

無人飛行載具掛載消費型攝影機應用於防災可行性研究

白絜成^[1] 劉益誠^{[2]*} 蕭宇伸^[1] 連惠邦^[3] 林秉賢^[3]

摘要 本研究利用無人飛行載具搭載 GOPRO HERO3，針對旗山溪進行空拍，並檢核其精度。過去 UAV 系統多搭載具有高解像力之單眼相機進行拍攝，獲取高精度地面資料，本研究採用低單價消費型攝影機 (GOPRO HERO3) 進行高空 4K 動態攝影，其動態影像可快速且不間斷存取地面景物資料。

搭配 Pix4Dmapper 影像處理軟體，可快速製作正射影像、建構立體視圖及地形 DSM 等資料。另搭配其他軟體可將動態影像連續拼接大圖、製作空中動 (靜) 720 度環景影像。研究顯示，檢核點位 X 方向精度 7.5 公分，Y 方向精度 4.2 公分，Z 方向精度 12.4 公分，前人研究三維定位精度達 10、23 及 50 公分，結果分別可用於 1/1000、1/2500 的地形測繪及 1/5000 的航空圖，相對於此技術應用於防災需求為可行。

關鍵詞：無人飛行載具、消費型攝影機、Pix4Dmapper 影像處理軟體。

Analysis of Accuracy for UAV-derived Topography from a GoPro Camera

Chieh-Cheng Pai^[1] Yi-Cheng Liu^{[2]*} Yu-Shen Hsiao^[1]
Hui-Pang Lien^[3] Ping-Hsien Lin^{[3]*}

ABSTRACT This study focused on photogrammetry by unmanned aerial vehicle (UAV) with a GOPRO HERO3 camera at Cishan river. The accuracy assessment was also analyzed. In the past, an UAV system was usually equipped with a high-resolution monocular camera to obtain highly accurate data. This study used a 4K dynamic photogrammetry for obtaining high-resolution land information utilizing a low-priced consumer camera (GOPRO HERO3). The images from the dynamic photogrammetry were obtained rapidly and without interruption, and could be transformed to orthophotos, stereographs, and DSMs by PIX4Dmapper. They can also be used to generate large mosaic pictures and 720-degree panoramic images by other software. The accuracies of the UAV-derived coordinate values in the X, Y and Z directions are 7.5, 4.2 and 12.4 cm, respectively. They all reach the criterions of horizontal accuracy (25 cm) and vertical accuracy (30 cm) of the National Land Surveying and Mapping center (NLSC). Thus, it is feasible to use this method in detecting disaster prevention problems.

Key Words : UAV, Consumer digital cameras, Pix4Dmapper.

一、前言

在天然災害發生時，往往需要即時災區之基本資料，其中包含正射影像、大範圍傾斜拍攝及地表三維模型，供救災單位進行應用及決策使用。無人載具除提供防救災外，更可提供應用於環境保護管理、環境監測、環境監察以及生態保護等多元資料 (朱京海，2011)。

自然災害發生後需要進行即時環境踏勘，初步研判現地災害資訊，以往自然災害發生後傳統取得現地資訊往往仰賴航測飛機進行勘查，而其無法於第一時間進行升空拍攝，導致取得災害資訊速度緩慢，使用 UAV 即時性、快速性、便利特性，

快速捕抓災害，取得各相關地表資料，(朱京海，2011) 方可掌握救災上之地表資料不易取得之缺點及補救決策者對於災害應變決策。

使用 UAV 執行航拍任務，若測區面積不大，與正規航空測量相比，確實具有減少成本，機動靈活，降低人力遭受到的危險 (蘇伯軒，2014)，謝辛宜 (2011) 使用四旋翼機航拍影像定位精度中，當航高 100M 時解算高程精度 15 公分，蔡孟倫等人 (2010) 當 UAV 飛行高度分別為 300、600、900 公尺時三維定位精度可達 10、23 及 50 公分，結果分別可用於 1/1000、1/2500 的地形測繪及 1/5000 的航空圖，Eisenbeiss, H. 分別於 2004 年間以旋翼型無人載具於 Pinchango Alto 考古區、馬雅

[1] 國立中興大學水土保持學系

Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.

[2] 逢甲大學營建及防災研究中心

Assistant Researcher. of Construction and Disasters Prevention Research Center, Feng Chia University, Taichung, Taiwan.

[3] 逢甲大學水利工程與資源保育學系

Professor, Dept. of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University, Taichung, Taiwan.

