

**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）  
2021 and 2022 Government Procurement for  
Updating Taiwan DEM by LiDAR Technique  
3<sup>rd</sup> Work Zone**

111 年度工作總報告  
Final Report in 2022

	標案案號：NLSC-110-11
	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 112 年 1 月 5 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	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 執業圖記：  簽證意見：符合相關規定
八	日 期	中華民國 112 年 01 月 03 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。111 年度第 3 作業區位在臺灣東部地區, 橫跨宜蘭、花蓮, 共需完成 285 幅 1/5,000 圖幅成果。

本計畫共分兩年度, 本工作總報告為 111 年度進行第 5 至第 8 階段。其中第 6 階段需繳交總圖幅數 40% 成果共 114 幅, 第 7 階段需繳交總圖幅數 60% 成果共 171 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 VQ1560II 空載光達掃瞄儀進行飛航掃瞄作業, 施測作業總計飛航 185 條航線, 共計 23 架次, 測線長度約 4,165 公里(含正規、潮間帶、交叉航線以及補雲航線), 航高約為 2,200 公尺~4,000 公尺, 光達重疊率為 50%。VQ150II 空載光達率定場設於彰化田中鎮, 率定時間為 111 年 2 月 26 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25站，總計共29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及DMCIII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13,979張。產製地面解析度為25公分之正射影像共285幅，測區正射影像與控制點均方根誤差為12.9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5.15點/m<sup>2</sup>；第二子測區扣除水域後測區內平均點密度為7.33點/m<sup>2</sup>。

低海拔各地類檢核精度在平均絕對誤差為1.9公分~3.1公分之間，均方根誤差為3.6公分~6.0公分之間。低海拔橫斷面道路檢核的部分，平均絕對誤差為1.7公分，均方根誤差為3.3公分。

高海拔各地類檢核精度在平均絕對誤差為3.6公分~7.4公分之間，均方根誤差為7.9公分~13.6公分之間。高海拔橫斷面道路檢核的部分，平均絕對誤差為4.2公分，均方根誤差為8.9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 Hualien City and Yilan County. The total number of 1/5,000 Map Sheets is 285.

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 6th phases need to submit 40% (114 Map Sheets )and 60% (171 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 VQ1560II sensor in the area. The current survey operations total of 185 trajectories, measuring length of about 4,165 kilometers, flight height of about 2,200 to 4,000 meters, and LiDAR strips

overlap of 50%. The calibration of VQ1560II was performed at TianJhong Town on 26<sup>th</sup> February, 2022. 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 25 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 29 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 and DMCIII with 80% overlap and 50% sidelap. The current number of actual used aerial photo was 13,979. 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 12.9 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 5.15 points/m<sup>2</sup>, the average point density of the second sub-zone which exclude water body was 7.33 points/m<sup>2</sup>.

The average absolute errors of low altitude elevation area were between 1.9 cm ~ 3.1 cm, the root mean square error were between 3.6 cm ~ 6.0 cm. The average absolute errors of the low road cross section was 1.7 cm, this root mean square error was 3.3 cm.

The average absolute errors of high altitude elevation area were between 3.6 cm ~ 7.4 cm, the root mean square error were between 7.9 cm ~ 13.6 cm. The average absolute errors of the high road cross section was 4.2 cm, this root mean

square error was 8.9 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 .....	6
第二章、作業規劃 .....	7
2.1 作業準備 .....	7
2.2 飛航規劃 .....	9
第三章、地面控制點選取與測量作業 .....	15
3.1 基站選取 .....	15
3.2 控制測量 .....	17
第四章、空載LiDAR作業 .....	22
4.1 率定作業 .....	22
4.2 飛航掃瞄成果 .....	32
4.3 控制測量 .....	39
4.4 航帶平差與內部精度評估 .....	41
4.5 DEM/DSM製作 .....	54
4.6 檢核點蒐集及作業 .....	64
第五章、正射影像製作 .....	78
5.1 作業區航拍工作 .....	78
5.2 航拍影像處理 .....	80
5.3 空中三角測量 .....	81
5.4 彩色無縫鑲嵌正射影像圖製作 .....	83

5.5	正射影像外部接邊.....	92
5.6	正射影像詮釋資料製作.....	93
第六章、	成本分析.....	95
6.1	飛航待命及可飛天數分析.....	96
6.2	性別比例分析.....	97
第七章、	檢討與建議.....	98
第八章、	參考文獻.....	101

附件一、111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、外業驗收紀錄

附件十、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、111年度子測區分布圖.....	3
圖1-3、本案工作場所及機敏室環境.....	6
圖2-1、空載光達儀器Riegl VQ1560II.....	8
圖2-2、中像幅Phase One IXU-RS-1000.....	8
圖2-3、大像幅DMC III.....	9
圖2-4、飛航規劃流程圖.....	10
圖2-5、測區分區圖.....	11
圖2-6、正規航線設計圖.....	12
圖2-7、交叉航線設計圖.....	13
圖2-8、潮間帶航線設計圖.....	14
圖3-1、基站分布位置及重疊率.....	16
圖3-2、第3作業區航帶平差控制點分布圖.....	18
圖3-3、高程控制點點之記.....	19
圖3-4、特徵屋角點點之記.....	20
圖3-5、檢核點點之記.....	21
圖4-1、空載LiDAR作業流程圖.....	22
圖4-2、空載光達率定示意圖.....	23
圖4-3、Lever Arm量測作業.....	24
圖4-4、彰化田中鎮率定場.....	24
圖4-5、率定前點雲資料.....	28
圖4-6、率定解算成果.....	28
圖4-7、率定後平面成果.....	29
圖4-8、平差解算後控制高程與點雲相對關係.....	29
圖4-9、確認飛行率定成果.....	31
圖4-10、光達儀器與航拍相機安裝.....	32
圖4-11、中央氣象局衛星雲圖.....	33
圖4-12、即時監控航拍狀況.....	33

圖4-13、航線掃瞄月份.....	35
圖4-14、GNSS基站接收時間.....	36
圖4-15、基站與航線軌跡距離.....	36
圖4-16、GNSS基站接收頻率.....	37
圖4-17、基站NAAO_PDOP值.....	37
圖4-18、機載GNSS_PDOP值.....	38
圖4-19、空載光達掃瞄資料作業流程圖.....	39
圖4-20、飛航掃瞄軌跡解算.....	40
圖4-21、本案點雲涵蓋圖(左:航帶顯色;右:高程顯色).....	40
圖4-22、航帶平差作業流程.....	42
圖4-23、推求兩航帶內某共軌點的相對高程差示意圖.....	43
圖4-24、點雲分區航帶平差.....	46
圖4-25、搜尋Tie Plane進行計算改正值(Dong Li, 2016).....	47
圖4-26、Scan data adjustment解算及成果報表.....	48
圖4-27、加入控制點解算.....	49
圖4-28、本案平差成果.....	50
圖4-29、平面精度比較位置分布圖.....	51
圖4-30、航帶平差誤差分布圖.....	53
圖4-31、點雲後處理作業流程圖.....	54
圖4-32、DEM、DSM製作流程.....	55
圖4-33、過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000).....	56
圖4-34、人工檢視編修界面.....	57
圖4-35、過濾非地面點後之成果.....	57
圖4-36、過濾接近地物的雜點.....	58
圖4-37、水體分類成果.....	58
圖4-38、本案作業人員分布圖.....	60
圖4-39、點雲TIN分析圖.....	61
圖4-40、本案DEM、DSM成果.....	62
圖4-41、111年度DEM、DSM接邊處.....	63
圖4-42、年度接邊地形變異示意圖.....	63

圖4-43、檢核點分布 .....	67
圖4-44、低海拔各地類檢核誤差分布圖 .....	72
圖4-45、低海拔各地類檢核誤差圓餅圖 .....	72
圖4-46、高海拔各地類檢核誤差分布圖 .....	75
圖4-47、高海拔各地類檢核誤差圓餅圖 .....	75
圖4-48、第6階段外業驗收直方圖 .....	76
圖4-49、第7階段外業驗收直方圖 .....	77
圖5-1、正射影像製作流程 .....	78
圖5-2、相機使用分布 .....	79
圖5-3、PPS影像處理示意圖 .....	80
圖5-4、原始影像色彩預處理 .....	80
圖5-5、空三作業區域分配圖 .....	81
圖5-6、控制點量測 .....	83
圖5-7、正射影像與光達比較圖 .....	84
圖5-8、正射影像成果 .....	85
圖5-9、檢核點分布位置 .....	86
圖5-10、正射影像與光達比較分布 .....	87
圖5-11、水線成果 .....	91
圖5-12、111年度正射影像接邊處 .....	92
圖5-13、111年度正射影像色調調整 .....	93
圖5-14、內政部TGOS詮釋資料編輯系統2.0介面 .....	94
圖5-15、批次產置詮釋資料程式示意圖 .....	94
圖6-1、飛航待命及可飛天數分析圖 .....	96

## 表目錄

表1-1、111年度各階段繳交期程表.....	4
表1-2、第5階段成果繳交期程.....	4
表1-3、第6階段成果繳交期程.....	5
表1-4、第7階段成果繳交期程.....	5
表1-5、第8階段成果繳交期程.....	5
表2-1、第3作業區航拍申請期程.....	7
表2-2、正規航線掃瞄參數表.....	12
表2-3、交叉航線掃瞄參數表.....	13
表2-4、潮間帶航線掃瞄參數表.....	14
表3-1、測區基站統計表.....	15
表4-1、航線規劃設計.....	25
表4-2、飛行作業時間.....	25
表4-3、GNSS精度相關成果圖.....	26
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.....	32
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.....	41
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.....	65
表4-13、中高海拔各地類及橫斷面檢核點.....	66
表4-14、地形類別調整參數b(單位：公尺).....	68
表4-15、地表植被覆蓋情形調整參數c(無單位).....	68
表4-16、平面精度標準(單位：公尺).....	68
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.....	69
表4-18、本案高海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表.....	73

表5-1、空三平差成果連結點強度統計表.....	83
表5-2、正射影像與控制點差值比較表.....	86
表5-3、正射影像與光達比較表.....	88
表6-1、經費分析.....	95
表6-2、性別比例分析.....	97

# 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，本期末報告書為第二年度，111年度資料範圍為285幅，並規劃第一子測區114幅(第6階段繳交)，第二子測區171幅(第7階段繳交)。



## 1.2 計畫範圍

111年度本區域為臺灣東部地區，此區包含蘭陽平原、海岸地形、太魯閣國家公園的花東縱谷，本作業區高低起伏大，須注意飛安相關事宜，海拔高度約為0至3,290公尺。總計平原佔148幅(52%)，山區佔137幅(48%)，共計涵蓋285幅。前期資料分別為103年製作115幅(40.4%)，104年製作170幅(59.6%)，共計285幅，本作業區約有12幅密圖，測製範圍如圖1-1所示。

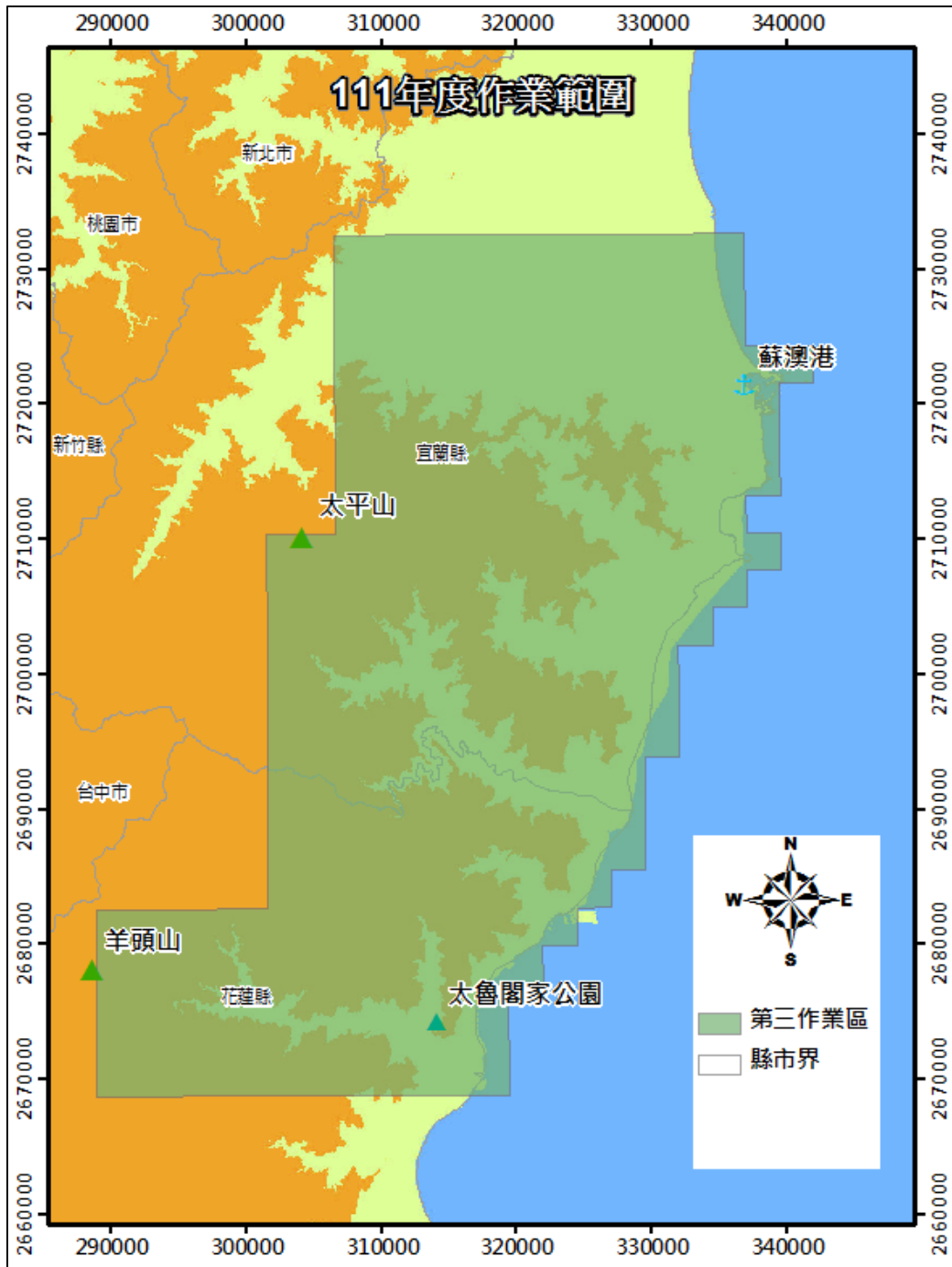


圖 1-1、第 3 作業區作業範圍

### 1.3 各階段繳交期程

本年度共分4個階段繳交資料，第5階段為作業計畫，包括空載光達掃瞄飛航作業。第6、7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6階段總計繳交40%圖幅數，第7階段繳交60%圖幅數，第8階段繳交111年度工作總報告。本作業區依資料完整性以及天候雲量等飛航因素，子測區規劃如圖1-2所示，第一子測區共計114幅，第二子測區共計171幅。

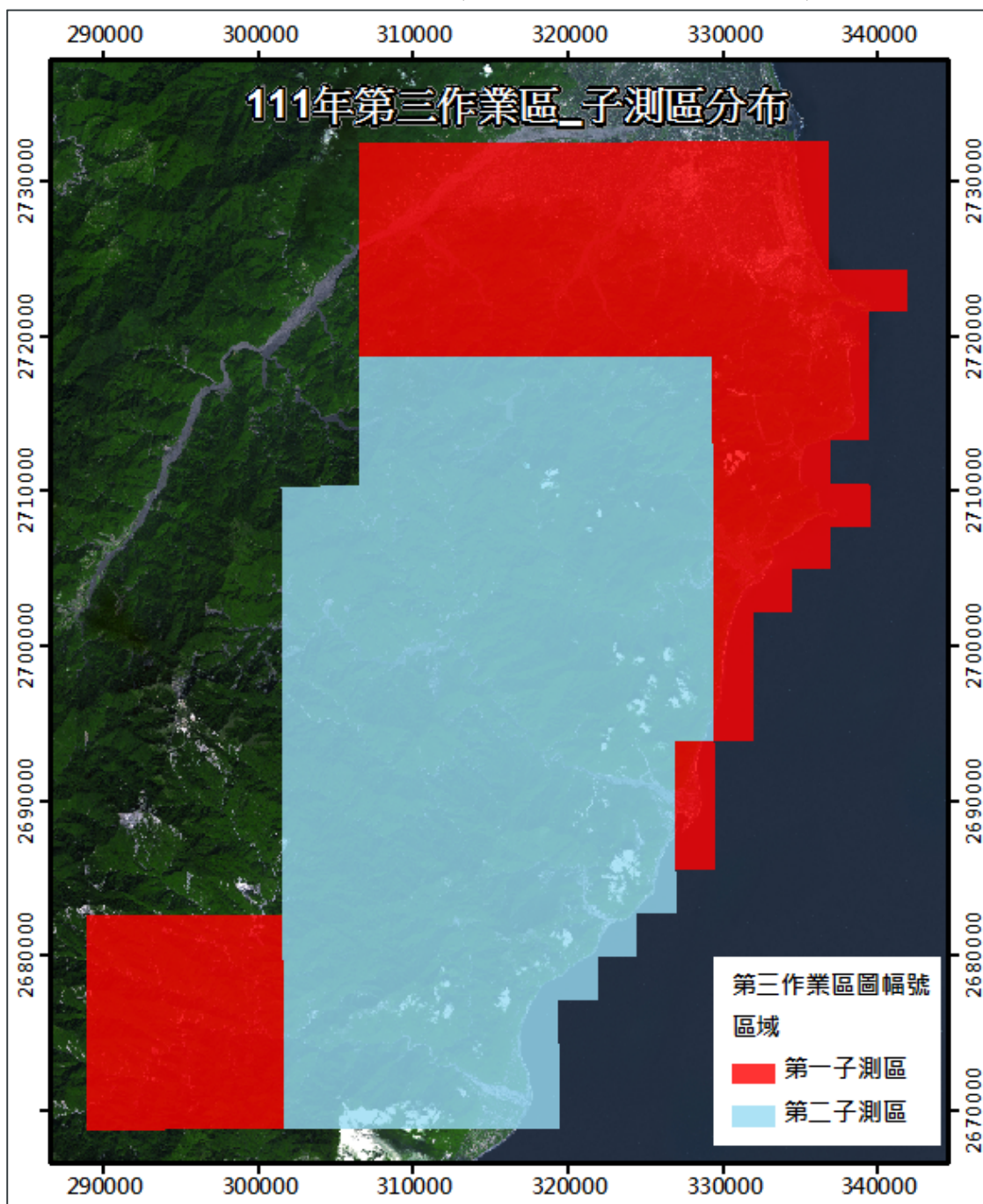


圖 1-2、111 年度子測區分布圖

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，111年度第6階段因天候因素導致飛航作業落後，因此於111年6月13日申請履約期限展延(詮字第1110007630號)，並於111年6月28日同意展延48日(測形字第1111565222號)，111年度相關作業期程展延如表1-1所示。

表1-1、111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5階段	111年度作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)。	110/12/31	111/01/25
第6階段	1.DEM與DSM成果(111年度範圍40%以上圖幅)及控制測量(111年度範圍)。 2.正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。	111/06/15(原規範) 111/08/02(展延)	111/08/03
第7階段	1.DEM與DSM成果(111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)。	111/10/14(原規範) 111/12/01(展延)	111/11/28
第8階段	111年度工作總報告及電子檔。	111/12/10(原規範) 111/12/28(展延)	111/12/19
	修正後111年度工作總報告及電子檔。	依機關指定期限內繳交。	112/01/05

#### 第5階段作業成果說明:

本階段作業項目為110年12月31日前完成111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5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5階段成果	110/12/24(繳交丙方) (詮字第1100016130號)	110/12/29 (成大產創字第1101104353號)
	111/01/03(繳交甲方) (詮字第1110000040號)	111/01/25 (測形字第1111330645號)

## 第6階段作業成果說明:

本階段作業項目展延後日期為111年08月02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，由於天氣因素111年3月16日前僅完成21%的航線拍攝，直到6月後才有晴朗無雲的天氣可執行飛航任務，導致本階段逾期1日繳交。

表1-3、第6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6階段成果	111.07.28(繳交丙方) (詮字第1110009510號)	111.08.03 (成大產創字第1111102441號)
	111.08.03(繳交甲方) (詮字第1110009800號)	111.09.07 (測形字第1111565259號)

## 第7階段作業成果說明:

本階段作業項目展延後為111年12月01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。

表1-4、第7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7階段成果	111.11.21(繳交丙方) (詮字第1110014770號)	111.11.25 (成大產創字第1111103965號)
	111.11.28(繳交甲方) (詮字第1110015030號)	111.12.23 (測形字第1111565359號)

## 第8階段作業成果說明:

本階段作業項目展延後為111年12月28日前完成111年度工作總報告初稿，相關期程如表1-5。

表1-5、第8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8階段成果	111.12.09(繳交丙方) (詮字第1110015890號)	111.12.16 (成大產創字第1111104275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1-3、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

飛航作業為影響本計畫進行之主要關鍵，本公司於109年投資籌備自有航空，並於110年底正式成立詮華航空股份有限公司，購入兩台飛航載具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，在飛行作業前進行相關文件申請及儀器安裝，致力完成本案飛航作業任務。

#### 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，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)	111/01/04_詮華航空 (空運管字第1110000107號)

## 2.1.2 系統裝機

本計畫使用空載光達儀器為Riegl VQ1560 II、中像幅相機Phase One IXU-RS1000以及大像幅DMC III，主要規格如圖2-1~圖2-3。



### VQ 1560II

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



圖2-1、空載光達儀器Riegl VQ1560II

儀器照片	
型號	Phase One IXU-RS-1000
像幅大小	11,608×8,708
焦距	70 mm
像元大小	4.6 μm



圖2-2、中像幅Phase One IXU-RS-1000



圖2-3、大像幅DMC III

## 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2-4所示，並以下列各項原則進行航線規劃：



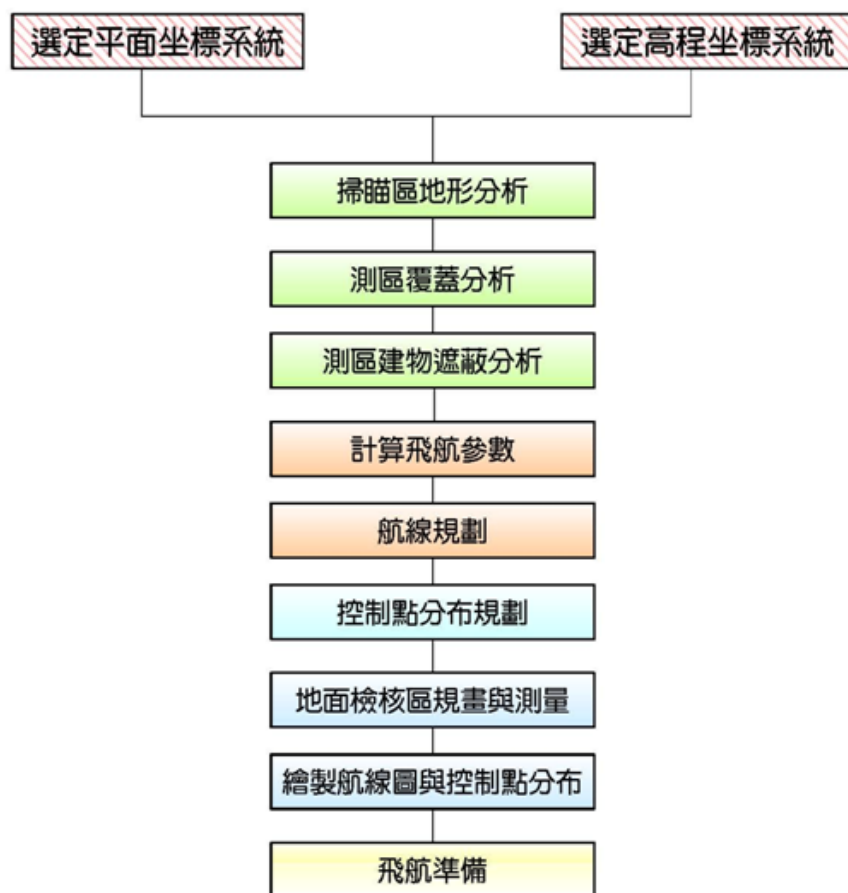


圖 2-4、飛航規劃流程圖

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**需有一交叉航線。
4. 整體航線規劃區分如圖2-5所示，共區分為7個區塊，各測區依據地形變化進行規劃。航線總計132條，包含112條正規航線、8條交叉航線、12條潮間帶航線，總長約3589km。

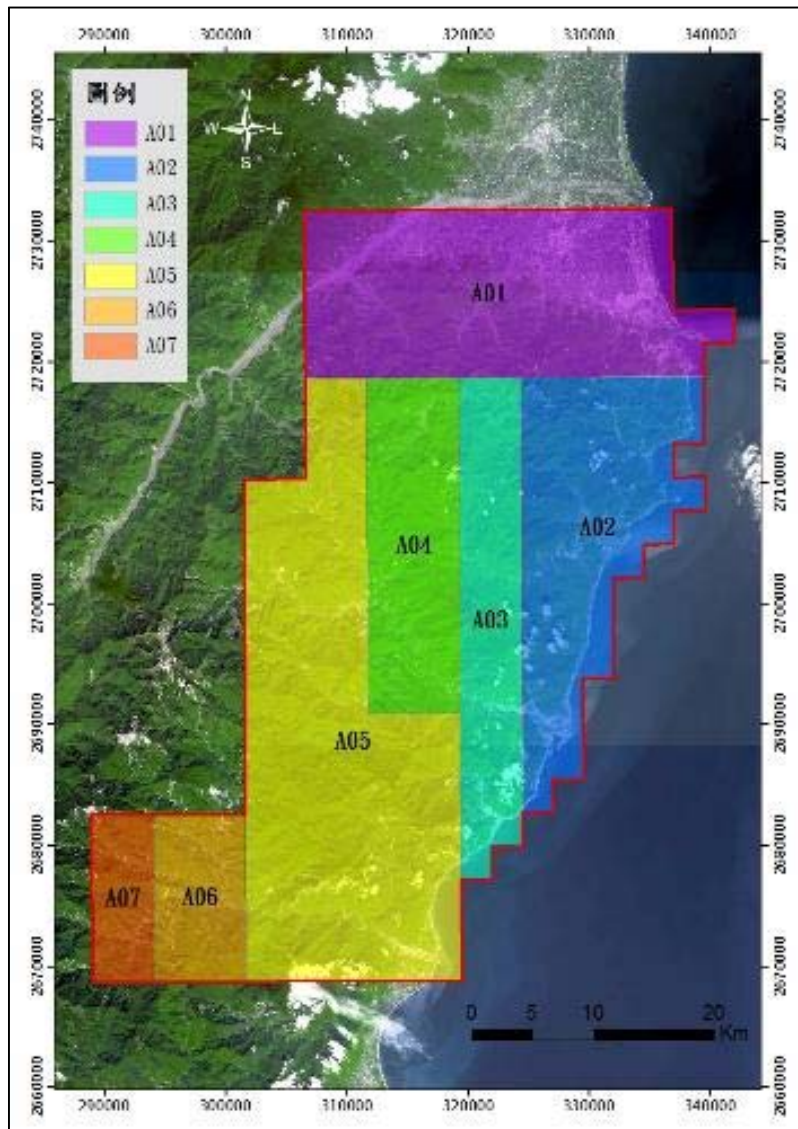


圖 2-5、測區分區圖

### 1. 正規航線

作業範圍依地形劃分為區，共規劃112條正規航線，總長約3305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。各區航線參數統計如圖2-6及表2-2，各航線詳細參數參照附件一、111年度第3作業區作業計畫。

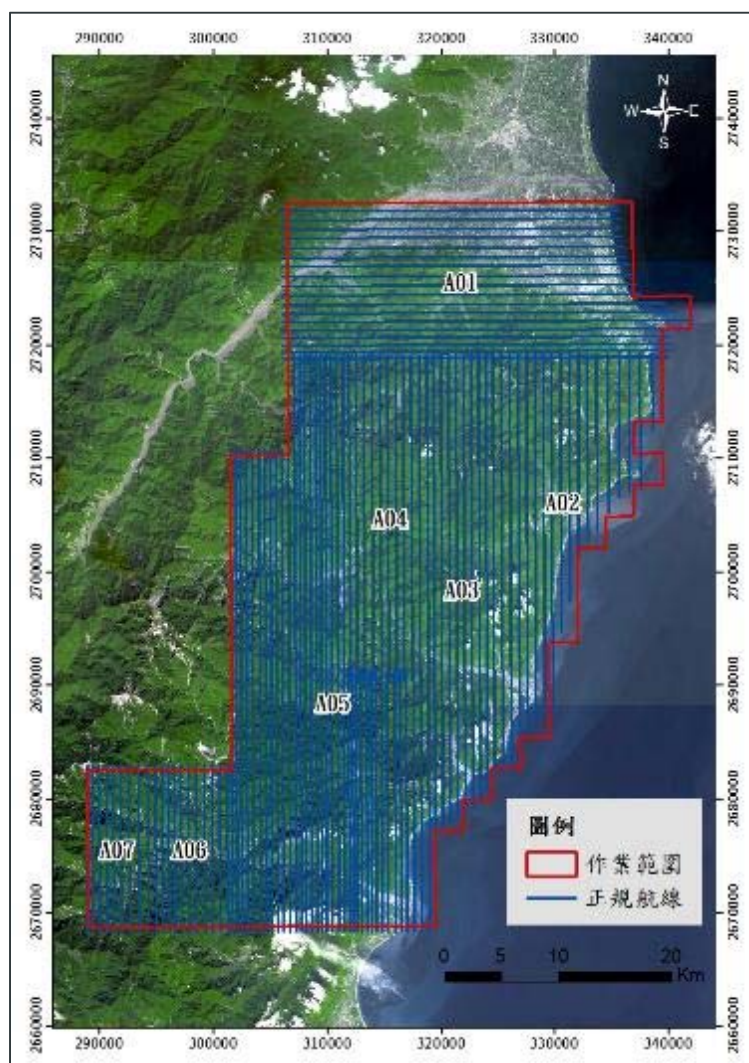


圖 2-6、正規航線設計圖

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	63001-63019	90	608	2500	100	0	1439	50	80	310	2.8	2075	53.51%	81.06%	44.6%
A02	63020-63037	180	430	2700	100	0	1554	50	80	310	2.6	2186	52.57%	81.81%	43.7%
A03	63038-63045	180	323	2900	100	134	1834	50	80	310	2.2	1923	55.15%	82.54%	46.0%
A04	63046-63056	180	316	3000	100	290	2049	50	80	310	2.3	1835	53.14%	82.43%	44.3%
A05	63057-63092	180	1332	3200	100	0	2711	50	80	310	2.4	1763	60.39%	82.96%	50.4%
A06	63093-63104	180	178	3700	100	394	3039	50	80	310	2.2	2040	59.52%	82.74%	49.6%
A07	63105-63112	180	119	4000	100	1006	3371	50	80	310	2.4	1871	54.75%	82.80%	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8條，總長178公里，航線方向採東西向設計，整體航線設計圖如圖2-7所示，相關參數附於表2-3：

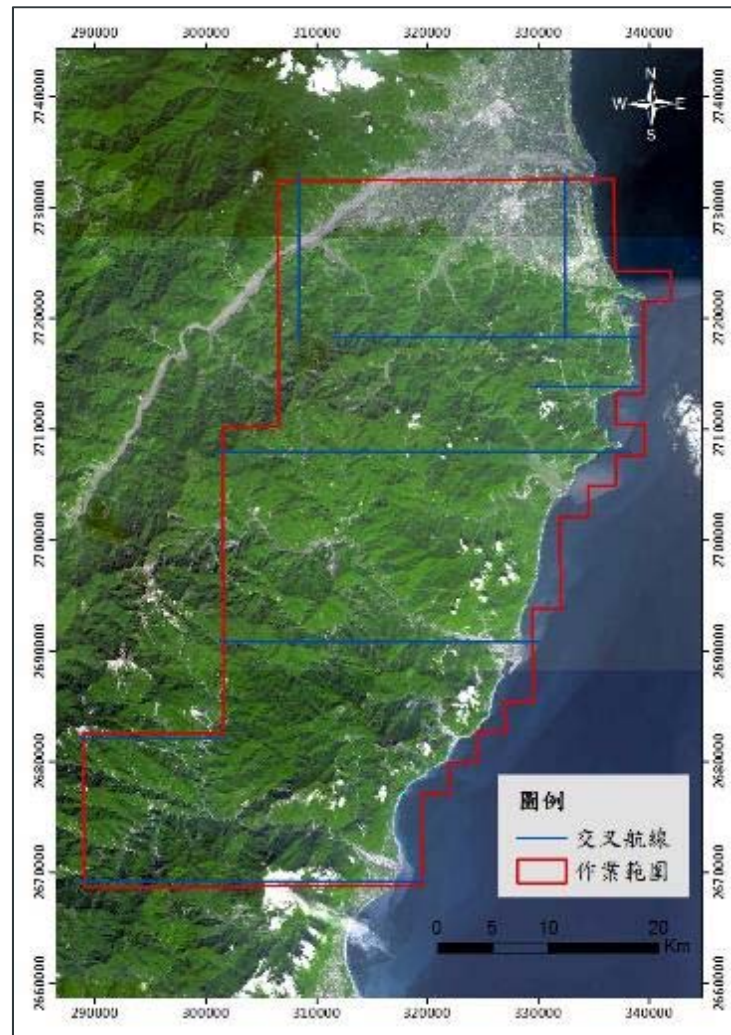


圖 2-7、交叉航線設計圖

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)	掃描頻率(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(%)
53400	0	14.7	2500	100	0	752	50	80	310	1.3	2259	81.1%
53401	0	14.7	2500	100	185	1450	50	80	310	1.3	1755	83.8%
53402	90	27.6	2500	100	0	1237	50	80	310	1.3	1736	84.3%
53403	90	9.7	2500	100	0	1185	50	80	310	1.3	2004	84.4%
53404	90	37.5	3000	100	0	2267	50	70	300	1.2	1836	84.7%
53405	90	28.8	3000	100	0	2209	50	70	300	1.2	1884	85.6%
53406	90	13.2	4000	100	842	3030	50	30	300	0.8	2027	85.9%
53407	90	31.2	4000	100	0	3014	50	30	300	0.8	2402	85.5%

