



臺灣河川生態定量評定與改善方式之研究

吳瑞賢^{*}、陳慶和^{**}、毛振泰^{***}

^{*}國立中央大學土木系教授

^{**}南亞技術學院土木與環境工程系教授

^{***}行政院經建會部門處組長

【摘 要】

有關水利及生態理論間之量化平台，是水利工程規劃設計時要解決的問題，依據臺灣本島魚類棲息之五個動物地理分區，以各分區中淡水特有魚種之生存適合性作為評估河川生態的標準，制訂各分區上、中、下游河段之流速、水深、底質及水質棲地適合度曲線，以所繪的 4 區共 48 幅棲地適合度曲線圖（不含第 IV 區），應用於臺灣本島河川生態寬度及彎曲量化分析，共有以下結論：1.經分析全臺灣本島 32 個河段棲地型態，建議於營造改善已存在堤線之河川環境時，建議應至少保留原計畫河寬的百分之 84 作為河川生態寬度（Be），維持其原有河川地貌及地形，不予改變。對於未興建而需新建河川防洪構造物河段，建議儘量採用計畫河寬計算公式所得之最大值（MaxBp），作為治理計畫線寬度（Bp），並以 $Be=0.1324 * MaxBp^{1.1931}$ 之公式，求取治理河段需維持自然狀態的最小寬度。2.在河川彎曲量化分析方面，從分析 32 河段中的 11 處蜿蜒河段，發現 Lepold & Wolman(1960) 所獲得的蜿蜒河槽幾合特性中，彎頂距（ λ ）的公式尚可於臺灣適用，但彎槽擺幅與彎曲半徑公式則顯得並不適合。另河川彎曲處的凸岸區腹地，在水位溢槽時皆為優良棲地，在河川管理時，應列為水利用地保持自然狀態。

關鍵字：動物地理分區、棲地適合度曲線、淡水特有魚種

Study of Quantitative Assessment and Improvement Methods in Ameliorating River Ecology In Taiwan

Ray-Shyan Wu^{*}、Ching-Ho Chen^{**} Chen-Tai Mao^{***}

^{*}Professor, National Central University, Civil Engineering

^{**}Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Nanya Institute of Technology

^{***}Division Director, Department of Sectoral Planning Council for Economic Planning & Development, Executive Yuan

【Abstract】

With the aim to resolve problems in quantifying ecological and hydrological aspects of water works engineering and design, According to the data on fish species to fit four different habitat suitability curve regimes (flow velocity, water depth, bed material and water quality) of the upstream, midstream and downstream sections of rivers in four different geographical zones(not include IV zone) in Taiwan. In total 48 habitat suitability curves for local endemic freshwater water species were drawn and used as the standard to assess river habitat ecology. This methodology was applied for different river channel types in Fatze River and a quantitative analysis was carried out for ecological width and sinuosity typical of rivers in Taiwan. The conclusions derived from our study can be summarized as follows: 1. Following the analysis of 32 river sections and their habitat types in Taiwan, we concluded that for the future construction and amelioration of river embankments a minimum of 70% of the original channel width must be reserved for river ecology (Be). The landscape and topographical relief of the river must remain untouched. Additionally, for river sections in need of new floodworks construction, our study recommends that the largest value of the river

width equation be used for regulating the project width (Bp). Furthermore, the relationship between Be and MaxBp should be established at $Be=0.1324 * MaxBp^{1.1931}$ to calculate the requisite minimum width of the river to maintain base ecology. 2.The analysis of the river sinuosity in 11 meanderings of the 32 rivers has confirmed that of the hydraulic geometric relationships obtained by Leopold and Wolman (1960), the equation for the distance between two meanders (λ) is applicable to Taiwan while the equations for amplitude and radius of the meander are not. The region outside of the river bend is a suitable habitat area during floods and, as such, by river management guidelines should be protected and preserved.

Keywords: five different geographical zones ,habitat suitability curve, endemic fish of freshwater

壹、前言

經濟部主導之「易淹水地區水患治理計畫」於 96 年開始實施，巨額的經費投注於河川排水環境改善之中，「生態環境效益評估指標體系」、「為水生及陸生動物提供棲息繁衍的方便條件或棲地」及「美學環境的設計」三項目亦為該計畫於水域環境復育營造的重點工作，惟生態理論落實於水利工程之問題，始終沒有具體可用之方式，考量學界應於短期內提供政府單位可納入規劃設計應用之具體建議，故進行本研究。本研究主要以生態觀點研究臺灣本島河川的改善方式，但生態層面甚廣，乃以魚類作為生態評定標的，惟台灣河川含有高達 224 種（陳義雄、方力行，1999）以上的魚類，爰窄縮其範圍並定義以「保育治理河段存在之『所有淡水特有魚種』為河川治理規劃之生態保育目標」，訂定該研究範疇除了比前人相關研究所選擇單一保育魚種，具宏觀性及綜合性外，最主要係欲提供水利工程在生態方面一個較高階的保育指標，畢竟特有種所需河川生存空間較能夠反應台灣河系原有生態所需，舉例來說，若將吳郭魚亦納入生態保育目標中，則顯而易見的是保育標準將被降低而顯得不恰當。對於臺灣本島河川生態改善方面，臺灣河川大大小小約二百餘條，中央管河川有二十四條水系，含跨越省市之河川六條，計有三十條水系（以往名稱為重要河川），縣市管河川計有一百條水系，本研究亦窄縮範圍，針對臺灣本島較大型之中央管河川進行研究，尋求較大型河川之相關生態治理方式，例如受治理河段，需維持自然狀態的最小寬度等議題。

在前人研究方面，與本研究相關部分，有台灣河川淡水特有魚種各區棲地適合度曲線之研訂及河川生態定量改善方法部分，茲分述如下：

一、台灣河川淡水特有魚種各區棲地適合度曲線之研訂部分

吳瑞賢等人（2007），綜合臺灣河川淡水特有魚種特性資料，初步建立臺灣本島五地理分區之四種（流速、水深、水質及底質）適合度曲線，提供水利工程師棲地運算之工具，相關重要研訂方式，摘於本文第參章。

二、河川生態定量改善方法部分

翁宇能（1998）針對台中大坑地區之橫坑溪評估，得知在低水流量下是屬於山地溪流型，且棲地的分類多是緩流和深潭交互出現。吳瑞賢等（2004）以流速迴歸



方程式結合水理分析模式，推估河川流速在空間上的分佈並藉以分析枯水期及洪水期的棲地變異。並以卑南溪新武呂段為例，結果發現在洪水流況下寬廣河段棲地面積會增加，在峽谷河段則略減少，面積增減與河道地形有密切關係。流速 2.0m/sec 以下棲地沿高灘地、河中洲及兩岸緩坡邊緣分佈，邊坡越緩，洪水時棲地面積增加越多。謝璟樟（2002）則利用 HEC-RAS 與 RHABSIM 一維模式分析大漢溪中游武嶺橋附近建壩對於該區域之生態影響，發現建壩對於當地生態有正面的效益，並且當壩高為 5m 時最佳，同時分析單壩與雙壩在生態上的比較是以雙壩較優。溫博文（2005）以烏溪為研究案例，針對流速及水深兩因子，探討標的魚種流量與棲地可使用面積關係、水域環境潭瀨類型分佈，並以碎形幾何的觀念分析河川面積、棲地面積與碎型維度間關聯性。

貳、研究方法

本研究之研究流程如圖 1，首先確立研究範圍並蒐集前人對於臺灣本島河川特有淡水魚類有關適合度曲線的研究成果、臺灣本島河川航照圖、數值地形資料及河川水文水理資料，再進行資料整理找出前述資料齊全之河系後，以淡水魚類之動物地理區域為界，每區域選擇 2 條以上河川，並於各河川由上游至下游切割出 3 河段作為分析河段並進行河川型態分析及上中下游區分。再以各河段為單元建立地形檔並利用一維 HEC-RAS 水理計算模式求取各河段各種流量上下游水理水位資料、將相關資料輸入 River2D 二維棲地模式求取各河段各種流量下之權重可使用棲地面積（WUA），續以 Arcview 及 Autocad 圖形檔處理軟體，求取權重可使用棲地面積（WUA）發生最大值時所對應之河川水面寬度，即可得到河川生態寬度值，再將該值與治理計畫實際使用河寬（Br）、設計流量（Qd）、Max 計畫河寬（MaxBp）及 Min 計畫河寬（MinBp）作關係比對，求得生態河寬（Be）與上述數值間關係式；另亦藉由 Autocad 圖形檔處理軟體，計算河川中具彎曲特性之相關特性值。研究流程敘述中，有關台灣河川淡水特有魚種各區棲地適合度曲線之研訂部分，因需較多篇幅描述，乃將該部分置於第參章。

一、研究範圍

本研究之範圍限定之假設如下：

- （一）地理範圍：臺灣本島地區之較大型之中央管河川。
- （二）生物範圍：臺灣本島之河川淡水特有魚類。
- （三）欲改善之水利設施：臺灣本島之河川防洪設施。
- （四）生物系統模擬範圍：以魚類眼光評估河川防洪設施設置寬度及型態之良劣。

二、台灣河川淡水特有魚種各區棲地適合度曲線之研訂

各淡水魚類動物地理區域之上、中、下游河段之流速、水深、底質及水質等 4 種棲地適合度曲線制定方式說明，於第參章中敘述。

三、擇定研究河段

本研究主要係依據台灣本島河川淡水魚類之五個動物地理區域，在第 I、II、



Ⅲ及Ⅴ區，各選取 2 至 3 條河川，每條河川再選取 2 至 3 個河段，藉以進行後續生態量化分析工作，基本上擇取的方式是以該河川是否存在 5*5 公尺間格 Dem (x,y,z) 地形資料及航空拍攝影像資料為主，其中第Ⅳ區即因沒有地形資料而無法進行選取工作。本文所選定的研究水系共有七河系，由臺灣本島西半部自北至南，再由東半部自北至南，分別為淡水河系（大漢溪【取 3 河段】、基隆河【取 3 河段】及景美溪【取 3 河段】）、南崁溪河系（南崁溪【取 4 河段】）、烏溪河系（筏子溪【取 2 河段】、大里溪【取 2 河段】及早溪【取 2 河段】）、二仁溪河系（二仁溪【取 3 河段】）、高屏溪河系（高屏溪【取 4 河段】）、和平溪水系（和平溪【取 2 河段】）及卑南溪水系（卑南溪【取 4 河段】）；以上各河系選出接受分析的河川共有 11 條，而各條河川選取進行棲地分析的累計總河段數目共 32 河段，本研究各擷取河段的位置見圖 2。

