

遙測技術於土木水利工程上之應用

(二) 一土砂災害資料倉儲系統建置 及莫拉克災區案例分析

蕭震洋* 林伯勳** 陳俊愷* 謝寶珊* 林彥享*** 鄭錦桐****

一、前言

臺灣受到近年全球氣候異常影響，除年平均降雨量近居世界之冠，且防汛期颱風頻繁，以致造成多場降雨延時長且強度高的極端降雨事件；進而誘發臺灣山區的崩塌、土石流、河道淤積等土石災害，且災害類型由過去局部區域的單純洪水或土砂災害，轉變成複雜及大範圍同時發生之多樣性災害，即複合型災害（Compounded Disaster, Complex Disaster），另有發生一連串，彼此有關且具時間次序之二次災害（Secondary Disaster）。國內各防救災權責單位主管不同災害類型，在面對全球氣候變遷下，強降雨引發廣域土砂災害之規模與頻率加劇，已呈常態，又各類災害間存在某一程度之關聯性，倘若災後無法得知災區現況並整合各單位災害情資，勢必影響研判災情之全面性及搶救時效，導致應變決策延後。對於保全對象安全性及後續民生維生系統（水資源、電力等）受損之影響，必須藉由災害分布情形，快速提供即時且優質之決策依據，儼然成為『工程之防災與減災』以及『土木水

利永續發展』面臨之重要課題。

然而，對於平時的环境監測，因無時程壓力，大部分國內各權責單位皆可依據各年度經費逐步階段性完成任務；但災後緊急情況下之快速遙測資料處理流程，國內各權責單位皆無一定標準，且缺乏有助於執行上的資料處理標準操作手冊；另一方面，現國際間已提出通用的遙測資料之詮釋資料格式及發布協定，有助於資料流通及互用，便於不同單位間之資料介接，國內各防災單位亦參考建立相關權責資料倉儲系統並提供查詢及介接服務，本社防災科技研究中心主要以研究防災技術及承接政府防災相關業務為主，故急需建置具相容性高的詮釋資料格式及透明化的相關資訊協定之土砂災害資料倉儲系統，可供以快速查詢即時或歷史災害資訊，並可介接其他災害權責單位之 GIS 圖層成果。

鑑此，本研究以「莫拉克颱風重點災區」為研究案例，已完成（1）建置土砂災害資料倉儲系統、（2）災後快速遙測資料處理流程、（3）災後快速遙測資料處理操作手冊，此三大主軸（如圖1）之內容，說明如后。

* 中興工程顧問社防災科技研究中心副研究員

** 中興工程顧問社防災科技研究中心環境資源監測組組長

*** 中興工程顧問社企劃推廣處正研究員

**** 中興工程顧問社防災科技研究中心副主任

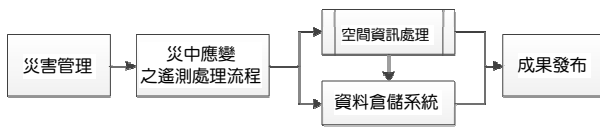


圖 1 本研究三大研究主軸之相互關係圖

二、建置土砂災害資料倉儲系統

土砂災害資料倉儲系統，能應用於災前整備、災中應變及災後復原各階段，並提供防救災資訊分享，以供大量使用者有快速回應、迅速發布空間情資，並提供決策、支援資料標準化以易交換共享使用。考量防救災與災中應變、多使用者同時作業需求，並參考目前本社既有計畫資料夾使用情況、現今市場機器效能與價格、軟體平台之效能與未來系統擴充之彈性，故建置 50 個使用者能同時上線之土砂災害資料倉儲平台作為初步系統規劃。本研究建置伺服器硬體採用 1U 機架式伺服器，其規格列於表 1。同時，本系統設計重點為虛擬化技術導入與資料庫安全控管，其中虛擬化技術的引入，作業系統（Operation System, OS）建議採用 VMWare ESXi，其為市面上最簡單快捷實施虛擬化的方案，而且可以免費使用。使用 VMware ESXi，可一部實體主機上運行多台虛擬機器，執行多個作業系統及應用程式，平台架構設計如圖 2。

