.65
	2.河流頻度	$F_u = (\Sigma N_u)/A$	$\text{km}^{-2}$	0.43	0.37

#### 4. 第三層主流與第四層河道特性

本研究依河川型態五層分類法中之定義，將烏溪與濁水溪中之調查河川分類成數個相同河相之河段。其中第三層主流特性將兩條主流分為山區瓣狀粗顆粒、丘陵順直粗顆粒、丘陵蜿蜒粗顆粒、丘陵瓣狀粗顆粒、台地瓣狀粗顆粒、平原順直粗顆粒、平原瓣

狀粗顆粒、平原瓣狀細顆粒、河口感潮順直粗顆粒與河口感潮順直細顆粒；第四層河道特性則依河道橫剖面型態分為 U 型河谷、V 型河谷、多岔型河段、窄深型河段與寬淺型河段五類。將兩層之分類結合，即可定義出烏溪與濁水溪各河段之河相特性，各河相中之調查點位如表 4 所示，點位分佈情形則如圖 2 所示。

表 4 各類型河相中之調查點位編號

Table 4. Serial numbers of survey points in each reach with same river morphology

河川型態	調查點位
山區瓣狀粗顆粒 U 型河谷	(濁 1-4)、(陳 1,2)、(和 1-3)
丘陵順直粗顆粒 V 型河谷	(水 1-4)、(平 1, 5, 8, 9, 14)、(坑 1-4)、(南 1-4)、(眉 1-7)
丘陵蜿蜒粗顆粒 V 型河谷	(草 1, 2)、(坑 5)、(南 5)
丘陵順直粗顆粒 U 型河谷	(北 1, 2, 5)、(樟 1-5)、(平 2-4, 6, 7, 12, 13, 15)、(頭 1-3)、(旱 1-4)、(里 1-3)
丘陵蜿蜒粗顆粒 U 型河谷	(北 3, 4)、(樟 6-11)、(平 10, 11, 16-23)、(烏 25-35)
丘陵瓣狀粗顆粒 U 型河谷	(北 6-9)、(水 5-11)、(眉 8-12)、(烏 19-24)、(濁 5-12)、(清 1-5)、(阿 1-6)、(陳 3-10)、(和 4, 5)
台地瓣狀粗顆粒多岔型河段	(烏 12- 18)、(濁 13-21)、(清 6-11)
平原順直粗顆粒窄深型河段	(貓 5, 7-11)、(樟 12)、(旱 5-15)、(筏 5-13)、(草 5, 6)、(里 10, 11)
平原順直粗顆粒寬淺型河段	(貓 1)、(筏 1-4)、(里 4-9)
平原瓣狀粗顆粒多岔型河段	(貓 2-4, 6, 16-18)、頭 4-6)、(草 3, 4)、(南 6-9)、(眉 13-15)、(烏 6-11)、(濁 22-24)
平原瓣狀細顆粒多岔型河段	(濁 25-29)
河口感潮順直粗顆粒寬淺型河段	(烏 5)
河口感潮順直細顆粒寬淺型河段	(烏 1-4)

濁水溪水系：濁水溪 (濁 Z)、陳有蘭溪 (陳 ZC)、和社溪 (和 ZH)、清水溪 (清 ZQ)、阿里山溪 (阿 ZA)

烏溪水系：烏溪主流 (烏 W)。貓羅溪水系：貓羅溪 (貓 WMa)、平林溪 (平 WP)、樟平溪 (樟 WZ)、。大里溪水系：頭汴坑溪 (頭 WT)、旱溪 (旱 WH)、大里溪 (里 WL)、草湖溪 (草 WC)、筏子溪 (筏 WF)。北港溪水系：水長流溪 (水 WS)、北港溪 (北 WB)。南港溪水系：南港溪 (南 WN)、眉溪 (眉 WMe)、北坑溪 (坑 WK)

#### 人為工程介入對棲地之影響

在本研究提出的河川物理棲地評估法中認為，當兩處物理棲地互相比較時，其評估結果差異應包含兩部份：河相造成的差異與人為構造物所造成的差異。其中在河相的影響部份，本研究透過河相分析，將棲地以各自所屬的河相分類，若皆為自然棲地，其評分結果則做為該河相的自然棲地基準特性。不同的河相間的自然棲地不互相比較，因自然棲地皆為河相中水理輸砂自行化育的結果，比較水砂條件不同所造成的棲地差異並

無太大的意義。而在同一個河相下，人為介入棲地與自然棲地間之差異，便可視為工程構造物對棲地之影響。

自然棲地經河川物理棲地評估指標評分後，其指標值表示該棲地物理環境的多樣性與穩定性，相同河相中各棲地具有特定的指標值及區間，為該河相特有的物理棲地環境。本研究以河川型態做為分類，將各河相中的所有自然棲地五項因子的評估結果加結果應落於該區間中；若在相同河相中的人為棲地評分結果不在該區間，則表示該棲地已

