

ISSN:1812-2868

# 臺灣公路工程

第 42 卷 第 1 期

〈 每月 15 日出刊 〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vo1. 42 No.1 Jan. 2016

交通部公路總局

中華民國 105 年 1 月 15 日

聖嚴法師 自在語  
～感恩培福～

多福少福當培福，知思念恩必報恩。

慈悲心化解怨敵，智慧心驅除煩惱。

恭敬心護持三寶，清淨心弘法利生。

感恩心體驗生活，精進心善用生命。

慚愧心增長福德，懺悔心消滅罪障。



封 面 說 明

台 61 線西濱公路將軍至七股完  
工路段

王富生 攝



# 臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

## 第 42 卷 第 1 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行。

### 實務報導

運用 UAV 在公路養護工作之創新策進作為

.....王韻瑾...(2)

### 臺灣公路工程

#### 發行人

趙興華

#### 社長

夏明勝

#### 總編輯

李忠璋

#### 編輯

張運鴻 賴常雄

陳進發 鄧文廣

林福山 黃三哲

蔡宗成 薛讚添

陳敬明 林清洲

廖吳章 翁有來

陳松堂 賴明煌

邵厚潔 何鴻文

本刊內容不代表本局意見

發表之文字如需轉載請先徵得本刊之同意

出版者：交通部公路總局

社址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

Address: No.65, Dongyuan St., Wanhua Dist.,

Taipei City 10863, Taiwan(R. O. C.)

電話：(02) 2307-0123 轉 8108

網址：<http://www.thb.gov.tw/>本局資訊/影音及出版品



## 運用 UAV 在公路養護工作之創新策進作為

王韻瑾\*

近來利用 UAV (Unmanned Aerial Vehicles) 執行任務，已大幅使用於環境監控(測)、氣象情資監控、即時救災等運用，本處首次將 UAV 運用在公路高邊坡防救災、橋梁檢測、用路人資訊，協助本處在公路養護業務上，可在災害發生時第一時間，當衛星或直升機可能受到地理環境險峻或厚實雲層影響與限制，無法進入拍攝或道路中斷無法進入災區，便可即時以 UAV 空拍回傳影像提供最新訊息！利用 UAV 影像結合空中攝影測量並建構數位地表高程模型精確記錄地貌，作為研判潛在邊坡穩定地區之危石評估。為精進本處養護工作，陸續執行道路防救災、路口交安維護、橋梁檢測、河川沖刷、幸福公路鐵馬行、公路建設空拍等，有效運用 e 化管理建置資料庫係有效提升業務效能，另首創「道路邊坡環境遙測 3D 影像建置與風險評估計畫」結合 GIS、三維座標，以分析評估公路邊坡穩定性、地質分析、危石量體與運動方式及後續處置方式，除分析致災、防災之風險管理，提前預知與防災並為減災與離災；本計畫也在 103 年獲得交通部創新獎工程類甲等獎第一名。

關鍵字：公路防災、UAV (無人載具飛機)、監測

### 一、緣由

由於全球暖化、氣候變遷影響環境，近年來台灣地區天然災害受到颱風豪雨侵襲或地震造成落石、邊坡坍塌、或土石流等災害，易造成生命財產嚴重損害，身為基層工程司不管是預判、部署、預警、應變四階段防汛預警應變機制執行工作，最重要的研究議題應為邊坡災害如何預警及監測，另是否可以預先研判邊坡潛在破壞區域或落石何時會坍塌？

102 年 8 月 31 日一場豪雨影響，造成基隆市中正區北寧路於碧砂漁港路段，發生坡地民宅倒塌與邊坡巨石滑落等災害，造成房屋全倒 1 棟，1 人受傷，疏散 28 人；若

---

\* 交通部公路總局第一區養護工程處 副處長

能在道路維護觀念上改變為災前預判部署，即著重預警工作，遂提出以無人飛行載具 UAV (Unmanned Aerial Vehicles) 執行特定任務，UAV 之運用在國外已有許多文獻提及；包含環境監控(測)、氣象監控、即時救災等運用，而本局尚未將 UAV 用在邊坡災害預警及監測工作，藉由本處首次自行購置採用 UAV 運用在公路高邊坡防救災、橋梁檢測、用路人資訊交安空拍等，協助本處在公路養護業務工作上，透過 UAV 的輕巧、機動性高；可在災害發生時第一時間，當衛星或直升機可能受到地理環境或雲層限制，無法進入災區拍攝狀況，或當道路中斷時，無法進入災區，即時利用 UAV 空拍災區後即可回傳影像，提供最新畫面訊息，作為勘災辨識情境方法，及諸多防災機制判定。另也運用在本處轄區橋梁檢查養護工作，如當橋梁無法使用檢測車巡檢時，由 UAV 輔助協助擔任巡檢工作。當市區複雜的路口監造工程司也運用 UAV 空拍影像作為交維評估分析之依據。所以，借重 UAV 已在本處養護工作上扮演非常重要的角色，缺一不可！

## 二、UAV 執行任務初探

由於 102 年 8 月 31 日一場豪雨使得基隆市北寧路於碧砂漁港路段，發生巨石滑落災害，造成民宅倒塌，1 人受傷；引起我的省思，對於本處轄區多數屬於山區道路及高邊坡，無法隨時掌握何時坍塌，如何能將高邊坡災害預警及監測工作做到位，有如防災一改以往被動式通報，應改變為主動積極是如此重要！為災前預判部署，也是將機制著重於預警，遂開始蒐尋北部地區及洽詢國立台北科技大學土木與防災所擁有 UAV 無人飛行載具，可執行特殊任務，並選擇在台 2 線 75k~84k 公路邊坡執行 UAV 空拍影像建置與分析工作，計畫執行如圖 2.1。

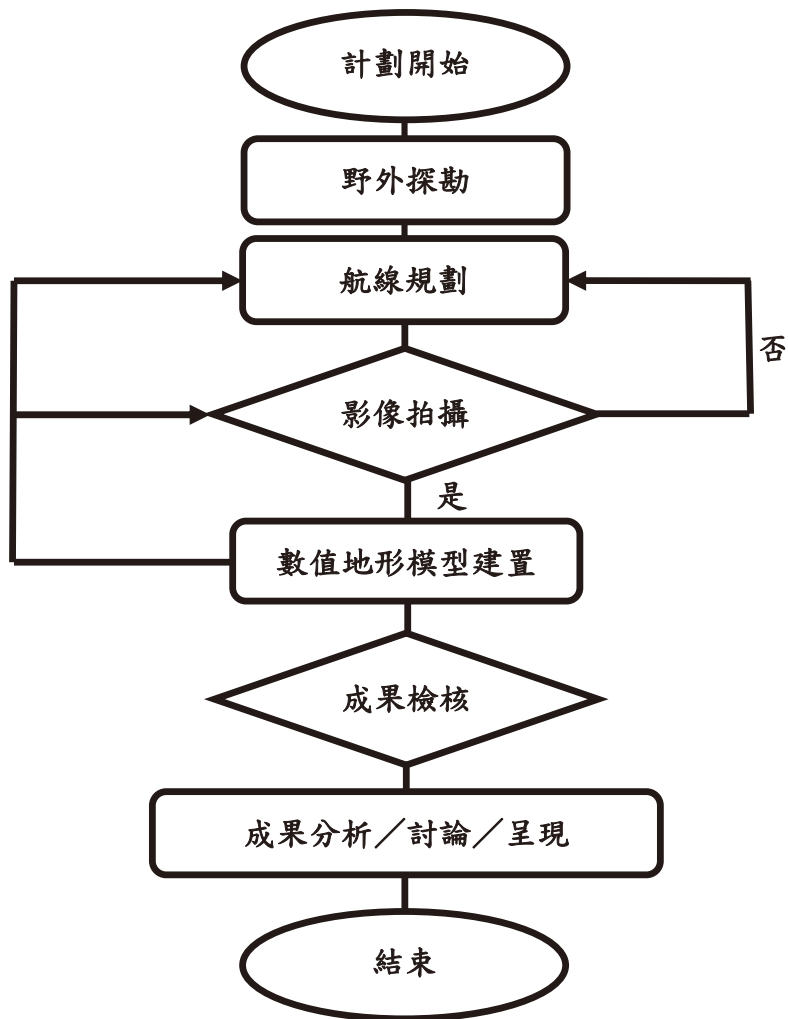


圖 2.1 計畫執行流程圖

## 2.1 研究流程與方法

由於通訊科技的快速發展，輕巧、機動性高的無人載具飛機扮演重要且關鍵角色，以防災工作而言，災中與災後初期，衛星與直升機受到雲層限制，無法拍攝災區情況，而以 UAV 深入山區風險極高，災後初期若道路中斷、人員難以進入災區，因此，若以 UAV 空拍災區畫面並即時回傳，一方面可以讓防災應變中心掌握災區現場狀況，提供防救災措施之參考，另一方面則蒐集最完整之災區資訊，透過跨領域、整合性研究可蒐集彙整更多資料。

透過影像處理軟體、空間模擬、電腦輔助設計及電腦輔助繪圖軟體所提供的功能，快速提供發展，而電腦視覺運算及運用中虛擬實境（Virtual Reality）是一門創新的技術，為三維互動式的電腦模擬技術，使用者藉由簡單的介面，加上可攜式資料就

可以體驗身歷其境的感受，飛行模擬器是虛擬實境技術最完整的發揮，隨著虛擬實境軟體功能的日新月異，更將虛擬實境運用推向大眾化與普遍化，如教育訓練、政治、旅遊、購物、廣告、通訊傳播、娛樂、太空研究……等。

虛擬實境要能呈現及視覺化，首先得建置三維模型，傳統上一般建模技術如要建立模型是非常耗工耗時，早期的虛擬實境，約是所謂的“幾何式虛擬實境（Geometry-based Virtual Reality）”，即虛擬實境的場景、物件都是靠電腦算出來的，各物件的產生是借助電腦的幾何運算再加上貼圖技術，從而產生所謂的虛擬實境，這種模式的優點是執行速度較快，效率也較高，且互動性強；另一種建模方式為“影像式虛擬實境（Image-based Virtual Reality）”，它是利用真實的影像，再以電腦技術為基礎，作一個類比我們真實環境的虛擬世界，已可快速產製精確細緻的三維模型。

#### (一) 無人飛行載具攝影測量

無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV），俗稱無人機或無人飛機，指的是不需駕駛員在機內駕駛的飛機。無人飛機包括線控（Wire piloted）、無線電遙控（Radio piloted）及自動導航（Auto piloted）等，其中以自動導航者具有完整系統特性，又稱無人載具系統（Unmanned Aircraft System, UAS）。無人飛行載具的規格，包括航程、續航力、速度、飛行高度、飛行時間、起飛總重、酬載重量、機身尺寸等。又依系統設計功能大致上可分成：氣動力外型、推進與能源系統、遙控與地面控制系統、穩定與控制系統、影像擷取系統、導航與通訊系統、感測器系統等。在推進與能源系統方面，無人飛行載具使用的推進系統大致可分為螺旋槳配馬達或小型內燃機、微噴射引擎、或微燃氣渦輪等。其中，以馬達搭配鋰電池或以燃油供給小型內燃機引擎來產生動力最為常見。

針對自然災害的調查研究中，進行災後調查或土石災區即時現勘時，常因崩塌地或土石流料源堆積於人煙稀少、無道路可通達之處，因而無法取得良好照片以進行整體狀況之評估。如能藉由無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）適時的運用，因其具有機動力強、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，可取得災害地區即時、清晰、全面之中低空照片，並作為後續分析災害原因與災後整治之用。結合現地調查標準作業流程，進行中低空無人載具之航拍及資料蒐集，首先由各期遙測影像蒐集、地文水文資料蒐集，並依據現勘人員之初步結論規劃無人載具航拍之拍攝重點與角度要求，以收取最大的功效；透過航拍可清楚鳥瞰災害土石流災害全景，明確辨識災害範圍，以彌補地面勘災「見樹不見林」之不足。

近年來由於全球環境變遷問題所帶來的影響，地震、颱風等天然災害事件，

使國際間愈來愈重視國土安全問題，也更強調預防與應變準備。未來在防災土石流監測、海岸緝私、土地開發規畫、國土保安、海洋或森林資料探測保護、監控颱風、水患、土石流及火災現場廣播指揮等工作需要相對即時性的載具運用。無人飛行載具以機器代替人力之特性，在完全不用耗損任何飛行員的狀態下完成任務，可節省大量人力及財力，並提升工作效率，達成情報與資訊分享、災害應變管理、國境管理之目的。因此就 UAV 可支援 3000 公尺以下機動性空拍，可依需求不同，提供多角度之空照圖，可機動、快速提供各種不同地區之空拍服務，以及可依需求提供動態影像、靜態照片等特性觀之，無人飛行載具未來無論在各領域，尤其在防救災方面的研究與應用，有其廣大的發展空間。

## (二) 近景攝影測量

攝影測量是指經由相片影像來記錄待測物體及周圍相關資訊的技術，除了可搭配衛星與飛機等載具，進行大面積的量測範圍；一般攝影物距在 1000 英尺（約 304 公尺）以內，均為近景攝影測量（Karara, H.M., Abdel-Aziz, Y.I., 1974），其主要用於小面積範圍的目標物測量，由於物距短，所以大氣折光與地球曲率之影像可不計論。

