

第一章、緒論

第一節 研究緣起與背景

臺灣櫻花鉤吻鮭是臺灣地區特有亞種的陸封型鮭魚，而其相關保育工作亦為雪霸國家公園管理處持續進行之一項重要任務。經過近數十年之研究，對於櫻花鉤吻鮭所需之棲息環境生存條件已有所掌握，例如低水溫、高溶氧、水量充沛、覆蓋充分、豐富的無脊椎動物數量、無污染的環境及適於產卵的底質等。而防砂壩所造成水溫變化與族群阻隔，則是造成櫻花鉤吻鮭棲地環境物理性改變之最顯著因素。因而雪霸國家公園管理處亦於八十八年至九十年間，陸續完成七家灣溪支流高山溪四座防砂壩之壩體改善工程，並對壩體改善後之河道演變及棲地狀況進行多年之追蹤調查。

根據近年櫻花鉤吻鮭族群調查結果，顯示防砂壩之壩體改善工程對其族群生存發展有顯著功效。因為七家灣溪尚有多座防砂壩存在，櫻花鉤吻鮭棲地環境之人為物理性改變仍未完全消除。為能擴大台灣櫻花鉤吻鮭棲地，雪霸國家公園管理處於96年度針對這些防砂壩進行壩體改善之評估研究，在研究在相關水利、環境及生態等專家之參與方式下，提出「優先對七家灣溪一號防砂壩壩體進行改善」之建議。然而這些防砂壩之體積、高度及淤砂量皆遠超過高山溪內之四座防砂壩，壩體改善之實施方式及規模對於河道環境演變以及生態系統之衝擊之影響皆須進行研究，以獲致適當之壩體改善策略供壩體改善決策之參採。

第二節 計畫工作項目與預期目標

壹、工作項目

1. 壩體改善試驗之相關文獻及案例探討。
2. 七家灣溪一號防砂壩之環境及水文資料調查分析。
3. 防砂壩壩體改善試驗研究。
4. 七家灣溪一號防砂壩壩體改善方案之評估及建議。

貳、預期目標

1. 提供適當壩體改善策略及實施方式。
2. 估算出壩體改善對於河道環境演變以及生態系統之衝擊，並提供解決方案。

第二章、材料與方法

第一節 計畫執行流程

依據本研究要求之工作項目，本團隊之計畫執行步驟如下(圖 2-1)：

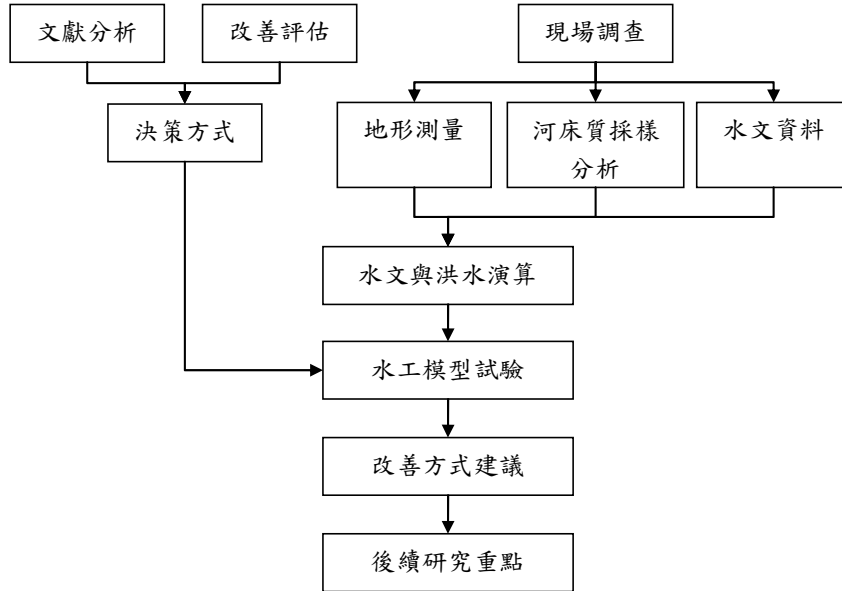


圖 2-1 計畫執行流程

- 壹、文獻分析及改善評估：透過國內外相關文獻之蒐集及評析，參照96年度「七家灣溪壩體改善評估」期末報告內容，將歸納進行壩體改善決策之方式。
- 貳、現場調查：依據96年度「七家灣溪壩體改善評估」建議壩體改善順序，針對七家灣溪一號壩進行環境調查及資料收集。
- 參、水文及洪水演算：收集七家灣溪一號壩體水文資料，配合現場調查資料加以進行分析，此階段為進行水工模型試驗之前置作業。
- 肆、水工模型試驗：模型試驗於逢甲大學土木水利館之水工試驗室之小型不銹鋼傾動式流槽進行。
- 伍、後續研究重點：除利用前一階段之水工模型試驗結果，提出一號壩改善方式之建議外，針對其建議壩體改善方式，有更加完善說明，並在壩體改善後探討須注意事項及後續研究之重點。

第二節 水工試驗執行方法

由於防砂壩上游在泥砂淤滿後，河床處於穩定之動態平衡，若將壩體作部份拆除，將對上游河床與下游泥砂沖淤產生影響及變化，因而須透過水工模型試驗以瞭解壩體改善後之河床變化型態，以提供將來壩體改善時之壩體上、下游河床與水流中泥砂濃度變化之參考依據。

水工模型試驗進行前，須將經完整現場調查結果以「模型相似」理論進行模型各項參數的計算，再進行模型製作與室內實驗。

壹、準備工作

1. 首先針對現場環境進行完整調查，包括「地文調查」與「水文調查」兩項，如地貌的描述與地形、地物之量測等。
2. 將量測資料進行分析，含水文分析、泥砂粒徑分析、地形圖描繪。
3. 由於水工模型試驗須遵守「模型相似律」的條件，即重力相似、阻力相似、輸砂量相似、試驗時間相似、泥砂起動相似，當模型之各項參數符合以上相似條件後，即可著手進行防砂壩壩體與河道模型的製作。
4. 將現場實測河道地圖，依據適當模型平面縮尺進行藍圖製作，並將縮小實測地形圖鋪設在實驗工作平台上以作為河道模型之依據。待河道模型固定其試驗位置後，進行模型壩體安置，並將試驗設備進行逐項測試以確定功能，包含防水處理、定水頭裝置、流量率定、沖淤平衡試驗。
5. 將防砂壩壩體模型及河道模型固定在實驗工作平台上，在工作平台與渠道模型立面接縫處，運用不透水材質如塑剛土進行防水補強之工以防止渠道滲漏，然後讓水流能完全由模型河道中流過，觀察渠道是否有漏水的情況發生，直至渠道不再有漏水的情形。
6. 當所有準備工作完成測試，即可進行室內水工模型試驗，試驗準備工作之流程如圖 2-2 所示。

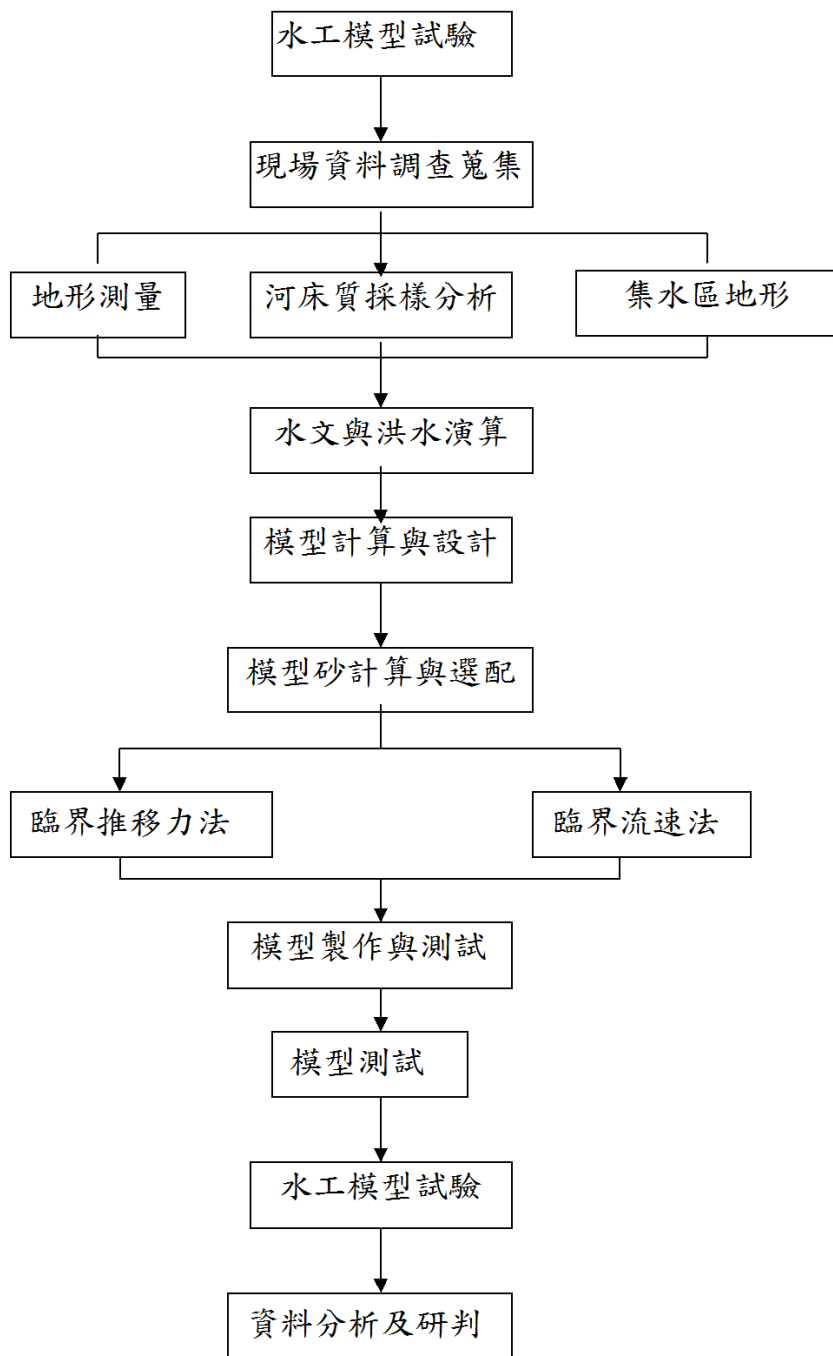


圖 2-2 水工模型試驗之工作流程

貳、模型理論與計算

水流及河床型態時刻處於變動狀態，此變動河床模型須以由水流挾帶泥砂運動的動床試驗進行模擬。若考慮上游河床粒徑組成的型態主要由粗大卵礫石所組成，則動床泥砂模型試驗之主要相似條件如下：

- 1.重力相似條件：係要求原型與模型重力與慣性力的比值相等；

2. 阻力相似：係要求原型與模型阻力與重力的比值相等；
3. 泥沙起動相似：係要求原型與模型流速與泥沙起動流速的比值相等；
4. 輸沙量相似：係要求原型與模型輸沙量與輸沙能力的比值相等；
5. 沖淤時間相似：係要求原型與模型沖淤時間的比值相等。

參、試驗設備及條件

模型試驗於逢甲大學土木水利館之水工試驗室之小型不銹鋼傾動式流槽進行，本試驗設備有試驗工作平台、定水頭裝置、閘門控制裝置、攔砂網、砂面測尺、自動加砂器。試驗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2-3所示。

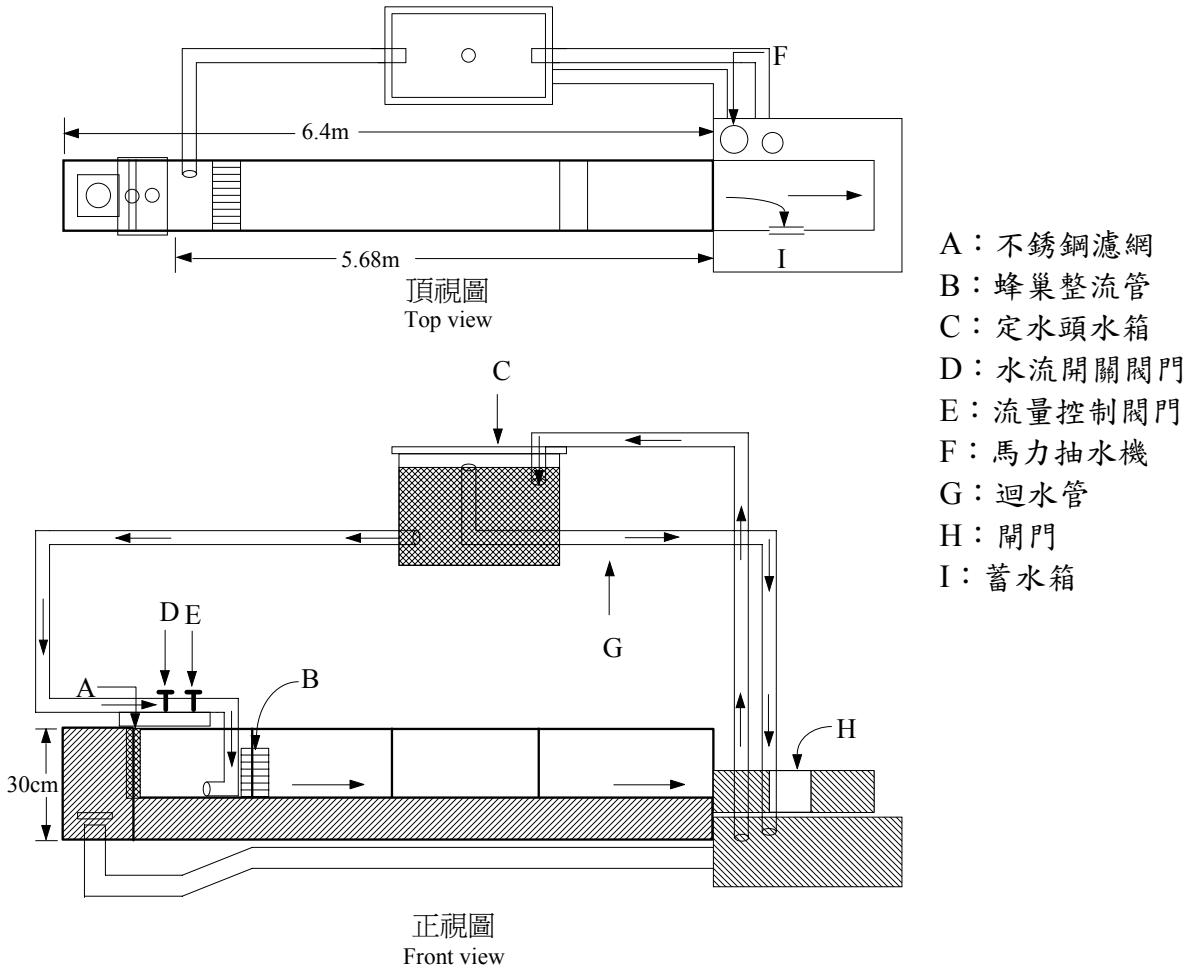


圖 2-3 試驗渠槽配置示意圖

試驗條件則以模擬現場水文常態或極端事件進行，包括試驗流量及試驗時間等重要因素，詳細轉換比例關係如表2-1所示。

1. 本試驗模擬之流量，是以常流量（約為2年頻率之流量）與50年頻率洪水歷線為考量，其流量推估或歷線組成之資料來源為觀測地點附近雨量站所得之資料，經由換算而得之結果；由現場換算而得之常流量及50年頻率暴雨洪水歷線相對應之實際流量，而算法為把實際流量除以流量比尺(Q_r)，再經由流量單位的換算($m^3 \Rightarrow l$)乘以1000，最後則可得到模擬流量。
2. 模擬時間：由前述沖淤時間相似可知，時間比尺為 T_r ，如此可將現場1小時之時間，經由時間縮比尺之換算為 $1/T_r * 60$ 分鐘，詳細內容請參見。