### 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 12 條潮間帶航線，長度總計 106 公里，整體航線規劃如圖 2-8 所示，

其相關參數附於表 2-4：

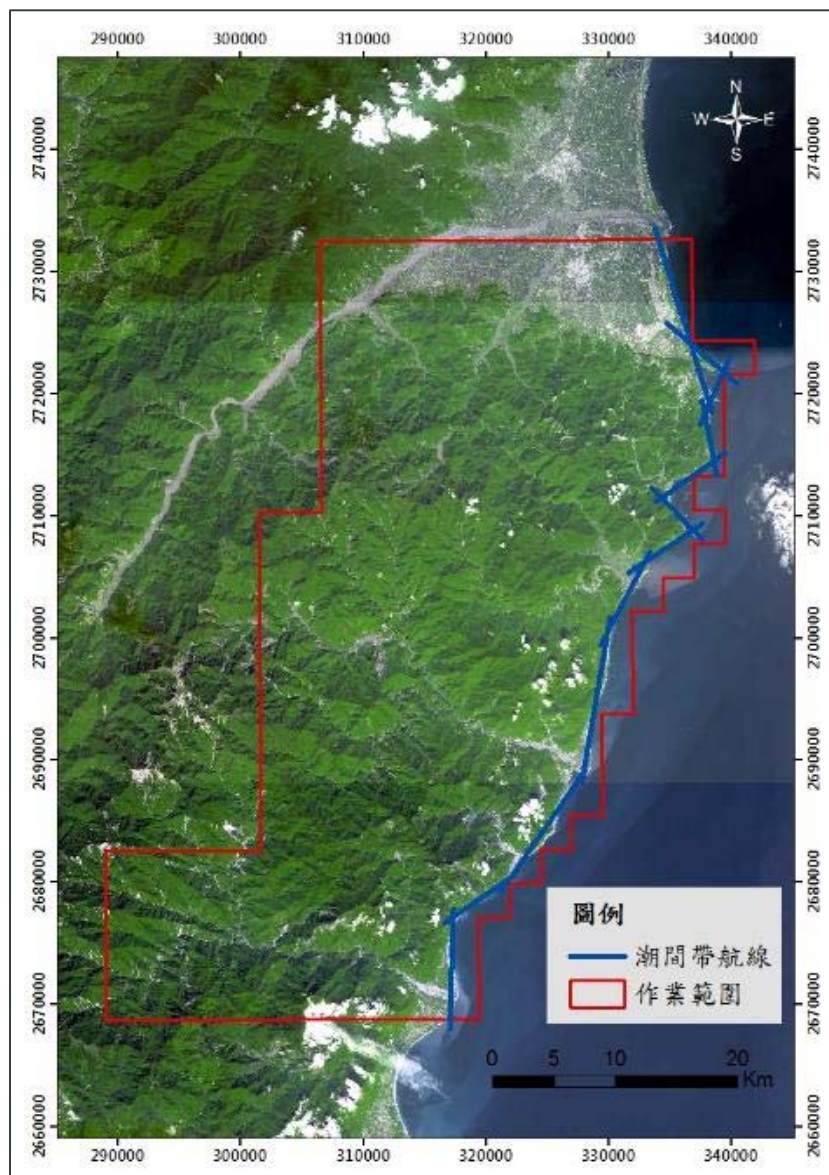


圖 2-8、潮間帶航線設計圖

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	287	15.6	2200	100	0	125	50	130	450	2.12	2033	80.6
53801	319	7.6	2200	100	0	119	50	130	450	2.12	2049	80.4
53802	66	6.0	2200	100	0	260	50	130	450	2.12	2026	81.1
53803	281	6.3	2200	100	0	297	50	130	450	2.12	1924	82.7
53804	36	6.9	2200	100	0	549	50	130	450	2.12	1940	82.9
53805	314	5.9	2200	100	0	430	50	130	450	2.12	1927	83.1
53806	34	7.1	2200	100	0	675	50	130	450	2.12	1945	83.3
53807	62	8.7	2200	100	0	597	50	130	450	2.12	1962	83.0
53808	80	13.6	2200	100	0	770	50	130	450	2.12	1878	83.8
53809	55	12.2	2200	100	0	891	50	130	450	2.12	1896	83.5
53810	35	6.8	2200	100	0	1328	50	130	450	2.12	1838	84.9
53811	89	9.8	2200	100	0	1131	50	130	450	2.12	1901	82.1

## 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，蒐集至少三天資料(111/03/05~111/03/08)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	WULI、SICH、YILN、共計3站
中央氣象局	HUAP、ILAN、JYAN、LYUN、NAAO、NIUT、NSAN、SLNP、SPAO、SUA2、TUNM、YLSS、YNTS、BLOW、CHNT、CLAN、HNSN、HUAL、HUAL共計19站
地調所	GS70、GS71、GS72 共計3站
本公司預計自架站位置	RW31、RW32(四季國小)、RW41、RW42(澳花國小)、共計4站

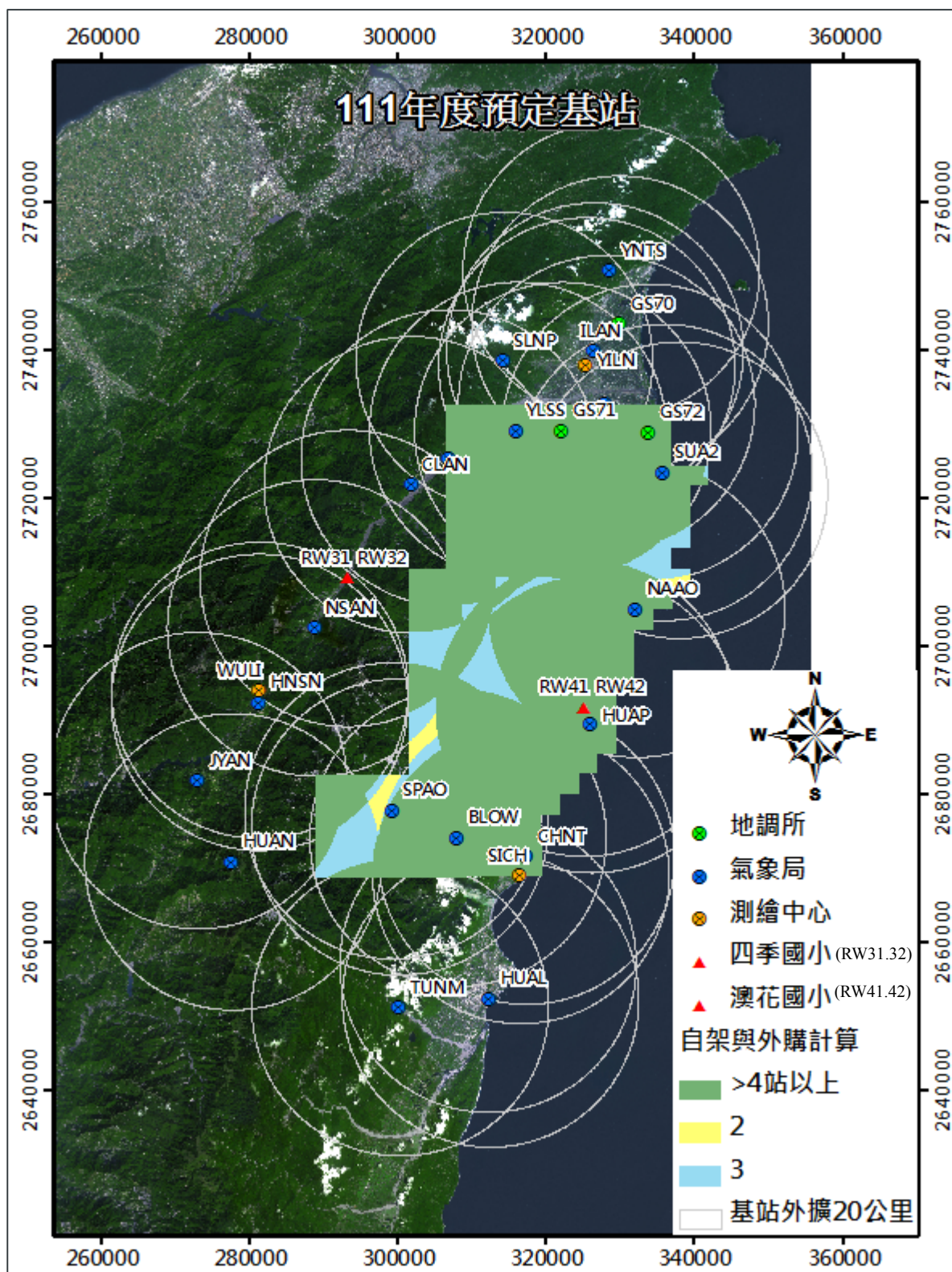


圖3-1、基站分布位置及重疊率

## 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，規劃共173個控制點，實際施測高程控制點共計60點、檢核點15個(其中7點規劃與航帶平差高程控制點共點)、



特徵屋角點14點、立體量測91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。

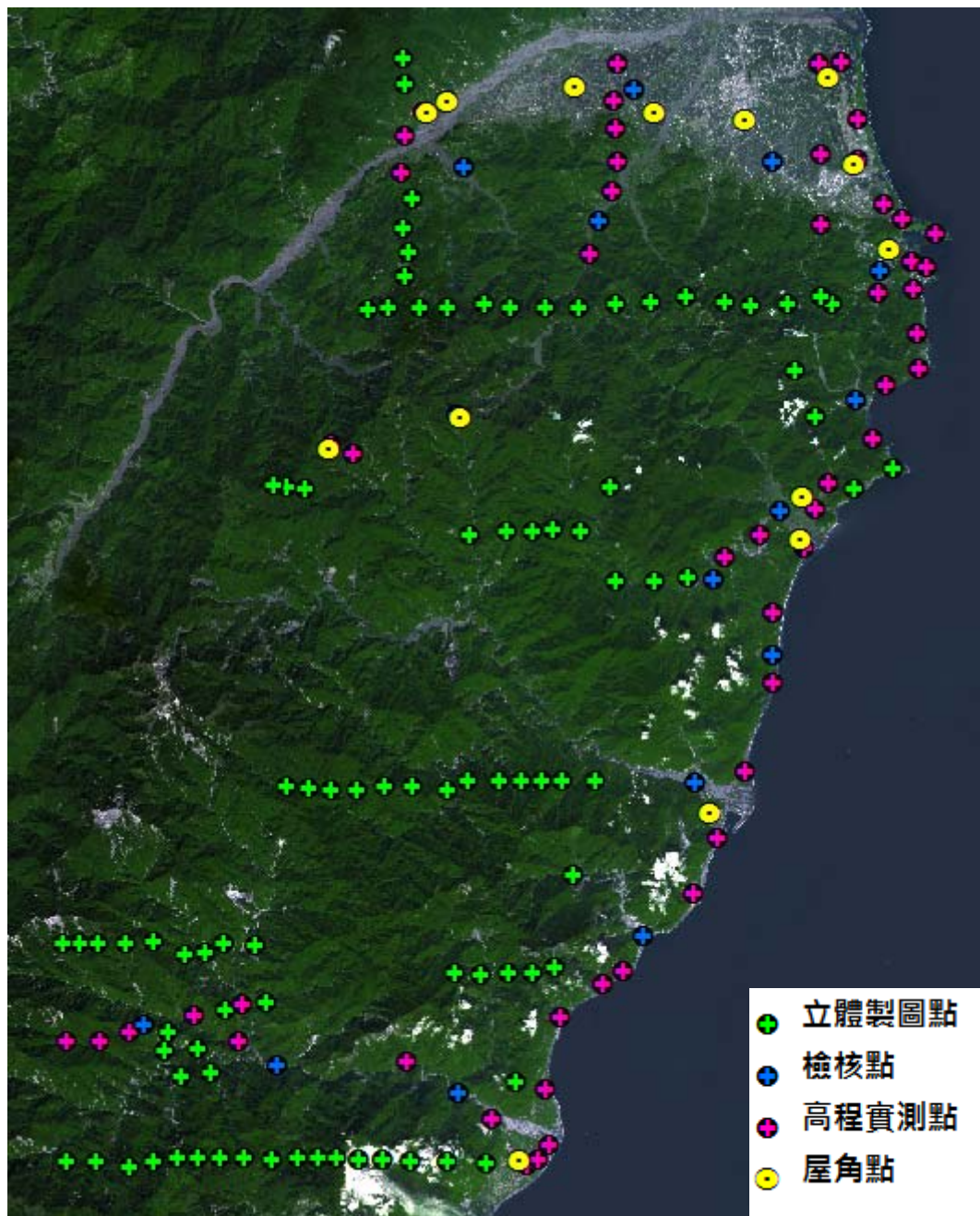


圖 3-2、第 3 作業區航帶平差控制點分布圖

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	63-0001A		圖號	9722-III-034	
所在地	宜蘭縣大同鄉		點別	<input checked="" type="checkbox"/> 全控(A) <input type="checkbox"/> 高控(A) <input type="checkbox"/> 半控(B) <input type="checkbox"/> 檢核點(C)	
平面坐標	E	309720.145	高程值	正高	171.772
	N	2728972.960		橢球高	193.556
坐標框架	TWD97@2020		高程別	<input checked="" type="checkbox"/> GNSS測算高程 <input type="checkbox"/> 全站引測 <input type="checkbox"/> 直接水準	
點位種類	<input type="checkbox"/> 鋼釘 <input type="checkbox"/> 角點 <input checked="" 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 /111年02月		內檢人員及日期	朱康文 /111年03月	
點位說明 (交通路線)	點位於宜蘭縣大同鄉松羅村玉蘭4之9號前PC路上。				
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	63-B14		圖號	9722-II-023	
所在地	宜蘭縣五結鄉		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	332817.732	高程值	正高	11.818
	N	2730889.640		橢球高	32.055
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 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	林俊男 / 111年03月		內檢人員及日期	朱康文 / 111年03月	
點位說明 (交通路線)	點位地點說明(含交通路線):點位於宜蘭縣五結鄉傳藝路一段56巷91號民宅頂樓屋角。				
位置圖			影像		
					
點位現地遠照			點位現地近照		
					
點名: 點號: B14 日期: 111-03-10 測設單位: 詮華國土測繪有限公司 測量人員: 林俊男 <b>說明與備註:</b>					

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	63-0015C		圖號	9621-II-027	
所在地	花蓮縣秀林鄉		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	293958.236	高程值	正高	1643.107
	N	2677028.497		橢球高	1668.331
坐標框架	TWD97@2020		高程別	<input checked="" type="checkbox"/> GNSS 測算高程 <input type="checkbox"/> 全站引測 <input type="checkbox"/> 直接水準	
點位種類	<input type="checkbox"/> 鋼釘 <input type="checkbox"/> 角點 <input checked="" 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	賴志榮 / 111年02月		內檢人員及日期	朱康文 / 111年03月	
點位說明 (交通路線)	點位於由花蓮往梨山方向行駛台8線140+700K處新白楊停車場前柏油路上。				
位置圖			影像		
					
點位現地遠照			點位現地近照		
					
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

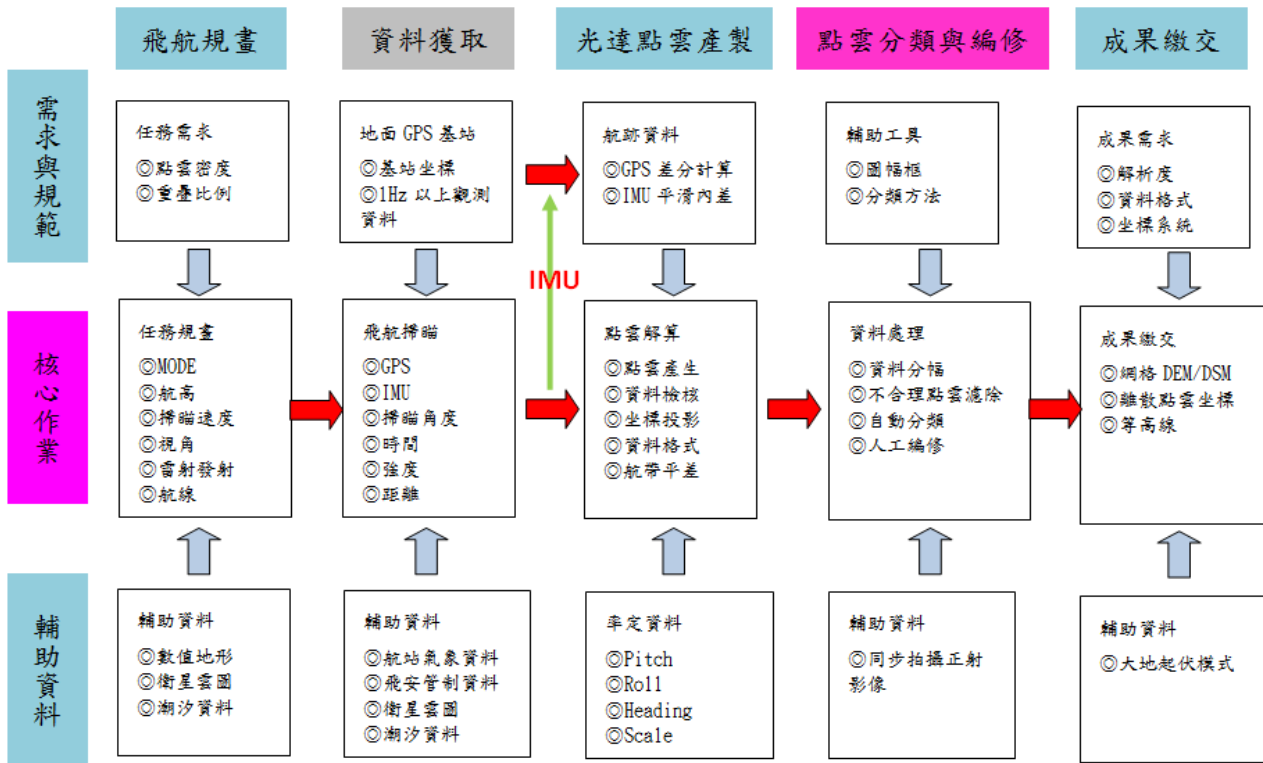


圖4-1、空載LiDAR作業流程圖

### 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。

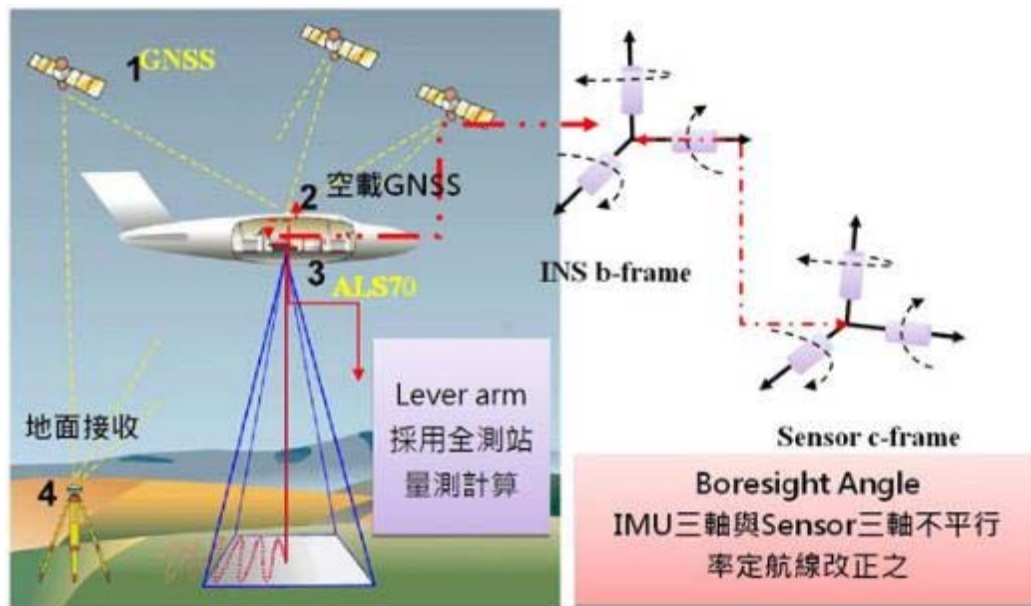


圖 4-2、空載光達率定示意圖

#### 4.1.1 率定場地地點與規格

VQ1560II率定時間為111年2月26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。

#### 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1.787m、Y軸-0.307m、Z軸-0.964m。

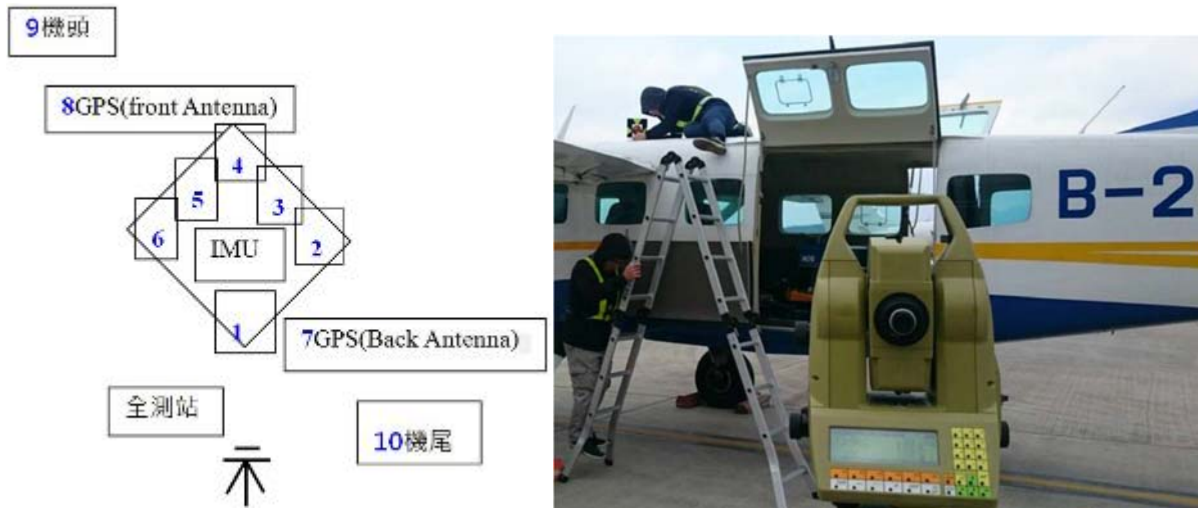


圖 4-3、Lever Arm 量測作業

## 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。

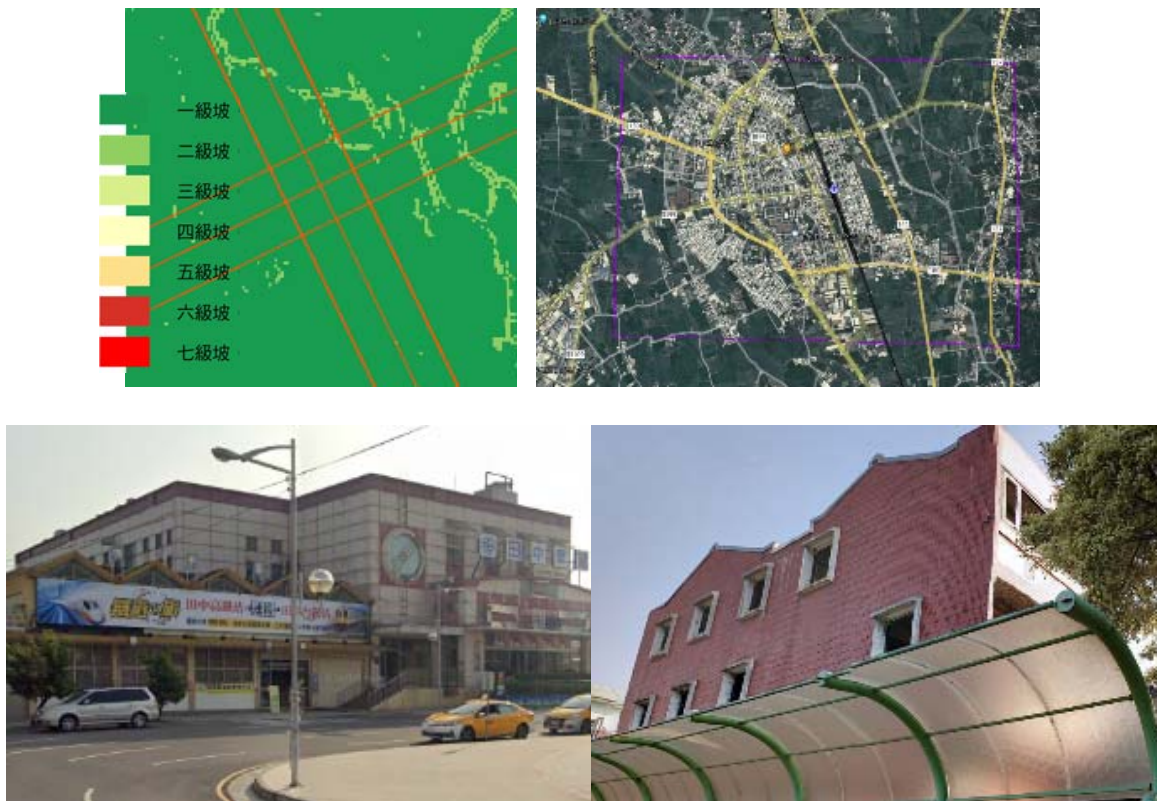


圖 4-4、彰化田中鎮率定場

### 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 111 年 2 月 26 日 07:14~8:40，航攝記錄如表 4-2 所示。

表 4-2、飛行作業時間

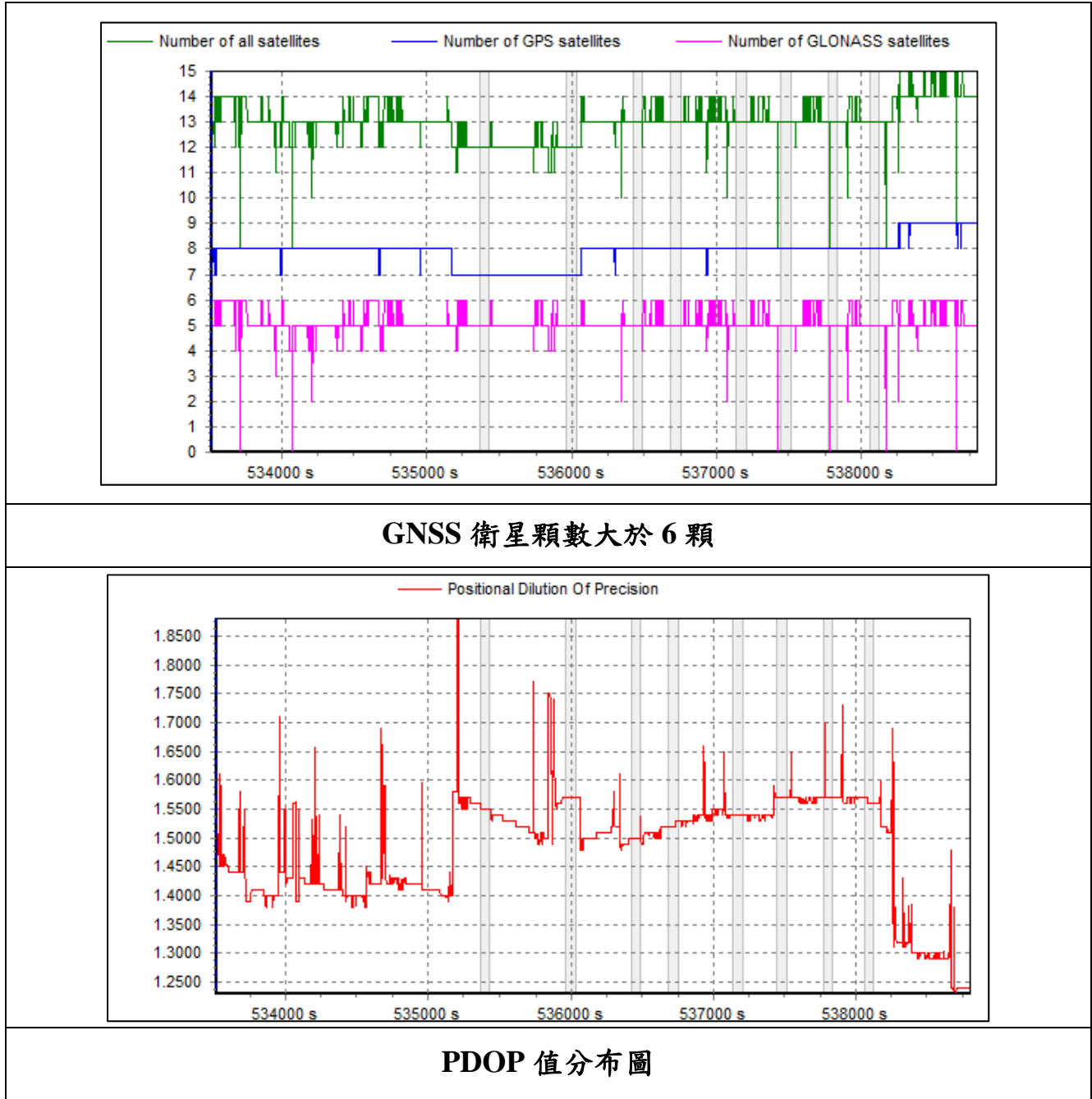
航線編號	飛行高度(呎)	航向(度)	航速(kts)	PRR(khz)	掃描頻率(Hz)	FOV(度)	備註
8	3609	150	93	2000	250	50	確定飛航
7	3609	330	94	2000	250	50	確定飛航
1	2953	150	96	2000	300	50	正規航線
2	2953	330	98	2000	300	50	正規航線
3	2953	150	98	2000	300	50	正規航線
4	2953	60	96	2000	300	50	正規航線
5	2953	240	95	2000	300	50	正規航線
6	2953	60	97	2000	300	50	正規航線

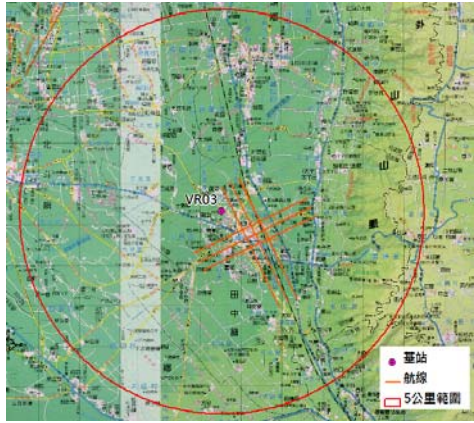



### 5. GNSS 精度評估

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



<p><b>Monument Description:</b></p> <p>GPS Receiver Type: TRIMBLE NETR9 Antenna Type: TRM57971.00 SCIT</p> <p>Epoch Interval: 0.5s Elevation Mask: 10°</p> <p>Observation Coordinate: VR03 Station : VR03 Lat.: N23°51'52.23" Lon: E120°34'54.06" Ellipsoidal Height (m): 77.387</p>	 <p>A topographic map showing the location of station VR03. A red circle indicates a 5km survey radius around the station. The map includes a legend for station location (purple dot), flight line (orange line), and 5km survey area (red circle).</p>
<p><b>Elevation mask、觀測頻率</b></p>	<p><b>GNSS 基站與掃瞄航線之距離</b></p>
<pre> 2.10      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE TPP 4.3.2      25-FEB-22 23:59      PGM / RUN BY / DATE COMMENT COMMENT COMMENT VR03      MARKER NAME VR03      MARKER NUMBER NLSC      OBSERVER / AGENCY 5419R48416  NLSC      Nav 5.22 / Boot 5.22 REC # / TYPE / VERS 5000119169  TRIMBLE NETR9 -2969213.4140 5024330.6530 2564598.2560  ANT # / TYPE 0.0000      0.0000      0.0000      APPROX POSITION XYZ 1 1 0      ANTENNA: DELTA H/E/N 7 C1 P1 L1 S1 P2 L2 S2  WAVELENGTH FACT L1/2 1.000      # / TYPES OF OBSERV 0      INTERVAL 18      RCV CLOCK OFFS APPL 52      LEAP SECONDS 2022 02 26 00 00 00.00000000  GPS  # OF SATELLITES 22 02 26 0 0 0.00000000 0 15G10G12G22G23G25G26G29G31G32R 1R 2R 7 .0000000000  TIME OF FIRST OBS END OF HEADER </pre>	 <p>A line graph titled 'Combined Separation' showing the separation between the GNSS base station and the flight line over time. The x-axis represents time in seconds, and the y-axis represents separation in meters. Multiple colored lines represent different flight lines, showing fluctuations in separation over time.</p>
<p><b>基站接收時間</b></p>	<p><b>Combined Separation</b></p>

## 6. 率定成果

視準軸率定(Boresight Angle Calibration)是以不同之航向、角度之LiDAR掃瞄資料，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。

