

**112 年及 113 年 LiDAR 技術更新數值地形模型
成果測製工作
(第 1 作業區)**

**2023 and 2024 Government Procurement for
Updating Taiwan DEM by LiDAR Technique
1st Work Zone**

112 年度工作總報告
Final Report in 2023



標案案號：NLSC－112－12

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 12 月 25 日

112
年度

112年及113年 LIDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作
(第一作業區)

工作總報告

內政部國土測繪中心



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

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「112 年及 113 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 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。112 年度第 1 作業區位在臺灣東部地區, 橫跨花蓮及台東, 共需完成 278 幅 1/5,000 圖幅成果。

本計畫共分兩年度, 112 年度已完成第 1 至第 4 階段, 113 年度進行第 5 至第 8 階段。其中第 2 階段需繳交總圖幅數 40% 成果共 112 幅, 第 3 階段需繳交總圖幅數 60% 成果共 166 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 1 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 136 條航線, 共計 17 架次, 測線長度約 4,420 公里(含潮間帶、交叉航線以及補雲航線), 航高約為 2,700 公尺~4,300 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 112 年 2 月 16 日。並且為了確保率定成果參數正確, 於同天進行確認飛行作業。

第 1 作業區採用自架站 2 站(總計 1 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所架設之 GNSS 連續站 25 站，總計共 27 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 1 作業區以 Phase one IXU-RS1000 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 21,410 張。產製地面解析度為 25 公分之正射影像共 278 幅，測區正射影像與控制點均方根誤差為 18.3 公分。

三、資料後處理及精度分析

第 1 作業區中，第一子測區扣除水域後測區內平均點密度為 4.07 點/m²；第二子測區扣除水域後測區內平均點密度為 6.15 點/m²。

低海拔各地類檢核精度在平均絕對誤差為 5.6 公分~9.7 公分之間，均方根誤差為 5.1 公分~11.7 公分之間。低海拔橫斷面道路檢核的部分，平均絕對誤差為 6.7 公分，均方根誤差為 8.3 公分。

高海拔各地類檢核精度在平均絕對誤差為 10.5 公分~14.3 公分之間，均方根誤差為 9.6 公分~15.4 公分之間。高海拔橫斷面道路檢核的部分，平均絕對誤差為 13.0 公分，均方根誤差為 12.8 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 - 2023 & 2024”. Real World Surveying and Geomatics Corp (RW Company) are execute the 1st work zone. The 1st work zone across Miaoli Country, Taichung City, Hsinchu City and Yilan County. The total number of 1/5,000 Map Sheets is 278.

The project is divided into two years, The first phase to forth phase were completed in 2023 and the fifth phase began in 2024. The second and third phases need to submit 40% (112 Map Sheets)and 60% (166 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 136 trajectories, measuring length of about 4,420 kilometers, flight height of about 2,700 to 4,300 meters, and LiDAR strips overlap of 50%. The calibration of VQ1560II was performed at Tanaka Town on

16th February, 2023. In order to ensure that the result is correct, the flight operation was confirmed on the same day.

There were 2 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 27 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 by Phase One IXU-RS1000 with 80% overlap and 50% sidelap. The current number of actual used aerial photo was 21,410. The orthophotos of this project generated with a ground resolution of 25 cm, and the total number of photos was 278. The standard deviation between orthophotos and control points was 18.3 cm.

III. Post-processing and accuracy analysis

In the 3rd work zone, the average point density of the first sub-zone which exclude water body was 4.07 points/m², the average point density of the second sub-zone which exclude water body was 6.15 points/m².

The average absolute errors of low altitude elevation area were between 5.6 cm ~ 9.7 cm, the root mean square error were between 5.1 cm ~ 11.7 cm. The average absolute errors of the low road cross section was 6.7 cm, this root mean square error was 8.3 cm.

The average absolute errors of high altitude elevation area were between 10.5 cm ~ 14.3 cm, the root mean square error were between 9.6 cm ~ 15.4 cm. The average absolute errors of the high road cross section was 13.0 cm, this root mean square error was 12.8 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	V
圖目錄	VII
表目錄	X
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.....	5
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.....	14
3.1 基站選取.....	14
3.2 控制測量.....	17
第四章、空載LiDAR作業.....	21
4.1 率定作業.....	21
4.2 飛航掃瞄成果.....	31
4.3 控制測量.....	38
4.4 航帶平差與內部精度評估.....	42
4.5 DEM/DSM製作	53
4.6 檢核點蒐集及作業.....	63
第五章、正射影像製作.....	76
5.1 作業區航拍工作.....	76
5.2 航拍影像處理.....	77
5.3 空中三角測量.....	78
5.4 彩色無縫鑲嵌正射影像圖製作.....	80

5.5	正射影像外部接邊.....	88
5.6	正射影像詮釋資料製作.....	89
第六章、	成本及性別比例分析.....	91
6.1	成本比例分析.....	91
6.2	性別比例分析.....	92
第七章、	結論與建議.....	93
第八章、	參考文獻.....	95

附件一、112年度第1作業區作業計畫

附件二、第1作業區飛航申請公文

附件三、控制測量成果

附件四、儀器TAF認證實驗室檢校及率定報告

附件五、空中三角測量報表

附件六、自主檢查報表

附件七、工作會議議論與追蹤事項辦理情形

附件八、函文紀錄表

附件九、審查意見回覆表

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1-3、本案工作場所及機敏室環境	6
圖2-1、Riegl VQ1560II與搭載相機規格	8
圖2-2、飛航規劃流程圖.....	9
圖2-3、測區分區圖.....	10
圖2-4、正規航線設計圖.....	11
圖2-5、交叉航線設計圖.....	12
圖2-6、潮間帶航線設計圖.....	13
圖3-1、基站外擴20公里範圍及套疊國土測繪中心通用版電子地圖	15
圖3-2、基站外擴許可公文.....	15
圖3-3、GNSS基地站涵蓋範圍調整後成果	16
圖3-4、第1作業區航帶平差控制點分布圖	19
圖3-5、高程及屋角點點之記.....	20
圖3-6、檢核點點之記.....	20
圖4-1、空載LiDAR作業流程圖.....	21
圖4-2、空載光達率定示意圖.....	22
圖4-3、Lever Arm量測作業	23
圖4-4、彰化田中鎮率定場.....	23
圖4-5、率定前點雲資料.....	26
圖4-6、率定解算成果.....	27
圖4-7、率定後平面成果.....	28
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.....	34
圖4-13、航線掃瞄月份.....	35

圖4-14、基站與航線軌跡距離.....	36
圖4-15、基站YUL1_PDOP值.....	37
圖4-16、機載GNSS_PDOP值.....	37
圖4-17、空載光達掃瞄資料作業流程圖.....	38
圖4-18、飛航掃瞄軌跡解算.....	39
圖4-19、本案點雲涵蓋圖.....	39
圖4-20、原始點雲誤差檢核_高程差顯色(左:平地;右:山區).....	41
圖4-21、局部檢視剖面_航帶顯色(左:平地;右:山區).....	41
圖4-22、航帶平差作業流程.....	42
圖4-23、推求兩航帶內某共軛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.....	52
圖4-31、點雲後處理作業流程圖.....	53
圖4-32、DEM、DSM製作流程.....	54
圖4-33、過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000).....	55
圖4-34、人工檢視編修界面.....	56
圖4-35、過濾非地面點後之範例.....	56
圖4-36、河道兩旁人工構造物修正(平地).....	57
圖4-37、垂直山壁人工修正(山區).....	57
圖4-38、水體分類成果(圖號96191087).....	58
圖4-39、本案作業人員分布圖.....	59
圖4-40、點雲TIN分析圖.....	59
圖4-41、第1作業區DEM、DSM成果.....	61
圖4-42、DEM、DSM分布圖.....	62
圖4-43、年度接邊地形變異示意圖.....	62

圖4-44、檢核點分布.....	66
圖4-45、低海拔各地類檢核誤差分布圖.....	70
圖4-46、低海拔各地類檢核誤差圓餅圖.....	71
圖4-47、高海拔各地類檢核誤差分布圖.....	73
圖4-48、高海拔各地類檢核誤差圓餅圖.....	74
圖4-49、第2階段外業驗收直方圖.....	74
圖5-1、正射影像製作流程.....	76
圖5-2、PPS影像處理示意圖.....	77
圖5-3、原始影像色彩預處理.....	78
圖5-4、空三作業區域分配圖.....	79
圖5-5、控制點量測.....	80
圖5-6、正射影像與光達比較圖.....	81
圖5-7、正射影像鑲嵌線(圖號96204037).....	82
圖5-8、正射影像成果.....	82
圖5-9、正射影像檢核點分布位置.....	83
圖5-10、正射影像與光達比較分布.....	85
圖5-11、水線成果.....	88
圖5-12、正射影像接邊分布圖.....	89
圖5-13、內政部TGOS詮釋資料編輯系統2.0介面.....	90
圖5-14、批次產置詮釋資料程式示意圖.....	90

表目錄

表1-1、112年度各階段繳交期程表.....	4
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.....	7
表2-2、正規航線掃瞄參數表.....	11
表2-3、交叉航線掃瞄參數表.....	12
表2-4、潮間帶航線掃瞄參數表.....	13
表3-1、測區基站統計表.....	17
表4-1、航線規劃設計.....	24
表4-2、飛行作業時間.....	24
表4-3、GNSS精度相關成果圖.....	25
表4-4、Boresight Angle率定值.....	27
表4-5、光達系統率定高程分析統計表(正規飛行).....	29
表4-6、光達系統率定高程分析統計表(確認飛行).....	30
表4-7、飛航掃瞄紀錄表.....	32
表4-8、測區各架次掃瞄執行時間.....	34
表4-9、航拍點雲之檢核.....	40
表4-10、平面精度比較表.....	51
表4-11、點雲分類圖層說明表.....	54
表4-12、低高海拔各地類及橫斷面檢核點.....	64
表4-13、中高海拔各地類及橫斷面檢核點.....	65
表4-14、地形類別調整參數b(單位：公尺).....	67
表 4-15、地表植被覆蓋情形調整參數c(無單位).....	67
表4-16、平面精度標準(單位：公尺).....	67
表4-17、第1作業區低海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表.....	68
表4-18、本案高海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表.....	71

表5-1、空三平差成果連結點強度統計表	80
表5-2、正射影像與控制點差值比較表	83
表5-3、正射影像與光達比較表.....	86
表6-1、經費分析	91
表6-2、性別比例分析.....	92

第一章、前言

1.1 計畫緣起與目的

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

民國98年莫拉克風災後，經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)於99~104年陸續辦理台灣本島1米解析度DTM。內政部報經行政院核定推動「落實智慧國土-國土測繪圖資更新及維運計畫(105-109年)」，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。另自110年度起續依據「邁向3D智慧國土-國家底圖空間資料基礎建置計畫(110-114年)」持續辦理DTM資料更新，截至111年度止已辦理1,648幅範圍數值地形模型更新作業。

112年及113年持續規劃以LiDAR技術辦理第1作業區(567幅)、第2作業區(558 幅)及第3作業區(576幅)DTM 更新範圍合計1,701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1作業區，112年度資料源規範圍278幅，並規劃第一子測區112幅(第二階段繳交)，第二子測區166幅(第三階段繳交)。

1.2 計畫範圍

本區為臺灣花東及南投地區，測區範圍西側包括中央山脈，百岳共計12座，地勢海拔高；東側地區為花東縱谷平原以及海岸山脈，海拔高度約為0至3,398公尺，本作業區高低起伏較大，須注意飛安相關事宜。總計海拔高度低於800公尺之測區約佔114幅(40%)，高於800公尺之測區約164幅(60%)，共計涵蓋278幅。前期資料分別為100年、101年以及104年製作，測製範圍如圖1-1所示。

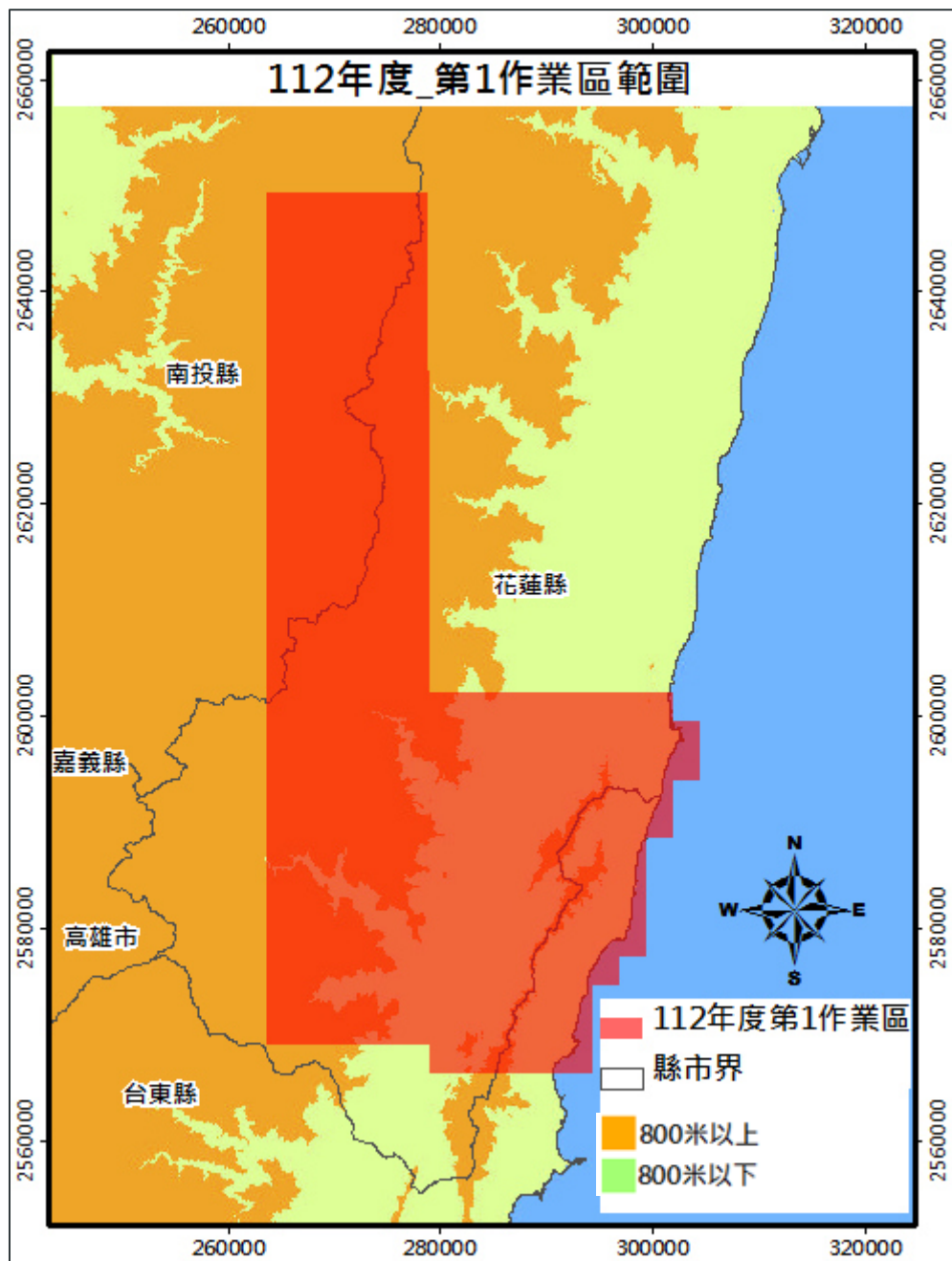


圖 1-1、第 1 作業區作業範圍

1.3 各階段繳交期程

本年度共分4個階段繳交資料，第1階段為作業計畫，包括空載光達掃瞄飛航作業。第2、3階段繳交作業範圍內相關成果，包括航拍作業、地面控制、資料解算處理、點雲過濾、DEM及DSM製作、正射影像以及水線繪製，第2階段總計繳交40%圖幅數，第3階段繳交60%圖幅數，第4階段繳交112年度工作總報告。

第2階段需繳交40%作業圖幅，即112幅；第3階段繳交剩餘之166圖幅，總計圖幅為278幅。

由於本年度飛航初期，山區天氣較沿海晴朗，優先完成飛航作業，因此規劃第1子測區為靠近山區之圖幅，剩餘區域規劃為第二子測區，圖幅規劃以完整區域為優先考量，將各期作業範圍配置如圖1-2。

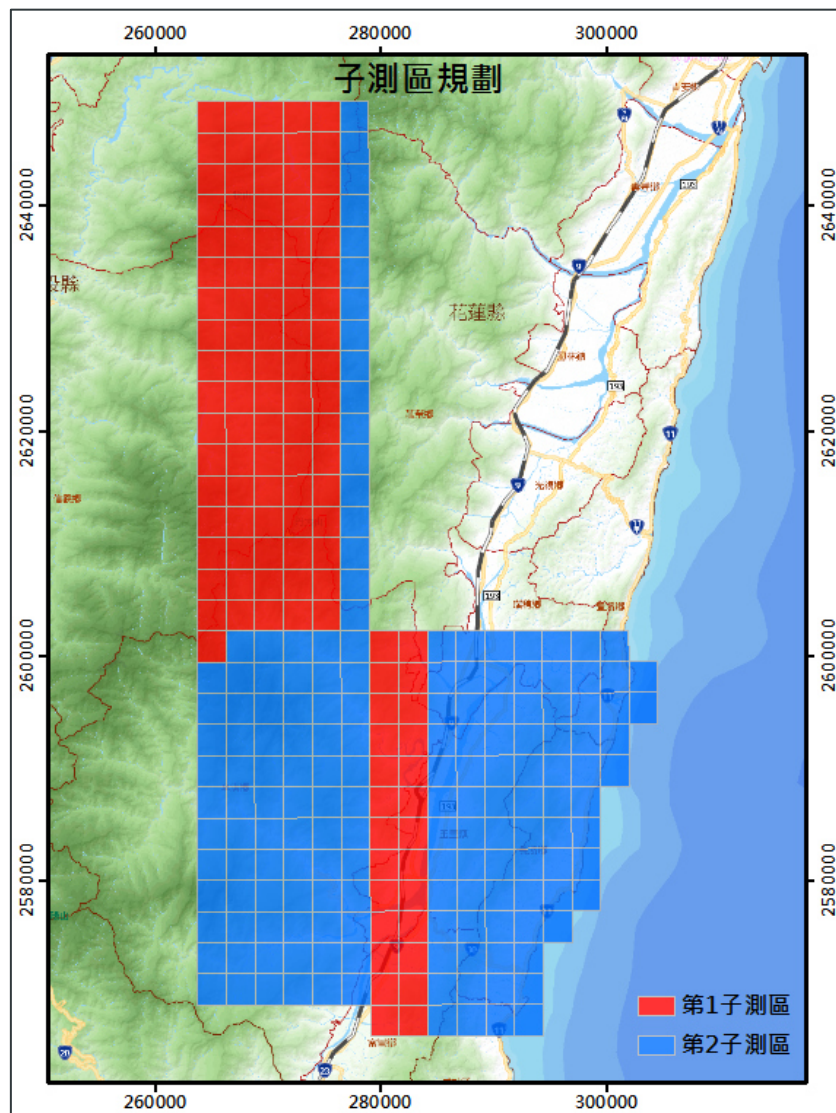


圖 1-2、第 1 作業區各階段繳交圖幅數位置分布圖

本計畫自民國112年02月07日決標至113年11月11日，共分兩個年度8個階段繳交成果資料，112年度為第1階段至第4階段，相關作業期程如表1-1所示。

表1-1、112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	112年度作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)。	112/02/23	112/02/20
第2階段	1.DEM與DSM成果(112年度範圍40%以上圖幅)及控制測量(112年度範圍)。 2.正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。	112/08/31	112/08/30
第3階段	1.DEM與DSM成果(112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)。	112/11/30	112/11/30
第4階段	112年度工作總報告及電子檔。	112/12/11	112/12/11
	修正後112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112年02月23日前完成112年度作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)10份及電子檔2份，相關時程如表1-2所示。

表1-2、第1階段成果繳交期程

交付項目	建置方繳交日期	審查合格日期
第1階段成果	112/02/14(繳交丙方) (詮字第1120001490號)	112/02/18 (成大產創字第1121100523號)
	112/02/20(繳交甲方) (詮字第1120001710號)	112/03/22 (測應字第1121331957號)

第2階段作業成果說明:

本階段作業項目為112年08月31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	112.08.24(繳交丙方) (詮字第1120010840號)	112.08.30 (成大產創字第1121102757號)
	112.08.30(繳交甲方) (詮字第1120011060號)	112.10.03 (測應字第1121565400號)

第3階段作業成果說明:

本階段作業項目為112年11月30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3階段成果繳交期程

交付項目	建置方繳交日期	審核合格日期
第3階段成果	112.11.24(繳交丙方) (詮字第1120015230號)	112.11.29 (成大產創字第1121103860號)
	112.11.30(繳交甲方) (詮字第1120015410號)	112.12.18 (測應字第1121565459號)

第4階段作業成果說明:

本階段作業項目為112年12月11日前完成112年度工作總報告初稿，相關期程如表1-5。

表1-5、第4階段成果繳交期程

交付項目	建置方繳交日期	審核合格日期
第4階段成果	112.12.04(繳交丙方) (詮字第1120015700號)	112.12.11 (成大產創字第1121104029號)
	112.12.11(繳交甲方) (詮字第1120016120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112年5月2日檢查合格(測應字地1121565258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112年2月13日詮字第1120001410號繳交航拍申請相關文件於貴中心，統一由貴中心向內政部申請航拍許可，並於112年3月29日台內地字第1120111553號申請通過，向民航局申請各載具之航拍許可，並於112年4月17日空運管字第1120014154號獲得民航局許可，測區航拍申請期程如表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
由貴中心統一發文	112/03/29 (台內地字第1120111553號)	112/04/17 (空運管字第1120014154號)

2.1.2 系統裝機

本計畫主要使用設備為Riegl VQ1560 II搭載中像幅相機Phase One IXU-RS1000，主要規格如圖2-1。

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

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

校正報告

校正項目：空載光達
報告日期：112年01月31日
報告編號：I202211230101

儀器名稱：空載光達
廠牌型號：RIEGL/VQ1560II
儀器序號：S2224052
送校單位：詮華國土測繪有限公司
地址：221634 新北市汐止區新台五路一段159號5樓之1

上述儀器經本實驗室校正，結果如內文。
本報告含封面及7頁內文，分離使用無效。

 內政部
國土測繪中心
測量儀器
校正實驗室

許展祥
報告簽署人

內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室
臺中市南屯區黎明路2段497號4樓

校正報告

校正項目：航空測量攝影機
報告日期：112年01月19日
報告編號：F202212230101

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

上述儀器經本實驗室校正，結果如內文。
本報告含封面及8頁內文，分離使用無效。

 內政部
國土測繪中心
測量儀器
校正實驗室

許展祥
報告簽署人

內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室
臺中市南屯區黎明路2段497號4樓

圖2-1、Riegl VQ1560II與搭載相機規格

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2-2所示，並以下列各項原則進行航線規劃：

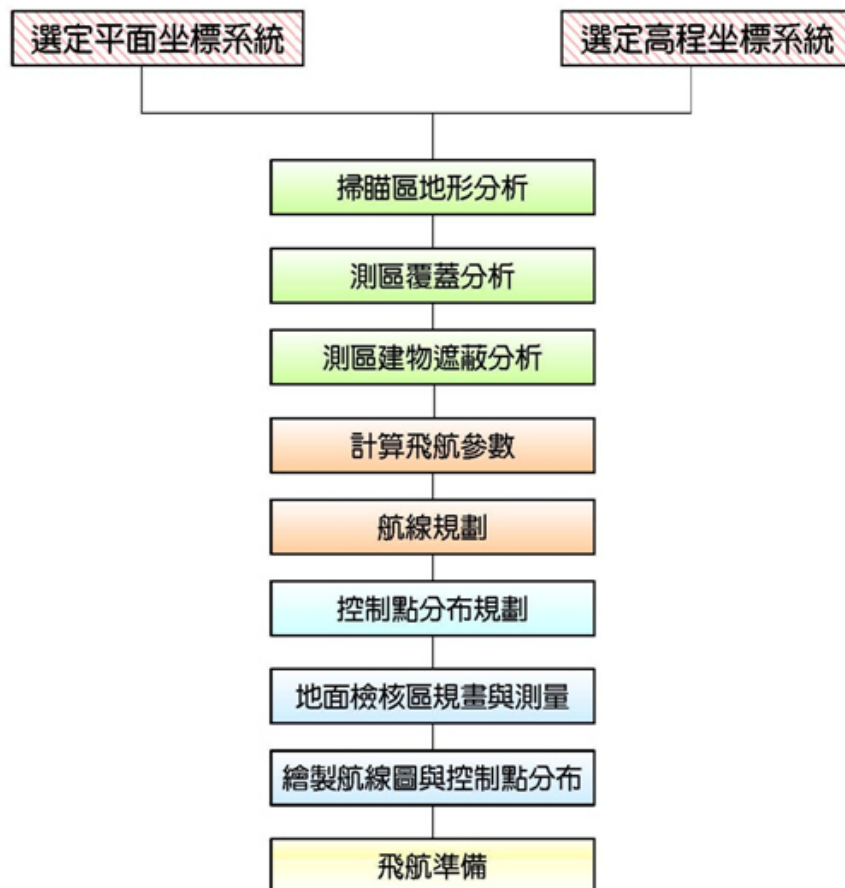


圖 2-2、飛航規劃流程圖

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**需有一交叉航線。
4. 整體航線規劃區分如圖2-3所示，共區分為5個區塊，說明詳述於下。

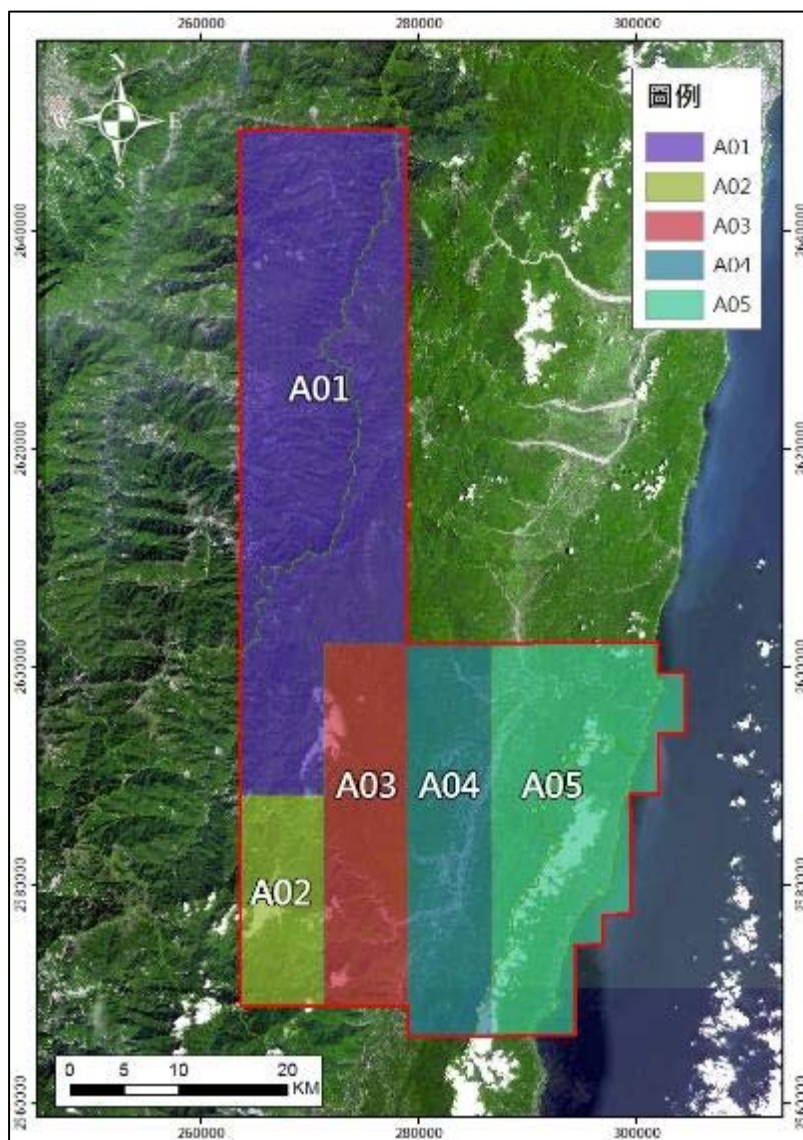


圖 2-3、測區分區圖

本測區位於台灣東部中央山脈以及花東縱谷及海岸山脈，海拔高度約為0至3,398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5個測區，各測區依據地形變化規劃不同的航線參數，包含航高、掃瞄頻率、脈衝頻率，以期達到所需的點密度及穿透率。航線總計**119條**，包含**107條**正規航線、**7條**交叉航線及**5條**潮間帶航線，總長約**4274km**。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107條正規航線，總長約4079公里，航線方向依山脈走勢採南北向飛行，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2-4及表2-2，各航線詳細參數參照附件一、112年度第1作業區作業計畫。

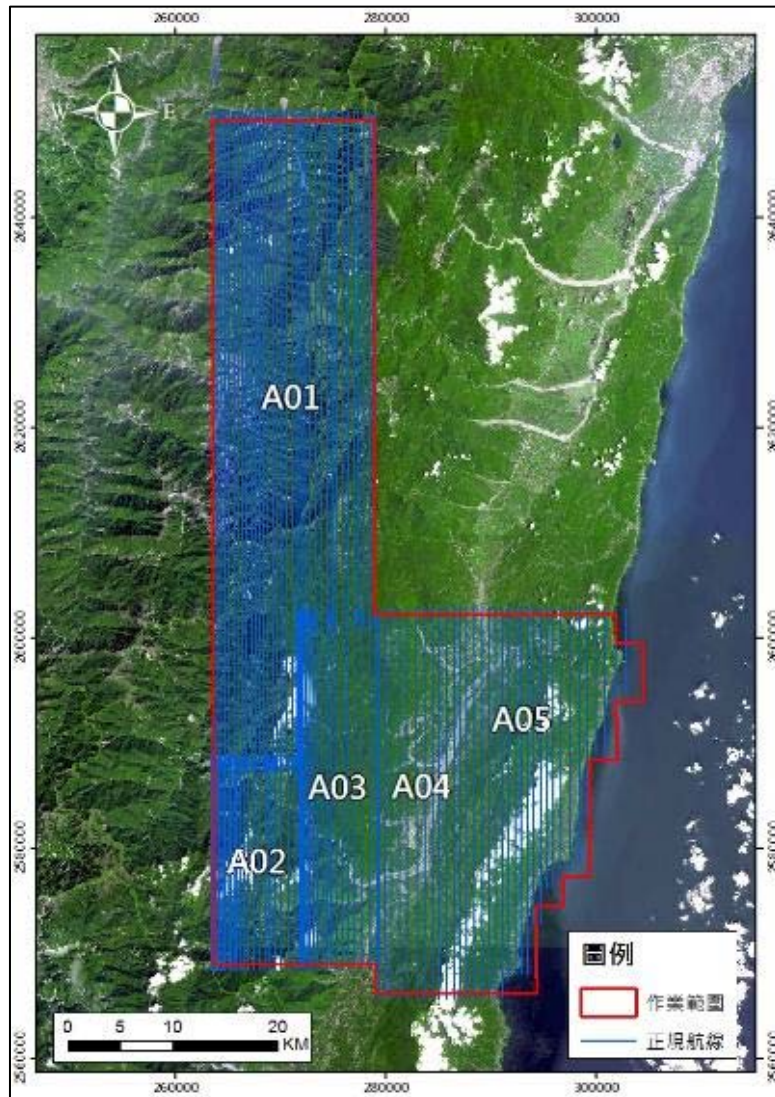


圖 2-4、正規航線設計圖

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	21001-21035	180	1995	4300	120	654	3432	50	86	330	3.2	1888	70%	80%	50%
A02	21036-21056	180	429	3600	120	385	3222	50	86	330	3.2	1845	70%	80%	50%
A03	21057-21073	180	579	3300	120	162	2750	50	90	350	3.2	2010	70%	80%	50%
A04	21074-21084	180	410	3100	120	82	1786	50	90	340	2.4	2481	70%	80%	50%
A05	21085-21107	180	655	2700	120	0	1319	50	90	310	2.4	2237	70%	80%	50%

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150公里，航線方向採東西向設計，整體航線設計圖如圖2-5所示，相關參數附於表2-3：

