

蜿蜒河道之水理與地形因子對河川影響之研究

王永珍⁽¹⁾ 梁昇⁽²⁾

摘要

河道之蜿蜒特性蘊涵著許多待探討之題材，在生態方面可提供生物棲地以做為繁衍棲息場所；在環境景觀方面可形成迤邐俊秀之美景；而在河川水理上更是造灘及形成緩流之重要處所。自然河川之水力條件及其流況大多極不規則，除賴實際觀測及經驗之判定外，尚須藉由各種水理與地形因子如坡度、河寬、水深、河床質、蜿蜒度等的觀察以求得相關之趨勢結果。本文係以烏溪支流樟平溪、貓羅溪及平林溪為例探討河道之蜿蜒特性對河川生態之影響，以對河川棲地復育之合宜性做某種程度之評斷。

(關鍵詞：蜿蜒、蜿蜒度、棲地、復育)

Influences of River Hydraulic and Topographic Factors on Meandering Channels

Yung-Jen Wang

Senior Engineer, 3rd River Basin Management Bureau
Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, Taichung, Taiwan

Sheng Liang

Professor, Department of Soil and Water Conservation
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

ABSTRACT

Meandering characteristics of channels contain many investigable topics. On ecological aspect, it can be offered to be the organism's habitat for propagating and refuging. On environmental aspect, it can be formed to be a beautiful scene, and on hydraulic aspect, it will be a field to make beach and generate slow flow. Most hydraulic condition of natural rivers is irregular. Besides field observation and work experiences, the influences of various topographical and hydraulic factors such as slope,

(1) 經濟部水利署第三河川局正工程司

(2) 國立中興大學水土保持學系教授

river width, depth, and sinuosity must be also assessed. This study investigates the influences of hydraulic and topographic on meandering channel characteristics, and investigates the suitability of adopting the field of habitat restoration by Chanpin River, Maolo River, and Pinlin River in Nanto area of central Taiwan.

(**keywords** : meandering, sinuosity, habitat, restoration)

前言

利用不同型態河川之水理與地形因子對棲地環境影響以分析棲地之合宜性是亟待探討的問題，藉河川蜿蜒度(Sinuosity)及滿岸流量(bankfull discharge)情況下之平均水深、平均流速、水面寬、坡度、淹水速度與面積等水理因子推估綜結出相關性，應用到河段之復育可獲得較具體之結果。其中在蜿蜒河道中隨不同河段而產生較明顯變異之水理與地形因子為「蜿蜒度」及「坡度」等，本文乃利用蜿蜒度之大小情況及魚類群聚度等之相關性分析棲地之適宜地點。

文獻回顧

河川依型態分類可分為直線(straight)、蜿蜒(Meandering)、及辮狀(Braided)。Lepold 及 Wolman 調查指出在天然河道中並無真正直線河川，雖然偶可見平直之河岸，但河床線往往呈輕度之蜿蜒，河川地形學家以蜿蜒度(Sinuosity)來判別直線河川與蜿蜒河川，一般河川之蜿蜒度在 1~3 之間，s 在 1.3 以下可定義為直線河道，s 在 1.3 以上可定義為蜿蜒河道，s 大於 2.0 者常會進一步演變為辮狀河道。，蜿蜒河道生態系較豐富，直線河道次之，辮狀河道則步入衰敗。Lepold, Wolman 及 Miller 等於 1964 年建議採蜿蜒度 1.5 為蜿蜒與直線之分點。

蜿蜒度之定義如圖 1 所示有下列幾種，分別是：

(1) 地形蜿蜒度(Index of topographical

sinuosity) , Mueller, 1968 年提出。

地形蜿蜒度=河谷長/飛行距

(2) 水力蜿蜒度(Index of hydraulic sinuosity) , Leopold and Wolman, 1957 年提出。

水力蜿蜒度=河道長/河谷長

(3) 河川蜿蜒度(River sinuosity index) , Luchisheva, 1952 年提出。

河川蜿蜒度=河道長/飛行距



圖 1. 不同定義之蜿蜒度中各量度值之定義 (劉, 1995)

Figure 1. Diagram of defining different sinuosity.

蜿蜒河川的流路彎曲而呈 S 型，Lane 以較嚴密的定義即河道平面路由明顯之彎道上下相互反彎而成，其形成不受通過地表土質所牽制而能自由向下游移動之河川。蜿蜒河川在每一彎道有深潭，彎道與彎道間有一段很短之連接槽(Shallow Crossing)相聯，上

下兩彎道由連接槽連接成 S 狀。如圖 2 所示彎道之河槽略呈三角形狀，豁線偏於凹岸而在凸岸形成突出沙洲，在連接槽處河槽斷面呈較寬淺之近矩形斷面，在低水流時連接槽坡降較大而流速亦比深潭處快，在高水流時，豁線有向河中移動而拉直之趨向。圖 3 顯示流路平面及河槽斷面，並可顯示深潭、突出沙洲及連接槽之相關位置，同時在縱斷面圖可看出連接槽水淺而岸邊之冲刷力可能增加。

在直線河道上縱向水流左右兩岸交互偏流，受偏流沖擊的河岸會加速崩坍，水流挾帶泥沙後部份淤積於下游凹岸之沙洲上，而加劇彎曲之形成。蜿蜒度視河岸受冲刷程度而定，易冲刷河岸蜿蜒度大，又河岸地質均勻與否可影響彎曲度(Curvature)

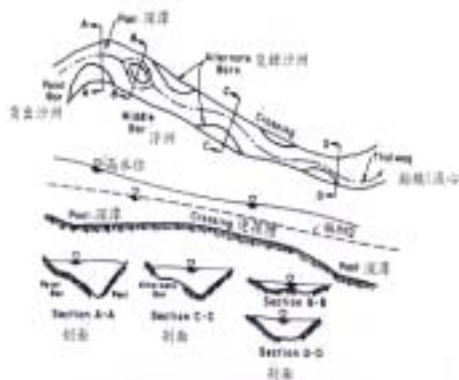


圖 3. 蜿蜒河川平面縱斷與橫斷面圖
 (Daryl B. Simone, 1977)

Figure 3. Plan view and cross section of a meandering river.

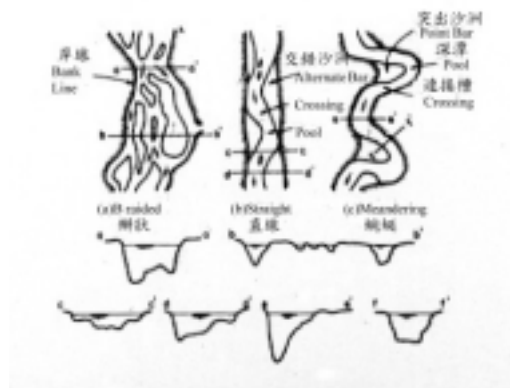


圖 2. 河川型態分類(Daryl B. Simone, 1977)
 Figure 2. River channel patterns.

