

卵礫石河床型態演變對物理性棲地影響之實例研究

劉建榮^[1] 許少華^{[2]*} 潘俊弘^[2]

摘要 本文以筏子溪卵礫石河床條件觀察河床型態演變對物理棲地之影響，並重新定義適合筏子溪之物理棲地型態參數範圍：分別為淺瀨 (水深<30 cm、流速>30 cm/sec)，緩流 (水深<60 cm、流速<30 cm/sec)，深流(水深>30 cm、流速>30 cm/sec)，深潭 (水深>60 cm、流速<30 cm/sec)。透過航照圖結合現場量測分析出筏子溪橋下游為交互沙洲的河床型態，並找出其從上游至下游之物理棲地規律為淺瀨 (Riffle)、深流 (Run)、深潭 (Pool)與緩流 (Guild)，以交互沙洲代表長度 L 來量化物理棲地可得淺瀨為 0.1~0.2 L、深流為 0.2~0.3 L、深潭為 0.3~0.4 L、緩流為 0.2~0.3 L。

關鍵詞：筏子溪、物理棲地、交互沙洲。

A Case Study of River Morphodynamics and Impacts on Habitat in a Gravel-Bed Stream

Chien-Jung Liu^[1] Shaohua-Marko Hsu^{[2]*} Jun-Hung Pan^[2]

ABSTRACT This research was focused on the physical habitat of Fa-Zih River and observed the changes after the morphological development in the condition of gravel-bed. Furthermore, the form of physical habitat in Fa-Zih River is re-defined: Riffle (depth<30 cm, velocity>30 cm/sec), Guild (depth<30 cm, velocity<30 cm/sec), Run (depth>30 cm, velocity>30 cm/sec), Pool (depth>60 cm, velocity<30 cm/sec). Based on aerial photos and river-bed measurement, the morphological type of the downstream Fa-Zih River was categorized as alternating bars. If parameter L is defined as the length of a single sand bar, the type of physical habitat can be identified as Riffle (length is about 0.1~0.2 L), Run (length is about 0.2~0.3 L), Pool (length is about 0.3~0.4 L), and Guild (length is about 0.2~0.3L) from upstream to downstream.

Key Words: Fa-Zih River, physical habitat, alternate bars.

一、前言

河川當中棲地型態影響物種多樣性的因素眾多，包含流速、水深、底質特徵等特性都會對棲地的構成造成影響。而台灣河川下游地區 (流出山區後的平原地

帶) 常受到工業廢水、民生污水、畜牧廢水等的污染，河床採砂石、濫採砂石的挖掘行為，直接破壞了淺水區魚類的產卵繁殖區。沒有生態考量的水利建設與制式化的堤防護床工、攔河堰，使得河川成為超大型的水泥溝渠。交通建設及其保護措施，如河川上的橋樑

[1] 逢甲大學 GIS 中心

GIS Research Center, Feng Chia University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

[2] 逢甲大學水利工程與資源保育學系

Department of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

*Corresponding Author. E-mail address : shhsu@fcu.edu.tw

跨過水流，但是它的橋墩固床工或是為保護裸露橋墩基樁的攔河堰與大量堆石蛇籠，已實質上截斷了河流。本研究主要為瞭解卵礫石型態之河溪對物理性棲地之影響，以筏子溪為例分二部分進行探討：(一) 於筏子溪主流量測流速與水深進行棲地分析，探討棲地型態於筏子溪之分佈情形。(二) 運用筏子溪航拍圖觀察筏子溪歷年來之河床形態演變，並分析河床演變過對物理性棲地之影響。

二、前人研究

1. 棲地結構

河水在流道的空間水域上所呈現之型態，又常稱水域型態或是水型 (Water type)。然而，汪靜明 (1999) 將台灣水域型態分為以下五種：「淺瀨 (Riffle)」、「緩流 (Glide)」、「深潭 (Pool)」、「深流 (Run)」、「岸邊緩流」。在結構特徵上，通常淺瀨出現於水淺 (水深 < 30 cm)、水急 (流速 > 30 cm/sec) 的河道，其底質多大型的漂石 (或稱巨礫；> 25.6 cm) 與圓石 (或稱中礫；6.5~25.6 cm)，水面多出現水流撞擊大石頭所激起的水花。緩流則出現於水淺 (水深 < 30 公分)、水緩 (流速 < 30 cm/sec) 的河道，但底質多小型的砂土 (< 0.2 cm)、礫石 (0.2~1.6 cm) 與卵石 (或稱小礫；1.7~6.4 cm) 型水域。深潭出現於水深 (> 30 cm) 與水緩 (流速 < 30 cm/sec) 的河道水域中：此水域河床下切較深，水底多小型底石。深流，常為淺瀨或淺流與深潭中間的過渡型水域，出現於水深 (> 30 cm) 與水急 (> 30 cm/sec) 的區域。此外，在河道兩旁的緩流 (流速 < 10 cm/sec)，通稱為岸邊緩流。