* Corresponding Author. E-mail : kenji700808@gmail.com

遺址及玉米田等區域進行拍攝並製作正射影像及 DEM/DSM，飛行高度 100 公尺，獲取正射影像精度約 2 公分，DEM/DSM 平面精度約為 2 公分且高程精度約 4 公分。Coppa U. 於 2008 年使用無人直升機飛行模擬製做低成本 IMU 系統提高定位精度。

過往無人載具搭載感測器多為單眼數位相機，其造價昂貴、載重高，其單眼數位相機平均售價落於 3~4 萬元，重量約 1~2 公斤，嚴重影響無人載具飛行時間，今無人飛行載具備有低成本、高機動性、時效性高、操控所需天氣條件寬鬆，且高安全、可快速取得現地資料等優勢，故對於範圍較小監測、調查以及資料收集更新相當助益，應用廣泛。本研究採用低單價、低載重感測器，且以動態錄影模式，進行地表紀錄及測量，並探討其資料可行性。

二、UAV 影像處理可行性評估

1. 概述

本研究提出消費行相機動態錄影快速取得現地資訊，並透過地面已知控制點製作相關圖資，如連續拼接大圖、製作空中動(靜) 720 度環景影像、正射影像、地形 DSM，與地面實測資料準確度 99.83%，提供防救災應用更加決策。各相關應用分述如下。

2. 斜拍鳥瞰影像

無人載具設備裝載無刷雲台，其設備主要功能為保持相機動態穩定以及調整鏡頭拍攝方式，藉由斜拍角度，擷取空拍範



圖 1 鳥瞰全區照片範例_高雄市六龜區新開大佛

Fig.1 An aerial view of Xinkai Buddha, Liouguei District, Kaohsiung City

圍環境資訊，以能有效呈現整體環境現況，並能將斜拍鳥瞰資訊成為後續分析階段，如圖 1 為高雄市六龜區新開大佛，由空拍鳥瞰可清楚掌握保全戶、溪床、邊坡崩塌相對應關係。

3. 空拍環景建置 (動、靜態)

環景一詞源自於 panorama，簡稱 pano。環景攝影的概念源自於利用電腦播放軟體，讓使用者能依需求旋轉照片，產生一種有如身臨其境的視覺效果。無人載具可進行停懸作業，因此在正確的操作下可利用單台相機進行空中 720 度環景作業，拼接環景照片僅需短短 15 分鐘拼接完成，將高解析度影像利用環景技術製作成全景環繞場景，產生虛擬實境之效果，完整記錄重點地區之全貌，所提供的視覺效果遠比二維地圖佳，成果畫面如圖 2 所示。另動態方面，使用可裝載 6 台 GOPRO 極限運動動態攝影機機架，掛載於無人載具下方，如圖 3 所示，於飛行過程同時錄影捕抓六面向動態資訊，透過 Autopano Video 進行環景拼接可將 6 面向動態資訊拼接一部全面像動態影片，可使用 KolorEyes 軟體，進行電腦、手機撥放，如圖 4 所示，另手機觀看時可透手機 G-Sensor 感測器進行互動體感，隨時瀏覽環境動態關係。

4. 航拍影像製圖

以實際航拍資料探討消費型攝影機動態錄影方式取得現地資料精度，以高雄市那瑪夏區旗山溪主流河道(其主流河段

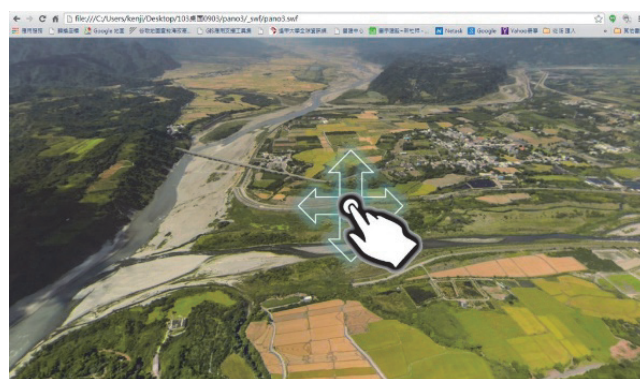


圖 2 720 度空中環景 (靜態)_花蓮縣瑞穗鄉阿夜溪

Fig.2 720 degree panorama aerial photograph at Aye Creek, Ruisui Township, Hualien County



圖 3 6 鏡頭裝設位置圖

Fig.3 Six GOPRO installation position

屬達卡努瓦里至瑪雅里，全長約 1.1 公里) 作為試驗區。位置如圖 5 所示。

試驗過程選用含有 GPS 飛控系统，飛行高度穩定、動態 GPS 紀錄器、以及搭載高靈敏感測器塔羅無刷雲台，當載具於高空受擾動氣流能自我穩定拍攝方向，並以近垂直拍攝地面景物，整體研究流程圖如圖 6 所示。

(1) 多旋翼及相機雲台組裝設定

本研究使用之多旋翼機型為四軸無人載具，飛控則選用 DJI 大疆 NAZA V2 系統，其為自裝設定相關飛控參數，包含俯仰、橫滾、航向角、垂直等參數設定，如表 1 所示，其參數值越大則表示操控性越靈敏。雲台則使用塔羅 TAROT 2 軸雲台，雲台參數設定主要在於遙控器控制之靈敏度，當數值越大表示敏感度越大，設定之成果如表 2 所示。