表 2-1 試驗條件表

項目	原型條件	模型縮尺
流量	採用現場推算之 50 年頻率暴雨	Q_r
坡度	防砂壩上下游約一至兩公里間之河道坡度	S_r
河床砂石	現場採樣之河床砂石	d_r
時間	常流量	兩小時
	推算現場之洪水歷程	T_r
壩體	現場實地量測結果	不等比縮尺(L_r 、 H_r)

第三章、結果與討論

第一節 文獻分析

壹、櫻花鉤吻鮭之族群特性

根據林曜松、梁世雄(1990)之研究，有關鮭、鱒魚類良好生存條件應包括：低水溫(16°C以下)，高溶氧(6ppm以上)，水量充沛，覆蓋充分，無脊椎動物數量豐富，無污染與底質適於產卵、孵化及護育。而影響其生存的人為因素計有：火災、森林的砍伐、不良的農耕、過度放牧、污染、開礦、水災、人為或自然的乾旱、築壩、游淤泥及溶氧降低與河川改道等。一般而言，櫻花鉤吻鮭對棲息地之喜好，隨其成長而改變。幼魚期不適合在急流中運動和覓食，故在水潭中數量較急流中為多。而二歲大的鮭魚則較喜出現在半急流半水潭的水域，成魚則多生活在急流中，此可能與該地的水生昆蟲較水潭區域為多之故。在流速較快的區域，鮭魚族群數量會增加，除了其趨流反應外，主要可能為空間和食物的關係。而對環境中溫度變化，由於鱒魚屬冷水性魚類故其要求相當嚴格。一年及二年生的虹鱒，其最適合的生長溫度約在13°C左右，而其生長、產卵及卵之孵育溫度約在9~13°C之間，過高或過低均會產生不良的後果，而櫻花鉤吻鮭其主要棲息地之溫度列在16°C以下。

以上之研究成果，亦在清華大學曾晴賢教授為雪霸國家公園所做之櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估(1997)中獲得驗證。根據曾教授之研究，七家灣溪在二號壩以下水溫過高的河段，櫻花鉤吻鮭受精卵的野外死亡率在65%至100%之間，發育初期的死亡率為40%至100%之間。過高的水溫與日溫差對櫻花鉤吻鮭族群天然更新有不利的影響。孵化前期的平均水溫12°C可視為孵化期的上限致死溫度。估計十二年間(1985年至1997年)11.2°C等溫線往上游退縮約1.56km。二齡以上成魚在繁殖期的分佈與水溫的相對高低有關，性成熟的成鮭有聚集河川封閉區間的低溫區以尋求有利於孵化的水溫環境。

貳、魚類河床棲地改善工程

根據棲息環境因子之改變，中研院張崑雄(1990)將之區分為物理性、化學性和生物性三方面。就物理性的改變而言，包括建造攔河堰、水庫、水閘以及森林或河岸植物的大量砍伐，或是其它開墾性的活動等。化學污染水源方面是來自大量使用肥料和農藥的

農地，因雨水的沖積而滲入河川，或者是大量垃圾與其它污染源如未經完善處理的家庭、工業廢水的排放入河川中。生物性的影響主要是來自於未經評估的外來種動、植物的引進。

根據邱健介（1990）之研究，魚類棲地改善工作即在避免或解決棲地環境惡化的問題，並增加溪流承载力，以蓄集更多的魚類資源。其研究更進一步將棲地改善之作法歸納為四類：(1) 魚梯工程魚道設施；(2) 植生工法；(3) 木、石、網、籠棲地改善設施；以及(4) 其它方法如構築柵欄、鐵刺網等藩籬阻隔牲畜、野生動物或人類活動以保護水源、水質及魚類棲地。

對櫻花鉤吻鮭而言，棲息環境因子之改變主要來自於物理性改變，其中以水溫變化與族群阻隔為更為明顯。而造成溪流溫度改變的原因，可大致分為幾種（林曜松、梁世雄，1990）：(1) 氣溫的異常變化；(2) 溪流附近的開發；(3) 砍伐森林；(4) 人工水庫的建造。然而，族群阻隔的主要因素則為防砂壩之設置。一般而言，防砂壩建立後，壩後便因攔阻而形成水潭，可能造成：(1) 將產卵區和設育地淹沒；(2) 湖泊型態的環境，減緩幼年魚的游泳速度，造成洄游上障礙；(3) 產生某些不想要的魚類。但對櫻花鉤吻鮭的情況而言，防砂壩除了造成的水溫升高現象導致的七家灣溪中下游河段(二號壩以下)櫻花鉤吻鮭繁殖期的受精卵高死亡率外，並且導致遺傳多樣性貧乏（曾晴賢，1997）。

參、國內相關研究

為因應前述防砂壩對臺灣櫻花鉤吻鮭所產生之族群及棲地環境之衝擊，雪霸國家公園管理處亦針對防砂壩改善進行方案研擬。因而，本研究團隊於民國八十六年至民國八十八年期間對七家灣溪支流高山溪四座防砂壩壩體改善工程之實施提出具體建議，雪霸國家公園管理處則於八十八年至九十年間陸續完成並對壩體改善，在該期間後計畫主持人仍持續多年進行河道演變及棲地狀況之追蹤調查。由於當時在國內並無堰壩改善之相關研究，又鑑於壩體改善目的為魚類棲地復育，因此表列相關歷年研究之壩體改善決策流程係以模型試驗模擬不同方式在河道環境及泥砂輸送之衝擊，綜合生態專家之實施時機建議後，呈報相關主管機關核可，最後進行改善工程以及後續監測調查。

肆、國外相關研究

相較於國內少數之壩體移除經驗及研究，美國近年來亦漸有壩體移除後之環境改變等研究出版。針對最近數年之部分研究，本團隊進行彙整如下。

1. Roberts et al. (2007)分析Secor Dam 係為產生遊憩池區而於1920年代興建高2.5米、長17米的公有混擬土壩，其拆除目的係在增進都市河川的遊憩品質、魚類及水域棲地復育、協助恢復艾略湖濱之泥砂收支(sediment budget)以及降低下游點位之早期土壤污染。該研究發現堰壩所有人除關注法律責任議題外，特別關心洪泛區之潛在改變、壩後污染土壤之出現、以及壩體泥砂之下游輸送。透過土壤採樣及組成分析、金屬及有機污染物追蹤、泥砂輸送預測、HEC-RAS水文模式、LiDAR資料及ArcGIS資料庫，評估結果發現壩體移除後之土壤污染情況輕微，泥砂輸送與洪水災害僅有極小的衝擊。
2. Auble et al. (2007)利用美國科羅拉多州馬齒水庫(Horsetooth Reservoir)實施四年空庫維修的機會，進行出露土體早期植被恢復之研究，藉以呈現植生對壩體移除之類比反應。研究發現在植物群落在初期變化極大，但仍於高地岸坡之背景植物群落有明顯差異。此外，若將其植被恢復歷程與築壩後植生消失之反轉過程相比，該研究發現它們是兩種截然不同的軌跡，其原因在於岸坡植物群落係由數十年來對水庫出現後之演替結果。
3. Riggsbee (2007)在North Carolina州Deep River之壩體移除期間，為研究高懸浮載之影響而使用一個縱向水樣系統，研究發現壩體移除後之懸浮值可達325 mg/L，此值約等同於滿岸洪水時泥砂濃度。此外，亦在上游一處下游三處對碳、氮、磷、鐵進行分析。泥砂立即(24%)並持續(40-90%)降低水中鐵質濃度。
4. Grant & Bromley (2007)認為關於壩體移除所產生後果之研究較為罕見，新的現場或渠槽研究則是預測河川地形反應分析架構的基礎，而分析架構中之一個關鍵單元則在於堰壩是否淤滿的差異。根據其研究，對於滿壩體而言，壩體移除啟動一連串的河道地形變化過程，包括在原淤積區之侵蝕深槽重現、下刷、側向擴展以及導致泥砂的迅速潰送至下游，向下輸送的泥砂則增進其它的河道地形調整，包含填補深潭、沙洲及河道淤砂及細粒化，這些變化的時間長度則與輸送泥砂量及移除後河川流量序列有關。對於未淤滿堰壩而言，則上游另有不同的一套河道地形變化過程，主要是淤積堆消失及淤積泥砂向下擴展，而移動泥砂前緣的粒徑篩分、殘留泥砂如台地梯田般孤立與分離、新曝露河床之粗粒化等使得泥砂出流預測更為困難，此泥砂移動受壩體移除方式（同時或分批）及流量序列所影響；此外，下游河道反應亦與淤滿堰壩不同，主要以起始細粒接著粗粒河床質逐漸地將淤積堆輸送至下游。

5. Cantelli et al. (2007) 針對壩體之全部或局部移除而導致原淤砂庫區深槽下切，建立一個地形動態模型 (morphodynamic model of incision) 以描述壩體上游之沖蝕過程。為此，該研究發展一個理論以預測下切河道寬度與深度之沖蝕進展，並透過數值模式予以執行，其結果最後以瞬間全部移除壩體之渠槽試驗數據進行驗證。渠槽試驗結果發現一個所謂「沖蝕窄化」(erosional narrowing) 的深槽下切演變現象，在給定寬度河道迅速下切至堆積狀態的短暫過程中，深槽寬度將會變窄；接著是長時間之深槽變寬。該模型係以梯形河道表達下切深槽，其渠底及兩岸則為可沖蝕區域，而試驗結果顯示河床及河岸沖蝕的平衡對此深槽之地形動態扮演重要角色。迅速的河道沖蝕會造成河寬變窄，河床沖蝕變慢則河岸沖蝕使得河道變寬。

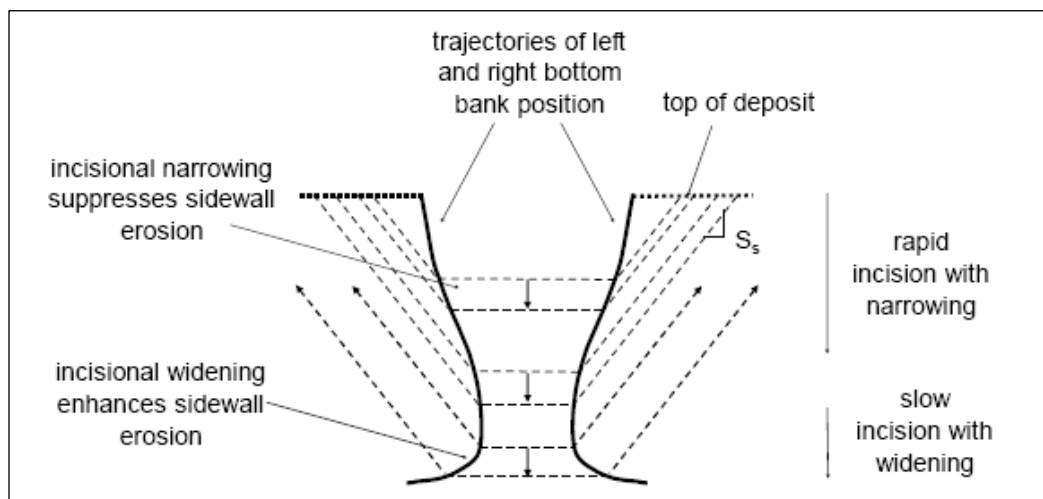


圖3-1 沖蝕窄化示意圖

6. Thomas (2005)認為並非所有堰壩移除皆需要泥沙分析，但若無詳細泥沙調查是不可能預測移除對泥沙過程所造成之影響如何。作者利用HEC-6T配合河相原則及輸砂力學的計算能力，對多種壩體移除狀況進行運算。
7. Doyle et al. (2003)有鑑於堰壩移除在近年已成為各國環境管理的關鍵議題，堰壩管理單位在有限資源下面臨潛在可移除堰壩數量的增加，因此想要為這些管理單位發展出一套決定堰壩移除對象和順序的方法。而在有限的壩體移除歷史中，有幾個趨勢正逐漸形成：(1) 壩體移除的數量在過去三十年間已迅速增加，但是移除的堰壩幾乎皆為小型壩。因為對於小型壩而言，已有支持及接受壩體移除為可行選擇的態度變化；(2)大型壩的移除討論仍正在獨特的政策框架下進行，且被政治環境強力地控制；(3)壩體移除被大力推廣是基於一個假設「壩體移除是具有效益的，因為堰壩的存在及操作對水域生態系統有害」，而現實上有關壩體移除實際影響的是文獻證明仍然不足。而其負面影響是否為暫時現象，或將成為已受擾亂生態系統的另一重大干