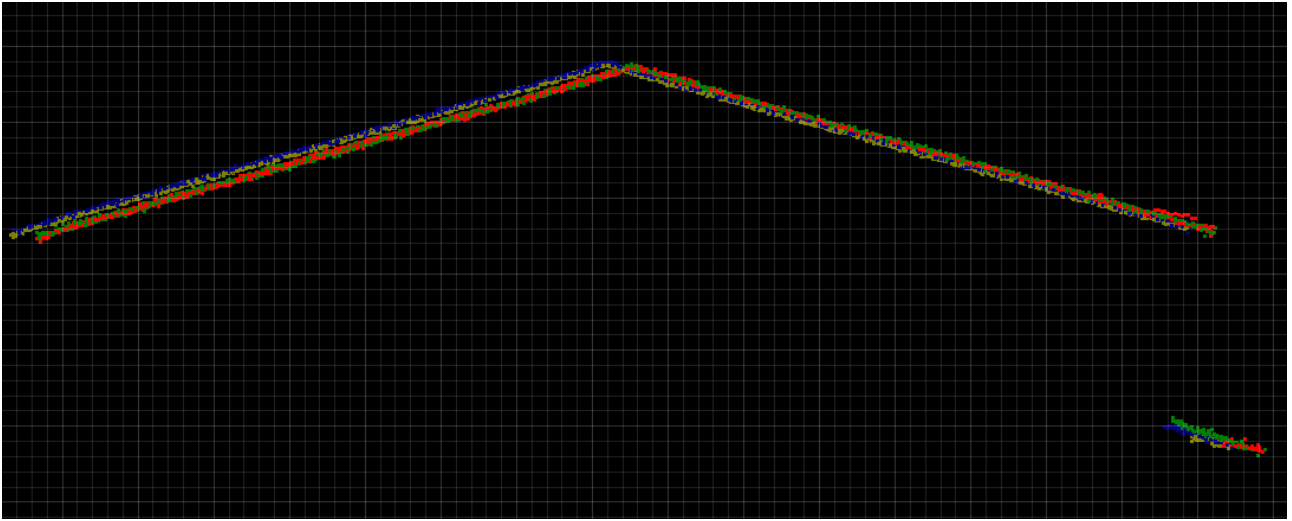


圖 4-5、率定前點雲資料

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3次後，得到率定結算成果如圖4-6以及表4-4所示

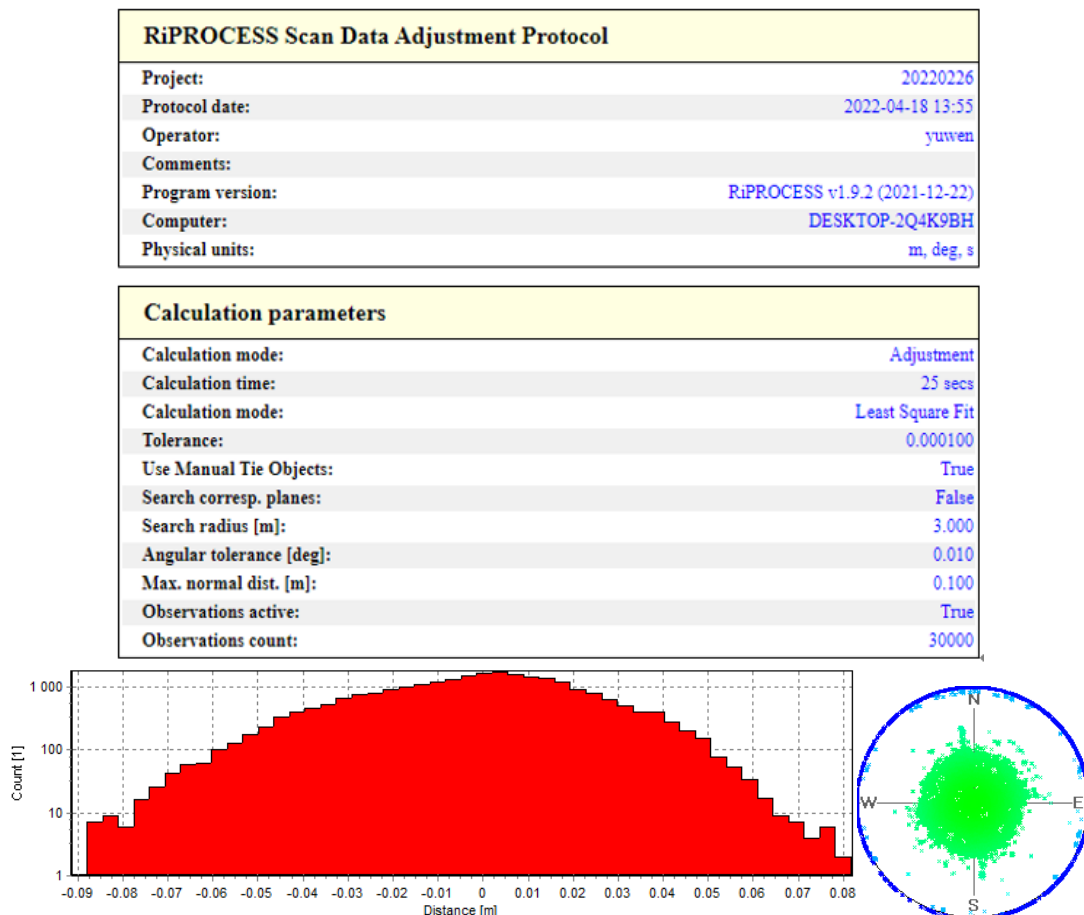


圖4-6、率定解算成果

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	-0.13888	-0.13923
	Pitch	0.21612	0.21675
	Yaw	0.00478	0.00548
	X	0	0
	Y	0	0
	Z	0.162	0.148
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

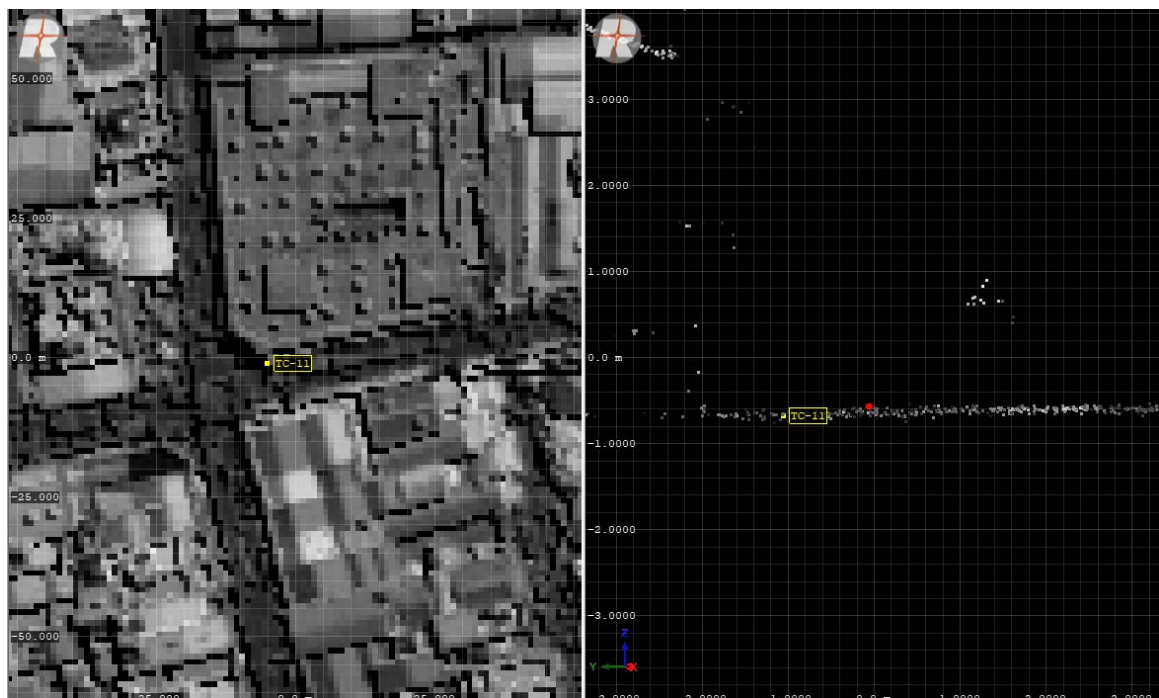


圖4-8、平差解算後控制高程與點雲相對關係

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	66.512	0.055	TC-55	69.05	69.073	0.023
TC-12	66.49	66.513	0.023	TC-61	67.65	67.701	0.051
TC-13	66.49	66.532	0.042	TC-62	68.671	68.724	0.053
TC-14	66.773	66.801	0.028	TC-63	68.595	68.623	0.028
TC-15	67.313	67.362	0.049	TC-64	68.432	68.462	0.03
TC-22	66.984	67.035	0.051	TC-65	68.735	68.737	0.002
TC-23	67.124	67.159	0.035	TC-71	68.685	68.691	0.006
TC-24	67.482	67.512	0.03	TC-72	68.923	68.895	-0.028
TC-25	67.144	67.16	0.016	TC-73	69.58	69.568	-0.012
TC-31	67.239	67.277	0.038	TC-74	71.724	71.732	0.008
TC-32	68.732	68.781	0.049	TC-75	73.052	73.055	0.003
TC-33	67.523	67.584	0.061	TC-81	68.874	68.904	0.03
TC-34	67.578	67.62	0.042	TC-82	69.115	69.126	0.011
TC-35	67.684	67.721	0.037	TC-83	68.996	68.976	-0.02
TC-41	67.401	67.415	0.014	TC-84	70.44	70.421	-0.019
TC-42	67.508	67.519	0.011	TC-85	70.54	70.501	-0.039
TC-43	68.557	68.612	0.055	TC-91	69.353	69.374	0.021
TC-45	68.69	68.698	0.008	TC-92	69.731	69.757	0.026
TC-51	67.552	67.582	0.03	TC-93	69.671	69.669	-0.002
TC-52	67.729	67.773	0.044	TC-94	70.476	70.455	-0.021
TC-53	67.778	67.796	0.018	TC-95	69.957	69.982	0.025
TC-54	68.772	68.812	0.04				
最大差異量(m)	0.061		平均差異量(m)	0.022			
最小差異量(m)	-0.039		中誤差(m)	0.025			

## 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111年02月26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	66.451	-0.039	TC-61	208155.508	2639162.498	67.65
TC-13	66.49	66.492	0.002	TC-62	208193.751	2639026.553	68.671
TC-14	66.773	66.765	-0.008	TC-63	208326.68	2639050.354	68.595
TC-15	67.313	67.333	0.02	TC-64	208382.126	2639163.572	68.432
TC-22	66.984	66.999	0.015	TC-65	208422.563	2639089.747	68.735
TC-23	67.124	67.126	0.002	TC-71	208642.983	2639703.151	68.685
TC-24	67.482	67.466	-0.016	TC-72	208552.808	2639504.445	68.923
TC-25	67.144	67.132	-0.012	TC-73	208702.317	2639570.518	69.58
TC-31	67.239	67.213	-0.026	TC-74	208793.984	2639721.454	71.724
TC-32	68.732	68.806	0.074	TC-75	208873.474	2639523.2	73.052
TC-33	67.523	67.519	-0.004	TC-81	208532.635	2639420.383	68.874
TC-35	67.684	67.632	-0.052	TC-82	208569.934	2639306.531	69.115
TC-41	67.401	67.438	0.037	TC-83	208593.74	2639380.069	68.996
TC-42	67.508	67.533	0.025	TC-84	208764.19	2639457.115	70.44
TC-43	68.557	68.571	0.014	TC-85	208848.948	2639295.117	70.54
TC-45	68.69	68.699	0.009	TC-91	208606.992	2639212.409	69.353
TC-52	67.729	67.743	0.014	TC-92	208687.352	2639023.726	69.731
TC-53	67.778	67.772	-0.006	TC-93	208692.83	2639145.97	69.671
TC-55	69.05	69.047	-0.003	TC-94	208887.055	2639194.414	70.476
				TC-95	208802.281	2639016.549	69.957
最大差異量(m)	0.074		平均差異量(m)	-0.005			
最小差異量(m)	-0.052		中誤差(m)	0.024			

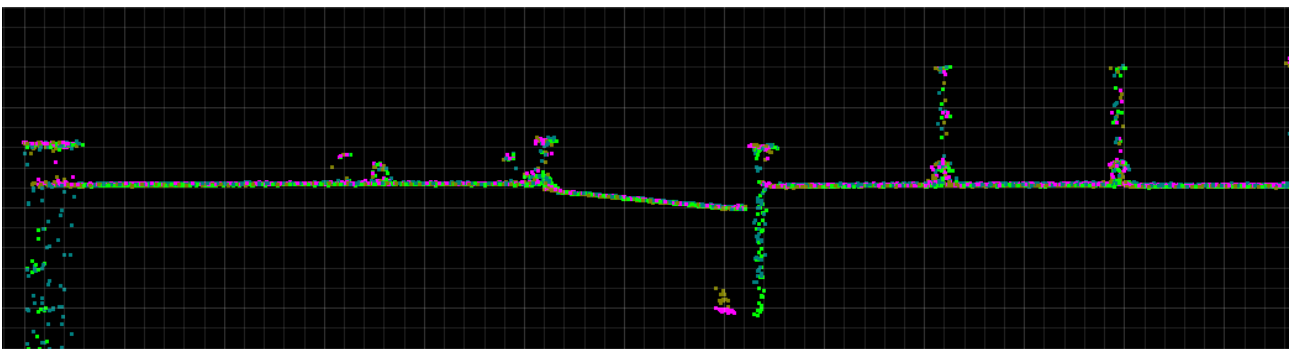


圖4-9、確認飛行率定成果

## 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

詮華航空公司航空攝影記錄表												
委託機關:												
預劃執行	1111 光達掃			航拍設備	<input checked="" type="checkbox"/> VQ1560 <input type="checkbox"/> AOS ONE <input checked="" type="checkbox"/> IXU <input type="checkbox"/> DMCMIII	航空器	<input checked="" type="checkbox"/> B23062 <input type="checkbox"/> B23063	飛行人員	萬義昌 范震中	領航人員	何吳根	
氣溫	27	氣壓	1007	SSD硬碟編號	C1C2	離場時間	7:05:00	到場時間	9:17:00	共耗時	2:12:00	
航線編號	GPS高度(呎)	航向(度)	航速(kts)	剩餘片量	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
111LiDAR_A05							2*155	2*40	50			
92	10527	180	90	0755	0806					320		15%雲量，航線北面
91	10534	360	93	0811	0823					313		15%雲量，航線北面
111LiDAR_A01							2*155	2*40	50			
14	8202	90	89	0831	0841					162		20%雲量

(2) 儀器安裝：VQ1560II 光達儀器與 Phase One IXU-1000(焦距 70mm)相機整併於詮華航空自有載具 Cessna Grand Caravan 208。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

(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。

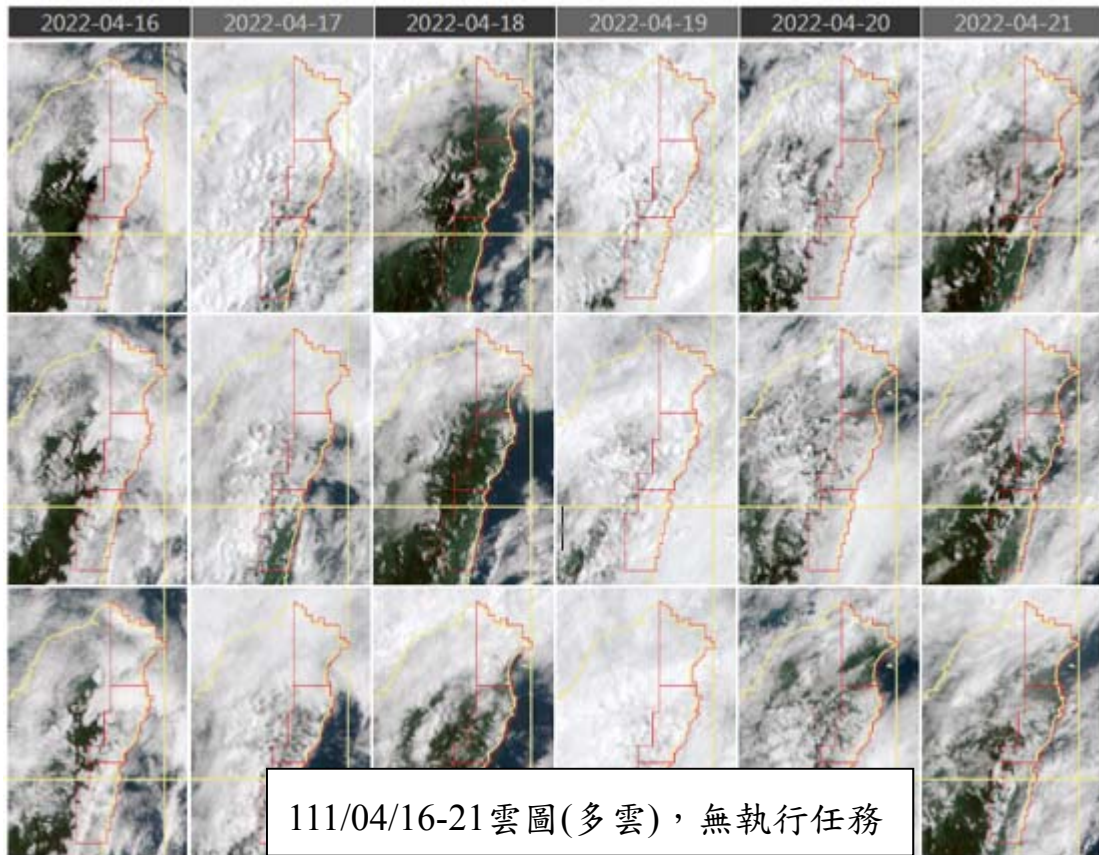


圖 4-11、中央氣象局衛星雲圖

## 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23架次(不包含起飛後至測區已起雲等狀況)，原規劃里程約為3,589公里，含補雲以及重複拍攝兩次以上的航線里程數總計為4,165公里，補雲航線約占原航線16%，每架次執行約181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

第三作業區航帶掃描日期		
架次編號	執行時間	拍攝航帶
P10M03-2022030410	2022/03/04 10:01~11:17	1、2、3、5、6
P10M03-2022030809	2022/03/08 09:55~10:59	5、6、7、8、9、10、11、12
P10M03-2022031113	2022/03/11 13:30~14:02	20、7、8
P10M03-2022031210	2022/03/12 10:49~10:54	104
P10M03-2022031309	2022/03/13 09:08~10:14	9、10、11、12、13
P10M03-2022031508	2022/03/15 08:24~09:10	401、400、403、402
P10M03-2022031608	2022/03/16 08:54~10:26	93、94、95、96、97、98、99、 100、101、102、103、104
P10M03-2022060407	2022/06/04 07:54~08:41	92、91、14
P10M03-2022060607	2022/06/06 07:46~10:35	15、19、18、17、16、 30、31、21、22、23、24
P10M03-2022061407	2022/06/14 07:49~10:25	37、36、35、34、33、32、29、28、27、24、 800、801、802
P10M03-2022061907	2022/06/19 07:54~10:51	26、25、404、92、71、 72、73、74、75、78、79
P10M03-2022062007	2022/06/20 07:32~09:30	38、39、40、41、42、43、44、45
P10M03-2022062207	2022/06/22 07:58~10:04	803、806、804、805、807、808、809、810、 407、406、405
P10M03-2022062307	2022/06/23 07:35~09:46	46、47、48、49、50、51、52、811、810、57
P10M03-2022062407	2022/06/24 07:32~10:34	901、902、903、904、905、906、909、910、 908、907、915、916、917、66、67、68、69、 70、58、65、64
P10M03-2022062507	2022/06/25 07:12~09:33	910、911、912、913、14、915、918、53、 54、55、56
P10M03-2022070607	2022/07/06 07:18~08:41	76、80、81、82
P10M03-2022070807	2022/07/08 07:11~08:40	77、83、84、85、86
P10M03-2022070907	2022/07/09 07:07~09:57	87、88、89、90、86、63、62、 61、60、59、45
P10M03-2022071707	2022/07/17 06:58~08:52	79、75、919、920、921、922、923、924、 925、926、927、928、929、930、931
P10M03-2022072907	2022/07/29 07:05~08:40	927、944、943、940、942、941、939、938、 937、934、933、936、935、932
P10M03-2022092807	2022/09/28 07:26~07:29	950
P10M03-2022100207	2022/10/02 07:03~08:09	945、949、952、953、951、948、946、947
點雲:1-112(正規航線)、801以上(潮間帶)、 401以上(交叉航線)、901以上(補雲航線)		

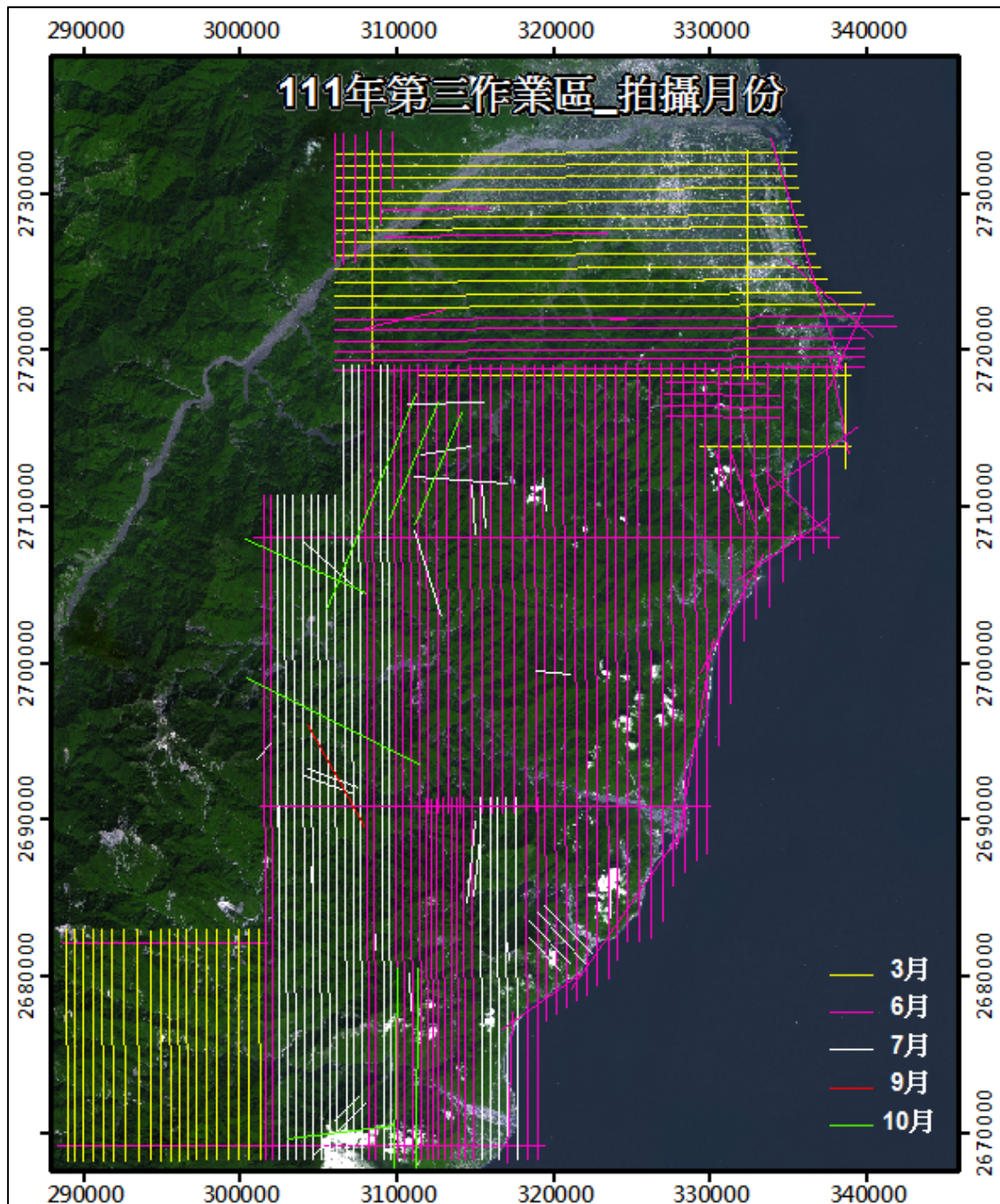


圖4-13、航線掃瞄月份

#### 4. 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 P10M03-2022031508 架次光達掃瞄系統 GNSS 開機時間為 2022/03/15 08:24~09:10，GNSS 開機時間為 2022/3/15 00:00~2022/3/15 23:59 (Local Time = GMT + 8h)，如圖 4-14 可知 GNSS 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					20220414 09:18:33UTC	PGM / RUN BY / DATE			
NAAO						MARKER NAME			
NAAO						MARKER NUMBER			
CWB/Taiwan	CWB/Taiwan					OBSERVER / AGENCY			
5742R51315	TRIMBLE NETR9				5.37	REC # / TYPE / VERS			
1441100461	TRM57971.00				SCIT	ANT # / TYPE			
-3062256.3271	4936948.4080	2623681.9711				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								
2022	3	15	0	0	0.000000	GMT			
2022	3	15	23	59	59.000000	TIME OF FIRST OBS			
						TIME OF LAST OBS			
						END OF HEADER			

圖 4-14、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4-15所示(P10M03-2022031508架次)。

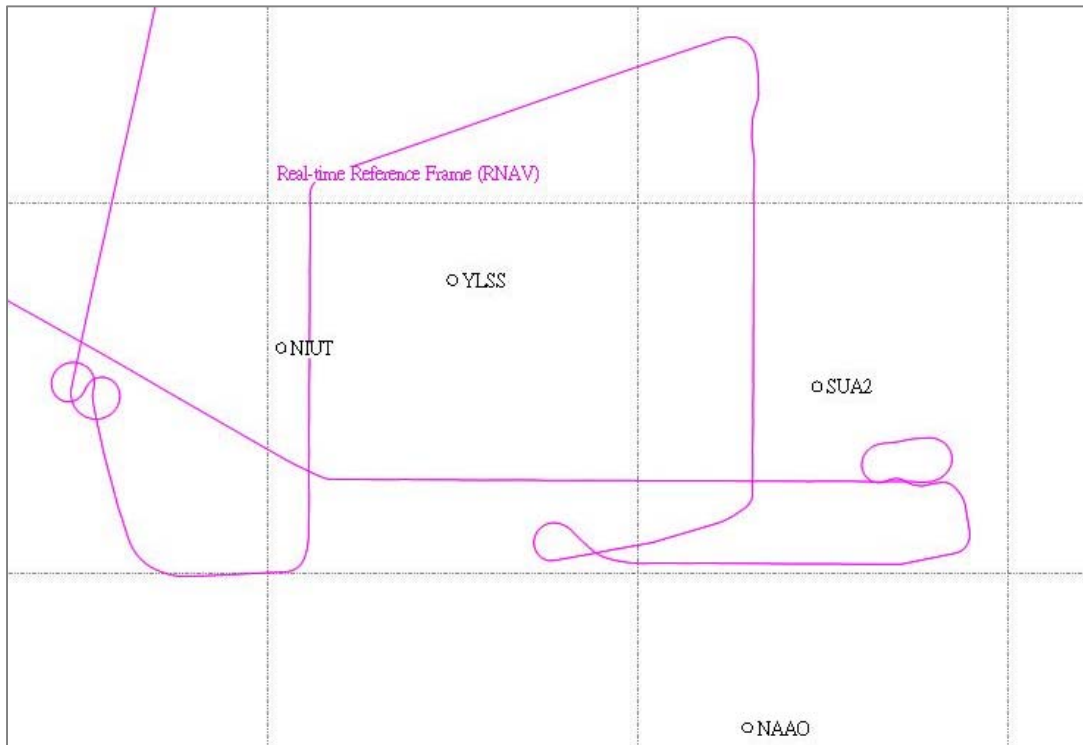


圖4-15、基站與航線軌跡距離

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4-16。

22	3	15	0	0	0.0000000	0	8G10G31G25G22G29G26G16G32
121056459.094	7	94329681.234	6	23036280.203	23036289.141		
23036288.973		44.100		41.300			
111545627.848	7	86918631.753	7	21226422.867	21226427.906		
21226427.164		45.100					
117646269.403	6	91672322.632	7	22387320.281	22387330.46		
22387330.227		39.000		42.300			
109264950.723	7	85141502.85845	20792	28.406			
20792433.078		45.900					
121226455.150	6	94462256.822	6	23068648.281	23068655.59		
23068655.031		40.400		39.200			
109845895.829	7	85594217.529	7	20902900.520	20902900.520		
20902996.117		45.100		46.900			
125005299.964	6	97406757.69843	237877	18.391			
23787724.309		36.400		18.300			
107263762.283	8	83582149.710	8	20411614.875	20411622.516		
20411622.227		49.300		49.200			
22	3	15	0	0	1.0000000	0	8G10G31G25G22G29G26G16G32
121059854.602	7	94332327.082	6	23036926.703	23036935.074		
23036935.270		44.600		41.100			

間距1秒1Hz

圖4-16、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4，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4-17、圖4-18所示(架次P10M03-2022031508之成果)  $PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2}$ ，本次作業執行成果皆符合規定。

