



應用無人飛行載具於山崩及河道變遷之量測分析 — 以來社溪為例

廖達峻／台北科技大學土木與防災研究所 碩士

張國楨／台北科技大學土木與防災研究所 教授

曾志民／長榮大學土地管理與開發學系 教授

黃敏郎／聚禾工程顧問有限公司 技師

無人飛行載具為近年來新興而熱門的技術，在防災方面擁有許多發展空間及優勢。本研究以來義鄉來社溪流域為例，進行流域內之山崩，以及崩積物下移對河流侵蝕行為的觀察，評估自然災害以及後續環境變異分析。來社溪全長 12 公里，流域面積 69 平方公里，區內山高谷深，每逢颱風豪雨，山區容易發生山崩、土石流等災害，且人員不易進入災區勘查。莫拉克颱風期間造成大量土石崩落，崩積物堆積於坡面及河道，後續漸次的土方下移，似有可能造成下游環境衝擊。來社溪成為土石流潛勢溪流之一，且至今上游仍在持續崩塌中，是變異性較大的區域，而大量的土砂沖淤也造成當地居民生活及財產上的損失。利用無人飛行載具的特性針對人員無法到達的區域進行多期影像的航拍任務，並且將不同時期拍攝的航空影像建置成數值地形模型，透過不同時期模型的比對來模擬河道變遷、土砂堆積量、崩塌量計算、高程變化等追蹤及分析。本研究所使用的影像為七個期數的影像資料，將七期的數值地形模型相互比較後發現來社溪在莫拉克風災後造成河道中游和上游大量的土石崩落，造成河道側向嚴重侵蝕，尤其在中上游地區最為顯著，崩塌後的土砂隨著洪水被沖往中下游形成大量的淤積，使中上游地區平均淤積了約 12 公尺高，而下游地區平均淤積了約 4 公尺高。鬆散的土砂每逢大雨就會被沖刷至下游造成來社溪沿岸居民財產上的損失，因此本研究透過模型的比對將來社溪的河道變遷、崩塌區量體、土砂淤積量、高程變化量等計算，本文再次呈現無人飛行載具於防救災應用之可能性及優勢，並且探討災害的預防與防災的可行性。

緒論

台灣島的形成式由歐亞板塊與菲律賓海板塊相互聚會擠壓所造成，南北向狹長的地形造就東西向河流較為短促，尤其是山高坡陡的山谷地形每逢豪雨就容易造成山崩、土石流、土石滑動等災情，並隨著全球氣候變遷的影響，颱風等天然災害的次數更加頻繁。天然災害的調查工作，因為地形的限制、位於偏遠地區、山區土石崩塌或災後道路中斷等情況導致無法到達現場，以往的調查研究，常常只能透過現地調查，或由傳統的遙測影像來進行。近年來由於無人飛行載具（unmanned aerial vehicle, UAV）或無人飛機系統（unmanned aircraft

system, UAS）的技術蓬勃發展，影像解析度和品質都有大幅的提升，能夠提供大範圍的影像資訊針對相較於人力無法到達的區域。無人飛行載具搭載相機所拍攝的航空像片相較於傳統飛機拍攝的影像還精細，能夠建置精度較高的數值地形模型（Digital Terrain Model, DTM），可以用來比較不同期數的數值地形模型中的地形地貌變遷。此外，針對輸砂量的評估，通常是藉由降雨量、河川流量、懸浮顆粒及流速等數值來估算，但是無法了解較大土石搬運的情況，因此可以透過建置數值地形模型來了解前後期集水區內發生山崩、土石流及河流中沉積物的搬運模式。

本研究透過無人飛行載具的特性針對人員無法到達的區域或是山區因為豪大雨造成道路阻斷無法前往的區域進行航拍任務，將拍攝完的航拍照片透過軟體建置成數值地形模型，並且透過不同期數的航拍資料所建置的數值地形模型相互比對後，針對河道侵蝕、搬運與堆積進行河道變遷分析，最後透過不同期數的數值地形模型來分析環境變異及災害評估。