Thorne 等(1983)以一種二維電磁流速儀測量互相垂直的流速分量對福里佛河低水位時作了彎道水流的水力學量測，彎頂及反曲點之量測結果如圖 4。此結果說明反曲點附近環流通常較弱，其特徵是出現多個分支。

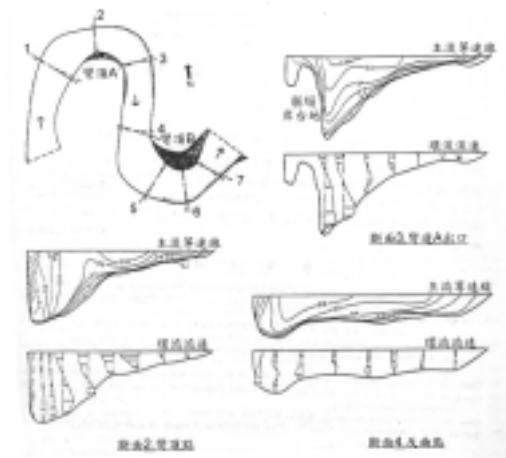


圖 4. Thorne 1983 年量測福爾里佛河段及三個斷面上的主流和環流流速(張,1990)
 Figure 4. Primary current and circulation of three cross-section on Furlifo River.

河川受地形、流量、坡降等之變化會產生型態之變遷。Khan 於 1971 年指出河川蜿蜒度(Sinuousity)及縱坡(Slope)對河川型態有

如圖 5 所示之關係。

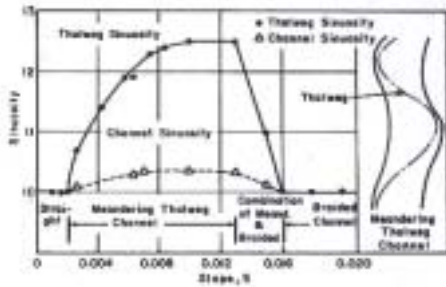


圖 5. 蜿蜒度與坡降關係(Daryl B. Simone, 1977)

Figure 5. Sinuosity versus slope.

Lane 在 1957 年研究美國河川發現河川型態與流量(Q)及縱坡(S)之間有密切之相關，其關係可以下式表示，它將美國沙質河川之資料點繪如圖 6

$$SQ^{1/4} = K$$

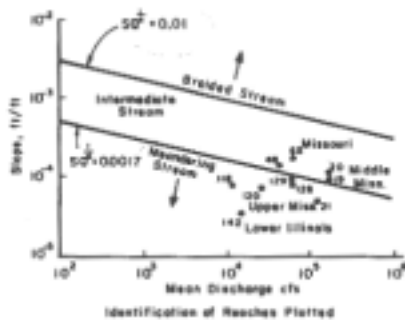


圖 6. 各種型態河川坡降與流量關係(Daryl B. Simone, 1977)

Figure 6. Slope-discharge relation for braiding or meandering in sand bed river)

Leopold 發現坡降與流量有如下關係

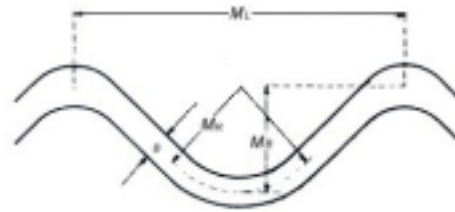
$$S = 0.06Q^{-0.44}$$

式中流量為滿槽流量，S 為計算所得坡降，如果實地坡降比上式所得 S 小，則河道屬於蜿蜒型態，否則屬於辮狀型態。

Inglis 認為河道蜿蜒度與河寬有密切之關係，並歸納其關係式及示意圖(圖 7)如下

$$M_L = C_i \sqrt{Q}$$

式中 $C_i = 15 \sim 30$ 間， $M_L =$ 蜿蜒長度
 $M_L/M_B = 2.5$



其中

M_L Meander length 蜿蜒度

M_B Meander width 蜿蜒寬

M_R Meander curvature 蜿蜒半徑

圖 7. 蜿蜒有關定義圖

Figure 7. Diagram for defining sinuosity.

彎曲河段之水理由離心力之二次流關係所誘導彎曲段水流運動式如下：

$$V \frac{dV}{dR} - \frac{U^2}{R} = -g \frac{dh}{dR}$$

式中 $U =$ 水流方向流速； $R =$ 水路中心半徑， $V =$ 與水流成直角方向之流速； $h =$ 水深
Boussinesq 誘導出摩擦流速之增加率之關係式為

$$\frac{U_*'}{U_*} = \sqrt{K}$$

$$K = 1 + \frac{3}{4} \sqrt{\frac{B}{R}}$$

式中

U_* = 水路直線段之摩擦速度

U_*' = 水路彎曲段之摩擦速度

由上式計算結果如下圖及下表
不同福祿指數與 R/B 變化之 h/h 值

表 1. 依福祿數 F 與 R/B 變化之 h/h 值

Table 1. h/h of Froude number to R/B.

F R/B	0.3	0.5	0.8	1.0	2.0
1	0.08	0.23	0.59	0.92	3.68
2	0.04	0.12	0.31	0.49	1.96
3	0.03	0.08	0.21	0.33	1.31
5	0.02	0.05	0.13	0.20	0.80
10	0.01	0.03	0.06	0.10	0.40
20	0.005	0.01	0.03	0.05	0.20

F=0.8 時

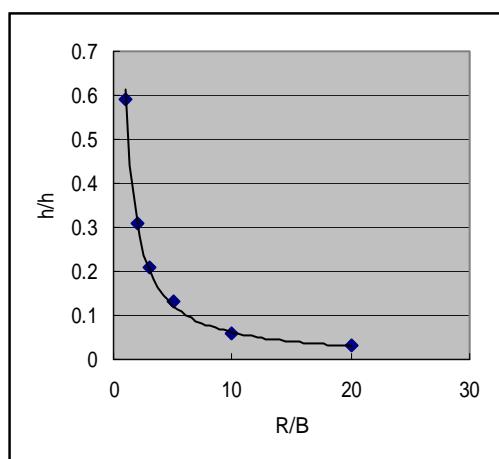


圖 8. R/B 與水位上昇率關圖

Figure 8. diagram of R/B to stage raisen ratio.

