

河川型態五層分類法架構與應用

陳樹群 安軒霈*

摘要 河川行為與河相特性乃河川防洪與復育的主要影響因子，但台灣地區仍缺乏適用於本土的河川型態分類系統。有鑑於此，本研究匯整河川型態之相關前人研究，依空間分層與營力特性為結構，修正提出台灣河川型態五層分類法，以明確地定義河川行為的尺度。本分類法將河川型態以空間尺度由大至小分為第一層流域特性、第二層水系特性、第三層主流特性、第四河道特性與第五層主流特性。其中第一層至第二層為大尺度的流域水系幾何外觀或型態，第三層至第四層為中尺度的河道水理行為，第五層則為描述小尺度的物理棲地環境。本研究提出各層的參數、型態分析法則與計算方法，並以大甲溪做為案例，說明河川型態五層分類法之應用與展現成果。

關鍵詞：河川型態，分類，大甲溪。

The Framework and Application of River Morphology Five Level Classification

Su-Chin Chen Shiuan-Pei An*

ABSTRACT The behaviors and characteristics of rivers are the important issues of flood control and habitat restoration. Little literature, however, is available on the classification and application of river morphology in Taiwan. Therefore, this study proposed the method of River Morphology Five Level Classification, which was established upon spatial scale and force, to define the influential levels of river behaviors. This classification method was divided into five levels, i.e. Level I: Basin, Level II: Drainage, Level III: Main River, Level IV: Channel and Level V: Habitat with spatial scale. Level I and Level II explained the geometric shape and pattern of the basin and drainage. Level III and Level IV focused on the hydraulic behaviors in the main rivers and channels. Level V determined the physical habitat quantitatively. According to the theoretic framework, this study proposed the analyzed method of each morphological parameter, and applied the River Morphology Five Level Classification to the case of Dajia River.

Key Words : River morphology, classification, dajia River.

一、前言

台灣地區近年遭受多次颱風暴雨侵襲，導致山區發生大量崩塌及土石流，並促使河川之河相出現巨幅改變。尤其 2009 年的莫拉克颱風在南部降下超量豪雨，造成流域邊坡出現大量崩塌。而崩塌之土方進入河道

後，使河道淤砂量大增，河道巨幅展寬及淤高。而河相劇烈地改變，不僅造成防災的困難、威脅兩岸住戶生命財產安全，亦破壞了河川的棲地環境。

有鑑於此，河川的防洪及棲地復育工程乃現今台灣地區進行河川環境資源管理時之重要課題，然而唯有在各項學科間的合作與社會經濟、國家政策的配套

執行下，方能有效地管理河川資源 (Whisenant, 1999)；且 Young (2002) 亦認為整合並復育現存的環境危機，應需致力於提升整體生態系的完整性。由此可知，瞭解流域、河川及棲地的特性與行為，乃提升河防工程及河溪棲地復育的重要前提。此外，經由觀察營力進入流域後向流域出口傳遞路徑，如降雨形成逕水流、引發崩塌及土壤沖蝕、流入野溪再匯入主流等過程，可知一個完整的河川型態應是由流域、河川乃至於棲地等分層結構所組成的複合體。故若能完整定義一條河川之河川型態特性，將可成為河防工程及棲地復育規劃設計時之助益。

河川型態於二十世紀初期即有相關之研究，Gilbert (1914) 利用室內水槽試驗研究分析水流挾砂力對河道之坡降與寬深比的影響，並發現當來水來砂之條件不變時，若河床坡降變緩，則橫斷面趨於窄深的型態，反之亦然。然而 Lane (1955) 翻轉 Gilbert 對來水來砂與床形改變的觀點，並省略河道橫斷面的寬深比因子，提出著名的關係式： $Qd \propto Q_s S$ 。其中 Q 為流量， d 為河床質粒徑， Q_s 為輸砂量， S 則為河床坡降。透過此平衡關係式，可說明河道上游來水來砂量 (Q 與 Q_s) 變化時河道特性 (d 與 S) 的變動行為；Schumm (1969) 進一步將河寬、水深、寬深比、河灣跨度、彎曲係數和河床坡降等納入來水來砂條件之影響因子；Li et al. (1982) 則將來砂條件區分為推移質與懸移質兩部份，並加入植被覆蓋率來分析河川來水來砂對河川地貌影響。而除了前除河道斷面型態因子外，溪流功率亦可做為改變河道斷面型態的因子之一 (Harnischmacher, 2007)。此外，透過渠道試驗 (Marti et al., 2006)、水壩修建 (吳保生等, 2003; Phillips et al., 2005) 或拆除 (Boix-Fayos et al., 2007) 及流域尺度的人為土地利用行為 (Hooke et al., 2000; Kondolf et al., 2002; Mount et al., 2005)，亦可瞭解河川型態對集水區或河道發生變動時之反應，即所謂的河相關係。

河相關係指能夠自由發展的沖積河流 (alluvial river)，該類河川在來水來砂的長期作用下，使河川型態演變成適應該河段區位之地形、地質及水砂等條件的均衡型態。由於這些因素和表達河相的特徵物理量 (如水深、河寬、比降等) 間常存在某種函數關係，因此可以其關係提出河型轉變的均衡關係 (錢寧與周文浩, 1965; Knighton, 1984)。而透過河相關係及其河型轉變關係之研究，則可將河川依平面型態或動態演變化分成數種河川型態，如屬於彎曲類的蜿蜒河川與屬於非彎曲類的順直、過渡與辮狀河川 (Lane et al., 1957;

Leopold et al., 1957; Schumm et al., 1977; Fredose et al., 1978; Begin et al., 1981; Chang et al., 1987)。

Pickup (1984) 說明在不同類型之河川中，泥砂之沖蝕及相對泥砂量具有相關性；Selby (1985) 則提出沖積渠道及其型態之形狀與坡降、泥砂之供應與河床質組間之關係。由此可知，河川型態 (如寬深比、坡降及平面型態等河型因子) 與作用力 (如流量及河床載等營力因子) 間具有特性之相關性，顯示營力及河型因子經過量化，可做為河川型態之用。如 Nanson and Croke (1992) 以河床質粒徑、河道型態與河岸泥砂做為河川型態之分類因子。Rosgen (1996) 則匯整相關河川演變及分類等相關研究，建立河川型態分類系統，根據該系統的分類，一個河川系統可分成四層：以深槽比、寬深比、蜿蜒度、坡度、地形與土壤等特徵進行河川平面型態分類的 Level I；將 Level I 以岩床 (bedrock)、塊石 (boulders)、卵石 (cobble)、礫石 (gravel)、砂粒 (sand) 及粉土/粘土 (silt/clay) 六項河床質種類細分的 Level II；以沉滓供應、河流機制、土石來源、渠道穩定等因子探討河川狀態的 Level III；及河流測量、輸砂分析等現場資料驗證的 Level IV。然而陳樹群 (2000) 首度將 Rosgen 之分類系統應用於台灣河川的分析時，卻發現台灣河川部份之河段無法納入 Rosgen 的河川分類中。陳樹群 (2000) 指出，在大甲溪部分河段中，深槽比 (entrenchment ratio) 小於 1.4 且寬深比 (W/D) 大於 12 (於 Rosgen 之 Level I 分類中屬於 F 型河川)，或深槽比大於 2.2 且寬深比大於 12 (C 型河川)，然而上述河段之蜿蜒度 (sinuosity) 卻皆小於 1.2，與 Rosgen 分類系統中 Level I 的 F 型與 C 型河川有所出入 (蜿蜒度需大於 1.2)，即該河段之河型並未出現在 Rosgen 的分類中。此外，部份辮狀流路之河段，其寬深比大於 40，在 Level I 之分類中屬於 D 型河川，然而河床坡降小於 1%、河床質為卵石 (Cobble)，亦無法在 Rosgen 的分類系統中找到該類河川之分類定位。

因此陳樹群等 (2002) 乃彙整相關河相研究，並建立適合台灣本土化之台灣河川型態五層分類法，以第一層河系特性、第二層主流型態、第三層橫斷面特性、第四層河床質與第五層流量特性的分層結構 (圖 1)，來定義河川之河相型態及河型演變行為。

在河川型態分類之相關研究中，多透過河道幾何特性及營力因子進行河川型態之分類。然而主流之河川型態 (蜿蜒、順直、辮狀等) 是由數段河道之幾何特性 (如寬深比或深槽比) 所組成，而營力亦同時塑造河川型態及河道幾何特性，顯示河道幾何特性實為河川

型態的一部份, 故將河道幾何型態與營力同時歸納為河川型態之分類因子並不適當。此外, 現行之河川型態分類法中, 多僅建置了主流—河道—營力的架構。然而, 主流與河道包含在水系的結構之中, 而水系又建構在流域之結構之下, 顯示流域及水系之行為足以影響主流的河川型態及河道的斷面特性。因此, 現行之河川分類法因未考量其影響, 故往往出現部份河川類別置入分類法中之問題。

在陳樹群 (2002) 所提出之分類法架構中, 已將水系之河川型態層級納入分類法中, 且將河川之主流型態與河道幾何特性皆視為河川型態中的一環。但該分類法未包含更大尺度的流域層級, 且輸砂及流量等營力因子亦納入分類法中, 使分層過於混雜, 易造成河川型態與營力間混淆, 較無法完整地描述一條河川的河相行為。有鑑於此, 本研究採用陳樹群 (2002) 之觀點, 將水系、主流與河道特性保留在分類法中, 並加入流域特性做為分類法中之第一層、棲地特性為第五層, 使五層分類法僅以空間尺度做為分層依據; 流量及輸砂因子則提出分類法之外, 使營力則做為各層結構中組成要素之分類因子。藉由此修改, 可使河川型態分類法之空間架構更完善, 且更容易說明營力對河川型態組成之影響。