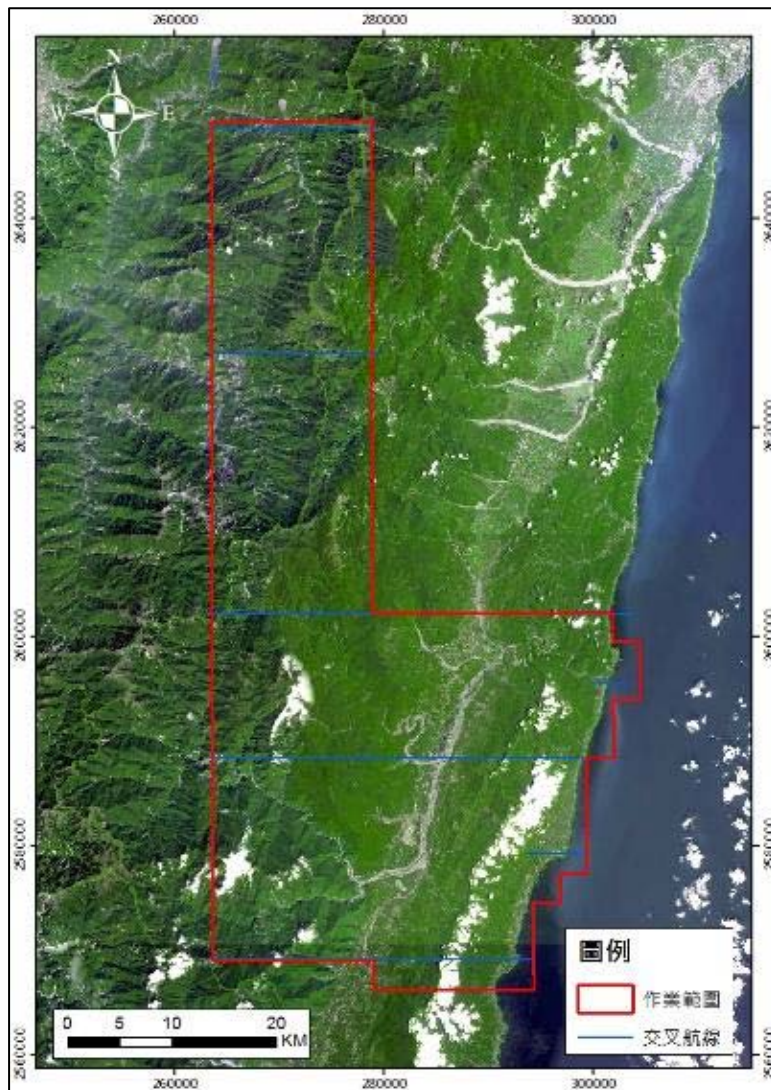


圖 2-5、交叉航線設計圖

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)	掃瞄視角(度)	掃瞄頻率(Hz)	脈衝頻率(kHz)	航帶點密度	航帶寬度(m)	影像平均前後重疊率(%)
21400	90	16.0	4500	120	972	3081	50	80	300	1.1	2489	80%
21401	90	16.3	4500	120	1230	2968	50	80	300	1.4	1979	80%
21402	90	40.5	4500	120	0	3250	50	80	300	0.8	3236	80%
21403	90	3.6	2700	120	0	335	50	90	310	1.1	2496	80%
21404	90	36.7	4500	120	0	2337	50	80	300	0.8	3362	80%
21405	90	5.2	2700	120	0	308	50	90	310	1.1	2445	80%
21406	90	31.3	3800	120	0	2551	50	80	300	1	2803	80%

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 5 條潮間帶航線，長度總計 48 公里，整體航線規劃如圖 2-6 所示，其相關參數附於表 2-4：

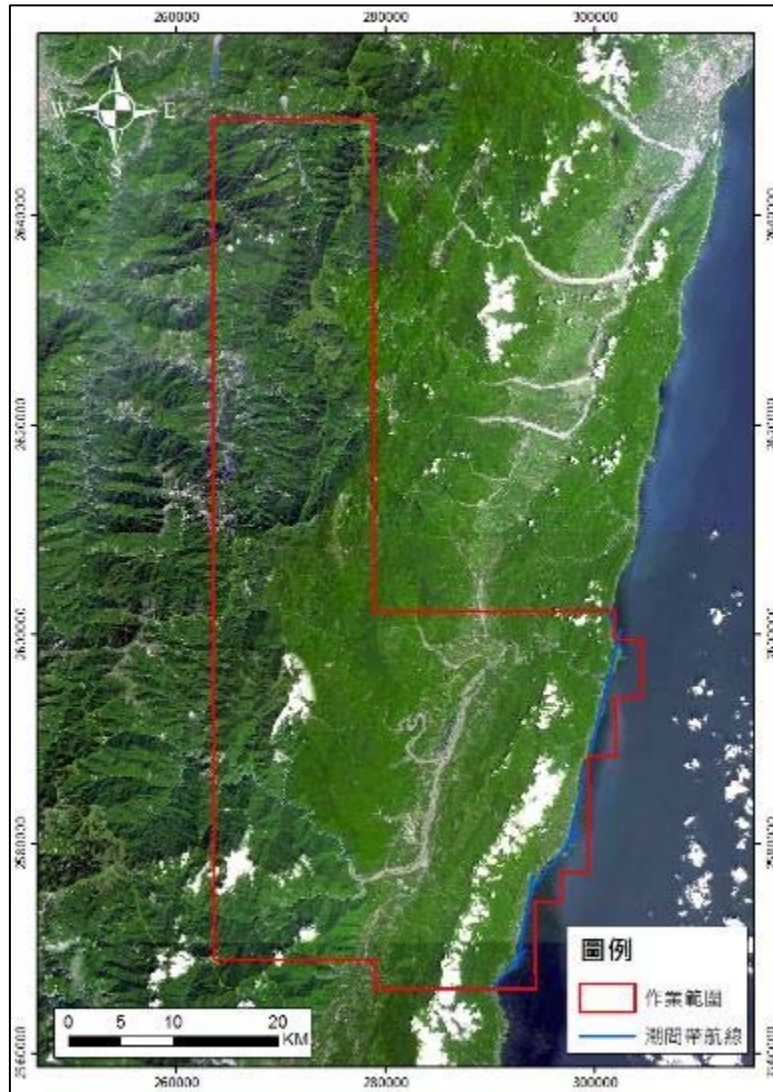


圖 2-6、潮間帶航線設計圖

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(%)
21800	162	4.5	2300	120	0	139	50	120	470	2	2124	80%
21801	14	21.9	2300	120	0	167	50	120	470	2	2119	80%
21802	40	7.6	2300	120	0	80	50	120	470	2	2124	80%
21803	11	9.0	2300	120	0	233	50	120	470	2	2128	80%
21804	41	5.3	2300	120	0	414	50	120	470	2	2111	80%

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。

由於本作業區位於山區，自架站架設後仍無法滿足20公里範圍內完整包含本測區之需求，套疊國土測繪中心通用版電子地圖確認本測區無道路可進入，因此作業區西側無適合架站之位置，如圖3-1。因此於112年2月16日函文提出7點GNSS基站外擴32公里以涵蓋測區範圍之需求(詮字第1120001580號)，並於112年2月18日以及112年2月21日分別由監審單位及貴中心核可(成大產創字第1121100522號、測應字第1121331159號)，如圖3-2。外擴後基站涵蓋範圍如圖3-3，滿足規範需求。

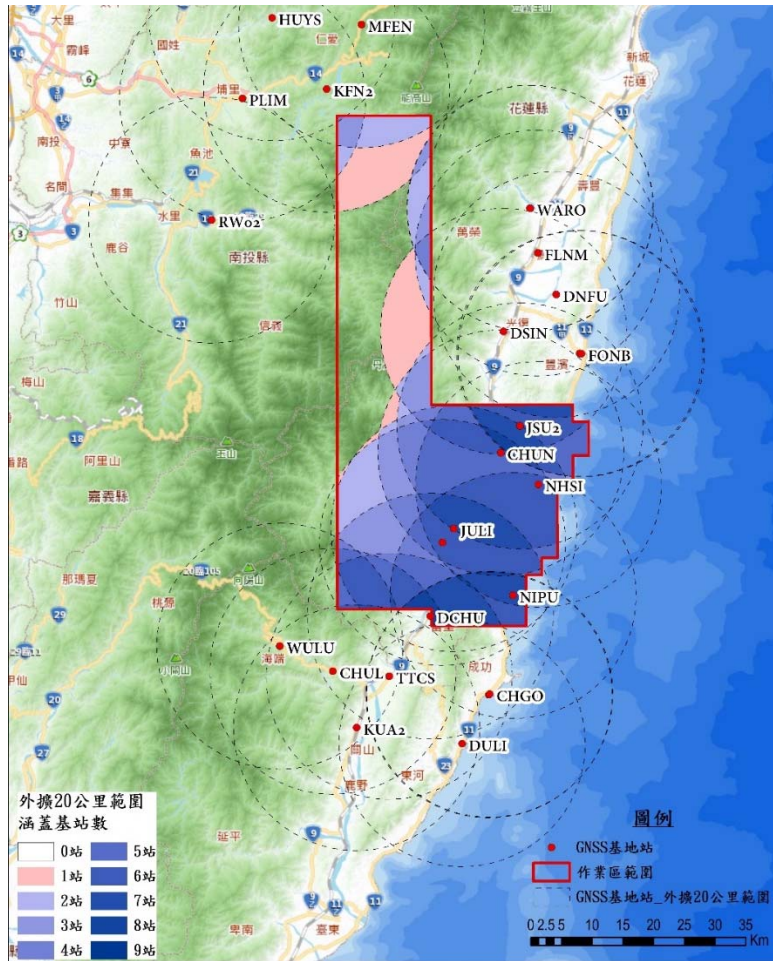


圖3-1、基站外擴20公里範圍及套疊國土測繪中心通用版電子地圖

國立成功大學 函

地址：701 臺南市東區大學路1號
 聯絡人：郭俐慧
 聯絡電話：06-2383399#210
 傳真：06-2383399
 電子信箱：lhkuo@mail.ncku.edu.tw

受文者：詮華國土測繪有限公司

發文日期：中華民國112年2月18日
 發文字號：成大產創字第1121100522號
 送別：普通件
 密等及解密條件或保密期限：
 附件：如文 (A09540000Q112110052200-1.pdf)

主旨：本校衛星資訊研究中心執行「112年及113年LiDAR技術更新數值地形模型成果檢核與監審工作採購案」，有關112年度第1作業區內 GNSS基站建站規劃，依詮華國土測繪有限公司所提供的佐證資料，審查判定部分測區確實為人車抵達困難(詳附件)，請查照。

說明：

- 一、依詮華國土測繪有限公司112年2月16日詮字第1120001580號函辦理。
- 二、在不影響解算成果精度下，建議惠予同意詮華國土測繪有限公司外購CHUN、DSIN、JSU2、FLNM、JULI五站及自架GNSS基站RW01、RW02兩站，採外擴32公里之進行 GNSS 架站作業，但解算精度須符合合約規範(詳附件)。

正本：內政部國土測繪中心、詮華國土測繪有限公司
 副本：本校衛星中心

內政部國土測繪中心 函

地址：408281臺中市南屯區黎明路2段497號4樓
 聯絡人：古伊庭
 聯絡電話：04-22522966#212
 傳真：04-22540324
 電子信箱：23228@mail.nlsc.gov.tw

受文者：詮華國土測繪有限公司

發文日期：中華民國112年2月21日
 發文字號：測應字第1121331159號
 送別：普通件
 密等及解密條件或保密期限：
 附件：

主旨：貴公司提送「112年及113年LiDAR技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」之112年度第1作業區內 GNSS基站規劃案，請查照。

說明：

- 一、依據國立成功大學112年2月18日成大產創字第1121100522號函辦理。
- 二、本中心同意貴公司在不影響成果解算精度前提下，規劃將7處GNSS基站(點號為CHUN、DSIN、JSU2、FLNM、JULI、RW01、RW02)之基線涵蓋範圍外擴為32公里，惟相關解算精度及成果品質仍須符合契約規範。

正本：詮華國土測繪有限公司
 副本：國立成功大學、本中心應用圖資測製科

圖3-2、基站外擴許可公文

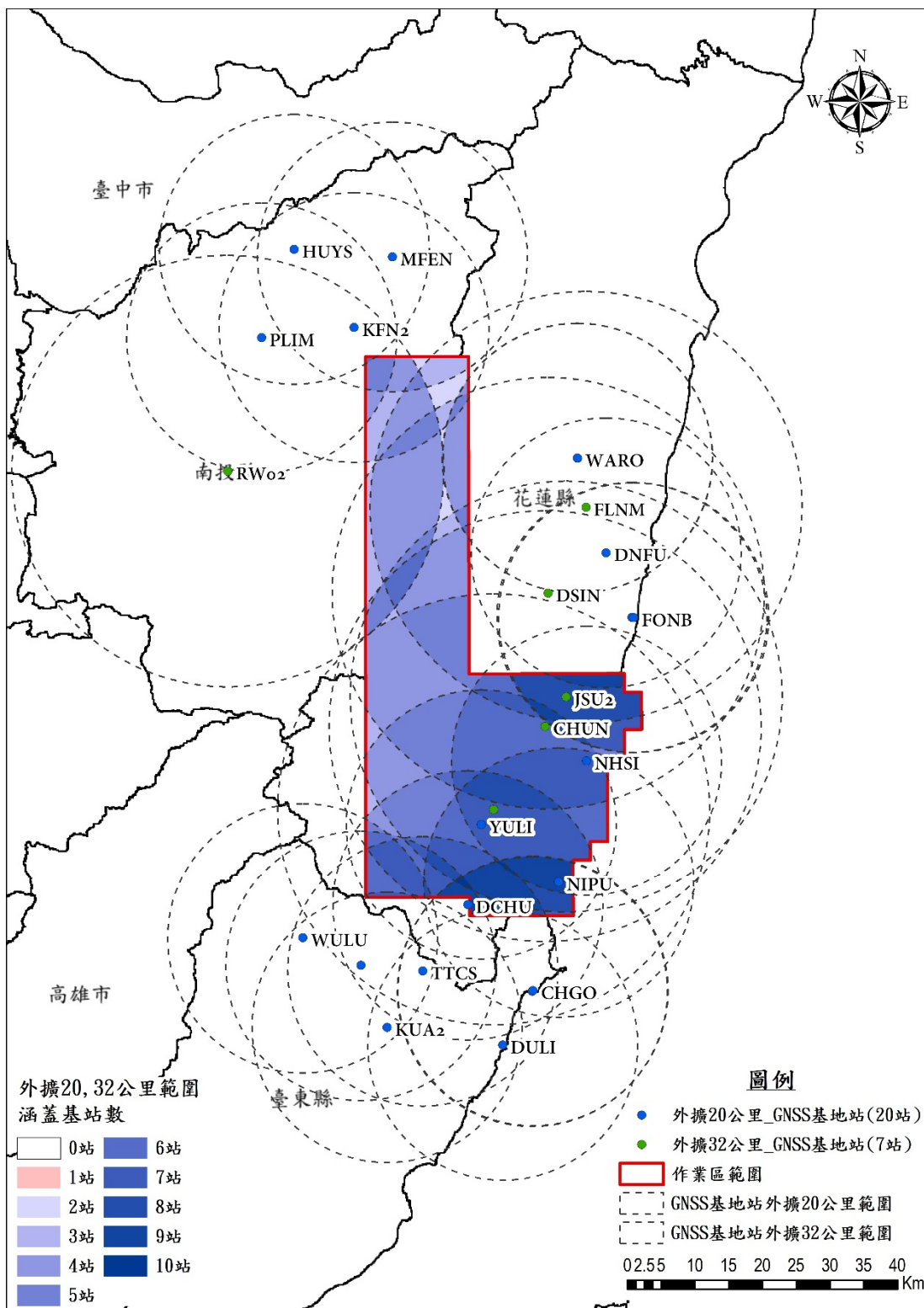


圖3-3、GNSS基地站涵蓋範圍調整後成果

基站作業內容如下：

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 2 站(總計 1 個地點，採雙主站架設)，並統整測區周遭之中央氣象局以及內政部國土測繪中心架設之 GNSS 連續站，蒐集三天資料(112/04/18~112/04/20)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 1 作業區周遭連續觀測站相關數量統計如表 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	chgo、flnm、fonb、juli、kfn2、plim、waro、wulu、共計8站
中央氣象局	chen、chul、chun、dchu、dnfu、dsin、duli、fenp、huys、jsu2、kua2、mfen、nhsi、nipu、slin、tcs、yul1 共計17站
本公司預計自架站位置	RW0102(地利活動中心) 共計2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。而本作業皆於112年3月前施測，使用系統為e-GNSS2021，國土測繪中心於112年5月1日更換為e-GNSS2023，兩套系統差異為地震前後的變化(111年9月17日台東縣關山鎮及池上鄉芮氏規模6.4及6.8地震)，本測區位於花東交接處，在後續驗收需注意會有部分成果會有驗收較大的誤差情況。

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20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1作業區控制點分布如圖3-4所示，實際施測高程控制點共計54點、檢核點15個(其中11點規劃與航標共點)、特徵屋角點12點、立體量測67點，共計137點，點之記示意圖如圖3-5~圖3-6、檢核點點之記所示，詳細坐標成果如附件三。

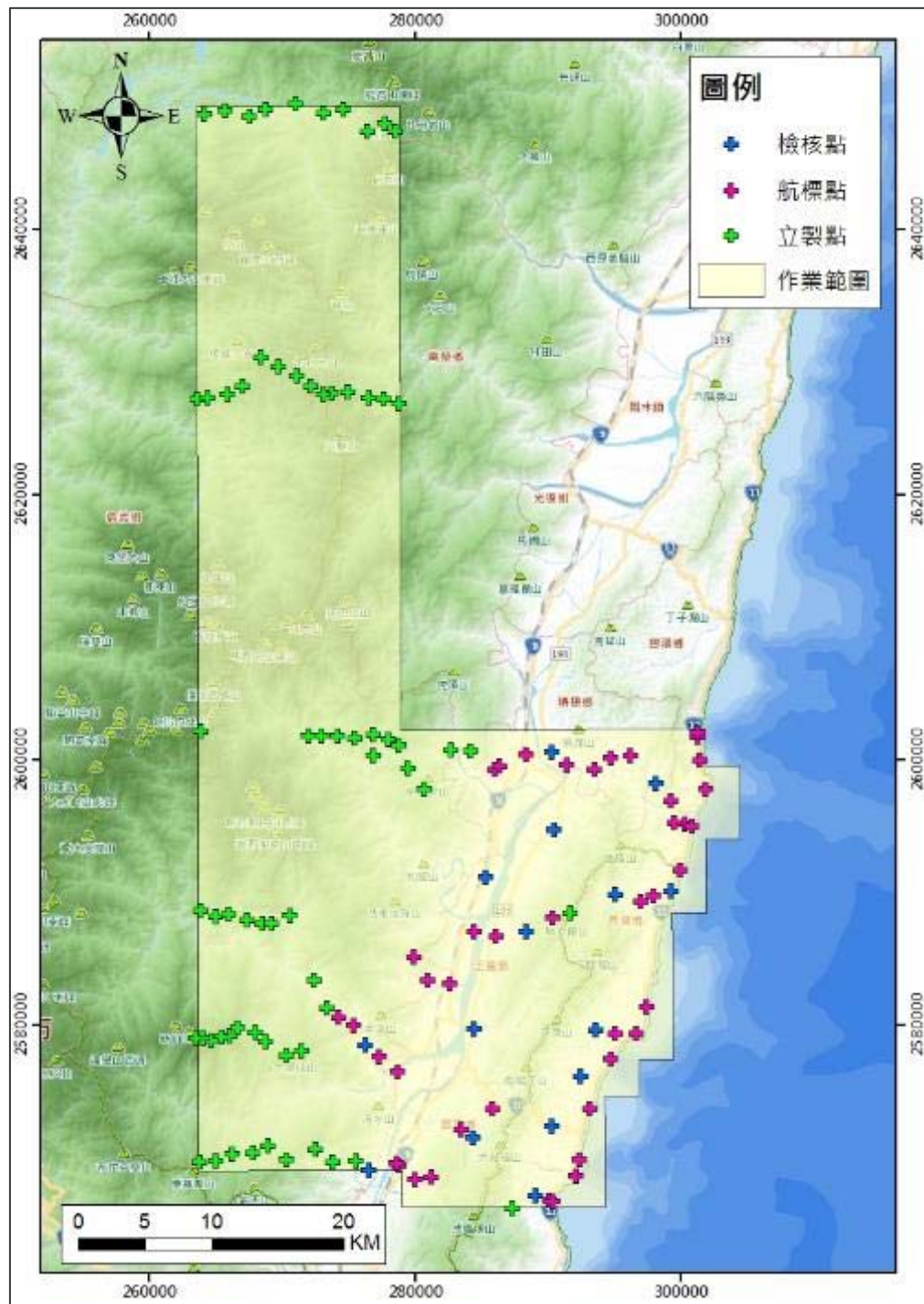


圖 3-4、第 1 作業區航帶平差控制點分布圖

內政部國土測繪中心「112年及113年LiDAR技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」				內政部國土測繪中心「112年及113年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】				【地面控制點點位調查表】			
A 全控點				B 平控點			
點號	21-0002A	圖號	96194070	點號	21-811	圖號	96191063
所在地	花蓮縣卓溪鄉	點別	<input checked="" type="checkbox"/> 全控(A) <input type="checkbox"/> 高控(A) <input type="checkbox"/> 平控(B) <input type="checkbox"/> 檢核點(C)	所在地	花蓮縣玉里鎮	點別	<input type="checkbox"/> 全控(A) <input checked="" type="checkbox"/> 高控(A) <input type="checkbox"/> 平控(B) <input type="checkbox"/> 檢核點(C)
平面坐標	E	275405.152	高程值	正高	348.843	E	282245.073
	N	2580129.277		標高	375.547	N	2580541.641
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	坐標框架	TWD97@2020	
點位種類	<input checked="" type="checkbox"/> 測釘 <input type="checkbox"/> 角點 <input type="checkbox"/> 海港 <input type="checkbox"/> 其他		大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採_TW_HYGE02014_模式化算	點位種類	<input checked="" type="checkbox"/> 測釘 <input type="checkbox"/> 角點 <input type="checkbox"/> 海港 <input type="checkbox"/> 其他	
大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採_TW_HYGE02014_模式化算				大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採_TW_HYGE02014_模式化算	
測製單位	詮華國土測繪有限公司			測製單位	詮華國土測繪有限公司		
施測人員及日期	賴志榮 / 112年03月	內檢人員及日期	朱康文 / 112年04月	施測人員及日期	賴志榮 / 112年03月	內檢人員及日期	朱康文 / 112年04月
點位說明 (交通路線)	點位於台30線道2K處右側柏油路上。			點位說明 (交通路線)	點位於花蓮縣玉里鎮中城里仁愛路一段53號民宅3樓屋角。		
位置圖		影像		位置圖		影像	
點位現地遠照		點位現地近照		點位現地遠照		點位現地近照	
說明與備註：				說明與備註：			

圖 3-5、高程及屋角點點之記

內政部國土測繪中心「112年及113年LiDAR技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」				內政部國土測繪中心「112年及113年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】				【地面控制點點位調查表】			
C 檢核點				C 檢核點			
點號	21-0011C	圖號	96191039	點號	21-0011C	圖號	96191039
所在地	臺東縣長濱鄉	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)	所在地	臺東縣長濱鄉	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	299341.867	高程值	正高	22.648	E	299341.867
	N	2590062.698		標高	46.475	N	2590062.698
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	坐標框架	TWD97@2020	
點位種類	<input checked="" type="checkbox"/> 測釘 <input type="checkbox"/> 角點 <input type="checkbox"/> 海港 <input type="checkbox"/> 其他		大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採_TW_HYGE02014_模式化算	點位種類	<input checked="" type="checkbox"/> 測釘 <input type="checkbox"/> 角點 <input type="checkbox"/> 海港 <input type="checkbox"/> 其他	
大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採_TW_HYGE02014_模式化算				大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採_TW_HYGE02014_模式化算	
測製單位	詮華國土測繪有限公司			測製單位	詮華國土測繪有限公司		
施測人員及日期	賴志榮 / 112年03月	內檢人員及日期	朱康文 / 112年04月	施測人員及日期	賴志榮 / 112年03月	內檢人員及日期	朱康文 / 112年04月
點位說明 (交通路線)	點位於長濱鄉樟原13之3號前左側柏油路上。			點位說明 (交通路線)	點位於長濱鄉樟原13之3號前左側柏油路上。		
位置圖		影像		位置圖		影像	
點位現地遠照		點位現地近照		點位現地遠照		點位現地近照	
說明與備註：				說明與備註：			

圖 3-6、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

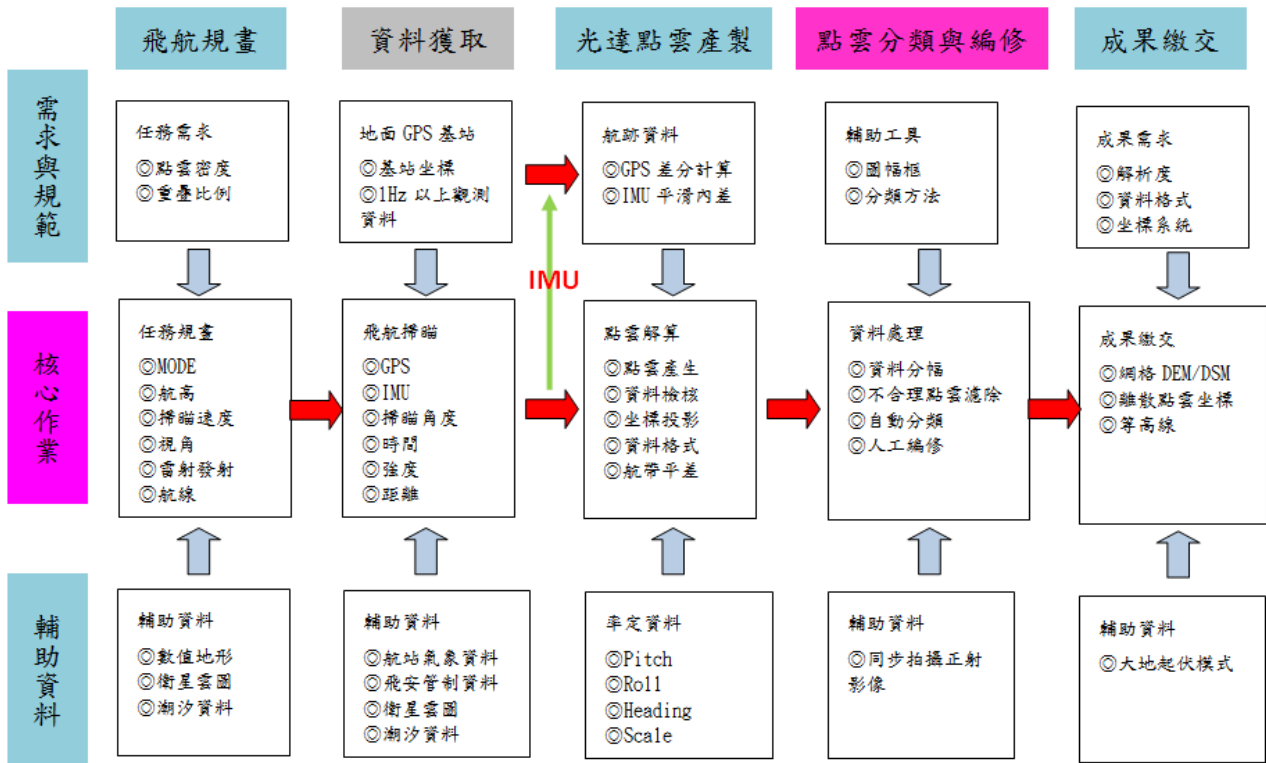


圖4-1、空載LiDAR作業流程圖

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。

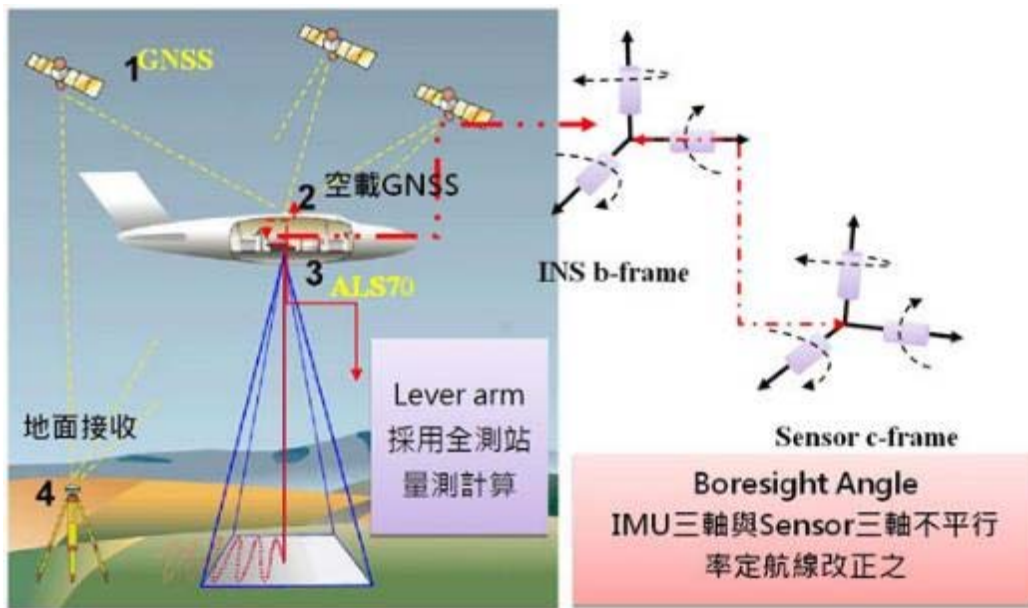


圖 4-2、空載光達率定示意圖

4.1.1 率定場地地點與規格

VQ1560II率定時間為112年2月16日，校正程序需符合內政部「LiDAR測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)」(內政部，2005)或原廠技師建議(Leica-Geosystems, 2013)，本次率定場設置依照原廠技師建議設置，率定場內地表坡度平緩且植被覆蓋率小於10%，且具有易辨識之大型建物等明顯特徵，並設置於田中車站附近。

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。

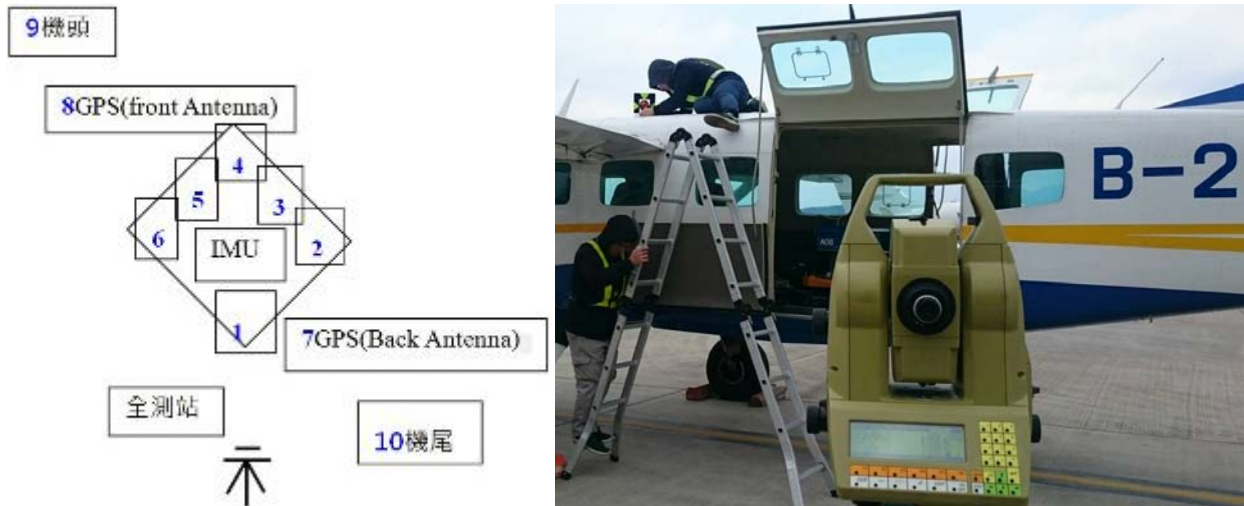


圖 4-3、Lever Arm 量測作業

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。

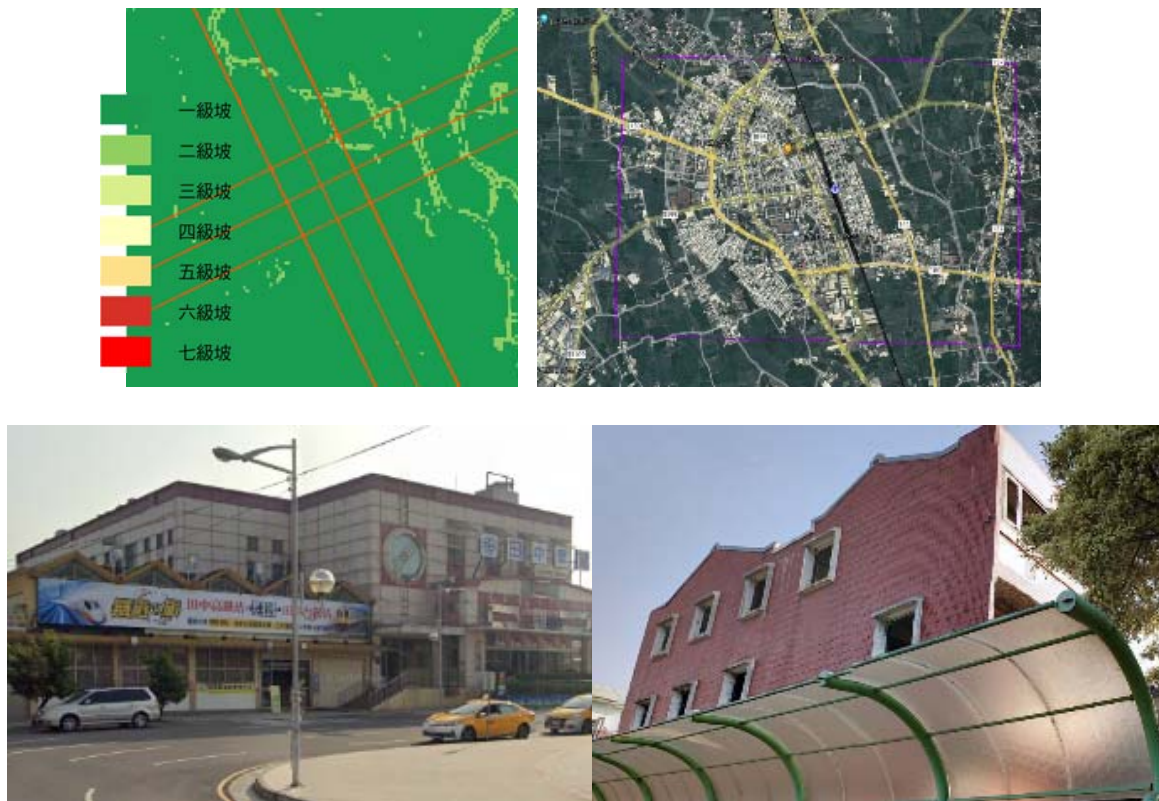


圖 4-4、彰化田中鎮率定場

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 112 年 2 月 16 日 11:27~12:32，航攝記錄如表 4-2 所示。