由以上計算結果 R/B<3 在彎曲段水面隆起，局部性摩擦流速顯著增加。R/B 與河槽比降或寬深比成正比，其中值大約為 3.0，亦即比降較小的河流更具有急劇彎曲之可行性，此時的寬深比也較小(張,1990)。

分析方法

一、生物指標及棲地需求

依生物來判定其環境狀態或環境構成要素稱之為「生物指標」，除可依此反應水質外，亦得藉以從中了解河床底質、流路型態、濱溪植生、周邊陸域環境等影響因素。

魚類是河川生態體系中之消費者，以攝取水生植物、底棲動物、漂流動物、有機物碎屑甚至同類為生，受河川型態、水深、流速、水溫、底質、護岸、水質等水環境影響，屬食物鏈之上層，故常被視為河川生物指標。

河川魚類的生活受水流、溶氧、溫度、光線、食物等諸多環境因子的影響和控制。就生態學角度觀之，魚類的分布是對生活棲地的選擇和適應(殷,1998)。不同之魚類各有其好惡之棲息環境，例如溪流中的台灣鏟額魚在緩流區的砂質河床上產卵，幼魚一孵化就有相當之游泳能力，但為了避免被掠食者捕食，常群集在岸緣溪流內遮蔽物較多的地方，隨個體成長又遷入流速較快且佈滿著生矽藻的巨石區覓食。

本研究僅針對一般魚類共同適宜之棲地空間為主軸，並非探討單一或特有種魚類之適宜棲地。一般而言創造水中生物共同之生存空間基本上應確保以下各點(楊,2002)：

(一) 棲息場

1. 陸地

蘆葦群、茅草群、樹林地、樹蔭、低莖草木地、灌排水路。

- 2.河岸
 - 砂礫地、泥濕地、溝渠、灣邊、多孔質護岸、砂洲。
- (二)避難所
 - 1.平時隱藏所
 - 低水護岸凹洞、水際植物、土砂堆積緩傾斜側岸、水流平穩之淵、溪水緩流處。
 - 2.水量增加時之臨時避難所
 - 臨時避難所位於平時隱藏所附近的淤水域，水量減少時會積集樹枝及垃圾、土砂之處。
- (三)產卵地
 - 上游湧水礫床；中下游合流點或彎曲處；河川構造物周邊；下游灣邊或水草帶等皆為適合產卵處。

(四)迴游路

而環境因子造成之影響悠關魚類族群在河川中的地理分布，尤以海拔高度與溪流坡度等。葉明峰(2000)等以清水溪為例，選定 14 個採樣站做研究，發現各採樣站魚種數與海拔之關係如圖 9 上圖所示，二者呈極顯著之負相關，即愈往上游魚種愈少。各採樣站魚種數與溪流坡度之關係如圖 9 下圖所示，二者亦呈顯著負相關，即隨著溪流坡度的增加，魚種數有愈來愈少的現象。

各採樣站歧異度與海拔高度之關係如圖 10 上圖所示，二者呈極顯著負相關，由於歧異度是魚種數和漁獲個體分散均勻狀態的綜合指標，此一結果顯示魚類群聚結構受採樣位置海拔高度影響是極顯著的，即魚類群聚歧異度有隨海拔高度升高而遞減的趨勢。各採樣站歧異度與溪流坡度之關係如圖 10 下圖所示，二者亦呈極顯著之負相關，顯示溪流坡度對魚類群聚歧異度有顯著負面影響。

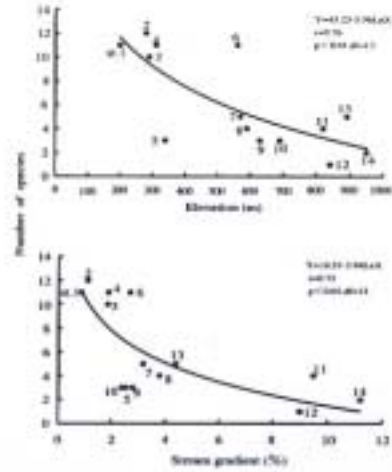


圖 9. 魚種數與海拔高度及溪流坡度之關係 (葉等,2000)

Figure 9. Relationships of the number of fish species to elevation(upper figure) and to stream gradient(lower figure).

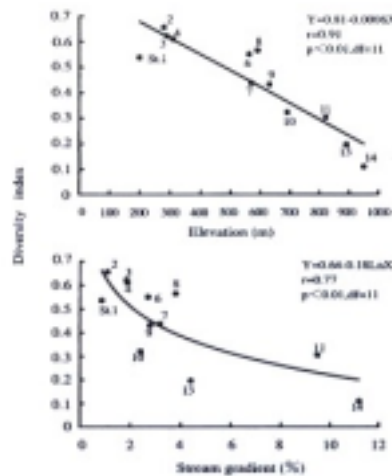


圖 10. 魚類群聚歧異度與海拔高度及溪流坡度之關係(葉等,2000)

Figure 10. Relationships of diversity index to elevation(upper figure) and to stream gradient(lower figure).

以上結果符合「河川魚種及種歧異度通常是由上游往下游漸增」(王、邵,1997)之理論,其乃因於海拔愈高其坡度愈陡,而坡度影響流速,流速與流量亦會影響河川魚類群聚結構(Gorman and Karr,1978),抗流性較佳者對流速之適應範圍較廣。圖 9 下圖及 10 下圖顯示在坡度最緩處之斜率最陡,隨坡度之增加斜率開始趨緩,亦即在低海拔坡度較緩之地區河川魚種及種歧異度變化較顯著。

本研究所選定之河川皆位於海拔三百公尺以下,坡度低於 2%,對照圖 9 及 10,明顯得知為魚種數及種歧異度變化敏感度較高區域,倘再結合其它水理、地形因素做綜合性之分析,對於棲地復育計畫及地點選定可得更客觀之結果。

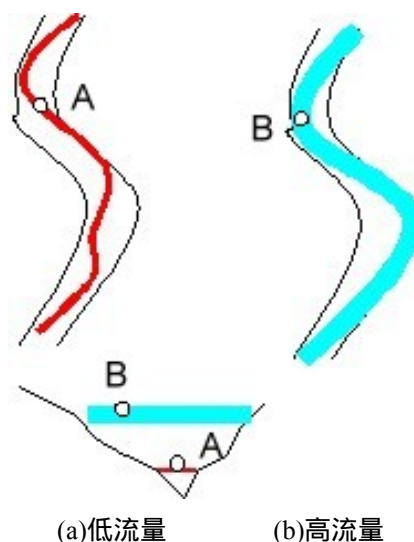
二、各項水理因素之相關性

影響河道蜿蜒型態之因素如坡降、河道滿岸流量、河床質、橫向侵蝕及河身可能之沖蝕度(degree of erodibility)等。

河道蜿蜒型態與趨勢除提供分類外,它也提供另一種資訊如圖 11。低流量與高流量之主流心位置可能不同,這個不同也說明河道中洪水平原的重要性。

河川的蜿蜒是河水橫向侵蝕的成果。在自然界中安定河川的彎曲度(sinuosity)與河川的坡降呈負羣方關係(如圖 12)。故坡度如愈緩,河川愈形蜿蜒,是以固床潛壩或攔砂壩,尤其系列固床工或系列攔砂壩,這些造成緩坡效應的結構物均會因快速淤積而造成上游面的加寬潛勢,是以岸蝕隨之不絕。跟據 Rosgen(2002b)觀測到圖 13 之資料,河岸邊的剪應力影響倍率約有 10 倍,土壤可