為能供大量使用者快速回應、迅速發布災區空間資訊情資、提供決策並支援資料標準化以利交換共享使用，本研究採用符合上述條件之 OPCube™ Server 全球三維地形場景伺服器軟體，其安裝於 Linux 平台之 CentOS 作業系統，主要特色包括：（1）影像以檔案儲存，不以資料庫儲存；（2）影像以原始 Tif 格式儲存；（3）影像不進行實體融合，以虛擬向量概念融合；（4）不需進行圖資前處理；（5）影像縮放與檢視範圍不受限制，符合完整服務導向架構（Service-Oriented Architecture, SOA）（David and Lawrence, 2004）需求；（6）不需儲存快取（Cache），可直接處理並具有較高效率。

表 1 土砂災害資料倉儲系統硬體規格表

廠牌	Dell Inc.
型號	PowerEdge R410
處理器	Intel (R) Xeon (R) CPU E5620 @ 2.40GHz
記憶體	32.0 GB
網路介面	Intel® Gigabit ET NIC, Dual Port, Copper, PCIe-4 x 2
硬碟	2TB 7.2K RPM SATA 3.5" Cabled Hard Drive x4

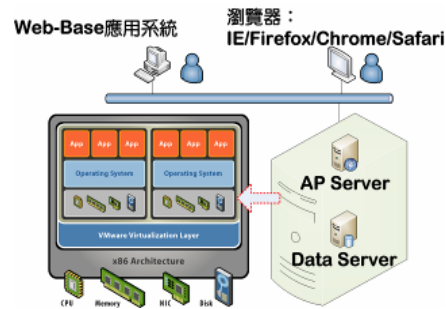


圖 2 軟體平台服務架構設計規劃

國內採用相同系統平台相關單位有：行政院農委會林務局農林航空測量所之「全台鑲嵌正射影像私有雲端服務」、國家高速網路與計算中心之「航遙測防救災影像雲端服務（WMS Cloud Service）」、國防部軍備局中山科學研究院、國家太空中心、國家災害防救科技中心、行政院飛航安全委員會、基隆港務局與相關企業等。

平台主要包括功能選單、WMS 伺服器介接、WMS 目錄服務、圖層清單控制、最新資訊、時序性展示、空間定位及檢索成果與資料申請（購物車）管理等八大主要模組，使用者介面配置如圖 3。

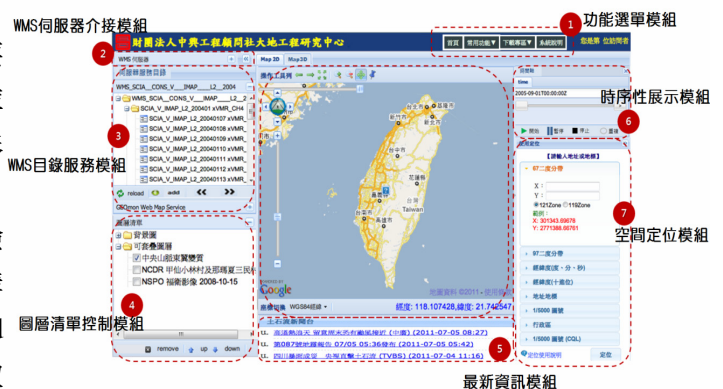


圖 3 圖資平台規劃使用者介面配置

資料建置為本系統重點工作之一，其包含詮釋資料建立及圖資上架等兩大主要步驟（如圖 4）。現已完成文件資料及參考、向量地理資料、地理影像資料、照片、現地調查表及 GPS 測量資料等，共 981 筆資料進行後續相關展示及測試。後續將採教育訓練方式協助同仁自行建置相關遙測及土砂災害資料，以充實該倉儲資料庫。

