110 年及 111 年 LiDAR 技術更新數值 地形模型成果測製工作(第 1 作業區) 2021 and 2022 Government Procurement for Updating Taiwan DEM by LiDAR Technique 1st Work Zone

111 年工作總報告 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:中興測量有限公司

中華民國 112年3月2日

111年工作總報告

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

內政部推動「落實智慧國土—國土測繪圖資更新及維運計畫」,自 105年起以 LiDAR 技術更新 3,177幅(1/5000)範圍數值地形模型。內政部國土測繪中心於 110及 111年度規劃辦理「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」(以下簡稱本計畫),辦理 1,642個圖幅 (1/5000)範圍數值地形模型更新作業。

中興測量有限公司執行範圍為第1作業區,111年度橫跨新竹、桃園、臺北與新北等縣市,共285個圖幅(1/5000),總面積為1,992平方公里,依期程分為第1子測區114幅及第2子測區171幅。工作內容主要如下包含:

- 一、 空載雷射掃瞄飛航計畫規劃與申請。
- 二、 地面 GNSS 基站控制測量。
- 三、 空載雷射掃瞄施測資料獲取。
- 四、 雷射掃瞄點雲資料處理。
- 五、 數值地表模型(DSM)與數值高程模型(DEM)製作。
- 六、 正射影像製作。

本計畫飛航掃瞄總計執行 32 架次飛航作業,共 256 條航線(含補飛)。 航線離地高約 2,300m,採用 Optech ALTM Pegasus HA500 執行雷射掃瞄, 並以 Phase One iXU-RS-1000 進行航空攝影。獲取每平方公尺高於 2 點點雲 密度,並確保每條航線重疊率原則 50%之高密度成果。

光達率定場設置於彰化縣彰濱工業區,飛航掃瞄相互垂直四方向兩個航高之航線,採用 LMS 軟體自動搜尋重疊航帶內之平面(Tie Plane)之方法進行共軛匹配,以最小二乘法率定計算,利用平差後航帶間之高程殘差與共軛面法向量之分布評估航帶平差成果之可靠性,率定成果和確認飛行高程精度皆符合小於 10 公分標準。

本測區採用已知連續基站進行軌跡解算,解算點雲資料品管後進行航帶平差,每條航帶頭、中及尾人車可到達處,採用全面靜態 GNSS 測設高程平差控制點共計 178 點(含平差高程控制點 162 點與檢核點 16 點),另有平面平差控制點共計 31 點及空三測點 19 點。透過 LMS 和 TerraMatch 等商業軟體萃取點雲特徵線及特徵面,進行全區點雲航帶平差計算。經航帶平差計算後重疊數據之平均絕對差量 2 子測區分別約為 12.3 公分和 17.6 公分。

點雲之過濾分類採用 TerraSolid 軟體進行初步過濾,再接續進行人工編修,本公司今年亦使用點雲編輯分級制度,針對各種不同地形地面點分類之難易程度分級,預先進行作業區域圖幅分配,可縮短整體人工點雲濾除作業時間,並同時確保成果品質。續以產製出1公尺×1公尺之 DEM/DSM。並以不同土地覆蓋分區檢核點進行精度檢核。

本計畫於空載光達掃瞄同時進行航拍攝影,並經空中三角測量、正射糾正、色彩平衡、接邊鑲嵌等作業程序。產製地面解析度為25公分之正射影像。空中三角測量使用之控制點包含高程平差控制點之方格標,及空三分區四角布設之航空標,並以均勻分布於各空三分區內之16個檢核點進行精度檢核。正射影像成果描繪水體邊緣線,用以提供後續空載光達點雲資料編修水域內水點。

據以往經驗飛航任務會因天候不佳延宕,本測區藉由積極飛航待命完成飛航任務,並產製符合契約規範要求之 285 圖幅成果。透過適宜的航線規劃與點雲分類編輯技術之精進,提供完整及高精度的光達點雲成果資料,高精度數值地形模型可供後續進行山崩與土石流等地質因子判釋與地形變異、地質特性分析。

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

The National Land Surveying and Mapping Center conducts the project "Updating Taiwan DEM by LiDAR technique in 2022". CHS Surveying Co. Limited won the contract for the first work zone, which covers Hsinchu, Taoyuan, Taipei and New Taipei. It is about 1,992 square kilometers, equivalent to 285 map sheets of 1/5,000 scale, which was divided into 114 map sheets in sub-surveyarea 1 and 171 map sheets in sub-survey-area 2. The major works include:

- I. Flight planning and permission application for airborne laser scanning.
- II. Ground Control Survey for GNSS base stations.
- III. Airborne laser scanning and data acquisition.
- IV. Data processing for laser scanning point clouds.
- V. Digital surface model (DSM) and digital elevation model (DEM) production, orthometric height correction, artificial quality checking, data editing, and map mosaicking.

VI. Orthophoto production

The project uses Optech ALTM Pegasus to scan about 32 flight tracks with flight height of 2300 m. Phase One iXU-RS-1000 aerial photography is also used. We also take over 2.0 points clouds per meter square scanning density and 50% overlap of scanning zones on all contiguous scanning strips to ensure the high density and high quality results.

LiDAR calibration site is located in Changhua Coastal Industrial Park, Changhua County. It covers mutually perpendicular flight in 4 direction and 2 altitudes. The LMS software is used to automatically search the tie plan as conjugate matching for band strip adjustment. Least squares were used in calibration calculations. In addition, the relative height among flights and the overall distribution of the normal vectors of tie plans can be used to estimate the reliability of the strip adjustment outcomes assessment. The results of calibration

and the accuracy of the flight elevation must be confirmed to the accuracy of less than 10 cm standard.

Trajectories are processed with kinematic GNSS raw data are combined with base station data. The front, middle, and tail parts of each flight are surveyed with static GNSS height measurement. In total, there are 178 vertical adjustment points, 31 horizontal adjustment control points, and 19 aero triangulation points. Characteristic lines and planes were extracted from point clouds via the LMS and TerraMatch. After strip adjustment, this project has an average of about 12.3 cm and 17.6 cm absolute height difference between the overlapping flights in two sub-survey-areas.

Point clouds classification uses TerraSolid software for preliminary filtering. In order to achieve high accuracy of the results, the point clouds must be followed with manual editing. The final edited point clouds can be used to generate contour, and used for self-check. CHS point cloud classification team has years of experience. Regular group meetings and training were implemented to share experiences, especially for this project, and to enhance the ability of team members. After reviewing the recommendations of the parties, the self-examination became integrity and efficient. A series of procedures with programs are designed to check the quality of point cloud editing. Finally, the results of manual editing point clouds completed continued to produce 1 m × 1 m DEM / DSM. Different areas can be checked with different accuracy standards according to different land cover.

The project uses LiDAR scanning with simultaneous aerial photography and processed with aerial triangulation, orthorectification, color balance, mosaic, and edge alignment. The final production of the orthophotos has a 25 cm resolution. The boundary lines of water bodies can be described with these orthophotos, and provide for the use of following LiDAR point clouds data editing for water points.

According to the experience, flight delays are due to climate reasons. We meet the requirements of the contract specification and complete 285 map sheets by early standby. Integrated performance and higher precision of the DEM/DSM

are performed by suitable flight planning and skill improvement of point cloud classification. DEM/DSM can be used for various applications such as environmental factor analysis on geological evaluations.

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

目 錄

摘	要		I
ABS	STRA	ACT	III
目	錄		VII
圖	目	錄	IX
表	目	錄	XII
第一	- 章	計畫概述	1
第二	_章	作業規劃	4
•	§2-1	作業準備	4
	§2-2		
第三	章	地面控制點選取與測量工作	9
•	§3-1		
	§3-2		
第四	9章	空載 LIDAR 作業	15
•	§4-1	率定與校正作業	15
	§4-2		
	§4-3	空載 LiDAR 資料處理	27
	§4-4	航带平差與內部精度評估	32
	§4-5	DEM/DSM 製作	57
	§4-6	檢核點蒐集與作業	68
第五	章	正射影像製作	84
	§5-1	作業區航拍工作	84
	§5-2	航拍影像處理	86
	§5-3	空中三角測量	87
	§5-4	彩色無縫鑲嵌正射影像製作	91
	§5-5	正射影像外部接邊	98
第六	章	成本分析	100
第七	:章	機敏資料管制	102
第ハ	章	檢討與建議	103

108	参考文獻			
	111 年工作總報告審查意見回覆表	附件一		
	作業計畫(含空載光達掃描飛航計畫)			
	地面控制測量成果報告			
	校正報告	附件四		
	檢核點照片與坐標列表	附件五		
	檢查報表	附件六		
	各次工作會議結論與追蹤事項辦理情形	附件七		
	函文記錄	附件八		
	111 年工作總報告監審方審查意見回覆表	附件九		

圖 目 錄

昌	1.1	第1作業區與各子測區示意圖	2
昌	2.1	飛航申請公文	4
昌	2.2	飛機安裝現況圖	6
昌	2.3	儀器架設圖	6
昌	2.4	飛航規劃流程	6
昌	2.5	測區航線展繪圖	8
昌	3.1	GNSS 控制點與基站分布圖	10
置	3.2	航带平差控制點分布圖	12
置	3.3	GNSS 實際觀測網形圖	13
置	3.4	已知點檢核基線分布圖	14
置	4.1	工作流程圖	15
置	4.2	率定場位置與現況示意圖	16
啚	4.3	率定場坡度圖	17
啚	4.4	率定場植被分布圖	17
啚	4.5	率定場平均下速率等值圖	17
啚	4.6	率定 GNSS 基站位置圖	18
啚	4.7	雷射點至萃取面的距離統計分布圖	20
啚	4.8	雷射點至萃取面的距離統計直方圖	22
啚	4.9	率定飛行與確認飛行成果之高程分析統計直方圖(單位:公尺)	23
啚	4.10	平面精度分析圖(單位:公尺)	24
昌	4.11	飛航軌跡與基站示意圖(每格為 10 公里)	24
昌	4.12	地面基站 PDOP 圖	25
昌	4.13	機載 PDOP 圖	25
昌	4.14	空載雷射掃瞄資料作業流程	27
昌	4.15	點雲解算產製處理流程	28
昌	4.16	飛航軌道差異量示意圖	28
啚	4.17	飛航掃瞄航跡示意圖	29
置	4.18	重疊率檢查與密度統計示意圖	30
啚	4.19	地面點大孔洞百分比與既有資料比較分析評估(數據摘錄自監審方檢	负查
	通	知)	31
啚	4.20	地面點孔洞分析評估統計(摘錄自監審方檢查通知)	32
置	4.21	平差作業流程圖	33
昌	4.22	雷射點偏移示意圖	35
昌	4.23	MEASURE MATCH 比對原理示意圖	35
置	4.24	平差前航線重疊處誤差分析圖	37

圖 4.25	匹配連結點示意圖	39
圖 4.26	平差前後重疊處平均絕對誤差差量比較	51
圖 4.27	平差前後測區交叉航線重疊處差量統計分析圖	52
圖 4.28	航線重疊處屋頂共軛面與共軛線萃取示意圖	52
圖 4.29	航線重疊處平差前後共軛線統計分析示意圖	53
圖 4.30	點雲平面精度檢核示意圖	55
圖 4.31	監審方軟體航帶平差高程差異量檢核圖	56
圖 4.32	平差後航帶間高差較大區域示意圖	56
圖 4.33	ITERATION ANGLE 和 ITERATION DISTANCE 示意圖	
(A)	XELSSON, 2000)	57
圖 4.34	地形編修示意圖	58
圖 4.35	橋樑之點雲分類示意圖	58
圖 4.36	點雲編修與檢核人員分布圖	59
圖 4.37	SCOP++軟體介面圖	61
圖 4.38	測區 DEM/DSM 成果圖	63
圖 4.39	DEM/DSM 山地及平地成果圖	67
圖 4.40	檢核點分布圖	69
圖 4.41	各類別檢核點實測照片	71
圖 4.42	低海拔之裸露地(B)精度成果圖	73
圖 4.43	低海拔之矮植被(L)精度成果圖	73
圖 4.44	低海拔之植生地(V)精度成果圖	74
圖 4.45	低海拔之林地(F)精度成果圖	74
圖 4.46	低海拔之都會區(U)精度成果圖	74
圖 4.47	低海拔之濕地(W)精度成果圖	74
圖 4.48	低海拔之橫斷面(S)精度成果圖-1	75
圖 4.49	低海拔之横斷面(S)精度成果圖-2	75
圖 4.50	中高海拔之裸露地(B)精度成果圖	75
圖 4.51	中高海拔之矮植被(L)精度成果圖	75
圖 4.52	中高海拔之植生地(V)精度成果圖	76
圖 4.53	中高海拔之林地(F)精度成果圖	76
圖 4.54	中高低海拔之密林(D)精度成果圖	76
圖 4.55	中高低海拔之横斷面(S)精度成果圖-1	76
圖 4.56	中高低海拔之横斷面(S)精度成果圖-2	77
圖 4.57	低海拔測區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位:公尺)	80
圖 4.58	中高海拔測區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位:公尺)	81
圖 5.1	正射影像製作流程圖	84
圖 5 2	測區航照涵蓋圖	85

啚	5.3	影像色調調整情形	.86
昌	5.4	空三分區與航空標控制點分布圖	.87
昌	5.5	測區連結點匹配示意圖	.88
圖	5.6	空三連結點及空三報表示意圖	.89
置	5.7	空三後外方位改正數示意圖	.89
置	5.8	空中三角測量成果上模自我檢核	.89
置	5.9	色差調整前後示意圖	.91
啚	5.10	高架道路高差位移糾正示意圖	.92
啚	5.11	正射影像編修示意圖	.93
啚	5.12	平地正射影像成果圖(96232079)	.93
圖	5.13	山區正射影像成果圖(97234092)	.93
啚	5.14	第1作業區正射影像成果	.94
啚	5.15	正射影像點雲強度檢核示意圖	.95
置	5.16	影像檢核點檢核示意圖	.95
置	5.17	水體繪製成果	.97
置	5.18	TGOS 詮釋資料編輯系統 2.0 操作畫面	.98
昌	5.19	原始影像遮密作業	.98
圖	5.20	責任接邊範圍	.99
啚	5.21	正射影像接邊成果示意圖	.99

表目錄

表 1.1	交付成果說明表(含各階段繳交期限)	3
表 1.2	各階段繳交日期與文號列表	3
表 2.1	空載設備規格	5
表 2.2	航線規劃相關規範	7
表 2.3	飛航掃瞄參數表	8
表 3.1	地面控制點坐標成果表(TWD97【2020】坐標)	9
表 4.1	光達率定系統高程分析統計表	23
表 4.2	本計畫飛航各架次成果統計表	26
表 4.3	各子測區密度統計表	31
表 4.4	平差前航線重疊處誤差統計分析	36
表 4.5	平差後航線重疊處誤差統計分析	40
表 4.6	第一子測區航線重疊處平差前後差量統計表	40
表 4.7	第二子測區航線重疊處平差前後差量統計表	43
表 4.8	平面控制點檢核點雲屋角點差值表(單位:公尺)	53
表 4.9	點雲編修自檢紀錄表範例	60
表 4.10	地形類別列表	69
表 4.11	土地覆蓋分區列表	70
表 4.12	地形類別與地表植被覆蓋類別調整參數對照表	71
表 4.13	低海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表(單位:公尺)	72
表 4.14	中高海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表(單位:公尺)	72
表 4.15	低海拔數值精度中央集中趨勢分析表(單位:公尺)	77
表 4.16	中高海拔數值精度中央集中趨勢分析表(單位:公尺)	78
表 4.17	檢核點數值精度偏態檢驗表(單位:公尺)	78
表 4.18	低海拔 DEM 數值適合度檢驗	82
表 4.19	中高海拔 DEM 數值適合度檢驗	83
表 5.1	相機相關規範	85
表 5.2	空三平差成果統計表	90
表 5.3	平面控制點檢核影像差值表(單位:公尺)	95
表 6.1	各項作業成本統計分析表	101
表 6.2	作業人員性平等資訊統計	101

第一章 計畫概述

1. 計畫緣起與目的

臺灣位於板塊交界處,地震頻繁且多颱風及水災等天然災害,以至於地質敏感地區具有地質結構破碎、崩塌、土石滑動等頻繁地形地貌變動,對於災後重建區域的規劃、國土保育工作、防洪重建工程、水庫營運安全與河川、野溪疏濬、清疏、等各種分析,均需仰賴可靠之高解析度數值地形模型資料,提供重要的地形高程資訊,決策時有更準確之參考依據,國家應持續規劃及更新國土資料,以強化國家空間資訊基礎。

內政部於民國 93 年至 99 年間陸續建置全臺灣數值地形模型(DTM)包含數值高程模型(DEM)及數值地表模型(DSM)資料。並於民國 99 年起由經濟部中央地質調查所主導「莫拉克災區 LiDAR 高解析度數值地形製作案」與「非莫拉克災區 LiDAR 高解析度數值地形製作案」,連續六年以 LiDAR 技術完成全臺掃瞄與 DTM 建置,該資料除可應用於國土規劃、防救災運用外,亦對於民生、科技、建設等方面,具有極高的應用價值。

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)」,規劃自民國 105 年度起,以 LiDAR 技術數值地形模型,經調查各相關機關資料需求,由內政部率領啟動第 2 次全臺光達掃瞄計畫,並考量圖資更新年度、地形起伏變化等情形,截至 109 年度止辦理 3,177 個圖幅(1/5000)範圍數值地形模型更新作業後。接續以本計畫於 110 及 111 年度規劃辦理 1,642 個圖幅(1/5000)範圍數值地形模型更新作業,並分為三作業區,分別第 1 作業區為 551 個圖幅(1/5000)、第 2 作業區為 540 個圖幅(1/5000)以及第 3 作業區 551 個圖幅(1/5000)。並由貴中心另案委由監審方協助成果檢核與監審作業,俾達成計畫預期成效。藉由持續更新高解析度數值地形模形資料成果,建立完善的國家空間資訊資料庫,以供國土建設及未來規劃之重要依據。

2. 計畫範圍

本公司執行第1作業區,111年度測區範圍包含臺北、新北、基隆、宜

蘭等縣市,共執行 285 個圖幅(基本地形圖比例尺 1/5,000),面積約 1,992 平方公里,平地比例約 80%,山區約 20%。配合期程於第 6 階段和第 7 階段各繳交點雲資料 114 幅和 171 幅,後續報告內容稱之第 1 子測區和第 2 子測區,第 1 作業區位置以及子測區分布如下圖所示。

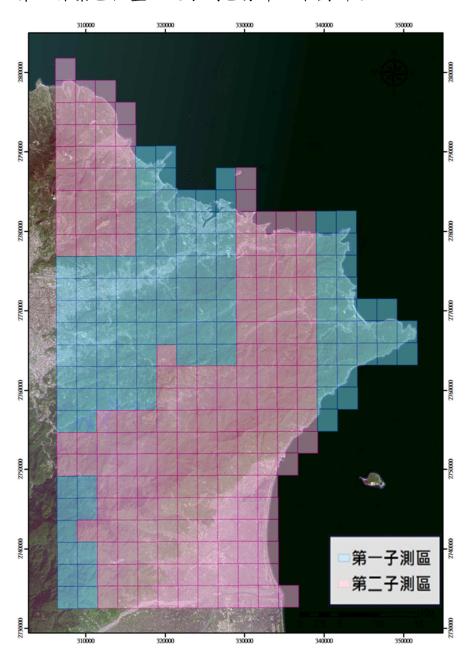


圖 1.1 第 1 作業區與各子測區示意圖

3. 各階段期程

為製作 LiDAR 高解析度地形模型,計畫流程包含飛航規劃與執行、地面控制測量、地面 GNSS 基站控制測量、資料後處理、數值高程模型(DEM)

與數值地表模型(DSM)製作及精度檢核分析,相應之內容如後各章介紹,成果資料繳交項目細項如表 1.1 所示,實際繳交日期以及文號列表如表 1.2 所示,公文請參閱附件七。

表 1.1 父付成未說明表(含各階段繳父期限)							
階段	 	原契約	展延				
百权	文代 墳 日	繳交期限	繳交期限				
第 5	111 年作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)初稿 10	110/12	2/31				
階段	份及電子檔 2 份。	(假日順延至111	1年1月3日)				
	1.DEM與DSM成果【含圖幅接邊處理,同點雲資						
第 6	料處理繳交之圖幅、點雲資料處理(110 年度範圍	111/06/15	111/08/08				
階段	40%以上圖幅)及控制測量(繳交 110 年度範圍)】。	111/06/15					
	2.正射影像成果(繳交點雲所含圖幅之資料)。						
	1.DEM 與 DSM 成果【含圖幅接邊處理,同點雲資						
第 7	料處理繳交之圖幅、點雲資料處理(110 年範圍之剩	111/10/14	111/11/25				
階段	餘圖幅數)】。	111/10/14	111/11/25				
	2.正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。						
第 8	111 年度工作總報告(初稿)10 份及電子檔 3 份。	111/11/10	111/12/22				
階段	修正後 111 年度工作總報告 8 份及電子檔 3 份。	機關指定期降	艮繳交。				

表 1.1 交付成果說明表(含各階段繳交期限)

^{*}因天候因素影響工作案執行,111年6月28日測形字第1111565224號函展延第6階段~第8階段履約期限。

RH. FIL	提送監審方	通過監審方審查	提送貴中心	通過貴中心審查
階段	日期/文號	日期/文號	日期/文號	日期/文號
第 5	110.12.17 中興測字	110.12.29 成大產創字	111.01.03 中興測字	111.01.17 測形字
階段	第 1100000699 號	第 1101104351 號	第 1110000001 號	第 1111570031 號
第 6	111.08.18 中興測字	110.08.23 成大產創字	111.08.23 中興測字	111.09.16 測應字
階段	第 1110000384 號	第 1111102715 號	第 1110000394 號	第 1111565268 號
第 7	111.12.30 中興測字	112.01.04 成大產創字	112.01.05 中興測字	112.02.08 測應字
階段	第 1110000635 號	第 1121100012 號	第 1120000005 號	第 1121565141 號
第8階段	112.01.30 中興測字	112.01.31 成大產創字	112.01.31 中興測字	112.02.23 測應字
	第 1120000029 號	第 1121100243 號	第 1120000030 號	第 1121565159 號

表 1.2 各階段繳交日期與文號列表

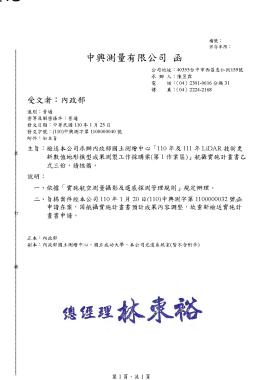
第二章 作業規劃

§2-1 作業準備

2-1-1 飛航申請作業

本團隊針對作業所需,租用德安航空 BK-117 飛機,依天氣狀況之許可執行掃瞄作業。並依「國土測繪法」及「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」等相關規定,檢附相關文件向內政部申請實施本計畫航空測量攝影或遙感探測許可,於110年3月3日通過申請(台內地字第1100106602號),可依天候及潮汐時間辦理空載光達掃瞄作業。

並於本計畫簽約後函請航空公司向交通部民用航空局申請飛航許可: 依照「飛航及管制辦法」、「航空器飛航作業管理規則」與飛航指南等相關 規定作業,如需 C 類空域內作業,應先與相關航管單位協調後實施。且作 業前務必通知空軍總司令部及飛航管制聯合協調中心,作業時勿涉及軍事 設施。



- 一、依據國防部110年2月22日國情整備字第1100036780號函及 本部國土湖繪中心110年2月24日湖形字第1101570087號函 (副本線達)辦理,兼復賣公司110年1月25日(110)中興測字 第110000040號函。
- 二、按國防部首揭函略以,本案經審航攝區級計有111團幅涉及 重要軍事設施(詳如附件審查結果表);案內實施航空測 量攝影獲取之成果資料,請併依本部國土測繪中心前揭 函,切實遵守國土測繪法及其相關法規之規定管理運用成 果,以防杜肇生洩密危安觸法情事;並於任務前2日通知國 防部、空軍司令部、空軍作戰指揮部及軍事飛航單位,以 維飛安。

文を

8

(b)

(a)飛航申請(提送航攝實施計畫書)

(b) 內政部核准飛航申請

德安航空之 BK-117 型飛機,於 111 年 1 月 4 日、111 年 6 月 30 日及通過 111 年度作業飛航申請(空運管字第 1110000178 號、空運管字第 1110018955 號),核准公文如附件七所示。

2-1-2 系統裝機

本計畫使用 Optech ALTM Pegasus HA500 空載光達搭載全波形感測器與 Phase One iXU-RS-1000 數位相機規格如表 2.1 所示,裝載於德安航空BK-117 飛機載台如圖 2.2 所示,本計畫實際執行僅使用德安航空直升機。安裝重點包括掃瞄儀安置在攝影窗、控制組件安置於機艙座、GNSS 天線安裝、電力系統介面安裝等。

表 2.1 空載設備規格

空載光達 Optech ALTM Pegasus HA500





- ·掃瞄旋角視域 FOV: 0~75 度
- · 脈衝率 PRF: 100~500kHz
- ·掃瞄鏡頻率:0~140Hz
- ·掃瞄形式: Oscillating, Mirror, Z-shaped
- ·高程精度: <5-20cm,1o
- ·水平精度:1/5,500 航高,1₅
- · 雷射波長: 1064nm
- · 光束發散角度: 0.25mrad(1/e)
- · GNSS: Trimble
- ・定位系統: POS AVTM AP50 (OEM)
- · 全波形: 支援全波形記錄

量測型數位相機 Phase One iXU-RS-1000



- · 像幅大小: 11608×8708
- · 像元尺寸:4.6um
- ·鏡頭焦距:50mm
- FOV: 56.2
- · 快門速度:1/600s

Optech ALTM Pegasus HA500 雷射掃瞄儀感測器安裝步驟:首先依據照

相機基座的規格安置感測器圖 2.3(a),「控制組件」裝置後如圖 2.3 (b),將 所有接線接上後即算初步完成如圖 2.3 (c)。

雷射掃瞄儀電力系統需 28 伏特直流電力,瞬時啟動最大電流 21 安培。 配置一轉接頭連結掃瞄儀到飛機電力系統電力接合後,再實施地電阻的檢 測、電流檢測,以確保機具的穩定及飛行安全,並向交通部民航局申請補 充型別檢定證後,方可執行飛航掃瞄任務。



