

## Trapping Techniques and Determination of Age and Sex in the Mandarin Duck of the Tachia Stream

Yuan-Hsun Sun<sup>(1,3)</sup>, Yu-Zen Lin<sup>(1)</sup>, Yuan-Zen Hwang<sup>(1)</sup>, Yaun-Yun Lee<sup>(2)</sup>

(Manuscript received 12 April 2001; accepted 21 May 2001)

**ABSTRACT:** The study was conducted along the Tachia Stream and its upper tributaries, Chichiawan and Jiozen Streams, at the Shei-pa National Park from January to December 1999. We trapped the Mandarin ducks (*Aix galericulata* Linnaeus) to compare the capture rates of two kinds of traps. The body measurements of the captured birds were made to determine their differences in age and sex during the period of eclipse plumage. We also documented duckling growth and molting behavior. Our results showed that door-suspended trap captured more ducks than did funnel entrance trap. Trap in green seemed to have slightly higher capture rate than did that without treatment. Capture rate was not correlated with sex and captured experience. Before and during breeding season (January-July), recapture rate of drakes (45.4%) was higher than ducks (0%), however recapture rate of ducks (72.7%) increased dramatically after breeding season (July-October). In July-August when drakes in eclipse plumage look very much like ducks. It is more precise using the white patches found only on the female's speculum than bill color in terms of sexing. The more streaked underpart of yearling can be used to tell them apart from adult during July and September. The duckling tarsus appeared to reach adult size earlier than the rest of body parts measured.

**KEYWORDS:** Mandarin ducks, *Aix galericulata*, Trapping, Age, Sex, Molting.

## 高山溪防砂壩改善工程對河床及魚類棲地型態變化影響之研究

葉昭憲<sup>(1,4)</sup>、連惠邦<sup>(2)</sup>、段錦浩<sup>(3)</sup>

(收稿日期：2001年3月8日；接受日期：2001年6月4日)

### 摘 要

為改善防砂壩設置於七家灣溪與高山溪河道所造成櫻花鉤吻鮭的族群隔離以及近親交配等現象，相關研究已完成防砂壩進行改善之室內水工模型試驗，而雪霸國家公園管理處亦完成高山溪三、四號防砂壩之改善工程。為瞭解防砂壩改善工程之功效，本研究針對防砂壩改善前後河床狀況進行追蹤觀測調查。根據調查結果，本研究發現四號壩上游滯洪坑已完整出現，因受左岸陡壁及壩體之影響而向右岸擴大但未加深；梯形沖刷槽因第17至19月的颱風暴雨而使其深度與寬度增加近一倍；原先四號壩下游河道中間之深潭，在開口完成後9個月消失，隨後的九個月又因進入雨季而增強之流量而恢復；原四號壩的22.84%淤砂在完工後的9個月內被運往下游，但因河床護甲作用而僅約12.86%淤砂於隨後的9個月被運移；河道坡度則由改善前之3.86%變陡至完工9個月之6.73%，隨後九個月坡度略有變動但皆在6.6%至6.94%之間。針對四號壩上游沖刷槽所出現之巨石階梯，本研究套用Abrahams & Atkinson (1995)的巨石階梯穩定狀態公式而發現這些階梯狀河床目前屬於穩定狀態。在棲地型態變化調查方面，由於八十九年九月之雨量充沛，改善後之砂石運移以及工程機械的人為破壞等因素之影響，促使改善後之溪流深度、流域面積、深潭和深流面積皆比改善前略為減少；此外，三號壩改善後，壩體上游形成50公尺長之深槽，而使原有之深潭消失。然而，由四號壩改善後一年所形成的壩前深潭和壩後的流速減緩，可知改善工程對於鮭魚棲地之正面助益。

**關鍵詞：**櫻花鉤吻鮭、河床棲地改善、防砂壩改善、現場觀測調查。

(1) Department of Wildlife Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, 1, Sheu-Fu Raod, Neipu, Pingtung 921, Taiwan.

(2) 4, Lane 480, Po-Ai Road, Tsao-Tuen, Nantou, Taiwan.

(3) Corresponding author.

