

壹、前言

1-1 計畫緣起

民國 95 年 7 月 15 日龍泉溪下游谷口處發生大規模崩塌，崩塌土石阻斷河道並形成堰塞湖，鑒於堰塞湖下游有社區分佈，為能消滅堰塞湖可能致災風險，確保下游社區居民之安全，台東林區管理處於事件發生後立即實施相關緊急防災處置措施，並於民國 96 年分別完成下游防砂工程及土砂觀測系統，有效達成防災減害之效果；土砂觀測系統並即時回傳現地觀測資料，提供各級防救災單位同步監控現地影像與水情資訊，強化防災應變能力。

依據前期歷年計畫（95~98 年度）所實施之調查、測量、影像判釋與演變趨勢評估成果顯示，堰塞湖蓄水量已大幅減少，且天然壩體並未於颱風豪雨事件後發生明顯變化，現仍穩定存於現地，顯示龍泉堰塞湖在歷年防災工程投入後，已有效降低其對於下游社區之致災風險。然考量堰塞湖形成至今並未遭遇較大規模之降雨事件，且集水區上游地區未來發生大規模崩塌的機率難以預料，為防範災害於未然，在堰塞湖致災風險尚未完全消除前，必須對於龍泉堰塞湖持續進行監測以及後續分析，以便及時掌握災害發生徵兆，提供各級單位防災預警及應變之參考。

為此，台東林區管理處提出「龍泉溪上游堰塞湖土砂觀測系統更新及維護」計畫，針對既設土砂觀測系統之各項儀器、網路與電力設備進行檢測維修，除維持系統正常運作，同時持續追蹤堰塞湖、崩塌區、堆積壩體與河道地形之變化趨勢，期望透過本計畫之實施，協助各級防救災單位有效掌握堰塞湖災害前兆，適時啟動相關防救災措施，提升防災應變效率，並增進我國對於堰塞湖災害評估、防治、防災預警與演變趨勢等課題之瞭解。

1-2 計畫目的

本計畫目標有二，其一為持續維護龍泉溪上游堰塞湖土砂觀測系統相關儀器與設備，透過定期與不定期維護檢修機制之建立與執行，確保本系統各項功能均能正常運作，以提供必要之即時現地資訊，協助各級防救災單位迅速掌握災害前兆，適時啟動相關防救災措施，減輕可能發生之災害風險；其二為持續進行堰塞湖、天然壩體與河道地形變動之監測與分析，針對壩體安定性與堰塞湖演變趨勢進行評估，提升我國對於堰塞湖災害評估、防治、防災預警與演變趨勢等相關課題之瞭解。

1-3 工作範圍及項目

一、工作範圍

本計畫工作範圍位於臺東林區關山事業區第3林班龍泉溪上游集水區，其行政區域屬台東縣海端鄉，流域分區位處秀姑巒溪流域，崩塌地下游分布有龍泉、大埔及萬朝等社區，而龍泉社區與大埔社區中間有龍泉溪隔著，設有大龍橋聯絡居民往來交通（如圖 1-3.1 龍泉溪上游堰塞湖相關位置圖）。

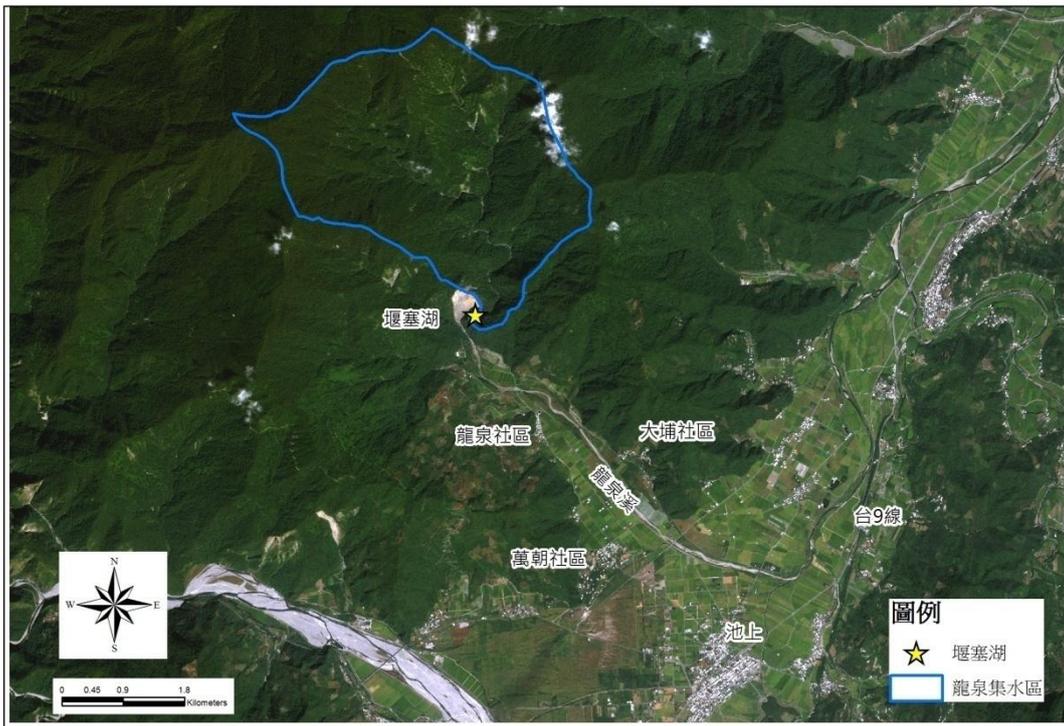


圖 1-3.1 龍泉溪堰塞湖上游集水區與下游聚落相關位置圖

二、工作項目

(一)、土砂觀測系統功能維護

透過定期與不定期維護與檢修，確定本系統各項功能均運作正常，工作項目說明如下：

1. 現地端系統保養、檢修與設備汰換(包括現地端各項監測設備、電力與網路傳輸設備)。
 - (1) 儀器定期保養、測試與資料收錄(每月定期維護)
 - (2) 儀器耗損檢修、汰換與耗材更新
 - (3) 系統功能異常檢修與故障排除(颱風前，系統偵測異常)
2. 後端系統操作、維護與更新
 - (1) 網站功能維護與更新

(2) 備援系統維護與更新

(二)、現地資料調查收集與量測

1. 現地調查

包括堰塞湖、崩塌區、天然壩體與河道現況之變動調查。

2. 壩體與河道地形變動測量

(1) 堰塞湖天然壩體與河道地形變動測量。(至少 1 次)

(2) 堰塞湖天然壩體與河道地形變動測量至少 1 次，並與 98 年度測量成果分析比較(原則上於颱風季節後實施)。

3. 堰塞湖區水深與水下地形測量

於本年度汛期前完成堰塞湖水下地形測量，與 98 年度測量成果分析比較。

4. 天然壩體地電阻物理探測

於天然壩體處實施二維電阻法探測，完成地表下之地電阻影像剖面圖製作，提供後續分析地層與地下水位分布剖面之參考。

5. 無人載具空拍及衛星影像申購處理

依據台東林區管理處指定時程進行無人載具空拍作業，拍攝範圍包括崩塌區、堰塞湖、天然壩體與下游河道，全年度共執行 1 次無人載具空拍。

另須取得 99 年度大範圍崩塌區之衛星影像並完成影像處理，影像範圍包括堰塞湖上游全流域與下游社區，全年度共收集並完成二期衛星影像處理。

(三)、堰塞湖與崩塌區地形變動監測分析。

應用本年度與前期計畫所實施現地調查、地表與水下地形測量、遙測影像判釋、地電阻物理探測以及觀測資料結果，針對崩塌區、天然壩體與下游河道之地形變動進行分析，相關成果應包含下列項目：

