



2021 年臺東大南溪堰塞湖快速評估暨潰壩後洪水模擬分析

2021 Da-Nan Landslide Dam Evaluation and Subsequent Dam Failure Flood Simulation Using BigGIS and HEC-RAS 2D model in Taitung, Taiwan

施佩昱^{1、2*}、陳振宇²、林家興³、詹婉妤²
Pei-Yu Shih^{1、2*}、Chen-Yu Chen²、Chia-Hsing Lin³、Wan-Yu Chan²

1.財團法人臺灣營建研究院

2.行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組
(通訊作者 E-mail:pyshih@mail.swcb.gov.tw)

3.長榮大學土地管理與開發學系

1.Taiwan Construction Research Institute, New Taipei City 231,Taiwan

2.Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan

3.Department of Land Management and Development, Chang Jung Christian University, Tainan City 711,Taiwan

摘 要

根據Schuster & Costa (1986) 研究顯示，不論是地震或豪雨崩塌形成的堰塞湖，50%會於形成後10日內潰決，但多數堰塞湖形成於集水區上游人煙稀少區域，現地調查與資料取得不易，亟需快速完成調查評估與防災作業。為在堰塞湖形成初期即能快速取得現場壩體幾何資訊，以評估壩體穩定性及後續潰壩情境等風險，本研究使用BigGIS平台提供之衛星影像以及數值地形線上分析工具，提出快速估算堰塞湖之迴水面積及蓄水量的方法，並以HEC-RAS二維洪水演算模組模擬不同情境下堰塞湖潰決時對下游保全對象造成的衝擊與影響。以2021年2月發生於台東卑南鄉東興村大南溪堰塞湖為例，不論是堰塞湖規模評估及其潰決後對下游的安全影響，本研究建立之堰塞湖快速評估作業方式，其結果均與現行調查結果相近，並可供後續防災決策參考。

關鍵字：堰塞湖、潰壩、HEC-RAS、BigGIS

Abstract

According to Schuster & Costa (1986) statistical results, 50% of landslide dam would breach within 10 days, no matter earthquakes or torrential rains trigger the landslide to form the landslide dam. However, of the numerous kinds of dams form in upstream, basin or the desolated position where inaccessible to investigating. In order to evaluate and simulate the in-situ failure risk



assessment, the aim of the current study was to 1. Operating the satellite images and function tools in BigGIS to assess the length and volume of backwater 2. Running different modules of two-dimensional flood routing model of HEC-RAS to evaluate the impact of downstream communities. In conclusions, the results of standard operating procedure method of evaluation and operation dam failure models were similarly with the in-situ investigation, whether occurred lake ranges or assessed the effect of the Da-Nan River downstream in Taitung, Taiwan.

Key Word: Landslide Dam, Dam failure, HEC-RAS, BigGIS

一、前言

台灣除了每年5-11月防汛期間帶來的豐沛雨量可能致災外，也面臨地震導致山區土石崩塌等災害。其中，崩塌土體如堵塞河道形成天然壩，當壩體無法承受後方蓄水量時，其潰決時之大量洪水夾帶土砂沖向下游，不僅造成自然環境與生態的劇變，更可能嚴重危及下游沿岸居民的生命財產安全。根據 Schuster & Costa (1986) 的研究顯示不論是地震或豪雨崩塌形成的堰塞湖，50%會於形成後10日內潰決，亟需快速完成調查評估與防災作業。但多數堰塞湖形成於集水區上游人煙稀少區域，現地交通不便，調查與資料取得均相當不易。

為快速取得堰塞湖之現地資料，並確保現勘人員與下游居民安全，本研究透過水土保持局建置之巨量空間資訊系統 (Big Geospatial Information System, 簡稱 BigGIS)，利用其內建之多元航遙測圖資 (例如每日拍攝的Planet光學衛星及每5日拍攝的Sentinel 2光學衛星) 以及數值地形線上分析工具，提出快速估算堰塞湖之迴水面積及蓄水量的方法，同時以美國陸軍工兵團開發之HEC-RAS二維潰壩洪水演算 (Dam-Break Flood Routing) 模組，模擬不同情境下堰塞湖潰決時對下游保全對象造成的衝擊與影響，並以