陳樹群、安軒霏、方琦萱：河川物理棲地評估法在烏溪及濁水溪之應用

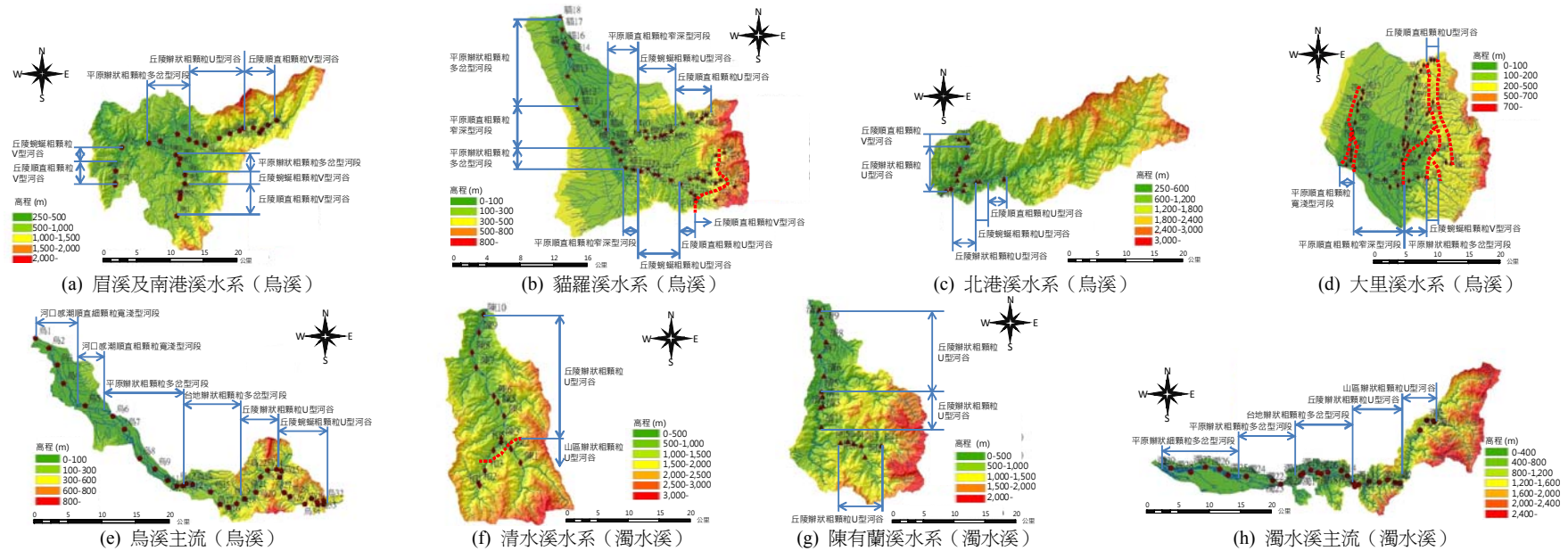


圖 2 烏溪與濁水溪水系中各河相之河段分佈

Figure 2. Distribution of reaches with same river morphology

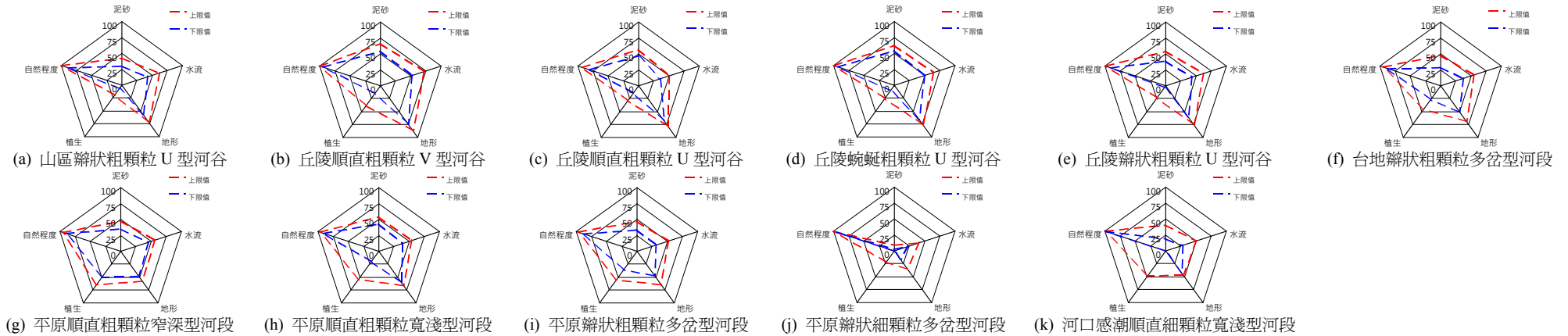


圖 3 各河相之自然棲地指標區間 (「丘陵蜿蜒粗顆粒 V 型河谷」與「河口感潮順直粗顆粒寬淺型河段」兩類河相結果未包含於本圖中)

Figure 3. Nature habitat assessment intervals of each river morphologies



圖 4 各河相之自然河川相片

Figure 4. Photograph in river reaches of each river morphologies



自然棲地出現明顯的差異。若人為介入後，使棲地評分指標值低於同河相的自然棲地指標區間，則表示人為工程對棲地造成負面的影響。若人為介入使指標值高於自然棲地區間（如邊灘上的溼地營造），則表示工程營造的棲地物理多樣性或穩定性高於自然棲地；但若該河段的河相屬於較不穩定的特質時，過多的棲地多樣性與穩定性營造則可能受到調整而降低，並接近該河相的自然棲地指標區間。自然棲地指標區間的功用在於，當人為棲地之指標值小於自然棲地的區間下限值時，即顯示該棲地已不同於自然棲地。

