



NLSC-108-5

108及109年度LiDAR技術更新
數值地形模型成果測製工作採購案
第1作業區

Updating Taiwan DEM by LiDAR
technique - 2019 & 2020 1st Work zone

108年度工作總報告
Final Report

主辦機關：內政部國土測繪中心

National Land Surveying and
Mapping Center (NLSC)

執行單位：詮華國土測繪有限公司

RealWorld Surveying and Geomatics Corp.

中 華 民 國 108年12月31日

專業技師簽證報告

工 程 專 業 技 師 簽 證 報 告			
一	案 名	名 稱：108 及 109 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作採購案	
		案 號：NLSC-108-5	
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：108 年 01 月 21 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	簽證範圍：本案相關成果 簽證項目：☐設計 ☐監造 ☒其他 簽證內容：本案各階段相關成果 執業圖記：	
		簽證意見：符合相關規定	
八	日 期	中華民國 108 年 12 月 25 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，因此國土測繪中心(以下簡稱甲方)規劃辦理「108 及 109 年度 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 1 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。第 1 作業區作業面積共計 1,250 平方公里，共需完成 177+1 幅(新增一幅保留海堤完整性)1/5,000 圖幅成果。

本計畫共分兩年度，108 年度共 4 階段成果資料繳交，第 2 階段需繳交總圖幅數 40%成果共 71 幅，第 3 階段需繳交總圖幅數 60%成果共 107 幅，工作內容主要包括：

- 1.空載雷射掃描飛航計畫規劃與申請。
- 2.地面GNSS基站控制測量。
- 3.空載雷射掃描施測資料獲取。
- 4.雷射掃描點雲資料處理。
- 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 1 作業區區採 Leica ALS70 空載光達掃描儀進行飛航掃描作業，目前施測作業總計飛航 101 條航線，共計 14 架次，測線長度約 2,817 公里(含潮間帶、交叉航線以及補雲航線)，航高約為 0 公尺~2,300 公尺光達重疊率為 50%。空載光達率定場設於彰濱工業區，率定時間為 108 年 7 月 24 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，率定成果均方根誤差為 3.7 公分以及 3.4 公分，確認飛行之均方根誤差為 4.9 公分以及 4.9 公分，皆符合作業精度 10 公分以內。

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 1 作業區以 Phase one IXU 相機進行航空攝影，影像前後重疊率約 80%，側向重疊率約 50%，實際使用為 9,755 張。正射影像製作皆經過色調調整、空中三角測量作業、正射糾正以及接邊鑲嵌等作業程序，產製地面解析度為 25 公分之正射影像共 178 幅，測區正射影像與控制點均方根誤差為 28 公分。

三、資料後處理及精度分析

第 1 作業區低海拔各地類檢核精度在平均誤差為 0.9 公分~8.1 公分之間，均方根誤差為 4.6 公分~8.9 公分之間。低海拔橫斷面道路檢核的部分，平均誤差為 0.1 公分，均方根誤差為 4.9 公分。

高海拔各地類檢核精度在平均誤差為 2.7 公分~7.3 公分之間，均方根誤差為 8.0 公分~15.9 公分之間。高海拔橫斷面道路檢核的部分，平均誤差為 4.7 公分，均方根誤差為 5.7 公分。

應用高精度 DTM 成果，可提供國家工程建設、環境安全監測等大規模的地形資訊。妥善規劃，完善的預防措施皆能供應重要的決策資訊，使國家的居住環境更為安全。

關鍵字:空載光達、數值地型模型、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. Therefore, National Land Surveying and Mapping Center, planning for “Updating Taiwan DEM by LIDAR technique - 2019 & 2020”. Real World Engineering Consultants Inc. (RW Company) are execute the first operating area. The first operating area is required to establish DTM database of 1,250 square kilometers. The total number of 1/5,000 sheets is expected to be 177+1. (The additional 1 sheets was the information of sea dike around the survey area.)

The project is divided into two years, the second and the third phases need to submit 40% (71 sheets)and 60% (107 sheets)of the total number of 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 orthoimages

I. Flight plan and implementation

The flight operation was executed using Leica ALS70 sensor in the area. The current survey operations total of 101 trajectories, measuring length of about 2,817 kilometers, flight height of about 0 to 2,300 meters, and LiDAR strips overlap of 50%. The calibration was performed at Changhua Coastal Industrial Park on 24th July, 2019 . In order to ensure that the result is correct, the flight operation was confirmed on the

same day. The root mean square error of calibration results was 3.7 cm and 3.4 cm, and confirmed flight root mean square error of 4.9cm and 4.9 cm, was in line with the operating accuracy of 10 cm or less.

II. Production of orthoimages

This project collected data by using airborne LiDAR and aerial photography at the same time. In the first operating area, aerial photos were acquired with PhaseOne IXU camera with a forward overlap of 80% and side overlap of 50%. The current number of actual used aerial photos was 9,755. Orthoimages production are all through the tone adjustment, aerial triangulation, orthographic rectification, and mosaic procedures. The orthoimages of this project generated with a ground resolution of 25 cm, and the total number of photos was 178. The standard deviation between orthoimages and control points in the area was 28 cm.

III. Post-processing and accuracy analysis

The average absolute errors of low altitude elevation area are between 0.9cm~8.1cm, the root mean square error are between 4.6cm~8.9cm. The average absolute errors of the low road cross section is 0.1cm, the root mean square error is 4.9cm.

The average absolute errors of high altitude elevation area are between 2.7cm~7.3cm, the root mean square error are between 8.0cm~15.9cm. The average absolute errors of the high road cross section is 4.7cm, the root mean square error is 5.7cm.

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	I
表 目 錄	IV
圖 目 錄	VI
第一章、前言.....	1
第二章、作業規劃.....	6
2.1 作業準備.....	6
2-1-1 飛航申請作業	6
2-1-2 系統裝機	6
2.2 飛航規劃.....	8
第三章、地面控制點選取與測量作業	14
3.1 基站選取.....	14
3.2 控制測量.....	15
3-2-1 測量規範	16
3-2-2 地面控制點VBS-RTK測量	16
第四章、空載 LiDAR 作業	20
4.1 率定作業.....	20
4-1-1 ALS70與ALS60率定場地地點與規格	21
4-1-2率定飛行作業程序	23
4-1-3 率定成果	26
4.2 飛航掃瞄成果.....	31
4.3 空載 LiDAR 資料處理.....	36
4.4 航帶平差與內部精度評估.....	39
4-4-1 航帶精度分析及平差處理	40
4-4-2 雷射掃描誤差來源及精度分析	41

4-4-3	分區航帶平差	43
4-4-4	航帶平差模式	43
4-4-5	航帶平差及應用軟體	45
4-4-6	航帶平差成果評估	46
4-4-7	航帶平差自我檢核成果	49
4.5	DEM/DSM 製作	53
4-5-1	點雲編修流程	53
4-5-2	點雲編修狀況	56
4-5-3	DEM/DSM產製.....	57
4-5-4	大地起伏化算	60
4.6	檢核點蒐集及作業	61
4-6-1	測量作業方式	61
4-6-2	精度評估標準與作業	65
4-6-3	精度評估與分析	66
	第五章、正射影像製作.....	74
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.....	90
	第六章、成本分析.....	92
	第七章、檢討與建議.....	94
	第八章、參考文獻.....	97

附件一、108年度第1作業區作業計畫

附件二、108年度第1作業區飛航計畫

附件三、第1作業區飛航申請公文

附件四、控制測量成果

附件五、儀器TAF檢校

附件六、自主檢查報表

附件七、工作會議結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

表 目 錄

表1-1、108年度各階段繳交期程表.....	3
表1-2、第1階段成果繳交期程.....	4
表1-3、第2階段成果繳交期程.....	5
表1-4、第3階段成果繳交期程.....	5
表1-5、第4階段成果繳交期程.....	5
表2-1、第1作業區航拍申請期程.....	6
表2-2、空載光達掃瞄儀規格.....	7
表2-3、數位相機規格表.....	7
表2-4、正規航線掃瞄參數表.....	11
表2-5、交叉航線掃瞄參數表.....	12
表2-6、潮間帶航線掃瞄參數表.....	13
表3-1、測區基站統計表.....	14
表4-1、ALS70 GNSS精度相關成果圖.....	26
表4-2、ALS70 光達系統率定Roll、Pitch、Heading變化.....	28
表4-3、光達系統率定高程分析統計表.....	29
表4-4、確認飛行高程分析統計表.....	30
表4-5、飛航掃描紀錄表.....	31
表4-6、測區各架次掃瞄執行與基站接收時間.....	33
表4-7、航拍點雲之檢核.....	39
表4-8、本案平差成果.....	47
表4-9、平面精度比較表.....	50
表4-10、點雲分類圖層說明表.....	54
表4-11、低高海拔各地類及橫斷面檢核點.....	62
表4-12、中高海拔各地類及橫斷面檢核點.....	63
表4-13、地形類別調整參數b(單位：公尺).....	65
表4-14、地表植被覆蓋情形調整參數c(無單位).....	65
表4-15、平面精度標準(單位：公尺).....	65
表4-16、第1作業區低海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表.....	66

表4-17、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.....	80
表5-2、正射影像精度評估.....	83
表5-3、正射影像與光達比較表.....	86
表6-1、成本分析.....	92
表6-2、性別比例分析.....	93

圖 目 錄

圖1-1、第1作業區作業範圍.....	2
圖1-2、第1作業區各階段繳交圖幅數位置分布圖	3
圖2-1、儀器裝機.....	7
圖2-2、飛航規劃流程圖.....	8
圖2-3、測區分區圖.....	9
圖2-4、正規航線設計圖.....	10
圖2-5、交叉航線設計圖.....	11
圖2-6、潮間帶航線設計圖.....	12
圖3-1、氣象局國土測繪中心及地調所之GNSS連續站	15
圖3-2、第1作業區航帶平差控制點分布圖.....	17
圖3-3、高程控制點點之記.....	18
圖3-4、特徵屋角點點之記.....	19
圖4-1、空載LiDAR作業流程圖.....	20
圖4-2、空載光達率定示意圖.....	21
圖4-3、Lever Arm量測作業	22
圖4-4、ALS70彰濱率定場範圍	23
圖4-5、ALS70 Roll方向誤差率定示意圖	24
圖4-6、ALS70 Pitch方向誤差率定示意圖.....	24
圖4-7、ALS70 Roll方向誤差率定示意圖	25
圖4-8、ALS70 Heading方向誤差率定示意圖	25
圖4-9、ALS70 Range Correction誤差率定示意圖.....	26
圖4-10、ALS70 不同航線率定成果.....	28
圖4-11、ALS70 高程率定計算成果	29
圖4-12、ALS70 高程精度殘差散布圖	29
圖4-13、ALS70 確認飛行點雲成果.....	30
圖4-14、ALS70 確認飛行高程計算成果.....	30
圖4-15、ALS70 高程精度殘差分析圖(確認飛行).....	30
圖4-16、中央氣象局衛星雲圖.....	32

圖4-17、航線掃瞄月份.....	34
圖4-18、GNSS基站接收時間	34
圖4-19、基站與航線軌跡距離.....	35
圖4-20、GNSS基站接收頻率	35
圖4-21、基站CHIN_PDOP值.....	36
圖4-22、機載GPS_PDOP值	36
圖4-23、空載光達掃瞄資料作業流程圖	37
圖4-24、飛航掃瞄成果圖.....	38
圖4-25、推求兩航帶內某共軌點的相對高程差示意圖	41
圖4-26、點雲分區航帶平差.....	43
圖4-27、航帶平差作業流程.....	45
圖4-28、平均高程差異直方圖.....	49
圖4-29、平面精度比較位置分布圖.....	50
圖4-30、航帶平差誤差分布圖.....	52
圖4-31、點雲後處理作業流程圖.....	53
圖4-32、過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000).....	54
圖4-33、人工檢視編修界面.....	55
圖4-34、過濾非地面點後之成果(圖號95201010).....	55
圖4-35、水體分類成果(圖號95201009).....	56
圖4-36、本案作業人員分布圖.....	57
圖4-37、點雲TIN分析圖	58
圖4-38、本案DEM、DSM成果.....	59
圖4-39、DEM、DSM接邊分布圖	60
圖4-40、年度接邊地形變異示意圖.....	60
圖4-41、檢核點分布	64
圖4-42、低海拔各地類檢核誤差分布圖	69
圖4-43、低海拔各地類檢核誤差圓餅圖	70
圖4-44、高海拔各地類檢核誤差分布圖	72
圖4-45、高海拔各地類檢核誤差圓餅圖	73
圖5-1、正射影像製作流程.....	74

圖5-2、影像範圍涵蓋圖	75
圖5-3、PPS影像處理示意圖	76
圖5-4、原始影像色彩預處理	76
圖5-5、空三作業區域分配圖	77
圖5-6、控制點量測	78
圖5-7、空三控制點及連結點展點網系圖	79
圖5-8、正射影像與光達比較圖	81
圖5-9、正射影像成果	82
圖5-10、正射影像檢核點分布位置	83
圖5-11、正射影像與光達比較分布	86
圖5-12、水線成果	90
圖5-13、正射影像接邊分布圖	91
圖5-14、正射影像接邊成果	91
圖7-1、109年度航線調整	95

第一章、前言

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。

行政院農林航空測量所於民國72~74年以傳統航空攝影測量技術製作全台40米解析度DTM，內政部於93~95年建置5米解析度DTM，並加入空載光達測試製作，於94年訂立「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)。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。內政部為配合行政院推動「落實智慧國土-國土測繪圖資更新及維運計畫(105-109)」，分三期辦理全台DTM更新。105~106年(前期計畫)完成1,330幅1/5,000基本圖範圍DTM更新作業，107年(前期計畫)辦理781幅DTM更新，內政部國土測繪中心(以下簡稱貴中心)於108~109年辦理「108及109年度LiDAR技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」(以下簡稱本案)，分3個作業區辦理DTM更新，共計1,458圖幅(1/5,000)，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。

詮華國土測繪有限公司(以下簡稱本團隊)為國內少數同時具有空載光達掃瞄、航空攝影測量等多元化發展之全方位測繪公司。除自有空載光達掃瞄儀、航測製圖專業相機外，更有全國最豐富之飛航經驗。承辦地調所、內政部DTM建置案(6年)以及DTM更新案(105~107年)，且長期承攬各縣市政府1/1,000航測地形圖及DEM製作。因此，本團隊熟稔空載光達掃瞄作業相關要求規定，累積豐富掃瞄測製經驗與實力及大型測量專案管控經驗，並與內政部及監審單位均保持良好暢通之溝通管道。對於飛航管控、空載光達掃瞄、航空測量、控制測量等工作皆能圓滿完成，深獲業主肯定。

2. 計畫範圍

第1作業區域橫跨臺中市、苗栗縣、南投縣三個縣市，約1,250平方公里，緊鄰台中港、高美濕地、惠蓀林場等，範圍海拔高度約為0至2,300公尺，總計平原佔128幅(72%)，山區佔50幅(28%)，本案起降機場以台中機場為主，如圖1-1所示。

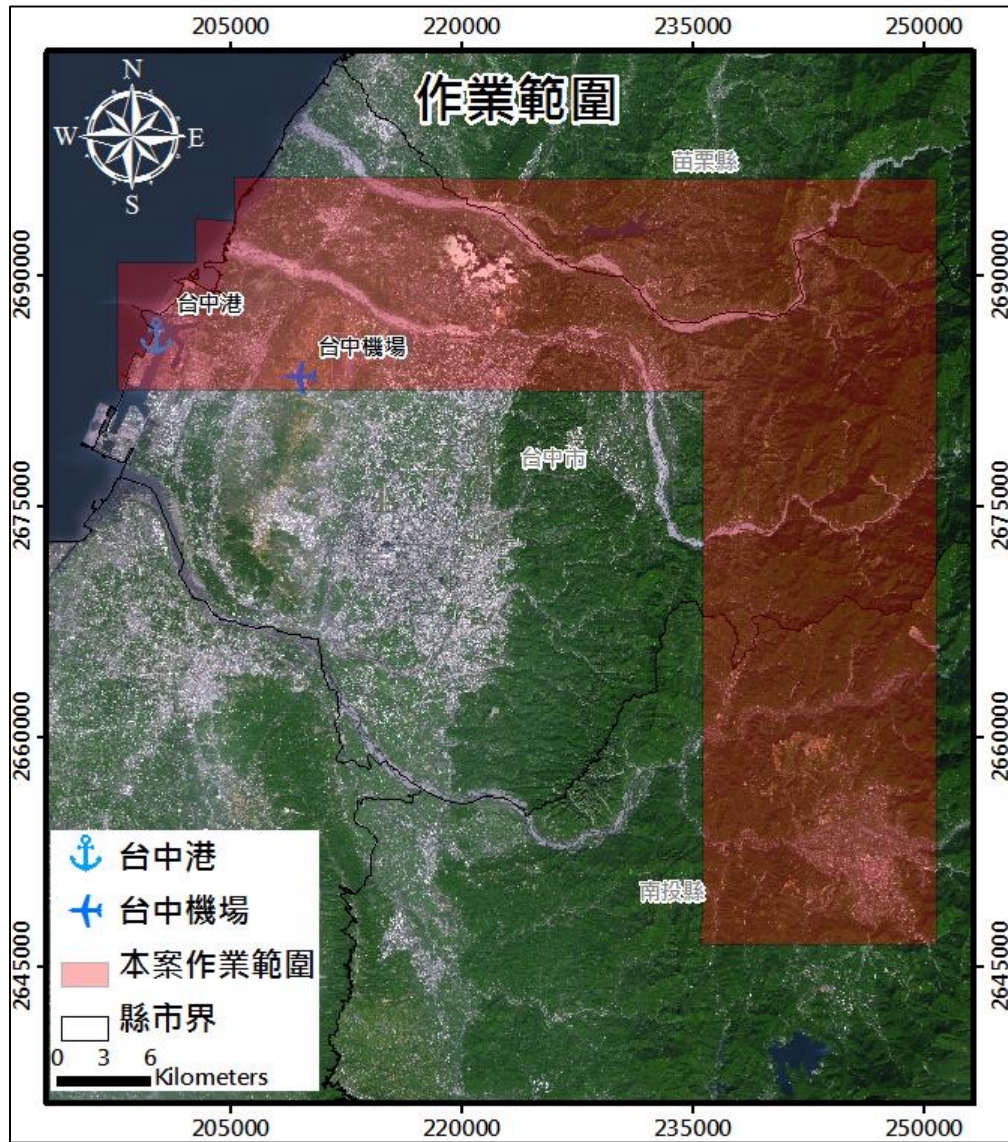


圖1-1、第1作業區作業範圍

本年度共分為 4 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。圖 1-2 為第 2 階段(71 幅)以及第 3 階段(106+1 幅，新增一幅海堤範圍)圖幅數量及範圍。第 4 階段繳交 108 年度工作總報告。

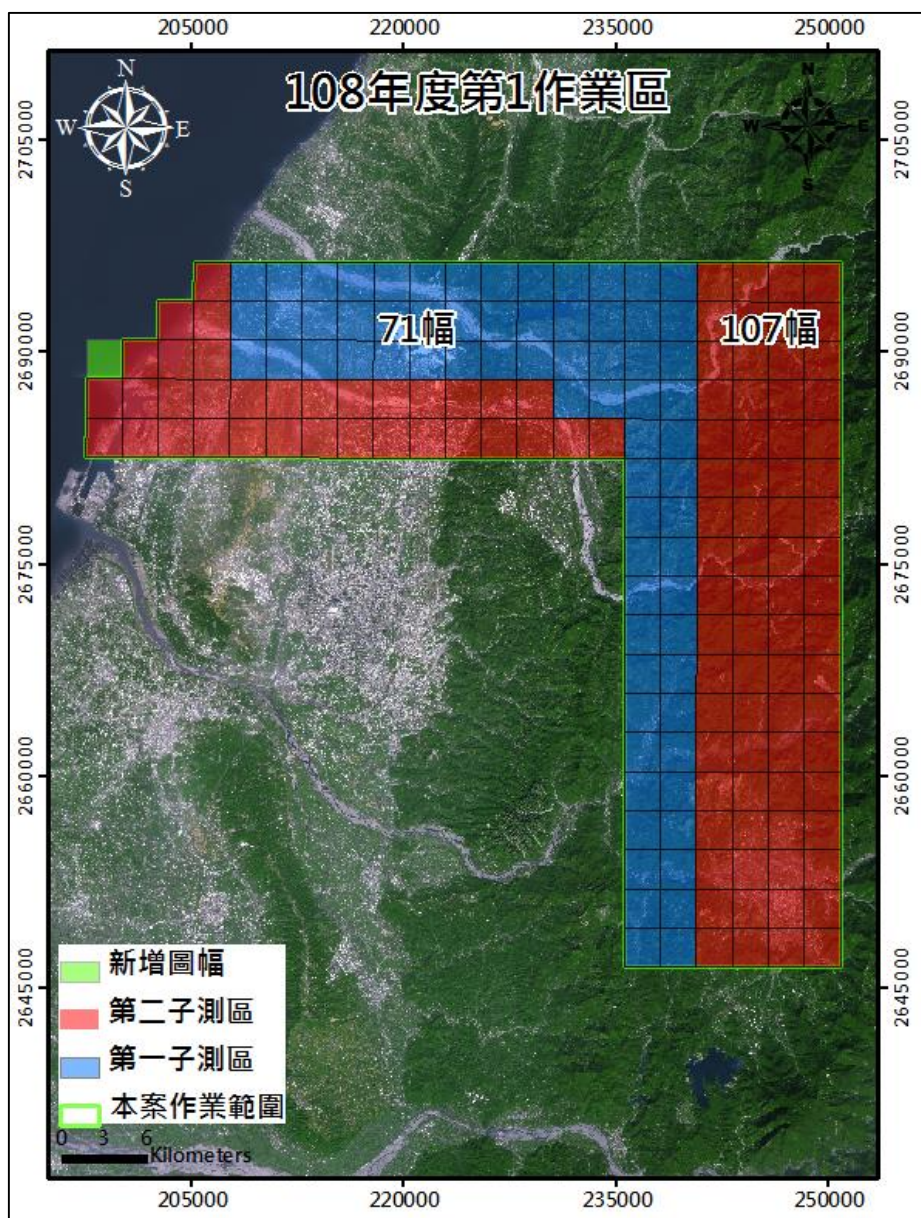


圖1-2、第1作業區各階段繳交圖幅數位置分布圖

3. 各階段繳交期程

本計畫自民國108年01月21日決標至109年11月10日，共分兩個年度8個階段繳交成果資料，108年度相關作業期程如表1-1所示。

表1-1、108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	作業計畫(含空載光達掃描飛航計畫)。	決標次日起 20 個日曆天	108/02/01
第 2 階段	1.DEM 與 DSM 成果 (108 年度範圍 40%以上圖幅及控制測量)。	108/09/30	108/09/26

階段	成果繳交項目	合約繳交日期	成果繳交日期
	2.正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。		
第 3 階段	1.DEM 與 DSM 成果(108 年度範圍剩於圖幅數)。 2.正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。	109/01/31	108/11/29
第 4 階段	108 年度工作總報告及電子檔。	109/02/25	
	修正後108年度工作總報告及電子檔。	依機關指定期限內繳交。	

第 1 階段作業成果說明：

本階段作業項目為108年2月10日前完成108年度作業計畫(含空載光達掃描飛航計畫)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
108 年度 作業計畫	108/01/25(繳交丙方) (詮字第 1080001140 號)	108/02/25 (成大研總字第 1081100920 號)
	108/02/01(繳交甲方) (詮字第 1080001680 號)	108/03/12 (測形字第 1081300834 號)

第2階段作業成果說明:

本階段作業項目為108年09月30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。

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	108.09.20(繳交丙方) (詮字第1080012490號)	108.09.25 (成大研總字第1081107373號)
	108.09.26(繳交甲方) (詮字第1080012650號)	108.10.15 (測形字第1081570376號)

第3階段作業成果說明:

本階段作業項目為109年01月31日前完成圖幅數60%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1-4。

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	108.11.18(繳交丙方) (詮字第1080015410號)	108.11.25 (成大研總字第1081108631號)
	108.11.25(繳交甲方) (詮字第1081108631號)	108.12.18 (測形字第1081570461號)

第4階段作業成果說明:

本階段作業項目為109年02月25日前完成108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	108.11.29(繳交丙方) (詮字第1080016110號)	108.12.12 (成大研總字第1081109107號)
	108.11.28(繳交甲方) (詮字第1080015924號)	審核中

第二章、作業規劃

2.1 作業準備

飛航作業為影響本計畫進行之主要關鍵，因此本團隊與前進航空簽訂合作協定，使用 Cessna Grand Caravan 208 飛機，並且針對本案作業人員進行飛航需求及安全相關注意事項之勤前講習訓練，並在飛行作業前，進行相關文件申請及儀器安裝。

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。依往年專案申請經驗需時 2 個月的審核期，為避免航拍掃瞄許可及天候因素影響後續各項作業之時程，本團隊於 108 年 1 月 25 日向內政部申請航空攝影，並於 108 年 3 月 15 日申請通過後，再向民航局申請各載具之航拍許可，並於 108 年 3 月 25 日申請通過，測區航拍申請申請期程如表 2-1 所示。

表2-1、第1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
108/01/25 (詮字第1080001190號)	108/03/15 (台內地字第1080110321號)	108/03/25 (空運管字第1080006921號)

2-1-2 系統裝機

本計畫主要以Leica公司生產的Leica Airborne Laser Scanner 70(以下簡稱 ALS70)，主要搭載中相幅相機PhaseOne IXU(以下簡稱IXU)或備用相機航空製圖數位相機Digital Mapping Camera II₂₃₀(以下簡稱 DMCII₂₃₀)。圖2-1為兩套儀器裝機照片，表2-2及表2-3為雷射掃瞄儀以及數位相機規格表。



圖2-1、儀器裝機

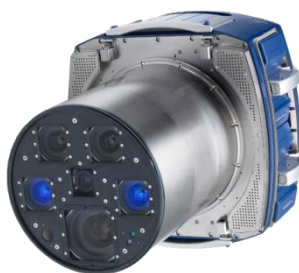
表2-2、空載光達掃瞄儀規格

型號	Leica ALS70
掃瞄頻率	20-500KHz
最大掃瞄角度	0-60°
作業高度(離地高)	200m-3500m
回測次數	Unlimited
Full Waveform	有



表2-3、數位相機規格表

型號	Intergraph DMCH230	PhaesOne IXU-RS-1000
像幅大小(pixels)	15552x14144	11608x8708
焦距(Focal Length)	92mm	70mm
像元大小(Pixel Size)	5.6 μ m	4.6 μ m



2.2 飛航規劃

飛航規劃為光達掃瞄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。本團隊於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瞄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2-2所示，並以下列各項原則進行航線規劃：

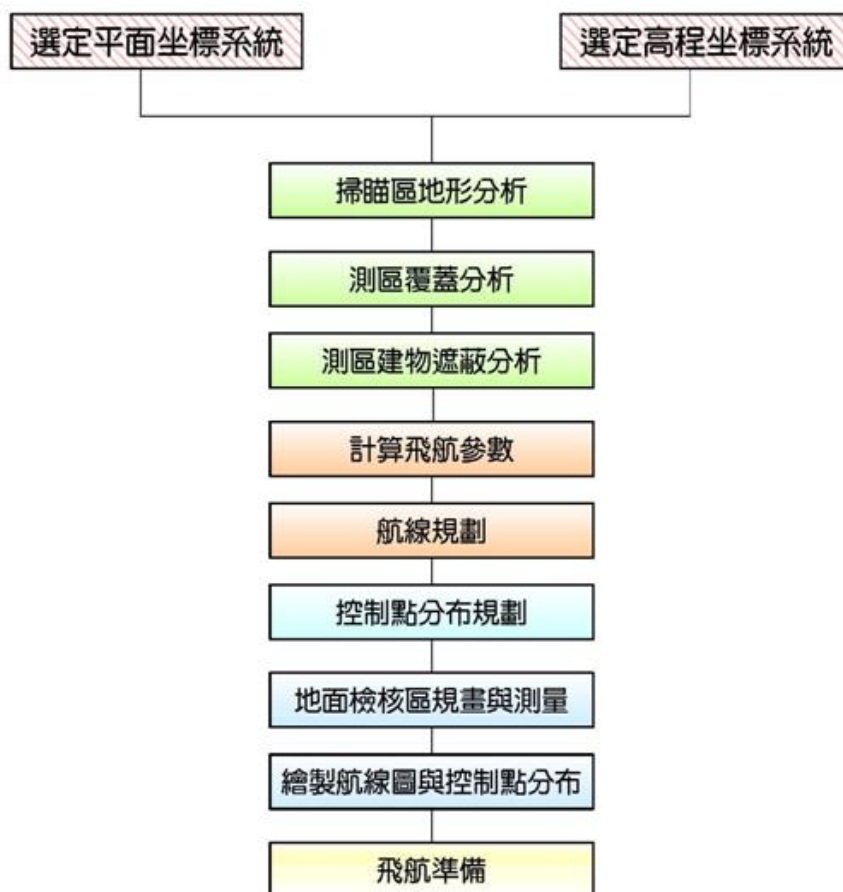


圖2-2、飛航規劃流程圖

1. 點密度：掃瞄區域所有航帶重疊後之原始數據，以100×100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**需有一交叉檢核航線。
4. 潮間帶區域航線需於當日最低潮位前後兩小時掃描，且航線範圍須超過海岸線二分之一帶寬。整體航線規劃區分如圖2-3所示，共區分為4個區塊，說明詳述於下。

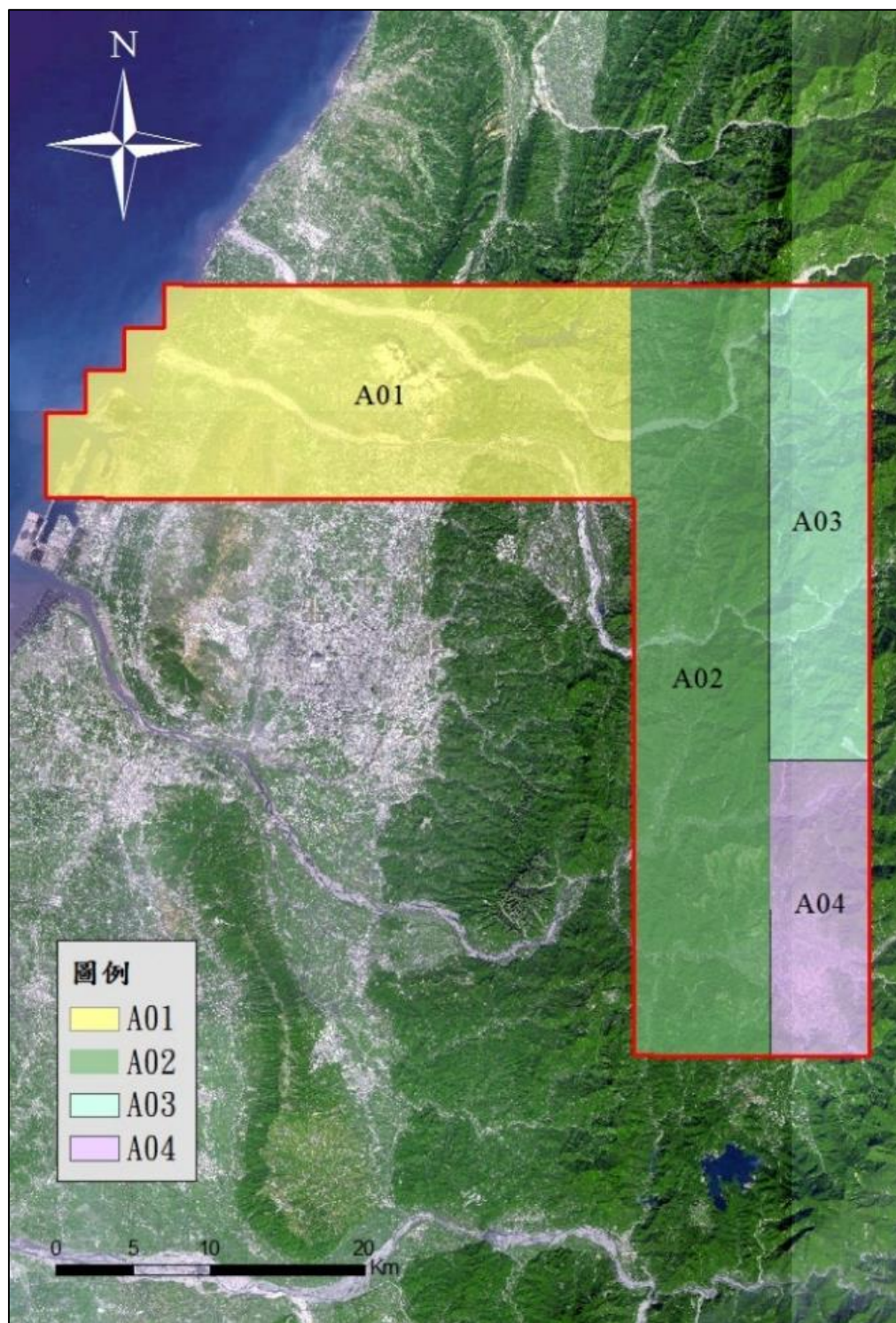


圖2-3、測區分區圖

本測區位於台灣西部平原與中部山區，海拔高度約為0至2300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，將作業範圍區分為四個測區，各測區依據地形變化進行規劃。航線總計**79條**，包含70條正規航線、7條交叉航線及2條潮間帶航線，總長約**2591km**。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**70條**正規航線，總長約**2448公里**，航線方向依山脈走勢皆採南北向飛行、西側平地區採東西向飛行，側向重疊率皆採50%以上進行規劃，以取得測區地形之完整資料。各區航線參數統計如下圖2-4及表2-4。

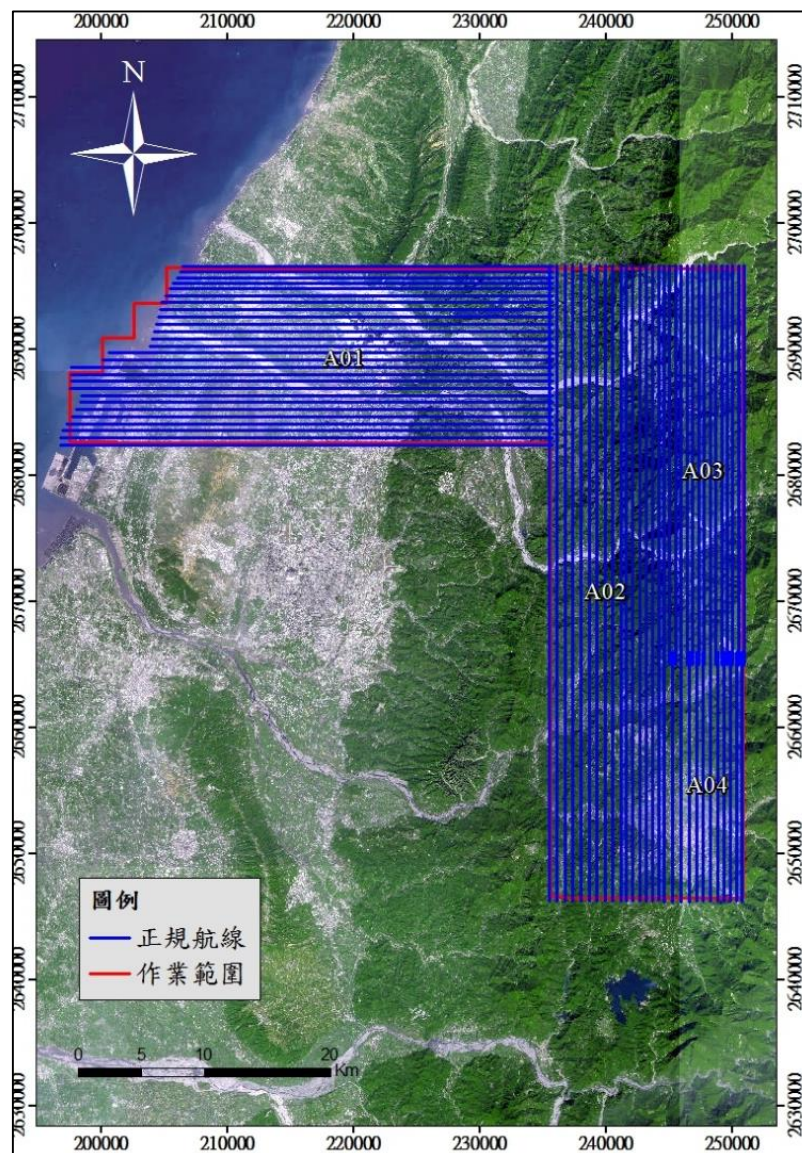


圖2-4、正規航線設計圖

表2-4、正規航線掃描參數表

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)	掃描視角(度)	掃描頻率(Hz)	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(%)
A01	31001-31027	90	929	2200	100	9	896	40	21.5	119.4	3.6	1590	51.6
A02	31028-31043	180	807	2900	100	282	1400	40	18.1	105.0	2.9	1842	52
A03	31044-31058	180	475	3100	100	574	1863	40	19.8	100.8	3.4	1839	52
A04	31059-31070	180	237	2800	100	403	1669	40	16.1	93.4	3.3	1720	51.6

