逢甲大學學生報告 ePaper

順直河道固床工配置之研究

作者：王傳益[1] 李俊穎[2] 施漢鵬[3] 薄榮鋼[4] 蔡岳臻[5]

系級：

(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研究所博士班研究生
(4) 逢甲大學土木及水利工程研究所碩士
(5) 逢甲大學土木及水利工程研究所碩士

目錄

中文摘要 3

英文摘要 3

一、前言 4

二、模式介紹與理論分析 5

2.1 模式介紹 5

2.2 理論分析 6

三、模式檢定與結果分析 5

3.1 模式檢定 8

3.2 結果分析 10

四、結論與建議 14

五、參考文獻 15

順直河道固床工配置之研究

王傳益[1]　李俊穎[2]　施漢鵬[3]　薄榮鋼[4]　蔡岳臻[5]

摘要

本研究旨在透過水工試驗及數值模擬，探討固床工設置前後河川棲地型態之異同。主要是利用 BOSS 公司之 SMS 模式(Surface Water Modeling System)，針對不同水力條件下之固床工型式與設置間距進行模擬分析，期能於考量安全與生態之條件下，提出固床工之最佳配置模式。

經研選模式以 RMA2(Resource Management Associates) 模擬流況，可獲致較精確之結果。研究結果顯示，鋸齒式固床工之消能與整流效果較傳統式固床工為佳。整體而言，於中高流量時，當鋸齒式固床工間距為 2.5 倍河寬間距，且鋸齒高度為鋸齒寬度之 0.75 倍時，棲地流況歧異度最高。以上述模式配置固床工，較能營造多樣化的棲地環境，有利於水中生物之生存。

關鍵字：SMS 模式、鋸齒式固床工、流況歧異度

Arrangement of the Consolidation Works for Straight Rivers

Chuan-Yi Wang, Jun-Ying Lee, Han-Peng Shih, Jung-Kang Po, Yue-Zen Chai

ABSTRACT

This study is to investigate the difference of river habitat patterns before and after the construction of the consolidation works for the straight rivers based on a series of flume experiments and numerical simulations. The objective of this study

[1]逢甲大學水利工程學系副教授
Associate Professor, Department of Water Resources Engineering, Feng Chia University, Taichung, Taiwan 407, R.O.C.
[2] [5]逢甲大學水利工程學系碩士班研究生
Graduate Student, Department of Water Resources Engineering, Feng Chia University, Taichung, Taiwan 407, R.O.C.
[3]逢甲大學水利工程學系博士班研究生
Ph.D. student, Department of Water Resources Engineering, Feng Chia University, Taichung, Taiwan 407, R.O.C.
[4]逢甲大學水利工程學系碩士
Master, Department of Water Resources Engineering, Feng Chia University, Taichung, Taiwan 407, R.O.C.

was to conduct simulations using SMS Model (Surface Water Modeling System) developed by the BOSS Company to search for the optimum arrangements of the consolidation works with consideration of both safety and ecological conditions.

It was found that relative accurate flow phenomena can be simulated using RMA2 (Resource Management Associates) model. The results of the simulations indicated that the saw-tooth consolidation work was a better tool for energy dissipation and flow regulation than the conventional consolidation work. In general, highest flow diversity of habitat was observed for a saw-tooth consolidation work with an interval 2.5 times of the channel width, and when the saw interval of the consolidation work was a three-fourths value of the saw width. The above consolidation work arrangements can provide multiplicity of stream habitat, and form a better river habitat environment for aquatic creatures.

Keywords: SMS Model, saw-tooth consolidation work, flow diversity.

一、前言

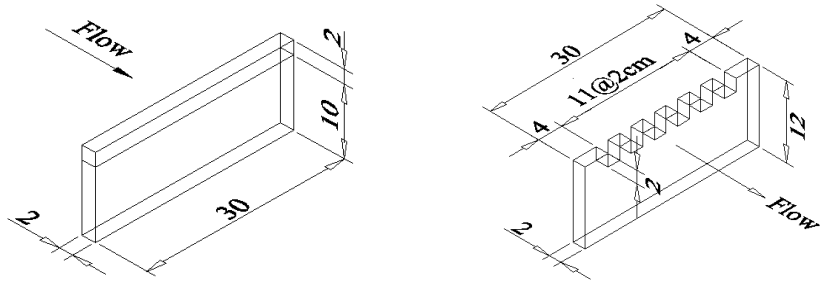
以往之溪流整治工作是以防災安全為首要考量，較少顧及構造物對自然生態與環境保育之影響。近年來由於民眾生活品質不斷提升，對溪流生態環境保護之要求與日俱增，水工結構物除在安全之考量下，亦須融入生態因子，以減低對棲地環境與物種生存動線的衝擊，並維持棲地生態的多樣性，達成水陸域棲地廊道完整性之生態目標。

在河川治理的工法中，有許多不同的構造物，常見於河床之抗沖刷保護措施固床工(consolidation works)，為橫截於水流之河道整流工程構造物，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。

