

「七家灣溪一號壩壩體改善後河道環境衝擊評估」
期末報告

雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國一〇一年十二月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

「七家灣溪一號壩壩體改善後河道環境衝擊評估」

受委託者：財團法人成大研究發展基金會

研究主持人：王筱雯

執行單位：國立成功大學水利及海洋工程學系

雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國一〇一年十二月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

摘要

七家灣溪一號壩於 2011 年 6 月初完成左側壩體移除工程，移除後的數月內，向上游之溯源侵蝕由跌落點開始以拋物面狀的方式向上游傳遞，而壩下游泥砂堆積範圍持續往下游延伸。壩體拆除對河道可能造成不同層面的衝擊，如庫區泥砂往下游運移而使下游河床抬高、洪水潛勢可能提高、河床上下游流況型態改變、崩塌潛勢改變等。針對上述種種考量，加上七家灣溪一號壩移除過程中為了施工安全而回填之土方材料是否會進一步對環境造成影響，實有必要就整體河道環境進行評估。

本研究計畫以河段區分，針對壩址處、壩上游河段、壩下游河段等三個河段進行探討，進一步對七家灣溪河道環境中因河相改變而對其餘壩體影響潛勢、壩址處堆疊土砂與邊坡土砂穩定、相關已施作護岸工程之影響、與重要活動點之可能影響深入分析。經過評估，壩址處回填土砂及沖刷坑對壩體安全性並無直接影響，壩上游 50 公尺內左右岸土砂幾乎已侵蝕至岸壁處而使部分岩盤裸露，據此道路及管理站安全無虞。壩上游河段，由 2010 至 2012 年拆壩前後之崩塌地及橫斷面調查結果可知，側岸邊坡崩塌於拆壩前後皆發生，降雨觸發等水力因素、河道高程差之重力因素等皆屬於崩塌生成之主要原因。由於七家灣溪側案屬沖積岸壁，因降雨事件而造成之岸壁崩塌乃為合理之河相變動發展，雖因此增加河道泥沙運移量，但較一次大型崩塌所可能造成之更大危害之風險為小。位於壩下游河段之臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心未來若發生如 50 年重現期距以上之颱風，其滿岸流量會造成溢淹危險。期望藉由長期的環境調查與紀錄提供國內壩體改善河相變化之與環境衝擊之重要參考依據。

目錄

摘要.....	I
目錄.....	II
圖目錄.....	IV
表目錄.....	VI
第一章前言.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 工作內容.....	2
1.3 預期目標.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 相關案例.....	5
2.2 拆壩與河道環境相關研究.....	12
第三章 研究區域基本資料.....	15
3.1 環境背景資料.....	15
3.2 基本資料蒐集.....	16
第四章 現地調查.....	22
4.1 泥砂調查.....	22
4.2 斷面調查.....	25
4.3 壩址安全性調查.....	29
4.4 上游其餘壩體調查.....	31
第五章 河道衝擊評估.....	33
第六章 結論與建議.....	44
附錄一 參考文獻	
附錄二 期中簡報審查意見回覆	

圖目錄

圖 1-1 研究範圍	2
圖 2-1 將 Marmot Dam 下游鮭魚撈起.....	6
圖 2-2 壩體移除後即時影像圖	6
圖 2-3 各階段時間序列泥砂含量圖	7
圖 2-4 Clear Creek 歷年洪峰流量	8
圖 2-5 Saeltzer Dam 分別為拆除前後之從北到南俯視圖.....	8
圖 2-6 壩體移除後河相演變時間示意圖	12
圖 2-7 不同泥砂淤積高度與組成運移關係圖	13
圖 2-8 壩體移除後河床變化示意圖	14
圖 3-1 壩體拆除歷程	16
圖 3-2 七家灣溪集水區	17
圖 3-3 七家灣溪流域高程圖	17
圖 3-4 七家灣溪流域坡度圖	17
圖 3-5 七家灣溪流域地質圖	17
圖 3-6 七家灣流域 2001、2002、2009 年崩塌地變遷	18
圖 3-7 七家灣溪桃山雨量測站歷年月平均降雨量圖	19
圖 3.8 賀伯颱風水位歷線圖.....	21
圖 3.9 艾利颱風水位歷線圖.....	21
圖 3.10 海棠颱風水位歷線圖.....	21
圖 3.11 米雷颱風水位歷線圖.....	21
圖 4-1 回填土方變遷	22
圖 4-2 岩盤與崩塌地判釋	24
圖 4-3 七家灣溪一號壩明坑挖掘下游各區粒徑級配比較圖	25

圖 4-4 觀魚台 S41(1K+419).....	28
圖 4-5 管理站 S23(0K+48).....	28
圖 4-6 茶莊 S18-5(0K-484).....	28
圖 4-7 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心 S17-1(0K-880).....	28
圖 4-8 壩體拆除前一號壩下游 (2011/02/27).....	30
圖 4-9 一號壩上游處 (2012/03/09).....	30
圖 4-10 一號壩下游處 (2012/06/27).....	30
圖 4-11 蘇拉颱風後(2012/08/18).....	30
圖 4-12 一號壩殘存壩體壩基現況.....	30
圖 5-1 新舊崩塌地比對.....	35
圖 5-2 生態中心與附近斷面相對位置.....	38
圖 5-3 生態中心河段右側河岸之裸露岩盤與沖積土砂.....	38
圖 5-4 下游河道細砂填縫情形.....	39
圖 5-5 細砂堆積處採樣位置.....	40
圖 5-6 各採驗點之粒徑分佈曲線圖.....	40
圖 5-7 莫拉克風災後崩塌地判釋與集水區內防砂壩分布圖.....	42

表目錄

表 2-1 高山溪與七家灣溪防砂壩興建及改善紀錄表).....	10
表 2-2 高山溪攔砂壩興建及改善紀錄表.....	11
表 3-1 各事件最高水位值及流量推估.....	20
表 4-1 崩塌土砂量估算.....	23

第一章前言

1.1 計畫緣起

為了復育臺灣櫻花鉤吻鮭的棲地連續性，雪霸國家公園處於 2011 年五月底將七家灣溪主流上高度 13 公尺、庫區已淤滿的一號防砂壩進行左側壩體的拆除。一號壩拆除工程進行階段，為了施工安全的考量，施工單位先行對壩體上游之淤砂進行整理與篩選，並回填至壩體下游右岸處，待回填砂石與河道導引後甫以怪手與破碎機進行壩體拆除工程。

壩體移除後的數月內，向上游之溯源侵蝕由跌落點開始以拋物面狀的方式向上游傳遞，根據王筱雯(2011)對七家灣溪河道縱斷面於 2011 年 6 月 30 日調查結果發現，溯源侵蝕終點自拆壩後第一場洪水事件往上游延伸至壩上 250 公尺處後，其侵蝕速度即減緩；而壩下游泥砂堆積範圍持續往下游延伸，壩下游 500 公尺處的淤積形成平坦且緩慢的流況，且主深槽擺盪明顯並偏向右岸，而由於原本淤積於壩體後方之細顆粒被帶往下游，故下游粒徑較拆壩前細化。至於原本因施工安全而堆疊至壩體下游右側之回填材料雖有部分細顆粒已被帶往下游，但多數土方仍留在原處。

根據河道演變模式(Channel Evolution Model)，由於拆壩形成的河川沖淤變化，包括大量泥砂運移、河床上下游型態改變，可能造成上游河道左右河岸坍塌，讓原始河道變寬，切割作用而改變斷面之形狀、淤積之泥砂輸送至下游，增加輸砂量，使得河床部分抬高，且鮭魚生存環境與水質等的重要之物理棲地條件可能會受到衝擊。針對上述種種考量，加上為了施工安全而回填之土方材料是否會進一步對環境造成影響，實有必要就整體河道環境進行評估。

本研究計畫針對壩體移除後上游河床下切與下游河床淤高之影響，進一步對七家灣溪河道環境因河相改變而對壩址處堆疊土砂、其餘壩體影響潛勢、邊坡土

砂穩定、相關已施作護岸工程之影響、與農場活動之可能影響進行分析，期望藉由持續的環境調查與紀錄提供國內壩體改善河相變化之與環境衝擊之重要參考依據。

1.2 工作內容

(一) 工作範圍

本研究預計評估範圍以河段區分，分為七家灣溪一號壩壩址處環境(約壩址上下游各 50 公尺範圍內)、一號壩上游至三號壩之河道環境、與一號壩下游至和平農場之河道環境共三部分，總計約 7 公里，如圖 1 所示。



圖 1-1 研究範圍

(二) 工作項目

1. 壩址處環境評估

(1) 回填土石影響

針對壩體下游右側處所回填堆疊之土方是否會對下游產生衝擊進行評估。

(2) 沖刷坑

針對壩址處之沖刷坑對壩基之穩定性影響進行進一步的探討。

(3) 側岸

針對壩體上游側岸，在壩體改善後如經大型洪水事件之邊坡穩固及安全進行評估。

2. 一號壩上游河道環境衝擊評估

(1) 崩塌潛勢

對河岸舊有崩塌與是否有新生成之崩塌進行評估。

(2) 上游其餘壩體影響潛勢

針對一號壩上游其他結構物於歷經洪水事件後是否因河床下切產生結構安全之影響進行評估。

3. 一號壩下游河道環境衝擊評估

(1) 洪水提高潛勢

針對茶莊、臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心與武陵賓館或相關農場人為活動等重點位置的床型及洪水位變動情形進行探討。

(2) 細粒料填縫

拆壩後下游河道底床質粒徑已觀察到細化現象，細顆粒可能進一步對生態環境造成負面衝擊，產生細粒料填縫問題，因此將對於下游河道之粒徑變化與細粒料填縫之可能影響加以探討。

1.3 預期目標

- (一) 藉由現地調查與評估，了解壩址處、側岸與相關已施作保護工之影響
- (二) 了解河道之崩塌潛勢與對其他結構物之影響
- (三) 透過評估，了解壩體改善後對物理棲地與人為活動之影響
- (四) 依據監測評估資料，提出環境維護與適應性管理之建議

第二章 文獻回顧

2.1 相關案例

有關壩體移除，國外至今已累積無數經驗，這些案例在不同環境背景下之目的，包括壩體老舊的安全顧慮，或原有功能喪失時之重新思考，以提供洄游性魚類通道或擴增魚類棲地之用等。國外的壩體拆除原因，除了生態層面的考量(如暢通魚類洄游通道、棲地與河流生態考量)之外，安全層面(如因壩體老舊或損壞而有安全顧慮)與經濟效益層面(壩體原興建功能已經喪失、原有功能被取代、或功能經評估不符經濟效益)的考量，皆是促成拆除壩體之可能原因(水利署水規所，2010)。

位於美國奧勒岡州 Sandy River 的 Marmot Dam 因發電與供水需求而興建於 1909 年，集水區面積約 1316km²的，其壩高 15m。根據 Stewart and Grant (2005)，Marmot Dam 於拆壩前攔蓄近 75 萬立方公尺的粗細粒徑的泥砂，淤砂坡度向上游延伸了近 3.5 公里。由於 Marmot Dam 隔絕魚類往來的通道造成魚類洄游問題，且在 1989 年時已失去原本的功效，而在 1999 年時，波特蘭電力公司(Portland General Electric, PGE)開始評估將其移除的規畫，一方面為避免潰壩造成的危險，一方面也希望幫助野生鮭魚在 Sandy River 之復育。

Marmot Dam 拆除計劃於 2007 年 7 月 24 日開始。Marmot Dam 的拆除方式主要與建壩時相同。首先將水位降低，於原壩址上游設置以當地土石材質，所堆置成暫時性圍堰(coffer dam)將水導開後，再針對混凝土壩體以炸藥進行爆破，混凝土壩體結構於九月底全數移除。同年 10 月，生物學家先行遷移數百條在影響河道範圍的魚類，移至相關養殖區放置，以免在壩體移除後，泥砂所造成河道濁度標高，使得當地鮭魚的滅亡，如圖 2-1。在 Marmot Dam 壩體拆除後，隨著一

場颱風事件後，上游所堆置成暫時性圍堰將會被侵蝕而倒塌，其歷經過程如圖 2-2 所示(王筱雯，2010)。

由圖 2-3 各階段時間序列泥砂含量圖，可知圍堰被沖毀後的數小時內，泥砂濃度上升，但約 12 小時後，則趨於回穩。根據調查，魚類往上洄游多了近 150 公里的棲地可供利用，已在原壩址上游發現為數不少的鮭魚(王筱雯，2010)。



圖 2-1 將 Marmot Dam 下游鮭魚撈起

(<http://www.marmotdam.com/>)



圖 2-2 壩體移除後即時影像圖 (<http://www.marmotdam.com/>)

