



以 UAV 空拍技術 進行地震災損 3D 地形環境快速建模 及 StoryMaps 網站分享

鄭宏達／台灣世曦工程顧問股份有限公司 資深協理
李明儒／台灣世曦工程顧問股份有限公司 計畫經理
周孜恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司 工程師
郭俊麟／國立東華大學臺灣文化學系 副教授

0403 花蓮地震事件說明

113 年 4 月 3 日上午 7 時 58 分左右，花蓮縣近海發生芮氏規模 7.2 地震（以下簡稱 0403 花蓮地震），震源深度 15.5 公里，於花蓮縣秀林鄉和平村觀測到中央氣象署地震分級中最大震度 6 強的地震。隨後在 8 時 11 分及 10 時 14 分觀測到芮氏規模超過 6 的餘震。密集之地震至次日仍未間斷，截至 4 月 4 日上午 10 時，中央氣象署已觀測到逾 300 起芮氏規模超過 3 的餘震。

0403 花蓮地震之主震發生之後，於網路社群出現花蓮市天王星大樓倒塌照片，而公路橋梁發生倒塌中斷之照片，鐵路、捷運設施受損之照片也陸續傳出。台 9 線蘇花公路及台 8 線中橫公路多處因落石坍方與路面坍塌而全線暫時封閉，其中台 9 線蘇花公路大清水至崇德道路處，鄰近大清水隧道的下清水橋在地震中遭落石擊毀，並造成蘇花路廊全線中斷，蘇花改和平溪橋伸縮縫隆起 20 公分而封閉維修，其餘路段亦全線進行預防性封閉。因應花蓮地震之嚴重災情，中央災害應變中心隨即成立一級開設，而中央與地方政府之救災、醫護、警消等專業人員則趕赴災區現場執行搶救工作。

考量遇災時工程顧問專業協助政府救災所需，台灣世曦工程顧問股份有限公司（以下簡稱台灣世曦或本

公司）自 88 年 921 震災後即經常動員協助政府勘災與救災，先後參與包括 97 年后豐大橋落橋事件、98 年 88 風災、103 年高雄氣爆事故、111 年 0918 池上地震等各類型重大災害勘災、救災已累積豐富應變經驗。

本公司地理空間資訊部（以下簡稱空資部）自 106 年起已導入各式專業無人機（Unmanned Aerial Vehicle，或簡稱 UAV），應用於工程設計、航測製圖、3D 建模等各項領域，對於空間資訊蒐集之技術已日益成熟。有鑑於 0403 花蓮地震對於台 9 線大清水隧道周圍工程結構體有多處破壞，為利災害紀錄與成因分析檢討，故本公司空資部無人機小組，於地震當天即動員前往大清水隧道，蒐集隧道口外橋體塌陷、明隧道塌陷及周圍邊坡等相關災損現況，以空拍照片及影片紀錄並建置 3D 實景模型，輔佐地質、地工、結構、路工等專業工程師量測、檢視研判災情，適時貢獻工程專業技術協助救災。

UAV 無人機空拍技術進行 3D 地形環境快速建模成果介紹

空資部無人機小組於地震發生後半小時內即開始動員，進行無人機相關設備之整備與充電作業，並於當日



上午 11 時出發趕赴台 9 線蘇花公路大清水隧道進行勘災作業。無人機小組人員除由主飛手進行無人機操作、空中攝影任務之外，另配置一名人員擔任空域安全觀察員，並於現場與救災單位進行工作協調及作業安全管理。

大清水隧道周圍災損照片如圖 1 及圖 2 所示，大清水隧道口外之下清水橋（台 9 線 158.6 公里處）遭大型岩塊砸斷。大清水明隧道（台 9 線 159.3 公里處）的隧道頂部則遭落石砸破受損。