蝕性影響倍率約有 10 倍,而造成實際岸蝕量達倍率 100 倍之差距。而且河道上難見深淵,河川形態一直變(河川形相類型演變)。究其原因乃河岸邊的剪應力(boundary shear stress)增強顯然係引發次生流(secondary circulation)造成高剪應力區與低剪力區間高流速梯度,如圖 14。高流速梯度愈近河岸則愈易造成河岸沖蝕。



(a)低流量 (b)高流量
圖 11. 河道上不同流量的流心剖面
Figure 11. Profile of different flow on channel.

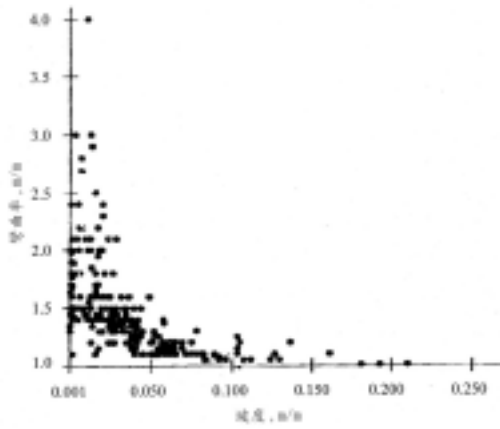


圖 12. 自然安定河川蜿蜒度與河川坡降之關係(Rosgen, 2002b)

Figure 12. Relationship of sinuosity and slope in natural river.

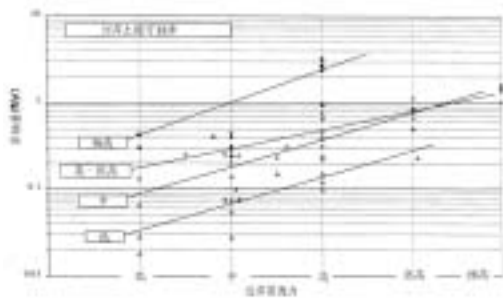


圖 13. 河岸邊的剪應力、土壤可蝕性與實際岸蝕量之關係(Rosgen, 2002b)

Figure 13. Relationship of streambank erodibility and stressing the near-bank region vs. measured streambank erosion rates.

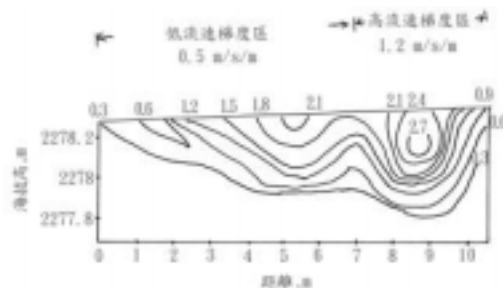


圖 14. 岸邊流速梯度變化。

Figure 14. The gradient of streambank velocity.

因此，任何構造只要能降低近岸的應力，即可降低岸蝕的功效；並沒有必要利用構造物本身直接身陷高流速梯度區。任何工法如果能將流速梯度之動能轉移到製造河道上深淵、輸送泥沙與輸送流水，就是優良工法。

滿岸流量 (Q_{bkf}) 對河寬(W)與河深(D)的關係如圖 15，可與橫斷面 (A) 所得之河寬與河深相核對；淵距對滿岸寬的比值與河床坡降 (S) 的關係如圖 16；河川滿岸流量下滿岸剪應力與最小石頭粒徑關係圖如圖 17 設計；可得適當淵距與滿岸流量下不發生淤積之流量與壩材料粒徑之選擇。

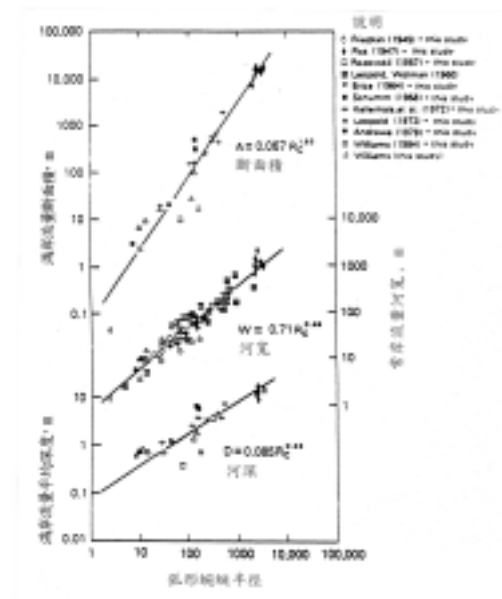


圖 15. 滿岸流量下流量對河寬(W)與河深(D)的關係 (Williams,1986)

Figure 15. Relation of channel dimensions to meander-bend radius of curvature.(After William, 1986)