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**7條**，總長**114公里**，山區航線方向採東西向，西部平原區採南北向設計，整體航線設計圖如圖2-5所示，相關參數詳表2-5。

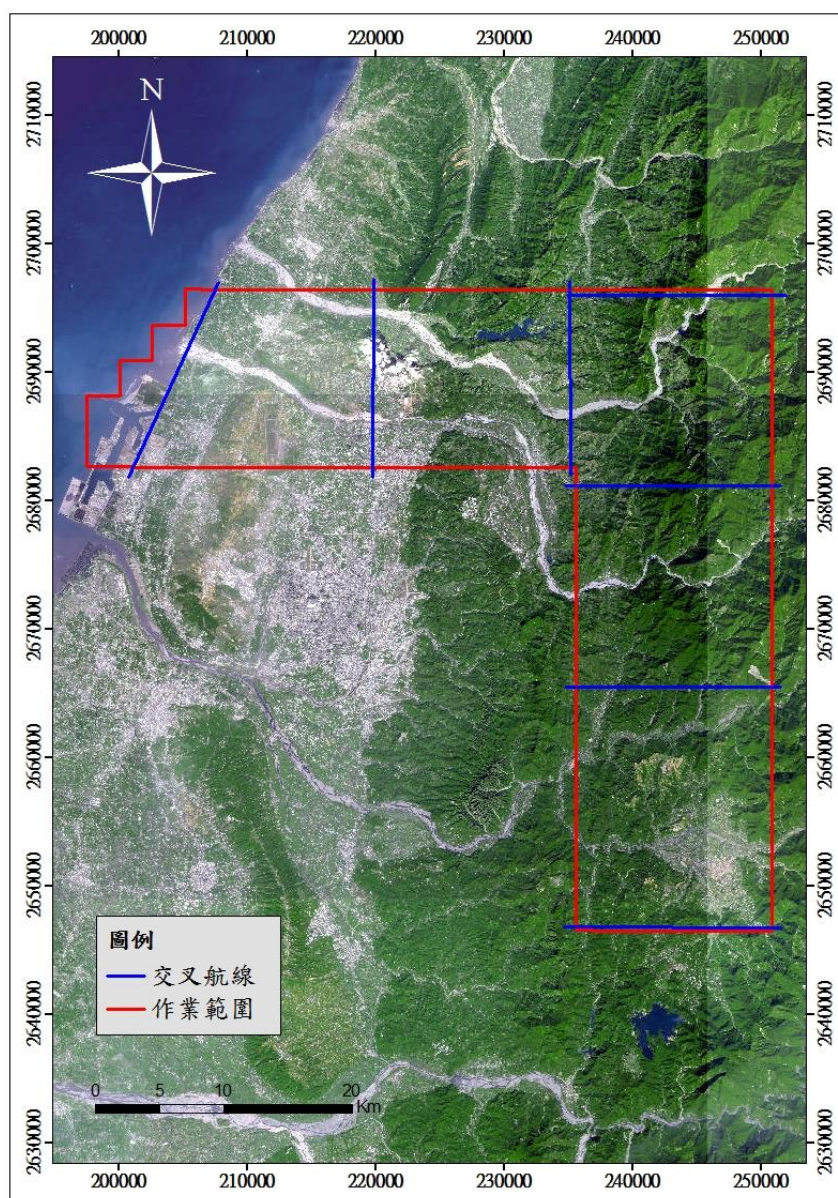


圖2-5、交叉航線設計圖

表 2-5、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)
31400	204	16.7	2600	100	13	45	40	18.3	106.2	1.1	909
31401	180	15.4	2700	100	128	292	40	18.4	106.8	1.2	785
31402	180	15.1	2900	100	317	597	40	19.2	106.4	1.2	848
31403	90	17.0	2900	100	303	1865	40	18.3	105.8	1.9	1773
31404	90	16.8	3100	100	417	2333	40	17.7	102.6	2.3	1955
31405	90	16.7	2900	100	360	1393	40	18.6	108.2	1.5	1662
31406	90	16.8	3000	100	450	1069	40	18.6	107.8	1.3	1224

3. 潮間帶航線

為取得完整潮間帶地區資料，規劃時採用 103 年度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 2 條潮間帶航線，長度總計 29 公里，整體航線規劃如圖 2-6 所示，其相關參數詳表 2-6。

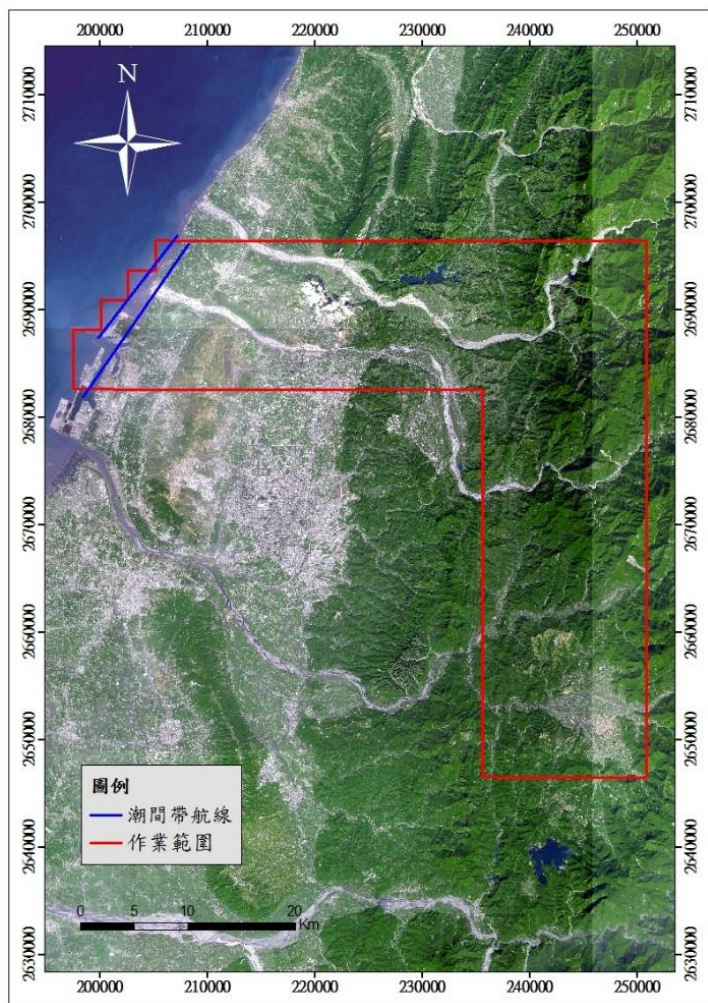


圖 2-6、潮間帶航線設計圖

表 2-6、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)
31800	218	12.0	2600	100	17	31	40	26.0	213.0	2.2	1880
31801	214	17.3	2600	100	9	44	40	26.0	212.0	2.2	1886

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【2010】 TM 二度分帶坐標系，高程控制系統採用 TWD97【2010】之橢球高系統。
2. 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(108/03/01~108/03/03)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。第 1 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	DOSH、FCU1、KAFN、PLIM、TACH、TIAN 共計 6 站
中央氣象局	CHIN、CHIU、DAHU、DPIN、GUK2、HOPN、HSUE、HUYS、LIYU、NSHE、PENL、SAN2、SGUN、SHLU、SONA、SUC2、SUN1、TEGS、TSIO，共計 19 站
經濟部中央地質調查所	GS36、GS37、GS38、GS48、GS49、GS50、GS82、GS83、GS84、GS92，共計 10 站

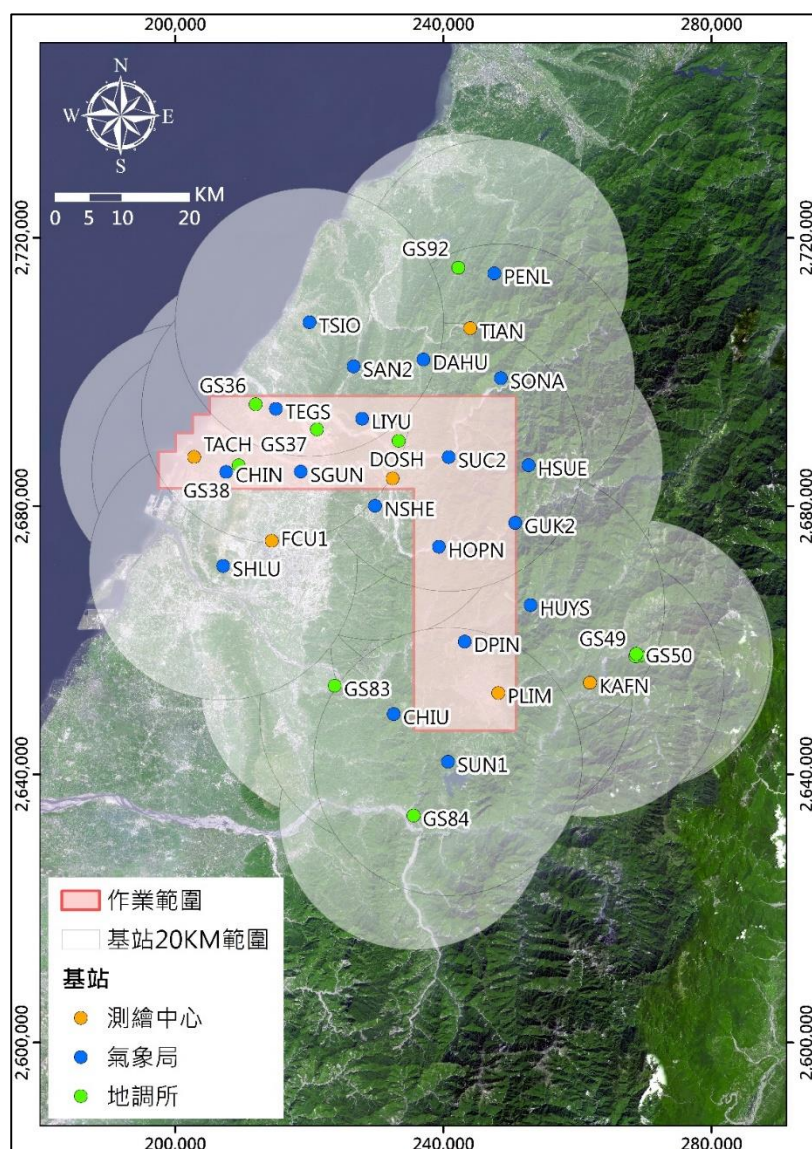


圖3-1、氣象局國土測繪中心及地調所之GNSS連續站

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1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<http://www.egnss.nlsc.gov.tw/HotNews.aspx>)，轉換至TWD97【2010】系統，轉換後之平面精度優於4公分，高程精度優於10公分。

- (1) 資料記錄頻率以1Hz為原則，固定解至少180筆以上。
- (2) 每點獨立測量至少2測回，每次至少間隔60分鐘。如VBS-RTK測量無法收斂時，則應取得連續10分鐘以上、紀錄頻率1Hz之靜態測量觀測資料，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，藉此取得控制點成果。並繳交相關空三成果，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1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68點，立體量測15點，特徵屋角點11點，點之記示意圖如圖3-3及圖3-4所示，詳細坐標成果如附件一。

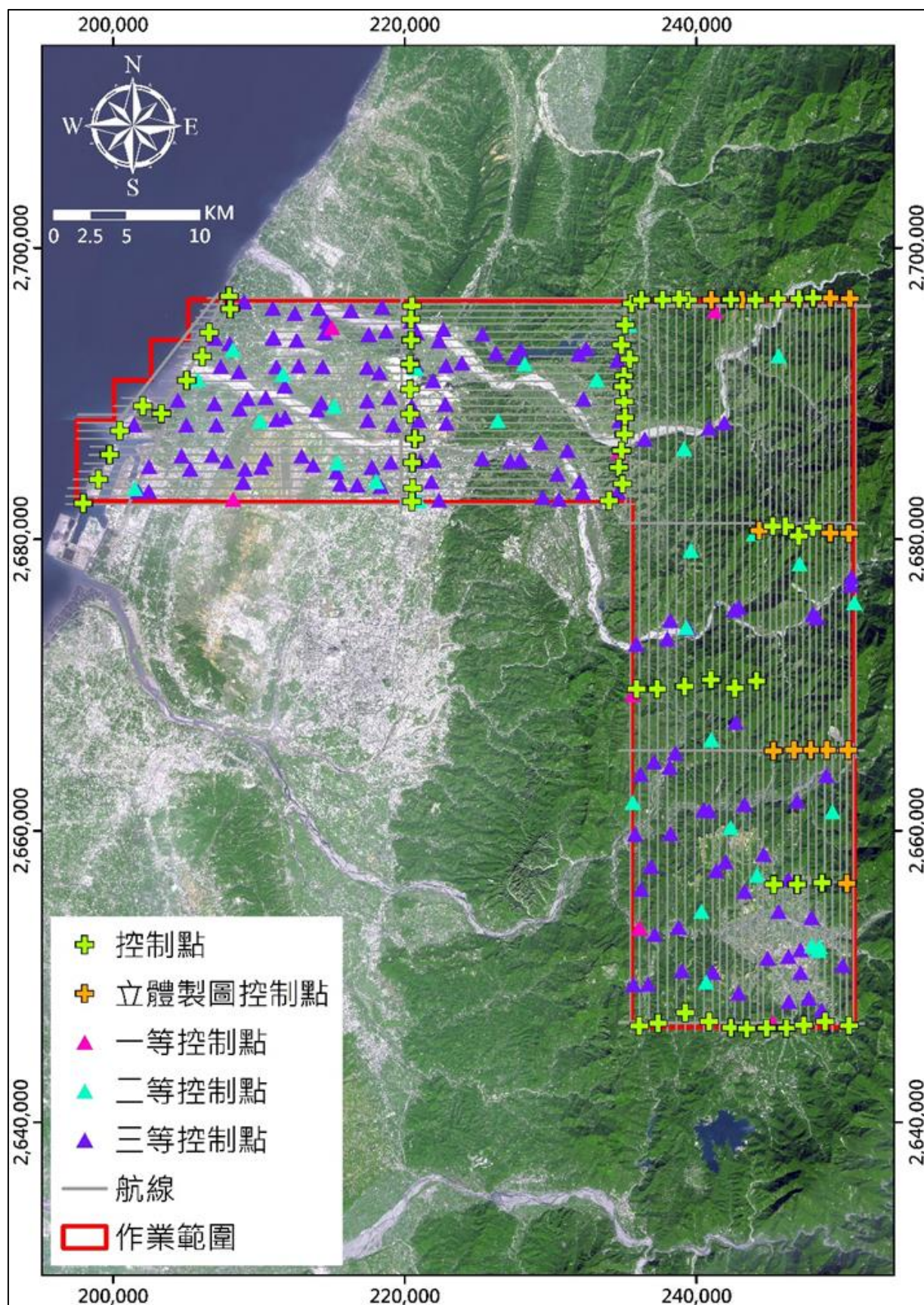


圖3-2、第1作業區航帶平差控制點分布圖

內政部國土測繪中心「108 年度及 109 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
點 號	31-0001A		圖 號	95214053		
所 在 地	台中市大安區		點 別	☒ 高控 ☐ 平控 ☐ 全控		
平面坐標 TWD 97-2010	E	207661.693	高程值	正高	6.276	
	N	2696277.183		橢球高	25.097	
測 設 單 位	詮華國土測繪有限公司					
點位種類	☒ 鋼釘 ☐ 角點 ☐ 油漆 ☐ 其他		高程別	☒ GPS 測算高程 ☐ 全測站引測高程		
施測人員及日期	黃文宏 108 年 3 月		內檢人員及日期	鄭鈺雯 108 年 4 月		
點 位 說 明 (交通路線)	從中山北路接溫寮一號海路沿路直行，遇到岔路往左轉約 20 米，在溫寮景觀橋旁邊，見一航標(30X30)，即為點位。					
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

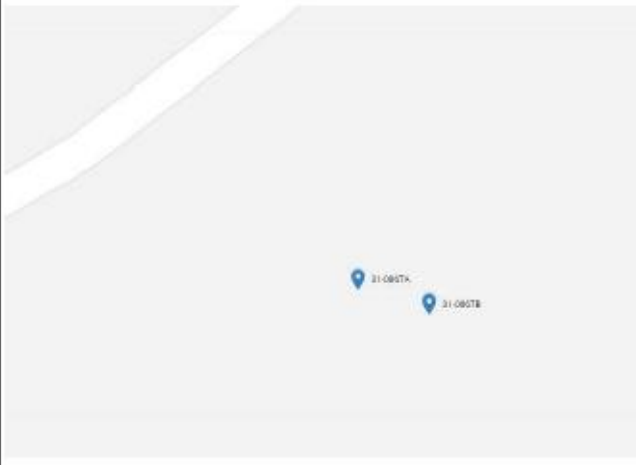
內政部國土測繪中心「108 年度及 109 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」						B
【地面控制點點位調查表】						
點 號	31-0067B		圖 號	95201029		
所 在 地	南投縣埔里鎮		點 別	☐ 高控 ☒ 平控 ☐ 全控		
平面坐標 TWD 97-2010	E	247346.196	高程值	正高	621.567	
	N	2646677.765		橢球高	645.110	
測 設 單 位	詮華國土測繪有限公司					
點位種類	☐ 鋼釘 ☒ 角點 ☐ 油漆 ☐ 其他		高程別	☒ GPS 測算高程 ☐ 全測站引測高程		
施測人員及日期	黃文宏 108 年 3 月		內檢人員及日期	鄭鈺雯 108 年 5 月		
點 位 說 明 (交通路線)	從紅仙水隧道口前岔路轉進去行駛約 900 米，靠近航標的紅仙水土地公廟屋角。					
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

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

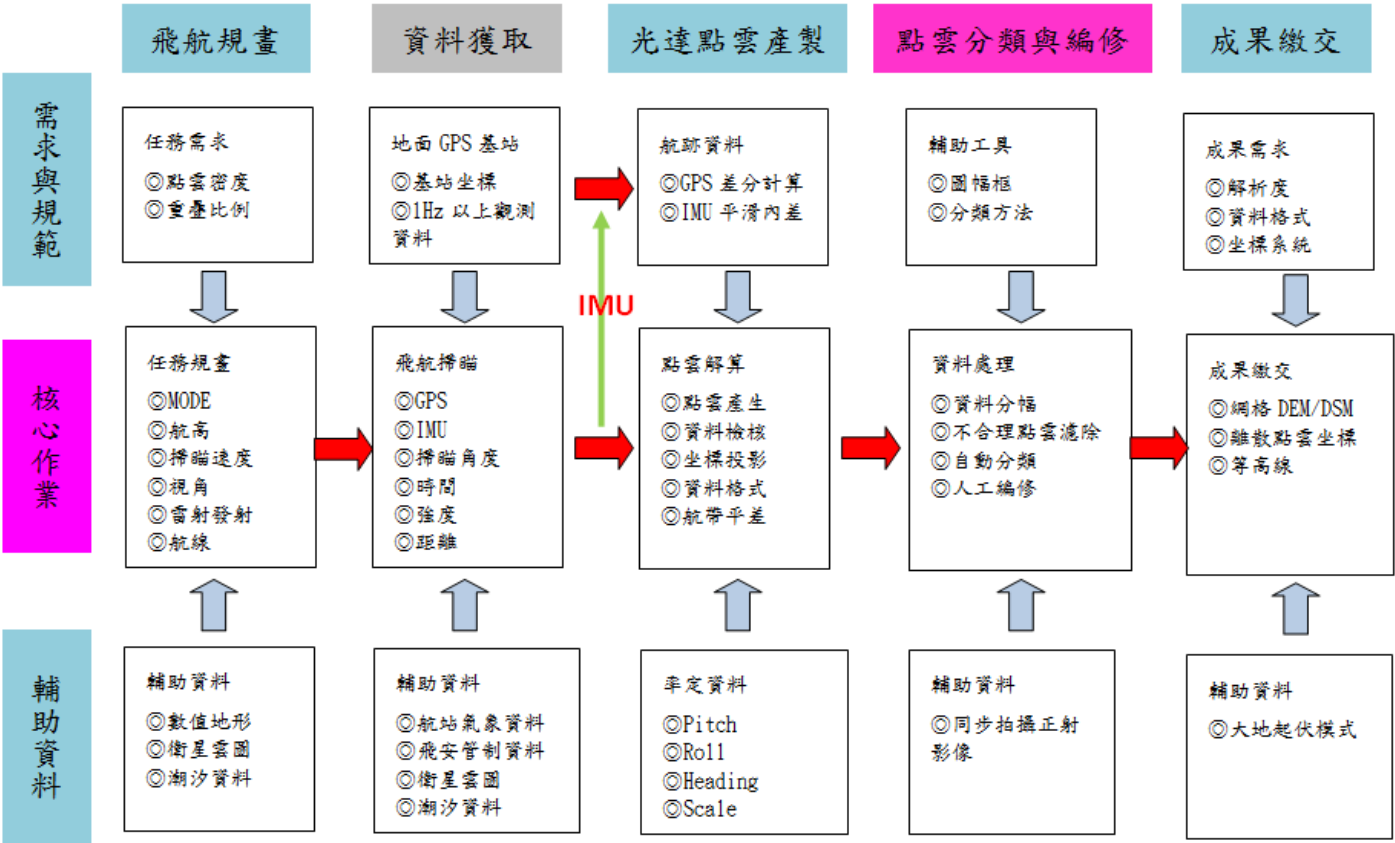


圖4-1、空載LiDAR作業流程圖

4.1 率定作業

空載光達雷射掃瞄原理是利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 GPS(Global Positioning System) 及掃瞄儀器上之 IMU(Inertial Measurement Unit) ，以動態定位方式獲取掃瞄點之三維坐標，並求得其姿態參數。因此定位系統(GPS)與定向系統(IMU)之效能為影響空載雷射掃瞄精度之主要原因。為了使每次雷射掃瞄皆達到高精度，因此儀器經拆裝後或每隔一年皆需進行光達儀器率定，確保消除其系統誤差。率定作業包含儀器設備、率定場設置、率定飛航程序及率定成果，本作業區使用空載光達儀器包括 ALS70 及 ALS60，將針對此兩台儀器率定成果分別說明。

率定作業分為兩個部份，1.GPS 天線位置與 IMU 的偏差量(Lever arm)率定；
2.雷射掃瞄投影中心與 IMU 中心的三軸旋轉角差值(boresight angle)校正，其率定示意如圖 4-2 所示。

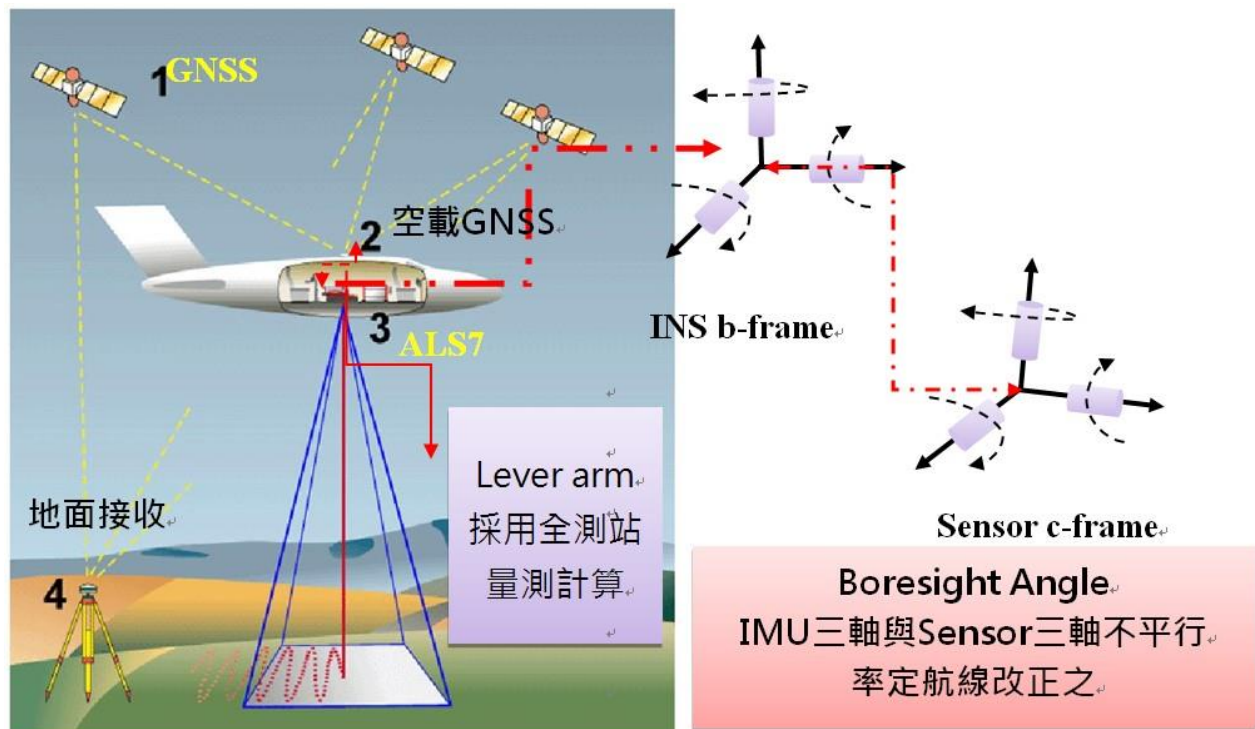


圖4-2、空載光達率定示意圖

4-1-1 ALS70 與 ALS60 率定場地地點與規格

ALS70 率定時間為 108 年 7 月 24 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，並設置於彰濱工業區。

1. GPS 天線位置(Lever arm)

GPS 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，本次量測計算成果ALS70為X:1.672公尺、Y:-0.186公尺、Z:-1.579公尺。

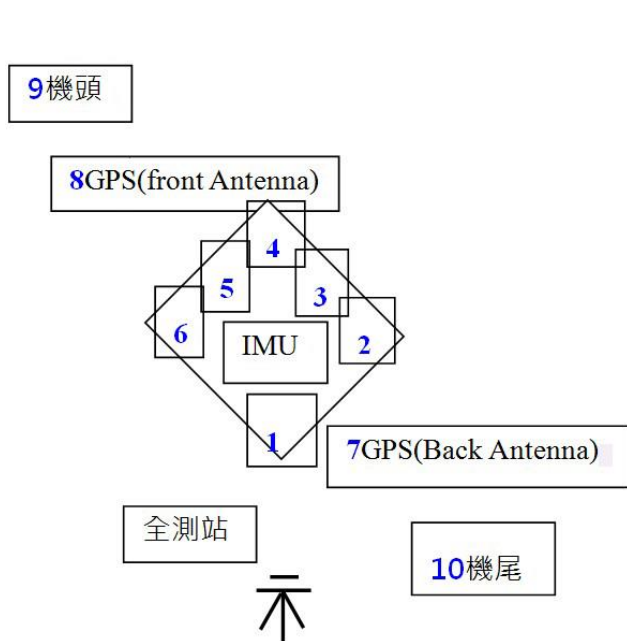


圖4-3、Lever Arm量測作業

2. Boresight angles

本次率定場設置選擇彰濱工業區，工業區內有一長約 2 公里長，寬約 30~50 公尺之道路可作為道路率定場，其面積約為 80,000 平方米。並有易辨識之建物作為建物率定場。另外採用全球衛星定位測量，選用之已知控制點以分布於新測點外圍為優先考量，控制點與新測點以 GPS 靜態測量方式施測且聯成網狀。

(1) 本次率定場選用之GPS基站為控制點「CHUA、LUKN」。

(2) 道路率定場之高程使用全站儀量測，其中道路長約2公里，寬約20米，採樣間距約5米，總計採樣413點。率定飛航航線依原廠技師建議，共計5條來回航線，道路率定場及建物率定場如圖4-4左圖所示。率定場內坡度平緩如圖4-4右圖，且植被覆蓋率小於10%，符合率定場環境設置規範。

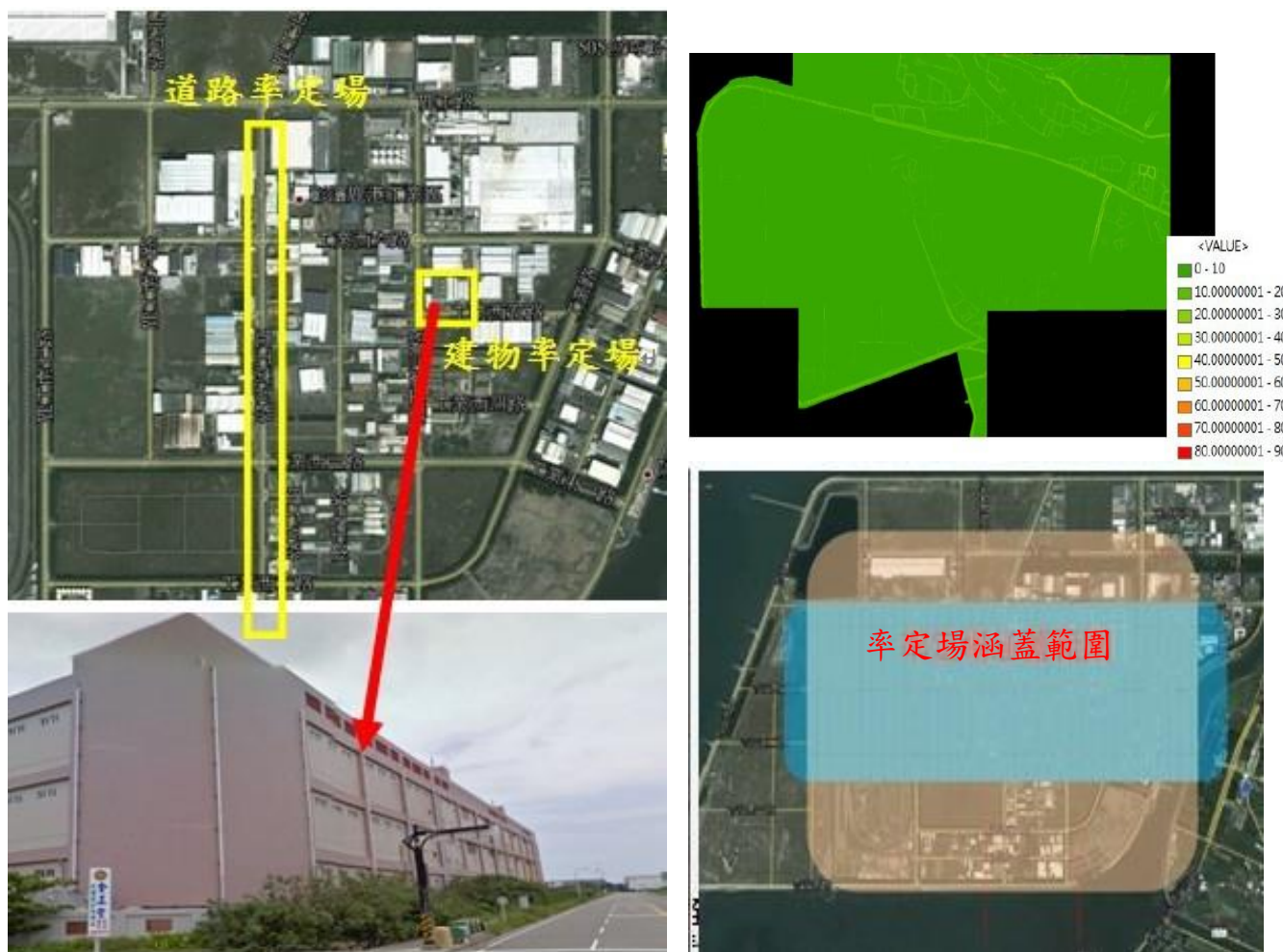


圖4-4、ALS70彰濱率定場範圍

4-1-2 率定飛行作業程序

依據原廠技師建議，率定飛航時所需率定參數為 Roll、Pitch、Pitch Error Slope、Heading、Range correction，茲針對各項系統誤差率定作說明解釋。

1. Roll 值率定：

為消除點雲於Roll方向之誤差(如圖4-5)，需沿已知屋頂面來回掃瞄，以獲取較接近屋頂邊界之光達點做修正。修正方式將屋頂邊界線與光達點之較差平均L與平均航高H，求解Roll方向修正角($\tan^{-1}(L/H)$)。

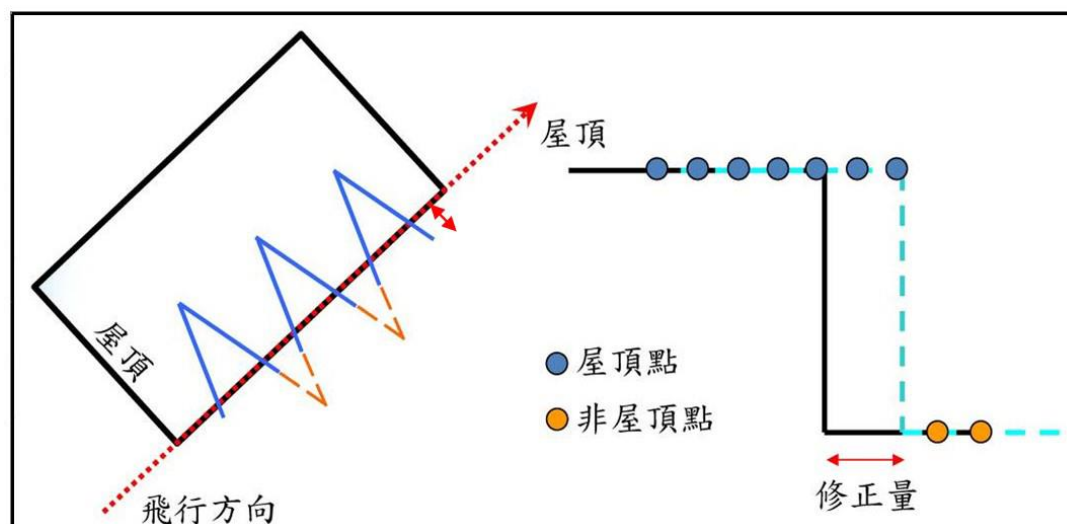


圖4-5、ALS70 Roll方向誤差率定示意圖

2. Pitch 值率定：

為消除點雲於Pitch方向之誤差(如圖4-6)，需對一已知屋頂面來回掃瞄，掃瞄方式採垂直屋頂面之方向飛行，並以正下方掃瞄(掃瞄角度=0 度)的方式獲取屋頂光達點，並透過光達點與已知屋頂邊界點之較差平均L與平均航高H，求解在Pitch方向之修正角($\tan^{-1}(L/H)$)。