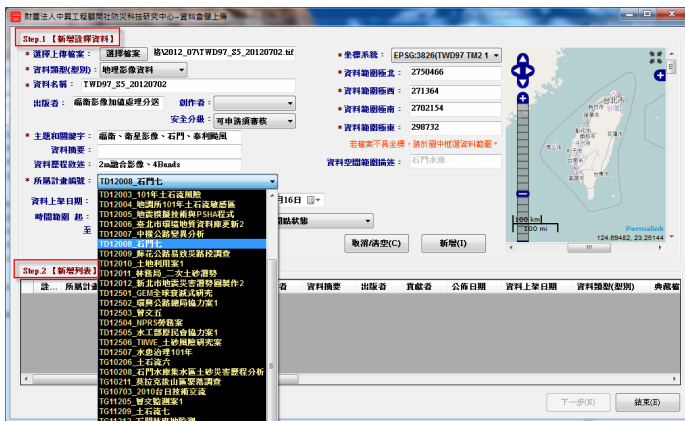


圖 4 詮釋資料建立及圖資上架畫面

同時，本社已於民國 101 年地調所技服案開始使用此資料倉儲平台展示建置成果（如圖 5）；本系統亦可介接既有基礎或防救災圖資，並可套疊於 3D 地形（如圖 6 及圖 7）；另本計畫建立社內之遙測資料倉儲系統，考量資料合法性問題，尚不納入原住民聚落、環境地質資料、地籍等基礎資料，待未來政府資料持續公開後，將依本社各部門需求陸續更新。未來擬透過教育訓練方式，依各計畫或單位需求，自行匯入本資料庫，同時以權限進行分層管理；但若為其他單位產製資料，未來亦將嘗試透過臺灣防災產業協會進行協調，並採國際常用的 WMS 等協定進行資料即時介接。

系統效能評析採全球市占率 68% 的 HP LoadRunner 9.5 工業級軟體測試工具，以模擬 50 人同時上線進行測試環境設定，測試結果顯示平均反應時間在 0.6 秒左右，最大值約 3.4 秒，顯示系統效能可滿足初步系統功能規劃。