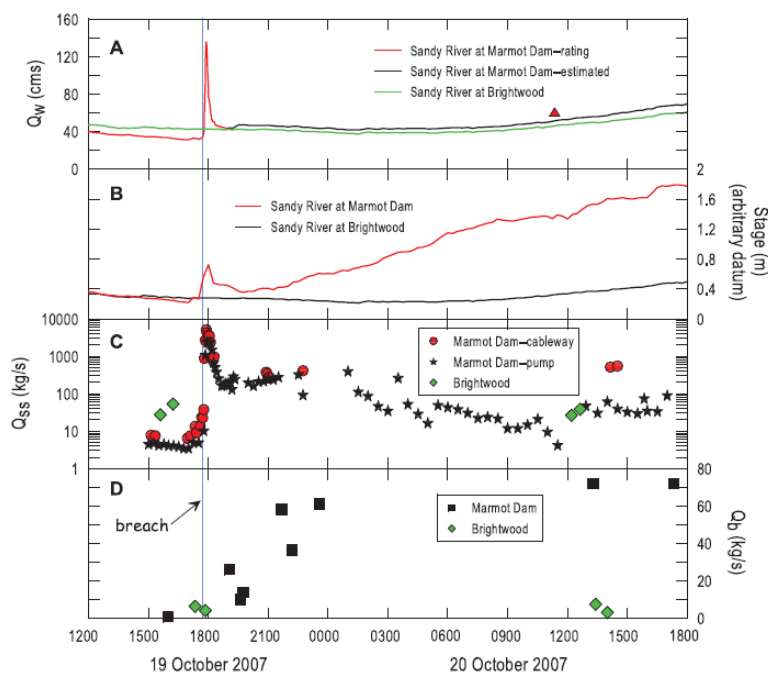


圖 2-3 各階段時間序列泥砂含量圖(Cui et al., 2006)

國外另一案例為一條 56 公里長 Clear Creek，其流經美國加州 Trinity River 以及 Sacramento River，其流域面積為 278 平方公里，Clear Creek 為盆地地形其氣候為地中海氣候，幾乎所有的降雨以及洪水都集中在冬季，但由於水庫興建的調節作用，使得整個河川流態被迫改變。

Saeltzer Dam 位於 Clear Creek 與 Sacramento River 的交匯口上游約 9.6 公里處，其壩體為混凝土重力式結構，於西元 1912 年完工，約 5 公尺高、10 公尺長。Saeltzer Dam 壩高雖不高，但其興建仍對魚類構成了遷移的阻絕且影響泥砂向下游傳輸之連續性。雖然相關單位過去曾試過多種包括魚梯和隧道方法來改善魚類洄游的通道，但都未見成功。再者，Clear Creek 上位於 Saeltzer Dam 上游約 16 公里位置的 Whiskeytown Dam 於 1963 年完成，壩體的建造大大降低 Clear Creek 的洪峰流量(如圖 2-4 所示)。

Saeltzer 壩體移除是 Clear Creek 復育計畫的其中之一。其他復育工作包括將產卵礫石搬移至較下游，並實施水土流失防治方案等，以恢復 Clear Creek 河的自然形態和功能。Saeltzer 壩於 2000 年秋季移除 (Vovakes, 2000)，圖 2-6 為壩體

拆除前後的照片。根據美國墾務局(Bureau of Reclamation, 2000)等研究的觀察，在 SaeltzerDam 壩體移除後 Clear Creek 上游約 2 萬 5 千立方公尺泥砂隨著時間進行調整。

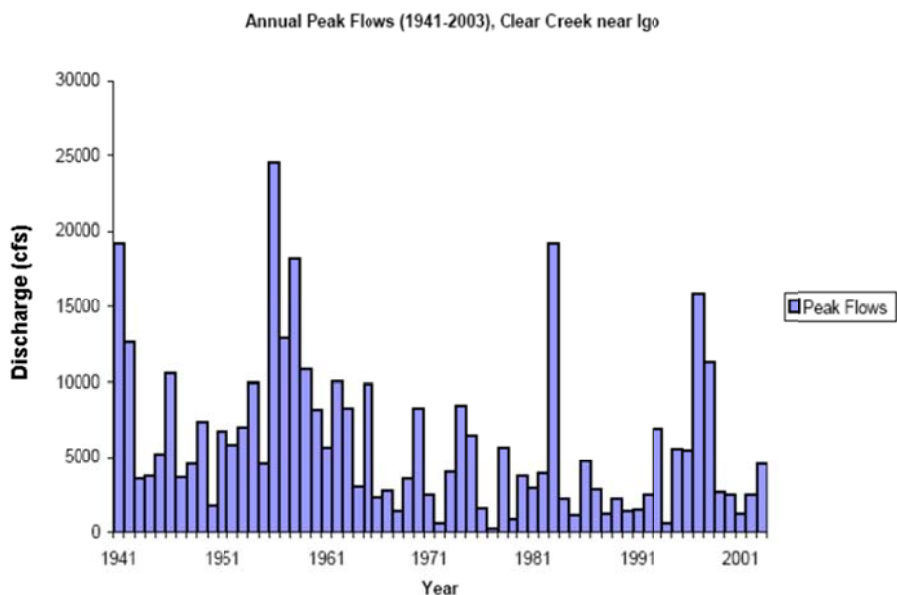


圖 2-4 Clear Creek 歷年洪峰流量(McBain et al., 2006)



圖 2-5 Saeltzer Dam 分別為拆除前後之從北到南俯視圖(McBain et al., 2006)

除了多數成功的拆壩案例之外，國外亦有些失敗的案例值得借鏡。本研究團隊主持人參與水利規劃試驗所(2012)相關研究，提及因堰壩存在使得河相及底質改變，導致有機質亦無法往下游傳遞，原本的河溪魚種可能轉為深潭性魚種為優勢，需進行河海洄游的魚類可能消失，外來種魚類也可能因此入侵原有棲地。Pozo et al. (1997)及 Freeman (1964)研究發現：有機質攔蓄於壩體上游，可能造成水體優養化，部分藻類大量滋生並死亡後可能沈降至底床，產生硫化氫等有毒氣體。而 FISRWG (1998)則發現：高含酸水體亦可能轉化原本不可溶的硫化鐵化合物成為可溶性，加速溶解於壩堰上游水體中，因而造成水體的重金屬污染。許多研究也發現，即使加入魚道或魚梯這樣的補償措施，只能部分改善魚類族群，因為可能有部分魚種軀體太大或太小，以致於無法適用設計好的魚道(Dadswell, 1996)。Marks (2007)研究提到，工程人員於 1973 年拆除哈德遜河上的愛德華茲堡水壩時，發現下游的魚類體內的多氯聯苯濃度開始增加，多年後仍居高不下，乃歸因拆壩時忽略藏在堰壩上游的污泥以及土砂中的污染物，時至今日，美國政府仍未開放捕撈條紋鱸魚，就是因為魚體中的多氯聯苯濃度偏高之故。

而國內的案例以高山溪四座防砂壩為例。自 1999 年起，雪霸國家公園針對防砂壩阻絕造成鮭魚族群洄游的屏障問題，開始著手評估壩體改善之研究。根據現場調查與水工模型試驗結果，並考量臺灣櫻花鉤吻鮭生態習性、當地氣候因素等，高山溪四座防砂壩於 1999 年 4 月至 2001 年 10 月間陸續被拆除。

為了了解壩體改善對於河道地形變化、棲地組成與鮭魚數量之影響，自壩體拆除之後，雪霸國家公園委託相關單位持續進行監測，相關監測資料顯示，雖然施工期間對於鮭魚棲地產生衝擊，但於壩體改善 3 個月後已恢復以前狀況；且高山溪四號壩於 1999 年 4 月份完成改善後原本生存在三至四號壩河段的鮭魚，有通過四號壩口往上游動的現象。高山溪二至三號壩間河段已逐漸增加之鮭魚數量，顯示上游之族群亦有往下游動現象。高山溪四座防砂壩與七家灣溪一號壩壩體移除相關資訊如表 2-1 與表 2-2 所示。

表 2-1 高山溪與七家灣溪防砂壩興建及改善紀錄表(修改自王筱雯，2010)

壩名	興建時間	壩高 (公尺)	改善年份 (施工期 20 天)	事項
高山溪 第四號	1978.01.15 ~ 1978.05.16	10	1999.04	族群調查發現高山溪鮭魚上溯至破壩上峽谷深潭河段棲息。尤以成鮭為主。
高山溪 第三號	1978.05.16 ~ 1978.06.19	10.5	2000.10	族群調查發現高山溪仍有一半數量的鮭魚棲息於高山溪上游，且已發現自然更新的幼鮭。
高山溪 第二號	1973.12.16 ~ 1974.07.21	14	2001.06	-
高山溪 第一號	1973.12.16 ~ 1974.07.21	14	2001.06	-
七家灣溪 一號壩	1972.04.21~ 1972.09.11	13	2011.06	因為河道窄縮、流速變快的關係，加劇下游兩岸沖刷，因此在一號壩的右側約 30 公尺處設有蛇籠保護工程。

表 2-2 高山溪防砂壩興建及改善紀錄表(修改自王筱雯，2010)

壩體名稱	改善前 廖林彥(2001) 王筱雯(2010)	改善後 廖林彥(2001) 王筱雯(2011)	現況 王筱雯(2010、2012)
高山溪 四號壩			-
高山溪 三號壩			-
高山溪 二號壩			
高山溪 一號壩			
七家灣溪 一號壩			

2.2 拆壩與河道環境相關研究

在河相演變方面，Pizzuto (2002)提出在壩體移除後的數個月內，經由河川劇烈的沖刷因而導致壩體上游區域的左右河岸坍塌，原始淤積之泥砂輸送至下游，隨著沖淤變化的演變，經過數月至數十年的時間後，河床形成新的平衡狀態，圖 2-6 為一簡化表示拆壩後歷經時間變化與各段的河相變化。壩體移除造成河相的變化莫過於壩上游淤積的泥砂的運移情形，泥砂在將以不同的方式和過程逐漸往下游傳遞，其中淤積泥砂的厚度及河床底質粒徑組成，對於拆壩後河相的變化探討佔有很重要的影響力，而其中關鍵的影響因素即為壩高，如同圖 2-7 所示，當淤積泥砂的組成為細粒料泥砂時，溯源侵蝕為主要的侵蝕機制，在低流量的狀態即可以造成細粒料泥砂的沖刷，相反的粗顆粒在低流量的條件下不易被啟動，造成護甲現象的產生，也導致河床上坡度的不連續，形成一連串的跌水現象，若粒徑組成為偏大的礫石，則需有較大的洪水事件，才能造成顆粒的運移(張家豪，2012)。

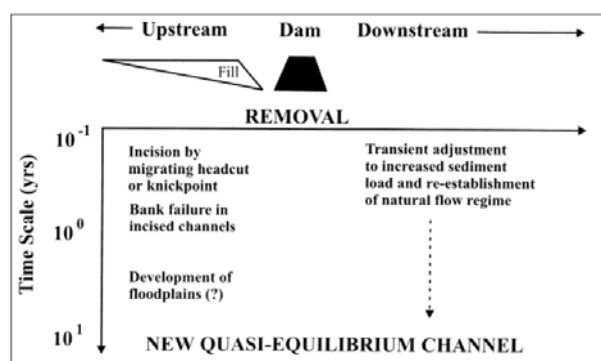


圖 2-6 壩體移除後河相演變時間示意圖(Pizzuto, 2002)

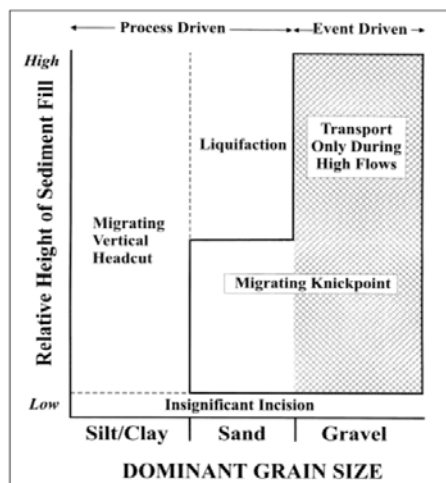


圖 2-7 不同泥砂淤積高度與組成運移關係圖(Pizzuto, 2002)

Pizzuto (2002)更進一步提出壩體移除後，河相變遷的六個階段(圖 2-8)：第一階段為壩體移除前，此時大量泥砂仍沉積在上游且尚未發生沖刷現象，因淤積嚴重，故水深較淺，加上河床坡度最緩，流速也較平穩，及寬廣的水面，形成較穩定的狀態。第二階段為壩體移除後的情形，水面高度急速下降，向下侵蝕力量急速上昇，慢慢沖刷而形成新的河道形狀第三階段因為沖刷造成河床下降，由於河道窄化產生河流向下集中沖刷。第四階段向下侵蝕的力量受到限制而無法繼續向下沖刷，開始向河道兩岸侵蝕，造成渠道加寬。第五階段時，寬度變化不再增加，輸砂能力也因為渠道再次寬淺化而產生淤積，河床底部逐漸升高。第六階段底床在淤積後會重新形成新的渠道，並與未受侵蝕的河岸形成二階的河階地形。植生現象逐漸覆蓋進而發展為穩定的洪氾平原及河道。