近景攝影測量在地面攝影測量方面，其應用之原因，在於邊坡受災後其未知狀況很多，如：氣候因素、試驗區域坡度大小、土壤穩定性...等，在災後環境狀況不明，人力分配、人員安全性需要全面考量之情形下，透過無人工佈標之前置作業，除了減少人員佈標所承擔之安全風險，本團隊亦開發相關工具，可用一般相機進行連續拍攝數張照片後，再以近景攝影測量技術所建置三維立體野外地形、地物及地質等特徵。

無人飛行載具由於有機動力強、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，可取得災害地區即時、清晰、全面之中低空照片，並作為後續分析災害原因與災後整治之用。以無人飛行載具進行航空攝影測量，由地表特徵物的辨識，再反求特徵點的空間所在位置；經由大量的特徵點的計算後，即可建置大量三維座標（點雲），並同時透過數位攝影機記錄取樣點顏色，測量結果可以建構數位地表高程模型來精確記錄地貌，可用於記錄地形變遷、地圖製作或是產生地面模型，此一精確的三維座標，可做為土地建築都市規劃、自然地貌河床地形測量、以及山坡監測等用途之應用。如在颱風預報或豪雨特報前、後期，快速將邊坡崩塌地掃描，以便能提供後續量測、建置 3D 數位模型及點雲資料處理分析等運用。

現有 Microdrones MD4-1000 型 UAV 可支援 4000 公尺以下機動性空拍，亦可



依任務需求不同，提供多角度之空照圖，可機動、快速提供各種不同地區之空拍服務，以及可依需求提供動態影像、靜態照片等特性觀之，無人飛行載具未來無論在各領域，尤其在防救災方面的研究與應用，有其廣大的發展空間。(如表 2.1 及圖 2.2~2.7)

表 2.1 Microdrones MD4-1000 無人飛行載具相關資訊

機身自重	2650g
巡航速度	15m/s
爬升速率	7.5m/s
任務載荷	1200g
飛行時間*	最大 70 分鐘
起飛重量	<5550g
環境風力	<12m/s
工作海拔	4000m

\* 視電池配置、任務負載、環境、操控方式不同而有所差異

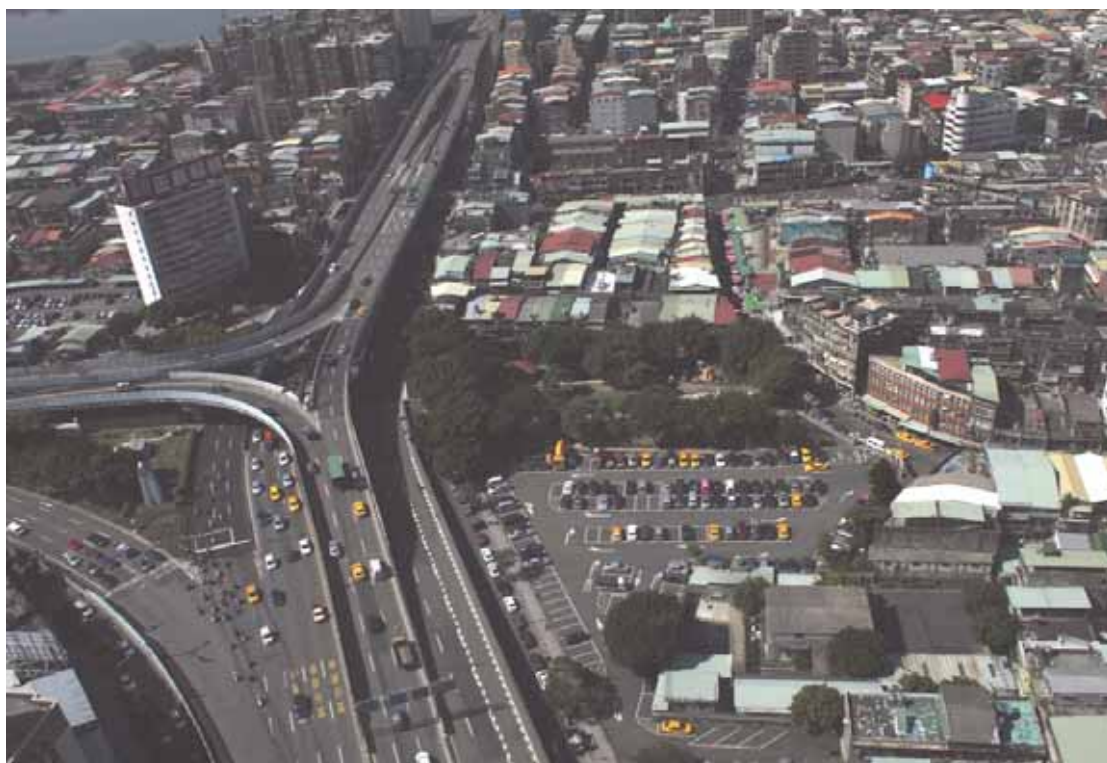


圖 2.2 台北百齡橋航測成果示例

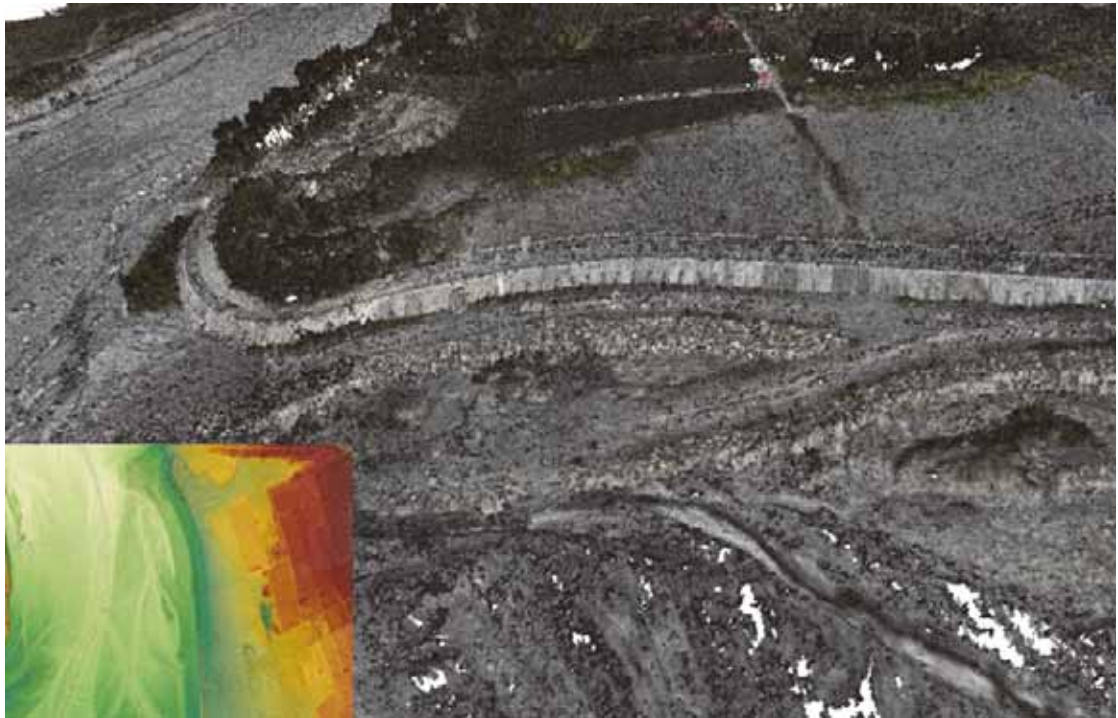


圖 2.3 無人飛機拍攝陳有蘭溪附近區域影像之點雲建置成果



圖 2.4 無人飛機於屏東來義附近影像地形地物三維模型視覺重建





圖 2.5 無人飛機影像社區地形、地物建置後三維模型視覺重建



圖 2.6 地面上所拍攝之相片所建置之擬真地形三維側視



圖 2.7 LiDAR DSM vs. UAV DSM 之空間解析度比較情形及 UAV 正射影像

### (三) UAV 飛行工作內容項目

以無人飛行載具進行航空攝影測量施測需進行飛航規畫，內容包括航線規畫、測製成果等，依下列作業要求及精度規範辦理：

#### 1. 平面基準

- (1) 採用內政部公告之 TWD97 平面基準。
- (2) 投影坐標系統：採用經差 2 度分帶之橫麥卡托坐標系統，中央子午線為東經 121 度，中央子午線尺度比為 0.9999，中央子午線與赤道之交點西移 250,000 公尺為坐標原點。

#### 2. 高程基準

- (1) 採用內政部公告之 TWVD2001 高程基準。

#### 3. 航拍路線規劃

- (1) 配合計畫需求，考量航高、拍攝之範圍 (field of view, FOV)、影像重疊率、地面解析度 (或比例尺) 等相關因子，以提供後續製圖之運用。
- (2) 航拍重疊比例：航向重疊 (overlap) 須大於 (含) 60%，側向重疊 (sidelap) 須大於 (含) 30%，各航帶前後應於計畫測區範圍外各多拍 1 個像對。
- (3) 航拍路線規畫時，指定航線、航點 (waypoint) 位置，以利後續其他時期影像



拍攝時，可以取得相同位置，相同視角之影像，以方便分析及運用。

#### 4.無人飛行載具航拍影像數值地面模型（DSM）製作：

- (1)網格間距：25 公分×25 公分（或更高晰度）網格。
- (2)資料格式：數據以公尺為單位，坐標位數保留至小數點以下 2 位。
- (3)應對檢核數據之高程精度做分析。

#### 5.成果：

- (1)航空攝影相片涵蓋圖 1 份（展繪於 TWD 97 坐標系統地形圖上，並註記攝影日期及航測控制點及各航線涵蓋範圍）。
- (2)原始觀測資料及計算成果，含正射影像數值檔，其像元地面解析度（Ground Sample Distance, GSD）優於 10 公分。
- (3)數值地面模型（DSM）及數值高程模型（DEM）製作成果，點雲空間取樣平均解析度高於 20 公分。

## 2.2 外業計畫與執行

無人飛行載具為一重要防救災及災害即時製圖工具，運用已購置之 Microdrones MD4-1000 型高規格無人飛行載具（如圖 2.8 所示），本機具毋需人員於機上控制的載台，機動性極高，且相對安全而價廉。同時具備定位定向導航系統、自動飛行控制、即時影像、無線通訊系統、多種影像感測器、慣性測量儀器（Inertial Measurement unit, IMU，包含加速度計和陀螺儀）以及資料記錄器等功能，使空間資料的蒐集與調查更加便利而快速，可大幅提昇空間資訊取得之時效性。

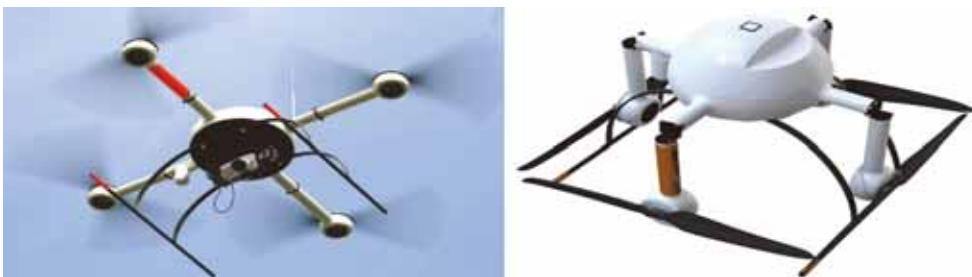


圖 2.8 本計畫內所用之航拍用旋翼型無人載具 Microdrones MD4-1000

採取無人飛行載具可經由地面控制站透過人工操控外，設定預定之飛行航線、航高與拍照頻率，使其按照設定進行自動飛航與攝影，如圖 2.9 所示。



(A) 地面控制設備

(B) 航線規劃畫面

圖 2.9 地面控制站

### (一) 相機參數率定

使用非量測型相機進行空拍，因使用非量測型相機，所以在空拍前須進行相機率定，來求得相機鏡頭之畸變差、焦距及像主點等內方位參數，以此參數作為後續建置 DTM 所需。相機率定軟體採用 PIEnceering RapidCal，先將相機率定所需拍攝之率定表印製出來（如圖 2.10），再以須率定相機進行拍攝。

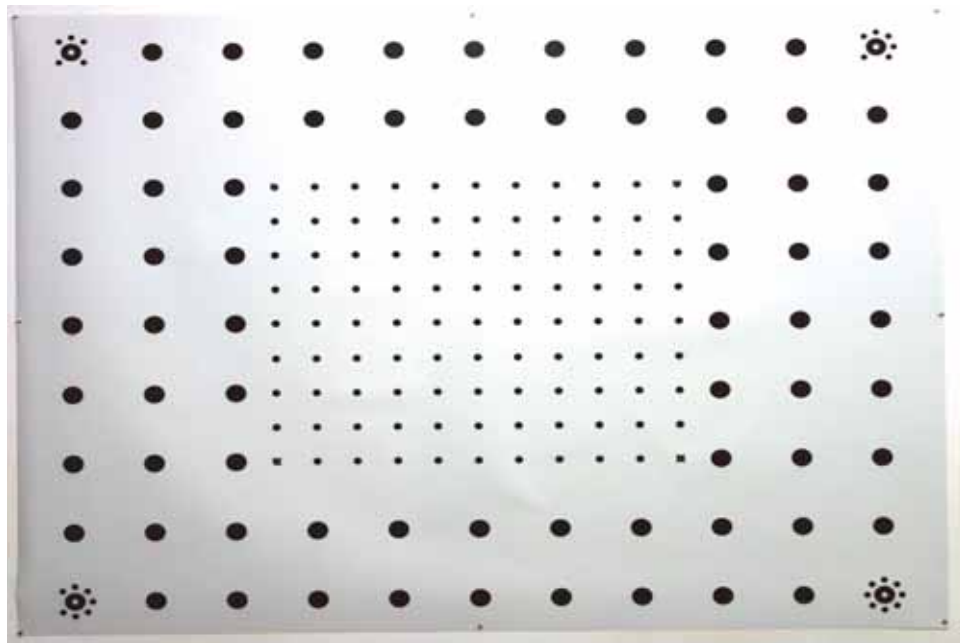


圖 2.10 率定表

以 Sony RX100 相機拍攝十種不同角度之影像，拍攝角度為近中、近左上、近左下、近右上、近右下、遠中、遠左上、遠左下、遠右上、遠右下等一共十種角度拍攝（如圖 2.11），每個角度拍攝一張照片，共計十張照片，來進行相機及鏡頭率定