除以無人機拍攝之影像、影片紀錄外，現場亦拍攝要用來 3D 實景建模的高重疊影像。由於此處地勢險峻，地形高低落差大，較難以使用任務航線規劃使無人機自動飛行取得高重疊之影像，因此全程以手動操作模

式拍攝高重疊的照片，近至橋體細節，遠至整個山壁，透過不同高度、角度和距離進行取景。

空拍任務結束當天晚上，本公司空資部持續進行大清水隧道災損狀況 3D 實景建模作業。內業使用 iTwin Capture Modeler 專業軟體，進行影像密匹配（Image Pixel Matching）及空中三角測量（Aerial Triangulation），解算各影像之 6 個外方位參數（影像空間位置姿態），進一步透過影像密匹配產製高密度之 3D 點雲（Point Cloud），接續將點雲內插為不規則三角網（Triangulated Irregular Network, TIN），並搭配原始影像之紋理敷貼，即可產製出實景三維網格模型（3D Mesh Model），如圖 3 至 4 所示。

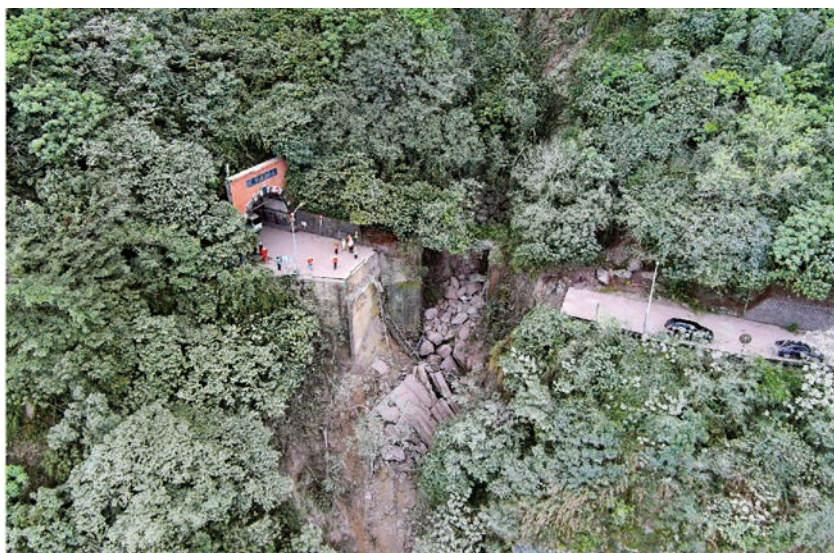


圖 1 大清水隧道口外之下清水橋無人機空拍影像：橋體遭大型岩塊砸斷

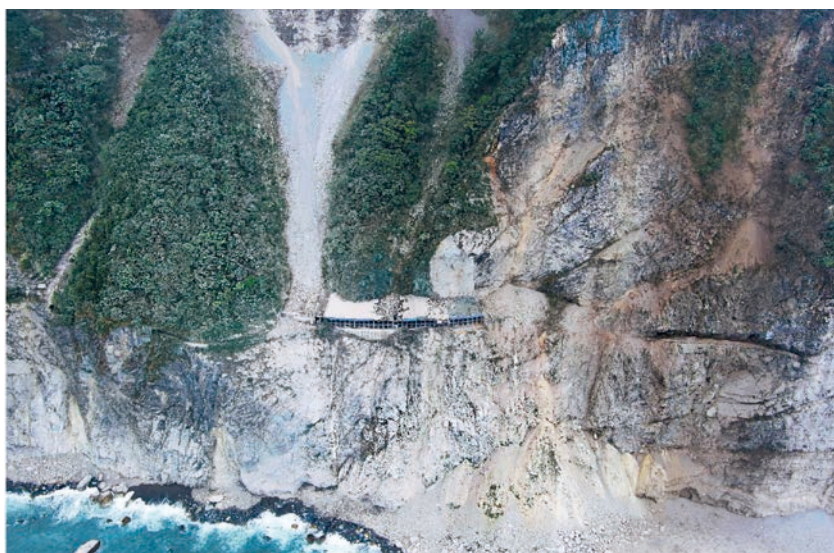