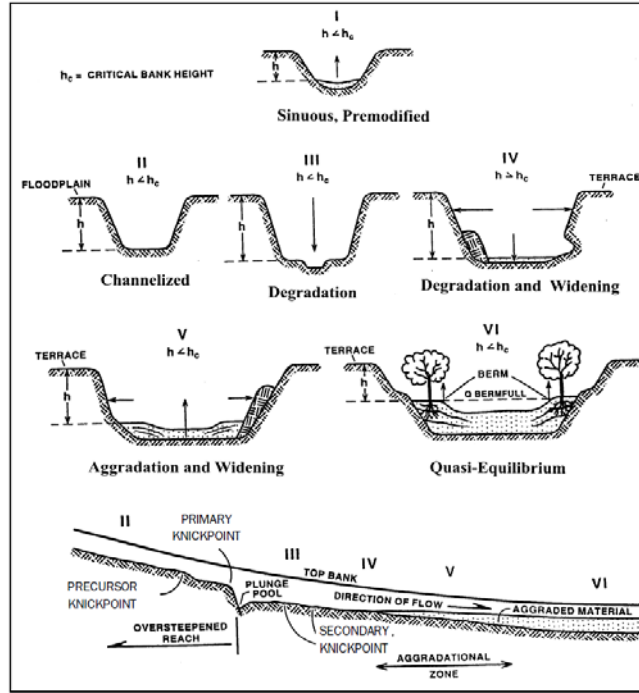


圖 2-8 壩體移除後河床變化示意圖(Pizzuto, 2002)

第三章 研究區域基本資料

3.1 環境背景資料

位於七家灣溪主流上之一號防砂壩壩基因受水流衝擊掏刷已被破壞，於壩體拆除前有安全上的疑慮，且由於其乃是七家灣溪流最下游的壩體，因此成為鮭魚上溯的第一道屏障。針對一號壩的存廢，雪霸國家公園召開多次專家會議，匯集各水利、水土保持、環境及生態等專家之參與以及各單位代表討論之結論，提出「對七家灣溪一號防砂壩壩體進行壩體改善」之決議，並針對一號壩壩體改善的方式、時機、與可能衝擊，雪霸國家公園處就水文與水理、泥砂與河相、生態與棲地、生態檢核評估及保育效益、民意調查等不同面向，委託不同單位進行評估。其中，由成大研究單位(王筱雯，2010)所進行之「七家灣溪一號壩壩體及棲地改善工程－泥砂衝擊物理模型及數值分析」，探討壩體改善後河道泥砂量、泥砂質、泥砂粒徑與河道主深槽等對河防安全與生態棲地之可能衝擊，進一步建議壩體改善之最佳方式。

雪霸國家公園於2011年五月底進行壩體移除工程。於壩體改善施工前先行遷移七家灣溪一號壩影響河段之櫻花鉤吻鮭上百隻並安置於種源庫，以避免壩體改善時河道內濁度過高而危及櫻花鉤吻鮭。壩體改善工程之施工便道位於一號壩上游約250公尺處，使重型機具可以前進至七家灣溪一號壩址處，進行回填與壩體拆除等工程。壩體改善工程施工階段由施工單位先對壩體上游之淤砂進行整理與篩選，以作為右側壩體下方之回填材料，待回填砂石到達壩體右岸約一半高時，將溪流導引至左岸，再繼續進行砂石回填工程，如圖3-1(a)。壩體結構之移除工程乃以怪手與破碎機進行壩體左側1/3壩體之移除，拆除壩體之石料回填於壩體下游右岸處，如圖3-1(b)。圖3-1(c)為壩體改善完工圖，河道較拆壩前已有明顯溯源侵蝕(王筱雯，2011)。

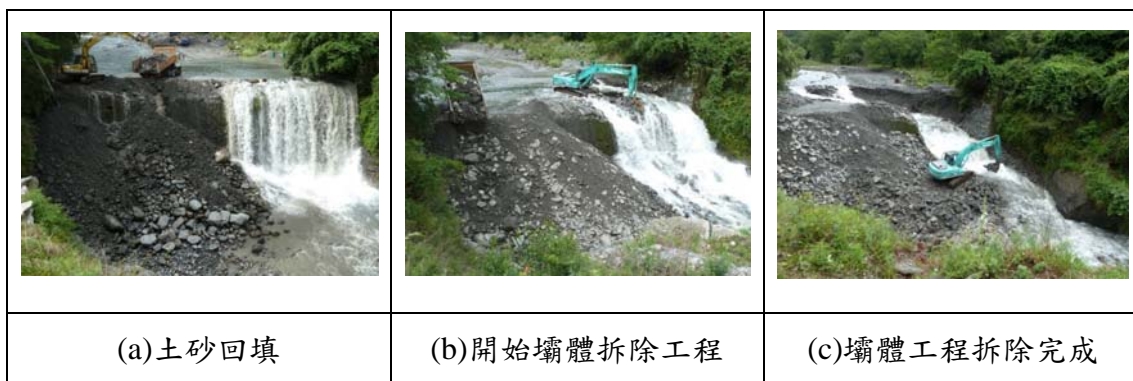
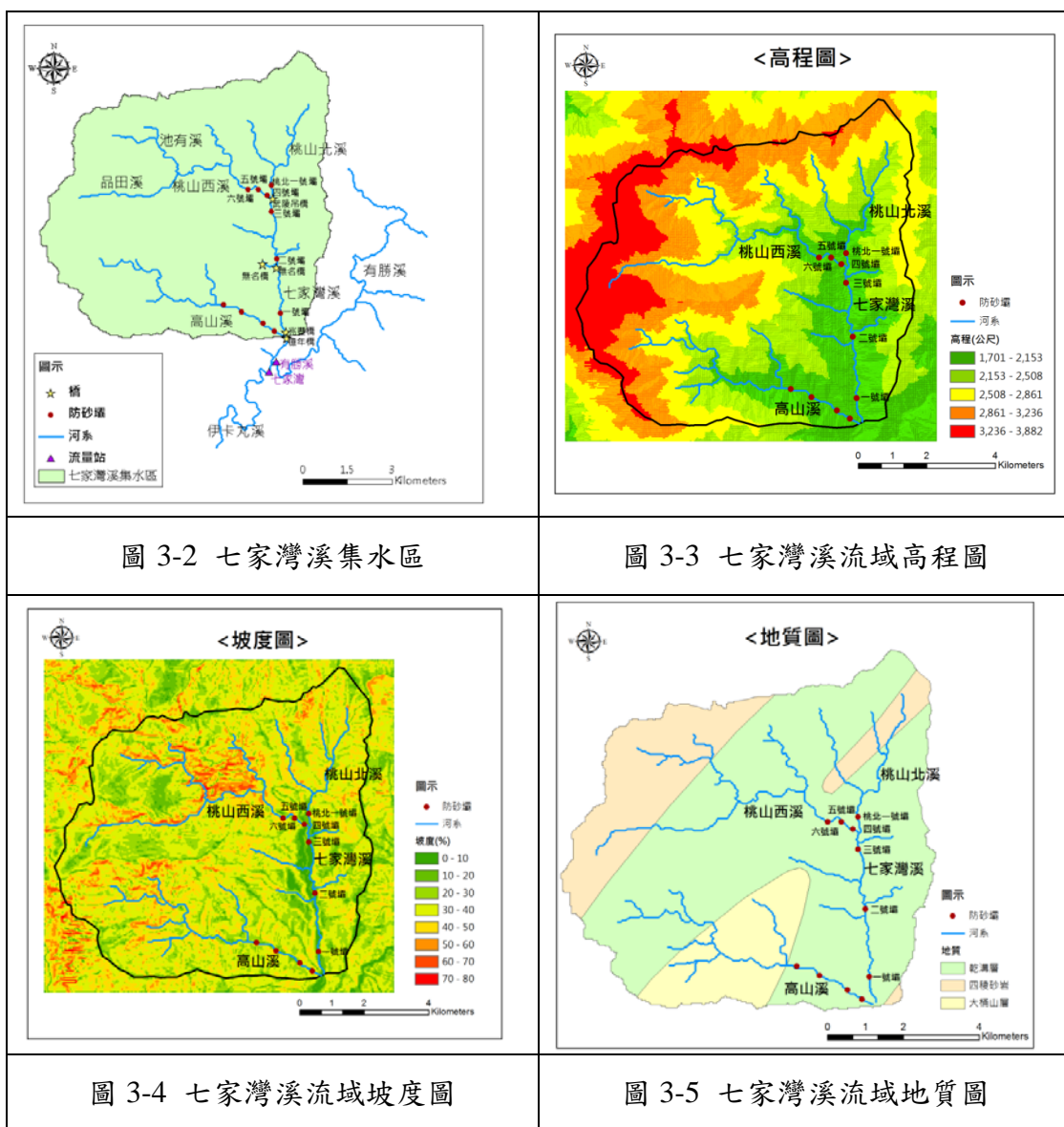


圖 3-1 壩體拆除歷程(王筱雯，2011)

3.2 基本資料蒐集

(一) 地文資料

本計畫之研究範圍，係位於台灣中部地區之武陵農場(圖 3-2)，武陵地區海拔約 1,740~2,100 公尺，是一個由雪山山脈所圍繞而成的葫蘆形狹長谷地。區域中主要溪流為七家灣溪，與有勝溪、司界蘭溪等匯集後即成為大甲溪上游，屬於德基水庫集水區。七家灣河流域面積約為 72 平方公里，總長約 15.3 公里，為大甲溪上游的主要發源地，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)和雪山(又稱興隆山，海拔 3886 公尺)之南側面，各發源地高程皆超過 3000 公尺。西北側的品田溪與池有溪匯入桃山西溪(又稱無名溪)，於武陵吊橋附近與北來的桃山北溪匯集成七家灣溪主流；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，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。七家灣溪平均河寬介於 30 至 150 公尺之間、流域平均高程介於 1650 至 3000 公尺(圖 3-3)；受到各山脈環繞，其流域境內坡度大部份為 55% 以上(圖 3-4)；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 3-5)，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 2~4m 以上的面層屬礫石、塊岩層，下方為灰、棕黃色的砂岩互層。七家灣河流域坡向分布十分平均(葉昭憲，2007、2008；王筱雯，2010)。



資料來源:王筱雯，2010

在土地利用方面，為配合臺灣櫻花鉤吻鮭保育計畫之實施，武陵遊憩區之規劃以武陵農場南谷為主，範圍內大部分為武陵農場管有土地，除遊憩區南側及七家灣溪岸，維持原始自然景觀外，皆為農場現有設施。武陵農場內土地除部分放領予場員私有外，其餘均屬國有(包括建地、農業用地及道路)。本區內除農業、遊憩外，無其他產業活動，社會、經濟活動非常有限(王筱雯，2010)。

王筱雯(2010)蒐集研究區域崩塌地相關資訊，根據成功大學防災中心利用衛星航照圖判釋 2001、2002、年與 2009 年莫拉克風災後崩塌情形可知，七家灣溪流域崩塌情形集中於集水區更上游源頭地區，且 2002 年崩塌地數量較 2001 年多(如圖 3-6)。

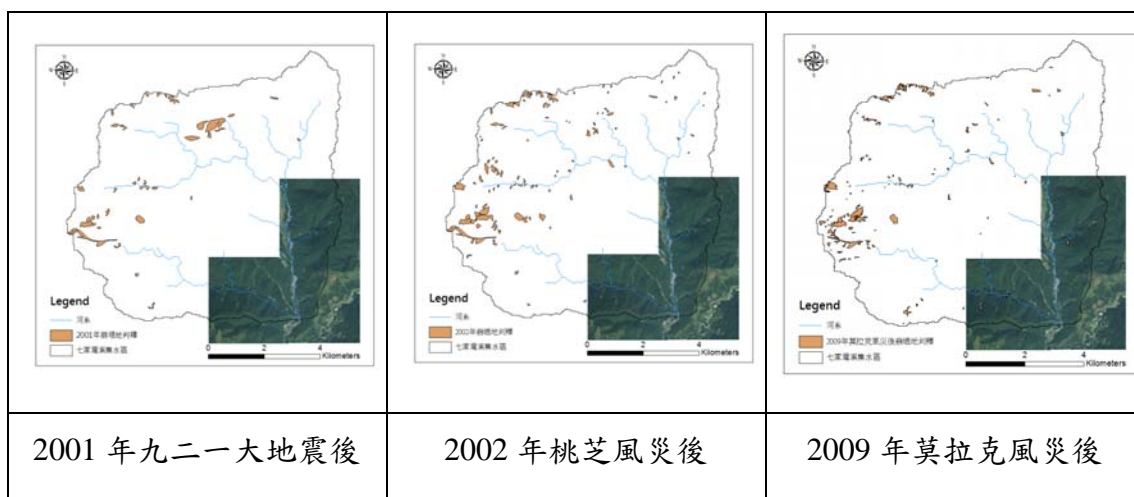


圖 3-6 七家灣流域 2001、2002、2009 年崩塌地變遷(王筱雯，2010)

