

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

雪霸國家公園管理處委託辦理報告

中華民國一〇五年十二月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

雪霸國家公園管理處委託研究辦理計畫

「七家灣溪水文泥砂監測」 成果報告

委託單位：雪霸國家公園管理處

受委託單位：國立成功大學

計畫主持人：王筱雯 副教授

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辦理報告

中華民國 105 年 12 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)

中文摘要

一、研究緣起

為了安全的考量與臺灣櫻花鉤吻鮭的棲地復育，雪霸國家公園在泥砂與生態等面向之審慎評估後，已於 2011 年 6 月 1 日將七家灣溪一號防砂壩(高度 13 m、淤砂量 20 萬 m^3)完成壩體改善工程。由於壩體改善後，大量泥砂運移將使得河床上下游型態受到改變，進而影響物理棲地環境與水質的變化等鮭魚生存的重要條件。為了瞭解河床演變的趨勢及特性，以掌握結構物改善前後之泥砂運移量與受到不同強度洪水事件之泥砂可能運移位置，必要監測儀器之架設監測與現地河床的水文與泥砂調查與評估不可或缺。

二、研究方法及過程

本研究以七家灣溪一號壩上游 1.4 km (觀魚台)至下游 1.8 km (迎賓橋)之 3.2 km 河段為監測範圍，分別於一號壩及台灣櫻花鉤吻鮭生態中心架設攝影機以完整記錄大水事件及河道變化，本研究亦配合空拍機拍攝、地形測量來了解七家灣溪的河道環境狀況，包含侵蝕土方量、崩塌地變化、下游河道淹水潛勢及壩體安全狀況，期冀藉由長期且完整的記錄來提供國內後續壩體改善之重要參考依據。

三、研究成果

根據影像結果顯示 2016 年所發生之降雨事件皆未對壩上游 50 m 至 200 m 左岸邊坡穩固及安全造成威脅，而台灣櫻花鉤吻鮭生態中心之影像監測記錄亦顯示河道環境並無明顯變化。根據縱斷面結果顯示，目前上游溯源侵蝕點及下游淤積點大致與 2015 年成果一致，並無明顯變化；針對 S23、S18 及 S17-1 橫斷面調查結果與過去資料比較，整體而言變化差異並不大。由淹水潛勢分析結果得知目前台灣櫻花鉤吻鮭生態中心之通洪能力皆大於 20 年重現期。侵蝕土方量部分，於 2011 年壩體改善後至今，上游侵蝕土方量總計 182,000 m^3 。河道變化部分，2016

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

年汛期前後之空拍圖結果顯示七家灣溪流路僅於壩上游斷面 S32(524 m)及斷面 S38(1,188 m)處有明顯變化，其它地方受限於兩岸岩盤及洪水事件規模等因素，並無太大變化；而崩塌地部分，根據空拍影像分析成果得知，2012 年調查之 7 處崩塌處僅剩一處(上游 250 m 處)仍有崩塌情形，估算其崩塌面積約為 2,662 m²，在未有進一步崩塌發生且崩塌處植生逐漸回復下，裸露地面積有逐年縮小之趨勢；壩體安全部分，二號壩目前已潰壩，一、三及四號壩初步判定無立即性之安全疑慮，但仍須持續進行監測。

本委託辦理計畫依據監測評估資料與河道變遷指標及作業方式提出供管理單位經營管理參考之建議，如下：

(一) 即時監測

臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心為雪霸國家公園內重要保護標的，本研究提出「24 小時內累積雨量大於 300 mm」、「萬壽橋水位站即時水位大於 4.75 m」等兩對應之淹水潛勢監測指標，目前雪霸國家公園已完成水位計與流速儀之採購，建議編列相關預算朝流量即時運算與自動化警報方向發展。

(二) 保全區域例行性監測

1. 一號壩

針對一號壩上游 50 至 200 m 之左岸側向侵蝕情形，以現地河床橫斷面高程調查輔以影像監測掌握河岸狀況，進一步評估保全措施。

2. 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心

針對臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道之淹水潛勢，以現地河床縱橫斷面高程調查輔以水文及影像監測掌握保全區域之河道狀況，以做立即性之應對。

3. 河道環境

針對河道環境變遷的掌握，除定點監測儀器與現地調查外，於汛期前後或重要水文事件前後進行空拍機影像拍攝，可以更即時及全面性的了解河道環境變遷，

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

如崩塌地面積的增減、河道流路變遷、河岸狀況等，亦可作為未來相關河道環境規劃之基礎資料。

(三) 長期監測

七家灣溪河道在不同強度水文事件(表 3-1)下之環境變動性與複雜性高，壩體改善至今辦理之相關監測已逾六年，但對於掌握河道整體環境狀況仍需持續且全面之調查，調查項目建議可參考本委託辦理計畫所提出之監測指標，包含河道坡度、側向侵蝕、侵蝕土方量變化、崩塌地以及物理性棲地變遷等，另建議持續針對七家灣溪一、三、四號壩及二號壩殘留壩體的安全性持續進行調查與了解，以進一步評估壩體安全對於下游保全標的之影響。

目錄

中文摘要	II
目錄	V
圖目錄	VII
表目錄	X
第一章 計畫緣由	1
第二章 計畫目標	2
2.1 工作內容.....	2
2.2 預期成果.....	2
第三章 前人研究	3
3.1 環境背景資料.....	3
3.2 相關研究.....	5
3.3 壩體改善與河道環境相關研究.....	20
3.4 問題初探.....	23
第四章 研究地區	24
4.1 地文資料.....	24
4.2 水文資料.....	26
4.3 航照圖資料.....	29
4.4 崩塌地與岩盤判釋.....	33
4.5 河床質資料.....	36
第五章 影像監測與現地調查	41
5.1 定點監測.....	41
5.2 現地監測.....	49
第六章 監測指標	76

第七章 結論與建議	81
7.1 結論.....	81
7.2 建議.....	82
參考文獻	84
附錄一 期末審查意見回覆	88

圖目錄

圖 3-1 壩體改善歷程	4
圖 3-2 將 Marmot Dam 下游鮭魚撈起.....	6
圖 3-3 壩體移除後即時影像圖	7
圖 3-4 各階段時間序列泥砂含量圖	7
圖 3-5 Marmot Dam 溯源侵蝕終點遷移歷程.....	8
圖 3-6 影像監測	10
圖 3-7 水文泥砂監測	11
圖 3-8 Condit Dam (a)壩體改善前(2011/08)；(b)爆破中(2011/10/26).....	13
圖 3-9 潰壩後上游之時間序列圖	13
圖 3-10 巴陵壩現場照	18
圖 3-11 模擬巴陵壩潰壩後-河床縱斷面模擬結果.....	19
圖 3-12 巴陵壩潰壩後-穩定性指標(K)與經過年數之關係圖	19
圖 3-13 壩體移除後河相演變時間示意圖	20
圖 3-14 不同泥砂淤積高度與組成運移關係圖	21
圖 3-15 七家灣溪河道演變模式	22
圖 4-1 七家灣溪集水區	25
圖 4-2 七家灣溪流域高程圖	25
圖 4-3 七家灣溪流域坡度圖	25
圖 4-4 七家灣溪流域地質圖	25
圖 4-5 萬壽橋水位測站之時水位資料	28
圖 4-6 七家灣溪歷年航照圖(1/2)	30
圖 4-6 七家灣溪歷年航照圖(2/2)	31
圖 4-7 1980 年~2009 年河道變遷情形	32

圖 4-8 七家灣流域 2001、2002、2009 年崩塌地變遷.....	33
圖 4-9 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.....	35
圖 4-10 新舊崩塌地比對.....	35
圖 4-11 七家灣溪一號壩明坑挖掘下游各區粒徑級配比較圖.....	36
圖 4-12 七家灣溪各樣站斷面位置圖.....	37
圖 4-13 七家灣溪各樣站底質採樣結果比較.....	39
圖 4-14 七家灣溪觀魚台樣站底質比例.....	40
圖 4-15 七家灣溪繁殖場樣站底質比例.....	40
圖 5-1 影像監測系統相關照片.....	42
圖 5-2 七家灣溪一號壩測站監測影像.....	48
圖 5-3 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像.....	48
圖 5-4 S23 斷面左岸河道環境.....	51
圖 5-5 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心河道環境.....	51
圖 5-6 七家灣溪縱斷面調查成果.....	55
圖 5-7 S23 斷面(0K+48).....	57
圖 5-8 S18 斷面(0K-801).....	58
圖 5-9 S17-1 斷面(0K-880).....	59
圖 5-10 斷面面積變動量.....	60
圖 5-11 向量內插法示意圖.....	61
圖 5-12 2010 年至 2016 年七家灣溪上游高程數值地形圖.....	62
圖 5-13 斷面最大可通洪流量.....	63
圖 5-14 2016 年河道流路繪製成果.....	66
圖 5-15 2016 年 8 月及 11 月河道流路套繪 2016 年 11 月航拍底圖.....	67
圖 5-16 崩塌地泥砂量推估方法與模式.....	68

圖 5-17 2016 年崩塌地套繪成果	70
圖 5-18 壩體安全評估項目表	71
圖 5-19 七家灣溪一號壩壩體現況圖	73
圖 5-20 七家灣溪二號壩壩體現況圖	73
圖 5-21 七家灣溪三號壩壩體現況圖	74
圖 5-22 七家灣溪四號壩壩體現況圖	75

表目錄

表 3-1 高山溪與七家灣溪防砂壩興建及改善記錄表	15
表 3-2 高山溪攔砂壩興建及改善記錄表	16
表 4-1 七家灣流量站與臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心各重現期距對應之流量(cms)	26
表 4-2 各事件最高水位值	27
表 5-1 梅姬颱風期間七家灣溪一號壩測站監測影像	43
表 5-1 梅姬颱風期間七家灣溪一號壩測站監測影像(續)	44
表 5-1 梅姬颱風期間七家灣溪一號壩測站監測影像(續)	45
表 5-2 梅姬颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像	46
表 5-2 梅姬颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像(續)	47
表 5-3 河道地形測量方法比較	50
表 5-4 斷面現地調查時間表	50
表 5-5 各河段河道坡度表	53
表 5-6 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道坡度	54
表 5-7 邊坡坡度與崩塌深度關係對照表	69
表 5-8 滑動面積與代表性深度對照表	69
表 6-1 七家灣溪一號壩壩體改善後河道變遷之監測指標	78
表 6-2 七家灣溪一號壩壩體改善後河道變遷之作業方式(1/2)	79
表 6-2 七家灣溪一號壩壩體改善後河道變遷之作業方式(2/2)	79

第一章 計畫緣由

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壩高 13 m、庫區已淤滿的一號防砂壩進行左側壩體的拆除。一號壩改善工程進行階段，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，待回填砂石穩定與河道導引工程完成後甫以怪手與破碎機進行壩體改善工程。

壩體移除後的數月內，溯源侵蝕以拋物面狀的方式向上游傳遞。根據王筱雯(2011)河道縱斷面調查監測結果，溯源侵蝕終點自壩體改善後第一場洪水事件往上游延伸至壩上 200 m 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 m 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，此外，原本淤積於壩體後方之細顆粒被帶往下游，故下游粒徑較壩體改善前細化。

根據河道演變模式(Channel Evolution Model)，由於壩體改善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。

本委託辦理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中因河相改變而對保全區域之可能影響深入分析，期望藉由長期的環境調查與記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。

第二章 計畫目標

2.1 工作內容

(一) 工作地點及範圍

本計畫以七家灣溪一號壩上下游約觀魚臺至萬壽橋處之河道為主，其中包含臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周邊環境。

(二) 工作項目

- 1.七家灣溪一號壩左岸及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道影像記錄，並分析洪水事件所造成之河道環境變遷。
- 2.計算豐水期前後臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道可通洪流量。
- 3.調查七家灣溪一號壩改善後上下游之河道狀況，包含縱橫斷面調查、河道坡度、溯源侵蝕、側向侵蝕、侵蝕土方量估算、崩塌地調查及壩體安全調查等。

2.2 預期成果

- (一) 藉由現地調查與評估，瞭解洪水期間河道之變遷。
- (二) 評估壩體改善後下游保全區域之淹水潛勢。
- (三) 依據監測評估資料，提出環境維護與適應性管理之建議，並規劃七家灣溪一號壩壩體改善後河道變遷之監測指標及作業方式。

第三章 前人研究

3.1 環境背景資料

七家灣溪位於德基水庫上游集水區，為攔阻水庫集水區上游泥砂，自 1971 年起陸續興建 12 座大型防砂壩；七家灣溪一號壩為七家灣溪流域最下游的壩體，興建於 1972 年，壩高 13 m，壩體改善前攔砂量約達 0.2 Mm^3 (王筱雯，2010)。一號壩壩基因受水流衝擊掏刷已被破壞而有安全上的疑慮，加上此溪為臺灣櫻花鉤吻鮭唯一棲地，防砂壩的存在阻絕了鮭魚上溯的洄游路徑。基於上述理由，加上台灣壩體改善案例相當有限，主管機關雪霸國家公園針對一號壩壩體改善的方式、時機、與可能衝擊，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評估後，雪霸國家公園參考(王筱雯，2010) 針對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所建議之壩體改善方式，於 2011 年 5 月 25 日進行為期一週之壩體移除工程，壩體改善過程如圖 3-1。於壩體改善施工前先行遷移受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臺灣櫻花鉤吻鮭。考量施工安全，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，並將溪流導引至左岸(如圖 3-1-A)。隨後開始進行壩體左側 1/3 壩體之移除(圖 3-1-B)，壩體於 2011 年 6 月 1 日改善完成(圖 3-1-C)(王筱雯，2011)。



(A)土砂回填

(B)開始壩體改善工程

(C)壩體工程改善完成

圖 3-1 壩體改善歷程 (王筱雯, 2011)

壩體改善完成後，成功大學王筱雯團隊持續針對水文及河相進行監測。王筱雯(2013)斷面調查成果顯示，壩體改善後至 2012 年 2 月 13 日，由於米雷颱風及東北季風事件，使得溯源侵蝕終點約上溯至壩上游 200 m 處，侵蝕土方量約 20,000 m³。2012 年經歷梅雨、泰利颱風及蘇拉颱風後，於 2012 年 9 月 9 日調查發現溯源侵蝕終點已延伸至壩上游 800 m 處，侵蝕土方量約較上次測量增加 125,000 m³。2013 年經歷蘇力及潭美颱風，溯源侵蝕段終點於 2013 年 10 月 24 日調查並未持續向上延伸，上游侵蝕土方量約較上次測量增加 15,000 m³，總計壩上游河段約近 160,000 m³之泥砂量被帶往至下游。

台灣河道條件特殊與國外大相逕庭，具較陡的河道坡度、流量豐枯懸殊及水流含沙量高之特性，且壩體改善案例與國外相較相對較少，Wang and Kuo (2016) 記錄了在粗粒徑河床質、陡坡高山溪流環境下的七家灣溪一號壩壩體改善案例，並以現地調查做為基礎，隨著七家灣溪一號壩壩體改善後河道調整的速率與形式，進行事件引發泥砂運動的研究。在一個有季節水文特性強、高流量、高砂量及中等至陡的坡度，七家灣溪一號壩壩體改善所產生的河道快速反應，且隨著時間和距壩之距離增加而減少。該研究指出河道改變同時受水文條件、泥砂條件與距壩之距離影響，對於了解壩體改善後河道反應的相關資訊十分重要。

3.2 相關研究

有關壩體移除的相關研究，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(王筱雯等人，2013)。當壩體拆除後，大量的泥砂運移將使得河床上下游型態受到改變，進而可能對物理棲地環境、水文、水質以及人類活動造成影響，因此壩體拆除前後持續性的監測有其必要性。

(一) 國外案例

1. Marmot Dam

Marmot Dam 位於美國奧勒岡州 Sandy River，因發電與供水需求而興建於 1909 年，集水區面積約 1316 km²，其壩高 15 m。根據 Stewart and Grant (2005)，Marmot Dam 於壩體改善前攔蓄近 750,000 m³ 的粗細粒徑的泥砂，淤砂坡度向上游延伸了近 3.5 km。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飆高，使得當地鮭魚的滅亡，如圖 3-2。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 3-3 所示(王筱雯，2010)。

波特蘭電力公司、其他相關政府、學術單位及私人企業等為掌握壩體改善前後河床演變特性與趨勢，於 2000 年開始進行相關監測，監測項目包含：(1)壩上下游流量、泥砂監測；(2)河道地形調查；(3)影像監測(壩體拆除期間)；(4)溯源侵蝕點遷移；(5)河床質調查。

根據 Cui et al. (2006)監測結果，由圖 3-4 各階段泥砂含量時間序列圖，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 km 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)。Major et al. (2012)透過影像監測及地形量測，分析潰壩後溯源侵蝕點遷移(圖 3-5)及侵蝕土方量。潰壩後 60 小時，溯源侵蝕終點已上溯至壩上游 400 m，溯源侵蝕速率約 480~4800 m/day，總計約 125,000 m³ 土方量(佔原庫區之 17%)被帶往下游。潰壩後 11 個月(2008 年 9 月)，溯源侵蝕終點上溯至壩上游 2 km，壩體改善後累計約 373,000 m³ 土方量(佔原庫區之 50%)被帶往下游。



圖 3-2 將 Marmot Dam 下游鮭魚撈起 (<http://www.marmotdam.com/>)



圖 3-3 壩體移除後即時影像圖 (<http://www.marmotdam.com/>)

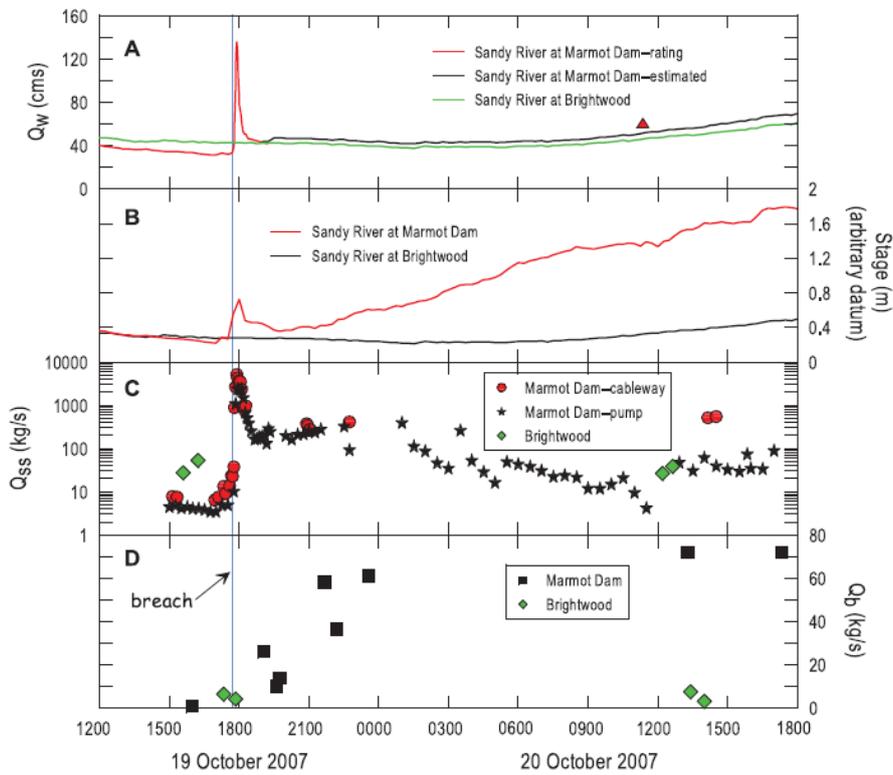


圖 3-4 各階段時間序列泥砂含量圖 (Cui et al., 2006)

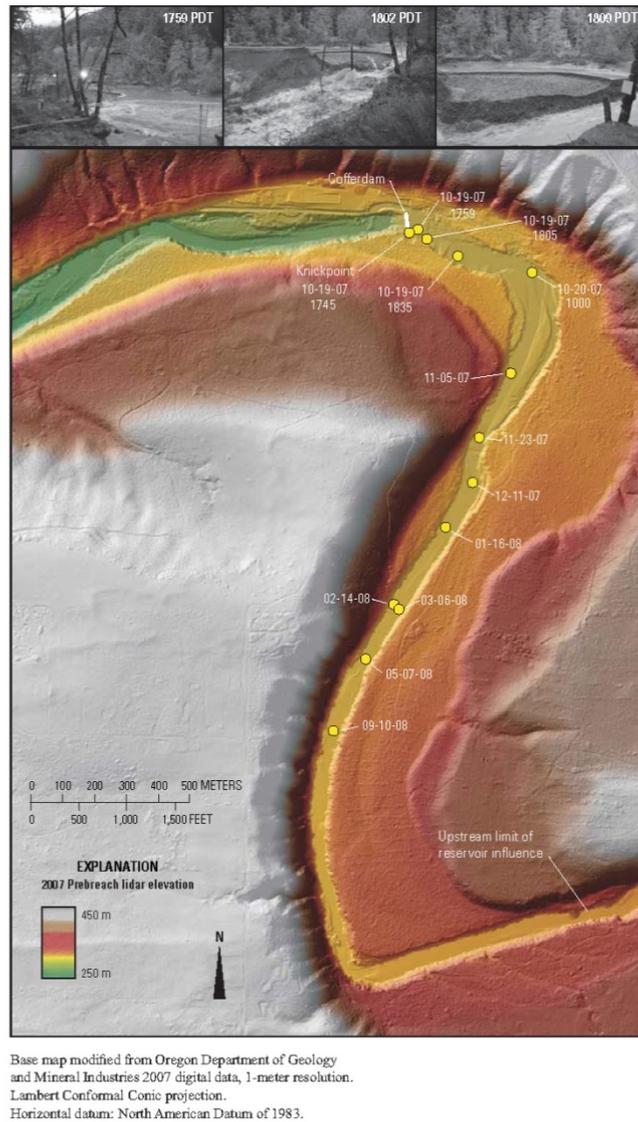


圖 3-5 Marmot Dam 溯源侵蝕終點遷移歷程 (Major et al, 2012)

2. Elwha Dam 與 Glines Canyon Dam

Elwha Dam 位於美國華盛頓州 Elwha River 上、Strait of Juan de Fuca 出海口上游 7.4 km 處，因伐木業與造紙業之用电需求而興建於 1913 年，其壩體為混擬土重力壩，壩高 32 m，蓄水後形成容量約為 9.83 Mm³ 的 Aldweel 湖。Glines Canyon Dam 位於 Elwha Dam 上游 14.2 km 處，同因用电需求而興建於 1927 年，其壩體為混擬土拱壩，壩高 64 m，蓄水後形成容量約 49.17 Mm³ 的 Mills 湖。兩座大壩以發電為主要目的，須長年保持滿水位以達發電最大效益，因此

不具有防洪與供水效益。根據 U.S. Department of Interior (1996) 調查，Elwha Dam 與 Glines Canyon Dam 庫區影響上游超過 9 km 河段，因而減少洄游性鮭魚將近 90% 之棲息地，且由於攔阻上游泥砂與木材於庫區，減少了有機質傳輸且造成下游水溫升高(Wunderlich et al., 1994)。Elwha Dam 於壩體改善前攔蓄近 5 Mm^3 的泥砂，泥砂組成為 47% 的泥、黏土與 53% 的粗粒徑泥砂；Glines Canyon Dam 於壩體改善前攔蓄近 16 Mm^3 的泥砂，泥砂組成為 44% 泥、黏土與 56% 粗粒徑泥砂(Randle et al., 2014)。為恢復魚類洄游廊道並復育 Elwha River 生態系統，Olympic National Park 於 2011 年 9 月 17 日開始進行壩體拆除工程。Elwha Dam 與 Glines Canyon Dam 拆除工程係採用分段拆除的方式進行，考量魚類可能因工程所造成的濁度升高而無法上溯產卵，拆除工程於每年 11 月 1 日至 12 月 31 日、5 月 1 日至 6 月 30 日以及 8 月 1 日至 9 月 15 日期間暫停，以降低壩體改善過程對下游設施及生態系統的負面影響。至 2013 年 9 月中為止，Elwha Dam 已完全拆除完畢，Glines Canyon Dam 則於 2014 年夏天拆除完成。

美國地質調查所(USGS)與墾務局(USBR)等相關政府、學術單位等為掌握壩體改善前後河道演變特性及建立河道泥砂收支系統，持續進行相關監測，監測項目包含：(1)水位、泥砂監測；(2)河道地形監測；(3)影像監測(圖 3-6)；(4)溯源侵蝕遷移監測；(5)河床質調查；(6)航照圖監測。

USGS 於 Glines Canyon Dam 下游共設置七處水文測站，其中三測站位於 Elwha Dam 下游，另於 Elwha Dam 下游設置一泥砂測站(圖 3-7-A)。於 2011 年 9 月至 2013 年 9 月監測期間，由流量監測結果可知，壩體改善期間發生多場小於兩年重現期距的降雨事件(圖 3-7-E)，其中，最大強度事件發生於 2011 年 11 月 23 日，尖峰流量約為 291 cms。於 2012 年 10 月 31 日豪雨事件(尖峰流量約 150 cms)期間，輸砂率數日超過 1000 ton/day (Rkm 5.1，圖 3-7-D)，且大多數水位測站(除 Rkm 12.4 外)之記錄皆顯示發生 0.5 至 1.5 m 不等的淤積(圖 3-7-B、圖 3-7-C)；2012 年 11 月 1 日至 14 日期間，位於 Aldwell 湖淤積三角洲上的 Rkm 12.4 的測站則因河道溯源侵蝕而下切 0.4 m，指出溯源侵蝕終點在大流量時才開始遷移(圖

