水土保持學報 35(4)：363-378 (2003)
Journal of Soil and Water Conservation, 35(4)：363-378 (2003)

蜿蜒河道橫向構造物配置之研究

王傳益(1) 張耿偉(2) 施漢鵬(3)

摘要

本研究旨在透過彎曲渠槽試驗，探討固床工設置前後河川棲地型態之異同。藉由設置不同型式與間距之固床工，以瞭解水體溶氧、河床穩定性及河川流況歧異度等之變化情形，作爲判定固床工配置良窳之指標。

研究結果顯示，鋸齒式固床工下游水體溶氧增加率較傳統式固床工下游爲高，所產生之水流與河床型態較富變化，較能營造多樣化的棲地型態，有利於水中生物之生存。鋸齒式固床工的底床沖淤變化情形較傳統式爲小，顯示鋸齒式固床工對底床穩定性有較佳之效果。在彎曲渠道中鋸齒式固床工間距爲 1 倍河寬間距時，水體溶氧增加率爲最高，穩定床面之效果佳，棲地流況歧異度高。

（關鍵字：水體溶氧、流況歧異度、鋸齒式固床工）

Arrangement of Transverse Structures for Meandering River

Chuan-Yi Wang, Keng-Wei Chang, Han-Peng Shih

Associate Professor, Master, and Graduate Student, Department of Hydraulic Engineering, Feng Chia University, Taichung, Taiwan 402

ABSTRACT

This study is to investigate the difference of river habitat patterns before and after the construction of the consolidation works for the meandering channels based on a series of flume experiments. The variations of water-dissolved oxygen, diversity of flow, channel bed stability under different patterns and interval of consolidation works were used as indicators of the suitability of the consolidation work arrangements.

The results from the experiments showed that the increasing rate in water-dissolved oxygen downstream of a saw-tooth consolidation work is higher than that of a conventional consolidation work. As well, the former has higher variety on flow and river bed patterns, which can effectively form a better river habitat environment for aquatic creatures. Scour and deposition of the channel bed for a saw-tooth consolidation work are less than those for a conventional consolidation work, indicating the former can better stabilize the channel bed. In a meandering channel, highest values of

(1)逢甲大學水利工程學系副教授
(2)逢甲大學土木及水利工程研究所碩士
(3)逢甲大學土木及水利工程研究所研究生

increasing rate in water-dissolved oxygen, channel bed stability and flow diversity were observed for a saw-tooth consolidation work with an interval one times of the channel width.
(Keywords：water-dissolved oxygen, diversity of flow, saw-tooth consolidation work.**)**

前言

以往之溪流整治工作是以防災安全爲首要考量，較少顧及構造物對自然生態與環境保育乃至親水遊憩之影響。過去我們使用的河川治理工法多半偏向於剛性工程，強調其安全性、耐久性，極少考慮到此工程對於生態環境的影響，往往造成生態的衝擊與破壞。近年來由於民眾生活品質不斷提升，對溪流生態環境保護之要求與日俱增，又世界先進國家如日本、美國、奧地利、澳洲、德國亦多已朝河川自然生態工法方向發展，國內當積極思考檢討以往辦理之河川野溪整治對生態環境之影響。

在河川治理的工法中，有許多不同的構造或措施(如拋石河床、石樑工法、導流設施)。常見於河床之抗沖刷保護措施固床工（Consolidation works），其爲一橫向構造物，是河道整流工程重要設施之一，具有穩定流心、緩和床面及兩岸泥砂之沖刷等多項功能。固床工一旦構成，除了可降低水流速度，減少河床及河岸受侵蝕的程度外，亦可達到穩固河岸之目的。固床工設置時不應太高或造成過強之水流來避免造成河流通路之阻絕，而造成生物無法於溪流上、下游間順利移動。

蜿蜒河道從平面上看，它是由一系列有一定曲率而正反相間的彎道和較順直的過渡段依次銜接組成（如圖 1 中 A 圖）。從河床的橫斷面看，彎道段呈不對稱的三角形，凹岸一側坡陡水深，凸岸一側坡緩水淺（如圖 1 中 C 圖）。過渡段基本上呈對稱的拋物線形或梯形（如圖 1 中 B 圖）。由彎道段至過渡段，斷面型態的轉變，是沿程逐漸變化的。

一般情況下，只要凹岸的抗沖能力較弱，則河岸必然發生崩坍，使通水面積增大，而橫向輸砂總是不平衡，因而凸岸總是趨向於淤積。所以橫斷面變形最主要的原因是橫向輸砂不平衡。關於蜿蜒型河段的成因，可就以下幾點說明：(1)河道之所以蜿蜒曲折，是河流自身爲了消耗過剩的能量，以增加河長減小河流比降的方式來達到。同時也有人認爲，河道之所以蜿蜒曲折，是爲了以最小的能量消耗，來完成河流的塑造。(2)順直水流的不穩定性是形成蜿蜒型河段的原因。水流本身一般具有偏離直線方向而產生週期性左右擺動的特性，從而迫使河床的平面型態具有接近於正弦曲線的外形。

根據相關研究(賴建盛，1994；莊明德、林志訓，1999；汪靜明，1999；周昌弘，1999；張明雄、林曜松，1999)，由於河川水流與底床泥沙沖淤所造成之幾何變化爲影響整個河道棲地環境型態的關鍵因素，因此我們根據過去諸多研究，將河川棲地參數分列如下：底床質、酸鹼值、流速、濁度、水深、水溫、溶氧及電導度。而河川棲地依前人所提出的型態可被分類爲深潭(Pools)、淺瀨(Riffles)、緩流(Slow run)、岸邊緩流(Slack)、急流(Rapids)、迴流(Backwater)等(Leopold, 1969；Slater, 1987；Harper, 1995)，Leopold(1969)利用水深與流速的關係推算福祿數(Froude Number)，將這些水流型態作一區分。淺瀨因流速快，溶氧量高，所以有高密度的底棲生物聚集，對魚類而言是個食物供應區。在深潭則因水深遮蔽性佳及流速慢的優點，提供魚類良好的棲息場所。當乾季來臨時，此區成爲水生生物重要的避難水域。所以深潭的體積對魚類生態環境有相當重要的影響。至