擾，目前尚未獲得證明或討論。

此外，他們認為與壩體移除有關之科學仍須努力發展，因為在二十世紀前後三十年間移除超過200座堰壩中，有90% 是低於15公尺的中小型堰壩，且絕大部份都沒有壩體移除的環境衝擊報告。在收集有限研究後，他們歸納幾類堰壩移除之衝擊：

- (一) 河道地形影響：壩體移除後，自原堰壩處被運移之泥砂比例介於10%至80%，且大部份是發生在移除後的第一年，泥砂移動至下游的距離及速率為關鍵課題，但預測能力仍然很低。目前被建議用於穩定拆壩後泥砂的方法，乃基於河道將恢復至蓋壩前情況或者拆壩後河道將迅速達到平衡狀態的假設。然而此假設仍須審慎地被評估，因為它與目前的有限現場資料並不一致。因此小型壩體移除後泥砂穩定方法之決定有賴於河道地形類比方法，而小型壩體移除後泥砂穩定方法除前述方法外，仍需藉由累積小型壩實際觀測資料獲得的經驗而決定。
- (二) 生態系統影響：堰壩移除的生態影響研究僅限於一些小型壩的案例，這些研究發現魚和巨型無脊椎動物等族群能在數月至數年間恢復對未蓋壩前之條件，而植物族群可能需要數十年乃至世紀之久。此外，拆壩後可能產生不同之生物演化軌跡，且隨著移除方式及時機而異。此外，將魚類移動預期時間與壩體移除時機的重疊，以及意外洪水造成的大量泥砂移動可能造成嚴重族群傷亡。
- (三) 科學對堰壩移除決策之影響：在大部分的小型壩移除案例中，因缺乏初步研究資金而使得科學理解在其決策過程扮演很小的腳色；此外，相較於主要移除理由之壩體安全性，移除小型構造物的預估環境影響最小。對於大型壩體移除，於決策過程中最常加入的科學理解為使用模擬模式。模擬模式已被運用於許多領域，它並提供一種使科學進入決策的實際方法。而模擬模型也因為能被用來評估其它管理行動而深具吸引力，因此可作為是否移除及如何移除等決策之重要根。然而，輸入資料的適合性以及模擬模式的應用性一直重要的討論考量。

第二節 環境調查及資料收集

本團隊就七家灣河流域之地形、地質、水文、人文等資料加以收集整理，並針對七家灣溪一號防砂壩進行環境資料收集。

壹、七家灣河流域環境概述

1. 地理位置：七家灣溪位於大甲溪上游，海拔約一千五百餘公尺以上，由於水質清澈，水溫均維持在攝氏16度左右，使得七家灣溪成為唯一能孕育櫻花鉤吻鮭的水鄉，更是保護櫻花鉤吻鮭棲息與復育最為重要的地方。全長約15公里左右，整個集水區源主要為雪山北峻與桃山品田支峻山脈，集水面積約為5600公頃，七家灣溪是遊客活動密集的遊憩區，也是攀登雪山諸峰的基地。溪旁可見直立岩層，顯示強烈的地質構造運動將岩層褶皺成直立的形狀。七家灣溪西岸有比較寬敞的緩坡地，長期被開發作為高冷蔬果栽種地。七家灣溪不只是櫻花吻鮭的棲息地，開闊谷地也是台灣高山難得一見的地形現象。

2. 流域範圍：七家灣溪為大甲溪上游的主要源流，發源於桃山(3325公尺)、池有山(3301公尺)、品田山(3524公尺)、雪山北峰(3702公尺)、雪山(又稱興隆山，海拔3886公尺)之南側面。諸源流高度皆超過3000公尺以上。西北側的品田溪與池有溪匯入桃山西溪(又稱無名溪)，於

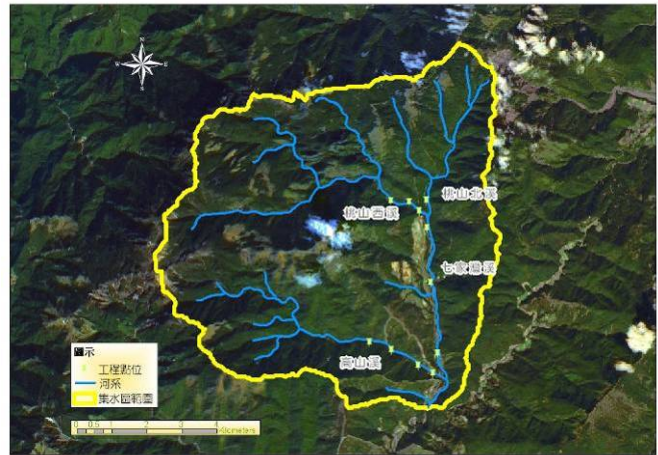


圖 3-2 七家灣河流域水系圖

武陵吊橋附與北來的桃山北溪匯集成七家灣溪主流；而後在武陵農場本部附近，有西側的雪山溪(又稱高山溪)匯入七家灣溪本流，全長15.3公里，集水面積5603公頃。在武陵國民賓館附近萬壽橋和迎賓橋間，與有勝溪匯流形成大甲溪主流(圖3-2)。

3. 地形、地質：七家灣河流域發源於桃山、池有山、品田山、雪山北峰、雪山之南側面，諸源流高度皆超過3000公尺以上。受到各山脈環繞，其流域境內坡度大部份為55%以上(圖3-3)。本區地質由始新世四稜砂岩層和漸新世水長流層及中新世廬山層所構成(圖3-4)。七家灣溪沿岸之區域多屬侵蝕性河階，表層沖積層既淺且薄，可見裸露出之板岩岩盤。武陵農場靠山地帶屬砂岩地質，平緩地帶2-4公尺以上的面層屬礫石、塊岩層，下方為灰、棕黃色的砂岩互層。

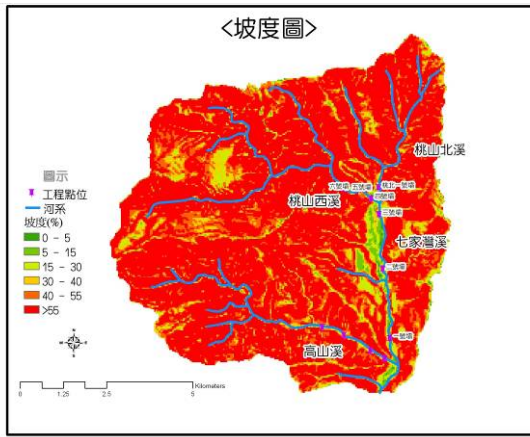


圖 3-3 七家灣河流域坡度圖



圖 3-4 七家灣河流域地質圖

貳、七家灣溪一號防砂壩

1. 壩體周圍現況：七家灣溪一號壩為傳統重力防砂壩，位於雪霸國家公園管理站西側之七家灣溪河道(圖3-5)。壩體上游因淤積而呈現平坦河道，底質多為直徑30公分以下的砂石所組成(圖3-6)。而壩體下游則因河道窄縮、流速變快，使得下游兩岸被沖刷較為嚴重(圖3-7)，因此在右岸設有蛇籠保護工程(圖3-8)。

2. 壩體尺寸：七家灣溪一號防砂壩為混凝土和卵石所構成，右岸為天然岩盤，左岸則還有完整混凝土和卵石所構成壩翼，下游水面以上之壩體高度為15公尺、壩長28.25公尺、壩頂溢洪道厚度3.2公尺，其尺寸示意圖如圖3-9所示。

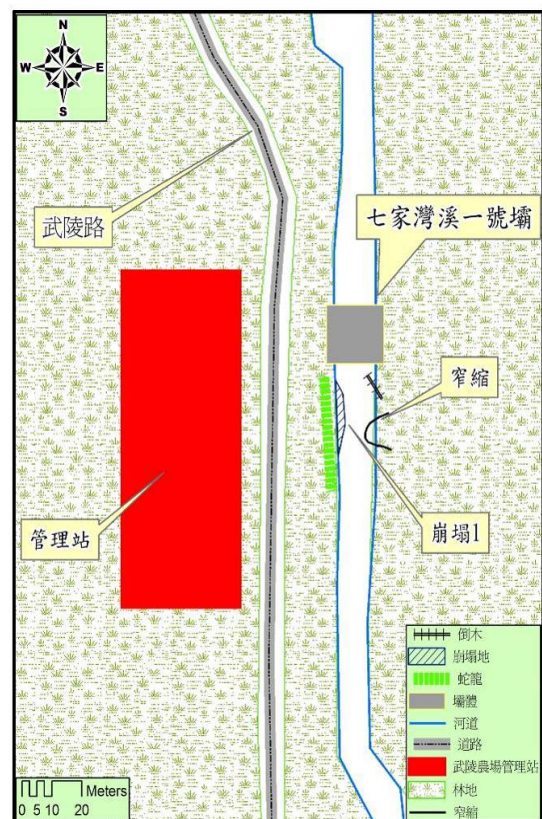


圖 3-5 七家灣溪一號防砂壩平面位置圖



圖 3-6 七家灣溪一號防砂壩上游



圖 3-7 七家灣溪一號防砂壩下游



圖 3-8 右岸蛇籠工程

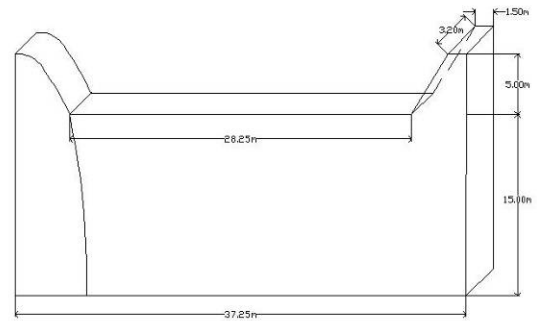


圖 3-9 七家灣溪一號壩示意圖

3. 七家灣溪一號防砂壩之流量推估：本團隊利用位在七家灣溪與有勝溪匯流口之流量站(七家灣站)與有勝溪下游之流量站(有勝溪站) 1996~2005年之歷年流量資料進行分析(圖3-10)。首先，利用GIS系統在已知流量站上游溪流做流向和流路的分析，並定義集水區大小及位置(圖3-11)；其次，再以HMS系統定義出所需控制點(一號防砂壩)之集水區面積比並將流量站之資料加權分析，推估各控制點之流量。由於七家灣流量站位於伊卡丸溪，其集水區範圍包含有勝溪。因此，欲求得七家灣溪之歷年流量必須將七家灣站之流量資料減去有勝



圖 3-10 七家灣溪流域附近之流量站



圖 3-11 七家灣溪一號防砂壩集水區圖

溪站之流量資料，其所的之結果即為七家灣流域之資料(如表3-1)。而一號防砂壩之流量即利用上述出所求得控制點之集水區面積(49.1平方公里)，並計算面積權重百分比(67.7%)，再將雨量資料分別乘上面積權重即可推估各防砂壩之流量。

表 3-1 七家灣流量站之歷年各月平均流量 (cms)

年 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996	0.86	1.09	1.41	5.43	8.56	3.99	5.78	16.81	-0.05	1.17	1.84	1.45
1997	1.36	3.86	2.96	2.24	2.93	9.11	3.51	10.91	7.19	3.21	1.95	1.26
1998	1.36	7.88	9.70	3.60	3.16	9.37	2.61	1.93	2.67	10.41	5.09	3.35
1999	2.80	2.31	3.10	2.12	6.17	7.98	4.98	5.57	3.44	4.84	3.17	2.88
2000	2.11	6.21	5.97	5.64	6.74	5.17	3.42	7.07	5.28	2.61	4.83	2.87
2001	3.81	3.59	2.60	5.16	4.64	5.70	5.69	4.47	12.8	6.29	2.46	1.36
2002	1.13	0.95	0.72	1.02	1.04	2.14	7.75	2.84	2.98	2.00	1.58	2.11
2003	2.40	1.63	2.04	3.56	1.55	3.57	1.78	1.28	4.23	2.85	1.58	1.52
2004	1.60	3.4	2.78	3.71	3.93	3.32	8.13	16.56	8.84	4.58	2.96	2.26
2005	1.74	3.72	10.27	6.72	8.85	6.47	53.1	34.47	11.32	9.56	2.01	1.72

資料來源：水文水資源資料管理供應系統

第三節 地形測量

壹、調查範圍

在本年度7月份進行地形測量作業中，參考96年度「七家灣溪壩體改善研究評估」計畫報告內容，壩體改善後之及冲刷長度約為1.2公里至2.3公里，利用地理資訊系統(GIS)選定測量範圍之選取河段，測量起點選定二號壩下游400公尺處，終點為七家灣溪一號壩壩址所在，總長共約為2.3公里，與報告書內容之估算長度相當，此為七家灣溪一號壩上游部份；一號壩下游部分，選取一號壩壩址為起點，下游測量總長約100公尺。

貳、河道變化調查

在本年度7月份進行地形測量作業期間，進行斷面調查，測量斷面示意圖如下圖(圖3-12)，測量範圍內河道直線長度約為2200公尺，河道最寬處約為160公尺，河道平面圖尺寸大小約為2300 m×160 m，共劃分70個斷面，平均每30公尺設置一斷面線；參考群體計畫「96年度武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」計畫報告中七家灣溪全河道之斷面調查資料，綜合兩次調查資料分析，選取測量範圍起點斷面D-3、觀魚臺測點斷面D-34、一號壩上銜接窄縮段擴寬之斷面D-51，以及鄰近一號壩之斷面D-69作為往後壩

