

**110 年及 111 年 LiDAR 技術更新數值
地形模型成果測製工作（第 2 作業區）
2021 and 2022 Government Procurement for
Updating Taiwan DEM by LiDAR Technique
2nd 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：自強工程顧問有限公司

中華民國 112 年 1 月 3 日

公 共 工 程 專 業 技 師 簽 證 報 告

一	案 名	名 稱：110 年及 111 年 LiDAR 技術更新數值地形模型成果 測製工作採購案(第 2 作業區)	
		案 號：NLSC-110-11	
二	簽 證 技 師	姓名：邱俊榮	
		科別：測量科	
		執業執照字號：技執字第 006535 號	
三	簽 證 法 令 依 據	1. 公共工程專業技師簽證規則 2. 技師法第十二條第三項規定	
四	委 託 者	名稱：內政部國土測繪中心	
		地址：408 臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4F	
		電話：(04)2252-2966	
五	委 託 事 項	委託辦理數值地形模型測製	委託日期：110 年 1 月 19 日
六	受 委 託 廠 商	名稱：自強工程顧問有限公司	
		地址：23545 新北市中和區新民街 112 號 5F	
		電話：(02)2225-2200	傳真：(02)3234-9980
七	簽 證 說 明	簽證範圍：本案相關成果 簽證項目： <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 監造 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 簽證內容：本案各階段相關成果	執業圖記： 
		簽證意見：所有簽證項目均符合和約工作規範之各項要求。	
八	日 期	中華民國 112 年 1 月 3 日	技師簽署：邱俊榮
備 註		1. 公共工程於發包施工前，應檢附該工程委託相關科別技師辦理設計之簽證報告 2. 公共工程於施工廠商之各期計價、驗收（包括部分驗收）前及招標文件另有規定時，應檢附該工程委託相關科別技師辦理監造之簽證報告 3. 本表格如不敷使用，得以附件方式表達。	

摘要

數值地形模型(DTM，包括 DEM 及 DSM)資料為國家各項重大建設的基礎，舉凡遙測衛星影像糾正、水資源決策與管理、水文模擬應用、洪氾地區溢淹模式分析、工程設計與規劃、飛航安全管理等，均須有精確詳實之數值地形資料以茲應用。行政院於 102 年中央災害防救會報第 28 次會議裁示：高解析度 DTM 資料於災區潛在大規模崩塌調查成果，對於政府防減災規劃與國土保育，提供重要的決策資訊，應持續規劃短、中、長期工作，循年度及中長程施政計畫作業程序辦理。內政部推動「落實智慧國土—國土測繪圖資更新及維運計畫(105 至 109 年度)」，將數值地形模型成果更新工作列為分項計畫，並自 108 年度起交由內政部國土測繪中心執行，續於 110 年依據「邁向 3D 智慧國土—國家底圖空間資料基礎建設計畫(110 至 114 年)」持續辦理臺灣本島 DTM 成果更新工作，在 110 年度共辦理臺北市、新北市、桃園市、新竹縣、新竹市、苗栗縣、台中市、宜蘭縣等區域，總計 800 幅(1/5,000)範圍，面積約 5,363 平方公里，並分 3 作業區辦理。在 111 年度共辦理臺北市、新北市、基隆市、宜蘭縣、花蓮縣等區域，總計 844 幅(1/5,000)範圍，面積約 5,482 平方公里，亦分 3 作業區辦理。

111 年 DTM 成果更新作業第 2 作業區由自強工程顧問有限公司辦理，計 274 幅 1/5,000 圖幅，並分成 2 個子測區執行。計畫工作項目包括飛航掃瞄規劃、控制測量、點雲過濾、DTM 製作及正射影像製作等成果，並且由主辦機關另案委由專業服務廠商(以下簡稱監審單位)協助成果檢核與監審工作，各階段成果皆經過監審單位審查認可後交付主辦機關。

本計畫空載光達使用 Riegl LMS Q780 掃瞄儀進行，以左右重疊率 50%共規劃 145 條航線其總長為 3,830 公里，總計執行 34 架次飛航掃瞄任務。使用總計 21 站 GNSS 基地站以及 220 點航帶平差控制點進行軌跡解算與點雲航帶平差作業，第一子測區點雲平均密度為 4.62 點/m²，平差單位權中誤差為 4.1 公分；第二子測區點雲平均密度為 4.57 點/m²，單位權中誤差為 3.4 公分，再利用經過自動化與人工編修後的點雲製作 1m 解析度 DEM/DSM 共 274 幅，低海拔各地類檢核精度在平均絕對誤差為 3.6 公分~24.5 公分之間，均方根誤差為 4.5 公分~31.8 公分之間。低海拔橫斷面檢核精度在平均絕對誤差為 3.6 公分，均方根誤差為 4.4 公分。中高海拔各地類檢核精度在平均絕對誤差為 5.6 公分~41.7 公分之間，均方根誤差為 6.5 公分~49.4 公分之間。中高海拔橫斷面檢核精度在平均絕對誤差為 9.4 公分，均方

根誤差為 13.2 公分。

本計畫影像使用鏡頭焦距 50mm 之 Phase One iXU-RS1000 航攝像機同步進行拍攝，影像前後重疊率為 80%，左右重疊率約 56%，總計使用 14,115 張影像，產製地面解析度 25 公分之正射影像共 274 幅，正射影像成果平面精度經現地檢核第一子測區均方根誤差為 25.1 公分，第二子測區均方根誤差為 36.6 公分，本計畫全成果精度均經監審單位以及主辦機關審查後符合作業規範。

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

DTM, including both DEM and DSM, is the basic data of every major infrastructures in modern time. It can provide works such as satellite image rectification, water resource management, hydrological modeling, flood forecasting, engineering design, and flight management with much precise topographic data. Therefore, on the 28th Central Disaster Prevention and Response Council of 2013, Executive Yuan announced that, due to the capability of high resolution DTM, which can aid disaster prevention and environmental conservation in hazard prone area, government should put effort into short term, medium term, and long term project on producing DTM through annual administrative plan. As a result, Ministry of the interior (MOI) promote the < Implementation of Smart Homeland - National geospatial information updating & maintenance (2016 ~ 2020) >, put DTM renewing as part of project, and handed over to National Land Surveying and Mapping Center (NLSC) of MOI since 2019. After that based on < Moving Towards A 3D Smart Homeland – Building National Spatial Data Infrastructure(2021 ~ 2025)>, NLSC keep updating Taiwan mainland DTM. In 2021, there are total 800 map sheets produced in three work zones, which contain the district of Taipei city, New Taipei City, Taoyuan City, Hsinchu County, Hsinchu City, Miaoli County, Taichung City and Yilan County with total area around 5,363 km². In 2022, there are total 844 map sheets produced in three work zones, which contain the district of Taipei city, New Taipei City, Yilan County and Hualien County with total area around 5,482 km².

In the project of 2022, there are 274 map sheets of maps in second work zone, and split into two area. To achieve the goal, Strong Engineering Consulting Co., Ltd. planned to finish following works, including flight planning for laser scanning, control surveying, point cloud classification, DTM and orthophotos generating. In addition, an independent party of quality assurance and quality control (QA/QC) of the data, assigned by NLSC, will examine the effectiveness of project during progress. Every stage of result will be delivered to the NLSC after been approved by the QA/QC party.

34 flight missions, which have 145 flight lines with total length of 3,830 km, planned by using 50% sidelap, were executed by airborne laser scanner - Riegl LMS Q780. Using total 21 GNSS base stations for post-processing, and 220 ground control points for point cloud bundle adjustment. The point cloud density is 4.62 point/ m² in

first area, 4.57 point/ m² in second area. Unit weight mean square error of point cloud bundle adjustment is 4.1cm in first area, 3.4cm in second area. And total 274 map sheets of 1m DEM/DSM derived from automatic and manual edited point cloud. In low attitude area, DEM's mean absolute error (MAE) of classification precisions are between 3.6~24.5cm, and root-mean-square deviation (RMSE) are between 4.5~31.8cm. And The cross section precision's MAE is 3.6cm, and RMSE is 4.4cm. In mid-high attitude area, DEM's MAE of classification precisions are between 5.6~41.7cm, and RMSE are between 6.5~49.4cm. And The cross section precision's MAE is 9.4cm, and RMSE is 13.2cm.

Phase One iXU-RS1000 camera with 50mm focal length was also used to take images simultaneously, while collecting the LiDAR data, planned by using 80% forward-overlap and 56% side-overlap. There are total 14,115 images, to producing 274 map sheets of orthophotos with Ground Sample Distance (GSD) 25cm. Combined with field checking, the horizontal accuracy of these orthophotos' RMSE is 25.1cm in first area, 36.6cm in second area. All results mentioned above meet the standard under the supervision of QA/QC party and NLSC.

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

目錄

摘要.....	I
Abstract	III
目錄.....	V
附件目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX
表目錄.....	XII
第一章 前言.....	1
1-1 計畫緣起	1
1-2 測製範圍	1
1-3 工作項目	3
1-3-1 作業說明	3
1-3-2 空載光達掃瞄飛航規劃與申請.....	3
1-3-3 空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取.....	3
1-3-4 正射影像製作(含空中三角測量).....	3
1-3-5 各項報告書、工作總報告	4
1-4 工作時程	5
1-5 驗收辦法	5
1-6 其他相關規定	7
第二章 計畫執行方法與步驟.....	8
2-1 工作流程	8
2-2 儀器設備	9
2-2-1 空載光達掃瞄儀.....	9
2-2-2 高精度 IMU	12
2-2-3 航空攝像機 PhaseONE iXU-RS 1000	13
2-2-4 GNSS 衛星定位儀.....	14
2-2-5 空載光達掃瞄儀備援計畫	15
2-3 掃瞄飛航規劃	17
2-3-1 作業原則	17

2-3-2 航線規劃成果：6-2 測區	20
2-3-3 航攝實施計畫申請	23
2-4 空載光達率定	25
2-4-1 率定場設置	25
2-4-2 率定作業內容	26
2-4-3 率定作業執行	31
2-5 控制測量	37
2-5-1 地面 GNSS 基地站	37
2-5-2 地面 GNSS 基地站成果	42
2-5-3 控制點施測方法及分布	46
2-5-4 控制點成果	50
2-6 空載雷射掃瞄施測資料獲取	56
2-6-1 飛航掃瞄作業流程	56
2-6-2 天候因素影響空載雷射掃瞄施測資料獲取	56
2-6-3 飛航掃瞄成果	57
2-7 雷射掃瞄點雲資料處理	60
2-7-1 原始點雲解算	61
2-7-2 點雲航帶平差	63
2-7-3 點雲分類	67
2-8 DEM 與 DSM 製作及圖幅鑲嵌處理	72
2-8-1 製作程序	72
2-8-2 檢核點檢查	74
2-8-3 DEM 成果外業檢核	87
2-8-4 圖幅接邊	88
2-8-5 正高轉換	89
2-8-6 資料儲存格式	89
2-8-7 詮釋資料製作	89
2-8-8 地面點空間分布檢核(地面點孔洞分析)	90
2-8-9 成果展示	96

2-9 正射影像製作	98
2-9-1 空中三角測量	98
2-9-2 正射影像製作流程	104
2-9-3 正射影像成果	106
2-9-4 正射影像地物平面精度檢查	107
2-9-5 正射影像詮釋資料製作	108
2-9-6 正射影像外部接邊	109
2-9-7 水域線與沙洲線劃設	109
第三章 成本因子分析	111
3-1 進度管制計畫	111
3-2 飛航掃瞄工作	111
3-3 點雲編修人力配置	112
3-4 影像處理人力配置	112
3-5 空中三角測量影像需求	113
3-6 空中三角測量成果檢核	114
3-7 成本分析	115
第四章 執行團隊	116
4-1 團隊組織編制	116
4-2 性平統計	116
4-3 主要參與人員名冊	117
4-4 其他軟、硬體設備	118
4-4-1 軟體設備	118
4-4-2 硬體設備	119
第五章 檢討與建議	123
5-1 檢討	123
5-2 建議	125

附件目錄

- 附件一 相關函文(電子檔)
- 附件二 DEM 高程容許誤差之計算方式(電子檔)
- 附件三 儀器規格、校正及率定文件(電子檔)
- 附件四 航線規劃參數表(電子檔)
- 附件五 潮汐預報表(電子檔)
- 附件六 空載光達率定報告書(電子檔)
- 附件七 各架次監審單位審查結果(電子檔)
- 附件八 平差控制點位檢測成果和調查表(電子檔)
- 附件九 地類檢核分析成果(電子檔)
- 附件十 地類檢核點遠近照(電子檔)
- 附件十一 空中三角測量平差報表(電子檔)
- 附件十二 資安政策與相關說明文件(電子檔)
- 附件十三 監審廠商審查意見回復
- 附件十四 主辦機關審查意見回復

圖目錄

圖 1-1	111 年第 2 作業區(6-2 測區)及子測區範圍.....	2
圖 2-1	工作流程圖.....	8
圖 2-2	空載光達掃瞄儀 Riegl LMS-Q780 (2220651)實機照.....	9
圖 2-3	空載光達掃瞄儀 Riegl LMS-Q780 (9999263)實機照.....	10
圖 2-4	106 年 IGI IMU 原廠率定成果報告.....	12
圖 2-5	PhaseONE iXU-RS 1000 實機照.....	13
圖 2-6	地面 GNSS 衛星定位儀實際作業照.....	14
圖 2-7	空載光達 Riegl LMS-Q780 問題相關說明照片.....	16
圖 2-8	地面點大孔洞範圍定義示意圖.....	19
圖 2-9	6-2 測區區域特性圖.....	21
圖 2-10	6-2 測區 Riegl LMS-Q780 航線規劃圖.....	22
圖 2-11	實施計畫書送監審函文(左)、審核通過函文(右).....	23
圖 2-12	內政部航攝申請與許可函文.....	24
圖 2-13	南崗率定場範圍.....	26
圖 2-14	南崗率定場航線規劃示意圖.....	27
圖 2-15	率定場 GNSS 基地站(MX57)分布圖.....	28
圖 2-16	率定場 GNSS 基地站(MX34)分布圖.....	28
圖 2-17	Lever arm 量測作業照-P68C-TC.....	29
圖 2-18	南崗率定場代入率定值前後點雲剖面圖.....	30
圖 2-19	111 年 3 月 20 日率定場點雲成果展示圖.....	32
圖 2-20	111 年 4 月 28 日南崗率定場點雲成果展示圖.....	33
圖 2-21	111 年 7 月 7 日南崗率定場點雲成果展示圖.....	34
圖 2-22	南崗率定場地面高程檢核點分布圖.....	35
圖 2-23	南崗率定場地面高程檢核點施測作業照.....	35
圖 2-24	GNSS 基地站外擴申請函文(左)、GNSS 基地站外擴許可函文(中、右).....	38
圖 2-25	GNSS 基地站分布及其 20 公里範圍圖.....	39
圖 2-26	GNSS 基地站 20km 無法涵蓋區域套疊內政部國土測繪中心臺灣通用電 子地圖.....	40
圖 2-27	GNSS 基地站涵蓋範圍調整後成果.....	41
圖 2-28	控制點點位紀錄表.....	47

圖 2-29	控制點位分布圖	48
圖 2-30	控制點位分布套疊內政部國土測繪中心臺灣通用電子地圖	49
圖 2-31	空載雷射掃瞄施測資料獲取作業流程	56
圖 2-32	各架次點雲涵蓋範圍圖	60
圖 2-33	Riegl LMS-Q780 原始空載光達資料解算整體流程	61
圖 2-34	Riegl RiPROCESS 展示全波形資料作業畫面	62
圖 2-35	點雲資料各別屬性展示圖	62
圖 2-36	點雲航帶平差作業流程	63
圖 2-37	點雲航帶平差作業畫面	64
圖 2-38	航帶間相對高程誤差檢核-第 1 子測區(6-2-1 測區).....	65
圖 2-39	航帶間相對高程誤差檢核-第 2 子測區(6-2-2 測區).....	66
圖 2-40	點雲資料所須包含儲存欄位檢查作業畫面	67
圖 2-41	LiDAR 點雲分類困難區域	68
圖 2-42	以人工進行點雲分類前後示意圖	70
圖 2-43	點雲編修分類成果示意圖	70
圖 2-44	作業人員編修圖幅分布圖	71
圖 2-45	地類檢核點實地施測作業照	74
圖 2-46	地類檢核點分布圖	75
圖 2-47	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-裸露地	77
圖 2-48	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-矮植被	77
圖 2-49	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-植生地	78
圖 2-50	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-林地.....	78
圖 2-51	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-都會區	79
圖 2-52	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-濕地.....	79
圖 2-53	中高海拔山區地類檢核點成果-裸露地.....	80
圖 2-54	中高海拔山區地類檢核點成果-矮植被.....	81
圖 2-55	中高海拔山區地類檢核點成果-植生地.....	81
圖 2-56	中高海拔山區地類檢核點成果-林地.....	82
圖 2-57	中高海拔山區地類檢核點成果-密林地.....	82
圖 2-58	橫斷面檢核線位置分布	83
圖 2-59	橫斷面檢核點現場作業工作照	84
圖 2-60	低海拔及河川洪泛溢淹測製地區-斷面檢核成果.....	84

圖 2-61	中高海拔山區測製地區-斷面檢核成果.....	85
圖 2-62	推測受地震影響之橫斷面點分佈.....	86
圖 2-63	DEM 成果外業檢核作業照.....	87
圖 2-64	111 年成果接邊分配圖.....	88
圖 2-65	內政部「詮釋資料建置系統」作業畫面.....	89
圖 2-66	DEM 詮釋資料成果示意.....	90
圖 2-67	111 年 6-2 測區地面點孔洞分析圖.....	91
圖 2-68	111 年 6-2 測區地面點孔洞變異圖.....	92
圖 2-69	地面點孔洞分析 1 幅相對通過、2 幅不通過相關資訊分布圖.....	93
圖 2-70	中央氣象局龍澗站測站 111 年 5 月歷史觀測資料圖.....	95
圖 2-71	中央氣象局銅門站測站 111 年 5 月歷史觀測資料圖.....	95
圖 2-72	111 年 6-2 測區 1m DEM 日照陰影圖.....	96
圖 2-73	111 年 6-2 測區 1m DSM 日照陰影圖.....	97
圖 2-74	空中三角測量作業流程.....	98
圖 2-75	空中三角測量平差作業區套疊渲染圖.....	101
圖 2-76	航拍影像色調調整操作畫面.....	105
圖 2-77	正射影像鑲嵌作業畫面.....	105
圖 2-78	111 年 6-2 測區全區正射影像成果.....	106
圖 2-79	正射影像地物平面精度檢查外業檢核作業照.....	107
圖 2-80	正射影像詮釋資料製作畫面.....	108
圖 2-81	正射影像詮釋資料成果示意圖.....	108
圖 2-82	正射影像接邊示意圖.....	109
圖 2-83	111 年全區水域線與沙洲線成果.....	110
圖 3-1	原始影像陰影示意圖.....	113
圖 4-1	團隊組織架構圖.....	116
圖 5-1	作業區當下飛航進度航線套疊天氣雲圖.....	123
圖 5-2	側風影響飛機飛航時航偏角示意圖.....	125

表目錄

表 1-1	111 年各階段應交付項目、期限表.....	5
表 2-1	空載光達掃瞄儀計畫需求與儀器特性對照表.....	10
表 2-2	Riegl LMS-Q780 詳細規格.....	11
表 2-3	高精度 IGI IMU 詳細規格表.....	12
表 2-4	PhaseONE iXU-RS 1000.....	13
表 2-5	地面 GNSS 衛星定位儀型號與用途.....	14
表 2-6	南崗率定飛航規劃資訊.....	27
表 2-7	率定場 GNSS 基地站坐標位置.....	29
表 2-8	111 年 3 月 20 南崗率定場率定成果參數表.....	32
表 2-9	111 年 4 月 28 日南崗率定場率定成果參數表.....	33
表 2-10	111 年 7 月 7 日南崗率定場率定成果參數表.....	34
表 2-11	南崗率定場地地面高程檢核點坐標成果表.....	35
表 2-12	測區周圍 GNSS 基地站列表.....	38
表 2-13	111 年地面 GNSS 基地站成果.....	43
表 2-14	STONEX 系列之 GNSS 衛星定位儀.....	46
表 2-15	點位觀測紀錄表.....	50
表 2-16	航帶平差高程控制點(代碼 A)TWD97[2020]成果.....	53
表 2-17	航帶平差平面控制點(特徵角點)(代碼 B)TWD97[2020]成果.....	55
表 2-18	檢核點(代碼 C)TWD97[2020]成果.....	55
表 2-19	各架次執行航線資訊與審查結果.....	57
表 2-20	編修人員作業編號及初驗不合格率統計表.....	71
表 2-21	111 年第一子測區(6-2-1 測區)DEMLAS 分批提送時程與檢查結果....	72
表 2-22	111 年第二子測區(6-2-2 測區)DEMLAS 分批提送時程與檢查結果....	72
表 2-23	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點總成果.....	76
表 2-24	中高海拔山區地類檢核點總成果.....	80
表 2-25	推測受地震影響之橫斷面點資訊.....	85
表 2-26	外業檢查誤差分析統計表.....	87
表 2-27	地面點孔洞分析 1 幅相對通過、2 幅不通過資訊表.....	92
表 2-28	空中三角測量連結點強度標準.....	99
表 2-29	空三計算成果統計.....	101

表 2-30	空三檢核點(C)平差後計算成果.....	103
表 2-31	正射影像平面精度檢查統計表.....	107
表 3-1	空三需求補飛架次統計表.....	114
表 4-1	本案作業人員男女統計.....	116

第一章 前言

1-1 計畫緣起

數值地形模型(DTM，包括 DEM 及 DSM)資料為國家各項重大建設的基礎，舉凡遙測衛星影像糾正、水資源決策與管理、水文模擬應用、洪氾地區溢淹模式分析、工程設計與規劃、飛航安全管理等，均需有精確詳實之數值地形資料以茲應用。行政院於 102 年中央災害防救會報第 28 次會議裁示：高解析度 DTM 資料於災區潛在大規模崩塌調查成果，對於政府防減災規劃與國土保育，提供重要的決策資訊，應持續規劃短、中、長期工作，循年度及中長程施政計畫作業程序辦理。

