

結合空載 LiDAR 與彩色航照應用於崩場地研判

劉治中^{1*} 蕭國鑫¹ 饒見有² 劉進金³ 吳哲榮¹ 黃群修⁴

摘要

本研究結合彩色航照與空載光達資料，藉由半自動化方式辨識崩場地，並利用三維立體展示的人機操作介面，供人工判釋及編輯崩場地邊界向量資料。其中彩色航照利用綠度指數，空載光達資料則利用數值高程模型(DEM)與數值地表模型(DSM)，除計算地物高度模型(OHM)與坡度資料外，亦結合地表粗糙度(Roughness)來確定崩場地範圍。初步成果顯示利用上述參數，依訓練樣區統計資料選定適當之門檻值後，可有效地偵測出局部範圍的崩場區位置；對於誤判的地區，藉由開發的三維立體編修系統，可以透過人工進行必要之修正。另配合崩場地完整屬性需求，亦設計了及時研判功能，並依崩場地發生之位置、形狀、滑動面型態及崩塌方式等，建置崩場地的地質屬性，提供後續之規劃參考用。

關鍵詞：崩場地、數值高程資料、空載光達

1. 前言

台灣地區有 27.31%的山坡地(海拔 100~1,000 公尺)與 46.01%的山區地形(海拔 1,000 公尺以上)，且山區地形陡峻、溪流湍急、岩性脆弱、地質構造複雜、土壤鬆軟，而平均年降雨量亦達 2,500 毫米之多；加上 921 地震後，部分地區的表土因劇烈搖晃而鬆弛，所以逢颱風或豪雨時極易觸發土石崩塌。其中崩塌土石對集水區直接的影響是土壤沿著山溝與河流冲刷到下游地區，並堆積於水庫底層，造成水庫蓄水量下降，同時也造成水質污濁而影響供水，導致民生困境與經濟損失。而山崩若未能儘早復原，雨水將逐漸冲刷表層土石，進一步降低水庫蓄水功能，而減少水庫壽命。

傳統的崩場地研判為利用外業調查，或是藉由航、遙測影像進行辨識；但野外調查受限於交通問題與地形因素，所以有其困難性。另取得目標區完整的航照資料，雖然辨識的精度較高，且航照立體對亦可以產製高程資訊，但對於地表覆蓋型態的辨識須透過人為的方式，亦很少利用高程資訊輔助研

判崩場地分布。遙測衛星影像利用大面積涵蓋的優勢，短時間內可獲取大範圍的影像，但因空間解像力(Spatial resolution)限制，對於較細微崩場區的研判仍然有盲點存在(蕭國鑫等，2003)。地面三維雷射掃描(Ground-based 3D laser scanning)具有高的機動性、高精度與高解析獲取地形資料的優點，但受限於儀器的架設地點與掃描有效距離等因素，所以可掃描的有效範圍亦有相當高的限制，特別是有高密度植生覆蓋的地區(蕭國鑫等，2005)。

目前的空載光達(Light Detecting And Ranging, LiDAR)掃描在天候許可下，已可同步獲取好品質的彩色數值航照；除了具有大範圍與低死角觀測的能力外，平時或災害發生後，亦可針對大範圍地區進行全面性的調查工作。其中獲取的空載光達點雲(Point clouds)資料，配合 DGPS 差分定位及慣性導航系統(Inertial Navigation System ; INS)，可直接換算得到點雲的三維坐標，且高程精度達公分級(內政部，2005)。而後續航照正射化之空三平差及地物分類等處理，也已經可以達到相當高的自動化程度。

¹ 工業技術研究院綠能與環境研究所 研究員

² 國立成功大學測量與空間資訊學系 助理教授

³ 工業技術研究院綠能與環境研究所 正研究員

⁴ 農委會林務局企劃組 科長

*通訊作者，電話：886-3-5915468, E-mail: cclau@itri.org.tw

收到日期：民國 99 年 05 月 13 日
修改日期：民國 99 年 06 月 21 日
接受日期：民國 99 年 07 月 28 日



空載光達資料提供高密度的三維點雲資訊，而航空照片則可提供土地利用/覆蓋物分析，也可以進行三維空間資訊萃取。在自動化資料處理過程中，運用航照正射影像主要目的在於地表覆蓋物分析，以及能明確地定義不同地物的邊界。而空載光達的角色主要在提供地物第三軸的空間資訊，也就是高程變化，除了可以提供地表面粗糙度分析、地形面坡度計算與地上物高度計算，以進行崩塌範圍之自動化偵測。兩個以上不同時期的掃描資料，則可以提供相當精確的地表物高程變化分析，若是崩塌區則可以估算崩塌土石之體積量。因此，本研究即利用經過地物分類處理之空載光達資料，配合彩色航照正射影像，建立自動化崩塌偵測技術，以提昇崩

塌調查工作的效率。由於自動化偵測難免有漏授 (Omission) 或誤判 (Commission) 的現象，所以亦設計人機操作介面來模擬三維景觀方式，提供人為判釋及編修自動化產生之崩塌向量資料。

圖 1 為台灣地區常見的典型崩塌型態，顯示山崩區通常具有土壤裸露、附近林木茂密且地形陡峭的現象。所以依據圖 1 的崩塌特徵，光達資料研判僅考慮山崩、土石流及河岸侵蝕等三種類型的崩塌災害，而不考慮地滑形式的地形變異。且由於多數的崩塌區經過長時間後，可能會有植物生長的情形，因此亦不考慮已經植生復育的歷史崩塌。其中崩塌地判釋範疇如表 1 所示。

表 1 崩塌地判釋範疇

項目	說明	研究方法
遙測資料	經地物分類後之空載光達及數化彩色航照正射影像	空載光達內插為網格式 DSM 與 DEM 資料
狀況	崩塌表面土壤裸露	利用 DSM 與 DEM 偵測地物高度，並利用數化航照計算綠度指標過濾植被。
類型	山崩、土石流及河岸侵蝕	地滑式崩塌表面可能仍有林木或植被，因此會被視為沒有發生崩塌現象。
地形	地形平緩或陡峭	利用 DEM 計算坡度，假設崩塌坡度在一定程度以上，可包含上述三種類型之山崩。
調查項目	崩塌邊界	結合綠度、地表粗糙度、地形坡度與地表物高程等四種參數，研判崩塌地及將崩塌邊界向量化。
人機介面	提供三維導覽環境，供人為判釋及數化編修。	航照及崩塌區向量資料，套疊於地形幾何模型上。