而 Leopold (1969) 以福祿數 (Fr) 與寬深比 (W/H) 分成四類，分別為深潭， $Fr < 0.095$ 、 $W/H < 15$ ；緩流， $0.095 < Fr < 0.255$ 、 $15 < W/H < 30$ ；淺瀨， $0.255 < Fr < 1$ 、 $W/H > 15$ ；深流， $Fr > 1$ 、 W/H 不受限制。Jowett (1993) 將河川中的棲地型態以肉眼辨識，再將其物理特性作分析，以作為往後棲地分類之參考。一般分辨物理棲地環境，是依其流況以肉眼觀察做分類，大多觀察其水面波紋以及水深與底質。在其研究中指出，棲地型態的分類與 Fr 值以及流速、水深最為相關，若是將 Fr 或是流速水深比值搭配坡度作為棲地分類標準，會達到較佳的分類效果；如果以 Fr 作為分類標準的話，此三種棲地環境的福祿數

範圍分別為：深潭 (Pool)， $Fr < 0.18$ ；深流 (Run)， $Fr = 0.18 \sim 0.41$ ，緩流 (Glide)， $Fr > 0.41$ 。

2. 沖積河床型態

於沖積河川 (Alluvial Rivers) 動床水流中，由於水流與泥砂之相互作用，除河床質發生變化，致水流之水深、流速、河寬等水力條件改變，亦相對應發生河床型態之變遷。河床型態之分類就發生之規模可分為小、中及大尺度等。而中尺度之河床型態亦會有小尺度河床型態的產生 (吳健民，1991)。而中尺度河床型態包含沙洲、交互沙洲、鱗狀沙洲，本研究之研究地點屬交互沙洲，而交互沙洲形成條件須處於陡坡、河寬較窄之情況，Silva (1999) 提出形成交互沙洲所需寬深比與水深對中值粒徑之比值，如下所示。

$$\text{If } \left(\frac{h}{D}\right) \ll 200, \text{ then } \left(\frac{B}{h}\right) = 25\left(\frac{h}{D}\right)^{1/3}, \quad (1)$$

$$\text{If } \left(\frac{h}{D}\right) \gg 200, \text{ then } \left(\frac{B}{h}\right) = 146 (\approx 150)$$

$$\text{If } \left(\frac{h}{D}\right) \ll 100, \text{ then } \left(\frac{B}{h}\right) = 0.25 \frac{h}{D}, \quad (2)$$

$$\text{If } \left(\frac{h}{D}\right) \gg 100, \text{ then } \left(\frac{B}{h}\right) = 25$$

式中： h 為水深； D 為中值粒徑； B 為河道寬度；而介於 L (式 1) 與 L_A (式 2) 之間為交互沙洲，其餘的為複合沙洲 (圖 1)。

Keller and Melhorn (1978) 提出，交互沙洲在發展的過程中會有以下四種階段 (圖 2)：(1) 首先是交互沙洲已形成於河床上，(2) 經過水流不斷沖蝕並跌水產生淺瀨與深潭的棲地型態，(3) 充份發展後而形成之淺瀨與深潭其間隔會為 5 至 7 倍的河寬，(4) 於發展完全的蜿蜒河道中，淺瀨通常發生於轉彎前後直線段之區域，並在凹岸產生深潭且沖蝕河岸。

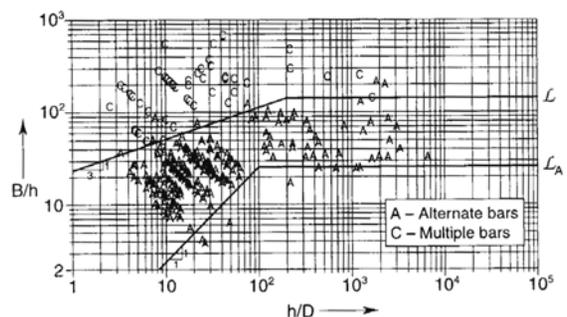


圖 1 交互沙洲形成要素 (Silva, 1999)

Fig.1 Essential factor to form alternate bars

另外 Rosgen (1996) 建立河川分類系統，大致上將河川系統分成四層來研究，各層分類分述如下：Level I 主要針對地形上的概略特徵進行河川平面型態的分類，其中深槽比、寬深比、蜿蜒度、坡度、地形與土壤特徵等皆是分類的指標，可利用航照圖、地形圖來解釋說明。Level II 則利用河床質種類將 Level I 的初步分類再細分，依河道坡降與河床底質型態來劃分其型態 (如圖 3)；Level III 對河川狀態及穩定度的評價，如沉滓供應、河流機制、土石來源、渠道穩定等等；Level IV 主要透過現場資料對 Level III 的驗證，如河流的測量、輸砂分析等。