四、各研究河段水文水理資料取得

各選取河系、河川及河段基本特性及參考資料本研究皆備齊相關分析資料（研究河系見基本資料表 1），舉淡水河系為例，淡水河系位於動物地理區域中第Ⅰ區，淡水河系上游主流發源於臺北縣品田山(海拔 3,529 公尺)，主流長度 159 公里，流域面積 2726 km²，主要支流有大漢溪、新店溪、基隆河、三峽河、景美溪、北勢溪及疏洪道，本研究對本河系選取研究的河川分別為大漢溪、基隆河及景美溪，並由該 3 條河川各別自下游往上游方向分別從 Dem (x,y,z) 地形資料及航空拍攝影像資料上各擷取 3 河段作棲地分析，而淡水河系所擷取共 9 河段所應用之既有水文水理參考資料，分別由經濟部水利署大漢溪治理規劃報告（經濟部水利署，2002）、基隆河整體治理計畫設計洪水量檢討暨其前期計畫及辦理情形（經濟部水利署，2002）及景美溪治理規劃檢討報告（經濟部水利署，2004）中取得，而不足之部分則由 HEC-RAS 模式處理。

HEC-RAS 模式在本研究主要是應用於研究河段中，以水理演算資料之初步斷面水位推求，該模式乃由美國陸軍工程師團水文工程中心(Hydrologic Engineering Center, 簡稱 HEC)所發展之河川分析系統，可以用來計算在不同流量下的平均水面高程、流速等相關水理參數，具有一維定量流（亞臨界流、超臨界流及混合流況）及變量流之水理參數計算功能，亦可模擬河床中之水工結構物對水流之影響；

HEC-RAS 所需輸入的資料包括河川的斷面資料與定量流的邊界條件即可模擬。該模式是使用標準步推法（Standard Step Method），求解能量方程式，以得到河道斷面間之水面剖線。

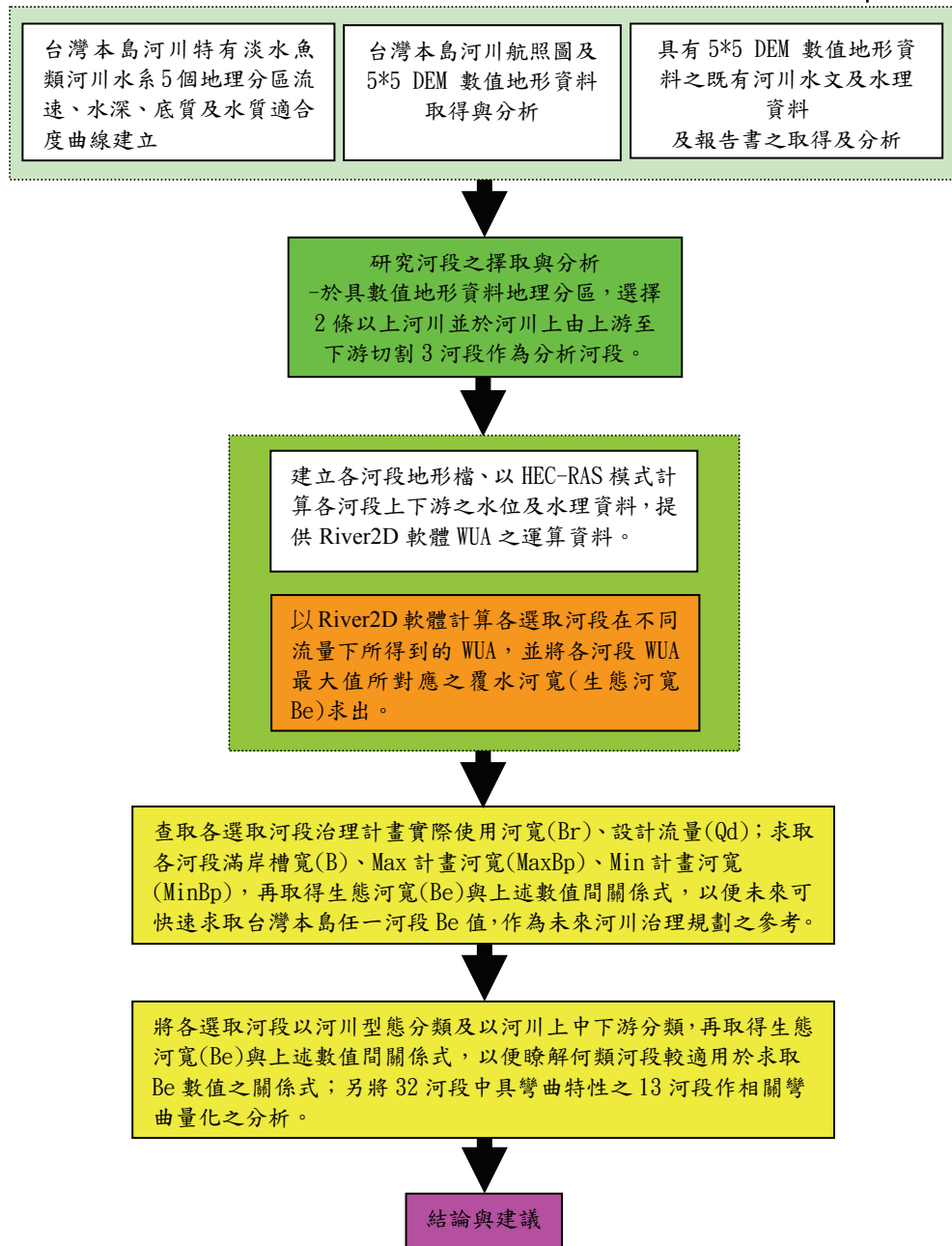


圖1 本研究之研究流程圖

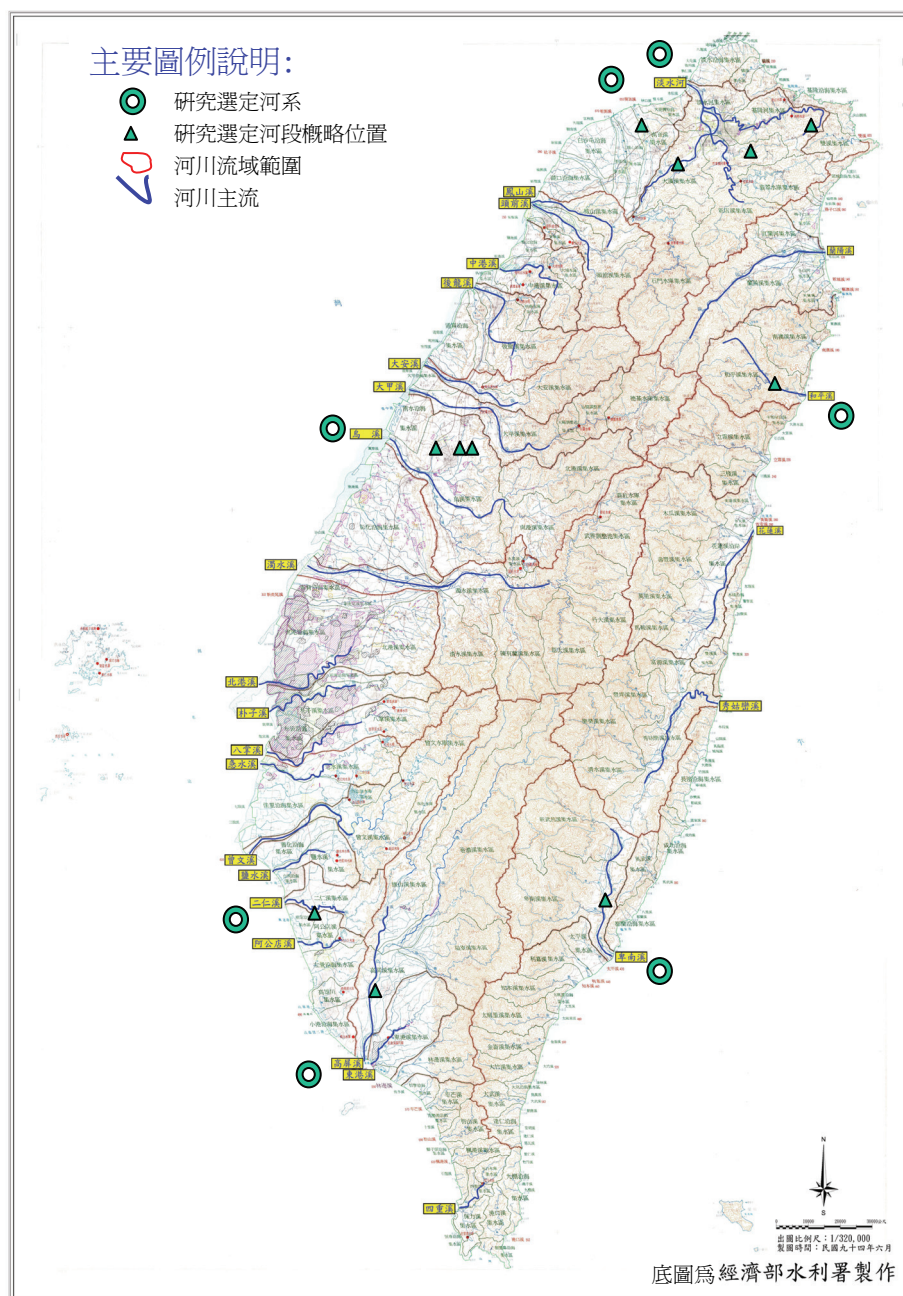


圖2 本研究各擷取河段的位置圖
表1 本文研究河系基本資料簡表

編號	河系別	主流長度 (km)	流域面積 (km ²)	設計暴雨量 (mm)	設計頻率流量 (CMS)	平均坡降	流經縣市
01	淡水河	158.7	2726.0	1841.0	$Q_{200}=25,000$	1/122	台北縣市、桃園縣、基隆市
02	南崁溪	30.7	214.6	453.3	$Q_{50}=1,450$	1/186	桃園縣
03	烏溪	119.1	2025.6	656.0	$Q_{100}=21,000$	1/92	台中縣市、南投縣、彰化縣
04	二仁溪	61.2	339.2	595.1	$Q_{100}=3,600$	1/160	台南縣市、高雄縣
05	高屏溪	171.0	3256.9	676.0	$Q_{100}=24,200$	1/150	高雄縣、屏東縣
06	和平溪	48.2	561.60	1183.0	$Q_{50}=9,900$	1/14	花蓮縣、宜蘭縣
07	卑南溪	84.4	1603.2	775.0	$Q_{100}=17,400$	1/23	台東縣