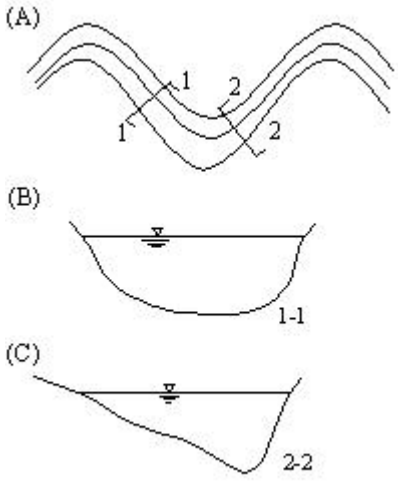

圖1. 彎道幾何型態示意圖
Figure 1. Geometric pattern of meandering channel.

於緩流，一般通常被視爲淺瀨與深潭二者的中間過渡帶或緩衝帶。在魚類棲地研究方面，緩流區對於魚類而言亦相當重要，因爲魚類多半利用此種流速緩慢適合產卵的棲地進行繁殖活動。

所謂河流的穩定性指標，就是用來表明隨著流域來水來沙條件因時間的變化，河流所表現出來的局部的、暫時的及相對變異幅度。床沙質產量變異的幅度大致和流域的絕對產沙量成正比；例如，如果流域中原本的產沙量就很少，即使有變異，爲了滿足河槽本身的挾沙能力，需要從河槽中沖刷起或淤積在河槽中的泥沙量也不會很多，因此河床基本上是穩定的。相反的，若流域中的產沙量很大，同樣的變異百分比會引起很大的沖淤變化，此時河床不再是穩定的。沖積河流的穩定性取決於流域對於產水量而言的產沙量的多寡，此一簡單的關係說明了河流對於流域的依賴性。平衡或準平衡河流的穩定性可以根據河槽沖淤的相對深淺與主流擺動的幅度來判斷。

河川水的淨化與溶氧有相當大的關係，故在水質上佔有相當重要的因素。水體中溶氧量的多寡，乃作爲判斷水質好壞的重要標準，通常 DO(Dissolved Oxygen)的來源包括大氣再曝氣作用、水生植物的光和作用(photosynthetic)及支流攜入。溶氧可維持水中的魚類和水微生物的生長和水質淨化的有利環境，若水中溶氧低於 3.0mg/1，會對大部分的魚類有害，所以溶氧一般最好能維持 5.0mg/l 以上，以利魚類生長。

爲了維持生態環境的整體平衡，營造自然河川景觀及創造水生生物的棲息環境，傳統固床工有必要加以調整，以達成生態環境之永續發展。因此本文透過渠槽試驗，探討固床工設置前後河川棲地型態之異同，藉由設置不同形式與間距之固床工，並以水深、流速、底床質及溶氧作爲考量，將棲地流況歧異度、河床穩定性指標與水體溶氧增加率等綜合參數影響因子作爲判定的指標。

研究方法

本文爲瞭解設置固床工前後河川棲地所受的影響，將傳統式固床工（如圖 2）改良爲鋸齒式固床工(saw-tooth consolidation work)，亦稱踏步式固床工(stepped consolidation work)，詳如圖 3 所示。固床工高於床面 2cm，底床鋪設 10cm 厚度之床砂，以利研究之進行。本試驗採用彎曲型流槽型式來進行水流流況的模擬，改變不同流量、坡度、固床工型式與間距，並藉由水體溶氧增加率、河床穩定性及流況歧異度等指標，來探討固床工設置前後對渠道所造成的影響。

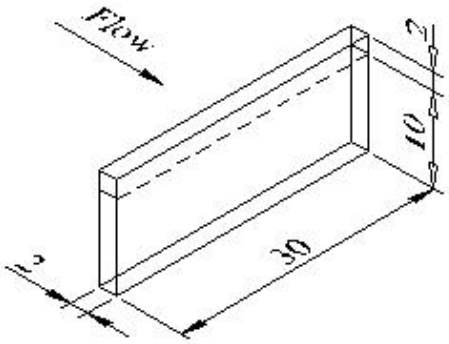

圖 2. 傳統式固床工模型示意圖(單位：cm)
Figure 2. Model of conventional consolidation work.

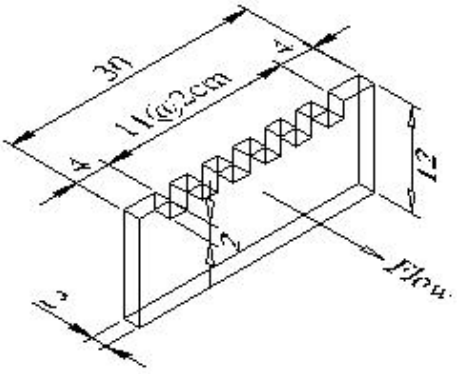

圖 3. 鋸齒式固床工模型示意圖(單位：cm)
Figure3. Model of saw-tooth consolidation work.