(2) 相機參數律定及魚眼濾除

空中影像拍攝，由於相機鏡頭像幅大小技術不夠，導致呈像不夠寬廣，單張影像不足以容納整個影像範圍，為了達成所需要的空拍場景，可能將空拍照片拍成數張片段場景之後，再將其接合起來，本研究使用 GOPRO HERO3 魚眼鏡頭，故必先對其呈像照片進行幾何校正，目前魚眼鏡頭視廠大概介訂於 170 度~270 度之

間，呈像時需要考慮求面物體和平面像的共軛關係，光學系統理想的像高公式表示為：

$$h=f\times\tan\theta$$
(1)

其中 h 為理想像高， f 為系統物方焦距， θ 為物方視場半角。在公式 (1) 可知，當 $\theta=\pm90^\circ$ 時， $h=\pm\infty$ ，像面變得無限大且無法，所以魚眼鏡頭需要人為的加入桶形畸變，其變形被認為投影成像的結果，而不是由像差形

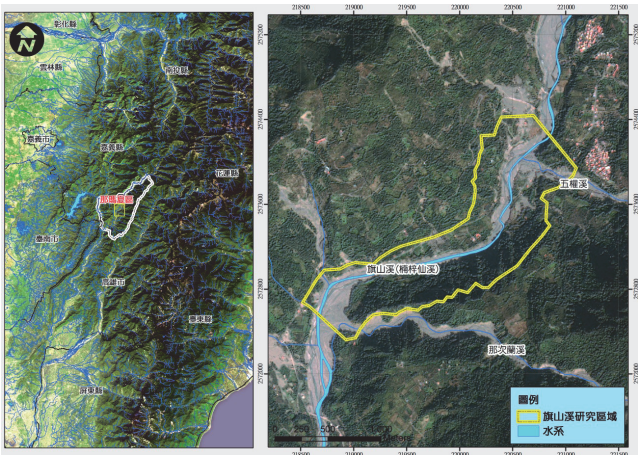


圖 5 研究區域飛行航線
Fig.5 Flight tracks in this study

表 1 飛控參數設定

Table 1 The values of the Flight controller parameter settings

項目	俯仰	橫滾	航向角	垂直
基礎	180%	180%	150%	150%
姿態	170%	170%	-	-

表 2 雲台參數設定

Table 2 Gimbal parameter settings

滾轉設定		俯仰設定	
總感度	100	總感度	95
速度感度	150	速度	80
累積感度	70	累積感度	70
加速感度	120	加速感度	80
角度限制	最大44，最小-44	角度限制	最大90，最小-134



圖 4 720 度空中環景 (動態)_宜蘭縣太平山莊
Fig.4 720 degree panorama aerial video at Taiping Villa, Yilan County