1. 遙測影像變異分析



針對本年度與前期計畫取得之歷年堰塞湖上游全流域大範圍衛星影像之崩塌地進行判釋與變異分析。

2. 天然壩體與河道地形變動分析

應用本年度與前期計畫所實施之天然壩體、河道地形測量成果進行變動分析，並參考現地觀測系統所收集之歷次降雨事件成果，探討地形變動與年度降雨事件之關聯性，並推估未來地形變動之趨勢。

3. 堰塞湖水下地形變動分析

應用本年度與前期計畫所實施之水下地形測量成果進行比對分析，探討歷年堰塞湖庫區淤積土砂量之變化。

4. 天然壩體地下水位及地層界面分析

應用天然壩體地電阻物理探測所獲得之反應訊號進行分析，求得地表下由淺至深各地層之電阻率分布，利用電阻率研判天然壩體地表下水位、崩積層與原河床岩盤之界面之分布情形位置。

(四)、堰塞湖演變趨勢評估

1. 天然壩體安定性評估

探討歷年溢流水道挖降及邊坡處理工程實施後，對於天然壩體邊坡穩定性之變化進行評估。

2. 堰塞湖土砂整體運移趨勢評估

(1) 壩體上游全流域土砂生產量及趨勢評估

(2) 堰塞湖土砂淤積趨勢評估

1-4 整體工作執行架構

本計畫工作內容包括既設土砂觀測系統功能維護及更新、現地資料調查收集與量測、堰塞湖與崩塌地地形變動監測分析以及堰塞湖演變趨勢分析等四大工作。依據本計畫所列之工作項目，擬定計畫執行架構與流程詳圖 1-4.1。整體計畫執行依據各期程報告繳交期限分別擬定工作執行計劃書、期中與期末報告。本計畫工作重點可以分為三個階段，分別為汛期前整備階段、汛期期間持續觀測與調查階段、汛期過後資料分析評估階段。本計畫初始整備工作內容為土砂觀測系統維護、前期資料調查收集與堰塞湖水下測量，以上相關工作預計於本年度汛期前完成整備，如此可確保各項現地觀測設備於計畫執行期間正常運作，完整記錄整年度各次颱風豪雨事件之雨量、水位與影像資料，並完成事件之相關基本資料整備，提供後續分析使用。另外於計畫執行期間，除定期派員至現地進行系統例行維護外，於重大降雨事件後，並透過現地調查以掌握崩塌區、天然壩體、下游河道之地形變化，配合前期與本年度所完成之遙測影像判釋分析與地形測量結果，針對崩塌區、天然壩體與下游河道之地形變動進行趨勢分析與堰塞湖演變趨勢評估，並探討壩體之安全性及全流域土砂生產量及堰塞湖土砂淤積之趨勢評估。

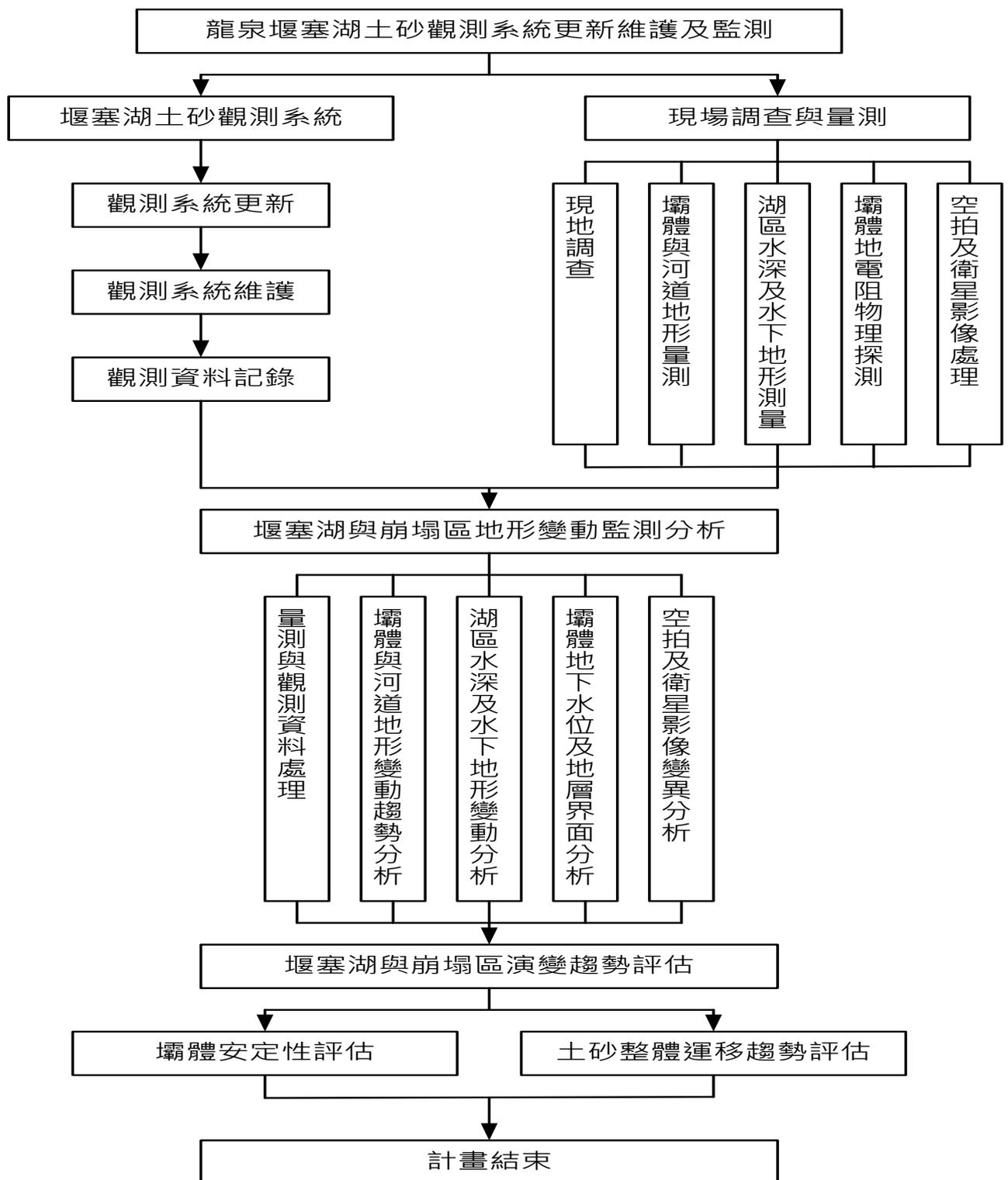


圖 1-4.1 計畫執行之工作架構與流程圖

1-5 本文架構

依據本計畫之工作項目，期末報告書內容撰寫之架構說明如下：

第一章、前言

計畫說明，包含計畫緣起與目的、計畫工作範圍、以及本年度執行工作項目等

第二章、前期計畫成果概述

本章簡述 95~98 各年度計畫執行之工作項目與重要成果，包括各年度之現地調查、土砂觀測系統之維護及更新、河道及湖區地形變動測量、衛星影像蒐集及判釋、天然壩體安定性評估及土砂演變運移趨勢評估等工作。