因本試驗受到場地、水流供應、邊界條件及儀器量測的限制，爲了獲致更爲精確的結果，故此作了以下假設：(1)彎曲型渠槽，其下游出口皆具有固定的河床基準面。(2)試驗段河床面採用級配的鬆散泥砂，試驗時稍加夯實整平，以求各組試驗之一致性。(3)試驗段上游入流水流爲定量清水流。(4)渠槽兩側邊壁爲光滑玻璃及平滑的木板，且其寬深比大於 10.0，可視爲二維流況，則二次流對水流的影響可忽略不計。(5)採用固定流量與時間，即 0.0012、0.0024 及 0.0036cms 等三種流量及一小時的方式來進行渠槽試驗。其中流量分別爲低、中及高等三種流況，即水流深度約爲分別低於、等於與高於固床工高度。

本試驗工作係在逢甲大學水工試驗室之木製彎曲渠槽進行試驗。彎曲渠道總長 600cm，寬度 30cm，深度 30cm，渠槽內設計共有 5 處轉彎點，其流心線的彎角有 60°、90°、120°及 150°兩處，任兩處彎道之過渡段皆設置 2 倍的河寬長度之直線段河道，彎曲渠道模型示如圖 4。水流由蓄水槽經由抽水馬達抽至定水頭裝置，通過流量控制閥而至蜂巢式整流器，以避免水流入渠槽中因水面擾動不均勻所造成的誤差，而水體經由整流消能後流入渠槽試驗段。

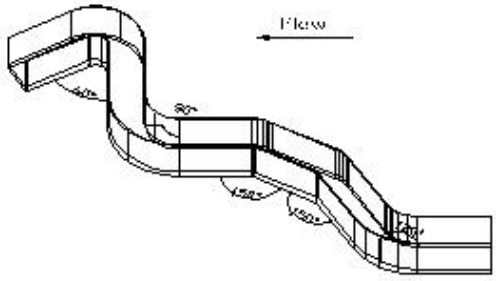

圖 4. 彎曲渠道模型示意圖
Figure 4. Model of meandering channel.

試驗河段粒徑組成範圍爲 0.074mm ~ 12.7mm，其累積分布曲線如圖 5 所示，其試驗條件如下表 1。

本試驗量測儀器是由(1)水體溶氧值係利用型號 Cyber DO 100 Hand-held Dissolved Oxygen Meter 溶氧計。(2)水深與河床沖淤高程變化，主要是利用超音波水位計(RPS-401A)量測，藉由介質的不同來產生反射波，並透過訊號的轉換讀取表計數據。試驗時爲避免

產生反射波干擾的誤差，故探頭(transducer)儘量與邊壁以及河床面保持適當的距離。而量測的方法爲將水位計置於渠道上方量測板，量測點爲沿程各縱橫斷面。彎曲河段爲0-500cm 處，縱向每隔 10cm 量測一斷面，於固床工設置處則爲距固床工上下游各 5cm 處量測。每一橫斷面量測左岸到右岸分別 0、5、10、15、20、25 及 30cm 處。溶氧值量測爲橫斷面距左岸 7.5、15 及 22.5cm 等三處，量測位置爲系列固床工配置最上游未設置固床工處及固床工下游處，以利對照比較。

本試驗量測步驟分述如下：1.渠槽與固床工模型製作。2.流量率定。3.於渠槽內舖設試驗用砂，經夯實至砂層約 10cm 厚，將超音波水位計置於渠槽之上方的測量板上，且校正全河段沿程各縱橫向斷面高程。4.待水流沖刷床面約一小時後(此時床面沖淤變化已趨於穩定)，利用超音波水位計量測，紀錄水位高程與量測溶氧值。5.關水後，等河床面約無積水時，再一次利用超音波水位計，量測河床沖刷後各點高程變化。6.紀錄完後更換下組配置條件，重複步驟 3、4、5。配置條件(1)坡度爲 0.175%、1.75%及 3.49%(2)流量爲 0.0012、0.0024 及 0.0036cms(3)固床工間距爲 1 倍、2 倍、4 倍及 0 倍間距(對照組)(4)固床工型態(鋸齒式與傳統式)，由(1)(2)(3)(4)項進行配合。

結果分析與討論

本文主要是針對河川中未設置構造物與設置兩種不同型式之固床工後其分別對河川棲地的影響程度。由於渠道內的結構物配置影響水流流況，除會阻礙水流造成上游水位湧高，還會造成構造物下方渠道造成沖刷，因而水流的速度會受局部的強化，與床面造成構造物上下游處的河床沖刷或淤積而形成急流、岸邊緩流、深潭、迴流、緩流及淺瀨等不同之水流流況，而創造出多樣之生物棲息的棲地環境。本研究針對固床工型態上下游水流型態及水流流況，利用流速、福祿數等水理參數進行分析，再利用水體溶氧增加率指標(生態環境指標)、穩定性指標及多樣性指標等來分析不同條件下的水理特性。以下分析圖中，「傳」代表傳統式固床工，「鋸」代表鋸齒式固床工。

1．河床穩定性分析

所謂河流的穩定性指標，就是用來表明隨著流域來水來沙條件因時間的變化，河流所表現出來的局部的、暫時的及與相對的變異幅度。床沙產量的變異幅度和流域的絕對產沙量成正比，故本文以河床沖淤變化率做爲穩定性指標。「河床沖淤變化率」爲相同水力條件下，設置固床工時，試驗中量測所得河床沖淤總量與未設置固床工時之河床沖淤總量之比值。即本研究係以未設置固床工之床面沖淤總量爲基準，若設置橫向構造物後之河床沖淤變化量與其之比值小於 1，即表示設置構造物較未設置構造物穩定床面之效果爲佳；反之，穩定床面效果較差。

(1) 圖 6 至 11 顯示，鋸齒式固床工河床相對沖淤變化率低於傳統式固床工，此表徵於彎曲河道中鋸齒式固床工穩定床面之效果優於傳統式固床工。

(2) 緩坡低流量時，除 4 倍間距鋸齒式固床工穩定床面之功效優於未設置固床工外，餘二種間距配置之相對沖淤變化率均互有高低，顯見低流量且河道坡度較緩時於彎道中設置固床工其必要性較低，詳見圖 6 所示。

