



NLSC-110-11

# 110 年及 111 年 LiDAR 技術更新數 值地形模型成果測製工作 (第 3 作業區)

## 110 年工作總報告

Report of updating Taiwan DEM by LiDAR  
technique in 2021  
(3rd Work zone)

主辦機關：內政部國土測繪中心

執行單位：詮華國土測繪有限公司

中華民國 111 年 04 月 29 日

## 專業技師簽證報告

工 程 專 業 技 師 簽 證 報 告		
一	案 名	名稱：110 年及 111 年 LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作採購案(第 3 作業區) 案 號：NLSC-110-11
二	簽 證 技 師	姓 名：陳典熙 科 別：測量科 執業執照字號：技執字第 001607 號
三	簽 證 法 令 依 據	公共工程專業技師簽證規則
四	委 託 者	名 稱：內政部國土測繪中心 地 址：40873 台中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4F 電 話：(04) 2252-2966
五	委 託 事 項	委託辦理數值地形模型測製 委託日期：110 年 01 月 19 日
六	受 委 託 廠 商	名 稱：詮華國土測繪有限公司 地 址：22175 新北市汐止區新台五路一段 159 號 5F 電 話：(02) 2643-9699 傳 真：(02) 2643-9599
七	簽 證 說 明	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;">                     簽證範圍：本案相關成果                      簽證項目：<input type="checkbox"/>設計 <input type="checkbox"/>監造 <input checked="" type="checkbox"/>其他                      簽證內容：本案各階段相關成果                 </div> <div style="width: 35%; text-align: center;">                     執業圖記：   </div> </div> 簽證意見：符合相關規定
八	日 期	中華民國 111 年 04 月 29 日 技師簽署： 
備 註	1.本表格如不敷使用，得以附件方式表達。 2.本局自辦零星修繕工程，則免附。	

## 摘要

數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM, 包括 Digital Elevation Model, DEM 及 Digital Surface Model, DSM) 資料於災區潛在大規模崩塌調查成果, 對於政府防減災規劃與國土保育, 提供重要的決策資訊。目前政府已完成臺灣本島以空載光達測製之 DTM 資料, 然而臺灣易受颱風地震影響造成大面積地貌變遷, 後續持續更新圖資也是國家防災的重要環節。內政部報經行政院核定推動「落實智慧國土-國土測繪圖資更新及維運計畫(105-109)」專案後, 已從 105 年起以 LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作案。今年國土測繪中心(以下簡稱甲方)規劃辦理「110 年及 111 年 LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」。本作業區為第 3 作業區, 由詮華國土測繪有限公司(以下簡稱詮華公司)承攬本計畫。110 年度第 3 作業區位在臺灣中北部及部分東部地區, 橫跨台中、苗栗、新竹及宜蘭, 共需完成 266 幅 1/5,000 圖幅成果, 另外新增 2 幅圖(沙洲堤防完整性), 共計 268 幅。

本計畫共分兩年度, 110 年度已完成第 1 至第 4 階段, 111 年度進行第 5 至第 8 階段。其中第 2 階段需繳交總圖幅數 40% 成果共 107 幅, 第 3 階段需繳交總圖幅數 60% 成果共 161 幅, 工作內容主要包括:

1. 空載雷射掃瞄飛航計畫規劃與申請。
2. 地面GNSS基站控制測量。
3. 空載雷射掃瞄施測資料獲取。
4. 雷射掃瞄點雲資料處理。
5. 數值地表模型(DSM)與數值高程模型(DEM)製作。
6. 正射影像製作。

### 一、飛航規劃與執行:

第 3 作業區區採 Q780 以及 VQ1560II 空載光達掃瞄儀進行飛航掃瞄作業, 施測作業總計飛航 170 條航線, 共計 35 架次, 測線長度約 3,757 公里(含潮間帶、交叉航線以及補雲航線), 航高約為 2,200 公尺~4,300 公尺, 光達重疊率為 50%。Q780 空載光達率定場設於土城工業區及南崗工業區, 率定時間分別為 110 年 3 月 15 日以及 110 年 5 月 12 日。VQ150II 空載光達率

定場設於彰化田中鎮，率定時間為 110 年 9 月 16 日。並且為了確保率定成果參數正確，於同天進行確認飛行作業。

第 3 作業區採用自架站 4 站(總計 2 個地點，採雙主站架設)，並統整測區周遭之中央氣象局、內政部國土測繪中心以及地調所架設之 GNSS 連續站 45 站，總計共 49 站，統一進行坐標解算，確保作業成果框架之一致性。

## 二、正射影像製作

本計畫於 LiDAR 掃瞄同時進行航拍攝影作業，第 3 作業區以 Phase one IXU-RS1000 焦距 70mm 及 50mm 兩台相機進行航空攝影，影像前後重疊率約 80%，側向重疊率約 40%，實際使用為 16,442 張。產製地面解析度為 25 公分之正射影像共 268 幅，測區正射影像與控制點均方根誤差為 13 公分。

## 三、資料後處理及精度分析

第 3 作業區中，第一子測區扣除水域後測區內平均點密度為 4.70 點/m<sup>2</sup>；第二子測區扣除水域後測區內平均點密度為 6.05 點/m<sup>2</sup>。

低海拔各地類檢核精度在平均絕對誤差為 3.0 公分~5.4 公分之間，均方根誤差為 5.4 公分~12.5 公分之間。低海拔橫斷面道路檢核的部分，平均絕對誤差為 3.0 公分，均方根誤差為 5.8 公分。

高海拔各地類檢核精度在平均絕對誤差為 3.7 公分~7.8 公分之間，均方根誤差為 8.1 公分~12.0 公分之間。高海拔橫斷面道路檢核的部分，平均絕對誤差為 3.8 公分，均方根誤差為 6.5 公分。

關鍵字:空載光達、數值地形模型、數值地表模型、數值高程模型

## Abstract

In the investigation results of potential large-scale landslides in the disaster areas, Digital Terrain Model (DTM), which includes Digital Elevation Model (DEM) and Digital Surface Model (DSM), provides important decision information for government disaster prevention and mitigation planning and land conservation. There has been a complete DTM data generated by LiDAR technique for the Taiwan Island. However, since Taiwan is susceptible to the impacts of typhoon and earthquake, it is necessary to keep updating the DTM data. The Ministry of Interior (MOI) has conducted a project for updating Taiwan DTM since 2016. Therefore, National Land Surveying and Mapping Center, planning for “Updating Taiwan DEM by LIDAR technique - 2021 & 2022”. Real World Surveying and Geomatics Corp (RW Company) are execute the 3rd work zone. The 3rd work zone across Miaoli Country, Taichung City, Hsinchu City and Yilan County. The total number of 1/5,000 Map Sheets is 268.

The project is divided into two years, The first phase to forth phase were completed in 2021 and the fifth phase began in 2022. The second and third phases need to submit 40% (107 Map Sheets )and 60% (161 Map Sheets )of the total number of Map Sheets. The major work of this project includes:

1. Flight plan and application of the airborne LiDAR survey.
2. GNSS station control surveying.
3. Airborne LiDAR implementation and data acquirement.
4. Data processing of the point cloud data.
5. Production of DEM and DSM
6. Production of orthophotos

### I. Flight plan and implementation

The flight work zone was executed using Q780 and VQ1560II sensor in the area. The current survey operations total of 170 trajectories, measuring length of about 3,757 kilometers, flight height of about 2,200 to 4,300 meters, and LiDAR strips overlap of 50%. The calibration of Q780 was performed at Tucheng and

Nangang Industrial Park on 15<sup>th</sup> March, 2021 and 5<sup>th</sup> May,2021. The calibration of VQ1560II was performed at Tanaka Town on 16<sup>th</sup> September, 2021. In order to ensure that the result is correct, the flight operation was confirmed on the same day.

There were 4 self-surveying GNSS base station set up in the flight work zone, which was setting by dual main station method at 2 locations. Collect 45 continuous GNSS stations which were set up from the Central Weather Bureau, the National Land Surveying and Mapping Center and the Central Geological Survey. All of these 49 GNSS stations are computed at the same time, to ensure the consistency of the frame.

## II. Production of orthophotos

This project collected data by using airborne LiDAR and aerial photography at the same time. In the first work zone, aerial photos was acquired with two camera ,which is Phase One IXU-RS1000 (focal length 70mm) and Phase One IXU-RS1000 (focal length 50mm) with 80% overlap and 50% sidelap. The current number of actual used aerial photo was 16,442. The orthophotos of this project generated with a ground resolution of 25 cm, and the total number of photos was 268. The standard deviation between orthophotos and control points was 13 cm.

## III. Post-processing and accuracy analysis

In the 3rd work zone, the average point density of the first sub-zone which exclude water body was 4.70 points/m<sup>2</sup>, the average point density of the second sub-zone which exclude water body was 6.05 points/m<sup>2</sup>.

The average absolute errors of low altitude elevation area were between 3.0 cm ~ 5.4 cm, the root mean square error were between 5.4 cm ~ 12.5 cm. The average absolute errors of the low road cross section was 3.0 cm, this root mean square error was 5.8 cm.

The average absolute errors of high altitude elevation area were between 3.7 cm ~ 7.8 cm, the root mean square error were between 8.1 cm ~ 12.0 cm. The average absolute errors of the high road cross section was 3.8 cm, this root mean

square error was 6.5 cm.

Key Word:

Airborne LiDAR, Digital Terrain Model(DTM), Digital Surface Model(DSM)、  
Digital Elevation Model(DEM)

## 目錄

摘要 .....	I
Abstract.....	III
目錄 .....	VI
圖目錄 .....	VIII
表目錄 .....	XI
第一章、前言 .....	1
1.1 計畫緣起與目的 .....	1
1.2 計畫範圍 .....	2
1.3 各階段繳交期程 .....	3
1.4 機敏資料安全管控 .....	7
第二章、作業規劃 .....	9
2.1 作業準備 .....	9
2.2 飛航規劃 .....	11
第三章、地面控制點選取與測量作業 .....	17
3.1 基站選取 .....	17
3.2 控制測量 .....	18
第四章、空載LiDAR作業 .....	23
4.1 率定作業 .....	23
4.2 飛航掃瞄成果 .....	32
4.3 控制測量 .....	40
4.4 航帶平差與內部精度評估 .....	43
4.5 DEM/DSM製作 .....	54
4.6 檢核點蒐集及作業 .....	62
第五章、正射影像製作 .....	75
5.1 作業區航拍工作 .....	75
5.2 航拍影像處理 .....	76
5.3 空中三角測量 .....	77
5.4 彩色無縫鑲嵌正射影像圖製作 .....	80



5.5	正射影像外部接邊.....	88
5.6	正射影像詮釋資料製作.....	88
第六章、	成本分析.....	90
6.1	飛航待命及可飛天數分析.....	91
6.2	性別比例分析.....	92
第七章、	檢討與建議.....	93
第八章、	參考文獻.....	97

附件一、110年度第3作業區作業計畫

附件二、第3作業區飛航申請公文

附件三、控制測量成果

附件四、儀器TAF認證實驗室檢校及率定報告

附件五、空中三角測量報表

附件六、自主檢查報表

附件七、工作會議議論與追蹤事項辦理情形

附件八、函文紀錄表

附件九、審查意見回覆

## 圖目錄

圖1-1、第3作業區作業範圍.....	2
圖1-2、第3作業區各階段繳交圖幅數位置分布圖.....	3
圖1-3、自強航空及德安航空合作同意書.....	5
圖1-4、改用其他航空公司載具辦理後續飛航相關公文.....	5
圖1-5、本案工作場所及機敏室環境.....	8
圖2-1、Riegl VQ1560II與搭載相機規格.....	10
圖2-2、Riegl Q780與搭載相機規格.....	11
圖2-3、飛航規劃流程圖.....	12
圖2-4、測區分區圖.....	13
圖2-5、正規航線設計圖.....	14
圖2-6、交叉航線設計圖.....	15
圖2-7、潮間帶航線設計圖.....	16
圖3-1、基站分布位置及重疊率.....	18
圖3-2、第3作業區航帶平差控制點分布圖.....	19
圖3-3、高程控制點點之記.....	20
圖3-4、特徵屋角點點之記.....	21
圖3-5、檢核點點之記.....	22
圖4-1、空載LiDAR作業流程圖.....	23
圖4-2、空載光達率定示意圖.....	24
圖4-3、Lever Arm量測作業.....	25
圖4-4、彰化田中鎮率定場.....	25
圖4-5、率定前點雲資料.....	28
圖4-6、率定解算成果.....	29
圖4-7、率定後平面成果.....	30
圖4-8、平差解算後控制高程與點雲相對關係.....	30
圖4-9、確認飛行率定成果.....	32
圖4-10、光達儀器與航拍相機安裝(左:VQ1560II；右:Q780).....	33
圖4-11、中央氣象局衛星雲圖.....	34

圖4-12、即時監控航拍狀況.....	34
圖4-13、航線掃瞄月份.....	36
圖4-14、航空載具及光達儀器使用分布 .....	36
圖4-15、GNSS基站接收時間 .....	37
圖4-16、基站與航線軌跡距離.....	37
圖4-17、GPS基站接收頻率 .....	38
圖4-18、基站PLA2_PDOP值.....	38
圖4-19、機載GNSS_PDOP值 .....	39
圖4-20、空載光達掃瞄資料作業流程圖 .....	40
圖4-21、飛航掃瞄軌跡解算.....	41
圖4-22、本案點雲涵蓋圖.....	41
圖4-23、原始點雲誤差檢核_高程差顯色(左:平地;右:山區) .....	43
圖4-24、局部檢視剖面_航帶顯色(左:平地;右:山區) .....	43
圖4-25、航帶平差作業流程.....	44
圖4-26、推求兩航帶內某共軛點的相對高程差示意圖 .....	45
圖4-27、點雲分區航帶平差.....	47
圖4-28、搜尋Tie Plane進行計算改正值(Dong Li, 2016).....	48
圖4-29、Scan data adjustment解算及成果報表 .....	49
圖4-30、加入控制點解算.....	50
圖4-31、本案平差成果.....	51
圖4-32、平面精度比較位置分布圖 .....	52
圖4-33、航帶平差誤差分布圖.....	53
圖4-34、點雲後處理作業流程圖 .....	54
圖4-35、DEM、DSM製作流程.....	55
圖4-36、過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000).....	56
圖4-37、人工檢視編修界面.....	57
圖4-38、過濾非地面點後之成果(圖號95211031).....	57
圖4-39、水體分類成果(圖號95222051).....	58
圖4-40、本案作業人員分布圖.....	58
圖4-41、點雲TIN分析圖 .....	59

圖4-42、本案DEM、DSM成果.....	60
圖4-43、DEM、DSM分布圖.....	61
圖4-44、年度接邊地形變異示意圖.....	61
圖4-45、檢核點分布.....	65
圖4-46、濕地量測與現況不符(左:本次正射影像；右:外業施測照).....	67
圖4-47、低海拔各地類檢核誤差分布圖.....	69
圖4-48、低海拔各地類檢核誤差圓餅圖.....	70
圖4-49、高海拔各地類檢核誤差分布圖.....	72
圖4-50、高海拔各地類檢核誤差圓餅圖.....	73
圖4-51、第2階段外業驗收直方圖.....	74
圖4-52、第3階段外業驗收直方圖.....	74
圖5-1、正射影像製作流程.....	75
圖5-2、影像範圍涵蓋圖及兩台相機拍攝航線.....	76
圖5-3、PPS影像處理示意圖.....	77
圖5-4、原始影像色彩預處理.....	77
圖5-5、空三作業區域分配圖.....	78
圖5-6、控制點量測.....	79
圖5-7、正射影像與光達比較圖.....	80
圖5-8、正射影像成果.....	81
圖5-9、正射影像檢核點分布位置.....	81
圖5-10、正射影像與光達比較分布.....	83
圖5-11、水線成果.....	87
圖5-12、正射影像接邊分布圖.....	88
圖5-13、內政部TGOS詮釋資料編輯系統2.0介面.....	89
圖5-14、批次產置詮釋資料程式示意圖.....	89
圖6-1、飛航待命及可飛天數分析圖.....	91

## 表目錄

表1-1、110年度各階段繳交期程表.....	4
表1-2、第1階段成果繳交期程.....	6
表1-3、第2階段成果繳交期程.....	6
表1-4、第3階段成果繳交期程.....	6
表1-5、第4階段成果繳交期程.....	7
表2-1、第3作業區航拍申請期程.....	9
表2-2、正規航線掃瞄參數表.....	14
表2-3、交叉航線掃瞄參數表.....	15
表2-4、潮間帶航線掃瞄參數表.....	16
表3-1、測區基站統計表.....	17
表4-1、航線規劃設計.....	26
表4-2、飛行作業時間.....	26
表4-3、GNSS精度相關成果圖.....	27
表4-4、Boresight Angle率定值.....	29
表4-5、光達系統率定高程分析統計表(正規飛行).....	30
表4-6、光達系統率定高程分析統計表(確認飛行).....	31
表4-7、飛航掃瞄紀錄表.....	33
表4-8、測區各架次掃瞄執行與基站接收時間.....	34
表4-9、航拍點雲之檢核.....	42
表4-10、平面精度比較表.....	52
表4-11、點雲分類圖層說明表.....	55
表4-12、低高海拔各地類及橫斷面檢核點.....	63
表4-13、中高海拔各地類及橫斷面檢核點.....	63
表4-14、地形類別調整參數b(單位：公尺).....	65
表4-15、地表植被覆蓋情形調整參數c(無單位).....	66
表4-16、平面精度標準(單位：公尺).....	66
表4-17、第3作業區低海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表.....	67
表4-18、本案高海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表.....	70

表5-1、空三平差成果統計表.....	79
表5-2、正射影像與控制點差值比較表.....	82
表5-3、正射影像與光達比較表.....	83
表6-1、經費分析.....	90
表6-2、性別比例分析.....	92

# 第一章、前言

## 1.1 計畫緣起與目的

數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM，包括Digital Elevation Model, DEM及Digital Surface Model, DSM)為國家各項重大建設的基礎，舉凡遙測衛星影像糾正、水資源決策與管理、水文模擬應用、洪氾地區溢淹模式分析、工程設計與規劃、飛航安全管理等，均需有精確詳實之數值地形資料以資應用。

民國98年莫拉克風災後，經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)於99~104年陸續辦理台灣本島1米解析度DTM。內政部報經行政院核定推動「落實智慧國土-國土測繪圖資更新及維運計畫(105-109)」，規劃自105年度起，分年委外以LiDAR 技術更新DTM 資料，截至109年度止已辦理3,177幅(1/5,000)範圍數值地形模型更新作業。

110年及111年起依據「邁向3D智慧國土-國家底圖空間資料基礎建設計畫(110-114年)」繼續規劃以LiDAR技術辦理第1作業區(551幅)、第2作業區(540幅)及第3作業區(551幅)DTM 更新範圍合計1,642圖幅，由測製案廠商辦理飛航掃瞄規劃、控制測量、點雲過濾、DTM製作及檢核、空中三角測量以及正射影像製作等成果。透過高精度的空載光達測繪，達到圖資更新維護的成效，提供建置智慧國土的基礎圖資。

本計畫由詮華國土測繪有限公司(以下簡稱本公司)承攬第3作業區，110年度資料源規範圍266幅，並規劃第一子測區107幅(第二階段繳交)，第二子測區159幅(第三階段繳交)，另外為了沙洲及堤防圖幅完整性，額外繳交2幅資料，共計繳交268圖幅(1/5000基本圖幅)。

## 1.2 計畫範圍

本案110年度第3作業區橫跨台中市、苗栗縣、新竹縣、宜蘭縣及桃園縣五個縣市，本區位在臺灣中北部及部分東部地區，包括海岸地形、平原、丘陵以及高山地區，山區包括司馬庫斯、太平山以及緊鄰著雪山山脈，本作業區高低起伏較大，須注意飛安相關事宜，海拔高度約為0至3,160公尺。總計平原約佔147幅(55.2%)，山區佔119幅(44.8%)，共計涵蓋266幅。前期資料為102年製作206幅(77.4%)、103年製作60幅(22.6%)，該區域位於樂山雷達管制區，約有10幅密圖，飛航上須與國防單位密切聯繫，測製範圍如圖1-1所示。

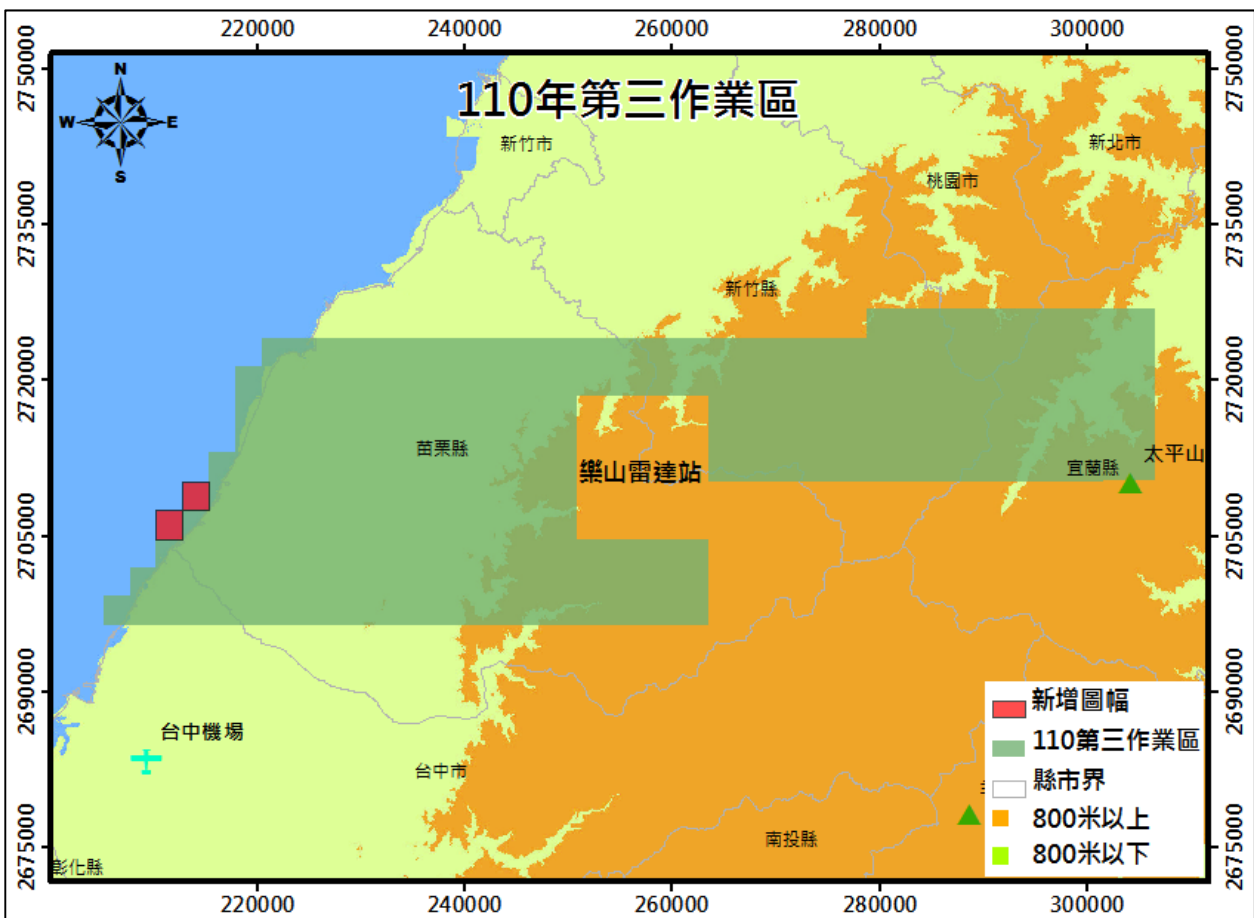


圖 1-1、第 3 作業區作業範圍



### 1.3 各階段繳交期程

本年度共分4個階段繳交資料，第1階段為作業計畫，包括空載光達掃瞄飛航作業。第2、3階段繳交作業範圍內相關成果，包括航拍作業、地面控制、資料解算處理、點雲過濾、DEM及DSM製作、正射影像以及水線繪製，第2階段總計繳交40%圖幅數，第3階段繳交60%圖幅數，第4階段繳交110年度工作總報告。

第2階段需繳交40%作業圖幅，即107幅；第3階段繳交剩餘之161圖幅，總計圖幅為268幅。

由於本年度飛航委託自強航空公司以及德安航空進行飛航作業，因此考量飛航量能因素下，將各期作業範圍配置如圖1-2。第2階段規劃西側沿海區域之圖幅以及右側山區部分圖幅，共計107幅；第3階段規劃地勢較高聳之山地地區(第2子測區)，共計161幅。

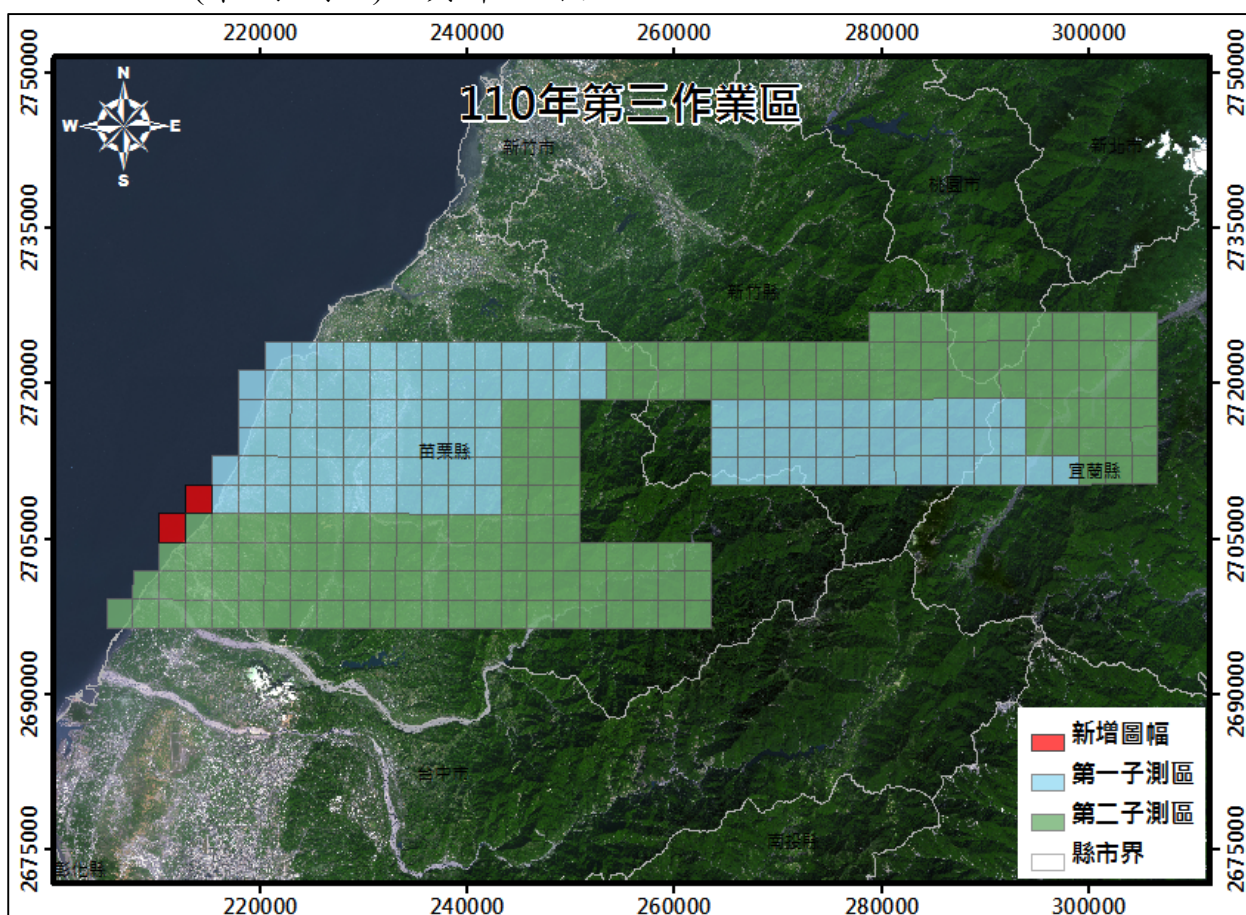


圖 1-2、第 3 作業區各階段繳交圖幅數位置分布圖

本計畫自民國110年01月19日決標至111年11月10日，共分兩個年度8個階段繳交成果資料，因遇新冠疫情影響全台進入三級警戒狀態，且因本案涉及機敏資料，須在機敏作業室辦理，無法居家辦公，因此於110年7月28日申請履約期限展延(詮字第1100008810號)，並於110年8月3日同意展延28日(測形字第1101301463號)，110年度相關作業期程展延如表1-1所示。

表1-1、110年度各階段繳交期程表

階段	成果繳交項目	合約繳交日期	成果繳交日期
第1階段	110年度作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)。	110/02/08	110/02/05
第2階段	1.DEM與DSM成果(110年度範圍40%以上圖幅)及控制測量(110年度範圍)。 2.正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。	110/08/31(原規範) 110/09/28(展延)	110/11/26
第3階段	1.DEM與DSM成果(110年度範圍剩餘圖幅數)。 2.正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。	110/11/30(原規範) 110/12/28(展延)	111/03/04
第4階段	110年度工作總報告及電子檔。	110/12/10(原規範) 111/01/07(展延)	111/03/23
	修正後110年度工作總報告及電子檔。	依機關指定期限內繳交。	111/05/03

本公司資料逾期繳交之因素為原飛航載具協力廠商前進航空股份有限公司，該公司發生勞資糾紛及積欠債務等因素，造成本公司無法執行飛航掃描。本公司於110年4月9日發文給貴中心(詮字第1100004210號)，說明本公司擬與自強航空有限公司(以下稱為自強航空)以及德安航空股份有限公司(以下稱為德安航空)租用飛行載具進行飛航掃描，以利後續相關作業進行，圖1-3為本公司與自強航空及德安航空合作同意書。110年4月14日於貴中心進行飛航說明會議(測形字第1101570178號)，貴中心於110年4月21日回覆同意可改用其他航空公司載具辦理後續飛航(測形字第1101332730號)，圖1-4為改用其他航空公司載具之相關公文。由於110年度期間全台僅有兩家航空公司可進行航拍業務，因此自強航空以第二作業區為優先範圍，於5月開始的空檔進行第3作業區

航拍作業；德安航空於第1作業區拍攝完成後，9月開始進行第3作業區的拍攝。由於航拍時間皆比預期時間落後，且年末山區天氣持續不佳的狀況下，導致各階段的資料落後。

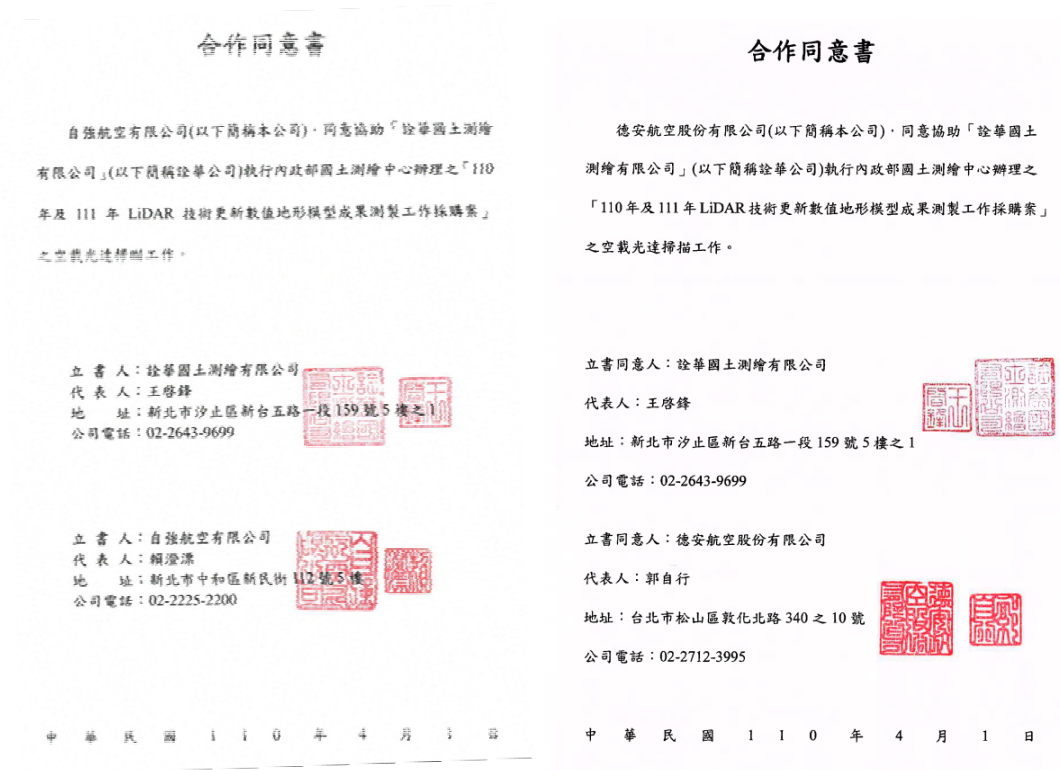


圖1-3、自強航空及德安航空合作同意書

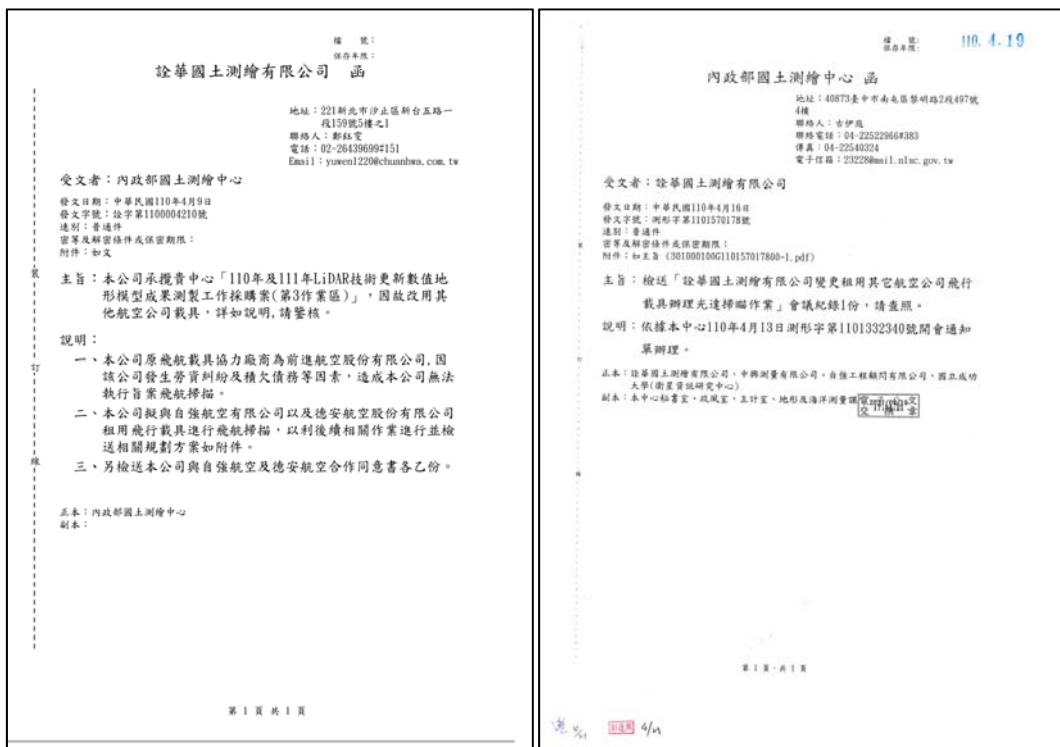


圖1-4、改用其他航空公司載具辦理後續飛航相關公文

## 第1階段作業成果說明:

本階段作業項目為110年02月08日前完成110年度作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)10份及電子檔2份，相關時程如表1-2所示。

表1-2、第1階段成果繳交期程

交付項目	建置方繳交日期	審查合格日期
第1階段成果	110/01/28(繳交丙方) (詮字第1100001090號)	110/02/03 (成大產創字第1101100350號)
	110/02/05(繳交甲方) (詮字第1100001580號)	110/03/11 (測形字第1101331620號)

## 第2階段作業成果說明:

本階段作業項目展延後日期為110年09月28日前完成圖幅數40%之成果，包括點雲資料獲取，地面控制測量、資料後處理、點雲過濾、DEM、DSM、正射影像、水體線，相關期程如表1-3，由於第一子測區最後一條航線於110年度09月30日拍攝完成導致逾期繳交。

表1-3、第2階段成果繳交期程

交付項目	建置方繳交日期	審核合格日期
第2階段成果	110.11.17(繳交丙方) (詮字第1100014290號)	110.11.26 (成大產創字第1101103862號)
	110.11.26(繳交甲方) (詮字第1100014730號)	110.12.13 (測形字第1101570494號)

## 第3階段作業成果說明:

本階段作業項目為110年12月28日前完成圖幅數60%之成果，包括點雲資料獲取，資料後處理、點雲過濾、DEM、DSM、正射影像、水體線，相關期程如表1-4。由於年末山區氣候不佳，第二子測區最後一條航線於111年度01月16日拍攝完成導致逾期繳交。

表1-4、第3階段成果繳交期程

交付項目	建置方繳交日期	審核合格日期
第3階段成果	111.02.25(繳交丙方) (詮字第1110002170號)	111.03.03 (成大產創字第1111100705號)

交付項目	建置方繳交日期	審核合格日期
	111.03.04(繳交甲方) (詮字第1110002590號)	111.03.31 (測應字第1111565136號)

第4階段作業成果說明:

本階段作業項目為111年01月07日前完成110年度工作總報告初稿，相關期程如表1-5。

表1-5、第4階段成果繳交期程

交付項目	建置方繳交日期	審核合格日期
第4階段成果	111.03.16(繳交丙方) (詮字第1110003110號)	111.03.22 (成大產創字第1111100955號)
	111.03.23(繳交甲方) (詮字第1110003470號)	

#### 1.4 機敏資料安全管控

數值地形模型（含數值高程模型、數值地表模型）、空載光達點雲資料及機敏圖號之航拍影像等皆屬機敏成果資料，本公司辦公處位於大樓24小時皆有警衛保全，過濾閒雜人等進入，並供作業人員專門處理機敏資料之作業室，作業室應具備門禁管制設備、監視器及無連接網路、專用之保險櫃。

機敏資料包括機敏向量、機敏圖號之航拍影像、空載光達點雲或數值地形模型等資料，應確實依據內政部「測繪成果申請使用辦法」、機關「機敏測繪成果資料使用及管理注意事項」、「國家機密保護法」及其他相關規定妥善使用，由專人負責造冊保管及存放於辦公處所保險箱或其他具安全防護功能之金屬箱櫃，並遵循配合辦理下列事項：

(一)履約過程中產製數值地形模型（含數值高程模型、數值地表模型）、空載光達點雲資料及機敏圖號之航拍影像等皆屬機敏成果資料，於辦公處所設置可供作業人員專門處理機敏資料之作業室，作業室應具備門禁管制設備、監視器及無連接網路之作業專用電腦及工作站。

(二)使用機敏資料之作業人員，填寫機敏資料使用紀錄表。

(三)於每月28日前將該月門禁管制設備記錄之進出資料及機敏資料使用

紀錄表等資料函送機關；至監視器影像資料，自行存放於儲存媒體，並留存至保固期結束為止。

機敏室已於110年9月3日檢查合格(測形字第1101570234號)。



圖1-5、本案工作場所及機敏室環境

## 第二章、作業規劃

### 2.1 作業準備

本公司原飛航載具協力廠商為前進航空股份有限公司，因該公司發生勞資糾紛及積欠債務等因素，造成本公司無法執行飛航掃描。為使作業期程順利，本公司與自強航空以及德安航空租用飛行載具進行飛航掃描，以利後續相關作業進行。德安航空使用本公司自有空載光達掃瞄儀VQ1560 II以及航攝數位相機Phase One IXU-RS-1000(焦距70mm)；而自強航空採用自強工程顧問有限公司儀器設備，為空載光達掃瞄儀Riegl Q780及航攝數位相機Phase One IXU-RS-1000(焦距50mm)。