第三章、土砂觀測系統維護

本計畫的重點工作項目在於堰塞湖土砂觀測系統之維護及更新工作，透過本章節的內容，說明系統的設備建置項目及其應用目的，並詳細陳述本年度執行土砂觀測系統各項設備之更新狀況及維護細節。

第四章、現地資料調查收集與量測

為瞭解堰塞湖、崩塌區、天然壩體及下游河道之地形變化，利用各種調查方法及工具進行資料收集調查及地形變化測量等，藉由調查及測量成果的分析，瞭解堰塞湖整體變化情形。

第五章、堰塞湖與崩塌區地形變動分析

透過資料的蒐集與地形的量測工作，配合各種分析方法瞭解堰塞湖整體的變化趨勢，包括崩塌區的變異、壩體及河道的變動分析，地下水位的探查等。

第六章、堰塞湖演變趨勢評估

藉由各種資料的分析成果，可以評估堰塞湖隨時間及水文條件的變動情形所產生的變化趨勢，透過各種評估分析，瞭解壩體的穩定性及整體流域的土砂運移趨勢等。

第七章、結論及建議

根據各年度的工作執行成果，進行簡要之成果彙整及結論，並依後續可行之工作推動方向，提供相關建議。

貳、前期計畫重要成果

2-1 民國 95 年度『關山事業區第 3 林班龍泉溪上游堰塞湖緊急評估及緊急對策建議』計畫

民國 95 年 7 月 16 日龍泉溪上游谷口處發生大規模坡面崩塌，崩塌土石阻斷河道並形成堰塞湖(圖 2-1)。崩塌土石阻斷河道所形成天然壩之壩高約 40 公尺，壩體體積約 60 萬立方公尺，所形成之堰塞湖水體體積於滿水位時約 100 萬立方公尺。由於事件發生時正逢颱風豪雨發生頻繁之豐水期，堰塞湖於一週後即達滿水位並開始溢流。考量本崩塌區下游分佈有龍泉、大埔與萬朝等社區，為確保下游地區居民生命財產安全，台東林區管理處立即委託國立成功大學防災研究中心執行「關山事業區第三林班龍泉溪上游堰塞湖緊急評估及緊急對策建議」計畫，95 年度計畫之重要成果說明如下：

(一) 完成堰塞湖緊急調查與基本資料收集分析

1、透過現地調查、地形量測與遙測影像判釋

透過現地調查與重點區域測量，配合圖資判釋分析方式，完成崩塌區面積、堆積土體體積、堰塞湖水體體積及幾何形狀資料之推估。提供後續崩塌土體安定性分析、潰壩演算、社區安全性評估與緊急工程對策研擬使用。

2、天然壩體潰決機制評估

依據現地調查量測及圖資判釋分析成果，探討龍泉溪堰塞湖天然壩體可能發生之潰決機制及形式，評估結果顯示，龍泉溪堰塞湖之破壞形式應屬壩頂溢流沖刷破壞之類型。

3、崩塌土體安定性分析



依據 DBI 公式(無因次阻塞指標, Ermini & Casagli 2003)進行崩塌土體安定性之初步研判。龍泉堰塞湖之 DBI=3，介於穩定與不穩定交界處。推估龍泉堰塞湖將不至於短時間內發生潰決破壞，存在時間將較長。

(二) 完成堰塞湖潰壩水理與土砂沖淤演算

1、潰壩水理演算

應用 HEC-RAS 水理演算模式，進行不同設計條件之潰壩水理演算(不同潰壩延時、降雨條件及壩體高度)，提供後續進行堰塞湖潰決引致災害之危險程度分析及減災工程規劃時參考。

潰壩水理演算設計條件

設計條件 模擬案例	潰壩延時	壩體高度	上游入流量 (降雨強度)
案例 1 (不同降雨強度)	1hr	40m	120cms(40mm/hr)
			210cms(70mm/hr)
			300cms(100mm/hr)
			390cms(130mm/hr)
案例 2 (不同潰壩延時)	1hr	40m	300cms(100mm/hr)
	2hr		
	3hr		
	5hr		
	10hr		
	20hr		
案例 3 (不同壩高)	1hr	40m	300cms(100mm/hr)
		35m	
		30m	

2、潰壩土砂沖淤演算

應用成功大學防災研究中心謝正倫教授自行研發之二維土石流沖淤模式進行土砂沖淤演算，探討潰壩後下游區位可能發生之土石淤積與沖刷現象，提供減災工程規劃時參考。

(三) 龍泉、大埔與萬朝社區安全性評估

1、土石流淤積影響安全性評估

依據土石流演算結果顯示，下游 3 個社區受土石流氾濫之直接影響之危險性較低。就堰塞湖天然壩潰決時可能導致土石流淤積影響而言，初步將 3 社區排除於危險範圍內。

2、洪水氾濫影響安全性評估

針對不同之降雨條件(時雨量 40、76、100、130mm/hr)，以潰壩延時 1 小時，評估潰壩洪水對於下游社區之影響，評估結果如下表，說明如下：

社區安全評估表

地點	地面高程(m)	堤防高程(m)	堤防高程(扣除出水高 1.5m)	河床高程(m)	時雨量(mm)			
					40	70	100	130
龍泉	336.90~348.15	332.70	331.20	329.97	331.10	331.18	331.30	331.40
大埔	292.35~320.77	306.33	304.83	302.61	304.36	304.46	304.61	304.73
萬朝	289.21~290.55	288.33	286.83	286.24	288.11	288.24	288.44	288.59

(1)龍泉社區

評估結果顯示，龍泉社區所在河段在不同設計條件之潰壩洪水水位均未超越堤防高程(模擬水位與堤防高程之差距介於 1.3~1.6 公

尺)，且因龍泉社區位置較高，故初步將龍泉社區排除於潰壩洪水氾濫區域之外。

(2)大埔社區

評估結果顯示，大埔社區所在河段在不同設計條件之潰壩洪水水位雖未超越堤防高程，但因大埔社區屬較低窪之區域，且有局部河段並未施作堤防，因此將此區段列為可能遭逢洪水氾濫影響之區域。

(3)萬朝社區

萬朝社區所在河段在延時 1 小時，降雨強度大於 100mm/hr 下之設計條件時，潰壩洪水水位有超越堤防之虞，因此將萬朝社區之河段列為有溢堤之虞之區域，唯社區地表高程仍高於洪水水位。

