099—301000100G—2003

應用無人飛行載具（UAV）技術輔助辦理測繪圖資成果更新作業之研究

研究人員：

技 士 施錦揮

技 士 游政恭

技 正 蔡季欣

課 長 林志清

副 主 任 劉正倫

主 任 林燕山

中華民國 99 年 12 月

目錄

第一章　緒論 1

第一節　緣起及背景..... 1

第二節　研究動機及目的..... 4

第二章　研究方法與流程..... 7

第一節　研究方法..... 7

第二節　研究流程..... 9

第三節　預期成果..... 9

第三章　文獻回顧..... 10

第一節　UAV 發展概述 10

第二節　UAV 之相關應用 11

第三節　探測感應器測繪平台架構暨應用作業測試案 35

第四章　理論基礎..... 47

第一節　空中三角測量..... 47

第二節　正射糾正與鑲嵌..... 50

第三節　相機率定方式..... 52

第五章　作業設備、流程方法與研究內容..... 53

第一節　作業流程..... 53

第二節　作業設備..... 63

第三節　研究內容 71
第六章　作業情形、成果分析與展示 73
第一節　嘉義縣朴子地區 73
第二節　北二高崩塌走山地區 81
第三節　彰化縣福興、埔心鄉地區 93
第七章　結論與建議 105
第一節　結論 105
第二節　建議 107
附錄 1：彰化福興、埔心鄉 UAV 飛行姿態軌跡 108
附錄 2：土地利用分類代碼表 116
參考文獻 118

表目錄

表 3-1 不同區塊空中三角測量結果.....12

表 3-2 測試區航拍質量情況.....21

表 3-3 北安河測試區空中三角測量成果.....21

表 3-4 圖幅精度統計.....22

表 3-5 UAV 應用領域彙整.....30

表 3-6 各政府單位應用案例.....33

表 3-7 定翼型 UAV 航線規劃表.....36

表 3-8 旋翼型 UAV 航線規劃表.....42

表 5-1 最小圖面單元.....60

表 5-2 GIS 參考圖資之說明.....61

表 5-3 判釋區與參考圖資使用順序.....61

表 5-4 定翼型 UAV 特色.....65

表 5-5 旋翼型 UAV 基本規格.....66

表 5-6 酬載相機基本規格.....67

表 5-7 CANON EOS 450D 定焦鏡頭率定參數.....68

表 5-8 SONY DSLR A350 變焦鏡頭率定參數.....68

表 5-9 影像處理硬體設備.....69

表 5-10 影像處理軟體設備.....70

表 6-1 檢核點坐標 75

表 6-2 定翼型 UAV 正射影像經由檢核點檢驗平面誤差表.....75

表 6-3 空中三角測量計算結果.....86

表 6-4 控制點及檢核點精度指標.....87

表 6-5 崩塌範圍面積與土方.....88

表 6-6 快速拼接影像檢驗平面誤差 99

表 6-7 UAV 幾何糾正影像檢驗平面誤差 101

圖目錄

圖 1-1　99 年度測繪圖資更新辦理圖幅分布圖 5

圖 2-1 研究流程圖 9

圖 3-1　Carolo P330 UAV 11

圖 3-2　UAV 影像處理工作流程.....12

圖 3-3　Microdrones md4-200 UAV.....13

圖 3-4 建物自動貼圖系統 13

圖 3-5　UAV 虛擬監測-真實世界視圖.....14

圖 3-6　UAV 獲取空間資訊示意圖.....14

圖 3-8　Pinchango Alto 考古區正射影像 16

圖 3-9 馬雅考古區 DSM.....16

圖 3-10 馬雅考古區域正射影像.....16

圖 3-11　Randa 土石滑動 17

圖 3-12　UAV 外觀.....18

圖 3-13 測試區 18

圖 3-14 荷蘭旋翼型 UAV 19

圖 3-15 煉油廠污染監控.....19

圖 3-16 事故現場 1 公分正射影像.....19

圖 3-17 資料萃取用於道路情況報告示意圖 20

圖 3-18 組合超廣角相機雲台.....22

圖 3-19 4 相機影像重疊架構.....23

圖 3-20 組合廣角鏡頭影像涵蓋.....23

圖 3-21 正射影像圖 24

圖 3-22 青海玉樹地震正射影像.....24

圖 3-23 青海玉樹地震正射影像.....24

圖 3-24 青海玉樹地震三維動態地圖 25

圖 3-25 高空長滯空太陽能 UAV(資料來源：NASA).....26

圖 3-26 地球科學調查用 UAV 26

圖 3-27 SeaScan UAV（資料來源：美國 Insitu 公司）.....27

圖 3-28 越洋型 UAV（左）與其空拍照片（右）.....28

圖 3-29 三宅島火山監測 29

圖 3-30 Yamaha RMAX-農藥噴灑.....29

圖 3-31 HIROBO 旋翼 UAV-遺跡調查.....29

圖 3-33 定翼型 UAV 航高 300 公尺之航線規劃示意圖.....36

圖 3-34 定翼型 UAV 航高 600 公尺之航線規劃示意圖.....37

圖 3-35 定翼型 UAV 航高 900 公尺之航線規劃示意圖.....37

圖 3-36 定翼型 UAV 航高 1200 公尺之航線規劃示意圖.....38

圖 3-37 定翼型 UAV 航高 300 公尺之航行軌跡紀錄.....38

圖 3-38　定翼型 UAV 航高 600 公尺之航行軌跡紀錄.....39

圖 3-39 定翼型 UAV 航高 900 公尺之航行軌跡紀錄.....39

圖 3-40 定翼型 UAV 航高 1200 公尺之航行軌跡紀錄.....39

圖 3-41　旋翼型 UAV 航高 600 公尺之航線規劃示意圖.....42

圖 3-42 旋翼型 UAV 航高 900 公尺之航線規劃示意圖.....43

圖 3-43 旋翼型 UAV 航高 1200 公尺之航線規劃示意圖.....43

圖 3-44 旋翼型 UAV 航高 600 公尺之航行軌跡與高度紀錄.....44

圖 3-45 旋翼型 UAV 航高 900 公尺之航行軌跡與高度紀錄.....44

圖 3-46 旋翼型 UAV 航高 1200 公尺之航行軌跡與高度紀錄.....44

圖 4-1 立體像對空中三角測量示意圖.....49

圖 4-2　區域空中三角測量示意圖.....50

圖 4-3 正射糾正示意圖.....51

圖 4-4　正射影像鑲嵌流程圖.....51

圖 5-1　UAV 空拍作業流程.....54

圖 5-2 影像快速拼接流程圖.....55

圖 5-3 緊急應用影像快速後製流程.....56

圖 5-4 空中三角測量 LPS 作業流程.....58

圖 5-5 國土利用測繪圖資更新流程.....59

圖 5-6 定翼型 UAV 外觀及基本規格.....64

圖 5-7 旋翼型 UAV－KYOSHO 60 級照片 66

圖 5-8 相機率定使用之人造標.....68

圖 6-1 嘉義朴子正射影像-定翼型 UAV.....74

圖 6-2 嘉義朴子正射影像-旋翼型 UAV.....74

圖 6-3 影像精度檢核點分布圖.....75

圖 6-4 正射影像套疊 95 國土利用調查成果 76

圖 6-5 影像判釋情形 77

圖 6-6 影像判釋情形 77

圖 6-7 影像判釋情形 77

圖 6-8 影像判釋情形 78

圖 6-9 影像判釋情形 78

圖 6-10 朴子 3D 城市 79

圖 6-11 朴子 3D 城市 79

圖 6-12 3D 建物套疊 Google Earth.....80

圖 6-13 旋翼型 UAV 北二高崩塌地側拍圖 82

圖 6-14 崩塌前航拍影像 82

圖 6-15 崩塌後航拍影像 82

圖 6-16 旋翼型 UAV 連續航拍圖.....82

圖 6-17 控制點、檢核點及連結點分布圖 83

圖 6-18 控制點、檢核點及連結點於影像上的分布圖.....84

圖 6-19 崩塌區域邊界圖 85

圖 6-20 空中三角測量程式執行結果.....86

圖 6-21 崩塌區域範圍（紅框處）.....88

圖 6-22 崩塌地紅綠影像 89

圖 6-23 正射影像鑲嵌圖 89

圖 6-24 崩塌地剖面線 90

圖 6-25 崩塌地縱斷剖面圖 90

圖 6-26 不同角度展示崩塌地 3D 模型 91

圖 6-27 套疊 Google earth 分析 91

圖 6-28 崩塌前期 TIN.....92

圖 6-29 崩塌後期 TIN.....92

圖 6-30 崩塌前後高程暈渲圖.....92

圖 6-34 福興空拍軌跡 96

圖 6-35 埔心空拍軌跡 96

圖 6-36 福興地區快速拼接影像.....97

圖 6-37 埔心地區快速拼接影像.....98

圖 6-38 福興檢核點分布圖 99

圖 6-39 埔心檢核點分布圖.....100

圖 6-40　檢核點分布圖 100

圖 6-41　福興地區 UAV 幾何糾正影像 102

圖 6-42　國土前期成果正射影像 102

圖 6-43　96 國土成果正射影像 102

圖 6-44　UAV 幾何糾正影像 102

圖 6-45 快速道路幾何圖形編修後結果 103

圖 6-46 埔心地區前期成果影像（左）UAV 航拍影像（右） 103

圖 6-47　UAV 影像判釋 104

摘要

關鍵詞：無人飛行載具、攝影測量、三維模型

一、研究緣起

測繪工作是國家建設的先鋒，對於政府各項施政建設有重大助益，世界各先進國家皆非常重視國土測繪作業，目前測繪科技日新月異，如全球導航衛星系統(GNSS)、精密重力測量、高解析力遙感探測等等新空間測繪技術陸續發展成熟；另一方面朝向快速、大量、自動化蒐集地面資訊作業，如以測量車、無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle，UAV）等方法發展，快速獲取空間地形資料測繪，作為國土規劃管理、防救災、測繪工程、國土資訊、海洋、導航、科技研究及民生建設等領域之應用。以先進測繪技術建立基礎圖資，將具有快速、精確、全面性優點，基礎圖資之完備才能使國土利用與規劃更有效率。

UAV 航攝系統是傳統航空攝影測量的有力輔助工具，可彌補其影像資料獲取空隙，具有機動靈活、高效快速、系統建置成本低、適用高危險地區等特點，受天氣和空域管制的影響較小，在區域和飛行困難地區快速獲取高解析度影像方面具有相當的優勢，為國土資源管理提供了一種新的高科技手段。UAV 一般簡單分為定翼型與旋翼型，兩者各具不同的特點與優勢，定翼型具飛控電腦可全自動飛行且飛行穩定、航程時間長、酬載量較大；旋翼型無須跑道即可起飛，機動性高可隨時改變速度、高度與拍攝角，亦可定點停懸拍攝，藉著利用兩種不同型態的無人載具，未來輔助應用在空間資訊獲取勢必將成為主要趨勢。

二、研究方法與過程

（一）蒐集國內外 UAV 主要應用領域與案例，特別蒐集各國有關

空間資訊的應用案例，了解目前 UAV 特性與相關應用潛力，亦得以比對相關應用成果,並作為後續發展 UAV 工作的參考。

（二）針對測試區辦理 UAV 航拍規劃與實際飛行作業，以獲取測試區影像，且針對不同需求形式，進行相關影像後製處理作業程序。

（三）綜合彙整各測試區成果進行相關分析與驗證，評估後續測繪製圖等各項應用效益與可行性。

三、重要發現

（一）以定翼型 UAV 正射影像地面解析度與精度用於測繪圖資更新參考底圖確實可行，且可針對變異部分可進行幾何圖形上與可直接判釋屬性上的編修作業。而旋翼型 UAV 因飛行姿態較不穩定，因此目前不適合大面積（1 公里 x1 公里）以上之影像獲取作業。另嘉義朴子地區正射影像相關成果可用以建置 3D 虛擬城市，增加影像成果之可視性，後續可應用於城市規劃建設領域。

（二）以北二高影像所產製之成果，驗證旋翼型 UAV 搭載非量測型相機可獲取高地面解析度之空拍影像，並且可快速產製立體像對資料以進行 3D 空間量測，用以計算崩塌範圍、土方量，對於提供災區資訊及災情研判與救援具有相當大的效益。

（三）彰化福興與埔心測試作業，驗證 UAV 產製的幾何糾正影像亦可輔助辦理國土利用調查圖資成果更新之內業判釋資料，其拍攝影像地面解析度約 18 公分左右，成果平面精度亦可符合要求，UAV 影像成果對於作業人員於內業時提供豐富及多元的判讀資訊，節省許多外業調繪時間。

四、主要建議事項

（一）由於可以進行低空飛行的能力，UAV 空拍影像具備超高地面解析度的優勢，有助於地貌與地物之判釋與分類，運用已建立的軟硬體及系統整合能力，採用 UAV 快速擷取即時現地影像，迅速完成大面積的影像拼接，應可擴大運用於林區巡守、治水、防救災緊急應變或環境監控之其他應用領域。

（二）UAV 未來將隨著技術發展不斷延伸，加強產、官、學界的合作，將可提升 UAV 的定位或操控技術，擴大應用層面及防救災機制，並能快速產製正射影像資料，套疊其他既有圖資（如地籍圖或地形圖），以即刻了解災區相關資料並利救災及重建工作執行。

（三）UAV 快速機動、低空雲下作業的特性，所拍攝北二高影像應用於災害判釋處理流程，係利用前期測試案成果的地形、地物特徵點坐標作為控制點，以節省至實地進行控制測量時間，符合緊急時影像快速後製處理需求。未來可建立相關影像處理標準作業流程，並應用於防救災緊急應變，預期可提供快速完整之災區地形資訊，如可量測三維模型及地理資訊展示，提供防救災中心更多元資料獲取模式，有利決策者更即時研判災情與救援規劃。

（四）國外已有利用消費型數位相機運用在製圖上的研究，其精度可達公分等級的成果，隨著數位相機的演進及率定技術的提升，國內未來在符合相關製圖規範下，可利用 UAV 的航拍影像作局部地形地貌變異處的快速更新。

ABSTRACT

Keywords.：UAV、Photogrammetry、3D Model

Surveying and mapping is the vanguard of nation infrastructure, and benefits significantly to the construction of various government policies. All the world's advanced countries value the land surveying and mapping operations. The new space survey technique such as the global navigation satellite system (GNSS), precise gravity measurements and high resolution remote sensing have been developed as the advancement of technology. On the other hand, in order to gather terrain information rapidly, automatically and largely, methods such as the survey vehicle, UAV (unmanned aerial vehicle) developed to acquire terrain information. These methods already applied on the land planning and management, disaster prevention and rescue, mapping projects, land information, marine survey, navigation, technology research and livelihood construction. Utilizing advanced mapping technology to build up the fundamental maps has the advantage of quickness, accuracy and comprehensive. The completeness of fundamental maps makes land use and planning more efficiently.

第一章　緒論

第一節　緣起及背景

一、緣起

測繪工作是國家建設的先鋒，對於政府各項施政建設有重大助益，世界各先進國家皆非常重視國土測繪作業，目前測繪科技日新月異，如全球導航衛星系統(GNSS)、精密重力測量、高解析力遙感探測等等新空間測繪技術陸續發展成熟；另一方面圖資更重視即時性及更新速度，勢必朝向快速、大量、自動化蒐集地面資訊作業，如以測量車、UAV（Unmanned Aerial Vehicle，UAV）等方法發展，快速獲取空間地形資料測繪，作為國土規劃管理、防救災、測繪工程、國土資訊、海洋、導航、科技研究及民生建設等領域之應用。以先進測繪技術建立基礎圖資，將具有快速、精確、全面性優點，基礎圖資之完備才能使國土利用與規劃更有效率。

載人飛機、衛星及 UAV 同為獲取空間資訊工具之一，近年來由於 UAV 內部元件微型化、載重及飛行穩定性提升，在應用領域方面，已逐步應用在海難搜救、山林保育、水土保持、風災、水災土石流道路破壞等災難應變災情調查、道路交通監視、商業空中攝影以及邊境巡邏、海域漁場巡視保護等工作上。（王聰榮，2006）

另一方面，UAV 航攝系統具有機動靈活、高效快速、系統建置成本低、適用高危險地區等特點，受天氣的影響較小，在區域和飛行困難地區快速獲取高解析度影像方面具有相當的優勢，主要用於局部區域監測，反映地質災害情況，為迅速了解災

情、指揮救災及災後重建規劃提供了重要參考資訊，也可及時發現和查處土地違法行為，作為傳統航空攝影測量的有力輔助工具，可彌補其影像資料獲取時間上空隙，亦為國土資源管理提供了一種新的高科技手段。

UAV 一般簡單分為定翼型與旋翼型，兩者各具不同的特點與優勢，定翼型具飛控電腦可全自動飛行且飛行穩定、航程時間長、酬載量較大；旋翼型無須跑道即可起飛，機動性高可隨時改變速度高度與拍攝角，亦可定點停懸拍攝，藉著利用兩種不同型態的無人載具，未來輔助應用在空間資訊獲取勢必成為主要趨勢。

二、背景現況

（一）基礎圖資更新週期長

以目前基本圖圖資更新頻率來看，完成全國基本圖之法定更新週期為 5 年，然而現代社會土地利用變遷愈加快速，顯然目前更新速度已無法滿足需求，且更新地區亦非必須全部進行更新作業，而 UAV 具有針對變異大地區，進行區域圖資快速更新修測之潛力。

（二）傳統載人機與衛星受雲遮影響

UAV 與衛星遙測、傳統載人飛機航拍同為航遙感探測手段之一，但衛星遙測與傳統載人飛機仍大大受限於雲層與天候限制，一般的衛星拍攝週期長、費用高，在颱洪或震災等災害過後，難以確保能快速獲取災區影像，無法符合現代快速即時獲取與更新空間資訊之需求。另一方面，UAV 具有高機動性、可低空雲下作業特性，受到雲層、天候影響程度較低，恰可彌補衛星與載人航拍之不足處，尤其災後災情資訊

不明，UAV 往往能扮演發揮獲取重要災區資訊角色。例如美國卡崔那颶風、大陸四川汶川與青海玉樹大地震，UAV 皆能發揮快速獲取災害狀況資料優勢。

（三）UAV 發展具備快速機動優勢

1. UAV 測繪系統可謂經濟資訊獲取平台，以 UAV 機體搭載非量測型相機，建置成本比傳統航遙測攝影設備低廉；雖然一般相機非以量測功能為目的所開發，未提供內方位元素資料，但可透過相機率定作業來獲取，且目前相機技術進步快速，產品不斷推陳出新，加上影像解析度高，當航高較低時（如 300 公尺航高），其地面解析力可達 10 公分左右，對於地物判釋大有助益，倘加上相機率定及控制點約制，其正射影像平面位置精度可達公尺級。

2. 目前定翼型 UAV 已具備自動起飛、自主飛行及半自動降落技術，技術門檻正逐步降低，可依規劃航拍路線、航高、飛行路徑等任務需求，完成自主飛行航拍作業，未來相關自動飛行及技術更為成熟後，在操作上將更為便利，其應用性也將更為廣泛。

3. UAV 不需人員於機上操作，且搭配有電源或引擎失效時，可固定空速、姿態滑翔降落之安全機制，航拍安全性相對較高，即便載具異常或故障，也不會有機組人員傷亡之二次災難發生。

（四）UAV 航拍相關成果，未來可嘗試應用於圖資更新業務

本中心經過多年測繪資料收集及建置，目前已有多種不同來源測繪圖資，為提升國土測繪資料正確性及可利用性，須持續對各測繪圖資進行更新維護，惟相關經費有限，更新

維護將面臨考驗。另一方面，前期 UAV 測試成果精度符合圖資更新參考底圖需求，未來可在本中心人員協助辦理相關圖資更新作業時，嘗試規劃以 UAV 航拍影像成果作為影像判釋底圖，後續再由本中心測量隊人員辦理外業調繪及後續內業編修工作。

第二節　研究動機及目的

一、研究動機

本中心 97 年度試辦探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業案，規劃設計 UAV 搭載非量測型相機與低精度 GPS/INS，針對不同航高拍攝測試區影像，探討 UAV 飛行穩定性、獲取影像能力，及成果精度與應用測繪製圖潛力，並分析相關作業成本。測試成果印證 UAV 所拍攝影像，未來除有應用於專業製圖領域的潛力，亦可朝特徵萃取或地物分類等技術發展與應用，加上 UAV 高機動性與相對低廉的系統建置成本，在執行或協助專業航攝補測的任務以及輔助測繪圖資更新，可發揮不同的經濟效益。

二、研究目的

為延續 97 年度測試作業成果，持續推展 UAV 於測繪製圖領域的應用，遂規劃將 UAV 影像成果進一步應用於圖資更新作業底圖，以了解未來測繪製圖應用可行性與效益。此外，亦探討整合 UAV 與相關酬載應用於空間資訊領域、測繪製圖的各項指標，包含 UAV 酬載非量測型相機所獲取的影像，其成果精度是否符合需求，以及應用於測繪製圖的效益與可行性，最後綜合 97 年與後續研究各項作業成果，針對未來 UAV 技術與應用提出規劃與建議。

本中心於 97 年度評估本中心各項圖資特性及更新需求急迫性後，選取土地利用調查成果進行更新試辦作業，執行作業順利完成。95～97 年度土地利用調查作業區域中，透過 98 年度營建署提供變異點位置，99 年度由本中心測量隊包括北區第二測量隊、中區測量隊、南區第一測量隊、南區第二測量隊、東區測量隊等 5 個測量隊辦理 200 幅更新圖幅，辦理圖幅數為每隊 40 幅，各隊辦理位置分布如圖 1-1。本次研究選擇南區第一測量隊負責更新之圖幅中 2 幅(圖幅名稱為粘厝 94212086 與埔心 95204012）進行影像判釋及幾何糾正之精度驗證。

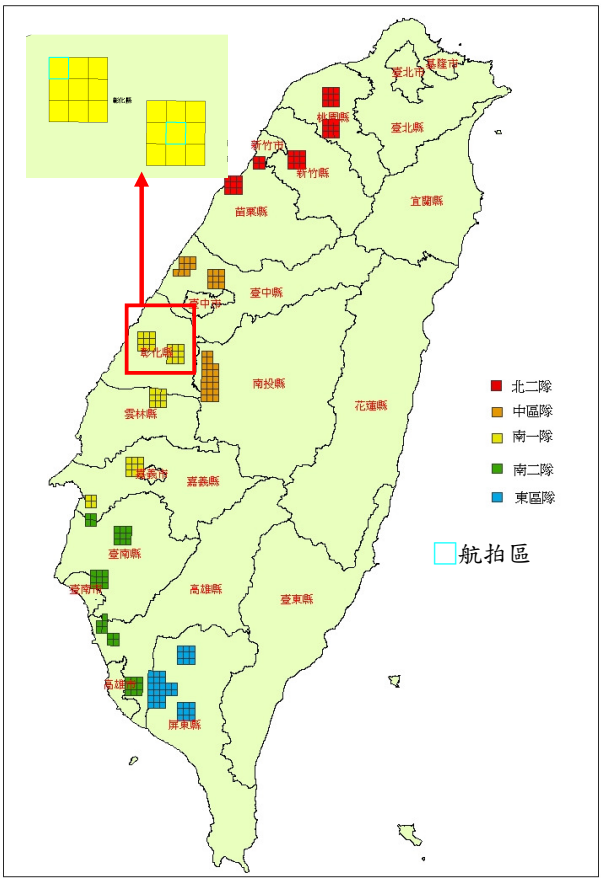


圖 1-1　99 年度測繪圖資更新辦理圖幅分布圖

本案主要目的為運用 UAV 航拍影像成果進一步應用於一般基礎圖資區域更新與防救災緊急圖資供應兩方面，分述如下：

（一）基礎圖資區域更新-測繪圖資更新影像判釋底圖

研究以 UAV 影像輔助辦理國土利用更新作業之可行性，利用 UAV 空拍影像成果，輔助作為測繪圖資更新影像判釋作業底圖，驗證 UAV 獲取影像及影像判釋能力與精度指標。

（二）防救災緊急圖資供應

利用本中心現有的數值航測影像工作平台進行 UAV 航拍影像處理並套疊測繪圖資，即時了解因天然災害所造成影響，快速產製災區圖資與 3D 地理資訊提供決策者判斷分析。

第二章　研究方法與流程

第一節　研究方法

一、資料蒐集

蒐集國內外 UAV 主要應用領域與案例，也特別蒐集各國有關空間資訊的應用案例，以了解 UAV 特性與相關應用潛力，亦得以比對相關應用成果，並作為後續發展 UAV 工作的參考。

二、測試區選定

本研究主要分為三個測試區：（1）引用 97 年度測試案正射影像等相關成果進行套疊 95 年度國土利用調查成果 GIS 檔進行影像判釋應用與製作 3D 虛擬城市，探討後續應用與發展方向。（2）本研究原規劃進行 UAV 防救災航拍測試，適逢 99 年度 4 月因發生北二高崩塌走山意外，遂以旋翼型 UAV 快速獲取災區影像測試並驗證產製相關 3D 地理資訊能力，並將其研究製作成果納入本研究報告書。（3）利用 99 年度可航拍飛行作業，選定本中心 99 年度測繪圖資更新作業區內彰化縣福興鄉與埔心鄉部分地區辦理航拍，並將廠商產製繳交之快速幾何糾正鑲嵌影像成果，與前期正射影像及更新成果作一分析比較，驗證作為圖資更新參考資料可行性。

三、測試區航拍作業

除嘉義朴子地區已有航拍成果外，針對另外 2 個測試區辦理 UAV 飛行航拍作業，以獲取測試區影像，並進行相關影像處理作業。

四、航拍影像後製處理

航拍影像針對不同需求與處理時間，主要可概略分成三種處

理方式：(1) 影像快速拼接與幾何糾正鑲嵌，以 1 個 1/5000 圖幅大小範圍作業，約需 5 小時之時間即可完成處理作業。(2) 防救災緊急使用之災區 3D 地理資訊，本次作業影像處理時間約 5 小時即可完成。(3) 依傳統航空攝影測量作業流程之影像處理方式，進行空中三角測量解算、產製 DTM 與正射影像製作等等作業，此種方式耗費時間較長。

五、成果驗證與分析

綜合彙整三個測試區成果，進行相關探討分析與驗證，評估後續測繪製圖等各項應用可行性。

六、撰寫研究報告

依據內政部自行研究案報告書製作標準格式，辦理「應用 UAV 技術輔助辦理測繪圖資成果更新作業之研究」研究報告書撰寫製作。

第二節　研究流程

本研究流程主要分為 6 部分(如圖 2-1)，分別為作業規劃、資料蒐集、測試區選定、測試區航拍作業、航拍影像後製處理、成果分析與驗證、撰寫研究報告書等。

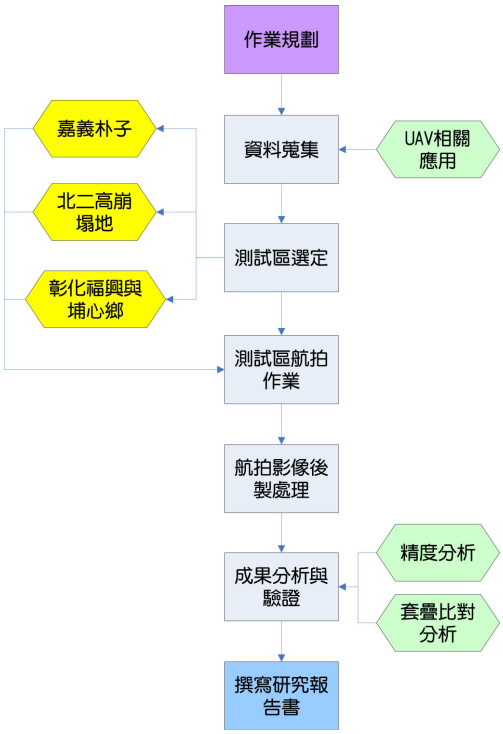


圖 2-1 研究流程圖

第三節　預期成果

本研究預期成果如下列：

一、應用 UAV 航拍影像分析變異處，比較 UAV 與傳統航拍影像間的影像判釋率及精度差異。

二、以 UAV 航拍成果應用於測繪圖資更新影像判釋作業，評估未來輔助傳統航拍獲取影像作為圖資更新參考資料可行性。

三、測試災害發生時 UAV 快速反應，進行空拍作業，快速產製災區立體影像與各項 3D 地理資訊。

四、未來更新其他圖資（通用版電子地圖或基本圖）的可能性。

第三章　文獻回顧

第一節　UAV 發展概述

無人飛行載具（UAV）出現於 1917 年，早期的無人駕駛載具的研製和應用範圍主要是在軍事用途，後來逐漸用於作戰、偵察及民用遙測飛行平臺。20 世紀 80 年代以來，隨著資訊科技的迅速發展以及各種新型感測元件的不斷問世，無人飛行載具系統的性能不斷提高，應用範圍和應用領域也隨之迅速拓展。由於其具有輕便、隱蔽性好、機動靈活、使用成本低等特點，目前世界各國已發展各種用途、各種性能指標的無人駕駛飛行器的類型達數百種之多(蕭飛賓，2007)。目前藉由整合資訊、通訊與網路科技，UAV 系統在累積多年的戰場運作經驗後已逐漸成熟，此一市場依然在萌芽期，遠景相當可期(王聰榮、李繼泓，2006)。

2000 年之後，世界各國競相發展 UAV 技術，隨著相關技術的開發，使用上也不再侷限於軍事應用一途，在民生領域與太空探測中，亦得到了更廣泛的應用，以民生領域應用而言，主要可分為如下數種：