#### 2.1.1 飛航申請作業

空載光達掃瞄作業前需有完整之飛航計畫，規劃時需考慮儀器參數、測區地形、點密度以及重疊率等相關要素，並依據國土測繪法(內政部，2007)備妥相關文件申請航拍作業許可，使本案相關飛航申請、拍攝、後續製作之成果皆能完善呈現並符合各項法令規範。本公司於110年1月25日向內政部申請航空攝影，並於110年3月9日申請通過後，向民航局申請各載具之航拍許可，並於110年4月28日(自強航空)以及110年8月13日(德安航空)申請飛航許可，測區航拍申請期程如表2-1所示。

表2-1、第3作業區航拍申請期程

航拍攝影申請日期/文號	通過日期/文號	飛航許可通過日期/文號
110/01/26 (詮字第1100000970號)	110/03/09 (台內地字第1100108184號)	110/04/28_自強航空 (空運管字第1100011211號) 110/08/13_德安航空 (空運管字第1100021825號)

## 2.1.2 系統裝機

本計畫主要使用兩套設備，分別為Riegl VQ1560 II搭載中像幅相機Phase One IXU-RS1000以及Riegl Q780搭載中像幅相機Phase One IXU-RS1000，主要規格如圖2-1、圖2-2。

		<b>VQ 1560II</b>
定位系統	雙頻GNSS+IMU	
FOV	58	
脈衝率PRF	2*150kHz-2*2000kHz	
掃描鏡頻率	20-300 lines/s	
作業高度	500m~4500m	
雙掃描頭	有	
Full Waveform	有	

儀器照片	
型號	Phase One IXU-RS-1000
像幅大小	11,608x8,708
焦距	70 mm
像元大小	4.6 μm

### 校正報告

校正項目：空載光達  
報告日期：109年11月26日  
報告編號：I202010190201



儀器名稱：空載光達  
廠牌型號：RIEGL/VQ1560II  
儀器序號：S2224052  
送校單位：詮華國土測繪有限公司  
地址：22175 新北市沙止區新台五路一段159號5樓之1

上述儀器經本實驗室校正，結果如內文。  
本報告封面及二頁內文，分離使用無效。



內政部  
國土測繪中心  
測量儀器  
校正實驗室

報告簽署人

內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室  
臺中市南屯區黎明路2段497號4樓

### 校正報告

校正項目：航空測量攝影機  
報告日期：110年3月24日  
報告編號：F202102030201



儀器名稱：航空測量攝影機  
廠牌型號：Phase One/IXU-RS-1000  
儀器序號：YC030279  
送校單位：詮華國土測繪有限公司  
地址：221634 新北市沙止區新台五路一段159號5樓之1

上述儀器經本實驗室校正，結果如內文。  
本報告封面及二頁內文，分離使用無效。



內政部  
國土測繪中心  
測量儀器  
校正實驗室

報告簽署人

內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室  
臺中市南屯區黎明路2段497號4樓

圖2-1、Riegl VQ1560II與搭載相機規格



Riegl Q780



定位系統	雙頻GNSS+IMU
FOV	60
脈衝率PRF	400 kHz
掃描鏡頻率	14-200 lines/sec
作業高度	1100-4700m
Full Waveform	有

Phase One  
IXU-RS-1000

像幅大小	11,608x8,708
焦距	50 mm
像元大小	4.6 μm



圖2-2、Riegl Q780與搭載相機規格

## 2.2 飛航規劃

飛航規劃為光達掃描成功與否的重要關鍵，必須依據儀器性能、載具性能、測區地形特性及作業規範等因素進行規劃。本公司於1/25,000地形圖上進行規劃設計，考量測區內地形特性規劃適當之飛航高度，並以航測相機搭配空載光達同步掃描作業作為規劃之依據，以取得符合規範規定之點雲密度及航空影像。

由於本測區地形起伏相當大，因此規劃時將本測區範圍之地形匯入分析，避免因地形高低起伏造成點密度不足或是重疊率不足之情況產生，飛航規劃流程如圖2-3所示，並以下列各項原則進行航線規劃：

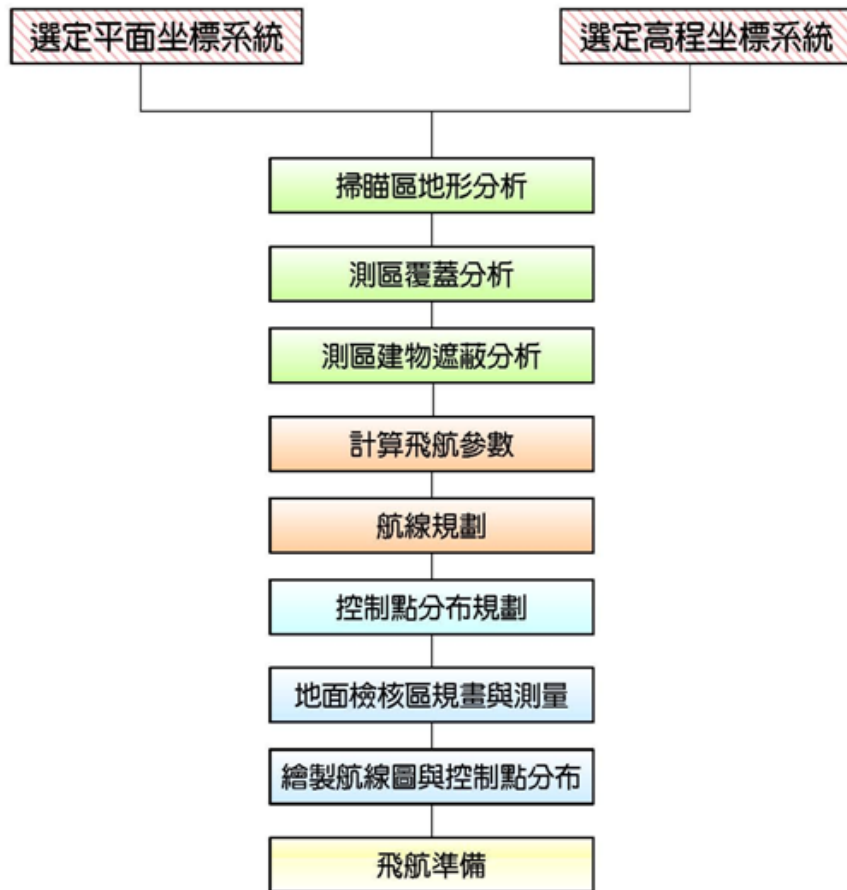


圖 2-3、飛航規劃流程圖

1. 點密度：掃瞄區域所有航帶重疊後之原始數據，以 $100 \times 100$ 平方公尺之平均密度為依據，每平方公尺點雲密度以**2點**為原則。
2. 相鄰航帶之側向重疊率至少**50%**。
3. 各航帶至多**25公里**需有一交叉航線。
4. 整體航線規劃區分如圖2-4所示，共區分為7個區塊，說明詳述於下。

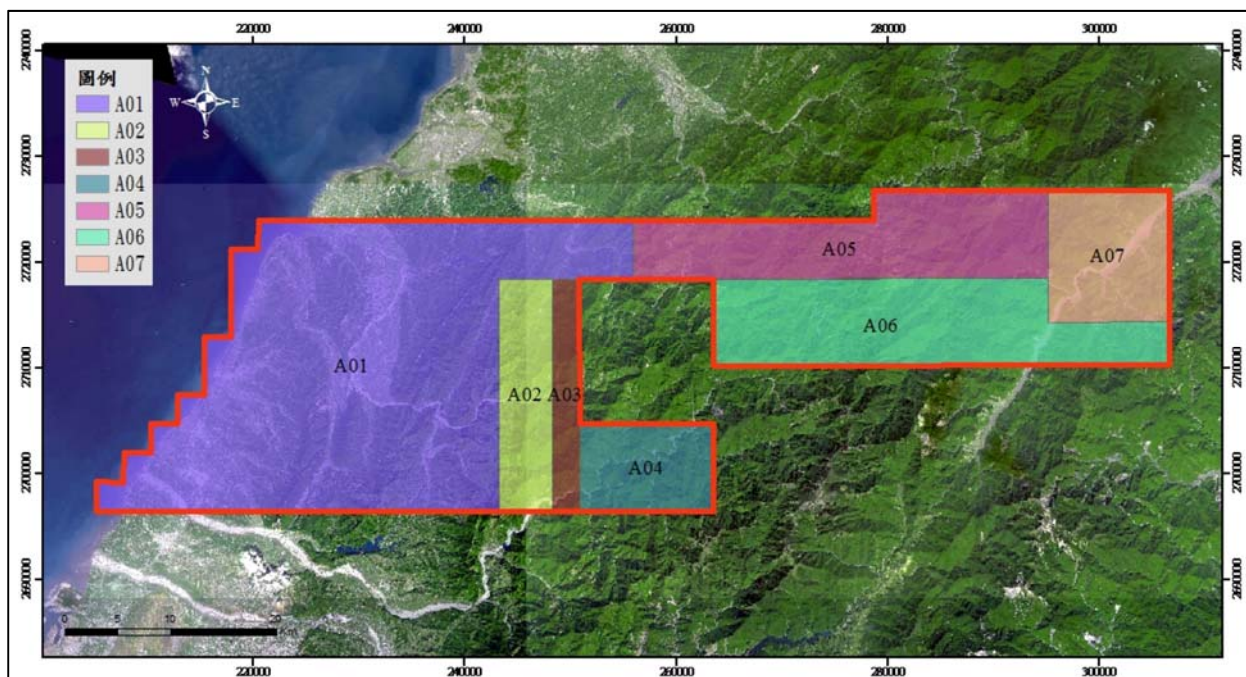


圖 2-4、測區分區圖

本測區位於台灣中部高海拔山區，海拔高度約為0至3,000公尺之地形。因此為符合上述之航線規劃原則及考量地形高低起伏與實際飛航安全，將作業範圍區分為七個測區，各測區依據地形變化規劃不同的航線參數，包含航高、掃描頻率、脈衝頻率，以期達到所需的點密度及穿透率。航線總計**147條**，包含**123條**正規航線、**10條**交叉航線及**3條**潮間帶航線，總長約**3622km**。詳細航線規劃參數詳述於下：

#### 1. 正規航線

作業範圍依地形劃分為區，共規劃123條正規航線，總長約3426公里，航線方向依山脈走勢採東西或南北向飛行，側向重疊率皆以50%以上進行規劃，以取得測區地形之完整資料。其中A01區塊以Q780光達儀器規劃，A02~A07使用VQ1560II光達儀器規劃，各區航線參數統計如圖2-5及表2-2，各航線詳細參數參照附件一、110年度第3作業區作業計畫。

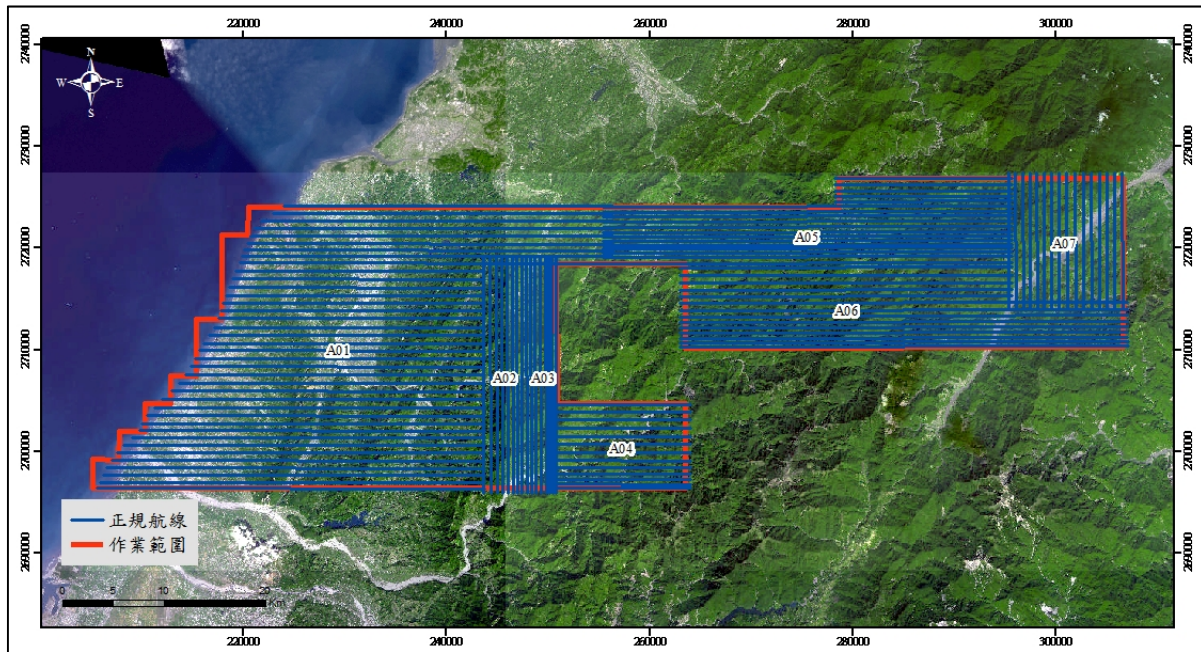


圖 2-5、正規航線設計圖

表 2-2、正規航線掃瞄參數表

區域	航線編號	航線方向(度)	里程(km)	航高(m)	航速(kts)	最低點高程(m)	最高點高程(m)	掃瞄視角(度)	掃瞄頻率(lps)	脈衝頻率(kHz)	平均重疊航帶點密度	航帶寬度(m)	平均側向重疊率(%)	影像平均前後重疊率(%)	影像平均側向重疊率(%)
A01 (780)	53001-53046	90	1492	2200	100	0	1283	50	58	230	2.5	1834	65.6	81.8%	69.1%
A02 (1560II)	53047-53056	180	232	2400	100	134	1740	50	94	340	4.2	2238	62.4	84.6%	52.1%
A03	53057-53062	180	139	2600	100	290	2117	50	104	310	3.8	2425	66.3	85.4%	57.5%
A04	53063-53075	90	178	3700	100	786	3161	50	104	310	4.8	3451	64.2	85.6%	54.2%
A05	53077-53093	90	610	3000	100	386	2469	50	104	310	4.4	2798	66.4	85.5%	57.4%
A06	53094-53107	90	560	3500	100	844	2927	50	104	310	4.4	3264	63.2	85.2%	54.3%
A07	53108-53123	180	215	2700	100	241	2182	50	104	310	3.4	2518	58.9	84.3%	45.7%

## 2. 交叉航線

交叉航線為每隔20至25公里視圖幅最大陸地面積與正規航線交叉飛行之航線。交叉航線總計10條，總長153公里，航線方向採東西向設計，整體航線設計圖如圖2-6所示，相關參數附於表2-3：

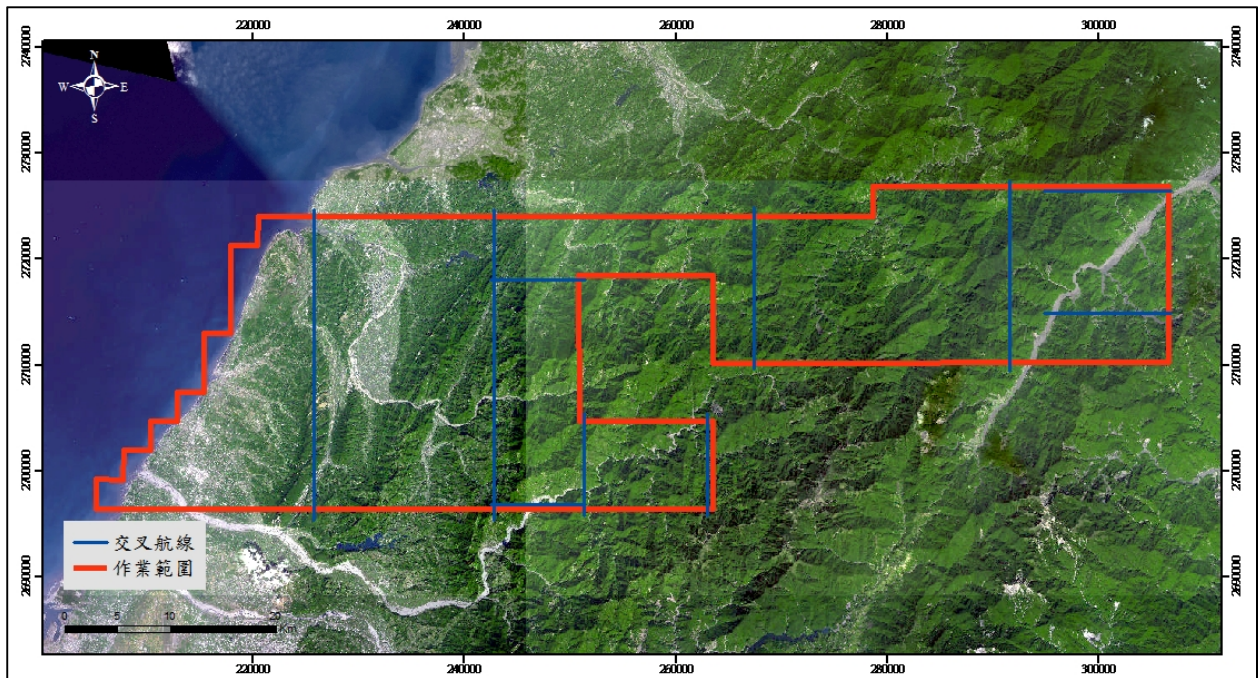


圖 2-6、交叉航線設計圖

表 2-3、交叉航線掃瞄參數表

航線編號	航線方向(度)	里程(km)	航高(m)	航速(kts)	最低點高程(m)	最高點高程(m)	掃描視角(度)	掃瞄頻率(Hz)	脈衝頻率(kHz)	航帶點密度	航帶寬度(m)	影像平均前後重疊率(%)
53401	180	29.2	2200	100	17	527	50	58	230	1.2	2038	81.1%
53402	180	29.2	2200	100	46	1303	50	58	230	1.2	2009	83.1%
53403	90	9.0	2600	100	130	1015	50	88	300	1.2	2305	83.1%
53404	90	9.0	3000	100	677	1707	50	88	300	1.2	2166	84.7%
53405	180	9.6	3500	100	770	2123	50	84	300	1.1	2546	85.3%
53406	180	9.6	4300	100	1242	3199	50	78	300	1	2852	85.9%
53407	180	15.2	3500	100	843	2473	50	84	300	1.1	2478	84.9%
53408	180	18.0	3000	100	697	2129	50	88	300	1.3	2148	85.2%
53409	90	11.9	3000	100	235	1617	50	84	300	1.1	2579	84.0%
53410	90	11.9	3000	100	518	1455	50	88	300	1.2	2315	84.2%

### 3. 潮間帶航線

為取得完整潮間帶地區資料，規劃時採用電子地圖之正射影像為依據進行規劃，並配合中央氣象局所提供之潮位站資訊，於低潮位時間執行任務，藉此取得測區內最大面積之沙洲及陸地資料。而本測區配合潮間帶範圍共規劃 3 條潮間帶航線，長度總計 44 公里，整體航線規劃如圖 2-7 所示，其相關參數附於表 2-4：

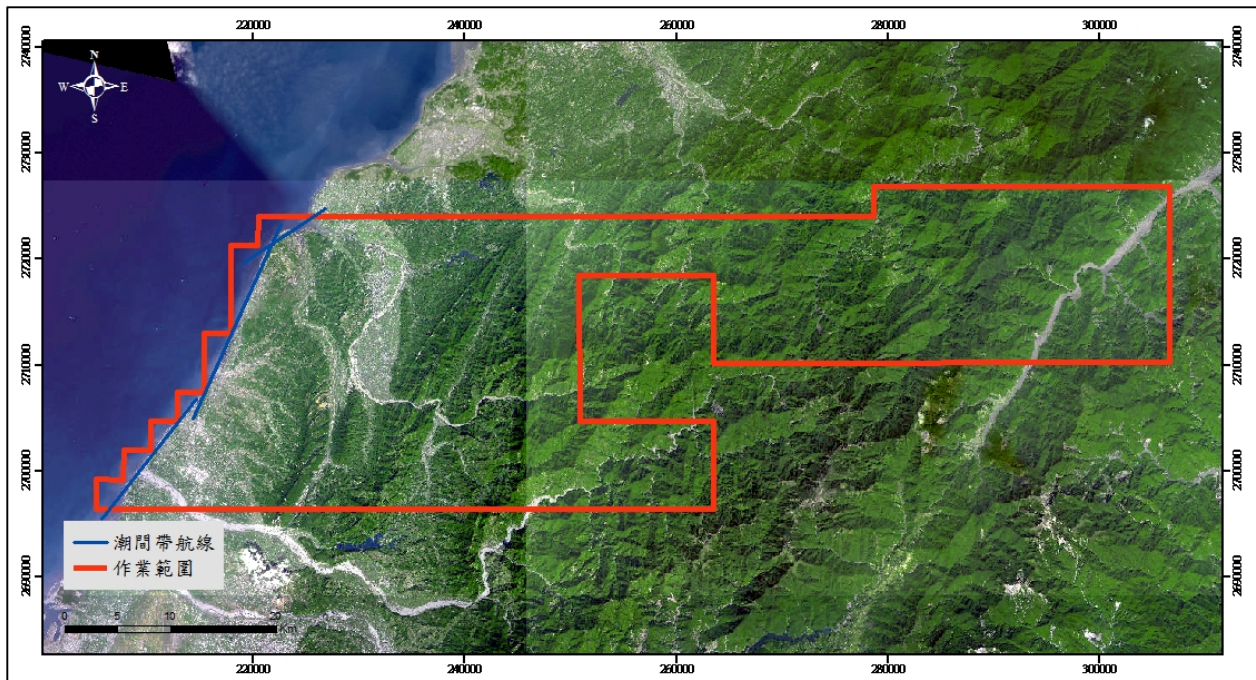


圖 2-7、潮間帶航線設計圖

表 2-4、潮間帶航線掃瞄參數表

航線編號	航線方向	里程(km)	航高(m)	航速(kts)	最低點高程(m)	最高點高程(m)	掃瞄角度(度)	掃瞄頻率(Hz)	脈衝頻率(kHz)	點密度	航帶寬度(m)	影像平均前後重疊率(%)
53800	236.2	8.9	2200	100	15	113	50	58	230	1.2	2038	80.3%
53801	204.2	20.2	2200	100	15	106	50	58	230	1.2	2038	80.2%
53802	218.5	14.5	2200	100	17	50	50	58	230	1.2	2036	80.0%

## 第三章、地面控制點選取與測量作業

### 3.1 基站選取

地面控制測量之目的在於測量GNSS基站坐標及航帶平差所需之控制點坐標。飛航掃瞄作業時，應於掃瞄區域20公里範圍內，選取2點以上之透空度佳(仰角10度以上無遮蔽)之地面GNSS基站。基站GNSS起始時間應比飛航掃瞄作業系統之GNSS測量起始時間早10分鐘，且關機應比飛航掃瞄系統之GNSS時間晚10分鐘。且地面GNSS接收儀須為雙頻儀器，數據每秒接收一筆。

1. 坐標框架：平面控制系統採用 TWD97【2020】 TM 二度分帶坐標系，高程控制系統採用 TWD97【2020】之橢球高系統。
2. 本作業區採用自架站 4 站(總計 2 個地點，採雙主站架設)，並統整測區周遭之中央氣象局、內政部國土測繪中心以及地調所架設之 GNSS 連續站，蒐集三天資料(110/04/02~110/04/04)供丙方監審單位-成功大學統一進行坐標解算，並提供乙方使用，以確保本作業成果框架之一致性。
3. 第 3 作業區周遭連續觀測站相關數量統計及分布如圖 3-1 及表 3-1 所示。

表 3-1、測區基站統計表

架設單位	基站名稱
內政部國土測繪中心	TACH、FUSI、JUNA、DOSH、WULI、TIAN、HCHM、共計7站
中央氣象局	JYAN、KSHI、MIAO、NIUT、NSAN、NSHE、PAO2、PLA2、SAN2、SGUN、SLNP、SONA、STA1、SUC2、TEGS、THAI、TOFN、TSIO、WIPN、YLSS、CHIN、CLAN、DAHU、FUSN、GUK2、HNSN 共計26站
地調所	GS03、GS14、GS15、GS16、GS36、GS38、GS61、GS62、GS71、GS82、GS91、GS92 共計12站
本公司預計自架站位置	RW0102(梅園國小)、RW0304(秀巒國小) 共計4站

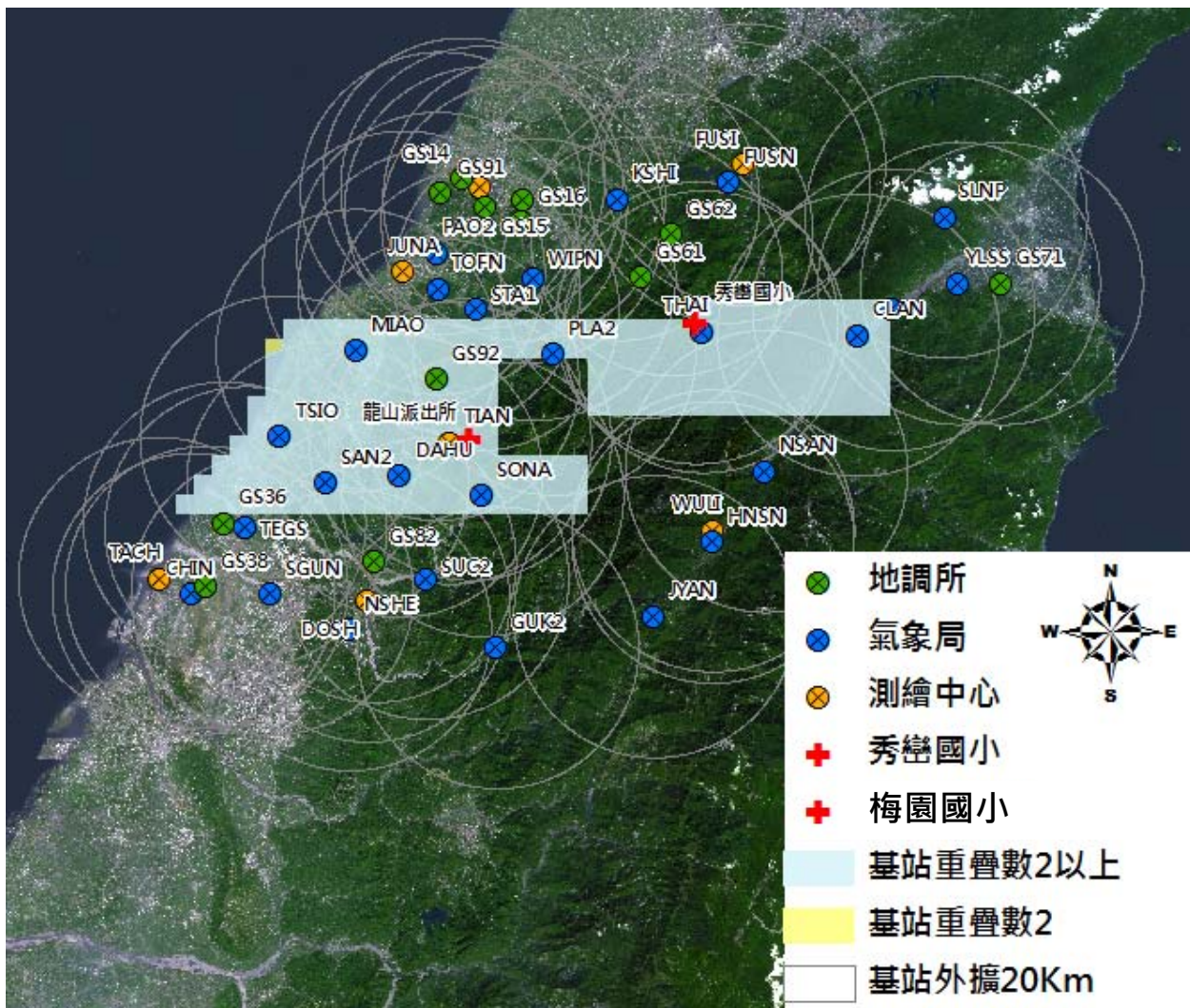


圖3-1、基站分布位置及重疊率

## 3.2 控制測量

本計畫需加入已知平差高程控制點約制平差成果，控制點布設原則需滿足每條航線頭、中、尾各有至少一個點位，並於適當位置布設特徵屋角點，由於部份地區因高山地區無法進入測量，因此採航拍影像以立體量測方式，進行山區及交通中斷區之控制點量測，為確保控制測量成果之正確性及一致性，於計畫進行前需先進行已知點檢測，檢測測區內之內政部之一、二、三等衛星控制點，以供後續作業使用，相關作業方式及成果如下：

### 3.2.1 測量規範

第3作業區頭、中、尾控制點以及屋角點量測方式皆採用e-GNSS即時定位系統進行VBS-RTK的方式作業，部分地區因人車難以到達，採用立體量測方式作業，其相關規定如下：



### 1. 採用VBS-RTK測量方法：

VBS-RTK測量方式為採用內政部國土測繪中心全臺布設之基準站，透過無線數據通訊傳輸，即時得到測點坐標及高程之測量技術，定位精度可達厘米等級(可參考國土測繪中心網站<https://egnss.nlsc.gov.tw/hotnews.aspx>)，轉換至TWD97【2020】系統，轉換後之平面精度優於4公分，高程精度優於10公分，實際做法說明如下：

(1) 每點獨立測量2測回，每次收斂筆數達180筆，且間隔60分鐘。兩測回坐標較差平面不大於4公分且高程不大於10公分。

(2) 如VBS-RTK測量無法收斂時，則取得連續10分鐘以上、記錄頻率為1Hz之靜態觀測資料，並以VBS-RTK後處理方式計算該點坐標。

2. 山區因受交通限制無法進入，則採航拍影像以立體量測方式作業，採用本案航拍後解算的空中三角測量成果，並進行立體製圖，選取原規劃立製點位置周遭裸露地做為立製點，藉此取得控制點成果，應用於點雲平差中。後續繳交相關空三成果，以證明立體量測之點位符合精度需求。

### 3.2.2 地面控制點VBS-RTK測量

第3作業區控制點分布如圖3-2所示，實際施測高程控制點共計91點、檢核點15個、特徵屋角點10點、立體量測86點，點之記示意圖如圖3-3~圖3-5所示，詳細坐標成果如附件三。

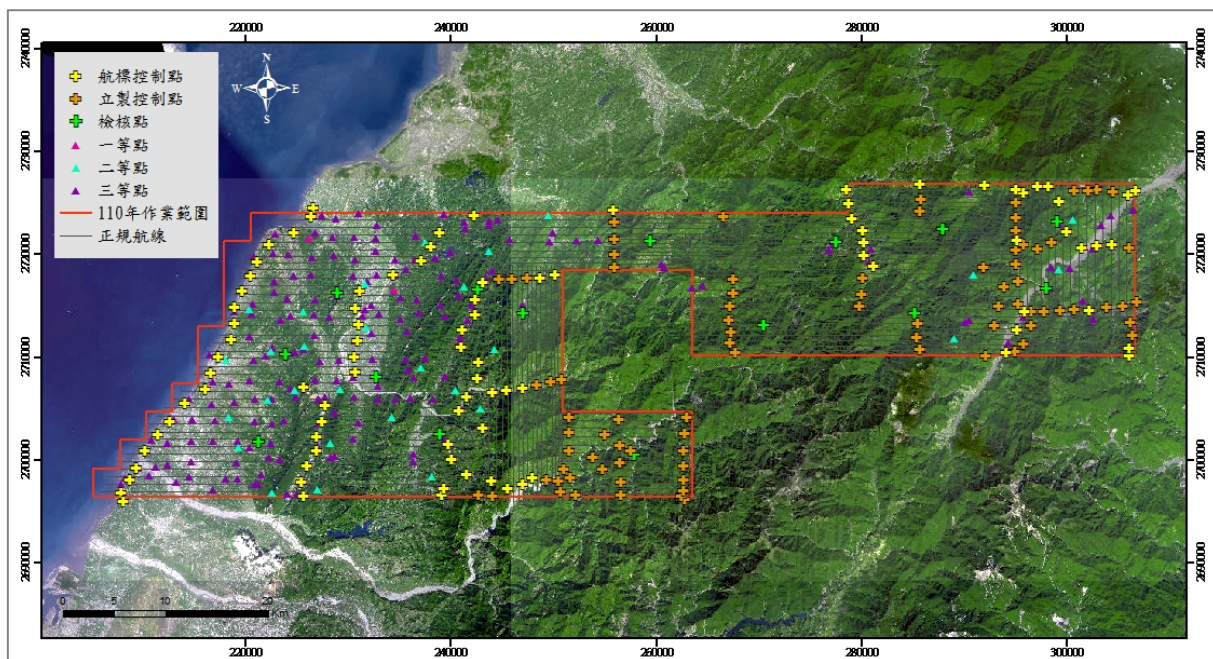


圖 3-2、第 3 作業區航帶平差控制點分布圖

內政部國土測繪中心「110年度及111年度LiDAR技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」					
【地面控制點點位調查表】			A全控點		
點號	53-0001A		圖號	95214044	
所在地	台中市大安區		點別	<input checked="" type="checkbox"/> 全控(A) <input type="checkbox"/> 高控(A) <input type="checkbox"/> 平控(B) <input type="checkbox"/> 檢核點(C)	
平面坐標	E	207909.856	高程值	正高	3.526
	N	2696838.258		精球高	22.295
坐標框架	TWD97@2020		高程別	<input checked="" type="checkbox"/> GNSS測算高程 <input type="checkbox"/> 全測站引測 <input type="checkbox"/> 直接水準	
點位種類	<input checked="" type="checkbox"/> 鋼釘 <input type="checkbox"/> 角點 <input type="checkbox"/> 油漆 <input type="checkbox"/> 其他		大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採_TWHYGEO2014_模式化算	
測設單位	詮華國土測繪有限公司				
施測人員及日期	陳振聰 / 110年03月		內檢人員及日期	朱康文 / 110年04月	
點位說明 (交通路線)	點位於大安區中山北路與東西八路口。				
位置圖			影像		
					
點位現地遠照			點位現地近照		
					
說明與備註：					

圖 3-3、高程控制點點之記

內政部國土測繪中心「110年度及111年度LiDAR技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」					
【地面控制點點位調查表】			B 平控點		
點 號	53-B03		圖 號	95214026	
所 在 地	苗栗縣苑裡鎮		點 別	<input type="checkbox"/> 全控(A) <input type="checkbox"/> 高控(A) <input checked="" type="checkbox"/> 平控(B) <input type="checkbox"/> 檢核點(C)	
平 面 坐 標	E	214494.196	高 程 值	正 高	35.730
	N	2702006.361		橢球高	54.779
坐 標 框 架	TWD97@2020		高 程 別	<input checked="" type="checkbox"/> GNSS 測算高程 <input type="checkbox"/> 全測站引測 <input type="checkbox"/> 直接水準	
點 位 種 類	<input type="checkbox"/> 鋼釘 <input checked="" type="checkbox"/> 角點 <input type="checkbox"/> 油漆 <input type="checkbox"/> 其他		大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採 TWHYGEQ2014 模式化算	
測 設 單 位	詮華國土測繪有限公司				
施測人員及日期	陳振聰 / 110年03月		內檢人員及日期	朱康文 / 110年04月	
點 位 說 明 (交通路線)	點位於苑裡鎮新復里新復 91-5 號(高計實業有限公司)。				
位 置 圖			影 像		
					
點位現地遠照			點位現地近照		
					
說明與備註：					

圖 3-4、特徵屋角點點之記

內政部國土測繪中心「110年度及111年度LiDAR技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」					
【地面控制點點位調查表】					C 檢核點
點 號	53-0105C		圖 號	96222060	
所 在 地	宜蘭縣大同鄉		點 別	<input type="checkbox"/> 全控(A) <input type="checkbox"/> 高控(A) <input type="checkbox"/> 平控(B) <input checked="" type="checkbox"/> 檢核點(C)	
平面坐標	E	299033.515	高 程 值	正高	1098.154
	N	2723263.862		精球高	1121.048
坐標框架	TWD97@2020		高 程 別	<input checked="" type="checkbox"/> GNSS 測算高程 <input type="checkbox"/> 全測站引測 <input type="checkbox"/> 直接水準	
點位種類	<input checked="" type="checkbox"/> 鋼釘 <input type="checkbox"/> 角點 <input type="checkbox"/> 油漆 <input type="checkbox"/> 其他		大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採 TWHYGEO2014 模式化算	
測設單位	詮華國土測繪有限公司				
施測人員及日期	陳振聰 / 110年03月		內檢人員及日期	朱廣文 / 110年04月	
點位說明 (交通路線)	由宜蘭英士沿台7往名池方向行至里程74K+640處；點位於左側路邊。				
位 置 圖			影 像		
					
點位現地遠照			點位現地近照		
 點名： 點號：53-0105C 日期：110.4.20 單位：詮華國土測繪有限公司 人員：陳振聰					
說明與備註：					

圖 3-5、檢核點點之記

## 第四章、空載LiDAR作業

空載雷射掃瞄之作業流程，主要可分為五個階段，分別為飛航掃瞄規畫、空中資料掃瞄、原始點雲解算、點雲分類及成果產出，其相關作業流程如圖4-1所示

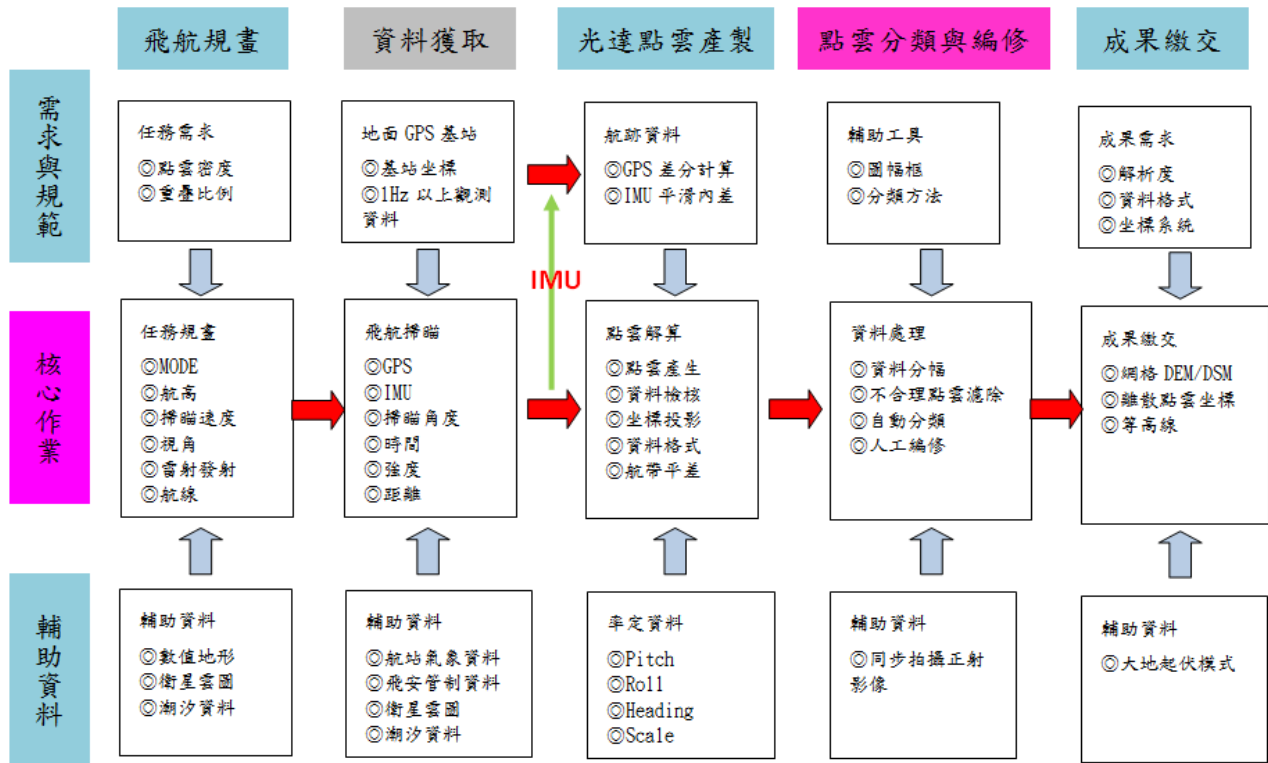


圖4-1、空載LiDAR作業流程圖

### 4.1 率定作業

空載光達應用雷射波脈衝進行掃瞄，記錄各反射訊號回波值，藉以求出反射訊號之距離，搭配飛行載具上之GNSS及掃瞄儀上之IMU，以動態定位方式獲取掃瞄點位之三維坐標並求得姿態參數。因此定位系統(GNSS)與定向系統(IMU)之效能將影響光達系統掃瞄精度，為了確保光達掃瞄品質，儀器經拆卸後或每隔一年皆需率定校正以消除系統誤差。校正程序需符合內政部「LiDAR測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)」(內政部，2005)或原廠技師建議(Riegl VQ1560)，率定作業分為GNSS天線及IMU之位置偏差量(Lever Arm)及視準率定(Boresight angles)，率定示意如圖4-2所示。