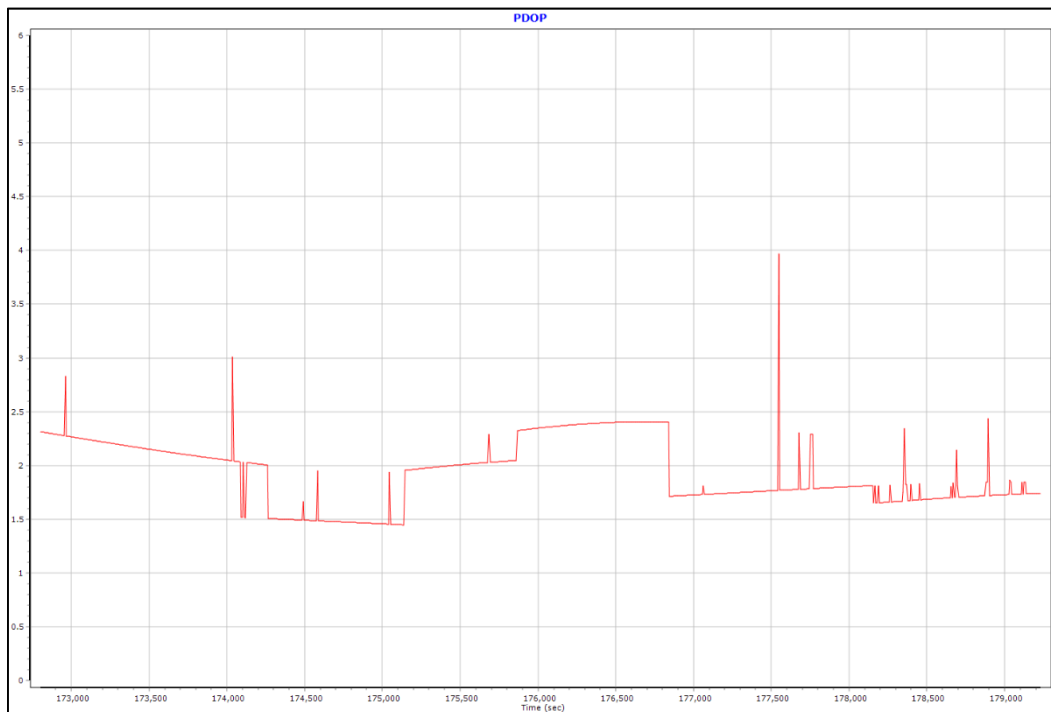


圖4-17、基站NAAO\_PDOP值

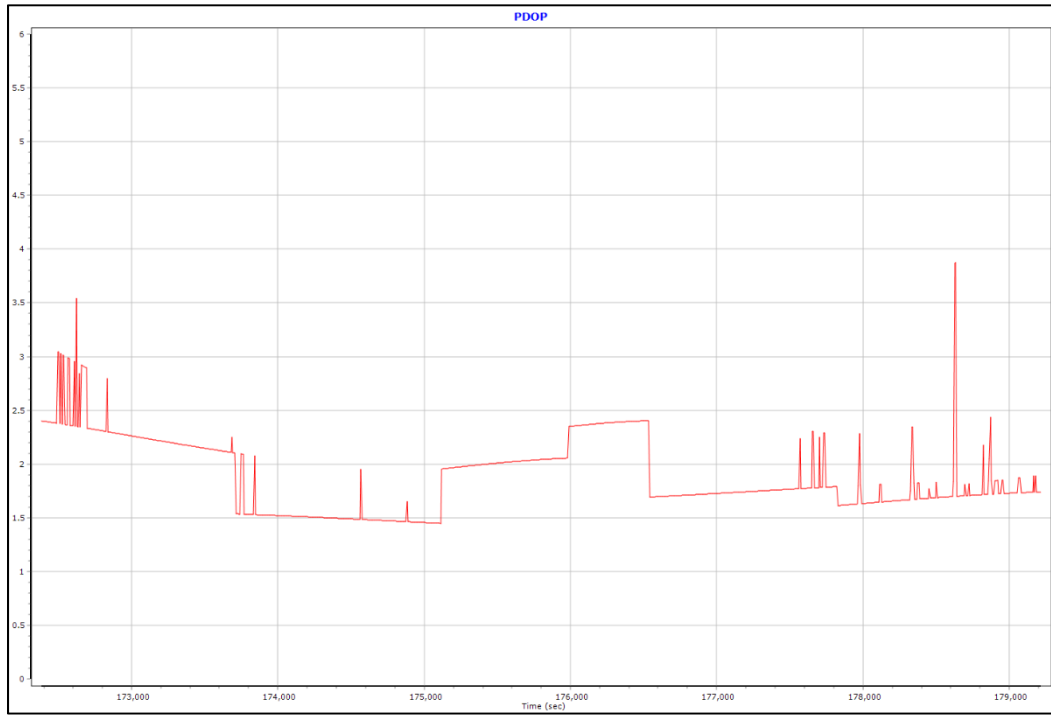


圖4-18、機載GNSS\_PDOP值

### 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4-19為點雲解算產製處理流程圖。

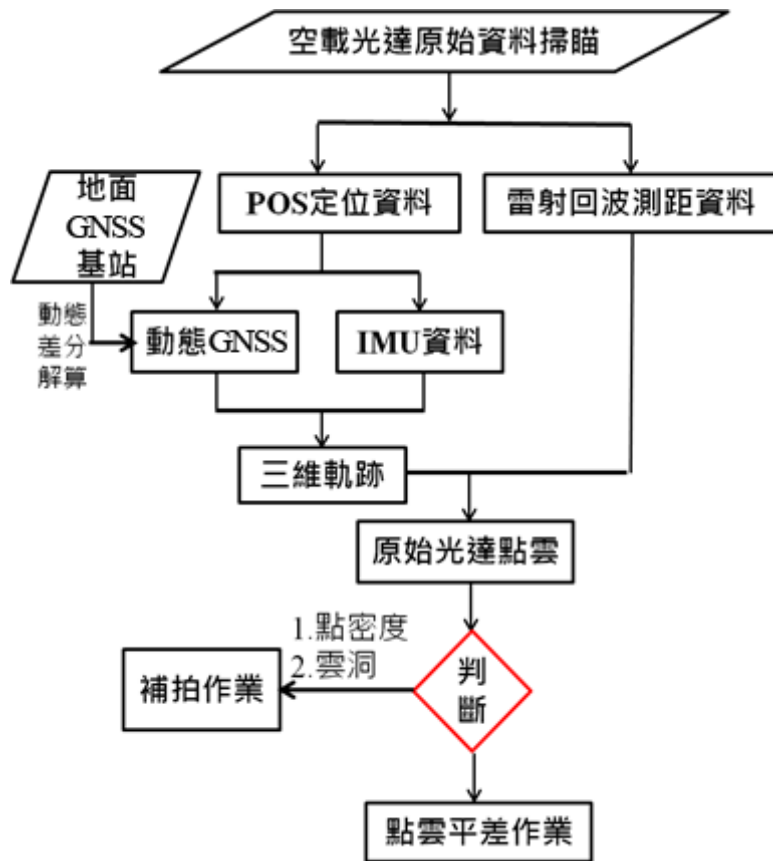


圖4-19、空載光達掃瞄資料作業流程圖

#### 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 4-20。

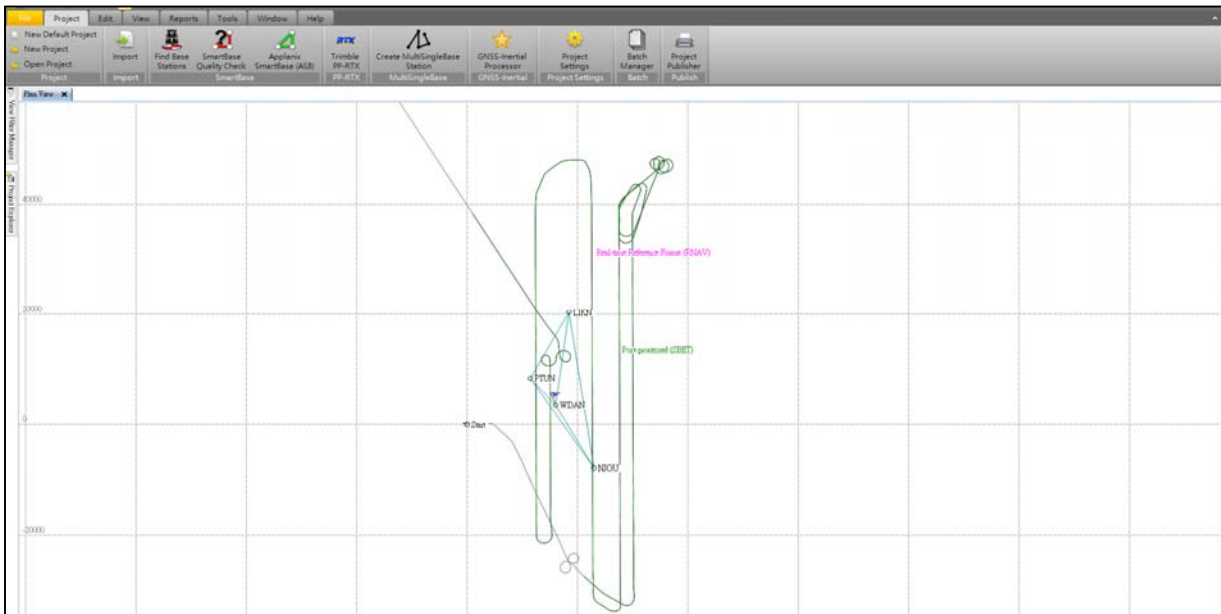


圖 4-20、飛航掃瞄軌跡解算

### 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4-21為本案飛航掃瞄成果圖。

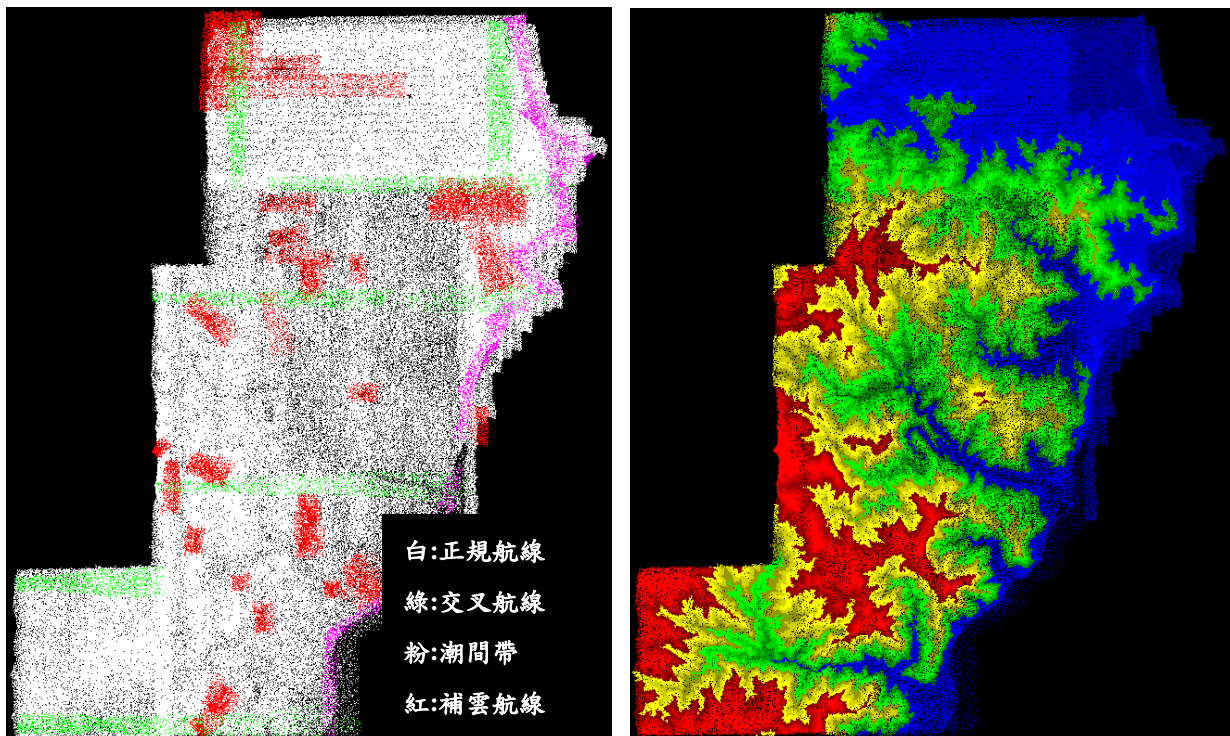
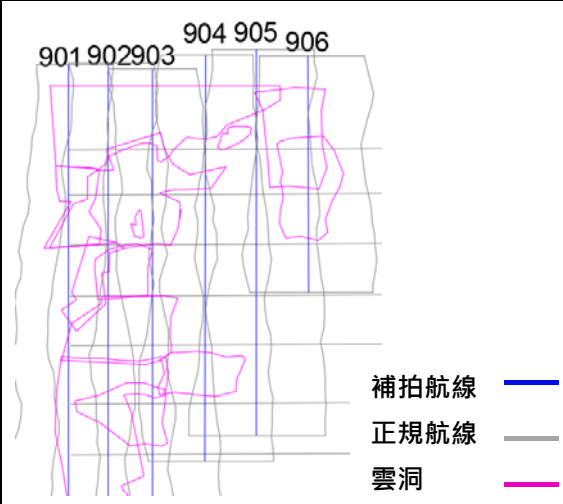
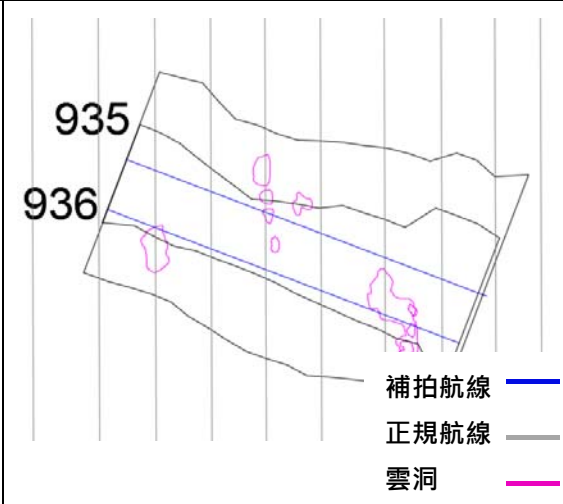
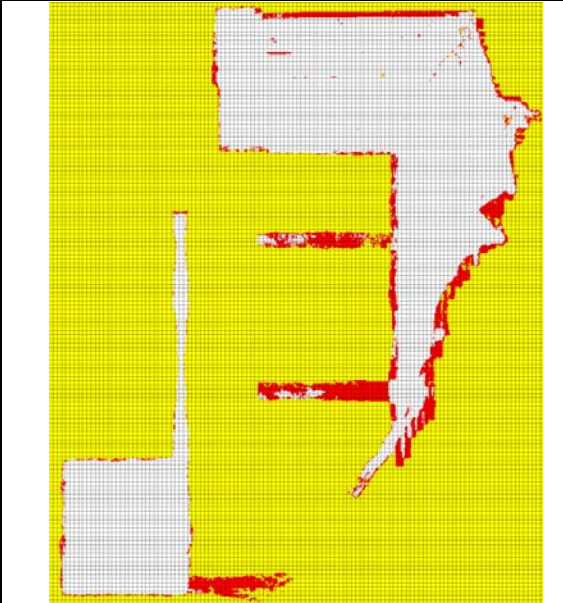
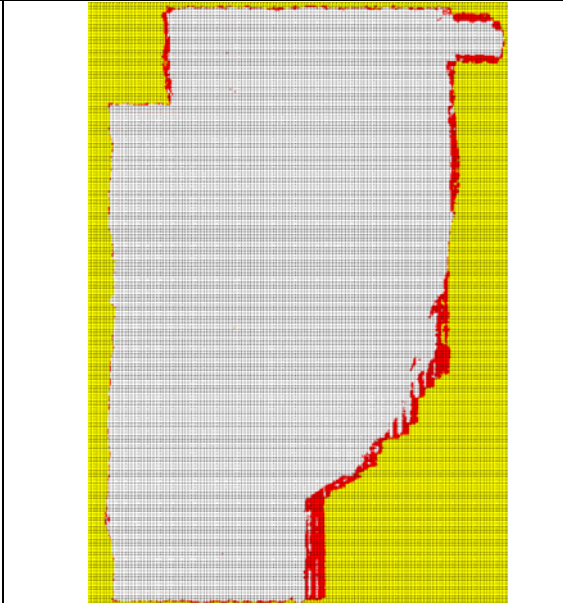


圖 4-21、本案點雲涵蓋圖(左:航帶顯色；右:高程顯色)

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5.15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0.3%，大於2點/m<sup>2</sup>約99.7%。第二子測區密度成果扣除水域後測區內平均點密度為7.33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>補拍航線 ———— 藍色</p> <p>正規航線 ———— 灰色</p> <p>雲洞 ———— 粉紅色</p>	 <p>補拍航線 ———— 藍色</p> <p>正規航線 ———— 灰色</p> <p>雲洞 ———— 粉紅色</p>
點密度檢核		

#### 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4-22。

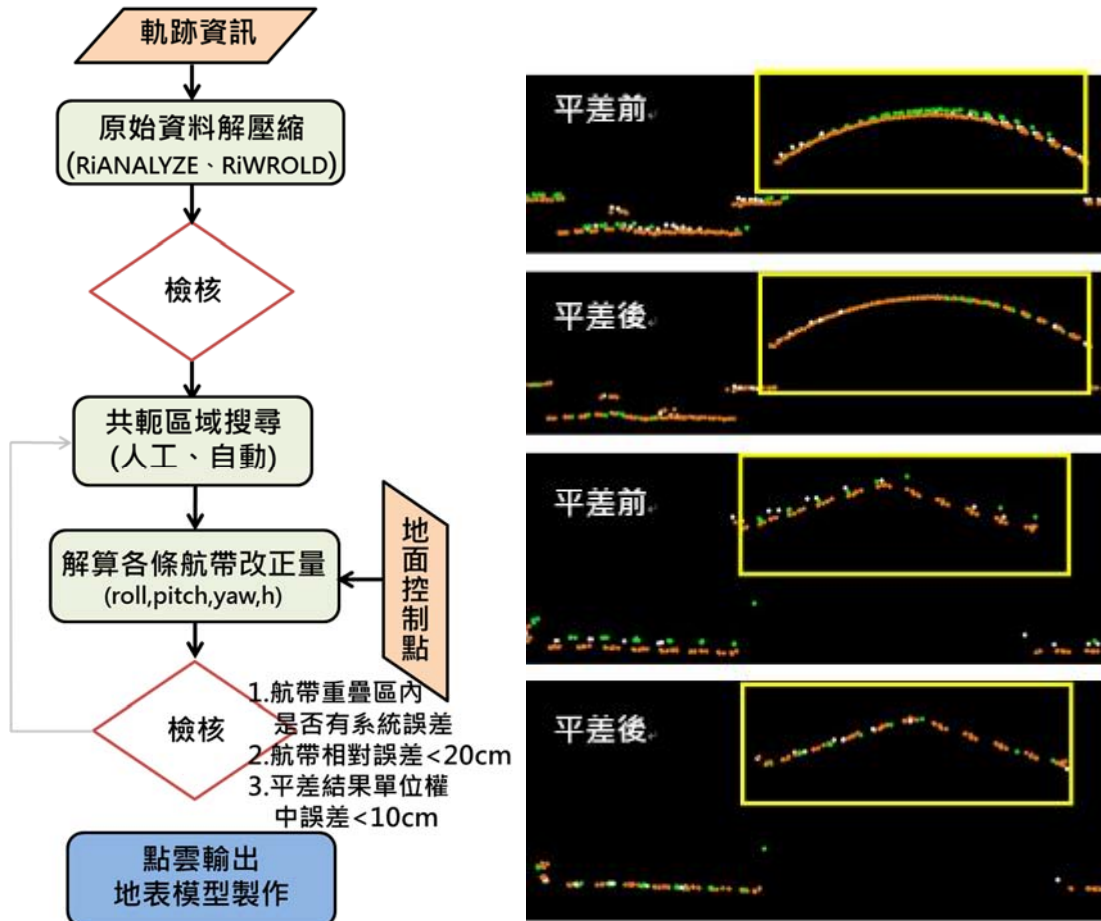


圖 4-22、航帶平差作業流程

#### 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軛點，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軛特徵，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，無法直接取得共軛點位(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軛點的相對高程差，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4-23，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

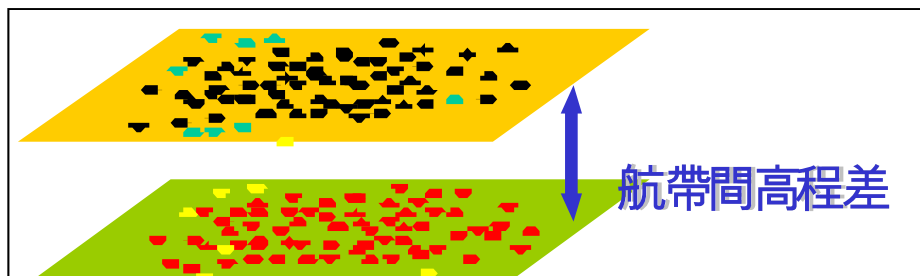


圖 4-23、推求兩航帶內某共軛點的相對高程差示意圖

#### 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，本作業區考量地型及飛行安全，測區北邊區域飛行方向採東西向，其餘地區飛行採南北向，因此平差作業的劃分依航線飛行區塊劃分。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 4-24 為本作業區分區航帶平差區塊。

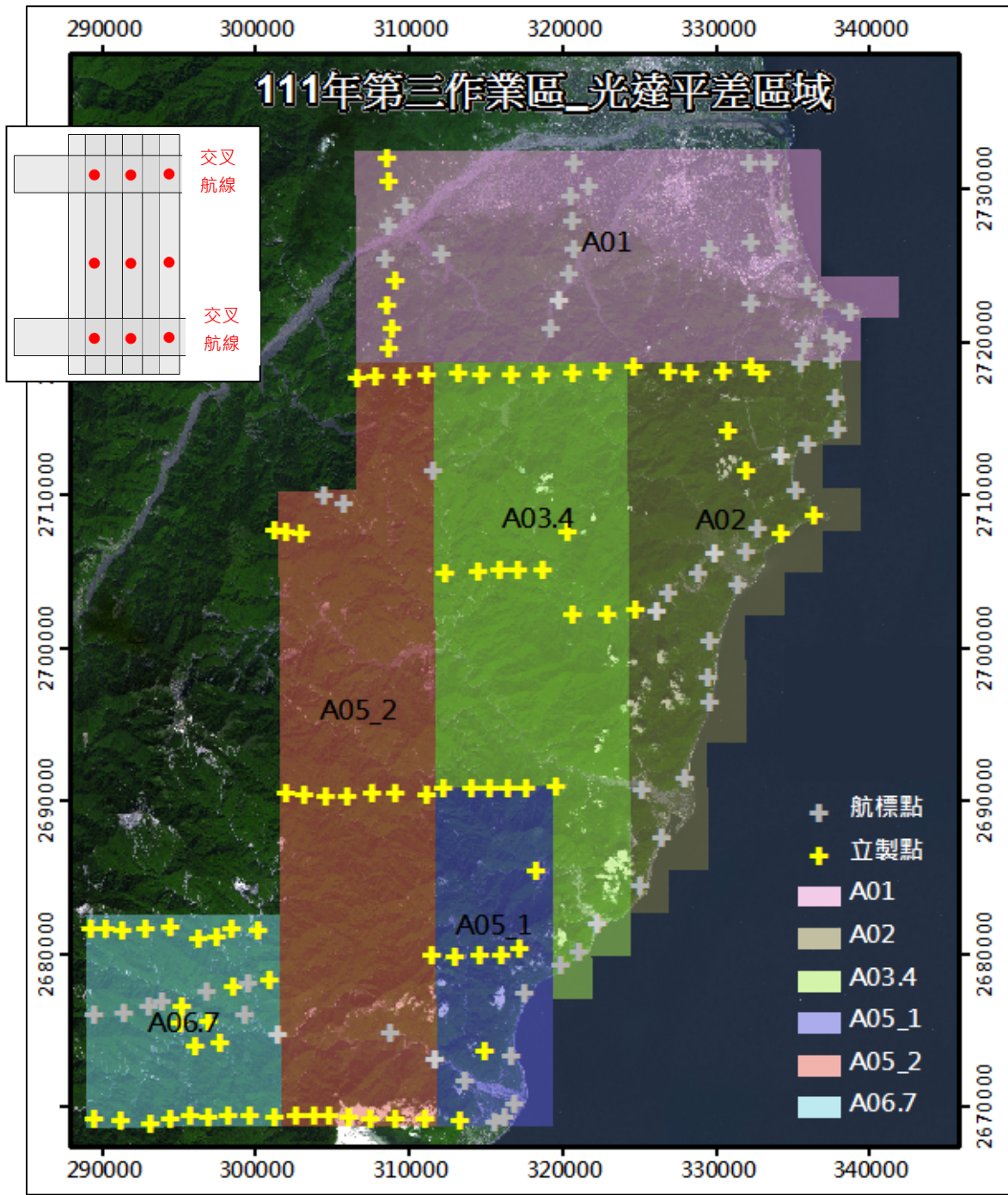


圖 4-24、點雲分區航帶平差

#### 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  $(X, Y, Z)_{control}^{T_{ground}}$  為測得之地面點坐標， $(X, Y, Z)_{position}^{T_{aircraft}}$  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  $(X, Y, Z)_{position}^{T_{aircraft}}$ 、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4-25所示。

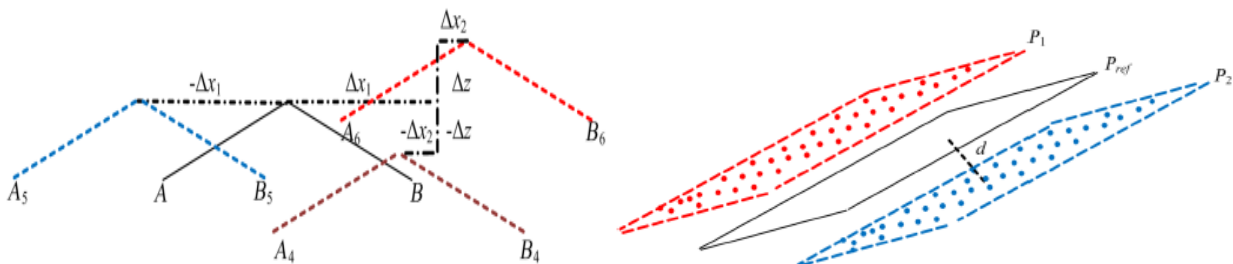


圖4-25、搜尋Tie Plane進行計算改正值(Dong Li, 2016)

#### 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。

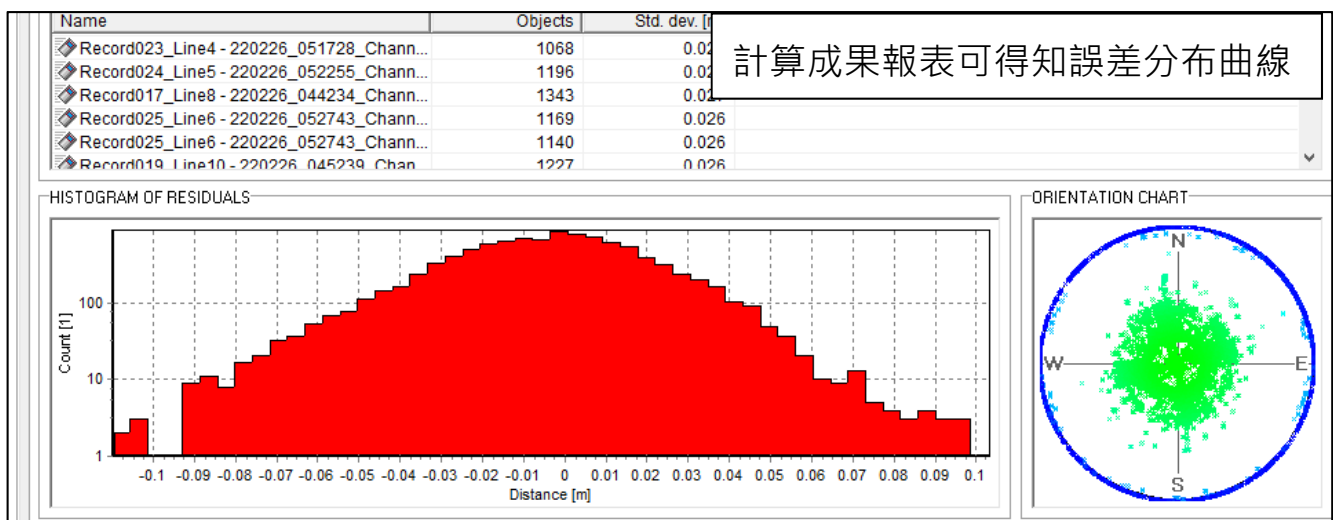


圖4-26、Scan data adjustment解算及成果報表

#### 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4-27。

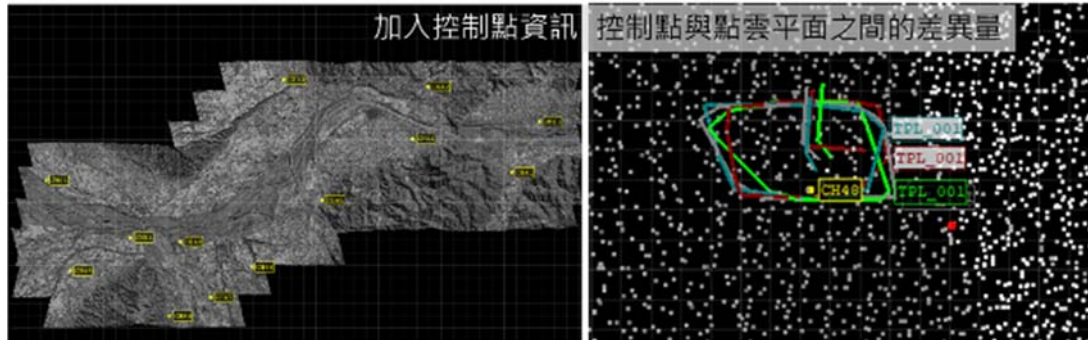


圖 4-27、加入控制點解算

#### 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軛點誤差之平均數，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  
 $x$  為共軛點誤差

標準誤差(Standard Deviation)指的是航帶中共軛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)指的是航帶中共軛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4-28所示。

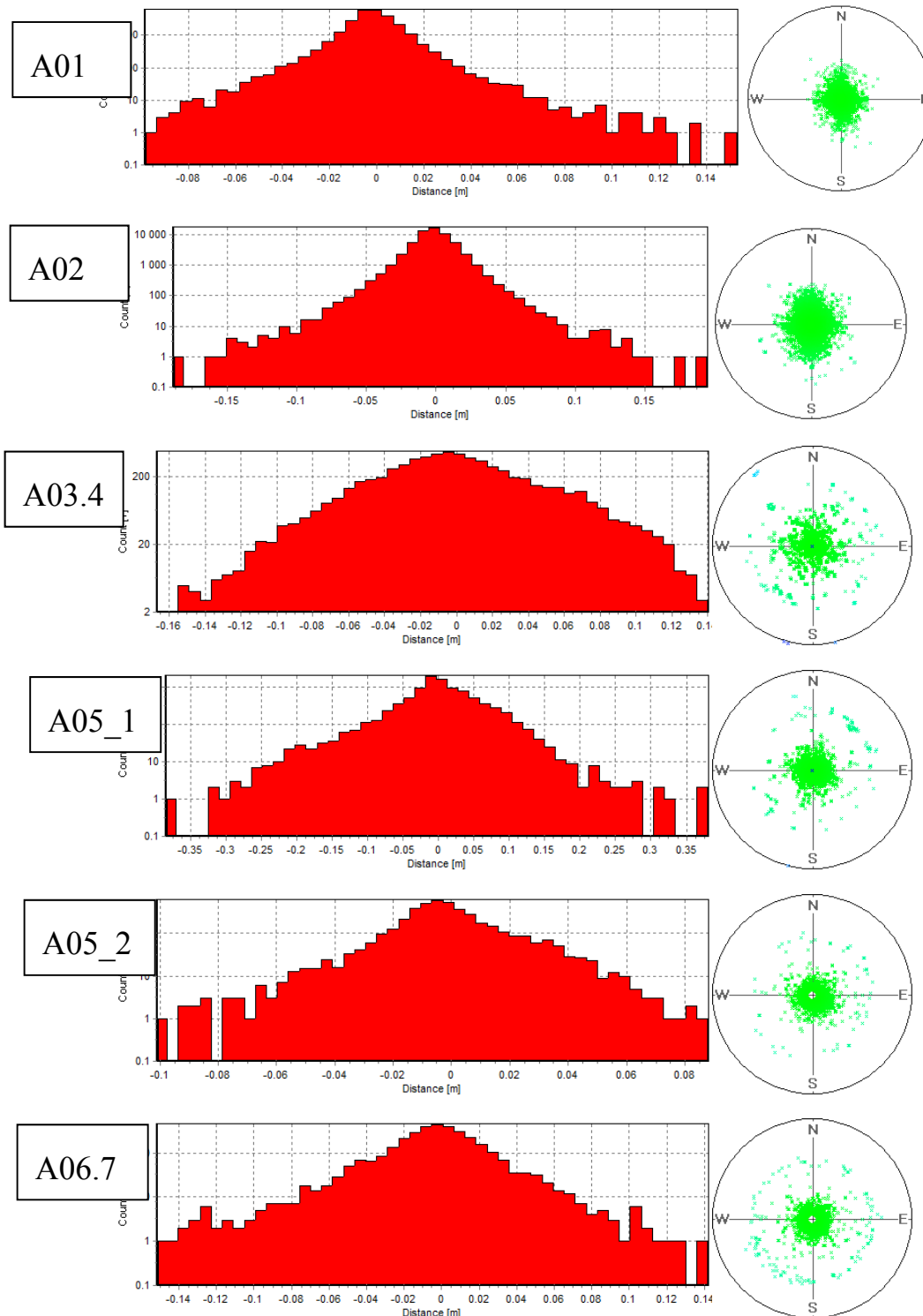


圖4-28、本案平差成果

#### 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4-29所示，比較屋角點與最鄰近的點雲差值，其平均差值為29.7公分，標準偏差為17.3公分。

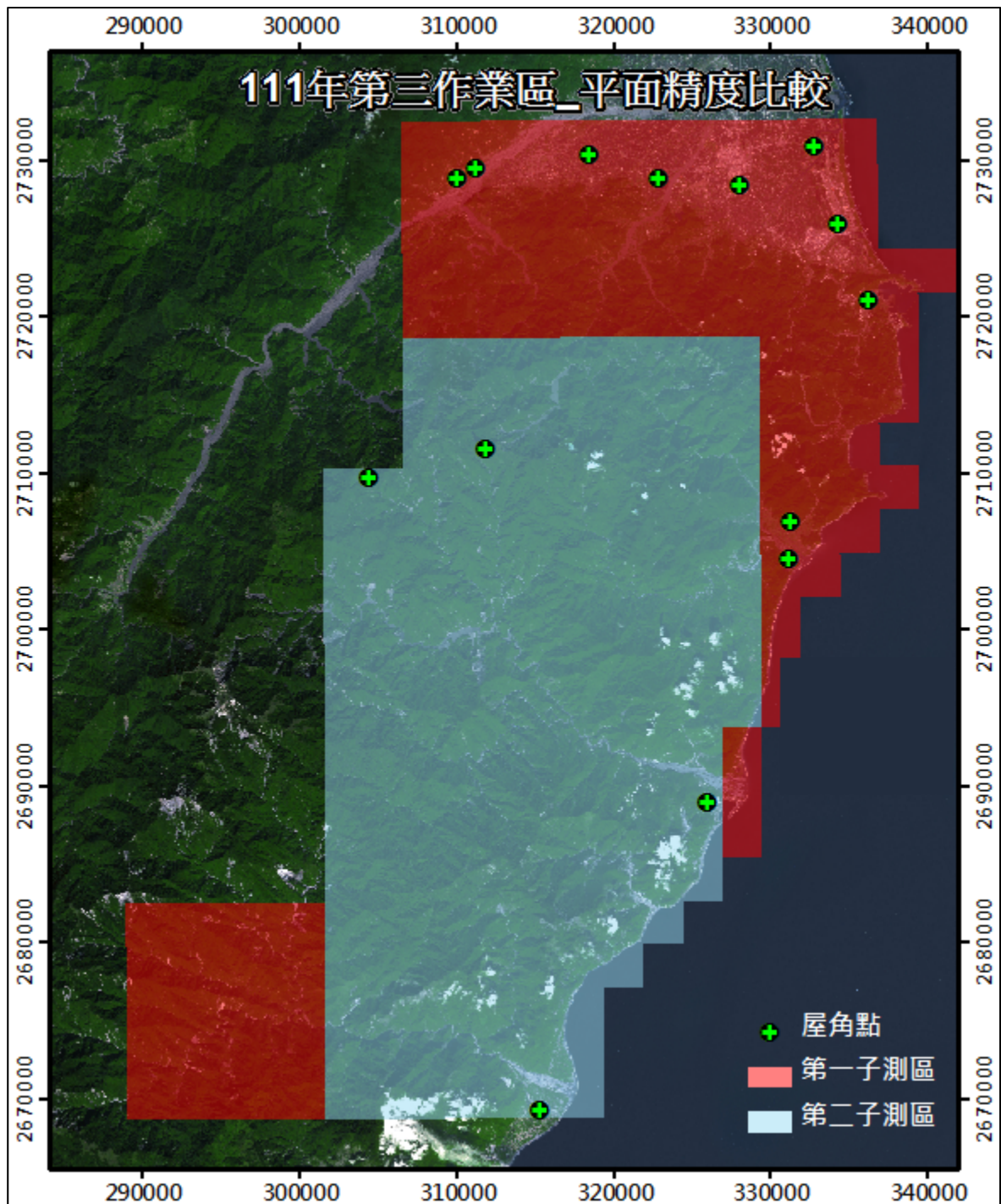


圖 4-29、平面精度比較位置分布圖

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
63-B01	311157.5	2729500	311157.719	2729500	-0.22	0.38	0.45
63-B02	310011.8	2728863	310011.967	2728863	-0.20	0.02	0.20
63-B03	304394.7	2709723	304394.135	2709724	0.58	-0.48	0.75
63-B04	311890.8	2711597	311890.9	2711596	-0.06	0.19	0.20
63-B05	318409.8	2730390	318409.859	2730390	-0.04	-0.08	0.09
63-B06	322856.5	2728837	322856.406	2728837	0.11	0.13	0.17
63-B07	328076.2	2728450	328075.902	2728450	0.31	0.09	0.32
63-B08	315256.3	2669351	315256.333	2669351	-0.02	0.13	0.13
63-B09	326031.5	2689077	326031.091	2689077	0.38	-0.06	0.38
63-B10	331212.5	2704579	331212.691	2704579	-0.21	0.13	0.25
63-B11	331298.7	2706979	331299.015	2706979	-0.30	0.18	0.35
63-B12	336284.3	2721077	336284.451	2721076	-0.19	0.41	0.45
63-B13	334266.1	2725923	334266.305	2725923	-0.20	-0.08	0.22
63-B14	332817.7	2730890	332817.831	2730889	-0.10	0.17	0.20
最大水平差量		0.75		最小水平差量		0.09	
標準偏差	0.17	平均水平差量	0.30	均方根誤差	0.16	單位:m	

## 2. 高程相對精度評估

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。扣除沿岸水域區塊高程差值計算結果航帶間相對高程平均差值第一子測區為8.5公分，第二子測區為7.9公分。