研究區域

本論文研究區域為屏東縣來義鄉，來義鄉位於屏東縣內東部中段、中央山脈以西，海拔平均在 300 公尺以上，境內山高谷深，地勢起伏甚大，有來社溪、瓦魯斯溪、尖刀尾溪、力力溪及多條野溪流經，氣候屬熱帶季風氣候，居民以台灣原住民排灣族為主。其位置介於萬巒鄉之東、泰武鄉之南、達仁鄉之西、春日鄉之北，來社溪流域面積約為 69.82 平方公里。

高山河谷地形使無人載具的飛行高度需介於 1,500 至 3,000 公尺之間，在執行航拍任務時會因為風速過大與雲霧遮蔽的情況造成航拍上的困難。

研究方法

研究方法與流程

本研究是利用無人飛行載具搭載相機對山谷、河道、人工建築物進行拍攝並將影像建置數值地形模型，主要目的為透過不同期數的模型研究來社溪的河道變遷、山崩土石滑落、河道淤積等。

首先選定拍攝區域，出任務前務必確認天氣狀況，因為本研究拍攝的地方為高山河谷地區，飛行的高度會比以往其他無人飛行載具飛平原地的航高來的高，所以時常會有雲霧遮蔽的情形發生。確認地面監控站與設備狀況都正常後，即可在腹地較大的空曠區域進行無人飛行載具的航拍任務。

使用之無人飛行載具比較

本研究團隊主要使用的 UAV 為 Skywalker X8 (圖 1)，是本研究室購入之一航空模型飛機，並以開源飛行控制系統 APM (ArduPilot Mega 2.6 autopilot) 之軟硬體，再自行組裝為定翼型無人飛行載具。本無人機負載電池後可另搭載重量 700 g 相機，載機實際上單一航次可飛行時間為 90 ~ 120 分鐘，飛行航速約為 10 ~ 15 m/s。



圖 1 Skywalker X8 無人飛行載具

另一台為智飛科技股份有限公司拍攝來社溪流域時所使用的汽油式無人飛行載具 (圖 2)，可以搭載的重量以及飛行時間都較電池式的無人載具來的高，能夠有效解決高空航拍任務遇到強風的困擾。



圖 2 DoDo Pro 無人飛行載具

數值地形模型建置流程

本研究使用 Pix4Dmapper 軟體建置數值地形模型，將不同期數的數值地形模型透過軟體 ArcGIS 進行河道變遷分析計算，模型的產製流程可以分為以下四項步驟：

1. 匯入基本參數。
2. 初始化 (Initial Processing)。
3. 點雲加密 (Point Densification)。
4. 數值地形模型與正射影像 (DSM and Orthomosaic)。

