

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 生態工法水利特性及對水生物棲地影響之研究 (II) 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 95-2221-E-002-111-  
執行期間：95年08月01日至96年07月31日  
執行單位：國立臺灣大學水工試驗所

計畫主持人：李鴻源  
共同主持人：胡通哲  
計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：邱鵬豪  
                  博士後研究：施上粟

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 12 月 14 日

生態工法水利特性及對水生物棲地影響之研究（II）

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫  
計畫編號：NSC 95-2211-E-002-111-  
執行期間：95年8月1日至96年7月31日

計畫主持人：李鴻源  
共同主持人：胡通哲  
計畫參與人員：施上粟、邱鵬豪

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

處理方式：得立即公開查詢

執行單位：國立台灣大學水工試驗所

中 華 民 國 96 年 10 月 31 日

# 目錄

目錄.....	I
報告內容.....	2
一、前言.....	2
二、研究目的.....	2
三、文獻探討.....	2
四、研究方法.....	3
五、結果與討論.....	5
六、結論與建議.....	11
參考文獻.....	12
計畫成果自評.....	13

# 報告內容

## 一、前言

近年來國內大力推動各項河川生態工法，從生物的觀點檢視塊石工法在魚類棲地產生的變化，並比較工程的安全性為推動各項生態工法的重要課題，但參考台灣台北內溝溪佈置的相似工法及搜尋國外之溪流生態工法，往往都是依經驗法則施作，施作方式較無學理科學依據，而多數研究亦多著重於定性探討及現場施作，較少對於其理論現象進行物理模型（水槽試驗）及數學模型（數值模擬）進行探討，且相關之數值模擬時所採用之水利參數（如曼寧  $n$ 、渦流黏滯係數等）多採用國外文獻或國內非專屬生態工法範疇參考值，常有參數決定上之困擾，因此成立本計畫解決上述各項實務上及學理上的問題。

## 二、研究目的

本研究於第一年計畫中嘗試以塊石堆砌工法，使低水流路蜿蜒化以營造棲地多樣性的條件，在二種水流條件下，塊石工法的佈置對於指標性魚種的棲地條件確實有改變，並針對數值模型所採用之水利參數（如曼寧  $n$ 、渦流黏滯係數等）進行研究。

第二年研究接續討論洪水條件下水理狀況變化對魚類棲地之影響。於台灣大學水工所水工實驗室模擬其水平二維流況變化，並配合水平二維水理實驗，模擬塊石堆砌工法設置後，河道水理特性的變化。此外利用水槽試驗之實驗結果，進行各類魚類棲地變化的評估，即利用不同工法的配置方式評估魚類可用避難棲地面積（WUA）的變化情形，以量化生態工法成效。

## 三、文獻探討

生態工法最早起源於歐洲德國及瑞士，1938年德國 Seifer 首先提出「近自然河溪整治」的概念，1962年 Odum 首次提出「Ecological Engineering」，將生態學概念運用於工程中。

有關棲地營造的研究包括：Seo and Maxwell(1992)以渠槽實驗模擬低水流量時深潭與淺瀨的相互關係，Thompson (2006) 以渠槽實驗模擬結構物後渦流區(Vortex shedding)對於深

潭刷深的影響，陳麒升（2005）、林秉賢（2001）、趙時樑（2001）則以水槽實驗模擬石樑工法之最佳排列間距。而張耿偉、薄榮鋼（2002）利用 SMS 模式(Surface Water Modeling System)以及實驗水槽實驗，針對不同水力條件下之固床工型式與設置間距進行模擬，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。

另針對流量與棲地的關係，于錫亮（1997）說明 Instream flow 被定義成水的流量能夠在某一河流域或某一河段維持目前的水中棲地 (aquatic habitat) 或魚類群聚 (fish community)。Yu and J. Peters（1997），運用 IFIM 方法討論魚類棲地與福祿數 (Fr.) 的關係。李信孝（2003）以台北市內湖區大溝溪為案例，運用福祿數去連結溪流流況與魚類棲地的關係式。翁智鴻（2003）以 TABS-2 模式模擬枋腳溪，選定魚類為指標物種，作出枋腳溪指標魚類之適合度曲線。

#### 四、研究方法

##### （一）實驗佈置

本實驗為模擬現場較具代表性的渠道低水蜿蜒化塊石堆砌工法，同時又要兼顧實驗的水理狀況較符合現場，因此選用不等比模型 (Distorted model) 來達到實驗目的，垂直模型比 1:10，水平模型比 1:30，橫豎比值為 3 的不等比定床模型，利用原型與模型動力相似之原理，原型與模型福祿數 (Froude number) 相同。

本實驗以顆粒追蹤方式得到水面二維流場變化，利用電子耦合裝置攝影機 (Charge Coupled Device camera) 拍攝顆粒影像進行比對分析顆粒速度變化，水位變化以針尺 (Point gauge) 進行測量，實驗佈置如圖 1：

