

高山溪防砂壩改善工程之實施與現況

葉昭憲⁽¹⁾、連惠邦⁽²⁾、段錦浩⁽³⁾

(收稿日期：2002年4月10日；接受日期：2002年12月22日)

摘 要

為建立七家灣溪支流高山溪之連續性河川棲地環境，雪霸國家公園已自民國八十八年至九十年陸續完成對高山溪的四座防砂壩所進行之壩體開口改善工程。雖然壩體改善後之河道演變無法由短時間觀察資料加以推斷，然而高山溪在九十年秋天遭逢桃芝與娜莉颱風之影響，經歷數次洪水進而使得河床沖刷演變甚為明顯。因此，本研究利用過去調查成果與九十年實施之四次完整現場調查資料(分別於二、六、九、十月進行)分析發現，高山溪三號防砂壩以上河道在改善工程完成至少十四個月以後，三、四號防砂壩壩體附近河床隨季節轉變略有變動，但其河道目前大致上已達穩定狀態。而三號防砂壩以下河道則屬於壩體改善後之初期激烈變化期，因此壩體開口的產生而造成壩體上游兩百公尺內河段之明顯沖刷情況。而櫻花鉤吻鮭在無人工放流的情況下，九十一年五月族群調查所得數量比九十年十月增加約五十尾，而且集中於棲地條件較佳之三號壩以上範圍。

一、前 言

民國五十年代初期，政府為安置退伍軍人並考量經濟發展而鼓勵對梨山地區的開發，在結合中興大學園藝專家的協助之下，福壽山及武陵農場成功地栽植蘋果、梨和水蜜桃等高價值的溫帶果樹。民國五十年代末期，當年台灣省農林廳林務局與山地農牧局，基於水土保持的目的而在德基水庫集水區內之溪流建構許多攔砂壩(防砂壩)。同時，基於協調功能及需求亦成立經濟部德基水庫管理委員會。政府從民國六十年代初期開始辦理德基水庫集水區整體治理計畫，但當時僅考慮德基水庫的嚴重淤砂問

(1) 私立逢甲大學水利工程系，通訊聯絡作者。

(2) 私立逢甲大學水利工程系。

(3) 國立中興大學水土保持系。

題。而在民國七十年代，政府及民眾開始注意到生態環境保育工作，櫻花鉤吻鮭所面臨的生態環境問題才逐漸受到重視。為解決七家灣溪防砂壩所造成之障礙，當時曾進行魚道的研究並且將不銹鋼魚道應用於現場，但後因水文及泥砂等問題而失敗。雪霸國家公園管理處接手櫻花鉤吻鮭復育任務數年後，與因緣際會第三作者提出防砂壩部份拆壩的構想，後經作者群及各單位的努力下，終於完成七家灣溪支流高山溪(原名雪山溪)上之四座防砂壩部份拆除之改善工程。

由於當時以工程與規劃的方式來進行國寶魚類棲地的保育與復育是一項新穎但艱鉅的任務。因此，本研究團隊乃透過水工模型試驗及現場觀測資料，進行河道水流、泥砂及水工結構物間水理特性連連性之了解，並配合魚類專家在其生活習性的建議，以防砂壩改善工程之方法以塑造適合國寶魚生活的棲地環境。根據 1998 年七家灣溪河床棲地改善之試驗研究計畫，將四號壩上、下游河道進行調查，並將四號壩以下列方式進行改善。根據 1999 年七家灣溪河床棲地改善之試驗研究計畫(二)，將三號壩以上河道進行調查，並同樣將三號壩以梯形缺口方式做如下之改善；另外在四號壩之上下游面進行蛇籠工之砌石護岸工程。根據 2000 年七家灣溪河床棲地改善之試驗研究計畫(三)，以及 2001 年三月防砂壩改善會議報告，除了將全河道繼續進行監測調查外，並同樣將一、二號壩極其副壩以梯形缺口方式做改善，其拆除深度使旗與下游河道齊平(段錦浩等，1998、2000；葉昭憲，2001)。

二、棲地復育與河道環境變動

2.1 溪流復育與棲地改善

在人類發展歷程中，因為河川具有水源供應、廢物清除、貿易及交通途徑、農業土地養分補充等功能，因此無論是古文化發源地或是現代都市發展大多出現於溪流環境中(National Research Council, 1992)。然而，隨著人類使用壓力的增加，亦逐漸產生許多有關河川水量、水質、生態環境等問題。但為保護沿岸居民安全及滿足水源需求，人類便在河道兩側設置護岸、堤防或在河川上游興建水庫，使得河川受限於這些水工構造物下，而其河川生態特性及功能亦逐漸改變與喪失。因此，在各種層面的保育工作中，Petts 及 Calow (1996)認為對於影響河川生態系統的人類活動需要適當的管理及控制，包括點源污染控制、土地利用規範、水量調配、河道及洪氾平原管理、控制人類使用方式、生態物種控制等方向。