(a)德安航空之 BK-117 飛機



(b) ALTM 裝設於直升機之現況圖

圖 2.2 飛機安裝現況圖



(a) 感測器安裝坐架



(b)控制組件 圖 2.3 儀器架設圖



(c)接線成果

§2-2 飛航規劃

空載雷射掃瞄資料獲取前需要有完整的飛航規劃, 考慮內容包括掃瞄區範圍、實施之地形、預定規劃的載 體航高、掃瞄儀掃瞄角度、點雲密度及分布航線間的重 疊率、交叉航線位置、點雲穿透表現和航區管制等種種 條件,確定飛航任務符合規範要求,本計畫航線相關規 範要求如表 2.2。



圖 2.4 飛航規劃流程

掃瞄任務之規劃會影響點雲品質,如點雲密度、遮蔽程度、航帶檢核與 重疊區分析等重要資訊,飛航規劃作業的方法與步驟流程說明參照圖 2.4。

表 2.2 航線規劃相關規範

項目	說明
飛航掃描計畫範圍	應包含全部工作區域
航線轉彎掃描資料	不得使用於後續資料產製
航带影像重疊率	重疊率應大於 40%,建議重疊率宜採 50%
點雲密度條件	每平方公尺密度2點為原則
空載光達掃描之 FOV	設定不應超過 50 度
航空攝影方式	採垂直連續攝影(攝影軸傾斜角應小於 15 度)
航拍影像前後重疊率	前後重疊率應大於80%
航拍影像 GSD	應優於或等於25公分
海岸地區航線	原則上為飛航當日低潮位前後2小時進行掃描,以蒐集最
海	大面積海岸沙洲及潮間帶資料
交叉航線規劃	各條航線之頭尾皆有交叉航線,且每隔至多25公里,應
文 入 为儿 亦 入 为 几 重 】	進行垂直各航線之交叉掃描飛航

掃瞄任務之規劃會影響點雲品質,如點雲密度、遮蔽程度、航帶檢核與重疊區分析等重要資訊,飛航規劃作業的方法與步驟流程說明參照圖 2.4。關於參數設定,脈衝頻率設定與航高有關,依照測區地形與規範要求規劃航高後,即能決定脈衝頻率參數。掃描頻率則和 FOV 參數連動,於選定 FOV 角度後設定掃描頻率,使點雲沿飛行方向和垂直飛行方向點距相近,即得到掃瞄點均勻分布之點雲,於相同平均點雲密度下更有效的記錄現況地形。依據本計畫嚴格之重疊率及密度要求和作業經驗,考量地形起伏對上述要求之影響,規劃出最佳掃瞄參數,規劃成果及說明如表 2.3 及圖 2.5 所示,共 166 條航線里程共 4352 公里,於後續執行時於測區右下圖幅東半部因無陸域扣除部分航線,實際執行共 162 條航線里程共 4342 公里。

表 2.3 飛航掃瞄參數表

						. , , ,	2.5	NO MOA	1	<i>-</i> ~ •								
飛航區域	航線 編號	航線數	最高 點高 程(m)	平均 高度 (m)	最低 點高 程(m)	最小 離地 高(m)	平均 離地 高(m)	最大 離地 高(m)	航高 (m)	航 速 (kt)	掃瞄 角度 (deg)	掃描 頻率 (Hz)	雷射 脈衝 率 (KHz)	平均 掃描 (m)	平重	影左重率 (%)	航線 間距 (m)	平均 點雲 密度 (pt/m²)
A1	1~14	14	490	128	0	1610	1972	2100	2100	90	±21	36	100	1514	60	72	600	>2.2
A2	15~75	61	838	243	0	1412	2007	2250	2250	90	±21	36	100	1541	64	74	550	>2.2
A3	76~83	8	915	272	0	1335	1978	2250	2250	90	±21	36	100	1519	65	75	530	>2.2
A4	84~86	3	1100	296	0	1150	1954	2250	2250	90	±21	36	100	1500	71	78	440	>2.2
B1	87~108	22	1026	234	0	1224	2016	2250	2250	90	±21	36	100	1548	70	77	470	>2.2
B2	109~127	19	1166	573	0	1084	1677	2250	2250	90	±21	36	100	1287	66	74	440	>2.2
В3	128~143	16	1460	727	128	1190	1923	2522	2650	90	±21	36	100	1496	69	75	460	>2.2
Cross	144-153	10	1000	500	0	1300	1800	2300	2300	100	±21	36	100	1310				
Coast	800~812	13	50	25	0	2250	2275	2300	2300	100	±25	30	100	2125				
Total		166		總公	里數							4	352					

*航線編號省略測區編碼 61。 *影像前後重疊率設定為 85%。 *潮間帶航線 61802,61804,61805 亦為交叉航線。

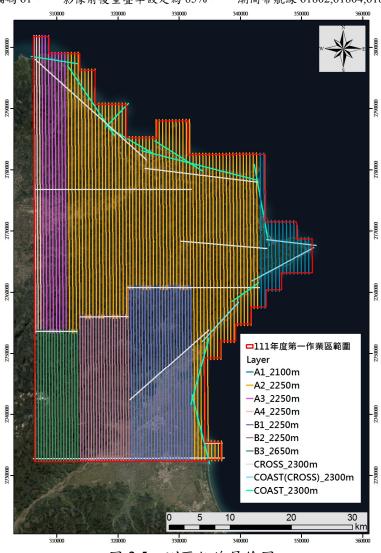


圖 2.5 測區航線展繪圖

第三章 地面控制點選取與測量工作

§3-1 基站選取

1. 框架說明

本計畫平面坐標系統採用內政部公告之 TWD97【2020】,高程系統為WGS84 橢球高。正高成果則使用內政部公告之大地起伏模式進行正高轉換計算。

2. 地面基站說明

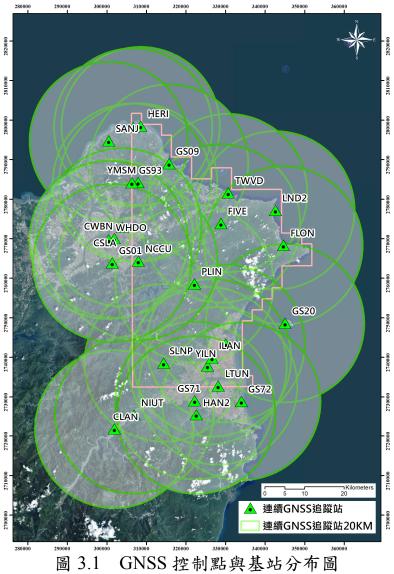
於飛航掃瞄區域 20 公里範圍內,應至少有二個地面 GNSS 基站同步接收 GNSS 觀測量。其設置處應透空良好且無訊號干擾之虞,同時製作完整之測量記錄。本案地面基站採外購站固定連續站進行規劃,外購測區附近共 27 個已知 GNSS 連續站提供監審方進行坐標計算,設立單位包含內政部國土測繪中心及交通部中央氣象局等,位置分布如圖 3.1。

	表 3.1	地面控制點坐標成	,未表(IWD9/	【2020】坐標)
點號	點名	設立單位	縱坐標 N(m)	横坐標 E(m)	橢球高 h(m)
LND2	龍洞2	內政部國土測繪中心	2777207.031	342573.133	38.018
SHMN	石門	內政部國土測繪中心	2798179.454	306610.430	46.683
TWVD	海科館	內政部國土測繪中心	2781580.953	330642.418	29.424
YILN	宜蘭	內政部國土測繪中心	2737858.572	325422.244	64.000
YMSM	陽明山	內政部國土測繪中心	2784255.637	307868.468	783.940
CLAN	棲蘭	交通部中央氣象局	2721819.714	301848.029	453.174
CWBN	氣象局	交通部中央氣象局	2770047.283	301862.182	55.717
FIVE	五分山	交通部中央氣象局	2773874.880	328798.875	775.183
FLON	福隆	交通部中央氣象局	2768361.487	344617.199	41.515
HAN2	寒溪 2	交通部中央氣象局	2725425.844	322566.100	108.952
HERI	核一廠	交通部中央氣象局	2798517.855	308498.638	84.154
ILAN	宜蘭	交通部中央氣象局	2739854.333	326520.858	28.612
LTUN	興中國中	交通部中央氣象局	2732772.505	328078.346	28.042
NIUT	牛鬥	交通部中央氣象局	2725442.349	306853.734	386.638
PLIN	坪林	交通部中央氣象局	2758615.257	322106.702	271.025
SANJ	三芝	交通部中央氣象局	2794758.575	300451.816	74.204

表 3.1 地面控制點坐標成果表(TWD97【2020】坐標)

SLNP	雙連埤	交通部中央氣象局	2738582.273	314290.058	491.852
GS01	地調所	經濟部中央地質調查所	2763879.704	301302.356	53.454
GS09	大鵬國小	經濟部中央地質調查所	2789042.423	315695.684	30.891
GS20	龜山島	經濟部中央地質調查所	2748682.662	345117.981	25.782
GS70	玉田國小	經濟部中央地質調查所	2743448.989	329974.111	23.801
GS71	大隱國小	經濟部中央地質調查所	2729071.662	322129.048	63.008
GS72	利澤國中	經濟部中央地質調查所	2728863.856	333949.471	25.783
GS93	夢幻湖	經濟部中央地質調查所	2784222.152	306304.869	911.728
CSLA	中山地政	臺北市政府	2772922.760	303874.151	48.073
NCCU	政大	臺北市政府	2764379.906	307897.809	107.592
WHDO	萬華行政中心	臺北市政府	2769734.614	300430.494	81.492

*備註:本案無自設基站,採外購基站方式辦理,皆為 TWD97(2020)框架站,惟 GS71、GS72 經解算後坐標為放開 約制計算成果。



§3-2 控制測量

地面控制測量成果之工作內容主要包括地面 GNSS 基站控制測量及控制點測設工作,其中地面 GNSS 基站相關內容已於 3-1 小節說明。

3-2-1 測量規範

本計畫 GNSS 測量作業依照契約規範主要依照「基本測量實施規則」 所規定之加密控制點施測標準,其施測準則如下:

1.地面 GNSS 基站坐標成果:

- (1) 設置為固定站者:應於架設完成後,蒐集至少2天(48 小時)之觀測檔,並記錄儀器、天線盤型號及天線高等資料。
- (2) 為移動站者:應辦理 GNSS 靜態觀測,重複觀測次數為 2 次以上 (腳架重擺),每次觀測時間均大於 6 小時,且應同步連測附近點 位。
- (3) 其他機關設置之連續追蹤站:應向該機關申請並取得至少2天(48 小時)之觀測檔,並記錄儀器、天線盤型號及天線高等資料。
- (4) 全測區應統一進行坐標解算,以確保成果框架之一致性。
- (5) 地面 GNSS 基站採 GNSS 靜態測量,精度應符合內政部「基本測量實施規則」之加密控制測量規定。
- 2.航帶平差控制點及平面控制點得採 GNSS 靜態測量並依內政部「基本測量實施規則」之加密控制測量規定辦理,或採 VBS-RTK 動態測量方式,重複觀測至少2次,每次收斂筆數應達 180筆,計算每次觀測之平均坐標值,檢核其坐標差平面方向應小於4公分,高程方向應小於10公分。如VBS-RTK 測量無法收斂時,則應取得連續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。

3-2-2 控制點 GNSS 測量

本年度平差控制點測設分為航帶平差高程控制點及航帶平差平面控制 點(特徵角點),提供航帶平差使用,另外也為檢核空三成果設立檢核點,共 規劃 228 個平差控制點控制。航帶平差控制點依規範於測區四角應布設 1 組全控點,另外配合空三分區四角規劃全控點,且皆布設航空標;另配合航線以鋼釘設置於航帶頭、中及尾各至少 1 控制點,以方格標布設,供航帶平差高程約制,總計共 162 點。為有效提昇精度,人車可抵達地區採靜態基線測量方式測設,其餘則採空三立製方式取得影像控制點 19 點。檢核點須達 5%圖幅數量,本次作業區規劃共 16 個檢核點均勻分布於各空三分區內,布設航空標並採靜態基線測量方式測設。航帶平面控制點受限於地物環境影響,則採用之 VBS-RTK 方式測設共 31 點,點位分布如圖 3.2 所示,點坐標成果如附件二。

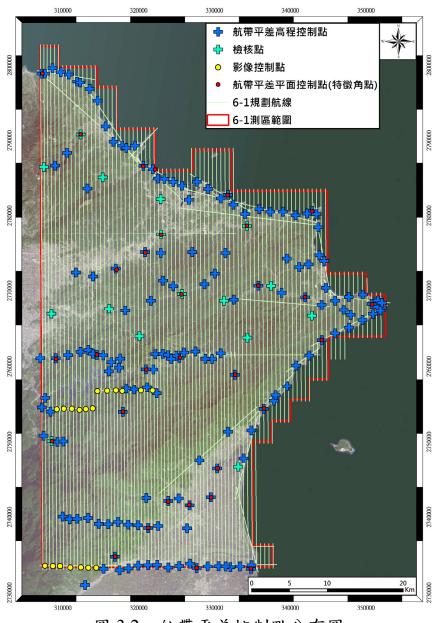


圖 3.2 航帶平差控制點分布圖

GNSS 外業靜態測量自 111 年 1 月 24 日至 1 月 27 日及 3 月 13 日至 3 月 14 日,計 6 個工作天共觀測 19 個時段,其實際觀測網形如圖 3.3。並對已知點進行精度檢核,主要以相鄰點位間的最短基線進行比較(圖 3.4),經實際計算後,聯測的已知點間的相對精度均能滿足規範之要求,因此後續計算時,以其坐標約制平差,求得新設控制點之坐標。

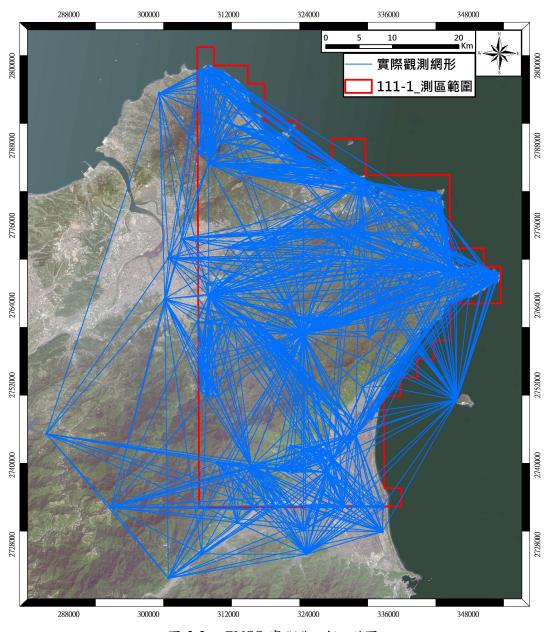


圖 3.3 GNSS 實際觀測網形圖

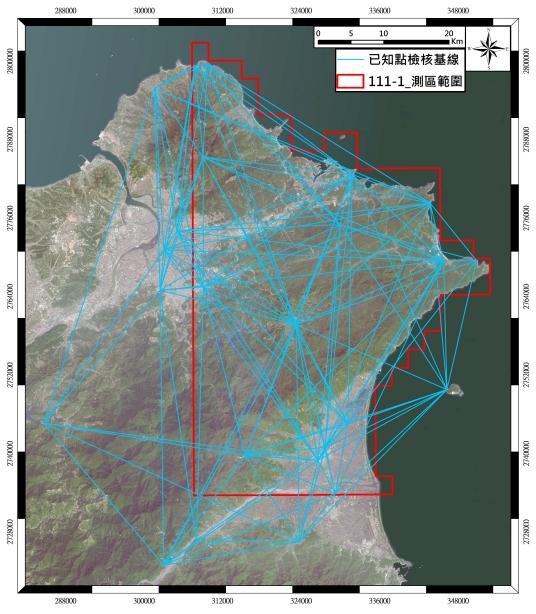


圖 3.4 已知點檢核基線分布圖

平面控制點多選用屋角特徵點,礙於地物環境影響無法適用 GNSS 靜態測量,故其坐標測設採用內政部國土測繪中心之「e-GNSS 即時動態定位系統」所提供之即時動態定位服務測設,其系統利用多個衛星定位基準站所組成的 GNSS 網絡,評估涵蓋地區的定位誤差,再配合最鄰近的實體基準站觀測資料,產製一個虛擬的基準站 (Virtual Base Station; VBS),供即時動態定位(Real-Time Kinematic; RTK)主站使用,並透過網路及無線數據傳輸的即時動態定位技術(VBS-RTK)。並於平面控制點測設時段一併施測臨近全控點,後續比對坐標值,確認平面控制點系統(VBS-RTK)和全控點系統(靜態 GNSS)一致。

第四章 空載 LiDAR 作業

空載雷射掃瞄之作業流程:從飛航掃瞄規劃、基站設置、空中資料掃瞄、 點雲解算、點雲分類與編修及成果產出,其相關作業流程如圖 4.1 所示。

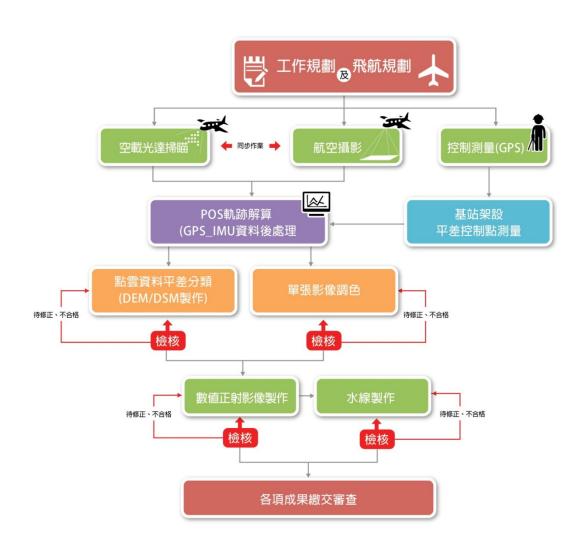


圖 4.1 工作流程圖

§4-1 率定與校正作業

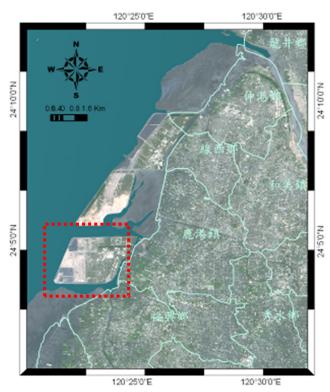
雷射掃瞄器坐標系與機身坐標系之間,常因安置上或時間上的影響,造成不平行之偏差量,適時的修正偏差量方可得到較正確的結果。以重覆漸進的方式來求解雷射掃瞄器的安置角,在每一次迭代過程中,依序分別針對俯仰角、航偏角和側向傾斜角進行率定,並且每求得一個角度,即需重新計算所有點位資料,再以新的資料進行下一次的計算。當三個角度的改

正值都收斂到可接受的範圍內時,即小於姿態角精度,得完成率定的工作,本計畫採用之儀器在原廠建議與規定下,以此方式進行實際飛行,確實完成率定作業。

另外於任務執行前亦先執行南崗校正場飛航,以檢校本計畫所用之光達設備和中像幅像機坐標器差值,通過檢校後,內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室將出具校正報告做為品保參據。校正飛航已於110年3月1日執行,並於同年3月9日通過光達設備校正(報告編號I202101040301),校正報告書如附件三所示。

4-1-1 率定場地點與規格

完整空載光達系統之率定需要兩個分別的率定場,分別為建築物率定場及跑道率定場。此次擇定之率定場地位於彰濱工業區內,面積為 1.5 平方公里。





(c)建築物率定場



(a)彰濱工業區率定場

(b)跑道率定場

圖 4.2 率定場位置與現況示意圖

平原地區的彰濱工業區具有容易辨識之大型建物(平頂、斜頂)及道路標

線等明顯特徵,且率定場內之地表坡度平緩小於10度且極少植被覆蓋,為小於10%之覆蓋率,並參考經濟部水利署地層下陷監測資訊整合服務系統,此地區於106年至109年的資料,並無地層下陷之數據,故此位置為符合本儀器率定之作業地區。

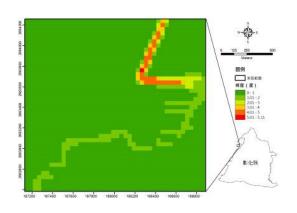


圖 4.3 率定場坡度圖



圖 4.4 率定場植被分布圖



圖 4.5 率定場平均下速率等值圖

率定場基站為 R003 與 R005 兩站,為透空度良好且符合距航線距離 5 公里內,透過長時間聯測算出其坐標,其分布圖如圖 4.6。

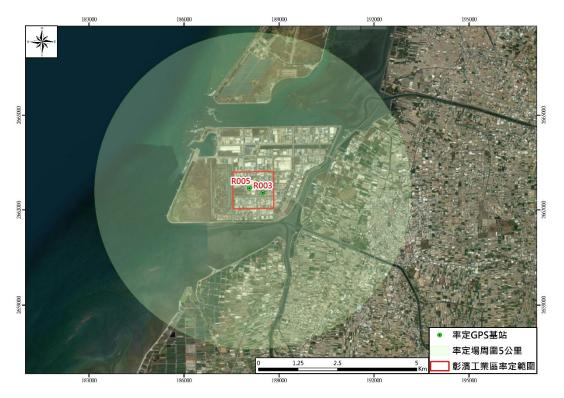


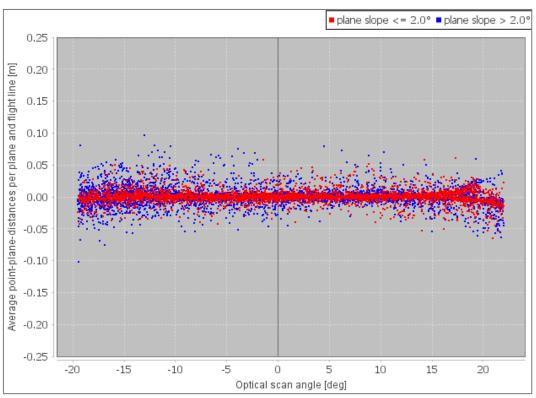
圖 4.6 率定 GNSS 基站位置圖

4-1-2 率定場飛行作業程序

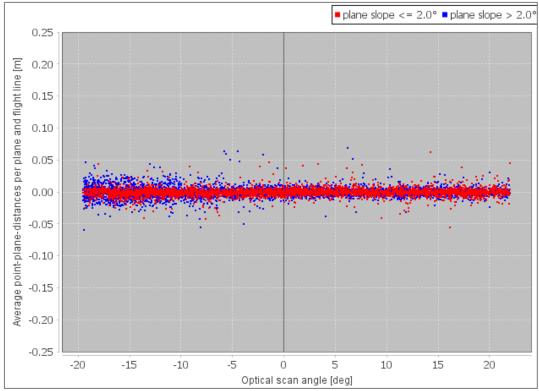
使用空載光達設備為 Optech Pegasus HA500。載具部分使用德安航空 載具(BK-117),於點雲資料使用前執行率定作業,於 111 年 3 月 1 日及 111 年 10 月 3 日,執行率定作業以修正偏差量,以確保雷射點雲精確度。第二 次率定作業係因 111 年 7 月 21 日配合航空公司其他業務安排進行設備拆 卸,設備裝設後續飛航架次皆使用第二次率定成果進行資料處理。率定作 業參照加拿大原廠 Optech 公司建議與規定,執行相關過程與精度評估。

4-1-3 率定成果

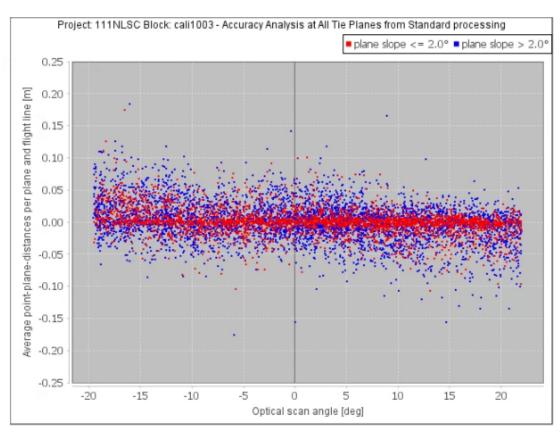
率定飛行後以多條航帶之共軛面進行雷射點至萃取面的距離的分析,若儀器率定不完全,其誤差將會反應於點至面的距離。將率定前後的雷射點至共軛面的分析成果以圖 4.7~圖 4.8 表示。



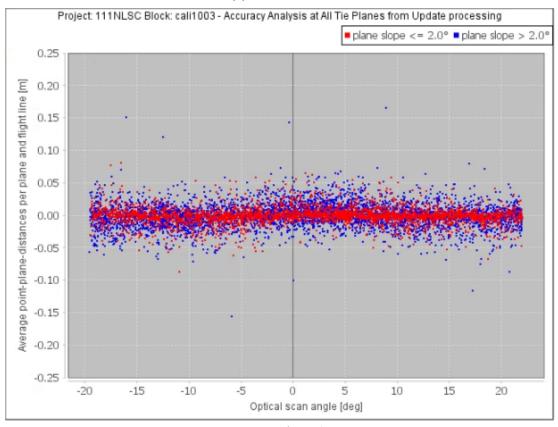




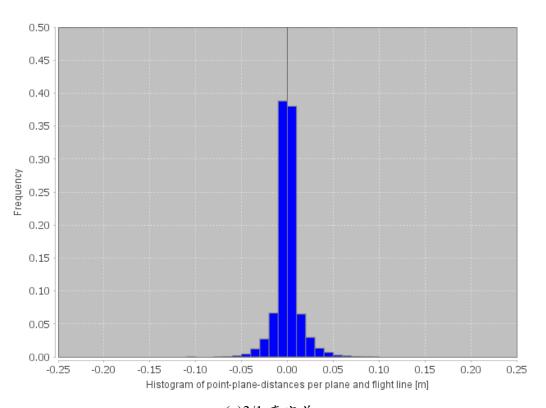
(b)3/1 率定後



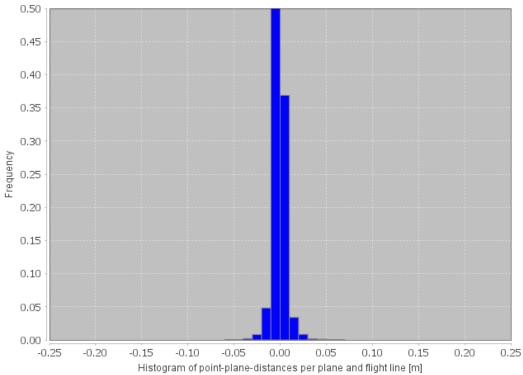
(c)10/3 率定前



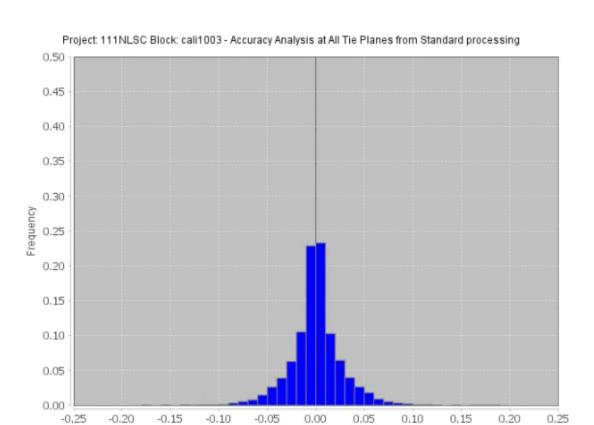
(d)10/3 率定後 圖 4.7 雷射點至萃取面的距離統計分布圖





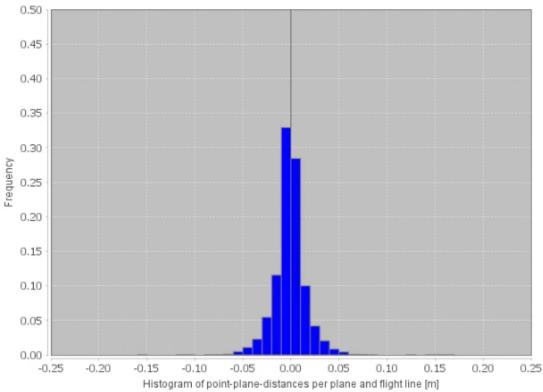


(b)3/1 率定後



(c)10/3 率定前 Project: 111NLSC Block: cali1003 - Accuracy Analysis at All Tie Planes from Update processing