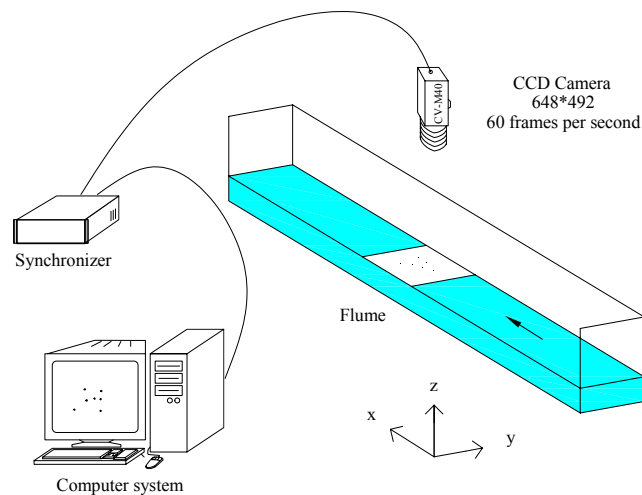


圖 1 實驗佈置

實際河川流況大多為完全紊流 (Fully turbulent)，因此必須控制實驗室水槽流況滿足此條件。在率定水槽流量與校準 CCD 後便可開始實驗，並透過影像分析與時間平均兩個過程後便可得到平均流場，後以針尺量測水面線，如圖 2~圖 4 為實驗流場結果，由實驗結果可發現結構物後方之迴流區，由於浮水顆粒無法順利進入此區，因而無法得到迴流區之平均流場，因此這個區域目前僅做定性討論。

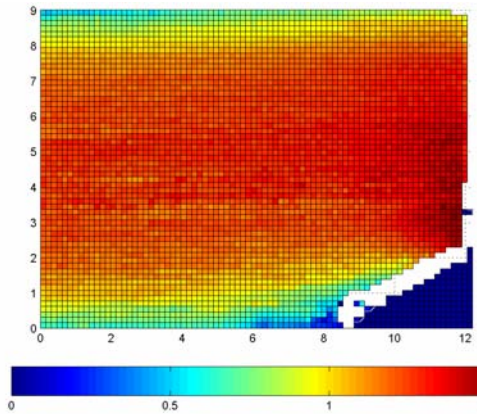


圖 2 平均速度場內插後情形

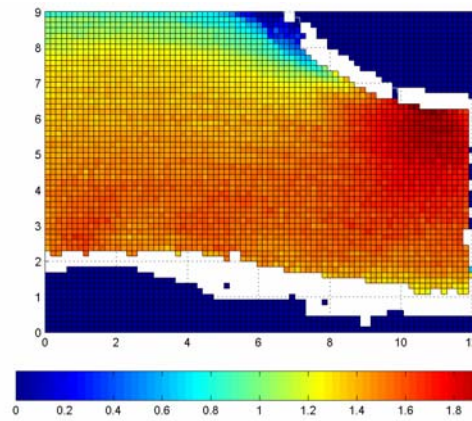


圖 3 實驗迴流區情形

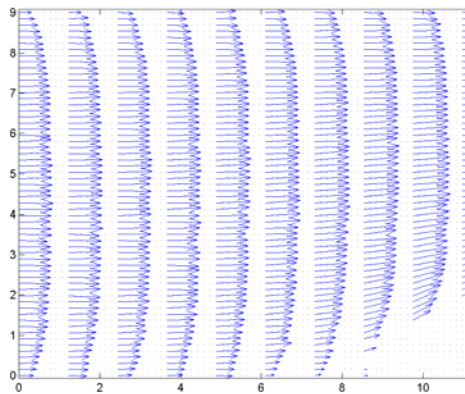


圖 4 平均速度場向量圖

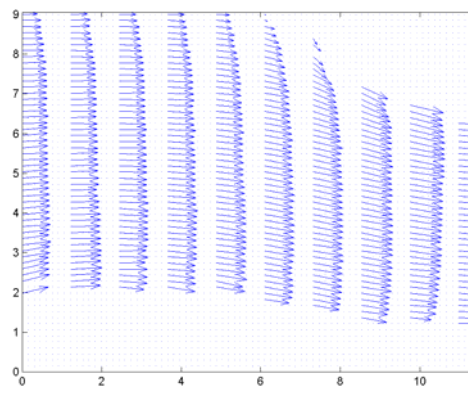


圖 5 接續前張之向量圖

## (二) 數值模擬

數值模擬採用 TABS-2 模式，該模式是為美國陸軍工兵團水道實驗站 (U.S. Army Corps of Engineers, Waterway Experiment Station, WES) 所發展的深度平均二維變量流水理、水質及輸砂模式。適用於河川、港灣及河口等寬淺水域的模擬，能夠具體表現出各物理量的平面分佈。模式需要輸入之各項水理參數，上游流量、下游水位、曼寧  $n$  值與坡度均以實驗條件輸入，期望模式模擬效果與實驗相近，並以水深做為比對基準，圖 6 為比對水面線座標定義，經率定驗證後發現平均誤差僅約 1.6%，結果相當理想。