註：本資料主要摘自台灣重要河川資料冊（經濟部水利處，2000），另設計暴雨量係該水系設計全流域最大二日暴雨量。

五、各河段河槽型態分析及河段上中下游分析

河川型態的劃分方法因觀點不同而有許多種，大體上可區分成兩種基本分類方法，第一種是按河流平面型態進行分類，以 Leopold & Wolman (1957) 將河型劃分成蜿蜒、順直、辮狀三大類型之說法最常被使用；另一種則按動態來區分，以 Rosgen (1996) 為代表，將河川型態區分成蜿蜒、週期展寬、游蕩三大類型。這兩種分類方法各有優缺點：按型態分類能反映河床型態特徵，卻不能充分反應河床演變的特點；按動態分類能反映河床演變的特徵，卻不能反應河床的特徵型態，本研究將河型劃分成順直、蜿蜒、辮狀三大類型，主要以河段之蜿蜒度、坡度及河相來區分，蜿蜒度之定義為河道兩點間流線長與直線長之比值，蜿蜒度 1.0 至 1.2 概屬於順直河型，蜿蜒度大於 1.2 概屬於蜿蜒河型，辮狀河型則需依河相來判釋。32 河段劃分後，可得到以下結果：

(一) 屬順直河川型態者: 漢-2 河段(蜿蜒度 1.05)、漢-3 河段(蜿蜒度 1.13)、筏-1 河段、筏-2 河段、里-1 河段、里-2 河段、和-2 河段等 7 河段。

(二) 屬蜿蜒河川型態者: 基-1 河段(蜿蜒度 1.3)、基-2 河段(蜿蜒度 1.4)、基-3 河段(蜿蜒度 1.6)、景-1 河段(蜿蜒度 1.5)、景-2 河段(蜿蜒度 1.4)、景-3 河段(蜿蜒度 1.3)、崁-1 河段(蜿蜒度 1.4)、崁-2 河段(蜿蜒度 1.2)、崁-3 河段(蜿蜒度 1.2)、崁-4 河段(蜿蜒度 1.3)、旱-1 河段(蜿蜒度 1.3)、旱-2 河段(蜿蜒度 1.3)、仁-1 河段(蜿蜒度 1.2)、仁-2 河段(蜿蜒度 1.6)、仁-3 河段(蜿蜒度 1.3) 及和-1 河段(蜿蜒度 1.4) 等 16 河段。

(三) 屬辮狀河川型態者: 漢-1 河段、屏-1 河段、屏-2 河段、屏-3 河段、屏-4 河段、卑-1 河段、卑-2 河段、卑-3 河段、卑-4 河段等 9 河段。

陳義雄、方力行(1999), 臺灣河口及淡水魚類誌中定義河川上游地區為:「一般指人跡罕至的高山區段溪流, 這些地方原本林木茂密、雲霧繚繞, 水流在旱季時雖少, 但因河床中有許多大石頭形成的水塘、石隙等等, 終年也都能提供許多魚族, 形成高山區特有的魚類群聚」; 定義河川中游為:「一般指產業道路可達, 國民山林旅遊常常造訪的河段, 這個河段也是台灣溪流生態最具特色的地區, 因為水量較豐, 河床變寬, 地形變化複雜, 所以棲所及生息其間的魚類都非常豐富」; 定義河川的下游區域為:「臺灣河川下游通常指的是流出山區後的平原地帶, 這個地區河川魚類所受到殘害的原因也較為一般大眾所熟悉」, 日本山本晃一(1997)、千山掄(1991)等亦有依河川底床坡度(概以 1/1000 以下為下游、1/100 以上為上游, 中間段為中游)及河相型態分類之參考表供作河段上中下游之分類標準, 本文乃綜合陳義雄、方力行(1999)之定性定義分類方式及日本山本晃一(1997)、千山掄(1991)之定量分類方式, 將本研究各河段作上中下游分類。最後得到本研究 32 河段中, 屬於上游河段者 3 段、中游河段者 18 段及下游河段者 11 段, 得到此結果後可藉以進行與河川生態寬度相關性分析。

六、棲地評估方式及 River2D 軟體說明

棲地評估乃配合水理模式計算不同流量下, 各斷面流速與水深分布, 再透過棲地模式中對象物種之棲地適合度曲線(habitat suitability curve, HSC)找出橫斷

面各分區之流速及水深所對應之棲地適合度指數，便可求得研究河段之權重可使用棲地面積（WUA）。

$$WUA = \sum_i F[f(V_i), f(D_i), f(C_i)] \cdot A_i, \quad (2.1)$$

式中 $F[]$ 為組合棲地適合度因子（Combined Suitability Factor，簡稱 CSF）；

A_i 為研究河段第 i 分區之水域面積； $f(V_i), f(D_i), f(C_i)$ 分別為第 i 分區之流速、水深及河床底質適合度指數，在本研究中將臺灣各動物地理分區上中下游河段之各適合度指數於下節中推求。雖 CSF 有幾種不同運算方式，本研究採乘積法，當 $f(V) \cdot f(D) \cdot f(C)$ 間中只要有一者為 0，則 $CSF=0$ 。Steffler & Blackburn(2002)所出版的 River2D 模式及手冊，是由加拿大淡水研究所(Freshwater Institute，簡稱 FWI)、亞伯特大學土木與環境系、美國地質調查局中部生態科學中心及亞伯特漁業部共同研究發展與測試。River2D 全部輸入和輸出乃使用 SI 標準單位(MKS 制)。藉由該 River2D 軟體，本研究將各選取河段予以分析不同流量下之 WUA，再求出各河段 WUA 最大值下所對應之生態河寬（Be）後予以統計求出與設計流量（Qd）或設計河寬（Qp）之相關性，藉以找出簡易之生態河寬推求方式。

七、河川寬度及河川生態寬度（Be）的分析

（一）Leopold and Maddock (1960)以經驗關係量化流量站與其下游河川之水力幾何關係，將河寬表示為平均流量（Q）之指數關係，研究結果顯示沖積河川河寬（B）之指數值為 0.5，即 $B = a \cdot Q^n$ 中 n 值為 0.5， a 為係數。

（二）台灣一般計畫河寬公式方面，沈榮茂等（1992），曾將本省以規劃治理完成之 28 條河川，依其計畫流量（Qp）迴歸稍陡坡河川（ $1/140 > S > 1/1,000$ ）之計畫河寬（Bp）公式如下：

$$1. \text{中值迴歸方程式} \quad Bp = 0.348 \cdot Qp^{0.824} \quad (2.2)$$

$$2. \text{上限迴歸方程式} \quad Bp = 0.955 \cdot Qp^{0.824} \quad (2.3)$$

$$3. \text{下限迴歸方程式} \quad B_p = 0.143 * Q_p^{0.824} \quad (2.4)$$

(相關係數 $R=0.90$)

依其計畫河寬迴歸緩坡河川 ($S < 1/1,000$) 之計畫河寬公式如下：

$$1. \text{中值迴歸方程式} \quad B_p = 2.712 * Q_p^{0.595} \quad (2.5)$$

$$2. \text{上限迴歸方程式} \quad B_p = 7.680 * Q_p^{0.595} \quad (2.6)$$

$$3. \text{下限迴歸方程式} \quad B_p = 1.084 * Q_p^{0.595} \quad (2.7)$$

(相關係數 $R=0.64$)

(三) 日本於計畫河川寬度 (B_p) 的公式，計有京大公式、經驗公式 (建設省標準)

$$1. \text{京大公式} \quad B_p = a * Q_p^{0.5} \quad ; a = (3.5 \sim 7) \quad (2.8)$$

$$2. \text{經驗公式} \quad B_p = b * Q_p^{3/4} \quad ; b = (0.5 \sim 0.8) \quad (2.9)$$

