

摘要

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。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 年度之工作重點有三，一是確定天然壩體是否安定、另一為確定潰壩是否會影響下游社區、最後是如何訂定緊急應變對策以及中長期防災對策。該年度根據現地調查取得相關參數，進行天然壩體潰壩機制評估與崩塌土體安定性分析；並進行不同條件之潰壩水理演算以及土石流沖淤模擬，以評估潰壩發生後是否對於下游社區造成影響，同時根據潰壩水理與土砂沖淤模擬結果訂定堰塞湖潰壩影響範圍與警戒值；最後綜整各項成果，提出緊急與中長期防災工程處理對策。

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。該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，針對該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。

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

民國 98 年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，並探討該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，以及未來演變趨勢。

本年度(99 年)之計畫主要工作在於維持土砂觀測系統的穩定運作(包括網路、電力、影像、雨量與水位觀測系統)，並利用各種調查方法進行龍泉溪堰塞湖壩體之評估工作，包括影像監測、現地調查與地形測量等工作，配合上述工作所獲得之資料，進行壩體之安全性評估及上游土砂生產、運移及堆積趨勢，以及未來演變趨勢。

透過本計畫之實施，可協助各級防救災單位有效掌握堰塞湖災害徵兆，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，本年度工作成果說明如下：

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 7 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 4 次不定期維護。
2. 透過定期與不定期維護檢修作業之實施，本年度重大之颱風降雨事件並不多，系統於侵台之凡那比颱風期間均能維持正常運作。惟本系統運作已近 4 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。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。

3. 本計畫所建立之土砂觀測系統，整合現地端與後端系統，可於防災應變期間提供龍泉堰塞湖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。

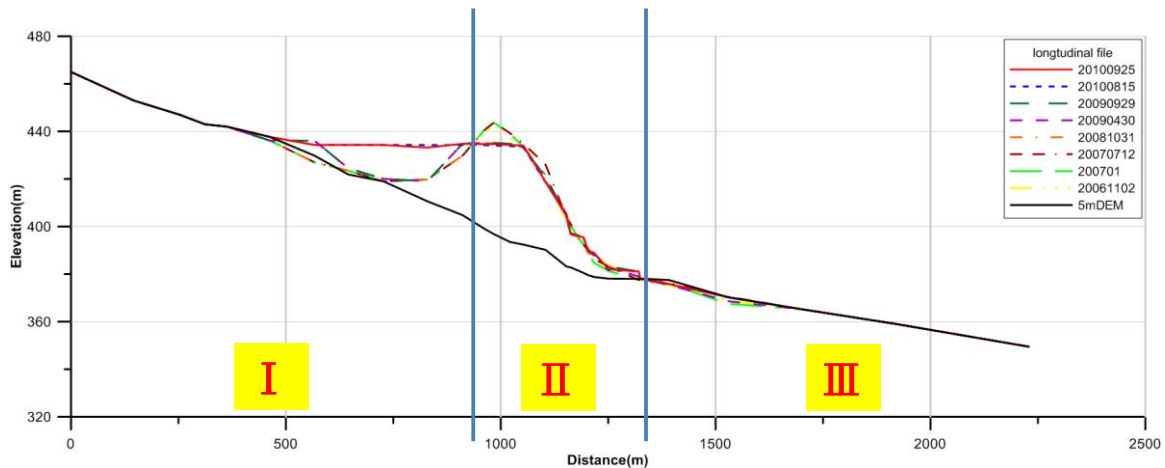
二、現地資料調查收集與量測

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 次地電阻探測作業、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 8 月份(河道整理工程後)及 9 月底(凡那比颱風後)分別實施 1 次，可比對天然壩及其下游河道於本年度工程整治及颱風豪雨後之地形變化；地電阻探測工作之施測，可以瞭解堰塞湖天然壩體之地層變化及地下水位之分佈。
2. 本計畫完成龍泉溪堰塞湖之二期影像，範圍涵蓋上游集水區、天然壩體崩塌區及湖區、下游河道及保全對象等，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。依據歷年影像判釋分析之成果，龍泉溪上游流域之崩塌率均在 2% 以下，本年度並無發現明顯之新增崩塌地產生。

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，惟因本年度進行河道整理工程後所進

行之地形變動測量結果發現，目前湖區庫容大致由土石所填滿，降低蓄水量。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。



龍泉溪堰塞湖河道縱斷面歷年測量成果比較圖

- 本計畫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，99 年度上游集水區內並無新增崩塌區域，原本崩塌面有縮小的趨勢，根據影像判釋的結果，上游集水區內之崩塌面積約為 10.56 公頃。