2021年2月發生於台東卑南鄉東興村大南溪堰塞湖為例，進行方法與模式之驗證。研究流程如圖1。

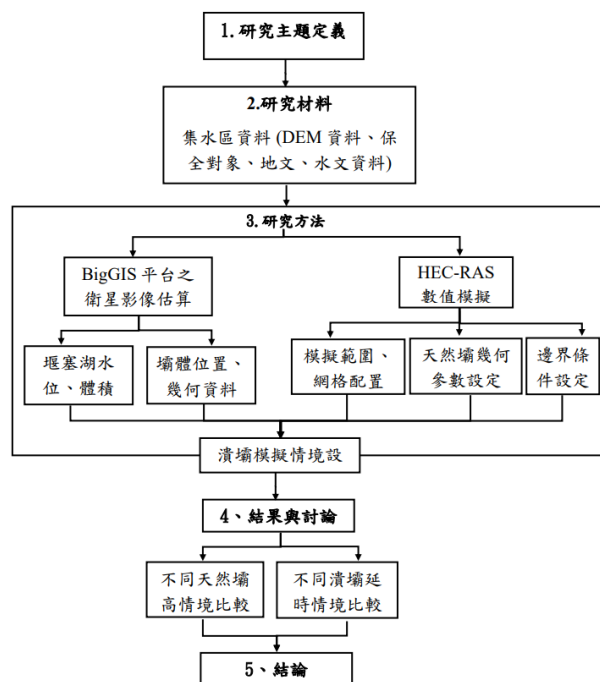


圖1 研究流程圖

二、方法

2.1 研究區域與案例

2021年2月5日民眾通報臺東卑南鄉東興村大南溪水量突然明顯降低，林務局臺東林管處初判上游區域有崩塌造成溪流阻塞 (坐標：E 120.952702, N 22.725553)，並於2月8日以直升機空勘時發現大南溪上游12公里處

右側邊坡土石崩塌阻塞河道，形成寬約25公尺、高20公尺、長50公尺之天然壩及蓄水量約2.5萬立方公尺之堰塞湖(如圖2)。

期間該處天然壩曾短暫潰決，後又於2月21日之衛星影像發現該處復發崩塌導致天然壩堰塞湖規模持續變大。由4月7日衛星影像判釋結果，堰塞湖迴水面積約8.5公頃，蓄水量約170萬立方公尺，且壩體已有溢流現象。8月上旬盧碧颱風引進西南氣流造成臺東山區連日降雨，大南溪8月7日上午下游水位驟升，臺東林管處透過即時河川監測影像、集水區降雨分析及水位計紀錄資訊研判應為上游堰塞湖壩體潰決所致，大南溪水位雖然升高，但並未造成溢流或致災。臺東林管處近期透過衛星影像觀測顯示蓄水體已明顯縮小，8月14日蓄水面積僅剩約1.5公頃，最大蓄水深度約18公尺，蓄水量僅剩原蓄水量的11% (臺東林管處，2021/8/18)。

2.2 堰塞湖量體快速評估方式

一般估算堰塞湖水深、蓄水面積及蓄水量時，多仰賴空勘或現地調查，並配合地形圖粗略估算。例如利用現地調查迴水末端與鄰近地形特徵點之相對位置，藉以比對前期地形，可概估為現況水位；再以現況水位與天然壩體之前期河道高程之差為估算之堰塞湖水深。或是利用蓄水寬乘以迴水長進行蓄水面積之簡易估算 (如圖3)，或利用蓄水体積約等於蓄水面積乘以1/2~1/3水深的簡易體積估算方式評估堰塞湖之水體量 (如式1) (林務局，2017)。

$$Volume \cong A * \frac{h_w}{2} \sim A * \frac{h_w}{3} \quad (\text{式 1})$$

Volume: 蓄水體積(m³)