3-7-B)。East et al. (2014)研究成果顯示，水位監測除反應水文事件外，亦可反應豪雨造成泥砂往下游傳遞過程。截至 2013 年 9 月中為止，兩壩庫區總計約 7.1 Mm³ 的土方被帶往下游，造成河道普遍淤積高度約 1 m，河道型態由潭瀨演變為瓣狀河道(East et al., 2014)

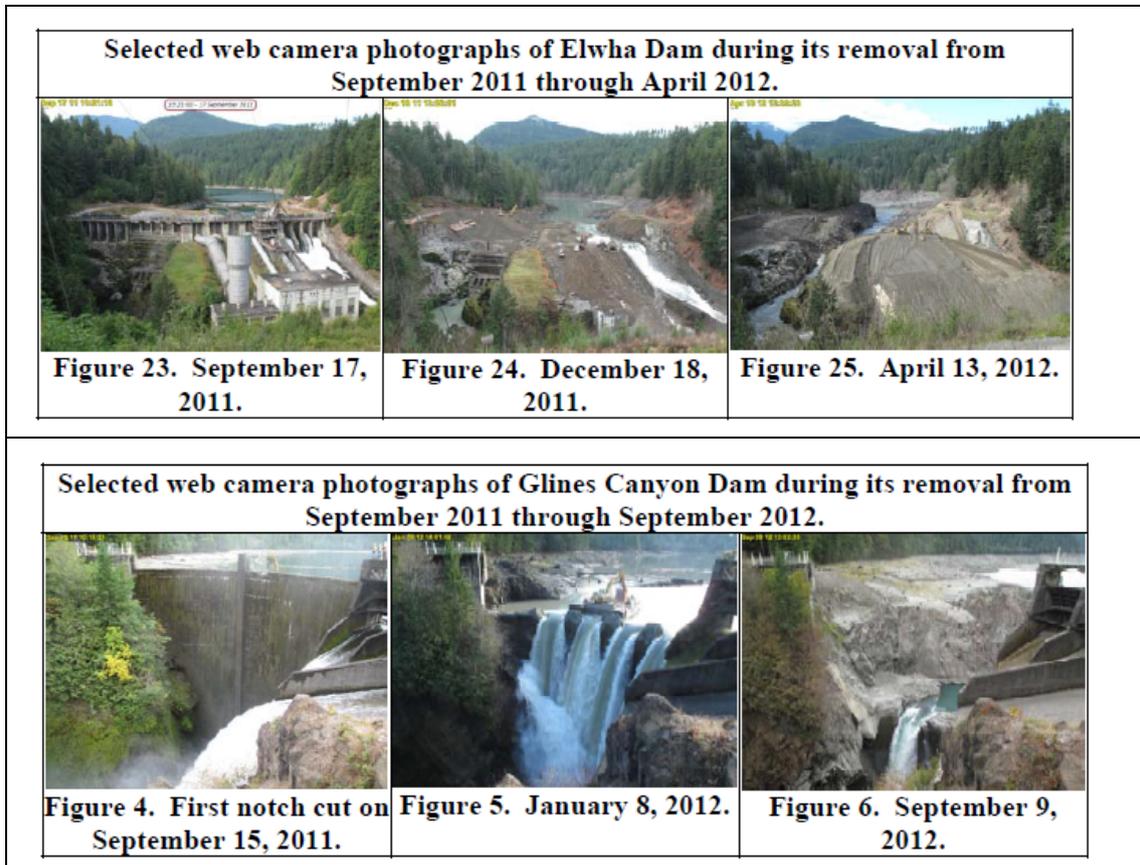


圖 3-6 影像監測 (Randle and Bountry, 2012)

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

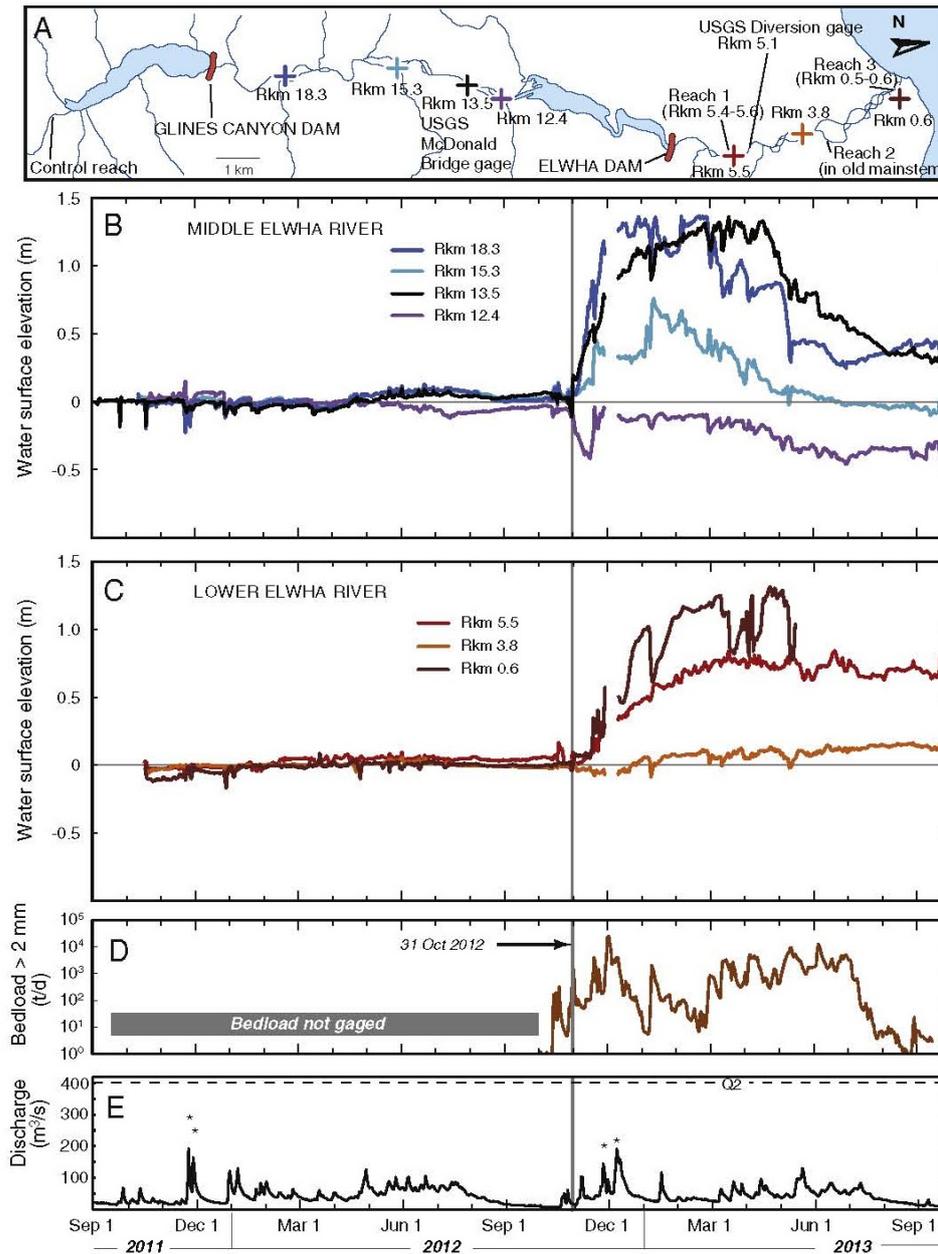


圖 3-7 水文泥砂監測 (East et al., 2014)

除了以上掌握長期監測的兩個壩體改善案例之外，國外亦有些評估監測未竟完全的案例值得借鏡：美國紐約州 Hudson River 上的 Fort Edwards Dam 於 1973 年拆除時，工作人員發現下游魚類體內的多氯聯苯(PCBs)濃度開始增加，多年後仍居高不下，乃歸因壩體改善時忽略藏在壩上游土砂中的污染物(Marks, 2007)。相關單位因此緊急掌握各面向的持續監測，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；另一案例為美國加州 Clear Creek 上的 Saeltzer Dam，不若壩體改善前根據約兩年現場調查與數值模擬結果

(Stillwater Science, 1999)所評估之壩體拆除後將僅少量庫區泥砂會被帶往下游並對下游魚類之重要棲地影響不大，壩體於 2000 年秋季拆除後之第一年雖未有大型洪水事件(最大洪峰流量約為 35 cms)，僅約 4,500 m³ 庫區泥砂被帶往下游(Stillwater Science, 2001)，但在氣候等不確定性下，2001 至 2003 年期間，共發生四場大事件(尖峰流量>80cms)，約 40,000 m³ 庫區泥砂被帶往下游，因而造成下游重要魚類棲地被覆蓋(Ferry and Miller, 2003; Miller and Vizcaino, 2004)。此兩案例突顯了環境條件變動下壩體拆除前後長期監測之重要性。

3. Condit Dam

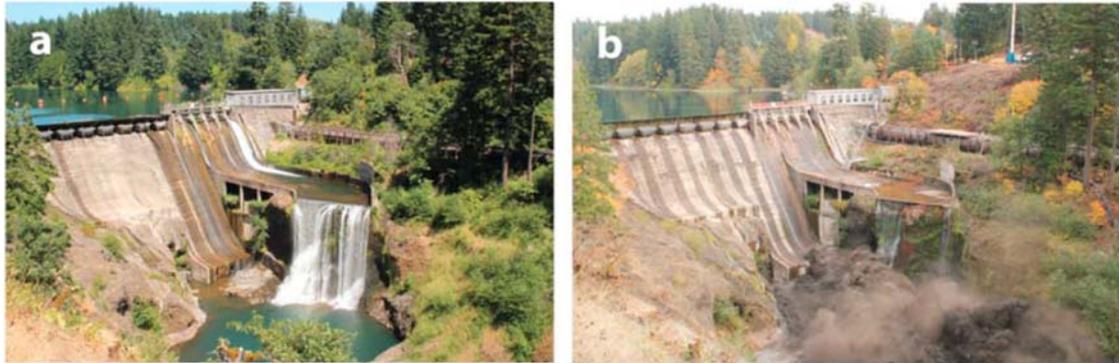
Condit Dam 位於美國華盛頓的 White Salmon River，因水力發電需求而興建於 1912-1913 年，集水區面積約 990 km²，其壩高 38 m，設計蓄水量為 1.6 Mm³ (Mead and Hunt et al., 2011)。水庫營運至今，庫區估計近 1.8 Mm³ 泥砂淤積(Finley Engineering, 2006)，其泥砂組成為 60%砂土、35%淤泥和粘土，以及 5%砂礫(G & G Associates, 2004; Kleinfelder, 2007; Mead and Hunt et al., 2011)，泥砂供應主要來自於喀斯喀特山脈以及亞當斯山的層狀火山的土壤侵蝕量，年平均沖蝕量估計為 0.3 ton/ha-yr (Ambers, 2001; Roering et al., 2010; Czuba et al., 2011b)。

Condit Dam 於 2012 年被要求更新設備的經營許可證(美國聯邦能源監管委員會，2002)，因此相關單位決定在 2011 年以最低成本進行拆除工程，其壩體改善方式為在水庫基礎中鑽掘一條寬 24 m 之隧道，以使水庫中的水砂迅速排空，於 2011 年 10 月 26 日進行爆破，潰後迅速造成水庫之水位下降，釋放水量約 160 Mm³，並將累積於水庫的泥砂順勢帶往下游，其餘之壩體結構分別在後續幾年內被拆除完。

相關單位在潰後持續進行河道地貌之監測工作，其監測結果顯示在潰壩 2 小時內約 10%泥砂被帶往下游，24 小時內累積約達 20%，期間產生之高濃度含砂水流濃度高達 850,000 mg/L，推移載則於數小時後往下游傳遞，如圖 3-8、3-9。

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

由上述監測結果顯示，控制潰壩後河道演變過程的條件，包含壩高、潰壩速率、泥砂組成等，其泥砂組成除影響下游流動條件及泥砂傳輸過程外，亦同時影響長期河道演變。



Wilcox et al., 2013)

圖 3-8 Condit Dam (a)壩體改善前(2011/08)；(b)爆破中(2011/10/26)



(從壩頂面向上游拍攝, Wilcox et al., 2013)

圖 3-9 潰壩後上游之時間序列圖

(二) 國內案例

1. 高山溪一至四號防砂壩

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，高山溪四座攔砂壩於 1999 年 4 月至 2001 年 10 月間陸續改善。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 3-1 與表 3-2 所示。

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，自壩體改善之後，雪霸國家公園委託相關單位持續進行監測，魚類監測資料顯示，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(王筱雯，2010)。葉昭憲、王永賢(2010)河道地形及棲地監測結果指出，由於壩體改善寬度不足，兩岸樹木由於暴雨及坡面崩塌而進入河道形成殘材壩，再次阻絕魚類洄游路徑，於汛期前先針對殘材予以處理裁切，並期望藉由洪水將殘材帶離壩址，此例突顯長期監測之重要性。

表 3-1 高山溪與七家灣溪防砂壩興建及改善記錄表 (修改自王筱雯, 2010)

壩名	興建時間	壩高 (m)	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。(2000.06)
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 m 處設有蛇籠保護工程。

表 3-2 高山溪攔砂壩興建及改善記錄表 (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、2013)
高山溪 一號壩			
高山溪 二號壩			
高山溪 三號壩			
高山溪 四號壩			
七家灣溪 一號壩			

2. 巴陵壩案例

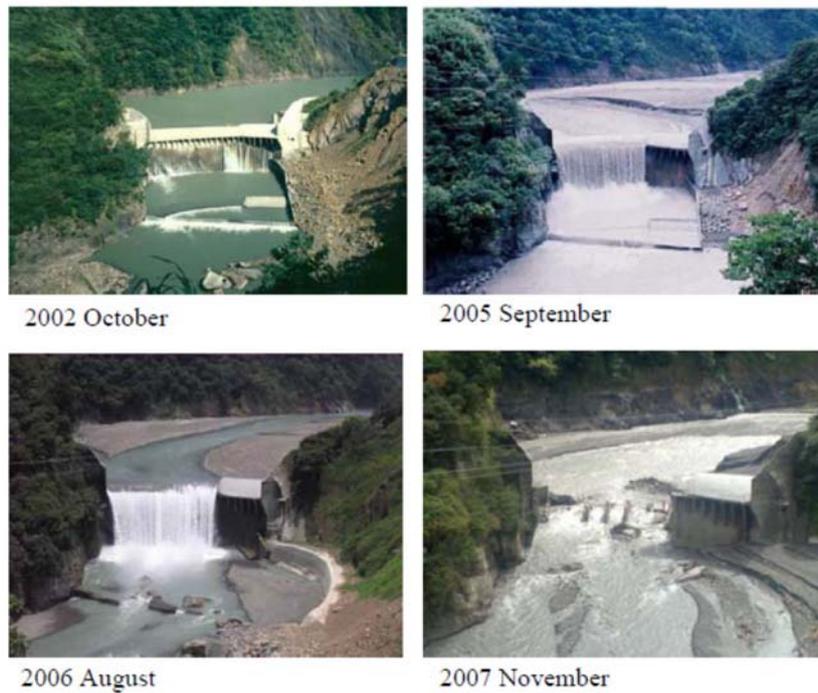
巴陵壩(大漢溪)約位於榮華壩上游 11.6 km、石門水庫上游 38.6 km 處，因攔砂需求而興建於 1977 年，為一壩高 38 m 之混凝土重力式攔砂壩，可攔蓄砂量為 1047 萬 m^3 。根據過去調查與影像紀錄(圖 3-10)得知 2002 年巴陵壩主、副壩結構尚完整，在歷經數場颱風後，2005 年 9 月庫區後方已淤滿泥砂且護坦損毀，副壩在沒有護坦的保護下，副壩於 2006 年 8 月完全損毀，造成巴陵壩壩基因被水流掏空，壩基在長期侵蝕下而沖出裂縫，2007 年 9 月 18 日韋帕颱風來襲，時逢狂風暴雨並挾帶大量上游集水區之崩落土石，壩體因無法負荷最終導致潰壩現象產生，損壞面積約達壩體三分之二，其攔砂功能也因而失效，為國內首座崩壞的大型攔砂壩。巴陵壩當初所攔蓄之砂石，潰壩後也被溪水帶往下游，對巴陵壩下游的榮華壩造成影響，巴陵壩潰壩發展如圖 3-10 所示(王筱雯，2010)。

巴陵壩的興建改變了大漢溪河相，河床高程因為壩體攔蓄砂石而升高，隨著潰壩之後，原本被攔阻在庫區後方的砂石開始往下游移動並淤積於下游的河道，上游河床則遭到沖刷。根據巴陵壩潰壩前後的地形資料，自 2008 年 1 月至 2008 年 9 月止，巴陵壩上游 5 km 內之估計淨沖刷量約 523 萬 m^3 泥砂，而壩下游 5 km 內之淨淤積量估計約 257 萬 m^3 ，故約有 266 萬 m^3 的泥砂隨河道輸砂逐步帶往下游榮華壩。

林欣怡(2008)採用擬似二維水理輸砂演算模式 NETSTARS 模式(Lee et al., 1996)，針對巴陵壩上下游各 5 km 之研究範圍進行動床輸砂演算模擬，根據模擬結果探討壩體移除後對河床變遷以及魚類棲地之影響，並計算河床穩定性指標(K)，發現巴陵壩潰壩 2 年後河床可達到穩定平衡，若將壩體分兩次拆除，則河床約 4 年可達到穩定平衡狀態，且後者達到平衡之 K 值較大，表示其河床較前者更為穩定(如圖 3-11、圖 3-12 所示)。但二次拆除的間隔時間長短並非是造成日後河床演變差異的主要原因，而是拆除間隔期間是否有發生颱風事件，故建議在工程實務上，儘量選擇在枯水期時進行壩體分次拆除作業。

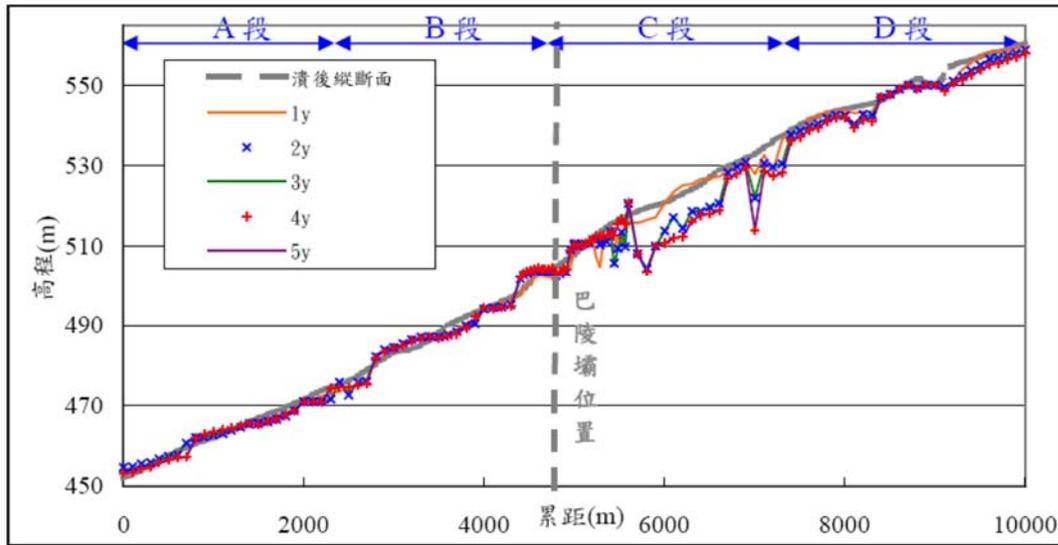
七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

經濟部水利署(2009)初步發現, 移除橫向水工結構物後, 表層細砂會被移開, 原本的粗砂或上游夾帶而下的粗砂會留在此而形成粗化現象; 細顆粒往下游移動過程, 會造成下游河床細砂填縫現象(fine sediment infiltration), 但長時間之後細砂填縫會消失, 可利用愛因斯坦細砂淤積公式推算細粒料填縫的沿程細砂淤積。而橫向水工結構物頂坡段坡度為原河床坡度的 $1/2-2/3$, 所以移除後的坡度會回復為原坡度(約為頂坡段坡度的 1.5-2 倍)。



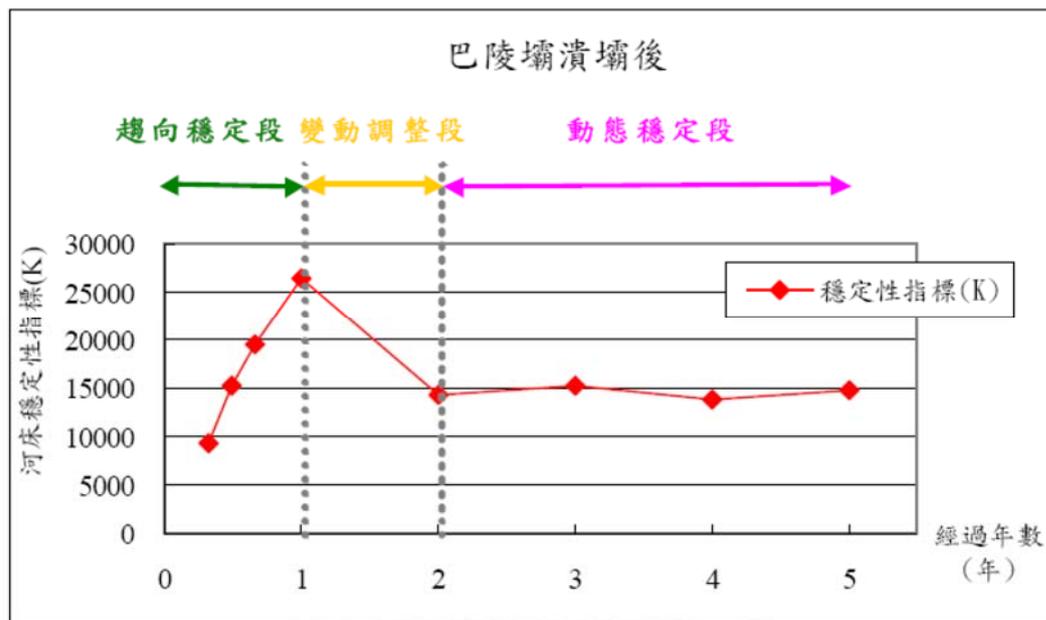
(水利署北區水資源局提供)

圖 3-10 巴陵壩現場照



(林欣怡，2008)

圖 3-11 模擬巴陵壩潰壩後-河床縱斷面模擬結果



(林欣怡，2008)

圖 3-12 巴陵壩潰壩後-穩定性指標(K)與經過年數之關係圖

Tullos and Wang (2014)藉由現地調查記錄探討(a)潰壩後，輸砂率在不同時期的變化與河道調整關係；(b)潰壩前後，流域土砂與水文事件對輸砂率的影響。結果說明，河道改變速率與形式受到流域水文事件、泥砂條件、河谷地形配置及與壩之距離所影響，其影響隨著時間及與壩之距離增加而減少。

3.3 壩體改善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 3-13 為一簡化表示壩體改善後歷經時間變化與各段的河相變化，明確指出壩體拆除後河相演變的時間尺度為至少十年，突顯了水文與泥砂長期監測之重要性。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，對於壩體改善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 3-14 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(王筱雯等人，2013)。

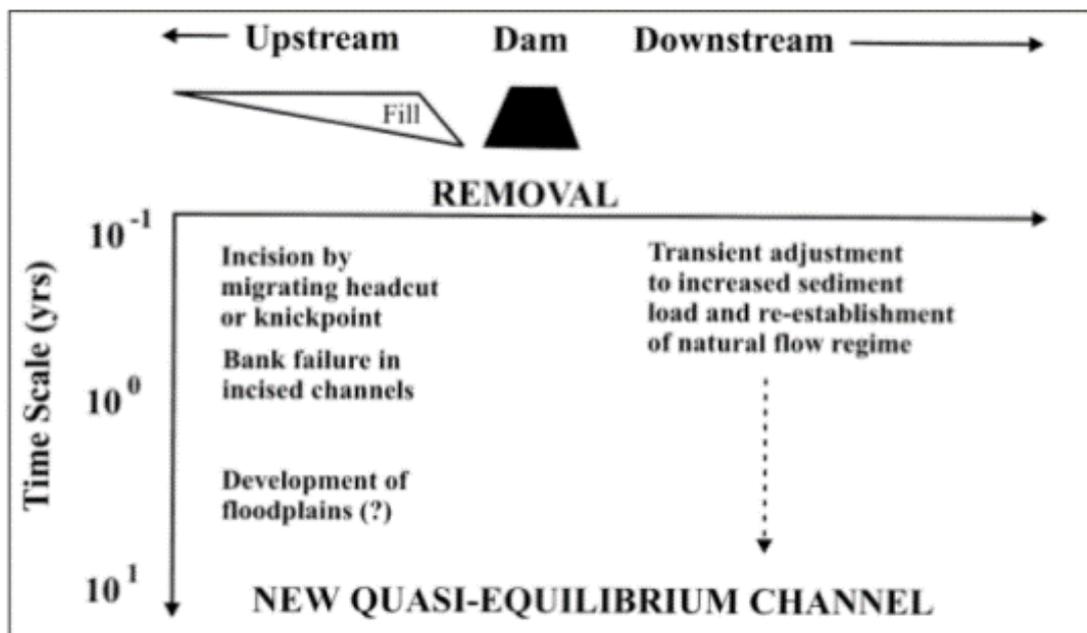


圖 3-13 壩體移除後河相演變時間示意圖 (Pizzuto, 2002)