Histogram of point-plane-distances per plane and flight line [m]

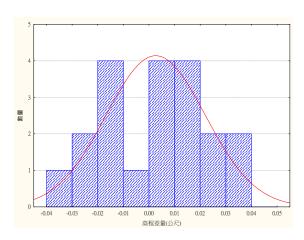


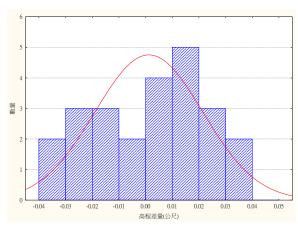
(d)10/3 率定後 圖 4.8 雷射點至萃取面的距離統計直方圖

雷射點雲的高程精度是將率定後的成果,比對一條平坦且堅硬的地表, 例如柏油路,將雷射點分布軌跡比對平坦面進行高程精度分析。求得之率 定參數解算確認飛行之點雲資料,確認不同航帶間之點雲無明顯偏移後, 再次與地面實測點比較,其高程坐標差值應小於 0.1 公尺。以率定後新參數 值算出新的成果,再次與平坦面進行比對。若高程誤差量大於 0.1 公尺精 度,方需針對測距距離進行修正。率定後雷射點成果與實測點比對,皆符 合依原廠建議與契約規範,詳如下列統計成果所示:

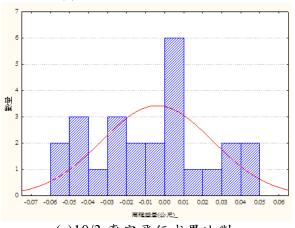
per sole present the sole per								
高程統計分析	最大差異量(m)	平均差異量(m)	均方根誤差(m)					
3/1 率定飛行成果 0.032		0.001	0.001					
3/1 確認飛行成果	0.035	0.001	0.000					
10/3 率定飛行成果 0.055		0.001	0.002					
10/3 確認飛行成果	0.061	0.001	0.000					

表 4.1 光達率定系統高程分析統計表

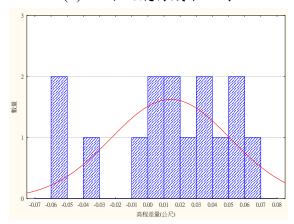




(a)3/1 率定飛行成果比對



(b)3/1 確認飛行成果比對

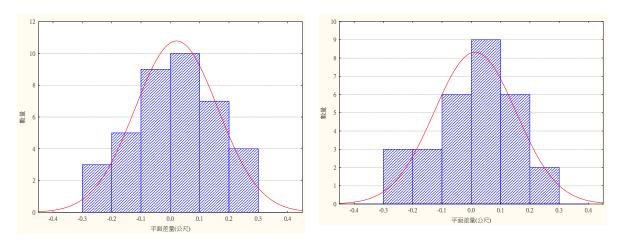


(c)10/3 率定飛行成果比對

(d)10/3 確認飛行成果比對

圖 4.9 率定飛行與確認飛行成果之高程分析統計直方圖(單位:公尺)

空載光達依率定作業飛航高度之平面精度約為 0.4 公尺, 將率定參數帶入確認飛行航線, 比對其雷射點與實際屋頂實測得之屋頂平面位置, 兩次率定平面差量皆小於 0.4 公尺 (圖 4.10), 確認率定參數可用。



(a)3/1 平面精度分析圖

(b)10/3 平面精度分析圖

圖 4.10 平面精度分析圖(單位:公尺)

§4-2 飛航掃瞄成果

本計畫於飛航掃瞄同步使用透空度良好之地面基站接收 GNSS 衛星定位資訊,且基站接收時間應比光達掃瞄系統測量時間早 10 分鐘開機且晚 10 分鐘關機,基站與航線範圍皆小於 20 公里(圖 4.11)。

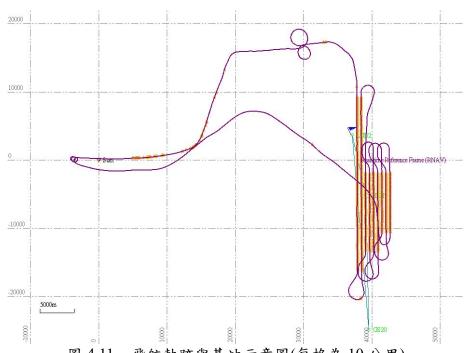


圖 4.11 飛航軌跡與基站示意圖(每格為 10 公里)

自 111 年 3 月 4 日至 111 年 12 月 22 日共 32 架次飛航任務,總計 256 條航線(含補飛)。本測區於 111 年 1 月 4 日通過民航局申請,至 12 月 22 日共 352 日,扣除航空器無法執行任務天數(飛機保養、航空公司其他業務安排、航空公司設備驗證、航空器檢修等),飛航作業可飛天數共計 289 天,皆進行飛航待命把握天氣良好時段進行飛航作業。於飛航完竣後,將依據實施航空測量攝影及遙感探測管理規則,預計於 112 年 3 月提送工作報告書及航攝獲取之影像至內政部備查。

另外基站之 PDOP 規範要求 GNSS 需小於 3,且飛航時定位光達掃瞄成果之 GNSS 原始 PDOP 值不得大於 4(圖 4.13),本計畫所有架次執行成果皆符合規範要求。

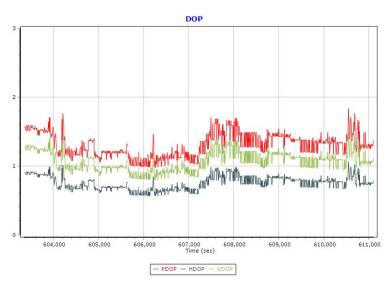


圖 4.12 地面基站 PDOP 圖

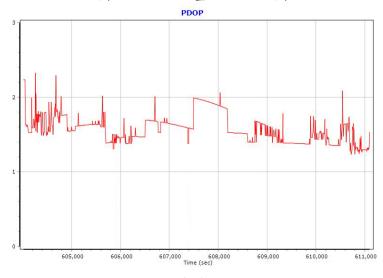


圖 4.13 機載 PDOP 圖

每次飛航任務掃瞄前,將航線軌跡資料輸入導航系統中,飛行員依照所規劃之航線路徑飛行。當飛機升空後,專員依 LiDAR 儀器標準作業程序操作空載光達瞄設備,逐條獲取原始光達掃瞄資料,同時逐條航線記錄原始光達掃瞄相關資料。以下表統計各架次飛航作業執行時間、基站使用時間、執行航線編號、里程數以及各架次報告通過監審方審核日期,其中飛航執行里程數可能因天氣狀況如測區起雲情形或航線轉彎多寡影響。

表 4.2 本計畫飛航各架次成果統計表

		1	4.4 本引 重 形	航各架次成米統計表		
序號	作業日期	執行時間	基站使用時間	執行航線編號	里程數	監審方審查 合格日期
1	111/03/04a	12:53:39~15:15:10	12:00:00~15:59:59	61068~61071、61076、61077	135	111/05/25
2	111/03/09a	07:56:53~10:22:18	07:00:00~10:59:59	61048~61054 \ 61063	206	111/05/25
3	111/03/11a	08:00:51~10:07:58	07:00:00~10:59:59	61058~61062	200	111/05/25
4	111/03/11b	10:42:13~12:52:52	10:00:00~13:59:59	61064~61071	154	111/05/25
5	111/03/13a	08:06:52~10:13:04	07:00:00~10:59:59	61001~61006、61046、61047、61152	128	111/05/25
6	111/03/13b	10:48:12~12:30:41	10:00:00~12:59:59	61045 \ 61063 \ 61064 \ 61076	100	111/05/25
7	111/03/14a	07:31:25~09:37:55	07:00:00~09:59:59	61034、61087~61091	180	111/05/25
8	111/03/14b	10:10:33~12:26:46	10:00:00~12:59:59	61015~61021	184	111/05/25
9	111/04/09a	08:42:16~10:48:59	08:00:00~10:59:59	61007~61014	122	111/05/25
10	111/04/10a	09:47:04~11:54:11	09:00:00~12:59:59	61039~61044	165	111/05/25
11	111/04/12a	08:16:15~10:20:28	08:00:00~10:59:59	61077~61083	160	111/06/02
12	111/04/24a	07:35:48~09:45:03	07:00:00~09:59:59	61136~61143	170	111/05/25
13	111/06/05a	10:06:22~11:37:25	09:00:00~11:59:59	61030 \ 61031 \ 61045 \ 61075	71	111/08/19
14	111/06/18a	07:11:24~09:19:13	07:00:00~09:59:59	61054~61057 • 61084~61086	150	111/08/19
15	111/06/19a	07:09:48~09:21:41	06:00:00~09:59:59	61128~61134 \(\) 61147	130	111/08/19
16	111/06/20a	08:25:57~10:32:18	08:00:00~10:59:59	61006、61022~61025	120	111/08/23
17	111/06/30a	09:38:18~11:33:09	09:00:00~11:59:59	61084~61086	50	111/08/15
18	111/07/07a	08:18:40~09:58:52	08:00:00~10:59:59	61807 · 61808 · 61810~61812	50	111/08/15
19	111/07/08a	06:59:06~09:10:40	06:00:00~10:59:59	61137 · 61144 · 61800~61806 · 61809	90	111/08/15
20	111/07/11a	07:33:53~09:29:04	07:00:00~09:59:59	61084~61086\61038\61077\61135\61136\ 61139\61148	50	111/08/15
21	111/07/17a	07:00:48~09:22:42	06:00:00~10:59:59	61064~61067、61078~61082	170	111/08/19
22	111/07/18a	07:08:15~09:26:38	06:00:00~09:59:59	61022~61024 \cdot 61034~61037 \cdot 61083 \cdot 61150	140	111/08/15
23	111/07/28a	07:02:24~09:27:17	06:00:00~09:59:59	61026~61033	220	111/11/21
24	111/08/06a	07:00:05~09:17:36	06:00:00~09:59:59	61055~61057 \ 61092~61097	170	111/11/21
25	111/08/07a	06:58:45~08:59:45	06.00.00~09.59.59	01099KU	115	111/11/21
26	111/08/09a	06:53:21~09:14:02		61025R1 \cdot 61025R2 \cdot 61038R1 \cdot 61102R0 \cdot 61101R0 \cdot 61100R0 \cdot 61112R0 \cdot 61114R0 \cdot 61113R0	160	111/11/21
27	111/08/30a	07:16:29~09:04:43	0/.00.00~09.59.59	61127R0 \ 61128R1 \ 61132R1 \ 61132R2 \ 61133R1 \ 61134R1 \ 61139R2	50	111/12/01
28	111/08/31a	06:56:58~09:16:47	06.00.00~09.59.59	61103R0 \ 61104R0 \ 61105R0 \ 61106R0 \ 61107R0 \ \ 61108R0 \ \ 61109R0	200	111/12/01
29	111/09/16a	06:59:30~09:09:07	05:00:00~09:59:59	61110R0 \ 61111R0 \ 61114R0 \ 61115R0 \ 61116R0 \ 61118R0 \ 61119R0 \ 61120R0	250	111/12/01

序號	作業日期	執行時間	基站使用時間	執行航線編號	里程數	監審方審查 合格日期
30	111/11/12a	07:40:58~09:52:00		61120R1 \cdot 61121R0 \cdot 61122R0 \cdot 61123R0 \cdot 61124R0 \cdot 61125R0 \cdot 61126R0 \cdot 61127R1 \cdot 61137R2	252	111/12/01
31	111/11/28a	07:25:59~09:48:35	07:00:00~09:59:59	61109R1 \cdot 61112R0 \cdot 61114R1 \cdot 61121R1 \cdot 61122R1 \cdot 61093R0 \cdot 61095R0 \cdot 61096R0 \cdot 61097R0 \cdot 61098R0 \cdot 61099R0 \cdot 61100R0 \cdot 61101R0 \cdot 61102R1 \cdot 61103R1 \cdot 61104R1 \cdot 61105R1 \cdot 61106R1 \cdot 61107R1	線無累	111/12/20
32	111/12/22a	07:23:00~09:54:14	06:00:00~10:59:59	61084R3 · 61085R3 · 61086R3 · 61100R1 · 61101R1 · 61103R2 · 61104R2 · 61105R2 · 61107R2 · 61110R1 · 61123R1 · 61124R1 · 61125R1 · 61126R1 · 61127R2 · 61146R0 · 61149R0		112/01/03

§4-3 空載 LiDAR 資料處理

空載 LiDAR 資料前處理作業包括原始資料整理備份、飛航掃瞄航跡 POS 解算及 LiDAR 原始點雲產出。雷射掃瞄資料作業流程如圖 4.14。

1. 資料整理備份

- (1) 蒐集彙整地面 GNSS 固定基站資料。
- (2) 下載 LiDAR 載體動態 GNSS 與 IMU 資料。
- (3) 下載 LiDAR 掃瞄原始資料,並依航線日期分類。
- (4) 原始資料依一定命名法則備份存檔。

2. LiDAR 掃瞄飛航軌跡 POS 解算

彙整地面 GNSS 固定基站資料及載體 POS (GNSS、IMU)資料,再搭配 雷射掃瞄回波測距資料,進行後續解算,資料後處理如圖 4.15。

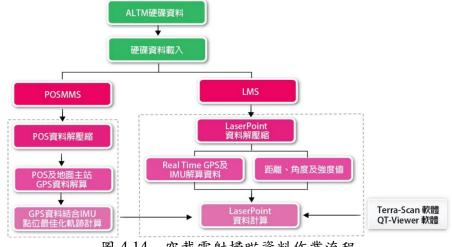


圖 4.14 空載雷射掃瞄資料作業流程

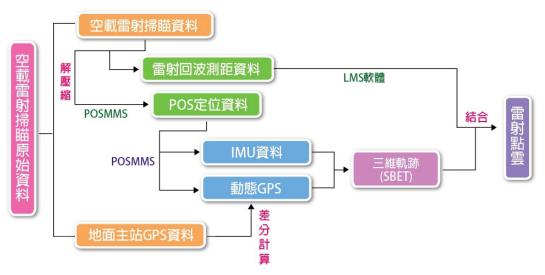


圖 4.15 點雲解算產製處理流程

以 POS GNSS 軟體將地面 GNSS 主站資料及 ALTM 系統之 GNSS 資料進行結合,過程中需輸入地面 GNSS 主站之坐標值,設定相關參數應用如 C/A Code、L1 相位值及利用 L2 載波處理電離層效應後,以動態差分原理求解 LiDAR 掃瞄儀航跡之精確三維坐標,其正向解與反向解差異應達一定之標準,一般評估差異應在 0.2 公尺以內(如圖 4.16)。

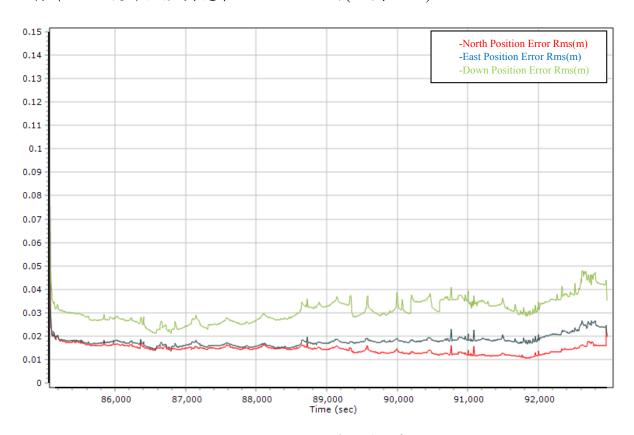
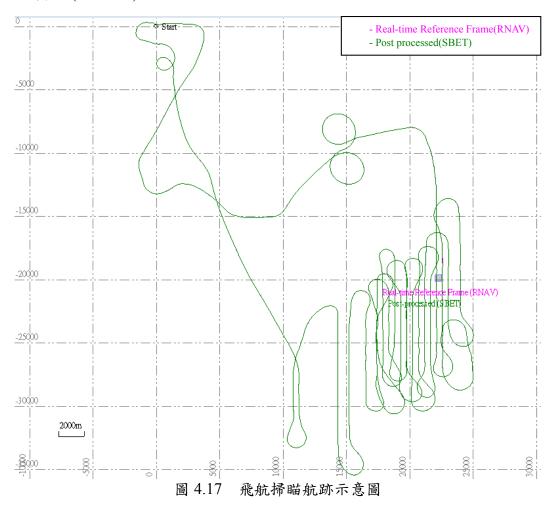


圖 4.16 飛航軌道差異量示意圖

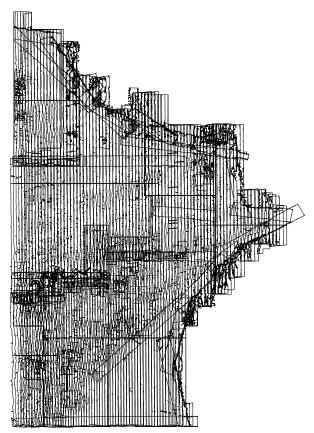
最終將載體 IMU 記錄資料與所解算的 GNSS 坐標結合於三維航跡上, 求解出 LiDAR 掃瞄儀之瞬間三維位置與姿態資訊 (POS),一般稱為 Sbet 飛 航軌跡資料(圖 4.17)。



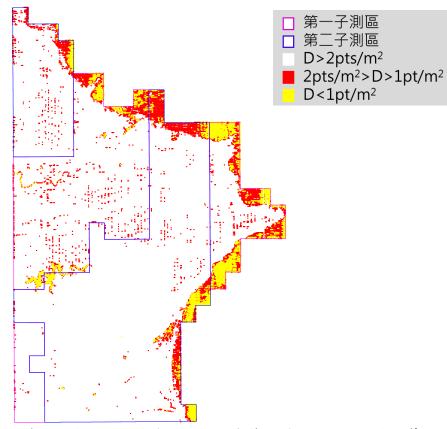
3. 原始點雲產出與檢核

結合 LiDAR 之 POS Sbet 軌跡資料與雷射掃瞄測距資料後,將掃瞄角 與距離代入 Optech LMS 軟體中,配合計算後的軌跡資訊輸入,加入各項系 統誤差率定參數及坐標投影參數,逐條航線求解原始點雲資料。

利用監審方提供之程式,展繪各航帶點雲邊緣線,藉此檢查航帶間重疊率滿足大於40%之契約要求,如圖4.18 航帶間皆有近50%之重疊,符合規範要求。密度方面則以100×100平方公尺為單位統計,確保測區內點雲密度達規範要求,統計如表4.3所示。密度不足比例與低密度比例,皆符合契約要求。而局部小區域點雲密度較低,係因航線掃瞄時受些許霧氣影響,並未影響點雲地形描述。







(b)密度統計示意圖(大範圍密度偏低區域為沿海與水庫等水體,不列入密度計算) 圖 4.18 重疊率檢查與密度統計示意圖

	密度	密度不足	是否通過契	低密度	是否通過				
子測區編號	合格比例	比例	約規定	比例	契約規定				
	$(>2 \text{ pts/m}^2)$	$(1\sim 2 \text{ pts/m}^2)$	<10%	$(<1 \text{ pts/m}^2)$	<5%				
第一子測區	98.7%	1.3%	通過	0.0%	通過				
第二子測區	99.6%	0.4%	通過	0.0%	通過				

表 4.3 各子測區密度統計表

4. 孔洞分析

監審方為確保地形測製成果品質,以產製地面點孔洞分析來對山區點雲過濾成果進行分析和量化分級。統計方式為將分類後之地面點雲,進行Delaunay 三角剖分分析,剖分成數個三角形,當單一三角形之最大邊長超過10公尺,則該三角形所涵蓋區域即視為地面點大孔洞範圍。評估標準為扣除圖幅內平坦地、水域及建物區,統計地面點大孔洞範圍,比例若大於30%直接判定為不通過,或小於10%即視為合格,介於10%~30%間則適用於浮動門檻,同圖幅既有成果比較並額外賦予+10%之彈性容許門檻。若該圖幅可供分析面積未達36公頃則不列入孔洞分析。統計各圖幅大孔洞是否通過檢核後,不通過之圖幅數量需外於1/10,則判定地面點空間分布檢查合格。而本公司自我要求地面點空間分布檢查不通過之圖幅數量需等於0。

監審方第一子測區檢查結果 114 幅中有 10 幅為平地,其餘 104 幅之孔洞分析結果為通過;第二子測區檢查結果 171 幅中有 32 幅為平地,其餘 139 幅之孔洞分析結果為通過。且全區列入統計之圖幅,大孔洞比例皆小於規範要求之 10%,其中小於 1%之圖幅合計更高達 190 幅(孔洞統計圖幅之 78%)。且孔洞表現多數優於既有光達資料,僅 1 幅數值稍低於既有圖幅,其大孔洞比例約 0.1%屬穿透表現良好之圖幅,摘錄監審方統計數據繪製孔洞百分比比較圖表如圖 4.20,地面點分布評估整體較前期改善,如圖 4.20。

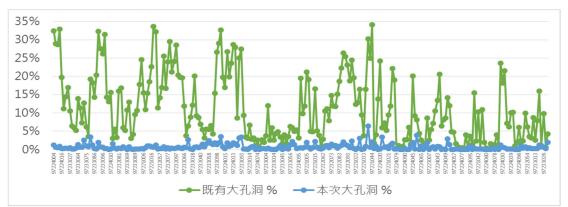
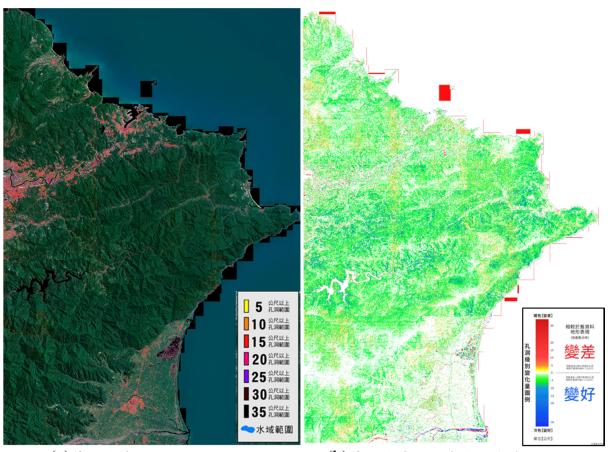


圖 4.19 地面點大孔洞百分比與既有資料比較分析評估(數據摘錄自監審方檢查通知)



(a)第1作業區孔洞分析圖 (b)第1作業區本案與既有資料比對圖 圖 4.20 地面點孔洞分析評估統計(摘錄自監審方檢查通知)

§4-4 航帶平差與內部精度評估

由於 LiDAR 掃瞄航帶間存有系統與偶然誤差,造成航帶重疊區之高程有不一致現象。因此,當 LiDAR 飛航掃瞄完成後,需進行航帶平差修正。空載雷射掃瞄儀利用 GNSS 及 IMU 結合,使掃瞄的儀器坐標能轉換到通用的國家大地坐標系統,因此定位精度將受到各種量測值與設定值的影響。若系統率定不完整,GNSS 與 IMU 系統誤差會影響到解算雷射測點三維坐標的精度,造成的平面誤差約一公尺,高程誤差則約 0.05%航高(Baltsavias, 1999; 童俊雄,2004)。為獲得高精度且實用性之雷射點雲成果,須對點雲資料進行資料誤差的改正,方法為直接對儀器進行率定,再進行航帶平差以降低或消除率定後剩餘系統誤差。

為了減少系統誤差,本工作藉率定飛行及良好的飛行計畫,以控管整個雷射掃瞄之精度,並採用 TerraMatch 模組進行雷射掃瞄航帶平差,利用航帶重疊數據連結點的高程與訊號強度值(intensity)進行連結點的量測以評估

重疊航帶的內部精度不符值,進一步改正誤差以提高資料品質。

4-4-1 航帶平差及應用軟體

平差作業流程之應用程式為 TerraScan 及 TerraMatch 商用軟體,整個作業的環境是架構在 MicroStation 下,由於平差觀測量必須是針對相同地面或地物在不同航帶之雷射點結果,為確保航帶間具有高程差值為相同地面,因此在進行平差作業前,應用 TerraScan 的雷射點分類能力及互動式分類工具列進行各種地物點之前期分類作業,後利用 TerraMatch 進行相關航帶平差作業。

TerraMatch 為 TerraSolid 與瑞典 Digpro AB 公司合作研發軟體,具有雷射掃瞄航帶平差之功用,其核心平差理論於前段所述,藉由比對航帶重疊區之差量以進行掃瞄時方位參數(Roll、Pitch、Heading 及 dZ 等)之改正,求得系統誤差來增加雷射點精度。其作業程序如圖 4.21 所示。