一、　環境監測：陸、海、空域的環境監測或監控。

二、　氣象監控：蒐集氣流、大氣變化之相關氣象資訊。

三、　即時救災：於災害發生時，進入災區執行搜救任務與災害狀況資料蒐集。例如美國卡崔那颶風災區搜救、大陸四川汶川、青海玉樹大地震災區空拍。

第二節　UAV 之相關應用

一、國外 UAV 應用案例

（一）UAV 空間資訊應用案例

1.歐美國家

2008 年德國羅斯托克大學（Rostock University）Grenzdörffer 等人利用不同形式 UAV（如圖 3-1）酬載不同消費型數位相機來快速獲得影像，並以地面控制點、內方位資料、GPS/INS 資料、數值高程模型進行影像正射糾正處理，其正射糾正作業流程主要包含手動、半自動及全自動處理程序（如圖 3-2）。研究中選擇 M1、M2 與 W1 三個測試區域，相關影像空中三角測量處理結果如表 3-1 不同區塊空中三角測量結果，成果精度最高可達公分級（Grenzdörffer, G. J., Engelb, A., Teichertc, B. ，2008）。

圖 3-1　Carolo P330 UAV（Grenzdörffer，2008）

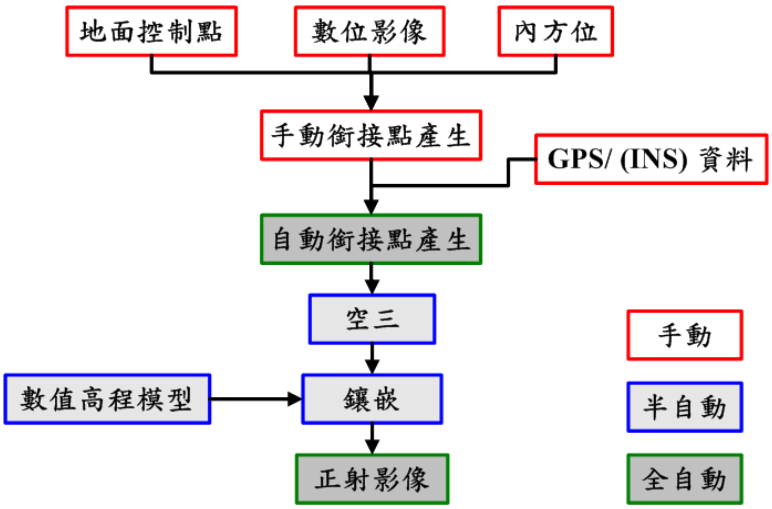


圖 3-2 UAV 影像處理工作流程（Grenzdörffer，2008）

表 3-1 不同區塊空中三角測量結果（Grenzdörffer，2008）

	M1	M2	W1
No. of images	17	45	11
Ground resolution GSD [m]	0.07	0.08	0.08
No. GCPs	6	20	16
No. of Tie Points	290	1100	384
Total RMS [Pixel]	4.62	1.43	0.38
Residuals			
GCP X [m]	0.37	0.14	0.04
GCP Z [m]	0.58	0.27	0.03
Image coordinate X [Pixel]	6.44	1.54	0.37
Image coordinate Y [Pixel]	7.75	1.17	0.54

2008 年瑞士 Eugster, H.與 Nebiker, S.等人利用 4 旋翼 UAV（圖 3-3）擷取建物側面影像作為建物外觀自動貼圖（圖 3-4），並利用 i3D 虛擬地球平台建立虛擬實境系統（圖 3-5），有效結合 UAV 影像與虛擬地球，藉此獲取與建構快速即時之三維空間地理資訊（圖 3-6）。

圖 3-3　Microdrones md4-200 UAV（Eugster, H，2008）

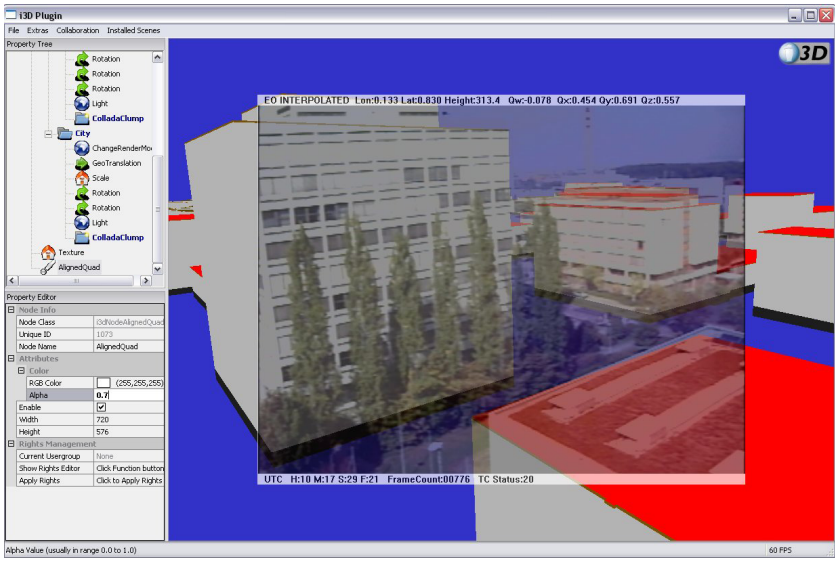


圖 3-4 建物自動貼圖系統（Eugster, H，2008）

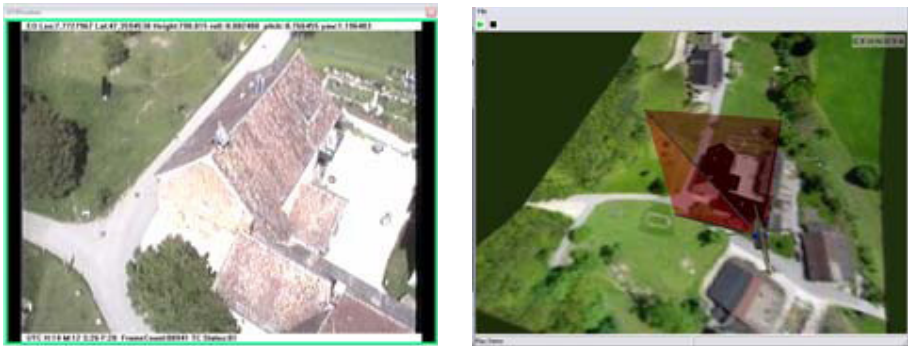


圖 3-5 UAV 虛擬監測-真實世界視圖（左）連結虛擬世界視圖（右）（Eugster, H，2008）

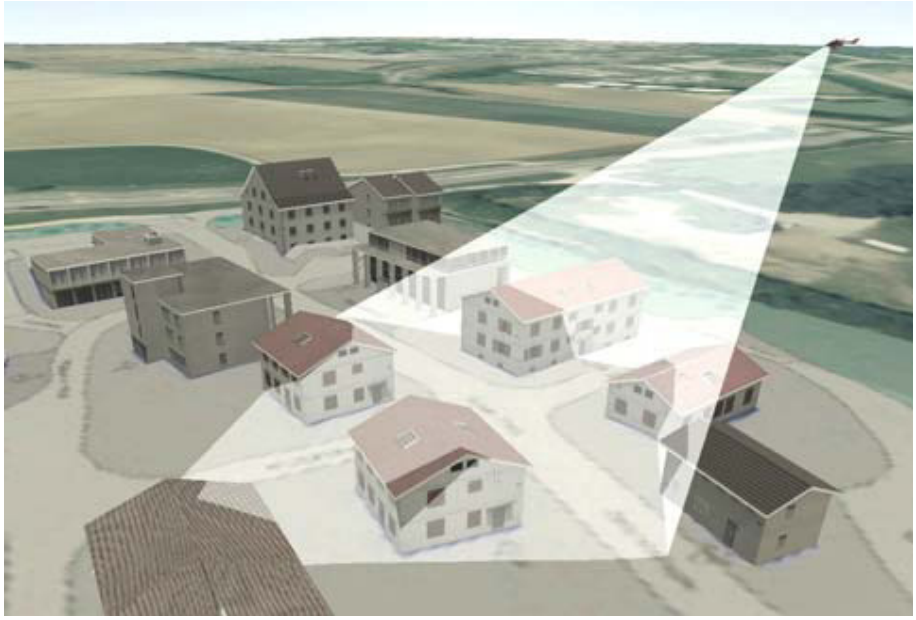


圖 3-6　UAV 獲取空間資訊示意圖（Eugster, H，2008）

2004 年 Eisenbeiss, H.利用自動導航之旋翼型 UAV（圖 3-7）拍攝相片並且製作正射影像與數值高程模型（DEM）。2005 年 Eisenbeiss, H.進一步應用旋翼型 UAV 空拍 Pinchango Alto 考古區域並萃取 DEM(圖 3-8)，且與地面光達(LiDAR）資料相互比較。另外，也運用在馬雅考古遺址產製考古區 DSM 與正射影像(圖 3-9、圖 3-10)(Eisenbeiss, H.，2009)。2006 年 Eisenbeiss, H.則將旋翼型 UAV 應用在玉米田空拍並產製數值地表模型（DSM）與正射影像資料，以進行玉米田花粉傳播分析（Eisenbeiss, H.，2006）。2008 年 Haarbrink, R. B 與 Eisenbeiss, H.則利用旋翼型 UAV 來勘測地球科學數據，分別在荷蘭的高速公路、瑞士的玉米田與岩石崩落區(圖 3-11）等地，獲取 2 公分精度之正射影像、3D 地形圖，以及每平方公尺約有 50 點密集的 DSM 資料，其平面精度約 2 公分，在高程精度約 4 公分。

圖 3-7 旋翼型 UAV（Eisenbeiss, H，2004）

圖 3-8 Pinchango Alto 考古區正射影像（Eisenbeiss, H，2005）

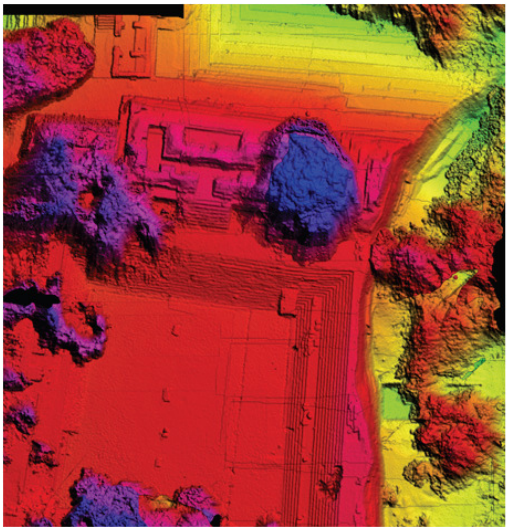


圖 3-9 馬雅考古區 DSM

（Eisenbeiss, H.，2009）

圖 3-10 馬雅考古區域正射影像

（Eisenbeiss, H.，2009）

圖 3-11　Randa 土石滑動（Eisenbeiss, H，2008）

此外，義大利 ITHACA（Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action）所發展的 UAV（圖 3-12），亦被應用於天然災害監測，可快速地進行災區的災況調查（Bendea, et al., 2008），由 Politecnico di Torino and World Food Programme（WFP）所發展的 ITHACA 計畫，即應用於災害監測管理（Bendea, 2007）（圖 3-13 為測試區）。藉由分析所取得的影像資訊，可分辨地區內何處為陸地、河川、是否有大量積雪等，因此若有暴風雪發生，可於事後及時了解影響的範圍。此外，也可藉由搭載不同的感測器，應用於如森林大火相關火源的偵測、山坡地崩塌等情形。

圖 3-12　UAV 外觀（資料來源：ITHACA）

圖 3-13 測試區（資料來源：ITHACA）

荷蘭則利用旋翼型 UAV（圖 3-14）進行煉油廠污染監控作業（圖 3-15）與公路事故現場空照（圖 3-16），產製交通事故現場正射影像，另外也積極發展研擬輕型 UAV 管理辦法。

圖 3-14 荷蘭旋翼型 UAV（Haarbrink，2006）

圖 3-15 煉油廠污染監控（Haarbrink，2006）

圖 3-16 事故現場正射影像（Haarbrink，2006）

2008 年美國運輸部利用旋翼型 UAV 系統來獲取影像，並採自動化程序進行特徵萃取與測量，以評估公路狀況（圖 3-17）。

圖 3-17 資料萃取用於道路情況報告示意圖（ Chunsun Zhang，2008）

2.中國大陸

中國大陸近年積極發展 UAV 航攝技術，應用領域廣泛且多次應用於蒐集災區資訊，如四川汶川大地震（何磊、苗放、唐姝娅、李玉霞，2010）、青海玉樹大地震、雅安市漢源縣山體滑坡、甘肅舟曲泥石流，以 UAV 產製快速鑲嵌糾正拼接之災區影像或高解析災區正射影像。大陸在 2007 年於北京市海澱區北安鎮測試定翼型 UAV 航拍穩定性且檢驗影像成果精度並進行分析，該測試面積為 1.5 平方公里，計飛行 7 條航帶，航拍穩定性如表 3-2，影像空中三角測量成果如表 3-3，（李兵、岳京宪、李和军，2008）。

此外，2009 年亦於武漢市蒼山鎮進行了 1:1000 航測成圖試驗，UAV 飛行航高 430 公尺，獲取相片 41 張，並將航拍相片透過建立數學模型等方式進行相關誤差修正，試驗結果其圖幅檢核精度如表 3-4（程崇木、张俊华、孙　炜、唐建林、高　宇，2010）。

表 3-2 測試區航拍質量情況（李兵等，2008）

參數	最大值	最小值	平均
航線彎曲(1km航線上)	5m	Om	2.5m(O.25%)
旋偏角	6.235	0.055	3.155
航高(設定350m)	355.069m	349.675	351.359m
航向重疊(設定65%)	69.12%	57.75%	65.31%
旁向重疊(設定35%)	36.48%	33.27%	35.21

表 3-3 北安河測試區空中三角測量成果（李兵等，2008）

空中三角測量成果	控制點中誤差		檢核點中誤差	
	平面(m)	高程(m)	平面(m)	高程(m)
加密限差	0.50	0.22	0.88	0.38
平差結果	0.16	0.06	0.10	0.16

表 3-4　圖幅精度統計（mm）（程崇木等，2010）

图幅号	平面点位		平面间距		高 程		说明
	中误差	限差	中误差	限差	中误差	限差	
3370.00－500.75	0.19	0.60	0.14	0.40	190	200	平地
3370.25－500.75	0.16	0.60	0.14	0.40	80	150	建城区
3370.50－500.75	0.22	0.60	0.10	0.40	100	150	建城区

另一方面，中國大陸研製之超廣角組合相機平台（圖 3-18、圖 3-19），搭載於 UAV 上，能快速獲取比單相機平台更大範圍影像資訊（圖 3-20），並產製正射影像（圖 3-21）、數值地形模型（LIN Zongjian，2008）。今年 4 月 17 日大陸利用 UAV 獲取到的青海玉樹結古鎮災區震後 0.1 公尺解析度航空遙感影像，並採用無地面控制數值航空攝影、遙感影像快速處理等測繪新技術製作而成災區正射影像（圖 3-22、圖 3-23）及 3D 動態地圖（圖 3-24）。

圖 3-18 組合超廣角相機雲台（LIN Zongjian，2008）

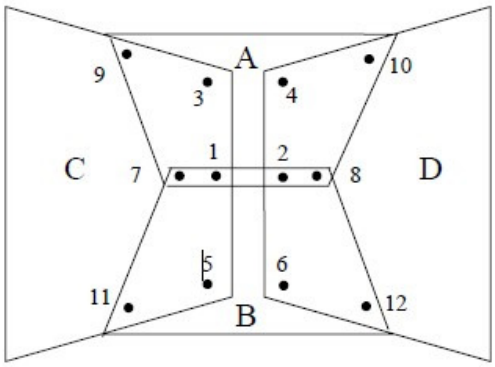


圖 3-19　4 相機影像重疊架構（LIN Zongjian，2008）

圖 3-20 組合廣角鏡頭影像涵蓋（LIN Zongjian，2008）

圖 3-21 測試區正射影像圖（LIN Zongjian，2008）

圖 3-22　青海玉樹地震正射影像（大陸測繪局）

圖 3-23　青海玉樹地震正射影像（大陸測繪局）

圖 3-24　青海玉樹地震三維動態地圖-1（大陸測繪局）

圖 3-25　青海玉樹地震三維動態地圖-2（大陸測繪局）

（二）UAV 其他領域應用案例

早期 UAV 多運用在軍事領域上，而在美國及以色列軍方成功使用後，各國針對 UAV 的研究與日遽增，初期仍偏重於軍事用途上，相對地在非軍事的應用上則十分罕見。不過近幾年來由於其機動性、廉價性及穩定性提高，其在民生相關用途上已有了大幅度進展，而為了因應需求，多種形式用途的 UAV 也正逐步推出，如以長滯空監測為需求的太陽能 UAV（圖 3-26），應用領域從軍事監視、情資偵察、攻擊或演習用靶機、誘餌，民間則有氣象資料蒐集、災害現地勘災、電信中繼，還有各種地球科學方面的研究等（如圖 3-27）。

圖 3-26　高空長滯空太陽能 UAV(資料來源：NASA)

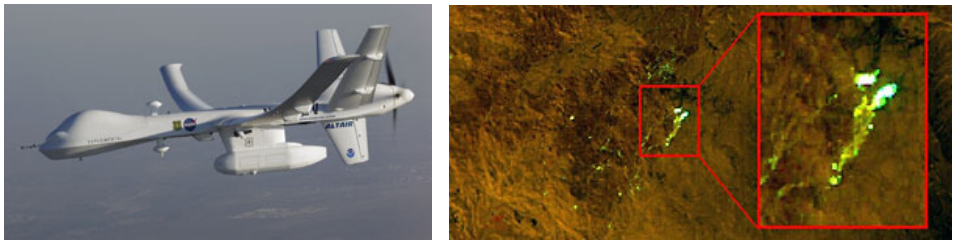


圖 3-27 地球科學調查用 UAV（左）與其夜間空拍照片（右）(資料來源：NASA)

以美國為例，由於其 UAV 發展歷史最為悠久，故運用的單位非常廣泛，包含了土地管理（如美國農業部、內政

部)、商業開發(如貨運、作物噴灑公司)、地球科學(如美國太空總署、環保局)及區域安全(如美國國土安全部、移民與海關執行單位)等領域,而民間的 UAV 公司亦蓬勃發展。

另外由 Insitu 公司於 2004 年推出 Seascan 號 UAV(圖 3-28),主要用於漁業監測、海洋監測、氣候調查、海流追蹤與海洋巡防等應用,其酬載為可動之攝影機平台,它可以轉動的角度為 45 度內,乃依照不同攝影需求可動態調整其拍攝角度,尤其在海面上仰角拍攝將比垂直地面得到更有分析效益的畫面,或是用於橋墩、道路等監測應用領域。

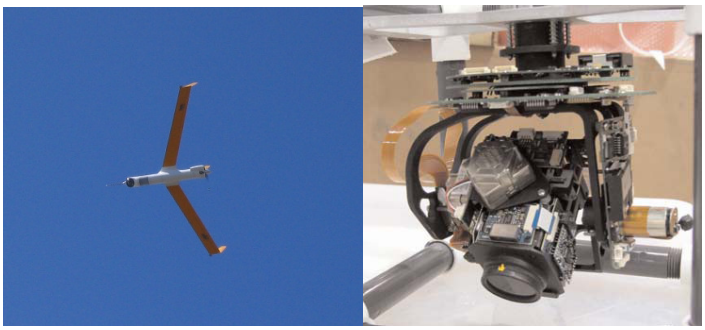


圖 3-28　SeaScan UAV(資料來源:美國 Insitu 公司)

此外,美國 AEROSONDE 的 Mark-Ⅲ UAV(圖 3-29),透過與颶風研究中心的合作,獲得了良好的成效,該計畫並運用越洋型 UAV,使其進入颶風圈蒐集其強度、速度、壓力與溼氣相關資訊,再以這些資訊,進而研判颶風之強度及速度,不僅可作為氣象預報之用,更能作為災害預警發布的研判依據。

圖 3-29 越洋型 UAV（左）與其空拍照片（右）

（資料來源：AEROSONDE Company）

類似的氣象觀測計畫，我國於 1998 年在國家科學委員會主導下開始執行，進一步開始探空觀測颱風計畫，計畫期間經歷 7 年的研發與實際經驗累積，厚植了 UAV 於氣象觀測的能量。目前該團隊也正計畫朝自行發展為主軸，並繼續推動 UAV 天氣觀測，以持續拓展 UAV 在環境監測上的應用。（林博雄等，2005）

除了定翼型 UAV 外，旋翼型 UAV 的發展亦有長足的進步，以日本山葉發動機株式會社為例，於 1980 年接受農林省下屬農林水產航空協會之委託開始研發旋翼型 UAV，2000 年發表自動導航機種，並受其建設省土木研究所之委託，進行北海道有珠山的災害觀測與三宅島的火山監測（圖 3-30）。目前最新機種為「RMAX Type II G」，主要運用於農業方面以節省農業事務成本，如：噴灑農業或肥料、植物生育觀察、播灑種子等應用。另外，HIROBO 公司研製的旋翼型 UAV，亦被運用於遺跡調查領域（圖 3-31）。由此可得知自動導航 UAV 為未來之主要發展趨勢，其應用也將隨之愈來愈廣泛。

圖 3-30 三宅島火山監測（資料來源：山葉發動機株式會社）

圖 3-31 Yamaha RMAX-農藥噴灑（資料來源：山葉發動機株式會社）

圖 3-32 HIROBO 旋翼 UAV-遺跡調查

（資料來源：HIROBO 株式會社）

表 3-5 UAV 應用領域彙整說明 UAV 已廣泛地被各領域應用，龐大的應用市場，使 UAV 成為 21 世紀最具潛力的技術發展項目之一。

表 3-5 UAV 應用領域彙整

應用類別	敘述
空間資訊	航空攝影、DEM、正射影像、製圖應用、地物屬性分類與調查、3D-VR 實景等
軍事運用	即時戰場偵察與監視、目標追蹤、通訊中繼、反潛、電子對抗與干擾、砲火校正、雷達誘餌、航路偵查、敵防空網壓制、防砲射擊、戰鬥訓練用靶機、醫療藥品前線支援與傳單散佈等
海岸防衛	偷渡及緝私、國境海岸監控等
環境監測	海洋汙染監控、大氣天候研究、地質探勘研究、國土開發、地表探測等
科學應用	候鳥觀測與追蹤、氣動力、結構、控制等實驗平台等
農/漁業應用	農、林、牧業管理、農藥噴灑、病蟲害防治、漁業資源研究等
交通控制	進出港船舶管理、公路即時流量監控與管制等
危險任務	天災如水災、火災、油汙、核汙染等監控與救援
娛樂應用	商業攝影記錄、特技拍攝、通訊中繼與廣告等
其他	其他各種應用

二、UAV 國內應用案例

近年來，國內亦陸續有民用領域之相關 UAV 研究與應用案例，概述如下：

（一）公路防救災應用

有效運用高科技 UAV 工具之協助，從空拍之高解析度照片中，觀察到公路工程受到外在影響之風險以及工址之現況，對災害發生前之調查或是災害發生後之通報與復建規劃，均可減輕許多防救災伴隨而來之壓力，亦可提供更迅速、確實之災區資訊與畫面。(楊宗岳、羅國峯、林永仁、黃勤財，2009)

（二）海濱線追蹤調查

利用 UAV 定期進行海岸線空拍結合影像校正作業，有助於追蹤監測分析沙灘之消長，且可詳實記錄海岸的變化過程、濱線變化量測及比較不同時期濱線之變化，並透過歷史航空照片及已有的海岸與海底地形資料蒐集，可進行歷史濱線變化的比對，合理研判鹽寮福隆海岸之長期變化趨勢。(黃昭雄、徐逸祥、朱子豪，2005）

（三）相關單位應用

民間團體以 UAV 獲取災區部分影像資訊如小林村（圖 3-33）、林邊淹水區（圖 3-34）、雙園斷橋（圖 3-35）等等。此外，其他政府單位亦有相關應用案例，如表 3-6。

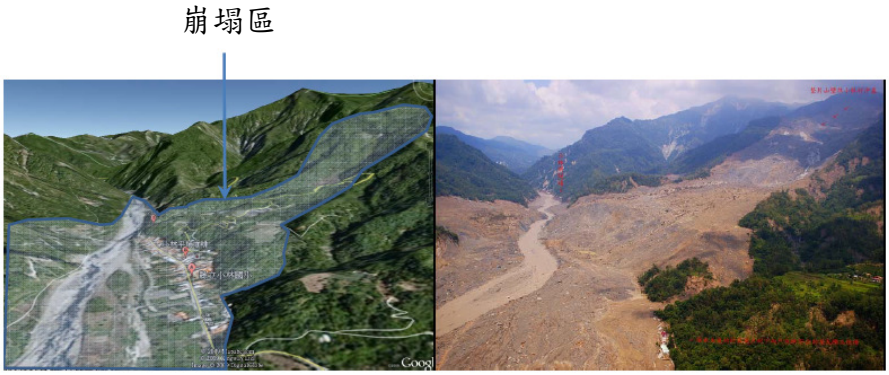


圖 3-33 小林村空拍影像崩塌前（左）崩塌後（右）

圖 3-34 莫拉克風災林邊淹水區空拍圖

圖 3-35 莫拉克風災雙園大橋空拍圖

表 3-6　各政府單位應用案例

單位	應用
經濟部水利署	以 UAV 應用於水利災害緊急勘災。
經濟部水利署第 7 河川局	於颱洪事件後，以 UAV 快速取得之航拍影像，比對災害前後地貌變化，以利辦理後續河川治理規劃檢討及管理。
經濟部水利署第 9 河川局	颱洪災害事件後，以 UAV 快速取得之航拍影像，比對災害前後地貌變化，以利辦理後續河川治理規劃檢討及管理。
行政院農委會水土保持局	利用旋翼型 UAV，針對所指定坡地環境重點治理區域，進行高解析度影像資訊之拍攝作業與資訊蒐集。
行政院環保署	運用 UAV 快速機動性以蒐證突發或重大性公害污染事件資訊。
屏東縣政府環保局	以 UAV 應用於高屏溪水污染監測及盜採砂石蒐證工作。
行政院林務局（嘉義林管處）	針對南化水庫上游重點集水區辦理無人載具（飛機）空拍作業，經對照分析南化水庫流域四個重要子集水區（龜頭坑、高水坑、狗寮溪、大竹坑），經歷卡玫基颱風後地形之變化情況。
國家災害防救科技中心	莫拉克風災後以 UAV 拍攝災後影像。
高雄市政府海洋局	以 UAV 進行海洋污染監測工作，用於汙染現場的調查蒐證。

行政院飛航安全委員會	利用微型 UAV 路徑規劃及自體穩定功能，有效率地獲得事故現場俯視、側視及環景影像，協助調查人員記錄事故現場地形、環境及殘骸資訊等。
內政部警政署	運用多旋翼 UAV 於執行秘密蒐證、協調指揮、制高點監控等多種空中任務。

第三節　探測感應器測繪平台架構暨應用作業測試案

97 年度測試案內分別使用定翼型及旋翼型 UAV 配備 CANON 450D 及 Sony α350 之數位相機於嘉義朴子地區測試，其航拍涵蓋範圍以 3 公里×3 公里為原則，以便據以評估 UAV 航拍穩定性與正射影像及立體成像之性能及潛力。選定之測試區域為嘉義縣朴子地區，在圖 3-37 中藍色框線所示為空域申請區域，紅色為測試區範圍 3×3 公里，由於該區域為已有詳細地面控制點等數據資料，加上區內土地利用類型豐富，具有建物、道路、學校、農地、河川等地物景觀，其中建物區內又有密集區與非密集區的區別，適於測試評估 UAV 空拍製圖性能。(內政部國土測繪中心，2009)

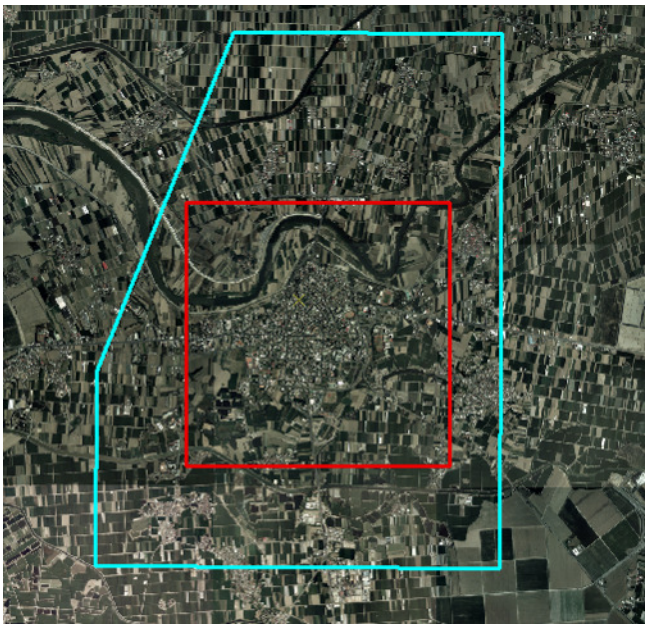


圖 3-36　嘉義朴子測試區

一、定翼型 UAV 測試

（一）航拍作業

定翼型 UAV 搭配 Canon EOS 450D 相機，鏡頭為固定焦距 24mm，其航線規劃如表 3-7，圖 3-37～圖 3-40 顯示不同航高之兩條航線間寬度、估計總航程（不含起飛降落階段）、估計總航拍時間（不含起飛降落）。