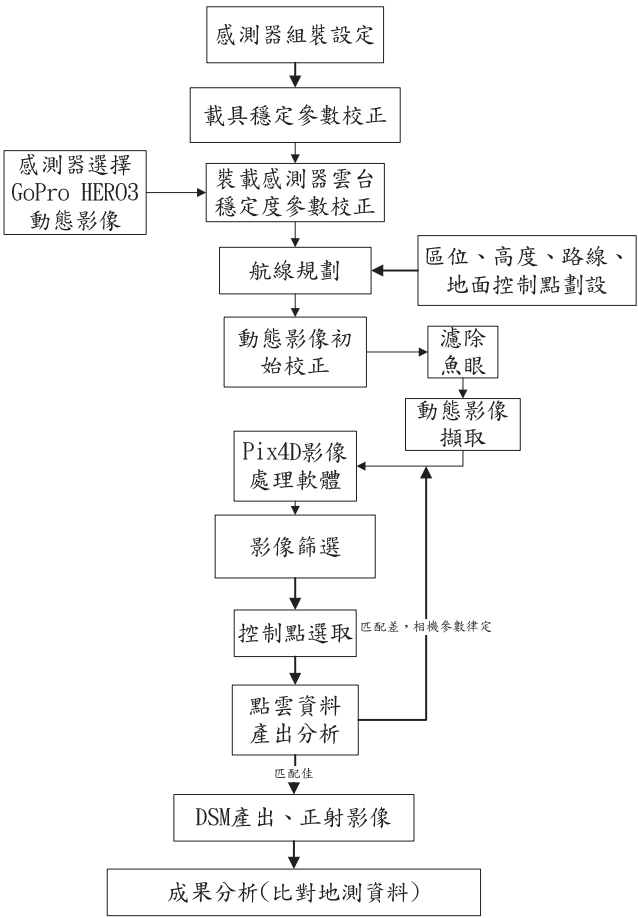


圖 6 航拍影像製作流程圖
Fig.6 The flow chart of aerial photo production

成，魚眼鏡頭的桶形畸變對所成像清晰度未有明顯影響，導入固定的桶形畸變會改善魚眼鏡頭的像面照度的均勻性。使用之消費型相機為 GoPro HERO3 選取 4k/15fps 魚眼模式進行空中動態錄影，透過影像截圖軟體取得每秒 1 張影像，畫質為 3840×2160 約 6 百萬畫數，因魚眼模式所錄之影片四周變形嚴重，故使用 Adobe Photoshop Lightroom 5 軟體進行區域變形修正，校正前後成果如圖 7，代入 Pix4Dmapper 重新率定相機參數及重複驗證修正係數，如表 3 所示。

(3) GPS 雙頻動態軌跡紀錄器 (Venus858F-GL)

進行航拍時為了紀錄航拍器 GoPro HERO3 動態錄影位置資料，所搭載 GPS 紀錄器為雙頻動態軌跡紀錄器，如圖 8 所示，匹配方式為將錄影與 GPS 系統紀錄同時斷電及停止錄影，因 GPS 系統紀錄器為 1 秒紀錄一點，故擷取影像時為一秒一張影像，並從斷電及停止錄影最後一刻往前匹配，可獲得錄影每一秒動態位置，而其 GPS 優點在於可同時接收 GPS/GLONASS 兩種衛星定位資訊，最佳精度可達 2.5 公尺，平均 29 秒定位完成，熱啟動僅需 1 秒鐘。裝載位置於動態攝影機正上方約 11 公分，如圖 9 所示。

(4) 航線規劃與地面控制點布設

規劃航拍時首先考量單趟飛行時間、距離以及航拍面積範圍，單趟平均飛行時間約 17 分鐘，單趟飛行距離 1~2 公里，飛行高度 200 公尺，故航線規劃 2 條航帶，

表 3 相機率定參數表

Table 3 The values of the camera calibration parameters

項目	內建	修正
相機感測器寬度 (mm)	6.24799	6.24799
相機感測器高度 (mm)	3.51449	3.51449
感光元件大小 (μm)	1.62708	1.62708
焦距 (mm)	2.98	2.626
相機焦距 x (mm)	3.124	3.161
相機焦距 y (mm)	1.75725	1.655

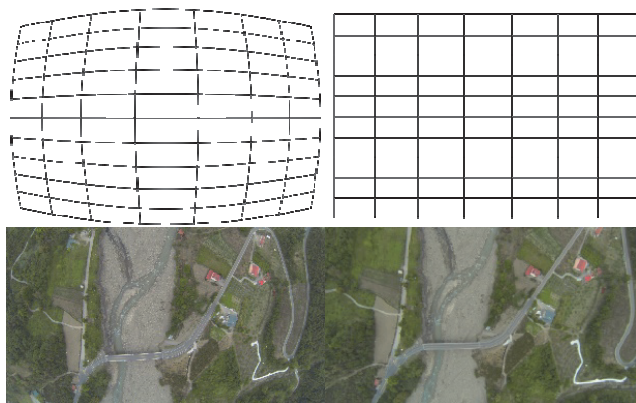


圖 7 魚眼校正範例

Fig.7 A paradigm of Fish-eye correction

另因使用動態錄影形式 (每秒 15 張靜態影像) 前後兩照片資訊內容需重疊 70~80% 以上，左右重疊率則以 50%，規劃位置如圖 10 所示。

進行空中三角測量平差時的平面與高程地面控制點 (Ground Control Point, GCPs)，於規劃位置前中後各設置一處，總計三處，位置如圖 11 所示。控制點位坐標以電子化全球衛星即時動態定位 (RTK) 系統 e-GNSS 進行控制點量測，並與周邊水準點進行誤差改正，平面坐標系統採用 TWD97 坐標，高程坐標系統採用正高，使用 RTK 量測每一控制點均經一等水準點誤差改正。



圖 8 GPS 雙頻動態軌跡紀錄器 (Venus858F-GL)