內政部報經行政院核定推動「落實智慧國土-國土測繪圖資更新及維運計畫(105-109)」，規劃自 105 年度起，分年委外以 LiDAR 技術更新 DTM 資料，截至 109 年度止已辦理 3,177 個圖幅(1/5000)範圍數值地形模型更新作業，110 年及 111 年依據「邁向 3D 智慧國土—國家底圖空間資料基礎建設計畫(110-114 年)」繼續規劃以 LiDAR 技術辦理更新 DTM 資料，110 年度共辦理臺北市、新北市、桃園市、新竹縣、新竹市、苗栗縣、台中市、宜蘭縣等區域，總計 800 幅(1/5,000)範圍，111 年度共辦理臺北市、新北市、基隆市、宜蘭縣、花蓮縣等區域，總計 844 幅(1/5,000)範圍，由測製案廠商辦理飛航掃瞄規劃、控制測量、點雲過濾、DTM 製作及檢核、正射影像製作等成果，由機關另案委由監審廠商協助成果檢核與監審工作，俾達成計畫預期成效。

1-2 測製範圍

本計畫第 2 作業區(6-2 測區)面積包含 274 幅 1/5000 圖幅，完全位於花蓮縣內。另外依據作業規劃，劃分為第 1 子測區(6-2-1)以及第 2 子測區(6-2-2)，其中第 1 子測區包含 110 幅 1/5000 圖幅(約 40.1%)；第 2 子測區包含 164 幅 1/5000 圖幅(約 59.9%)，兩子測區計畫範圍如圖 1-1。

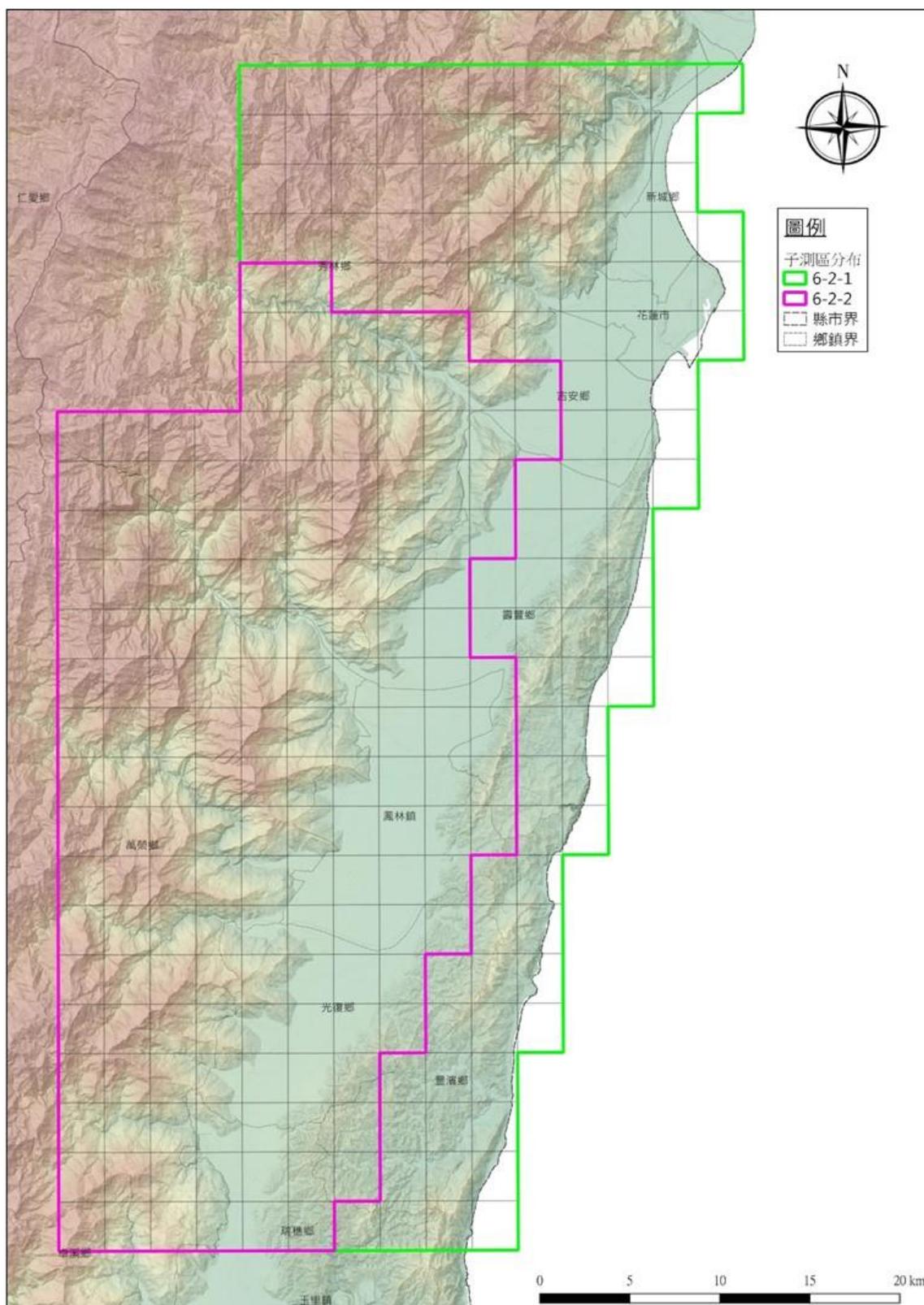


圖 1-1 111 年第 2 作業區(6-2 測區)及子測區範圍

1-3 工作項目

計畫執行期間配合主辦機關召開工作討論會議，討論工作進度、各階段執行成果、相關計畫的資料支援及須配合事項等事宜。

1-3-1 作業說明

本案作業方法、精度及產製成果項目與格式應參照「空載光達測製數值地形模型作業說明」辦理，包含掃瞄飛航規劃、空載光達率定、控制測量、空載光達掃瞄及航空攝影施測、點雲資料處理、DEM 與 DSM 製作、正射影像產製(含空中三角測量)等工作。

1-3-2 空載光達掃瞄飛航規劃與申請

- 一、實施計畫之申請：廠商應於決標後 20 日內，依「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」規定提出實施計畫，經監審廠商檢查後，檢附相關文件向中央主管機關以公文提出申請，並副知國土測繪中心。
- 二、廠商提出之實施計畫內容，其範圍應包含本案 110 年及 111 年測製區域，且應於實施計畫審核通過後，方能辦理空載光達掃瞄施測。
- 三、廠商另應於辦理空載光達掃瞄之前，將「空載光達測製數值地形模型作業說明」所規定之掃瞄飛航計畫(含掃瞄航線、參數設定、……等)送監審廠商審核通過後，依計畫辦理掃瞄作業。

1-3-3 空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取

- 一、空載光達掃瞄飛航及航空攝影應按照規劃航線飛行，廠商飛航掃瞄後之 14 日內，須繳交該批執行之原始連續飛航掃瞄數據(含掃瞄儀器所下載未經處理前之資料及處理後之 LAS 格式檔)給監審廠商。
- 二、若因掃瞄測區為軍事飛航管制區域，廠商無法辦理光達掃瞄及航空攝影致無法完整(依 1/5000 圖框)產製提供 DEM 及 DSM 成果及正射影像有減少履約事項情形，機關得按 1/5000 圖框面積比例計算廠商缺繳 DEM、DSM 及正射影像之數量後，自應付價金中扣抵對應之金額。

1-3-4 正射影像製作(含空中三角測量)

製作正射影像使用之航拍影像，以辦理掃瞄飛航時同步取得為原則，空中三角測量相關作業規定詳如本案作業規定。

1-3-5 各項報告書、工作總報告

- 一、提報作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)，至少包含以下項目：
 - (一) 各批次作業範圍規劃(作業區域應以連續接連為原則)
 - (二) 作業項目、流程及方式說明。
 - (三) 作業時程(含各項工作權重配比)及進度管控方式說明。
 - (四) 精度檢核及品質管控方式。
 - (五) 建議及配合事項。
 - (六) 其他相關資料及附件。
- 二、提報工作進度報告
 - (一) 每月進度報告：廠商應於決標次月起每個月 28 日前提出當月之工作執行書面報告交付監審廠商檢查並副知機關，內容包含預定及實際執行工作進度，作業與成果檢查情形，視需要提出工作協調事項及工作遭遇困難，並於召開工作會議時提出報告。
 - (二) 監審廠商於作業期間視需要召開工作會議，廠商應指派計畫主持人或主要參與作業人員參加，由機關針對廠商各項工作辦理監督及檢查作業，擇期召開工作會議，廠商應確實配合辦理，並依工作進度以書面通知機關據以辦理監督及檢核作業。
- 三、提送工作總報告，內容至少包含以下項目：
 - (一) 中英文摘要(含關鍵字)。
 - (二) 計畫概述。
 - (三) 作業規劃及作業範圍特性分析(如工作項目、內容、作業期程規劃、作業程序及方法說明、執行情形)。
 - (四) 工作項目、內容、執行方法、情形及成果。
 - (五) 檢核方式及處理原則說明。
 - (六) 成本分析(如成本因子說明、各項工作成本計算等)。
 - (七) 檢討與建議。
 - (八) 其他相關資料及附件(含檢查報表、各次工作會議結論與追蹤事項辦理情形及函文)。
- 四、作業計畫與工作總報告繳交電子檔均包含 Microsoft Office Word 檔格式及 PDF 檔案格式，報告書面文件則採 A4 雙面列印(加註書背)。

五、本案各項成果須經執業測量技師依據「經營或受聘於測繪業之測量技師簽證規則」規定備齊應備文件並簽證方可繳交，所繳交成果如有虛偽不實，該執業測量技師需連帶負責。

1-4 工作時程

本案分 8 階段辦理，各階段成果應經監審單位檢查合格後繳交予機關。廠商成果繳送監審單位辦理檢查時，應以公文遞送並副知機關。其中第 6 至第 8 階段因天候因素影響工作執行(詳述於 2.2-6-2 節)，於 111 年 6 月 13 日(自工字第 111068213 號)提請展延工期，並在 111 年 6 月 27 日(測應字第 1111565221 號)獲得同意展延，詳細公文內容請見附件一，各階段應交付項目及期限如表 1-1 所示。

表 1-1 111 年各階段應交付項目、期限表

年度	階段	交付項目	繳交期限	展延後期限
111 年	第 5 階段	111 年作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)初稿 10 份及電子檔 2 份	110.12.31	-
	第 6 階段	1. DEM/DSM 成果【含圖幅接邊處理，同點雲資料處理繳交之圖幅、點雲資料處理(111 年範圍 40% 以上圖幅)及控制測量(繳交 111 年範圍)】。	111.06.15	111.08.14
		2. 正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。		
	第 7 階段	1. DEM/DSM 成果【含圖幅接邊處理，同點雲資料處理繳交之圖幅、點雲資料處理(111 年範圍之剩餘圖幅數)】。	111.10.14	111.12.01
		2. 正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。		
	第 8 階段	111 年工作總報告(初稿)10 份及電子檔 3 份。	111.11.10	111.12.28
修正後 111 年工作總報告 8 份及電子檔 3 份。		依機關指定期限內繳交。	-	

1-5 驗收辦法

一、驗收項目及辦理方式說明

(一) 外業檢查

1. 檢查內容

(1) DEM/DSM 成果實地抽驗地面檢核點位。

(2) 正射影像地物平面位置精度檢查。

2. 檢查數量

- (1) DEM/DSM 成果實地抽驗地面檢核點位：第 2 及第 6 階段辦理外業檢查，每一階段至少抽查 4 個圖幅、合計至少 20 個檢核點。
第 3 及第 7 階段辦理外業檢查，每一階段至少抽查 6 個圖幅、合計至少 30 個檢核點。
- (2) 正射影像地物平面位置精度檢查：第 2、3、6 及 7 階段辦理外業檢查，每一階段至少抽查 4 個圖幅、合計至少 20 個檢核點。

3. 通過標準

- (1) DEM/DSM 成果外業檢查，檢核點除符合高程容許誤差規定(詳如附件二)，合格率應達 90%(含)以上。
 - (2) 正射影像地物平面位置精度檢查，以檢核點位量測平面坐標與正射影像平面坐標之較差，計算均方根值，不得大於 2.5 公尺。
- (二) 書面審查：各年度作業計畫。
- (三) 召開審查會：各年度工作總報告。

- 二、倘廠商繳交之成果、因產製時間點與檢查時間點不同，致實際其成果無法通過檢查標準，廠商得提出合理佐證，則該處不視為缺點，惟廠商應予以修正後並經監審廠商複查至合格為止。
- 三、機關針對廠商繳交成果實施現地檢查，檢查時使用之儀器、操作人員由廠商及監審廠商負責，並由機關派員督辦。
- 四、驗收得採初驗程序辦理，採初驗程序者，成果通過初驗後，由機關召開審查會辦理驗收，審查會議紀錄視為驗收紀錄。
- 五、依據本案各項工作及成果檢查之作業規定，辦理成果外業之驗收(含初驗)，各階段驗收(含初驗)未通過時，成果退回廠商，廠商應於機關指定期限內進行全面檢測及修正後，將各階段修正成果送監審廠商或交付機關測量隊辦理複查，監審廠商或機關測量隊應於接獲廠商修正成果次日起 14 個日曆天內複查完竣。複查通過後再提交至機關，機關得就不合格項目辦理複驗工作，抽查圖幅不限前次已抽查圖幅；倘仍發生複驗未通過情形，廠商除全面檢測及修正外，將自驗收(含初驗)機關通知限期改正之次日起計算逾期日數及計算逾期違約金，至後續複查所需檢查費用須由廠商全額負擔，亦不得據以為延長工期之理由。
- 六、各式報告經機關審查後，廠商應依機關審查意見修訂報告內容，並於機關指定期限內重新提送修正後報告至機關。

1-6 其他相關規定

- 一、機關得於作業期間隨時派員監督了解各項作業辦理情形，如發現廠商作業疏失時提出糾正，廠商應立即改善，並將改善後結果提報機關。
- 二、本案作業期間，如需機關函文其他機關協調者，應以書面向機關提出。
- 三、廠商將本案相關成果、作業技術投稿相關期刊或研討會論文時，應徵得機關同意。
- 四、各項檢查如因多次判定不合格而超過之複查次數(複查次數以 2 次為限，即每項檢核項目第一次繳交後審查連同複查最多審查 3 次)，則後續複查所增加之審查費用及時間，悉由廠商承擔，亦不得據以為延長工期之理由。
- 五、本案如遇匯率或物價波動時，決標廠商不得因此要求調整單價及物價補貼，決標廠商應考量波動風險並確實核算工作成本。
- 六、本案工作自第 8 階段驗收合格次日起 1 年內為保固期，保固期間內遇有成果疑義等情事，廠商應於接獲機關通知 30 個日曆天內辦理補正並交由監審廠商檢查完竣，檢附證明資料送交機關，機關必要時得至實地確認。
- 七、廠商對於履約所僱用之人員，應遵守性別工作平等法之規定，保障其性別工作權之平等，不得有歧視婦女、原住民或弱勢團體人士之情事。

第二章 計畫執行方法與步驟

2-1 工作流程

應用空載光達技術測製數值地形模型之作業流程，主要可分為 7 個階段，分別為掃瞄飛行規劃、空載光達系統率定、控制測量、空載光達掃瞄施測、點雲資料處理、DEM 與 DSM 製作及正射影像產製。本案範圍面積廣大，工作項目繁多，彙整各工作項目以及相關資料於工作流程圖(圖 2-1)。

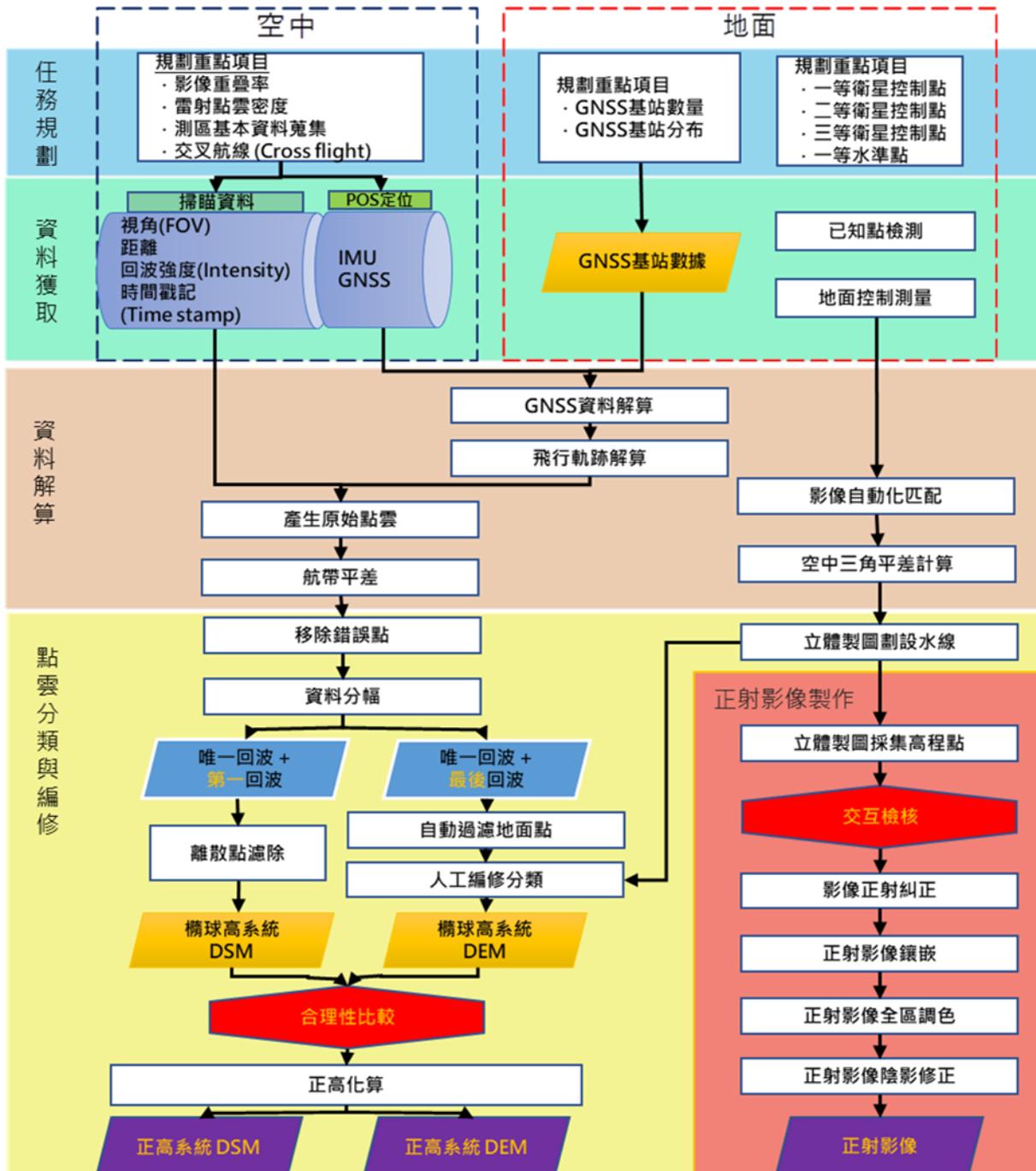


圖 2-1 工作流程圖

2-2 儀器設備

2-2-1 空載光達掃瞄儀

本公司於本作業區共使用 2 台空載光達掃瞄儀，其型號均為 Riegl LMS-Q780(儀器編號分別為 2220651 與 9999263)，實機照分別為圖 2-2 與圖 2-3，其中儀器編號 9999263 為備援機(詳見 2-2-5 小節)，依據本計畫空載光達掃瞄儀需求，彙整 Riegl LMS-Q780 特性對照表如表 2-1，全數符合作業規範。

空載光達系統 Riegl LMS-Q780(儀器編號：2220651)以 110 年 3 月 4 日經內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室出具之校正報告做為品保參據，符合作業規定(最近 2 年內)。其報告內容依據「空載光達測製數值地形模型作業說明(109 年 11 月版)」檢核合格(平面方向器差 16 cm；高程方向為 1.2 cm)，符合本計畫作業規範要求(應小於本規範之平面容許誤差 50 cm 以及高程基本精度 18 cm)。而空載光達系統 Riegl LMS-Q780(儀器編號：9999263)則具有於 111 年 7 月 15 日經內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室出具之校正報告做為品保參據(後由 111 年 9 月 29 日之校正報告取代，雖有部分修改但不影響校正通過成果，詳如附件三)，符合作業規定。其報告內容依據「空載光達測製數值地形模型作業說明(109 年 11 月版)」檢核合格(平面方向器差 18 cm；高程方向為 2.3 cm)，符合本計畫作業規範要求。



圖 2-2 空載光達掃瞄儀 Riegl LMS-Q780 (2220651)實機照



圖 2-3 空載光達掃瞄儀 Riegl LMS-Q780 (9999263)實機照

表 2-1 空載光達掃瞄儀計畫需求與儀器特性對照表

項次	項目	內容	Q780
1	坐標有效位數	應至少記錄至公釐	符合
2	回波數目	可記錄之回波數目應至少 3 回波	符合
3	回波強度值	值域至少為 256 階(2 ⁸)	符合
4	GNSS 時間	每一個回波均應記錄 GNSS 時間	符合
5	點雲記錄格式	應可轉換為美國航空測量及遙感探測學會 (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ASPRS) 制定的空載光達點雲資料記錄交換格式(簡稱 LAS)儲存	符合
6	全波形資料	可記錄全波形資料	符合
7	搭配 IMU 精度	滾動 Roll、顛頗 Pitch 之精度(RMS)應小於 0.015 度；偏航 Yaw 之精度(RMS)應小於 0.05 度。	符合
8	機載 GNSS	搭配之機載 GNSS 設備應至少為雙頻儀器	符合
9	品保依據	應具有最近 2 年內經內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室出具之校正報告做為品保參據。其報告內容所列器差值之均方根誤差應小於本規範之附件高程基本精度。	符合