(3) 鋸齒式固床工於中高流量之較陡坡度條件下，以 1 倍間距配置固床工時較另二種間距更具穩定床面之效果，詳如圖 8 及圖 10 所示。

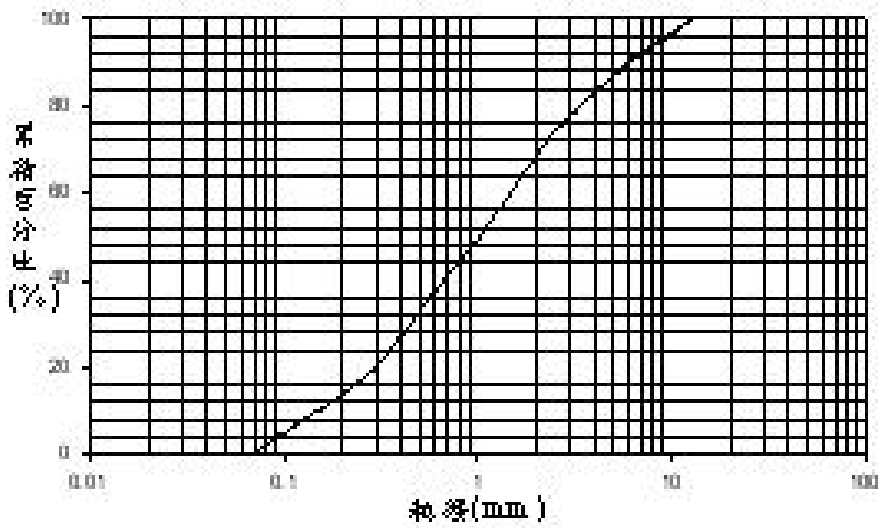

圖 5. 粒徑累積分布曲線圖
Figure 5. Cumulative size distribution curve.

表 1. 試驗條件
Table 1. Conditions of experiment.

試驗類別	控制項目	控制內容	備註
對照組	構造物形式	無構造物	
	流量	0.0012、0.0024、0.0036	cms
	坡度	0.175、1.75、3.49	%
	渠道形式	彎曲渠道	
試驗組	構造物形式	有構造物	鋸齒式、傳統式
	流量	0.0012、0.0024、0.0036	cms
	坡度	0.175、1.75、3.49	%
	間距配置	1、2、4	L/B
	渠道形式	彎曲渠道	

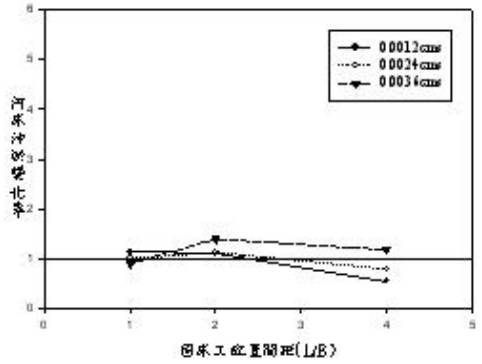

圖 6. 間距與河床沖淤變化率關係圖 (S=0.175%，鋸)

Figure 6. Relationship between arranged interval and variances in scour and deposition of the channel bed (S=0.175%, saw-tooth).

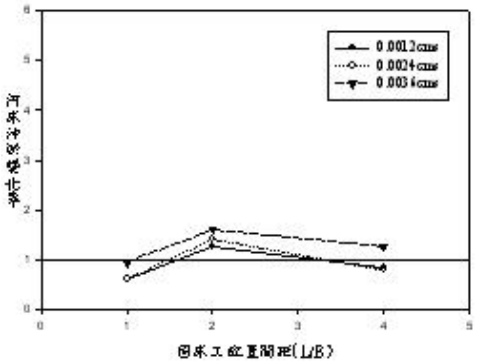

圖 8. 間距與河床沖淤變化率關係圖 (S=1.75%，鋸)

Figure 8. Relationship between arranged interval and variances in scour and deposition of the channel bed (S=1.75%, saw-tooth).

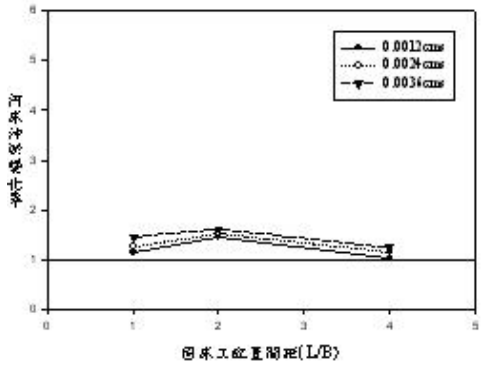

圖 7. 間距與河床沖淤變化率關係圖 (S=0.175%，傳)

Figure 7. Relationship between arranged interval and variances in scour and deposition of the channel bed (S=0.175%, conventional).

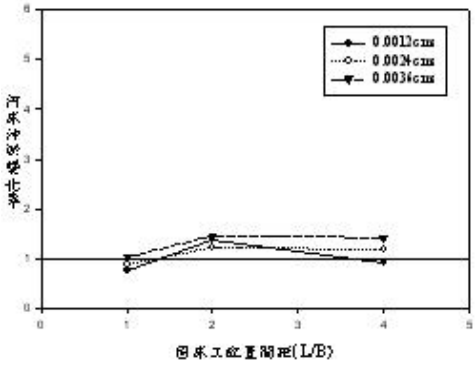

圖 9. 間距與河床沖淤變化率關係圖 (S=1.75%，傳)

Figure 9. Relationship between arranged interval and variances in scour and deposition of the channel bed (S=1.75%, conventional)

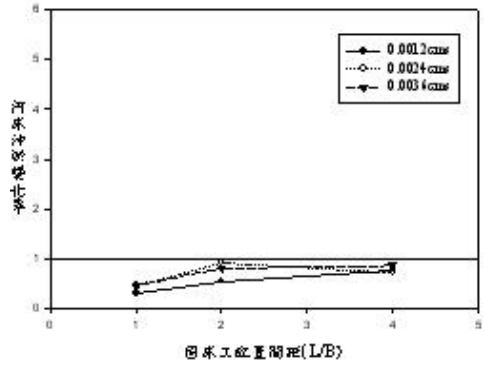

圖 10. 間距與河床沖淤變化率關係圖 (S=3.49%，鋸)

Figure 10. Relationship between arranged interval and variances in scour and deposition of the channel bed (S=3.49%, saw-tooth).