圖 1 台灣地區典型的崩塌型態照片



2. 測試區資料

本研究選定石門集水區內，基本圖圖號為 9622-1-094 與 9622-1-095 的區域進行相關崩塌地研判測試，此區地物覆蓋包含林地、竹林、河流、崩塌地及少數農作(林務局，2007)。其中使用之資料來源包括空載光達與數化彩色航空照片，空載光達資料掃描日期為 2005 年 12 月 16 日，點雲密度每平方公尺約為 1.6 點，經以半自動化方式進行地物分類後得到 DSM 與 DEM 資料(內政部，2005)。如圖 2(a)~圖 2(c)為圖號 9622-1-094 空載光達 DSM 資料、DEM 成果、利用 DSM 減去 DEM 後得到 OHM 資料的結果。數化彩色航空照片是由林務局農林航空測量所因應艾利颱風後災害調查需求所拍攝，拍攝日期約在 2004 年 9-11 月間，像比例尺約 1:14,000，經掃描數化與空三求解後配合 20 公尺網格數值地形模型製作成正射影像，其地面空間取樣間距(Ground Sampling Distance, GSD)為 50 公分，如圖 2(d)所示。

3. 崩塌地研判方法

3.1 自動化崩塌地偵測

McKean and Roering (2004)曾以空載光達產生的數值地形模型，利用一維到三維的統計分析及 Laplacian 與 Power Spectra 等分析獲取地表粗糙度，

進而得以探討山崩的表面型態 (Surface Morphology)；再透過此種地形學分析，來了解崩塌特徵、崩塌行為機制及評估活動中的山崩，並探討山崩在空間與時間尺度上的變化機制。Glenn *et al.* (2006) 則利用高解析度數值地形模型，分析地表粗糙度、坡度、坡向、半變異數與碎型尺度等，並用來分析山崩之表面型態、成分與活動等現象。其中地表粗糙度為利用式(1)之 DSM 與 DEM 差值得到之地上物的高度，即地物高程模型(Object Height Model, OHM)加以計算，當 OHM 值為零時，表示該處無地物。本研究乃假設山崩表面無植被生長，所以崩塌區的地物高度會極接近零，利用此假設偵測 OHM 中高差甚小的區域，可作為山崩候選區。其次為統計局部視窗內之標準偏差，將之視為粗糙度(Roughness)或均調性(Homogeneity)指標，供後續崩塌地偵測用。

$$\text{OHM} = \text{DSM} - \text{DEM} \quad (1)$$

結合空載光達與航照影像進行崩塌地自動偵測時，利用地表粗糙度指標、地形坡度、綠度指數以及 OHM 等資料，研判在一定坡度以上之裸露地，以得到崩塌地初始位置及範圍(Hsiao *et al.*, 2009)。再將偵測結果從 Raster 格式轉換為 Vector 格式，並以 Shapefile 檔案格式儲存，得到崩塌地區塊多邊形向量資料，供後續編輯用。

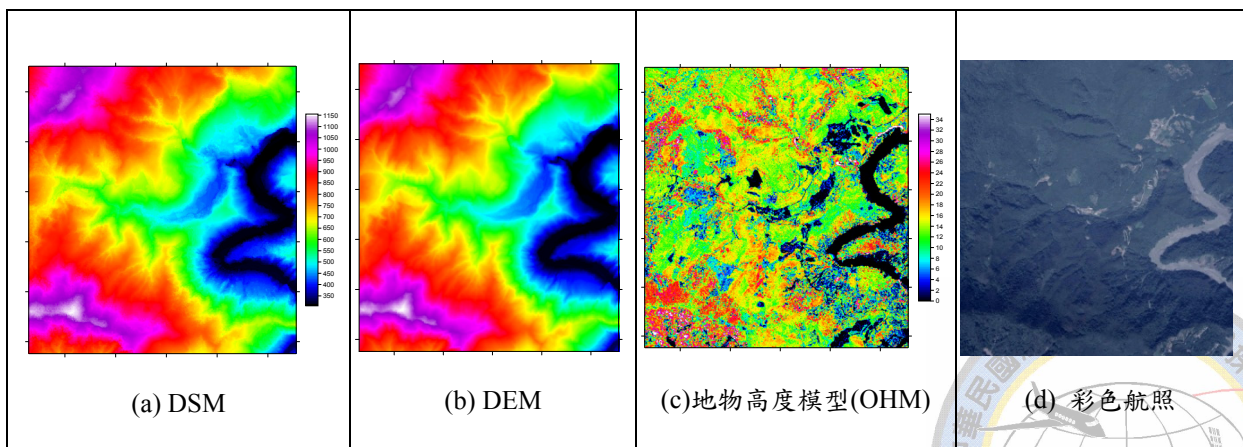


圖 2 測試區 DSM、DEM、地物高度模型及彩色航照

3.1.1 地表粗糙度

本研究將局部視窗地物高度變化之標準偏差 (Standard Deviation) 視為地表粗糙度；為了避免地形效應，利用 DSM 減去 DEM 所得到的 OHM 進行地表粗糙度之計算。

3.1.2 地形坡度

地形坡度愈大的地區，通常發生土石滑動或崩塌情形的機率相對較高 (例如坡度大於 20 度，但仍需視地質、土壤、水文與氣象等因素而定)。所以研究中藉由空載光達 DEM 資料所計算的地形坡度，是為偵測崩塌區的一個重要指標。假設地形曲面為：

$$Z=f(X, Y) \quad (2)$$

其中坡度定義：單位為弧度，可再化算為度或%

$$slope = \tan^{-1} \left(\sqrt{f_x^2 + f_y^2} \right) \quad (3)$$

$$\text{其中： } f_x = \frac{\partial Z}{\partial X}, \quad f_y = \frac{\partial Z}{\partial Y}$$