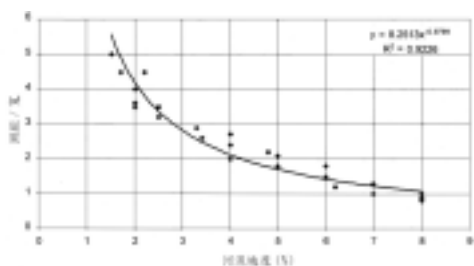


圖 16. 淵距對滿岸寬的比值與河床坡降的關係 (Rosgen, 2002b)。

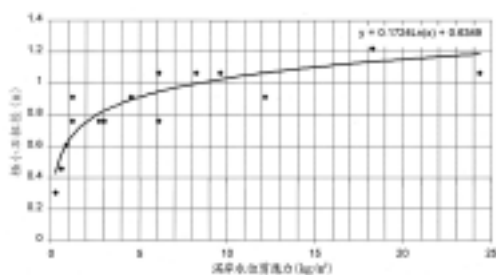


圖 17. 河川滿岸流量 0.56 cms 至 113.3 cms 範圍內滿岸剪應力與最小石頭粒徑關係圖 (Rosgen, 2002b)。

三、蜿蜒度-坡度圖之製作原則與分析方法

本研究以烏溪支流樟平溪、貓羅溪及平林溪(見圖 18)為例探討河道之蜿蜒特性對河川生態之影響，以判別河川棲地復育河段之合宜性。

文所述及之蜿蜒度將之定為河川蜿蜒河段之起迄點間沿河道中心線之長度除以兩點間之直線距離。

以單位河段求其蜿蜒度，單位河段選定須遵循一定原則以確保資料之客觀性。

(一) 蜿蜒河段之選取

河川沿下游往上游依流路路徑逐一選取 1/5000 航測圖各蜿蜒河段起迄斷面

1. 河川路徑劃過半圓形(或接近半圓形)後經過一反曲點反轉且劃過另一半圓形(或接近半圓形)之一單位河段，亦即每間隔兩個反曲點間之河段，簡而言之，當形成一狀似 S 形之河段則視為一單位河段，但反轉前後之曲率半徑可不必相同。
2. 單位河段亦可定義為波峰與波峰間或波谷與波谷間。
3. 起迄點除依上述二種原則外，另應儘量選擇靠近已測設完成之斷面。
4. 貓羅溪軍功橋上下游業經人工開鑿筆直且平緩之低水河道，已失去自然河川之河性，故附近河段之各筆資料捨棄以確保客觀分析。

(二) 計算蜿蜒度

1. 求取選定之起迄斷面依原測量資料計算兩斷面之河心距。
2. 依各斷面左右斷面樁座標得斷面中心點座標，藉以求取兩斷面間之直線距離。
3. 由河心距/直線距得蜿蜒度，蜿蜒度倘過大，該組資料會極度異常而偏離趨勢線，本研究以 2.2 為上限，超過此值則拆成二段分別求取各別蜿蜒度。

(三) 坡度之取用原則

定為滿岸流量(bankfull discharge)之水面線坡度，亦即在滿岸流量時起迄斷面水位差除以河心距可得該河段縱向坡度。滿岸流量在美國西部常以 1.5 年頻率之重現期距為準，然國內之洪水演算通常僅含 1.11 年,2 年,5 年,10 年,25 年,50 年,100 年,200 年，1.5 年頻率尚未被使用，故常以 2 年洪水重現期距(即每年發生機率为 50%)取代之，本研究重新以 Hec-ras 模式作 1.5 年頻率重現期距之水理演算。

(四) 以 Excel 軟體點繪各筆資料並求其趨勢線

- 1.分別以蜿蜒度為縱軸，坡度 $\times 1000$ 為橫軸，點繪貓羅溪及平林溪、樟平溪、筏子溪等之蜿蜒度-坡度圖並求取趨勢線。
- 2.綜合各溪所有資料求得整體蜿蜒度-坡度圖及趨勢線。

(五)曲率半徑製作原則

- 1.河川沿下游往上游以 1/5000 航測圖依流路路徑逐一選取各弧，但流路角度呈直角或銳角轉彎而非圓弧狀時則略過不取，以免誤差過大，影響分析之準確性。
- 2.以量角器逐一量測各圓弧之左右兩切

線之夾角及以比例尺量取切線長，再依 $r = p \cdot \tan(\theta/2)$ ，其中 r 為該弧之曲率半徑， p 為切線長， θ 為兩切線夾角。

- 3.量角器量取夾角及比例尺量取切線長受人為影均會產生誤差
- 4.流路呈不規則狀時以流心為準取弧

(六)棲地適宜性分析

依據蜿蜒度、坡度、魚類群聚度、彎曲度等之相關性曲線分析比較其優劣得失選定可供復育河段，但水質、水溫 等則俟地點選定後再予考量。

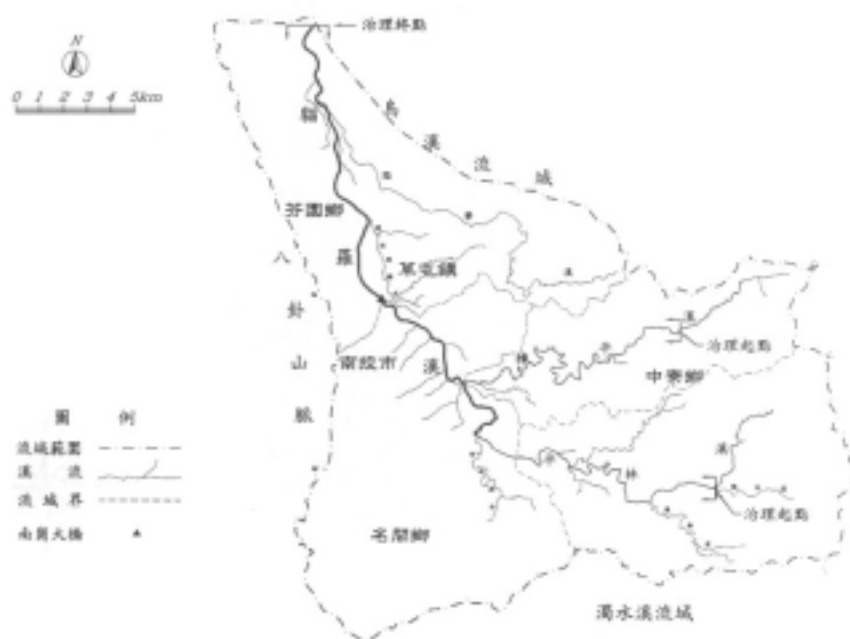


圖 18. 貓羅河流域圖

Figure 18. Basin of Maolo River.

結果與討論

- 一、經以蜿蜒度為縱軸，坡度 $\times 10^3$ 為橫軸，點繪貓羅溪及平林溪、樟平溪等全部資料之蜿蜒度-坡度圖並求取趨勢線如圖 19-21，可發現圖 21 總趨勢線呈反平方曲線之型態，與 Rosgen 所提出之自然安定河川蜿蜒度與河川坡降之關係圖(圖 13) 極為相似，故可證明以下三條溪滿足坡度愈緩，河川愈蜿蜒之規律。
- 二、再參酌圖 9 與圖 10 葉明峰等之研究成果呈現之趨勢 - 即魚種及魚類群聚歧異度等皆與坡度成反平方關係，綜合圖 12 之結果可推論河川愈蜿蜒之處其魚種及魚類群聚歧異度愈豐富。
- 三、參考 Lepold, Wolman 及 Miller 等於 1964 年建議採蜿蜒度 1.5 為蜿蜒與直線之分點。貓羅溪(含平林溪)之蜿蜒度 >1.5 者計有(1)斷面 30~34 間(2)斷面 37.2~40 間(3)斷面 42.2~43.2 間(4)斷面 45.1~47 間樟平溪之蜿蜒度 >1.5 者計有(5)斷面 7~9 間(6)斷面 16~17 間 (7)斷面 16.2~17.2(8)斷面 22.1~25.2 間。
- 四、各斷面區間代表位置之地形特徵
 - (一)貓羅溪及平林溪
 - (1)斷面 30~34 間—綠美橋上游至振興橋上游，振興橋以下兩岸有水泥堤防。
 - (2)斷面 37.2~40 間—兩岸為山區
 - (3)斷面 42.2~43.2 間—兩岸為山區岩壁
 - (4)斷面 45.1~47 間—兩岸為山區岩壁
 - (二)樟平溪
 - (5)斷面 7~9 間—兩岸為山區
 - (6)斷面 16~17 間—兩岸為山區
 - (7)斷面 16.2~17.2 間—兩岸為山區
 - (8)斷面 22.1~25.2 間—兩岸為山區岩壁