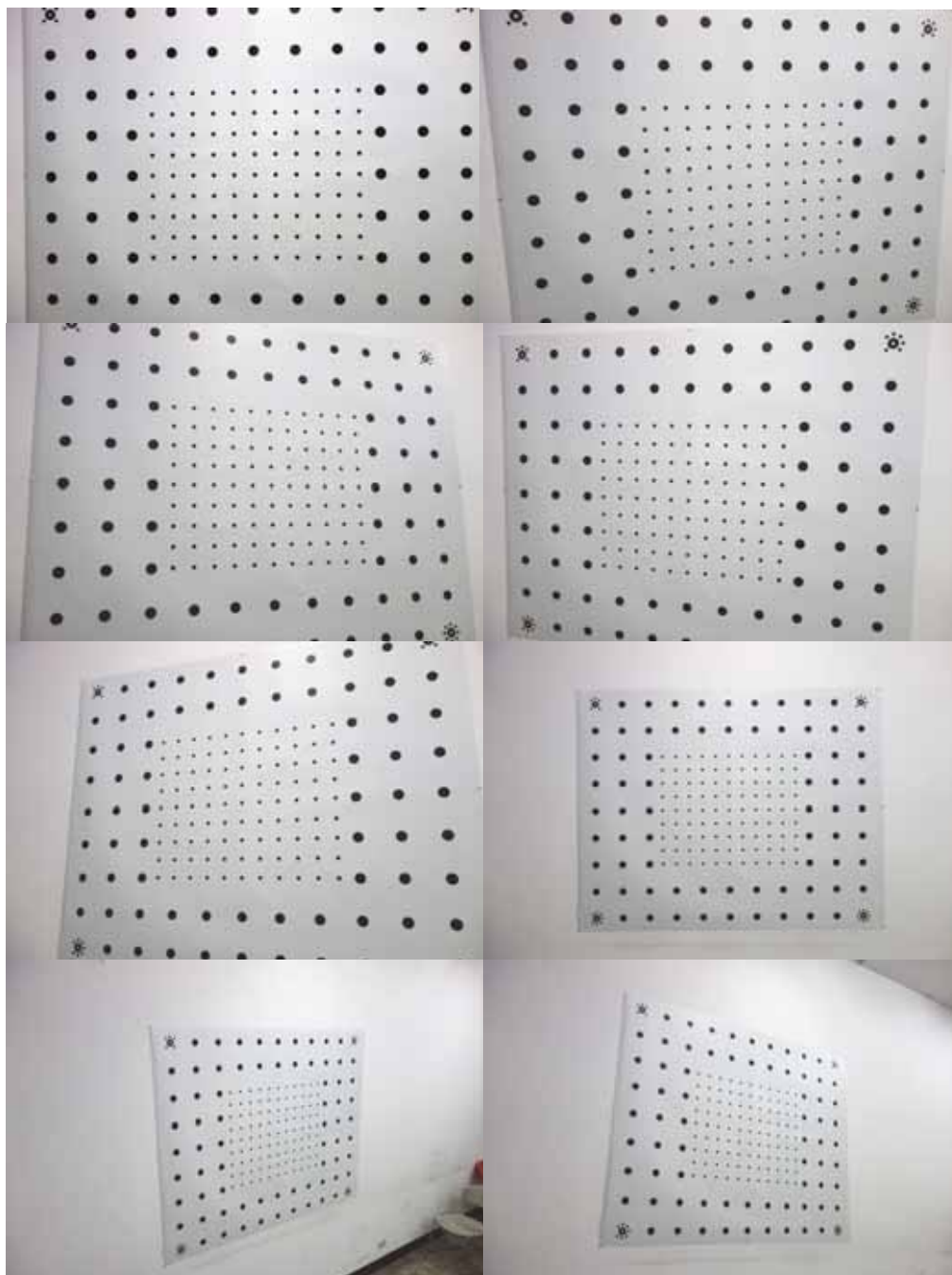




圖 2.11 十種拍攝角度

照片中各點位距離為已知距離，由軟體自動偵測與標記各點位後，解算照片點位分析出相機參數，其解算成果，有焦距、像主點、輻射畸變差（Radial Distortion）及離心畸變差（Tangential Distortion），共七個參數如表 2.2 所示

表 2.2 Sony RX100 相機參數

率定日期		2013/12/26
Sony RX100 相機		28 mm 鏡頭
Sensor_width		5472 pixel, 13.20 mm
Sensor_height		3648 pixel, 8.80 mm
Focal Length 焦距 f (pixel)		4416.5249220724954
Principal Point 像主點 Xp (pixel)		2712.0726790350709
Principal Point 像主點 Yp (pixel)		1845.9357460506665
Radial Distortion 輻射畸變差	K1	4.6151152200209502
	K2	-0.8752843251963881
	K3	0.054133850487189529
Tangential Distortion 離心畸變差	P1	-0.58095705435885214
	P2	-1.0238347315199068



## (二) UAV 航拍流程

透過 UAV 實際執行現地飛行及攝影工作，如圖 2.12。

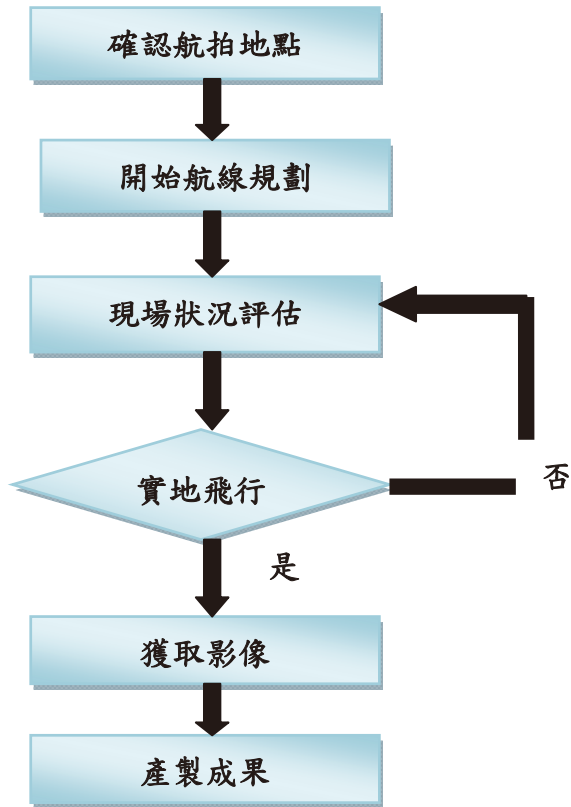


圖 2.12 UAV 航拍流程

## (三) 航線規劃

利用 mdcockpit3 軟體進行航線規劃，依照 UAV 電池電力來規劃每條航線飛行的距離與拍照地點，因拍攝範圍較大，故規劃有 6 條航線，飛航高度約為 120 公尺，規劃航拍地點共 333 個，每個點位拍兩張照片避免拍照時巧遇陣風使照片模糊不易於辨識，最終照片總數為 666 張，拍攝總面積約為 52 公頃，航線規劃成果套疊在 Google Earth 上（如圖 2.13）

為更完整方便地取得所有影像，故在航線規劃過程中，直接使用連續拍攝方式來獲取所有影像，故規劃航線兩側，以及航線轉折處之航點，不以全線航點/拍照點的方式進行。本計畫中之航線規劃範例，如圖 2.14 所示。

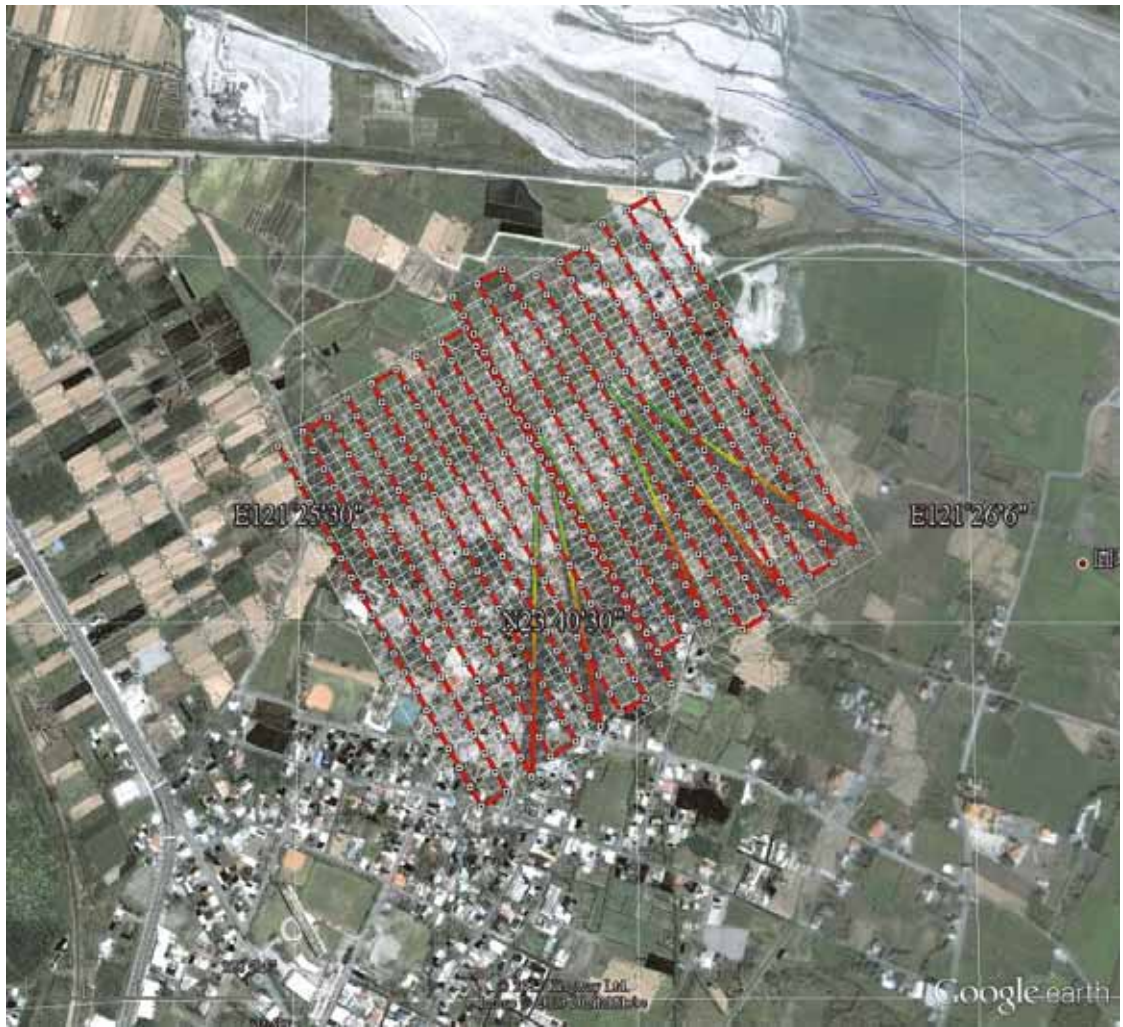


圖 2.13 航線規劃示例

研究區域位於台 2 線上東北角濱海公路里程數 75k~78k 及 81k~84k 兩段，其中 75k~78k 一段，因地形落差較大，故飛行高度較高，平均航高在 300 公尺左右，一共拍攝 299 張影像；81k~84k 一段，航線平均高度約 250 公尺，一共拍攝 164 張影像。