圖 1(a)為傳統式固床工(conventional consolidation work)，由於設置時未考慮水中生物於河道上、下游間移動之廊道，因此對於棲地環境造成不良影響。本研究針對上述問題，提出如圖 1(b)之鋸齒式固床工(saw-tooth consolidation work)加以改善，透過數值模式模擬不同型式固床工設置前後，河川棲地流況之變化。並以水工試驗結果驗證，針對不同水力條件下之固床工型式與設置間距進行分析。期能於安全與生態考量下，提出順直河道固床工之最佳配置模式，供相關工程人員設計之參考。

有鑑於數值模式之發展及計算機處理能力在近幾年來大幅提昇，計算解已具相當精確度，工程界也常用來模擬流體行為，諸如橋墩淹塞、迴水、潰壩分析…等。而 SMS 模式(Surface Water Modeling System)在建立模型上操作簡便，對於網格控制容易且能立即獲得模擬結果，因此本研究選用該模式，模擬渠道施設固床工時之流況變化，据以分析流場水位、福祿數、速度梯度等水力因子，

以瞭解固床工與河川棲地間之關係。



(a)傳統式固床工　　(b)鋸齒式固床工

圖 1　傳統式與鋸齒式固床工模型示意圖(單位：cm)

二、模式介紹與理論分析

2.1 模式介紹

SMS(Surface Water Modeling System)V6.0 模組包含 TABS-MD(RMA2，RMA4，SED2D-WES)、HIVEL2D、FESWMS、ADCIRC、CGWAVE、STWAVE、WSPRO 等模式，具有前處理及後處理功能之地表水模式系統，本研究僅就水理模式部分進行探討。

TABS-2 係美國陸軍工兵團航道試驗所(Department of the Army, Waterways Experiment Stations, Crops of Engineers)於 1972～1984 年發展出來之二維變量流動床數值模式(Open-Channel Flow and Sedimentation,簡稱 TABS-2)包含三個基本計算程式:二維明渠變量流模式(RMA2)、二維明渠變量流輸砂模式 SED2D-WES 及水質污染傳輸模式 RMA4。在此針對 TABS-2 模式系統之二維明渠變量流模式、FESWMS 與 HIVEL2D 模式做一介紹與說明。

(1)RMA2

本模式原由 Resource Management Associates(簡稱 RMA)之 W.R. Norton, I.P. King 及 G.T. Orlob 於 1973 年發展完成，後經 WES 改良並增加處理乾濕網格功能而納入 TABS-2 模式中。本模式據根據葛樂金(Galerkin)殘值權重理論的有限元素法及 Newton-Raphson 疊代法求解，根據水深平均理論線性方程式(Navier-Stokes equations)用來推求水深，其中摩擦力係以曼寧公式或蔡斯公式計算；紊流特性乃以渦流黏滯性係數(eddy viscosity coefficient)定義之。此方程式中可忽略柯氏力與風力的影響。邊界可以滑動(slip)或非滑動(non-slip)方式處理，邊界條件可為水位、流速或流量。

(2)FESWMS

FESWMS(1995)由美國地質學調查中心(U.S. Geological Survey)發展，為一水平二維水深平均之地表水數值模式，FESWMS 由輸入資料說明模組(DIN2DH)、水深平均水流模組(FLO2DH)及輸出分析模組(ANO2DH)所組成，

用以模擬渠道中定量或變量流況分析。

(3)HIVEL2D

HIVEL2D 為二維水深平均高流速的穩態水理模式，適用在超臨界流及亞臨界流，本模式由美國陸軍工兵團航道試驗所發展，採有限元素法來描述二維淺水守恆方程式，並提供流場中因水躍所產生衝擊的傳流項穩定的數值解。在高流速水流的渠道中，科氏力及風力影響可忽略不計。

明渠二維數值模式，依據其物理基礎和所採用的數值計算技術，分別適用在不同的範圍及提供不同的精度，為達有效的數值模擬，首先應針對模式之限制及適用範圍加以研選,以求得一正確的數值模擬;本研究由 RMA2 、HIVEL2D 及 FESWMS，三種模式中研選一適合實驗模型流況之模式，用以模擬分析，以得較詳實之模擬資料。

2.2 理論分析

(1)流況歧異度指標

生物的系統中，存在著不同的或不相似的特性個體，謂之歧異的個體，其歧異的程度稱之為歧異度。以自然渠道而言，流況受渠床坡度、底質條件、上游流量…等影響，造成多樣化的棲地環境，可將水流型態歸類為深潭(pool)、緩流(slow water)、淺瀨(riffles)、急流(rapids)等四種流況。深潭因水深遮蔽性佳及流速慢，提供魚類良好的棲息場所，緩流為淺瀨與深潭之間過渡帶或緩衝帶，此區流速緩慢適合水中生物進行繁殖活動，淺瀨因流速快、溶氧量高，所以有高密度的底棲生物聚集，對魚類而言是食物供應區。