歷年龍泉溪堰塞湖上游集水區崩塌變遷表

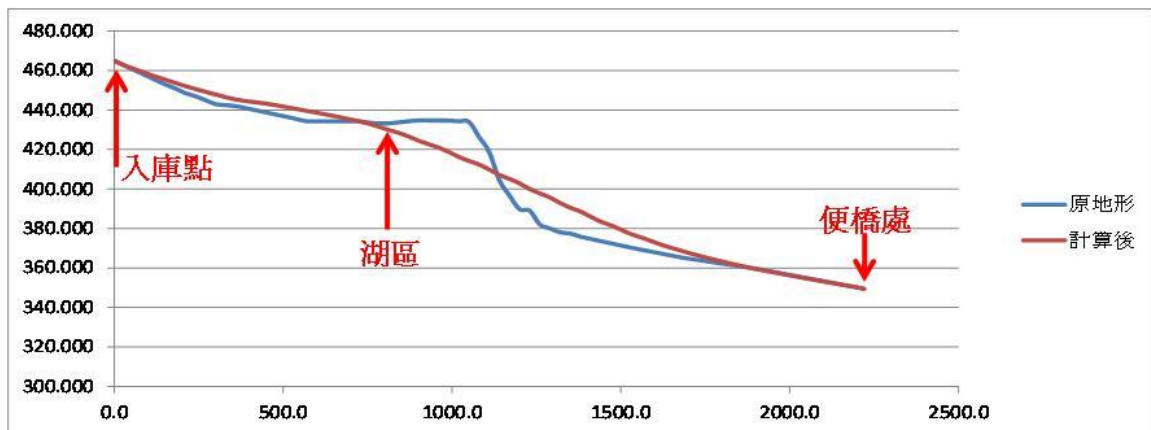
影像時間	上游集水面積 (公頃)	崩塌面積 (公頃)	崩塌率 (%)	新增崩塌面積 (公頃)	新增崩塌率 (%)
2005/04/30	1201.8	8.56	0.71	0	0.00
2006/12/23	1201.8	10.12	0.84	1.56	0.13
2007/07/20	1201.8	15.45	1.29	5.33	0.44
2008/07/02	1201.8	16.31	1.36	0.86	0.07
2008/12/21	1201.8	16.61	1.38	0.3	0.02
2009/08/28	1201.8	18.16	1.51	1.85	0.15
2010/04/	1201.8	10.56	0.9	0	0

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，除侵台之凡那比颱風外，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. 根據土砂收支模擬結果，原有庫區具有攔阻土砂、水流輸送之效果，而在庫區遭土石填滿後，雖然降低突然潰壩因形成土石流運動之可能，但原本中斷之土砂運動過程將獲得連結，重新恢復輸砂運動，而崩塌所造成之崩塌土體，對於原有河床來說為一土砂來源，由於河床變動係往穩定坡度發展，因此現有河床將大幅度下刷，以符合輸砂運動特性，而由分析過程來看，下游端（便橋）處後並無太大變動，因此在河道穩定來看，僅需減緩河道下刷過程，對下游河道及鄰近社區並無太大之影響。



龍泉堰塞湖現有河道變動分析成果圖

2. 依據 99 年度完成河道整理工程後之邊坡穩定分析結果顯示，目前分析之橫、縱斷面成果，為使用汛期時極端狀況下之地下水位進行分析，

而移除邊坡土體之橫斷面及河道整理工程完工後之縱斷面(99 年度),其潛在滑動面皆不明顯,整體壩體不致形成驟然破壞,因分析條件均採暴雨時之極端條件,若枯水期水位降低之條件下,整體壩體之安全係數將會提升,更不易形成驟然破壞。

根據本年度之計畫成果,建議針對龍泉堰塞湖由防災為主的監測工作轉變為演變趨勢的監測,維持土砂觀測系統的持續運作,配合相關調查如地形變化測量、壩體組成及地下水位監測變化等,持續觀察堰塞湖的變化情形。

由於龍泉溪堰塞湖為林務局轄內第一座由形成之初即啟動相關應變處置工作,依堰塞湖之短、中、長期應變處置對象完整進行,包括建立防災監測之土砂觀測系統,成果斐然。因此建議規劃龍泉溪堰塞湖防災教育觀摩專區,配合各項解說導覽設施及文宣或告示牌指示進行說明。另外,湖區現階段逐漸演變為一濕地生態區,可一併考量進行生態區之規劃及相關調查、保育及監測工作。