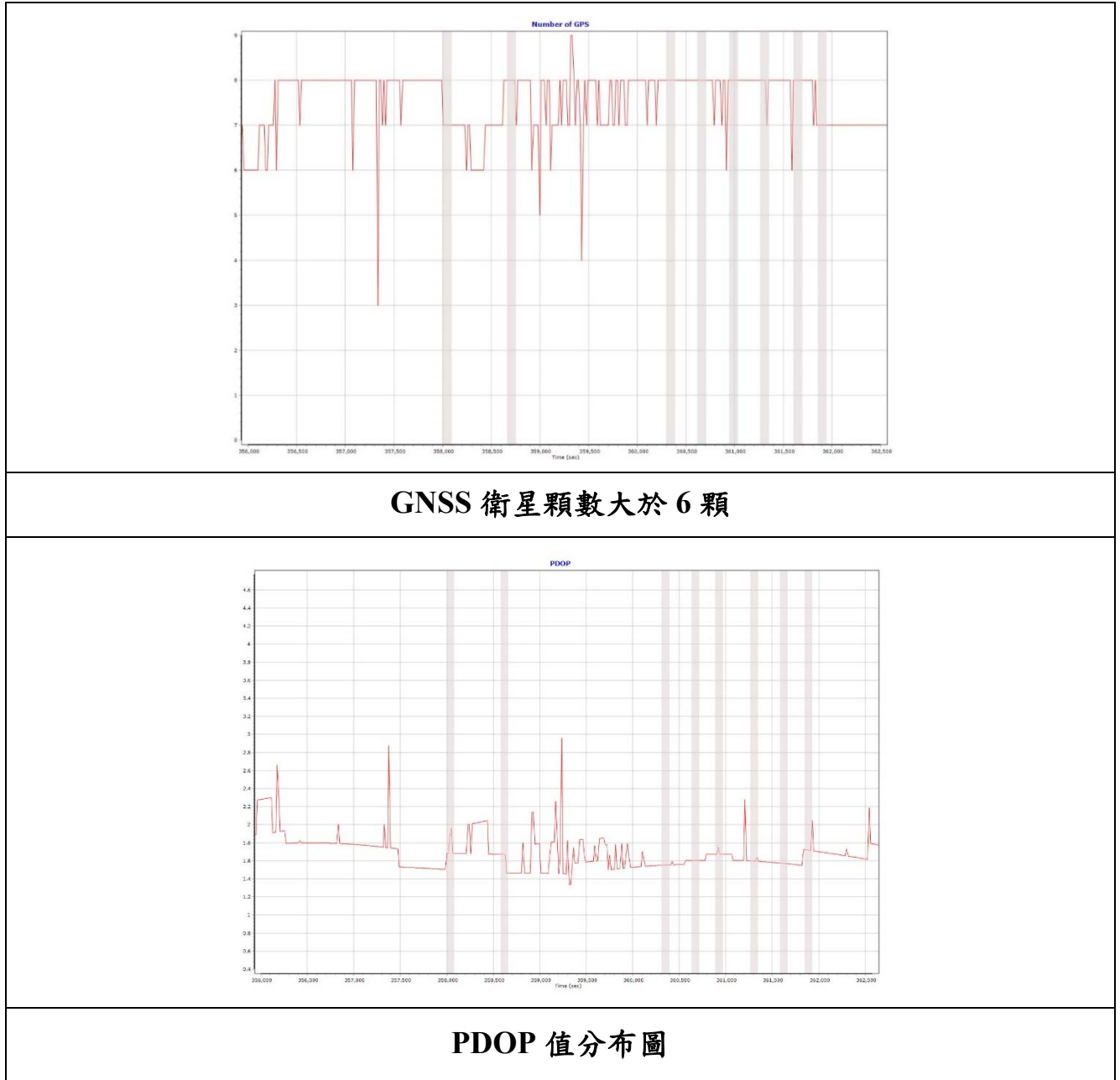
表 4-2、飛行作業時間



航線 編號	GPS 高度 (呎)	航向(度)	航速(kts)	PRR(khz)	掃瞄頻率 (Hz)	FOV(度)	備註
7	3609	155	93	2000	250	100	確定飛航
8	3609	155	95	2000	250	100	確定飛航
1	2953	335	90	2000	300	50	正規航線
2	2953	155	92	2000	300	50	正規航線
3	2953	335	96	2000	300	50	正規航線
4	2953	245	92	2000	300	50	正規航線
5	2953	65	90	2000	300	50	正規航線
6	2953	246	92	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>Monument Description: ←</p> <p>GPS Receiver Type: TRIMBLE NETR9[↵] Epoch Interval: 0.5s[↵]</p> <p>Antenna Type: TRM57971.00 SCIT[↵] Elevation Mask: 10°[↵]</p>	
<p>Elevation mask、觀測頻率</p>	<p>GNSS 基站與掃瞄航線之距離</p>
<pre> 2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE GPS2RIN 8.20.0506 15-三月-23 17:56 PGM / RUN BY / DATE VR03 MARKER NAME OBSERVER / AGENCY REC # / TYPE / VERS ANT # / TYPE RINEX TRIMBLE NETR9 -2969217.0888 5024339.2191 2564608.2230 0.0000 0.0000 0.0000 1 1 7 C1 L1 L2 P2 D1 S1 S2 0.500 1991 5 17 11 26760226391261240.0000000 23 2 16 0 0 0.0000000 0 8G10G12G23G25G26G29G31G32 20962278.348 110197547.376 85837033.838 20962293.441 0.000 47.750 51.000 23873010.250 126483546.504 97756017.560 23873026.855 0.000 36.250 21.250 </pre>	
<p>基站接收時間</p>	<p>Combined Separation</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。

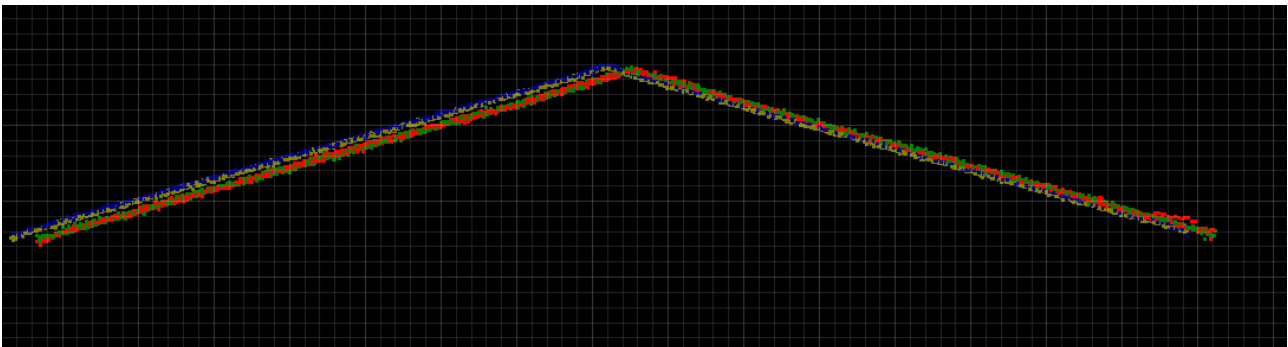


圖 4-5、率定前點雲資料

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5次後，得到率定結算成果如圖4-6以及表4-4所示

RiPROCESS Scan Data Adjustment Protocol	
Project:	20230216
Protocol date:	2023-03-16 13:35
Operator:	YUWEN
Comments:	
Program version:	RiPROCESS v1.9.2.2 (2021-12-22)
Computer:	DESKTOP-P9LBHR6
Physical units:	m, deg, s

Calculation parameters	
Calculation mode:	Analyze
Calculation time:	23 secs
Calculation mode:	Least Square Fit
Tolerance:	0.000100
Use Manual Tie Objects:	False
Search corresp. planes:	False
Search radius [m]:	1.000
Angular tolerance [deg]:	5.000
Max. normal dist. [m]:	1.000
Observations active:	True
Observations count:	29999

Calculation results	
Number of free parameters:	42
Number of observations:	29999
Error (Std. deviation) [m]:	0.0181
Median abs. dev. [m]:	0.0134

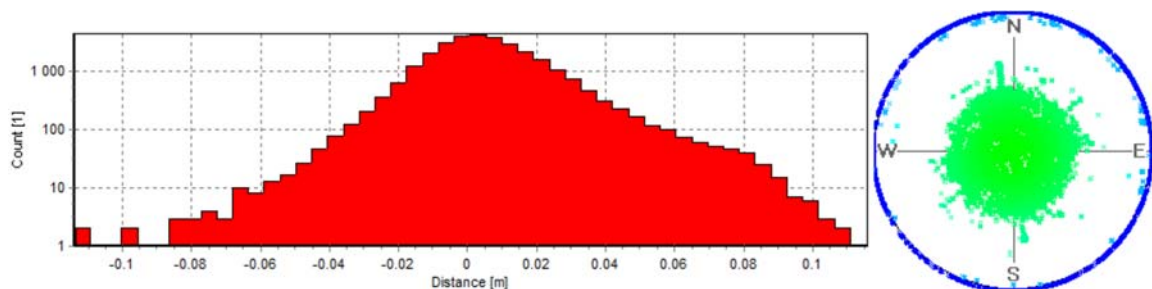


圖4-6、率定解算成果

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	-0.13887	-0.13882
	Pitch	0.21712	0.21828
	Yaw	-0.01520	0.01479
	X	0	0

儀器名稱	參數項目	第一次率定成果	完成率定參數
	Y	0	0
	Z	0.162	0.174
Scanner 2	與 Scanner 1 連動，僅需針對 Scanner 1 進行解算		

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

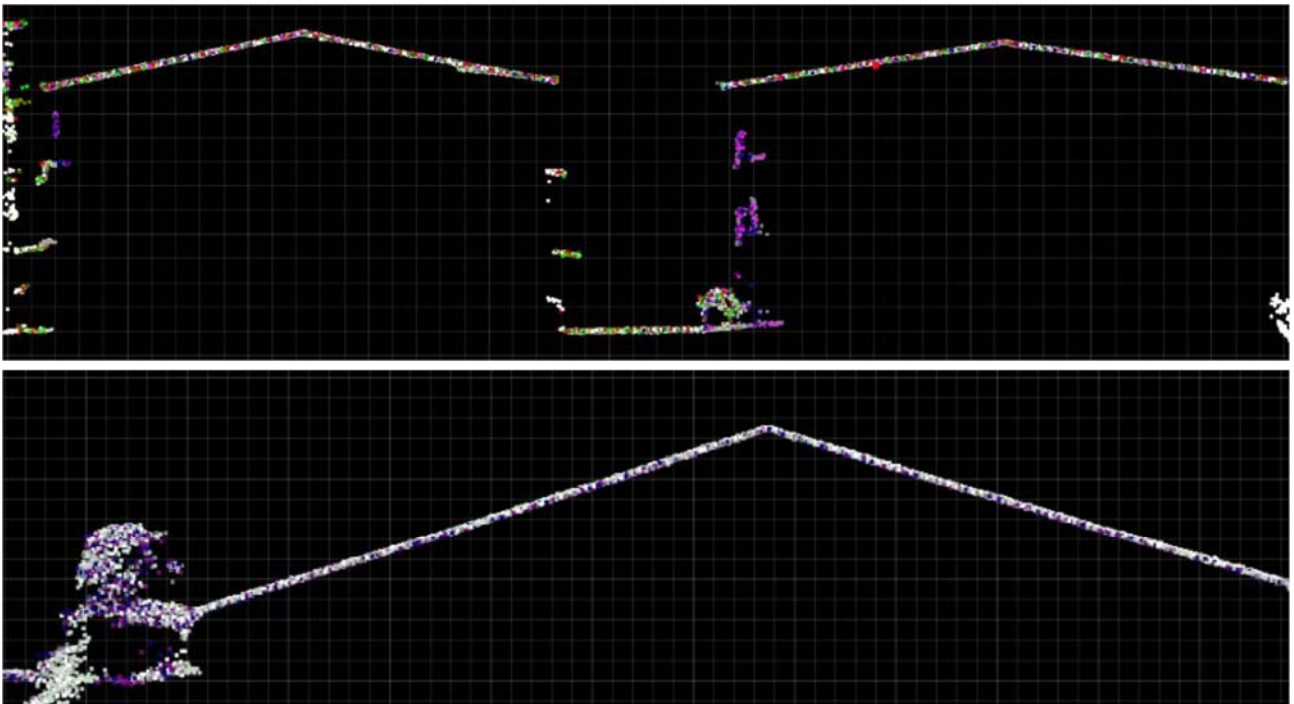


圖4-7、率定後平面成果

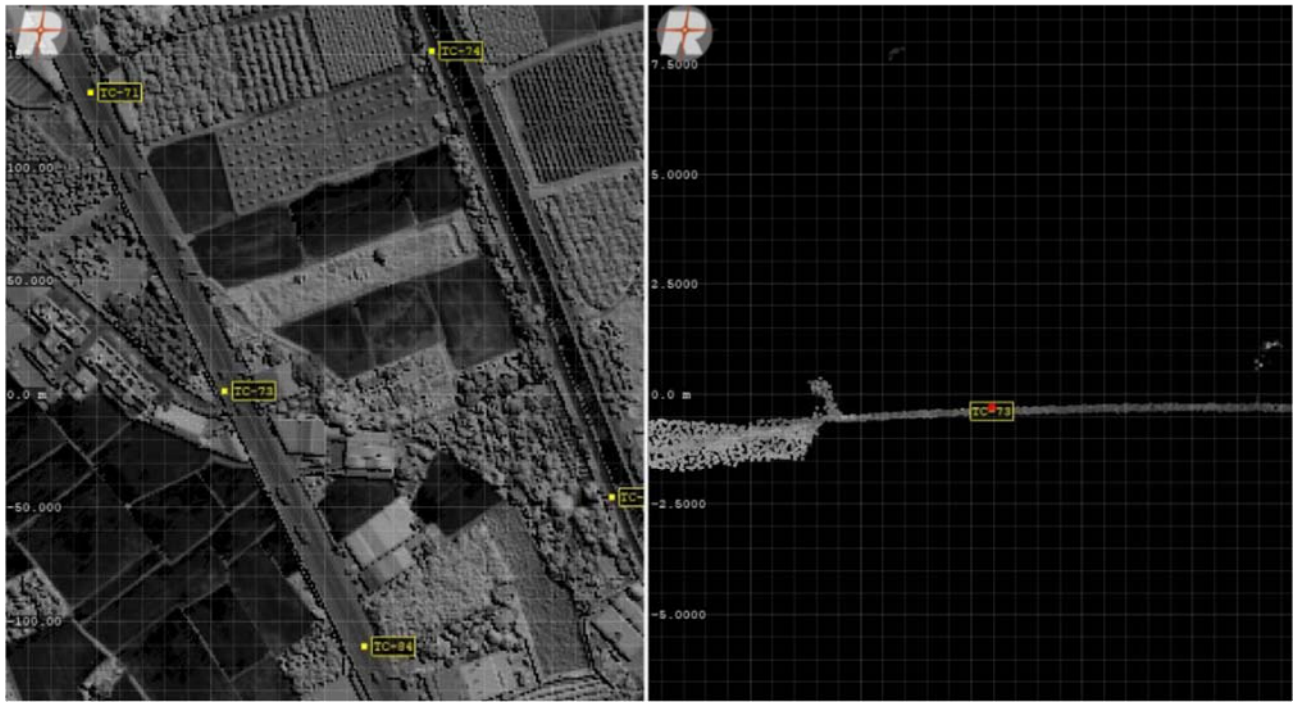


圖4-8、平差解算後控制高程與點雲相對關係

表 4-5、光達系統率定高程分析統計表(正規飛行)

點號	控制點 高程(m)	點雲 高程(m)	高程 誤差(m)	點號	控制點 高程(m)	點雲 高程(m)	高程 誤差(m)
TC-75	73.052	73.165	+0.113	TC-34	67.578	67.557	-0.021
TC-35	67.684	67.717	+0.033	TC-32	68.732	68.710	-0.022
TC-53	67.778	67.807	+0.029	TC-42	67.508	67.483	-0.025
TC-74	71.724	71.734	+0.010	TC-83	68.996	68.970	-0.026
TC-63	68.595	68.603	+0.008	TC-72	68.923	68.894	-0.029
TC-22	66.984	66.991	+0.007	TC-73	69.580	69.549	-0.031
TC-95	69.957	69.964	+0.007	TC-25	67.144	67.113	-0.031
TC-54	68.772	68.771	-0.001	TC-51	67.552	67.520	-0.032
TC-33	67.523	67.520	-0.003	TC-41	67.401	67.368	-0.033
TC-45	68.690	68.685	-0.005	TC-13	66.490	66.455	-0.035
TC-82	69.115	69.110	-0.005	TC-31	67.239	67.203	-0.036
TC-62	68.671	68.666	-0.005	TC-61	67.650	67.613	-0.037
TC-93	69.671	69.665	-0.006	TC-85	70.540	70.502	-0.038
TC-92	69.731	69.723	-0.008	TC-81	68.874	68.833	-0.041
TC-71	68.685	68.676	-0.009	TC-91	69.353	69.312	-0.041
TC-55	69.050	69.039	-0.011	TC-12	66.490	66.447	-0.043
TC-94	70.476	70.463	-0.013	TC-23	67.124	67.080	-0.044
TC-43	68.557	68.543	-0.014	TC-64	68.432	68.388	-0.044
TC-44	68.571	68.553	-0.018	TC-14	66.773	66.723	-0.050
TC-52	67.729	67.711	-0.018	TC-11	66.457	66.406	-0.051

點號	控制點 高程(m)	點雲 高程(m)	高程 誤差(m)	點號	控制點 高程(m)	點雲 高程(m)	高程 誤差(m)
TC-65	68.735	68.716	-0.019	TC-24	67.482	67.431	-0.051
TC-15	67.313	67.259	-0.054	TC-21	66.703	66.643	-0.060
TC-84	70.440	70.381	-0.059				
最大差異量(m)	0.113		平均差異量(m)			-0.019	
最小差異量(m)	-0.060		中誤差(m)			0.030	

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112年02月16日進行確認飛行(verification)之動作，確認飛行航線與正規航線為不同航高之點雲。將確認航線與地面高程控制點進行比較，比較表如表4-6，確認飛行點雲間無系統物差，如圖4-9。

表 4-6、光達系統率定高程分析統計表(確認飛行)

點號	控制點 高程(m)	點雲 高程(m)	高程 誤差(m)	點號	控制點 高程(m)	點雲 高程(m)	高程 誤差(m)
TC-43	68.557	68.598	0.041	TC-94	70.476	70.465	-0.011
TC-95	69.957	69.986	0.029	TC-41	67.401	67.384	-0.017
TC-32	68.732	68.748	0.016	TC-25	67.144	67.125	-0.019
TC-35	67.684	67.696	0.012	TC-45	68.690	68.671	-0.019
TC-53	67.778	67.787	0.009	TC-72	68.923	68.904	-0.019
TC-14	66.773	66.780	0.007	TC-92	69.731	69.711	-0.020
TC-62	68.671	68.677	0.006	TC-12	66.490	66.468	-0.022
TC-33	67.523	67.525	0.002	TC-13	66.490	66.465	-0.025
TC-22	66.984	66.984	0.000	TC-34	67.578	67.553	-0.025
TC-63	68.595	68.593	-0.002	TC-54	68.772	68.747	-0.025
TC-51	67.552	67.549	-0.003	TC-24	67.482	67.455	-0.027
TC-23	67.124	67.120	-0.004	TC-93	69.671	69.644	-0.027
TC-15	67.313	67.308	-0.005	TC-85	70.540	70.511	-0.029
TC-73	69.580	69.574	-0.006	TC-64	68.432	68.399	-0.033
TC-65	68.735	68.728	-0.007	TC-31	67.239	67.204	-0.035
TC-42	67.508	67.498	-0.010	TC-71	68.685	68.646	-0.039
TC-91	69.353	69.342	-0.011	TC-61	67.650	67.605	-0.045
最大差異量(m)	0.041		平均差異量(m)			-0.011	
最小差異量(m)	-0.045		中誤差(m)			0.019	

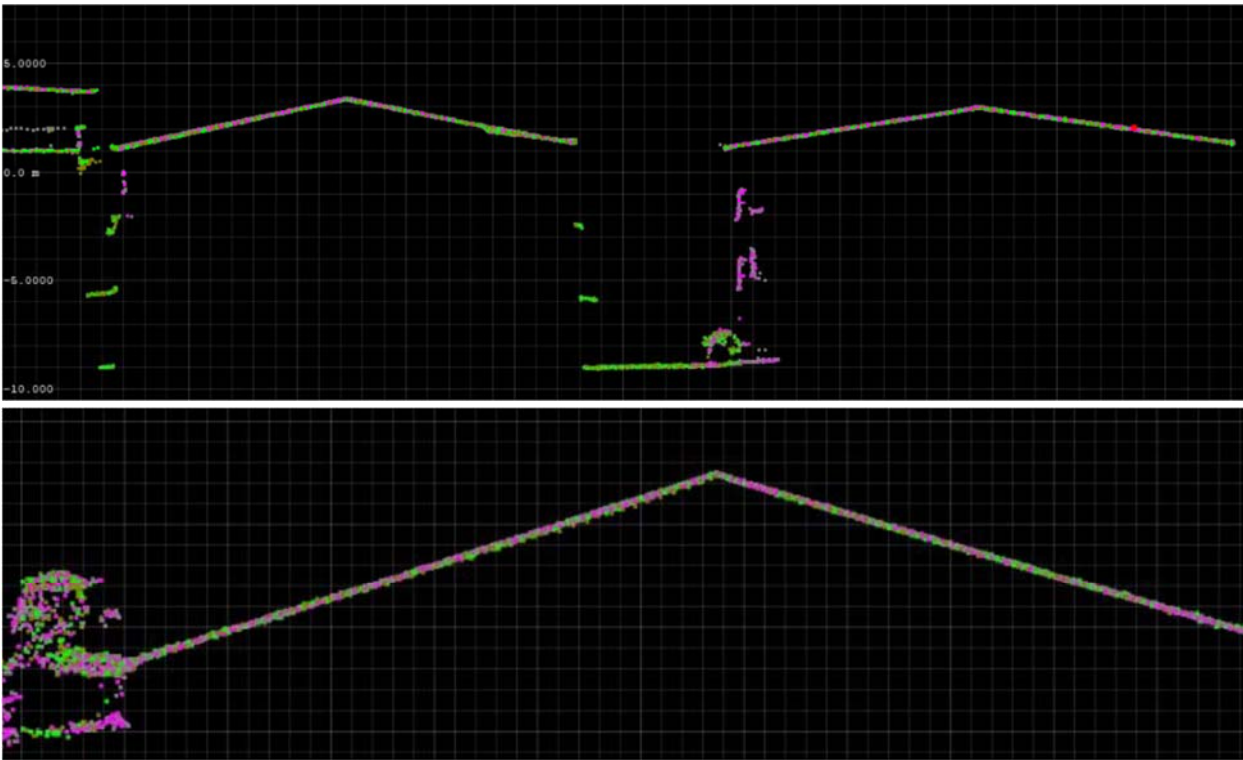


圖4-9、確認飛行率定成果

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：詮華						航拍日期：112/07/07								
光達			<input checked="" type="checkbox"/> VQ1560 <input type="checkbox"/> AOS ONE <input checked="" type="checkbox"/> IXU <input type="checkbox"/> DMCIII			航空器		<input checked="" type="checkbox"/> B23062 <input type="checkbox"/> B23063		飛行人員		朱立甫	領航人員	葉子綸
氣溫		氣壓		SSD硬碟編號		離場時間		到場時間		共耗時		3:12:00		
				剩餘片量		7:23:00		10:35:00						
航線編號	GPS高度(呎)	航向(度)	航速(kts)	攝影時間(起)	攝影時間(迄)	PRR(khz)	SR(ips)	LaserPower(%)	相片數	資料夾名稱或片號	備註			
403	8858	270	89	0811	0812	155	45	100	13	R1 _ L21403				
405	8858	270	87	0820	0822	155	45	100	19	R2 _ L21405				
64	10827	0	90	0831	0843	175	45	100	1870	R3 _ L21064				
67	10827	180	88	0847	0857	175	45	100	164	R4 _ L21067				
65	10827	0	88	0901	0912	175	45	100	175	R5 _ L21065				
68	10827	180	88	0916	0927	175	45	100	155	R6 _ L21068				
66	10827	0	86	0930	0941	175	45	100	169	R7 _ L21066				
69	10827	180	85	0945	0956	175	45	100	148	R8 _ L21069				

(2) 儀器安裝：VQ1560II 光達儀器與 Phase One IXU-1000，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。

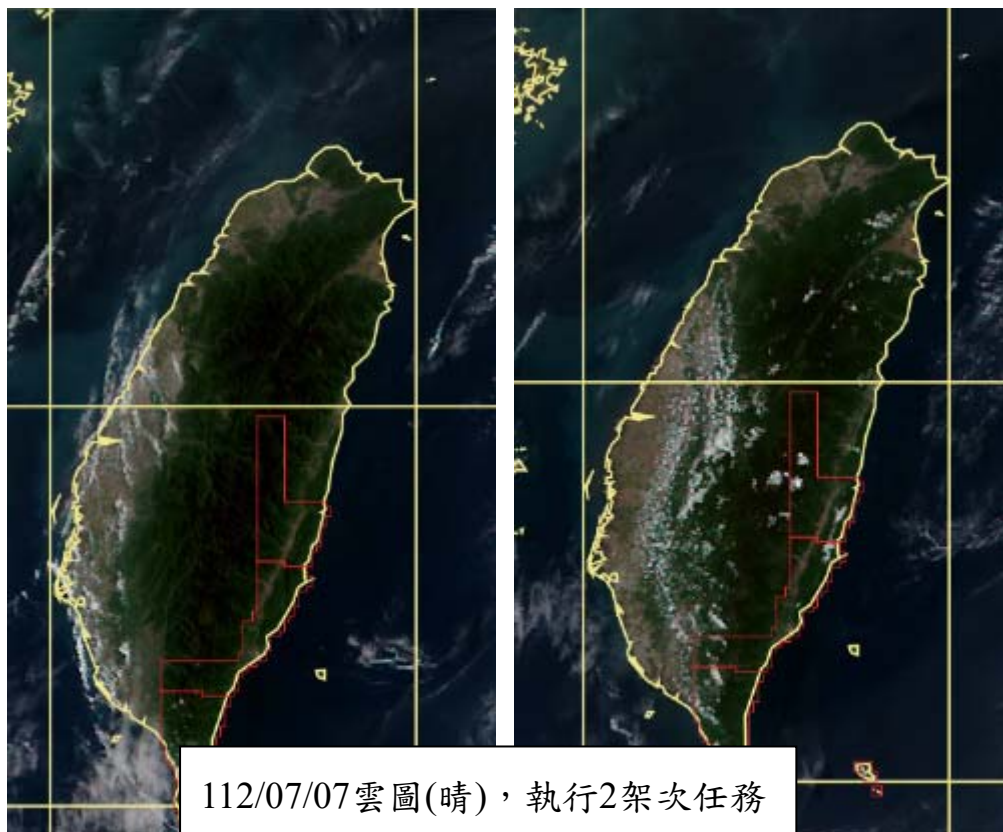
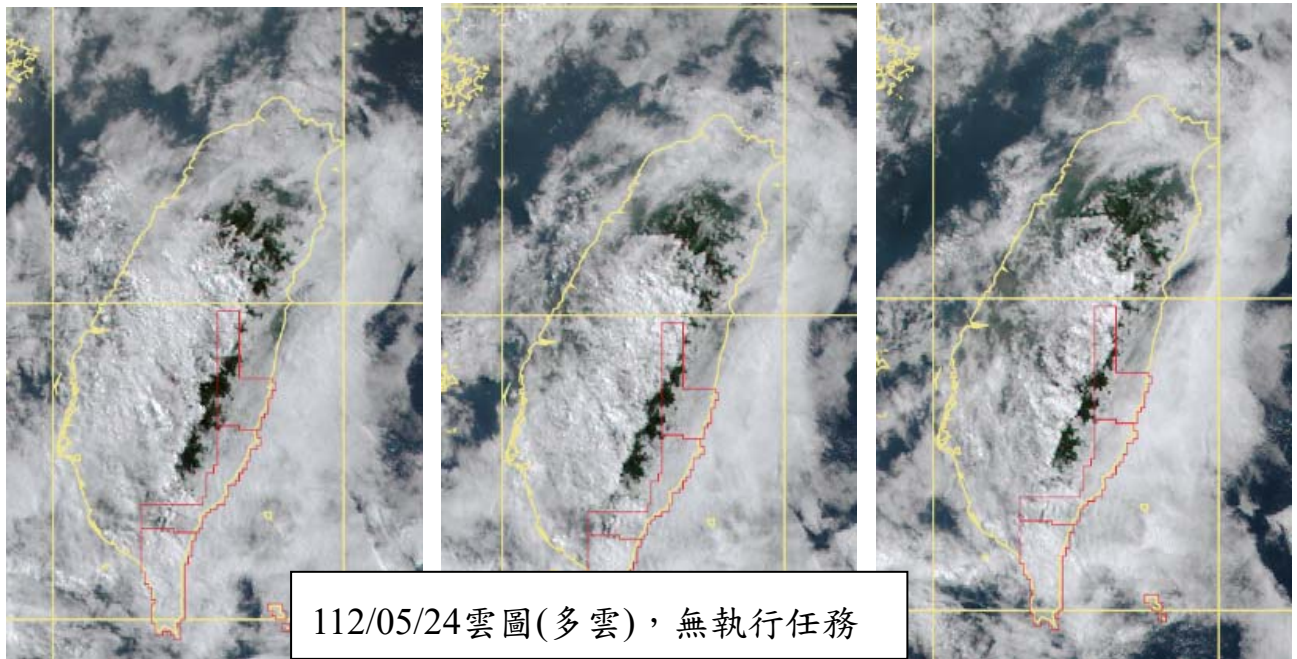


圖4-11、中央氣象局衛星雲圖

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1作業區有效架次共17架次(不包含起飛後至測區已起雲等狀況)，原規劃總計約4,274公里(含正規航線、潮間帶航線、交叉航線)，補雲及重複飛航航線共計為4,420公里，補雲量約3%。單一架次最大飛行效率為544公里，平均一架次可飛航里程為260公里。各架次執行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所示。本作業區正規航線、潮間帶航線、交叉航線皆在8月前拍攝完成，把握颱風季節前的晴朗天氣。

表4-8、測區各架次掃瞄執行時間

掃瞄日期	架次編號	架次掃瞄公里數	備註
112.04.28	P10M03-2023042809	224	正規
112.05.03	P10M03-2023050308	412	正規
112.05.05	P10M03-2023050507	440	正規
112.05.06	P10M03-2023050607	209	正規
112.05.10	P10M03-2023051007	96	正規、交叉
112.05.22	P10M03-2023052207	447	正規、交叉
112.05.26	P10M03-2023052607	174	正規
112.05.28	P10M03-2023052807	485	正規、交叉
112.06.06	P10M03-2023060608	137	正規
112.06.19	P10M03-2023061909	149	正規
112.06.21	P10M03-2023062107	420	正規、補雲
112.07.05	P10M03-2023070508	276	正規
112.07.06	P10M03-2023070607	544	正規

掃描日期	架次編號	架次掃描公里數	備註
112.07.07	P10M03-2023070708 P10M03-2023070714	261	正規 潮間帶
112.08.14	P10M03-2023081408	54	補雲
112.08.15	P10M03-2023081507	92	補雲

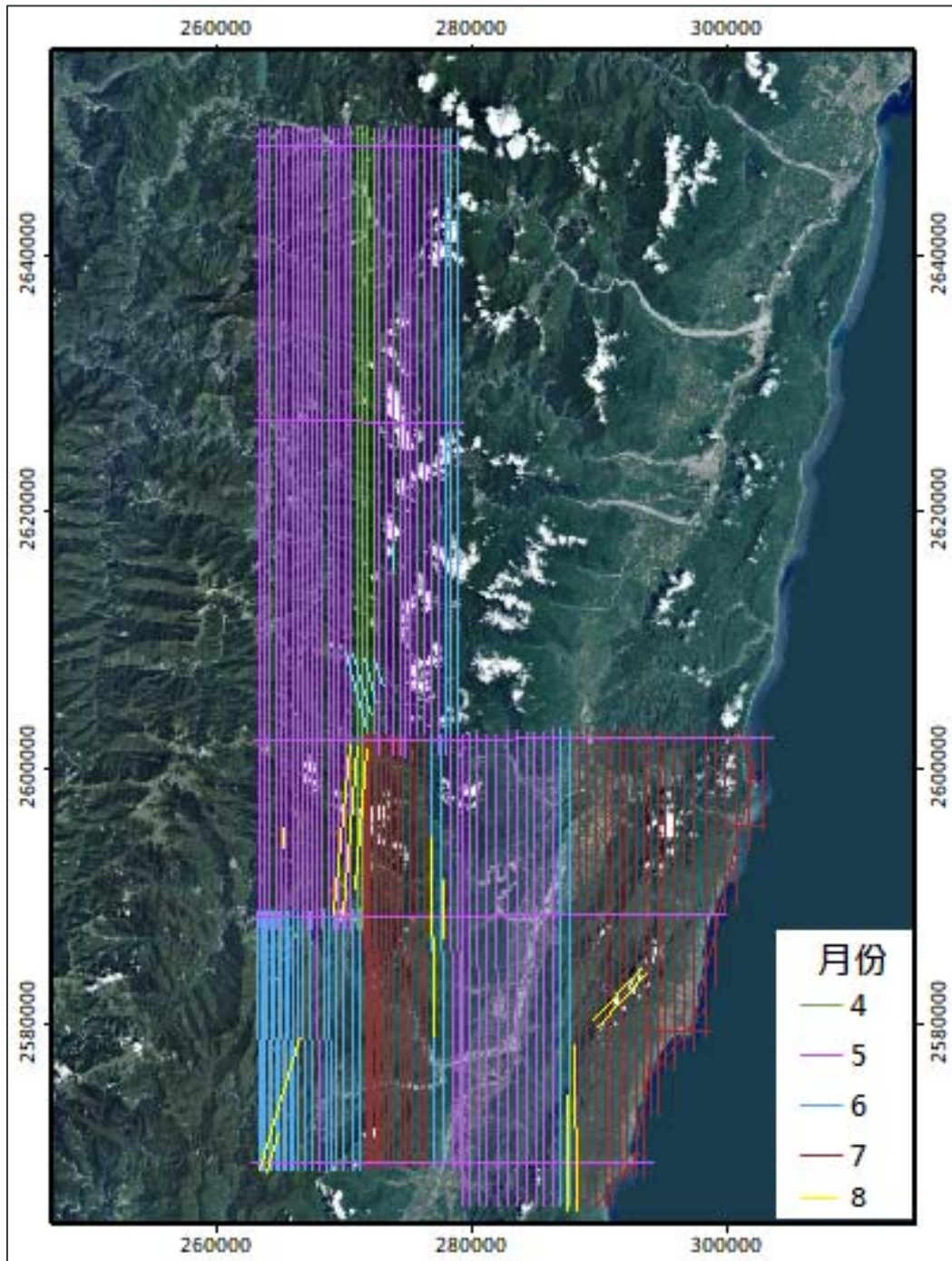


圖4-13、航線掃描月份

4. GNSS 資料接收及幾何條件

基站 GPS 測量起始時間應比光達掃瞄系統之 GPS 測量起始時間早 10 分鐘，且關機要比光達掃瞄系統之 GPS 測量關機時間晚 10 分鐘，如 P10M03-2023070708 架次光達掃瞄系統 GNSS 開機時間為 2023/07/07 07:36~2023/07/07 10:30，GPS 開機時間為 2023/07/06 08:00~2023/07/08 07:59 GPS 基站接收訊號時間符合本次規範，且地面 GNSS 基站接收儀需為雙頻儀器，數據每秒至少接收一筆。

