



災後緊急製圖一 以花蓮馬太鞍溪堰塞湖事件為例

國家災害防救科技中心坡地與洪旱組副研究員 / 何瑞益
國家災害防救科技中心坡地與洪旱組副技術師 / 李士強
國家災害防救科技中心坡地與洪旱組研究員 / 劉哲欣
國家災害防救科技中心坡地與洪旱組專案助理研究員 / 陳珮琦
國家災害防救科技中心災防資訊組組長 / 張子瑩
國家災害防救科技中心坡地與洪旱組組長 / 張志新

關鍵字：緊急製圖、堰塞湖、災區劃設、土砂評估

摘要

災害事件發生後，急需取得具空間精度之現地圖資，作為救災應變與復原規劃之基礎依據。傳統人力調查方式難以同時兼顧作業時效與人員安全，因而有必要發展具效率與可行性之災後緊急製圖（Emergency Mapping）作業，以回應災害應變期間對即時空間資訊之需求。本研究以花蓮馬太鞍溪堰塞湖災害為例，應用無人機攝影測量，結合現行法規程序與影像變遷偵測技術，精準劃定受災範圍與量化地貌改變量，完成災後緊急製圖作業。

無人機空域緊急申請法規主要依據《民用航空法》無人機專章及《遙控無人機管理規則》，規定政府機關或法人遇災害應變、緊急情況時，可在特定條件下向民航局申請排除限制並能快速獲准。國家災害防救科技中心在馬太鞍溪堰塞湖災前與災後向民航局提出「緊急飛航活動申請」之流程，確保在合法且安全的前提下執行任務。在技術實作上，本研究利用無人機搭載高解析度相機，於災前與災後黃金時間內完成影像擷取，並透過攝影測量鑲嵌技術產製高解析度正射影像與地表高程資料。



研究結果顯示，藉由災前、災後兩期影像之變遷偵測技術，進行災害緊急製圖作業，能精確劃定受災區域並量化災害範圍、量化土砂規模，作為河川清淤規劃、溪底便道規劃、救災資源配置等。此外，針對堰塞湖核心區，則應用航空照片與利用三維建模技術還原真實地貌，可圈繪崩塌區域、堰塞湖蓄水面積、以及壩體幾何特徵，評估土砂潛在威脅。藉由上述技術不僅克服了地理環境限制，更提供直觀且高精度的空間數據，作為下游災區劃設與土砂評估之科學依據。

一、前言

近年來極端降雨事件之發生頻率與強度逐步增加，臺灣山區地形陡峭，河川流域易因坡地崩塌、土石大量堆積或河道阻塞而形成堰塞湖，例如：2021年秀巒堰塞湖，2025年草嶺堰塞湖事件等，都是近年的案例。堰塞湖潰決時間不一，視規模與事件環境而不同，一旦發生溢流或潰決，常於短時間內對下游聚落及關鍵基礎設施造成大範圍衝擊。在此類災害應變情境中，迅速掌握受災範圍及土砂堆積空間分布情形，為防救災決策研判與後續復原規劃之重要基礎。

無人機的發展逐漸應用於災害調查與災情資訊蒐集作業，其特性為能於短時間內取得高解析度之地表影像建立高程資訊，並不受災害交通阻斷的影響，對於大範圍災區之快速掌握具明顯優勢。然而，在實務操作層面，災害應變期間之無人機現地調查仍面臨多項限制，如《民用航空法》於民國107年增訂無人機專章，並訂定《遙

控無人機管理規則》，明確規範無人機操作之申請程序、空域使用及相關限制，使得災害期間之即時飛航作業須同時兼顧時效性與法規正當性。因此，如何在符合《民用航空法》及相關管理規範之前提下，於災害發生前後迅速取得具可比性之空間資料，並有效轉化為可支援災情研判與決策之圖資成果，仍為當前災害應變實務中待克服之課題。