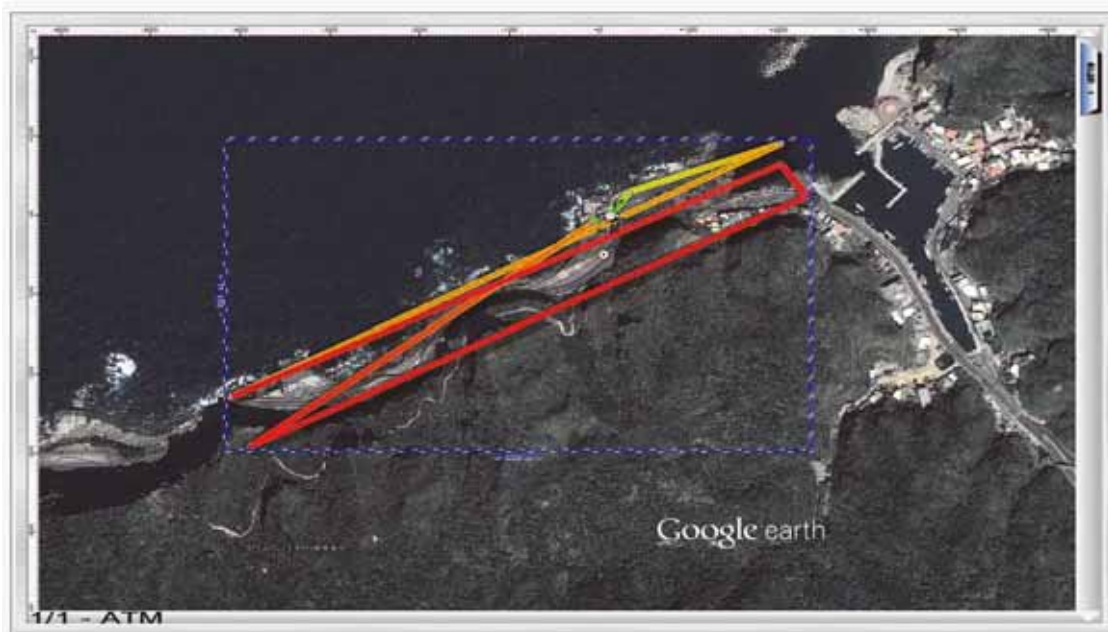


圖 2.14 航線規劃示例

## 2.3 內業資料處理

### (一) 航空攝影原理

空中測量又稱航空攝影測量或航空測量是經由相片攝影、量測及判讀等處理程序而獲得物體及周圍環境可靠資訊的一種藝術、科學及技術，且具有方便、精確、快速等多項優點，是一種遙距感應的測量方法。應用範圍可從學術研究、地理資訊系統、各種工程的設計與規劃、災害分析，到軍事目的等。

航空測量時，為了要得到立體空間的資訊，即前後張影像需重疊，才能於重疊區域內建置出數值地形模型。相同航帶前後重疊需大於 60%，相異航帶側向重疊約寬度 20%~30%，因無人載具屬小範圍定點拍攝，所以重疊率基本上可達到前後重疊 70%，側向重達 60%之高重疊率，有助於區域資料的建制。

### (二) 航照空中三角參數

利用飛行機具上裝載高精密度之攝影器具，在預定的航帶上以特定的高度飛行，針對目標區域來拍攝航空相片，藉由處理航空相片來取得現地的資料，有別於傳統量測方法，需要花費大量的人力、資源及時間到現地進行量測，一些人員機具難以到達的地方，也可以利用航空攝影測量輕易的取得其資訊。

人的雙眼之所以能對物體產生立體感及距離感，係因為視差角的關係，航空攝影測量就是利用此原理，以不同之 2D 航空相片，針對相片中相同之涵蓋區

域，利用程式進行空中三角計算，修正照相時所產生之誤差，即可產生立體之數值地型模型（DTM），並將航空照片進行正射，給予座標系統。相鄰的兩張航空相片，相同航帶的左右兩張重疊範圍至少需要超過 60%，而相鄰航帶的上下兩張重疊範圍至少超過 25%，相片中只有重疊的部份可以產製數值地形模型。

在航空攝影測量中經常提到三種座標系統：（1）相片座標系統：一般在影像的四周會有框標點，而座標原點通常在相片的中心，利用各框標點來計算相片上各點的點位，為一已知值；內方位參數（圖 2.15）乃是決定由攝影機中心到物點之距離，即為此座標系統。（2）影像座標系統：影像座標系統是採用像素（Pixel）來當作量度單位，一般其座標原點在左上方，或影像的中心點。（3）地面座標系統：即是實境的座標系統，台灣通常採用 TWD67、TWD97、WGS84；外方位參數（圖 2.16）即為相機在地面座標系統上之 X、Y、Z 值及相機在空中對地面之三方向之轉角  $\omega$ 、 $\phi$ 、 $\kappa$ 。

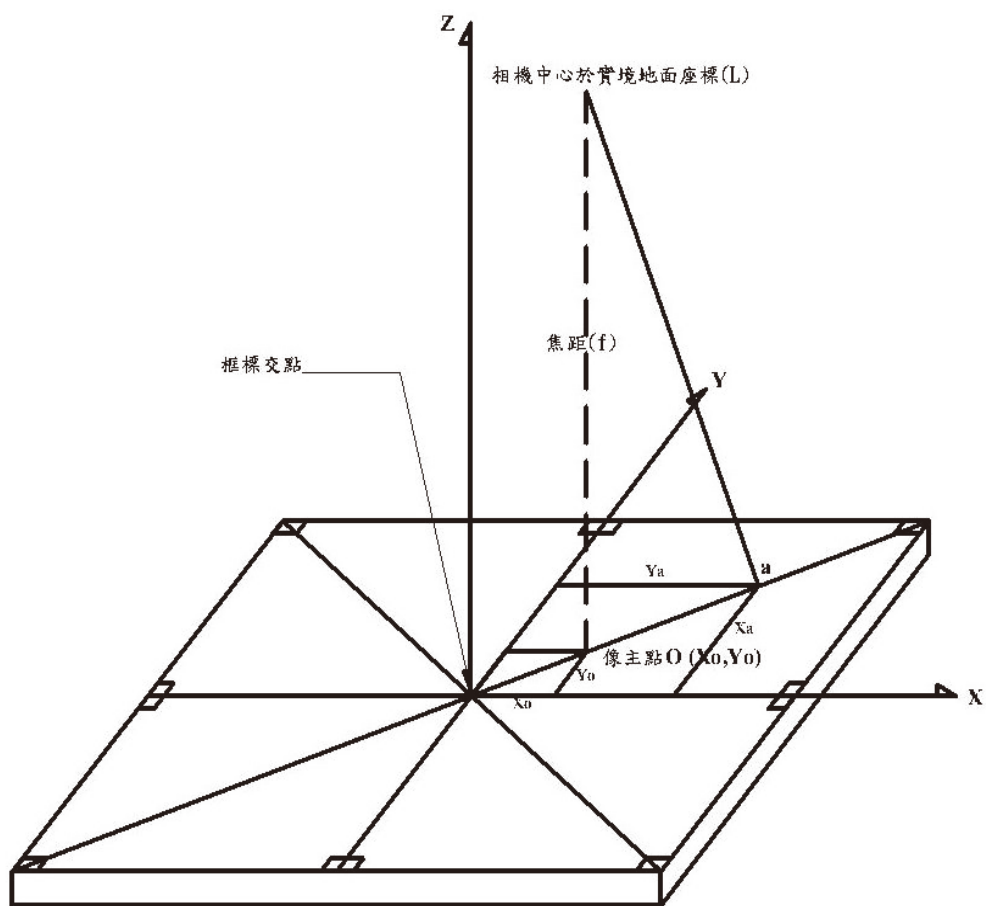


圖 2.15 內方位座標系統示意圖



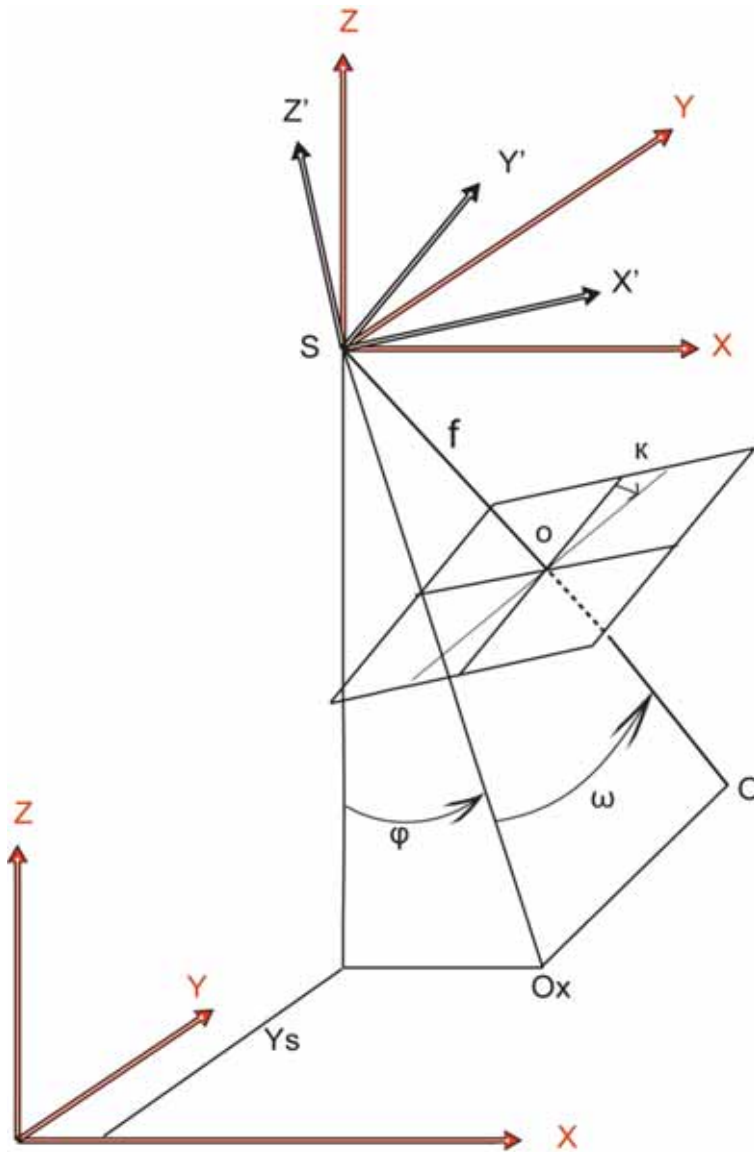


圖 2.16 外方位座標系統示意圖

要將平面二維之航空相片製成立體的數值地形模型，除了相片間需要有相同涵蓋之區域，還必須藉由地面控制點，才能反推出相機在空中之外方位參數。所謂的地面控制點，即是在相片上針對特殊之地形或明顯之地標，賦予其絕對座標，藉由在不同相片上之相同的控制點，進行空中三角計算，來求得相機中心點之外方位參數；地面控制點最好平均分布在相片範圍，且應該避免選取因日照而產生的陰影，以及垂直落差太大，存在高差位移。

### (三) 無人飛行載具影像數值地形產製

運用無人飛行載具拍攝研究區內清晰、中低空之影像，來進行航空攝影測量中重疊區域內地表特徵物的辨識，再反求特徵點的空間所在位置；經由大量的特徵點的計算後，即可建置大量三維座標（點雲），並同時透過數位攝影機記錄取樣點顏色，並建構數位地表高程模型來精確記錄地貌。其地形模型建置及處理流程如圖 2.17 所示。

研究區域位於台 2 線上東北角濱海公路里程數 75k~78k 及 81k~84k 兩段，其中 75k~78k 一段，因地形落差較大，故飛行高度較高，平均航高在 300 公尺左右，一共拍攝 299 張影像，所建置之成果，其總面積 2.51 平方公里，正射影像之地面取樣率為 8.09 cm，空間點雲一共 21,145,265 個點；81k~84k 一段，航線平均高度約 250 公尺，一共拍攝 164 張影像，所建置之成果，其總面積 2.24 平方公里，正射影像之地面取樣率為 7.42 cm，空間點雲一共 17,977,265 個點。

再將所求算之空間點雲，進行點雲上色，原本點雲上並無色彩區隔，所以利用正射影像把點雲上色使點雲容易辨識，所建置出來的點雲成果，各如圖 2.18~圖 2.22 所示。再以所建置之點雲，進行電腦三維視覺模擬，以擬真現地所看到的狀況，其擬真效果如圖 2.23~圖 2.26 所示。最後以所求得之點雲，進行數值地形模型建置，以為其他地理資訊系統後續分析之用。其地理資訊系統資料庫建置成果如圖 2.27 所示。