表 2-2 Riegl LMS-Q780 詳細規格

System Model	LMS-Q780		
Serial Number	2220651、9999263		
Laser Product Classification	Class 3B Laser Product according to IEC60825-1:2007 The following clause applied for instruments delivered into the United States: Complies with 21 CFR 1040.10 and 1040.11 except for deviations pursuant to Laser Notice No.50, dated June 24, 2007.		
Intensity Measurement	For each echo signal, high-resolution 16-bit intensity information is provided which can be used for target discrimination and/or identification/classification.		
Power Supply	18 - 32 VDC/approx. 7 A @ 24 VDC		
Main Dimensions (L x W x H)	480 x 212 x 279 mm		
Weight	approx. 20 kg		
Protection Class	IP54		
Max. Flight Altitude	18500 ft (5600 m) above MSL - operating 18500 ft (5600 m) above MSL - not operating		
Temperature Range	-5°C up to +40°C (Operation) -10°C up to +50°C (Storage)		
Mounting of IMU-Sensor	Steel thread inserts on both sides of the laser scanner, rigidly connected to the inner structure of the scanning mechanism		
Full Laser Power (Laser Power Level: 100%)			
Max. Measurement Performance	Laser Pulse Repetition Rate	Natural Targets $\rho \geq 20\%$	Natural Targets $\rho \geq 60\%$
	100 kHz	4100 m	5800 m
	200 kHz	3500 m	5100 m
	300 kHz	3000 m	4500 m
400 kHz	2700 m	4100 m	
Minimum Range	50 m		
Accuracy	20 mm		
Laser Pulse Repetition Rate	up to 400 kHz		
Laser Wavelength	Near Infrared		
Laser Beam Divergence	≤ 0.25 mrad		
Number of Targets per Pulse	Digitized waveform processing: unlimited (practically limited only by the maximum data rate allowed for the RIEGL Data Recorder) monitoring data output: first pulse		
Scanning Mechanism	Rotating Polygon Mirror		
Scan Pattern	Parallel Scan Lines		
Scan Angle Range	$\pm 30^\circ = 60^\circ$ total		
Scan Speed	14 - 200 lines/sec (laser power level $\geq 50\%$) 10 - 200 lines/sec (laser power level $< 50\%$)		
Angle Measurement Resolution	0.001°		
Scan Sync	Option for synchronizing scan lines to external timing signal		
Configuration	TCP/IP Ethernet (10/100 MBit), RS232 (19.2 kBd)		
Monitoring Data Output	TCP/IP Ethernet (10/100 MBit)		
Digitized Data Output	High speed serial data link to RIEGL Data Recorder		
Synchronization	Serial RS232 interface, TTL input for 1 pps synchronization pulse, accepts different data formats for GNSS-time information		

2-2-2 高精度 IMU

本計畫空載光達設備皆搭配高精度 IGI IMU，其儀器規格詳如表 2-3，皆符合本計畫作業需求(滾動 Roll、顛頗 Pitch 之精度應小於 0.015 度；偏航 Yaw 之精度應小於 0.05 度)。其中，本計畫所使用的 IGI IMU 於 106 年度回原廠進行維護與檢校，率定檢校成果報告如圖 2-4。

表 2-3 高精度 IGI IMU 詳細規格表

GENERAL	
IMU	high performance fibre-optic gyros (FOG) durable robust design for high-vibration environments adapter plate for IMU mounting to sensors
	transmission rate 64 Hz 128 Hz 256 Hz
	FOG-Bias: 0.1 deg / h FOG-RW: 0.02 deg / sqrt(h) resolution: 0.0038 mrad (@ 128 Hz) resolution: 0.0019 mrad (@ 256 Hz)
	accelerometer bias: 0.5 mg resolution: 0.122 *10 ⁻³ m / s (@ 128 Hz) resolution: 0.061 *10 ⁻³ m / s (@ 256 Hz)
	Computer
	Data storage
	internal 72-channel L1 / L2 / L-band triple frequency GPS+GLONASS receiver low noise, raw GPS data (2 Hz), DGPS ready includes shock-absorbing tray for mounting
	PC card, 512 MB



Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH

Kalibrierschein

Calibration Certificate

Service number	V2.1
IMU-55-002	
02850	

Gegenstand Object	Inertial Measurement Unit [IMU]	
Hersteller Manufacturer	Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH D-57223 Kreuztal	
Typ Type	IMU-ile	Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.
Teller Nummer Part number	IMU-02-001-02704	
Fabrikat / Seriennummer Serial number	09-0120	
Datenrate Data rate	256 Hz	
Auftraggeber Customer	Strong Engineering Consulting Co. Ltd. 5F, No.112 Ximinh Street, Zhongze City, Zhongze Country, Taiwan (R.O.C.)	The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.
Auftragsnummer Order number	SV2017-365007	
Datum der Kalibrierung Date of calibration	25.01.2017	
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines Number of pages of the certificate	2	

Dieses Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert wiederverbraucht werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung der Firma IGI mbH. Kalibrierscheine ohne Unterschrift sind ungenügend. This calibration certificate may not be reproduced either than or full except with the permission of IGI mbH. Calibration certificate without signature and not one copy valid.

 Datum Date 26.01.2017	Aufsicht über Kalibrationsprozesse Supervisor of calibration process Dr. rer. nat. J. Kremer	Bearbeiter Person in charge Th.Theile
--	--	---

IGI mbH
Langenauer Straße 46
57223 Kreuztal / Germany

Tel: +49(0)2732/5525-0
 Fax: +49(0)2732/5525-25
 e-mail: info@igi-systems.com





Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH

Seite	2
Page	
Service number	IMU-55-002-02850
Service number	
Auftragsnummer	SV2017-365007
Order number	
Auftraggeber	Strong Engineering Consulting Co. Ltd.
Customer	5F, No.112 Ximinh Street, Zhongze City, Zhongze Country, Taiwan (R.O.C.)
IMU S/N	09-0120
Date	26.01.2017

Dieser Kalibrierschein dokumentiert folgende Prüfungen:

1. Visuelle Prüfung auf Beschädigungen an Gehäuse und Steckverbindungen (Schläge, Risse, Sitz der Kontakte usw.).
2. Prüfung der einwandfreien Funktion der einzelnen Subsensoren.
3. Bestimmung der AEROoffice IMU-Koeffizienten nach dem IGI internen Kalibrationsverfahren V2.1.

Hinweis: Weitere Eigenschaften der IMU, wie z.B. Bias Werte der Gyroskope und Beschleunigungsmesser werden in der Navigationsrechnung laufend neu abgeschätzt und deshalb hier nicht erfasst.

This calibration certificate documents the following tests:

1. Visual test for damages of the case and connectors (hard shocks, fissures, alignment of pins and so on).
2. Verification of the faultless function of each subsensor.
3. Determination of the AEROoffice IMU-coefficients with the IGI internal calibration procedure V2.1.

Note: Other properties of the IMU, like e.g. bias values of gyroscopes and accelerometers are estimated continuously during the navigation computation; therefore these values are not recorded here.

Ergebnis der AEROoffice Koeffizienten:
Result of the AEROoffice coefficients:

AEROoffice coefficients		
C ₀₁ = 28	C ₀₂ = 112	C ₀₃ = -74
C ₁₁ = 28	C ₁₂ = 112	C ₁₃ = -74
C ₂₁ = 45	C ₂₂ = -281	C ₂₃ = 343
C ₃₁ = -10	C ₃₂ = 179	C ₃₃ = -4

Please check this coefficients in your AEROoffice-Setup.

*Hinweis: Die Reihenfolge der Koeffizienten im AEROoffice Setup weicht je nach Einbau der IMU in Flugzeug von der hier angegebenen Reihenfolge ab. Deshalb sollte die Eintragung der Werte in das Programm nur durch Import des mitgelieferten Kalibrationsfiles erfolgen.
*Note: The order of the coefficients in the AEROoffice setup depends on the mounting position of the IMU in the aircraft. Therefore the values should be introduced in the program by import of the issued calibration file only.

圖 2-4 106 年 IGI IMU 原廠率定成果報告

2-2-3 航空攝像機 PhaseONE iXU-RS 1000

1 億像素的辨識率：在 1 億像素的辨識率下，iXU 像機可提供 11,608 像素的橫向覆蓋範圍，同時在飛行中保持相同的地面採樣距離(GSD)，提供高品質的影像成果，並於 110 年 3 月 5 日獲得內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室校正報告，平面方向器差均方根值為 13 mm；高程方向器差均方根值為 19 mm，符合內政部「建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊」之「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」及「一千分之一數值航測地形圖成果檢查作業規定」作業規範製圖精度。相關實機照如圖 2-5，儀器詳細規格詳如表 2-4，校正報告詳如附件三。



圖 2-5 PhaseONE iXU-RS 1000 實機照

表 2-4 PhaseONE iXU-RS 1000

項次	項目	規格	備註
1	解析度	100 MP(11,608 x 8708)	-
2	動態範圍	>84 db	-
3	長寬比	4:3	-
4	像素大小	4.6 micron	-
5	感測大小	53.4 x 40.0 mm	符合作業規定 24 mm x 36 mm。
6	感光度(ISO)	50 - 6400	-
7	像機類型	用於航空攝影的中畫幅像機	符合計畫作業所需精密測圖用 之數位式攝影機
8	鏡頭	RS 鏡頭 50、70mm	-
9	輸出格式	Phase One RAW，TIF，JPG 可輸出 8-bits、16bits	符合計畫作業所需成果應輸出 為 24 位元自然彩色影像(紅、 綠、藍各波段均為 8 位元)

2-2-4 GNSS 衛星定位儀

一、計畫需求

- (一) 應至少為雙頻儀器。
- (二) 具有最近 3 年內經全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation, TAF) 認證實驗室出具之校正報告做為品保參據。其報告內容所列中基線水平分量器差應小於 15 公分($30 \text{ mm} + 6 \text{ ppm} \times 20 \text{ km}$)，垂直分量應小於 37.5 公分($75 \text{ mm} + 15 \text{ ppm} \times 20 \text{ km}$)。

二、地面 GNSS 衛星定位儀

本計畫除率定場為自行架設 GNSS 基地站外，掃瞄飛航資料解算並使用自行架設 GNSS 基地站，總共使用 4 台 GNSS 衛星定位儀(表 2-5)，完整校正報告詳如附件三。使用之地面 GNSS 儀器皆擁有 L1、L2 雙頻接收功能，並且支援主辦機關建構之 e-GNSS 即時動態定位系統以及三大類衛星(GPS、GLONASS 以及 BDS)資訊接收功能，可以利用無線上網的方式，在極短的時間內，獲得高精度之定位坐標成果，有效提高 GNSS 現地測量作業效率以及準確性。

表 2-5 地面 GNSS 衛星定位儀型號與用途

項次	廠牌	型號	儀器編號	用途
1	STONEX	SC200	SC2006111035W	控制點測量
2	STONEX	SC200	SC2006111037W	控制點測量
3	STONEX	SC200	SC2007031003W	控制點測量
4	STONEX	S9 II	S920312020267RL AL	率定場 GNSS 基地站



圖 2-6 地面 GNSS 衛星定位儀實際作業照

2-2-5 空載光達掃瞄儀備援計畫

本公司原主力空載光達掃瞄儀 Riegl LMS-Q780(儀器編號：2220651)於 111 年 6 月 19 日發生故障後，本公司立即往 3 個方向進行準備：

方案 1：現地排除設備故障問題。

方案 2：使用自用備援機 Riegl LMS-Q680i。

方案 3：租賃備援機。

方案 1 於 111 年 6 月 22 日經原廠(Riegl) (以下簡稱原廠)確認須將設備寄返原廠檢修，而方案 2 於 111 年 6 月 23 日提送 Riegl LMS-Q680i 光達掃瞄系統備援計畫(自工字第 111068227 號)，於 111 年 6 月 24 日獲得同意(測應字第 1111334520 號)並於同日提送變更空載光達掃瞄飛航計畫(自工字第 111068233 號)予監審單位，後於 111 年 7 月 4 日(成大產創字第 1111102127 號)判定合格，後因加緊辦理方案 3 且考量期間天候不佳、設備測試與資料處理等因素，並未使用 Riegl LMS-Q680i 執行飛航任務。

方案 3 於 111 年 6 月 19 日即請代理商迅聯光電有限公司(以下簡稱代理商)協詢原廠是否有 Riegl LMS-Q780 光達掃瞄系統可供租賃使用，後向原廠租借 Riegl LMS-Q780(儀器編號：9999263)，在設備相關資訊確認後於 111 年 6 月 30 日提送 Riegl LMS-Q780 光達掃瞄系統備援計畫，並在 111 年 7 月 4 日獲得同意(測應字第 1111334684 號)，接續於 111 年 7 月 7 日完成校正飛行與率定場飛行作業後，加緊飛航作業並在 111 年 7 月 29 日以 Riegl LMS-Q780(儀器編號：9999263)完成原設備故障後全部飛航測線。

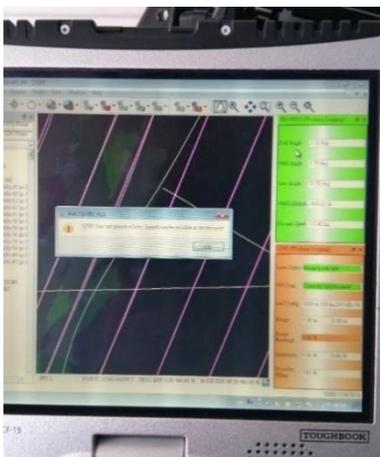
一、故障情況說明

本公司於花蓮航空站待命飛航，於 111 年 6 月 18 日執行 8 條航線共約 111 公里均正常，而在 111 年 6 月 19 日執行飛航任務時，當飛行完本計畫航線 62029 後，續執行航線 62030 約 2 公里後 Riegl LMS-Q780 光達掃瞄系統(儀器編號：2220651)出現問題無法繼續掃瞄，報錯訊息為“Q780 does not receive echos. Targets maybe too close or too far away.” [如圖 2-7(a)所示]，意思為「光達掃瞄接收器並未接收到所發射出的雷射脈衝的回波，可能是掃瞄測距對象距離太近或太遠」，然當時飛機依照本計畫所規劃航線 62030 進行飛航，使用 100% 雷射能量並以 210 kHz 雷射脈衝發射頻率進行掃瞄，其規劃飛行高度(Above Mean Sea Level, AMSL)為 3,500 米、對地高

度(Above Ground Level, AGL)約為 1,990 米(高程參考來源為內政部開放平臺之 2020 年版全臺灣及部分離島 20 公尺網格數值地形模型 DTM 資料)，仍屬設備正常運作範圍(於 100%雷射能量、200 kHz 雷射脈衝發射頻率，最大測距可至 3,500 米@地物反射率 $\geq 20\%$)，且航拍員回報當下為無雲天氣，依此初步排除規劃高度不佳或掃瞄到厚實雲層的可能。

同日(111 年 6 月 19 日)本公司航拍組長即趕往花蓮航空站協助處理問題，並緊急聯絡代理商協助與原廠進行問題分析與解決方式，為避免飛機引擎尾流或高空冰點凝結水造成光達掃瞄保護鏡面[如圖 2-7(b)箭頭所指處]髒汙的可能，於隔日(111 年 6 月 20 日)進行全面清潔與地面測試正常後再進行空中測試(由於光達雷射能量強需至少 300 米以上距離方能測試掃瞄)，但光達掃瞄系統仍無法接收資料。接續直接安排飛機返回松山機場，並請代理商反饋設備相關資料予原廠分析，並安排於 111 年 6 月 21 日會同代理商、原廠於飛機邊以遠端方式進行後續設備問題確認與排錯。後於 111 年 6 月 22 日經與原廠討論確認需將設備寄返原廠進行檢修，即於當日(111 年 6 月 22 日)將設備自飛機上拆除後轉交代理商。

後續原廠檢修更換雷射模組並於 111 年 9 月 23 日送返本公司，接續至 111 年底間總計共飛行 15 架次，包含率定場與一般任務執行，點雲成果表現與精度均良好。



(a) 光達系統報錯畫面



(b) 光達系統掃瞄器保護鏡面

圖 2-7 空載光達 Riegl LMS-Q780 問題相關說明照片

2-3 掃瞄飛航規劃

2-3-1 作業原則

一、航線規劃

- (一) 空載光達掃瞄範圍應包含測區全部範圍，航空攝影各航線前後應於測區外各多拍攝 2 個像對。
- (二) 飛機換航線之轉彎掃瞄資料及航拍影像資料，不得使用於後續空中三角平差、點雲航帶平差、正射影像及 DEM、DSM 之製作。
- (三) 點雲密度條件
 1. 掃瞄區以 100 公尺 × 100 公尺劃分網格單元。
 2. 以航帶重疊後之原始點雲數，計算該網格之平均點雲密度。
 3. 每平方公尺點雲密度以 2 點為原則，低於 2 點的網格數不得超過作業區全部網格數的 10%，低於 1 點的網格數不得超過作業區全部網格數的 5%。
- (四) 航空攝影方式採垂直連續攝影(攝影軸傾斜角應小於 15 度)，航線內相鄰影像重疊率(前後重疊)應大於 80%，航帶重疊率(左右重疊)應大於 40%。
- (五) 航拍影像 GSD(Ground Sample Distance)應優於或等於 25 公分。
- (六) 空載光達掃瞄之 FOV(Field of View)設定不應超過 50 度。
- (七) 掃瞄海岸地區時，原則上為飛航當日低潮位前後 2 小時進行掃瞄，以蒐集最大面積海岸沙洲及潮間帶資料。

二、交叉飛航數據(Cross Flight)條件

- (一) 作業區域範圍內各條航線之頭尾皆有交叉航線。
- (二) 每隔至多 25 公里，應進行垂直各航線之交叉掃瞄飛航。

三、地面 GNSS 基站布設條件

- (一) 空載光達資料獲取同時，其掃瞄區域 20 公里範圍內，應至少有 2 個以上地面 GNSS 基站，同步接收 GNSS 觀測量。
- (二) 基站透空度：仰角 10 度以上無遮蔽。
- (三) 得使用各機關設置之連續追蹤站。
- (四) 測區內如有人車抵達困難，致不易架設基站，測製單位應蒐集相關佐證資料，經委辦單位同意後，得放寬基站布設間距。

四、航帶平差控制點布設條件

- (一) 航帶平差控制點為辦理點雲航帶平差及影像空中三角平差所需之控制點。
- (二) 航帶平差控制點布設條件
1. 測區之四角應布設 1 組(2 個)全控點。
 2. 每個航帶間應有 3 個高程控制點(航帶頭、中及尾各段應至少 1 點)，除測區左右側邊外，高程控制點應以位於正常及交叉航線重疊區為原則；若於高程控制點位周圍有透空度良好的角點特徵時(如屋角點能於空載光達點雲中形成可辨識的角點特徵)，一併設置航帶平差所需之平面控制點。
 3. 相鄰之測區接邊處應共用控制點。
 4. 控制點位應設置鋼標(釘)，得視需要布設航空標，航空標之尺寸應配合航高、立體測圖儀量測標尺寸及測圖精度等條件之考量，以立體測繪時可清楚辨認為原則；亦可選擇自然點作為控制點。
 5. 高程控制點之高程包含橢球高及正高。
- (三) 為確保空中三角測量品質，應於測區中央布設 5%圖幅數(不得小於 10 個點)以上之檢核點，供驗證空中三角平差品質，若測區中因地形限制無法挑選規定數量之檢核點，經委辦單位同意後得調降檢核點之數量。
- (四) 如測區內部分區域因不易到達，無法辦理地面控制測量作業，致控制點分布無法符合要求，經委辦單位同意後，得使用既有影像控制點成果，惟該點位坐標須經檢測合格。
- (五) 實施計畫申請
1. 辦理單位應依內政部「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」第 3 條規定，向中央主管機關提出申請。實施計畫內容應符合前開規則所定之項目。
 2. 應於實施計畫審核通過後，方能辦理空載光達掃瞄施測。

五、地面點空間分布

110 年起針對各測製廠商提送之分類後點雲資料，透過地面點空間分布評估指標檢視測製廠商所產製成果狀況，以確保其地形表現與成果品質。

- (一) 地面點大孔洞區域定義：將各圖幅分類後點雲(DEMLAS)內之地面點雲，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(圖 2-8)。

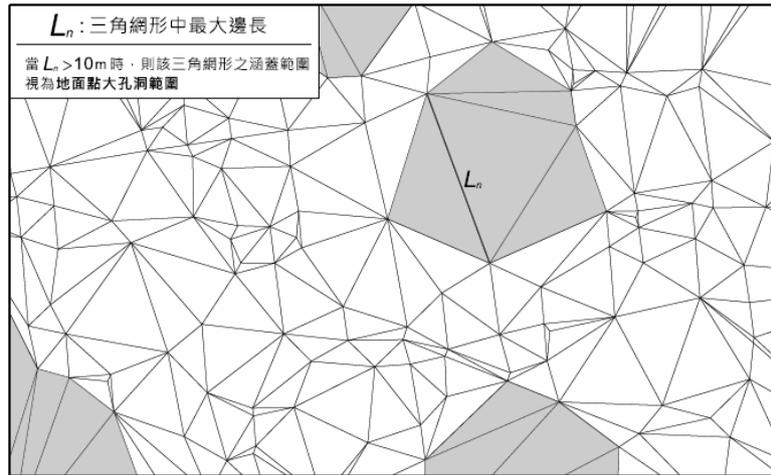


圖 2-8 地面點大孔洞範圍定義示意圖

- (二) 每幅 5,000 分之一圖幅扣除平坦地、水域及建物區後，剩餘面積超過 36 公頃以上(約 1/20 圖幅)，即視為有效檢核圖幅，面積未達 36 公頃之圖幅則不納入規範。(平坦地定義為：地形坡度小於 10° 之區域)
- (三) 針對有效檢核圖幅，統計地面點大孔洞範圍，當地面點大孔洞面積比例小於 10%(含)，則判定該圖幅為通過，計算比例時須扣除圖幅內平坦地、水域及建物區。
- (四) 當地面點大孔洞面積比例大於 10%時，採同圖幅既有成果(對照組)之地面點大孔洞面積比例進行比較，並額外賦予+10%之彈性容許門檻，即設定「對照組大孔洞比例+10%」為浮動門檻。當第(三)點之統計結果小於浮動門檻(含)，則視為相對通過，反之則視為不通過。如該圖幅無對應既有成果可進行比對時，則仍以 10%(含)為門檻判定地面點空間分布檢查是否通過。
- (五) 地面點大孔洞面積比例不得超過 30%上限，超過 30%則該圖幅一律判定不通過。