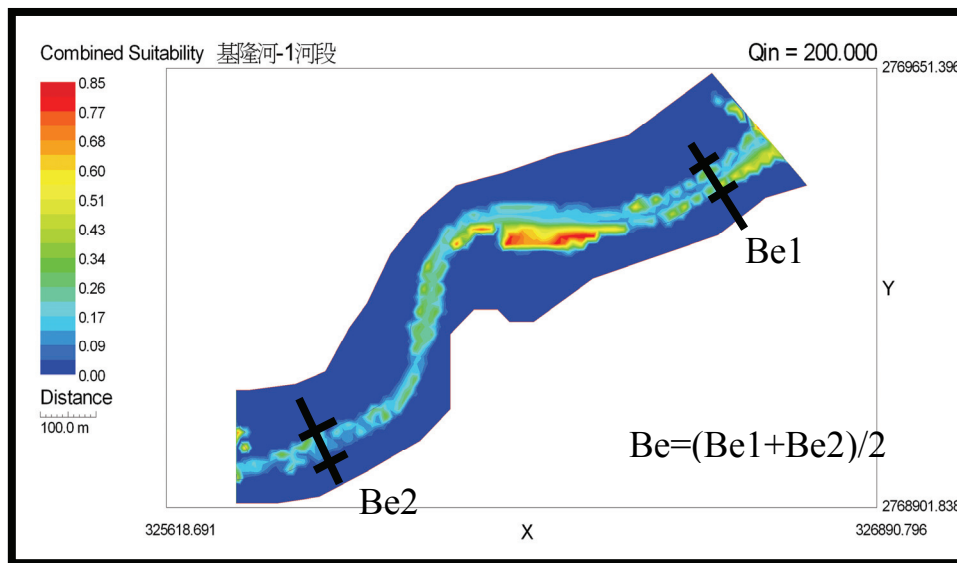
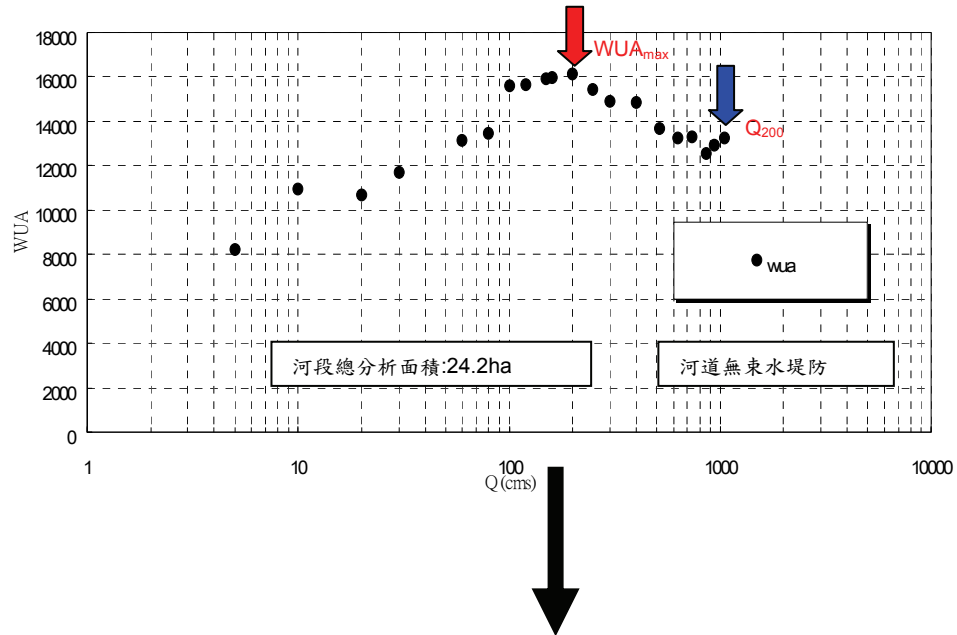
式中， B_p ：計畫河寬 (m)、 Q_p ：計畫流量 (cms)

(四) 河川生態寬度 (Be) 的推求步驟

將 32 個河段應用 River2D 模式進行棲地 WUA 分析，各河段皆自流量 1cms、2cms、5cms、10cms，模擬至 100 或 200 重現頻率年之洪水流量 (視該河川治理規劃報告而定)，河川生態寬度推求進行之步驟略述如下：

1. 分析各河段在既有治理計畫中之斷面位置，套繪於航照圖中，並比對各河段於治理報告中各頻率年洪水量資料、水位資料及計畫河寬資料。
2. 相關河段水位資料欠缺者，以 HEC-RAS 運算補充作為參考值。
3. 以步驟 1 及步驟 2 資料作為各河段 River2D 模式運算的初始條件及邊界條件，進行模擬。
4. 將各河段所有 WUA 成果，製作 WUA v.s 流量之對應圖，彙整後將各河段所得 WUA 尖峰 (Peak) 處所對應之流量值取出予以彙整，再應用 Autocad 軟體定位找出各該尖峰流量值所對應之各河寬 (見圖 3)，河川生態寬度之決定宜取河道中較順直部分存在河川棲地橫向最大寬度之平均值為準，不取彎曲段計算乃因為彎曲段在本研究中乃視為所有範圍皆應保留之區域。

基隆河-1河段Q vs WUA圖



註:以上 2 圖中 Q_m 單位為 C.M.S., 即每秒米立方; WUA 之單位為 (M^2)

圖3 本研究河川生態寬度之決定方式



參、台灣河川淡水特有魚種各區棲地適合度曲線之研訂部分

本研究利用台灣淡水及河口魚類誌中所記錄之魚類調查資料、中央研究院生物多樣性中心所架構之台灣魚類資料庫及相關國內外文獻，再根據陳義雄、方力行（1999）台灣淡水及河口魚類誌內容中劃分臺灣本島魚類棲息之五個動物地理分區，以各分區中淡水特有魚種之生存適合性作為評估河川生態的標準，制訂各分區上、中、下游河段之流速、水深、底質及水質等 4 種棲地適合度曲線，所得之四區共 48 幅棲地適合度曲線圖（不含第IV區，第IV區無相關河川地形數值資料），作為本文生態定量工具，應用至河川棲地適合度評估。

一、臺灣特有淡水魚種棲地適合度指數的定義

美國魚類及野生動物署(U.S. Fish and Wildlife)於 1980 年發展一套有系統之棲地評價方法來評估開發計劃之衝擊程度，稱之為棲地適宜性分析(habitat suitability analysis)。其應用基礎為建立某特定魚類或野生動物之棲地品質評估架構。本研究將維護台灣本島河川特有淡水魚種之永續生存定義為評估河川生態的標準，並定義台灣河川某種特有淡水魚種某種環境因子之棲地適合度指數為：

$$HSI_{T(f)(c)} = \frac{\text{研究區域棲地狀況}}{\text{某台灣河川特有魚種最適棲地狀況}} \quad (3.1)$$

式中 (f)：代表台灣某種特有淡水魚種

(c):代表某種環境因子，例如流速、水深

HSIT 範圍界於 0 到 1 之間，其中以 0 代表完全不適合該河段原存在之某台灣河川特有淡水魚種的棲地狀況，1 代表該魚種最適合的棲地狀況。依據台灣河川各種特有淡水魚種資料所研判之各種河川環境因子棲地適合度指數 (HSIT)，可進行各台灣河川特有淡水魚類流速、水深、底質及水質等個別棲地適合度曲線繪製。

二、台灣河川淡水特有魚種各區棲地適合度曲線之研訂

本研究採用吳瑞賢等人（2007），以台灣本島 30 種特有淡水魚類作為保育標

的物種群，根據陳義雄、方力行（1999）的研究台灣本島已劃分之五個主要動物地理區(圖 4)，並選定影響魚類生態最鉅之環境影響因子，包括流速、水深、底質與水質等 4 因子，進行彙整分析，進行台灣河川淡水特有魚類棲地適合度曲線之制定，茲將制訂方法與結果分述如下。

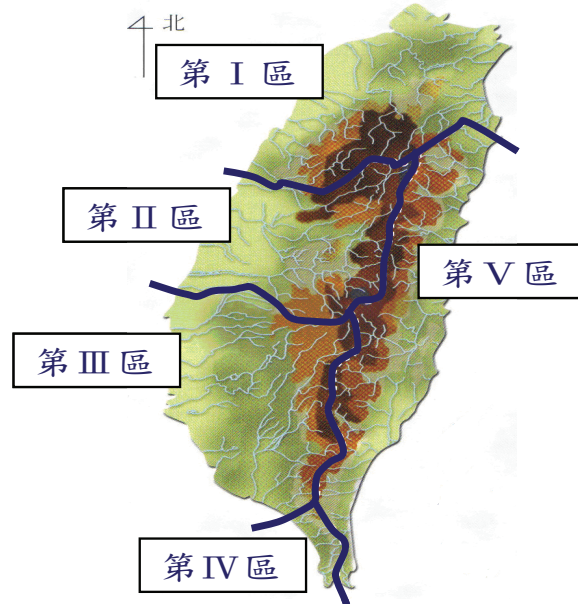


圖4台灣河川淡水魚類之動物地理區域之分布

三、流速適合度曲線之制訂與繪製

依據前文中央研究院生物多樣性中心所架構之台灣魚類資料庫網頁（網址：<http://fishdb.sinica.edu.tw/chi/home.php>）等資料，針對個別標的魚種調查記載之定量數據，繪製流速適合度曲線，將調查資料所涵蓋喜好之最低流速與最高流速範圍設為魚類最適合之流速範圍，此時適合度因子設為 1，將流速適合度曲線上限值訂為 4(m/s)，臨界值適合度因子定為 0，不適合任何台灣特有魚種生存。另對於生態要求標準之高低，研訂（一）生態要求標準最高（限制最嚴苛），使該河段各種淡水特有魚種適合度曲線皆具交集之 Min 適合度曲線、（二）生態要求



標準最低（限制最寬），以該河段各種淡水特有魚種適合度曲線聯集之 Max 適合度曲線及（三）取該河段所有淡水特有魚種之流速棲地適合度指數平均值之 Average 適合度曲線。茲將 Min 適合度曲線、Max 適合度曲線及 Average 適合度曲線之數學式定義如下：

$$HSC_{\text{Min}}(V) = \text{Min} \{ HSI_{T(f_i)}(v) \} \quad (3.2)$$

$$HSC_{\text{Max}}(V) = \text{Max} \{ HSI_{T(f_i)}(v) \} \quad (3.3)$$

$$HSC_{\text{average}}(V) = (\sum HSI_{T(f_i)}(v)) / i \quad (3.4)$$

式中 (f_i)：代表台灣某種特有淡水魚種；(v)：代表流速因子，範圍自 0 m/s 至 4 m/s
i：代表魚種順序，自 1 開始，為整數。

河川工程設計人員或管理者可依預達成河川整治與生態保育之不同目標選用合適之流速適合度曲線，而台灣五地理區各分區之河川上中下游所包含的淡水特有魚種皆不相同，工程師應依治理河段座落位置不同，選用台灣五地理分區之河川上中下游之不同流速適合度曲線圖，以進行生態分析。本研究乃使用所在地理分區各河川上中下游 Average 流速適合度曲線作後續之相關分析。

四、水深適合度曲線之制訂與繪製

水深適合度曲線之研訂方法與流速適合度曲線相同，針對標的魚種所調查記載之定量數據為繪製適合度曲線之資料來源，進行水深適合度曲線繪製。其中水深之下限值訂為 0.1m，乃考慮魚類生存必須保持至少高過魚體高度之水深，避免受天敵侵襲，此時適合度因子為 0，而魚類適合水深也依調查資料所涵蓋最淺水深與最深水深，設為魚類適宜生存之水深高度，爰此時該魚種水深適合度指數為 1。水深上限值則是參考台灣魚類資料庫，根據台灣特有魚種適合生存水深作依據，可概分為 5m 與 10m 兩種水深上限值，此時適合度指數為 0。

水深適合度曲線之整合與流速適合度曲線之整合及運用原則相同，亦比照流速適合度曲線研訂方式，以生態要求標準的高低，使用所在地理分區各河川上中下游 Average 水深適合度曲線作後續之相關分析。