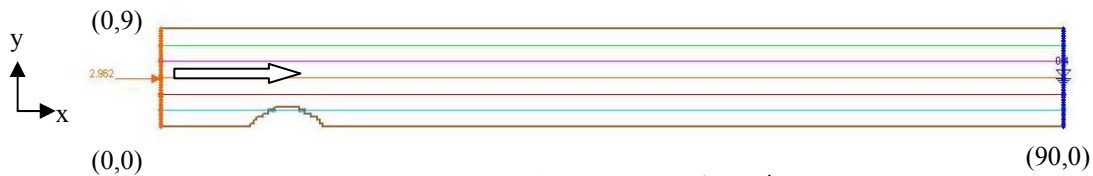


圖 6 座標與五條水面線定義

## 五、結果與討論

對於洪水來臨時，棲地水理條件丕變，塊石工法因為塊石後方的回流區提供魚類流速較低的區域作為避難的場所，或是對因為塊石造成的束縮效應，導致河川產生局部加速及沖刷之情形，而造成棲地及河防安全的破壞，使得魚類遭受衝擊受傷、漂流至下游、甚至死亡的情形，對於生態工法的設計者而言，不得不小心謹慎。

援此，本研究以三種魚類(鯉科、平鰭鰍科、蝦虎科)的適合度曲線，評估洪水時期的棲地環境是否足供魚類避難之場所，利用原始河道及加設塊石工法的河道對棲地條件作一檢視，WUA 可以清楚的告訴設計者，何處可作為避難空間，有關 WUA 的定義如下：

$$WUA = \sum_i [f(V_i) \times f(H_i) \times A_i] \quad (1)$$

將每個網格之流速及水深的棲地適合度指數與每個網格的面積代入(1)式中，即可得到河道中魚類的可用棲地面積。若所計算出來的可用棲地面積越大，則代表此河段越適合此標的魚種棲息，因此便可藉由可用棲地面積大小之變化，來評估塊石堆砌工法在此河段對於魚類棲息面積變化之影響，以量化其成效。

另外， $PUA = \frac{100 \times WUA}{\text{模擬區域面積}(A)}$  表示為棲地面積百分比 (percent usable area)，用來表示研究區域中魚類可用棲地面積佔原始河道面積百分比。

本研究規劃的洪水條件是以水槽模擬水深 0.6 公尺、福祿數  $Fr = 0.70$  及水深 0.72 公尺、福祿數  $Fr = 0.75$  的兩種流況情形，表 1 是將原始河道的流速水深適合度值及產生的有效棲地百分率臚列如下：

表 1 原始河道的流速水深適合度值及 PUA 值

	Fr = 0.70			Fr = 0.75		
	流速適合度	水深適合度	PUA	流速適合度	水深適合度	PUA
蝦虎科	0.22	0.73	16.03%	0.09	0.88	8.06%
鯉科	0.0017	0.48	0.08%	0	0.14	0%
平鰭鰍科	0.33	0.53	17.07%	0.14	0.24	3.35%

其中，蝦虎科對應最大適合度值的流速及水深分別為 0.3 m/s 及 0.82 m，所以在洪水條

件下流速增加，流速適合度值下降，水深適合度值卻因為小於 0.82，所以值有上升趨勢，然而總體而言為下降。鯉科由於流速 1m/s 及水深 0.6m 時的適合度值接近 0.1，而本流場的流速遠大於 1m/s，所以鯉科的魚類無法在本條件下生存。平鰭鰍科最適合流速為 0.8 m/s，所以隨著流量加大、流速適合度值下降，在水深部份，0.4 m 為最大值，所以隨著流量加大、水深適合度值下降，所以 PUA 值為下降趨勢。

圖 7 及圖 8 分別為福祿數  $Fr = 0.70$  及  $0.75$  的流速分佈判釋結果。實驗導流狀況加速中心內有波紋震盪情形，經過塊石時，局部加速的情形下游大於上游，與亞臨界流遭遇障礙物時，上游水深提高、流速降低的效應有關，而在低水位及高水位時，塊石形狀產生的導流效應，在流場中產生較大的  $v$  速度，所以在低水位及高水位條件下，流心區域高流速的範圍並非連續的情形，而依據塊石工法的配置，高流速區大致上呈現區塊分布，與塊石成對出現。對於蜿蜒化情形，在高水位的條件下，仍存在有蜿蜒的情形，但是低流速區域的大小，隨著來流條件的增加而減少，在  $Fr = 0.75$  的條件下，則因為水深較深，塊石的影響逐漸降低，影響較  $Fr = 0.70$  時小。