4-4-2 航帶精度分析及平差處理

雷射掃瞄(Laser Scanning)利用高精度的 GNSS 及 IMU 進行三維坐標之解算,與傳統的航空攝影測量相較而言,雷射掃瞄不需大量的地面控制網以進行方位求定,施測時只須於測區範圍擺設二個地面 GNSS 觀測站,在

飛航掃瞄時地面觀測站與掃瞄區不應超過 20 公里。然而空載雷射掃瞄儀的架構使用相當多的輔助單元,在將掃瞄的坐標轉換到通用的地面坐標系統過程中涉及多項量測步驟,使得其含有許有誤差來源:GNSS、IMU、Lever Arm、安置角、掃瞄鏡曲率以及雷射光束測距誤差等,因此其定位精度將受到各種量測值與設定值的影響。

空載雷射掃瞄三維資料的獲取實際上就是應用測距、測角(姿態及掃瞄角)定位,因此雷射掃瞄 光束之空間方位誤差(Orientation Error)將直接影響 雷射點之精度,造成不同航帶在重疊區域同一點之



圖 4.21 平差作業流程圖

平面坐標和高程有差異。為使得後續數值高程模型能具有高精度之特性,將利用不同航帶間同一地物之不符值(Discrepancy)建立之數學模式進行航帶平差,平差之觀測量為同一地物之高程值,透過最小二乘法平差後將可求得航帶間參數模型之參數值,進而改正每條航帶之雷射點坐標。

4-4-3 雷射掃瞄誤差來源及精度分析

1. 空載雷射掃瞄資料處理

ALTM 系統利用 Optech 公司的 LMS 軟體進行雷射點資料解算得三維坐標值,此三維坐標之雷射點雲即可進行後續應用處理。ALTM 利用多回波(multiple Echoes)的觀測值,即發射單一脈衝得接收多個回訊,可同時測得地表上覆蓋物頂層和穿透至地表間數個點位,原始雷射測點數據為不規則離散測點。經濾除與分類的步驟,將最後回波值測點分類出地面點,製作成數值高程模型(DEM),並使用第一回波資訊製作數值地表模型(DSM)。

本公司目前使用商業軟體 TerraScan 處理雷射測點數據的濾除與分類, 並輔以後處理與品管之工具,進行檢核與視覺製圖檢視等品管流程。然而 就高精度 DEM 等製作而言,若是兩航帶間存在有不符值將影響其成果,為 使全區之成果一致,必須以航帶平差方式進行修正。

2. 雷射點誤差分析

空載雷射掃瞄之誤差來源主要可分為四項。

- (1) GNSS 誤差-GNSS 定位誤差。
- (2) 雷射掃瞄測距誤差—掃瞄測距誤差、大氣折射誤差及掃瞄鏡曲率誤 差等。
- (3) IMU 誤差-陀螺儀飄移誤差、重力模型誤差及大地水準面誤差等。
- (4) 系統整合誤差—動態延遲誤差、GNSS 天線設置誤差、安置角誤差 及地面參考站位置誤差等。
- 一般而言,前述誤差對平面位置之精度影響較大,實際評估之誤差值在

平面誤差多大於 0.5 至 1 公尺,高程誤差也達 0.2 公尺(Baltsavias, 1999),通常藉由雷射點資料剖面可檢視平面和高程之偏移量,如圖 4.22 所示,其中不同航線之房屋脊線有明顯偏移。

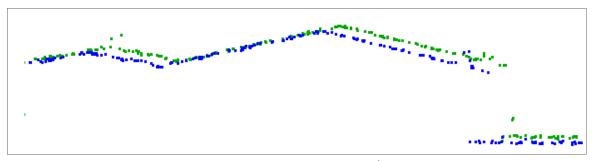


圖 4.22 雷射點偏移示意圖

然而在雷射點雲解算後,需經資料檢核的方式來確定資料的正確性。檢核方式主要分為內部精度分析與外部精度分析。內部精度分析採用航帶間重疊區之資料,利用彼此高程之差異量來檢視;而外部精度分析則是將已知的地面控制點比對雷射點資料所表現的地形趨勢面,檢視其兩者間之差異。

內部精度即航帶間精度,利用多條航帶重疊處組成之不規則三角網形進行高程差異的比對,以獲取航帶間的差異性進行評估。本分析目的為獲致航帶間是否存在有未率定完善之系統誤差,以確保資料之精度,並進行重疊航帶誤差分析與交叉航帶誤差分析。實際作業上,為更精確的獲得航線間之精度分析結果,利用 TerraMatch 軟體之 measure match 功能進行航線重疊處高程差異比對,比對原理如圖 4.23 所示,利用航線點雲組成不規則三角網形在與另一條航線重疊處,取其最近點比對兩者高程的差異量。

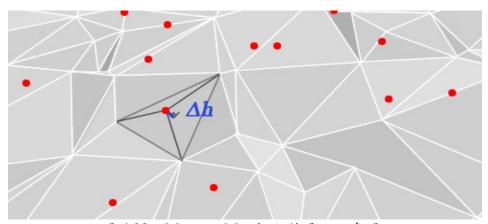


圖 4.23 Measure Match 比對原理示意圖

4-4-4 分區航帶平差

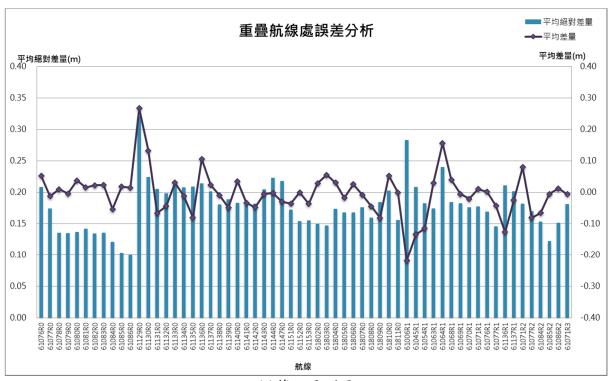
由於本計畫測區廣大,因此為使雷射點資料銜接高程一致,使用航帶平差控制點,可有效地將資料約制區域間高程,使資料得以符合高精度之特性。並於各測區完成完整之航拍掃瞄作業後,先進行分區航帶平差作業,並繳交成果至監審方審查,再進行後續點雲分類作業,可保持成果產製之時效。

於進行航帶平差前,利用 TerraMatch 軟體之 measure match 功能進行航線重疊處高程差異比對,分析整體航帶間誤差情形,可確保率定完善無系統偏差。並可對於數值異常航線進行了解,評估是否需要調整該條航帶先驗精度,若該條航線點雲品質不佳(如雲洞比率過高或因天氣問題穿透不佳),則考慮重新飛航。

本計畫子測區平差前各航帶重疊處高程誤差分析圖如圖 4.24 所示,數據統計如表 4.4 所示,所使用之航線皆可進行平差,且無率定不完善導致之明顯系統誤差。

統計項目		最大值(m)	最小值(m)	平均值(m)	標準差(m)
第一	平均絕對差量	0.321	0.101	0.179	0.038
子測區	平均差量	0.268	-0.218	-0.003	0.071
第二	平均絕對差量	0.288	0.146	0.213	0.032
子測區	平均差量	0.157	-0.118	-0.001	0.067

表 4.4 平差前航線重疊處誤差統計分析



(a)第一子測區



圖 4.24 平差前航線重疊處誤差分析圖

4-4-5 航帶平差模式

航带間存在誤差將影響後續應用,上述誤差可經由率定飛行及良好的

飛行計畫控管整個雷射掃瞄之精度,大部分的誤差都可以被界定出來加以 檢定,然而即使如此,實務經驗上仍無法解決資料存在之誤差量,因此應 用航帶平差理論提高資料品質是必要之手段。

空載雷射掃瞄儀的架構都是由 GNSS 及 IMU 結合,使掃瞄的坐標能轉換到通用的地面坐標系統,因此其定位精度將受到各種量測值與設定值的影響,若系統率定不完整, GNSS 與 IMU 系統誤差會傳播到解算雷射測點三維坐標的精度,為了檢驗並減少系統誤差,本工作採用商業軟體TerraMatch 進行雷射掃瞄航帶平差,利用航帶重疊數據連結點的高程進行連結點的量測,以評估重疊航帶的內部精度不符值,並進一步改正系統誤差(TerraSolid, 2010)。

實際上計算所得的掃瞄點坐標之誤差來源可能受到相當多因素之影響,包含系統性及偶然性之誤差,系統性之誤差只能將航帶轉換參數所能描述的誤差量代入予以糾正,剩餘之誤差量則視為偶然誤差利用最小二乘方式平差之,因此進行航帶平差時須先界定所謂的航帶間幾何轉換參數,才能藉以發展航帶平差之數學模式。

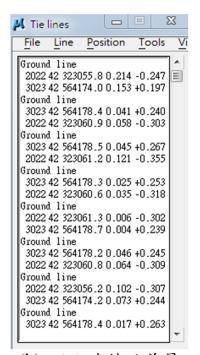
由於掃瞄幾何條件的未知參數之間存在參數高相關,為減少未知參數量,在隨機模式高相關參數(如平移參數、旋轉參數、平移參數線性漂移量、旋轉參數線性漂移量等)中,優先選取姿態參數求定,加權值效果,另外實際應用上可加入地面已知控制點作為約制。

未知參數需要輸入先驗精度,如角度量先驗標準差依偏航角(heading)、 顛簸角(pitch)、滾動角(roll)依序為 0.008 度、0.005 度、0.005 度(本儀器使用 慣性導航儀 LN200 之理論精度),長度相關向量 0.01 公尺。航帶平差輸入 資料包括:(1)時間序列的航跡三維坐標(2)時間序列的點雲三維坐標(3)地面 已知點三維坐標(本作業加入各航線間頭中尾三點)。利用航帶重疊數據,進 行航帶平差與平差成果評估,可獲得航帶之間的內部精度,並可進行系統 性誤差的改正(林志交,2004)。

平差作業流程包括處理雲點資料,針對較適合作為匹配連結點之地面 及平坦斜坡面屋脊線等進行分類,以提高自動萃取匹配連結點(Tie Line)品



質和效率。此作法將選取均勻分布於航帶重疊區之匹配連結點。



(a) 屋脊線匹配點

圖 4.25 匹配連結點示意圖

(b) 匹配連結點差量

如圖 4.25 其中屋脊線匹配連結點。由此功能可檢視該連結點位置於各航帶間偏差量,即為航帶相對平差選之使用之觀測量。剔除萃取錯誤之匹配連結點後,以 TerraMatch 軟體之 Find Tie Line Match 功能決定欲求解之參數進行航帶平差計算與改正。最後再進行航帶平差成果評估。

4-4-6 航帶平差成果評估

利用航带平差以獲得更準確及可靠之成果,消除航帶間尚存之偏移量, 降低製作 DEM 時於航帶重疊區域之混淆。可由重疊處誤差分析結果,了解 平差後雷射掃瞄測高精度,各測區平差後航帶誤差分析成果如表 4.5 所示, 各測區平差後平均絕對差量皆小於 0.2 公尺,平均絕對差量標準差小於 0.05 公尺,無明顯航帶偏差,可用於後續資料產製。詳細各航線高程差量如表 4.6 與表 4.7,統計圖表如圖 4.26 與圖 4.27。

表 4.5 平差後航線重疊處誤差統計分析

*	充計項目	最大值(m)	最小值(m)	平均值(m)	標準差(m)
第一	平均絕對差量	0.199	0.049	0.123	0.044
子測區	平均差量	0.096	-0.166	0.004	0.040
第二	平均絕對差量	0.199	0.089	0.176	0.023
子測區	平均差量	0.122	-0.130	0.022	0.060

表 4.6 第一子測區航線重疊處平差前後差量統計表

	表 4.6	第一子測區	航線重疊處之	平差前後差量	統計表	
		平差前			平差後	
航線	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)
61001R0	275434	0.190	-0.034	236218	0.156	-0.008
61002R0	362739	0.194	0.007	307213	0.149	0.027
61003R0	297083	0.198	0.001	235097	0.152	0.038
61004R0	242899	0.204	0.012	183537	0.166	0.031
61005R0	298072	0.214	0.009	252984	0.166	0.020
61006R0	295463	0.244	0.090	255405	0.190	0.085
61007R0	408874	0.228	0.032	336904	0.158	0.026
61008R0	458560	0.211	0.011	380326	0.165	-0.021
61009R0	459428	0.194	-0.024	374235	0.162	-0.016
61010R0	618033	0.181	-0.002	493823	0.124	-0.035
61011R0	615290	0.174	0.007	489983	0.121	-0.023
61012R0	932301	0.160	0.019	747634	0.103	-0.020
61013R0	1378892	0.180	0.006	1101537	0.128	-0.017
61014R0	1637709	0.187	-0.055	1344844	0.119	-0.001
61015R0	1670391	0.167	0.025	1361361	0.086	0.007
61016R0	1479855	0.158	0.025	1202930	0.078	-0.003
61017R0	1479122	0.173	-0.023	1180269	0.080	-0.006
61018R0	1384973	0.172	0.025	1108862	0.084	0.000
61019R0	1338214	0.178	-0.011	1082312	0.086	-0.011
61020R0	1223535	0.177	0.021	1007175	0.101	0.011
61021R0	794825	0.191	0.016	820479	0.121	0.035
61022R0	307435	0.195	-0.094	580660	0.131	-0.045
61023R0	37390	0.240	0.036	428370	0.117	0.001
61039R0	383500	0.145	-0.001	375830	0.138	-0.001
61040R0	917188	0.160	-0.019	898842	0.131	-0.018
61041R0	1132720	0.160	0.018	1168355	0.089	-0.004
61042R0	1256667	0.155	0.025	1192071	0.081	-0.002

		平差前			平差後	
航線	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)
61043R0	1292220	0.177	0.054	1182662	0.077	-0.004
61044R0	1185717	0.161	-0.032	1037299	0.075	-0.016
61045R0	1275033	0.155	-0.010	1011020	0.070	-0.002
61046R0	1406013	0.170	0.028	1225718	0.077	-0.005
61047R0	1440487	0.179	0.034	1269539	0.082	0.004
61048R0	1464782	0.174	0.036	1319095	0.074	0.005
61049R0	1296770	0.189	0.013	1289791	0.079	0.005
61050R0	1386897	0.195	0.050	1368453	0.079	0.006
61051R0	1340931	0.198	0.000	1359725	0.082	0.006
61052R0	1421251	0.197	0.006	1351391	0.084	-0.005
61053R0	1216084	0.195	0.057	1082434	0.089	0.023
61054R0	1311628	0.202	0.068	1155478	0.097	0.031
61055R0	1098901	0.153	-0.040	909413	0.085	-0.023
61056R0	1108650	0.152	-0.085	1169782	0.076	-0.019
61057R0	1164827	0.152	-0.072	1255940	0.078	-0.023
61058R0	1571646	0.192	0.041	1590868	0.090	0.021
61059R0	1783770	0.202	0.014	1664308	0.092	0.003
61060R0	1783381	0.191	0.036	1588844	0.091	0.001
61061R0	1899711	0.179	-0.006	1749089	0.090	-0.007
61062R0	1856568	0.180	0.003	1692263	0.085	-0.005
61063R0	1062422	0.190	-0.001	989290	0.073	-0.010
61064R0	1069980	0.168	-0.025	950454	0.070	0.002
61065R0	1116923	0.169	-0.007	983609	0.073	0.000
61066R0	1057976	0.178	0.016	933421	0.072	-0.004
61067R0	1076963	0.179	-0.019	950503	0.069	0.004
61068R0	93488	0.175	0.026	118652	0.096	-0.020
61069R0	76569	0.175	0.011	119808	0.107	-0.046
61070R0	72132	0.175	0.015	107022	0.098	0.010
61071R0	91201	0.165	-0.018	129553	0.107	-0.020
61076R0	61901	0.209	0.053	154629	0.080	0.014
61077R0	67910	0.174	-0.012	137264	0.093	-0.021
61078R0	1389583	0.136	0.010	1193664	0.057	-0.010
61079R0	1638926	0.135	-0.004	1483734	0.052	0.000

		平差前			平差後	
航線	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)
61080R0	1656731	0.137	0.038	1485753	0.052	0.009
61081R0	1755348	0.142	0.016	1596533	0.058	0.014
61082R0	1911699	0.135	0.023	1682804	0.072	0.039
61083R0	2216854	0.136	0.023	1972386	0.080	0.042
61084R0	2307871	0.121	-0.054	2082473	0.082	-0.059
61085R0	2200892	0.103	0.019	1840244	0.059	-0.025
61086R0	1319231	0.101	0.015	1035213	0.049	-0.001
61129R0	3040	0.321	0.268	161330	0.149	-0.042
61130R0	62312	0.224	0.133	285719	0.143	-0.017
61131R0	167507	0.205	-0.066	395349	0.150	-0.007
61132R0	211024	0.198	-0.043	354917	0.154	0.013
61133R0	255497	0.212	0.031	287063	0.172	-0.012
61134R0	278448	0.208	-0.011	287890	0.176	0.012
61135R0	429133	0.209	-0.080	448320	0.188	0.004
61136R0	611995	0.214	0.107	679761	0.195	-0.030
61137R0	608688	0.202	0.023	738508	0.169	-0.028
61138R0	640002	0.181	-0.010	667339	0.161	-0.026
61139R0	670928	0.189	-0.048	613280	0.158	0.017
61140R0	695471	0.184	0.036	648368	0.158	0.048
61141R0	626656	0.180	-0.033	609569	0.145	-0.011
61142R0	627168	0.182	-0.048	584968	0.151	-0.022
61143R0	354870	0.205	-0.005	272452	0.191	0.056
61144R0	202788	0.223	-0.002	151799	0.152	-0.022
61147R0	36994	0.218	-0.030	48888	0.161	-0.036
61151R0	2418479	0.173	-0.035	2331752	0.072	-0.009
61152R0	1144959	0.155	0.000	1037825	0.115	0.006
61153R0	1873348	0.155	-0.036	1636709	0.082	-0.020
61802R0	198567	0.151	0.029	203478	0.141	0.096
61803R0	272507	0.147	0.056	253808	0.123	0.060
61804R0	396611	0.174	0.031	337741	0.136	0.027
61805R0	563716	0.168	-0.017	368251	0.121	0.023
61806R0	1054623	0.168	0.026	955491	0.127	0.036
61807R0	466419	0.176	-0.008	200522	0.125	-0.047

		平差前			平差後	
航線	工。详明由	平均絕對	五 14 半 目 ()	T-1关 mL +/.	平均絕對	亚 4 年 里(***)
	取樣點數	差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	差量(m)	平均差量(m)
61808R0	354629	0.160	-0.044	393541	0.137	0.092
61809R0	876636	0.185	-0.081	586224	0.113	-0.029
61810R0	405694	0.203	0.053	236474	0.132	0.068
61811R0	614810	0.156	-0.001	467355	0.120	0.060
61006R1	275344	0.283	-0.218	246827	0.195	-0.166
61045R1	178396	0.209	-0.133	158032	0.123	0.039
61054R1	473059	0.183	-0.114	260321	0.116	-0.048
61063R1	590311	0.175	0.030	602953	0.079	0.005
61064R1	216458	0.240	0.157	353461	0.077	0.003
61068R1	1032677	0.185	0.040	972762	0.074	0.003
61069R1	1077919	0.183	-0.005	993021	0.072	-0.001
61070R1	1045584	0.176	-0.020	971724	0.072	0.005
61071R1	1004154	0.178	0.011	906756	0.068	0.019
61076R1	965723	0.169	0.002	738106	0.069	0.003
61077R1	1320407	0.146	-0.042	1184347	0.066	-0.018
61136R1	583627	0.211	-0.126	624357	0.199	0.031
61137R1	313354	0.202	-0.025	360157	0.187	-0.004
61071R2	1193	0.182	0.080	1218	0.171	0.030
61077R2	53388	0.170	-0.080	47914	0.146	-0.020
61084R2	158129	0.154	-0.065	12960	0.152	0.016
61085R2	96781	0.123	-0.005	21212	0.143	0.046
61086R2	117947	0.152	0.013	12648	0.140	0.048
61071R3	1958	0.181	-0.006	1998	0.165	-0.003

表 4.7 第二子測區航線重疊處平差前後差量統計表

		平差前		平差後			
航線	i線 平均絕對 平均絕對 取樣點數 平均差量(m)		亚	取樣點數	平均絕對	平均差量(m)	
	州 (水) 和 数	差量(m)	平均差量(m)	华秋和教	差量(m)	十岁左里(III)	
61019R0	1512788	0.175	0.021	3187828	0.092	-0.015	
61020R0	5290345	0.189	0.032	5738391	0.105	0.009	
61021R0	8102898	0.202	-0.014	7305413	0.122	0.028	
61022R0	6780109	0.201	-0.086	5268896	0.143	-0.051	
61023R0	7143989	0.192	-0.032	6701351	0.129	-0.006	

		 平差前			 平差後	
航線	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)
61024R0	8512691	0.181	0.004	8111301	0.121	-0.009
61025R0	7679734	0.177	-0.107	7170615	0.122	-0.023
61026R0	9615857	0.159	0.007	8760549	0.120	0.005
61027R0	9100935	0.137	-0.003	8083730	0.106	-0.015
61028R0	9592200	0.139	-0.043	8563165	0.113	-0.022
61029R0	11166184	0.147	-0.044	10062848	0.105	-0.022
61030R0	14976517	0.186	-0.130	9054657	0.155	-0.053
61031R0	21496170	0.263	-0.167	16105037	0.200	-0.081
61032R0	8282551	0.136	0.014	7326547	0.116	-0.035
61033R0	7331548	0.135	-0.049	6404661	0.123	0.000
61034R0	48967953	0.157	-0.070	44124980	0.083	0.009
61035R0	7454137	0.152	-0.046	6198339	0.126	-0.053
61036R0	8951523	0.145	-0.016	7499931	0.116	-0.011
61037R0	10249797	0.149	-0.083	9359586	0.103	-0.028
61038R0	11479749	0.166	-0.091	10416410	0.121	-0.048
61039R0	11307147	0.199	0.046	10472385	0.122	0.027
61040R0	10937081	0.177	-0.010	10379452	0.109	-0.001
61041R0	8241723	0.184	0.012	10153587	0.098	-0.007
61042R0	5294256	0.181	0.046	7317472	0.091	-0.002
61043R0	2021675	0.236	0.092	3519168	0.080	-0.013
61044R0	1294409	0.185	0.050	930810	0.122	0.045
61046R0	2003458	0.197	0.007	1499374	0.127	0.019
61047R0	2087519	0.197	0.038	1688838	0.123	0.039
61048R0	2694682	0.194	-0.024	2362990	0.109	-0.021
61049R0	3009494	0.207	0.005	2638602	0.116	-0.052
61050R0	3255907	0.203	0.004	2834984	0.115	-0.038
61051R0	2768571	0.207	0.073	2424737	0.112	0.011
61052R0	3165845	0.200	0.019	2868903	0.126	-0.055
61053R0	2097754	0.205	0.020	1630537	0.122	-0.032
61054R0	6865852	0.181	0.040	5316739	0.109	-0.012
61055R0	5111089	0.145	-0.011	3318549	0.093	-0.012
61056R0	5512581	0.142	-0.037	3709766	0.101	0.013
61057R0	5127997	0.152	-0.044	3441666	0.112	-0.007

		平差前		平差後			
航線	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	
61058R0	4490751	0.216	0.062	3289043	0.116	0.014	
61059R0	3856700	0.203	0.003	3310277	0.105	0.027	
61060R0	2784225	0.200	-0.007	4759287	0.094	-0.001	
61061R0	3436034	0.188	0.010	6988893	0.093	-0.010	
61062R0	5640407	0.189	0.010	7903310	0.095	-0.012	
61063R0	1451712	0.198	-0.033	1637105	0.094	-0.008	
61064R0	1688100	0.187	-0.051	1666875	0.092	0.010	
61065R0	1523720	0.179	-0.030	1549304	0.088	0.012	
61066R0	1741240	0.198	-0.023	1696237	0.096	-0.020	
61067R0	1336520	0.209	0.006	1306165	0.101	0.013	
61068R0	16346567	0.205	0.044	15010298	0.114	-0.008	
61069R0	18188078	0.179	-0.023	16679167	0.113	0.015	
61070R0	17490388	0.199	0.044	15344474	0.108	0.002	
61071R0	16119191	0.180	-0.039	13772883	0.100	0.015	
61075R0	4216693	0.186	-0.153	3529372	0.172	-0.060	
61076R0	17326117	0.180	0.018	15228693	0.096	-0.021	
61077R0	14610606	0.179	0.055	13503936	0.101	-0.005	
61078R0	996655	0.211	-0.036	1175059	0.122	-0.040	
61079R0	1565461	0.185	-0.010	1719876	0.109	-0.006	
61080R0	916403	0.201	-0.020	809823	0.115	-0.011	
61081R0	1891799	0.177	0.001	1717789	0.111	-0.011	
61082R0	1665127	0.189	0.029	1701736	0.137	0.048	
61083R0	2431006	0.171	0.003	1887415	0.127	0.051	
61084R0	1497739	0.173	-0.092	1390682	0.128	-0.087	
61085R0	1217097	0.180	0.015	1073715	0.099	-0.028	
61086R0	725226	0.158	-0.003	548347	0.088	-0.010	
61087R0	60637034	0.160	-0.020	53711050	0.066	0.020	
61088R0	65615479	0.148	-0.019	58890791	0.055	0.019	
61089R0	66175224	0.159	-0.005	58989598	0.052	0.008	
61090R0	64111781	0.137	-0.016	57035670	0.057	-0.013	
61091R0	61723943	0.143	0.018	55233462	0.066	-0.018	
61092R0	60729123	0.117	-0.052	54173500	0.061	-0.007	
61093R0	60207479	0.107	-0.011	53480086	0.054	0.000	