上述四種水流形態，可利用流速(V)與水深(h)之比值，也就是福祿數(Froude number) $Fr = V/\sqrt{gh}$ 來表示。依林(2002)的定義，可將棲地流況分類如表 1。

表 1　棲地流況分類表

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

註:*b/h* 為寬深比

從天然河川來看，多半為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)來作為我們本研究之多樣性指標。

$$D_S = 1 - \lambda \tag{1}$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^{S'} Pi^2 = \sum_{i=1}^{S'} \left(n_i / N\right)^2 \tag{2}$$

式中 D_S=流況歧異度；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 可視為一種優勢度指數(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。流況歧異度 D_S 越大，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為躲避洪水時期的庇護場所。

(2)模式控制方程式

RMA2 控制方程式包含連續方程式及動量方程式。

連續方程式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) + u\frac{\partial h}{\partial x} + v\frac{\partial h}{\partial y} = 0 \tag{3}$$

x－方向動量方程：

$$h\frac{\partial u}{\partial t} + hu\frac{\partial u}{\partial x} + hv\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho}\left(\varepsilon_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \varepsilon_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + gh\left(\frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{gvn^2}{\left(C_0 h^{1/6}\right)^2}$$
$$+\left(u^2+v^2\right)^{1/2} - \xi V_a^2 \cos\psi + 2hv\omega\sin\phi = 0 \tag{4}$$

y－方向動量方程：

$$h\frac{\partial v}{\partial t} + hu\frac{\partial v}{\partial x} + hv\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho}\left(\varepsilon_{yx}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \varepsilon_{yy}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) + gh\left(\frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{gvn^2}{\left(C_0 h^{1/6}\right)^2}$$
$$+\left(u^2+v^2\right)^{1/2} - \xi V_a^2 \sin\psi + 2hu\omega\sin\phi = 0 \tag{5}$$

式中，h：水深；u,v：卡氏座標 x,y 方向之流速分量；x,y：卡氏座標；xx：在 x 軸平面的垂直方向；yy：在 y 軸平面的垂直方向；xy,yx：在不同平面的剪力方向；t：時間；ρ：流體(水)密度；ε：渦流黏滯性係數(亂流交換係數)；g：重力加速度；n：曼寧(Manning)n 值；ξ：風剪力係數(經驗值)；V_a：風速；z_b：底床高程；ψ：風向；ω：地球之角轉動速率；ϕ：當地緯度；C_0：係數，公制為 1.0；英制為 1.486。

本模式依據殘值權重法中(Weighted Residuals Approach)之葛樂金法(Galerkin method)求解，建立有限元素模式，採用四邊形八節點元素，以二次形狀函數(Shape function)表示速度分量；以線性形狀函數表示水深，化簡控制方程式(2)至(4)式，對空間之非線性項以牛頓－拉福森(Newton-Raphson)法處理，時間積分使用完全隱性法。

在控制方程式中，渦流黏滯性項(eddy viscosity terms)主要在描述黏滯性(eddy viscosity)及雷諾數(Reynold's number)應力項中紊流效應。

$$\varepsilon_{xx}\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=\frac{\mu}{\rho}\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}+\frac{\partial u'v'}{\partial x} \tag{6}$$

式中，μ：紊流動力黏滯度(係數)；$u'v'$：擾動分量之乘積。

三、模式檢定與結果分析

王(2003,2004)及薄(2003)利用數值模式，模擬順直與蜿蜒河道中固床工之流況變化，並利用張(2003)相關試驗加以驗證，研選出 RMA2 為較適合之模擬模式，本文則進一步針對不同水力條件下之固床工間距及鋸齒間距條件，進行流況模擬，並藉由消能效果及歧異度指標預測最適切之固床工配置模式，圖 2 為本文研究分析流程。