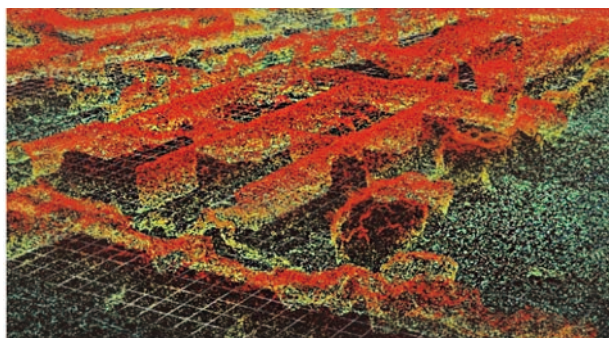
圖 2 大清水明隧道無人機空拍影像：隧道頂部遭落石砸破部分坍塌



(1) 無人機影像匯入



(2) 空中三角測量



(3) 影像密匹配 3D 點雲



(4) 3D Mesh 數位實景模型

圖 3 3D 實景建模處理流程

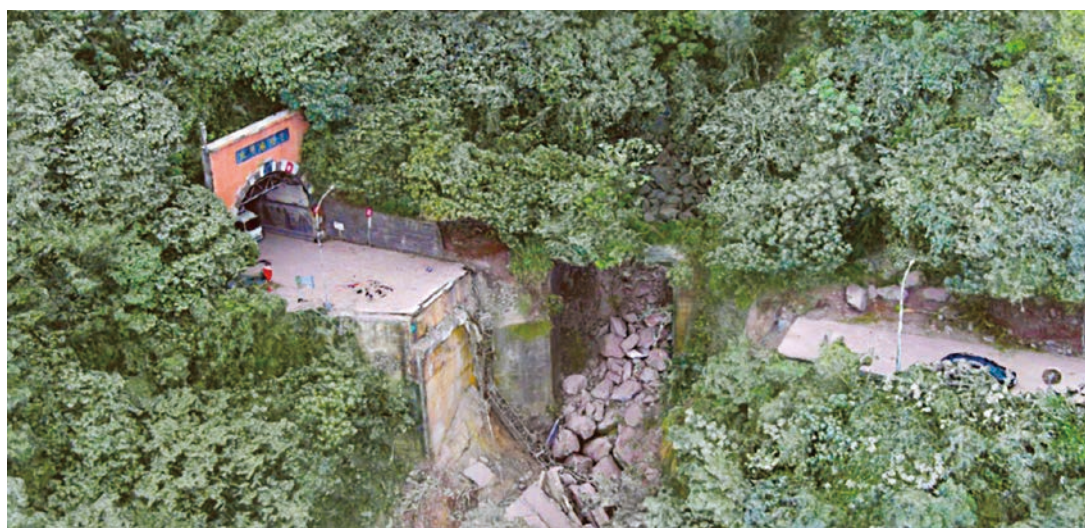


圖 4 大清水隧道外下清水橋 3D Mesh 實景建模成果

此外，3D 實景建模成果立即上架於本公司內部之「GIS 支援平台-3D 工程設計」子系統中，如圖 5、圖 6，並同時將本公司於 112 年 11 月 29 日建置的台鐵北迴線 K51 邊坡 3D 模型、112 年 1 月 12 日所建置因連日豪雨而坍方的大清水明隧道 3D 模型等前期資料一併上傳至同一場景，如圖 7，可供全公司同仁線上檢視瞭解災損情形，並可與同一地點前期的 3D 模型進行比較，作為救災方案研判之基礎資料。

運用 ESRI StoryMaps 技術輔助地震資訊整合及成果展示

花蓮大地震發生時資料會於短時間內大量產生，但在收集資料後，如何於短時間內，將彙整分析成果快速且清楚的進行展示與共享，常面臨素材繁多不易整合、如何快速發布至網路等課題。