2-3-2 航線規劃成果：6-2 測區

一、區域特性

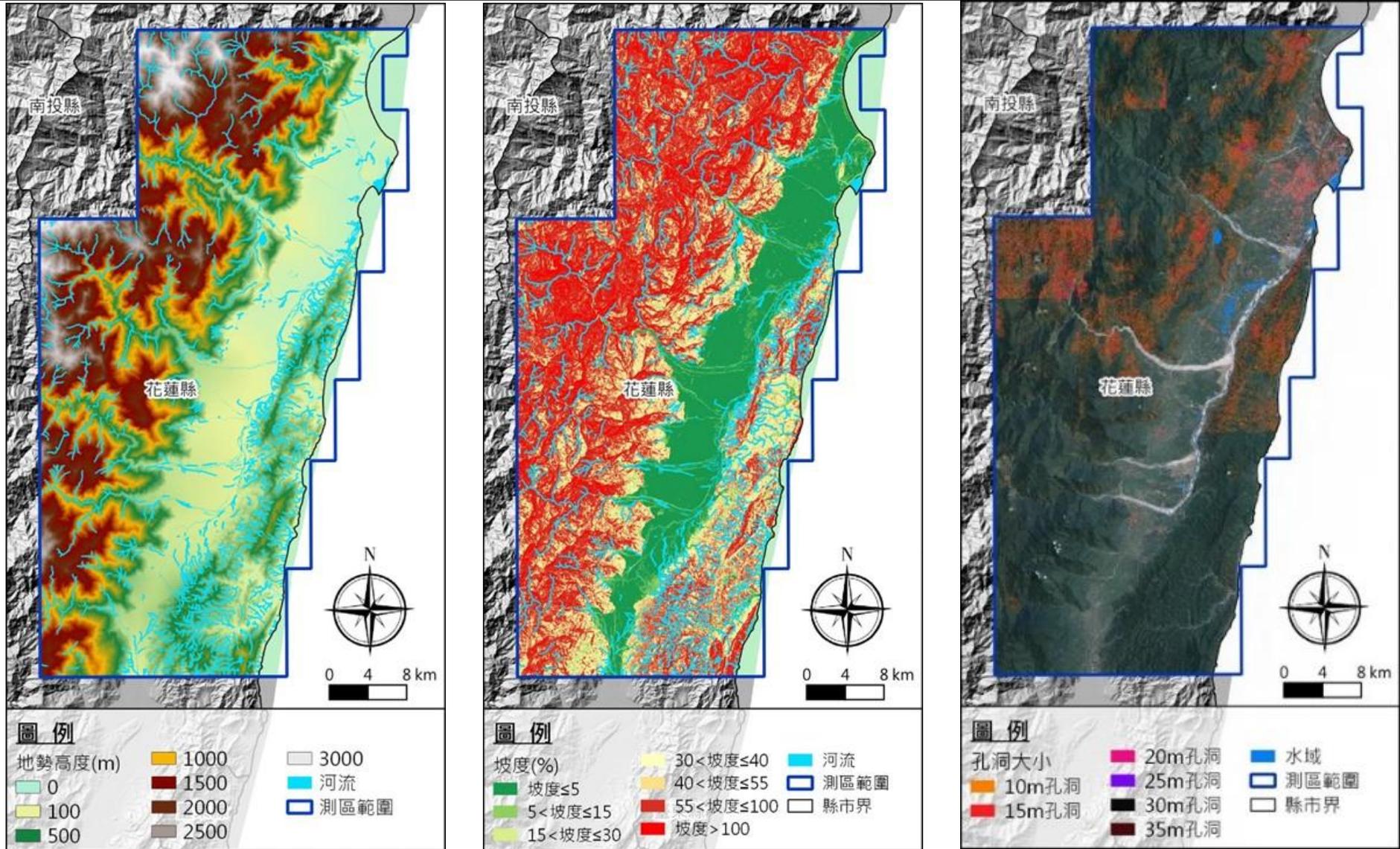
本測區位於花蓮縣。地形由西到東依序為中央山脈、花東縱谷平原、海岸山脈北段，地勢最高處為 3,297m，地勢較低處為 23m。且在本測區的中央山脈地區有多條西北-東南走向的上切河谷地形，河谷與兩側緊鄰山脈的高度落差達 1,000m 以上，地勢落差甚鉅。因此，在規劃航線時，除了配合整體地勢的東北-西南走向外，也規劃西北-東南走向的航線，以確保河谷地區的點雲密度。於本測區東北側為七星潭等砂質海岸地形，則規劃沿海岸線飛行之潮汐航線。

二、地面點空間分布

針對地面點分布已有檢核作業規範與標準，於航線規劃時即利用計畫測區內既有孔洞分布資訊評估測區空載光達點雲可能之反射與穿透特性，以於航線規劃時評估降低航線的高度或提高點雲雷射強度的方式，以補強過去地面孔洞較大區域的點雲穿透率。

三、航線規劃

依據前述測區特性，以 Riegl LMS-Q780 光達掃瞄系統共規劃 145 條航線，其中有 123 條正規航線(代號 A)合計長度為 3488.845 km、13 條交叉航線(代號 B)合計長度為 222.254 km、4 條潮間帶航線(代號 C)合計長度為 53.613 km、1 條加密航線(代號 D)長度為 7.553km，以及 4 條潮間帶兼交叉航線(代號 CB)合計長度為 58.010 km，其航線橢球高為 2,200 m~4,500 m，航線總長約為 3,830 km，預計需執行 25~28 個架次，實際執行包含補雲洞共執行 34 個架次，規劃航線分布如圖 2-10，航線規劃參數如附件四，潮汐預報表如附件五。



(a) 高程渲染圖套疊日照陰影圖

(b) 坡度圖套疊日照陰影圖

(c) 孔洞圖套疊日照陰影圖

圖 2-9 6-2 測區區域特性圖

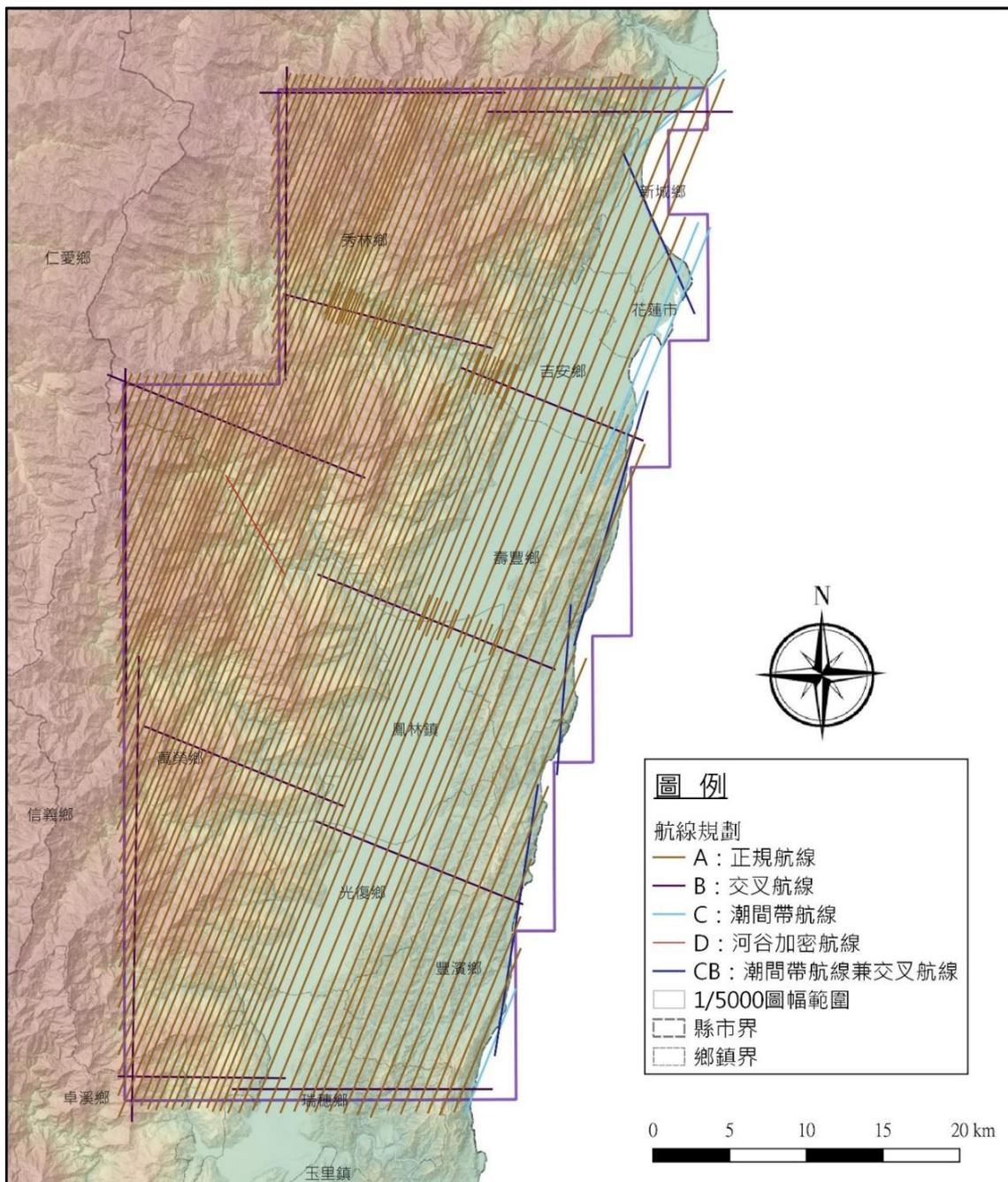


圖 2-10 6-2 測區 Riegl LMS-Q780 航線規劃圖

2-3-3 航攝實施計畫申請

- 一、辦理單位應依內政部「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」第 3 條規定，向中央主管機關提出申請。實施計畫內容應符合前開規則所定之項目。
- 二、依據「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」第 8 條規定，實施航攝或遙測獲取之影像，其內容經沖洗或影像處理，應經中央主管機關會同國防部審查。分別於 110 年、111 年各年度光達測製案計畫完成後，提送航攝成果予內政部辦理審查作業。
- 三、本案於 110 年 1 月 22 日提送航攝實施計畫予監審廠商(自工字第 110017050 號)，並於 110 年 1 月 25 日審核通過(成大產創字第 1101100245 號)，相關函文如圖 2-11。續於審核通過當日(110 年 1 月 25 日)提送內政部航攝申請(自工字第 110017056 號)，並於 110 年 3 月 11 日獲得內政部許可(台內地字第 1100108480 號)，相關函文如圖 2-12 以及附件一。

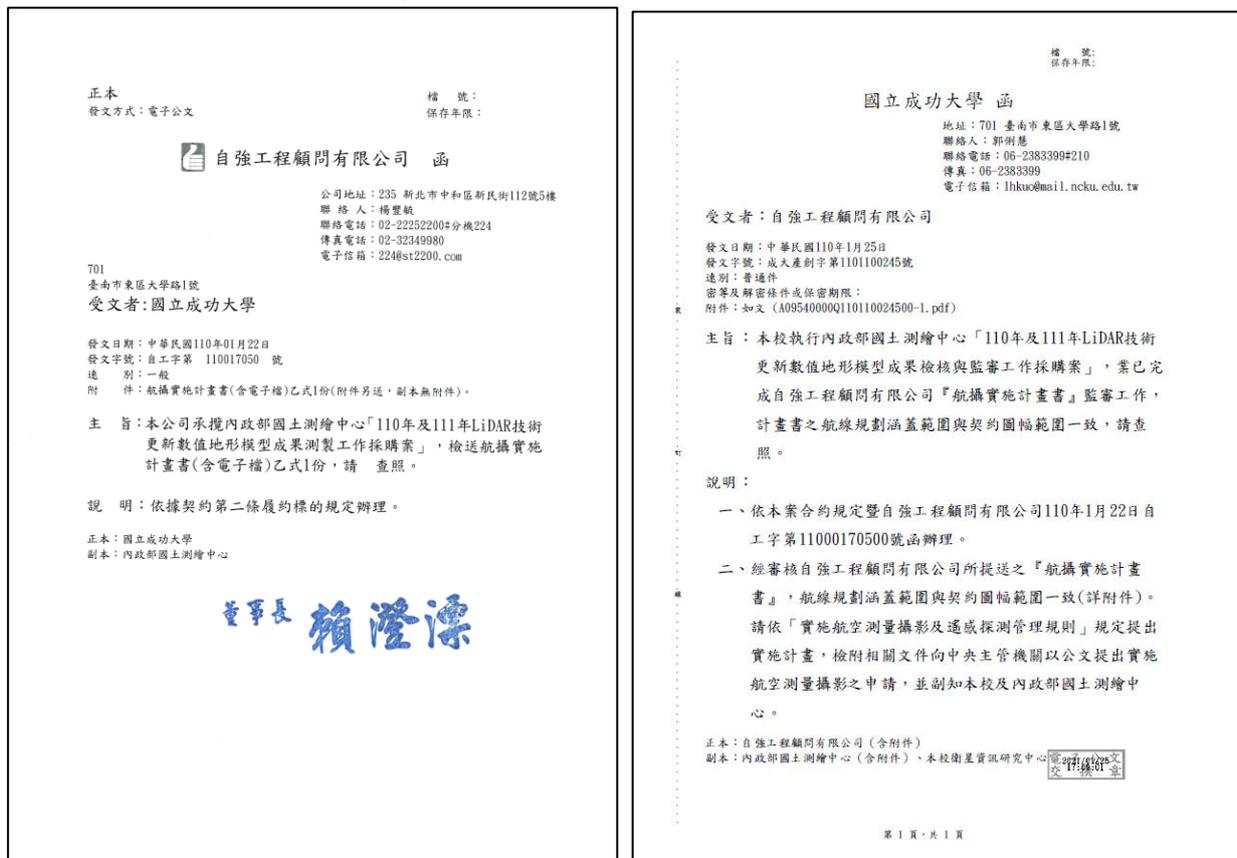


圖 2-11 實施計畫書送監審函文(左)、審核通過函文(右)

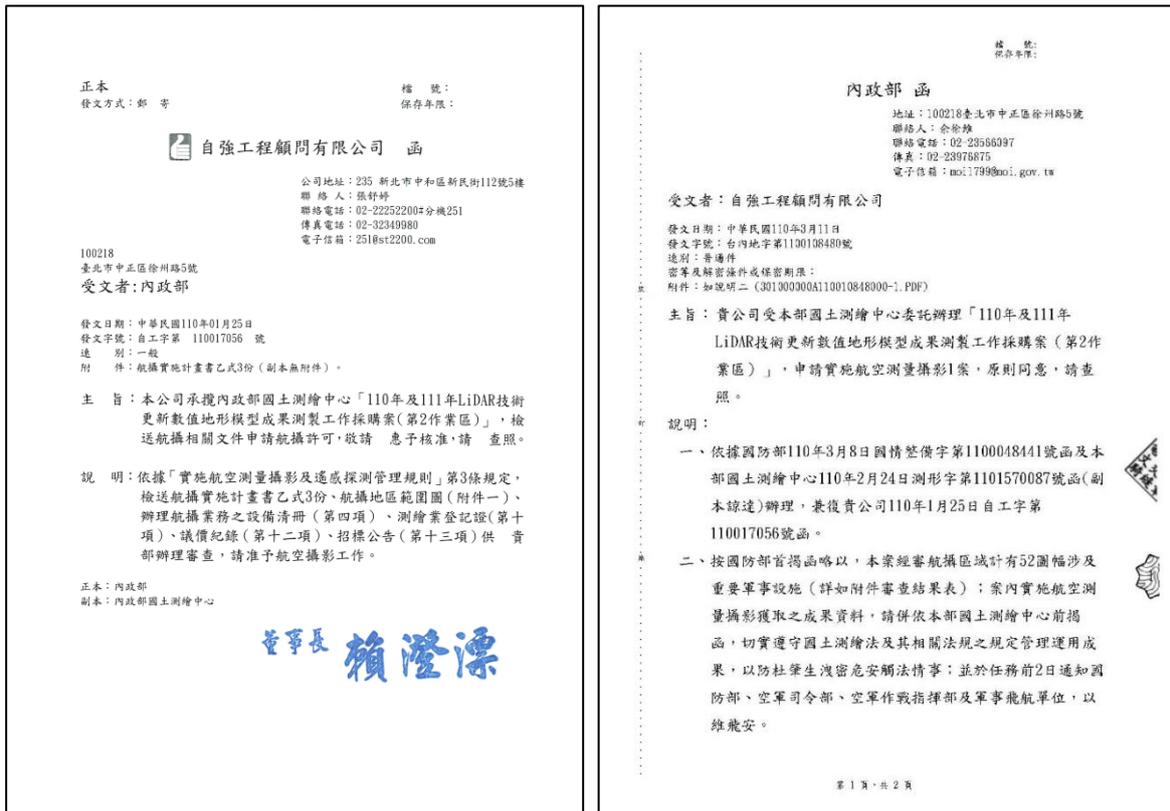


圖 2-12 內政部航攝申請與許可函文

2-4 空載光達率定

本計畫共執行三次空載光達率定飛行，第一次(111 年 3 月 20 日)與第二次(111 年 4 月 28 日)均於南崗率定場執行，率定設備為 Riegl LMS Q780 (2220651)；第三次(111 年 7 月 7 日)亦於南崗率定場執行，率定設備為 Riegl LMS Q780 (9999263)，各空載光達率定報告書與審查合格結果，如附件六與附件七所示，並概述如后。

2-4-1 率定場設置

一、率定場地面 GNSS 基站設置方式

- (一) 仰角 10 度內無遮蔽之透空極佳處。
- (二) 避開車輛、電塔與基地台等干擾位置，且應避免接收訊號有多路徑反射效應。
- (三) 應設置在率定場或周圍 5 公里之範圍內。
- (四) 平面坐標之引測精度應符合內政部「基本測量實施規則」加密控制點之規定，橢球高之引測精度應優於 10 公分。

二、率定場環境條件

- (一) 面積為長寬各約 1 公里範圍。
- (二) 率定場內之地表坡度應平緩。
- (三) 植被覆蓋率應小於 10%。
- (四) 應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。
- (五) 避免例行班機航道、軍事要地、大規模開發或地層下陷區域。

依據前述條件，本團隊選定「南崗工業區」面積約 0.4 平方公里範圍作為空載光達率定場(圖 2-13)。區域內多山形屋頂以及平房，且尚無高壓鐵塔妨礙飛航安全之障礙，適合作為空載光達率定作業場地。

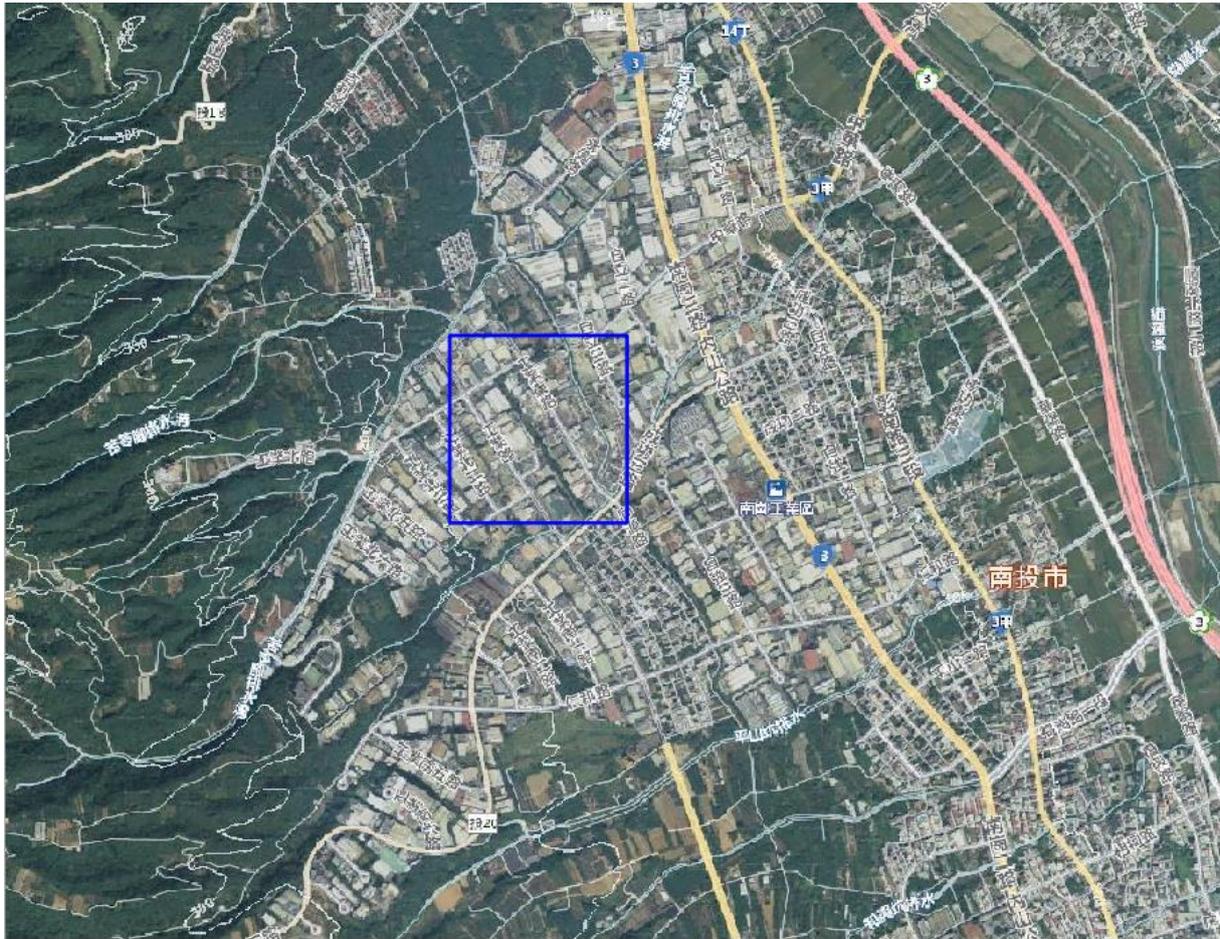


圖 2-13 南崗率定場範圍

2-4-2 率定作業內容

一、率定飛航應符合下列條件

- (一) 起飛及降落階段，均應使飛機停在機坪或跑道上之固定位置，維持 10 分鐘以上穩定接收 GNSS 訊號。
- (二) 自系統開機起至完成作業後關機之過程，POS 系統均不得有斷訊或其他錯誤訊息產生。
- (三) 掃瞄飛航過程中飛機之傾斜角(Roll、Pitch)亦須保持在 15 度以內。
- (四) 航線設計至少須包含 4 個不同航向及 2 個不同航高，或依原廠建議加以設定。
- (五) 須進行額外之確認飛行(verification)，以提供後續成果驗證。
- (六) 依據 Riegl 原廠建議率定說明文件，南崗率定場採用 6 條正規航線(3 條 90 度、3 條 180 度)，航高 1,000 公尺，雷射脈衝頻率為 400 kHz，以及 2 條確認飛行航線(1 條 90 度、1 條 180 度)，航高 1,800 公尺，雷射脈衝頻率為 205 kHz，詳細航線分布圖如圖 2-14，航線規劃資訊如表 2-6。