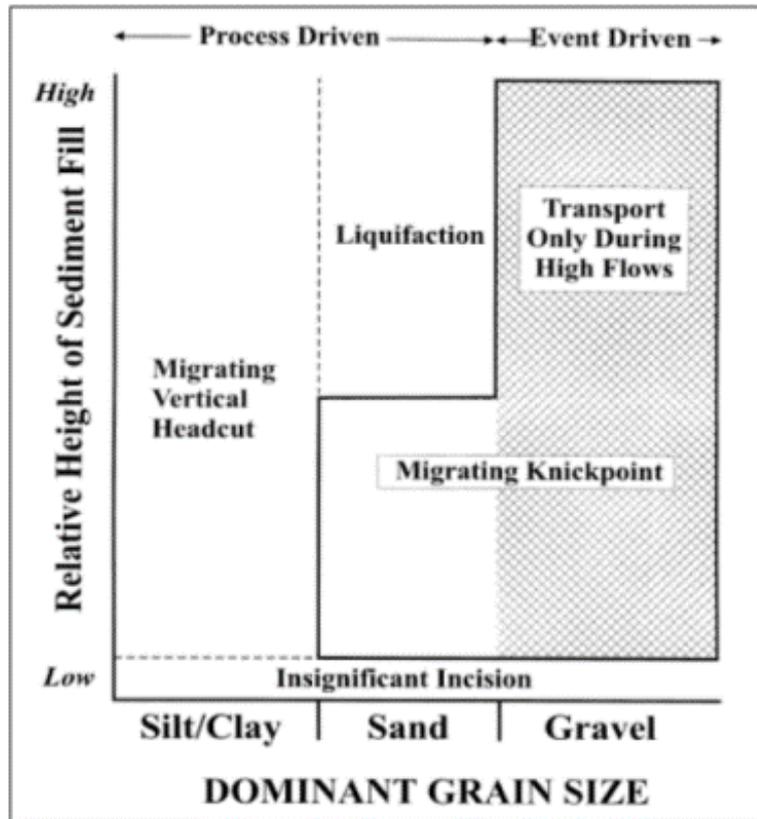


圖 3-14 不同泥砂淤積高度與組成運移關係圖 (Pizzuto, 2002)

為了解壩體改善後河道演變的過程與影響機制、及各階段變化的時間尺度，國外雖已有些壩體改善與河相觀點的河道演變模式已被發展與應用 (Pizzuto, 2002; Doyle et al., 2002, 2003; Evans, 2007)，但對於較高泥砂產量、陡坡之山區溪流河道演變之探討仍有限。王筱雯等人(2013)藉由七家灣溪一號壩壩體改善前後水文、地形與影像監測記錄，依據七家灣溪一號壩上游 48 m 處及下游 30 m 處斷面變化，修正 Doyle et al. (2002)與 Evans (2007)所提出之河道演變模式，分別定義上下游九個與六個河道演變階段，如圖 3-15。其中，上游階段 B'、階段 E1、E2、E3 與過去 Doyle et al.(2003)與 Evans (2007)所提概念有所不同，其原因乃在於壩體規模、河道岩盤、水文事件之時間點、河道泥砂粒徑組成、與河道坡度等因子之差異。據其研究，七家灣溪至今河相尚未達準平衡階段，持續觀察七家灣溪之後續演變與達到準平衡階段之過程有其必要。

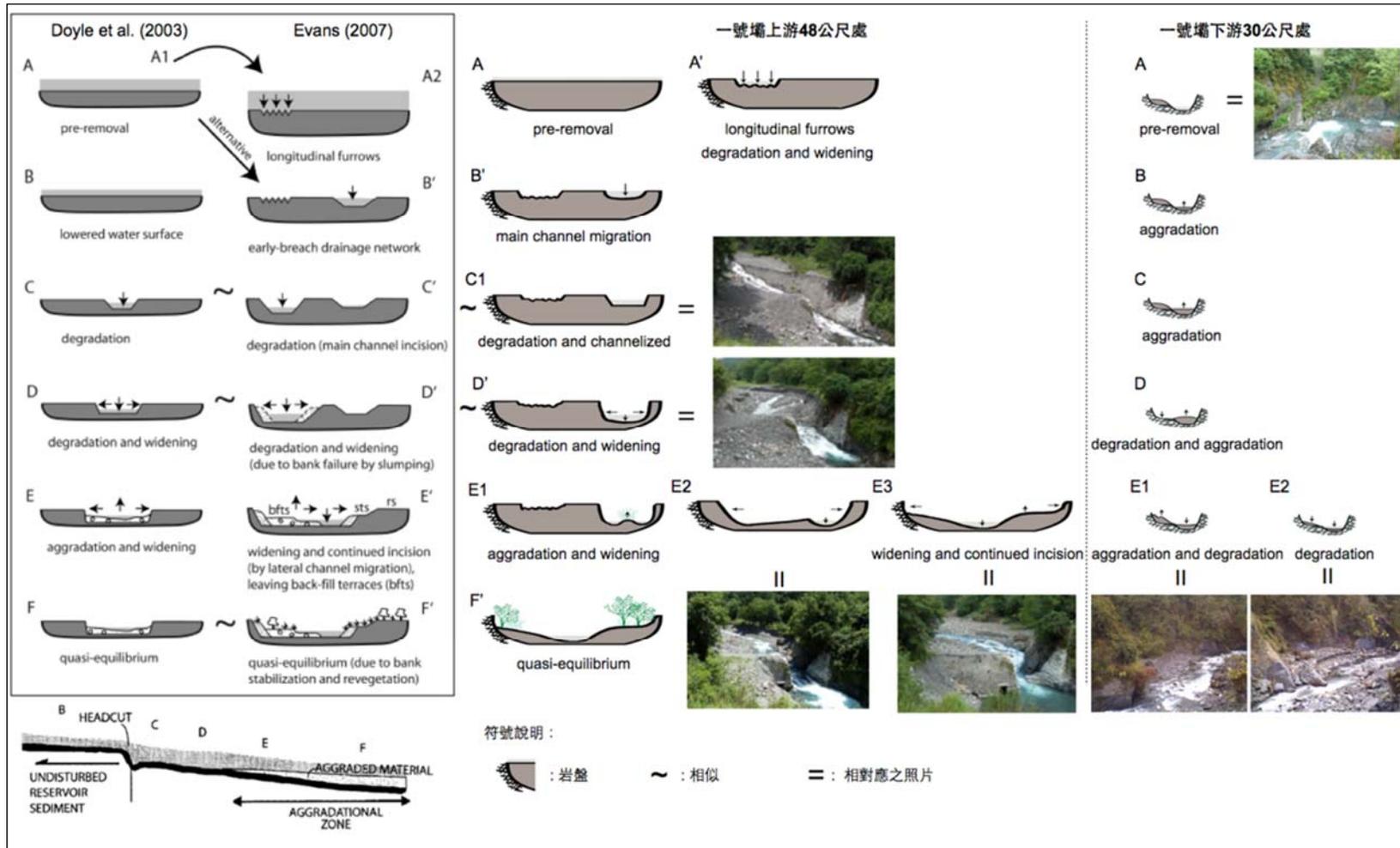


圖 3-15 七家灣溪河道演變模式 (王筱雯等人, 2013; Doyle et al., 2003; Evans, 2007)

3.4 問題初探

七家灣溪河道在不同強度水文事件下之環境變動性與複雜性高，且壩體改善至今已逾五年，因此針對河道環境現況整體了解有其必要。

參考王筱雯(2015)所提出之七家灣溪一號壩壩體改善後河道變遷指標，本計畫除將進行保全區域例行性監測，包含一號壩上游 50 至 200 m 之左岸側向侵蝕情形以及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道之淹水潛勢，亦將針對侵蝕土方量變化與一號壩上游其他結構物的安全性進行調查與了解，以進一步評估保全措施。

第四章 研究地區

4.1 地文資料

1. 流域背景資料

本計畫之研究範圍，係位於台灣中部地區之武陵農場，武陵地區海拔約 1,740~2,100 m，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 km²，總長約 15.3 km，為大甲溪上游的主要發源地，發源於桃山(3325 m)、池有山(3301 m)、品田山(3524 m)、雪山北峰(3702 m)和雪山(又稱興隆山，海拔 3886 m)之南側面，各發源地高程皆超過 3000 m。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 m 之間、流域平均高程介於 1650 至 3000 m(圖 4-2)；受到各山脈環繞，其流域境內坡度大部份為 55% 以上(圖 4-3)；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 4-4)，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 m 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)。

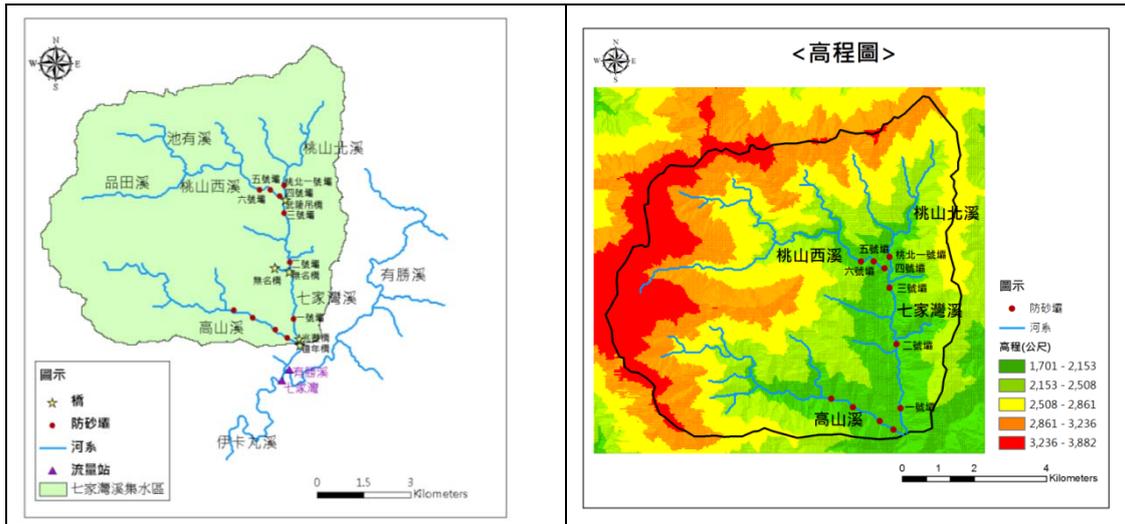


圖 4-1 七家灣溪集水區

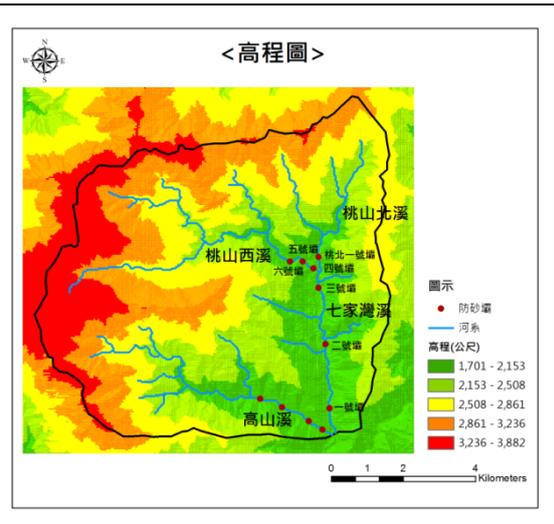


圖 4-2 七家灣溪流流域高程圖

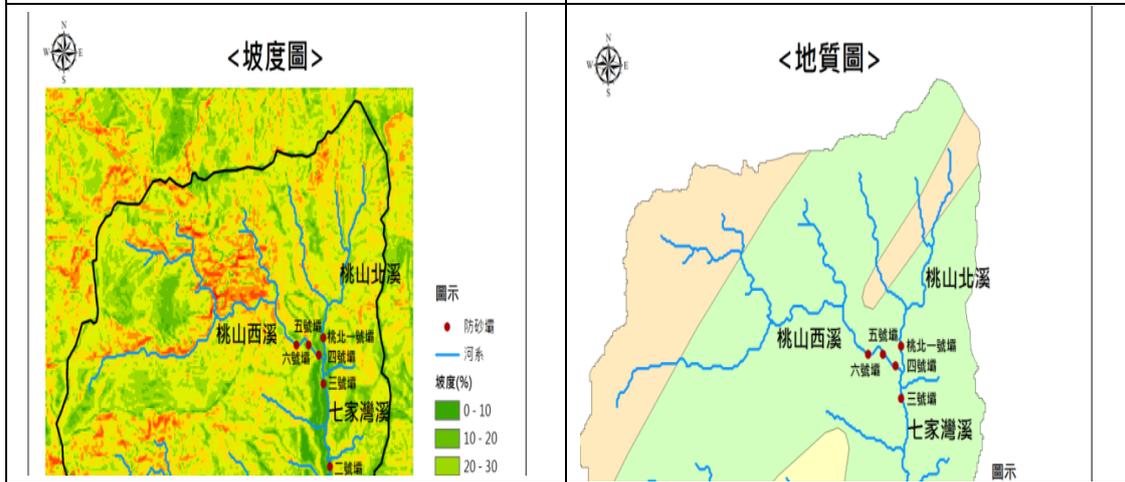


圖 4-3 七家灣溪流流域坡度圖



圖 4-4 七家灣溪流流域地質圖

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)。

4.2 水文資料

本區年平均氣溫為 15°C 左右；桃山雨量測站為氣象局所記錄距七家灣溪之最近雨量站，於 1970 至 2012 年記錄期間，平均年降雨量為 1988.1 mm，最大累積降雨曾達 3250 mm (2008 年)，最小累積降雨為 767 mm (1969 年)。七家灣溪流域內設有流量站兩站，分別為台灣電力公司所設置之有勝溪流量站與七家灣流量站。有勝溪流量站位於有勝溪，流域面積為 31.12 km²，流量資料由 1994 年開始記錄至今，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 km²，流量資料由 1964 年開始記錄至今，最大瞬時流量為 884.70 cms (2005/07/18)。

為了解七家灣溪水文事件發生之機率及對應之重現期流量，本團隊過去曾收集七家灣流量站 1981 年至 2012 年時流量資料(計 31 筆，於統計上符合樣本數多之條件)，以極端值選用法(Extreme-value series)選取各年之最大瞬時流量，並採用對數常態分佈(Logarithmic normal distribution)河川年最大洪水流量分佈來進行極端水文學之頻率分析(王定欽、陳文福，2007)。頻率分析結果如表 X，以供後續七家灣溪水文事件尺度判斷之參考依據。

同時，為評估臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心之淹水潛勢，本團隊亦透過集水區面積權重法推估臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心之年最大瞬時流量，並同樣藉由對數常態分佈方法進行頻率分析，以供保全區域淹水潛勢分析使用，結果如表 4-1。

表 4-1 七家灣流量站與臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心各重現期距對應之流量(cms)

	重現期距年							
	1.11	2	5	10	20	25	50	100
七家灣流量站								
集水區面積: 110.71 km ²	35.2	149.1	313.6	450.9	603.8	656.6	833.2	1030.1
臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心								
集水區面積: 50.64 km ²	30.2	109.4	223.9	319.4	425.8	462.6	585.4	722.5

由王筱雯(2011)所設置之萬壽橋水位測站記錄可知(圖 4-5)，自 2011 年 5 月 24 日壩體改善工程開始前至 2015 年 8 月 15 日期間七家灣溪共經歷十二次較大型之降雨事件(表 4-2)，造成水位大幅度變化，分別為九場颱風事件，米雷颱風(2011)、泰利颱風(2012)、蘇拉颱風(2012)、天平颱風(2012)、蘇力颱風(2013)、潭美颱風(2013)、麥德姆颱風(2014)、蘇迪勒(2015)、杜鵑(2015)與一場東北季風鋒面降雨(2011)，及兩場梅雨事件(2012 年 6 月 10 日與 2013 年 4 月 6 日)，於十二場事件之外其他時間亦有多次大小不一之小型降雨造成水位變化。萬壽橋水位測站所記錄之最高水位發生於 2012 年蘇拉颱風，水位約為 4.75 m (2012/08/02 04:55)，為近 20 年重現期距之事件；次高水位發生於 2015 年蘇迪勒颱風，水位約為 3.90 m (2015/8/8 15:00)，為近 5 年重現期距之事件(王筱雯，2015)。

表 4-2 各事件最高水位值

降雨事件	日期	萬壽橋最大時水位(m)
米雷颱風	2011/6/23~25	1.46 (2011/6/25 11:00)
東北季風	2011/10/3	1.42 (2011/10/3 9:00)
梅雨	2012/6/12	2.79 (2012/6/12 12:00)
泰利颱風	2012/6/19~21	1.19 (2012/6/20 19:00)
蘇拉颱風	2012/7/30~8/3	4.75 (2012/8/2 4:00)
天秤颱風	2012/8/21~25	1.20 (2012/8/24 3:00)
梅雨	2013/4/6	1.36 (2013/4/6 2:00)
蘇力颱風	2013/7/11~13	3.59 (2013/7/13 5:00)
潭美颱風	2013/8/20~22	1.94 (2013/8/21 21:00)
麥德姆颱風	2014/7/21~23	2.21 (2014/7/23 6:00)
蘇迪勒颱風	2015/8/6~9	3.90(2015/8/8 15:00)
杜鵑颱風	2015/9/27~29	-

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

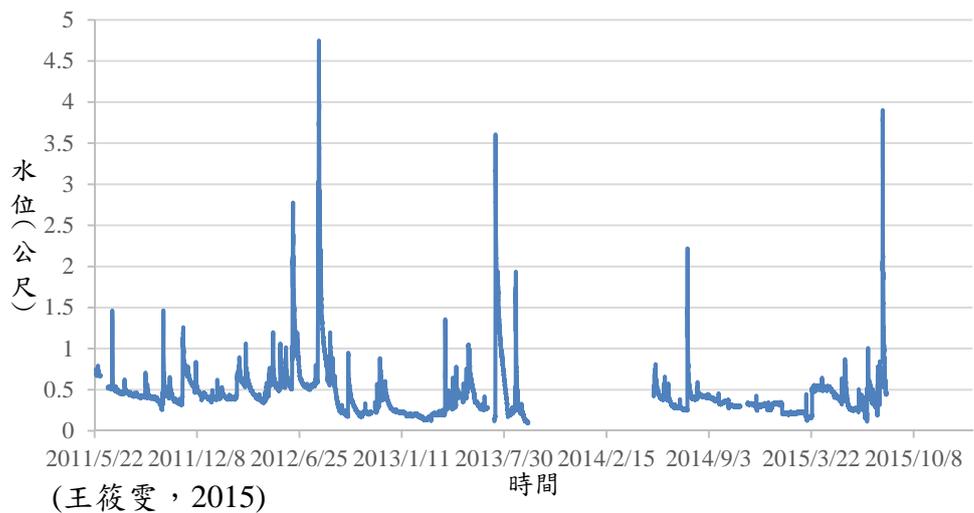


圖 4-5 萬壽橋水位測站之時水位資料

4.3 航照圖資料

本研究團隊曾向行政院農業委員會林務局農林航空測量所購買武陵地區航照圖，去除雲層及其他雜訊，並考量時間序列之變遷資訊，取得 1980、1987、1996、2001、2003、2005、2008、2009 年航照圖，利用地理資訊系統 ArcGIS 定位各年度航照圖(圖 4-6)，進一步描繪七家灣溪歷年流路變化(圖 4-7)，相關成果皆應用於物理棲地繪製、崩塌地判釋、大斷面調查等現場相關工作之底圖(王筱雯，2010；王筱雯，2012)。

農林航空測量所販售之衛星航照圖經過數道影像校正程序後點位精確，但因校正程序需耗費大量時間人力，故以七家灣溪而言，影像皆非即時成果；因近幾年來航拍設備器材進步，航拍成果經地理資訊系統 GIS 定位後已達可作研究用途之精度，本研究為取得較為即時之航拍影像資料，自費購置相關器材，並將拍攝成果應用於本研究。

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

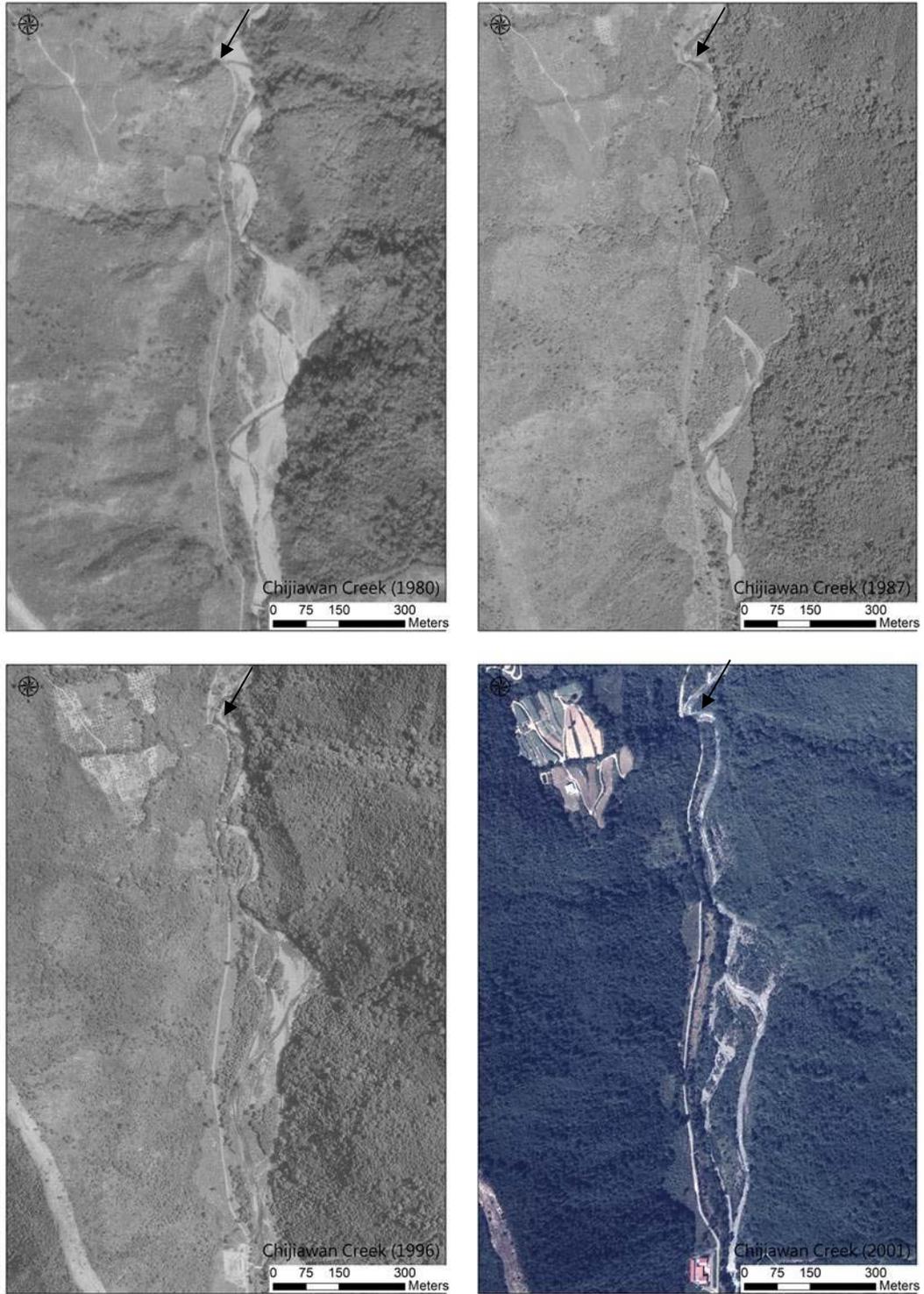


圖 4-6 七家灣溪歷年航照圖(1/2)