在以往，人們多以為防洪與自然保育在河川管理上是兩個互相衝突的目標，但隨著溪流復育(River rehabilitation)的研究發展，能夠同時考量達到順應河道演變、滿足防洪要求、確保河川永續價值等目標的設計原則與實施案例亦在逐漸展現(Downs and Thorne, 2000)。而對於生態功能下降或喪失的河川，美國國家研究委員會(National Research Council, 1992)的水棲生態復育小組(Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy)認為針對造成此情形之溪流壓力

(Stresses of stream and river)加以改善即可達到溪流復育的目標。而在河川棲地復育工作之最基本要求是增加河川在型態、水文以及輸砂等方面之局部變異。在理想狀況下，棲地改善工程應針對渠道穩定(包括河床及河岸)、水力狀態之影響(如流速或水深)、以及河道之洪水含量等三方向加以評估(Hey, 1996)。其中，增加河川型態之多樣性不僅有助於河川本身之承載力(Carrying capacity)並且能提供魚類生命週期中各階段所需之棲息環境。除此之外，多樣性之河川型態也可提供給河川周圍賴以生存的動植物生態所需的自然歧異性(Natural diversity)，直接或間接地對所欲保育的河川生物提供更佳的棲息環境(Larsen, 1996)。

一般而言，集水區的生態改善計畫可依其目標可分為保存特定物種之改善工程、維護生態多樣性之河川復育、景觀美學及河床穩定之規劃考量等三類(Shen and Chen, 1998)。而針對魚類棲地改善工作之目的，則在於避免或解決棲地環境惡化的問題，並增加溪流承載力，以蓄集更多的魚類資源(邱健介，1990)。基本上，棲地復育及改善工程可分為硬體及非硬體方法兩種方法(Hey, 1996)。非硬體復育方法(Nonstructural restoration)主要是在某一河段中重建其自然狀態，它可能包括河川蜿蜒、深潭、淺灘、垂直河岸、以及靜水區等對象之復原工作，而此類方法比較適合實施於下游河川，因為硬體復育方法的效果在下游河川不若上游河川般地顯著。而硬體復育方法(Structural restoration)則是運用不同人工河川構造物以製造深潭以及灘，並藉以保持河川之束縮狀態避免淤泥沉積，常見之構造物包括堰壩(製造堰壩上游深潭河段及下游沖刷)、導流設施(限制河道寬度以加快水流而形成局部沖刷與沙灘)、以及河床斜樑(利用二次迴流促進床底沖刷)等三類。而防砂壩改善工程之操作方式是根據水工模型試驗結果而在防砂壩體分批開設通道，改善後之防砂壩可視為硬體復育方法中的局部堰壩。此類構造物在棲地改善上之功能與滯洪壩類似(段錦浩，1993)，主要在於製造壩體下游面之沖刷與深潭。如此，防砂壩改善工程不僅為櫻花鉤吻鮭消除物理性障礙，亦可改善河床棲地之歧異度。

2.2 環境特性與河道變動之關聯

天然溪流之橫斷面寬窄深淺不一，但由於作用於河槽周界之剪應力與其流速梯度成正比。因此，對窄深斷面而言，等流速線在兩壁比較密集，故其剪應力較河床為大；而寬淺斷面則相反。因此，僅在河岸組成物質的抗沖強度較河床物質的抗沖強度為大之情況下，窄深斷面才能維持，否則河槽會趨向寬淺形狀發展。然而，對水流而言，河槽之周界則可視為其阻力並會降低水流速度。當流速降低至水流無法運送泥砂時，淤積便會首先出現於河床兩側鄰近河岸處(剪應力較小)，如此河槽斷面又轉趨窄深。透過泥砂的沖淤調整，河槽逐漸形成特定水流及泥砂條件下某種寬度及深度之斷面。綜合而言，河床型態就是含砂水流與河床長期相互作用、自動調整而形成的。

在沖積河流之自我調整作用下，河川體系內部之能量消耗也趨向穩定狀態。若利用最小熵原理平均或然率與最小功原理的概念來解釋沖積河流之自動調整特性，亦即河寬、水深、坡降之間有特定組合，以適應流域條件並使河流趨向平衡。由於此河床型態要素的組合具有最大的可能性，因此當比較某類河流時，河流越多，其河床型態

要素的平均情況就愈接近上述最大可能組合。White 及 Bettes 等指出，固定流量和坡降而促使輸砂率保持最大，實際上相當於固定流量和輸砂率而使坡降保持最小，圖 1 說明此二種概念之一致性，亦即“最小功原理”和“最大輸砂率設想”可互相置換。