五、底質適合度曲線之制訂與繪製

乃依據美國地質調查局(U.S. Geological Survey)指出，不同河床底質之粒徑大小會改變河川底床粗糙程度，Platts et al. (1983) 已分類成表 2，本項因子之適合度曲線下限值設為 0，此時適合度因子為 0，而各淡水特有魚種喜愛河床底質類型所對應之河床粗糙度設其適合度指數為 1，上限值為河床最大粗糙度 0.5m。由文獻資料所記載之定性描述對應表 1 給予適合度指數值。本研究採用吳瑞賢等人 (2007) 已訂定完成之台灣各動物地理分區底質棲地適合度曲線圖。

表2河川底質粒徑與河床粗糙度之分類

底質類型	大小範圍 (cm)	Roughness height (m)
細沈積砂土、有機碎屑、粘土、泥土、砂土	<2	0.03
礫石(砂礫、碎石)	2~<6.3	0.05
卵石(小礫)	6.4~12.7	0.07
圓石(大礫)	12.8~25.6	0.2
小漂石(小塊石)	25.7~51.2	0.3
大漂石(大塊石)	51.3~204.8	0.5

六、水質適合度曲線之制訂與繪製

乃依環保署應用之河川水質評估綜合性指標「河川污染程度指標, River Pollution Index」簡稱「RPI」表示河川魚種能夠忍受之水質污染程度。RPI 指標係以水中溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD5)、懸浮固體(SS)、與氨氮(NH₃-N)等四項水質參數之濃度值，來計算所得之指標積分值，並判定河川水質污染程度。

依據各地理分區上中下游河段內所有淡水特有魚種可以忍受河川水體污染程度，繪製統合圖，各魚種皆能承受之河川污染程度指標值(RPI)其適合度指標定為 1，其他則依魚種所佔比例數定其指標值。本研究採用吳瑞賢等人 (2007)

已訂定完成台灣各動物地理分區之水質棲地適合度曲線圖。

肆、臺灣河川生態寬度與彎曲特性研析結果

利用選取之 32 個河段進行二維水理棲地 River2D 模式模擬，找出各河段於 WUA 最大值時之流量及覆水平均寬度，利用統計方式推求臺灣河川所需生態寬度；另並利用 32 河段中屬蜿蜒者進行臺灣河川彎曲型態之相關的量化分析。

一、臺灣河川生態寬度 (Ecological river width) 的定義及推求

(一)臺灣河川的傳統治理與天然河川型態

臺灣的河川特性特殊，在臺灣早期刊物如 1966 年臺灣銀行出版的「臺灣研究叢刊第八種-臺灣之河川」即提出有坡陡流急、豐枯差異大等特徵，因此在治導時應分段以不同方式施行之，不可僅建造堤防及護岸，效果不大，例如應擇地於河川中游兩岸興建池塘（即目前所稱滯洪池），以調節洪水流量。可惜的是，臺灣過去在經濟發展的四十年中，河川治理的部分並未依循上述精神調整，人定勝天及束水攻砂的理念為過頭的與河爭地及政治妥協下開發河岸邊際效益土地的行為合理化，儘管學界再三的呼籲，我國的許多地區的河川寬度仍因多方勢力的介入而愈來愈窄。

天然河川在斷面常呈現複式型態，而含有主槽、低灘與高灘，流量較小時，水流僅限於狹窄之主槽；中小洪水時水流可漫上低灘；大洪水時，水流則可漫上高灘。低灘與高灘均屬於洪灘，為溢出河槽洪水所挾帶之泥沙淤積而成。洪灘外側為高地或較高之臺地。自然河川之河槽多呈彎曲形，而且隨時間蠕動。低灘為主槽蠕動過程中所留下之跡地。主槽與低灘之合併範圍稱為平灘河槽 (floodplain channel)，由於其行流能力具有特殊之水文特性，因此又稱為水文性洪灘 (hydrologic floodplain)。兩岸高灘之外緣由地形依特定頻率之洪水位來界定，因此所包含之範圍稱為地形性洪灘 (orographic floodplain)。河槽、低灘、高灘及灘緣植生帶成一連續之廊道而稱為河川廊道，為野生動物之自然棲地。安定之河川維持一動態之沖淤平衡，其河槽呈彎曲形且隨時間而蠕動；低灘受中

小洪水之沖淤，高灘則受大中洪水之溢淹。

(二)河川廊道的重要性與本研究河川生態寬度之定義

河川河槽、洪灘及灘緣所形成之廊道為一生態系統，河川廊道亦為野生動物之重要棲地，河川自然演變為廊道，蘊涵並塑造多樣性之河槽地貌，主要反映於河床面與平面型態之動態平衡變化，這些演變導致河槽形成多樣性之流況、床沙與物理特徵，重要之床面形態包括深潭、淺灘、深流及沙洲等；平面型態則包括順直型、蜿蜒型及瓣狀型等，這些形態為水棲生物提供多樣性之棲地。欲探討整個河川廊道生物生態系統來決定廊道所需範圍，範圍過於龐大，難以達成，本文為了尋找臺灣河川廊道所需最小寬度範圍，試圖藉由河槽中最主要復育目標物種-所有臺灣淡水特有魚種之成魚，找出它們所存在河段發生「最大棲地可使用面積」(Weighted Usable Area)時的「河川覆水寬度」，並定義為「河川生態寬度」，簡稱「生態河寬(簡化標記為 Be)」，其理由為該寬度內的河川範圍可於溢淹時皆維持該等成魚優良之連通性及最多之棲地範圍，以供動物遷移、覓食、避難等之用，因此應保持其寬度內河川環境原貌，避免該範圍內人為結構物所形成之障礙或河床變更，如人工填土之高灘休閒地、固床工或深水河槽整流工程及護岸等。

(三)已存在治理計畫使用河寬 (Br) 河段之河川生態寬度 (Be) 推求

本研究求得各河段河川生態寬度建議值與臺灣河川計畫實際使用河寬 (僅 25 河段) 間之對應關係圖 (見圖 5)，由圖中可得知河川生態寬度至少為實際使用河寬 0.4 倍以上，而所有 Be/Br 值之平均值為 0.84，圖中雖有部分河川生態寬度大於實際使用河寬之情況，惟實際使用或治理河寬(Br)已通盤考量河川可能擁有之最大寬度，因此將該種情況視為河川生態寬度等於實際使用河寬 ($Be/Br=1$)。綜上，可概取 0.84 或 0.7 (0.4 至 1 之間平均值) 作為已存在治理計畫使用河寬 (Br) 河段之河川生態寬度 (Be) 代表值，概估其所應保留之原始河寬範圍，藉以改善河川生態。本研究建議使用 $Be/Br=0.84$ 以推動生態保育工

作。

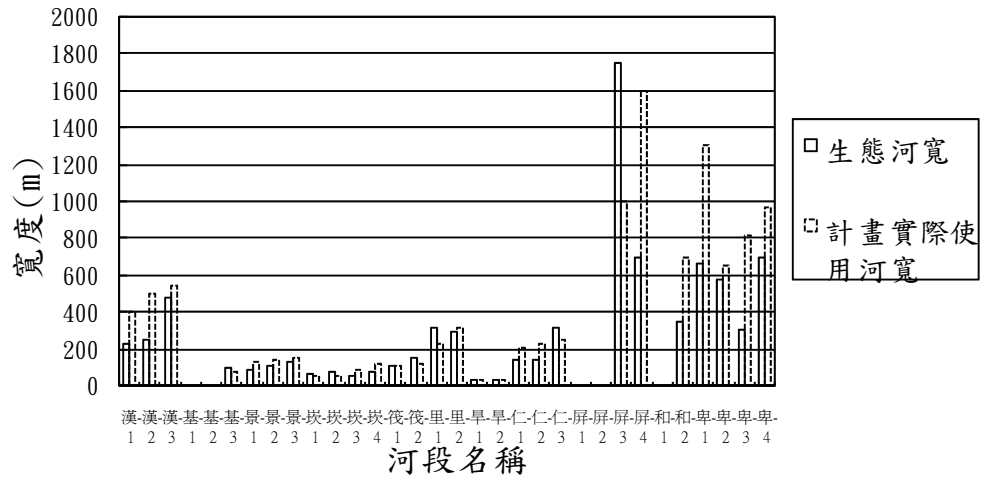


圖5 各河段河川生態寬度建議值 (Be) 與實際使用河寬 (Br) 間對應關係圖
(四)尚未治理河段河川生態寬度之推求

對於尚未治理河段，若要快速求取河川生態寬度建議值，則必須由易於得到的計畫流量 (Q_p) 及計畫河寬 (B_p) 間的關係予以推求，計畫流量的資料可由各河段所屬治理規劃報告中直接取得、計畫河寬的部分可分為兩種，其中一種為治理計畫實際使用計畫河寬 (Br)，另一種為經驗推估值，由前文日本京大公式與經驗公式 ((2.8) 與 (2.9) 式) 及臺灣計畫河寬公式 ((2.2) 至 (2.7) 式) 求取，並擇出其中 Max 及 Min 值作為分析資料。

將前述資料及各河段河川型態及上中下游分類資料，列於表 3，將 32 個河段中之 30 個河段 (筏-1 及里-1 河段，經評估其堤防束水程度已嚴重影響棲地水理，故不納入分析) 以該分類資料使用乘幂或指數式求取河川生態寬度 (Be) 與計畫流量 (Q_d) 關係及與 Max 計畫河寬 ($MaxB_p$) 或 Min 計畫河寬 ($MinB_p$)

間趨勢關係，茲將各種分析敘述如下。

1.先應用所有 30 河段之分析資料求取河川生態寬度（Be）與設計流量關係（Qd）（見圖 6）及河川生態寬度與計畫河寬（Bp）關係（圖 7），而有關計畫河寬中，計畫河寬 Max、Min 為應用京大公式與經驗公式（（2.8）與（2.9）式）及臺灣計畫河寬公式（（2.2）至（2.7）式）所得數值之最大及最小值。由該 2 圖可知，河川生態寬度與設計流量及 Max 及 Min 計畫河寬皆有高相關性，並可得關係式為： $Be = 0.7787 * Qd^{0.6776}$ （ $R^2 = 0.8076$ ）； $Be = 0.1324 * MaxBp^{1.1931}$ （ $R^2 = 0.8054$ ）。