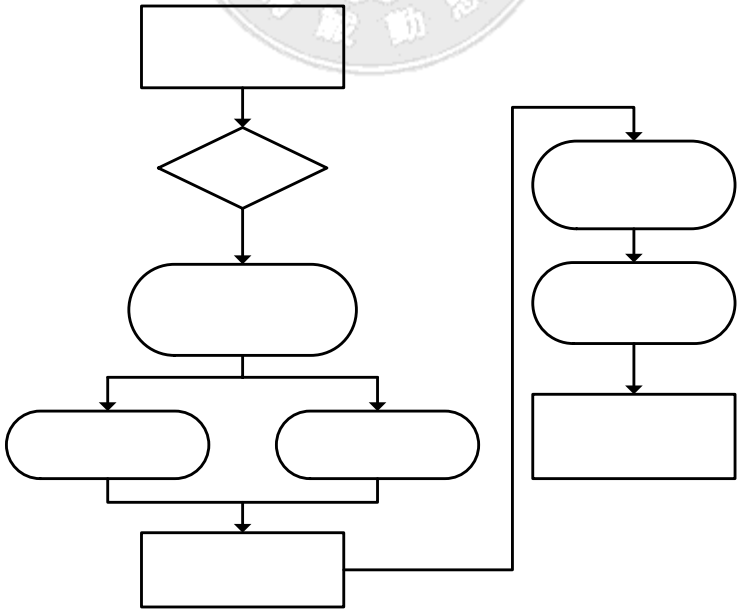


圖 2　研究分析流程圖

3.1 模式檢定

渠床及固床工網格設置，共採用八節點之二次元素 858 組及三角元素 805

組，總節點數為 4330 點。因固床工高程變化大，局部網格設置採三角元素為主。

(1)渠槽試驗條件

渠槽試驗配置如圖 3，水流由蓄水槽經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，避免水流入渠槽中因擾動不均勻形成誤差，水體經整流消能後，以定量清水流流入渠槽試驗段。渠槽兩側邊壁為光滑玻璃及平滑的木板，且其寬深比(aspect ratio)大於 10.0，可視為二維流況，則二次流對水流的影響可忽略不計，圖 4 為固床工配置間距示意圖。

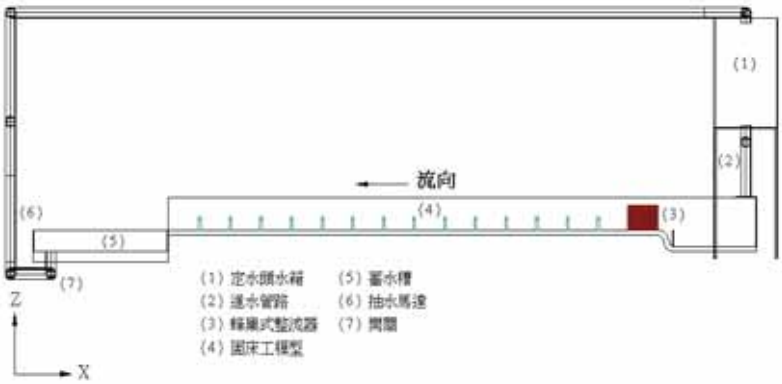


圖 3　實驗配置圖

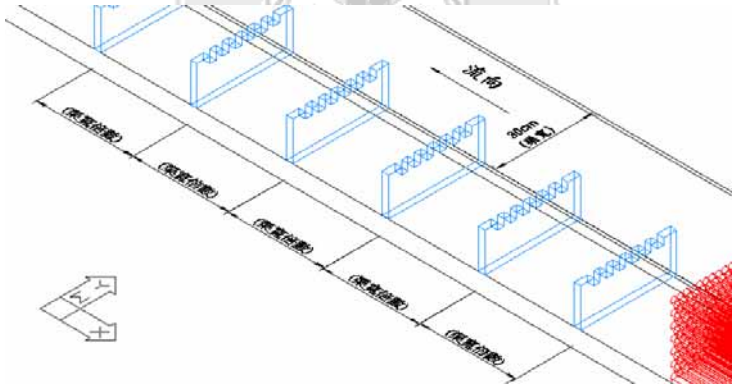


圖 4　固床工配置示意圖

順直渠道全長 410 *cm*，寬 30 *cm*，高 30 *cm*，渠坡 S＝0.1745%，渠道中分別設置傳統式固床工與鋸齒式固床工，渠道自下游而向上，間距以 120 *cm* 等間距排列，流量為 0.0036 *cms*，模式檢定條件如表 2 所示。

表 2　模式檢定條件

渠道試驗條件				
固床工	Q(cms)	S(%)	Z(模擬斷面)	D(河寬倍數)
	0.0036	0.1745	A、B、C	4

(2)模式模擬條件

模式依據相似定律放大 25 倍，以卡氏座標點匯入，匯入之模擬尺寸為：

渠道全長 102.5m，寬 7.5m，渠道中設置固床工，渠道自下游而上間距以 30.0m 等間距排列，數值參數分別為△x＝1.25m, △y＝2.5m 進行模擬。

(3)檢定結果

應用 RMA2 模式分別模擬水深、流速及福祿數結果示如表 3，RMA2 與水工試驗值之誤差均在 4%以內。

表 3　模式模擬誤差

類別	水深(%)	流速(%)	福祿數(%)
RMA2	-2.18～1.67	2.81～2.86	1.41～3.62

3.2 結果分析

為瞭解固床工上下游及兩固床工間之水理狀況，因此選定 A、B、C 三處分析斷面位置。斷面 A 為第一座固床工下游 1.25m 處橫斷面，斷面 B 為兩座固床工間之中間橫斷面，斷面 C 為第二座固床工上游 1.25m 處橫斷面，本文以 Z-A，Z-B，Z-C 分別表之。

本文選取自上游起算 13.75m~71.25m 間之範圍，涵蓋固床工 1 倍渠寬間距者 7 座，2 倍渠寬間距者 3 座，3 倍渠寬間距者 2 座，4 倍渠寬間距者 1 座，渠寬方向每 1.25m 擷取 1 點共 7 點，主流方向每 2.5m 擷取 1 點共 24 點，合計 168 個分析點。