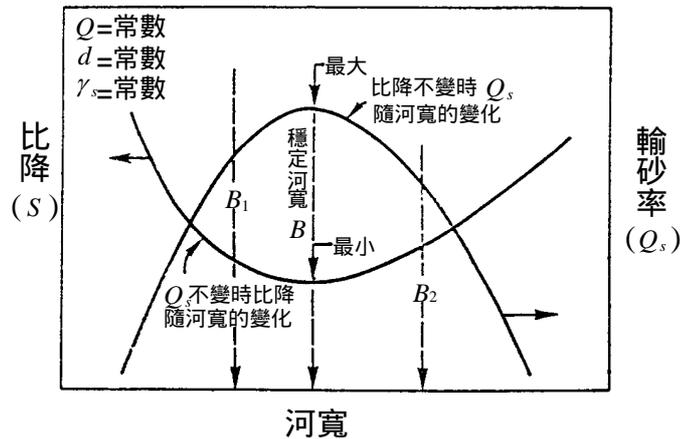


圖 1 以最小水流功率和最大輸砂率確定穩定河寬

沖積河流的長、短期調整因素中，時間是另一個重要的制約因素。以洪峰之短期變化而言，沖積河流須以最快的方式進行調整，此時能有效影響挾砂能力的因素往往扮演主導作用。若河川流域之供水供砂條件變化為長期過程，則其調整過程也需有足夠時間以適應其他的要求。如圖 2 所示，Mackin 對“平衡河流”所下之定義曾明確指出，當控制因素發生變化而使河流失去平衡時，河流得自動調整作用將使這些變化所帶來的影響受到遏制而不是不斷擴大，從而使整個系統又逐步回到平衡。對某一河段而言，在特定流量狀況下，亦有特定之泥砂量進入及輸出該河段。若此輸出入泥砂量不相等，則河流便透過沖淤變化進行調整，以改變河床型態和邊界物質組成來調整此河段之輸砂能力，以期保持該河段之動態平衡。若因外在原因涉及範圍很廣且引起河流巨幅變化，則需透過改變流域產生逕流、泥砂之條件，以減緩河流調整強度。

三、高山溪防砂壩改善後現況

高山溪為大甲溪上游之支流，發源於次高山，向東流經國軍退除役官兵輔導委員會所開發之梨山武陵農場與向南流之七家灣溪在億年橋附近會合後改稱為七家灣溪，蜿蜒曲折至環山之北，匯入發源於次高山之四季郎溪，繼續向西南流至松茂之北而注入大甲溪主流。溪流寬度少則 5-6 公尺，多則 30-50 公尺。而位於高山溪上之四座防砂壩，由於設置地點條件差異而使其形狀與尺寸皆不相同，因此各壩改善開口的位置

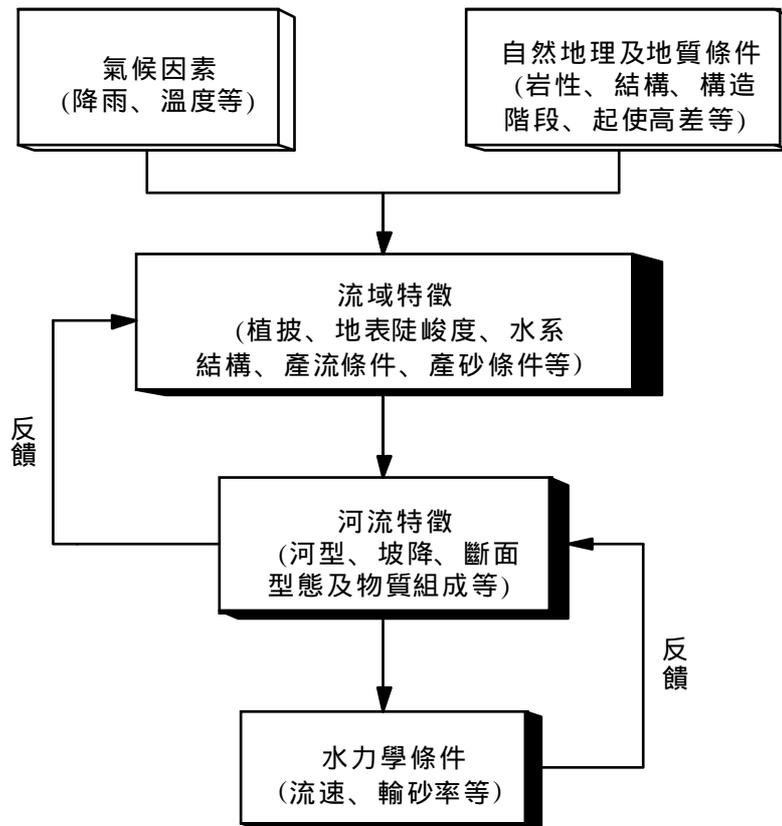


圖 2 各河流環節間之相互關係與反饋作用

與尺寸也各有不同。為追蹤改善後河道環境變化情況、驗證模型試驗結果、以及確認改善方式之適宜性等考量，因此，四座防砂壩改善時程之間亦搭配時間長短不等之河道變化監測期(表 1)。本文針對四座防砂壩改善後之河道現況調查成果以及河道環境衝擊兩項課題分節說明。

表 1 高山溪防砂壩改善工程實施時程及現況(90 年 12 月)