透過加密後的點雲進行內插得出數值地形模型 (圖 3)，並將每張像片經過傾斜校正、高差校正後的影像拼接在一起，產製出完整的正射影像 (圖 4)。

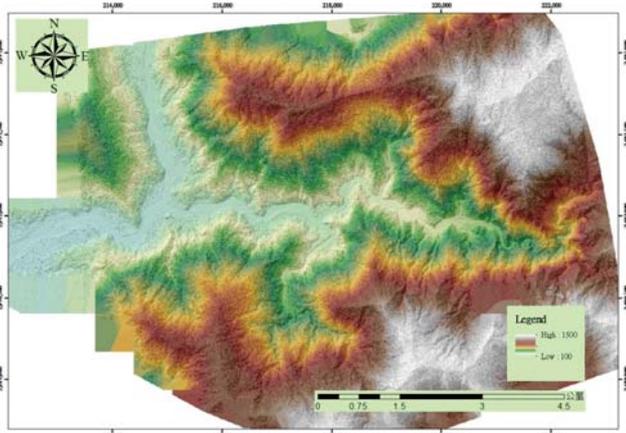


圖 3 Pix4Dmapper 所建置之數值地形模型

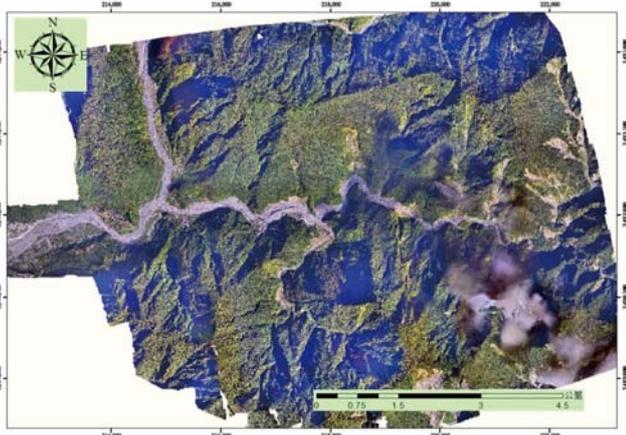


圖 4 Pix4Dmapper 所建置之正射影像

研究成果

數值地形模型建置成果

本研究透過 Pix4Dmapper 建置一共七期的數值地形模型與正射影像，影像來源依序可以分為傳統航空相片、推掃式航空影像 ADS40、LiDAR、UAV 等四種，其中透過 UAV 所建置出的模型與圖像解析度均優於其他三種。透過 2010 年 LiDAR 模型為基準進行平差，讓每個模型的高程基準能夠回歸在相同的情況下才能進行後續量體計算。

表 1 歷年影像資料

日期	2009 04/10	2009 08/28	2010	2013 07/30	2015 01/23	2015 05/21	2015 11/06
來源	Air photo	ADS40	LiDAR	UAV	UAV	UAV	UAV
面積 (Km ²)	80	32	>150	1.5	67.5	22.5	69.8
圖像解 析度	30cm	15cm	--	8cm	15cm	12cm	15cm
模型解 析度	2m	2m	1m	8cm	17cm	15cm	20cm

數值地形模型精度分析

由於來社溪流域經過多起颱風事件後有多處山崩與河道淤積等情形，故選取了不易變動的階地堆積層做為精度評估，評估的位置為義林村大後部落，區域內的高程差幾乎都在容許誤差範圍內，其整體中心大致在 0 的位置，此區域的精度為可接受範圍，其他較大的差異均為不同時期地上的人為植被及建物的改變所引起。高程誤差位置圖與誤差分布圖如下：

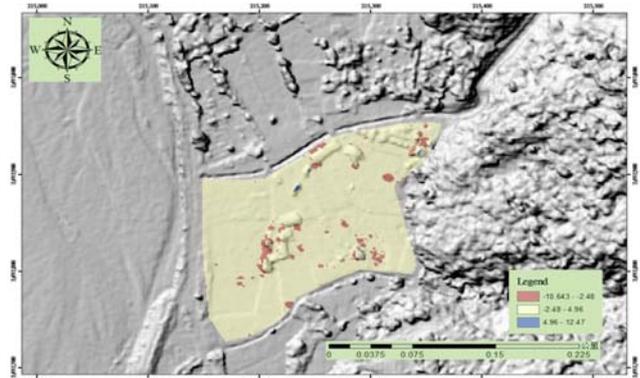


圖 5 LiDAR 與 2015/11/06 DSM 高程誤差值分布位置圖

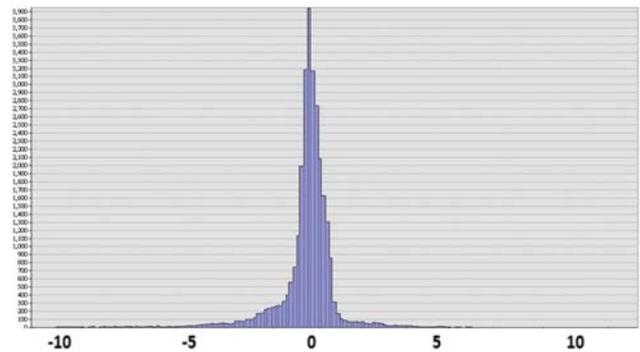


圖 6 點位誤差分布圖

表 2 高程精度評估

(2015/11/06 DSM - LiDAR DSM)