2.將 30 河段以河川型態（順直、蜿蜒及辮狀）及上中下游分類，再以各分類後之河段，求取生態寬度與設計流量關係如圖 8 及圖 9，由 2 圖可知，以河川型態（順直、蜿蜒及辮狀）分類時，河川生態寬度與設計流量關係中，順直型河段有較高相關性，而以上中下游分類時，各分類群組之河川生態寬度與設計流量皆有高相關性，尤其是下游河段，其 R^2 可達 0.92。

3.將 30 河段以河川型態（順直、蜿蜒及辮狀）及上中下游分類，再以各分類後之河段，求取生態寬度與 Max 計畫河寬關係如圖 10 及圖 11，由 2 圖可知，以河川型態（順直、蜿蜒及辮狀）分類時，河川生態寬度與 MaxBp 關係中，仍只有順直型河段有較高相關性，而以上中下游分類時，各分類群組中，中游及下游部分之河川生態寬度與 MaxBp 皆有高相關性，尤其是下游河段，其 R^2 亦可達 0.92。

(五)河川生態寬度之檢討

由前文分析可知，直接使用設計流量（Qd）或是 Max 計畫河寬（MaxBp），即可透過關係式求取生態河寬，尤其是下游河段更有較高之相關性，而與河川型態較無具體關係，一般河川治理皆實施在中下游段，即可直接由各河川原訂之設計流量（中央管河川定於 100 頻率年以上，地方管河川定於 50 頻率年以上）或 Max 計畫河寬求得對應之河川生態寬度（Be），該河川生態寬度之積極意義為在此寬度之內應保留自然狀態，不施作任何工程。

表3 河川生態寬度、滿岸槽寬與計畫河寬及河段分類表

項目/河段名稱	滿岸槽寬 (B) (m)	治理計畫使用河寬 (Br) (m)	Max 計畫河寬 (MaxBp) (m)	Min 計畫河寬 (MinBp) (m)	河川生態寬度 (Be) (m)	河川型態分類	分區/上中下游分類	備註 (有無束水設施影響)
漢-1	150	400	721	326	230	辮狀	第 I 區/中游	無
漢-2	185	500	776	343	250	順直	第 I 區/中游	無
漢-3	200	540	888	375	480	順直	第 I 區/下游	有，微
基-1	55	-	226	92	55	蜿蜒	第 I 區/中游	無
基-2	65	-	231	95	70	蜿蜒	第 I 區/中游	無
基-3	70	80	260	130	100	蜿蜒	第 I 區/下游	有，微
景-1	85	131	286	131	90	蜿蜒	第 I 區/下游	無
景-2	100	136	294	136	110	蜿蜒	第 I 區/下游	有，微
景-3	100	151	315	151	130	蜿蜒	第 I 區/下游	有，微
坎-1	50	50	153	51	60	蜿蜒	第 I 區/中游	無
坎-2	70	50	153	51	80	蜿蜒	第 I 區/中游	無
坎-3	75	90	227	92	55	蜿蜒	第 I 區/中游	無
坎-4	110	120	267	117	80	蜿蜒	第 I 區/下游	無
筏-1	70	110	234	97	110	順直	第 II 區/中游	有，嚴
筏-2	70	120	234	97	150	順直	第 II 區/中游	有，微
里-1	50	230	470	235	320	順直	第 II 區/中游	有，嚴
里-2	50	320	561	280	297	順直	第 II 區/下游	有，微
旱-1	30	30	91	23	30	蜿蜒	第 II 區/中游	無
旱-2	35	35	102	28	35	蜿蜒	第 II 區/下游	無
仁-1	110	210	338	168	145	蜿蜒	第 III 區/下游	無
仁-2	150	230	357	178	140	蜿蜒	第 III 區/下游	無
仁-3	150	250	387	193	320	蜿蜒	第 III 區/下游	無
屏-1	280	-	1173	391	330	辮狀	第 III 區/上游	無
屏-2	580	-	946	391	650	辮狀	第 III 區/中游	無
屏-3	1100	2500	946	391	1750	辮狀	第 III 區/中游	有，微
屏-4	1300	1600	1202	459	700	辮狀	第 III 區/下游	有，微
和-1	100	-	771	315	110	蜿蜒	第 V 區/上游	無
和-2	220	700	770	341	350	順直	第 V 區/中游	無
卑-1	600	650	973	355	650	辮狀	第 V 區/上游	有，微
卑-2	650	650	842	362	580	辮狀	第 V 區/中游	有，微
卑-3	270	810	842	362	300	辮狀	第 V 區/中游	有，微
卑-4	400	970	1173	484	700	辮狀	第 V 區/中游	有，微

註:1. 備註中有無束水設施影響，其意義乃在於分析河段若已治理為河寬窄且具高聳束水堤防或防洪牆，水位高時則會變更原有河川地形水理及 WUA 分布，其中(微)-表影響輕微，可納入作為分析生態河寬資料；(嚴)-表影響劇大，不適合納入分析。

註:2. Max、Min 計畫河寬為應用京大等公式所得之最大及最小值。

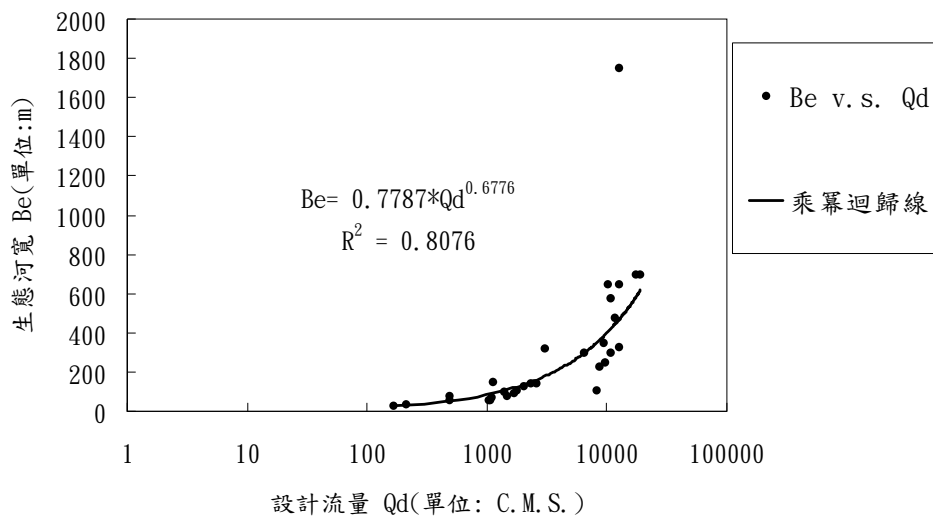


圖6 生態河寬 (Be) 與設計流量關係 (Q_d)

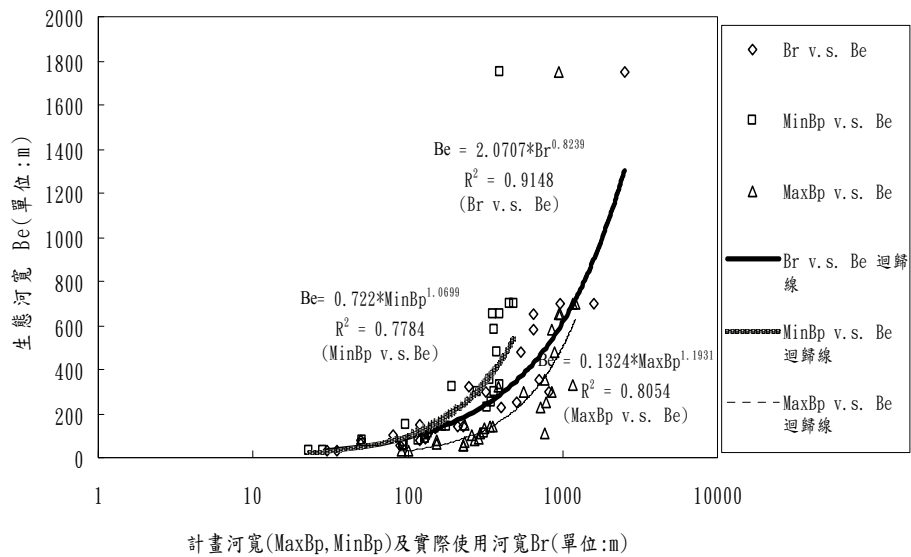


圖7 河川生態寬度 (Be) 與計畫河寬 (Max、Min) 及實際使用河寬關係

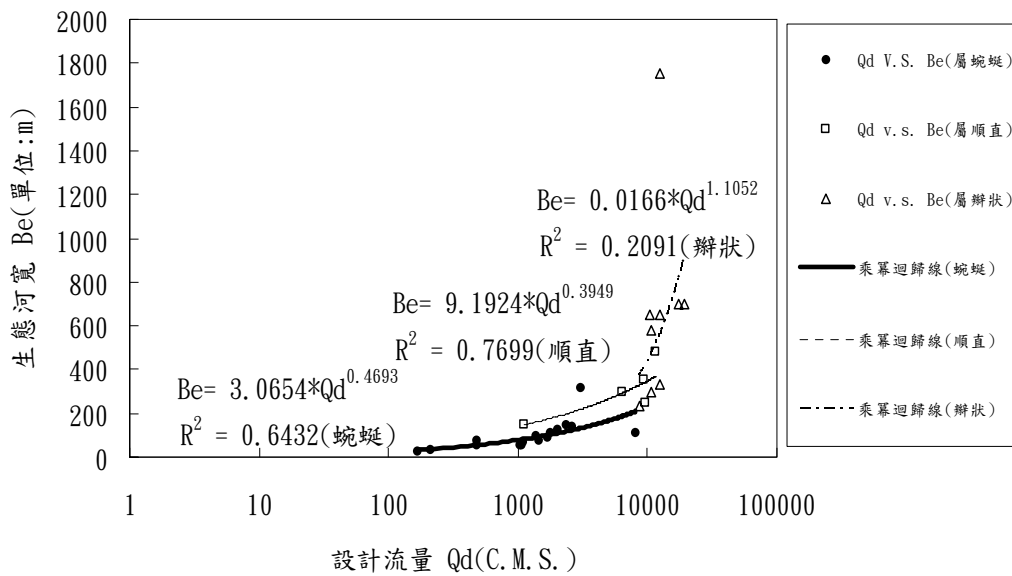


圖8 河川生態寬度 (Be) 與設計流量關係 (Qd) (各河段以型態分類)