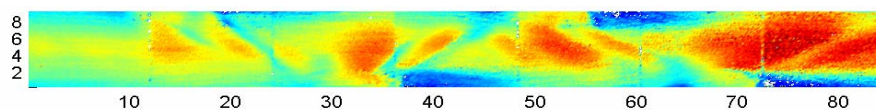


圖 7 實驗模擬雙組塊石工法  $D = 2B$  的流速分布情形 ( $Fr = 0.70$ )

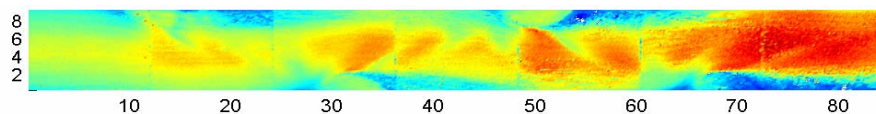


圖 8 實驗模擬雙組塊石工法  $D = 2B$  的流速分布情形 ( $Fr = 0.75$ )

圖 9 與圖 10 分別為  $Fr = 0.70$  及  $0.75$  的條件下水深分布判釋結果。在原始河道的條件下， $Fr = 0.70$  時水深分別為 0.60 公尺，放置模型後水深變化約介於 0.38~0.79 公尺間，變



化幅度約在 46%； $Fr = 0.75$  時水深分別為 0.72 公尺，放置模型後水深變化約在 0.45~0.98 公尺間，整體而言水深降低的幅度較水深提高的範圍大，相對來說，流速加速的情形比降低的區域多。

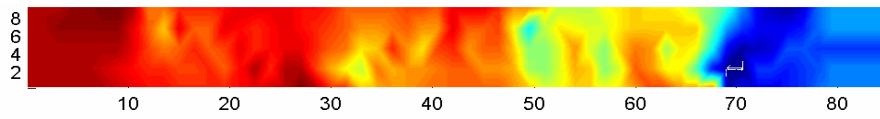


圖 9 雙組塊石工法  $D = 2B$  的水深分布情形 ( $Fr = 0.70$ )

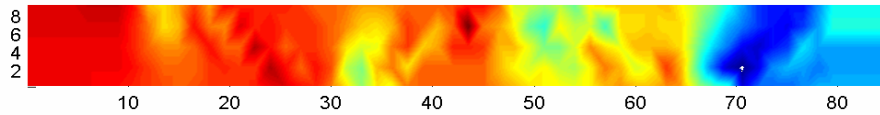


圖 10 雙組塊石工法  $D = 2B$  的水深分布情形 ( $Fr = 0.75$ )

圖 11 與圖 12 則分別為  $Fr = 0.70$  及  $0.75$  的條件下福祿數分布結果，比較原始河道與設置塊石工法的差異，發現福祿數的變化相當大，在下游的區域已經由亞臨界流轉換成超臨界流，至於對魚類避難棲地的變化，詳如後敘。

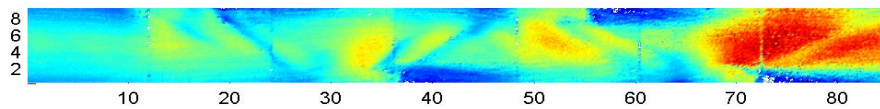


圖 11 雙組塊石工法  $D = 2B$  的福祿數分布情形 ( $Fr = 0.70$ )