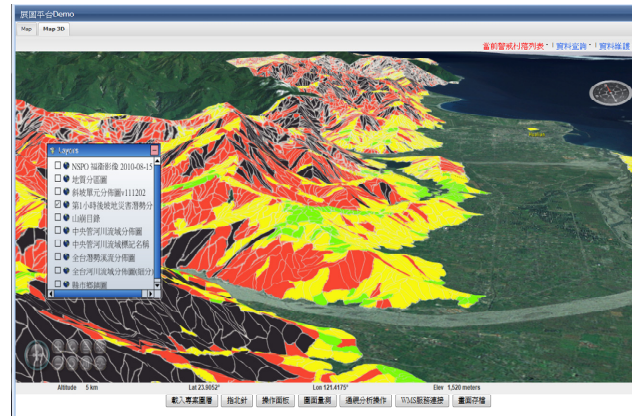


圖 5 地調所資料倉儲平台示意圖

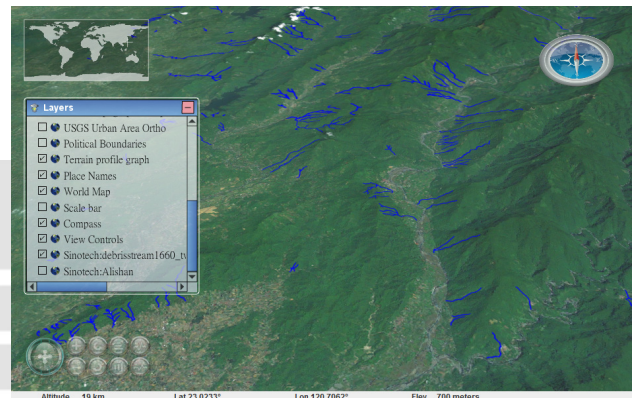


圖 6 既有水保局土石流潛勢溪流介接示意圖

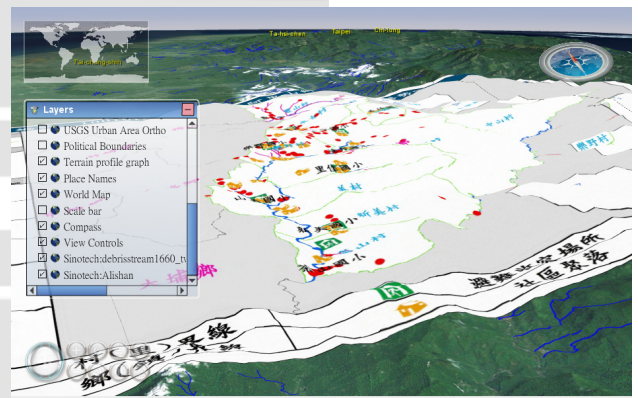


圖 7 既有縣市政府防救災圖資介接示意圖

三、災後快速遙測資料處理流程及對應手冊建立

災害管理的災中應變階段著重於資料蒐集及處理效率，以利災區及時進行防、救災決策支援。但國內防災公部門對於災害情資提供及公布

流程尚未明確，目前僅可向國家太空中心授權之各分送中心提出衛星影像申請；且災後獲得衛星拍攝後的影像多皆未經過影像糾正，無法直接進行崩塌裸露地判釋，進而不能與前期判釋成果進行災害發生前後崩塌裸露地面積變化量分析；另以非測量用之市售數位相機，進行空中或地面拍攝，其僅具有二維影像資訊，若能加值產製粗略三維數值地形資訊，概估災害前後體積變化量，有利於後續防、減災決策。依此，本研究提出災後快速資料處理流程（如圖 8），及對應數值地形快速產製、影像快速糾正、崩塌裸露地自動化判釋、災害規模評估、成果上架與發布等作業方式及 17 本技術手冊。各技術手冊內容皆包括使用軟體、所需功能及模組、範例圖檔名稱、處理流程、操作順序以及配套使用之相關範例檔案，已委請社內同仁按手冊操練，反饋並修正手冊，以確認手冊可供自修學習之可行性，並順利應用於本社之技服案中。



圖 8 本研究提出災後快速遙測資料處理流程圖

四、研究案例

莫拉克颱風（MORAKOT）於民國 98 年 8 月 7 日 23 時 50 分從花蓮登陸臺灣，且於民國 98 年 8 月 7 日至 9 日期間，在臺灣降下達百年頻率的巨大雨量，其中以阿里山測站累積雨量達 2,855mm，創下臺灣歷年觀測紀錄之冠，且 24 小時累積雨量及 48 小時累積雨量也直逼世界歷史紀錄，並造成嘉義、臺南、高雄、屏東、臺東等地之山區及低窪地區多處水患、崩塌及土石流。由此可知，莫拉克颱風的強降雨引發災害範圍廣泛，無法由各單位獨立在短時間透過現地勘查完成資料蒐集及分析，若災後可結合各單位，透過組織分工蒐集及時資料分析，後續再透過標準詮釋資料格式彙整各單位成果，進而提供最有力的決策參考依據，有助於後續救災及減災之工作，並可作為災後重建之有效依據。因曾文水庫集水區遭受極端降雨量、土砂淤積量與影響範圍皆為莫拉克颱風受災區中之最，故本研究挑選曾文水庫上游災區作為重點災區案例，進行災害規模評估，並比較其與標準執行方式之時間及判釋誤差。

災害規模有面積及體積兩種變化量呈現方式，以下分述本研究所提出災害規模之快速遙測資料處理方式：

（一）面積變化量

為於災害發生後能快速掌握土砂災害空間分布，崩塌裸露地判釋方式係採用非監督式影像判釋技術，僅針對衛星影像光譜反應特性及其衍生之 NDVI 值與數值地形計算之坡度作為參考，快速分類後扣除河道與既有聚落區塊，用以劃設崩塌空間位置，再與政府相關單位判釋結果進行比較、說明差異性。福爾摩沙衛星二號（簡稱福衛二號），是屬於我國的遙測資源衛星，一旦臺灣地區遭遇重大災害或緊急事件時，如莫拉克颱風

侵台期間，國家太空中心便改採最大可取像範圍進行拍攝，已提供相關單位進行災情判讀及後續分析。故本研究採用民國 98 年 10 月 23 日之福衛二號單幅影像作為判釋基礎資料。

經由原始多光譜影像產製 NDVI、門檻值設定、土地利用圖資篩選、扣除河道範圍等快速判釋後，統計同範圍內面積大於 $40m^2$ 者，本計畫快速判釋崩塌地結果為 374.84ha，比較地調所於災後判釋成果，莫拉克颱風後曾文水庫集水區之崩塌裸露地，總面積為 380.21ha，其空間分布對比如圖 9。假設人工判釋為正確資料，則快速判釋與人工判釋於崩塌區位及面積完全一致者有 221.78ha，相當於正確率為 58.3%；若改以崩塌面積大於 10ha 之崩塌地結果進行比較，則區位及面積完全一致之正確率上升至 80.4%（如表 3）。經由快速判釋崩塌地流程，可於取得影像 2 小時後完成，為一般處理流程時間的四分之一（如圖 10）。隨災害影響範圍擴增，則可節省更多資料處理時間，顯示本研究快速判釋崩塌地方式能有效縮短判釋及分析時間，深具效率性，但若遭遇較小規模崩塌地周緣有較大面積陰影影響，以致影像光譜特徵較為相近，將易被本研究所提快速判釋方式所忽略，故目前較適用於大於 10ha 之大規模崩塌判釋，待後續研究再嘗試改進。