A: 蓄水面積(Ha)

h_w: 水深(m)



圖2 臺東卑南鄉東興村大南溪空拍影像 (拍攝時間：2021/2/9，臺東林管處)

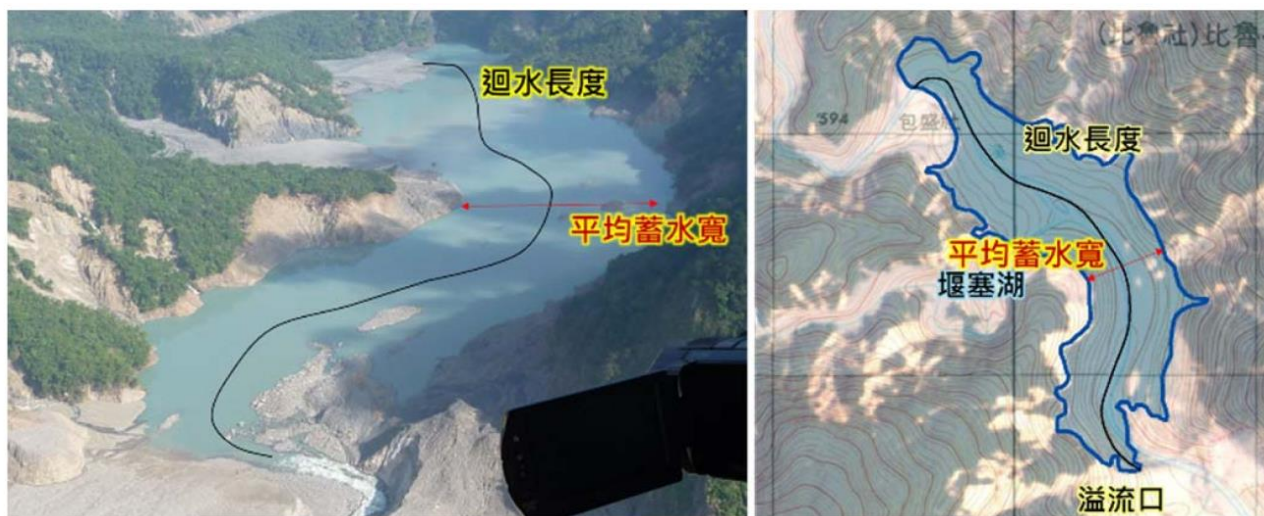


圖3 蓄水面積估算示意圖(林務局，2017)

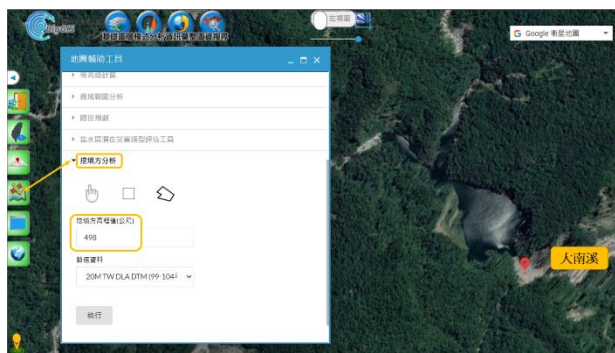


圖4 BigGIS內建內政部20m DEM資料及挖填方分析工具

由水土保持局建置之巨量空間資訊平台(簡稱BigGIS)係為一款WebGIS平台，提供巨量衛星影像、航空照片與UAV空拍影像等歷年珍貴圖資，並整合多個單位提供之底圖或服務。為使這些圖資能更有效加值應用，BigGIS更開發與加值整合多項加值分析工具，提供多維度、多視窗的展示介面，讓使用者可用不同角度檢視豐富與多樣的歷史圖資(陳振宇等，2020)，且使調查人員於現地勘查前，即可在室內使用BigGIS提供之多時期航遙測影像圖資，及多樣加值分析工具，進行初步災害分析以及影響範圍劃設(陳振宇等，2020)。本研究使用BigGIS提供之挖填方分析功能，以內建之全台2015年20m DEM為