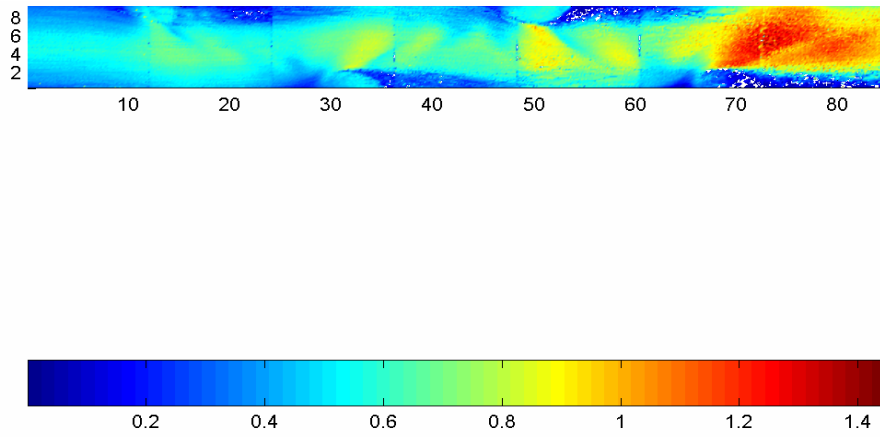


圖 12 雙組塊石工法  $D = 2B$  的福祿數分布情形 ( $Fr = 0.75$ )。

圖 13 及圖 14 分別為  $Fr = 0.70$  及  $0.75$  的條件下，蝦虎科的魚類對於流速適應情形的分布，由圖 13 結果觀察，紅色區域為數值較高的區域，由於流速  $0.3 \text{ m/s}$  適合度值最大，所以區域內邊界及模型尾流區數值分布較高，流速適合度的平均值約為  $0.18$ ；而圖 16 結果則發現可利用區域範圍較大，乃是因為  $Fr = 0.75$  時水深為  $0.72 \text{ m}$  較  $Fr = 0.70$  時的  $0.6 \text{ m}$  深，對於  $0.4 \text{ m}$  高的塊石而言，局部加速的效果較不明顯，可以得到較均勻的水流，所以有效區域較大，流速適合度的平均值約為  $0.29$ 。

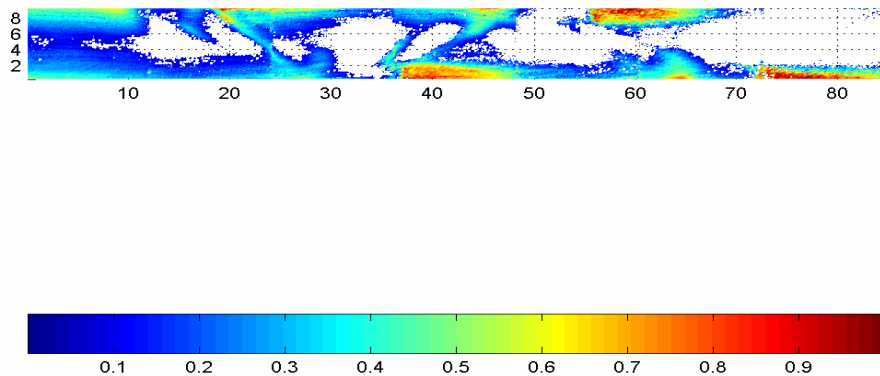


圖 13 蝦虎科魚類對於流速適應情形的分布 ( $Fr = 0.70$ )。

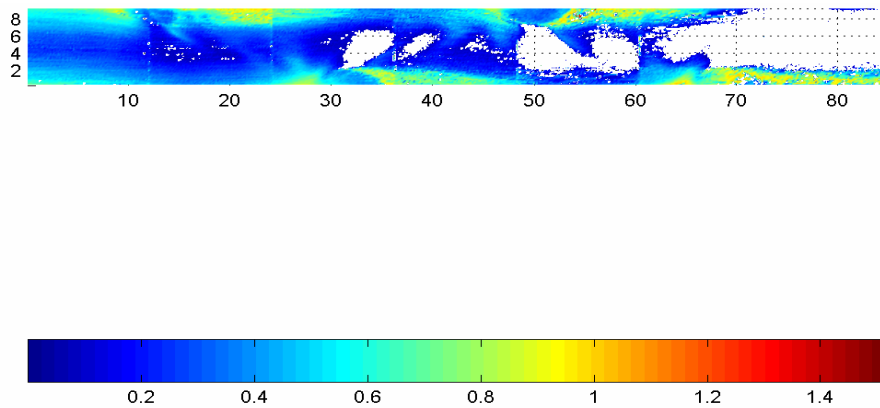


圖 14 蝦虎科魚類對於流速適應情形的分布 ( $Fr = 0.75$ )。

另外就 WUA 分布分析討論，圖 15 為  $Fr = 0.70$  時，擺設塊石工法所得到的 WUA 分布，圖上的最高值約為 0.018，係因為分係單元為 0.15 m 平方公尺，所以數值遠小於一，計算後 WUA 值為 106.14 平方公尺換算為 PUA 為 13.83%。而圖 16 為  $Fr = 0.75$  時，擺設塊石工法所得到的 WUA 分布，避難空間較為連續，計算後 WUA 值為 206.97 平方公尺換算為 PUA 為 26.97%，結果比  $Fr = 0.70$  獲得較理想的棲地。

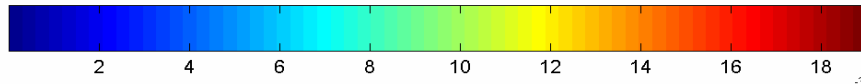
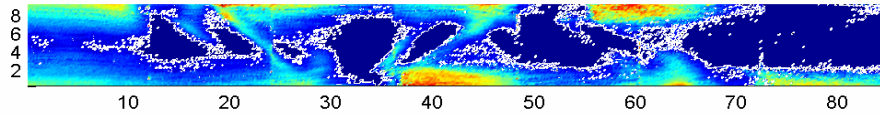