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

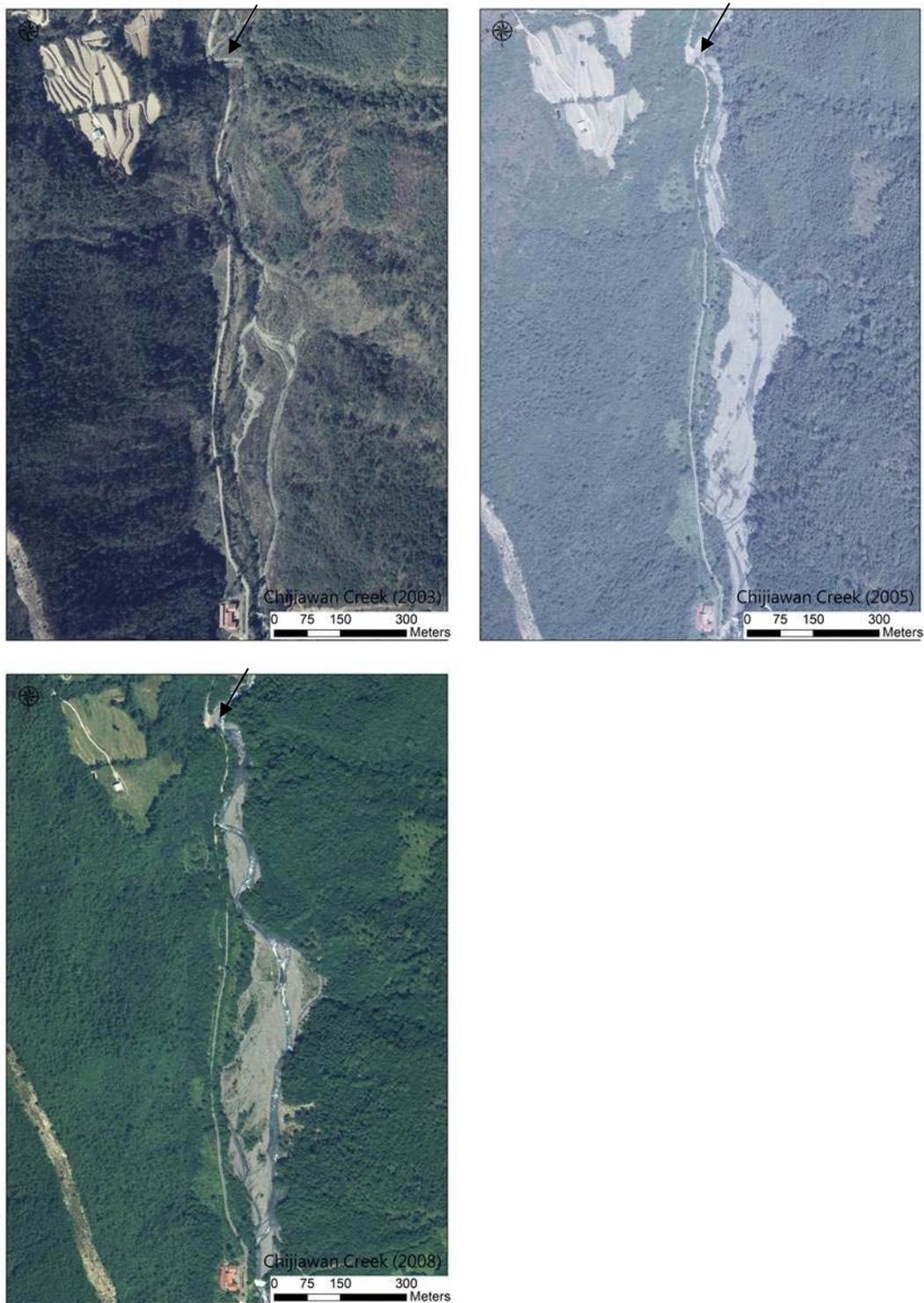


圖 4-6 七家灣溪歷年航照圖(2/2)

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

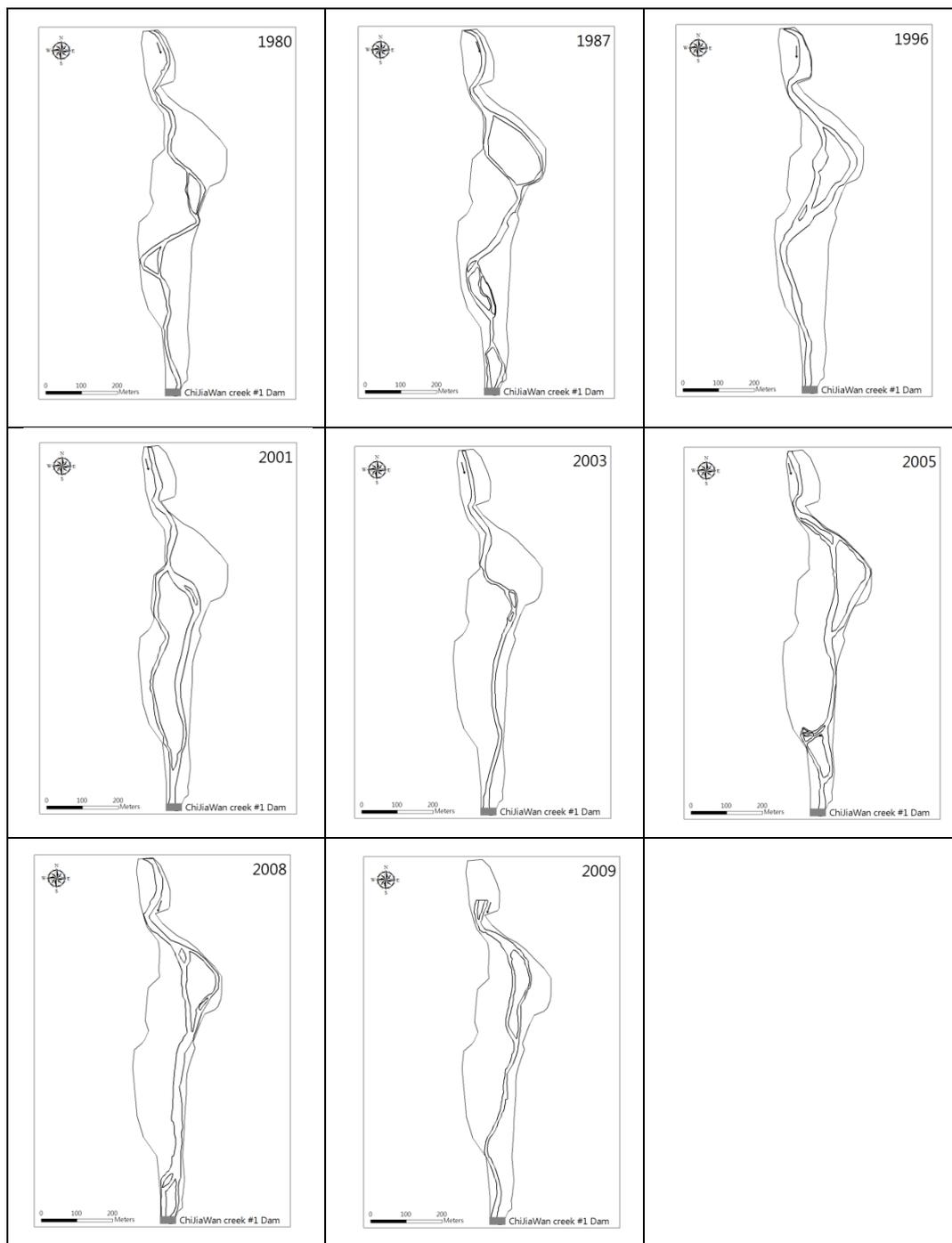
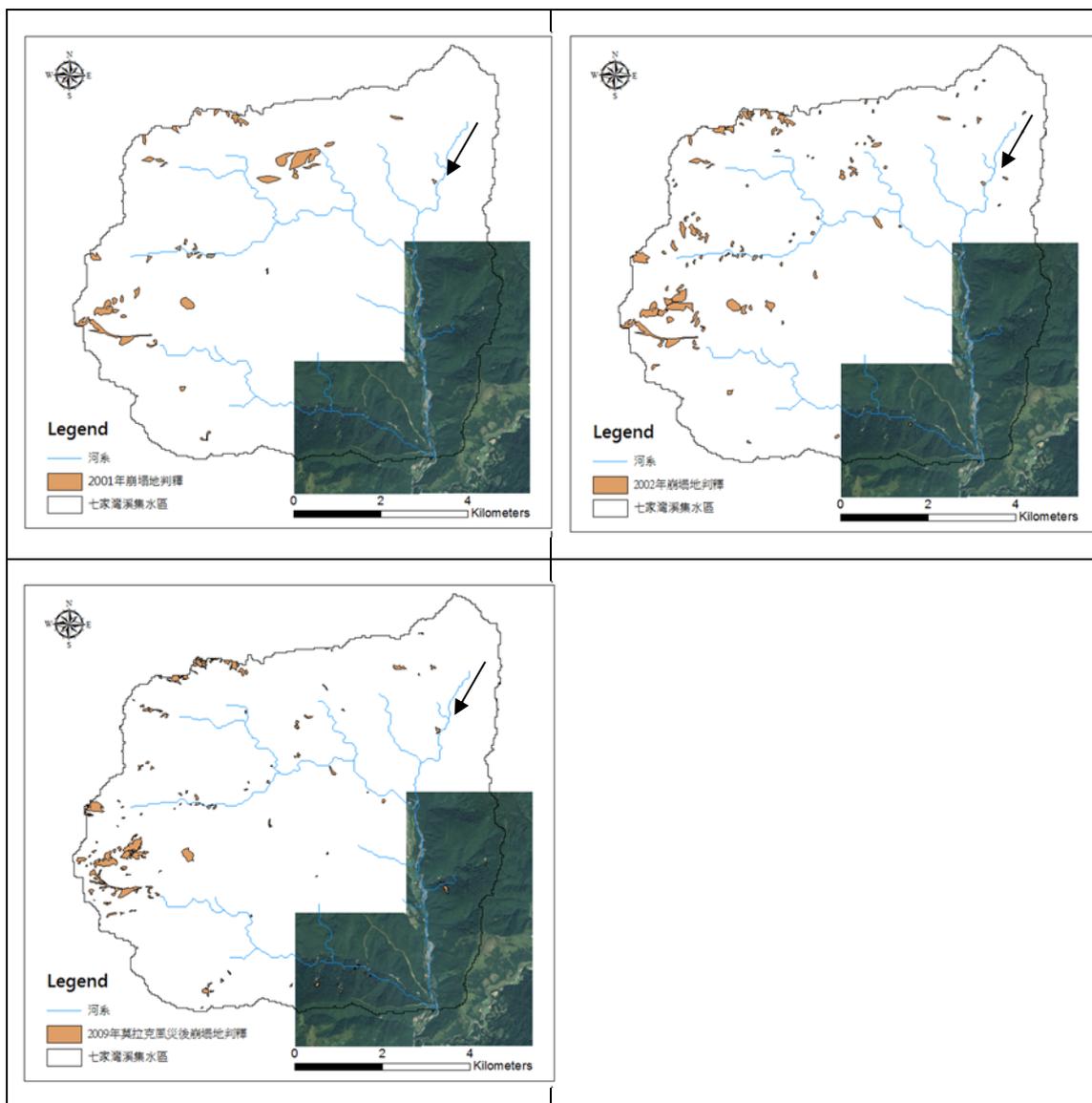


圖 4-7 1980 年~2009 年河道變遷情形

4.4 崩塌地與岩盤判釋

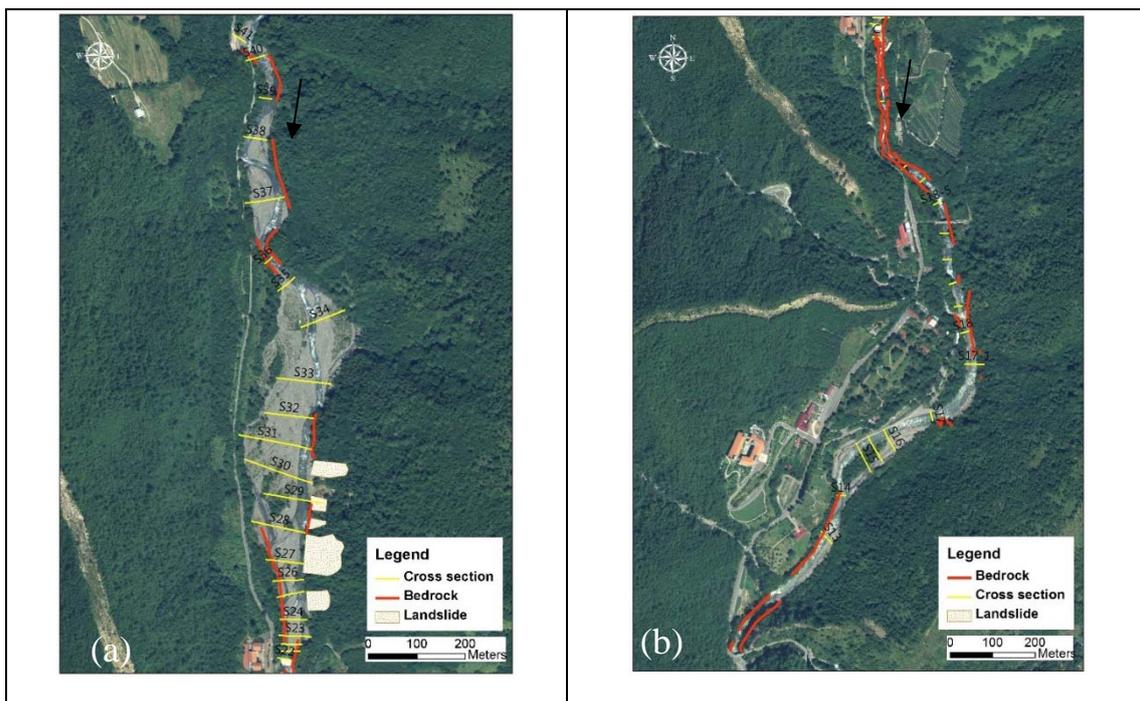
王筱雯(2010)蒐集研究區域崩塌地相關資訊，根據成功大學防災中心利用衛星航照圖判釋 2001 年(桃芝颱風前)、2002 年(桃芝颱風後)與 2009 年(莫拉克風災後)崩塌情形可知，七家灣溪流流域崩塌情形集中於集水區更上游源頭地區，且 2002 年崩塌地數量較 2001 年、2009 年多(如圖 4-8)，2001 年、2002 年及 2009 年之總崩塌面積分別 113 萬 m^2 、279 萬 m^2 以及 180 萬 m^2 。



(王筱雯，2010)

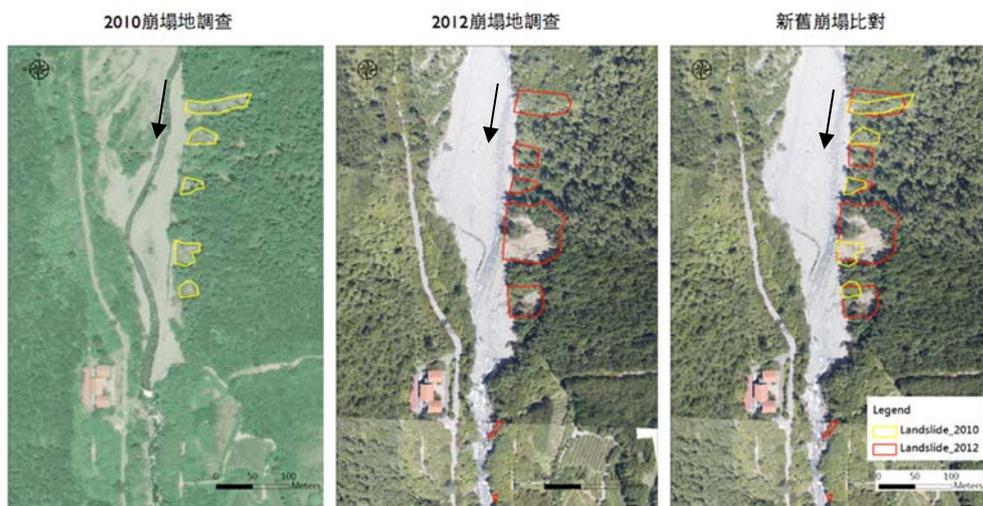
圖 4-8 七家灣流域 2001、2002、2009 年崩塌地變遷

王筱雯(2012)根據於農林航測所取得之 2010 年航照圖與 2012 年空拍機影像搭配現地調查，針對七家灣溪一號壩上游 1.4 km 至下游 1.8 km 之區域內進行邊坡崩塌位置與範圍之界定，以及岩盤狀態調查。由航照圖及空拍影像分析與現地調查結果得知一號壩上游 500 m 及下游 200 m 內共 7 處崩塌及岩盤外露區域 21 處，分布位置如圖 4-9(a)與 4-9(b)。其中，上游 115 m、250 m、310 m 及 425 m 等四處崩塌地為 2010 年(王筱雯，2010)即已調查之舊有崩塌地，其餘三處皆為新生崩塌地(圖 4-10)，由崩塌位置來看，一號壩上游之崩塌皆鄰近既有崩塌或是既有崩塌面積加大，推估該處地質原本即較為脆弱，壩體改善後又適逢強降雨長延時洪水事件，降雨觸發崩塌。同時，側向侵蝕亦減弱坡腳支撐強度，故於原崩塌鄰近處加大原崩塌範圍或產生新崩塌；一號壩下游崩塌規模極小，崩塌處下方屬堅硬岩盤，上方岩石推估屬砂岩互層，推估為降雨破壞原本穩定狀態而觸發崩塌。至於岩盤部分，壩體改善前，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，壩體改善後，壩上游左右岸經歷數場大小不一的洪水事件後岩盤出露。



(王筱雯，2012)

圖 4-9 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



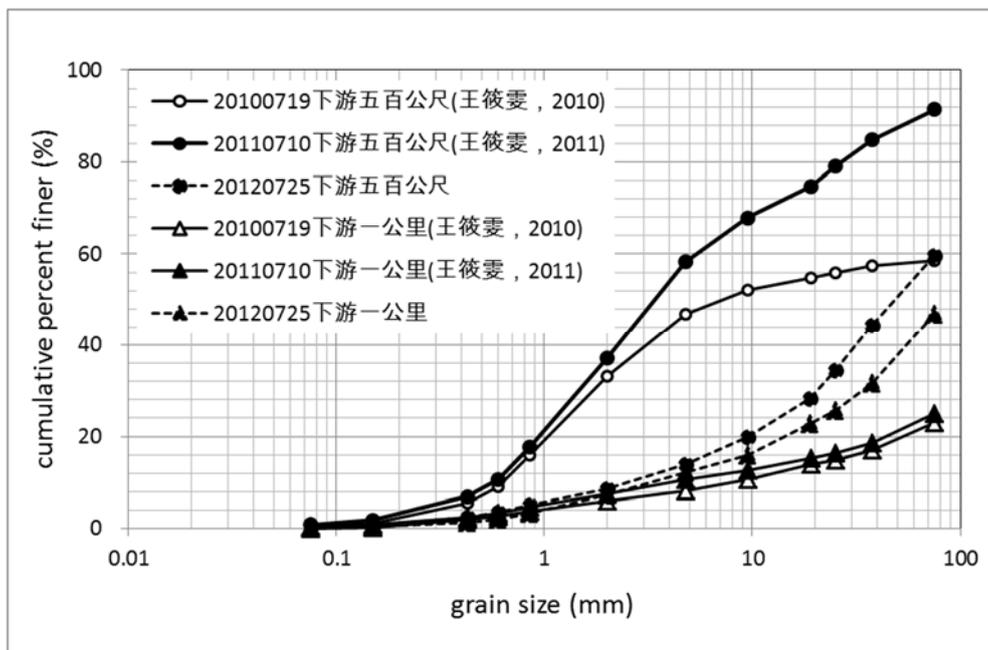
(王筱雯，2012)

圖 4-10 新舊崩塌地比對

4.5 河床質資料

針對河道高灘地河床質變化，王筱雯(2011)於壩體改善後(2011年7月10日)針對七家灣溪一號壩上下游1 km 處以及下游500 m 處等共三處進行1 m×1 m×1 m 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，並進一步與壩體改善前(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，進一步於壩體改善一年後(2012年7月25日)針對七家灣溪一號壩下游500m、1 km 處進行主河道明坑挖掘採樣。由粒徑分析結果可知下游500 m 處之代表粒徑 $D_{50}=75\text{ mm}$ ($D_{30}=25\text{ mm}$)；下游1 km 處之代表粒 $D_{30}=37.5\text{ mm}$ 。

壩體改善前後河道內下游1 km 內泥砂粒徑級配比較如圖4-11，由下游500 m 處的粒徑分布可明顯看出壩體改善一年後，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1 km 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。



(王筱雯，2015)

圖 4-11 七家灣溪一號壩明坑挖掘下游各區粒徑級配比較圖

針對河道行水區河床質變化，逢甲大學葉昭憲老師研究團隊於七家灣溪設置了觀魚台、一號壩上游 100 m、一號壩下游 100 m 與繁殖場四個樣站(如圖 4-12)，並於 2011 到 2015 年進行棲地底質調查。量測方法為設置間距 20 m 之穿越線，先測定各河段之河寬後，並於河寬 1/4、2/1 與 3/4 處分別以腳踏法和目視法判定來觀測底質礫石。



(資料來源:葉昭憲，2015)

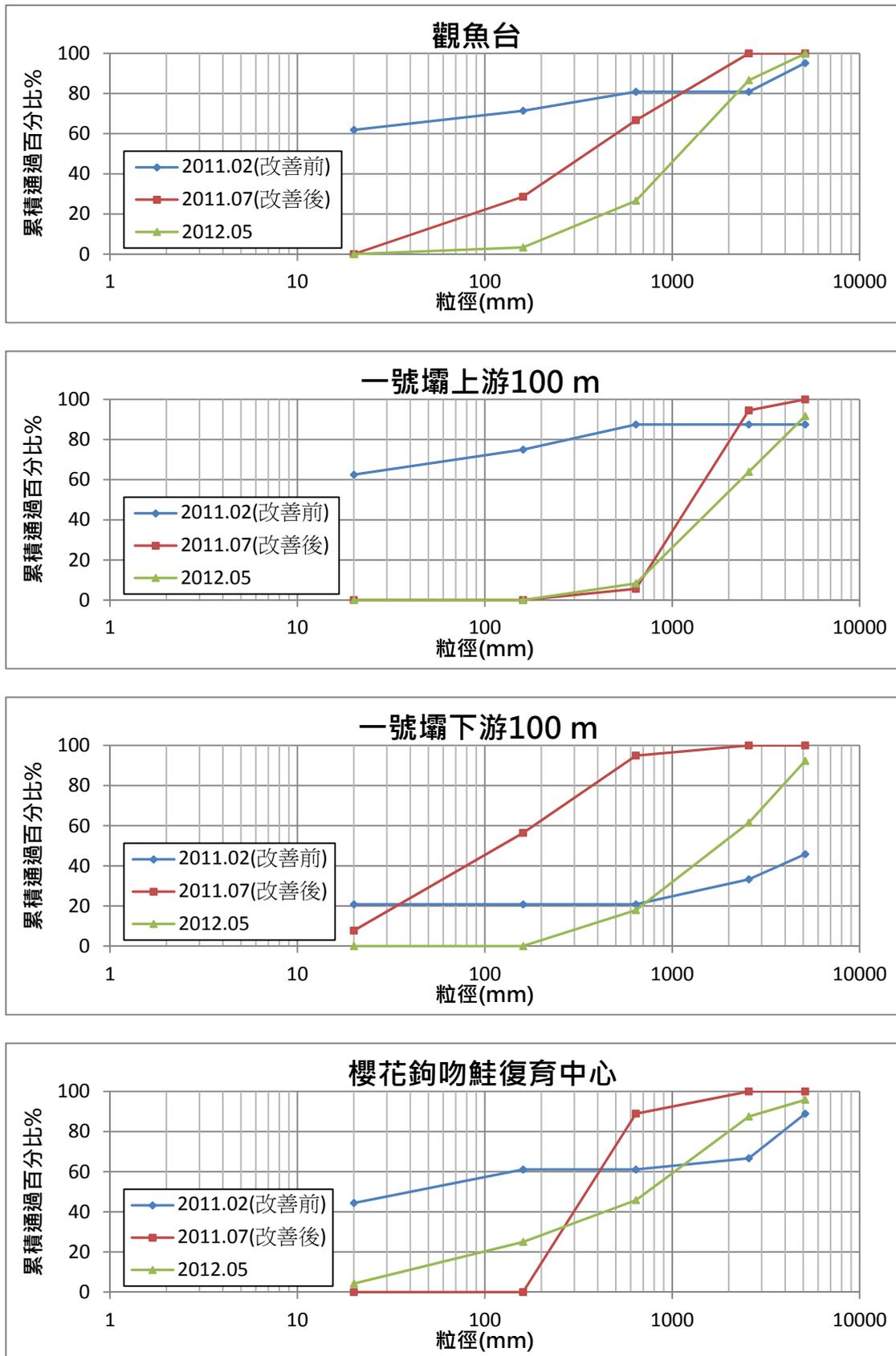
圖 4-12 七家灣溪各樣站斷面位置圖

本研究收集 2011 年至 2015 年之成果，如圖 4-13~4-15。由 2011 至 2012 年調查中發現(如圖 4-13)，觀魚台樣站底質有粗化現象發生。由於觀魚台樣站位於遠離溯源侵蝕河段，因此底質粒徑變化主要是受水文事件所影響；而隨著壩體改善後，原淤積於庫區後方的細粒料泥砂被帶往下游，造成一號壩上游 100 m 處底質有粗化現象，並隨時間推移有更明顯之粗化趨勢；一號壩下游則因上游帶下來的細粒料泥砂淤積於下游，一號壩下游 100 m 底質初期有明顯細化，隨時間推移

細粒料泥砂又繼續往下游運移造成底質粗化現象，整體而言，底質仍較壩體改善前細化；臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心(繁殖場樣站)於壩體改善後，初期同樣有細化現象，隨時間推移逐漸有粗化現象，但整理而言底質同一號壩下游 100 m 樣站偏向細化。