本研究分別以低、中及高流量，即 Q1(3.75cms)、Q2(7.5cms) 及 Q3(11.25cms)，在不同河床坡度 S1(0.1745%)、S2(3.49%)條件下，模擬傳統式與鋸齒式固床工於配置間距為 1.5 倍(D1.5)、2.5 倍(D2.5)及 3.5 倍(D3.5)河寬時之流況，探討其消能效果、流心控制及流況歧異度之差異，據以研判在考量安全及生態條件下，最佳之固床工配置模式。

研究結果顯示鋸齒式固床工因形狀變化較傳統式固床工複雜，水流通過時受到擾動較大，流速、水深之變化亦隨鋸齒形狀而改變，圖 5 及圖 6 為模式模擬之結果，圖中顯示通過鋸齒式固床工之流線較不規則流況變化較大，反之傳統式固床工流線較單調。

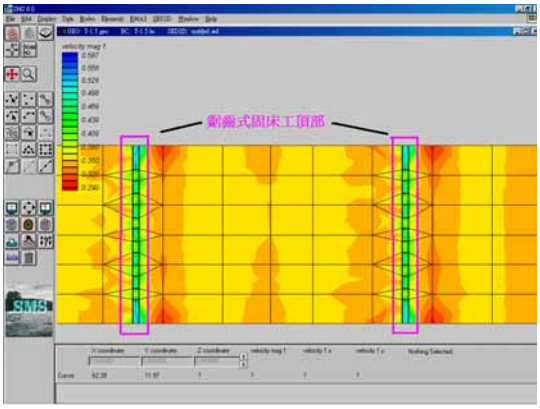


圖 5　鋸齒式固床工頂部流速分佈示意圖

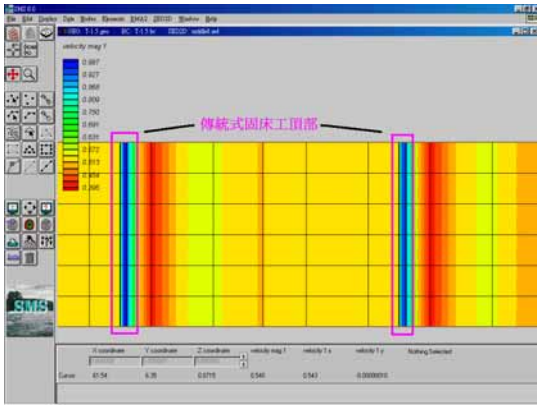


圖 6　傳統式固床工頂部流速分佈示意圖

(1)固床工之消能效果

流速為河床沖淤變化之主要因子，低流速對底床泥砂的運移能力較小，因此動床變化並不顯著，固床工藉由階梯式排列而削減能量，達到穩定河床的功能。圖 7 至圖 10 為傳統式與鋸齒式固床工分別於斷面 A 及 B 處之流速比較圖，鋸齒式固床工在 Q3 ＝ 11.25cms 、 S1=0.1745% 時 ， 其流速介於 0.9672~1.0439m/s，福祿數介於 0.2492~0.2780，皆小於傳統式固床工，據此研判鋸齒式固床工之消能效果較傳統式固床工為佳。以安全觀點而言，鋸齒式固床工優於傳統式固床工。若以固床工之間距而論，以 1.5 倍河寬之鋸齒式固床工消能效果較佳，2.5 倍則次之。然就工程經濟觀點而論，在相同之河道長度下，以間距 2.5 倍河寬時所需設置之固床工座數較少，較符合經濟效益。

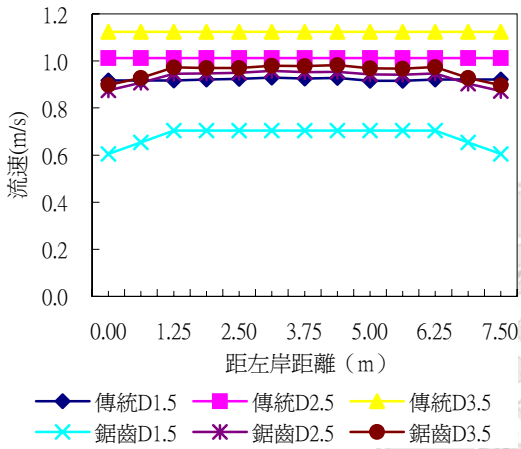


圖 7　固床工流速比較圖(Q3S1Z-A)

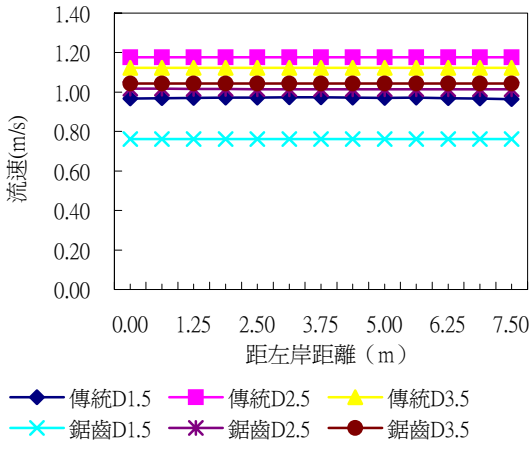


圖 8　固床工流速比較圖(Q3S1Z-B)