表 3 崩塌裸露地判釋比較表

篩選條件	快速判釋面積 (ha)	人工判釋面積 (ha)	區位及面積一致正確率 (%)
崩塌面積 $>40m^2$	374.84	380.21	58.3
崩塌面積 $>10ha$	274.69	313.25	80.4

註 1： $40m^2$ 係以福衛二號為例，最小可辨識單元 10 個網格計算。

註 2：10ha 係參考 NCDR (2011) 所定義之大規模崩塌：面積超過 10ha、深度超過 10m 或土方量超過 10 萬 m^3 以上之山坡土（岩）體滑動。

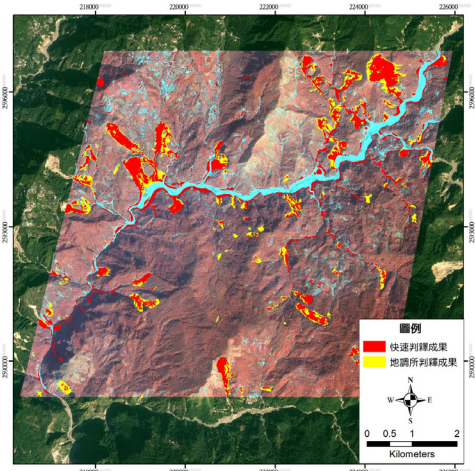


圖 9 莫拉克颱風後曾文水庫集水區上游崩塌裸露地比較圖

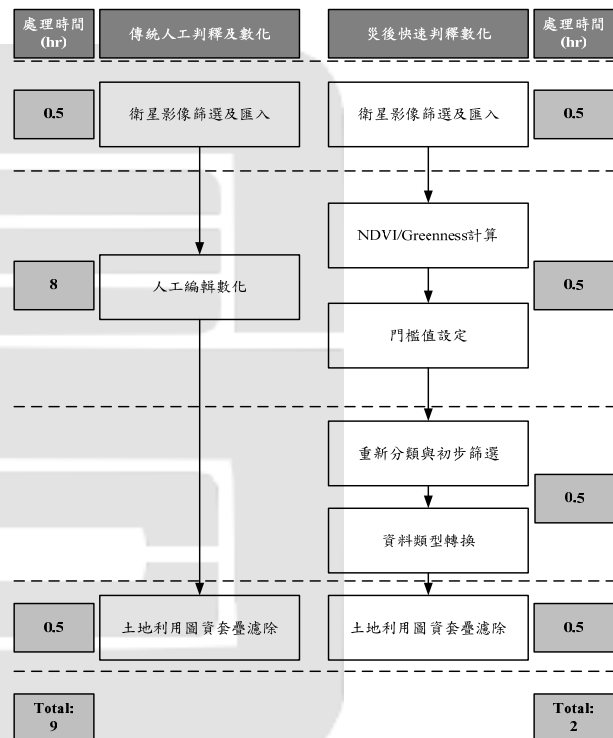


圖 10 崩塌地判釋耗費時間比較圖

(二) 體積變化量

體積變化量較能完整反應災害規模，且可瞭解颱風或豪雨引致崩塌及土石流災害之土砂運移的情況，進而推估後續主要土砂供應可能來源。若坡面或河道之後期相較前期地形為低，則為崩塌或河道下蝕、側淘，亦為土砂流失區，反之，

若為高，則為土砂堆積區，一般常使用數值地形前後期相減法來評估體積變化量（如圖 11）。本研究以曾文水庫集水區上游樂野大崩塌為例，於民國 100 年 6 月 14 日，藉由具有機動力強、時效性快、經費較廉、及較寬鬆天氣條件即可操作的優點等特性之無人載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）進行空中拍攝，取得 48 張樂野大崩塌清晰、全面之中低空照片（如圖 12），並將作為後續數值地形產製及災害規模評估之用。本社所提出之「快速型非常規攝影量測技術」使用 Photosynth、SynthExport、JAG3D 等三套免費軟體進行三維重建及坐標轉換，將散漫之點雲資料透過克利金法（Kriging）方法，來快速製作網格式數值地形（如圖 13），並經以六點檢核點之空載空達高程值比較，其高程誤差絕對值從 3cm 到 3.81m，高程誤差絕對值平均約 1.98m，故應已適用於高程變化量較大區域之災害規模評估。同時，因快速非常規攝影量測技術相較於目前常用之傳統常規航空測量之工作效率較佳，僅需傳