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4-14所示(P10M03-2023070708架次)。

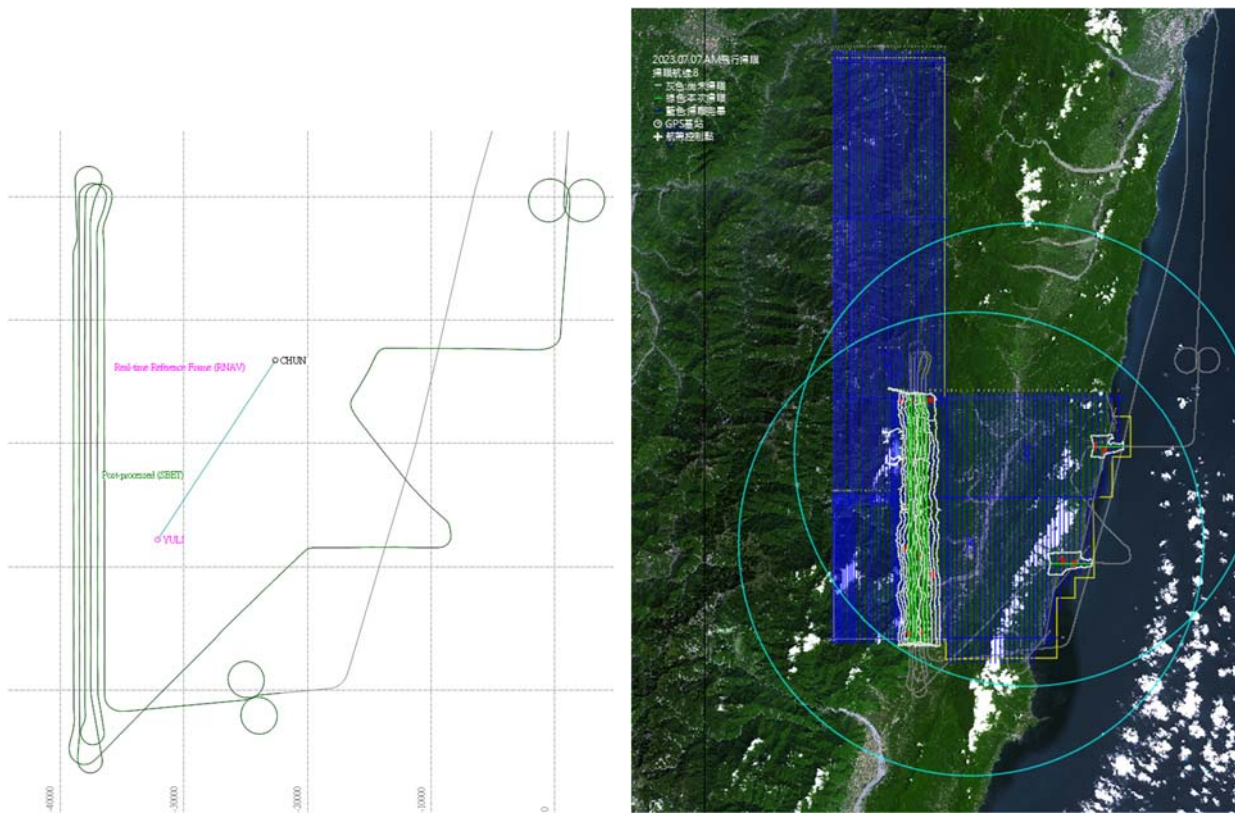


圖4-14、基站與航線軌跡距離

同時須檢核飛航掃瞄時基站之PDOP值，其值需小於3，而飛航時定位光達掃瞄成果之GNSS原始PDOP值不得大於4，如圖4-15、圖4-16所示(架次P10M03-2023070708之成果)。 $PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2}$ 本次作業執行成果皆符合規定。

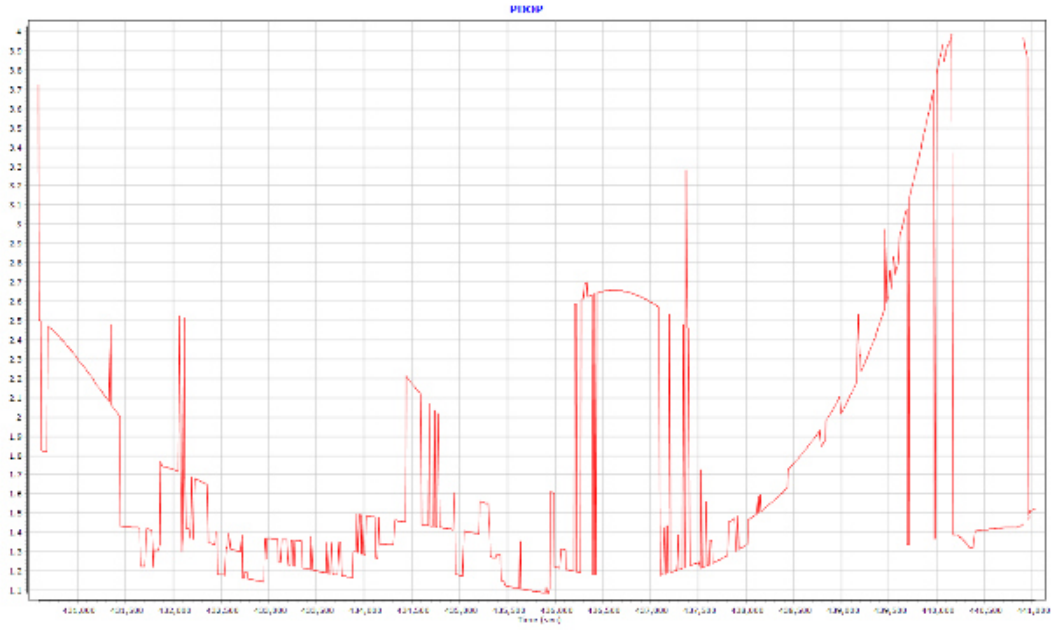


圖4-15、基站YUL1_PDOP值

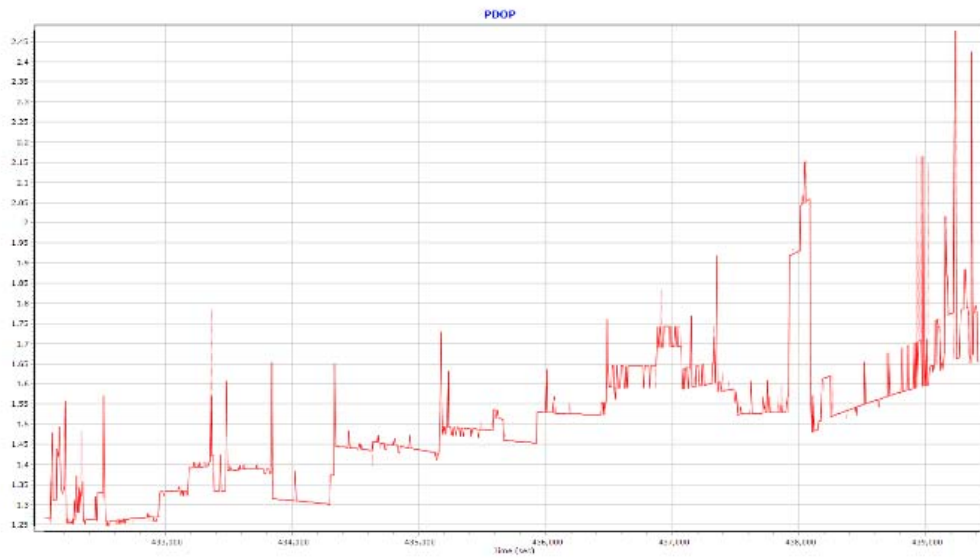


圖4-16、機載GNSS_PDOP值

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4-17為點雲解算產製處理流程圖。

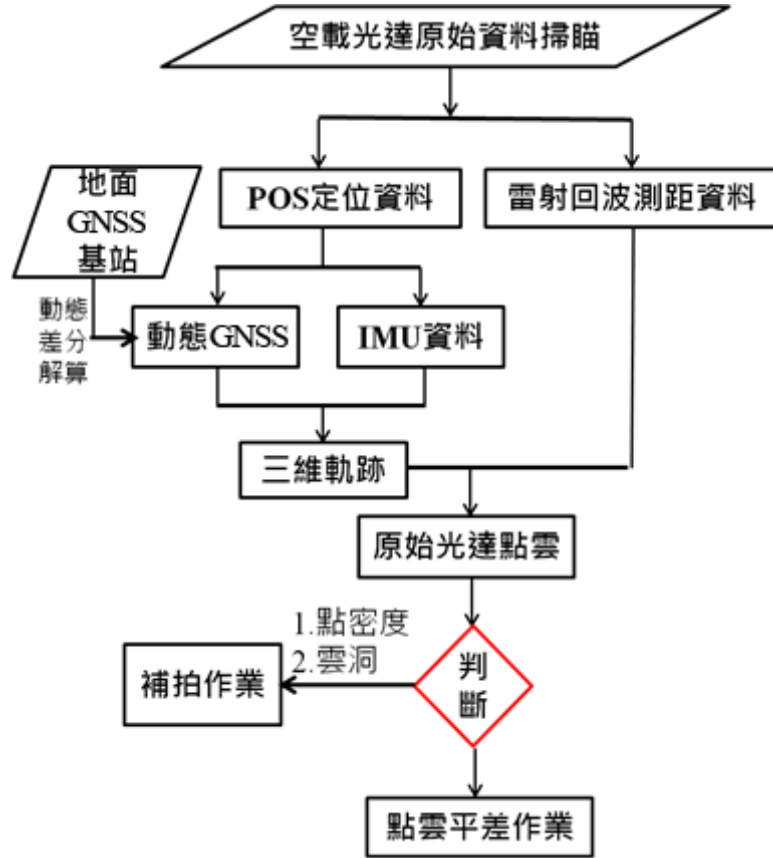


圖4-17、空載光達掃瞄資料作業流程圖

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 4-18。

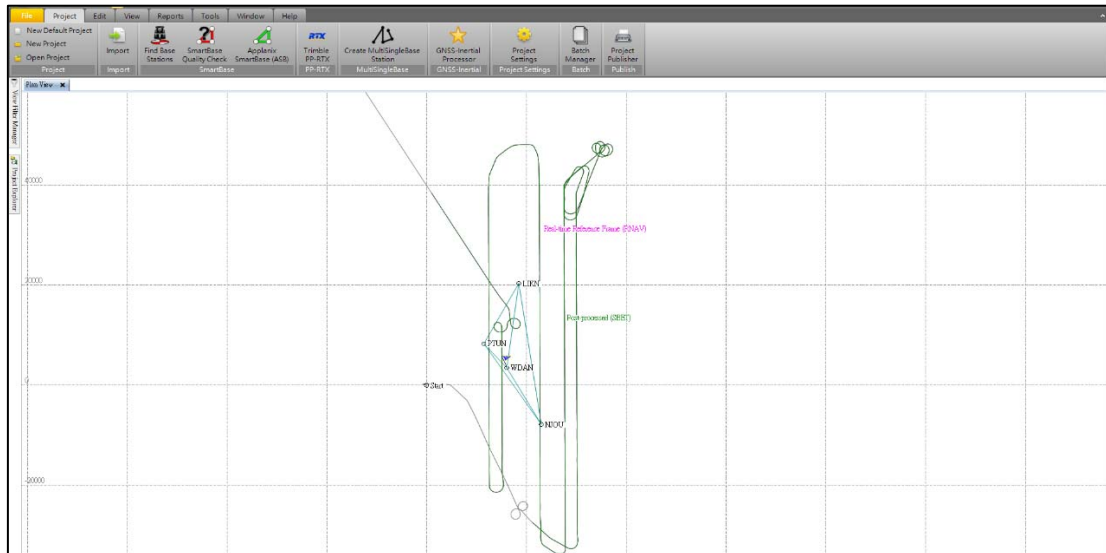


圖 4-18、飛航掃瞄軌跡解算

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4-19為本案飛航掃瞄成果圖。

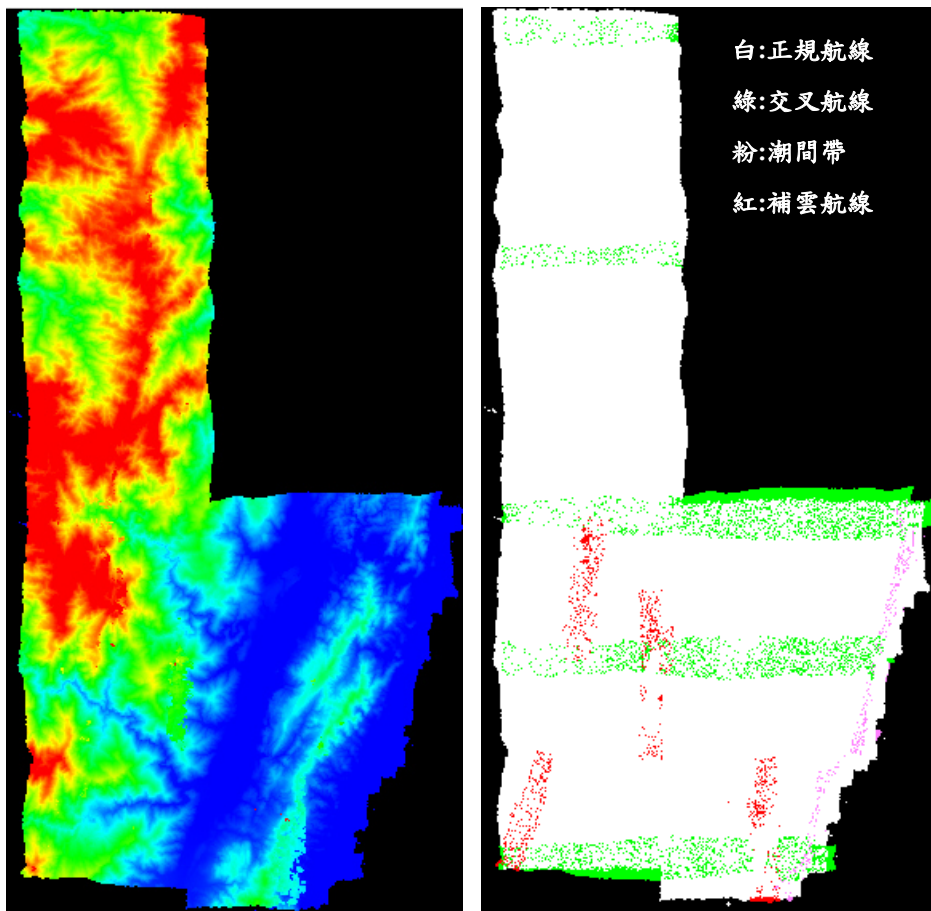
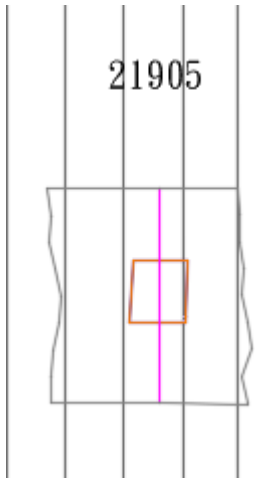
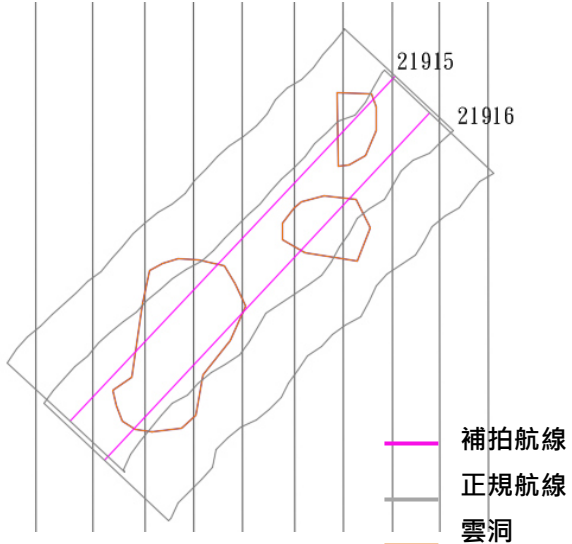
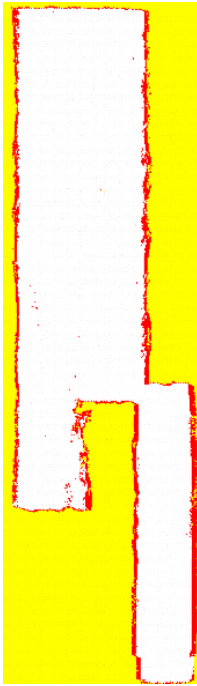



圖 4-19、本案點雲涵蓋圖

每條航線原始點雲產出後，需逐條檢驗資料品質，包括點雲密度、不合理點位、掃描是否有雲洞情形，並進行補拍之航線規劃，如表4-9所示。第一子測區扣除水域後測區內平均點密度為4.07點/m²，小於1.0點/m²占總比例約0%，介於2.0~1.0點/m²占總比例約0%，大於2點/m²約100%。第二子測區密度成果扣除水域後測區內平均點密度為6.15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%，大於2點/m²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		
點密度檢核		

第一子測區				第二子測區			
2-1-1測區				2-1-2測區			
	方格內點密度	數量	百分比		方格內點密度	數量	百分比
白	D > 2.0	81,242	100.0%	白	D > 2.0	115,476	100.0%
紅	2.0 > D > 1.0	32	0.0%	紅	2.0 > D > 1.0	8	0.0%
黃	1.0 > D	0	0.0%	黃	1.0 > D	0	0.0%
藍	水域	2	-----	藍	水域	53	-----
合計總格數		81,276		合計總格數		115,537	
D為方格內點密度，水域方格不納入統計				D為方格內點密度，水域方格不納入統計			
整區平均密度		4.07 點/m ²		整區平均密度		6.15 點/m ²	

針對尚未平差之點雲進行資料檢視，可快速確認點雲是否有系統性誤差(30公分以上的系統性誤差)，是否需重新進行光達率定作業。使用RiPROCESS軟體，顯色方式為點雲相對高程差，並設定誤差範圍為0.3m~3m，小於30公分會顯示為黑色，大於3公尺會顯示白色，如圖4-20所示，呈現有顏色的區域多為植被、農田或河沙洲等地物，而在道路皆為黑色的區塊。並隨機挑選建物斜屋頂區域如圖4-21，快速確認是否需要重新進行光達率定作業。

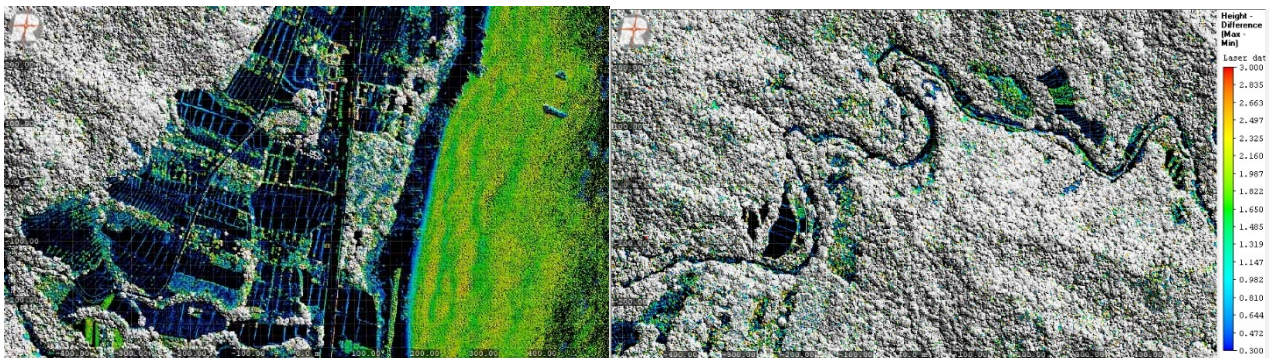


圖 4-20、原始點雲誤差檢核_高程差顯色(左:平地；右:山區)

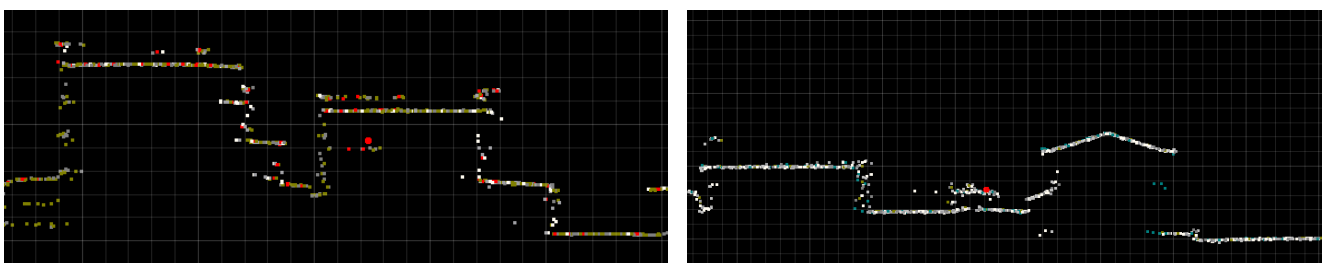


圖4-21、局部檢視剖面_航帶顯色(左:平地；右:山區)

4.4 航帶平差與內部精度評估

由於GNSS與IMU系統誤差會傳播到雷射測點三維坐標的解算精度，為了檢驗並減少系統誤差，本案將採用RiPROCESS軟體平差。利用航帶重疊區域共軌區域的高程與Intensity值計算改正量，以評估重疊航帶的內部精度不符值(Latypov, 2002)，進一步改正系統誤差。並於每次航帶平差作業完成後，利用剖面圖檢視各航帶重疊處道路面或裸露地形處，若發現疑似系統誤差即盡速重新率定作業，確保資料正確性，作業流程如圖4-22。

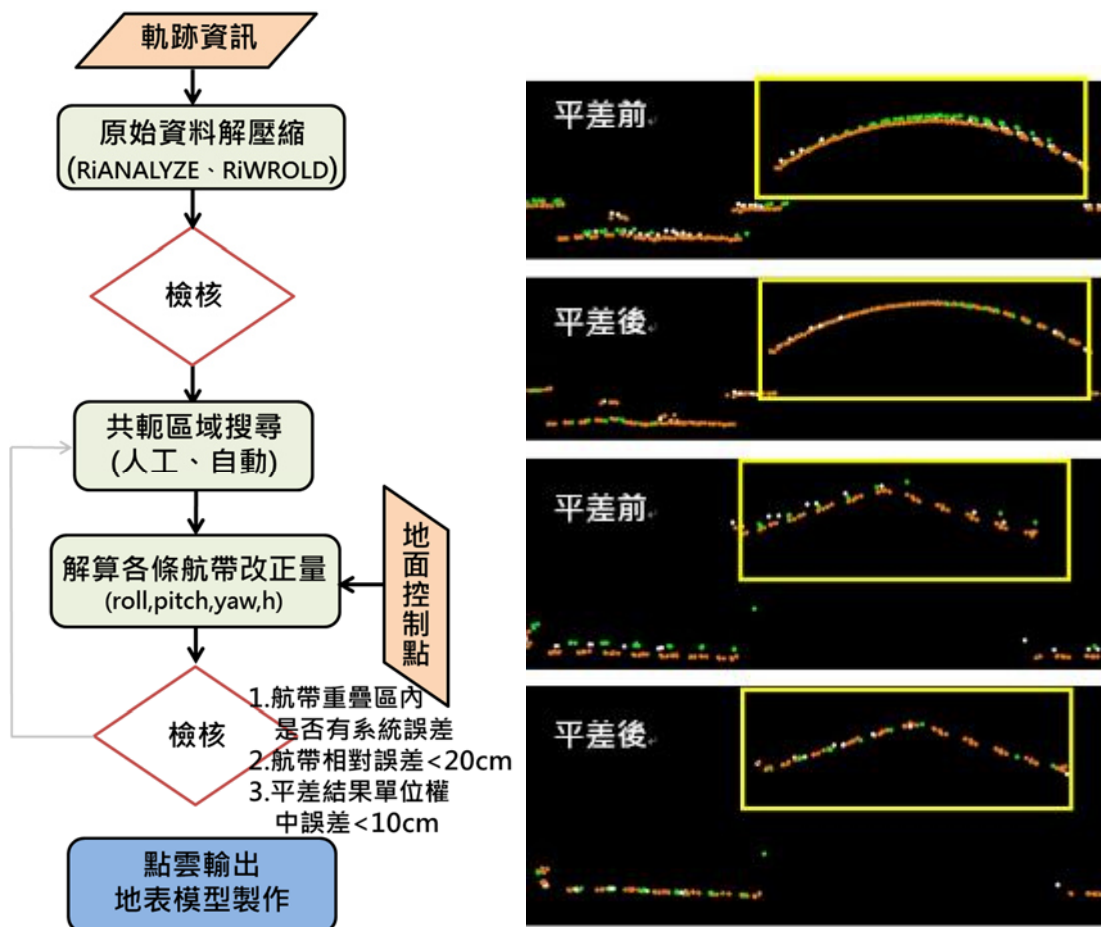


圖 4-22、航帶平差作業流程

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

結構進行共軛點匹配。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x5米範圍內的點雲平均高程為比較值，亦即若要比較兩航帶內某共軛點的相對高程差，則應以某一平面點位為中心，分別挖取5米x5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

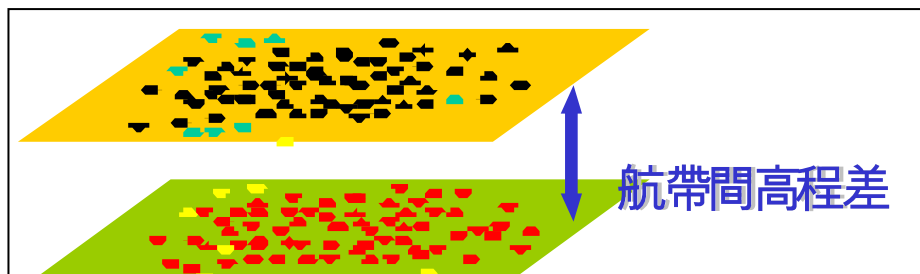


圖 4-23、推求兩航帶內某共軛點的相對高程差示意圖

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，本作業區飛行方向為採南北向飛行，因此平差作業的劃分依飛行方向及海拔高度分區，並加入交叉航線及控制點位進行作業，如圖 4-24 為本作業區分區航帶平差區塊。

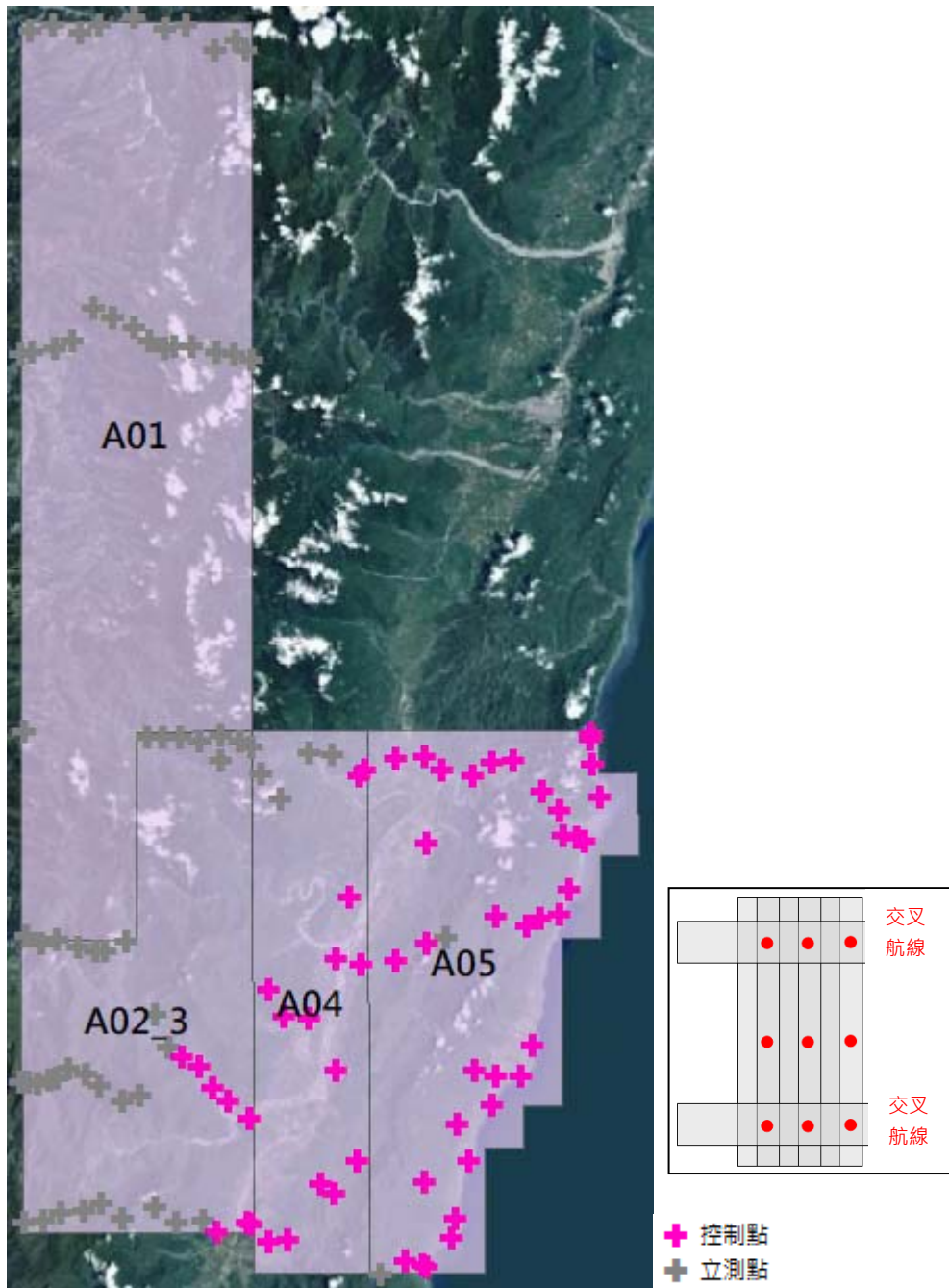


圖 4-24、點雲分區航帶平差

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 $(X, Y, Z)_{\text{ground control}}^T$ 為測得之地面點坐標， $(X, Y, Z)_{\text{aircraft position}}^T$ 為觀測時刻之載具位置， $R_{\text{body Frame to Ground Rotation}}$ 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 $(X,Y,Z)^T_{aircraft\ position}$ 、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：

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{average\ tie\ po\ int} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{aircraft\ position} + R_{body\ frame\ to\ ground\ rotation} \cdot R_{misalignment} \cdot \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{pmatrix}_{laser\ range\ components}$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{average\ tie\ po\ int} = \frac{1}{n} \begin{pmatrix} \sum X_{tie\ po\ int} \\ \sum Y_{tie\ po\ int} \\ \sum Z_{tie\ po\ int} \end{pmatrix} \quad \text{式 4-3}$$

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。

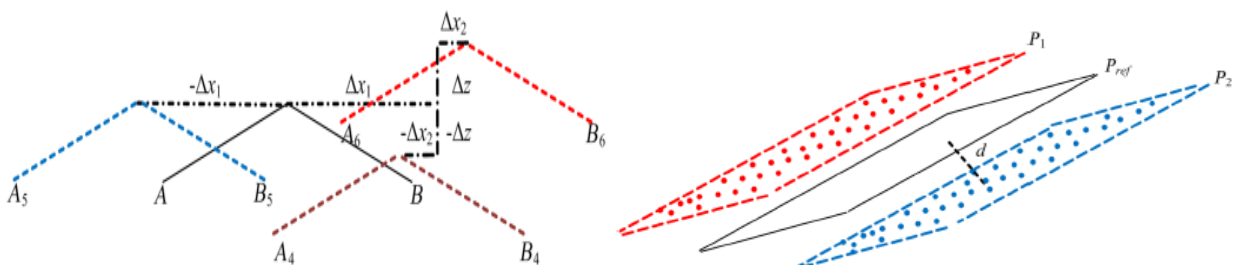


圖4-25、搜尋Tie Plane進行計算改正值(Dong Li, 2016)