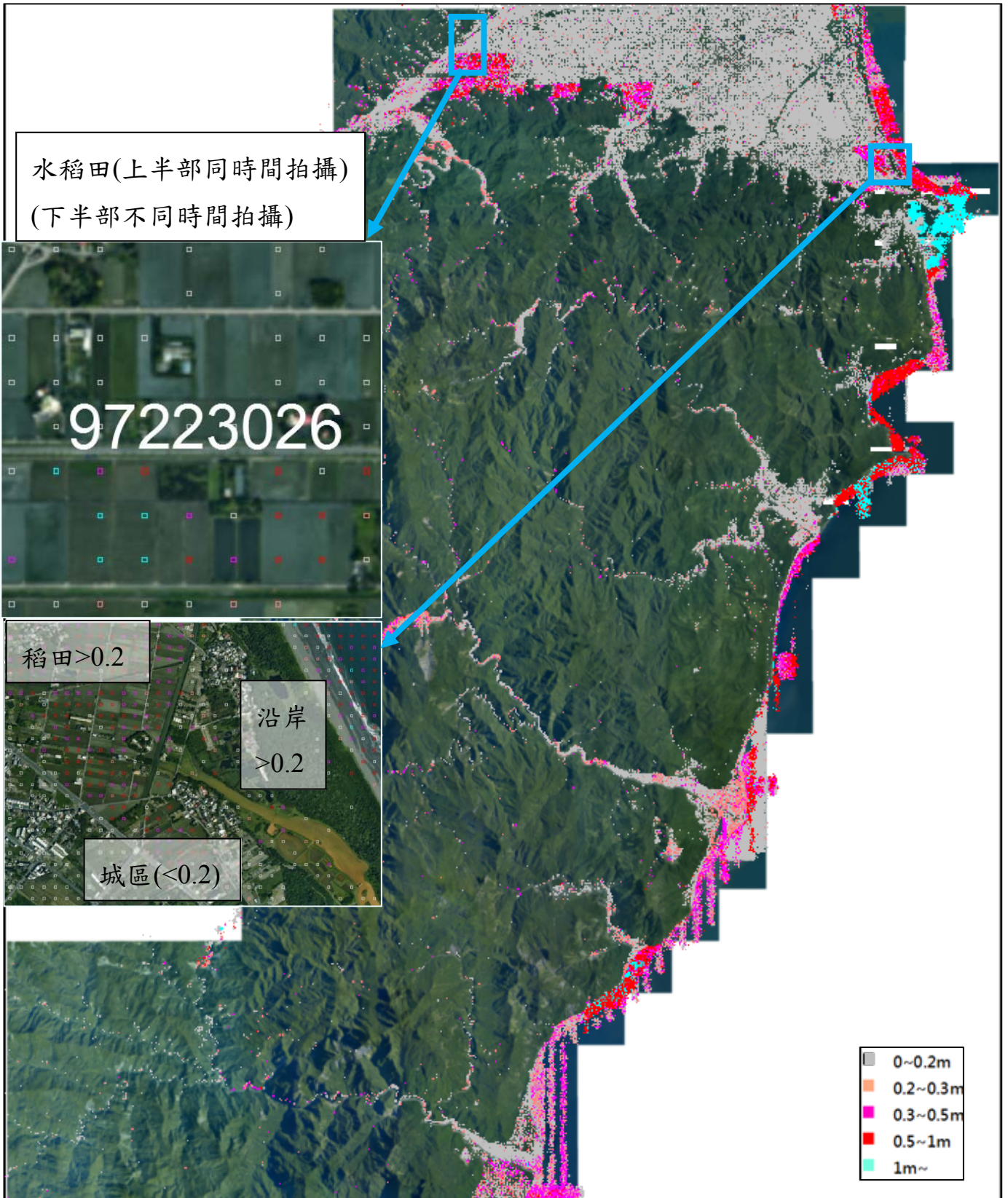


圖4-30、航帶平差誤差分布圖

## 4.5 DEM/DSM 製作

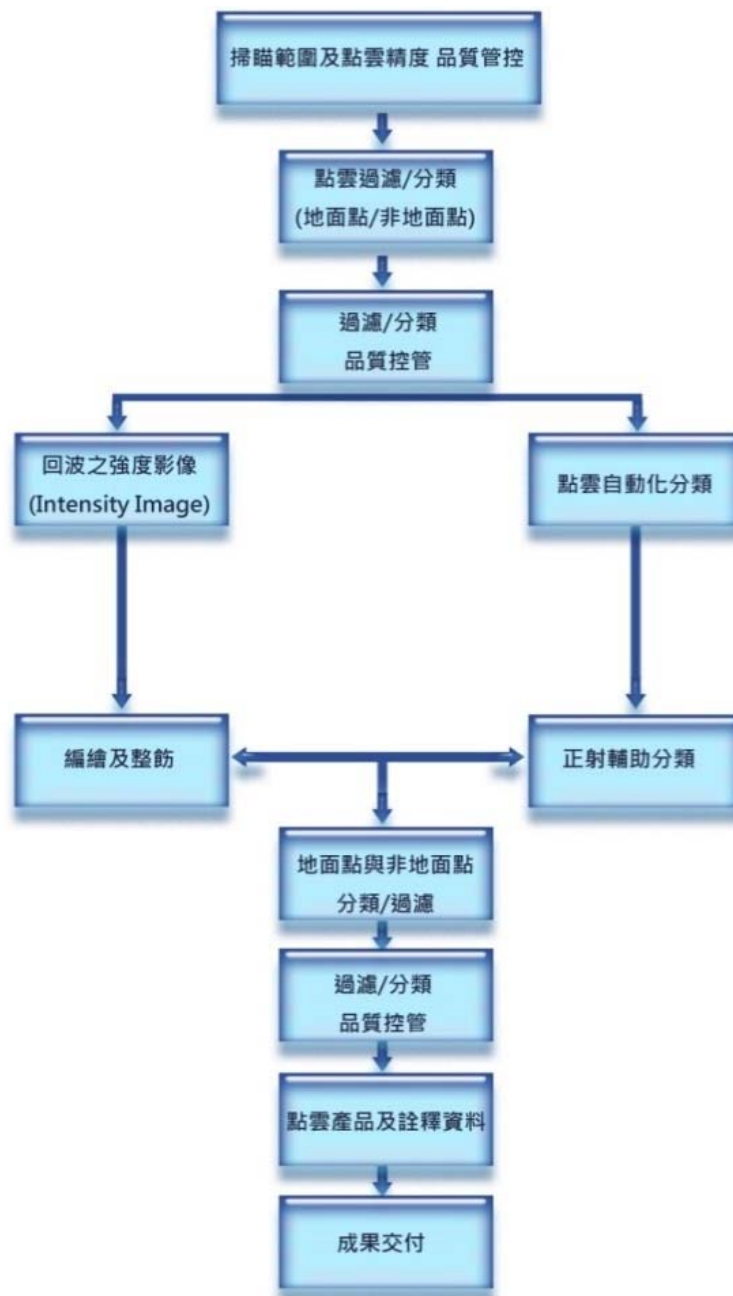


圖 4-31、點雲後處理作業流程圖

### 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4-32。

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

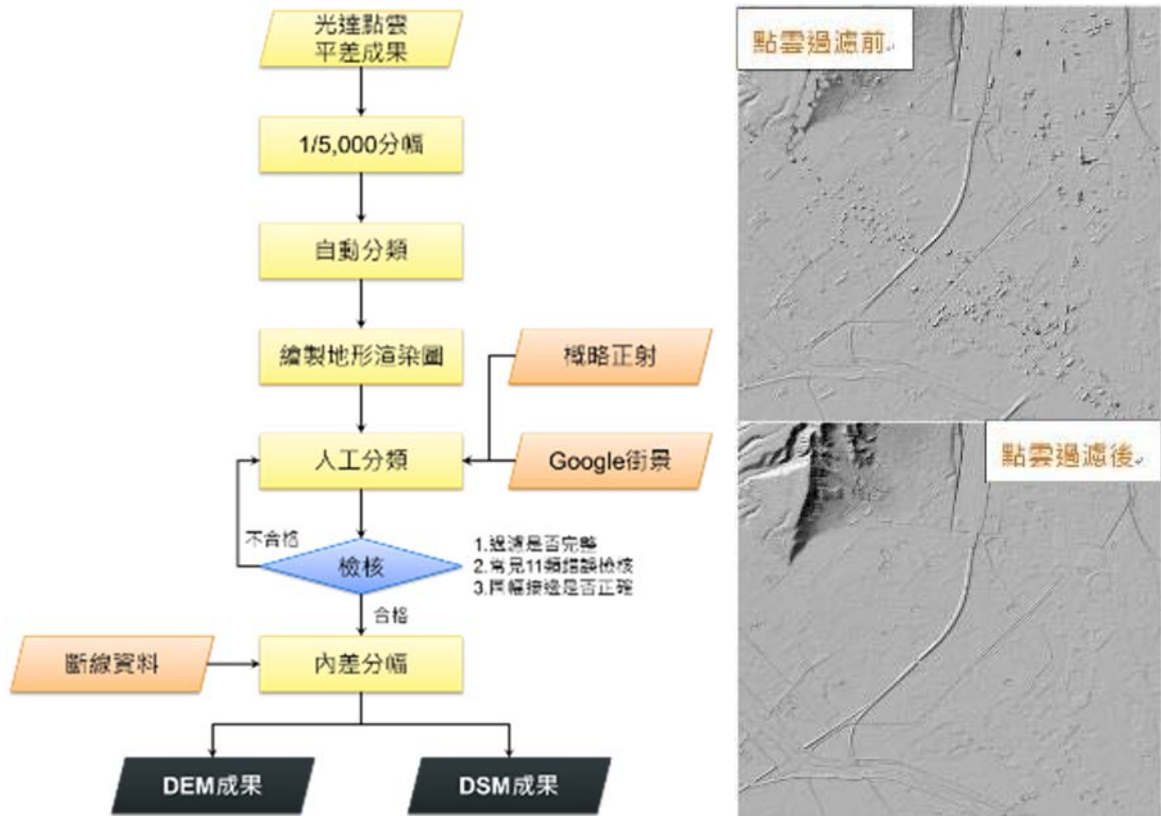


圖 4-32、DEM、DSM 製作流程

### 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 4-33，可預先設定門檻值當成判斷的標準。

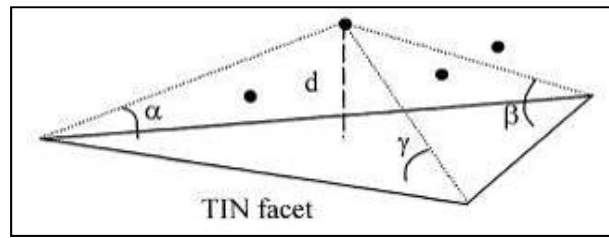


圖4-33、過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000)

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 4-34 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 4-35 所示。

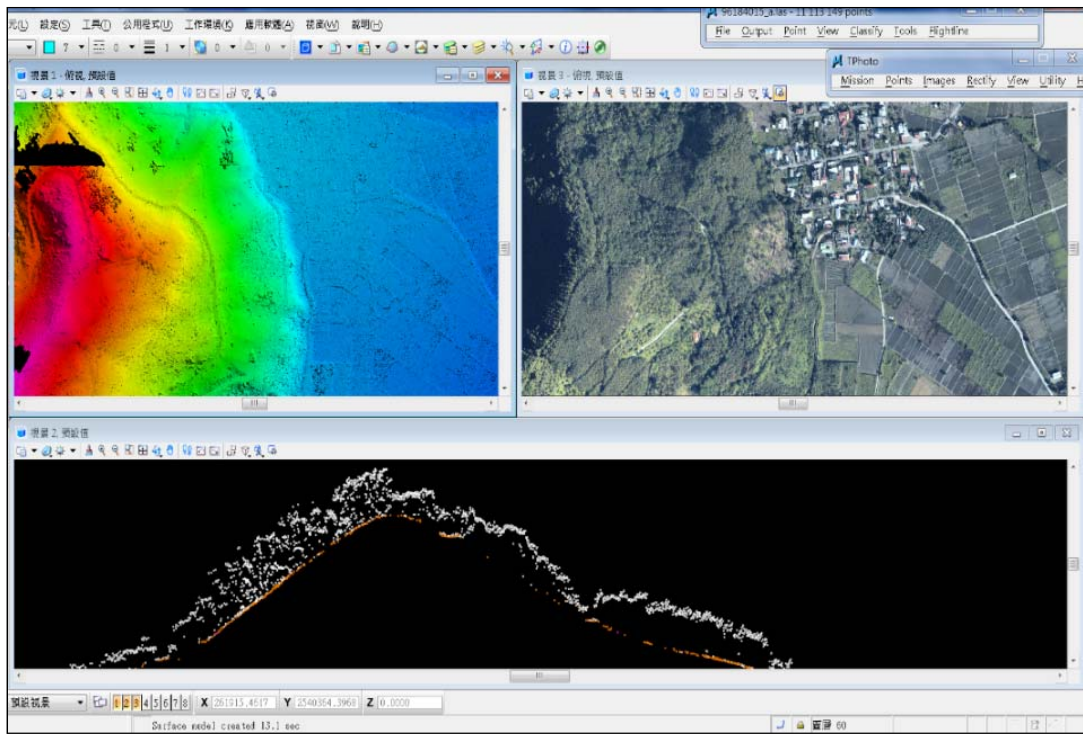


圖4-34、人工檢視編修界面

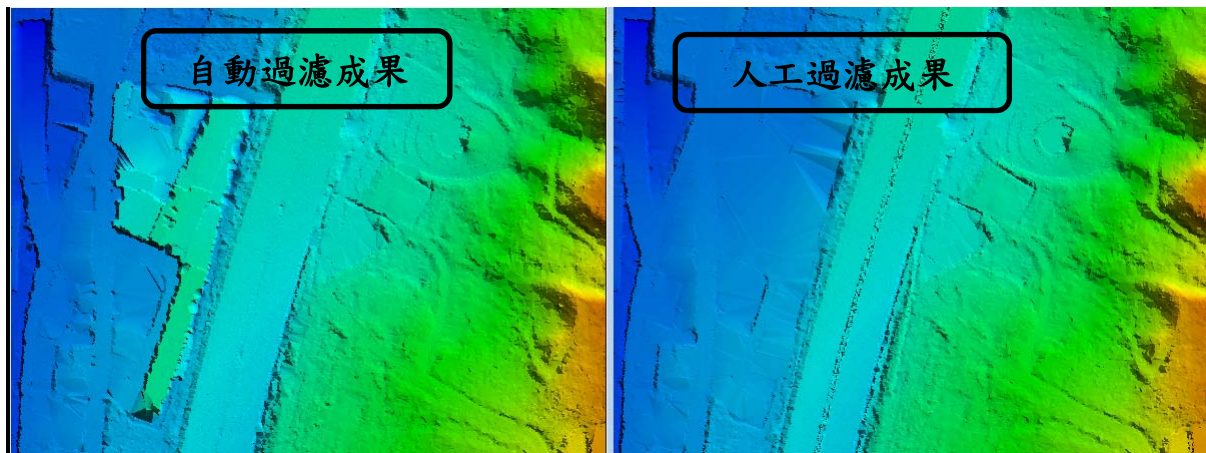


圖4-35、過濾非地面點後之成果

由於目前空載光達儀器能量強，掃描成果會有部分離地物接近的雜點存在，可使用TerraSolid軟體中Isolated points功能分類出此類型雜點，降低接近地物高點的問題，如圖4-36所示。



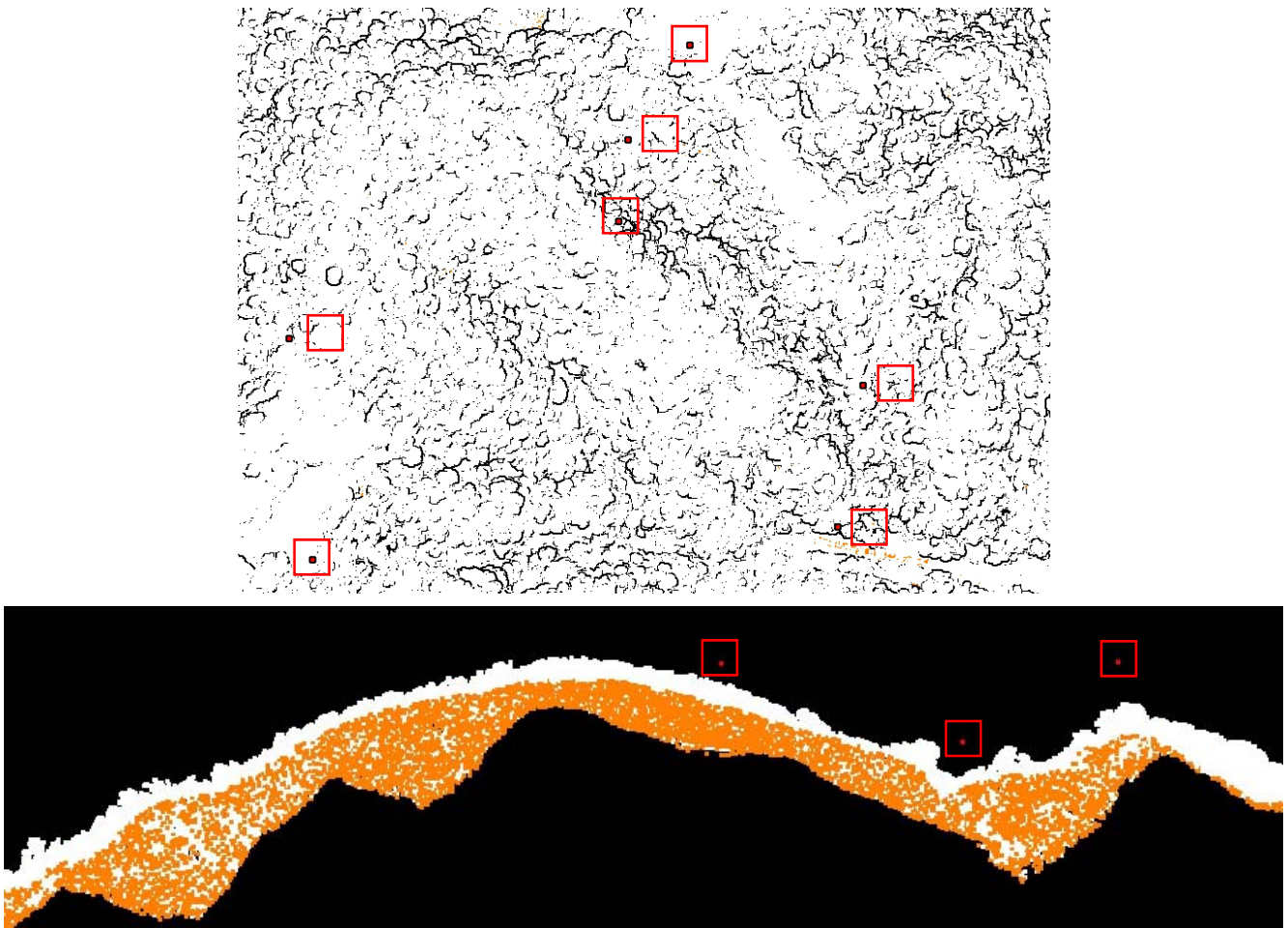


圖4-36、過濾接近地物的雜點

### 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4-37所示。

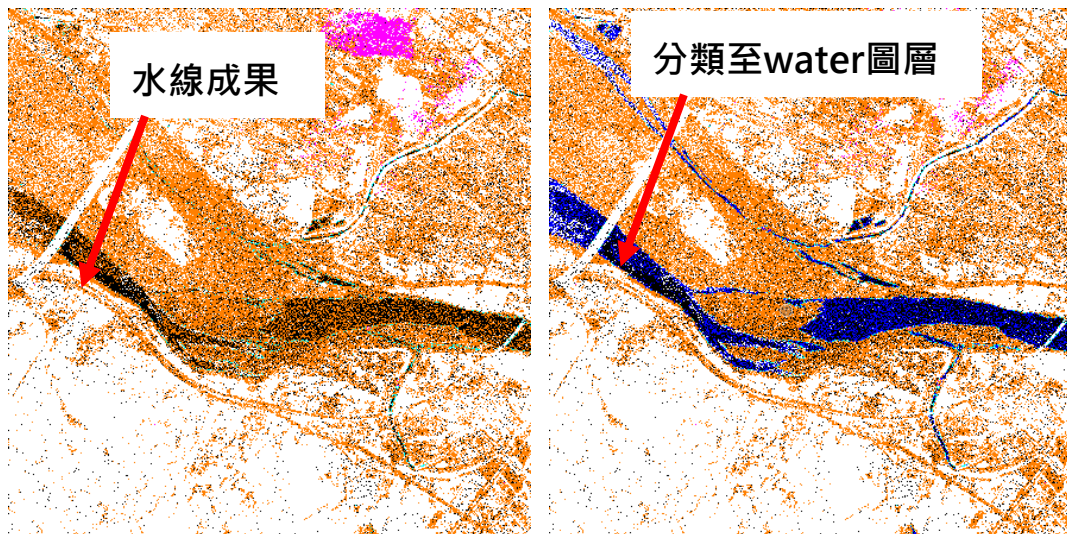


圖4-37、水體分類成果

#### 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4-38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。

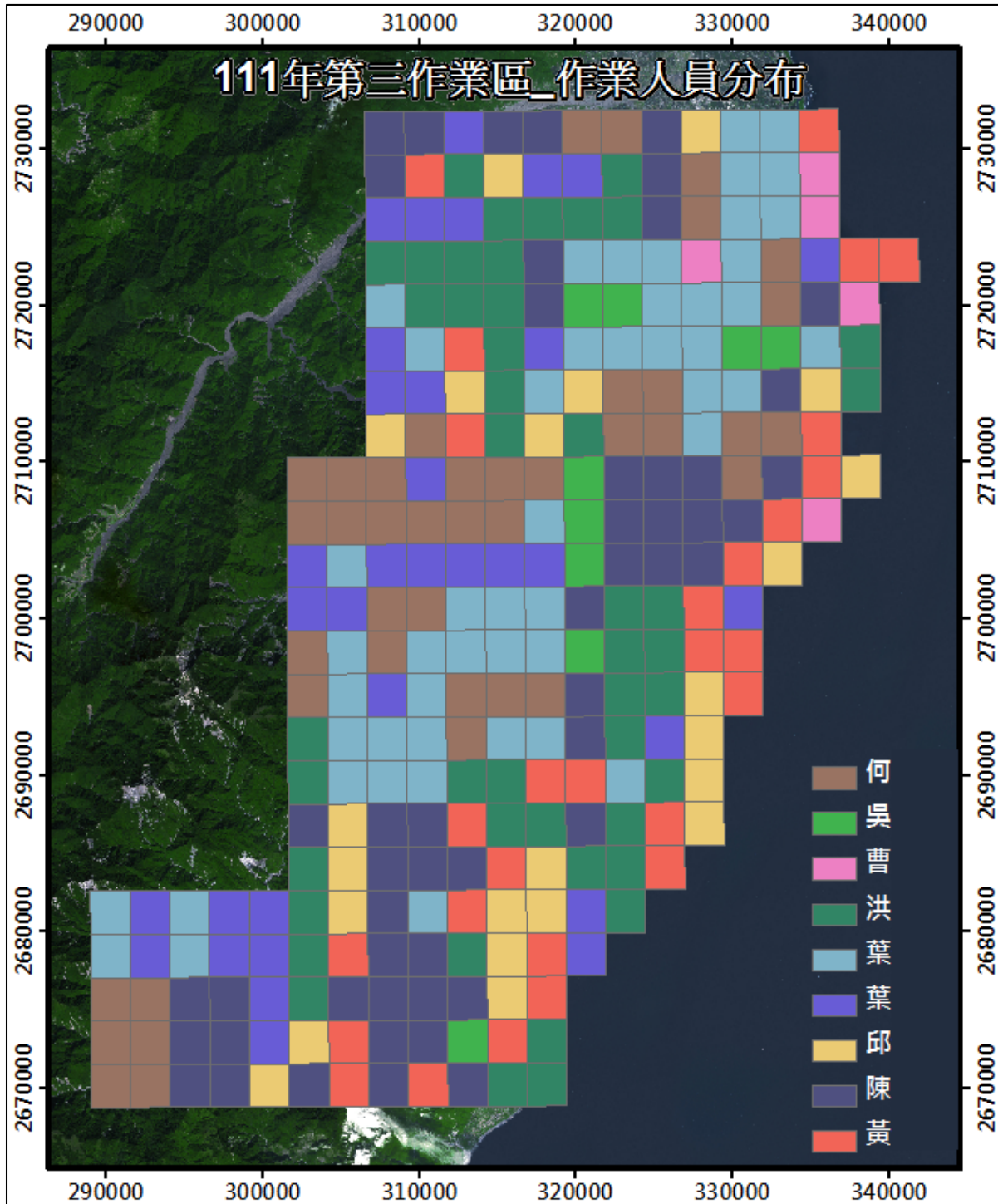


圖4-38、本案作業人員分布圖

#### 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。

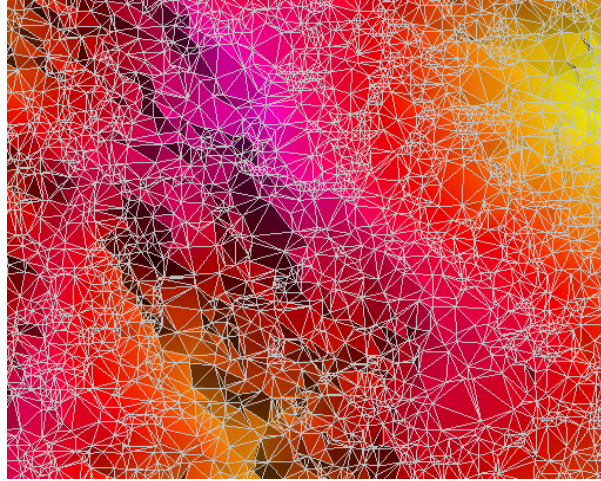


圖4-39、點雲TIN分析圖

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。

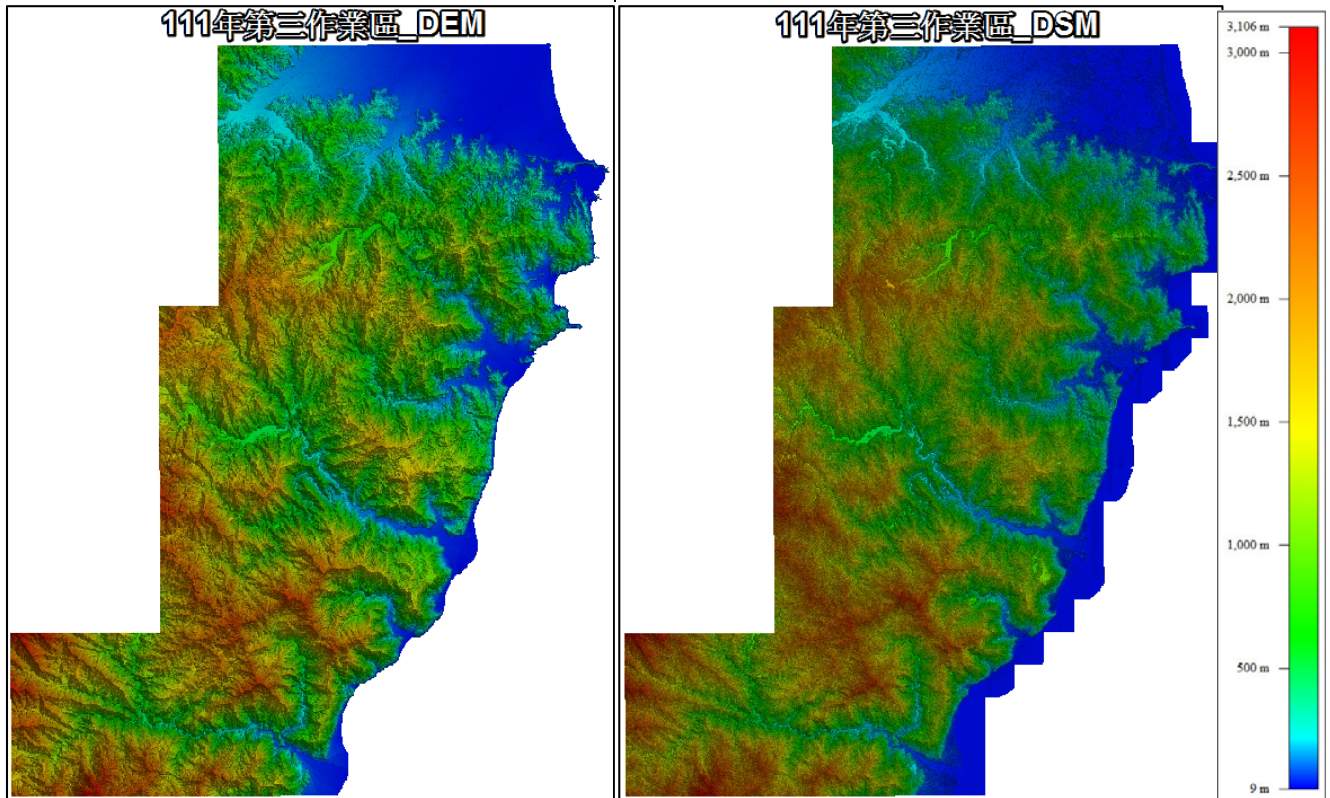


圖4-40、本案DEM、DSM成果

#### 5.DEM/DSM 外部接邊

接邊由丙方統一分配，共計需處理29幅DEM以及DSM接邊，接邊位置關係如圖4-41所示。本公司處理與108年及110年度圖幅成果之接邊，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4-42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。