		平差前		平差後			
航線		平均絕對		114 ki			
	取樣點數	差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	差量(m)	平均差量(m)	
61094R0	58278896	0.097	-0.024	51483369	0.054	0.006	
61095R0	55521770	0.100	0.011	48916724	0.047	0.000	
61096R0	53973014	0.110	-0.020	46518896	0.055	0.001	
61097R0	50358568	0.112	-0.018	42438258	0.050	0.000	
61098R0	43338066	0.127	-0.082	34903589	0.054	-0.001	
61099R0	40735805	0.126	-0.037	32933162	0.060	0.013	
61100R0	33770750	0.144	0.049	25694270	0.075	0.002	
61101R0	33640548	0.151	0.027	26172562	0.077	0.002	
61102R0	34553222	0.150	0.002	26346968	0.087	-0.019	
61103R0	37452984	0.160	-0.041	31008768	0.079	0.012	
61104R0	39150722	0.138	-0.023	32147988	0.073	0.022	
61105R0	41181008	0.141	-0.032	35849576	0.072	-0.004	
61106R0	41454430	0.132	-0.039	36414716	0.075	0.005	
61107R0	41615517	0.133	-0.004	35466056	0.073	0.000	
61108R0	40244758	0.132	-0.042	34588622	0.079	-0.010	
61109R0	40058298	0.147	-0.058	33210745	0.086	-0.014	
61110R0	32448783	0.141	-0.046	27321509	0.089	-0.007	
61111R0	31327660	0.151	-0.088	26053462	0.089	0.002	
61112R0	27643248	0.160	0.074	22340551	0.087	0.018	
61113R0	27843423	0.142	-0.016	22767659	0.085	0.011	
61114R0	21918968	0.174	0.031	17559335	0.099	0.001	
61115R0	25809583	0.159	-0.086	20478285	0.099	-0.005	
61116R0	23299960	0.151	-0.036	19332428	0.093	-0.014	
61117R0	21003383	0.141	-0.041	16681823	0.095	0.009	
61118R0	18625856	0.145	-0.034	14998050	0.100	0.011	
61119R0	16724042	0.169	-0.069	12007731	0.116	0.002	
61120R0	15517147	0.199	-0.104	10365341	0.140	-0.004	
61121R0	13988597	0.213	0.065	7152828	0.153	-0.014	
61122R0	12416277	0.176	0.013	6989328	0.126	0.001	
61123R0	11009836	0.177	-0.012	6653253	0.115	-0.007	
61124R0	10014813	0.168	-0.030	6187038	0.116	0.007	
61125R0	9361538	0.191	0.045	5989699	0.133	0.023	
61126R0	8591856	0.197	0.017	5156642	0.157	-0.011	

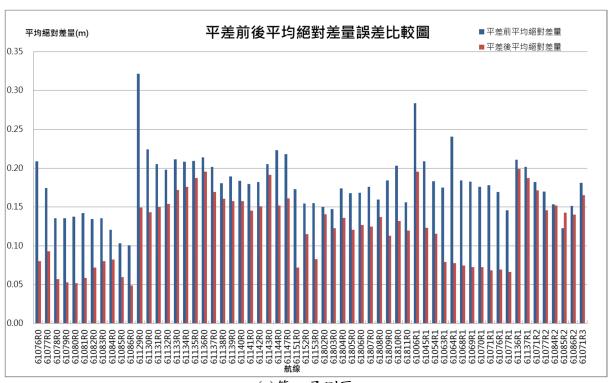
		 平差前		平差後			
航線	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	
61127R0	6585964	0.233	-0.129	4007831	0.188	-0.048	
61128R0	4515093	0.203	-0.064	3547042	0.171	-0.060	
61129R0	4683676	0.216	-0.040	3813684	0.156	-0.029	
61130R0	4638338	0.204	0.019	3638444	0.145	-0.016	
61131R0	4807798	0.228	-0.099	3287825	0.155	-0.005	
61132R0	4861392	0.208	-0.029	3195310	0.164	0.010	
61133R0	4289912	0.236	0.047	3270222	0.178	-0.009	
61134R0	2767564	0.217	-0.011	2695776	0.190	-0.005	
61135R0	2313661	0.221	-0.074	2702054	0.195	0.020	
61136R0	2350078	0.229	0.106	2860637	0.175	-0.035	
61137R0	2887055	0.207	0.013	2990481	0.168	-0.025	
61138R0	2718997	0.195	0.007	2718826	0.142	-0.009	
61139R0	2406385	0.190	-0.052	2583031	0.139	-0.021	
61140R0	1918043	0.183	0.006	2184673	0.142	0.023	
61141R0	1175808	0.177	-0.009	1292502	0.139	-0.015	
61142R0	962469	0.175	0.021	685734	0.127	-0.036	
61143R0	456950	0.229	-0.015	293448	0.145	0.021	
61144R0	68941320	0.228	0.058	44744771	0.156	-0.068	
61146R0	24142664	0.170	0.024	20207408	0.164	0.020	
61147R0	1656565	0.186	-0.060	923565	0.185	-0.074	
61148R0	4753505	0.156	-0.005	3533257	0.123	-0.029	
61149R0	9409757	0.191	-0.020	7875966	0.168	-0.021	
61150R0	2682118	0.143	-0.011	2224992	0.099	-0.019	
61151R0	11973208	0.178	-0.029	11177408	0.097	-0.006	
61152R0	8850565	0.201	0.061	8569808	0.127	-0.006	
61153R0	22470767	0.163	-0.022	19026096	0.100	-0.011	
61800R0	36321557	0.235	0.088	29928380	0.138	0.033	
61801R0	25376728	0.211	0.072	22304603	0.138	0.041	
61802R0	6149696	0.189	0.079	4919180	0.105	0.028	
61803R0	694367	0.171	0.049	305129	0.130	0.016	
61807R0	10190429	0.219	0.123	9481723	0.180	0.127	
61808R0	5800572	0.177	0.035	5629823	0.165	0.118	
61811R0	12706580	0.222	0.069	9535881	0.185	0.122	

		平差前		平差後			
航線	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	
61812R0	10648436	0.235	0.065	8918415	0.191	0.057	
61022R1	2308128	0.229	-0.089	1841765	0.152	-0.035	
61023R1	3218812	0.210	-0.024	3154257	0.171	0.059	
61024R1	2263885	0.215	0.009	2238427	0.149	0.010	
61025R1	6733016	0.176	0.016	6340756	0.137	0.010	
61030R1	7424973	0.143	-0.072	6601526	0.117	-0.012	
61031R1	7955412	0.130	-0.008	7061375	0.112	-0.017	
61032R1	27498580	0.212	0.057	25284120	0.189	0.058	
61033R1	35301189	0.185	0.053	31760314	0.114	0.005	
61034R1	6251697	0.148	-0.066	5468799	0.115	-0.026	
61038R1	2924126	0.194	-0.082	2696746	0.116	-0.009	
61045R1	1082855	0.232	-0.161	146855	0.131	0.053	
61055R1	7155174	0.149	-0.008	3899728	0.099	-0.017	
61056R1	7025598	0.138	-0.040	3296451	0.102	0.004	
61057R1	5549095	0.146	-0.018	1872656	0.118	0.016	
61063R1	7469198	0.182	0.030	7202146	0.090	0.003	
61064R1	8892615	0.173	0.040	8538867	0.096	0.013	
61065R1	14457527	0.149	-0.077	12974457	0.105	-0.016	
61066R1	17524577	0.153	-0.058	15688464	0.107	-0.025	
61067R1	15820043	0.187	-0.123	14208480	0.115	-0.055	
61068R1	1577128	0.210	0.019	1501992	0.122	0.016	
61069R1	1587493	0.213	-0.003	1568449	0.114	0.021	
61070R1	1709411	0.200	-0.053	1703398	0.117	0.004	
61071R1	1682705	0.208	-0.001	1526828	0.121	0.041	
61076R1	1717123	0.175	-0.021	1635978	0.089	0.006	
61077R1	1608320	0.191	-0.012	1729909	0.113	-0.013	
61078R1	11483804	0.180	-0.120	10418306	0.102	-0.006	
61079R1	9730915	0.162	-0.042	8873713	0.084	0.002	
61080R1	8570304	0.145	0.030	7620006	0.084	0.006	
61081R1	11558425	0.177	-0.004	9607516	0.117	0.010	
61082R1	13361460	0.201	0.033	11389895	0.159	0.029	
61083R1	13746407	0.243	0.004	11821073	0.196	0.096	
61084R1	12279155	0.261	-0.111	11035984	0.181	-0.117	

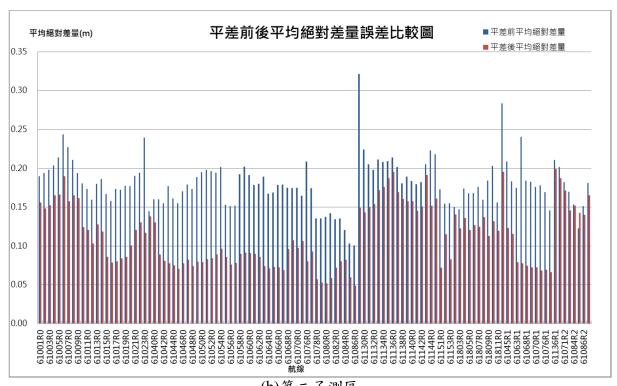
		 平差前		平差後			
航線	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	取樣點數	平均絕對 差量(m)	平均差量(m)	
61085R1	12453660	0.233	-0.076	9998570	0.172	-0.067	
61086R1	7896600	0.226	-0.045	6155803	0.185	-0.038	
61093R1	954960	0.222	-0.079	103088	0.172	-0.023	
61095R1	2217235	0.176	-0.004	364772	0.175	0.049	
61096R1	3682033	0.180	-0.007	409004	0.186	0.009	
61097R1	3514099	0.186	0.003	401700	0.181	0.064	
61098R1	2513979	0.193	-0.008	595146	0.152	0.059	
61099R1	2877712	0.186	0.005	1150375	0.161	0.052	
61100R1	2910469	0.197	-0.025	1521843	0.164	0.043	
61101R1	2747000	0.187	-0.046	1464950	0.184	0.034	
61102R1	1712493	0.208	0.010	1162383	0.174	0.084	
61103R1	2125012	0.221	0.003	1217993	0.194	0.054	
61104R1	2886258	0.223	0.006	1381866	0.181	0.040	
61105R1	2834049	0.223	0.047	2150201	0.193	0.055	
61106R1	5157282	0.217	0.040	3023926	0.192	0.071	
61107R1	5016987	0.227	0.071	2502790	0.180	0.035	
61109R1	4373180	0.235	0.066	1216920	0.178	0.003	
61112R1	7123125	0.178	0.011	1436055	0.134	0.024	
61114R1	6457181	0.191	0.041	1315115	0.168	0.003	
61120R1	5034732	0.235	0.131	3233296	0.180	-0.045	
61121R1	2983286	0.253	-0.099	42289	0.188	-0.130	
61122R1	2447860	0.216	-0.088	170545	0.172	0.085	
61123R1	1359299	0.211	-0.070	316648	0.182	0.007	
61124R1	1235987	0.211	-0.078	446781	0.184	-0.030	
61125R1	801920	0.238	0.029	290899	0.194	0.121	
61126R1	513507	0.252	-0.113	79241	0.180	-0.079	
61127R1	4620434	0.220	0.081	3095644	0.181	0.108	
61128R1	1064979	0.217	0.058	344825	0.196	0.119	
61132R1	2494234	0.206	0.001	658858	0.192	0.084	
61133R1	4565849	0.235	-0.046	1643328	0.187	-0.028	
61134R1	3286110	0.238	-0.062	1376149	0.150	-0.017	
61136R1	2443605	0.222	-0.105	2881822	0.197	0.033	
61137R1	2239162	0.231	-0.067	1910631	0.199	-0.015	

		平差前		平差後			
航線	取樣點數	平均絕對	平均差量(m)	取樣點數	平均絕對	平均差量(m)	
	, ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	差量(m)	, ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	, Manuel Ad	差量(m)	, ,,	
61064R2	7137708	0.163	-0.098	6851021	0.094	-0.028	
61077R2	17623	0.176	-0.118	77225	0.195	0.025	
61100R2	209360	0.188	0.043	64902	0.180	0.084	
61101R2	288366	0.185	-0.064	68831	0.167	0.005	
61102R2	2669879	0.210	-0.011	1460400	0.192	0.048	
61103R2	172141	0.282	0.113	61185	0.182	0.082	
61104R2	149119	0.288	0.081	69965	0.199	0.035	
61105R2	159947	0.254	-0.045	54881	0.190	-0.123	
61107R2	32363	0.281	0.157	1126	0.193	-0.089	
61127R2	219664	0.231	0.077	9598	0.184	0.122	
61132R2	1025050	0.229	-0.015	156021	0.182	-0.041	
61064R3	3073214	0.173	0.055	3056877	0.089	-0.019	
61084R3	2513927	0.165	-0.016	992683	0.173	-0.022	
61085R3	2866246	0.146	0.027	1062368	0.152	0.043	
61086R3	1130360	0.173	0.048	371064	0.160	0.036	

*R1、R2表示該航線第2、3次飛行,以此類推。粗體為交叉航帶。



(a)第一子測區



(b)第二子測區

圖 4.26 平差前後重疊處平均絕對誤差差量比較



(a)第一子測區



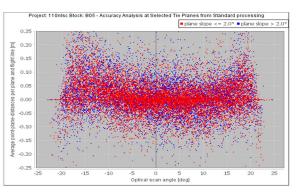
(b)第二子測區 圖 4.27 平差前後測區交叉航線重疊處差量統計分析圖

4-4-7 航帶平差自我檢核成果

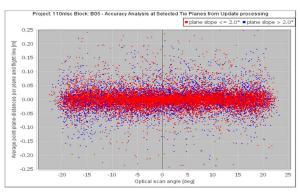
於航帶平差過程中,另外可藉由 Optech LMS 軟體評估平差後之高程及 平面精度。因屋頂斜面和屋脊線為空間中三維向量,所以可利用其雷射點 萃取共軛面、共軛線之分析功能,以屋頂為例示意如圖 4.28,其萃取各航 帶重疊區域之屋頂面及屋脊線,以評估平差模式是否恰當,示意圖如圖 4.29 平差前後雷射點至共軛面差量減少,確定點雲平差成果之精度可進行後續 分類作業。



圖 4.28 航線重疊處屋頂共軛面與共軛線萃取示意圖



(a)平差前雷射點至共軛面差量分析 Roof lines analysis



(b)平差後雷射點至共軛面差量分析 Roof lines analysis

Mean

-0.003

0.005

-0.019

0.115

0.027

RMS Minimum Maximum

0.456

0.116

-0.414

-0.079

Dim

[m]

[m]

Parameter	Dim	Mean	RMS	Minimum	Maximum
Delta East	[m]	0.065	0.244	-0.586	0.707
Delta Height	[m]	-0.013	0.067	-0.382	0.244
Delta North	[m]	-0.053	0.164	-0.935	0.426
Horizontal Separation	[m]	-0.063	0.293	-0.718	0.948

0.074 -0.393 0.313 Horizontal Separation 0.008 0.136 -0.5440.429 (c)平差前屋脊共軛線差量統計 (d)平差後屋脊共軛線差量統計

Parameter

Delta East

Delta Height

Delta North

Refined processing ▼

1. 平面精度

Standard processing •

航带進行平差時引入平差高程控制點做為約制,高程精度部分將由分 類後點雲產製 DEM 比對檢核點進行評估分析,參閱章節 4-6。平面精度部 分則利用平差點雲成果和平差平面控制點即屋角特徵點進行比較分析,本 計畫控制測量共完成30點平面控制點。因點雲無法如照片準確點出平面坐 標,採手動量測點雲屋角點三次後之平均值進行評估,差值統計如表 4.8 平 面差量皆小於50公分。屋角特徵點施測現場照片以及點雲量測屋角點示意 如圖 4.30。

圖 4.29 航線重疊處平差前後共軛線統計分析示意圖

表 4.8 平面控制點檢核點雲屋角點差值表(單位:公尺)									
wat 12.E.	平面控	平面控制點坐標		點雲量測屋角點坐標		N方向	亚二苯基		
點號	Е	N	Е	N	差量	差量	平面差量		
61-0001B	306508.171	2798127.533	306508.224	2798127.803	0.053	0.270	0.275		
61-0005B	316284.228	2772013.248	316284.215	2772012.763	-0.013	-0.485	0.485		
61-0008B	342085.372	2779811.331	342085.25	2779811.461	-0.122	0.130	0.178		
61-0012B	313666.650	2760768.690	313667.008	2760768.732	0.358	0.042	0.360		
61-0013B	320078.345	2774320.033	320078.78	2774320.08	0.435	0.047	0.438		
61-0019B	331925.226	2758161.058	331925.399	2758161.051	0.173	-0.007	0.173		
61-0023B	341152.879	2768409.540	341152.777	2768409.824	-0.102	0.284	0.302		

wil 다	平面控	制點坐標	點雲量測	屋角點坐標	E方向	N方向	ホエチ目
點號	Е	N	Е	N	差量	差量	平面差量
61-0032B	326838.391	2732455.299	326838.261	2732454.867	-0.130	-0.432	0.451
61-0035B	334001.731	2732365.623	334001.449	2732365.859	-0.282	0.236	0.368
61-0040B	322153.691	2776686.074	322153.818	2776686.554	0.127	0.480	0.497
61-0041B	333483.691	2777886.223	333483.861	2777885.86	0.170	-0.363	0.401
61-0045B	324846.123	2768770.305	324845.689	2768770.136	-0.434	-0.169	0.466
61-0050B	307740.465	2749285.459	307740.35	2749285.799	-0.115	0.340	0.359
61-0054B	329613.463	2745643.830	329613.44	2745643.684	-0.023	-0.146	0.148
61-0057B	311553.260	2790047.575	311552.838	2790047.717	-0.422	0.142	0.445
61-0070B	319798.865	2785787.151	319798.834	2785787.042	-0.031	-0.109	0.113
61-0071B	321365.008	2785334.844	321364.68	2785335.198	-0.328	0.354	0.483
61-0078B	308284.873	2760222.222	308285.201	2760222.585	0.328	0.363	0.489
61-0080B	320184.127	2758795.626	320183.768	2758795.763	-0.359	0.137	0.384
61-0083B	317130.612	2753195.016	317130.665	2753194.653	0.053	-0.363	0.367
61-0093B	324649.683	2760380.653	324650.122	2760380.88	0.439	0.227	0.494
61-0109B	334979.079	2769916.565	334978.643	2769916.368	-0.436	-0.197	0.478
61-0129B	349992.666	2767448.159	349992.426	2767447.757	-0.240	-0.402	0.468
61-0143B	343365.779	2762685.741	343365.99	2762685.311	0.211	-0.430	0.479
61-0146B	335726.596	2753604.554	335726.571	2753604.293	-0.025	-0.261	0.262
61-0155B	316076.838	2733916.929	316077.12	2733916.797	0.282	-0.132	0.311
61-0172B	320490.859	2737759.988	320490.952	2737760.302	0.093	0.314	0.327
61-0174B	323081.252	2741230.027	323081.615	2741229.858	0.363	-0.169	0.400
61-0176B	325864.731	2740816.994	325864.435	2740816.685	-0.296	-0.309	0.428
61-0178B	328758.458	2741785.159	328758.244	2741784.802	-0.214	-0.357	0.416
平面	差量最大值	0	.497	平面差量	標準偏差		0.111
平面	差量最小值		.113	平面差量	均方根差		0.391
平面	差量平均值	0	.375				



(a)平面控制點量測遠照

(b)平面控制點量測近照

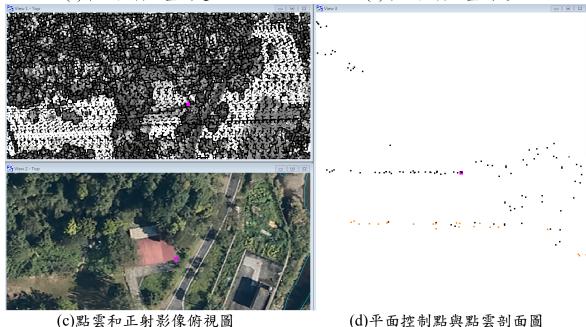


圖 4.30 點雲平面精度檢核示意圖

2. 重疊區精度評估

平差成果之點雲除經過商業軟體各式統計報表分析外,提送監審方前 先以監審方自行開發之程式,統計 100×100 平方公尺為單位統計點雲高程 差量,評估平差後高程差異量,確定平差成果合乎契約要求。

如檢核圖圖 4.31 所示,深灰色圖例即高程絕對差量小於 20 公分,其他 大於 20 公分處進行檢查,位置多為常於短時間內變遷之海、河道、池塘或 農田地形等,本計畫飛航掃描長達 9 個月,導致此類地形於各架次間點雲 高程不一致,並非平差未完善。擷取說明範例如圖 4.32。

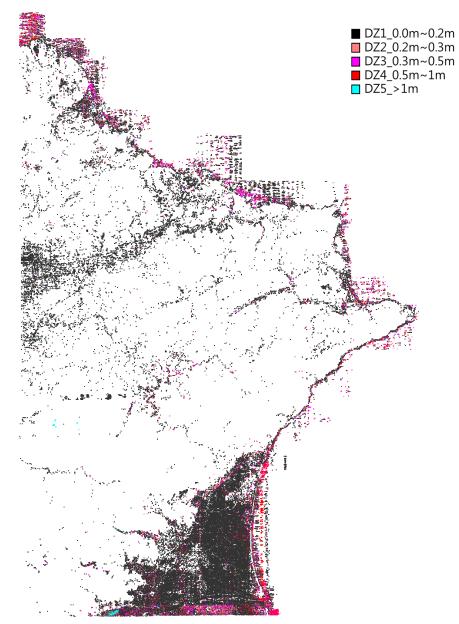


圖 4.31 監審方軟體航帶平差高程差異量檢核圖

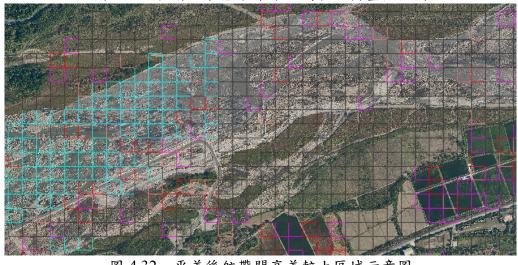


圖 4.32 平差後航帶間高差較大區域示意圖

§4-5 DEM/DSM 製作

4-5-1 點雲編修流程

1. 點雲自動過濾

原始 LiDAR 數據為不規則離散測點,可採用經濾雜點之點雲製作數值 地表模型(DSM)規則網格,數值高程模型(DEM)的製作,則需執行濾除與分 類的步驟,將測點分類成地面點(Ground)與非地面測點(Non-ground)。

本計畫中自動過濾工具是採用商用軟體 TerraScan 工具模組,TerraScan 處理點雲過濾的程式為使用(Axelsson, 2000)文獻的演算法,其基本原理是先選擇區域內的低點為種子點,資料結構採用 TIN 模型,組成「起始地面」,然後逐點判斷,判斷候選測點,位置落入種子點構成的 TIN 三角面內,計算候選測點與三角面的垂直距離(iteration distance)以及離最近三角面頂點的夾角(iteration angle),當垂直距離小者,表示候選測點離「起始地面」貼近,當垂直距離小於臨界值以內者視為地面點(iteration angle 判斷亦同理),逐次將候選測點判斷成地面點或地物點,漸進更新加密新的「起始地面」,直到所有點判斷完成(圖 4.33)。

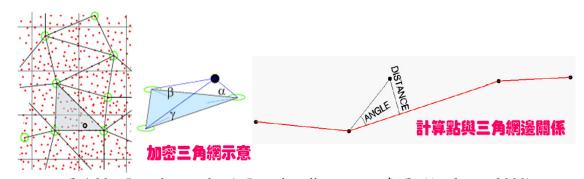
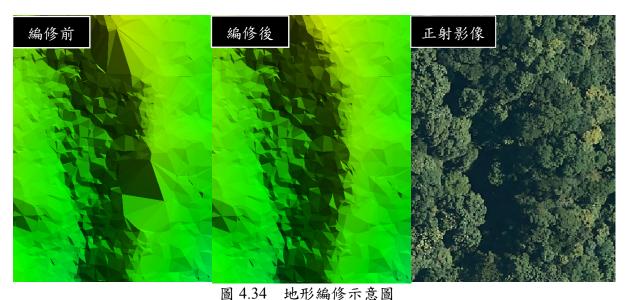


圖 4.33 Iteration angle 和 Iteration distance 示意圖 (Axelsson, 2000)

將全區已平差處理後之點雲資料,利用 TerraScan 軟體進行各種不同類別之點雲資料分類,再利用分類後之資料進行過濾與整合,分別產出僅含地表面及地形面之非地面測點與地面測點點雲資料。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引用不規則三角網(Triangular Irregular Networks, TIN)表示地表面,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. 人工點雲編修

分類後的空載 LiDAR 地面點雲資料,可能因雜訊或其他地物干擾,而有非預期的反射資訊出現,如地面之突然單一突出物或不合理坑洞...等,並確定在本計畫規範的密度、重疊率與高程差可達標準;將分類後的點雲資料展示於螢幕上,利用 TerraScan 及 TerraModeler 軟體中之點位編修功能,交互觀察三維表面模型與點雲剖面,將不合理或不符合定義的點位刪除或進行編輯(圖 4.34)。人工編修點位過程亦可配合地面影像,如航空照片或高解析度衛星影像等,依不同之地表覆蓋給予不同自動過濾參數再次分類及人工編修,以確保點位分類之正確性,示意圖如圖 4.35,編修前大範圍地面點不足,編修後可呈現地形變化。

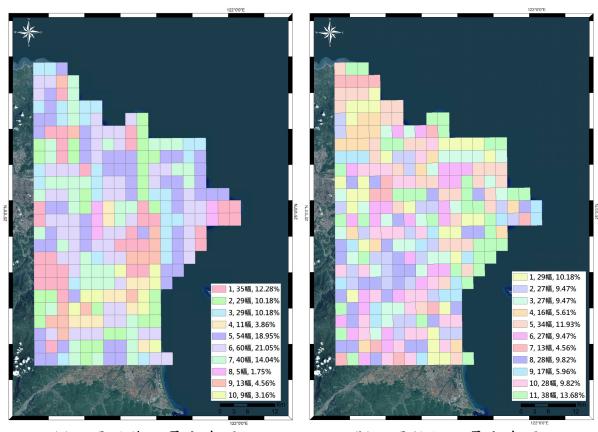


編修後
正射影像

圖 4.35 橋樑之點雲分類示意圖

4-5-2 點雲編修狀況

延續本公司多年光達點雲編輯經驗,並針對監審方修正建議滾動式更新點雲濾除重點及注意事項,且藉由定期會議討論提升作業人員濾除能力,並對於濾除能力進行評估,確認濾除人員能因應各式地形。於點雲編修流程中,濾除人員需先檢查點雲資料正確,並確認自動分類之雲點、明顯雜點已分類完全,再進行主要非地面點濾除工作,並負責分配圖幅之測區內部圖幅接邊,完成後自檢和填表如表 4.9 再提交檢核人員。第 1 作業區點雲編修人員共 10 位,品管檢核人員共 11 位,圖幅分配繪製於圖 4.36,藉由良好之點雲過濾與檢核能力確保產製成果品質。