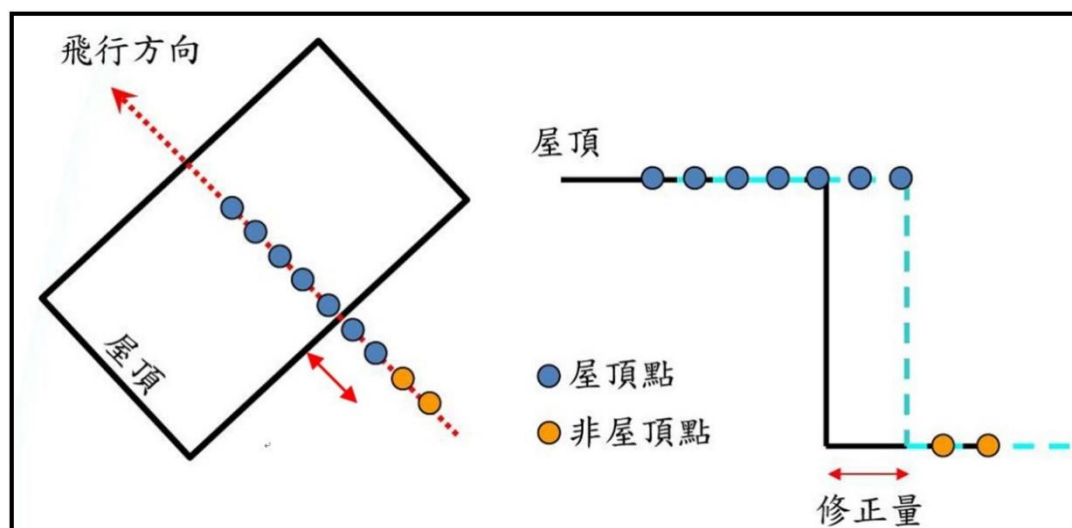


圖4-6、ALS70 Pitch方向誤差率定示意圖

3. Pitch Error Slope 值率定：

Pitch Error Slope通常發生航帶邊緣處的部分(如圖4-7)。設計一來回航線，使航線掃瞄邊緣的部分能與一已知屋頂面作來回掃瞄。掃瞄方式採垂直屋頂面之方向飛行，使屋頂面坐落在掃瞄線之邊緣的方式獲取屋頂光達點，並透過光達點與已知屋頂邊界點之較差平均L與平均航高H與航線天底點至屋頂面之

FOV，求解在Pitch Error Slope之修正量($L/H/FOV$)。

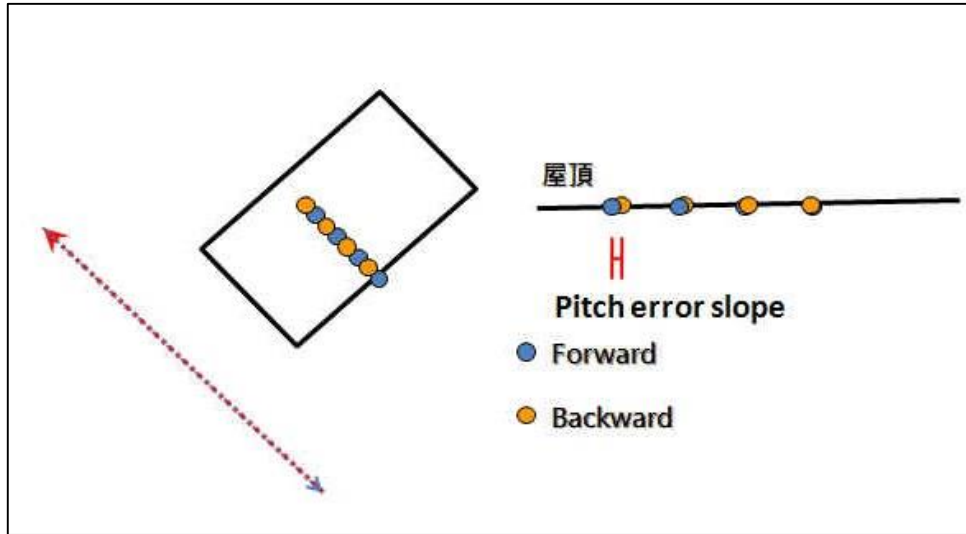


圖4-7、ALS70 Roll方向誤差率定示意圖

4. Heading 值率定：

為消除點雲於Heading方向之誤差(如圖4-8)，需對一已知屋頂面來回掃瞄，Heading方向最大誤差量通常發生航帶邊緣的部分，因此率定時，設計左右兩條同向掃瞄航線，兩條航線之邊緣處針對一已知屋頂面做率定修正，求取兩條航線邊緣處屋頂邊界點較差平均 L 與兩航線天底點距離平均 X ，求解在Heading方向之修正角($\tan^{-1}(L/X)$)。

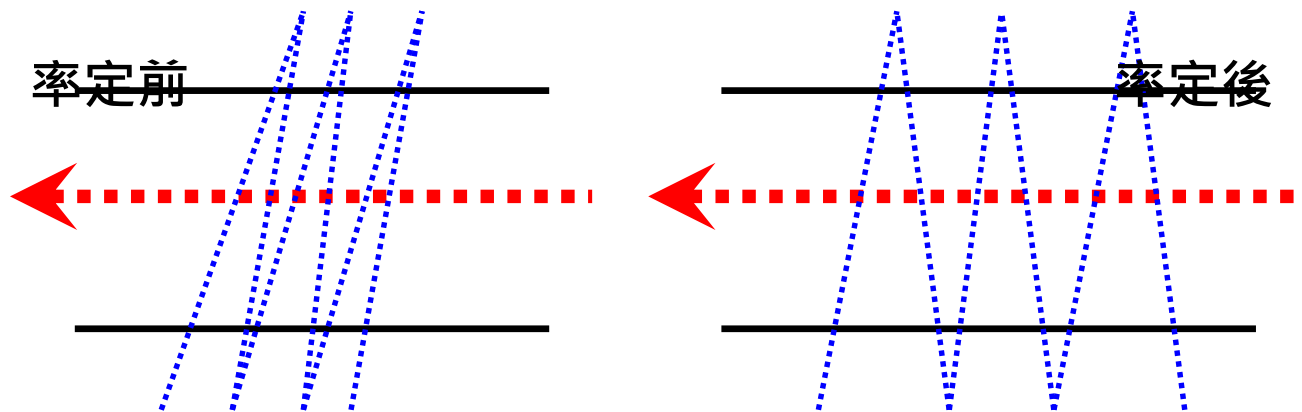


圖4-8、ALS70 Heading方向誤差率定示意圖

5. Range Correction 值率定：

設計一來回航線，飛行方式為垂直於率定道路方向，利用道路實測之坐標值與光達點雲作比對修正，以獲取第一回波至第四回波的改正值，如圖4-9。

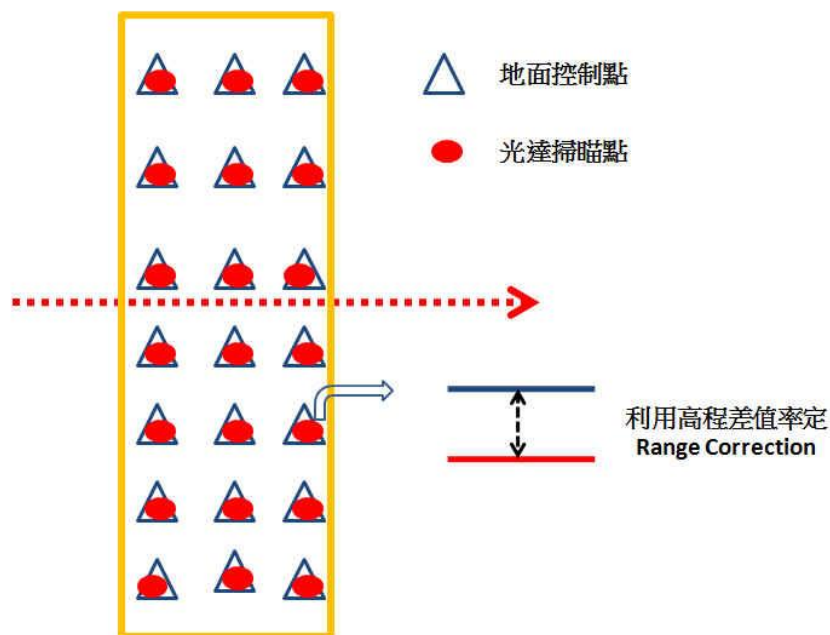


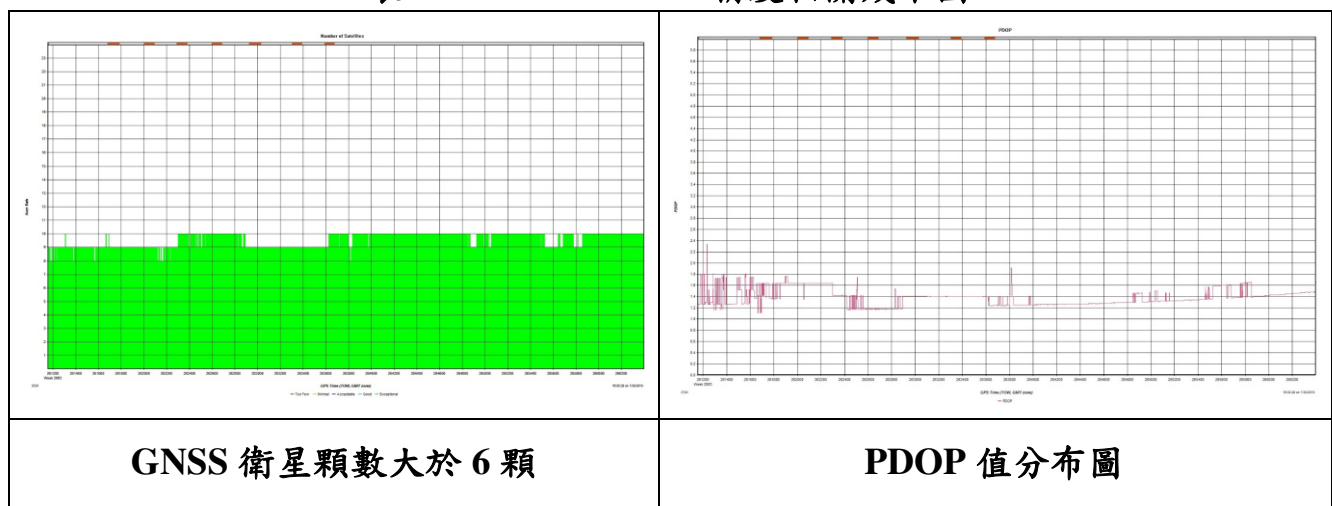
圖4-9、ALS70 Range Correction誤差率定示意圖

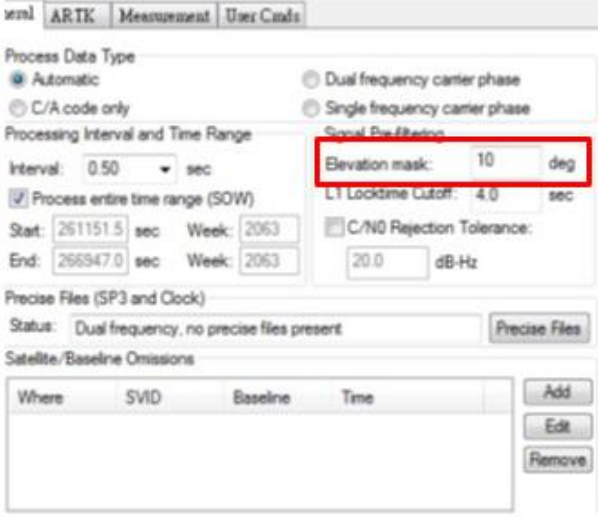
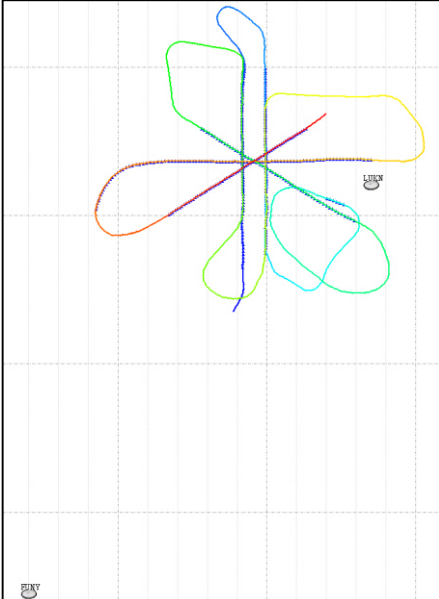
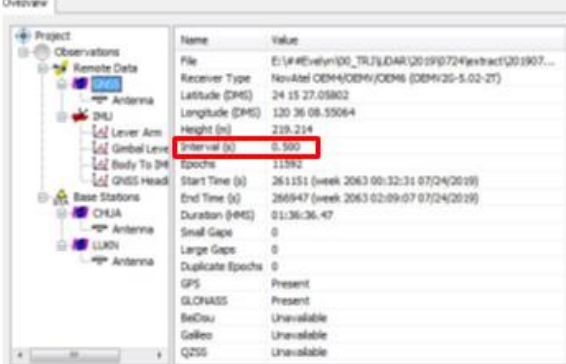
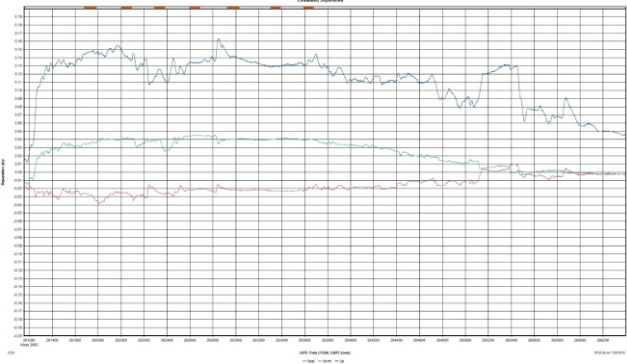
4-1-3 率定成果

1. 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 4-1 即為本次率定作業 GNSS 成果圖。

表4-1、ALS70 GNSS精度相關成果圖



	
Elevation mask	GNSS 基站與掃瞄航線之距離
	
GNSS 基站觀測頻率	Combined Separation

2. 水平精度評估

雷射點雲比對地面的水平精度，在率定過程中是利用掃瞄建物的邊緣獲得建物邊緣坐標，再將之比對真實建物坐標。其中 Roll 可偵測 y 方向精度，利用來回航線比對平坦道路，反覆測試 Roll 值變化量達到收斂理論精度約為 0.015 度時，代表完成 Roll 值率定；Pitch 值變化量達收斂理論精度約為 0.015 度時，代表完成 Pitch 值率定；Heading 之變化量達到收斂理論精度約為 0.050 度時即代表完成率定之動作。圖 4-10 為不同航線率定完成之成果。表 4-2 為率定時 Roll、Pitch、Heading 的變化。

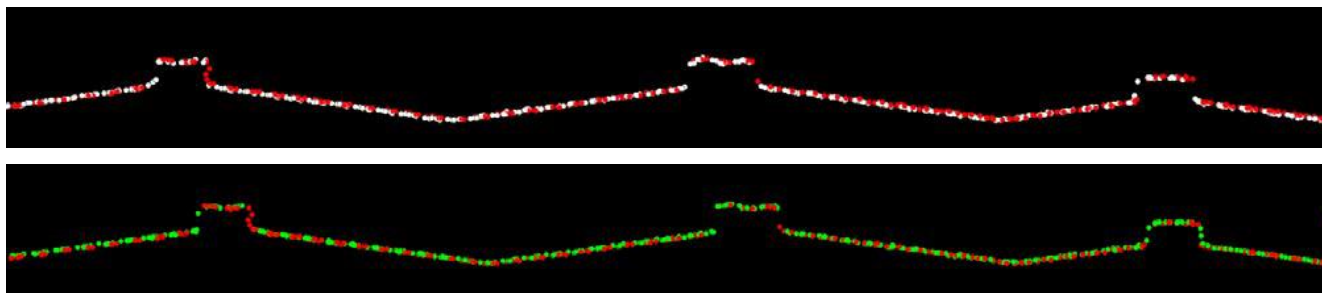


圖4-10、ALS70 不同航線率定成果

表4-2、ALS70 光達系統率定Roll、Pitch、Heading變化

率定計算	第一次	成果
Receiver A		
Roll	0.000336608	0.000513280
Pitch	-0.002546065	-0.002158478
Heading	-0.005577742	-0.003100814
Receiver B		
Roll	0.000213393	0.000409779
Pitch	-0.001014043	-0.001009304
Heading	-0.00592117	-0.003346772

3. 高程精度評估

雷射點雲的高程精度，是以Roll、Pitch、Pitch Error Slope、Heading最後率定完成值計算出新的雷射成果，比對一條平坦和堅硬的地表(如：馬路)，將雷射點分布軌跡比對此平坦堅硬的地表，再分析斷面高程變化情形，若中誤差小於10公分，方為完成率定作業，高程率定計算成果如圖4-11及表4-3。其殘差分布情形如圖4-12。

Receiver A					Receiver B								
Use	Number	Easting	Northing	Z Laser Z	Dz	Use	Number	Easting	Northing	Z Laser Z	Dz		
☒	1	188299.94	2661649.36	22.901	+0.051	☒	1	188299.94	2661649.36	22.978	+0.028		
☒	2	188299.94	2661649.36	22.980	+0.037	☒	2	188299.94	2661649.36	22.972	+0.029		
☒	3	188299.94	2661649.36	22.910	+0.005	☒	3	188299.94	2661649.36	22.910	+0.071		
☒	4	188299.90	2661654.32	22.896	+0.069	☒	4	188299.90	2661654.32	22.896	+0.035		
☒	5	188299.94	2661659.31	22.866	+0.097	☒	5	188299.94	2661659.31	22.866	+0.028		
☒	6	188299.94	2661664.35	22.850	+0.036	☒	6	188299.94	2661664.35	22.850	+0.013		
☒	7	188299.85	2661669.36	22.832	+0.035	☒	7	188299.85	2661669.36	22.832	-0.001		
☒	8	188299.78	2661674.40	22.814	+0.056	☒	8	188299.78	2661674.40	22.814	+0.046		
☒	9	188299.70	2661679.42	22.812	+0.057	☒	9	188299.70	2661679.42	22.812	+0.039		
Average magnitude 0.0260					Average dz	+0.0000	Average magnitude 0.0283					Average dz	-0.0027
Std deviation 0.0342					Minimum dz	-0.1000	Std deviation 0.0364					Minimum dz	-0.1200
Root mean square 0.0341					Maximum dz	+0.1060	Root mean square 0.0365					Maximum dz	+0.1590
Show location						Identify	Show location						Identify

圖4-11、ALS70 高程率定計算成果

表4-3、光達系統率定高程分析統計表

ALS70 LiDAR點雲與 高程控制點比較	最大差異量 (m)	最小差異量 (m)	平均差異量 (m)	均方根誤差 (m)
	Receiver A			
	0.159	-0.120	-0.003	0.037
	Receiver B			
	0.106	-0.100	0.000	0.034

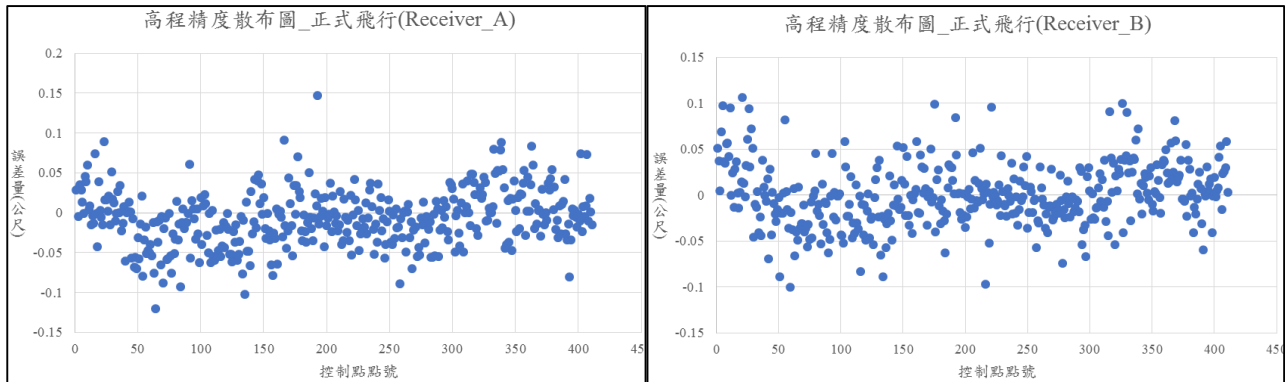


圖4-12、ALS70 高程精度殘差散布圖

4. 確認飛行精度評估

本次率定後，為確保率定參數正確無誤，ALS70於107年07月17日以及ALS60於107年10月09日進行確認飛行(verification)之動作各航帶誤差彼此無明顯差距，如圖4-13所示。並再次與地面實測點比較，高程比較計算成果如圖4-14及表4-4，其雷射點雲與地面控制點兩者差異量之殘差分析如圖4-15。

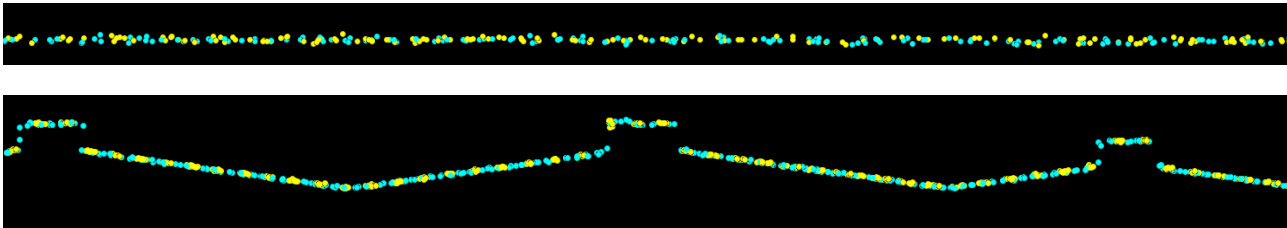


圖4-13、ALS70 確認飛行點雲成果

Use	Number	Easting	Receiver A	Z Laser Z	Dz	Use	Number	Easting	Receiver B	Z Laser Z	Dz
☒	1	188299.90	2661654.32	22.896	-0.024	☒	1	188299.90	2661654.32	22.890	-0.060
☒	2	188299.94	2661659.31	22.866	-0.075	☒	2	188299.94	2661659.31	22.866	+0.001
☒	3	188299.85	2661664.35	22.850	-0.032	☒	3	188299.85	2661664.35	22.880	-0.030
☒	4	188299.78	2661674.40	22.832	-0.037	☒	4	188299.78	2661674.40	22.830	-0.066
☒	5	188299.94	2661659.31	22.866	-0.089	☒	5	188299.94	2661659.31	22.866	-0.048
☒	6	188299.85	2661664.35	22.850	-0.100	☒	6	188299.85	2661664.35	22.850	-0.050
☒	7	188299.78	2661674.40	22.832	-0.038	☒	7	188299.78	2661674.40	22.832	-0.075
☒	8	188299.90	2661654.32	22.896	-0.040	☒	8	188299.90	2661654.32	22.814	-0.043
☒	9	188299.70	2661679.42	22.812	-0.045	☒	9	188299.70	2661679.42	22.754	-0.058
Average magnitude 0.0400				Average dz	-0.0337	Average magnitude 0.0407				Average dz	-0.0367
Std deviation 0.0353				Minimum dz	-0.1380	Std deviation 0.0326				Minimum dz	-0.1390
Root mean square 0.0488				Maximum dz	+0.0850	Root mean square 0.0491				Maximum dz	+0.0810
Show location				Identify		Show location				Identify	

圖4-14、ALS70 確認飛行高程計算成果

表4-4、確認飛行高程分析統計表

LiDAR點雲與 高程控制點比較	最大差異量 (m)	最小差異量 (m)	平均差異量 (m)	中誤差量 (m)
	Receiver A			
	0.081	-0.139	-0.037	0.049
	Receiver B			
	0.085	-0.138	-0.034	0.049

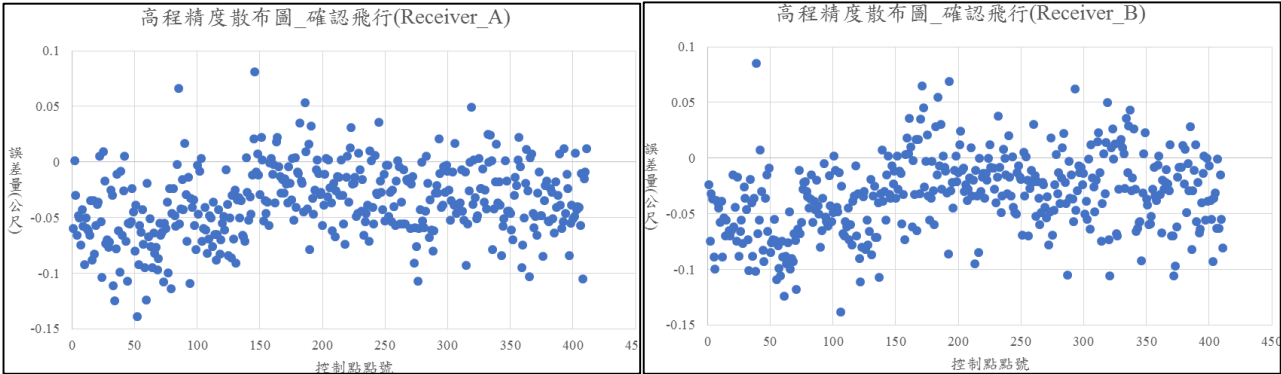


圖4-15、ALS70 高程精度殘差分析圖(確認飛行)

4.2 飛航掃描成果

1. 飛航掃描行前作業確認

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

- (1) 飛航計畫確認：將事先規劃好之飛航掃描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 4-5 所示。

表 4-5、飛航掃描紀錄表

前進航空公司航空攝影記錄表																	
證 華						航拍日期:		2018年12月20日									
107光達案		航拍設備		■ALS70 □AOS ONE		航空器		□B23062		飛行人員		陳銘瑩		領航人員		何吳根	
				□DMCH230 ■IXU				■B23063									
氣壓				SSD硬碟編號		離場時間		8:05:00		到場時間		11:05:00		共耗時		3:00:00	
				剩餘片量													
GPS高度(呎)	航向(度)	航速(kts)	攝影時間(起)	攝影時間(迄)	PRF(khz)	SF(Hz)	FOV(度)	相片數	資料夾名稱或片號	備註							
8855	93	81	0845	0856	102	18	40	0-221	181220 _ 044603	雲量30%							
8855	180	80	0903	0906	115	23	30	222-293	181220 _ 010356								
8855	0	88	0915	0928	105	22	30	294-533	181220 _ 011514	雲量10%							
8855	145	75	0941	0942	205	25	40	534-572	181220 _ 014124								
8855	311	98	0948	0950	205	25	40	573-614	181220 _ 014823								
8855	350	99	0954	0956	205	25	40	615-651	181220 _ 015432								
7543	93	77	1005	1013	120	21	40	652-786	181220 _ 020555	雲量20%							

- (2)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 4-16 所示。

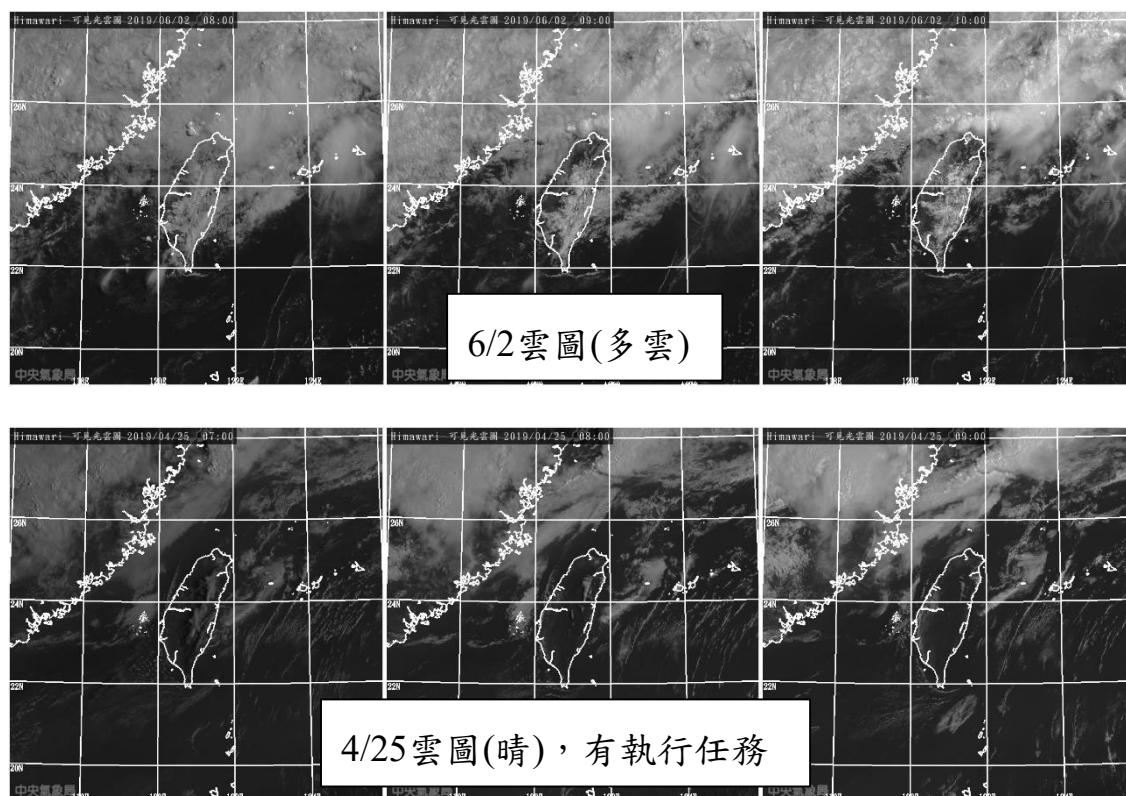


圖4-16、中央氣象局衛星雲圖

2.飛航掃描作業成果

第1作業區有效架次共14架次，總計約2,591公里(含正規航線、潮間帶、交叉航線，補雲航線約226公里，各架次執行時間、基站接收時間以及拍攝的航帶如表4-6所示，航線拍攝月份如圖4-17所示。

表4-6、測區各架次掃描執行與基站接收時間

第1作業區航帶掃描日期			
架次編號	執行時間	基站接收時間	拍攝航帶
P08M03-2019042308	2019/4/23 10:05~11:35	2019/4/23 09:00~11:59	14、01、02、03、04、05、06
P08M03-2019042510	2019/4/25 10:14~12:12	2019/4/25 09:00~12:59	07、28、29、31、32
P08M03-2019042810	2019/4/28 10:23~10:38	2019/4/28 10:00~10:59	33
P08M03-2019051209	2019/5/12 09:17~11:20	2019/5/12 09:00~11:59	08、09、10、11、12、13
P08M03-2019060508	2019/6/5 08:07~10:10	2019/6/5 07:00~10:59	15、16、17、18、19、20、21、22
P08M03-2019061609	2019/6/16 09:39~11:25	2019/6/16 09:00~11:59	27、26、25、24、23、33
P08M03-2019061908	2019/6/19 08:11~11:13	2019/6/19 08:00~11:59	401、402、34、35、36、37、38、39、40、41
P08M03-2019062008	2019/6/20 08:18~10:58	2019/6/20 08:00~11:59	42、43、59、60、61、62、63、64、65、66、67、68、69、70
P08M03-2019062807	2019/6/28 07:47~09:37	2019/6/28 07:00~09:59	44、45、46、47、48、49、50、51
P08M03-2019071307	2019/7/13 07:55~09:14	2019/7/13 07:00~09:59	900、902、903、904、901、905、906
P08M03-2019071608	2019/7/16 08:33~10:29	2019/7/16 08:00~10:59	907、908、52、53、54、55、56、57、58
P08M03-2019072308	2019/7/23 08:43~10:02	2019/7/23 08:00~10:59	801、800、400、406、405、404
P08M03-2019072507	2019/7/25 07:36~08:52	2019/7/25 07:00~09:59	911、910、909、917、916、912、915、913、914、915
P08M03-2019072907	2019/7/29 07:55~08:53	2019/7/29 07:00~09:59	918、404、918、403
1~70：正規航線、400:交叉航線、800:潮間帶航線、900:補雲航線			

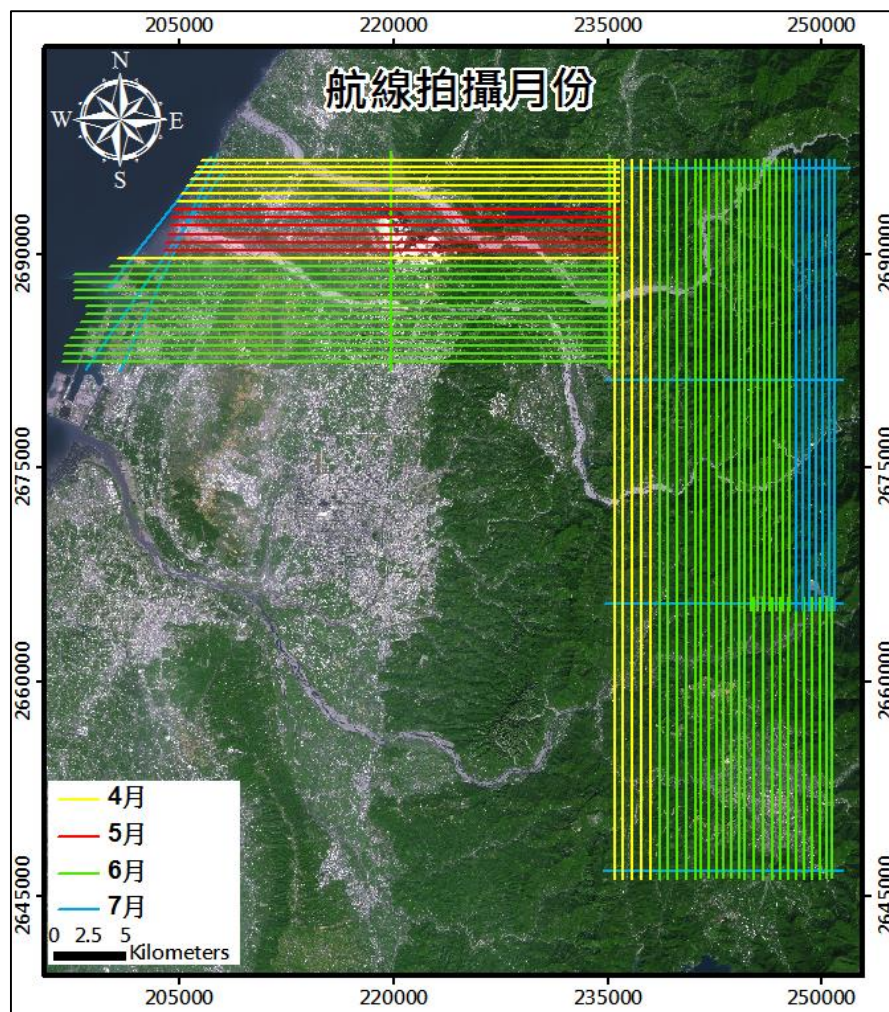


圖 4-17、航線掃瞄月份

3.GNSS 資料接收及幾何條件

基站 GNSS 測量起始時間應比光達掃瞄系統之 GNSS 測量起始時間早 10 分鐘，且關機要比光達掃瞄系統之 GNSS 測量關機時間晚 10 分鐘，如 R08M03-2018072608 架次光達掃瞄系統 GNSS 開機時間為 2019/04/23 10:05~2019/04/23 11:35 (Local Time = GMT + 8h)，如圖 4-18 可知 GNSS 基站接收訊號時間為 2019/04/23 09:00~2019/04/23 11:59 (Local Time)，符合本次規範。

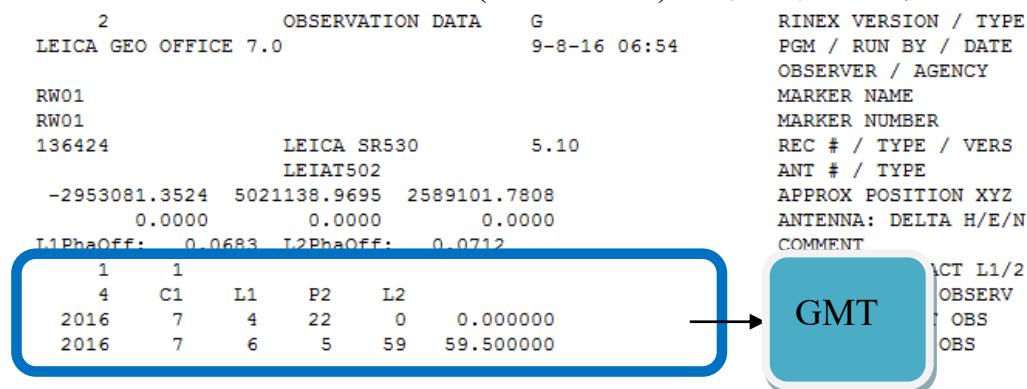


圖 4-18、GNSS 基站接收時間

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4-19所示(P08M03-2019042308架次)。