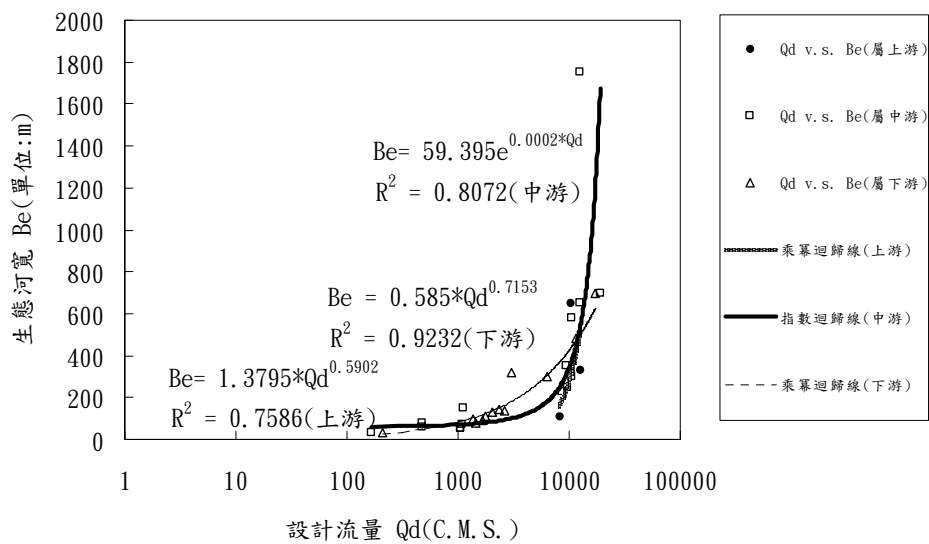


圖9 河川生態寬度 (Be) 與設計流量關係 (Qd) (各河段以上中下游分類)

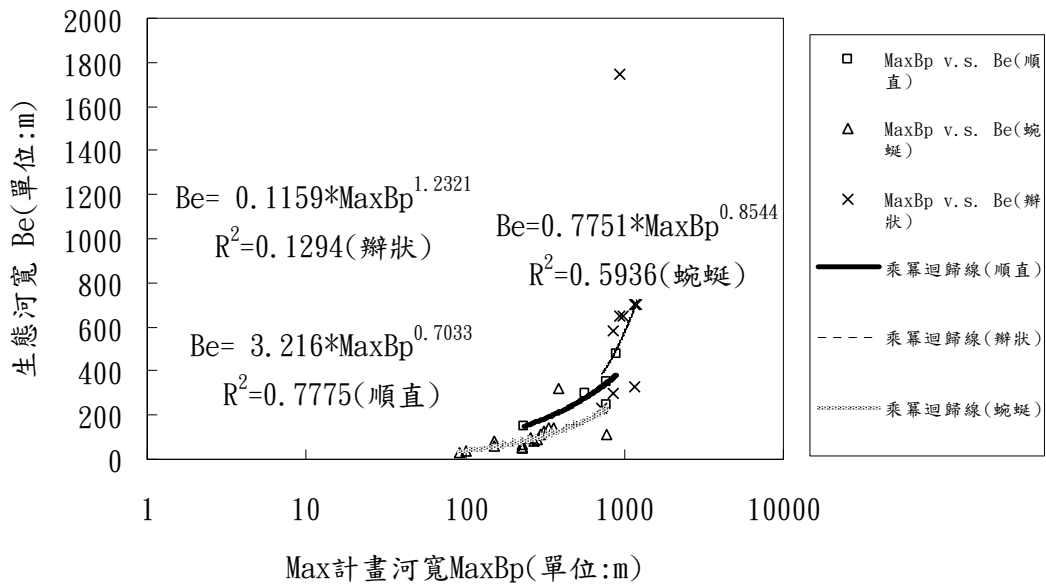


圖10 河川生態寬度與Max計畫河寬 (MaxBp) 關係(各河段以型態分類)

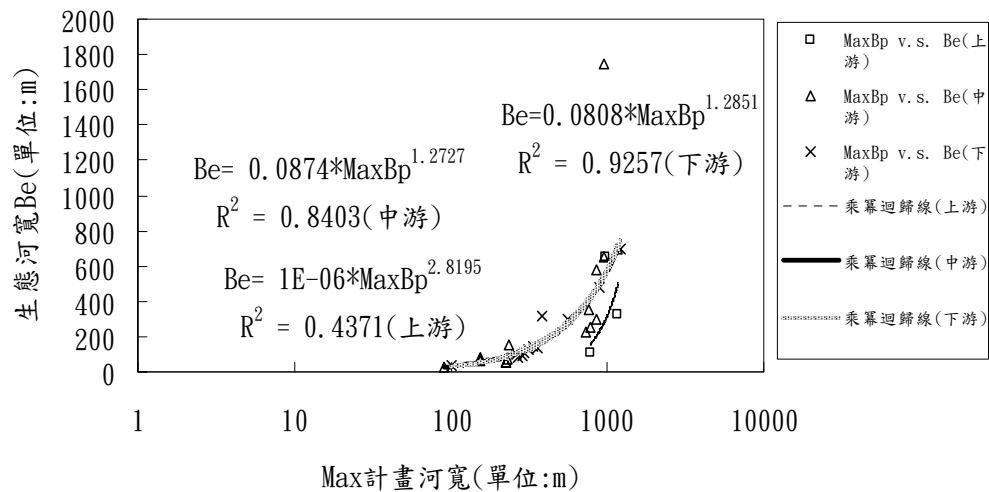


圖11 河川生態寬度與Max計畫河寬 (MaxBp) 關係(各河段以上中下游分類)



二、臺灣河川彎曲量化分析

(一)臺灣河川的彎曲幾何特性分析

彎曲型平灘河槽之幾何特性可用彎曲半徑 (R_c)、彎道中心角 (ϕ)、彎道擺幅 (T)、彎頂距 (λ) 及滿岸槽寬 (B) 來代表 (見圖 12)。求取其值之現有經驗估計公式, 包括 Leopold and Wolman (1960)、Schumm (1977) 及 Hey (1986) 等方法。

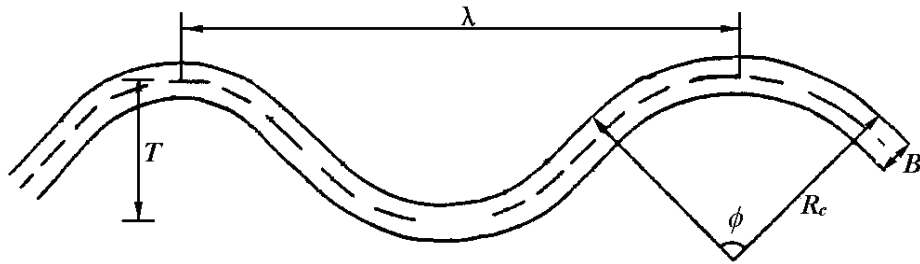


圖12 彎曲型河槽幾何特性示意圖

綜觀上述各種經驗公式, Leopold and Wolman (1960) 利用現場資料建立的關係式使用最為簡便且各參數間皆具關係式, 另各關係式可直接由滿岸槽寬 (穩定河寬) 推求, 不必經由滿槽流量的推估。

Leopold and Wolman (1960) 其間之關係如下:

$$\lambda = 10.9B^{1.01}$$

$$T = 2.7B^{1.1}$$

$$\lambda = 4.7R_c^{0.98}$$

合併公式 4.1 及 4.3 可得 R 為 B 之函數如下:

$$R_c = 2.4B^{1.03}$$

上列公式中之 λ 、 B 、 T 及 R_c 均以 ft 為單位。

由於滿岸流量的決定方式不確定性較高, 各家對滿岸水位之估計方法難於一



致，滿岸流量之估計值也難以完全相同，因此各家研究所對應之洪水頻率也有差異，爰本研究不採用藉由訂定滿岸流量，進行彎曲段的幾何特性推估；本研究參考 Leopold (1994) 依其對美國 Wyoming、Colorado、Idaho 及 Pennsylvania 等州數條河川之測量結果顯示，滿岸流量 (Bankfull Discharge) 之發生期距介於 1~2.5 年之間，乃採用發生期距 2 年之水面覆水寬運算結果，輔以滿槽河寬航照圖判釋，綜合直接求取滿岸槽寬 (B) (見表 3)，再由滿岸槽寬藉 Leopold and Wolman (1960) 公式推估彎曲半徑 (R_c)、彎道擺幅 (T) 及彎頂距 (λ)，與本研究擇取具蜿蜒特性河段實際量取值進行比較研究。

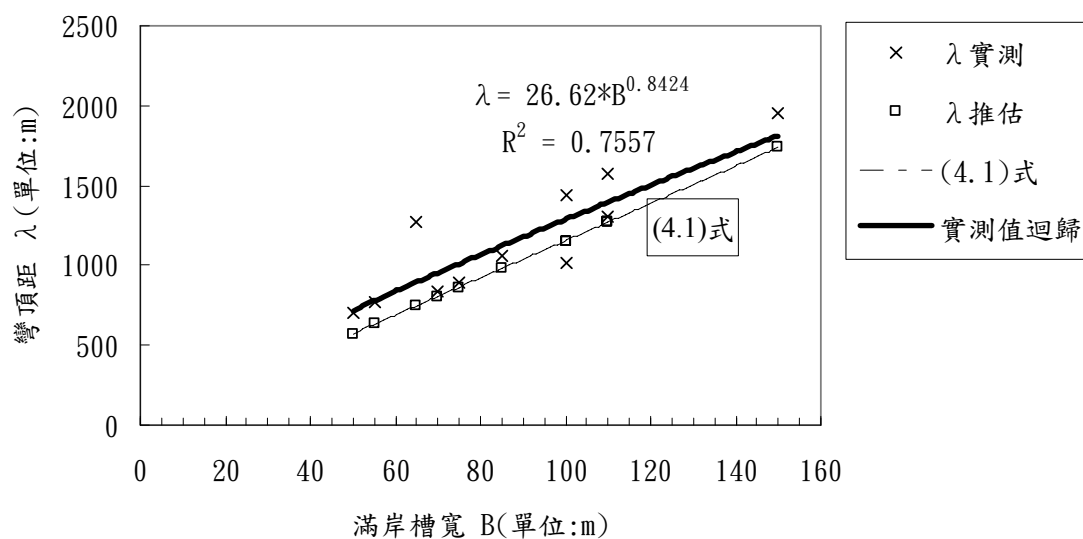
經本研究審視 32 河段後，選擇 11 條蜿蜒度大於 1.2 的河段，並透過 Autocad 軟體量測實際 R_c 、T 及 λ 值如表 4，將實測值與推估值作圖予以分析，可由圖 13 及 14 知，Leopold and Wolman (1960) 之 λ 與滿岸槽寬 (B) 的關係公式 4.1，尚可應用於臺灣本島的河川，但彎曲半徑 (R_c) 與滿岸槽寬 (B) 之關係式，公式 4.4，相關係數 R^2 低於 0.4，似並不適用於臺灣河川。