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。

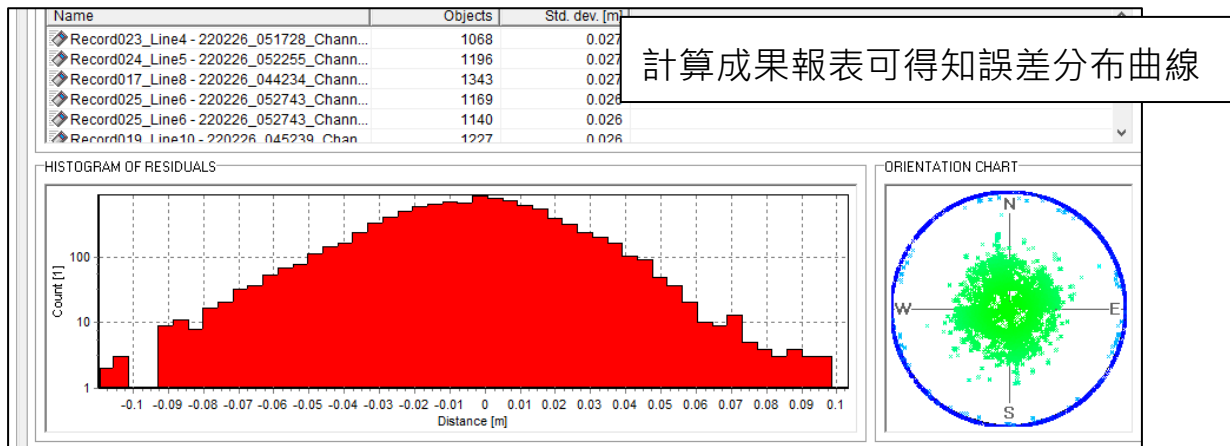


圖4-26、Scan data adjustment解算及成果報表

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描時方位參數(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。

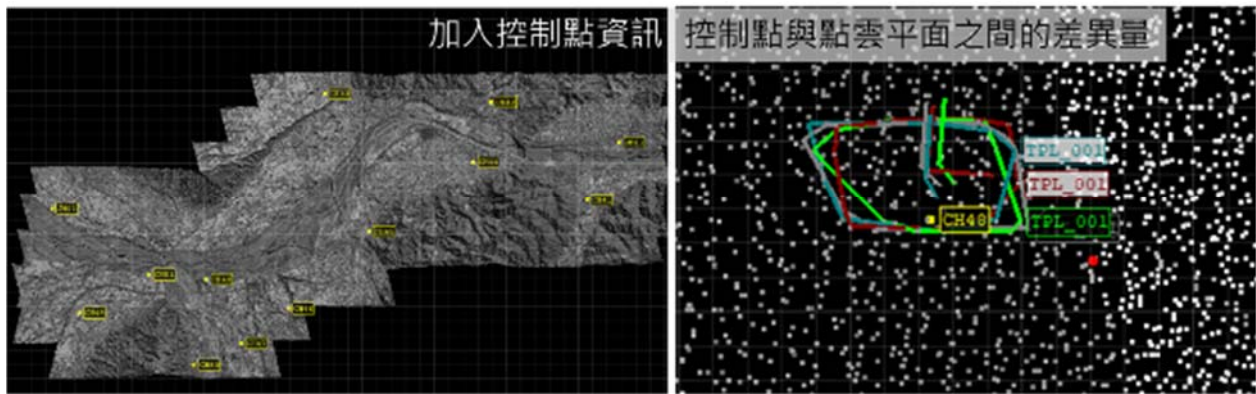


圖 4-27、加入控制點解算

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，

μ 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，

σ 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。

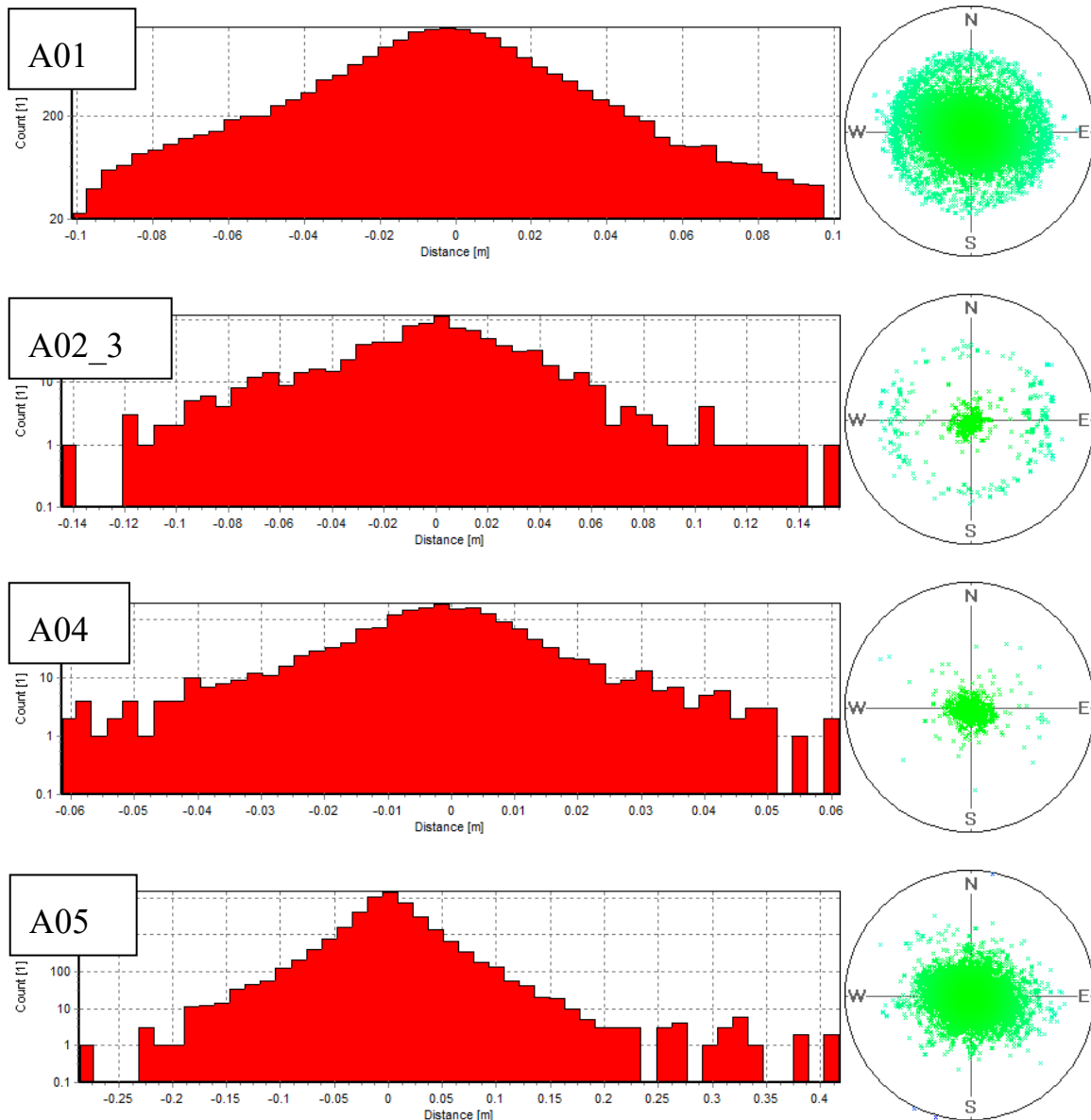


圖4-28、本案平差成果

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32.61公分，標準偏差為10.45公分。

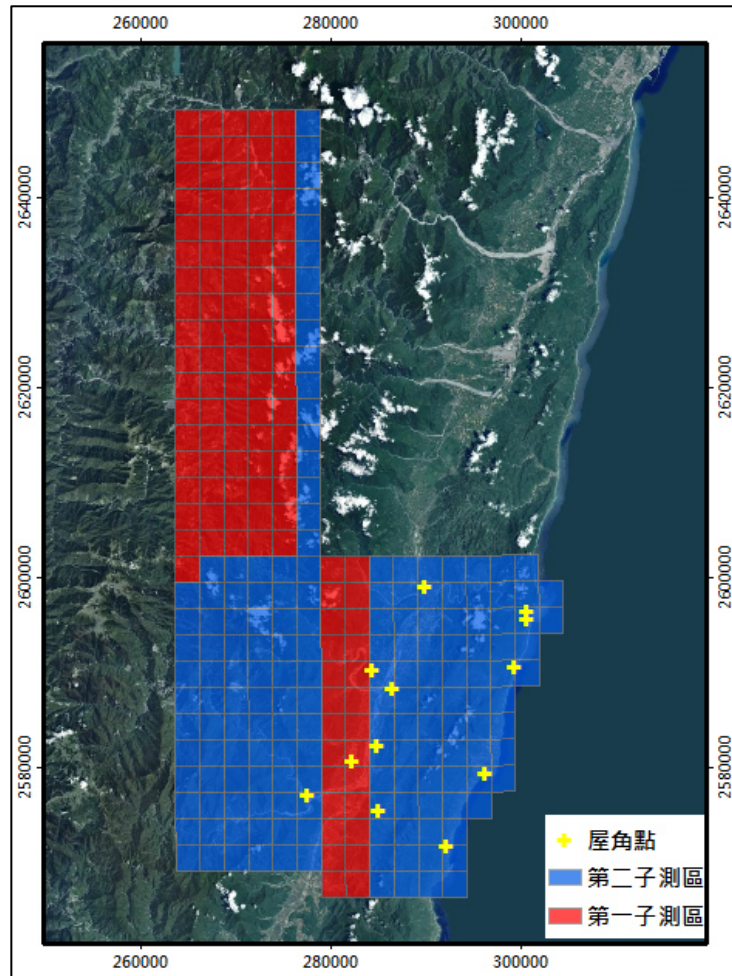


圖 4-29、平面精度比較位置分布圖

表 4-10、平面精度比較表

ID	點雲 E	點雲 N	地測 E	地測 N	水平差量
21-B01	300735.2	2596374	300735.4	2596374	0.42
21-B02	300696.8	2595613	300697.2	2595613	0.38
21-B03	299441.2	2590477	299441.3	2590477	0.30
21-B04	285054.1	2575366	285054.6	2575366	0.50
21-B05	296266.2	2579254	296266.3	2579254	0.26
21-B06	292263.7	2571661	292263.5	2571662	0.31
21-B07	284852.2	2582132	284852.2	2582132	0.44
21-B08	286568.4	2588147	286568.5	2588147	0.27
21-B09	289874.4	2599018	289874.6	2599018	0.29
21-B10	284461.6	2590171	284461.7	2590171	0.09
21-B11	282245.2	2580542	282245.1	2580542	0.35
21-B12	277545.2	2577008	277545.5	2577008	0.30
標準偏差	0.10	平均水平差量	0.33	均方根誤差	0.10

單位:m

2. 高程精度評估

將平差後的各航帶重新輸出後以MStripAnalysis做平差品質的檢核，檢核方式為將各航帶所有不規則點雲內插成100米 × 100米網格，再求出航帶重疊處相同平面位置網格的高程差量，檢核成果再以不同顏色作區別如圖4-30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6.6公分，第二子測區為11.2公分。

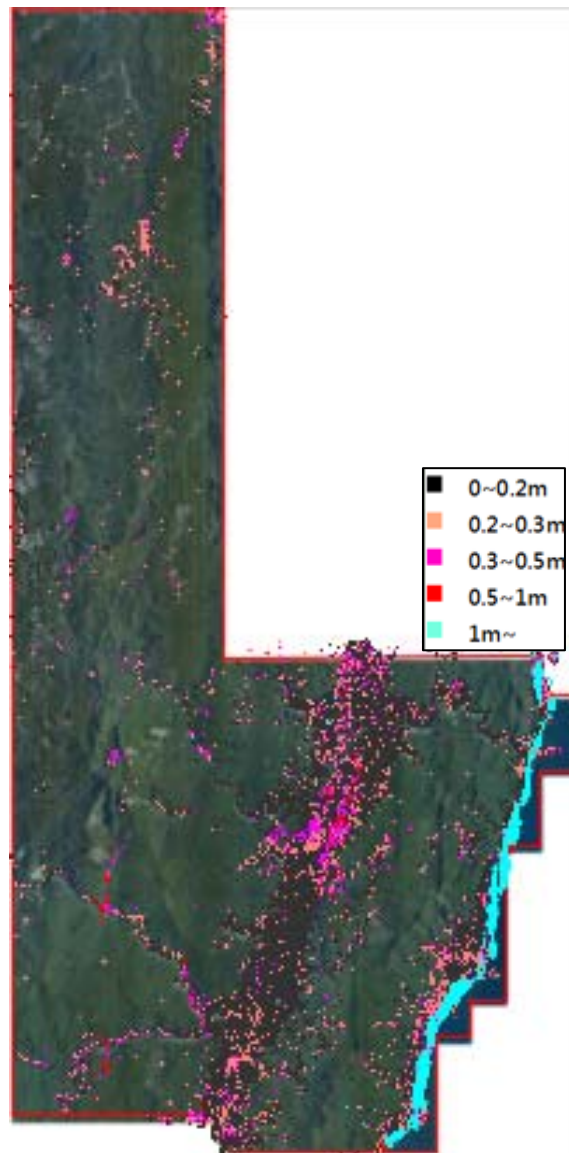


圖4-30、航帶平差誤差分布圖

4.5 DEM/DSM 製作

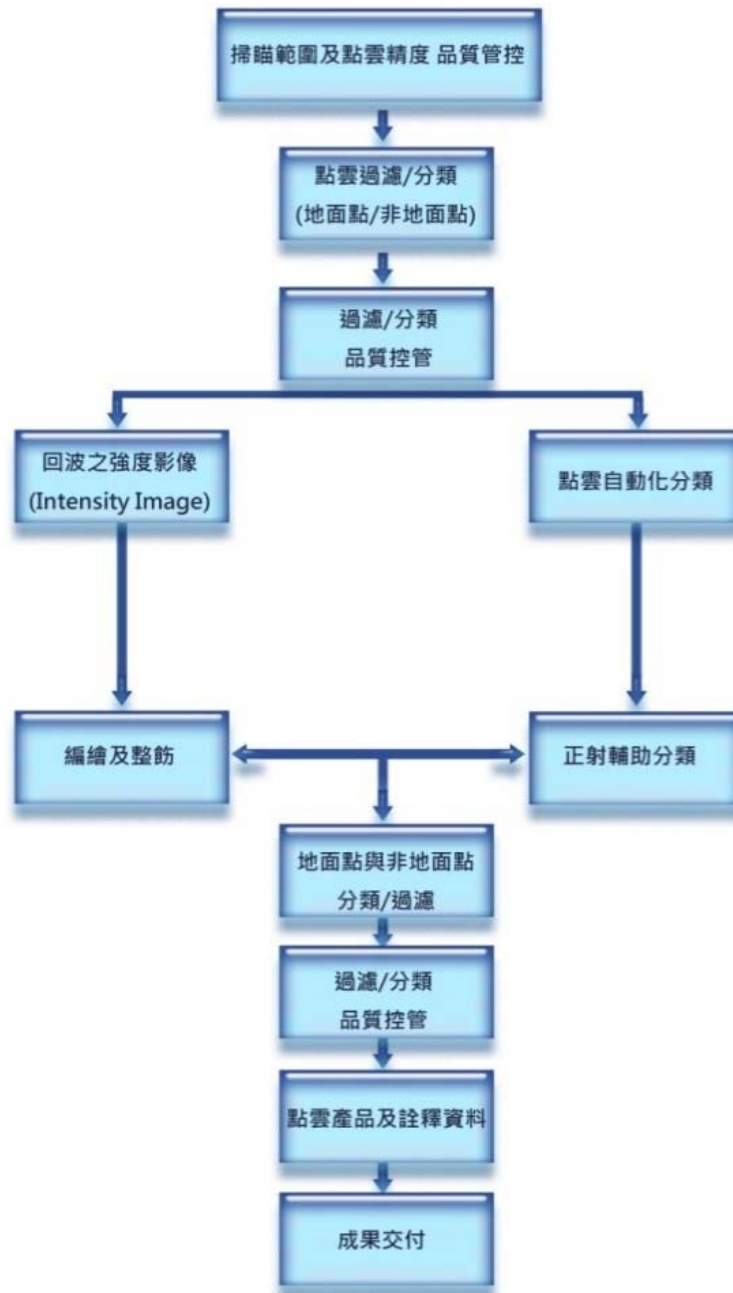


圖 4-31、點雲後處理作業流程圖

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

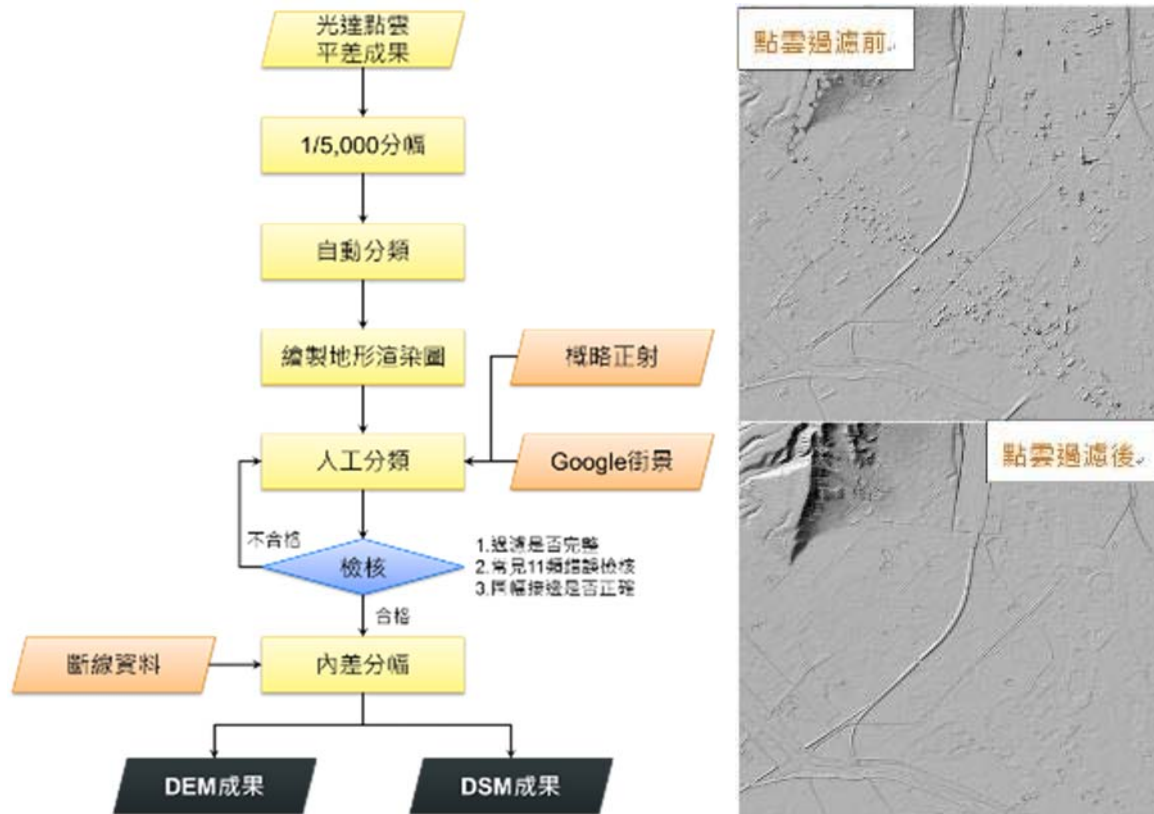


圖 4-32、DEM、DSM 製作流程

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。

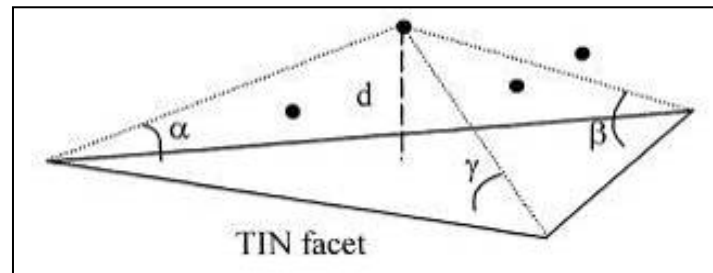


圖4-33、過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000)

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，修正前後範例如圖 4-35 所示。

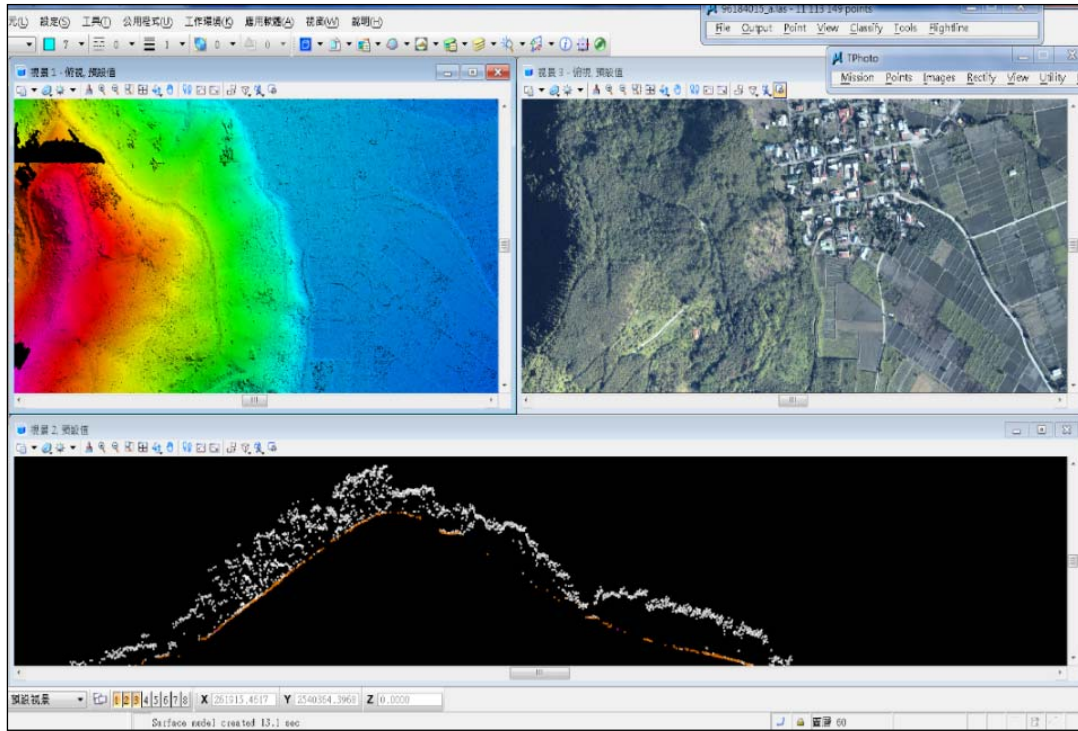


圖4-34、人工檢視編修界面

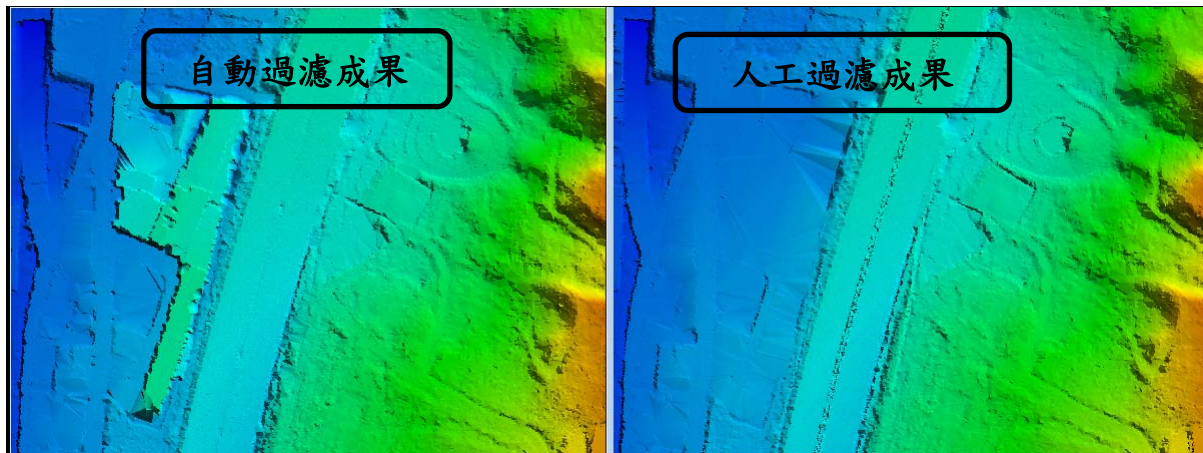


圖4-35、過濾非地面點後之範例

由於Riegl 1560II擁有不同角度雷射頭且能量強大，點密度以及地面點穿透率都較以往細緻，如山壁、河道沿岸的人工構造物...等，由於垂直面以及細部構造物無法使用軟體自動過濾方式濾出，因此無論在山區或平地，皆大幅增加人工過濾時間，如圖4-36、圖4-37所示。

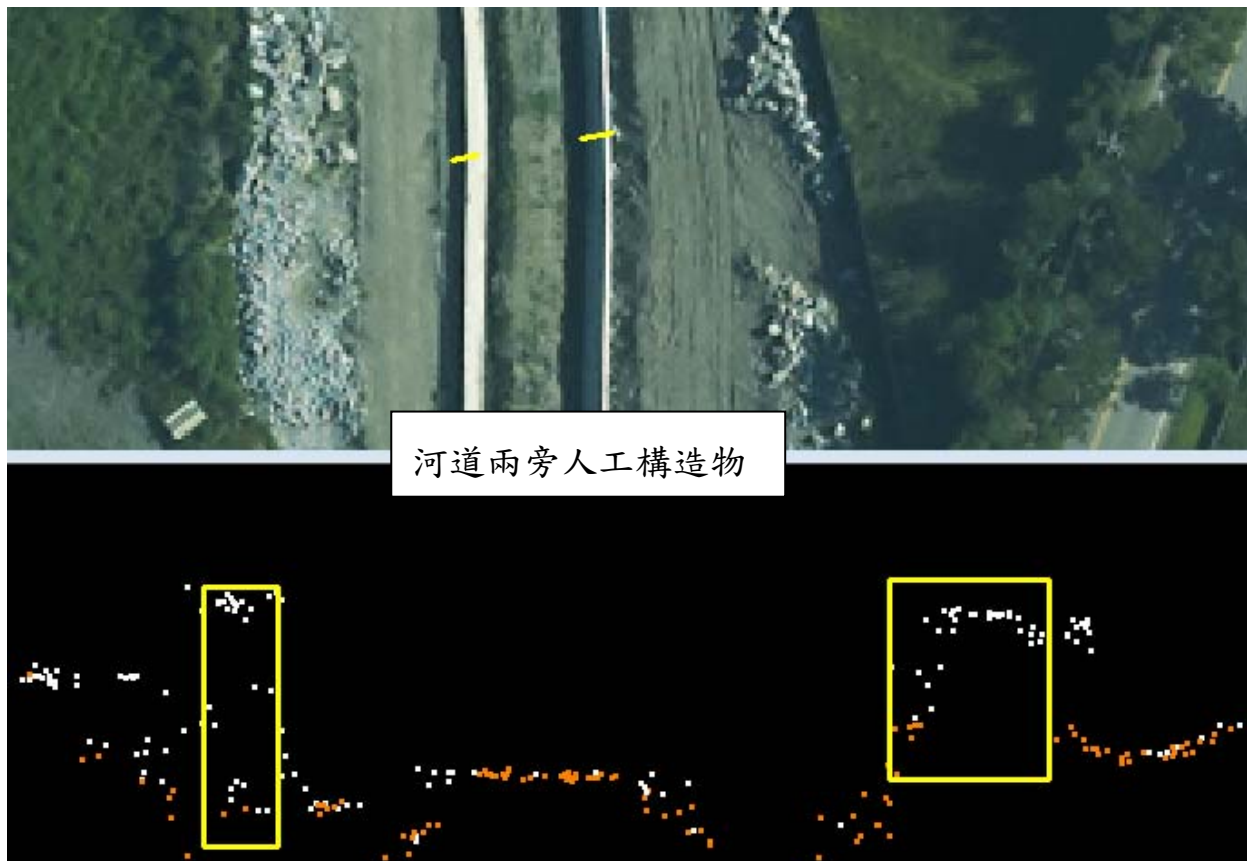


圖4-36、河道兩旁人工構造物修正(平地)

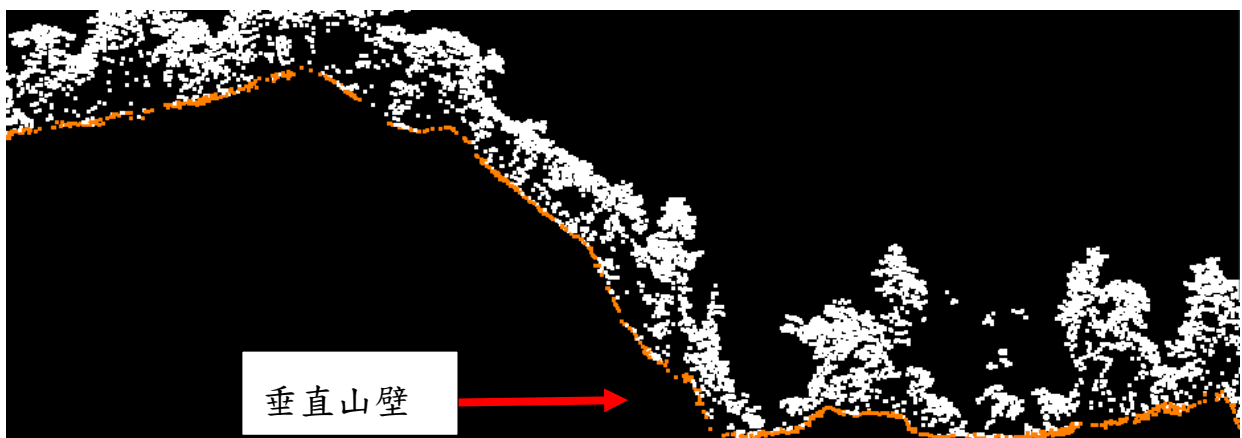


圖4-37、垂直山壁人工修正(山區)

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4-38所示。

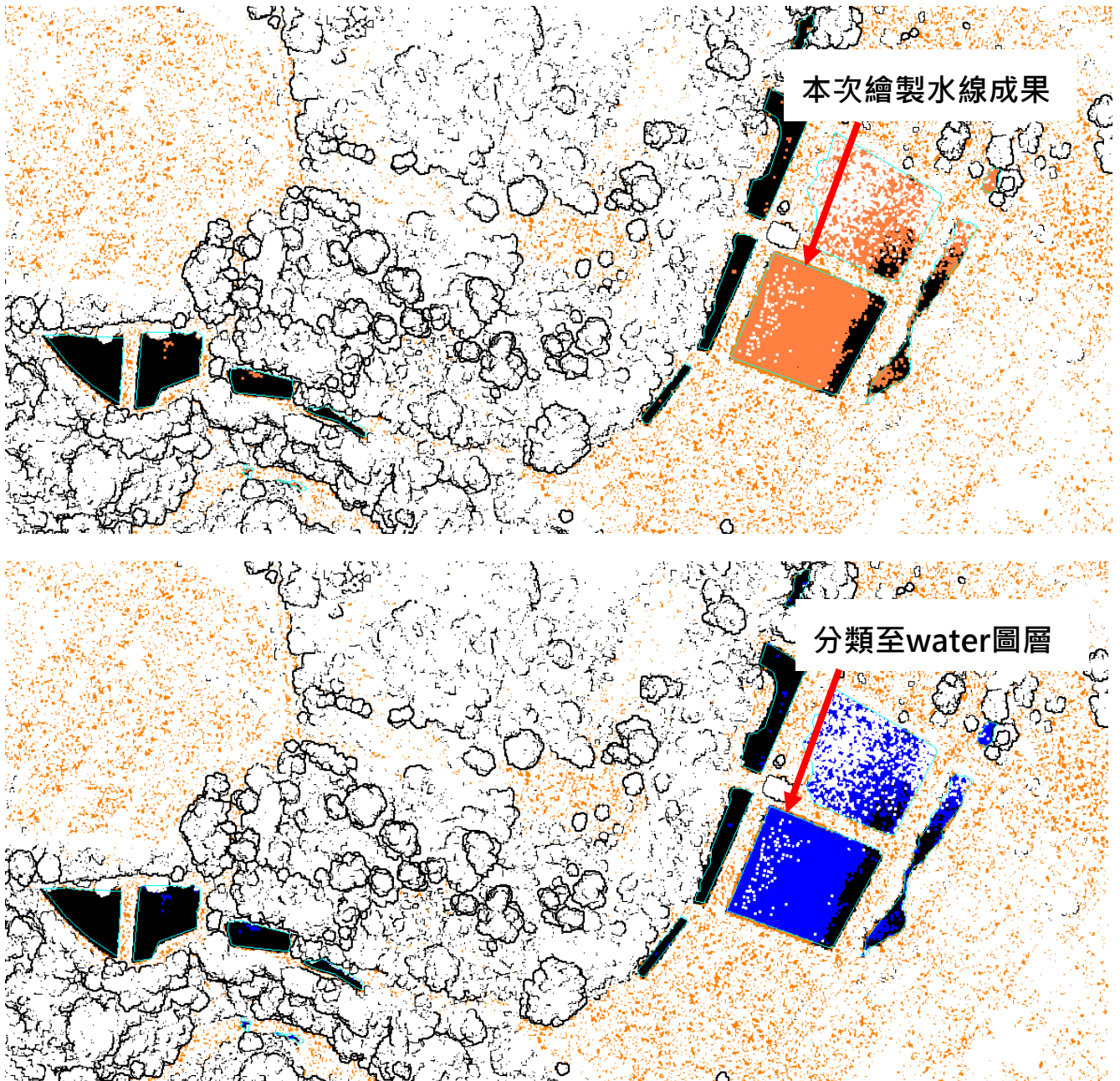


圖4-38、水體分類成果(圖號96191087)

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4-39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，-1測區第一次繳交至監審單位成果，第一子測區初驗無不合格圖幅、第二子測區初驗有6幅不合格圖幅，針對不合格圖幅加強人員作業流程。