表 3-7　定翼型 UAV 航線規劃表

定翼UAV	Canon 450D	24 [mm]	側向攝角	49.6 [deg]	側向重疊	30	[%]	前後重疊	60	[%]	空域側寬	3000	空域前後	3100

機型	離地高	航次	相片前後	相片側寬	解析度	航帶寬	相片間距	空速	空速	拍照時距	前後重疊	航帶數	相片數	飛行時間	總航程	快門速度
	[m]		[m]	[m]	[cm]	[m]	[m]	[kt]	[m/s]	[sec]	[%]			[min]	[km]	[1/s]
DoDoPro_3	1200	2	740	1110	26	777	296	60	31	9.6	60	4	46	28	48	238
DoDoPro_3	900	3	555	833	19	583	222	60	31	6.9	62	6	80	30	54	317
DoDoPro_3	600	3	370	555	13	389	148	60	31	4.8	60	8	174	33	58	475
DoDoPro_3	300	2	185	278	6	194	74	60	31	2.1	66	16	671	54	98	950

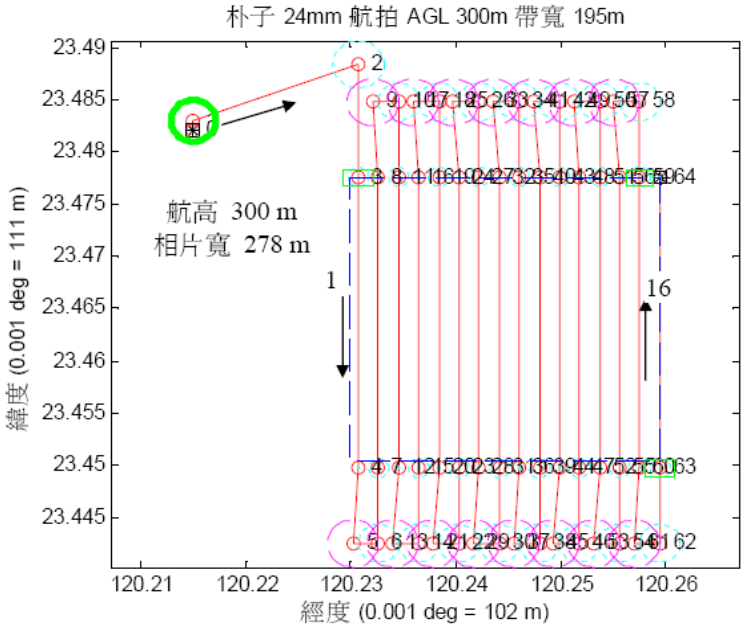


圖 3-37　定翼型 UAV 航高 300 公尺之航線規劃示意圖

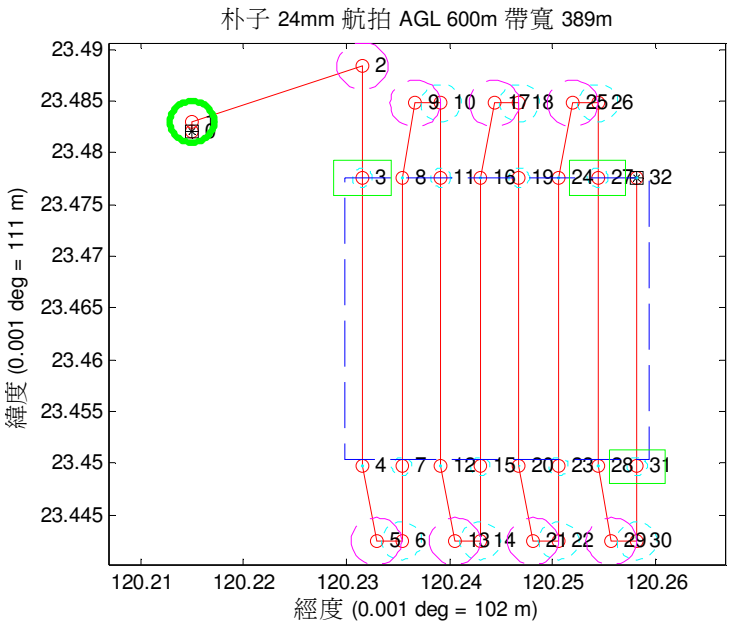


圖 3-38　定翼型 UAV 航高 600 公尺之航線規劃示意圖

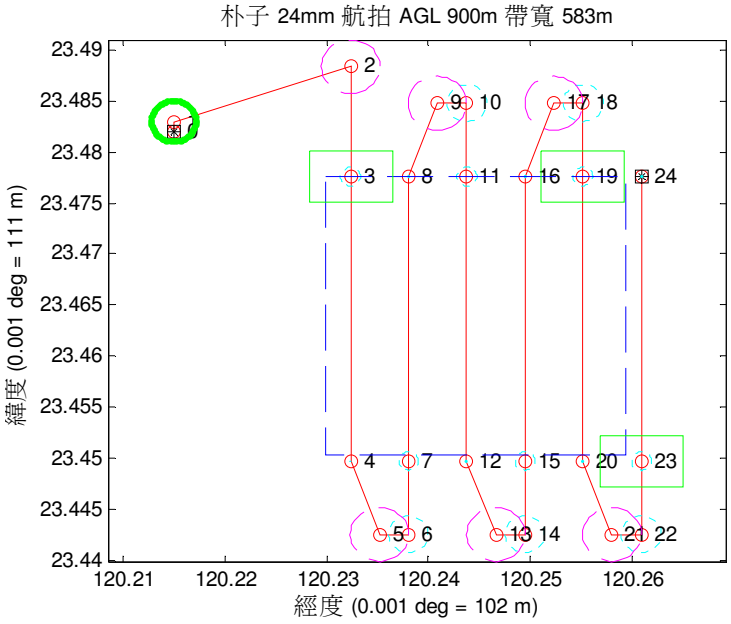


圖 3-39 定翼型 UAV 航高 900 公尺之航線規劃示意圖

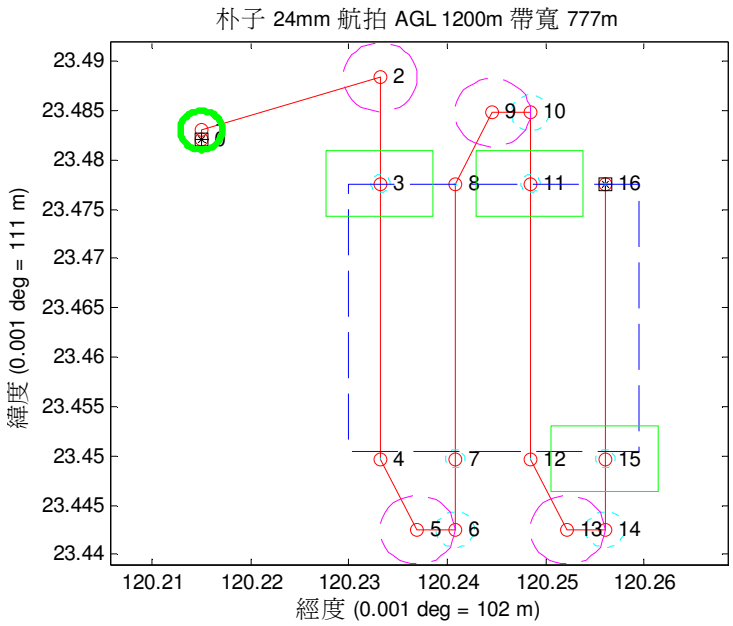


圖 3-40　定翼型 UAV 航高 1200 公尺之航線規劃示意圖

本案所規劃拍攝之朴子則陸續於 2009 年 5 月 19 日、6 月 9 日、7 月 1 日、7 月 21 日進行定翼型 UAV 飛行測試作業，執行飛行任務的同時，亦記錄了不同航高的軌跡（如圖 3-41 至圖 3-44）。

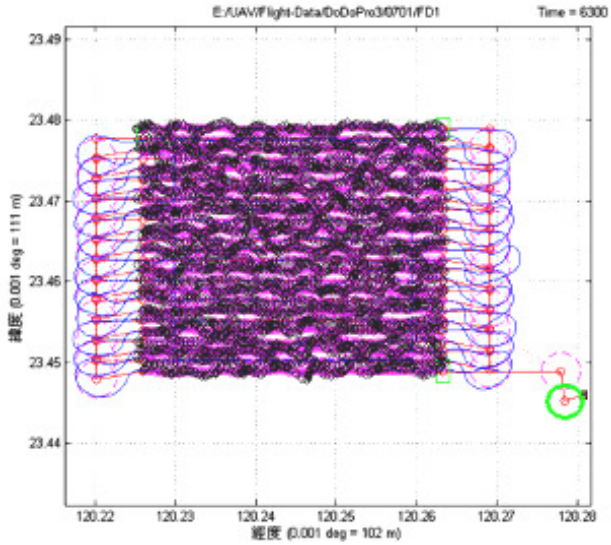


圖 3-41　定翼型 UAV 航高 300 公尺之航行軌跡紀錄

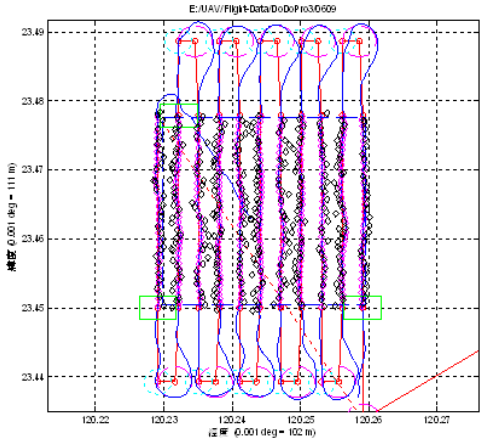


圖 3-42　定翼型 UAV 航高 600 公尺之航行軌跡紀錄

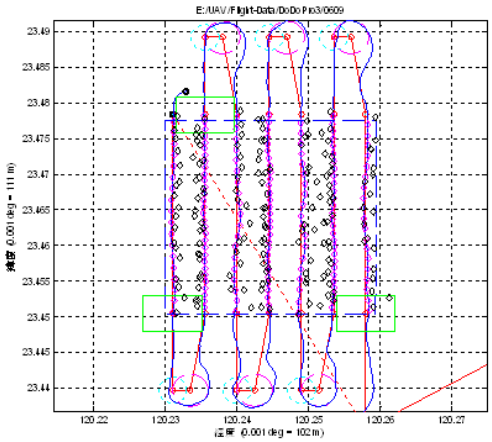


圖 3-43 定翼型 UAV 航高 900 公尺之航行軌跡紀錄

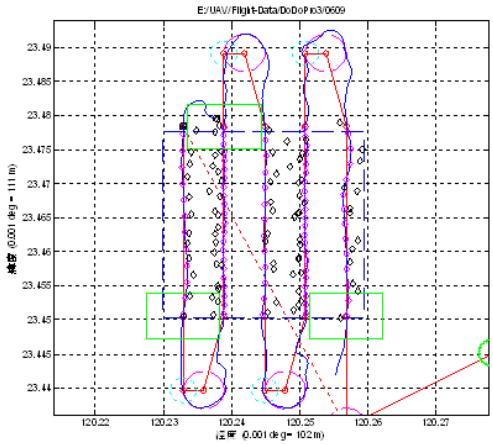
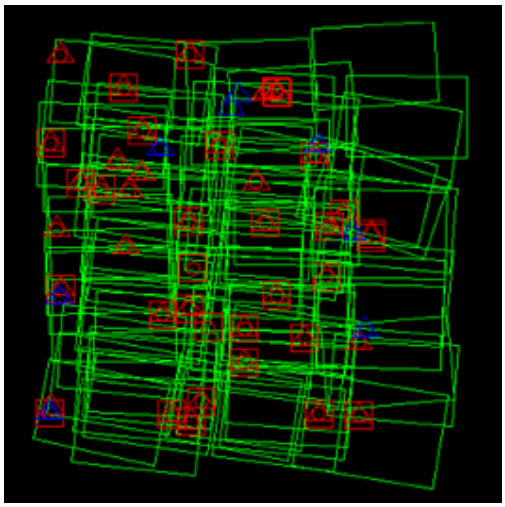


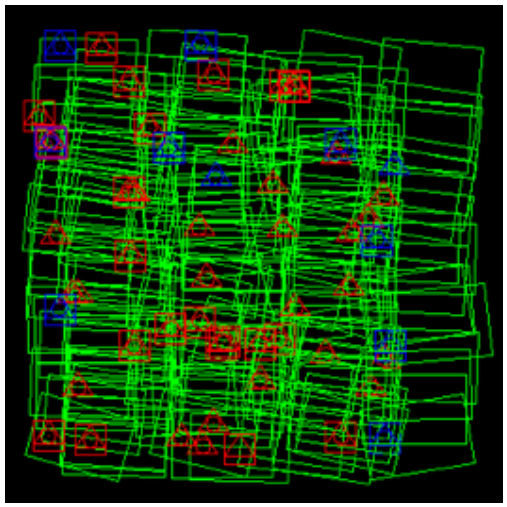
圖 3-44 定翼型 UAV 航高 1200 公尺之航行軌跡紀錄

（二）空中三角測量作業與結果

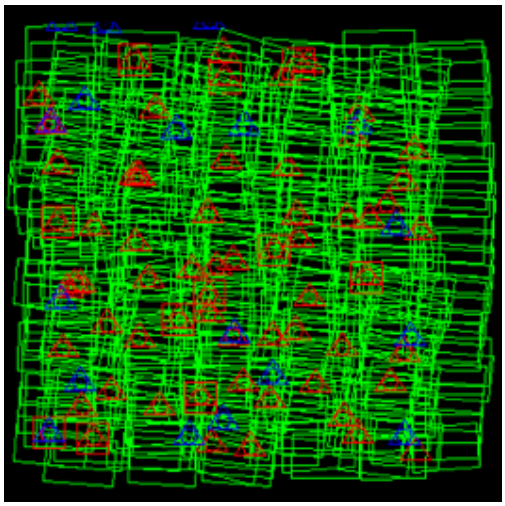
定翼型 UAV 航高 1200、900、600 公尺的測試區影像處理涵蓋範圍均為 3x3 公里；而 300 公尺的測試區影像處理涵蓋範圍則為 800x600 公尺。不同航高的空拍影像進行空三解算時，控制點與檢核點分布如圖 3-45 所示，其控制點與檢核點係利用千分之一地形圖，以立體製圖的方式量測而得。



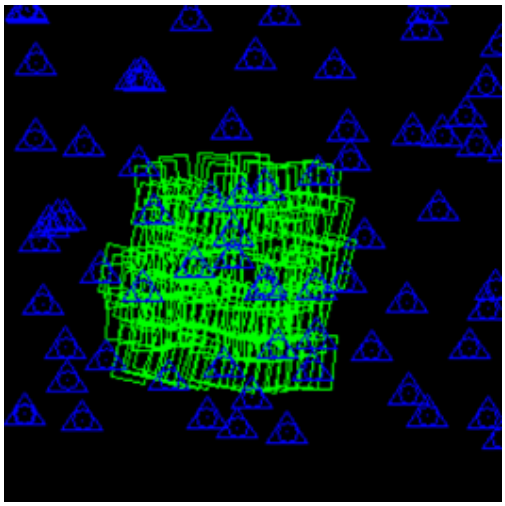
(1) 1200 公尺-81 張航高航照



(2) 航高 900 公尺-158 張航照



(3) 航高 600 公尺-357 張航照



(4) 航高 300 公尺-159 張航照

圖 3-45 空中三角測量控制點與檢核點分布

定翼型 UAV 不同航高空中三角測量解算坐標定位精度結果如表 3-8 至表 3-11。

表 3-8 定翼型 UAV 航高 1200 公尺空中三角測量成果

參數	X(m)	Y(m)	Z(m)	XY(m)
控制點均方根值	0.346	0.261	0.472	0.307
檢核點均方根值	0.361	0.311	0.414	0.337
GSD：26cm、自由網 Sigma：1.5 um、固定網 Sigma：1.6 um				

表 3-9 定翼型 UAV 航高 900 公尺空中三角測量成果

參數	X(m)	Y(m)	Z(m)	XY(m)
控制點均方根值	0.221	0.188	0.054	0.205
檢核點均方根值	0.220	0.240	0.418	0.230
GSD：19cm、自由網 Sigma：1.6 um、固定網 Sigma：1.8 um				

表 3-10 定翼型 UAV 航高 600 公尺空中三角測量成果

參數	X(m)	Y(m)	Z(m)	XY(m)
控制點均方根值	0.223	0.227	0.319	0.225
檢核點均方根值	0.187	0.197	0.283	0.192
GSD：13cm、自由網 Sigma：1.3 um、固定網 Sigma：1.7 um				

表 3-11 定翼型 UAV 航高 300 公尺空中三角測量成果

參數	X(m)	Y(m)	Z(m)	XY(m)
控制點均方根值	0.087	0.105	0.055	0.096
檢核點均方根值	0.113	0.056	0.125	0.089
GSD：6cm、自由網 Sigma：2.1 um、固定網 Sigma：2.1 um				

二、旋翼型 UAV 測試

（一）航拍作業

旋翼型 UAV 搭配 SONYα350 相機，鏡頭焦距固定在 18mm，其航線規劃如表 3-12 旋翼型 UAV 航線規劃表，圖 3-46 至圖 3-48 顯示不同航高之兩條航線間寬度、估計總航程（不含起飛降落階段）、估計總航拍時間（不含起飛降落階段）。

表 3-12 旋翼型 UAV 航線規劃表

旋翼UAV	Sony a700	18 [mm]	側向攝角	63.3 [deg]	側向重疊	30	[%]	前後重疊	60	[%]	空域側寬	3000	空域前後	3100

機型	離地高	航次	相片前後	相片側寬	解析度	航帶寬	相片間距	空速	空速	拍照時距	前後重疊	航帶數	相片數	起降數		快門速度
	[m]		[m]	[m]	[cm]	[m]	[m]	[kt]	[m/s]	[sec]	[%]					[1/s]
直升機	1200	1	987	1480	35	1036	395	30	15	25	60	3	27	2		89
	900	3	740	1110	26	777	296	30	15	19	60	4	46	2		119
	600	2	493	740	17	518	197	30	15	12	61	6	100	3		178

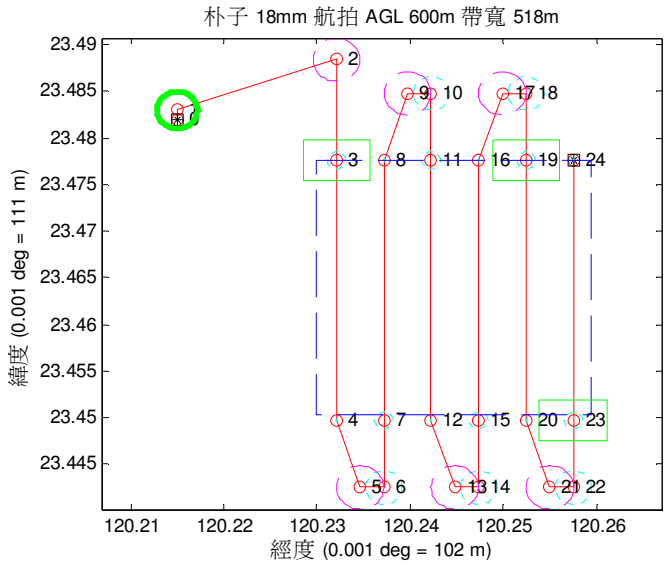


圖 3-46 旋翼型 UAV 航高 600 公尺之航線規劃示意圖

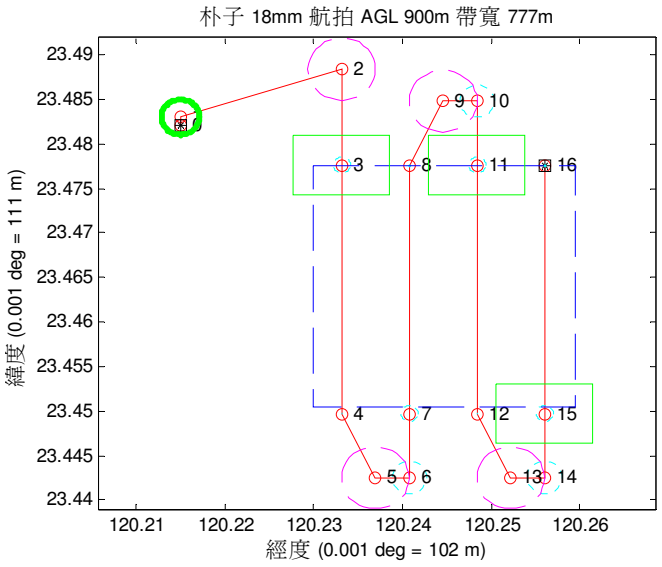


圖 3-47 旋翼型 UAV 航高 900 公尺之航線規劃示意圖

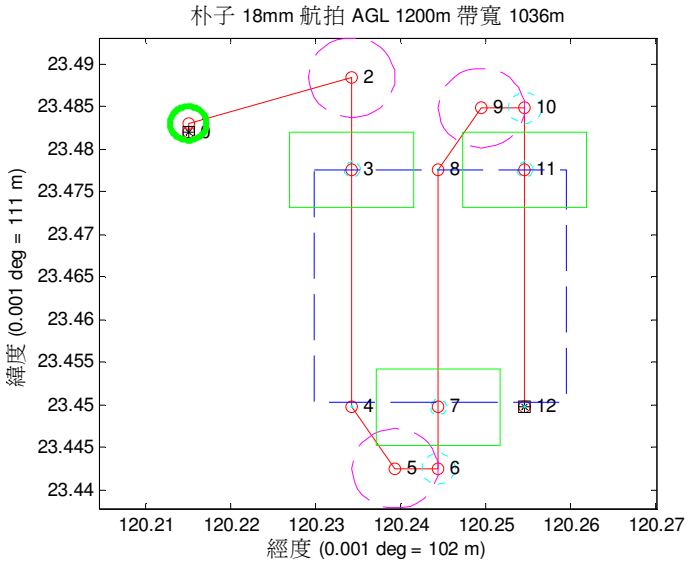


圖 3-48 旋翼型 UAV 航高 1200 公尺之航線規劃示意圖

本案所規劃拍攝之朴子則陸續於 2009 年 6 月 24 日、7 月 1 日、7 月 21 日進行旋翼型 UAV 飛行作業，飛行任務執行的同時，亦記錄了軌跡與飛行高度（圖 3-49 至圖 3-51）。

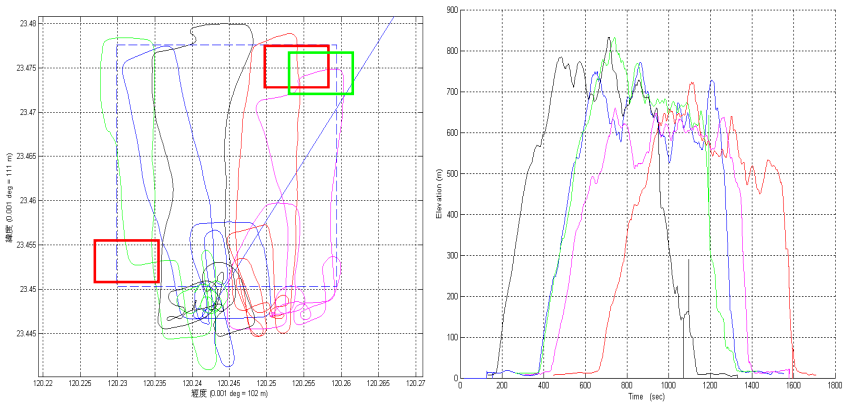


圖 3-49 旋翼型 UAV 航高 600 公尺之航行軌跡與高度紀錄

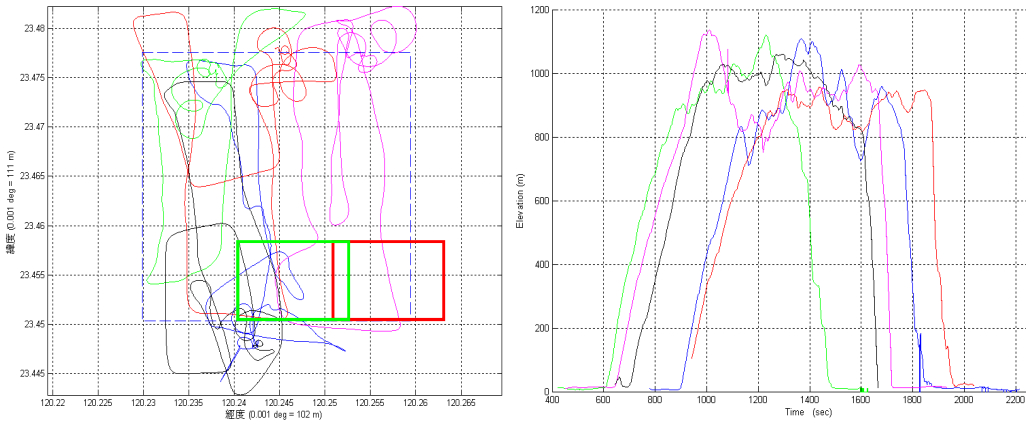


圖 3-50 旋翼型 UAV 航高 900 公尺之航行軌跡與高度紀錄

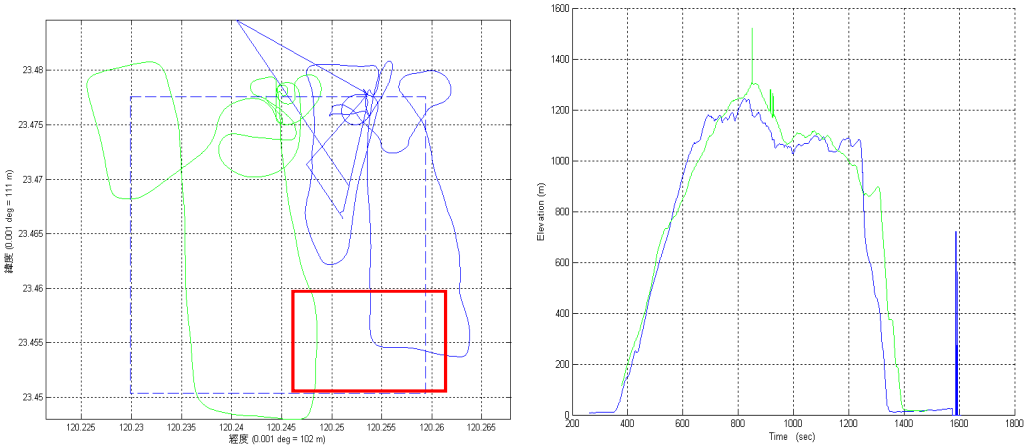
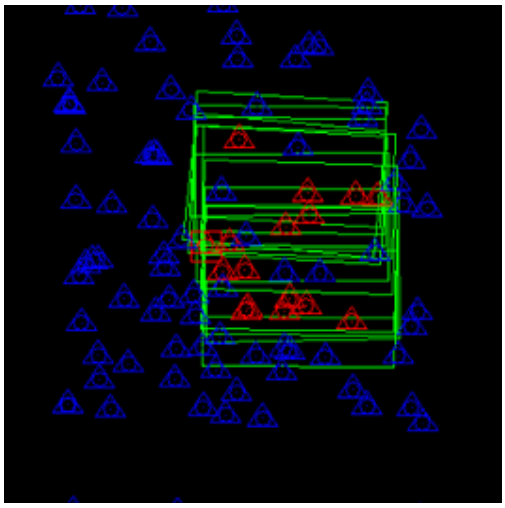


圖 3-51 旋翼型 UAV 航高 1200 公尺之航行軌跡與高度紀錄

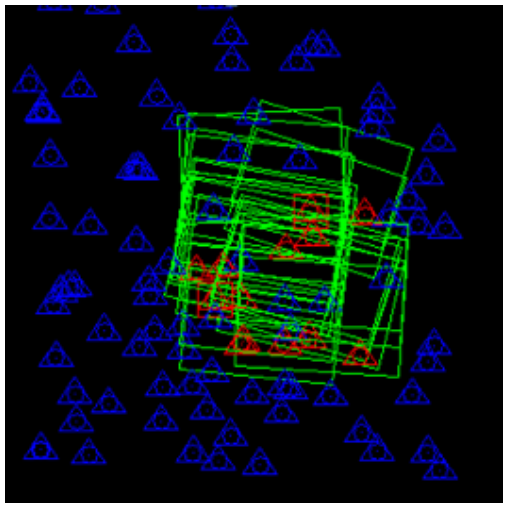
因採用之旋翼型 UAV 無自主導航能力，飛行穩定性較差，適合應用於小面積（約 1 公里 x1 公里內）的航拍作業。

（二）空中三角測量作業與結果

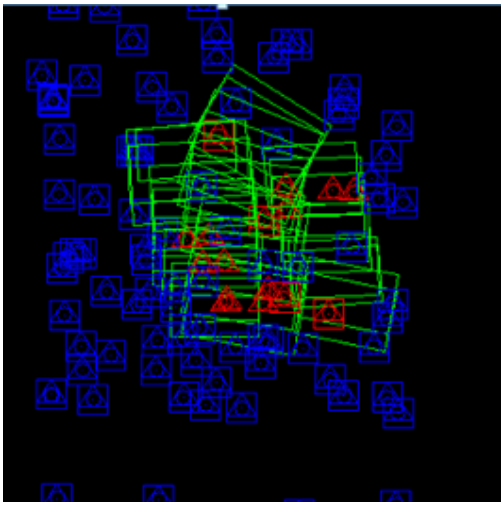
旋翼型 UAV 由於航拍時軌跡不穩定，測試區範圍之（3kmx3km）航拍影像難以達到重疊率要求，因此僅針對測試區影像涵蓋範圍 800x600 公尺，航高 1200、900、600 公尺部分進行空中三角測量計算作業，各種航高的空拍影像進行空三解算時，控制點與檢核點分布如圖 3-52。