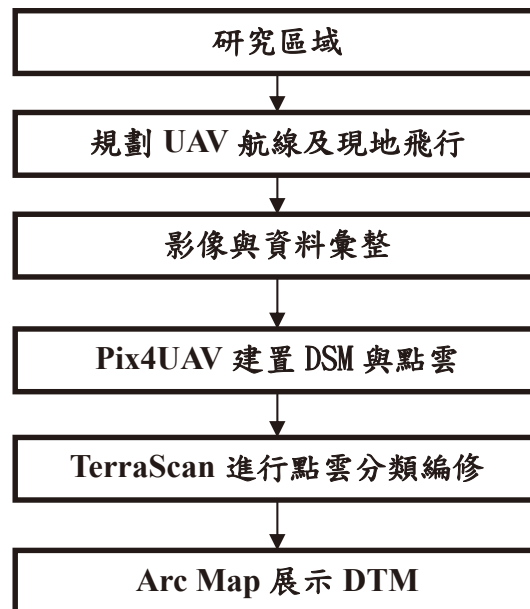


圖 2.17 數值地形模型製作流程

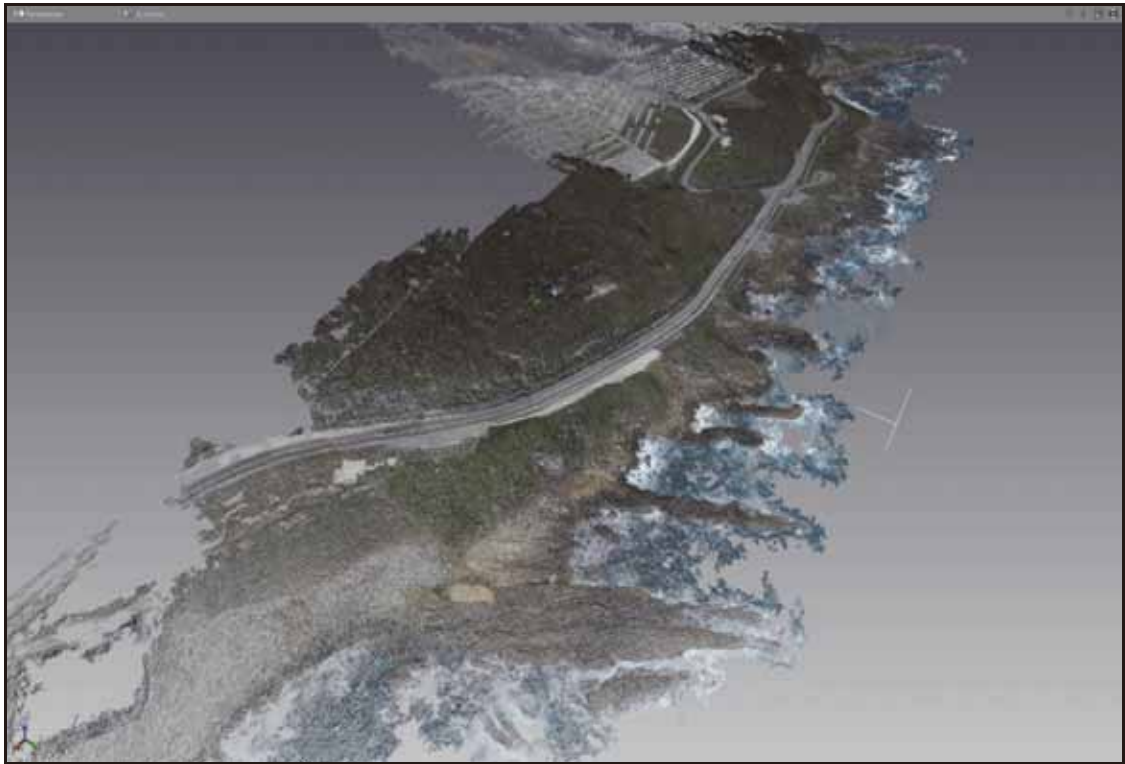


圖 2.18 75k~76k 附近無人飛行載具影像測量點及點雲上色成果

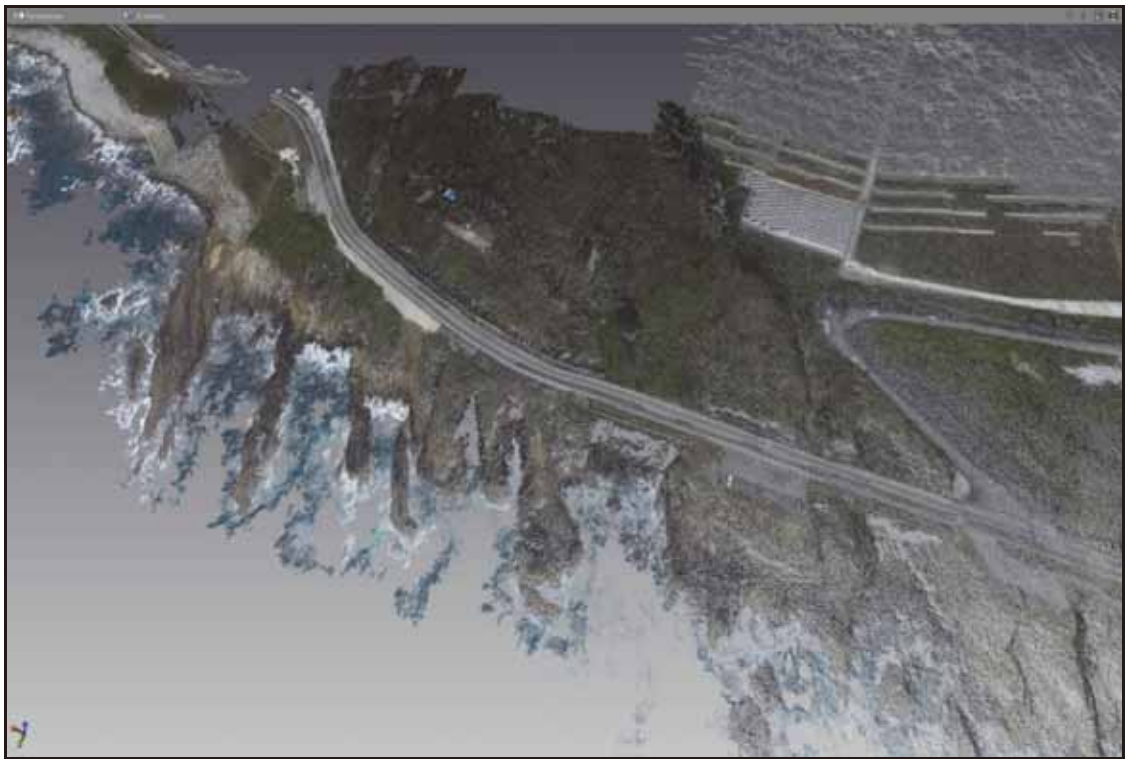


圖 2.19 76k 附近無人飛行載具影像測量點及點雲上色成果



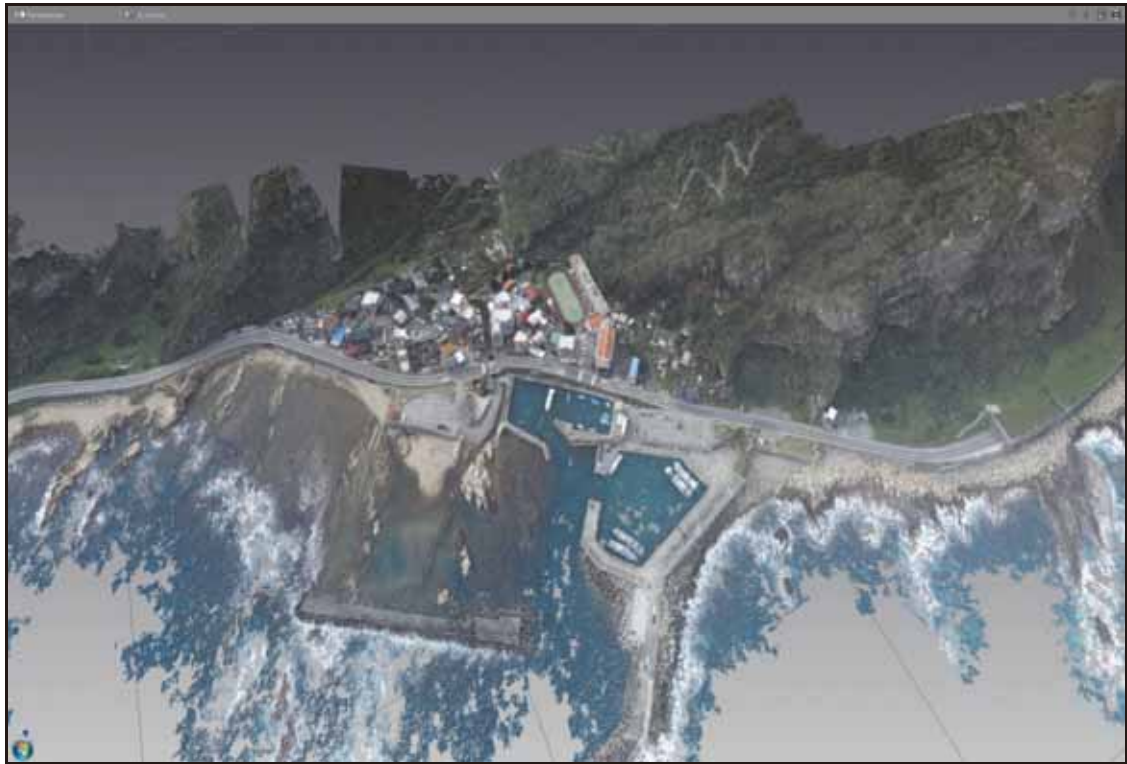


圖 2.20 81k 附近無人飛行載具影像測量點及點雲上色成果

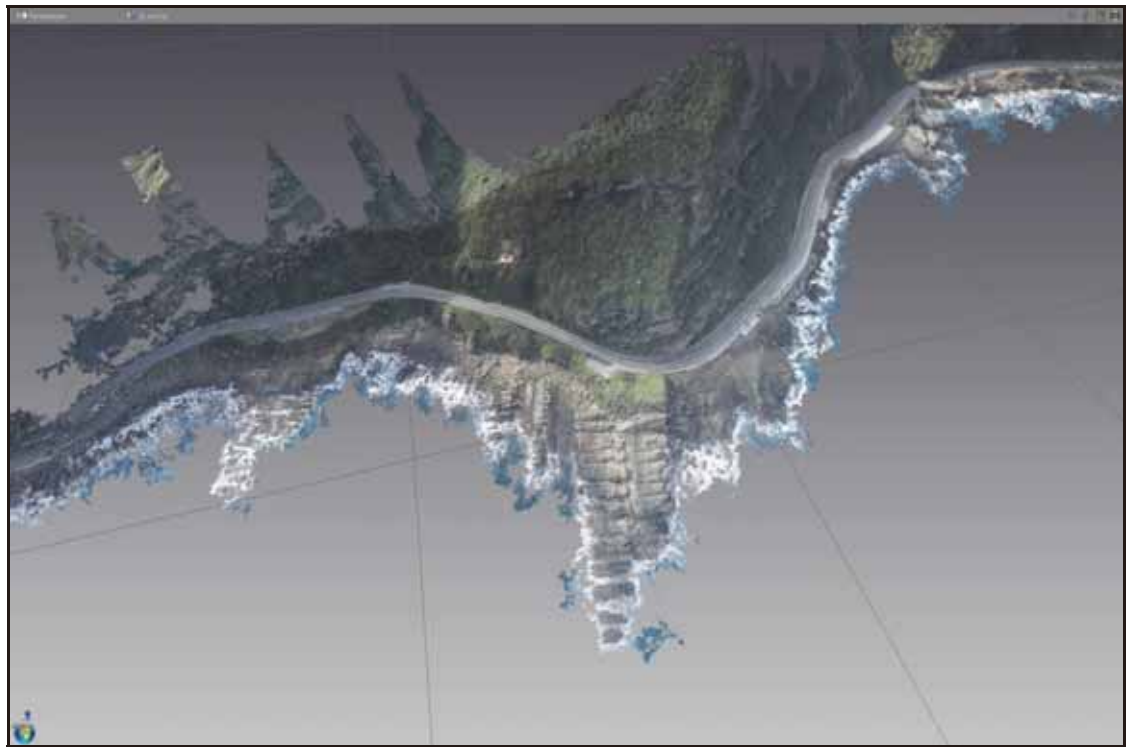


圖 2.21 83k 附近無人飛行載具影像測量點及點雲上色成果

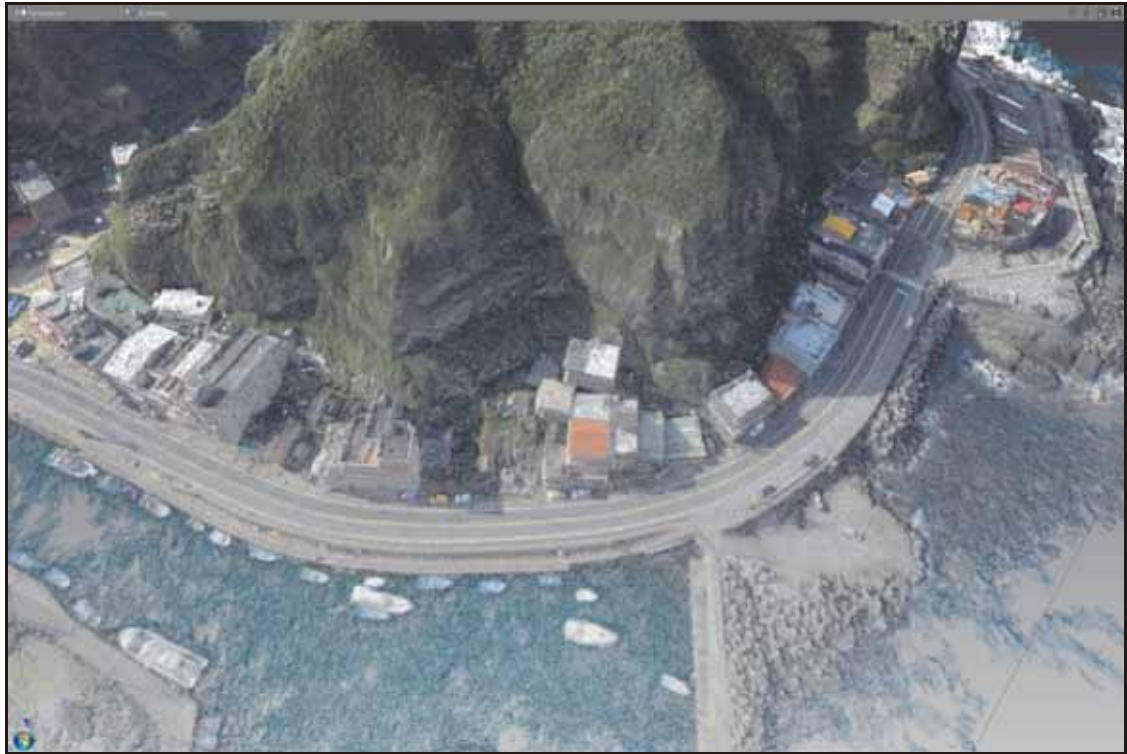


圖 2.22 84.5k 附近無人飛行載具影像測量點及點雲上色成果

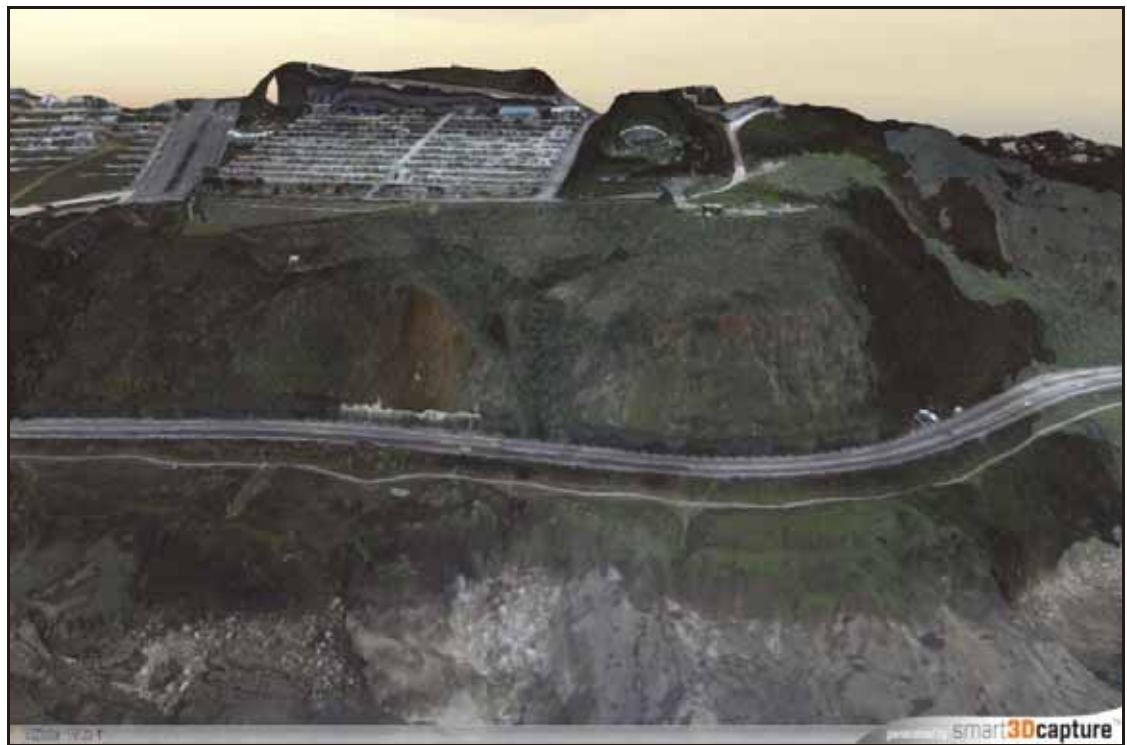


圖 2.23 75.5k 附近無人飛機影像地形地物三維模型視覺重建（另一視角）



圖 2.24 77k 附近無人飛機影像地形地物三維模型視覺重建



圖 2.25 81.5k 附近無人飛機影像地形地物三維模型視覺重建





圖 2.26 81.5k 附近無人飛機影像地形地物三維模型視覺重建（另一視角）

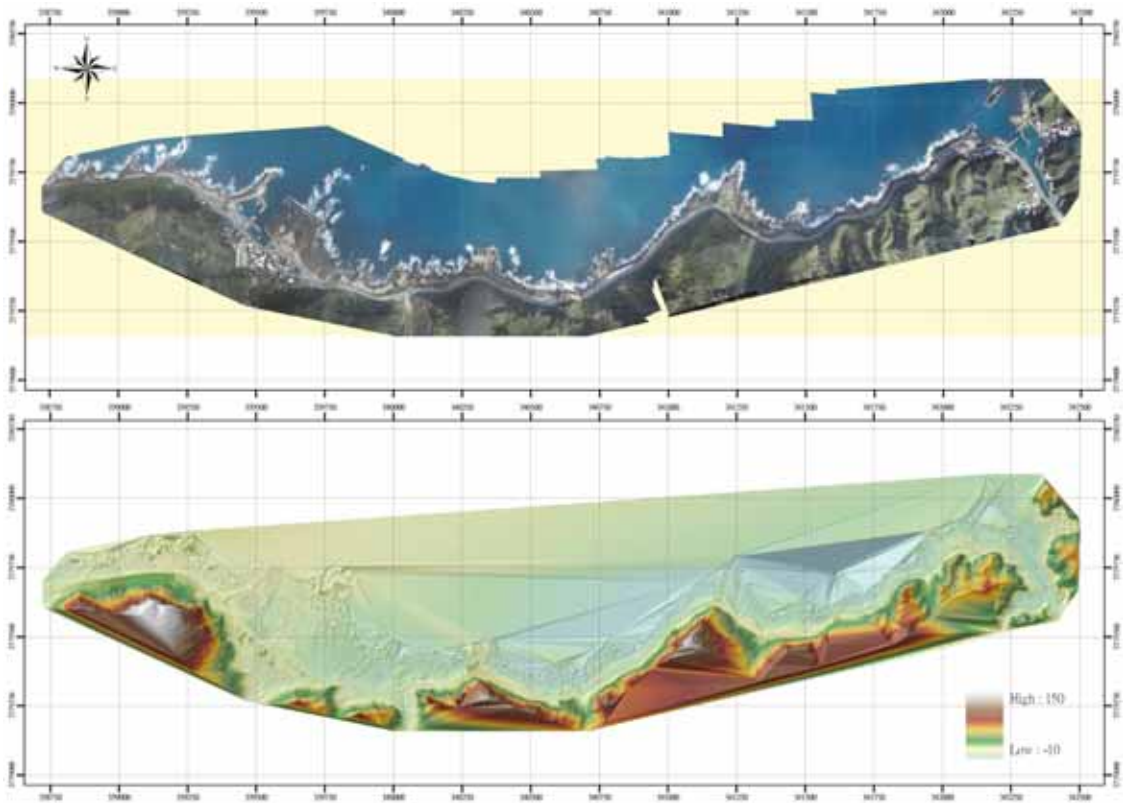


圖 2.27 81k~84k 附近正射影像及數值地形模型