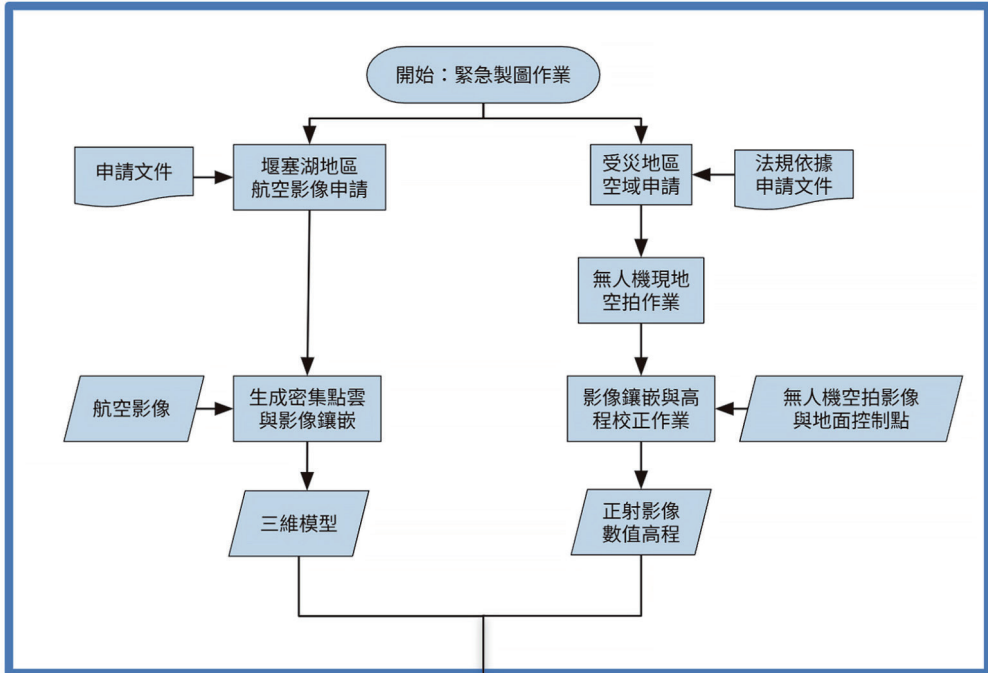
本研究之技術流程架構區分為「災後製圖成果產製」與「資料分析與成果展示」兩大階段，整體流程以災害應變與災害範圍評估與劃定地形變遷掌握為核心，依序完成空間資料蒐集、地形模型建置、災區範圍劃定及變遷分析，以提升災害評估與決策支援之完整性與時效性。詳細技術流程與作業架構，詳如圖1所示。

本研究於馬太鞍溪堰塞湖溢流災害發生後快速執行災後緊急製圖，整合災前與災後航空影像與無人機影像資料，建立具時序性之空間基礎資料，支援後續地形變遷分析與災區劃設的工作。

於第一階段「災前／災後製圖成果產製」中，流程始於緊急製圖作業之啟動，並依不同作業資料需求，分別辦理空域與航空影像申請。上游堰塞湖區以既有航空影像資料為主要來源，經影像蒐集與三維建模程序，產製三維模型；下游受災地區則於完成空域緊急申請程序後，執行無人機現地空拍作業，並結合地面控制點量測與影像幾何校正流程，產製具一致座標基準之正射影像與數值高程模型，完成製圖成果建置。