			四號壩	三號壩	二號壩	一號壩 ^a
改善時間			88 年 4 月	89 年 10 月	90 年 6-9 月	90 年 6-9 月
觀測範圍			120 公尺、12 斷面	428 公尺、23 斷面	613 公尺、26 斷面	498 公尺、18 斷面
上游 河段	平均 坡度 %	原始	3.86	3.08	2.07	2.00
		近況	6.68	4.13	3.33	3.67
沖刷槽概況			沖刷槽長度 90 公尺，產生階梯狀河床，漸趨穩定。	沖刷槽長度 100 公尺，漸趨穩定。	沖刷槽長度 150 公尺，流心線往右岸移動。	沖刷槽長度 250 公尺，流心線往右岸移動。

a：90 年 12 月實施開口加寬工程

根據 90 年 12 月所實施的河道斷面調查結果，由於各河段因防砂壩改善而受影響之時間並不相同，因此各河段的河道變化狀況與趨勢，亦有明顯差異。以各河段之縱斷面坡度變化而言，三、四號壩以上河段已漸趨穩定，而一號壩至三號壩之間河段仍在演變過程中。而各防砂壩之改善工程現況分述如下：

- (1) 四號防砂壩：圖 3 為改善工程之規劃圖，照片 1 則為改善後所形成之下游沖刷坑。而沖刷坑隨季節水量的變化而有所調整，但基本上秋冬季節之水潭深度較深，其歸功於春夏季節之暴雨造床流量所致，泥砂會慢慢堆積，而使潭水深度改變。如圖 4 所示，四號壩壩體改善後，河道上游陷坑逐漸擴大，但其沖刷深度不會超過壩體改善深度(四公尺)，而沖刷槽長度約為河道平均寬度(9 至 12 公尺)之 10 至 15 倍。此外，由於四號壩上游河床砂石粒徑較大，且兩岸邊壁岩盤發達，河道經過數次暴雨沖刷但渠床坡度仍維持在 6.5% 至 8% 左右(見圖 5)。

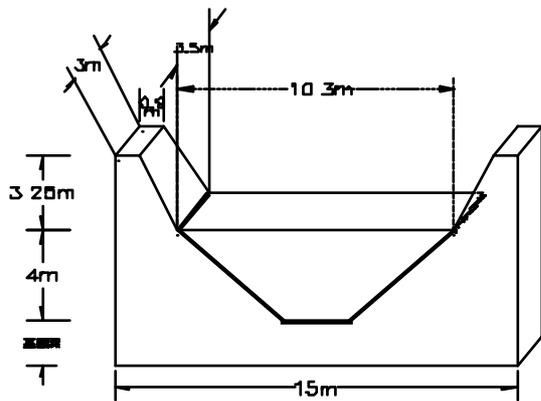


圖 3 高山溪四號防砂壩改善前後尺寸圖

照片 2 高山溪四號壩近況(90 年 10 月)

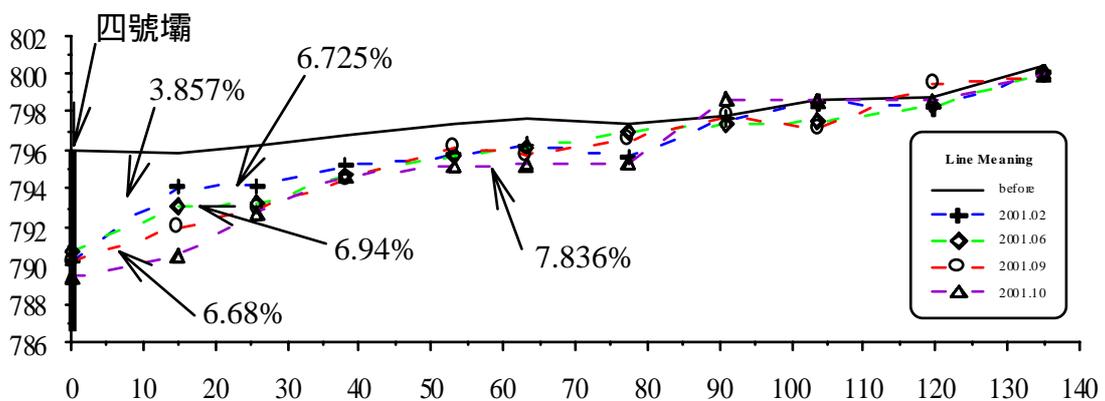


圖 4 高山溪四號壩上游縱剖面演變過程

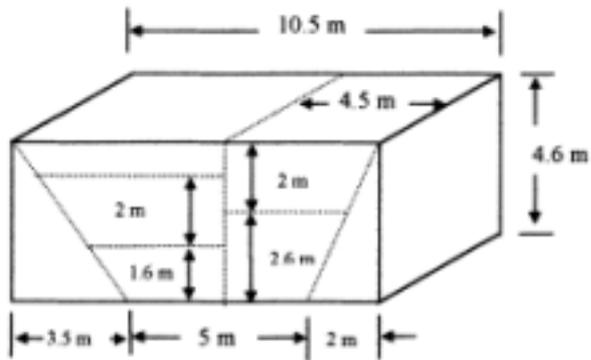


圖 5 高山溪三號防砂壩之改善設計圖

照片 2 完工後之高山溪三號壩(89年11月)