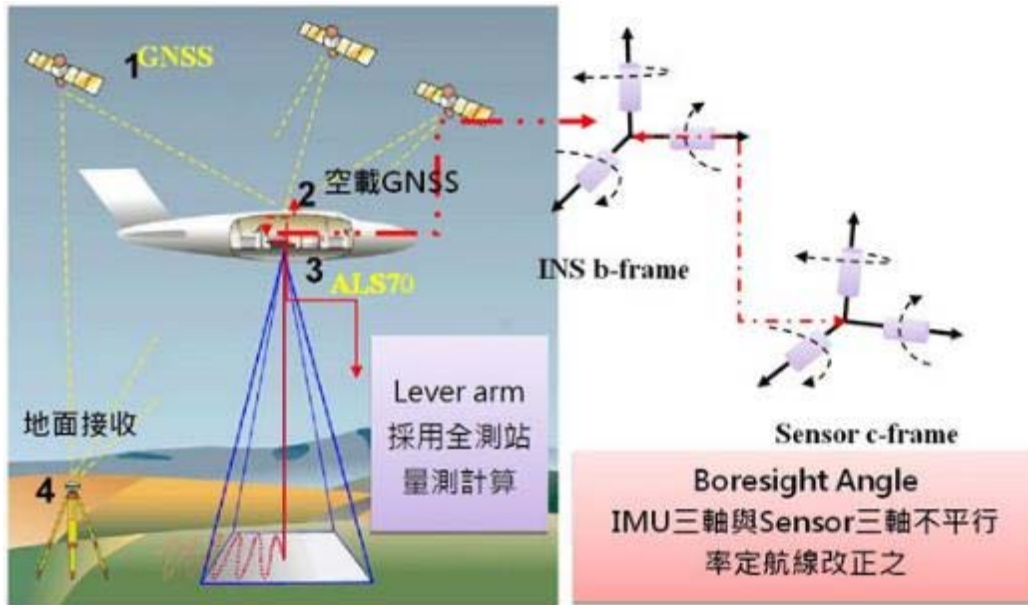


圖 4-2、空載光達率定示意圖

#### 4.1.1 率定場地地點與規格

VQ1560II率定時間為110年9月16日，校正程序需符合內政部「LiDAR測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)」(內政部，2005)或原廠技師建議(Leica-Geosystems, 2013)，本次率定場設置依照原廠技師建議設置，率定場內地表坡度平緩且植被覆蓋率小於10%，且具有易辨識之大型建物等明顯特徵，並設置於田中車站附近。

Q780率定時間為110年3月15日以及110年5月12日，執行位置分別為土城工業區以及南崗工業區，兩台儀器相關率定場報告詳附件四-儀器TAF認證實驗室檢校及率定報告。

#### 1. GNSS 天線及 IMU 之位置偏差量(Lever Arm)

GNSS 與IMU 之位置偏差量又稱Lever Arm，採用全測站量測計算，實際作業如圖4-3，量測1~8位置求出系統之轉換參數，並於解算飛航軌跡前輸入，軌跡解算後須檢核其三軸(XYZ)之殘差是否穩定且近似於0，若仍有偏差則須進行修正至完全去除為止，本次量測結果分別為X軸-1.369m、Y軸0.010m、Z軸-1.153m。



圖 4-3、Lever Arm 量測作業

## 2. 視準率定(Boresight angles)

校正雷射掃瞄投影中心與IMU中心的三軸旋轉角差值(PITCH、ROLL、HEADING)以及Range Correction校正，校正方法為實際飛行掃瞄作業。率定場設置選擇於彰化縣田中鎮，面積約1.5平方公里，並有多處易辨識之建物如田中車站、田中國小等作為建物率定場。飛航航線依原廠技師建議共計6條航線，並飛行兩條確認飛行航線確保成果品質，率定場位置如圖4-4所示。

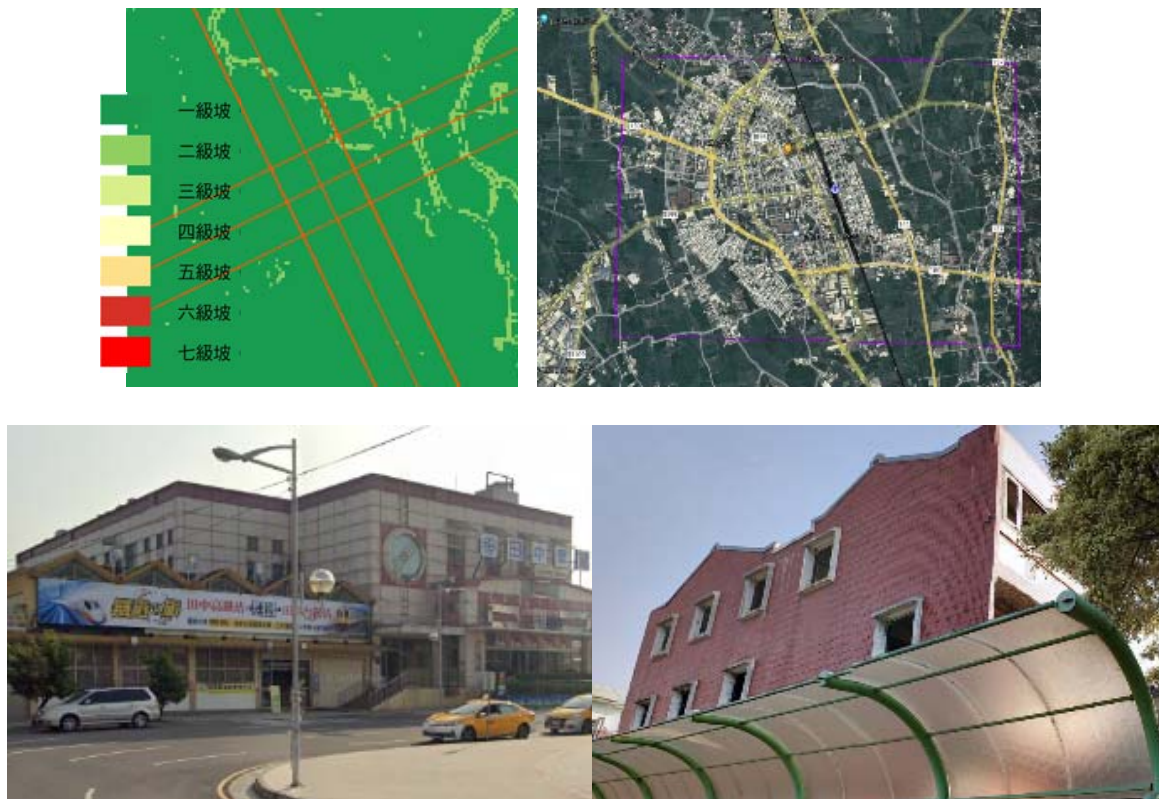


圖 4-4、彰化田中鎮率定場

### 3. 航線規劃

依據原廠建議規劃，相鄰航帶重疊60%以上，且由相反方向飛行，本率定場採用6條正規(編號1~6)，航高為900公尺，以及另外飛行2條確認航線(編號7~8)，航高為1050公尺，雷射脈衝頻率皆為2000Hz，單條航帶點密度皆大於40點/平方公尺，航線規劃設計如表4-1。

表4-1、航線規劃設計

項次	項目	內容
1	航高	900 公尺 (航線 1~航線 6) 1050 公尺 (航線 7、8)
2	雷射脈衝頻率	2000Hz
3	點雲密度	大於 40 點/平方公尺
4	正規航線側向重疊率	大於 60%

### 4. 飛行時間

本率定場正規航線以及確認航線飛行時間為 110 年 9 月 16 日 07:14~8:40，航攝記錄如表 4-2 所示。

表 4-2、飛行作業時間

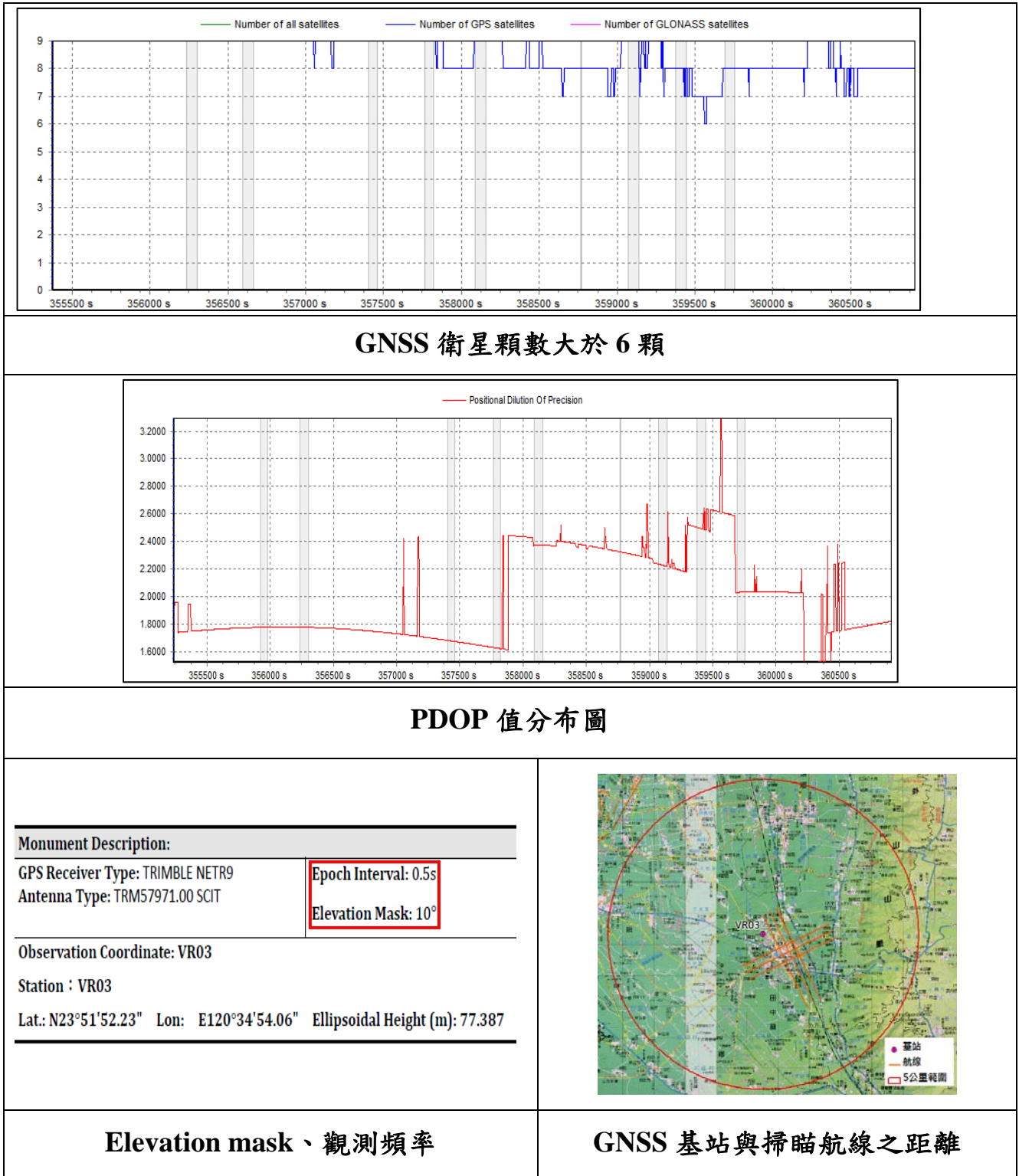
航線編號	GPS 高度(呎)	航向(度)	航速(kts)	PRR(khz)	掃描頻率(Hz)	FOV(度)	航速(kts)	備註
8	3600	150	94	2000	25	58	94	確定飛航
7	3600	330	95	2000	25	58	95	確定飛航
1	2953	150	96	2000	300	58	96	正規航線
2	2953	330	98	2000	300	58	98	正規航線
3	2953	150	98	2000	300	58	98	正規航線
4	2953	60	96	2000	300	58	96	正規航線
5	2953	240	95	2000	300	58	95	正規航線
6	2953	60	97	2000	300	58	97	正規航線

### 5. GNSS 精度評估

GNSS 品質好壞影響 LiDAR 成果精度，因此可藉由衛星顆數、接收衛星高度仰角、接收頻率、飛航軌跡解算正反算差值作為評估 GNSS 品質良莠與否；表 4-3 即為本次率定作業 GNSS 成果圖。



表 4-3、GNSS 精度相關成果圖



GNSS 衛星顆數大於 6 顆

PDOP 值分布圖

Monument Description:

GPS Receiver Type: TRIMBLE NETR9  
Antenna Type: TRM57971.00 SCIT

Epoch Interval: 0.5s  
Elevation Mask: 10°

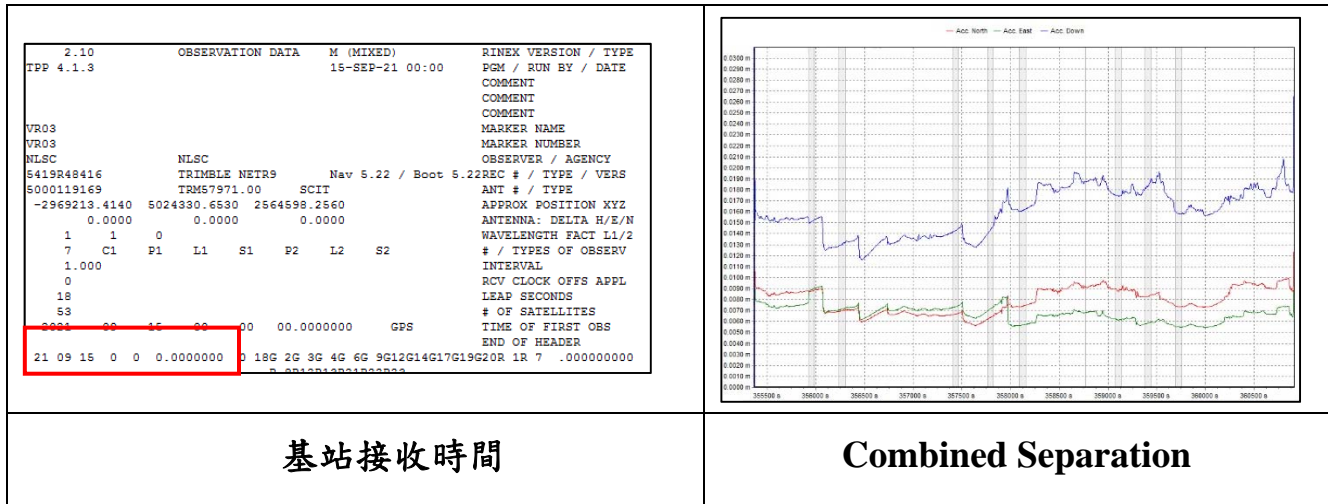
Observation Coordinate: VR03

Station : VR03

Lat.: N23°51'52.23" Lon: E120°34'54.06" Ellipsoidal Height (m): 77.387

Elevation mask、觀測頻率

GNSS 基站與掃瞄航線之距離



## 6. 率定成果

視準軸率定(Boresight Angle Calibration)是以不同之航向、角度之LiDAR掃描資料，利用共軌之點雲進行計算，並使用Riprocess軟體Scan data Adjustment解算。RiPROCESS軟體能自動偵測重疊航帶中的平面狀物體（如斜屋頂、道路...等）資料進行共軌匹配，並且加入率定場布設之高程控制點，提升絕對位置之精度，以高自動化的方式求取IMU偏移值之系統誤差值。率定作業前成果如圖4-5所示。

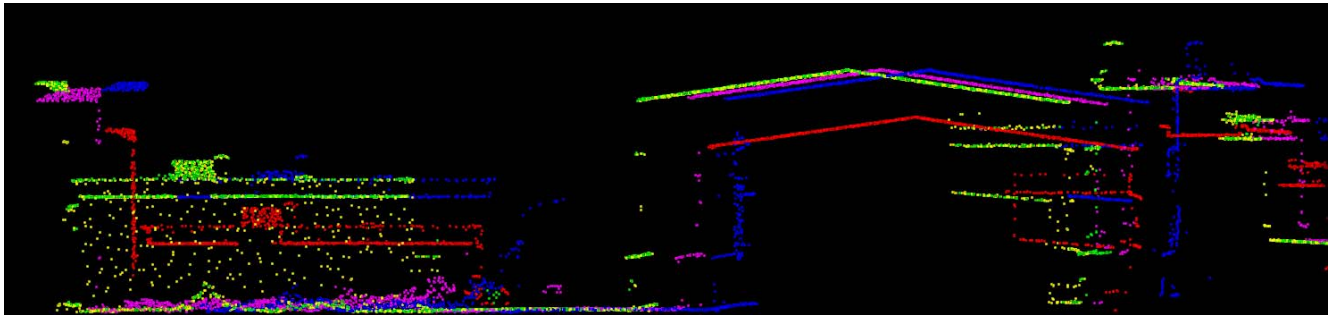


圖 4-5、率定前點雲資料

使用最小二乘法模式進行資料解算，檢視解算後誤差分布直方圖以及誤差方向分布圖，如誤差分布接近高斯常態分布曲線，誤差方向分布趨於穩定無特定方向之誤差，則視為平差率定解算完成，本率定場共計重覆解算5次後，得到率定結算成果如圖4-6以及表4-4所示

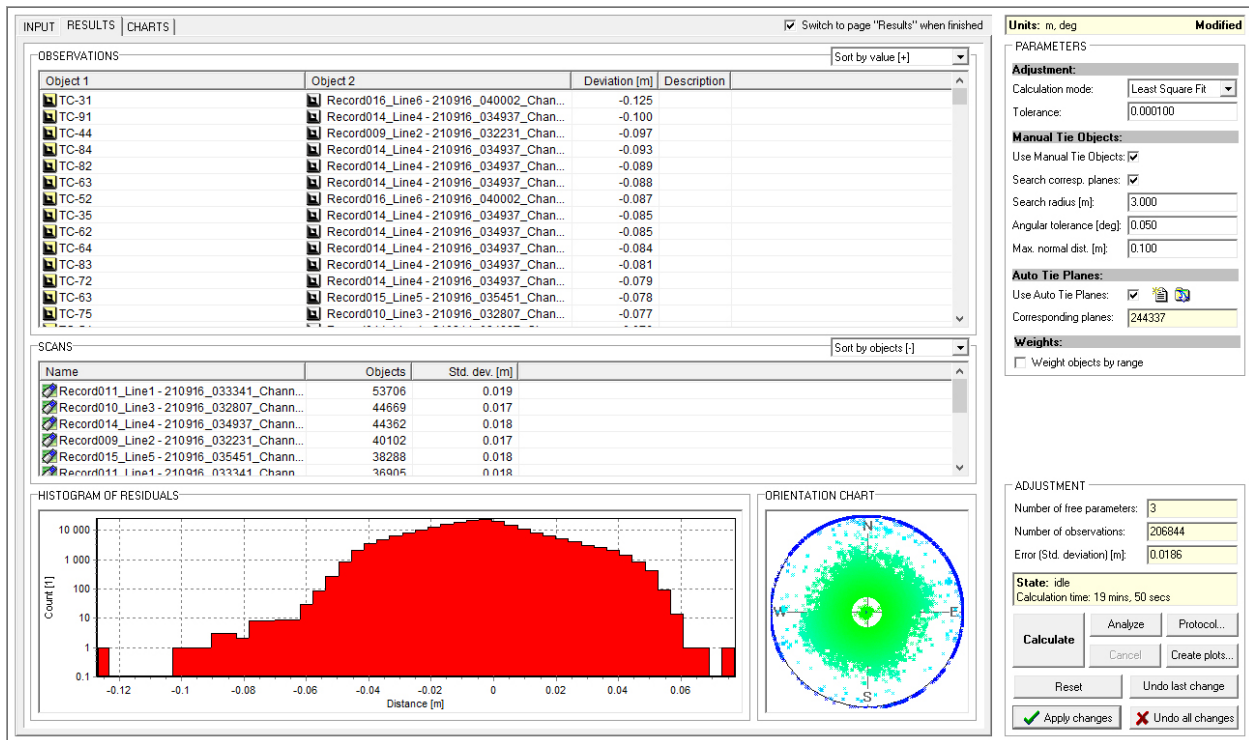


圖4-6、率定解算成果

表4-4、Boresight Angle率定值

儀器名稱	參數項目	第一次率定成果	完成率定參數
Scanner 1	Roll	-0.11105	-0.13943
	Pitch	0.15132	0.21568
	Yaw	0.0134	0.00251
	X	0	0
	Y	0	0
	Z	0.174	0.174
Scanner 2	與Scanner 1連動，僅需針對Scanner 1進行解算		

應用上述率定成果，將高程控制資料加入正規航帶1~6的平差解算，並重新計算各航帶平差作業解算，確認各航帶相對位置如圖4-7以及高程精度皆無系統性誤差。

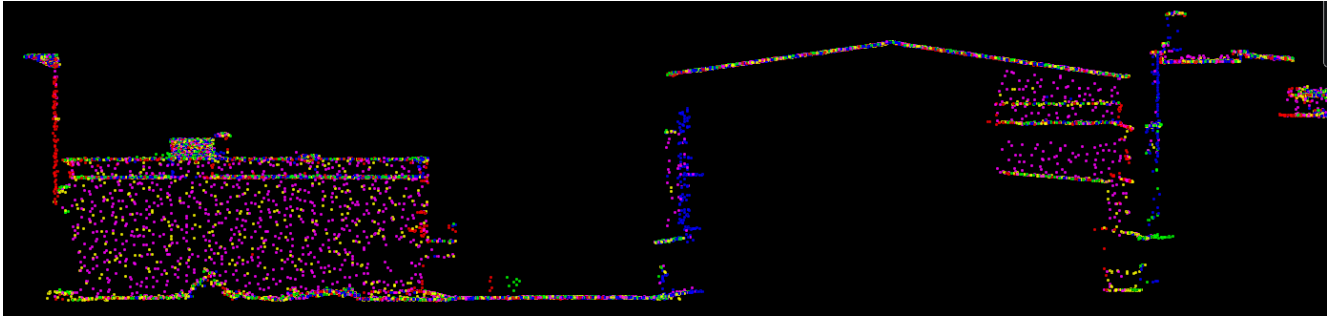


圖4-7、率定後平面成果

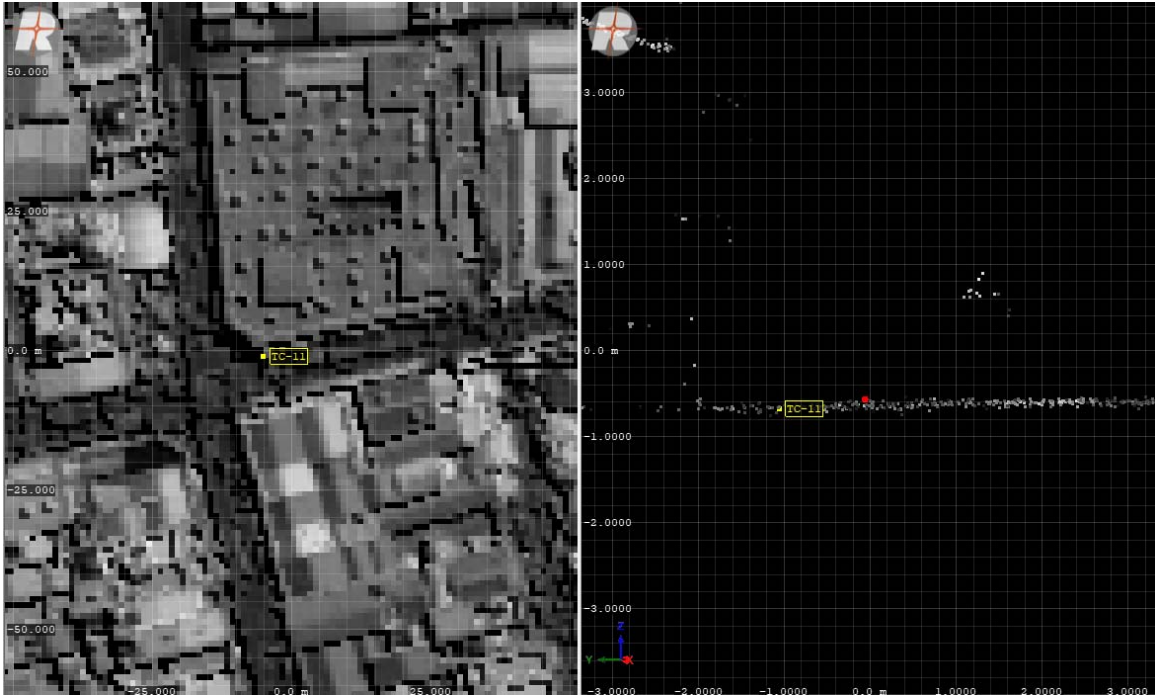


圖4-8、平差解算後控制高程與點雲相對關係

表 4-5、光達系統率定高程分析統計表(正規飛行)

點號	控制點高程	點雲高程	高程誤差	點號	控制點高程	點雲高程	高程誤差
TC-11	66.457	66.471	0.014	TC-55	69.05	69.043	-0.007
TC-13	66.49	66.506	0.016	TC-61	67.65	67.678	0.028
TC-14	66.773	66.764	-0.009	TC-62	68.671	68.651	-0.02
TC-15	67.313	67.302	-0.011	TC-63	68.595	68.589	-0.006
TC-21	66.703	66.72	0.017	TC-64	68.432	68.467	0.035
TC-23	67.124	67.128	0.004	TC-65	68.735	68.746	0.011
TC-24	67.482	67.499	0.017	TC-71	68.685	68.739	0.054
TC-25	67.144	67.151	0.007	TC-72	68.923	68.902	-0.021
TC-31	67.239	67.243	0.004	TC-73	69.58	69.586	0.006
TC-32	68.732	68.741	0.009	TC-74	71.724	71.705	-0.019

點號	控制點高程	點雲高程	高程誤差	點號	控制點高程	點雲高程	高程誤差
TC-33	67.523	67.508	-0.015	TC-75	73.052	73.057	0.005
TC-34	67.578	67.575	-0.003	TC-81	68.874	68.868	-0.006
TC-35	67.684	67.696	0.012	TC-82	69.115	69.084	-0.031
TC-41	67.401	67.413	0.012	TC-83	68.996	68.997	0.001
TC-42	67.508	67.53	0.022	TC-84	70.44	70.447	0.007
TC-43	68.557	68.575	0.018	TC-85	70.54	70.562	0.022
TC-44	68.571	68.562	-0.009	TC-91	69.353	69.354	0.001
TC-45	68.69	68.685	-0.005	TC-92	69.731	69.755	0.024
TC-51	67.552	67.542	-0.01	TC-93	69.671	69.673	0.002
TC-52	67.729	67.715	-0.014	TC-94	70.476	70.459	-0.017
TC-53	67.778	67.776	-0.002	TC-95	69.957	69.969	0.012
TC-54	68.772	68.791	0.019				
最大差異量(m)	0.054		平均差異量(m)	0.014			
最小差異量(m)	-0.031		中誤差(m)	0.017			

## 7. 確認飛行精度評估

本次率定後，為確保率定參數正確無誤，於110年09月16日進行確認飛行(verification)之動作，確認飛行航線與正規航線為不同航高之點雲。將確認航線與地面高程控制點進行比較，比較表如表4-6，確認飛行點雲間無系統物差，如圖4-9。

表 4-6、光達系統率定高程分析統計表(確認飛行)

點號	控制點高程	點雲高程	高程誤差	點號	控制點高程	點雲高程	高程誤差
TC-12	66.49	66.505	0.015	TC-61	67.65	67.639	-0.011
TC-13	66.49	66.486	-0.004	TC-62	68.671	68.65	-0.021
TC-14	66.773	66.766	-0.007	TC-63	68.595	68.592	-0.003
TC-15	67.313	67.309	-0.004	TC-64	68.432	68.46	0.028
TC-21	66.703	66.701	-0.002	TC-65	68.735	68.733	-0.002
TC-22	66.984	66.985	0.001	TC-71	68.685	68.657	-0.028
TC-23	67.124	67.137	0.013	TC-72	68.923	68.921	-0.002
TC-24	67.482	67.497	0.015	TC-73	69.58	69.553	-0.027
TC-25	67.144	67.151	0.007	TC-74	71.724	71.691	-0.033

點號	控制點高程	點雲高程	高程誤差	點號	控制點高程	點雲高程	高程誤差
TC-32	68.732	68.734	0.002	TC-75	73.052	73.048	-0.004
TC-33	67.523	67.518	-0.005	TC-81	68.874	68.86	-0.014
TC-34	67.578	67.589	0.011	TC-82	69.115	69.103	-0.012
TC-35	67.684	67.657	-0.027	TC-83	68.996	68.984	-0.012
TC-41	67.401	67.404	0.003	TC-84	70.44	70.423	-0.017
TC-42	67.508	67.534	0.026	TC-85	70.54	70.517	-0.023
TC-43	68.557	68.55	-0.007	TC-91	69.353	69.338	-0.015
TC-44	68.571	68.543	-0.028	TC-92	69.731	69.712	-0.019
TC-45	68.69	68.659	-0.031	TC-93	69.671	69.65	-0.021
TC-51	67.552	67.554	0.002	TC-94	70.476	70.47	-0.006
TC-52	67.729	67.742	0.013	TC-95	69.957	69.949	-0.008
TC-54	68.772	68.773	0.001				
TC-55	69.05	69.07	0.02				
最大差異量(m)		0.028	平均差異量(m)				-0.006
最小差異量(m)		-0.033	中誤差(m)				0.016

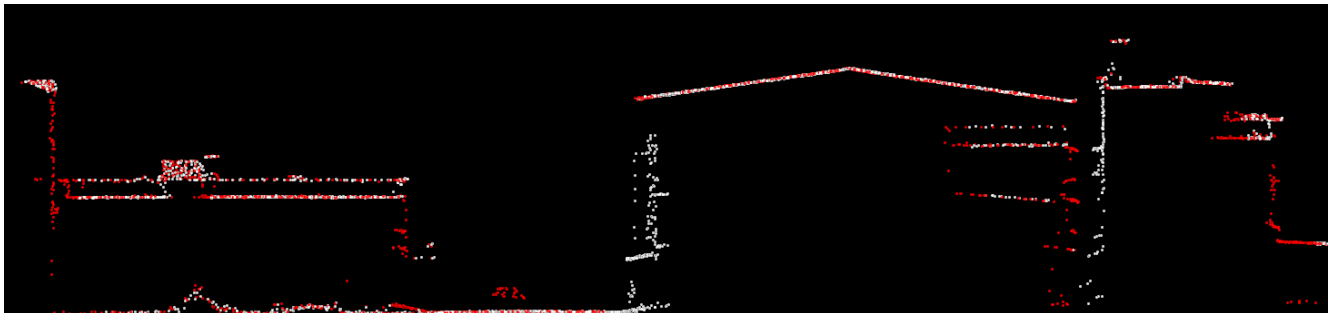


圖4-9、確認飛行率定成果

## 4.2 飛航掃瞄成果

### 1. 飛航掃瞄行前作業確認

每次飛航任務掃瞄前，皆需進行飛航作業準備及確認，以確保飛航掃瞄資料的品質，確認作業如下：

(1) 飛航計畫確認：將事先規劃好之飛航掃瞄參數輸入導航系統中，飛航員及航拍儀器操作員依照規畫之路徑飛行並逐條拍攝資料，並且紀錄每次飛行拍攝之相關成果如表 4-7 所示。

表 4-7、飛航掃瞄紀錄表

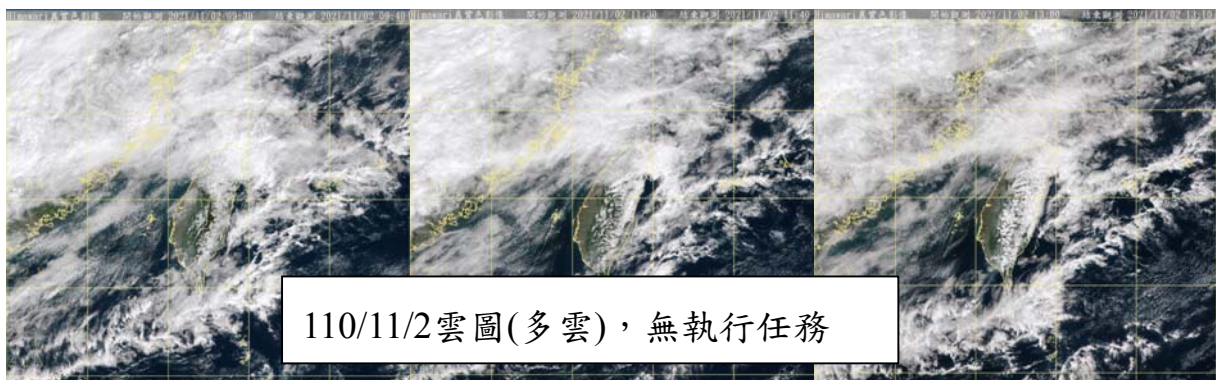
德安航空公司航空攝影記錄表											
委託機關: 詮華						航拍日期: 110.11.11					
預劃執行 A02, A05		航拍設備			航空器		飛行人員		領航人員		張智遠
		<input checked="" type="checkbox"/> VQ1560 <input type="checkbox"/> AOS ONE <input checked="" type="checkbox"/> IXU <input type="checkbox"/> DMCIII					<input checked="" type="checkbox"/> B55507 <input type="checkbox"/> B55509		劉樹人		
氣溫 18		氣壓 1020		SSD硬碟編號 IXU01,B1,B2		離場時間 7:50:00		到場時間 10:06:00		共耗時 2:16:00	
				剩餘片量							
航線編號	GPS高度(呎)	航向(度)	航速(kts)	攝影時間(起)	攝影時間(迄)	PRR(khz)	SR(ips)	FOV(度)	相片數	資料夾名稱或片號	備註
A02											To End
50	7874	181	96	0834	0842	170	47	100	163		
49	7874	1	94	0845	0852	170	47	100	158		
48	7874	181	99	0855	0903	170	47	100	144		
47	7874	1	98	0905	0912	170	47	100	131		
A05											
81	9843	91	110	0923	0935	155	52	100	118		0.5哩有碎雲

(2) 儀器安裝：VQ1560II 光達儀器與 Phase One IXU-1000(焦距 70mm)相機整併於德安航空載具，Q780 光達儀器與 Phase One IXU-1000(焦距 50mm)相機整併於自強航空載具。在儀器安裝時皆位在飛行載體上相同位置，以降低系統誤差，其安裝相關位置示意如圖 4-10。



圖 4-10、光達儀器與航拍相機安裝(左:VQ1560II；右:Q780)

(3) 潮汐確認：可參考潮汐預報、中央氣象局衛星雲圖、航站氣象資料以及自行架設之監視器畫面做為優先飛航作業之參考依據，雲圖如圖 4-11 所示。



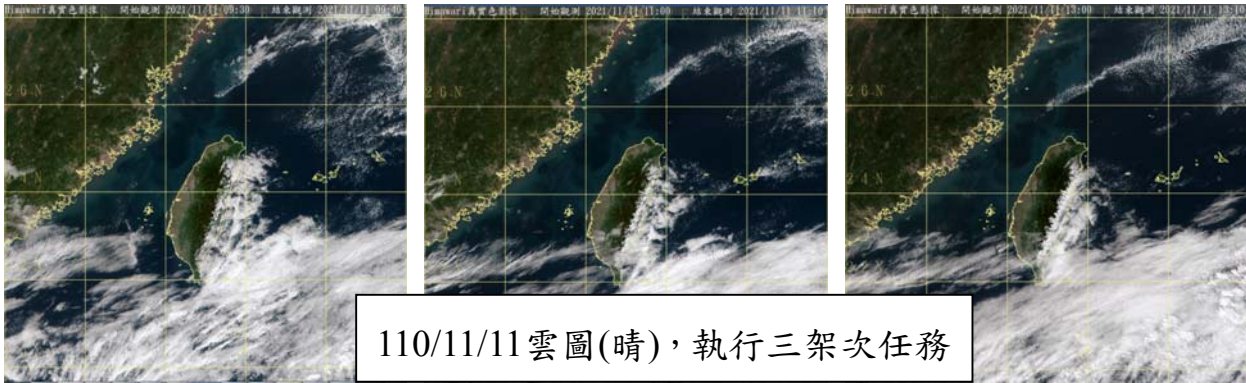


圖4-11、中央氣象局衛星雲圖

## 2. 飛航掃瞄拍攝作業

飛機在起飛前與降落時繞行8字型飛行，以初始化GNSS與IMU系統。當飛機升空後，空載光達資料掃瞄儀操作人員應依儀器標準作業程序操作設備逐條獲取原始光達掃瞄資料，並隨時監視螢幕，確認掃瞄期間是否有雲以及資料缺漏，並逐條航線記錄，如圖4-12。



圖4-12、即時監控航拍狀況

## 3. 飛航掃瞄成果

第3作業區有效架次共35架次，總計約3,622公里(含正規航線、潮間帶航線、交叉航線，另外補雲航線約135公里，各架次執行時間、基站接收時間以及拍攝的航帶如表4-8所示，航線拍攝月份如圖4-13、航線掃瞄月份所示。

表4-8、測區各架次掃瞄執行與基站接收時間

第三作業區航帶掃瞄日期		
架次編號	執行時間	拍攝航帶
P11M11-2021051508	2021/5/15 08:23~09:57	1、2、3、1r1、2r1、4
P11M11-2021051613	2021/5/16 13:50~15:14	5、12、13、14、15、16、17
P11M11-2021052409	2021/5/24 09:27~14:24	6、800、801、802



第三作業區航帶掃描日期		
架次編號	執行時間	拍攝航帶
P11M11-2021052713	2021/5/27 13:17~13:28	6r2
P11M11-2021052808	2021/5/28 08:42~10:13	7、8、9、10、11、18
P11M11-2021060310	2021/6/3 10:10~10:47	402、401、401r1
P11M11-2021061108	2021/6/11 08:56~09:26	19、20、21
P11M11-2021061208	2021/6/12 08:36~08:57	22、23
P11M11-2021070308	2021/7/3 08:23~08:47	46、24
P11M11-2021082709	2021/8/27 09:31~09:43	44
P11M11-2021082907	2021/8/29 07:49~08:35	28、27、26、25
P10M03-2021090707	2021/9/7 07:22~08:32	94、107、95、106
P10M03-2021090808	2021/9/8 08:01~09:10	96、105、97、104
P10M03-2021090908	2021/9/9 08:13~09:20	98、103、99、102
P10M03-2021091007	2021/9/10 07:52~08:48	100、102、80、79
P10M03-2021092808	2021/9/28 08:24~09:11	93、78、77、76
P11M11-2021092807	2021/9/28 07:24~08:27	29、30、31、32、33
P10M03-2021093008	2021/9/28 08:25~09:34	407、901、902、408、108、109、110、111
P10M03-2021100308	2021/10/3 08:13~09:07	123、122、121、120、119、118、117
P11M11-2021102712	2021/10/27 12:43~13:34	952、953、954、955、34、35
P11M11-2021110112	2021/11/01 11:00~11:26	46、45
P10M03-2021110508	2021/11/05 08:32~09:23	116、115、114、113、112、410、409
P10M03-2021110608	2021/11/06 08:41~09:38	56、55、54、53、52、51
P10M03-2021111108	2021/11/11 08:34~09:35	50、49、48、47、81
P10M03-2021111111	2021/11/11 11:16~12:24	63、64、65、66、67、68、69、70、71、72
P10M03-2021111114	2021/11/11 14:29~15:24	73、74、75、62、61、60
P11M11-2021111609	2021/11/16 09:49~11:09	951、950、36、37、38、39、40
P11M11-2021111708	2021/11/17 08:30~09:57	44、43、42、41、40、39
P10M03-202111209	2021/11/21 09:26~10:34	59、57、58、903、404、405、406、403
P10M03-2021120308	2021/12/03 08:08~09:25	82、83、84、85、86
P11M11-2021120314	2021/12/03 14:24~14:39	956、957
P10M03-2021120410	2021/12/04 10:12~11:10	87、88、89、90
P10M03-2021120412	2021/12/04 12:42~13:11	91、92
P10M03-2021122908	2021/12/29 08:46~09:32	910、908、909、907、906、905、904
P10M03-2022011609	2022/01/16 09:27~10:03	910、908、909、907、906、905、904(本架次為補拍影像)
點雲:1-123(正規航線)、800~802(潮間帶)、 401-410(交叉航線)、901-910、950-957(補雲航線)		