一般使用格網式的 DEM 計算地形坡度的方法，是取用計算點為中心的 3 x 3 網格的 9 個高程點來計算，如圖 3 所示。

Z ₇	Z ₈	Z ₉
Z ₄	Z ₅	Z ₆
Z ₁	Z ₂	Z ₃

圖 3 3 x 3 網格高程計算坡度示意圖

考量在山區若僅使用 3 x 3 網格的高程點，當地形高低起伏過大時容易干擾坡度的計算，並出現較多雜訊，造成坡度的不連續性；因此利用影像處理中 Canny 邊緣偵測元的觀念，即使用一階微分的高斯函數與 DEM 進行迴旋(Convolution)計算，得到兩個方向的差值(Gradient)；而二維(x, y)的迴旋計算等同於合併二個一維(x)及(y)迴旋處理的結果，這種簡化可以提高計算效率(Parker, 1997)。例

如一維的高斯函數如式(4)，一階微分如式(5)，而將 DEM 高程分別對 x 方向及 y 方向的一階微分之操作元作迴旋計算，再依式(3)計算即可獲得其坡度斜率。其中式(4)所計算之標準差會決定高斯函數曲線中反曲點的位置，數值越小，對稱的兩個反曲點間距越小，而高斯曲線越陡峭，則平滑的效果較不明顯；反之此標準差越大，數值地形中若有雜訊，則其平滑過濾的效果會較明顯。而就不同解析度與製作方式的數值地形而言，實際上難以用一明確地數學公式表示其間之關係，但可考慮使用不同的標準差與單窗大小，並以經驗方式測試其效果。

$$f(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

$$f_x = f'(x) = \left(-\frac{x}{\sigma^2} \right) e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma^2} \right)} \quad (5)$$

實際坡度的計算，為利用不同尺寸的操作元換算高斯函數的標準偏差；例如取 5 x 5 網格計算斜率，則使用標準差 0.8 來決定操作元內之值，X 方向操作元如圖 4 之矩陣所示，而 Y 方向操作元恰為 X 操作元之轉置矩陣 (林務局，2005)。

0.137	0.715	0.000	-0.715	-0.137
0.137	0.715	0.000	-0.715	-0.137
0.137	0.715	0.000	-0.715	-0.137
0.137	0.715	0.000	-0.715	-0.137
0.137	0.715	0.000	-0.715	-0.137

圖 4 5 x 5 網格計算斜率時 X 方向之操作元

3.1.3 波譜分析

本研究假設山崩表面無植被生長，所以可以利用數化航照影像的光譜資訊，初期偵測無植被或稀少植被的地區做為山崩之候選區。如果遙測影像含有近紅外光波段，則進行 NDVI 植被指數計算(式 6)。理論上在計算 NDVI 指數時，使用的資料為各波段的地物反射率(Reflectance)，因此須先進行感測器的輻射校正工作，以求得灰度值與反射率之轉

換係數。一般而言，反射率等於灰度值除以一個增益值(Gain)，如此即可避免因感測器輻射反應的偏差而造成錯誤的結果。然而此項率定工作需要相當專業的處理，一般空載數位相機大都沒有進行此項工作。所以 NDVI 計算結果僅能當作相對的植被指數，並不適合做為植被含量的絕對量評估(林務局，2005)。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (6)$$

其中，R: 紅光波段影像灰值；NIR: 近紅外光波段影像灰值。

傳統的航空像片有些僅具有可見光之 RGB 彩色影像，並無近紅外光(Near-IR, NIR)波段可利用，因此無法用來計算 NDVI 植被指數，故可利用其可見光波段的綠光與紅光來計算其綠度指數(式 7)。同樣的此綠度指標並未經過輻射改正，因此僅能計算相對植被指數。

$$Greeness = \frac{G - R}{G + R} \quad (7)$$

其中，R: 紅光波段影像灰值；G: 綠光波段影像灰值。

根據公式(6)及(7)，NDVI 與綠度指數其值必定介於-1 到+1 之間，但受限於攝像時的各項自然環

境及硬體設備因素，其值域未必能完全佈滿這個區間。如前所述之綠度指數為一相對量，較低者即表示植被較少，也就是可能為裸露地。其中如圖 5(a) 為利用數位彩色航照影像求得的綠度指數影像，圖 5(b)為使用 OHM 資料求得地表之粗糙度(標準偏差)，由於 OHM 資料已經去除地形效應，所以能呼應地物高度之幾何變化，圖 5(c)則為利用 DEM 資料計算之地形坡度成果。

3.2 半自動化崩塌地偵測

鑒於自動化山崩偵測無法達到百分之百的正確率，故再利用合適的人機介面，以提供人為的局部山崩偵測用。而本研究的重點在利用光達點雲及彩色航照進行崩塌區辨識，因此在進行局部山崩偵測時，所引用的資料仍以地物高度模型、綠度指標、粗糙度指標及地形坡度等四項為主。為了協助人工判釋山崩，所設計之操作介面仍是基於前述之三維動態瀏覽平台，而進行局部山崩偵測時，所使用之概念為類似仙女棒的區塊成長法(Region Growing)，由操作員點選一山崩種子點，接著在局部區域偵測具有相似特性的山崩，並進行編輯確認。操作程序如圖 6 所示。