(a)點雲編修人員分布圖

(b)點雲檢核人員分布圖

圖 4.36 點雲編修與檢核人員分布圖

表 4.9 點雲編修自檢紀錄表範例

		表 4.9 點雲絲	解修自檢約	己錄表	主軋例		
		點雲絲	扁修紀錄	表			
圖幅位置		新北市	航線標	航線標號 108,1		,103,104,105,106,107, 109,110,111,148,1055, 03,2104,2105,2107	
圖號		97224039	總點雲	數		78,709,260	
資料產製人	く員	曾一源	完成日	期		2022/12/24	
圖幅審查/	く員	王一瑜	審查日	期		2022/12/25	
1.不合理點	雲檢	查與濾除					
A. 雲均	鬼	B. 低點	C	系統錯	昔誤點	E. 缺航線	
2.地面點非	地面	點人工編修	地面	旬點 點	數	5,095,106	
A. I		已濾除	G. 	(土	推、垃圾	连積物已濾除 吸、工程、地基)	
	(含土	或實心道路未濾除 堤、魚塭及土梗等)	Н.	穿主	透率良好	f分類(分類成果良好或 f)	
C.		、涵洞已濾除(含高架)	I.	無	接邊線		
D. 	D. ■ 不合理點雲已濾除(高點或 低點)		J. .	無平差問題、點雲完整(無雲洞)			
E. 	地面, 地形,	點編輯完整(足以表現)	K.	水土	水域點雲分類正確		
F.	植被	已濾除	L.	■ 墳墓與大石頭編輯完整			
3.地面點縮	圖		4.地形?	宣染區]		
備註:無							

4-5-3 數值高程模型成果

根據內政部「高精度及高解析度數值地形模型測製規範(草案)」,數值地形模型可分為下列二種,其定義如下(內政部,2003):

1. 數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)

描述不含植被及人工建物之地表自然地貌起伏的數值模型。此模型是以規則網格式離散點所組成。為了便於資料的管理及後續應用,在此我們定義離散點是等間距的方格點。

2. 數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)

表示地表可見光無法穿透的最上層覆蓋物的數值模型。與數值高程模型不同之處,乃在表示建物及長年生植被的最上層覆蓋物。此模型亦是以規則網格式離散點所組成,在此我們同樣定義離散點是等間距的方格點。

經過分幅、分類與編輯處理後之地表面與地形面點雲資料,藉由記錄的高程資料,依實際需求產製 1×1 公尺整數網格的 DEM/DSM 資料,以 TerraScan 及 TerraModeler 軟體,將地面點與地表覆蓋資訊分別組成地面高程與地表覆蓋面,再利用 SCOP++內插模式進行成果產製,並進行作業區內部接邊,軟體介面如圖 4.37,第1作業區共 285 幅 1/5000 正射影像如圖 4.38,而其中為求國土陸域完整以及承諾加執事項(龜山島圖幅),共加值 6幅 DEM 與 DSM 成果產製,1/5000 圖幅成果如圖 4.39 所示。

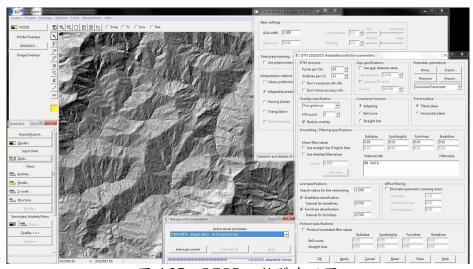
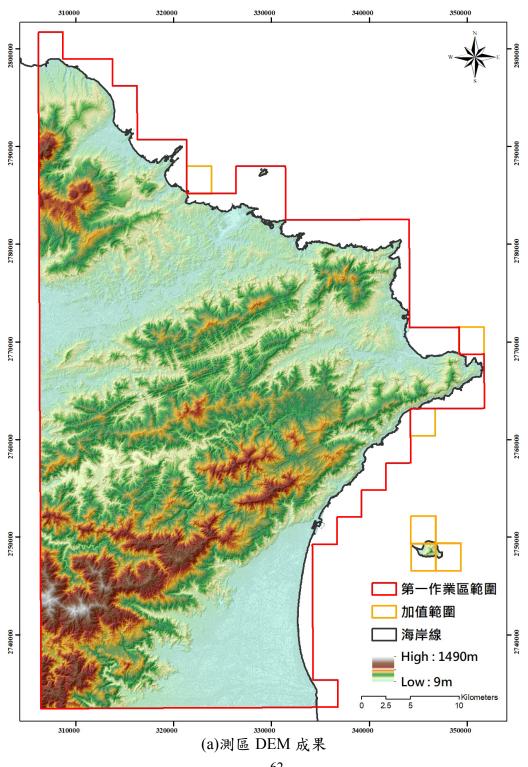


圖 4.37 SCOP++軟體介面圖

於各作業區成果產製後進行外部接邊,依契約規定因掃描時間差距造 成地形明顯變遷(如:河谷、崩塌地等),無法製作一致之地形成果,應將不 一致範圍圈選成向量檔案,經認定合理後,保留該處範圍存查,如高程落 差過大地區將不強制接邊。第1作業區責任接邊圖幅共75幅,分布如章節 5-5。目前已完成責任接邊工作並提交成果。



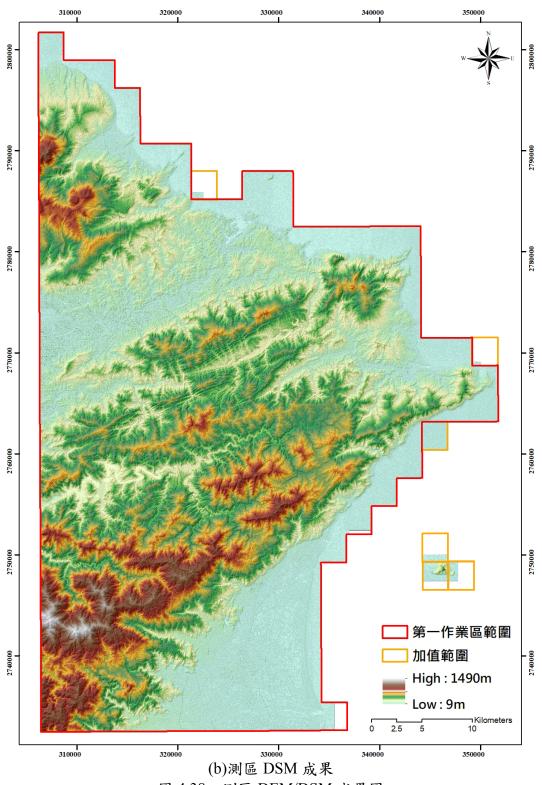
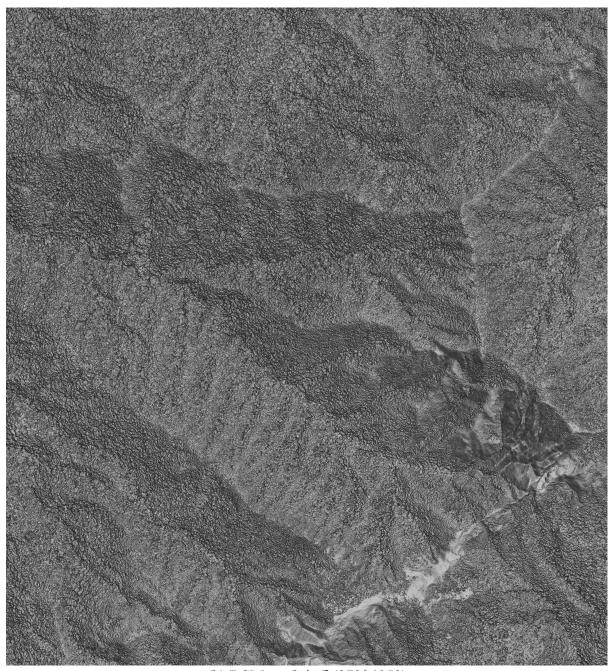


圖 4.38 測區 DEM/DSM 成果圖



(a) DEM 山區成果(97224059)



(b) DSM 山區成果(97224059)



(c) DEM 平地成果(97223010)

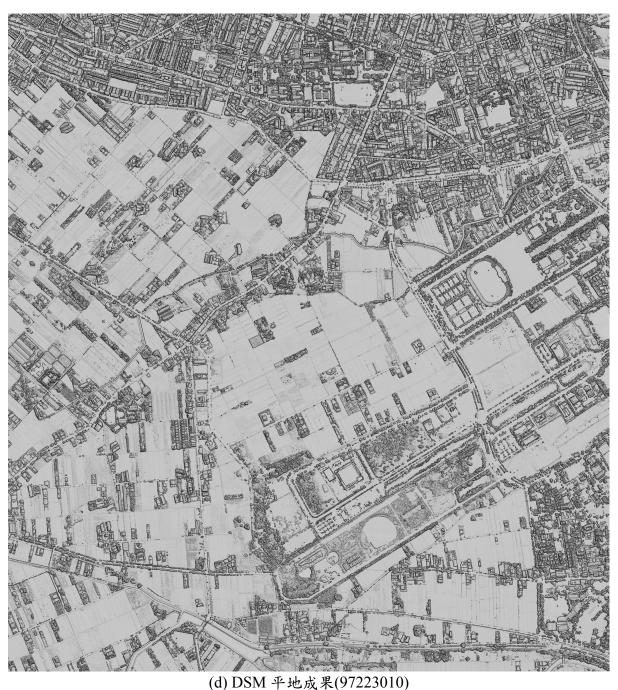


圖 4.39 DEM/DSM 山地及平地成果圖

4-5-4 大地起伏化算

全球定位系統提供的坐標,其高程為橢球面起算的橢球高(Ellipsoid Height),但一般民生用途所需的高程資料是以大地水準面起算的正高(Orthometric Height),故需要將橢球高轉為正高以提供與其他資料的整合應用。本計畫採用內政部公告之 103 年大地起伏模式(Geoid model),由監審

方統一進行正高化算。

§4-6 檢核點蒐集與作業

4-6-1 測量作業方式

透空良好之檢核位置採用 e-GNSS 定位系統進行 VBS-RTK 即時動態定位,有效率地測量出每個檢核點三維坐標。可以省下靜態測量所需的內業計算時間,且可以達到公分級的精度。於透空不良之檢核位置,例如林地或是密林,使用傳統測量方式進行導線測量。導線點上擺設全測站經緯儀並後視一已知方向,以全測站經緯儀測角、測距方式,測量附近的檢核點角度及距離並記錄之。將所記錄得的資料利用角度、距離的相對關係,可以反算出各檢核點的坐標。以此類推,直到測區內所有的地物皆已施測完畢並解算出坐標。供後續雷射點雲或 DEM 高程精度檢核使用。本次計畫DEM 檢核作業檢核點分布如圖 4.40,檢核點內容如後說明。

本次計畫地形包含低海拔及中高海拔測區,需分別對兩種地形進行 DEM 檢核作業。依據契約要求,每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測 量檢核點,各檢核點應儘可能均勻分布於各圖幅,地面檢核點為平坦坡度, 並避開地形斷線特徵處 1 公尺以上。檢核點蒐集區域於測區平均選取 8 區 進行 DEM 檢核。沿路針對可測得的地物增加測點數量,增加點位數量。並 於測量時記錄選測檢核點所在位置之地形類別及平均植物高度,供計算高 程精度標準參考。

另外也需分別對兩種地形進行橫亙航線的橫斷面 (cross section)檢核 測量,低海拔及河川洪泛溢淹測製地區:檢核剖面至少有 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:需施行橫亙航線的地 面檢核剖面,檢核剖面至少有 40 個檢核點,剖面長度總和需超過 30 公里。 橫斷面檢核點於測區平均選取 9 條透空平坦地進行大剖面檢核,共挑選低 海拔橫斷面 6 條及高海拔橫斷面 3 條,沿道路避開地形斷線特徵處沿途進 行選點。地形類別與土地覆蓋分區如表 4.10 及表 4.11,各檢核點施測範例 如圖 4.41。

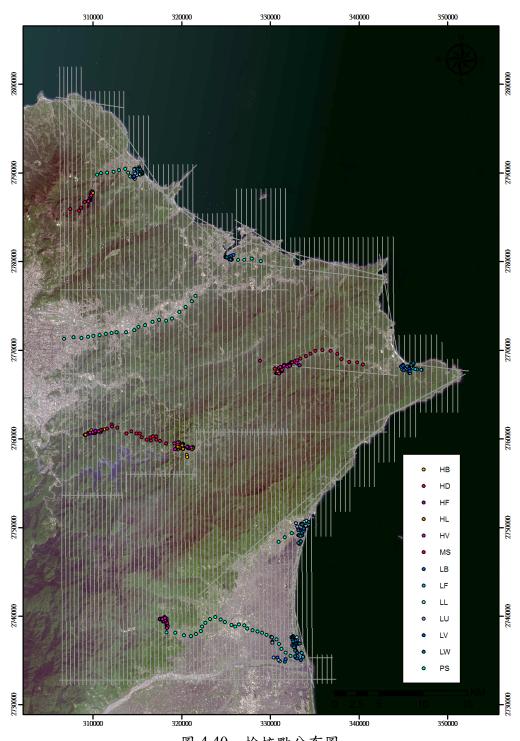


圖 4.40 檢核點分布圖 表 4.10 地形類別列表

地形分類	分類編碼	定義
平地	P	地表坡度在5度以下的地區
丘陵	Н	地表坡度在5度~15度之間的地區
山地	M	地表坡度在 15 度~30 度之間的地區
陡峭山地	С	地表坡度在30度以上的地區

表 4.11 土地覆蓋分區列表

低海拔及河川洪	泛溢淹地區	中高海拔山區		
分類名稱	分類編碼	分類名稱	分類編碼	
裸露地	В	裸露地	В	
矮植被	L	矮植被	L	
植生地	V	植生地	V	
林地	F	林地	F	
都會區	U	密林地	D	
濕地	W	横斷面	MS	
横斷面	PS			

說明

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。

植生地-以任一點為中心,半徑在10個網格問距的範圍內其受植被覆蓋之面積介於 25%~50%者,則該範圍內視為植生地。其中周圍植生高度不超過1公尺之草生 地、矮樹群、茶區...等土地覆蓋分類

林地-以任一點為中心,半徑在10個網格間距的範圍內其受樹木覆蓋之面積介於 50%~75%者。

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 或 DSM 規範中誤差之 4 倍以上者。



(a)裸露地-B







(c)植生地-V



(d)密林-D



(e)林地-F







(g)都會區-U



(h)横斷面-PS.MS

圖 4.41 各類別檢核點實測照片

4-6-2 精度評估標準與作業

本計畫規範取高程精度之95%信心水準(E95)為高程容許誤差,高程 精度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:

$$\sigma^2 = a^2 + b^2 + c^2 \cdot t^2$$
 (£ 4.1)

式中 σ 為高程精度;a為平坦裸露地區可達到的精度;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。

規範訂定高程精度 a 為 0.18 公尺。地形類別調整參數 b(公尺)及地表植被覆蓋情形調整參數 c(無單位),如表 4.12 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。

地形類	別 b	植被覆蓋類別 c		
平地	0.0	裸露地	0.0	
丘陵	0.2	植生地	0.2	
山地	0.5	林地	0.3	
陡峭山地	1.0	密林地	0.5	

表 4.12 地形類別與地表植被覆蓋類別調整參數對照表

4-6-3 精度評估與分析

1. 基本精度分析

對於點雲成果進行基本精度分析,利用檢核點附近之三個最鄰近地面網格點內插其高程後與此檢核點高程比較而得出其較差值(即成果高程減

檢核高程)。輸出資訊有「平均高差」為所有用以計算點高差量平均值;「最大、最小高差」分別指所有計算的點位中高差量之最小與最大值;「平均絕對高差」為用以計算點高差絕對值的平均值;標準偏差公式(式 4.2)如下:

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \overline{D})^2}{n - 1}}$$
 (£ 4.2)

而誤差分佈的離散程度之均方根誤差所使用之公式為式 4.3:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i)^2}{n}}$$
 (\$\frac{\frac{1}{2}}{4.3}\$)

其中σ為規範值,而Di為檢定值Xi與擬真值Yi之差值。

透過了解測區內檢核點的最大高差、最小高差以及均方根誤差,可以知道資料離散程度及準確度。此種初步檢驗考慮到每個樣本在統計上都具有代表性,基本精度評估之描述性統計值如下表。

表 4.13 低海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表(単位:公尺)							
土地覆	檢核	平均高差	最大高差	最小高差	平均絕對	標準	均方根
蓋類型	點數	十均同左	取八回左	取小回左	高差	偏差	誤差
裸露地	32	-0.027	0.088	-0.137	0.064	0.07	0.08
矮植被	32	0.054	0.167	-0.073	0.081	0.08	0.09
植生地	30	0.054	0.227	-0.141	0.093	0.10	0.11
林地	31	-0.018	0.243	-0.367	0.119	0.16	0.16
都會區	32	0.001	0.129	-0.167	0.064	0.08	0.08
濕地	31	-0.014	0.142	-0.164	0.070	0.08	0.08
横斷面	65	-0.038	0.137	-0.166	0.065	0.07	0.08

表 4.13 低海拔各類土地覆蓋分區基本精度分析表(單位:公尺)

	农 4.14	下向体极合短上地覆盖为		7 四至平相 /	支刀 们 农(牛)	世.公人)	
土地覆	檢核	平均高差	最大高差	最小高差	平均絕對	標準	均方根
蓋類型	點數	十均向左	取入向左	取小向左	高差	偏差	誤差
裸露地	33	-0.007	0.165	-0.128	0.054	0.07	0.07
矮植被	31	0.043	0.307	-0.121	0.087	0.11	0.12
植生地	33	0.116	0.296	-0.109	0.134	0.11	0.16
林地	30	-0.024	0.259	-0.380	0.109	0.14	0.14
密林	30	-0.012	0.375	-0.344	0.126	0.17	0.17
横斷面	40	0.029	0.160	-0.107	0.071	0.08	0.08

^{*}數值皆取到小數點以下 3 位,第 4 位以四捨五入計算,唯標準偏差與均方根誤差取到小數點下 2 位,第 3 位以四捨五入計算

透過圖 4.42~圖 4.56 呈現不同土地覆蓋類型之高程較差都符合精度規範,圖表縱軸為成果高程(Z2)與檢核高程(Z1)之較差單位為公尺,橫軸為檢核點流水編碼,藍色折線即為各點高程較差,各點對應之精度規範區間為紅色折線以及綠色折線。而藍色折線皆位於紅色折線與綠色折線之間,顯示高程差值在精度規範(σ)內,皆可通過σ檢驗,不合格點數為零,高程較差之均方根誤差通過σ檢驗。

於橫斷面圖表橫軸為斷面流水號碼,由序號小至大分別對應自東到西之各橫斷面,各橫斷面檢核點精度成果由北往南依序排列。本計畫檢核點於嚴苛之地形如矮植被、林地及密林皆表現良好。

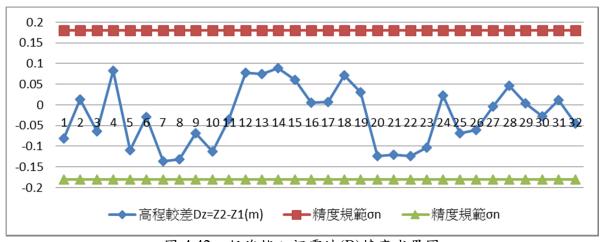


圖 4.42 低海拔之裸露地(B)精度成果圖

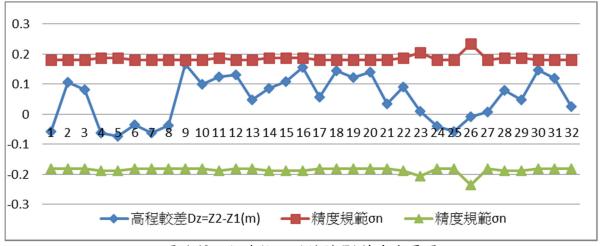


圖 4.43 低海拔之矮植被(L)精度成果圖

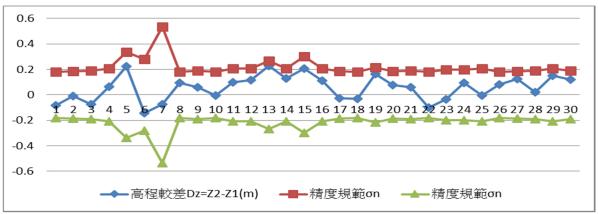


圖 4.44 低海拔之植生地(V)精度成果圖

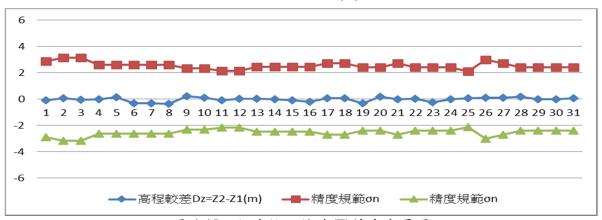


圖 4.45 低海拔之林地(F)精度成果圖

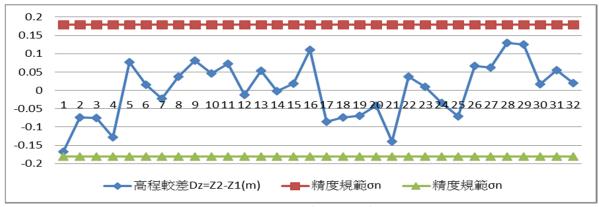


圖 4.46 低海拔之都會區(U)精度成果圖

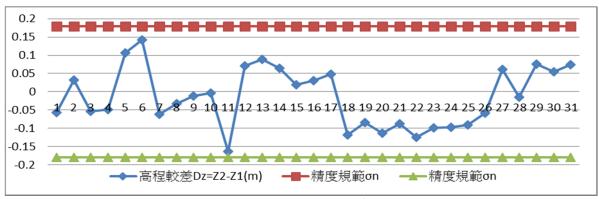


圖 4.47 低海拔之濕地(W)精度成果圖

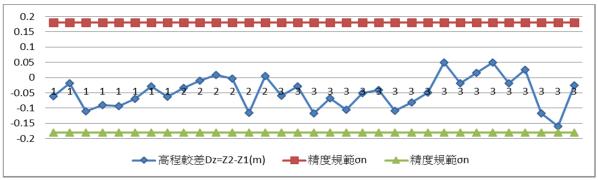


圖 4.48 低海拔之橫斷面(S)精度成果圖-1

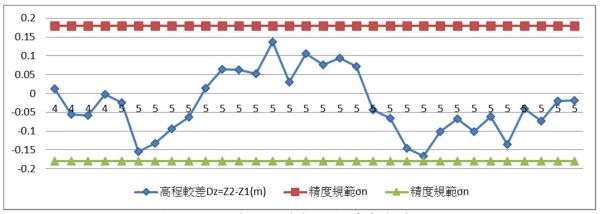


圖 4.49 低海拔之橫斷面(S)精度成果圖-2

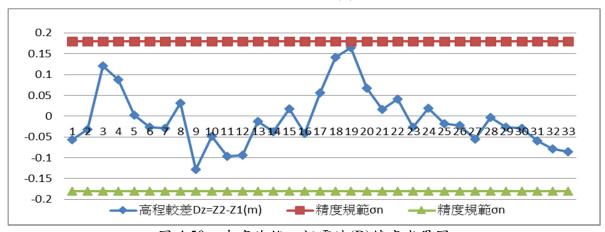


圖 4.50 中高海拔之裸露地(B)精度成果圖

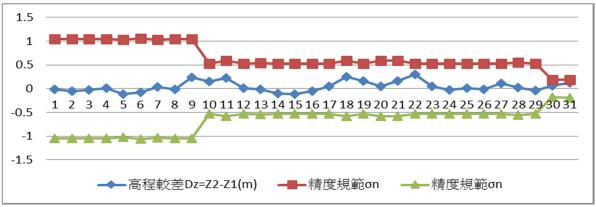


圖 4.51 中高海拔之矮植被(L)精度成果圖

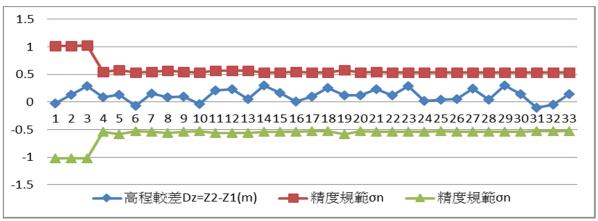


圖 4.52 中高海拔之植生地(V)精度成果圖

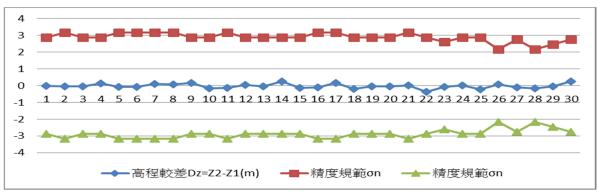


圖 4.53 中高海拔之林地(F)精度成果圖

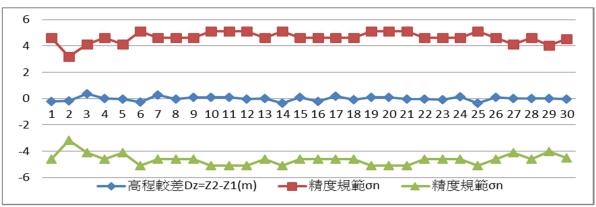


圖 4.54 中高低海拔之密林(D)精度成果圖

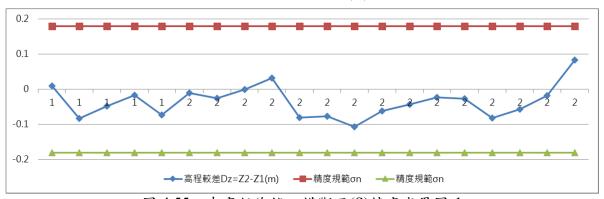


圖 4.55 中高低海拔之橫斷面(S)精度成果圖-1

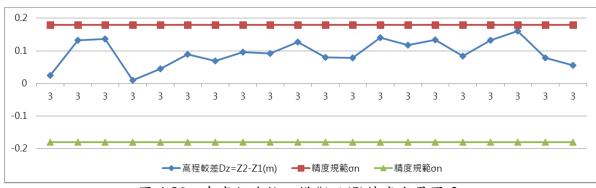


圖 4.56 中高低海拔之橫斷面(S)精度成果圖-2

2. 中央集中趨勢分析(Central Tendency)