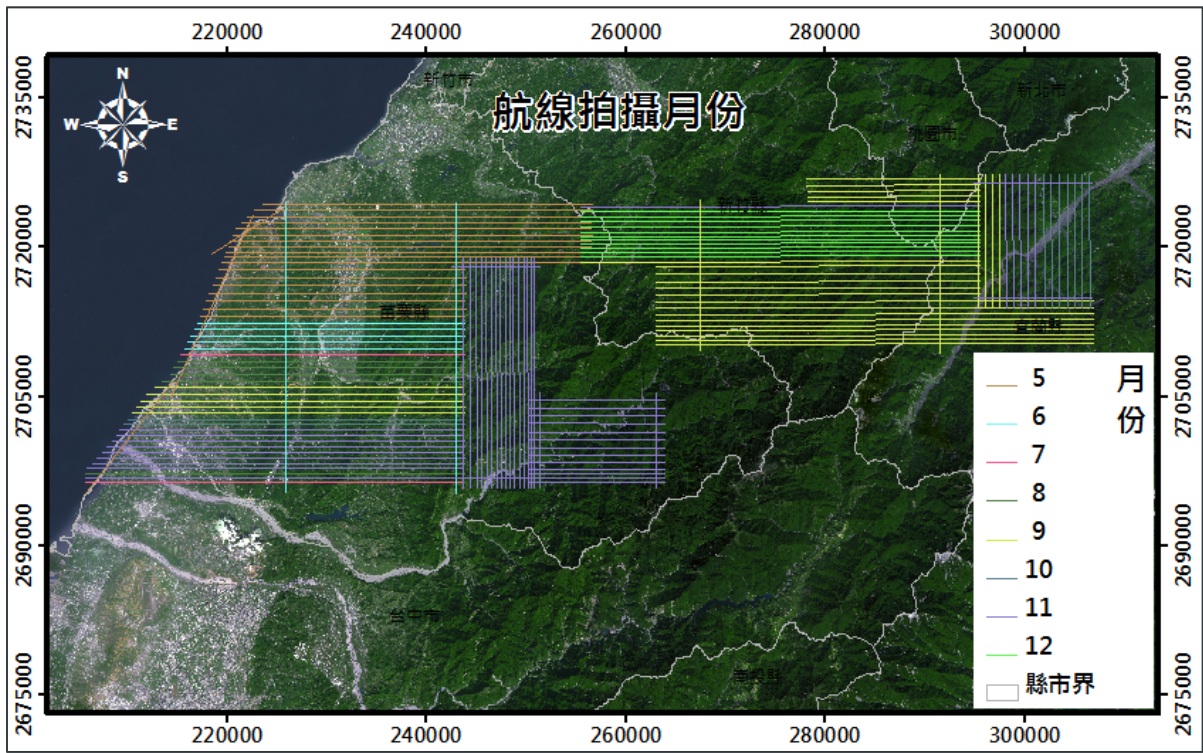


圖4-13、航線掃瞄月份

第3作業區使用儀器分別有Riegl Q780(自強航空拍攝)以及VQ1560II(德安航空拍攝)，儀器分布如圖4-14所示。

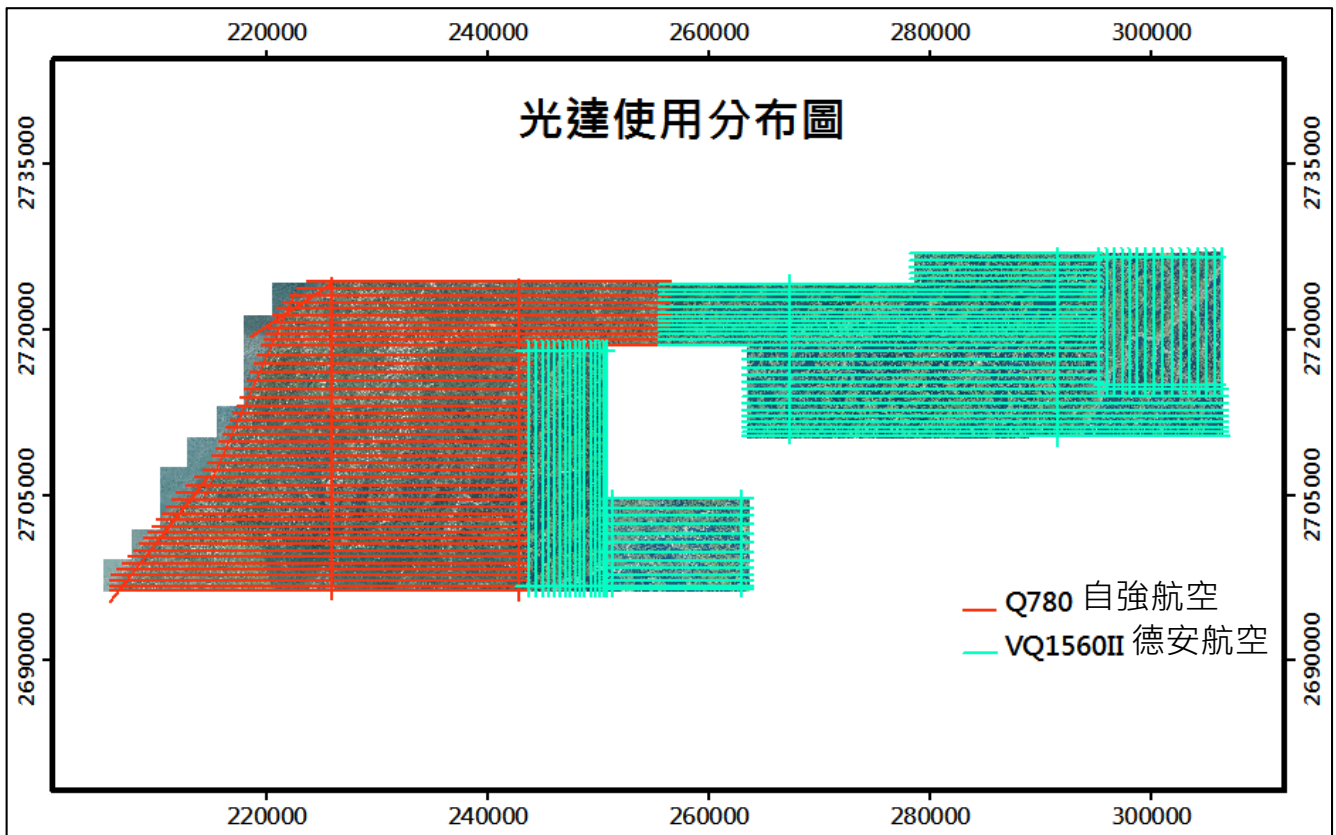


圖4-14、航空載具及光達儀器使用分布

#### 4. GNSS 資料接收及幾何條件

基站 GPS 測量起始時間應比光達掃瞄系統之 GPS 測量起始時間早 10 分鐘，且關機要比光達掃瞄系統之 GPS 測量關機時間晚 10 分鐘，如 P10M03-2021120308 架次光達掃瞄系統 GNSS 開機時間為 2021/12/03 08:08~2021/12/03 09:25，GPS 開機時間為 2021/12/3 07:00~2021/12/3 09:59 (Local Time = GMT + 8h)，如圖 4-15 可知 GPS 基站接收訊號時間符合本次規範。

2.11		OBSERVATION DATA				G (GPS)				RINEX VERSION / TYPE					
teqc	2018Jun8					20211214 01:51:52UTC				PGM / RUN BY / DATE					
PLA2										MARKER NAME					
PLA2										MARKER NUMBER					
CWB/Taiwan		CWB/Taiwan								OBSERVER / AGENCY					
5739R51144		TRIMBLE NETR9				5.44				REC # / TYPE / VERS					
		TRM115000.00				NONE				ANT # / TYPE					
		-2997088.3764	4971001.5058	2637189.1343						APPROX POSITION XYZ					
		0.0000	0.0000	0.0000						ANTENNA: DELTA H/E/N					
		1	1							WAVELENGTH FACT L1/2					
		8	L1	L2	C1	C2	P1	P2	S1	S2	# / TYPES OF OBSERV				
		1.0000									INTERVAL				
											LEAP SECONDS				
		2021	12	2	23	0	0.000000				TIME OF FIRST OBS				
		2021	12	3	1	59	59.000000				TIME OF LAST OBS				
												END OF HEADER			

圖 4-15、GNSS 基站接收時間

選取衛星接收品質透空度佳(仰角10度以上無遮蔽)，且基站與航線範圍皆小於20公里，如圖4-16所示(P10M03-2021120308架次)。

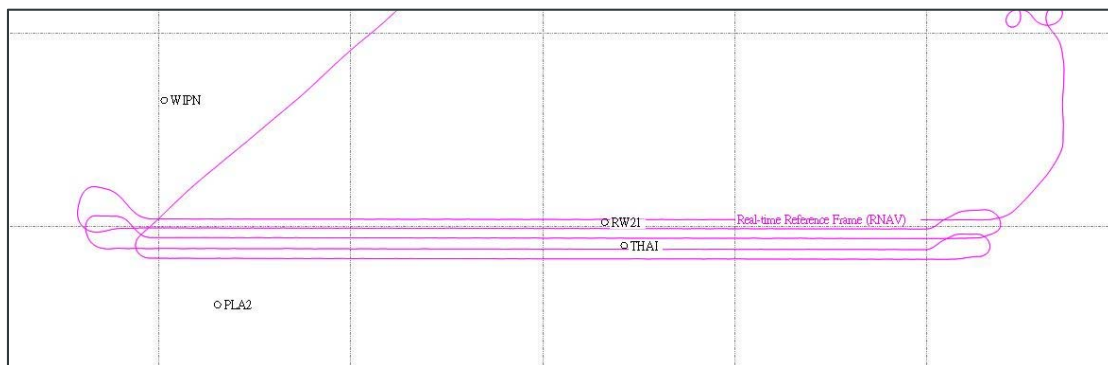


圖4-16、基站與航線軌跡距離

地面GNSS基站接收儀需為雙頻儀器，數據每秒至少接收一筆如圖4-17。

21	12	2	23	0	0.000000	0	0	8G15G29G20G30G05G06G02G13	
110306635.834	7	85953253.796	7	20990659.148	20990659.395				
20990660.031		46.600		45.200					
115212958.149	7	89776362.129	7	21924303.117	21924303.355				
21924303.305		45.100		42.200					
113137365.917	7	88159358.27545	21529	26.375					
21529325.641		44.300		32.100					
125692845.744	6	97942601.914	6	23918	79.415	88918582.949			
23918582.574		38.900		38.900					
111280444.987	7	86712079.805	7	21175	66.469	21175966.160			
21175966.523		47.600		44.300					
126627550.509	5	98670660.056	6	240963	39.500	2409639.500			
24096403.172		32.600		36.100					
111134989.772	7	86598741.26746	21148299.539						
21148298.227		47.500		40.200					
105085408.725	7	81884697.91846	19997081.719						
19997081.238		45.300		39.500					
21	12	2	23	0	1.000000	0	0	8G15G29G20G30G05G06G02G13	

間距1秒1Hz

圖4-17、GPS基站接收頻率

同時須檢核飛航掃瞄時基站之PDOP值，其值需小於3，而飛航時定位光達掃瞄成果之GNSS原始PDOP值不得大於4，如圖4-18、圖4-19所示(架次P10M03-2021120308之成果)°  $PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2}$  本次作業執行成果皆符合規定。

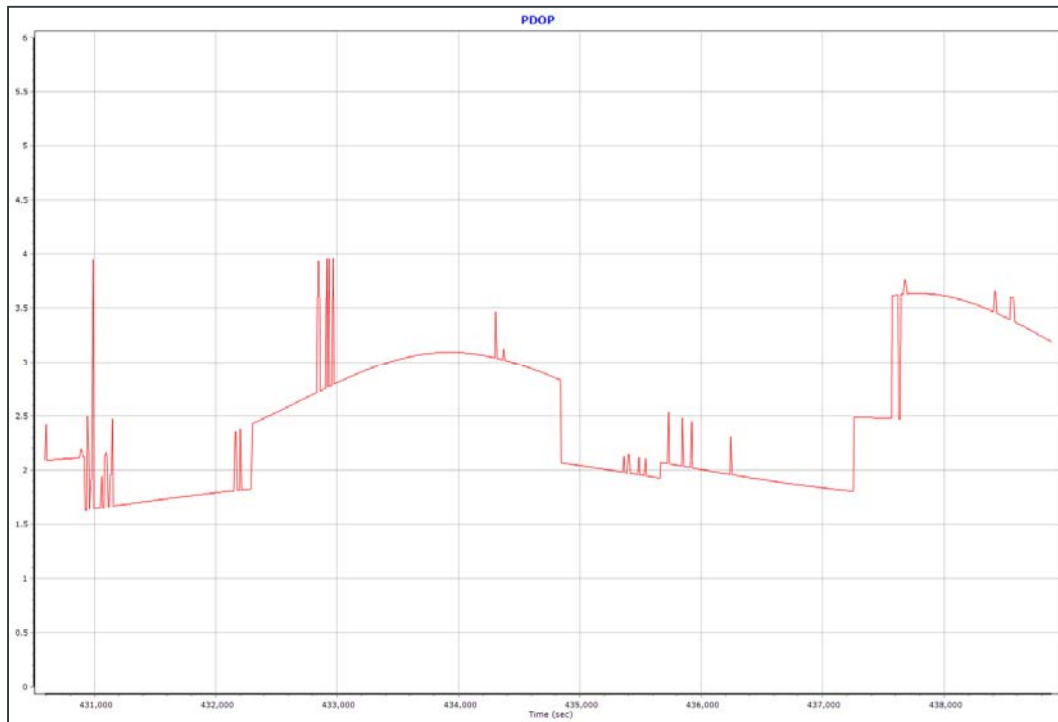


圖4-18、基站PLA2\_PDOP值

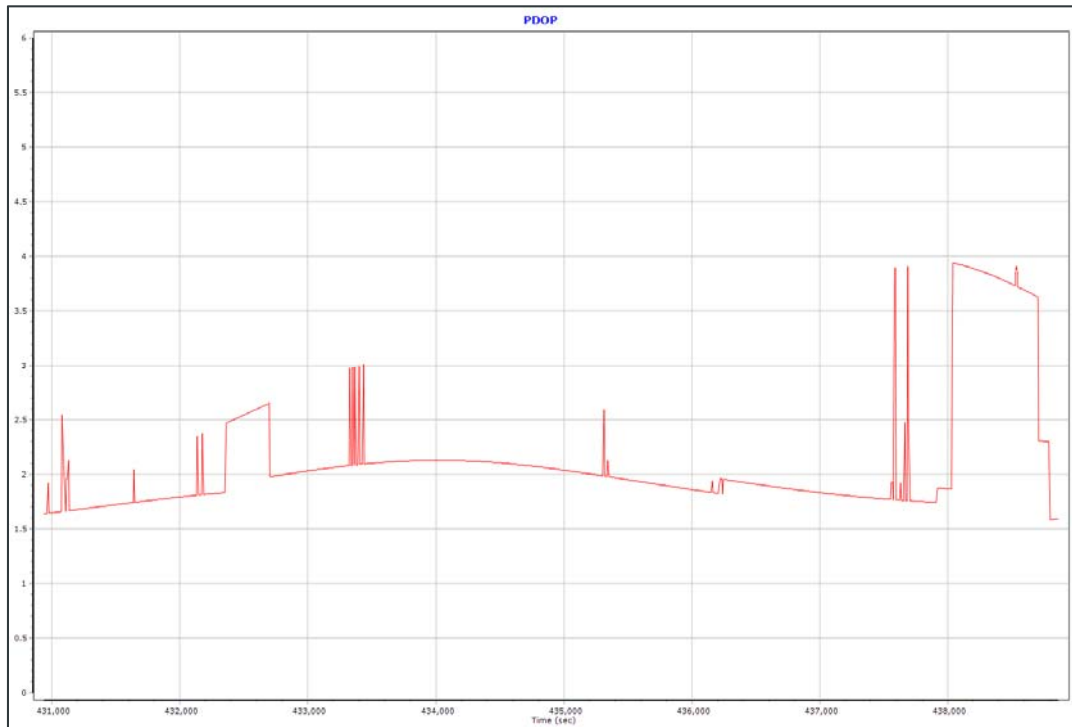


圖4-19、機載GNSS\_PDOP值

### 4.3 控制測量

空載LiDAR資料前處理作業包括原始資料整理備份、飛航掃瞄航跡POS解算及LiDAR原始點雲產出，圖4-20為點雲解算產製處理流程圖。

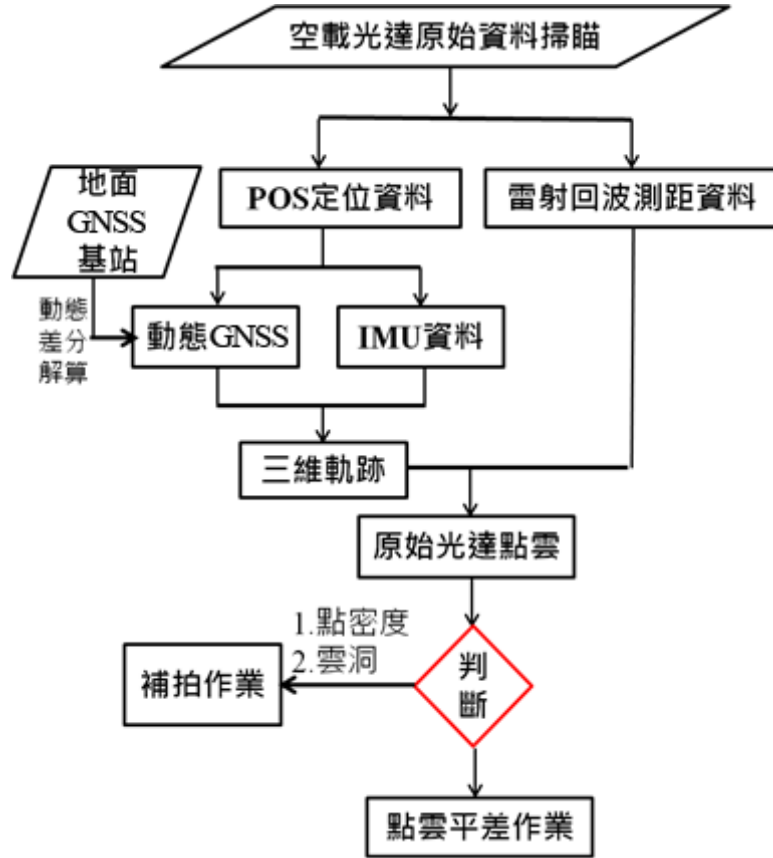


圖4-20、空載光達掃瞄資料作業流程圖

#### 1. 資料整理備份

蒐集彙整地面 GNSS 固定基站資料，包括自架站、氣象局、測繪中心以及地調所資料，下載 LiDAR 載體動態 GNSS 與 IMU 資料以及掃瞄原始資料。

#### 2. LiDAR 掃瞄飛航軌跡 POS 解算

利用 POSpac MMS 對原始 GNSS/IMU 資料解壓縮，以利後續軟體計算。解壓的結果含解壓縮記錄(Extract Log)，可用來確認飛行之 GNSS 時間、導航過程好壞及資料量是否有縫隙(Gaps)等資訊。

將地面 GNSS 基站資料及飛機移動站之 GNSS 資料進行動態差分聯解，過程中需輸入地面 GNSS 基站之已知坐標值，並將 IMU 資訊及相對參考中心幾何(Lever Arm)輸入，求得光達掃瞄時掃瞄儀之瞬間位置與姿態資訊，一般稱為 SBET 航跡資料如圖4-21。

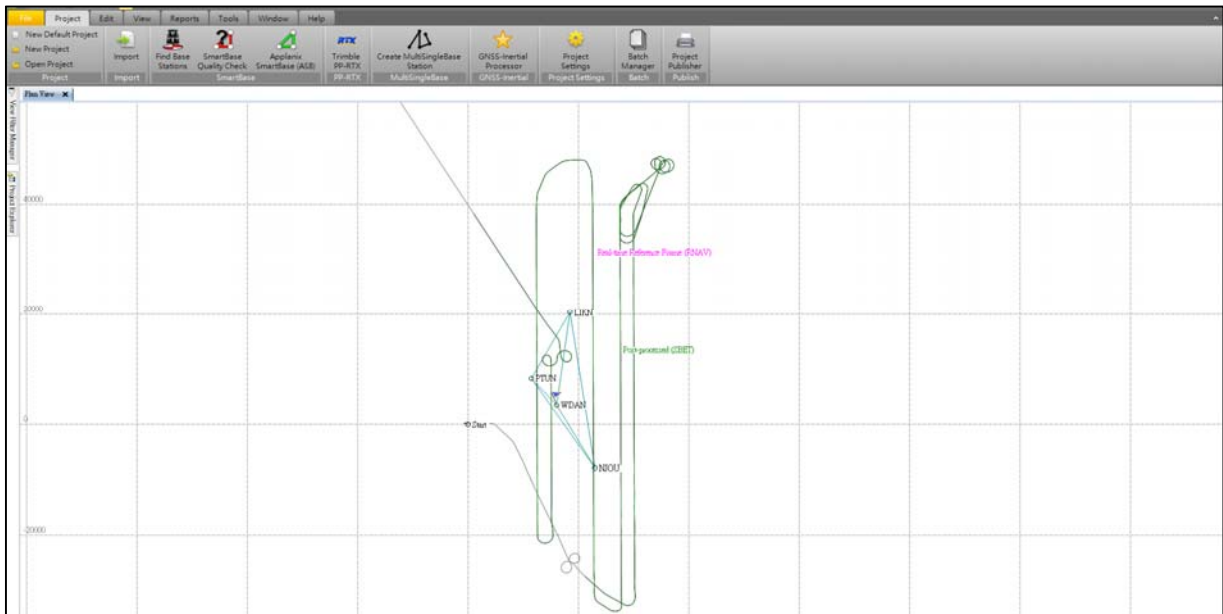


圖 4-21、飛航掃瞄軌跡解算

### 3. 點雲資料產出及檢核

結合LiDAR之POS Sbet軌跡資料與雷射掃瞄測距資料(掃瞄角與距離)，加入各項系統誤差率定參數、坐標投影參數，逐條航線求解原始點雲資料。資料格式以國際標準LiDAR資料格式(LAS)儲存，內容包含E,N,h,I及Time Stamp，圖4-22為本案飛航掃瞄成果圖。

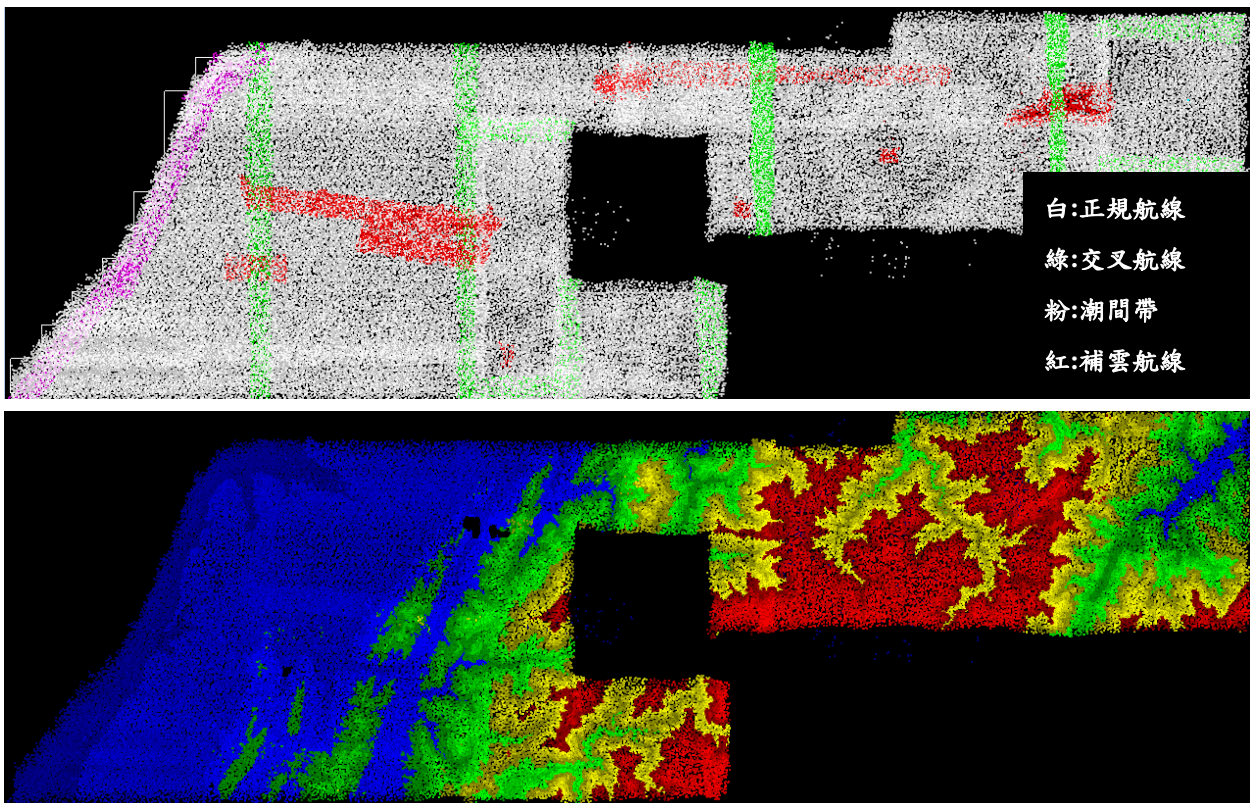
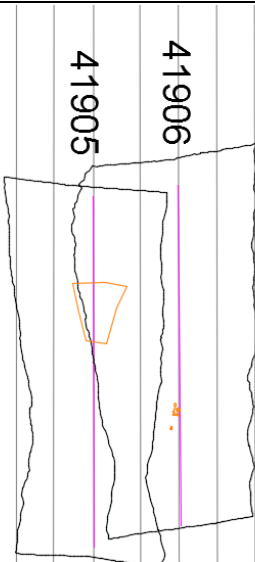
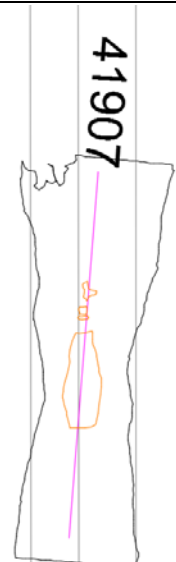




圖 4-22、本案點雲涵蓋圖

每條航線原始點雲產出後，需逐條檢驗資料品質，包括點雲密度、不合理點位、掃瞄是否有雲洞情形，並進行補拍之航線規劃，如表4-9所示。第一子測區扣除水域後測區內平均點密度為4.70點/m<sup>2</sup>，小於1.0點/m<sup>2</sup>占總比例約0.9%，介於2.0~1.0點/m<sup>2</sup>占總比例約0.4%，大於2點/m<sup>2</sup>約98.7%。第二子測區密度成果扣除水域後測區內平均點密度為6.05點/m<sup>2</sup>，小於1.0點/m<sup>2</sup>占總比例約0.0%，介於2.0~1.0點/m<sup>2</sup>占總比例約0%，大於2點/m<sup>2</sup>約100%，皆符合合約規範。

表4-9、航拍點雲之檢核

	第一子測區	第二子測區																																																
雲洞檢核	 <p> <span style="color: pink;">—</span> 補拍航線  <span style="color: grey;">—</span> 正規航線  <span style="color: orange;">—</span> 雲洞         </p>	 <p> <span style="color: pink;">—</span> 補拍航線  <span style="color: grey;">—</span> 正規航線  <span style="color: orange;">—</span> 雲洞         </p>																																																
點密度檢核	 <table border="1" data-bbox="191 1512 782 1769"> <thead> <tr> <th></th> <th>方格內點密度</th> <th>數量</th> <th>百分比</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>白</td> <td>D &gt; 2.0</td> <td>77,152</td> <td>99.1%</td> </tr> <tr> <td>紅</td> <td>2.0 &gt; D &gt; 1.0</td> <td>443</td> <td>0.6%</td> </tr> <tr> <td>黃</td> <td>1.0 &gt; D</td> <td>284</td> <td>0.4%</td> </tr> <tr> <td>藍</td> <td>水域</td> <td>90</td> <td>----</td> </tr> <tr> <td colspan="2">合計總格數</td> <td>77,969</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		方格內點密度	數量	百分比	白	D > 2.0	77,152	99.1%	紅	2.0 > D > 1.0	443	0.6%	黃	1.0 > D	284	0.4%	藍	水域	90	----	合計總格數		77,969		 <table border="1" data-bbox="798 1512 1436 1769"> <thead> <tr> <th></th> <th>方格內點密度</th> <th>數量</th> <th>百分比</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>白</td> <td>D &gt; 2.0</td> <td>112,119</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <td>紅</td> <td>2.0 &gt; D &gt; 1.0</td> <td>45</td> <td>0.0%</td> </tr> <tr> <td>黃</td> <td>1.0 &gt; D</td> <td>0</td> <td>0.0%</td> </tr> <tr> <td>藍</td> <td>水域</td> <td>84</td> <td>----</td> </tr> <tr> <td colspan="2">合計總格數</td> <td>112,248</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		方格內點密度	數量	百分比	白	D > 2.0	112,119	100.0%	紅	2.0 > D > 1.0	45	0.0%	黃	1.0 > D	0	0.0%	藍	水域	84	----	合計總格數		112,248	
	方格內點密度	數量	百分比																																															
白	D > 2.0	77,152	99.1%																																															
紅	2.0 > D > 1.0	443	0.6%																																															
黃	1.0 > D	284	0.4%																																															
藍	水域	90	----																																															
合計總格數		77,969																																																
	方格內點密度	數量	百分比																																															
白	D > 2.0	112,119	100.0%																																															
紅	2.0 > D > 1.0	45	0.0%																																															
黃	1.0 > D	0	0.0%																																															
藍	水域	84	----																																															
合計總格數		112,248																																																

針對尚未平差之點雲進行資料檢視，可快速確認點雲是否有系統性誤差(30公分以上的系統性誤差)，是否需重新進行光達率定作業。使用RiPROCESS軟體，顯色方式為點雲相對高程差，並設定誤差範圍為0.3m~3m，小於30公分會顯示為黑色，大於3公尺會顯示白色，如圖4-23所示，呈現有顏色的區域多為植被、斜



屋頂、農田或河沙洲等地物，而在道路皆為黑色的區塊。並隨機挑選建物斜屋頂區域如圖4-24，快速確認是否需要重新進行光達率定作業。

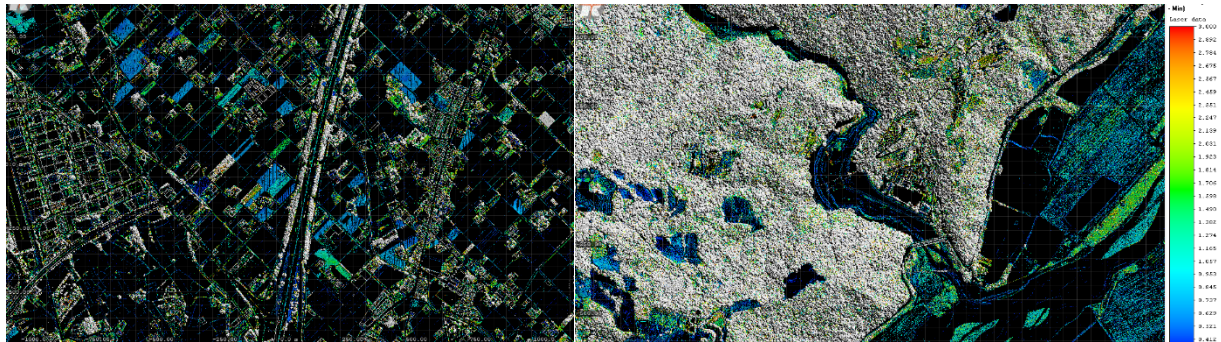


圖 4-23、原始點雲誤差檢核\_高程差顯色(左:平地；右:山區)

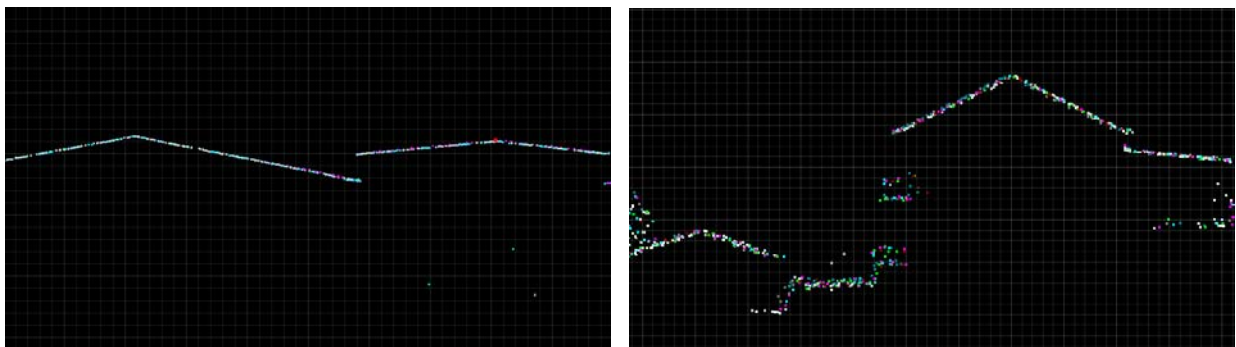


圖4-24、局部檢視剖面\_航帶顯色(左:平地；右:山區)

#### 4.4 航帶平差與內部精度評估

由於GNSS與IMU系統誤差會傳播到雷射測點三維坐標的解算精度，為了檢驗並減少系統誤差，本案將採用RiPROCESS軟體平差。利用航帶重疊區域共軌區域的高程與Intensity值計算改正量，以評估重疊航帶的內部精度不符值(Latypov, 2002)，進一步改正系統誤差。並於每次航帶平差作業完成後，利用剖面圖檢視各航帶重疊處道路面或裸露地形處，若發現疑似系統誤差即盡速重新率定作業，確保資料正確性，作業流程如圖4-25。

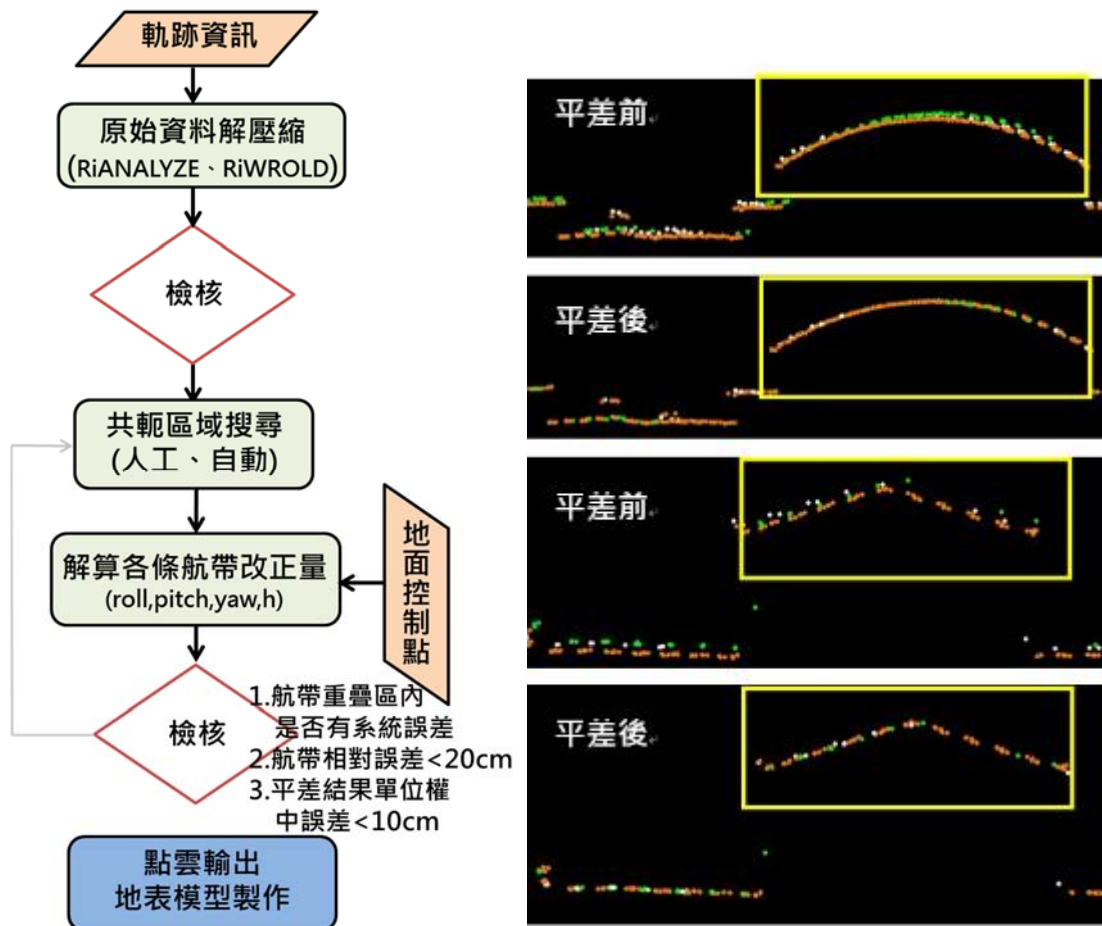


圖 4-25、航帶平差作業流程

#### 4.4.1 航帶精度分析及平差處理

LiDAR掃瞄成果之精度評估分為高程精度及平面精度兩部分，高程部分的評估常應用共軌點匹配的方法進行檢測。目前LiDAR掃瞄數據重疊區誤差的評定方法，包括Crombaghs等(2000)、童俊雄等(2005)應用三參數航帶平差模式，主要利用航帶間共軌點之點位高程求解航帶變形參數，進而計算航帶在高程方向的系統性變化。Behan(2000)將原始點雲資料經由內插方式產生2.5D的規則網格結構進行共軌點匹配。Latypov(2002)計算航帶重疊區內各小面積區域之高程平均值與標準偏差，透過標準偏差篩選平坦的航帶重疊區域，計算高程平均值差異量，以評估系統性誤差。Maas(2000)、Vosselman and Mass(2001)、Mass(2002)則以不規則三角網結構、應用最小二乘法匹配共軌點，評估航帶重疊區高程及平面方向的誤差。

本作業區於航帶重疊區萃取共軌特徵，形成重複觀測值，進行全測區的航帶平差計算，內部精度分析主要在於探討平差前後之航帶重疊區點雲資料之高程落差，逐航帶點雲資料經由地面點自動分類後，針對所有地面點比較高程平均偏

移量(Dz)。

由於點雲資料是不規則的分布，無法直接取得共軌點位（同一地面點的點位觀測坐標），而需以點雲資料推求而得。在此以航帶內某一 5 米x5 米範圍內的點雲平均高程為比較值，亦即若要比較兩航帶內某共軌點的相對高程差，則應以某一平面點位為中心，分別挖取 5 米x5 米範圍內的點雲資料計算其平均高程如圖 4-26，以計算其高程差。應同時檢核範圍內點雲高程之標準偏差，應避免使用標準偏差大於 0.5 米的區域。若只有少數點偏離平均高程太遠，可嘗試將這些點摒除在計算點群外，避免影響檢核結果。