圖 15 蝦虎科魚類 WUA 的分布情形 ( $Fr = 0.70$ )。

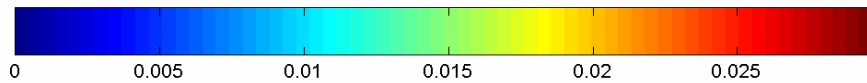
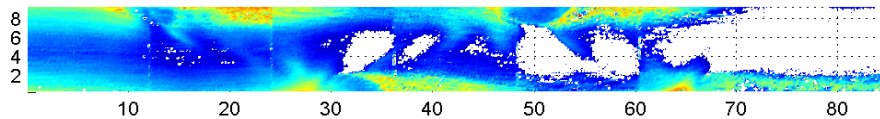


圖 16 蝦虎科魚類 WUA 的分布情形 ( $Fr = 0.75$ )。

表二為計算三種指標性魚種在實驗模擬的二種洪水條件下，PUA 的變化情形，對於鯉科而言，PUA 值的變化不大，主要原因為流速的適合度表現不佳所致，對於平鰭鰍科而言，由於最適合的水深為 0.4 m，所以隨著流量增加，水深的適合度值下降，而對於最適合流速 0.8 m/s 而言，由於  $Fr = 0.75$  的流況較為均勻，所以所得到的流速適合度平均值較高。

表二 三種指標性魚種在不同加入塊石工法後 PUA 的變化情形

	Fr = 0.70			Fr = 0.75		
	流速適合度	水深適合度	PUA	流速適合度	水深適合度	PUA
蝦虎科	0.18	0.75	13.83%	0.29	0.90	26.97%
鯉科	0.017	0.43	0.98%	0.05	0.22	1.64%
平鰭鰍科	0.25	0.49	10.47%	0.38	0.20	4.69%