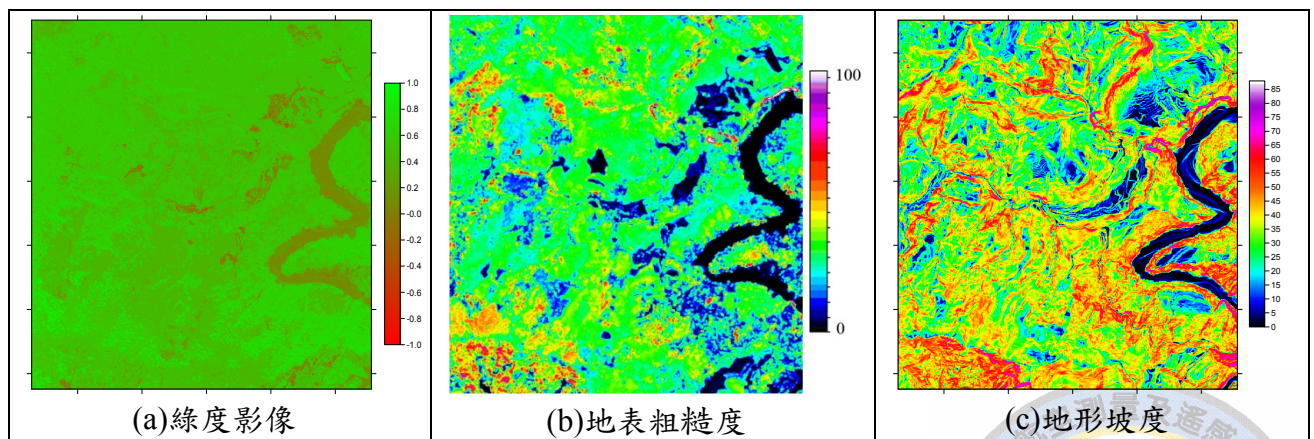


圖 5 基本圖 9622-1-094 圖幅之綠度、地表粗糙度及地形坡度影像



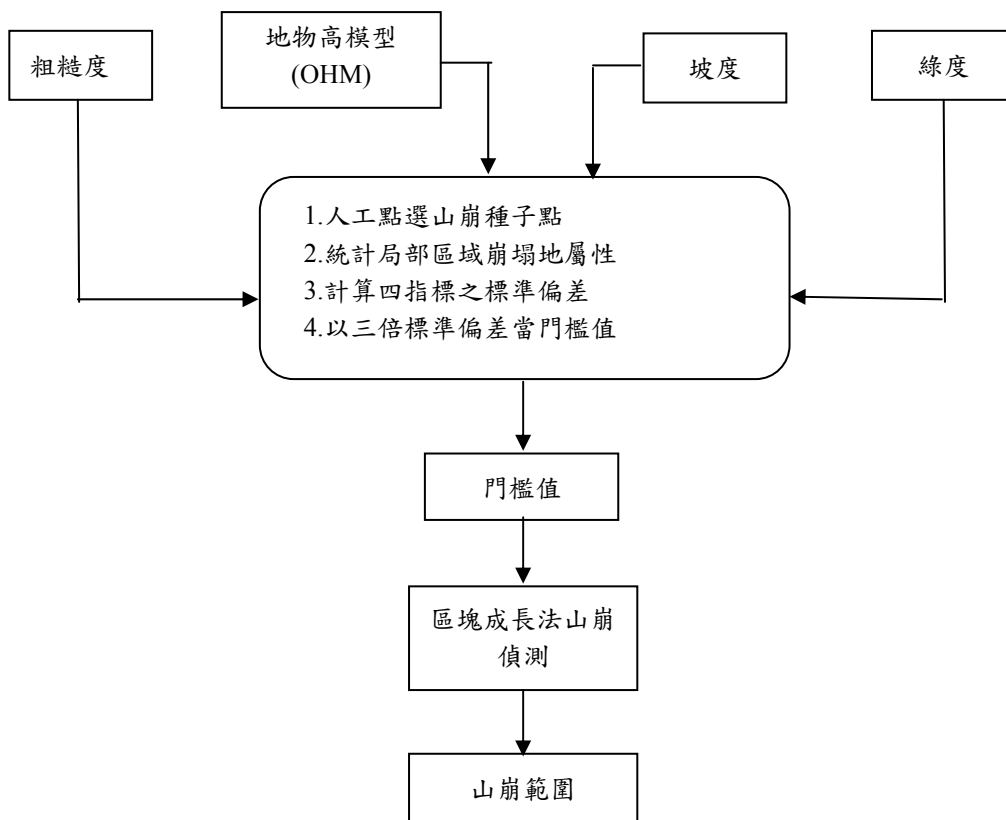


圖 6 結合空載光達與航照影像偵測山崩流程圖

4. 崩塌地研判成果

4.1 崩塌地波譜與幾何特性分析

比較圖 2(c)與圖 2(d)之 OHM 與航照資料，顯示黑色部份為無地上物的區域，包括河流、開墾地、裸露地與道路等；而崩塌地也部份坐落在這些區域中，故須進一步過濾與偵測，方可得到較可靠的成果。為了進一步了解崩塌地之波譜與幾何特性關係，測試工作乃根據土地利用圖中之崩塌地區塊，分析其綠度、地形坡度、地物高度以及地表粗糙度等指標之分布情形，並據此設定合理的自動化崩塌地偵測相關參數。為了使偵測結果有足夠可靠度，以 95%信心區間做為門檻值的初步探討(林務局，2005)。

圖 7(a)為崩塌區之綠度折線圖與累積分布(Cumulative Probability Distribution, CPD)圖，由圖中可得知崩塌地之綠度分佈約在-0.1~0.8 之間，平均值約為 0.3；由於綠度指標之計算過程未經輻射

改正，故僅能當作相對量加以探討，另由累積分布曲線可得知 95%的崩塌地綠度約在 0.55 以下。圖 7(b)為崩塌地之坡度分布折線圖與累積分布圖，顯示崩塌地的坡度分布範圍相當大，但 95%的崩塌地坡度約在 8 度以上。圖 7(c)為崩塌地之地表粗糙度分布折線圖與累積分布圖，顯示 95%的崩塌地的粗糙度在 11 公尺以下。圖 7(d)為崩塌地之地物高度分布折線圖與累積分布圖，由此圖中可知 95%的崩塌地之地物高度在 11 公尺以下，由於此值相當高，表示在崩塌地圖層中涵蓋了相當多的林木。

4.2 誤差分析

研判崩塌地的波譜與幾何特性分析，可以得到四個指標 95%信心區間的門檻值；再藉由一公尺解析度的正射影像、DEM 與 DSM，進行自動化崩塌地偵測之測試。其中四個指標的門檻值(綠度<0.55，坡度>8 度，OHM<11 公尺，粗糙度<11 公尺)利用地真資料進行誤差分析，結果正確率為 91.86%，漏授率為 8.14%，誤判率為 96.80%。

由此結果可發現誤判率相當高，而正確率也未達 95%；因此，進一步改變上述門檻值的設定，並進行 12 項的測試，結果如表 2 所示。其中案例 1~3 為改變綠度，案例 4~6 為忽略地表粗糙度，案例 7~9 為忽略綠度指標改以粗糙度為主，案例 10~12 則為綜合上述各測試，並以合理之門檻值進行測試之成果。如圖 8 為案例 12 之偵測成果(紅色區塊)與地真資料(黃色區塊)套疊於正射影像之結果，由此圖中可發現誤判現象大多發生聚落或開墾地，以及少部分由於崩塌地週遭樹木的陰影所致。