(1) 私立逢甲大學土地管理系，台中市西屯區文華路100號。

(2) 私立逢甲大學水利工程系，台中市西屯區文華路100號。

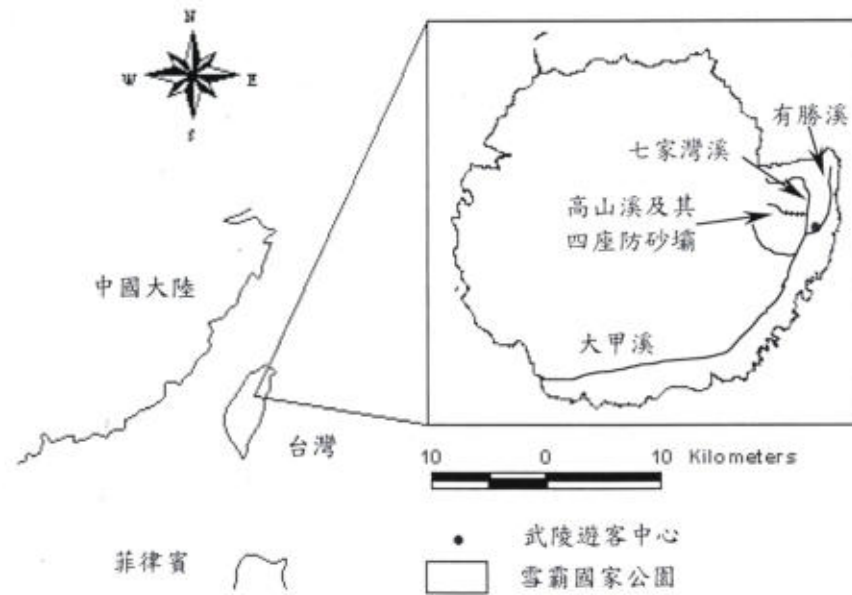
(3) 國立中興大學水土保持系，台中市南區國光路250號。

(4) 通信聯絡員。

一、前言

由於台灣地區降水特性之時空分布不均、河川長度較短且坡度較大，因此雖然平均年降雨量高達 2510 公厘，但是每單位人口每年所能分配之降雨量僅為全世界平均值的六分之一弱(歐陽嶠暉等，1997)，為供應台灣地區所需之各類用水，共有 87 座水庫(含離島)在過去的 50 年內被設置於適當地點上。以大甲溪為例，便有四座水庫被設置以提供調節水源以及發電等用途。然而，台灣地區約有 69 % 的區域屬於地形陡峭且地質條件不佳的山坡地，加上颱風豪雨的氣候因素以及人為開發利用，水庫集水區內的地表土壤沖蝕及邊坡崩塌所產生的砂石便經由河道被輸送進入水庫。為控制泥砂運移以便延長水庫壽命，許多水土保持措施與工程構造物便被施作於水庫集水區內的河道與邊坡上，而防砂壩是其中一種較常設置於河道之泥砂控制構造物。然而防砂壩也造成一些迴游魚類無法克服的障礙，而著名的櫻花鉤吻鮭便是其中一例。

大甲溪上游流域的七家灣溪、合歡溪、有勝溪、雪山溪(即現稱之高山溪)等溪流，在過去日據時代為櫻花鉤吻鮭棲息的河段，然而目前櫻花鉤吻鮭的棲息分布僅於武陵農場附近七家灣溪及高山溪，大約以武陵農場迎賓橋為下限，向上延伸至七家灣溪上游桃山溪六號壩處約七公里長之區域內。但在此二溪流中，共有積滿砂石且壩高在 5 公尺以上之防砂壩十一座(見圖一)，這些防砂壩將櫻花鉤吻鮭的生存區域切割成十餘個分離區域，不但減少彼此間交配機會，對維持櫻花鉤吻鮭基因之多樣性有妨礙，也容易使各地區分立的族群遭到絕滅的危機(林曜松、梁世雄，1990)。此外，根據曾晴賢(1997)文獻報告指出，造成七家灣溪內櫻花鉤吻鮭數量減少的主要原因為(1)水溫上升，(2)棲地型態改變，(3)棲地阻隔及(4)水質惡化等四項因素。針對上述因防砂壩造成迴游魚類的族群隔離、近親交配，導致生存能力降低等現象，本研究團隊在過去幾年便針對防砂壩改善工程進行研究，期望能獲致對河床型態與輸砂特性產生最小衝擊，甚至具有改善棲地環境功效之改善方式。首先在針對高山溪四號壩地



圖一、研究範圍

形做現場調查後進行之室內水工模型試驗研究中(段錦浩等，1998)，獲致三項有關單一防砂壩改善工程之結論：(1) 河床深槽線常於退水段形成，河道蜿蜒度受開口形式影響不大，但拆除深度越深，深槽線蜿蜒度有減少的趨勢。(2) 泥砂的輸出歷線可分為三個階段：a. 上升段 b. 尖峰段 c. 退水段，並針對其輸出量做特性比較。(3) 拆除部份壩體以恢復魚類棲地生態的做法，對溪流之安定及泥砂的輸移影響衝擊不大。而後在針對高山溪三號壩進行壩體缺口模型試驗對三號壩以上河床變化之研究中(段錦浩等，2000)，得到三項有關係列防砂壩改善工程之結論：(1) 淤砂坡度與沖刷坑深度會隨壩體缺口深度的之增加而變大；(2) 橫斷面變化與壩體改善方式並無顯著的關係，然而壩體上游淘刷範圍隨壩體缺口深度的增加而變大；(3) 一次拆除壩體缺口的的方式，其泥砂體積濃度的增率比分次拆除高出 1.5 倍，因此水體的濁度越低，對魚類的生存影響最小。根據這些相關研究成果，雪霸國家公園管理處分別在 88 年三月及 89 年十月對高山溪四號及三號防砂壩進行壩體改善工程(見照片 1 至照片 4)。雖然改善工程之實施工具略有差異(四號壩以手持碎石機進行，三號壩以履帶機械施工)，但兩座防砂壩之改善工程皆為壩體中央開設下窄上寬而高度為有效壩高之梯形缺口。

為瞭解防砂壩改善工程對壩址附近河床變化及棲地型態改變之影響，本研究乃



照片 1. 高山溪四號壩施工(88 年 3 月)



照片 2. 完工後之高山溪四號壩(89 年 10 月)



照片 3. 高山溪三號壩施工(89 年 10 月)



照片 4. 完工後之高山溪三號壩(89 年 11 月)

針對高山溪河道進行現場斷面測量觀測以及棲地型態種類與面積估算，期望藉由現場壩之改善工程提供適當之處理方式。

## 二、材料與方法

本研究所進行之現場觀測調查主要分為兩部分，分別為河道斷面測量以及棲地型態調查。因為此兩種現場觀測之調查重點與目的有所不同，故分別介紹其操作方式、施測範圍與實施時機如下。

### (一) 河道斷面測量

河道斷面測量之主要目的在於記錄高山溪河道主要斷面在防砂壩改善工程實施後之演變歷程，故其觀測重點為各斷面高程以及河流流心位置之變化，藉由不同時期觀測結果之比較便可了解防砂壩改善工程後各河段之沖刷淤積情況。而河道斷面測量之操作方式分為以下步驟：