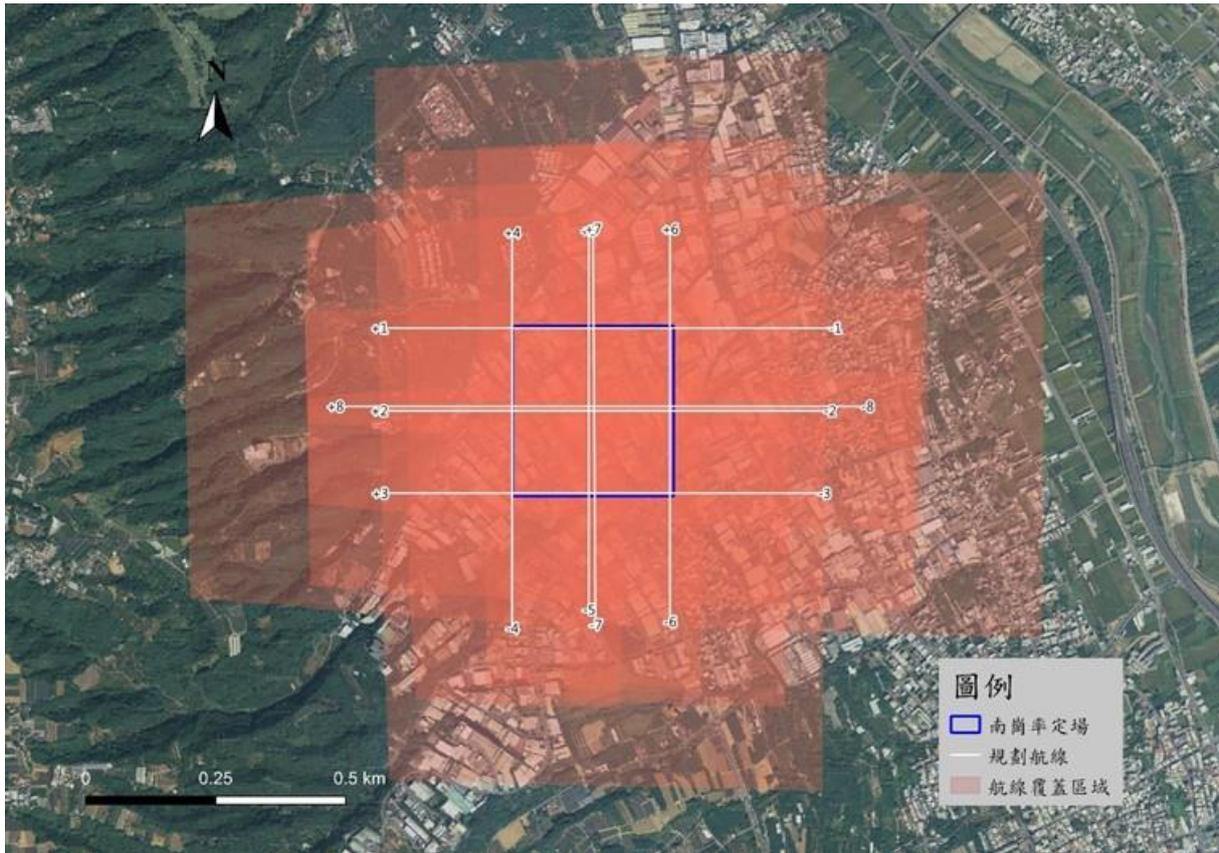


圖 2-14 南崗率定場航線規劃示意圖

表 2-6 南崗率定飛航規劃資訊

項次	項目	內容
1	航高	1000 公尺(航線 1~航線 6) 1800 公尺(航線 7、航線 8)
2	雷射脈衝頻率	400 kHz(航線 1~航線 6) 205 kHz(航線 7、航線 8)
3	航線方向	180 度(航線 4~航線 6、航線 7)
		90 度(航線 1~航線 3、航線 8)
4	點雲密度	大於 4 點/平方公尺
5	前後、側向重疊率	大於 50%

二、地面 GNSS 基站

南崗率定場之地面 GNSS 基站前 2 次均架設於三等衛星控制點 MX57，第 3 次架設於三等衛星控制點 MX34，其分部如圖 2-15 與圖 2-16，其坐標值使用公告之 TWD97[2020]坐標成果，如表 2-7 所示。

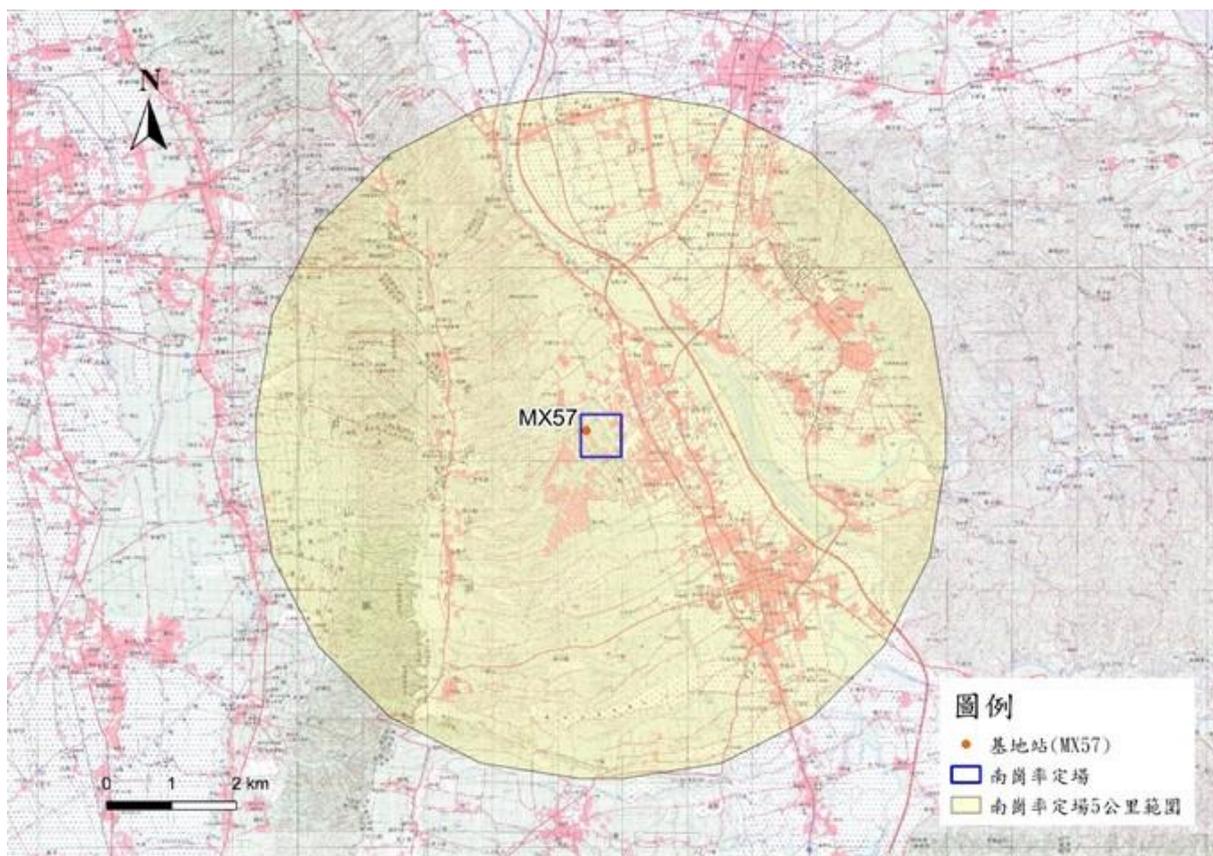


圖 2-15 率定場 GNSS 基地站(MX57)分布圖

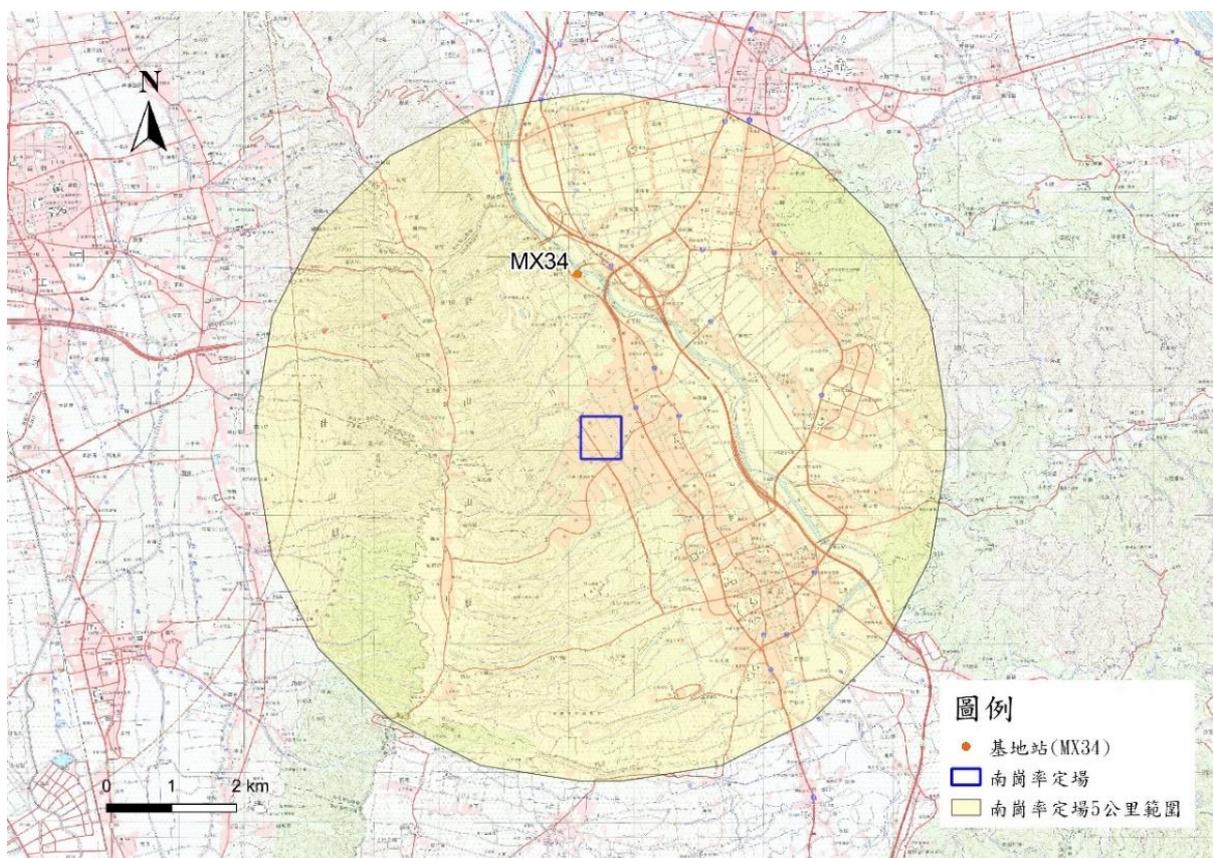


圖 2-16 率定場 GNSS 基地站(MX34)分布圖

表 2-7 率定場 GNSS 基地站坐標位置

點號	緯度	經度	TWD97[2020]			類型
			X	Y	橢球高	
MX34	23.95179	120.65751	215142.102	2649726.859	103.713	三等衛星控制點
MX57	23.92961	120.65886	215272.618	2647269.582	201.096	三等衛星控制點

三、率定參數應至少包含：空載光達設備中心與 GNSS 及 IMU 之位置偏差量 (LeverArm)、視準率定(Boresight angles)。

(一) GNSS 天線位置(Lever Arm)量測

Lever Arm 為 GNSS 相位中心與 IMU 中心之三維空間之坐標差量，儀器裝設後以全測站進行測量，並於解算飛航軌跡時帶入，相關 Lever Arm 量測作業照如圖 2-17 所示。



圖 2-17 Lever arm 量測作業照-P68C-TC

(二) 視準軸角差(Boresight angles)率定

視準率定(Boresight Angles)作業的主要目的在於求解雷射掃瞄投影 LiDAR 系統元件間之安置誤差。整個系統由雷射掃瞄儀、全球定位系統(GNSS)、慣性量測單元(IMU)和飛行載具組成，整個 LiDAR 系統之誤差大多來自儀器率定不完善或三者之間的安置誤差，故此種誤差大部分為系統誤差(童俊雄，2005)，而執行光達系統之率定作業與進行航帶平差即為降低系統誤差影響的重要工作。

其中，雷射掃瞄儀中心與 IMU 中心的三軸旋轉角的差值(Roll, Pitch, Yaw)即為修正航帶平差作業中之系統誤差的參數，此參數用以

作為航帶平差作業時濾除系統誤差的依據。根據求得之各率定參數重新代回解算點雲資料，選取不同航帶之各位置進行剖面及平面檢查，確認不同航帶間之點雲無明顯偏移。

四、率定成果檢核及驗證

- (一) 成果檢核：根據求得之各率定參數重新代回解算點雲資料，選取不同航帶之各位置進行剖面及平面檢查，確認不同航帶間之點雲無明顯偏移，且與地面實測之高程坐標差值小於 10 公分。
- (二) 確認飛行之驗證：根據求得之各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，並再次與地面實測點比較，其高程坐標差值亦應小於 10 公分。

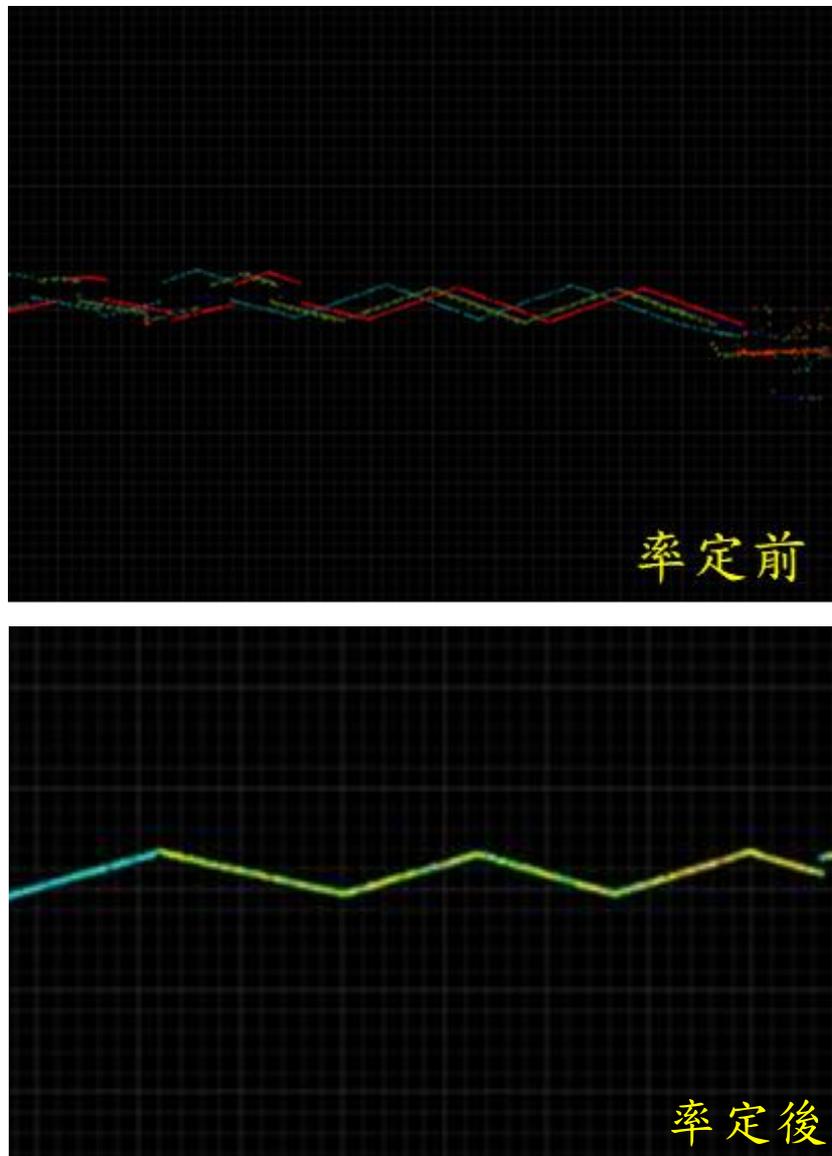


圖 2-18 南崗率定場代入率定值前後點雲剖面圖

2-4-3 率定作業執行

本計畫共執行三次空載光達率定飛行，第一次(111 年 3 月 20 日)與第二次(111 年 4 月 28 日)均於南崗率定場執行，率定設備為 Riegl LMS Q780(2220651)；第三次(111 年 7 月 7 日)亦於南崗率定場執行，率定設備為 Riegl LMS Q780(9999263)，相關率定報告詳如附件六。

一、率定飛航應符合下列條件

- (一) 起飛及降落階段，均應使飛機停在機坪或跑道上之固定位置，維持 10 分鐘以上穩定接收 GNSS 訊號。
- (二) 自系統開機起至完成作業後關機之過程，POS 系統均不得有斷訊或其他錯誤訊息產生。
- (三) 掃瞄飛航過程中飛機之傾斜角(Roll、Pitch)亦需保持在 15 度以內。
- (四) 航線設計至少須包含 4 個不同航向及 2 個不同航高，或依原廠建議加以設定。
- (五) 須進行額外之確認飛行(verification)，以提供後續成果驗證。

二、地面 GNSS 基站：南崗率定場於內政部公告之三等衛星控制點 MX57 與 MX34 上架設，觀測均符合下列條件：

- (一) 觀測時段平均 PDOP 值應小於等於 4，且衛星數量大於 6 顆。
- (二) 接收頻率為 2 Hz。

三、率定飛航之掃瞄參數應根據儀器特性及原廠建議進行設定，且必須完整記錄，詳述於附件六各率定報告書中。

四、飛航軌跡之解算如以正反算差值進行檢核，其 Combined Separation 值小於 20 公分，符合作業規範。

五、求解率定參數時，應使用率定飛行之點雲資料，而不可加入確認飛行之點雲資料。

六、率定參數應至少包含：空載光達設備中心與 GNSS 及 IMU 之位置偏差量(LeverArm)、視準率定(Boresight angles)。

- (一) GNSS 天線位置(Lever Arm)量測：Lever Arm 為 GNSS 相位中心與 IMU 中心之三維空間之坐標差量，儀器裝設後以全測站經緯儀進行測量，並於解算飛航軌跡時帶入，相關 Lever Arm 量測作業照。
- (二) 視準軸角差(Boresight angles)率定：視準率定(Boresight Angles)作業的主要目的在於求解雷射掃瞄投影 LiDAR 系統元件間之安置誤差。整個

系統由雷射掃瞄儀、全球定位系統(GNSS)、慣性量測單元(IMU)和飛行載具組成，整個 LiDAR 系統之誤差大多來自儀器率定不完善或三者之間的安置誤差，故此種誤差大部分為系統誤差(童俊雄，2005)，而執行光達系統之率定作業與進行航帶平差即為降低系統誤差影響的重要工作。

七、本計畫於 111 年 3 月 20 日執行南崗率定場率定飛行，點雲成果以航線分色展示如圖 2-19，率定解算成果如表 2-8，相關描述詳如附件六。

八、本計畫於 111 年 4 月 28 日執行南崗率定場率定飛行，點雲成果以航線分色展示如圖 2-20，率定解算成果如表 2-9，相關描述詳如附件六。

九、本計畫於 110 年 7 月 07 日執行南崗率定場率定飛行，點雲成果以航線分色展示如圖 2-20，率定解算成果如表 2-9，相關描述詳如附件六。

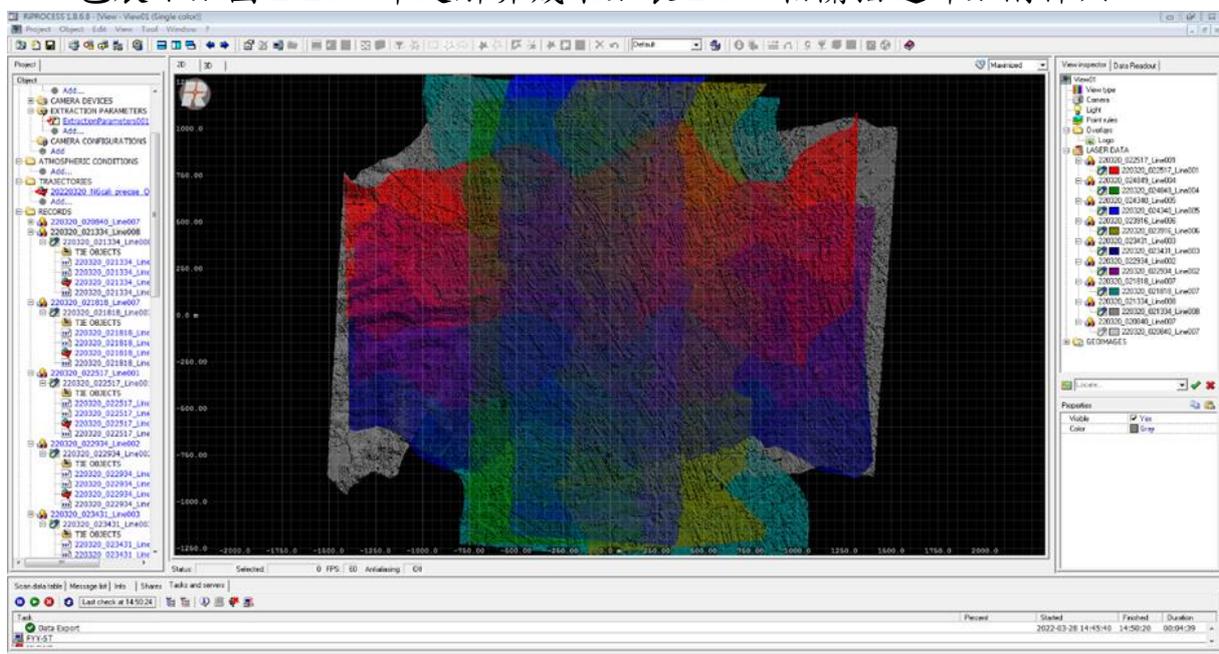


圖 2-19 111 年 3 月 20 日率定場點雲成果展示圖

表 2-8 111 年 3 月 20 日南崗率定場率定成果參數表

儀器名稱	參數項目	率定場成果參數	備註
Scanner 1 (Q780, 2220651)	Number of observations	79141	率定解算結果
	Error (Std. deviation) [m]	0.0543	
	Roll	0.05032	
	Pitch	0.11801	
	Yaw	-0.35400	
	X	0.057	以儀器規格計算
	Y	0.019	
	Z	0.271	

