

內政部營建署雪霸國家公園管理處九十年年度研究報告

七家灣溪河床棲地改善之試驗研究（四）

An Experimental Study of Channel Habitat Improvement for
Chi-Chia-Wan Creek (4)

執行單位：內政部營建署雪霸國家公園管理處

研究機構：中華水土保持學會

計畫主持人：葉昭憲(私立逢甲大學土地管理系副教授)

協同主持人：段錦浩 (國立中興大學水土保持系教授)

研究人員：連惠邦 (私立逢甲大學水利工程系副教授)

中 華 民 國 八 十 九 年 十 二 月 三 十 日

目錄

目錄

圖目錄

表目錄

一、前言	1
二、已完成脂肪沙霸改善措施	2
三、高山溪河道監測狀況	6
3.1 現場調查	8
3.2 未來改善措施	22
四、室內渠槽試驗	23
4.1 試驗設備	23
4.2 試驗目的	23
4.3 渠槽試驗	24
4.3.1 試驗條件	24
4.3.2 試驗方法及步驟	24
4.4 結果與討論	27
4.4.1 幾何特性	28
4.4.2 泥砂運移分析	40
4.4.3 河道穩定問題探討	47

4.5 階梯狀河道分析	53
4.6 試驗結果與建議	56
五、後續調查工作	57
六、高山西流域坡地泥砂剝施量估算	67

圖目錄

圖 2-1 一號壩壩體改善尺寸示意圖	2
圖 2-2 三號壩壩體改善尺寸示意圖	3
圖 2-3 一號壩壩體改善尺寸示意圖	4
圖 2-4 二號壩壩體改善尺寸示意圖	5
圖 3-1 用最小水流功率和最大輸砂率確定穩定河寬的對比	7
圖 3-2 河流各個環節之間的相互關係和存在的反饋	7
圖 3-3 高山溪四號壩上游縱剖面	8
圖 3-4 高山溪四號壩上游之第一個斷面	9
圖 3-5 高山溪四號壩上游之中間斷面	9
圖 3-6 高山溪四號壩上游之上游斷面	9

圖 3-7 三號壩上游縱斷面	11
圖 3-8 四號壩上游至三號壩斷面分布示意圖	12
圖 3-9 高山溪二號壩上游縱剖面	12
圖 3-10 高山溪二號壩上游最上游斷面	13
圖 3-11 高山溪二號壩上游中游斷面	13
圖 3-12 高山溪二號壩上游第一個斷面	13
圖 3-13 高山溪一號壩上游縱剖面	14
圖 3-14 高山溪一號壩上游之第二個斷面	14
圖 3-15 高山溪一號壩上游之中間斷面	14
圖 3-16 高山溪一號壩上游之上游斷面	14
圖 3-17 三號壩至二號壩斷面分布圖	17
圖 3-18 二號壩至一號壩斷面分布圖	18
圖 3-19 高山溪一號壩下至匯流口之縱剖面	19
圖 3-20 高山溪一號壩下 0-2 斷面	19
圖 3-21 高山溪一號壩下 0-9 斷面	19
圖 3-22 高山溪一號壩下 0-12 斷面	20
圖 3-23 一號壩以下至匯流口斷面分布圖	21
圖 4-1 試驗渠槽配置示意圖	23
圖 4-2 土砂粒徑累積分布曲線	25
圖 4-3 單位歷線流量(第一組)	26
圖 4-4 單位歷線流量(第二組)	26
圖 4-5 渠床之鋪設	26

圖 4-6 記錄各斷面的沖刷深度	26
圖 4-7 渠床之變化	26
圖 4-8 渠床之變化	26
圖 4-9 渠床之變化	26
圖 4-10 實驗流程圖	26
圖 4-11 流量 0.104cms 開度 5cm	29
圖 4-12 流量 0.357cms 開度 5cm	29
圖 4-13 流量 0.668cms 開度 5cm	30
圖 4-14 流量 0.104cms 開度 7cm	30
圖 4-15 流量 0.357cms 開度 7cm	30
圖 4-16 流量 0.668cms 開度 7cm	30
圖 4-17 流量 0.104cms 開度 9cm	31
圖 4-18 流量 0.357cms 開度 9cm	31
圖 4-19 流量 0.668cms 開度 9cm	31
圖 4-20 壩體上游陷坑相對長度與開口大小關係圖(渠床坡度 1 度 AB 粒徑)	32
圖 4-21 壩體上游陷坑相對長度與開口大小關係圖(渠床坡度 3 度 AB 粒徑)	32
圖 4-22 壩體上游陷坑相對長度與開口大小關係圖(渠床坡度 5 度 AB 粒徑)	32
圖 4-23 A 粒徑 渠床坡度 1 度之平衡坡度與相對開口關係	33
圖 4-24 A 粒徑 渠床坡度 3 度之平衡坡度與相對開口關係	33
圖 4-25 A 粒徑 渠床坡度 5 度之平衡坡度與相對開口關係	34
圖 4-26 B 粒徑 渠床坡度 1 度之平衡坡度與相對開口關係	34
圖 4-27 B 粒徑 渠床坡度 3 度之平衡坡度與相對開口關係	34

圖 4-28 B 粒徑 渠床坡度 5 度之平衡坡度與相對開口關係	35
圖 4-29 1 度 A 粒徑, A 歷線河床縱向沖刷剖面圖	36
圖 4-30 1 度 A 粒徑, B 歷線河床縱向沖刷剖面圖	36
圖 4-31 3 度 A 粒徑, A 歷線河床縱向沖刷剖面圖	36
圖 4-32 3 度 A 粒徑, B 歷線河床縱向沖刷剖面圖	36
圖 4-33 5 度 A 粒徑, A 歷線河床縱向沖刷剖面圖	36
圖 4-34 5 度 A 粒徑, B 歷線河床縱向沖刷剖面圖	37
圖 4-35 1 度 B 粒徑, A 歷線河床縱向沖刷剖面圖	37
圖 4-36 1 度 B 粒徑, B 歷線河床縱向沖刷剖面圖	37
圖 4-37 3 度 B 粒徑, A 歷線河床縱向沖刷剖面圖	37
圖 4-38 3 度 B 粒徑, B 歷線河床縱向沖刷剖面圖	37
圖 4-39 5 度 B 粒徑, A 歷線河床縱向沖刷剖面圖	37
圖 4-40 5 度 B 粒徑, B 歷線河床縱向沖刷剖面圖	38
圖 4-41 壩體上游陷坑長度與開口寬度關係圖(歷線 A)	38
圖 4-42 壩體上游陷坑長度與開口寬度關係圖(歷線 B)	39
圖 4-43 歷線流量 A、粒徑 AB 平衡坡度與相對開口大小比較	39
圖 4-44 歷線流量 B、粒徑 AB 平衡坡度與相對開口大小比較	40
圖 4-45 單一流量 A 粒徑 1 度輸砂比與相對開度關係圖	42
圖 4-46 單一流量 B 粒徑 1 度輸砂比與相對開度關係圖	42
圖 4-47 單一流量 A 粒徑 3 度輸砂比與相對開度關係圖	43
圖 4-48 單一流量 B 粒徑 3 度輸砂比與相對開度關係圖	43
圖 4-49 單一流量 A 粒徑 5 度輸砂比與相對開度關係圖	44

圖 4-50 單一流量 B 粒徑 5 度輸砂比與相對開度關係圖	44
圖 4-51 壩體開口與總輸砂量關係圖(歷線 A , A 粒徑)	45
圖 4-52 壩體開口與總輸砂量關係圖(歷線 A , B 粒徑)	45
圖 4-53 壩體開口與總輸砂量關係圖(歷線 B , A 粒徑)	46
圖 4-54 壩體開口與總輸砂量關係圖(歷線 B , B 粒徑)	46
圖 4-55 用最小水流功率和最大輸砂率確定穩定河寬的對比	48
圖 4-56 河流各個環節之間的相互關係和存在的反饋作用	49
圖 4-57 單一流量 A 粒徑 1 度蜿蜒度與相對開度關係圖	50
圖 4-58 單一流量 A 粒徑 3 度蜿蜒度與相對開度關係圖	51
圖 4-59 單一流量 A 粒徑 5 度蜿蜒度與相對開度關係圖	51
圖 4-60 單一流量 B 粒徑 1 度蜿蜒度與相對開度關係圖	51
圖 4-61 單一流量 B 粒徑 3 度蜿蜒度與相對開度關係圖	52
圖 4-62 單一流量 B 粒徑 5 度蜿蜒度與相對開度關係圖	53
圖 4-63 歷線流量 A 之蜿蜒度與相對開口比	53
圖 4-64 歷線流量 B 粒徑 AB 比較之蜿蜒度與相對開口比	53
圖 4-65 Abrahams 階梯狀河床剖面圖	53
圖 4-67 階梯狀河床階梯坡度與長度比值 (實驗值)	55
圖 4-66 現場與野外調查 $\frac{H}{L \log S}$ 與 $\frac{H}{L}$ 之示意圖	56
圖 4-68 階梯狀河床階梯坡度與長度比值(野外調查值)	56
圖 6-1 研究流程圖	67
圖 6-2 衛星影像分類架構	68
圖 6-3 衛星影像分類成果	69

圖 6-4 德基水庫集水區震災前後之變遷分析圖	70
圖 6-5 德基水庫集水區每公頃之年土壤流失量分布圖	72
圖 6-6 德基水庫集水區年泥砂產量分布圖	72

表目錄

表 4-1 渠槽試驗之控制因子	24
表 4-2 粒徑特性分析表	24
表 6.1 德基水庫集水區土地利用面積統計表	70

七家灣溪河床棲地改善之試驗研究（四）

中文摘要

延續前三年之七家灣溪棲地改善方式，本研究持續對高山溪防砂壩進行開口改善工程，以便建立連續性之河川棲地環境。此外，為顧及河道穩定之原則，本研究亦對改善後之壩體提出適當的保護措施。

根據 2001 年 7 月棲地改善會議之決議，雪霸國家公園管理處於同年九月將高山溪一、二號防砂壩進行壩口改善工程。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，然而高山溪因在本研究執行期間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，本研究共獲得高山溪河道於壩體改善前後演變之四次完整現場調查資料（分別於 2、6、9、10 月進行）。依據調查資料分析，高山溪三號防砂壩以上河道在改善工程完成至少 14 月後，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。針對觀測結果及 2001 年 11 月底之期末報告會議結論，本研究針對改善工程之修正處理提出建議，除對三號壩開口底實施斜坡處理外，並將一號防砂壩開口之寬度增加一公尺，以減緩暴雨期間因排洪不及所造成壩體上游迴流之岸坡沖刷。

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 dam No. 2 and No. 1 remodeled in September 2001. According to the survey information collected at February, June, September, and October, the channel morphology beyond dam No. 3 stayed in stable condition. However, the channel around dam No.2 and No.1 is experiencing the rapid transformation period after remodeling

due to the scouring at channel banks of those two dam sites. With conclusion of year-end meeting for this project, several supplemental practices were suggested to control the current scouring effects, including changing the bottom of dam No. 3 opening into ramp with slight slope and extending opening width of dam No.1 with 1 meter.

一、前言

國家公園致力於保護櫻花溝吻鮭的努力一直不變，站在工程與規劃的角度來看這些國寶魚類保育與復育，其實是一項艱鉅的任務。透過對於河道水流與泥砂關係及水工結構物的水理特性的了解，並配合魚類專家對魚類生活習性的了解，以工程的方法塑造適合國寶魚生活的棲地環境。

本研究將防砂壩做開口改善後，希望建立連續性的河川棲地環境，並且顧及河道穩定的原則，做適當的保護措施。本研究岸至 2000 年 10 月以前，已高山溪上之四號與三號防砂進行開口改善。按照 2001 年 7 月之壩體改善計畫之決議，於 2001 年 9 月初將高山溪下游一、二號防砂壩進行改善。壩體改善後的河道演變並非短時間可以觀察到的，再加上計畫期間遭逢桃芝與娜莉颱風的侵襲，經歷數次洪水沖刷對河床演變影響甚巨，因此為獲得河床在壩體改善前後演變結果之資料，分別於 2、6、9、10 月進行現場調查；並在整理資料的同時，在室內渠槽進行之先趨試驗做結果分析與討論。最後針對 2001 年 11 月底期末報告會議所指出先前改善缺失做修正，於三號壩再次進行小規模修正及一、二號壩之河岸保護施工。

二、已完成之防砂壩改善措施

本計畫主要目的在改善防砂壩，因此壩體改善前後河道的調查，以及壩體改善的方式與其改後的以完成之保護措施分述如下。

1. 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。

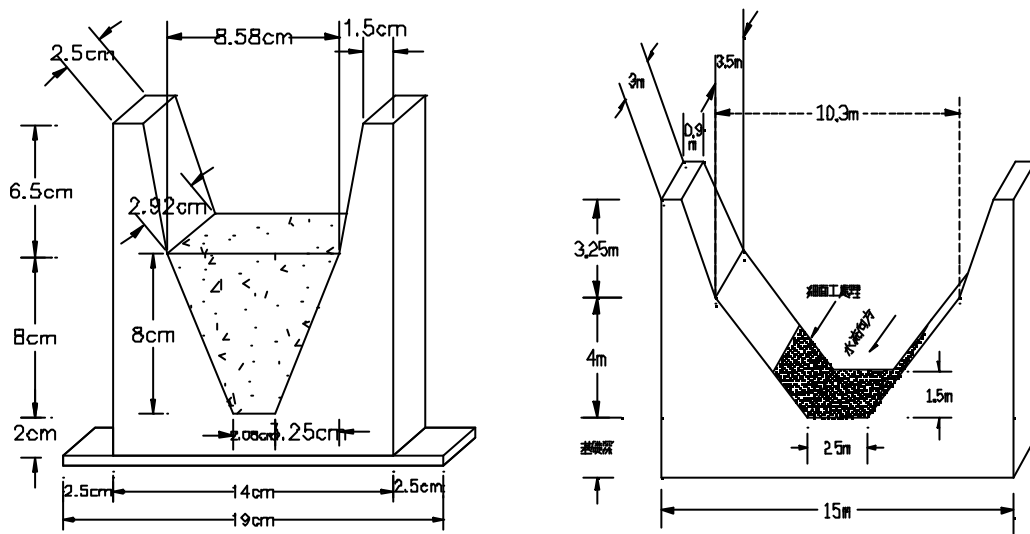


圖 2-1 一號壩壩體改善尺寸示意圖

2. 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
工之砌石護岸

行蛇籠
工程。



究(四) 2

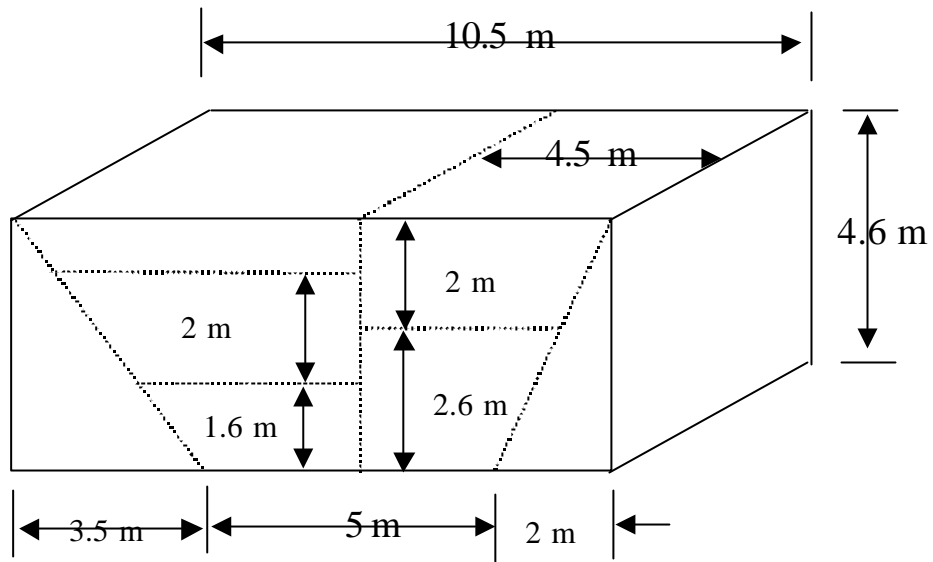


圖 2-2 三號壩壩體改善尺寸示意圖



照片 2-2 三號壩改善後現場狀況



照片 2-3 四號壩上游兩岸蛇籠工



照片 2-4 四號壩下游兩岸蛇籠工

3. 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, 並將
 一、二號壩及其副壩以梯形
 缺口方式做改善, 其拆除深度使旗與下游河道齊平。

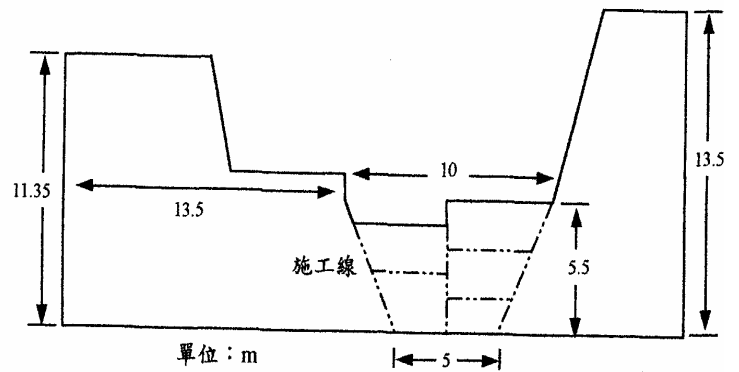


圖 2-3 一號壩壩體改善尺寸示意圖



照片 2-5 一號壩改善過程



照片 2-6 一號壩改善過程

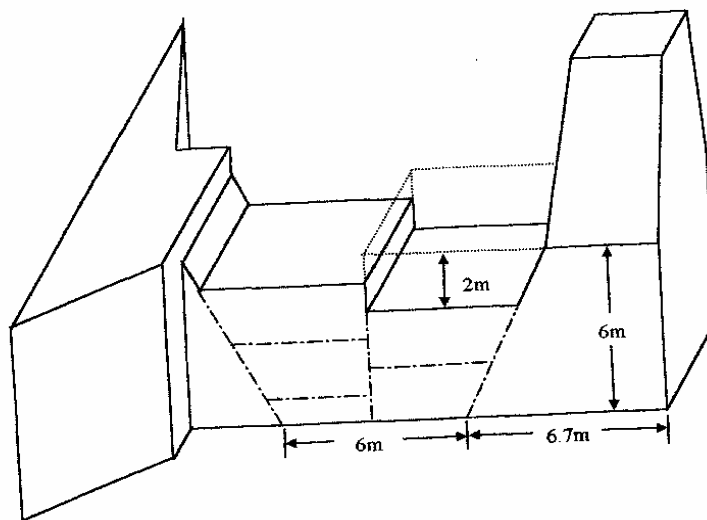


圖 2-4 二號壩壩體改善尺寸示意圖



照片 2-7 二號壩改善後河道狀況

三、高山溪河道監測狀況

高山溪上之防砂壩為生態的考量，在這幾年陸續予以改善後，已達成建立連續性河道的階段目標。但改善後的河床變化在不同天氣狀況下有不同的反應，但站在河床演變的角度來看，各段落正槽向建壩前原始河床的坡度發展，因此各斷河床的縱橫向發展，須密切監測。

在天然河流中有的斷面比較寬淺、有的比較窄深，我們可以知道作用在河槽周界上剪應力與周界附近的流速梯度成正比。對於窄深斷面來說，等流速線在兩壁比較密集，其剪應力要比作用在河床上的大。寬淺斷面則反之，作用在河床的剪應力要比兩壁大，因此，只有在河岸組成物質的抗沖強度比河床物質的抗沖強度要大的多的情況下，窄深斷面才能維持，不然就會向寬淺發展。但是向寬淺發展也不是無限制的。因為，在水流周界上的力，從水流對周界來說是剪應力，大了會引起周界上的沖刷；從周界對水流的反作用力來說是阻力，大了會減低水流的速度。在一般情況下，通過同樣的流量時，當斷面的寬深比(B/h)大於 2 以後，斷面愈寬淺，濕周愈長。如果斷面變的過份寬淺，由於周界的增長和阻力的加大，水流流速將會過份降低，使水流不足以帶走上游來的泥砂。泥砂在淤積時自然首先沉積在河床兩側鄰近河岸處剪應力較小的地方，使斷面轉而趨向窄深，就這樣，河槽通過泥砂的沖淤調整，形成具有一定寬度和深度的斷面。故河床型態就是挾砂水流與河床長期相互作用，不斷自動調整而形成的。

對於沖積河流的自我調整作用下，體系內部的能量消耗也要趨於穩定狀態，引入最小熵原理的平均或然率的觀念與最小功原理，使沖積河流自動調整的結果，使河寬、水深、坡降之間自有一定的組合，以流域條件相適應，使河流趨向平衡。這種河床型態要素的組合具有最大的可能性，當我們比較某一種類型的河流時，河流越多，他們的平均情況就愈接近上述最大可能組合。W.R.White 和 R.Bettes 等指出固定流量和坡降，使輸砂率保持最大，實際上相當於固定流量和輸砂率，使坡降保持最小，圖 3-1 示意了這兩種概念的一致性。也就是說，”最小功原理”和”最大輸砂率設想”是可以互相置換的。

沖積河流的長、短期調整因素中，發現時間是另一個重要的制約因素。就洪峰中所帶來的

短期變化來說，沖積河流必須以最快速的方式進行調整，這時能夠最有效影響挾砂能力的因素往往起著主導作用。如果流域來水來砂條件的變化是較長期的，則河流

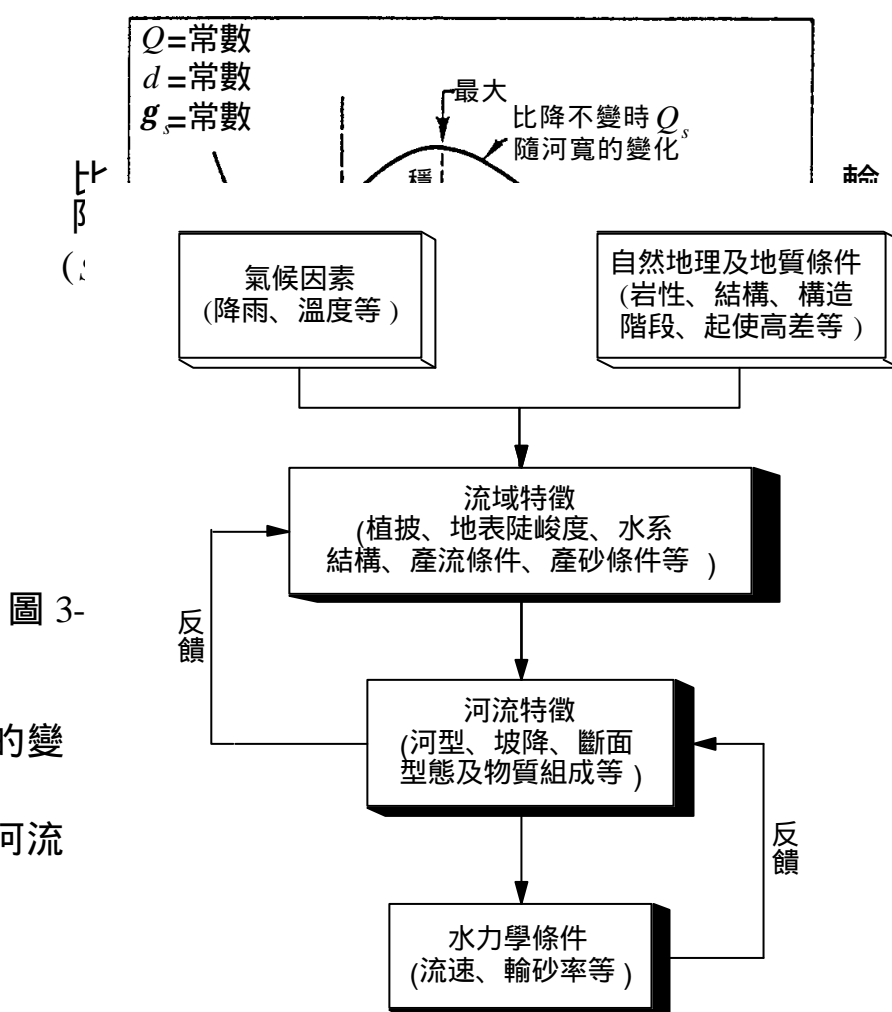


圖 3-

在調整過程中也將有足夠的時間適應其他的要求。

如圖 3-2 所示 Mackin 在給“平衡河流”所下的定義中，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。