由以上觀察(1)乃平林溪初進入平原(自該處起改稱貓羅溪)地帶，因坡度變緩，開始產生蜿蜒。(2)~(8)大多是兩岸為山壁或岩壁，河流位於其間受山壁影響而東蕩西逸造成蜿蜒。另樟平溪初進入平原帶之斷面區間為斷面 03~06.1，其蜿蜒度達 1.46 趨近於 1.5。故可得與(1)相同之結果。據此吾人可得以下結論：

1. 河川由山谷入平原處因坡度突變緩，河川於此時開始漸形蜿蜒，此外山壁之屹立而強迫河道轉向亦會形成蜿蜒，兩種蜿蜒形態均滿足圖 12 之趨勢。
2. 在(3)(4)(8)中由於兩岸均為山壁地帶，河岸堅硬不易受沖，河川受地形約束而被強迫轉向而產生蜿蜒，其蜿蜒度均甚大，分別為 1.76；1.79；1.91。
3. 依據前推論河川愈蜿蜒之處坡度愈緩，其魚種及魚類群聚歧異度愈豐富，當河川經計算蜿蜒度並觀察與坡度之趨勢圖滿足圖 13，則各蜿蜒河段基本上均可大膽假設在水理及地形之需求上為較佳復育河段。倘若將河床所受剪應力(shear stress)因素考量，剪應力愈小者其河床愈穩固，即棲地愈不易流失，依據表 4，貓羅溪以 22.1~32.1 斷面間剪應力較小；樟平溪則以斷面 25.1~28.1 間剪應力較小，可做為選取生態復育場所之參考。至於應以何因素優先考量宜視實際狀況決定之。

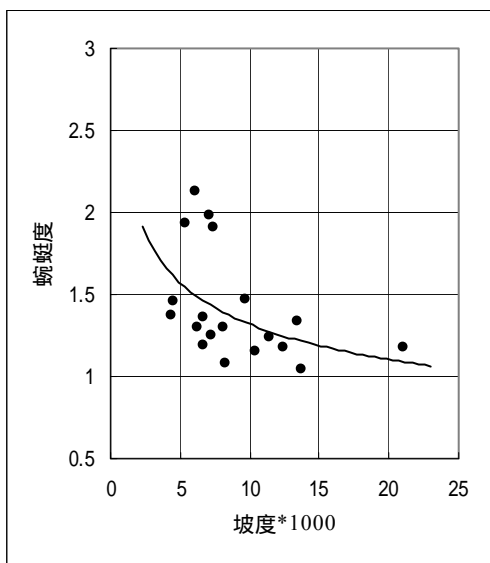


圖 19. 樟平溪蜿蜒度-坡度圖

Figure 19. Diagram of sinuosity to slope for Chanpin River.

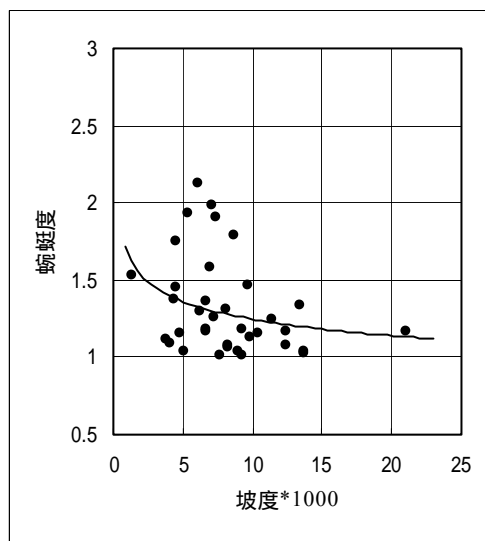


圖 21. 全流域蜿蜒度-坡度圖

Figure 21. Diagram of sinuosity to slope for whole basin.

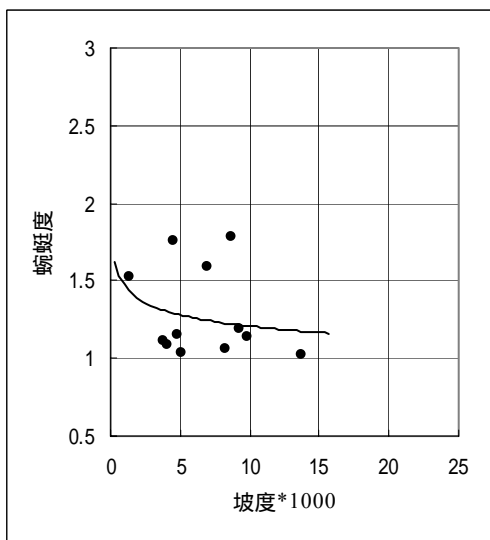


圖 20. 貓羅溪及平林溪蜿蜒度-坡度圖

Figure 20. Diagram of sinuosity to slope for Maolo and Pinlin River.

表 2. 貓羅溪及平林溪斷面位置及蜿蜒度表
Table 2. The section position and sinuosity of Maolo and Pinlin River.

編號	斷面間	蜿蜒度	坡度
1	00~03	1.16	0.00470
2	02~05	1.04	0.00497
3	05~07	1.09	0.00406
4	12~19	1.12	0.00374
5	24.1~26	1.05	0.00065
6	27~29	1.05	0.00042
7	30~34	1.53	0.00130
8	37.2~40	1.59	0.00687
9	42.2~43.2	1.76	0.00439
10	43.2~45.1	1.07	0.00817
11	45.1~47	1.79	0.00867
12	47.1~49	1.14	0.00979
13	49~51	1.19	0.00926
14	52.1~53.3	1.03	0.01368

表 3. 樟平溪斷面位置及蜿蜒度表

Table 3. The section position and sinuosity of Chanpin River.