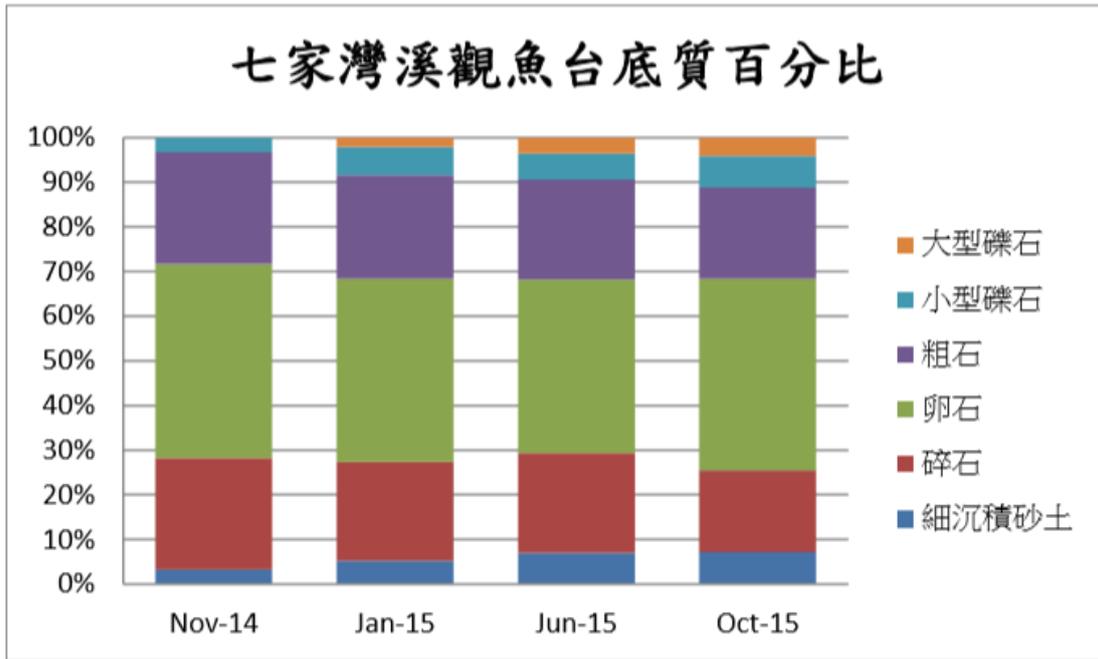
隨著壩體改善後經歷不同的大水事件後，由 2014 年 11 月至 2015 年 10 月觀魚台樣站(壩上游約 1.4 km)和七家灣溪繁殖場樣站(壩下游約 800 m 處)中的底質調查結果顯示(如圖 4-14~15)，觀魚台樣站大型礫石的比例有略增的趨勢，可能是因為蘇拉颱風 20 年重現期距流量啟動粗粒料運移所影響，而其他粒徑組成並沒有明顯的變化；而由繁殖場樣站結果可看出 2015 年中各次的調查結果中大粒徑底質的比例皆高於 2014 年 11 月(葉昭憲，2015)。

比較本研究團隊與葉昭憲老師研究團隊之成果顯示，雖兩團隊採樣地點及方法不同，但七家灣溪下游河道於壩體改善後皆呈現一個先細化再粗化的現象。



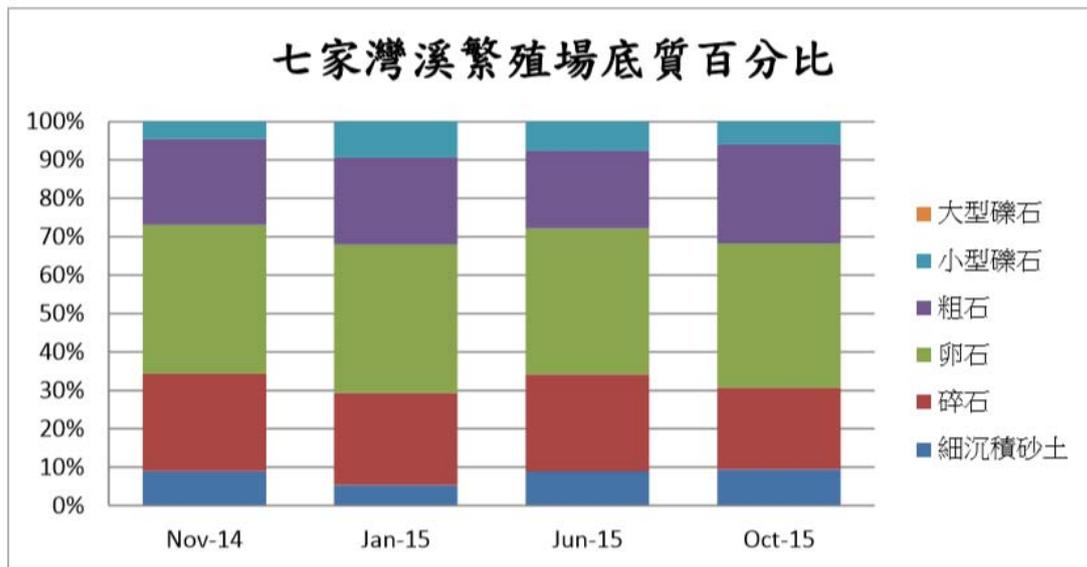
(資料來源：葉昭憲，2015，本研究重繪)

圖 4-13 七家灣溪各樣站底質採樣結果比較



(資料來源：葉昭憲，2015)

圖 4-14 七家灣溪觀魚台樣站底質比例



(資料來源：葉昭憲，2015)

圖 4-15 七家灣溪繁殖場樣站底質比例

第五章 影像監測與現地調查

本研究為探討壩體改善後河相改變對臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心之可能影響，延續王筱雯(2011；2014；2015)於七家灣溪一號壩及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心右岸設置影像監測系統進行監測。除上述定點監測儀器外，本委託辦理計畫亦進行現地調查及縱橫斷面調查，以了解河道環境之河道坡度、溯源侵蝕、侵蝕土方量、側向侵蝕、崩塌地調查以瞭解一號壩及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道環境變遷，並推估一號壩上游侵蝕土方量，壩體安全性調查。

本計畫之現地監測項目及結果如下：

5.1 定點監測

(一) 影像監測

為掌握洪水期間一號壩及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道可能影響，本計畫將延續王筱雯(2011)2011年5月24日於七家灣溪一號壩下游右岸位置(面向上游拍攝)之影像監測系統及王筱雯(2014)於臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心右岸位置(面向左岸拍攝)新設置之影像監測系統，藉以記錄洪水事件完整歷程，監測系統採用高解析度的 IP Camera(EV8781F IP Camera，Video:2592 x 1920)，影像監測系統相關照片如圖 5-1。

王筱雯(2012)指出壩體改善後，壩體上游河段於 2012 年經歷梅雨、泰利颱風以及蘇拉颱風，壩上游 50 m 內左右岸土砂幾乎已侵蝕至岸壁處，壩上游左岸 50 至 200 m 側向侵蝕則接近邊坡坡腳處。根據今年度(2016)影像監測成果指出 2016 年 9 月 25 日梅姬颱風事件期間於一號壩(表 5-1)及台灣櫻花鉤吻鮭復育中心(表 5-2)之影像記錄，由水文及影像監測結果 9 月 26 日和 9 月 30 日一號壩影像監測記錄原左岸水際線紅色線段可知，2016 年梅姬颱風事件期間一號壩上游河段尚未達到滿岸流量且左岸河段未有明顯之河岸侵蝕情形發生。2016 年梅姬颱風(2016 年 09 月 25 日~28 日)後，本委辦計畫根據 2016 年 9 月 25 日於一號壩影

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

像監測記錄(圖 5-2)，可知 2016 年上半年所發生之降雨事件皆未對壩上游 50 m 至 200 m 左岸邊坡穩固及安全造成威脅；台灣櫻花鉤吻鮭復育中心之影像監測記錄(圖 5-3)亦顯示河道環境並無明顯變化。未來如經大型洪水事件，針對壩上游以及台灣櫻花鉤吻鮭復育中心的河道環境變化，本委辦計畫將持續監測。



圖 5-1 影像監測系統相關照片

表 5-1 梅姬颱風期間七家灣溪一號壩測站監測影像



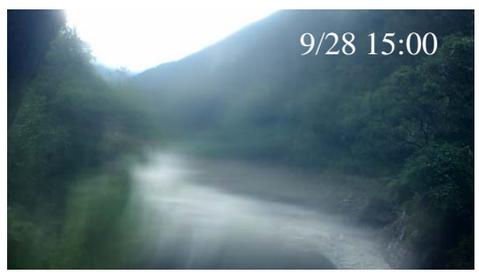
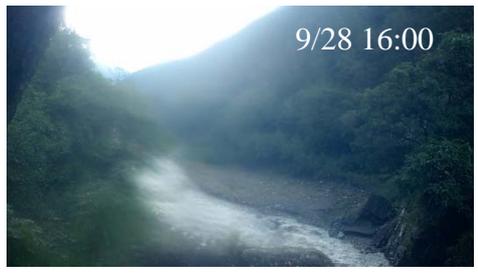
七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

表 5-1 梅姬颱風期間七家灣溪一號壩測站監測影像(續)



七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

表 5-1 梅姬颱風期間七家灣溪一號壩測站監測影像(續)

 <p>9/28 12:00</p>	 <p>9/28 13:00</p>
 <p>9/28 14:00</p>	 <p>9/28 15:00</p>
 <p>9/28 16:00</p>	 <p>9/28 17:00</p>
 <p>9/29 06:00</p>	 <p>9/29 07:00</p>
 <p>9/30 06:00</p>	

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

表 5-2 梅姬颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像



七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

表 5-2 梅姬颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像(續)





2016年6月3日



2016年9月25日

圖 5-2 七家灣溪一號壩測站監測影像



2016年6月3日



2016年9月25日

圖 5-3 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像

5.2 現地監測

(一) 斷面調查

地形量測可幫助了解七家灣溪河道環境整體狀況，如河道坡度、溯源侵蝕、侵蝕土方量變化等，以及一號壩上游 50 至 200 m 之左岸側向侵蝕情形與臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道之淹水潛勢。在同一測量範圍、點數密度的情況下，各種測量地形方法之成本、精度與限制比較如表 5-3，在山區衛星訊號不佳與經費受限的情況下，本委託辦理計畫採用電子全站儀(Leica FlexLine TS02)進行河道地形調查：(1)於七家灣溪一號壩上游約 1.4 km (觀魚台)及下游約 1.8 km (萬壽橋)之河段進行縱斷面量測，以了解河道坡度變化與溯源侵蝕終點位置；(2)於七家灣溪一號壩至上游約 1.4 km 河道範圍內進行共計 21 個橫斷面量測，以供後續侵蝕土方量估算使用；(3)於一號壩上游 50 m 處進行橫斷面量測，以了解河道側向侵蝕情形，選擇斷面為斷面編號 S23。S23 斷面，河寬約 70 m，右岸為岩盤地形緊鄰道路及武陵管理站，左岸為可侵蝕之河岸邊坡(圖 5-4)；以及(4)於臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道進行橫斷面量測，以了解河道環境狀況並供後續河道可通洪能力計算使用，選擇斷面為壩下游約 800 m (斷面編號 S18)與壩下游約 880 m (斷面編號 S17-1)。S18 斷面位於高山溪與七家灣溪匯流口下游約 30 m 處，河寬約 33 m，右岸建築為臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心，左岸為連續岩盤(圖 5-5)。S17-1 位於 S18 斷面下游約 80 m 處，河寬約 43 m，兩岸皆為植生(圖 5-5)。本研究團隊於 2010 年 4 月 11 日至 2016 年 11 月 14 日期間共進行十五次調查，調查日期及項目詳表 5-3。

本研究為量化斷面量測之結果，以 2010 年 4 月 11 日調查(S23 斷面)或 2012 年 2 月 13 日調查(S17-1 與 S18 斷面)為基準，計算各次斷面調查之面積變動量(如式 1)。

斷面面積變動量=(斷面平均高程－基準斷面之平均高程)*斷面寬度 (式 1)

表 5-3 河道地形測量方法比較(本研究整理)

測量方法	全測站		即時動態定位技術(Real Time Kinematic, RTK)	光達 (Light Detection and Ranging, LiDAR)	
	具反射稜鏡	不具反射稜鏡		空載 Airborne LiDAR	地面 Terrestrial LiDAR
儀器型號	TS02 (Leica)		GPS 1201 (Leica)	SHOALS-1000T (Optech)	Scanstation C10 (Leica)
測量媒介	近紅外光		衛星	雷射	雷射
測量限制	夜間測量受限		至少需接收 5 顆衛星；易受遮蔽物影響接收訊號	水深量測範圍為 0.2 m~50 m，較淺水深無法測得；無法穿透茂密植被區	
測量精度	1.5 mm+ 2*10 ⁻⁶ *D	2 mm+ 2*10 ⁻⁶ *D	水平方向 1-2 cm 垂直方向 2-3 cm	水平: 25 cm 垂直: 2.5 m	位置: 6 mm 距離: 4 mm
測量距離	3500 m	400 m	N/A	215 m	300 m
測量時間	長	長	中	短	短
後處理時間	短	短	短	長	長
儀器價格	低(數十萬)		中(近百萬)	昂貴(數千萬)	高(數百萬)
人力需求	大	大	小	小	小

表 5-4 斷面現地調查時間表

項次	日期	縱斷面	S23	S18	S17-1
1	2010.04.11	●	●	●	
2	2011.06.09	●			
3	2011.06.30	●	●	●	●
4	2012.02.13	●	●	●	●
5	2012.07.22	●			
6	2012.09.09	●	●	●	●
7	2013.06.26		●	●	●
8	2013.09.13	●			
9	2013.10.24		●	●	●
10	2014.05.17			●	●
11	2014.10.30	●	●	●	●
12	2015.03.25			●	●
13	2015.11.24	●	●	●	●
14	2016.06.03		●	●	●
15	2016.11.14	●	●	●	●



圖 5-4 S23 斷面左岸河道環境(照片為本研究於 2015 年 1 月 28 日拍攝)

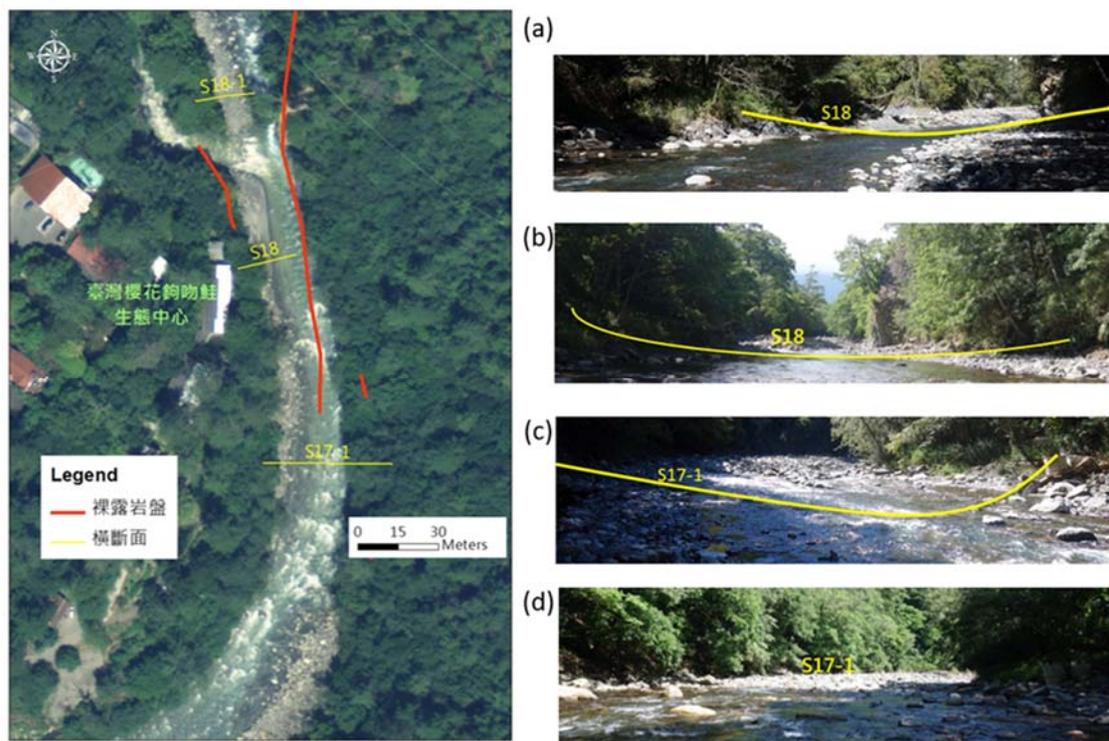


圖 5-5 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心河道環境 (航照底圖為農林航空測量所於 2008 年 9 月 21 日拍攝；現場照片為本研究於 2016 年 11 月 14 日(a、c)及 2015 年 10 月 17 日(b、d)拍攝)

1. 縱斷面

從 2010 年到目前為止，本研究團隊共進行十次縱斷面量測，主要範圍為上游觀魚台至下游萬壽橋(如圖 5-6)，並根據調查結果推算七家灣溪上下游 1.2 km 不同河段之各時期河道坡度，如表 5-5 所示。由圖中發現壩體改善後，隨著時間推進，溯源侵蝕逐漸往壩體上游傳遞，壩體下游開始淤積。由 2011 年 6 月 9 日縱斷面調查結果發現壩下沖刷坑已被泥砂填滿，溯源侵蝕終點約略在壩上游 150 m 處，壩上游 0 至 200 m 河段之河道坡度由 0.01 增加至 0.13，壩下游 0 至 200 m 河段之河道坡度則由 0.02 增加至 0.07；米雷颱風後，2011 年 6 月 30 日縱斷面測量結果發現溯源侵蝕終點約略到達壩上游 250 m 處，2012 年 2 月 13 日縱斷面調查結果並沒有太大變化，溯源侵蝕終點仍停留於壩上游約 250 m 處，壩上游及壩下游 0 至 200 m 河段之河道坡度皆減緩至 0.04；2012 年梅雨與泰利颱風後之 2012 年 7 月 22 日縱斷面測量結果顯示溯源侵蝕終點上移，約略到達壩上游 400 m 處(S30)，壩上游 0 至 400 m 河段之坡度介於 0.02 至 0.03 之間，下游淤積終點亦有變動，約略下移到達壩下游 400 m 處(S18-6)，壩下游 0 至 400 m 河段之坡度為 0.02；蘇拉颱風後，於 2012 年 9 月 9 日可看出溯源侵蝕終點繼續明顯上移，約略到達壩上游 800 m 處(S36)，壩上游 0 至 400 m 河段之坡度介於 0.02 至 0.04 之間，下游淤積終點則約略到達壩下游 900 m 處(S17-1)，壩上游 0 至 400 m 河段之坡度介於 0.02 至 0.03 之間。根據 2016 年 11 月 14 日之調查結果顯示來推估，上游溯源侵蝕終點仍停留於上游 800 m 處(S36)，而下游淤積終點則同樣約於壩下游 900 m 處(S17-1)，整體而言，七家灣溪壩上下游 1.2 km 河段範圍內，除壩上游 0 至 200 公尺內河段之河道坡度在 0.03 至 0.04 間調整外，其於河段之河道坡度皆在 0.02 至 0.03 之間調整。

表 5-5 各河段河道坡度表

Surveyed date	-1K-200~0k-800	0k-800~0k-400	0k-400~0k-200	0k-200~0k+000	0k+000~0k+200	0k+200~0k+400	0k+400~0k+800	0K+800~1K+200
2010/04/11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
2011/06/09	No data	No data	No data	0.07	0.13	0.02	0.02	0.02
2011/06/30	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02
2012/02/13	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02
2012/07/22	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
2012/09/09	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02
2013/09/13	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02
2014/10/30	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02
2015/11/24	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
2016/11/14	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03

同時，本研究團隊亦推算臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道約 100 m 之河段各時期之河道坡度以供後續河道通洪能力計算使用，如表 5-6 所示。由調查結果可知，洪水事件期間上游帶下來的大量泥砂造成下游河道淤積而使坡度變陡，如 2014 年麥德姆颱風後，S18 斷面(壩下游 801 m)之主深槽高程抬高 0.2 m，S17-1 斷面(壩下游 880 m)之主深槽下刷 0.4 m，造成該河段坡度由 0.023 增至 0.032，而汛期過後隨著上游來砂減少，原本淤積的泥砂漸漸被帶往下游而使坡度趨緩，於 2015 年蘇迪勒及杜鵑颱風後，S18 斷面(壩下游 801m)主深槽下刷 1m，而 S17-1 斷面(壩下游 880 m)之主深槽無明顯沖淤變化，造成河段坡度由 0.029 減緩至 0.024，而汛期過後隨著上游來砂減少，2016 年 6 月 3 日調查河道坡度由 0.024 減緩至 0.020。2016 年莫蘭蒂、梅姬颱風事件後，由調查結果可知河道坡度無明顯變化。

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

表 5-6 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道坡度

年度	2012		2013		2014		2015		2016	
日期	2/13	9/9	6/26	10/24	5/17	10/30	3/20	11/24	6/3	11/14
坡度	0.018	0.026	0.022	0.026	0.023	0.032	0.029	0.024	0.020	0.021

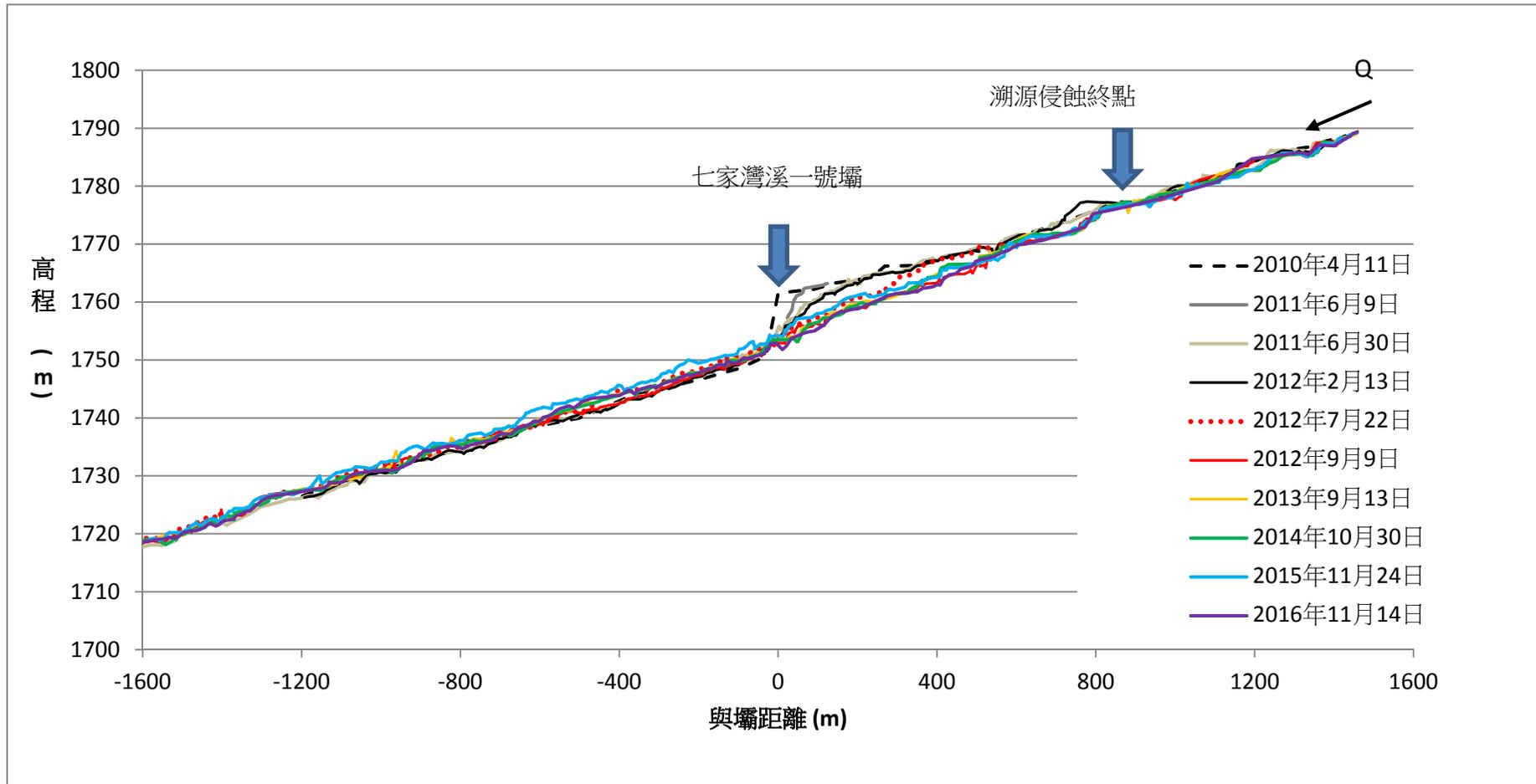


圖 5-6 七家灣溪縱斷面調查成果

2. 橫斷面

S23 斷面調查及斷面面積變動量結果如圖 5-7、圖 5-10。壩體改善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 m，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 m 外，河道亦發生側向侵蝕，侵蝕距離右岸約 7 m，左岸約 2 m，斷面侵蝕面積為 150 m²。蘇拉颱風後，於 2012 年 9 月 11 日量測結果可看出主深槽僅下刷 0.3 m，側向侵蝕致右岸岩盤出露，左岸側向侵蝕 14 m 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(王筱雯，2012)，斷面侵蝕面積較前次再增加 21 m²。蘇力颱風後，2013 年 10 月 24 日調查結果顯示，主深槽往左岸移動 10 m 且進一步下刷約 0.6 m，原因蘇拉颱風而崩積於左岸的土方亦被帶往下游，斷面侵蝕面積較前次又再增加 59 m²。於 2014 年 10 月 30 日量測結果，可知麥德姆颱風並未造成該斷面明顯沖淤。蘇迪勒颱風及杜鵑颱風後，2015 年 11 月 24 日調查結果顯示，主深槽往右岸移動 20 m，則距右岸 25 m 至 45 m 處形成淤積，最大淤積深度約為 2 m。2016 年 6 月 3 日及 11 月 14 日兩次調查期間經歷了莫蘭蒂颱風及梅姬颱風，但結果顯示河道沖淤互現。由 2013 年 10 月 24 日至 2016 年 11 月 14 日各次斷面調查資料顯示，主深槽高程及左岸側向侵蝕並無明顯變化，斷面侵蝕面積於 195 m² 至 232 m² 區間變動，主深槽位置擺盪不定。