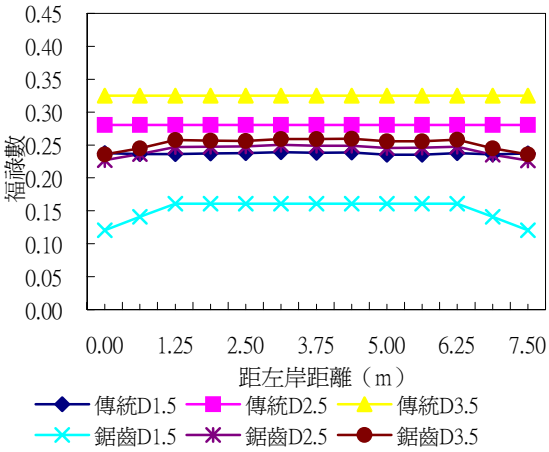


圖 9　固床工福祿數比較圖(Q3S1Z-A)

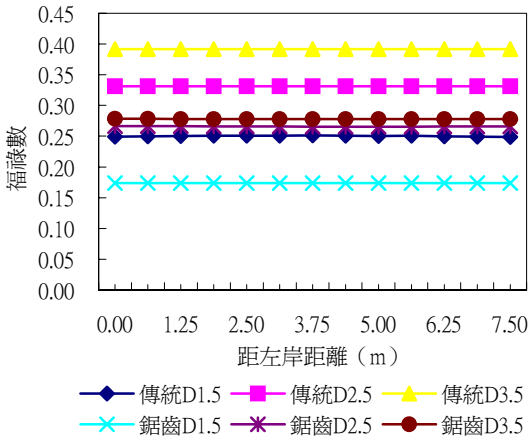


圖 10　固床工福祿數比較圖(Q3S1Z-B)

渠道流速及福祿數因固床工設置間距及鋸齒高度不同而有差異，故本研究進一步改變鋸齒高度以探討鋸齒間距(r)分別為鋸齒高度(H)之 0.5 倍、0.75 倍及

1 倍時之固床工消能情況，詳如圖 11 所示。圖 12 至圖 13 為不同流量及鋸齒間距在相同斷面 A 處、坡度 0.1475%下之流速與福祿數比較圖，圖中顯示鋸齒間距為 0.75H 時之固床工流速及福祿數為最小，就能量消減而言，鋸齒間距為 0.75 倍鋸齒高度之效果較佳。據此可知該等型式固床工為鋸齒式固床工中較安全之配置模式。

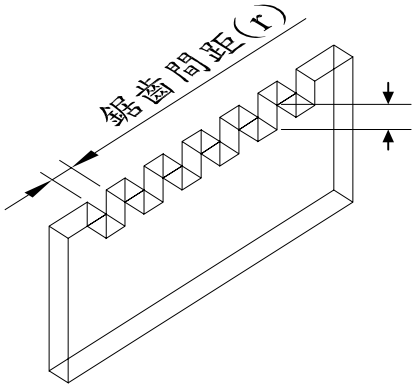


圖 12　固床工鋸齒高度示意圖

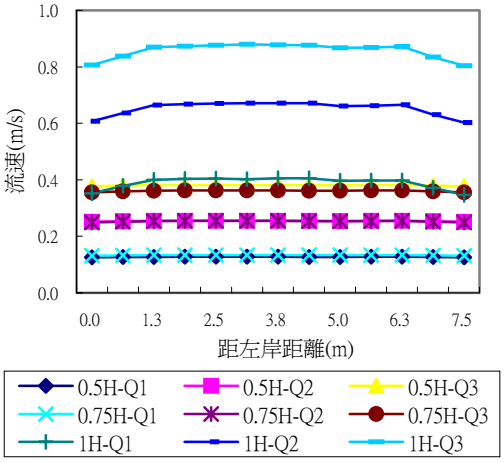


圖 12　鋸齒式固床工於斷面 A 處流速比較圖

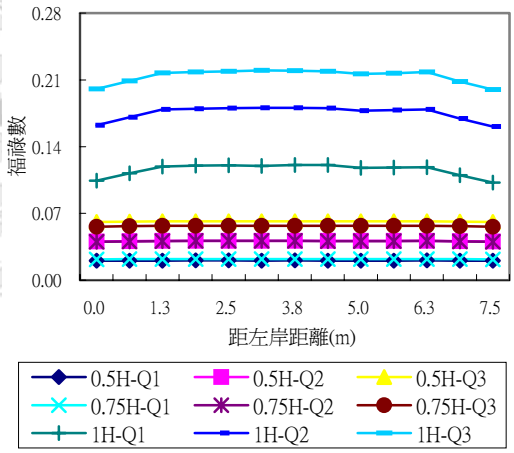


圖 13　鋸齒式固床工於斷面 A 處福祿數比較圖

(2)固床工之流心控制

本對擬探討不同流量與配置間距條件下，傳統式與鋸齒式固床工之福祿數變化率，福祿數變化率(△Fr)為在相同水力條件下，同一斷面上各點之福祿數(Fr_i)與該斷面福祿數平均值($\overline{Fr}$)之差，該差值與平均值之比值：