二、河川型態五層分類法

1. 河川型態演變的營力特性

造成流域地貌及河道改變之營力種類, 以其類型可劃分為地震、地殼抬升、火山作用等地質營力, 降雨、洪水及侵蝕等之水流營力, 植物根系物理、化學作用等之植生營力, 與人類日常活動或工程之人為營力。各類營力具有各自的發生週期與規模特性, 整體而言, 營力發生的週期與其規模成正比, 但不同營力間之週期—頻率曲線間卻有所不同 (如圖 2 所示), 即在相同的重現期距下, 不同的營力事件擁有不同的營力規模。反之, 在組成河川型態的各種單元部份, 其空間尺度越大的單元 (如流域), 其演變的時間尺度則越長 (如以百年為時間單位), 換言之, 組成河川型態的流域、水系、主流、河道及棲地等單元, 亦可在圖 2 依規模 (空間尺度) 及周期 (時間尺度) 加以定位 (如圖 2 中之虛線圓圈)。

由圖 2 中可看出, 並非每條營力的週期—頻率曲線皆會通過河川型態單元的空間—時間尺度單元區塊; 反言之, 僅有在兩者交匯處, 營力的規模與週期特性

方與流域單元的時間與空間特性相符, 即營力在相對應的河川型態單元中, 為造成該流域單元演變動的主要營力。

2. 河川型態五層分類法的營力與分層架構

台灣河川型態五層分類法之架構圖如圖 3 所示。本分類法以空間尺度特性做為分層依據, 即流域尺度或二維平面的第一層流域特性、水系網尺度或一至二維的第二層水系特性、主流之尺度或一維線狀的第三

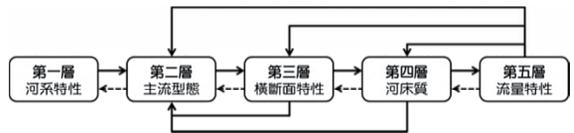


圖 1 河川分類流程示意圖 (修改自陳樹群, 2002)

Fig.1 Stream classification system flow chart

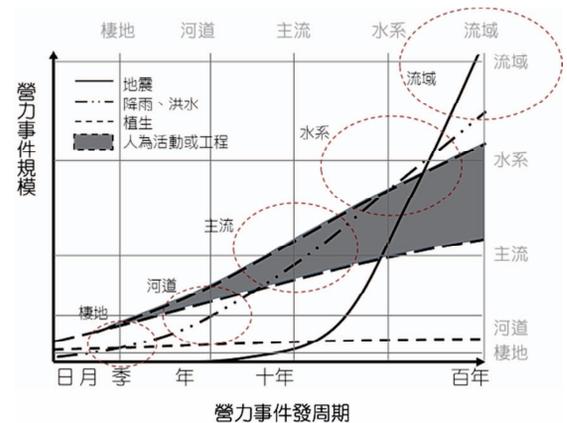


圖 2 河川型態組成單元變動之主要營力示意圖

Fig.2 Relationship between river morphology unit and force

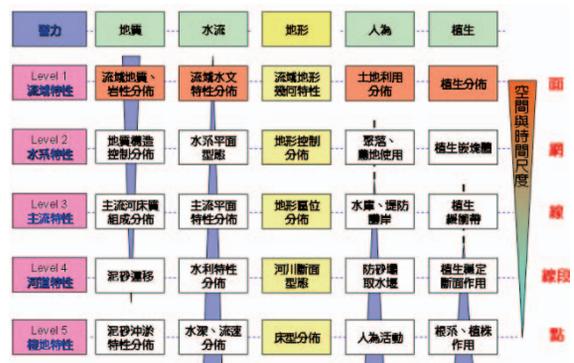


圖 3 台灣河川型態五層分類法架構圖

Fig.3 Framework of river morphology five level classification

主流特性、點至一維的線段尺度的第四層河道特性，及以點位來觀察之第五層棲地特性。若將河川型態依營力類型來分，可分為地質、水流、地形、人為與植生五大類。前節所述各類營力對河川型態單元之影響，在圖 3 中以背景中之三角長條表示，即三角長條越寬處，營力越具有該河川型態單元演變的主導地位。圖 3 最右邊之倒三角長條則表示河川型態中之空間尺度，河川型態單元之空間尺度由大至小排列，即為圖中最右邊之流域至棲地共五層之河川型態分層。結合上述之營力與空間尺度條件，圖 3 內部之各區塊即為各種河川型態之外顯特性。

透過台灣河川型態五層分類法，即可界定流域與河道變動之時間與空間尺度，以此確定各項營力事件對於流域影響之程度與範圍，並追蹤營力之能量的傳遞路徑。五層分類法中，各層之詳細架構則如下所述。

(1) 第一層流域特性架構

流域特性之發展主要由受到地質條件控制，如地層之走向影響河流之走向及地形侵蝕的難易程度。同時地質結構亦塑造出該流域獨特的水文、地文特性，如迎風面成為降雨集中之中心，或地質之強弱決定流域中崩塌發生之潛勢，並影響流域中土砂生產之區位分佈。流域演變所需時間尺度為最長，在累積多場百年以上重現期距的大洪水或地質事件後，流域特性會慢慢改變。人為營力之規模在流域尺度中無法發揮相對應之影響，因此人為營力干涉流域型態發展的程度極低。本層架構如圖 4 所示。

(2) 第二層水系特性架構

控制流域中水系特性之主要因子為第一層流域特性外顯性質中之地質岩性分佈特性、流域水文分佈特性與流域幾何分佈特性。水系的發展，受地質之構造、岩性與地形侷限等控制，而地質受侵蝕之難易程度則影響了水系發展的密度。河床坡降、流域高差、地層之走向、傾斜程度、崩塌等亦以地質型態等地形與地質因子控制，使得水系發展出各類之平面型態，如樹枝狀、羽毛狀水系等。而地質越軟弱或越屬於老年期之地形，地水系切割地形之程度越顯著，則水系越接近二維之維度，且河網之密度亦越高；反之，則水系之切割程度越輕微。本層架構如圖 5 所示

(3) 第三層主流特性架構

在第描述三層主流特性的因子中，地形表示主流通過的空間區位，即山地、丘陵、台地、平

原、出海口等；平面型態意指主流河道展現出的大尺度平面幾何形狀，如蜿蜒、瓣狀、順直；底床質特性指河床組成顆粒大小，可分為黏土、粉土及砂粒為主的細顆粒泥砂、礫石以上的粗顆粒泥砂與岩床。主流型態發展主要受到地質與地形控制，如當溪谷走向與地層走向垂直時，主流容易形成蜿蜒河型，而其水理輸砂行為則與平原蜿蜒河川大不相同。因此，依地形區位、平面型態與河床質組成對主流加以定義，即可建立河川主流的通盤性描述。如山區粗顆粒蜿蜒河川與平區

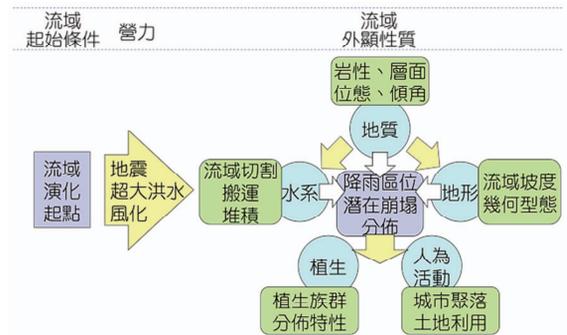


圖 4 第一層流域特性架構圖
Fig.4 Chart of Level I: Basin

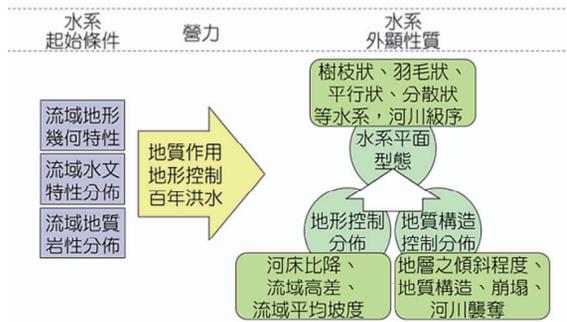


圖 5 第二層水系特性架構圖
Fig.5 Chart of Level II: Drainage

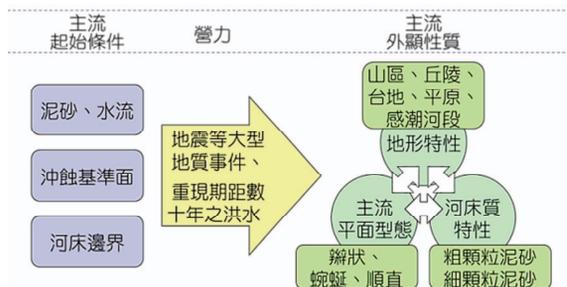


圖 6 第三層主流特性架構圖
Fig.6 Chart of Level III: Main river

細顆粒蜿蜒河川皆屬於彎曲形河川, 但由本層河川型態之定義, 即可判別出兩者間之差別。本層架構如圖 6 所示。

(4) 第四層河道特性架構

第四層河道特性著重於空間尺度為數公里的河段, 探討河段在來水來砂條件、河床邊界條件及侵蝕基準面等條件下, 受中型洪水、人為工程干預之後所形成的河谷地形及縱橫剖面特性。如當河道發展至較地質較堅硬處, 河道向源侵蝕速度降低, 使河段中形成遷急點等控制點。由於地質構造之控制, 在河道中形成多處之控制點與侵蝕基準面, 進而影響河道變遷之潛勢。第四層從側視角度瞭解河川主流, 分成縱剖面特性與橫斷面特性兩方面來探討, 其中縱剖面特色包含對其型態與平衡狀態的討論, 而橫斷面特色則包含型態、穩定情況與槽偏量的特性, 本層架構如圖 7 所示。