集中趨勢顯示一組資料中某種特性共同趨勢之量數,因其可反映資料觀測值之集中位置,故又稱位置量數(location measure)。在無誤差之下,資料會呈現對稱的常態分布(即平均值等於中位數,樣本分布偏度為零),故通常可採用平均數、中位數作為衡量指標。而依據高程較差的平均數和中位數之誤差大小可發現,算數平均數大者,則可能存在系統性誤差。根據表4.15數值精度中央集中趨勢表分析,了解測區內高海拔與低海拔之各種土地覆蓋的高差值,其算數平均值與中位數雖不相等,但其差量皆在4公分內,唯有高海拔植生地之誤差量較大,以統計意涵而言,雖然中央集中趨勢在於初步檢驗是否可能存在系統性誤差問題,以實務之經驗,此點雲之成果誤差量已為低誤差,甚至在部分類別其誤差大小幾近為0,代表此測量值已近乎真值。為理解其誤差分布的統計意涵,最後在使用獨立檢核檢地抽樣評估瞭解其誤差在統計上的表現。

	秋 4.1.	1 四两级数围相及	. 1 六 朱 1 趣 为 万 桁	衣(平位,公人)
	土地覆蓋類型	平均值(M1)	中位數(M2)	誤差大小(M1-M2)
ĺ	裸露地	-0.027	-0.028	0.001
	矮植被	0.054	0.068	-0.015
	植生地	0.054	0.071	-0.017
	林地	-0.018	0.011	-0.029
ĺ	都會區	0.001	0.017	-0.015
ĺ	濕地	-0.014	-0.015	0.001
ĺ	横斷面	-0.038	-0.043	0.005
•				

表 4.15 低海拔數值精度中央集中趨勢分析表(單位:公尺)

註:數值皆取到小數點以下3位,第4位以四捨五入計算

土地覆蓋類型	平均值(M1)	中位數(M2)	誤差大小(M1-M2)
裸露地	-0.007	-0.026	0.019
矮植被	0.043	0.010	0.033
植生地	0.116	0.121	-0.005
林地	-0.024	-0.040	0.015
密林	-0.012	-0.008	-0.004
横斷面	0.029	0.028	0.001

表 4.16 中高海拔數值精度中央集中趨勢分析表(單位:公尺)

註:數值皆取到小數點以下3位,第4位以四捨五入計算

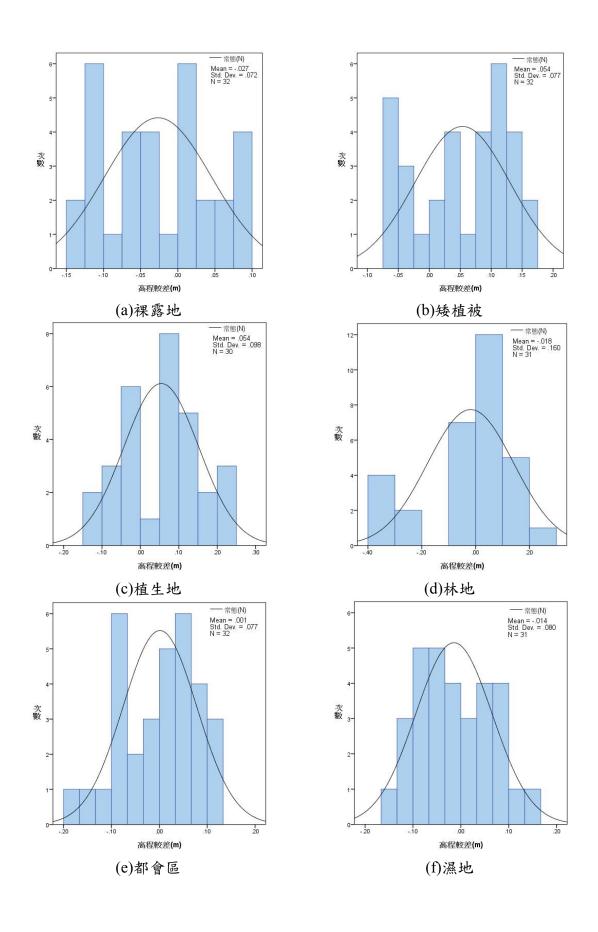
3. 數值精度偏態(Skewness)檢驗

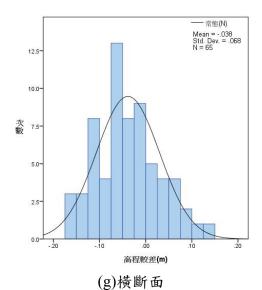
在使用一組資料分析與統計前,應對資料特性有充分足夠瞭解,以確認數據資料能滿足基本假定,才能確保統計的推論正確性,當假定不成立時(資料的偏態異於常態時),將致使參數估計之標準偏差(standard error)與顯著性檢定(t-value)造成偏誤,嚴重時會導致估計結果的顯著性檢驗失敗(Hu & Bentler, 1995; West, Finch, & Curran, 1995)。

依「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)」中,所要檢查之偏態重點為測量誤差是否導致在直方圖上出現嚴重的雙峰圖形。本測區偏態檢驗各由高海拔與低海拔之不同土地覆蓋區域組成,其高程較差的數值之偏態如表 4.17,由結果顯示研究區內皆未出現較大偏態現象,且經由了解各種土地覆蓋類型的誤差直方圖(圖 4.57 及圖 4.58)中並未發現有雙峰圖形出現,可知此部分結果亦符合內政部草案所要求合理檢驗範圍內。

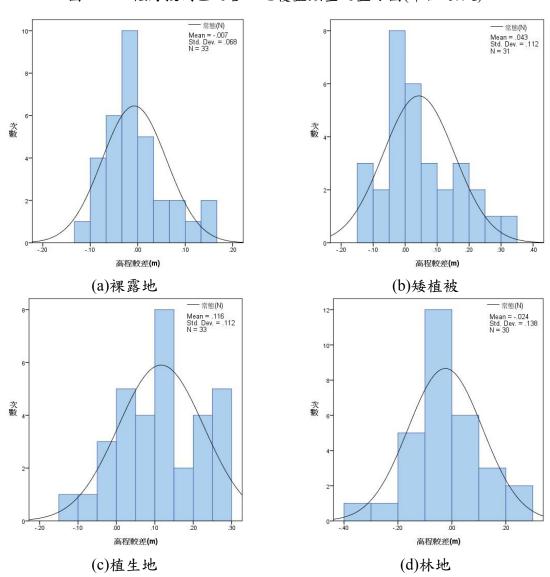
	衣 4.17	1从1人和女(且们)	支備怨微微衣(牛)	五. ム 八)	
	低海拔			中高海拔	
土地覆蓋類型	檢核 點數	偏態 (skewness)	土地覆蓋類型	檢核 點數	偏態 (skewness)
裸露地	32	0.025	裸露地	33	0.817
矮植被	32	-0.286	矮植被	31	0.730
植生地	30	-0.142	植生地	33	-0.055
林地	31	-0.822	林地	30	0.052
都會區	32	-0.368	密林	30	-0.051
濕地	31	0.071	横斷面	40	-0.034
横斷面	65	0.353			

表 4.17 檢核點數值精度偏態檢驗表(單位:公尺)





低海拔測區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位:公尺) 圖 4.57



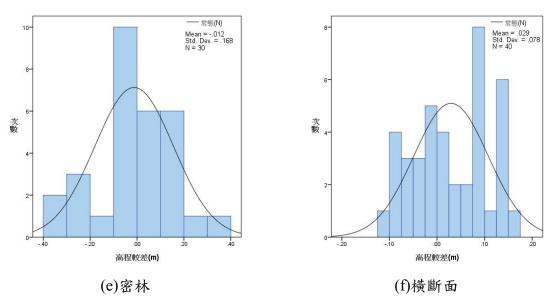


圖 4.58 中高海拔測區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位:公尺)

4. 檢驗值與被檢驗值假設檢定

除了敘述性統計的呈現,類別變項的資料可進一步使用卡方檢驗(chisquare test)來進行推論統計檢定,其檢驗原理在於檢驗樣本觀察次數與理論母群體的次數(或百分比)之間是否有顯著的差異。而卡方檢驗可針對不同群體或不同變項其分配、兩變項關聯性、同質性等關係,進行不同方法之檢驗。本研究在此使用規範內之卡方分配進行假設檢定,以了解檢驗值與被檢驗值之間的關係。

本測試區 DEM 精度評估,對其測區內每種土地覆蓋施測內容之檢核高程和成果高程進行卡方分布的檢定,以了解其成果的數值是否可視為擬真值。以內政部空載測製數值地形模型標準作業規範(101年)之檢定方式進行。

計算由檢定值與被檢定值的差值計算差值變方的估值(式 4.3)

$$S_D^2 = \frac{\sum (D_i - \overline{D})^2}{n-1}$$
 (式 4.3)

由檢定值中誤差 σ_c (若無理論值,則只得用估值)及被檢定值規範的中誤差 σ ,依誤差傳播計算差值標準偏差的理論值 σ_D (式 4.4)

$$\sigma_D^2 = \sigma_C^2 + \sigma^2 \quad (\vec{x}, 4.4)$$

其中因檢核點係由 VBS-RTK 測設,因此設定檢定值中誤差 σc 為高程

精度20公分,其中σ為內政部規範容許精度值。則可對下列運算式(式4.5) 進行檢定,α為檢定的顯著水準(內政部規範中之95%信賴水準區間)。

$$\frac{(n-1)S_D^2}{\sigma_D^2} < \chi_{n-1,\alpha}^2 \quad (\text{£ 4.5})$$

基於上述數學運算式,目的是為了對差值的標準偏差進行檢定,對於檢定值(檢定值與被檢定值的差值計算之差值變方的估值)與被檢定值(差值標準偏差理論值)之研究假設如下:

$$H0: S_D^2 \leq \sigma_D^2$$

$$H1: S_D^2 > \sigma_D^2$$
 (式 4.6)

經由(式 4.5)進行最後檢驗,其結果如上式表示 $\frac{(n-1)S_D^2}{\sigma_D^2} \le \chi_{n-1,\alpha}^2$,則代表接受 H0,也就是檢定值與被檢定值的差值計算之差值變方的估值(S_D^2)與其理論值(σ_D^2)沒有太大顯著性差異。

根據卡方檢定結果(表 4.18),可發現各種土地覆蓋類型之檢核高程本身的誤差以及檢定值中的誤差相較,皆為接受 H₀,代表本測區之高海拔與低海拔之不同土地覆蓋類型之 DEM 具有良好的精度。

土地覆蓋類型	S_D^2	$\frac{(n-1)S_D^2}{\sigma_D^2}$	$\chi^2_{n-1,\alpha}$	檢驗
裸露地	0.005	2.923	19.281	接受 H ₀
矮植被	0.006	4.519	19.281	接受 H ₀
植生地	0.010	4.855	17.708	接受 H ₀
林地	0.026	0.119	18.493	接受 H ₀
都會區	0.006	4.805	19.281	接受 H ₀
濕地	0.006	4.952	18.493	接受 H ₀
横斷面	0.005	8.089	46.595	接受 H ₀

表 4.18 低海拔 DEM 數值適合度檢驗

表 4.19 中高海拔 DEM 數值適合度檢驗

土地覆蓋類型	S_D^2	$\frac{(n-1)S_D^2}{\sigma_D^2}$	$\chi^2_{n-1,lpha}$	檢驗
裸露地	0.005	3.996	20.072	接受 H ₀
矮植被	0.012	0.817	18.493	接受 H ₀
植生地	0.012	1.118	20.072	接受 H ₀
林地	0.019	0.066	17.708	接受 H ₀
密林	0.028	0.038	17.708	接受 H ₀
横斷面	0.006	6.203	25.695	接受 H ₀

第五章 正射影像製作

本計畫採用空載光達掃瞄作業搭配數位相機同時拍攝,達成高效率拍攝進度,產製地形資料以協助後續運用與製作,針對本次攝影之作業規範需求及前述針對各作業區域特性所規劃之飛航航線,進行航空攝影工作, 正射影像製作流程如下。

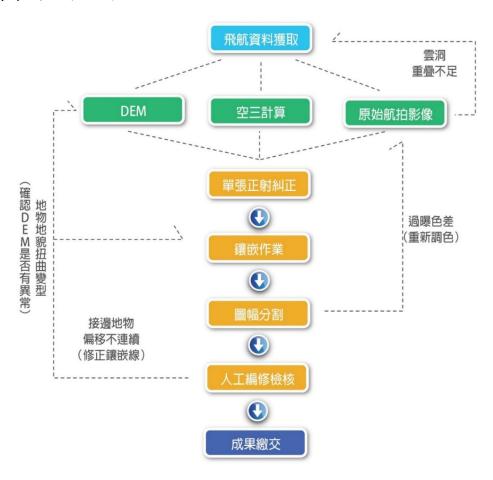


圖 5.1 正射影像製作流程圖

§5-1 作業區航拍工作

按航線規劃於光達掃瞄同時進行作業區域航拍工作,本計畫採用 Phase One iXU-RS-1000 數位相機,規格符合規範要求(如表 2.1 及表 5.1)。校正飛航已於 110 年 3 月 1 日執行,並於同年 3 月 17 日通過中像幅像機校正(報告編號 F202101040201),校正報告書如附件三所示。飛航規劃即考量航拍攝影參數,使航攝像片時航向重疊大於 85%,側向重疊大於 50%,影像地

面解析度優於 25 公分,皆符合契約規範。攝影設備藉由 GNSS/IMU 的輔助,機上操控人員可隨時掌握飛航情形,評估蒐集之資料品質及影像重疊率等資訊,面對任何突發狀況,都能立即應變。為獲得最大的掃瞄面積和最多有效之航拍影像,航線規劃時掃瞄時間參考中央氣象局天後預報資料。飛航待命期間,監看測區即時影像和搭配天氣雲圖把握天氣晴朗能見度佳之天氣進行掃瞄。

	次 J.1 个时效和 崩 /处 轮				
項目	說明				
數位式攝影機類型	採用精密測圖用之數位式攝影機				
攝影機感應器尺寸	應大於 24 mm × 36 mm				
影像成果位元深度	24 位元自然彩色影像(紅、綠、藍各波段均為 8 位元)				
校正報告品保參據	具有最近2年內 TAF 認證				

表 5.1 相機相關規範

本計畫累積航拍 32 架次,合計使用影像為 22,646 張進行後續處理,以 航空攝影涵蓋圖展示各單張像片於測區位置如圖 5.2。

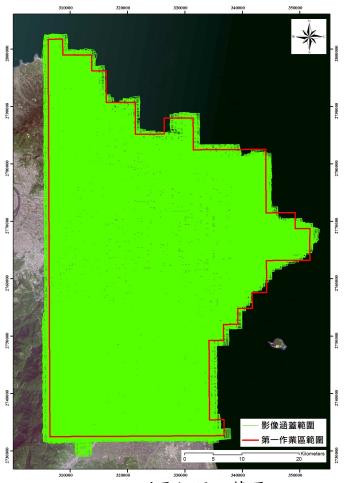


圖 5.2 測區航照涵蓋圖

§5-2 航拍影像處理

原始影像為壓縮影像檔,透過PHASE ONE 公司發展之 CaptureOne 軟體進行影像處理,可執行影像轉檔、影像增揚與色調調整等功能,繼而轉出成可見光影像,使正射影像顯示之地物與原本天然色彩一致,並減少不同拍攝時間影像色調不一致的現象。後續以 CaptureOne 軟體及 Photoshop 軟體進行色調處理,供正射影像製作使用,操作示意圖如圖 5.3。同時於此步驟時依監審方提供之樣張調整色調,降低不同測區間色調差異。

單一架次影像調整時,由於陽光照射方向或航線等因素影響,無法以相 同參數一次調整所有影像,須以分區方式進行以下調整,追求色調調整最 佳結果,同理亦運用於不同架次間。

- (1) 白平衡處理—選取影像中灰色像元,利用 CaptureOne 軟體平衡 RGB 強度功能,重新轉出影像。
- (2) 亮度與對比度設定—針對同區域不同航帶之影像進行參數調整,使 各影像間亮度與對比接近一致。
- (3) 飽和度與色彩調和—以影像色調將影像分區,批次以適用之參數調整飽和度與色度。
- (4) 色調參數—若色調經以上步驟調整後仍與理想有偏差,再針對其特性利用其他色調參數修正之。

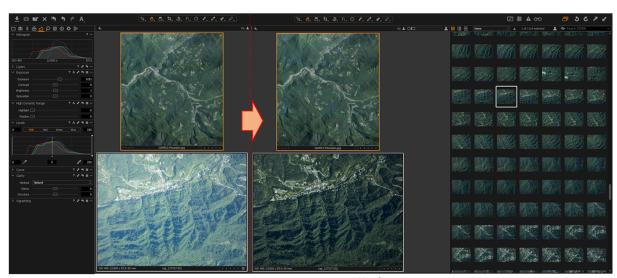


圖 5.3 影像色調調整情形

§5-3 空中三角測量

以 GNSS 與 IMU, 搭配數位量測相機,利用記錄啟動快門時所送出的脈衝信號事件(Event mark)之瞬間,並分別利用 GNSS 求得拍攝瞬間的飛機位置坐標及 IMU 資料求得拍攝瞬間的姿態參數,此可作為數位影像投影中心點外方位參數資料來源,配合裝機後之安置角率定以去除攝影中心與IMU 之系統性角度偏差,如此利用 GNSS/IMU 資料可直接求得影像外方位元素。此精確之影像外方位為初始值進行空中三角測量作業,可加速及應用航標為檢核點進行成果精度評估,並據以獲得良好及可靠之空三成果以進行後續作業。

5-3-1 空三分區

因測區面積廣闊飛 航架次涵蓋約 9 月之 久,為能階段性進行影 像內業,故採分區方式 配合飛航進度進行空三 作業,共分為15個空三 分區,各測區四角均有 漆標全控點,且分區重 疊至少二組像對或一條 航線,以確保各分區空 三計算成果一致性。於 各分區內均勻布設檢核 點共20點,不加入空三 平差計算僅用於檢核空 三成果符合契約規範。 本計畫空三分區與控制 點分布如圖 5.4 所示。

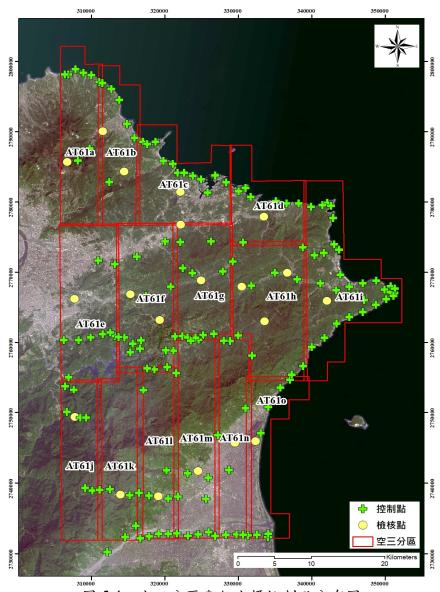


圖 5.4 空三分區與航空標控制點分布圖

5-3-2 空中三角平差作業

空中三角測量採用 Intergraph ISAT (ImageStation Automatic Triangulation)軟體執行光束法平差,採自動化匹配影像特徵點,特徵點均勻分布於各影像,剔除匹配不佳之特徵點後,萃取出每張影像之連結點(Tie Point 與 Pass Point)。若有連結點分布不均形成網形不足區(Weak Area),再以人工匹配特徵點的方式補足。

以網形均勻之連結點進行空三平差計算,過程中可根據統計報表中,連結點向量殘差值判斷其是否為正確匹配特徵點,新增或刪除連結點。反覆進行上述偵錯程序,直至所有點的殘差值都在要求精度範圍內,完成自由網平差。接著加入航測標地面控制點約制網形進行強制附合平差,完成空三,輸出所有影像之外方位參數,空三成果與觀測量統計表如表 5.2 所示,其中因各分區航帶有重疊,相片數加總會略大於空三成果總張數。全數檢核點計算得到之平面及高程坐標均方根誤差值並依像片比例尺換算至像片坐標上,小於連結點中誤差的 3 倍。並於外方位成果解算後實際上機檢查立體像對模型正確,如圖 5.8 所示。

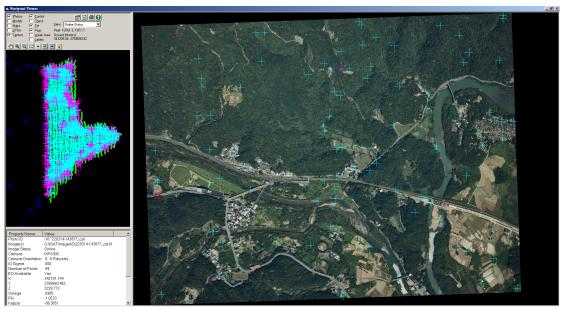


圖 5.5 測區連結點匹配示意圖

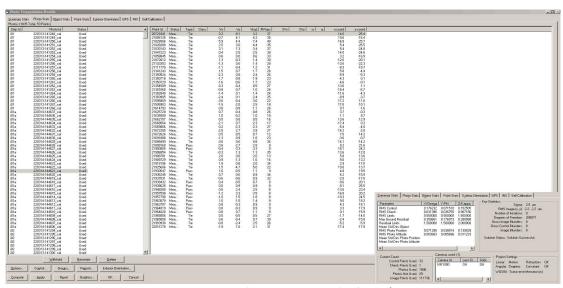


圖 5.6 空三連結點及空三報表示意圖

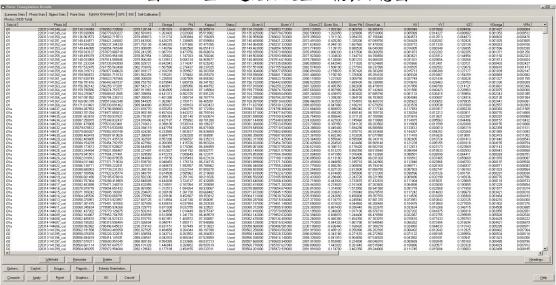


圖 5.7 空三後外方位改正數示意圖

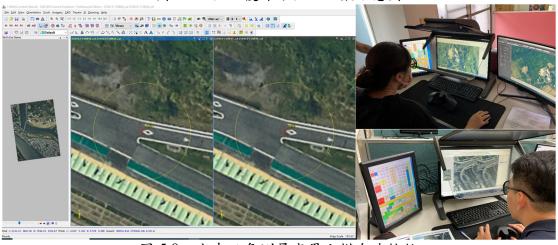


圖 5.8 空中三角測量成果上模自我檢核

表 5.2 空三平差成果統計表

	农 5.2 工一															
		ATA	ATB	ATC	ATD	ATE	ATF	ATG	ATH	ATI	ATJ	ATK	ATL	ATM	ATN	ATO
航測觀測 值統計	2重點	30	6	5	4	5	18	5	27	134	11	115	22	7	46	1
	3重點	46	26	57	56	18	53	25	47	105	28	75	30	28	27	26
	4重點	116	33	39	42	34	38	64	39	90	57	82	46	39	82	27
	5重點	67	32	52	36	22	30	30	79	90	62	131	91	52	96	21
	6重點	111	34	44	51	17	14	46	82	120	69	216	115	52	72	38
	7重點	114	74	53	84	38	78	98	162	93	103	221	109	83	77	44
	8重點以上	3821	3181	3596	2547	3759	3327	3514	5025	4236	5203	2647	4103	4977	4369	1907
	總觀測數	183294	156682	213660	138027	204773	161580	155915	224634	208871	266809	94154	203024	268732	220793	124072
	總未知數	9141	10116	11502	8373	11583	17208	11277	16332	14601	16569	10254	13494	15636	17109	6096
	多餘觀測量	172014	166798	225162	146400	216356	178788	167192	240966	223472	283378	104408	216518	284368	237902	130168
	影像張數	1662	1552	1762	1246	2058	1836	1653	2274	1806	2199	1089	1874	2634	2129	1280
控制點 中誤差	全 點數	10	9	12	10	12	21	18	17	33	10	7	18	25	16	11
	控 RMSX(m)	0.155	0.152	0.216	0.182	0.158	0.267	0.128	0.232	0.176	0.097	0.008	0.383	0.196	0.172	0.173
	點 RMSY(m)	0.087	0.071	0.203	0.094	0.031	0.111	0.061	0.135	0.071	0.065	0.005	0.208	0.103	0.102	0.065
	檢 點數	2	2	1	1	1	4	2	3	1	1	1	1	3	2	1
	核 RMSX(m)	0.327	0.114	0.015	0.310	0.045	0.341	0.140	0.287	0.031	0.068	0.024	0.259	0.246	0.344	0.046
	點 RMSY(m)	0.154	0.083	0.103	0.013	0.095	0.072	0.202	0.033	0.036	0.104	0.102	0.114	0.131	0.160	0.062
X連結點量測中誤差(m)		0.109	0.021	0.150	0.036	0.108	0.181	0.088	0.092	0.123	0.094	0.114	0.095	0.170	0.012	0.099
Y連結點量測中誤差(m)		0.193	0.158	0.104	0.065	0.083	0.138	0.041	0.133	0.127	0.188	0.127	0.142	0.027	0.095	0.041
自由網中誤差(um)		2.3	2.3	2.4	2.3	2.0	1.9	1.9	2.0	2.1	2.5	2.3	2.2	2.5	1.9	2.1
強制網中誤差(um)		2.9	2.7	2.8	2.8	2.4	2.4	2.4	2.7	2.5	2.5	2.8	2.8	2.6	2.4	2.5
平均多餘觀測數 (符合規範≧0.7)		0.933	0.939	0.948	0.942	0.946	0.903	0.932	0.932	0.934	0.941	0.901	0.937	0.940	0.928	0.953
連結點平均光線數 (符合規範≧7)		22.619	24.877	29.285	26.107	27.904	15.539	22.166	22.068	22.881	25.748	15.212	24.162	25.101	20.910	32.598
連結點強度指標 (符合規範≧0.3)		0.902	0.939	0.935	0.903	0.964	0.720	0.928	0.920	0.871	0.940	0.770	0.908	0.890	0.763	0.933

§5-4 彩色無縫鑲嵌正射影像製作

1. 正射影像產製

(1)單張影像正射糾正

影像經過色調調整後,搭配空三解算之影像外方位參數,以及光達資料 產製之數值高程模型(DEM),便可針對所拍攝的影像作進行單張影像正射 糾正,使影像具有絕對坐標資訊。