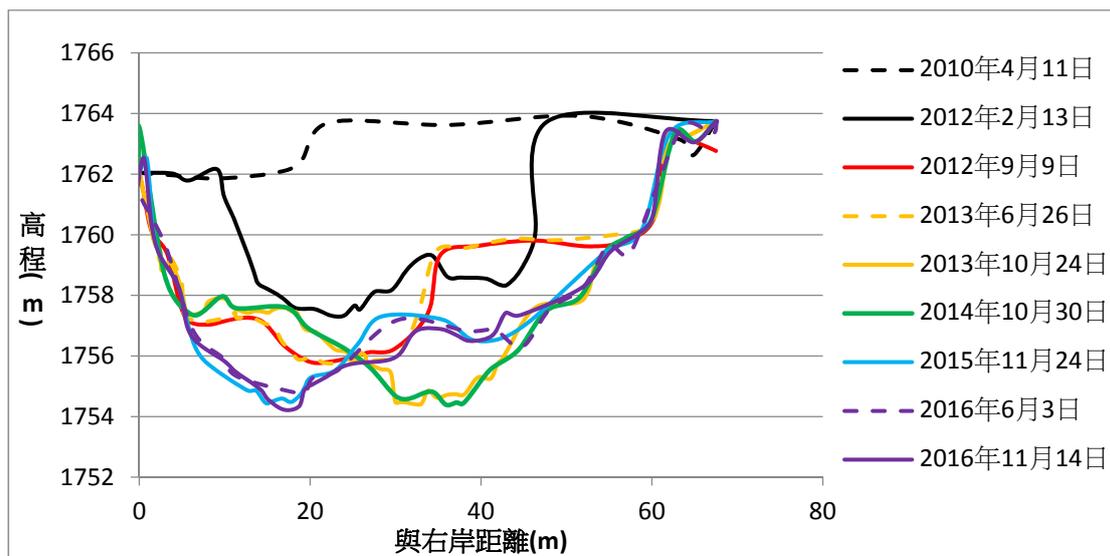


圖 5-7 S23 斷面(OK+48)

S18 斷面調查及斷面面積變動量結果如圖 5-8、圖 5-10。2010 年 4 月 11 日斷面量測因量測密度不足，雖無法充分描述河道形狀，但與壩體改善後(2012 年 2 月 13 日)比較，兩次量測主深槽高程結果變化不明顯，可知上游河道下切尚未造成此處淤積，直至 2012 年梅雨、泰利颱風及蘇拉颱風後造成下游明顯淤積，由 2012 年 9 月 9 日量測結果可知主深槽抬高約 1.4 m，最大淤積深度約為 2 m，並形成河中砂洲，斷面淤積面積為 40 m²。2013 年蘇力颱風前後，主深槽高程無明顯變化，河中砂洲先些微淤積(2013 年 6 月 26 日)後沖刷(2013 年 10 月 24 日)，最大沖刷深度約 0.9 m，斷面淤積面積由 48 m²減少至 32 m²。2014 年 5 月 17 日調查與前次量測結果比較無明顯沖淤變化。麥德姆颱風後，由 2014 年 10 月 30 日量測結果可知主深槽抬高約 0.2 m，斷面淤積面積為 65 m²。2015 年 3 月 20 日調查結果與前次測量結果可知主深槽抬升約 0.1 m，最大淤積深度為 0.5 m，整體而言，河道呈現淤積狀態。蘇迪勒颱風及杜鵑颱風後，由 2015 年 11 月 24 日調查結果得知，主深槽下刷約 1 m，河道呈現沖刷狀態，斷面淤積面積為 18 m²。2016 年 6 月 3 日調查結果顯示河道距右岸 18 m 至 26m 處些微淤積，最大淤積深度約 0.3 m。莫蘭蒂颱風及梅姬颱風後，2016 年 11 月 14 日調查結果顯示，前次調查的淤積的泥砂已被帶走，主深槽的位置並無太大的變化，左岸(距右岸約 33m

處)局部下刷約 0.5 m。由 2012 年 9 月 9 日至 2016 年 11 月 14 日各次斷面調查資料顯示，斷面淤積面積於 18 m² 至 65 m² 區間變動。

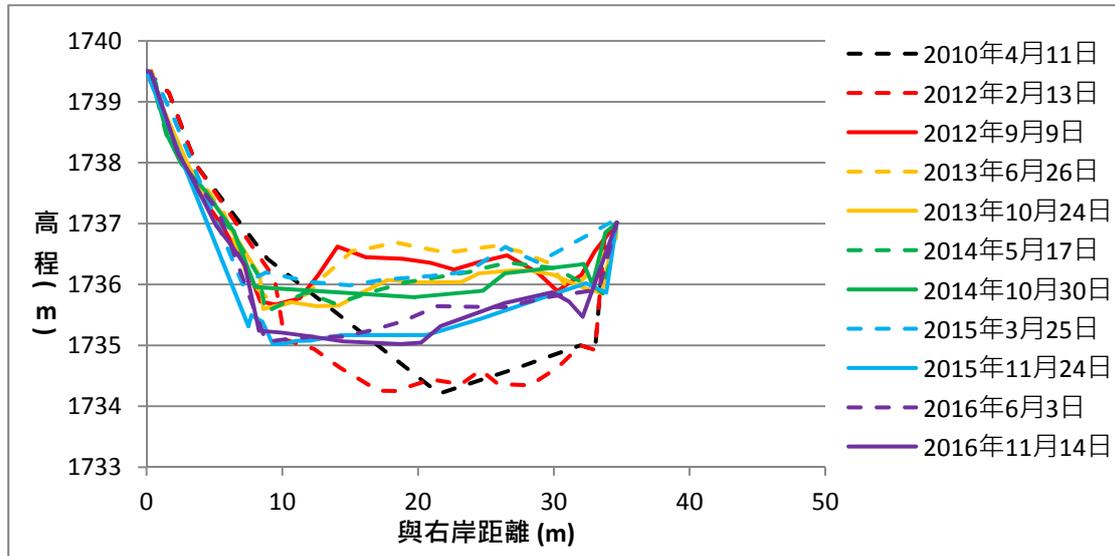


圖 5-8 S18 斷面(OK-801)

S17-1 斷面調查及斷面面積變動量結果如圖 5-9、圖 5-10。2012 年梅雨、泰利颱風及蘇拉颱風造成此處明顯淤積，由 2012 年 9 月 9 日量測結果可知主深槽抬高約 0.8 m，最大淤積深度約為 3 m，造成原主深槽位置形成河中砂洲，主深槽由距右岸 28 m 移至距右岸 12 m 處，斷面淤積面積為 39 m²。2013 年蘇力颱風前(2013 年 6 月 26 日)調查結果顯示河道沖淤互現，蘇力颱風後(2013 年 10 月 24 日)，河道有沖刷情形發生，主深槽下刷約 0.3 m，河中砂洲最大沖刷深度約 2 m，斷面淤積面積由 36 m²減少至 25 m²。2014 年 5 月 17 日調查結果與前次量測結果比較無明顯沖淤變化。麥德姆颱風後，由 2014 年 10 月 30 日量測結果可知距右岸 20 m 至 26 m 之河中砂洲並無明顯沖淤變化，河中砂洲兩側河槽則有沖刷情形發生，主深槽下刷約 0.4 m，距右岸 26 m 至 43 m 河槽之最大沖刷深度約 0.7 m。2015 年 3 月 20 日調查結果與前次測量結果比較，於右岸河道有淤積狀況，主深槽約抬升 0.3 m，最大淤積深度約 0.8 m。蘇迪勒颱風及杜鵑颱風後，由 2015 年 11 月 24 日調查結果得知，距右岸 20 m 至 26 m 之河中沙洲有明顯沖刷現象，最大沖刷深度約為 0.5 m，距右岸 30 m 至 36 m 處有明顯淤積現象，最大淤積深度

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

為 0.6 m，斷面淤積面積由 27 m² 減少至 11 m²。由 2016 年 6 月 3 日與 2015 年 11 月 24 日調查結果比較，距右岸 25 m 至 30 m 間下刷約 0.2 m。莫蘭蒂颱風及梅姬颱風後，2016 年 11 月 14 日調查結果顯示，主深槽位置並沒有太大的改變，以沖淤情況來看，距右岸 15 m 至 18 m 處和 28 m 至 36 m 處有淤積的情況，淤積的平均深度約為 0.3 m；距右岸 21 m 至 23 m 處有沖刷的現象，沖刷深度約為 0.4 m。整體而言，河道沖淤互現。由 2012 年 9 月 9 日至 2016 年 11 月 14 日各次斷面調查資料顯示，斷面淤積面積於 11 m² 至 39 m² 區間變動。

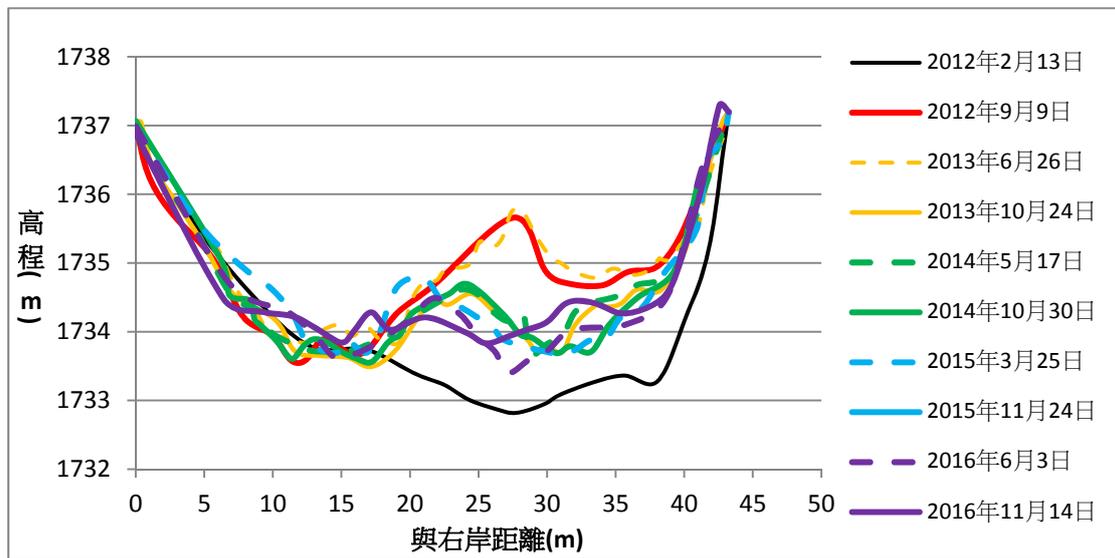


圖 5-9 S17-1 斷面(OK-880)

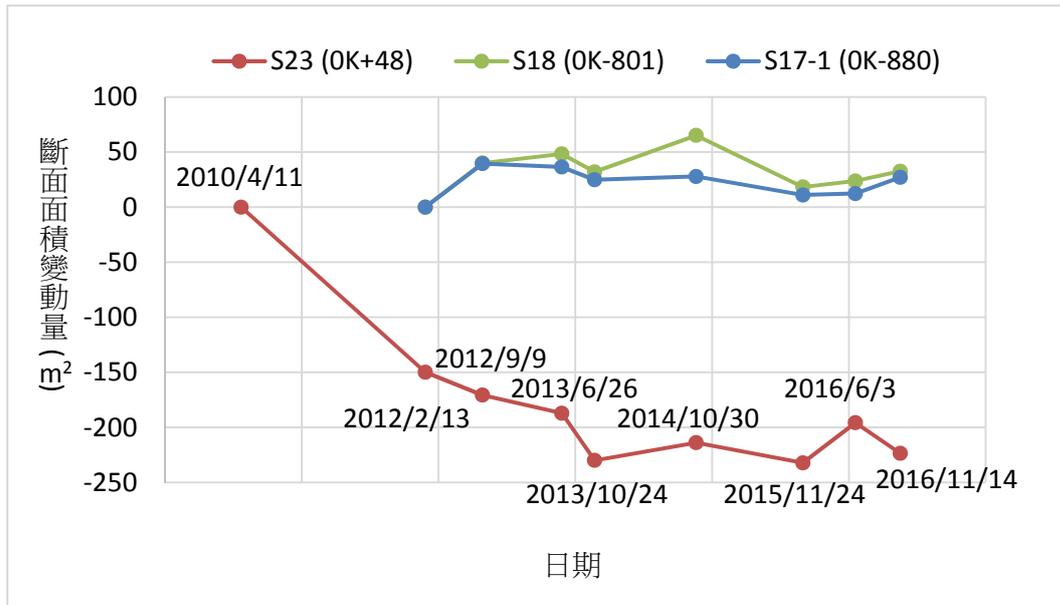


圖 5-10 斷面面積變動量 (縱軸正向代表淤積；負向代表冲刷)

(二) 侵蝕土方量

為了解七家灣溪一號壩壩體改善後之侵蝕土方量變化，本研究根據 2010 年至 2016 年各次一號壩上游橫斷面量測結果，進一步應用 CCHE-MESH 模式 (NCCHE, 2008) 以矩形內插的方法得到數值地形。本委託辦理計畫將壩體改善工程前後所量測之斷面變化及斷面間距，參考美國陸軍工兵團 Engineering and Design - Hydrographic Surveying 所提出的向量內差法(Bin)計算土方變化量，示意圖如圖 5-11。由於斷面間相距太短加上量測點位不足，無法充份描繪出現地情形，故利用三角形內差(式 2)計算出斷面中間之點位。

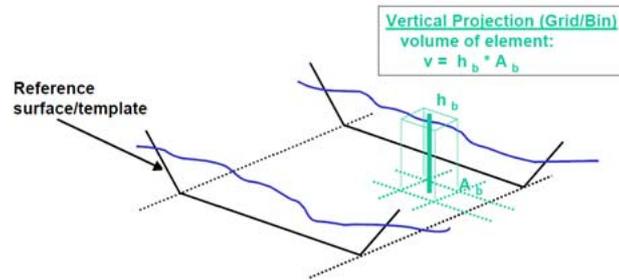
$$\begin{aligned}
 a &= y_1 * (z_2 - z_3) + y_2 * (z_3 - z_1) + y_3 * (z_1 - z_2) \\
 b &= z_1 * (x_2 - x_3) + z_2 * (x_3 - x_1) + z_3 * (x_1 - x_2) \\
 a &= x_1 * (y_2 - y_3) + x_2 * (y_3 - y_1) + x_3 * (y_1 - y_2) \quad (2) \\
 d &= -x_1 * (y_2 z_3 - y_3 z_2) - x_2 * (y_3 z_1 - y_1 z_3) - x_3 * (y_1 z_2 - y_2 z_1) \\
 Z_G &= -(a * x_G + b * y_G + d) / c \quad (if \ c \neq 0)
 \end{aligned}$$

經過內插後任意取四點於 XY 平面所形成之四邊形面積 A，乘上四點之平均高程即可得所圍成之土方量，將每個小土方量加總即為所求之總土方量，其方程式如下：

$$A_i = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_1 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_1 \end{vmatrix} \times \frac{1}{2}$$

$$\sum_{i=1}^n v_i = A_i \times (z_1 + z_2 + z_3 + z_4)/4 \quad (2)$$

最後，將各次調查地形之總體積相減後即為各調查期間河道之沖淤量。



(資料來源：本研究資料)

圖 5-11 向量內插法示意圖

本研究以一號壩上游六次橫斷面調查結果估算五個時期的土方量沖刷量，分別為 2010 年 4 月 11 日、2011 年 6 月 30 日、2011 年 12 月 12 日、2012 年 9 月 9 日、2013 年 10 月 24 日以及 2016 年 11 月 14 日，一號壩上游各次調查之數值地形如圖 5-11。第一時期(2010 年 4 月 11 日~2011 年 6 月 30 日)代表壩體改善初期溯源侵蝕沖刷量，經估算侵蝕量約為 14,000 m³；第二時期(2011 年 6 月 30 日~2012 年 2 月 13 日)代表壩體改善 8 個月後溯源侵蝕沖刷量，經估算侵蝕量為 6,000 m³；第三時期(2012 年 2 月 13 日~2012 年 9 月 9 日)經歷過 2012 年六月份梅雨、泰利颱風以及八月份蘇拉颱風等降雨事件後溯源侵蝕沖刷量為 125,000 m³；第四時期(2012 年 9 月 9 日~2013 年 10 月 24 日)則是歷經蘇力颱風、潭美颱風等降雨事件，經估算侵蝕量約為 15,000 m³。

第五時期(2013 年 10 月 24 日~2016 年 11 月 14 日)經歷麥德姆颱風、蘇迪勒颱風、杜鵑颱風、莫蘭蒂颱風及梅姬颱風等降雨事件，經估算侵蝕量約為 22,000 m³。另可由一號壩上游數值地形(圖 5-12)得知第五時期主要沖刷段位於壩上游 250 m (斷面 S28 到 S27 間)至 890 m(斷面 S36)範圍內。2011 年壩體改善至今，上游侵蝕土方量總計約 182,000 m³。

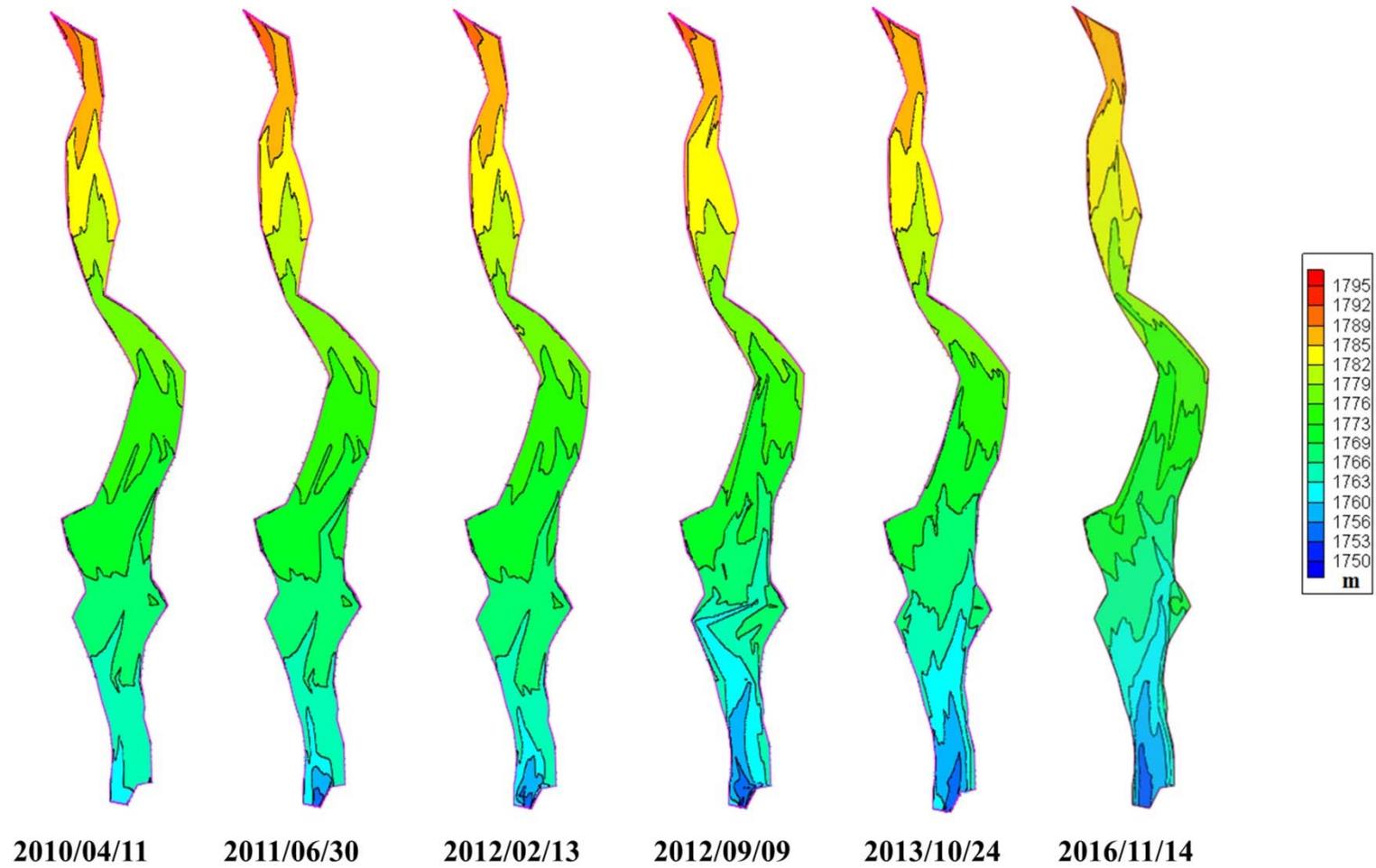


圖 5-12 2010 年至 2016 年七家灣溪上游高程數值地形圖

(三) 河道通洪能力

根據王筱雯(2014)檢算臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道之曼寧 N 值為 0.056，本委託辦理計畫針對斷面調查結果，進一步計算 S18 與 S17-1 兩處斷面最大通洪流量(或稱過水容量(Water carrying capacity)，係指斷面在單位時間內能通過之最大流量)，以探討臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心洪水潛勢，兩斷面不同時期最大可通洪流量計算結果如圖 5-13。

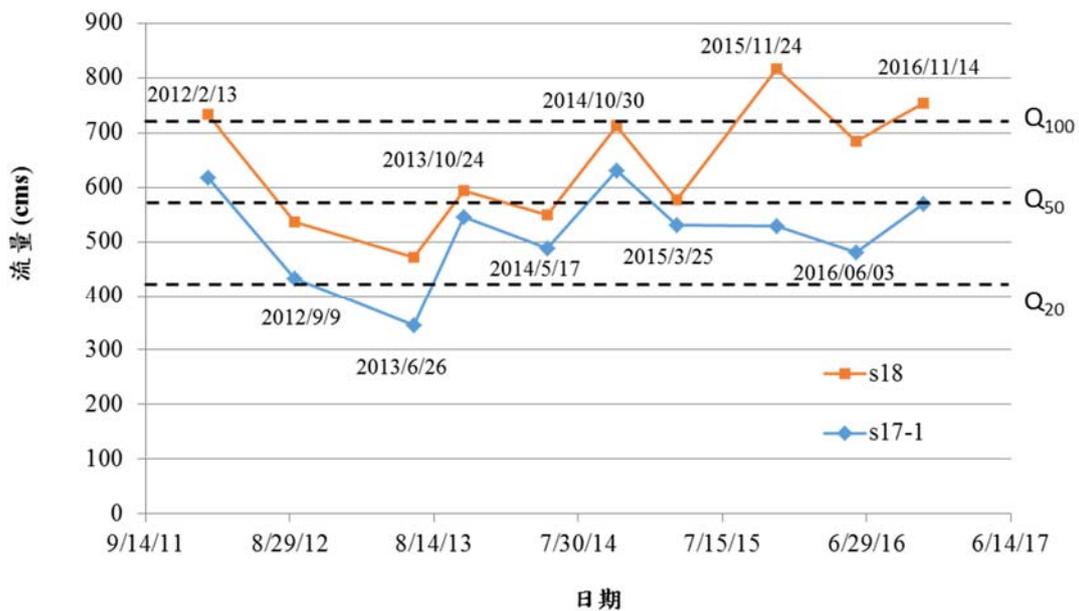


圖 5-13 斷面最大可通洪流量

王筱雯(2012)以斷面調查結果估算 2010 年 4 月 11 日至 2012 年 2 月 13 日期間庫區總計約 20,000 m³ 侵蝕土方量被帶往下游，於臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河段並未發現明顯淤積，由圖 5-13 可知，2012 年 2 月 13 日 S18 與 S17-1 斷面之最大可通洪流量分別為 732 cms 及 617 cms。根據 2012 年 9 月 9 日結果可知，S18 與 S17-1 斷面之最大可通洪流量分別減少至 537 cms 及 433 cms，主要原因為梅雨、泰利颱風及蘇拉颱風造成庫區總計約 125,000 m³ 侵蝕土方量被帶往下游，並造成下游河道明顯淤積。隨著泥砂持續淤積，通洪面積持續減小，河段坡度由 0.026 降至 0.022，由 2013 年 6 月 26 日結果顯示，S18 與 S17-1 斷面之最大可通