(四) 訂定堰塞湖潰壩範圍與警戒值，提供防救應變期間參考。

1、訂定堰塞湖潰壩範圍

依據潰壩水理及土砂演算結果，分別比較各模擬配置斷面之最高洪水水位與堤防高度，完成警戒區畫定。將發生洪水溢堤區列為高危險區，未發生溢堤但潰壩洪水水位高於堤防設計水位(堤防高扣除出水高)則列為中低危險區。

2、訂定堰塞湖潰壩警戒值，提供防救應變期間參考

採用 Neill(1968)之塊石起動公式半經驗公式，推得現地塊石起動所需之流速及流量，並據此流量反推相對應之降雨強度。分析結果顯示，壩體主要塊石粒徑為 20~30cm，其沖刷起動流量約在 120~230cms 間，其相對之降雨強度，在 40~76mm/hr 間，故以 50mm/hr 作為警戒值基準，並以連續 2 小時降雨強度均達警戒值時作為啟動警戒之研判機制。

(五) 提出緊急處理對策



1、緊急防災工程

(1)降低壩體高度

依據不同壩高之潰壩演算結果顯示，若設法降低壩體高度 5m，但其潰壩產生之洪峰卻可降低約 24%，危害程度將大幅度降低。故建議在枯水期以工程方法設法降低堰塞湖天然壩體高度，以降低堰塞湖潰決風險之減災工程建議。

(2)河道疏浚

針對現況出水高度不足之河段，建議以非工程之河道疏浚措施，提高河道輸洪能力，降低洪水溢堤可能造成社區災害之風險之建議。

(3)現有堤防加高、加長與加固

針對大埔社區與萬朝社區局部河尚未施作堤防之河段，進行堤防加長工程。

(4)監測系統建立

建置土砂觀測系統，即時觀測龍泉溪上游堰塞湖區之現地影像、雨量與水位資料，提供各級防災單位同步監控現地變化徵兆與即時水情資訊，提升災害預警與應變能力

2、中長期防災工程

本區坡面崩塌所形成之崩塌土方量估計約六十萬立方公尺。依據土石流演算結果顯示，大量土砂流出後，主要淤積區段位於谷口(水利會取水口)與大龍橋過水路面間。為能有效控制土砂流出量，避免淤積土石持續朝下游輸送造成河床高程抬升，影響原河道之排洪能力，並避免土石淤積河道造成局部地形改變後發生土石漫溢等災害，建議依據天然地形條件選擇適當的壩址，施作防砂壩以攔阻土石並構成土砂淤積空間，將部分土石於規劃之範圍內淤積，並視需要再予清除。考量本區河道坡度與地形特性，提出二項建議：

- (1) 於水利會取水口上游河段，興建透過性防砂壩(如梳子壩或切口壩)，容許粒徑較開口寬度小之土石通過，以調節土石流流量與消減能量。
- (2) 於水利會取水口與下游大龍橋過水路面間，依據天然地形條件選擇適當的壩址，施作防砂壩以攔阻土石並構成土砂淤積空間。避免土石淤積河道造成局部地形改變後發生土石漫溢等災害。

2-2 民國 96 年度『龍泉溪上游堰塞湖土砂觀測規劃與建置』計畫

民國 95 年期間所發生颱風事件未造成本區地形發生明顯變化。考量天然壩體仍有發生潰決破壞之虞，為能降低壩體因沖刷破壞對於下游社區之致災風險，並能持續提供現地即時觀測資訊供各級防救災單位參考，以適時啟動應變機制。台東林區管理處依據 95 年度評估報告之建議，於民國 96 年度辦理「96 年度龍泉溪上游堰塞湖土砂觀測規劃與建置」計畫，由成功大學防災研究中心會負責執行。96 年度主要工作重點為建置土砂觀測系統，即時觀測龍泉溪上游堰塞湖區之現地影像、雨量與水位資料，提供各級防災單位同步監控現地變化徵兆與即時水情資訊，提升災害預警與應變能力。計畫執行期間，持續進行現地調查與地形變動量測，配合遙測影像之判釋分析，針對本年度颱風與豪雨期間之降雨對於堰塞湖堆積壩體與河道地形變動量進行分析比對，探討降雨對於地形變化之影響，提供未來堰塞湖演變趨勢與警戒值修訂時參考。

除此，鑑於本區已完成相關減災工程，為能探討相關減災工程對於本區土砂災害控制之效益，並針對相關減災工程實施後，對於壩體安定性、堰塞湖蓄水量之變化與潰壩後洪水與土砂影響範圍之效益進行評估，針對分析成果提出後續處理與治理對策建議，相關重要工作成果說明如下：

(一) 土砂觀測系統建置

土砂觀測系統包括影像觀測系統、水文觀測系統、現地資料處理系統以及資料傳輸系統。透過現地自動化觀測設備之建立，即時觀測龍泉溪上游堰塞湖地區之現地影像、雨量與水位資料。資料傳輸架構分為兩階段，現地儀器端首先透過有線方式將監測資料傳至觀測小屋內之資料儲存紀錄器中，將資料轉換後，透過 TCP/IP 介面以無線方式將資料傳送至中繼端。其後利用中華電信 ADSL 線路，傳回位於後端資料伺服器中。另為避免電信系統中斷影響應變作業，同時搭配 GPRS 備援傳輸系

統，於主要傳輸系統中斷時，可持續將資料傳送至後端資料伺服器中。現地相關儀器與設備包含星光攝影機二組、紅外線投射燈二組、雨量計一組、水位計一組、影像伺服器一組、雨量及水位儲存記錄器一組、無線網路傳輸一組、GPRS 備援傳輸一組、遠端電源管理系統一組、後端展示系統伺服器一部。

(二) 建立即時監測資料展示與查詢網站

完成龍泉溪堰塞湖土砂觀測系統之即時監測資料展示與查詢網站，可即時接收現場資料並透過網際網路展示與查詢監測資料與畫面。對於過去事件發生前後之影像、水位、雨量等監測資料亦可透過資料庫查詢之方式，呈現歷史事件資料之查詢。另系統同時提供現場儀器狀況之監控與管理，以降低因機器失能而產生之錯誤判釋。透過即時監控及多道防護程序，以將因儀器失能或外力問題所導致暫時無法監測之影響降至最低。

(三) 資料分析成果

- 1、衛星影像判釋結果顯示，龍泉溪堰塞湖上游集水區有數處發生新生崩塌地。部分既有崩塌地並有擴大情形發生，建議定期追蹤崩塌地面積與數量之變化，提供堰塞湖來砂量分析時參考。
- 2、本年度聖帕颱風造成本區發生明顯地形變化。主要沖刷區段位於壩體溢流洪水行經路徑，沖刷深度約 5~7 公尺，並形成一天然之槽溝。主要淤積區段位於壩體下游面(與原河道銜接處)至水利會取水口處，淤積高度約 3~6 公尺。
- 3、雨量觀測資料易受颱風路徑與地形效應影響而變化，經比對本計畫所觀測之現地雨量紀錄與中央氣象局池上雨量站觀測資料發現確有明顯差異。若以池上站雨量觀測值作為防災預警之依據，其代表性