體移除後，斷面位置參考斷面示意圖(圖3-12)，進行測量監測之考量斷面，四處測點之斷面圖如下(圖13~圖16)，及其斷面照片(圖17~圖24)。



圖 3-12 七家灣溪一號壩斷面測量示意圖

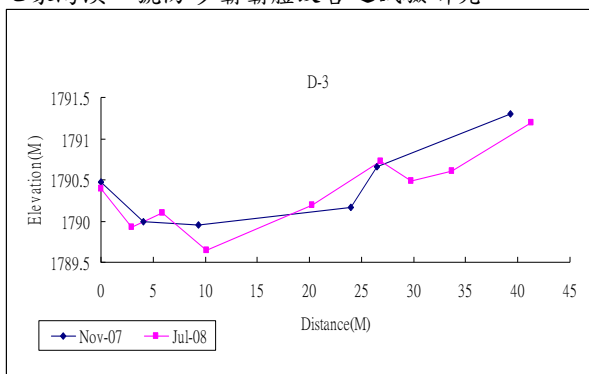


圖 3-13 D-3 斷面圖

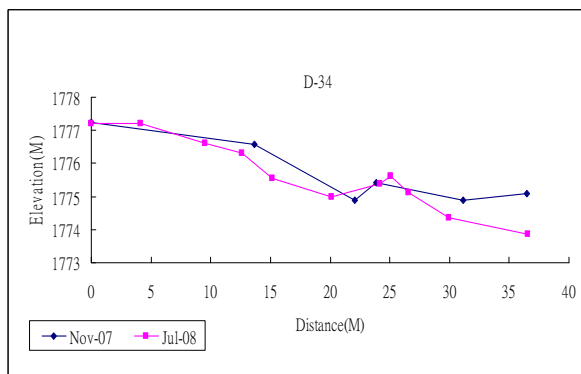


圖 3-14 D-34 斷面圖

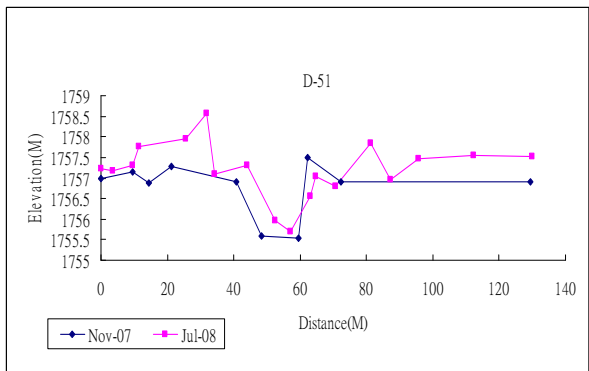


圖 3-15 D-51 斷面圖

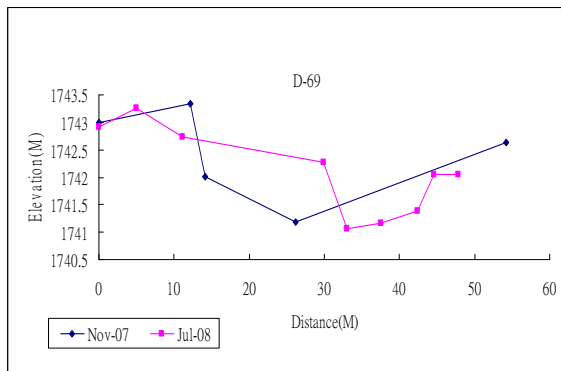


圖 3-16 D-69 斷面圖



圖 3-17 D-3 斷面上游面



圖 3-18 D-3 斷面下游面



圖 3-19 D-34 斷面上游面



圖 3-20 D-34 斷面下游面



圖 3-21 D-51 斷面上游面



圖 3-22 D-51 斷面下游面



圖 3-23 D-69 斷面上游面



圖 3-24 D-69 斷面下游面

參、河道圖繪製

將現場地形測量資料，匯入地理資訊系統(GIS)繪製成地形圖(圖3-25)，此階段繪製地形圖依據適當模型平面縮尺進行藍圖製作，並將縮小實測地形圖鋪設在實驗工作平台上以作為河道模型之依據。

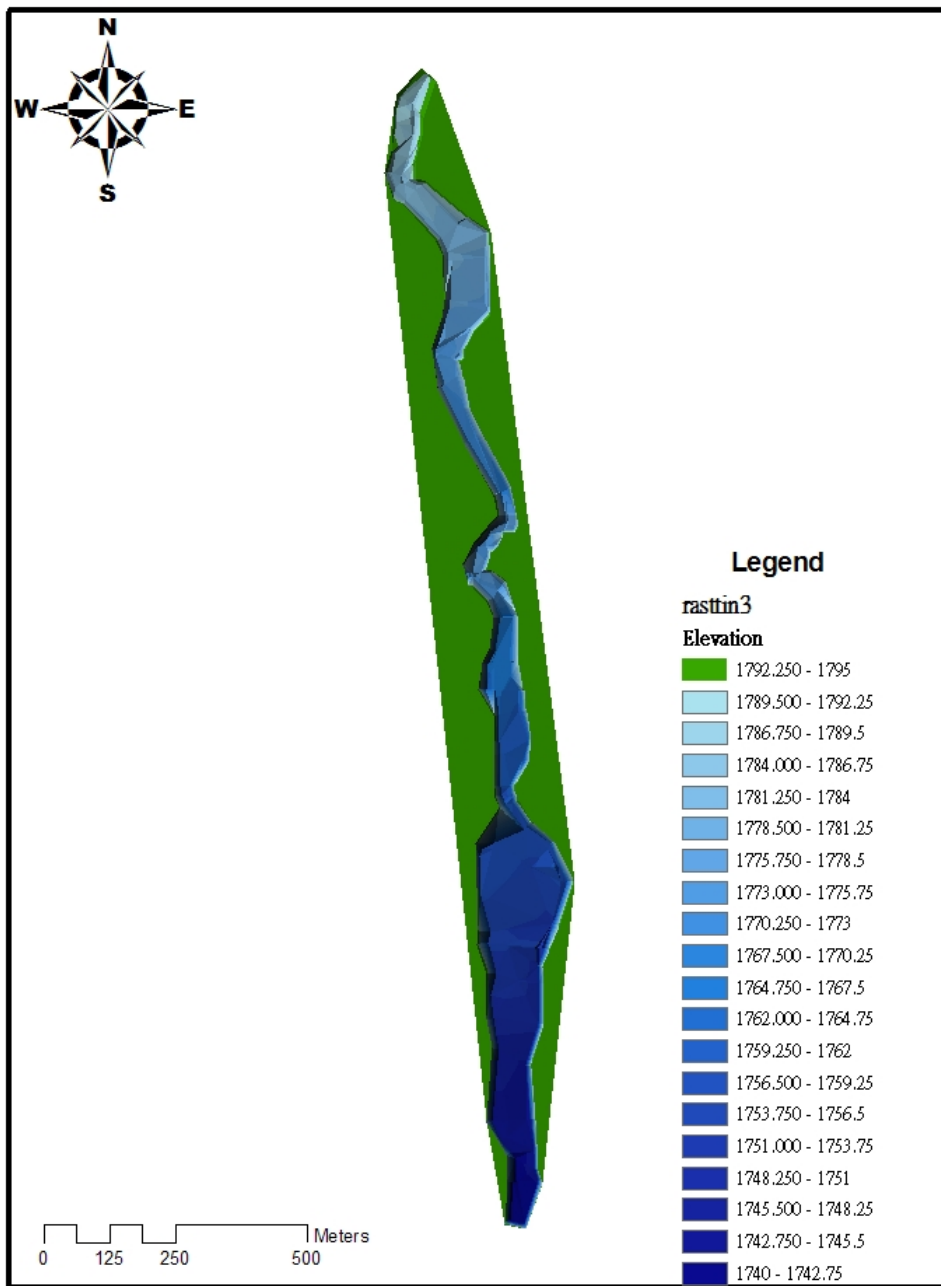


圖 3-25 一號壩上游測量地形圖

第四節 水工模型試驗

壹、實測瞬時最大流量頻率分析

1. 水文分析

本研究分別以Normal、Log-Normal II、Log-Normal III、Pearson Type III、Log-Pearson Type III及Extremal Type I等六種機率分佈進行實測瞬時最大流量（表3-2）頻率分析。

表 3-2 七家灣水位流量站（1420H034）歷年實測最大瞬時流量紀錄(單位：cms)

時間	最大瞬時流量	時間	最大瞬時流量	時間	最大瞬時流量
1967/11/18	160	1980/8/28	238	1993/6/2	29.2
1968/6/10	63	1981/6/21	114.12	1994/8/8	220
1969/9/27	360	1982/7/29	108.6	1995/6/9	25.47
1970/9/7	240	1983/3/26	59	1996/7/31	417.5
1971/9/18	230	1984/8/19	41.2	1997/8/29	161.5
1972/8/17	198	1985/8/23	108	1998/10/16	91.88
1973/10/10	68	1986/9/19	109	1999/5/28	27.32
1974/6/4	42	1987/9/9	70	2000/8/23	116.36
1975/9/22	227	1988/4/20	25.4	2001/9/25	106
1976/8/10	200	1989/9/11	390.99	2002/7/4	89
1977/8/1	149	1990/9/8	229.65	2004/8/25	539.51
1978/10/13	31	1991/6/24	29.3	2005/7/18	609.67
1979/8/14	73.6	1992/8/30	279.3		

利用卡方檢定(chi-square test)作上述機率分佈之適合度檢定(goodness-of-fit test)，上述 χ^2 檢定為檢驗機率分佈是否適用於描述某特定之水文資料，然而其檢定方法之重點為排除有顯著差異之機率分佈假設，惟無法提供精確之標準來決定最佳之機率分佈。為了進一步確認六種機率分佈之正確性，本文利用海生(Hazen)及威伯(Weibull)等點繪法，以平方差和(SSE)及標準差(SE)兩種方式加以確認機率分佈選取之正確性(記錄資料點與機率分佈理論值差異性比較)，以求得一最佳機率分佈。

$$\text{平方差和(SSE)} = \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \quad (1)$$

$$\text{標準誤差(SE)} = \sqrt{SSE / n - m} \quad (2)$$

上式中， X_i =由大至小排序之實測值； Y_i =理論值；及 m =推估參數之個數。

依據上述方法將水位流量站實測最大瞬時流量頻率分析成果表示如表3-3，利用California等 8種點繪法進行最適機率分佈分析，再透過SSE及SE確認機率分佈之正確性，其最小值出現次數最多之分佈為最適分佈，由表3-4中得知七家灣站以皮爾遜III型(Pearson Type III)之SSE及SE最小值出現次數最多，為最適合之機率分佈。再利用卡方檢定進行適合度檢定表3-5，發現除極端值I型(Extremal Type I)分佈不通過外，其餘各種

分佈均通過，因此本研究採用皮爾遜III型分析結果為水工模型試驗之流量（表3-3）。

表 3-3 七家灣站各重現期距計算成果

重現期距(年)		1.11	2	5	10	20	25	50	100	
分布方法	Log-Normal (二參數)	$K_{(LN)T}$	-0.812	-0.282	0.484	1.123	1.835	2.081	2.903	3.82
		$P_{(LN)T}$	49.3	125	234.3	325.5	427	462.1	579.5	710.3
	Pearson Type III	$K_{(P3)T}$	-1.006	-0.234	0.684	1.321	1.939	2.135	2.74	3.341
		$P_{(P3)T}$	21.6	131.8	262.8	353.8	441.9	469.9	556.2	642
	Log-Pearson Type III	$K_{(LP3)T}$	-1.256	0.021	0.847	1.268	1.609	1.708	1.988	2.236
		$P_{(LP3)T}$	37	117	246.3	360	489.7	535.2	688.6	861.3
	Extremal Type I	$K_{(E1)T}$	-1.215	-0.155	0.843	1.503	2.136	2.337	2.956	3.57
		$P_{(E1)T}$	-8.1	143.1	285.4	379.7	470	498.7	587	674.7
	Log-Normal (三參數)	$K_{(E1)T}$	-1.026	-0.201	0.679	1.287	1.888	2.081	2.689	3.31
		$P_{(E1)T}$	18.7	136.6	262.1	348.9	434.6	462.2	548.9	637.5
	Normal	$K_{(E1)T}$	-1.246	0	0.841	1.282	1.645	1.751	2.054	2.327
		$P_{(E1)T}$	-12.6	165.2	285.3	348.1	400	415.1	458.3	497.2
頻率分析通式： $P_T = M + K_T * S$ (其中 K_T 為頻率因數，Frequency Factor)										
Mean Value		165.199					Mean Value in Log		4.744	
Standard Deviation		142.703					Standard Deviation in Log		0.901	
Skewness Coefficient		1.498					Skewness Coefficient in Log		-0.123	

(單位：cms)

表 3-4 實測最大瞬時流量頻率分析法最適分佈 SSE 及 SE 比較

定點方法		California $T = N / m$	Hazen $T = 2N / (2m-1)$	Weibull $T = (N+1) / m$	Beard $T = 1 / (1-0.5^{1/N})$	Chegodayev $T = (N+0.4) / (m-0.3)$	Blom $T = (N+1/4) / (m-3/8)$	Tukey $T = (3N+1) / (3m-1)$	Gringorten $T = (N+0.12) / (m-0.44)$	
分布方法	三參數對數常態 (Normal)	SSE	.1537E+06	.1060E+06	.1108E+06	.4152E+07	.1076E+06	.1070E+06	.1073E+06	.1064E+06
		SE	65.34	54.26	55.48	339.61	54.68	54.51	54.60	54.38
	皮爾遜 III 型分布 (Pearson Type)	SSE	.3105E+05	.1455E+05	.2793E+05	.6942E+07	.1854E+05	.1670E+05	.1768E+05	.1540E+05
		SE	29.78	20.39	28.25	445.37	23.02	21.84	22.48	20.98
	對數皮爾遜 III 型分布	SSE	.1642E+05	.4140E+05	.1403E+05	.1214E+08	.1986E+05	.2531E+05	.2199E+05	.3232E+05
		SE	21.66	34.39	20.02	588.91	23.82	26.89	25.06	30.39
	極端值 I 型 分佈 (Extremal)	SSE	.4730E+05	.4541E+05	.4094E+05	.7933E+07	.4108E+05	.4211E+05	.4147E+05	.4353E+05
		SE	36.25	35.52	33.72	469.42	33.78	34.20	33.94	34.77
	註：經 SSE 及 SE 計算，可知 Pearson Type III 為最佳之機率分佈。									