單位：m

較差上限	較差下限	平均垂直誤差	標準差	容許誤差範圍
12.47	-10.64	-0.14	1.24	-2.48 至 4.96

成果討論

河道範圍變化分析

透過七期的數值地形模型相互比對之下，針對單一事件或多起事件所造成的河道變遷情形，主要案例分析為時間最遠的 2009 年 4 月至 2015 年 11 月的前後期河道變遷分析與 2009 年 4 月至 2010 年的莫拉克風災所造成的河道變遷。如圖 7 及圖 8 所示，指示河道於風災前後之侵淤情形，剖面位置指示於圖 7 之紅色線段上。

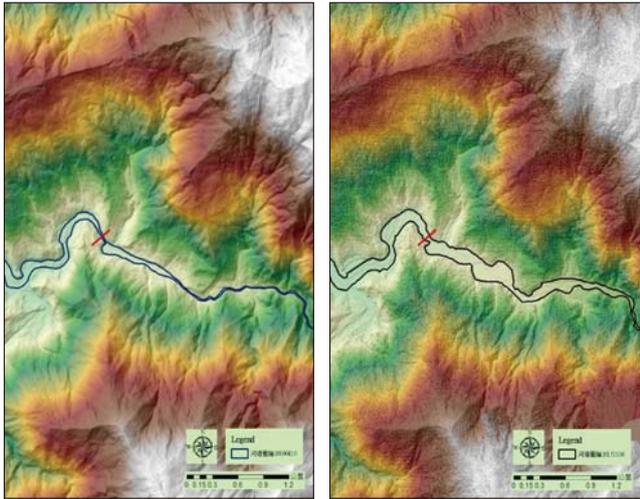


圖7(a) 上游地區 2009/04/10 DSM 判釋河道之圖繪情形 圖7(b) 上游地區 2015/11/06 DSM 判釋河道之圖繪情形

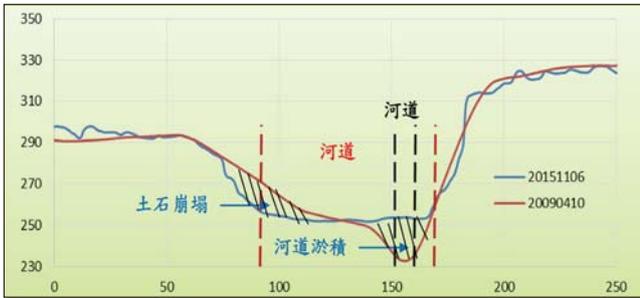


圖 8 上游地區以剖面線判釋之河道變遷及侵淤位置

前後期河道變遷分析

首先將來社溪流域分為六個區段各別分析，透過前後期的數值地形模型比對後可以判釋出河道寬度的變化，再將模型相減所得到的高程變化圖來計算各區段的崩塌量以及河道淤積量，即可得到來社溪流域前後期的河道變遷情形（圖 9）。

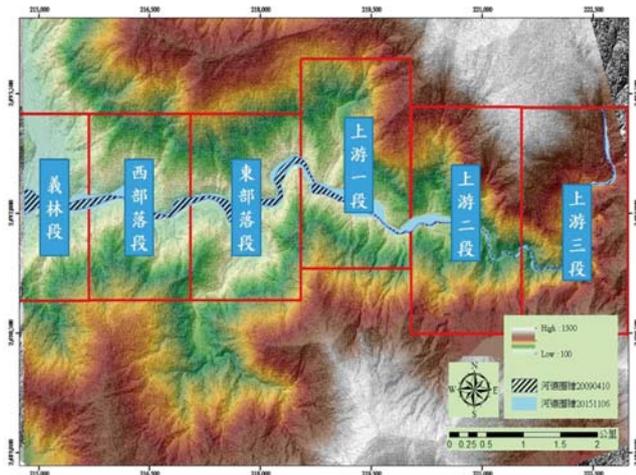


圖 9 來社溪流域各區段命名與範圍

崩塌區量體計算

透過高程變化圖與數值地形模型的比對了解崩塌區的位置並且圈繪計算出崩塌量，以下介紹前後期的崩塌量與莫拉克風災後崩塌量計算成果，並可以從全區總崩塌量判釋出風災所造成的崩塌量占了總崩塌量的 85% 以上。

