



結合 遙測技術 與 3D 視覺化的 山區洪水災害 模擬

Mountain Flash Flood Simulation Using Remote Sensing and 3D Visualization Technologies

楊鈞宏 / 國家災害防救科技中心 佐理研究員

陳偉柏* / 國家災害防救科技中心 研究員

李士強 / 國家災害防救科技中心 副技術師

張子瑩 / 國家災害防救科技中心 研究員

蘇文瑞 / 國家災害防救科技中心 研究員、國立臺灣大學土木工程學系 副教授

臺灣經常遭遇颱風、地震和山區滑坡等天然災害，因應氣候變遷的影響，山區在洪水事件中面臨著日益嚴峻的挑戰。2009年莫拉克風災事件中高屏溪支流荖濃溪，是受創最嚴重的地區之一，2021年盧碧颱風降為熱帶性低氣壓後之豪雨使玉穗溪土石流爆發，將2017年完工通車位於荖濃溪上游的明霸克露橋沖毀，該事件因洪水與土石流沖斷多處聯外道路，許多部落與知名風景區（不老溫泉、茂林國家風景區、寶來溫泉與六龜風景區等）受創嚴重，為避免相同憾事發生，洪災前的預警便顯得極為重要。

近年來，隨著無人航空載具（Unmanned Aerial System, UAS）技術和三維地理資訊系統（3D Geographic Information System, 3D GIS）的快速發展，為山區洪水模擬和預警帶來了新的契機。有鑑於此，國家災害防救科技中心（以下簡稱災防科技中心）以智慧災防為目標，運用網路服務、三維地理資訊等技術，打造防災整備及應變決策的「山區閃洪災害熱點三維預警展示系統」。系統採用之數據由災防科技中心坡洪組開發的山區洪氾預警系統所產出，此系統由氣象局天氣預報模式、降雨逕流模式及水動力模式所建構而成，產出空間解析度為1.25公里，預報未來72小時水動力河道模擬。本次研究區域為荖濃溪沿岸的高雄市桃源區勤和部落，並透過無人機空拍資料建置3D河道及聚落地形模型並結合水動力情境展示。透過三維空間圖台以視覺化技術將多維度及即時性的資料進行整合模擬展示，將有助於提升人員判斷防救災應變之決策能力。

關鍵詞：閃洪、作業化預警模組、數值模式、無人航空載具

ABSTRACT

Taiwan frequently experiences natural disasters such as typhoons, earthquakes, and mountainous landslides. Moreover, due to the impact of climate change, mountainous areas face increasingly severe challenges during flood events. For instance, in 2009, Typhoon Morakot, and in 2021, Typhoon

Lupit, both caused severe damage to the Laonung River, a tributary of the Gaoping River, leading to the destruction of the “Minbaklu Bridge.” These events also inflicted significant harm on numerous scenic areas. Therefore, flood disaster warnings take precedence over other types of disasters.

In recent years, opportunities have emerged through technological advancements, including Unmanned Aerial Systems (UAS) and Three-Dimensional Geographic Information Systems (3D GIS). The National Science and Technol-

* 通訊作者，wbchen@ncdr.nat.gov.tw

ogy Center for Disaster Reduction (NCDR) is dedicated to disaster prevention through means such as web services and Three-Dimensional Geographic Information Systems (3D GIS), with the goal of developing the “Mountainous Flash Flood Disaster Early Warning System.” The NCDR has created an Operational Forecasting System (OFS) by integrating atmospheric, hydrological, and hydrodynamic models. This system provides a spatial resolution of 1.25 kilometers and forecasts hydrodynamic river channel simulations for the next 72 hours. The research utilizes high-density and high-accuracy UAV DEM data to simulate rapid water level rises and flooding resulting from intense rainfall within the Laonung River watershed in Kaohsiung City, Taiwan. The integration of three-dimensional spatial technology with real-time data simulation in this study contributes to improved decision-making accuracy and resilience.