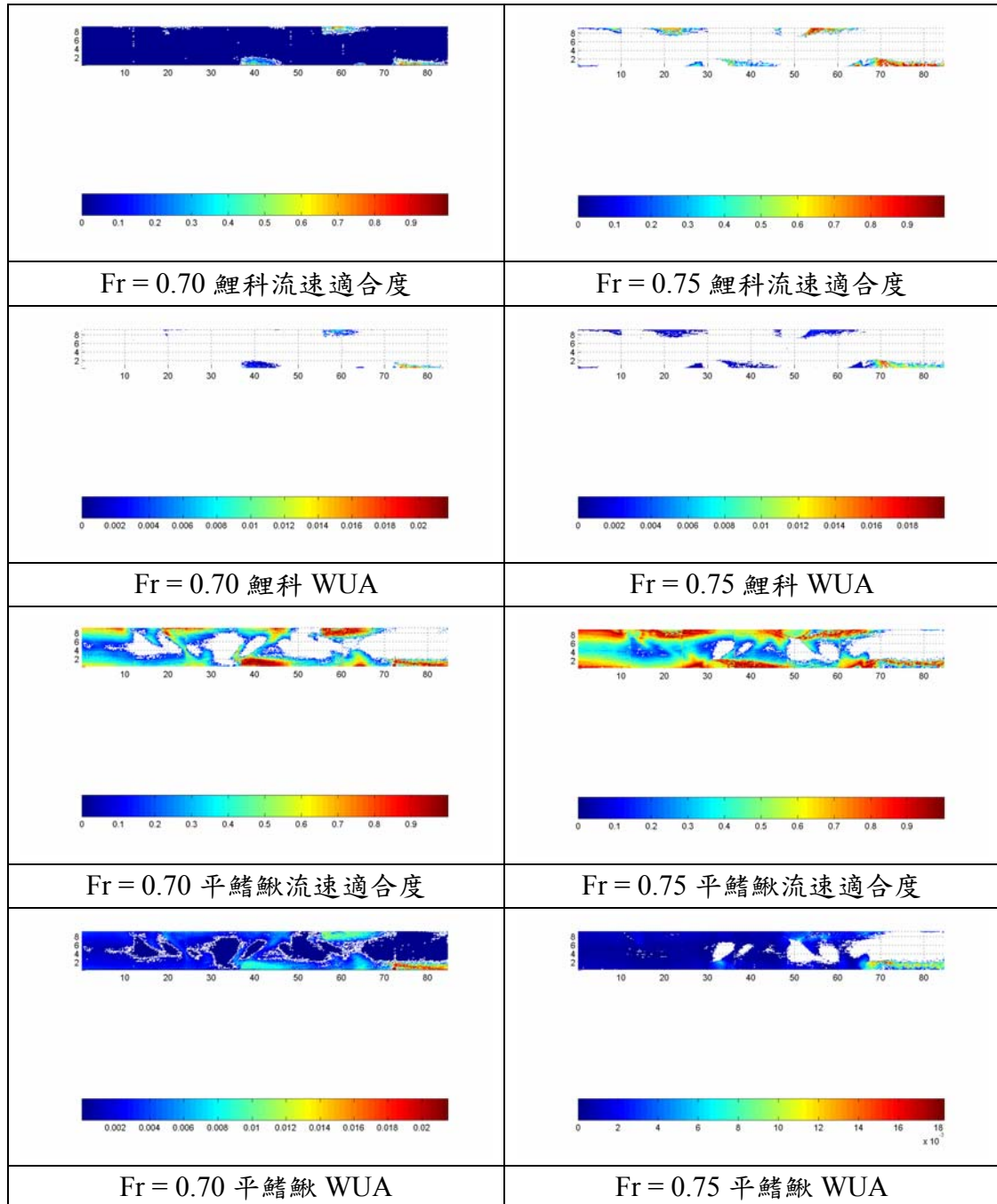


圖 17 鯉科及平鰭鰍科流速適合度及 WUA 分佈

## 六、結論與建議

### (一) 結論

1. 在  $Fr = 0.70$  的情況下，以鯉科、平鰭鰍科及蝦虎科三種指標性魚類的 PUA 來看，設置工法後 PUA 除了鯉科是稍微上升外，其他皆下降，探究原因是因為水深為 0.6 m 時僅高於塊石高度 0.4 m 約 20 公分，使得塊石上方水流較慢、流量不高，而洪流主要通過塊石之間的通道，造成嚴重的局部加速作用，這點可由表二中對於速度適合度值的表現可看出，對於提供避難空間而言，原始河道的均勻水流似乎威脅性較低。

河道布置	PUA		
	蝦虎科	鯉科	平鰭鰍科
Fr = 0.70 天然河道	16.03%	0.08%	17.07%
Fr = 0.70 佈置塊石河道	13.83%	0.98%	10.47%
Fr = 0.75 天然河道	8.06%	0	3.3%
Fr = 0.75 佈置塊石河道	26.97%	1.64%	4.69%

2. 在  $Fr = 0.75$  的情況下，三種指標性魚類的 PUA 值在放置工法後均有效提高，唯鯉科及平鰭鰍科的避難空間仍不足，初步的判斷設置工法後產生的流況變化確實可以增加避難空間。
3. 對於塊石工法而言，常流量情況下營造的棲地多樣性確實有效，而洪流情況下亦能提供較多的避難空間，唯當洪水逐漸升高至塊石堆積高度時，局部流況的加速情形將加劇，對於水生物的威脅增加，這個現象的改善是使用本工法的最主要課題。

### (二) 建議

1. 生態工法佈置必須針對各種河川及生物特性進行調整，對於河性的變化仍不宜過度改變，亦即急流區無須過度利用工程方式營造為緩流區，同理亦是。
3. 對於動床條件，河床與塊石的相互影響，後續可持續分析探討。
4. 底床區域的推移質、懸浮質變化如何影響魚類的避難行為，水生植物對於生物避難所扮演的角色應不亞於塊石工法所營造的效果，可考慮進行三維流場進行分析探討，以為進一步探究魚類避難空間的要務。
5. 魚類覓食行為也是魚類棲地計算很重要的課題，因此針對不同魚種，其棲地的營造是否利於上游落葉、碎屑的堆積而有利於魚類覓食也是後續必須持續研究的課題。

## 參考文獻

1. 于錫亮(1997),「淺談流量與棲地關係的方法學」,自然保育季刊,第十九期,P.15-19。
2. 李信孝(2003),「溪溝之魚類棲地水理分析-以大溝溪為例」,國立台北科技大學環境規劃與管理研究所碩士論文。
3. 翁智鴻(2004),「各種流況對魚類棲地可用面積之影響-以枋腳溪為例」,國立台北科技大學環境規劃與管理研究所碩士論文。
4. 陳麒升(2005),「灌溉渠道生態工法水理研究」,中原大學土木工程學系碩士論文。
5. 林鎮洋、邱逸文(2003),「生態工法概論」,台北科技大學水環境研究中心。
6. 施上粟、李鴻源、胡通哲(2004),「台中柳川應用生態工法於魚類棲地改善之研究」,中華水土保持學報,35(3):229-239。
7. 胡通哲、施上粟、李鴻源(2003),「近自然工法水理數值分析之研究—以多望溪為例」,中華水土保持學報,34(1):95-100。
8. 張耿偉(2002),「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所碩士論文。
9. 薄榮鋼(2002),「固床工對棲地流況影響之數值研究」,逢甲大學土木及水利工程所碩士論文。
10. 趙時樑(2001),「蛇籠丁壩群對溪流流況多樣化影響之研究」,逢甲大學土木及水利工程所碩士論文。
11. 林秉賢(2001),「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所碩士論文。
12. Hawkins, C. P., Kershner, J. L., Bisson, P. A., Bryant, M. D., Decker, L. M., Gregory, S. V., McCullough, D. A., Overton, C. K., Reeves, G. H., Steedman, R. J. & Young, M. K. (1993). A hierarchical approach to classifying stream habitat features. *Fisheries* 18(6):3-12.
13. Seo, Il Won, Maxwell, W. Hall C.(1992), Modeling low-flow mixing through pools and riffles. *Journal of Hydraulic Engineering* 118(10): 1406-1423
14. Thompson D. M.(2006). The role of vortex shedding in the scour of pools. *Advances in Water Resources* 29:121-129
15. Yu Shyi-Liang and Edward J. Peters (1997). Use of froude number to determine habitat selection by fish, *Rivers*. *Rivers* 6(1):10-18