河道淤積量計算

透過上節的河道範圍變化分析得知河道位置後透過軟體計算將河道高程變化擷取出來並且計算來社溪流域全區的河道淤積量，以下介紹前後期與莫拉克風災後所造成的河道淤積量計算成果，並可以從淤積量比較中得知風災所造成的土砂淤積約有一半以上還堆積於河道上尚未清除。

崩塌區	面積 (萬 m ²)	平均高程差 (m)	體積 (萬 m ³)
攻擊坡	12.73	-7.15	-91.01
東部落攻擊坡	14.74	-6.54	-96.39
舊有崩塌地	39.52	-6.38	-252.13
內社溪聯外道路	13.33	-8.28	-110.37
總崩塌量			-549.92

表 3 來社溪於莫拉克風災後各區段崩塌量比較圖

崩塌區	風災後崩塌量 (萬 m ³)	風災後至 2015 年 11 月崩塌量 (萬 m ³)
上游三段	-912.44	-1172.50
上游二段	-900.67	-1007.36
上游一段	-725.08	-846.68
東部落段	-599.27	-549.92
西部落段	-2.11	-22.06
義林段	-23.86	-17.89
總合	-3163.43	-3616.41

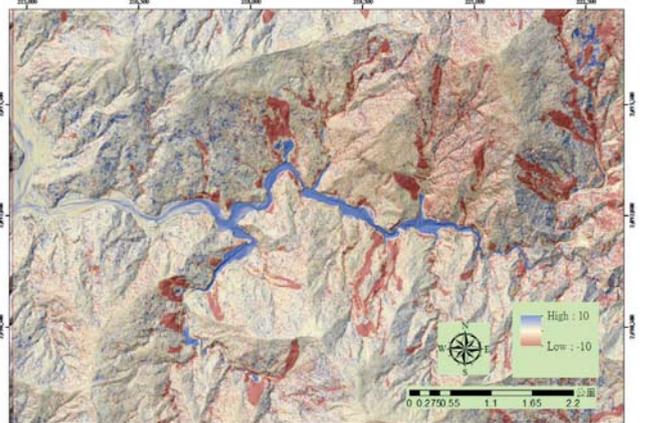
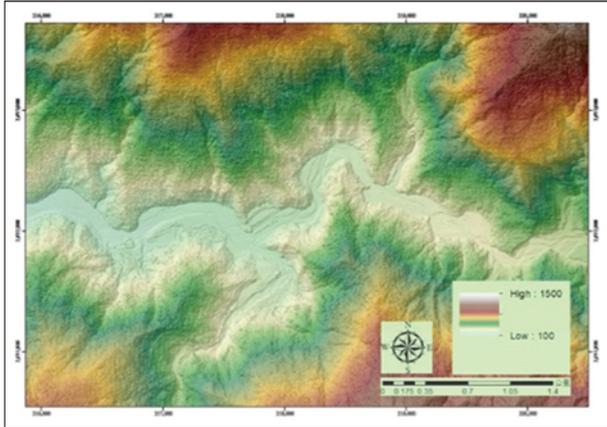
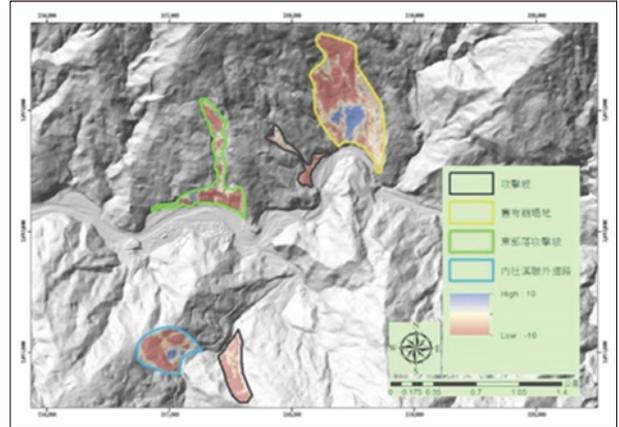