## 2.4 坡地穩定分析

### (一) 道路一般情況

研究區域位於台 2 線公路 75k~78k 及 81k~84k 兩段。其中 75k~78k 一段，由西而東，處南港層之厚層砂岩內，其間夾了基隆山之火成侵入岩體，再往東，仍位處南港層。基本上岩性較為單一，但因基隆山凸峙，形成稍為高陡之地形，火成岩體一般較為堅實完整，而南港層其位態亦較水平，無順向滑動之虞，至因本區位處海邊，且受東北季風之臨風面影響，岩體易於快速風化，故於邊坡上常見厚層之崩積層，其間夾雜大小不一之岩塊，因海岸侵蝕後退，致使路堤邊坡一側，較易發生崩積土層崩落之失穩問題。其相關案例如圖 2.28 所示。

81k~84k 一段，道堤邊坡一側，地形異常高陡、近乎垂直，本段位處桂竹林層內，西側為泥質砂岩為主，偶夾白砂岩之大埔段，東側則為泥質砂岩及頁岩為主之二鬮段；本區內岩層位態呈東北—東北東走向，傾向東南側，故道路邊坡一側主要為逆向坡，但因岩體向解理發達，其中一組平到道路主要方向，另一組近乎直交，兩相共軛，加之地形近乎垂直，故致使本路易產生逆向坡之翻覆（rock topple）及落石情況產生。其相關案例如圖 2.29 所示。

### (二) 危石評估

本計畫台 2 線公路 75k~78k 及 81k~84k 兩段，其中 75k~78k 邊坡上常見厚層之崩積層，但邊坡坡度稍緩，初步推論較可能之坡地失穩及可能致災處，其相關位置及視覺模擬側視，如圖 2.28 所示。另 81k~84k 段，道路邊坡地形異常高陡、近乎垂直，危石評估及分析中指出可能致災處有 12 處，可能致災之主要塊體運動形式為逆向坡之翻覆及落石情況，其相關位置及側視如圖 2.29~圖 2.41（僅列出具有代表性之圖片）所示；另表 2.3 列出可能之致災區域等相關資訊。