(二) 水文資料

本區年平均氣溫為 15°C 左右；平均年降雨量約為 2006 公釐左右，最大累積降雨曾達 3250 公釐左右，最小累積降雨約 767 公釐左右。桃山雨量測站為氣象局所紀錄距七家灣溪之最近雨量站，自 1970 至 2009 年歷年月平均降雨量的紀錄如圖 3-7 所示。七家灣溪流域內設有流量站兩站，分別為台電之有勝溪流量站與七家灣溪流量站。有勝溪流量站位於有勝溪，流域面積為 31.12 平方公里，流量資料由 1994 年開始紀錄至今，最大瞬時流量為 233.95cms (2007/10/06)；七家灣流量站位於伊卡丸溪，流域面積 110.71 平方公里，流量資料由 1964 年開始紀錄至今，最大瞬時流量為海棠颱風期間之 884.70cms (2005/07/18)。

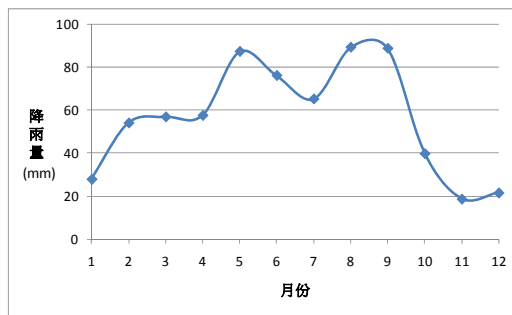


圖 3-7 七家灣溪桃山雨量測站歷年月平均降雨量圖(王筱雯，2010)

王筱雯(2011)於七家灣溪一號壩上游 1.2 公里至下游 1.8 公里監測範圍內共設有水位測站三處，設置地點分別為觀魚台右岸處、兆豐橋及萬壽橋上。本計畫蒐集拆壩前三次重要歷史颱風事件(包括賀伯、艾利與海棠)與拆壩後至今所經歷之五次大型降雨事件所造成大幅變化之水位資料，並重新整理 1981~2009 年七家灣溪流量站當年度實測最大瞬時流量資料後進一步進行流量頻率分析，得出不同重現期距之洪水流量。根據七家灣流量站 2011 年水位流量率定曲線，茲將萬壽橋所測得各事件最高水位值、以面積權重推估各點位之流量值、及所對應之重現期距年整理如表 3-1。賀伯、艾利、海棠、米雷颱風之時水位歷線如圖 3.8 至 3.11。

表 3-1 各事件最高水位值及流量推估

降雨事件	日期	萬壽橋 最高水 位(m)	七家灣站 流量(cms)	生態中心 流量(cms)	一號壩流 量(cms)	重現期 距(年)
賀伯颱風	1996/7/29	N/A	395	297	230	10
艾利颱風	2004/8/23	N/A	510	383	297	10
海棠颱風	2005/7/16	N/A	844	634	491	50
辛樂克颱風	2008/9/11	N/A	482	362	280	10
薔密颱風	2008/9/26	N/A	325	244	189	5
米雷颱風	2011/6/25	1.40	34	26	20	1.11
東北季風	2011/10/3	1.42	36	27	21	1.11
梅雨	2012/6/12	2.79	139	104	81	2
泰利颱風	2012/6/25	1.46	38	29	22	1.11
蘇拉颱風	2012/8/2	4.75	403	303	234	10

備註：賀伯、艾利及海棠颱風瞬時流量資料係由台灣電力公司提供

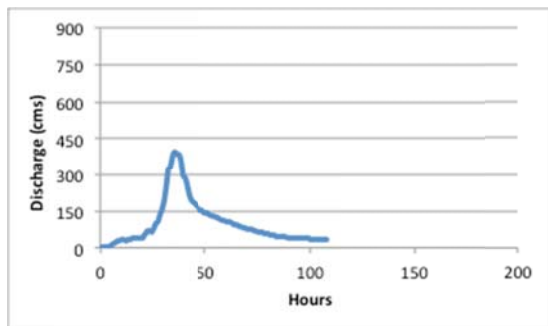


圖 3.8 賀伯颱風水位歷線圖

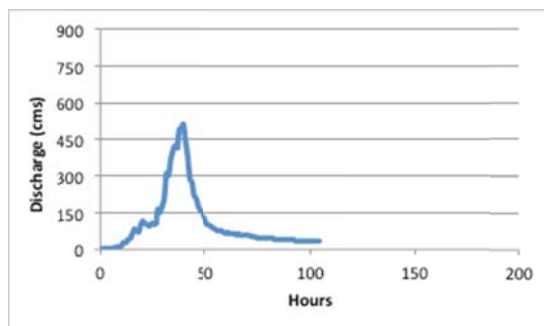


圖 3.9 艾利颱風水位歷線圖

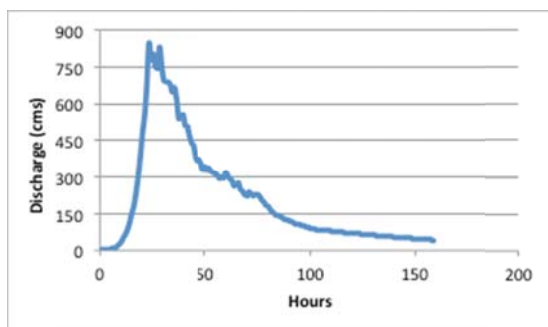


圖 3.10 海棠颱風水位歷線圖

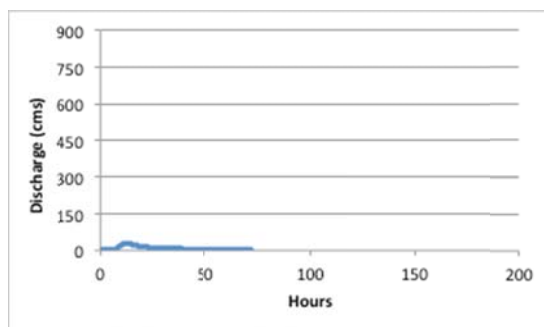


圖 3.11 米雷颱風水位歷線圖

第四章 現地調查

現地監測為河道環境衝擊評估之基礎，本計畫之現地監測項目及目前之結果如下：

4.1 泥砂調查

1. 回填土砂

七家灣溪一號壩拆除後至今一年多，拆壩期間因施工安全所堆置於壩址處之回填土石，於回填期間並無任何土方量資訊記錄，經本研究之估計(如圖 4-1)，總量約 1000 立方公尺。根據現場調查，原本壩下沖刷坑位置已被回填土方所填滿，土方量體之大小與其後續隨著洪水事件直接相關，2011 年 6 月米雷颱風後可發現壩上游土砂被帶往下游，但回填土方量減少量不明顯(圖 4-1a)；2012 年 6 月梅雨、泰利颱風後近壩體拆除缺口處雖有部分回填土方被帶往下游，但大部分仍留在原處(圖 4-1b)；2012 年 8 月蘇拉颱風後，被帶往下游之回填土方量明顯，從壩體拆除至今被帶往下游的土方量估約 770 立方公尺，目前剩約 200 立方公尺土方量堆積於壩址處(圖 4-1c)。



圖 4-1 回填土方變遷 (a) 米雷颱風後 (b) 梅雨、泰利颱風後 (c) 蘇拉颱風後

2. 崩塌地與岩盤判釋調查

有關河道崩塌地與岩盤判釋調查，本研究於 2012 年 9 月 9 日至 15 日進行為期七天之現場實勘，調查內容包含邊坡崩塌位置之確認、崩塌範圍之界定與岩盤狀態紀錄，調查範圍涵蓋七家灣溪一號壩上游 1.2 公里至下游 1.8 公里之區域。

本次調查結果共計有邊坡崩塌 7 處及岩盤外露區域 21 處，分布位置如圖 4-2(a) 與 4-2(b)，壩上游左岸 500 公尺處崩塌之現地照片如圖 4-2(c)。由結果可知崩塌地大多集中於壩上游 500 公尺內，而下游僅兩處崩塌。總崩塌面積單位深度土砂量估約 11,712 立方公尺，其估算是以崩塌面積乘上假設崩塌單位深度 1 公尺。各崩塌地位置、尺寸及估算量如表 4-1 所示。至於岩盤部分，壩體拆除前，可明顯發現七家灣溪一號壩下游左右岸之連續性岩盤裸露，壩體拆除後，壩上游左右岸經歷數場大小不一的洪水事件後岩盤出露。

表 4-1 崩塌土砂量估算

距離 (公尺)	崩塌面積 (平方公尺)	單位深度 (公尺)	單位深度土砂量 (立方公尺)	備註
0K+425	2181	1	2181	上游左岸邊坡
0K+350	890	1	890	上游左岸邊坡
0K+310	579	1	579	上游左岸邊坡
0K+250	5990	1	5990	上游左岸邊坡
0K+115	1878	1	1878	上游左岸邊坡
0K-50	155	1	155	下游左岸邊坡
0K-150	39	1	39	下游左岸邊坡

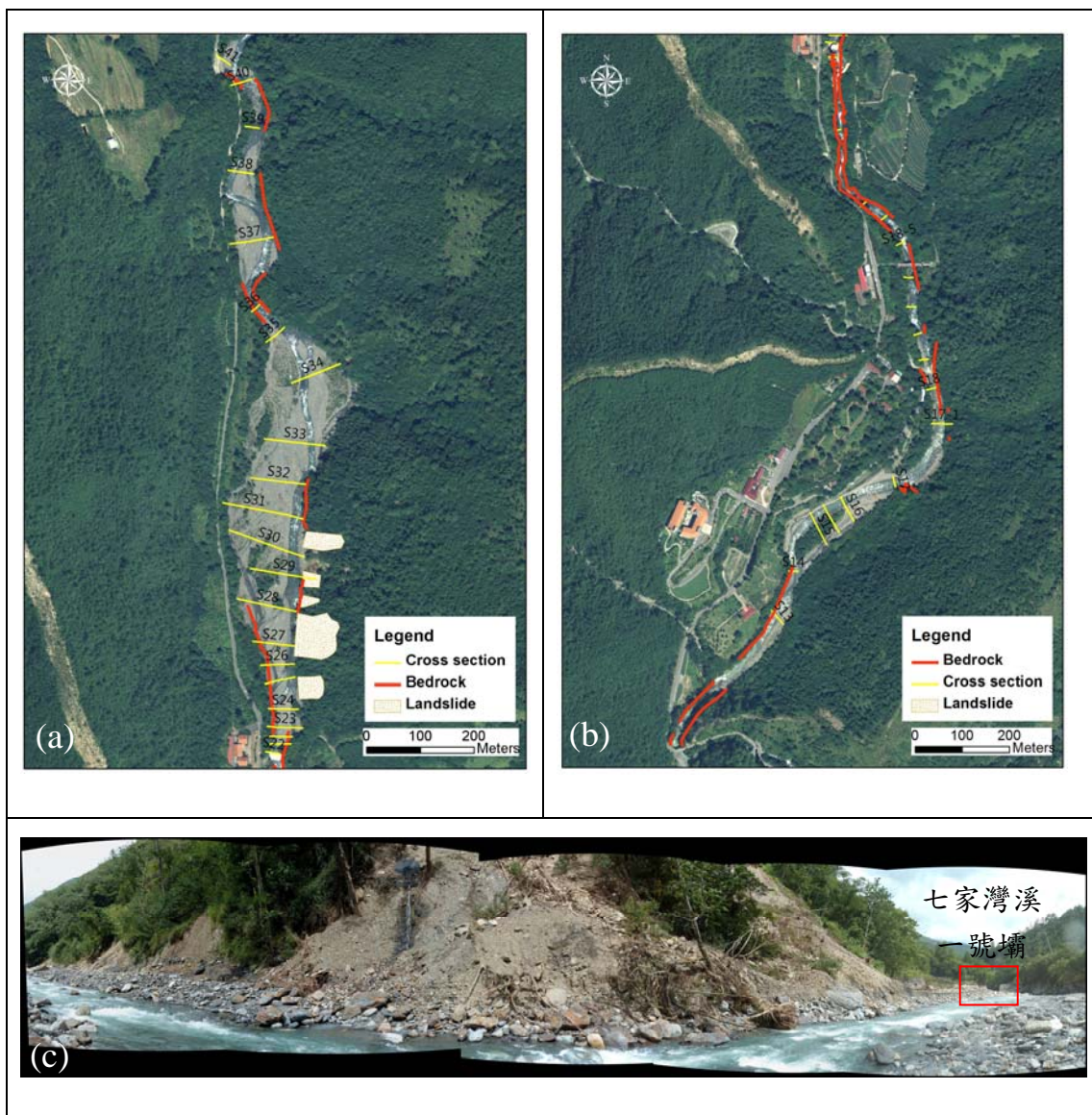


圖 4-2 岩盤與崩塌地判釋 (a) 上游崩塌及岩盤裸露區域 (b) 下游崩塌及岩盤裸露區域(c) 壩上游五百公尺左岸崩塌現地照片

3. 明坑採樣

為了解河道泥砂粒徑分布之改變，王筱雯(2011)於壩體拆除後(2011年7月10日)針對七家灣溪一號壩上下游一公里處以及下游五百公尺處等共三處進行1公尺×1公尺×1公尺的主河道明坑挖掘採樣，採樣與粒徑分析方式乃根據水土保持技術規範第37條之規範，並進一步與拆壩前(2010年7月19日)採樣成果進行比對(王筱雯，2011；王筱雯、郭偉丞，2011)。本研究團隊主持人參與水利規劃