(5) 第五層棲地特性架構

一個完整的河溪棲地, 應由生物相、化學相與物理相三個環境因子所組成。其中, 棲地的物理特性為水流、床砂、水域流況及陸域沙洲邊灘等單元所組成, 是構成棲地的骨架成份, 並提供生物棲息空間, 成為化學物質流通的環境。由於五層分類法乃以空間及河溪的物理環境為架構, 因此第五層棲地特性即以描述棲地的物理組成相為主, 而其空間尺度則以河段中數百公尺的棲地空間為範圍, 演化之速度則以年為單位。營力部份以人為與水流兩者對本層之影響最大。若將棲地的物理環境以營力組成細分, 則可將棲地再劃分出五項基本之組成因子, 即泥砂、水流、地形、植生與人為五項; 若以棲地區位劃分, 則可分為水域與濱水區兩大區位。本層架構如圖 8 所示。

~1 之數值, 越接近 1 則表示流域平面形狀越趨於圓形; 流域狹長度 $Re = (具有同一面積的圓直徑)/Lb$, 為具同一面積之圓其直徑與流域最大長度之比值, 介於 0~1, 越接近 1 則表示流域平面外型越狹長。流域型態要素 $Rf = A / Lb^2$, 又稱為形狀因子, 為其面積與以流域最大長度為邊長之正方形面積之比值, 亦為介於 0~1 之數值, 越接近 1 則表示流域平面外型越近於正方形。流域密度 $C = 同面積圓周長/流域周長$, 表示流域外型的複雜程度, 為一小於 1 之值, 越小則表示此流域外型越複雜。

流域地質之地質特性反應出軟硬岩層的分佈, 並與流域的地型區位配合, 影響了流域中產砂的潛勢、區位與量體; 換言之, 流域的崩塌、土壤沖蝕及土砂遞移乃受到地質特性的控制。因此, 本研究將流域中的崩塌範圍配合崩塌地之坡度深度法計算崩塌土方的量體, 以 SEIM 法 (陳樹群等, 1998) 估算流域之土壤沖蝕量, 配合土砂遞移率的分析以估算流域中的產砂量, 並以流域產砂特性來代表流域的地質特性。

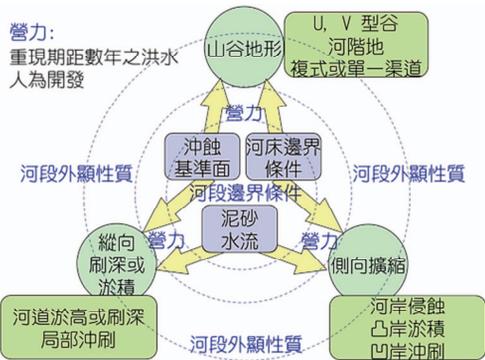


圖 7 第四層河道特性架構圖
Fig.7 Chart of Lev3el IV: Channel

3. 台灣河川型態五層分類法分析法

(1) 第一層流域特性

第一層流域特性之外觀幾何型態與高差特性, 可分類出流域面積、長度、寬度、周長、圓度、狹長度、密度及型態要素等性質, 流域因子列表如表 1 與表 2 所示。其中, 流域面積 A、長度 Lb、寬度 Bb 及周長 P 均可由該流域之數位高程模型 (digital elevation model, DEM) 求得; 流域圓度 $Rc = A / (具同一周長的圓面積)$, 為介於 0

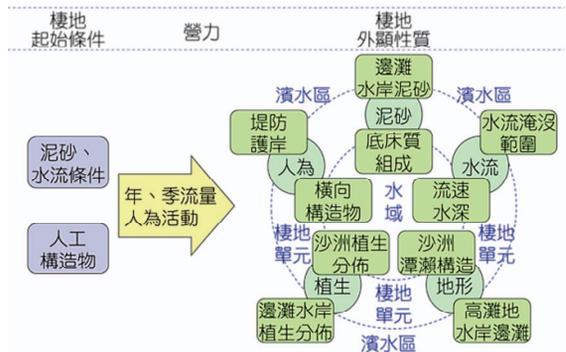


圖 8 第五層棲地特性架構圖
Fig.8 Chart of Level V: Habitat

(2) 第二層水系特性

流域本身之地質、地形條件、沖蝕能力等特性各區有所差異，導致水流從中切割並形成不同的水系面貌。第二層水系採用 Horton (1945) 的河川級序 (stream order) 觀念，並以 Strahler (1957) 之河川級序系統，對水系網的河系組成定律加以分析研究，並計算其分歧比 R_b 、流長比 R_l 與河流下凹度 R_s 等，同時以及河流下降比 (R_s/R_l) 來說明水系演化的穩定性。表 3 為描述第二層水系特性中網狀水系的主要因子。

表 1 第一層流域特性之流域幾何型態因子

Table 1 Geometric Basin characteristic of Level I

項目	說明
流域面積	A
流域最大長度	L_b
流域最大寬度	B_b
平均寬度	A/主流長
流域周長	P
流域圓度	$R_c = A / (\text{具同一周長的圓面積})$
流域狹長度	$R_e = (\text{具有同一面積的圓直徑}) / L_b$
型態要素	$R_f = A / L_b^2$
流域密度	$C = \text{同面積圓周長} / \text{流域周長}$

表 2 第一層流域特性之流域高差因子

Table 2 Longitudinal basin characteristic of Level I

項目	說明
河床比降	S_{bed}
流域高差	$\Delta H = \text{流域內最高點高程與流域出口高程差}$
地面平均坡度	$S_c = \Delta H / L_b$
流域平均坡度	$S = \Delta H / L_0$ (L_0 為主流長度)

表 3 第二層水系特性之水系網因子

Table 3 Drainage characteristic of Level II

類別	項目	說明
	河流級別	u (用作下標)
	平均分歧比	$R_b = N_u / N_{u+1}$ (N_u 為 u 級河川之數量)
水系網	平均流長比	$R_l = \bar{L}_u / \bar{L}_{u-1}$ (\bar{L}_u 為 u 級河川之長度)
因子	平均河流凹度	$R_s = S_u / S_{u+1}$ (S_u 為 u 級河川之坡降)
	主流河長	L_0
	河川碎形維度	$D_b = \log R_b / \log R_l$
	計盒碎形維度	$D_{box} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N_\epsilon}{\log 1/\epsilon}$
切割	河網密度	$D_u = (\Sigma L_u) / A$
程度	河流頻度	$F_u = (\Sigma N_u) / A$

表 3 中之水系切割流域程度因子表示流域切割程度，可描述流域中地質受侵蝕的難易程度，亦可說明河水系之化育階段。一般而言，水流容易自地層中質地較軟處侵蝕；同理，岩石節理發達的地區也較容易形成更密集之格狀切割。其中河網密度 (D) 越大表示河網密度越大，河流頻度 (F) 越大則表示流域平面遭河川切割程度越高。

(3) 第三層主流特性

在主流特性中的平面型態判別部份，Leopold 和 Maddock (1953)，提出處於準平衡狀態的天然河川，流量在河寬、水深與流速間，應存在水力幾何型態的指數關係：

$$B = \alpha_1 Q^{\beta_1} \tag{1}$$

$$B = \alpha_2 Q^{\beta_2} \tag{2}$$

$$B = \alpha_3 Q^{\beta_3} \tag{3}$$

其中 B 為河寬， H 為水力深度， V 則為平均流速。 α_1 、 α_2 、 α_3 為關係式之系數， β_1 、 β_2 、 β_3 則為關係式之指數，且 β_1 、 β_2 、 β_3 三者間應滿足 $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1$ 的關係式。Rhodes (1977) 進一步將順直、蜿蜒、辮狀三種河川平面型態水力幾何型態指數 (β_1 、 β_2 、 β_3) 繪製於三角圖中 (圖 2.5)，並以表 4 中之關係式做為三種平面型態的判別標準。而朱菱強 (2002) 則認為水力幾何型態因子與河相關係，應從沿程河相關係與斷面河相關係兩方面來探討主流平面特性。

然而在台灣中下游最常見的辮狀河川中，其河道往往以複式斷面所組成，即河床最底部為單股或多股的流路，較流路略高者為沙洲與邊灘，而流路、沙洲與邊灘則位於寬約 200 以尺以上的深槽底部，高於深槽兩岸者才為平坦的高灘地 (複式斷面案例如圖 9 所示)。因此，當水位在流路中抬升時，其水力幾何型態屬於蜿蜒或順直；水位溢上沙洲與邊灘後，水力幾何型態轉變位為辮狀；待水位溢過沙洲後，水力幾何型態在大深槽中再轉為蜿蜒或順直；直至水位填滿深槽並進入高灘地後，水力幾何型態才又變回辮狀。由於複式流路中流量較大的流量分區段受到小流量區段的影響 (如圖 12 所示)，使其水力幾何型態曲線 (流量對河寬、水深與流速) 產生了偏移，致使同一流量分區區段中的實際資料 (如流量

與對應的河寬) 與其迴歸曲線 ($B = \alpha_1 Q^{\beta_1}$) 產生極大的誤差, 即使判釋主流平面型態的 β_1 、 β_2 與 β_3 出現錯誤, 並誤判該斷面的平面型態。有鑑於此, 本研究修改式 (1)、式 (2) 與式 (3) 成為:

$$B = \alpha_1(Q - Q'_B)^{\beta_1} \quad (4)$$

$$H = \alpha_2(Q - Q'_H)^{\beta_2} \quad (5)$$

$$V = \alpha_3(Q - Q'_V)^{\beta_3} \quad (6)$$

其中 Q'_B 、 Q'_H 、 Q'_V 分別為各流量分區之水力幾何型態指數關係式之修正值, 該值乃將試誤值代入各流量區間的流量對河寬 (或水深、流速) 資料點的迴歸模式中, 並以最小的迴歸模式誤差決定之。

此外, 本研究採用河階指標法 (Riley, 1972)

來決定流量分區之區段, 即將水面高程對寬深比曲線中的轉折點 (圖 10), 做為流量分區標準。將各區段中之流量對河寬、水深與流速資料以上述方法求解, 以得到該段面之 β_1 、 β_2 與 β_3 , 並將其繪至斷面三角圖中 (圖 11), 以判釋該流量分區區段的水力幾何型態 (圖 12)。