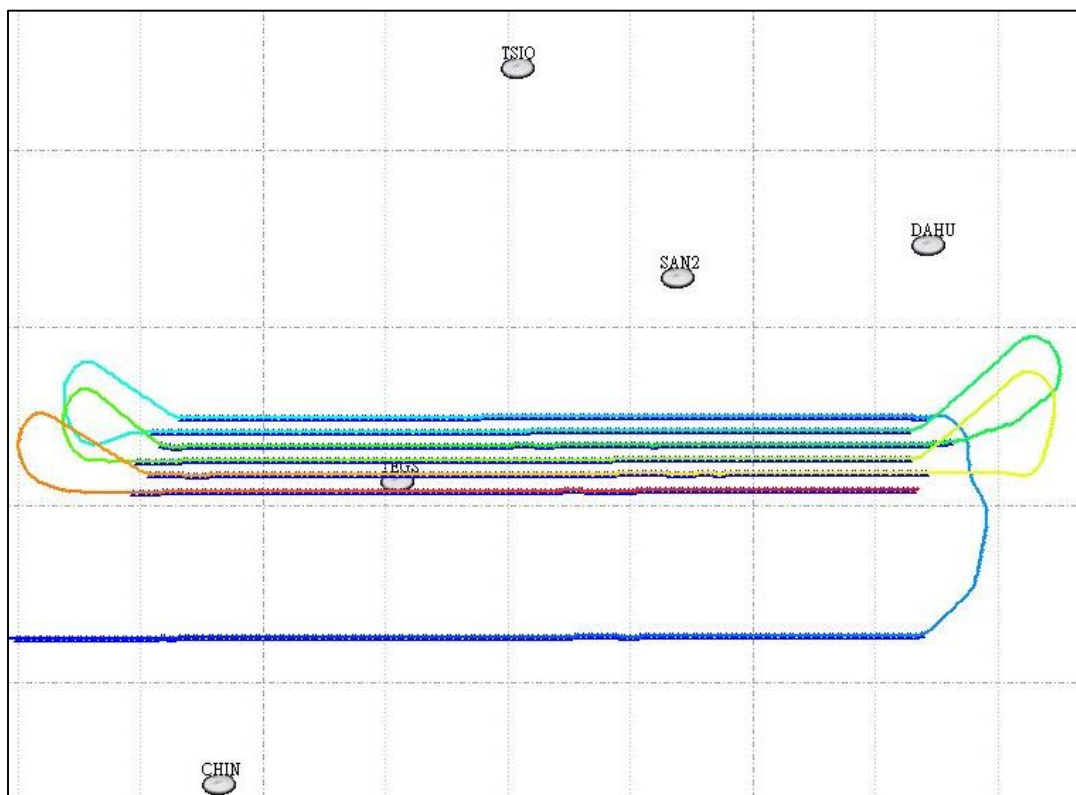


圖4-19、基站與航線軌跡距離

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 4-20，並參閱架次 P08M03-2019042308 之 Rinex 檔案)。

19 4 23 1 0	0.0000000	0	8G32G26G29G	3G31G14G16G22
20650477.227	20650479.520	108519103.395	84560250.901	
0.000	45.500	48.000		
20502045.594	20502049.770	107738961.140	83952492.198	
0.000	43.750	45.000		
22971633.781	22971634.734	120716708.044	84065019.245	
0.000	48.000	40.000		
23782716.969	23782718.160	124979003.715	87386216.947	
0.000	34.000	39.500		
21336183.391	21336184.113	112122410.703	87368104.778	
0.000	42.500	42.250		
20396941.422		107186649.087	83522066.710	20396941.20
0.000	39.000	29.500		
22096758.953		116119367.473	90482517.649	22096760.051
0.000	41.750	23.500		
23450560.750		123233646.380	96026117.555	23450560.227
0.000	43.000	22.250		
19 4 23 1 0	1.0000000	0	8G32G26G29G	3G31G14G16G22
20650693.141	20650695.863	108520240.242	84561136.765	

圖4-20、GNSS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 GPS 原始 PDOP 值不得大於 4，如圖 4-21 所示(架次 P08M03-

2019042308 之成果) $PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2}$ ，本次作業執行成果皆符合規定。

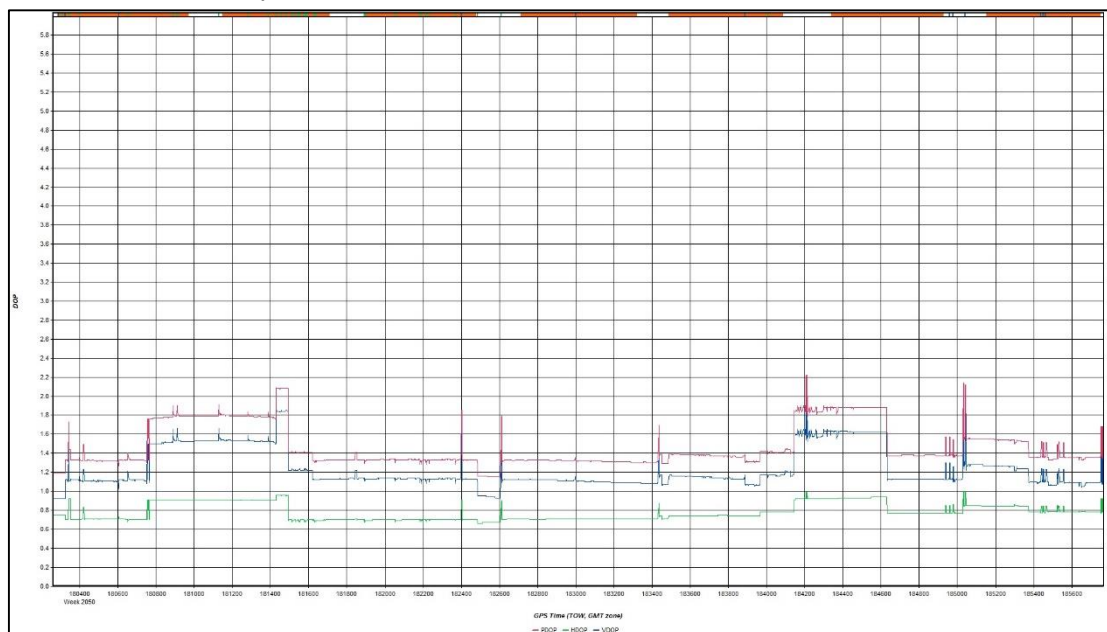


圖4-21、基站CHIN_PDOP值

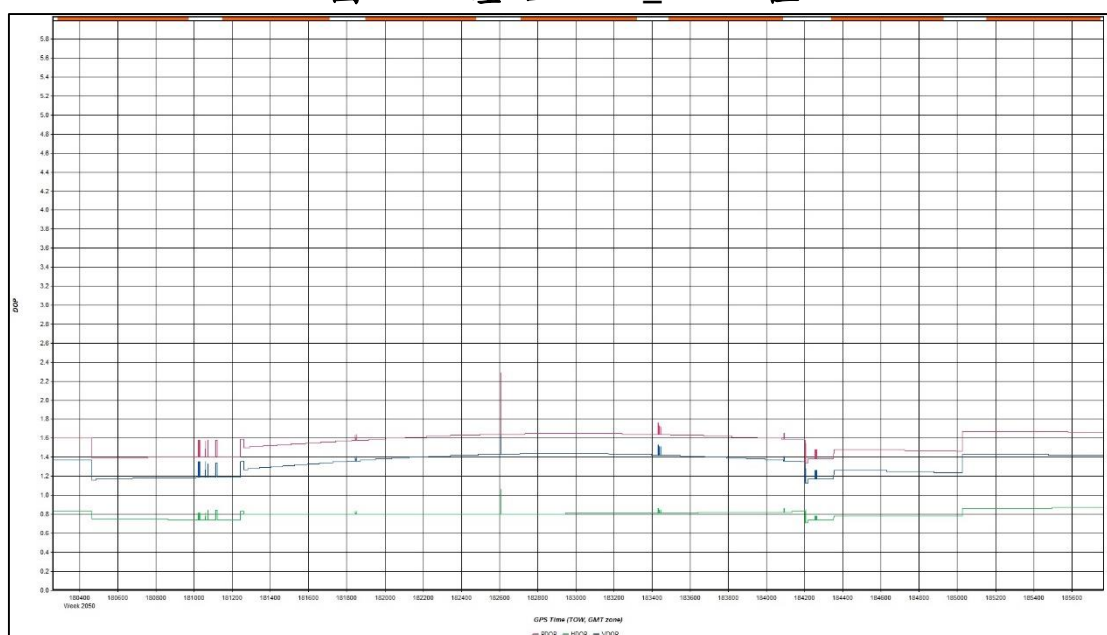


圖4-22、機載GPS_PDOP值

4.3 空載LiDAR資料處理

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4-23為點雲解算產製處理流程圖。

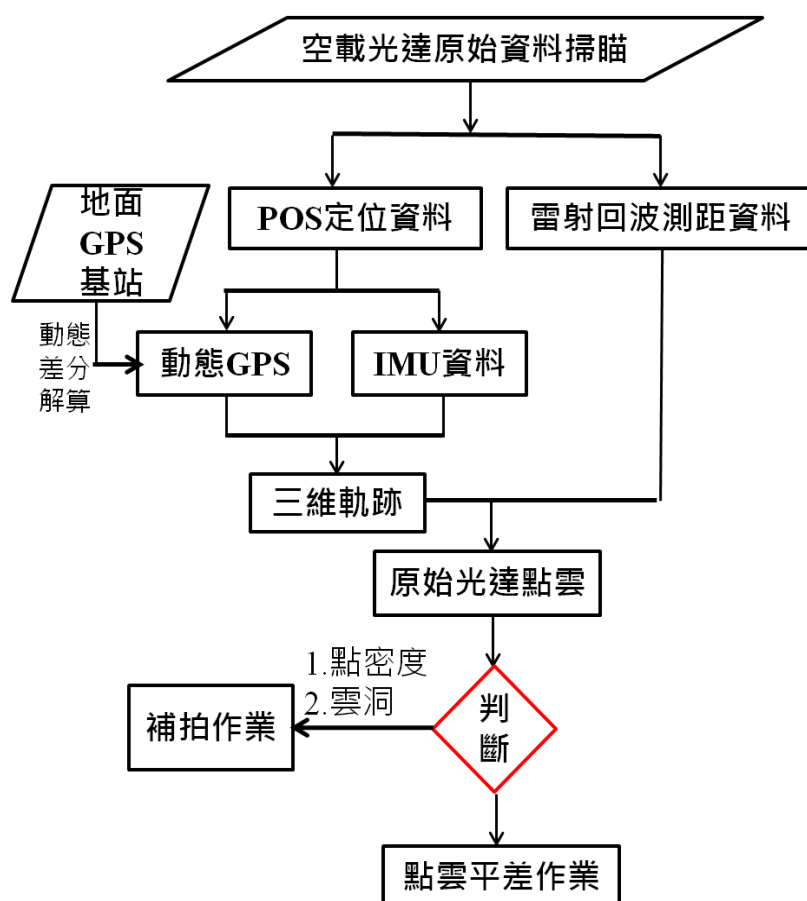


圖4-23、空載光達掃描資料作業流程圖

1. 資料整理備份

蒐集彙整地面 GNSS 固定基站資料，包括氣象局、測繪中心資料以及地調所資料，下載 LiDAR 載體動態 GNSS 與 IMU 資料以及掃描原始資料。

2. LiDAR 掃描飛航軌跡 POS 解算

利用 Leica IPAS TC 對原始 GNSS/IMU 資料進行解壓縮，以利後續軟體計算。所解壓的結果將含解壓縮記錄(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 主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 主站之已知坐標值，並將 IMU 資訊及相對參考中心幾何(Lever arm)輸入，求得光達掃描時掃描儀之瞬間位置與姿態資訊，一般稱為 Sbet 航跡資料，並且檢視解算時所使用地面 GNSS 基站之 PDOP 值以及航行飛機移動站 GNSS 之 PDOP 值。

3. 點雲產出及檢核

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 4-24 為本案飛航掃瞄成果圖。

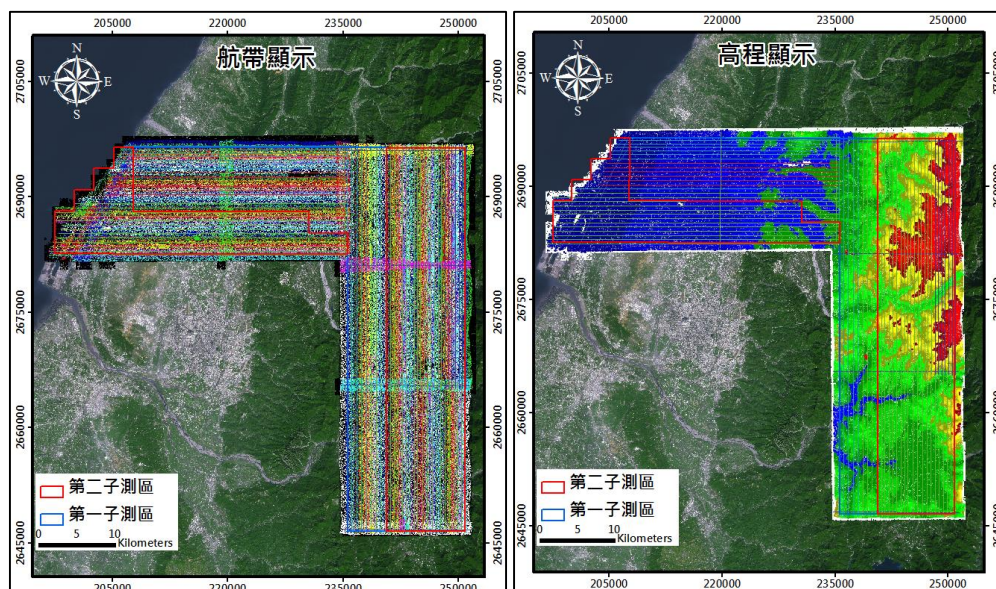
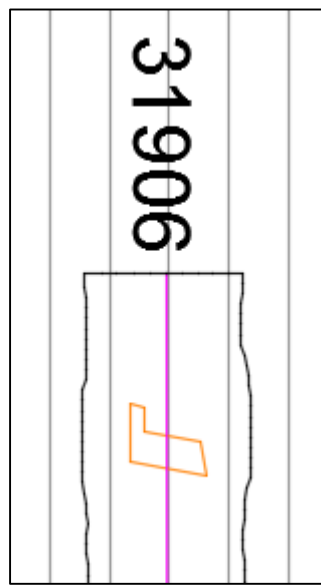
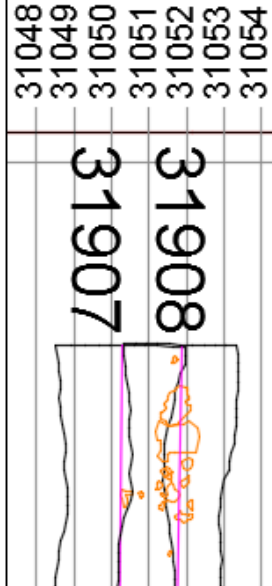
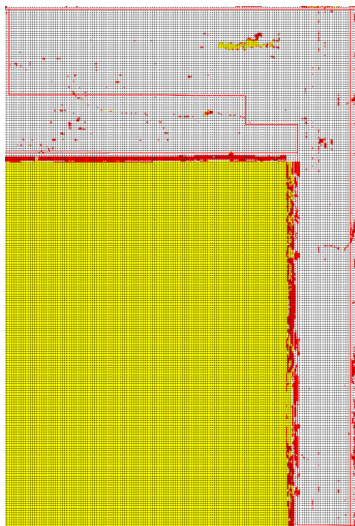
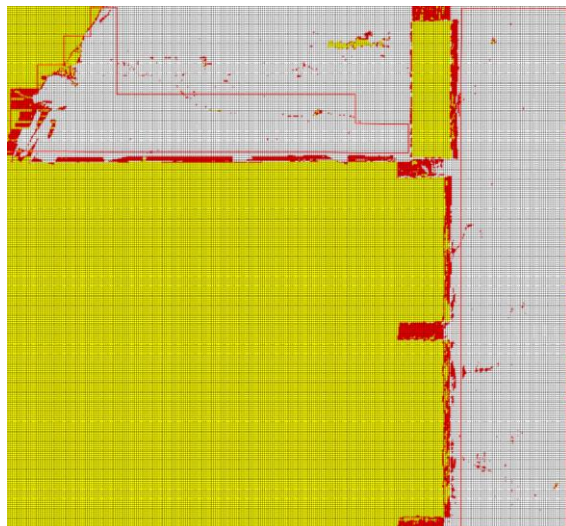


圖4-24、飛航掃瞄成果圖

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4-7所示。第一子測區扣除水域後測區內平均點密度為3.91點/m²，小於1.0點/m²占總比例約0.0%，介於2.0~1.0點/m²占總比例約0.8%，大於2點/m²約99.2%。第二子測區密度成果扣除水域後測區內平均點密度為4.81點/m²，小於1.0點/m²占總比例約0.0%，介於2.0~1.0點/m²占總比例約0.1%，大於2點/m²約99.9%，皆符合合約規範。

表4-7、航拍點雲之檢核

	第一子測區	第二子測區																																																
雲洞檢核		31048 31049 67011 05013 15013 31051 25013 31052 31053 31054 																																																
點密度檢核	 <table><tr><th></th><th>方格內點密度</th><th>數量</th><th>百分比</th></tr><tr><td>白</td><td>D > 2.0</td><td>50,099</td><td>99.2%</td></tr><tr><td>紅</td><td>2.0 > D > 1.0</td><td>400</td><td>0.8%</td></tr><tr><td>黃</td><td>1.0 > D</td><td>0</td><td>0.0%</td></tr><tr><td>藍</td><td>水域</td><td>470</td><td>-----</td></tr><tr><td colspan="2">合計總格數</td><td>50,969</td><td></td></tr></table>		方格內點密度	數量	百分比	白	D > 2.0	50,099	99.2%	紅	2.0 > D > 1.0	400	0.8%	黃	1.0 > D	0	0.0%	藍	水域	470	-----	合計總格數		50,969		 <table><tr><th></th><th>方格內點密度</th><th>數量</th><th>百分比</th></tr><tr><td>白</td><td>D > 2.0</td><td>73,174</td><td>99.9%</td></tr><tr><td>紅</td><td>2.0 > D > 1.0</td><td>69</td><td>0.1%</td></tr><tr><td>黃</td><td>1.0 > D</td><td>0</td><td>0.0%</td></tr><tr><td>藍</td><td>水域</td><td>1,302</td><td>-----</td></tr><tr><td colspan="2">合計總格數</td><td>74,545</td><td></td></tr></table>		方格內點密度	數量	百分比	白	D > 2.0	73,174	99.9%	紅	2.0 > D > 1.0	69	0.1%	黃	1.0 > D	0	0.0%	藍	水域	1,302	-----	合計總格數		74,545	
	方格內點密度	數量	百分比																																															
白	D > 2.0	50,099	99.2%																																															
紅	2.0 > D > 1.0	400	0.8%																																															
黃	1.0 > D	0	0.0%																																															
藍	水域	470	-----																																															
合計總格數		50,969																																																
	方格內點密度	數量	百分比																																															
白	D > 2.0	73,174	99.9%																																															
紅	2.0 > D > 1.0	69	0.1%																																															
黃	1.0 > D	0	0.0%																																															
藍	水域	1,302	-----																																															
合計總格數		74,545																																																

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，造成航帶重疊區之高程不一致現象，為了檢驗並減少系統誤差，測區內之點雲資料皆需

進行航帶平差修正，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。

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)及平均絕對誤差(Magnitude)。

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×5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×5米範圍內的點雲資料計算其平均高程如圖4-25，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

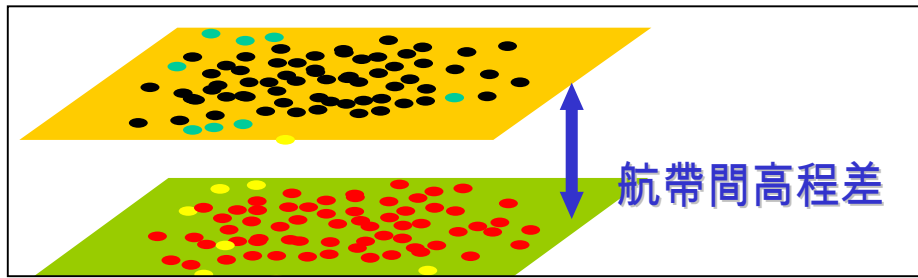


圖4-25、推求兩航帶內某共軌點的相對高程差示意圖

4-4-2 雷射掃描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 掃描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.空載雷射掃描資料處理

空載雷射掃描資料的處理，本作業區應用 IPAS TC 以及 AERO office 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 ALSPP 軟體，整合前述資料與原始雷射掃描資料，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，本團隊應用 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描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常的作業步驟，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南北向，因此平差作業的劃分以南北向的區塊為主。並加入 68 個實測控制點、15 個立體量測點以及檢核航線確保點雲資料方位之一致性，圖 4-26 為本作業區分區航帶平差區塊。

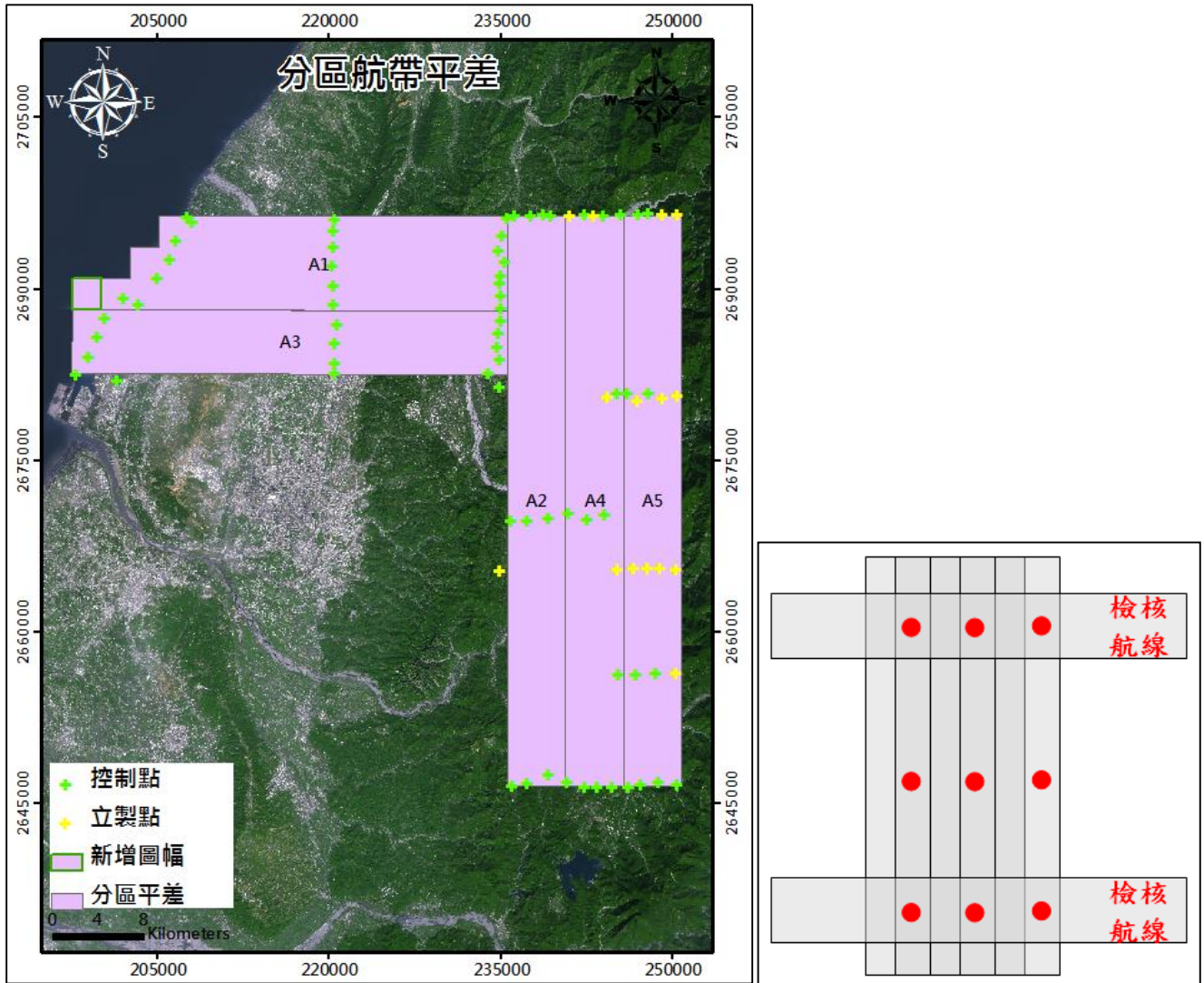


圖4-26、點雲分區航帶平差

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軌點位的差異，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 $(X, Y, Z)^T_{ground\ control}$ 為測得之地面點坐標， $(X, Y, Z)^T_{aircraft\ position}$ 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， (l_x, l_y, l_z) 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 $(X, Y, Z)^T_{aircraft\ position}$ 、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：

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

ω 、 ϕ 、 κ 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，意義為使兩共軌平面間距離的平方和為最小，應用航帶重疊區域連結點的高程與 Intensity 值進行改正計算，以評估重疊航帶的內部精度不符值(Latypov, 2002)，進一步改正誤差，作業流程如圖4-27所示。

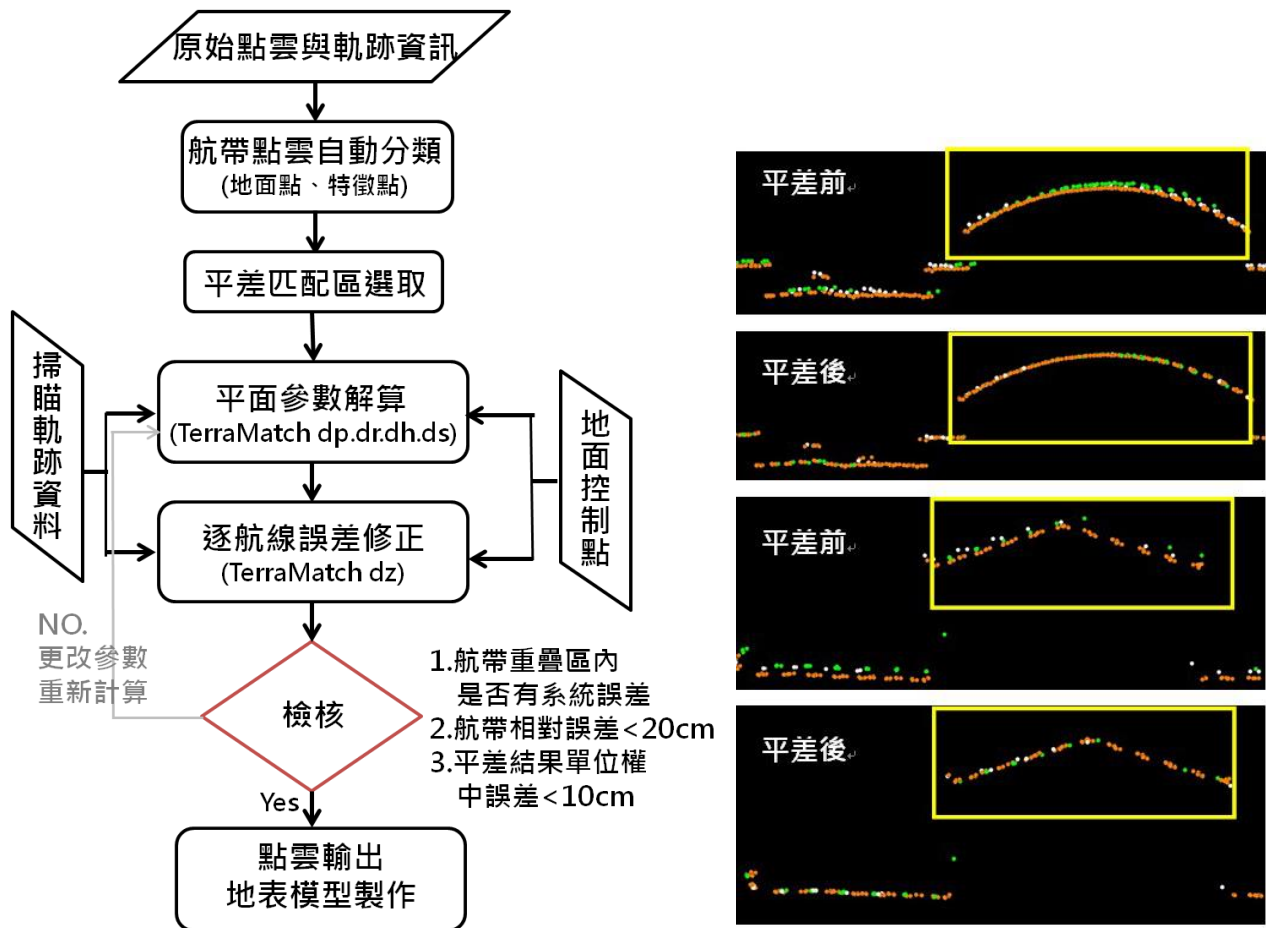


圖4-27、航帶平差作業流程

4-4-5 航帶平差及應用軟體

本案航帶平差作業流程採用TerraSolid軟體之模組TerraMatch進行航帶平差工作，應用模組Measure Match功能自動匹配相鄰航帶間的點雲資料，解算修正參數值(Heading、Roll、Pitch、Dz)，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時間序列的航跡三維坐標、時間序列的點雲三維坐標以及地面已知點三維坐標。平差作業流程包括：

1.軌跡裁切：

依據實際光達掃描成果搭配航線規劃資料，使用TerraScan軟體編輯裁切飛航軌跡資料(Sbet軌跡檔)，因航線轉彎處資料精度較差，軌跡資料需裁切之。

2.自動分類：

使用TerraScan軟體自動過濾功能分類光達點雲，自動過濾參數的選擇，

主要選取地面點以及特徵點位。

3. 匹配區域選取：

使用Terra Match軟體將航帶之間重疊區域進行特徵點匹配與連結點的量測，因重疊區所有觀測量資料過於龐大，在實際作業上會選擇匹配區域，均勻分布於航帶測區內。

4. 平差改正、逐條航線修正：

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、Heading以及dZ)之改正，藉此提高光達點雲資料之精度。

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，

μ 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，

σ 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。

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \mu|$$

式 4-6

其中，

MAD 為平均絕對誤差

第1作業區平差計算成果如表4-8，平差後平均絕對差量為7.8cm，標準偏差為2.1cm，差異直方圖如圖4-28所示。

表4-8、本案平差成果

航線	點數	平差前(m)		平差後(m)		航線	點數	平差前(m)		平差後(m)	
		平均絕對差量	平均差量	平均絕對差量	平均差量			平均絕對差量	平均差量	平均絕對差量	平均差量
1	34231582	0.1266	-0.0784	0.059	0.007	50	76437	0.1543	-0.1068	0.108	-0.026
2	52715596	0.126	0.1267	0.059	0.000	51	21915	0.1408	0.0068	0.101	-0.008
3	60641863	0.0853	-0.0025	0.062	0.002	52	496	0.1584	-0.087	0.101	0.007
4	61735431	0.0763	0.0143	0.064	-0.001	53	11775	0.1472	-0.0163	0.105	-0.007
5	57936847	0.0912	-0.0183	0.065	0.001	54	256	0.1422	-0.0137	0.107	0.005
6	55923062	0.0806	-0.0144	0.065	0.000	55	6322	0.138	0.0142	0.108	0.004
7	51588759	0.077	-0.0216	0.069	-0.005	56	7438	0.1348	0.0145	0.113	-0.008
8	60905375	0.0681	-0.0045	0.066	0.004	57	6896	0.1394	0.0147	0.117	-0.014
9	64427892	0.0643	0.0177	0.063	0.002	58	3520	0.1251	0.0486	0.119	-0.013
10	69267104	0.0748	0.0192	0.065	0.008	59	841482	0.0921	-0.0523	0.071	0.009
11	71737758	0.0719	-0.0047	0.069	0.005	60	628824	0.0798	0.0302	0.071	0.005
12	76541817	0.0805	-0.0107	0.077	0.019	61	663990	0.0806	0.0402	0.071	0.007
13	72973206	0.0853	-0.0402	0.082	-0.005	62	576716	0.0899	0.0031	0.071	0.007
14	68009930	0.1017	+0.0348	0.098	0.013	63	659969	0.0837	-0.0188	0.072	0.004
15	65648607	0.0983	-0.0446	0.093	-0.028	64	661568	0.0936	0.0202	0.073	0.004
16	69006756	0.0876	+0.0194	0.076	0.003	65	748563	0.075	-0.0132	0.0747	0.007
17	70327730	0.0958	+0.0340	0.070	0.008	66	434602	0.079	-0.0018	0.0703	0.01
18	71866057	0.0939	-0.0299	0.069	0.017	67	454593	0.083	0.0101	0.0732	0.004
19	71969635	0.0943	-0.0024	0.072	0.005	68	418335	0.089	-0.0043	0.0757	0.005
20	72496390	0.0953	+0.0325	0.073	0.012	69	466959	0.096	-0.009	0.0842	0.007

航線	點數	平差前(m)		平差後(m)		航線	點數	平差前(m)		平差後(m)	
		平均絕對差量	平均差量	平均絕對差量	平均差量			平均絕對差量	平均差量	平均絕對差量	平均差量
21	73235080	0.1005	-0.0161	0.073	0.014	70	334793	0.102	-0.0276	0.09	0.023
22	73227075	0.0962	+0.0285	0.075	0.011	400	1495741	0.0885	0.0014	0.074	-0.001
23	78932124	0.1103	-0.0337	0.065	-0.001	401	1057505	0.096	-0.063	0.0924	-0.0355
24	78027274	0.0819	+0.0158	0.061	0.009	402	15012119	0.106	0.0864	0.0994	0
25	68441277	0.0928	+0.0024	0.061	0.008	403	7561308	0.122	0.042	0.0954	-0.032
26	63443290	0.0812	+0.0042	0.060	0.014	404	5811707	0.127	-0.013	0.0851	0.0112
27	39016948	0.0907	-0.0440	0.065	-0.003	405	10020153	0.127	-0.0175	0.0855	0.012
28	34019131	0.1467	-0.0731	0.103	0.021	406	14504191	0.125	-0.046	0.0948	0.0331
29	47801752	0.1404	-0.0464	0.101	0.022	800	15577257	0.0959	-0.068	0.09	0.008
30	49138835	0.1484	-0.0879	0.100	-0.016	801	48196608	0.1054	0.043	0.11	0.0212
31	43927755	0.1244	0.0091	0.097	0.011	900	32241636	0.131	0.044	0.0815	-0.0354
32	37141260	0.1257	-0.0097	0.104	0.003	901	19043045	0.104	-0.017	0.0533	-0.0092
33	28614868	0.1187	+0.0414	0.112	0.004	902	32532307	0.096	-0.0108	0.048	-0.006
33R1	27547571	0.1316	-0.0137	0.1212	-0.0264	903	40273909	0.081	-0.007	0.0451	-0.0027
34	26480274	0.1178	0.0033	0.103	0.003	904	30224021	0.075	-0.017	0.0466	0.0054
35	23978634	0.1153	0.0359	0.095	-0.004	905	15233672	0.097	-0.028	0.049	0.0033
36	24404970	0.1189	-0.0352	0.093	0.010	906	6138143	0.117	-0.019	0.0461	-0.0005
37	29268318	0.1295	-0.0028	0.091	0.004	907	687126	0.124	0.029	0.0467	0.0019
38	28692339	0.1311	0.0065	0.087	0.006	908	152016	0.13	-0.0273	0.0479	0.004
39	32803183	0.1399	-0.0201	0.085	0.006	909	171008	0.132	-0.0014	0.0481	0.005
40	33363061	0.1407	0.0497	0.084	0.002	910	329144	0.12	-0.0131	0.0477	0.006
41	33367491	0.0985	0.0534	0.091	-0.016	911	1319789	0.118	0.0001	0.0471	0.003
42	35773982	0.0956	0.0041	0.087	0.024	912	582957	0.133	0.016	0.0463	0.002
43	37288376	0.0936	-0.0414	0.081	0.003	913	540490	0.101	-0.0024	0.0461	-0.002
44	13289468	0.1454	0.037	0.103	0.019	914	410759	0.125	-0.0025	0.0466	-0.003
45	13540486	0.1322	0.0714	0.098	0.007	915	1589245	0.108	-0.025	0.0413	-0.0102
46	13373237	0.1609	0.1355	0.100	0.003	916	7069670	0.108	-0.0119	0.0468	0.009