Keywords: Flash flood, Operational forecasting system, Numerical model, Unmanned Aerial System

前言

臺灣常受到颱風、地震和山區滑坡等自然災害的影響。尤其是山區，它在洪水災害中面臨著嚴重的挑戰。山區閃洪的預警相對於平地淹水更加重要，特別是對於山區需要分秒必爭進行疏散避難的居民。當山區洪水爆發前，預警的時間非常有限，如果預警時間太短，居民可能無法在洪水抵達之前安全到達避難處所。且在極端的天氣型態下，山區複雜多變的地形，以及交通不易等問題，這些情況使得山區的洪水模擬和預警更顯得重要^[1,2]。

近年來隨著電池、傳感器和通信技術的不斷改進和成熟，無人飛行器（UAS）的應用已經有顯著的進展。這些技術的進步使得 UAS 更加穩定及安全^[3,4]。同時，UAS 的應用領域也擴展至災害防救及環境監測、土地利用調查及地形測繪、森林資源及海洋環境探索等等^[5-8]。因 UAS 具有低空飛行的優勢，可用於拍攝高

解析度的影像和數據，這些數據對於建立地形模型、進行水文建模以及洪水模擬具有相當的重要性^[9]。

隨著數值模擬技術及電腦運算資源與日俱進，現今，整合各種數值模式，預報小區域尺度的閃洪，是洪水災害防治的未來趨勢，並且已經被世界各國所廣泛採用。因此災防科技中心在 111 年開發了山區閃洪預警模式，並建立 24 小時作業化運算淹水預報模式，以每 6 小時預報未來 72 小時的作業化模式，進行淹水模擬，並提出可能的淹水預警範圍，提升颱風應變期間災害預警的準確性及即時性^[10]。

此外在洪水模擬方面，3D GIS 的優勢在於它能夠以三維形式呈現地理資訊，這使得人員更快速了解地形、地貌和地理特徵。因此 3D GIS 的發展將使得洪水模擬能夠更真實地呈現地理情境，更可幫助防災單位更準確地預測及模擬^[11]。學者 Faisal and Khan^[12] 更是將遙測結合感測器透過地理資訊系統進行洪水風險分析。

綜上所述，UAS 技術與 GIS 系統技術的提升，對於山區洪水模擬和預警領域帶來了新的契機，更有助於提升山區的洪水風險管理能力，減少災害損失，並保護山區居民和生態系統。因此本研究目的在將提升 UAS 資料建模及 3D 視覺化在山區洪水事件中的模擬，以應對山區洪水災害這一嚴峻的挑戰。

研究區域概述

本研究研究區域為高雄市荖濃溪主河道旁的勤和部落，圖 1。該區域位於高雄市桃源區省道台 20 線旁，緊鄰荖濃溪河道。聚落與主河道的高差僅有 2 公尺，且聚落旁有土石流潛勢溪流（高市 DF082）匯入荖濃溪。在 2017 年 6 月初的豪雨事件中，溪水暴漲導



圖 1 荖濃溪東側高位段丘的勤和平臺^[13]

致地基被掏空，造成勤和平台多戶民宅被洪水淹沒。而在 2021 年盧碧颱風後豪雨事件中，溪水再次暴漲，導致位於勤和部落北邊的明霸克露橋被沖毀^[13]。

航拍任務建構

為了實現數位孿生 (iTwin) 的效果，需要建立高精度高解析的三維聚落模型。然而，常見的垂直拍攝航線規劃方法，主要用於建立正射影像和數值地形，但其鑲嵌後的三維模型難以呈現現實細節。因此，為了確保鑲嵌後的三維模型能夠呈現現地景物的細節，需結合低空傾斜攝影航線與手動細節補強的方式，提升三維模型的精細度。

航拍過程中所使用的傾斜攝影航線規劃相關參數可參考表 1，除執行航線規劃之外，為了捕捉更多聚落周邊的細節，以等速 (4 m/s) 和等時 (2 秒) 以及不同高度下，45 度角進行手動拍攝。手動拍攝的位置和航線位置可以參考圖 2。

表 1 相關拍攝參數

傾斜角度	45 度	航線高度	110 米
前後覆蓋率	85%	地面解析度	4.63 cm/pix
側向覆蓋率	85%	拍攝面積	28 公頃



圖 2 照片拍攝相對位置圖

航拍路線規劃

本研究總計拍攝總計 946 張照片，並測量地面控制點 3 個。使用 Bentley Context Capture 軟體進行三維模型的鑲嵌。所使用的三維模型採用 3D tile 格式，這種格式具備多層次細節 (LOD) 能力，當視點距離增加時，會對模型的網格進行簡化，以減少運算負擔。這樣的技術能夠減少設備讀取平台所需的時間，也能減少記憶體的使用量。通過較近視角比較圖 3 及圖 4，可知三維模型的精細度與實際場景幾乎無異。