試驗所(2012)相關研究，進一步於壩體拆除一年後(2012年7月25日)針對七家灣溪一號壩下游五百公尺、一公里處進行主河道明坑挖掘採樣。由粒徑分析結果可知下游五百公尺處之代表粒徑 $D_{50}=75\text{mm}$ ($D_{30}=25\text{mm}$)；下游一公里處之代表粒徑 $D_{30}=37.5\text{mm}$ 。

壩體拆除前後河道內下游一公里內泥砂粒徑級配比較如圖 4-3。由下游五百公尺處的粒徑分布可明顯看出壩體拆除一年後，細顆粒泥砂歷經數次降雨事件後被帶往更下游，因此造成河道粗化現象。至於在下游一公里處，由於 2010 年及 2012 年兩次採樣點皆位於高灘地上，並未受水文事件影響且植生密布，粒徑級配曲線幾乎完全沒有變化。

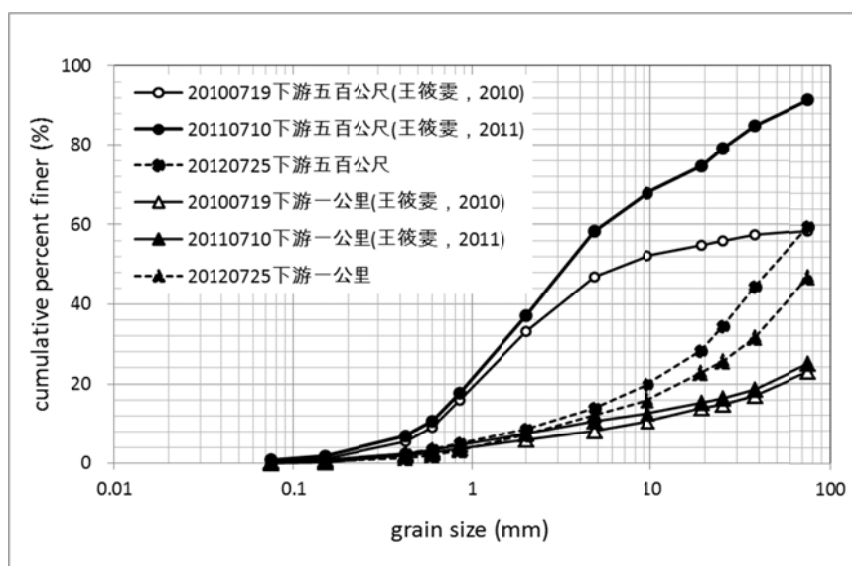


圖 4-3 七家灣溪一號壩明坑挖掘下游各區粒徑級配比較圖

4.2 斷面調查

就壩體上下游河道部分，上游之縱向侵蝕可能會衝擊影響河段內之結構物、側向侵蝕則可能會對邊坡穩定或道路安全帶來影響，進一步可能改變之崩塌潛勢，而下游淤積導致河床抬升可能提高洪水潛勢。本研究以王筱雯(2010)所建立之斷面配置基礎進一步於 2012 年 9 月(蘇拉颱風後一個月)針對觀魚台(S41)、武陵管

理站(S23)、武陵茶莊(S18-5)、臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心(S17-1)等四重點區域進行斷面量測(如圖 4-2)，並配合崩塌地與岩盤位置進行衝擊評估。

觀魚台所在斷面為 S41(如圖 4-4)，距離一號壩往上游 1419 公尺。根據王筱雯(2011)，2011 年 5 月 11 日與 2010 年 4 月 11 日之兩次壩體拆除前量測結果相比，主深槽位置淤高約 0.4 公尺，可能是上游崩塌所帶來的土砂堆積於此。2012 年 2 月 13 日因米雷颱風與東北季風降雨影響，泥砂因沖刷帶至下游，導致此斷面產生侵蝕的現象；2012 年 8 月蘇拉颱風為七家灣溪壩體拆除後所經歷最大的降雨事件，本研究於 2012 年 9 月 11 日量測結果可看出距右岸 10~25 公尺間河道有明顯沖刷情形發生，最大沖刷深度約 0.6 公尺，左岸的主深槽則無明顯的變化，河道兩岸則無明顯的變化，亦無崩塌潛勢。

武陵管理站所在斷面為 S23、S22 及 C 斷面，S22 斷面為壩址處，C 斷面兩岸皆為岩盤，因無側向侵蝕及下刷之潛勢，故討論斷面 S23(如圖 4-5)，S23 斷面約在壩體上游 48 公尺處，拆壩後一個月的米雷颱風造成大量泥砂縱向侵蝕，下刷深度約 5 公尺，而左右岸邊則僅有些微沖刷。底床繼續下刷至一定程度後，由現地的觀察可知未能被帶走之泥砂已屬大粒徑，導致後續的淘刷情形並未太嚴重。泰利颱風後，除主深槽向下刷深約 1.1 公尺外，河道亦發生側向侵蝕，侵蝕距離右岸約 7 公尺，左岸約 2 公尺。蘇拉颱風後，本研究於 2012 年 9 月 11 日量測結果可看出主深槽僅下刷 0.3 公尺，側向侵蝕致右岸岩盤出露，左岸側向侵蝕 14 公尺引致河岸崩塌，崩塌土方堆積於原主深槽，造成主深槽向右岸移動。

武陵茶莊所在斷面為 S18-5(如圖 4-6)，約在一號壩下游 484 公尺處。由壩體拆除前之 2010 年 4 月 11 日與 2011 年 5 月 11 日兩次結果相比，可看出右岸至河床中央部分有些微的淤積，左岸則有侵蝕的現象，壩體拆除後之 2012 年 2 月 13 日調查可知河道中央有淤積現象，最大淤積高度約達 0.5 公尺，顯示拆壩下游淤積影響段已達 500 公尺。本研究於蘇拉颱風後 2012 年 9 月 11 日進行量測，結果可看出主深槽高程約抬升 1 公尺。

臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心所在斷面為 S17-1(如圖 4-7)，約在一號壩下游 880 公尺處。由圖中可發現壩體拆除前(2011/5/25)至壩體拆除後(2012/2/13)，期間經歷米雷颱風、東北季風之大型降雨事件，河道並無明顯沖淤情形發生，顯示此斷面尚未受到壩體拆除後的影響。蘇拉颱風後，本研究於 2012 年 9 月 11 日量測結果可看出距右岸 17~40 公尺有明顯的淤積，淤積量最高達 2 公尺，左右岸邊也有少許淤積現象，主深槽高程約抬升 1 公尺，由此可知下游淤積影響段已從 500 公尺延伸至 900 公尺。

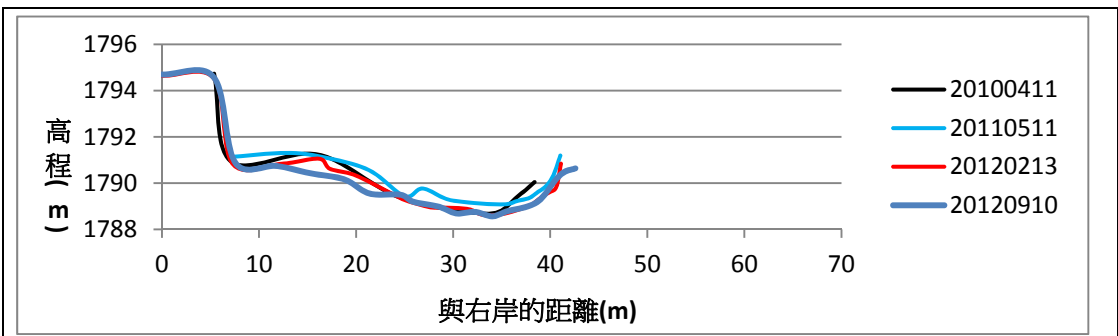


圖 4-4 觀魚台 S41(1K+419)

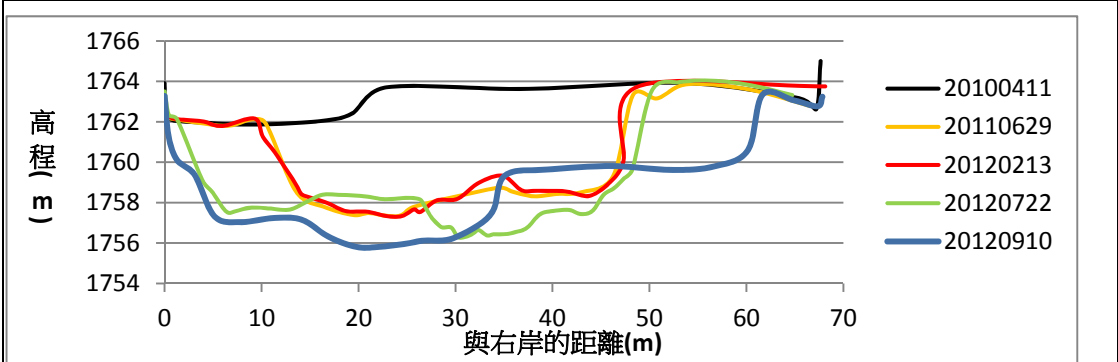


圖 4-5 管理站 S23(0K+48)

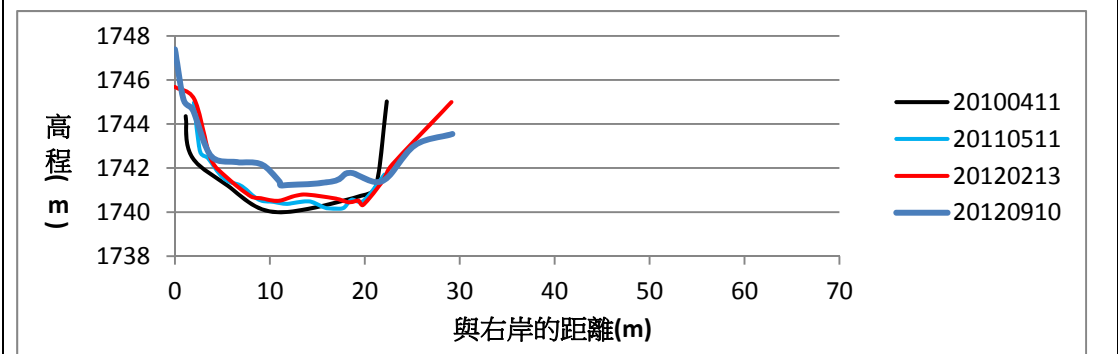


圖 4-6 茶莊 S18-5(0K-484)

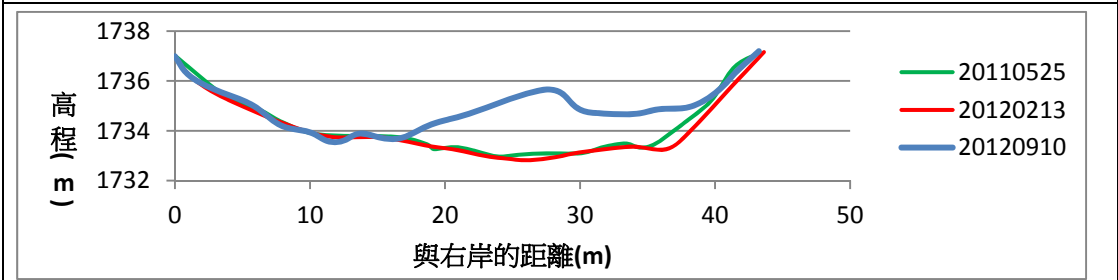


圖 4-7 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心 S17-1(0K-880)

4.3 壩址安全性調查

七家灣溪一號壩拆除前，壩址下游右岸基礎及壩下，因長年受到沖刷，已形成明顯沖刷坑(如圖 4-8)，初估右岸沖刷坑深度達 3~4 公尺，壩體正下方沖刷坑深度亦達 2.5~3 公尺 之譜(王筱雯，2010)。本研究於今年之不同時期記錄沖刷坑之變化，以作為了解其與壩體安全之基礎。壩體拆除後至 2012 年梅雨、泰利颱風(2012/06/20)事件前，於一號壩上游左岸約 3 公尺處及壩體正下方有兩處明顯沖刷坑：上游處之沖刷坑產生原因應為上游左岸約 3 公尺處大型岩石堆積於此沖刷坑形成處上方，而之前所經歷之大水事件並無足夠能量將之啟動，因此經一段時間，細粒料遭掏刷，而產生沖刷坑，如圖 4-9 所示，直至梅雨、泰利颱風後，此造成沖刷坑之大石頭被較強之水流帶往下游，沖刷坑已不復見；至於壩體下游沖刷坑產生原因，則應為壩體改善工程並未將壩體結構拆至壩基，後因水流流經壩體束縮斷面而產生跌水，使得此處掏刷，如圖 4-10，而後 2012 年 8 月蘇拉颱風所帶來的洪水挾帶土石將拆壩缺口處之壩基沖毀，導致沖刷坑上溯約 5 公尺，其範圍雖變大、但沖刷深度趨緩，如圖 4-11。