表 4 平面型態區分標準

Table 4 Classification principles of main river pattern

平面型態	判斷原則
辮狀	$\beta_1 > \beta_2$ 且 $\beta_3 < \beta_1 + \beta_2$
蜿蜒	$\beta_1 < \beta_2$ 且 $\beta_3 < \beta_1 + \beta_2$
順直	$\beta_1 < \beta_2$ 且 $\beta_3 > \beta_1 + \beta_2$

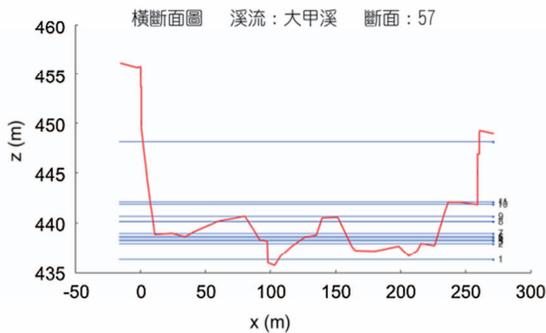


圖 9 大甲溪斷面 57 之河道大斷面
Fig. 9 Cross section NO 57, Dajia River

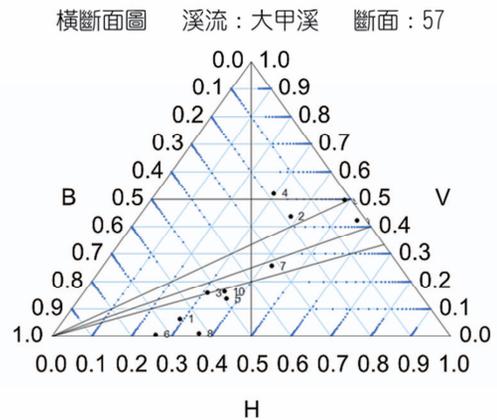


圖 11 大甲溪斷面 57 之斷面三角圖
Fig. 11 Riangle plot of cross section NO 57, Dajia River

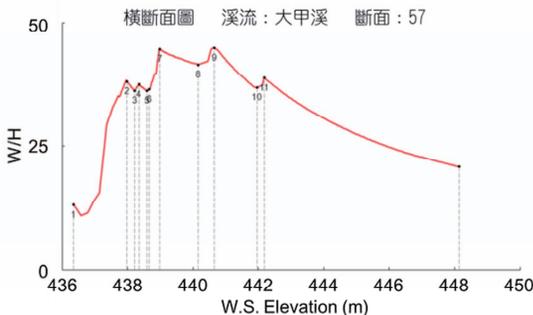


圖 10 大甲溪斷面 57 水面高程對寬深比關係
Fig. 10 W/H of Cross section NO 57, Dajia River

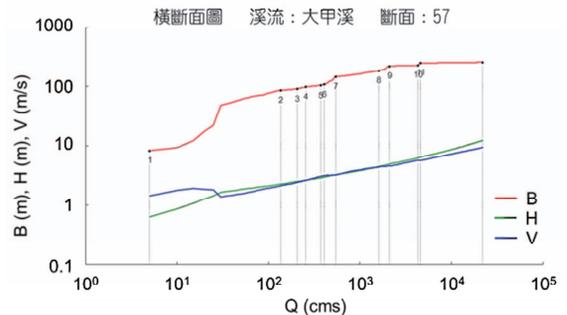


圖 12 大甲溪斷面 57 之流量分區圖
Fig. 12 Discharge vs. width, depth and velocity in cross section 57, Dajia River.

在主流特性的地形區位中，本研究依地表之高程與平均坡度做為地形類別的判釋因子，其主流所流經之地形區位標準如表 5 所示。河床質則採用美國地球物理學會 (AGU) 之泥砂粒徑分類基準，並進一步將其區分為粗顆粒、細顆粒與岩床三大類，其判別標準如表 6 所示。

(4) 第四層河道特性

在山區河川中，其河床演變的趨勢主要以侵蝕下切為主，因此橫斷面型態多呈 V 型或 U 型河谷。根據 Gippel 及 Stewardson (1998) 的研究，V 型河谷的濕周與流量關係接近冪次函數關係 ($p = Q^a$)；而 U 型河谷的濕周與流量關係則較接近對數關係 ($p = b \times \log Q + c$, p 為溼周, Q 為流量, a 、 b 、 c 為常數)。因此將天然河川斷面之濕周與流量數據加以分析，並判別該數據較符合冪次或對數關係，以決定該斷面所應出各斷面之橫斷面型態。

在平原河川中後，河道橫向的約束減少，加以水流減緩、泥砂落淤，使河川橫向變動傾向提升。因此在平原河川之橫斷面特性中，採用寬深比 $W/H = 40$ 做為平原河川橫斷面型態的分類標準。當 $W/H < 40$ 時，該斷面屬於窄深河型，反之則屬於寬淺河型。

影響河道之變遷因子中，水流與輸砂兩項因子已佔有重要的比例，而人為的工程結構物亦對侷限了河道縱橫向的發展。局部的水流輸砂不均勻，便會在河道中產生淤積、掏刷、窄縮或展寬的行為。因此，河道的 V 型、U 型河谷，或寬淺、窄深型河道斷面的外型型態，提供了水理輸砂的邊界條件，而河床質的組成，則成為水流輸砂的泥砂來源。此外，利用歷年的河道斷面量測資料，分析河道縱向變化之趨勢；而斷面資料配合航照圖判釋，則可用以解釋河床深槽擺盪與河道展寬或窄縮的行為。並藉由歷年河道變化情形，以說明各河段中的水理輸砂特性。

由於水理與輸砂為本層立主導因子，因此本層之分析方法則由第一至三層的地形、地貌等的外觀幾何、統計分析，轉為著重於河道中之水理分析。即水理輸砂之數值模式為本層之分析工具，藉由大斷面資料或河道之數值高程模型 (DEM) 與河床質粒資等資料，建構至相關數值模式中，分析河道中水流與輸砂的分佈情形，並與歷年河

道變動情形比較，以說明與預測河道特性的演變趨勢。

(5) 第五層棲地特性

第五層棲地特性方面，乃以現地評估之方式，建立各河段之棲地物理環境之資料庫。唯河川棲地之評估指標眾多，在考量河川型態五層分類法著重於河川物理環境之分析，本研究選取棲地評估指標時，亦以可量化棲地物理環境之評估指標為主。國內外關於河川物理棲地環境之評估指標比較如表 7 所示，表 7 中列出之常見評估法可依其評估繁簡程度分為三類，其中 ISC 與 SEARS 之評估項目細緻，調查資料較多，可詳細說明河溪棲地之現況；然因評估方法繁複，故在推廣及使用上較為困難。與前一類相較，RBP、QEHI 與 HIM 等評估法較易執行，評估以視覺為主，可對河溪棲地進行快速審視，在短時間內大致掌握大範圍的棲地現況；然評估方法靠人為判釋為主，主觀判斷意識較強。PHABSIM 與 PQI 法透過數值之水理分析，以得到河道中在不同流量下的水力分佈特性，所得到之分析結果更為全面，但因使用水理模式分析流況，故在評估結果中引入了數值誤差。

表 5 第三層地形區分表

Table 5 Classification principles of topography in Level III

地形	高程	平均坡度
山地	>1000公尺	—
丘陵	100~1000公尺	>5%
台地	100~1000公尺	<5%
平原	<100公尺	—
河口區	主流受到潮汐影響之河段	

表 6 河床質粒徑分類表

Table 6 Classification principles of bed material in Level III

河床質分類	河床質類型	D_{50} 粒徑範圍(mm)	
細顆粒	粉土/粘土 (silt/clay)	<0.062	($<2^{-4}$)
	砂粒 (sand)	0.062~2	($2^{-4} \sim 2^0$)
粗顆粒	礫石 (gravel)	2~64	($2^0 \sim 2^6$)
	卵石 (cobble)	64~256	($2^6 \sim 2^8$)
	塊石 (boulder)	256~4096	($2^8 \sim 2^{12}$)
岩床	岩床 (bedrock)	—	—

本研究對河川棲地進行評估之目的在於量化棲地物理境的多樣性與穩定性,以瞭解棲地在各種河相下所演變出之棲地環境品質。由於河系範圍廣大,故本研究以有效、簡易與可視性等原則以建構河川棲地之評估法。經表 7 中國內外物理棲地評估法之比較分析後,以「可跨越性溪流快速生物評估法」中之物理棲地評估法較適合本研究之需求。可跨越性溪流快速生物評估法中關於河川物理棲地之評估項目共包含:河川底質、鑲嵌、流速/水深、土砂淤積、河川流動狀況、河川結構、河川中淺瀨之頻率、河岸穩定度、植生保護、河岸植生區寬度等十項,本研究以其評估原則與方法為基礎,並引入五層分類法之概念以建立出河溪物理性棲地環境評估法。本評估法將河川物理棲地依空間區分為水域及裸露之沙洲與邊灘兩大區域;此外,再依營力類型將組成棲地之因子分為泥砂、地形、水流、植生與人為五大類。兩大區域中各類因子之評估項目如表 8 所示。其中泥砂因子之評估項目共 4 項、總分 80 分;水流因子 2 項、總分 40 分;地形因子 3 項、總分 60 分;植生因子 3 項、總分 60 分;人

為因子 5 項、總分 100 分。實際應用時,將棲地各因子之子項目得分加總,依其得分佔該因子總分之百分比做為評分結果,如表 15 調查點位大甲 01 之泥砂得分為 27 分,佔泥砂因子總分 80 分之 33.7%,故其泥砂因子之指標值即為 34。