(二)臺灣河川彎曲段的棲地特性分析

生態學者及景觀學者，經常強調河川應保持原有彎曲特性且應保留周遭腹地，然而顯少相關量化數據可供水利工程師參考，以致於過去在進行河川治理時，常將彎曲段改為直線河段，並將取得的腹地予以開發，給予生態環境極大的衝擊，本研究乃分析 32 河段中彎曲段的棲地分布，發現當流量及水位升高時，各彎曲河段的凸岸腹地皆為良好棲地，表示該區域愈保留原地形對生態環境愈有利，在河川管理時，應列為水利用地保持自然狀態。

表4 各選取河段各彎曲特性實際量測值

河段名稱/ 項目	上游河 心流速 (m/s)	下游河 心流速 (m/s)	平均坡 度(m/m)	滿岸槽 寬(B) (m)	彎曲 半徑 (Rc) (m)	彎槽中 心角度 (ϕ)	彎槽 擺幅 (T) (m)	彎頂距 (λ) (m)
基-1	3	2	0.003	55	127	118°	125	775
基-2	4	3	0.005	65	255	95°	355	1270
景-1	3	2	0.002	85	150	130°	760	1065
景-2	1.5	1.5	0.001	100	276	109°	212	1015
崁-1	3	2.5	0.007	50	234	80°	235	752
崁-2	3.5	5	0.007	70	327	103°	230	835
崁-3	3	2	0.005	75	189	91°	162	888
崁-4	2.5	3	0.003	110	340	117°	379	1307
仁-1	1.5	1.5	0.0002	110	294	138°	250	1576
仁-2	2.5	2.5	0.0001	150	360	97°	1166	1953
和-1	5	8	0.01	100	320	109°	635	1437

圖13 彎頂距 (λ)與滿岸槽寬(B)實際量測與推估值比較關係

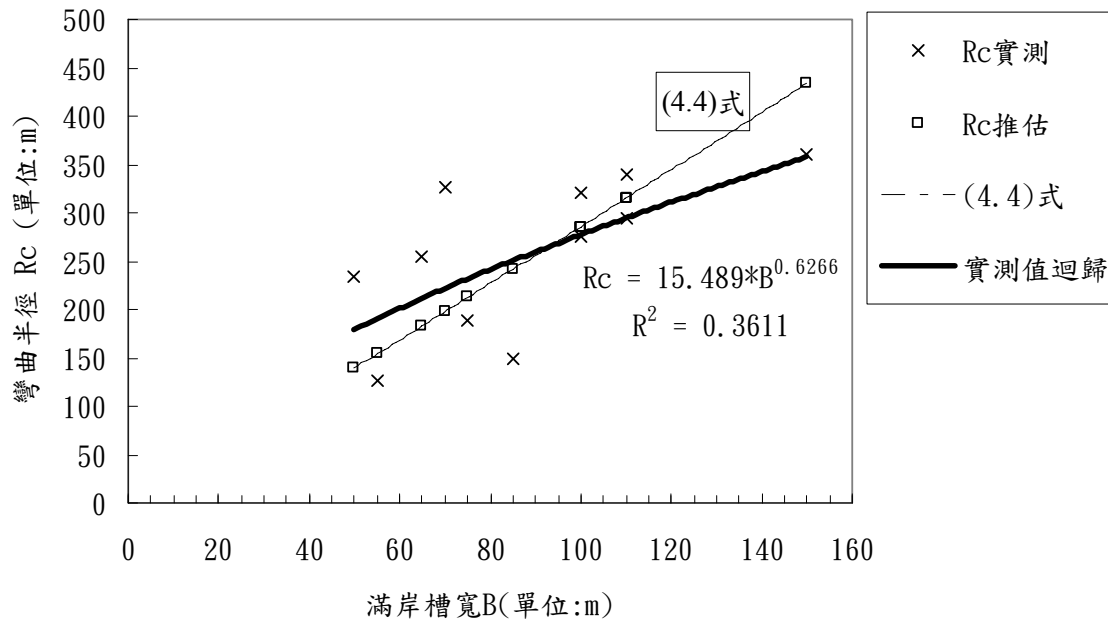


圖14 彎曲半徑 (R_c) 與滿岸槽寬(B)實際量測與推估值比較關係

伍、 結論與建議

為儘速將必要之生態需求納入國內近期已展開之大規模水利工程之中，本研究嘗試處理水利及生態理論間之量化平台問題並找出答案，茲將結論與建議敘述如下。

一、 結論：

(一) 經分析全臺灣本島 32 個河段棲地型態，建議改善已存在堤線之水道內河川環境時，應至少保留設原計畫河寬的百分之 84 作為河川生態寬度 (Be)，維持其原有河川地貌及地形，不予改變。另對於需新建河川防洪構造物河段，建議儘量採用計畫河寬計算公式之最大值 ($MaxBp$) 作為治理計畫線寬度 (Bp)，並以 $Be = 0.1324 * MaxBp^{1.1931}$ 求取治理河段需維持自然狀態的最小寬度。

(二) 以河川型態(順直、蜿蜒及辮狀)分類時,河川生態寬度(Be)與設計流量(Qd)或 MaxBp 關係中,順直型河段有較高相關性,而以上中下游分類時,屬下游河段者,有最高相關性,其 R^2 可達 0.92。

(三) 在河川彎曲量化分析方面,從分析 32 河段中的 11 處蜿蜒河段,發現,Leopold and Wolman(1960)所獲得的蜿蜒河槽幾何特性中,彎頂距(λ)的公式尚可於臺灣適用,但彎槽擺幅與彎曲半徑公式則顯得並不適合;另河川彎曲處的凸岸區腹地,在水位溢槽時皆為優良棲地,在河川管理時,應列為水利用地保持自然狀態。

(四) 本研究所研析的結果,可作為目前政府部門已展開之大規模水利建設計畫,如易淹水地區水患治理計畫之規劃參考,讓水利工程師更藉重生態學界的智慧,使未來營造河川之環境更符合生態理念。

二、建議

本研究的範圍並未考慮河川淡水特有魚種於不同生命階段所需棲地之變化,事實上這方面的量化資料於我國非常缺乏(例如卵、仔魚及稚魚期),另在流速、水深等適合度曲線的上下限值研究、化學方面適合度曲線及生物環境量化等研究,亦顯缺乏,未來建議農業及水利單位應將相關生態經費集中於此,取代相關定性研究。

陸、參考文獻

- 吳瑞賢、毛振泰、溫博文、張楨驩（2004），台灣河川生態基準流量及魚類棲地分布之研究，*中國土木水利工程學刊*，第16卷，第2期，第301-314頁。
- 吳瑞賢、毛振泰、余燕妮（2007），臺灣河川淡水特有魚種各區適合度曲線研訂，*中國土木水利工程學刊*，第19卷，第3期，第413-424頁。
- 沈榮茂、程桂興、尹伯亮（1992），臺灣河川穩定與計劃河寬之初步探討，第6屆水利工程研討會，國立交通大學。
- 翁宇能（1998），「自然生態河川低水流量斷面之合理型態研究」，中興大學水土保持研究所碩士論文。
- 陳義雄、方力行（1999），「台灣淡水及河口魚類誌」，國立海洋生物博物館籌備處。
- 溫博文（2005），「台灣中部河川生態棲地分佈特性及時空變化之研究」，國立中央大學博士論文。
- 經濟部水利處（2000），「台灣重要河川資料冊」，經濟部水利處出版。
- 經濟部水利署（2002），「基隆河整體治理計畫設計洪水量檢討暨其前期計畫及辦理情形」，水利署治理規劃報告。
- 經濟部水利署（2004），「景美溪治理規劃檢討」，水利署治理規劃報告。
- 臺灣省水利局規劃總隊（1986），「大漢溪治理規劃報告」，水利署治理規劃報告。
- 謝暉樟（2002），「大漢溪中游生態基流量推估與棲地改善」，國立中央大學碩士論文。
- Hey, R. D. & Thorne, C. R. (1986), "Stable Channels with Mobile Gravel Beds," *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 8*.
- Leopold, L. B. & Wolman, M. G. (1960), "River Meanders," *Geol. Soc. Am. Bull., No. 71*.
- Leopold, L. B. & Maddock, T. (1960), "The hydraulic geometry of stream

- channels and some physiographic implications”, ” *Professional Paper 252, US Geological Survey*, p.57.
- Leopold, L. B. & Wolman, M. G.(1957), “River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight,” *USGS Professional Paper 282-B*.
- Leopold, L. B. (1994) , “A View of River,” *Harvard University Press, Cambridge*.
- Platts, W. S., Megahan, W. F. & Minshall, G. W. (1983) , ” Methods for evaluating stream, riparian and biotic conditions”. In: *General Technical Report*, INT-138. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, p.70.
- Rosgen, D. L. (1996) , “*Applied River Morphology*,” Wildland Hydrology, Colorado.
- Steffler, P. & Blackburn, J. (2002) , ”*River2D, Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat*”, Introduction to Depth Averaged Modeling and User’s Manual. University of Alberta.
- Schumm, S. A. (1977) , “The Fluvial System,” *John Wiley and Sons, New York*.
- 千山稔，**自然的河川計畫**，理工圖書株式會社，1991.03。
- 山本晃一，**沖積河川學**，山海堂株式會社，1997.07。