$$\Delta Fr=\frac{Fr_i-\overline{Fr}}{\overline{Fr}} \tag{7}$$

由河道斷面福祿數之變化，可瞭解慣性力與重力之消長，當河道中央福祿數變化率成正向成長，而兩岸△Fr 成負向消減，則水流對於岸坡之慣性力影響較少，流心即控制於河道中央，如此水流對於兩岸之沖刷力減低，則為較安全之固床工配置模式。

由圖 14~圖 17 中可知高流量流況下傳統式固床工之福祿數變化率極小，而鋸齒式固床工上下游(斷面 A 及 C)，其左右岸邊壁附近福祿數明顯遞減，亦即渠道兩旁所受之慣性力影響減小，研判對於岸坡之沖刷力減低。因此鋸齒式固床工較傳統式固床工之流心控制為佳，就安全的角度而言，對於河岸有較佳的保護作用。就鋸齒式固床工而言，不同之固床工間距其福祿數變化率趨勢與量值相近，其流心控制效果可謂大致相同。

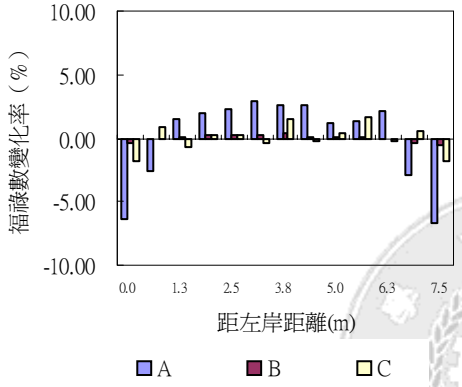


圖 14　鋸齒式固床工福祿數變化率(Q3S1D1.5)

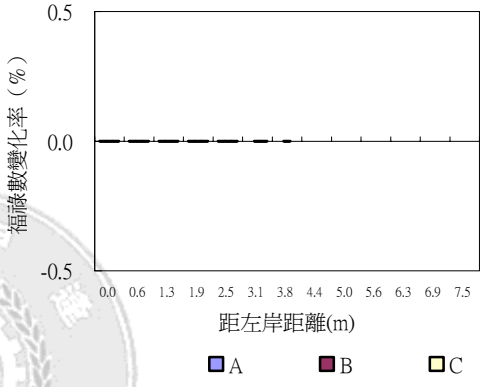


圖 15　傳統式固床工福祿數變化率(Q3S1D1.5)

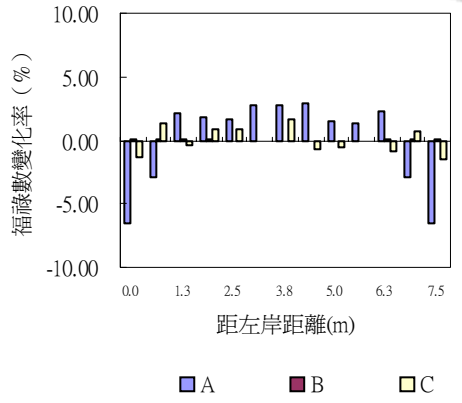


圖 16　鋸齒式固床工福祿數變化率(Q3S1D3.5)

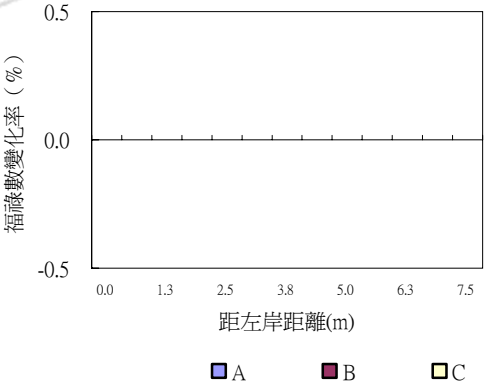


圖 17　傳統式固床工福祿數變化率(Q3S1D3.5)

(3)棲地流況歧異度

於不同水力條件下，改變固床工配置間距與鋸齒間距，探討棲地流況歧異度(D_S)之異同。若流況歧異度愈大，表示棲地環境較具多樣化，適合水中生物生存；反之，則棲地組合單調，不利於水中生物之生存。

研究結果顯示，當中高流量(Q≧7.5cms)流況，以固床工配置間距為 2.5 倍渠寬之歧異度較高，較可營造多樣之棲地型態，較有利於水中生物之生存，詳如圖 18 及圖 19 所示，圖中渠寬倍數為 0 時表示未設置固床工時之情況。整體而言，當固床工設置間距為 2.5 倍時，鋸齒間距為鋸齒高之 0.75 倍時之流況歧異度為最高。