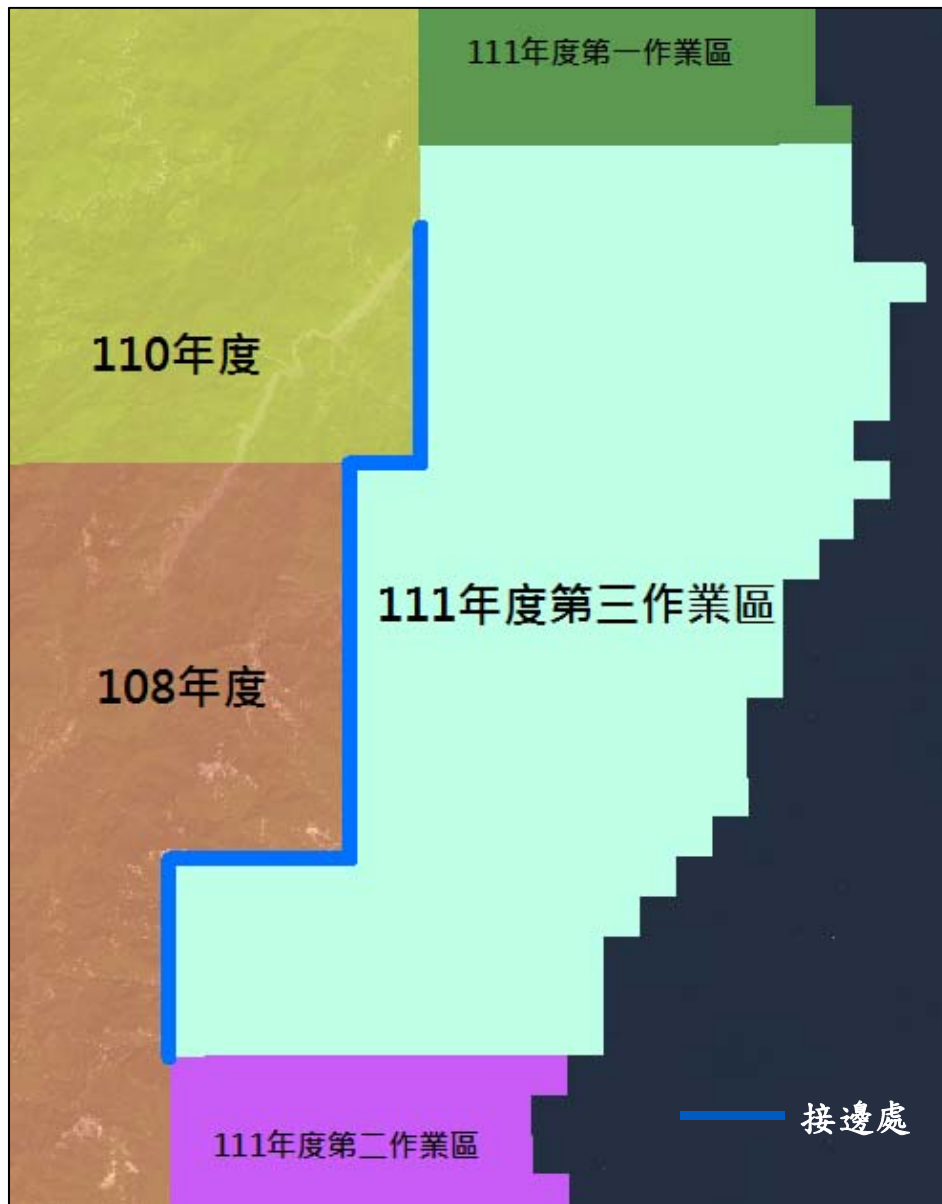


圖4-41、111年度DEM、DSM接邊處

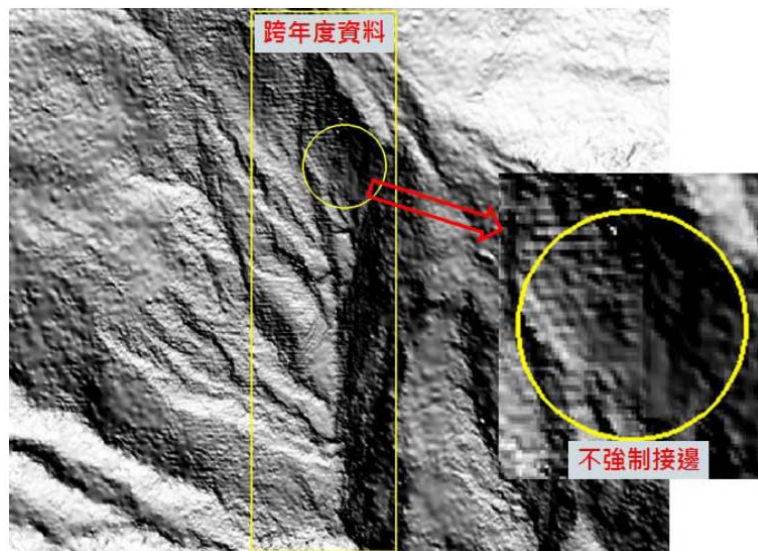


圖4-42、年度接邊地形變異示意圖

### 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4-43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		

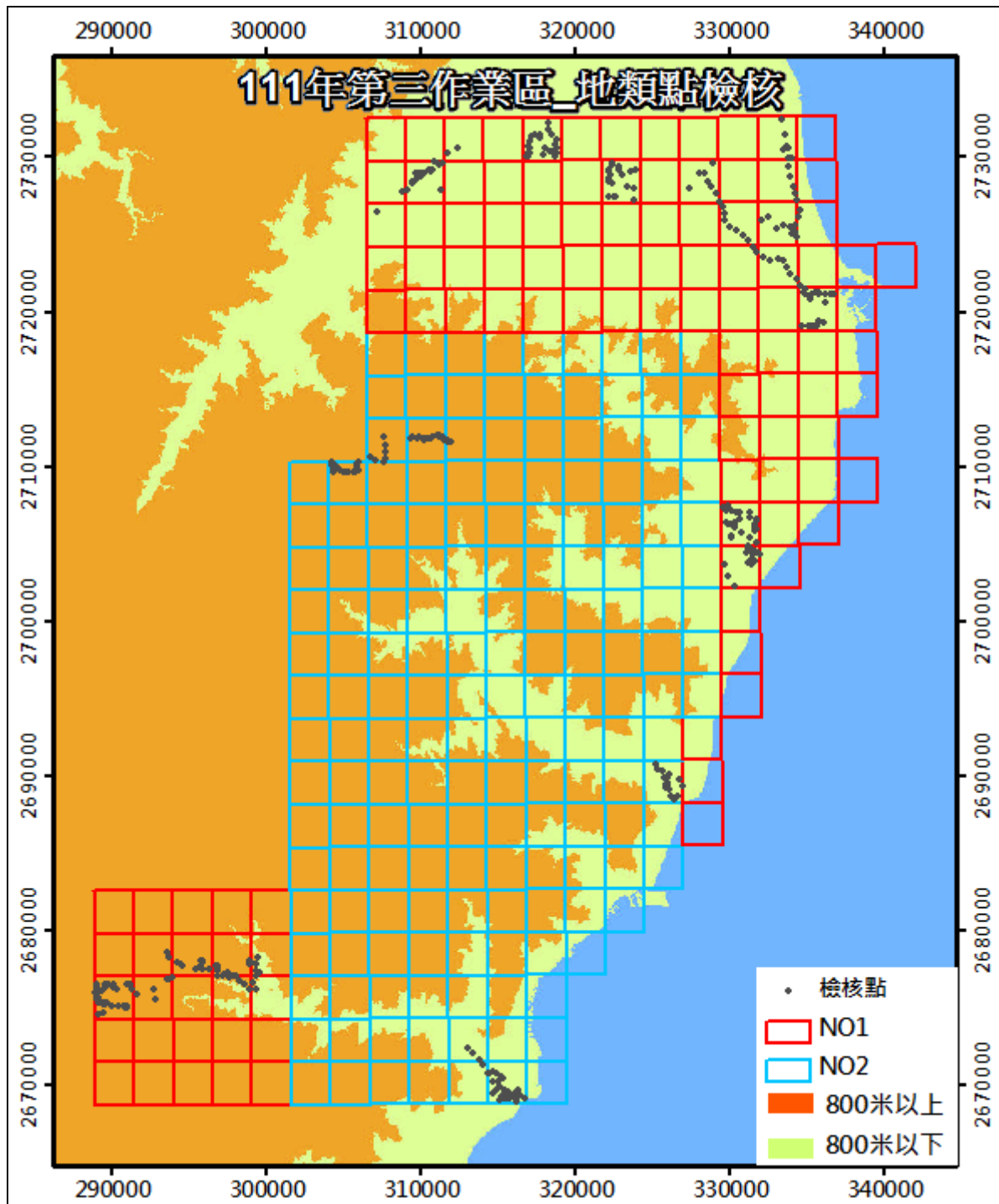


圖 4-43、檢核點分布

#### 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。

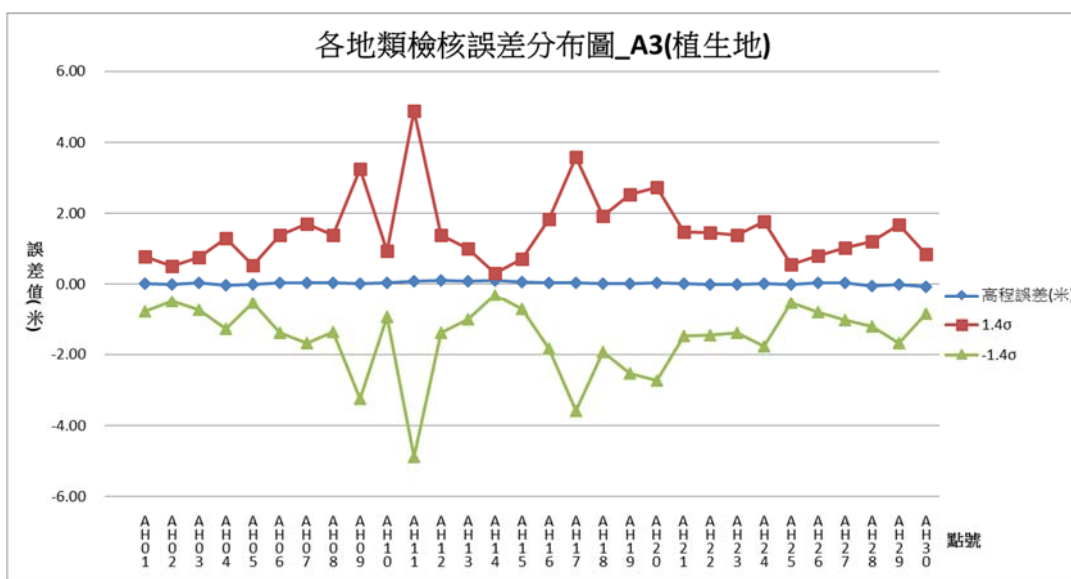
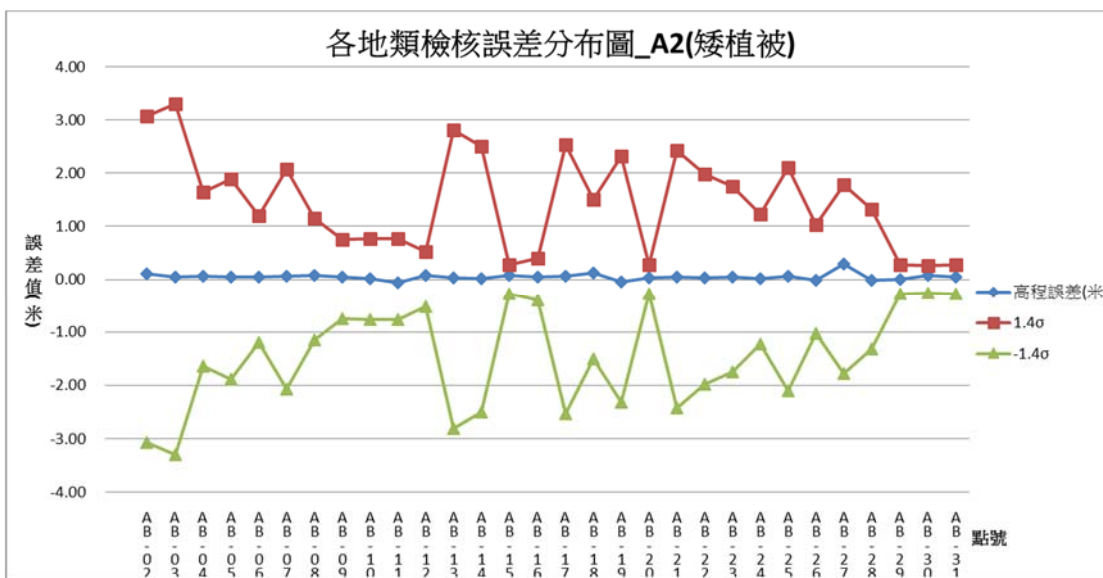
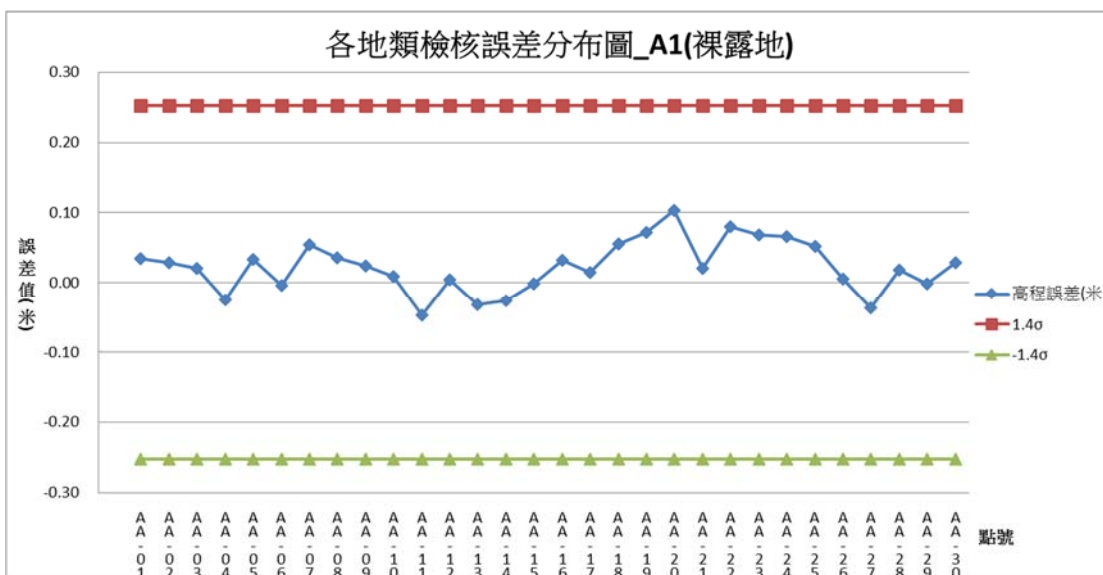
#### 4.6.3 精度評估與分析

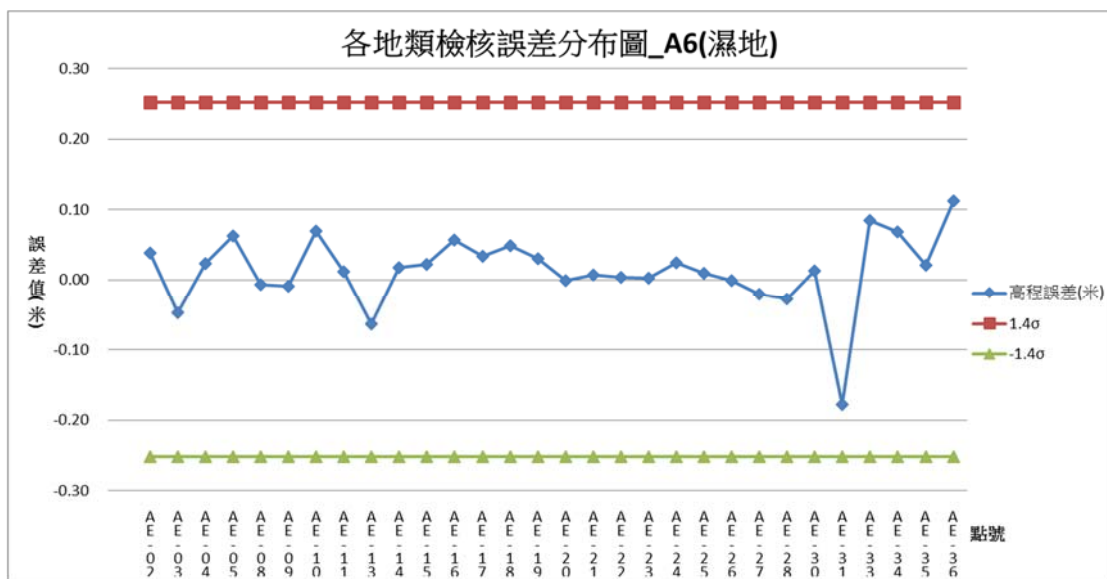
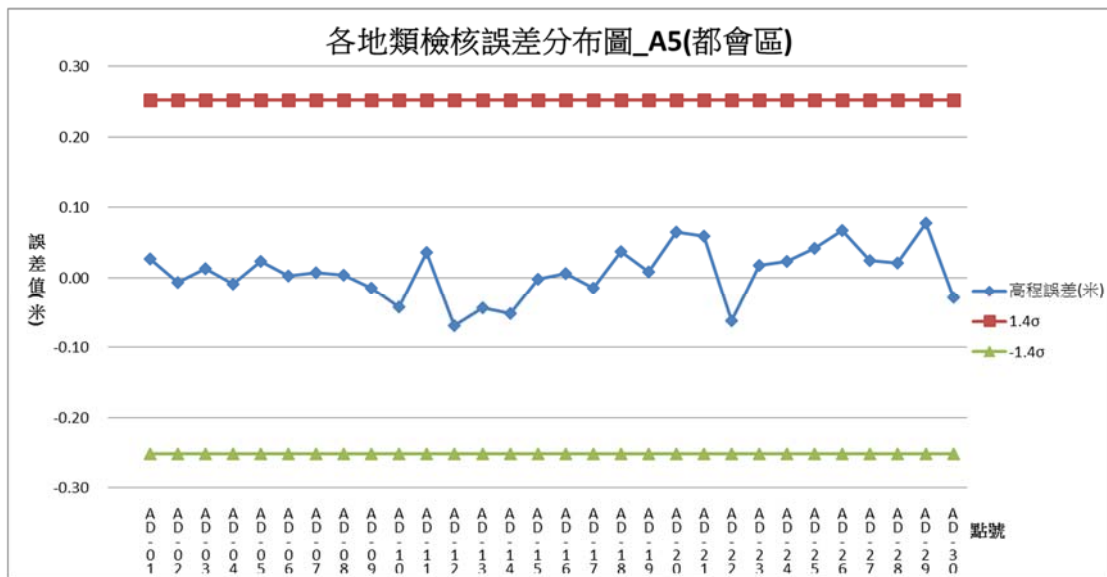
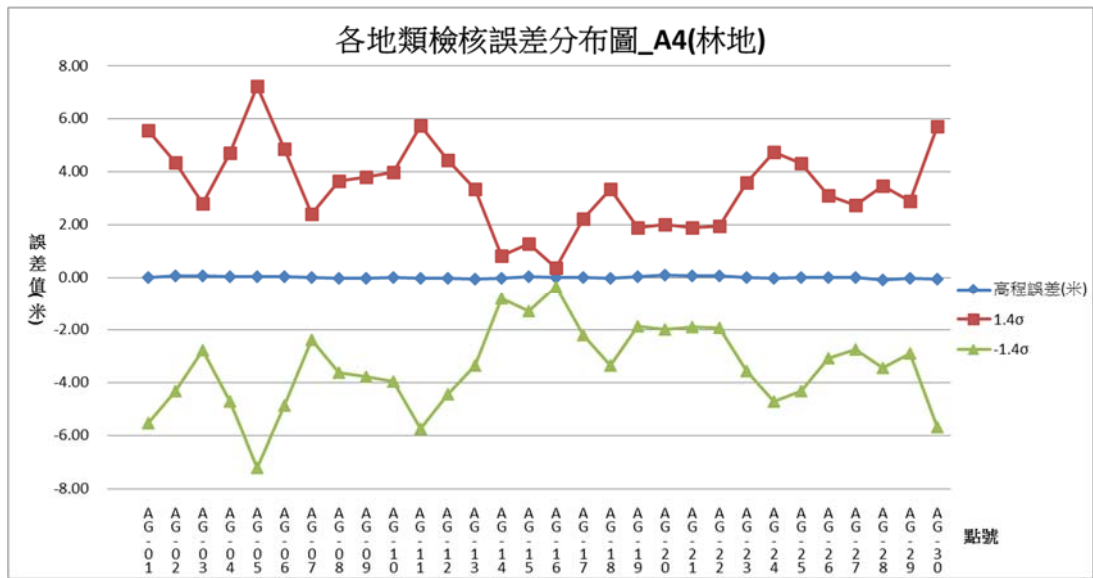
本案依前述規定執行，施測涵蓋：裸露地、矮植被、植生地、林地、都會區、橫斷面。將檢核點坐標與LiDAR資料組成之TIN模型中之相同位置，利用TerraScan之Output Control Report功能將所有檢核點坐標(E、N、h)匯入，分析LiDAR與檢核點兩者之高程差，成果如表4-17及表4-18。由表可看出低海拔檢核點與光達點雲資料平均絕對高差約在0.03~0.057公尺，高海拔檢核點與光達點雲資料平均絕對誤差約在0.064~0.098公尺之間。

低海拔測區各種地類別，由圓餅圖可看出±10公分內之差值比例較高，如圖4-44、圖4-45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	0.023	0.035	0.103	-0.047	0.036	0.036
矮植被	30	0.048	0.057	0.285	-0.056	0.061	0.060
植生地	30	0.028	0.040	0.109	-0.065	0.041	0.040
林地	30	0.007	0.030	0.094	-0.097	0.040	0.039
都會區	30	0.007	0.030	0.078	-0.069	0.038	0.037
溼地	30	0.014	0.037	0.112	-0.178	0.052	0.051
橫斷面	60	0.014	0.030	0.078	-0.100	0.034	0.033





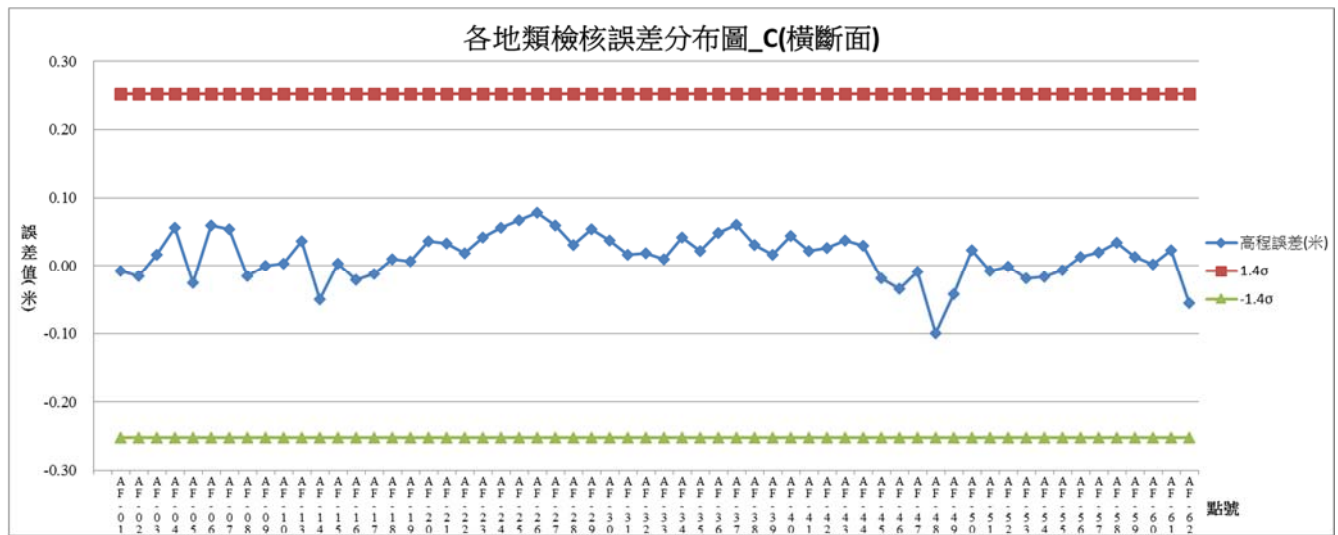


圖4-44、低海拔各地類檢核誤差分布圖

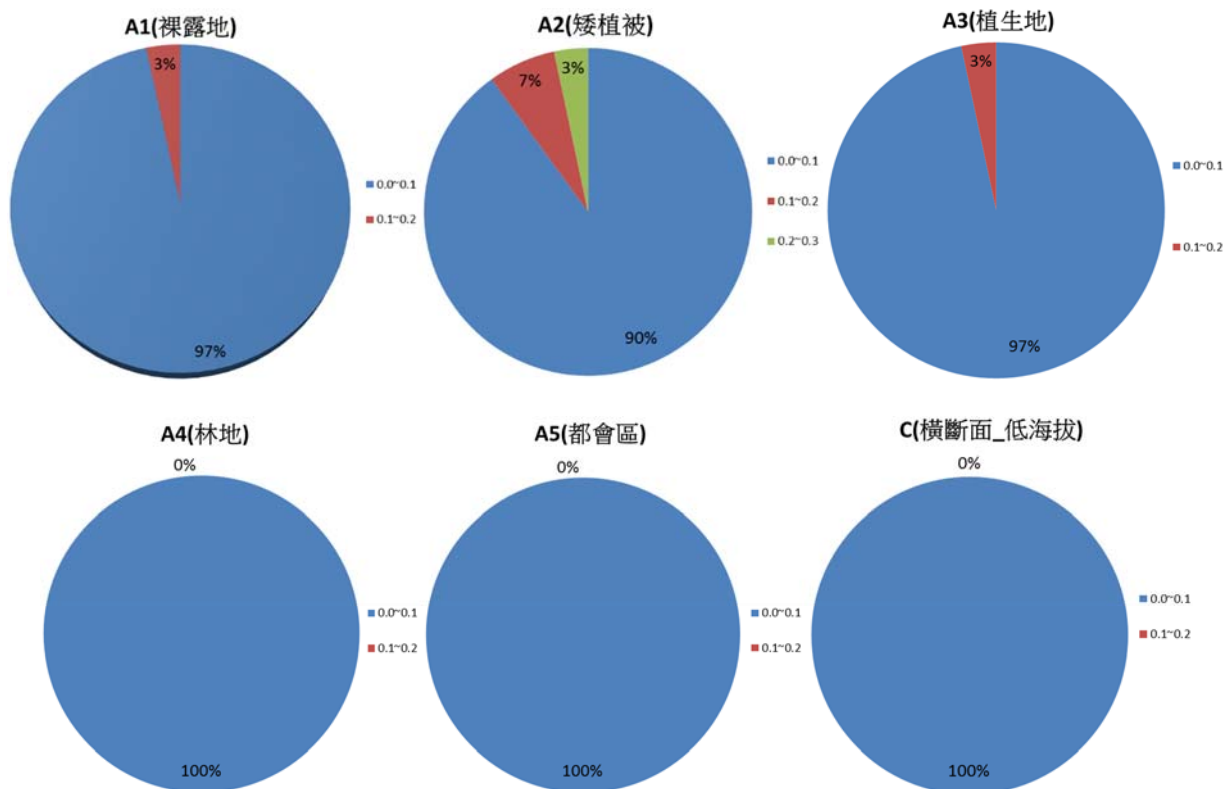


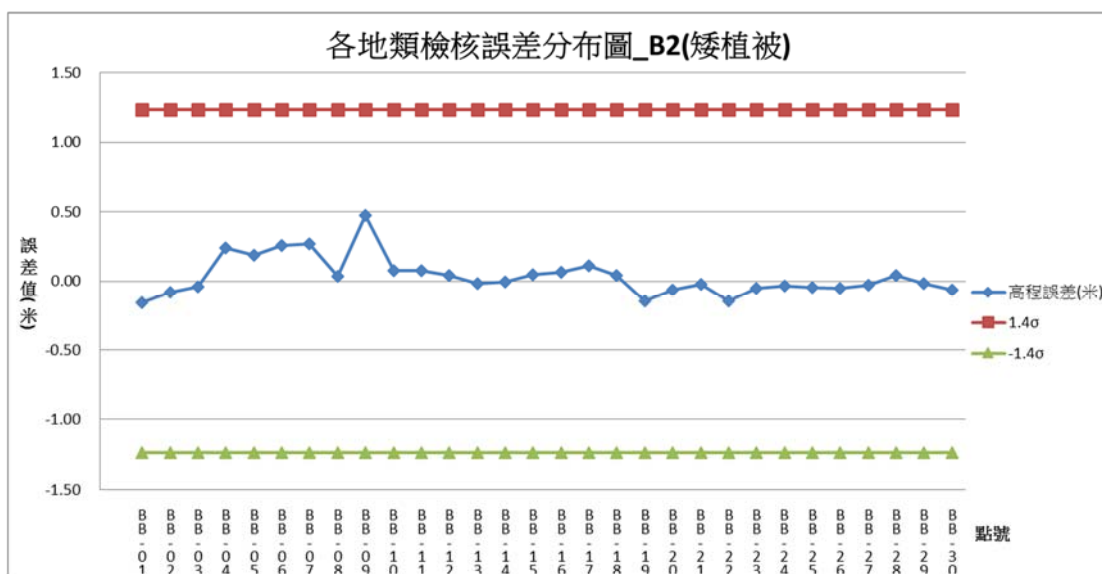
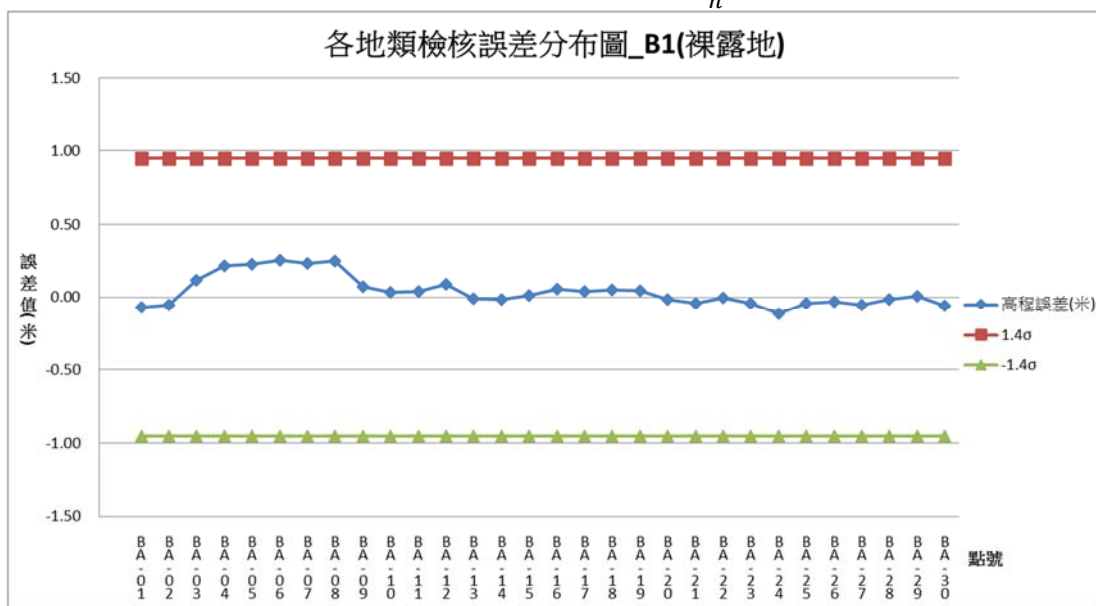
圖4-45、低海拔各地類檢核誤差圓餅圖

高海拔測區各種地類別，由圓餅圖可看出 $\pm 10$ 公分內之差值比例較高，如圖4-44、圖4-45所示。

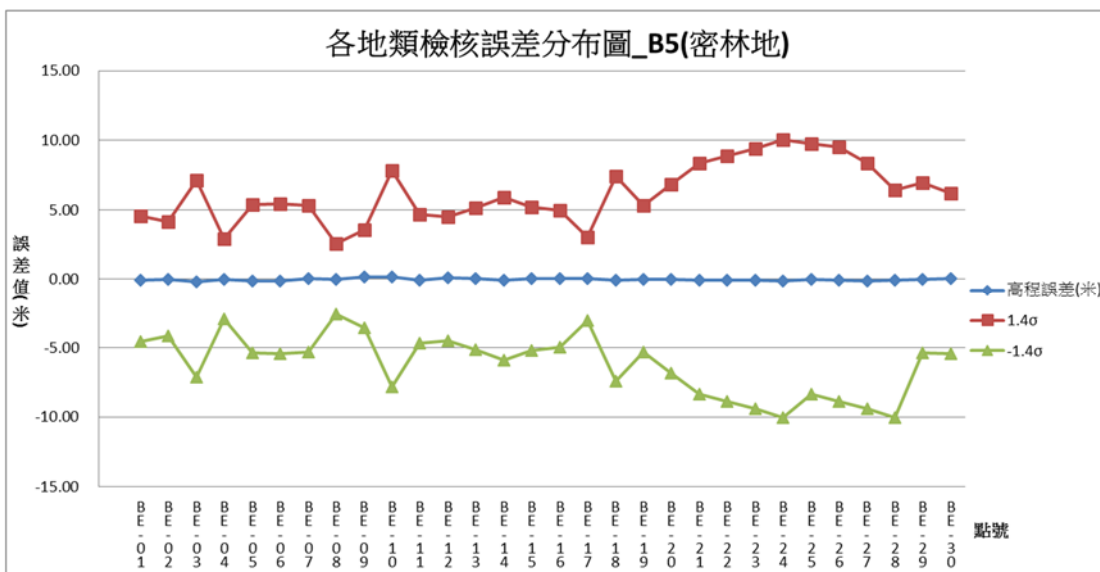
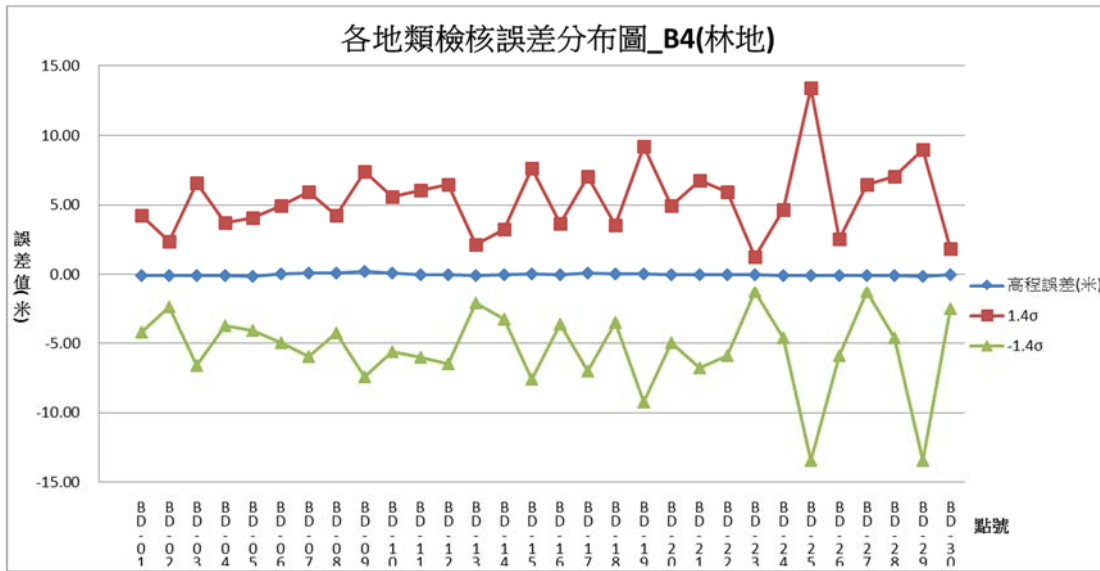
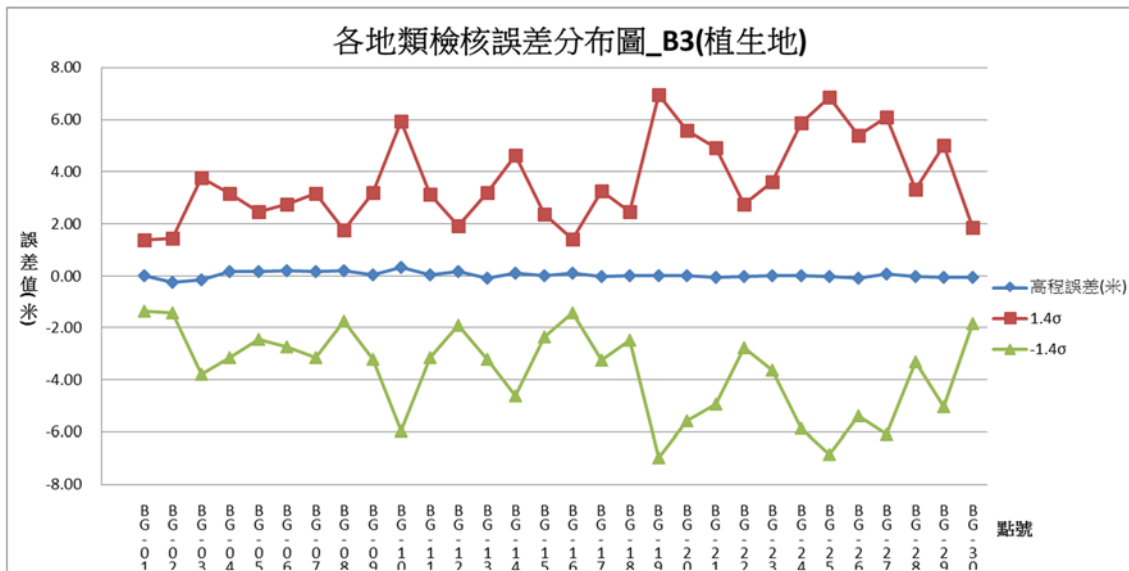
表4-18、本案高海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表

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	0.040	0.084	0.256	-0.117	0.103	0.101
矮植被	30	0.033	0.098	0.472	-0.159	0.138	0.136
植生地	30	0.049	0.090	0.344	-0.218	0.117	0.115
林地	30	-0.005	0.064	0.219	-0.149	0.081	0.079
密林地	30	-0.016	0.068	0.166	-0.155	0.083	0.082
橫斷面	40	-0.025	0.075	0.232	-0.200	0.090	0.089