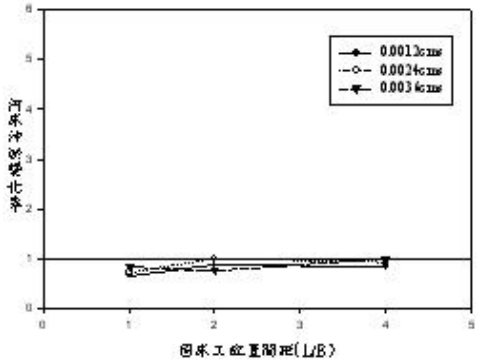

圖 11. 間距與河床沖淤變化率關係圖 (S=3.49%，傳)

Figure 11. Relationship between arranged interval and variances in scour and deposition of the channel bed (S=3.49%, conventional).

(4) 由圖 6、8 及 10 可知，當加入構造物時，大體而言隨著流量的增加河床的沖淤變化愈爲明顯，可能係因流量增大時，帶動底床泥沙運動劇烈，造成底床變化幅度增大，致使底床穩定性變低所致。

2.水體溶氧增加率分析

本試驗假設忽略溫度及水流黏滯性所造成的影響。本文將水體溶氧增加率定義爲指該次試驗量測值中，固床工下游各斷面所量測之溶氧值與最上游未設置固床工之處所量測溶氧值之差值，並與最上游起始點所量測溶氧值之比值，即：

$$\Delta DO = \frac{d_1 - d_0}{d_0} \times 100\% \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

式中 ΔDO 爲水體溶氧增加率；d_0 爲上游未設置固床工處之溶氧值；d_1 爲固床工下游處溶氧值。

(1) 圖 12、14 及 16 中可發現，鋸齒式固床工於 1 倍間距時水體所產生之溶氧增加率爲最高。而傳統式固床工則於 4 倍間距時爲最高，惟均低於 1 倍間距鋸齒式固床工，詳如圖 13、15 及 17。

(2) 圖 18、19 顯示，鋸齒式固床工的溶氧增加率較傳統式固床工爲高，研判其因，可能係鋸齒式固床工之缺口增加水體的擾動及挾氣之機會所致。

(3) 整體而言，鋸齒式固床工之水體溶氧增加率隨坡度與流量增加而加大，研判其因可能係坡度增加使流速增加，以致加劇水流的混滲(mixing)與挾氣現象所致，如圖 18、19 所示。

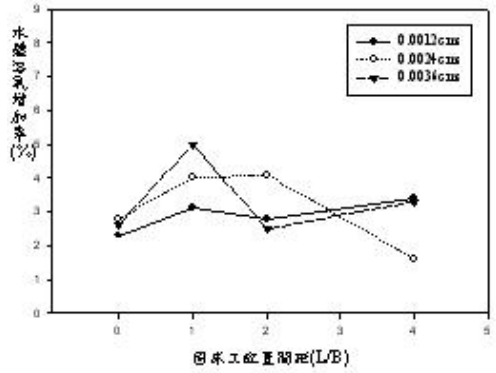

圖 12. 間距與水體溶氧增加率關係圖
(S=0.175%，鋸)

Figure 12. Relationship between arranged interval and increasing rate in water-dissolved oxygen (S=0.175%, saw-tooth).

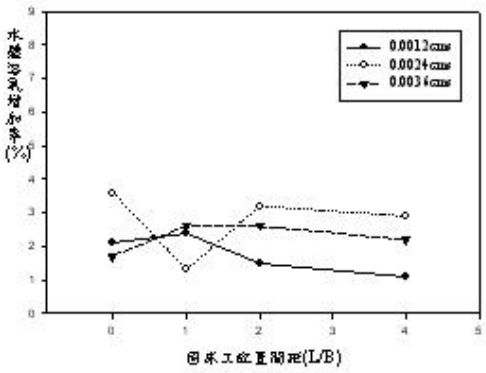

圖 14. 間距與水體溶氧增加率關係圖
(S=1.75%，鋸)

Figure 14. Relationship between arranged interval and increasing rate in water-dissolved oxygen (S=1.75%, saw-tooth).

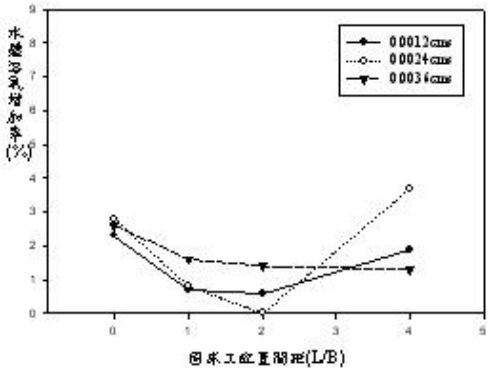

圖 13. 間距與水體溶氧增加率關係圖
(S=0.175%，傳)

Figure 13. Relationship between arranged interval and increasing rate in water-dissolved oxygen (S=0.175%, conventional).

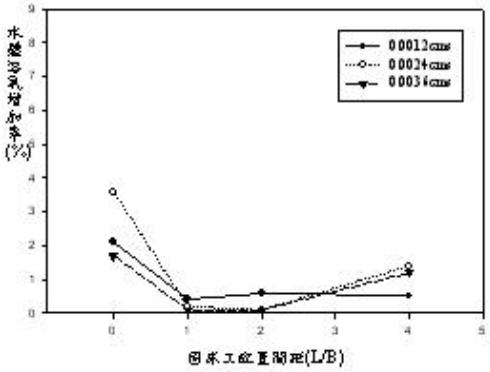

圖 15. 間距與水體溶氧增加率關係圖
(S=1.75%，傳)

Figure 15. Relationship between arranged interval and increasing rate in water-dissolved oxygen (S=1.75%, conventional).