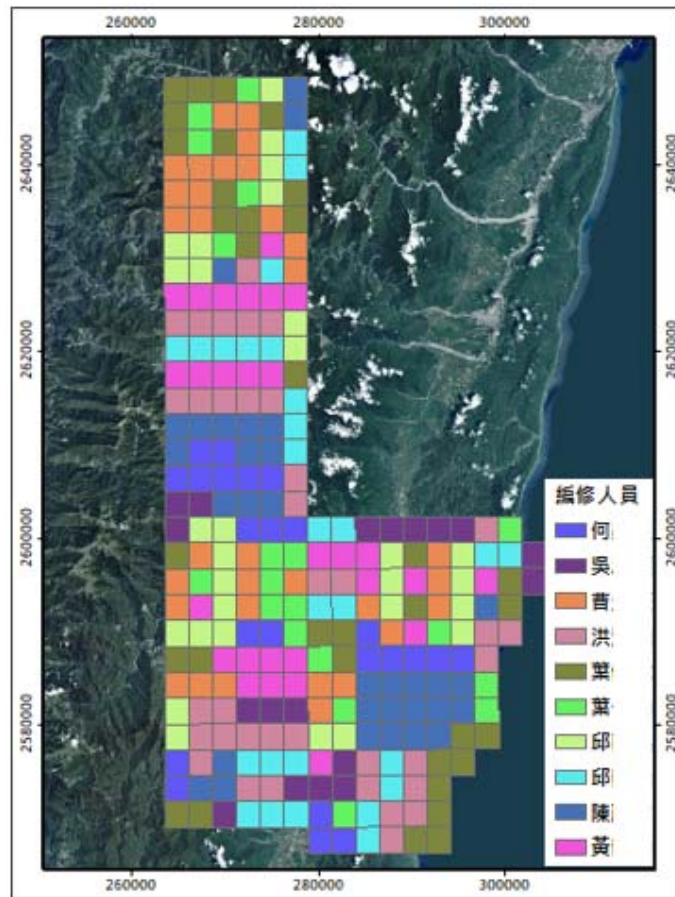


圖4-39、本案作業人員分布圖

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。

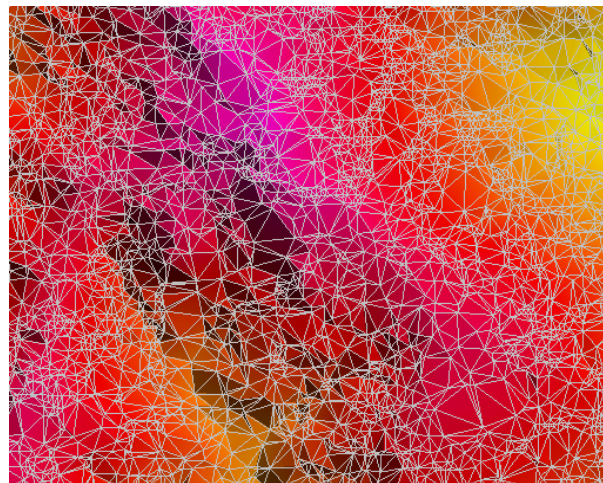


圖4-40、點雲TIN分析圖

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。

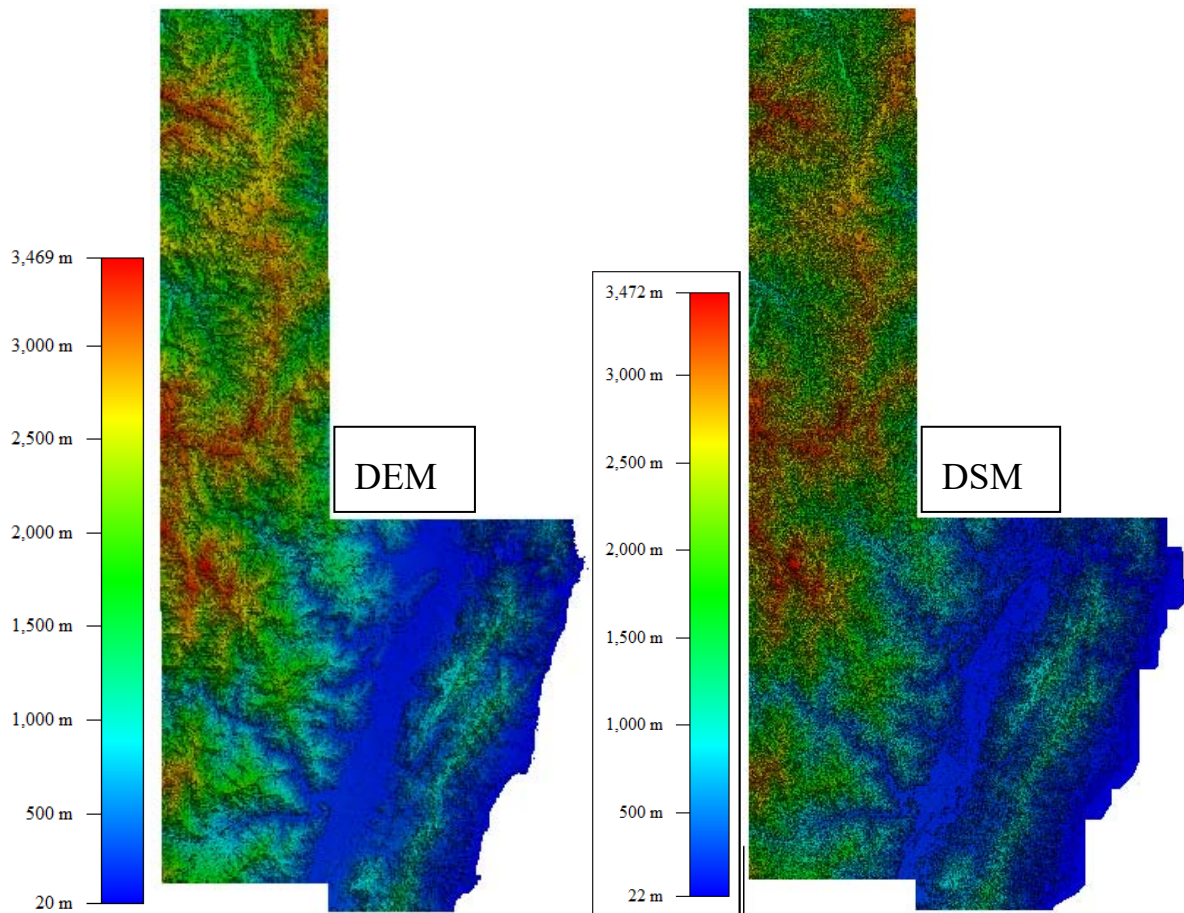


圖4-41、第1作業區DEM、DSM成果

5. DEM/DSM 外部接邊

接邊由丙方統一分配，共計需處理46幅DEM以及DSM接邊，接邊位置關係如圖4-42所示。本公司處理108、109以及與第二作業區圖幅成果之接邊，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4-43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。

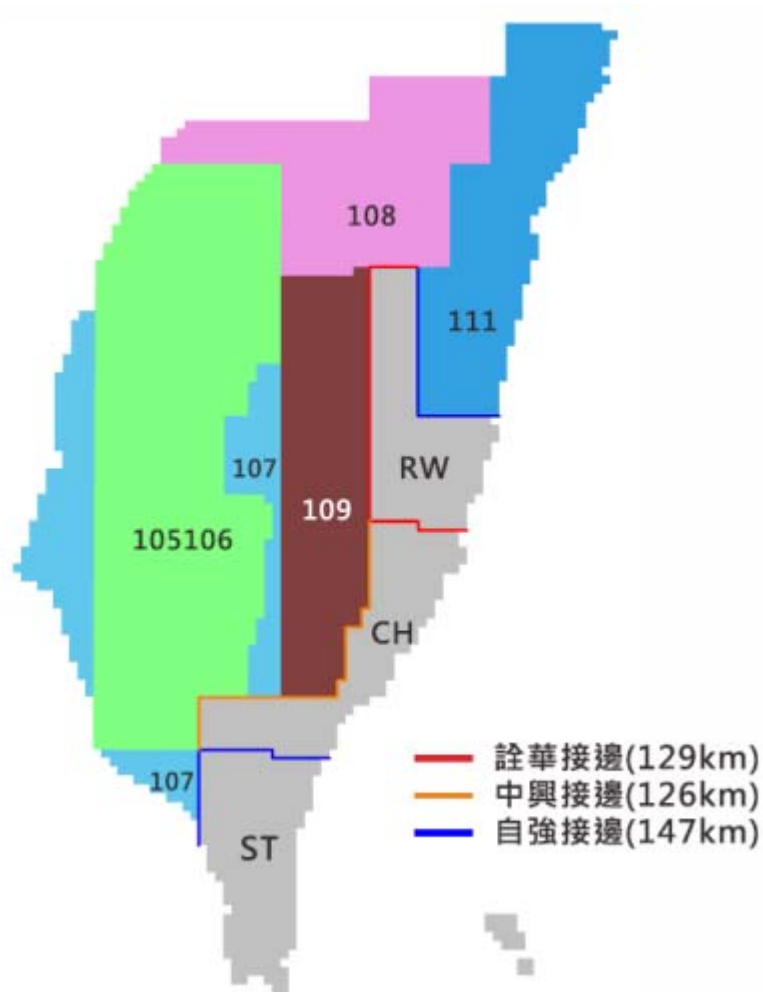


圖4-42、DEM、DSM接邊分配圖

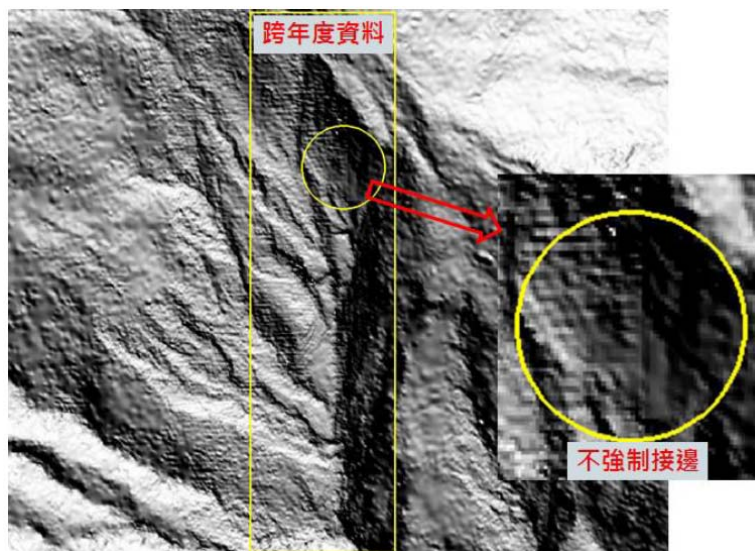


圖4-43、年度接邊地形變異示意圖

4.5.3 大地起伏化算

空載光達掃瞄定位原理為利用GNSS/IMU直接地理定位解算其飛航軌跡，為橢球高系統；但一般民生用途所需高程資料是以大地水準面起算的正高

(Orthometric Height)，故兩者資料整合運用時需將高程系統化算至同一坐標系統方可運算。

4.6 檢核點蒐集及作業

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

4.6.1 測量作業方式

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

(一)依據不同土地覆蓋分區進行檢核測量

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

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

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

2.中高海拔山區測製地區之檢核作業，檢核作業需至少有土地覆蓋分區為：

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

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

(二)橫斷面(cross section)檢核測量

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

第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4-12、表4-13所示，其分部位置如圖4-44所示。

表 4-12、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
		
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		
 <p>點名: BA01 點號: BA01 日期: 112.9.22 測量單位: 國產署臺南市地政事務所 測量人員: 林俊男</p>	 <p>點名: BB32 點號: BB32 日期: 112.9.22 測量單位: 國產署臺南市地政事務所 測量人員: 林俊男</p>	 <p>點名: BB33 點號: BB33 日期: 112.9.22 測量單位: 國產署臺南市地政事務所 測量人員: 林俊男</p>
B1-裸露地	B2-矮植被	B3-植生地
 <p>點名: BE17 點號: BE17 日期: 112.9.22 測量單位: 國產署臺南市地政事務所 測量人員: 林俊男</p>	 <p>點名: BF35 點號: BF35 日期: 112.9.22 測量單位: 國產署臺南市地政事務所 測量人員: 林俊男</p>	
B4-林地	B5-密林地	
 <p>點名: DH42 點號: DH42 日期: 112.9.22 測量單位: 國產署臺南市地政事務所 測量人員: 林俊男</p>	 <p>點名: BH08 點號: BH08 日期: 112.9.22 測量單位: 國產署臺南市地政事務所 測量人員: 林俊男</p>	 <p>點名: BH13 點號: BH13 日期: 112.9.22 測量單位: 國產署臺南市地政事務所 測量人員: 林俊男</p>
D-橫斷面檢核點		

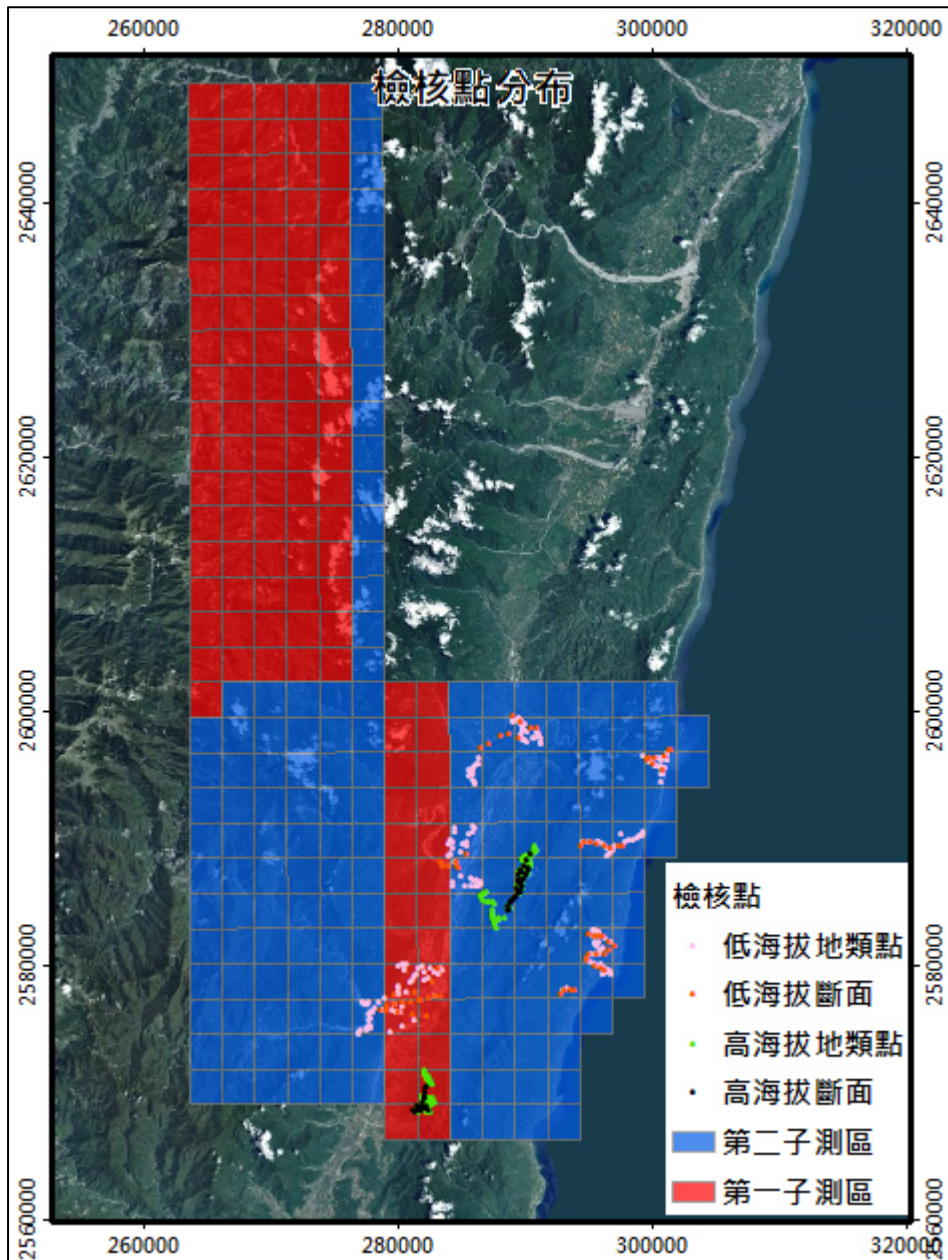


圖 4-44、檢核點分布

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° 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。

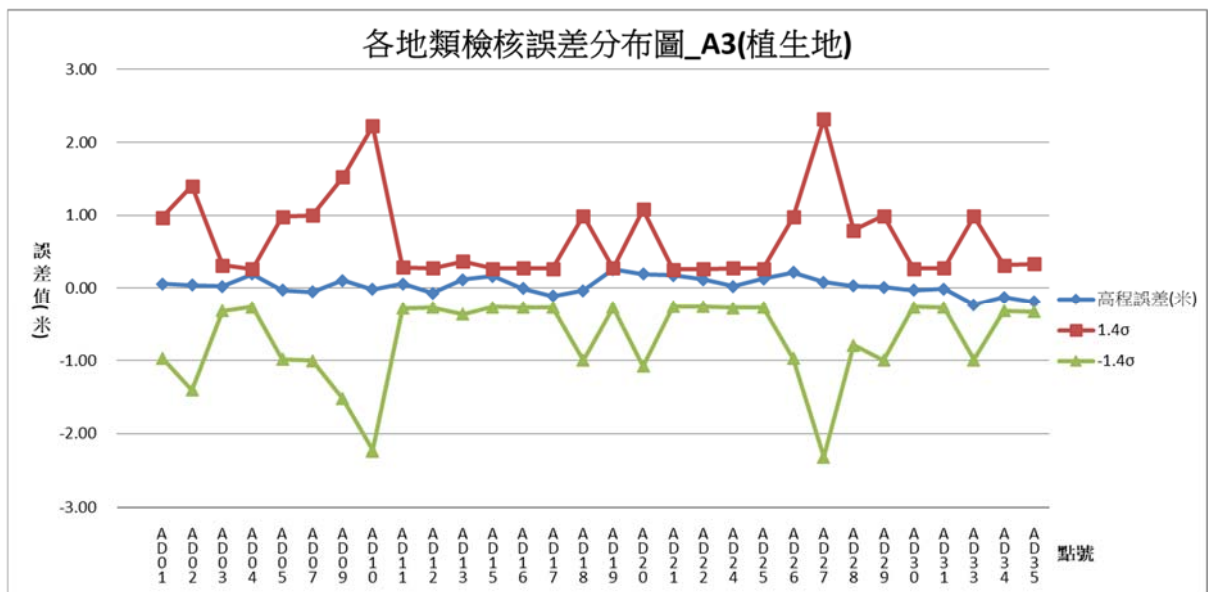
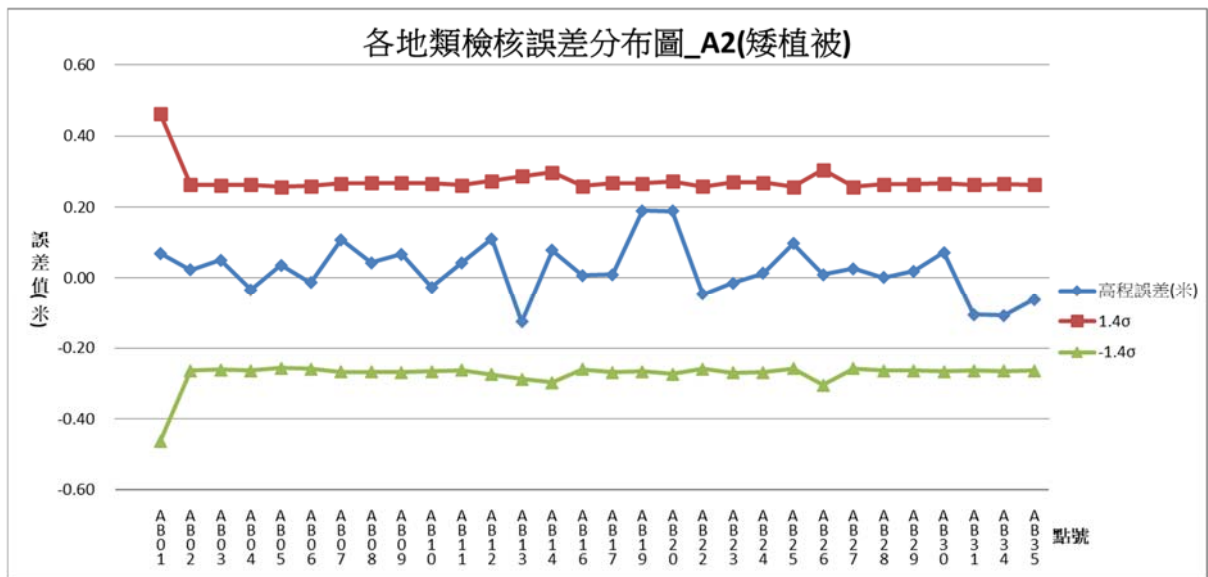
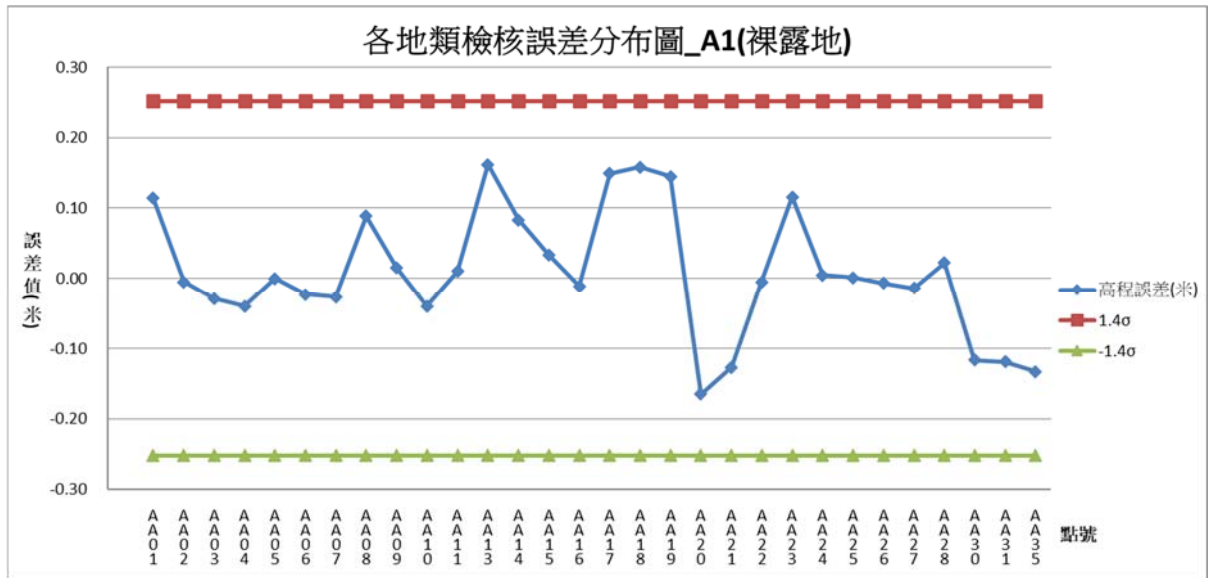
4.6.3 精度評估與分析

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4-17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0.06~0.10公尺，高海拔檢核點與光達點雲資料平均絕對誤差約在0.11~0.14公尺之間。

低海拔測區各地類以及橫斷面差值皆介於±30公分內，如圖4-45、圖4-46所示。

表4-17、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	平均誤差(m)	平均絕對誤差(m)	最大高差(m)	最小高差(m)	標準偏差(m)	均方根誤差(m)
裸露地	30	0.008	0.066	0.162	-0.165	0.089	0.088
矮植被	30	0.025	0.060	0.190	-0.125	0.075	0.074
植生地	30	0.037	0.097	0.258	-0.234	0.119	0.117
林地	30	0.037	0.060	0.169	-0.072	0.071	0.051
都會區	30	0.011	0.056	0.144	-0.198	0.075	0.073
溼地	30	0.017	0.082	0.225	-0.253	0.114	0.112
橫斷面	60	0.007	0.067	0.195	-0.214	0.084	0.083



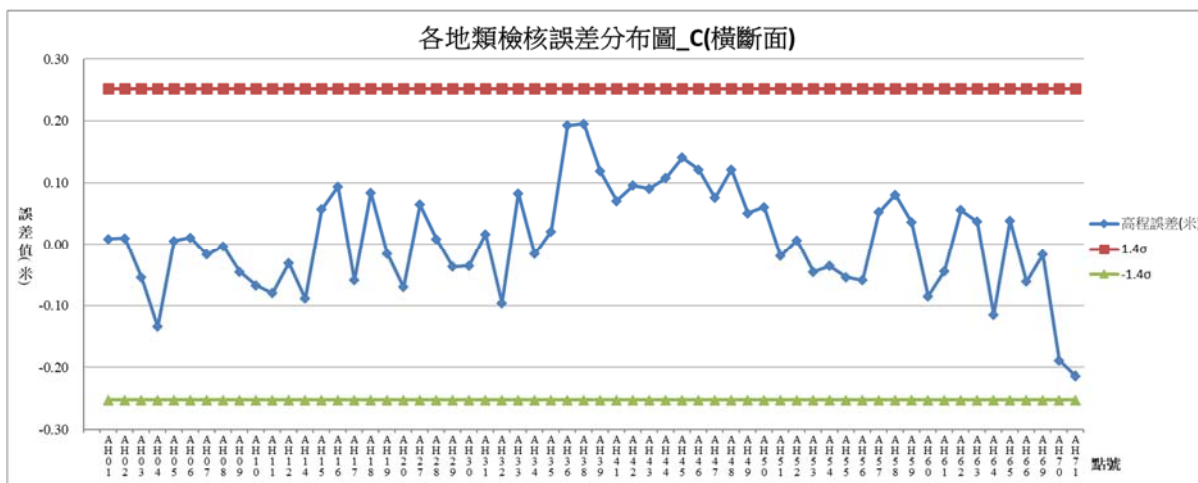
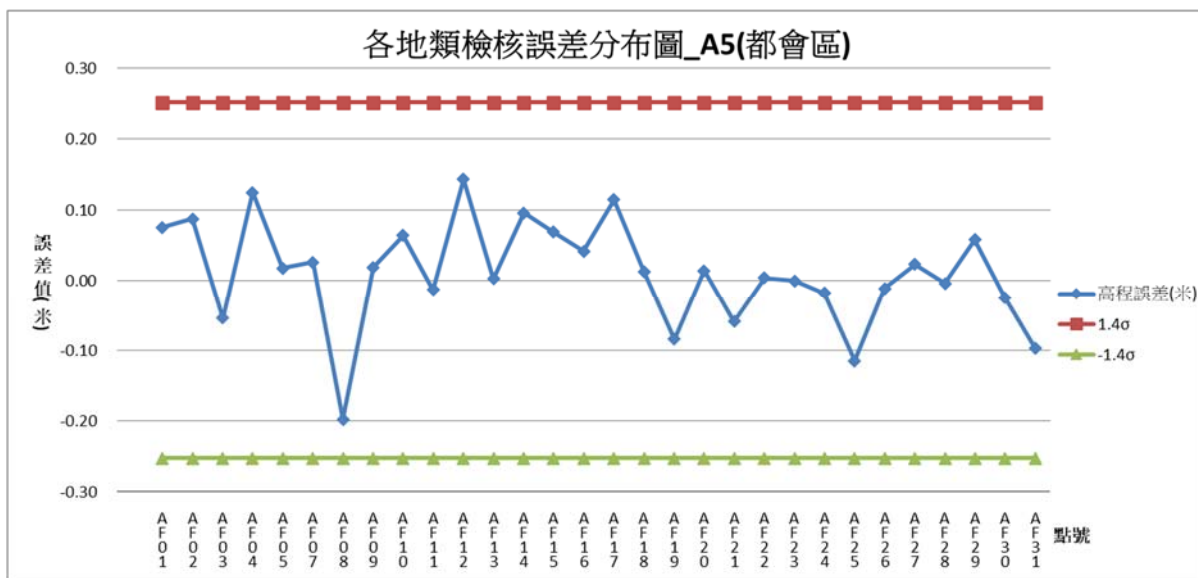
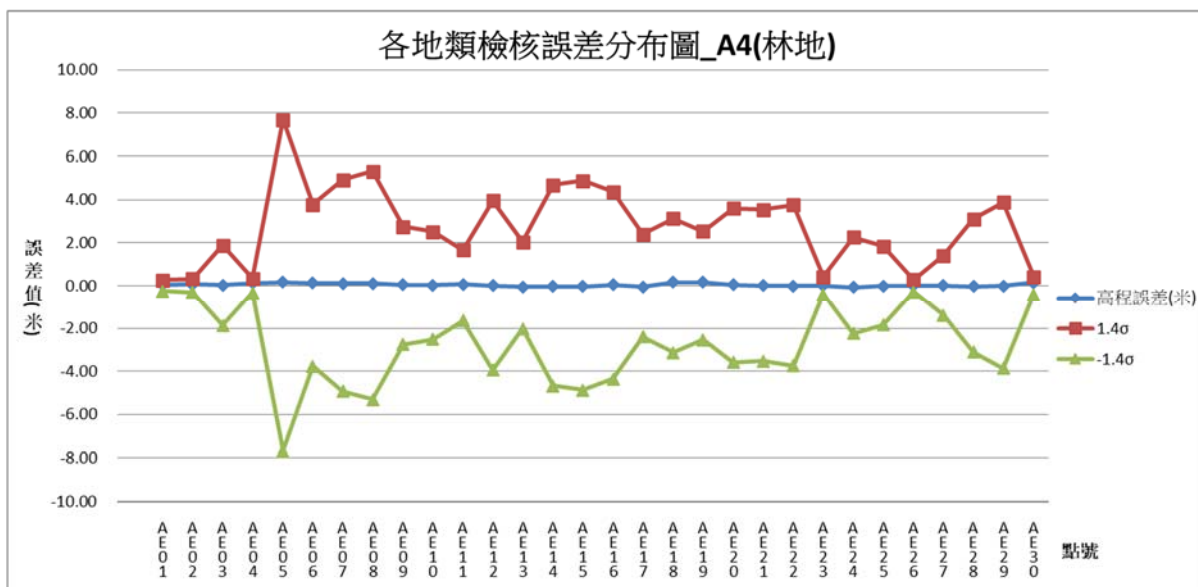