可能不足，因此建議仍以本計畫所收錄之雨量觀測資料為主要參考數據。

(四) 減災工程效益評估

1、溢流口高程降低對蓄水量之變化

溢流口高程降低 5m，在枯水時期(低入流量)可以有效降低堰塞湖蓄水體積達 223,493m³，降低效益達 27.77%。但於颱風豪雨期間(高入流量)，則受限於溢流口斷面之通水面積不足，造成溢流水深與堰塞湖水位於高流量時期會發生較大幅度之抬昇。局部降低溢流口高程 5m 對於堰塞湖蓄水體積減少量則少於整體壩體高度降低 5m 之蓄水體積減少量(兩者之差值約達 15 萬立方公尺)。建議若在施工可行與安全之前提下，於枯水期間堰塞湖水位低於地表高程 441m 時，能夠實施整體壩體降低工程，對於堰塞湖蓄水量之消減效益將有更明顯之提升。

2、溢流口高程降低後之社區安全性評估

針對溢流口高程降低後，潰壩洪水對於下游 3 社區(龍泉社區、大埔社區與萬朝社區)之影響進行評估。利用 HEC-RAS 變量流模式進行潰壩洪水演算，結果顯示，當溢流口高程降低 5m 且寬度為 10m 時，於 300cms 之入流流量下，堰塞湖水位高程從 EL449.91m 降至 EL447.08，有效降低堰塞湖水位達 2.83m。

下游三個社區之潰壩洪峰水位分別於龍泉社區斷面降低 8cm、大埔社區斷面降低 10cm、萬朝社區斷面降低 14cm，愈往下游，其洪峰降低量愈高。而原萬朝社區在時雨量 100mm 下會產生溢堤之情況，於溢流口高程降低後之潰壩模擬水位已低於堤防高程。

3、防砂工程效益評估

本計畫利用土石流沖淤模式針對新設防砂壩之減災效益進行評估。模擬結果顯示，興建防砂壩可有效攔阻土石達 12 萬立方公尺，並可防

止該區域堆積土石朝下游運移，減少下游河段之土石淤積總量與淤積深度。但由於堰塞湖堆積壩體土石總量約 48 萬立方公尺，本座防砂壩所能提供之儲砂空間僅佔總土石堆積量之 1/4，仍有近 36 萬立方公尺之土石會持續朝下游輸送。為免土砂沖淤過程中衍生土砂災害，在經費許可之前提下，建議依據前期計畫規劃(關山事業區第三林班龍泉溪上游堰塞湖緊急評估及緊急對策建議成果報告書)，興建第二座防砂壩，以增加下游儲砂空間。另考量堰塞湖堆積壩體之溢流水道與壩趾區域有沖刷之問題，為降低壩體因坡腳遭水流沖刷破壞而發生驟然潰決之風險，建議於坡腳處興建防砂壩，防止坡腳遭水流劇烈沖刷後影響壩體之穩定性。

(五) 國際合作交流

計畫執行期間與日本等先進國家的相關技術研發機構進行技術合作等，包括日本砂防學會、日本地質調查所、京都大學防災研究所、靜岡大學、筑波大學等專業團體、研究機構與學術單位，共同針對堰塞湖可能以致土砂災害之觀測與治理之課題進行研究。並邀請日本全國治水砂防協會、靜岡大學、斜面工學研究所等專家共五人來台進行訪問、現場踏勘、技術研討及經驗交換等行程，提供相關技術支援及諮詢。

2-3 民國 97 年度『龍泉溪上游堰塞湖崩塌區土砂觀測與演變趨勢研究』計畫

民國 97 年台東林管處為能維持維護龍泉溪土砂觀測系統正常運作，強化觀測系統之功能，並持續監控崩塌區、堰塞湖、天然壩體地形變化、以及堰塞湖長期演變趨勢，於 97 年度實施「97 年度龍泉溪上游堰塞湖崩塌區土砂觀測與演變趨勢研究計畫」計畫。除針對前計畫所建置土砂觀測系統之網路、電力設備與觀測儀器(影像、雨量、水位)進行定期檢測維修，維持系統正常運作外，該年度並針對原系統功能進行強化，增設一處影像觀測系統，方向指向壩體正面，以較佳之觀測角度進行之壩體變化監控，供各級防災單位同步監控現地變化徵兆與即時水情資訊，提升災害預警與應變能力。

計畫執行期間，透過現地調查與測量作業之實施，配合遙測影像之判釋分析，持續監控該年度降雨事件對於堰塞湖堆積壩體與河道地形變動之影響。同時，針對相關減災工程實施後(下游防砂工程與溢流水道挖降工程)，對於壩體安定性、堰塞湖蓄水量之變化與潰壩後洪水與土砂影響範圍之效益進行評估，以探討相關減災工程對於本區土砂災害控制與消滅之效益。最後，並依據歷年資料調查、分析成果，針對堰塞湖、堆積壩體與下游河道未來演變趨勢進行評估，提出後續處理與治理對策建議。97 年度計畫執行相關重要工作成果說明如下：

(一) 觀測系統功能維護、強化與更新

- 1、本年度透過定期(平時)維護與不定期(系統異常時)迅速檢修作業之實施，於防汛期前完成全系統檢修與功能測試。系統並於卡玫基、鳳凰、如麗、辛樂克、哈格比與蕃蜜颱風期間均能維持正常運作。

於防災應變期間提供現地即時影像與水情資料，各級防救災單位可依據現地變化適時啟動防災預警與疏散避難作業機制，提升應變效率。

- 2、龍泉溪堰塞湖土砂觀測系統於本年度新增一處簡易型影像觀測系統，直接拍攝壩體正面溢流口。經測試後可穩定收錄與回傳即時現地影像資料。本系統之建立，對於颱風期間湖水溢流情形、溢流水道與崩積土體之變動情形之掌握極有助益。
- 3、本年度配合下游防砂工程規劃，調整水位觀測系統架設位置，將水位觀測系統遷移至防砂壩上，解決了原架設位置收錄水位無法代表全集水區上游來水量之問題(高流量時，僅有部分水流通過水利會攔水堰)。可藉由水位資料之變化，合理推估壩體溢流量，提供防災應變時參考。
- 4、本年度於壩體表面標註水尺，可透過現地所架設之即時影像監視系統直接觀測水位高度，提供另一獲取水位資訊之管道。並可與水位計觀測結果相為驗證，提升本系統觀測資料之正確性。
- 5、藉由系統定期維護與測試，主動發現系統可能隱藏元件功能衰減與穩定性不足之問題。部分重要設備如影像伺服器、無線基地台、備援電力系統與資料收錄器(Datalog)等均已更換新品，以確保本系統於汛期能正常運作。並將舊品元件汰換檢修作為備援設備，在系統發生功能異常時直接替換，節省系統故障排除所需花費之檢修時間，達到快速搶修之目標。

(二) 現地資料調查、量測與分析

- 1、為能持續監控堰塞湖、天然壩體與河道地形於本年度之變化，並探討本區未來可能演變趨勢，本計畫透過現地調查、遙測影像分析與測量作業，持續追蹤並取得評估作業所需之重要資訊。相關工作成

果包括全集水區區現地變化調查(汛期前、後與重大颱風事件後)、堰塞湖、天然壩與下游河道之地形測量(汛期前、後)、壩體滲流量估算(枯水期)、壩體表面粒徑採樣分析、衛星影像收集(三期)以及無人載具空拍作業(二次)。