測試方法雖然可以得到合理的結果，但仍無法避免裸岩區或農作翻耕造成土壤裸露區被判釋為崩塌地的結果。此為預期中可能發生的現象，況且無法期望全自動崩塌地偵測可以達到百分之百的正確率，以及完全沒有誤判與漏授結果。而自動化崩塌地偵測目的，乃是希望有高可靠度的成果，以

降低後續人工編修的工作量，更提昇效率及正確率。故另一研究即在提出崩塌地三維互動式編修系統，除具有地表波譜與高度幾何資訊的人機操作介面外，並可在三維視覺化之下進行資料編輯或修正。

由於測試研究是以像元為基礎來進行逐點的計算與山崩偵測，因此，偵測成果可能會產生小面積的山崩區塊；所以乃利用數學型態學 (Morphology) 中之開放與封閉操作元，移除小面積或狹長的偵測結果，並以適當的面積門檻移除小面積之區塊。

當崩塌範圍確定後即進行後續的誤差分析，即首先設定可以匯入地真(Ground Truth)圖層資料，接著利用誤差矩陣進行山崩偵測誤差分析，如圖 9 的畫面中同時顯示正確、漏授與誤授之誤差統計等資訊，並且以紅色顯示漏授位置，以藍色顯示正確偵測結果，接著是以綠色顯示誤授之山崩位置。

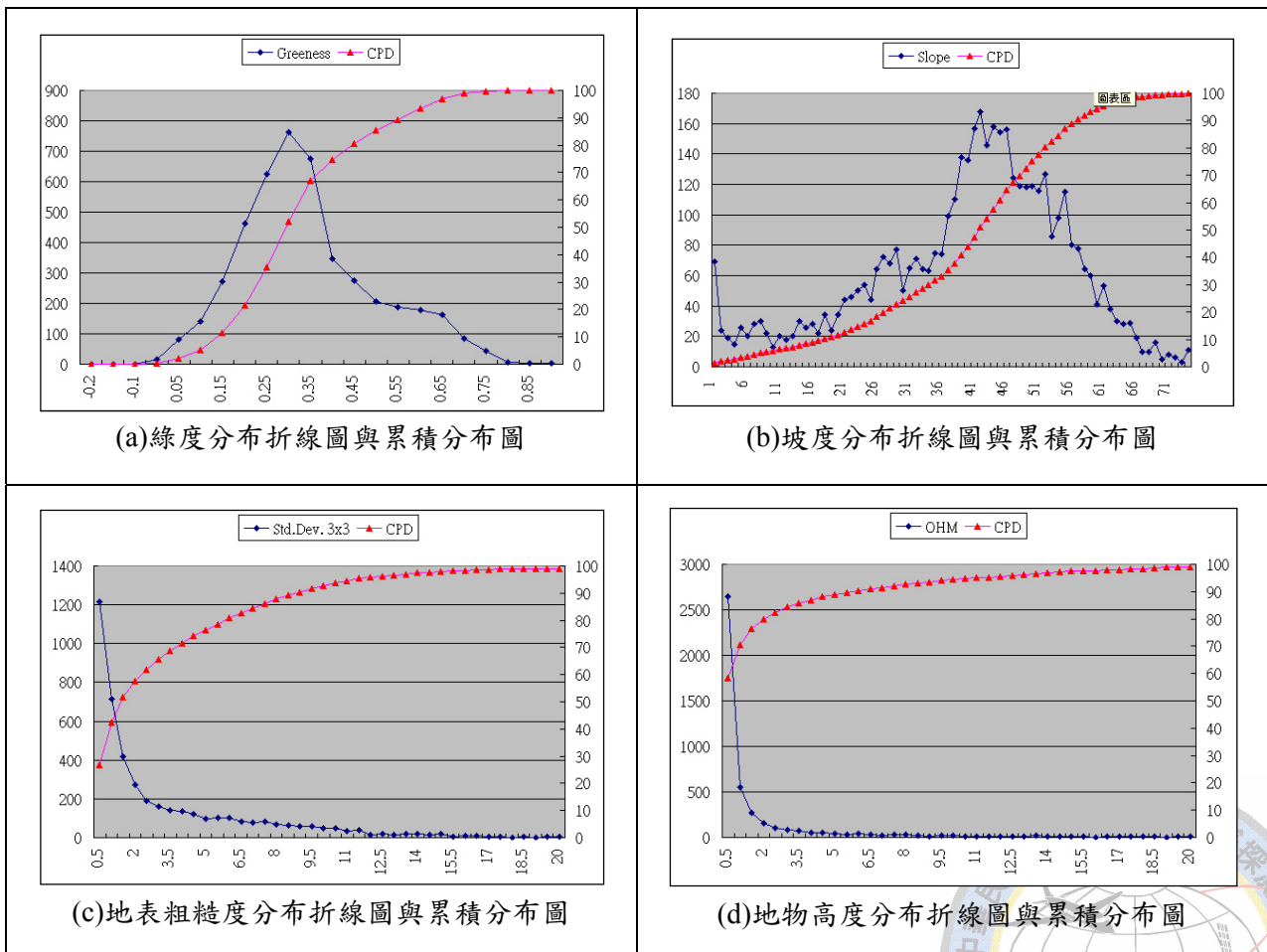


圖 7 崩塌地之綠度、坡度、地表粗糙度與地物高度分布折線圖與累積分布圖



表 2 設定各種門檻值進行崩塌地偵測之誤差分析

案 例	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
綠度 <	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	1	1	1	0.2	0.2	0.2
坡度(度) >	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	12	8
OHM (公尺) <	11	11	11	11	11	11	11	11	11	2	2	5
地表粗糙度(公尺) <	11	11	11	800	800	800	11	5	2	2	2	5
PA 生產者精度(%)	93.0%	89.7%	80.5%	95.2%	91.8%	81.9%	93.1%	80.3%	63.2%	57.9%	56.1%	71.8%
OE 漏授誤差(%)	7.0%	10.3%	19.5%	4.8%	8.2%	18.1%	6.9%	19.7%	36.8%	42.1%	43.9%	28.2%
CE 誤授誤差(%)	3.6%	5.8%	16.8%	2.2%	3.9%	15.3%	3.3%	10.4%	19.2%	30.5%	38.5%	23.5%
UA 使用者精度(%)	96.4%	94.2%	83.2%	97.8%	96.1%	84.7%	96.7%	89.6%	80.8%	69.5%	61.5%	76.5%
OA 整體精度(%)	77.9%	87.2%	96.3%	63.0%	80.0%	95.9%	75.9%	93.8%	97.3%	98.5%	98.8%	97.7%
AA 平均精度(%)	85.4%	88.4%	88.5%	78.9%	85.9%	88.9%	84.4%	87.1%	80.4%	78.3%	77.7%	84.5%