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







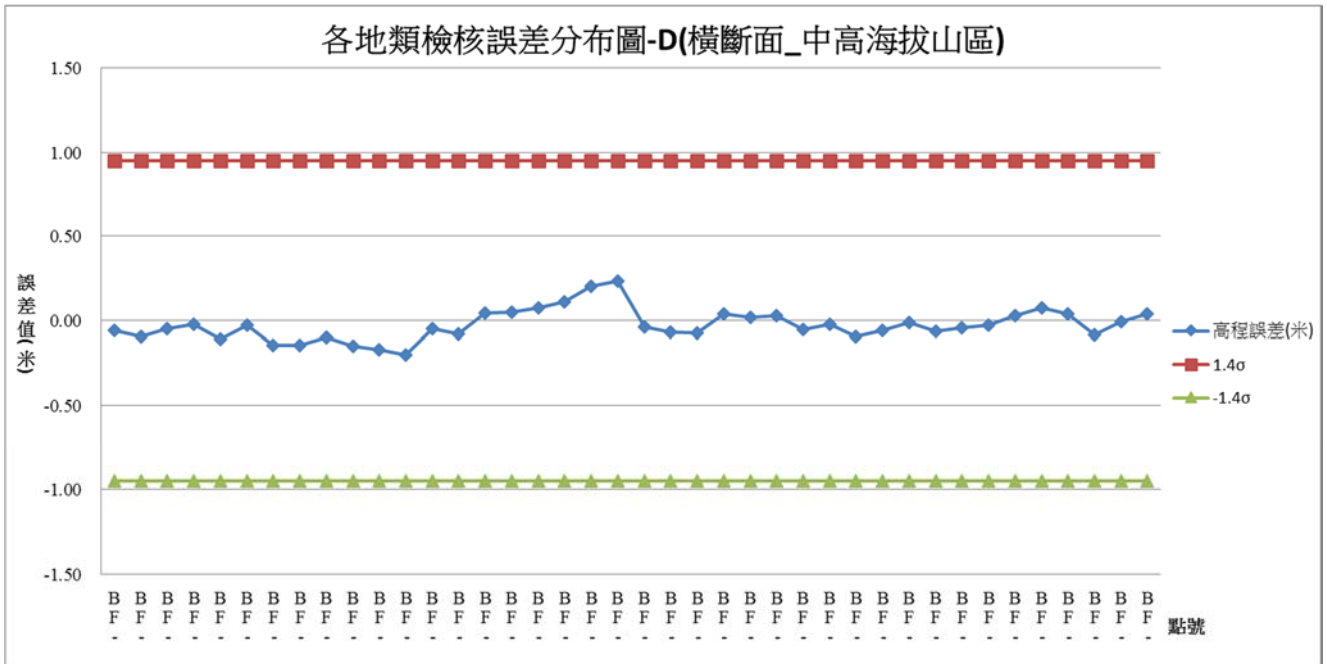


圖4-46、高海拔各地類檢核誤差分布圖

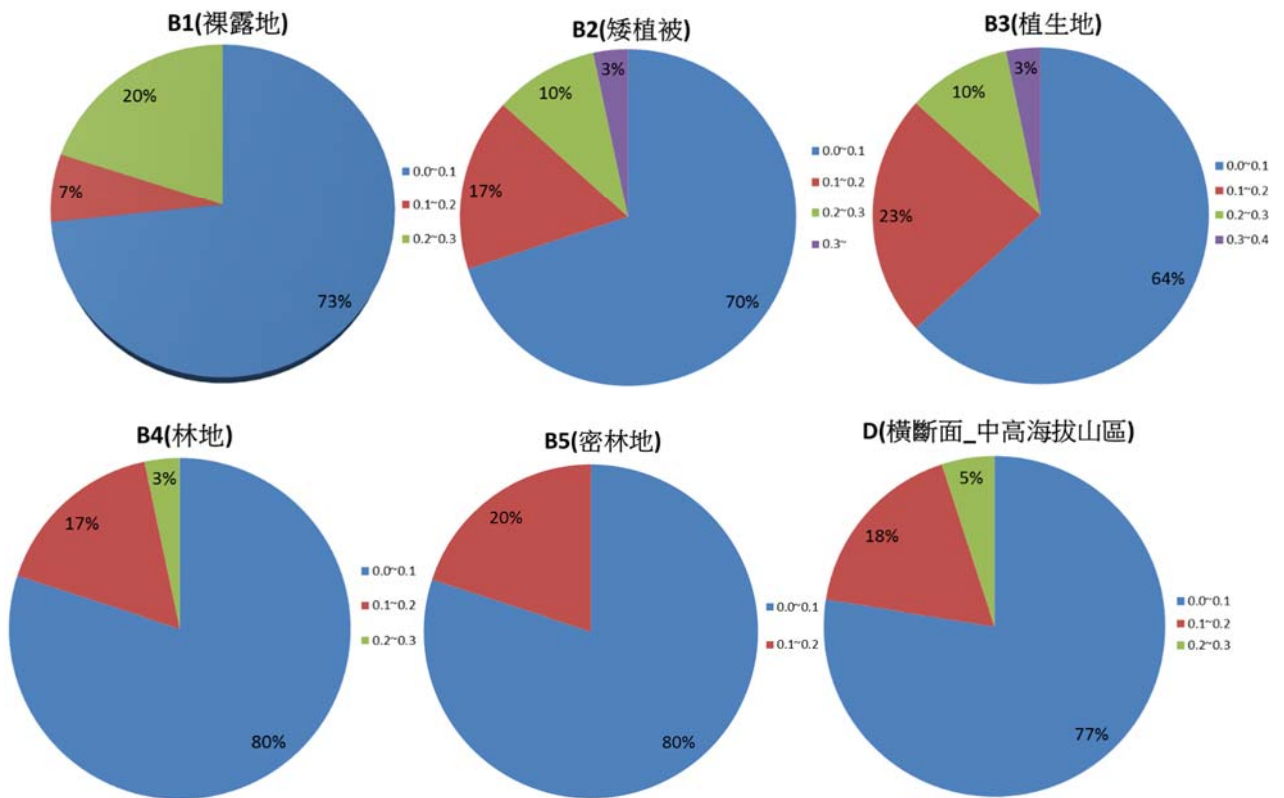


圖4-47、高海拔各地類檢核誤差圓餅圖

#### 4.6.4 各階段外業驗收成果

第6階段於111年08月11、12日進行外業驗收，共計抽驗四幅圖分別為97222065、97222033、97223036以及97222021共驗收25個點位，與DEM相比RMSE值為4.0公分，符合本案規範，驗收成果直方圖如圖4-48所示。

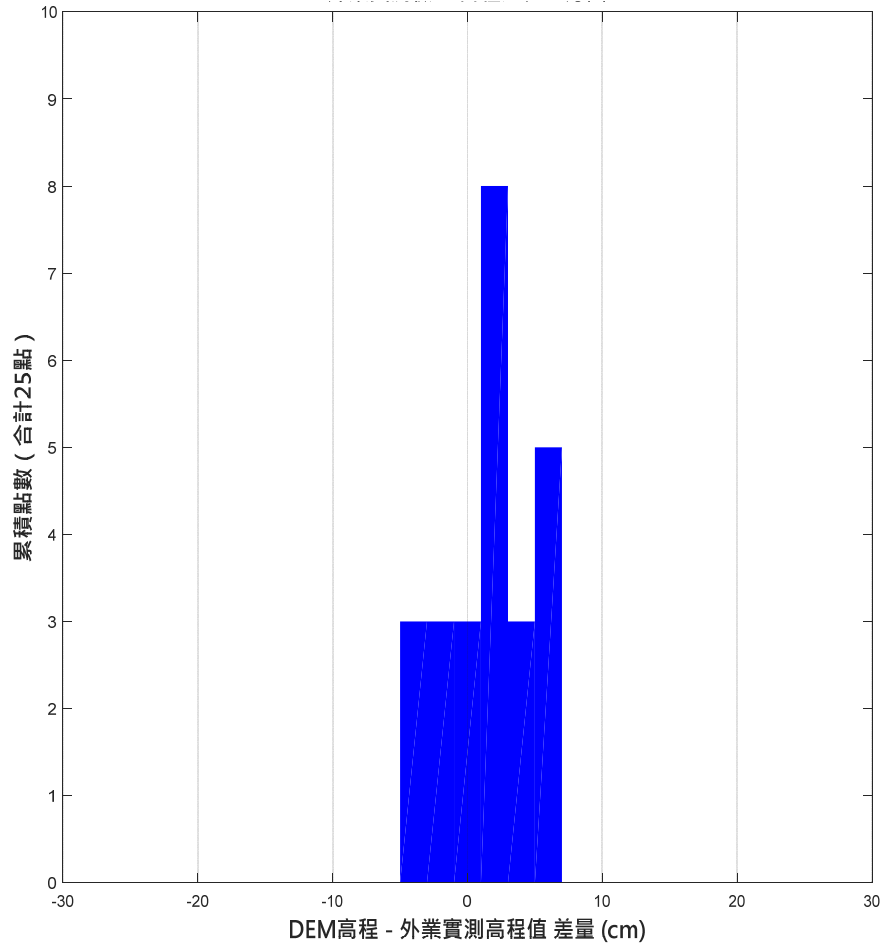


圖4-48、第6階段外業驗收直方圖

第7階段於111年12月12~14日進行外業驗收，共計抽驗六幅圖分別為97214080、97213035、97213036、97213046、97211021以及97211011，共驗收31個點位。與DEM相比RMSE值為5.15公分，符合本案規範，驗收成果直方圖如圖4-48所示。兩階段外業驗收成果詳見附件九、外業驗收紀錄。

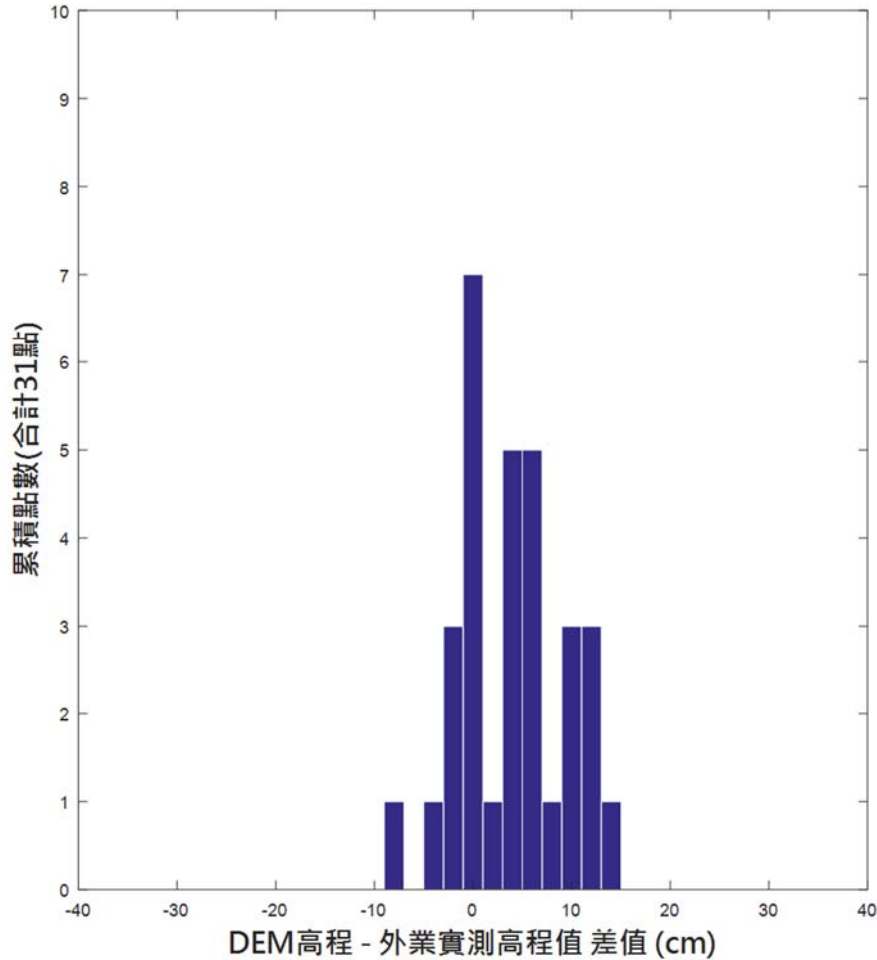


圖4-49、第7階段外業驗收直方圖

## 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及DMCIII兩套相機拍攝，正射影像製作流程如圖5-1所示：

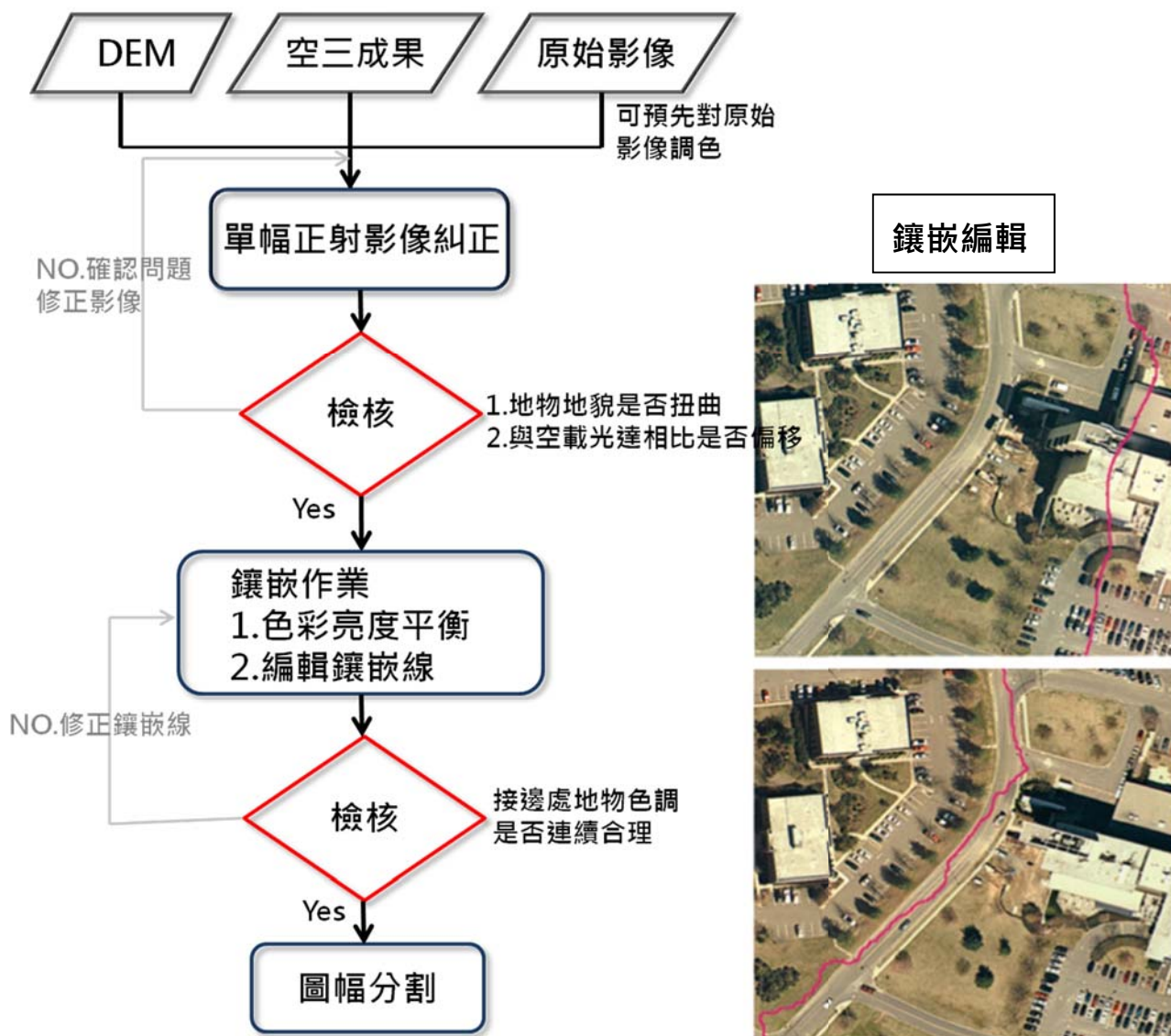


圖5-1、正射影像製作流程

### 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 7,188 張 Phase One IXU-RS-1000 拍攝之影像；第二

子測區實際使用之數量為 13,496 張使用 Phase One IXU-RS-1000 拍攝之影像與 483 張使用 DMCIII 拍攝之影像。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。本作業區使用儀器為 Phase One IXU-RS1000 以及 DMCIII 數位相機，分布如圖 5-2 所示。

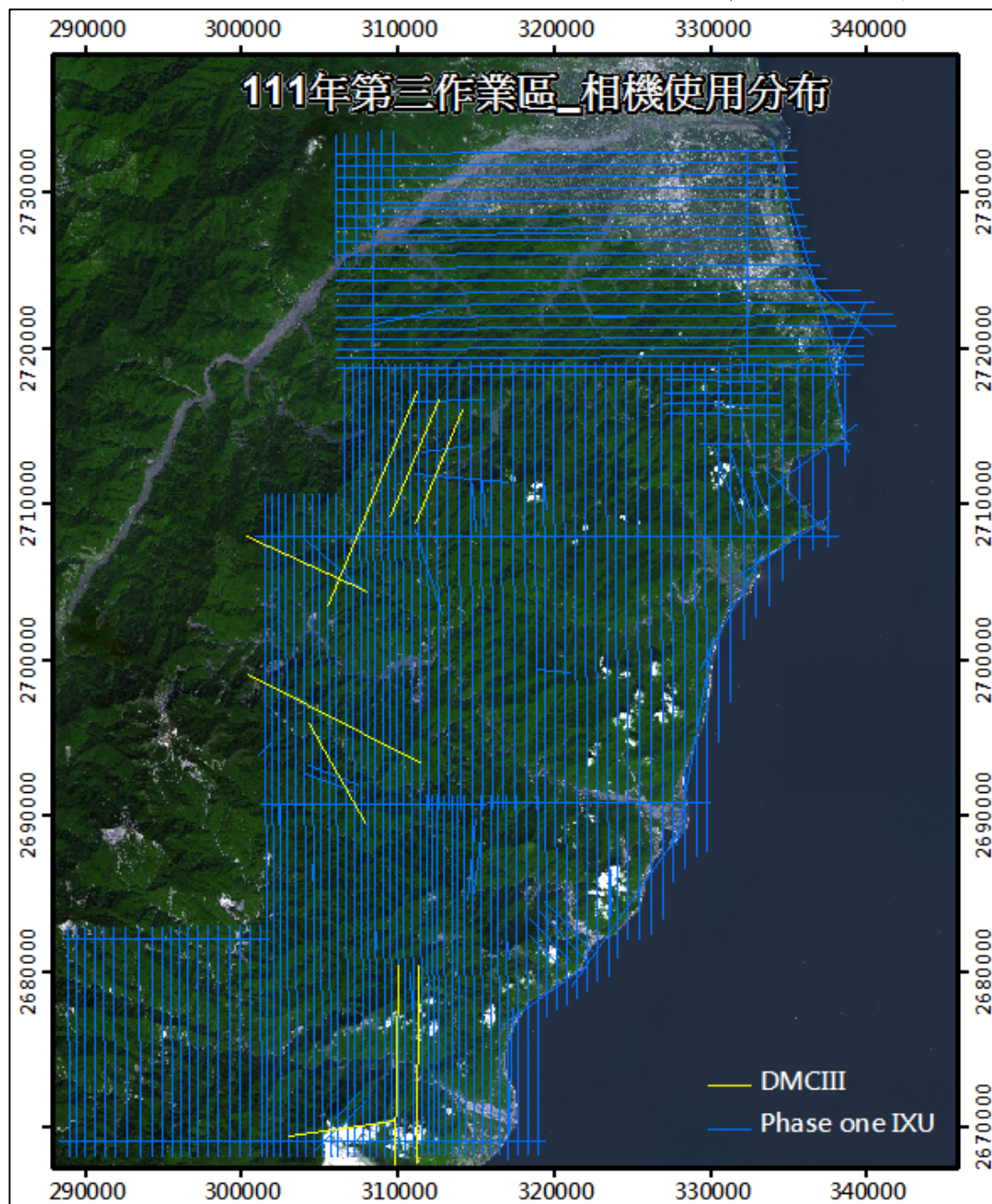


圖5-2、相機使用分布

## 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。

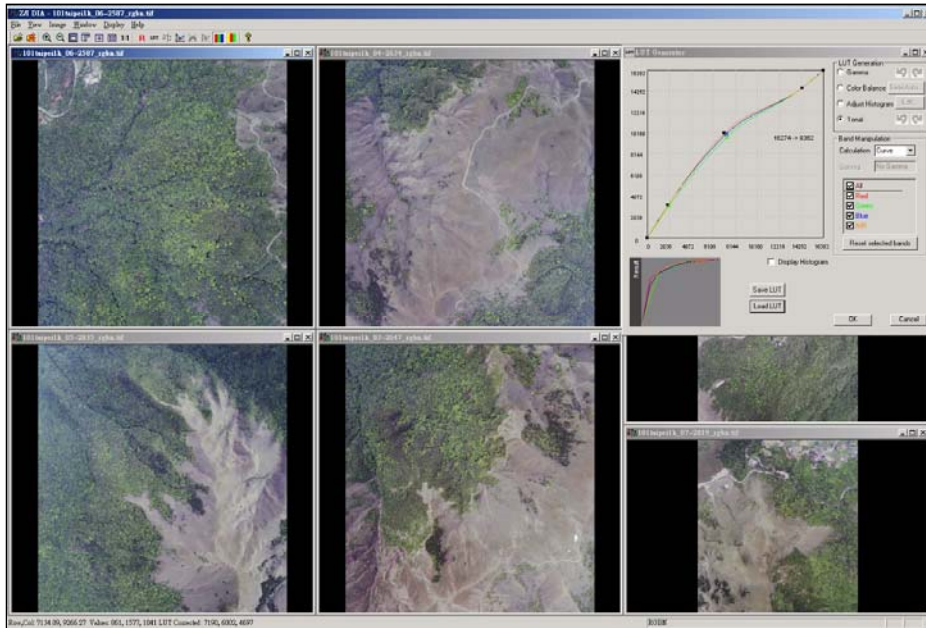


圖5-3、PPS影像處理示意圖

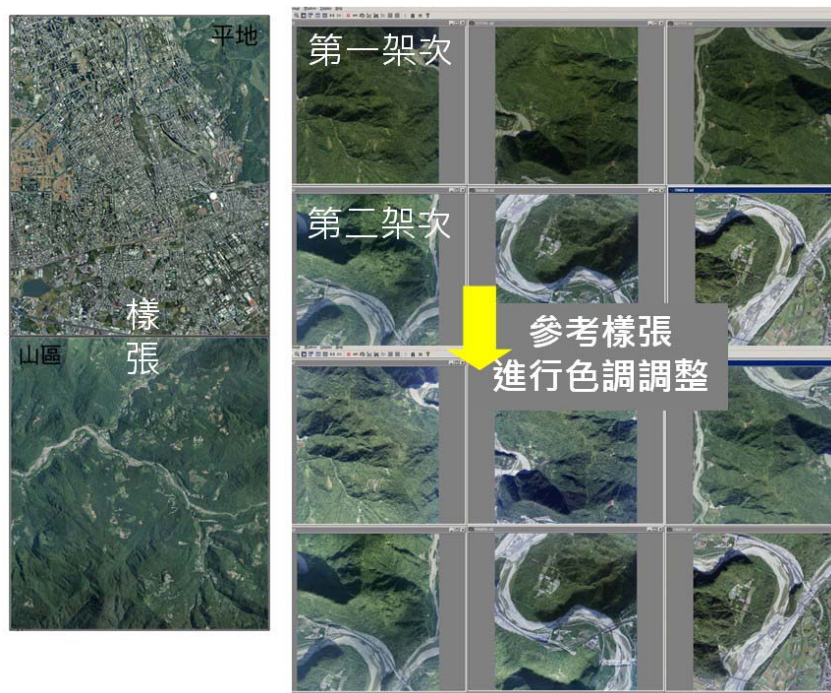


圖5-4、原始影像色彩預處理

### 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 相機以及 DMCIII，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  $\omega$ 、 $\psi$ 、 $\kappa$  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。

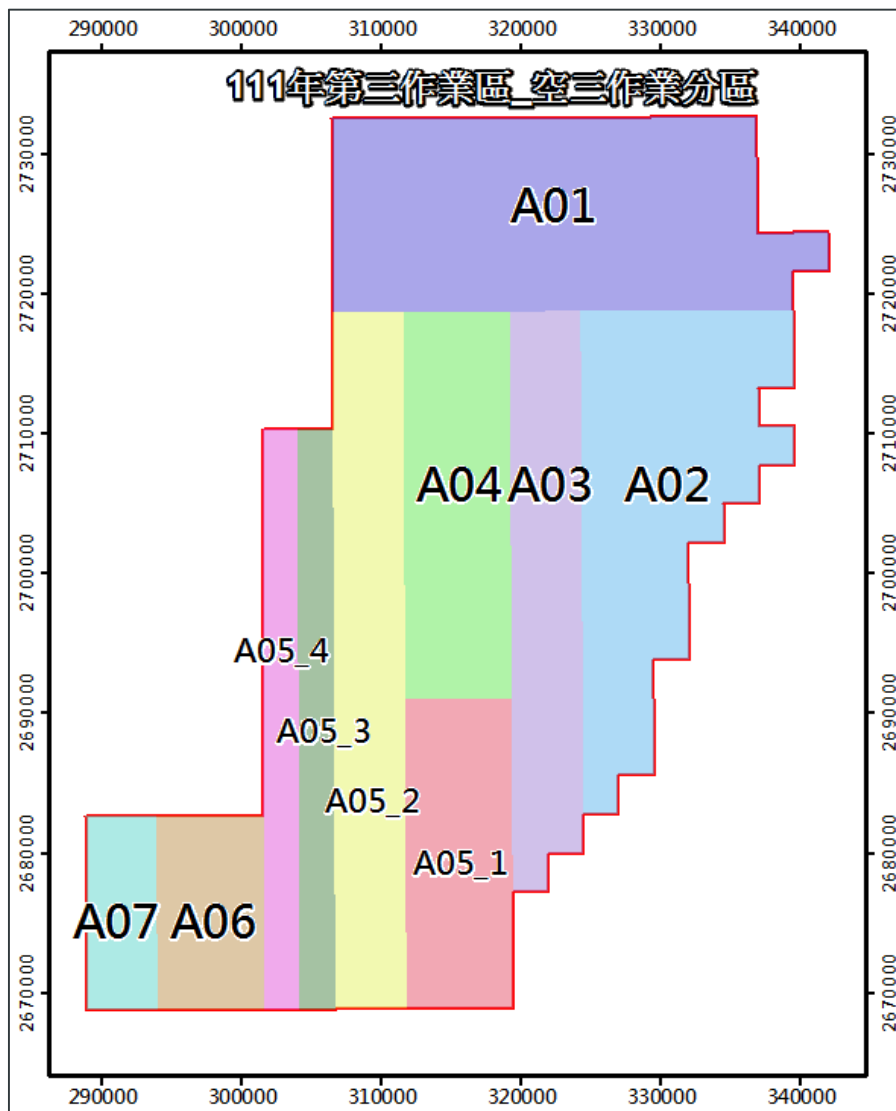


圖5-5、空三作業區域分配圖



- (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 可靠度指標	60%	80%	90%
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。

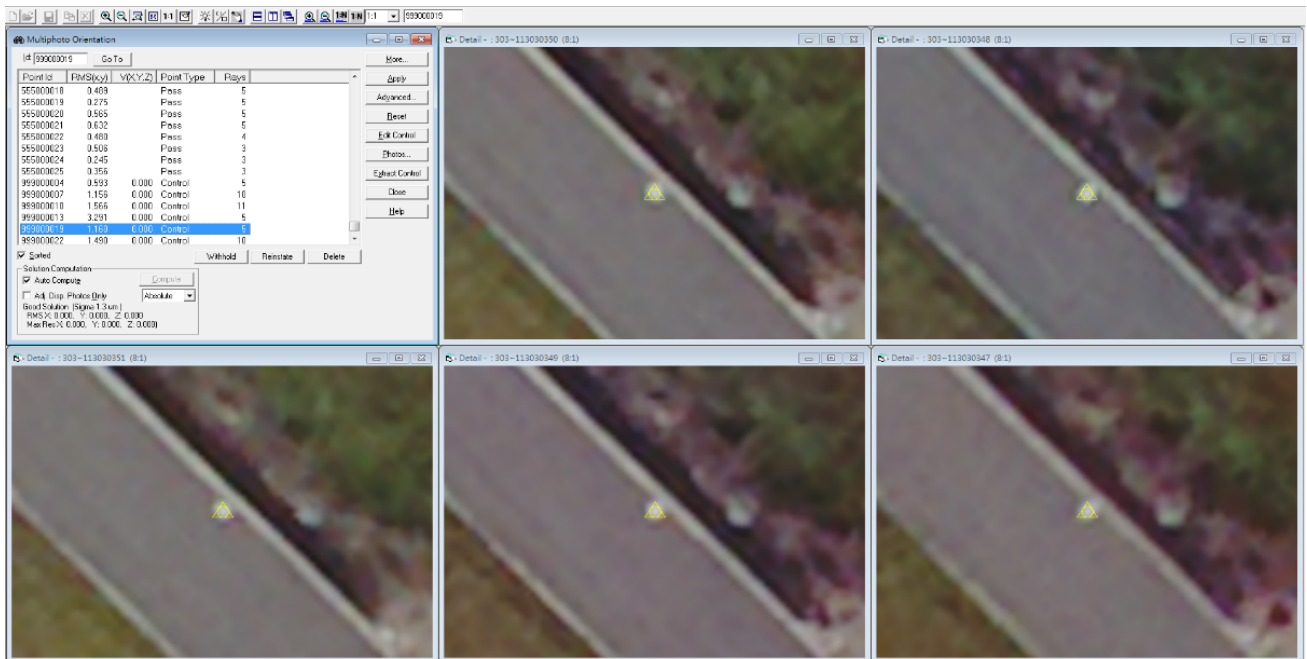


圖5-6、控制點量測

表5-1、空三平差成果連結點強度統計表

A01	平均多餘觀測數	0.78	連結點強度指標	0.87
	連結點平均光線數	10.03		
A02	平均多餘觀測數	0.79	連結點強度指標	0.90
	連結點平均光線數	10.81		
A03	平均多餘觀測數	0.81	連結點強度指標	0.90
	連結點平均光線數	11.05		
A04	平均多餘觀測數	0.80	連結點強度指標	0.92
	連結點平均光線數	10.42		
A05_1	平均多餘觀測數	0.82	連結點強度指標	0.87
	連結點平均光線數	10.58		
A05_2	平均多餘觀測數	0.77	連結點強度指標	0.84
	連結點平均光線數	8.74		
A05_3	平均多餘觀測數	0.79	連結點強度指標	0.82
	連結點平均光線數	9.21		
A05_4	平均多餘觀測數	0.78	連結點強度指標	0.82
	連結點平均光線數	8.68		
A06	平均多餘觀測數	0.81	連結點強度指標	0.86
	連結點平均光線數	9.90		
A07	平均多餘觀測數	0.81	連結點強度指標	0.90
	連結點平均光線數	9.92		

#### 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。

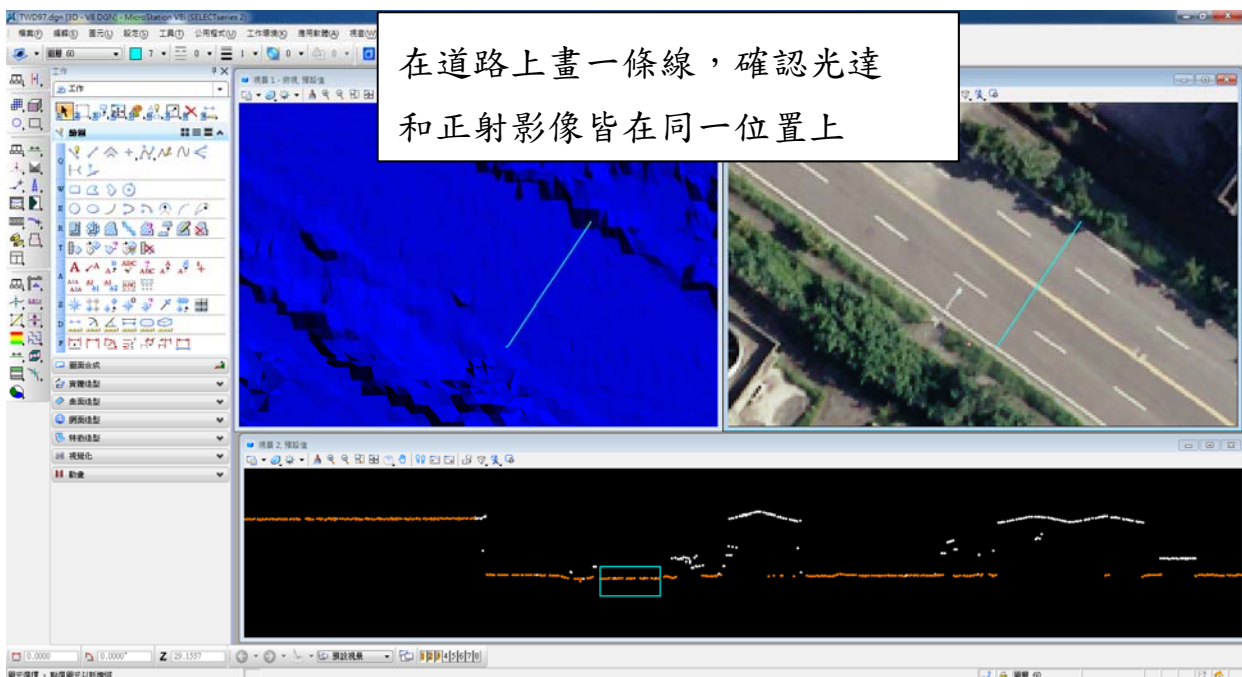


圖5-7、正射影像與光達比較圖

- (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。

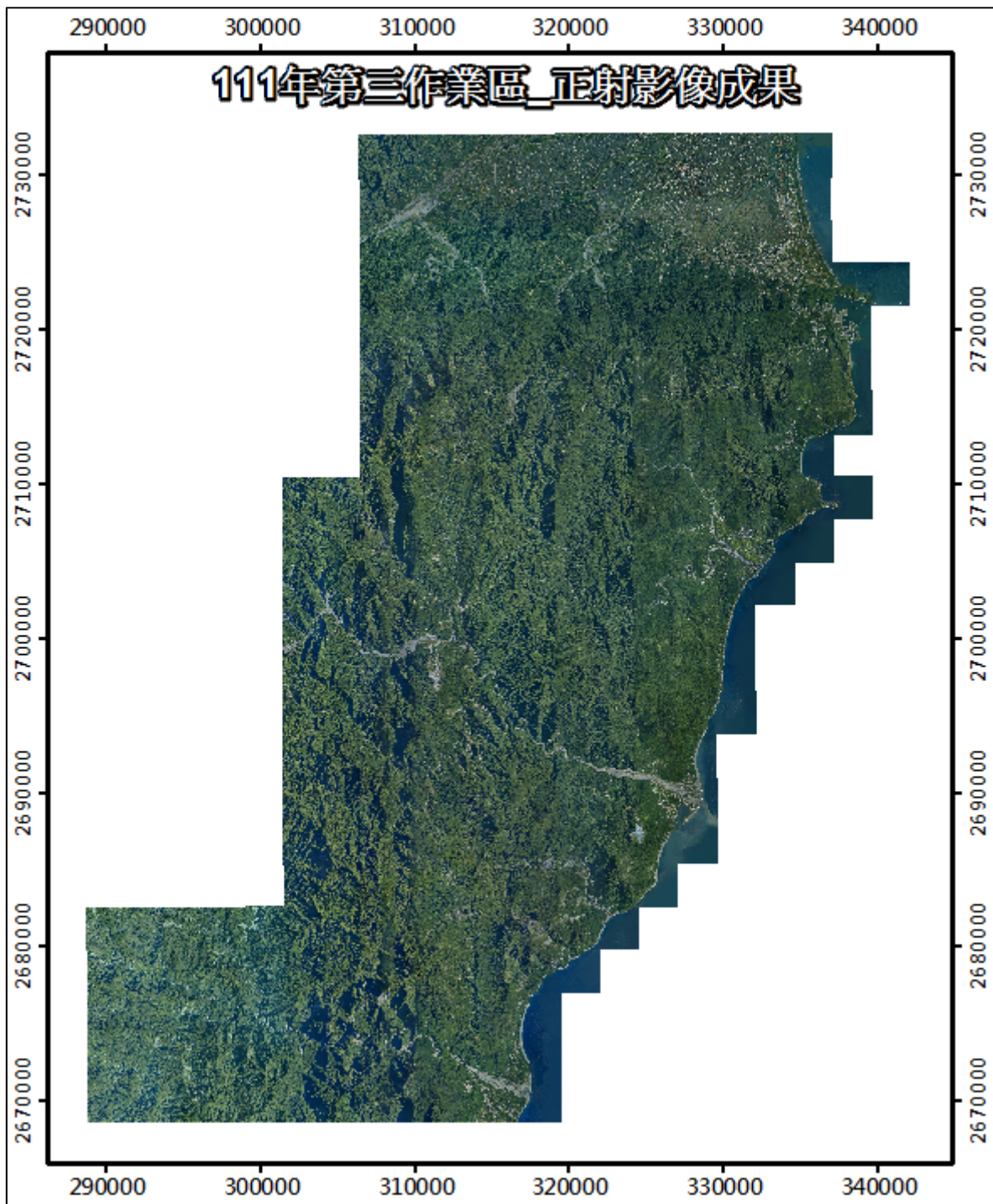


圖5-8、正射影像成果

## 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，將選取檢核點坐標與正射影像相比，共計 15 個點位，選取位置如圖 5-9 所示，最大差值為 59.6 公分，最小值 2.4 公分，平均值為 18.4，均方根為 12.9，計算值如表 5-2。