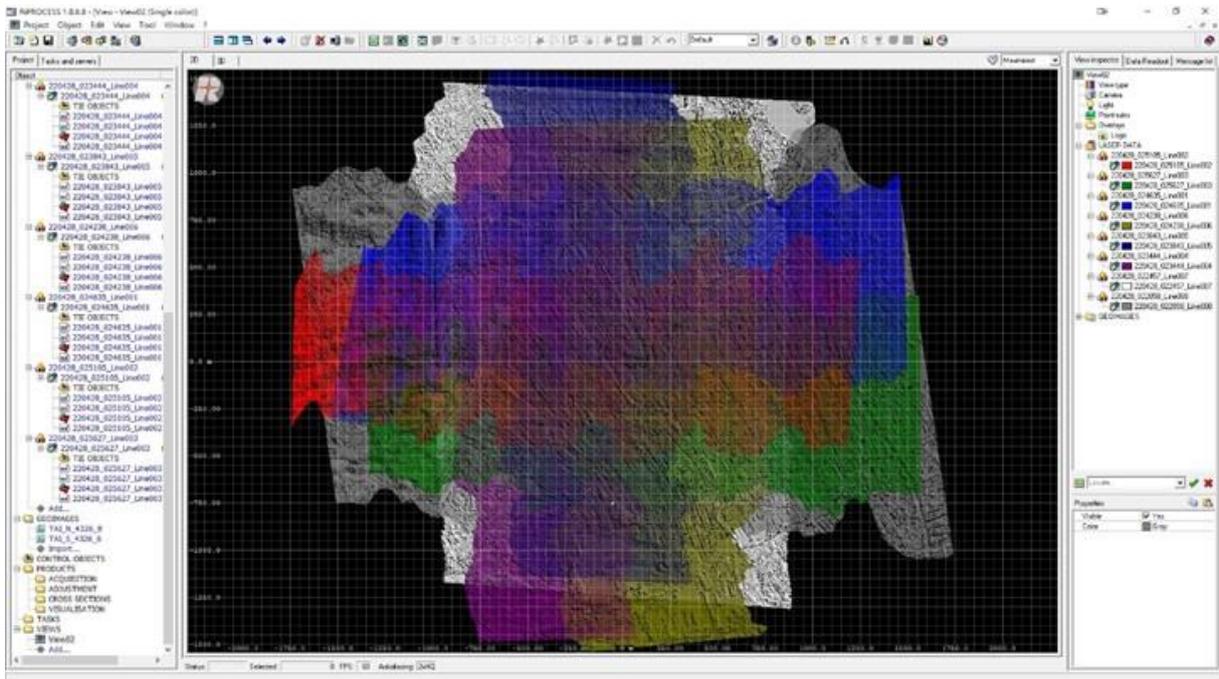


圖 2-20 111 年 4 月 28 日南崗率定場點雲成果展示圖

表 2-9 111 年 4 月 28 日南崗率定場率定成果參數表

儀器名稱	參數項目	率定場成果參數	備註
Scanner 1 (Q780, 2220651)	Number of observations	26890	率定解算結果
	Error (Std. deviation) [m]	0.0528	
	Roll	0.33170	
	Pitch	0.10820	
	Yaw	-0.20063	以儀器規格計算
	X	0.057	
	Y	0.019	
	Z	0.261	

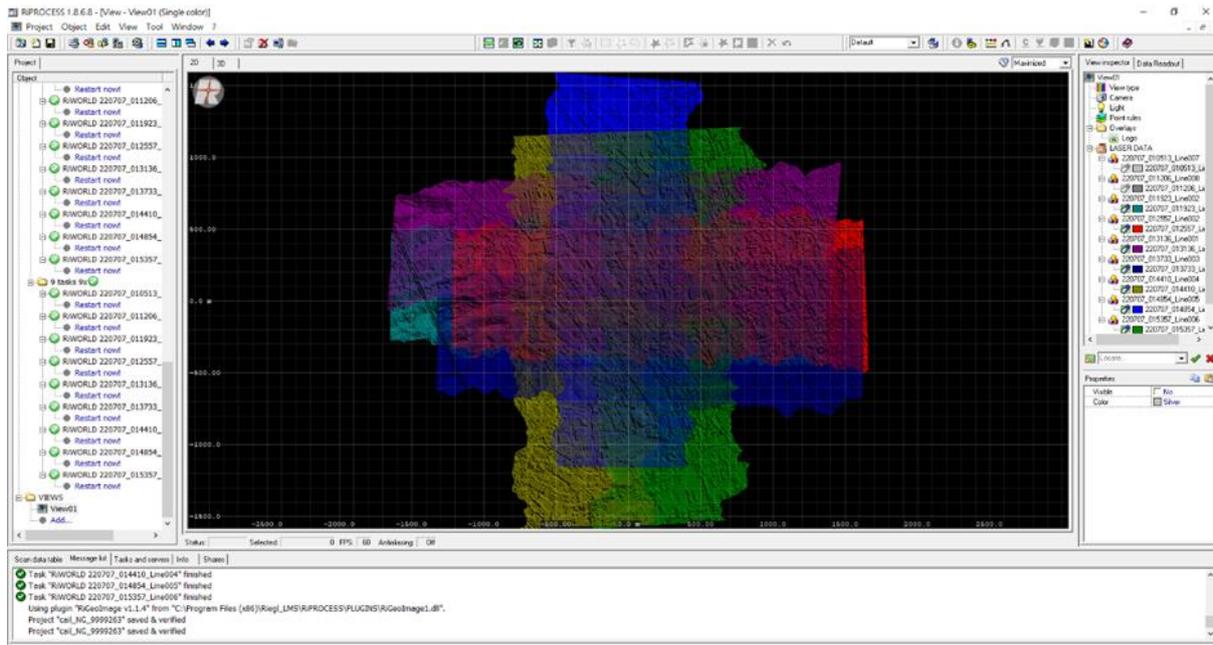


圖 2-21 111 年 7 月 7 日南崗率定場點雲成果展示圖

表 2-10 111 年 7 月 7 日南崗率定場率定成果參數表

儀器名稱	參數項目	率定場成果參數	備註
Scanner 2 (Q780, 9999263)	Number of observations	77547	率定解算結果
	Error (Std. deviation) [m]	0.0367	
	Roll	0.01731	
	Pitch	0.18942	
	Yaw	-0.15172	
	X	0.057	以儀器規格計算
	Y	0.019	
	Z	0.261	

十、率定成果檢核及驗證

(一) 地面控制點

率定場範圍內均分別設有高程檢核點，並使用內政部國土測繪中心建置之 e-GNSS 即時動態衛星定位系統以 VBS-RTK 方式施測，解算後各檢核點分布如圖 2-22 所示，測量成果如表 2-11，各點位施測作業遠近照如圖 2-23。

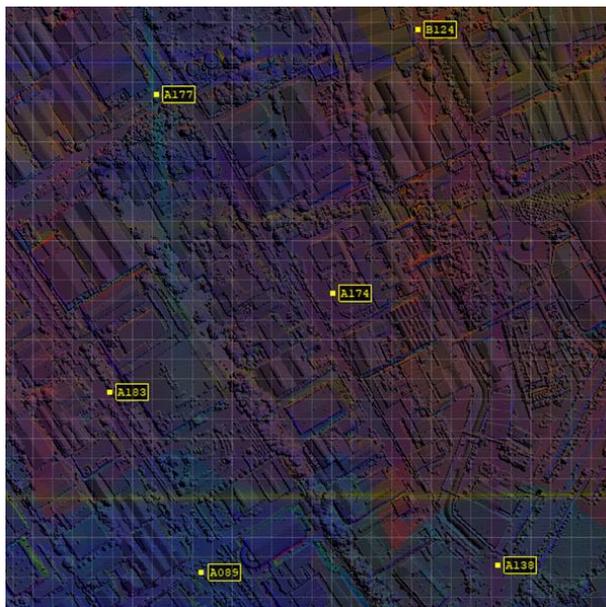


圖 2-22 南崗率定場地面高程檢核點分布圖

表 2-11 南崗率定場地面高程檢核點坐標成果表

點號	高程檢核點		
	E	N	橢球高
B124	215681.695	2647501.090	161.847
A174	215595.306	2647234.029	180.620
A183	215370.420	2647134.544	201.205
A089	215462.198	2646951.875	194.860
A138	215760.737	2646958.052	172.429



圖 2-23 南崗率定場地面高程檢核點施測作業照

(二) 率定飛航掃瞄成果檢核

檢核作業首先將平差過後之各航帶點雲進行地面點分類，再針對地面點執行 TerraScan 模組之 Output control report 之功能比對輸出與控制點最近之光達測點，解算地面點點雲與控制點之高程誤差。成果檢查後均符合本案精度規範要求(與地面實測高程坐標差值小於 10 公分)，詳見附件六各率定報告書。

(三) 確認飛行掃瞄成果檢核

以相同率定參數代入確認飛行航線後，一樣以 TerraScan 模組之 Output control report 功能解算其與控制點之高程誤差，成果同樣符合本案精度規範要求(與地面實測高程坐標差值小於 10 公分)，詳見附件六各率定報告書。

十一、本計畫於 111 年 3 月 20 日執行空載光達率定作業，並於 111 年 4 月 8 日提送空載光達率定報告書，並於 111 年 4 月 14 日獲得監審單位審核通過，相關文件詳如附件七。

十二、本計畫於 111 年 4 月 28 日執行空載光達率定作業，並於 111 年 8 月 4 日提送空載光達率定報告書，並於 111 年 8 月 15 日獲得監審單位審核通過，相關文件詳如附件七。

十三、本計畫於 111 年 7 月 7 日執行空載光達率定作業，並於 111 年 8 月 4 日提送空載光達率定報告書，並於 111 年 8 月 15 日獲得監審單位審核通過，相關文件詳如附件七。

2-5 控制測量

地面控制測量之目的在於測量地面 GNSS 基站坐標及航帶平差所需的控制點及平面控制點坐標。控制測量平面採用 TWD97[2020]坐標系統，並採用內政部最新公布之坐標成果，高程成果則包括橢球高及正高系統。

2-5-1 地面 GNSS 基地站

- 一、空載光達資料獲取同時，其掃瞄區域內 20 公里範圍內，應至少有 2 點以上透空度佳(仰角 10 度以上無遮蔽)的地面 GNSS 基地站，同步接收 GNSS 觀測量。
- 二、地面 GNSS 基站應製作點位透空圖，並附上四方環景照片。基站附近包含雷達、高壓電塔、電台等電訊設施，請一併註明其距離及方位角。採雙主站方式布設之基站若透空度類似則點之記內可共用透空圖，但仍須註明清楚雙主站之共點點號，111 年度作業全數採外購 GNSS 基站，無自行架設基站。
- 三、繳交控制測量成果，應包含使用之地面 GNSS 基地站及航帶平差控制點分布圖及說明、點之記、地面 GNSS 基站透空圖、GNSS 原始觀測數據等。
- 四、本計畫依據作業規範，測量區域航線須滿足 20 公里內，有 2 站以上 GNSS 基站。蒐集計畫測區 20 公里範圍內 GNSS 基地站資訊如表 2-12，仍未能涵蓋計畫測區西側區域，基地站外擴 20 公里範圍以及計畫區域套疊如圖 2-25。
- 五、於 110 年 12 月 23 日函文向監審廠商提出申請(自工字第 110127824 號)，並於 110 年 12 月 28 日獲得監審廠商審查判定部分測區確實為人車抵達困難(成大產創字第 1101104332 號)，亦於 110 年 12 月 29 日獲得主辦機關許可(測形字第 1101338922 號)，相關函文如圖 2-24 及附件一所示。

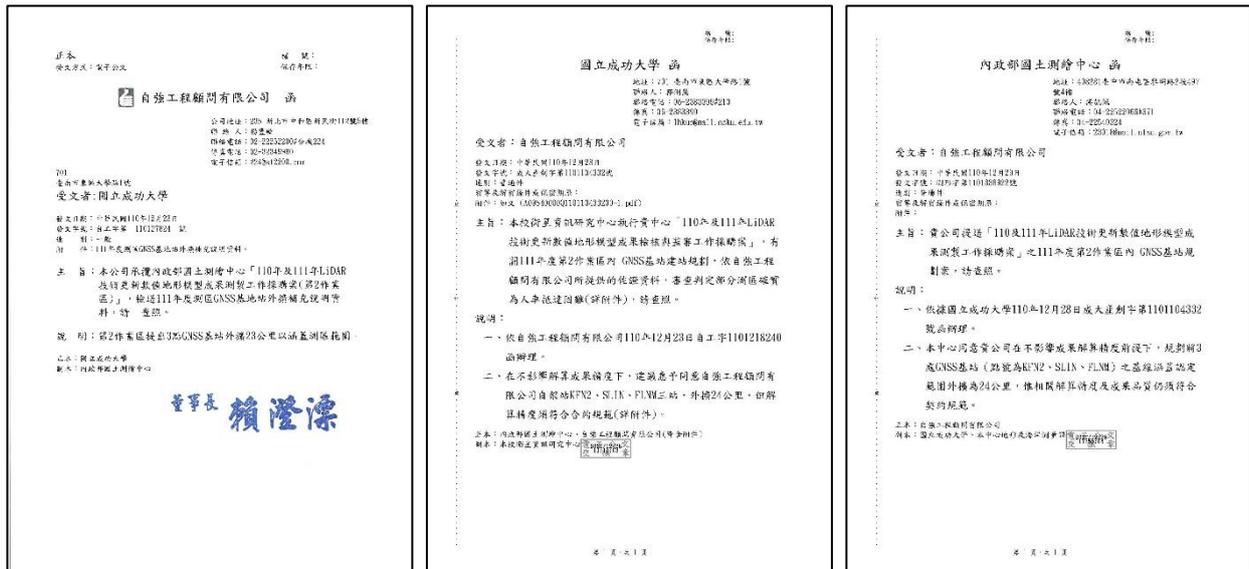


圖 2-24 GNSS 基地站外擴申請函文(左)、GNSS 基地站外擴許可函文(中、右)

表 2-12 測區周圍 GNSS 基地站列表

項次	點號	單位	行政區	站名	N 坐標(概略)	E 坐標(概略)
1	BLOW	中央氣象局	花蓮縣	布洛灣	2674163	308043
2	CHNT	中央氣象局	花蓮縣	崇德	2671707	317266
3	CHUN	中央氣象局	花蓮縣	春日	2594486	290162
4	DNFU	中央氣象局	花蓮縣	東富	2620236	299188
5	DSIN	中央氣象局	花蓮縣	大興	2614239	290612
6	FENP	中央氣象局	花蓮縣	豐濱	2610650	303010
7	HUAL	中央氣象局	花蓮縣	花蓮	2652433	312433
8	HUAN	中央氣象局	南投縣	合歡山	2670940	277707
9	MFEN	中央氣象局	南投縣	梅峰	2664133	267537
10	NDHU	中央氣象局	花蓮縣	東華大學	2643753	306086
11	SHUL	中央氣象局	花蓮縣	水璉國中	2631617	307348
12	SLIN	中央氣象局	花蓮縣	西林	2634257	294975
13	SPAO	中央氣象局	花蓮縣	西寶	2677814	299254
14	TUNM	中央氣象局	花蓮縣	銅門	2651258	300232
15	YENL	中央氣象局	花蓮縣	東管處	2644467	311280
16	FLNM	內政部國土測繪中心	花蓮縣	鳳林	2627001	296216
17	FONB	內政部國土測繪中心	花蓮縣	豐濱	2610618	303166
18	KFN2	內政部國土測繪中心	南投縣	高峰	2653669	261885
19	SICH	內政部國土測繪中心	花蓮縣	新城	2669103	316517
20	SOFN	內政部國土測繪中心	花蓮縣	壽豐	2640784	310920
21	WARO	內政部國土測繪中心	花蓮縣	萬榮	2634273	294935

註：111 年度作業全數採外購 GNSS 基站，無自行架設基站。

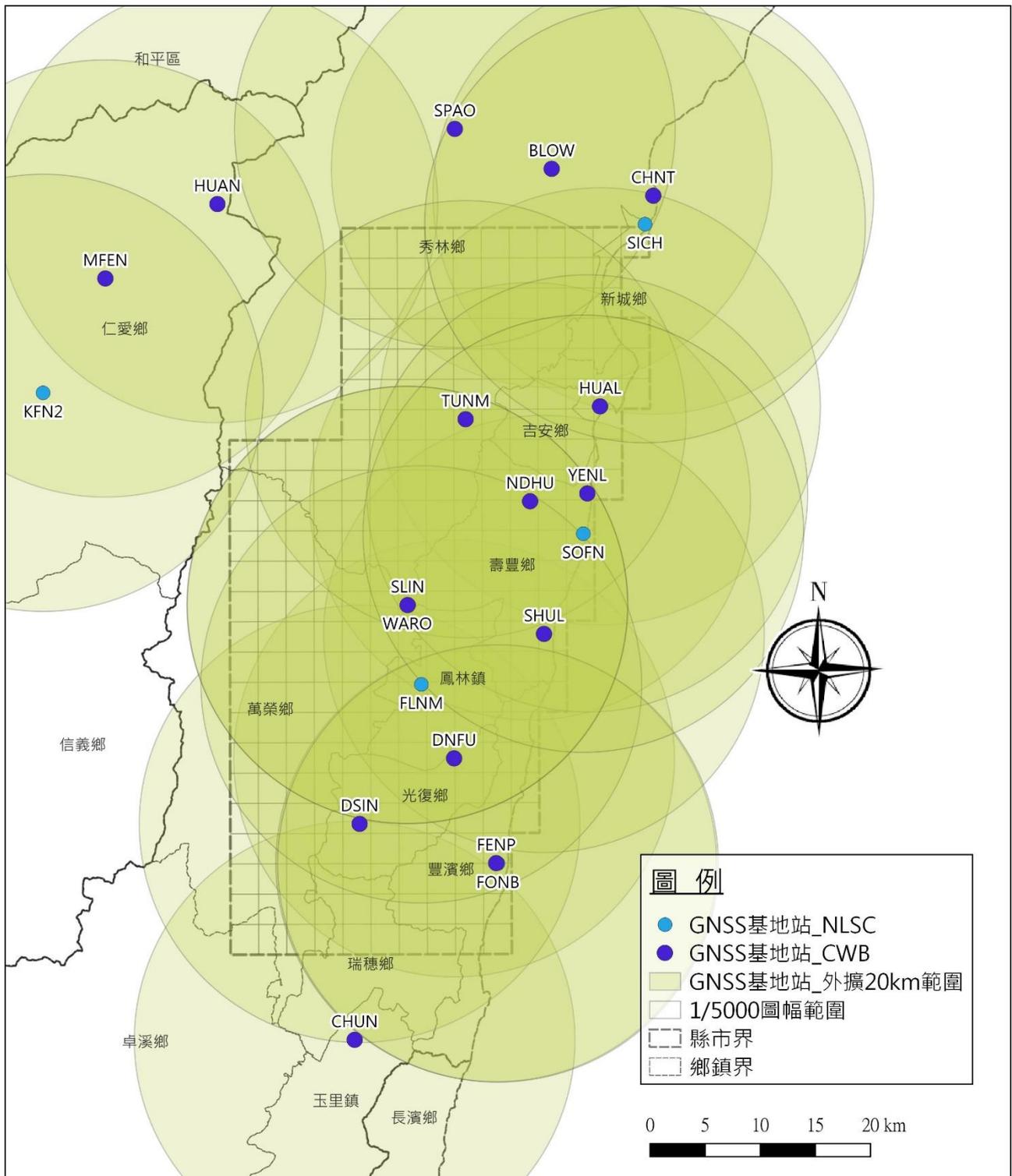


圖 2-25 GNSS 基地站分布及其 20 公里範圍圖

依據圖 2-25 劃設 GNSS 基地站 20km 無法涵蓋區域以暗紅色顯示，並劃設該區外擴 20km 範圍如圖 2-26 清查該區周圍已知之既有 GNSS 基地站，並套疊內政部國土測繪中心臺灣通用電子地圖後，僅有慕谷慕魚地區可能到達。然而，該地區於 105 年 10 月發生土石坍方後，造成一號隧道內部、東側出口前約 50 公尺嚴重坍方及路基流失等問題，秀林鄉公所宣布封山，僅開放當地農民、台