對於一個河段來說，在一定的流量下，進出河段有一定的砂量。如果這兩個部分砂量不等，河流就要進行調整，通過沖淤變化，改變河床型態和邊界物質組成來調整河流的挾砂能力，以期使自河段下泄的砂量能夠盡量和進入河段的砂量相等，河段保持平衡。至是沖積河流所具有的第一種反饋作用。如果因為某種外在原因引起的河流變化幅度很大，涉及的範圍很廣，則不能不影響到河流所在的流域，通過流域產流產砂條件的改變，來減緩河流的調整強度，甚至使之朝相反的方向發展。

3-1 現場調查

根據現場調查資料，以下針對各斷面河道縱橫方向發展的趨勢與壩體改善前後比較之說明：

1. 如圖 3-3 所示，壩體改善後之河道上游滯洪坑逐漸擴大，由於壩體改善深度只有 8m 深，上游之河道沖刷不會超過該深度，且沖刷槽長度約為河道平均寬度之 10~15 倍。但這個長度主要受河床粒徑組成影響較大，四號壩上游粒徑較粗，且兩岸邊壁岩盤發達，因此河道經過數次暴雨沖刷後，渠床坡度大約維持在 6.5%~8% 左右。

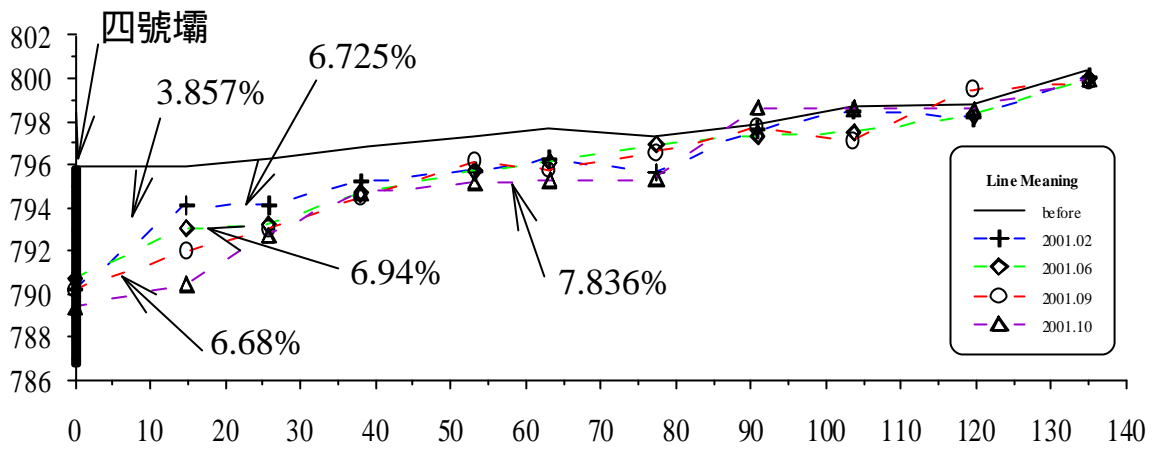


圖 3-3 高山溪四號壩上游縱剖面

2.如圖 3-4~圖 3-6 所示，河道經歷兩次颱風後，河道有明顯得向下沖刷，而先前堆積在河床兩岸之沈積物也陸續被帶往下游。如前所述，河床的演變是崩坍與沖刷連續性的反應，但受制於兩岸岩盤因而其橫向展寬受到限制，其平均寬度維持約 9~12m 左右。唯有壩體上游面有較大的河床斷面，由於先前河道水流並非直線進入壩體缺口，對壩體壩翼安全穩定影響甚巨，因此先前施工在壩體缺口上游兩岸施以蛇籠壩保護，並束縮河道增加水深。

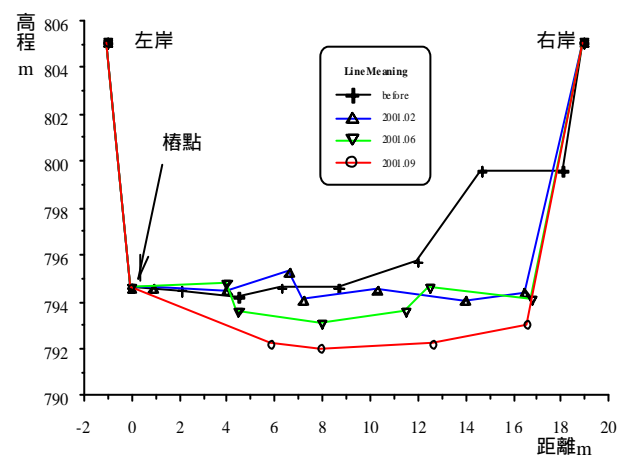


圖 3-4 高山溪四號壩上游之第一個斷面

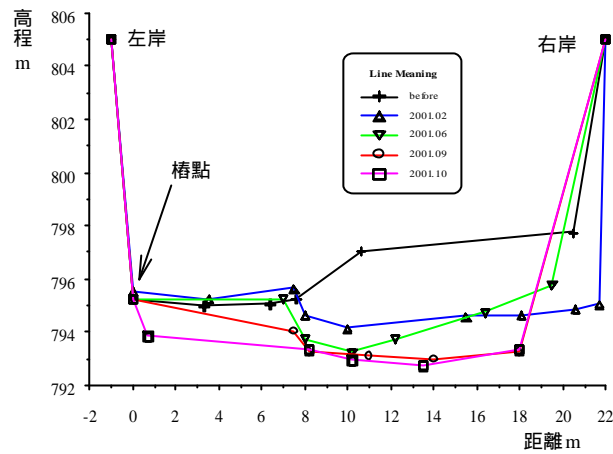


圖 3-5 高山溪四號壩上游之中間斷面

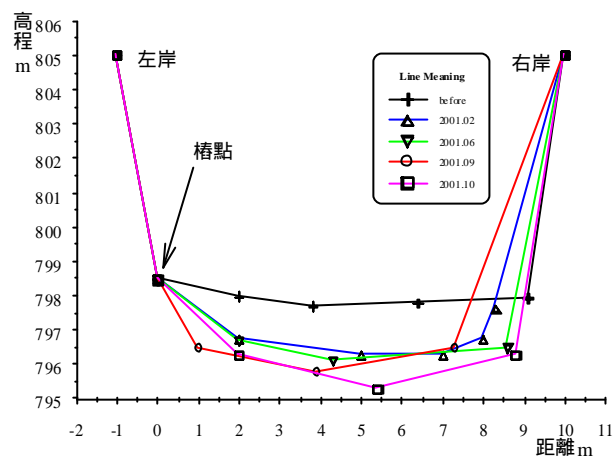


圖 3-6 高山溪四號壩上游之上游斷面

3. 如下照片 3-1~照片 3-3 所示，壩體改善後上游斷面已形成穩定之抗沖覆蓋層，因而泥砂輸出量有限。而壩體下方的沖刷坑隨季節水量的變化而有所調整，秋冬兩季之水潭深度較深，而在春夏兩季之暴雨致使造床流量將上游泥砂帶入且逐漸堆積，進而使潭水深度改變。



照片 3-1 四號壩下游斷面(sec4-1 面向下游)



照片 3-2 四號壩下方深潭(sec3-23 面向上游)



照片 3-3 四號壩上游斷面(sec4-4 面向上游)

4.由三號壩斷面縱剖面分布情形可知(如圖 3-7 所示),此河段之河床變動不大。主要受制於四號壩上游本身泥砂輸出量並不大,再加上本身河道屬於窄

深型，邊壁多半為岩盤，因此四號壩下方斷面無明顯變化。但是三號壩上游之河道斷面仍繼續刷深，坡降也變陡，但大致上經歷兩次颱風過後，維持在4%~4.3%左右。再者，壩上游之滯洪坑，有逐漸擴大之趨勢，但是沖刷槽長度大約為河寬之10~15倍長，而最大沖刷滯洪坑深度則與開口深度相近。

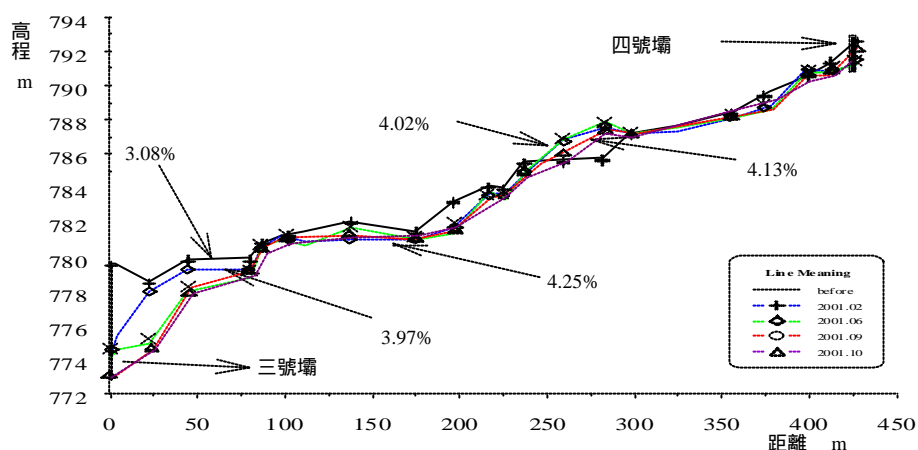
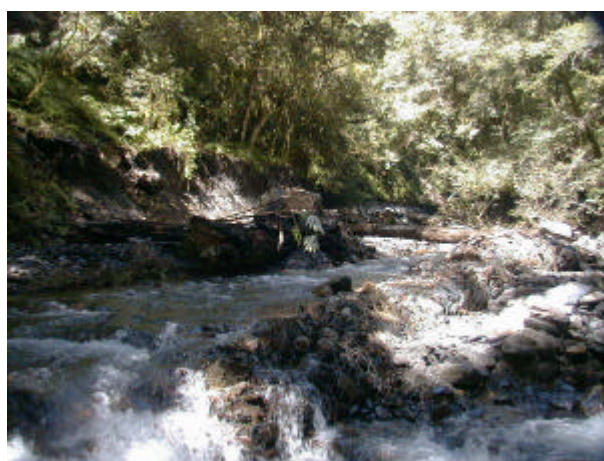


圖 3-7 三號壩上游縱斷面

5. 照片 3-4 及照片 3-5 為壩體之現場狀況。先前施設之蛇籠壩，因為壩口上游左岸岩盤之影響，河道改變方向，破壞右岸部份之蛇籠壩。



照片 3-4 三號壩上游處(sec2-26 面向上游)



照片 3-5 三號壩上游轉灣處(sec3-2)

6. 圖 3-9~圖 3-12 為二號壩上游河段在 2001 年 6 月進行一、二號壩改善工程前七家灣溪河床棲地改善之試驗研究 (四) 12

後以及經歷兩次颱風洪水沖刷後，河道斷面縱橫方向變化示意圖。在桃芝颱風過後，床面坡度增加 1%，但在第二次娜莉颱風侵襲時，只有少量的床面坡度變動。再者，本河段長度原本就相當長，河道本身平均寬度都有 12~18m，但沖刷槽長度大約在 10~15 倍河寬之長度內。至於河道內的橫向沖刷變化，由於洪水的沖刷，部份地區有淤積與沖刷的現象，但變化不大。但在壩體上游一百公尺範圍內，水流受左岸岩盤影響而導向右岸沖刷，使得右岸之堆積土被水流掏刷進而產生闊床現象。壩體缺口上游處之斷面右岸之原有沖積土層與竹林已被掏空，而出現近 9m 的垂直落差。

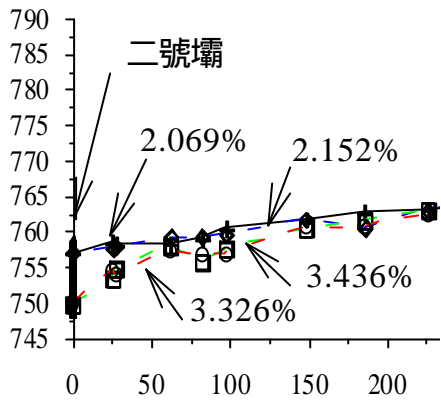


圖 3-9 高山溪二號壩上游縱剖面

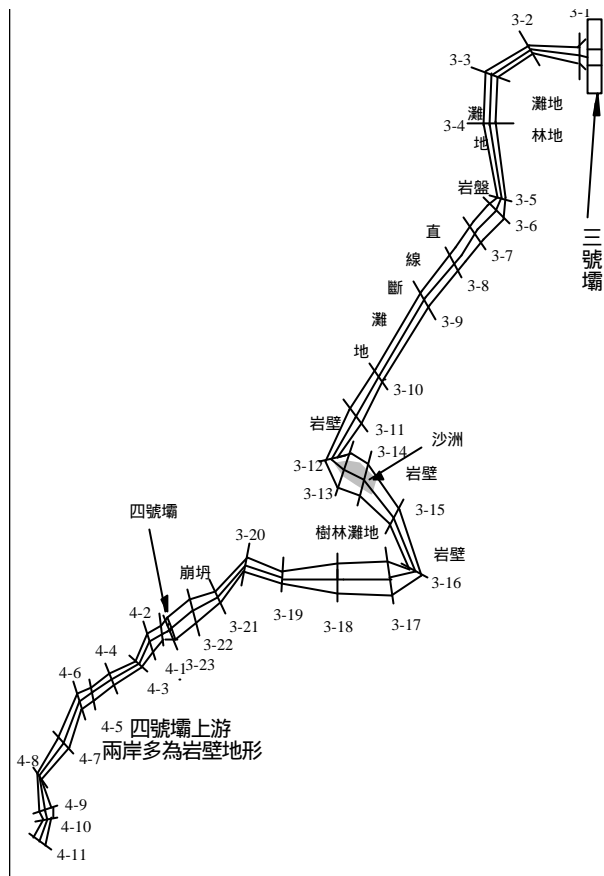


圖 3-8 四號壩上游至三號壩斷面分布示意圖

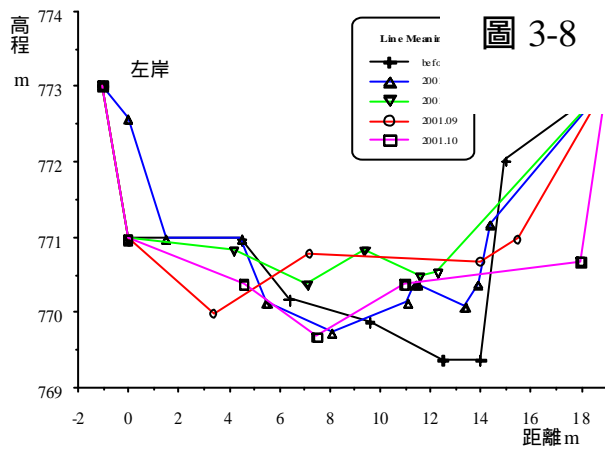


圖 3-10 高山溪二號壩上游最上游斷面

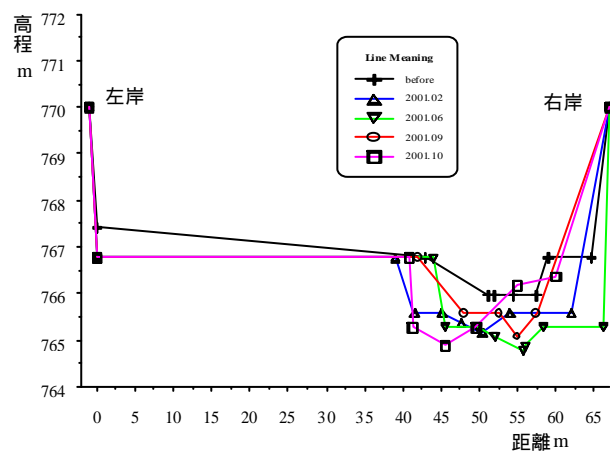


圖 3-11 高山溪二號壩上游中游斷面

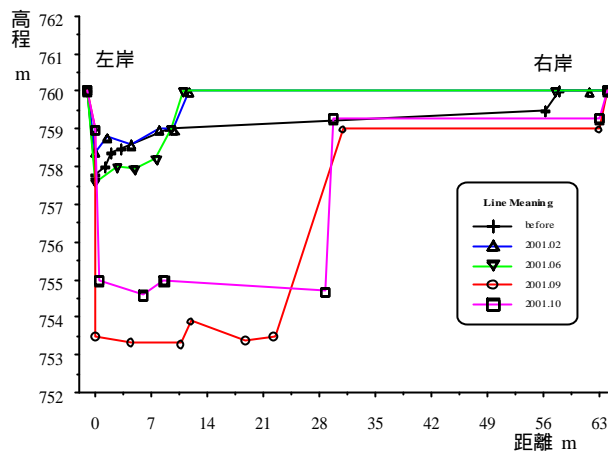


圖 3-12 高山溪二號壩上游第一個斷面

7.圖 3-13~圖 3-16 為一號壩縱橫方向河道變化示意圖，其中之渠床坡度有逐漸變緩趨勢。整體來說，一、二號壩改善後之渠床坡度平均增加 1.4%~1.8%，但尚要視渠床粒徑組成而定，越往下游，河床床砂較細，標準偏差也縮小，河床本身較大顆粒礫石無法抑制土砂繼續被帶走，因此在不斷的縱向與橫向沖刷與展寬後，河道沖刷滯洪坑會向上游溯源沖刷。

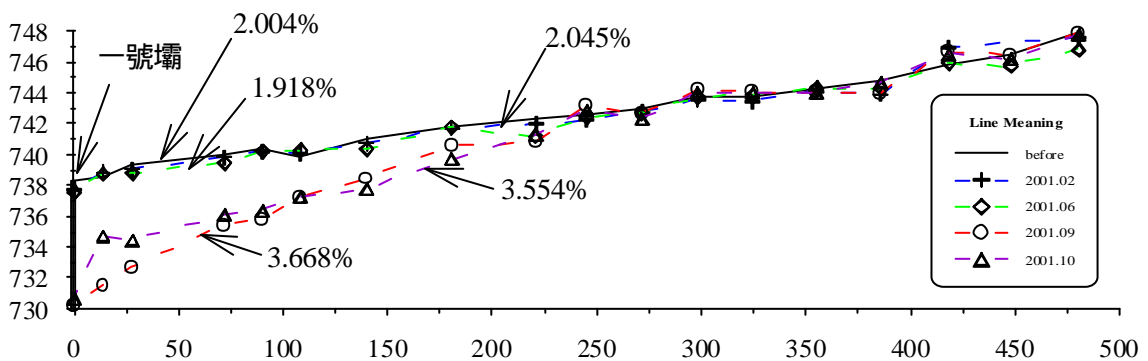


圖 3-13 高山溪一號壩上游縱剖面

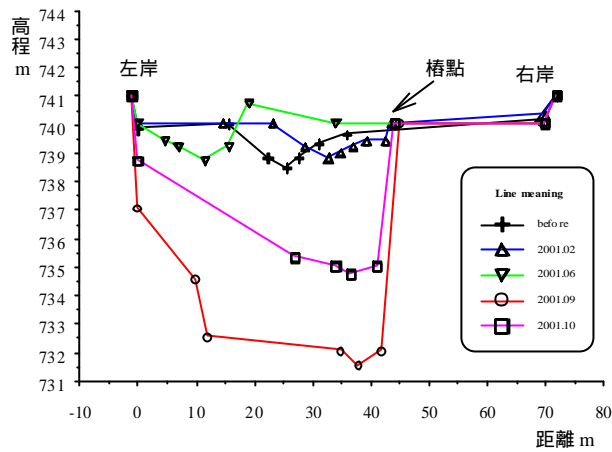


圖 3-14 高山溪一號壩上游之第二個斷面

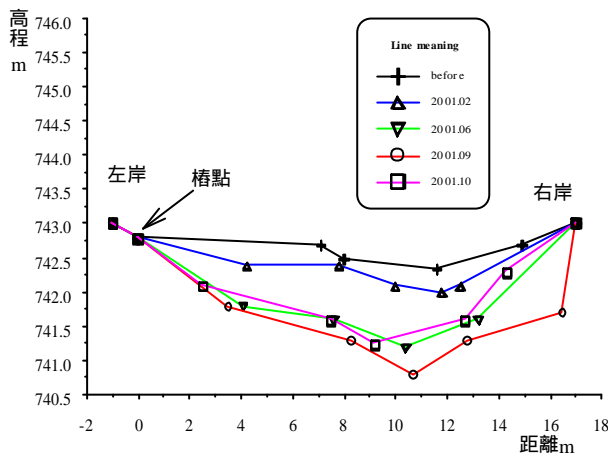


圖 3-15 高山溪一號壩上游之中間斷面

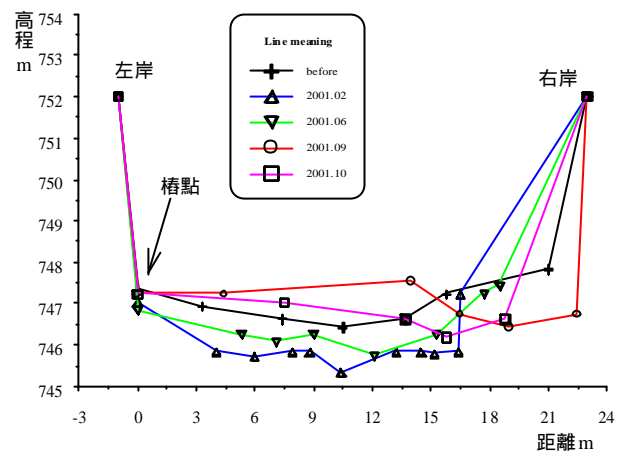


圖 3-16 高山溪一號壩上游之上游斷面

8. 照片 3-6~3-15 為三號壩下游至一號壩間的河道現況照片。二號壩壩口因被樹幹與大礫石堵塞，形成壩口處有較大落差之跌水。而一號壩上游之大灘地，經過兩次洪水之沖刷後，已將大部分的土砂沖走，照片 3-16~照片 3-17 所示，在一號壩下游處形成明顯之堆積。部份區域之河道，經履帶車的輾壓以及為營造枯水季河道深水化現象，因此將河道鋪石，以擠壓河道，使水流變深，更適合魚類迴游。