(6) 河川型態五層分類法分析模式

表 9 說明河川型態五層分類法之分層尺度與分析方法。在大尺度之流域與水系特性方面,其靜態的外觀型態乃藉由 DEM 進行幾何計算;動態之流域產砂及洪水等地質及水文特性,則藉由衛星影像、航照圖、地質圖等資料以分析流域中之土壤沖蝕、崩塌、土砂遞移與流量分析。中尺度的主流及河道特性方面,其靜態之外觀幾何特性,乃採用河道之縱、橫剖面資料加以分析;水理模式則用以分析河川動態之水力及輸砂特性,並視分析區域的範圍及需求選用一維或二維的水理模式。在小尺度之棲地特性部份,本研究採用河溪物理棲地評估法定量說明棲地之物理環境,以本評估法之快速評估的特性,在短時間內取得大範圍的河溪棲地快照,配合長期之調查,以累積棲地之演變行為及變動趨勢。

表 7 河川物理棲地評估法比較

Table 7 Comparison of physical habitat assessment indices

指標	概述	優缺點及物理棲地調查之應用性
溪流狀況指標 ISC	Ladson et al. (1999)	評估項目包含水文、物理形態、濱河地區、水質及水生生物等次指數,評估內容詳細。唯各次指數的分析較為複雜,不易普及。
可跨越溪流快速生物評估法 RBP	美國環保署 (EPA, 1989)	調查方式簡便,可快速得到棲地評估之結果。主要評估棲地之物理組成特性,唯調查成果較不精確。
定性棲地評指數 QHEI	Rankin (1989)	調查方式簡便,由各項目觀察之特徵,並依據各項目判斷標準及是否有特徵項目之存在即可給予評分。唯判斷棲地品質之主觀意識較強。
物理性棲地模擬系統 PHABSIM	Milhou et al. (1990)	以數值模式配合生物適合度曲線評估棲地品質,配合水理演算得到河道之棲地特性。唯水理演算結果受斷面精度影響,並與現地流況有所差異。
深潭品質指標 PQI	Azzellino et al. (2001)	適用於流況複雜之河道中,亦可顯現出二維水流對棲地影響之特性。唯僅適用於陡坡之河川中。
生息環境評估法 HIM	森下郁子等 (2000)	操作容易、過程迅速、評估結果簡單易懂等,具工程背景之人員可簡易運用。
河溪環境快速評估系統 SERAS	巨廷公司 (2005)	為本土之棲地評估模式,於台灣河川之相容性較好。評估項目完整,共。唯調查之項目與資料量較大,棲地評估之速度較慢。

三、大甲溪之河川型態分析

大甲溪之流域、水系及地質圖如圖 13 及圖 14 所示，大甲溪流域位處台灣中西部，東西長、南北窄。流域北、東、南三側分水嶺多由標高超過 2,000 公尺之山脊所組成。大甲溪上游發源於雪山山脈之次高山及

中央山脈之南湖大山等群嶽，幹流由東往西橫貫台中縣境，於大甲與清水間注入臺灣海峽。本流域位處台灣島中西部，北與大安溪為鄰，南臨烏溪，面積 1,235.73 平方公里。大甲溪幹流全長 124.2 公里，平均坡降為 1/39。

表 8 河溪物理性棲地環境評估表

Table 8 Physical habitat assessment index

		水域			
泥砂	底質孔隙多樣性	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。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	土砂堆積程度	少於 5% 的水域受到泥沙堆積影響。	主要由礫石、砂與細砂組成，5~30% 的水域受到泥沙堆積影響，深潭中輕微泥砂淤積或出現穩定沙洲。	中度泥砂堆積，30~50% (緩坡 50~80%) 的水域受到泥沙堆積影響，水道阻礙、束縮、彎曲處及深潭受到中等泥沙淤積影響或出現複列式沙洲。	強烈的泥砂堆積，或大量沙洲增長，為不穩定沙洲，50% 以上的水域受到泥沙堆積影響，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%，或淺灘的底床質出露。	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
	水流多樣性	淺瀨/淺流/深潭/深流四種型態皆出現。	淺瀨/淺流/深潭/深流四種型態出現其中三種。	淺瀨/淺流/深潭/深流四種型態出現其中二種。	淺瀨/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	
地形	基質之穩定性	超過 70% 的穩地底床質適合營造新的棲地，或可供水域生物生存，此類區通常存有不是新落下斷落樹枝、深潭、草木的突出部份、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% 的穩定良好棲息地存在，底床質不穩定或缺乏。
	評分	16-20	11-15	6-10	0-5
	地形多樣性	淺瀨出現頻率高，淺瀨間距與河寬之比值小於 1，溪流中淺瀨具有連續性，且淺瀨為自之塊石或更大之石塊所組成。	淺瀨出現頻率低，淺瀨間距與河寬之比值為 1~2。	淺瀨不常見，底床提供些許棲地空間，淺瀨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瀨，淺瀨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加人造	人工構造物全為人造
	評分	9-10	6-8	3-5	0-2
	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：固床工。	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	9-10	6-8	3-5	0-2
	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	9-10	6-8	3-5	0-2	

1. 大甲溪第一層流域特性

大甲溪第一層流域特性因子之分析結果如表 10 與表 11 所示,表 12 則為大甲溪與台灣其他河川之比較。表中可看出大甲溪之圓度與狹長度皆小於其他流域,顯示大甲溪流域在台灣中已屬相當狹長之流域。而在高差特性方面,大甲溪山區河床坡降為 1.74%,與其他流域相較,大甲溪山區之河床坡降相對較小;而大甲溪流域平均坡度為 2.98%,亦較其他流域平緩;但大甲溪流域之地面平均坡度高達 4.04%,大於其他十個流域,顯示大甲溪流域地形落差相當大。

由於大甲溪河道坡降平緩,但卻擁有高度落差的河谷地形顯示大甲溪兩岸溪谷應較為險峻,流域高點至河谷的距離較短,形成陡峭的河谷地形。同時大甲溪流域外觀較為狹長,但是大甲溪卻擁有極大的地面平均坡度,進一步加深了大甲溪河谷兩岸陡峻之程度。由此可知,相對於其他流域,陡峭的大甲溪河谷地形使得河谷兩岸具有較大的崩塌潛勢。加以 921 地震之後谷關至德基間之河谷坡面地層鬆動,配合前述的狹谷地形,使得該區域造成大量的崩塌。

另林朝榮指 (1957) 出,大甲溪河谷有三處遷急點,分別為達見至青山一代的 K1、谷關至松鶴間的 K2 與天輪至和平間之 K3 (如圖 15 所示)。當河川發生回春作用時,河川侵蝕基準面處開始下切並持續向上游發展,而受回春作用影響的起始點則形成遷急點。遷急點 K1 為大甲溪現存最上游之遷急點,在該點下游,河川處於侵蝕復活的階段,水流沖蝕形成河谷,河道下切強烈,並形成坡度陡峭的峽谷地形。加以河川側蝕作用發達,故易於在河谷邊坡引發大量崩塌。

由流域型態分析可知,大甲溪之河谷地形較為陡峻;加以谷關至德基間之河谷地質較脆弱,故在集集

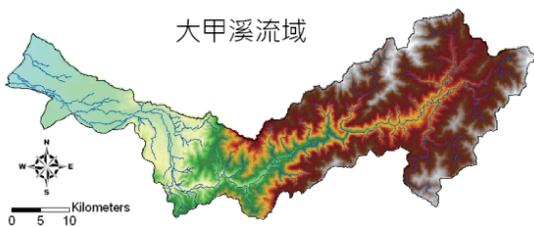


圖 13 大甲溪流域及水系圖

Fig.13 Basin and drainage of Dajia River

表 9 五層分類法各層分析因子與模式

Table 9 Analysis factors and methods of river morphology five level classification

尺度	河相層級	分析項目	分析方法
大	第一層流域	流域幾何型態	DEM分析
		流域高差	DEM分析
		崩塌量	坡度深度法 (Khazai, 2000; 陳樹群, 2006) 等
		土壤沖蝕量	USLE (Wischmeier et al., 1978)、SEIM (陳樹群等, 1998)等
		土砂遞移率	集水區面積法等
中	第二層水系	水系網分析	水系萃取、河川級序分析 (Horton, 1945; Strahler 1957)
		切割程度	DEM分析
		流量分析	水筒模式 (Sugawara, 1972) 等
小	第三層主流	主流地形區位	DEM分析
		主流面型態	河道大斷面, 一維水力分析 (HEC-Ras), 流量增量法計算水力指數
		河床質組成	河床質調查
		第四層河道	縱橫剖面型態
河道水力輸砂	一維水力分析 (HEC-Ras), 二維水力輸砂分析 (CCHE-2D)		
小	第五層棲地	棲地評估	河溪物理棲地評估法

表 10 大甲溪第一層流域特性之流域幾何型態因子

Table 10 Geometric Basin characteristic of Level I in Dajia River

項目	值
流域面積 A	1235.73
流域最大長度 L	91.50
流域最大寬度 B_b	30.17
平均寬度 $A/\text{主流長}$	9.95 km
流域周長 P	306.6 km
流域圓度 $R_c = A/(\text{具同一周長的圓面積})$	0.165
流域狹長度 $R_e = (\text{具有同一面積的圓直徑})/B_b$	0.434
型態要素 $R_f = A/L_b^2$	0.1148
流域密度 $C = \text{同面積圓周長}/\text{流域周長}$	0.248

表 11 大甲溪第一層流域特性之流域高差因子

Table 11 Longitudinal basin characteristic of Lv I in Dajia River

項目	值
河床比降 S_{Bed}	山區: 1.74%
	台地: 1.12%
	平原: 1.05%
流域高差 $\Delta H = \text{流域最高點與出口高程差}$	3700 m
地面平均坡度 $\bar{S}_c = \Delta H/L_b$	0.0404
流域平均坡度 $\bar{S} = \Delta H/L_Q$	0.0298

地震後形成大量之崩塌。配合大甲溪流域之地形形成過程分析，可知在青山至達見間之遷急點，標示出河川回春作用的界點，並說明在德基下游河道受到劇烈的下切作用，而使得崩塌區位多集中在德基至谷關間，而在德基上游河段兩岸則較無大量的崩塌出現。