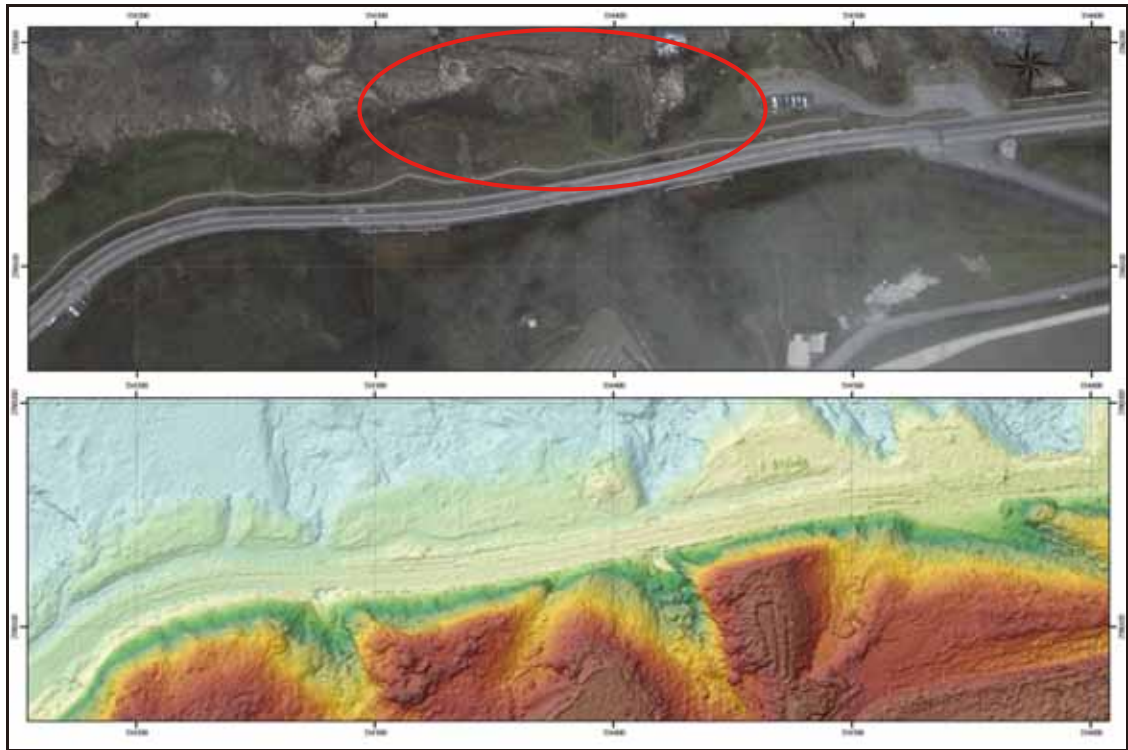


圖 2.28 75.5k 坡面崩積物滑落情形

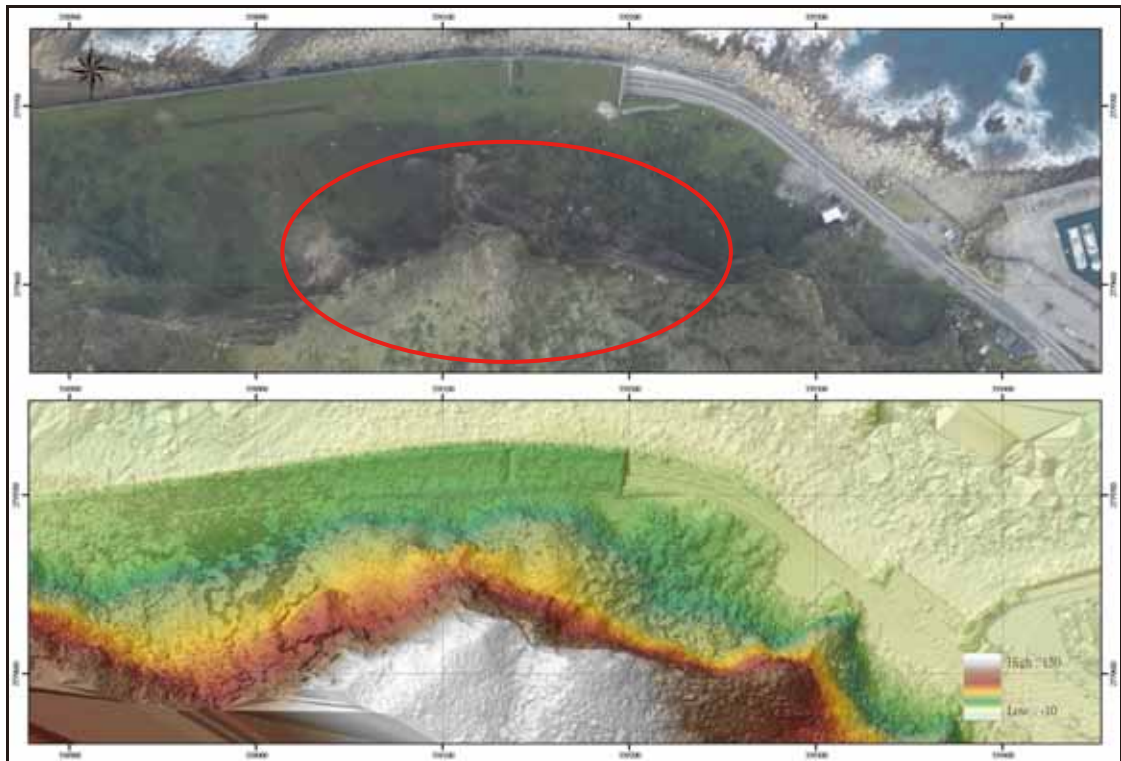


圖 2.29 81k 附近崖頂岩體崩落情形





圖 2.30 82k 附近崖頂岩體崩落情形

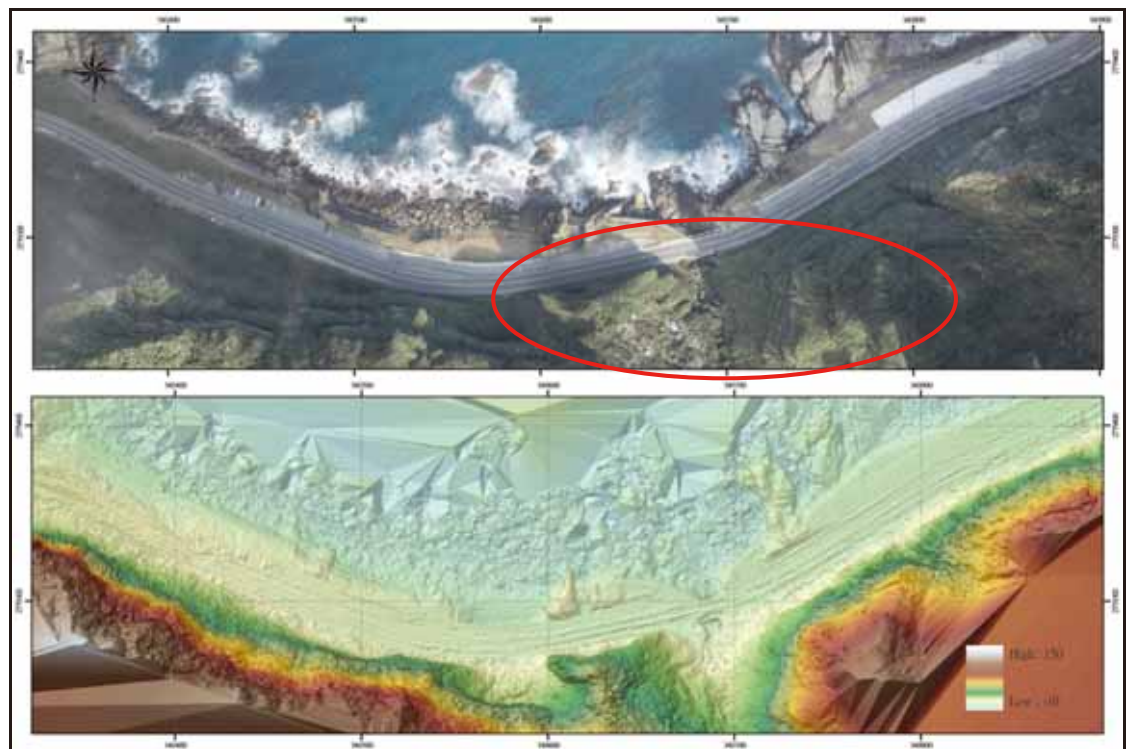


圖 2.31 82.5k 附近崖頂岩體崩落情形

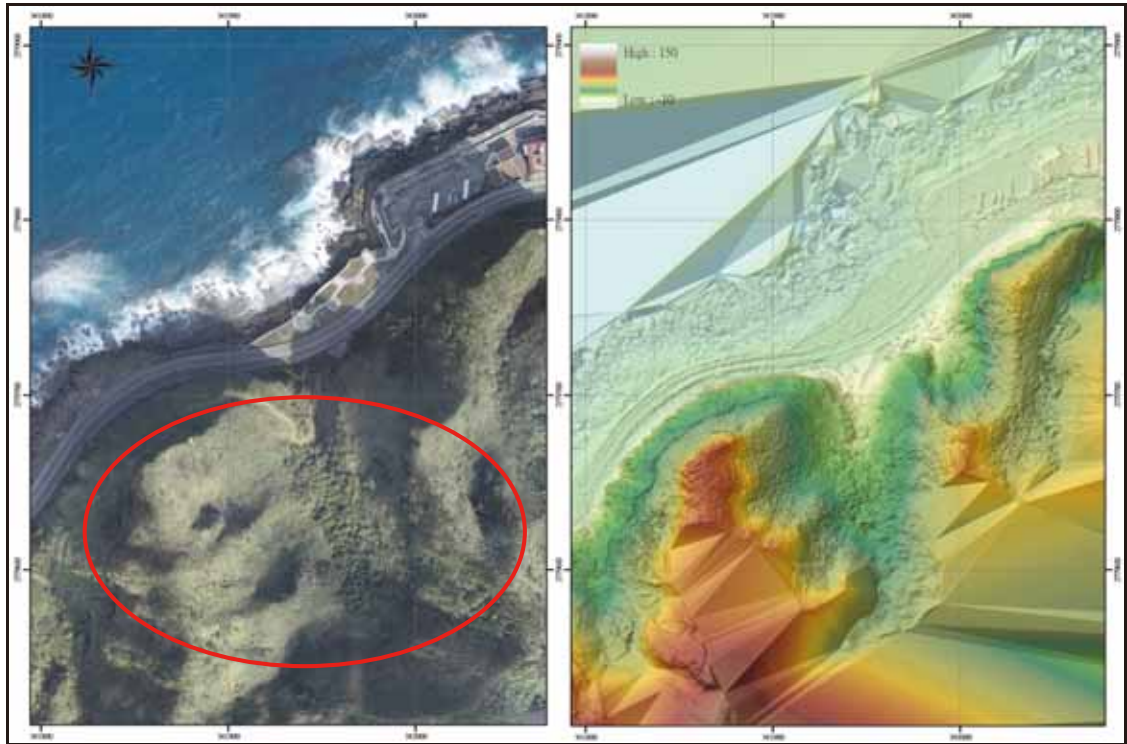


圖 2.32 近 84k 處崖頂岩體崩落情形



圖 2.33 81k 附近潛在邊坡失穩區域（編號 1）





圖 2.34 82k 附近潛在邊坡失穩區域 (編號 3)



圖 2.35 82.5k 附近潛在邊坡失穩區域 (編號 5)



圖 2.36 82.5k 附近潛在邊坡失穩區域 (編號 6)



圖 2.37 83k 附近潛在邊坡失穩區域 (編號 7)





圖 2.38 83.5k 附近潛在邊坡失穩區域 (編號 10)



圖 2.39 84k 附近潛在邊坡失穩區域 (編號 11)



圖 2.40 75.5k 附近潛在邊坡失穩區域 (編號 13)



圖 2.41 75.5k 附近潛在邊坡失穩區域 (編號 14)

表 2.3 危石相關資訊量表 (單位: m)

編號	長	寬	高	量體	運動距離	來源	處置方式
1	11.7	4.6	4.4	236.808	10	翻覆	錨定
2	15.1	8.4	2.9	367.836	20	翻覆	錨定
3	9.1	4.3	3.9	152.607	44	落石/翻覆	移除
4	3.4	2.6	2.3	20.332	54	落石	移除
5	30	8.7	2	522	40	滑動	護網/植生
6	20	12	4	960	54	落石/滑動	植生/移除
7	14.6	9.7	4.5	637.29	88	落石/翻覆	錨定
8	12.8	7.4	5	473.6	74	落石/翻覆	錨定
9	6.2	3.8	3.1	73.036	28	落石	移除
10	8.8	6.1	6.2	332.816	16	落石/翻覆	錨定
11	20.3	13.2	5.5	1473.78	26	翻覆	錨定
12	28.2	13.3	11	4125.66	37	翻覆/滑動	錨定
13	66	27	2	3564	15	滑動	護網/植生
14	117	35	2	8190	15	滑動	護網/植生
15	75	25	2	3750	15	滑動	護網/植生

## 2.5 結果與後續工作

本次建置台 2 線公路 75k~78k 及 81k~84k 處，兩段區域內高解析度的二維地形、正射影像，及三維視覺模擬影像資料庫的建置，以供後續分析。

台 2 線公路里程數 75k~78k 一段，岩層位態較水平，無順向滑動之虞，但岩體風化嚴重，邊坡上常見厚層崩積層，並夾雜大小不一之岩塊，路堤邊坡一側，較易發生崩積土層崩落之失穩問題。

台 2 線公路 81k~84k 一段，地形近乎垂直，且岩體向解理發達，致使本路易產生逆向坡之翻覆 (rock topple) 及落石情況，宜加強相關防護措施。

危石分析中，建議十五處較有立即致災可能性的地點，並建議可能的處置方式，但本分析及其量體估算僅基於影像及數值建模，於影像上不容易探討節理面上的界面性質，更精細的評估及處理措施宜於後續現地工作加以分析。

## 三、本處購置 UAV 設備及執行方法

運用高科技 UAV 協助本處養護工作，由本處復興段率先購置一台 UAV 六軸遙控飛機執行特定任務，本處 UAV 六軸遙控飛機執行工作包含道路防救災、路口交安維護、橋梁檢測、河川沖刷、幸福公路鐵馬行、公路建設空拍.....等，如後說明。

### 3.1 UAV 設備及特性

本處購置六軸遙控飛機為 DJI 大疆哪吒 NAZA-MV2 多旋翼飛控系統，其延續了 NAZA-M 得高可靠性和穩定性，創新的 All-in-One 設計理念，將內不減震設計的控制器 3 軸陀螺儀，3 軸加速器和氣壓計等傳感器集成在一個更輕更小巧的控制模塊中，可用於識別高度和姿態，實現鎖定高度及平穩姿態之飛行控制功能；具備簡易安裝、節省空間、重量縮減的顯著特點。其基本資料如表 3.1。

表 3.1 復興工務段 (UAV) 信天翁 (STO) S-802 V2 六軸飛機 基本參考資料

機體數字		性能表現		載具尺寸	
最大起飛重量	4.8Kg	極速	45km/hr	機身寬度 (軸對軸)	870mm
電池容量	22.2V 10000mah	航行速度	7km/hr	機身高度	300mm
有效酬載	2Kg	安全飛行高度	300m		
空機重量	2.8Kg	滯空時間	11min	最大收納體積	950mm m <sup>2</sup>

### 3.2 復興工務段六軸遙控飛機 (UAV) 機具設備詳介如圖 3.1

遙控器	(操控六軸遙控飛機)
六軸遙控飛機主機元件	
機體本體	(六軸遙控飛機機架)
六顆馬達	(六軸遙控飛機起飛動力)
遙控接收器	(接收遙控器訊息後，將訊息送至飛行控制器)
多軸飛行控制器	(控制六軸遙控飛機所有飛機動作)
GPS (衛星定位器)	(六軸遙控飛機於空中飛行時，可將其定位於所須高度及方位)
電子變速器	(控制馬達轉速，如汽車油門)
視訊無線傳輸系統	(同步傳輸六軸遙控飛機視訊影像至操控者螢幕)
運動攝影機 (GoPro)	(錄影及拍攝空拍畫面)
運動攝影機 3 軸雲台	(提昇攝影機穩定度，錄影時，畫面不會抖動)
螢 幕	(提供操控者飛行視頻畫面)
電 池	(提供六軸遙控飛機動力來源)
充電器	(充電池)
OSD (on-screen display)	將飛行器的多項狀態信息疊加到視頻信息上 (可以在視頻圖像上疊加速度、航向、度、電池電壓、電流等信息)。





圖 3.1 復興工務段六軸遙控飛機

### 3.3 已執行案例

#### (一) 防救災監控/測：

102 年 10 月由本處復興段同仁蕭世斌、顏欽揚、邱信伍、李永森、李挺峽等人組成 UAV 空拍團隊，首先於中和段辦理台 64 線觀音山隧道防災演練拍攝防災演練過程，並由空拍藉以了解隧道兩端公路封閉情形（如圖 3.2）。同時在台 7 線 32K+500 邊坡空拍是否有崩落之石頭，提供監造人員研判邊坡是否穩定（如圖 3.3）、台 4 線 36k+100 邊坡災害情形（如圖 3.4），及透過 UAV 執行邊坡坍塌狀況勘查，提前了解是否產生災害之虞！另本處一、二級監控路段邊坡也一併拍攝監測。（相關空拍情形如表 3.2）

表 3.2 執行防救災監控/測空拍一覽表

日期	地點	拍攝內容	備註
102.12.30	台 2 線 77k+800	因大雨造成邊坡滑動坍方	
102.10.17	觀音山隧道防災演練	拍攝防災演練過程	
103.05.16	台 1 線 18k+100	因大雨造成邊坡滑動坍方	
103.03.11	台 3 線 38k+100	拍攝邊坡施工	
103.03.24	台 3 線 55k+200	拍攝上邊坡坍方情形	
103.05.13	台 4 線 35k	拍攝下邊坡遭雨水冲刷坍方情形	
103.08.28	台 4 線 36k 上邊坡	拍攝上邊坡坍方施工情形記錄	
103.09.26	台 4 線 36k+100 邊坡	拍攝上邊坡坍方施工情形記錄	
103.10.31	台 4 線 36k+100	拍攝上邊坡坍方施工情形記錄	
103.08.04	台 7 乙線 10k+300 處	拍攝空拍山區道路路形	