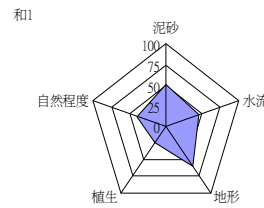
### 1. 自然棲地特性

棲地調查點位經河相分類後，再依工程構造物介入劃分為人為棲地與自然棲地。將具有相同河相的自然棲地進行統計分析，即可得知該河相下，自然棲地之物理特性指標區間，其結果如圖 3 所示。其中丘陵蜿蜒粗顆粒 V 型河谷河段與河口感潮順直粗顆粒寬淺型河段之自然點位數量不足，無法計算其自然棲地指標區間，故圖 3 中僅列出十一個河相的自然棲地特性。河工構造物對棲地之影響。

#### (1) 山區辮狀粗顆粒 U 型河谷

圖 5 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，本河川型態之河段位於濁水溪之上游，因河道中來砂量較大，故水域及濱水區之土砂堆積嚴重，導致邊灘及沙洲之孔隙淤塞，並降低底質多樣性。植生方面，因輸砂量較大致使植生演替之週期較短，故發展出多樣性較低之植生環境。本河

相之調查河段中有一處棲地擁有連續防砂壩，由於本調查點位處於土石流溪流中，河床質組成之粒徑分佈較廣，加以水流沖洗後泥砂填塞孔隙之比例降低，故提供了較佳的土砂環境，並使該棲地之泥砂評估值較自然棲地之泥砂環境得分高。



和 1(ZH01)  
連續防砂壩

圖 5 山區辮狀粗顆粒 U 型河谷中構造物對棲地評分之影響

Figure 5. Influence of artificial structure on habitat in mountain, coarse bed material and braided river with U shape valley. (Case ZH01)

#### (2) 丘陵順直粗顆粒 V 型河谷

圖 6 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，本河相之河段中，多於地質脆弱處設置防砂壩、潛壩及固床工等橫向結構物，同時配合水泥或砌石護岸以提高工程之安全性。在設置護岸後，可提供河岸較高的保護能力，以抵抗本河相中較強的水流及輸砂能力；然而水泥護岸阻隔水陸域間的橫向連結，對棲地環境之影響甚大。此外，硬性之水泥護岸容易因河道下刷而導致基腳掏空，反之，砌石或箱籠護岸除了順應水流掏刷而自行沉陷，亦可透過其多孔性之材質提供水、陸域間聯繫之通道，減少棲地橫向之阻隔。

防砂壩及潛壩工程方面，連續之全封閉型的防砂壩嚴重阻隔棲地的縱向連續性，而構造物上游容易淤積細砂並填塞底質之卵

礫石孔隙，且造成水域及邊灘上出現中等程度的泥砂淤積，進而使棲地之泥砂評分低於自然環境的下限。此外，淤砂亦砂埋覆水域中的潭瀨等結構，使棲地之水流與地形之環境降低，評分則低於自然棲地環境之下限。

固床工工程方面，因構造物造成的縱向高差較小，故在流量較小之河段中設置固床工時，棲地水流評估分數僅略低於自然棲地

之下限值；而在流量較大之河段（如眉溪），因固床工形成類似潭瀨結構，增加了棲地水流環境之多樣性，故評估分數落於自然棲地之區間中，或略優於自然棲地之水流環境。然而受到固床工淤砂及分散水流之作用，泥砂更容易在河道中落淤，因此泥砂評估分數便略低於自然棲地環境之下限值。

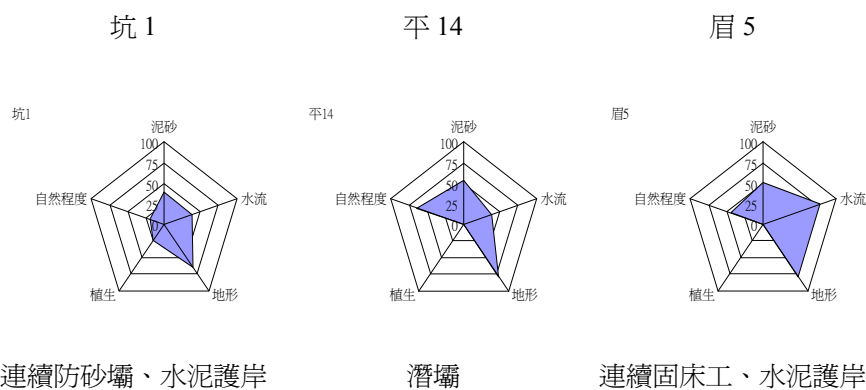


圖 6 丘陵順直粗顆粒 V 型河谷中構造物對棲地評分之影響

Figure 6. Influence of artificial structure on habitat in hill, coarse bed material and straight river with V shape valley. (Case WK01, WP14 and WMe05)

(3) 丘陵蜿蜒粗顆粒 V 型河谷

圖 7 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，本調查河段位於車籠埔斷層通過區域之上游，由於地震導致地層抬升，而使本河段之河相受潮源沖蝕而展現出下刷之傾向。為降低河床下切之趨勢，河道中施作箱籠固床工與護岸，但因工程之擾動，將組成河川棲地之組成元素大幅移除，並導致棲地組成單調化，使棲地環境受損，且棲地之水流、地形、泥砂與植生等環境評分皆大為降低。潛壩與水泥護岸對棲地影響方面，由於水泥護岸束縮河道，加以橫向構造物上游淤砂而改變了河道中的階梯深