Fig.8 GPS Track recorder



圖 9 無人載具 GPS 雙頻動態軌跡紀錄器裝載位置

Fig.9 The position of the GPS track recorder on UAV

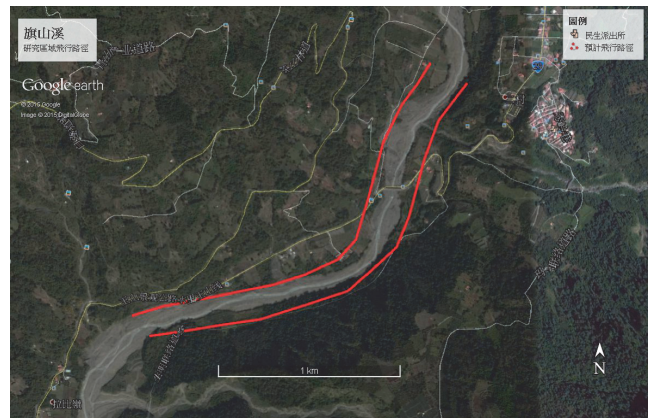


圖 10 飛行細部規劃位置

Fig.10 The detailed locations of flight tracks

飛行路徑以人為影像回傳資料控制航線循跡，並以近垂直進行航空動態錄影，截取影片為單張相片並修正魚眼，套入於Pix4Dmapper中，在以人工挑選影像平面與高程地面控制點（Ground Control Point, GCPs），總計挑選3處地面控制點，檢核點位5處，再以Pix4Dmapper自動量測連結點的功能增加連結點數，製作之成果與人工測量斷面進行比對高程誤差精度，因成果資料包含地表所有資料，如植被、水面、建築物、道路以及河床裸露地等資料，而人工斷面測量所量測資料為裸露地區域，故比較精度值僅探討河床裸露地。

(5) 精度檢核

精度檢核包含人工測量斷面、控制點檢核、檢核點檢核等三大工作項目，掌握製作之地形資料準確度，檢核點位獲取方式採用採用 TOPCON GTS-226 電子光波測距經緯儀或 VBS-RTK(高精度 GPS) 等方式。

① 人工測量斷面

檢核斷面使用上述地面控制點（Ground Control Point, GCPs）搭配採用 TOPCON GTS-226 電子光波測距經緯儀進行大斷面測量，總計量測三處斷面資料，分別位於3處控制點，檢核斷面位置如圖 11 所示。

各斷面檢測位置與資料如圖 12~14 所示。檢測成果 GCP1 斷面裸露地平均誤差 ± 0.17 公尺，標準偏差 ± 0.12 公尺；GCP2 斷面裸露地平均誤差 ± 0.12 公尺，標準偏差 ± 0.10 公尺；GCP3 斷面裸露地平均誤差 ± 0.43 公尺，標準偏差 ± 0.18 公尺。三斷面檢核以 GCP2 斷面誤差最小，GCP3 斷面誤差最大，由上述資料顯示製作之地形資料越往中間值精度越佳，越邊緣精度相對較差，並由成果發現當地形坡度升高時誤差量亦隨之升高。

② 控制點位檢核

控制點為已知座標點位，並與現地周圍一等水準點進行平差校正，所獲得之資料為正高。進行航空攝影測量時點選3處地面控制點，控制點位坐標以電子化全球衛星即時動態定位（RTK）系統 e-GNSS 進行控制點量測。3處地面檢核點如圖 10 所示，X 平均誤差 ± 0.029 公尺，標準偏差 ± 0.04 公尺；Y 平均誤差



圖 11 地面控制點位及檢核點位置

Fig.11 The locations of the ground control points and the check points

表 4 UAV 精度結果-控制點檢核

Table 4 The accuracy (m) of UAV-derived results validated by ground control points

點位	誤差值		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
GCP 1	-0.017	0.010	-0.151
GCP 2	-0.02	0.062	-0.032
GCP 3	0.05	-0.090	0.171
平均誤差	± 0.029	± 0.054	± 0.118
標準偏差	± 0.04	± 0.077	± 0.163

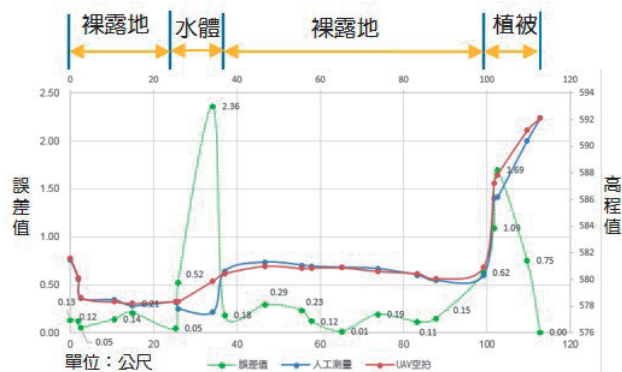


圖 12 GCP1 斷面檢測

Fig.12 The elevations derived from UAV (red) and ground (blue) surveys at profile GCP1

