

堰塞湖快速評估暨潰壩後洪水模擬 - 以臺東大南溪堰塞湖為例

施佩昱^{1,2)*} 陳振宇²⁾ 林家興³⁾ 詹婉妤²⁾

摘要

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，現地調查與資料取得不易。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，本研究建立之堰塞湖快速評估作業方式，不論是堰塞湖規模評估及其潰決後對下游的安全影響，其結果均與現行調查結果相近，並可供後續防災決策參考。

緒言

臺灣除了每年 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。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，

¹⁾ 財團法人臺灣營建研究院，231 新北市新店區中興路二段 190 號 11 樓。

²⁾ 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組，54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號。

³⁾ 長榮大學土地管理與開發學系，71101 台南市歸仁區長大路 1 號

* 通訊作者，E-mail: pyshih@mail.swcb.gov.tw。

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。

方法

一、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堰塞（坐標：E 120.952702, N 22.725553），並於 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。其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，目前堰塞湖迴水面積約 8.5 公頃，蓄水量約 170 萬立方公尺，且壩體已有溢流現象（臺東林管處，2021）。



圖 1. 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）

二、堰塞湖量體快速評估方式

水土保持局 BigGIS 平台提供多時期航遙測影像圖資以及線上數化加值分析工具，可在人員現勘前即於室內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。其中，本研究假設該處崩塌發生前，研究區之河道斷面與高程與 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。

三、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 2021/3/18 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。

結果與討論

一、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，當高程基準設為 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 2 左圖）。同理，參照 2021/3/18 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 2 右圖），此結果與林務局臺東林管理調查之結果十分接近。

二、堰塞湖潰決模擬結果

（一）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



圖 2. 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)

中洪峰流量模擬結果如圖 3。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 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。