至於一號壩右側殘存壩體之壩基結構部分，其現況如圖 4-12，由圖可看出其近左側拆口切面處之下方底床於壩體移除前即已被掏蝕所形成沖刷坑之狀況，由於自壩體表面直接向下之水流衝擊因拆壩後已緩解，此處沖刷坑目前屬穩定。而往右岸靠近道路之壩體基座結構較為完整，加上壩址處右岸為連續性岩盤地形，因此壩基安全性目前不致對管理站造成威脅。

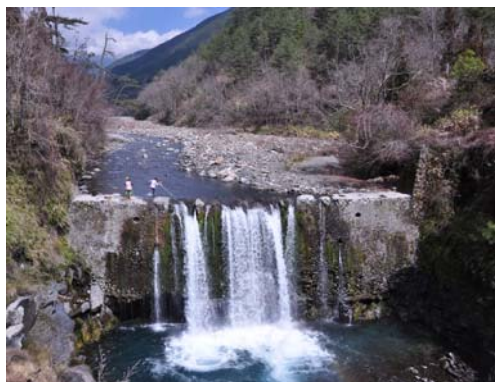


圖 4-8 壩體拆除前一號壩下游
(2011/02/27)



圖 4-9 一號壩上游處 (2012/03/09)



圖 4-10 一號壩下游處 (2012/06/27)



圖 4-11 蘇拉颱風後(2012/08/18)



圖 4-12 一號壩殘存壩體壩基現況

4.4 上游其餘壩體調查

七家灣溪一號壩上游有數座防砂壩(圖 3.1)，距離最近之結構物乃為距離約 2.8 公里之二號防砂壩，其原壩高約 11 公尺(林務局，1991)，不過壩體卻因基盤淘蝕的問題，在 2004 年七月歷經雷馬遜(Rammasun)與納克莉(Nakri)兩個颱風所帶來豪雨侵襲後而毀損(葉昭憲，2007)。續往上游之結構物乃為距一號壩 4.3 公里之三號防砂壩，位於桃山西溪與桃山北溪匯流口處，其壩高約 10.4 公尺(林務局，1991)，壩體仍完整，僅右岸處有個小缺口。壩下游河道窄縮及坡降變大，導致下游兩岸被淘刷的情況愈趨嚴重，土石崩落的情形也愈多(葉昭憲，2007)，於 2004 年艾利颱風後壩下游河道嚴重下刷，葉昭憲(2007)進行七家灣溪各壩體現況調查，所紀錄之壩高為 23 公尺，代表壩下游河道已下刷約 12 公尺，如圖 4-12a。本研究進一步於 2012 年 11 月前往七家灣溪三號壩進行壩體現況調查，壩體狀況仍良好，壩下游河道現狀如圖 4-12b，由圖中可看出左岸崩塌土砂已被帶走而使岩盤裸露，左岸岩盤底部已被掏刷而露出，顯示河道仍有持續下刷情形。至於續往上游之七家灣溪四號壩位於桃山西溪上游距三號壩約 100 公尺，其壩高 13 公尺(林務局，1991)，2007 年壩體狀況與 2012 年現況如圖 4-13，可由圖中看出，壩體僅右側刮蝕缺口擴大，壩體狀況整體仍良好。



圖 4-12 七家灣溪三號壩下游 (a) 2007 年(葉昭憲, 2007) (b) 2012 年(本研究拍攝)



圖 4-13 七家灣溪四號壩 (a) 2007 年(葉昭憲, 2007) (b) 2012 年(本研究拍攝)

第五章 河道衝擊評估

本研究計畫以河段區分，針對壩址處、壩上游河段、壩下游河段等三個河段在目前之調查成果下之河道環境可能衝擊進行評估，茲分述如下：

(一) 壩址處環境評估

1. 回填土石

自壩體移除施工階段至今年九月份已經歷五場大水事件，特別是約十年頻率洪水的蘇拉颱風，估計約造成 770 立方公尺的土砂量被帶往下游，然而此土砂量與溯源侵蝕土方量及崩塌量相比，對河道衝擊相對有限。目前尚存約 230 立方公尺回填土砂，部分堆積於壩下沖刷坑，另一部分堆積於壩下右岸處，對於壩體安全並無直接影響。

2. 沖刷坑

沖刷坑之產生可能會對壩基之穩定性產生影響，本研究針對沖刷坑進行調查，原於壩體拆除前已形成之沖刷坑位置於壩體拆除期間已被回填土石填滿，而壩體拆除後一年之蘇拉颱風期間沖毀壩基拆口處後，新生成之沖刷坑高程落差降低，衝擊減緩。至於右側殘存壩體之壩基結構部分，由於壩址處右岸為連續性岩盤地形，加上壩體表面直接向下之水流衝擊因拆壩後已緩解，因此右側殘存壩體之壩基結構目前對管理站不致於構成安全疑慮。

3. 側岸

壩體改善後，壩體上游河段於 2011 年之幾場大水事件受到側向侵蝕作用，右岸靠近壩址處僅剩約寬度 7 米左右，而後於 2012 年經歷梅雨、泰利颱風以及蘇拉颱風，壩上游 50 公尺內左右岸土砂幾乎已侵蝕至岸壁處，壩上游左岸 50 至 200 公尺側向侵蝕則接近邊坡坡腳處。如經大型洪水事件，對壩上游 50 至 200

公尺左岸邊坡穩固及安全可能造成威脅。一號壩下游側岸則與改善工程前差異不大，但右岸原蛇籠處邊坡有持續下滑之趨勢。

(二)上游環境衝擊評估

1. 崩塌潛勢

蘇拉颱風後，壩上游 50 公尺處(S23 斷面)主深槽僅下刷 0.3 公尺，下刷能力趨緩，河道兩岸侵蝕潛勢提升，右岸為岩盤，左岸為鬆軟土層，降雨後容易出現沖刷或崩落情形，導致河相的改變。王筱雯(2010)曾於拆壩前進行崩塌地調查，調查範圍涵蓋七家灣溪一號壩上下游各一公里之區域，計共有河岸崩塌 1 處，邊坡崩塌 9 處，壩上 500 公尺範圍內之總崩塌面積單位深度土砂量估約有 3,851 立方公尺；其中較大型之崩塌位於壩體上游約 400 公尺處左岸位置。本研究於今年再次進行崩塌地調查以了解拆壩後河岸舊有崩塌之演變與是否有新生成之崩塌。本研究計畫向行政院農業委員會林務局農林航空測量所購買 2010 年武陵地區航照圖，做為 2010 年崩塌地調查描繪底圖，並請航空測量公司於蘇拉颱風後進行航空拍攝，做為 2012 年崩塌地調查描繪底圖。由新舊崩塌地比對(圖 5-1)結果發現，壩上游 500 公尺及下游 200 公尺內共 7 處崩塌。其中上游 115、250、310 及 425 公尺等四處崩塌地為舊有崩塌地，因強降雨而持續崩塌，使得面積增大，其餘三處皆為新生崩塌地。2012 年七家灣溪一號壩上 500 公尺範圍內之總崩塌面積單位深度土砂量估計約 11,518 立方公尺。由於此屬沖積岸壁，因降雨事件而造成之岸壁崩塌乃為合理之河相變動發展，雖因此增加河道泥沙運移量，但較一次大型崩塌所可能造成之更大危害之風險為小。

而由如壩體上游 48 公尺處之斷面 S23(如圖 4-5)調查，亦可觀察出河道演變與崩塌之關係。在未拆壩前，河道主深槽與兩岸之高程落差小，在洪水事件下之水力衝擊易使兩側邊坡造成崩塌；而拆壩後一個月的米雷颱風主要造成河道縱向侵蝕，未有明顯之側向侵蝕；拆壩後十三個月的泰利颱風後，除主深槽向下刷深約 1.1 公尺外，河道亦發生右岸約 7 公尺及左岸約 2 公尺之側向侵蝕；拆壩後十五

個月的蘇拉颱風後，主深槽雖仍些微下刷、但變化不大，而側向侵蝕則致使右岸岩盤出露，左岸繼續側向侵蝕 14 公尺且因重力與水力衝擊引致河岸崩塌，崩塌土方堆積於原主深槽。由 2010 至 2012 年拆壩前後之崩塌地及橫斷面調查結果可知，側岸邊坡崩塌於拆壩前後皆發生，降雨觸發等水力因素、河道高程差之重力因素等，無論在拆壩前後，皆屬於崩塌生成之主要原因。

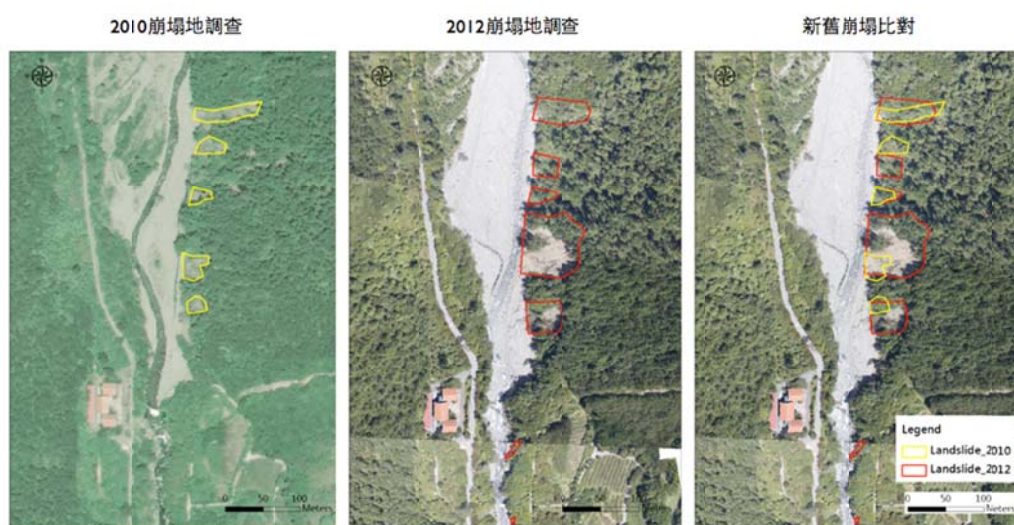


圖 5-1 新舊崩塌地比對

2. 上游其餘壩體影響潛勢

根據王筱雯(2010)利用 2008 年之水文事件進行評估，指出七家灣溪在壩體移除後若歷經兩場大型洪水事件(辛樂克颱風與薔密颱風)後，上游床型可達穩定。

本研究分析七家灣溪目前所經歷之最大洪水為一近 10 年頻率流量的蘇拉颱風，由本團隊之縱橫斷面調查可知溯源侵蝕至今到達一號壩上游約 800 公尺處，因此推估位於一號壩上游距離約 2.8 公里與 4.3 公里之二號防砂壩殘存壩體與三號防砂壩並未受到一號壩拆除後溯源侵蝕之河道變動影響。而七家灣溪三號壩址處河道之持續下刷情形乃因其隘口地形之影響，與一號壩拆除無直接關係。

(三)下游環境衝擊評估

1. 洪水提高潛勢

七家灣溪一號壩之壩體改善，致使淤砂坡度調整，洪水位變化情形與河床的沖刷下降及淤積抬昇有直接關連性。

一號壩自 2011 年 5 月底拆除後，壩體下游開始淤積，斷面間淤積程度不一，且部分斷面之淤積土方已有部分再被帶往更下游。於 2012 年 6 月份大型洪水事件前，壩下游 500 公尺兆豐橋處之淤積約 0.5 公尺，梅雨、泰利颱風後，淤積高度再增加至 0.7 公尺，且堆積河段影響範圍約至下游 630 公尺處，蘇拉颱風後，兆豐橋處河道淤積高度已達 1 公尺；臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心處河道淤積量最高達 2 公尺，主深槽高程約抬升 1 公尺(如圖 4-7)。

王筱雯(2012)根據斷面調查成果，利用向量內插法計算沖刷土方量。計算結果顯示，蘇拉颱風後溯源侵蝕範圍已遠離 S26 斷面，並向上游延伸至觀魚台，以壩上游至觀魚台 S41 斷面約 1400 公尺河段之土方量計算範圍來看，壩體拆除後至今於壩上游河段約有近二十萬立方公尺之泥砂量被帶往至下游。目前此被帶往下游之泥砂大多淤積於下游一公里內河道，並持續向下游傳遞。

王筱雯(2010)曾利用 NETSTARS 擬似二維輸砂數值模式，模擬七家灣溪一號壩拆除後經歷辛樂克、薔密颱風後河道與水位變化，該模式以一號壩為控制點，利用 1967 至 2009 年七家灣流量站瞬時流量資料推估之重現期流量面積權重法求得於一號壩流量，其中辛樂克颱風流量為 81.8cms，薔密颱風流量為 159.6cms；其結果顯示，兩場颱風對茶莊附近河床影響不大，第一場颱風河道僅淤高約 0.18 公尺；之後河床再淤高約 0.5 公尺。滿岸流量下，水位抬昇約 0.7 公尺，由於茶莊附近之兆豐橋橋面距水位約 14 公尺，因此壩體拆除所造成之底床抬升並不足以對茶莊及其附近之結構物(如茶廠、茶廠廠長宿舍等建物)造成影響；兩場颱風造成臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心附近河床淤高約 1.91 公尺，之後略微下降至接近原河床高程。滿岸流量下，水位變動幅度不明顯。該研究亦指出如經歷一場一號