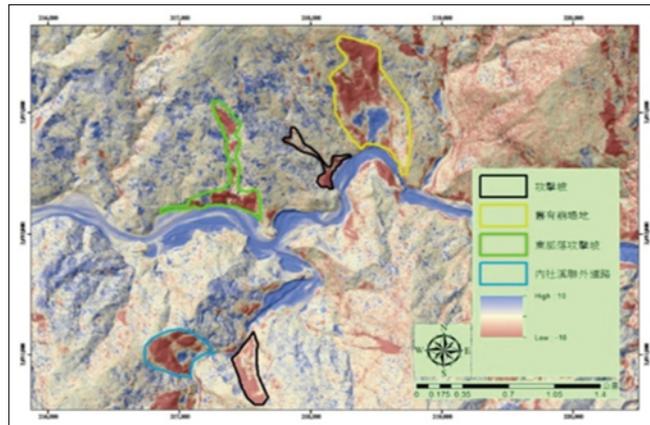
圖 10 來社溪流域高程變化圖 (藍色：堆積／紅色：侵蝕)



2015/11/06 數值地形模型



東部落段崩塌區位置



東部落段崩塌區高程變化圖



圖 11 前後期與風災後崩塌量橫條圖

表 4 來社溪於莫拉克風災後各區段河道淤積圖

區段	風災後河道淤積總量 (萬 m ³)	風災後至 2015 年 11 月河道淤積總量 (萬 m ³)	風災後侵淤深度 (m)	風災後至 2015 年 11 月侵淤深度 (m)
上游三段	-28.04	-50.63	-2.33	-5.44
上游二段	257.19	73.24	13.79	6.55
上游一段	279.63	133.10	11.10	5.47
東部落段	240.19	169.32	8.14	6.91
西部落段	53.81	74.24	2.84	4.02
義林段	28.81	44.32	2.54	3.26
總和	831.59	443.59		

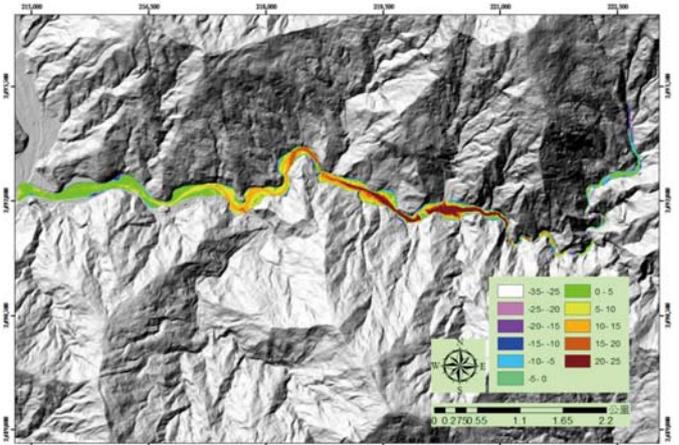
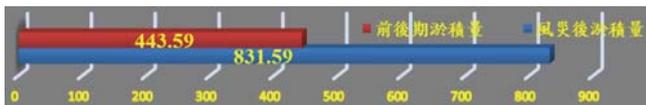


圖 12 來社河流域河道淤積圖 — 莫拉克風災

莫拉克風災造成來社河流域大量土石淤積於河道上，至 2015 年 11 月仍有一半以上的土砂尚未清除，因此可以透過前後期的河道縱剖面圖判釋出剩餘的土砂淤

積位置，從縱剖面圖得知上游與下游坡度幾乎一樣，而中游地區有明顯的坡度變緩的趨勢，故判定風災後淤積於河道的土砂仍有一半以上堆積於中游地區。

來社溪流域多期影像判釋易致災地區

在圖 13 高程變化圖中黑框處的地方在莫拉克風災發生後在中游地區河道中唯獨這塊為侵蝕作用而非堆積作用，從圖 14 的高程變化圖也是如此，因此判定該處在風災前為天然的土堤壩阻隔了來社溪主河道，不排除為堰塞壩的可能。