2. 大甲溪第二層水系特性

大甲溪第二層流域特性因子之分析結果如表 13 所示，表 14 則為大甲溪與台灣其他河川流域的第二層因子比較。由表中可知，大甲溪水系之分岐比與流長比兩者皆幾乎大其他流域之水系。由於大甲溪之流域幾何型態極為狹長，因此低級序的支流在上游匯集成高級序的河川後，中游的支流便不易增加主流的河川級序，造成大甲溪之水系擁有較大的分岐比與流長比。加大甲溪之河網密度為 1.615，22 表示流域整體的切割程度相當顯著。

由大甲溪的第一層流域特性可知，其流域之河谷地勢險峻，且中上游谷關至德基間之地質脆弱，因此在 921 地震形成大量崩塌，使流域中泥砂生產量大增。而流域地質軟弱，又造成大甲溪水系之切割程度大、河網密度高，使坡面崩塌的土砂較容易進入河川之中。綜合大甲溪第一層流域的高泥砂生產量與第二層的高度切割水系網特性，顯示大甲溪之主流應容易發展出多砂河川之主流特性。

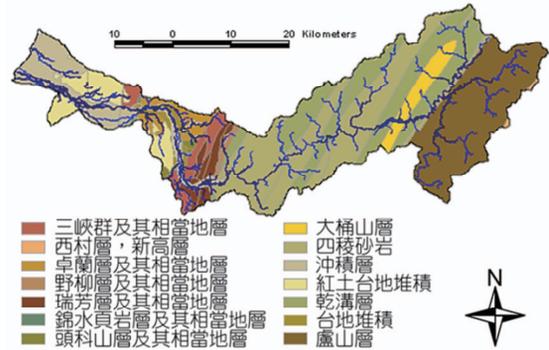


圖 14 大甲溪流域地質圖 (地質所二十五號分之二地質圖)

Fig. 14 Geological map in Basin of Dajia River

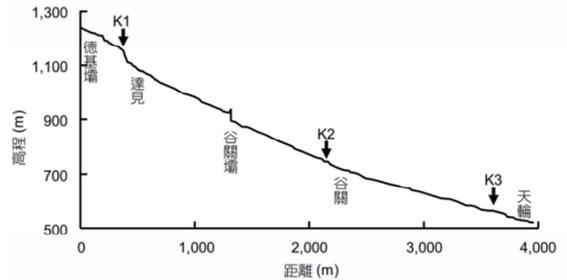


圖 15 德基至白冷間河道縱剖面 (距離由德基壩下游累計)

Fig. 15 Longitudinal bed profile between Deji and Baileng

表 12 大甲溪與其他河川第一層因子比較

Table 12 Comparison of Level I between Dajia River and another 10 rivers in Taiwan

區位	河川	集水區幾何型態		高差				
		圓度	狹長比	河床比降 %				
				山區	丘陵地	台地	平原	地面平均坡度 %
北部	淡水河			1.81	1.17	0.41	0.02	3.14
中部	大安溪	0.27		1.9	1.52		0.76	
中部	大甲溪	0.17	0.44	1.74		1.12	1.05	4.04
中部	烏溪	0.28	0.64	1.52		0.66	0.29	3.41
中部	濁水溪	0.23		2.07	0.75	0.71	0.24	3.52
南部	曾文溪	0.19	0.41	1.38	0.29	0.13	0.02	2.38
南部	高屏溪	0.25	0.5	1.66	0.86	0.53	0.07	3.43
東部	蘭陽溪	0.24	0.56	2.14		0.97	0.14	3.23
東部	花蓮溪	0.39	0.77	2.72		0.77	0.27	
東部	卑南溪	0.42	0.73	3.65			0.63	3.33

3. 大甲溪第三層主流特性

本研究將大甲溪民國 97 年自出海口至馬鞍壩之大斷面資料建入 Hec-Ras 水理模式中，計算該河段在各流量下所對應之河寬、水深與流速，再將分析之成果以式 (4) 至式 (6) 計算該河段各斷面的主流平面型態特性。本河段於民國 93 年時之正射影像如圖 16 所示，而各斷面在滿槽流量下之平面型態三角圖則如圖 17 所示。

在圖 17 中可看出，本河段大部份之斷面皆屬於辮狀河川之型態，但部份斷面則屬於蜿蜒或順直之型態。分析蜿蜒與順直河段之位置可知，其出現在馬鞍一帶之中上游河段，主流兩岸受到山谷或隘口的侷限較不易出現辮狀之主流型態。另外在梅子鐵橋至鐵路橋之間之河段（石岡壩淤砂段除外）亦有部份斷面呈現順直或蜿蜒之型態，其原因在於本河段為車籠埔斷層通過之抬升段，由於地層抬升造成河川回春作用，河床開始逐年下切，並形成深槽化之河道，進而使本區域之主流展現出蜿蜒或順直的平面型態。

4. 大甲溪第四層河道特性

圖 18 為大甲溪出海口至馬鞍壩民國 82 年至 97 年之縱面變化情形。在出海口至中山高河段，若以民國 82 年之河床高程為基準，則床高程呈現下切之傾向，顯示石岡壩攔阻泥砂之作用促使河床呈現出下刷之現象；但在民國 89 年後，河床縱剖面已呈現出沖淤互見之特性。

中山高至石岡壩河段歷年來則呈現下刷之趨勢，顯示石岡壩攔淤泥砂，造成河床需要下刷河床以取得水流所需之泥砂；另集集地震造成石岡壩附近抬升約 10 公尺，使石岡壩至埤豐橋間之河床出現明顯的落差，進而造成民國 89 年後埤豐橋至中山高上游 1.5 公里處之河段區間大量下刷。

石岡壩至東勢大橋之河段在集集地震時，長庚橋上游 1.2 公里處至梅子鐵橋上游 0.9 公里處間之河段出現另一處斷層抬升，抬升河段長約為 3 公里，最大抬升量為 14 公尺，造成梅子鐵橋下游 14.5 公里處形成遷急點，並形成溯源沖蝕，溯源沖蝕速度約為每年 330 至 360 公尺。溯源沖蝕有向東勢大橋發展之趨勢，但向源侵蝕發展之速度已有減緩的趨勢。東勢大橋至馬鞍壩間之河段，其河道縱剖面自民國 82 年至 97 年間並無明顯的變化。

表 13 大甲溪第二層水系特性之水系網因子

Table 13 Drainage characteristic of Level II in Dajia River

類別	項目	值	
水系網因子	河流級別	u	1-5
	平均分歧比	$R_b = N_u / N_{u+1}$	4.52
	平均流長比	$R_f = \bar{L}_u / \bar{L}_{u-1}$	2.94
	主流河長	LQ	124.2
	河川碎形維度	$Db = \log R_b / \log R_l$	1.40
切割程度	河網密度	$Du = (\Sigma Lu) / A$	1.62
	河流頻度	$Fu = (\Sigma Nu) / A$	0.36

表 14 大甲溪與其他河川第二層因子比較

Table 14 Comparison of Level II between Dajia River and another 10 rivers in Taiwan.

區位	河川	水系特性					切割程度	
		河流級別	分歧比 R_b	流長比 R_f	主流長度 L_Q (km)	碎形維度	河網密度	
北部	淡水河	6	4.03	2.22	158.7	1.75	1.649	
中部	大安溪		4.24	2.72	96.0	1.44	1.605	
中部	大甲溪	5	4.52	2.94	124.0	1.40	1.615	
中部	烏溪	6	3.65	2.05	119.0	1.85		
中部	濁水溪	6	4.03	2.43	186.6	1.57	1.650	
南部	曾文溪	5	4.83	2.74	138.0	1.56	1.593	
南部	高屏溪	6	4.12	2.32	170.9	1.68	1.477	
東部	蘭陽溪	5	4.28	2.12	73.1	1.94	1.524	
東部	花蓮溪		3.45	1.57	57.3	2.00	1.579	
東部	卑南溪	6	3.74	1.93	100.0	2.00	1.001	

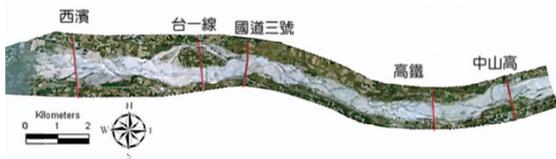
圖 19 為大甲溪河口至石岡壩之定床二維水理數值模式分析結果。由圖中可知，在石岡壩下游至后豐大橋間，其河床受上游河道於 921 地震抬升與石岡壩囚砂作用影響，河道斷面呈現窄深之型態，水流集中於深槽之中，造成局部河道受水流掏刷，可判斷該河段應呈現下刷之演變趨勢。而在后豐大橋下游至河口之河段，於水理分析中呈現出明顯的辮狀河段特性，流路分歧，顯見該河段流路擺盪情形較大。將水理模式之分析結果與圖 18 (a) 與圖 18 (b) 比較可知，后豐大橋至石岡壩間之歷年河道呈現下刷之趨勢；而在后豐大橋至出海口間，河床則為沖淤互見的辮狀河川特性，可驗證兩河段之歷年變動趨勢與水理模式分析結果相符。

5. 第五層棲地特性

本研究以大甲溪出海口至馬鞍壩間做為棲地評估之案例河段，依本河段之水、砂特性區分，可將本河段分為后豐大橋下游河段 (大甲 01 至大甲 05)、后豐大橋至東勢大橋間河段 (大甲 06 至大甲 08) 與東勢大

橋上游河段 (大甲 09 至大甲 12)，評估點位之分佈如圖 20 所示，各河段之棲地評估結果則如表 15 所示。整體而言，由於大甲溪屬於多砂之辮狀河川，且河道在近年亦出現明顯的變動，導致棲地中之沙洲與邊灘本身較不穩定，造成植生隨著沙洲邊灘調整而無法穩定生長，因此在河川棲地中僅出現零星的草本植生，評估結果顯示大甲溪在本調查河段中無法提供高品質之棲地植生環境。