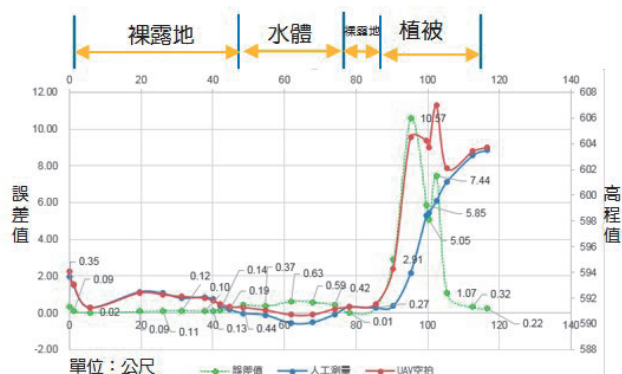


圖 13 GCP2 斷面檢測

Fig.13 The elevations derived from UAV (red) and ground (blue) surveys at profile GCP2



圖 14 GCP3 斷面檢測

Fig.14 The elevations derived from UAV (red) and ground (blue) surveys at profile GCP3

± 0.054 公尺，標準偏差 ± 0.077 公尺；Z 平均誤差 ± 0.118 公尺，標準偏差 ± 0.163 公尺。地面控制點誤差如表 4 所示。

③ 檢核點位

航空攝影測量時所選取 5 處地面檢核點，其篩選原則以易變動之控制點如道路、橋梁等區域，其檢核點位為未導入 Pix4Dmapper 計算平差之成果，製作成果點選檢核之用。檢核點如圖 11 所示，其中檢核點位 2(誤差 X:0.0001m, Y:0.15m, Z:-0.514m) 其中高程誤差較大，檢查後發現遭受週邊樹木影響。故將其誤差大率除後 X 平均誤差 ± 0.075 公尺，標準偏差 ± 0.043 公尺；Y 平均誤差 ± 0.042 公尺，標準偏差 ± 0.040 公尺；Z 平均誤差 ± 0.124 公尺，標準偏差 ± 0.058 公尺。地面檢核點誤差如表 5 所示。

(6) 影像製圖

透過上述步驟與流程可生產正射影像、地形資料(DSM)，本研究飛行高度約 200 公尺，製作之空間解析度 15.6 公分，正射影像及地形資料主要用途為分析前後時期環境變遷分析、地形變動分析、量測目標物平面尺寸、套匯 GIS 相關圖層，相關圖資如圖 15~17 所示。

5. 建構立體視圖

利用照片率定方法取得相機內方位參數，搭配外方外空間資訊，進行地表量測，運用三角測量為基礎，使用相機向特定物體進行不同角度拍攝，經計算後可獲得該量測區三維立體模型。使用該技術主要的關鍵在於取得飛行載具，拍攝時的姿態角以及記錄當時飛行照片坐標，並經由計算取得目標物的資訊。

如下圖為透過 UAV 無人載具進行多角度拍攝下取得高雄市那瑪夏區達卡魯瓦里民生大橋測量製圖成果，測量製作結果，如圖 18 所示，除了提供視覺化呈現外，亦可掌握環境整體概況，由圖可明顯瞭解河道水流向與邊坡相對應關係。

6. 土方量誤差評估

災害發生後，若有前期 DTM 資料即可透過圖層比對方式得知土砂變化量。因研究區域無當時光達資料可進行分析，而航測及衛星所製作之地形誤差較大，以上兩者不易比較，故本論文僅分析 X、Y、Z 平均誤差量及標準偏差，為推求未來土

表 5 UAV 精度結果-檢核點檢核

Table 5 The accuracy (m) of UAV-derived results validated by check points

點位	誤差值		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
檢核1	-0.111	-0.095	-0.197
檢核3	-0.085	0.052	0.0551
檢核4	-0.012	0.006	-0.118
檢核5	-0.092	0.016	0.125
平均誤差	± 0.075	± 0.042	± 0.124
標準偏差	± 0.043	± 0.063	± 0.149