(1)航高 1200 公尺-13 張航照



(2)航高 900 公尺-24 張航照



(3)　航高 600 公尺-31 張航照

圖 3-52 旋翼型 UAV 空中三角測量控制點與檢核點分布

定翼型 UAV 不同航高空中三角測量解算坐標定位精度結果如表 3-13 至表 3-15。

表 3-13 旋翼型 UAV 航高 1200 公尺空中三角測量成果

參數	X(m)	Y(m)	Z(m)	XY(m)
控制點均方根值	0.272	0.282	0.163	0.277
檢核點均方根值	0.148	0.569	0.763	0.416
GSD：35cm、自由網 Sigma：6.4 um、固定網 Sigma：7.9 um				

表 3-14 旋翼型 UAV 航高 900 公尺空中三角測量成果

參數	X(m)	Y(m)	Z(m)	XY(m)
控制點均方根值	0.206	0.295	0.145	0.255
檢核點均方根值	0.640	0.528	4.001	0.586
GSD：26cm、自由網 Sigma：4.8 um、固定網 Sigma：5.0 um				

表 3-15 旋翼型 UAV 航高 600 公尺空中三角測量成果

參數	X(m)	Y(m)	Z(m)	XY(m)
控制點均方根值	0.449	0.306	0.288	0.384
檢核點均方根值	0.393	0.560	0.692	0.484
GSD：17cm、自由網 Sigma：6.4 um、固定網 Sigma：6.8 um				

第四章　理論基礎

第一節　空中三角測量

一、立體像對空中三角測量

空中三角測量目的在求得攝影站的外方位參數，透過地面控制點及共軛影像坐標之量測，以間接求解得相機透視中心位置及姿態，即攝影站位置參數 X_L,Y_L,Z_L 及攝影站 X,Y,Z 三軸之轉角 ω、ϕ、κ 等姿態參數，用以產生立體模型，方能進行後續製作正射影像及測繪製圖作業。

理論上，像主點應與像坐標原點重合，但因相機本身內部構造影響，使像主點與像坐標原點略有偏移，因此光束法空中三角測量共線方程式如下〔Wolf and Dewitt, 2000〕：

$$x_p - x_0 = -f\left[\frac{m_{11}(X_p - X_L) + m_{12}(Y_p - Y_L) + m_{13}(Z_p - Z_L)}{m_{31}(X_p - X_L) + m_{32}(Y_p - Y_L) + m_{33}(Z_p - Z_L)}\right]$$

$$y_p - y_0 = -f\left[\frac{m_{21}(X_p - X_L) + m_{22}(Y_p - Y_L) + m_{23}(Z_p - Z_L)}{m_{31}(X_p - X_L) + m_{32}(Y_p - Y_L) + m_{33}(Z_p - Z_L)}\right]$$

（1-1）

（1-1）式中，x_p,y_p：為點位像坐標。x_0，y_0為像主點像坐標。

X_p,Y_p,Z_p：為對應物點之物空間坐標。

X_L,Y_L,Z_L：為透視中心之物空間坐標。

f：為焦距。

m_{11}，m_{12}，…m_{33}：為一個3x3旋轉矩陣之元素。

共線式內，旋轉矩陣元素的組成如下，其中ω、ϕ、κ表示像片方位系統之旋轉角度：

$$m_{11} = \cos\varphi\cos k$$

$$m_{12} = \sin\omega\sin\varphi\cos k + \cos\omega\sin k$$

$$m_{13} = -\cos\omega\sin\varphi\cos k + \sin\omega\sin k$$

$$m_{21} = -\cos\varphi\sin k$$

$$m_{22} = -\sin\omega\sin\varphi\sin k + \cos\omega\cos k$$

$$m_{23} = \cos\omega\sin\varphi\sin k + \sin\omega\cos k$$

$$m_{31} = \sin\varphi$$

$$m_{32} = -\sin\omega\cos\varphi$$

$$m_{33} = \cos\omega\cos\varphi$$

每觀測一個點，可由（1-1）共線式組成兩個觀測方程式，如果觀測的是已知點（地面控制點），則式中有 6 個未知數（外方位參數）。

本次研究使用 UAV 航拍影像，為產製立體像對以供後續量測之用，需同時解算立體像對像片的外方位。立體像對之空中三角解算，在控制點部分至少需要二個平控點及三個高控點方可解算，而且三個高控點不可位於一條直線上，而檢核及提升空中三角測量成果可靠度，必須使用至少三個平控點及四個高控點（如圖 4-1）。

（X_i、Y_i、Z_i、ω_i、ϕ_i、κ_i）　　（X_j、Y_j、Z_j、ω_j、ϕ_j、κ_j）

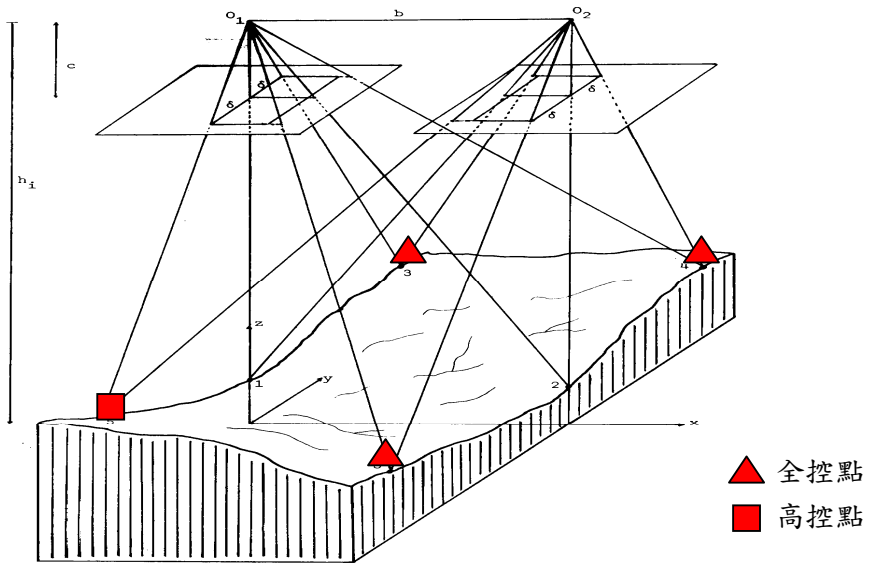


圖 4-1 立體像對空中三角測量示意圖

二、區域空中三角測量

區域空中三角測量（圖 4-2）與立體像對空中三角測量原理相似，不同在於區域空中三角測量為同時解算 3 張或 3 張以上互有重疊相片之外方位。其作業流程與原則方法如下所述：

1.使用航測影像工作站量測空中三角點，量測模型連接點及全部設有航測標之控制點、水準點之點位。

2.空中三角相片連接點應分布每一相片九個標準點以上，每一標準點位以二點以上為原則，空中三角平差偵錯後，每一標準點位至少留存一點。

3.空中三角測量平差計算以光束法為原則，空中三角測量平差計算，分二個過程進行計算，先以最小約制（或自由網）平差，以進行粗差偵測並得到觀測值精度的估值，其次進行強制附合至控制點上平差方式處理。

4.評估精度指標：空中三角測量評估精度指標可從自由網與控制

網之中誤差增量與其個別中誤差值、控制點之殘差量與檢核點之殘差量等指標進行評估比較。

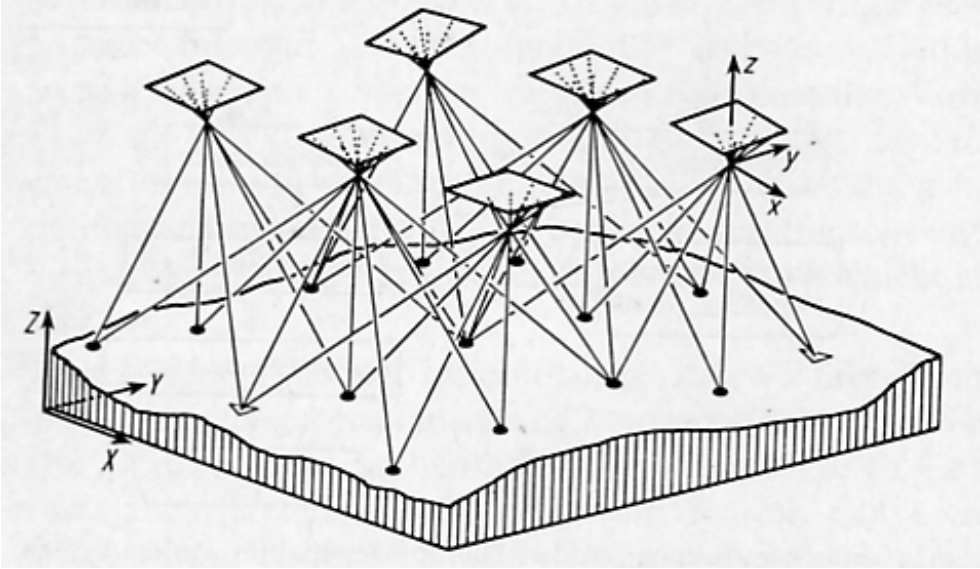


圖 4-2 區域空中三角測量示意圖

第二節　正射糾正與鑲嵌

影像正射糾正（Orthorectification）是減少相片既有之幾何誤差的處理過程，導致幾何誤差的變量大致上與相機和感測器的系統誤差、高差移位及傾斜移位有關，一般利用附加參數自率光束法平差方式消除相機系統誤差所造成的影響量，而以微分糾正的方法來消除像點的高差移位、傾斜移位及相片比例尺不一致之現象（楊靈峰，2003），影像經正射糾正後，可使影像在幾何上擁有與地圖相當的位置與距離精確度（Baltsavias，1998）。正射影像透過利用原始的數值影像、數值地表模型（DSM）及空中三角測量結果資料來產製（如圖 4-3），但是 DSM 資料難以獲取，一般皆以 DTM 或數值高程模型（DEM）代替。正射影像鑲嵌作業流程如圖 4-4。

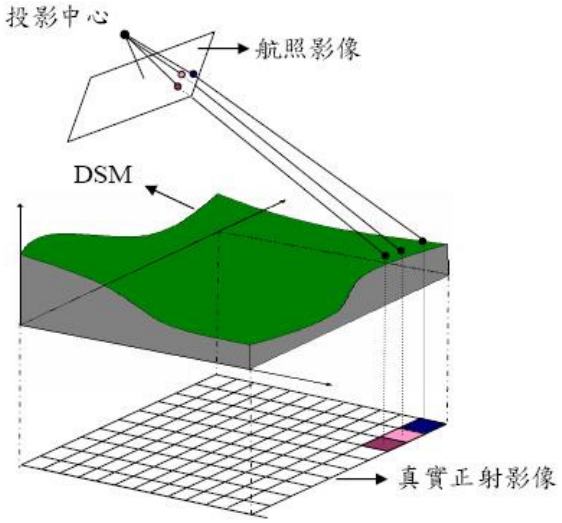


圖 4-3 正射糾正示意圖

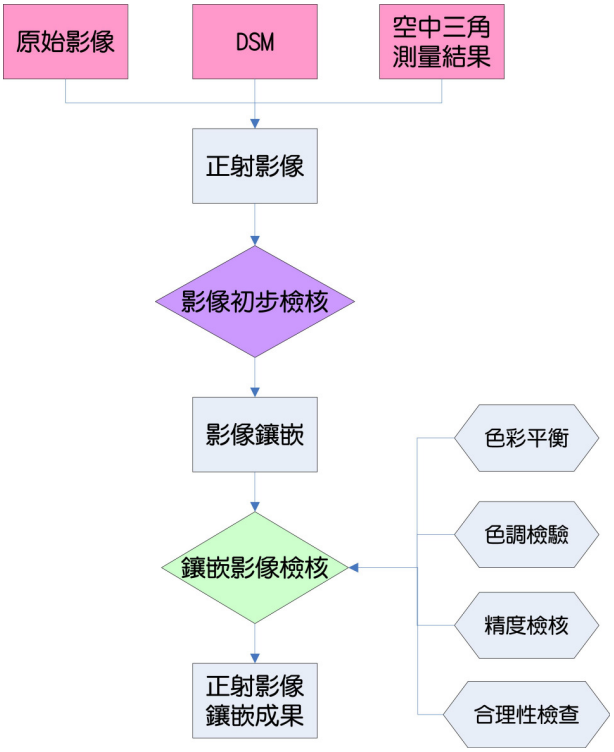


圖 4-4 正射影像鑲嵌流程圖

第三節　相機率定方式

本次相機率定方法採用附加參數自率光束法平差方式進行相機率定，係將相機內方位參數及透鏡畸變參數所引起之影像坐標修正量，利用三維空間中均勻分布之未知點坐標，以多張影像同時求解的方式，於平差時與影像內外方位參數一同解算，亦即將相機系統誤差當作附加參數來求解（Fraser，1997）。因此可將（1-1）共線方程式加入用以消除相機系統誤差之附加參數 Δx, Δy，其公式可改寫成如(1-2)所示。

$$x_p - x_0 + \Delta x = -f\left[\frac{m_{11}(X_p - X_L) + m_{12}(Y_p - Y_L) + m_{13}(Z_p - Z_L)}{m_{31}(X_p - X_L) + m_{32}(Y_p - Y_L) + m_{33}(Z_p - Z_L)}\right]$$

$$y_p - y_0 + \Delta y = -f\left[\frac{m_{21}(X_p - X_L) + m_{22}(Y_p - Y_L) + m_{23}(Z_p - Z_L)}{m_{31}(X_p - X_L) + m_{32}(Y_p - Y_L) + m_{33}(Z_p - Z_L)}\right] \quad (1\text{-}2)$$

$$\begin{aligned}\Delta x &= \bar{x} + (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6)\bar{x} + P_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2P_2 xy + b_1 x + b_2 y \\ \Delta y &= \bar{y} + (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6)\bar{y} + P_2(r^2 + 2\bar{y}^2) + 2P_1 xy\end{aligned} \quad (1\text{-}3)$$

上式中，

$$\bar{x} = (x - x_0),\ \bar{y} = (y - y_0),\ r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}$$

(x, y)：像點像空間坐標。

K1, K2, K3 用以描述透鏡輻射畸變（Radial Lens Distortion）係數；P1, P2 用以描述透鏡切線畸變（Decentering Lens Distortion）係數；b1, b2 用以描述像平面變形係數。

第五章　作業設備、流程方法與研究內容

第一節　作業流程

一、UAV 空拍作業流程

目前 UAV 空拍任務如涉及後續製圖需要執行前需依相關法規將航拍計畫報中央主管單位審查，並於執行任務兩週前向民航局申請空域，相關空拍作業流程如下圖 5-1。UAV 主要乃依照預先規劃之航拍任務自動導航飛行，因此航拍任務規劃，如航高確認、飛行時間計算、安全性設定等在整個空拍作業流程中扮演極關鍵角色，也影響 UAV 飛行的安全性。另外如航帶數、相片前後與側寬、相片間距、相片數、解析度、前後重疊、拍照時距、快門速度等亦必須預先詳細計算設定。

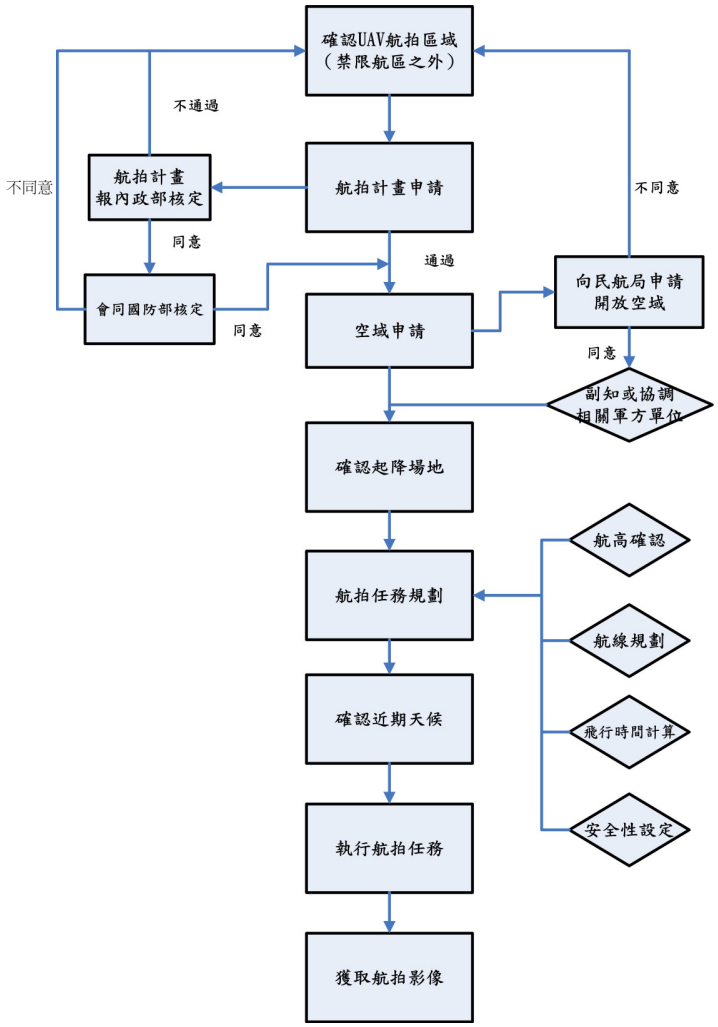


圖 5-1　UAV 空拍作業流程

二、空拍影像後製處理方法流程

（一） 影像快速拼接與幾何糾正流程

UAV 的特性在於其機動與快速，在考量緊急需求等時效性的前提下，可直接利用 Hugin 等環景軟體程式之拼接方式來進行影像相關拼接作業。影像拼接步驟如下，其流程圖如圖 5-2：

1. 先將影像解析度降階處理，增加拼接速度與可拼接數量。
2. 將影像進行環景拼接，將小幅影像拼接成大幅影像。
3. 在大幅影像中選取數點地面控制點，依 TPS（Thin Plate

Splines）模式將影像作幾何糾正。

4. 選取地面檢核點評估影像幾何糾正之精度。

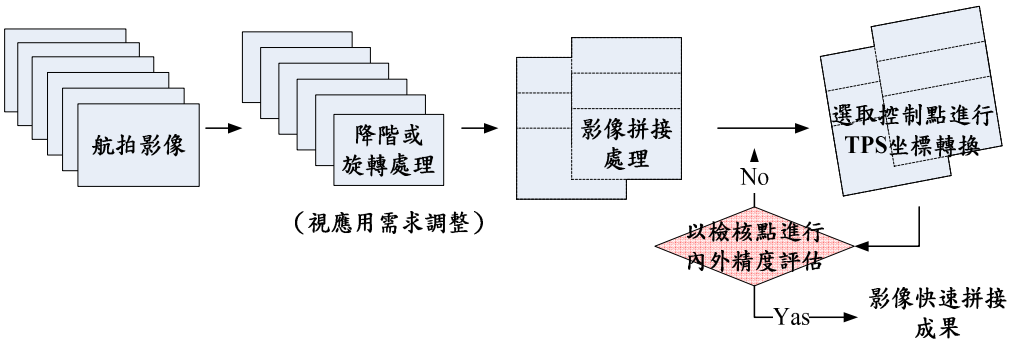


圖 5-2 影像快速拼接流程圖

Hugin 軟體係使用 Panorama Tools、Enblend 等核心技術所編寫的全景攝影圖像拼接軟體，可自動拼接數張在同一地點拍攝且互有重疊的照片，並能自動建立影像上連接點，輸入若干不同投影種類，能將影像轉成有曲度的一個弧面，所以影像的變形量大，但可進行微調，最後再針對需求裁剪出相應之拼接影像。使用 Hugin 軟體拼接之相片，並無相關坐標定位，尚須將拼接完成之影像利用 Arcgis 等軟體，量取若干控制點將相片進行坐標定位並糾正。

此外，影像幾何糾正處理有以下幾種處理方法（洪宇、龔建华、胡社荣、黃明祥，2008）：

1.利用野外可測控制點求解相機的外參數，進行影像單幅糾正。

2.利用目標區域的大比例尺地形圖，選擇合適的控制點，然後按照攝影測量方法進行幾何糾正。

3.在目標區有正射影像的基礎上，將 UAV 空拍影像與正射影像進行匹配來進行糾正。

4.基於機載慣性導航系統 INS 測得的相機姿態和 GPS 定位系統獲得的相機位置來進行糾正。

影像快速拼接與幾何糾正作業有兩種方式：

1.先以環景拼接軟體將影像拼接完成，再使用 Arcgis 軟體選取若干控制點進行坐標定位與影像糾正。

2.將單張相片以控制點進行坐標定位與糾正後再行拼接。

（二）緊急應用產製 3D 地理資訊圖資影像處理流程

緊急應用產製地理資訊圖資影像流程如圖 5-3：

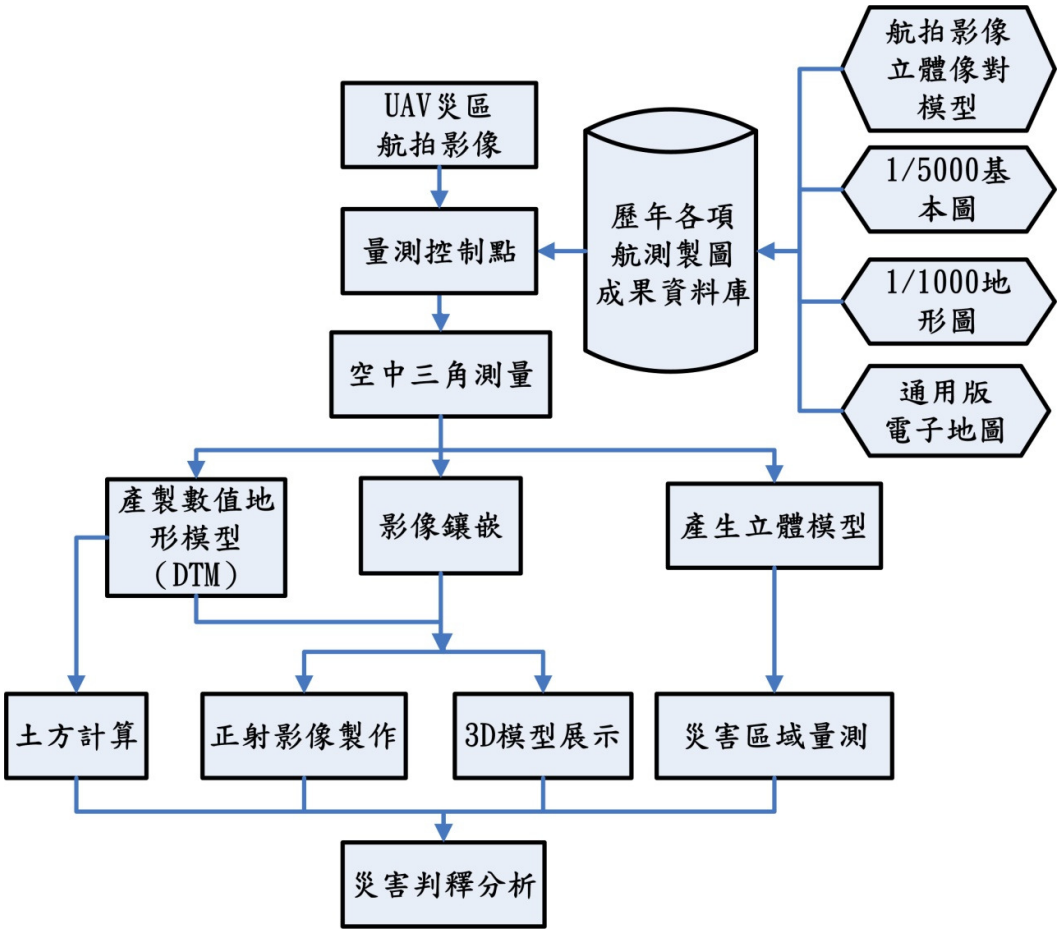


圖 5-3 緊急應用影像快速後製流程

1.UAV 航拍影像

災害發生時爭取時效，以 UAV 快速進入災區空拍影像。

本次採用旋翼型 UAV 航拍影像製作立體像對，影像地面解析度約 17 公分，像片重疊率達 80%以上。

2.前期成果量測控制點

為快速產製災區各項地理資訊節省至實地往返時間，以本中心豐富前期相關成果圖資或立體模型，量測前期成果地形地物特徵點，作為空中三角測量量測之地面控制點。控制點選定儘可能分布於影像四個角落且需於重疊像片上皆能清楚辨識。為求得可靠外方位參數，需量測 3 個以上平控點及 4 個以上高控點，另外量測數個檢核點作為精度評估檢核使用。

3.空中三角測量量測計算

有災區相關影像、相機率定後內方位參數與控制點資料，即可進行空中三角測量量測計算，透過解算出攝影站外方位參數，以組成立體模型。下圖 5-4 為 LPS 軟體空中三角測量計算組成立體模型之作業流程。

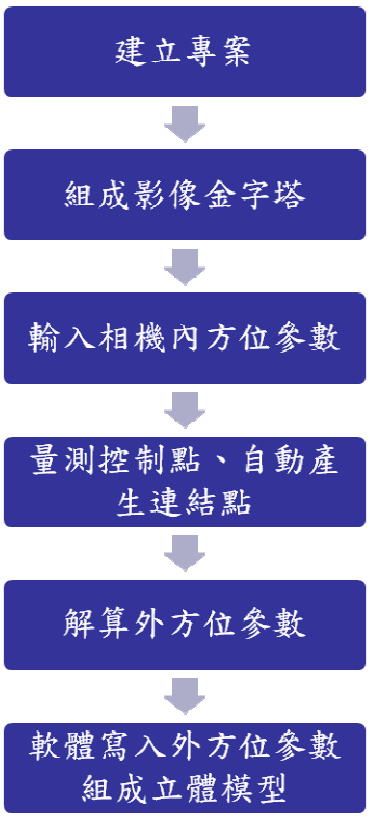


圖 5-4 空中三角測量 LPS 作業流程

4.組成立體模型、自動產生 DTM 及影像鑲嵌

空中三角測量解算出攝影站外方位參數後，即可完成像片定位，並組成立體模型。此外，軟體能自動內插產生 DTM 及自動產生正射影像鑲嵌圖。

5.災區 3D 地理資訊展示

透過 DTM 及正射影像鑲嵌資料，利用軟體展示災區 3D 立體模型及其他如等高線、坡度、坡向及 TIN 等各項地理資訊。如為崩塌區可計算崩塌範圍，並利用前後期 DTM 資料計算土方量。

6.災區判釋分析

綜合各項災區地理資訊，幫助決策者快速了解崩塌地區災損情況與擬定救災策略。

（三）國土利用調查之測繪圖資更新流程

國土測繪資料為國土資訊系統之核心及共用性資料，本中心於行政院「國家地理資訊系統建置及推動十年計畫」下研訂「國土測繪資訊整合流通系統建置及營運計畫」(作業期程為 95~104 年)，開始收集整理、整合國土測繪資料，並提供各界使用。相關圖資更新作業流程如圖 5-5：

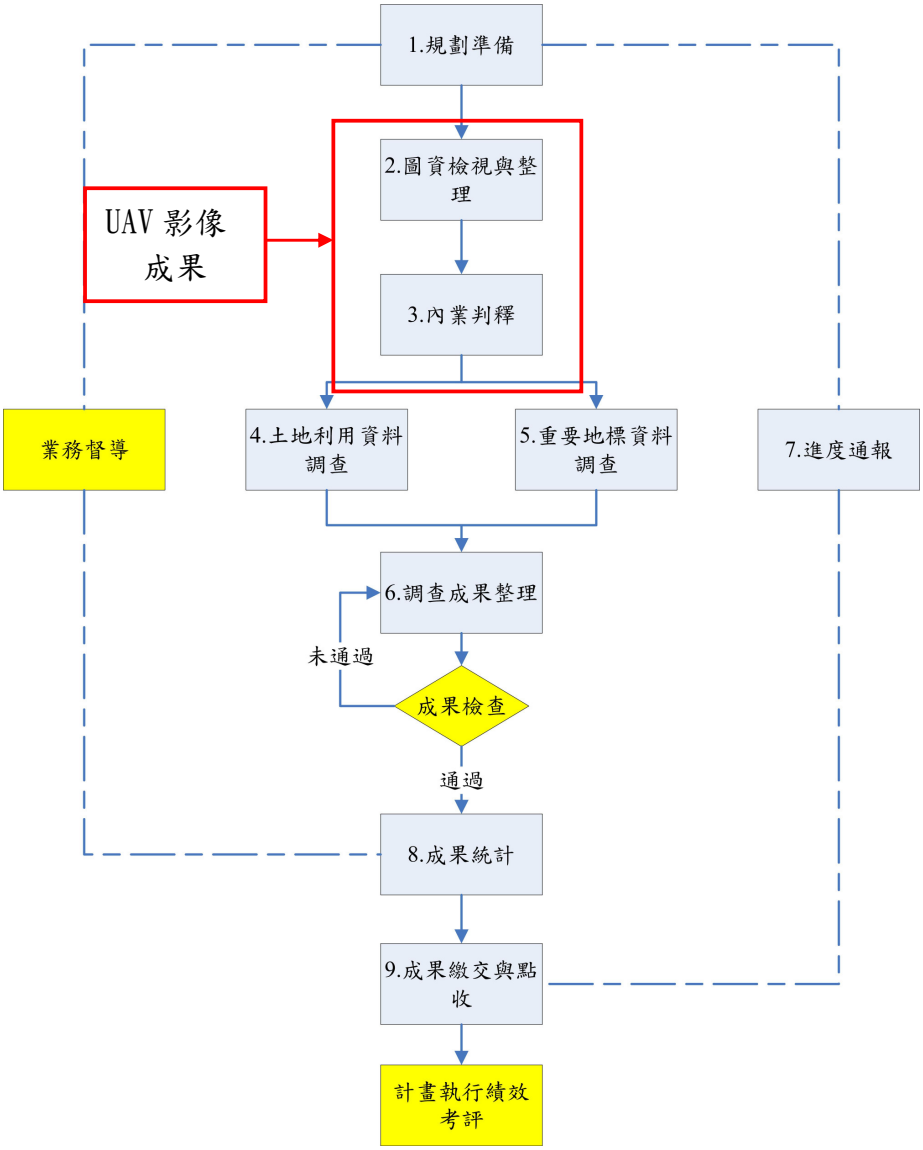


圖 5-5 國土利用測繪圖資更新流程

國土利用調查作業係運用高解析航遙測影像，配合地籍

圖、地形圖、交通路網等 GIS 資料與部分地面調查工作，將土地使用範圍大於最小圖面單元(如表 5-1)之坵塊予以分類，並參照「土地使用分類系統表」(如附錄 3)第Ⅲ級分類說明，辦理至第Ⅲ級土地使用分類作業。從國土利用調查測繪圖資更新流程來看，若 UAV 影像精度符合需求可將 UAV 影像成果視為航遙測影像輔助作為圖資檢視與內業判釋參考資料使用。