由上述成果可知，透過使用無人機低空航線進行傾斜拍攝，結合手動外環拍攝以及地面控制點座標高



圖 3 實地照片 (荖濃溪東側勤和平台)



圖 4 三維模型 (荖濃溪東側勤和平台)

程，利用建模軟體完成河岸聚落的三維模型已達到數位孿生模型的標準，將實際地形地貌在虛擬環境中詳細呈現。

山區水資料模擬

本研究模擬的山區閃洪預警模擬範圍，包括荖濃溪主流河道，以及荖濃溪的河岸洪氾區域，如圖 5 所示。主要預警範圍位於藍色水域及其所有河川、陸地面積。水動力模式計算區域所涵蓋的尺度已經足夠用以模擬山區強降雨所觸發之河川閃洪淹水。模式由約五萬個格點建構出約七萬個三角形網格，在遠離可能淹水區域設定上下游邊界，模式採用 10 公尺空間解析度網格；而 5 公尺空間解析度網格則被用來分配在勤合聚落街區，即易發生山區閃洪淹水災情區域，以及荖濃溪的主河道。儘管使用更高解析度網格可以提高淹水空間識別度，然而，網格細緻化會大幅提高網格總數量，模式所需之運算資源與預警所需之計算時間將隨網格數量而增加。本研究產製之數值網格尺度，足以描述荖濃溪勤合聚落及其洪水平原之水動力特徵。



圖 5 荖濃溪河川斷面資料模擬

山區水理資料模擬作業化預報

本研究於枯水期空拍預警區域，在取得高畫素影像後，轉換成高解析（1公尺解析度）數值高程資料，而這些數值高程資料即可用來建置水動力模式所需之地形檔案，在完成數值網格產製後，即可應用插值方式，將數值高程資料內插至每個格點上。由圖 6 可知，使用高解析（1公尺解析度）數值高程資料可以表示非常細緻之地形變化。於水動力模式計算範圍內，荖濃溪上游設置有一個入流點，即其邊界流量條件，而在荖濃溪動合聚落下游處則設置一個出流點，水體可自由流出模擬區域。根據河床底部之地文特性與模式之穩定性，以及荖濃溪歷史水位校驗結果，水動力模式採用的曼寧係數設定為 0.025，而水動力模式的計算時距則設定為 2 秒。

作業化預報視覺展示技術

透過前節的空拍及山區洪水模擬結合，此河道斷面資料已結合氣象降雨預報模式，將網格化雨量轉換成水動力模式輸入格式，經過淹水模式計算後，產生作業化預報，每 6 小時提供未來 72 小時可能積淹水之空間分布、積淹水範圍及積淹水深度。此章節則針對水動力數據進行視覺化處理。

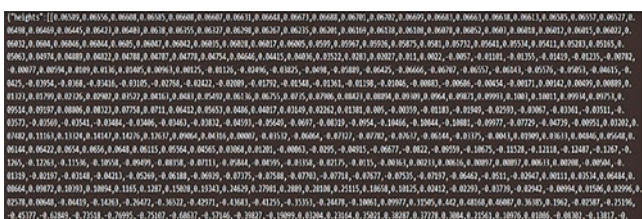


圖 7 水動力解析後之二維網格陣列數值

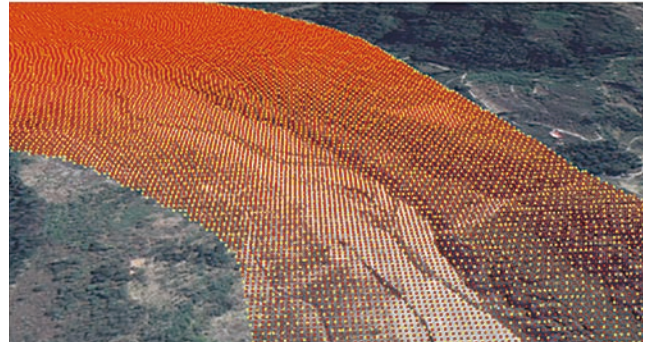


圖 6 水動力解析後之二維網格陣列空間分布

水理料視覺化

近年由於數值分析技術成熟，二維水理模式已廣泛應用於各領域，對於大多數水理狀況皆可充分掌握，如圖 7。然而二維水理在使用上亦有其限制，對於波動、湍急或崎嶇水域之流況，無法如真實世界一般針對水動態生成實況。為此針對二維度水動力數據進行三維視覺化模擬，用以達到場域之水動力模型擬真情境，及動態呈現水面時序變化，觀測異常情形及樣態分析，如圖 8 所示。