三、研究方法與地點介紹

1. 筏子溪

筏子溪發源於台中縣大雅鄉橫山圳排水，屬平地河川。流域範圍北以大甲溪為界，西臨大肚山台地，東接台中都會區旱溪排水流域，由北而南，匯集各平地逕流、葫蘆墩圳等農田排水及大度山區各山溝、野溪之水，流經台中縣市都會區經集泉橋於烏日鄉先注入大里溪再匯入烏溪。其全流域支流包括筏子溪上游的大雅排水、十三寮排水，主流的林厝排水、港尾子溪排水、普濟坑排水、溪內新厝排水、山仔腳排水以及劉厝排水，全長約 21.3 km，流域面積 132.6 km²，各主支流水系地理位置分佈如圖 4 所示，流域依地形特性概可分為大肚山台地及台中盆地兩大區域，高台地面積約佔全流域 1/3。

民國八十年台灣省水利局規劃總隊辦理「筏子溪

治理規劃報告」之實際河床質採樣的分析成果。筏子溪河床質以卵礫石為主，泥砂含量低於 10%，中值粒徑介於 9 cm~15 cm 之間， D_{90} 則介於 20 cm~30 cm (圖 5)。治理規劃檢討起點烏橋至烏溪匯合口河床平均坡降約為 1/134。圖 6 與圖 7 分別為知高橋與筏子溪橋處之河床質粒徑分析比較圖，可發現近年來筏子溪之河床質粒徑有細化之現象。

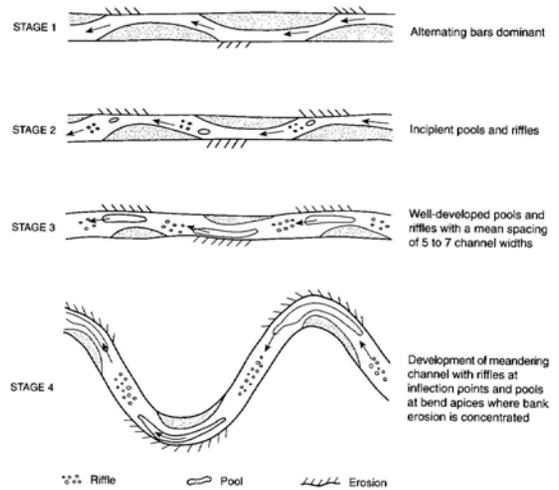


圖 2 交互沙洲發展階段 (Rosgen, 1996)

Fig.2 Developed stage of alternate bars

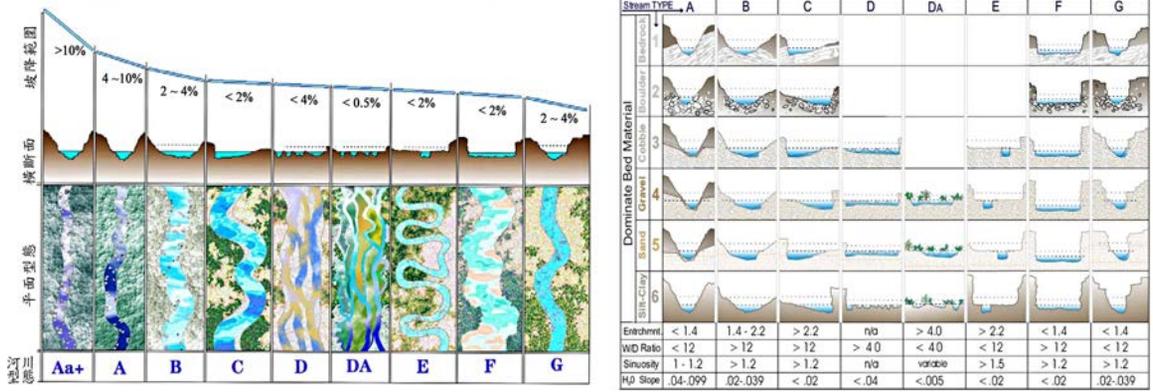


圖 3 Rosgen (1996) 河川類型之平面與橫斷面示意圖

Fig.3 Schematic diagram on the plane and vertical section of river types

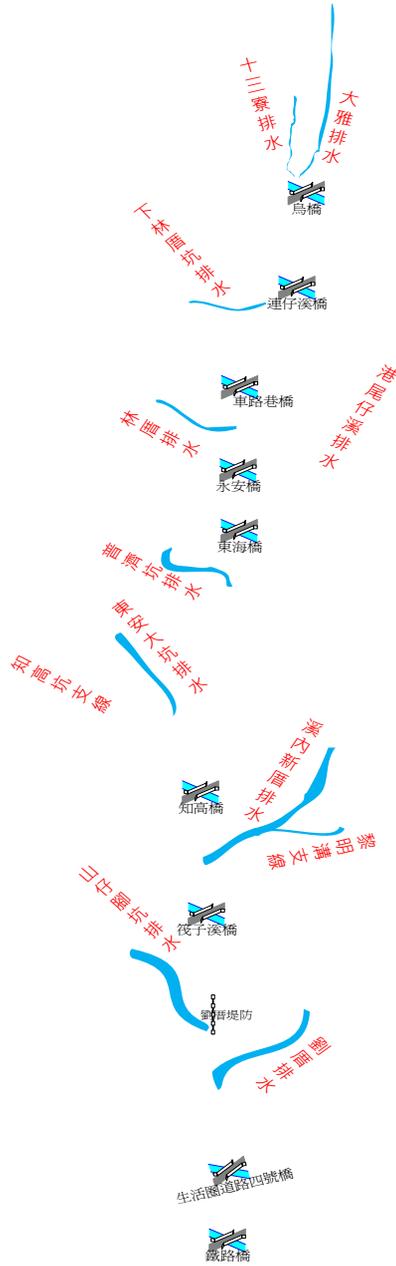


圖 4 筏子溪各主流支流水系位置
Fig.4 Position of the main stream and tributaries of Fa-Zih River