階段一：災前/災後製圖成果產製



階段二：資料分析與成果展示

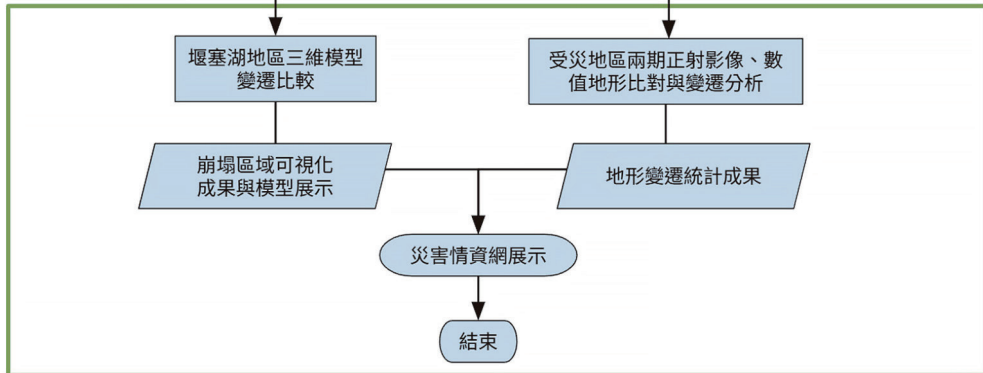


圖 1 災後緊急製圖流程圖

第二階段「資料分析與相關成果」則於完成兩期上游堰塞湖區三維模型以及下游災區的正射影像以及數值地形後，進行模型展示以及地形變遷統計分析，相關成果並放置

於國家災害防救科技中心之災害情資網公开展示，提供防救災詳細現地圖層，作為救災復原的基礎圖資。



二、法規依據與空域及圖資申請流程

2.1 無人機作業法規依據

《遙控無人機管理規則》於民國 110 年 7 月 19 日施行，明定法人或機關執行無人機空拍作業時，均須依規定向民航主管機關提出申請，經審核同意後，始得於核定之空域範圍內執行作業。其適用範圍包含製圖作業所需之視距外飛航，以及超過一般高度限制之飛航任務。此外，第 33 條並明確指出，災害應變時，於各級政府依災害防救法規定劃定之警戒區域或指定區域內，從事遙控無人機飛航活動應聽從各級政府災害應變中心指揮官統一指揮調度，並由各級政府災害應變中心向民航局申請同意。

災害之預防、復原重建或災害以外之緊急情況發生時，於權責機關劃定之警戒區或指定區域內，從事遙控無人機飛航活動應聽從現場指揮官或權責機關指定之現場負責人員統一指揮調度；如警戒區或指定區域位於本法第九十九條之十三第一項及第二項範圍內，由現場指揮官或權責機關指定之現場負責人員向民航局或直轄市、縣（市）政府申請同意；如活動涉及本法第九十九條之十四第一項第一款至第八款者，應向民航局申請核准。而花蓮縣光復鄉馬太鞍溪於 2025 年 9 月因災情形成堰塞湖並發生嚴重溢流，為維護空勤直升機救災以及空域安全等，民航局與相關單位已嚴格限制空域，禁止未經許可的無人機與空拍機升空。

依上述法規第 33 條第 2 項規定，於「災害預防、復原重建或災害以外之緊急情況」下，得向民航主管機關申請排除部分飛航限

制，並採行加速審查機制。該類申請不受同法規第 32 條所定須於作業前 30 日提出申請之限制，得依實際需求即時辦理，以確保災害相關作業之時效性。

國家災害防救科技中心在中央災害應變中心任務分工上，負責「空間情報任務小組」，於災害應變期間負責各類具空間屬性之災害圖資統籌與整合，資料類型包含衛星影像、航空攝影影像、無人機影像及社群網路影像等，作為災情判釋與決策支援之基礎。樺加沙颱風應變期間已於民國 114 年 9 月 21 日 12 時正式啟動空間情報任務小組，並於民國 114 年 9 月 23 日向民航主管機關申請緊急災害預防空拍作業（如圖 2 所示），經核准後，於同年 9 月 25 日於光復鄉市區及馬太鞍

使用遙控無人機從事災害應變、災害預防、復原重建或災害以外之緊急情況申請書暨民用航空局同意書	
送 遞 單 (空運部民用航空局飛航課務處)	通報時間 114 年 09 月 23 日 14 時 00 分
圖臺北送場管制室 (電話 02-3841008, 傳真 02-3860132) 位於基隆市、臺北市、新北市、桃園市、新竹縣、新竹市、苗栗縣、臺中市、彰化縣(北部)、南投縣、宜蘭縣、花蓮縣(玉里鎮以南)、臺東縣等縣市	災害/緊急情況名稱 樺加沙颱風
申請人 姓名: 謝 職稱: 助理研究員 電話: 02-8195 傳真: 02-8912	現場聯絡人員 姓名: 謝 手機: 0915
應變等級 <input checked="" type="checkbox"/> 遙控無人機管理規則第 33 條第 1 項 災害應變 <input checked="" type="checkbox"/> 依災害防救法關於中央災害應變中心 縣(市)政府災害應變中心 <input type="checkbox"/> 緊急應變小組	<input type="checkbox"/> 災害預防 <input type="checkbox"/> 觀察量測 <input type="checkbox"/> 災害以外之緊急情況
經費來源/空拍設備/飛行作業單位 機關名稱: 國家災害防救科技中心 執行作業單位: 航務管理處	指揮官姓名/職務: 謝 負責人員姓名/職稱: 謝 研究員
警戒區域指定區域及高度 <input type="checkbox"/> 位於 縣(市)政府公告之禁止、限制區域內。 <input type="checkbox"/> 位於 限制區(列出限制區名稱) <input type="checkbox"/> 民航局公告之 航空站自動進出水面禁止活動之一定距離範圍內 <input type="checkbox"/> 民航局公告之 航空站自動進出水面 200 呎以上高度禁止活動之一定距離範圍內 <input type="checkbox"/> 無人機飛航活動時不超過指定空域 100 公尺半徑範圍內之最高障礙物高度(如建築物等)且不論距地面或水面 400 呎 <input type="checkbox"/> 無人機飛航活動時離水面高度 400 呎 <input type="checkbox"/> 民航局公告之 飛行場四周之一定距離範圍內 <input type="checkbox"/> 離岸上陸區域 <input checked="" type="checkbox"/> 實際高度距地面或水面 1200 呎(AGL), 海拔高度(MSL) 2000 呎	
劃定警戒區域指定區域(WGS-84)空域範圍多邊形範圍	地點 花蓮縣馬太鞍溪