統處理時間的十三分之一（如圖 14），故適用於災後快速評估。但災後重建階段之測量資料仍需使用準確度高之傳統航空測量或空載 LiDAR、甚至地面測量較為適合。

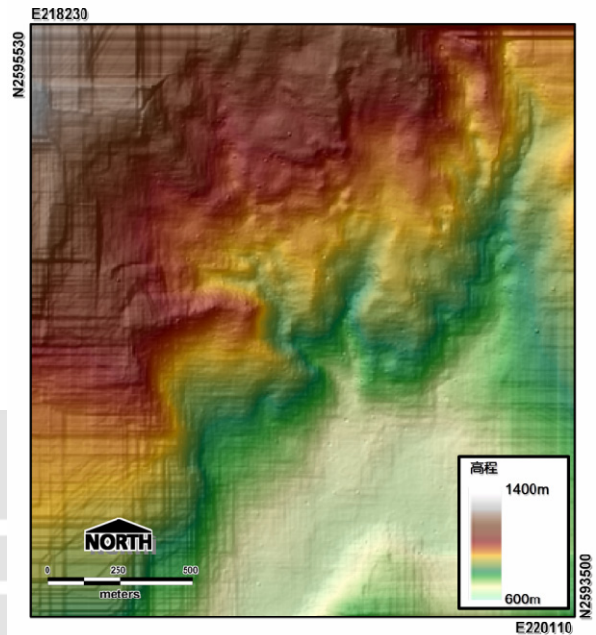


圖 13 DSM 成果圖

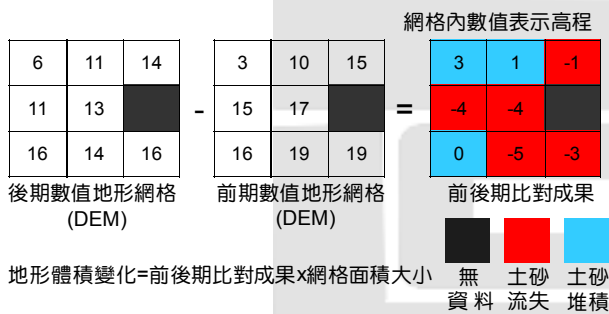


圖 11 數值地形前後期變化量計算示意圖

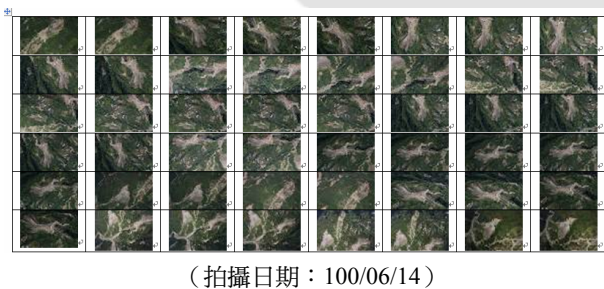


圖 12 以 UAV 於樂野大崩塌多角度拍攝成果示意圖

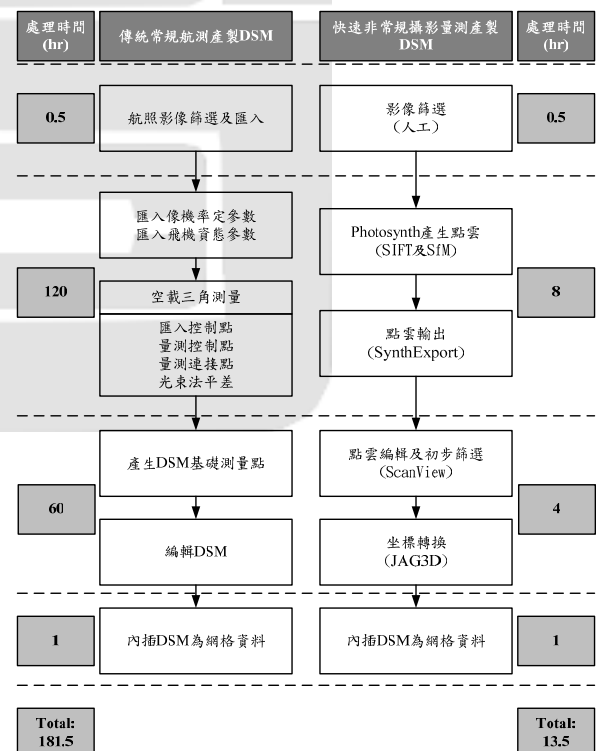


圖 14 量測產製 DSM 之耗費時間比較圖

由於莫拉克颱風災前已有本研究區域之 5m x 5m 解析度之數值地形資料，故將本研究快速產生之三維重建成果與災前數值地形資料，使用 ArcGIS 進行前述災害發生前後地形資料之高程差異量計算。圖 15 (a) 為地形高程差異量計算成果，其中總殘留土方量為 3,567,425m³；總流失土方量為 -6,530,604m³；分析區域總產出土方量為 -2,963,179m³（如表 4），其中，兩側崩塌坡腹及鄰近曾文溪主河道區域，堆積較多本次崩塌之不穩定土方，後續治理應慎防土石崩落。此外，本研究亦以僅差距一日的水保局空載 LiDAR 施測成果與災前數值地形資料，使用 ArcGIS 進行地形高程差異量計算，圖 15 (b) 為地形高程差異量計算成果，除流失及堆積殘留區域大致上皆與本研究提方法之評估成果相符外，總殘留土方量及總流失土方量亦僅分別有 5% 及 7% 之差異。故以資料處理時效性及相對誤差量而言，

表 4 崩塌裸露地判釋比較表

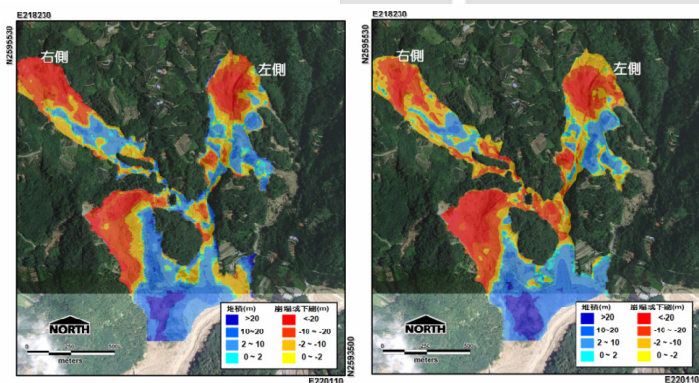