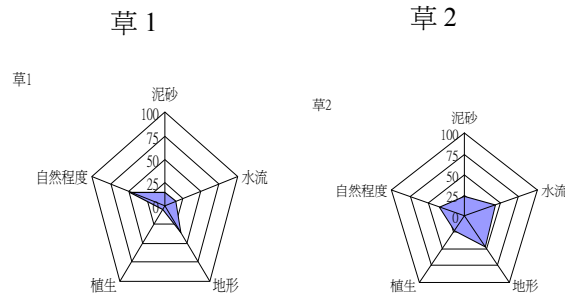
潭、淺瀨之結構，亦造成河道中水流單調化、上游泥砂堆積程度增加等問題；反觀潛壩下游則因來砂減少，導致護岸及潛壩的基腳淘刷，進而降低棲地的地形環境穩定性。由此可知，在本河相中，棲地環境受潛壩及水泥護岸之影響，其水流、泥砂、地形及植生等因子評估結果皆較為偏低。

(4) 丘陵順直粗顆粒 U 型河谷

圖 8 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，在本河相中，河道通常擁有較寬大的河寬，河床坡降亦較上游河川緩，因此護岸等縱向之構造物對棲地之影響比例相對減少。反之，潛壩等橫向結構物迴

水效應增加，對棲地水流環境之影響則較為顯著。視壩體迴水之影響，其上游流況多僅剩餘淺流或深潭等單一流況。若當河道中水

流流況不佳時，則因水流流速受迴水效應減緩、泥砂淤積潛勢增加之影響，水域中潭瀨等結構受土砂淤埋，具淤積範圍又較廣大，



連續固床工、砌石護岸 潛壩、水泥護岸

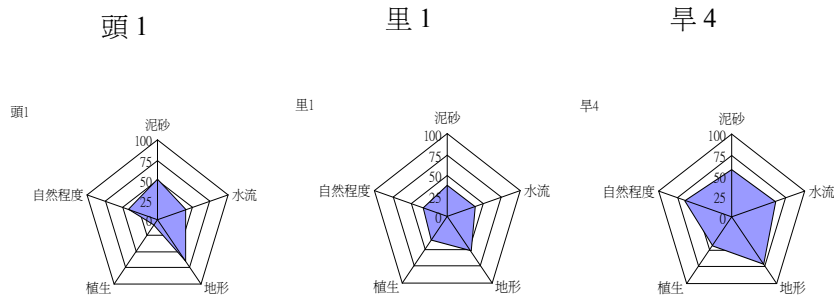
圖 7 丘陵蜿蜒粗顆粒 V 型河谷中構造物對棲地評分之影響

Figure 7. Influence of artificial structure on habitat in hill, coarse bed material and meandering river with V shape valley. (Case WC01 and WC02)

進而降低棲地之泥砂與地形之環境品質，且其評估結果較易低於自然棲地環境之下限。

連續之固床工使土砂運移能力降低，並淤埋自然河相中之階梯深潭、淺瀨等棲地結構，並常造成約數十公尺之迴水範圍。水流

受迴水影響呈現深潭或趨近靜止流況，進而使棲地之水流境品質下降；此外，輸砂能力的降低，亦增加底床孔隙的淤塞及土的砂堆積，使棲地土砂環境品質降低。在此影響下，固床工常造成本河相中棲地水流及地形之環境評分低於自然棲地環境下限。



連續潛壩、砌石護岸 連續固床工、水泥護岸 鼎型塊、水泥護岸

圖 8 丘陵順直粗顆粒 U 型河谷中構造物對棲地評分之影響

Figure 8. Influence of artificial structure on habitat in hill, coarse bed material and straight river with U shape valley. (Case WT01, WL01 and WH04)

(5) 丘陵蜿蜒粗顆粒 U 型河谷

圖 9 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，在本河相之調查點位中，潛壩及固床工多施作於橋樑附近，用於保護橋墩。由於本河相之地勢開闊、河床坡度較緩，因此潛壩上游的迴水範圍較大，造成棲地水流環境的多樣性降低，並使細顆粒泥砂容易落淤，除淤埋潭瀨等結構外，亦填塞底質卵礫石間之孔隙，進而使棲地的泥砂與地形環境品質降低。整體而言，受潛壩設置之影響，棲地之水流、泥砂及地形在本河相中之評分多落於自然棲地環境品質下限之下。而固床工則因河寬較大，不適用落差較大不固床工，故多數調查點位之固床工皆採

用高差較小之設計，使上游迴水範圍較小、淤砂現象較不明顯，故對水流、地形及泥砂方面之影響較不顯著，其評估結果與自然棲地之境類似，皆落在自然棲地境品質之上、下限間。

此外，蜿蜒河川的自然棲地水流環境品質較佳，泥砂與地形因子之評分亦較其他河相高，然而植生相對較差。而為了保護蜿蜒河彎之凹岸，多以護岸保護工減輕護岸基腳之沖蝕。但於丘陵順直粗顆粒 U 型河谷之河相類似，本河相中之河寬較大，故護岸佔河溪棲地中之比例相對較小，對棲地環境之影響亦隨之減少。