圖 2 114 年 9 月 25 日馬太鞍溪下游無人機空拍作業緊急申請文件



溪下游區域執行無人機空拍調查，取得後續製圖與分析所需之影像資料。

2.2 航空攝影圖資申請

而上游堰塞湖區因地形陡峻且不易抵達，考量安全因素無法執行無人機空拍作業時，為確保三維建模與地貌分析之完整性，以既有航空攝影影像之原始圖資作為替代資料來源。航空攝影圖資申請作業透過「空間情報任務小組」既有之跨機關圖資分享機制進行協調，並向同為於空間情報任務小組成員之農業部林業及自然保育署航測及遙測分署辦理圖資申請，取得相關高解析度原始航空攝影圖資，作為後續馬太鞍溪上游地區三維建模之重要基礎資料來源（圖3）。

三、現地空拍與成果產製

3.1 無人機現地空拍作業

為即時取得高解析度之災區地表影像，本研究於災害事件發生前後皆執行無人機現地空拍作業。空拍任務依預測溢淹範圍（災前）以及實際災區範圍（災後），依當地地形條件進行航線規劃，採用垂直攝影之攝影測量飛行模式，得以兼顧影像覆蓋完整性以及正射影像、數值地形製作需求。為確保影像成果之空間定位精度，於空拍作業期間同步進行地面控制點量測，並於後續攝影測量處理流程中納入作為幾何校正依據。

2025/08/18溢流前·總計63幅				2025/09/30溢流後·總計50幅			
名稱	日期	格式	大小	名稱	日期	格式	大小
250818o_01-7002_hr4	2025/8/18 下午 03:53	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6001_rgb	2025/9/30 下午 01:00	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7003_hr4	2025/8/18 下午 03:53	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6002_rgb	2025/9/30 下午 12:59	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7004_hr4	2025/8/18 下午 03:53	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6003_rgb	2025/9/30 下午 12:59	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7005_hr4	2025/8/18 下午 03:54	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6004_rgb	2025/9/30 下午 12:58	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7006_hr4	2025/8/18 下午 03:54	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6005_rgb	2025/9/30 下午 12:58	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7007_hr4	2025/8/18 下午 03:54	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6006_rgb	2025/9/30 下午 12:57	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7008_hr4	2025/8/18 下午 03:54	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6007_rgb	2025/9/30 下午 12:57	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7009_hr4	2025/8/18 下午 03:54	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6008_rgb	2025/9/30 下午 12:56	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7010_hr4	2025/8/18 下午 03:55	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6009_rgb	2025/9/30 下午 12:56	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7011_hr4	2025/8/18 下午 03:55	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6010_rgb	2025/9/30 下午 12:56	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7012_hr4	2025/8/18 下午 03:55	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6011_rgb	2025/9/30 下午 12:55	TIF 檔案	1,492,481 KB
250818o_01-7013_hr4	2025/8/18 下午 03:55	TIF 檔案	3,979,841 KB	250930o_01-6012_rgb	2025/9/30 下午 12:55	TIF 檔案	1,492,481 KB

圖3 災前/災後航空影像原始圖資集



實際作業過程中，考量電池續航、作業時間及飛行安全等因素，空拍任務以多架次方式分段完成。各架次飛行皆於安全條件下執行，並記錄飛行參數作為後續影像處理與成果評估之依據。相關無人機空拍作業之飛行參數彙整如表 1 所示。

表 1 無人機現地空拍作業飛行參數

項目	內容
使用無人機機型	Autel EVO Pro II 多旋翼無人機
感測器類型	RGB 相機
飛行高度 (AGL)	500 m
地面解析度 (GSD)	約 12 cm/pixel
前向重疊率	80%
旁向重疊率	70%
攝影模式	垂直攝影
單架次飛行時間	約 15 分鐘
飛行架次數	24 架次