- (2) 三號防砂壩：由於利用兩岸岩盤構築，故其改善僅針對中央壩體進行部分拆除(圖 5)，照片 2 為改善後一個半月後所拍照之狀況，而三號壩上游之河床縱斷面變動不大(如圖 6 所示)。由於四號壩上游泥砂輸出不大，加上河道屬窄深型，且兩岸邊壁多為岩盤，因此四號壩下方斷面無明顯變化。然而，三號壩址附近沖刷槽範圍內河道斷面則呈現持續刷深，坡降也變陡，但在經歷 90 年秋季兩次颱風後，其河道縱向坡度仍維持在 4% 至 4.3%。壩體上游之沖刷槽逐漸擴大，最大沖刷深度與開口深度相近，而其長度約為河寬之 10 至 15 倍。

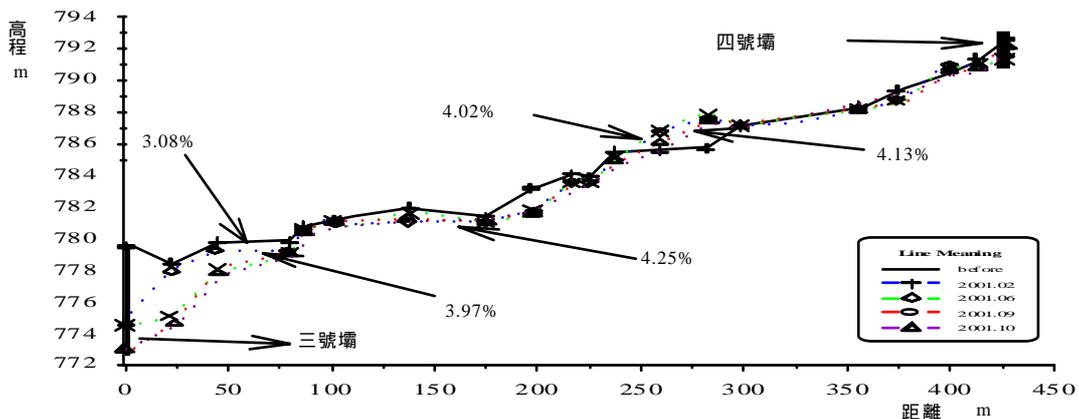


圖 6 三號壩上游縱剖面演變過程

- (3) 二號防砂壩：由於二號壩位於河道轉彎處，故壩體為有效壩高為 6 公尺之左右不對稱設計(見圖 7)，改善後之缺口斷面是一個上底為 12 公尺、下底為 6 公尺、高為 6 公尺的對稱梯形(照片 6)。圖 8 為二號壩上游河道於 2001 年 6 月及經歷兩次颱風洪水(同年 9、10 月)後，所測量之河道縱斷面變化示意圖：在桃芝颱風過後，

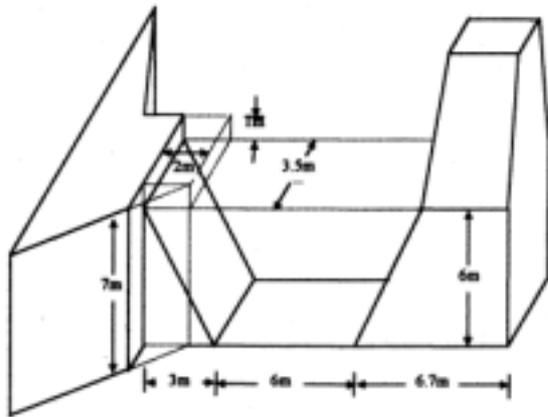


圖 7 二號防砂壩改善構想



照片 6 完工後之高山溪二號壩(90年10月)

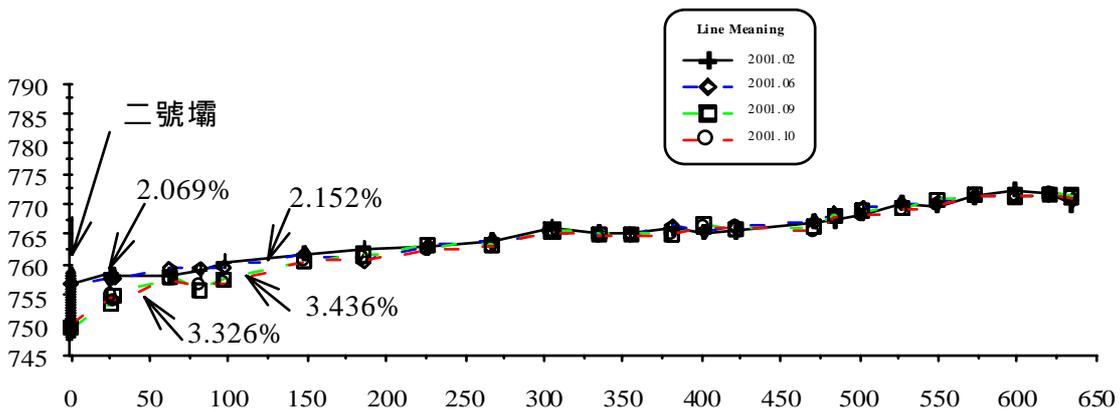


圖 8 高山溪二號壩上游縱剖面

床面坡度增加 1%；但在第二次娜莉颱風侵襲時，床面坡度的僅有少許變動。本河段之河道平均寬度約在 12 至 18 公尺之間，然而改善後之壩體上游沖刷槽長度仍保持至 10 至 15 倍河寬之範圍內。