基礎，於地圖上圈繪分析範圍並指定一高程基準後，即可自動完成該範圍內之挖(填)方面積與體積之計算(如圖4)。其中，本研究假設該處崩塌發生前，研究區之河道断面與高程與2015年之DEM資料一致，此時如將形成堰塞湖後之水位高程指定為挖填方計算之高程基準時，其填方面積與填方體積之計算結果，即等同於該堰塞湖之迴水面積與蓄水量。

2.3 潰壩情境模擬方式

由於天然堰塞湖存在時間的不確定性及組成強度的不穩定性，無法準確預估潰壩延時與洪水波衝擊範圍，本研究藉由HEC-RAS二維水理模式分析不同情境潰決與後續水理特性資料，得以快速評估下游保全對象受影響程度與範圍(吳振佑等，2019)。本研究堰塞湖二維潰壩模擬專案，以1米DEM為基礎建置模擬地型資料，其網格大小(Grid Size)設定20mx20m進行計算範圍建置(2D Flow Area)，計算總網格數為73,460個，模擬總面積約為29.3平方公里。於天然壩上游邊界設置2處入流起點距離壩址約1.2公里，出流終點為大南溪出口，並以流量歷線(Flow

Hydrograph) 作為上游邊界條件，出流終點為大南溪出口，其邊界條件設定為開放邊界(Open Boundary)，曼寧n值依HEC-RAS潰壩模式使用手冊自然型河川(乾淨但有些許石頭及淺灘的一般值)之Manning's n建議值0.04設定，模擬河道總長度自天然壩上游入流邊界至下游出流邊界約為13.2公里。

由於案例周圍無設置雨量站及流量站等設施，故以下游鄰近之射馬干雨量站搭配合理化公式，假設徑流係數為0.75(山嶺區建議值為0.70~0.80)，採5年重現期距74(mm/hr)和集水區面積1891公頃計算，以上游入流量293(cms)作為模擬輸入值。在天然壩體高度參數設定部分，由於2021/2/7及2021/4/3之衛星影像之堰塞湖均已有溢流情形，配合BigGIS之堰塞湖量體評估方式，可將當時之水位高程視為天然壩之壩頂高程，進而估算其壩體高度分別為22公尺與51公尺。為考慮各種極端狀況下之防災風險情境，本研究分別設定二種天然壩高程為30公尺和60公尺，潰壩延時則分別設定為0.5小時及1小時。在堰塞湖潰決型式則假設為一般最常見的溢流破壞(Overtopping failure)，而天然壩潰壩過程之時間與潰壞比例，採用手冊建議之正弦波(Sine wave)方式設定。

三、結果與討論

3.1 堰塞湖迴水面積及量體估算結果

透過設定不同高程基準之BigGIS挖填方分析結果平面圖，對照各期衛星影像之堰塞湖迴水範圍，即可以試誤法快速評估出不同時期之堰塞湖量體。例如參照2021/2/7 Planet衛星影像，當挖填方高程值設為468m時，BigGIS分析所得之填方範圍幾與衛星影像迴

水區完全相同，故可推估當日堰塞湖水位高程為468m，迴水面積約3公頃，蓄水量約36萬立方公尺(如圖5左圖)。同理，參照2021/4/3 Planet衛星影像，即可推估當日堰塞湖水位高程為497m，迴水面積8.4公頃，蓄水量178萬立方公尺(如圖5右圖)，此結果與林務局臺東林管理調查之結果十分接近(臺東林管處，2021/4/13)。