3.2 災後緊急製圖作業

馬太鞍溪堰塞湖於民國 114 年 9 月 23 日下午發生溢流事件，造成下游花蓮縣光復鄉大範圍溢淹災害。在災害應變期間，災防科技中心調配人力，緊急申請無人機飛航作業，旋即於 9 月 25 日上午進抵現場；經現地確認氣候條件符合飛航作業需求後，即展開無人機空拍作業及地面控制點量測作業，並於當日下午完成約 9 公里河道範圍之影像拍攝，空間情報社群小組亦同時作業，完成花蓮縣光復鄉街區的攝影測量作業。其後於次日 (9 月 26 日) 進行影像後處理與鑲嵌作業，完成高解析度河道正射影像及數值表面模型，相關成果迅速提供予各公部門單位，作為災情研判，搶災搶險與復原規劃之參考依據。自人員進駐災區至完成災害記錄作業，全程於 1 天內完成；該次影像鑲嵌成果之精度評估結果如圖 4 所示，並作為後續河道地形變遷分析之資料來源。



圖 4 9 月 25 日花蓮縣馬太鞍溪河道災後影像鑲嵌精度報表



3.3 圖資建模與成果產製

承前述災後緊急製圖作業所取得之影像成果，本節進一步說明圖資建模與成果產製流程。上游堰塞湖區之三維地形建模，係採用航空攝影影像資料，並透過 Bentley iTwin Capture 軟體進行處理，產製高解析度三維模型，藉以掌握堰塞壩體結構特徵及溢流後壩

體殘存狀況（詳如圖 5）。下游災區河道則利用無人機現地影像資料，經 Pix4Dmatic 軟體處理，產製正射影像與數值地形模型，作為河道變遷判釋與災後地貌分析之基礎圖資（詳如圖 6）。為利於後續地形變遷分析與量化運算，數值地形模型由原始約 12 公分解析度進行重採樣處理（Resampling），統一轉換為 1 公尺解析度作為分析基礎。此外，為避免水