圖4-45、低海拔各地類檢核誤差分布圖

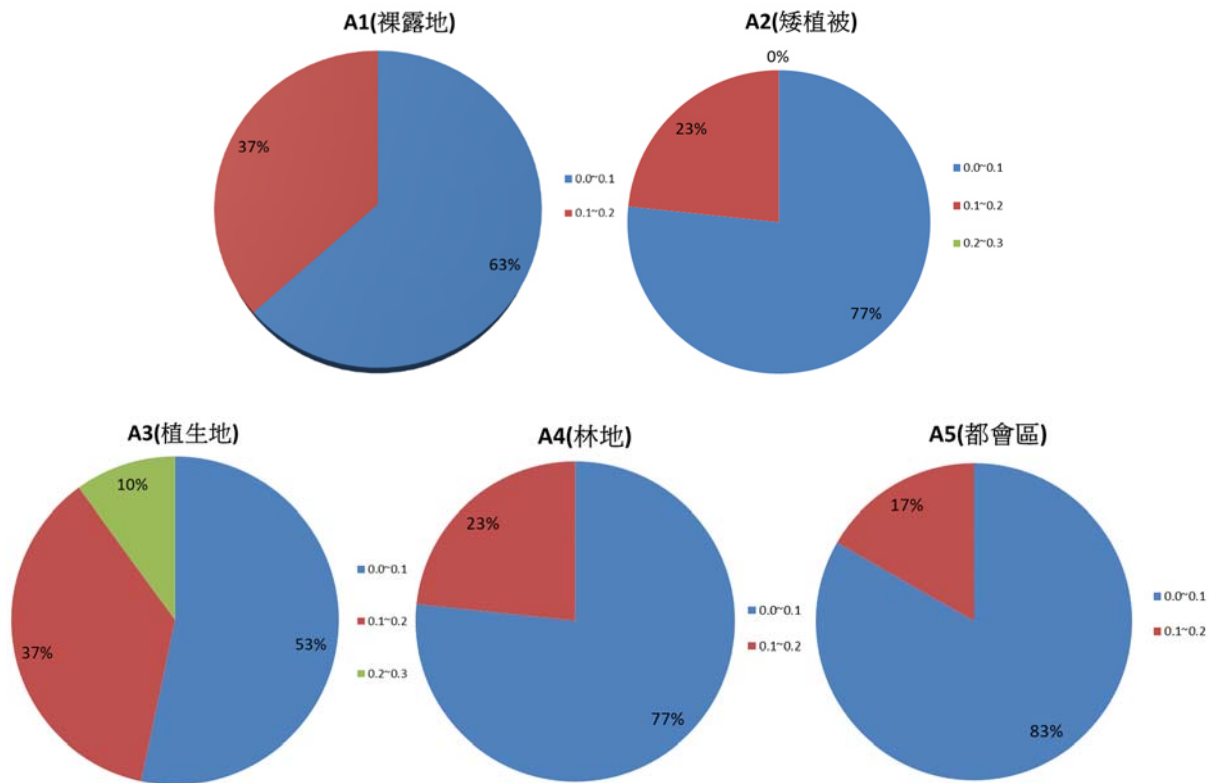
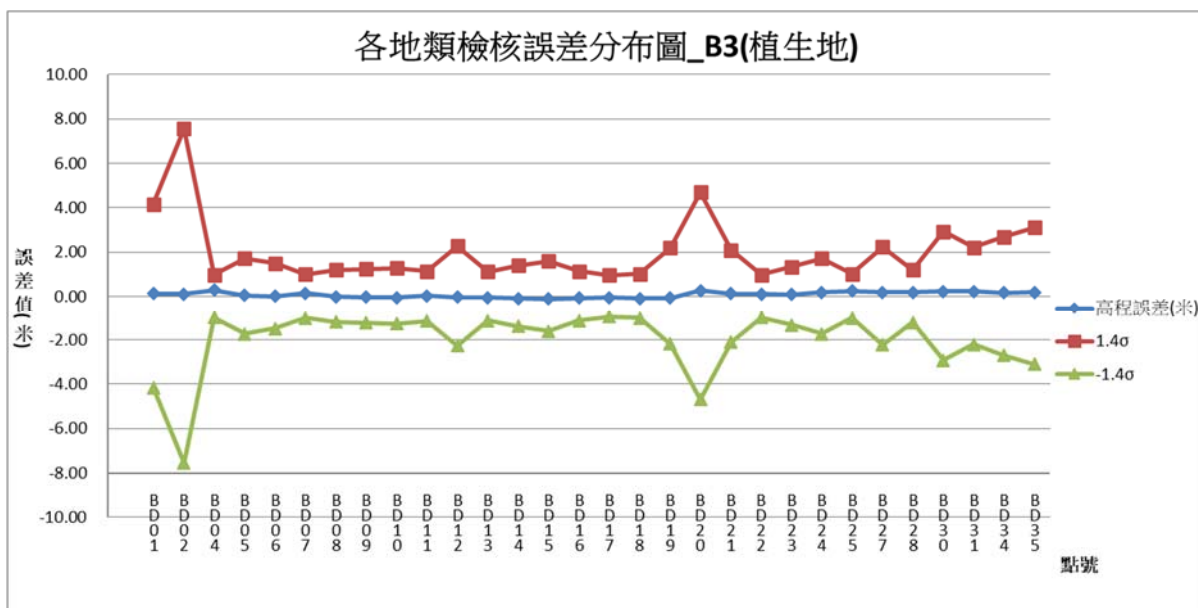
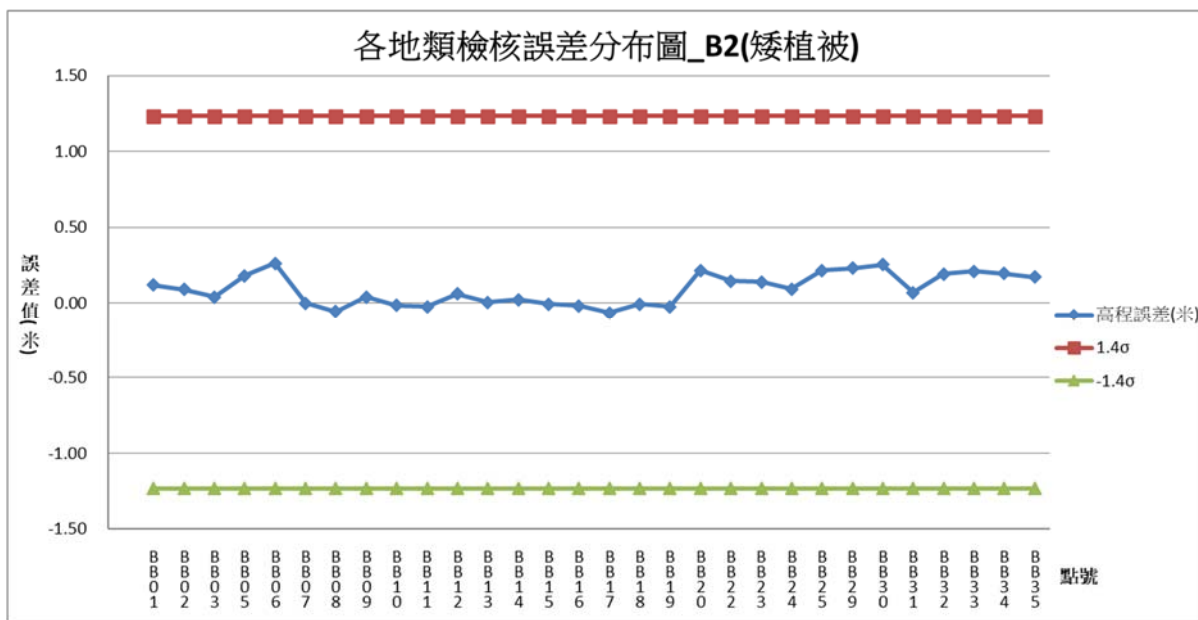
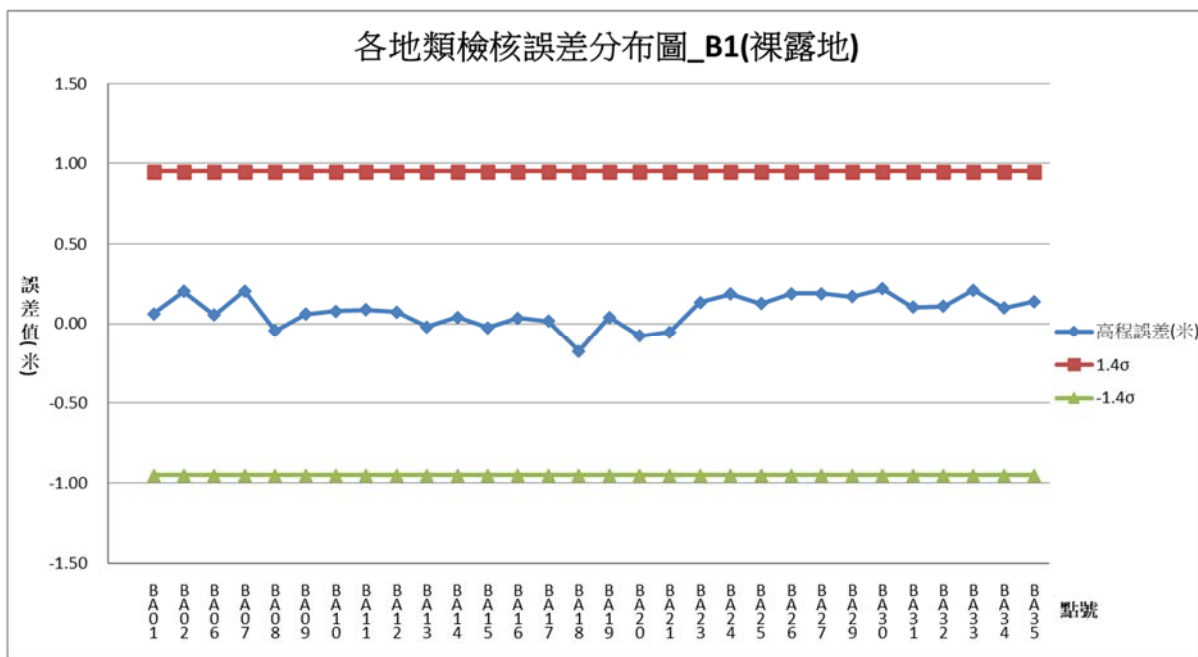


圖4-46、低海拔各地類檢核誤差圓餅圖

高海拔地類與橫斷面介於±30公分內，如圖4-45、圖4-46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	平均誤差(m)	平均絕對誤差(m)	最大高差(m)	最小高差(m)	標準偏差(m)	均方根誤差(m)
裸露地	30	0.082	0.108	0.220	-0.173	0.098	0.096
矮植被	30	0.091	0.105	0.262	-0.065	0.102	0.101
植生地	30	0.071	0.117	0.278	-0.112	0.122	0.120
林地	30	0.046	0.111	0.217	-0.204	0.123	0.121
密林地	30	0.031	0.143	0.254	-0.238	0.156	0.154
橫斷面	40	0.078	0.130	0.252	-0.179	0.129	0.128



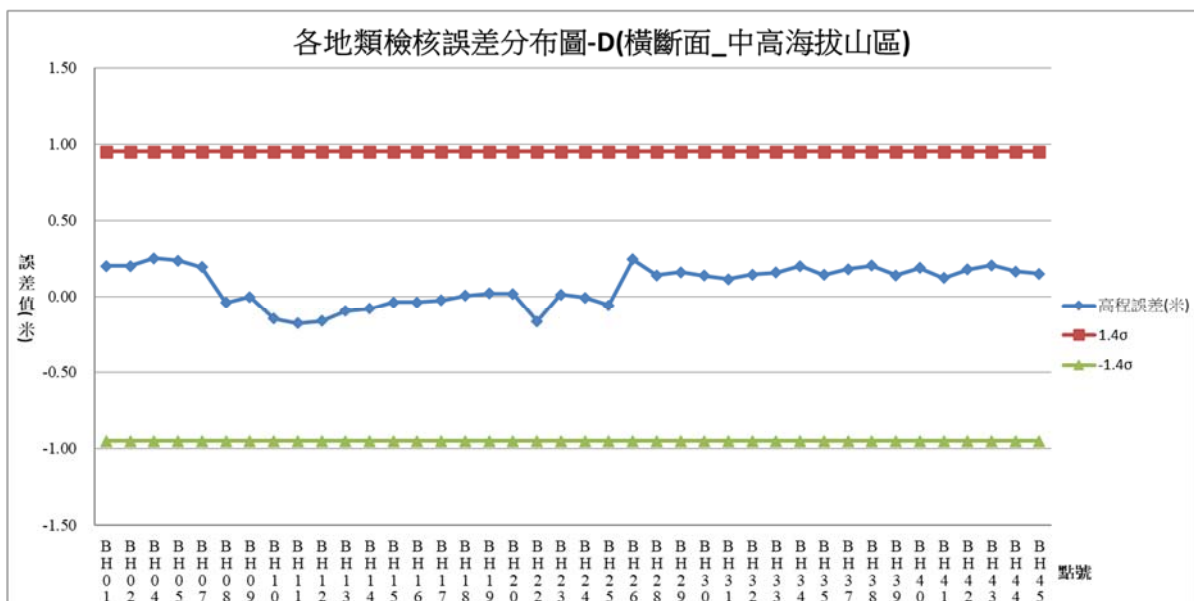
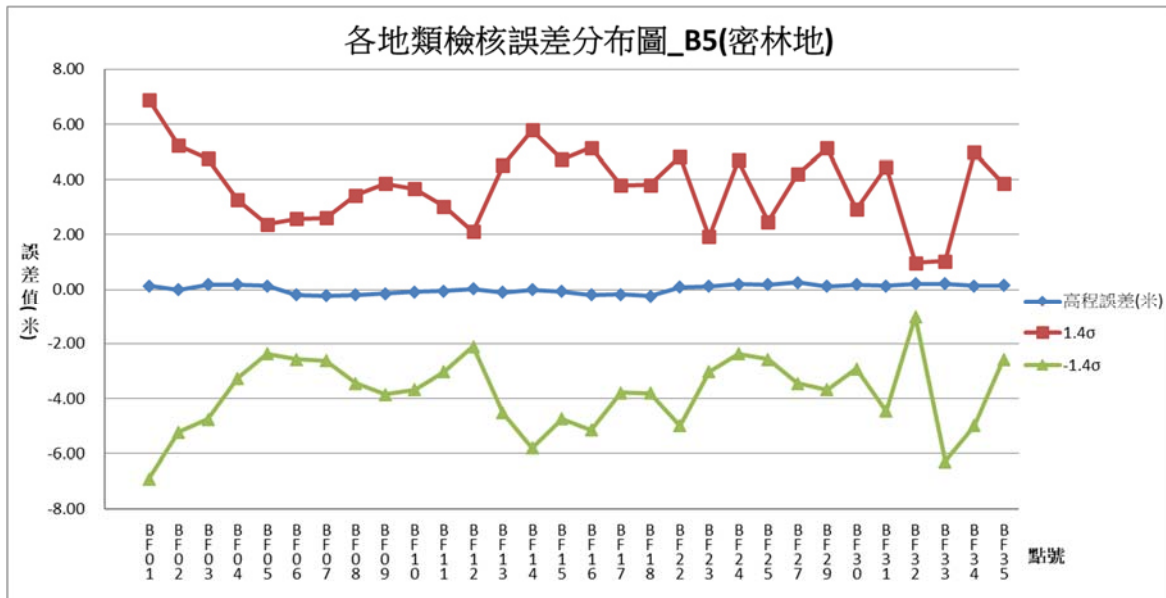
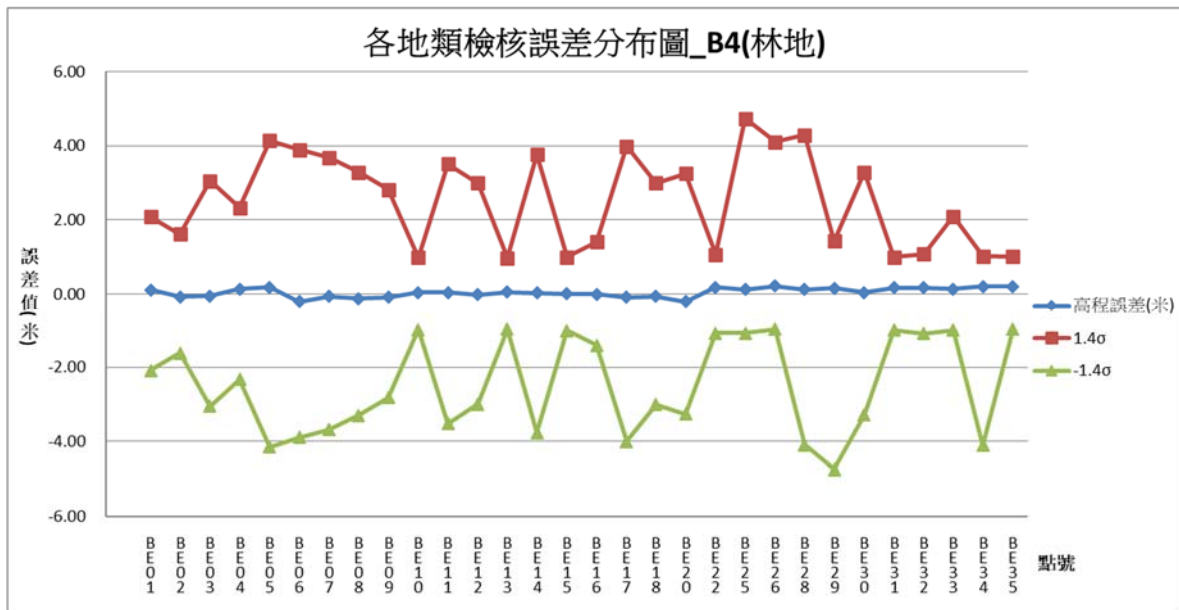


圖4-47、高海拔各地類檢核誤差分布圖

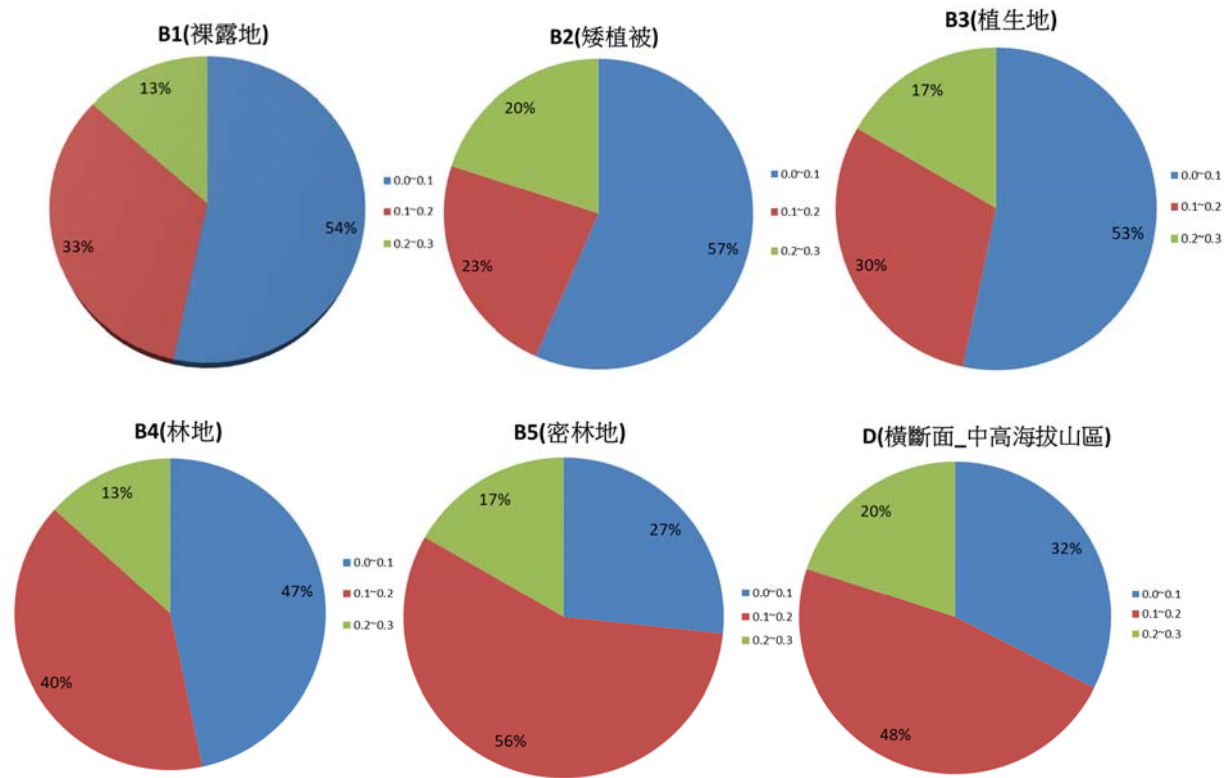


圖4-48、高海拔各地類檢核誤差圓餅圖

4.6.4 各階段外業驗收成果

第2階段於112年09月21-23日進行外業驗收，共計抽驗四幅圖分別為96191092、96191083、96191063以及96191053共驗收24個點位，與DEM相比RMSE值為16.52公分，符合本案規範，驗收成果直方圖如圖4-49所示。

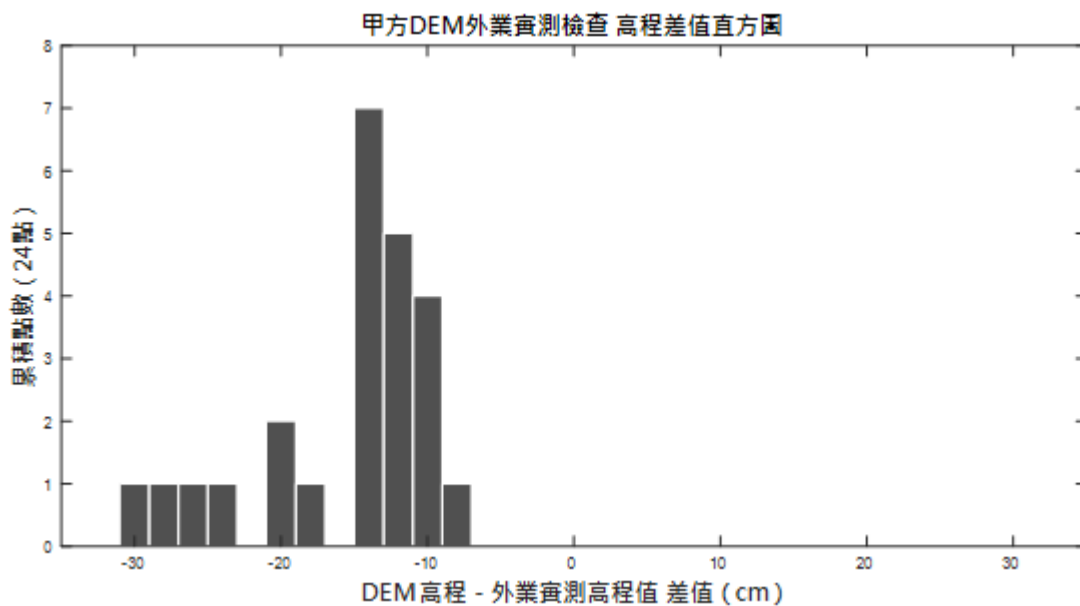


圖4-49、第2階段外業驗收直方圖

第3階段於112年12月06~08日進行外業驗收，共計抽驗四幅圖分別為96192007、96191074、96192001以及96191006共驗收24個點位，與DEM相比RMSE值為6.64公分，符合本案規範，驗收成果直方圖如圖4-50所示。

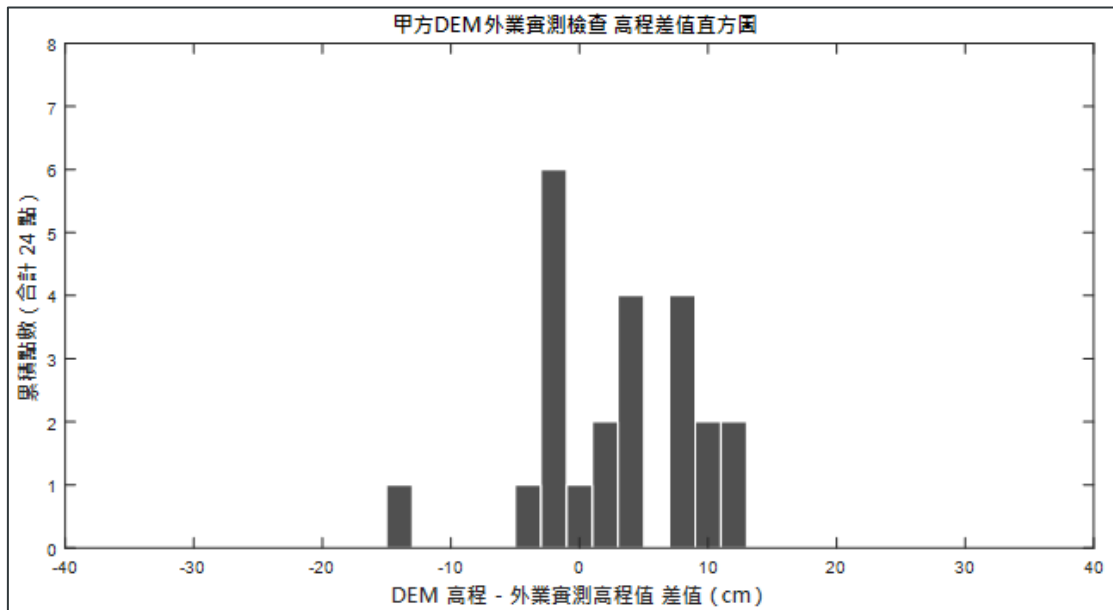


圖4-50、第3階段外業驗收直方圖

第五章、正射影像製作

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

作業區內使用中像幅相機Phase One IXU-RS-1000拍攝，正射影像製作流程如圖5-1所示：

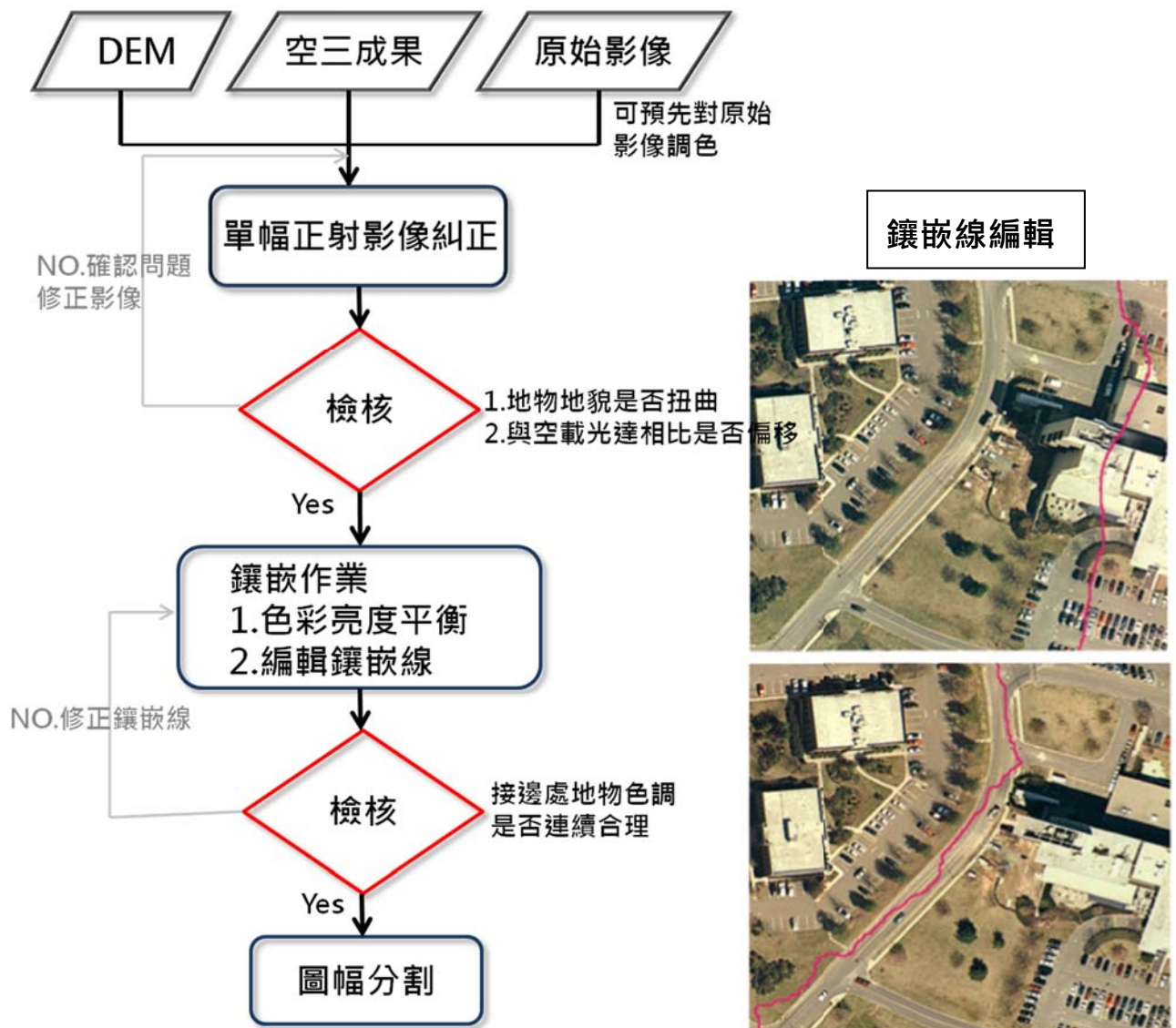


圖5-1、正射影像製作流程

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 11,591 張；第二子測區實際使用之數量為 9,819 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，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。

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5-2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5-3所示。

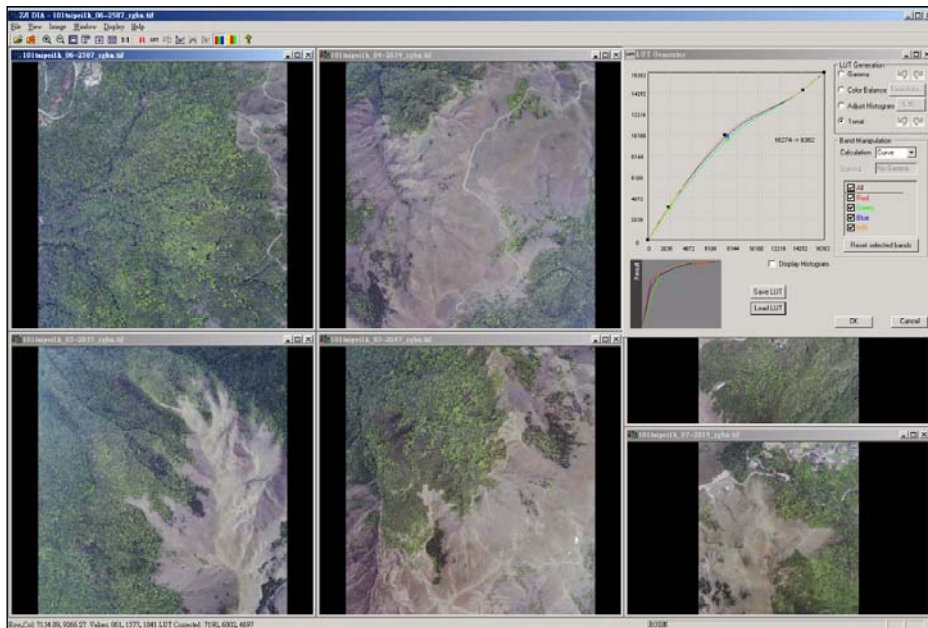


圖5-2、PPS影像處理示意圖

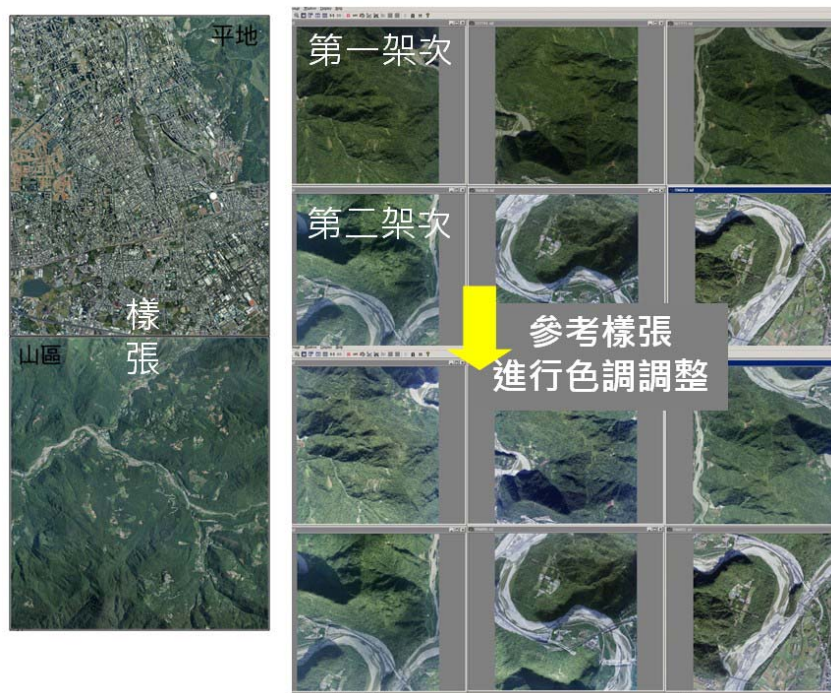


圖5-3、原始影像色彩預處理

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，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 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 5-4 所示。

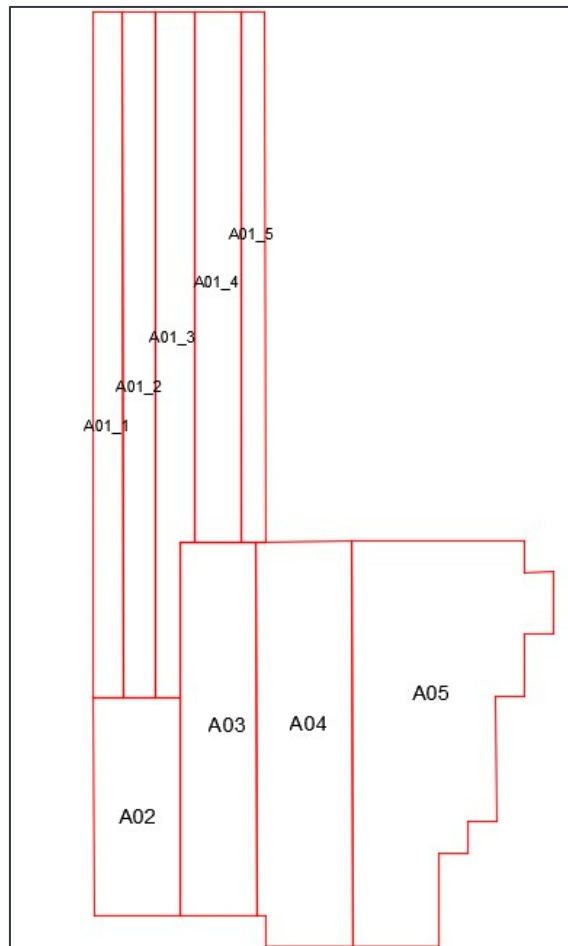


圖5-4、空三作業區域分配圖

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

前後重疊率	60%	80%	90%
可靠度指標			
平均多餘觀測數 (總多餘觀測數/ 總觀測數)	≥ 0.55	≥ 0.6	≥ 0.7
連結點平均光線數 (連結點總光線數/ 總連結點數)	≥ 4	≥ 6	≥ 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) ≥ 0.3	(6 重光線以上 連結點數)/(總點數) ≥ 0.3	(8 重光線以上 連結點數)/(總點數) ≥ 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。