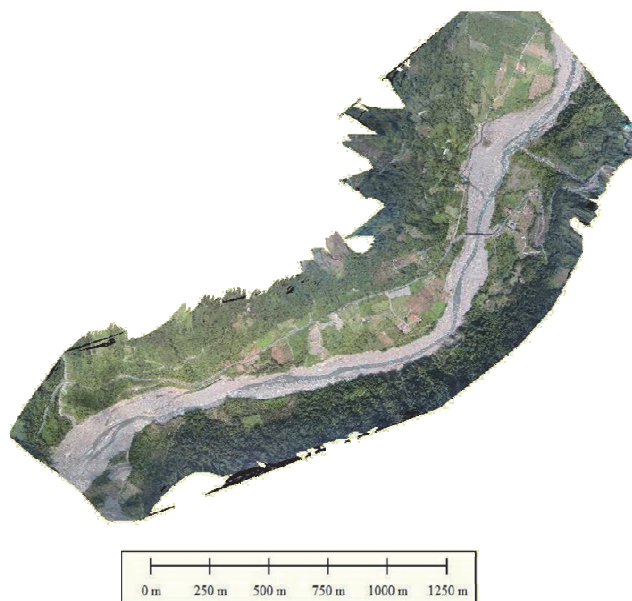


圖 15 正射影像製圖成果

Fig.15 The orthomosaic in study area



圖 16 正射影像前後時期套匯

Fig.16 The orthomosaics before and after a landslide damage

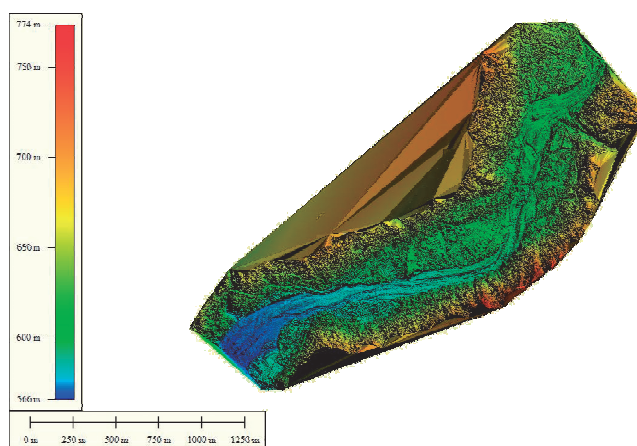


圖 17 DSM 製圖成果

Fig.17 DSM production achievement

方量估算參考依據，使用非線性誤差傳播定律進行推估（施永富，2002），其公式及誤差值推估如下：

$$x = f(l_1, l_2, \dots, l_n) \quad (2)$$

$$m_x^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial l_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_2}\right)^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial l_n}\right)^2 m_n^2 \quad (3)$$

$l_1, l_2, \dots, l_n$ 為各觀測值， $m_1, m_2, \dots, m_n$ 為各觀測值標準偏差。

本文章推估 10m×10m×10m 土方誤差量，微分公式如下：

$$\begin{aligned} V &= (X_1 - X_2) \cdot (Y_1 - Y_2) \cdot (Z_1 - Z_2) (\delta V)^2 \\ (\delta V)^2 &= [(Y_1 - Y_2) \cdot (Z_1 - Z_2)]^2 \cdot (\delta X_1)^2 \\ &\quad + [(Y_1 - Y_2) \cdot (Z_1 - Z_2)]^2 \cdot (\delta X_2)^2 \\ &\quad + [(X_1 - X_2) \cdot (Z_1 - Z_2)]^2 \cdot (\delta Y_1)^2 \\ &\quad + [(X_1 - X_2) \cdot (Z_1 - Z_2)]^2 \cdot (\delta Y_2)^2 \\ &\quad + [(X_1 - X_2) \cdot (Y_1 - Y_2)]^2 \cdot (\delta Z_1)^2 \\ &\quad + [(X_1 - X_2) \cdot (Y_1 - Y_2)]^2 \cdot (\delta Z_2)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

(1) 地面控制點標準偏差之成果進行土方量估算

以本研究成果為例，地面控制點其 X 標準偏差 ±0.034 公尺；Y 標準偏差 ±0.077 公尺；Z 標準偏差 ±0.163 公尺，代入公式得 ±25.94 立方公尺，表示 1000 立方體積之誤差量等於 1000±25.94 立方公尺。

(2) 檢核點標準偏差之成果進行土方量估算

以本研究成果為例，其 X 標準偏差 ±0.043 公尺；Y 標準偏差 ±0.063 公尺；Z 標準偏差 ±0.149 公尺，代入公式得 ±23.67 立方公尺，表示 1000 立方體積之誤差量等於 1000±23.67 立方公尺。

(3) 地面控制點與檢核點標準偏差之綜合成果進行土方量估算

綜合控制點與檢核點誤差值計算其 X 標準偏差 ±0.057 公尺；Y 標準偏差 ±0.063 公尺；Z 標準偏差 ±0.142 公尺，代入公式得 ±23.4 立方公尺，表示 1000 立方體積之誤差量等於 1000±23.4 立方公尺。

三、成果與討論

本研究主題以簡易四軸無人載具及消費型攝影機進行空拍任務，所取得資料為動態錄影資料，進行防救災可行性研究，而它具有下列優點：



圖 18 建構立體視圖_近景攝影量測

Fig.18 A 3D view of study area

1. 簡易型四軸無人載具搭載極清消費型攝影機，重量大幅減輕，同時增加可飛行時間。
 2. 過去無人載具採高單價感測器及飛行器進行地面空間量測，相關費用開銷相對重。採用低價飛行器創造高效益產值。
 3. 使用機動性高、低成本 UAV 無人載具進行大面積觀測，除可降低成本開銷外，所獲得影像資訊並未因採用低成本感測器造成精度不佳。
 4. 於一千分之一製圖標準，平面絕對精度須小於 25 公分之規定，高程精度須小於 30 公分之規定，應用於防救災需快速取得地面資料相對可行，但製圖使用還需考量。
 5. 動靜態 720 度影像拼接，掌握環景整體概況，並可提供前後時期環境比對。
 6. 錄影後製快速影像拼接，即時傳輸現地概況以及災前災後套圖。
- 缺點有：