照片 3-6 二號壩上游斷面(sec2-2 面向下游)



照片 3-7 二號壩上游斷面(先前副壩址處)



照片 3-8 二號壩上游斷面河道被樹幹堵塞(先前副壩址處)



照片 3-9 一號壩上游斷面(sec1-2 面向下游)



照片 3-10 一號壩上游斷面(sec1-1 面向上游)



照片 3-11 三號壩與二號壩間之直線河斷(sec2-13)



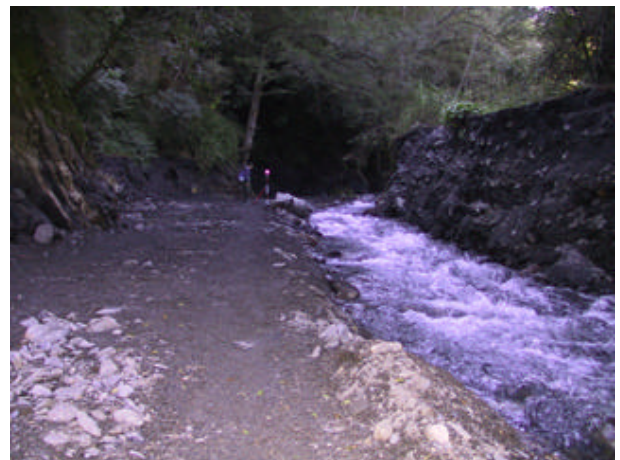
照片 3-12 二號壩上游灣處(sec2-3)



照片 3-13 一號壩下游斷面(sec1-1 面向下游)



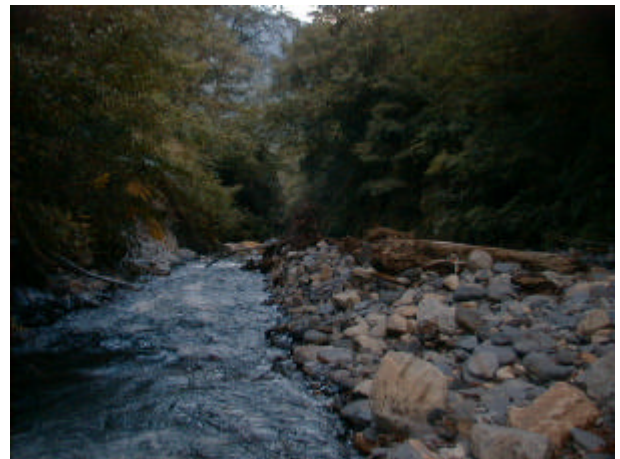
照片 3-14 一號壩上游大灣前人工束縮河道
(sec1-4 面向下游)



照片 3-15 一號壩上游人工束縮河道(sec1-6 面
向上游)



照片 3-16 一號壩拆除後壩口狀況



照片 3-17 一號壩以下斷面

9.如下圖 3-17 與圖 3-18 所示則為三號壩至一號壩間河道斷面分布狀況，在下游壩口處有明顯河道改道之現象，現在管理處已於該處進行人工改善，已保

護該河斷之河床。

10. 下圖 3-19 為一號壩底下至匯流口縱剖面深槽線示意圖，圖中可以清楚看到，渠床平均坡度有明顯逐漸降低的趨勢，表示上游泥砂有在此區段做沈積作用。

11. 由圖 3-20 至圖 3-22 可以清出看出各區段河床高程變化，發現主深槽隨時間的變化而沖刷更深，但由於兩岸岩壁發達，水流不易向兩岸沖蝕，因此闊床變化並不明顯，唯有彎角處有較嚴重沖刷。

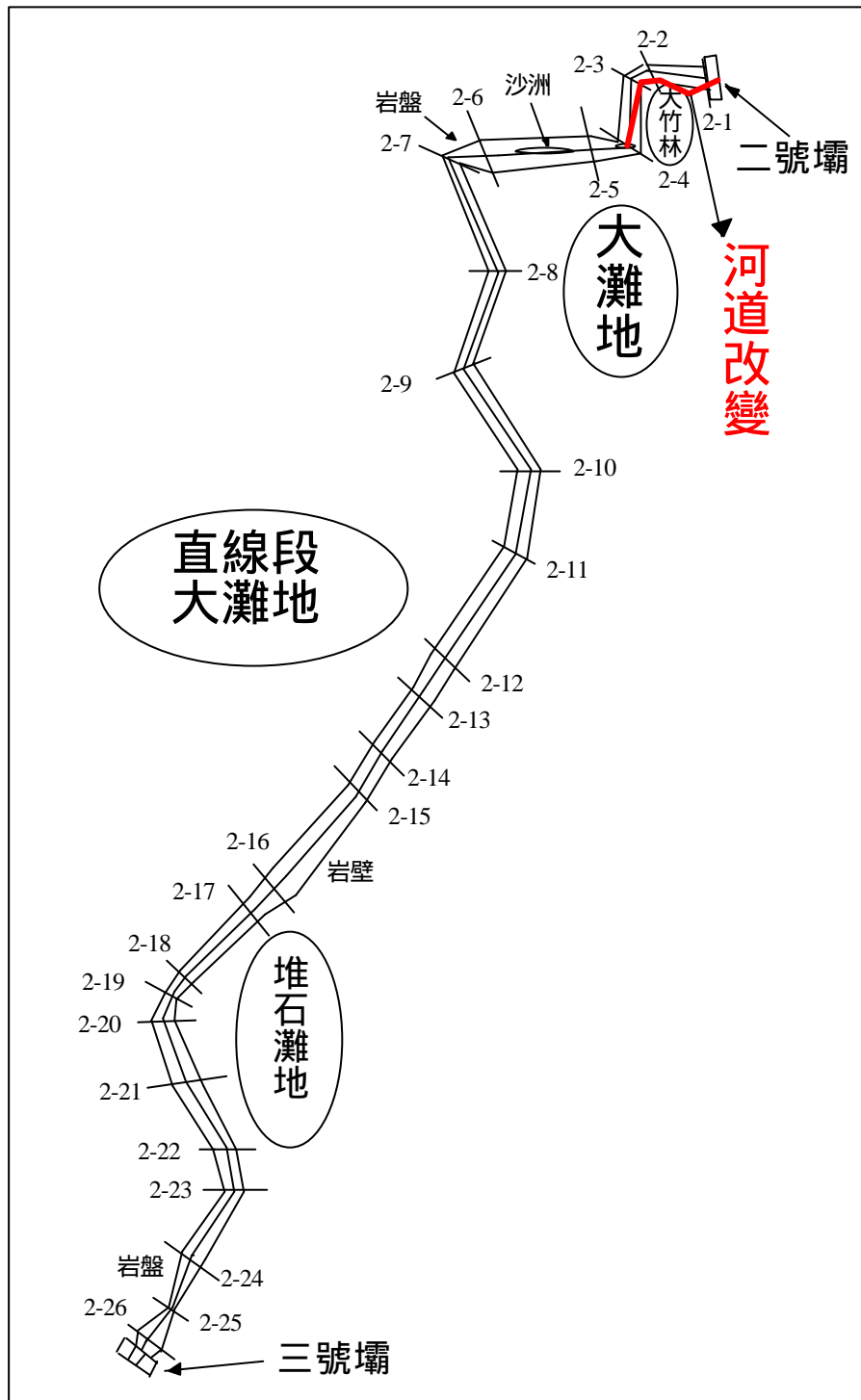


圖 3-17 三號壩至二號壩斷面分布圖

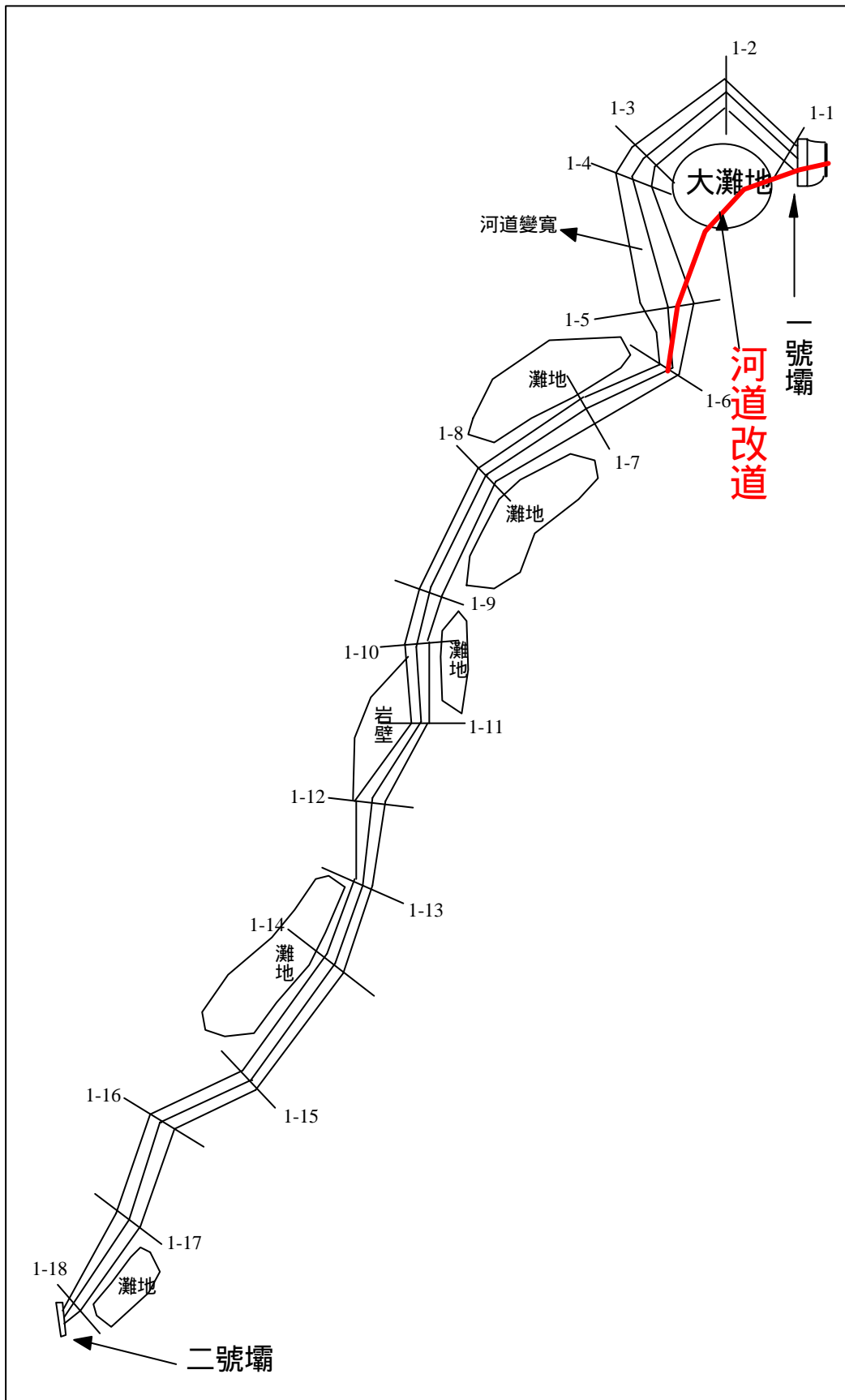


圖 3-18 二號壩至一號壩斷面分布圖

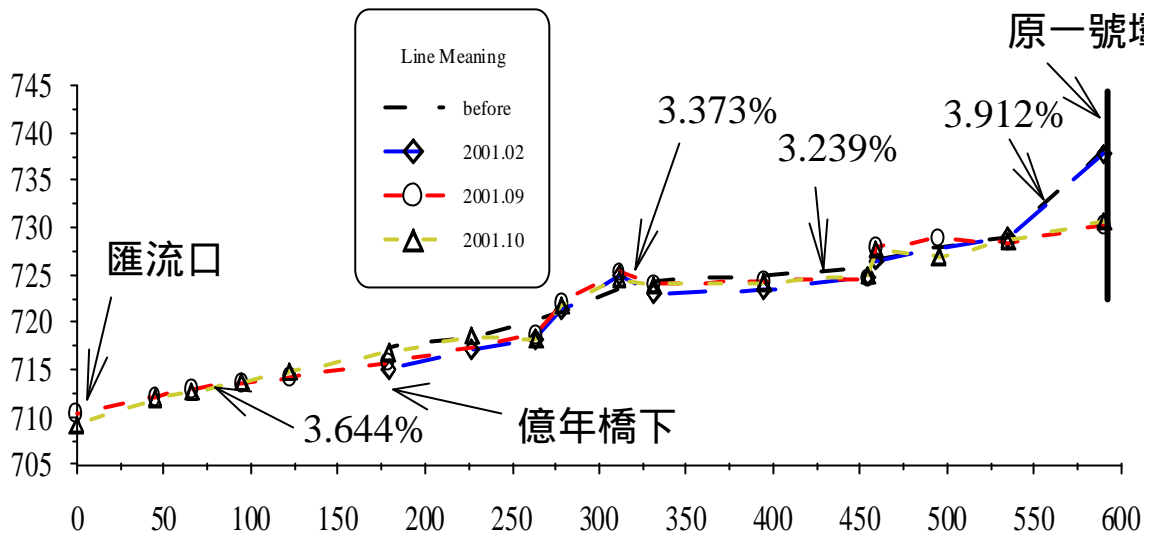


圖 3-19 高山溪一號壩下至匯流口之縱剖面

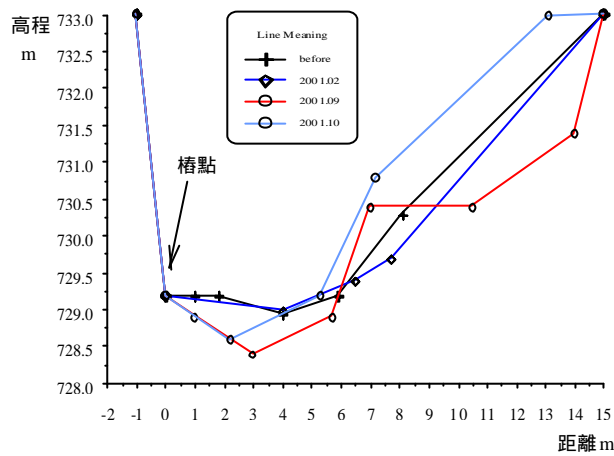


圖 3-20 高山溪一號壩下 0-2 斷面

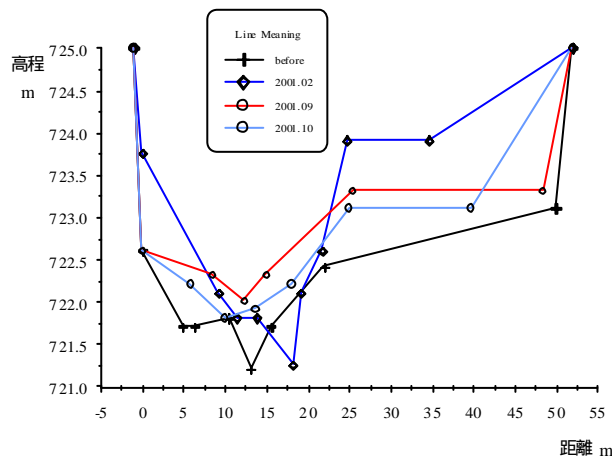


圖 3-21 高山溪一號壩下 0-9 斷面

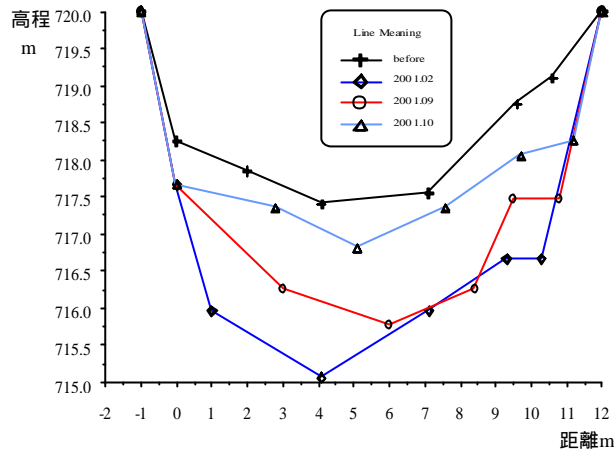


圖 3-22 高山溪一號壩下 0-12 斷面



照片 3-18 斷面 0-3 上游狀況



照片 3-19 斷面 0-8 下游狀況



照片 3-20 斷面 0-14 上游狀況



照片 3-21 斷面 0-16 上游狀況

12. 如上照片 3-18 至照片 3-21 為各調查斷面之現場狀況照片，大體上可以看出河道已被推土機整理過，水流集中輸送。

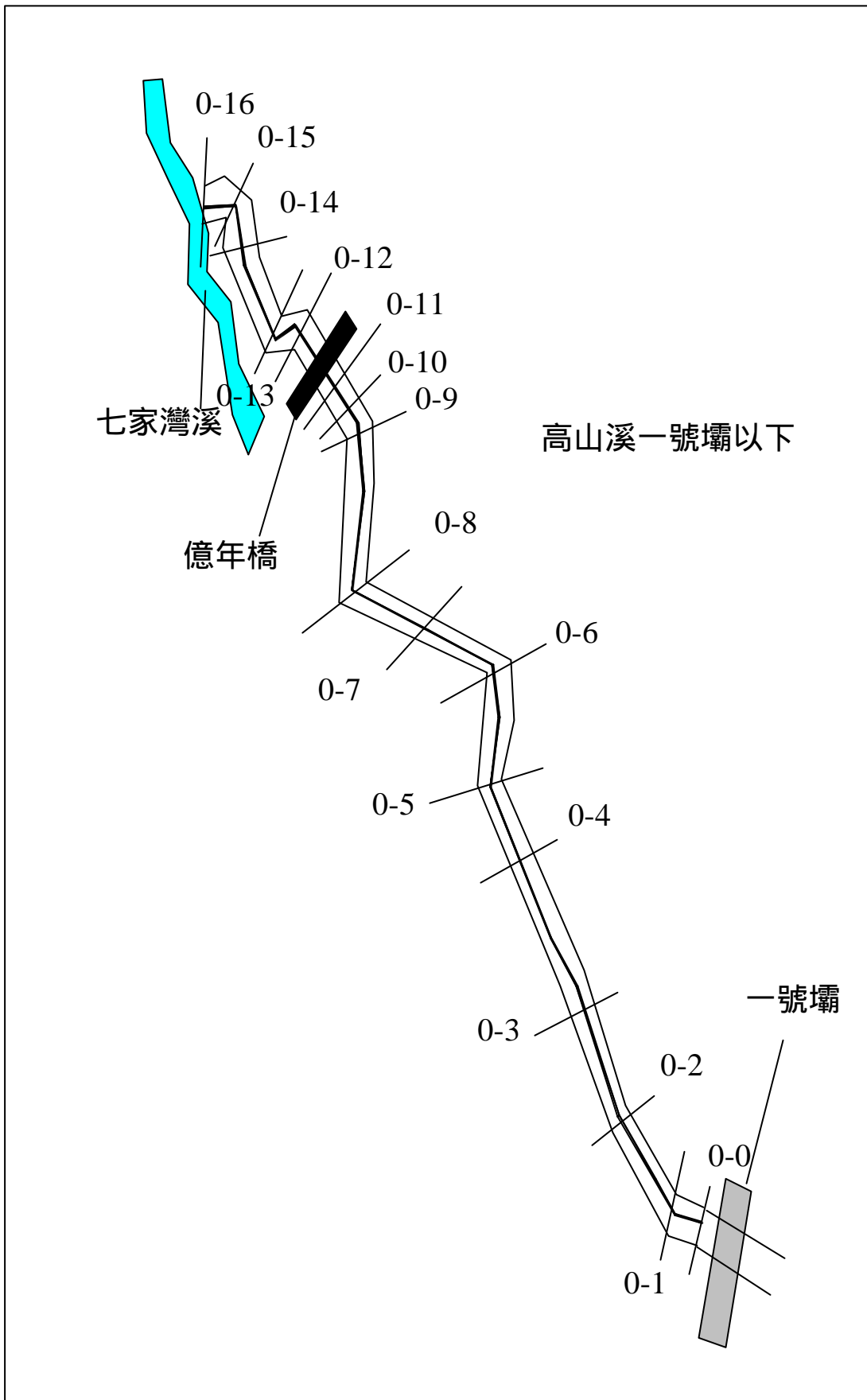


圖 3-23 一號壩以下至匯流口斷面分布圖

3-2 未來改善措施

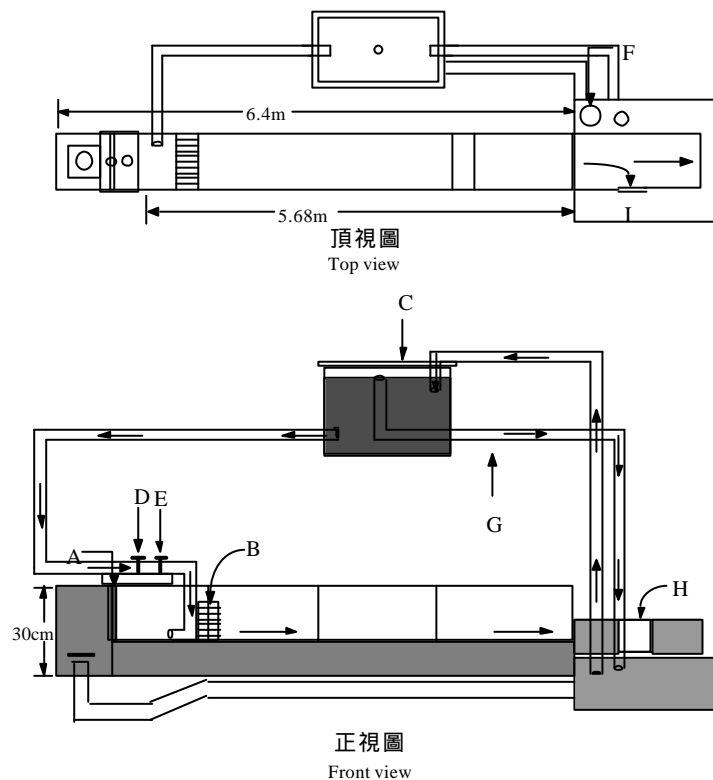
根據上一節所述，有關高山溪河道在防砂壩改善後之演變情形，針對其現況做以下建議與說明