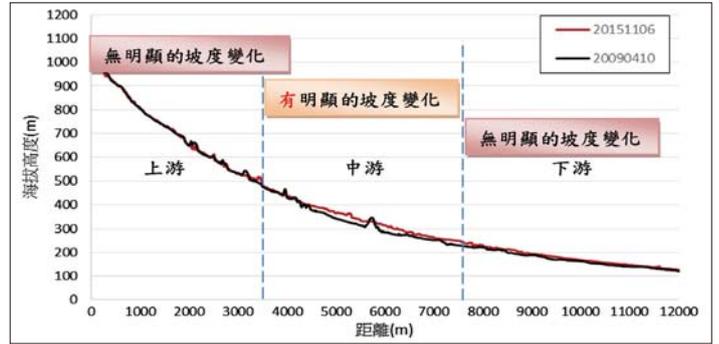


圖 13 來社溪河道全段縱剖面圖

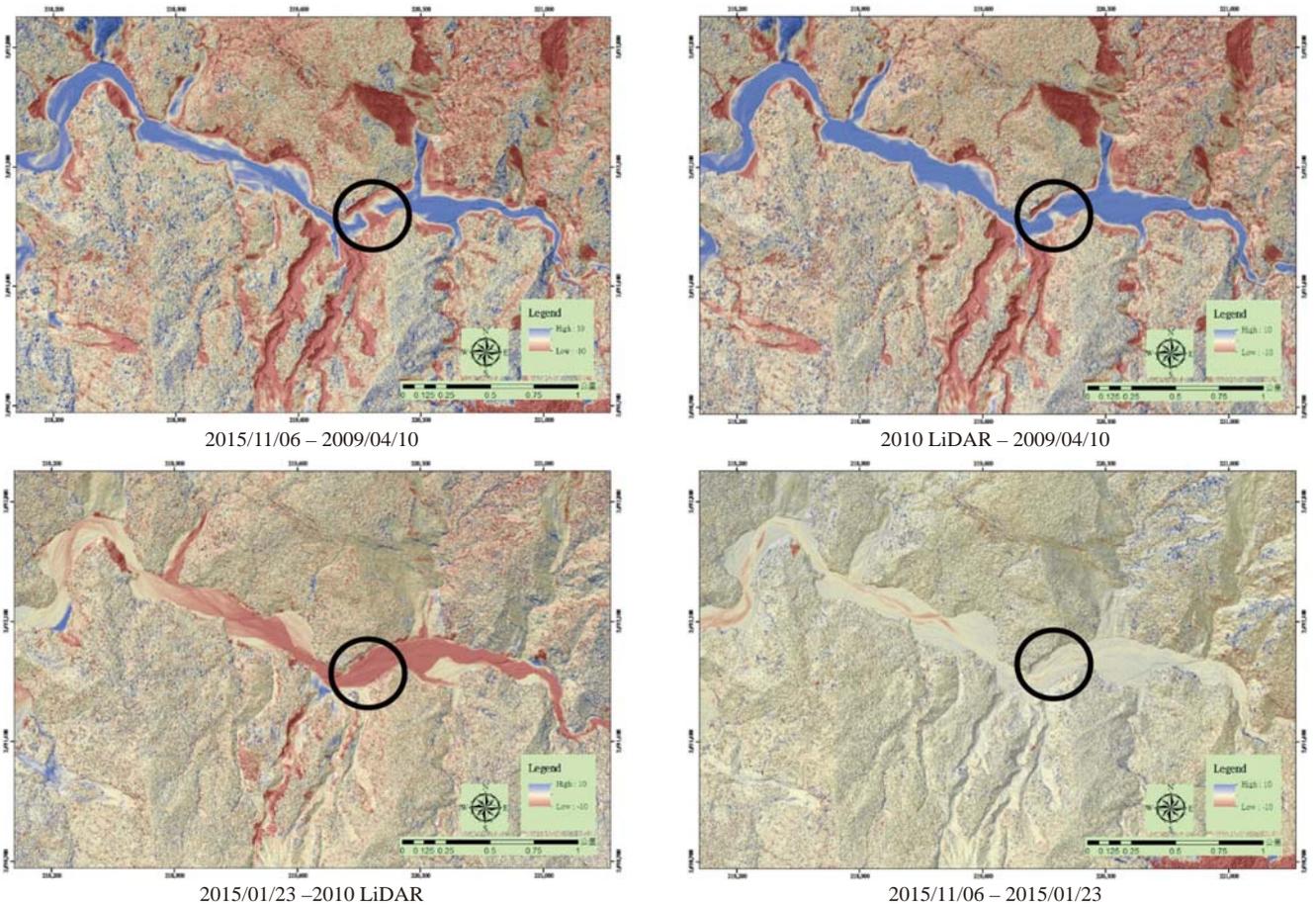


圖 14 來社溪中游地區高程變化圖

根據行政院農業委員會水土保持局針對 98 年莫拉克風災的災害描述中提及：初步推測為上游土石崩塌堵塞河道，形成之堰塞湖潰決後夾帶土砂沖刷至下游，與本研究透過數值地形模型的比對推測出可能為堰塞湖的情形吻合，因此判定透過數值地形模型的比對應用於防災上是可行的。



圖 15 行政院農委會水保局 98 年莫拉克風災最速報

結論與建議

結論

1. 莫拉克風災造成來社溪流域全區大規模土石崩塌及嚴重的河道淤積，依序為上游侵蝕、中下游淤積，而其中又以中游地區淤積程度最為嚴重。
2. 莫拉克風災後造成河道面積從 52.8 萬平方公尺變寬為 115.5 萬平方公尺，約為風災前的兩倍，河道變寬為河道淤積所致。
3. 莫拉克風災後至 2015 年 11 月之間河道約有一半以上因為風災造成的土砂淤積量，尚未清除。
4. 前後期模型比對後得出風災前至 2015 年 11 月來社溪河道總變化情形，上游地區平均侵蝕了 8.5 公尺，中游地區平均淤積了 6 公尺，下游地區平均淤積了 4 公尺。
5. 透過數值地形模型的比對能夠針對變異性較大的區域進行防災監測和判釋易致災地區。

建議