根據上述的檢核點計算方法，符合於檢核相對高程差位置的區域應具有下列條件：

1. 應為局部平坦區域，且其坡度應小於 10 度
2. 掃瞄點均勻覆蓋此區域
3. 無其他局部覆蓋物

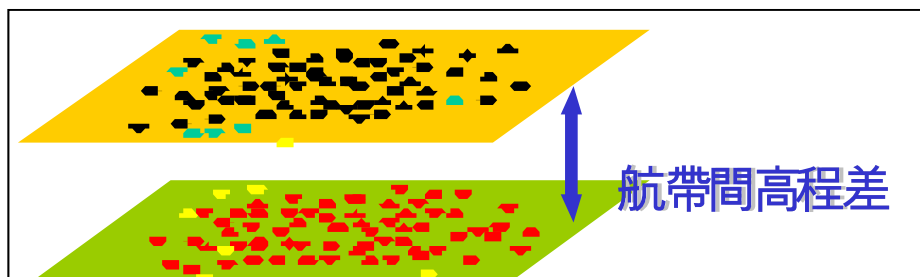


圖 4-26、推求兩航帶內某共軌點的相對高程差示意圖

#### 4.4.2 雷射掃瞄誤差來源及精度分析

由 LiDAR 架構與點雲定位原理，能夠了解誤差對於點雲坐標有直接的影響。而每一量度儀器在觀測過程中皆具有誤差，都會影響最後點雲的三維坐標。在 LiDAR 系統中，誤差通常是系統率定不完善或是安置誤差所造成的系統誤差。而 LiDAR 掃瞄在航帶間因存有不可預知之系統與偶然誤差，造成航帶重疊區之高程有不一致現象，需進行航帶平差修正。針對航帶重疊區內部分分析比對相鄰航帶，計算高程值差異。

##### 1. 空載雷射掃瞄資料處理

空載雷射掃瞄資料的處理，本作業區應用 POSPAC 慣性姿態解算軟體，整合地面 GNSS 固定基站資料及 LiDAR 機組之動態 GNSS 與 IMU 數據資料，分別解

算出三維移動軌跡坐標資料及三維飛航姿態軌跡資料。並利用 RiPROCESS 軟體，整合前述資料與原始雷射掃瞄資料，解算產出雷射點雲之三維坐標數據。解算出之三維雷射點雲坐標數據，依其資料中之多回波(Multiple Echoes)屬性值，萃取當中之第一回波與唯一回波以製作數值地表模型(DSM)。另萃取當中之最後回波與唯一回波，以製作數值地高程模型(DEM)。由於地表之地物覆蓋的型態錯綜複雜，所萃取的回波點雲未必全然是地表覆蓋物回波測點及地面回波測點。因此，本公司應用 TerraSolid 軟體進行點雲的濾除與分類步驟，將相關點雲資料分類成地面測點與非地面測點。以上處理僅為針對單一航帶之點雲處理步驟，在航帶與航帶間重疊區域之點雲資料仍可能因其掃瞄時之外在因素影響雷射波的回波接收，而產生同一地物覆蓋(如建物等)的點雲有錯位的情形。此種情況則必須透過航帶平差的作業步驟，針對各航帶進行修正。

## 2. 雷射點誤差分析

由於雷射掃瞄儀在空中作業時是處於懸空的狀態，因此必須透過各種測量儀器紀錄掃瞄儀在拍攝過程中精確的移動位置與姿態。其中包括：

### (1) 慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)

慣性導航系統是利用慣性量測元件(Inertial Measurement Unit, IMU)獲得載體的位置、速度、姿態角與重力參數的技術，其特性是利用慣性力學原理獲得精確的載體位置及方位的瞬時變化。由於 INS 以量度值的積分求位置與方位，其會因空中載具飛航時的操控及外在環境因素(如側風、亂流等)的外力影響，造成陀螺儀的飄移誤差、重力模型誤差及大地水準面誤差等，且誤差會隨著時間快速累積而導致求解精度越差。因此在絕大部分的導航系統會採用 INS/GNSS 的整合方式進行觀測，以結合兩者優點並彼此互補(莊智清，2001)。

### (2) 全球定位系統

全球定位系統乃是利用衛星所發射出的訊號以測定點位的三維坐標，因此主要的觀測量為未知點位與已知位置之間的距離觀測。GNSS 雖擁有高定位精度但仍有一些誤差存在，主要誤差來源有：衛星軌道誤差、衛星時錶誤差、接收儀時錶誤差、廣播星曆誤差、電離層與對流層延遲誤差、多路徑效應誤差等等，其中系統誤差又以衛星軌道誤差、衛星時鐘誤差與接收儀時錶誤差等為主。為了使定位精度更加提高而滿足導航定位的需求，在 LiDAR

系統中是利用動態 GNSS 的方法提高定位精度。原理是利用地面的固定站作為主站，然後在移動的裝置上架設 GNSS，即時接收由主站傳送過來的資料，並且每接收一筆資料及立刻解算移動站的位置，使用動態 GNSS 可以精確的求定出飛機所在的位置，且精度可達公分級(曾清涼等，1999)。

### (3)系統安置

除了上述量測儀器各自的所可能產生的誤差外，各量測儀器在掃瞄作業進行前的儀器安置作業，也會因各儀器安置時造成其安置角度的落差，而造成各儀器所記錄的數據資料產生安置角誤差。而各儀器的時間記錄落差亦會造成資料的動態延遲誤差。此外，地面測量基站架設與位置量測精度，亦會產生其資料的位置誤差。

#### 4.4.3 分區航帶平差

因測區資料龐大，因此點雲平差作業採分區平差，本作業區飛行方向為高海拔區採南北向及低海拔區採東西向，因此平差作業的劃分依飛行方向及海拔高度分區。並加入 68 個實測控制點、91 個立體量測點以及交叉航線確保點雲資料方位之一致性，如圖 4-27 為本作業區分區航帶平差區塊。

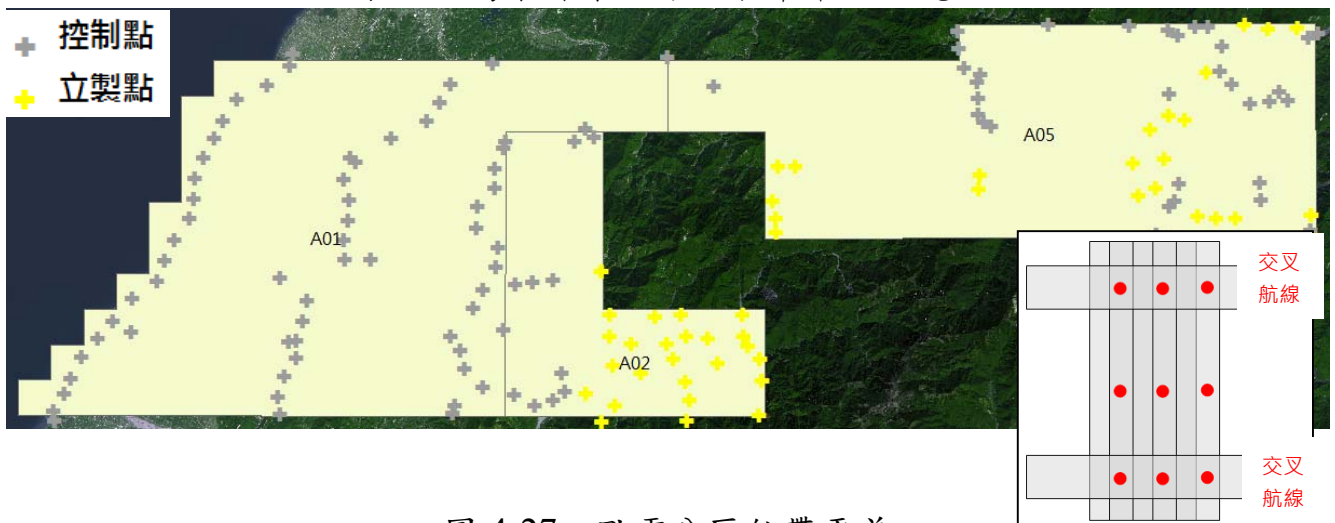


圖 4-27、點雲分區航帶平差

#### 4.4.4 航帶平差模式

航帶平差原理是利用航帶之間重疊區域內之共軛點位的差異，進行航帶變形調整。其數學模型可由式 4-1 表示：

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{ground control}} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{aircraft position}} + R_{\text{body frame to ground rotation}} \cdot R_{\text{misalignment}} \cdot \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{pmatrix}_{\text{laser range components}} \quad \text{式 4-1}$$

式中  $(X, Y, Z)_{ground\ control}^T$  為測得之地面點坐標， $(X, Y, Z)_{aircraft\ position}^T$  為觀測時刻之載具位置，Rbody Frame to Ground Rotation 表示由載具對應至地面坐標系的旋轉矩陣，(lx, ly, lz) Laser Range Components 可由雷射測距及掃瞄儀旋轉角度的數據獲得。至於 Rmisalignment 則可由上述  $(X, Y, Z)_{aircraft\ position}^T$ 、Rbody Frame to Ground Rotation、雷射測距等觀測值以最小二乘法求得；一般來說 LiDAR 系統的角度偏移量大多在 3 度以內，故 Rmisalignment 可以式 4-2 近似：

$$R_{misalignment} = \begin{pmatrix} 1 & -\kappa & \phi \\ \kappa & 1 & -\omega \\ -\phi & \omega & 1 \end{pmatrix} \quad \text{式 4-2}$$

$\omega$ 、 $\phi$ 、 $\kappa$  即代表 Roll、Pitch、Yaw 三個旋轉角。式 4-2 是假設有地面控制的情況，實務上，在沒有地面控制點的情況下，連結點(Tie Point)觀測值的平均亦可使用：

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{average\ tie\ point} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{aircraft\ position} + R_{body\ frame\ to\ ground\ rotation} \cdot R_{misalignment} \cdot \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{pmatrix}_{laser\ range\ components} \quad \text{式 4-3}$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{average\ tie\ point} = \frac{1}{n} \begin{pmatrix} \sum X_{tie\ point} \\ \sum Y_{tie\ point} \\ \sum Z_{tie\ point} \end{pmatrix}$$

式 4-3 假設多個航帶中所量測同一點位的坐標平均值近似其坐標真值，而此假設是在各航帶間的誤差皆不相關的前提下才成立。

本計畫以航帶所有偏差資料進行平差模式，達到有效降低相鄰航線重疊區點雲高程變異量，解算模式採用最小二乘平差(Least-Squares Adjustment)原理，意義為使兩共軛平面間距離的平方和為最小，以計算重疊航帶的改正值(Dong Li, 2016)，進一步改正誤差各航帶誤差量，如圖4-28所示。

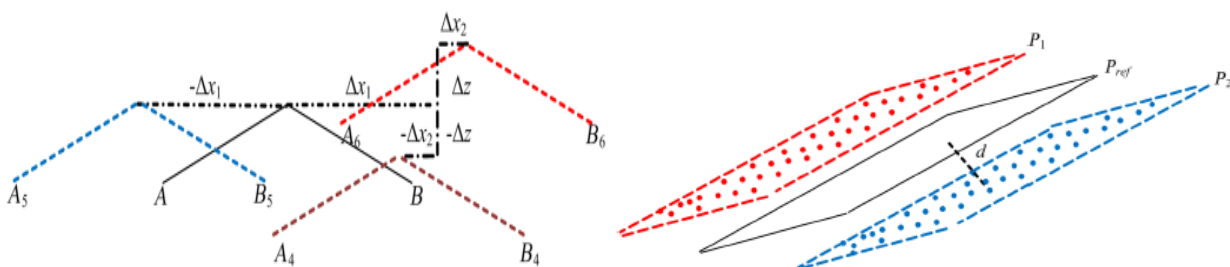


圖4-28、搜尋 Tie Plane 進行計算改正值(Dong Li, 2016)

#### 4.4.5 航帶平差及應用軟體

本案航帶平差作業流程採用RiEGL自有軟體RiPROCESS進行航帶平差工作，軟體內Scan Data Adjustment功能可自動搜尋航帶間共軛平面，亦可使用人工方式選取共軛區域，解算修正參數值(Roll、Pitch、Yaw、Height)，改正原始點雲誤差。作業流程及內部精度評估方式如下所述：

航帶平差輸入資料包括輸入航線軌跡、解壓所點雲原始資料以及輸入地面已知點三維坐標。

##### 1.軌跡輸入：

輸入使用POSPAC軟體解算完之軌跡成果(Sbet軌跡檔)以及軌跡解算的精度資料，並設定拍攝的日期。

##### 2.資料前處理：

使用RiPROCESS軟體內之RiANALYZ進行資料解壓縮，並將全波形資料進行解算，以及使用RiWORLD將掃描資料化算至地心地固坐標系統。

##### 3.共軛平面區域匹配：

使用RiPRECISION軟體內之Scan Dara Adjustment以自動搜尋共軛平面(Tie Plane)的方式進行Roll、Pitch、Yaw和Height的改正量計算，如航帶中的平面物體(如斜屋頂、平地)，改善GNSS/IMU的系統誤差。可藉由多次迭帶後設定不同的搜尋門檻值直到平差成果完成，亦可使用人工選取共軛平面的方式進行平差解算，提高航帶相對精度。

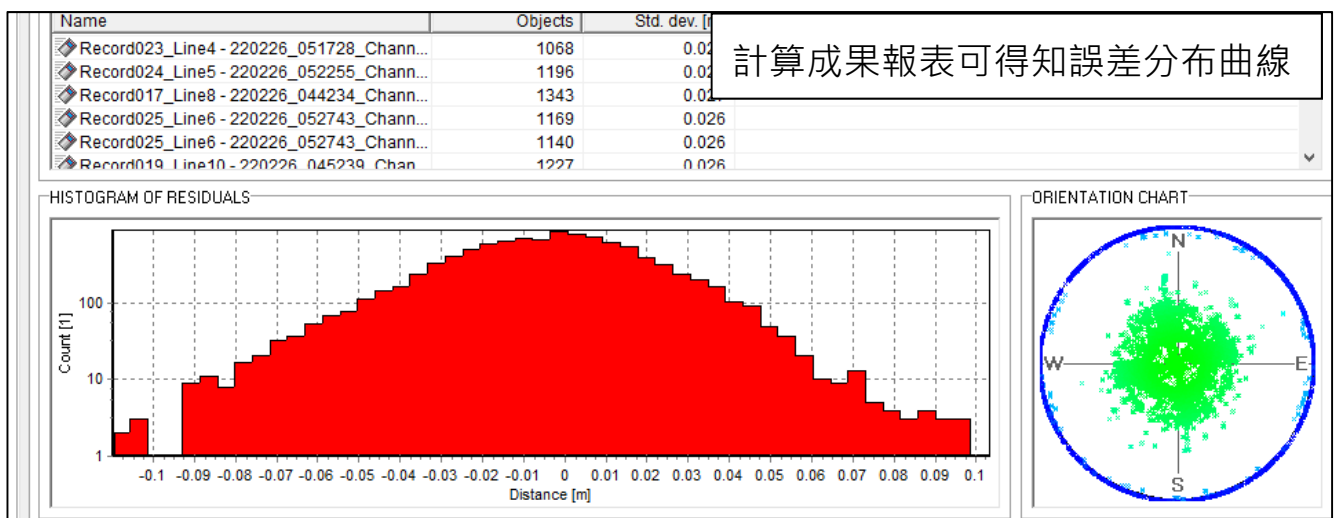


圖4-29、Scan data adjustment解算及成果報表

#### 4.控制點平差改正：

加入頭中尾控制資料，藉由比對匹配區域內之各航帶點雲差量以及和控制點之間的差量，進行迭代計算求解掃瞄時方位參數(Roll、Pitch、Yaw以及Height)之改正，藉此提高光達點雲資料之絕對精度，如圖4-30。

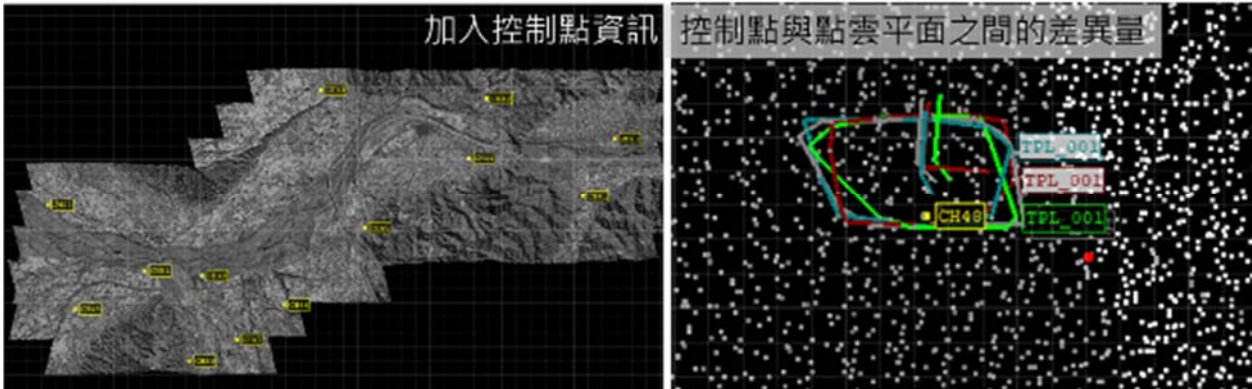


圖 4-30、加入控制點解算

#### 4.4.6 航帶平差成果評估

##### 1. 高程精度評估

平差作業完成後，進行相鄰航帶平均高程差異量分析，其中分析表之平均誤差表示各共軌點誤差之平均數，平均值之公式如式 4-4所示。

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{式 4-4}$$

其中，

$\mu$  為平均值  
 $x$  為共軌點誤差

標準誤差(Standard Deviation)指的是航帶中共軌點誤差與平均誤差之差量的均方根，其公式如式 4-5 所示。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu_i)^2}{n - 1}} \quad \text{式 4-5}$$

其中，

$\sigma$  為標準誤差



平均絕對誤差(Mean Absolute Deviation)指的是航帶中共軌點誤差與平均誤差之差量的絕對平均值，其公式如式 4-6 所示。

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \mu| \quad \text{式 4-6}$$

其中，

$MAD$  為平均絕對誤差

RiPRECISION在計算完成後，及可輸出標準偏差值方圖以及誤差分部位置，確認平差解算成果是否含有系統誤差存在，各區域解算成果如圖4-31所示。

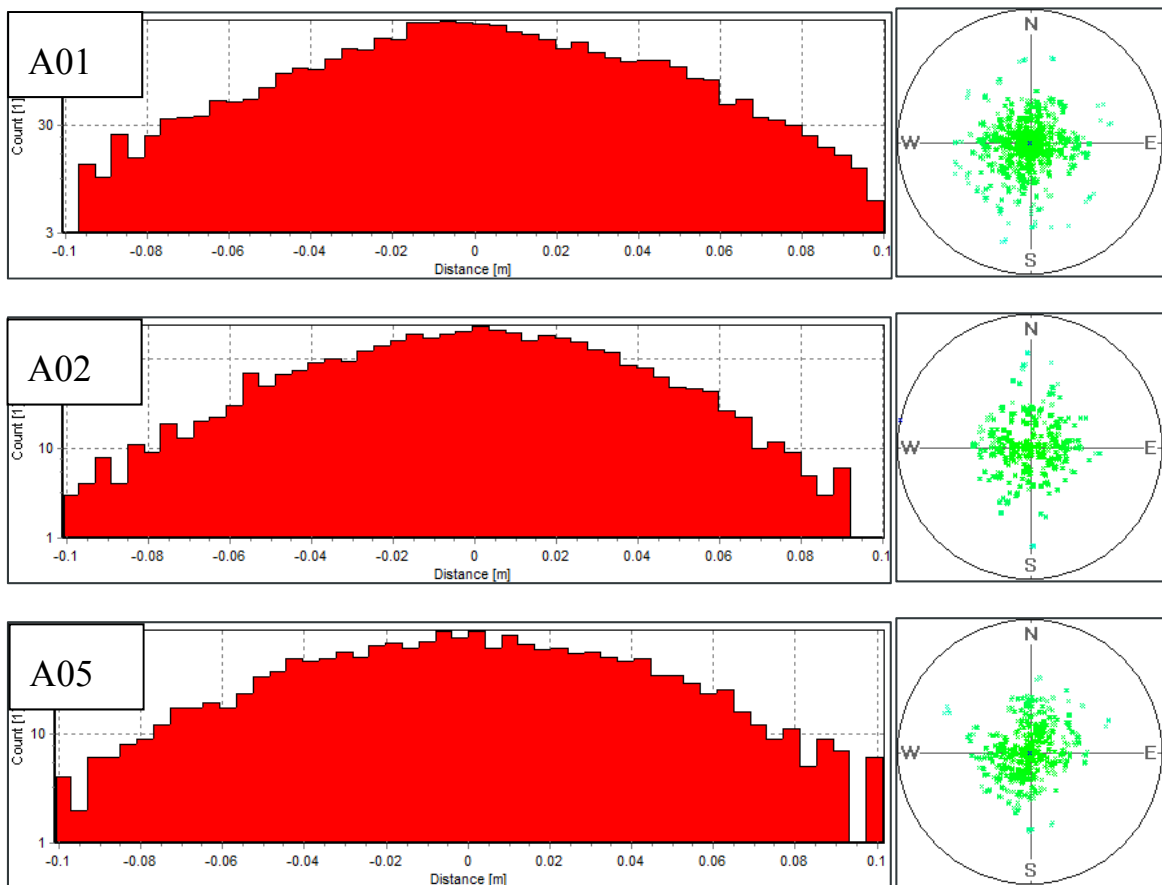


圖4-31、本案平差成果

#### 4.4.7 航帶平差自我檢核成果

平差完成之資料，進行點雲平面以及測區重疊之自我檢核。

##### 1. 平面精度評估

量測平面控制點(屋角點:B點)與平差後點雲成果之間的距離，以點的形式直接匯入做比對。本作業區成果如表4-10所示，平面控制點分布位置如圖4-32所示，比較屋角點與最鄰近的點雲差值，其平均差值為30.11公分，標準偏差為10.49公分。

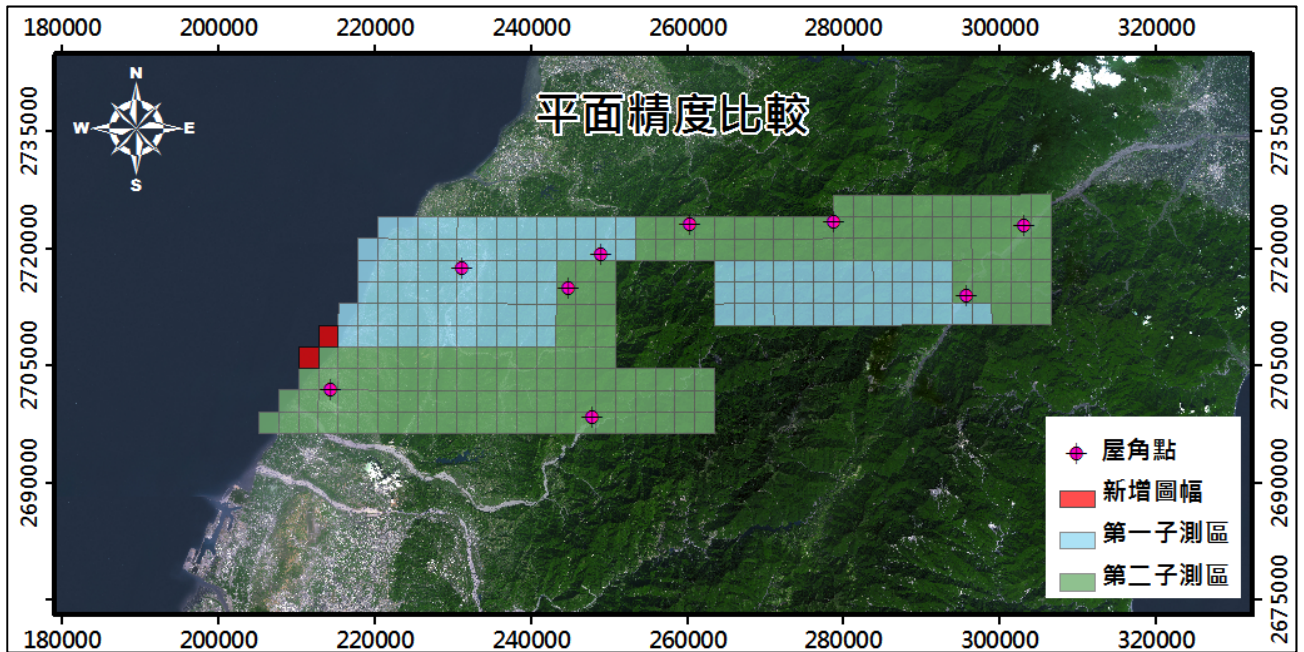


圖 4-32、平面精度比較位置分布圖

表 4-10、平面精度比較表

ID	點雲 E	點雲 N	地測 E	地測 N	E 差量	N 差量	水平差量
53-B01	231218.201	2717489.353	231218.023	2717489.473	-0.18	0.12	0.21
53-B03	214494.037	2702006.419	214494.196	2702006.361	0.16	-0.06	0.17
53-B04	244833.048	2715009.192	244832.762	2715009.374	-0.29	0.18	0.34
53-B05	249079.127	2719317.043	249078.782	2719316.813	-0.35	-0.23	0.41
53-B06	247868.68	2698552.341	247868.877	2698552.393	0.20	0.05	0.20
53-B07	303213.015	2723023.23	303213.370	2723023.409	0.35	0.18	0.40
53-B08	295758.568	2713981.139	295758.985	2713981.036	0.42	-0.10	0.43
53-B09	278904.86	2723498.758	278904.666	2723498.731	-0.19	-0.03	0.20
53-B10	260445.529	2723232.825	260445.168	2723233.035	-0.36	0.21	0.35
最大水平差量		0.43		最小水平差量		0.17	
標準偏差	0.10	平均水平差量	0.30	均方根誤差	0.10	單位:m	

## 2. 高程精度評估

將平差後的各航帶重新輸出後以MStripAnalysis做平差品質的檢核，檢核方式為將各航帶所有不規則點雲內插成100米 × 100米網格，再求出航帶重疊處相同平面位置網格的高程差量，檢核成果再以不同顏色作區別如圖4-33所示，圖中超過20cm之區域為不同架次拍攝之成果，農作區、水域沙洲或水體的變化導致高程的差異，若檢視附近的人工構造物如道路部分，高程並沒有顯著之系統性誤差。計算結果航帶間相對高程平均差值第一子測區為11.5公分，第二子測區為

14.3公分。

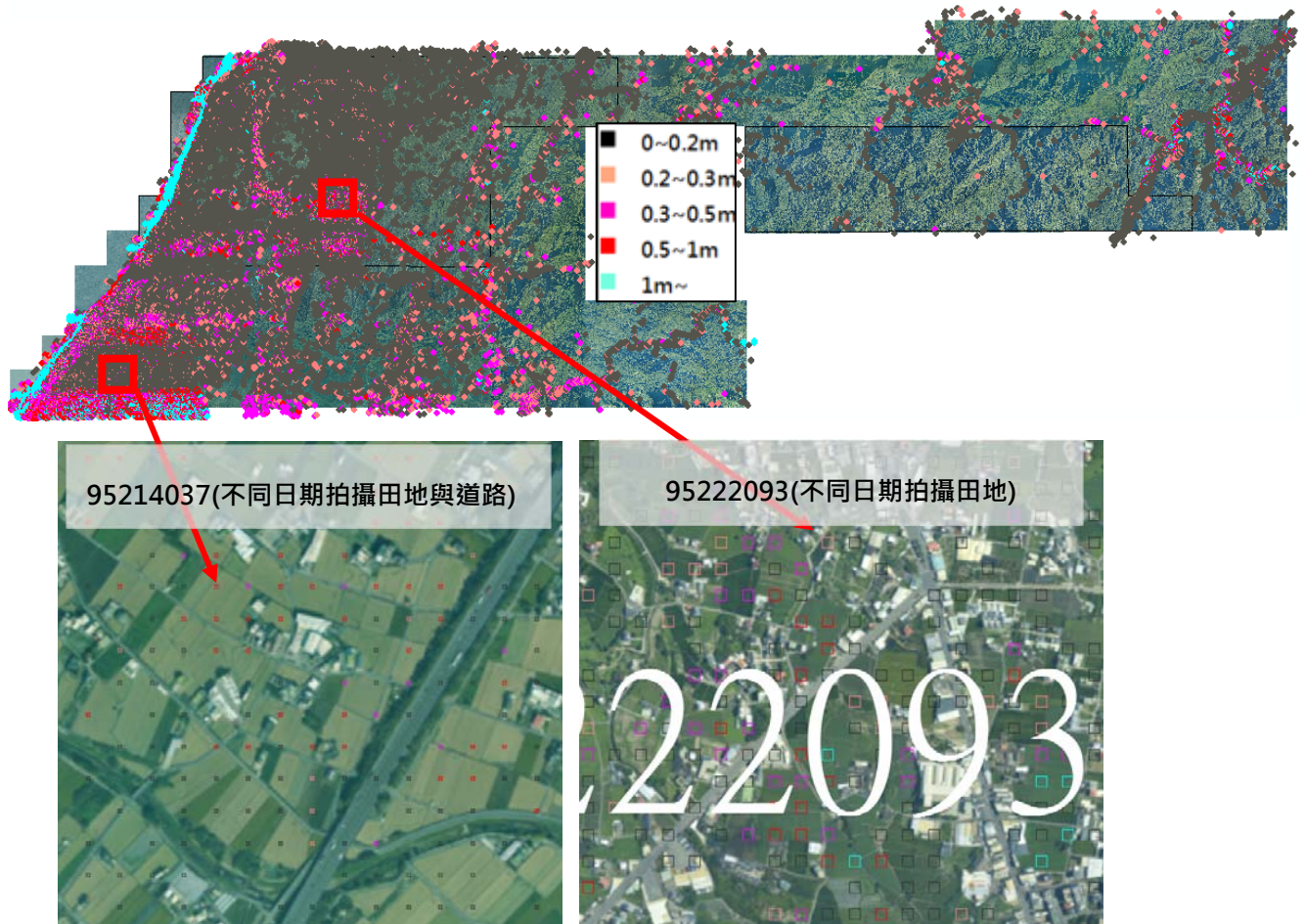


圖 4-33、航帶平差誤差分布圖

## 4.5 DEM/DSM 製作

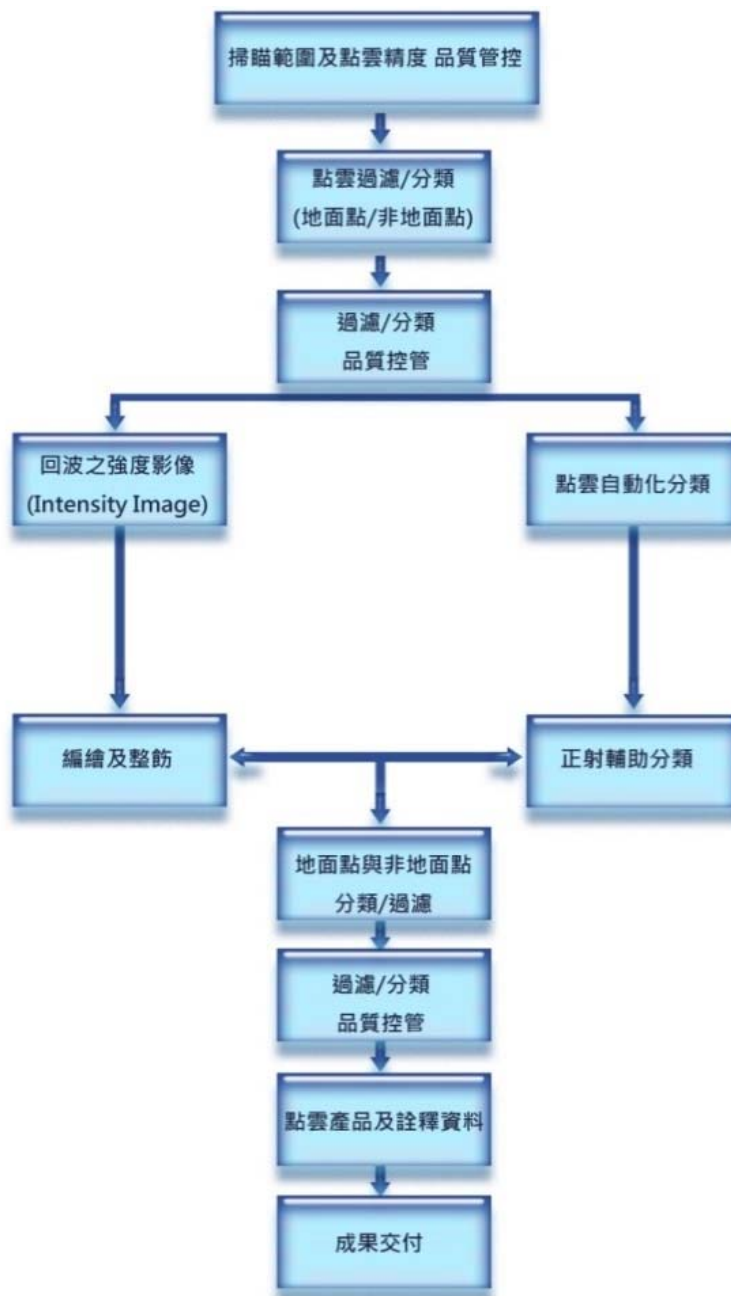


圖 4-34、點雲後處理作業流程圖

### 4.5.1 點雲編修流程

原始光達數據(All points)，為一群不規則離散測點，製作DSM可採用第一個回波反射數據組成DSM規則網格，至於數值高程模型(DEM)的製作，需執行濾除與分類的步驟，將測點分類成地面點(Ground)；非地面點(Non-ground)；不合理點及雜點(Noise)；水面點(Water)等四大類如表4-11所示。本公司應用Terrasolid套件軟體作業，作業流程如圖4-35。

表 4-11、點雲分類圖層說明表

code	Description	Level
2	Ground(地面點)	2
9	Water(水域點)	9
30	Noise(不合理點)	30
31	Nonground(非地面點)	31

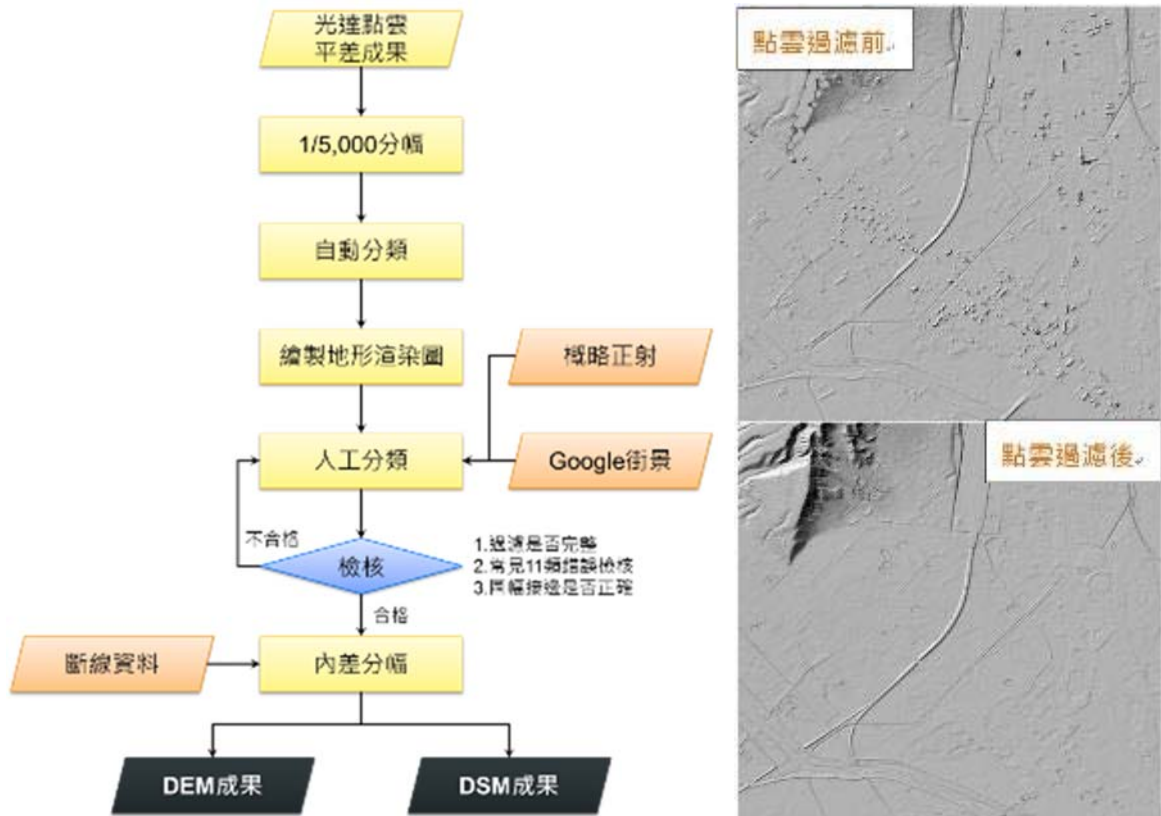


圖 4-35、DEM、DSM 製作流程

### 1. 自動過濾

本公司使用商業軟體 TerraScan 對點雲資料進行過濾，該軟體分類地面點的演算法由 Axelsson(2000)提出，其引用不規則三角網(Triangular Irregular Networks, TIN)來表示地表面，先依據區域內建物可能的最大平面範圍，由局部的低點組成初始的不規則三角網(TIN)，再循序從三角網內尋求可能的地表點將三角網細化，稱為 Adaptive TIN Surfaces。在三角網內判斷掃瞄點是否為地表點的方法，是利用點到三角平面的距離或點到三個角點的向量與平面的夾角來判斷如圖 4-36，可預先設定門檻值當成判斷的標準。

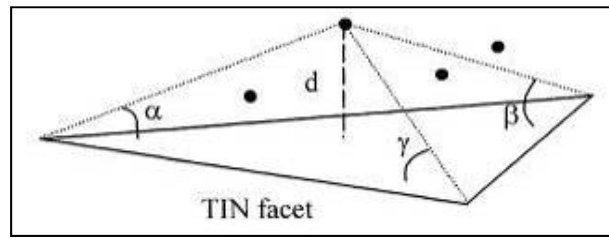


圖4-36、過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000)

門檻參數的設定須視地形、地物的情況設定，主要參數包括：最大建物大小參數(Max building size)、地表角度(Terrain angle)、迭代角度(Iteration angle)、迭代距離(Iteration distance)。

TerraScan 門檻參數設定的重點，搜尋範圍越小(Max building size 小)，濃密的植被覆蓋，會形成地面測點稀疏而有大空洞沒有地面點，當空洞大於搜尋範圍，植被點會視為地面(如山頭的效果)則濾除不乾淨，反之搜尋範圍越大，山頭山脊等地形特徵會被像房子一般被濾除削平。Raber 等(2002)、Vosselman(2000)提出過濾處理會隨著地形坡度要變換門檻值，以及要隨著植被的特徵變換門檻值，達到參數自適性調整。

## 2.人工過濾

光達點雲過濾作業若單純採自動化處理，仍無法百分百分類地面、植被及其他非地面點，而在某些地形、地物較複雜的區域仍須輔以人工檢視編修方能正確判別地物。所以由上述可知，自動過濾後仍須進行人工編修作業做最後確認。人工編修作業利用 TerraSolid 系列軟體進行，由原始雷射掃瞄配合正射影像，可清楚辨別地類，藉由剖面圖進行比對，針對有誤的過濾結果進行編修，將點位歸類至正確的類別。如圖 4-37 所示套疊對應之正射影像，可清楚了解該處地形、地物，輔助人工編修判讀，本案修正前後範例如圖 4-38 所示。