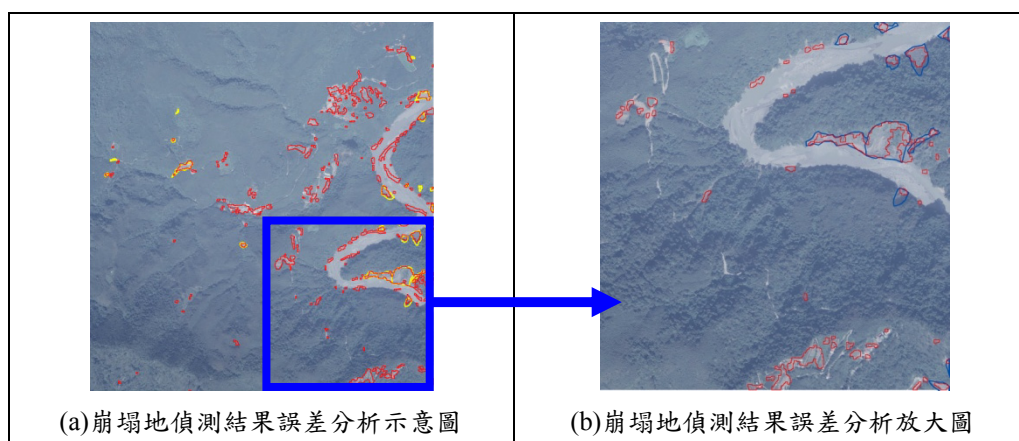


圖 8 崩塌地偵測結果誤差分析示意圖與放大圖

4.3 山崩三維立體編修系統

圖 10 為設計之山崩編修系統介面，具有為可匯入山崩自動化偵測結果之 Shapefile 檔案功能，接著利用 DEM 內插其高度資料，得到三維山崩邊界的多邊形圖層。最後將此山崩 Shapefile 套繪於航照正射影像上，即可以三維立體方式進行人機互動之操作與編修工作，包括新增、刪除及修改等功能，如圖 10 為山崩三維立體編修系統畫面之一，圖 11 與圖 12 分別為刪除誤判與修正崩塌地邊界之畫面。

4.4 崩塌地特性設定

對於崩塌地研判成果通常會建置為向量資料，並將之納入地理資訊系統中；但若要有完整的崩塌地資訊，則可依判釋人員對山崩辨識之經驗，再鍵入山崩特性資訊，以提供往後的工程規劃或山崩監測參考用。如圖 13 為以人工選取一山崩後，依據系統設計可出現一選單，再依需求設定崩塌方式、山崩位置、山崩型態及山崩形狀之屬性資料，圖 13 為設定四種山崩特性之範例示意圖。



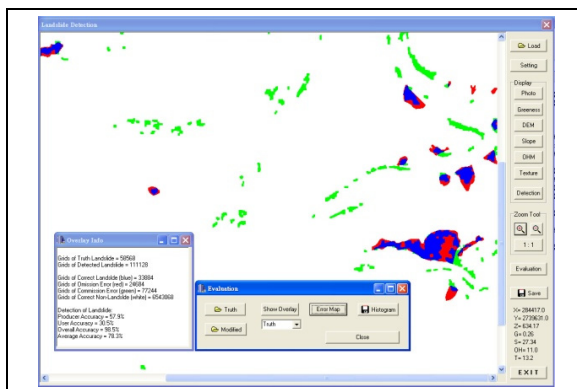


圖 9 山崩偵測誤差分析畫面

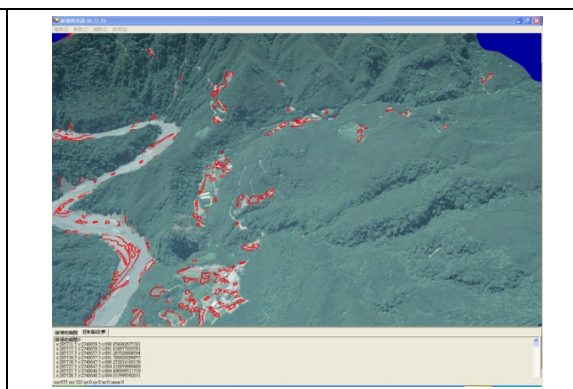
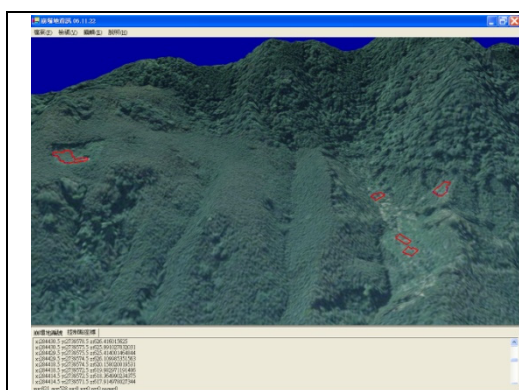
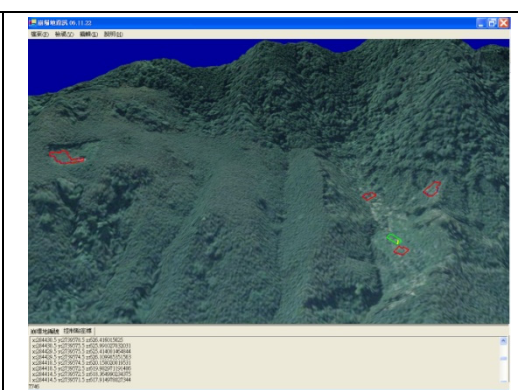