1. 利用數值地形模型進行量體計算時必須將模型的水平校正與高程平差後才能計算，而高程平差的點位應平

均分布於模型上並且數量大於 30 個點以上較佳。

2. 本研究透過 LiDAR 的高程資訊萃取出三維座標作為控制點進行模型建置，如果能添加現地量測的控制點就能將模型精度在提高，增加量體計算上的準確度。
3. 在高山河谷執行航拍任務的時候盡量避免山區雲霧遮蔽的情形，雲霧遮蔽的情況太嚴重會造成模型建置後該區域的地面高程跑到雲上而造成量體計算上的錯誤。

參考資料

1. 陳彥婷、盧杰志、林喬莉、林秉賢、連惠邦，2014，來社溪野溪清疏方案之二維數值模擬分析，中華水土保持學會年會及學術研討會論文摘要集。
2. 黃煜婷，2013，莫拉克風災河道淤塞及變遷 - 以荖濃河流域為例，國立臺灣師範大學地球科學研究所碩士論文。
3. 蕭國鑫、劉進金、游明芳、陳大科、徐偉城、王晉倫，2006，結合空載 LiDAR 與航測高程資料應用於地形變化偵測，航測及遙測學刊，第十一卷，第三期，第 283-295 頁。
4. 黃美甄，2014，地面控制點對無人飛行載具數值地形模型精度影響之評估，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文。

潤泰營建團隊 跨時代整合服務

潤泰將營建工程中所需的專業公司，包括開發/設計/建築/結構/機電/室內工程/保全管理等，全部設立於體系內，更能發揮垂直分工與水平整合的效益，是建築業少見的全方位工程團隊。