表 5-1 最小圖面單元

區位	最小圖面單元		
	道路	建物	其他
基本圖比例尺 1/5,000 圖幅範圍內且納入都市計畫範圍或非都市土地使用分區用地中鄉村區、工業區、特定專用區者	寬度大於 4m	大於 5m×5m	大於 5m×5m
其它區域	寬度大於 4m	大於 10m×10m	大於 25m×25m

作業所需各項 GIS 參考圖資如表 5-2，利用 UAV 產製正射影像套疊歷年土地利用調查圖形成果及其他 GIS 參考圖資，參考影像內容對各坵塊內土地使用類別進行判釋、記錄與更新。如經參考影像判釋使用現況已與歷年土地利用調查成果圖形不符時，應依據影像以數化方式修改坵塊圖形並就影像上可直接判釋土地使用的坵塊進行屬性填註，再辦理後續外業調查作業。比對 UAV 影像與與歷年土地利用調查

成果，如發現不符即可依據影像修改坵塊圖形如可直接判釋並可修改屬性填註。

表 5-2　GIS 參考圖資之說明

種類	本中心管有單位
航空正射影像	無
95、96 或 97 年度土地利用調查成果	地形及海洋測量課
地籍圖	測繪資訊課
行政區界圖	測繪資訊課
交通路網數值圖	測繪資訊課

針對內業已判釋土地使用屬性坵塊至現場進行核對，若使用情形有所改變，如現場使用情形與影像判釋成果不同或部分圖形不合則配合註記修改以利調查成果整理。內業無法判釋坵塊，至現場應逐筆檢視並記錄現場使用情形，若現場使用分類有所疑義者，予以拍照並將使用情形註記於參考底圖，以供後續討論據以分類。

配合實地調查資料進行變異點調查成果的編修工作，依現地調查結果修正土地利用調查成果坵塊圖形及屬性及重要地標資料，相關判釋區域與參考圖資使用順序如表 5-3。

表 5-3 判釋區與參考圖資使用順序

判釋區域	多種參考圖資使用順序
（1）位於基本圖比例尺 1/5,000 圖幅範圍內，且納入都市計畫範圍及非都市土地使用分區用地中鄉村	（1）1/1,000 地形圖 （2）地籍圖 （3）都市計畫圖

區、工業區、特定專用區者	（4）1/5,000 地形圖 （5）非都市土地使用分區圖
（2）位於基本圖比例尺 1/5,000 圖幅範圍內不包含（1）範圍	（1）1/1,000 地形圖 （2）地籍圖 （3）1/5,000 地形圖 （4）非都市土地使用分區圖
（3）位於基本圖比例尺 1/10,000 圖幅範圍內	（1）國有林事業區林班資料及其他必要的林地資料 （2）1/10,000 地形圖 （3）1/25,000 地形圖 （4）非都市土地使用分區圖

第二節　作業設備

一、UAV 空拍系統設備

由於不同形式規格之 UAV 類型眾多，為探究旋翼型及定翼型 UAV 之功能，本研究分別針對整合應用之定翼型與旋翼型 UAV 系統平台設備分述如下：

（一）定翼型 UAV：

本研究所採用的定翼型 UAV 分級依美國 UAV 分級屬迷你型 UAV（如表 5-4），在長距離資料傳輸鏈路的輔助下，控制範圍可以延伸至 20 公里以外，即時影像監控距離可達到 15 公里，有效滯空時間為 2 小時以上，可以依任務需求調整任務酬載或是選擇加載油料。其外觀與基本規格如圖 5-6，表 5-5 為基本規格，表 5-6 為定翼型 UAV 特色。

表 5-4 UAV 分級

量級	代表 UAV	參考圖片	重量範圍 (lb)	飛行高度 (ft)
HALE 高空長滯空	RQ-4 Global Hawk		1,000～30,000	>60,000
MALE 中高度長滯空	RQ-1 Predetor		1,000～30,000	18,000~60,000
Tactical 戰術型	RQ-7 Shadow-200		30~ 1,000	1,500~18,000

Mini 小型	ScanEagle		2~30	100~10,000
Micro 微型	BATMAV		< 2	0~500

圖 5-6 定翼型 UAV 外觀及基本規格

表 5-5

翼展	3.2 公尺
起飛重量限制	25 公斤
空速	100 公里/小時
續航力	2 小時以上
酬載	3 公斤以上
特點	中距任務

表 5-6 定翼型 UAV 特色

特色	詳細說明
通訊	配備長距離數據通訊鏈路，控制半徑可達 20 公里以上，即時影像傳輸半徑可達 15 公里以上。
地面控制站	利用 UAV 地面控制站，地面操作人員可在控制半徑內，隨時對 UAV 進行監測、變更飛行計畫與控制攝影酬載。
推進系統	採用以無鉛汽油為燃料之二衝程引擎，提供穩定之馬力。
滯空能力	未掛副油箱（4.0 公升）：2 小時以上 加掛副油箱（6.5 公升）：3 小時以上
起降操作	傳統跑道滾行起飛（需 120 公尺柏油跑道），跑道降落。
酬載	可搭載高畫素單眼相機或高縮放倍率攝影模組

（二）旋翼型 UAV：

本研究所採用之旋翼型 UAV，為日本京商 60 級直升機（圖 5-7），最大起飛重量 7 公斤，續航力 0.25 小時，相關規格如表 5-7。

圖 5-7 旋翼型 UAV－KYOSHO 60 級照片

表 5-7 旋翼型 UAV 基本規格

項目	說明
旋翼直徑	1.6 公尺
最大起飛重量	7 公斤
酬載重量	1.5 公斤
巡航速度	50 公里/小時
續航時間	0.25 小時
飛控電腦	有，但無自主導航飛行能力
特色	可滯空停懸

（三）酬載相機

定翼型 UAV 酬載相機為 Canon EOS 450D 或 Olympus

EP1，旋翼型 UAV 為 Sony α350，基本規格如下表 5-8。

表 5-8 酬載相機基本規格

相機型號	焦距 (mm)	WL 像數	感測器尺寸（mm）	ccd size (μm)	總像數（萬）
Canon EOS 450D	24	4272 2848	22.2 14.8	5.196629 5.196629	1200
Sony α350	18	4592 3056	23.5 15.7	5.117595 5.137434	1400
Olympus EP1	14	4032 3024	17.4 13.1	4.315476 4.332011	1230

本研究採用非量測型數位相機進行空拍作業，與量測型相機相較，有內方位不穩定及無框標決定像片坐標等缺點，因此必須事先進行相機率定程序，求得鏡頭之透鏡畸變、焦距與像主點等內方位參數，以便在後續進行三維坐標量測時可自動修正其系統性誤差。數位相機已預先使用 Photometrix iWitness Pro 軟體進行相機率定，此軟體提供了 48 個特殊設計的人造標（Cronk, S., Fraser C. S., Hanley H., 2006; Fraser & Cronk, 2008），如圖 5-8 所示。率定過程中可將 48 個人造標佈置在任意的三度空間場所中，範圍約 5x5 平方公尺，並使用相機拍攝大量含有均勻分布人造標影像，再使用軟體進行自動化判識以完成量測大量共軛影像點，毋需人工量測連結點即可完成相機率定工作，其相機率定結果如表 5-9、表 5-10。

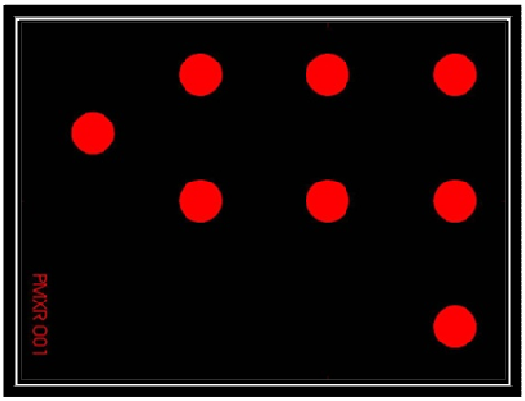


圖 5-8 相機率定使用之人造標

表 5-9 CANON EOS 450D 定焦鏡頭率定參數

Principal distance	c = 24.4000mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = 0.0626mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.0248mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.85806e-004
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -2.76627e-007
7th-order term of radial distortion correction	K3 = -2.56674e-011
Coefficient of decentering distortion	P1 = -1.8202e-005
Coefficient of decentering distortion	P2 = -1.2546e-005
No significant differential scaling present	b1 = 0.0000e+000
No significant non-orthogonality present	b2 = 0.0000e+000

表 5-10 SONY DSLR A350 變焦鏡頭率定參數

Principal distance	c = 18.8218mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.0423mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.3123mm

3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 4.74330e-004
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -9.71174e-007
7th-order term of radial distortion correction	K3 = -1.02817e-009
Coefficient of decentering distortion	P1 = -4.1645e-005
Coefficient of decentering distortion	P2 = -9.4521e-005
No significant differential scaling present	b1 = 0.0000e+000
No significant non-orthogonality present	b2 = 0.0000e+000

二、影像處理軟硬體設備

（一）硬體設備

本研究硬體部分採用數位航測影像工作平台進行空拍影像後製處理，基本規格如下表 5-11。

表 5-11　影像處理硬體設備

設備	項目	說明
硬體	高階繪圖伺服器工作站	因影像資料量龐大，需搭配特定圖形顯示卡及伺服器等級電腦，以加快影像處理效率。
	三維立體螢幕	用於立體觀測製圖。
	三維滑鼠	用於等高線、地物測繪製圖等處理。
	測圖輸入板	可建立常用圖式規格，便於地物測繪時使用。

（二）軟體設備

本研究採用 ERDAS LPS 2010、ArcGIS 9.3、Surfer 8、Hugin 、Google Sketchup 等軟體進行影像後製處理，使用軟體如表 5-12 所列。

表 5-12 影像處理軟體設備

	項目	說明
軟體	ERDAS LPS2010	建立空拍影像專案進行空中三角測量平差、產製DTM 、正射鑲嵌影像。
	ArcGIS 9.3	各種地理資訊分析與3D展示。
	Surfer 8	高程資料與3D展示。
	Hugin	影像快速鑲嵌拼接。
	Google sketchup	建置3D建物模型。

第三節　研究內容

本研究內容主要分成三部分，分述如下：

一、　應用嘉義朴子地區航拍影像進行GIS成果套疊與3D地理資訊展示作業。

為進一步探討UAV相關應用潛力與後續應用發展方向，嘗試將97年度UAV所產製嘉義朴子地區航拍正射影像成果與95年度國土利用調查GIS成果套疊，藉以評估未來是否可以朴子地區案例成果，將正射影像成果之解析度與精度應用於圖資更新內業判釋，修正幾何圖形與相關屬性之可行性；另近年來航拍影像與GIS技術結合已逐漸成熟，本案嘗試進行該區域內各項空間立體展示，試做以正射影像成果產製3D模型可行性與效益。

二、　應用北二高崩塌地區航拍影像進行緊急圖資製作及展示作業。

本研究原規劃使用UAV進行災區或崩塌地區影像拍攝作業及後續圖資處理作業，測試UAV於防救災工作之應用，惟因4月發生北二高崩塌走山意外，遂以旋翼型UAV快速獲取災區影像測試並驗證產製相關3D地理資訊能力。將UAV影像成果，利用前期成果立體模型量測相關特徵點作為控制點，節省至實地進行控制測量時間，並進行空中三角測量解算，以快速產製災區地理資訊並展示以供決策分析，相關內業影像處理作業，希望透過本次測試了解應用UAV影像於緊急救災產製相關成果時效性。

三、　應用彰化縣福興、埔心地區航拍影像進行國土利用調查測繪圖資更新內業判釋應用作業。

本中心近年來辦理國土利用調查、通用版電子地圖及基本圖測製作業，國土利用調查作業係藉由航遙測影像判釋技術、搭配

GIS 圖資及外業調查方式，詳實調查土地使用現況，本案測試以 UAV 航拍作業方式，選定本中心 99 年度測繪圖資更新作業區內彰化縣福興鄉與埔心鄉部分地區辦理航拍，並將廠商產製之快速幾何糾正鑲嵌影像成果，與前期正射影像及更新成果作比較分析，驗證其解析度與精度作為未來圖資更新參考資料可行性。

第六章　作業情形、成果分析與展示

第一節　嘉義縣朴子地區

一、作業情形

本研究案將 97 年測試案成果作進一步套疊國土利用調查 GIS 成果與製作 3D 虛擬城市。

本研究案 3D 虛擬城市作業方法為利用正射影像使用 ArcGIS 軟體繪製建物輪廓並套用千分之一地形圖樓層資料當作樓層高度值，另外再轉檔輸出 skp 檔，利用 Google Sketchup 軟體進行建物編修與外觀貼圖。但此種方式，將花費許多人力與時間，目前以小區域範圍（800x600 平方公尺）製作或僅建立建物輪廓較為可行，未來則可考慮結合地面測量車自動貼圖技術，將可大大減少作業時間。3D 虛擬城市可應用在城市規劃與建設領域，此外，建置完成之 3D 建物亦可套疊至 Google Earth，以進行相關展示，但套疊 Google Earth 前需將檔案坐標轉換成經緯度顯示，並輸出為.kmz 檔，方能於 Google Earth 平台中展示。

二、成果分析與展示

在 97 年度成果中，由於定翼型 UAV 於不同航高所拍攝的地區相同，故不同航高的空拍影像只有解析度與精度上的差異。定翼型 UAV 航高 600 公尺的地面解析度為 13 公分；航高 900 公尺的地面解析度為 19 公分；航高 1200 公尺的地面解析度為 26 公分，利用影像拼接軟體進行拼接，以 TPS（Thin Plate Splines）模式進行幾何糾正。

圖 6-1 嘉義朴子正射影像-定翼型 UAV

圖 6-2 嘉義朴子正射影像-旋翼型 UAV

嘉義朴子測試區 UAV 航拍成果正射影像如圖 6-1、圖 6-2，利用前期成果影像特徵點選定均勻分布圖幅中的 9 個點位(如圖 6-3)，進行影像平面精度檢驗，檢驗結果如表 6-2。(內政部國土測繪中心，2009）由表中可看出影像平面誤差約 50 公分左右，此精度足可符合國土利用調查參考圖資要求。

表 6-1 檢核點坐標

影像精度檢核點坐標		
	X	Y
1	173588.961	2596327.888
2	173688.763	2595823.326
3	172948.165	2594755.839
4	174011.465	2594717.324
5	172715.606	2594901.953
6	171961.371	2595422.694
7	171662.777	2595652.100
8	172073.967	2597025.746
9	172672.624	2595839.817

圖 6-3 影像精度檢核點分布圖

表 6-2 定翼型 UAV 正射影像經由檢核點檢驗平面誤差表

項目	X(m)	Y(m)	XY(m)
1200m 定翼型 UAV 正射影像	0.39	0.32	0.51
900m 定翼型 UAV 正射影像	0.39	0.35	0.52
600m 定翼型 UAV 正射影像	0.35	0.32	0.47

由於正射影像平面精度已可符合國土利用調查參考圖資需求，因此將其成果套疊 95 年度國土利用調查成果作一比較分

析。下圖 6-4 可見正射影像與前期土地利用成果坵塊幾何圖形位置符合度高，確實可用於圖資更新內業影像判釋與初步幾何圖形和屬性編修，並製作參考底圖以供後續外業調查使用。圖 6-5 中，由影像判釋可知原土地利用分類旱作（010102）應變更為未使用地（090801），後續可透過外業調查工作再行確認土地利用改變情形。另於圖 6-6 中藍框處，原土地利用為未使用地（090801），其定義為土地空置且無特定用途者，但從影像上可清晰看出已有建物興建完成，顯示土地利用已變更，初步可知為第 1 級分類代碼 05 建築使用土地，後續可透過外業調查確認第 2、3 及分類為何。圖 6-7 中，則應為成果編修分類上錯誤之情形，可明顯看出該坵塊圖形幾何與分類為一般道路似乎不合常理。圖 6-8 亦同，該坵塊人工闊葉樹純林範圍明顯已變更，其幾何圖形應進行編修。圖 6-9 原興建中土地已興建完成，可透過外業調查確認分類屬性。

圖 6-4 正射影像套疊 95 國土利用調查成果(定翼型 UAV 航高 300 公尺)

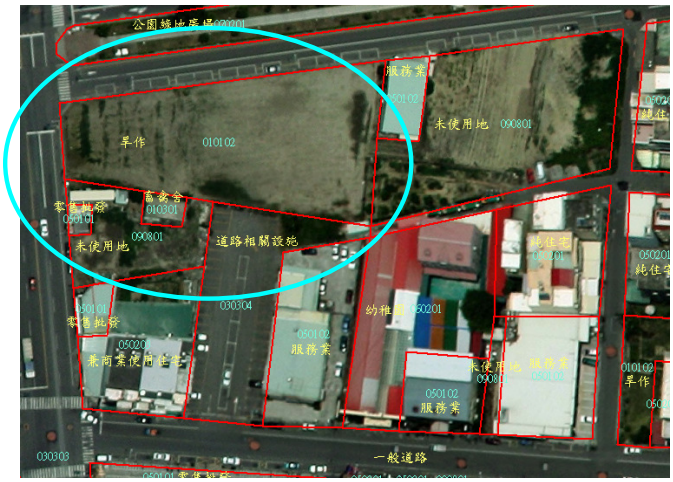


圖 6-5 影像判釋情形-1

圖 6-6 影像判釋情形-2

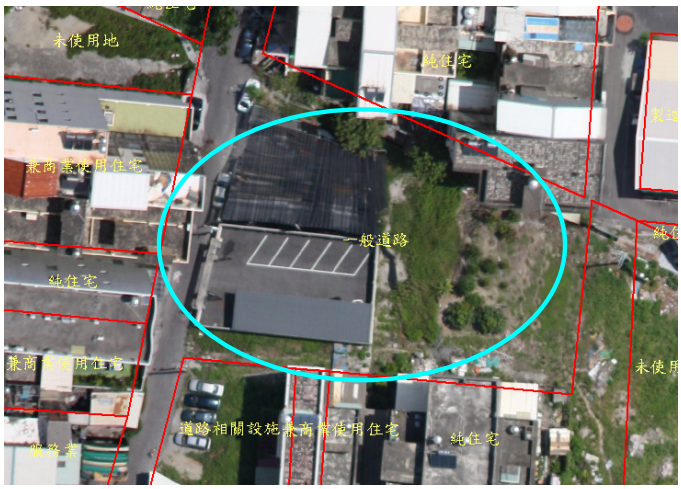


圖 6-7 影像判釋情形-3

圖 6-8 影像判釋情形-4

圖 6-9 影像判釋情形-5

以嘉義朴子地區相關成果，透過相關軟體建置朴子地區 3D 虛擬城市並套疊 Google Earth 平台（圖 6-10、圖 6-11、圖 6-12）。

圖 6-10　朴子地區 3D 虛擬城市

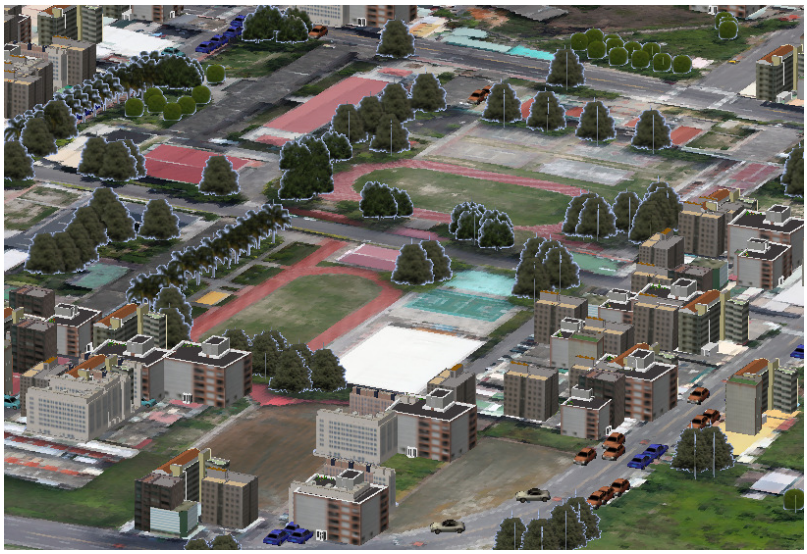


圖 6-11 朴子地區 3D 虛擬城市

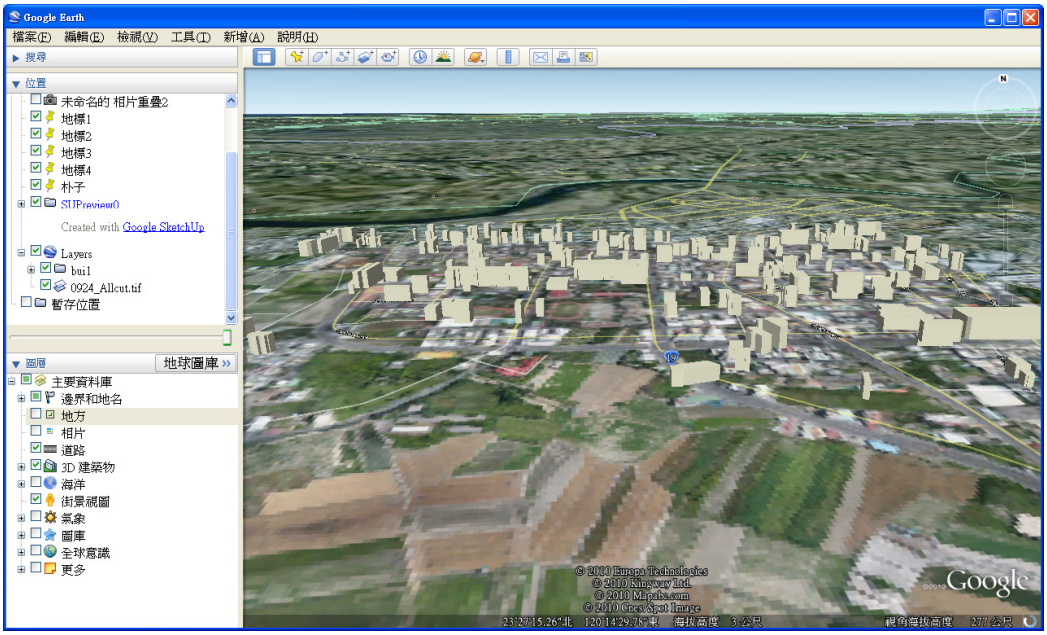


圖 6-12　3D 建物套疊 Google Earth

第二節　北二高崩塌走山地區

一、作業情形

99 年 4 月 25 日高速公路國道 3 號北區（以下簡稱北二高）七堵路段發生嚴重走山崩塌意外，為測試驗證 UAV 於災害發生時快速獲取影像能力，乃以具有小範圍（崩塌地面積約 11,475 平方公尺）機動性優勢之旋翼型 UAV 空拍崩塌地影像，並進行快速後製處理流程，產製影像立體模型，進一步於模型上量測與評估災害情況，以利災害相關判釋與分析。UAV 空拍影像可產製數值高程模型（DEM）、正射影像鑲嵌、3D 地表模型與 3D 飛行模擬，且能快速展示崩塌地地表情況及資訊，亦能量測計算出崩塌範圍面積、崩塌土方等實用資訊，幫助決策者評估擬定更快速精準的救災策略。相關作業情形如下所述：

（一）UAV 航拍影像

崩塌地影像拍攝時間為崩塌發生次日（99 年 4 月 26 日），天氣狀況為薄霧，UAV 飛行離地高度約為 500 公尺，航向為西北往東南方向飛行，飛行速度約 50 公里/小時，圖 6-13 為崩塌地側拍圖，圖 6-14、圖 6-15 為崩塌前後影像比較（崩塌前影像係行政院農業委員會林務局農林航空測量所航拍影像，崩塌後影像係本次 UAV 航拍影像）。本次採用旋翼型 UAV 航拍影像（如圖 6-16）製作立體像對，影像地面解析度約 17 公分，像片重疊率達 80％以上。

圖 6-13 旋翼型 UAV 北二高崩塌地側拍圖（飛虎、智飛科技公司提供）

圖 6-14　崩塌前航拍影像

圖 6-15　崩塌後航拍影像

圖 6-16　旋翼型UAV連續航拍圖

（二）前期成果量測控制點

為爭取時效快速產製立體像對，運用 98 年度電子地圖成果(比例尺為 1/2,500)之立體模型，量測崩塌區域地物特徵點（如建物角、道路標線等）作為地面控制點。本次共量測 3 個全控點及 1 個高控點，另外量測 3 個檢核點作為精度評估檢核使用。

（三）空中三角測量計算

以 ERDAS LPS 軟體進行影像自動匹配及空中三角測量計算，影像自動匹配連結點共 25 點。控制點、檢核點及自動匹配產生之連結點分布情形如圖 6-17，控制點、檢核點及連結點於影像上的分布情形如圖 6-18。

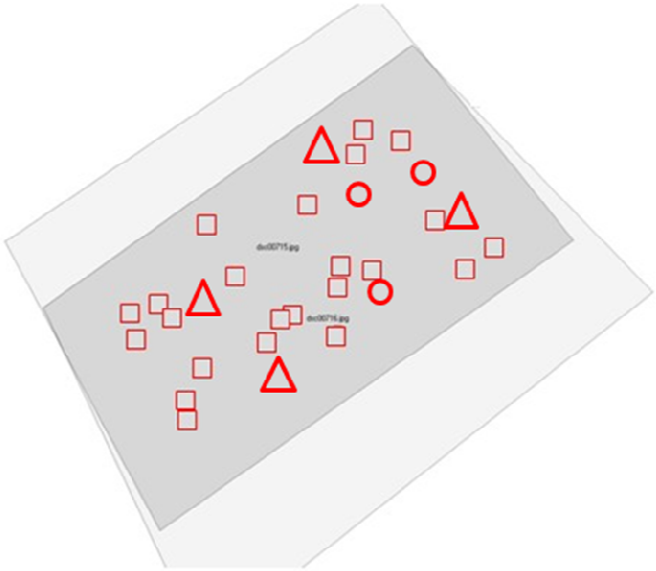


圖 6-17 控制點、檢核點及連結點分布圖（深灰色為像片重疊部分）

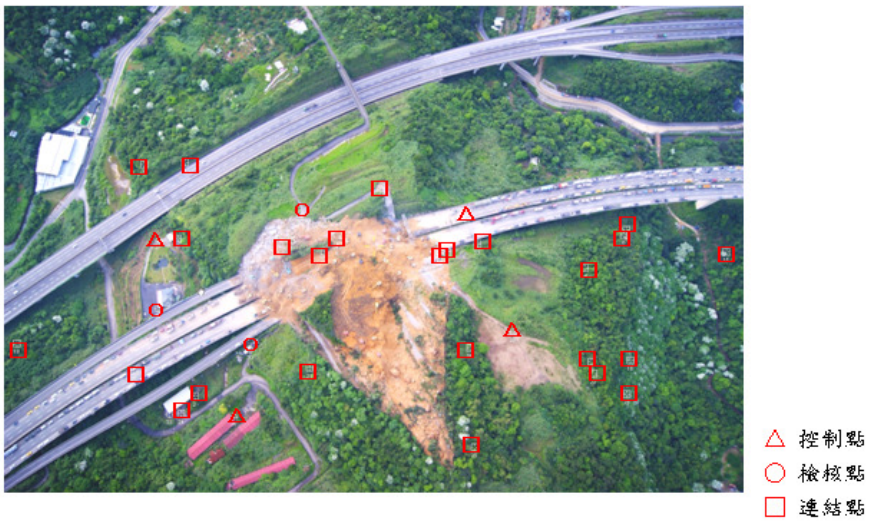


圖 6-18 控制點、檢核點及連結點於影像上的分布圖

（四）組立體像對、自動產生數值地形模型（DTM）及影像鑲嵌

空中三角解算出攝影站外方位參數後，即可完成像片定位，並組成立體像對。本次除組成立體像對外，LPS 軟體能自動內插產生數值地形模型（DTM），並自動產生正射影像鑲嵌圖。

（五）崩塌地土方計算

沿著山坡地崩塌處邊緣線及北二高道路邊緣線，於立體模型上繪製崩塌區域邊界（如圖 6-19），利用崩塌前後期立體像對影像分別產製 DTM 資料，並使用 ArcGIS 軟體計算崩塌區域範圍的土方量。依量測之計算結果估算崩塌範圍面積 11,475 平方公尺，總崩塌土方量約為 137,571 立方公尺，重量約 30 萬噸，如此可根據每輛卡車載運土石量來計算土石清理所需時間。