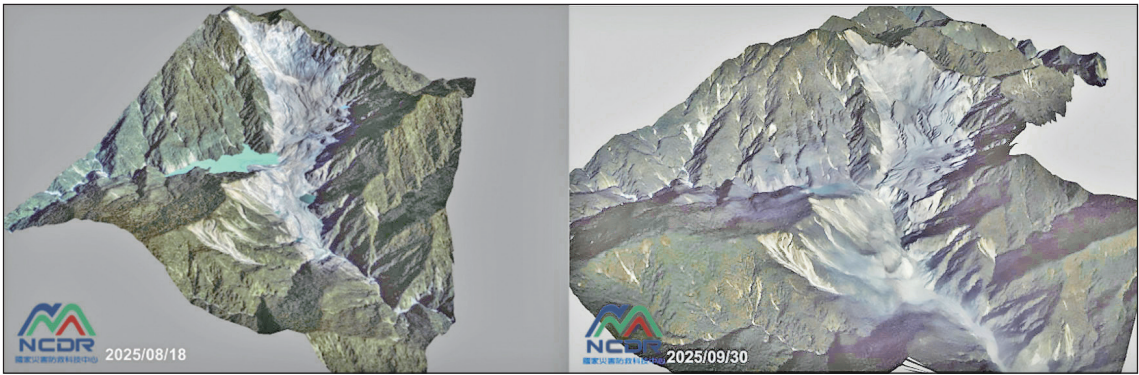


圖 5 災前（左）與災後（右）堰塞湖區域三維模型建模成果

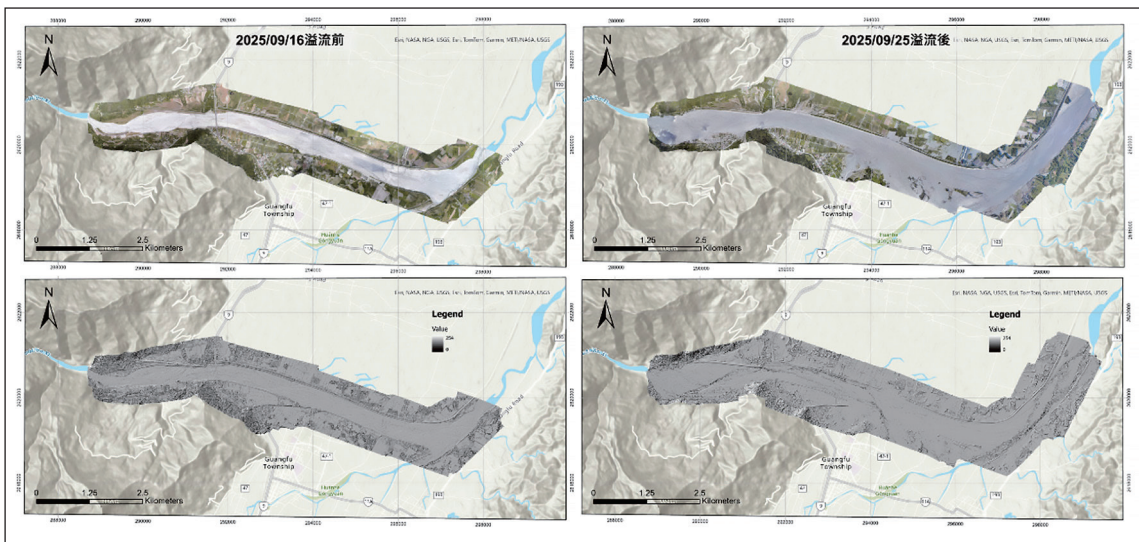


圖 6 災前（左）與災後（右）下游河道區域數值地形與正射影像



體反射雜訊及跨河構造物對地形判釋造成干擾，於數值地形模型建置過程中進行水體雜訊處理，並去除橋梁等跨河構造物，以確保後續河道地形變遷分析之合理性。相關建模工具、資料來源與成果類型彙整如表 2。

四、成果分析與展示

4.1 災區劃設與數值地形變遷分析

國家災害防救科技中心透過災害情資網平臺，快速整合各空間情報任務小組調查成果與資料，並結合前述自行產製之數值地形模型，

於短時間內完成馬太鞍溪全河段地形與土砂堆積之量化分析與視覺化呈現如圖 7。依據空間情報任務小組分析資料顯示，馬太鞍溪隘口至馬太鞍溪橋之河道累積堆積量約 2,045 萬立方公尺，平均淤高約 13.3 公尺；馬太鞍溪橋下游至近光復鄉市區之河道累積堆積量約 1,125 萬立方公尺，平均淤高約 2 公尺，顯示土砂主要集中於中游河段，並向下游呈現明顯遞減趨勢。

為掌握聚落尺度之堆積特徵，進一步進行災前災後的高程斷面比較，可發現光復鄉街區因為馬太鞍溪堤防毀損，洪水挾帶大量土砂進入聚落範圍造成嚴重的土砂淤積災

表 2 應用資料與成果彙整表

地區	上游堰塞湖區域	下游河道區域
採用軟體	Bentley iTwin Capture	Pix4Dmatic
資料來源	遙測分署航空攝影影像 (災前：8/18；災後：9/30)	無人機現地拍攝 (災前：9/16；災後：9/25)
建模成果	三維模型	數值地形、正射影像



圖 7 馬太鞍溪災害事件上游至下游地形與土砂變化量



害，其中以佛祖街附近區域平均淤積達 2 至 3 公尺，尤為嚴重（如圖 8 所示）。綜合上述分析結果，土砂堆積量化成果可作為災區範圍劃設與後續復原規劃之關鍵基礎圖資。

本研究除獲取土砂堆積量資訊外，並整合戶政資料與死亡失聯點位進行空間套疊（如圖 9）。藉此分析人員傷亡、災情通報分布與土砂堆積高度、溢淹範圍間的空間關聯性，進一步劃設馬太鞍溪下游災區範圍。

綜上所述，馬太鞍河流域內之崩塌、堆積與侵蝕等空間量體變化，均已整合至災害情資網進行即時圖像化呈現。透過單一平臺的資訊匯整，不僅提升了災區劃設與風險評估之作業效率，更可作為跨機關應變決策之重要情資。