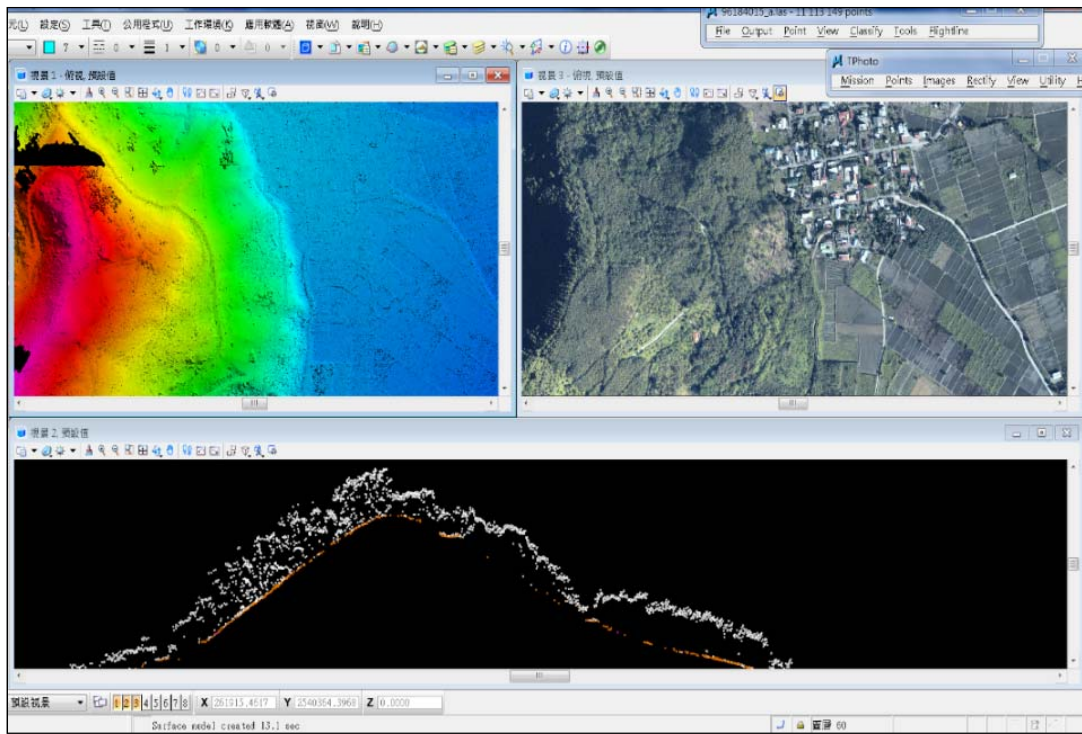


圖4-37、人工檢視編修界面

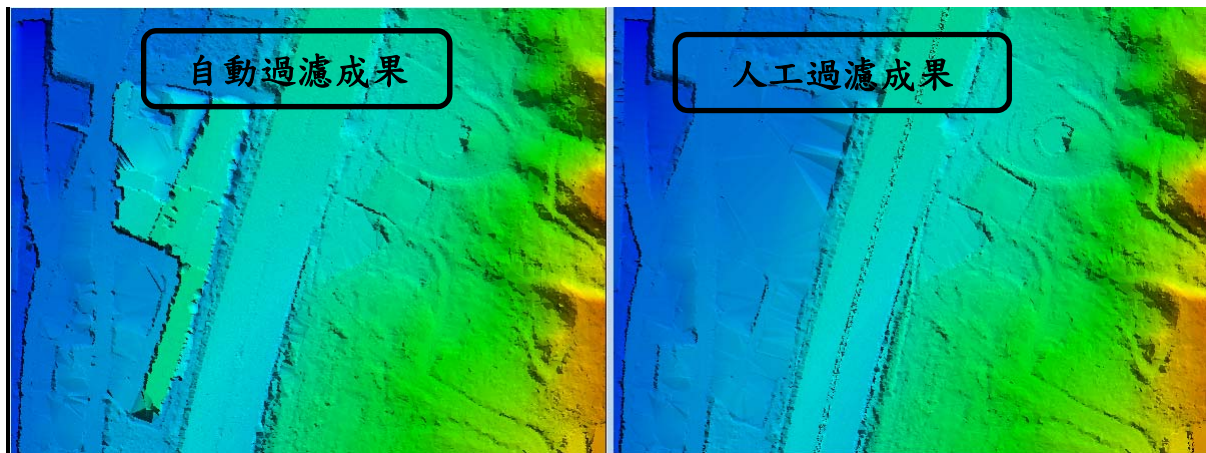


圖4-38、過濾非地面點後之成果(圖號95211031)

### 3. 點雲水體分類

因空載光達資料遇到水體會被吸收 而無法接收反射訊號，導致水體的資料有誤，須將其濾除。濾除方式為使用本年度繪製之水線，並經由監審方審核通過後，依照繪製的範圍分類，如圖4-39所示。

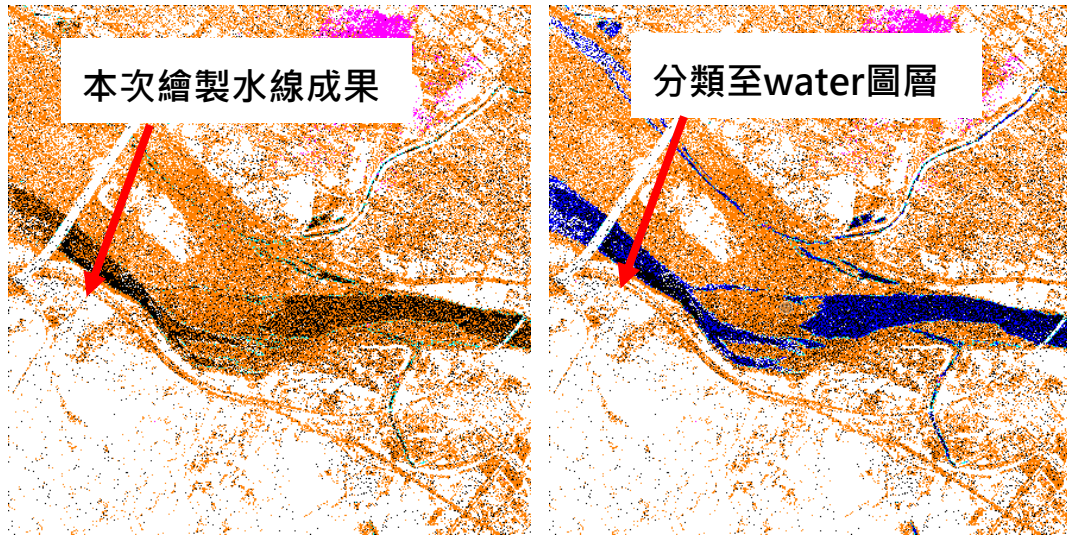


圖4-39、水體分類成果(圖號95222051)

#### 4-5-2 點雲編修狀況

點雲分類成果需透過內部檢核作業，提高點雲過濾的正確率，每個作業人員在編修前皆進行人工編修注意事項之教育訓練，過濾成果由檢核人員圈選有誤之區塊，確實做到自我檢核的步驟，常見錯誤包括房屋橋樑未濾除確實，地面點無確實分類，若該名同仁錯誤率過高，會再另外加強訓練。點雲編修人員分布如圖4-40所示，藉由完整記錄，配合監審方退回修正之次數，確保每個工作人員之品質，本次成果第一次繳交至監審單位審核皆無不合格圖幅，自我管控品質皆在審核標準內。

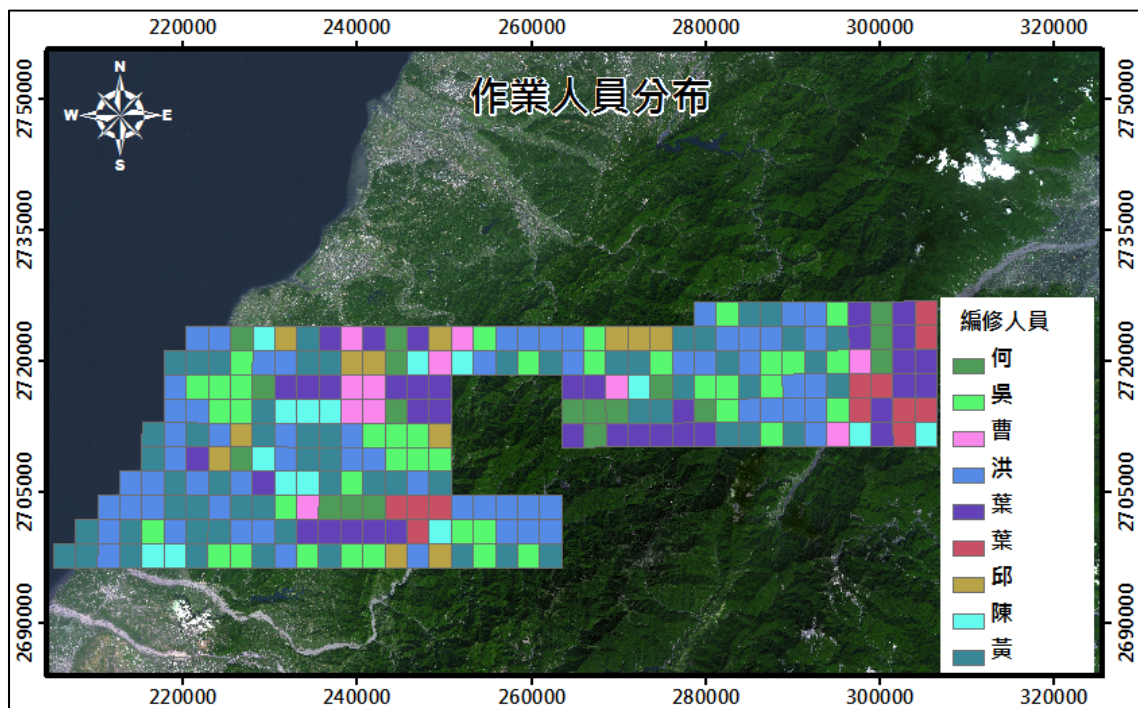


圖4-40、本案作業人員分布圖



### 4.5.2 DEM/DSM產製

由以上自動化過濾檢查步驟可知，在過濾處理程序中，已利用程式查覺大型建物、植被過濾瑕疵等檢核，接下來即可進行 DEM 編輯與檢查，其過程主要採視覺製圖人工檢視的方法，步驟包括：

- 1.將點雲資料組 TIN 進行分析。

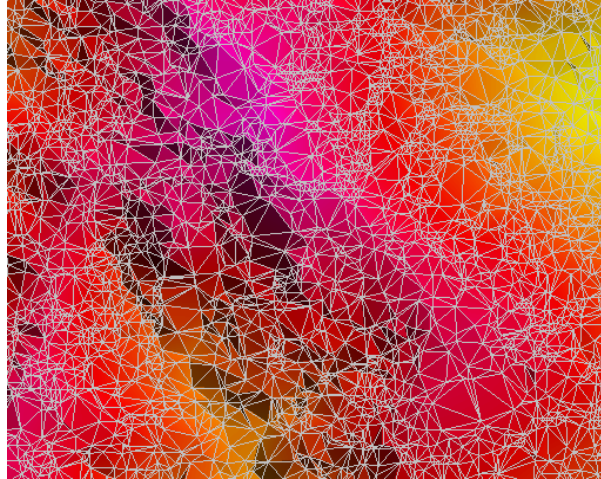


圖4-41、點雲TIN分析圖

- 2.以點雲資料繪製等高線，以消除因局部錯誤點位產生之等高線圈。
- 3.繪製地形暈渲圖，檢查過濾未乾淨區域，檢查大型建物未過濾者，檢查圖幅接邊，檢查分區處理是否有不能接邊之錯誤。
- 4.編輯原始測點，過濾後直到通過檢查。

#### (1)局部性高程檢查統計

- a、應用地面檢核點，評估 TIN/DEM/DSM 精度。分析誤差直方圖、誤差統計量等。
- b、應用地面檢核點，大斷面測量數據，評估 TIN/DEM/DSM 精度。

#### (2)DSM/DEM 內容

- a、網格間距：1 公尺 × 1 公尺。平面坐標值應為網格間距之整數倍。
- b、圖幅範圍劃分：以現行五千分之一基本地形圖之圖幅為分幅之依據，實際涵蓋範圍應較標準圖幅框略大，以圖幅框 4 個圖隅點向外擴大至少 1 個網格點之四至坐標值（東、南、西、北邊界之極值）為矩形之範圍。各圖幅間得重疊，重疊區資料應重複且相同。
- c、應採用一致之內插方法，產製 1 公尺間距之規則網格資料。

### (3)DEM 製作原則

- a、將分類為地面點之不規則點雲，內插為規定間距之網格化成果。
- b、若有地形特徵線則應匯入作為限制條件。

### (4)DSM 製作原則：

- a、萃取第 1 回波之點雲，濾除不合理之空中點雲資料後，內插為規定間距之網格化成果。
- b、必要時應另進行適當編修（如：電力線、電塔等）。

(5)陸域範圍之水域高程資料應由週邊地面點內插填滿。海域範圍應依判定合格海域線為準，海域範圍之高程資料應刪除。

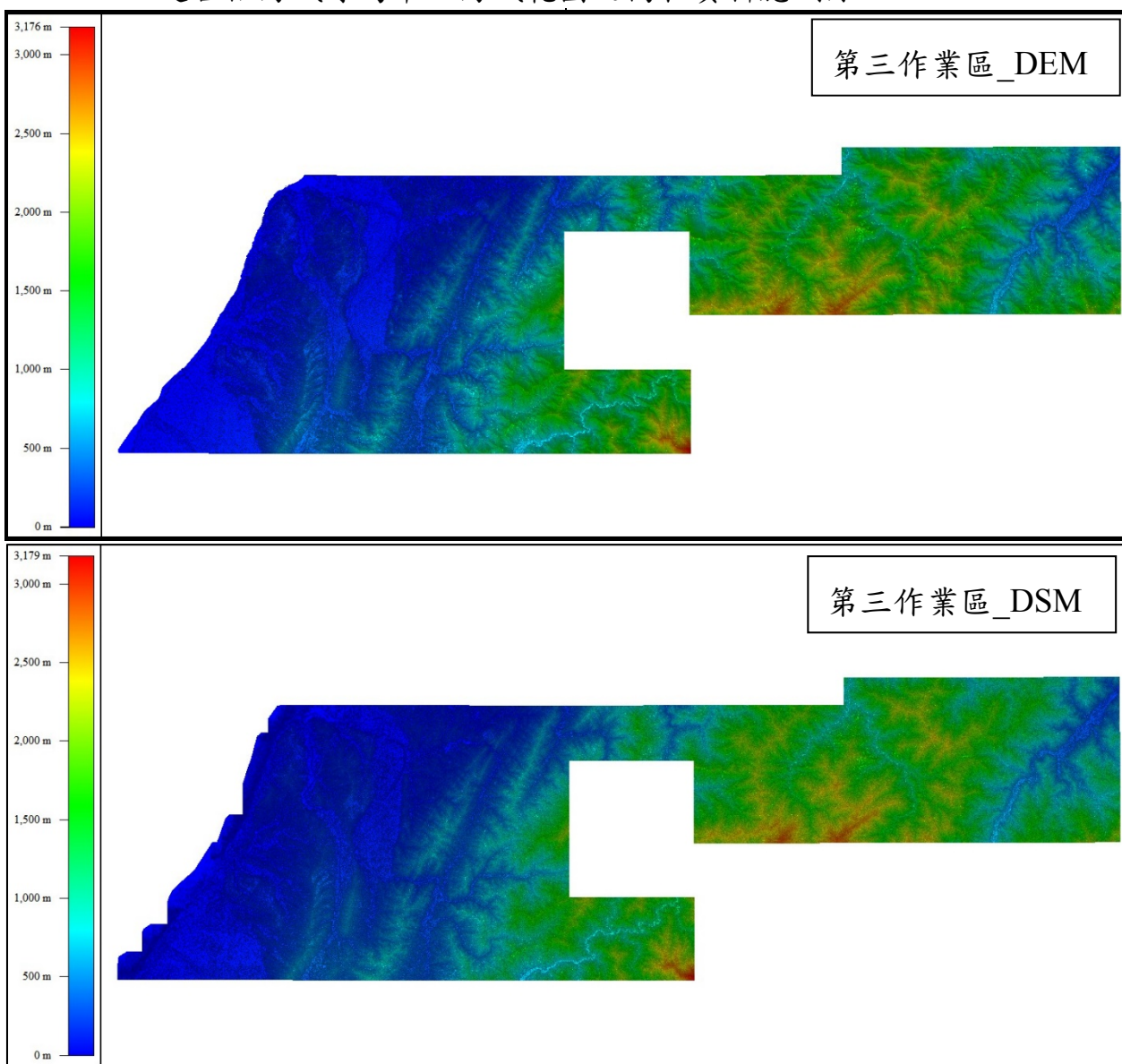


圖4-42、本案DEM、DSM成果

### 5.DEM/DSM 外部接邊

接邊由丙方統一分配，共計需處理41幅DEM以及DSM接邊，接邊位置關係如圖4-43所示。本公司處理108年圖幅成果之接邊，若因掃瞄作業年分不同，遇到高程落差過大的地區，則需與貴中心以及監審兩方溝通是否需要接邊，或是保留原本不同年度資料，維持真實狀況，如圖4-44所示。今年測區接邊資料無高程落差過大導致無法接邊之情況。以內插演算法採用克利金法(Kriging)，重新產製接邊圖幅的DEM及DSM網格資料。

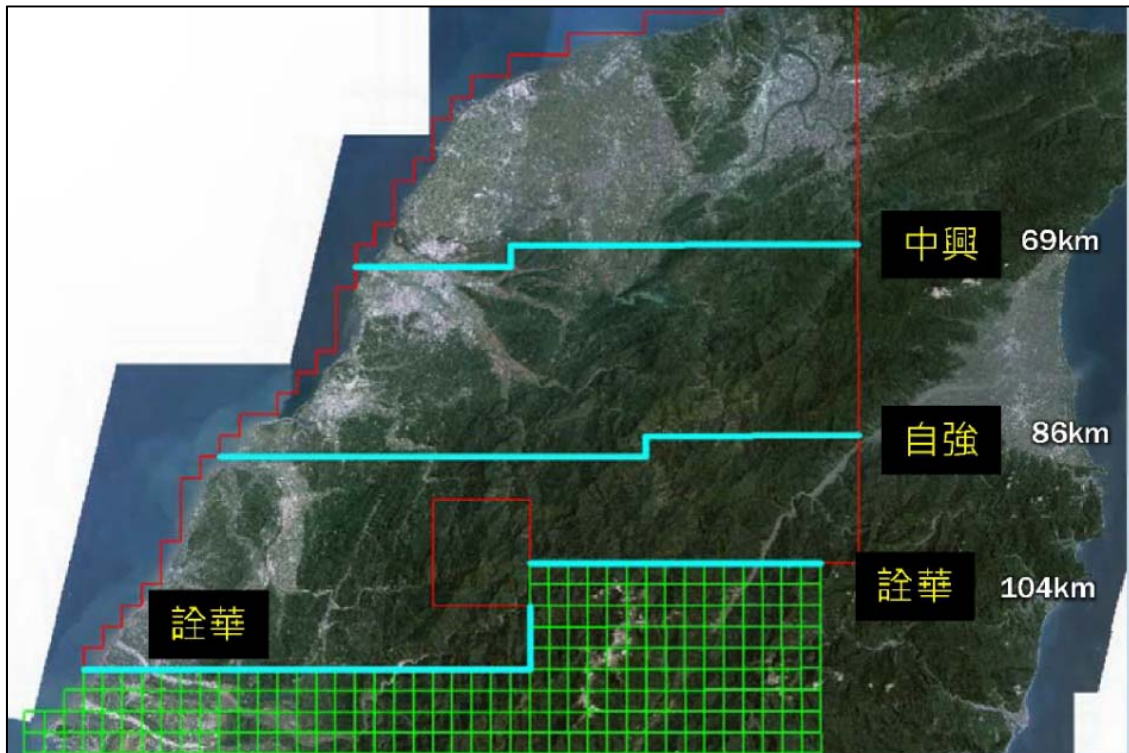


圖4-43、DEM、DSM分布圖

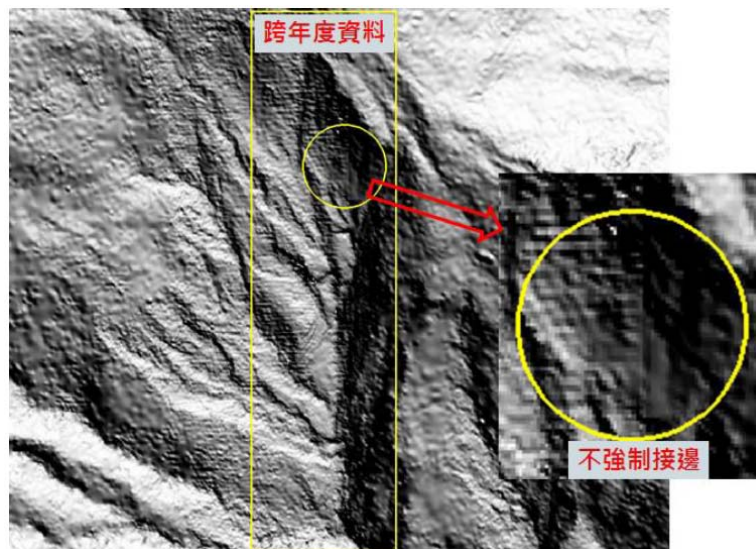


圖4-44、年度接邊地形變異示意圖

### 4.5.3 大地起伏化算

空載光達掃瞄定位原理為利用GNSS/IMU直接地理定位解算其飛航軌跡，為橢球高系統；但一般民生用途所需高程資料是以大地水準面起算的正高(Orthometric Height)，故兩者資料整合運用時需將高程系統化算至同一坐標系統方可運算。

## 4.6 檢核點蒐集及作業

本案地形包括沿海濕地、平原、丘陵以及高山地區，分別對高低海拔範圍均勻施測各地類點檢核本次DEM成果品質，作業方式如下所述。

### 4.6.1 測量作業方式

採用 e-GNSS 定位系統進行即時動態定位，測量出每個檢核點之坐標、高程。檢核點區規劃方式分別依據海拔高度以及不同土地覆蓋、橫斷面進行量測作業。

#### (一)依據不同土地覆蓋分區進行檢核測量

1.低海拔及河川洪泛溢淹測製地區之檢核作業，檢核作業需至少有土地覆蓋分區為：

- 裸露地。(編號：A1)
- 矮植被(周圍為高度不超過 1 米之草生地、矮樹群等)。(編號：A2)
- 植生地。(編號：A3)
- 林地。(編號：A4)
- 都會區。(編號：A5)
- 濕地。(編號：A6)

每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測量檢核點，選點盡可能均勻分布於各圖幅。矮植被之地表植被覆蓋情形調整參數 c 比照密林地；都會區及濕地之地表植被覆蓋情形調整參數 c 比照裸露地。

2.中高海拔山區測製地區之檢核作業，檢核作業需至少有土地覆蓋分區為：

- 裸露地。(編號：B1)
- 矮植被(周圍為高度不超過 1 米之草生地、矮樹群等)。(編號：B2)
- 植生地。(編號：B3)
- 林地。(編號：B4)
- 密林地。(編號：B5)

每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測量檢核點，應盡可能均勻分布於各圖幅，地面檢核點允許在平坦坡度，且避開地形斷線特徵處 1 米以上。應用地面檢核點分析不同土地覆蓋分區之精度評估，提出精度評估報告。

## (二)橫斷面(cross section)檢核測量

低海拔及河川洪泛溢淹測製地區(編號：C)至少 60 個檢核點，剖面長度總和需超過 40 公里，中高海拔山區測製地區(編號：D)至少 40 個檢核點，剖面長度總和需超過 30 公里並依面積比例分配於各地區。

第3作業區低海拔各地類檢核點共計施測180點，低海拔橫斷面檢核點共計施測60點；中高海拔各地類檢核點共計施測150點，中高海拔橫斷面檢核點共計施測40點。外業測量照片詳表4-12及表4-13所示，其分部位置如圖4-45所示。

表 4-12、低海拔各地類及橫斷面檢核點

低海拔		
		
A1-裸露地	A2-矮植被	A3-植生地
		
A4-林地	A5-都會區	A6-溼地
		
C-橫斷面檢核點		

表 4-13、中高海拔各地類及橫斷面檢核點

中高海拔		
		
B1-裸露地	B2-矮植被	B3-植生地
		
B4-林地	B5-密林地	
		
D-橫斷面檢核點		

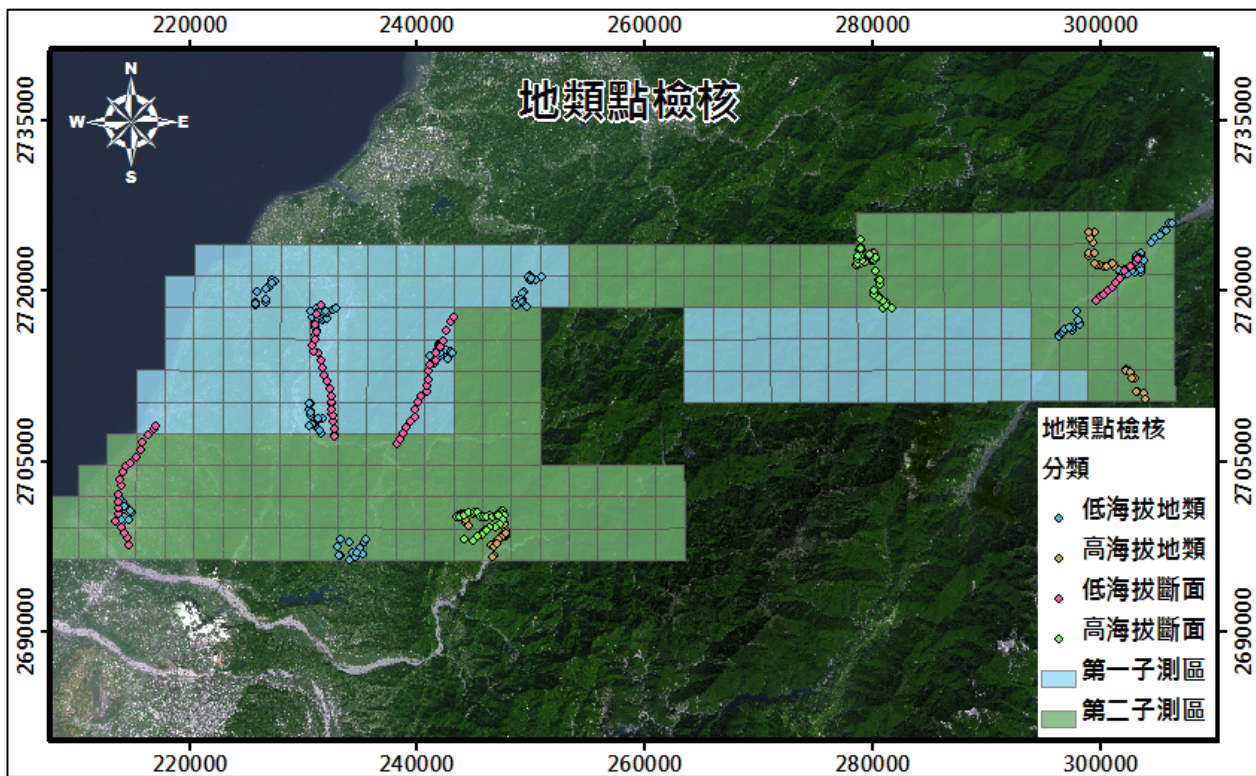


圖 4-45、檢核點分布

#### 4.6.2 精度評估標準與作業

DEM品質依地形類別及地表植被覆蓋情形而分別訂定如下：

高程精度標準，以基本精度加上地形類別及地表植被覆蓋情形之精度調整參數而得，計算公式如下：

$$\sigma^2 = a^2 + b^2 + c^2 \cdot t^2$$

式中 a 為基本精度 0.18 公尺；b 為地形類別調整參數；c 為地表植被覆蓋情形調整參數；t 為地表植被平均高度。各調整參數數據如表 4-14、表 4-15 與平面精度標準如表 4-16。

表 4-14、地形類別調整參數 b (單位：公尺)

地形類別	b
平地	0.0
丘陵	0.2
山地	0.5
陡峭山地	1.0

表 4-15、地表植被覆蓋情形調整參數 c(無單位)

植被覆蓋類別	c
裸露地	0.0
植生地	0.2
林地	0.3
密林地	0.5

LiDAR點位的平面誤差主要為系統性誤差，因此平面精度的標準是以基本的雷射量測精度，加上可能的系統誤差而得。以下依LiDAR生產的DEM產品等級訂定之平面精度標準，如表4-16。

表4-16、平面精度標準(單位：公尺)

基本精度	Level 2
B	0.5

1.地形類別分為平地、丘陵地、山地及陡峭山地，其定義如下：

- (1)平地—地表坡度在 $5^{\circ}$ 以下的地區。
- (2)丘陵地—地表坡度在 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 之間的地區。
- (3)山地—地表坡度在 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之間的地區。
- (4)陡峭山地—地表坡度在 $30^{\circ}$ 以上的地區。

2.地表植被覆蓋情形分為裸露地、植生地、林地及密林地等：

- (1)裸露地—以任一點為中心，半徑在10個網格間距的範圍內，其受植被覆蓋之面積少於25%者，則在該範圍內視為裸露地。
- (2)植生地—以任一點為中心，半徑在10個網格間距的範圍內，其受植被覆蓋之面積介於25%~50%者，則在該範圍內視為植生地。
- (3)林地—以任一點為中心，半徑在10個網格間距的範圍內，其受植被覆蓋之面積介於50%~75%者。
- (4)密林地—以任一點為中心，半徑在10個網格間距的範圍內，其受植被覆蓋之面積大於75%，且範圍內樹冠平均高度達DEM/DSM規範中誤差之4倍以上者，則視為密林地。



### 4.6.3 精度評估與分析

本案依前述規定執行，施測涵蓋：裸露地、矮植被、植生地、林地、都會區、橫斷面。將檢核點坐標與LiDAR資料組成之TIN模型中之相同位置，利用TerraScan之Output Control Report功能將所有檢核點坐標(E、N、h)匯入，分析LiDAR與檢核點兩者之高程差，成果如表4-17及表4-18。由表可看出低海拔檢核點與光達點雲資料平均絕對高差約在0.030~0.054公尺，高海拔檢核點與光達點雲資料平均絕對誤差約在0.037~0.078公尺之間。其中低海拔濕地因光達掃描與外業檢核時間落差較大，原量測位置與光達資料不符而無法進行比較，如圖4-45、檢核點分布圖4-46。

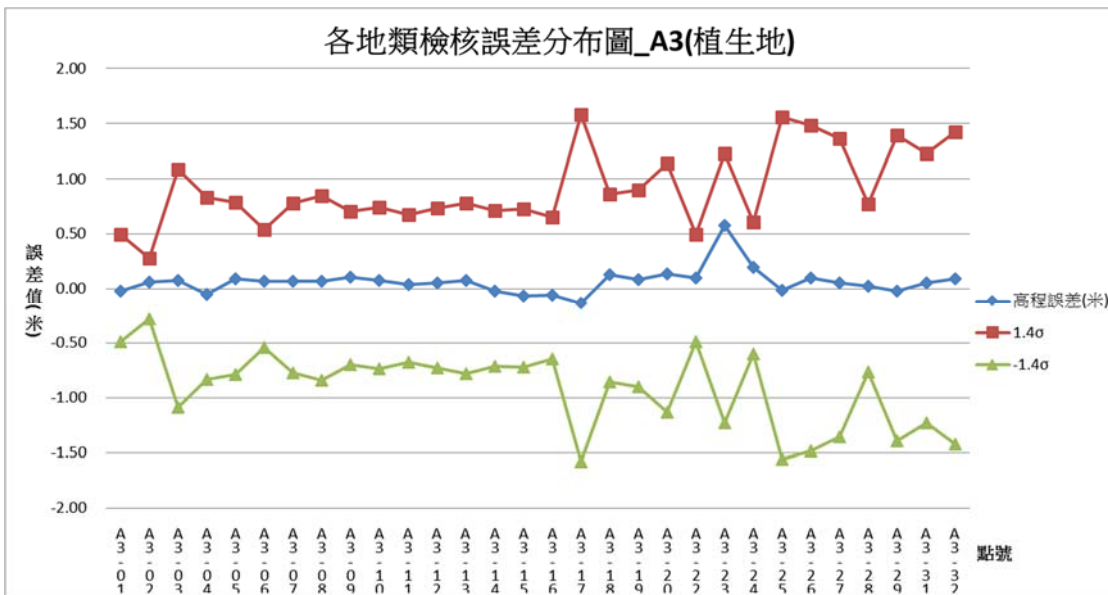
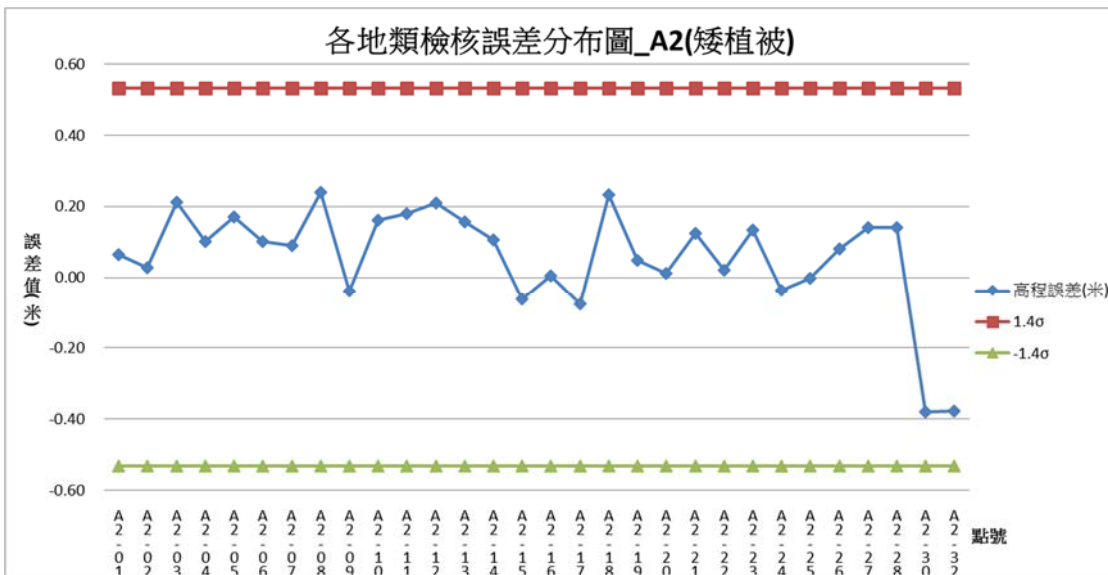
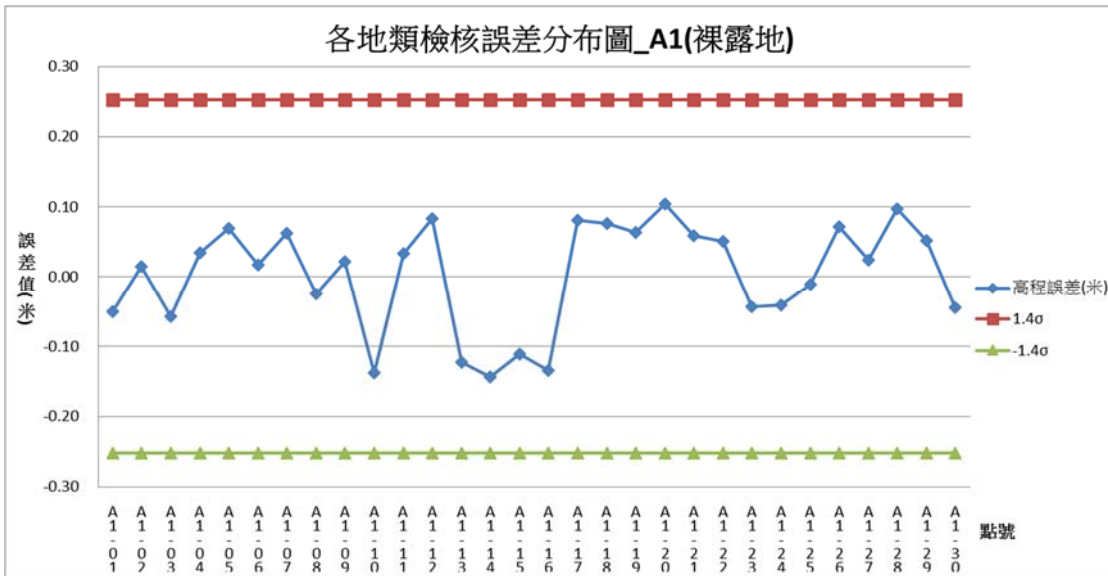


圖 4-46、濕地量測與現況不符(左:本次正射影像；右:外業施測照)

低海拔測區裸露地、矮植被、植生地、林地、都會區、橫斷面差值皆介於±25公分內，由圓餅圖可看出±10公分內之差值比例較高，如圖4-47、圖4-48所示。

表4-17、第3作業區低海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表

低海拔							
土地覆蓋類型	檢核點數	平均高差(m)	平均絕對高差(m)	最大高差(m)	最小高差(m)	標準偏差	均方根誤差
裸露地	30	0.003	0.030	0.104	-0.144	0.076	0.075
矮植被	30	0.009	0.032	0.159	-0.155	0.083	0.082
植生地	30	-0.004	0.048	0.210	-0.173	0.096	0.095
林地	30	-0.015	0.044	0.182	-0.214	0.102	0.101
都會區	30	-0.031	0.030	0.072	-0.155	0.054	0.054
溼地	30	0.013	0.054	0.233	-0.279	0.127	0.125
橫斷面	60	-0.011	0.030	0.097	-0.130	0.059	0.058