圖 5 台灣世曦「GIS 支援平台-3D 工程設計」展示成果

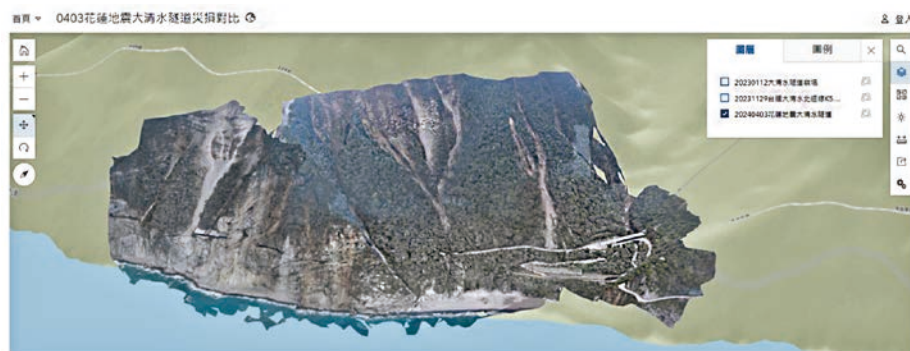


圖 6 0403 大清水隧道周圍災損 3D Mesh 實景建模成果上架 GIS 支援平台



圖 7 同一地點前期 3D Mesh 實景建模成果亦上架 GIS 支援平台之同一場景

ESRI StoryMaps 簡介

為協助解決上述資料整理及展示應用的銜接鴻溝，採用 Esri 公司所提供之 ArcGIS Online 及 ArcGIS Enterprise 中所提供之故事地圖（StoryMaps）技術來快速建置以地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）為基礎之網路地圖應用程式。其可以互動式地圖、文字、照片、影片和音樂，完整呈現一個地點、事件、議題、趨勢或是地理空間在時序上變遷的脈絡，將

不同素材整合成精彩的故事。其特色說明如下：

1. 多媒體整合：以網際網路與多媒體為基礎的應用程式，能夠放入互動式地圖、文字、影像、影片，並且可內嵌其他網站，將素材以物件或事件為單元，進行全面性的整合展示。
2. 友善的使用者介面：具備多種互動式、提供簡易操作的敘事樣板，如圖 8，能快速將經過整合研判分析的資訊選擇最適合的方式進行呈現，以進行資訊彙整及說明。