4.2 上游堰塞湖區三維地形模型變遷比較

針對上游堰塞湖區域，應用航空攝影測量成果建置高解析度三維模型，並將相關模

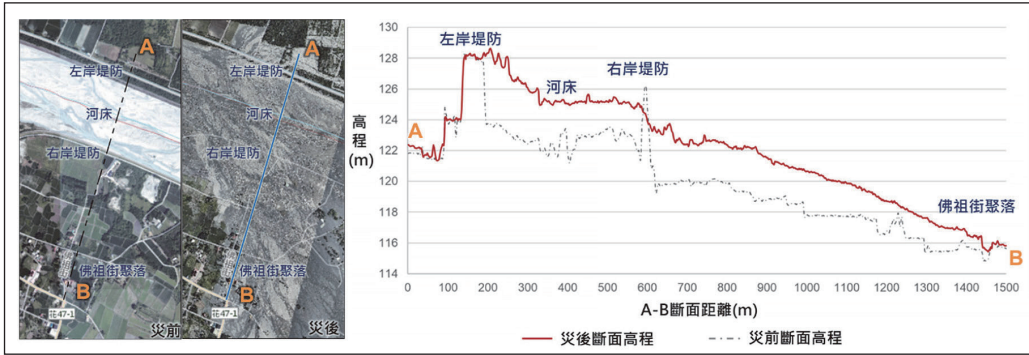


圖 8 馬太鞍溪河床與佛祖街聚落剖面高程於災前後差異分析

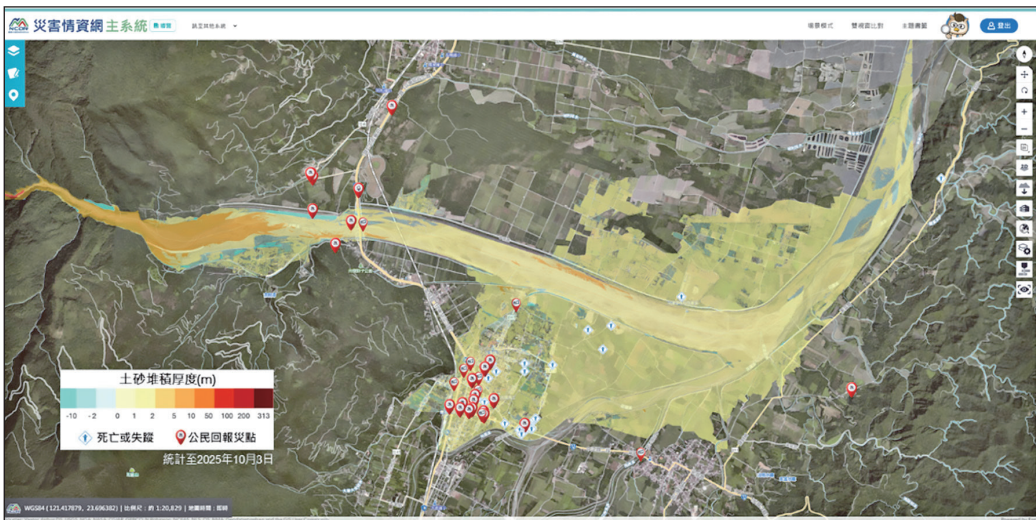


圖 9 災區範圍與災情回報及死亡失聯點位分布圖



型成果上傳至科技中心之災害情資網系統進行展示與應用。透過網頁化三維視覺化環境，可操作模型自由旋轉、縮放與視角切換，並輔以圖層標註功能，明確標示崩塌區、堆積區及堰塞湖範圍，以利災害現況之整體掌握與空間判釋如圖 10。

此外，災害情資網所內建之量測工具，可直接於三維模型上進行快速幾何計算，包括堰塞湖蓄水面積與溢流後壩體沖刷深度等關鍵參數如圖 11。依圖 11 量測結果顯示，堰塞湖水面面積約為 685,567 平方公尺；溢流後壩體沖刷形成之最大高程差約為 171 公尺。上述量測作業無須另行下載模型或進行額外資料處理，即可於平臺內即時取得定量成果，有助於提升災害評估與決策支援之時效性與精確度。

五、結語

本研究建構之災害緊急製圖作業流程，整合無人機空域緊急申請、航空影像圖資調度、現地空拍作業與攝影測量建模技術，可於災害發生前後迅速取得高解析度且具法規正當性之現地空間資料。該流程有效克服傳統無人機作業申請之時效性及空間範圍上的限制。以本研究案例而言，災後一日內即完成圖資之產製與整合，並作為後續地形分析與災情研判之基礎資料。此外，本研究考量上游堰塞湖區地形陡峭且不易抵達，災害發生後難以實施無人機空拍作業，因而改採災前與災後航空攝影影像圖幅進行三維模型建置，以重建大型災害發生前後之地形樣貌，並進行兩期成果對照分析。綜合本研究成果，災害情資網可於短時間內整合多來源圖資與分析結果，