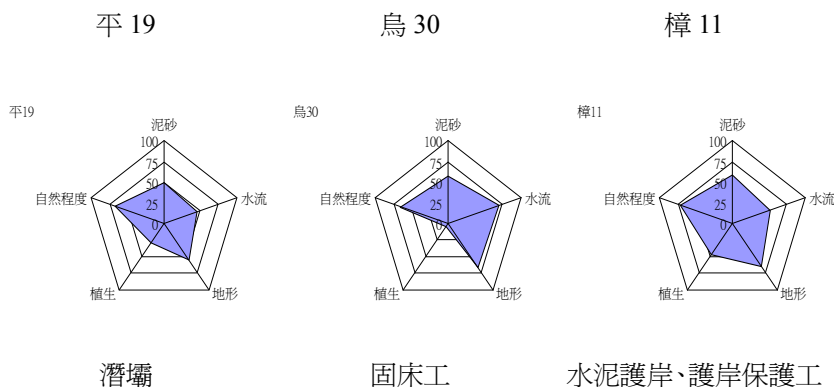


圖 9 丘陵蜿蜒粗顆粒 U 型河谷中構造物對棲地評分之影響

Figure 9. Influence of artificial structure on habitat in hill, coarse bed material and meandering river with U shape valley. (Case WP19, W30 and WZ11)

(6) 丘陵瓣狀粗顆粒 U 型河谷

圖 10 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，本河相之河段處於丘陵區與台地或平原交界附近，受上游支流入匯之影響，河道中來水來砂量較大，並在河道

中發展大量的沙洲，河岸處則由卵礫石所形成的邊灘。由於瓣狀河川之砂量大，受大型洪水事件之作用，沙洲與邊灘的演化速度快，相對而言，植生生長環境較不穩定，並導致植生之評估分數較低。另因本河相下之河道寬度大，已不適合興建大型的橫向結構

物，因此相關橫向工程多以固床工為主。由於施作之固床工高差較小，故對淤砂與迴水之影響不明顯，使棲地之水流環境品質評估並未出現大幅的降低。但若在本河相中施作潛壩時，則因河道中來砂量大，導致泥砂淤積量大增、水流迴水範圍增加，使棲地中的

泥砂及水流多樣性皆降低，其影響較固床工更為顯著。

部份調查點位適逢河防工程施作，其棲地受河川改道、堆置便道、橫向土堤等影響，棲地環境受到強烈干擾。視施作工法的不同，其對棲地評分結果之影響亦有差異，但整體而言，影響皆較為負面。

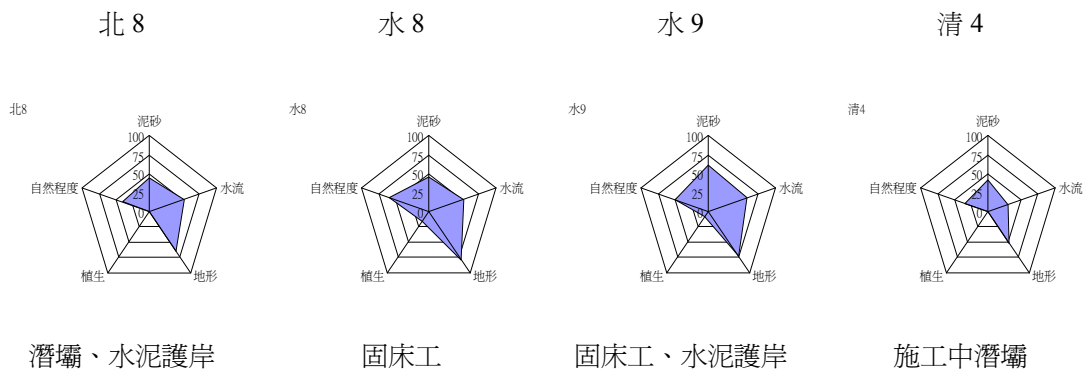


圖 10 丘陵瓣狀粗顆粒 U 型河谷中構造物對棲地評分之影響

Figure 10. Influence of artificial structure on habitat in hill, coarse bed material and braided river with U shape valley. (Case WB08, WS08, WS09 and ZQ04)

(7) 台地瓣狀粗顆粒多岔型河段

圖 11 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，本河相之河段位於台地地區，屬於丘陵及平原之交界地區，河道寬度相當大。故雖本調查河段中常設有堤防及護岸，但相對而言，構造物佔河川棲地之比例相當低，因此除縱向結構物過度侷限河寬外，堤防及護岸對河溪棲地之影響非常小。

本河段中之調查點位濁 17 位於集集攔河堰下游，由於土砂多被攔阻在攔河堰中，使本河段之水流失去輸砂之泥砂來源，進而導致河床大幅下刷。在此情形下，流路趨向深槽化。並使棲地水流環境的多樣性與穩定

性降低；而河床刷又造成河岸處於不穩定的狀態，導致棲地之地形環境品質降，造成本河段之地形因子評估結果低於該河相之自然環境區間之下限。固床工方面，該工程在本河相中多用於保護橋樑橋基之用，然而因本河相之流量及來砂量大，因此當固床工施作後，容易因水流沖刷而在固床工上形成缺口，使水流集中，並導致缺口加大而造成破壞。

(8) 平原順直粗顆粒窄深型河段

圖 12 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，本河相之河道坡降趨緩，而橫斷面呈現窄深之型態，河道中水深