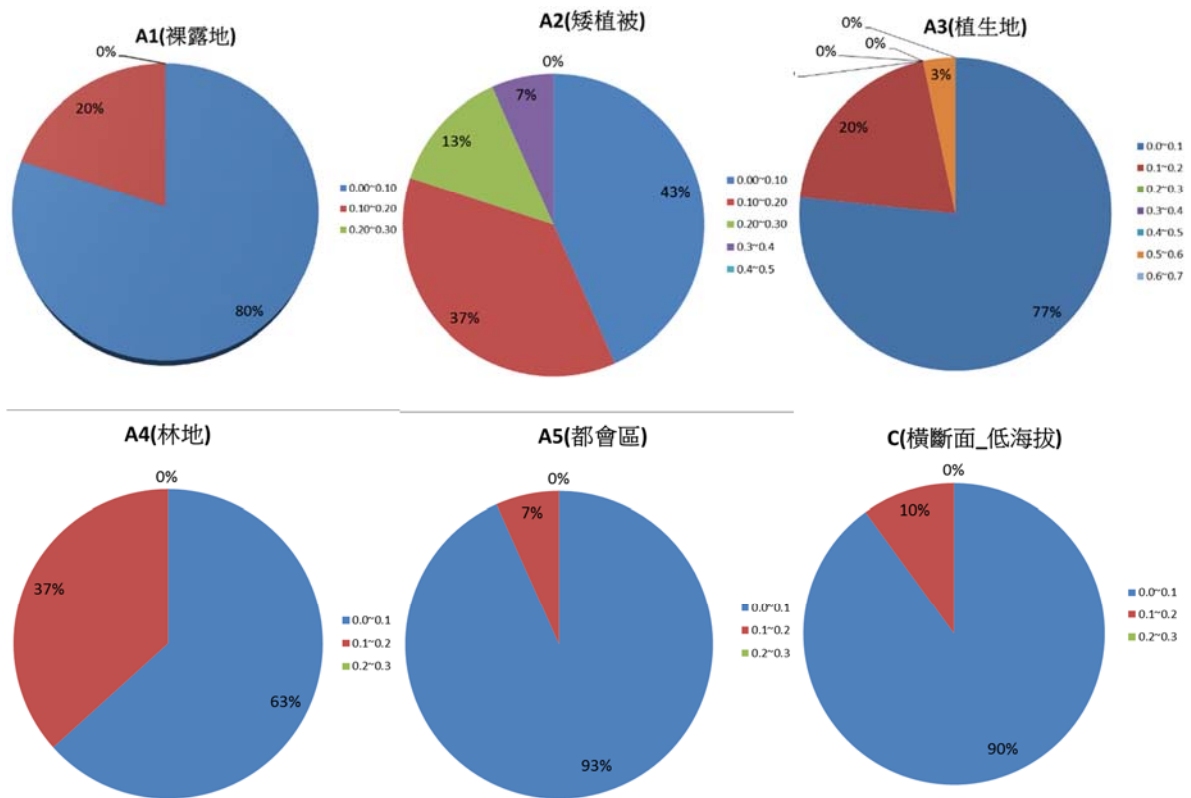


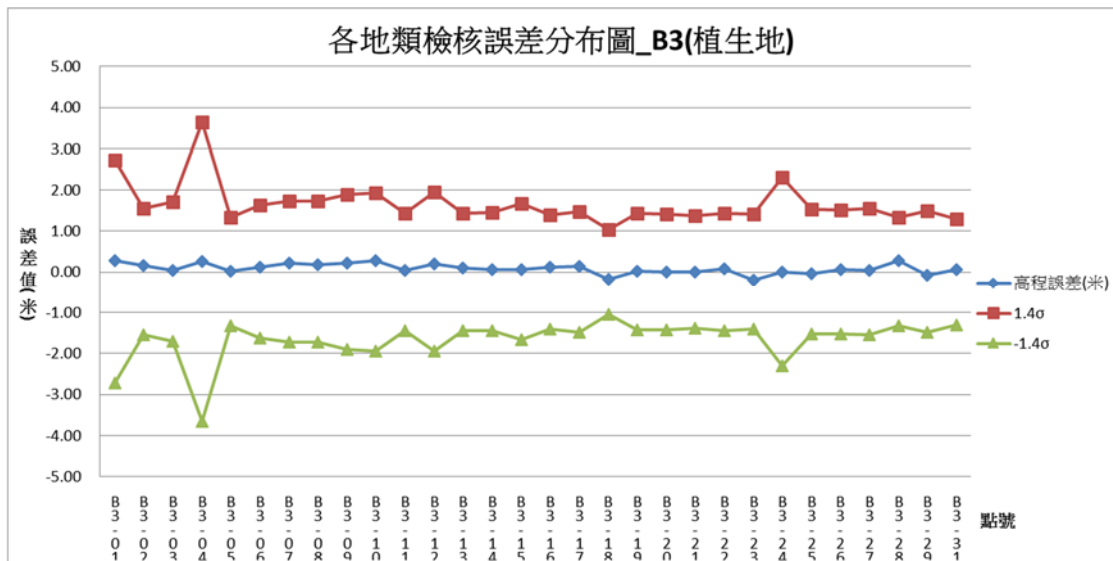
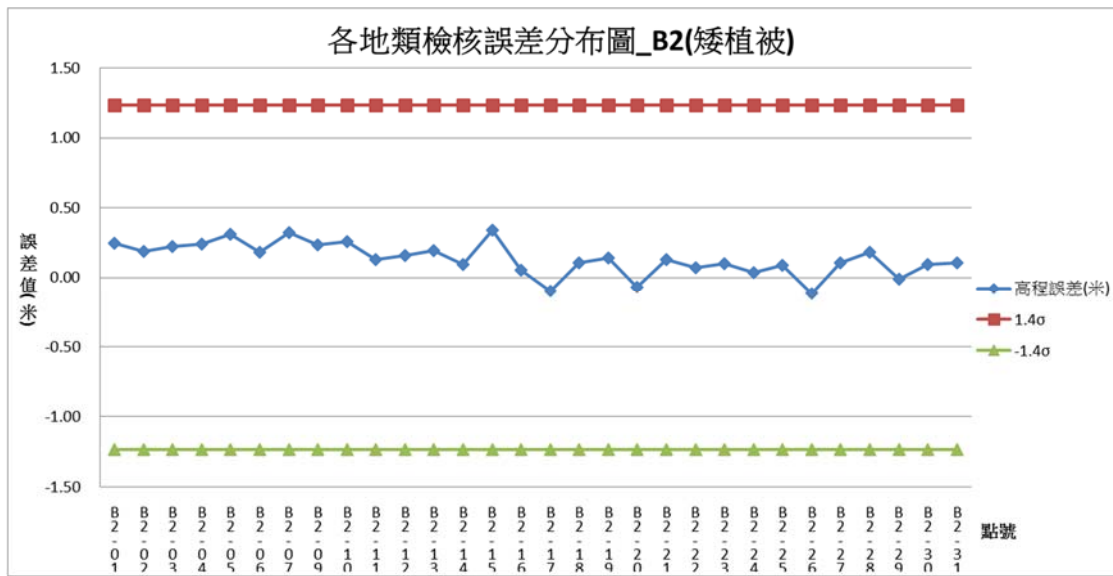
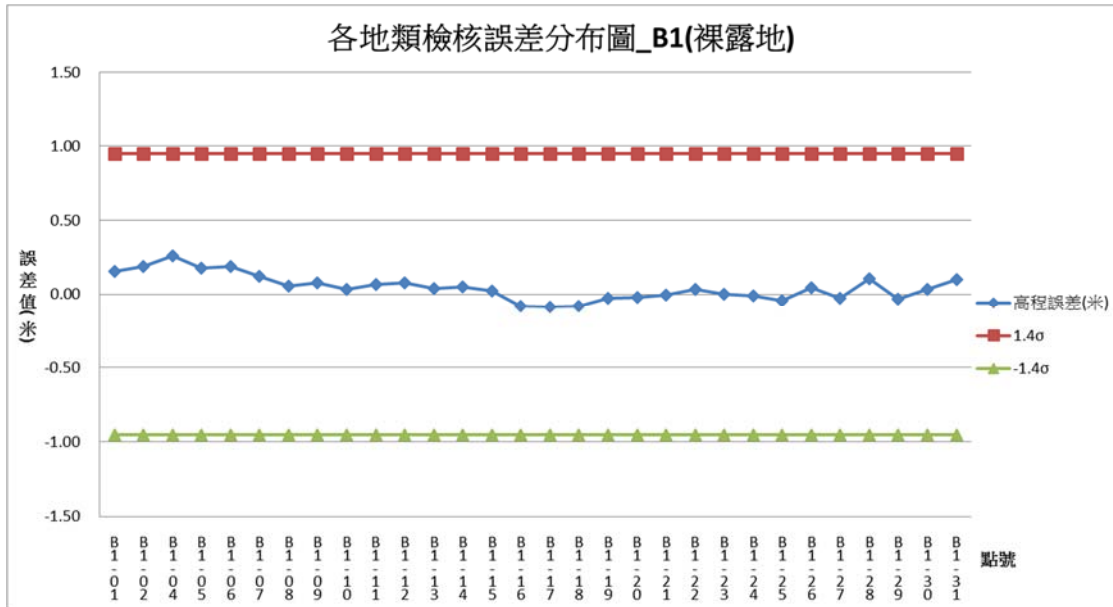
圖4-48、低海拔各地類檢核誤差圓餅圖

高海拔地類介於±35公分內，橫斷面差值在±17公分內，由圓餅圖可看出±10公分內之差值比例高，如圖4-47、圖4-48所示。

表4-18、本案高海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表

高海拔							
土地覆蓋類型	檢核點數	平均高差(m)	平均絕對高差(m)	最大高差(m)	最小高差(m)	標準偏差	均方根誤差
裸露地	30	0.048	0.049	0.261	-0.089	0.087	0.086
矮植被	30	0.134	0.072	0.340	-0.118	0.116	0.114
植生地	30	0.090	0.078	0.284	-0.184	0.122	0.120
林地	30	0.041	0.037	0.240	-0.116	0.089	0.088
密林地	30	0.039	0.043	0.186	-0.136	0.083	0.081
橫斷面	40	0.043	0.038	0.166	-0.114	0.066	0.065

平均誤差為  $t = \frac{|D|}{n}$  ( $|D|$ =誤差絕對總和， $n$ =檢測數量)





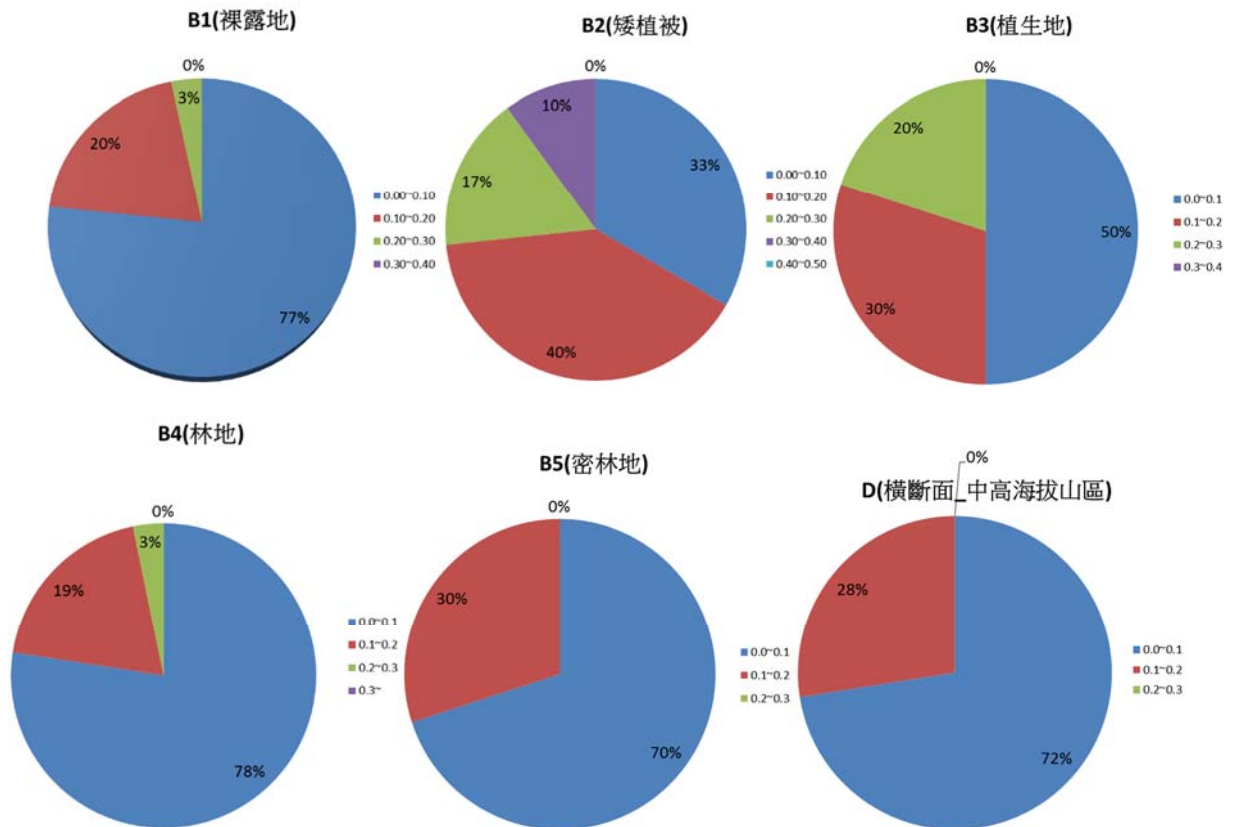


圖4-50、高海拔各地類檢核誤差圓餅圖

#### 4.6.4 各階段外業驗收成果

第2階段於110年12月6、7日進行外業驗收，共計抽驗四幅圖分別為95222064、95222093、95223080以及95223099共驗收24個點位，與DEM相比RMSE值為3.61公分，符合本案規範，驗收成果直方圖如圖4-51所示。

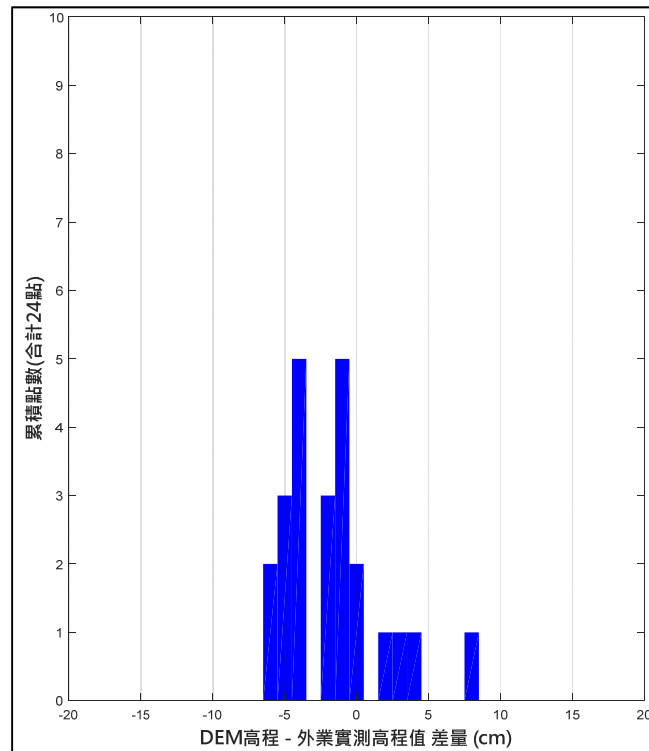


圖4-51、第2階段外業驗收直方圖

第3階段於111年03月16~18日進行外業驗收，共計抽驗六幅圖分別為95211025、95211044、95211011、95211041、95214026以及95214046，共驗收35個點位。與DEM相比RMSE值為5.82公分，符合本案規範，驗收成果直方圖如圖4-51所示。

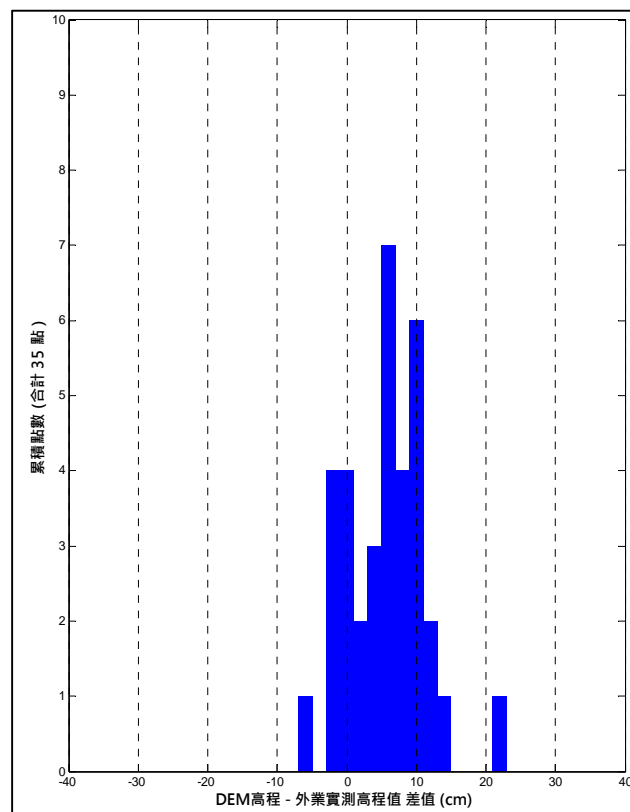


圖4-52、第3階段外業驗收直方圖



## 第五章、正射影像製作

本計畫採用空載光達系統搭配數位相機同時拍攝掃瞄作業，配合前述測區特性之飛航規劃航線，並在天氣晴朗能見度佳的狀況下進行拍攝作業，正射影像製作25公分解析度，以利相關單位使用。

作業區內使用中像幅相機Phase One IXU-RS-1000焦距70mm及焦距50mm兩套相機拍攝，正射影像製作流程如圖5-1所示：

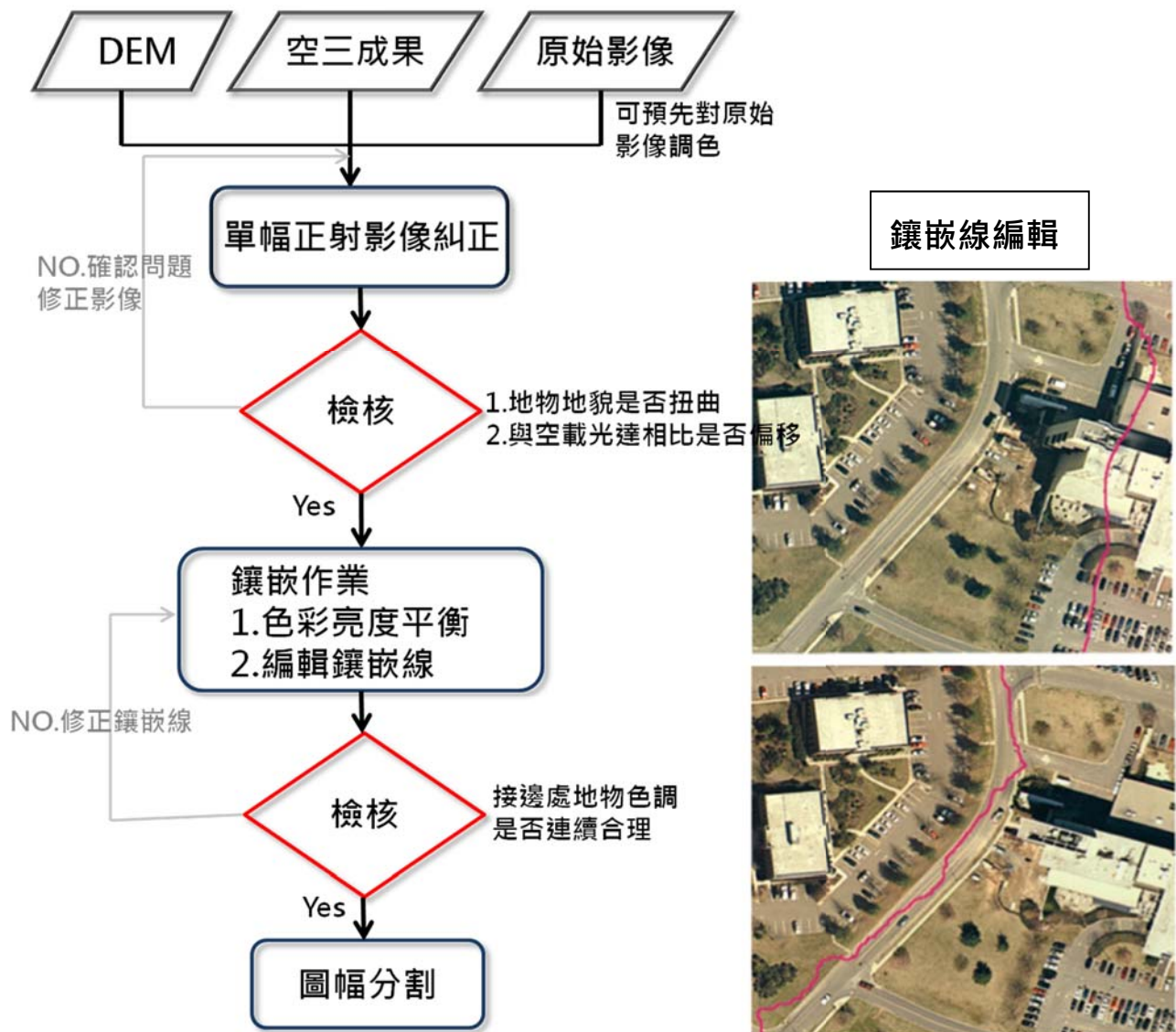


圖5-1、正射影像製作流程

### 5.1 作業區航拍工作

測區航拍攝影之架次與空載光達掃瞄作業相同，扣除有雲影像，第一子測區實際使用之數量為 3,477 張(Phase One IXU-RS-1000 焦距 70mm)與

2,919 張(Phase One IXU-RS-1000 焦距 50mm)；第二子測區實際使用之數量為 12,750 張(Phase One IXU-RS-1000 焦距 70mm)與 2,291 張(Phase One IXU-RS-1000 焦距 50mm)。本作業規劃前後重疊率約為 80%，側向重疊率大於 40%，原始影像地面解析度(後簡稱 GSD)優於 25cm，航拍攝影完成後，須將影像範圍展出，確認影像完整涵蓋作業測區，如圖 5-2 所示，並由人工逐一檢查影像之品質(模糊、色調、含雲量、曝光量等)，若有需重新拍攝之區域，將重新規劃以新拍攝取得最佳影像品質。本公司使用儀器為、Phase One IXU-RS1000 焦距 50mm 以及 70mm 的中像幅數位相機，圖 5-2 為測區中分別由兩部相機拍攝的範圍圖。

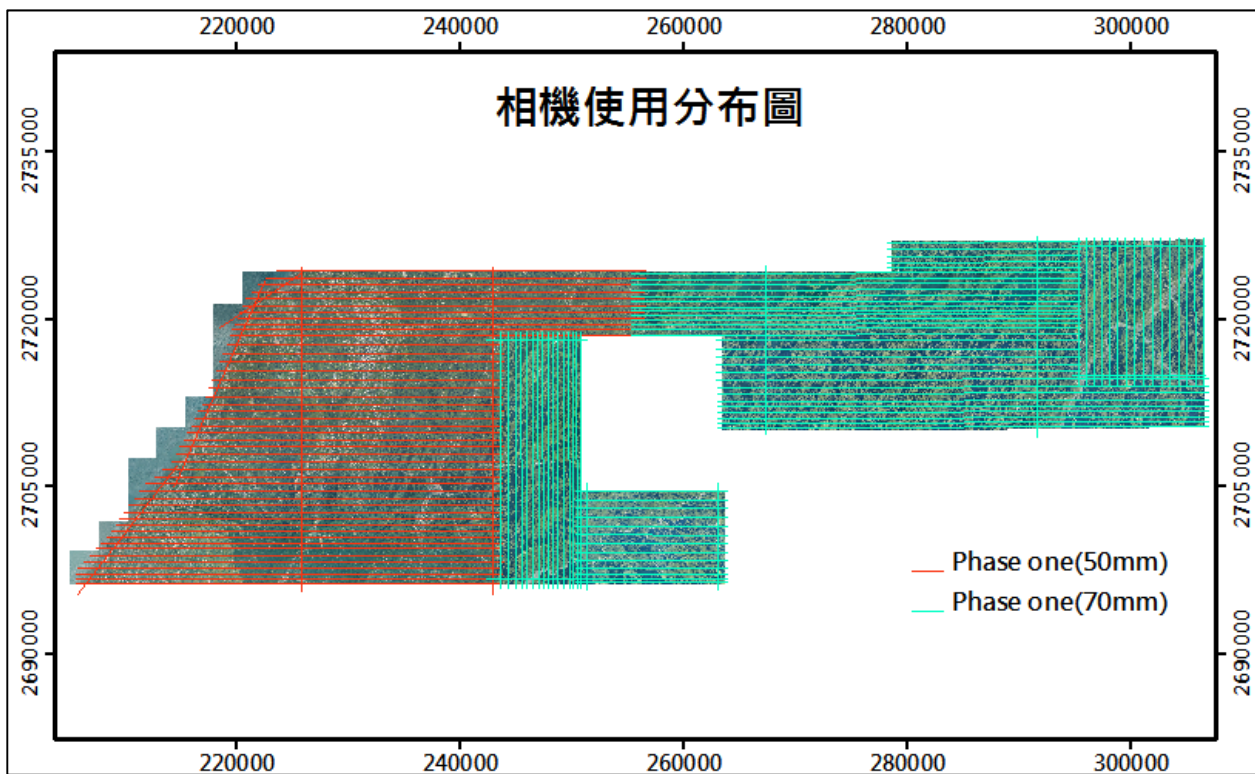


圖5-2、影像範圍涵蓋圖及兩台相機拍攝航線

## 5.2 航拍影像處理

正射影像製作關鍵之一為色調均一美觀，而不同時間所拍攝之影像色彩均不相同，因此需先針對不同航線之影像進行色調調整，使後續正射色調調整作業更均一美觀。本計畫航拍影像以Post-Processing System(PPS)進行調色作業，如圖5-3所示，並依照監審方提供之色彩樣張(地調所，2014)，針對各別架次拍攝之影像顏色進行調色，如圖5-4所示。

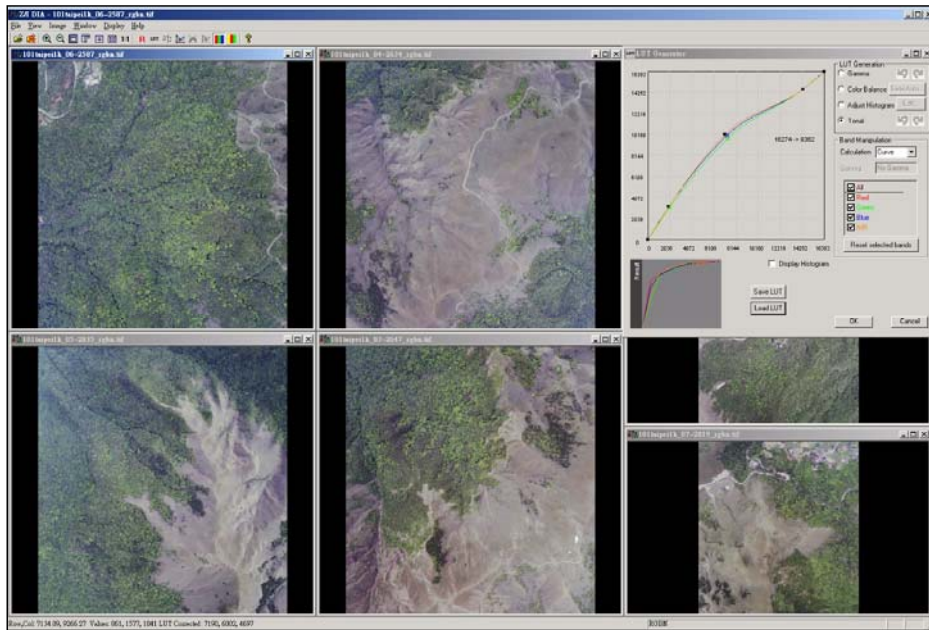


圖5-3、PPS影像處理示意圖

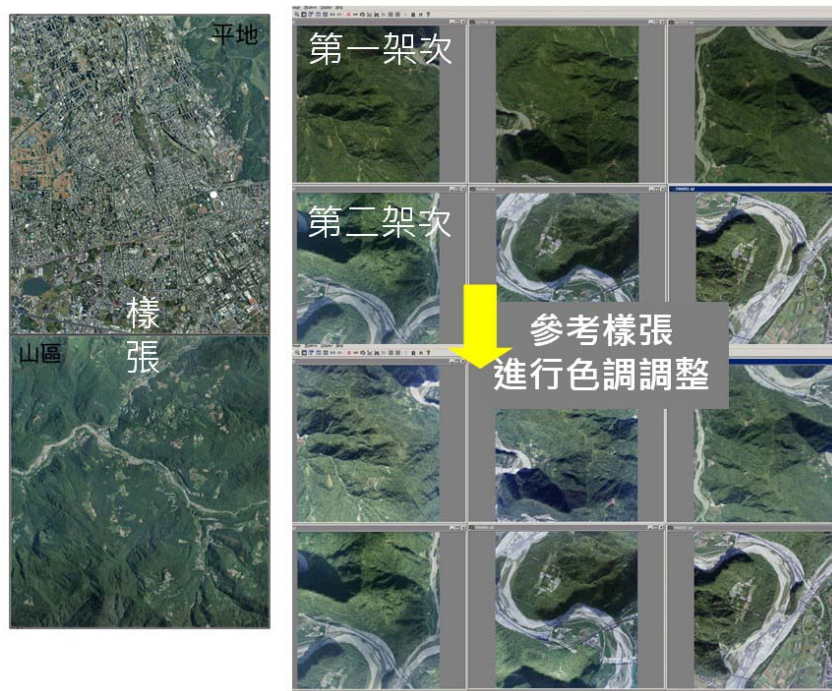


圖5-4、原始影像色彩預處理

### 5.3 空中三角測量

為避免正射影像與光達資料偏移的情形發生，原始影像外方位參數統一採用空中三角測量平差計算取得，本作業區採用 PhaseOne 相機(焦距 50mm 以及焦距 70mm)，搭配慣性量測儀(IMU)，直接取得空中三角測量作業(以下簡稱空三作業)所需高解析度數值影像，並加入每張像片高精度投影

中心坐標 xyz 及  $\omega$ 、 $\phi$ 、 $\kappa$  角度已知值提升空三作業精度，進行影像自動化匹配，使空三作業時間較人工選點時大為縮短，大幅減少因人工作業造成錯誤及花費時間。

空三平差軟體為 Intergraph 公司之 ImageStation Automatic Traingulation(ISAT)，因本計畫影像數量及範圍龐大所以採分區平差，分區作業規劃如圖 5-5 所示。

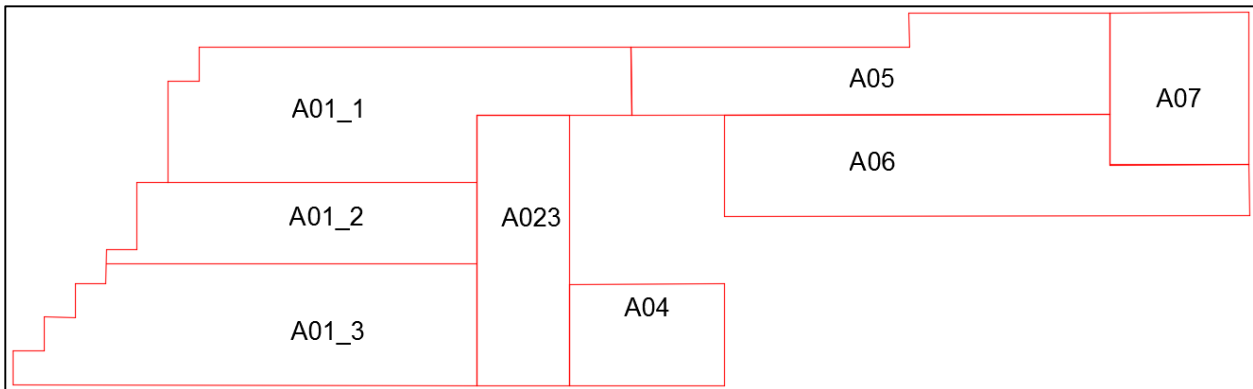


圖5-5、空三作業區域分配圖

(1)使用 ISAT 自動匹配連結點，依據解算之成果報表由人工檢核方式剔除或修正粗差之點位，並針對點位分布不足之區域進行人工選點作業。採影像匹配自動化量測空中三角連結點，連結點成果應符合以下標準，本案空三平差成果連結點強度統計表如表 5-1 所示。

前後重疊率	60%	80%	90%
<b>可靠度指標</b>			
平均多餘觀測數 (總多餘觀測數/ 總觀測數)	$\geq 0.55$	$\geq 0.6$	$\geq 0.7$
連結點平均光線數 (連結點總光線數/ 總連結點數)	$\geq 4$	$\geq 6$	$\geq 7$
連結點強度指標 (N 重光線以上 連結點數/總點數)	(4 重光線以上 連結點數)/(總點數) $\geq 0.3$	(6 重光線以上 連結點數)/(總點數) $\geq 0.3$	(8 重光線以上 連結點數)/(總點數) $\geq 0.3$

- (2) 空中三角測量平差計算，須分 2 個過程進行。先以最小約制（或自由網）平差，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，連結點觀測值之殘餘誤差均方根值不得大於 1.5 個像元，最大殘餘誤差不得大於 3 個像元。
- (3) 完成空三作業方能輸出影像外方位參數供正射影像製作，空中三角平差成果應繳交正高成果。

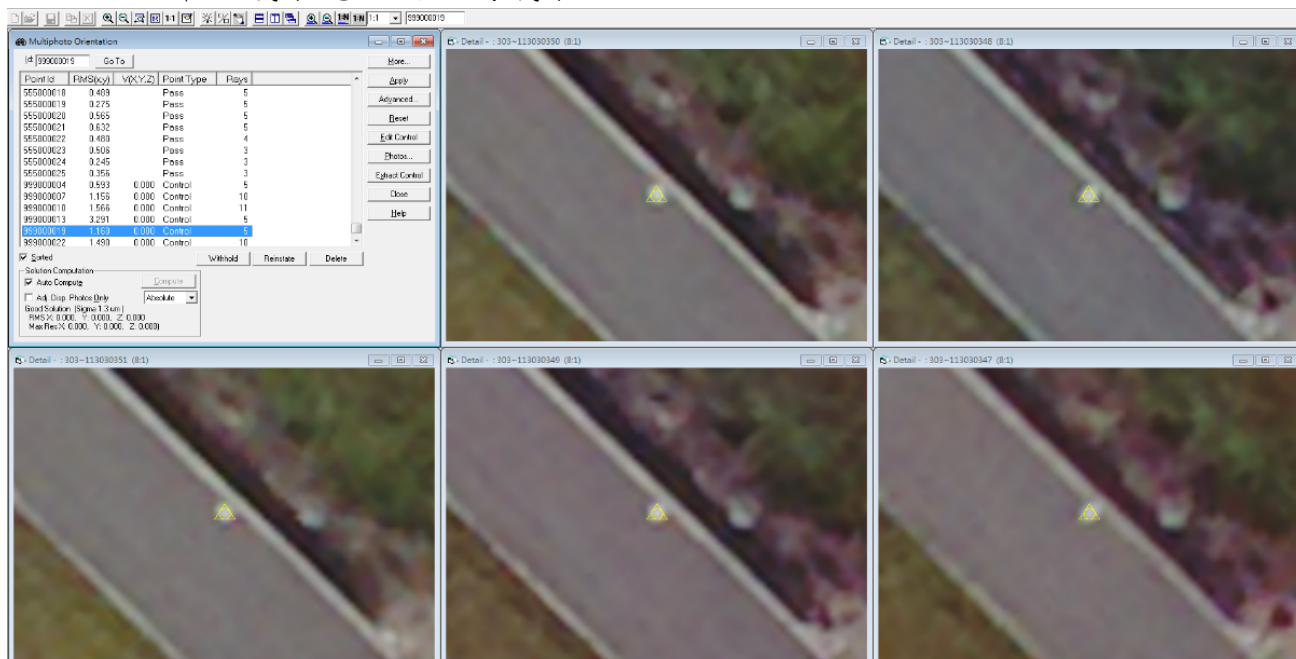


圖5-6、控制點量測

表5-1、空三平差成果連結點強度統計表

A01_1	平均多餘觀測數	0.83	連結點強度指標	0.81
	連結點平均光線數	10.80		
A01_2	平均多餘觀測數	0.80	連結點強度指標	0.71
	連結點平均光線數	9.18		
A01_3	平均多餘觀測數	0.83	連結點強度指標	0.92
	連結點平均光線數	13.69		
A023	平均多餘觀測數	0.79	連結點強度指標	0.87
	連結點平均光線數	8.32		
A04	平均多餘觀測數	0.79	連結點強度指標	0.93
	連結點平均光線數	9.95		
A05	平均多餘觀測數	0.75	連結點強度指標	0.63
	連結點平均光線數	7.06		
A06	平均多餘觀測數	0.78	連結點強度指標	0.95
	連結點平均光線數	9.82		
A07	平均多餘觀測數	0.80	連結點強度指標	0.90
	連結點平均光線數	9.42		

## 5.4 彩色無縫鑲嵌正射影像圖製作

原始影像經由上述針對各架次進行色調調整後，並經由空三作業計算得到影像外方位參數，以及使用本計劃產製之數值高程模型資料即可進行正射影像製作，作業方式如下：

### 1. 製作流程

- (1) 單幅正射影像糾正：應用數值航測影像工作站之航測軟硬體設備 (ImageStation OrthoPro)，配合空中三角測量、數值高程模型資料作為正射糾正之方位及高程控制資料，將中心投影之航空像片，逐點糾正成正射投影，消除像片上投影誤差，製作成單幅正射影像資料檔。製作完成後，須與空載光達資料比對確認平面無偏移問題如圖 5-7 所示，方能進行正射影像鑲嵌作業。

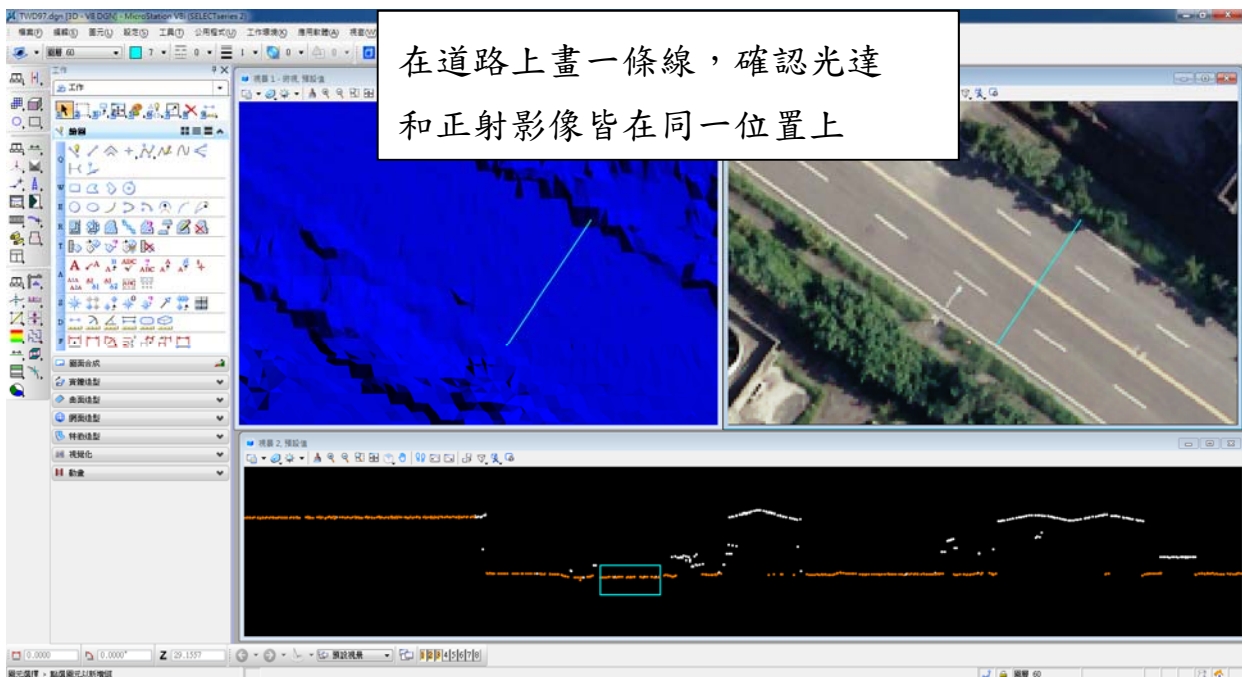


圖5-7、正射影像與光達比較圖

- (2) 影像鑲嵌作業：正射拼接時將相鄰單幅正射影像互相拼接而成一地表連續、無接縫之數值正射影像，目前作業方式採用人工選片，確保接合位置銜接調整正確，同時注意銜接處之色調亦應調整均勻柔和，並盡量選擇河川、道路等天然界線作為拼接線。
- (3) 圖幅分割：將完成鑲嵌作業之正射影像依據監審方所提供之圖框 (接邊處外擴 100 米) 裁切之，正射影像成果如圖 5-8 所示。