表 3-5 機率分佈適合度檢定分析

分布機率	適合度檢定	U 指標 (U)	採用方法
	卡方檢定		
三參數對數常態(Normal)	通過	6.040	
皮爾遜 III 型分布(Pearson Type III)	通過	5.179	√
對數皮爾遜 III 型分布(Log-Pearson Type III)	通過	5.432	

極端值 I 型分佈(Extremal Type I)	不通過	7.464	
----------------------------	-----	-------	--

2. 洪峰流量推估

由於七家灣流域中，雨量站過少且記錄年份過短，因此採用七家灣流量站（表3-6）進行水文分析。因無其他水位流量站資料可資驗證計畫流域內控制點各重現期距之洪峰流量，故依水利署採用之比流量法進行分析歷年實測最大流量詳如，即

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^n \tag{3}$$

式中Q為流量，A為集水區面積，指數n=2/3，一號壩控制點以七家灣為標準，各重現期距洪峰流量計算成果如表3-7所示。

表 3-5 七家灣溪流量站一覽表

站號	站名	TWD-97		記錄年份
		X 座標	Y 座標	
41F190	七家灣	280275	2693429	1969-2007

表 3-7 實測流量法推算一號壩控制點各重現期距洪峰流量成果

(單位：cms)

重現期距 洪峰流量	控制點面積 A (km ²)	Q _{1.11}	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
七家灣	110.71	21.6	131.8	262.8	353.8	441.9	469.9	556.2
一號壩	49.1	12.6	76.6	152.8	205.8	257.0	273.3	323.5

貳、試驗目的

由於防砂壩上游在泥砂淤滿之後，河床處於穩定的動態平衡，若將壩體作全部或局部的拆除，勢必會對上游河床與下游泥沙沖淤產生變化。因此，本研究透過水工模型試驗，以瞭解壩體拆除前後之河床沖淤變化，並藉由河床穩定性及河防安全性等評估指標，研判較理想之壩體拆除方式，試驗結果可供相關管理單位於未來進行壩體拆除之參考依據。

參、試驗縮尺

七家灣溪一號防砂壩現地研究區段長為600m、最寬之河寬為160m、河床質平均粒

徑(dm)為18.65cm、平均坡降約為0.011、2年重現期距洪峰流量(尋常洪流量) $Q_2=76.6\text{cms}$ 及50年重現期距洪峰流量 $Q_{50}=273.3\text{cms}$ ，受限於試驗室工作平台空間大小，因此採用之模型水平縮尺(L_r)為200，垂直縮尺(V_r)為100。

表 3-8 壩體改善試驗模型縮尺與原型資料比較

項目	原型(prototype)條件	模型(model)縮尺	模型(model) 試驗條件
流量	尋常洪流量 $Q_2=76.6\text{cms}$	$Q_r=200,000$	$Q_2=0.00038\text{cms}$
	採用現場推算之 50 年洪峰流量 $Q_{50}=273.3\text{cms}$		$Q_{50}=0.00136\text{cms}$
坡度	現場平均坡降 $S=0.011$	$S_r=2$	$S=0.022$
粒徑	平均粒徑 $dm=18.65\text{cm}$	$d_r=158.7$	$dm=1.18\text{mm}$
時間	尋常洪流量 Q_2	—	2 小時
	最大 24 小時暴雨(50 年重現期距洪峰流量 Q_{50})	—	1 小時
壩體	現場實地量測資料	不等比縮尺 ($L_r=200$ 、 $V_r=100$)	壩寬 $b=14.25\text{cm}$

肆、試驗渠槽與量測儀器

本試驗係於逢甲大學水工試驗室之傾動式渠槽進行試驗，渠槽總長為512cm、寬為96cm~10cm及深為40cm。渠道底床為13cm之木板，為模擬壩體改善前後河床沖淤及河床坡度變化，本研究採動床試驗，於木板上鋪設14cm厚度之砂。為求試驗渠槽粗糙度一致，渠道之邊壁及底床皆為木板組合而成，並於其表面均勻塗抹防水漆，渠槽設備示如圖3-26。本試驗渠槽為循環水槽，首先將下游跌水池內放滿水，再由抽水馬達抽水至定水頭水箱，經流量控制閥控制流量，進入試驗渠道前先由蜂巢式整流器穩定水流再流入渠道中，最後流入跌水池，依序進行循環試驗(圖3-27)。河床沖淤高程變化乃利用超音波水位計進行量測，其乃藉由不同介質產生之反射波，透過訊號的轉換來讀取高程數據，如圖3-28所示。試驗為避免產生反射波干擾的誤差，故探頭(transducer)儘量與邊壁以及河床面保持適當的距離，超



圖 3-26 試驗渠道模型

音波水位計量測示意圖詳如圖3-29所示。

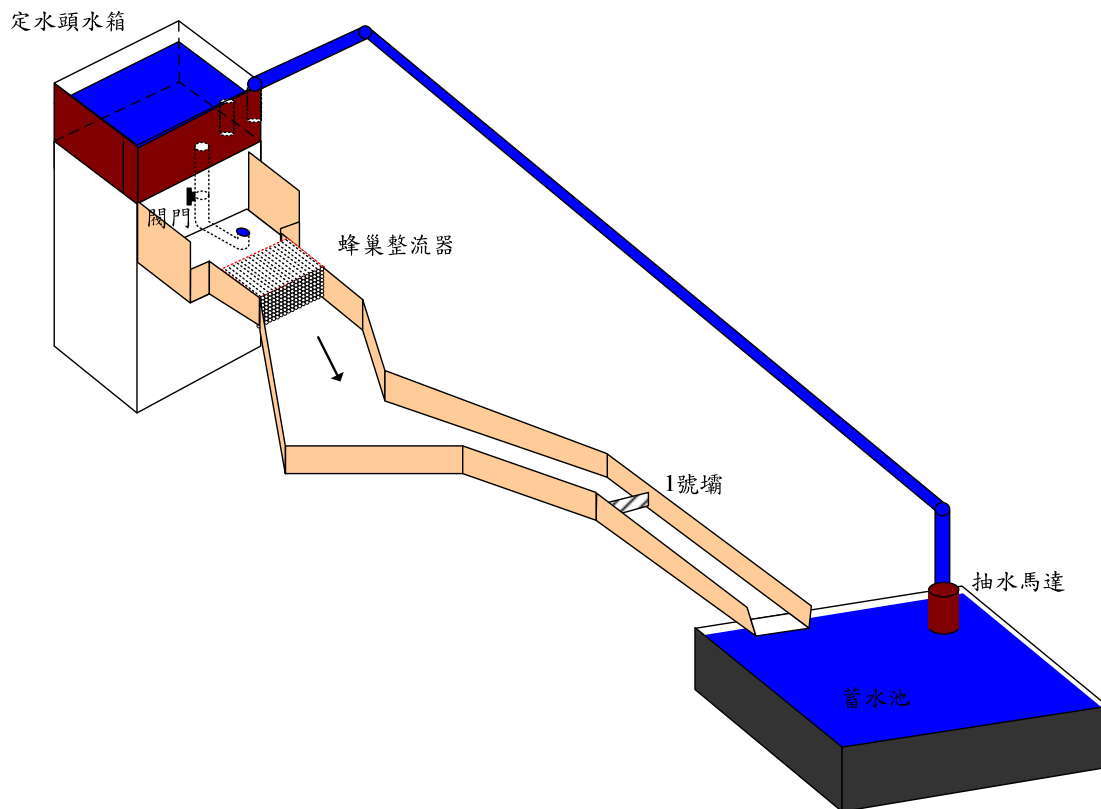


圖 3-27 試驗渠槽配置圖



圖 3-28 超音波水位計數據轉換顯示器

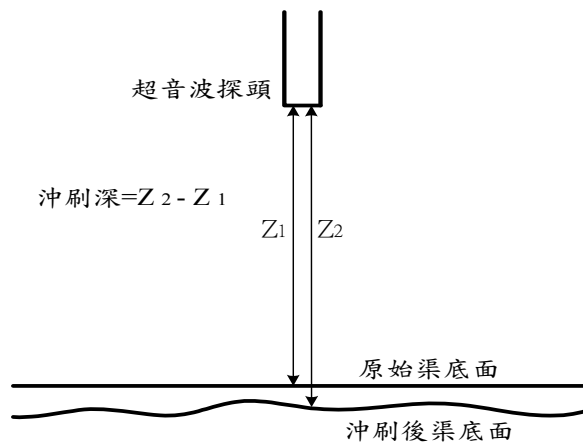


圖 3-29 超音波水位計量測示意圖

伍、試驗流量

根據現場之尋常洪流量及50年重現期距流量分別為76.6cms、273.3cms，採用之模型水平縮尺(Lr) 為200，垂直縮尺(Vr) 為100，故可得試驗之尋常洪流量為0.00038cms、

試驗之50年重現期距流量為0.00136cms。本試驗之流量為利用給水管上之閘門控制，水流從定水頭水箱經由給水管輸送到渠槽中，再流至試驗渠道。其流量率定曲線如圖3-30所示，經迴歸得(1)式。

$$Q=0.067y^2-0.865y+3.012 \tag{1}$$

式中，Q=流量(cms)、y=水深(cm)。

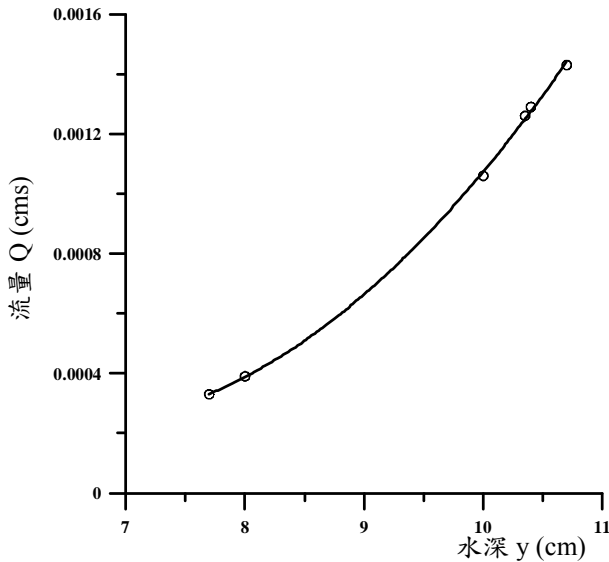


圖 3-30 流量率定曲線

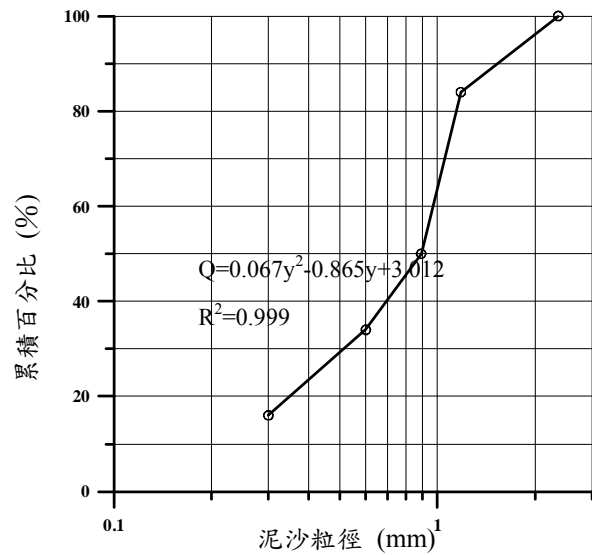


圖 3-31 泥沙粒徑分佈曲線

陸、試驗泥沙

根據於現場採樣所得泥沙分析，得知其平均粒徑 d_m 約為18.65 μ m，幾何標準偏差 σ_g 為4.6。依據模型縮尺計算，本試驗採用之泥沙以#8號篩、#16號篩及#30號篩之均勻泥沙加以混合而成，其平均粒徑 d_m 為1.18mm，幾何標準偏差 σ_g 為2.8， $\sigma_g > 1.3$ 屬於非均勻泥沙，其粒徑分佈累積曲線(the cumulative size distribution curve)如圖3-31所示。

柒、試驗模型

試驗之壩體模型乃根據現場所量測之實際尺寸以水平縮尺1:200；垂直縮尺1:100進行製作，壩寬 b 約為14.25cm，壩體改善所拆除之壩寬分別為 $b/2$ (7.125cm)、 $b/3$ (4.75cm)及 $b/4$ (3.56cm)，拆除之方式分別為拆左岸、中間及右岸之 $b/2$ 、 $b/3$ 及 $b/4$ ，其模型詳如圖3-32所示。