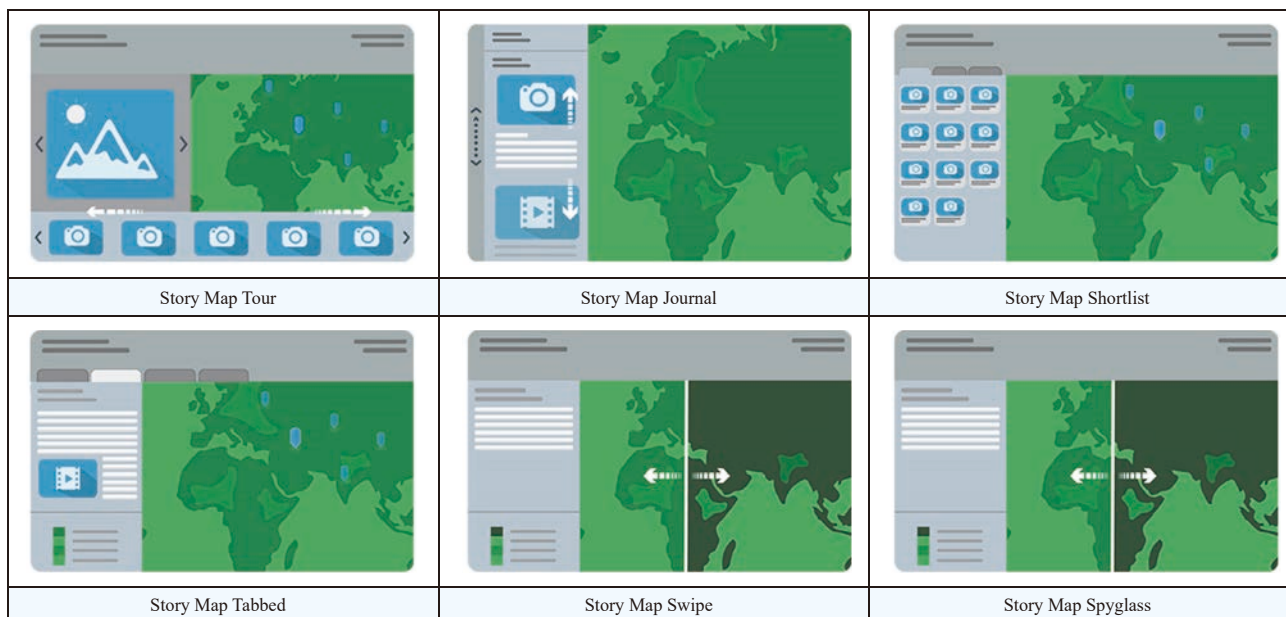


圖 8 StoryMaps 故事地圖樣板範例圖

3. 高度動態互動：編輯者建立的故事地圖，使用者可以通過點擊、滾動等操作，將數據圖表與地圖、照片在瀏覽時，進行同步關聯互動。舉例來說，使用者在操作地圖放大至特定局部範圍時，統計圖表的數據會自動依據空間範圍進行篩選及同步更新，這種互動性增加了故事的吸引力和提升使用者對於空間的敏感度。
4. 以地理資訊系統為基礎：以地理空間資訊為基礎的架構，強大的空間資料串接能力可體現在以下功能上：
 - (1) 將自有試算表數據或文字型分析資料，透過內建工具快速轉換為地圖資料，並且可與地圖互動進行篩選、查詢。
 - (2) 可加入自有圖資（例如地形圖、斷層位置圖）及各式外部公開地圖服務資源。
 - (3) 提供除 2D 以外的 3D 多維度地圖資料整合展示。
 - (4) 上傳具坐標資訊的照片自動解析空間位置，並可直接產生故事地圖。
5. 快速發布、靈活更新及適應多裝置介面：原生以雲端服務為基礎，因此可快速發布至網路上，並且具有跨裝置、多平台（如手機、平板、電腦）皆能進行順暢瀏覽及操作的服務優勢。
6. 主題性集合：依據主題可能會區分為多個次主題，在故事地圖中，可分別建立次主題的個別故事地圖，並再依據整體主題設定為集合，即可分門別類的更完整呈現事件主體的不同面向樣貌。

運用 StoryMaps 進行地震災害事件彙整及資訊發布

近年花蓮縣分別於 107 年 2 月、110 年 9 月及 113 年 4 月發生規模達 6 以上之淺層有感地震，同時並造成多棟建物倒塌，公路、橋梁及隧道損毀，並造成生命財產之損失。而地震災害發生之特性，多半伴隨短時間、分佈範圍廣大、來自各方之災損回報、救災調度與進度、災害持續產生（餘震）、後續重建等多因素交相關之資訊。在處理上述相關資訊收集、整合、分析研判至發布，StoryMaps 為相當適合之溝通平台，以本公司及國立東華大學之建置成果為例說明如下：