1. 基本上三號壩以上之河床已形成穩定的抗沖覆蓋層，河道也趨於穩定，但四號壩底下之河斷面(sec3-23 sec3-20)左岸仍須作好邊坡穩定的工作，以防日後發生崩坍阻塞河道。至於三號壩壩口處之右岸河床建議以大石頭保護，以防日後大水來臨，繼續將右岸邊坡淘刷而形成崩坍。
2. 由於三號壩壩口上下游落差有將近 60 ~ 80cm 左右之落差，對於迴游魚類而言，此高度可能無法跳越，因此建議三號壩壩口下游緣面下降 60cm，而壩體缺口則修整成斜坡，如此上游緣面之深度可保持原狀。
3. 二、三號壩之間之河床堆積相當多之大礫石於灘頭上，基本上河道內的土砂避免挪移，但離河道數公尺外的岸邊礫石可挪用以固定二號壩上游右岸繼續橫向闊床之穩定工法。所取礫石 60cm 以上(比常流水平均水深大者)者為最佳，但避免取用扁平礫石。
4. 建議將二號壩壩口樹幹去除，並將部份河床上礫石挪動，營造跌水高度較目前小之河道，但避免將礫石挪離水面以避免河道泥砂沖刷。
5. 建議利用一號壩下游之河道上堆積土體部份運走或用作一號壩上游蛇籠保護工之用。

四、室內渠槽試驗

4.1 試驗設備

本研究試驗工作係在逢甲大學水工試驗室之小型不銹鋼傾動式流槽 (Inclined flume) 進行試驗。流槽全長 645cm，寬度為 30cm，高度為 30cm，傾動角度 $-3^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。水流自蓄水槽中利用馬達抽水經定水頭後，最終流至渠槽中，在渠槽之入口處裝置蜂巢式整流管進行整流及消能，以避免當水流進入至試驗段後，由於水面的擾動而造成試驗上的誤差，渠槽設備配置如圖 4-1 所示。



符號說明

A 為不銹鋼濾網 B 為蜂巢整流管 C 為定水頭水箱 D 為水流開關閥門

E 為流量控制閘門 F 為 5 馬力抽水機 G 為迴水管 H 為閘門

I 為蓄水箱

圖 4-1 試驗渠槽配置示意圖

4.2 試驗目的

本研究旨針對在上游河道因構築防砂壩，影響河內迴游性生物的生態環境，因此，希望建立河道連續性通路並兼顧河道穩定的情況下進行水工試驗予以模擬，來改善防砂壩壩體，但必須探討在改善防砂壩後對壩體上游河床沖刷深度、河道寬度變化、泥砂運移量、河床坡度變化與泥砂粒徑分佈之影響。

4.3 渠槽試驗

4.3.1 試驗條件

在此次試驗中所採用之控制因子，如表 4-1 所示。在渠槽坡度方面根據何智武針對台灣主要上游集水區之地文基本特性進行調查，一般上游河道溪流坡度介於 2.25% ~ 15%，平均約為 8.6%，故本試驗中所採用之坡度為 $1^{\circ} \sim 5^{\circ}$ (約為 2% ~ 10%)。在床質材料方面，一般上游河道多屬推移質造床，故所採用試驗床砂粒徑較粗。其所採用的床質材料可分成二種不同粒徑組成，粒徑範圍自 15.8mm (=5/8#) 至 0.149mm (=100#)，如表 4-2 所示。其粒徑累積分布曲線(the cumulative size distribution curve)，如圖 4-2 所示。

表 4-1 渠槽試驗之控制因子

控制變因	控制變量
渠槽流量(l/s)	1.49、2.14、2.70、3.26、3.77、5.23
渠槽寬度(cm)	5、7、9
渠槽坡度($^{\circ}$)	1、3、5
床質材料	A、B 兩種試體(如圖 4-2)

表 4-2 粒徑特性分析表

特性	土壤比重(ρ_s)	d_{84} (mm)	d_{50} (mm)	d_{16} (mm)	d_m (mm)	標準偏差($\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$)
A	2.61	7.3	1.65	0.33	0.426	5.7033
B	2.63	10.75	1.74	0.24	5.072	6.693

4.3.2 試驗方法及步驟

在本研究中流量為影響本試驗之重要因子。因此，在試驗前必須對流量加以率定，以確定其精準性。待率定工作完成後，將已經配製好的床砂質均勻鋪於渠床試驗段上

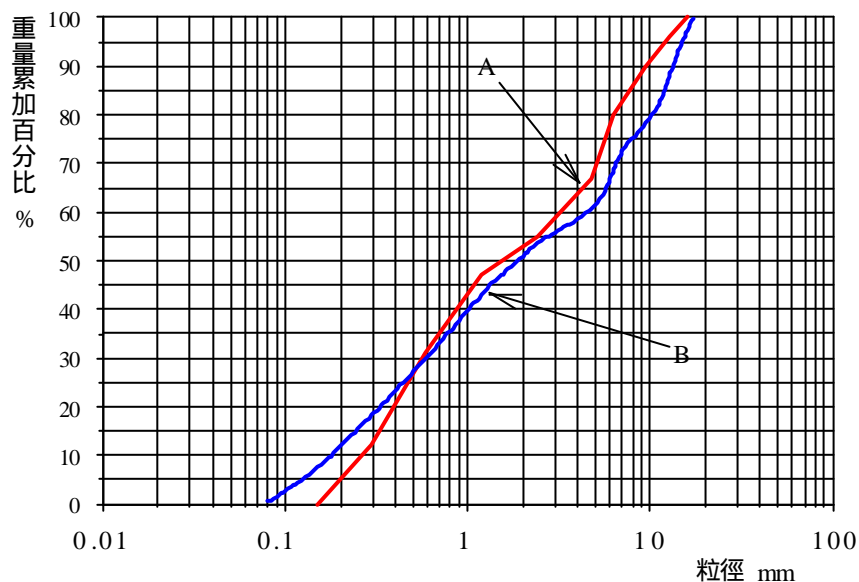


圖 4-2 土砂粒徑累積分布曲線

(300cm)，並加以夯實，形成厚度均勻之飽和堆積砂層，並在試驗段劃分 16 個斷面以便量測並記錄其水深及沖刷深度；一般鋪砂厚度為 20cm。

待準備工作完成後，自渠槽之上游處供給清水流量，並按下碼錶開始計時，依不同的流量歷線來決定沖刷時間，於沖刷歷時結束前量測各斷面之水深並記錄河道上之沖淤變化，待沖刷結束後，記錄各斷面之沖刷深度，並將被水流自渠床上沖起帶走的泥砂，在下游處盛接並秤其沖出土砂重量，若所秤出之泥砂重量在誤差範圍內即完成一組試驗。改變不同試驗條件，重覆此步驟。

詳細步驟及流程敘述如下：

- (1)調整渠槽至預定之坡度；
- (2)調整預定之流量；(參考圖 4-3 和 4-4)
- (3)在渠床上鋪設 20cm 厚之飽和土層並夯實後，開啟閘門，自渠槽上游供給清水流量的同時並按下碼錶開始計時；(參考圖 4-5)
- (4)量測各斷面的水深；
- (5)待各階段時間到達，則停止計時並於下游處盛接來自上游被清水沖刷帶走之泥砂量並記錄各階段各斷面的沖刷深度及其變化等資料；(參考圖 4-6)
- (6)重覆以上試驗，如無異常現象，且試驗誤差值於範圍內，則以 2~3 次為限，否則將重覆數次；(參考圖 4-7，4-8 和 4-9)
- (7)改變渠槽坡度，重覆步驟(2)~(6)；
- (8)改變壩口寬度，重覆步驟(1)~(7)；
- (9)更換渠床上試體土樣，重覆步驟(1)~(8)；

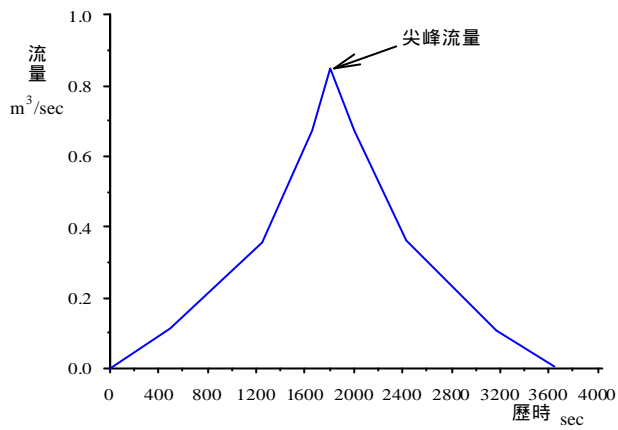


圖 4-3 單位歷線流量(第一組)

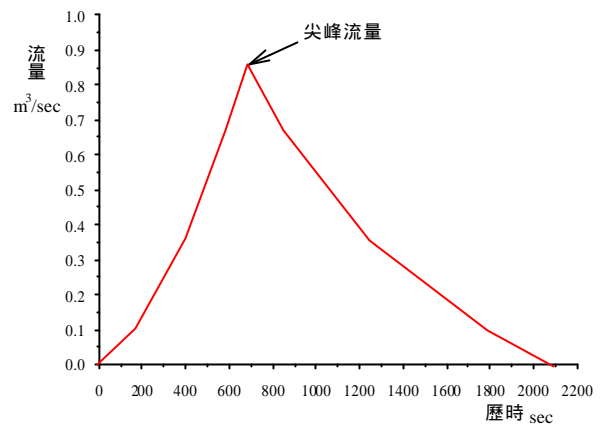


圖 4-4 單位歷線流量(第二組)



圖 4-5 渠床之鋪設



圖 4-6 記錄各斷面的沖刷深度



圖 4-7 渠床之變化



圖 4-8 渠床之變化



圖 4-9 渠床之變化

整體清水流之試驗流程如下圖所示：

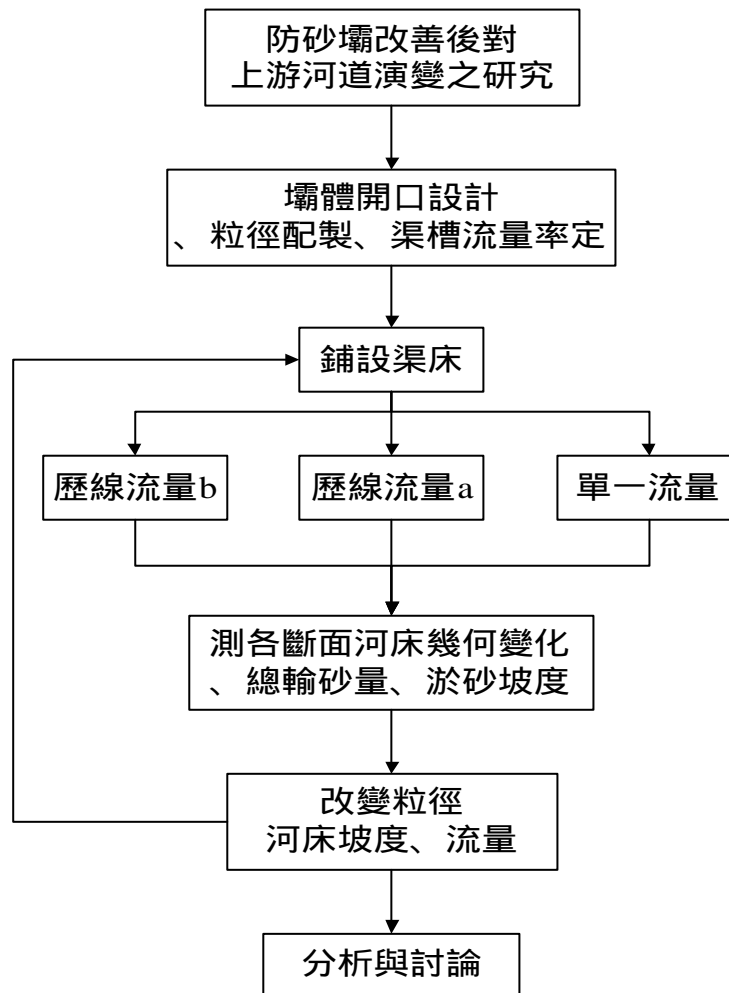


圖 4-10 實驗流程圖

4.4 結果與討論

在進行河道幾何特性的探討之前，我們必須針對這次試驗，根據錢寧(1984)的說法，做以下幾點假設：

- 1.山區河道泥砂顆粒多半較粗且分佈較廣，因此本次試驗主要使用兩種標準偏差較大之級配($A \Rightarrow s = 4.703$ ， $B \Rightarrow s = 6.693$)粒徑進行模擬。
- 2.高山山區河道多半受地形影響較大，針對台灣山區河道容易形成窄深型河道，且沿岸邊壁多為堅硬岩盤，因此本次試驗利用長型渠槽，不考慮邊壁阻力效應，且假設其邊壁為高聳直立岩壁；另外，並探討順直型河道在進行防砂壩改善後對河床演變有何影響。
- 3.為使上下游河道形成通路，我們將防砂壩開口深度改善使其與下游河床齊平，由於本試驗只探討上游河道演變，因此下游以定床配置。
- 5.根據水土保持規範，針對滯洪壩開口大小之設計，其開口大小必須比河床組成最大粒徑之兩倍還來得大，而本試驗之最大粒徑採用 $1/2'$ (12.7mm)，因此本試驗防砂壩開度選用 5cm 開度以上者。
- 5.在壩體佈置方面，無論渠槽坡度改變如何，壩體必須與地心保持垂直，不可與渠床面垂直，如此才能符合現場真實狀況。

根據上述假設以及渠槽試驗結果，針對河道防砂壩進行開口改善之模擬分析。其中發現，防砂壩改善後對河道的幾何變化與泥砂的運移影響甚巨，而河道的改善最重要莫過於河道的穩定，因此以下分析針對上述幾項影響因子予以比較分析。

4.4.1 幾何特性分析

影響河道幾何形態的因子相當多，其中水流流量、河床砂組成以及岸壁組成為主要因素。河床的演變其實是一個不斷演變的過程，包含縱向的沖刷與橫向的闊床，而這一切的變化都決定於河岸、河床與水流的相互作用結果。在實驗過程水流大小、渠床坡度與壩體改善開度大小為實驗之控制因子，因此做以下之分析：

單一流量沖刷分析

本試驗利用三種流量(0.104、0.357 與 0.668cms)來觀察不同防砂壩改善壩體上游河道的變化情形，將河道在不同試驗條件沖刷下的縱剖面變化繪製如下圖 4-1~圖 4-9 所示。

1.如圖 4-11~4-19 發現，(a)隨著流量地增加，壩口上游陷坑向上游延伸度越長，而在最大流量情況下，延伸度在土砂達平衡輸出時，可以超過試驗段土砂長度，也就是河道之 10 倍河寬遠處；在小流量情況下，則大約為河道寬度之 1~1.5 倍。(b)隨著壩體開度的增加，壩上游陷坑長度也隨之增加。(c)由剖面圖看出小流量小開口所形成的沖刷陷坑形狀越小，平衡後坡度也較陡峻，大流量則渠床坡度變得較平緩。