圖 6-19　崩塌區域邊界圖

為幫助決策者快速了解崩塌地區災損情況與擬定救災策略，利用 UAV 航拍產製的數值地形模型（DTM）及鑲嵌後影像，透過專業處理軟體展示崩塌地區 3D 立體模型及其他如等高線、坡度、坡向及 TIN 等各項地理資訊。

二、成果分析與展示

（一）成果分析

本次空中三角測量計算結果所得到的控制點平面精度約 1 公尺，高程精度約 2.2 公尺，程式執行結果如圖 6-20。由空中三角測量計算結果（如表 6-3）中可得知控制點及檢核點各點位的地面坐標及像片坐標的改正量及精度，並可另外求得地面坐標與像片坐標間轉換參數的改正量，各控制點及檢核點精度指標如表 6-4。作業過程並繪製出崩塌區域（表 6-5）且計算崩塌區域相關面積與土方量，結果如表 6-6。

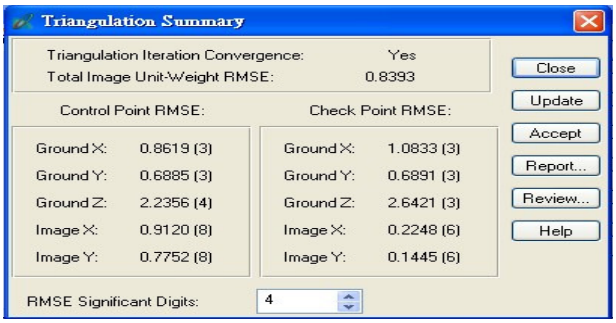


圖 6-20 空中三角測量程式執行結果

表 6-3 空中三角測量計算結果

控制點物空間坐標殘差			
點號	rX	rY	rZ
26	-0.08 8	-0.0238	0.4813
27	-1.4822	0.0970	3.2405
28	0.1562	-1.1884	-2.9292
29			-0.8245

檢核點物空間坐標殘差			
點號	rX	rY	rZ
30	-0.0377	0.1656	-1.5788
32	-0.3721	-0.4417	0.5658
34	-1.8387	-1.0963	4.2578

控制點像空間坐標殘差		
左像		
點號	Vx	Vy
26	-0.613	0.471
27	0.270	0 860
28	-0.295	- .538
29	1.799	-1.258
RMSE of 4 points: mx=0.971, my=0.841		
右像		
點號	Vx	Vy
26	0.793	-0.865
27	-0.711	-0.638
28	0.557	0.808

檢核點像空間坐標殘差		
左像		
點號	Vx	Vy
30	0.280	-0.202
32	0.259	-0.1 1
34	-0.015	0.0 2
RMSE of 3 points: mx=0.221, my=0.149		
右像		
點號	Vx	Vy
30	-0.287	0.184
32	-0.274	0.157
34	0.015	-0.010
RMSE of 3 points: mx=0.229,		

29	1.199	-0.410	my=0.140
RMSE of 4 points: mx=0.849, my=0.703			

左像投影中心的外方位參數改正數			
位置參數	aX	aY	aZ
	-0.4709	-0.3717	-0.0079
姿態參數	mX	mY	mZ
	0.8619	0.68 5	2.2356

右像投影中心的外方位參數改正數			
位置參數	aX	aY	aZ
	-0.7495	-0.4575	1.0816
姿態參數	mX	mY	mZ
	1.0833	0.6891	2.6421

像空間 x, y 單位：pixels

角度單位： degrees

物空間 X, Y, Z 單位： meters

表 6-4 控制點及檢核點精度指標

	控制點	檢核點
個數	4	3
物空間X坐標均方根值 [m]	0.86	1.08
物空間Y坐標均方根值 [m]	0.69	0.69
物空間Z坐標均方根值 [m]	2.24	2.64
像空間x坐標均方根值 [Pixel]	0.91	0.22
像空間y坐標均方根值 [Pixel]	0.78	0.14
像空間長度均方根值 [Pixel]	0.8393	

圖 6-21 崩塌區域範圍（紅框處）

表 6-5 崩塌範圍面積與土方

崩塌範圍	數量
表面積	14,062 m^2
投影面積	11,475 m^2
崩塌土方	137,571 m^3

（二）作業成果展示

1.立體像對、正射影像鑲嵌與數值高程模型（DEM）

以空中三角測量解算之外方位參數，組成立體像對紅綠影像（如圖 6-22），並自動產製正射影像鑲嵌（如圖 6-23）及 DTM。

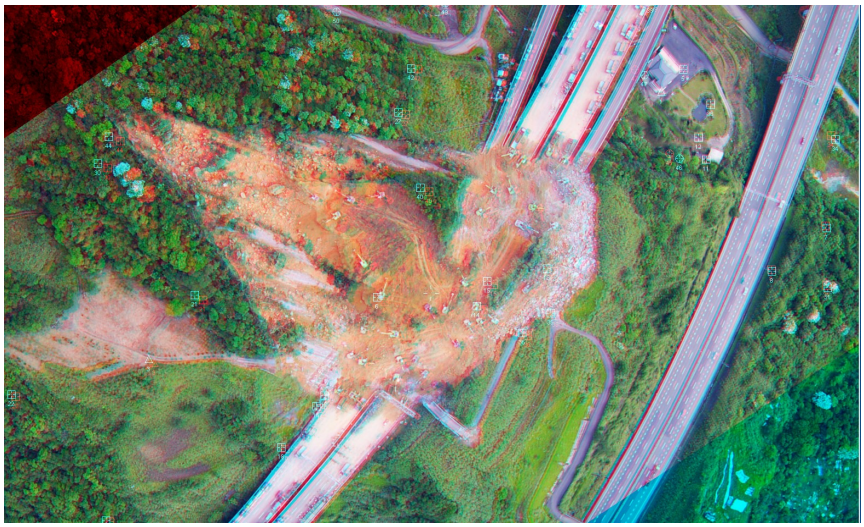


圖 6-22 崩塌地紅綠影像

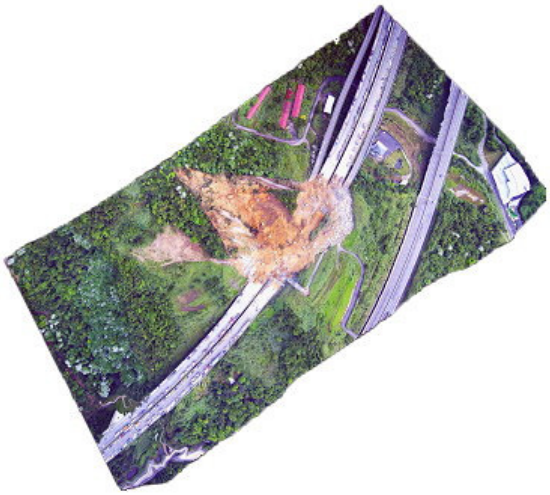


圖 6-23 正射影像鑲嵌圖

2.崩塌地3D立體模型展示

使用 ArcGIS 軟體可將 DTM 及正射影像鑲嵌等成果，展示崩塌地現況資訊，如崩塌地縱斷剖面圖（如圖 6-24、圖 6-25）、3D 模型（如圖 6-26）、Google Earth 套疊分析圖 6-27、等高線、坡度圖、TIN（圖 6-28、圖 6-29）、高程暈渲圖（圖 6-30）等資訊，並可另外製作崩塌地 3D 動態飛行

模擬，有助於掌握崩塌區域最新情況。

圖 6-24 崩塌地剖面線

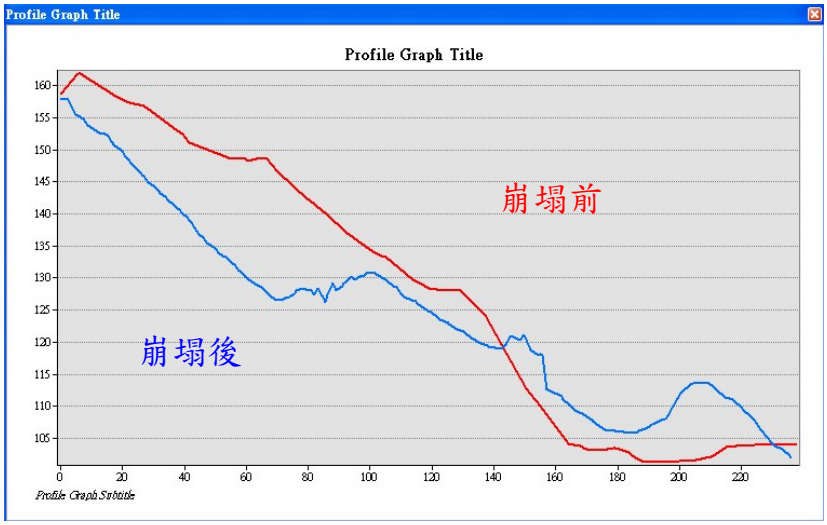


圖 6-25 崩塌地縱斷剖面圖

圖 6-26　不同角度展示崩塌地 3D 模型

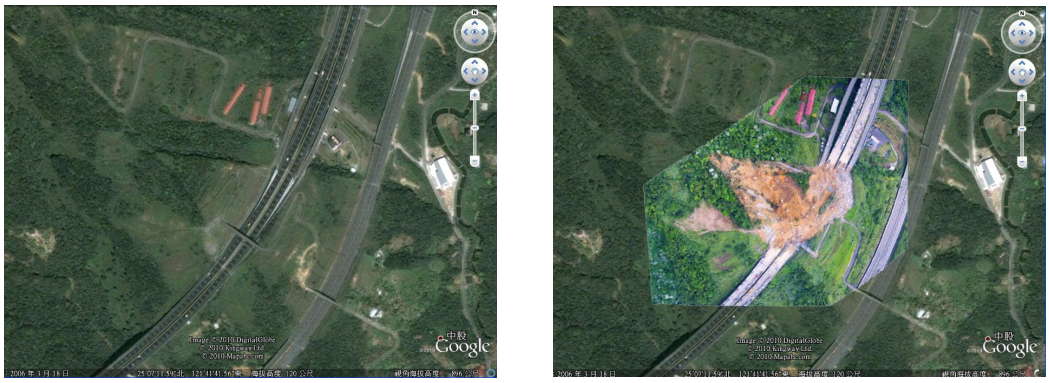
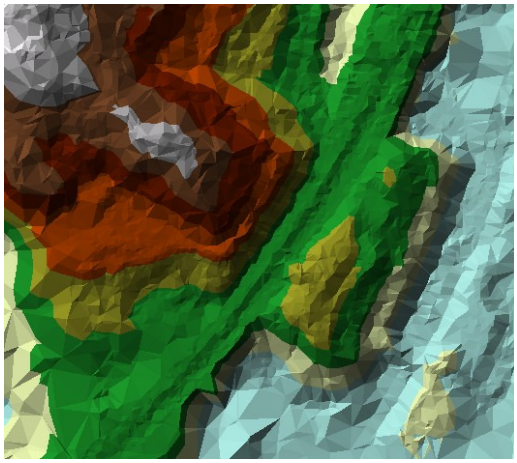


圖 6-27　套疊 Google earth 比對分析



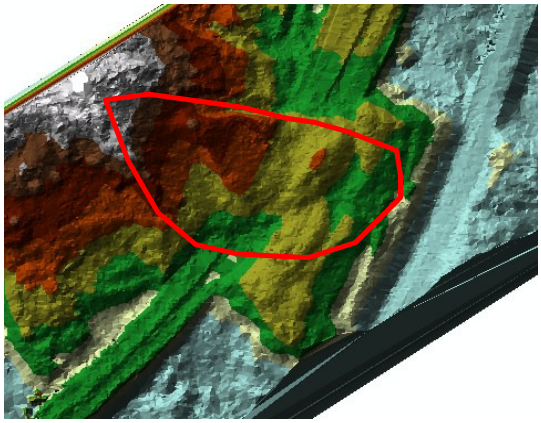


圖 6-28　崩塌前期TIN　　圖 6-29　崩塌後期TIN

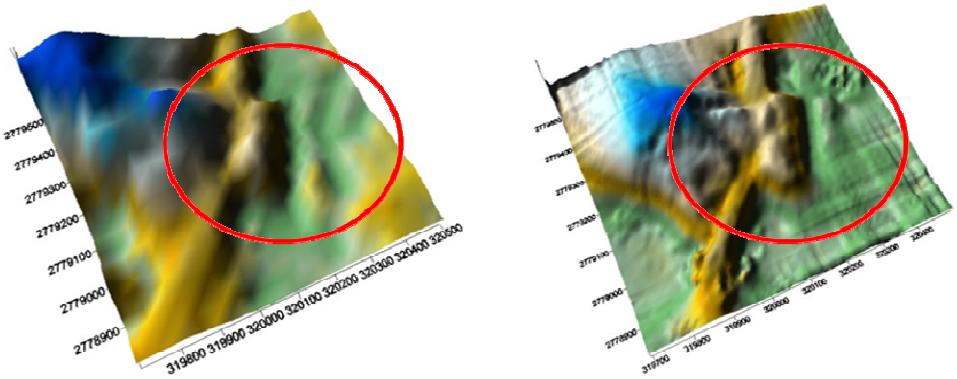


圖 6-30 崩塌前後高程暈渲圖

第三節　彰化縣福興、埔心鄉地區

一、作業情形

為進一步確認 UAV 執行航拍作業對中心業務可行性及效益性，從本中心目前例行業務 99 年度測繪圖資更新維護現地調查作業中，選定工作計畫中的 2 幅 1/5,000 的圖幅作為航拍區域，以方便比對相關影像與更新成果。於航拍作業完成後，進行影像快速鑲嵌幾何糾正成果，並用於測繪製圖更新之參考圖資之評估分析作業。

所選定航拍測試區，分別位於彰化縣福興鄉（圖名粘厝，圖號 94122086）與埔心鄉(圖名埔心，圖號 95204012) ，經航拍獲取地面影像資訊，並將成果與前期正射影像及測量隊所更新成果作一比對分析，且將飛行航拍成果及分析報告納入本研究案內。

本案所規劃拍攝之區域於 2010 年 9 月 14 日進行 UAV 飛行作業（圖 6-31、圖 6-32），由於測試區域範圍較大，考量飛行穩定性、載具續航力與影像獲取效率，選擇定翼型 UAV 為航拍載具。起降點與地面控制站位於彰濱工業區內，埔心地區 UAV 航拍控制半徑超過 20 公里，飛行任務執行的同時亦記錄了飛行資訊（圖 6-33）與軌跡（圖 6-34、6-35）。圖 6-34 中，福興地區航拍軌跡，第 1、2 條航帶飛行軌跡有重疊情形，乃因當時地面控制站檢視即時影像，發現相片含雲量過高，因此於第 6 條航帶航拍結束後，重行補拍第 1、2 條航帶，並檢視含雲量是否符合需求。本次定翼型 UAV 搭配 Olympus EP1 相機，航拍焦距 14mm，UAV 航拍高度約 600 公尺左右，以南北向飛行，各幅航線規劃為 6 條航帶，設定前後重疊率 80%，側向重疊率 40%。後續利用已產製 98 年度電子地圖成果之立體模型控制點及地物特徵點

當作本次控制點，以建立 UAV 航拍影像與地面坐標系統間的相對關係。

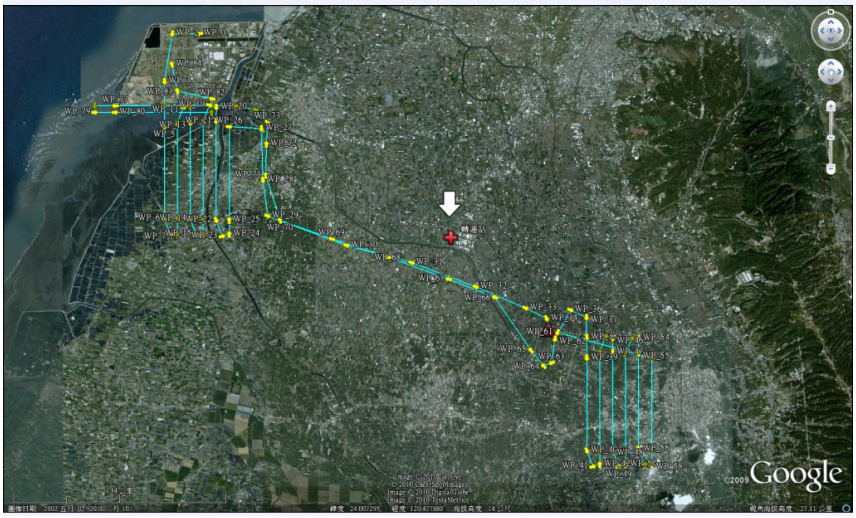


圖 6-31　彰化縣福興埔心測試區與航線規劃

圖 6-32 UAV 航拍起飛前設定

圖 6-33 UAV 引擎啟動

圖 6-34 UAV 內部酬載及元件

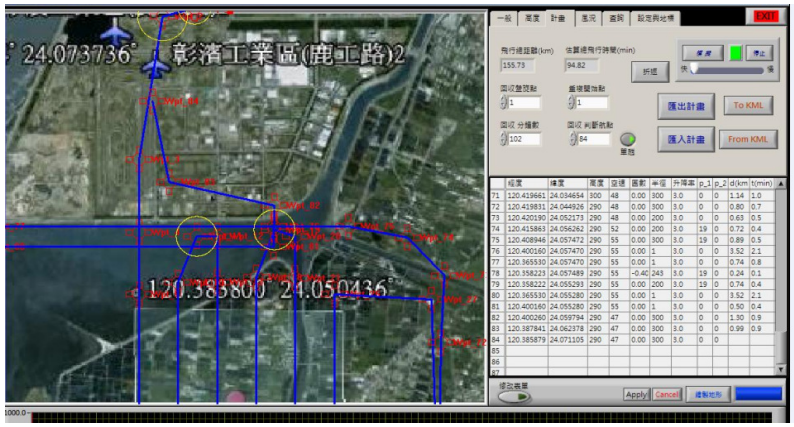


圖 6-35　UAV 飛行資訊

圖 6-36 福興空拍軌跡

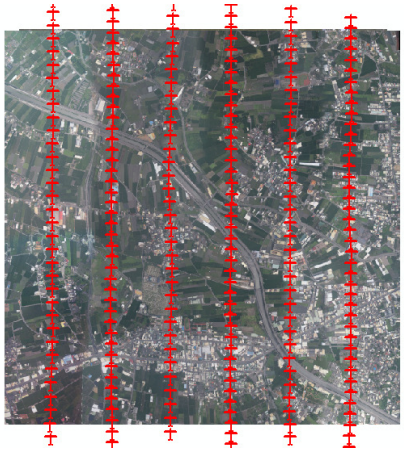


圖 6-37 埔心空拍軌跡

二、成果分析與展示

（一）影像快速拼接成果

福興與埔心地區航拍影像，地面解析度約 23 公分，快速拼接結果如圖 6-38、圖 6-39。另於影像上量取 5 點控制點作為檢核點（分布如圖 6-40、圖 6-41），評估其平面精度（如表 6-6）。

圖 6-38　福興地區快速拼接影像

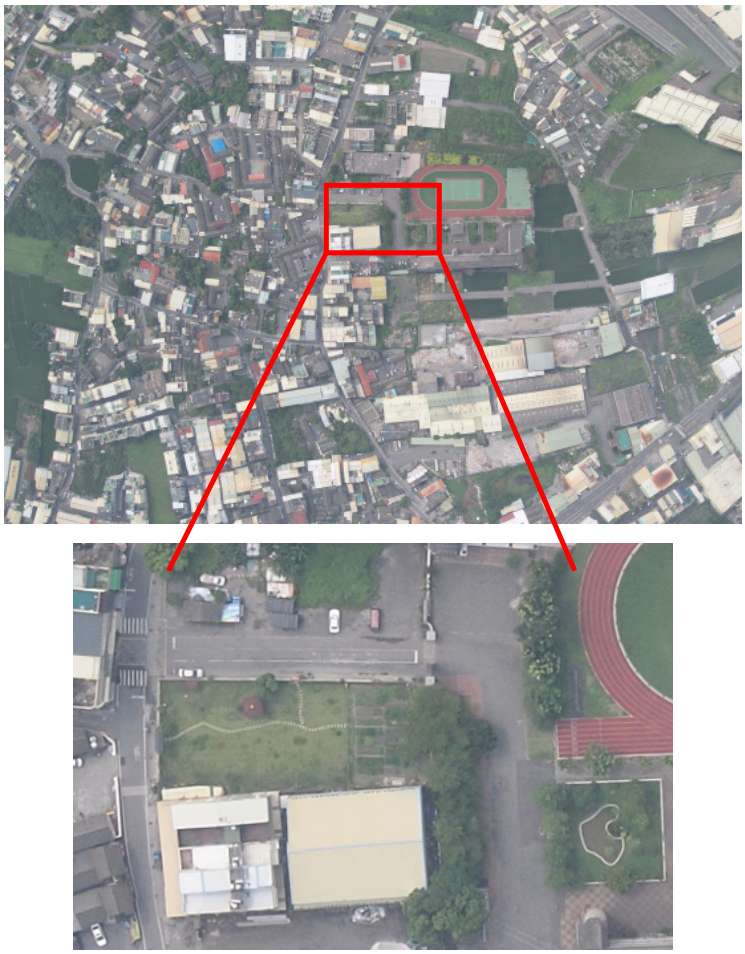


圖 6-39 埔心地區快速拼接影像

以 Hugin 軟體試作快速拼接流程，以本次照片數量 214 張計算作業時間，快速拼接 1 幅 1/5,000 圖幅大小影像需花費約 5 小時。而影像處理時間主要關鍵在於相片數量多寡，而相片數量又取決於航高與相機像幅大小，以本次航拍航高 600 公尺，搭載相機 Olympus EP1，焦距 14mm，設定前後重疊率 80%，側向重疊率 60%計算，航拍照片 214 張；若調整航高為 1,000 公尺，搭載全片幅相機(如 Canon 5D Mark Ⅱ)，焦距 24mm，則相片數量約 60 張，處理時間將可大大減少，僅需 2 小時即可完成影像快速拼接作業。

圖 6-40 福興檢核點分布圖

表 6-6 快速拼接影像檢驗平面誤差

	拼接坐標(m)		原始坐標(m)		坐標差(m)		
	X	Y	X	Y	X	Y	XY
1	187265.796	2658701.055	187263.449	2658701.390	2.347	0.335	2.371
2	188321.609	2659071.547	188321.609	2659068.864	0.000	2.683	2.683
3	187855.530	2660171.607	187856.722	2660170.415	1.192	1.192	1.686
4	188933.356	2658710.760	188933.356	2658710.761	0.000	0.001	0.001
5	189200.995	2658027.536	189199.718	2658028.207	1.277	0.671	1.443

圖 6-41　埔心檢核點分布圖

（二）影像幾何糾正後成果

以前期正射影像成果上量取地物特徵點當控制點，比較 UAV 影像與前期正射影像成果平面精度（表 6-7）。檢核點分布如圖 6-42。

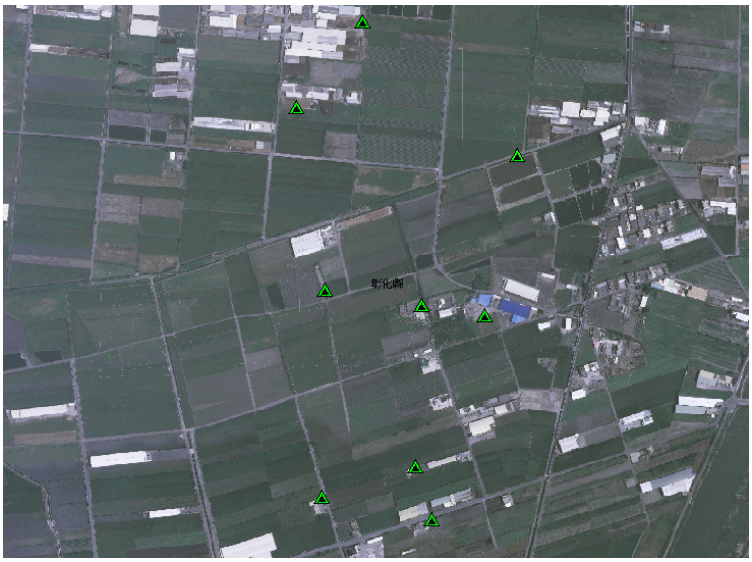


圖 6-42 檢核點分布圖

表 6-7　UAV 幾何糾正影像檢驗平面誤差

	幾何糾正坐標		檢核點原始坐標		坐標差	
Id	x	y	X	Y	x	y
1	188,300.844	2,658,920.578	188300.951	2658920.824	-0.1071	-0.2457
2	188,099.385	2,658,952.552	188099.871	2658952.253	-0.4859	0.2990
3	188,432.530	2,658,899.563	188432.554	2658899.372	-0.0238	0.1914
4	188,289.373	2,658,586.312	188289.062	2658586.551	0.3115	-0.2393
5	188,321.514	2,658,477.172	188321.775	2658477.202	-0.2609	-0.0302
6	188,094.066	2,658,522.969	188094.233	2658523.448	-0.1674	-0.4788
7	188,042.205	2,659,331.555	188041.971	2659331.368	0.2340	0.1875
8	188,178.272	2,659,509.485	188177.766	2659509.792	0.5056	-0.3068
9	188,500.531	2,659,232.495	188500.297	2659232.215	0.2340	0.2802

（三）UAV 影像與前期正射影像成果比較

檢視 UAV 航拍影像，地面解析度約 18 公分，影像清晰度足以用於內業影像判釋作業。將 UAV 幾何糾正影像套疊國土利用成果（如圖 6-43），可見平面道路街廓幾何形狀皆能符合，因此如於內業判釋發現幾何形狀錯誤或改變即可進行相關編修工作。比較 UAV 幾何糾正後影像與前期正射影像成果（如圖 6-44），藉由影像判釋初步得知土地利用變更情形（如圖 6-45、圖 6-46），可製作土地利用調查底圖，輔助後續外業調繪作業。從 UAV 空拍時間可看出，該區域正興建西濱快速道路工程，土地利用已變更，因此可根據 UAV 影像上快速道路幾何圖形進行編修，並可編輯屬性資料，編修後成果如圖 6-47。由此可知，利用 UAV 影像於內業時辨識地物明顯變化處並編修幾何圖形與屬性資料，透過 GIS 編輯軟體將其修正為符合現況的分類編碼，應屬可行。