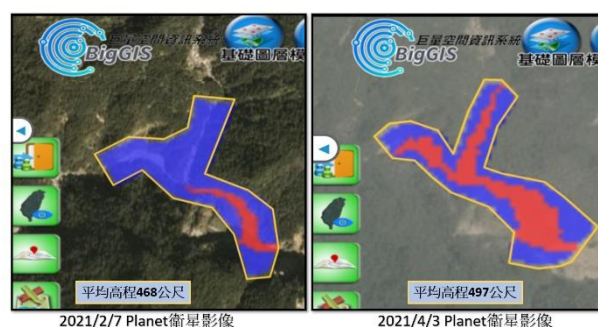


圖5 BigGIS挖填方分析工具估算堰塞湖迴水面積及蓄水量(紅色填方；藍色挖方)

3.2 堰塞湖潰決模擬結果

3.2.1 堰塞湖潰決沿程洪峰流量估算

本案例以HEC-RAS二維潰壩模式演算，分別以壩體高度60公尺與30公尺、潰壩延時0.5小時及1小時進行初步潰決洪峰流量、洪水波水位等資料估算，其中洪峰流量模擬結果如圖6。以壩體高度60公尺之案例為例，如其潰壩延時分別為0.5小時及1小時，其距天然壩1.3km處之潰壩洪峰流量分別為3843.41(cms)及1902.67(cms)，於下游5公里處其洪峰流量分別為3678.22(cms)及1879.08(cms)，於下游12公里(大南溪出水口處)洪峰流量分別為3549.97(cms)及1862.31(cms)。由此可知潰壩延時0.5小時之洪峰流量約為潰壩延時1小時之2.02~1.91倍，其洪峰衝擊影響為最大。