1. 選擇觀測斷面：根據河道兩岸及河床特性，在各項條件相似之河段(通常為 20 至 100 公尺)兩端設置垂直河段之觀測斷面，藉由斷面變化代表該河段之狀況。此外，如遇有河道彎曲、高程驟變等特殊變化點以及特定觀測地點(如本研究之防砂壩址上下游)亦是斷面設置之處。
2. 設置斷面樁點：為使長期觀測資料具有相同之比較基準，各觀測斷面應於河岸或短期內無變化之河床上以木樁標記斷面端點。兩岸巨石、樹木或光滑岩盤亦可用鋼釘或噴漆標註端點位置。河流本身、兩岸狀況、斷面位置以及河工構造物則可藉由平板測量或導線測量加以標示於圖面上。
3. 斷面高程測量：利用已知水準點之正確高程或局部參考點之假設高程，在斷面上以面對河流下游時之左岸端點為起點(右岸端點亦可，但需全部斷面一致)，對斷面之高程明顯變化點、河床與水面交接處、以及河心等位置，以捲尺或光波測距儀量測至起點之距離，並以一般或光波水準儀進行高程量測。
4. 斷面繪製與資料分析：將步驟三中所測得各斷面測點之距離與高程依序點繪於直角座標圖上，藉由斷面高程之上升或下降，便可計算不同時期內斷面沖刷或淤積之變動情形。

本系列研究之觀測範圍原為高山溪四座防砂壩所在之河段，但為瞭解高山溪輸砂狀況對七家灣溪之可能影響，因此觀察河段從兩溪之合流點延長至武陵賓館附近。而河道斷面測量之時機可配合水文狀況加以調整，在旱季或溪流低流量時期之前後可各

進行一次觀測，若為瞭解暴雨或颱風過後之變動狀況則可在雨季期間內量測兩次以上。本研究分別在 89 年之 1 月、4 月、8 月及 10 月共進行四次完整之現場調查，其中 8 月之調查適逢颱風暴雨。

### (二) 棲地型態調查

動物的空間分布樣式(spatial distribution pattern)是有機生命體最重要的特徵之一；而空間的分布強度(intensity)則與族群密度(population density)、生物種類和生活史階段有關。褐鱒(brown trout)於不同生活史會在溪流中移動，因而褐鱒空間分布樣式發生了重要的改變。日本地區溪流型(fluvial)櫻花鉤吻鮭，於不同季節和不同生活史階段，也會使用不同的溪流類型。隨著體型大小的改變，溪流魚類會有遷移行動，並且展現出複雜的棲地使用樣式。而櫻花鉤吻鮭分布的位置主要受到棲地內流速、深度、底質和遮蔽物及魚類體型等因子的影響。稚魚(約 2cm)在一月間出現後，多集中在岸邊有遮蔽物之淺灘與淨水區底質為細砂或小型礫石；三至四月間仔魚(約 5cm)多分佈於淺水區或流速較大的河域，而底質則以中型鵝卵石時與礫石為主；大型魚主要棲息在具有良好隱蔽之深潭或巨石嶙峋之深水區域。十至十一月大型魚移至淺灘展開生殖活動，幼魚(約 14cm)即於此時遷入成魚之生活領域。

為瞭解高山溪棲地受防砂壩改善工程之影響，並比較施工前後之變遷狀況，本研究選擇高山溪二號壩以上之河段為調查區段。以二號壩為起點，每隔 20 公尺建立一條垂直水流方向之穿越線，先量測溪寬後，分別於溪寬 1/4、2/1 和 3/4 處量測其溪流深度、流速和河床底質石分布情況，並此三種資訊藉以判定棲地類別。而相關操作方式如下所述：

1. 溪寬：在各穿越線上以防水之捲尺在水面上測量，捲尺由兩人手持橫越兩岸之標定位置，而與溪水主流方向垂直，測量之精準度記錄至 0.1 公尺。
2. 溪深：在各設定的穿越線上面朝上游之左岸為起點，每隔一公尺，以自行加上之刻度木尺，測量之精確度記錄至 0.1 公尺。
3. 流速：在測量深度後於水面下距底部約十分之六的全深位置，以流速計放置 15 秒以測出流速(m/sec)。
4. 底質(Substrate)：測量溪寬時所拉之捲尺，面朝上游，以腳踏法和目視法判定底質石種類。根據汪靜明(1990)之分類標準，本研究依照粒徑大小將底質石種類可分為細沉積砂土(小於 0.2 公分)、礫石(0.2 至 1.6 公分)、卵石(1.7 至 6.4 公分)、圓石(6.5 至 25.6 公分)、小漂石(25.7 至 51.2 公分)、大漂石(大於 51.2 公分)。
5. 棲地分級：以測量之流速(0.45m/sec)和溪深(0.45m)，將棲地分為快深、快淺、慢深、慢淺四個等級(徐美玲、賴建盛，1996)，其中之慢深等級棲地多為水潭，而快淺

等級棲地多為急瀨。

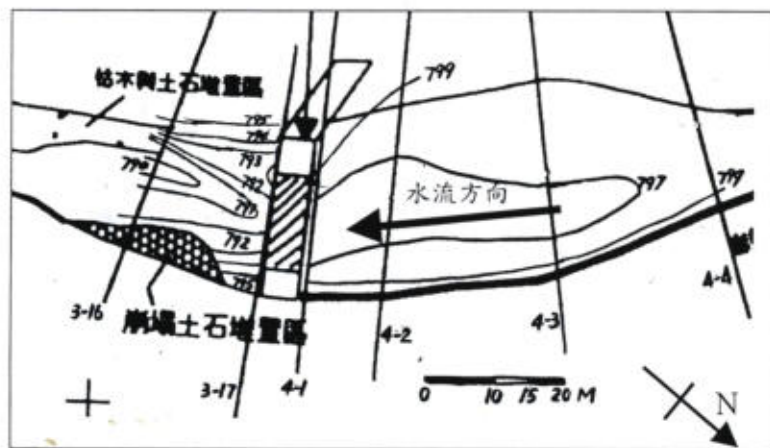
由於四號壩改善工程實施前並未進行相關棲地資訊之調查工作，故本研究在三號壩實施改善工程前之民國八十九年九月份進行首次調查，並於三號壩防砂壩改善工程完成後(約開工後 20 個工作天)進行第二次調查。