而河道橫斷面變化較激烈的區域，則出現在壩體缺口上游處之滯洪坑範圍內。以壩體上游面之第一個斷面為例(圖 9)，九月之滯洪坑右側河岸落差為 5.5 公尺，但在十月份則回淤 1.5 公尺而形成約 4 公尺深滯洪坑。

- (4) 一號防砂壩：由於也位於河道轉彎處且壩體為左右不對稱之設計，右側為高出溢洪口 1 公尺之不規則多面體平台，為保護取水口與相關設施之安全，右岸築有 L 型高 4.85 公尺之翼牆與一段厚 0.9 公尺之導水牆，左側則為高 8 公尺傳統翼牆，溢洪口寬度、厚度分別為 10 公尺與 3.5 公尺而有效壩高為 5.5 公尺，改善後之缺口斷面是一個上底為 10 公尺、下底為 5 公尺、高為 5.5 公尺的對稱梯形(圖 10)，

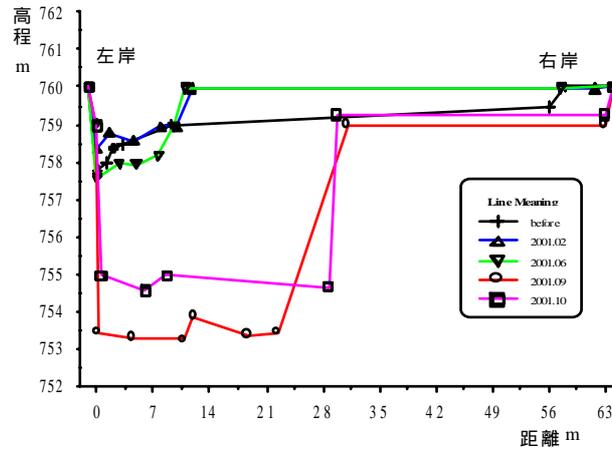


圖 9 高山溪二號壩上游第一個斷面

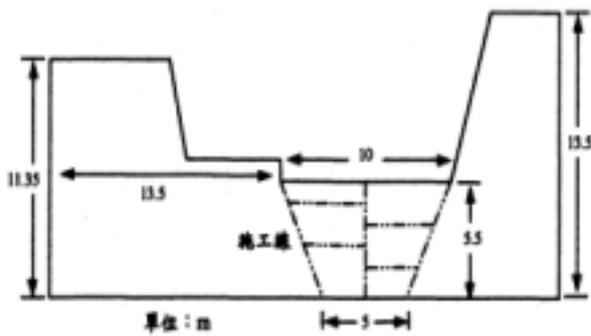
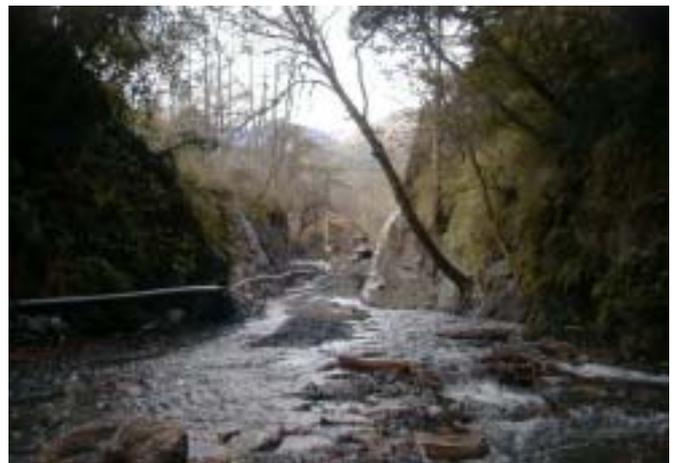


圖 10 一號防砂壩改善構想



照片 7 修正中之一號壩(90年12月)

另外為增加一公尺開口寬度因而於 90 年 12 月進行修正工程(照片 7)。比較改善前後之河道縱向坡度(圖 11)，颱風期間所測之河道坡度比原始坡度增加 1.66%，但 10 月份因上游泥砂運移結果而使坡度增加量趨緩為 1.55%。

如同二號壩之狀況，河道橫斷面變化較激烈之區域亦出現在壩體缺口上游處之滯洪坑範圍內。以圖 12 之一號壩上游面第二斷面為例，九月之滯洪坑右側河岸落差為 8 公尺，十月份回淤 3.5 公尺而形成約 5 公尺深滯洪坑。

- (5) 一號壩以下：高山溪一號壩以下至七家灣溪匯流口間之縱剖面變化如圖 13 所示，除一號壩下游處河道(約 70 公尺)因壩體改善而下降外，河道平均坡度並無明顯變化。