航線	點數	平差前(m)		平差後(m)		航線	點數	平差前(m)		平差後(m)	
		平均絕對差量	平均差量	平均絕對差量	平均差量			平均絕對差量	平均差量	平均絕對差量	平均差量
47	13263183	0.1036	0.0518	0.098	0.001	917	5528140	0.103	-0.01	0.0505	0.0062
48	12281233	0.1155	0.0261	0.102	-0.007	918	446865	0.126	-0.009	0.0497	-0.0043
49	9381567	0.1017	0.0052	0.101	0.002						
平差後											
最大平均絕對差量		0.121		最小平均絕對差量		0.041		單位:m			
平均絕對差量		0.078		標準偏差		0.021		均方根誤差		0.081	

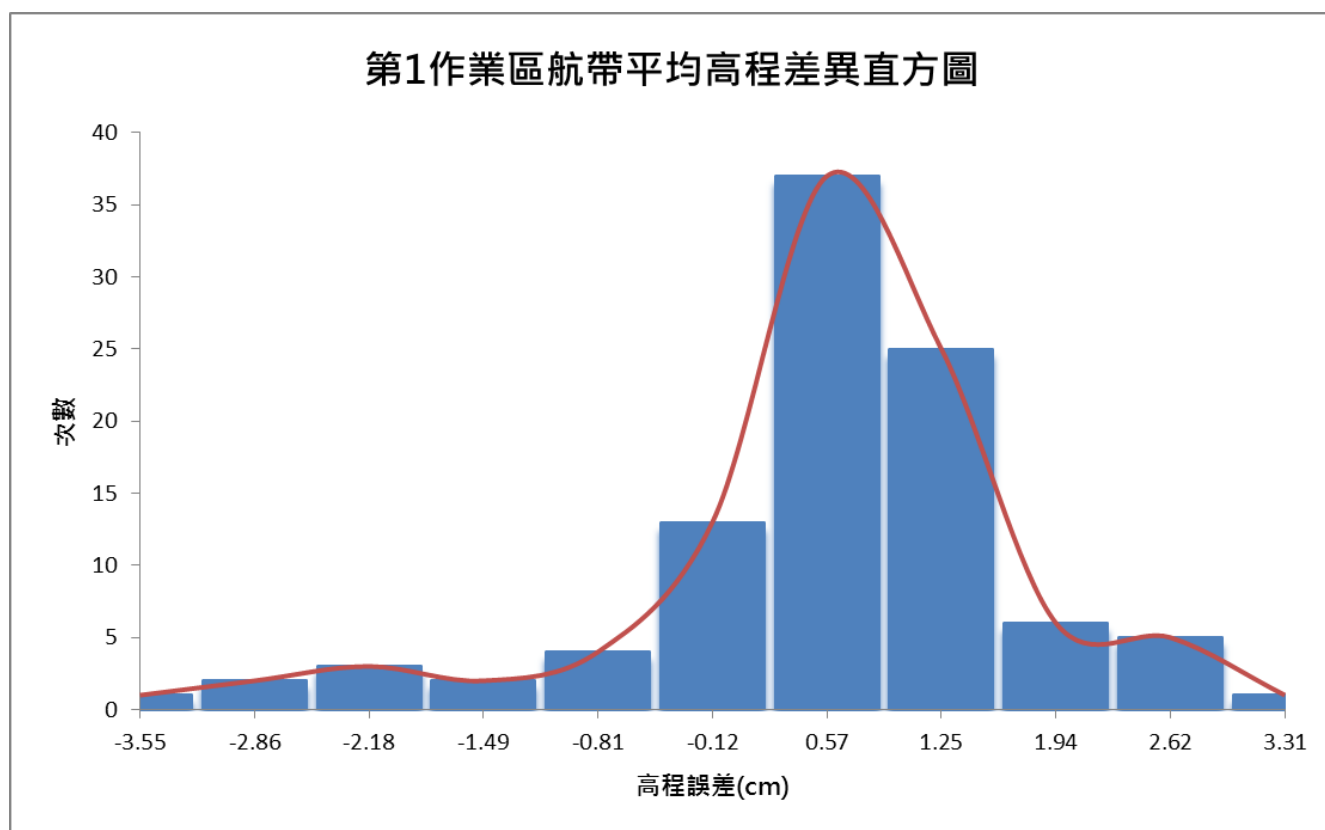


圖4-28、平均高程差異直方圖

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4-9所示，平面控制點分布位置如圖4-29所示，

比較屋角點與最鄰近的點雲差值，其平均差值為34.00公分，標準偏差為20.59公分。

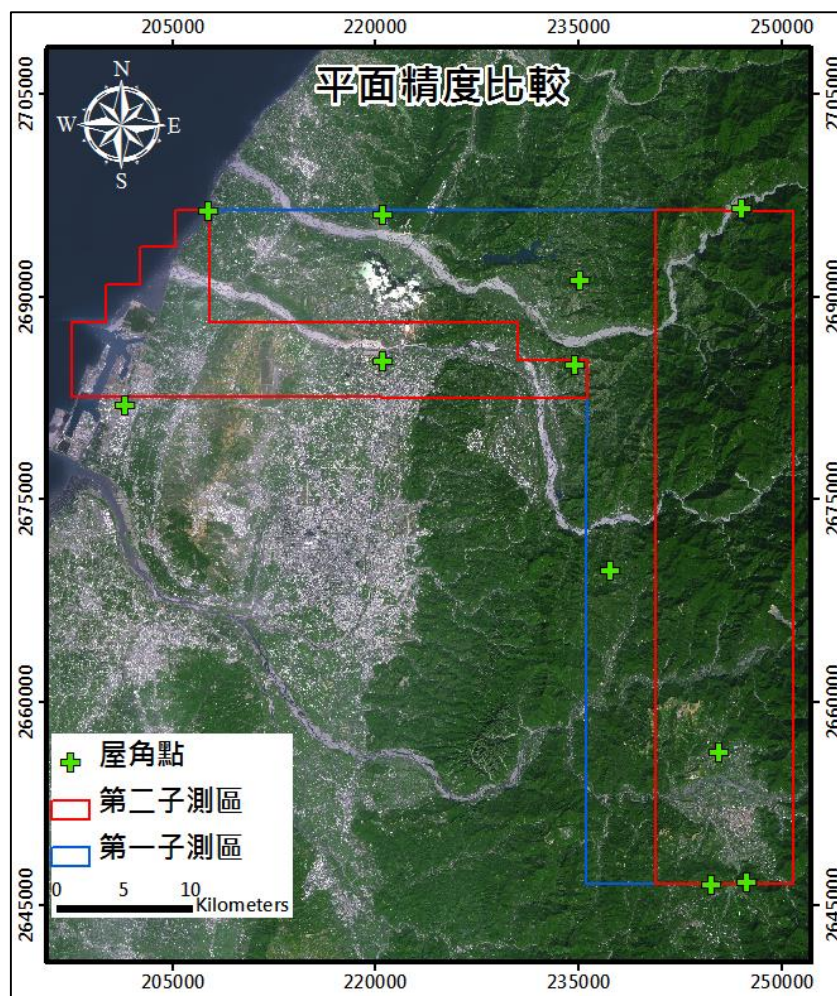


圖4-29、平面精度比較位置分布圖

表4-9、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
31-0001B	207668.743	2696292.199	207668.767	2696291.795	0.02	-0.40	0.40
31-0012B	201522.853	2681970.791	201522.979	2681970.690	0.13	-0.10	0.16
31-0013B	220473.842	2696043.455	220473.625	2696043.410	-0.22	-0.04	0.22
31-0020B	220504.541	2685270.395	220504.758	2685270.202	0.22	-0.19	0.29
31-0027B	234843.82	2691633.667	234843.505	2691633.533	-0.32	-0.13	0.34
31-0033B	234646.255	2685155.669	234646.033	2685155.546	-0.22	-0.12	0.25
31-0044B	246933.635	2696346.571	246934.014	2696346.572	0.38	0.00	0.38
31-0051B	237494.711	2674150.734	237494.834	2674150.623	0.12	-0.11	0.17
31-0056B	245350.954	2656309.775	245351.015	2656309.980	0.06	0.21	0.21
31-0065B	244784.839	2646428.586	244785.362	2646429.321	0.52	0.73	0.90

ID	點雲E	點雲N	地測E	地測N	E差量	N差量	水平差量
31-0067B	247346.169	2646678.12	247346.196	2646677.765	0.03	-0.35	0.36
最大水平差量		0.90		最小水平差量		0.16	
標準偏差	0.21	平均水平差量	0.34	均方根誤差	0.39	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4-30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8.24公分，第二子測區為8.50公分。

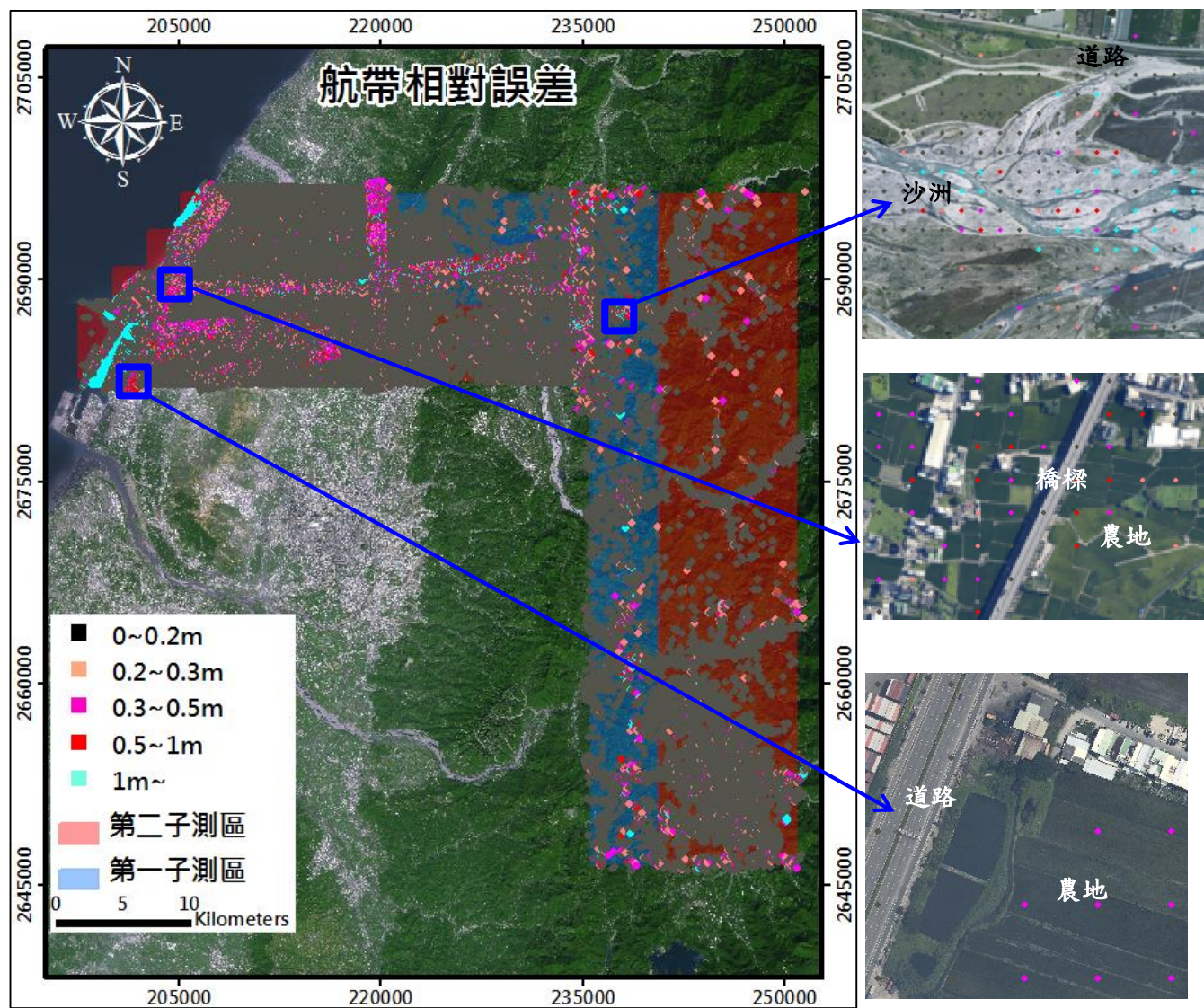


圖4-30、航帶平差誤差分布圖

4.5 DEM/DSM製作

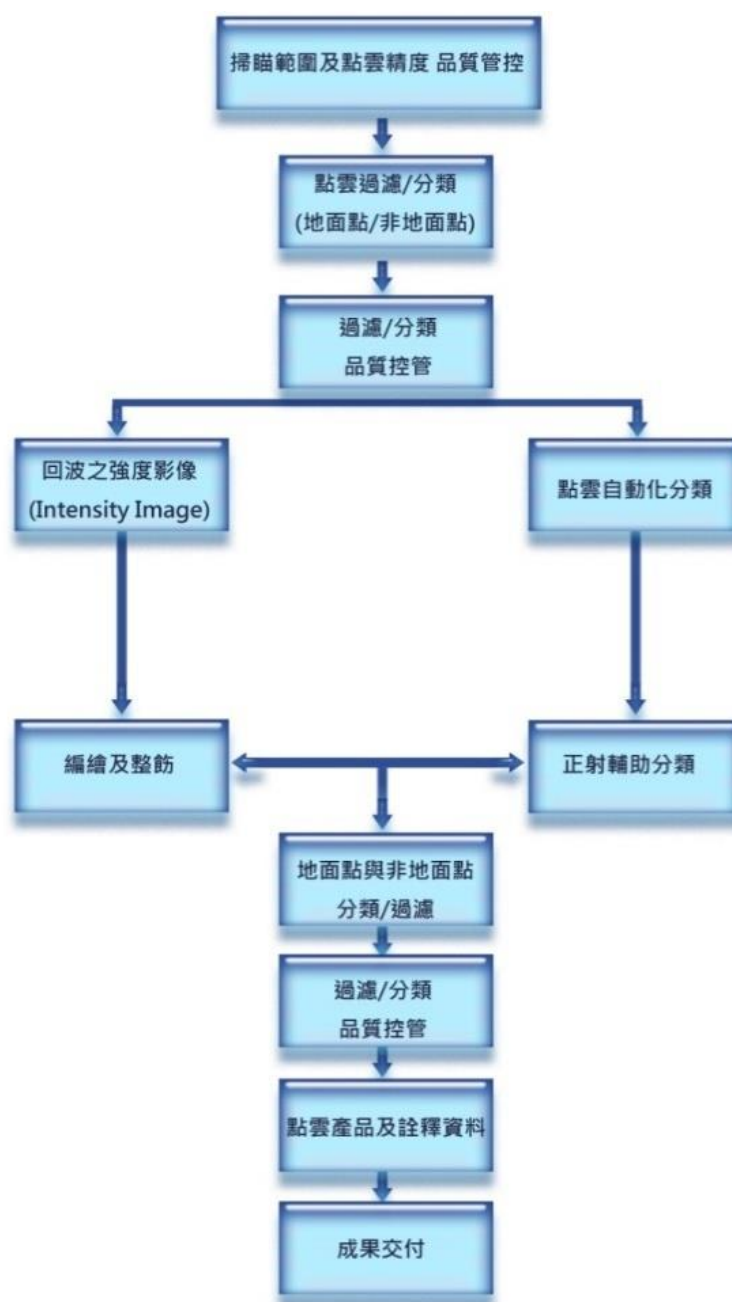


圖4-31、點雲後處理作業流程圖

4-5-1 點雲編修流程

原始光達點雲數據(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，則需執行濾除與分類的步驟，過濾分類成果包含 4 種類別，如下表 4-10 所示

表4-10、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

1. 自動過濾

本團隊使用商業軟體 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。在三角網內判斷掃描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 4-32，可預先設定門檻值當成判斷的標準。

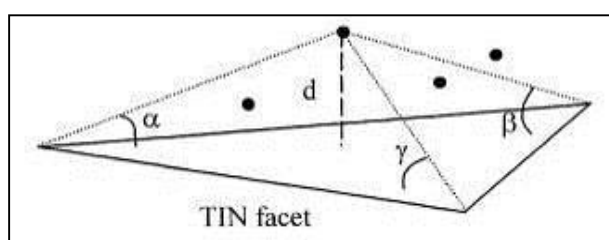


圖4-32、過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000)

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 4-33 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 4-34 所示。

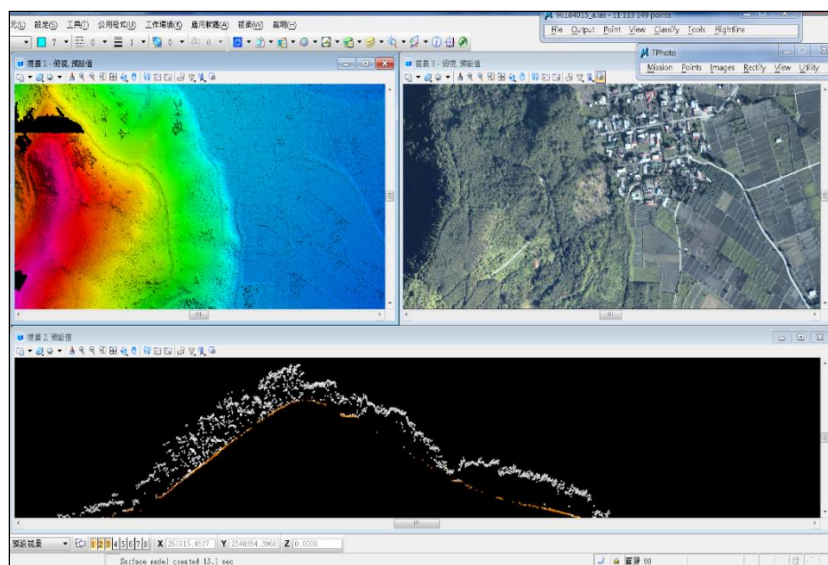


圖4-33、人工檢視編修界面

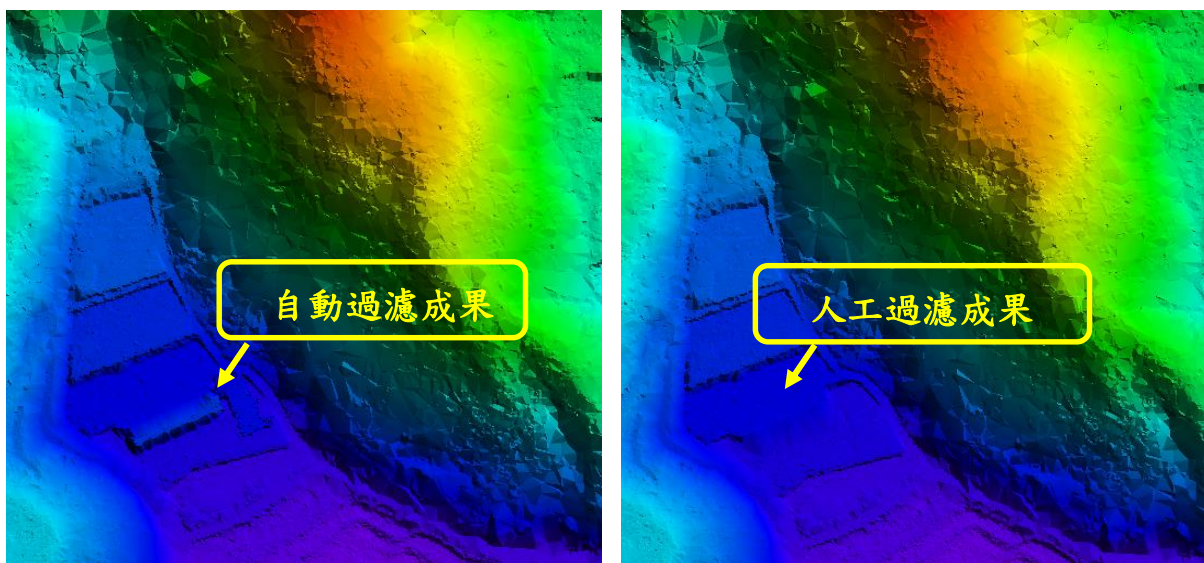


圖4-34、過濾非地面點後之成果(圖號95201010)

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4-35所示。

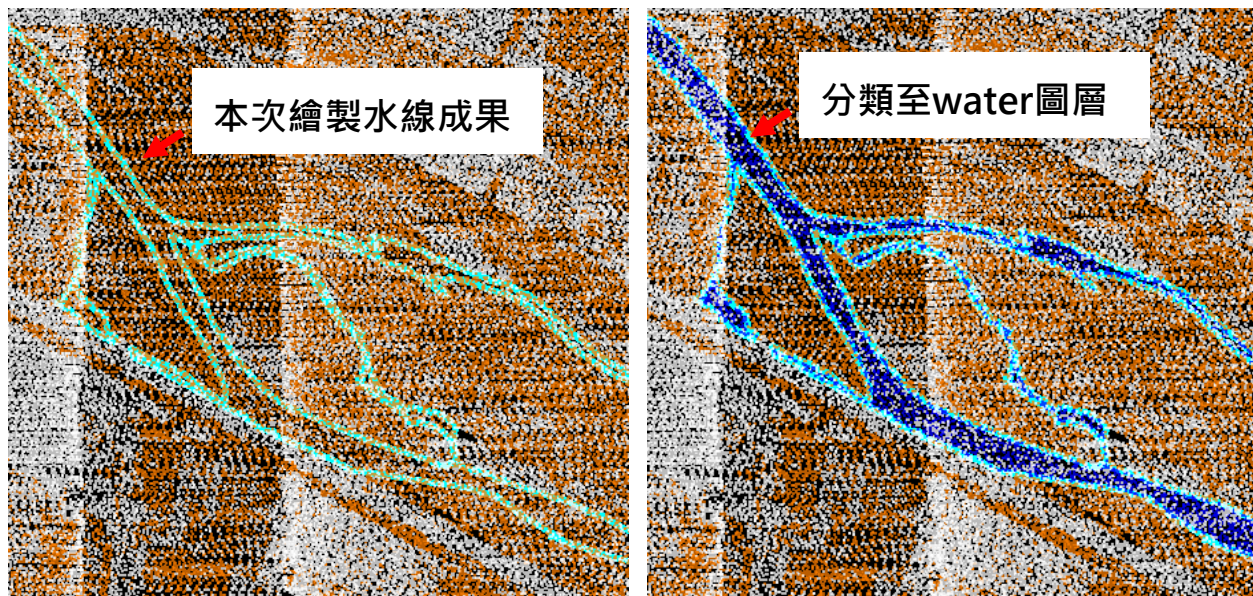


圖4-35、水體分類成果(圖號95201009)

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4-36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。

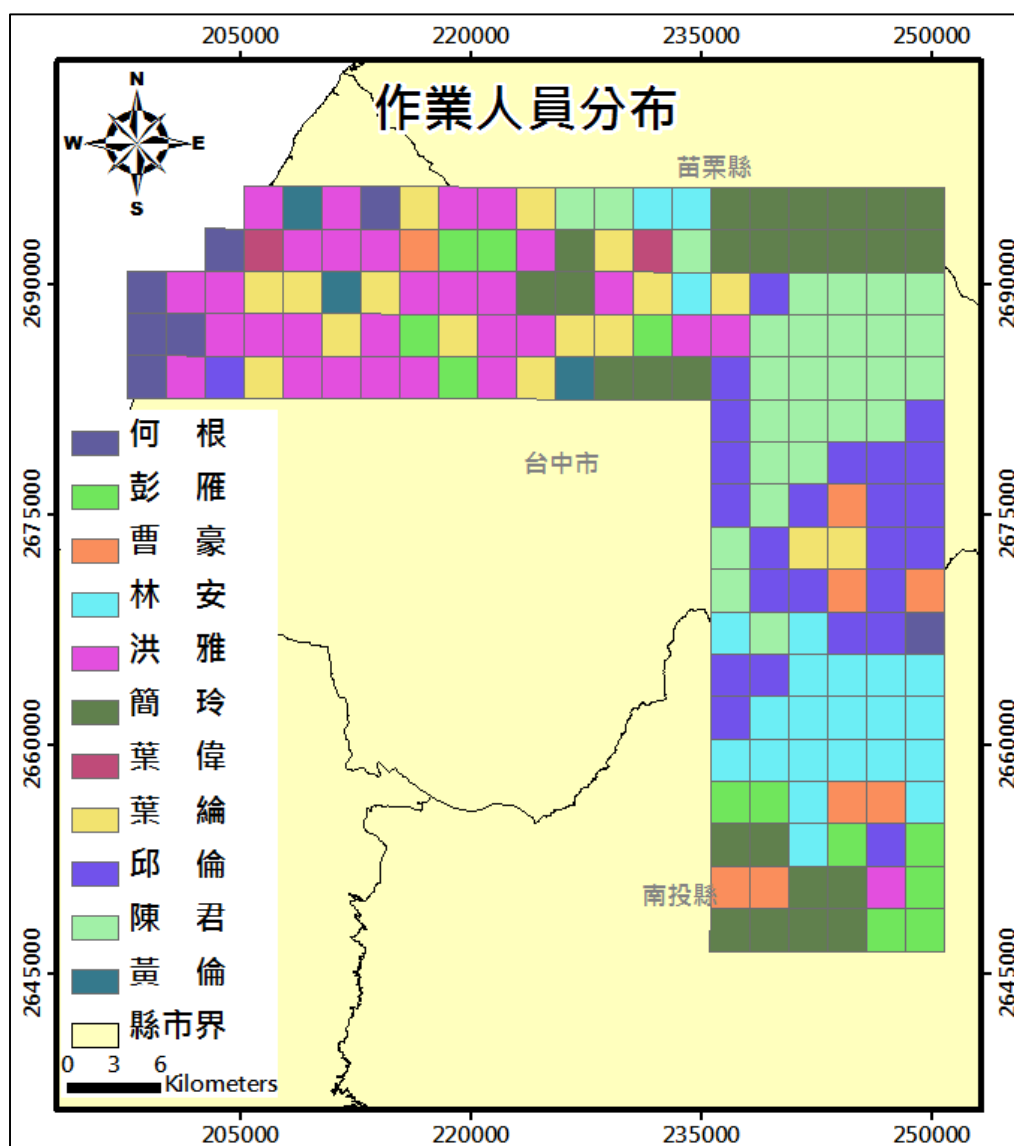


圖4-36、本案作業人員分布圖

4-5-3 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。

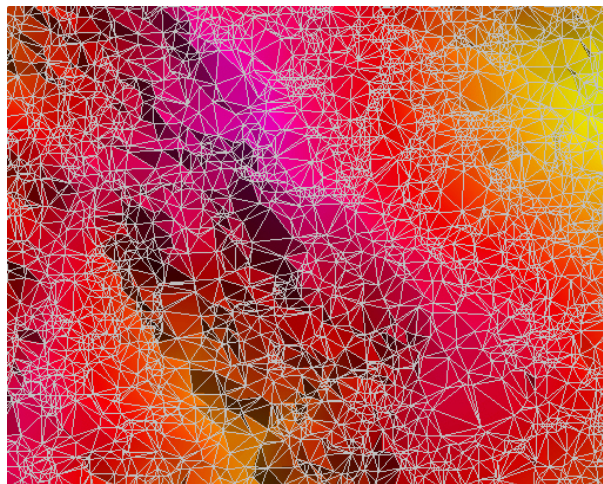


圖4-37、點雲TIN分析圖

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。

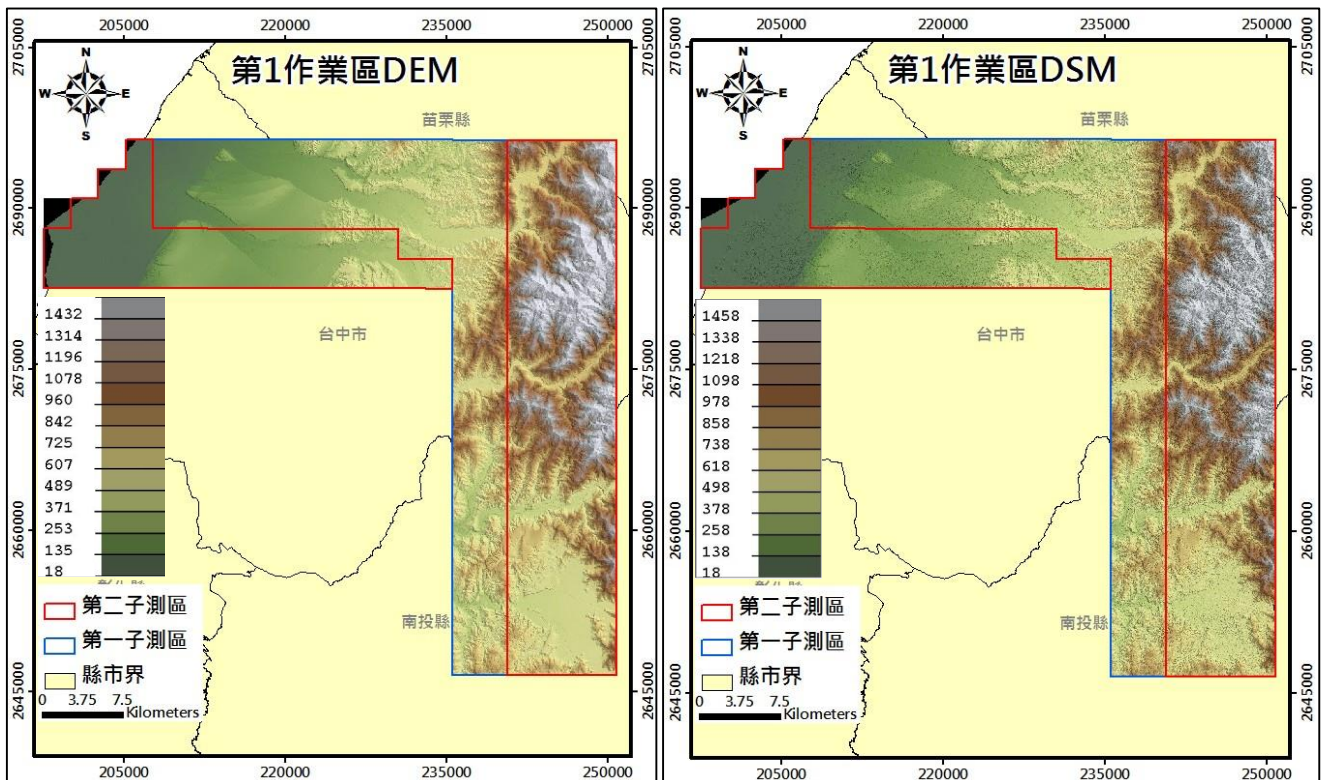


圖4-38、本案DEM、DSM成果

5.DEM/DSM 外部接邊

接邊由丙方統一分配，共計需處理58幅DEM以及DSM接邊，接邊位置與年分關係如圖4-39所示。因掃瞄作業年分不同，若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4-40所示。今年測區接編資料無高程落差過大導致無法接邊之情況。

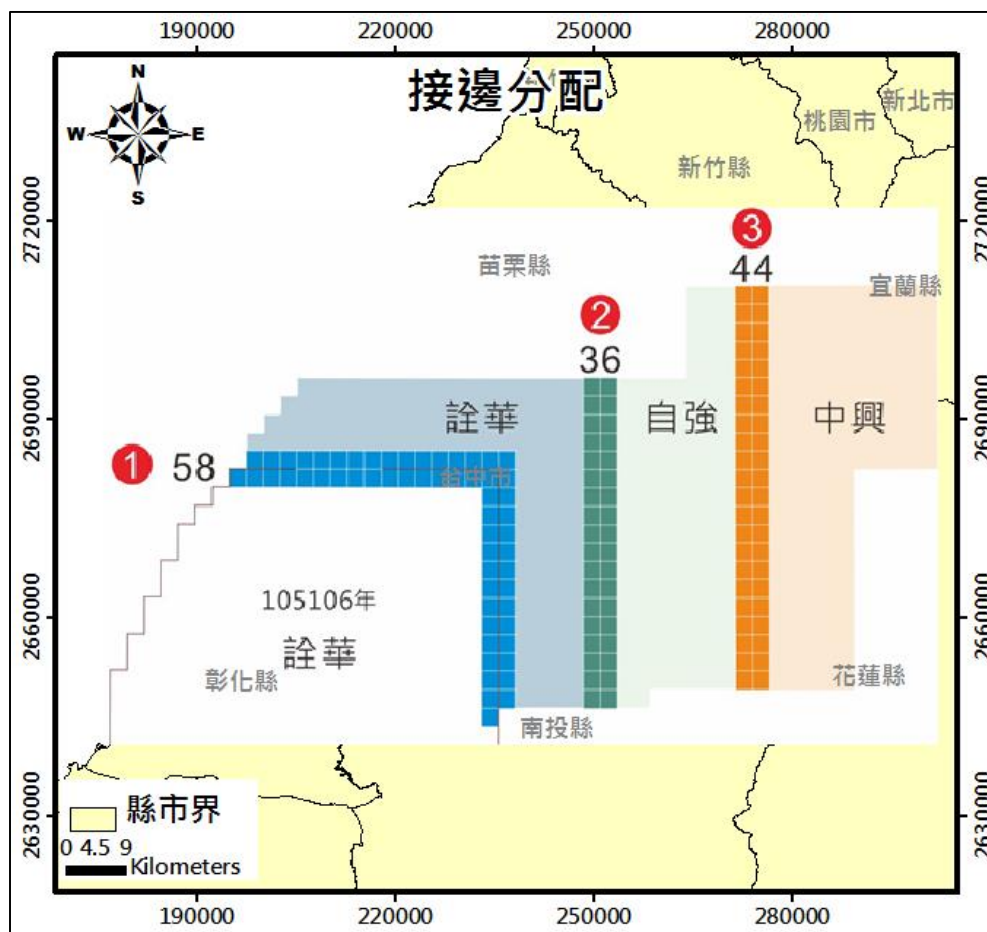


圖4-39、DEM、DSM接邊分布圖

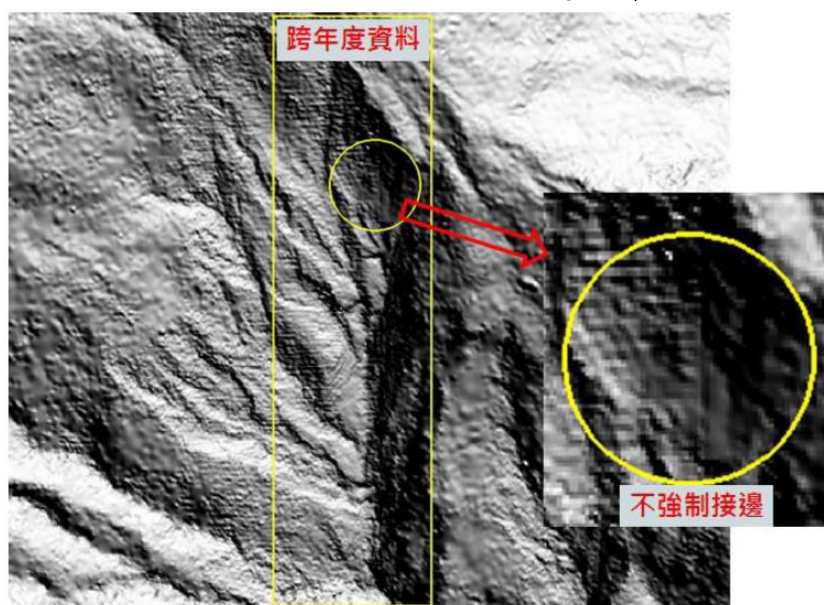


圖4-40、年度接邊地形變異示意圖

4-5-4 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WGS84；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。

本作業預計採用內政部2005年公告之大地起伏模型進行正橢高轉換，因空載光達點雲高程採用WGS84橢球高系統，因此利用內政部公告之大地起伏模型將空載光達點雲成果轉換至正高成果，以利其他工程單位應用。

4.6 檢核點蒐集及作業

本案地形包括沿海濕地、中央山脈以及屏東平原，地形地貌豐富，高低海拔以800米為分界，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(海拔高度<800 米)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(海拔高度>800 米)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)