### 三、結果與討論

根據前節所述之操作方式與實施日期，本研究除就此兩種觀測調查項目分別就其結果做一敘述與討論外，由於在改善工程完成後歷經 18 個月以上的自然演變，四號壩附近河段已出現階梯狀河床之現象，因此本研究亦對該現象進行調查與分析之結果一併呈現於本節之中。

#### (一) 河道断面變動

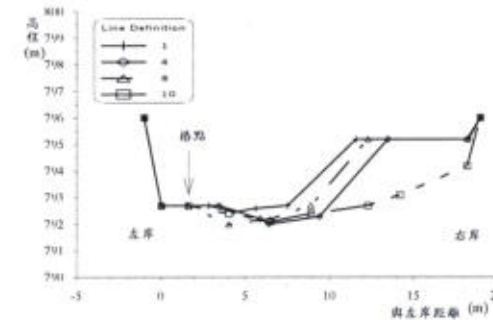
由於觀測断面數目繁多，且各断面含有三至五次之觀測紀錄，故本研究僅針對四號壩上、下游附近各断面作河道變動之敘述。圖二是在改善工程實施前(88 年 3 月)之四號防砂壩址地形簡圖以及對應之觀測断面，壩體上游断面編號為 Sec4-1 至 Sec4-4，而壩體下游則有断面 Sec3-16 與 Sec3-17。而根據滯洪壩相關研究(葉昭憲、段錦浩，1994)及本研究



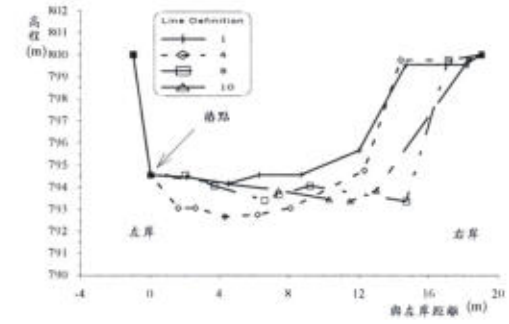
圖二、高山溪四號壩改善工程實施前之河道地形圖

團隊之先前模型試驗成果(段錦浩等,1998)可知，四號壩附近河道將出現三種特徵：壩體上游之半碗形滯洪坑、連接滯洪坑具梯形橫断面之冲刷槽、以及壩體下游之冲刷坑。再加上河道之縱断面變化，共有四項河道断面變動之調查結果：

1. 半碗形滯洪坑：對照圖二，半碗形滯洪坑所在之位置共有兩各觀測断面，即 Sec4-1 及 Sec4-2。由測量結果所繪製的橫断面剖面圖(見圖三、圖四)可知，在施工之 9 個月後(即 89 年 1 月)，滯洪壩特有之滯洪坑已完整出現於壩體上游，與上底 10.3 公尺、下底 2.5 公尺、高 4 公尺之梯形開口相比，滯洪坑在壩體側面 Sec4-1 上之底徑約 8



圖三、Sec4-1 橫断面剖面圖 (四號壩體上游滯洪坑)



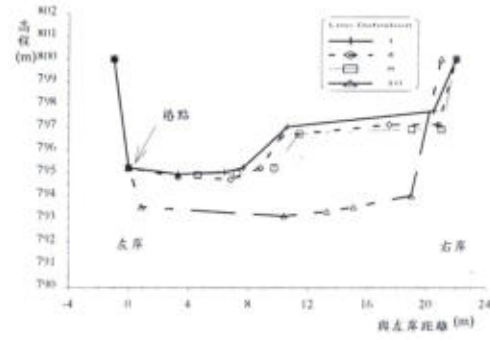
圖四、Sec4-2 橫断面剖面圖 (四號壩體上游滯洪坑)

公尺，而在 Sec4-2 之底徑則為約 12 公尺。隨著時間加長，洪水逐漸帶走壩體上游面原淤積泥砂，但受左岸陡壁以及開口下緣混凝土壩體之影響，滯洪坑亦逐漸向右岸擴大(以 89 年 8 月至 10 月間 Sec4-1 之變化較大)，但滯洪坑深度因保留部份壩體所產生固床效用並未加深。

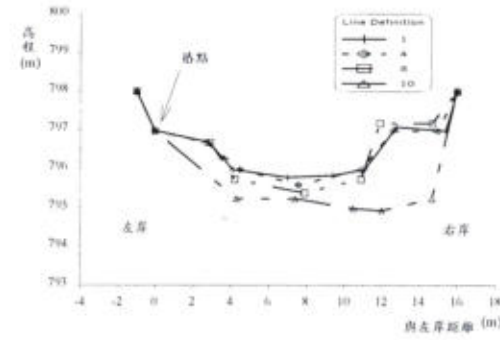
2. 梯形冲刷槽：断面 Sec4-3 及 Sec4-4 是位於梯形橫断面冲刷槽之觀測断面。由圖五與圖六可知，冲刷槽部份在 89 年 1 月至 8 月間(開口完成後之 9 至 16 個月)並無明顯變化，冲刷槽在兩個断面的上寬皆為 12 公尺，冲刷槽深度在断面 Sec4-3 之為 2 公尺而在断面 Sec4-4 之則約為 1.5 公尺。但 8 月至 10 月的颱風暴雨使兩断面上之冲刷槽在深度與寬度皆增加近一倍。