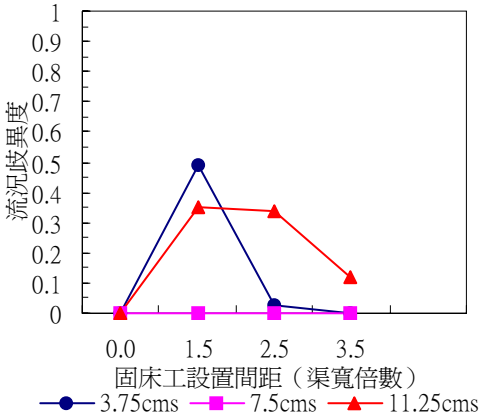


圖 18　流況歧異度與固床工配置關係圖(鋸齒式 S1、0.75H)

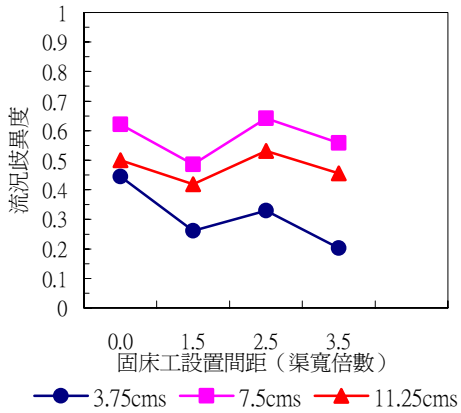


圖 19　流況歧異度與固床工配置關係圖(鋸齒式 S2、0.75H)

四、結論與建議

1. 以消能效果與流心控制而言，鋸齒式固床工優於傳統式固床工，較符合安全之需求。
2. 就鋸齒式固床工而言，以間距為1.5倍河寬時之消能效果較佳，2.5倍則次之。然於流心控制方面，三種不同固床工間距之效果可謂大致相同。
3. 中高流量(Q≧7.5cms)流況下，鋸齒式固床工以2.5倍河寬間距之流況歧異度較高，較易營造多樣化之棲地環境，有利於水中生物之生存。
4. 若考量工程經濟且符合安全與生態之條件下，以間距為2.5倍河寬時之鋸齒式固床工為較佳配置模式。當鋸齒間距為鋸齒高度之0.75倍時，具有較佳之消能效果及歧異度，為最理想之設計尺度。
5. 鋸齒式固床工的形式尺寸可視流況來調整，方可創造出真正適合的棲地型態，冀望接續之研究者能針對固床工之鋸齒形狀作探討。同時計算機處理能力與日漸增，惟數值分析水理模式仍以二維運算為主，對模擬實際流況而言尚有差距，因此研發三維模擬模式亦為一研究重點。

參考文獻

1. 王傳益、施漢鵬、張耿偉，(2003)，「蜿蜒河道橫向構造物配置之研究」，水土保持學報，35(4)：365-380。
2. 王傳益、薄榮鋼、張耿偉、李昱廷，(2004)，「固床工於河川棲地改善之數值研究」，水土保持學報，36(1)：71-84。
3. 王傳益、張榮毅、陳正炎，(2004)，「固床工型態對蜿蜒河道穩定影響之試驗研究」，第四屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會，台灣大學，九月，第125-132頁。
4. 林秉賢，(2002)，「橫向堆石群對溪流生態棲地流況之影響」，碩士論文，逢甲大學土木及水利工程研究所。
5. 張耿偉，(2003)，「固床工型態對河川棲地影響之研究」，碩士論文，逢甲大學土木及水利工程研究所。
6. 薄榮鋼，(2003)，「固床工對棲地流況影響之數值研究」，碩士論文，逢甲大學土木及水利工程研究所。
7. Copyright, (1998), ”SMS6.0 Tutorials.”, Brigham Young University – Environmental Modeling Research Laboratory.
8. Copyright, (1997), “HIVEL2D v2.0 Users Manual.”, Waterways Experiment Station.
9. Copyright, (2000), “Users Guide To RMA2 WES Version 4.5.”, Us Army, Engineer Research and Development Center Waterways Experiment Station Coastal and Hydraulics Laboratory.
10. Gorman and Karr, (1978), “Habitat structure and stream fish communities.”, Ecology, Vol.59, PP.507-515.
11. Waterways Experiment Station, (1997), “HIVEL2D v2.0 Users Manual.”.
12. Wiele, S.M., Graf, J.B., Smith, J.D., (1996), “Sand deposition in the Colorado River in the Grand Canyon from flooding of the Little Colordo River.”, Water Resources Research, Vol.34, No.12, PP.3673-3681.
13. Us Army, Engineer Research and Development Center Waterways Experiment Station Coastal and Hydraulics Laboratory, (2000), “Users Guide To RMA2 WES Version 4.5.”.
14. Allan, D.J., (1995), “Stream Ecology Structure and Function of Running Waters.”, 1st ed., Chapman & Hall, London, pp.388.