0918 池上大地震故事地圖

在 0918 池上地震發生後，台灣世曦各部門所組成之勘災團隊即前往受災部分，協助業主進行鐵公路、橋梁及公有設施進行震損評估。在本次地震中，有多座橋梁在地震中嚴重受損，UAV 小組依據各座嚴重受損橋梁進行詳細的實景拍攝及建模，分別建立各座橋梁故事地圖，並以集合方式彙整為勘災資訊平台，如圖 9。運用故事地圖功能可讀取照片坐標資訊（亦可手動編輯）快速建立地圖之特性，可快速將受損設施位置及個別橋梁受損拍攝位置進行地圖化空間展示（如圖 10），並且嵌入各座橋梁立體影像模型，彈性從各種角度對受損狀況進行判讀。



CECI 台灣世曦

出版

0918池上地震勘災資訊彙整平台

台灣世曦



圖 9 受損橋梁建物故事地圖（0918 池上地震）

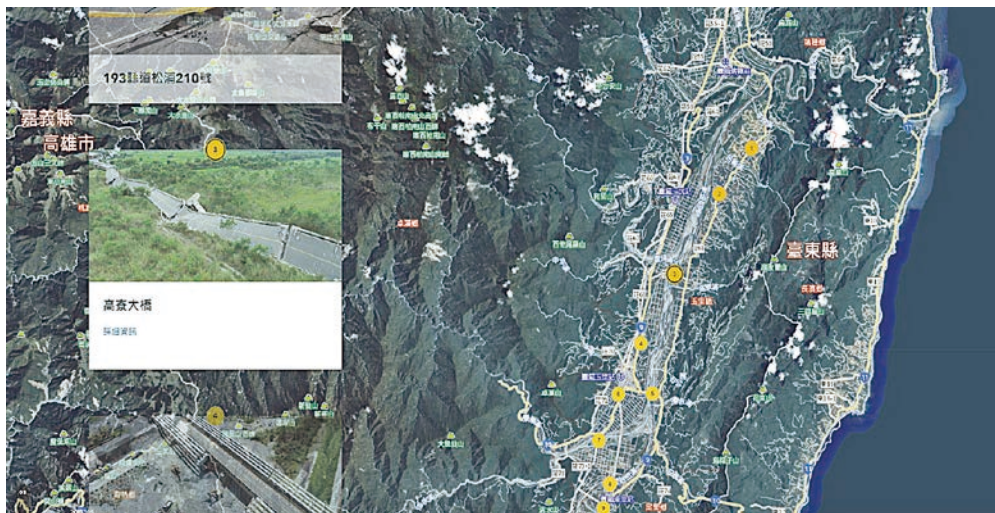


圖 10 運用照片坐標資訊快速建置受損設施分布故事地圖（0918 池上地震）

0403 花蓮大地震故事地圖

於 0403 花蓮地震後，國立東華大學防災團進駐消防局災害應變中心，協助整理情資並記錄相關災害應變過程，並使用系列故事地圖為本次地震的應變紀實，為救災應變過程中即時製作的成果。

防災團隊進駐面對中央、地方各單位湧入各種情資，挑選並過濾重要參考資訊，依照每日救災的進程，分九大主題彙整到故事地圖中（如圖 11），故事地圖網址：<https://arcg.is/1iKq0z>。

ESRI StoryMaps 內容及技術運用方式特色

震災與應變資訊時序及地圖互動呈現

包括本次地震災害說明、災害應變時間大事記、

並將首日由台灣世曦及東華大學防災團隊現場拍攝或從網路蒐群蒐集到的災情影像，依照花蓮市周邊災情選輯、蘇花公路災情選輯做初步彙整，最後則是提供當日花蓮縣政府公告的避難收容中心相關情資，在故事地圖應用上，運用時間軸清楚說明花蓮縣政府作為，以及運用故事地圖的照片地圖導覽，提升民眾對於災害避難所位置及現場實況的認識，時間軸畫面如圖 12，避難所地圖導覽如圖 13。

0403 花蓮震災情資分析

彙整多個單位的監測及分析資訊，例如國家防救災科技中心提供的地震分析圖、國家太空中心提供的福衛五號衛星影像、東華防災研究團隊調查的初步成果與建議、公路總局當時交通阻斷及修復的最新情資、農業部