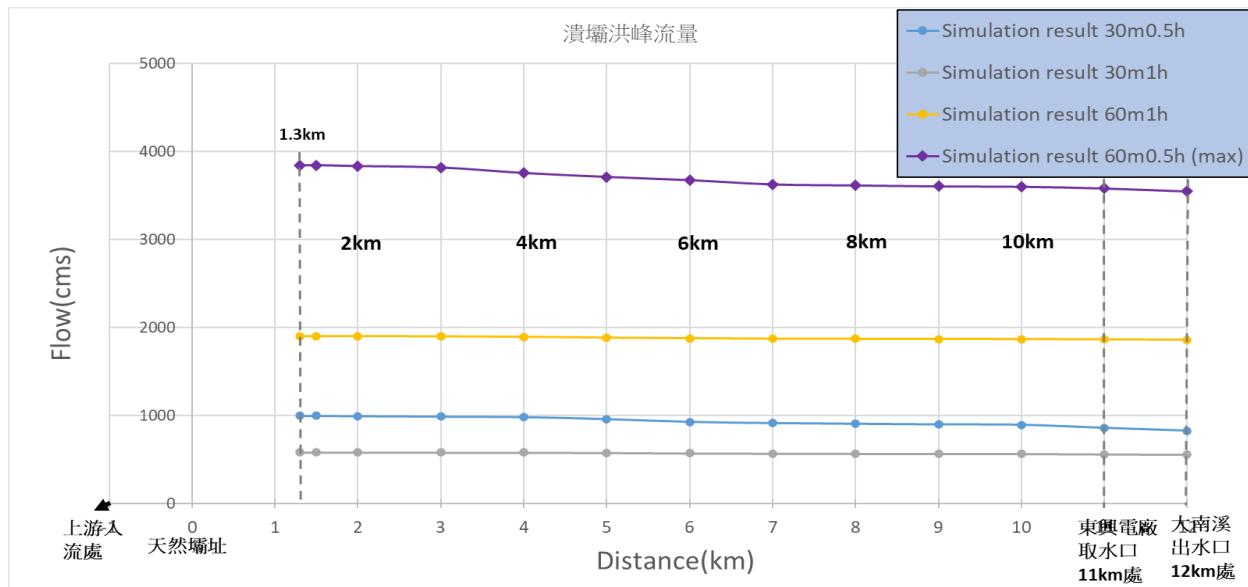


圖6 潰壩洪峰流量沿程示意圖

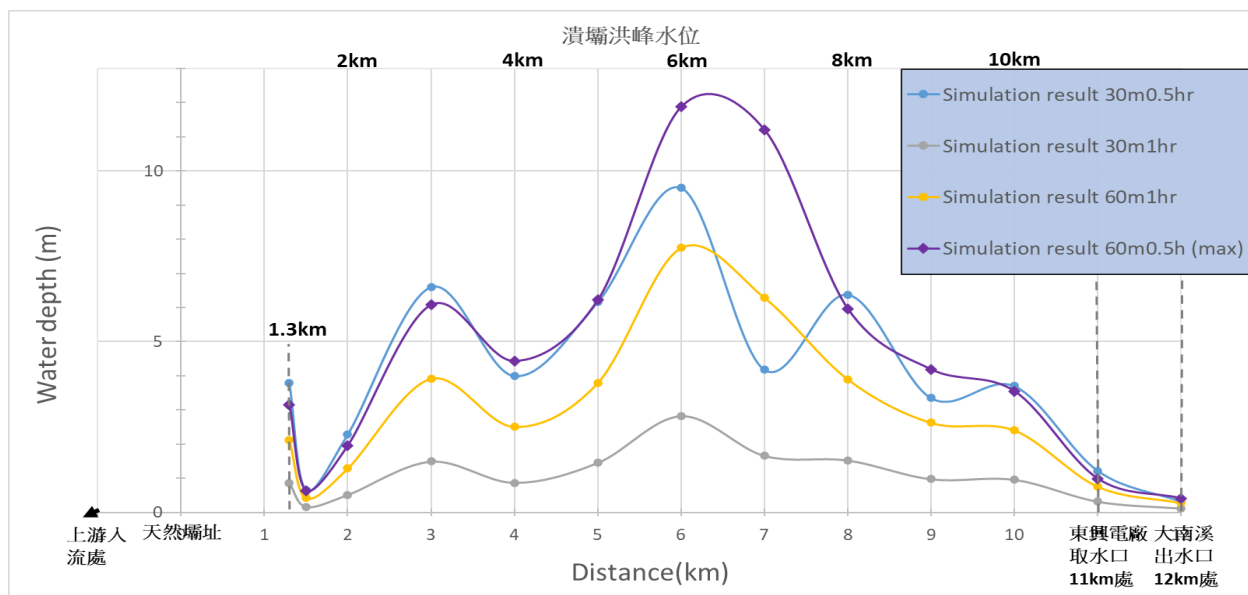


圖7 潰壩洪峰水位沿程示意圖

3.2.2 堰塞湖潰決沿程水位及流速估算

為評估堰塞湖潰決後，下游沿岸設施是否會因水位抬升或洪水流速過大而造成毀損，壩體高度60公尺與30公尺、潰壩延時0.5小時及1小時之洪峰水位及最大流速之模擬結果如圖7及圖8。其中以壩高60公尺潰壩延時0.5小時之模擬結果為例，由天然壩潰壩處往下游傳遞之洪水波沿程變化，在下游約3公里處

洪峰水位約為6公尺(流速約9.9(m/s))，在6公里處水位上升最大約為11.9公尺(流速約11.2(m/s))，而再往下游因河寬變寬，洪峰水位已逐漸下降，惟流速仍偏高。以下游11km東興取水口處為例，其洪峰水位上升僅約1m，惟其流速仍高達16m/s，故需注意加強其水工結構物之防護。