較大、流速較緩，水深可覆蓋大部份之水域，較少沙洲或邊灘等泥砂大量落淤的特徵出現，但水流之流況則較為單一，多以深潭之型式出現。由於河道窄縮的緣故，堤防與護岸在河溪棲地中所佔之例較大，影響棲地環境品質較明顯。尤其當堤防或護岸過度侷限河寬時，便造成水流集中、河床下切傾向增強。而為降低河道下切之問題，又常透過固床工或潛壩等橫向結構物以穩定河道。

因本河相之地勢平坦，故在河道中設置潛壩時往往造成大範圍之迴水，使水流流況多樣性大幅降低，而細顆粒土砂落淤之程度及範圍皆大，亦造成棲地之泥砂與地形環境品質降低。因此，在本河相中設置潛壩之棲地，其泥砂、水流與地形之棲地評分結果皆低於自然棲地區間之下限。在固床工工程方面，由於此河相下自然棲地之調查點位地勢低平且流量穩定，水域中少出現淺瀨之底床質，穩定性較佳但多樣性稍嫌不足，橫向構造物介入後影響更為明顯，水流之評估結果較差。但在泥砂及地形方面，構造物之設置反而使粗顆粒之比例略為增加，產生淺瀨之底床質，造成較佳之地形多樣性，底質多樣性亦隨之上升，泥砂與地形之評估分數略超過自然棲地區間之上限。

(9) 平原順直粗顆粒寬淺型河段

圖 13 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，本河相之河段因位於平原地區，且多為人口集中之區域，因此本河相中之調查點位多設有堤防或護岸。而河道橫段面屬於寬淺之型態，河道寬度較窄深型河道大，較不適宜設置潛壩，故橫向之工程構造物則以固床工為主。由於寬淺型之橫斷

面型態，其流路多以呈現雙股流路，其水流深度較淺但流速較快，細使顆粒泥砂不易淤積於卵礫石孔隙，但邊灘之堆積程度較窄深型河段嚴重。然而在設置低矮的固床工之後，因其達到目的在穩定水流之目的，但同

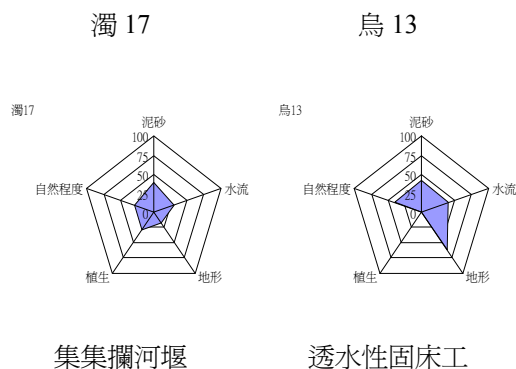


圖 11 台地辮狀粗顆粒多岔型河段中構造物對棲地評分之影響

Figure 11. Influence of artificial structure on habitat in plateau, coarse bed material and braided river with multi thread cross section. (Case Z17 and W13)

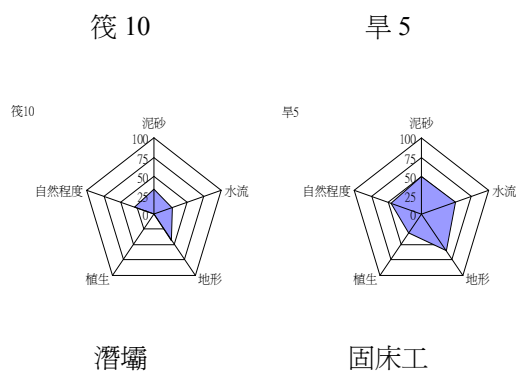
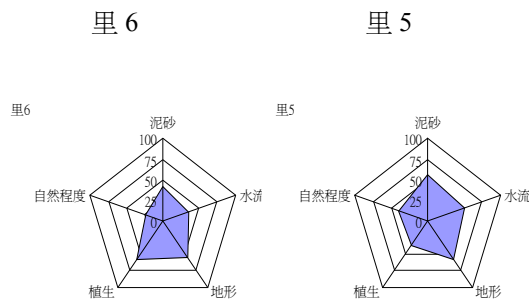


圖 12 平原順直粗顆粒窄深型河段中構造物對棲地評分之影響

Figure 12 Influence of artificial structure on habitat in plain, coarse bed material and straight river with narrow-deep cross section. (Case WF10 and WH05)

時使流速減少，進而加重了泥砂淤積的情形，除了降低棲地泥砂環境品質外，淤埋水域中之淺灘結構，降低地形之多樣性及水流流況數量。因此，在本河相中之固床工，其水流、泥砂與地形特性之評估分數皆略低於自然棲地環境區間之下限值。

在調查點位里 5 中，該河段之固床工以大型水泥塊堆砌而成，由於是透水型之構造物，水流並未在上游未形成迴水並降低水流輸砂之能力，故水域中之潭瀨構造得以保存，使水流及泥砂之評分與自然棲地環境類似。



固床工、鼎型塊 透水固床工  
圖 13 平原順直粗顆粒寬淺型河段中構造物對棲地評評分之影響

Figure 13. Influence of artificial structure on habitat in plain, coarse bed material and straight river with wide-shallow cross section. (Case WL06 and WL05)