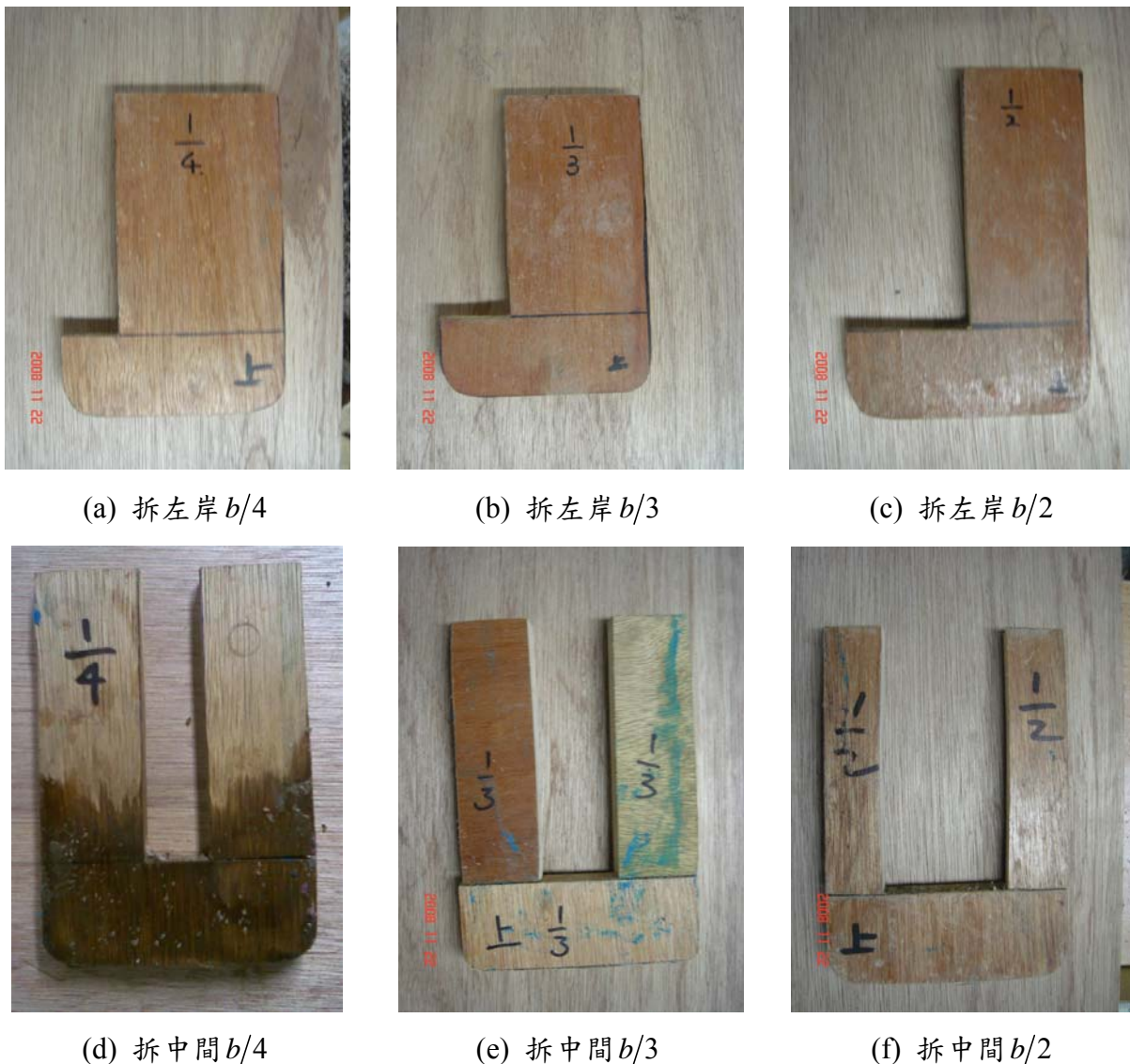


圖 3-32 壩體改善各方案之模型

捌、壩體改善試驗方案

七家灣溪一號防砂壩現況河道地形，左岸為岩壁，右岸為公路（武陵路），本研究主要在探討如何拆壩，即全部拆除或部分拆除，拆除位置為右岸、中央或左岸，透過河床穩定性及河防安全性等評估指標，研判較理想之壩體拆除方案。因此本研究壩體改善試驗方案分為全部拆除及依壩寬 b 的 $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ 等部分拆除；拆除位置則以壩之右岸、中央及左岸為基準之配置方式進行試驗。此外，本研究將以未拆壩(即現況)之試驗進行對照分析，做為改善方案的比較基準，試驗方案詳如表3-9。

本研究斷面沖刷前後之高程變化量測之坐標，水流向為 Y 方向(跌水口為起始點)；斷面量測方向為 X 方向(右岸至左岸)，於渠道上方放置量測板，量測沿程各橫斷面。 Y 方向自起點向下游分別以斷面0至斷面215標記位置，每一斷面間距為3cm。 X 方向於沖刷較明顯處以2cm為單位進行量測，在高灘地或沖刷不明顯處，則以3cm為單位進行量

測，在壩上、下游10cm之範圍內則以1cm×1cm之網格進行量測。

表 3-9 壩體改善試驗方案

試驗類別	控制項目	控制內容	備註
對照組	流量	(1) $Q_2=0.00038\text{cms}$ (2) $Q_{50}=0.00136\text{cms}$	
	壩體形式	未拆壩(即現況)	
改善試驗 方案	流量	(1) $Q_2=0.00038\text{cms}$ (2) $Q_{50}=0.00136\text{cms}$	
	壩體拆除寬度	(1)全拆 (2) $b/2$ (3) $b/3$ (4) $b/4$	b 為壩寬
	壩體拆除位置	(1)左岸(L) (2)中間(C) (3)右岸(R)	

玖、試驗流程

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，其厚度為20cm，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n個斷面以便量測並記錄其水深及沖刷深度。

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；
- 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；
- 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；
- 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；
- 7.改變壩口寬度，重覆步驟1~6。

拾、試驗結果分析

1.主深槽位置

主深槽的擺盪對於河型的調整、河工的設計皆具極大的影響。當河道之主深槽位於河道橫斷面之中央附近，則對於河岸之橫向侵蝕風險較低，惟若主深槽位於河道橫斷面之左或右岸邊坡，則水流之橫向侵蝕會對堤岸邊坡之基礎遭淘刷，造成堤岸崩落而破壞，因此主深槽之位置關係河道兩岸之穩定與否。沖積河流由長時間的觀點而言，由於水流之自動調整作用，有可能處於某一相對平衡狀態，在河流橫斷面形狀和縱剖面應與流域之來水來沙條件間存在某種定量關係，一般而言，建槽流量為塑造橫斷面和縱剖面之形狀主要參數。建槽流量係指對於河床形態之塑造有控制作用之流量，此流量並非最大洪水量，亦非枯水流量。因為最大洪水量其造床作用雖然強烈但時間過短，不能達到塑造河床之控制作用；而枯水流量其作用時間雖較長但流量則過小，亦無法達到塑造河床形態之控制作用。因此，建槽流量一般約為2年重現期距洪水量 Q_2 ，即尋常洪水量。

圖3-33至圖3-38分別為在尋常洪流量，即建槽流量 Q_2 及50年重現期距流量 Q_{50} 下，拆除左岸(L)、中間(C)及右岸(R)壩體後河道主深槽之位置圖，其中X為垂直水流方向量測之橫斷面，Y為水流方向量測之縱斷面，壩體位置約在 $Y=45\text{cm}$ 處。此外，壩體拆除之寬度分別為 $b/2$ 、 $b/3$ 及 $b/4$ (b 為壩寬)，圖中分別以 $1/2$ 、 $1/3$ 及 $1/4$ 表示之。

圖3-33之試驗結果顯示於建槽流量(尋常洪流量) Q_2 作用下，除拆除壩體左岸 $b/3$ 寬度時於壩體上游之主深槽流路趨中外，餘皆迫近右岸基礎；惟於壩下游則呈現主深槽先迫近左岸而後趨中，因此拆除壩體左岸 $b/3$ 寬度為較理想之方案。由圖7可知拆除壩體中央位置時，除於通過壩體時之主深槽居中外，壩體上下游主深槽均迫近右岸基礎，並非理想之方案。圖3-35可發現拆除右岸壩體之主深槽位置與拆除壩體中央位置時之主深槽位置類似，主要差異在於拆除右岸壩體之主深槽擺盪範圍甚大，且均迫近右岸基礎，為三種拆除壩體配置之最不理想方案。

圖3-36至圖3-38為50年重現期距流量 Q_{50} 作用下，主深槽流路變遷情形。圖中顯示無論何種拆壩方案，其主深槽流路擺盪範圍均大於建槽流量（尋常洪流量） Q_2 。惟長期而言仍以建槽流量為主深槽變遷之主要影響參數。

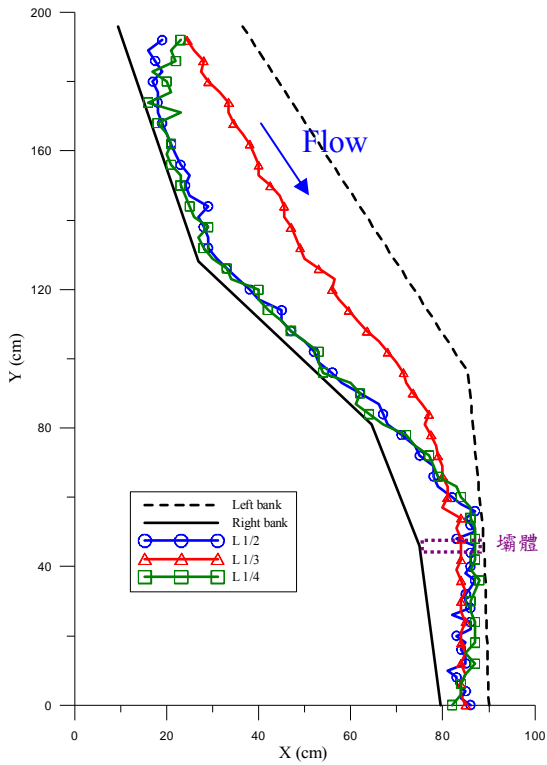


圖 3-33 拆除左岸壩體之主深槽位置圖
(尋常洪流量 Q_2)

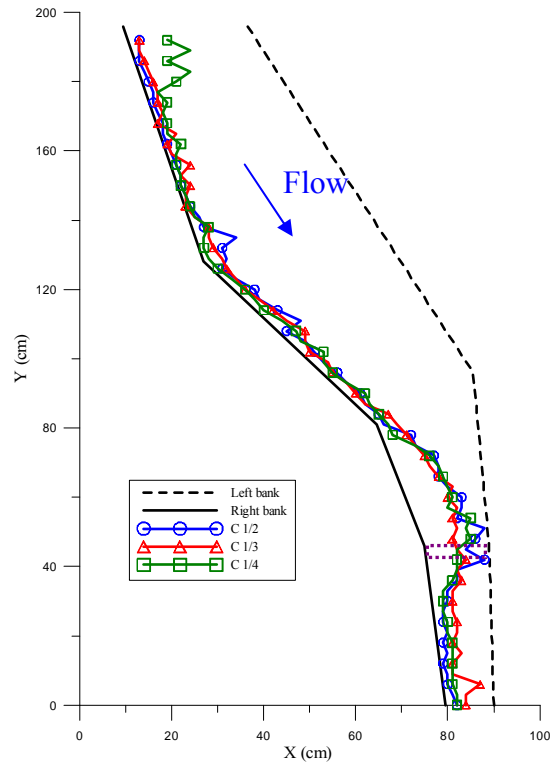


圖 3-34 拆除中間壩體之主深槽位置圖
(尋常洪流量 Q_2)

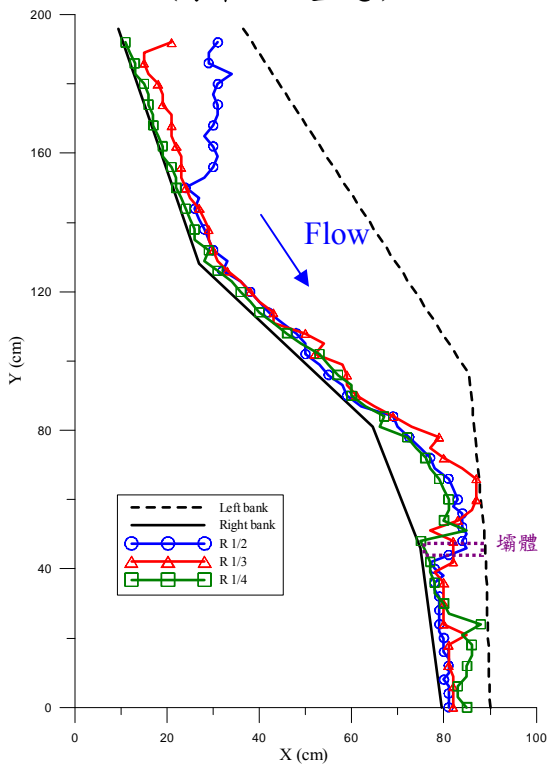


圖 3-35 拆除右岸壩體之主深槽位置圖
(尋常洪流量 Q_2)

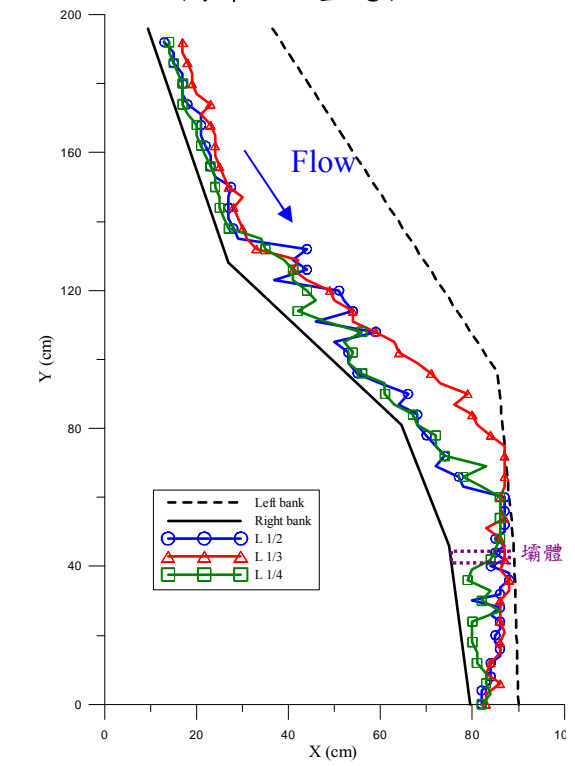


圖 3-36 拆除左岸壩體之主深槽位置圖(Q_{50})