洪流量分別再減少至 472 cms 及 345 cms。然後於 2013 年 10 月 24 日結果發現 S18 與 S17-1 斷面之最大可通洪流量分別增加至 594 cms 及 545 cms，進一步比對王筱雯(2013)估算近 5 年重現期距蘇力颱風、潭美颱風造成庫區總計約 10,000 m³ 侵蝕土方量被帶往下游，推估應是由於上游泥砂來源不足，而使洪水將原本淤積在下游河道中的泥砂帶往更下游，使通洪面積增加。2014 年 5 月 17 日去年度麥德姆颱風前(2014 年 5 月 17 日)，S18 與 S17-1 可通洪流量分別減少至 550 cms 及 488 cms，由斷面調查結果可知兩次調查期間斷面雖無明顯沖淤變化，但河段坡度由 0.026 降至 0.023，以致斷面通洪能力降低。麥德姆颱風後(2014 年 10 月 30 日)，S18 與 S17-1 可通洪流量分別增加至 712 cms 及 631 cms，由斷面調查結果可知兩次調查期間斷面雖無明顯沖淤變化，但河段坡度由 0.023 升至 0.032，以致斷面通洪能力提高。根據團隊於 2015 年 3 月 25 日調查，結果顯示 S18 與 S17-1 可通洪流量減至 577 cms 及 531 cms，由斷面測量結果可知 S18 及 S17-1 斷面除主深槽均抬升 0.1 m 及 0.2 m 外，河段坡度從 0.032 降至 0.029，以致通洪斷面能力下降。於 2015 年蘇迪勒颱風及杜鵑颱風後，S18 與 S17-1 可通洪流量分別為 816 cms 及 529 cms，由 2015 年 11 月 24 日斷面調查結果顯示，S18 斷面主深槽下刷約 1 m，S17-1 斷面為沖淤互現，主深槽無明顯沖淤變化，且河道坡度由 0.029 降至 0.024，以致 S18 斷面通洪能力上升，而 S17 斷面通洪能力無明顯增減。本委託辦理計畫於 2016 年 6 月 3 日調查，結果顯示 S18 之可通洪流量從 816 cms 下降至 684 cms，S17 之可通洪流量在 529 cms 減少至 481 cms，由斷面測量結果可知 S18 斷面距右岸 14 m 至 26 m 間有局部淤積情形，最大淤積深度約 0.3m，S17-1 斷面主深槽些微下刷約 0.1 m，S18 與 S17-1 斷面有些微沖於情形發生，而河段坡度由 0.024 降至 0.020，係為導致 S18 與 S17-1 斷面通洪能力下降的主要因素。於莫蘭蒂颱風及梅姬颱風後，S18 和 S17-1 斷面可通洪流量分別為 753 cms 和 569 cms，由 2016 年 11 月 14 日的斷面調查結果顯示，S18 與 S17-1 斷面之可通洪面積增加，河道坡度無明顯變化，導致兩斷面的通洪能力皆

上升。本委託辦理計畫以河道通洪能力檢算評估臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道淹水潛勢，目前河道通洪能力可容納約 20 年重現期距流量以上之颱風事件。

(四) 航拍成果

本研究分別於 2016 年 08 月 21 日及 2016 年 11 月 13 日進行拍攝，期間曾經歷梅姬颱風，本研究採校正後之航拍影像進行河道邊界描繪，詳圖 5-14，兩次成果套繪於 11 月之底圖請詳圖 5-15。比對圖 5-14 2008 年及 2016 年之航拍圖可發現，壩上游斷面 S29(352 m)處及斷面 S34(727 m)處之右岸及左岸，因河道下切不易受大水事件影響之故，有明顯河道植生增加之現象；另由圖 5-15 之 2016 年汛期前後套繪成果可發現，經歷汛期大水事件後，七家灣溪流路僅於壩上游斷面 S32(524m)及斷面 S38(1,188 m)處有產生變化，斷面 S32 處之河道於汛期前主深槽靠近左岸，而汛期後主深槽則改道至右岸；斷面 S38 處汛期前為單一主深槽且靠近左岸，且有一小型支流靠右岸，汛期後變後單一主深槽靠近河道右岸，其它地方受限於兩岸岩盤及洪水事件規模等因素，並無太大變化。

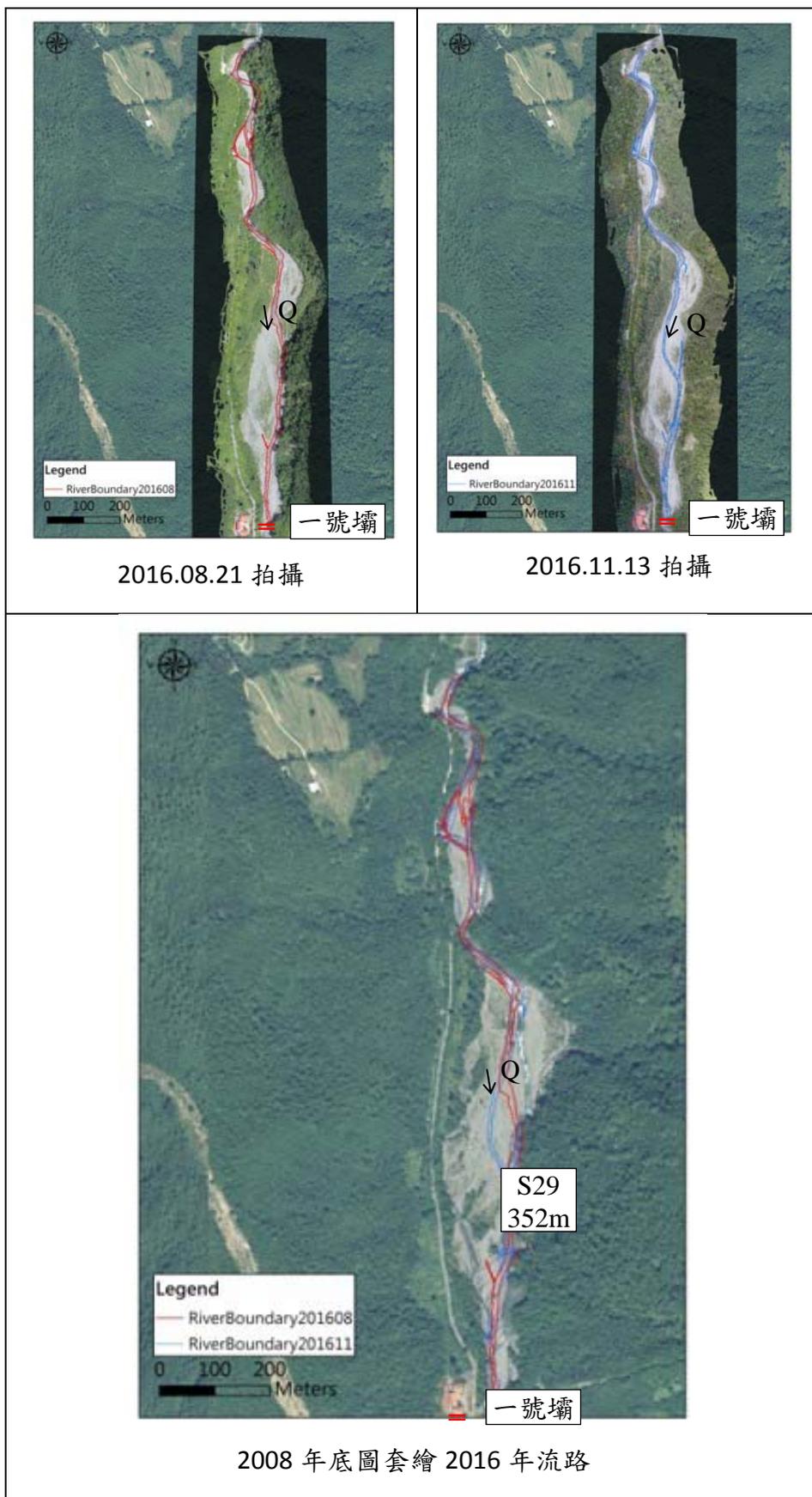


圖 5-14 2016 年河道流路繪製成果

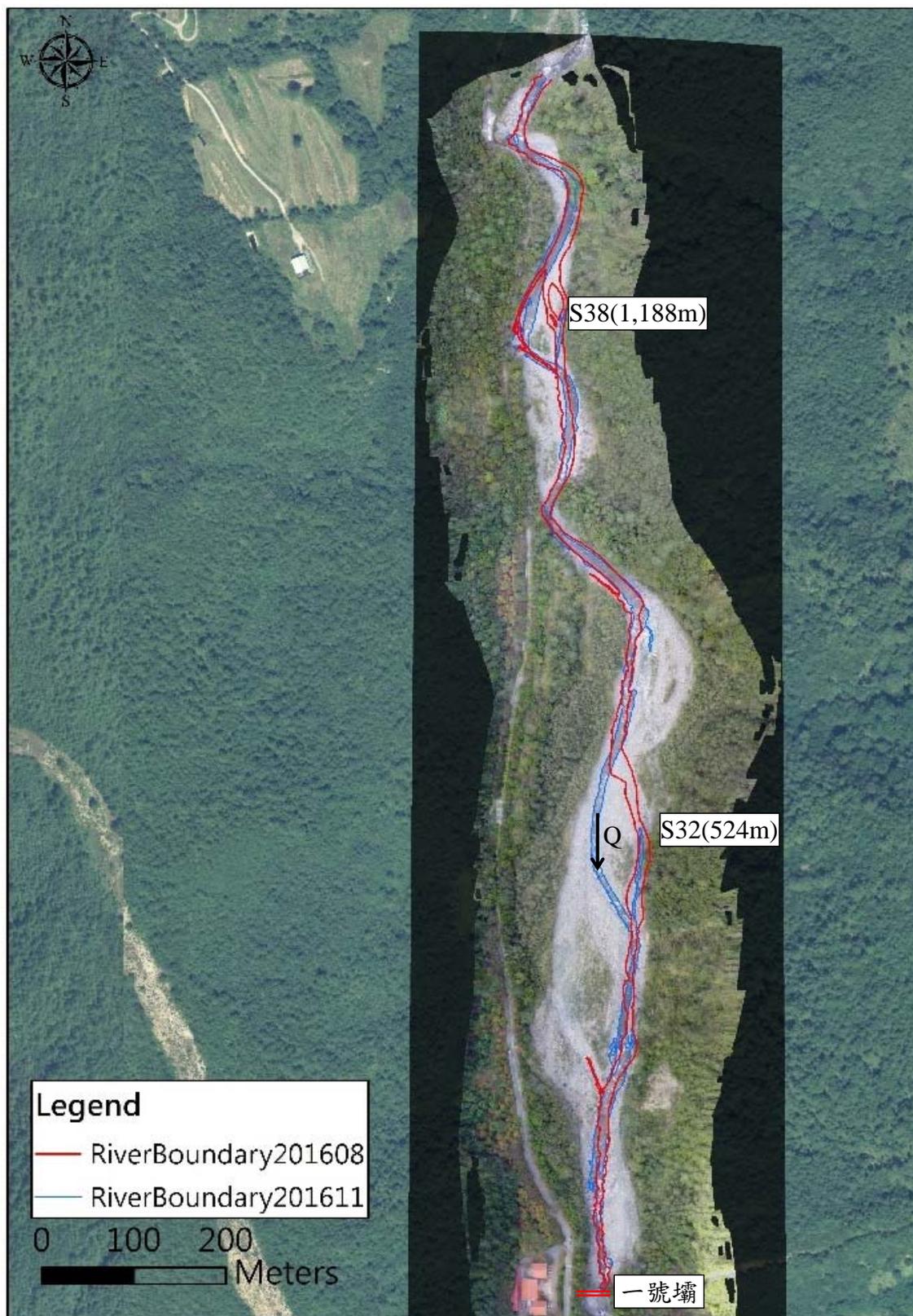


圖 5-15 2016 年 8 月及 11 月河道流路套繪 2016 年 11 月航拍底圖

(五) 崩塌地調查

崩塌地調查可分為量測方法及模式推估，並可細分九項方法可詳圖 5-16。一般而言，崩塌地面積可依航照圖及衛星影像來進行判釋，但航照圖或影像圖判釋較不即時，費用也相對高，但其優點是影像在經數道影像正射處理程序後之成果精確；而崩塌深度，除空載光達及全站儀外(表 5-3)，也可利用崩塌深度與邊坡坡度(詹勳全等, 2015)或滑動面積(劉哲欣等, 2011)等相關經驗公式來進行推估，兩種方法各有其優缺點，空載光達費用高昂，且須有地形變化前之資料方可進行推算，全站儀量測可能會面臨場地限制之問題，而經驗公式部分則有迅速及便宜等優點，但相對上述兩項量測方法而言誤差較大，故可依經費及目的等不同需求來進行崩塌地推估。

本計畫因無編列相關經費用進行精確之崩塌土方量調查，故本研究僅依空拍成果(非計畫工作項)來套繪崩塌地範圍，並進行不同年度之崩塌地面積比較，崩塌量部分因無相關資料輔助計算，僅蒐集相關經驗公式提供參考，詳表 5-7 及 5-8。

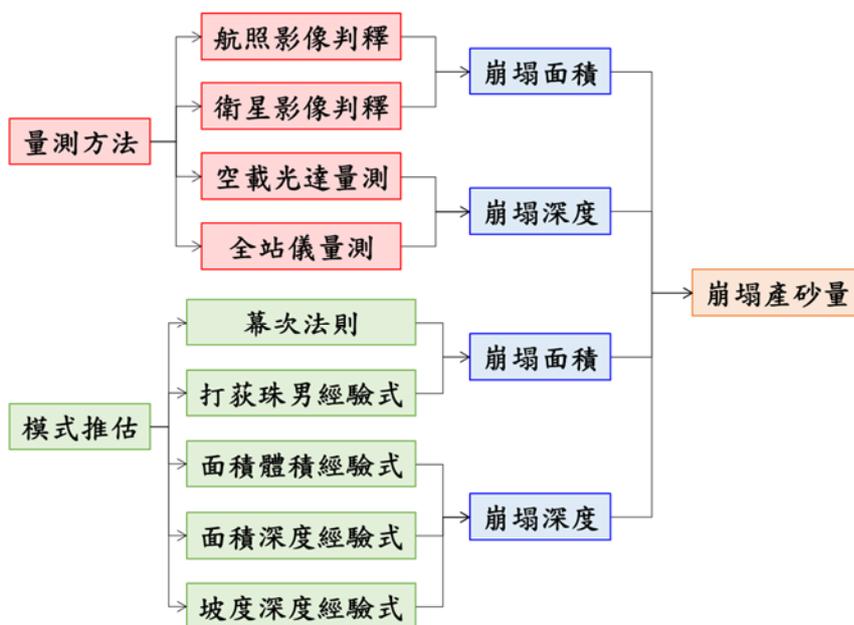


圖 5-16 崩塌地泥砂量推估方法與模式 (TIIWE, 2011)

表 5-7 邊坡坡度與崩塌深度關係對照表 (詹勳全等, 2015)

坡面坡度 (度)	Khazai and Sitar (2000)	歐陽元淳 (2003)	國家災害科技研究中心 (2004)
<30	2.0	0.9	5.0
30~40	1.5	0.9	4.0
40~60	1.0	0.9	3.0
>60	0.5	0.9	2.0

表 5-8 滑動面積與代表性深度對照表(地調所) (劉哲欣等, 2011)

滑動面積 (ha)	平均代表深度 (m)
0-0.1	1
0.1-1	2
1-10	5
>10	10

根據王筱雯(2012)調查一號壩上游 500 m 及下游 200 m 內共 7 處崩塌；其中上游 115 m、250 m、310 m 及 425 m 等四處崩塌地為 2010 年(王筱雯, 2010)即已調查之舊有崩塌地，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 年崩塌面積統計約為 11,712m²。

本研究依 2016 年度航拍成果進行 ArcGIS 套繪發現，2012 年調查之 7 處崩塌僅剩一處(上游 250 m 處)仍有崩塌情形，由於並無新增之崩塌且植生逐漸回復而使裸露地有逐年減少之趨勢。本團隊進一步分析上游 250 m 處崩塌面積變化，結果顯示 2016 年 8 月該處崩塌面積由 2012 年 9 月調查之 5,990 m² 降至 3,180m²，而 2016 年 11 月之估算顯示崩塌面積由 3,180 m² 降至 2,662 m²，2010 年至 2016 年之套繪成果請詳圖 5-17。



圖 5-17 2016 年崩塌地套繪成果

(六) 壩體安全性調查

壩體安全調查主要可依據「水利建造物檢查及安全評估技術規範-防水、洩水建造物篇」(以下簡稱水利技術規範-防水、洩水建造物篇)，主要調查工作包含現地檢查與評估及攔砂壩結構安全分析等兩大項，現地檢查與評估的內容包含外觀檢查、壩體混凝土材料檢測及 DERU 結構評估等，而攔砂壩結構安全分析則包含壩體主體安全分析及下游消能池檢討等兩項(逢甲大學營建及防災研究中心，2012)，相關檢查細項可詳圖 5-18。

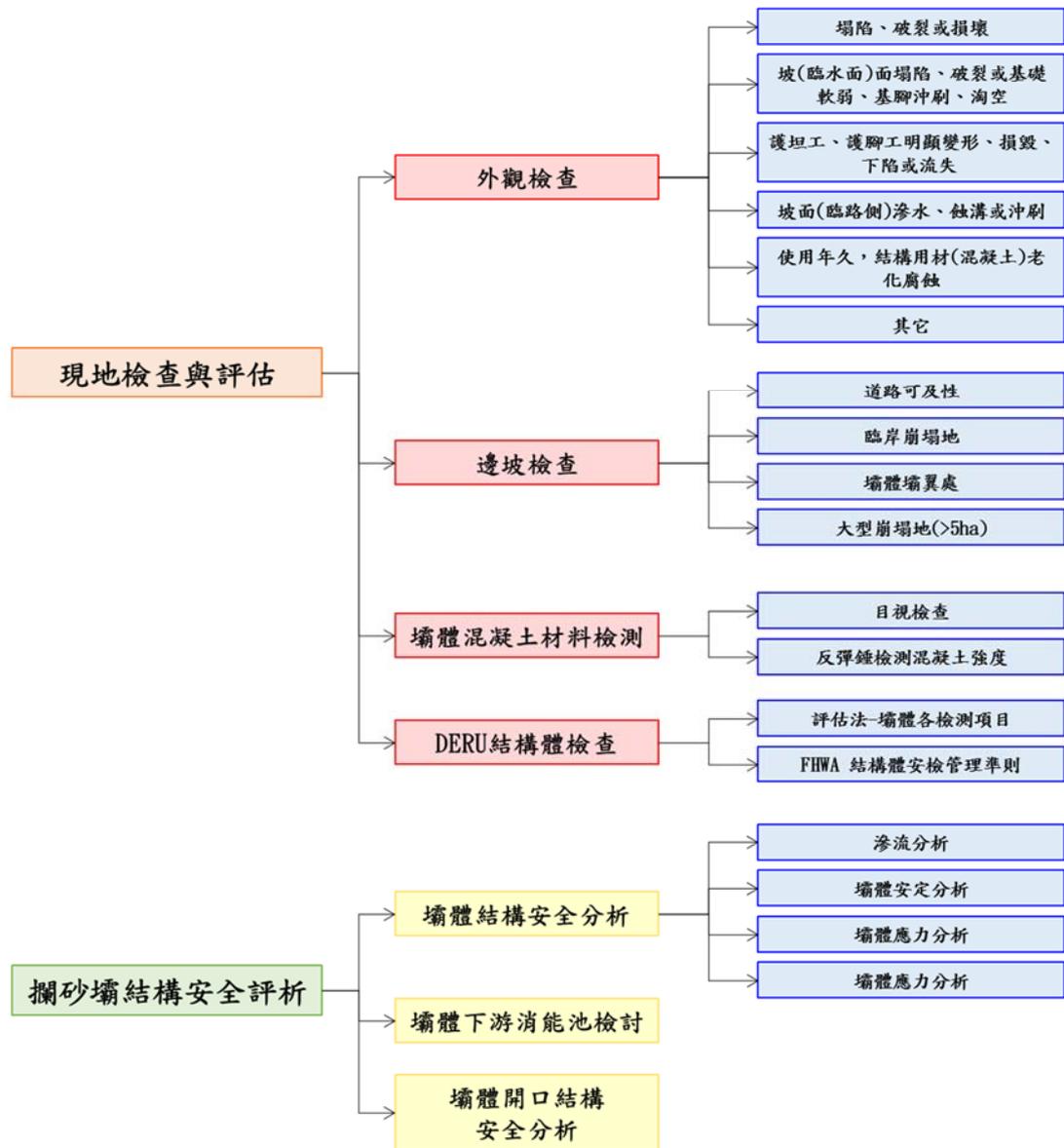


圖 5-18 壩體安全評估項目表

因本計畫經費限制，無法進行完整之壩體安全調查評估，故本研究採用空拍方式，針對壩體主壩及副壩進行外觀檢查，並依據其周遭河道環境進行初步壩體安全評估，並提供做為相關單位後續執行依據。

七家灣溪一號壩上游距離最近之結構物乃為距離約 2.8 km 之二號防砂壩，其已於 2004 年損毀，而續往上游之結構物乃為距一號壩 4.3 km 之三號防砂壩，其壩體仍完整。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歷經兩場大型洪水事件後，上游床型可達穩定，截至目前所經歷之最大洪水為 2012 年蘇拉颱風(近 20 年重現期距流量)，依據 2016 年之調查成果，目前溯源侵蝕段終點約位於壩上游 800 m 處。

因目前溯源侵蝕狀況穩定，故上游壩體暫不因河床變動而產生安全性問題，郭上琳(台灣壩體拆除決策流程之建立，2015)曾於 2015 年進行壩體安全評估，本研究參照其調查成果並配合空拍設備於 2016 年 8 月 21 日進行壩體安全調查之外觀檢查，相關成果敘述如后：

1. 七家灣溪一號壩：

七家灣溪一號壩壩體改善前，壩體的壩基掏空與下切情形嚴重，同時產生 2.5~3 m 之沖刷坑深度，在壩下游右岸之道路箱籠護岸結構，由於邊坡基礎因長期被水流掏刷而崩毀懸垂於河道，先前為保護右岸道路及管理處之功能已大幅降低，詳圖 5-19(a)及(b)。

依 2016 年 08 月 21 拍攝成果顯示，一號壩壩體改善後至今，壩體並無明顯損壞，唯拆除缺口因大水事件的泥砂沖刷，目前已侵蝕到壩體基礎之下，壩體正下方及壩體上游方向產生約 2 m~2.5 m 之沖刷坑深度，壩體下游目前為淺灘狀態，水深約為 0.5 m，相關照片詳圖 5-19(c)及(d)。



圖 5-19 七家灣溪一號壩壩體現況圖

2. 七家灣溪二號壩:

七家灣溪二號壩(圖 5-20(a)~(c))及副壩(圖 5-20(d))目前皆已破損，由拍攝成果顯示，壩體之大型仍殘骸仍滯留於原處，於二號壩體殘骸之上下游目前皆有深潭，目測約在 2 m~3 m 間。



圖 5-20 七家灣溪二號壩壩體現況圖

3. 七家灣溪三號壩:

七家灣溪三號壩拍攝成果詳圖 5-21，壩體右側受主流沖刷，有向下侵蝕並造成部分鋼筋外露情形，由拍攝成果顯示 2015 年至 2016 年 8 月間並無太大變化，目前侵蝕狀況對於壩體安全性影響尚不大，而三號壩壩基受損情況，初步評估下切深度約 10 m，如圖 5-21(b)，因此河段屬岩盤地形河床相對穩定，因此推測壩基下切目前尚不導致掏空問題。



圖 5-21 七家灣溪三號壩壩體現況圖

4. 七家灣溪四號壩:

七家灣溪四號壩現況詳圖 5-22(d~g)，圖 5-22(a~c)分別拍攝於 2007 年至 2015 年，由研究資料(郭上琳, 2015)並配合本年度空拍資料顯示，四號壩之副壩侵蝕缺口由 2007 年至 2016 年有逐漸擴大趨勢，但本年度和 2015 年度之照片並無太大差異。四號壩主壩部分，由拍攝成果(圖 5-22(d~e)顯示目前壩體右側受水流影響侵蝕嚴重，正面詳圖 5-22(g)，明顯可見壩頂部分混凝土壩體已被破壞，但經評估目前尚無立即性之安全疑慮。

就七家灣溪四號壩主壩及副壩的情況而言，類似巴陵壩潰壩案例，2004 年巴陵壩下游副壩損毀後導致河床持續侵蝕下切，於後續颱風事件

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

中，最終導致巴陵壩產生潰壩事件，故以此經驗推測，日益嚴重之壩體破壞與河床下刷之情形，未來恐會提高四號壩壩體結構之安全風險，故須持續監測及追蹤。



(a)2007年(葉昭憲, 2007)(b)2012年(王筱雯, 2012)(c)2015年



七家灣溪四號壩2016.08.21

圖 5-22 七家灣溪四號壩壩體現況圖

第六章 監測指標

本委託辦理計畫依據七家灣溪一號壩壩體改善後監測之過去經驗(王筱雯 2011; 2012 2013; 2014; 2015)及本年度(2016)水文影像監測，針對壩體改善後河道環境可能面臨之衝擊，以事件、年、長期(多年)之不同時間尺度及河道內水工設施、基礎設施等保全對象切入，規劃七家灣溪一號壩壩體改善後河道變遷之監測指標(表 6-1)與作業方式(表 6-2)。