3. 冲刷坑：在四號壩下游冲刷坑範圍內設有緊貼壩體之断面 Sec3-17(見圖七)及距離壩體約 20 公尺之断面 Sec3-16(如圖八所示)。在原狀況下，流水自壩體溢洪口以 4 公尺的高度向河床衝擊，因此在断面 Sec3-17 中間產生深潭，而断面 Sec3-16 則因巨木攔阻在右側亦有深約 1.2 公尺之水潭。當開口完成後，在 89 年 1 月時兩個断面之深潭因泥砂自上游補充淤積而消失；接下來的九個月，断面 Sec3-17 中央隨著逐漸進入雨季而增強之流量而逐漸恢復深潭，但是断面 Sec3-16 僅是緩慢地向右岸擴張而不再出現深潭。

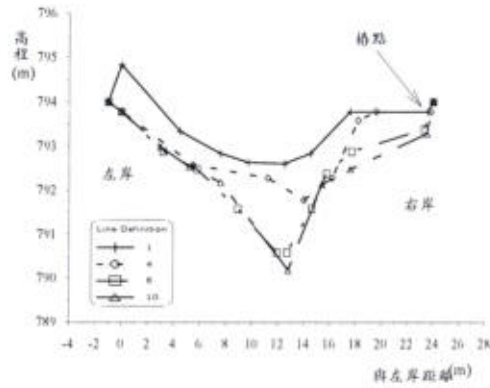
4. 河道縱断面變化：利用河道橫断面調查所得之断面流心位置高程資料配合不同河段區間內各断面之間距，便可獲得各觀測河段之縱向剖面圖。如圖九為高山溪四號壩以上河道在改善工程實施後，不同調查時間之的河道的剖面變化。由圖中可以清楚看到，剛拆除壩體開口時，原先蓄積在缺口上游處的土砂隨著暴雨逕流之水流帶往四號壩以下之下游河道淤積，土砂流出的範圍多以壩體上游 60 公尺以內。經現場量測與圖解計算，88 年 4 月至 89 年 1 月之間，已將壩體貯存的 22.84%之土砂運往下游(如表 1 所示)，經歷數個月後，在河床護甲作用下土砂運移量逐漸減少也趨於穩定，在完成改善工程後 18 個月計有 35.7%的防砂壩淤砂被帶走。在河道坡度方面，則由



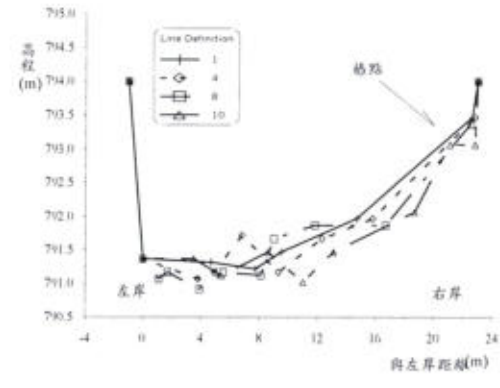
圖五、Sec4-3 橫斷面剖面圖  
(四號壩體上游梯形冲刷槽)



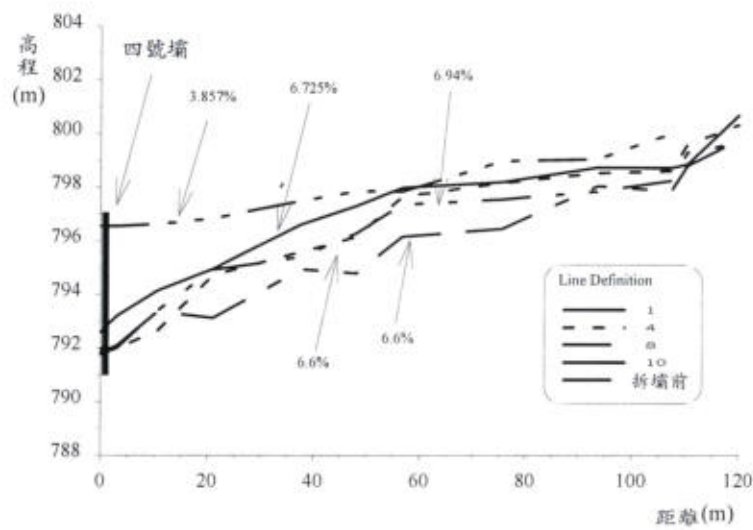
圖六、Sec4-4 橫斷面剖面圖  
(四號壩體上游梯形冲刷槽)



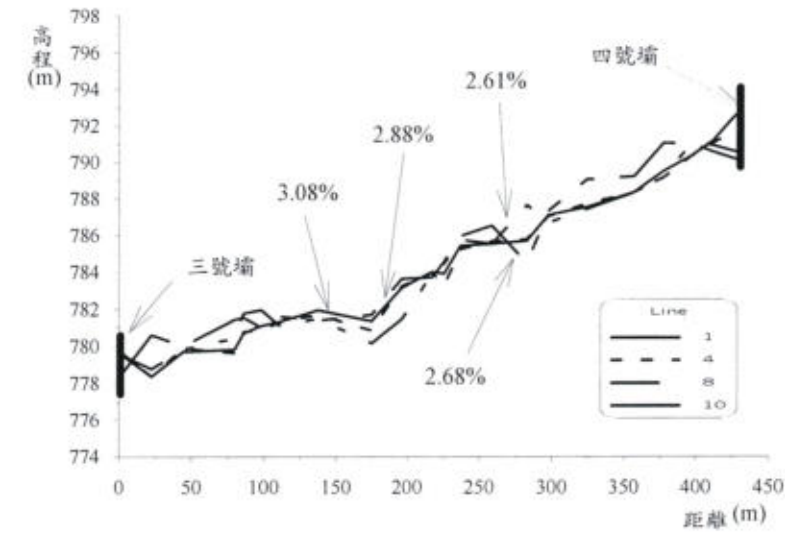
圖七、Sec3-17 橫斷面剖面圖  
(四號壩體下游冲刷坑)