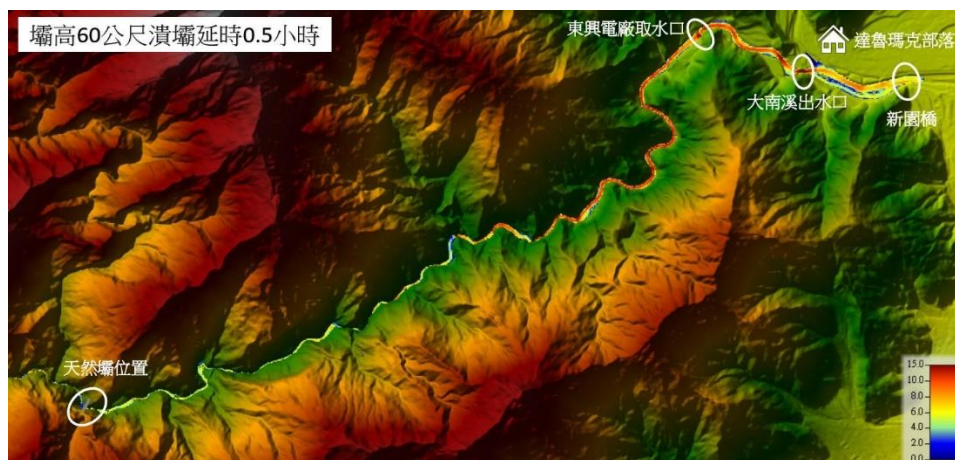


圖8 壩高60公尺潰壩延時0.5小時之洪峰流速模擬結果

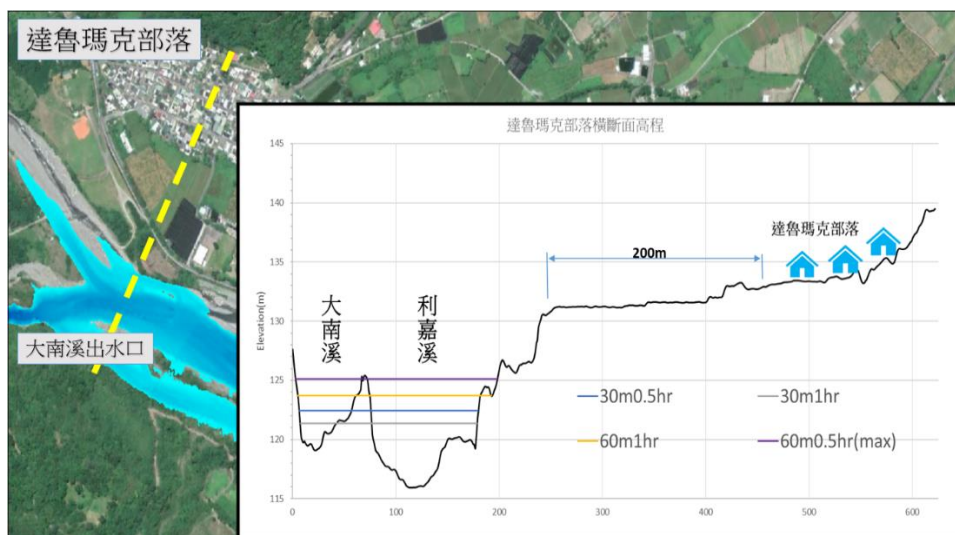


圖9 達魯瑪克部落洪水波水位演算橫斷面圖

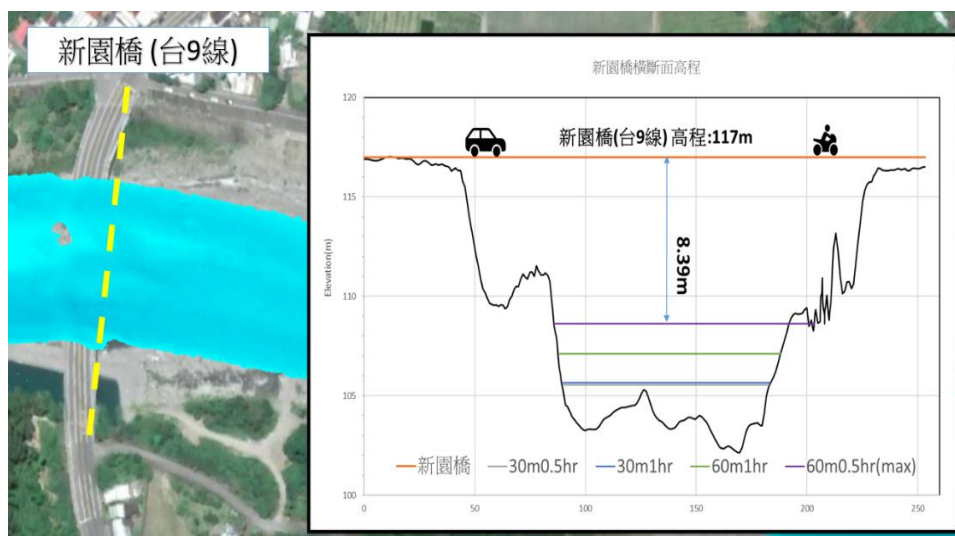


圖10 新園橋(台9線)洪水波水位演算橫斷面



3.2.3 保全對象衝擊影響評估

本研究以天然壩下游12公里處之達魯瑪克部落及13.25公里處之新園橋(台9乙線)為保全對象探討洪水波衝擊影響，運用HEC-RAS水理模式計算各情境條件之潰壩洪峰水位。由不同天然壩高情境成果顯示，以壩體高度為60公尺之模擬結果，潰壩延時0.5小時及1小時之洪峰水位分別約為125公尺及124公尺，其水位距離達魯瑪克部落周邊之最低的河岸高程仍有5公尺，堤岸距離達魯瑪克部落約有200公尺(圖9)。在13.25公里處新園橋以壩體高度為60公尺情境模擬結果，其潰壩洪峰水位則分別為108.61公尺(潰壩延時0.5小時)及107公尺(潰壩延時1小時)，距離橋面則有8.34公尺之落差，對於新園橋並無造成溢淹狀況(圖10)。

四、結論

由於堰塞湖多發生於深山且通常於形成後數日即潰決，因此如何快速完成調查及評估其可能造成之災害衝擊係為防災應變期間的首要工作。本研究應用水土保持局BigGIS平台所提供多元航遙測影像及挖填方線上分析工具，搭配HEC-RAS二維水理模組，已建立一套完整的堰塞湖快速評估及風險情境模擬機制，經實際案例操作結果，與林務局現行評估作業結論相當一致，且本研究所提出之方式更快速、便捷並降低調查人員於現場作業時的風險。此外，未來BigGIS平台如能將HEC-RAS二維水理模組之模擬結果，以視覺化方式呈現於BigGIS之底圖上，除將更有利於各級政府防災決策外，亦能成為第一線防災人員對民眾進行防災疏散避難宣導時的利器。

參考文獻

1. 巨量空間資訊系統(BigGIS)，水土保持局。
(<https://gis.swcb.gov.tw/>)
2. 行政院農業委員會林務局(2017)，國有林地堰塞湖應變標準作業程序。