- 2、依據堰塞湖水下地形測量進行堰塞湖淤積土方量與蓄水量估算。計算成果顯示，溢流水道挖降 10 公尺後(EL436)，堰塞湖蓄水量約為 25 萬立方公尺(未挖降前約為 80 萬立方公尺)。自堰塞湖形成至今之二年間，淤積土方量約為 4 萬立方公尺。
- 3、壩體於枯水期所量測之滲流量約為 0.08cms。由於堆積土體之滲流量低，故於壩趾處發生滲流破壞(管湧作用)之機率並不高。並因其滲透性低，堆積土體因快速滲透流造成高孔隙水壓，降低土體抗剪強度而引發崩潰之可能性亦較低。
- 4、應用歷年衛星影像進行崩塌地判釋結果顯示，在堰塞湖形成之前(2005 年 4 月 30 日衛星影像判釋成果)，集水區內已有約 8.5 公頃之舊崩塌地，崩塌面積占全集水區面積之 0.71%，至 2008 年 7 月，集水區內之崩塌地則增加至 16.3 公頃，集水區內之崩塌率升高至 1.36%，變化幅度不大。崩塌多為原有崩塌地擴大，少有新生崩塌地之發生。
- 5、依據二期河道地形測量成果比對，汛期前後之地形並無明顯變動，僅有部份地點發生局部沖淤變化，其中防砂壩下游河道因防砂壩發揮攔阻土砂效應，該區段地形顯示略為下刷情形。防砂壩上游河道則為少量淤積，另溢流水道區段則受水流沖刷與上游土砂之影響，隨坡度變化呈現沖淤交替之現象。

(三) 溢流水道挖降工程效益評估



- 1、本區實施溢流水道挖降工程後（二次合計降低 10 公尺），溢流口高程已自 EL446 公尺降低至 EL436 公尺。因溢流口高程降低，堰塞湖在達滿水位且無溢流時，堰塞湖蓄水量由原 80 萬立方公尺降至 25 萬立方公尺，減少體積約 55 萬立方公尺，蓄水量減少 68.8%，蓄水量已大幅減少。
- 2、由於溢流水道挖降後，堰塞湖蓄水量已大幅降低，本計畫針對潰壩後洪水對於下游社區安全性之影響重新進行檢討，依據潰壩水理演算結果顯示，若採用延時 1 小時、上游入流量 300cms 之設計條件進行潰壩演算。下游龍泉與萬朝社區已排除於潰壩洪水氾濫區域之外，大埔社區由於部分區域之地表高程低於潰壩最高洪水位(社區聯外道路至河道間區域)，且現況河段有部份區段並未施作堤防，而未受堤防保護之區段，建議仍列為可能遭受洪水氾濫之區域。
- 3、依據水理計算結果顯示，挖降後溢流水道之排洪能力在渠道滿水位時(溢流水深 10 公尺)可容納約 700cms 之洪水量，若溢流水道未發生沖刷破壞，現行溢流水道斷面之排洪能力應已足夠。

(四) 長期演變趨勢之探討

- 1、參考水下地形測量與集水區土砂生產、運移模式計算成果，上游集水區每年流入堰塞湖之泥砂量約 3 萬立方公尺。本計畫依據布侖因砂曲線進行堰塞湖之淤滿年限推估，結果顯示，若上游集水區無大規模新生崩塌地，進入湖區之土砂量遠小於湖區之庫容量，堰塞湖約需 15 年始淤滿，近期內應無淤滿之疑慮。
- 2、本區下游河道因堰塞湖所阻隔，故上游土砂多因壩體阻隔效應而堆積於堰塞湖區，若溢流水道之設計足以抵抗高流速洪水沖刷，颱風期間降雨所形成之逕流量將經由溢流水道朝下游輸送。在此情況下，

壩體將不會發生洪水溢頂沖刷，防砂壩下游河段在缺乏土砂來源之情形下，將呈現逐年下刷之趨勢。

- 3、考量溢流水道於高流量時，可能受洪水劇烈沖刷而破壞，若其側岸邊坡坍塌時，溢流水道將為坍塌土石淤埋，通水斷面降低將導致排洪能力大幅降低。屆時，除壩體可能發生溢頂沖刷破壞外，並由於上游土砂量增高，下游河道則有逐年淤高之可能性。

(五) 治理工程強化之建議

- 1、依據邊坡穩定分析結果顯示，溢流水道挖降 10 公尺後之土體邊坡於暴雨期間(低、高水位)及地震情況下(低水位)之安全係數均顯示為降低之趨勢，邊坡有滑動破壞之可能性。建議可考慮移除邊坡頂部土體之方式(降低壩頂高度)，減少邊坡上方之載重，對於邊坡安定性將有提升之效果。
- 2、溢流水道下游彎道段即為天然壩體之坡址，該河段坡度驟陡應屬流速較高之河段。在高流量時可能會造成壩體坡趾劇烈沖刷，壩體坡趾若遭水流沖刷破壞將對於其安定性造成影響。目前該區段已利用巨石堆砌導流堤防、跌水工與固床工，保護壩體坡址避免劇烈沖刷。考量本區段之防砂設施屬臨時性保護措施，未來於汛期期間仍應注意該區段設施是否遭水流沖刷破壞，適時進行補強措施(如採用石籠進行結構強化)，以維持其對於坡趾保護之功能性。

2-4 民國 98 年度『龍泉溪上游堰塞湖 土砂觀測系統維護與地形變動監測分析計畫』

本年度計畫主要工作項目包括(1)針對龍泉堰塞湖現地既有土砂觀測系統之各項設備與儀器進行定期維護檢修、不定期維修與更新，維持土砂觀測系統正常運作(包括網路、電力、影像、雨量與水位觀測系統)，並新設一處堰塞湖水位監測系統以強化原系統之防災預警功能；(2)透過不同時期(颱風豪雨事件前後)現地調查、地形測量(堰塞湖水下地形與壩體地形)與影像判釋分析作業之實施，持續追蹤堰塞湖、崩塌區、堆積壩體與河道地形之變化，並探討本年度降雨事件對於堰塞湖天然壩體安定性所造成之影響，適時修正災害可能影響範圍與防災預警基準；(3)依據歷年天然壩體及堰塞湖之地形變動，配合現地觀測資料及衛星影像判釋分析，探討本堰塞湖上游土砂生產、運移及堆積趨勢，長期演變趨勢。98 年度工作重要成果說明如下：

(一)土砂觀測系統維護

- 1.為能維持現地端相關設備正常發揮功能，於計畫初始階段，透過系統總檢測之實施，掌握現地各項儀器設備之運作現況，並完成檢修工作。計畫執行期間，並持續針對觀測儀器進行定期與不定期之維護工作，以確保功能正常。維護計畫分為「定期維護」與「不定期維護」兩類型，「定期維護」為例行性之功能檢測與儀器檢修，每月執行 1 次，共計執行 8 次。「不定期維護」則針對偶發性事件做快速處置，包括颱風警報發布前，與系統出現異常狀況時，立即派員進行檢修，本年度共計執行 8 次不定期維護。
- 2.透過定期與不定期維護檢修作業之實施，本系統於蓮花、莫拉菲、莫拉克及芭瑪颱風期間雖均能維持正常運作。惟本系統運作已近 3