圖八、Sec3-16 橫斷面剖面圖  
(四號壩體下游冲刷坑)



圖九、高山溪四號壩上游河床縱向剖面圖



圖十、高山溪三、四號壩間河床縱向剖面圖

表 1. 高山溪四號壩以上河道變化

觀測時間	89 / 1	89 / 4	89 / 8	89 / 10
泥砂運移量百分比	22.84 %	31.96 %	34.49 %	35.70 %
河道坡度*	6.73 %	6.94 %	6.60 %	6.60 %

\* 四號壩改善前之原始坡度為 3.86%

表 2. 高山溪三號壩至四號壩間之河道變化

觀測時間	89 / 1	89 / 4	89 / 8	89 / 10
泥砂運移量百分比*	0 %	1.19 %	12.25 %	19.09 %
河道坡度	3.08 %	2.88 %	2.61 %	2.68 %

\* 比較基準為 89 年 1 月之河道狀態

改善前之 3.86% 變陡至 89 年 1 月之 6.73%，之後九個月坡度略有變動但皆在 6.6% 至 6.94% 之間。

而在四號壩體下游至三號壩間之河道變化(如圖十所示)，在改善後初期變化並不大，但經過 89 年雨季的影響，使得缺口處的下游河床(即斷面 Sec3-17)又逐漸恢復成一個深潭。如表 2 所示，隨著時間的演變，三號壩上游的平均坡度有明顯變緩的現象，其坡度大約穩定在 2.6% 左右。由於 89 年 8 月期間有數個颱風侵襲台灣，給中部山區帶來大量豐沛的雨水，也因為如此，整個三號壩以上的土砂運移量在 8 月有明顯增加的現象。此外，隨著更多的土砂往下游輸送，大顆粒岩石也隨之在下游地區開始堆積，使得多處河床斷面在 8 月及 10 月份調查時，出現階梯狀河床形式。

至於其他河段之泥砂變化百分比與河道坡道之變動則列於表 3，由表中資料可知，除了二、三號壩間的泥砂運移量在 89 年 4 月以後呈現淤積狀況外，其它河段皆是冲刷狀態；而在坡度方面，除一號壩至億年橋間在 89 年 8 月明顯變化(變緩)外，其它河段大致保持穩定而緩和之變動。

表 3. 高山溪三號壩以下之河道變化泥砂運移量百分比

觀測時間		89 / 1	89 / 4	89 / 8	89 / 10
泥砂運移量 百分比*	二、三號壩間	0 %	0.612 %	-2.52 % **	-0.579 % **
	一、二號壩間	0 %	1.43 %	4.49 %	3.49 %
	一號壩至億年橋間	0 %	4.77 %	10.3 %	10.21 %
河道坡度	二、三號壩間	2.23 %	2.22 %	2.12 %	2.32 %
	一、二號壩間	1.93 %	1.86 %	1.72 %	1.7 %
	一號壩至億年橋間	3.17 %	3.35 %	2.74 %	3.52 %

\* 與一月份調查結果相比之百分比

\*\* 負值代表該河段產生泥沙淤積現象

## (二)棲地型態調查

根據在三號壩實施改善工程前之八十九年九月份進行首次調查以及改善工程完成後進行第二次調查(八十九年十一月)所得之結果歸納如下各點：

1. 三號防砂壩改善前，二、三號壩間棲地全長 610 公尺，平均溪寬 8.2 公尺，平均溪深 34.1 公分，流域面積 5008 平方公尺；三、四號壩間全長 400 公尺，平均溪寬 8.1 公尺，平均溪深 36.3 公分，流域面積 3240 平方公尺。八十九年十一月進行第二次全面測量，結果如下：二、三號壩間全長 610 公尺，平均溪寬 6.6 公尺，平均溪深 23.3 公分，流域面積 4026 平方公尺；三、四號壩間全長 400 公尺，平均溪寬 6.75 公尺，平均溪深 26.7 公分，流域面積 2700 平方公尺。

2. 高山溪三號防砂壩改善前、後，兩河段之棲地類型面積百分比及面積變化，如表 4 所示。而兩河段之河床底質類型面積百分比及面積變化，如表 5 所示。因為 89 年 9 月份武陵地區雨量充沛，促使防砂壩改善前之溪流深度和流域面積比 89 年 11 月份增加，同時深流和深潭面積比亦略顯增加。然而三號防砂壩改善後所帶來之砂石及防砂壩改善工程所帶來機械的人為破壞，促使深潭和深流面積減少，亦是影響棲地型態的因素之一。較明顯之變化出現為三號壩上游 50 公尺之河床在三號壩改善後下降約有 8~12 公尺，而使原有深潭消失。雖然防砂壩改善後深潭和深流面積略為減少，但這只是改善後一個月的棲地類型資料，需要再長期監測。但由 88 年高山溪四號壩改善後一年，所形成的壩下游深潭和壩上游流速的減緩，可知防砂壩改善對於鮭魚棲地是有正面的幫助。

表 4. 高山溪三號防砂壩改善前後棲地類型變化之面積及相對百分比

棲地類型	二、三號壩間		三、四號壩間	
	89 / 9	89 / 11	89 / 9	89 / 11
急瀾	4145 m <sup>2</sup> (82.8 %)	3519 m <sup>2</sup> (87.4 %)	1989.5 m <sup>2</sup> (61.4 %)	1706 m <sup>2</sup> (63.2 %)
深流	172.7 m <sup>2</sup> (3.4 %)	48.3 m <sup>2</sup> (1.2 %)	397.9 m <sup>2</sup> (12.3 %)	378 m <sup>2</sup> (14 %)
緩流	575.6 m <sup>2</sup> (11.5 %)	414.7 m <sup>2</sup> (10.3 %)	625.3 m <sup>2</sup> (19.3 %)	521.1 m <sup>2</sup> (19.3 %)
深潭	115.1 m <sup>2</sup> (2.3 %)	48.3 m <sup>2</sup> (1.2 %)	227.4 m <sup>2</sup> (7 %)	94.5 m <sup>2</sup> (3.5 %)