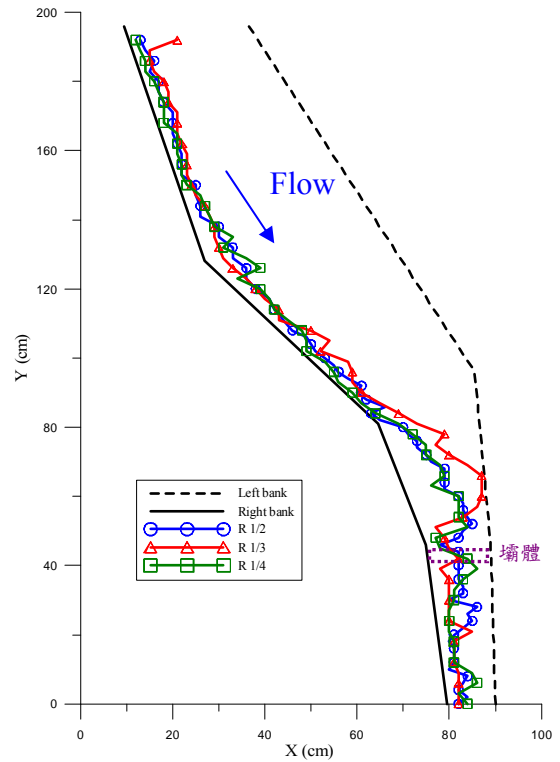
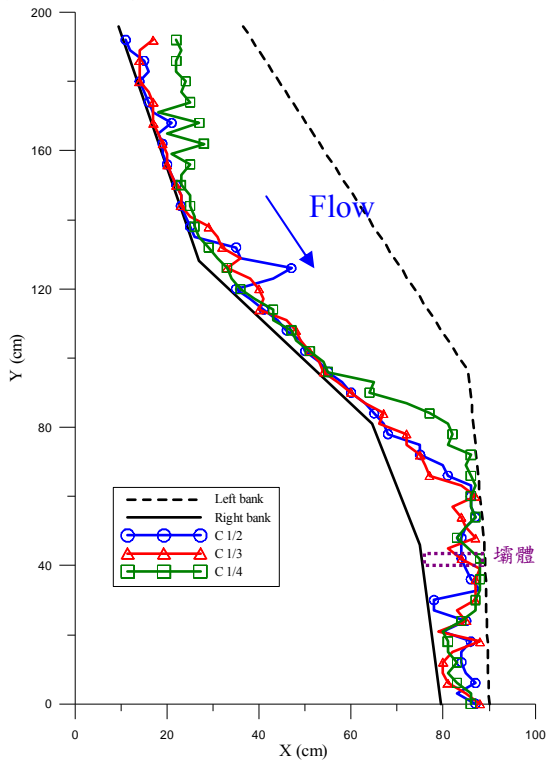


圖 3-37 拆除中間壩體之主深槽位置圖(Q₅₀)

圖 3-38 拆除右岸壩體之主深槽位置圖(Q₅₀)

綜合而言，在防砂壩上游段（ $Y=80\text{cm}$ 以上），其主深槽位置均迫近右岸；在中游段，即上游段與防砂壩之間（ $Y=80\text{cm}\sim 45\text{cm}$ ），由於水流慣性力作用之影響，水流將沿著凹岸運行，即其主深槽由右岸漸次向左岸移動；防砂壩下游段（ $Y=45\text{cm}$ 以下）時，則主深槽位置隨壩體拆除位置而變，當拆除中間及右岸壩體時，主深槽則迫近右岸；拆除左岸壩體時，其主深槽會迫近左岸。高流量(Q_{50})時，在防砂壩上游段（ $Y=80\text{cm}$ 以上）之主深槽位置與建槽流量（尋常洪流量） Q_2 時類似，主要是迫近右岸，其擺動幅度較建槽流量時來得大；在中游段（ $Y=80\text{cm}\sim 45\text{cm}$ ），由於慣性力趨中之作用，其主深槽提前（ $Y=130\text{cm}$ ）向左岸移動；防砂壩下游段（ $Y=45\text{cm}$ 以下）時，其主深槽位置擺動幅度為上、中、下游三段中之最大者。

七家灣溪一號壩上游兩岸均為坡面，下游右岸為武陵路且路基設有方籠保護工，而下游左岸主要是岩盤，上述分析結果可知，無論何種拆壩形式其上游主深槽均會迫近右岸，有可能造成右岸之刷深；在下游部分，由於右岸為道路、左岸為岩盤，故以拆壩後主深槽靠近左岸為佳，因此以拆除左岸壩體為較理想之改善方岸，其中又以拆除壩體左岸 $b/3$ 寬度時最為適當。

2.最大沖刷深度及位置

由沖刷坑的位置及深度，可以瞭解壩體改善後其可能產生的破壞範圍及主要破壞

位置，當最大沖刷深度 d_{max} 位置迫近兩岸則會產生兩岸基礎沖刷，終致邊坡崩落。表3-10為未拆壩及各改善方案最大沖刷深度比較表，表中正值代表向下刷深，反之，負值為向上淤積。由表3可知，下游段的最大沖刷深度發生在未拆壩(對照組)時，當壩體拆除後，在建槽流量(尋常洪流量) Q_2 時，由於上游土砂下移，原有上下不連續河床段(防砂壩)，因河床坡度調整，初期坡度變化較大，而後漸趨於穩定，因此其下游段均呈現回淤積之現象，其平均淤積深度為1.8cm；在高流量(Q_{50})時，壩體拆除初期坡度變化較大，由回淤而後漸趨於穩定，惟長期而言因無上游來砂之挹注，故下游段部分仍呈現些微沖刷之現象，沖刷深度均較未拆壩之情況來得小，其平均沖刷深度為0.1cm；在上游段的部分，無論何種拆壩形式，因河床坡度調整均會產生沖刷，在高(Q_{50})、低流量(Q_2)下平均刷深分別為10.8cm及9.5cm。

圖3-39及圖3-40分別代表在建槽流量(尋常洪流量) Q_2 及50年重現期距流量(Q_{50})下，最大沖刷深度之位置圖，由表3可得知拆壩後於壩之下游呈現回淤之現象，而上游則是呈現沖刷之現象，最大沖刷深度位置多半集中於斷面 $Y=80\text{cm}\sim 120\text{cm}$ 處，故建議於拆壩前應先做好該區段邊坡保護工程，以防止拆壩後右岸邊坡因水流淘刷而崩塌破壞。整體而言，於建槽流量(尋常洪流量) Q_2 作用下之最大沖刷深度位置(圖3-39)較50年重現期距流量 Q_{50} 之最大沖刷深度位置(圖3-40)更為下游(凹岸下游)，此乃於高流量時慣性趨中，水流因慣性力直線行進所致。

表3-10 未拆壩及各改善方案最大沖刷深度比較表

最大沖刷深度 組別	下游段(Q_2) (cm)	上游段(Q_2) (cm)	下游段(Q_{50}) (cm)	上游段(Q_{50}) (cm)
未拆壩(對照組)	2.540	0.000	13.447	0.000
全拆	-2.0	8.3	-1.4	9.2
L 1/2	-1.9	8.5	-1.1	10.3
C 1/2	-1.9	9.7	-1.3	11.5
R 1/2	-1.1	10.1	0.3	12.0
L 1/3	-1.2	11.2	-0.6	11.4
C 1/3	-2.0	9.3	-0.2	11.0
R 1/3	-2.1	9.9	2.9	11.0
L 1/4	-1.4	8.6	1.2	10.1
C 1/4	-2.0	9.3	1.3	10.7
R 1/4	-2.1	10.1	0.3	11.1

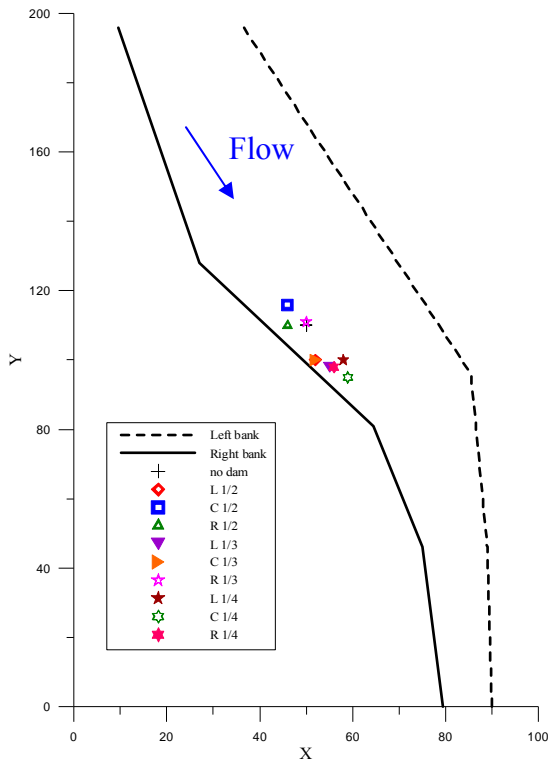


圖3-39 最大沖刷深度位置圖
(尋常洪流量 Q_2)

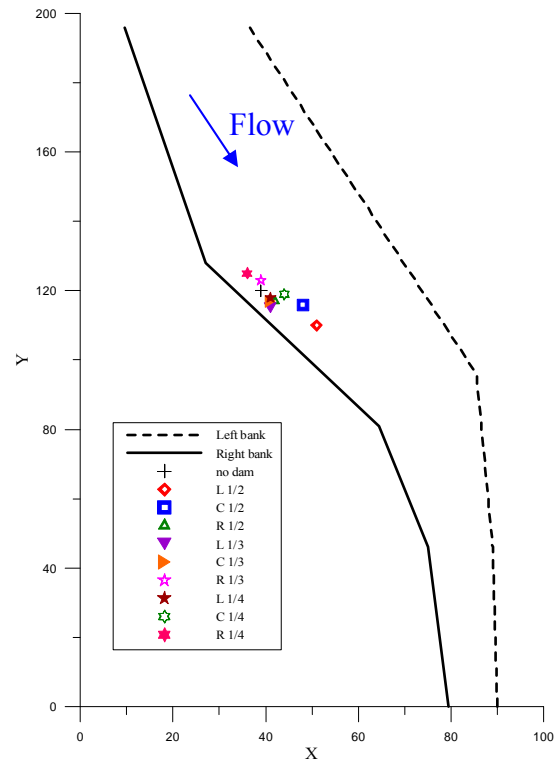


圖3-40 最大沖刷深度位置圖(Q_{50})

3. 縱斷面變化

壩體拆除後，壩體上游河道將會產生溯源沖刷，溯源沖刷的產生，一方面不斷的向上游侵蝕；另一方面會將上游的泥沙帶往下游。因此，河道的變動改變了河床原有的坡度，而坡度的改變也會影響流速，當坡度變陡時，則流速也會因此變快，而造成下游河道的破壞且對於鮭魚迴游之影響甚大；反之，當坡度變緩，則流速變慢，對於鮭魚迴游之影響較小，故在壩體拆除後若能產生坡度較緩之河床，則應為較佳之壩體拆除模式。

表3-11為壩體拆除後上游坡度之比較表，整體而言，在高、低流量時，當壩體拆除寬度固定時，以拆除左岸壩體後之坡度均較緩，故以拆除左岸壩體為建議之改善方案。此外在壩體全部拆除時，其坡度最為陡峭，故較不建議以壩體全拆的方式作為壩體改善之方式。復由圖3-41及圖3-42之防砂壩壩體不同改善方案改善前後之縱斷面變化，可知無論是高或低流量時，以拆除左岸壩體後之坡度調整最為緩和，且其上下游坡度變化較小，故以拆除左岸壩體為建議之改善方案。

表3-11 未拆壩及各改善方案改善後之河床平均坡度比較

壩體改善方案	上游段(低流量 Q_2)	上游段(高流量 Q_{50})
未拆壩(對照組)	0.022	0.022
全拆	0.048	0.051
L 1/2	0.028	0.027
C 1/2	0.036	0.025
R 1/2	0.046	0.048
L 1/3	0.033	0.023
C 1/3	0.035	0.032
R 1/3	0.046	0.036
L 1/4	0.020	0.032
C 1/4	0.038	0.037
R 1/4	0.030	0.035

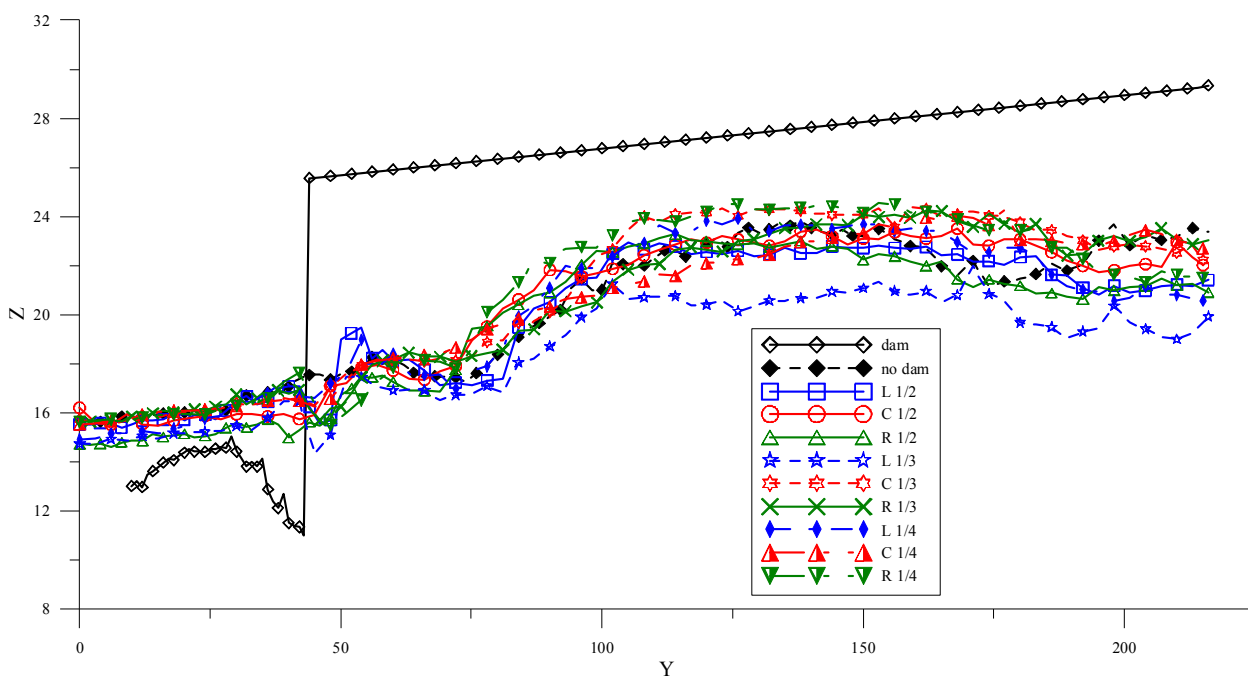


圖 3-41 防砂壩壩體不同改善方案改善前後之縱斷面變化(Q_2)