## 計畫成果自評

### (1) 與原計畫相符程度，達成預期目標狀況

二年的研究過程可以分成三個主要的工作內容：1.理論回顧及分析：針對文獻上提及有關魚類棲息環境的分析理論，包括魚類可用棲地面積、IFIM 方法學、魚類棲地多樣性、水棲昆蟲（覓食棲地）及魚類適合度曲線探討等，希望能找出真正能吻合魚類棲息環境的描述方式，並建立「魚類棲息模式」的理論基礎；2.水槽試驗：以台北市內湖大溝溪部分河段為對象，建構其水槽尺寸及試驗材料尺寸，包括塊石工法尺寸、放置間距，底床坡度、放流量等，這些可以直接反映在福祿數這個參數上，用以表現不同的棲地樣貌，並用以率定數值模式的參數；3.數值模擬：利用水槽試驗結果進行數值模式 TABS-2 的參數率定，率定完成後的數值模式，可以進行多組的數值實驗，以找出對魚類（如台灣石賓、明潭吻蝦虎、台灣間爬岩鰍等）而言，怎樣的工法組合及配置才是最佳的。

就本計畫原本規劃要完成魚類覓食棲地就無法達成預期目標（屬第三年度工作），故本計畫原訂的目標是完成建置「魚類棲息模式」目前僅能獲得部分成果。就本年度（第二年度）計畫預期目標而言，研究成果的確已達成原先設定之工作目標及工作項目。

### (2) 研究成果之學術或應用價值

由理論的分析可發現，棲地多樣性的研究通常鼓勵比較多樣的棲地環境，例如灘、瀨、湍、流等，但對於魚類真正溯游行為是否因為棲地不連續而受影響的研究較少，因此常流時的研究較洪流時多，也就是棲地多樣性的研究結果比較適用於常流時魚類棲息所需的環境優劣描述，而較不適用於洪流時提供躲藏的評估之用；另外，WUA 的評估一開始的應用上也是趨向於常流時的棲地面積考量，這主要是因為考量到水資源的政策制訂上大部分未考量生態所需的緣故，所以像 WUA 這種棲地面積評估的方式就可以適時的提供河道內最低生態流量需求的量化標準，有助於提高河川內包括魚類等水生物的存活機會，之後陸續有研究提到這樣的評估方式也可以運用在洪流時的評估，主要是因為部分工法的施設能提供魚類等水生物躲藏的空間，並能有效降低洪流流速，反映在適合度曲線上（Habitat Suitability Curve；HSC）就是提高水生物棲息地的適合度，以增加汛期時發生洪流的存活機率，但因為 HSC 取得不易，故許多研究都採用科級（family level）適合度曲線粗估，如：以台灣石賓估算鯉科魚類、明潭吻蝦虎估算蝦虎科魚類、台灣間爬岩鰍估算平鰭鰍科等，這也是為什麼本案第三年度規劃一個野外調查的工作，但因為第三年計畫未獲得補助，故這部分工作成果無法獲得。本計畫也提出一個新的棲地多樣性評估指數：分散性指標（Interspersion Index；II）用

來評估計算出來的棲地樣貌，經研究發現較之於文獻的數種方法優越，較能評判棲地的優劣，值得推廣。而數值模擬結合水槽試驗及影像擷取、判釋能呈現比較完成的水理分析結果，也是這個研究主要的成果之一，對後續的三維流場判讀有相當的幫助。另外，研究亦發現河道中放置塊石工法，在常流量情況下營造的棲地多樣性確實有效，而洪流情況下亦能提供較多的避難空間，唯當洪水逐漸升高至塊石堆積高度時，局部流況的加速情形將加劇，對於水生物的威脅增加，這個現象的改善是使用本工法的最主要課題，可能也是實務操作上必須特別克服的困難。

### (3) 是否適合在學術期刊發表或申請專利

目前已提出兩篇文章於著名 SCI 國際期刊 (Ecological Engineering ; Ecological Indicators) 審查當中，並有數篇國際研討會文章準備中：

Shih, S.S., H.Y.Lee and H.L.Yu, Using fish as ecological indicator to assess the advantage of constructed spur dikes, *Ecological Indicators*.(SCI)(Reviewing)

Lee H.Y., S.S.Shih, P.H.Chiu and C.J.Chun, Meandering process of river for fish habitat improvement, *Ecological Engineering*. (SCI、EI)(Reviewing)