年，部分儀器設備因現地溫度、濕度、電壓穩定性及電子元件自然衰減等問題，常有異常狀況出現，包括無線傳輸功率衰減造成資料收錄中斷、電力突波造成儀器毀損、高溫及潮濕環境造成儀器功能發生異常等。雖已透過定期維護保養、更換設備或零件之方式，期能維持系統正常運作，考量部分儀器設備之功能隨使用時間增長已逐漸衰減，儀器出現異常狀況之頻率可能增高，除增加維護成本外，並對於系統運作穩定性造成極大影響，建議未來應考量針對部分重要設備進行更新汰換，以避免因故障頻率增高影響系統正常運作。

(二) 現地資料調查收集與量測

1. 為探討天然壩體及其下游河道之變遷情形，本年度除於重大事件後實施現地調查外，並已完成 2 次地形測量作業、1 次水下地形測量作業、1 次無人載具空拍作業以及 2 期遙測影像收集及比對分析工作，持續補充與追蹤所需之重要資訊。其中地形測量作業於 4 月份(汛期前)及 9 月底(汛期後)分別實施 1 次，可比對天然壩及其下游河道於本年度颱風豪雨後之地形變化；水下地形測量作業於 3 月份完成，採用動力船筏掛載單音束測深儀量測水下深度，可與前年度所實施之水下地形測量結果相比對，以探討堰塞湖庫容量及上游土砂運移量之變化。
2. 完成台東縣全縣 2 米解析度之福衛二號衛星影像正射及接合製作，提供台東林管處針對轄管林班地範圍之崩塌地、土地使用變化進行影像判釋，同時考量全區影像檔案資料量過大問題，將全區影像裁切成適當大小，以利後續判釋及使用之便利性。相關成果並已依規定期限內交付。

(三) 堰塞湖與崩塌區地形變動監測分析



- 1.依據現地資料觀測、現場調查、壩體及下游河道地形測量結果顯示，本年度因並未發生較大規模之降雨事件，溢流水道及下游河道於本年度颱風豪雨事件後並無顯著變化，其中溢流水道僅有局部區段發生少量沖刷及淤積，下游河道由於土砂多已遭防砂壩阻擋，河道高程大多保持一致，河道地形並無明顯變化。
- 2.完成水下地形測量作業，經與前期(97年汛期前)所完成水下地形測量成果比對後顯示，堰塞湖於97至98年間約淤積1.7萬立方公尺土砂。其中，0.7萬方堆積在天然壩後，1.3萬方堆積在堰塞湖上游迴水終點區段，堰塞湖內則是略為侵蝕了0.3萬方，此成果與土砂收支模式所推估的年平均土砂變化量1.8萬方甚為接近。
- 3.利用福衛二號衛星影像進行堰塞湖上游集水區崩塌地判釋，依據2期衛星影像判釋成果顯示。97年度集水區內崩塌地面積約16.31公頃，98年度集水區內崩塌地面積約18.16公頃，新增崩塌地約1.85公頃，並無明顯變化。

(四)堰塞湖水位觀測系統建置

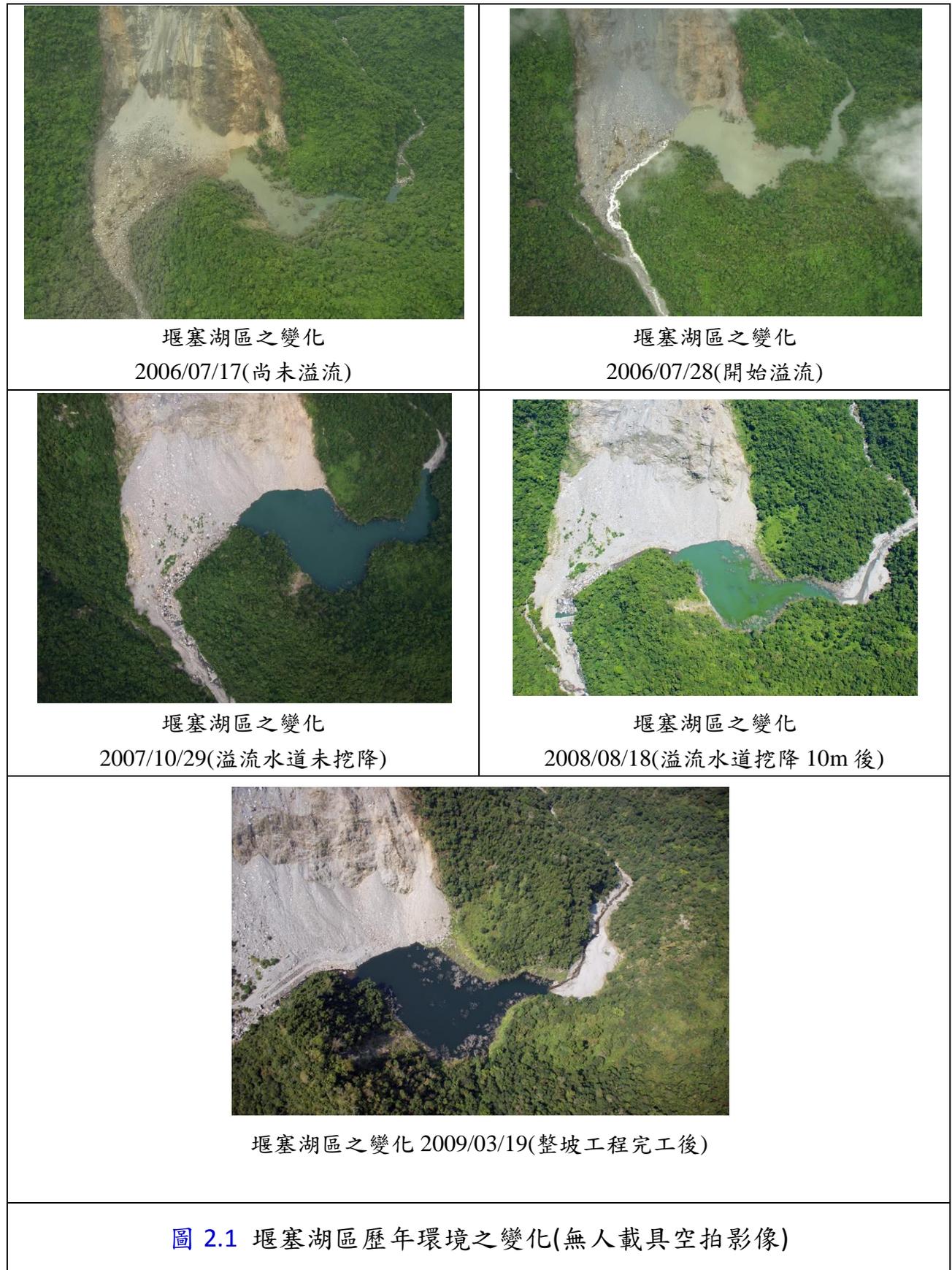
- 1.天然壩溢流流量增大時，可能造成壩體沖刷，為監控堰塞湖溢流量之變化，本年度完成堰塞湖水位觀測系統建置，長期觀測並記錄溢流水深之變化，相關觀測成果並與雨量計及下游水位計之觀測成果進行分析，初步完成降雨逕流分析，因本年度所蒐集得之颱風事件，除莫拉克颱風外，均屬降雨規模較小之事件。未來仍需持續蒐集降雨規模較大之事件，進行更詳盡之降雨—逕流模擬，獲得計畫範圍的降雨—逕流關係，提供後續防災之參考。