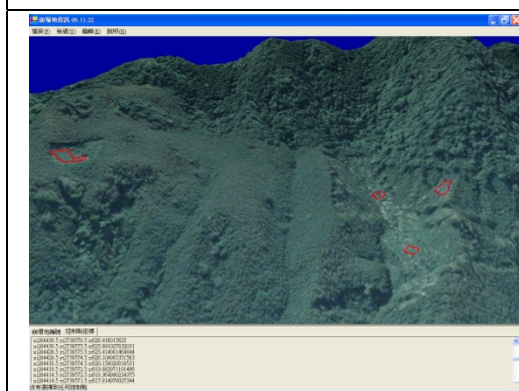
圖 10 山崩三維立體編修系統畫面之一



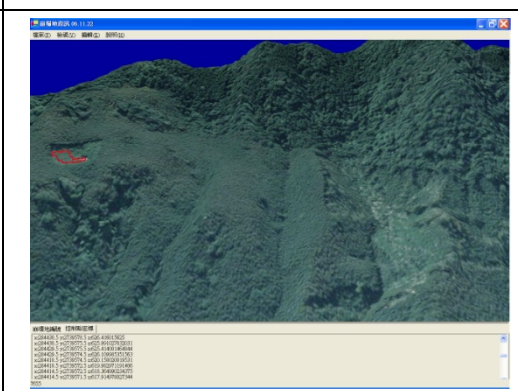
(a)刪除山崩前



(b)被選取之山崩以淺綠色顯示



(c)刪除被選取之山崩



(d)刪除其餘三個山崩之結果

圖 11 系統刪除誤判崩場地圖示

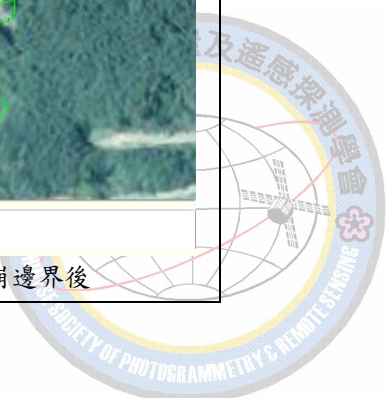


(a)編輯修改山崩邊界前



(b)編輯修改山崩邊界後

圖 12 系統刪除誤判崩場地圖示



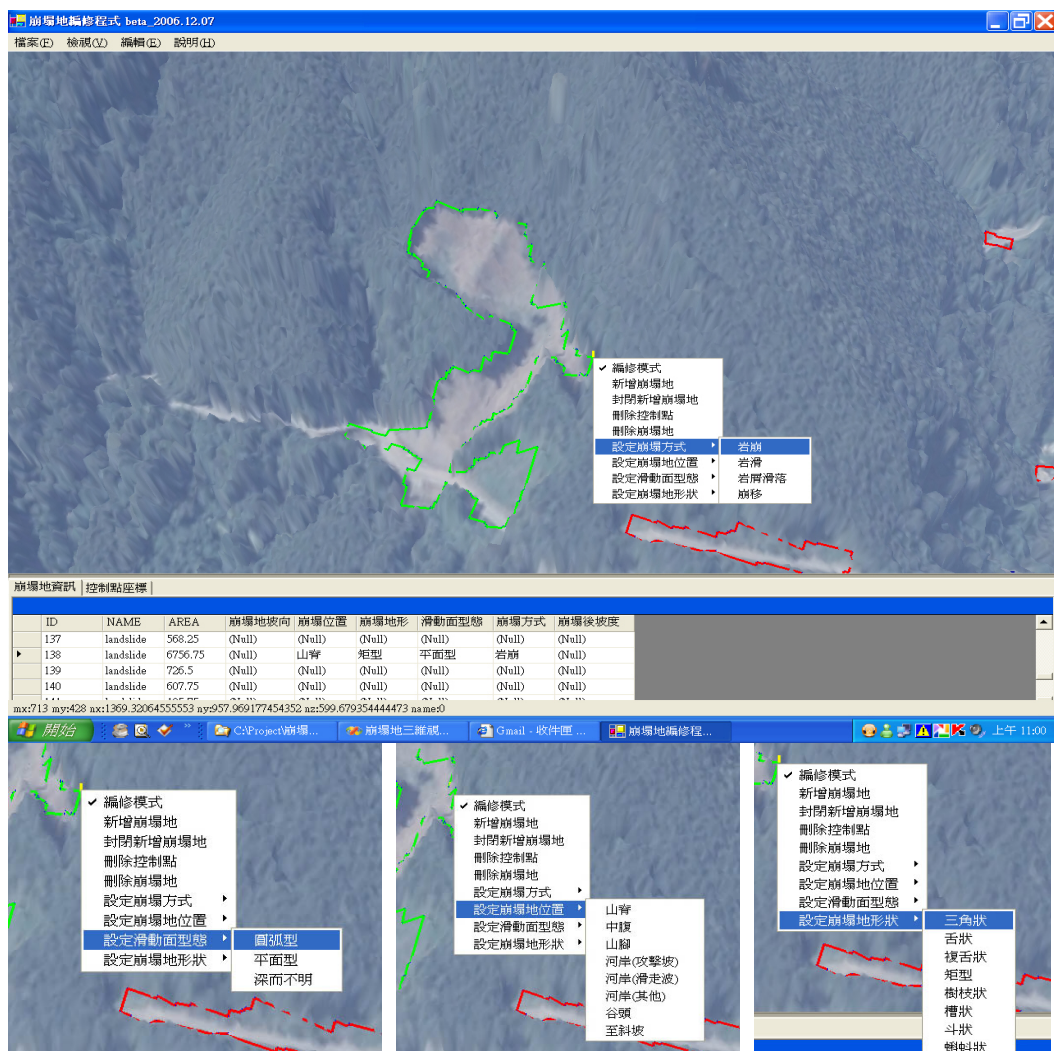


圖 13 設定四種山崩特性之範例示意圖

5. 結論與建議

本研究從半自動化的角度出發，嘗試結合彩色航照與空載光達資料辨識崩塌地範圍；並且藉由三維立體展示的人機操作介面，供後續人工判釋及編輯崩塌地邊界向量資料，以獲取最高品質的成果。初步結論為：