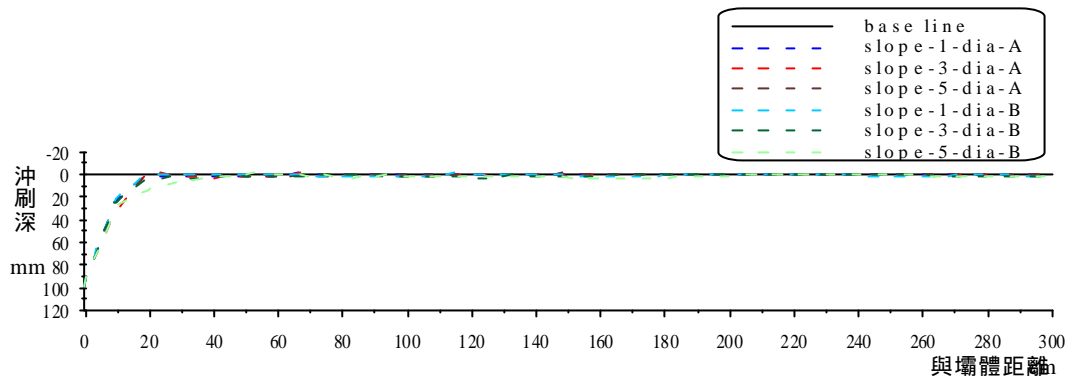


圖 4-11 流量 0.104cms 開度 5cm

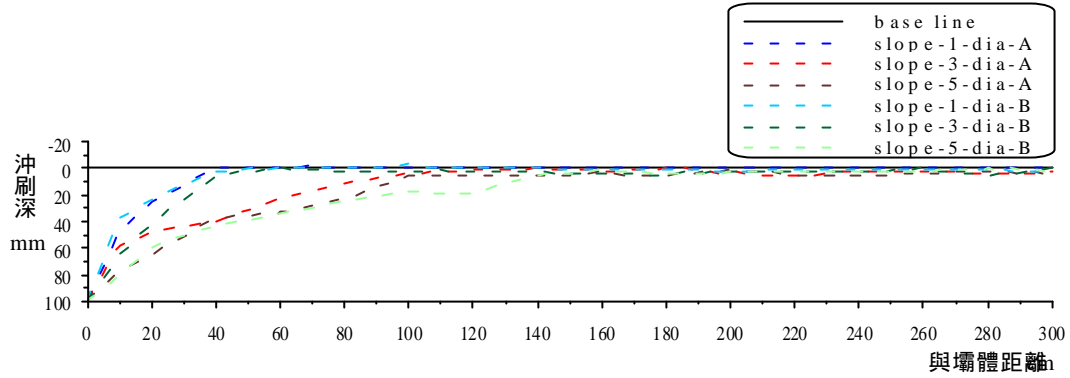


圖 4-12 流量 0.357cms 開度 5cm

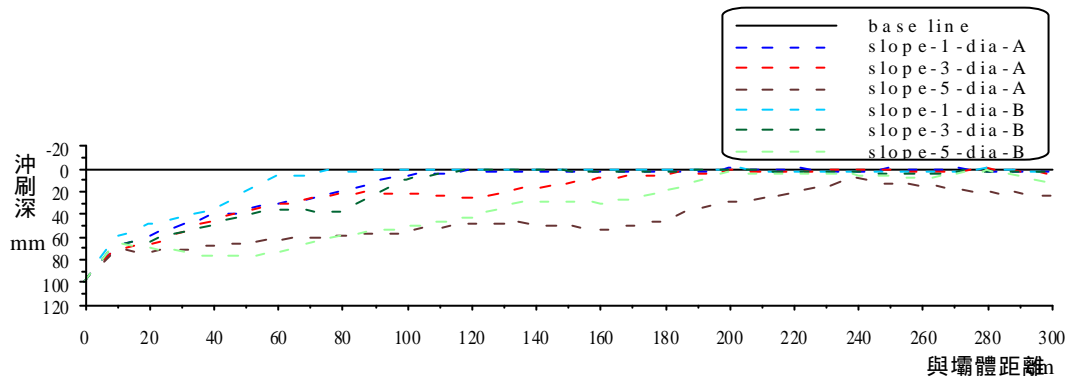


圖 4-13 流量 0.668cms 開度 5cm

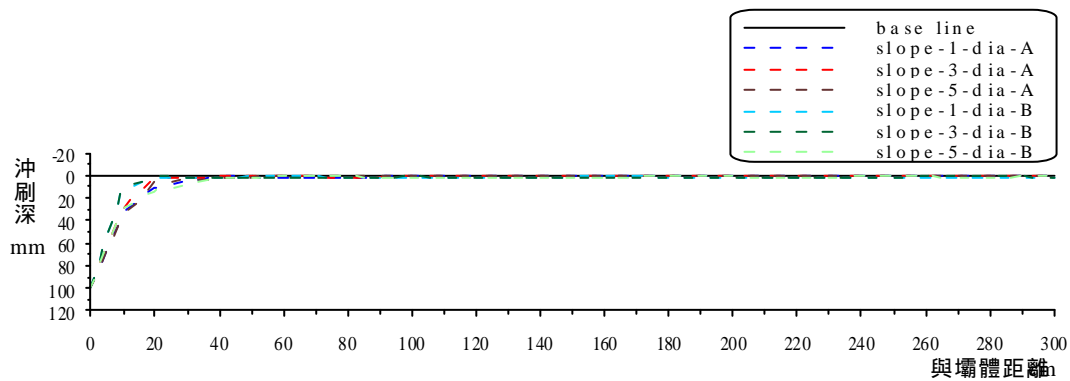


圖 4-14 流量 0.104cms 開度 7cm

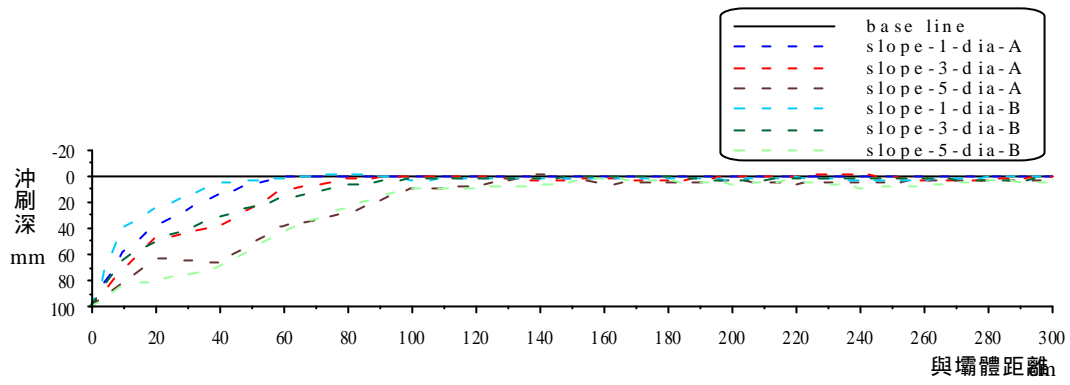


圖 4-15 流量 0.357cms 開度 7cm

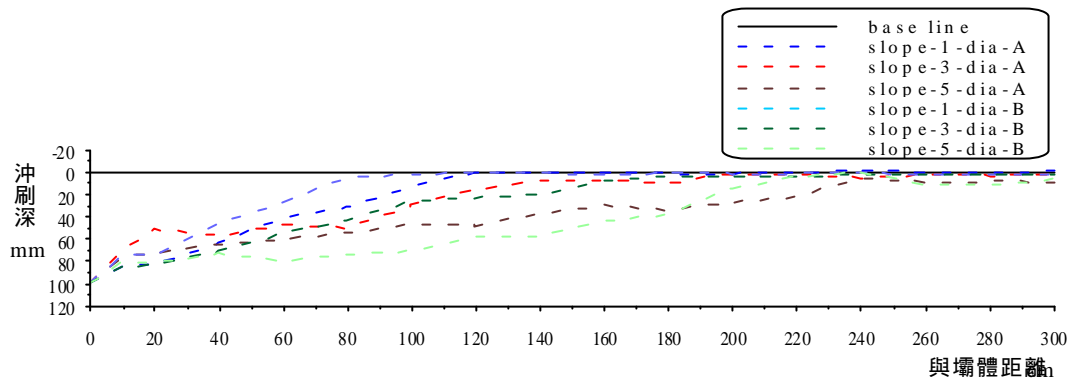


圖 4-16 流量 0.668cms 開度 7cm

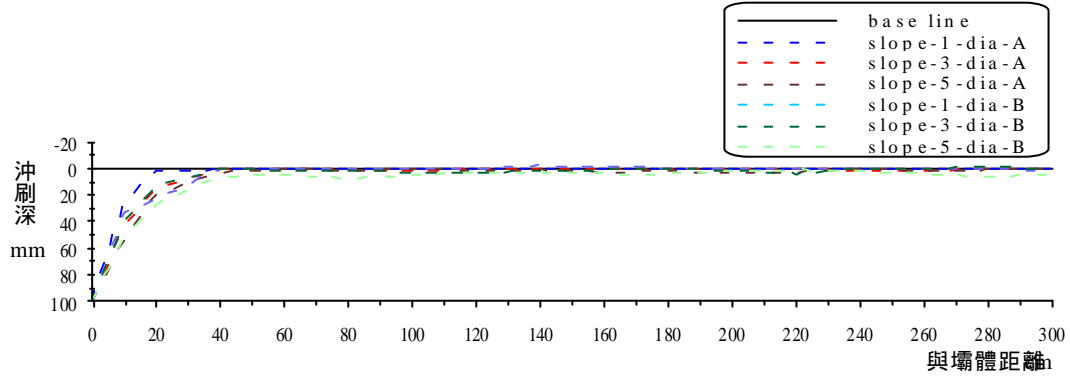


圖 4-17 流量 0.104cms 開度 9cm

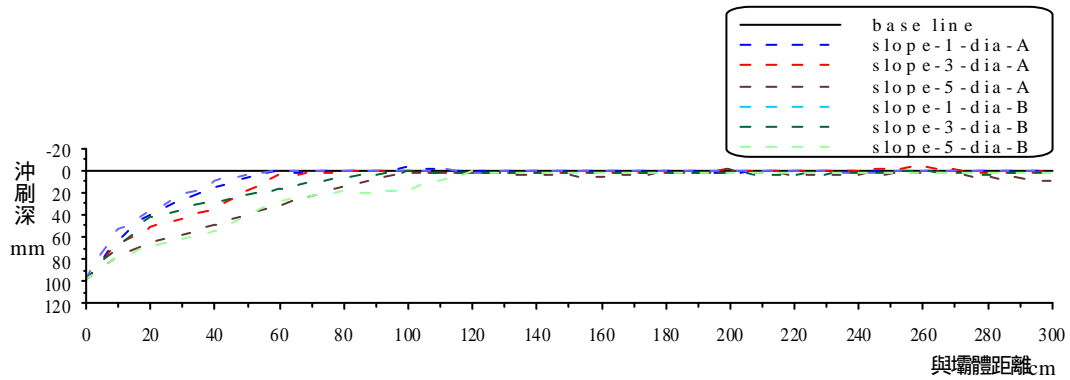


圖 4-18 流量 0.357cms 開度 9cm

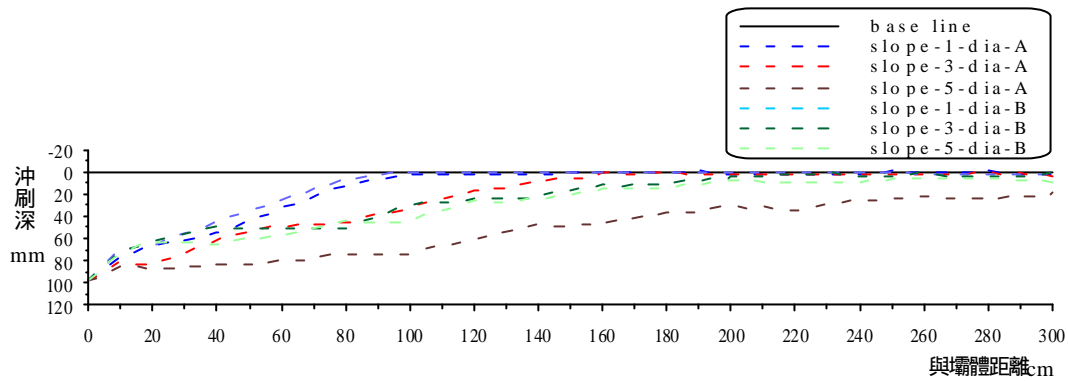


圖 4-19 流量 0.668cms 開度 9cm

2.如圖 4-20~圖 4-22 可以看出，(a)隨著開口的遞增，陷坑長度遞增的幅度也隨之增加，尤其流量大者，遞增幅度相當大。(b)三張分析圖代表三種不同渠床坡度，由圖可看出渠床坡度在 3 度時，沖刷陷坑的整體長度較其他兩者坡度來的長，表示渠床坡度在 3 度時可能為沖刷陷坑延伸長度的一極值或是接近極端值。(c)如圖所示，在不同渠床坡度條件下，壩體改善開度在 7cm 時，也就是相對於河道寬度之 23.3% (7/30cm)時，為多半沖刷陷坑長度減緩的轉捩點，表示說，該開度可能為有效抑制沖刷長度的最佳措施。(d)由於河道的床砂組成標準偏差較大，表示大小顆粒分散，大顆粒石頭將河床形成穩定的抗沖覆蓋層，造成河道不受水流的強烈沖刷，因此由圖中可以普遍看出，不論坡度大小、開度大小為何，延伸度都較河床粒徑小者來得短。

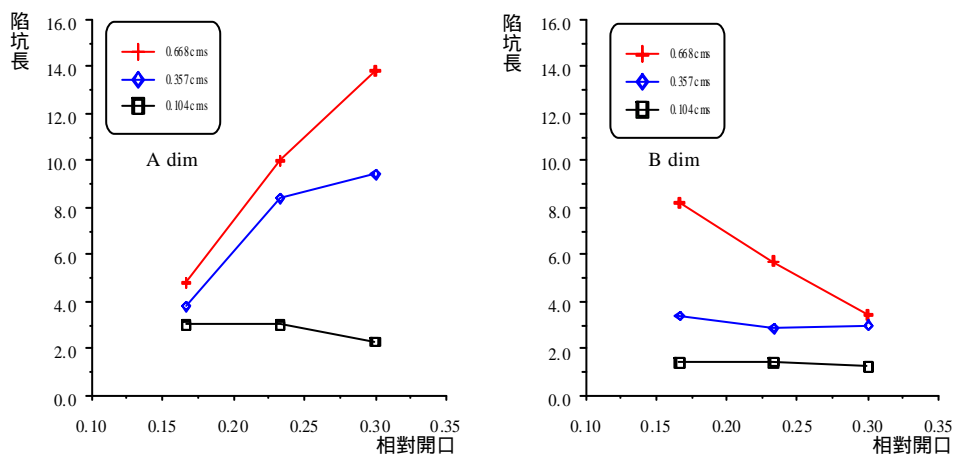


圖 4-20 壩體上游陷坑相對長度與開口大小關係圖
(渠床坡度 1 度 AB 粒徑)

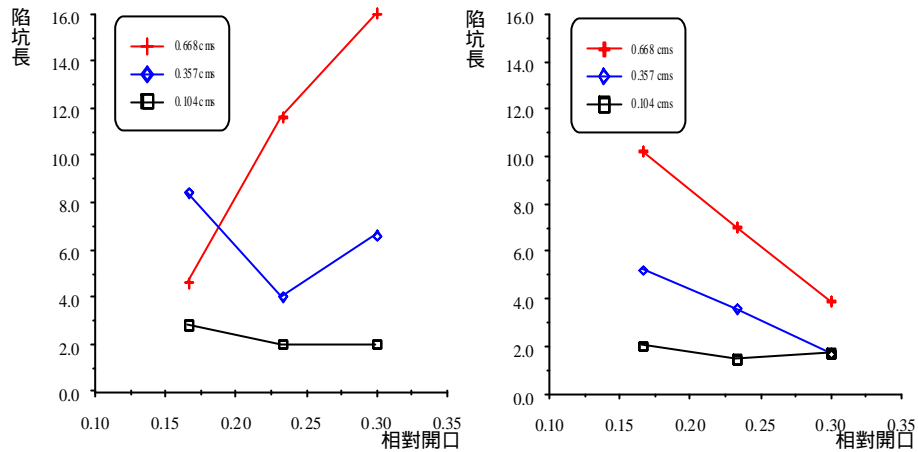


圖 4-21 壩體上游陷坑相對長度與開口大小關係圖
(渠床坡度 3 度 AB 粒徑)

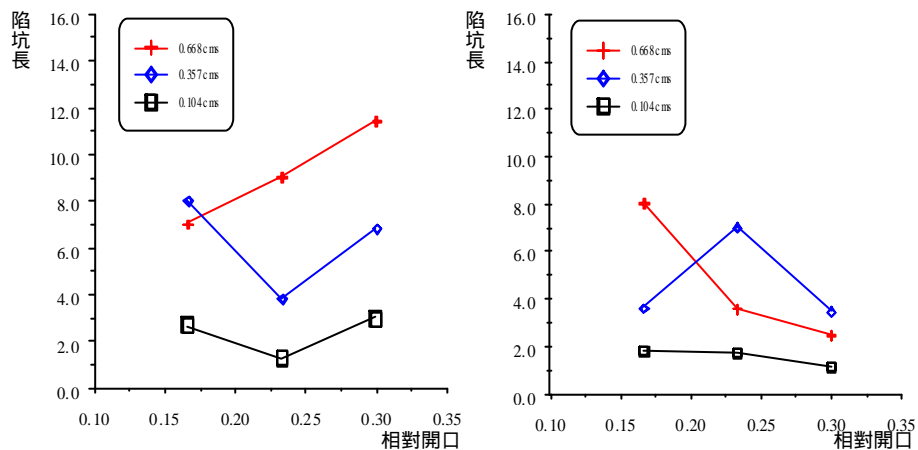


圖 4-22 壩體上游陷坑相對長度與開口大小關係圖
(渠床坡度 5 度 AB 粒徑)

3. 如圖 4-23~圖 4-28 所示，為防砂壩改善前後渠床平衡坡度變化的比較，(a) 圖中看出在緩坡渠床條件下，隨著壩體改善開口的增加，床面平衡坡度隨之增加，但在開度條件超過某種程度後，大流量調下，平衡坡度則有逐漸減緩的趨勢。(b) 在陡坡渠道條件下，雖然沖刷後的河床坡度整體都增加，但是

平衡坡度則會隨開口的增加而有遞減的趨勢，表示較大的開度能將水與土在暴雨條件下大量排出，但之後渠床坡度可以變得較其他開度條件下來得平緩。(c)兩種河床粒徑的組成，以標準偏差大者最後河道平衡坡度較標準偏差小者來的小。

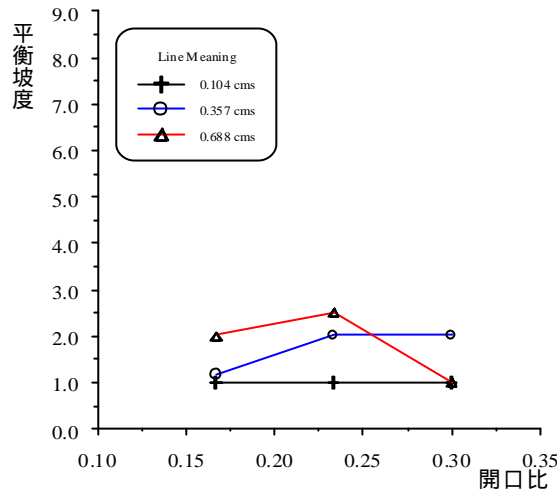


圖 4-23 A 粒徑 渠床坡度 1 度之平衡坡度與相對開口關係

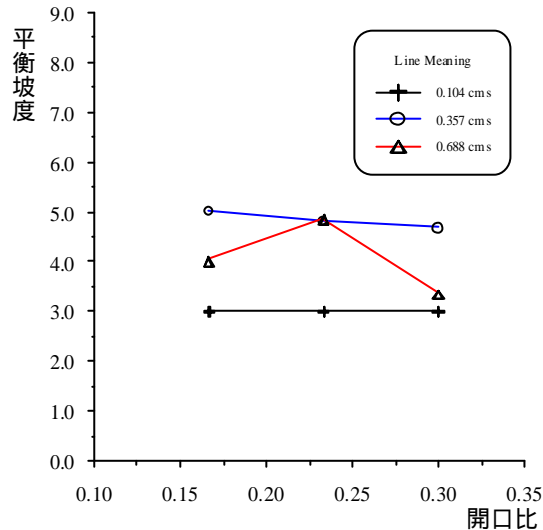


圖 4-24 A 粒徑 渠床坡度 3 度之平衡坡度與相對開口關係

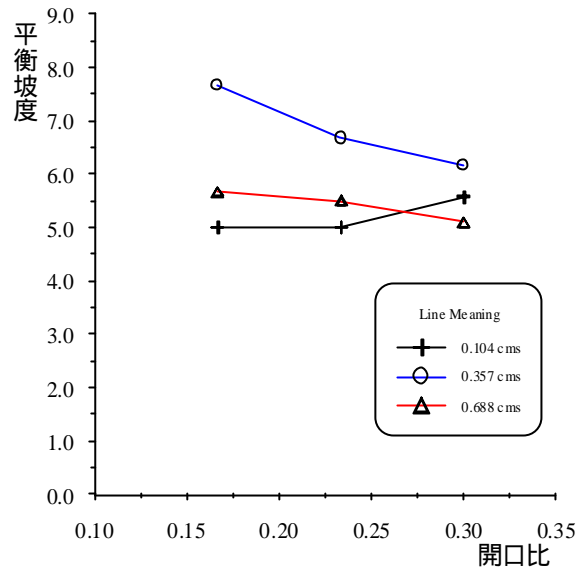


圖 4-25 A 粒徑 渠床坡度 5 度之平衡坡度與相對開口關係

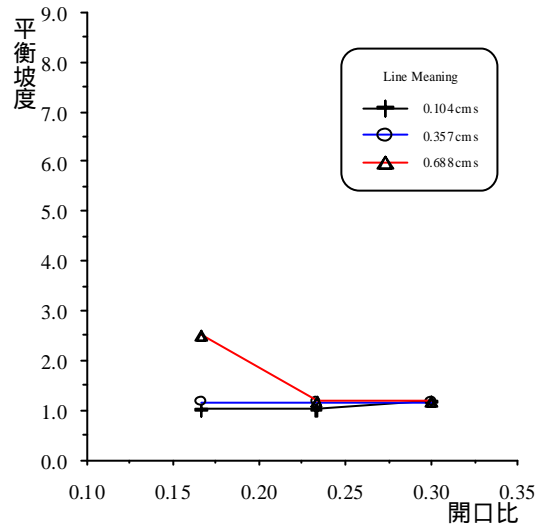


圖 4-26 B 粒徑 渠床坡度 1 度之平衡坡度與相對開口關係

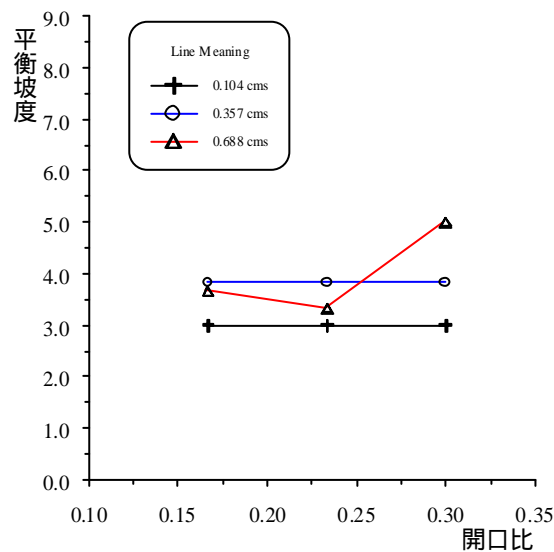


圖 4-27 B 粒徑 渠床坡度 3 度之平衡坡度與相對開口關係

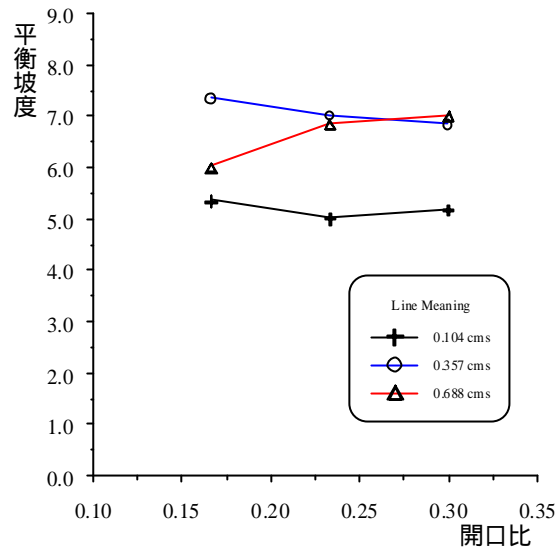


圖 4-28 B 粒徑 渠床坡度 5 度之平衡坡度與相對開口關係

歷線流量沖刷分析

對於一般河流來說，流量受到降雨的影響相當大，現今常使用三角歷線流量的方式予以模擬沖淤情形。其中 A 歷線為等腰三角歷線，B 歷線則為退水支較長的三角歷線。三角歷線的漲退水支的長短主要受到該河道當地土壤、植被與地質狀況影響。一般來說，山區河道由於坡度較陡峻，加上土壤含水能力較佳，一但土壤達到飽和，降雨直接變成逕流，這時漲水快，相對的；河道為了渲謝這些來水量，因此將退水時間拉長。

如同前一節的分析，由於單一流量的水流無法使水流塑造河床，唯有靠短暫暴雨，藉著洪峰的暴起暴落，使河道泥砂產生變化，進而使河床發生變化，因此做如下之分析：

1.如圖 4-29~圖 4-40 所示，(a)隨著坡度的增加，沖刷坑長度也隨之增加，但沖

刷陷坑延伸長度比單一流量來得長，緩坡時大約為河道之 3 倍長，但在其他坡度試驗條件下，則呈現整個試驗段都有延伸到尾端。(b)退水支長者(B 歷線)最終平衡坡度較緩，但是當河床值改為標準偏差較大時，此種情況剛好相反。由於大顆粒石頭在河床形成保護層後，由於整體河道坡降大，但為使能量快速消散，在河道形成一階一階的階梯河道，但整體坡度反而變得較陡峻。如圖 4-31 與圖 4-32 所示即可看出端倪，且也可看出當防砂壩改善開度在 7cm 時，陷坑延伸長度在此發生轉折，長度減緩，表示該點很接近陷坑延伸長度的極值。