(2)正射影像鑲嵌

再以全區方式進行鑲嵌作業,維持每個正射影像像元位置精確。確實的 色調調整,可避免鑲嵌作業時圖幅間產生明顯之接痕如圖 5.9。



(a)色差調整前鑲嵌處色差大

(b)色差調整後鑲嵌處色調一致

圖 5.9 色差調整前後示意圖

(3) 圖幅分割

於單幅正射影像圖適當邊界進行裁切,此步驟需保持單張圖幅邊緣像 元之完整性,達到無縫鑲嵌正射影像圖之目標。

2. 重要意義的基礎建設高差位移糾正

本年度規範新增正射影像連續地物合理性要求,除以往要求之地貌地 物完整性且無扭曲變形外,對地圖判讀有重要意義的基礎建設必須糾正高 差位移,如鐵、公路和橋梁。於高差位移區域需使用光達資料產製之數值 地表模型(DSM),進行影像正射糾正。正射糾正位置參考貴中心提供之臺灣 通用電子地圖相關圖層,包含道路、橋梁、立體道路、高鐵、臺鐵,正射糾 正內容不只電子地圖高架路段,包含一般橋梁皆使用地表模型進行正射糾 正。並於糾正後藉由點雲強度圖確認正射糾正成果符合實際位置,包含邊 緣線與標線位置都需正確。



(a)高架道路高差位移糾正前



(b)高架道路高差位移糾正前

(c)涉及高架道路高差位移糾正圖幅分布

圖 5.10 高架道路高差位移糾正示意圖

3. 正射影像編修

利用上述之作業方法產出正射影像後,逐圖幅方式進行正射影像編修, 排除鑲嵌線設計不佳、局部色調偏差、陰影區過大以及正射糾正後地物扭 曲或錯移之情形圖 5.11。由作業人員填寫自主檢查表方式進行品管,經過 修正後再由專案負責人複驗,確保正射影像品質。完成之正射影像如圖 5.12 和圖 5.13 所示,第 1 作業區共 285 幅 1/5000 正射影像如圖 5.14,而其中為 求國土陸域完整以及承諾加執事項(龜山島圖幅)共加值 6 幅正射影像產製。



(a)房屋扭曲修正前



(b)房屋扭曲修正後



(a)道路錯移修正前



(b)道路錯移修正後

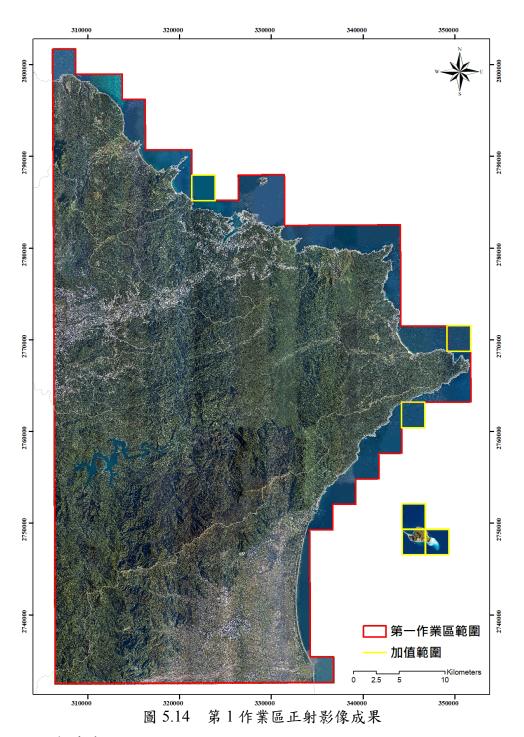
圖 5.11 正射影像編修示意圖



圖 5.12 平地正射影像成果圖(96232079)



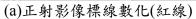
圖 5.13 山區正射影像成果圖(97234092)



4. 正射影像精度檢核

糾正成果再利用點雲強度值影像,對於明顯之標線進行平面位置比對,確保影像平面坐標無明顯系統偏差,檢核示意圖如圖 5.15。並可再次藉影像檢核點(靜態 GNSS 控制點)進行精度檢核,經量測後偏差量皆小於 0.5 公尺,檢核示意圖與控制點差值如圖 5.16 與表 5.3。







(b)點雲強度影像標線數化(黃線)

圖 5.15 正射影像點雲強度檢核示意圖



圖 5.16 影像檢核點檢核示意圖 表 5.3 平面控制點檢核影像差值表(單位:公尺)

點號	空三	平面控制點坐標		影像量測屋角點坐標		E方向	N方向	平面
志山 幼 儿	分區	Е	N	Е	N	差量	差量	差量
61-0040C	AT61G	322184.436	2776729.674	322184.677	2776729.751	-0.241	-0.076	0.253
61-0041C	AT61D	333485.259	2777863.319	333484.999	2777863.351	0.260	-0.032	0.262
61-0042C	AT61E	307706.686	2766163.733	307706.680	2766163.759	0.006	-0.025	0.026
61-0043C	AT61F	315327.875	2766860.114	315327.885	2766860.141	-0.009	-0.027	0.028
61-0044C	AT61F	319301.081	2763200.105	319300.622	2763200.070	0.459	0.035	0.460
61-0045C	AT61G	324921.647	2768806.216	324921.542	2768806.151	0.105	0.065	0.124
61-0046C	AT61H	330464.201	2767936.879	330464.537	2767937.030	-0.336	-0.151	0.368
61-0047C	AT61H	336674.166	2769900.547	336673.681	2769900.623	0.485	-0.076	0.491
61-0048C	AT61H	333565.058	2763013.701	333565.135	2763013.645	-0.077	0.056	0.095
61-0049C	AT61I	342070.318	2765899.833	342070.349	2765899.887	-0.031	-0.054	0.062
61-0050C	AT61J	307723.887	2749322.147	307723.908	2749322.217	-0.021	-0.070	0.073

點號	空三分區	平面控制點坐標		影像量測屋角點坐標		E方向	N方向	平面
志山 3 近		Е	N	Е	N	差量	差量	差量
61-0055C	AT610	332348.018	2745884.683	332347.867	2745884.633	0.151	0.050	0.159
61-0056C	AT61A	306705.249	2785671.011	306705.336	2785670.898	-0.087	0.113	0.142
61-0057C	AT61A	311539.575	2790034.650	311539.673	2790034.741	-0.098	-0.091	0.134
61-0058C	AT61B	314464.217	2784293.558	314464.162	2784293.605	0.055	-0.047	0.072
61-0059C	AT61C	322116.106	2781409.471	322116.334	2781409.678	-0.228	-0.207	0.308
61-0051A	AT61K	313939.767	2738321.092	313939.900	2738321.191	-0.133	-0.099	0.166
61-0052A	AT61L	320224.790	2741744.426	320224.594	2741744.448	0.196	-0.022	0.197
61-0175A	AT61M	324492.947	2741660.535	324492.861	2741660.560	0.086	-0.025	0.090
61-0178A	AT61N	328734.674	2741832.759	328734.762	2741832.691	-0.133	-0.099	0.166
平面差量最大值		0.4	191	平面差量標準偏差		0.135		
平面差量最小值		0.026		平面差量均方根差		0.226		
平市	面差量平	均值	0.1	84				

5. 水線產製

空載光達點雲因雷射光被水體吸收之特性,於水體區域記錄非正確之高程資訊,屬不合理之點雲,需加以排除不列入後續內插產製數值地形模型所用。本計畫利用產製之25公分解析度正射影像成果,進行人工數化水體邊緣線、沙洲線及海岸線,將水體區域內之地面點雲分類為水體類別,水域線成果示意如圖5.17所示。



(a)水體線套疊正射影像

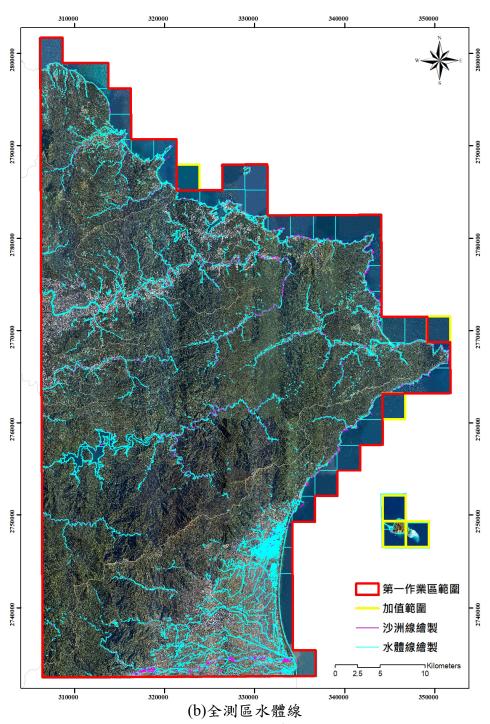


圖 5.17 水體繪製成果

6. 正射影像詮釋資料製作

正射影像產製完成後需依照詮釋資料標準(NGISTD-ANC-002-2011.12) 進行詮釋資料產製,紀錄案名、生產目的、坐標系統、影像格式、品質檢查 報告及相關權責機關和生產單位等相關資料,並分別詳述正射影像圖號、 圖名、涵蓋之縣市鄉鎮、範圍、影像獲取時間等圖幅基本資料。



圖 5.18 TGOS 詮釋資料編輯系統 2.0 操作畫面

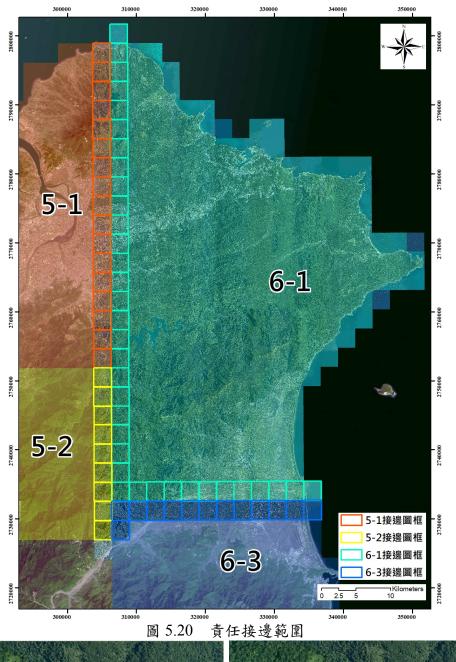
7. 原始影像遮密



圖 5.19 原始影像遮密作業

§5-5 正射影像外部接邊

今年度三作業區皆為相鄰,經工作會議討論責任接邊分配,本作業區主要負責 111 年度第 1 作業區與 110 年度第 1 作業區之間、110 年度第 2 作業區與 111 年度第 3 作業區,共 75 幅之責任接邊,範圍如圖 5.20,需接邊之圖幅成果包含 DEM、DSM 和正射影像,數值地形網格成果接邊做法參考章節 4-5-3。於各作業區正射影像產製完成,且經監審方判定合格後交換相鄰圖幅予負責廠商。正射影像接邊以保持地形連續為原則調整接邊線,並於色調調整後重新鑲嵌正射影像,接邊示意圖如圖 5.21。



· □ 3.20 頁任接遼東圍

圖 5.21 正射影像接邊成果示意圖

(a)影像外部接邊前示意

(b)影像外部接邊後示意

第六章 成本分析

依計畫期程逐期完成之工作項目,包含空載雷射掃瞄飛航計畫規劃與申請、地面 GNSS 基地站控制測量、空載雷射掃瞄施測資料獲取、雷射掃瞄點雲資料處理、數值地表模型(DSM)與數值高程模型(DEM)製作、正高改算、人工檢核與編修及圖幅鑲嵌處理、正射影像製作等工作,成本分析如表 6.1,各項成本分析如下所述。

1. 作業計畫與飛航掃描規劃

為確保航線成果符合本計畫規範,本測區依地形高度變化規劃不同飛航掃瞄參數設計進行作業,透過嚴密的航線規劃與整體完善作業計畫,方可有效率完成飛航掃瞄。

2. 地面 GNSS 基地站控制測量

本公司為符合解算高精度軌跡,執行案件前確保基站與航線在20公里內,本測區採用既有連續站進行資料申購與整理。針對本案所需之航帶平差控制點經過嚴謹計算後獲得平差控制點坐標。

3. 空載雷射掃瞄施測資料獲取

本項目涵蓋飛航載台租賃費、空載雷射掃瞄儀設備折舊費與資料獲取費。資料取得費用考量飛航作業受到天氣與管制影響,且須滿足點密度與重疊率,除了需要專人待命飛航執行費用外,也包含飛機租賃費用及光達與數位相機設備航拍作業儀器折舊費用。

4. 雷射掃瞄點雲資料處理

資料處理包含各架次軌跡解算、點雲原始資料處理與航帶平差等工作, 此工作需要專業人力且富有地形編修經驗之能力。點雲編修則需具地形編 修經驗專業人力投入。

5. 圖幅成果產製及圖幅鑲嵌處理與接邊

點雲品管亦需具地形編修經驗專業人力投入,透過檢核確認處理無誤

方可進行幅產製成果及進行圖幅接邊處理。正射影像製作與水線繪製需專業人力投入,透過檢核確認處理無誤方可進行幅產製成果及進行圖幅接邊 處理。

6. 各項報告書

本公司為達成案件順利進行,投入具經驗與協調之專任工程師作為甲 丙方聯繫窗口,並配合參與不定期會議與文書撰寫與說明。

	工作項目	單位	數量	單價	總價
_	工作計畫書及空載雷射掃瞄飛航計畫 規劃與申請	人月	0.5	\$72,000	\$36,000
=	地面 GPS 基地站控制測量				
2.1	地面 GPS 基地站勘選.維護.收集.處理	人月	0.5	\$72,000	\$36,000
2.2	平差控制點選點與測量	人月	16	\$72,000	\$1,152,000
Ξ	空載雷射掃瞄施測資料獲取	架次	32	\$465,000	\$14,880,000
四	雷射掃瞄點雲資料處理				
4.1	點雲資料前處理.解算.平差	人月	12	\$72,000	\$864,000
4.2	點雲資料過濾分類	人月	76	\$72,000	\$5,472,000
五	DEM、DSM 及正射影像製作、人工檢 核與編修及圖幅鑲嵌處理				
5.1	點雲品管及整合 DEM、DSM 製作	人月	26	\$72,000	\$1,872,000
5.2	正射影像製作與水線繪製	人月	62	\$72,000	\$4,464,000
六	圖幅接邊處理	人月	12	\$72,000	\$864,000
セ	行政管理費	人月	18	\$120,000	\$2,160,000
	\$31,800,000				

表 6.1 各項作業成本統計分析表

另外本計畫作業過程中遵守性別工作平等法,執行期間作業投入人數 統計如下表,落實性別平等。

作業項目	計畫管理與監督	資料收集與處理	品管檢核	報告撰寫與行政
男女作業 人員統計	2:2	17:16	5:2	3:3

表 6.2 作業人員性平等資訊統計

第七章 機敏資料管制

本公司對於資料和作業人員皆備有保全管制設備,除一般公司保全系 統外,入口設有人員管制。資料處理之辦公環境有電腦機房、作業人員門 禁系統和錄影監視系統,如圖 7.1 所示。



圖 7.1 工作環境照片

本公司遵守本案規範,關於機敏向量或影像資料,設立機敏資料室並由 專人負責造冊保管及存放於具安全防護功能之金屬箱櫃,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」等規定妥善使用。

機敏資料室具備門禁管制設備、監視器及無連接網路之作業專用電腦 及工作站。且使用機敏資料應填寫紀錄表,並於每月將相關記錄資料函送 貴中心,監視器影像資料留存至保固期結束。於工作完成後消除機敏資料, 並由貴中心派員確認,原交付之機敏資料儲存媒體則送回貴中心銷毀。



● 標示不可網路連線警語



● 作業電腦無連接網路線



圖 7.3 機敏資料使用記錄函文

圖 7.2 機敏作業電腦

第八章 檢討與建議

1. 結論

依計畫期程逐期完成之工作項目,包含空載雷射掃瞄飛航計畫規劃與申請、地面 GNSS 基地站控制測量、空載雷射掃瞄施測資料獲取、雷射掃瞄點雲資料處理、數值地表模型(DSM)與數值高程模型(DEM)製作、正高改算、人工檢核與編修及圖幅鑲嵌處理、空三計算、正射影像製作等工作。本團隊計畫範圍為第1作業區,計畫之初為確保航線成果符合本計畫規範,將本測區依地形分布規劃不同飛航掃瞄參數設計進行作業。

- (1) 為確保計畫使用之控制系統一致選擇基站與航線範圍應小於 20 公里之連續追蹤站,採申購測區附近既有 GNSS 追蹤站,委由監審方計算三日觀測量確保坐標成果一致性。此計畫中為提升點雲精度,分別於航帶上施測平差高程控制點為 178 點(包含航帶高程控制點 162 點與檢核點 16點);平差平面特徵控制點 31 點,作為光達點雲平差計算作業使用,另有空三測點 19 點提供輔助點雲平差檢核。
- (2) 累積飛航架次合計為 32 架次,飛航涵蓋面積約達 1,992 平方平方公里。 共執行約 256 條航線(含補飛),達本計畫規範所需之成果要求。
- (3) 以 SCOP++內插模式製作 1 公尺解析度 DEM/DSM 成果。
- (4) 土地類別檢核成果均能符合契約規定之高程精度標準:在 DEM 成果精度檢核部分,利用 VBS-RTK 及全測站經緯儀兩種方式,對不同土地覆蓋分區類型之現地實測高程進行 DEM 精度評估。
- (5) 第1作業區使用 22,646 張彩色影像,空三計算成果符合契約規範,並以指定格式繳交。正射影像成果均為與雷射點雲掃瞄同時拍攝之成果,並製作成 25 公分解析度之正射影像,其中對於鐵路、公路及橋梁進行點雲高程正射微分糾正,以消除高差移位影響。
- (6) 第 1 作業區共 285 幅 1/5000 圖幅成果,而其中為求國土陸域完整加值 3 幅沿海圖幅成果(DEM、DSM、正射影像),圖號:97221018、97232090、97233029;並完成承諾加值事項龜山島圖幅成果,共 3 幅圖幅 DEM、

DSM、正射影像成果,圖號:97221058、97221068、97221069。

(7) 工作效率提升與努力

● 確保航帶平差最佳品質

本計畫中為了確保航帶平差所採用的高程平差點精度優於光達系統高程誤差,所有可測之點位均採用靜態測量方式,即使山路不易進入也堅持耗時耗力的前往擺設,以期採用靜態測量方式提升平差控制點精度,少部分山路無法進入處,則使用空三成果,藉人工選取連結點方式,其類似航拍影像立體測量,取得特徵位置坐標值作為平差控制點以供後續光達點雲航帶平差檢核使用。

● 空中三角測量依規範執行

因應本案新增之空三工項,規劃各空三分區四角設置航空標控制點,並 將一般高控點皆漆方塊標,採靜態 GNSS 測設方式,提供精度良好之控制 點約制。空三作業依規範執行並檢核各項標準,包含連結點強度標準、殘 餘誤差均方根、最大殘餘誤差標準等,並實際上機確認立體影像對組模正 確,最後將空三成果專案以及相關報表依指定格式提交。

● 鐵路、公路及橋樑等基礎建設進行正射微分糾正

因應本案新增之正射影像工項,參考臺灣通用電子地圖相關圖層(鐵路、公路及橋樑),針對非平坦地表面之高架路段進行點雲過濾,產製細緻高架區域數值地表模型進行正射微分糾正,並利用點雲強度圖檢核正射糾正成果,才進行最後的鑲嵌作業。此流程乃參考監審方檢核方式,確認高架路段正射微分糾正成果符合電子地圖,橋梁邊界與點雲資料相符,最後邊線和標線與點雲強度影像對比無明顯偏移。

● 地面點空間分布檢查

因應本案監審廠商新增點雲孔洞分析,更進一步要求點雲於植被覆蓋地區之穿透率。而本公司於各單位空載光達案件,除符合一般密度與航帶重疊率規範外,皆自我要求點雲穿透率,提供品質良好之高精度高解析度地形模型,因此於本測區飛航任務開始後,即將解算之點雲交由監審方進行

孔洞分析,確認植被密集區孔洞值小於監審方建議值,即飛航規劃符合期待,再續執行往後之飛航任務。

第 1 作業區孔洞分析有效檢核圖幅,檢核成果大孔洞比例皆小於第一門檻 10%標準,皆為合格。不需參與既有成果孔洞比例浮動門檻比對,不通過圖幅數為零,小於契約規範 1/10。

● 穩定且良好的 DEM 品質

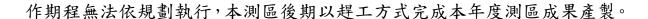
歷年來光達技術產製及更新數值地形案本公司皆有參與,對於資料產製各階段檢查皆有成熟之程式和方法,而產製流程中牽涉最多人力的點雲編修,為將缺失降至最低採逐幅人工檢核,監審方亦以人工方式全數檢查。本年度點雲過濾初驗僅3幅不合格圖幅,主因為離散雜點疏失,地面點雲編修能力無虞,可見目前機制有效管控編修人員能力品質,並藉由回饋滾動式更新檢核流程,復驗時所有圖幅皆為合格。

第1作業區 111 年度測區山區為主,山區地形複雜,於點雲編修時人員 判斷需仰賴經驗,參考正射影像以及周遭地形變化進行判斷,盡量保留地 面點濾除植被等非地面點雲。而都市區地物複雜,於點雲編修時人員判斷 較為繁複,必要時需搭配街景或其他資訊進行判斷,如是否為需保留之實 心橋梁、地下車道斜坡、水利設施,或為建物、空心橋梁、臨時性土堆需要 進行濾除等等。

本公司於產製 DEM 前依據內政部規範進行點雲分類之正確性檢查,確保產製之 DEM 成果為良好並且是可供後續應用分析,此外透過上述 DEM 檢核評估,可發現其 DEM 品質皆符合規範。

● 配合期程安排進行趕工

今年度期程受惡劣天氣影響,雖本測區於 1 月即開始即準備好開始飛航工作,但礙於前期天氣連續不佳只能持續待命,把握晴朗空檔進行飛航任務,並於 6 月提出佐證資料進行期程展延,扣除飛機檢修或其他任務安排本公司皆執續待命機動性執行飛航任務。而測區部分山區常年有雲,且起雲迅速,本公司以多次補雲航線完成完整測區資料獲取,最後補雲架次直至 12 月下旬才完成。無飛航天氣之因素造成資料獲取延宕,造成多項工



2. 檢討與建議

- (1) 本案更新數值地形模型檢核公式,訂定高程基本精度為 0.18 公尺,當不考慮地形及地表植被覆蓋類別時,則 95%信心水準高程容許誤差 0.35 公尺,本作業區產製成果優於標準。
- (2) 目前各家廠商目前穿透率皆能符合孔洞分析建議值,建議往後隨蒐集區域累積後適度調整,以期逐步提升數值地形模型品質。依據目前各作業區成果穿透度表現,建議可微調降不通過圖幅孔洞門檻 10%至 8%,或不合格圖幅數佔比 10%至 8%,見證各工作夥伴於本案成果之努力。
- (3) 為使計畫符合時程,必須確保飛航順利進度如預期,但天氣影響非人為可控制,因此本公司提早開始進行飛航待命,且因應疫情飛航公司與飛航人員皆採分流制度。因此相關之航租費用、待命費用及設備折舊及人事費用皆相應提高。
- (4) 另外為自我要求點雲品質,因應地形之適宜飛航規劃,不會因歷來穿透率表現遠優於監審方孔洞標準,就降低成本減少航線或採用其他符合規範但成果較差之替代飛行方案。本公司了解成果良莠與外業收集之資料品質絕對相關,今年度為維持一貫點雲植被穿透率表現,依據飛航經驗維持約20度之FOV,並依測區地形高度變化詳細分區規劃航線且確實執行。
- (5) 根據監審方查核重要意見進行工作項目執行調整,例如點雲編修方面本計畫為後續光達點雲成果加值利用順利,對於類似雜點之高低點,分類到非地面點類別十分要求,本公司已於人工編修前安排程式自動濾除過高和過低之離群點程序,以減少此類錯誤;正射影像編修方面對於高架路面之錯誤如高差移位過大、扭曲錯移、接邊色差,滾動式更新工作流程,並加強檢核機制,降低成果產製缺失。
- (6) 本年度首度遮密都市區原始影像,因涉及密區眾多,派員至貴中心進行 人工遮密處理時間冗長。後續若執行測區機敏圖幅數較多,考慮以自行 開發程式輔助遮密,增加工作效率。

(7) 考量本案影像空三成果供後續製圖廠商使用,為避免正射影像鑲嵌來源不易辨識,本作業區正射影像鑲嵌線以 GIS 軟體對應最鄰近之影像中心,提供具原始影像片號屬性向量檔供製圖參考使用。

第九章 參考文獻

- 1. 內政部(2003)高精度及高解析度數值地形模型測製規範(草案)。
- 2. 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)
- 3. 內政部(2011) 詮釋資料標準,文件編號:NGISTD-ANC-002-2011.12。
- 4. 內政部(2012)空載光達測製數值地形模型標準作業(草案)
- 5. 內政部(2019)107 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作案第一作業區期末報告書。
- 6. 林志交、張坤樹、鄭鼎耀(2004)雷射掃瞄資料於潮間帶地形及城市區航帶平差之初 探,第六屆 GNSS 衛星科技研討會,台南國立成功大學。
- 7. 高玉惠(2010),空載光達應用於不同地形環境之演進與分析,高解析度光達數值地 形測製與應用成果研討會,中央地質調查所期末發表會。
- 8. 童俊雄(2004)空載光達系統誤差分析與航帶平差方法之探討碩士論文,國立成功 大學測量及空間資訊學系。
- 9. Appanix (2021), POSMMS User Manual.
- 10. Axelsson, P. (2000). Processing of laser scanner data- algorithms and applications, ISPRS JPRS, 54: pp. 138-147.
- 11. Baltsavias, E.P (1999). Airborne Laser scanning: Existing Systems and Firms and Other Resources, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol.54, pp. 164-198.
- 12. Hu, L.-T., & Bentler, P. (1995). Evaluating model fit. In R. H. Hoyle (Ed.), Structural Equation modeling. Concepts, Issues, and Applications (pp. 76-99). London: Sage.
- 13. Optech(2018), Lidar Mapping Suite User's Guide.
- 14. TerraSolid, TerraScan, TerraModeler, and TerraMatch User's Guide (2021).
- Vosselman, G. (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. ISPRS Vol. XXXIII,
 Amsterdam
- 16. West, S. G., Finch, J. F., & Curran, P. J. (1995). Structural equation models with non-normal variables: Problems and remedies. In R. Hoyle (Ed.), Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications (pp. 56 –75). Thousand Oaks, CA: Sage.