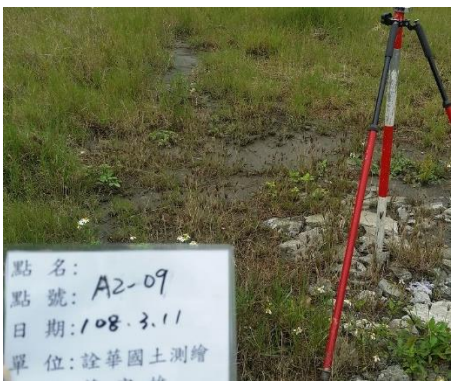
每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測量檢核點，應盡可能均勻分布於各圖幅，地面檢核點允許在平坦坡度，且避開地形斷線特徵處 1 米以上。應用地面檢核點分析不同土地覆蓋分區之精度評估，提出精度評估報告。

(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1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4-11及表4-12所示，其分部位置如圖4-41所示。

表4-11、低高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

低海拔



C-橫斷面檢核點

表4-12、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

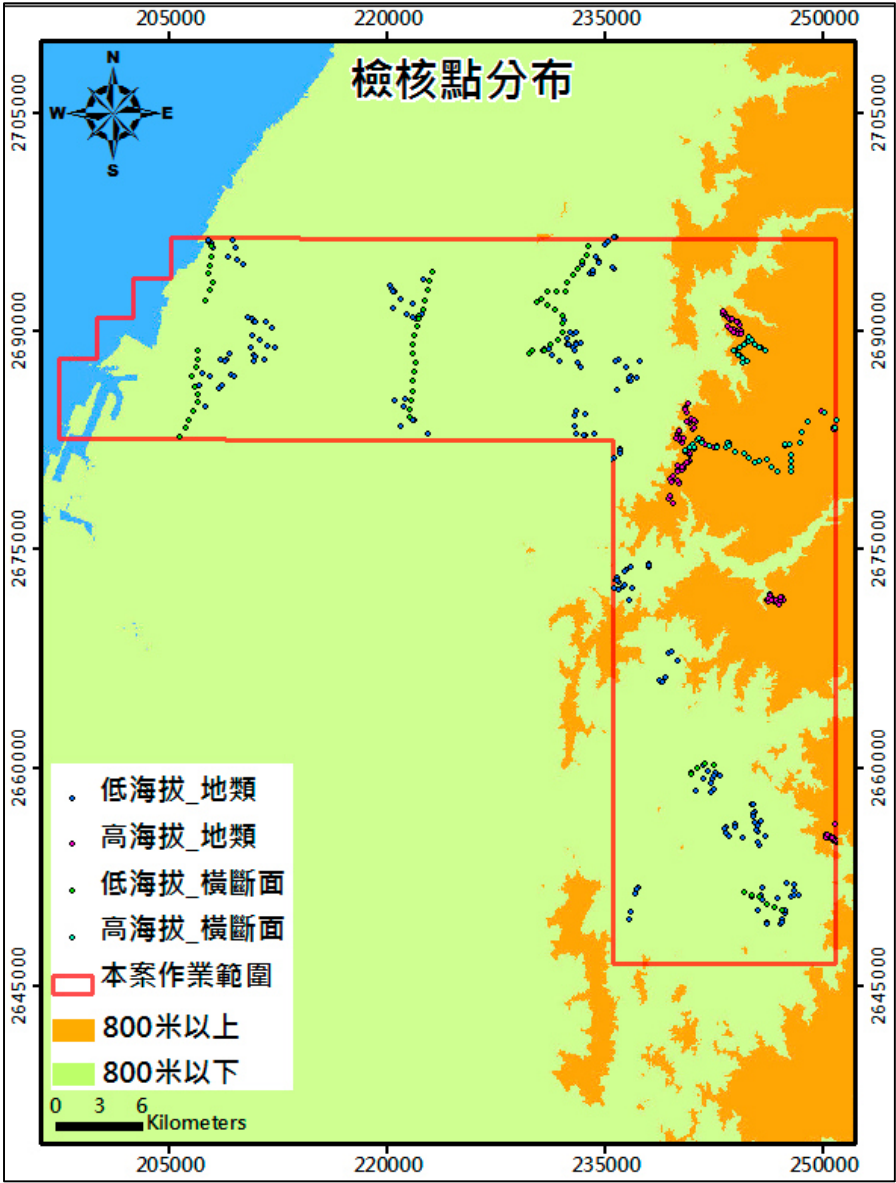


圖4-41、檢核點分布

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：

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

式中a為基本精度0.25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4-13、表4-14與平面精度標準如表4-15。

表4-13、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4-14、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4-15。

表4-15、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°以下的地區。

(2)丘陵地—地表坡度在 5° ~ 15° 之間的地區。

(3)山地—地表坡度在 15° ~ 30° 之間的地區。

(4)陡峭山地—地表坡度在 30° 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

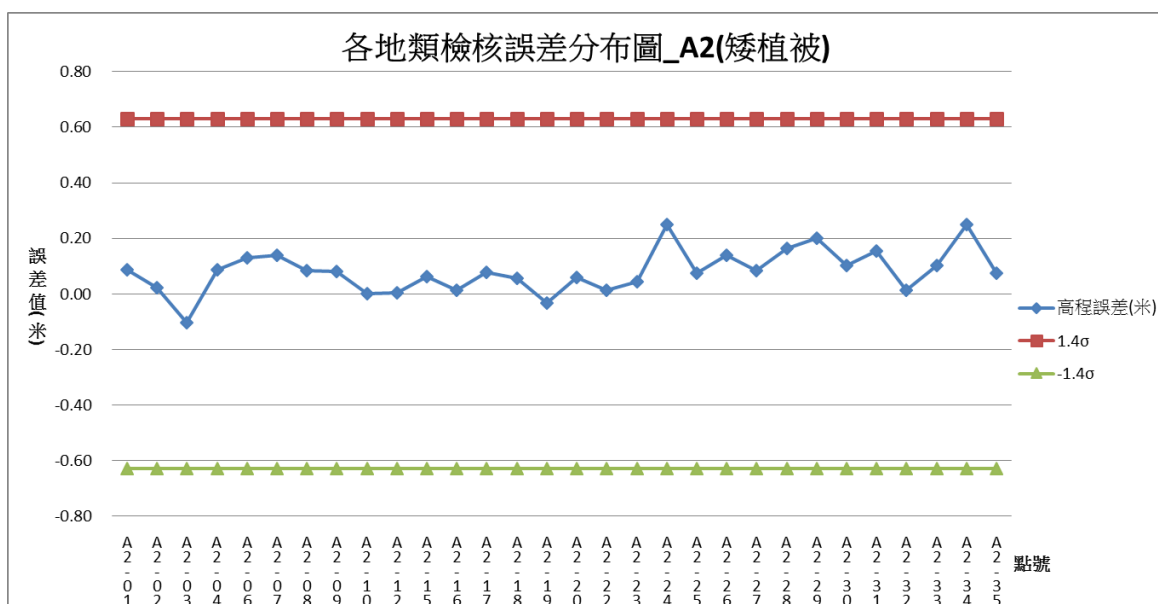
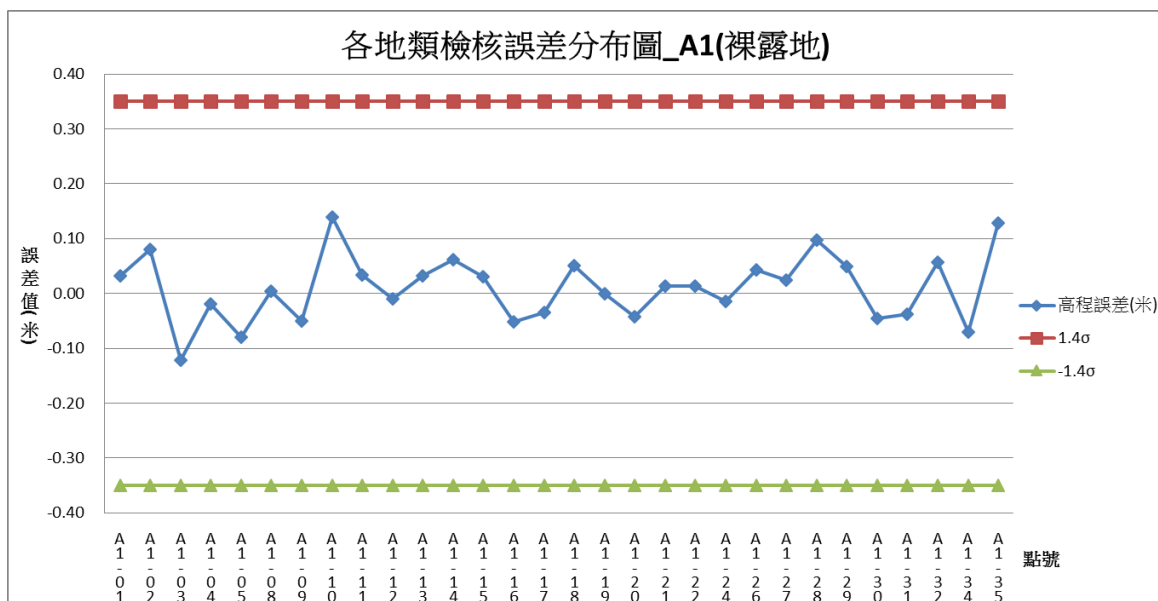
本案依前述規定執行，施測涵蓋：裸露地、矮植被、植生地、林地、都會區、橫斷面。將檢核點坐標與LiDAR資料組成之TIN模型中之相同位置，利用TerraScan之Output Control Report功能將所有檢核點坐標(E、N、h)匯入，分析LiDAR與檢核點兩者之高程差，成果如表4-16及表4-17。由表可看出低海拔檢核點與光達點雲資料平均誤差約在0.001~0.081公尺，高海拔檢核點與光達點雲資料平均誤差約在0.027~0.073公尺之間。資料成果顯示，都會區及橫斷面精度較佳，詳細各類別精度成果如下述。

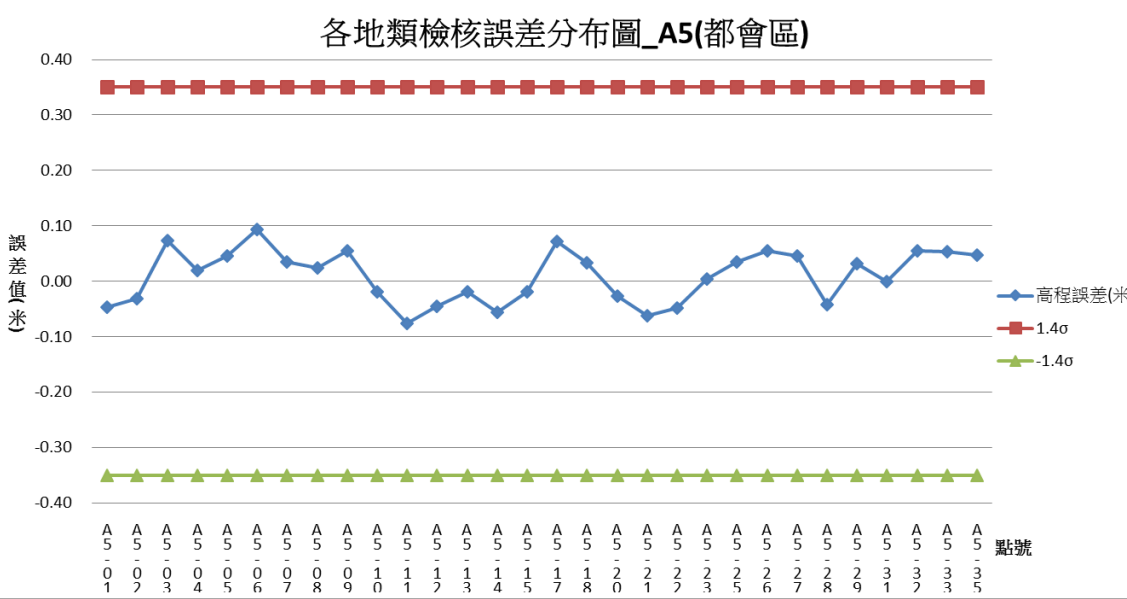
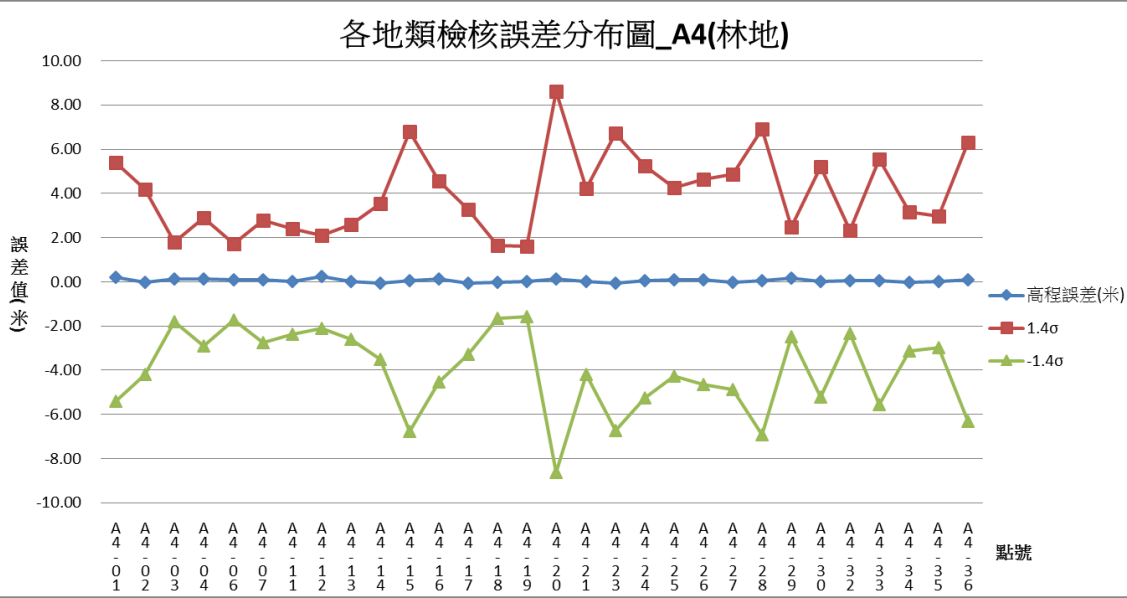
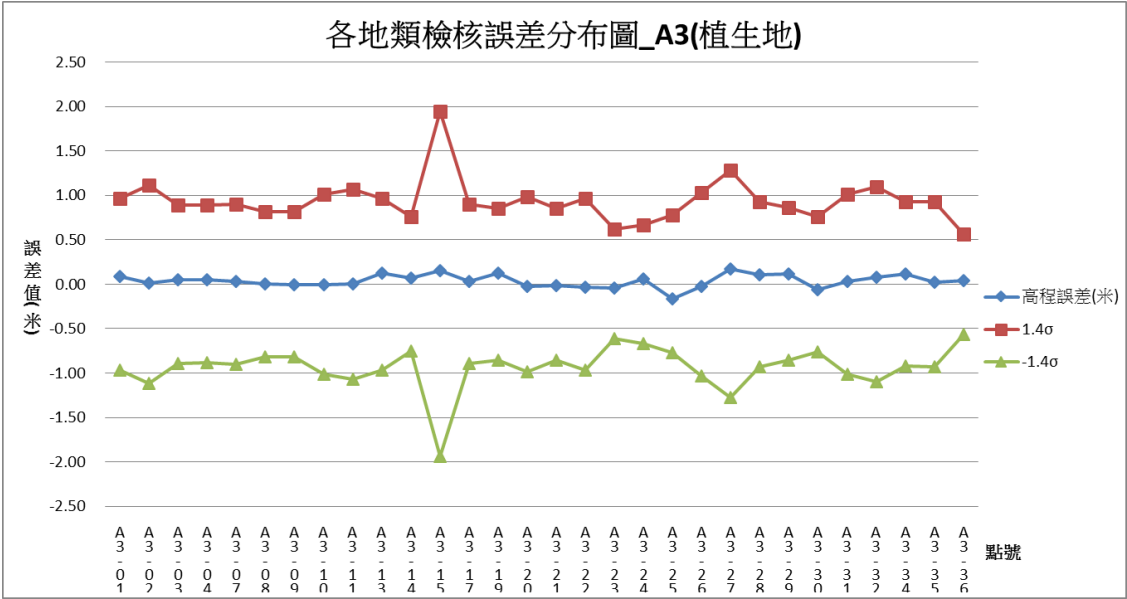
低海拔測區裸露地、都會區、濕地、橫斷面之差值皆介於 ± 25 公分內，由圓餅圖可看出 ± 10 公分內之差值比例較高，如圖4-42、圖4-43所示。

表4-16、第1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	0.010	0.027	0.139	-0.121	0.060	0.059
矮植被	30	0.081	0.049	0.251	-0.104	0.078	0.076

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
植生地	30	0.037	0.042	0.169	-0.161	0.071	0.070
林地	30	0.052	0.045	0.237	-0.070	0.079	0.077
都會區	30	0.009	0.017	0.093	-0.077	0.047	0.046
溼地	30	0.017	0.031	0.170	-0.156	0.090	0.089
橫斷面	60	0.001	0.022	0.093	-0.108	0.050	0.049





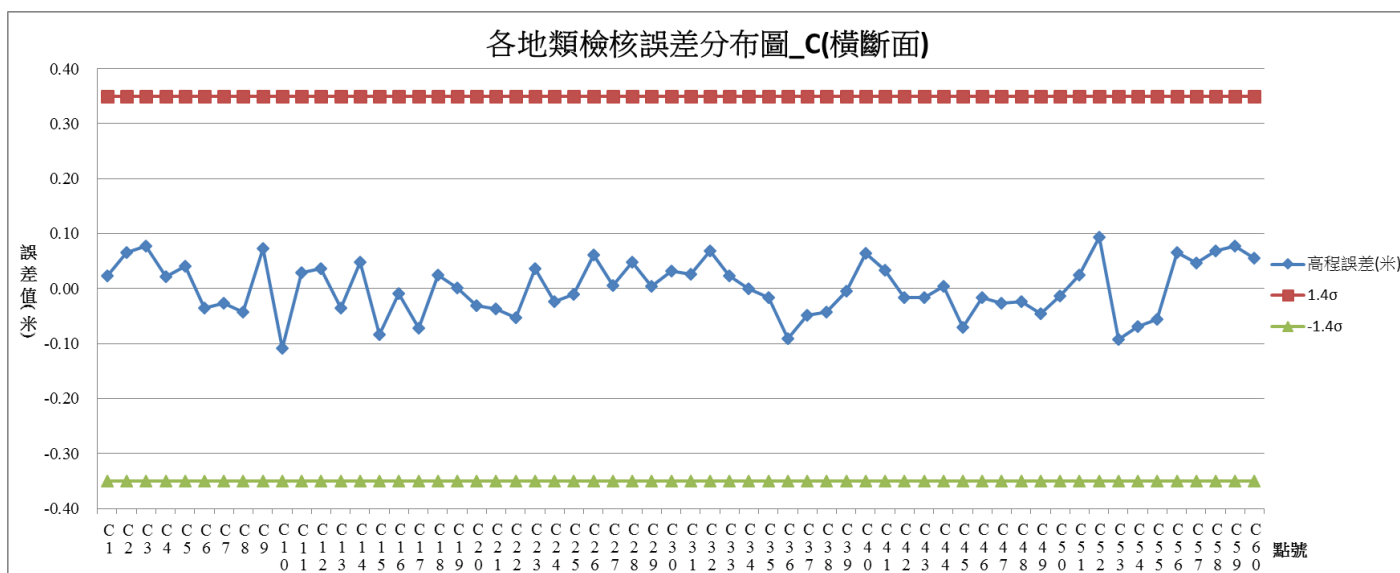
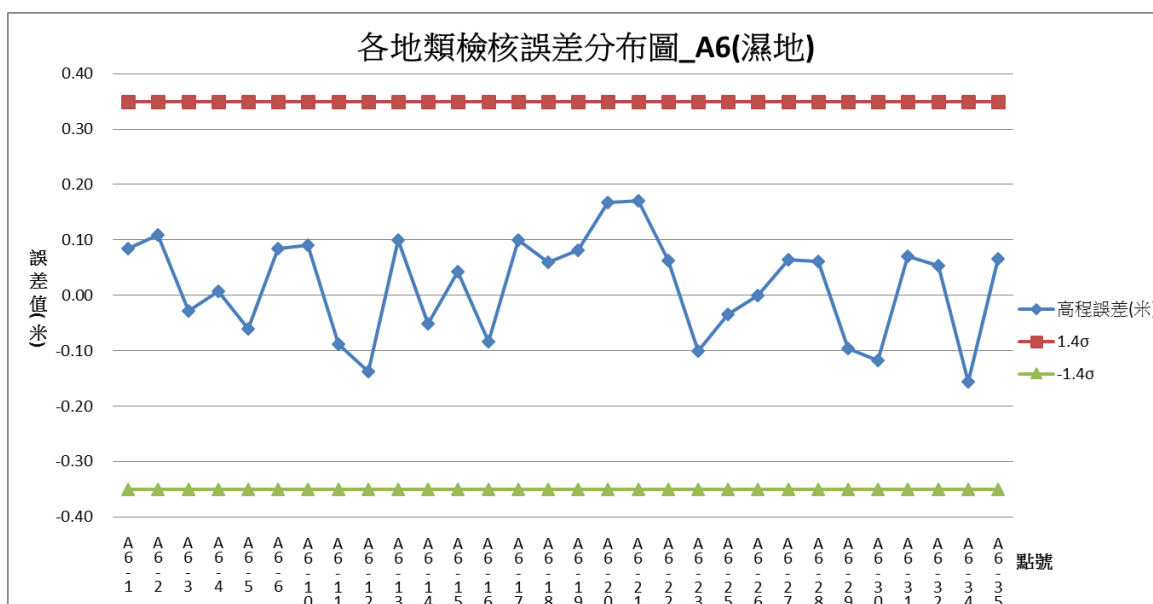
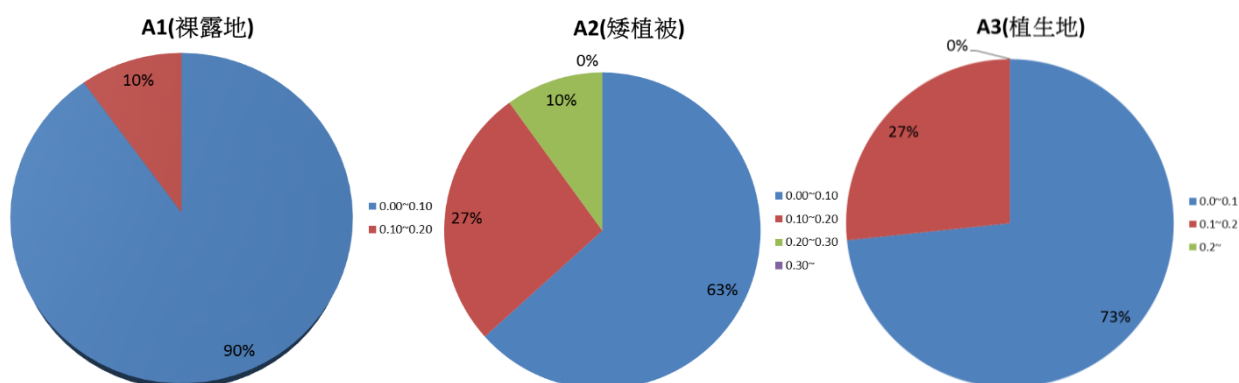


圖4-42、低海拔各地類檢核誤差分布圖



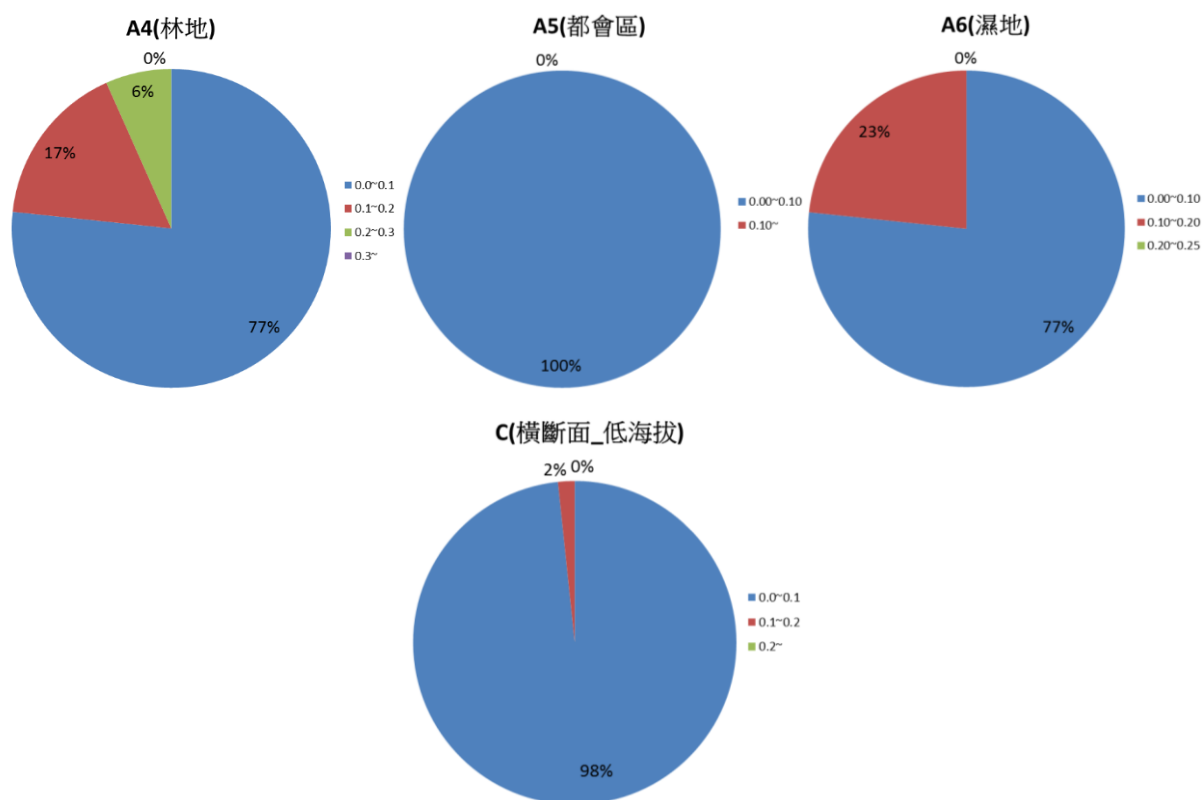


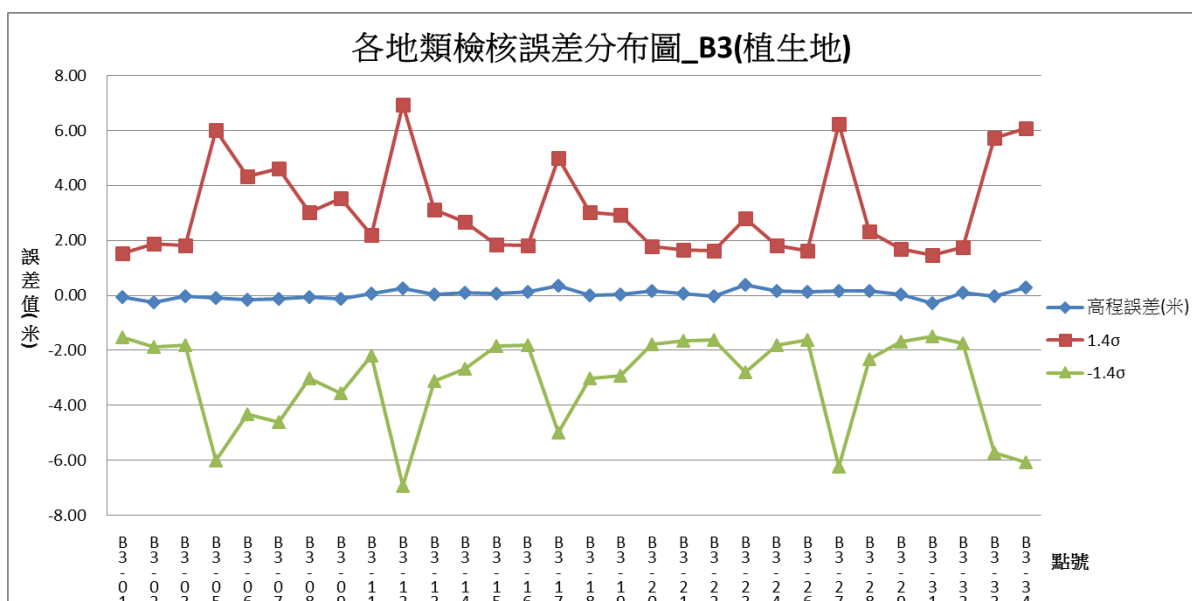
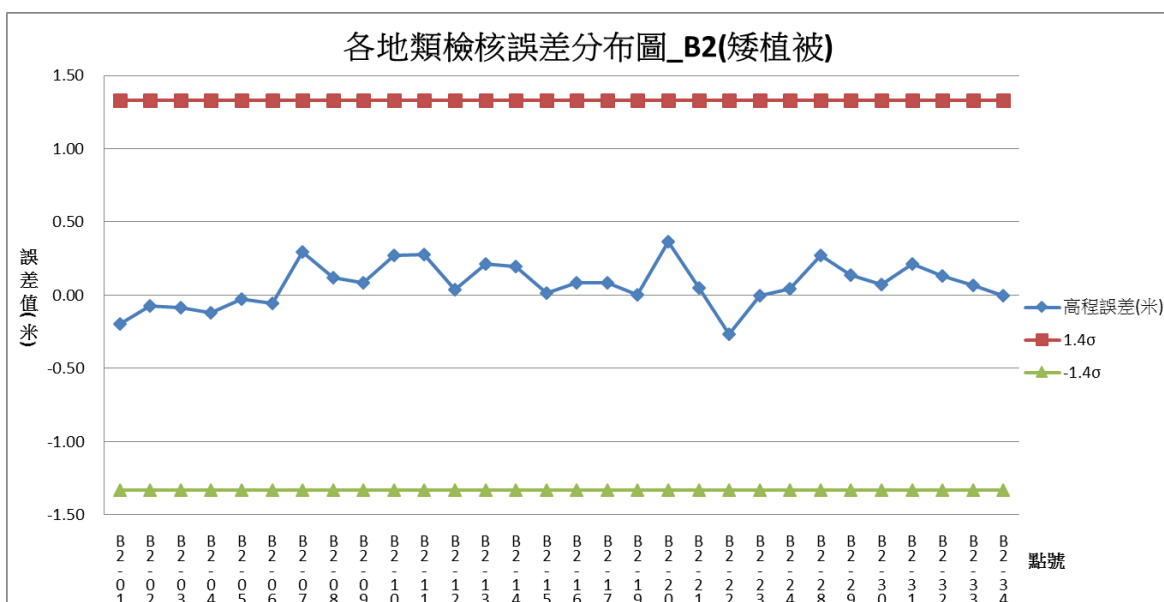
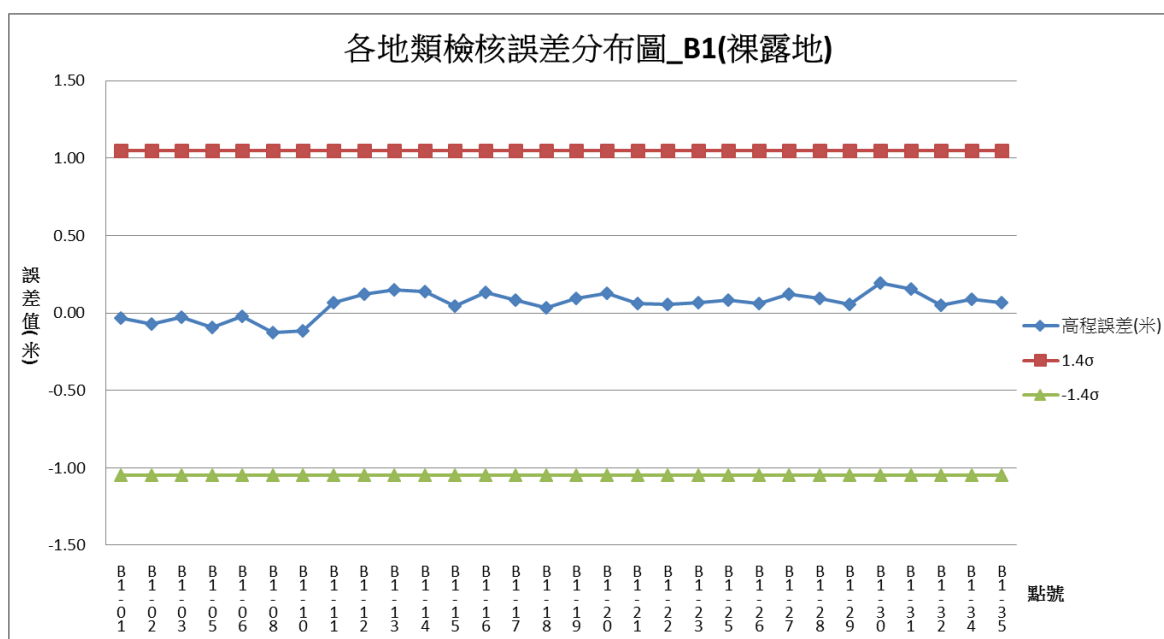
圖4-43、低海拔各地類檢核誤差圓餅圖

高海拔地區裸露地及橫斷面同樣介於±25公分內，裸露地以及橫斷面由圓餅圖可看出±10公分內之差值比例較高，如圖4-42、圖4-43所示。

表4-17、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	0.055	0.035	0.194	-0.124	0.081	0.080
矮植被	30	0.073	0.086	0.367	-0.265	0.149	0.146
植生地	30	0.045	0.077	0.387	-0.298	0.161	0.159
林地	30	0.027	0.048	0.272	-0.167	0.114	0.112
密林地	30	0.047	0.053	0.248	-0.180	0.114	0.112
橫斷面	40	0.047	0.037	0.157	-0.097	0.058	0.057