灣電力公司工程人員進入，因而無法作為 GNSS 基地站架設地點。即使勉強架設，也仍須以既有 GNSS 外擴才能滿足作業需求。

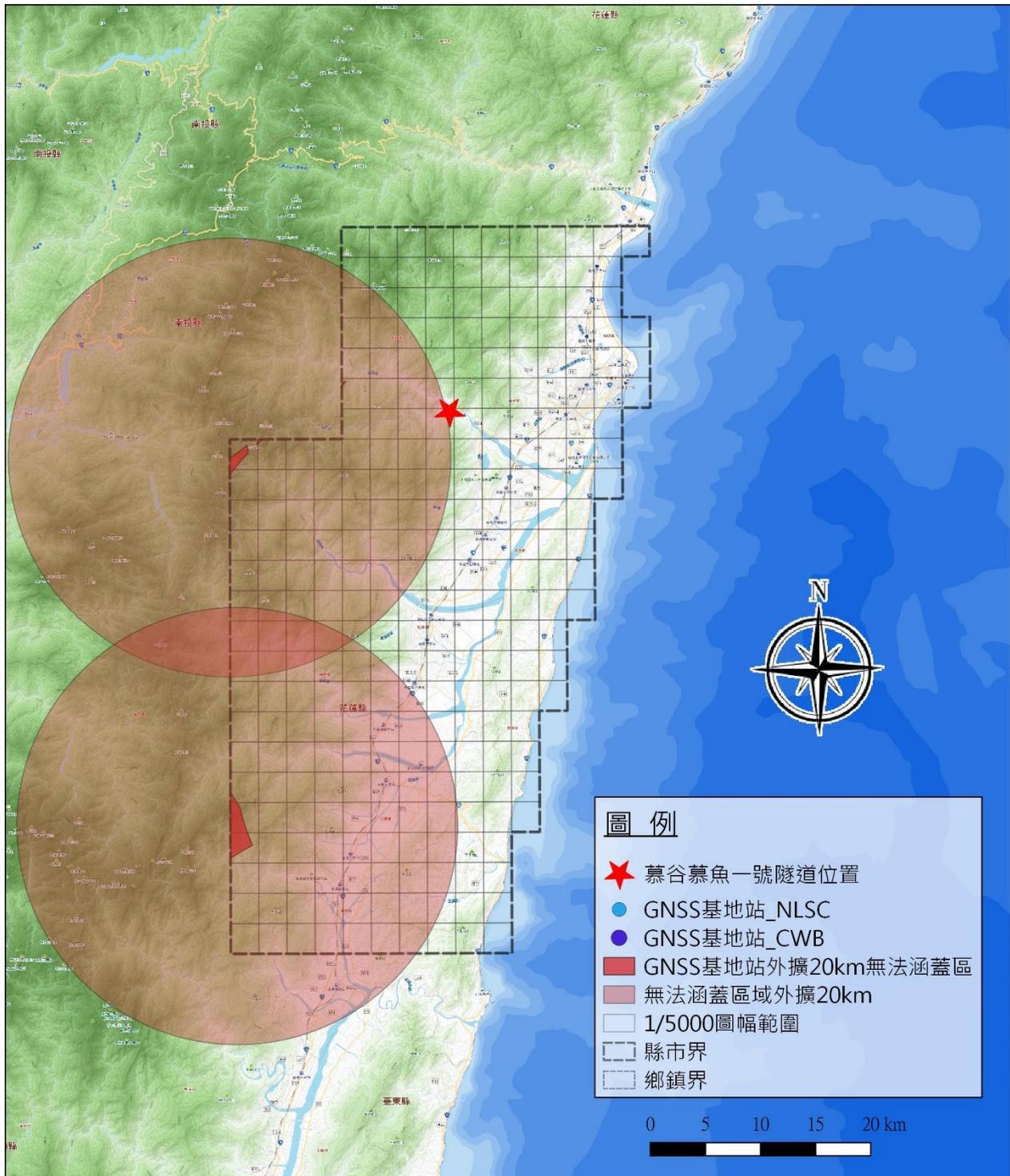


圖 2-26 GNSS 基地站 20km 無法涵蓋區域套疊內政部國土測繪中心臺灣通用電子地圖

依據前述狀況，經監審廠商審查判定以及主辦機關許可延伸 3 站 GNSS 基地站涵蓋範圍至 24 km (KFN2、SLIN、FLNM)，其餘 18 站維持原計畫作業規定 (GNSS 基地站外擴 20km 範圍)，套疊原 GNSS 基地站涵蓋範圍不足區域如圖 2-27，確保該區能擁有 2 站以上的 GNSS 基地站涵蓋，符合作業規定。

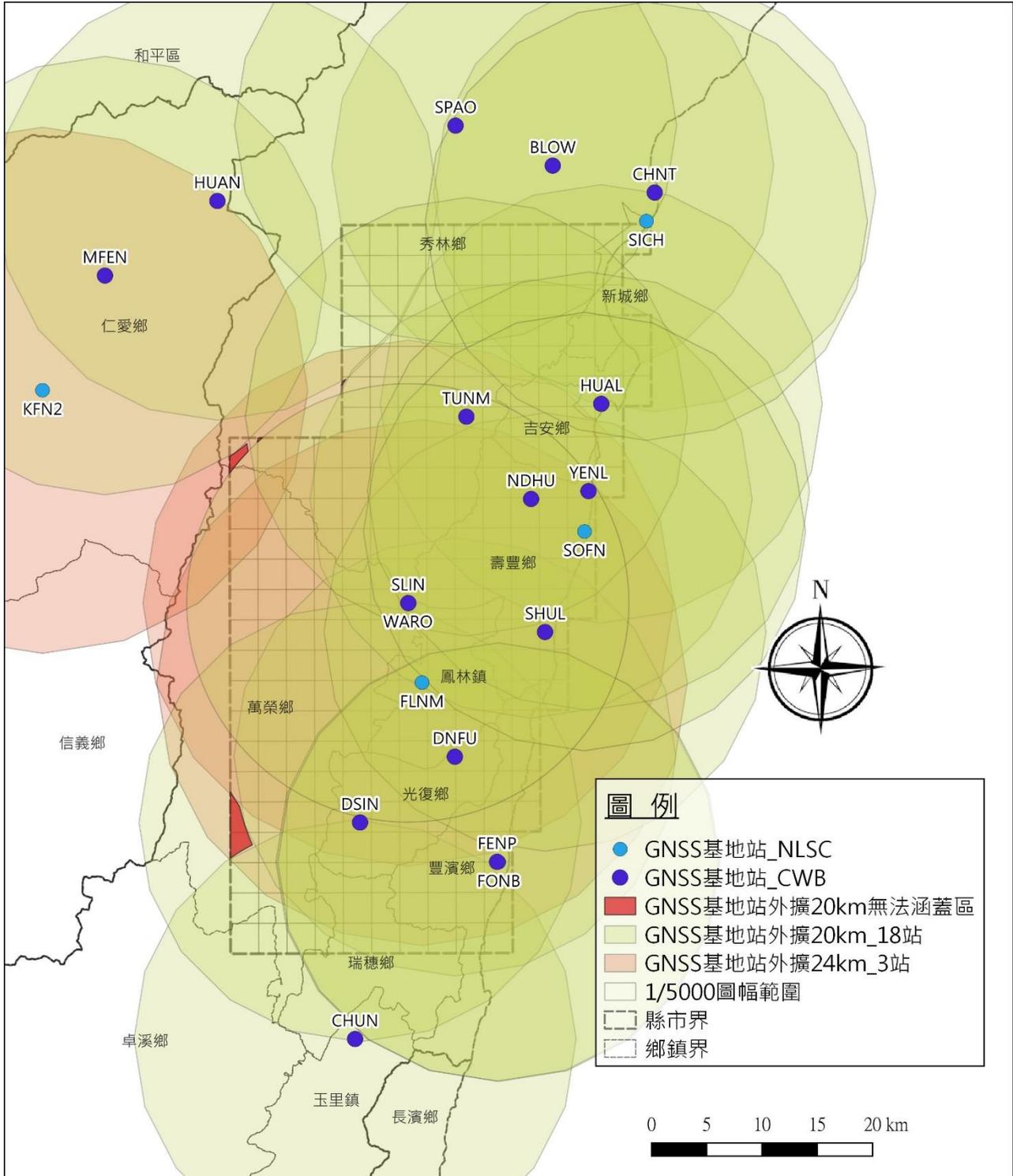


圖 2-27 GNSS 基地站涵蓋範圍調整後成果

2-5-2 地面 GNSS 基站成果

依據本計畫監審廠商監審案的合約規定，控制測量的框架資料由監審廠商提供，測製廠商提供框架點及控制點的觀測資料予監審廠商，並由監審廠商進行解算後將成果提供測製廠商運用，以確保成果框架之一致性。

本團隊於 111 年 3 月 18 日提送地面 GNSS 基站連續 72 小時資料予監審廠商，並於 111 年 4 月 15 日收到解算成果，相關公文如附件一，坐標成果如表 2-13 所示。

表 2-13 111 年地面 GNSS 基地站成果

序號	點名	N (m)	E (m)	h 橢球高 (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	經度			緯度			h (m) 橢球高	備註	
								度	分	秒	度	分	秒			
1	BLOW	2674163.172	308043.368	375.498	-3048433.072	4960732.593	2595804.355	121	34	16.50822	24	10	18.31714	375.498	TWD97[2020]框架站	
2	CHNT	2671706.582	317266.059	38.779	-3056653.053	4956511.905	2593387.904	121	39	42.84580	24	8	57.14794	38.779	TWD97[2020]框架站	
3	CHUN	2594485.845	290162.225	118.868	-3049617.459	4997428.409	2522854.701	121	23	35.16404	23	27	10.29362	118.868	TWD97[2020]框架站	放開約制
4	CLAN	2721819.714	301848.029	453.174	-3033047.984	4947156.191	2639268.072	121	30	43.24138	24	36	8.10127	453.174	TWD97[2020]框架站	
5	CSLA	2772922.760	303874.151	48.073	-3023529.555	4927387.177	2685473.172	121	32	2.38030	25	3	48.77672	48.073	TWD97[2020]框架站	
6	CWBN	2770047.283	301862.182	55.717	-3022443.434	4929486.046	2682878.302	121	30	50.20024	25	2	15.57523	55.717	TWD97[2020]框架站	
7	DNFU	2620236.128	299187.892	133.330	-3052027.957	4983914.449	2546439.505	121	28	56.24017	23	41	6.47057	133.330	TWD97[2020]框架站	
8	DSIN	2614239.077	290611.508	178.331	-3045965.573	4990477.518	2540988.229	121	23	52.92609	23	37	52.38418	178.331	TWD97[2020]框架站	
9	FENP	2610650.544	303009.851	39.723	-3057224.953	4985144.062	2537607.961	121	31	9.91392	23	35	54.43889	39.723	TWD97[2020]框架站	放開約制
10	FIVE	2773874.880	328798.875	775.183	-3044912.373	4914562.888	2686533.969	121	46	51.90542	25	4	15.78150	775.183	TWD97[2020]框架站	
11	FLNM	2627001.468	296215.563	138.503	-3048091.363	4983134.244	2552645.090	121	27	12.08515	23	44	46.70603	138.503	TWD97[2020]框架站	
12	FLON	2768361.487	344617.199	41.515	-3059222.218	4907685.567	2681137.154	121	56	14.95836	25	1	13.34157	41.515	TWD97[2020]框架站	
13	FONB	2610618.580	303165.495	51.320	-3057369.906	4985082.908	2537582.792	121	31	15.39993	23	35	53.38145	51.320	TWD97[2020]框架站	放開約制
14	GS01	2763879.704	301302.356	53.454	-3023307.691	4932011.454	2677289.598	121	30	29.40385	24	58	55.19240	53.454	TWD97[2020]框架站	
15	GS09	2789042.423	315695.684	30.891	-3030076.066	4915329.567	2700012.735	121	39	6.96603	25	12	30.97392	30.891	TWD97[2020]框架站	
16	GS20	2748682.662	345117.981	25.782	-3063913.245	4914520.994	2663282.923	121	56	27.95916	24	50	33.70490	25.782	TWD97[2020]框架站	
17	GS70	2743448.989	329974.111	23.801	-3052161.288	4924363.396	2658619.099	121	47	27.52139	24	47	46.73756	23.801	TWD97[2020]框架站	
18	GS71	2729071.662	322129.048	63.008	-3048597.765	4933663.253	2645615.756	121	42	45.54778	24	40	0.86653	63.008	TWD97[2020]框架站	放開約制
19	GS72	2728863.856	333949.471	25.783	-3058688.608	4927508.532	2645351.042	121	49	45.90989	24	39	51.95507	25.783	TWD97[2020]框架站	放開約制
20	GS93	2784222.152	306304.869	911.728	-3023542.199	4922673.778	2696063.316	121	33	30.78016	25	9	55.68948	911.728	TWD97[2020]框架站	
21	HAN2	2725425.844	322566.100	108.952	-3049775.274	4934773.377	2642319.164	121	43	0.41564	24	38	2.29938	108.952	TWD97[2020]框架站	

序號	點名	N (m)	E (m)	h 橢球高 (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	經度			緯度			h (m) 橢球高	備註
								度	分	秒	度	分	秒		
22	HERI	2798517.855	308498.638	84.154	-3021882.698	4915666.514	2708635.765	121	34	51.32813	25	17	39.99125	84.154	TWD97[2020]框架站
23	HNSN	2692458.292	281261.403	2003.060	-3022461.163	4969498.198	2613234.380	121	18	29.05563	24	20	15.73281	2003.060	TWD97[2020]框架站
24	HUAL	2652433.498	312433.121	46.409	-3056584.863	4965781.949	2575811.964	121	36	48.67007	23	58	31.40484	46.409	TWD97[2020]框架站
25	HUAN	2670940.166	277706.848	3421.643	-3024644.904	4980024.841	2594192.606	121	16	21.46109	24	8	36.52573	3421.643	TWD97[2020]框架站
26	HUAP	2689449.176	326068.928	42.941	-3060403.440	4945662.167	2609529.196	121	44	58.03454	24	18	32.38964	42.941	TWD97[2020]框架站
27	ILAN	2739854.333	326520.858	28.612	-3049999.577	4927470.127	2655375.154	121	45	23.86667	24	45	50.54600	28.612	TWD97[2020]框架站
28	JYAN	2681895.463	272985.976	1967.489	-3017603.453	4977487.819	2603602.609	121	13	34.86281	24	14	32.90533	1967.489	TWD97[2020]框架站
29	KFN2	2653669.196	261884.610	1583.285	-3013858.850	4992820.234	2577685.534	121	7	0.48209	23	59	15.82840	1583.285	TWD97[2020]框架站
30	LND2	2777207.031	342573.133	38.018	-3055552.701	4905546.896	2689161.011	121	55	4.19565	25	6	1.25644	38.018	TWD97[2020]框架站
31	LTUN	2732772.505	328078.346	28.042	-3052851.594	4929192.798	2648934.682	121	46	17.88334	24	42	0.10102	28.042	TWD97[2020]框架站
32	MFEN	2664133.339	267537.152	2237.075	-3016812.661	4986753.952	2587507.181	121	10	20.92455	24	4	55.78928	2237.075	TWD97[2020]框架站
33	NAAO	2705028.664	332146.011	25.941	-3062256.315	4936947.564	2623681.574	121	48	36.78740	24	26	57.64190	25.941	TWD97[2020]框架站
34	NCCU	2764379.906	307897.809	107.592	-3028851.819	4928431.274	2677742.053	121	34	24.65944	24	59	10.59469	107.592	TWD97[2020]框架站
35	NDHU	2643752.405	306086.092	57.041	-3052991.330	4972124.796	2567905.257	121	33	2.94463	23	53	50.07591	57.041	TWD97[2020]框架站
36	NIUT	2725442.349	306853.734	386.638	-3036510.135	4943199.278	2642516.337	121	33	41.71786	24	38	5.21062	386.638	TWD97[2020]框架站
37	NSAN	2702500.234	288817.986	1132.431	-3026372.580	4961340.652	2622007.091	121	22	58.11771	24	25	41.52728	1132.431	TWD97[2020]框架站
38	PLIN	2758615.257	322106.702	271.025	-3042294.715	4923212.038	2672523.346	121	42	50.24546	24	56	1.05250	271.025	TWD97[2020]框架站
39	RW31	2709212.865	293225.589	820.570	-3028558.441	4956422.798	2627977.883	121	25	35.32782	24	29	19.29370	820.570	自架站(詮華)
40	RW32	2709220.189	293233.150	814.739	-3028560.568	4956411.732	2627982.111	121	25	35.59717	24	29	19.53100	814.739	自架站(詮華)
41	RW41	2691667.056	325081.047	79.478	-3059109.229	4945425.412	2611570.189	121	44	23.41671	24	19	44.64778	79.478	自架站(詮華)
42	RW42	2691662.766	325078.261	79.549	-3059107.801	4945428.442	2611566.323	121	44	23.31709	24	19	44.50884	79.549	自架站(詮華)
43	SANJ	2794758.575	300451.816	74.204	-3015839.089	4921232.779	2705261.295	121	30	3.16172	25	15	38.87077	74.204	TWD97[2020]框架站

序號	點名	N (m)	E (m)	h 橢球高 (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	經度			緯度			h (m) 橢球高	備註
								度	分	秒	度	分	秒		
44	SHMN	2798179.454	306610.430	46.683	-3020328.807	4916747.319	2708321.054	121	33	43.77653	25	17	29.25501	46.683	TWD97[2020]框架站
45	SHUL	2631616.622	307347.947	57.852	-3056594.912	4975672.054	2556800.246	121	33	45.85289	23	47	15.43380	57.852	TWD97[2020]框架站
46	SICH	2669102.291	316517.736	55.067	-3056571.661	4957829.059	2591021.085	121	39	15.90751	24	7	32.61300	55.067	TWD97[2020]框架站
47	SLIN	2634257.259	294974.872	202.735	-3045555.653	4981322.335	2559315.027	121	26	29.06760	23	48	42.69277	202.735	TWD97[2020]框架站
48	SLNP	2738582.273	314290.058	491.852	-3040074.093	4934689.233	2654470.468	121	38	8.30698	24	45	11.22580	491.852	TWD97[2020]框架站
49	SOFN	2640784.257	310920.053	58.675	-3057733.871	4970631.810	2565173.832	121	35	53.40058	23	52	12.95735	58.675	TWD97[2020]框架站
50	SPAO	2677813.836	299253.614	984.557	-3040452.448	4964509.197	2599414.888	121	29	5.54042	24	12	18.05830	984.557	TWD97[2020]框架站
51	SUA2	2723482.765	335833.777	25.802	-3061447.520	4928441.826	2640449.502	121	50	51.74447	24	36	56.69458	25.802	TWD97[2020]框架站 放開約制
52	TUNM	2651258.137	300231.812	195.126	-3046493.646	4972675.863	2574842.077	121	29	36.89803	23	57	54.75639	195.126	TWD97[2020]框架站
53	TWVD	2781580.953	330642.418	29.424	-3044441.856	4910218.450	2693186.299	121	47	59.31518	25	8	25.86742	29.424	TWD97[2020]框架站
54	WARO	2634275.735	294926.492	210.291	-3045514.103	4981347.025	2559335.121	121	26	27.36026	23	48	43.29828	210.291	TWD97[2020]框架站
55	WHDO	2769734.614	300430.494	81.492	-3021301.897	4930365.708	2682610.756	121	29	59.08469	25	2	5.58748	81.492	TWD97[2020]框架站
56	WULI	2694072.978	281298.033	1790.137	-3022048.726	4968742.666	2614618.206	121	18	30.48227	24	21	8.21479	1790.137	TWD97[2020]框架站
57	YENL	2644467.398	311279.557	88.181	-3057286.322	4969188.388	2568552.244	121	36	6.66151	23	54	12.62891	88.181	TWD97[2020]框架站
58	YILN	2737858.572	325422.244	64.000	-3049511.407	4928789.858	2653583.049	121	44	44.37543	24	44	45.87893	64.000	TWD97[2020]框架站
59	YLSS	2729154.141	316092.148	123.290	-3043464.790	4936840.514	2645743.161	121	39	10.84755	24	40	4.52319	123.290	TWD97[2020]框架站
60	YMSM	2784255.637	307868.468	783.940	-3024808.267	4921746.735	2696033.338	121	34	26.62289	25	9	56.56412	783.940	TWD97[2020]框架站

2-5-3 控制點施測方法及分布

- 一、航帶平差控制點及平面控制點採 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 20 分鐘以上、記錄頻率為 1 Hz 之靜態觀測資料，並以 VBS-RTK 後處理方式計算該點坐標。
- 二、執行 VBS-RTK 所使用的儀器為 STONEX 系列之 GNSS 衛星定位儀(如表 2-14)，並均有 TAF 校正成果如附件三。
- 三、採用內政部發布之臺灣地區大地起伏模型，將橢球高內插計算為正高值。
- 四、所有成果必須製作點位紀錄表，範例如圖 2-28，成果如附件八。
- 五、依據航線成果並套疊內政部國土測繪中心臺灣通用電子地圖進行評估，由於測區西半部多受限於地形，人車難以達到，為避免西側控制點較弱，實測控制點會盡可能往西側延伸至人車可到位置，共規劃 229 個平差控制點控制，其中包括 64 個航帶平差高程控制點(代碼 A)、141 個立製測量航帶平差高程控制點(代碼 A)、9 個航帶平差平面控制點(特徵角點)(代碼 B)，以及 15 個檢核點(代碼 C)，控制點位置分布以及套疊內政部國土測繪中心臺灣通用電子地圖如圖 2-29 與圖 2-30 所示。

表 2-14 STONEX 系列之 GNSS 衛星定位儀

儀器型式/儀器精度及規格	儀器照片	數量
STONEX 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：109.02.17 靜態 GNSS 測量/快速靜態/動態/RTK 測量 Horizontal: $\pm(2.5\text{mm}+1\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$ Vertical: $\pm(5\text{mm}+01\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$		3

內政部國土測繪中心「110 年度及 111 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」					
【地面控制點點位調查表】			A 全控點		
點 號	62-0209A		圖 號	97204022	
所 在 地	花蓮縣吉安鄉		點 別	<input checked="" type="checkbox"/> 全控(A) <input type="checkbox"/> 高控(A) <input type="checkbox"/> 平控(B) <input type="checkbox"/> 檢核點(C)	
平面坐標	E	306559.342	高程值	正高	60.757
	N	2648249.240		橢球高	82.932
坐標框架	TWD97【2020】		高程別	<input checked="" type="checkbox"/> GNSS 測算高程 <input type="checkbox"/> 全測站引測 <input type="checkbox"/> 直接水準	
點位種類	<input type="checkbox"/> 鋼釘 <input type="checkbox"/> 角點 <input checked="" type="checkbox"/> 油漆 <input type="checkbox"/> 其他		大地起伏模式	<input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 正高採_TWHYGE02014_模式化算	
測設單位	自強工程顧問有限公司				
施測人員及日期	余秉翰 / 111 年 2 月		內檢人員及日期	黃柏鐘 / 111 年 3 月	
點位說明 (交通路線)	從花蓮知卡宜親水公園出發，左轉中正路二段 1 公里，左轉知卡宜大道二段 2.15 公里，左轉台 9 線 2.5 公里，左轉華城路二段 1.25 公里，左轉城中二街 800 公尺，點位即在左邊。				
位置圖			影像		
					