1. 結合正射航照與空載光達資料，利用彩色航照的綠度指數及空載光達資料推演的地形坡度、地物高度模型與地表粗糙度等地形地物指標，透過人工圈選訓練區自動計算相關指標之門檻；此種作法隨資料的不同選擇門檻值，可避免不同地區因不同時間拍攝資料的差異，造成門檻值決定上的困擾。
2. 自動化及半自動化山崩偵測皆無法達到百分之

百正確率，因此開發了三維立體編修系統，以對崩塌地邊界向量之端點進行編修，另配合山崩地質之研究，亦設計了人工判釋及設定山崩特性之功能，可在判釋所有山崩後，依據山崩發生之位置、形狀、及崩塌方式等建置崩塌地的屬性，提供後續之規劃參考用。

3. 測試結果顯示使用自動化偵測崩塌地之成果可靠度高，且誤判之部分可以透過人工立體編修，快速判釋是否為崩塌地並刪除之。而評估自動化辨識崩塌地之困難處，在於崩塌地偵測之邏輯運算過程雖然簡單，但不同參數門檻值的設定有許多變因存在；如綠度指數的計算是利用航照影像之灰度值，會受到太陽光位置、地形坡度、地物反射特性、大氣狀況、陰影，以及該地點與攝影機之相對位置等因素影響，所以

無法明確定義出絕對的植被指數。未來在實際運作時，使用的大量航照影像也可能不是同一天拍攝，所以綠度指數門檻值的設定亦將會有所不同。

4. 空載光達 DEM 資料的空間解析度相當高，太細微的地形變化對崩場地偵測不見得合適，例如可能偵測到許多單一像元的崩場地；而此種成果在應用上反而會造成研判上的困擾，甚至導致需介入大量的人工編修，增加時間與成本。因此，如何選取適當的 DEM 空間解析度，也是往後對於崩場地自動判釋中重要的一部分。
5. 航照影像拍攝日期與光達掃描日期不一定是同一天，若日期差距太大，可能因地表覆蓋物的變化，尤其發生植被復育時，會影響偵測成果之準確度。另研究中假設崩場地為地形坡度大之裸露地，自動偵測結果可能會將翻耕中之山區農作地視為崩場地，因此誤判結果仍需結合部份的 GIS 資料，以降低人工編修及誤判與漏授之誤差。

蕭國鑫、尹承遠、劉進金、遊明芳、王晉倫，2003。
SPOT 影像與航照資料應用於崩場地辨識之探討，航測及遙測學刊，8(4)：29-42。

蕭國鑫、劉進金、游明芳、曾義星，2005。航測與三維雷射掃描資料應用於九份二山地形變化分析，航測及遙測學刊，10(2)：191-202。

Glenn, N. F., D. R. Streutker, D. J. Chadwick, G. D. Thackray, and S. J. Dorsch, 2006. "Analysis of LiDAR-Derived Topographic Information for Characterizing and Differentiating Landslide", *Geomorphology*, Vol.73, pp.131-148.

Hsiao, K. H., J. K. Liu, C. C. Lau, and J. Y. RAU, 2009, Automation of Landslide Detection Using Optical Images and LiDAR Data, *Proceeding of Asian Conference on Remote Sensing*, Oct. 18-23, Beijing, China, CD-ROM.

McKean, J., and J. Roering, 2004, "Objective Landslide Detection and Surface Morphology Mapping Using High-Resolution Airborne Laser Altimetry", *Geomorphology*, Vol. 57, pp.331-351.

Parker, J. R., 1997, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, Wiley Computer, New York.

誌謝

本研究感謝農委會 97 農科-7.4.1-務-e1 計畫支持，內政部提供 2005 年空載光達點雲資料，國立中央大學太遙中心提供衛星影像，研究得以完成，深致謝忱。

參考文獻

- 內政部，2005。辦理 LIDAR 測區之高精度及高解析度數值地形測繪、資料庫建置與應用推廣工作案期中報告-2，共 141 頁，工研院能資所執行。
- 林務局，2005。先進航遙測應用技術開發(1/3)，行政院農委會九十五年度科技專案計畫研究報告，共十章，工研院能資所執行。
- 林務局，2007。先進航遙測應用技術開發(3/3)，行政院農委會九十七年度科技專案計畫研究報告，共八章，工研院能資所執行。



Integrating Airborne LiDAR and Color Aerial Photography for Landslide Interpretation

Chi-Chung Lau ^{1*} Kuo-Hsin Hsiao ¹ Jiann-Yeou Rau ² Jin-King Liu ³
Jer-Rong Wu ¹ Qun-Xiu Huang ⁴

ABSTRACT

In this study, a semi-automatic landslide classification method is proposed and implemented using both airborne LiDAR data and color aerial photographs. A man-machine interface is implemented with three-dimensional perspective display capability, thus to ease the manual interpretation and editing after a preliminary result of landslide polygons are generated by an automatic algorithm proposed in this study. Four parameters are used in the automatic algorithm, namely Greenness, Slope, OHM and Roughness. Greenness is derived from color aerial photograph and employed to define non-vegetated land of fresh scars of shallow-seated landslides. All the other three parameters are derived from LiDAR DSM and DEM to portray the geomorphometric characteristics of landslides. Thresholds are derived automatically from training areas and then are applied in real time to show the distribution of possible landslides. With the 3D interactive interface, the possible landslides are draped on 3D perspective landscape on the screen. This is convenient to assist the human expert to further modify the results by deleting erroneous ones or modify the boundaries of landslides visually. In addition, the interface system can go without the semi-automatic approach and just be used for visual interpretation solely on basis of the expert knowledge of feature locations, shapes, and types of landslides. Attribute table linked with the landslide spatial feature can also be established in this system. It is proved in this study that this is a practical and efficient system.

Keywords: Landslides, Digital Terrain Model (DTM), LiDAR

¹ Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute

² Assistant Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University

³ Senior Researcher, GEL, ITRI

⁴ Chief of Planning Section, Forest Planning Division, Forestry Bureau, COA

* Corresponding Author, Phone: 886-3-5915468, E-mail: cclau@itri.org.tw