(10) 平原辮狀粗顆粒多岔型河段

圖 14 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，本河相之河道因其河寬極大寬，堤防與護岸對棲地幾乎無影響，且已不常見橫向之固床工等結構物。然而因兩岸農作用水之需而河道中設置大型取水

堰，並對水流及泥砂因子產生較大的影響。在水流特性方面，取水堰亦使水位壅高，加以河床坡降小，故水域覆蓋河道範圍廣大，使水域中之水流穩定性增加。相對於自然棲地中之水流環境，因多岔型河道流況多樣性較低、水流覆蓋比例亦小，因此迴水面積的加大對流況的多樣性增加，但水域的穩定性則相對提升，故導致棲地水流環境之評分略高於自然棲地環境區間之上限值。

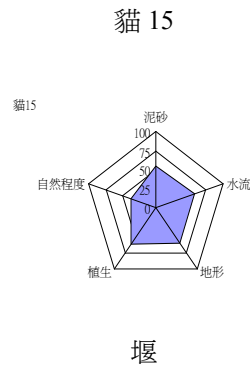


圖 14 平原辮狀粗顆粒多岔型河段中構造物對棲地評分之影響

Figure 14. Influence of artificial structure on habitat in plain, coarse bed material and braided river with multi thread cross section. (Case WMa15)

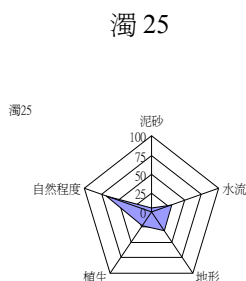
(11) 平原辮狀細顆粒多岔型河段

圖 15 為本河相中人為構造物對棲地評分結果影響之案例，本河相之調查點位中，僅有濁水河流域中溪州大橋之上游處為保護中油油管橋之橋墩不受水流冲刷，設有水泥石塊堆砌之透水固床工，由於本河相下之棲地評估不論在水流、泥砂、地形或植生特性方面分數極低，此工程構造物乃以透水之型式設置，因此對河川棲地之影響程度有

限，其評估結果顯示該構造物對各項因子之影響皆不顯著。

(12) 河口感潮順直粗顆粒與細顆粒寬淺型河段

在本河相之河段中，僅在高灘地外設置堤防，由於此河相下之河道斷面廣大，堤防距河道邊灘與水陸域已遠，故構造物對河溪棲地環境已幾無影響。



固床工

圖 15 平原辮狀細顆粒多岔型河段中構造物對棲地評分之影響

Figure 15. Influence of artificial structure on habitat in plain, fine bed material and braided river with multi thread cross section. (Case Z15)

2. 河工構造物對棲地之影響

屬於上游地區河相之河段在設置構造物後，皆造成水流、地形及泥砂之評分降低，並多落於指標區間之下限值以下。結果顯示全封閉型橫向構造物在上游地區，會引起河床中大量的泥砂淤積，降低泥砂之棲地評分；而階梯深潭等構造受到泥砂淤埋，又進一步降低水域的地形多樣性。因此，在上游地區設置橫向構造物時，將對棲地成顯著的負面影響，即子指標之評分分數多小於自然棲地指標區間之下限值常。細究構造物高

度之影響，則以防砂壩的棲地評分下降幅度最大，潛壩次之，固床工較小。

屬於中游地區之河相中，河道中已較少設置防砂壩。固床工及潛壩對棲地物理特性之影響程度降低。在水流特性方面，本河相中的自然河道有較多的裸露河床，加以水流多樣性中等，因此水流子指標範圍落在 25 至 50 分間；但橫向構造物在本河相中造成大面積迴水，提高水流覆蓋面積，使水流子指標評估結果略高於自然棲地的上限值。顯示棲地水流特性已明顯地受到影響，雖然評分值增加，但仍會對棲地環境造成衝擊。就構造物高度而言，固床工之影響亦小於潛壩。

下游地區所代表之河相為平原辮狀細顆粒多岔型河段，本河段較少興建橫向構造物，較常設置之固床工則多用於保護橋墩。本河段已為辮狀河川，河道中沙洲遍佈，造成強烈之泥砂堆積，使自然棲地之水流、泥砂、地形或植生等子指標之評分值極低；就物理特性之角度而言，本河相提供的生物棲息空間多樣性較低。而在調查點位濁 26 中施作的構造物為透水型之固床工，該工法對河川棲地之影響程度有限，因此該棲地之評分結果皆落在自然棲地的指標區間中，沒有過於負面影響，亦沒有大幅超越棲地之自然上限水準。

結論

本研究利用河川型態五層分類法中各層之理念架構，計算各層河川特性，在河相分析方面，本研究採用河川型態五層分類法中的第一層至第四層做為判別河相的標



準，可將河川分類成數段具有相同河相之河段，在濁水溪與烏溪的案例中，即將調查河段分成了十三類的河相特性。在這些河段中，烏溪與濁水溪各分別調查了 178 處與 67 處棲地，而藉由以五層分類法中第五層棲地特性為基礎所建立的河川物理棲地評估指標，本研究得以將各調查點位的物理棲地環境量化，並建立出十三個河相河段之自然棲地物理環境基準，做為人為介入對棲地影響之比對基準。