2. 量測方法

本研究對物理棲地的分類標準乃是依據其平均流速與平均水深進行判斷，故於赴現地進行量測時主要針對其流速與水深進行量測。量測方法是先將現地棲

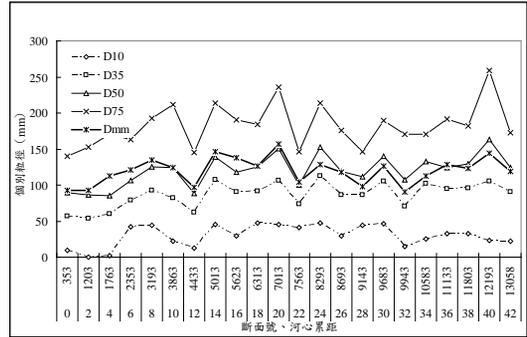


圖 5 筏子溪河床質粒徑分布縱断面圖
Fig.5 Distribution of the river-bed grain size on the stream-wise vertical section of Fa-Zih River

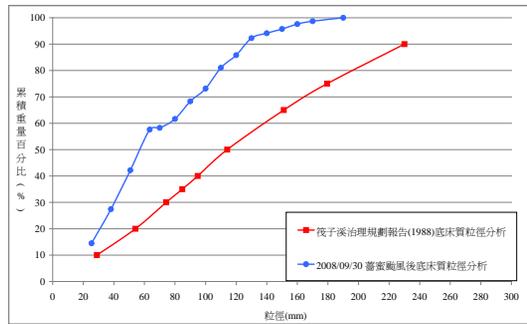


圖 6 知高橋處之河床質粒徑分布圖
Fig.6 Distribution of the river-bed grain size at Zhi-Guo Bridge

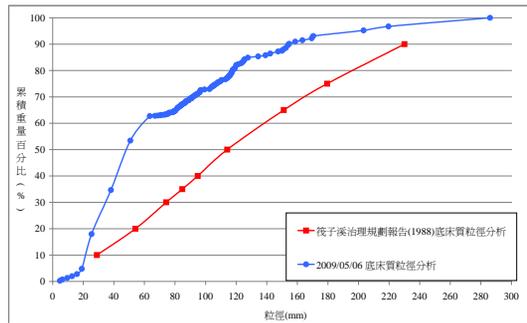


圖 7 筏子溪橋處之河床質粒徑分布圖
Fig.7 Distribution of the river-bed grain size at Fa-Zih-Xi Bridge

地型態做初步的分類，並對不同之棲地型態區域進行前、中、後三個斷面的量測，每個斷面以安全考量為前提，由岸邊測起以人力可安全測得之水深 (本研究取水深小於 1 m 為原則) 橫方向每間隔 1 m 量測一網格棲地點。在本研究中以筏子溪橋下游之交互沙洲為量

測範圍，以量測到的網格棲地點點及範圍劃定棲地型態之區域。並在每個點並以 ADV 流速儀於總水深 0.6

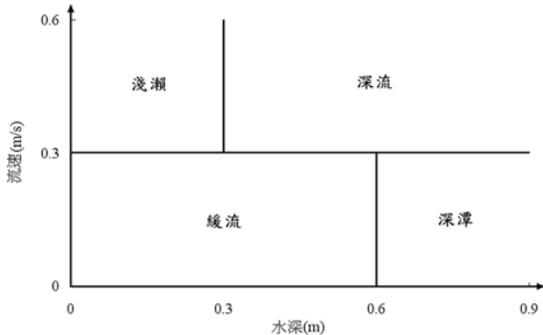


圖 8 筏子溪物理棲地型態定義圖

Fig.8 Definition of the physical habitat of Fa-Zih River

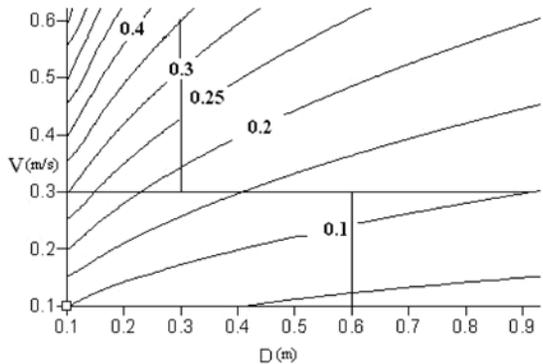


圖 9 筏子溪物理棲地型態福祿數 (Leopold, 1969)