水資料可視化

水面可視化的處理，包括去除雜訊、校正數據。本研究使用 Delaunay 三角網格法對水理點資料進行過濾，透過 Concaveman 算出水面點位範圍，並將水點位資料進行各點高度配置，並濾除河道外及範圍內的異常數據，除了將資料進行篩選之外，同時進行資料的配對，如圖 9。

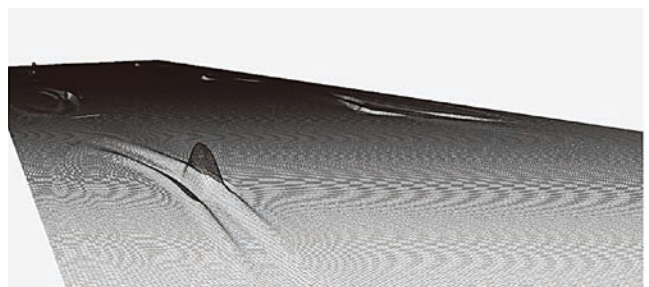


圖 8 水動力二維轉換三維資料

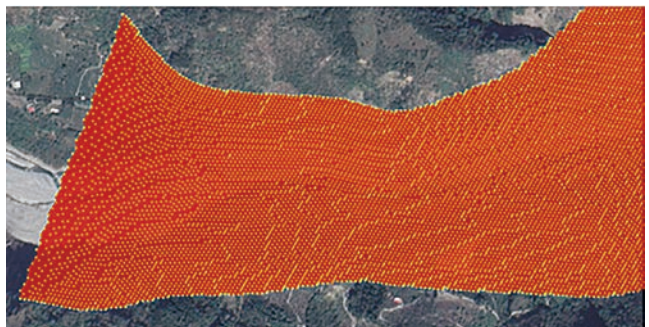


圖 9 使用演算法將點位配對



圖 14 UAS 模型結合三維圖台

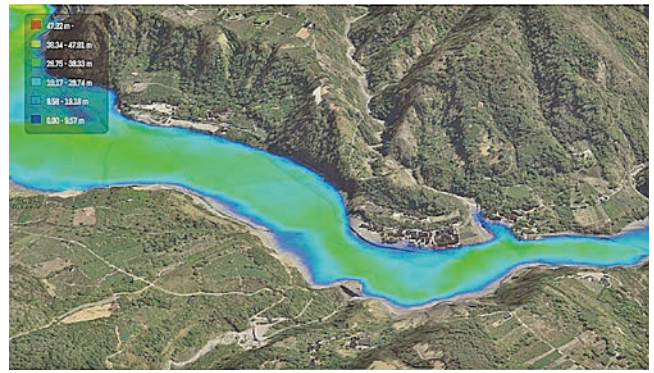


圖 16 水位高度熱力-貼地



圖 15 圖標結合三維圖台

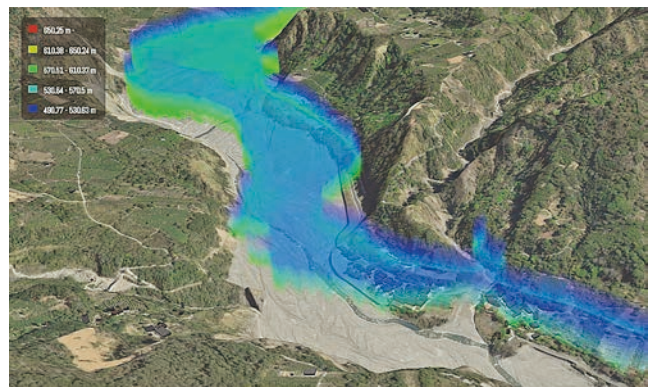


圖 17 水位高度熱力-浮空

小，呈現熱力圖效果。水越深所呈現的熱力圖顏色則越深，藉此可作為防救災應變之參考。圖 16 與圖 17 分別呈現三維水深熱力圖的貼地及浮空展示。

渲染擬真效果

本研究為了強化擬真效果，山區暴雨的雨水往往較混濁，含有大量泥沙，這使水面呈現出不同的色調和濁度。這種變化對於模擬及可視化至關重要，因為它影響了整體的真實感和視覺效果。因此，在三維模型的開發過程中，納入了河川沖刷之動態效果顯示，水面可根據高度進行清轉濁的特效，以確保模型可反映出真實世界的水體特徵，有助於提高模型的精度和逼真度，如圖 18。