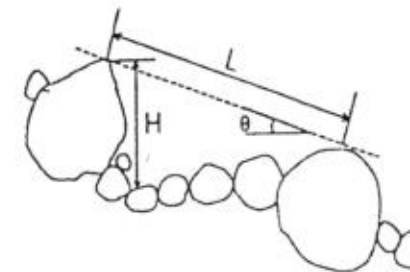
表 5. 高山溪三號防砂壩改善前後河床底質變化之面積(平方公尺)及相對百分比

底質類型	二、三號壩間		三、四號壩間	
	89/9	89/11	89/9	89/11
細沉積砂土	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
礫石	115.2(2.3%)	92.6(2.3%)	226.8(7.0%)	0(0.0%)
卵石	691.1(13.8%)	692.5(17.2%)	171.7(5.3%)	143.1(5.3%)
圓石	976.6(19.5%)	1203.8(29.9%)	910.4(28.1%)	615.6(22.8%)
小漂石	1958.1(39.1%)	1203.8(29.9%)	1309(40.4%)	899.1(33.3%)
大漂石	1267(25.3%)	833.4(20.7%)	625.3(19.3%)	1042.2(38.6%)

## (三)粗粒化與階梯狀河床

觀測河道在經過 89 年 8 月的暴雨逕流後，高山溪四號壩口附近出現許多粗顆粒巨粒堆積於河道之現象，本研究經由在四號壩上游處採集一個 5 公尺見方的淤積河道進行粒徑統計，表 6 顯示砂石粒徑分布在 15~45cm 之間最多，但是河道中擁有數量不少大於 60cm 以上的巨石橫躺於接近出口處的河道。

此外，本研究亦發現四號壩上游冲刷槽已形成階梯狀河床(step-pools channel)之型態。階梯狀河床為常出現於山區溪流的一種河道型態，根據構成階梯之材質(巨礫或殘木)與組成方式而形成不同型態(Abrahams & Atkinson, 1995)，其中完整的巨石階梯(boulder steps, 見圖十一)河床可在大於 3% 的山區溪流中發現。在溪水高流量時這些階梯是隱沒於水中，但在低流量時，溪水則從巨石頂溢流或由巨石縫中流過而進入巨石下方的水潭中。根據 Chin (1999) 從 13 個溪流共 464 個巨石階梯的



圖十一、巨石階梯示意圖  
(Abrahams & Atkinson, 1995)

表 6. 四號壩以上河道粗礫粒徑統計表

粒徑 (cm)	15~30	30~45	45~60	60~100	>100
個數	19	8	5	7	2

表 7 高山溪四號壩上游階梯狀河床調查資料表

階梯編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
階梯高 H(cm)	50	70	65	45	55	70	60	70	50	60
階梯長 L(cm)	280	340	400	200	270	790	790	310	270	680
河道平均坡度 S	0.105	0.123	0.087	0.123	0.105	0.061	0.052	0.114	0.105	0.052
H/L/S	1.70	1.67	1.867	1.829	1.940	1.452	1.461	1.981	1.764	1.697

相關資料分析結果發現，巨石的粒徑直接控制階梯的高度，而流量則可能是影響階梯長度的主要因素之一。然而，Abrahams & Atkinson (1995)經由室內試驗及美、英兩國共 18 溪流的驗證，發現呈現穩定狀態中巨石階梯的高度、長度及溪流坡度存在以下關係：

$$1 \leq \frac{H/L}{S} \leq 2 \quad (1)$$

其中 H 為階梯高度、L 為階梯長度、S (= tan $\theta$ ) 為河道平均坡度。

根據前述公式並針對四號壩上游沖刷槽所出現之岩石階梯所調查的資料(表 7)，H/L/S 的值都落於 1 與 2 之間，可見高山溪四號壩上游的階梯狀河床目前應屬於穩定狀態。

#### 四、結論與建議

為延長德基水庫使用壽命而設置於七家灣溪及高山溪河道上的防砂壩，由於對櫻花溝吻鮭造成族群隔絕以及水溫上升之不利生態環境，為瞭解防砂壩改善工程對高山溪河床棲地之影響，本研究針對改善前後之河道断面以及棲地型態進行追蹤觀測調查，断面測量之主要對象為高山溪四號防砂壩及三號壩以上之河道，而棲地型態調查之範圍則在高山溪二號壩以上之河段，主要對象是高山溪三號防砂壩。調查研究之歸納結論分述如下：

1. 河道断面變動觀測：四號防砂壩上游之半碗形滯洪坑在施工之 9 個月後(即 89 年 1 月)即已完整出現，現在逐漸向右岸擴大但深度不變；連接滯洪坑之上游梯形沖刷槽在開口完成後之第 17 至 20 個月(89 年 8 至 10 月)因颱風暴雨使部分沖刷槽之断面在深度與寬度皆增加近一倍；原四號壩下游生深潭，當開口完成後 9 個月後消失(89 年 1 月)但隨後九個月因雨季而再度恢復(89 年 1 月至 8 月間)；22.84%的高山溪四號壩蓄積泥砂在施工 9 個月後(89 年 1 月)被運移，輸砂現象後因河床護甲作用漸趨穩定(18