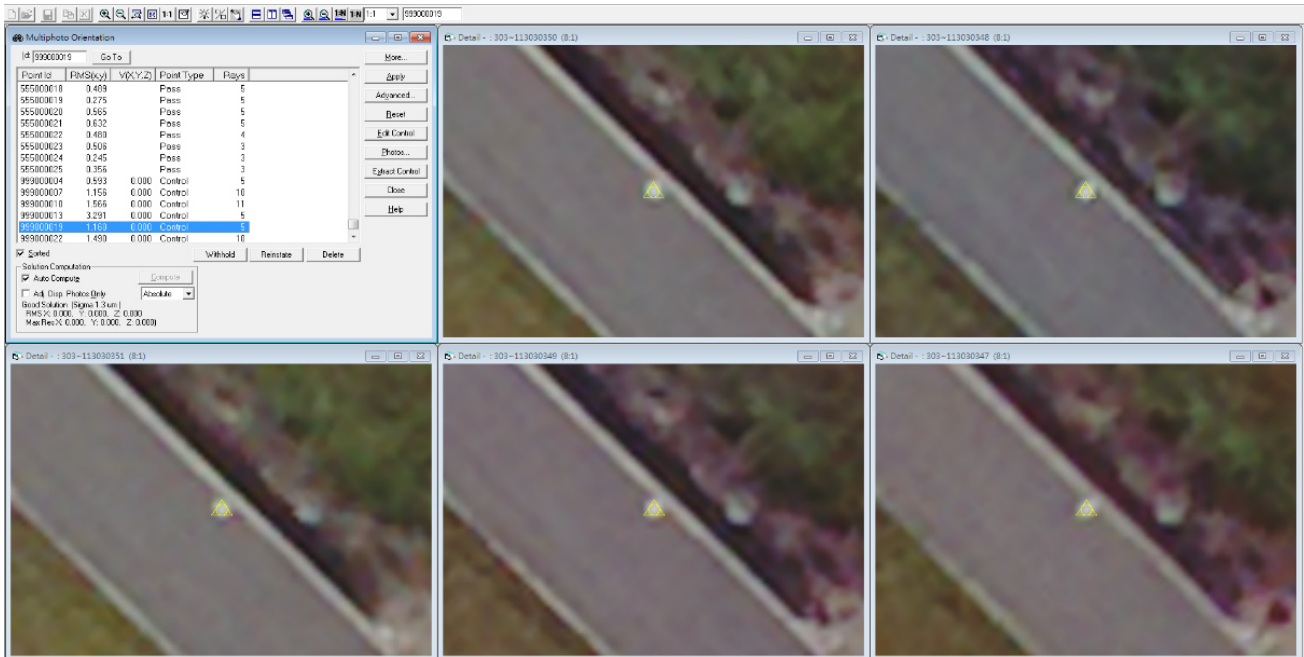


圖5-5、控制點量測

表5-1、空三平差成果連結點強度統計表

A01 1	平均多餘觀測數	0.79	連結點強度指標	0.91
	連結點平均光線數	9.87		
A01 2	平均多餘觀測數	0.80	連結點強度指標	0.94
	連結點平均光線數	11.05		
A01 3	平均多餘觀測數	0.79	連結點強度指標	0.87
	連結點平均光線數	9.61		
A01 4	平均多餘觀測數	0.77	連結點強度指標	0.87
	連結點平均光線數	9.09		
A01 5	平均多餘觀測數	0.77	連結點強度指標	0.85
	連結點平均光線數	9.35		
A02	平均多餘觀測數	0.82	連結點強度指標	0.90
	連結點平均光線數	12.55		
A03	平均多餘觀測數	0.82	連結點強度指標	0.91
	連結點平均光線數	12.07		
A04	平均多餘觀測數	0.82	連結點強度指標	0.93
	連結點平均光線數	12.91		
A05	平均多餘觀測數	0.85	連結點強度指標	0.91
	連結點平均光線數	12.72		

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 5-6 所示，方能進行正射影像鑲嵌作業。

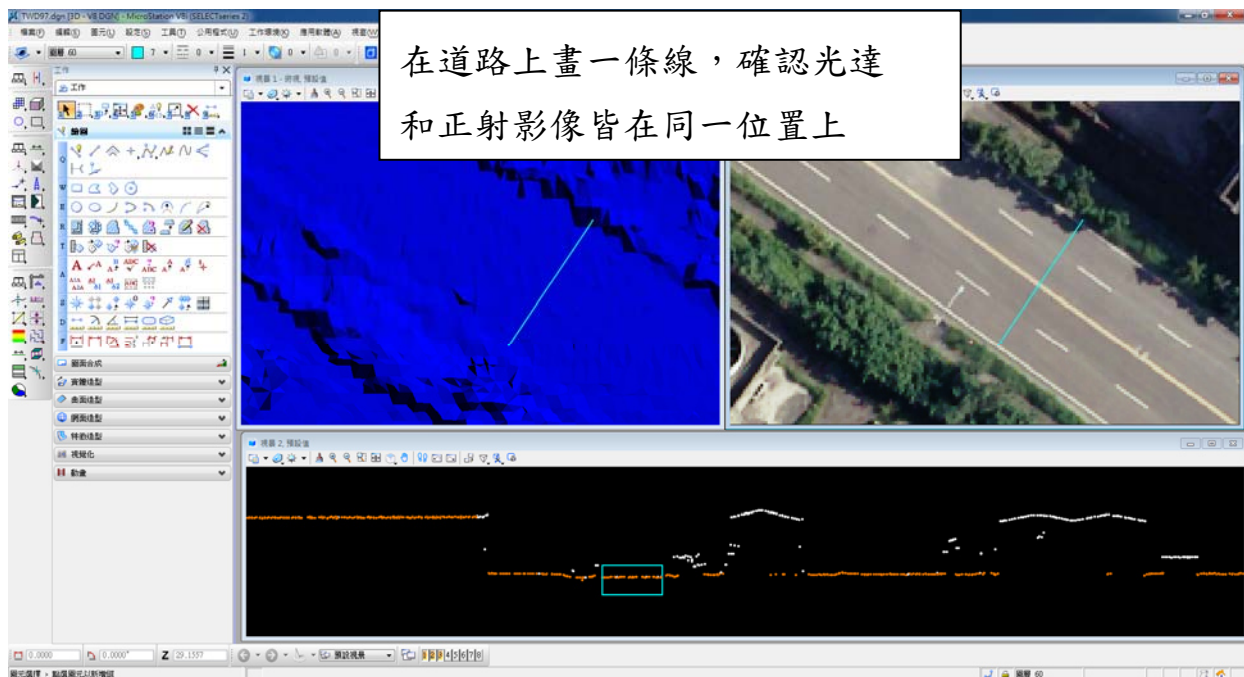


圖5-6、正射影像與光達比較圖

- (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，並提供每張原始影像鑲嵌檔案，由於原始影像鑲嵌線檔案相當龐大，需額外耗費人工時間整繪，如圖 5-7 所示。

(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。

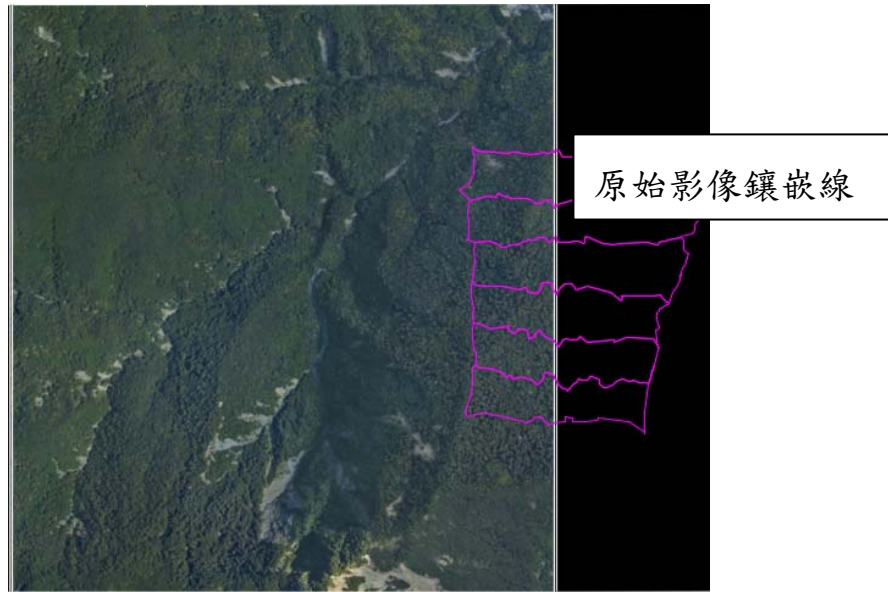


圖5-7、正射影像鑲嵌線(圖號96204037)

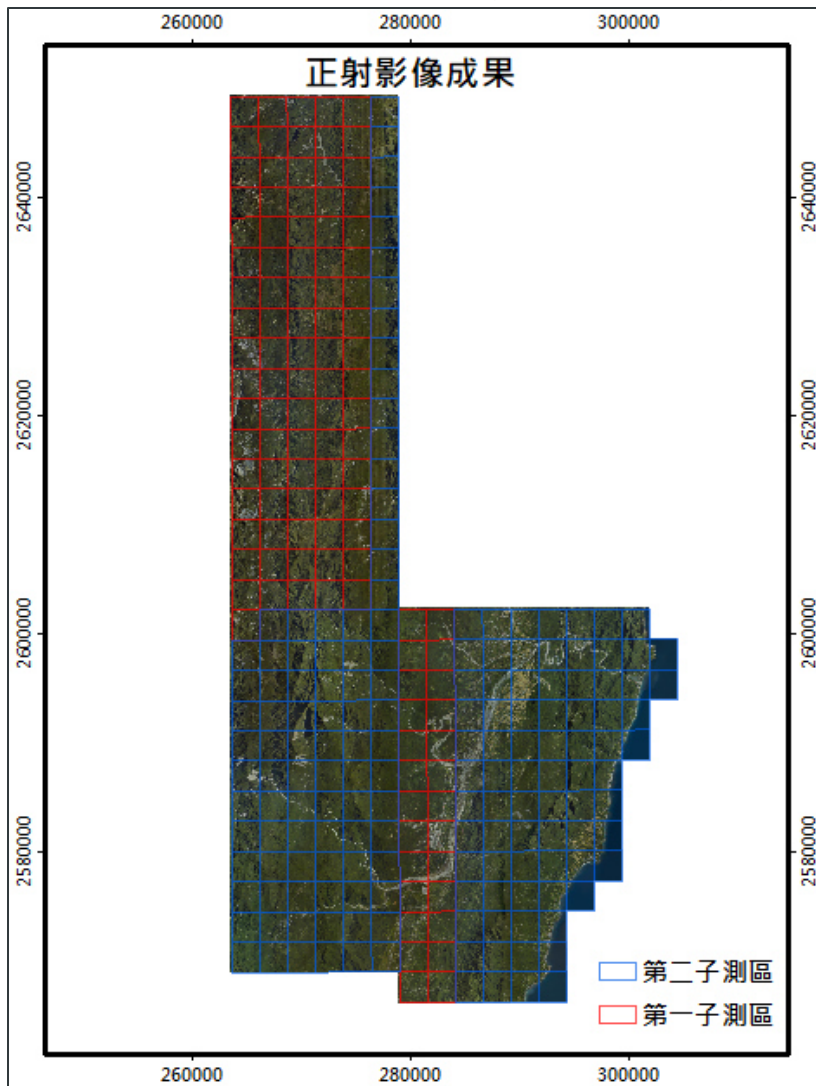


圖5-8、正射影像成果

2. 自我檢核

(1). 正射影像與控制點比對

為評估正射影像精度品質，將選取控制點坐標與正射影像相比，除部分控制點超出正射影像範圍以及影像上無法辨識控制點位外，共計 53 個點位進行比對，選取位置如圖 5-9 所示，其差值比較成果如表 5-2 所示。

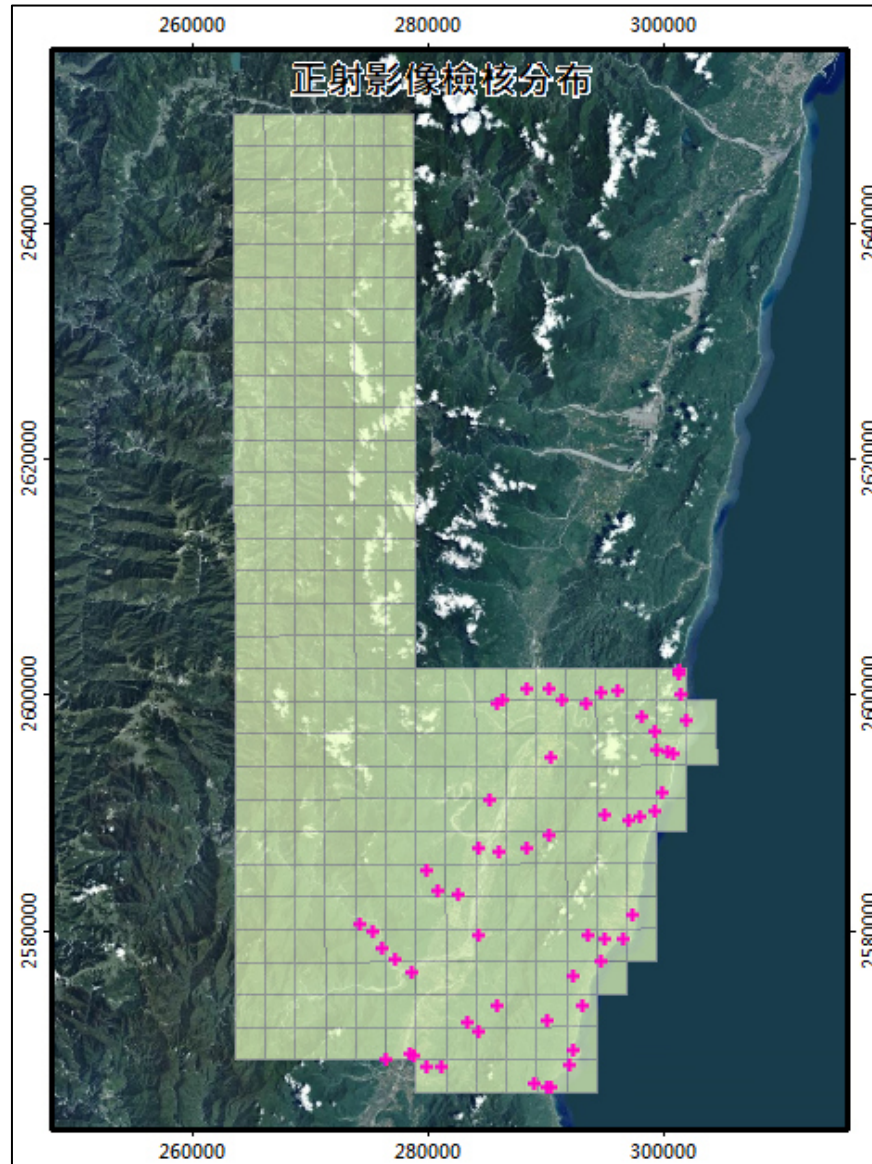


圖5-9、正射影像檢核點分布位置

表5-2、正射影像與控制點差值比較表

點號	平面差值(m)	點號	平面差值(m)
21-0001A	0.167	21-0016A	0.198
21-0001C	0.173	21-0017A	0.174
21-0003A	0.582	21-0018A	0.172
21-0003C	0.147	21-0019A	0.181
21-0004A	0.183	21-0020A	0.188

點號	平面差值(m)	點號	平面差值(m)
21-0004C	0.021	21-0021A	0.108
21-0005A	0.187	21-0022A	0.127
21-0005C	0.291	21-0023A	0.032
21-0006A	0.043	21-0024A	0.146
21-0006C	0.217	21-0025A	0.078
21-0007A	0.072	21-0026A	0.040
21-0007C	0.066	21-0027A	0.137
21-0008A	0.039	21-0028A	0.064
21-0008C	0.081	21-0029A	0.003
21-0009A	0.043	21-0030A	0.140
21-0009C	0.099	21-0032A	0.165
21-0010A	0.073	21-0034A	0.316
21-0010C	0.143	21-0035A	0.040
21-0011A	0.106	21-0036A	0.092
21-0012A	0.016	21-0037A	0.078
21-0012C	0.062	21-0038A	0.113
21-0013A	0.005	21-0039A	0.205
21-0013C	0.349	21-0040A	0.100
21-0014A	0.214	21-0041A	0.106
21-0014C	0.260	21-0042A	0.276
21-0015A	0.131	21-0043A	0.369
21-0015C	0.363		
最大較差(m)			0.582
最小較差(m)			0.003
均方根誤差(m)			0.183

(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12張，每幅影像挑選2處與光達資料進行比對，包括高架橋梁檢核、馬路邊緣以及水域區域。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。

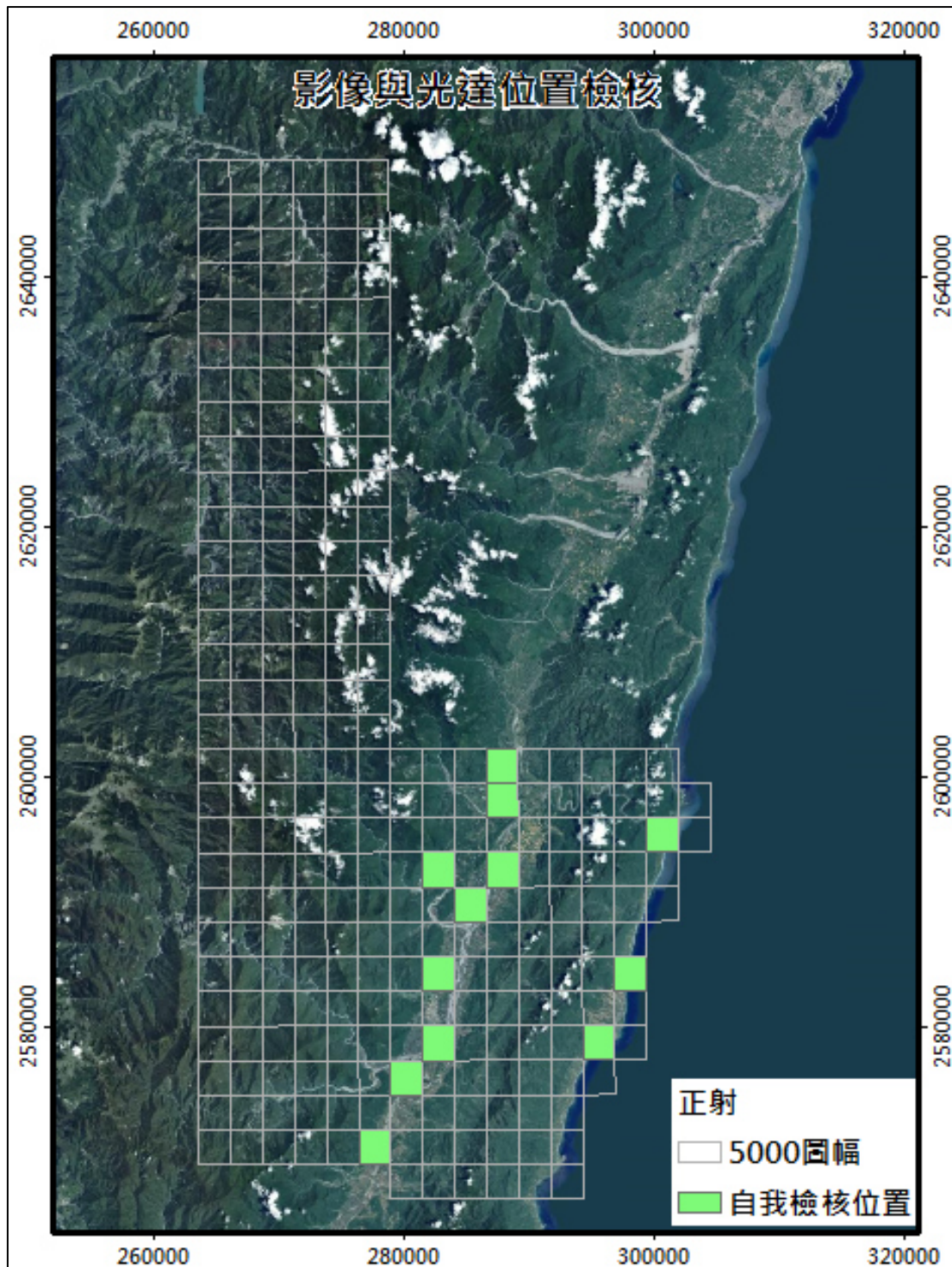





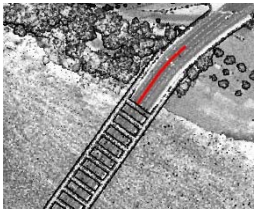

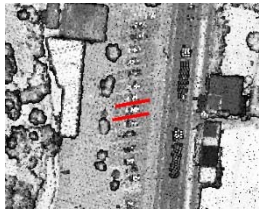



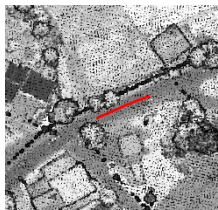



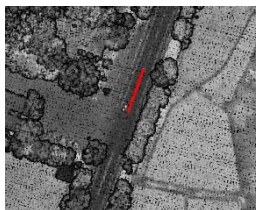

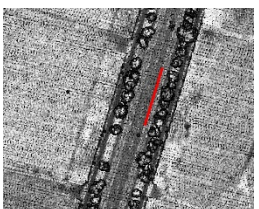

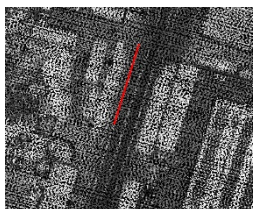

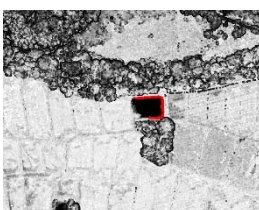
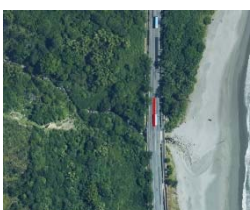
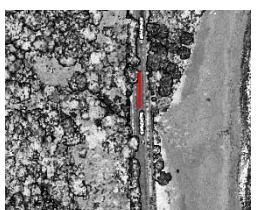


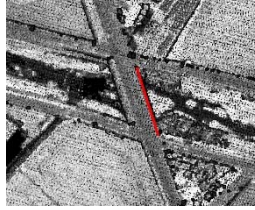


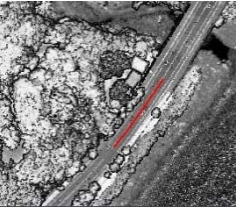

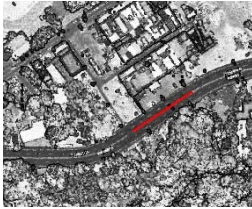

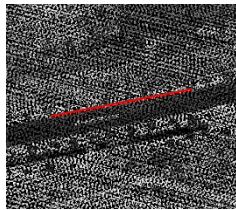

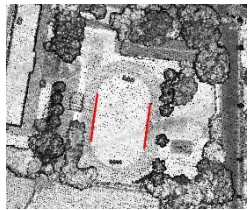



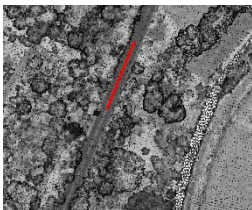






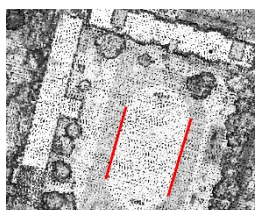



圖 5-10、正射影像與光達比較分布

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
96191005					O
96191020					O
96191025					O
96191035					O
96191053					O
96191059					O

第五章、正射影像製作

圖號	正射影像	點雲	正射影像	點雲	合格
96191073					O
96191078					O
96191082					O
96192001					O
96202095					O
96191023					O

3.水線製作

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

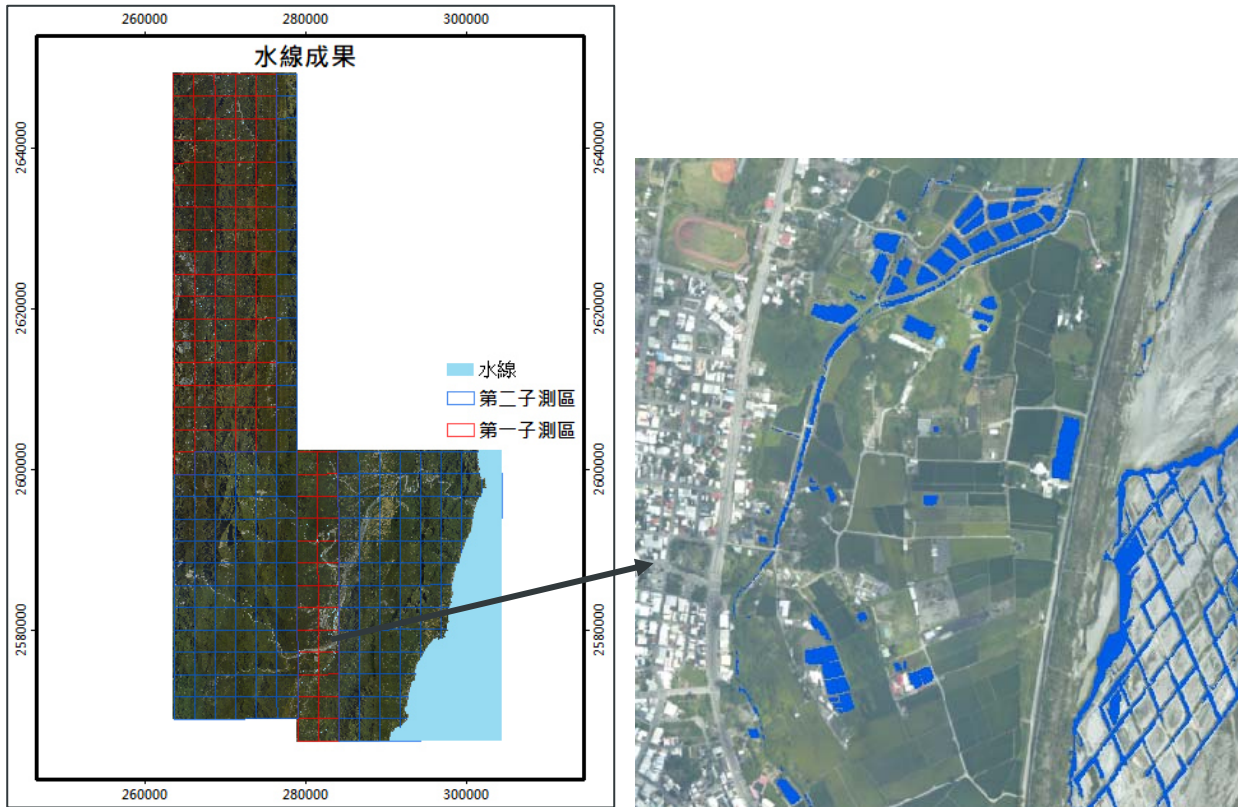


圖5-11、水線成果

5.5 正射影像外部接邊

接邊由監審方統一分配，共計需處理46幅正射影像接邊，接邊位置如圖 5-12所示，本公司處理108、109以及本年度第二作業區成果之接邊。因影像拍攝年分不同、高差移位、地貌變化等緣故，需將影像外擴之重疊部分進行調整。接邊原則為讓不同年度及各作業區整體顏色、特徵物(如稻田、房屋倒向等)一致美觀，使用Photoshop CS調整整體顏色、特徵物鑲嵌。

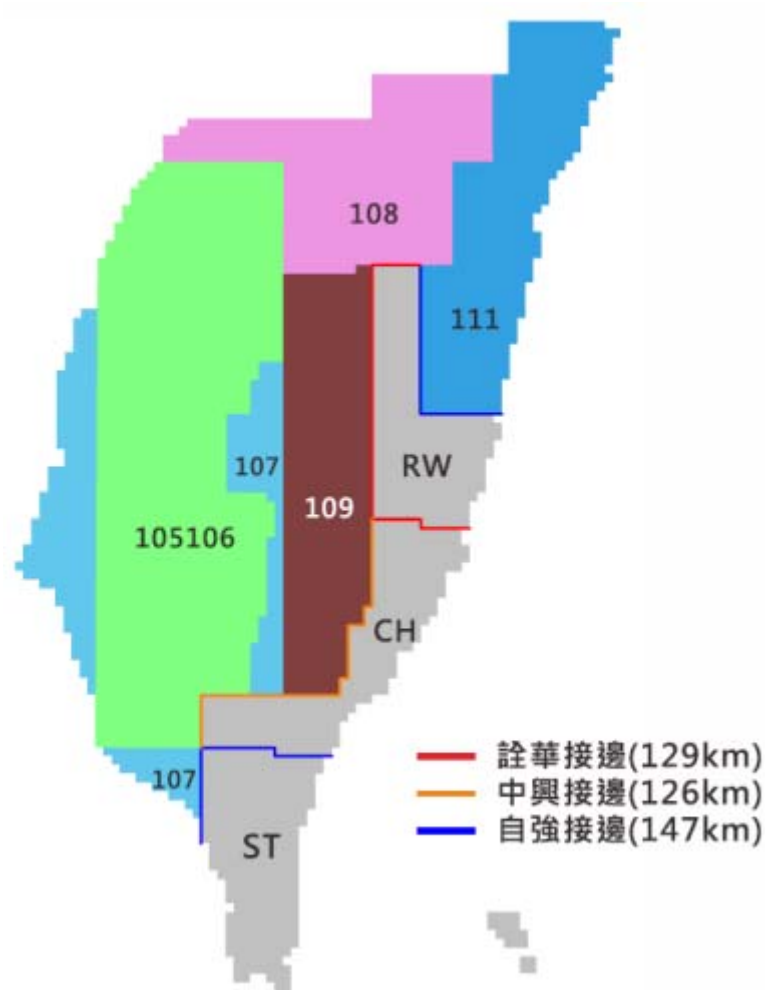


圖5-12、正射影像接邊分布圖

5.6 正射影像詮釋資料製作

本年度測區共278幅正射影像，分別製作對應詮釋資料，本公司使用TGOS 詮釋資料編輯系統2.0建置詮釋資料模板，介面如下圖5-13所示，並自行開發程式，統計各圖幅詮釋資料所需相關資訊，包含圖號、圖名、地理元素資訊、時間元素資訊等，後批次建置各圖幅對應之詮釋資料，如下圖5-14所示。

圖5-13、內政部TGOS詮釋資料編輯系統2.0介面

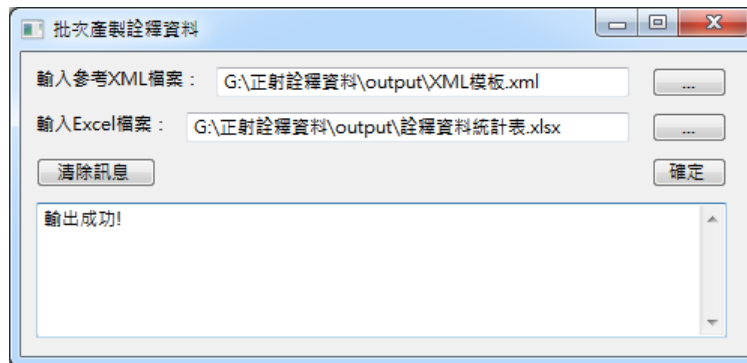


圖5-14、批次產置詮釋資料程式示意圖

第六章、成本及性別比例分析

6.1 成本比例分析

第1作業區經費分析如表6-1，本案今年度契約價金為29,860,000元，由下表可知，實際成本為31,527,600元，實際成本高於契約價金約166.7萬元，主要新增：

1. 歐美通膨持續進行，導致國際原物料大漲，航空各項保養及保險均與國際情勢有關，造成飛航成本漲幅5%

2. 點雲過濾成本:由於儀器設備效能提升，資料較以往細緻，許多地類需大量使用人工過濾方式作業，增加作業時間，且本公司除遵守各項政府法令，配合政府調薪外，本著ESG精神，作業人員薪資已大幅成長，然本案單價自108年起均未調整，造成成本逐年增加。

3. 正射影像製作:自110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，並且於112年新增鑲嵌線繳交作業項目，本案作業範圍廣大，原始影像眾多，需要人力進行整理編修，皆為成本增加之因素。

4. 少子化情況下造成百業缺工，各行各業均提升薪資福利，以留下優秀人才，測繪基礎資料乃各項工程重中之重，本公司仍呼籲中心，能苦民所苦，逐年依照物價指數調整各項單價，讓產業能持續蓬勃發展，也讓優秀的年輕學子能持續投入，避免人才短缺，導致關鍵技術及基礎資料建置停擺

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	143,000	143,000
2.控制測量	式	1	422,900	422,900
3.空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取	幅	278	62,100	17,263,800
4.空載光達掃瞄點雲資料處理	幅	278	20,300	5,643,400
5.DEM/DSM 製作(含圖幅接邊處理)	幅	278	5,300	1,743,400

原契約價				
項目/細項	單位	數量	單價(元)	總價(元)
6.正射影像製作(含空中三角測量)	幅	278	12,100	3,363,800
二、各項報告書、工作總報告等	式	1	1,549,300	1,549,300
112年小計				29,860,000

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	143,000	143,000
2.控制測量	式	1	422,900	422,900
3.空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取	幅	278	65,100	18,097,800
4.空載光達掃瞄點雲資料處理	幅	278	22,300	6,199,400
5.DEM/DSM 製作(含圖幅接邊處理)	幅	278	5,300	1,473,400
6.正射影像製作(含空中三角測量)	幅	278	13,100	3,641,800
二、各項報告書、工作總報告等	式	1	1,549,300	1,549,300
112年小計				31,527,600

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、結論與建議

結論

- (一) 第 1 作業測區總圖幅數為 278 幅，成果以空載雷射掃描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 112 以及第 3 階段繳交 166 幅。使用儀器為 Riegl VQ1560II 搭載 Phase One IXU-RS-1000 數位相機。
- (二) 使用第 1 作業區範圍周邊基站，包括自架站 2 站、內政部國土測繪中心 8 站、中央氣象局 17 站。並蒐集 112/04/18~112/04/20 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 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 58 個控制點，12 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 112 年 2 月 16 日。
- (五) 第 1 作業區有效架次共 17 架次，原航線規劃為 4,274 公里，實際飛航補雲及重覆飛航航線為 4,420 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 6.6 公分，平均點密度為 4.07 點/m²，第二子測區航帶間相對高程平均差 11.2 公分，平均點密度為 6.15 點/m²。
- (六) 高低海拔地類及橫斷面檢核成果，低海拔地類均方根誤差為 5.1~公分~11.7 公分之間，高海拔地類標準偏差為 9.6~15.4 公分。低海拔橫斷面均方根誤差為 8.3 公分，高海拔橫斷面均方根誤差為 12.8 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 18.3 公分。

(八)本年度第 1 作業區第 2 階段於 112 年 09 月 21 日至 23 日辦理外業驗收，於 112 年 12 月 6 日至 8 日辦理第 3 階段外業驗收，其成果皆符合規範。

建議

- (一) 由於目前儀器日新月異，點密度以及能量穿透都較以往表現優異，而部份地形也較以往精細，由於細緻的地形無法使用自動過濾作業，須仰賴大量人工過濾修正，因此建議未來需增加過濾製作費用。
- (二) 本年度在正射影像製作中，須針對橋梁、高架道路做影像糾正，平地比原預估作業增加約1至2倍的時間修正，以及全區鑲嵌線整繪，由於數量龐大，建議未來需增加正射製作費用。
- (三) 日本東京已開始製作高密度點雲產製作業：
<https://catalog.data.metro.tokyo.lg.jp/dataset/t000029d0000000020>，拍攝點密度16/m²資料，建議未來可針對局部區域，進行高密度點雲資料製作。

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.