(二) 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

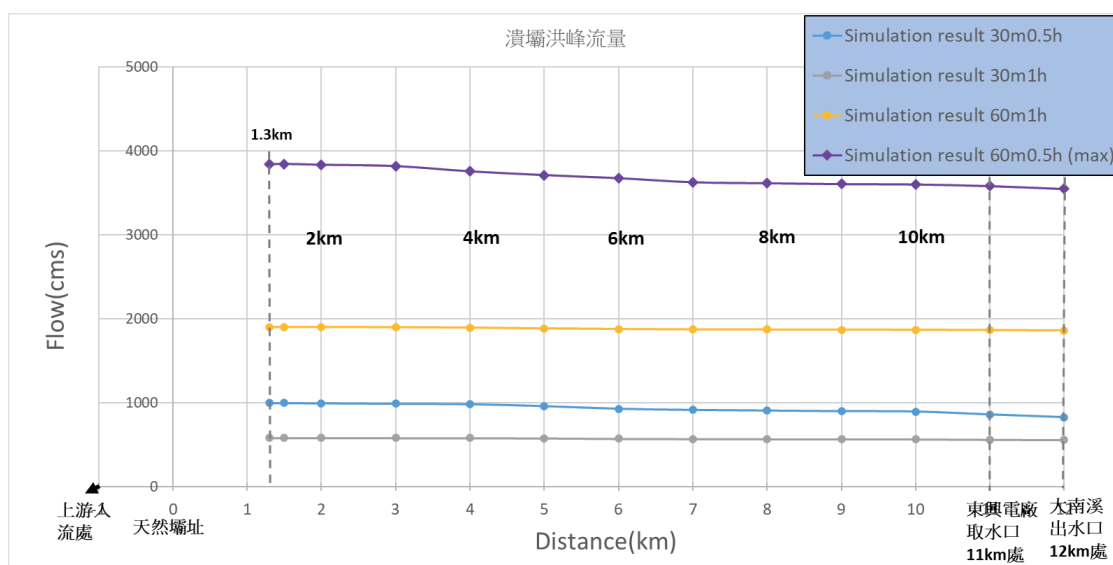


圖 3. 潰壩洪峰流量沿程示意圖

速之模擬結果如圖 4 及圖 5。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。

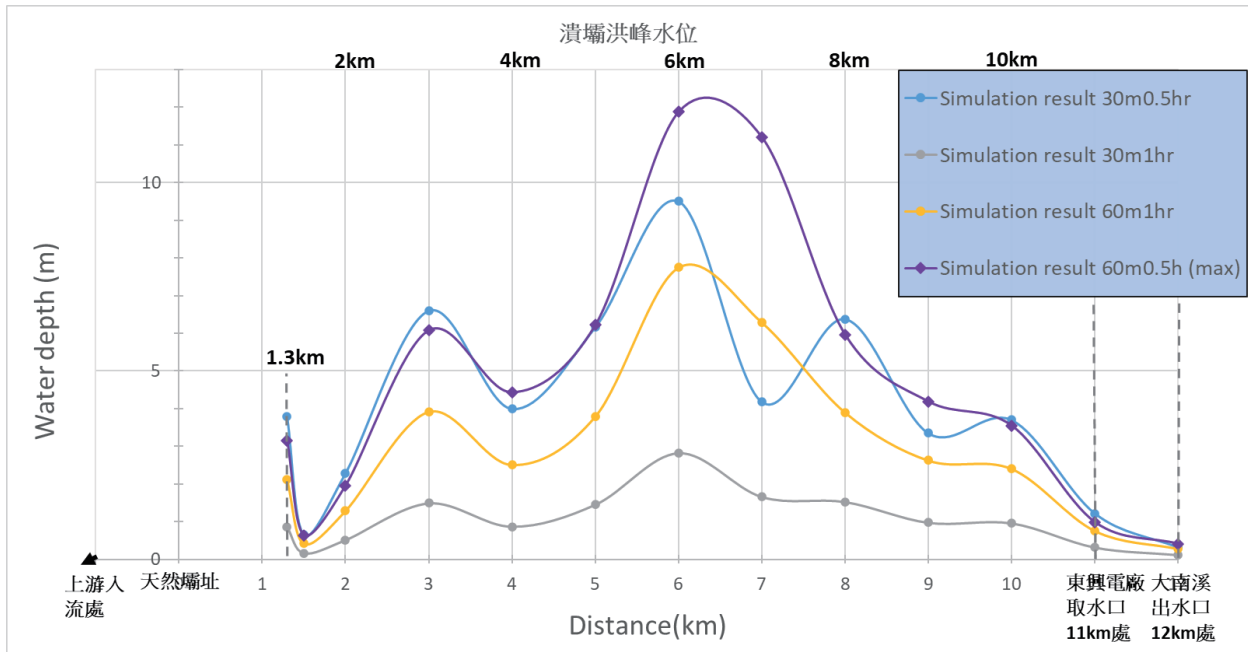


圖 4. 潰壩洪峰水位沿程示意圖

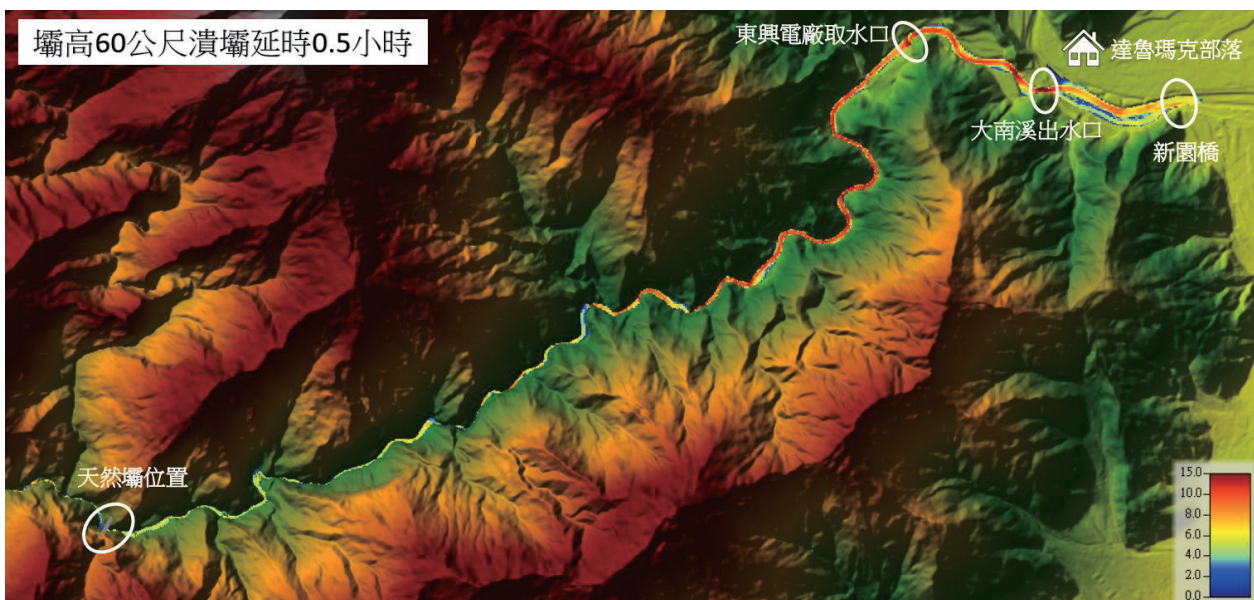


圖 5. 壩高 60 公尺潰壩延時 0.5 小時之洪峰流速模擬結果

(三) 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。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。