河道變遷監測工作項目包含河道坡度、侵蝕土方量變化、側向侵蝕、崩塌地面積變遷、物理棲地類型變遷、溯源侵蝕終點遠離壩上游 800 m、坡地植被裸露及壩基掏空等指標，藉由各指標來評估河道環境變遷是否危及保全區域(道路、房屋、河道內水工設施)之可能，若有，視現地狀況及必要性擬定對策，如溯源侵蝕終點遠離壩上游 800 m，可能危害上游殘餘壩體，建議採取之應變措施為延長縱斷面之調查範圍並針對上游防砂壩進行壩體安全調查。

淹水潛勢監測工作項目包含保全區域之可通洪流量低於 20 年重現期距流量、24 小時內累積雨量大於 300 mm、萬壽橋水位站即時水位大於 4.75 m、河道變遷歷程等指標，其中 20 年可通洪流量與萬壽橋水位值是根據壩體改善至今有記錄之最大水文事件蘇拉颱風訂定，雨量警戒值訂定則是根據過去記錄之七家灣溪重要歷史水文事件：2004 年艾利颱風(>Q10)、2005 年海棠颱風(Q50)及 2012 年蘇拉颱風(Q20)。艾利颱風，前 24 小時累積降雨量為 332 mm，尖峰流量為 510 cms；海棠颱風前 24 小時累積降雨量為 338 mm，尖峰流量 844cms；蘇拉颱風前 24 小時累積降雨量為 355.5 mm，尖峰流量 573 cms。由這三場歷史事件可知，24 小時內累積降雨高於 300 mm，有高機率發生 10 年以上洪水事件。另根據行政院農業委員會水土保持局公布之土石流警戒基準值簡表(<http://246.swcb.gov.tw/Doc/DebrisAlertValueA4.jpg>)，台中市和平區之警戒值亦為 300 mm，未來台灣櫻花鉤吻鮭生態中心之緊急狀況亦可參考土石流防災資訊網

之警戒資訊(<http://246.swcb.gov.tw/>)。於汛期前(4~6月)透過淹水潛勢監測，掌握河段坡度及斷面可通洪面積狀況，如河道通洪流量低於20年重現期距流量，可以清淤方式調整河道通洪面積及河段坡度，惟考慮重型機具可及性及重機械擾動影響，建議優先處理S18至S17-1河段間河中砂洲，可將環境衝擊降至最低。若24小時累積降雨量達300mm以上，考量滿岸流量溢流之風險，視影響範圍決定人員疏散與交通管制，以及將生態中心前之野放生態池中之臺灣櫻花鉤吻鮭移置安全地方。

本委託辦理計畫僅提出監測指標，緊急應變措施仍需管理單位研擬並落實。未來棲地改善(壩體改善)將成為臺灣櫻花鉤吻鮭延續族群生存的重要工作，然而壩體改善期間可能引起短期的環境衝擊，包含了流量的瞬間改變、下游深潭為泥砂填滿、或增加水的濁度，與由於重機械的擾動所產生的影響，這些乃屬於短期暫時的衝擊，但仍需要選擇避開生物物種的關鍵時期，且需注意施工時間不要太長，並佐以泥砂監測，並可視必要性將下游鮭魚捕捉移置他處以確保其不受傷害(王筱雯，2010)。由於生態環境的不確定性與變動，在進行壩體改善工作時，需要考慮其評估階段的不確定性，泥砂方面的不確定性包含(1)泥砂運移與水文事件的關係 (2)泥砂侵蝕率 (3)侵蝕土方量；河相方面的不確定性包含(1)泥砂堆積位置 (2)掩埋下游潭瀨等水域型態 (3)保全區域洪災潛勢提高；生態方面的不確定性包含(1)下游河道粒徑組成的改變 (2)細粒料填縫。適應性管理(Adaptive Management)是面對具有不確定性之系統時，藉由長期監測的方式，動態性視實際狀況調整管理措施。由於生態環境雖具有知識與原則為科學基礎，但生態系統是動態且經常變化的，因此，任何的管理或人工施作方法皆應視為假設，有待進一步的研究與加以檢驗，並據以隨時修正調整管理做法，適應性管理的操作極為必要手段(王筱雯，2010)。

表 6-1 七家灣溪一號壩壩體改善後河道變遷之監測指標

時間尺度 (調查頻度)	颱洪事件 (每年多次)	年 (每年至少一次)	長期 (多年一次或每年一次)
河道內	<u>潰壩:</u> 1. 壩基掏空 ★★★ <u>泥砂衝擊:</u> 1. 含砂濃度影響時間 ★★★	<u>潰壩潛勢:</u> 1. 溯源侵蝕終點 遠離壩上游 800 m ★★★ 2. 壩體安全調查 ★★★	<u>河道變遷:</u> 1. 側向侵蝕 ★★ 2. 侵蝕土方量變化 ★★ 3. 泥砂動態(濁度) ★★ 4. 崩塌地變遷 ★ 5. 河道坡度 ★ 6. 河床質粒徑 ★ 7. 物理性棲地變遷(包含流況與河床質粒徑) ★
基礎設施	<u>洪災預警:</u> 1. 24 小時內累積雨量 大於 300 mm ★★★ 2. 萬壽橋水位站即 時水位大於 4.75 m ★★★ <u>保全區域安全:</u> 1. 現場觀察是否有 側向侵蝕、崩塌現象 ★★★	<u>淹水潛勢:</u> 1. 保全區域之可 通洪流量低於 20 年重現期距流量 ★★★ <u>崩塌潛勢:</u> 1. 坡地植被裸露 ★★★	

表 6-2 七家灣溪一號壩壩體改善後河道變遷之作業方式(1/2)

監測工作項目	指標	調查頻度	作業方式	說明
河道變遷	側向侵蝕 ★★	1 年	以全測站經緯儀進行七家灣溪一號壩上游 50 至 200 m 範圍河段橫斷面調查	側向侵蝕的發生可能進一步為危及道路安全或觸發崩塌。目前並無顯著側向侵蝕發生。
	溯源侵蝕終點遠離壩上游 800 m ★★★★	1 年	以全測站經緯儀進行七家灣溪一號壩至上游 1.4 km (觀魚台)河段範圍之縱斷面調查	
	坡地植被裸露 ★★★★	1 年	以空拍機拍攝七家灣溪一號壩下游 1.8 km (萬壽橋)至上游 1.4 km (觀魚台)之空拍圖或於農林航測所取得航照圖，判釋崩塌地並進行面積變遷分析	了解上游集水區水土保持狀況及河道土砂來源
	壩基掏空 ★★★★	1 年	以目視法或是空拍機進行結構物損壞情形現場調查	可由管理單位自行監測
	侵蝕土方量變化 ★★	2 年	以全測站經緯儀進行七家灣溪一號壩至上游觀魚台 1.4 km 範圍河段橫斷面調查	截至 2016/11，溯源侵蝕之累積侵蝕土方量約 18.2 萬 m ³
	河道坡度 ★	3 年	以全測站經緯儀進行七家灣溪一號壩下游 1.8 km(萬壽橋)至上游 1.4 km (觀魚台)之縱斷面調查	七家灣溪河道坡度約介於 0.02~0.04 之間
	物理棲地類型變遷 ★	3 年	七家灣溪一號壩下游 1.8 km (萬壽橋)至上游 1.4 km (觀魚台)之物理棲地繪製	包含流況及河床質變化

表 6-2 七家灣溪一號壩壩體改善後河道變遷之作業方式(2/2)

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

監測工作項目	指標	調查頻度	作業方式	說明
淹水潛勢	保全區域之可通洪流量低於 20 年重現期距流量 ★★★	半年	於臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道進行現地調查，並以曼寧公式推算河道通洪能力： 河道幾何(斷面調查) 曼寧 n 值檢算 1. 流量頻率分析	根據壩體改善至今有紀錄之最大水文事件蘇拉颱風訂定。
	24 小時內累積雨量大於 300 mm ★★★	颱風期間	參考土石流防災資訊網 (http://246.swcb.gov.tw/) 之自動雨量站資料-桃山站	1.雨量警戒值訂定是根據過去記錄之七家灣溪重要歷史水文事件 2.可由管理單位自行監測
	萬壽橋水位站即時水位大於 4.75 m ★★★	颱風期間	於萬壽橋架設水文測站進行監測	1.根據壩體改善至今有紀錄之最大水文事件蘇拉颱風訂定 2.可由管理單位自行監測
	河道變遷歷程 ★★★	颱風期間	於保全區域(台灣櫻花鉤吻鮭生態中心、武陵管理站)附近河道架設影像監測系統	可由管理單位自行監測

第七章 結論與建議

7.1 結論

王筱雯(2012)指出在大流量下，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，造成河道通洪面積增加，減緩溢淹風險。由 2013 年 6 月 26 日、2014 年 5 月 17 日、2015 年度 3 月 20 日、及 2016 年 6 月 3 日四次調查可知，於非汛期期間，河道坡度皆由陡變緩，以致通洪斷面減少之情形。2013 年、2014 年及 2015 年隨後發生之蘇力颱風(近 5 年重現期距流量)、麥德姆颱風(近 2 年重現期距流量)及蘇迪勒颱風(近 5 年重現期距流量)之後，皆使下游河道可通洪流量增加。本委託辦理計畫以河道通洪能力檢算評估臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道淹水潛勢，依 2016 年 11 月之資料顯示，目前 S18 和 S17-1 斷面可通洪流量分別為 753 cms 和 569 cms，河道現況通洪能力可達 100 年及 50 年重現期，兩斷面現況保護標準皆大於 20 年重現期距流量，目前尚無須以清淤方式調整河道通洪面積及河段坡度，但因臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心為重要研究基地，建議持續監測。

由崩塌地調查顯示，2016 年 8 月查成果顯示目前僅剩一處大面積崩塌，且由 2016 年 11 月之調查發現崩塌面積持續減小，原因為今年降雨事件並無造成崩塌情形發生且植生持續回復中而使裸露地面積呈現穩定縮小之趨勢，惟台灣地震且極端降雨(強降雨、長延時)頻繁仍可能進一步誘發崩塌，建議須長期監測河道周邊之崩塌狀況。

由侵蝕土方量估算結果可知，七家灣溪一號壩壩體改善工程完工至今約 6 年，本研究依汛期前後及調查日期劃分，七家灣溪一號壩上游侵蝕土方量大致分為五期，其中第三期(2012 年 2 月 13 日~2012 年 9 月 9 日)之侵蝕量最多，約達 125,000m³，本年度估算由 2013 年 10 月 24 日開始，累計至 2016 年 11 月 14 日之侵蝕量為 22,000 m³。2011 年壩體改善至今，上游侵蝕土方量總計 182,000 m³；

此外，七家灣溪一號壩溯源侵蝕終點由 2012 年至今一直落在壩上游約 800 m 處 (S36 斷面)，而下游淤積終點由 2012 年至今一直落在壩下游約 900 m 處。

由壩體安全調查顯示，除二號壩已潰壩外，一、三及四號壩目前皆無立即性之安全疑慮，惟四號壩之副壩由 2007 年至 2016 年的照片顯示，其破壞非常明顯，建議須持續監測以避免巴陵壩之潰壩事件產生。

本研究亦將近六年之成果歸納出監測指標，以時間尺度來看，河道和基礎設施之監測指標可分為颱風事件、年及長期，基於這樣的前提下，細部監測指標工作項目共可分為河道變遷及淹水潛勢兩大項共 12 項，而淹水潛勢中之「24 小時內累積雨量大於 300 mm」、「萬壽橋水位站即時水位大於 4.75 m」對於生態復育中心之生命財產安全較有即時之關聯，需盡速辦理；此外，因近年航拍器材較為普及，本年度計畫已將之應用於汛期前後之河道變化及崩塌地面積估算，如增加拍攝頻率可更詳盡記錄河道變化與重要水文事件之關聯，其餘指標則可依其目的性及危急性不同採不同監測頻率。

7.2 建議

本委託辦理計畫依據監測評估資料與河道變遷指標及作業方式提出供管理單位經營管理參考之建議，如下：

(一) 即時監測

臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心為雪霸國家公園內重要保護標的，本研究提出「24 小時內累積雨量大於 300 mm」、「萬壽橋水位站即時水位大於 4.75 m」等兩對應之淹水潛勢監測指標，目前雪霸國家公園已完成水位計與流速儀之採購，建議編列相關預算朝流量即時運算與自動化警報方向發展。

(二) 保全區域例行性監測

1. 一號壩

針對一號壩上游 50 至 200 公尺之左岸側向侵蝕情形，以現地河床橫斷面高程調查輔以影像監測掌握河岸狀況，進一步評估保全措施。

2. 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心

針對臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道之淹水潛勢，以現地河床縱橫斷面高程調查輔以水文及影像監測掌握保全區域之河道狀況，以做立即性之應對。

3. 河道環境

針對河道環境變遷的掌握，除定點監測儀器與現地調查外，於汛期前後或重要水文事件前後進行空拍機影像拍攝，可以更即時及全面性的了解河道環境變遷，如崩塌地面積的增減、河道流路變遷、河岸狀況等，亦可作為未來相關河道環境規劃之基礎資料。

(三) 長期監測

七家灣溪河道在不同強度水文事件(表 3-1)下之環境變動性與複雜性高，壩體改善至今辦理之相關監測已逾六年，但對於掌握河道整體環境狀況仍需持續且全面之調查，調查項目建議可參考本委託辦理計畫所提出之監測指標，包含河道坡度、側向侵蝕、侵蝕土方量變化、崩塌地以及物理性棲地變遷等，另建議持續針對七家灣溪一、三、四號壩及二號壩殘留壩體的安全性持續進行調查與了解，以進一步評估壩體安全對於下游保全標的之影響。

參考文獻

1. 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.
2. Doyle, M.W., Stanley, E.H., and Harbor, J.M., 2002. Geomorphic analogies for assessing probable channel response to dam removal. *Journal of the American Water Resources Association* 38(6): 1567-1579.
3. Doyle, M.W., Stanley E.H., and Harbor J.M., 2003. Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin.” *Water Resource Research*, 39(1), 1-15.
4. East, A.E., Pess, G.R., Bountry J.A., Magirl, C.S., Ritchie, A.C., Logan, J.B., Randle, T.J., Mastin, M.C., Minear, J.T., Duda, J.J., Liermann, M.C., McHenry, M.L., Beechie, T.J., Shafroth, P.B., 2014. Large-scale dam removal on Elwha River, Washington, USA: River channel and floodplain geomorphic change. *Geomorphology*, article in press.
5. Evans, J.E., 2007. Sediment Impacts of the 1994 Failure of IVEX Dam (Chagrin River, NE Ohio): A Test of Channel Evolution Models.” *Journal of Great Lakes Research*, 33(sp2), 90-102.
6. Ferry, M. and Miller, P., 2003. The removal of Saeltzer Dam on Clear Creek: An update. *Water Resources Library*, U.C. Berkeley.
7. Miller, P., and Vizcaino, P., 2004. Channel response to dam removal, Clear Creek, California. *Water Resources Library*, U.C. Berkeley.
8. Pizzuto, J., 2002. Effects of Dam Removal on River Form and Process, *BioScience* 52(8): 683 - 691.”

9. 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.
10. Stillwater Sciences, 2001. Comparison of predicted and observed geomorphic changes following the removal of Saeltzer Dam: Task 6 Deliverable Report. Stillwater Science, Berkeley, CA.
11. Major, J.J., O'Connor, J.E., Podolak, C.J., Keith, M.K., Grant, G.E., Spicer, K.R., Pittman, S., Bragg, H.M., Wallick, J.R., Tanner, D.Q., Rhode, A., and Wilcock, P.R., 2012. Geomorphic response of the Sandy River, Oregon, to removal of Marmot Dam. USGS Professional Paper, 1792, 64.
12. Randle, T.J., Bountry, J.A., and Ritchie, A., Wille, K., 2014. Large-scale dam removal on Elwha River, Washington, USA: erosion of reservoir sediment. *Geomorphology*, article in press.
13. Tullos, D., and Wang, H.W., 2014. Morphological Responses and Sediment Processes Following a Typhoon-Induced Dam Failure, Dahan River, Taiwan. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol.39(2), pp.245-258.
14. U.S. Department of Interior, 1996. Removal of Elwha and Glines Canyon Dams. U.S. Bureau of Reclamation. Elwha Technical Series PN-95-7: 86.
15. Wang, H.W., Kuo, W.C., 2016. Geomorphic Responses to a Large Check-Dam Removal on a Mountain River in Taiwan. *River Research and Applications*, Vol32(5), pp.1094–1105.
16. Wunderlich, R.C., Winter, B.D., and Meyer, J.H., 1994. Restoration of the Elwha River ecosystem. *Fisheries* 19(8):11-19.
17. Wilcox, A., O'Connor, J., and Major, J., 2013. Rapid reservoir erosion, hyperconcentrated flow, and downstream deposition triggered by breaching of

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

38m tall Condit Dam, White Salmon River, Washington. Journal of Geophysical Research : Earth Surface 10.1002/2013JF003073.

18. 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。
19. 王筱雯，2011，武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究-七家灣溪一號壩壩體改善工程之水文與泥砂監測，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
20. 王筱雯，2012，七家溪一號壩壩體改善後河道環境衝擊評估，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
21. 王筱雯、郭偉丞、張家豪，2013，七家灣溪壩體改善後之河道演變模式，中華水土保持學報, 44(4): 271-281.
22. 王筱雯，2014，七家灣溪水文影像監測，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
23. 王筱雯，2015，104 年度七家灣溪水文影像監測，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
24. 林幸助，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。
25. 林幸助，2012，武陵地區溪流生態系復育監測與研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
26. 林幸助，2013，武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究-物理棲地與水文泥砂研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
27. 郭上琳，2015，台灣壩體拆除決策流程之建立，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
28. 逢甲大學營建及防災研究中心，2012，曾文水庫集水區攔砂壩改善綜合評析計畫，經濟部水利署南區水資源局。
29. 財團法人台灣水利環境科技研究發展教育基金會(TIIWE)，2011，石門水庫集水區保育治理研究綜整計畫委託專業服務，經濟部水利署北區水資源局。

七家灣溪水文泥砂監測 成果報告

30. 葉昭憲，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。
31. 葉昭憲、王傳益，2008，七家灣溪一號防砂壩壩體改善之試驗研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
32. 葉昭憲、王永賢，2010，武陵地區生態系長期監測與研究-物理棲地研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
33. 葉昭憲，2015，武陵地區七家灣溪及有勝河流域壩體改善後溪流物理地調查監測，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
34. 詹勳全，張嘉琪，陳樹群，魏郁軒，王昭堡，李桃生，2015，台灣山區淺層崩塌地特性調查與分析，中華水土保持學報。
35. 廖林彥，2001，高山溪防砂壩改善前後棲地變遷之調查研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
36. 劉哲欣，吳亭燁，陳聯光，林聖琪，林又青，陳樹群，周憲德，2011，臺灣地區重大岩體滑動案例之土方量分析，中華水土保持學報。

附錄一 期末審查意見回覆

審查意見	執行單位回覆
(一) 連惠邦委員	
1. 本計畫在經費受限的條件下完成既定的相關工作，實屬不易。	感謝委員認可。
2. 研究河段河床質呈粗化趨勢，顯示河道已朝穩定趨勢發展。惟本年度因颱風降雨事件強度不足，以致於無法獲取河道變遷趨勢，故建議宜持續進行相關監測工作。	感謝委員建議。
<p>3. 摘要問題：</p> <p>(1) 摘要宜簡化，不必再陳述緣起及研究方法。</p> <p>(2) 河道坡度由 0.020 略升到 0.021，應屬誤差值範圍，其通洪能力怎可能因而提升呢？</p> <p>(3) 即時監測不必然會採取即時運算方式進行預警，通常皆在事件發生前即已運算完成，俟實際降雨狀況進行複核及應變。</p> <p>(4) 建議長期監測項目宜將「表面粒徑(河床底質)」之時、空分布及演變納入調查。</p>	<p>1. 本計畫之摘要格式係依照雪霸國家公園管理處研究報告之相關規定辦理。</p> <p>2. 河道坡度雖無明顯變化，但河道可通洪面積有增加之趨勢，通洪能力因此提升，已修正說明請詳 P.II 與 P.64。</p> <p>3. 因山區地形複雜，天氣預報與七家灣溪流域內實際降雨情形不一定相符。本研究所提之即時監測為利用現地可掌握之水位、流速監測儀器進行即時推估流量，如達特定警戒標準則可進行對應措施，避免人力物力之耗損。</p> <p>4. 感謝委員建議，以納入長期監測指標。</p>
4. 報告中部分圖幅宜放大，例如圖 4-5 很具參考價值，也請增加時間軸和崩坍面積，其它如圖 5-13 等均請放大。	遵照辦理，已於內文補充說明時間與各年調查之崩塌面積，並放大圖片，請詳 P.34。
5. 建議第五章在描述本年度各颱風降雨事件時，應將其相應降雨量及其重現期一併呈現。	感謝委員建議，由於桃山雨量站為台灣電力公司所設置，雨量資料需待明年才能取得，因此本年度各颱風降雨事件及其重現期未能反應在本報告。

<p>6. 何以生態中心河床於 2014 年起由淤轉沖？（表 5-4），請再說明清楚</p>	<p>臺灣櫻花鉤吻鮭復育中心約位於一號壩下游 0K-880 處，若以大尺度的角度來看該區間 (0K-800~0K-1200) 河道平均坡度，由 2011 年至 2016 年結果顯示該河段之河道坡度並無明顯變化，坡度皆為 0.02，故臺灣櫻花鉤吻鮭復育中心處之變化僅為局部沖淤現象，如 P.52-54。</p>
<p>7. P.52，斷面變化宜採用量化方式說明其變化程度。</p>	<p>已補充斷面變化之量化結果，請詳 P.56-60</p>
<p>8. P.57，數值地形如何繪出？</p>	<p>本計畫數值地形係採現地測量之橫斷面成果為基礎，並以 CCHE2D-Mesh 進行繪製，詳細說明如 P.60。</p>
<p>9. P.58，圖 5-12 各重現期流量如何推估出？或有參考文獻計算出？另流量資料應為獨立事件，以連線表示並無意義。圖中，2014 年後最大通洪流量有增加趨勢，是否表示該時期溪床處於沖刷下切之故？</p>	<p>各重現期距流量係王筱雯研究團隊過去曾根據七家灣流量站 1981 年至 2012 年各年年最大瞬時流量資料，藉由集水區面積權重法與流量頻率分析，推估得臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心各重現期距對應之流量，請詳 P27-28。；各時間通洪能力連線主要為表示河道通洪之趨勢變化；對照縱橫斷面資料顯示，2014 年之河道坡度於局部區域(生態復育中心)有增加之趨勢，故該段期間通洪能力有增加趨勢。</p>
<p>10. P.63，圖 5-16 及圖 5-17 中請標示一號壩位置；P.66，宜補充說明壩體安全性調查方法及其評估原則，以目前調查方法看來僅能表示壩體表觀現象。圖 5-16 中 S32 流路偏向右岸，未來應特別注意其影響。</p>	<p>遵照辦理，已於圖中標註一號壩位置，並補充說明壩體安全調查，請詳 P.71。</p>
<p>11. 以土石流警戒雨量作為生態中心淹水潛勢警戒雨量是否適當，請考量？</p>	<p>本研究所提之警戒值係為本團隊根據七家灣溪過去紀錄(台電桃山雨量站)之雨量資料，歸納出 24 小時內累積降雨高於 300 mm，有高機率發生十年以上洪水事件，並非單純採用土石流警戒雨量標準，請詳 P.76。</p>

(二)于淑芬課長	
1. P.52、P.53 深槽線變動的意義請於報告書中再說明清楚，因本處關心重點為在壩體改善後河道是否有趨於穩定或恢復自然狀態。	感謝委員意見，本研究藉由斷面面積變動量之量化資訊補充說明河道目前變動區間，請詳 P.56-60。
2. 建議事項中，有關鮭魚生態中心緊急避難自動化警報與即時運算應如何建置，請再具體說明。	此部分構想主要為現地量測資料(流量、水位)達特定警戒值時，即須進行人員或器材設備等撤退或疏散措施，目前市面皆有對應技術，但實際於七家灣溪建置需與設備廠商討論後方能有更為具體之說明。
(三)許嘉祥秘書	
1. 可否請受託單位協助確認四號壩主壩與副壩的管理及建造單位。	經確認七家灣溪四號壩主壩與副壩的管理及建造單位為林務局。
2. P.68-69 有關四號壩乙節，建議獨立為一章節探討，以利後續本處與管理單位進行妥適的處置。	以報告整體性而言，建議維持原編排章節，但可另外摘錄出該章節完整內容供雪霸國家公園管理處進行後續妥適處置。
(四)鍾銘山代理處長	
1. 有關在管理上所要面對的問題，如壩體被嚴重侵蝕等，請再詳細說明供本處參考，如有實際執行上的限制(如經費、設備等)，也請提出討論。	遵照辦理。
2. 未來的監測指標與工作方式均有說明，本處將再檢討規劃後續的執行方式。	感謝委員認可。
會議結論	
1. 本次報告原則同意通過審查。	感謝委員認可。
2. 請依審查委員及與會人員所提供之意見納參或修正，並於成果報告書中列出回應表。	遵照辦理。
3. 依據契約規定辦理結案相關及尾款請款等事宜。	遵照辦理。