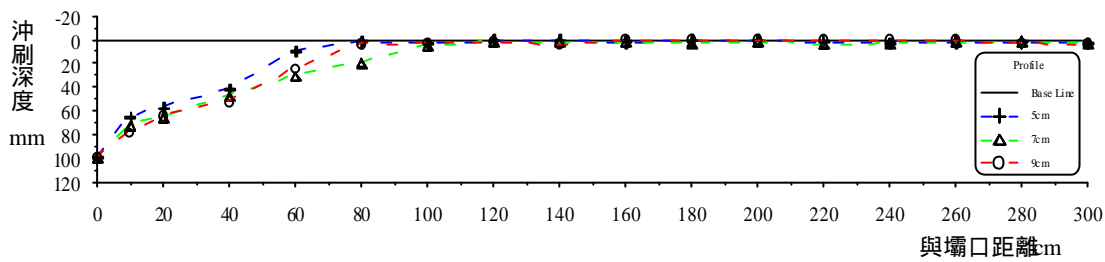


圖 4-29 1 度 A 粒徑，A 歷線河床縱向沖刷剖面圖

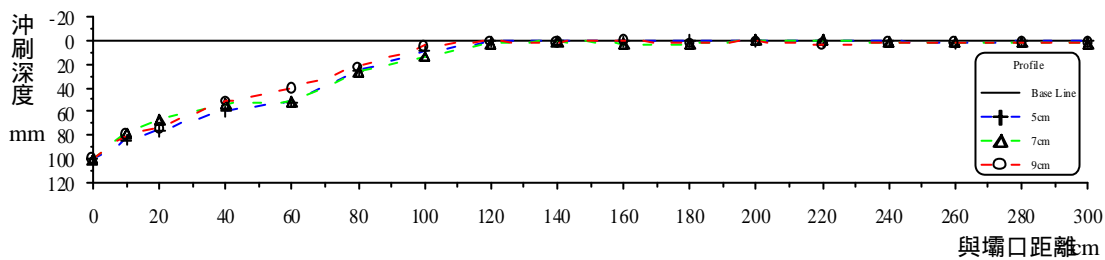


圖 4-30 1 度 A 粒徑，B 歷線河床縱向沖刷剖面圖

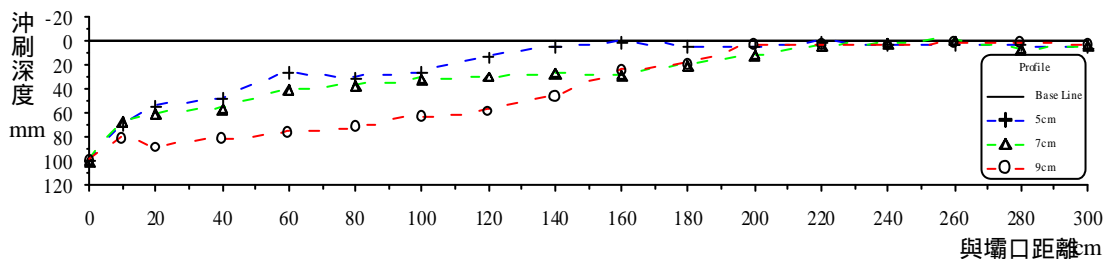


圖 4-31 3 度 A 粒徑，A 歷線河床縱向沖刷剖面圖

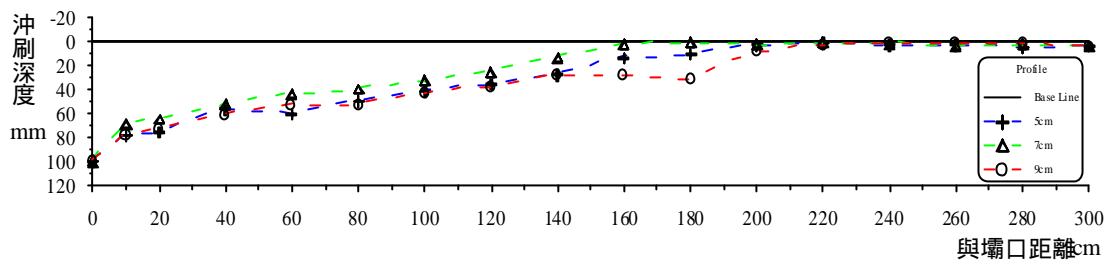


圖 4-32 3 度 A 粒徑，B 歷線河床縱向沖刷剖面圖

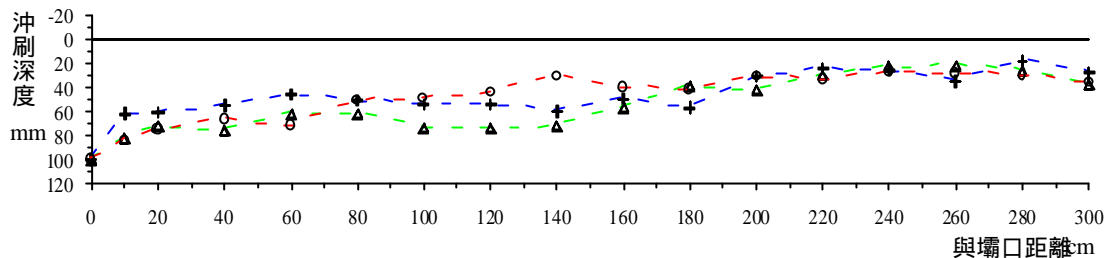


圖 4-33 5 度 A 粒徑，A 歷線河床縱向沖刷剖面圖

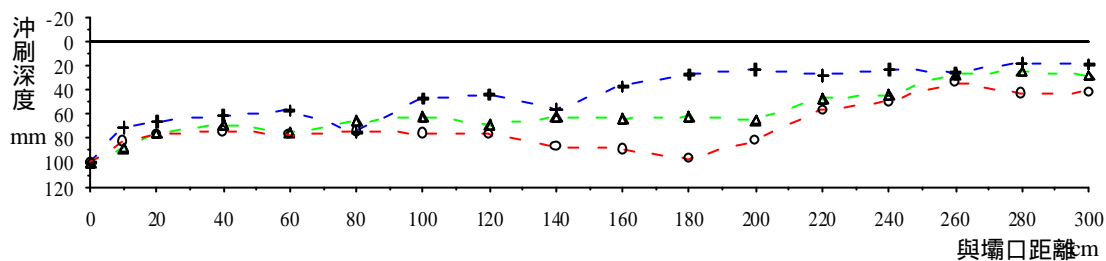


圖 4-34 5 度 A 粒徑，B 歷線河床縱向沖刷剖面圖

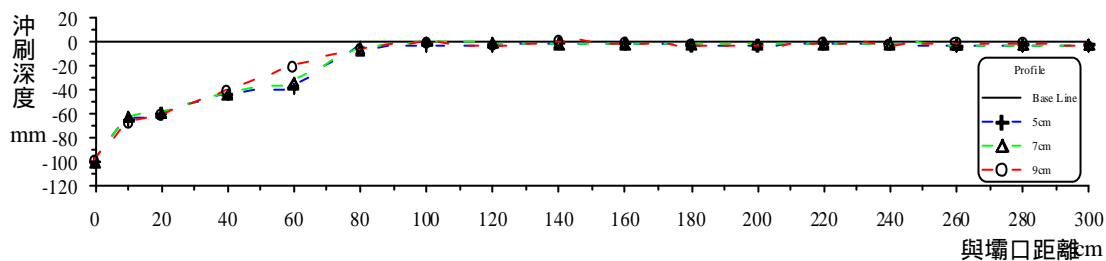


圖 4-35 1 度 B 粒徑，A 歷線河床縱向沖刷剖面圖

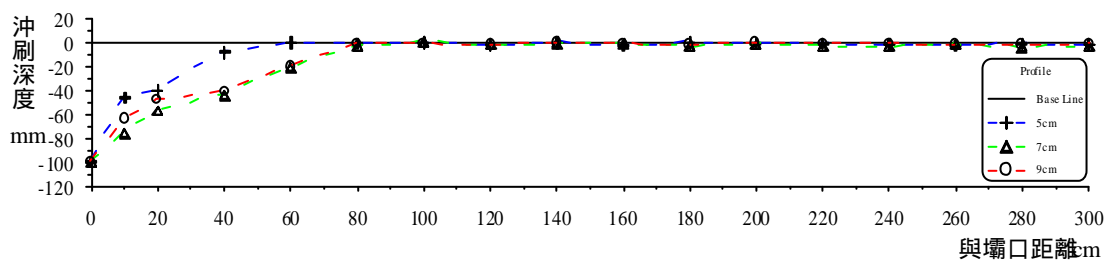


圖 4-36 1 度 B 粒徑，B 歷線河床縱向沖刷剖面圖

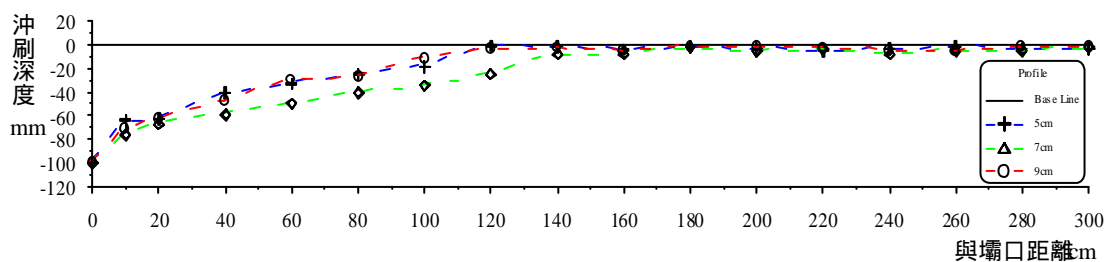


圖 4-37 3 度 B 粒徑，A 歷線河床縱向沖刷剖面圖

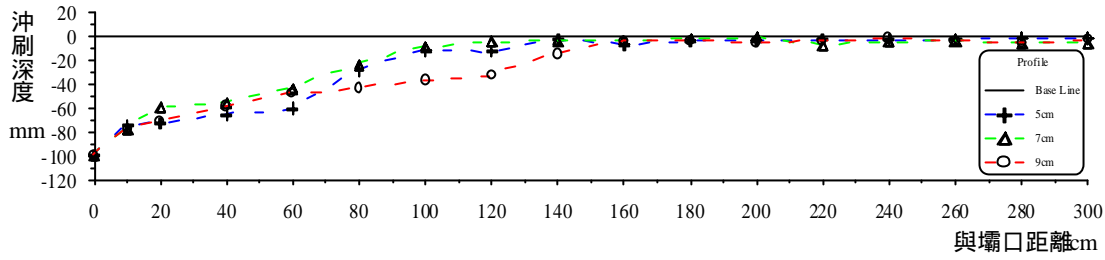


圖 4-38 3 度 B 粒徑，B 歷線河床縱向沖刷剖面圖

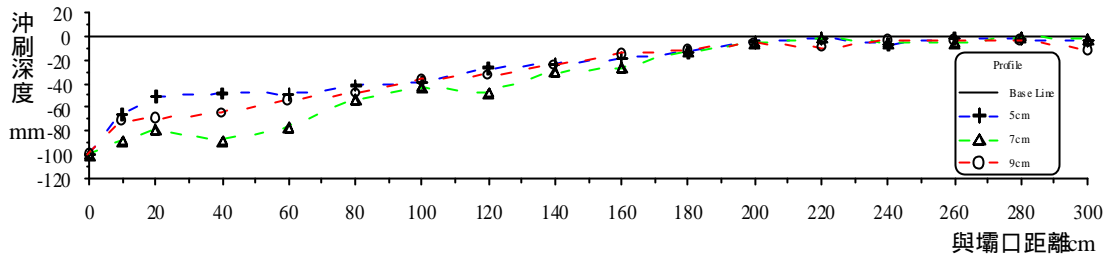


圖 4-30 5 度 B 粒徑，A 歷線河床縱向沖刷剖面圖

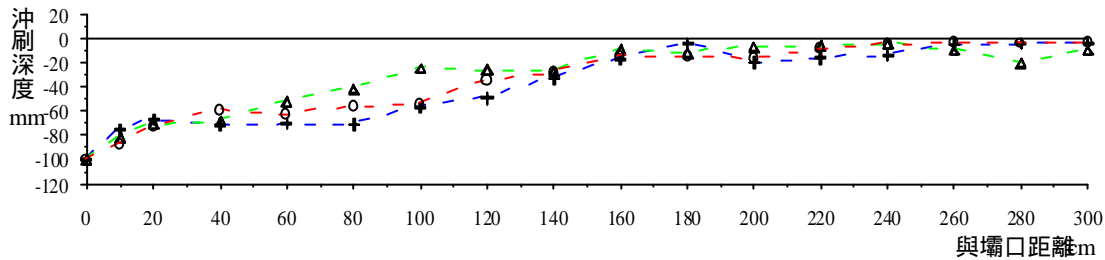


圖 4-40 5 度 B 粒徑，B 歷線河床縱向沖刷剖面圖

2. 如圖 4-41~圖 4-42 所示，為壩體改善後在兩種歷線水流條件供應下，河道沖刷平衡坡度與開口大小關係圖。如同先前單一流量條件下的沖刷結果，隨著開度的遞增，平衡坡度增加，但是在 7cm 開口之壩體其平衡坡度在各種試驗條件下，平衡坡度較大。但在標準偏差大的河床，7cm 開度的壩體，其平衡坡度則剛好相反，為最小者。這種情況不論在兩種歷線水流條件下，其沖刷結果，平衡坡度都以 7cm 為其轉折點。

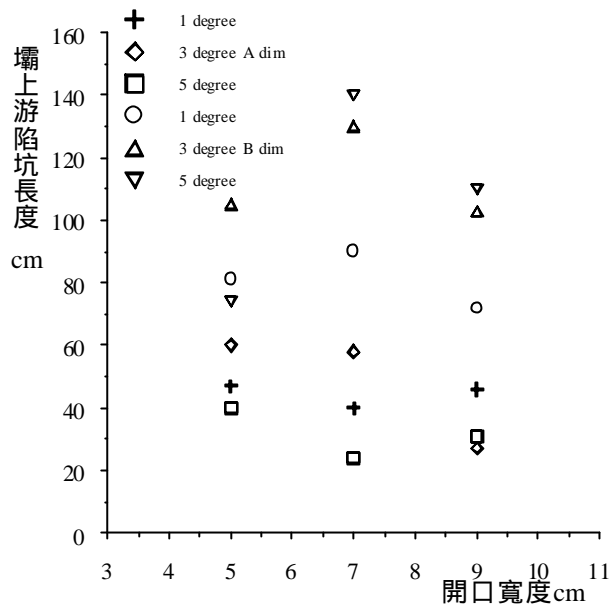


圖 4-41 壩體上游陷坑長度與開口寬度關係圖(歷線 A)

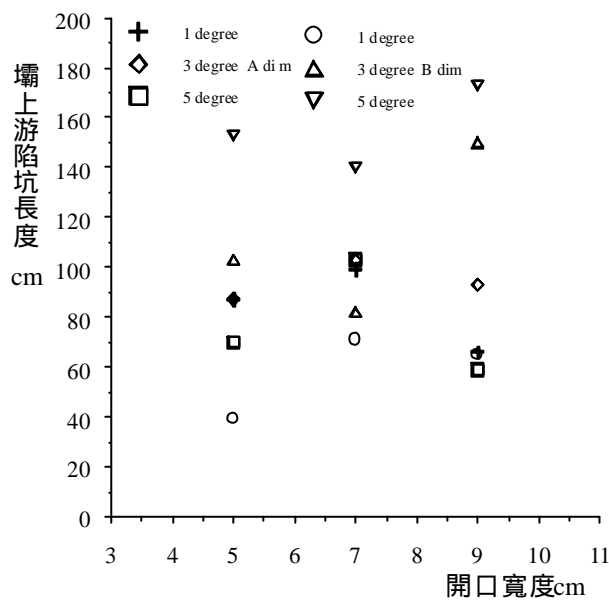


圖 4-42 壩體上游陷坑長度與開口寬度關係圖(歷線 B)

3.如圖 4-43-圖 4-44，在兩種粒徑與流量歷線條件下渠床平衡坡度與相對開度示意圖發現，B 歷徑顆粒較大，平衡坡度在相對開度 7/30 時較小，可以緩和渠床之後泥沙沖刷。

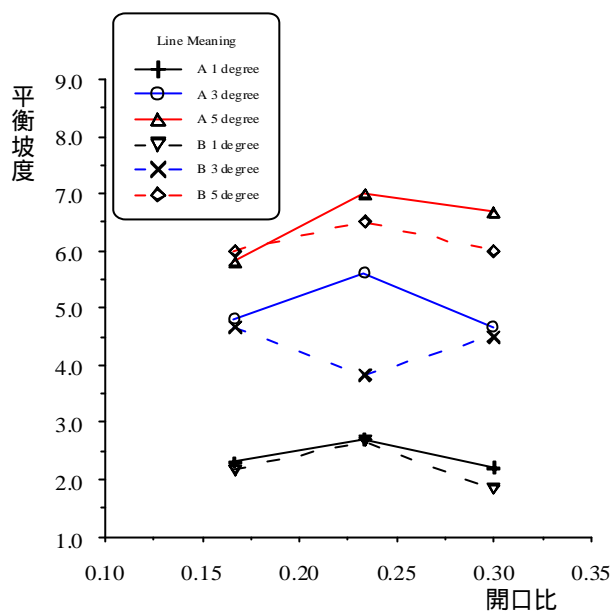


圖 4-43 歷線流量 A、粒徑 AB 平衡坡度與相對開口大小比較

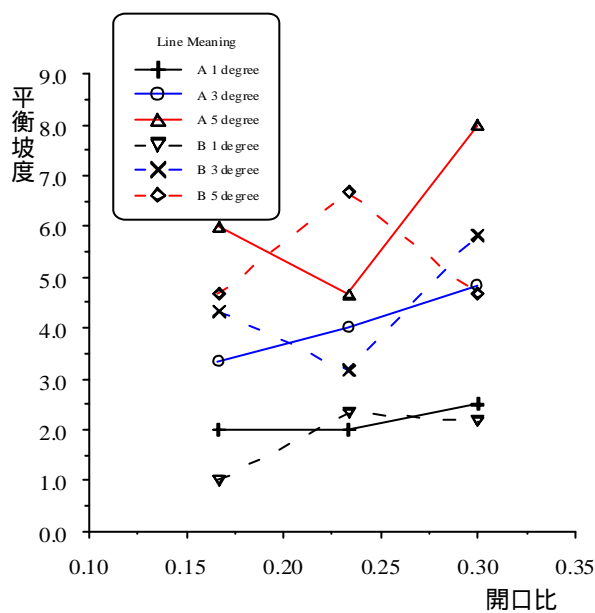


圖 4-44 歷線流量 B、粒徑 AB 平衡坡度與相對開口大小比較

4.4.2 泥砂運移分析

根據錢寧(1984)的說法，研究山區河流的河床演變，也就是研究卵石的沖刷、搬運與沉積的過程。山區河道坡度陡峻，加上河床兩岸經重力沖蝕所帶

入河道內的組成物質較粗，級配分佈較廣，隨著距離的增加，泥砂磨損，坡降變小，使得越往下游，床砂級配越均勻。由於河道泥砂的運動，在高山溪流形成抗沖鋪蓋層、粗化層與階梯狀河床，針對這些特性，做以下幾點說明：

- 1.山區上游河道內往往存在較粗的礫石，而這些礫石經過洪峰暴雨也不足以帶走，在床面聚集所形成的一層穩定的抗沖層(通常粒徑介於 100~270mm)，而其級配要比抗沖層以下床砂主體(15~58mm)的物質來得粗。
- 2.當河流較平緩地區或山區河道中下游地段，河床物質沿程細化到某種程度以後，水流的分選作用，經洪水也不足以帶走河床中的卵石部分，此時河床形成一層較粗的物質稱為粗化層。
- 3.粗化層度越高，輸砂能力越低，而輸砂率主要受到水流強度，來砂特性，床砂組成。當輸砂率為零時，河床粗化程度到達最大，粗化程度的不同導致不同之輸砂強度。相反的，細化程度越大，輸砂強度較高。粗化細化是一個連續過程。
- 4.粗化層厚度約為原始河床床砂之 $d_{80} \sim d_{95}$ ， $A_d = \Delta H / \Delta H_m$ ，其中 ΔH 為河床沖淤厚度， ΔH_m 河床粗化穩定的極限沖刷厚度。
- 5.粗粒化現象之完成，最主要在於粗顆粒對細顆粒之隱蔽效應。當粗顆粒突出在河床之表面時，水流經過這些顆粒會產生分離，在顆粒之背水面形成回流區，處於回流區中之細顆粒不直接與主流相接觸而受到隱蔽作用。

根據上述有關溪床粗化現象的幾個特徵，了解到溪床形成抗沖覆蓋層的

幾項特色，但是形成粗粒化現象後，往往由於河道中存在著許多巨大礫石，使得許多細小顆粒之泥砂被阻塞，形成跌水。

單一流量沖刷分析

如上所述，影響河道改善的另一個因子就是河床床質的變化，一般來說河床床砂顆粒越大，水流越難沖刷帶走，當水流阻力大於河床剪應力時，河道開始往縱方向侵蝕。除了探討河床幾何變化在壩體改善後的分析外，亦可從泥砂沖刷變化來說明其利弊。

如圖 4-45~圖 4-50 所示，(a)可以清楚發現，隨著坡度的增加，泥砂總輸出量會隨開口大小的增加而呈現遞增的現象。(b)另外也可以發現當壩體開度在 7cm 時，泥砂輸出量為最大值，且流量越大，泥沙輸出量的遞增幅度也隨之增加。(c)不同床砂條件下，隨著開度的增加，河床總輸砂量會較標準偏差小者來得小，表示大顆粒石頭能有效抑制河床細顆粒泥砂的輸出。

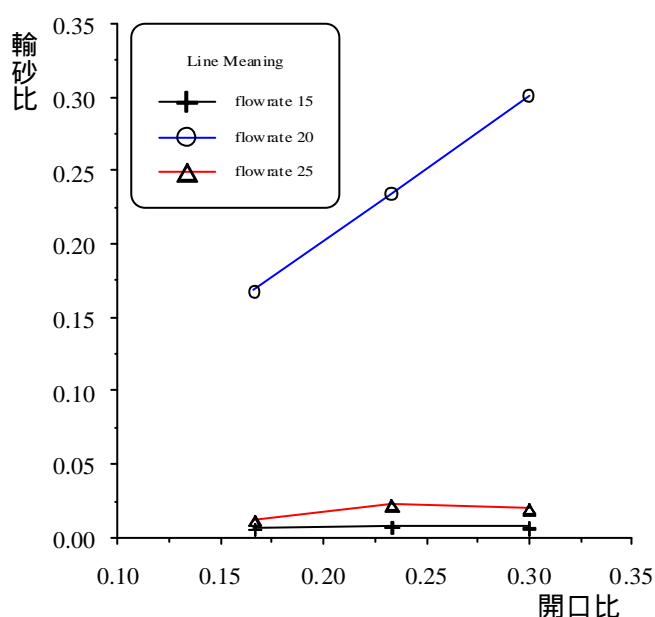


圖 4-45 單一流量 A 粒徑 1 度輸砂比與相對開度關係圖

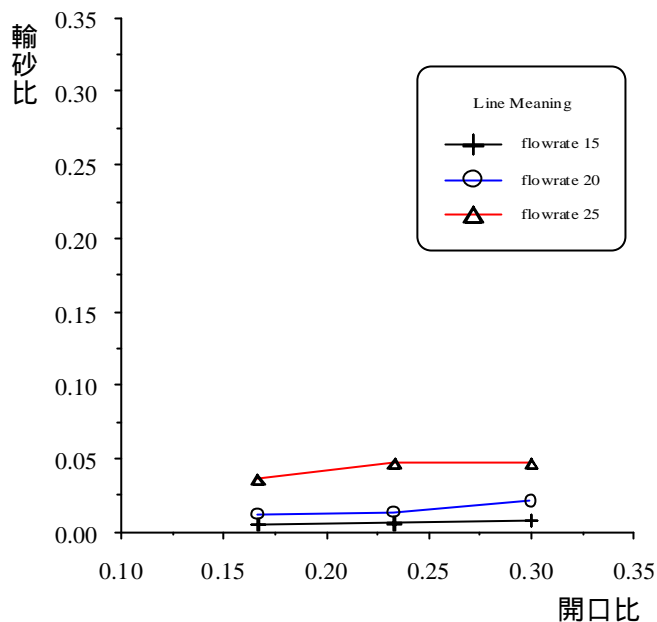


圖 4-46 單一流量 B 粒徑 1 度輸砂比與相對開度關係圖

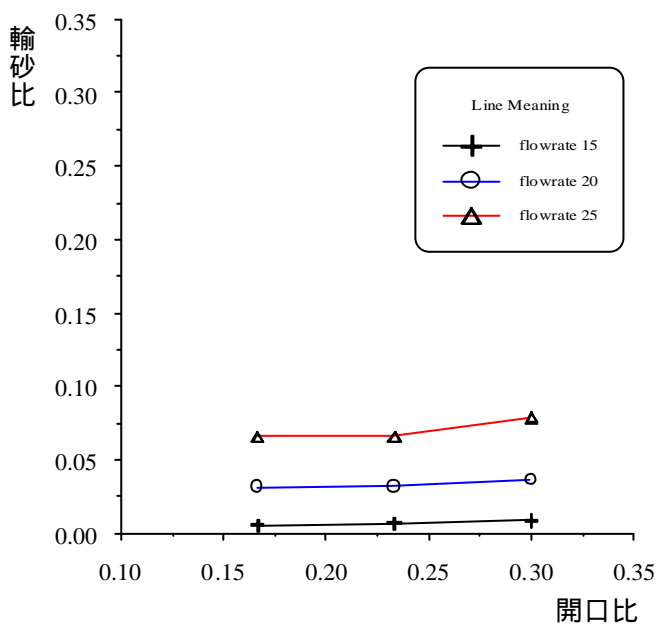


圖 4-47 單一流量 A 粒徑 3 度輸砂比與相對開度關係圖

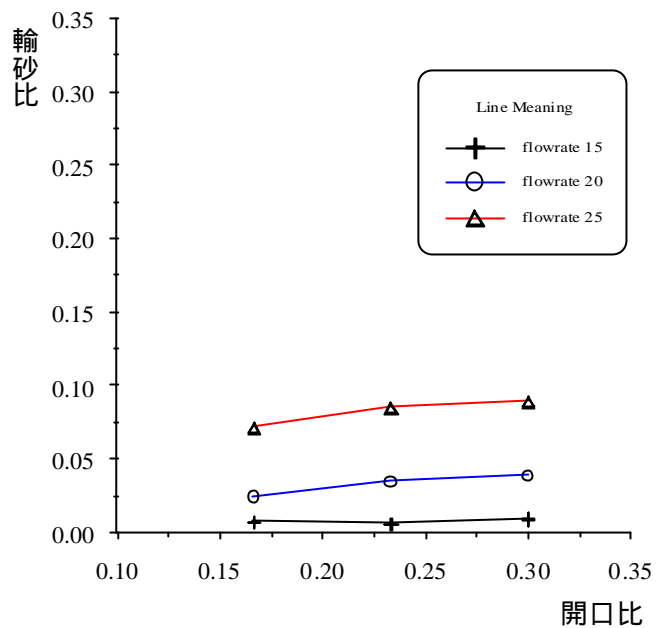


圖 4-48 單一流量 B 粒徑 3 度輸砂比與相對開度關係圖

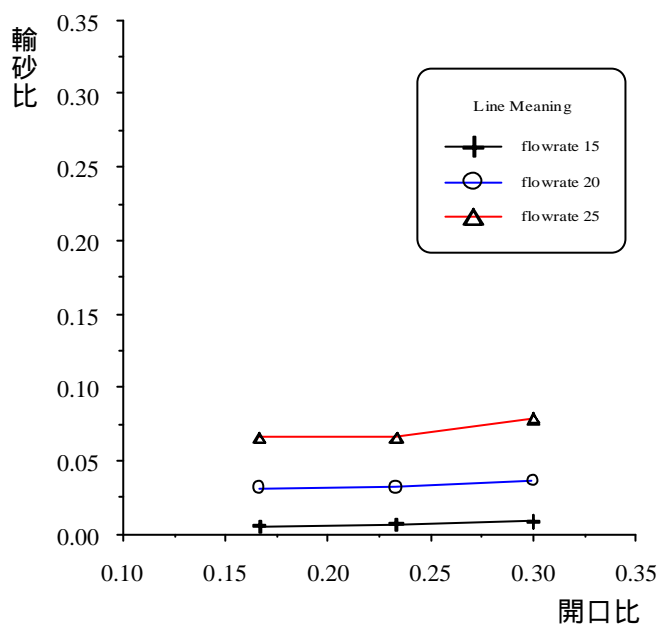


圖 4-49 單一流量 A 粒徑 5 度輸砂比與相對開度關係圖

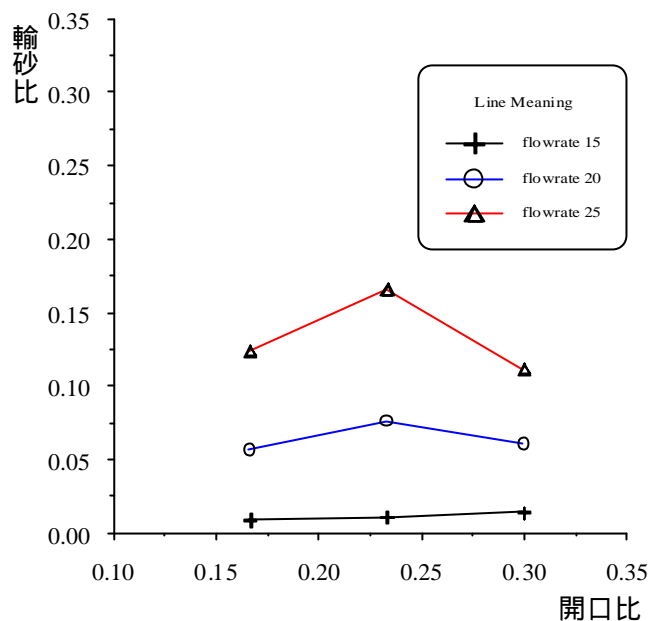


圖 4-50 單一流量 B 粒徑 5 度輸砂比與相對開度關係圖

歷線流量沖刷分析

在歷線流量條件下沖刷之河床，如先前所說，要讓河床產生變化，須有洪峰的暴起暴落，使河床的泥砂產生從新的配置，產生多變化的河床。

如圖 4-51~圖 4-54 所示，(a)在正三角歷線水流條件下沖刷結果，粒徑 B 的河床泥砂運移較 A 來得小，且隨著開口寬度與渠床坡度的增加，泥砂沖刷量會隨之增加，但以 7cm 者之沖刷量為最。(b)退水支較長之三角歷線流量，其總輸砂量也較正三角歷線者來得小，且隨著開口寬度的增加，在 3 度以下的渠床坡度條件下，有逐漸遞減的趨勢，且在 7cm 開度時則有較小之輸砂量。