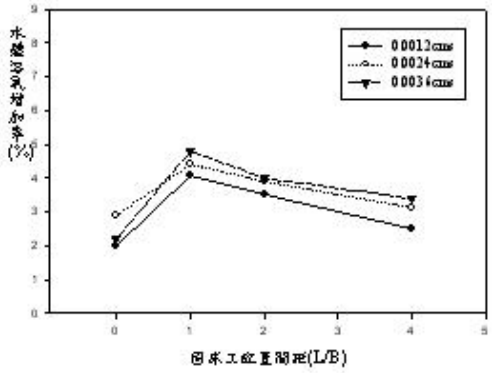

圖 16. 間距與水體溶氧增加率關係圖 (S=3.49%，鋸)

Figure 16. Relationship between arranged interval and increasing rate in water-dissolved oxygen (S=3.49%, saw-tooth).

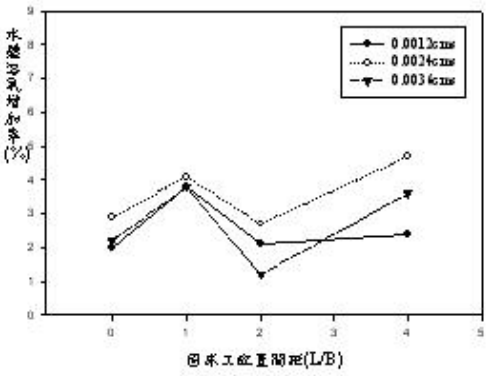

圖 17. 間距與水體溶氧增加率關係圖 (S=3.49%，傳)

Figure 17. Relationship between arranged interval and increasing rate in water-dissolved oxygen (S=3.49%, conventional).

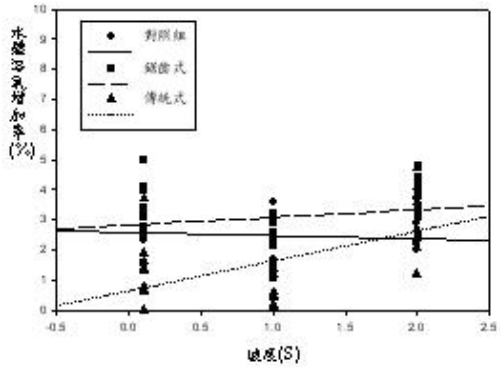

圖 18. 不同型態之固床工其水體溶氧增加率與坡度關係圖

Figure 18. Relationship between increasing rate in water-dissolved oxygen and channel slope.

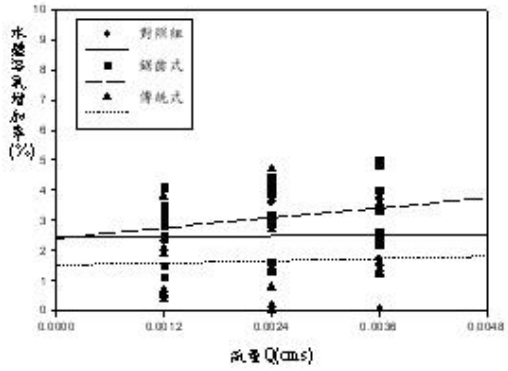

圖 19. 不同型態之固床工其水體溶氧增加率與流量關係圖

Figure 19. Relationship between increasing rate in water-dissolved oxygen and discharge.

3.棲地流況歧異度分析

由本文前述六種水流形態，在寬淺型河道中可利用流速(V)與水深(h)之比值，也就是福祿數(Froude Number) $F_r = V/\sqrt{gh}$ 來表示。由於岸邊緩流係因水流與岸間摩擦阻力而形成，迴流則於溪流內橫向構造物下方常形成，此二者常態下均存在，不易以 F_r 及相關參數表徵，故不加以探討 (林，2002) 。根據前述幾位學者的定義，將河川流況分類如下：

表 2. 棲地流況分類表
Table 2. Classification of habitat flows.

型態	Fr	其他限制	型態	Fr	其他限制
淺瀨 (Riffles)	0.255<Fr<1	b/h >15	深潭 (Pools)	Fr<0.095	水面坡度 ≒0 b/h <15
緩流 (Slow run)	0.095<Fr<0.255	15< b/h <30	急流 (Rapids)	Fr>1	不受限制

上述定義主要根據眾多學者之野外調查經驗統整所得結果，但是水深與流速在進行渠槽試驗時不易模擬，因此多半加入一個無因次參數寬深比值(b/h)做比較。

從天然河川來看，多半爲多樣化的河川棲地型態，本文擬瞭解不同之固床工型態所塑造出之各種不同棲地型態。因此將以辛普森法(Simpson's diversity index)來作爲我們本研究之多樣性指標。

$$D = 1 - \lambda$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^{S'} P_i^2 = \sum_{i=1}^{S'} (n_i / N)^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

式中 D = 歧異度; P_i = 第 i 種流況所佔的比例； n_i = 第 i 種流況之流況數； N = 總流況數； S' = 流況數； λ = 均勻度。

λ 可視爲一種優勢度指數(dominance index)或均勻度，強調優勢集中之程度，其值介於 0 至 1 之間，其值愈大表棲地較單一化。溪流棲地歧異度越大(D 愈大)，即棲地越多樣化，能提供更多種魚類，共同活動與分享食物與空間資源(Gorman and Karr,1978)，也較能滿足魚類完成不同生活期的生態需求，更能提供所有魚類作爲躲避洪水時期的庇護場所。