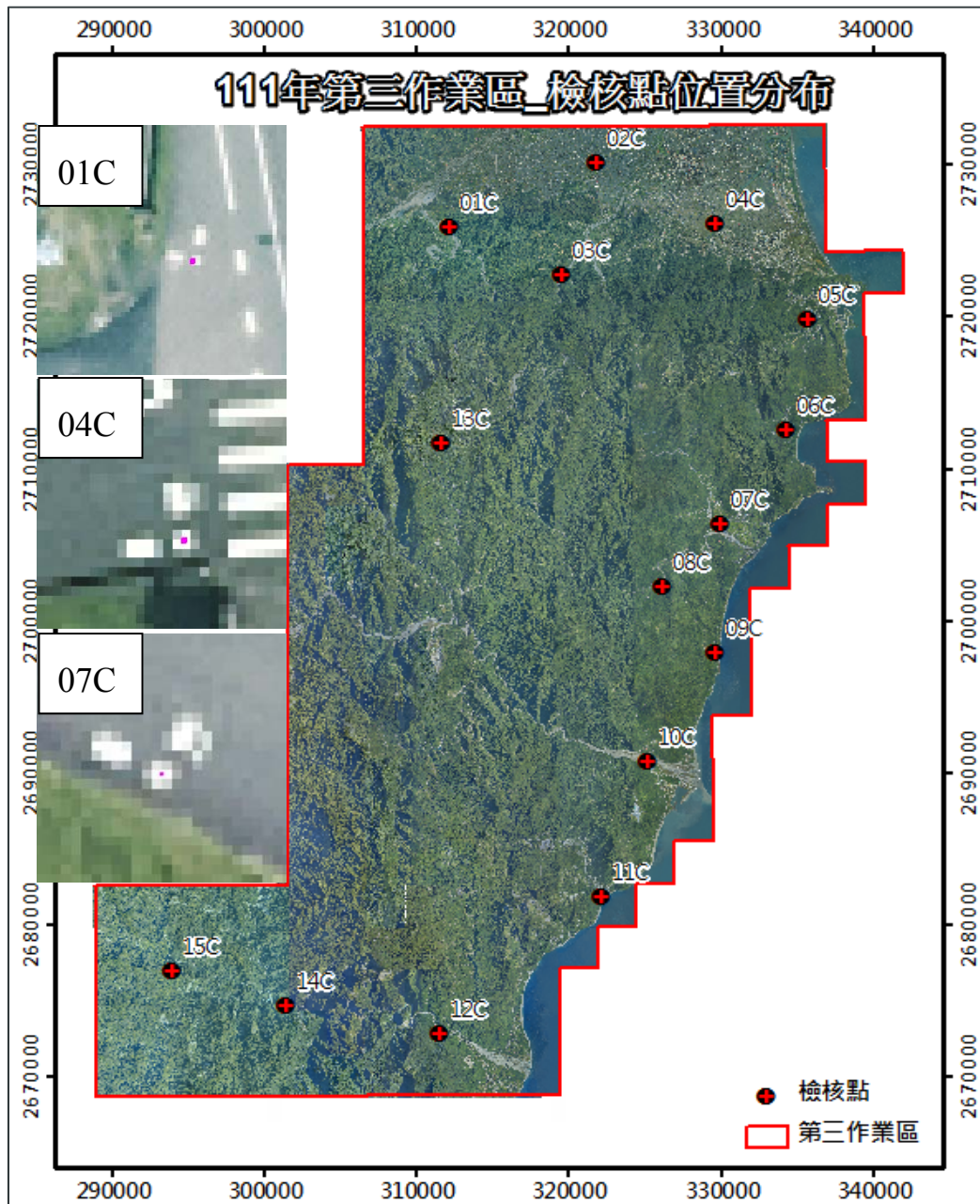


圖5-9、檢核點分布位置

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)
01C	0.171	06C	0.061	11C	0.205
02C	0.107	07C	0.163	12C	0.305
03C	0.182	08C	0.216	13C	0.164
04C	0.093	09C	0.184	14C	0.184
05C	0.024	10C	0.106	15C	0.596
最大較差(m)					0.596
最小較差(m)					0.024
均方根誤差(m)					0.129

## (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15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。

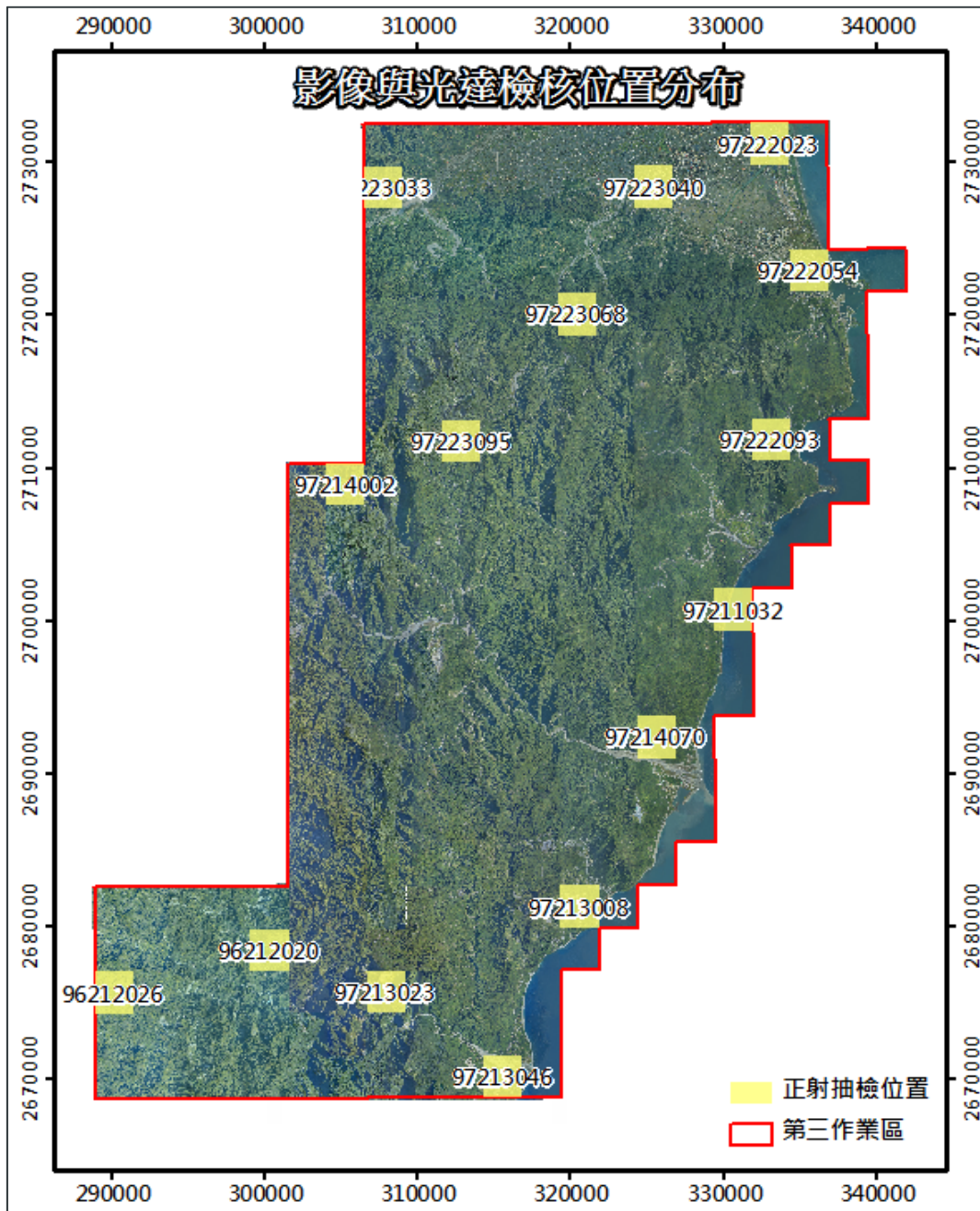

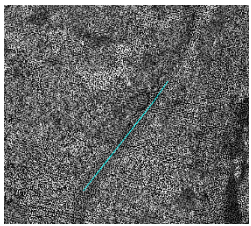

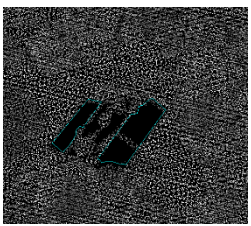

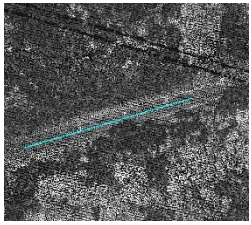

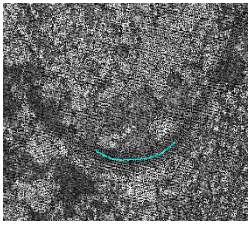

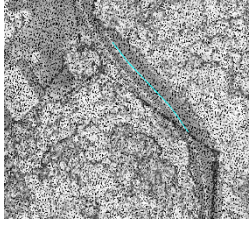

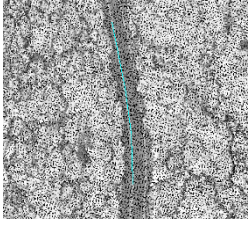

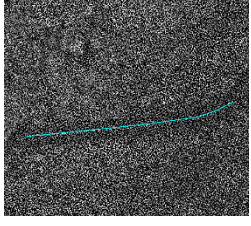

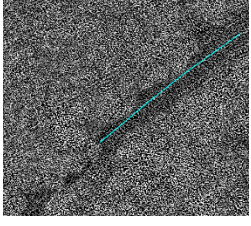

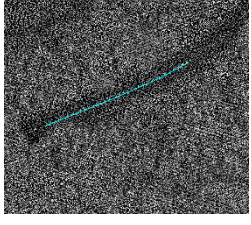

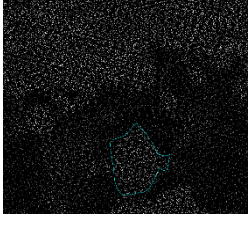
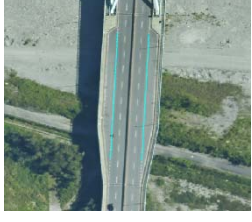
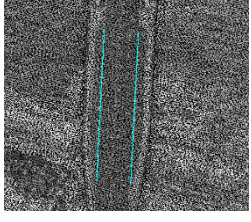

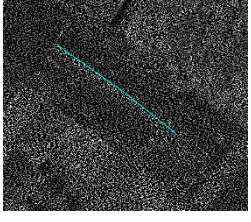

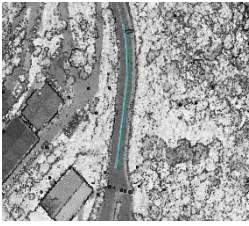

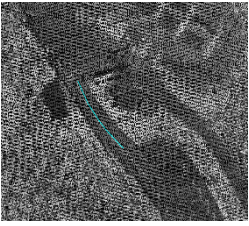

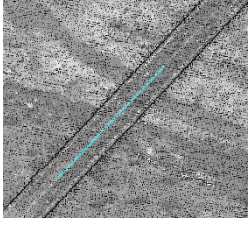

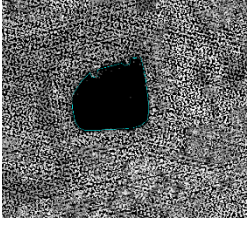

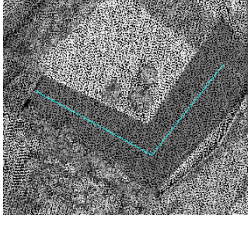

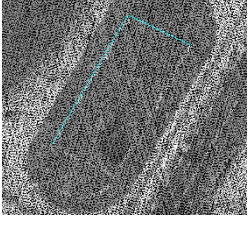



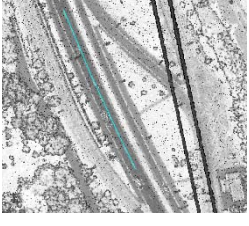

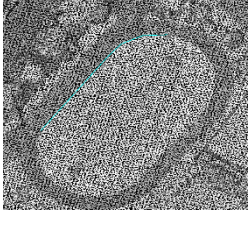

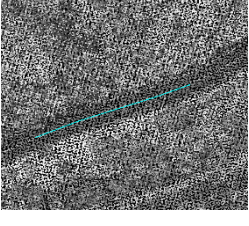

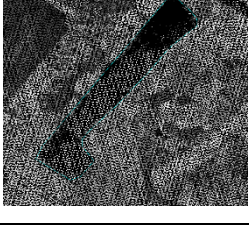


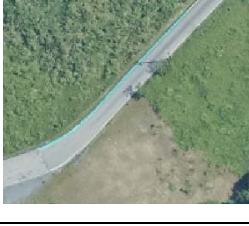
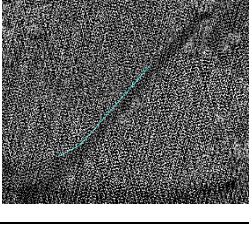

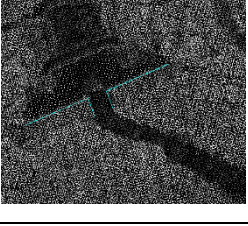



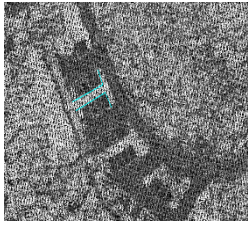
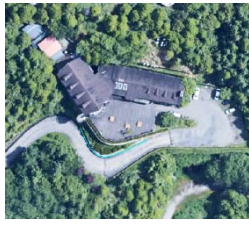
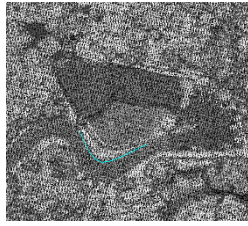

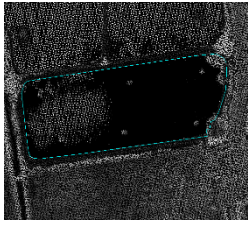

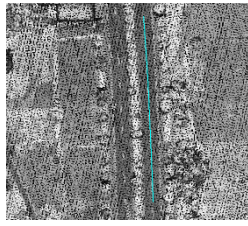
圖 5-10、正射影像與光達比較分布

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
96212020					O
96212026					O
97211032					O
97213008					O
97213023					O
97213046					O

圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
97214002					O
97214070					O
97222054					O
97222093					O
97223033					O
97223040					O
97223068					O



圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
97223095					O
97222023					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。

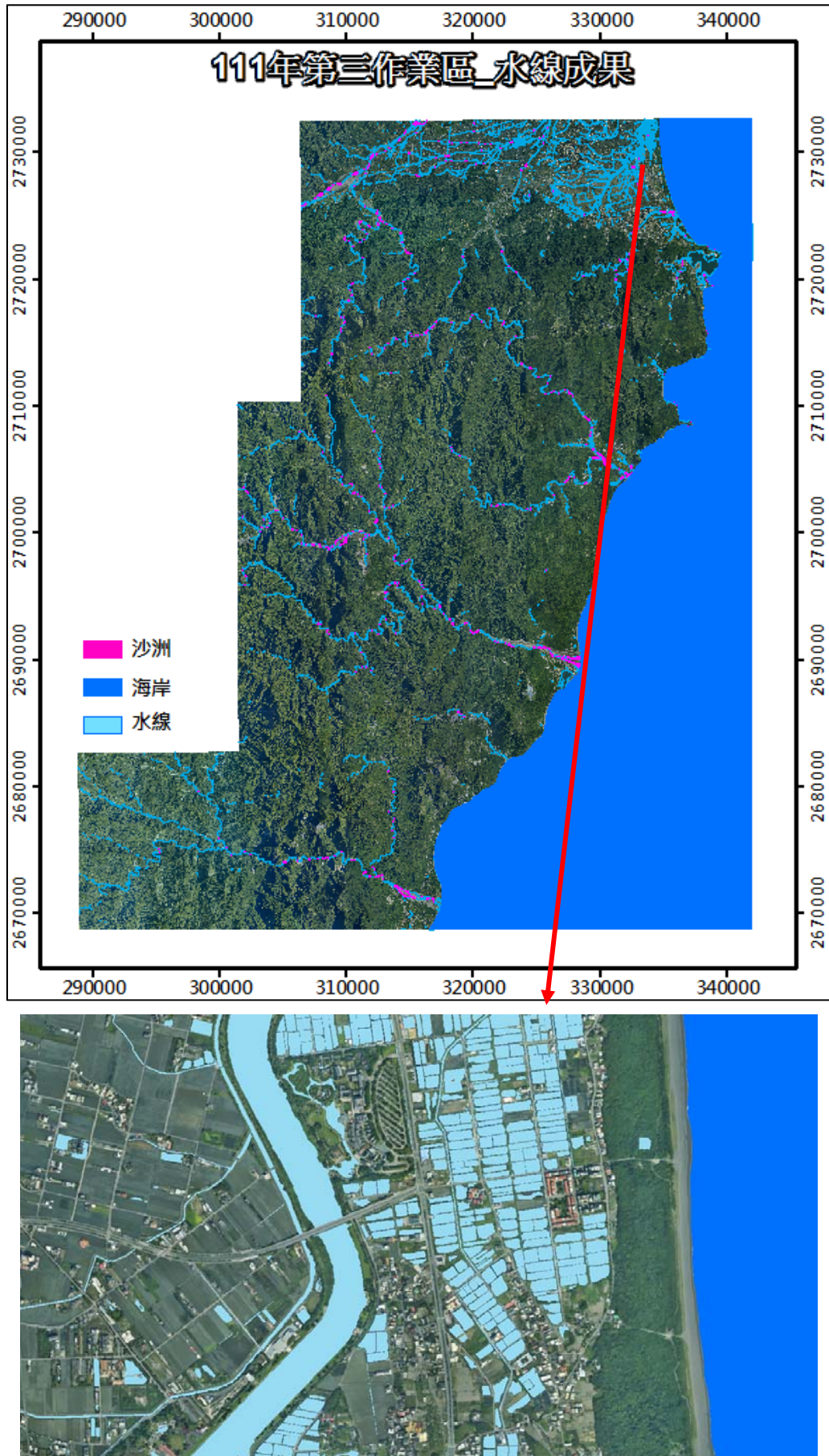


圖5-11、水線成果

## 5.5 正射影像外部接邊

與DEM及DSM接邊位置相同，共計需處理29幅正射影像，接邊位置關係如圖5-12所示。本公司處理與108年及110年度圖幅成果之接邊，並參考111年度第一作業區及第二作業區色調，優先調整第三作業區全區顏色，使各作業區色調落差降低，如圖4-42所示。

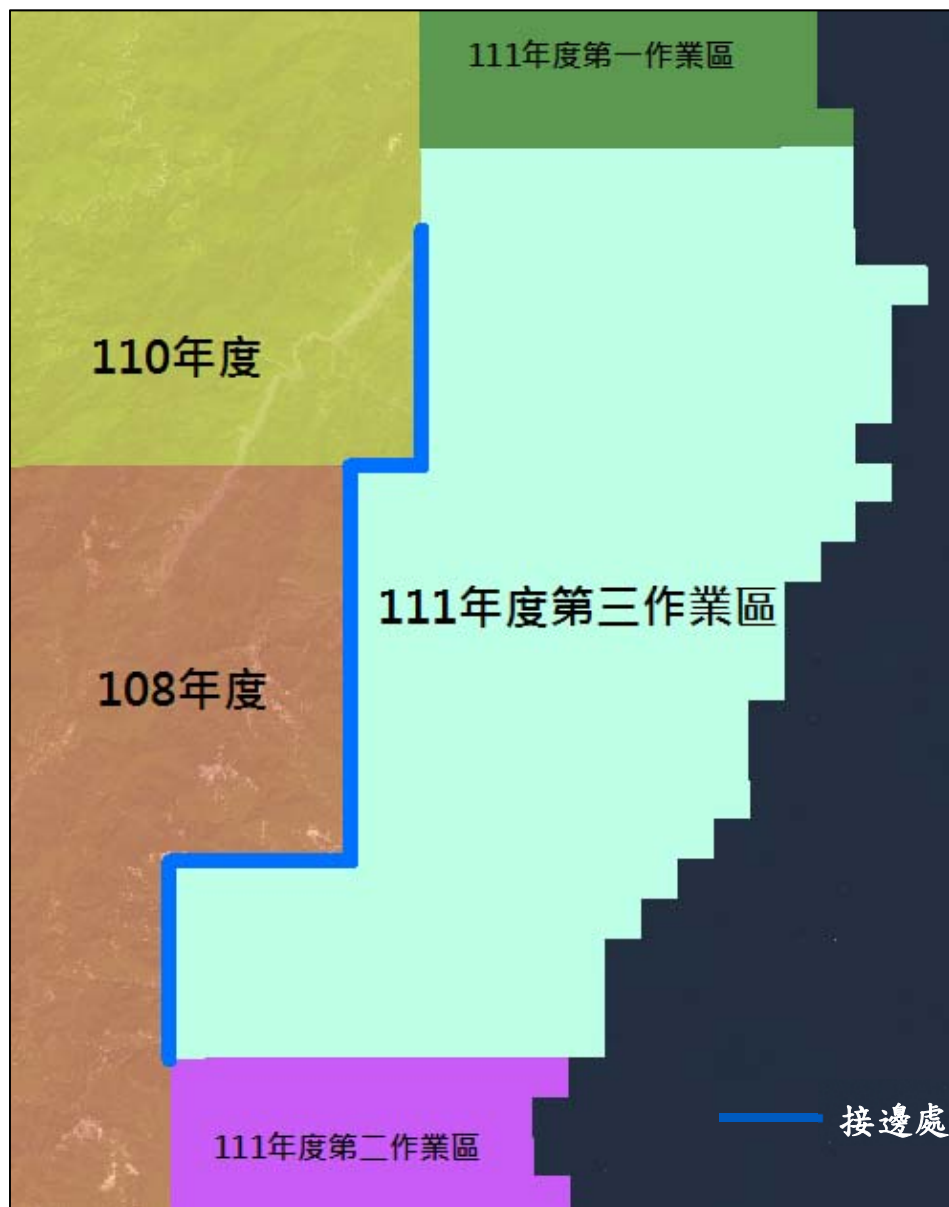


圖5-12、111年度正射影像接邊處

111年正射影像調整色調明暗前成果

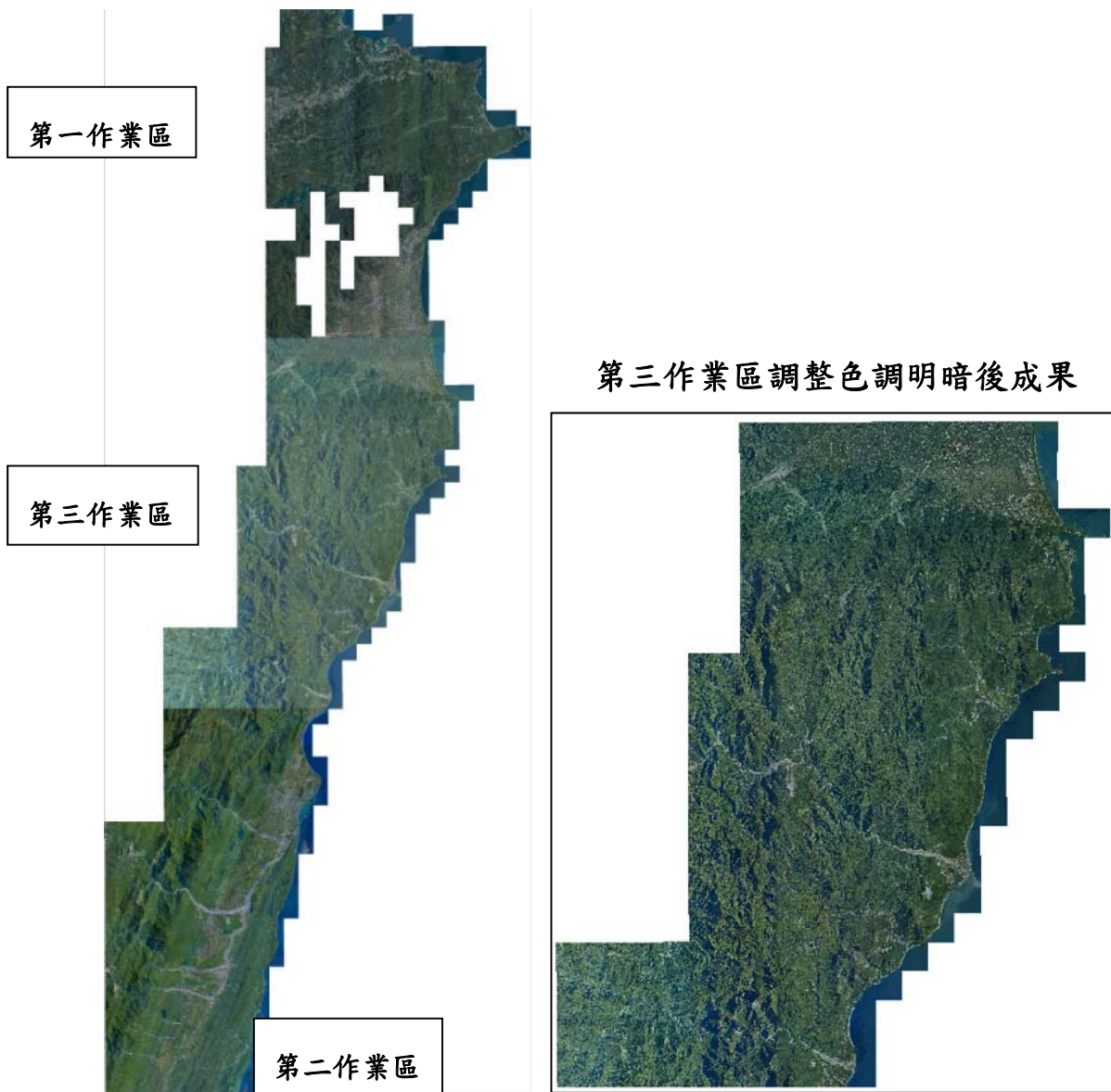


圖5-13、111年度正射影像色調調整

## 5.6 正射影像詮釋資料製作

本年度測區共285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5-14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5-15所示。

圖5-14、內政部TGOS詮釋資料編輯系統2.0介面

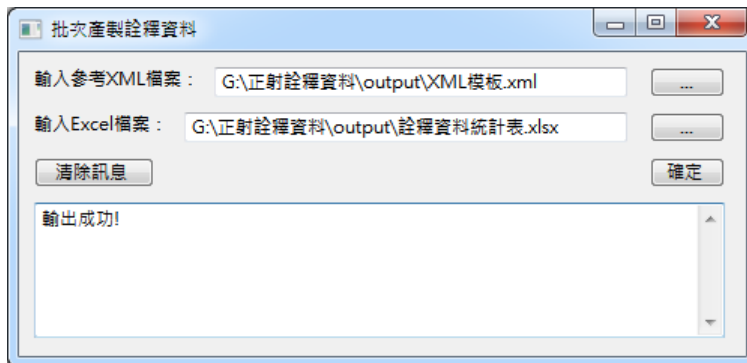


圖5-15、批次產置詮釋資料程式示意圖

## 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30,430,000元，由下表可知，實際成本為30,601,000元，實際成本高於契約價金約17.1萬元，主要新增：

1.由於公司配合政府政策，全面調整薪資，增加作業項目人事成本。

2.點雲過濾成本:由於年初天氣因素，導致拍攝時間延遲，過濾人員需在平日、假日等時間加班處理，增加加班費用。

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。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	149,800	149,800
2.控制測量	式	1	477,900	477,900
3.空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取	幅	285	61,100	17,413,500
4.空載光達掃瞄點雲資料處理	幅	285	19,500	5,557,500
5.DEM/DSM 製作(含圖幅接邊處理)	幅	285	7,100	2,023,500
6.正射影像製作(含空中三角測量)	幅	285	11,300	3,220,500
二、各項報告書、工作總報告等				
	式	1	1,587,300	1,587,300
<b>111 年小計</b>				<b>30,430,000</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	149,800	149,800
2.控制測量	式	1	477,900	477,900
3.空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取	幅	285	62,100	17,698,500
4.空載光達掃瞄點雲資料處理	幅	285	21,000	5,985,000

實際總價				
項目/細項	單位	數量	單價(元)	總價(元)
5.DEM/DSM 製作(含圖幅接邊處理)	幅	285	4,000	1,140,000
6.正射影像製作(含空中三角測量)	幅	285	12,500	3,562,500
二、各項報告書、工作總報告等	式	1	1,587,300	1,587,300
<b>111 年小計</b>				<b>30,601,000</b>

## 6.1 飛航待命及可飛天數分析

本年度因受天候影響，三月執行7個架次後，直至六月才有晴朗無雲的天氣可執行任務，導致第6階段延遲一天繳交。後續把握六、七月的天氣全力執行本作業區飛航，於第7階段提前完成作業，各月份執行飛航次數如圖6-1所示。

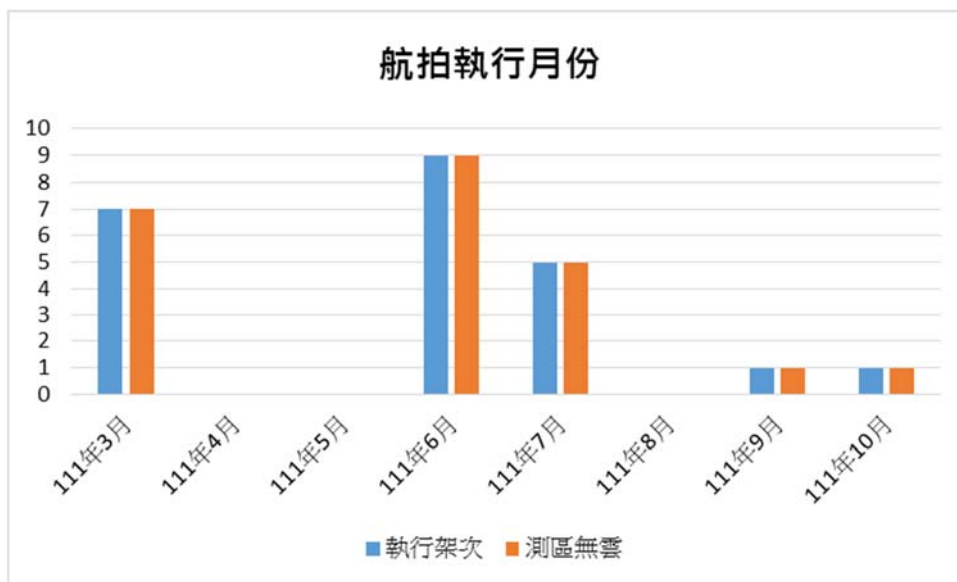


圖6-1、飛航待命及可飛天數分析圖

## 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) 111 年度第 3 作業測區總圖幅數為 285 幅，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 6 階段繳交 114 幅以及第 7 階段繳交 171 幅。使用儀器為空載光達 Riegl VQ1560II 搭配 Phase One IXU-RS-1000 以及 DMCIH 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 3 站、中央氣象局 19 站以及經濟部中央地質調查所 3 站。並蒐集 111/03/05~111/03/08 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 60 個控制點，14 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，VQ1560II 拍攝率定場日期為 111 年 2 月 26 日，校正位置位於田中車站附近。
- (五) 第 3 作業區有效架次共 23 架次，正規航線、潮間帶以及交叉航線總計約 3,589 公里，含補雲及重複拍攝兩次以上的航線總計約 4,165 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 8.5 公分，平均點密度為 5.15 點/m<sup>2</sup>，第二子測區航帶間相對高程平均差 7.9 公分，平均點密度為 7.33 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 3.6~公分~6 公分之間，高海拔地類標準偏差為 7.9~13.6 公分。低海拔橫斷面均方根誤差為 3.3 公分，高海拔橫斷面均方根誤差為 8.9 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 12.9 公分。
- (八)本年度第 3 作業區第 6 階段於 111 年 08 月 11、12 日辦理外業驗收，於 111 年 12 月 12~14 日辦理第 7 階段外業驗收，其成果皆符合規範。

### 建議

- (一) 本案空中三角測量規範與基本圖測製規範需求相當，經參考前期基本圖測製報告，使用中像幅進行空中三角測量，需要大幅提高成本及處理時間，包括分區平差作業、自動匹配以及人工選取點位。且應用本案成果時，仍須協助基本圖測製廠商之錯誤問題，增加本案作業時間，建議未來本工項回歸基本圖測製，以利兩案期程更加順利。
- (二) 由於配合政府政策，且因應通貨膨脹、原物料上漲等因素，公司全面調整薪資，增加各項作業項目人事成本，建議未來經費應同步調整。
- (三) 可參考USGS於2020年所提議之測製規範，建議試辦小範圍研究測試案，在原始光達資料上的蒐集建議可分不同層級，於重要地區如易致災區域(地質敏感、水患...等重點區域)，提高點密度至8點/m<sup>2</sup>，製作出更精細、高解析度的成果 (<https://www.usgs.gov/ngp-standards-and-specifications/lidar-base-specification-online>)。

## 檢討

本公司 111 度第 6 階段進度落後，造成罰款的主要原因為：

- (一) 由於天氣因素導致本年度初期飛航作業進度延宕，111/03/16 拍攝完成後至 111/06/04 才進行下一架次的拍攝。由於天候狀況無法掌控，經由甲方協調得以展延部分天數，本公司全力配合加班辦理內業處理工項，補足飛航所導致的進度落後，仍使最終一天的延遲繳交。
- (二) 詮華航空自 109 年籌備 18 個月份，於 110 年年底正式成立，並且自有 2 台同規格航空載具，飛航效能高，作業時數長。由於極端氣候因素，能夠在天候不穩定的情況下，盡全力把握可飛航掃描的時段，並於第 7 階段順利提前完成各項作業。
- (三) 自 110 年度開始，原預計僅需 1 年時間詮華航空即可成立，卻因疫情影響導致比預期時間延遲。本公司盡力尋求備案，由自強航空以及德安航空協助完成 110 年測區飛航，以及 111 年初期的天候因素，導致飛航落後，一再顯示飛航進度為本案作業順利與否的關鍵要素。詮華團隊未來提供本案完整的服務項目，降低飛航風險，必能使本案如期如質完成各項工項。

## 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.



內政部國土測繪中心

地址：臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓

網址：<https://www.nlsc.gov.tw>

總機：(04) 22522966

傳真：(04) 22592533