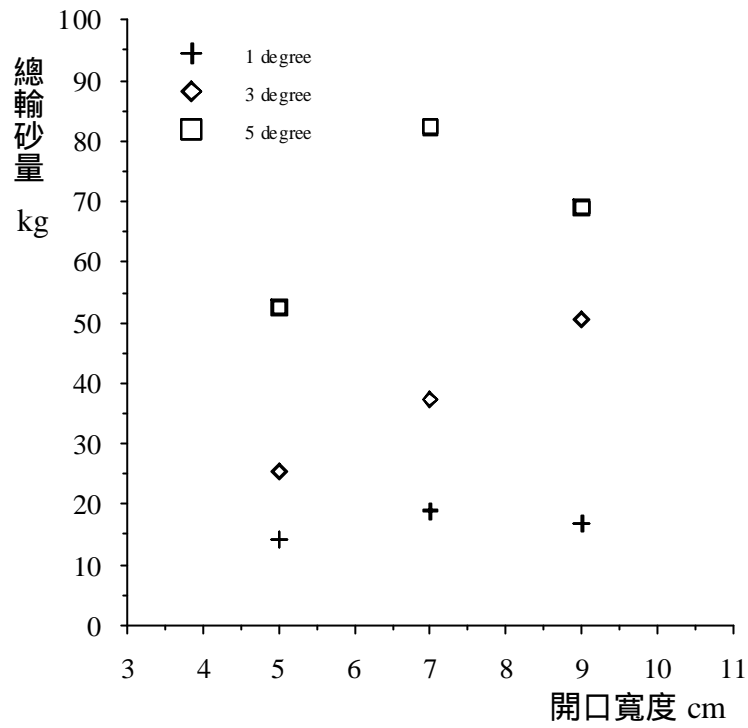


圖 4-51 壩體開口與總輸砂量關係圖(歷線 A, A 粒徑)

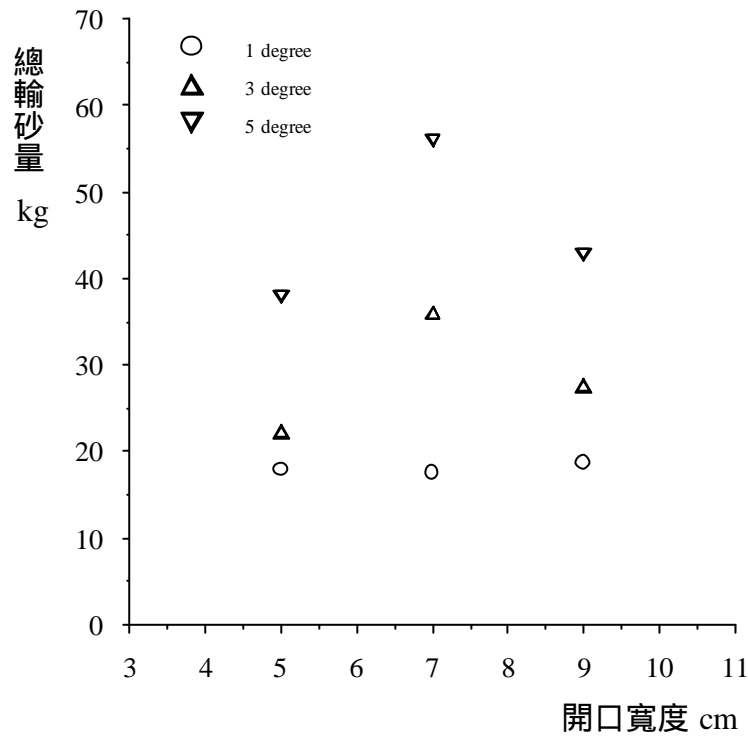


圖 4-52 壩體開口與總輸砂量關係圖(歷線 A, B 粒徑)

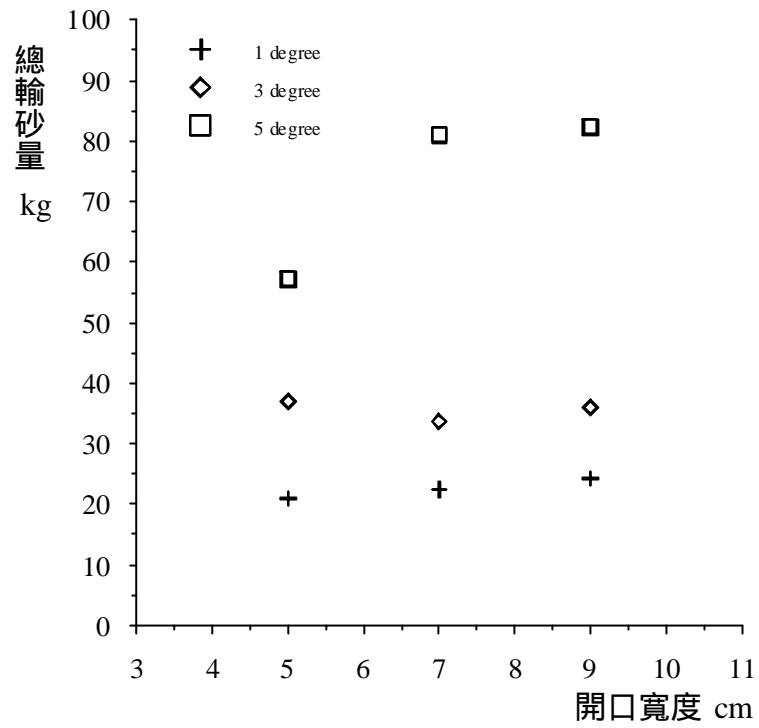


圖 4-53 壩體開口與總輸砂量關係圖(歷線 B, A 粒徑)

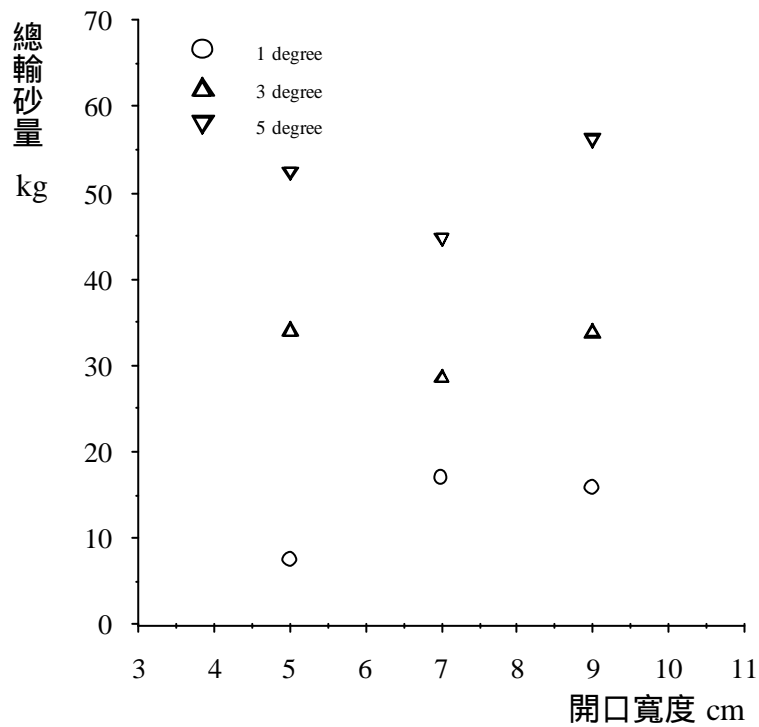


圖 4-54 壩體開口與總輸砂量關係圖(歷線 B, B 粒徑)

5.4.3 河道穩定問題探討

在天然河流中有的斷面比較寬淺、有的比較窄深，我們可以知道作用在河槽周界上剪應力與周界附近的流速梯度成正比。對於窄深斷面來說，等流速線在兩壁比較密集，其剪應力要比作用在河床上的大。寬淺斷面則反之，作用在河床的剪應力要比兩壁大，因此，只有在河岸組成物質的抗沖強度比河床物質的抗沖強度要大的多的情況下，窄深斷面才能維持，不然就會向寬淺發展。但是向寬淺發展也不是無限制的。因為，在水流周界上的力，從水流對周界來說是剪應力，大了會引起周界上的沖刷；從周界對水流的反作用力來說是阻力，大了會減低水流的速度。在一般情況下，通過同樣的流量時，當斷面的寬深比(B/h)大於 2 以後，斷面愈寬淺，濕周愈長。如果斷面變的過份寬淺，由於周界的增長和阻力的加大，水流流速將會過份降低，使水流不足以帶走上游來的泥砂。泥砂在淤積時自然首先沉積在河床兩側鄰近河岸處剪應力較小的地方，使斷面轉而趨向窄深，就這樣，河槽通過泥砂的沖淤調整，形成具有一定寬度和深度的斷面。故河床型態就是挾砂水流與河床長期相互作用，不斷自動調整而形成的。

對於沖積河流的自我調整作用下，體系內部的能量消耗也要趨於穩定狀態，引入最小熵原理的平均或然率的觀念與最小功原理，使沖積河流自動調整的結果，使河寬、水深、坡降之間自有一定的組合，以流域條件相適應，使河流趨向平衡。這種河床型態要素的組合具有最大的可能性，當我們比較

某一種類型的河流時，河流越多，他們的平均情況就愈接近上述最大可能組合。W. R. White 和 R. Bettes 等指出固定流量和坡降，使輸砂率保持最大，實際上相當於固定流量和輸砂率，使坡降保持最小，圖 4-55 示意了這兩種概念的一致性。也就是說”最小功原理”和”最大輸砂率設想”是可以互相置換的。

沖積河流的長、短期調整因素中，發現時間是另一個重要的制約因素。就洪峰中所帶來的短期變化來說，沖積河流必須以最快的方式進行調整，這時能夠最有效地影響挾砂能力的因素往往起著主導作用。如果流域來水來砂條件的變化是較長期的，則河流在調整過程中也將有足夠的時間適應其他的要求。

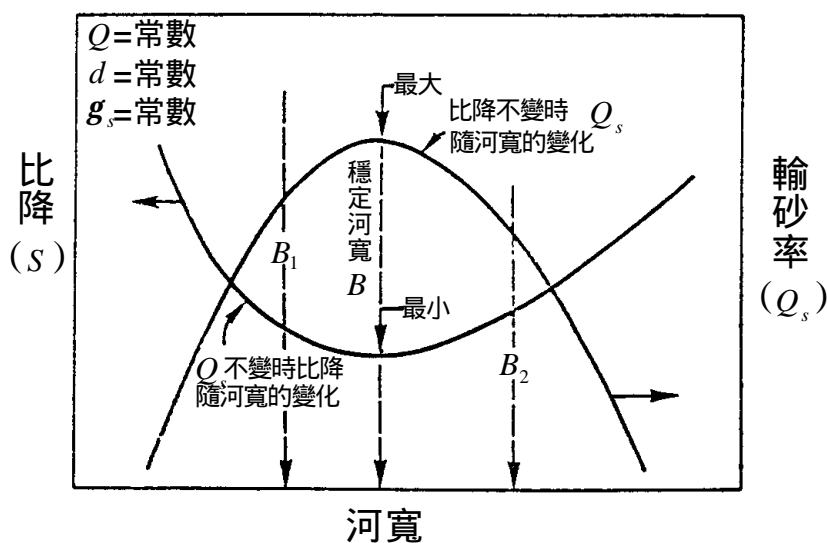


圖 4-55 用最小水流功率和最大輸砂率確定穩定河寬的對比

如圖 4-46 所示 Mackin 在給”平衡河流”所下的定義中，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。

對於一個河段來說，在一定的流量下，進出河段有一定的砂量。如果這兩個部分砂量不等，河流就要進行調整，通過沖淤變化，改變河床型態和邊界物質組成來調整河流的挾砂能力，以期使自河段下泄的砂量能夠盡量和進入河段的砂量相等，河段保持平衡。這是沖積河流所具有的第一種反饋作用。如果因為某種外在原因引起的河流變化幅度很大，涉及的範圍很廣，則不能不影響到河流所在的流域，通過流域產流產砂條件的改變，來減緩河流的調整強度，甚至使之朝相反的方向發展。

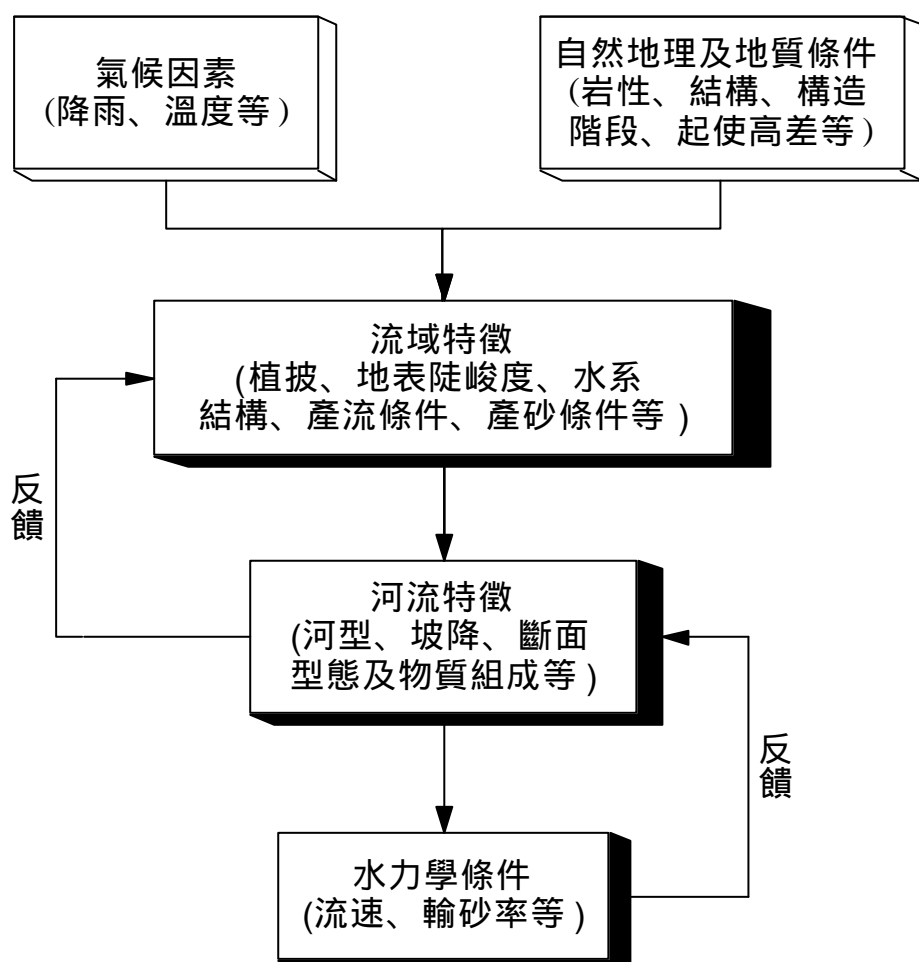


圖 4-56 河流各個環節之間的相互關係和存在的反饋作用

流域因素如發生改變，河流將做出相應的調整，這種調整是通過水流作

用下泥砂的沖刷、搬運和沉積過程來實現的，以下的兩種對比消長常決定了調整的大致方向

a. 床砂質來量和水流挾砂能力之間的對比消長，它決定了縱剖面的塑造和縱向沖淤變化，流域床砂質來量增多，超過水流的挾砂能力時，將會引起淤積。當下游侵蝕基準面下降，水流的挾砂能力增大，超過床砂質來量時，將會產生沖刷。隨著河床的淤高和刷深，床砂組成將做出相應的調整，比降也有可能加陡會展平。

b. 河岸抗沖性與水流沖刷能力之間的對比消長，它決定了河流的斷面型態和平面變形。因為只有當河岸抗沖性遠大於水流沖刷能力時，窄深斷面才能維持。如果水流沖刷能力不足以引起凹岸的坍塌，就不會有彎道的蠕動。在另一方面，如果河道抗沖性很低，在水流沖刷作用下大量坍塌，而凸岸不能同步淤漲，則日久以後，彎曲型河流的平面外形也就難以保持。另外一點，沖積河流一方面力求達到平衡，具有平衡的傾向性，另一方面卻又很難保持嚴格的平衡，表現為各種不同的調整水平。至於究竟達到什麼水平，則帶有很大的隨機性。由於沖積河流存在著平衡傾向性，同一類型的河流的平均情況往往有很多相似之處。由於沖積河流的調整過程存在著隨機性，世界上又沒有兩條河流是完全一樣的。

如下圖 4-57~圖 4-62 為河道蜿蜒度與相對壩體改善開度之關係圖，雖然本次試驗在直線渠槽內進行模擬，假設岸壁比較不易被水流沖刷帶走，但是

如果水留在直線河道內亂竄，水流一直對某個岸邊長期沖刷容易發生岸坡基角被沖刷掏空，造成岸壁無法承受重力的作用而發生崩坍而崩坍物擠壓河道。由圖中發現在渠床坡度小時，蜿蜒度隨開口的增加而增加，但是坡度較陡峻時，7cm 開度之河道蜿蜒度較其他兩者坡度來得小。

如圖 4-63~圖 4-64 則為河道經過歷線流量造床後沖刷結果，從中發現河道蜿蜒度以退水支較長者較小，但仍然以 7cm 開度者為極值，表示該河段向兩岸沖刷的情形較嚴重，其他兩種次之。河床床砂組成較小者(A 粒徑)，其河道沖刷達平衡後河道蜿蜒度較大，這表示標準偏差大之河床，大礫石可以有效控制水流向兩岸發展的趨勢。