(1) 由圖 20 至 25 可知，於低流量(Q=0.0012 cms)時，未設置固床工(0 倍間距) 之流況歧異度均較鋸齒式固床工或傳統式固床工爲高，顯見彎曲河道本身水流流況即豐富且多樣，不需固床工介入便可營造適當之棲地型態。

(2) 由圖 20、22 及 24 可知，大體而言鋸齒式固床工於 1 倍間距時，可創造較多樣性之棲地環境；而 4 倍間距較無法營造豐富之棲地。惟傳統式固床工則無明顯趨勢，詳如圖 21、23 及 25 所示。

(3) 由圖 26 中可看出無論設置固床工與否，流況歧異度隨著坡度的增加有漸增的趨勢。大體而言，於陡坡條件下，未設置固床工最易營造多樣化棲地環境。

(4) 圖 27 顯示，未設置或設置不同型式固床

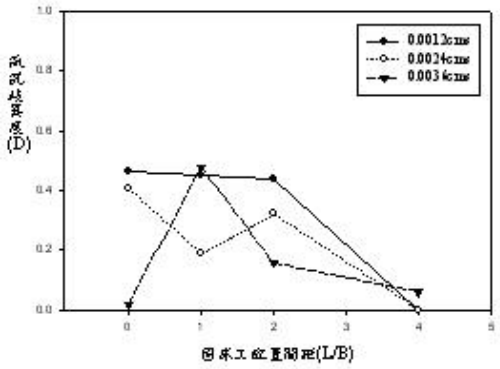

圖 20. 間距與流況歧異度關係圖
(S=0.175%，鋸)
Figure 20. Relationship between arranged interval and diversity of flow (S =0.175%, saw-tooth).

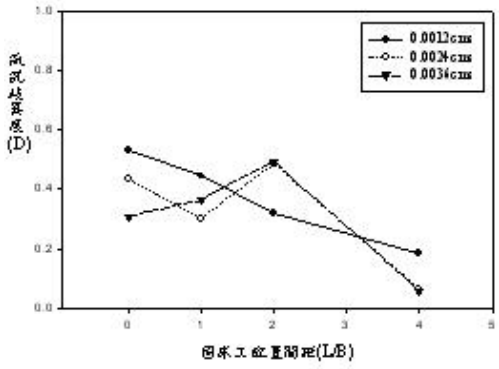

圖 22. 間距與流況歧異度關係圖
(S=1.75%，鋸)
Figure 22. Relationship between arranged interval and diversity of flow (S=1.75%, saw-tooth).

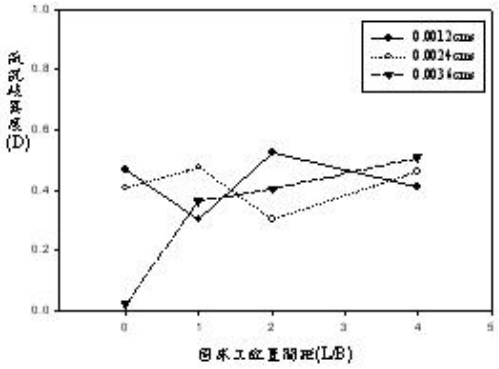

圖 21. 間距與流況歧異度關係圖
(S=0.175%，傳)
Figure 21. Relationship between arranged interval and diversity of flow (S=0.175%, conventional).

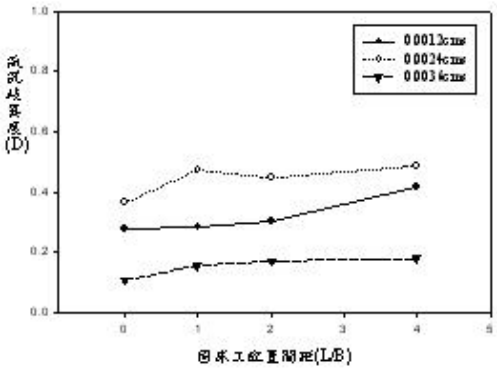

圖 23. 間距與流況歧異度關係圖
(S=1.75%，傳)
Figure 23. Relationship between arranged interval and diversity of flow (S=1.75%, conventional).

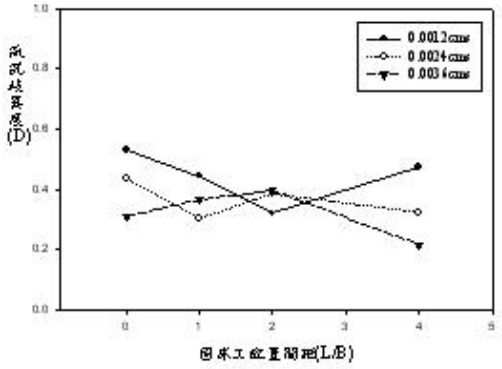

圖 24. 間距與流況歧異度關係圖 (S=3.49%，鋸)

Figure 24. Relationship between arranged interval and diversity of flow (S=3.49%%, saw-tooth).

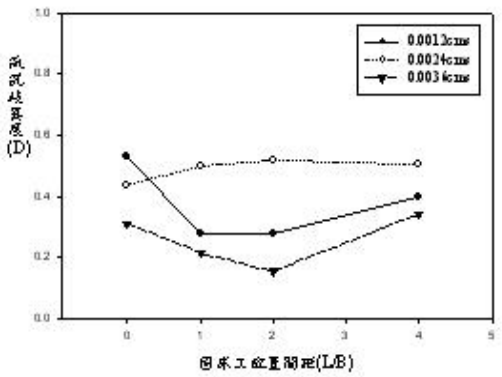

圖 25. 間距與流況歧異度關係圖 (S=3.49%，傳)

Figure 25. Relationship between arranged interval and diversity of flow (S=3.49%, conventional)