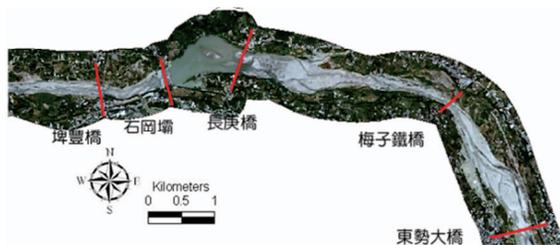
在棲地之泥砂、地形與水流環境方面，河口至后豐大橋間，因河相屬於平原粗顆粒辮狀河川，河床上出現大量之卵石，提供地形與水流之多樣性與河川基質的穩定性；然而，本河段之淤砂量亦大，於河床上形成大範圍之沙洲與邊灘，且細砂多填塞卵礫石間之孔隙，進而造成水流及泥砂環境品質降低。綜合上述，本河段之河相提供了棲地中下程度的泥砂與水流品質，但棲地之地形環境則具有中等程度之品質。在后豐大橋至東勢大橋間之河段，在鐵路縱貫線橋及石岡壩間，因受到石岡壩囚砂之影響，河道下切情形嚴重；長庚橋至梅子鐵橋間之河段則因集集地震時地層大幅抬



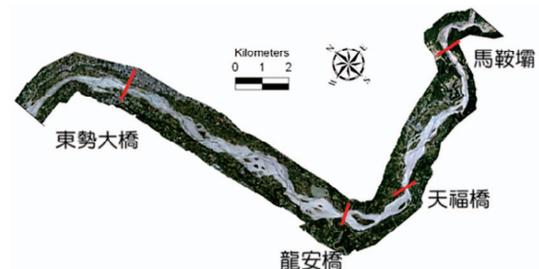
(a) 出海口至中山高河段



(b) 中山高至石岡壩河段



(c) 石岡壩至東勢大橋河段

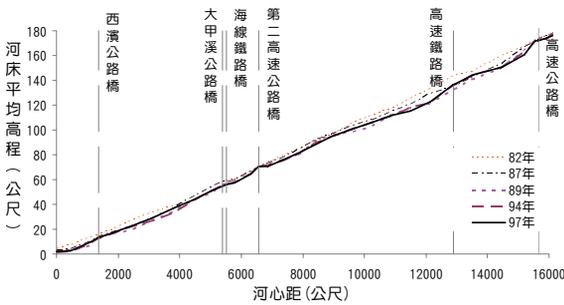


(d) 東勢大橋至馬鞍壩河段

圖 16 大甲溪出海口至馬鞍壩河段流型圖 (民國 93 年)

Fig.16 Main River Pattern of Reach estuary to Ma-an Dam in Dajia River (2004)

升, 故河道亦處於下切之演變過程。因此, 除了石岡壩至長庚大橋間, 本河段多已下刷之岩盤, 造成棲地泥砂環境品質之評分降低。此外, 因河道下切而導致深槽水流集中, 增加河床裸露之比例, 故棲地之水流評分亦較差。綜合上述, 本河段提供了自然棲地中下程度的泥砂、地形與水流品質。在東勢大橋至馬鞍壩間之河段, 因上游之來砂量大, 故河道中遍佈沙洲及邊灘, 但因流路中潭瀨結構豐富、深槽不易淤積細砂, 加以河道中多為卵塊石, 增加了棲地底質之穩定性。故整體而言, 大甲溪在本河段中提供了中等穩度的棲地泥砂、水流與地形品質。



(a) 出海口至中山高

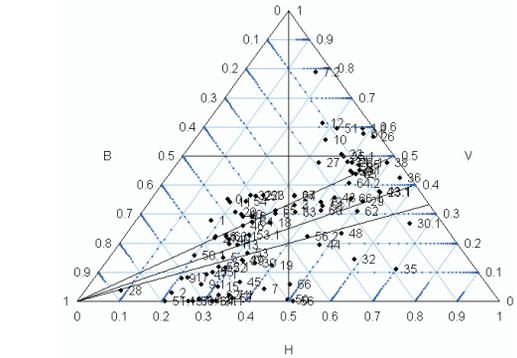
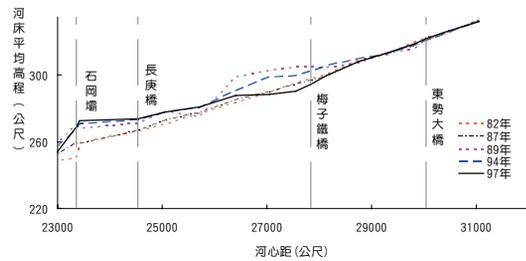
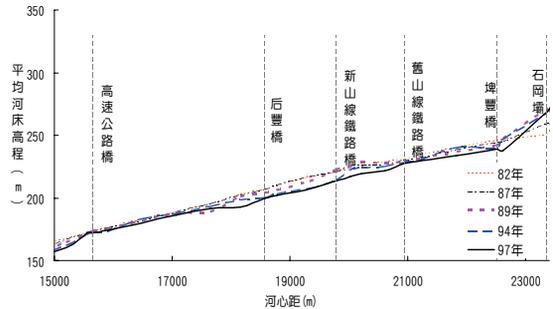


圖 17 大甲溪沿程斷面三角圖

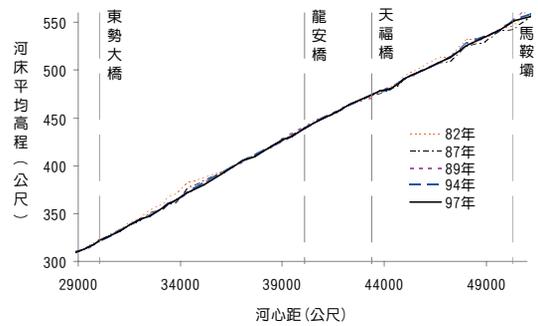
Fig.17 Longitudinal triangle plot of Dajia River



(c) 石岡壩至東勢大橋



(b) 中山高至石岡壩



(d) 東勢大橋至馬鞍壩

圖 18 大甲溪縱剖面變遷

Fig.18 Longitudinal bed profile changes

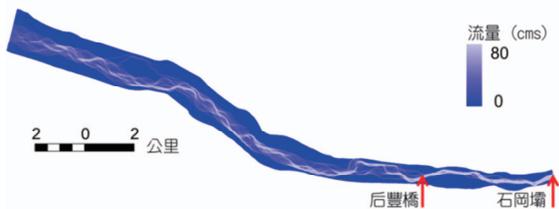


圖 19 大甲溪流流量分佈 (Q = 2000 cms, 河口至石岡壩)

Fig.19 Hydraulic method of specific discharge in Dajia river (Q = 2000 cms, estuary to Shih-Kang Dam)

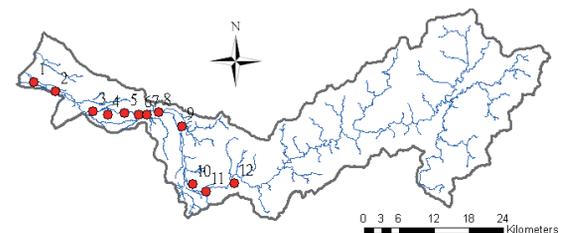


圖 20 大甲溪棲地評估點位

Fig.20 Habitat assessment sites in Dajia river

表 15 大甲溪棲地評估結果

Table 15 Result of habitat assessment in Dajia river

點位資料	正規化得分	評分雷達圖	點位資料	正規化得分	評分雷達圖
大甲01 980205 西濱大橋 206174, 2691578	泥砂:34 水流:28 地形:68 植生:8 人為:64		大甲02 980205 大甲溪橋 209885, 2690042	泥砂:29 水流:43 地形:67 植生:0 人為:80	
大甲03 980205 高鐵橋 216381, 286516	泥砂:30 水流:28 地形:58 植生:3 人為:80		大甲04 980205 中山高 218861, 2686038	泥砂:36 水流:35 地形:60 植生:12 人為:61	
大甲05 980204 后豐大橋 221826, 2686242	泥砂:40 水流:35 地形:47 植生:0 人為:48		大甲06 980204 花樑鋼橋 224231, 2685952	泥砂:29 水流:35 地形:53 植生:0 人為:45	

表 15 大甲溪棲地評估結果 (續)

Table 15 Result of habitat assessment in Dajia river

點位資料	正規化得分	評分雷達圖	點位資料	正規化得分	評分雷達圖
大甲07 980205 神豐大橋 225603, 2686016	泥砂:38 水流:45 地形:40 植生:0 人為:38		大甲08 980205 長庚大橋 227614, 2686405	泥砂:11 水流:43 地形:43 植生:0 人為:94	
大甲09 980205 東勢大橋 231666, 2683934	泥砂:48 水流:53 地形:68 植生:0 人為:93		大甲10 980205 龍安橋 233461, 2674070	泥砂:44 水流:33 地形:68 植生:0 人為:92	
大甲11 980205 福興橋 235876, 2672830	泥砂:40 水流:43 地形:68 植生:0 人為:96		大甲12 980205 240727, 2674194	泥砂:41 水流:35 地形:67 植生:0 人為:100	

結 論

本研究匯整河川型態之相關前人研究，並將陳樹群等 (2002) 提出之台灣河川型態五層分類法，依不同的空間尺度，將該分類法修改為第一層流域特性、第二層水系特性、第三層主流特性、第四層河道特性與第五層棲地特性。本研究亦將營力自分類法之分層中移出，並獨立說明營力對各層河相之影響與關係。藉由這兩項修正，可使台灣河川型態五層分類法之結構性更加完整，並可追蹤不同營力對河川型態演變之影響及其向下層傳遞之路徑。另本研究亦建構出五層分類法中每一層之理論架構圖，以確立各層河川型態的組成單元。

在分析方法部份，本研究對第三層主流平面型態的分析方法加以修改，以水面高程對寬深比之曲線折點，決定不同的流量分區界點。本方法可提升判釋流量分區之正確性，並可降低計算水力幾何型態指數時 (β_1 、 β_2 與 β_3) 之誤差，使主流平面型態的分析更加正確。另本研究亦提出水力幾何型態指數關係式之平移修正值 (Q'_B 、 Q'_H 、 Q'_V)，透過此修正，可使消除水力幾何型態指數因複式斷面而產生的錯誤。