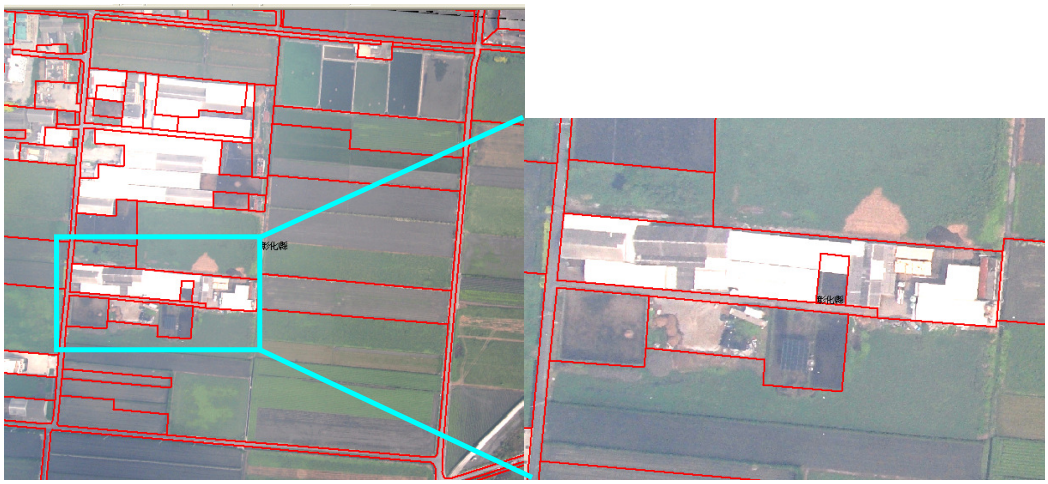


圖 6-43　福興地區 UAV 幾何糾正影像

圖 6-44　國土前期成果正射影像

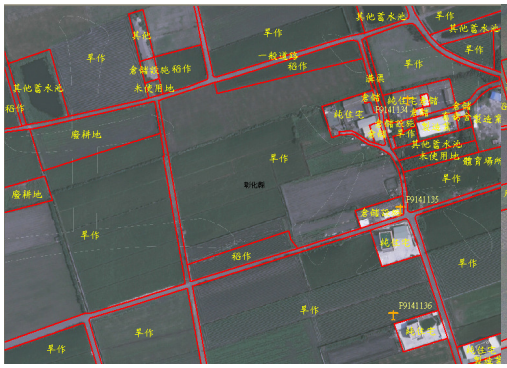


圖 6-45　96 國土成果正射影像

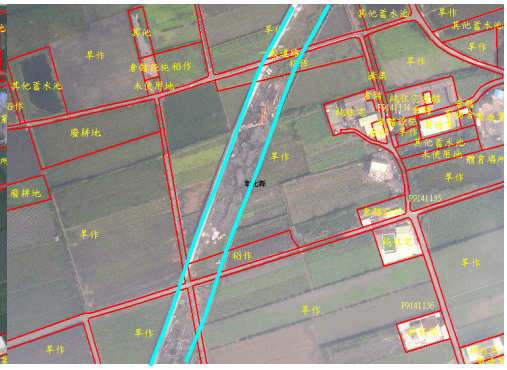


圖 6-46　UAV 幾何糾正影像

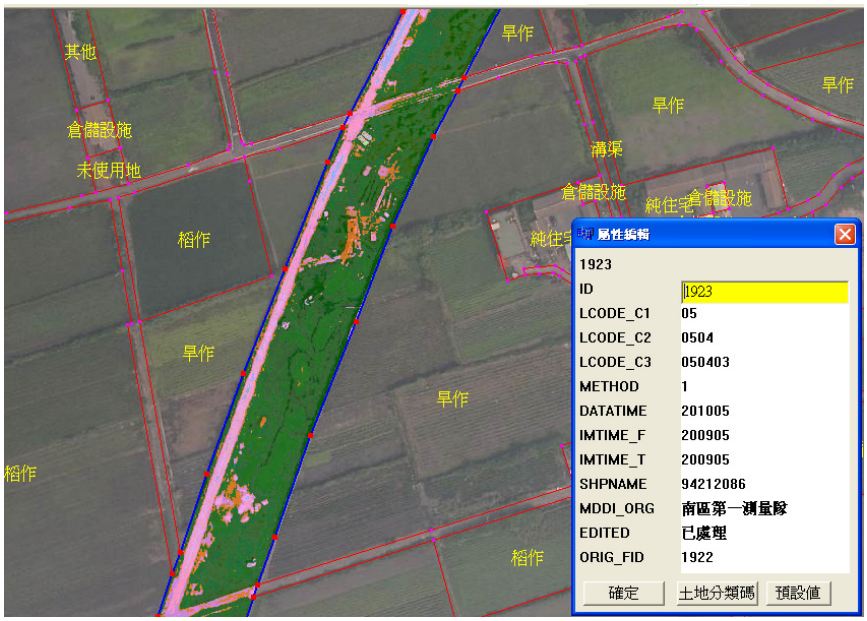


圖 6-47 快速道路幾何圖形編修後結果

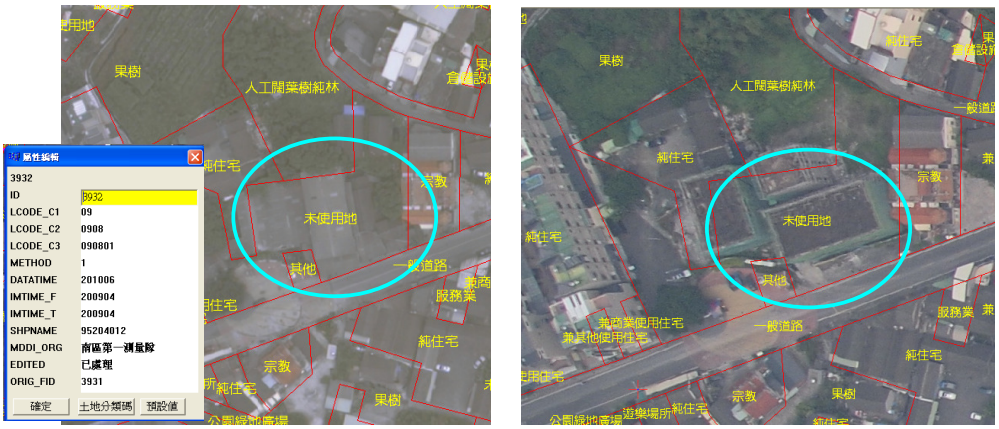


圖 6-48 埔心地區前期成果影像（左）UAV 航拍影像（右）

圖 6-48 中，左圖為測量隊人員於 6 月份外業調查後編修之土地利用屬性成果，右圖為 UAV 9 月份航拍影像成果。原本土地利用情形為未使用地，至 UAV 空拍時間點時，該區塊正興建建築物中，因此可將該坵塊屬性資料修正為興建中，修正後土地利用屬性如圖 6-49。透過 UAV 航拍獲取影像及相關處理後成果，確實可進行相關圖資更新作業，未來在本中心自有 UAV 且技術移轉後自行操作前提之下，其影

像取得成本較低，僅需支出外業操作人員相關差旅費用，航拍自主性亦高。

圖 6-49　UAV 影像判釋

第七章　結論與建議

第一節　結論

一、嘉義朴子地區測試作業，驗證結果定翼型 UAV 航高為 300 公尺時，所拍攝之影像地面解析度（GSD）可達 6 公分，幾何精度約為 10 公分；UAV 的航高為 600 公尺時，其地面解析度亦可達 13 公分，幾何精度約 50 公分以內；UAV 的航高為 900 公尺時，所拍攝之地面解析度可達 19 公分，幾何精度約為 23 公分以內。上述研究結果，成果精度並非隨航高降低而提高，可能與控制點的選定有關，後續將持續作進一步的測試。另外，以定翼型 UAV 正射影像地面解析度與精度用於測繪圖資更新參考底圖確實可行，且可針對變異部分可進行幾何圖形上與可直接判釋屬性上的編修作業。而本案採用之旋翼型 UAV 因飛行姿態較不穩定，不適合大面積（1 公里 x1 公里）以上之影像獲取作業。另正射影像相關成果可用以建置 3D 虛擬城市，增加影像成果之可視性，後續可應用於城市規劃建設領域，並結合自動貼圖技術，擴大應用領域。

二、以北二高影像所產製之成果，崩塌地航拍影像之地面空間解析度約 17 公分，而像片空間坐標定位，以空中三角測量解算像片資料外方位結果，其地面控制點精度在 3 公尺內，可符合快速資訊提供與分析要求，驗證旋翼型 UAV 搭載非量測型相機可獲取高地面解析度之空拍影像，並且可快速產製立體像對資料以進行 3D 空間量測，用以計算崩塌範圍、土方量。此外，透過相關專業軟體可自動產生數值高程模型及正射鑲嵌影像，能進一步展示崩塌地各項地理資訊，如崩塌地 3D 模型及飛行模擬、崩塌

範圍面積、崩塌土方計算、崩塌地形坡度與坡向分析、崩塌前後期剖面比較分析等資訊，對於提供災區資訊及災情研判與救援具有相當大的效益，未來將有助於 UAV 防救災之應用，並能建立一套新的空間資料獲取模式。

三、彰化福興與埔心測試作業，驗證 UAV 產製的幾何糾正影像亦可輔助辦理國土利用調查圖資成果更新之內業判釋資料，其拍攝影像地面解析度約 18 公分左右，成果平面精度亦可符合要求。UAV 影像成果對於作業人員於內業時提供豐富及多元的判讀資訊，節省外業調繪時間。

第二節　建議

一、由於具有可以進行低空飛行的能力，UAV 空拍影像具備高地面解析度的優勢，有助於地貌與地物之判釋與分類，運用已建立的軟硬體及系統整合能力，採用 UAV 快速擷取即時現地影像，迅速完成大面積的影像拼接，應可擴大運用於林區巡守、治水、防救災緊急應變或環境監控之其他應用領域。

二、以目前 UAV 發展趨勢，在操作使用上將越來越簡易且方便，操作技術門檻正逐步降低。UAV 未來將隨著技術發展不斷進步延伸，加強產、官、學界的合作，將可提升 UAV 的定位或操控技術，擴大應用層面及防救災機制，並能快速產製正射影像資料，套疊其他既有圖資（如地籍圖或地形圖），以即刻了解災區的相關資料及重建工作執行。

三、本研究因搭載 Olympus EP1 數位相機，該相機因內部構造為電子變焦，無法固定焦距以進行相關相機率定工作，因此未來在選擇酬載相機上，需詳加注意慎選可率定相機進行航拍作業。

四、UAV 快速機動、低空雲下作業的特性，所拍攝北二高影像應用於災害判釋處理流程，利用前期測試案成果的地物特徵點坐標作為控制點，以節省至實地進行控制測量時間，符合緊急時影像快速後製處理需求。未來應建立相關影像處理標準作業流程，以利應用於防救災緊急應變，預期可提供快速完整之災區地形資訊，及可量測三維模型與地理資訊成果展示，有利決策者更即時研判災情與救援規劃。

五、國外已有利用消費型數位相機運用在製圖上的研究，其精度可達公分等級的成果，隨著數位相機的演進及率定技術的提升，國內未來在符合相關製圖規範下，可利用 UAV 航拍影像作局部地形地貌變異處的快速更新測試。

附錄 1：彰化福興、埔心鄉 UAV 飛行姿態軌跡

相片	序號檔名	航點	FCU Time	GPS Time	UAV 經度	GPS 緯度	GPS 高度	GPS 航向	AHRS 指向	估算 俯仰	估算 滾轉	相片中心點 經度	緯度
1	P9141318	39	3585.6	09:56:05.05	120.53403	23.98425	607.0	179.5	183.1	4.3	-0.5	120.53282	23.98372
2	P9141319	39	3589.0	09:56:09.09	120.53404	23.98329	607.7	179.0	179.3	-0.9	-0.8	120.53315	23.98335
3	P9141320	39	3592.5	09:56:12.12	120.53405	23.98233	607.5	179.0	176.1	1.6	-1.1	120.53336	23.98209
4	P9141321	39	3595.9	09:56:16.16	120.53408	23.98136	609.0	178.0	174.0	1.5	1.0	120.53383	23.98128
5	P9141322	39	3599.3	09:56:19.19	120.53410	23.98043	610.8	179.1	173.9	1.1	2.0	120.53406	23.98041
6	P9141323	39	3602.8	09:56:23.23	120.53409	23.97949	612.7	180.5	173.9	1.1	-1.2	120.53381	23.97936
7	P9141324	39	3606.2	09:56:26.26	120.53408	23.97854	613.4	179.8	172.9	2.8	0.0	120.53393	23.97824
8	P9141325	39	3609.7	09:56:29.29	120.53409	23.97763	614.3	180.0	175.1	1.4	1.6	120.53402	23.97745
9	P9141326	40	3613.1	09:56:33.33	120.53407	23.97670	613.4	181.4	175.2	-1.9	-0.5	120.53391	23.97655
10	P9141327	40	3616.5	09:56:36.36	120.53406	23.97576	613.2	180.7	174.9	0.7	-2.1	120.53371	23.97533
11	P9141328	40	3619.9	09:56:40.40	120.53406	23.97481	613.9	179.8	175.2	1.4	0.1	120.53387	23.97431
12	P9141329	40	3623.3	09:56:43.43	120.53405	23.97387	614.2	180.7	176.3	1.7	1.0	120.53388	23.97336
13	P9141330	40	3626.8	09:56:47.47	120.53404	23.97294	613.4	180.6	176.8	-0.3	-1.0	120.53358	23.97244
14	P9141331	40	3630.2	09:56:50.50	120.53404	23.97200	612.0	179.7	176.6	-0.5	0.3	120.53372	23.97158
15	P9141332	40	3633.7	09:56:54.54	120.53404	23.97106	610.8	180.0	177.2	0.4	0.0	120.53362	23.97056
16	P9141333	40	3637.1	09:56:57.57	120.53405	23.97014	611.0	179.4	177.3	1.1	0.5	120.53366	23.96980
17	P9141334	40	3640.5	09:57:00.00	120.53406	23.96921	610.7	179.5	178.6	-0.1	0.7	120.53363	23.96884
18	P9141335	40	3644.0	09:57:04.04	120.53407	23.96827	610.2	179.5	179.0	0.1	1.0	120.53365	23.96789
19	P9141336	40	3647.4	09:57:07.07	120.53407	23.96733	609.9	180.3	179.3	0.4	0.4	120.53363	23.96688
20	P9141337	40	3650.8	09:57:11.11	120.53405	23.96640	610.3	181.0	179.5	1.7	-0.3	120.53355	23.96595
21	P9141338	40	3654.3	09:57:14.14	120.53403	23.96547	610.0	180.9	179.1	0.8	-0.4	120.53351	23.96509
22	P9141339	40	3657.7	09:57:18.18	120.53402	23.96454	609.9	180.7	178.5	1.0	-0.5	120.53353	23.96417
23	P9141340	40	3661.2	09:57:21.21	120.53402	23.96360	609.3	180.1	177.3	-1.0	-1.3	120.53348	23.96331
24	P9141341	40	3664.6	09:57:24.24	120.53401	23.96267	608.6	179.7	177.3	1.7	0.0	120.53359	23.96223
25	P9141342	40	3668.0	09:57:28.28	120.53403	23.96172	608.7	179.0	177.3	0.0	0.7	120.53370	23.96133
26	P9141343	40	3671.5	09:57:31.31	120.53404	23.96077	608.3	179.5	177.5	0.1	0.2	120.53368	23.96036
27	P9141344	40	3674.9	09:57:35.35	120.53404	23.95982	607.5	180.3	177.9	0.8	0.0	120.53368	23.95939
28	P9141345	40	3678.3	09:57:38.38	120.53404	23.95889	607.6	180.2	177.3	0.0	-0.9	120.53355	23.95852
29	P9141346	40	3681.7	09:57:42.42	120.53404	23.95795	608.2	179.4	176.8	2.4	-0.2	120.53364	23.95754
30	P9141347	40	3685.1	09:57:45.45	120.53405	23.95701	609.0	179.3	177.3	2.1	0.3	120.53365	23.95643
31	P9141348	40	3688.5	09:57:48.48	120.53406	23.95609	609.4	179.4	177.7	-1.2	-0.5	120.53359	23.95581
32	P9141349	40	3692.0	09:57:52.52	120.53407	23.95515	608.6	180.1	178.7	1.5	0.8	120.53369	23.95473
33	P9141350	40	3695.4	09:57:55.55	120.53408	23.95420	608.6	178.4	176.4	-0.6	0.2	120.53369	23.95380
34	P9141351	40	3698.8	09:57:59.59	120.53411	23.95327	608.1	178.4	176.5	-2.2	1.0	120.53379	23.95305
35	P9141352	40	3702.3	09:58:02.02	120.53410	23.95234	607.6	180.7	181.3	2.1	4.3	120.53399	23.95174
36	P9141353	40	3705.7	09:58:06.06	120.53406	23.95139	607.8	183.2	183.3	-1.0	0.1	120.53344	23.95101

相片	序號檔名	航點	FCU Time	GPS Time	UAV 經度	GPS 緯度	GPS 高度	GPS 航向	AHRS 指向	估算 俯仰	估算 滾轉	相片中心點 經度	緯度
37	P9141354	40	3709.2	09:58:09.09	120.53400	23.95042	606.1	183.5	180.3	-0.3	-3.3	120.53315	23.95000
38	P9141355	40	3712.6	09:58:12.12	120.53398	23.94943	605.4	180.2	176.9	2.1	-0.8	120.53351	23.94872
39	P9141356	40	3716.0	09:58:16.16	120.53397	23.94844	606.0	181.2	177.7	2.3	1.0	120.53369	23.94776
40	P9141357	40	3719.5	09:58:19.19	120.53394	23.94748	607.8	181.1	178.0	0.0	-1.7	120.53336	23.94710
41	P9141358	40	3722.9	09:58:23.23	120.53394	23.94652	610.2	179.4	176.4	0.5	-0.7	120.53349	23.94614
42	P9141359	40	3726.3	09:58:26.26	120.53395	23.94559	611.0	179.0	176.4	0.7	0.0	120.53361	23.94523
43	P9141360	43	3772.4	09:59:12.12	120.53828	23.93917	616.2	27.4	50.9	1.8	-11.8	120.53900	23.93958
44	P9141361	43	3775.8	09:59:16.16	120.53846	23.93990	617.1	8.0	39.2	2.2	-3.7	120.53806	23.94069
45	P9141362	43	3779.2	09:59:19.19	120.53852	23.94066	616.3	3.6	34.6	-0.8	-1.8	120.53802	23.94093
46	P9141363	43	3782.6	09:59:22.22	120.53854	23.94141	615.2	2.0	30.4	-1.4	1.0	120.53783	23.94117
47	P9141364	43	3786.1	09:59:26.26	120.53857	23.94216	612.8	1.7	25.1	3.0	-0.3	120.53843	23.94171
48	P9141365	43	3789.5	09:59:29.29	120.53860	23.94290	611.5	2.6	20.4	1.3	1.5	120.53857	23.94237
49	P9141366	43	3792.9	09:59:33.33	120.53864	23.94366	609.2	3.4	16.8	-0.4	-1.1	120.53916	23.94288
50	P9141367	43	3796.3	09:59:36.36	120.53868	23.94442	608.3	2.6	12.9	-0.7	-0.9	120.53938	23.94383
51	P9141368	44	3799.8	09:59:40.40	120.53870	23.94520	607.3	1.5	9.4	-2.8	-0.9	120.53950	23.94472
52	P9141369	44	3803.2	09:59:43.43	120.53872	23.94599	606.8	0.2	7.1	-0.7	-0.6	120.53952	23.94577
53	P9141370	44	3806.7	09:59:47.47	120.53871	23.94679	606.3	358.6	5.8	4.7	-1.0	120.53967	23.94714
54	P9141371	44	3810.1	09:59:50.50	120.53869	23.94755	607.1	358.9	4.6	0.8	-1.2	120.53940	23.94768
55	P9141372	44	3813.5	09:59:53.53	120.53866	23.94832	608.1	357.4	4.4	2.4	2.1	120.53911	23.94884
56	P9141373	44	3816.9	09:59:57.57	120.53865	23.94905	608.2	0.4	4.8	-1.3	1.2	120.53914	23.94927
57	P9141374	44	3820.3	10:00:00.00	120.53864	23.94983	607.1	357.9	4.6	0.7	-0.2	120.53924	23.95027
58	P9141375	44	3823.8	10:00:04.04	120.53861	23.95061	607.2	358.7	4.3	2.1	2.1	120.53890	23.95108
59	P9141376	44	3827.2	10:00:07.07	120.53863	23.95141	607.9	1.2	7.6	4.8	-0.4	120.53924	23.95197
60	P9141377	44	3830.6	10:00:10.10	120.53863	23.95220	614.9	0.1	9.0	2.4	-1.9	120.53941	23.95263
61	P9141378	44	3834.0	10:00:14.14	120.53863	23.95293	614.7	359.3	7.1	-4.0	-1.9	120.53905	23.95303
62	P9141379	44	3837.5	10:00:17.17	120.53859	23.95374	615.9	357.0	9.5	-0.4	2.0	120.53888	23.95411
63	P9141380	44	3840.9	10:00:21.21	120.53857	23.95452	615.2	359.2	11.0	0.5	1.6	120.53887	23.95483
64	P9141381	44	3844.3	10:00:24.24	120.53857	23.95529	614.7	0.2	11.6	2.5	-0.2	120.53904	23.95563
65	P9141382	44	3847.8	10:00:28.28	120.53858	23.95606	614.6	1.0	12.4	-1.4	-1.4	120.53914	23.95603
66	P9141383	44	3851.2	10:00:31.31	120.53858	23.95681	612.9	0.1	9.8	-1.3	0.9	120.53885	23.95691
67	P9141384	44	3854.7	10:00:35.35	120.53863	23.95759	611.3	4.5	8.8	2.0	-0.6	120.53907	23.95775
68	P9141385	44	3858.1	10:00:38.38	120.53869	23.95838	613.1	2.2	10.7	1.2	-4.9	120.53968	23.95859
69	P9141386	44	3861.5	10:00:41.41	120.53866	23.95916	612.1	358.2	9.6	-1.8	-1.0	120.53922	23.95932
70	P9141387	44	3864.9	10:00:45.45	120.53863	23.95996	611.3	357.5	9.9	2.4	2.3	120.53884	23.96037
71	P9141388	44	3868.3	10:00:48.48	120.53861	23.96073	610.2	359.2	10.9	0.5	0.0	120.53909	23.96094
72	P9141389	44	3871.7	10:00:52.52	120.53859	23.96149	611.2	358.8	12.1	-0.3	1.0	120.53895	23.96171
73	P9141390	44	3875.1	10:00:55.55	120.53858	23.96223	611.3	0.3	12.7	-0.4	1.7	120.53889	23.96241
74	P9141391	44	3878.6	10:00:58.58	120.53859	23.96296	609.8	1.0	13.1	-0.9	-0.9	120.53917	23.96303

相片	序號檔名	航點	FCU Time	GPS Time	UAV 經度	GPS 緯度	GPS 高度	GPS 航向	AHRS 指向	估算 俯仰	估算 滾轉	相片中心點 經度	緯度
75	P9141392	44	3882.0	10:01:02.02	120.53860	23.96371	608.5	0.7	12.9	2.3	-0.2	120.53914	23.96399
76	P9141393	44	3885.4	10:01:05.05	120.53862	23.96446	608.8	1.6	12.6	0.5	-2.0	120.53926	23.96470
77	P9141394	44	3888.8	10:01:09.09	120.53862	23.96521	609.2	359.2	12.1	0.8	0.0	120.53916	23.96555
78	P9141395	44	3892.2	10:01:12.12	120.53862	23.96596	609.4	0.8	12.0	-4.1	0.7	120.53891	23.96594
79	P9141396	44	3895.7	10:01:16.16	120.53863	23.96672	607.7	1.1	13.1	2.0	0.3	120.53921	23.96715
80	P9141397	44	3899.1	10:01:19.19	120.53865	23.96748	607.4	1.8	12.6	1.5	-1.1	120.53927	23.96791
81	P9141398	44	3902.6	10:01:22.22	120.53867	23.96825	606.9	1.6	12.2	-0.4	-2.0	120.53935	23.96854
82	P9141399	44	3906.0	10:01:26.26	120.53868	23.96899	606.7	359.4	11.8	1.8	-0.1	120.53912	23.96945
83	P9141400	44	3909.4	10:01:29.29	120.53869	23.96974	607.7	2.1	10.4	-0.3	0.1	120.53900	23.96999
84	P9141401	44	3912.8	10:01:33.33	120.53872	23.97048	608.3	1.5	10.4	1.6	0.0	120.53905	23.97084
85	P9141402	44	3916.2	10:01:36.36	120.53874	23.97124	609.1	1.4	9.3	0.0	-1.7	120.53919	23.97147
86	P9141403	44	3919.7	10:01:40.40	120.53874	23.97201	610.1	359.6	10.2	0.8	-1.9	120.53940	23.97236
87	P9141404	44	3923.1	10:01:43.43	120.53871	23.97278	611.9	358.4	8.8	-0.2	-1.0	120.53922	23.97305
88	P9141405	44	3926.5	10:01:46.46	120.53869	23.97354	611.7	358.8	8.0	0.0	-0.3	120.53907	23.97385
89	P9141406	44	3930.0	10:01:50.50	120.53868	23.97431	612.0	359.3	9.1	-0.5	-0.6	120.53919	23.97452
90	P9141407	44	3933.4	10:01:53.53	120.53867	23.97508	612.3	0.3	7.2	0.0	-0.2	120.53901	23.97524
91	P9141408	44	3936.8	10:01:57.57	120.53866	23.97587	610.8	358.5	7.9	0.2	-0.9	120.53924	23.97626
92	P9141409	44	3940.3	10:02:00.00	120.53863	23.97666	610.5	357.4	7.7	-0.1	0.3	120.53905	23.97700
93	P9141410	47	3991.8	10:02:52.52	120.54300	23.98307	601.9	150.8	181.2	-3.0	8.9	120.54195	23.98215
94	P9141411	47	3995.3	10:02:55.55	120.54331	23.98220	598.7	166.6	191.6	0.7	6.5	120.54178	23.98164
95	P9141412	47	3998.7	10:02:59.59	120.54344	23.98126	599.0	174.3	193.5	-1.4	4.6	120.54193	23.98128
96	P9141413	47	4002.2	10:03:02.02	120.54346	23.98030	597.2	180.2	192.1	2.7	4.2	120.54218	23.98005
97	P9141414	47	4005.6	10:03:05.05	120.54342	23.97934	600.0	181.7	188.1	2.4	-0.7	120.54212	23.97947
98	P9141415	47	4009.0	10:03:09.09	120.54338	23.97838	601.7	182.0	183.3	-0.6	-1.4	120.54241	23.97865
99	P9141416	47	4012.5	10:03:12.12	120.54334	23.97741	602.9	181.4	178.4	2.9	-1.1	120.54275	23.97748
100	P9141417	48	4015.9	10:03:16.16	120.54332	23.97646	605.4	180.7	175.8	1.4	-1.4	120.54293	23.97664
101	P9141418	48	4019.3	10:03:19.19	120.54331	23.97551	606.3	181.1	175.2	1.4	-0.4	120.54309	23.97559
102	P9141419	48	4022.8	10:03:23.23	120.54329	23.97456	607.9	180.6	174.7	-0.5	-0.1	120.54322	23.97467
103	P9141420	48	4026.2	10:03:26.26	120.54327	23.97357	609.6	181.6	176.4	3.2	1.0	120.54334	23.97325
104	P9141421	48	4029.7	10:03:29.29	120.54322	23.97264	611.8	182.7	176.3	-0.9	-1.3	120.54303	23.97255
105	P9141422	48	4033.1	10:03:33.33	120.54317	23.97170	611.5	182.5	175.3	1.8	-2.3	120.54285	23.97117
106	P9141423	48	4036.5	10:03:36.36	120.54316	23.97076	612.0	180.3	175.0	2.6	-1.8	120.54283	23.97016
107	P9141424	48	4040.0	10:03:40.40	120.54316	23.96983	614.3	179.9	175.6	0.6	0.2	120.54295	23.96945
108	P9141425	48	4043.4	10:03:43.43	120.54316	23.96890	613.8	180.6	176.2	-1.1	0.2	120.54293	23.96843
109	P9141426	48	4046.8	10:03:47.47	120.54316	23.96794	614.8	179.9	176.7	0.8	0.0	120.54284	23.96755
110	P9141427	48	4050.3	10:03:50.50	120.54316	23.96701	615.2	180.3	177.8	-1.0	2.3	120.54317	23.96667
111	P9141428	48	4053.7	10:03:54.54	120.54310	23.96605	616.0	185.0	183.8	1.6	-1.6	120.54241	23.96573
112	P9141429	48	4057.2	10:03:57.57	120.54304	23.96513	618.4	182.7	180.8	-3.0	-2.2	120.54237	23.96514

相片	序號檔名	航點	FCU Time	GPS Time	UAV 經度	GPS 緯度	GPS 高度	GPS 航向	AHRS 指向	估算 俯仰	估算 滾轉	相片中心點 經度	緯度
113	P9141430	48	4060.6	10:04:00.00	120.54301	23.96417	617.6	180.0	177.4	4.7	-2.5	120.54245	23.96348
114	P9141431	48	4064.0	10:04:04.04	120.54305	23.96324	619.4	177.4	174.5	-1.4	-2.5	120.54250	23.96300
115	P9141432	48	4067.4	10:04:07.07	120.54311	23.96230	616.9	176.1	173.8	-3.9	1.0	120.54294	23.96220
116	P9141433	48	4070.8	10:04:11.11	120.54318	23.96134	614.6	178.0	177.9	4.8	2.2	120.54303	23.96077
117	P9141434	48	4074.2	10:04:14.14	120.54320	23.96040	613.5	179.5	180.0	-1.5	-2.1	120.54249	23.96040
118	P9141435	48	4077.6	10:04:17.17	120.54323	23.95945	611.0	178.1	178.1	-3.5	-2.4	120.54259	23.95920
119	P9141436	48	4081.1	10:04:21.21	120.54328	23.95848	607.5	177.4	178.2	1.3	1.1	120.54298	23.95809
120	P9141437	48	4084.5	10:04:24.24	120.54330	23.95753	605.7	179.7	180.7	-0.9	1.1	120.54294	23.95731
121	P9141438	48	4088.0	10:04:28.28	120.54328	23.95658	604.9	181.3	180.2	0.6	-0.3	120.54283	23.95619
122	P9141439	48	4091.4	10:04:31.31	120.54325	23.95564	605.2	181.8	180.0	0.8	-0.1	120.54287	23.95537
123	P9141440	48	4094.8	10:04:35.35	120.54322	23.95470	604.2	181.7	179.0	1.1	-0.8	120.54277	23.95417
124	P9141441	48	4098.2	10:04:38.38	120.54320	23.95376	605.4	180.5	178.3	0.3	-0.3	120.54285	23.95341
125	P9141442	48	4101.7	10:04:42.42	120.54318	23.95281	604.4	181.2	178.6	0.5	-1.0	120.54271	23.95240
126	P9141443	48	4105.1	10:04:45.45	120.54318	23.95185	603.2	180.1	177.6	-0.1	-0.5	120.54282	23.95141
127	P9141444	48	4108.5	10:04:48.48	120.54318	23.95089	602.3	179.4	177.6	-0.3	-1.2	120.54271	23.95055
128	P9141445	48	4112.0	10:04:52.52	120.54320	23.94990	600.0	179.4	177.4	-2.1	-0.6	120.54283	23.94954
129	P9141446	48	4115.4	10:04:55.55	120.54321	23.94891	599.3	179.7	177.9	1.1	-1.3	120.54276	23.94845
130	P9141447	48	4118.8	10:04:59.59	120.54321	23.94793	598.5	180.2	178.5	0.3	-0.5	120.54284	23.94739
131	P9141448	48	4122.3	10:05:02.02	120.54321	23.94693	598.5	180.2	178.5	0.1	0.6	120.54296	23.94645
132	P9141449	48	4125.7	10:05:06.06	120.54319	23.94595	600.9	181.1	179.3	3.3	-0.8	120.54271	23.94534
133	P9141450	51	4173.0	10:05:53.53	120.54747	23.93904	618.5	28.9	52.9	-1.6	-10.6	120.54803	23.93955
134	P9141451	51	4176.5	10:05:56.56	120.54770	23.93976	617.2	10.5	40.9	0.5	-6.7	120.54764	23.94046
135	P9141452	51	4179.9	10:06:00.00	120.54777	23.94051	614.4	3.3	35.0	-1.4	-1.1	120.54705	23.94096
136	P9141453	51	4183.3	10:06:03.03	120.54779	23.94130	612.5	2.1	31.4	0.1	0.1	120.54714	23.94118
137	P9141454	51	4186.7	10:06:07.07	120.54783	23.94208	611.4	2.6	27.2	0.3	-0.1	120.54753	23.94174
138	P9141455	51	4190.1	10:06:10.10	120.54787	23.94285	611.5	3.2	21.4	-2.2	-0.3	120.54767	23.94206
139	P9141456	51	4193.6	10:06:13.13	120.54789	23.94362	610.0	359.8	16.3	1.5	-1.8	120.54842	23.94311
140	P9141457	51	4197.0	10:06:17.17	120.54787	23.94440	609.8	359.8	12.3	3.5	0.5	120.54847	23.94414
141	P9141458	51	4200.4	10:06:20.20	120.54789	23.94514	610.7	2.0	8.9	0.6	-1.7	120.54881	23.94481
142	P9141459	52	4203.8	10:06:24.24	120.54791	23.94587	610.6	1.5	7.2	-1.0	-3.8	120.54912	23.94555
143	P9141460	52	4207.2	10:06:27.27	120.54789	23.94661	610.3	357.4	5.8	-3.2	0.0	120.54877	23.94637
144	P9141461	52	4210.6	10:06:30.30	120.54785	23.94736	609.6	357.2	4.5	1.0	0.6	120.54858	23.94756
145	P9141462	52	4214.0	10:06:34.34	120.54781	23.94812	609.8	357.6	5.8	-0.5	1.8	120.54835	23.94828
146	P9141463	52	4217.4	10:06:37.37	120.54780	23.94887	610.4	359.9	7.0	1.7	-0.1	120.54851	23.94919
147	P9141464	52	4220.8	10:06:41.41	120.54780	23.94963	610.4	0.2	8.4	1.3	-0.3	120.54846	23.95001
148	P9141465	52	4224.3	10:06:44.44	120.54781	23.95041	609.9	0.4	9.5	3.5	-0.2	120.54854	23.95112
149	P9141466	52	4227.7	10:06:48.48	120.54782	23.95116	611.4	1.1	7.7	-2.0	-2.1	120.54849	23.95143
150	P9141467	52	4231.1	10:06:51.51	120.54784	23.95191	611.1	1.3	9.1	-2.2	-0.8	120.54832	23.95206