比較烏溪與濁水溪之流域特性，由於濁水溪流域之流域型態較烏溪狹長（表 2），加以流域地形對水系發展的影響，使烏溪流域中平原及台地佔整個流域之面積相對比例較大；因此，在十三個河相分類中，烏溪流域擁有較多的中下游之河相特性河段。此外，濁水溪水系之分岐比與流長比皆較烏溪水系大，顯示相對於烏溪水系而言，濁水溪水系中當河川級序增加時，其對應之河川數量減少比例較多，而對應之河川流長增加比例則較大。顯示濁水溪在中上游地區易於匯集成大型河川，低級序支流則沿延匯入高級序之主流，並成流域之中上游之即形成瓣狀流路及 U 型河谷。綜合上述可知，烏溪與濁水溪水系在十三和河相類中各自擁有不同比例的河相組成，其中烏溪以中小型河川的河相為主，濁水溪則擁有較多大型河川的河相類型。

此外，由於本評估法中納入了河相的架構，因此可以將河相對棲地的影響自人為的影響中分離。由於在相同河相中，人為棲地與自然棲地的量化評估結果僅包含了構造物的影響，因此評估指標值與其基準值之偏差，便代表了人工結構物介入後對自然棲地

的改變。在烏溪與濁水溪的棲地評估案例中，展示了三處施作固床工的棲地，其評分值由上游向下游遞減，但評估值與自然棲地基準之相似性卻是由上游向下游增加。由此可知，棲地評分值降低明顯地受到河相的影響，而將河相影響自評分值分離出後，即可得知固床工在上游河段對棲地的影響程度最為明顯。由於河川物理棲地評估法加入了河相因子，在濁水溪與烏溪的案例中可驗證，此方法大幅提升棲地指標的解釋性，增加了本評估法在台灣河川中的應用範圍與價值。

## 參考文獻

1. 巨廷工程顧問公司(2005)，「河溪生態工法參考手冊」，行政院公共工程委員會。
2. 朱達仁(2006)，「溪流複合式指標評估模式之建構」，特有生物研究，8(1)：35~56。
3. 陳樹群、彭思顯(2002)，「台灣河川型態五層分類法研究」，中華水土保持學報 33(3)：175-190。
4. 森下郁子、森下雅子、森下依理子(2000)，「川の H の條件陸水生態學からの提言」，山海堂(東京)，p. 150。
5. Azzellino A., and Vismara, R. (2001), "Pool Quality Index: New Method to Define Minimum Flow Requirements of High-Gradient, Low-Order Streams," *Journal of Environmental Engineering*, 127(11).

6. Carlson, R.E. (1977), "A trophic state index for lakes," *Limnology and oceanography* 22(2): 361-369.
7. CDFG (1999), "California Stream Bioassessment Procedure. Protocol brief for biological and physical/habitat assessment in wadeable streams," California Department of Fish and Game, Water Pollution Laboratory, Aquatic Bioassessment Laboratory.
8. Gilbert, G. K. (1914), "The Transportation of Debris by Running Water," *U. S. Geol. Survey, Prof.* 86: 259.
9. Hilsenhoff, W. L. (1987), "An Improved Bioticindex of Organic Stream Pollution," *The Great Lakes Entomology*, 20: 31-39.
10. Horton, R.K. (1965), "An index number system for rating water quality," *J. Water Pollut. Control Fed.* 37: 300-305.
11. Karr, J. R. (1981), "Assessment of Biotic Integrity Using Fish Communities," *Fisheries*, 6(6): 21-27.
12. Ladson, A. R. White L.J., Doolan J.A., Finlayson B.L., Hart B.T., Lake P.S., and Tilleard J.W. (1999), "Development and Testing of an Index of Stream Condition for Waterway Management in Australia," *Freshwater Biology*, 41: 453-468.
13. Lane, E. W. (1955), "The Importance of Fluvial Morphology in Hydraulic Engineering," *Proc., ASCE*, 745(81): 17
14. Li, Ruh-Ming and Simons, D. B. (1982), "Geomorphological and Hydraulic Analysis of Mountain Streams," *Gravel Bed Rivers*, 425-441.
15. McDuffie, B. and Haney, J. T. (1973), "A Proposed River Pollution Index," paper presented at the Spring 1973 meeting of the American Chemical Society New York Division of Water, Air and Waste Chemistry Division of Water, Air and Waste Chemistry
16. Milhous, R. T. Updike, M., and Schneider, D., (1990), "User's Guide to the Physical Habitat Simulation (PHABSIM)-Version II," *Biological Report*, U.S. Fish and Wildlife Service.
17. 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.* EPA/444/4-89-001. US. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
18. Rankin, E. T., (1989) "The qualitative habitat evaluation index (QHEI), rationale, methods, and application," Ohio EPA, Division of Water Quality Planning and Assessment, Ecological Assessment Section, Columbus, Ohio.
19. Schumm, S.A. (1969), "River metamorphosis, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*", *Journal of the Hydraulics Division* 95 (1969), pp. 255-273.
20. Sladeczek, V. (1986), "Diatoms as indicators of organic pollution." *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 14(5): 555-566.
21. U.S. EPA. (1989), "Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers:

Benthic Macroinvertebrates and Fish,”  
U.S. Environmental Protection Agency,  
Washington, DC.

22. Wu, J.T. (1999), "A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan." *Hydrobiologia* 397: 79–87.

---

99年 11月 30日收稿

99年 12月 07日修改

99年 12月 07日接受