在新增的第五層棲地特性方面，本研究提出河溪物理性棲地環境評估法，透過物理棲地組成評估分數，量化各處棲地的物理環境多樣性，以分析棲地環境受到河道、主流等河相特性之控制與影響。

河川型態之分析結果代表資料取得當下之現況，若資料年代久遠，則分析出之河相結果則易與河川之現況出現落差。然而，由圖 2 可知，河川型態之空間尺度規模與其演變之時間單位呈比例關係，即大尺度之流域及水系演變速度較慢，反之，小尺度的棲地特性則極易演變。適用於觀察第一層流域及第二層水系演變之時間單位為百年至數十年，表示其型態之演變緩慢，分析資料之年份對其型態分析之結果較無影響，故以單期全流域之 DEM 等資料分析流域及水系型態即可。適用於觀察第三層主流與第四層河道之時間單位為十年至數年，顯示河川在數次大型洪水事件之後，主流及河道特性即出現改變，因此在分析第三層及第四層河相特性時，則應採用多期 (約二十年或以上) 之河道斷面資料，以瞭解主流及河道演變之行為與趨勢。第五層棲地演變之時間單位以季或年為主，顯示河道中棲地結構 (如沙洲、潭瀨等) 之分佈年年都在改變，因此物理棲地之評估周期以每兩次為佳，以說明豐、枯水期之棲地環境。

參考文獻

1. 巨廷工程顧問公司 (2005)，「本土化水域生態工法工程技術之研究(第三期)」，行政院公共工程委員會。(G.T. International, Inc. (2005). *Study on localized Aquatic Eco-technological methods in Taiwan. (III)*, Public Construction Commission, Executive Yuan, Taiwan, ROC. (in Chinese))
2. 朱菱強 (2002)，「水力幾何型態因子與河相關係之探討」，中興大學水土保持學系碩士論文。(Chu, L.C. (2002). *The Relationship of Hydraulic Cross-Section Characteristics and River Morphology*, Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
3. 吳保生、馬吉明、張仁、府仁壽 (2003)，「水庫及河道整治對黃河下游遊蕩性河道河勢演變的影響」，水利學報，12，12-20。(Wu, B.S., Ma, J.M., Zhang, R., and Fu, R.S. (2003). "Effects of reservoir and training on river regime evolution of the braided reach in the lower Yellow River." *Journal of Hydraulic Engineering*, 12, 12-20. (in Chinese))
4. 林朝榮 (1957)，「台灣地形」。台灣省文獻委員會。(Lin, C.C. (1957). *Topography of Taiwan*, Taiwan Provincial Documentary Committee, Taiwan (in Chinese))
5. 陳樹群 (2006)，「水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究 (3/3)」，經濟部水利署。(Chen, S. C. (2006). *The Evaluation Study of Landslide Susceptibility and Landslide Size in Reservoir Watersheds (3/3)*, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, Taiwan, ROC. (in Chinese))
6. 陳樹群、彭思顯 (2000)，「大甲溪河川型態調查及分類」，第十一屆水利工程研討會，175-190。(Chen, S.C., and Peng, S.H. (2002). "The Investigation and Classification of Ta-Chia His Basin." *Proceedings of the 11th Hydraulic Engineering Conference*, 175-190. (in Chinese))
7. 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。(Chen, S.C., and Peng, S.H. (2002). "Stream Classification System with Five Levels in Taiwan." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 33(3), 175-190. (in Chinese))
8. 陳樹群、簡如宏、馮智偉、巫仲明 (1998)，「本土化土壤沖蝕指標模式之建立」，中華水土保持

- 學報, 29(3), 233-247。(Chen, S. C., Chine, R. H., Ferng, J.W., and Wu, C.M. (1998). "Development of Soil Erosion Index Model in Taiwan Watershed." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 29(3), 233-247. (in Chinese))
9. 錢寧、周文浩 (1965), 「黃河下游河床演變」, 科學出版社, 224。(Qian, N., and Zhou, W.H. (1965). *Evolution of Riverbed in Lower Reaches of the Yellow River*. Beijing: Science Press. (in Chinese))
 10. 森下郁子、森下雅子、森下依理子 (2000), 「川のHの條件陸水生生態學からの提言」, 山海堂(東京), 150。(Morishita, I., Morishita, M., and Morishita, Y. (2000). *River Health Condition - The Proposal of River Ecology*. Sankaido Publishing Co., Ltd. 150. (in Japanese))
 11. 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).
 12. Begin, Z.B. (1981). "The Relationship between Flow-Shear and Stream Pattern." *Hydrol. J.*, 52, 307-319.
 13. Boix-Fayos, C., Barberá, G. G., López-Bermúdez, F., and Castillo, V.M. (2007). "Effects of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: Case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain)." *Geomorphology*, 91, 103-123.
 14. Chang, H.H. (1987), *Fluvial Processes in River Engineering*, United States of America, 261-297.
 15. E.P.A. (1989). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
 16. Fredose, J. (1978). "Meandering and Braiding in Rivers." *J Fluid Mech*, 84, 609-624.
 17. Gilbert, G.K. (1914). "The Transportation of Debris by Running Water." *U. S. Geol. Survey, Prof.*, 86, 259.
 18. Gippel, C.J., and Stewardson, M. J. (1998). "Use of Wetted Perimeter in Defining Minimum Environmental Flows." *Regul. Rivers: Res. Mgmt.*, 14, 53-67.
 19. Harnischmacher, S., (2007). "Thresholds in small rivers? Hypotheses developed from fluvial morphological research in western Germany." *Geomorphology*, 92, 119-133.
 20. Hooke, J.M., and Mant, J.M. (2000). "Geomorphological impacts of a flood event on ephemeral channels in SE Spain." *Geomorphology* 34, 163-180.
 21. Horton, R.E. (1945). "Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology." *Geol. Soc. America Bull.*, 56, 275-370.
 22. Khazai, B., and Sitar, N. (2000). "Assessment of seismic slope stability using GIS modeling." *Geographic Information Sciences*, 6, 121-128.
 23. Knighton, D. (1984). *Fluvial Forms and Processes*. Edward Arnold: London.
 24. Kondolf, G.M., Piégay, H., and Landon, N. (2002). "Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments." *Geomorphology*, 45, 35-51.
 25. 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.
 26. Lane, E.W. (1955). "The Importance of Fluvial Morphology in Hydraulic Engineering." *Proc.*, ASCE, 745(81), 17.
 27. Lane, E.W. (1957). "A Study of the Shape of Channels formed by Natural Streams Flowing in Erodible Material." *M. R. D. Sediment Series* No. 9, U.S. Army Engineering Division, Missouri River, Corps of Engineers.
 28. Leopold, L.B., and Wolman, M.G. (1957). "River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight." *USGS Professional Paper* 282-B, 45-62.
 29. Leopold, L.B., and Maddock, T. (1953). "The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications." *U. S. Geol. Survey, Prof. Paper*, 252, 56.
 30. Li, R.M., and Simons, D.B. (1982). "Geomorphological and Hydraulic Analysis of Mountain Streams." *Gravel Bed Rivers*, 425-441.
 31. Marti, C., and Bezzola G.R. (2006). "Bed load transport in braided gravel-bed rivers." *Special publication number 36 of the international association of sedimentologists*, 199-215.
 32. 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.

33. Mount, N.J., Sambrook Smith, G.H., and Stott, T.A. (2005). "An assessment of the impact of upland afforestation on lowland river reaches: the Afon Trannon, mid-Wales." *Geomorphology*, 64, 255-269.
34. Phillips, J.D., Slattery, M.C., and Musselman, Z.A. (2005). "Channel adjustments of the lower Trinity River, Texas, downstream of Livingston Dam." *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 1419-1439.
35. 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.
36. Rhodes, D.D. (1977). "The b-f-m Diagram: Graphical Representation and Interpretation of At-A-Station Hydraulic Geometry." *Amer. J. Sci.*, 277, 73-96.
37. Riley, S.J. (1972). "A Comparison of Morphometric Measures of Bankfull." *Journal of Hydrology*, 17, 23-31.
38. Rosgen, D. (1996). *Applied River Morphology*, Printed Media Companies.
39. Schumm, S.A. (1977). *The Fluvial System*, Wiley and Sons, New York.
40. Schumm, S.A. (1969). "River metamorphosis, Proceedings of the American Society of Civil Engineers." *Journal of the Hydraulics Division* 95 (1969), 255-273.
41. Strahler, A.X. (1957). "Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology." *Amer. Geomorphological Union Trans.*, 88, 913-920.
42. Sugawara, M. (1972). *Method of runoff analysis*. Kyoritu Shuppan, Japan. (in Japanese)
43. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Agric. Hbk. 537, USDA, WA.
44. Whisenant, S.G. (1999). *Repairing damaged wildlands: a process orientated, landscape-scale approach*, Cambridge University Press, Cambridge.
45. Young, T.P., Immel, D.L., and Clary, J.J. (2002). "Historical Ecology, by Egan & Howell." *Journal of Environmental Management*, 68, 437-8.
46. Pickup, G. (1984). "Geomorphology of tropical rivers. 1. Landforms, hydrology and sedimentation in the fly and lower Purari, Papua New Guinea." *Channel Processes, Water, Sediment, Catchment Controls*, Catena Suppl. 5, 1-17.
47. Selby, M.J. (1985). *Earth's Changing Surface: an Introduction to Geomorphology*, Oxford University Press, Oxford.
48. Nanson, G.C., and Croke, J.C. (1992). "A genetic classification of floodplains." *Floodplain Evolution. Geomorphology*, 4, 459-486.

2010年10月23日 收稿

2011年02月14日 修正

2011年08月05日 接受

(本文開放討論至 2012年9月30日)