個月後之 35.7%)；河道坡度則由改善前之 3.86%變陡至 89 年 1 月之 6.73%，之後九個月坡度略有變動但皆在 6.6%至 6.94%之間。

2. 棲地型態變化調查：民國 89 年 9 月份武陵地區雨量充沛，促使防砂壩改善前之溪流深度和流域面積比 89 年 11 月份增加，深流和深潭面積比亦略顯增加。然而三號防砂壩改善後所帶來之砂石及防砂壩改善工程所帶來機械的人為破壞，使的深潭和深流面積減少，亦是影響棲地型態的因素之一。但由高山溪四號壩改善後所形成的壩前潭和壩後流速的減緩，可知防砂壩改善對於鮭魚棲地具有正面助益。

3. 階梯狀河床現象：針對四號壩上游沖刷槽所出現之岩石階梯並套用 Abrahams & Atkinson(1995)歸納穩定狀態巨石階梯的特性公式，高山溪四號壩上游階梯狀河床的 H/L/S 數值都落於 1 與 2 之間，目前應屬於穩定狀態。

由於本研究之棲地型態調查與三號壩改善工程完成之間隔時間甚短(不足一個月)，因此其棲地型態演變仍需進一步追蹤。而根據相關調查之實施經驗，本研究發現長期觀測可提供許多寶貴資訊，因此高山溪河段之河床變動觀測與棲地型態變化調查建議應持續以每半年或一年一次之長間隔定期方式進行。而在其它防砂壩進行拆除部分壩體時，建議將破碎壩體適當排置於壩體附近以保護壩體並塑造部分深流和深潭。此外，防砂壩改善工程實施過程應盡量降低人為因素(如施工便道等)對棲地型態之破壞。

#### 五、致 謝

本研究由內政部營建署雪霸國家公園管理處經費補助(計畫編號：雪霸 8905)。研究期間，國立自然科學博物館謝森河助理研究員親自前往高山溪現勘並提供有關棲地型態觀測之建議，而棲地型態之判斷、統計及變化調查結果之整理，則由管理處保育科廖林彥先生協助，由於兩人之熱心幫助促使本研究得以順利進行，謹此致謝。

#### 六、引用文獻

- 汪靜明，1990。河川魚類棲地生態調查之基本原則與技術，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局，119-137 頁。
- 林曜松、梁世雄，1990。鮭鱒魚類生態，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局，33-52 頁。
- 徐美玲、賴建盛，1996。河床、地形與防砂壩之空間關係～七家灣溪個案研究，國

- 立台灣大學理學院地理學系地理學報, 21: 65-82。
- 段錦浩、連惠邦、葉昭憲, 1998。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究, 國家公園學報, 8(2): 179-190。
- 段錦浩、連惠邦、葉昭憲, 2000。系列防砂壩改善工程對七家灣溪河床形態之影響研究, 國家公園學報, 10(1): 1-14。
- 葉昭憲、段錦浩, 1994。滯洪壩之水文水利特性, 中華水土保持學報, 25(4): 181-189。
- 曾晴賢, 1997。櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估, 內政部營建署雪壩國家公園管理處委託計畫, 國立清華大學生命科學系, 共 71 頁。
- 歐陽嶠暉等, 1997。水資源利用與保育, 國立空中大學, 共 290 頁。
- Abrahams, A. D. and J. F. Atkinson, 1995. Step-pool streams: Adjustment to maximum flow resistance, *Water Resources Research* 31(10): 2593-2602.
- Chin, Anne, 1999. The morphologic structure of step-pools in mountain streams, *Geomorphology*, 27: 191-204.

### A Study of Effects of Check Dam Remodeling on the Changes of Channel Morphology and Habitat Formations for Gau-Shan Creek

Chao-Hsien Yeh<sup>(1, 4)</sup>, P. H. Ling<sup>(2)</sup> and Ching-Hao Tuan<sup>(3)</sup>

(Manuscript received 8 March 2001 ; accepted 4 June 2001)

**ABSTRACT:** To lessen the threats of blockading migration pathway, population isolation, and close-blood mating by check dams, previous studies suggested that removing partial dam body appropriately is one of the approaches for habitat restoration of Formosan Landlocked Salmon. After the implementation of dam remodeling for Dam #4 and Dam #3, this paper focused on the follow-up investigations on the morphological changes of observed channel. Based on the conclusions of investigation, various major findings were categorized. Based on the surveys applied at Dam No.4, the upstream detention pool of the remodeled dam has developed completely and it is expanding toward the right bank without increasing its depth for the constraints of left bank cliff and remaining dam body. The flushing chute did not change apparently between the 9<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> months while it expanded double in size during the following three months' heavy storm season. The original scouring pool at downstream side of dam was filled with sediment at the 9<sup>th</sup> month of remodeling and appears again by the increasing stream discharge during the next 9 months. Longitude cross section investigations indicate that 22.84% of trapped sediment beyond Dam No.4 was delivered downstream within the first 9 months and the sedimentation was slowed down to 35.7% at the 18<sup>th</sup> month for the protection of armor-layer channel boulders. Channel slope changed from its original 3.86% to 6.73% at the 9<sup>th</sup> months and stayed between 6.6% and 6.94% in the following 9 months. Affected by the factors including heavy rain in September, sediment transportation around dam site, and channel interruption by mobile equipment, the result of habitat investigation indicated that flow depth, flow area, and areas of ponds and deep flow were declined after the remodeling of No.3 Dam. Besides, the new-developed 50-meter long flush chute behind Dam No.3 destroyed several ponds. However, positive effects on channel habitat are found around dam site of Dam No.4 by its ponds and slow flow. Based on the equation developed by Abrahams & Atkinson (1995) for boulder step-pools, the steps found in the flushing chute are in the stable condition for their H/L/S values being between 1 and 2.

**KEYWORDS:** Formosan Salmon, Channel Habitat Improvement, Check Dam Remodeling, Field Observation and Investigation.

(1) Department of Land Management, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan.

(2) Department of Hydraulic Engineering, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan.

(3) Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan.

(4) Corresponding author.