日期	地點	拍攝內容	備註
103.10.13	台 7 乙線 10k+300 處	拍攝空拍山區道路路形	
102.10.21	台 7 線 32.5k 邊坡	拍攝上邊坡大石是否下滾落之虞	
102.10.23	台 7 線 17k+200	拍攝空拍山區道路路形	
102.10.23	台 7 線 19k+400 大石壁	拍攝上邊坡是否坍塌之虞	
102.11.29	台 7 線 49.6k 上邊坡	拍攝上邊坡坍方情形	
103.06.26	台 7 線 49k+500	拍攝上邊坡坍方蜘蛛人施工情形記錄	
103.08.04	台 7 線 31k+000	遠端瀑布	
103.07.25	台 2 線空拍	拍攝一級監控路段邊坡	



圖 3.2 台 64 線觀音山隧道防災演練



圖 3.3 台 7 線 32K+500 邊坡空拍



圖 3.4 103.08.29 台 4 線 36K+100 邊坡災害

(二) 道路交通安全工程改善：

運用 UAV 空拍本處轄區公路複雜的交通狀況（如表 3.3 及圖 3.5~3.7），為解決轄區道路 A1 事故頻傳之路口及交通流量大的路段，即易肇事路段及易壅塞路口，為了解交通複雜的路口或路段，首次突破平面式人員於路口勘查，改以配合實地 UAV 六軸空拍了解路口車輛行車動態，並記錄影片後，帶回段內以電腦反覆研究如何改善當地交通安全，如台 4 線武嶺橋西端路口複雜車流，也因突破傳統工程手段，以創新策進作為-UAV 六軸空拍成果研析改善方式，獲得委員肯定，贏得交通部金路獎「用路人資訊類」第 1 名佳績！

另由西濱北工處完成台 62 甲線新建工程，移交本處接養，亦於 103 年 10 月 28 日至台 62 甲線 0k+000 路口空拍了解該路口複雜的行車動線關聯性；藉由 UAV 空拍協助了解該交通道路路口，提供交安人員於易壅塞路口研析良好具體的改善措施，使得交通狀況改善！

表 3.3 執行道路交通安全工程改善空拍一覽表

日期	地點	拍攝內容	備註
103.10.28	台 62 甲線 0K 路口空拍	拍攝路口車行動線	
103.07.21	台 65 線與國 3 交接	拍攝車行動態	
103.03.11	台 4 線武嶺橋西端路口	拍攝車行動線	





圖 3.5 台 62 甲線 0k 路口車行動線空拍



圖 3.6 台 4 線武嶺橋路口車行動線空拍



圖 3.7 台 65 線與國 3 交接路口車行動線空拍

(三) 橋梁檢測：

本處轄區橋梁約 500 多座，每年執行橋梁檢測工作，基層監造工程司辛勞檢查，除輔以橋梁車協助，於都會區跨河川橋梁礙於有人行道設置，無法使用橋梁車協助檢查，而橋梁扮演著重要角色，攸關用路人行車安全，故在本處也突破傳統觀念，以創新方式藉由 UAV 六軸空拍配合協助橋梁檢測工作（如表 3.4 及圖 3.8~3.10），也讓監造工程司更了解如台 4 線崁津大橋上部結構檢查，透過空中 3D 視野仔細檢測鋼構橋頂部情形，也突破以往無法檢視的部位，而讓橋梁管理工程司得以完整掌握橋梁安全，對於本局橋梁安全管理上算是突破也是創新作為！

表 3.4 執行橋梁檢測空拍一覽表

日期	地點	拍攝內容	備註
103.04.18	台 2 線 5k+000 金龍橋	拍攝橋台檢測	
103.04.28	台 2 線 97k 龍門橋	拍攝橋墩檢測	
103.03.10	台 4 線溪洲橋	拍攝上部結構檢查	
103.07.18	台 4 線崁津橋	拍攝上部結構檢查	
103.09.26	台 4 線崁津橋	拍攝上部結構檢查	
102.10.23	台 7 線 21k 羅浮橋	拍攝橋梁上部結構檢查	



日期	地點	拍攝內容	備註
103.03.10~11	台 7 線羅浮橋	拍攝橋梁結構檢查	
103.07.11	台 7 線巴陵大橋	拍攝上部結構檢查	
103.07.29	台 7 線蘇樂橋	拍攝橋台結構檢查	
103.08.27	台 7 線大漢橋	拍攝橋台結構檢查	



圖 3.8 台 4 線炭津大橋上部結構檢查



圖 3.9 台 7 線羅浮大橋上部結構檢查





圖 3.10 台 7 線巴陵大橋上部結構檢查

#### (四) 河川沖刷監控：

本處轄管台 68 線快速公路為西起新竹市南寮，經新竹市北側，沿頭前溪南岸往東南而行，東至竹東鎮台 3 線中豐公路。可連結台 15 線、台 1 線、中山高、福高，可連絡新竹市、竹北、芎林、竹東、橫山等地。於執行 UAV 六軸空拍工作，在台 68 線 14k+000 處河堤路段，由於台 68 線沿線可能受河水沖刷，該河道距離台 68 線僅約 35M，須要嚴密監控河川沖刷變化以維護橋梁安全，透過汛期前、後執行空拍再套繪圖資比對得以了解河川沖刷情形監控橋梁安全。(如圖 3.11~3.12)



圖 3.11 台 68 線 14k+000 處河堤路段空拍



圖 3.12 台 68 線 14k+000 處河堤路段空拍

(五) 幸福公路鐵馬行：

為配合本局精進改善各省道公路沿線景觀，本處特別以 UAV 搭配本處自組自行車團隊於辦理幸福公路鐵馬行專案時，在台 9 甲線沿途拍攝並記錄有否公路缺口、急彎下坡處護欄應加設防護設施等以做為養護工作之依據與改善，經由 UAV 搭配拍攝更能精準考量，成效良好！（如表 3.5 及圖 3.13~3.14）

表 3.5 執行台 9 甲線空拍一覽表

日期	地點	拍攝內容	備註
103.07.30	台 9 甲線沿線	拍攝幸福公路鐵馬行	
103.08.09	烏來空拍	拍攝幸福公路鐵馬行	



圖 3.13 台 9 甲線路段空拍





圖 3.14 台 9 甲線路段空拍

(六) 公路建設拍攝：

日前也協助第四區養護工程處出版「原住民參與公路建設專輯」一書，拍攝蘇花公路、蘇花改、新中橫公路及南橫公路等，原住民參與公路建設之道路與橋梁相關空拍照片如下圖 3.15~3.20。



圖 3.15 蘇花公路新建工程





圖 3.16 蘇花公路新建工程



圖 3.17 台 21 線 93k+843 陳有蘭溪橋



圖 3.18 台 21 線新中橫公路 109K+000-愛玉橋



圖 3.19 台 20 線塔拉拉魯芙橋



圖 3.20 台 18 線阿里山公路 芙谷峩橋

(七) 首創辦理『道路邊坡環境遙測 3D 影像建置與風險評估計畫』：

由本處首創本局辦理「道路邊坡環境遙測掃描與風險評估」，運用 e 化資訊庫管理結合 GIS、三維座標；以分析評估台 2 線道路邊坡坡地穩定性、地質分析、危石量體與運動方式及後續處置方式。利用道路邊坡環境遙測 3D 影像建置與風險評估計畫，所取得即時、清晰、全面之空拍照片，可結合災害區在颱風預報或豪大雨特報前、後期，快速將邊坡崩塌地掃描，能提供後續量測、建置 3D 數位模型及點雲資料處理分析等運用；並分析致災原因與災後搶災整治之參考。本處辦理『道路邊坡環境遙測 3D 掃描與風險評估計畫』，屬於機關行政變革大幅改善原行政業務，推行 e 化雲端資料庫建置。除首創本局工程創新業務技術研究發

展，可提升競爭力及輔佐業務精進，運用於道路維護、防救災整備、橋梁檢測與監控、用路人資訊交安維護等方面；大可改善以往邊坡巡檢無法掌握高邊坡地質與危石現況，足以減少消耗人力、時間，並提高工作品質與效能，及革新行政業務。

提供完整道路邊坡地質分析、2D 數值地形模型、3D 影像資料庫建置資訊，使本處有效 e 化管理邊坡危石，大幅掌握現有危石量體及運動模式，具有頗高成效！對於人力、物力、時間的減低，亦頗具可觀性，有利提升本局形象與服務效能！故利用 UAV 空拍，建置該路段之資料庫與前後資料比對分析，以作為風險評估之預知與防災，並為減災與離災。

## 四、結語

本人提出運用 UAV 空拍在公路防救災之高邊坡裸坡空拍監控，在 103 年將 UAV 結合邊坡防災之『道路邊坡環境遙測 3D 影像建置與風險評估計畫』，獲得交通部創新獎工程類甲等獎第一名。另大幅運用在路口易肇事路段、橋梁安全檢測、河川沖刷監控、裸露邊坡落石滑動監測、公路建設實景拍攝...等養護工作；皆有助於本局推動各項工作實質助益！進而提升行政業務效能，值得推廣應用！

## 致謝

本文得以完成非常感謝本處復興工務段 UAV 空拍小組同仁協助拍攝提供珍貴照片。

## 參考文獻

1. 公路總局第一區養護工程處委託台北科技大學『台 2 線 75k~78k 及 81k~84k 段靠山側邊坡立體影像建置與分析工作』成果報告書。



## 臺灣公路工程徵稿簡則

- 一、本刊為交通部公路總局工程同仁業餘進修刊物，歡迎本局同仁及國內外有關公路之工程、經濟、規劃、管理、資訊等未經刊登於其他刊物之研究論著均接受投稿；論文如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全部或一部份或經重新編稿者，作者應提附該委託單位之同意書，並於論文中加註說明。凡由本刊主動邀稿者，不受上述限制。
- 二、本刊為一綜合性公路工程刊物，下列各類稿件均表歡迎：
  1. 論著：以公路工程之理論著述，創作發明，具有學術價值者為主。
  2. 專題研究：以實際經驗及創見，促進技術之改進者為主。
  3. 譯述：以譯述國外書刊雜誌或工程報導，具有參考或實用價值者為主，長稿予以節譯，如涉及著作權問題，由譯者自行負法律責任。
  4. 實務報導：以報導工程設計、施工、試驗之實際經驗為主。
  5. 法令釋義：以介紹或解釋公路交通法規為主。
  6. 新書介紹：以介紹國內外有關公路工程交通新書為主。
  7. 工程文摘：以介紹國內外有關公路交通工程新知識為主。
  8. 讀者通訊：以反應或解答有關公路交通工程問題為主。
  9. 工程報導：以報導國內公路交通工程動態為主。
  10. 業餘隨筆：以有關工程方面之輕鬆雋永之散文記述為主。
- 三、為便於一次刊出，來稿以一萬五千字為限，其中應包括三百字以內之摘要及三至五個關鍵詞，並請註明姓名、身份證字號、戶籍地址、服務單位、職稱、聯絡地址及電話。
- 四、文稿中需註釋處，請標明上標無括號序碼，按順序往下連續編號，再於引註當頁下方加橫線排印註釋。文稿中之數學式，函數請排正體字、變數請排斜體字。圖及表中之中文字請排新細明體，英文字請排 Times New Roman 體，圖原則上不加框，表之框線均採細線。參考文獻請按出現序排列，文中提及時請標明上標加括號序碼，參考文獻資料必須完整無缺，請依序書寫作者姓名、論文篇名、期刊（書名）名稱、卷期、出版社、出版日期、起迄頁碼。
- 五、來稿請打印清楚，照片、圖片請附寄原版，凡無法清晰辨認及製版者，恕不接受；並請提供 Microsoft Word 2010 版本可讀檔案格式之電子檔。
- 六、本刊編輯委員對來稿在不變更其論點之原則下有刪改權，來稿一經發表，依本社規定致稿酬，版權歸本局所有，其他刊物如需轉載，應同時徵得作者及本刊同意，並註明出處。
- 七、如欲退還稿件請附足郵資。
- 八、稿件請寄臺北市萬華區東園街 65 號 8 樓臺灣公路工程月刊社收。

# 臺灣公路工程

編者：臺灣公路工程編輯委員會

地址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電話：(02)2307-0123 轉 8108

網址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 105 年 1 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地址：40042 臺中市中山路 6 號

電話：(04)2226--0330

國家書店松江門市

地址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電話：(02)2361-7511

印刷者：台灣身心障礙人福利促進協會

地址：新北市土城區永豐路 195 巷 7 弄 4 號

中華民國 105 年 1 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

欲利用本刊全部或部分內容者，須徵求本局同意或  
書面授權。請洽臺灣公路工程月刊社

(電話：(02)2307-0123 轉 8108)

行政院新聞局出版事業登記證局版北市誌字第1360號  
臺灣郵政北臺字第〇七三八號執照登記為新聞紙類(雜誌)交寄  
臺灣郵政劃撥儲金帳戶10286620號  
中華民國雜誌事業協會會員

ISSN 1812-2868



**GPN:2004100003**

本期定價新臺幣 30元  
半年新臺幣150元  
全年新臺幣300元  
軍人及學生訂閱半價優待