壩流量為 384.8cms 之洪水事件，臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心斷面 S18 處水位將會抬高 3 公尺。本研究根據其推估結果，搭配斷面調查結果進一步判斷後續生態中心之洪災潛勢，經分析後可知拆壩前此處(斷面 S18)之最低高程為 1734.2 公尺、蘇拉颱風後因淤積使得此處高程抬高至 1735.7 公尺，而路面上之生態中心建築物之高程約為 1739.5 公尺，因此若水位抬高 3 公尺，仍不致於溢淹。

除上述模擬水位之分析之外，本研究並另以通洪流量探討臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心洪水潛勢。生態中心與附近斷面相對位置如圖 5-2 所示，由圖中可知生態中心沿岸為岩盤，延伸約 40 公尺，其中岩盤未顯露之右側河岸之沖積土砂堆積如圖 5-3，而最接近生態中心之斷面為 S18 與 S17-1，此處河寬約 40 公尺，兩斷面距離 80 公尺。本研究於 2012 年 11 月 10 日現勘並再次針對此兩斷面進行量測，並利用曼寧公式計算此兩處斷面最大通洪流量，經計算後求得 S18 斷面之最大可通洪流量為 590cms；S17-1 斷面之最大可通洪流量則為 686cms，搭配 3.2 節所述之重現期距流量分析，此通洪流量為近 50 年之重現期流量，類似海棠颱風等歷史水文事件。亦即，若此處之斷面高程不變，未來若發生如 50 年重現期距以上之颱風，其滿岸流量會造成溢淹危險。在大流量下，雖有滿岸流量溢流之風險，但因河床泥砂之啟動等劇烈泥砂運移行為，原本淤積於此處的泥砂將被再帶往下游，造成此處底床高程下降，減緩溢淹風險。根據本研究自拆壩後對於斷面之持續調查與觀察，原堆積於一號壩上游之泥砂量雖因拆壩後帶往下游，但其乃往下游持續傳遞，由初期以壩下游 500 公尺之主要淤積段延伸至壩下游近一公里河段，加上其河寬較窄、流速較大，推測後續土砂將傳遞至其下游 200 公尺遊客中心處較寬河段堆積。至於坡腳掏刷之可能，由於生態中心附近河段為一長直偏左岸之河道，據河流走向，左岸為攻擊面，因此主深槽之偏移對右岸坡腳之掏刷可能性為小。

然而，目前本研究掌握蘇拉颱風(10 年頻率流量)之影響，但若未來有相對較大(如 50 年頻率洪水或以上)事件發生，仍有其不確定因素，因此相關重點位置

的床型及水位變動情形需進一步監測。本研究並進一步強調適應性管理之重要，由於河道環境變動之自然特性，任何水文分析僅能提供管理之輔佐依據，無法準確預測未來的所有變化，需要考慮其不確定性且不斷追蹤監測以調整操作方式。適應性管理(Adaptive Management)即是面對具有不確定性之系統時，藉由監測之方式以調整操作方式，從學中做、從做中學(Learning by doing; Doing by learning)，動態性地視實際狀況調整管理措施。

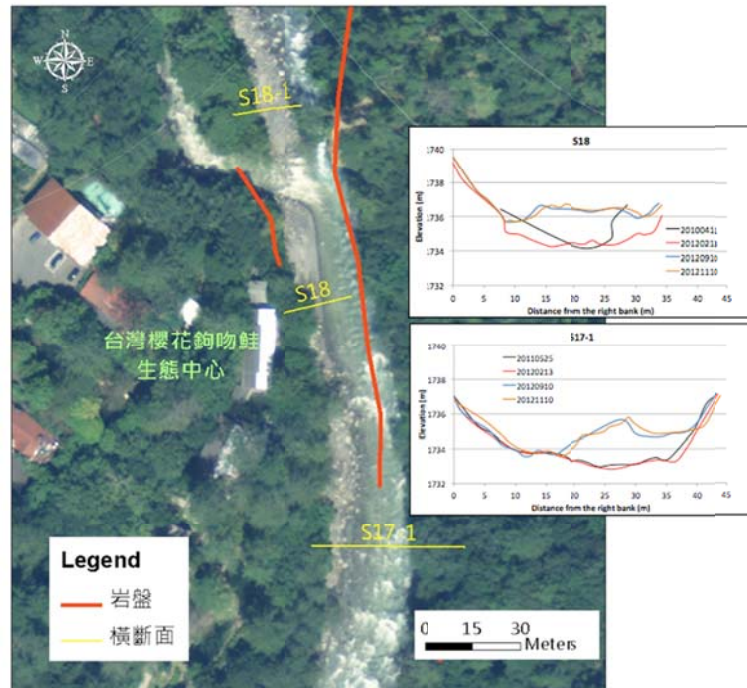


圖 5-2 生態中心與附近斷面相對位置



圖 5-3 生態中心河段右側河岸之裸露岩盤與沖積土砂

2. 細粒料填縫

由於原本淤積於壩後方之庫區泥砂因拆壩後往下游移動，將會改變下游河床型態與級配。由於粗顆粒的礫石需要較大水流動能方能啟動，因此大多會停留於河道主深槽，僅細顆粒的泥砂得以透過沖洗載(wash load)與懸浮載(suspended load)的形式移動至下游，進而造成下游河床的細粒料填縫現象(fine sediment infiltration)。一號壩拆壩後，部分下游河道底床質粒徑已觀察到細化現象(如圖 5-4)，因此對於下游河道之粒徑變化與細粒料填縫之可能影響，可藉由泥砂粒徑調查加以探討。本研究於 2012 年 11 月 10 日於七家灣溪下游進行現勘與細砂明顯堆積處進行採樣分析(如圖 5-5)，粒徑分析結果如圖 5-6。根據 Wu and Chou (2004)提出兩級泥沙沖刷模式(two-fraction entrainment approach)，以 2mm 為界，分成沙床(sand bed)及礫石(gravel bed)兩級。由圖可知，幾乎所有採樣點細砂之中值粒徑 D50 皆小於 2mm。



圖 5-4 下游河道細砂填縫情形

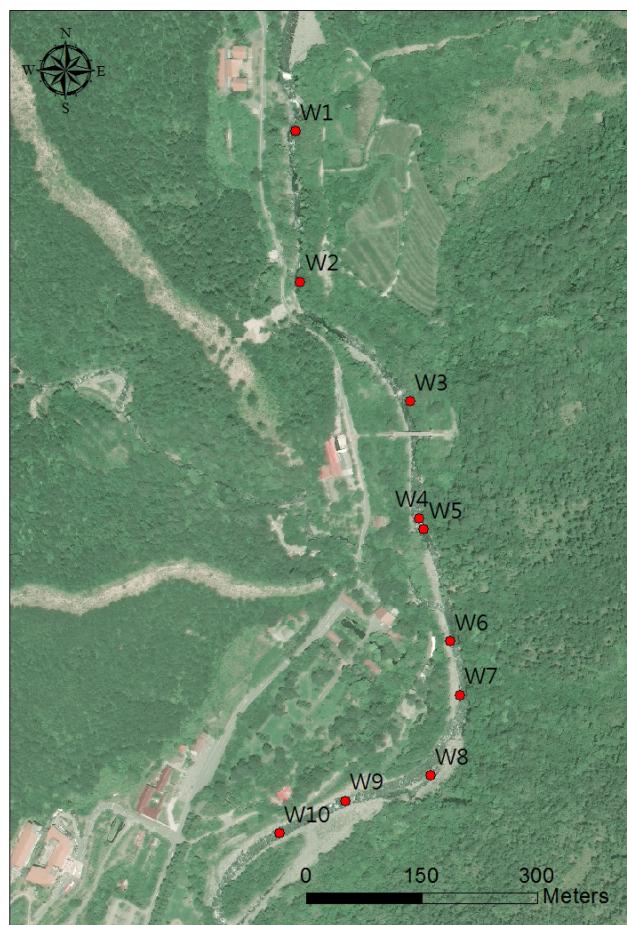


圖 5-5 細砂堆積處採樣位置

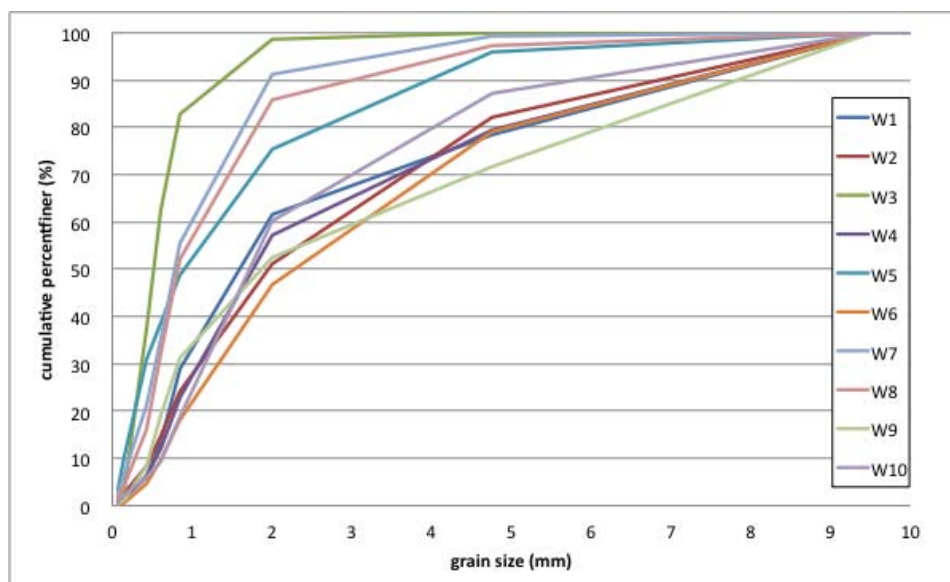


圖 5-6 各採驗點之粒徑分佈曲線圖

3. 拆壩對下游德基水庫庫容之影響

德基水庫位於大甲溪上游，集水區面積為 601.6 平方公里，有效容量達 176 百萬立方公尺，具有發電灌溉、給水、觀光、防洪等多功能目標。為了庫容，相關單位於上游集水區內所施作之水土保持工程有所貢獻。然而，根據中華水土保持學會(2009)之調查研究，大甲溪流域地勢陡峭，自九二一地震後，上游集水區土石鬆動而邊坡穩定度下降，流域內新生大量崩塌地，其參照農委會水土保持局於 2006 年所作之全省崩塌地判釋結果，大甲溪流域內的崩塌地面積約 4299.7 公頃，使得水庫淤積量增加甚多。王筱雯(2010)蒐集德基水庫歷年淤積調查資料，水庫庫容於 2001 年至 2006 間淤積約有兩千六百萬方之多，年平均淤積量較以往增加 10 倍之多。根據 2009 年之「德基水庫集水區第六期治理計畫之調查規劃報告」指出泥砂生產之主要來源以大甲溪支流必坦溪產生最大淤積量，其次為晉元溪影響最大。推測其主要原因來自於期間內七二水災、敏督莉颱風、艾莉颱風等重要事件。王筱雯(2010)進一步收集成功大學防災中心於 2009 年莫拉克風災後崩塌判釋結果(如圖 5-7)，得知大部份之崩塌地集中於雪山、大劍山、佳陽山、南湖大山及中央尖山等地勢陡峭處，另德基水庫右岸亦有較多之崩塌，此為水庫淤積泥砂主要來源之一。

德基水庫集水區內共計有防砂壩 119 座，本研究蒐集其中有座標點位記載之防砂壩共計 65 座(中華水土保持學會，2009)，繪如圖 5-7 所示，由圖可知七家灣溪上游之崩塌狀況與南湖溪上游段等處相較下為和緩。七家灣溪一號壩拆除至今，包含上游河道因側向侵蝕產生之邊坡崩塌所進入河道之泥砂量，約有近二十萬立方公尺的泥砂被沖刷至下游(王筱雯，2012)，已近乎王筱雯(2010)以水土保持手冊建議公式所推估之二十萬立方公尺防砂壩攔蓄泥砂量。經本研究之斷面調查，這些下移之土方量目前多數堆積於壩下游 900 公尺內之河道，雖部分土砂仍持續下移，但由圖 5-7 可知，七家灣溪一號壩距德基水庫約 21 公里河道間仍有約 6 座防砂壩可作為緩衝，下移之土砂量不致於直接影響德基水庫。