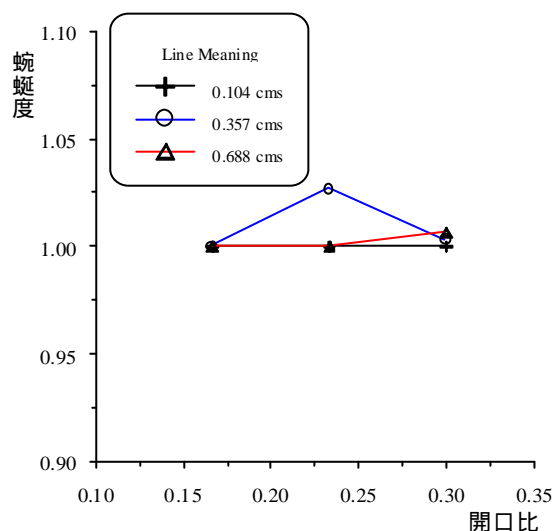


圖 4-57 單一流量 A 粒徑 1 度蜿蜒度與相對開度關係圖

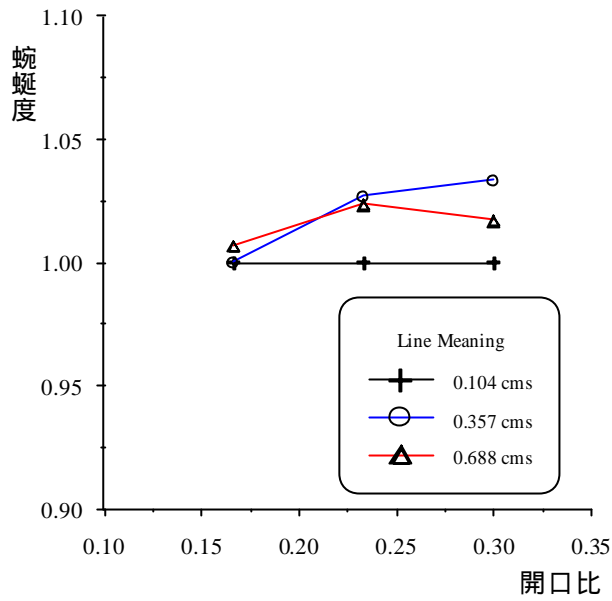


圖 4-58 單一流量 A 粒徑 3 度蜿蜒度與相對開度關係圖

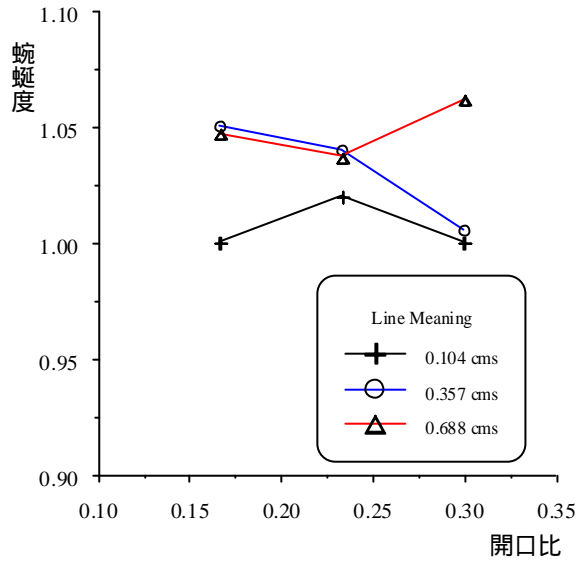


圖 4-59 單一流量 A 粒徑 5 度蜿蜒度與相對開度關係圖

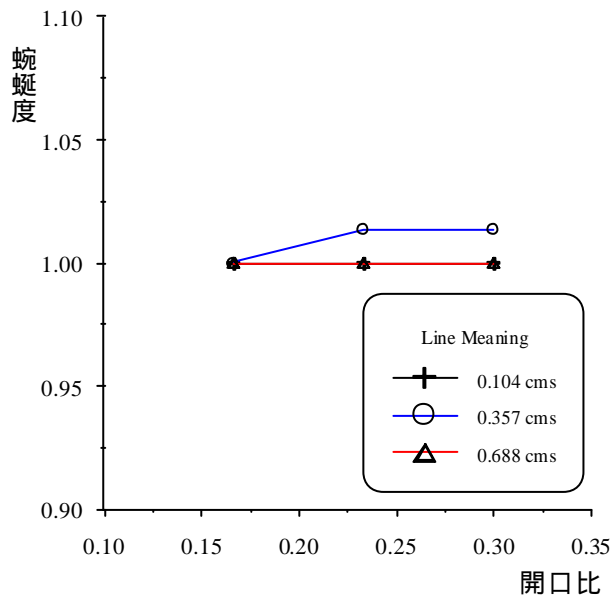


圖 4-60 單一流量 B 粒徑 1 度蜿蜒度與相對開度關係圖

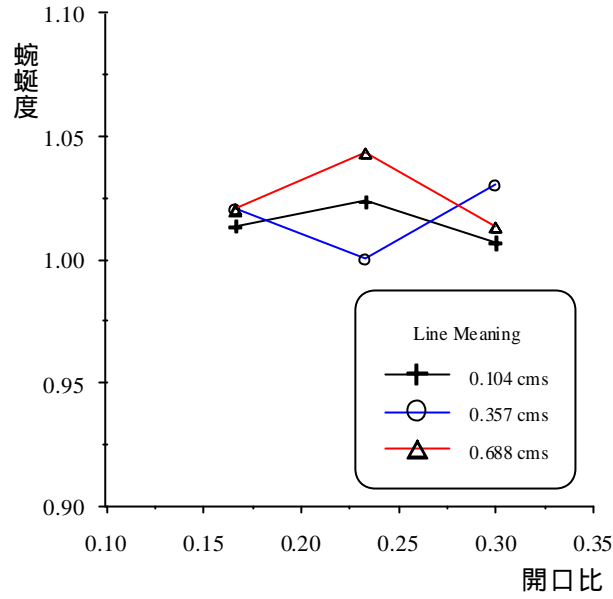


圖 4-61 單一流量 B 粒徑 3 度蜿蜒度與相對開度關係圖

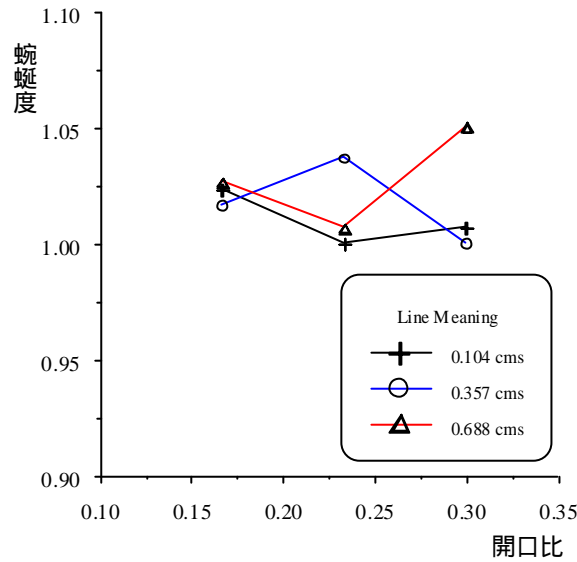


圖 4-62 單一流量 B 粒徑 5 度蜿蜒度與相對開度關係圖

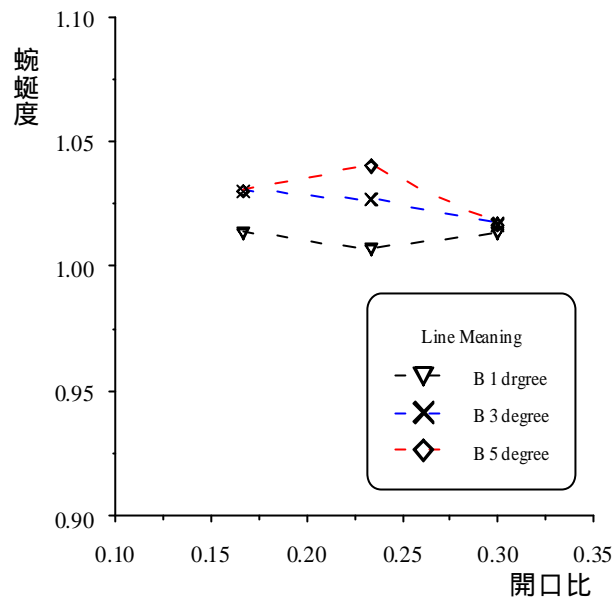


圖 4-63 歷線流量 A 之蜿蜒度與相對開口比

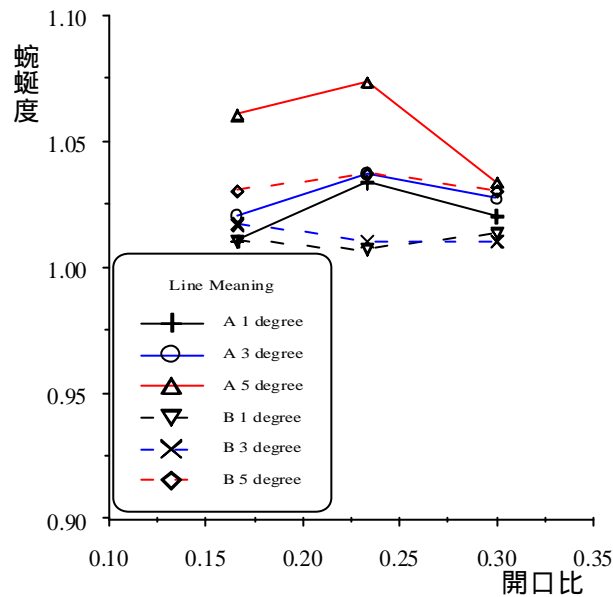


圖 4-64 歷線流量 B 粒徑 AB 比較之蜿蜒度與相對開口比

4.5 階梯狀河道分析

1. 幾何方面

Chin 認為一般階梯狀河道，其階梯長與階梯高的比例在 11 : 1，且出現在坡度在 4~9% 的範圍內。Abrahams 1995 認為，如下圖 4-54，將階梯狀河床的特徵區分為以下幾點：(A) 階梯長 (L)；(B) 階梯高 (H)；(C) 渠床坡度

(S) or (q) ; (D) 床質粒徑(D) , 其中

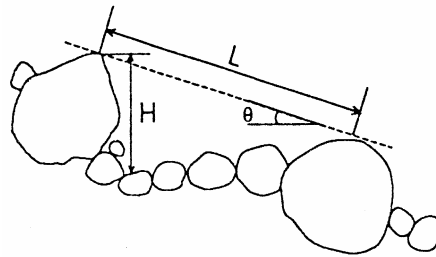


圖 4-65 Abrahams 階梯狀河床剖面圖

H/L 近似於水流之水頭損失量，也可以說是溪流經跌水後，因為受阻力，能量耗損，造成水流減緩所致。Abrahams (1995)認為此種結構物主要對於河道水流具有增阻消能的能力，主要特色為其階梯長(L)、階梯高(H) (如圖 4-54)，且具有(4-1)式之特徵

$$1 \leq \overline{H/L/S} \leq 2 \quad (4-1)$$

而 H/L 可定義為該河道單位長度的水頭差，亦即該處之能量損失。Wohl 跟 Grodeck 發現 H/L 與渠床粒徑 D 成函數關係，經調查發現如公式(4-2)所示：

$$L/H = 4.5S_p^{-0.42} \quad (4-2)$$

Judd(1964)首先定義高山地區河道平均階梯長度 L 與河床坡度 S 間所建立之關係式(4-3)，其中 K 代表河床高度， C 和 Z 皆為常數。

$$L = K / CS^Z \quad (4-3)$$

Chin(1999)根據 Judd 的方程式，建立 Santa Monica 山區階梯狀河道之階梯長與坡度間之經驗式(4-4)

$$L = 2.67 / S^{0.206} \quad (4-4)$$

Whittaker 則調查紐西蘭山區的階梯狀河道，經整理迴歸後，發現 $K/C = 0.311$ ，且 $Z = 1.188$ 。不過根據 Abrahams(1995)的說法，各河道都有其特色，因此所迴歸出來的 K 、 C 、 Z 值都不同，綜合來說，溪流越往下游，流量變大，粒徑變小，溪床坡度變緩和，伴隨著階梯高度顯著變小，階梯長變長，階梯狀河道的特色也趨於不明顯。另外根據 Leopold、Whittaker、Wohl 認為河床的間距 (bed form spacing) 主要受到渠道幾何大小的影響，並認為階梯狀河道之階梯長是河道寬或流量的函數。Chin(1989) 根據現場調查發現 $L \leq (1 \sim 2)W$ ，其中 W 為河道平均寬度，多半學者算出之值在 1.6~2.2 之間。如同 Abrahams 與 Chin 的說法，認為階梯狀河床是高山溪流河道呈現穩定狀態的表徵。而每個階梯間容易形成深水潭，以方便迴游性魚類棲息回溯之場所。

實驗過程中，我們發現土砂往壩體下游輸送至一定程度後，河床呈現粗化的現象。後方的來砂被較大顆粒之礫石阻擋，形成阻塞的作用(chocking)，並且由粗顆粒聚集後形成小跌水或形成橫向之卵石肋。

將階梯狀河床之幾何特性繪製如下圖 12~圖 14，並說明以下幾點：

(1)如圖 4-61，為現場調查值與實驗結果利用 Abrahams 的界定方法，認為階梯

狀河床具有(1)式之關係。圖中發現 $\overline{H/L/S}$ 不論現場或實驗值多半落於該區間，唯有少數現場調查值超過 2，可能是有較大台階落差所致。

(2)如圖 4-66，實驗值之 $H/L\cos$ 多半落於 0.3~0.6 之間，而現場調查值則多半

落於 0.1~0.2 之間，由此可見實驗值之較大，主要由於尺寸縮小之故。

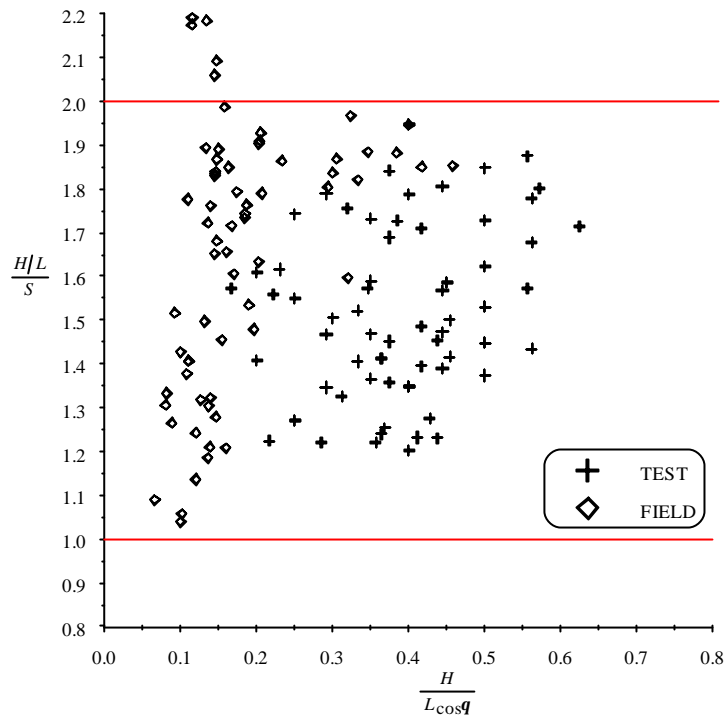


圖 4-66 現場與野外調查 $\frac{H}{L \cos \theta}$ 與 $\frac{H/L}{S}$ 之示意圖

(3)如圖 4-67 與圖 4-68 主要探討實驗至與現場調查值之間,河床坡度與階梯長度的關係,其中實驗值所回歸出來的結果認為具有以下之關係式(4-5)

$$L = 0.306S^{-0.295} \quad (4-5)$$

,而野外調查值經回歸後則具有下式(4-6)之說明

$$L = 3.058S^{-0.846} \quad (4-6)$$

根據上兩式,我們發現,河道坡度越大,階梯狀河床之階梯長度就越短,另外現場調查值的階梯狀河道階梯長與渠床坡度間的關係式,現場調查值與 Chin 所調查之值十分接近,不過各地區的河道條件皆有所不同。

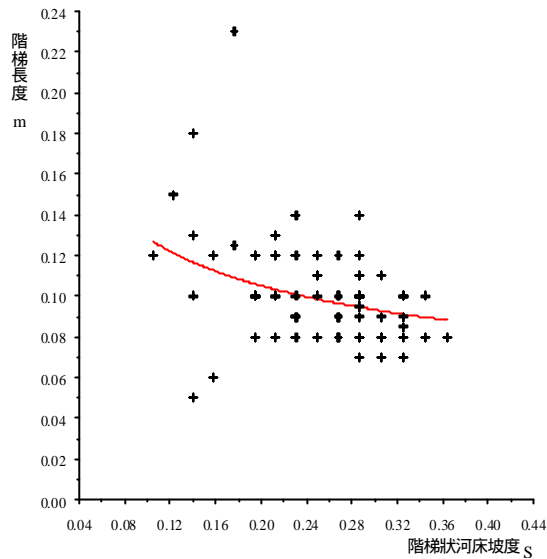


圖 4-67 階梯狀河床階梯坡度與長度比值 (實驗值)

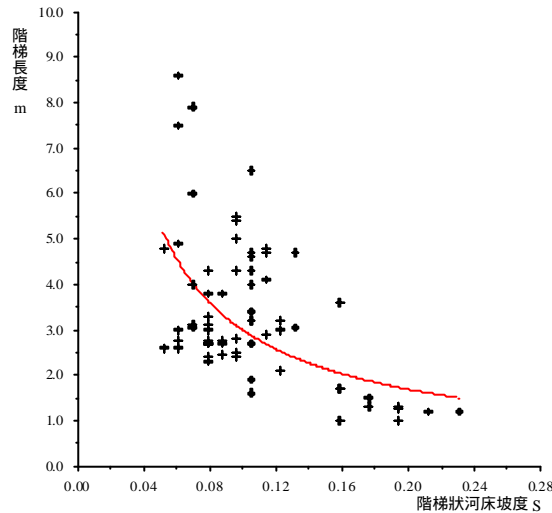


圖 4-68 階梯狀河床階梯坡度與長度比值(野外調查值)

4.6 試驗結論與建議

1. 經試驗結果發現 7cm 開口大小的壩體改善措施在大流量陡坡渠道條件下能有效抑制泥沙的沖刷，但容易產生亂竄的現象，因此未來工程設計須在河道兩岸進行保護措施，以確保河道穩定。
2. 由於本試驗只針對矩形開口改善予以模擬，雖然可以看得出效果來，但是可

以增加不同開度予以試驗，找出臨界值，並將梯形缺口之壩體予以模擬，也可探討下游因壩體改善而發生的河床變化。

第五章 後續調整工程

根據 2001 年 12 月之期末報告決議，除了將全斷面做本期最後一次詳細調查外，並針對先前改善工程瑕疵處之一、二、三號壩壩口附近及兩岸岸坡做進一步改善與保護。

如照片 5-1~5-4 為四號壩上游幾個斷面狀況照片，受到兩岸岩壁及河床粒徑組成影響，壩體改善後河道呈現穩定平衡，變化不大，且有幾處形成明顯的深潭；先前岸坡發生過崩坍的地區，其植物生長也逐漸變得茂盛，而改善後四號壩壩體底端強沖刷區所形成之沖刷坑於枯水季期間變深，對於迴游魚類有利。



照片 5-1 斷面 4-11 以上



照片 5-2 斷面 4-5 以上



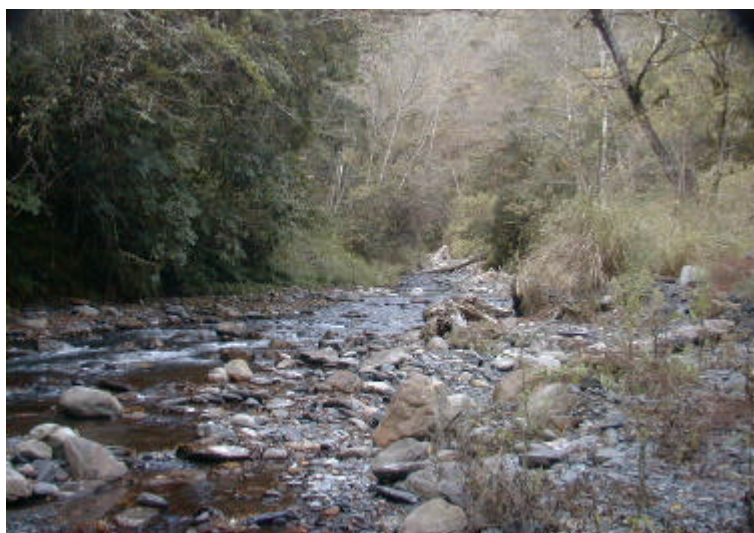
照片 5-3 斷面 3-21 左岸崩坍岩壁



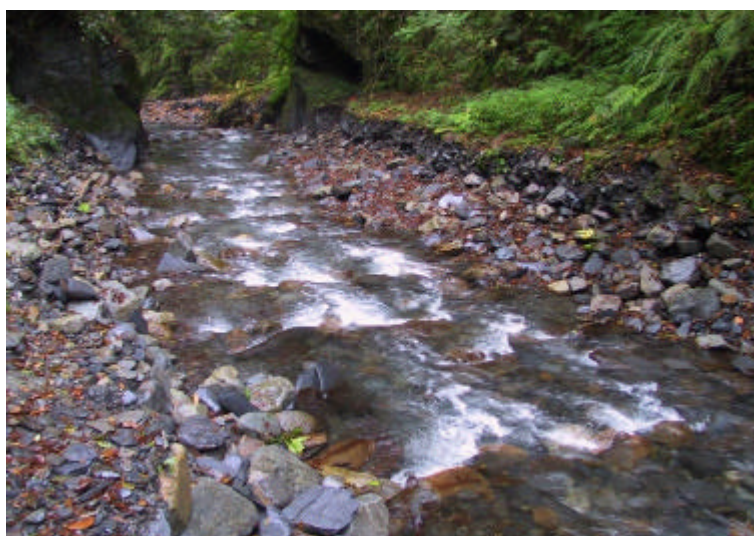
照片 5-4 四號壩底下深潭

照片 5-5~5-10 為三號壩以上斷面，由於該河段剛完成改善不久，因此河

道尚處於變化階段，再加上三號壩壩口深度根據先前期末建議，予以向下挖深，使開度變大，上下游斷面間落差減少。先前所施作之蛇籠保護工在經歷多次河道改道後，有部份被破壞，須做修繕。照片中於直線段部份有形成明顯之階梯狀河道，表示該河段有逐漸趨於穩定的趨勢，因為階梯狀河道具有小撿水流沖刷能量之功效。另外還有一點值得注意，在三號壩再次施工改善時，部份壩體基礎之鋼筋裸露於河床面，並未予以減除，對於河道安全影響甚鉅。



照片 5-5 斷面 3-15 上游



照片 5-6 斷面 3-9 下游階梯狀河床



照片 5-7 三號壩壩口上游斷面



照片 5-8 三號壩上游蛇籠壩被破壞



照片 5-9 三號壩第二次拆除後狀況



照片 5-10 三號壩壩體拆除後鋼筋裸露

照片 5-11 至照片 5-13 為二號壩壩體上游河道狀況，由於先前三號壩施工之便，施工單位將該河段右岸鋪設便道，將原先行走右岸之水流，改向左岸流動，嚴重破壞原始河道之棲地環境。有部份地區經怪手堆填過，形成寬約 8m 之複式直線河道，再加上枯水期流量不大，使該河段形成寬淺型河道。另外管理處為引高山溪較乾淨之水作為下游櫻花鉤吻鮭復育場水源，因此自三號壩底處理設管線，沿右岸河道拉管線至七家灣溪下游處。

照片 5-14~5-17 可以看到現場施作二號壩右岸蛇籠保護工之情形，由於施工所需材料取自河道，因此現場挖土機挖掘河道泥沙並予以篩選。不過河道內礫石佈道採取，且挑走粗大顆粒，容易形成河床細粒化，容易因為大水而發生河道改變，也對於原本穩定的河床產生泥砂動態平衡之破壞。



照片 5-11 斷面 2-23 上游狀況



照片 5-12 斷面 2-16 直線段河道狀況



照片 5-13 斷面 2-12 河道狀況



照片 5-14 斷面 2-7 施工狀況



照片 5-15 斷面 2-4 左岸施工



照片 5-16 斷面 2-2 右按蛇籠工保護施工照片



照片 5-17 斷面 2-1 二號壩口怪手施工狀況

照片 5-18~5-23 為一號壩上游河道狀況，其中斷面 1-6 為一號壩前大灘地束縮溢口，為洪水來時容易堵塞之處，值得改善注意。先前斷面 1-1~1-5 之大灘地經過上次洪水沖刷後，形成相當大之變化，且經歷桃芝颱風洪水影響，發現一號壩壩口通水斷面不足，形成滯洪現象，無法有效將水流排出，因此針對此一問題，於會中決議將一號壩壩口開度增加，如照片 5-23 所示。



照片 5-18 二號壩下游面狀況



照片 5-19 斷面 1-14 河道狀況



照片 5-20 斷面 1-6 河道狀況



照片 5-21 斷面 1-3 河道狀況



照片 5-22 斷面 1-2 右岸儲水箱



照片 5-23 斷面 1-1 壩口狀況

照片 5-24~5-26 為一號壩底下幾個斷面之現況照片，大體上該斷面變化不大，唯有出河口先前壩體改善時大量泥砂淤積，使得會河口呈現窄縮堆積。

根據前面所述，本次河段補調查包含全斷面測量，並繪製該區等高線地形圖，以便建檔，但受制於施工關係，另外全河段仍須人為再整治，因此該部份測量資料並未補入，等待蛇籠保護工於 2002 年 1 月中前完成後，再將全部補齊。



照片 5-24 斷面 0-4 河道狀況



照片 5-25 斷面 1-8 河道轉彎處狀況



照片 5-26 匯流口清濁流交會