3. 行政院農業委員會林務局臺東林管處(2021a)，「臺東大南溪上游形成堰塞湖，評估暫無立即危險」。Retrieved from <https://taitung.forest.gov.tw/all-news/0067113>
4. 行政院農業委員會林務局臺東林管處(2021b)，「臺東林管處說明大南溪堰塞湖現況，與部落協力維護河防安全」。Retrieved from <https://taitung.forest.gov.tw/all-news/0067473>
5. 行政院農業委員會林務局臺東林管處(2021c)，「大南溪堰塞湖潰壩蓄水量驟減下游社區、河道安全無虞」。Retrieved from https://taitung.forest.gov.tw/all-news/0068080?fbclid=IwAR2bU1yseRKOs3EwpXOG1zIlf5T9IWCSAChOiC_BOrwb3GnHB9Y7CxJO-7U
6. 陳振宇、吳振佑(2020)，BigGIS-巨量空間資訊系統加值與開放服務，國土及公共治理季刊8(3):94-99。
7. 吳振佑、林家興、陳國威、陳振宇(2019)，2018年北海道胆振東部地震引起的厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析，中華水土保持學報，50(4):154-165(2019)。
8. Brunner, G.W. (2016), "HEC-RAS River Analysis System User's Manual Versions 5.0", US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.
9. Brunner, G.W. (2016), "HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual Versions 5.0", US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.
10. Brunner, G.W. (2016), "HEC-RAS River Analysis System Reference Manual", US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.