編號	斷面間	蜿蜒度	坡度
1	03~06.1	1.46	0.00444
2	07~09	2.13	0.00597
3	09~10.1	1.26	0.00725
4	11~13.1	1.19	0.00656
5	13.1~14.1	1.38	0.00428
6	14~16	1.37	0.00657
7	16~17	1.94	0.00534
8	16.2~17.2	1.99	0.00704
9	18.1~19.2	1.31	0.00811
10	19.2~22.1	1.30	0.00623
11	22.1~25.2	1.91	0.00739
12	25.2~27	1.08	0.00828
13	27~28.1	1.34	0.01333
14	28.1~29.1	1.47	0.00962
15	29.1~31.1	1.16	0.01031
16	31.1~33	1.05	0.01372
17	28.2~32.1	1.25	0.01133
18	33~35	1.18	0.01239
19	35.1~38	1.18	0.02095

五、生態基流量之探討

應用歷史流量統計評估法進行水文分析求取研究河段之流量統計特性，然後依據評估標準選取河川生態基流量。台灣地區盛行以日流量延時分布曲線時間百分率 95%所對應之日流量 Q_{95} 為河川生態基流量。本研究地區僅貓羅溪南崗大橋設有水位站，其流量延時曲線依據前經濟部水利處八十九年一月台灣地區河川流量延時曲線蒐錄如圖 22:依圖示時間百分率 95%之流量對應為 1.90。

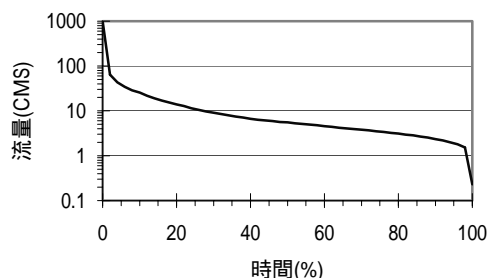


圖 22. 貓羅溪南崗大橋水位站流量延時曲線
Figure 22. Flow-duration curve of Nan-kon bridge station.

結論與建議

1. 河川由山谷入平原處因坡度突變緩，河川於此時開始漸形蜿蜒。
2. 河道縱向坡度愈平緩則泥沙較易堆積，水流通過泥沙由於受滲漏及毛細現象，較不易保持直線前進。但如果是受地形(如逢山壁)或地質(如遇岩盤)的影響而形成之蜿蜒，則或許有不同之結果，然檢視整體蜿蜒度-坡度圖並對照各河段現場地形及地質情況，仍符合相同之蜿蜒趨勢，故河道之蜿蜒情形亦可影響河道縱坡。即「蜿蜒度」與「坡度」互為因果，兩者息息相關。依整體蜿蜒度-坡度圖及趨勢線，兩者成反平方之關係，亦即蜿蜒度愈大坡度愈小。究竟是河流彎曲現象愈顯著之河段足以減緩河流之縱坡抑或可解讀為愈平緩河段愈易使水流形成蜿蜒趨勢尚待探討。
3. 貓羅溪、樟平溪、平林溪等均屬烏溪水系，經計算出蜿蜒度並與坡度相對照，點繪至座標軸上觀察其趨勢呈反平方曲線，可證明該三條溪均滿足坡度愈緩，河川愈蜿蜒之規律。參考圖 9 與圖 10 得知魚種數魚類群聚歧異度均與坡度呈反平方關係，亦即蜿蜒地

表 4. 貓羅溪及樟平溪 1.5 年重現距河道彎曲處斷面水理計算成果表

貓羅溪										
River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Top Width	Shear Total	水深 h	曲率半徑	r/B	平均粒徑	B/h
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(N/m ²)	(m)	(m)		(mm)	
12	1037	54.96	61.99	272.35	69.21	7.03	247.27	0.91	99.24	38.74
22.1	955	74.46	80.63	278.88	15.67	6.17	353.46	1.27	112.64	45.20
23	955	74.9	80.87	238.99	27.06	5.97	351.68	1.47	111.87	40.03
25	955	75.9	82.11	221.92	20.46	6.21	586.39	2.64	115.58	35.74
30.2	684	78.85	84.16	205.39	14.61	5.31	209.33	1.02	84.56	38.68
32.1	684	80.3	85.54	240.07	17.75	5.24	120.71	0.50	85.96	45.81
38.1	370	95.63	97.39	74.08	132.95	1.76	111.42	1.50	100.67	42.09
40	370	100.48	103.59	55.97	76.52	3.11	643.57	11.50	108.56	18.00
42	370	106.53	110.78	51.43	75.91	4.25	217.28	4.22	131.71	12.10
43.1	294	112.47	116.09	51.64	50.75	3.62	109.88	2.13	195.86	14.27
43.2	294	114.31	117.64	42.3	162.81	3.33	172.67	4.08	210.24	12.70
44.1	294	117.12	121.09	43.8	78.09	3.97	289.71	6.61	208.80	11.03
45.1	294	121.46	124.3	48.99	90.47	2.84	126	2.57	216.66	17.25
46	294	126.8	130.45	40.72	136	3.65	109.08	2.68	248.56	11.16
46.1	294	130.11	133.37	56.13	114.76	3.26	57.63	1.03	243.51	17.22
47.1	270	135.45	138.5	37.4	124.96	3.05	40.77	1.09	387.14	12.26
49.2	270	149.1	154.13	40.53	147.32	5.03	100.46	2.48	294.20	8.06
50.1	211	159.97	161.79	83	153.89	1.82	241.42	2.91	185.85	45.60
51	211	164.28	166.16	95.73	87.02	1.88	337.99	3.53	197.60	50.92
51.1	211	168.81	171.33	65.29	156.14	2.52	434.56	6.66	191.58	25.91
樟平溪										
River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Top Width	Shear Total	水深	曲率半徑	r/B	平均粒徑	B/h
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(N/m ²)	(m)	(m)		(mm)	
4.1	206	82.28	85.74	52.11	45.69	3.46	222.01	4.26	104.01	15.06