方法	土砂生產 (m ³)	土砂殘留 (m ³)	流出 (m ³)
快速非常規攝影量測	-6,530,604	3,567,425	-2,963,179
空載 LiDAR	-7,053,896	3,394,893	-3,659,002
空載 LiDAR 評估成果之相對誤差 (%)	7%	5%	19%

（備註：負值為土砂生產或流出；正值為土砂殘留）

顯示本研究所提方法應已適用於災害之快速量化評估。未來若發生大型土砂災害，建議可應用 UAV 或地面拍攝災區照片，後續可依本研究方式進行受災範圍及災害規模評估，應有助於及時提供防災決策之量化參考資料。

五、結 論

本研究回顧各項災後快速遙測資料處理之資料格式及適用技術之相關文獻，據以制定土砂災害資料倉儲之詮釋資料格式，並完成遙測資料倉儲系統軟硬體規格規劃與建置，利於本社後續與外單位資料交互查詢及交換；同時建立災後快速遙測資料處理流程、技術文件格式，培訓專業處理人才，預期將可有效提升並強化本社人員遙測資料處理能力；以莫拉克颱風之曾文水庫集水區為例，示範災後快速遙測資料處理技術進行情境模擬，就時間效率而言，相較早期處理方法可縮短三分之一至二分之一資料處理時間，未來若遇到新災害，將有助於災中應變階段，快速提供主管機關災後速報第一手分析成果。



(a) 快速非常規攝影量測技術

(b) 空載 LiDAR

圖 15 體積變化量評估成果圖

中興社研發叢書及電腦程式銷售

中興工程顧問社已發行研發、編譯叢書 303 種及電腦程式 22 套，多屬規劃、設計、施工、管理等方面之工程技術，其叢書及程式目錄、售價、摘要、申購表、繳款方式及信用卡繳費單等，皆已上「中興工程顧問社」之網站 www.sinotech.org.tw，歡迎上網查閱選購；若需進一步查詢請電話或傳真至電話：(02)8791-9198 轉 473 馬小姐，或傳真：(02)8791-2198