1. 旋翼機飛行時間遭受電池限制，定翼機電池限制較小，飛行時間比旋翼機長。
2. 因所使用影像為動態影片截取之，故相對於畫質與單眼影像差。
3. 天氣不穩拍攝成果與天氣晴朗相較更差，精度亦野部加不佳。
4. 目前已有製作油料型之旋翼機，若旋翼機可提高飛行時數，即可克服拍攝區域廣大或飛行高差大之區域。

過去無人載具均採高單價感測器及飛行器進行地面空間量測，當耗損時，維護費用高，本研究使用機動性高、低成本 UAV 無人載具進行地表觀測，耗損時，可降低成本開銷外，所獲得影像資訊並未因採用低成本感測器造成精度不佳，本研究飛行高度 200 公尺，所製作檢核點位平面 X 平均誤差 ±0.075 公尺，標準偏差 ±0.043 公尺；Y 平均誤差 ±0.042 公尺，標準偏差 ±0.063 公尺；高程精度 Z 平均誤差 ±0.124 公尺，標準偏差 ±0.149 公尺，應用於防救災需快速取得地面資料相對可行。本研究之成果使用 3 處控制點以及相片座標進行正射影像及地形製作，獲取控制點檢核成果佳，而未探討控制點分布與數量方可得最佳之成果，建議未來研究方針可探討 3 處以上地面控制點進行比較製作面積與控制點數量關係，方可得最佳成果。

參考文獻

- [1] 王聰榮、李繼泓 (2006)「無人飛機發展現況與展望」，機械工業雜誌，281，58-68。(Wang, C.R., and Li, J.H. (2006). "Current UAV Industry Outlook." *Industrial Technology Research Institute*, 281, 58-68. (in Chinese))
- [2] 勾志揚、趙紅穎、晏磊 (2007)「無人機航空攝影質量評價」，遙感與航空攝影期刊，2007(2)，49-52。(Gou, Z.Y., Zhao, G.Y., and Yan, L. (2007). "UAV aerial photography Quality Evaluation." *Journals of Remote sensing and Photogrammetry*, 2007(2), 49-52. (in Chinese))
- [3] 何維信 (1995)「航空攝影測量學」，大中國圖書公司。(He, W.S. (1995). *Aerial Photogrammetry surveying*. Greater China Book Company. (in Chinese))

- [4] 朱京海 (2011) 「無人機遙感系統在環境保護領域中的應用研究」, 環境保護與循環經濟, 09-0045-04。(Zhu, J.H. (2011). "Application of UAV remote sensing systems in the field of environmental protection." *Environmental protection and recycling economy*, 09-0045-04. (in Chinese))
- [5] 曾義星 (1997) 「航空攝影測量如何邁向資訊時代」, 航測及遙測學刊, 2(1), 103-112。(Tseng, Y.H. (1997). "Aerophotogrammetry how towards the Information Age" *Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 2(1), 103-112. (in Chinese))
- [6] 謝幸宜 (2013) 「以自率光束法提升四旋翼 UAV 航拍影像之空三平差」, 航測及遙測學刊, 16(4), 245-260。(Hsieh, H.Y. (2013). "Using Self-calibration to Promote the Aerotriangulation Accuracy of Images Aquired from a Quadrotor UAV." *Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 16(4), 245-260. (in Chinese))
- [7] 蘇伯軒 (2014) 「利用無人飛行載具系統 (UAS) 獲取環境地形之精度分析 — 以國立中興大學校區為例」, 國立中興大學水土保持學系碩士論文。(Su, B.H. (2014). "Accuracy analyses of environmental topography obtained from unmanned aerial vehicle system (UAS) – A Case Study in the campus of National Chung Hsing University," Master Thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [8] Coppa, U., Guarnieri, A., Pirotti, F., and Vettore, A. (2009). "Accuracy Enhancement of Unmanned Helicopter Positioning With Low Cost System." *Applied Geomatics*, 1(3), 85-95.
- [9] Eissenbeis, H., Lambers, K., Sauerbier, M., and Zhang, L. (2005). "Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using an autonomous model helicopter." *Proceedings of CIPA International Symposium*, Torino, Italy, 238-243.
- [10] Eisenbeiss, H. (2007). "Application of photogrammetric processing using an autonomous model helicopter." *Proceedings of ISPRS Commission I Symposium*, Paris, France, 3-6. July, In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI (1/B), (CD-ROM).

2015 年 02 月 24 日 收稿

2015 年 06 月 12 日 修正

2015 年 06 月 23 日 接受

(本文開放討論至 2016 年 3 月 31 日)