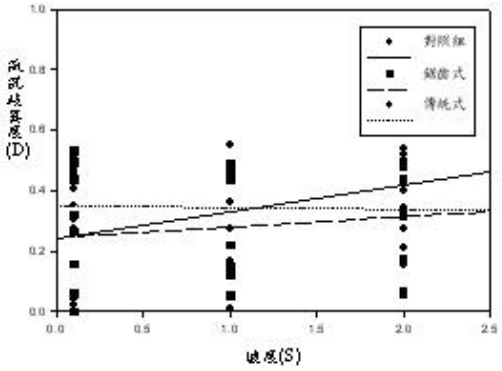

圖 26. 不同型態之固床工其流況歧異度與坡度關係圖

Figure 26. Relationship between diversity of flow and channel slope

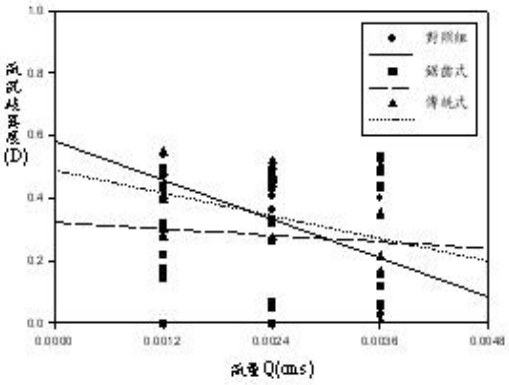

圖 27. 不同型態之固床工其流況歧異度與流量關係圖

Figure 27. Relationship between diversity of flow and discharge.

工時，其流況歧異度均有隨流量增加而遞減之趨勢，研判其因可能係高流量時，流速增大，使得大部分產生的棲地型態爲單一湍流所致。

結論與建議

1. 鋸齒式固床工下游水體溶氧增加率、床面穩定性及流況歧異度均優於傳統式固床工，較能營造豐富之棲地型態，有利於水中生物之生存。

2. 鋸齒式固床工爲1倍河寬間距時水體溶氧增加率爲最高，穩定床面之效果佳，棲地流況歧異度高，因此在考量安全與生態之條件下，上述固床工配置模式最佳，對於河川棲地之安全性與多樣性提供正面之效應。

3. 由於本研究係以清水流流況來探討固床工設置前後，河川棲地受影響之情況，惟溪流一般皆屬挾砂水流，未來可將此水流條件置入試驗中，以達成最佳的應用配置模式。

4. 若在安全考量下蜿蜒河道需施設固床工時，應以天然材料如多孔隙之石塊或植物等材料加以構築，替代混凝土來減低對生態環境之衝擊，或以鋸齒之型式施設避免造成生物縱向通路的阻隔，且僅於曲度大之河段方爲之，較符合生態需求。

誌謝

本文承蒙　行政院國家科學委員會(NSC92-2211-E-035-030)的補助，方得以完成本研究，謹此致謝。

參考文獻

1. 中國水利學會泥砂專業學委員會 （1992）「泥砂手冊」 中國環境科學出版社。
2. 水土保持技術規範 （2000） 行政院農委會水土保持局。
3. 王傳益、林保獅、施漢鵬 （2002） 「自然生態工法於環境改善功能之調查與分析」 第一屆自然生態工法理論與實務研討會論文集，中興大學，PP.89-101。
4. 王傳益、張耿偉、李昱廷 （2002） 「固床工型態對河川棲地影響之研究」 第一屆自然生態工法理論與實務研討會論文集，中興大學，PP.159-171。
5. 生態工法技術手冊 （2000） 經濟部水資源局。
6. 汪靜明 （1999） 「河川生物多樣性的內涵與生態保育」 生物多樣性研討會論文集。
7. 林信輝 （2002） 「河川生物多樣性的內涵與生態保育」 中興大學水土保持學系。
8. 林秉賢 （2002） 「橫向堆石群對溪流生態棲地流況之影響」 逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文。
9. 明宗富（1983）「沖積河流的河相關係」 泥沙研究第四期，PP.75-84。
10. 曹叔尤、劉興年、方峰、李昌志 （2000） 「山區河流卵石推移質的輸移特性」 泥沙研究，Vol.4。
11. 張明雄、林曜松 （1999） 「攔沙壩對水生生物多樣性的影響」 生物多樣性研討會論文集。
12. 張耿偉 （2003） 「固床工型態對河川棲地影響之研究」 逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文。
13. 賴建盛 （1994） 「防砂壩對櫻花鉤吻鮭物理棲地影響之研究」 台灣大學地理系碩士論文，PP.1-111。
14. 謝鑒衡、丁君松、王運輝 （1987） 「河床演變及整治」 水利水電出版社。
15. 錢寧、張仁、周志德（1989）「河床演變學」 科學出版社。
16. Chin, A. (1989) “Step pools in stream

channels.” The journal of geology, Vol.106, PP.59-69.

17. Chin, A. (1999) “The morphologic struc -ture of step-pools in mountain streams.” Geomorphology, Vol.27, PP.191-204.
18. Curran, J.H., and Wohl, E.E. (2003) “Large woody debris and flow resistance in step-pool channels, Cascade Range, Washington.” Geomorphology, Vol.51, PP.141-157.
19. Gorman, O. T., and Karr, J. R. (1978) “Ha -bitat structure and stream fish communi -ties.” Ecology, Vol.59, PP.507-515.
20. Thompson, D.M., Wohl, E.E., and Jarrett, R.D. (1999) “Velocity reversals and sedi -ment sorting in pools and riffles controll -ed by channel constrictions.” Geomor -phology, Vol.27, PP.229-241.
21. Thompson, D.M. (2002) “Geometric adjust -ment of pools to changes in slope and discharge: a flume experiment.” Geo -morphology, Vol.46, PP.257-265.
22. Thompson, D.M., Nelson, J.M., and Wohl, E.E. (1998) “Interactions between pool geometry and hydraulic.” Water Resources Research, Vol.34, No.12, PP.3673-3681.

92 年 09 月 21 日 收稿
92 年 10 月 20 日 修改
92 年 12 月 01 日 接受