Fig.9 Froude number vs. physical habitat of Fa-Zih River

由於本研究依汪靜明 (1999) 的棲地型態分類只能略分為淺瀨與深潭二種類型，所以根據筏子溪之水深特性來重新定義，以符合筏子溪之棲地型態，定義如下：淺瀨 (水深<30 cm、流速>30 cm/sec)，緩流 (水深>30 cm、流速<30 cm/sec)，深流 (水深>30 cm、流速>30 cm/sec)，深潭 (水深>60 cm、流速<30 cm/sec)，如圖 8 所示。以福祿數 Fr 來表示筏子溪之棲地型態 (圖 9)，淺瀨 $Fr > 0.18$ 、緩流 $0.12 < Fr < 0.29$ 、深流 $0.10 < Fr < 0.34$ 、深潭 $Fr < 0.12$ ，筏子溪棲地型態之福祿數雖與 Leopold (1969) 的定義相似，但寬深比與本研究之筏子溪差異較大，不適用於筏子溪。Jowett (1993) 所提之深流與深潭福祿數與筏子溪較相似，但緩流福祿數與筏子溪差異較大，故筏子溪的福祿數棲地型態與物理性棲地型態與文獻

倍之處進行代表流速之量測。

有所差異，需重新定義適合之棲地福祿數與對應之棲地形態。

本研究收集了筏子溪 2003 年、2006 年 10 月、2009 年 11 月三年之航照圖，利用三張航照圖來判斷筏子溪之河床型態，並利用判斷出來之河床型態後，進行棲地的現場試驗，以結合筏子溪物理性棲地與河床型態，並分析其關聯性。

四、結果分析與討論

本研究運用筏子溪 2003、2006、2009 年的航照圖，針對筏子溪之河床型態與物理性棲地之關聯性進行分析探討，探討內容為筏子溪之沙洲數量、沙洲的大小與尺度、與每個單位沙洲其物理性棲地分佈之規則性。

1. 筏子溪河床型態

本研究利用筏子溪 2003、2006、2009 年之航照圖 (如圖 10 (a)~(c)) 與現場量測進行比較。從航照圖中發現筏子溪從中下游河幅較寬之後開始出現沙洲，由於筏子溪屬於陡坡溪流、輸砂量大，因此洪水來臨時水流必須消耗能量而不作直線運動之型態，呈現出左右擺動之情形，因而在筏子溪中下游產生交互沙洲。另外，本研究利用筏子溪橋以下之斷面的中值粒徑、寬度、水深來與 Silva (1999) 進行比較，發現筏子溪橋以下之沙洲型態介於 L 與 L_A 之間是相符合的。由於本研究在筏子溪橋下游進行交互沙洲之棲地量測，利用 Rosgen (1996) 之方法分析，筏子溪河床坡度小於 0.04 (4%)，而筏子溪橋下游平均水深約 1 m，河寬約為 80~120 m、寬深比大於 55~80，因此筏子溪橋下游為 Rosgen (1996) 分類方法中的 D 型，又筏子溪河床粒徑介於 86.6~153.6 mm，所以為 Rosgen 河川斷面示意圖 (圖 3) 之 D-3 與 D-4。然而，從 2009 年之航照圖 (圖 10 (c)) 進行比對，發現筏子溪橋下游開始與 Keller & Melhorn (1972) 所提出之交互沙洲發展之過程相同並屬於 Stage3 (圖 2)。所以本研究從航照圖可初步判斷淺瀨與深潭兩種棲地，並由圖 10 (b)~10 (c) 可看出，當水流經過交互沙洲之交替處時 (如圖 11 中的 A 處)，水流在消能時所挾帶之大量泥砂會停留在交替處，因而使得交互沙洲

的地形在交替處時是處於地勢較高之沙洲前緣情況，並產生水流跌水的情形，呈現出淺瀨的棲地型態；然而在交互沙洲的身體段（如圖 11 中的 B 處），其對應的水深較深，因此呈現出深潭的棲地型態。而現場量測則確定交互沙洲中會產生緩流與深流另二種之過渡棲地型態並估計其四種棲地之大小與範圍，進而顯示出交互沙洲中其棲地之連續性。

2. 筏子溪沙洲數量演變

筏子溪屬卵礫石型溪流，其河床型態在中下游的筏子溪橋河段，能夠明顯看出屬交互沙洲之型態。因此本研究蒐集 2003、2006、2009 之三個年度航照圖，來進行交互沙洲的數量分析。2003 年期間，於圖 10 (a) 可看出，整條筏子溪並未有交互沙洲的產生，原因是台灣高速鐵路工程於筏子溪河段全面施工當中，人為開挖使得整條筏子溪類似溝渠化之現象。而 2006 年期間，經過三年的水流與泥沙之相互作用後，筏子溪的交互沙洲再逐漸形成，從知高橋開始就有交互沙洲的形成，而本研究則選定從筏子溪橋下游至鐵路橋上游的交互沙洲數量來進行探討。根據圖 10 (b)，2006 年中有 11 個交互沙洲形成於上述的範圍之間。到了 2009 年期間，從筏子溪至鐵路橋之間有 9 個交互沙洲之形成（圖 10 (c)）。