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



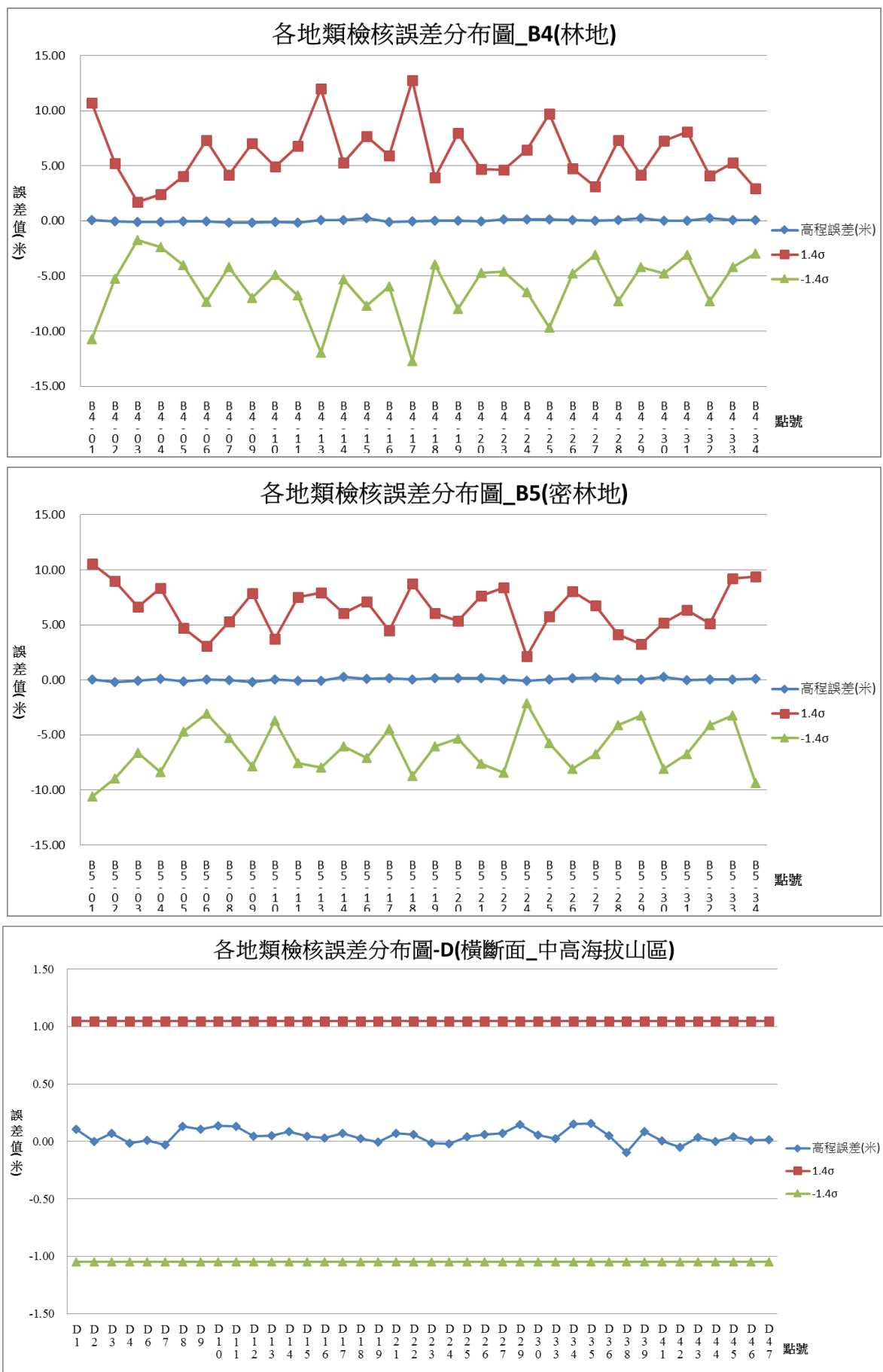


圖4-44、高海拔各地類檢核誤差分布圖

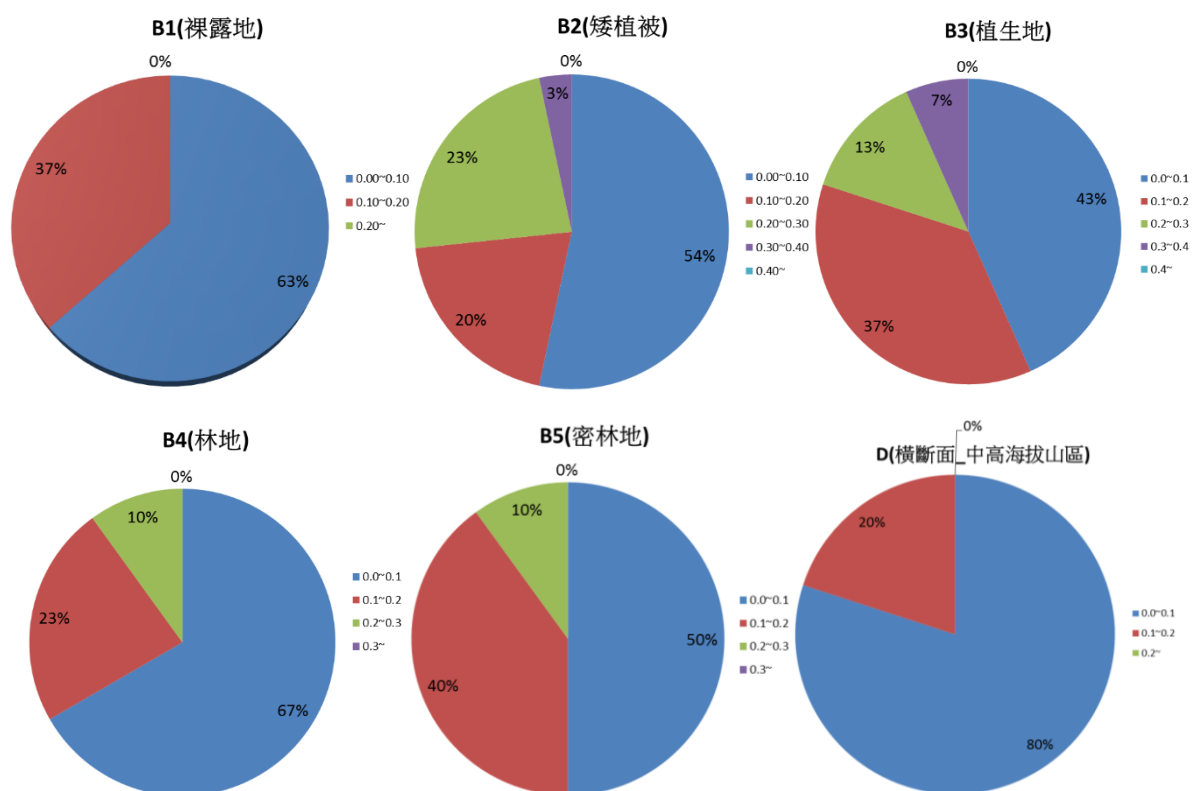


圖4-45、高海拔各地類檢核誤差圓餅圖

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 IXU1000拍攝，正射影像製作流程如圖5-1所示：

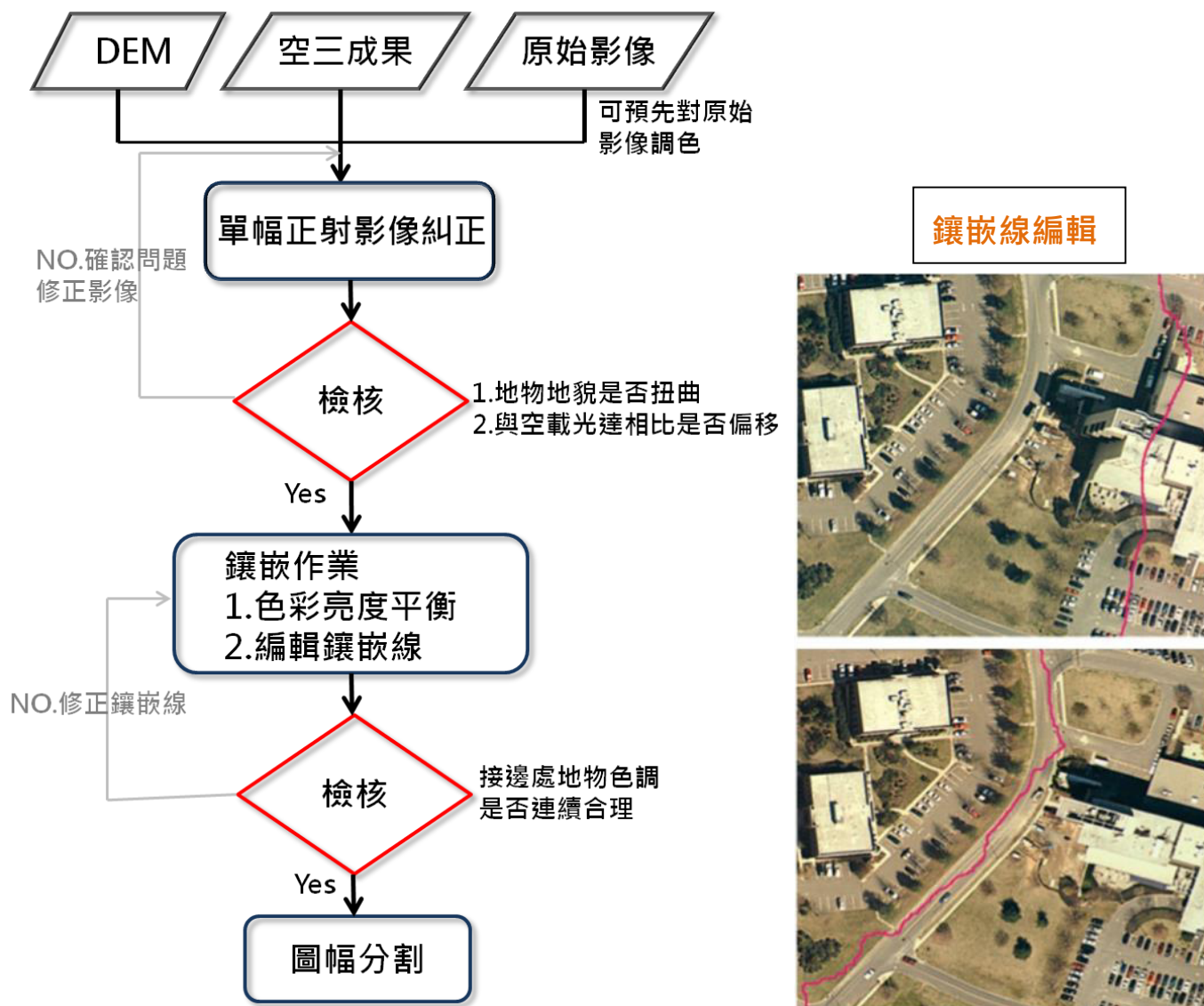


圖5-1、正射影像製作流程

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，扣除有雲影像實際使用之數量為 9,755 張。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。

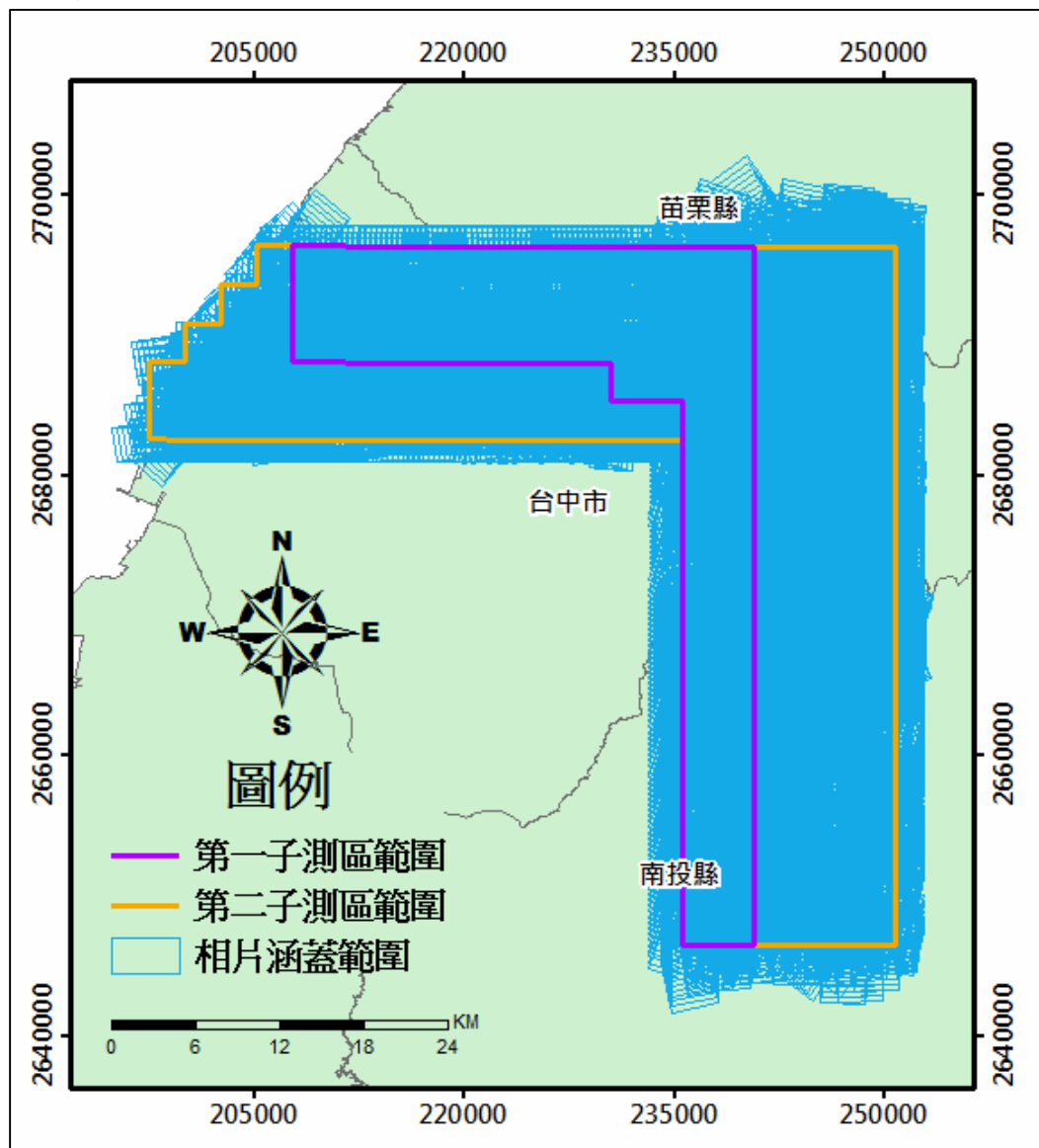


圖5-2、影像範圍涵蓋圖

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。

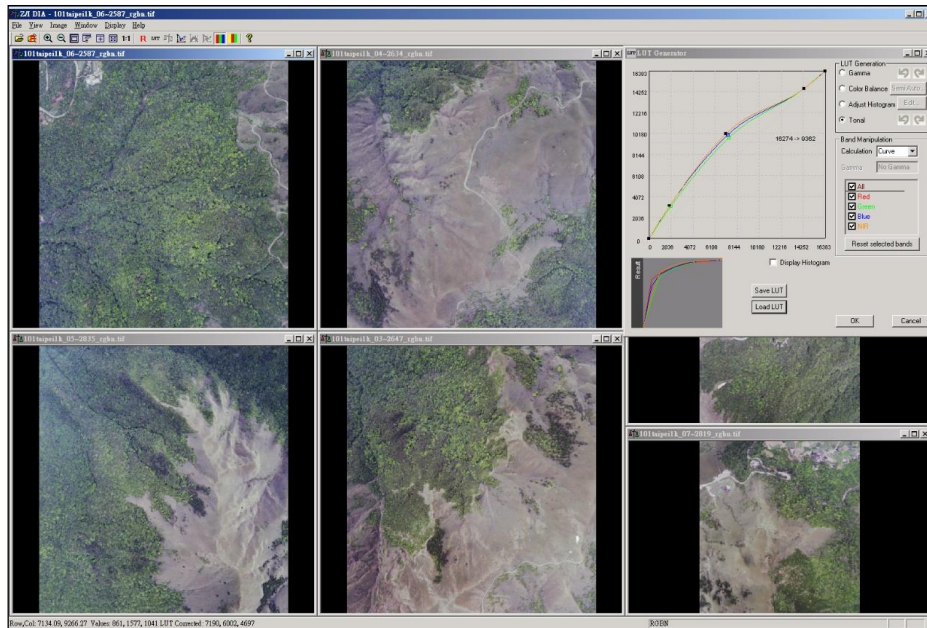


圖5-3、PPS影像處理示意圖

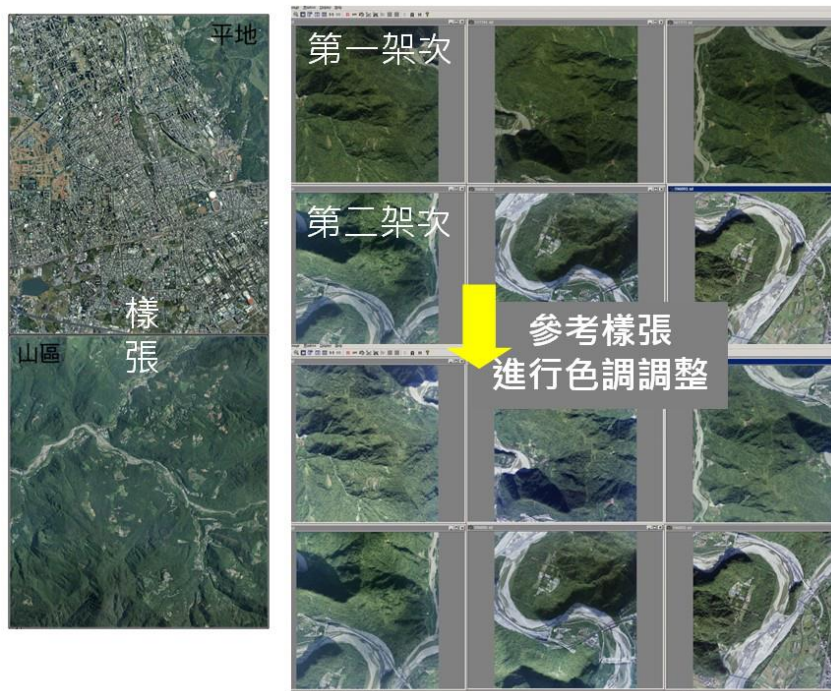


圖5-4、原始影像色彩預處理

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 數位相機，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 GPS 坐標 xyz 及 ω 、 ϕ 、 κ 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。

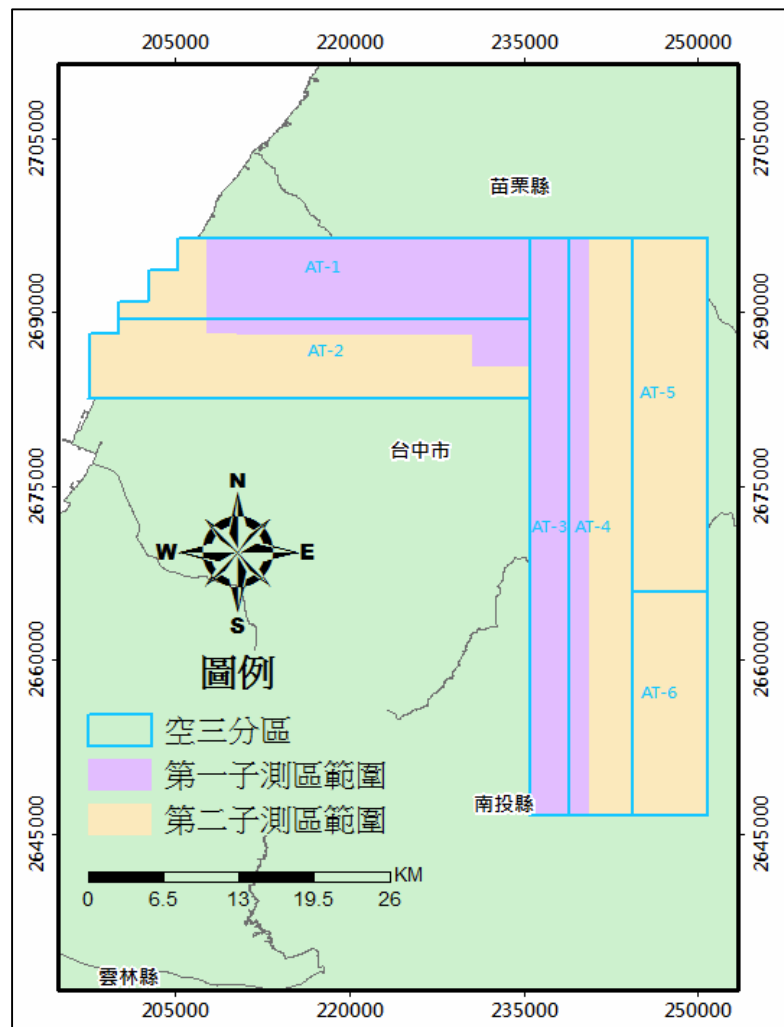


圖5-5、空三作業區域分配圖

- (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。
- (2) 強制附合作業為加入本次空載光達之控制點點位(頭、中、尾控制點)如圖 5-6 所示，計算完成後將匹配點位展點，檢核其網形分布，如圖 5-7 所示。強制附合至地面控制點後，其觀測值之殘餘誤差均方根值不得大於 12 微米，即完成空三作業方能輸出影像外方位參數供正射影像製作，空三成果如表 5-1 所示。

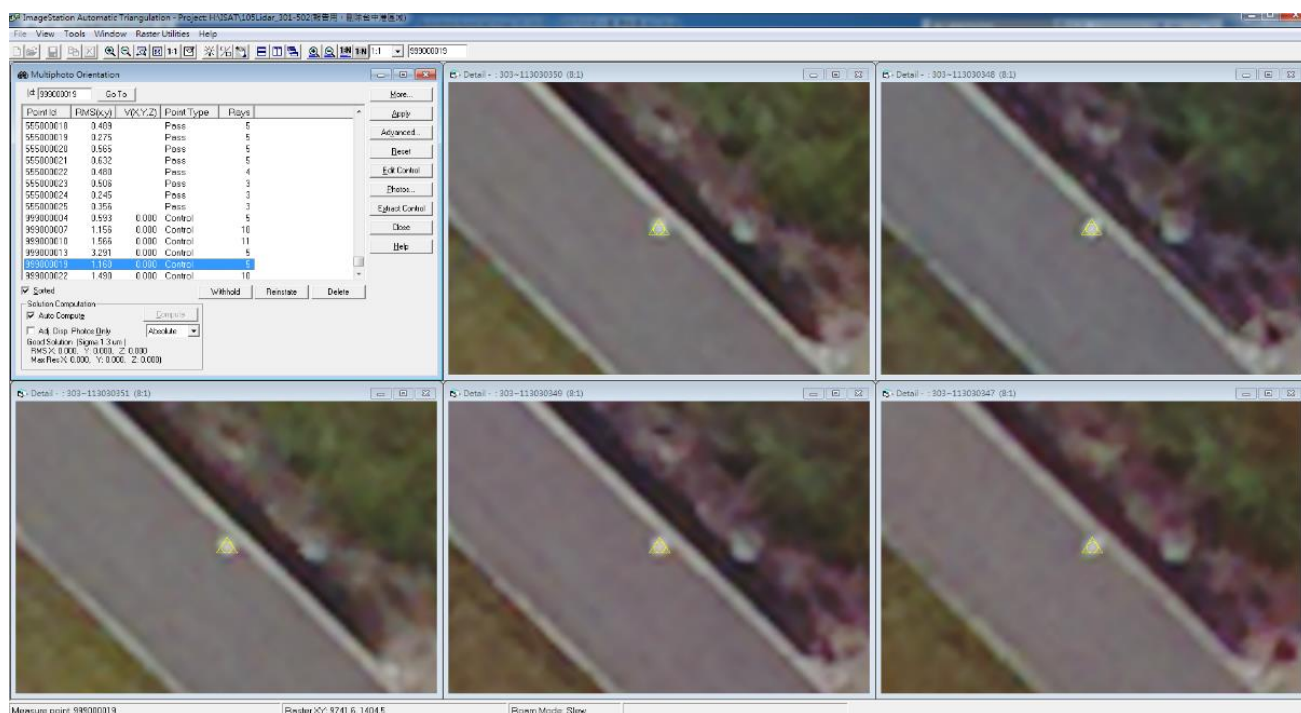


圖5-6、控制點量測

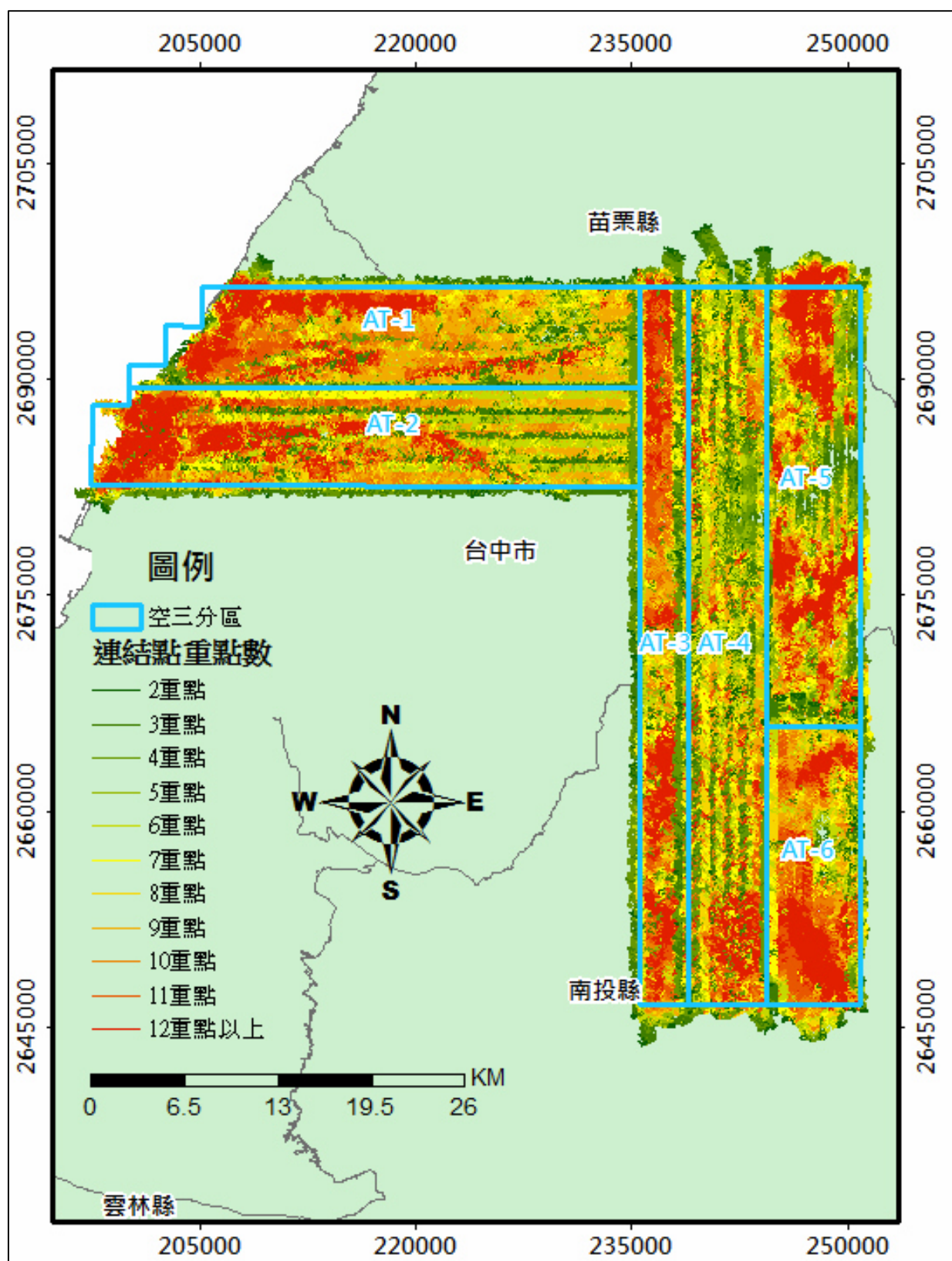


圖5-7、空三控制點及連結點展點網系圖

表5-1、空三平差成果統計表

AT-1	影像張數	1301	連結點數	7555
	航高	2.20km	強制附和誤差	1.561 μm
AT-2	影像張數	1493	連結點數	10944
	航高	2.20km	強制附和誤差	1.447 μm
AT-3	影像張數	747	連結點數	4197
	航高	2.90km	強制附和誤差	1.762 μm
AT-4	影像張數	1654	連結點數	18567
	航高	2.90km	強制附和誤差	1.883 μm
AT-5	影像張數	2831	連結點數	8665
	航高	3.10km	強制附和誤差	2.602 μm
AT-6	影像張數	677	連結點數	4877
	航高	2.80km	強制附和誤差	1.703 μm

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 5-8 所示，方能進行正射影像鑲嵌作業。

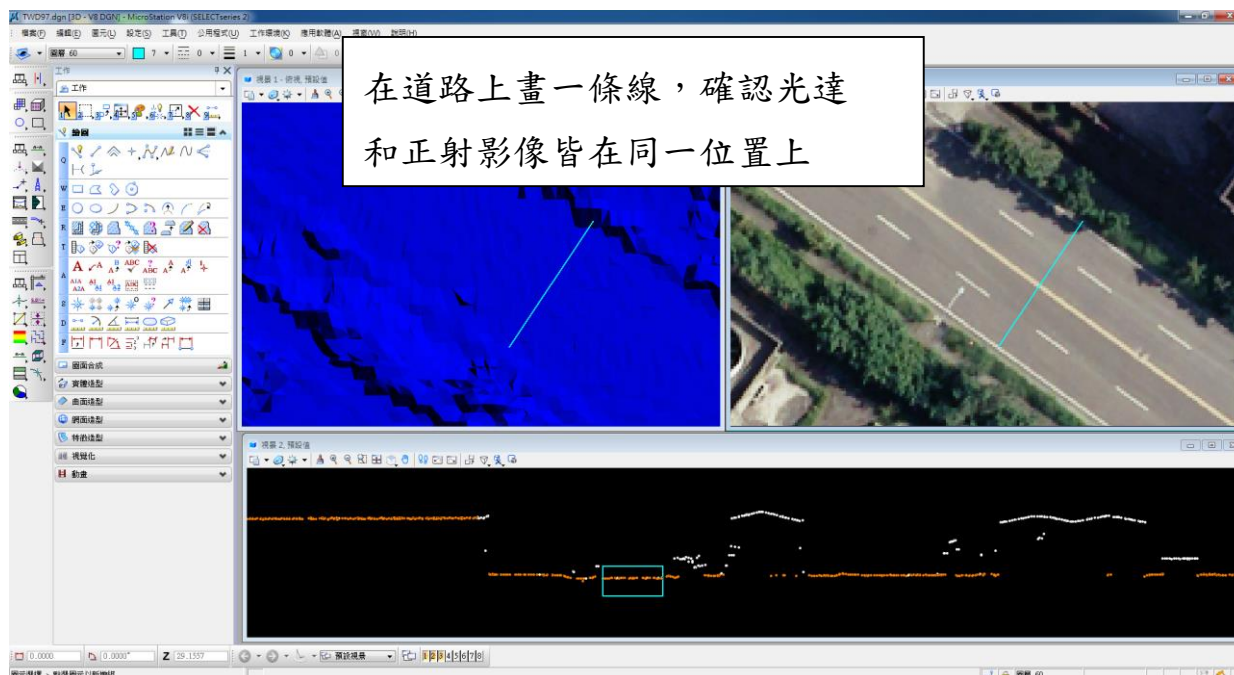


圖5-8、正射影像與光達比較圖

- (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，鑲嵌時除四邊接合位置銜接調整正確外，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 5-9 所示。

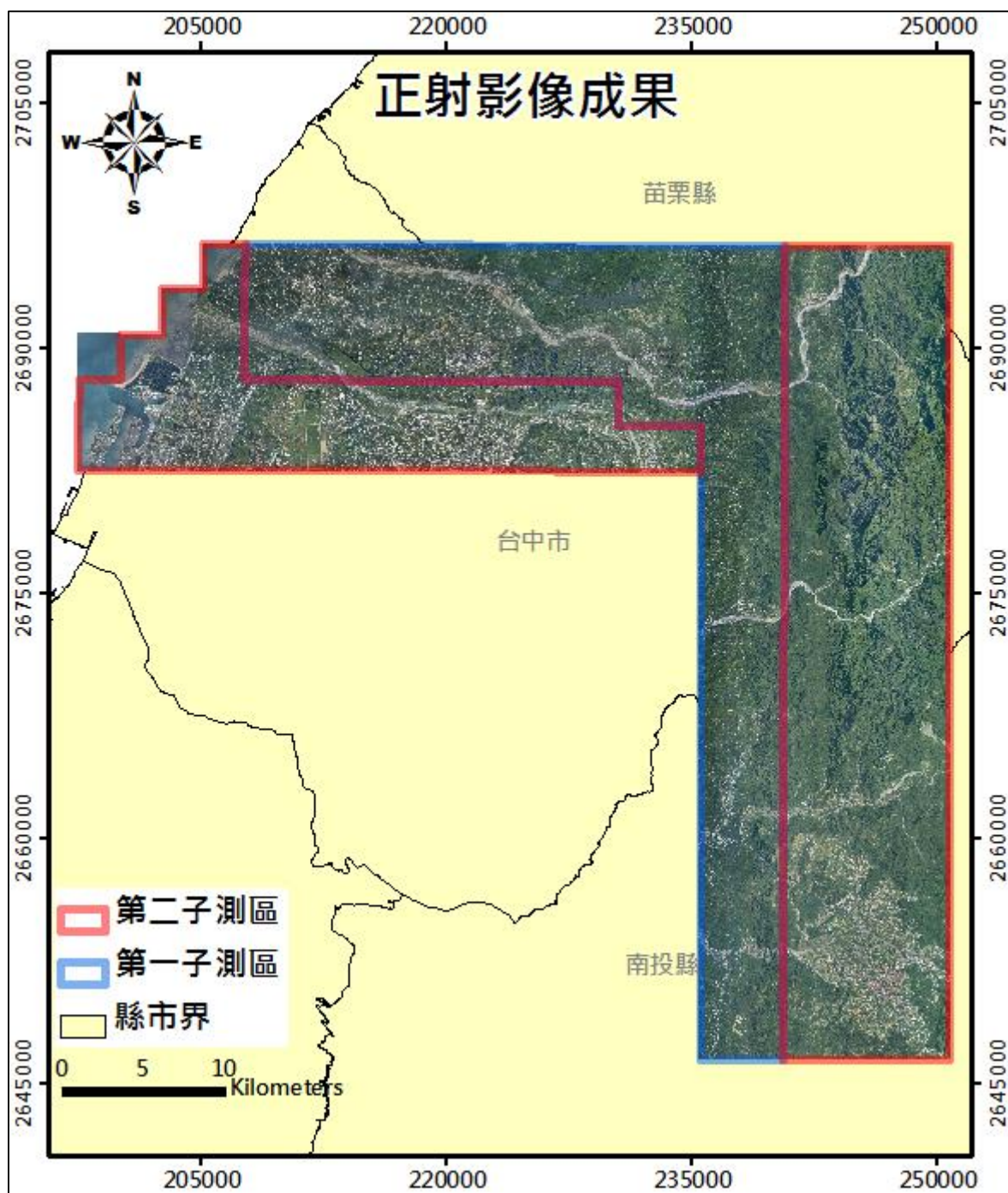


圖5-9、正射影像成果

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，將隨機於範圍內選取控制點坐標，與正射影像相比，選取位置如圖 5-10 所示，其誤差比較成果如表 5-2 所示。

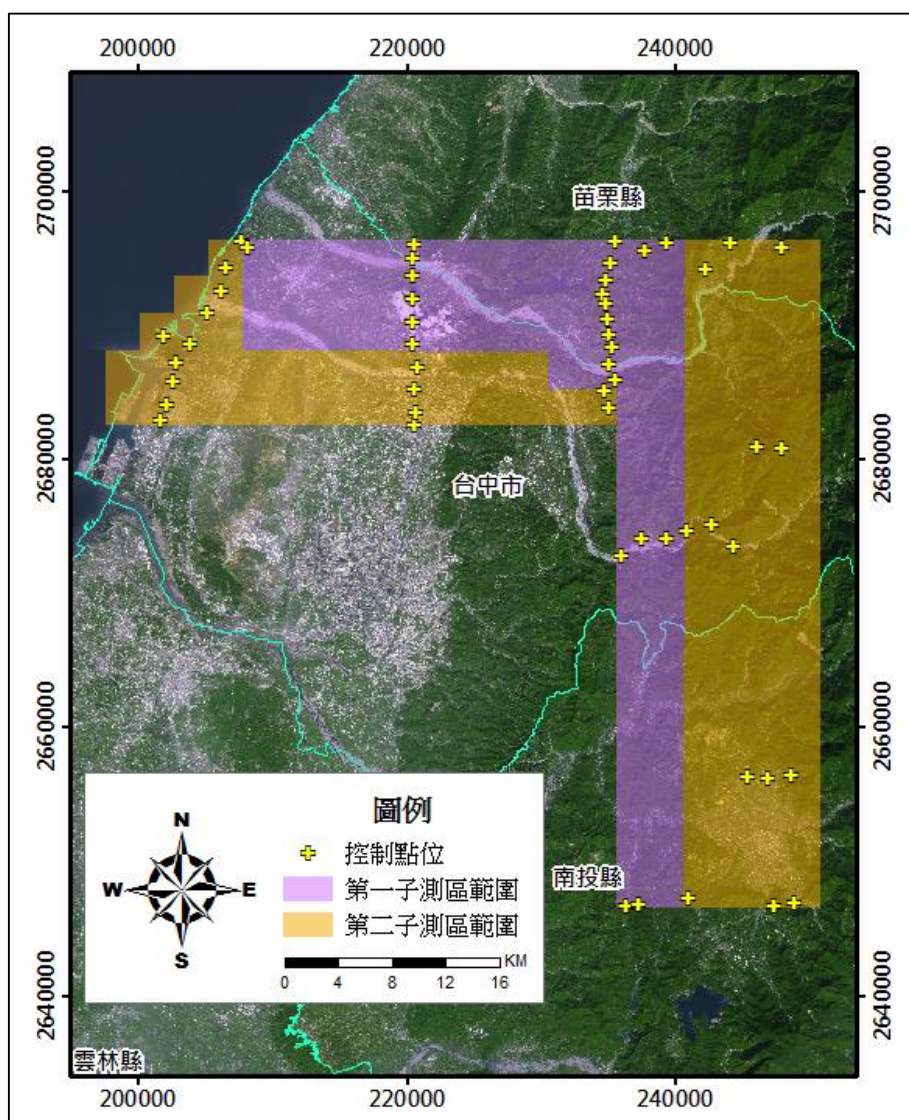


圖5-10、正射影像檢核點分布位置

表5-2、正射影像精度評估

點名	控制點		正射影像		平面差值(m)
	E	N	E	N	
31-0001A	207661.693	2696277.183	207660.897	2696277.545	0.874
31-0002A	208033.486	2695817.124	208033.335	2695817.244	0.193
31-0003A	206484.326	2694286.673	206484.139	2694286.713	0.192
31-0004A	206151.071	2692591.326	206150.904	2692591.436	0.200
31-0005A	205042.903	2690926.956	205042.850	2690927.080	0.135
31-0006A	201805.638	2689221.694	201805.620	2689221.836	0.143
31-0007A	203810.197	2688594.357	203810.125	2688594.568	0.222