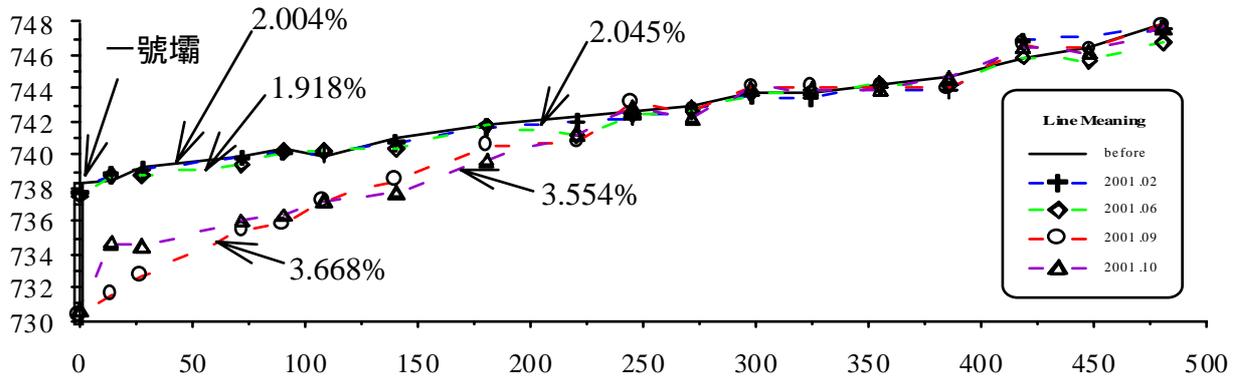


圖 11 高山溪一號壩上游縱剖面

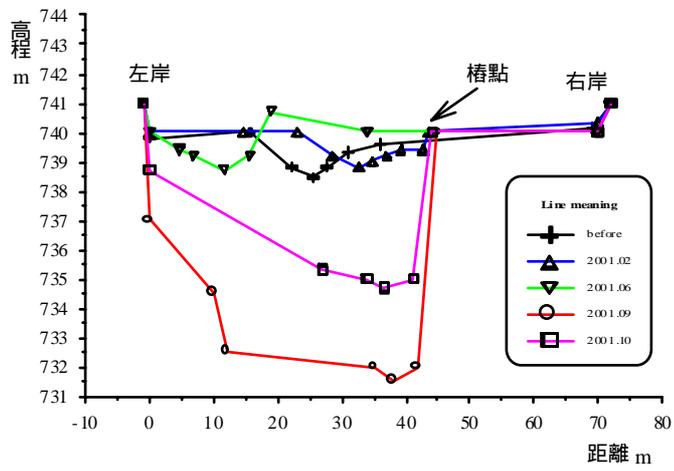


圖 12 一號壩上游之第二斷面演變過程

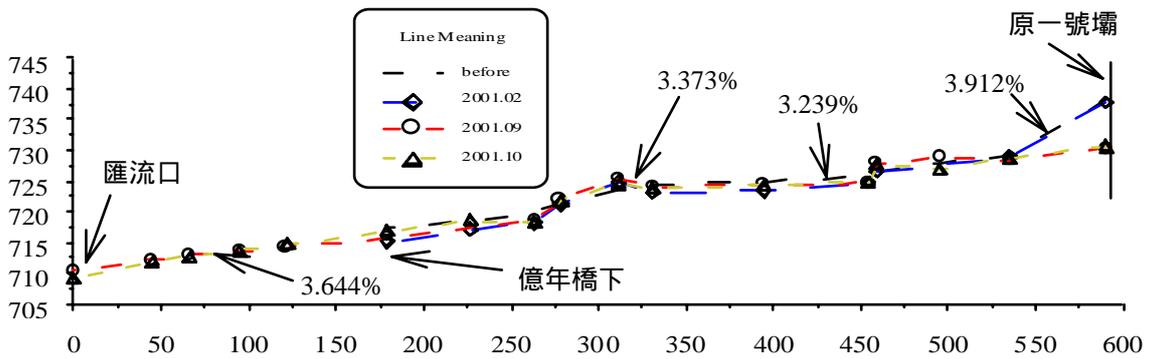


圖 13 高山溪一號壩下至匯流口之縱剖面

四、結 論

依據模型試驗結果所歸納之倒梯形開口形狀(葉昭憲等, 1998), 雪霸國家公園管理處在相關單位之支持配合下, 已於民國八十八年四月至九十年六月期間分批對高山溪四座防砂壩進行改善工程。而為觀測改善工程對河道變化之影響, 至九十年底為止作者群亦對高山溪各河段進行二至三年半之河道調查測量。整體而言, 三號壩以上之河段其河床多已形成以巨礫為披覆的穩定抗沖覆蓋層, 因而河道已經趨於穩定狀態。而三號壩以下之河段則因剛完成改善工程, 因此明顯之河道變化尚可能維持一段時間。