3. 筏子溪沙洲的大小與尺度

本研究所蒐集之三年航照圖中，從圖 10 (a) 得知 2003 年是沒有交互沙洲形成，所以僅以 2006 年與 2009 年的航照圖（圖 10 (b)、圖 10 (c)）來判別筏子

溪沙洲大小與尺度。2006 年之沙洲分佈其大小與尺度是相當均勻的，每個單位沙洲長度約有 220 m、寬為 70 m，扣除邊緣後面積約為 9520 m²。而在 2009 年的沙洲大小分佈則是分為三部份，從筏子溪橋到劉厝堤防的沙洲為其一，其每個單位沙洲長度約 400 m、寬為 83 m、面積約為 24920 m²，另一部份為劉厝堤防至高鐵匝道橋上游的沙洲長度約 276 m、寬為 76.5 m、面積約為 13861 m²，最後為高鐵匝道橋下游至鐵路橋上游的沙洲，其長度約為 243 m、寬為 70 m、面積約為 10924 m²。

4. 筏子溪交互沙洲與棲地之關聯

本研究於 2010 年 2 月進行現地的交互沙洲與棲地調查試驗，探討筏子溪上每個單位的交互沙洲與其鄰近之水域物理性棲地的規律性。本研究經由筏子溪橋下游之現場量測試驗結果後發現，其交互沙洲與物理性棲地有其一定之規則性，其示意圖如圖 11 所示。當交互沙洲經過左右交替之週期性時，通水斷面窄且坡度陡，流速為 >30 cm/sec，水深 <30 cm，其水域棲地型態以淺瀨為主，接著水深逐漸變深，流速維持在 >30 cm/sec，水深 >30 cm，因此水域棲地型態為深流。再往下游到通水斷面較寬之區塊，流速變為 <30 cm、水深 >60 cm，水域棲地型態則為深潭，接著漸漸接近交互沙洲交替之處，通水斷面逐漸變窄，流速 <30 cm、水深 >30 cm，水域棲地型態變為緩流，最

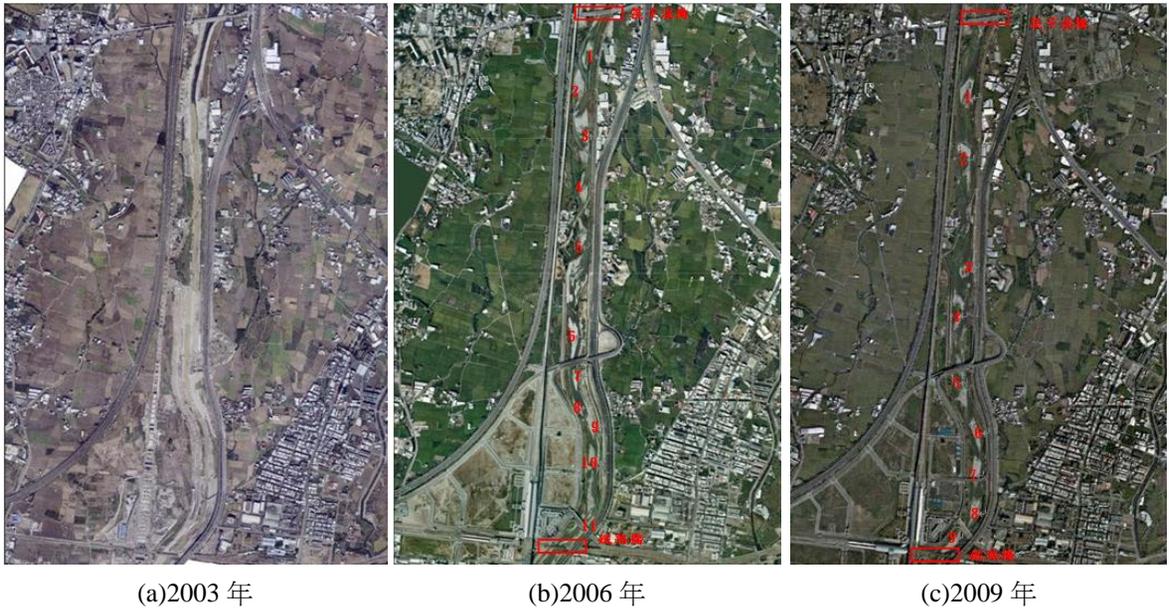


圖 10 筏子溪橋下游航照圖

Fig.10 Aerial photos of the down stream of the Fa-Zih-Xi Bridge

後為達到交互沙洲交替之處，通水斷面完全變窄，流速 >30 cm、水深 <30 cm，水域棲地型態為淺灘，照此規律性於筏子溪之交互沙洲呈現水域棲地之情況。

接著，本研究將交互沙洲初步量化，令交互沙洲的代表長度定義為 L ，以現場水準儀架在沙洲上之高度為基準點，來繪製筏子溪交互沙洲之河床相對高程

(圖 12)，得到淺灘區約為 $0.1\sim0.2 L$ 、深流區為 $0.2\sim0.3 L$ 、深潭區為 $0.3\sim0.4 L$ 、緩流區為 $0.2\sim0.3 L$ 。此交互沙洲型態乃颱風時期水流通過時所沖淤而成。絕大多數的平日狀況，水流條件無法推動卵礫石，因此只能在颱風時期所造成的交互沙洲之上移動，而與交互沙洲連繫的棲地型態也不會於平日而造成重大