圖 11 地震應變紀實故事地圖（0403 花蓮地震）



圖 12 故事地圖時間軸工具快速建立事件反應情形

林業及自然保育署花蓮分署回報萬里溪出現堰塞湖的情資及氣象局氣象圖資及餘震動態，同時結合縣府建設處公告的建物毀損紅黃單資料定位到互動式地圖，提供互動查詢的介面。並製作花蓮市區紅黃單建物與米崙斷層的套疊分析圖，提供整合性的情資收集與研判，建物震損紅黃單分佈位置級分析如圖 14。

0403 地震震損現場概況整理紀錄

彙整團隊從現勘、網路及社群平台所蒐集到地震當日的影音及平面報導，定位到互動式地圖上，了解災情的分布及現場狀況紀錄，包括房屋倒塌、山崩、公路落石、海嘯及地震引起火災的第一手影像資料。由於本次花蓮地區災情主要集中在市區及太魯閣地區，而太魯閣

山區及道路落石崩塌嚴重，蒐集難度高，因此也特別記錄救災人員進入現場的第一手影像，以及媒體對山區部落及布洛灣山月村災情的相關報導，如圖 15。

運用故事地圖應用程式，可協助快速建置具備高度互動性，以地理空間為基礎的網路應用系統，如善加運用，對於事件當下的情資彙整、分析研判、狀況紀錄以及事件發生後的重整應變到後續教育研究，皆可發揮莫大的助益。

空間資訊未來防災應用發展

台灣世曦本於工程顧問專業對社會貢獻一己之力，並以實際行動發揮企業社會責任。經本次勘災使用無人機及相關空間資訊技術，已可將防災資訊數位保存，提



圖 13 故事地圖以照片及地圖清楚說明避難處所開設位置及現場環境照片圖



圖 14 建物紅黃單位位置故事地圖（0403 花蓮地震）

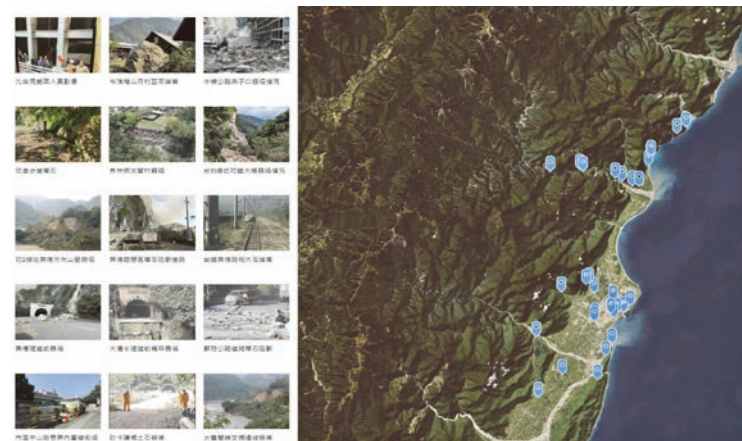


圖 15 震損實況及分佈故事地圖（0403 花蓮地震）

供專業分析與教育訓練之素材，而無人機可於災害發生後發揮機動、快速的勘察效益。經由各種工程結構體於 0403 花蓮地震之受損情形，公共工程及建築物之耐震及防災韌性設計，應為未來須落實的關鍵重點，而在顯見的工程災害搶救與復建之後，其他各種工程設施之特別巡檢調查也應持續進行。

災害發生後，網路社群之資訊非常即時，但如何統

整災害資訊後標定位置，並進行必要之資訊查證，可思考建立機制進一步與國家防救災體系作更緊密之結合。由於無人機設備的產品日益眾多，資源取得容易。建議可由中央及地方防救災體系中建立動員標準作業程序（Standard Operation Procedure, SOP），於災害發生後，快速統合民間專業組織無人機資源加入工程救災體系協助救災與復建。