三、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。

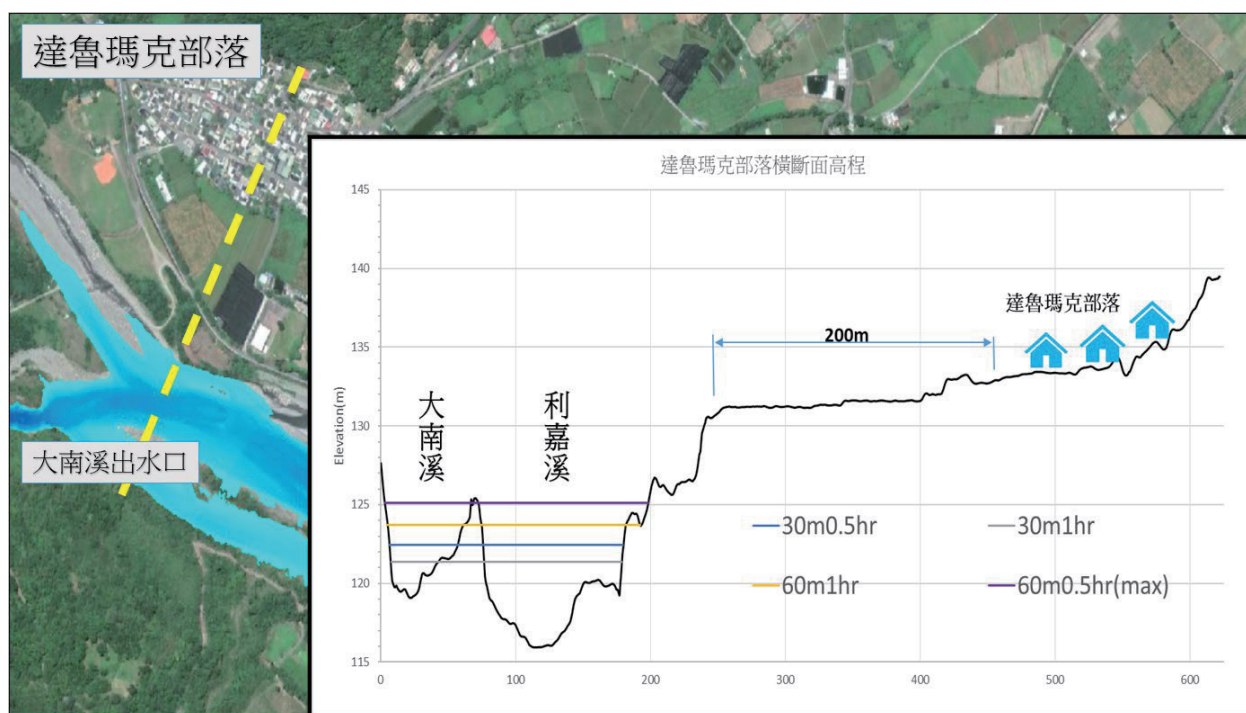


圖 6. 達魯瑪克部落洪水波水位演算橫斷面圖

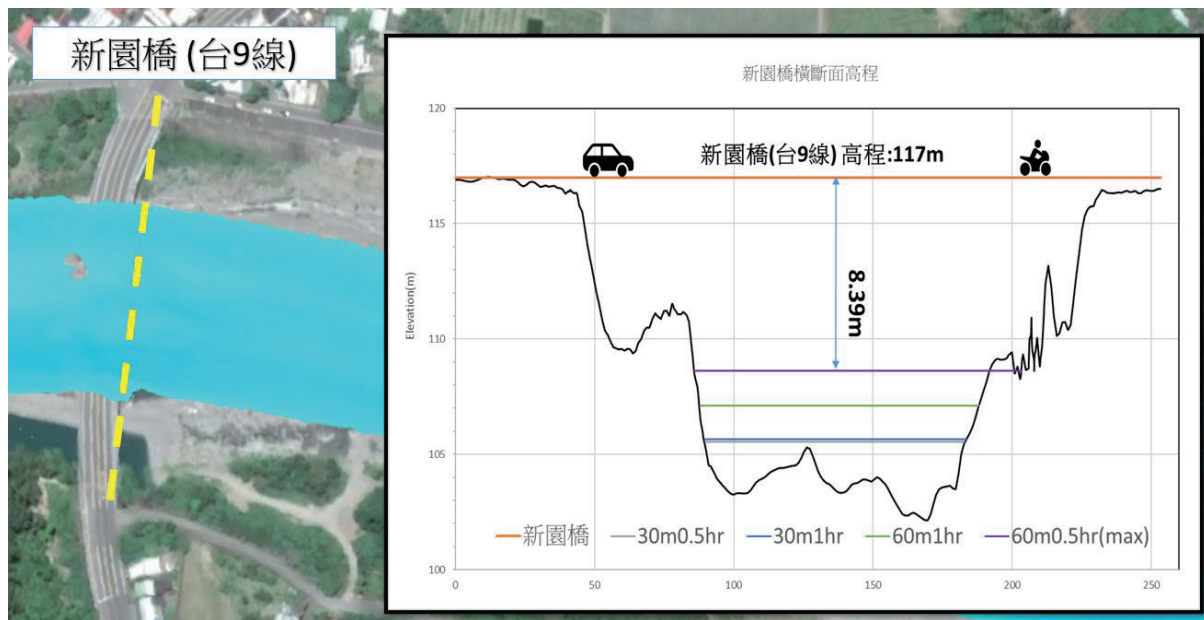


圖 7. 新園橋 (台 9 線) 洪水波水位演算橫斷面

引用文獻

- 行政院農業委員會水土保持局 (2018)。水土保持局堰塞湖應變標準作業程序。
- 行政院農業委員會林務局臺東林管處 (2021)。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>
- 行政院農業委員會林務局臺東林管處 (2021)。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>
- 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。
- 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)。
- 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.
- 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.
- Brunner, G.W. (2016). HEC-RAS River Analysis System Reference Manual. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.