5	206	83.56	86.42	45.13	78.65	2.86	183.48	4.07	99.45	15.78
5.1	206	84.78	87.38	61.05	48.26	2.6	135.2	2.21	113.61	23.48
6.1	206	88.57	92.12	42.47	31.96	3.55	60	1.41	102.22	11.96
7.1	206	92.87	94.78	47.47	77.85	1.91	40	0.84	100.93	24.85
8.1	206	93.02	96.41	51.57	49.41	3.39	90	1.75	118.05	15.21
9	206	95.94	97.93	44.18	169.12	1.99	132	2.99	115.67	22.20
10	206	97.67	101.66	29.52	70.22	3.99	130	4.40	103.98	7.40
10.1	206	99.65	102.73	36.68	38.15	3.08	50	1.36	101.38	11.91
12	206	104.54	107.13	43.81	52.92	2.59	34	0.78	109.87	16.92
13.1	206	106.4	109.63	29.06	158.59	3.23	101.4	3.49	112.44	9.00
14	206	110.49	112.98	35.68	88.66	2.49	102	2.86	108.78	14.33
14.1	206	110.44	114.52	37.47	88.69	4.08	58	1.55	119.24	9.18
16.2	185	119.54	122.34	41.72	87.17	2.8	102	2.44	131.54	14.90
17.2	185	126.3	128.35	36.17	174.57	2.05	68	1.88	129.08	17.64
18.1	185	123.94	130.1	40.78	12.73	6.16	96	2.35	133.69	6.62
19.1	185	131.55	134.22	34	105.27	2.67	135.2	3.98	126.64	12.73
23.1	185	144.67	148.26	43.58	101.17	3.59	90	2.07	171.31	12.14
24.1	185	147.16	150.35	36.02	102.71	3.19	44	1.22	156.10	11.29
25.1	185	148.78	153.34	36.37	45.7	4.56	80	2.20	149.99	7.98
26	185	156.02	157.85	69.45	48.95	1.83	168.99	2.43	188.19	37.95
28.1	185	164.4	168.97	51.18	29.43	4.57	104	2.03	254.00	11.20
29	185	170.65	172.9	38.11	133.15	2.25	110	2.89	323.58	16.94
30	143	177.39	179.27	103.23	62.79	1.88	255.91	2.48	338.94	54.91
31	143	181.1	184.36	47.78	78.19	3.26	173.21	3.63	291.47	14.66
32	143	186.84	189.6	24.01	164.36	2.76	138.56	5.77	299.67	8.70
33	143	194.1	195.98	33.72	171.69	1.88	150.12	4.45	239.22	17.94
34	114	200.41	202.13	49.11	108.83	1.72	71.41	1.45	255.10	28.55
37	104	222.04	223.92	26.4	252.3	1.88	164.17	6.22	319.72	14.04
37.1	104	228.81	230.13	24.57	231.38	1.32	114.32	4.65	306.60	18.61

帶之坡度較緩，可適合棲地復育工作之進行。

4. 復育地點之選定可先定出河川蜿蜒度之下限，例如蜿蜒度 >1.5 以上之河段。
5. 依據表4成果觀察， r/B 與寬深比 (B/h) 間並未發現明顯之趨勢，其可能原因為半徑量取尚無可靠方式，僅憑肉眼判釋並以比例尺量測，致誤差過大。故本文未將曲率半徑之因素列入考量。

參考文獻

1. 王永珍 (1998)「河川生態設計之理念」，台灣水土保持，(9)。
2. 王慎之、邵廣昭 (1997)「基隆地區河川魚種之組成、分布與豐度」，生物科學 40(1)。
3. 台灣地區河川流量延時曲線 (2000) 經濟部水利署。
4. 生態工法技術參考手冊 (2001) 國立台北科技大學土木工程系。
5. 汪靜明 (2001)「河川治理與管理的生態觀」，水資源管理季。
6. 林鎮洋、余嘯雷 (1991)「生態工法之水理分析」，行政院特有生物研究保育中心近自然工法研討會資料彙編。
7. 林維君 (2001)「以生態觀點為基礎的河流廊道規劃」，國立台北大學資源管理研究所碩士論文。
8. 殷名稱 (1998)「魚類生態學」，水產出版社。
9. 梁昇 (2002)「河川自然工法(1)應用 j 鈎壩」，水資源管理 2002 研討會。
10. 實用河川計畫 (2000) 經濟部水利處。
11. 翁宇能 (1998)「自然生態河川低水流量斷面之合理型態研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
12. 郭一羽 (2001)「水域生態工程」，中華大學水域環境研究中心。
13. 郭瓊瑩 (1999)「河川廊道之生態規劃與設計」，經濟部水資局生態工程與自然工法研討會論文集。
14. 陳樹群 (2000)「台灣地區河川型態調查研究」，經濟部水利處水利規劃試驗所。
15. 曾晴賢 (2002)「經濟部水利署九十一年度水與綠建設研習班」，河川生態情勢調查動物篇。
16. 張海燕 (1990)「河流演變工程學」，科學出版社。
17. 楊朝平 (2002)「河川近自然工法論」。
18. 葉明峰、邱健介、李德旺 (2000)「清水溪魚類族群分布與海拔高度及溪流坡度之關係」，行政院農委會特有生物研究保育中心。
19. 劉長齡、黃進坤 (1995)「台灣河川蜿蜒人為影響之試驗研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所。
20. 貓羅溪環境復育規劃 (1992) 經濟部水利署第三河川局。
21. 謝勝彥 (2002)「台灣之河川情勢調查」，行政院農委會特有生物研究保育中心九十一年度河川近自然工法與環境管理研討會論文集。
22. 蕭慶章 (1999)「實用河川規劃」，經濟部水利處。
23. Chris Newbold (1995) Nature Conservation & River Engineering.
24. Gorman, O.T., and J. R. Karr (1978) Habitat structure and stream fish communities.
25. Hannen, H.O (1996) River Restoration Danish experience and examples. National Environment Research Institute. Denmark.
26. Jeffrey P. Haltiner & G.Mathias Kondolf (1996) Restoration Approaches in California.
27. Leopold, L. B. and M. G. Wolman (1957) River Channel Patterns : Braided, Meandering and Straight, U.S. Geol. Survey Prof. Paper.

28. Luchisheva, A. A. (1952) Practical Hydrology, Gidrometeoizdat, Leningrad.
29. Muller, J. E. (1968) Introduction to Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes, Ann. Assoc. Geogr.
30. Rosgen, D. (2002) "Applied River Morphology"
31. Rosgen, D. (1993) "River Restoration Utilizing Natural Stability Concepts"
32. Shen, H.W., and Lu, J.Y. (1983) Development and prediction of bed armoring. J.Hydraul. Eng.ASCE 109.
33. Tennant, D, L. (1976) "Instream flow requirements for fish, wildlife. Recreation and Related Environmental Resources," Fisheries.
34. The Federal Interagency Stream Restoration Working group (1998) Stream Corridor Restoration.
35. Thorne. C. R and Rais. S. (1983) secondary Current Measurement in a Meandering River.
36. Wanie lista, M.,R.kersten and R. Eaglin (1997) "Hydrology-water Quantity and Quality co

92年7月04日收稿

92年8月30日修改

92年9月08日接受

王永珍、梁昇：蜿蜒河道之水理與地形因子對河川影響之研究