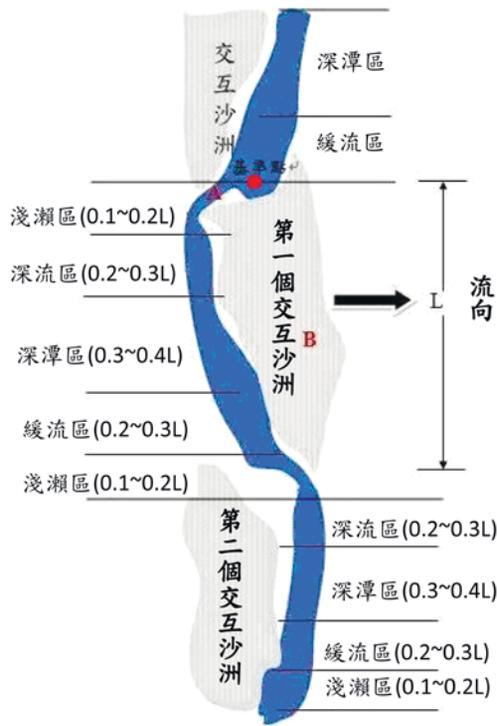


圖 11 交互沙洲與棲地型態之量化示意圖

Fig.11 Schematic diagram of the quantification of the alternate bars and physical-habitat types

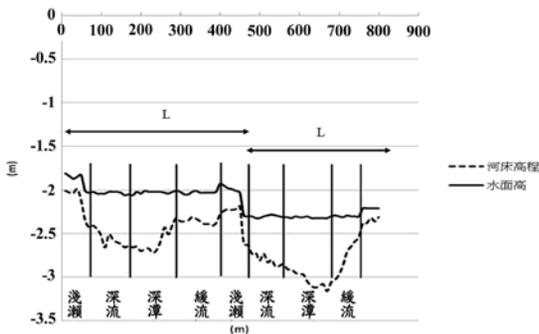


圖 12 筏子溪交互沙洲之河床相對高程

Fig.12 Relative river-bed elevation of the alternate bars of Fa-Zih River

之改變。本研究推測在任一河川的交互沙洲和其連繫之棲地型態也會產生同樣的規律性，所以當颱風時期過後，工程人員若要整治與開挖河川時，不能只單一挖成明渠流的型態，必須要考慮到交互沙洲之產生與物理棲地型態的連結。

表 1 交互沙洲量測數據

Table 1 Measured data of the alternate bars

第一個交互沙洲			第二個交互沙洲		
量測距離 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	量測距離 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)
10	0.2	0.38	460	0.33	0.51
20	0.19	0.34	470	0.33	0.42
30	0.17	0.49	480	0.43	0.47
40	0.14	0.4	490	0.4	0.35
50	0.29	0.45	500	0.49	0.39
60	0.34	0.62	510	0.43	0.48
70	0.4	0.52	520	0.54	0.53
80	0.39	0.51	530	0.52	0.55
90	0.41	0.46	540	0.59	0.51
100	0.48	0.48	550	0.57	0.50
110	0.62	0.53	560	0.54	0.46
120	0.49	0.39	570	0.6	0.10
130	0.55	0.55	580	0.59	0.16
140	0.58	0.42	590	0.65	0.17
150	0.59	0.46	600	0.66	0.12
160	0.6	0.12	610	0.66	0.09
170	0.59	0.18	620	0.75	0.11
180	0.6	0.15	630	0.78	0.13
190	0.63	0.14	640	0.8	0.12
200	0.66	0.11	650	0.78	0.08
210	0.67	0.20	660	0.76	0.10
220	0.65	0.18	670	0.84	0.13
230	0.7	0.16	680	0.76	0.14
240	0.67	0.21	690	0.74	0.16
250	0.57	0.22	700	0.67	0.12
260	0.4	0.25	710	0.55	0.21
270	0.47	0.26	720	0.42	0.23
280	0.38	0.21	730	0.35	0.26
290	0.31	0.16	740	0.29	0.21
300	0.34	0.20	750	0.24	0.34
310	0.31	0.17	760	0.17	0.36
320	0.3	0.15	770	0.17	0.41
330	0.29	0.23	780	0.11	0.38
340	0.32	0.22	790	0.15	0.42
350	0.33	0.26	800	0.10	0.40
360	0.36	0.21			
370	0.36	0.29			
380	0.38	0.27			
390	0.36	0.27			
400	0.35	0.28			
410	0.29	0.33			
420	0.24	0.36			
430	0.24	0.35			
440	0.21	0.40			
450	0.16	0.42			