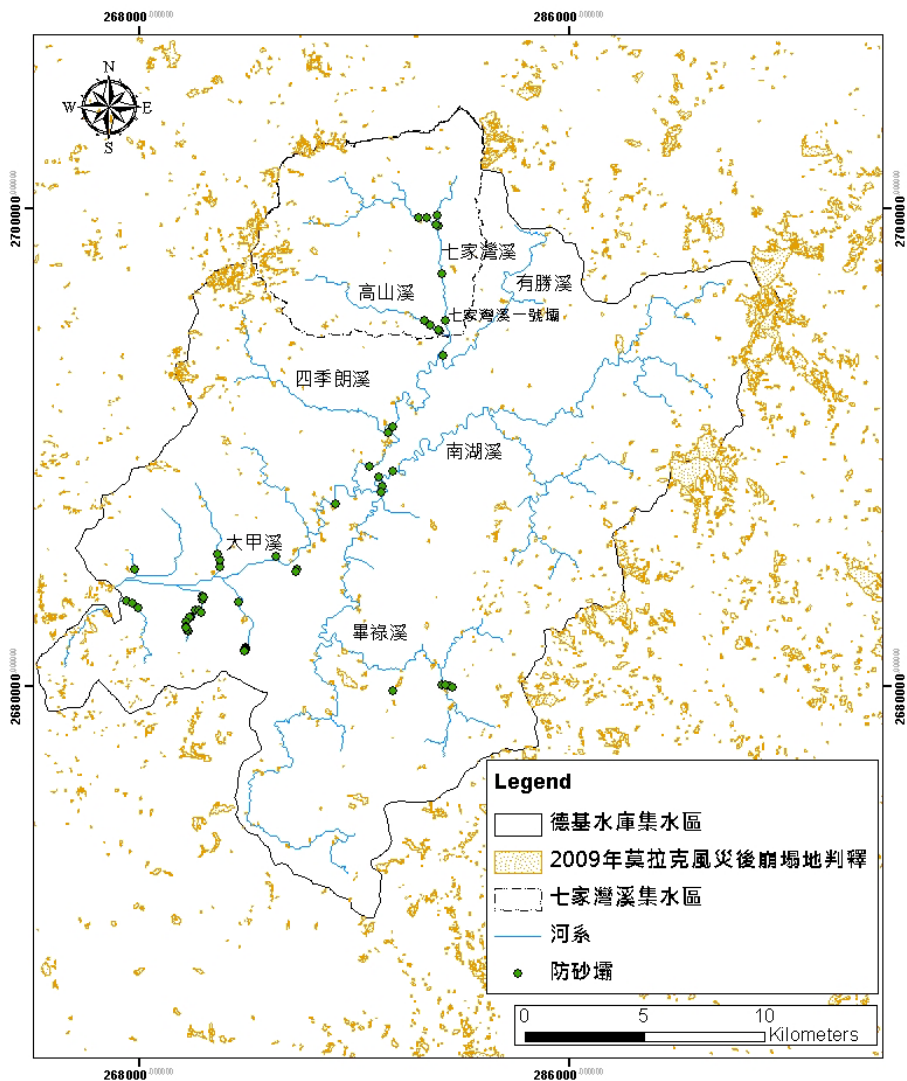


圖 5-7 莫拉克風災後崩塌地判釋與集水區內防砂壩分布圖(資料來源:成大防災中心；中華水土保持學會，2009)

(四) 小結

綜上所述，七家灣溪一號壩拆除營造了生態的正面效益，而拆壩後至今，經歷了不同水文事件之考驗，包括拆壩後一個月約 1.11 年重現期距的米雷颱風、拆壩後 13 個月約 2 年重現期距的梅雨事件及 1.11 年重現期距的泰利颱風、拆壩後 15 個月約 10 年重現期距且等同於歷史事件中賀伯颱風的蘇拉颱風等，河道變化如上游河道溯源侵蝕、側向侵蝕、岸壁崩塌、壩址處環境調整、下游河道河床抬升、整體河道泥砂粒徑變化等皆屬預期範圍內。

根據前述文獻與案例探討，國外雖已有不少拆壩案例與經驗，但如七家灣溪一號壩之壩高規模與集水區輸砂量之環境條件等類似案例仍相當有限，由於台灣地理及氣候條件特殊，水文變異大，七家灣溪一號壩於拆壩前的相關泥砂衝擊評估、拆壩階段與拆壩後持續之河道記錄與河道演變之探討與可能衝擊之持續探析，可作為國外案例參考之重要依據。

第六章 結論與建議

(一) 結論

本研究以河段區分，針對壩址處、壩上游河段、壩下游河段等三個河段在目前之調查成果下之河道環境可能衝擊進行評估，其結論分述如下：

1. 壩址處環境評估

目前尚存約 230 立方公尺回填土砂，部分堆積於壩下沖刷坑，另一部分堆積於壩下右岸處，對於壩體安全並無直接影響。壩體拆除後一年之蘇拉颱風期間沖毀壩基拆口處後，新生成之沖刷坑高程落差降低，衝擊減緩，然後續仍需要持續觀察。於 2012 年經歷梅雨、泰利颱風以及蘇拉颱風，壩上游 50 公尺內左右岸土砂幾乎已侵蝕至岸壁處，壩上游左岸 50 至 200 公尺側向侵蝕則接近邊坡坡腳處。一號壩下游側岸則與改善工程前差異不大，但右岸原蛇籠處邊坡有持續下滑之趨勢。

2. 上游環境衝擊評估

新舊崩塌地比對結果發現，壩上游 500 公尺及下游 200 公尺內共 7 處崩塌。其中上游 115、250、310 及 425 公尺等四處崩塌地為舊有崩塌地，因強降雨而持續崩塌，使得面積增大，其餘三處皆為新生崩塌地。2012 年七家灣溪一號壩上下游共三公里之總崩塌面積單位深度土砂量估計約 11,712 立方公尺，此屬集水區之自然現象。

本團隊之縱橫斷面調查可知溯源侵蝕至今到達一號壩上游約 800 公尺處，因此推估位於一號壩上游距離約 2.8 公里與 4.3 公里之二號防砂壩殘存壩體與三號防砂壩並未受到一號壩拆除之影響。後續對於上游其他結構物之影響，需持續藉由現地河床縱橫斷面高程調查進一步評估。

3. 下游環境衝擊評估

本研究利用曼寧公式計算 S17-1 與 S18 兩處斷面最大之通洪流量，經計算後求得 S18 斷面之最大通洪流量為 590cms；S17-1 斷面之最大通洪流量則為 686cms，為近 50 年之重現期流量，類似海棠颱風等歷史水文事件。亦即，若此處之斷面高程不變，未來若發生如 50 年以上之重現期距颱風，其滿岸流量則有溢淹危險。但因河床泥砂之啟動等泥砂運移行為，原本淤積於此處的泥砂將被再帶往下游，造成此處底床高程下降，可能減緩溢淹風險。

整體而言，七家灣溪一號壩拆除後至今約一年半，經歷了不同強度之水文事件之考驗，河道變化如上游河道溯源侵蝕、側向侵蝕、岸壁崩塌、壩址處環境調整、下游河道河床抬升、整體河道泥砂粒徑變化等皆在預期範圍內，河道環境衝擊性得以掌握。

(二) 建議

本研究計畫針對七家灣溪河道環境中因拆壩後之河相改變所造成之河道環境衝擊進行探討評估，期望藉由長期的環境調查與紀錄提供國內外壩體改善後河相變化與可能環境衝擊探討之重要參考依據。由於河川環境乃隨著不同營力有所變動，本研究進一步強調適應性管理之重要，建議在維護管理上需考慮環境變動之不確定性且不斷追蹤監測以調整操作方式。

為了瞭解河床演變的趨勢及特性，適當水文與輸砂量資料之佐證相當關鍵，建議七家灣溪已架設之水位計、濁度計、影像記錄等能持續運作，以掌握現地河床之後續演變。

附錄一

參考文獻

1. Bureau of Reclamation, 1994. Operation of Glen Canyon Dam : Draft EIS . Summary, Bureau of Reclamation, Salt Lake City, pp.12, 36.
2. California Department of Water Resources, 1984. Dams within jurisdiction of the State of California, Bulletin 17-84, California Department of water Resources, Sacramento.
3. Cui, Y. and Wilcox, A., 2006. Numerical Modeling of Sediment Transport upon Dam Removal: Application to Marmot Dam in Sandy River, Oregon. In: Garcia, M.H. (ed), Sedimentation Engineering, ASCE Manual 110, ASCE, Reston VA.
4. Doyle, M.W., E.H. Stanley, and J.M. Harbor (2002). Geomorphic analogies for assessing probable channel response to dam removal. *Journal of the American Water Resources Association* 38(6): 1567-1579.
5. Dadswell, M.J., 1996, The Removal of Edwards Dam, Kennebec River, Maine: Its Effects on the Restoration of Anadromous Fishes. Draft Environmental Impact Statement, Kennebec River, Maine, Appendices 1-3, 92 pp.
6. FISRWG, 1998. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. Federal Interagency Stream Restoration Working Group, U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service.
7. Freeman, A. M, 2003. The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods. Resources for the Future, Washington, D. C.
8. Mark, R. T. and G. M. Kondolf, 2007. Systematic Postproject Appraisals to Maximize Lessons Learned form River Restoration Projects: Case Study of Compound Channel Restoration Projects in Northern California, *Restoration Ecology* , 15(3): 524–537.

9. Pozo, J., E. Orive, H. Fraile, A. Basaguren, 1997. Effects of Cernadilla-Valparaiso reservoir system in the River Tera. *Regulated Rivers: Research and Management* 13(1): 57-73.
10. Pizzuto, J. (2002) Effects of Dam Removal on River Form and Process, *BioScience*, Vol. 52, No. 8, pp. 683 - 691.”
11. Stewart, G., Grant, G.E. 2005. Potential Geomorphic and Ecological Impacts of MarmotDam Removal, Sandy River, OR: Final Report. Prepared for Portland General Electric, Portland, Oregon, July 2005.
12. Wang, H.W., Colin P. Stark, Kristen L. Cook and Wei-Cheng Kuo, 2011. Geomorphic responses to large check-dam removal on a mountain river in Taiwan. AGU fall meeting H31A-1125.
13. Wu, F.C., Y.J. Chou, 2004. Tradeoffs associated with sediment-maintenance flushing flows: A simulation approach to exploring non-inferior options, *River Research and Applications* 20: 591-604
14. Hsiao-Wen Wang, Wei-Cheng Kuo, 2012. Geomorphic responses associated with a large check-dam removal on a mountainous river in Taiwan. *Geomorphology*. AGU fall meeting EP13E-0894
15. 中華水土保持學會，2009，德基水庫集水區第六期治理計畫之調查規劃報告，經濟部德基水庫集水區管理委員會
16. 王筱雯，2010，七家灣溪一號壩壩體及棲地改善工程－泥砂衝擊物理模型及數值分析，內政部營建署雪霸國家公園管理處
17. 王筱雯、郭偉丞，2011，七家灣一號壩拆除後之水文與泥砂演變，*國家公園學報*，第二十一卷，第三期，內政部營建署
18. 台灣省林務局，1991，台灣省早期防砂壩現況調查報告，行政院農委會
19. 台灣省林務局，1992，台灣省近期防砂壩現況調查報告，行政院農委會

20. 林幸助、王筱雯、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、曾晴賢、楊正澤、葉昭憲、蔡尚憲，2011，武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處
21. 林幸助、王筱雯、吳聲海、官文惠、邵廣昭、孫元勳、郭美華、曾晴賢、楊正澤、葉昭憲、蔡尚憲，2012，武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究(期中報告)，內政部營建署雪霸國家公園管理處
22. 胡通哲、施上粟、王筱雯，2010，橫向水工結構物移除、改善與河川復育效益評估，水利規劃試驗所
23. 施上粟、胡通哲，2012，集水區防砂壩及橫向水利建造物除役對水環境復育先期研究，水利規劃試驗所
24. 葉昭憲、段景浩、黃靖柏、林世弘，2007，七家灣溪壩體改善研究評估，內政部營建署雪霸國家公園管理處
25. 廖林彥，2001，高山溪防砂壩改善前後棲地變之調查研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處

附錄二

期中簡報審查意見回覆

七家灣溪一號壩壩體改善後河道衝擊評估

委託計畫期中簡報審查意見處理情形

日期：中華民國 101 年 10 月 17 日 下午 3 點 30 分

地點：雪霸國家公園管理處 第一會議室

主持人：林處長 青

紀錄：謝耿洲

委員意見	處理情形
根據研究推測因拆壩引起之多處崩塌係屬良性之發展，可避免一次坍塌所造成更大之危害，同時崩塌現象並無任何安全上之疑慮。	感謝委員指教。
種源庫旁之河段屬突擴段，易產生泥砂淤積，請研究團隊於期末提出種源庫沿岸之地質狀況(是否屬連續性岩盤)、極端事件對種源庫之淹水風險推估及該河段通水量等評估報告，以供管理處因應之參考。	感謝委員建議，相關補充說明已於第五章
武陵管理站前石籠有下陷現象，惟下刷已減緩，目前並無安全之虞。	感謝委員指教。
請研究團隊更正報告內部分用詞如攔砂壩須改為防砂壩、台灣鈎吻鮭應統一為臺灣櫻花鈎吻鮭等。	感謝委員指教。