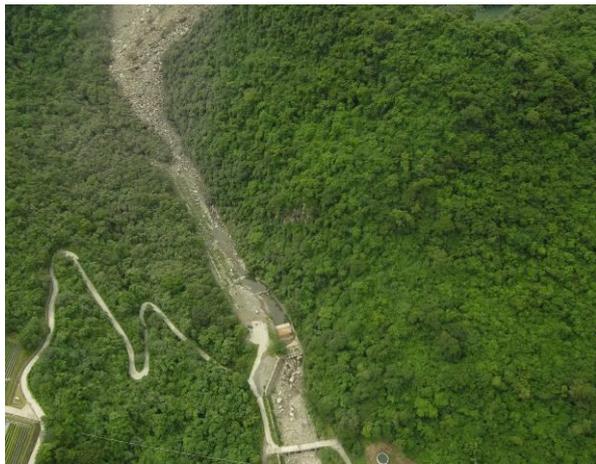
(五)堰塞湖演變趨勢評估

- 1 堰塞湖之天然壩於97年實施溢流口挖降後，溢流口高程自EL446公尺降至EL436公尺。目前堰塞湖在達滿水位且無溢流時，庫容為

25 萬立方公尺。若以每年淤積 1.8 萬立方公尺土砂量估算，則約需 14 年方能淤滿。因此本計畫認為，2 至 3 年內堰塞湖上游產生之土砂對於堰塞湖影響並不顯著。

2.根據土砂收支模擬結果，堰塞湖上游集水區總土方生產量約為 2.1 萬立方公尺，其中約有 1.8 萬立方公尺之土砂流入堰塞湖區。與水下地形測量成果所計算之堰塞湖淤積量 (1.7 萬方)比較，誤差僅為 6%，可知本計畫所採用之土砂收支模式，對於堰塞湖上游土砂生產與運移量之推估應屬合理。





下游河道之變化(2006)

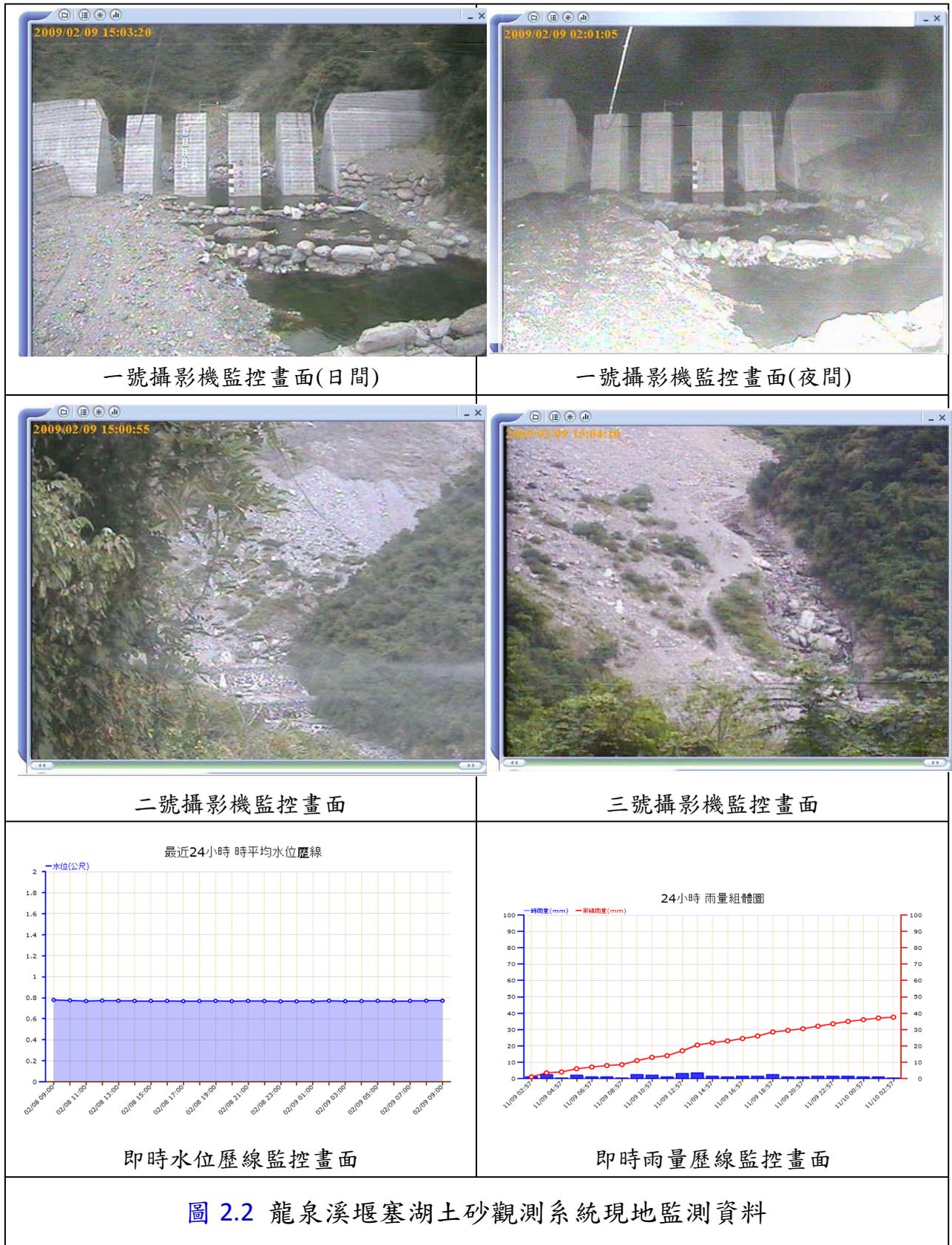


下游河道之變化(2008)



下游河道之變化(2009)

圖 2.1(續) 堰塞湖區歷年環境之變化(無人載具空拍影像)





下游河道之變化(1)
(民國 95 年，尚未施作壩趾工)



下游河道之變化(2)
(民國 98 年，壩趾工已完工)



下游河道之變化(2)
(民國 95 年，尚未施作護岸與整流工)



下游河道之變化(2)
(民國 98，護岸與整流工已完工)



下游河道之變化(3)
(民國 95 年，尚未施作梳子壩)



下游河道之變化(3)
(民國 98 梳子壩已完工)

圖 2.3 堰塞湖下游河道防砂工程歷年之變化(現調照片)



溢流口之變化
(民國 95 年，尚未挖降)



溢流口之變化
(民國 96 年，挖降 5m)



溢流口之變化
(民國 97 年，挖降 10m)



溢流口之變化
(民國 98 年，整坡工程實施後)

圖 2.4 堰塞湖溢流口歷年之變化(現調照片)