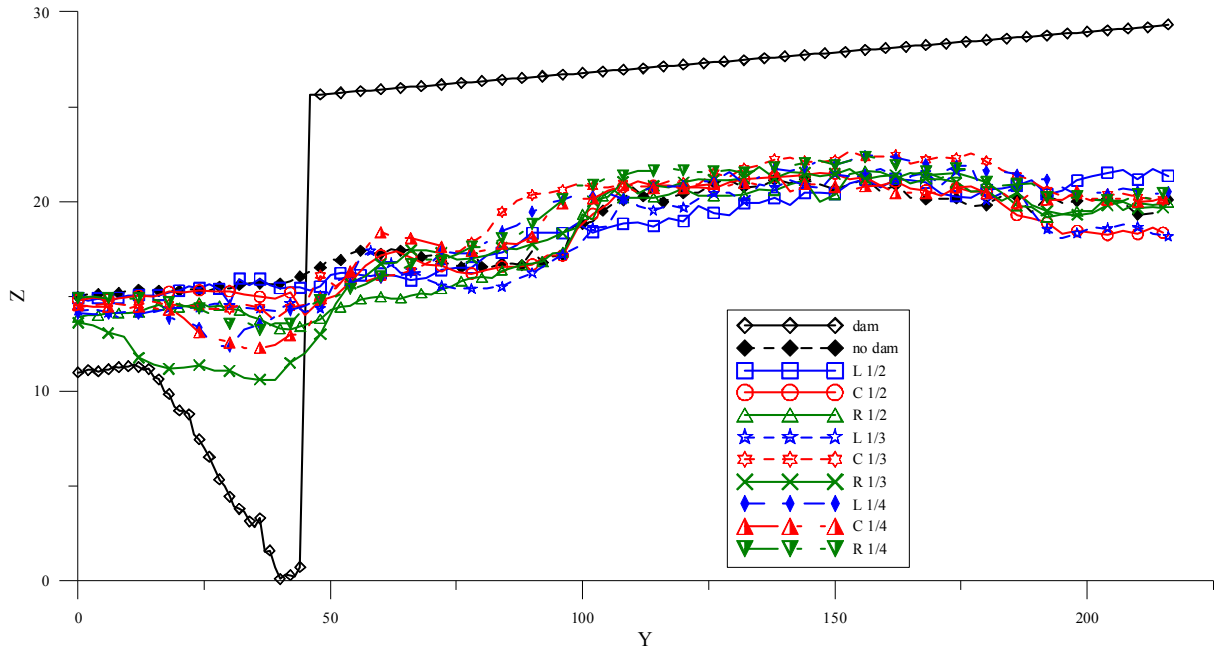


圖 3-42 防砂壩壩體不同改善方案改善前後之縱斷面變化(Q₅₀)

拾壹、試驗結果彙整

綜合上述試驗結果，其試驗研究項目包含了主深槽位置、最大沖刷深度及位置、縱斷面變化三個項目，此節針對這三個評估準則加以說明(表3-12)，並彙整不同流量配置下各個改善方案相對評估準則之狀況(表3-13)。

表 3-12 試驗項目之評估架構表

評估準則	評估說明
主深槽位置	主深槽位置愈接近河道橫斷面中央愈好，對兩岸橫向侵蝕之風險越低。
最大沖刷深度及位置	壩體上游河段之沖刷深度愈小愈好，與其最大沖刷深度位置距兩岸愈遠愈好。
縱斷面變化	河床平均坡降愈緩愈好。

表 3-13 不同洪流量配置下之方案比較表

評估準則 方案	尋常洪流量Q ₂			重現期距流量Q ₅₀		
	主深槽位置(cm)	最大沖刷深度(cm)	河床平均坡降	主深槽位置(cm)	最大沖刷深度(cm)	河床平均坡降
全拆	0.58	8.3	0.048	0.61	9.2	0.051
L 1/2	0.58	8.5	0.028	0.52	10.3	0.027
L 1/3	0.14	11.2	0.033	0.53	11.4	0.023
L 1/4	0.64	8.6	0.020	0.60	10.1	0.032

C 1/2	0.70	9.7	0.036	0.68	12.0	0.025
C 1/3	0.59	9.3	0.035	0.69	11.0	0.032
C 1/4	0.62	9.3	0.038	0.63	10.7	0.037
R 1/2	0.55	10.1	0.036	0.58	12.0	0.048
R 1/3	0.61	9.9	0.035	0.62	11.0	0.036
R 1/4	0.67	10.1	0.030	0.62	11.1	0.035

壹、主深槽位置

1. 50年重現期距流量 Q_{50} 作用下，主深槽流路變遷情形無論何種拆壩方案，其主深槽流路擺盪範圍均大於建槽流量（尋常洪流量） Q_2 。惟長期而言仍以建槽流量為主深槽變遷之主要影響參數。
2. 若壩體改善方案分成拆除左、中、右岸壩體來看，無論在（尋常洪流量） Q_2 及50年重現期距流量 Q_{50} 配置下，皆已拆除左岸壩體為選擇方案，其次為右岸及最差之中間，其中又以拆除壩體左岸 $b/3$ 寬度與拆除 $b/2$ 、 $b/4$ 寬度有明顯差距，故為最佳之改善方案。

貳、最大沖刷深度及位置

1. 建槽流量（尋常洪流量） Q_2 及50年重現期距流量 Q_{50} 最大沖刷深度位置多半集中於斷面 $Y=80\text{cm}\sim 120\text{cm}$ 處（即一號壩上 $70\text{m}\sim 150\text{m}$ 處），改善方案上的較無明顯之差異。
2. 亦將改善方案分成拆除左、中、右岸壩體來看，整體上而言還是已拆除左岸壩體為較理想之選擇方案。

參、縱斷面變化

亦將改善方案分成拆除左、中、右岸壩體來看，無論在高、低流量時，拆除左岸壩體後坡度相較於中、右岸壩體來的平緩，故仍以拆除左岸壩體為較理想方案。

肆、方案選擇

經試驗分析後，且匯整其分析結果，歸納上述三項評估準則之結果，本研究建議以拆除左岸壩體 $b/3$ 之寬度為較理想之改善方案。

第四章、結論與建議

第一節 結論

針對本計劃之工作項目，本研究團隊之研究成果歸納成以下結論：

本研究團隊收集且彙整了櫻花鉤吻鮭之族群特性、魚類河床棲地改善工程及國外相關壩體移除及模型試驗等十數篇文獻。

於本年度7月份進行七家灣溪一號壩上下游河道之調查，並繪製成地形圖，為後續水工試驗模型之工作平台上以作為河道模型之依據，且收集七家灣溪流量站資料進行水文分析，分析了模型試驗之建槽流量（尋常洪流量） Q_2 及50年重現期距流量 Q_{50} 兩種配置流量。

試驗研究設置為採用建槽流量（尋常洪流量） Q_2 及50年重現期距流量 Q_{50} 兩種配置流量，搭配全拆、拆左岸、中間及右岸之 $b/2$ 、 $b/3$ 及 $b/4$ 十種改善方案，並針對主深槽位置、最大沖刷深度及位置及縱斷面變化三個評估面向進行分析，匯整其分析結果，歸納上述三項評估準則之結果，本研究建議以拆除左岸壩體 $b/3$ 之寬度為較理想之改善方案。

第二節 建議

建議一

立即可行建議：七家灣溪一號壩壩址週遭生態系統監測之研究

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：

自九十六年度委託研究計畫「七家灣溪壩體改善研究評估」中，研究團隊已針對七家灣流域上七座防砂壩進行研究評估，且於當年度提出七家灣溪一號壩為優先改善之對象，亦於今年度(九十七年)在逢甲大學土木水利館之水工試驗室進行七家灣溪一號壩壩體改善之試驗研究，其試驗結果為建議以拆除左岸壩體 $b/3$ 之寬度為較理想之改善方案。綜觀前、今年度研究成果及群體計畫中七家灣溪全河道之研究成果，七家灣溪一號壩壩址週遭已有完整之河道與棲地環境資料，相對地，壩址附近之生態環境資料缺乏，亦仍待相關領域專家參與探討，於一號壩改善前建立其生態系統，屆時便可於一號壩改善後，針對壩體改善前後之差異進行研究評估，因此提出「七家灣溪一號壩壩址週遭生態系統監測之研究」。

建議二

中長期建議：七家灣溪一號壩壩體改善前之自然生態防護設施之設置

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：

為防止拆壩初期，防砂壩上游泥沙快速下移至壩下游，破壞生態廊道，長期則可能因向源沖刷，導致上游之二號防砂壩基礎淘刷，因此本研究建議設置自然生態防護設施，以漸次調整河床坡降，並可確保櫻花鉤吻鮭之生態廊道，詳如圖 16 及照片 4 所示。

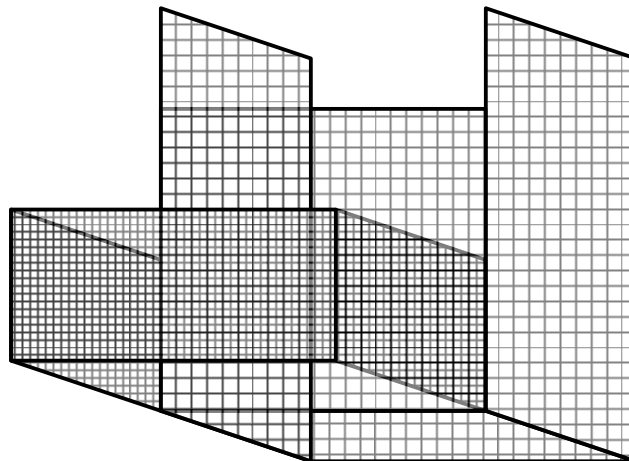


圖4-1 防砂壩改善後砂石柔性調節網

資料來源：「現地河道安裝柔性攔阻網進行土石流防治功效評估」國科會小產學計畫(NSC 95-2622-E-324-009)



(a) 完工時



(b) 攔阻泥砂後

圖4-2 砂石柔性調節網現場照片

資料來源：「現地河道安裝柔性攔阻網進行土石流防治功效評估」國科會小產學計畫(NSC 95-2622-E-324-009)

參考書目

- Auble, G. T., P. B. Shafroth, M. L. Scott, J. E. Roelle. 2007. Early Vegetation Development on an Exposed Reservoir: Implications for Dam Removal. *Environmental Management* 39:806–818.
- Born, Stephen M., Kenneth D. Genskow, Timothy L. Filbert, Nuria Hernandez-Mora, Matthew L. Keefer, & Kimberly A. White, 1998, Socioeconomic and Institutional Dimensions of Dam Removals: The Wisconsin Experience, *Environmental Management* 22(3), pp. 359–370.
- Cantelli, A., M. Wong, G. Parker, C. Paola. 2007. Numerical model linking bed and bank evolution of incisional channel created by dam removal. *Water Resources Research*, VOL. 43, W07436, doi:10.1029/2006WR005621.
- Doyle, Martin W., Jon M. Harbor, & Emily H. Stanley, 2003, Toward Policies and Decision-Making for Dam Removal, *Environmental Management* 31(4), pp. 453–465.
- Grant, Gordon, Chris Bromley. 2007. Geomorphic responses to dam removal: New insights from flume and field experiments. ESA/SER Joint Meeting, August 5-10. San Jose McEnery Convention Center, San Jose, California.
- Poff; N Leroy, David D Hart, 2002, How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal, *Bioscienc*; 52(8), pp. 659-668.
- Pohl, Molly M, 2002, Bringing down our dams: Trends in American dam removal rationales, *Journal of the American Water Resources Association* 38(6), pp. 1511-1519
- Riggsbee, J. Adam. 2007. Effects of Suspended Sediments on Downstream Biogeochemistry following Dam Removal. North American Benthological Society 55th Annual Meeting. June 5, 2007.
- Roberts, S. J., J. F. Gottgens, A. L. Spongberg, J. E. Evans, N. S. Levine. 2007. Assessing Potential Removal of Low-Head Dams in Urban Settings: An Example from the Ottawa River, NW Ohio. *Environmental Assessment* 39: 113–124.
- The Heins Center, 2002, Dam Removal: Science and Decision Making, Washington, D.C.,USA.
- Thomas, William A.. 2005. Sedimentation Studies for Dam Removal Using HEC-6T. Proceedings of Managing Watersheds for Human and Natural Impacts--Engineering, Ecological, and Economic Challenges. Glenn E. Moglen - Editor, July 19–22, 2005, Williamsburg, Virginia, USA
- Whitelaw, Ed, Ed MacMullan, 2002, A framework for estimating the costs and benefits of dam removal, *Bioscienc*; 52(8), pp. 724-730.
- 王海山編，1998，科學方法百科，恩楷有限公司。
- 林曜松，1990：美國棲地改善研習及考察報告，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局，189-196。
- 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。
- 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

七家灣溪一號防砂壩壩體改善之試驗研究

集，臺灣省農林廳林務局，139-188。

張崑雄，1990：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，15-22。

曾晴賢，1997：櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估，內政部營建署雪霸國家公園管理處委託計畫，國立清華大學生命科學系。

葉昭憲、段錦浩、連惠邦，1998，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

葉昭憲、段錦浩、連惠邦，1999，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(二)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

葉昭憲、段錦浩、連惠邦，2000，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(三)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

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)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

葉昭憲、段錦浩、連惠邦，2002，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(五)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

葉昭憲，2003，高山溪河道變化及物理棲地調查研究，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

葉昭憲，2004，高山溪河道變化及物理棲地調查研究(二)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

葉昭憲，2005，武陵地區長期監測暨生態模式建立—環境改變對河道地形及物理棲地變化趨勢之影響，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

林幸助等(葉昭憲)，2006，武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

林幸助等(葉昭憲)，2007，武陵地區長期生態監測暨生態模式建立(二)，雪霸國家公園管理處研究計畫期中報告。

林幸助等(葉昭憲)，2007，武陵地區長期生態監測暨生態模式建立(二)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

葉昭憲、段錦浩、連惠邦，2007，七家灣溪壩體改善研究評估，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。

林基源，2007，現地河道安裝柔性攔阻網進行土石流防治功效評估，行政院國家科學委員會補助提昇產業技術及人才培育研究計畫，18-22。