由於魚類生態專家的參與, 實際的高山溪壩體改善工程亦獲得模型試驗所無法提供的觀念。例如, 三號壩體之開口下方因沖刷而產生 60 至 80 公分之落差, 而此河床高度差異對於櫻花鉤吻鮭的跳躍能力而言應是項不易克服的障礙, 因而將開口底面修整呈傾向下游的斜坡面。此外, 藉由魚類專家之族群調查(曾晴賢, 2000、2001、2002), 亦可獲知改善工程之生態改善成效。不同於過去人工放流未能建立穩定族群之情況(曾晴賢, 2001), 最後一次於 2000 年三月在三至四號壩之間放流 400 尾幼魚(林永發等, 2000)以後, 每次族群調查時皆可在已改善河段發現至少 30 條櫻花鉤吻鮭; 在高山溪完成所有壩體改善後, 2002 年五月調查所得數量比 2001 年十月多約 50 尾, 而且集中於棲地條件較佳之三號壩以上範圍(曾晴賢, 2002)。由此數據可證明, 高山溪防砂壩體改善工程可提供櫻花鉤吻鮭移動至適當棲地之通道連續性條件。

五、誌 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 9003), 謹此致謝。

六、引用文獻

- 林永發、陳裕良、廖林彥, 2000。2000 年櫻花鉤吻鮭保育紀要, 雪霸國家公園管理處, 共 37 頁。
- 邱健介, 1990。森林溪流淡水魚類棲地調查、棲地改善概說, 森林溪流淡水魚保育訓練班論文集, 臺灣省農林廳林務局, 139-188 頁。
- 段錦浩, 1993。大甲溪水潭水文及河道疏濬及沖淤研究 - 三年總結成果報告, 國立中興大學水土保持學系。
- 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、葉昭憲、連惠邦，2000。以水工模型試驗探討系列防砂壩改善工程對七家灣溪河床形態之影響，*國家公園學報*，10(1): 1-12。
- 曾晴賢，2000。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(三)，內政部營建署雪壩國家公園管理處委託計畫，共 58 頁。
- 曾晴賢，2001。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(四)，內政部營建署雪壩國家公園管理處委託計畫，共 34 頁。
- 曾晴賢，2002。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(五)期中報告，內政部營建署雪壩國家公園管理處委託計畫，共 29 頁。
- 葉昭憲、連惠邦、段錦浩，1998。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究，雪壩國家公園管理處研究報告，共 71 頁。
- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦，2001。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(四)，雪壩國家公園管理處研究報告，共 72 頁。
- Downs, P. W. and C. R. Thorne. 2000. Rehabilitation of a lowland river: Reconciling flood defence with habitat diversity and geomorphological sustainability, *Journal of Environmental Management* 58: 249-268.
- Hey, R. D. 1996. Environmentally Sensitive River Engineering. In: G. Petts *et al.* (eds.) *River Restoration: Selected Extracts from the Rivers Handbook*. Blackwell Science Ltd.
- Larsen, P. 1996. Restoration of River Corridors: German Experiences. In: G. Petts *et al.* (eds.) *River Restoration: Selected Extracts from the Rivers Handbook*. Blackwell Science Ltd.
- Mackin, J. H. 1948. "Concept of the Graded River," *Bulletin of the Geological Society of America*, 59(5): 463-512.
- National Research Council. 1992. *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy*. National Academy Press, Washington, D.C..
- Petts, G. E. and P. Calow. 1996. The Nature of Rivers. In: G. Petts. *et al.* (eds.) *River Restoration: Selected Extracts from the Rivers Handbook*. Blackwell Science Ltd.
- Shen, H. W. and S. C. Chen. 1998. Goals and Indicators of River Basin Studies Based on Ecological Consideration. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation* 29(2): 165-173.
- White, W. R., Bettis, R., and Paris, E. 1982. "Analytical Approach to River Regime," *Journal of the Hydraulics Division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 108(HY10) pp 1179-1193.

Implementation and Current Channel Morphological Condition of Check Dams' Partial Removal at Gau-Shan Creek

Chao-Hsien Yeh⁽¹⁾, P. H. Ling⁽¹⁾, and Ching-Hao Tuan⁽²⁾

(Manuscript received 10 Apr. 2002; accepted 22 Dec. 2002)

ABSTRACT : With the experiences of dam body remodeling in previous years, this year's research focused on the follow-up investigations on the morphological changes of observed channel cross sections, including those within dam sites of check dams No. 2 and No. 1 partially-removed in September 2001. According to the survey information collected in February, June, September, and October of 2001, the channel morphology beyond dam No. 3 stayed in stable condition. However, the channel around dams No. 2 and No. 1 is experiencing a rapid transformation period after partial dam removal due to the scouring at upstream channel banks of those two dam sites. Based on the survey result of Formosan Land-locked Salmon population within Guan-Shan Creek in May 2002, the population grew by 50 compared to that in October 2001 and the majority of the population was found in the channel above Dam No. 3.

KEYWORDS: Formosan Land-locked Salmon, Channel Habitat Improvement, Check Dam Partial Removal, Field Observation and Investigation.

(1) Department of Hydraulic Engineering, Feng Chia University

(2) Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University