圖 10 堰塞湖區三維模型於災害情資網中之展示成果（2025/08/18 災前）

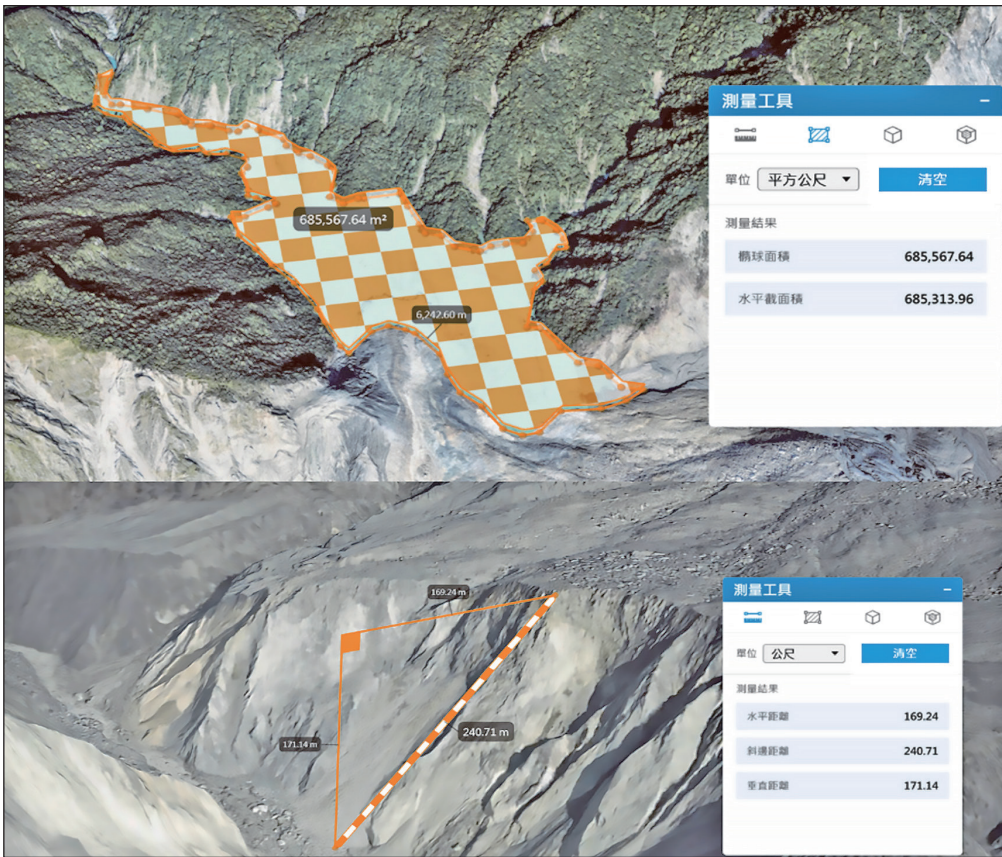


圖 11 量測工具之應用：以面積量測功能計算堰塞湖蓄水範圍面積（上）以及距離／高度量測工具估算溢流後壩體沖刷深度（下）

完成地形與土砂變遷之量化呈現，並支援災區劃設與應變研判。相關資訊集中於單一平臺展示，有助於降低資訊整合成本，提升災害應變階段之決策支援效率。

誌謝

本研究由衷感謝農業部林業及自然保育署、農業部農村發展及水土保持署、經濟部水利署、交通部公路局提供詳實的圖資及相關監測資料，協助完成資料分析及內容撰寫。

參考文獻

1. 法務部 (2023), 民用航空法, 全國法規資料庫。 <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=K0090001> (存取日期:2026 年 2 月 5 日)
2. 法務部(2024), 無人機管理規則, 全國法規資料庫。 <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=K0090083> (存取日期:2026 年 2 月 5 日)
3. 國家災害防救科技中心 (n.d.), 災害情資網。 <https://eocdss.ncdr.nat.gov.tw/> (存取日期: 2025 年 2 月 5 日)
4. Bentley Systems (n.d.), iTwin Capture User Guide. <https://www.bentley.com/software/itwin-capture> (存取日期: 2025 年 2 月 5 日)
5. Pix4D (n.d.), Pix4Dmatic User Manual. <https://support.pix4d.com/> (存取日期: 2025 年 2 月 5 日)