五、結 論

1. 本研究依汪靜明 (1999) 的棲地型態分類只能略分為淺瀨與深潭二種類型，因此本研究於筏子溪

之特性來重新定義其棲地型態，來細分其緩流與深流，以符合筏子溪之棲地型態，定義如下：淺瀨 (水深<30 cm、流速>30 cm/sec)，緩流 (水深>30 cm、流速<30 cm/sec)，深流 (水深>30 cm、流速>30 cm/sec)，深潭 (水深>60 cm、流速<30 cm/sec)。

2. 本研究以航照圖判別筏子溪下游屬於交互沙洲型態，並利用現地試驗來分析其交互沙洲與棲地之關聯性發現，當交互沙洲經過左右交替之週期性時，通水斷面窄且坡度陡，其水域棲地型態以淺瀨為主，接著水深逐漸變深，棲地型態為深流。再往下游到通水斷面較寬之區塊，棲地型態則為深潭，接著漸漸接近交互沙洲交替之處，通水斷面逐漸變窄，棲地型態變為緩流，最後為達到交互沙洲交替之處，通水斷面完全變窄，棲地型態為淺瀨。
3. 本研究將交互沙洲予以量化，以現場水準儀架在沙洲上之高度為基準點，來繪製筏子溪交互沙洲之典型水位河床相對高程，加以簡化交互沙洲與物理性棲地型態之關係。本研究以交互沙洲的代表長度定義為L，進而分類成淺瀨區介於0.1~0.2 L、深流區介於0.2~0.3 L、深潭區介於0.3~0.4 L、緩流區為介於0.2~0.3 L。

誌 謝

感謝群鷹翔國土測量有限公司、經濟部水利署第三河川局提供航照圖，使本研究得以順利進行。

參考文獻

1. 台灣省水利局規劃總隊 (1991), 「筏子溪治理規劃報告」. (General planning team of hydraulic bureau, Taiwan (1991). *Management and Planning report of Fa-Zih River*. (in Chinese))
2. 李懿行 (2007), 「都市健康河川棲地評估架構：以筏子溪為例」, 朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文. (Li, Y. S. (2007). *Assessment of the Healthy River Habitat in Urban Area: A Case Study on Fa-zih River*, Master Thesis, Chaoyang University of Technology, Taiwan. (in Chinese))
3. 汪靜明 (2000), 「大甲溪水資源環境教育」, 經濟部中區水資源局. (Wang, J. M. (2000). *Environment Education of Water Resources in Da-Jia River*, Central Water Resources Office is, MOEA, Taiwan. (in Chinese))
4. 吳健民 (1991), 「泥沙運移學」, 科技圖書. (Wu, J. M. (1991). *A study of Sediment Transportation*, Scientific and Technical Publishing Co. Ltd. (in Chinese))
5. 梁文盛 (2005), 「水域生態及水利設計原則」, 巨廷工程顧問公司. (Liang, W. S. (2005). *Water Ecology and Hydraulic Design Principle*, G. T. International, Inc. (in Chinese))
6. 梁文盛 (2007), 「水域生態及水利工程規劃設計原則與個案探討」, 京華工程顧問股份有限公司. (Liang, W. S. (2007). *Water Ecology and Hydraulic Design Principle and Case Studies*, Capital Engineering Corporation. (in Chinese))
7. 經濟部水利署 (2002), 「筏子溪河川區域勘測報告」. (Water Resources Agency, MOEA, Taiwan (2002). *Survey Report of Fa-Zih River*. (in Chinese))
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2005), 「臺灣地區河川棲地評估技術之研究(1/2)」. (Water Resources Planning Institute, Water Resources Agency, MOEA, Taiwan (2005). *A study of the evaluated technique on river habitat in Taiwan (1/2)*. (in Chinese))
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2006), 「臺灣地區河川棲地評估技術之研究(2/2)」. (Water Resources Planning Institute, Water Resources Agency, MOEA (2005). *A study of the evaluated technique on river habitat in Taiwan (2/2)*. (in Chinese))
10. 經濟部水利署第三河川局 (2005), 「烏溪水系支流筏子溪治理規劃檢討報告」. (Third River Management Office, WRA, MOEA (2005). *Report on Review of River Planning of Wu River's branch - Fazih River*. (in Chinese))
11. Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes*, A member of the Hodder Headline Group.
12. Jowett, I. G. (1997). "Instream flow methods : A comparison of approach. Regulated Rivers." *Res. Mgmt.*, 13, 115-127.
13. Keller, E.A and Melhorn, W.N. (1978). "Rhythmic spacing and origin of pools and

riffles.” *Bulletin of the Geological Society of America*, 89, 723-30.

14. Leopold Luna B. et al. (1969). *Fluvial processes in geomorphology*. San Francisco, W. H. Freeman And Company.
15. Silva, A. M. F. (1991). *Alternate bars and related alluvial processes*, M.Sc. Thesis, Dept. of Civil Engrg., Queen’s Univ., Kingston, Canada.
16. Rosgen, D. L. (1996). *A classification of natural rivers*. *Catena*, 22, 169-99.

2010 年 11 月 08 日 收稿

2011 年 02 月 17 日 修正

2011 年 03 月 02 日 接受

(本文開放討論至 2011 年 09 月 30 日)