點名	控制點		正射影像		平面差值(m)
	E	N	E	N	
31-0008A	202731.534	2687194.215	202731.331	2687194.326	0.231
31-0009A	202447.373	2685854.868	202447.374	2685855.079	0.211
31-0010A	202062.641	2684096.239	202062.458	2684096.320	0.201
31-0011A	201619.947	2682877.425	201619.875	2682877.443	0.074
31-0013A	220495.183	2696028.869	220495.124	2696028.966	0.114
31-0014A	220397.280	2695051.502	220397.110	2695051.637	0.217
31-0015A	220414.766	2693739.239	220414.601	2693739.352	0.200
31-0016A	220399.801	2692019.239	220399.622	2692019.311	0.193
31-0017A	220355.702	2690279.380	220355.482	2690279.362	0.221
31-0018A	220348.057	2688575.374	220348.132	2688575.321	0.092
31-0019A	220729.940	2686896.644	220729.840	2686896.879	0.255
31-0020A	220513.168	2685263.680	220512.980	2685263.752	0.201
31-0021A	220593.626	2683488.858	220593.393	2683488.832	0.234
31-0022A	220494.130	2682594.198	220494.039	2682594.135	0.111
31-0023A	235540.318	2696241.401	235540.181	2696241.552	0.204
31-0024A	235177.051	2694634.562	235176.911	2694634.690	0.190
31-0025A	234792.536	2693381.864	234792.387	2693382.013	0.211
31-0026A	234578.931	2692359.330	234578.663	2692359.536	0.338
31-0027A	234834.816	2691630.832	234834.646	2691630.871	0.175
31-0028A	234908.554	2690495.827	234908.445	2690495.845	0.110
31-0029A	235024.901	2689326.097	235024.798	2689326.220	0.161
31-0030A	235247.484	2688367.374	235247.375	2688367.499	0.166
31-0031A	235057.185	2687063.163	235057.021	2687063.290	0.207
31-0032A	235518.612	2685887.691	235518.606	2685887.867	0.176
31-0033A	234644.405	2685159.926	234644.180	2685159.848	0.238
31-0034A	234965.985	2683904.809	234965.400	2683904.864	0.588
31-0038A	237660.480	2695585.122	237660.379	2695585.276	0.184
31-0040A	239280.280	2696212.579	239280.295	2696212.862	0.283

點名	控制點		正射影像		平面差值(m)
	E	N	E	N	
31-0041A	242246.915	2694154.909	242246.846	2694154.789	0.138
31-0042A	244089.986	2696149.928	244089.729	2696149.689	0.351
31-0045A	247902.382	2695771.441	247902.522	2695771.262	0.227
31-0047A	246083.543	2680917.649	246082.941	2680917.590	0.605
31-0049A	247947.272	2680798.662	247947.156	2680798.709	0.125
31-0050A	235982.361	2672792.873	235982.067	2672792.872	0.295
31-0051A	237488.522	2674152.585	237488.385	2674152.588	0.137
31-0052A	239360.393	2674060.043	239360.468	2674060.126	0.112
31-0053A	240882.093	2674691.890	240881.898	2674691.870	0.196
31-0054A	242670.477	2675158.483	242670.178	2675158.562	0.310
31-0055A	244329.584	2673503.890	244328.846	2673504.414	0.905
31-0056A	245335.569	2656308.448	245335.475	2656308.591	0.171
31-0057A	246917.810	2656218.981	246917.525	2656219.125	0.319
31-0058A	248564.008	2656442.277	248563.833	2656442.315	0.179
31-0059A	236286.720	2646659.076	236286.546	2646659.093	0.175
31-0060A	237281.987	2646798.643	237281.867	2646798.744	0.157
31-0062A	240924.781	2647233.064	240924.712	2647233.169	0.125
31-0067A	247343.010	2646678.820	247342.876	2646679.063	0.277
31-0068A	248824.403	2646939.079	248824.375	2646939.131	0.059
最大較差(m)					0.905
最小較差(m)					0.059
均方根誤差(m)					0.284

(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。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 5-11 所示，其比較成果如表 5-3 所示。

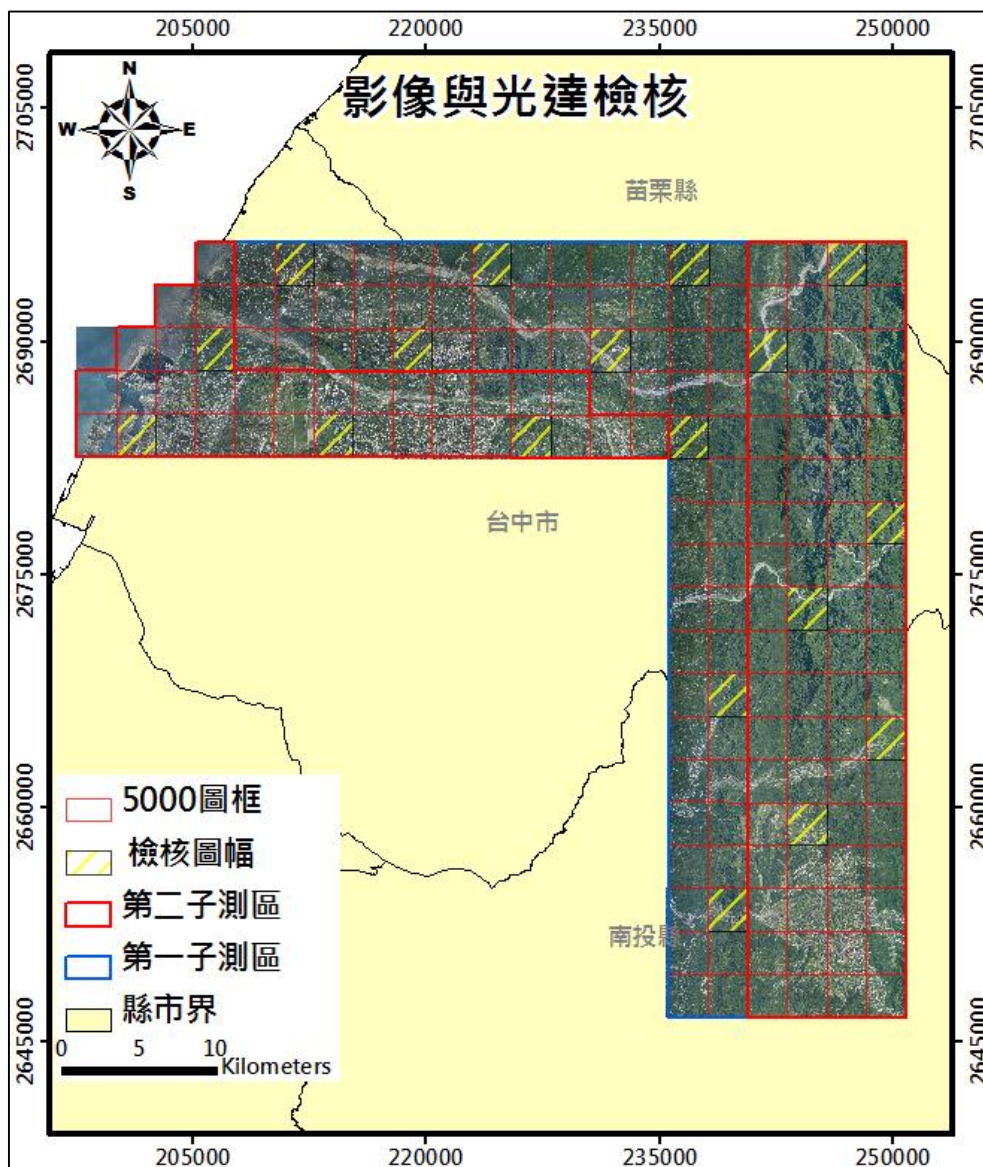
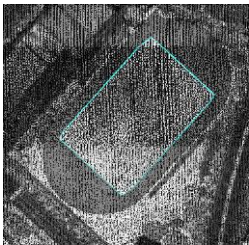
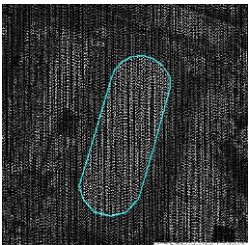
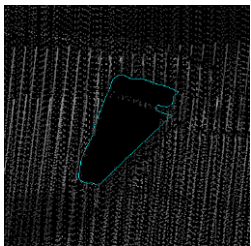
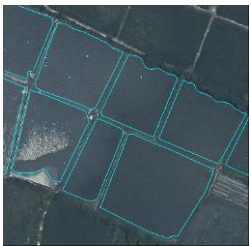
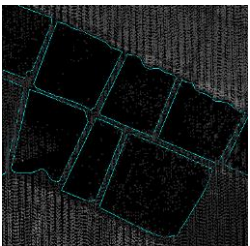
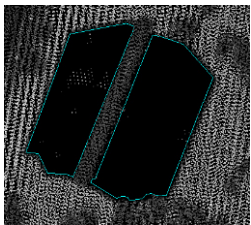
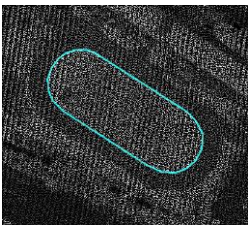
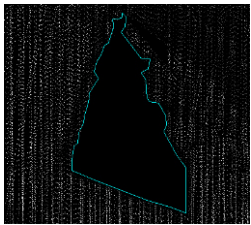
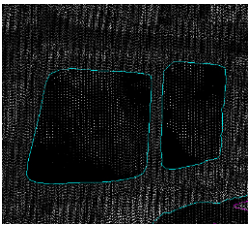
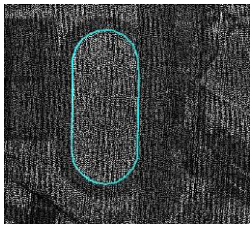
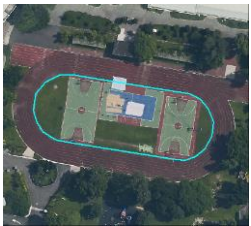
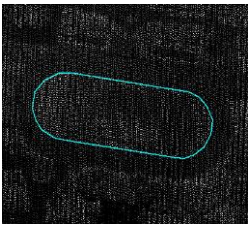
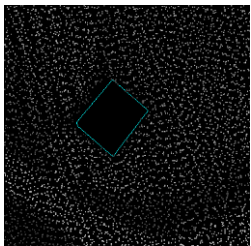
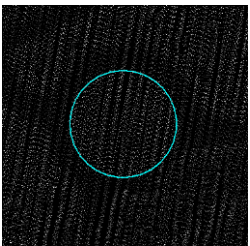
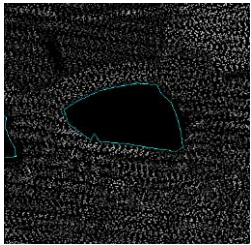
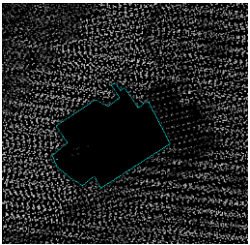
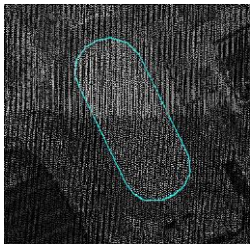
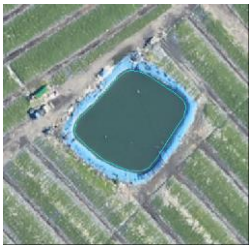
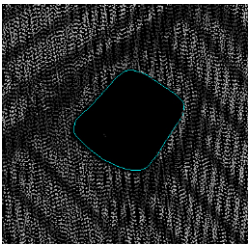
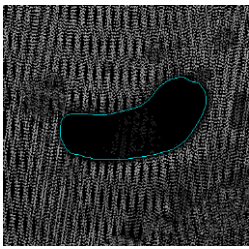
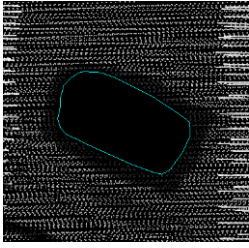
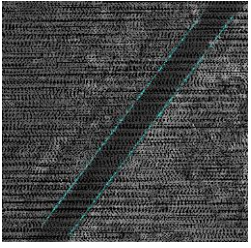
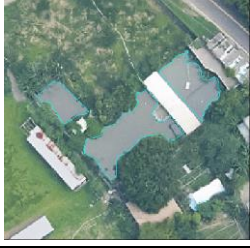
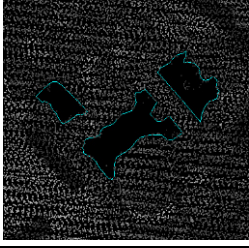
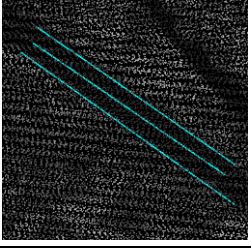
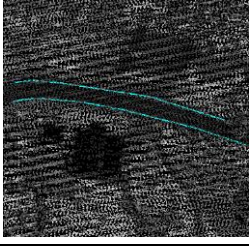
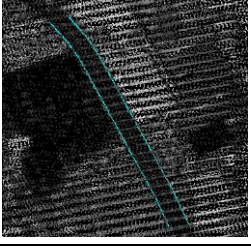
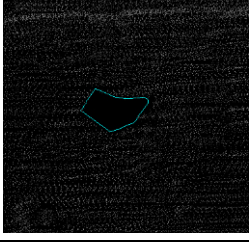
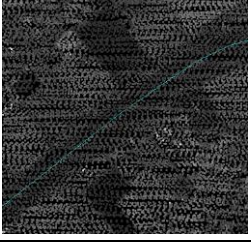
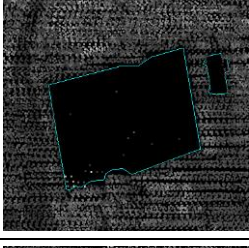
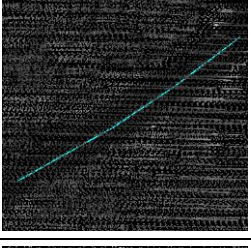
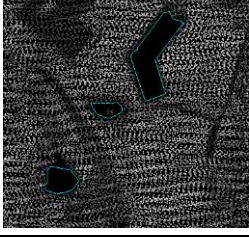
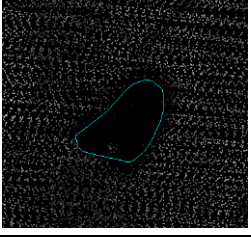


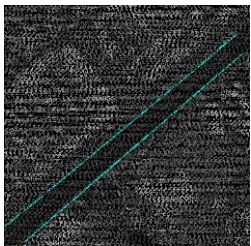
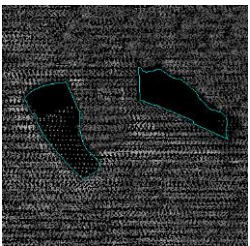
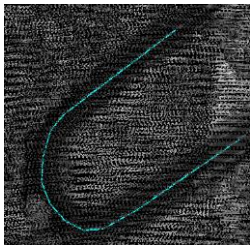
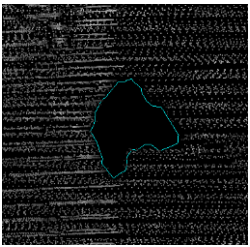
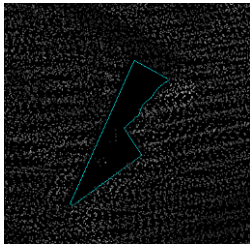
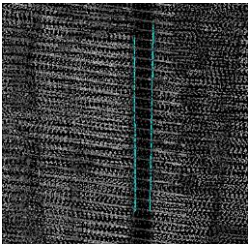
圖5-11、正射影像與光達比較分布

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
95214055					O

圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
95214073					O
95214091					O
95214060					O
95214078					O
95214096					O
95211055					O
95211073					O

圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
95211091					O
95211059					O
95211077					O
95211095					O
95212020					O
95212038					O
95212056					O

圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
95212070					O
95212088					O
95201006					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 5-12 所示。

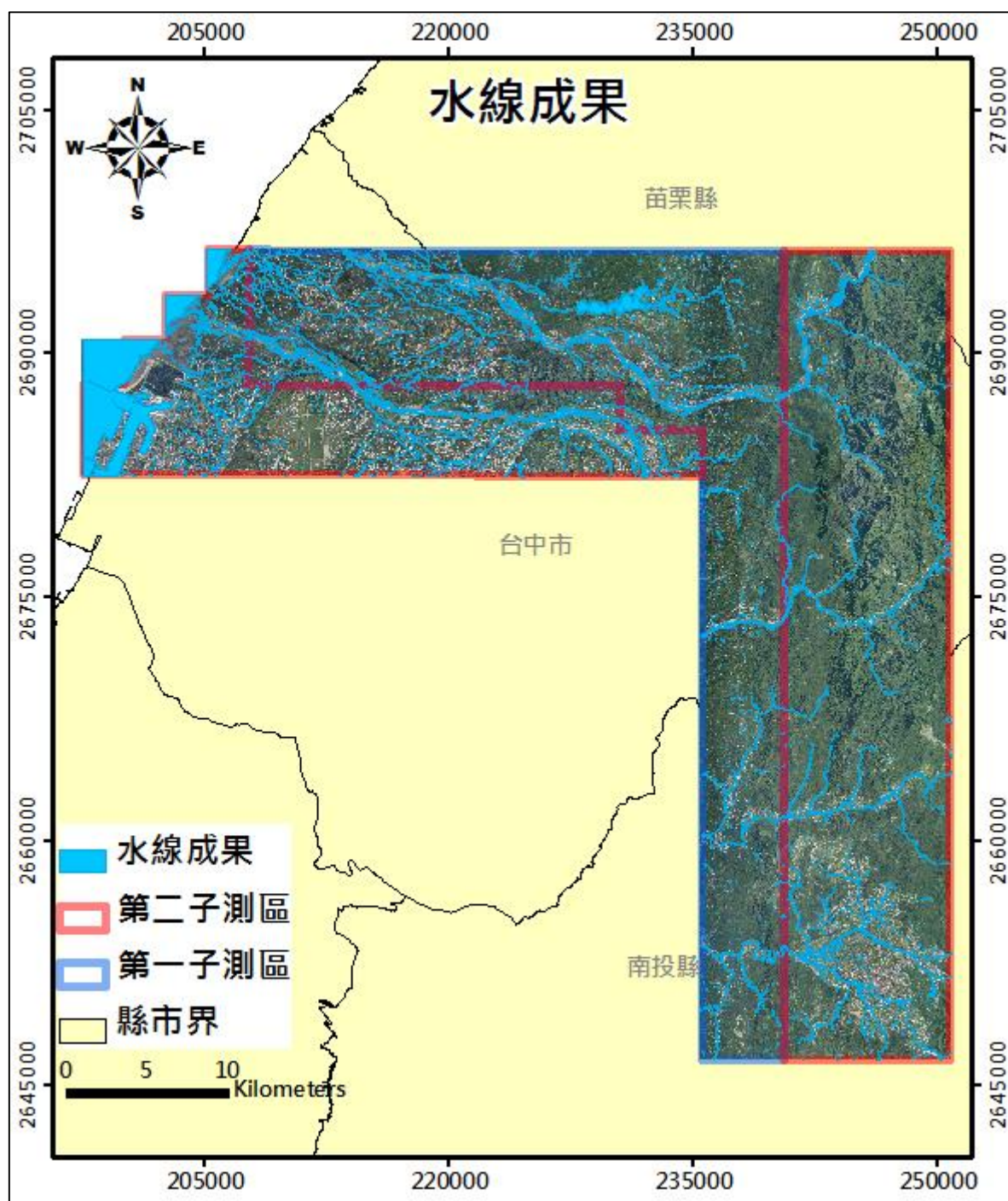


圖5-12、水線成果

5.5 正射影像外部接邊

接邊由丙方統一分配，共計需處理58幅正射影像接邊，接邊位置與年分關係如圖5-13所示，本團隊需處理本年度第1作業區及105年106年度之影像。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，如圖5-14所示。接編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。

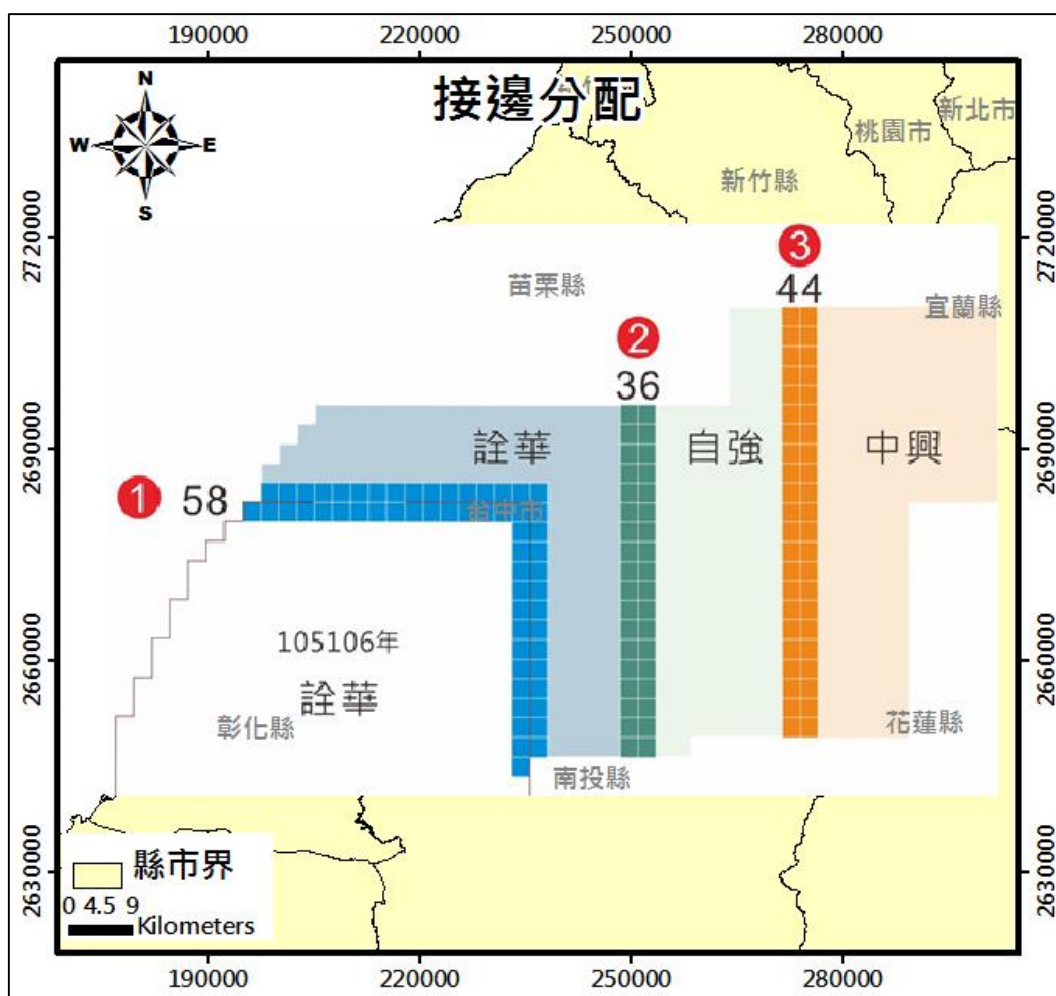


圖5-13、正射影像接邊分布圖

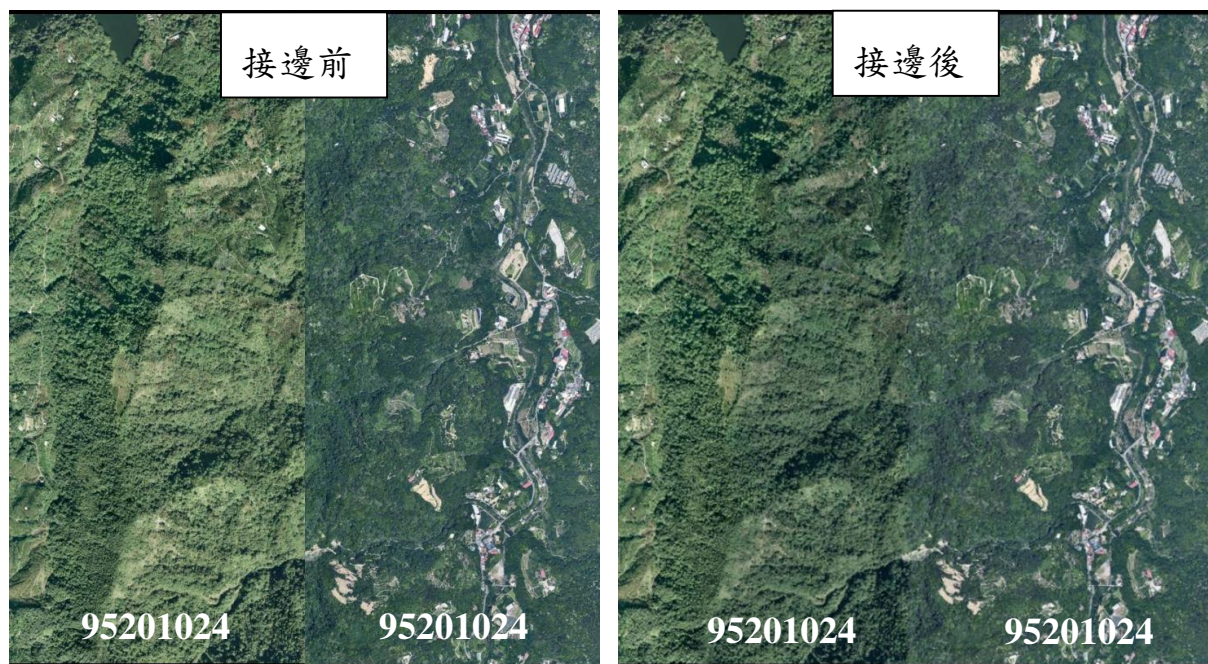


圖5-14、正射影像接邊成果

第六章、成本分析

第1作業區經費分析如表6-1，本案因部分地區進行補雲航線飛行，因此在空載光達掃瞄施測資料獲取略有增加，以及本年度加工趕辦作業，因此空載光達掃瞄點雲資料處理以及正射影像製作部分皆略為增加。

表6-1、成本分析

項目		單位	數量	單價(元)	成本分析總價 (元)
一	空載光達掃瞄飛航規劃與申請	人月	1	100,000	100,000
二	控制測量				275,000
2.1	平面控制點	人月	3	40,000	
2.2	檢核點施測	人月	3	40,000	
2.3	檢核人員	人月	0.5	70,000	
三	空載光達掃瞄施測資料獲取	架次	17	600,000	10,200,000
四	空載光達掃瞄點雲資料處理				4,880,000
4.1	點雲資料前處理、平差作業計算	人月	12	60,000	
4.2	點雲資料過濾分類	人月	60	60,000	
4.3	檢核作業人員	人月	8	70,000	
五	DEM 與 DSM 製作(含圖幅接邊)	人月	12	60,000	720,000
六	正射影像製作				2,120,000
6.1	空中三角測量	人月	6	60,000	
6.2	正射影像製作(含接邊、水線繪製)	人月	20	60,000	
6.3	檢核作業人員	人月	8	70,000	
七	各項報告書、工作總報告及 相關行政費用	人月	18	85,000	1,530,000

為遵守性別工作平等法之規定，保障性別工作權之平等，估算參予本計畫性別比例，男女比例約占17:14，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	1
控制測量	4	1
飛航掃瞄與規劃	4	1
光達編修	2	8
正射影像製作	2	3
總計	17	14

第七章、檢討與建議

結論

- (一)第 1 作業測區總圖幅數為 177+1 幅(新增一幅以保留海堤完整性)，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 71 幅以及第 3 階段繳交 107 幅。本團隊使用儀器為 LEICA ALS70 空載光達掃瞄儀器以及 Phase One IXU 中像幅數位相機。
 - (二)使用第 1 作業區範圍周邊基站，包括內政部國土測會中心 6 站，中央氣象局 19 站以及經濟部中央地質調查所 10 站。並蒐集 108/03/01~108/03/03 三天連續資料，經由監審方統一解算，獲得 TWD97【2010】系統之基站坐標。
 - (三)第 1 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 68 個控制點以及在人車無法到達之位置，使用立體製圖量測方式 15 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 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，率定場設置位置為彰濱工業區，率定時間為 108 年 7 月 24 日。
 - (五)本案總計飛航 14 架次，正規航線、潮間帶以及交叉航線里程共為 2,591 公里，補雲航線為 226 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 8.24 公分，平均點密度為 3.91 點/m²，第二子測區相對高程平均差 8.5 公分，平均點密度為 4.81 點/m²。
 - (六)高低海拔地類及橫斷面檢核成果，低海拔誤差最大最小值落在-16.1~25.1 公分，高海拔誤差最大最小值落在-29.8~38.7 公分。其中高低海拔裸露地、橫斷面以及低海拔濕地、都會區之差值皆介於±20 公分內，且±10 公分的差值皆占 50%以上。
 - (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 GPS 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 28.4 公分。

檢討

1. 本年度為趕辦作業，第1作業區由一開始航拍進度落後，而後追趕上趕辦進度，皆為歷年的工作經驗累積、傳承而得，並且在工作開始前，進行完整的勤前教育訓練，方能使工作順利完工。但部分工作同仁的過濾成果不合格率仍偏高，在109年度作業會在針對不同地形各別加強。
2. 本年度與前期資料相比地面點穿透率明顯減少，導致孔洞問題增加，且此情況位於山區部分較為嚴重(植被較豐沛區域)，除了植被以及季節可能會導致穿透率問題外，初步認定儀器能量衰弱也為本次問題因素之一。因此在109年度第1作業區航線，將原規劃成果於安全無虞的情況下，將低航高200~500公尺。原符合規範之設計里程為2993公里；降低航高後之設計里程為3465公里，增加472公里預計約多5個架次，如圖8-1所示。

並且將空載光達儀器於108年10月送回瑞士原廠檢修，更換部分零件，儀器已於108年12月中抵台，相關測試持續進行中。

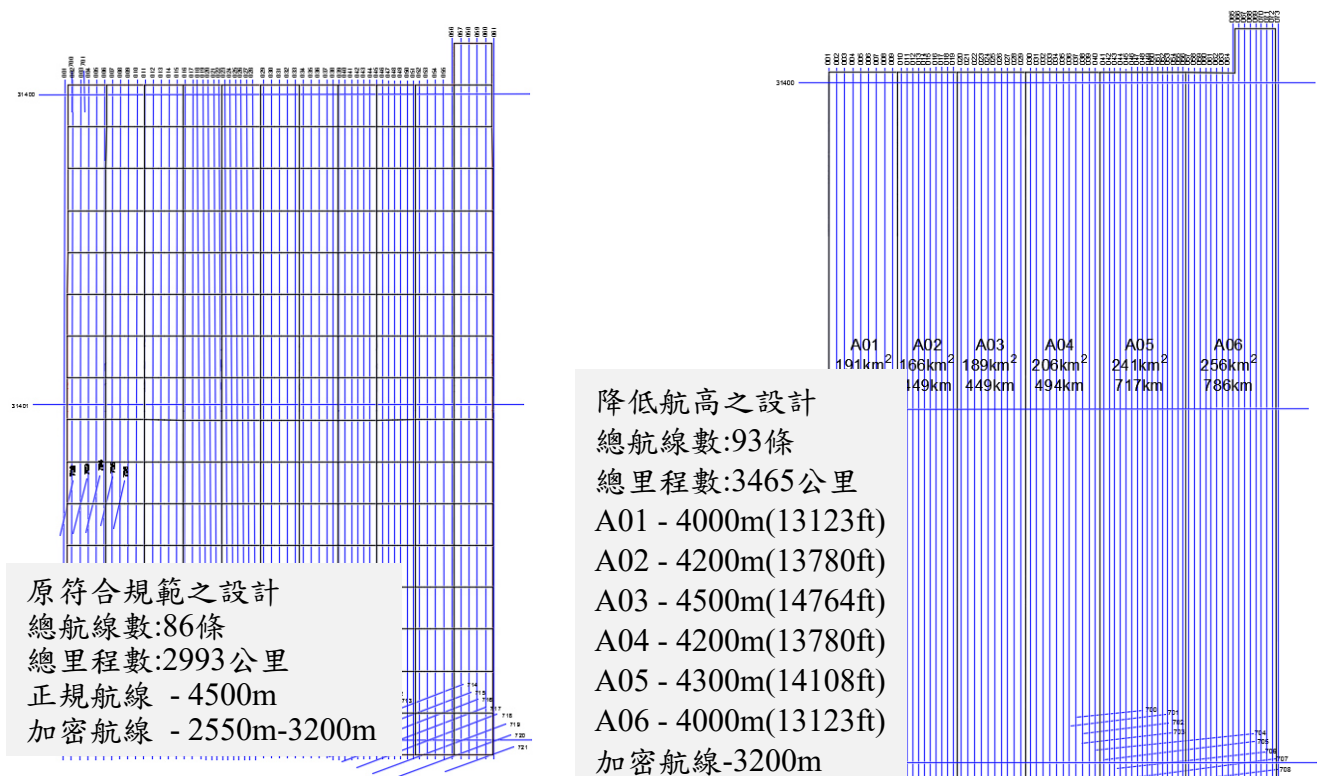


圖8-1、109年度航線調整

建議

1. 第 1 作業區於 108 年 1 月 25 日向內政部申請航空攝影，於 108 年 3 月 15 日申請通過，爾後再向民航局申請各載具航拍許可，並於 108 年 3 月 25 日許可，所需時間長達 2 個月。因航拍是本案作業期程重要因素，建議是否可縮短相關申請時程，以利後續工項。
 2. 目前孔洞成果皆由監審方使用程式判定，因導致穿透率不佳之因素眾多，無法於規劃軟體中預先得知，建議是否可提供相關檢核程式，供廠商即時應變更改飛航規劃。
-

第八章、參考文獻

- 內政部，2003。高精度及高解析度數值地形模型測製規範工作報告。
- 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。
- 內政部，2014。103年臺灣地區大地起伏模型成果說明。
- 莊智清，2001。電子導航，全華科技圖書股份有限公司。
- 曾清涼及儲慶美，1999。GPS 衛星測量原理與應用，國立成功大學衛星資訊研究中心。
- 侯進雄、費立沅、邱禎龍、陳宏仁、謝有忠、胡植慶與林慶偉，2014。空載光達數值地形產製與地質災害的應用，*航測及遙測學刊第十八卷第二期*，第93-108頁。
- 童俊雄，2005。空載光達系統誤差分析與航帶平差方法之探討，國立成功大學碩士論文。
- 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。
- Axelsson, P., 2000. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33, pp. 111-118.
- Behan, A. 2000. On the Matching Accuracy of Rasterised Scanning Laser Altimeter Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, part B2, Amsterdam, pp. 75-82.*
- Crombaghs, M.J.E., Bruegelmann, R. and de Min, E.J., 2000. *On the Adjustment of overlapping Strips of Laseraltimeter Height Data, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, part B2, Amsterdam, pp. 230-237.*
- Latypov, D., 2002. Estimating relative LiDAR accuracy information from overlapping flight lines. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 56, pp. 236-245.
- Leica-Geosystems, 2013. ALS70 training course.
- Mass H.G., 2000. Least-Square Matching with Airborne Laserscanning Data in a TIN Structure. *Interational Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. vol.33, Part 3A, pp. 548-555.*
-

- Mass H.G., 2002. Methods for measuring height and planimetry discrepancies in airborne laserscanner data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol.68(9),pp.933-940.
- 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.
- Vosselman, G. and Maas, H.G., 2001. *Adjustment and Filtering of Raw Laser Altimetry Data, OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, Vol. OEEPE Publication no. 40, Stockholm, pp. 62-73.*
-