結論與建議

本研究係將如何應用視覺化技術結合水理、水動力模式，打造接近實景的視覺化 3D 地理資訊系統，針對臺灣南部山區的集水區（荖濃溪），建置一個作業化山區流域洪氾溢淹預警暨視覺化展示模組。本預資料組由大氣、水文、水理等三個數值預測模式，及一個視覺化展示系統所構成。




圖 18 荖濃溪動和部落水文模型媒合於地表之樣態（河川清轉濁過程）

此外，為確保山區流域洪氾溢淹預警的準確性，在每次颱風或強降雨事件後，災防科技中心將透過無人飛機重新拍攝預警區域影響，以建置符合現況之數值高程。目前本研究所建置之山區流域洪氾溢淹預警暨視覺化展示模組已在國家災害防救科技中心運算平台上作業化運作，未來，在運算設備擴充且可取得山區高解析數值地形的條件下，可考慮預警其他臺灣山區流域。

參考文獻

1. Borga, M., Gaume, E., Creutin, J.D., and Marchi, L., Surveying flash flood response: gauging the ungauged extremes. Hydrol Process 2008,

- 22(18), 3883-3885.
2. Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., and Jakob, M., Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: flash floods and debris flows. *J Hydrol.* 2014, 518, 194-205.
 3. 施錦揮、游政恭、鄒慶敏、蔡季欣、林志清、林燕山 (2010), 「無人飛行載具應用於防救災圖資供應之研究—以北二高崩塌地為例」, 台灣水利季刊, 第六十二卷, 第二期, 第 35-49 頁。
 4. 劉丹、梁濤、田銀枝、曹紅杰 (2014), 「無人機航測技術在長江航道整治工程中的應用」, 地理信息世界, 第二十一卷, 第四期, 第 59-63 頁。
 5. Horritt, M.S. and Bates, P.D., Effects of spatial resolution on a raster based model of flood flow. *J. Hydrol.* 2001, 253, 239-249.
 6. Horritt, M.S., Bates, P.D., and Mattinson, M.J., Effects of mesh resolution and topographic representation in 2D finite volume models of shallow water fluvial flow. *J. Hydrol.* 2006, 329, 306-314.
 7. Cook, A. and Merwade, V., Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *J. Hydrol.* 2009, 377, 131-142.
 8. Caviedes-Voullieme, D., Morales-Hernandez, M., Lopez-Marijuan, I., and García-Navarro, P., Reconstruction of 2D river beds by appropriate interpolation of 1D cross-sectional information for flood simulation. *Environ. Model. Softw.* 2014, 61, 206-228.
 9. 劉丹、梁濤、田銀枝、曹紅杰 (2014), 「無人機航測技術在長江航道整治工程中的應用」, 地理信息世界, 第二十一卷, 第四期, 第 59-63 頁。
 10. 劉哲欣、李士強、郭文達、江申、魏曉萍、葉森海、施虹如、梁庭語、陳偉柏、張志新 (2022), 山區流域洪氾淹預警暨視覺化展示模組開發, 國家災害防救科技中心技術報告。
 11. Borga, M., Gaume, E., Creutin, J.D., and Marchi, L., Surveying flash flood response: gauging the ungauged extremes. *Hydrol Process* 2018, 22(18), 3883-3885.
 12. Faisal., H. A. H. Khan., Application of gis and remote sensing in disaster management: A critical review of flood management .Proceedings, International Conference on Disaster Risk Mitigation, 2017, 23-32.
 13. 國立自然科學博物館 (2000), 台灣地景—地理環境—南台灣海岸地貌, http://digimuse.nmns.edu.tw/taiwanlandform2/01_south/pageB/pageB_14_280.html 



粼粼水岸 永續共生

Shimmering Waterfront, Sustainable Living

宜蘭安農溪