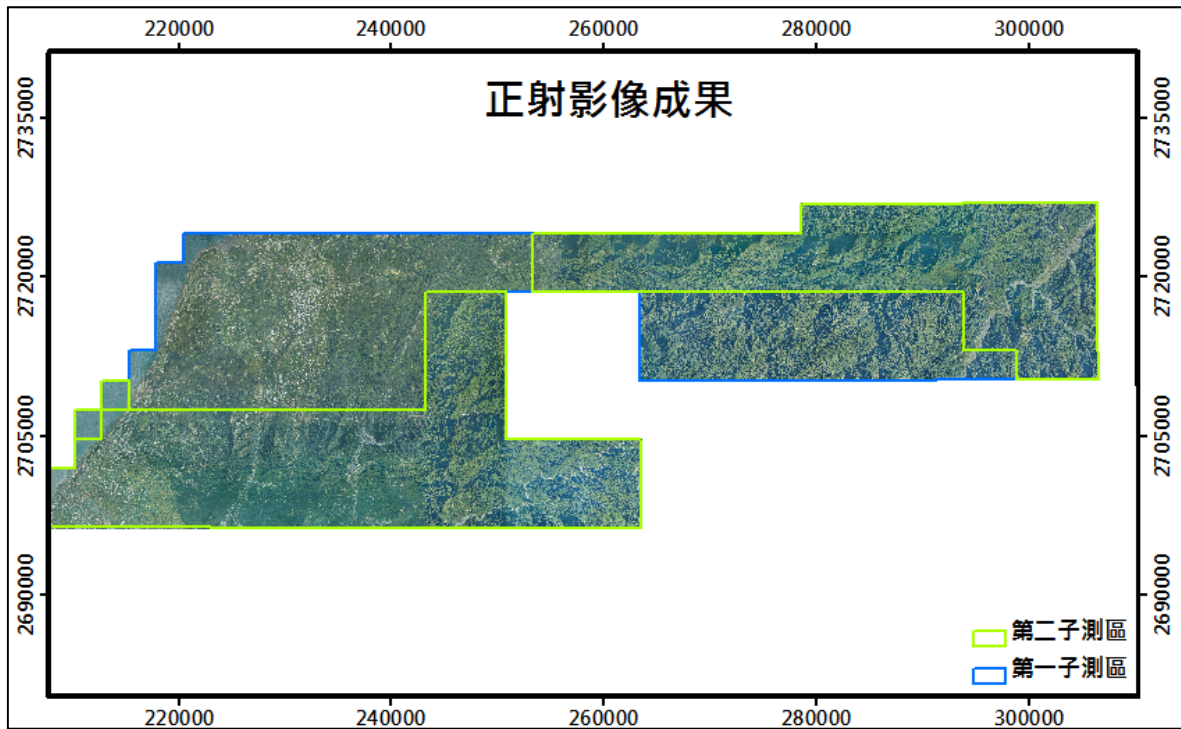


圖5-8、正射影像成果

## 2. 自我檢核

### (1). 正射影像與控制點比對

為評估正射影像精度品質，將選取控制點坐標與正射影像相比，除部分控制點超出正射影像範圍以及影像上無法辨識控制點位外，共計 90 個點位進行比對，選取位置如圖 5-9 所示，其差值比較成果如表 5-2 所示。

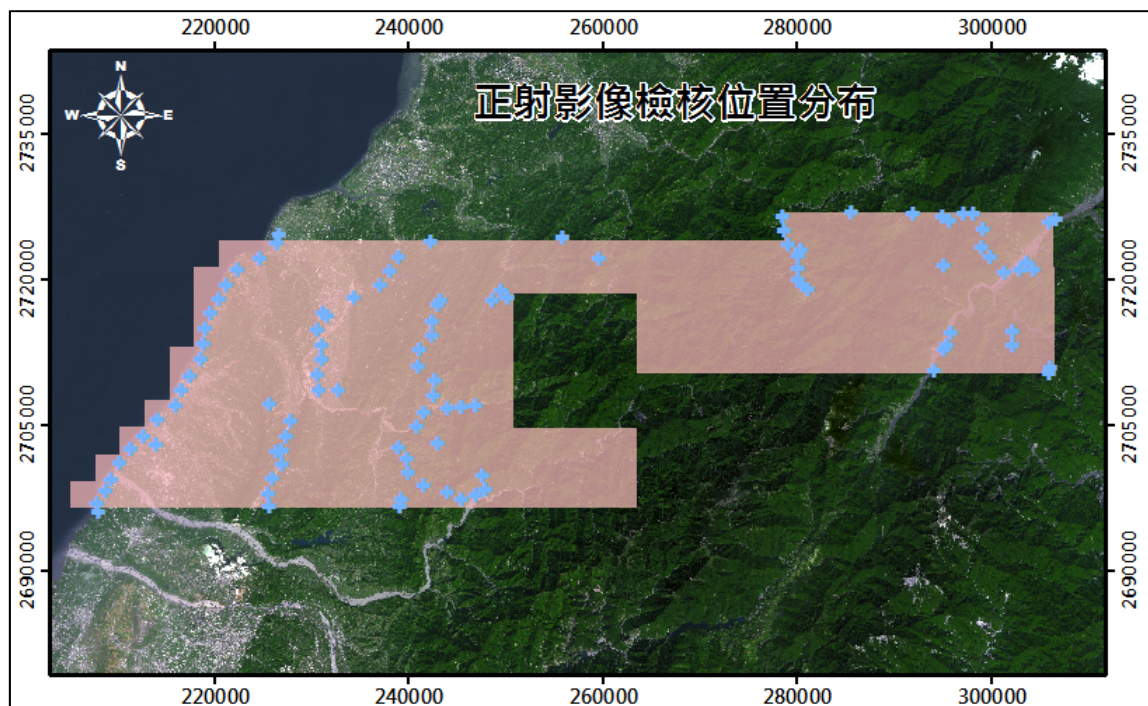


圖5-9、正射影像檢核點分布位置

表5-2、正射影像與控制點差值比較表

點名	平面差值(m)	點名	平面差值(m)	點名	平面差值(m)
001A	0.098	027A	0.121	050A	0.305
003A	0.035	028A	0.133	051A	0.482
004A	0.257	029A	0.289	052A	0.164
005A	0.160	030A	0.396	053A	0.212
006A	0.271	031A	0.290	054A	0.320
007A	0.173	032A	0.249	055A	0.028
008A	0.152	033A	0.570	056A	0.470
009A	0.230	034A	0.348	057A	0.456
010A	0.212	035A	0.246	060A	0.121
011A	0.178	036A	0.218	061A	0.593
012A	0.308	037A	0.057	062A	0.220
013A	0.248	038A	0.185	063A	0.239
015A	0.149	039A	0.125	066A	0.463
016A	0.301	040A	0.063	067A	0.401
017A	0.403	041A	0.070	069A	0.243
018A	0.122	042A	0.318	075A	0.527
019A	0.190	043A	0.367	076A	0.386
020A	0.326	044A	0.201	078A	0.359
021A	0.038	045A	0.289	079A	0.272
022A	0.138	046A	0.271	080A	0.243
023A	0.159	047A	0.088	081A	0.343
024A	0.319	048A	0.177	082A	0.392
026A	0.145	049A	0.271	083A	0.148
083A	0.148	091A	0.373	099C	0.090
084A	0.402	093C	0.188	100C	0.132
085A	0.338	094C	0.348	101C	0.253
086A	0.159	095C	0.232	102C	0.075
087A	0.239	096C	0.300	103C	0.232
088A	0.341	097C	0.342	104C	0.344
089A	0.545	098C	0.087	105C	0.203
最大較差(m)					0.59
最小較差(m)					0.02
均方根誤差(m)					0.13



## (2).正射影像與點雲比對

影像與光達為兩套系統，因此需確認是否有偏移之情況發生。將隨機於範圍內選取正射影像，共計選取18張，每幅影像挑選2處與光達資料進行比對，並加強高架橋梁之檢核。使用光達Intensity或產製渲染圖的方式判定與影像是否有偏移，選取位置如圖5-10所示，其比較成果如表5-3所示。

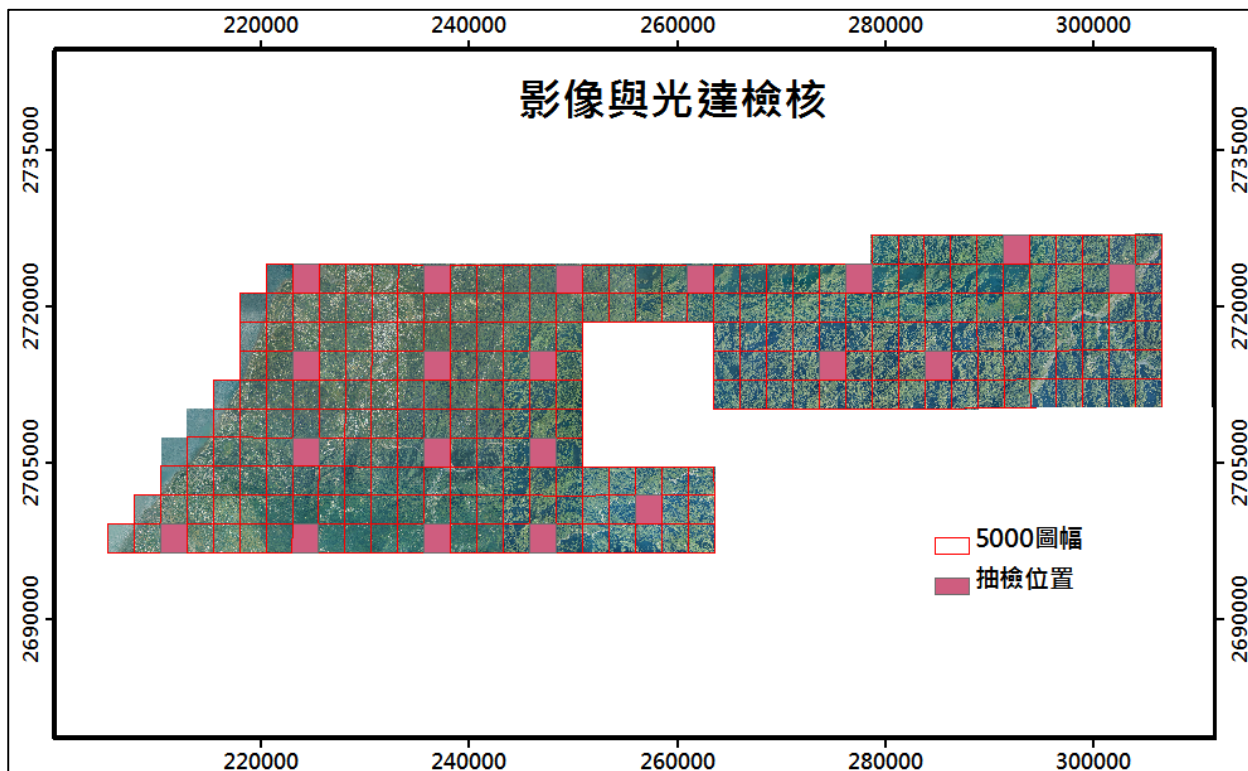

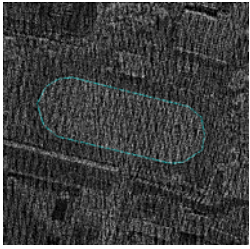

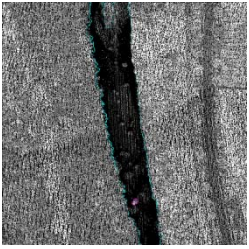

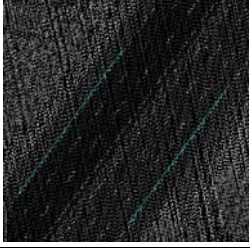

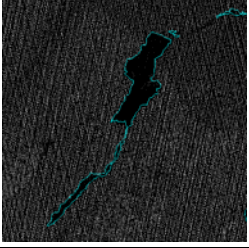

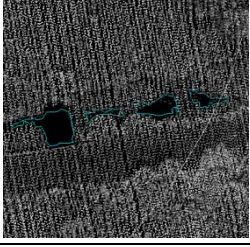

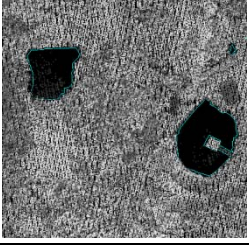

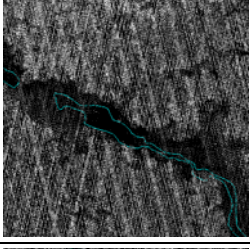

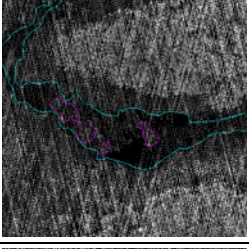

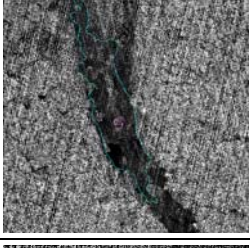

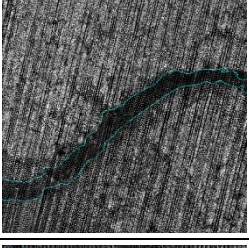

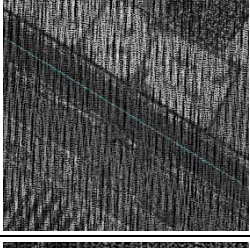

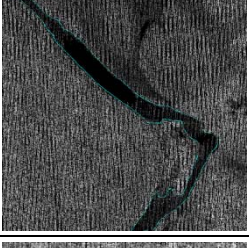



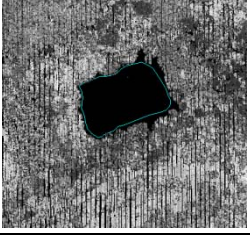



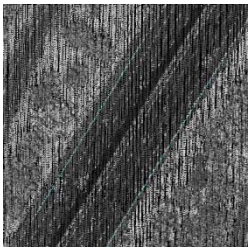

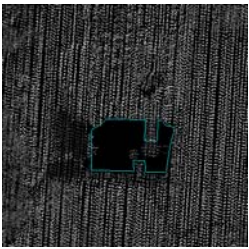



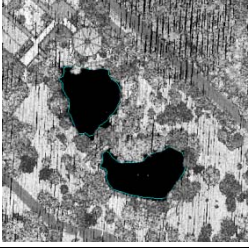

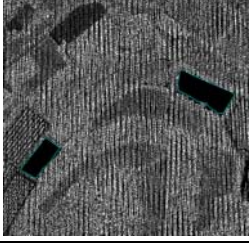

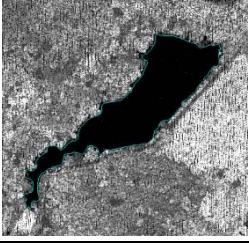

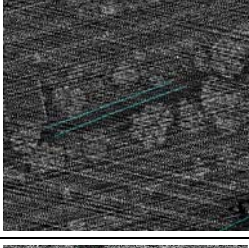

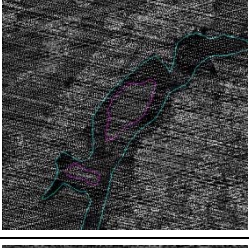

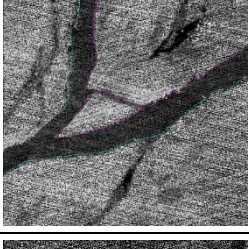

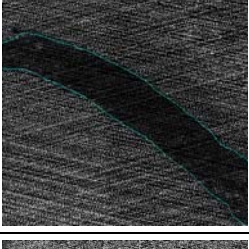

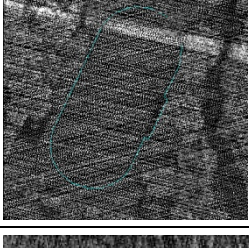

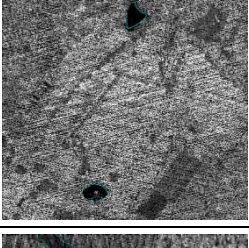

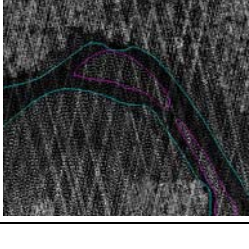
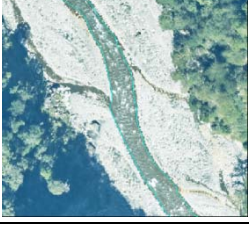
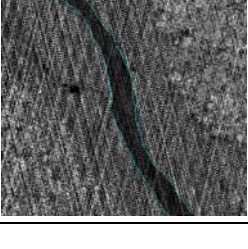
圖 5-10、正射影像與光達比較分布


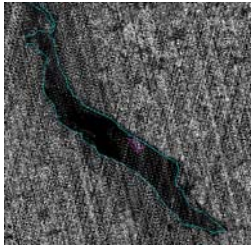

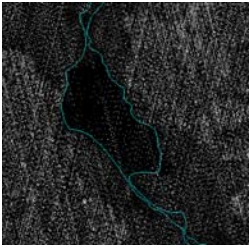

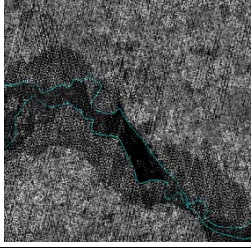

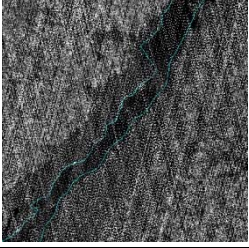

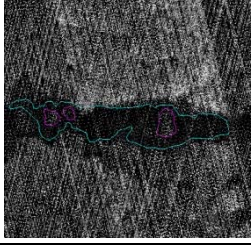
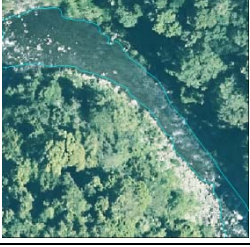
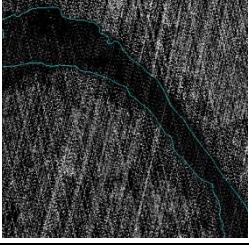



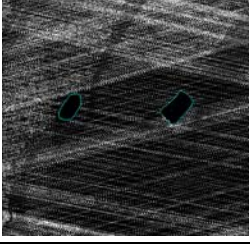
表 5-3、正射影像與光達比較表

圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
95223060					O
95222055					O

圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
95222060					O
95223090					O
95222085					O
96223090					O
96222084					O
95214045					O
95214020					O

第五章、正射影像製作

圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
95214050					O
95211015					O
95211045					O
95211019					O
95211049					O
95222089					O
96214033					O

圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
96223055					O
96222051					O
96222047					O
97223051					O

### 3.水線製作

依據製作完成之正射影像進行水體區域線繪製，其主要目的於點雲過濾後，需進行水體點位之正確性分類及 DEM 最後成果水體點濾除，因此主要採用最後正射影像成果進行繪製，並分類為水線以及沙洲圖層，數化成果皆為封閉多邊形，如圖 5-11 所示。

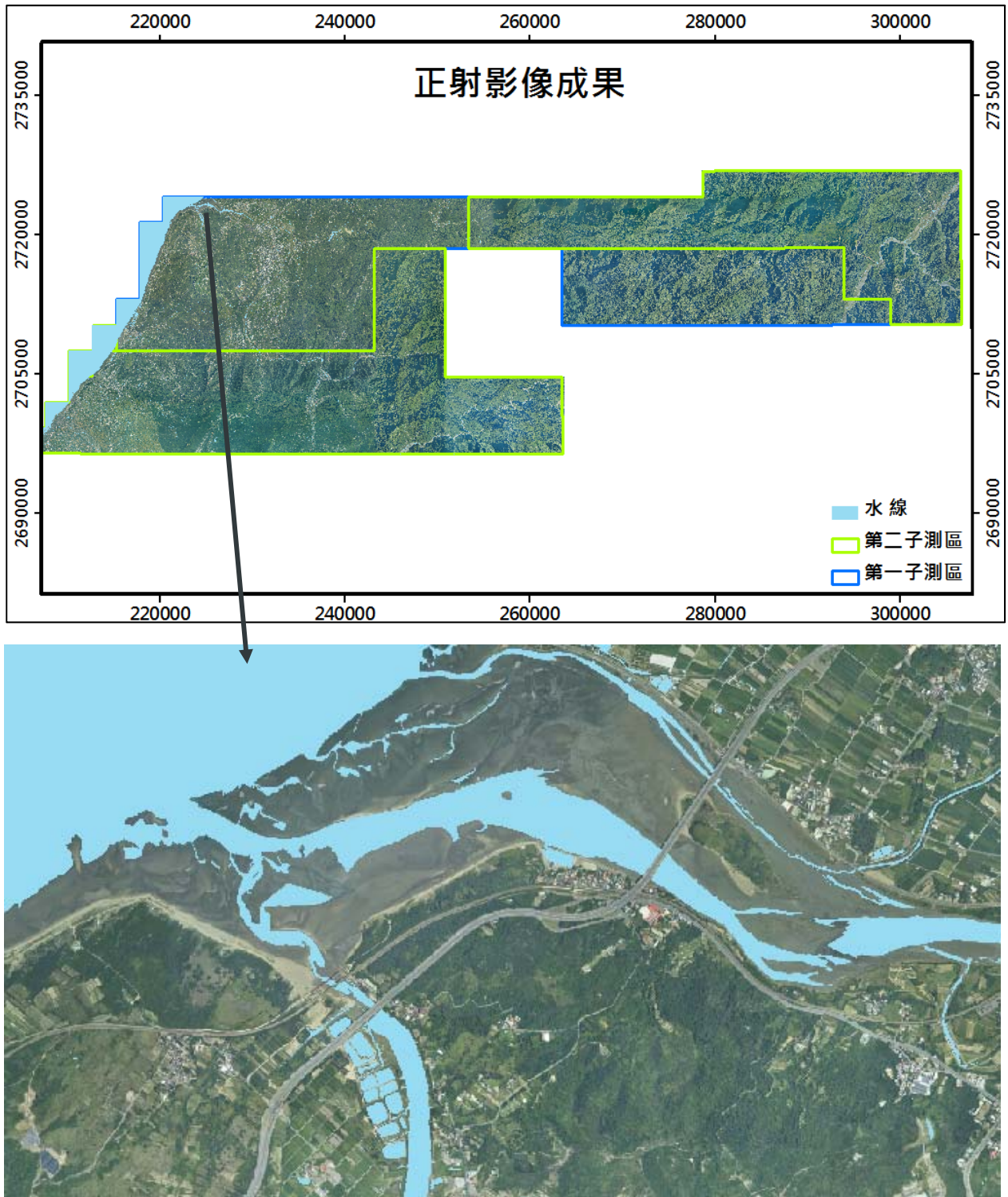


圖5-11、水線成果

## 5.5 正射影像外部接邊

接邊由監審方統一分配，共計需處理41幅正射影像接邊，接邊位置如圖5-12所示，本公司處理108年圖幅成果之接邊。因影像拍攝年分不同、高差移位、地貌變化等緣故，需將影像外擴之重疊部分進行調整。接邊原則為讓不同年度及各作業區整體顏色、特徵物(如稻田、房屋倒向等)一致美觀，使用Photoshop CS調整整體顏色、特徵物鑲嵌。

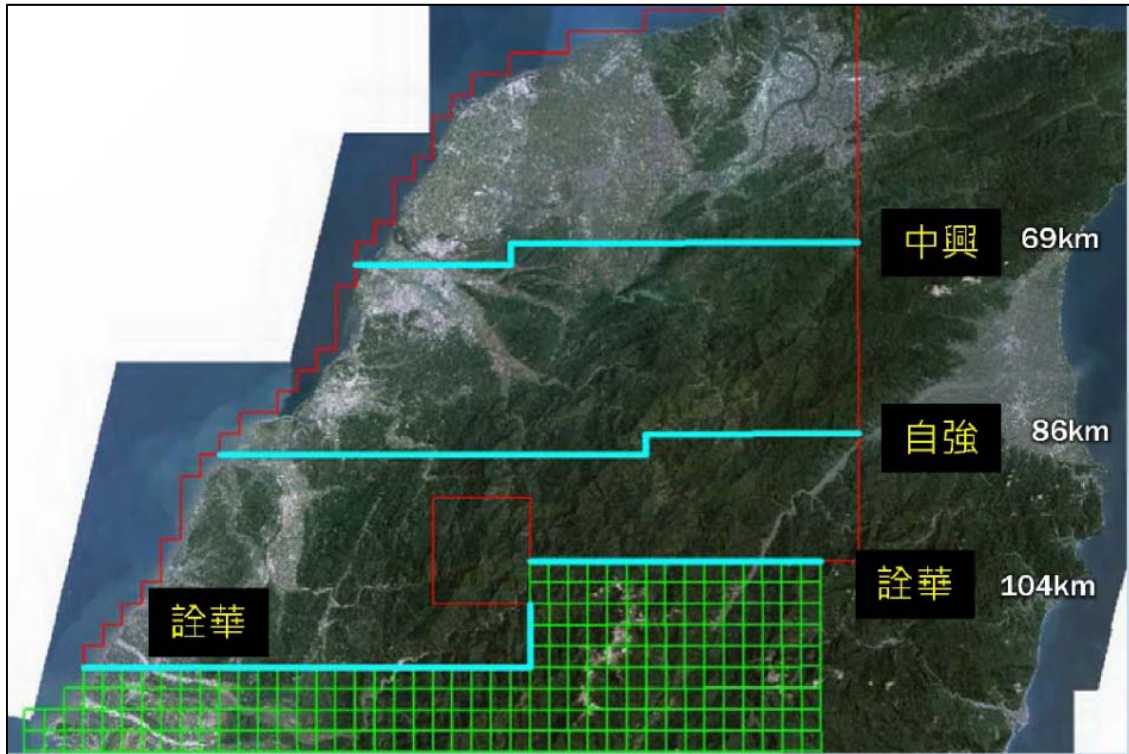


圖5-12、正射影像接邊分布圖

## 5.6 正射影像詮釋資料製作

本年度測區共268幅正射影像，分別製作對應詮釋資料，本公司使用TGOS詮釋資料編輯系統2.0建置詮釋資料模板，介面如下圖5-13所示，並自行開發程式，統計各圖幅詮釋資料所需相關資訊，包含圖號、圖名、地理元素資訊、時間元素資訊等，後批次建置各圖幅對應之詮釋資料，如下圖5-14所示。

圖5-13、內政部TGOS詮釋資料編輯系統2.0介面

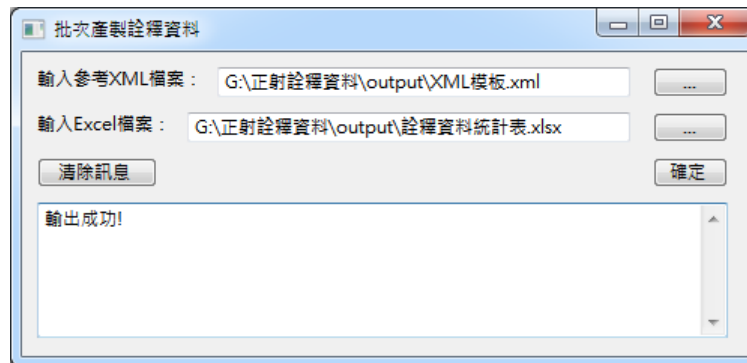


圖5-14、批次產置詮釋資料程式示意圖

## 第六章、成本分析

第3作業區經費分析如表6-1，本案今年度契約價金為29,130,000元，由下表可知，實際成本為30,828,850元，實際成本高於契約價金約169.9萬元，主要新增：

1.飛航成本:今年度委託廠商更換，由兩家航拍公司拍攝，費用單價大幅提升。

2.點雲過濾成本:由於拍攝時間延遲，過濾人員需在平日、假日等時間加班處理，增加加班費用，且本公司於本年度全面調薪，費用額外增加。

3.正射影像製作:本年度新增空中三角相關資料繳交，大幅增加空三製作人力以及後續檢核人員，包括空三檢核以及立體製圖上機檢核。且正射影像製作中，橋樑以及高架道路的正射糾正亦須藉由人力修正改善，皆為成本增加之因素。

表 6-1、經費分析

原契約價				
項目/細項	單位	數量	單價(元)	總價(元)
一、空載光達測製數值地形模型作業				
1.空載光達掃瞄飛航規劃與申請	式	1	147,000	147,000
2.控制測量	式	1	503,300	503,300
3.空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取	幅	266	61,300	16,305,800
4.空載光達掃瞄點雲資料處理	幅	266	20,500	5,453,000
5.DEM/DSM 製作(含圖幅接邊處理)	幅	266	7,400	1,968,400
6.正射影像製作(含空中三角測量)	幅	266	11,900	3,165,400
二、各項報告書、工作總報告等	式	1	1,587,100	1,587,100
<b>110 年小計</b>				<b>29,130,000</b>

實際總價				
項目/細項	單位	數量	單價(元)	總價(元)
一、空載光達測製數值地形模型作業				
1.空載光達掃瞄飛航規劃與申請	式	1	165,000	165,000
2.控制測量	式	1	515,000	515,000



實際總價				
項目/細項	單位	數量	單價(元)	總價(元)
3.空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取	幅	266	71,430	19,000,380
4.空載光達掃瞄點雲資料處理	幅	266	21,445	5,704,370
5.DEM/DSM 製作(含圖幅接邊處理)	幅	266	2,300	611,800
6.正射影像製作(含空中三角測量)	幅	266	12,200	3,245,200
二、各項報告書、工作總報告等	式	1	1,587,100	1,587,100
<b>110年小計</b>				<b>30,828,850</b>

### 6.1 飛航待命及可飛天數分析

本年度因航拍任務影響，於110年4月9日發文至貴中心(詮字第1100004210號)說明更換載具，並於110年4月21日貴中心回覆同意使用(測形字第1101332730號)。因此於五月開始，自強航空進行第3作業區的拍攝，且德安航空完成第1作業區拍攝後，於九月開始進行第3作業區拍攝。部分晴朗無雲的天氣執行兩個架次以上(09/28:自強與德安航空各1架次；11/11德安航空3架次；12/03:自強與德安航空各1架次；12/04:自強與德安航空各1架次)，如所示。

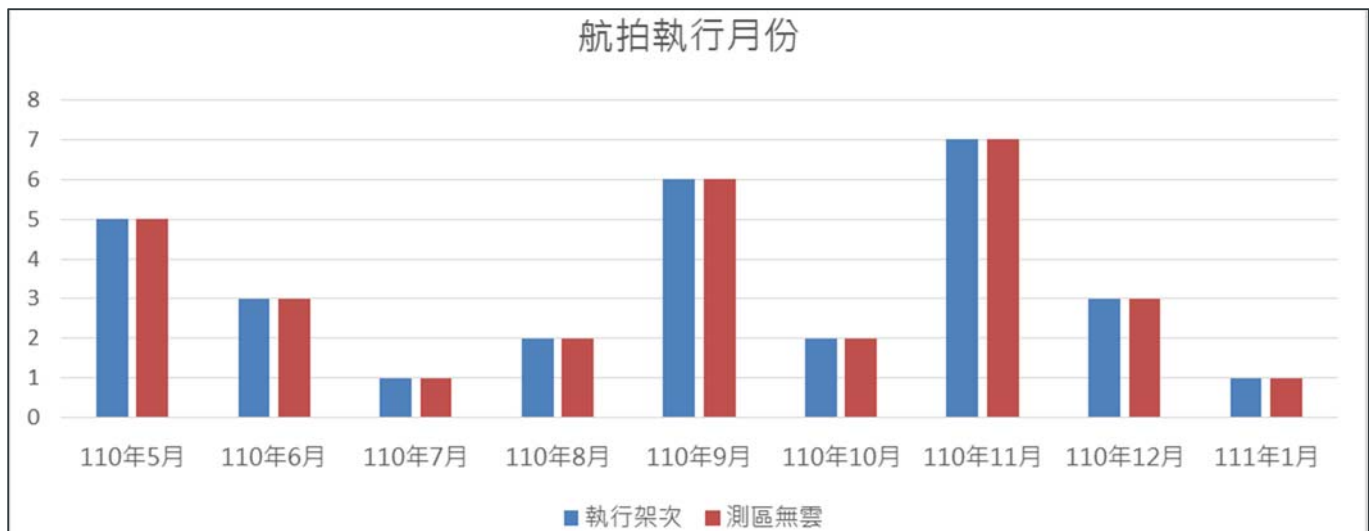


圖6-1、飛航待命及可飛天數分析圖

## 6.2 性別比例分析

為遵守性別工作平等法之規定，保障性別工作權之平等，估算參與本計畫性別比例，男女比例約占19:16，其中外業施作部分(控制測量以及飛航掃瞄)男性比例較高，而內業編修部分女性比例較多。總體男女比例差異不大，如表6-2所示：

表6-2、性別比例分析

工作項目	男	女
專案管理及品質管制	5	2
控制測量	4	1
飛航掃瞄與規劃	4	1
光達編修	4	9
正射影像製作	2	3
總計	19	16

## 第七章、檢討與建議

### 結論

- (一) 第 3 作業測區總圖幅數為 266 幅並新增 2 幅沙洲堤防區域，共計繳交 268 張資料。成果以空載雷射掃瞄方式建置高精度高解析度 1 公尺網格之數值高程模型(DEM)及數值地表模型(DSM)、正射影像圖(GSD:25 公分)，第 2 階段繳交 107 幅以及第 3 階段繳交 161 幅。使用儀器為 Riegl Q780 搭載 Phase One IXU-RS-1000(焦距 50mm)以及 Riegl VQ1560II 搭載 Phase One IXU-RS-1000(焦距 70mm)數位相機。
- (二) 使用第 3 作業區範圍周邊基站，包括自架站 4 站、內政部國土測繪中心 7 站、中央氣象局 26 站以及經濟部中央地質調查所 12 站。並蒐集 110/04/02~110/04/04 三天連續資料，經由監審方統一解算，獲得 TWD97【2020】系統之基站坐標。
- (三) 第 3 作業區控制點採用 VBS-RTK 方式量測，固定解至少 180 筆以上，每點施測兩測回，間隔 60 分鐘以上之成果並取其平均。總計施測 91 個控制點，15 個屋角點。
- (四) 空載光達及航空測量攝影機皆經由內政部測繪中心的 TAF 認證實驗室檢校，且空載光達儀器亦有原廠率定報告以及自行設置之率定場校正，Q780 拍攝率定場日期為 110 年 03 月 15 日以及 110 年 05 月 12 日；VQ1560II 拍攝率定場日期為 110 年 9 月 16 日。
- (五) 第 3 作業區有效架次共 35 架次，正規航線、潮間帶以及交叉航線總計約 3,622 公里，補雲航線約 135 公里，光達重疊率 50%以上。第一子測區航帶間相對高程平均差 11.5 公分，平均點密度為 4.70 點/m<sup>2</sup>，第二子測區航帶間相對高程平均差 14.3 公分，平均點密度為 6.05 點/m<sup>2</sup>。
- (六) 高低海拔地類及橫斷面檢核成果，低海拔地類均方根誤差為 5.4~公分~12.5 公分之間，高海拔地類標準偏差為 8.1~12.0 公分。低海拔橫斷面均方根誤差為 5.8 公分，高海拔橫斷面均方根誤差為 6.5 公分。

(七)正射影像與空載光達為同步拍攝作業，為確保正射影像之精度，本作業區影像外方位採空中三角測量作業計算取得，並採 GNSS 輔助空三平差解算，經本項作業後使可將影像定位與點雲航帶平差之系統一致。由於水線繪製為製作 DEM 成果必需資訊，因此本案使用同步拍攝之正射影像繪製水線，方能使水體位置與點雲資料能相互參考。本案影像與控制點比較其平面差值均方根為 13 公分。

(八)本年度第 3 作業區第 2 階段於 110 年 12 月 6 日至 7 日辦理外業驗收，於 111 年 3 月 16 日至 18 日辦理第 3 階段外業驗收，其成果皆符合規範。

### 建議

(一) 本案作業需求為空中三角測量，且成果皆符合作業規範，建議應用端應針對空三相關成果詢問，若在後續應用如立體製圖等相關問題，應詢問其他有關單位。

(二) 本年度在正射影像製作中，須針對橋梁、高架道路做影像糾正，平地比原預估作業增加約 1 至 2 倍的時間修正，建議未來平地正射製作費用需額外增加。

### 檢討

本公司 110 年度第二與第三階段進度落後，造成經費保留的主要因為：

(一) 原合作的協力廠商前進航空股份有限公司，發生勞資糾紛及積欠債務等因素，無法執行本案計畫。原先詮華航空已在籌備階段，但無法銜接前進的事件。

(二) 110 年期間，全台航空載具僅有德安以及自強航空，無法滿足三個作業區共同使用。因此協議之下，請自強航空以第 2 作業區為優先任務排定區域，並於空檔時間進行第 3 作業區的航拍。德安航空優先拍攝完第 1 作業區任務後，於九月開始進行第 3 作業區的拍攝作業。期間須與自強航空簽訂相關合作文件、民航局飛航許可以及重新執行航線規劃；德

安航空配合第 1 作業區飛行空檔時間辦理 VQ1560II 秤重以及購型認證通過後，才能辦理民航局飛航許可等相關手續。

(三) 航線規劃兩架載具執行不同區塊任務，避免航空載具空域衝突。且在天氣及空域允許的情況下，同時兩台載具執行任務如 110 年 9 月 28 以及 12 月 3 日，並且於 110 年 11 月 11 日執行三個架次以及 12 月 4 日執行兩個架次，積極改善飛航落後之情況。

(四) 詮華航空於 109 年 7 月已開始規劃籌備，按前例應預計 110 年 9 月即可成立，期間包括教官需前往美國驗證飛行以及相關行政作業等工作項目，皆受新冠疫情影響而持續延宕。相關時程如下所記錄。

階段		主要項目	預計所需時程	詮華航空實際時程
第 1 階段	申請前階段	初步指導工作 審請前討論會議	約 1 個月	109-07-06~110-02-01，約 7 個月
第 2 階段	正式申請階段	正式申請函 正式申請附件 正式申請會議	約 1 個月	
第 3 階段	文件符合階段	評估訓練手冊 評估公司作業手冊 /程序	約 6 個月	110-02-01~110-09-15，約 7.5 個月
第 4 階段	驗證檢查階段	評估訓練執行情況 (含模擬機鍊) 維修作業需求檢查 運航作業需求檢查 ETOPS 驗證飛航(含 驗證飛行) 核准營運規範 准發營運規範與受 檢完成航空公司	約 2 個月	110-09-15~110-12-22，約 3.5 個月
第 5 階段	結證階段	檢定報告準備、傳 會與歸檔 擬定後續定期檢查 及監督計畫	約 1 周	

藉由辦理110年DTM的經驗，再次證明飛航為本案工作進度的重要關鍵，且全臺能夠執行飛航任務的載具能量有限，在目前國內航空載具資源有限的情況下對於DTM專案執行存有一定風險存在。本公司於109年起開始籌辦詮華航空公司的成立，以避免DTM專案航空載具不足之風險發生。

有關110年的檢討解決方法，本公司終於克服疫情及各階段驗證工作於110年12月底成立詮華航空公司，未來111年起提供DTM專案外業航拍掃瞄至內業DTM成果製作的完整流程服務。詮華航空公司同時購入2台同規格航空載具，可互相支援突發狀況，未來能避免無航空載具風險事件再次發生。

從110年執行經驗，詮華公司委託同業協助辦理DTM第1子測區航拍掃瞄工作，亦委託德安航空辦理第2子測區航拍掃瞄工作，並同時間積極趕辦詮華航空成立之各階段驗證工作，因應各種突發狀況，找出解決方案對策，順利完成110年DTM工作。

(五) 因目前新冠疫情持續嚴重影響全台，本公司目前在台中、高雄皆有分公司設置，必要時可在分公司設定機敏作業室因應未來疫情變化。

## 第八章、參考文獻

- 內政部，2005。LiDAR測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)。
- 內政部，2007。國土測繪法。
- 經濟部中央地質調查所，2014。非莫拉克災區與特定事件(颱風豪雨或地震等事件)後LiDAR高解析度數值地形製作之檢核與監審(2/3)期末報告書。
- Ackermann, F., 1999. Airborne laser scanning-present status and future expectations, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54(1999), pp 64-67.
- Axelsson, P., 2000. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33, pp. 111-118.
- Chauve, A., C. Mallet, F. Bretar, S. Durrieu, M. P. Deseilligny and W. Puech. 2007. Processing full-waveform LiDAR data: Modelling raw signals, *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*, 12-14 September, Espoo, Finland.
- Latypov, D., 2002. Estimating relative LiDAR accuracy information from overlapping flight lines. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 56, pp. 236-245.
- Mallet, C., F. Bretar, M. Roux, U. Soergel and C. Heipke. 2011. Relevance assessment of full-waveform LiDAR data for urban area classification, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(6), pp 71-84.
- Raber, G. T., J. R. Jensen, S. R. Schill and K. Schuckman. 2002. Creation of digital terrain models using an adaptive LiDAR vegetation point removal process. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, pp. 1307-1315.
- Terrasolid, 2015. TerraScan User's Guide.
- Vosselman, G., 2000. Slope based filtering of laser altimetry data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol XXXIII, Part B3, pp. 935-942.
- Wehr, A. and U. Lohr, 1999. Airborne laser scanning – an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, pp. 68-82.