相片	序號檔名	航點	FCU Time	GPS Time	UAV 經度	GPS 緯度	GPS 高度	GPS 航向	AHRS 指向	估算 俯仰	估算 滾轉	相片中心點 經度	緯度
151	P9141468	52	4234.5	10:06:54.54	120.54785	23.95269	608.9	0.5	9.4	1.1	-1.1	120.54848	23.95324
152	P9141469	52	4237.9	10:06:58.58	120.54784	23.95349	608.5	358.9	9.4	-2.3	-1.1	120.54835	23.95375
153	P9141470	52	4241.3	10:07:01.01	120.54781	23.95429	607.8	357.7	9.9	1.9	1.4	120.54811	23.95487
154	P9141471	52	4244.7	10:07:05.05	120.54779	23.95507	608.4	359.5	10.8	0.2	0.8	120.54813	23.95540
155	P9141472	52	4248.2	10:07:08.08	120.54779	23.95585	608.5	0.1	10.8	0.8	-1.4	120.54834	23.95611
156	P9141473	52	4251.6	10:07:11.11	120.54780	23.95660	608.6	0.8	10.4	-0.4	-0.6	120.54829	23.95686
157	P9141474	52	4255.0	10:07:15.15	120.54781	23.95739	608.2	1.2	10.4	-0.3	-0.6	120.54833	23.95767
158	P9141475	52	4258.5	10:07:18.18	120.54782	23.95816	608.5	0.5	10.2	0.1	-0.9	120.54833	23.95842
159	P9141476	52	4261.9	10:07:22.22	120.54782	23.95894	607.7	0.1	9.8	-1.1	-0.5	120.54830	23.95924
160	P9141477	52	4265.3	10:07:25.25	120.54782	23.95972	608.2	359.6	9.7	-0.1	0.2	120.54823	23.96006
161	P9141478	52	4268.8	10:07:29.29	120.54782	23.96051	608.3	359.9	9.5	0.6	1.1	120.54812	23.96087
162	P9141479	52	4272.2	10:07:32.32	120.54784	23.96130	608.8	2.2	8.2	1.9	-0.8	120.54835	23.96171
163	P9141480	52	4275.6	10:07:35.35	120.54786	23.96208	608.9	0.3	9.4	0.3	-1.1	120.54846	23.96245
164	P9141481	52	4279.1	10:07:39.39	120.54786	23.96287	608.9	359.4	8.7	0.4	-0.7	120.54839	23.96329
165	P9141482	52	4282.5	10:07:42.42	120.54786	23.96365	608.7	0.1	8.7	0.7	-1.5	120.54843	23.96397
166	P9141483	52	4286.0	10:07:46.46	120.54784	23.96446	609.0	358.8	8.2	1.3	-0.3	120.54826	23.96475
167	P9141484	52	4289.4	10:07:49.49	120.54783	23.96525	608.4	359.1	7.8	-1.1	-0.5	120.54831	23.96554
168	P9141485	52	4292.8	10:07:53.53	120.54781	23.96605	608.0	0.2	6.1	1.5	1.9	120.54797	23.96650
169	P9141486	52	4296.3	10:07:56.56	120.54784	23.96685	608.1	1.6	6.9	0.0	-2.0	120.54847	23.96735
170	P9141487	52	4299.7	10:08:00.00	120.54783	23.96762	611.4	359.6	5.0	-3.2	-0.8	120.54825	23.96761
171	P9141488	52	4303.1	10:08:03.03	120.54783	23.96838	611.0	359.4	5.5	1.2	-1.1	120.54839	23.96868
172	P9141489	52	4306.5	10:08:06.06	120.54781	23.96916	610.5	358.8	5.5	-1.1	0.0	120.54825	23.96941
173	P9141490	52	4310.0	10:08:10.10	120.54780	23.96995	610.3	359.3	4.8	0.5	0.0	120.54825	23.97031
174	P9141491	52	4313.4	10:08:13.13	120.54779	23.97074	610.4	359.5	5.3	-0.5	-0.4	120.54827	23.97108
175	P9141492	52	4316.8	10:08:17.17	120.54778	23.97153	610.3	359.5	5.6	0.3	0.0	120.54824	23.97185
176	P9141493	52	4320.3	10:08:20.20	120.54777	23.97233	609.6	359.3	6.3	-0.8	0.6	120.54817	23.97263
177	P9141494	52	4323.7	10:08:24.24	120.54777	23.97313	608.8	359.9	7.0	1.3	-0.1	120.54830	23.97349
178	P9141495	52	4327.1	10:08:27.27	120.54777	23.97393	609.2	0.1	7.0	0.6	-1.7	120.54841	23.97435
179	P9141496	52	4330.5	10:08:30.30	120.54777	23.97471	608.9	359.9	7.7	0.2	0.3	120.54823	23.97506
180	P9141497	52	4334.0	10:08:34.34	120.54777	23.97550	608.2	0.5	8.5	1.1	-0.7	120.54836	23.97596
181	P9141498	52	4337.4	10:08:37.37	120.54777	23.97630	608.5	359.5	8.6	-0.1	-0.4	120.54828	23.97664
182	P9141499	55	4388.0	10:09:28.28	120.55237	23.98189	608.9	163.5	195.8	-1.8	17.4	120.55178	23.98095
183	P9141500	55	4391.5	10:09:31.31	120.55244	23.98093	606.6	178.9	198.4	1.1	-2.0	120.54997	23.98071
184	P9141501	55	4394.9	10:09:35.35	120.55245	23.97998	606.5	178.8	193.0	0.0	-0.8	120.55060	23.98015
185	P9141502	55	4398.3	10:09:38.38	120.55245	23.97901	606.1	179.5	187.2	2.7	-0.6	120.55104	23.97902
186	P9141503	55	4401.7	10:09:42.42	120.55245	23.97803	606.8	180.2	182.9	-0.1	-0.6	120.55142	23.97839
187	P9141504	55	4405.1	10:09:45.45	120.55243	23.97705	606.8	180.9	180.6	1.7	1.0	120.55181	23.97722
188	P9141505	56	4408.6	10:09:48.48	120.55241	23.97607	607.6	181.1	176.4	2.6	0.3	120.55204	23.97621

相片	序號檔名	航點	FCU Time	GPS Time	UAV 經度	GPS 緯度	GPS 高度	GPS 航向	AHRS 指向	估算 俯仰	估算 滾轉	相片中心點 經度	緯度
189	P9141506	56	4412.0	10:09:52.52	120.55239	23.97508	607.6	180.3	175.0	1.5	-0.8	120.55213	23.97504
190	P9141507	56	4415.5	10:09:55.55	120.55239	23.97410	609.5	179.8	173.6	1.3	-1.1	120.55223	23.97403
191	P9141508	56	4418.9	10:09:59.59	120.55239	23.97313	610.9	180.2	173.0	1.7	-2.1	120.55217	23.97299
192	P9141509	56	4422.3	10:10:02.02	120.55240	23.97217	611.6	178.9	173.3	2.7	0.1	120.55240	23.97196
193	P9141510	56	4425.8	10:10:06.06	120.55243	23.97119	612.4	179.4	174.2	4.6	1.7	120.55257	23.97076
194	P9141511	56	4429.2	10:10:09.09	120.55243	23.97024	614.5	179.8	175.9	-0.2	-0.4	120.55232	23.97004
195	P9141512	56	4432.6	10:10:13.13	120.55240	23.96928	615.4	181.4	176.3	3.7	-1.2	120.55213	23.96866
196	P9141513	56	4436.1	10:10:16.16	120.55239	23.96834	615.9	180.7	176.9	0.1	-0.9	120.55200	23.96795
197	P9141514	56	4439.5	10:10:19.19	120.55238	23.96740	615.7	181.0	177.4	1.2	-1.2	120.55192	23.96695
198	P9141515	56	4443.0	10:10:23.23	120.55238	23.96645	615.9	180.2	177.2	0.2	-0.8	120.55194	23.96602
199	P9141516	56	4446.4	10:10:26.26	120.55238	23.96552	616.8	179.2	177.1	-1.2	-0.5	120.55197	23.96530
200	P9141517	56	4449.8	10:10:30.30	120.55238	23.96458	617.2	180.0	178.2	0.7	0.2	120.55200	23.96421
201	P9141518	56	4453.3	10:10:33.33	120.55237	23.96366	617.1	180.3	178.6	-0.7	-1.1	120.55185	23.96339
202	P9141519	56	4456.7	10:10:37.37	120.55236	23.96271	616.4	180.7	178.2	-0.7	-1.2	120.55185	23.96235
203	P9141520	56	4460.1	10:10:40.40	120.55236	23.96177	615.5	180.1	177.5	-1.9	-1.9	120.55177	23.96144
204	P9141521	56	4463.6	10:10:43.43	120.55238	23.96083	613.1	179.2	177.2	-1.5	-0.4	120.55195	23.96046
205	P9141522	56	4467.0	10:10:47.47	120.55240	23.95988	611.3	179.6	177.2	-0.9	-0.5	120.55194	23.95955
206	P9141523	56	4470.5	10:10:50.50	120.55241	23.95893	608.4	179.8	177.6	-1.6	-0.2	120.55200	23.95860
207	P9141524	56	4473.9	10:10:54.54	120.55242	23.95797	606.4	179.7	177.7	0.8	0.3	120.55208	23.95762
208	P9141525	56	4477.3	10:10:57.57	120.55243	23.95700	604.8	179.8	177.8	1.2	-0.1	120.55208	23.95670
209	P9141526	56	4480.8	10:11:01.01	120.55243	23.95603	605.1	180.0	178.3	2.8	-0.5	120.55195	23.95553
210	P9141527	56	4484.2	10:11:04.04	120.55244	23.95505	605.9	179.1	178.6	0.9	0.9	120.55215	23.95471
211	P9141528	56	4487.6	10:11:08.08	120.55243	23.95408	607.2	180.8	178.9	1.6	0.3	120.55210	23.95366
212	P9141529	56	4491.1	10:11:11.11	120.55242	23.95312	608.8	180.6	178.9	1.3	-0.7	120.55201	23.95289
213	P9141530	56	4494.5	10:11:14.14	120.55240	23.95217	610.2	181.1	177.9	2.7	-1.7	120.55186	23.95183
214	P9141531	56	4498.0	10:11:18.18	120.55239	23.95122	613.3	180.2	177.1	1.8	-1.2	120.55192	23.95085
215	P9141532	56	4501.4	10:11:21.21	120.55240	23.95029	614.3	178.6	176.7	-1.2	-0.5	120.55196	23.95002
216	P9141533	56	4504.8	10:11:25.25	120.55240	23.94935	614.3	180.6	177.6	-2.6	0.0	120.55202	23.94917
217	P9141534	56	4508.3	10:11:28.28	120.55239	23.94840	613.7	180.8	177.3	-1.7	-1.9	120.55182	23.94809
218	P9141535	56	4511.7	10:11:32.32	120.55240	23.94746	614.4	179.5	176.6	0.3	-0.8	120.55192	23.94710
219	P9141536	56	4515.1	10:11:35.35	120.55242	23.94654	612.9	178.9	176.9	0.7	0.6	120.55210	23.94615
220	P9141537	56	4518.5	10:11:38.38	120.55243	23.94564	610.6	179.8	177.6	-1.0	0.1	120.55211	23.94530
221	P9141538	59	4562.4	10:12:22.22	120.55657	23.94028	607.5	14.1	42.6	2.1	-5.7	120.55690	23.94138
222	P9141539	59	4565.8	10:12:26.26	120.55667	23.94105	608.8	6.1	37.8	2.6	-0.8	120.55609	23.94183
223	P9141540	59	4569.2	10:12:29.29	120.55674	23.94184	609.2	4.5	34.4	0.8	-0.3	120.55604	23.94205
224	P9141541	59	4572.6	10:12:33.33	120.55679	23.94263	610.5	4.0	31.3	-0.2	-0.8	120.55625	23.94220
225	P9141542	59	4576.1	10:12:36.36	120.55685	23.94341	611.5	4.3	27.9	0.9	1.5	120.55637	23.94277
226	P9141543	59	4579.5	10:12:39.39	120.55694	23.94418	611.7	6.3	22.3	0.6	-3.9	120.55725	23.94335

相片	序號檔名	航點	FCU Time	GPS Time	UAV 經度	GPS 緯度	GPS 高度	GPS 航向	AHRS 指向	估算 俯仰	估算 滾轉	相片中心點 經度	緯度
227	P9141544	59	4583.0	10:12:43.43	120.55699	23.94494	611.4	2.0	19.3	-2.6	-1.0	120.55729	23.94405
228	P9141545	60	4586.4	10:12:46.46	120.55702	23.94571	609.2	1.3	15.7	0.7	1.8	120.55732	23.94523
229	P9141546	60	4589.8	10:12:50.50	120.55704	23.94648	609.2	2.3	13.0	-0.7	-1.9	120.55784	23.94593
230	P9141547	60	4593.2	10:12:53.53	120.55706	23.94727	609.1	0.6	11.4	2.1	-1.3	120.55795	23.94721
231	P9141548	60	4596.7	10:12:57.57	120.55706	23.94804	609.1	359.9	11.0	0.4	1.8	120.55760	23.94805
232	P9141549	60	4600.1	10:13:00.00	120.55708	23.94882	608.7	1.8	10.2	1.6	-0.1	120.55781	23.94905
233	P9141550	60	4603.6	10:13:03.03	120.55711	23.94960	610.2	2.1	10.2	0.5	-1.9	120.55798	23.94985
234	P9141551	60	4607.0	10:13:07.07	120.55711	23.95038	611.4	359.9	9.6	0.9	-1.6	120.55791	23.95073
235	P9141552	60	4610.5	10:13:10.10	120.55709	23.95116	611.7	358.7	10.1	-1.0	0.3	120.55760	23.95151
236	P9141553	60	4613.9	10:13:14.14	120.55709	23.95195	612.8	0.3	10.2	0.5	-0.7	120.55768	23.95240
237	P9141554	60	4617.3	10:13:17.17	120.55710	23.95272	614.2	0.0	10.3	0.6	-1.5	120.55766	23.95307
238	P9141555	60	4620.7	10:13:21.21	120.55709	23.95349	615.3	359.5	9.6	2.2	0.3	120.55751	23.95387
239	P9141556	60	4624.2	10:13:24.24	120.55709	23.95426	616.1	359.7	9.2	1.1	-2.3	120.55768	23.95455
240	P9141557	60	4627.6	10:13:27.27	120.55708	23.95501	616.3	358.9	9.2	-1.1	0.1	120.55741	23.95522
241	P9141558	60	4631.1	10:13:31.31	120.55706	23.95575	617.0	359.5	7.8	1.2	0.8	120.55729	23.95589
242	P9141559	60	4634.5	10:13:34.34	120.55707	23.95647	615.7	0.8	8.4	-4.1	-1.4	120.55750	23.95636
243	P9141560	60	4637.9	10:13:38.38	120.55709	23.95723	614.0	2.1	8.0	1.7	0.0	120.55749	23.95744
244	P9141561	60	4641.4	10:13:41.41	120.55711	23.95800	612.5	1.0	6.8	1.1	-1.8	120.55769	23.95823
245	P9141562	60	4644.8	10:13:45.45	120.55711	23.95878	611.9	359.5	5.2	-1.2	-2.0	120.55765	23.95887
246	P9141563	60	4648.2	10:13:48.48	120.55707	23.95956	610.7	356.3	3.9	3.4	-0.1	120.55747	23.96004
247	P9141564	60	4651.7	10:13:52.52	120.55701	23.96034	611.9	356.3	4.9	-1.6	0.6	120.55726	23.96032
248	P9141565	60	4655.1	10:13:55.55	120.55697	23.96109	609.7	356.3	7.3	-0.8	1.6	120.55731	23.96142
249	P9141566	60	4658.5	10:13:58.58	120.55692	23.96184	609.7	357.4	8.3	-0.9	2.4	120.55718	23.96201
250	P9141567	60	4662.0	10:14:02.02	120.55691	23.96259	607.3	0.3	9.7	0.0	0.5	120.55743	23.96278
251	P9141568	60	4665.4	10:14:05.05	120.55692	23.96334	606.2	0.7	9.9	0.2	-0.6	120.55748	23.96354
252	P9141569	60	4668.8	10:14:09.09	120.55693	23.96410	606.4	0.8	10.1	0.3	-0.7	120.55747	23.96430
253	P9141570	60	4672.3	10:14:12.12	120.55694	23.96486	606.7	0.7	10.6	0.0	-0.3	120.55746	23.96512
254	P9141571	60	4675.7	10:14:16.16	120.55695	23.96561	607.1	1.1	11.2	0.5	-0.8	120.55752	23.96584
255	P9141572	60	4679.1	10:14:19.19	120.55697	23.96636	606.9	1.7	10.6	0.1	-1.2	120.55755	23.96666
256	P9141573	60	4682.5	10:14:22.22	120.55702	23.96712	607.0	3.5	8.4	0.3	-1.6	120.55758	23.96753
257	P9141574	60	4685.9	10:14:26.26	120.55706	23.96785	607.3	2.3	8.8	-1.2	-1.2	120.55752	23.96808
258	P9141575	60	4689.3	10:14:29.29	120.55709	23.96859	606.2	1.5	7.9	0.3	-1.4	120.55760	23.96899
259	P9141576	60	4692.7	10:14:33.33	120.55709	23.96936	607.6	359.8	7.2	2.2	-0.9	120.55756	23.96981
260	P9141577	60	4696.2	10:14:36.36	120.55708	23.97011	607.1	359.4	6.9	-0.4	-0.2	120.55742	23.97046
261	P9141578	60	4699.6	10:14:40.40	120.55706	23.97087	606.6	359.1	7.5	0.2	-0.2	120.55746	23.97116
262	P9141579	60	4703.1	10:14:43.43	120.55705	23.97164	605.3	358.6	6.8	1.5	-0.3	120.55747	23.97215
263	P9141580	60	4706.5	10:14:46.46	120.55702	23.97240	604.5	358.5	6.4	-0.3	0.1	120.55737	23.97284
264	P9141581	60	4709.9	10:14:50.50	120.55700	23.97317	603.6	359.2	6.0	1.8	0.1	120.55739	23.97371

相片	序號檔名	航點	FCU Time	GPS Time	UAV 經度	GPS 緯度	GPS 高度	GPS 航向	AHRS 指向	估算 俯仰	估算 滾轉	相片中心點 經度	緯度
265	P9141582	60	4713.3	10:14:53.53	120.55700	23.97392	604.8	359.6	4.8	-0.9	-0.3	120.55740	23.97416
266	P9141583	60	4716.7	10:14:57.57	120.55700	23.97468	604.5	0.6	4.1	-0.8	-1.3	120.55751	23.97489
267	P9141584	60	4720.1	10:15:00.00	120.55699	23.97545	604.1	358.7	4.4	2.2	-0.6	120.55749	23.97588

附錄 2：土地利用分類代碼表

LCODE_C1	LNAME	LCODE_C2	LNAME	LCODE_C2	LNAME
1	農業使用土地	101	農作	801	礦業
2	森林使用土地	102	水產養殖	802	土石
3	交通使用土地	103	畜牧、牧場	803	鹽業
4	水利使用土地	104	農業附帶設施	901	軍事用地
5	建築使用土地	201	天然林	902	溼地
6	公共設施使用土地	202	人工林	903	草生地
7	遊憩使用土地	203	其它森林使用土地	904	裸露地
8	礦鹽使用土地	301	機場	905	灌木荒地
9	其他使用土地	302	鐵路	906	災害地
		303	道路	907	營建剩餘土石方
		304	港口	908	空置地
		401	河道		
		402	溝渠		
		403	蓄水池		
		404	水道沙洲灘地		
		405	水利構造物		
		406	防汛道路		
		407	海面		
		501	商業		
		502	住宅		
		503	工業		
		504	其他建築用地		
		601	政府機關		
		602	學校		
		603	醫療保健		
		604	社會福利設施		
		605	公用設備		
		606	環保設施		
		701	文化設施		
		702	休閒設施		

LCODE_C3	LNAME
010101	稻作
010102	旱作
010103	果樹
010104	廢耕地
010200	水產養殖
010301	畜禽舍
010302	牧場
010401	溫室
010402	倉儲設施
010403	農產品展售場
010404	其他設施
020101	天然針葉樹純林
020102	天然闊葉樹純林
020103	天然竹林
020104	天然竹針闊葉混淆
020201	人工針葉樹純林
020202	人工闊葉樹純林
020203	人工竹林
020204	人工竹針闊葉混淆
020301	伐木跡地
020302	苗圃
020303	防火線
020304	土場
030100	機場
030201	一般鐵路
030202	高速鐵路
030203	鐵路相關設施
030301	國道
030302	省道、快速道路
030303	一般道路
030304	道路相關設施
030401	商港
030402	漁港
030403	專用港
030404	其他港口相關設施

LCODE_C3	LNAME
040101	河川
040102	減河
040103	運河
040104	堤防
040200	溝渠
040301	水庫
040302	湖泊
040303	其他蓄水池
040304	人工湖
040400	水道沙洲灘地
040501	水閘門
040502	抽水站
040503	水庫堰壩
040504	地下取水井
040505	其他設施
040600	防汛道路
040700	海面
050101	零售批發
050102	服務業
050201	純住宅
050202	兼工業使用住宅
050203	兼商業使用住宅
050204	兼其他使用住宅
050301	製造業
050302	倉儲
050401	宗教
050402	殯葬設施
050403	興建中
050404	其他

LCODE_C3	LNAME
060100	政府機關
060201	幼稚園
060202	小學
060203	中學
060204	大專院校
060205	特種學校
060300	醫療保健
060400	社會福利設施
060501	氣象
060502	電力
060503	瓦斯
060504	自來水
060505	加油站
060600	環保設施
070101	法定文化資產
070102	一般文化設施
070103	其他文化設施
070201	公園綠地廣場
070202	遊樂場所
070203	體育場所
080101	礦場
080102	礦業相關設施
080201	土石採取場
080202	土石相關設施
080301	鹽田
080302	鹽業相關設施
090100	軍事用地
090200	溼地
090300	草生地
090401	灘地
090402	崩塌地
090403	礁岩
090404	裸露空地
090500	灌木荒地
090600	災害地
090700	營建剩餘土石方
090801	未使用地
090802	人工改變中土地
090803	測量標

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 期。

（2） 蕭飛賓（2007）：「疾如鷹眼烈如隼：無人飛行載具之研究」，行政院國家科學委員會工業技術發展處航太學門研究成果。
（www.nsc.gov.tw/eng/ct.asp?xItem=10840&ctNode=1993）

（3） Grenzdörffer, G. J., Engelb, A., Teichertc, B. (2008): “The Photogrammetric Potential of Low-Cost UAVs in Forestry and Agriculture”, Commission I ICWG I/V - ThS-23, pp. 1207-1214, Proc. of ISPRS 2008, Beijing.

（4） Baitsavias E.. Kaser (‘.1998. DTM and orthoimage generation — a through analysis and comparison of four digital photogrammetric systems. International Archives of Photogrmmetry and Remote Sensing. 32. Part 4. Srnttgart. FRG. pp. 42-51.

（5） Chunsun Zhang (2008): AN UAV-BASED PHOTOGRAMMETRIC MAPPING SYSTEM FOR ROAD CONDITION ASSESSMENT, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008, p627~632.

（6） Eisenbeiss, H. (2004): A mini Unmanned Aerial Vehicle (UAV): System overview and image acquisition, International Workshop on Processing and Visualization using High Resolution Imagery, 18-20 November, Pitsanulok, Thailand, In:International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI-5/W1, (CD-ROM)

（7） Eisenbeiss, H. (2006): APPLICATIONS OF PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING USING AN AUTONOMOUS MODEL HELICOPTER, ISPRS Commission I Symposium, Paris, France, 03.-06. July, In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI-Part1/B

（8） Eissenbeis, H., Lambers, K., Sauerbier, M. and Zhang, L. (2005): Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using

an autonomous model helicopter. Proceedings CIPA International Symposium — 26 September-1 October, Torino, Italy.

（9） Eugster, H., Nebiker, S. (2008): UAV-based Augmented Monitoring - Real-time Georeferencing and Integration of Video Imagery with Virtual Globes, The XXI ISPRS Congress, Beijing, 3-11 July 2008

（10） Eugster, H., Nebiker, S. (2008): UAV-based Augmented Monitoring - Real-time Georeferencing and Integration of Video Imagery with Virtual Globes, The XXI ISPRS Congress, Beijing, 3-11 July 2008

（11） Haarbrink, R. B., Eisenbeiss, H. (2008): Accurate DSM production from unmanned helicopter systems, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008, p 1259~1264

（12） Haarbrink, R.B., Koers, E.(2006): Helicopter UAV for photogrammetry and rapid response

（13） Sousa, D.M. (2005): Unmanned Aerial Vehicles for Rapid Environmental Assessment and Mine Countermeasures, Unmanned air vehicles; Naval operations; Mine countermeasures

（14） 何磊、苗放、唐姝娅、李玉霞（2010）:「无人机遥感图像及其三维可视化在汶川地震救灾中的应用」，物探化探计算技术期刊，2 期 32 卷。

（15） 李兵，岳京宪，李和军（2008）:「无人机摄影测量技术的探索与应用研究」，北京测绘期刊 2008 年第 1 期。

（16） 程崇木、张俊华、孙　炜、唐建林、高　宇（2010）:「固定翼无人机航空摄影测量精度探讨」，人民長江期刊，第 41 卷 11 期。

（17） LIN Zongjian（2008）：The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008.

（18） 林博雄等 (2005):「UAV 颱風穿越觀測」，航太工業通訊雜誌，第 58 期。

（19） 楊宗岳、羅國峯、林永仁、黃勤財（2009）：「應用無人飛機於公路防、救災之可行性探討」，臺灣公路工程期刊第 35 卷第 12 期。

（20） 黃昭雄、徐逸祥、朱子豪（2005）：「無人載具（UAV）應用於海岸濱線追蹤調查以鹽寮福隆沙灘為例」，2005 年台灣地理資訊學會年會暨學術研討會論文集。

（21） Cronk, S., Fraser C. S., Hanley H. (2006): Automated Metric Calibration of Colour Digital Cameras, The Photogrammetric Record, Vo. 21, No. 116, pp: 355–372.

（22） Fraser, C.S. and Cronk, S. (2008): A Hybrid Measurement Approach for Close-Range Photogrammetry. Submitted to ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, March.

（23） 洪宇、龚建华、胡社荣、黄明祥（2008）:「无人机遥感影像获取及後续处理探讨」，遥感技术与应用，第 23 卷第 4 期。

（24） Wolf, P. R., and B. A. Dewitt, 2000. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, 3rd Edition, McGRAW-HILL international edition.。

（25） 楊靈峰（2003）:「以現有正射影像與 DTM 資料解算外方位參數」，國立成功大學碩士論文。

（26） Baltsavias E., Kaser C. 1998. DIM and orthoimage generation — a through analysis and comparison of four digital photogrammetric systems. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 32, Part 4, Stuttgart. FRG, pp. 42-51.

（27） Fraser, C. S. (1997): Digital Camera Self-calibration, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 52, pp.149-159。

（28） Eissenbeis, H.（2009）：UAV Photogrammetry，University of Technology Dresden.

（29） 內政部國土測繪中心，2009：探測感應器測繪平台架構規劃暨應用作業工作總報告書，P94～107、P158～178。