點位現地遠照			點位現地近照		
					
說明與備註：					

圖 2-28 控制點點位紀錄表

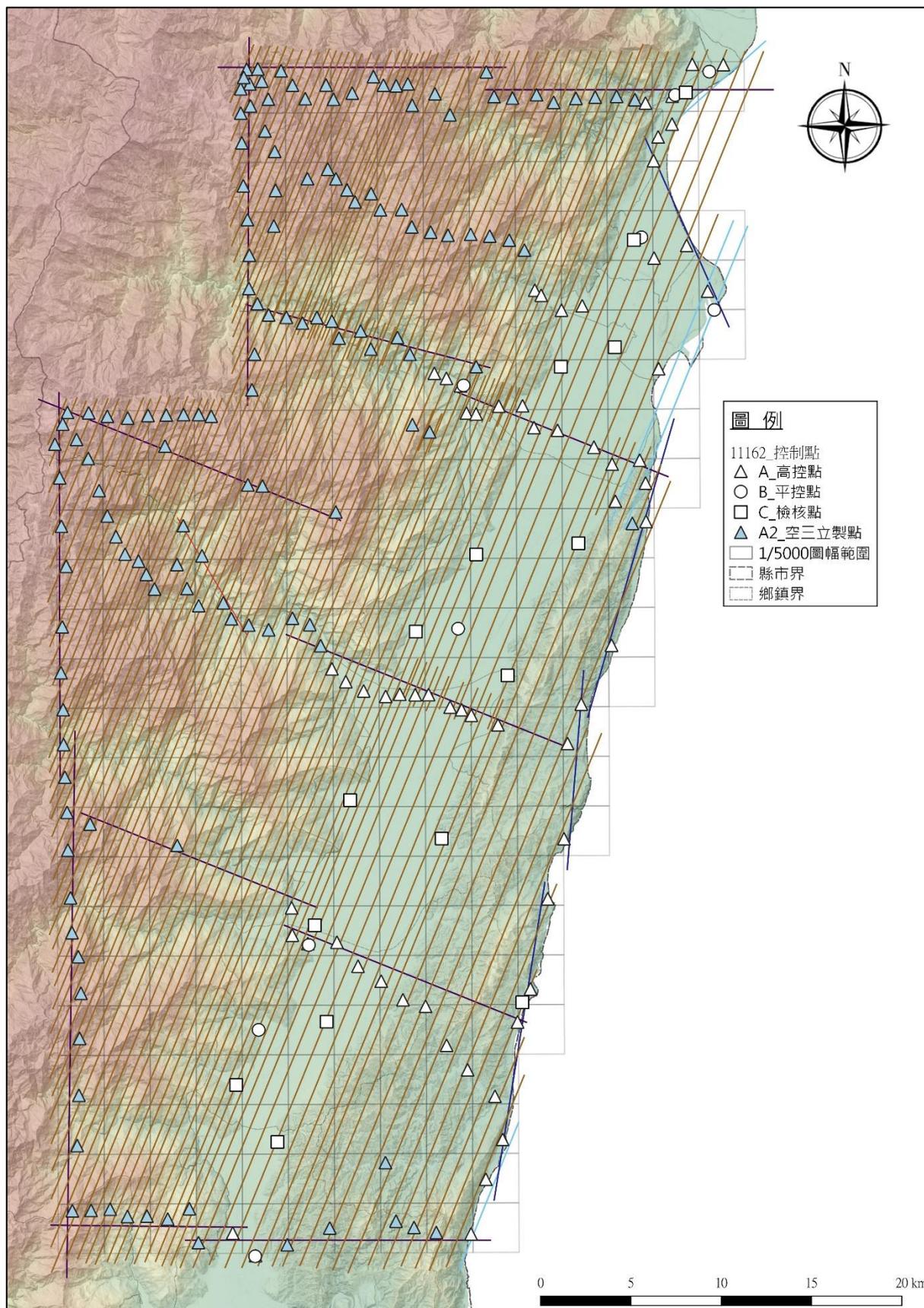


圖 2-29 控制點位分布圖



圖 2-30 控制點位分布套疊內政部國土測繪中心臺灣通用電子地圖

2-5-4 控制點成果

VBS-RTK 航帶平差控制點採內政部國土測繪中心 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 動態測量，測量方式與使用儀器如上小節所述，測量時間從 111 年 2 月 8 日至 111 年 2 月 18 日間進行，各點位觀測紀錄表如表 2-15 所示。VBS-RTK 觀測成果利用測繪中心網頁版坐標轉換功能轉換至 TWD97[2020]，如表 2-16 至表 2-18 所示。

表 2-15 點位觀測紀錄表

項次	點號	施測日期	儀器	測量人力
1	62-0001A	111.02.08	SC2006111037W	2
2	62-0002A	111.02.11	SC2006111037W	2
3	62-0003A	111.02.08	SC2006111037W	2
4	62-0005A	111.02.11	SC2006111037W	2
5	62-0006A	111.02.11	SC2006111037W	2
6	62-0007A	111.02.08	SC2006111037W	2
7	62-0008A	111.02.08	SC2006111037W	2
8	62-0101A	111.02.08	SC2006111037W	2
9	62-0102A	111.02.08	SC2006111037W	2
10	62-0103A	111.02.08	SC2006111037W	2
11	62-0104A	111.02.08	SC2006111037W	2
12	62-0108A	111.02.11	SC2006111037W	2
13	62-0109A	111.02.08	SC2006111037W	2
14	62-0110A	111.02.09	SC2006111037W	2
15	62-0111A	111.02.08	SC2006111037W	2
16	62-0201A	111.02.09	SC2006111037W	2
17	62-0202A	111.02.09	SC2006111037W	2
18	62-0203A	111.02.09	SC2006111037W	2
19	62-0204A	111.02.09	SC2006111037W	2
20	62-0205A	111.02.09	SC2006111037W	2
21	62-0206A	111.02.09	SC2006111037W	2
22	62-0207A	111.02.09	SC2006111037W	2
23	62-0208A	111.02.09	SC2006111037W	2
24	62-0209A	111.02.09	SC2006111037W	2
25	62-0210A	111.02.09	SC2006111037W	2
26	62-0211A	111.02.09	SC2006111037W	2
27	62-0212A	111.02.08	SC2006111035W	2
28	62-0213A	111.02.08	SC2006111035W	2

項次	點號	施測日期	儀器	測量人力
29	62-0214A	111.02.08	SC2006111035W	2
30	62-0215A	111.02.09	SC2006111035W	2
31	62-0305A	111.02.08	SC2006111035W	2
32	62-0401A	111.02.17	SC2007031003W	2
33	62-0402A	111.02.17	SC2007031003W	2
34	62-0403A	111.02.08	SC2007031003W	2
35	62-0404A	111.02.08	SC2007031003W	2
36	62-0405A	111.02.17	SC2007031003W	2
37	62-0406A	111.02.17	SC2007031003W	2
38	62-0407A	111.02.17	SC2007031003W	2
39	62-0408A	111.02.17	SC2007031003W	2
40	62-0409A	111.02.17	SC2007031003W	2
41	62-0410A	111.02.17	SC2007031003W	2
42	62-0411A	111.02.11	SC2007031003W	2
43	62-0412A	111.02.08	SC2006111035W	2
44	62-0413A	111.02.09	SC2006111035W	2
45	62-0416A	111.02.09	SC2006111035W	2
46	62-0417A	111.02.08	SC2006111035W	2
47	62-0501A	111.02.11	SC2007031003W	2
48	62-0502A	111.02.11	SC2007031003W	2
49	62-0504A	111.02.11	SC2007031003W	2
50	62-0505A	111.02.17	SC2007031003W	2
51	62-0506A	111.02.17	SC2007031003W	2
52	62-0507A	111.02.11	SC2007031003W	2
53	62-0508A	111.02.18	SC2007031003W	2
54	62-0509A	111.02.18	SC2007031003W	2
55	62-0510A	111.02.08	SC2006111035W	2
56	62-0512A	111.02.08	SC2006111035W	2
57	62-0516A	111.02.18	SC2007031003W	2
58	62-0517A	111.02.08	SC2006111035W	2
59	62-0518A	111.02.08	SC2006111035W	2
60	62-0519A	111.02.08	SC2006111035W	2
61	62-0520A	111.02.08	SC2006111035W	2
62	62-0601A	111.02.09	SC2007031003W	2
63	62-0602A	111.02.09	SC2007031003W	2
64	62-0603A	111.02.08	SC2006111035W	2
65	62-0002B	111.02.11	SC2006111037W	2

項次	點號	施測日期	儀器	測量人力
66	62-0005B	111.02.11	SC2006111037W	2
67	62-0106B	111.02.11	SC2006111037W	2
68	62-0111B	111.02.11	SC2006111037W	2
69	62-0203B	111.02.10	SC2006111037W	2
70	62-0301B	111.02.10	SC2006111035W	2
71	62-0504B	111.02.11	SC2007031003W	2
72	62-0514B	111.02.09	SC2007031003W	2
73	62-0602B	111.02.09	SC2007031003W	2
74	62-0004C	111.02.08	SC2006111037W	2
75	62-0105C	111.02.09	SC2006111037W	2
76	62-0106C	111.02.08	SC2006111037W	2
77	62-0107C	111.02.09	SC2006111037W	2
78	62-0301C	111.02.09	SC2006111037W	2
79	62-0302C	111.02.09	SC2006111037W	2
80	62-0303C	111.02.11	SC2007031003W	2
81	62-0304C	111.02.08	SC2006111035W	2
82	62-0414C	111.02.17	SC2007031003W	2
83	62-0415C	111.02.08	SC2007031003W	2
84	62-0503C	111.02.11	SC2007031003W	2
85	62-0511C	111.02.09	SC2006111035W	2
86	62-0513C	111.02.09	SC2007031003W	2
87	62-0514C	111.02.10	SC2007031003W	2
88	62-0515C	111.02.09	SC2007031003W	2

表 2-16 航帶平差高程控制點(代碼 A)TWD97[2020]成果

點號	轉換前(e-GNSS2021)			轉換後(TWD97[2020])			
	N	E	橢球高	N	E	正高	橢球高
62-0001A	2666525.786	311431.591	56.374	2666525.752	311431.874	34.451	56.369
62-0002A	2666910.319	312907.539	36.250	2666910.284	312907.822	14.676	36.248
62-0003A	2668689.452	314023.867	52.545	2668689.412	314024.151	31.140	52.543
62-0005A	2668675.908	315744.755	36.981	2668675.866	315745.039	16.034	36.978
62-0006A	2664634.049	312131.234	39.845	2664634.019	312131.516	18.235	39.844
62-0007A	2663307.062	311879.002	40.055	2663307.035	311879.284	18.447	40.056
62-0008A	2665352.946	312902.654	36.393	2665352.914	312902.936	14.947	36.393
62-0101A	2656076.486	305298.313	131.094	2656076.447	305298.607	108.175	131.056
62-0102A	2655785.510	305654.407	119.863	2655785.471	305654.702	97.047	119.824
62-0103A	2654960.181	306778.194	94.301	2654960.143	306778.489	71.818	94.259
62-0104A	2655205.396	307925.353	73.499	2655205.358	307925.645	51.273	73.449
62-0108A	2657872.764	311907.520	35.745	2657872.740	311907.801	14.392	35.739
62-0109A	2658570.705	313711.463	34.847	2658570.675	313711.739	13.891	34.855
62-0110A	2651685.575	312159.578	26.437	2651685.515	312159.862	5.363	26.434
62-0111A	2656022.222	314875.381	31.029	2656022.172	314875.641	10.428	31.046
62-0201A	2651427.144	299733.298	193.636	2651427.094	299733.591	169.851	193.622
62-0202A	2651154.818	300402.939	189.731	2651154.769	300403.234	166.090	189.718
62-0203A	2650727.946	301186.342	153.459	2650727.899	301186.640	130.002	153.449
62-0204A	2649212.938	301512.679	154.503	2649212.893	301512.981	131.187	154.499
62-0205A	2649164.221	302047.271	146.388	2649164.177	302047.575	123.196	146.385
62-0206A	2649598.633	303305.852	128.584	2649598.591	303306.159	105.647	128.583
62-0207A	2649616.672	304620.396	110.414	2649616.631	304620.706	87.769	110.416
62-0208A	2648399.907	305254.662	101.383	2648399.867	305254.972	78.936	101.392
62-0209A	2648249.284	306559.034	82.919	2648249.240	306559.342	60.757	82.932
62-0210A	2647308.858	308574.421	56.340	2647308.803	308574.723	34.625	56.357
62-0211A	2646359.080	309581.742	41.535	2646359.019	309582.042	20.030	41.531
62-0212A	2644287.551	309761.660	104.422	2644287.486	309761.961	82.994	104.433
62-0213A	2646575.968	311110.737	34.993	2646575.900	311111.034	13.684	34.872
62-0214A	2645302.965	311435.710	52.933	2645302.894	311436.007	31.777	52.877
62-0215A	2643158.569	311463.124	36.068	2643158.496	311463.420	15.008	36.080
62-0305A	2636245.107	309552.106	35.113	2636245.031	309552.405	13.736	35.111
62-0401A	2634925.225	294059.726	224.697	2634925.166	294060.026	200.456	224.687
62-0402A	2634212.320	294829.911	201.963	2634212.266	294830.210	177.882	201.951
62-0403A	2633691.579	295816.457	179.558	2633691.531	295816.755	155.686	179.545
62-0404A	2633385.669	297036.142	162.469	2633385.623	297036.441	138.842	162.457

點號	轉換前(e-GNSS2021)			轉換後(TWD97[2020])			
	N	E	橢球高	N	E	正高	橢球高
62-0405A	2633513.418	297818.120	151.796	2633513.376	297818.420	128.314	151.785
62-0406A	2633481.119	298674.521	139.067	2633481.083	298674.821	115.745	139.060
62-0407A	2633485.942	299413.106	127.677	2633485.912	299413.407	104.488	127.674
62-0408A	2632786.928	300609.063	108.005	2632786.892	300609.363	85.034	108.007
62-0409A	2632640.224	301244.489	99.406	2632640.183	301244.789	76.543	99.409
62-0410A	2632331.021	301783.152	91.490	2632330.974	301783.451	68.718	91.495
62-0411A	2631795.520	303260.114	121.469	2631795.463	303260.414	98.929	121.474
62-0412A	2632956.843	307873.815	115.253	2632956.772	307874.116	93.541	115.247
62-0413A	2630755.072	307114.842	38.059	2630755.004	307115.143	16.224	38.056
62-0416A	2625437.900	306916.156	164.810	2625437.825	306916.460	142.898	164.821
62-0417A	2622085.518	306016.712	28.624	2622085.437	306017.022	6.493	28.633
62-0501A	2621578.845	291828.926	181.223	2621578.801	291829.242	156.775	181.215
62-0502A	2620052.925	291864.373	186.655	2620052.882	291864.692	162.197	186.648
62-0504A	2619581.128	292727.680	162.177	2619581.086	292728.001	137.853	162.157
62-0505A	2619657.153	294339.592	148.090	2619657.107	294339.914	124.047	148.062
62-0506A	2618319.371	295507.250	135.840	2618319.315	295507.576	111.984	135.823
62-0507A	2617484.389	296791.266	136.059	2617484.320	296791.599	112.386	136.041
62-0508A	2616442.514	297994.569	263.456	2616442.432	297994.909	239.916	263.423
62-0509A	2616081.097	299247.540	288.314	2616081.016	299247.873	264.932	288.271
62-0510A	2617055.949	305062.792	57.363	2617055.857	305063.114	34.973	57.363
62-0512A	2615204.882	304343.296	40.363	2615204.790	304343.622	17.824	40.361
62-0516A	2613901.856	300413.473	165.755	2613901.798	300413.791	142.504	165.708
62-0517A	2612529.093	301577.905	64.621	2612529.016	301578.228	41.554	64.599
62-0518A	2611055.355	303093.090	55.963	2611055.264	303093.414	33.140	55.970
62-0519A	2608642.404	303518.176	46.888	2608642.303	303518.507	24.074	46.887
62-0520A	2606419.040	302587.108	32.235	2606418.936	302587.446	9.184	32.225
62-0601A	2603413.825	288564.365	132.528	2603413.777	288564.679	107.564	132.533
62-0602A	2602157.930	289827.994	132.012	2602157.869	289828.310	107.266	132.017
62-0603A	2603367.688	301767.207	48.993	2603367.584	301767.544	25.747	48.991

表 2-17 航帶平差平面控制點(特徵角點)(代碼 B)TWD97[2020]成果

點號	轉換前(e-GNSS2021)			轉換後(TWD97[2020])			
	N	E	橢球高	N	E	正高	橢球高
62-0002B	2666972.497	313077.573	37.550	2666972.461	313077.856	16.018	37.548
62-0005B	2668279.686	314967.369	40.290	2668279.646	314967.652	19.167	40.288
62-0106B	2659026.441	311206.739	43.888	2659026.417	311207.021	22.300	43.879
62-0111B	2654970.302	315242.392	27.105	2654970.243	315242.654	6.615	27.118
62-0203B	2650753.475	301354.133	168.556	2650753.428	301354.431	145.133	168.546
62-0301B	2637169.293	301051.694	83.130	2637169.231	301051.998	60.173	83.123
62-0504B	2619500.442	292779.459	163.667	2619500.400	292779.780	139.350	163.647
62-0514B	2614761.319	289999.810	195.502	2614761.262	290000.130	170.773	195.593
62-0602B	2602120.782	289806.470	132.095	2602120.721	289806.786	107.346	132.100

表 2-18 檢核點(代碼 C)TWD97[2020]成果

點號	轉換前(e-GNSS2021)			轉換後(TWD97[2020])			
	N	E	橢球高	N	E	正高	橢球高
62-0004C	2667111.464	313660.376	35.742	2667111.427	313660.659	14.361	35.742
62-0105C	2651792.598	306738.584	67.868	2651792.559	306738.889	45.581	67.856
62-0106C	2658885.414	310794.068	39.753	2658885.389	310794.351	18.066	39.739
62-0107C	2652895.427	309729.956	42.470	2652895.391	309730.250	20.808	42.452
62-0301C	2637002.715	298709.312	96.665	2637002.668	298709.618	73.275	96.659
62-0302C	2641316.487	302056.444	58.606	2641316.429	302056.753	35.715	58.611
62-0303C	2634558.213	303791.959	90.923	2634558.149	303792.260	68.453	90.920
62-0304C	2641940.992	307715.537	49.525	2641940.929	307715.840	27.720	49.533
62-0414C	2627592.339	295068.563	125.625	2627592.284	295068.868	101.689	125.626
62-0415C	2625452.106	300145.746	107.620	2625452.048	300146.045	84.615	107.646
62-0503C	2620605.964	293113.465	172.264	2620605.921	293113.784	148.024	172.242
62-0511C	2616299.664	304611.743	37.382	2616299.572	304612.067	14.898	37.380
62-0513C	2611687.793	288759.635	241.731	2611687.749	288759.950	216.771	241.774
62-0514C	2615217.785	293764.669	154.636	2615217.734	293765.002	130.489	154.652
62-0515C	2608503.464	291045.443	246.829	2608503.421	291045.765	222.207	246.811

2-6 空載雷射掃瞄施測資料獲取

2-6-1 飛航掃瞄作業流程

- 一、應依掃瞄飛航計畫書之點雲密度及航線設定參數辦理施測。
- 二、全程採全波形作業方式辦理飛行掃瞄及記錄。
- 三、掃瞄飛航應同時進行航拍影像的拍攝。為獲取品質良好之航拍影像，應於天氣晴朗無雲，無煙霧濛氣，能見度良好之時間拍攝，盡量減少陰影。
- 四、主要工作分為「地面起飛前準備」以及「空中飛航任務執行」，相關工作詳細內容與作業流程圖如圖 2-31。

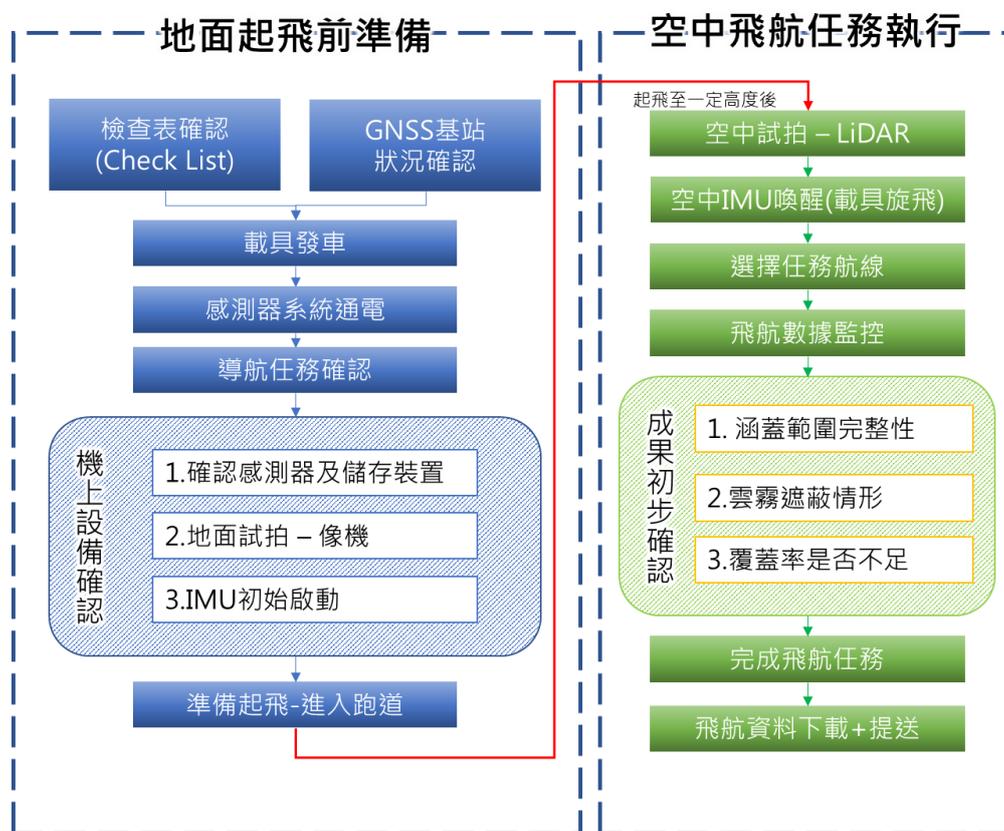


圖 2-31 空載雷射掃瞄施測資料獲取作業流程

2-6-2 天候因素影響空載雷射掃瞄施測資料獲取

本計畫由於受到 111 年前半年測區整體天候不佳，嚴重影響作業進度，期間有統計至 111 年 6 月 12 日止共飛航 13 架次，總計飛航約 1,422 公里，其中第 1 子測區約 1,176 公里、第 2 子測區約 246 公里。另統計尚需補雲航線第 1 子測區約 126 公里、第 2 子測區約 53 公里，並統計該 13 架次的詳細飛航時間，經計算平均飛航總時間為 2 小時 31 分、平均去程時間為 53 分鐘、平均回程時間為 39 分鐘與平均作業時間為 1 小時。

綜上所述，方時預計尚需執行飛航 663 公里方能完成第 1 子測區，並以當時平均飛航狀況評估，仍需 6 架次時間方能完成第 1 子測區的外業飛航。而本計畫自 111 年 2 月 28 日執行起算至 111 年 6 月 12 日止 105 天內共飛航 13 架次，約 8 天方能執行 1 架次，預計約需 6 架次 x 8 天等天期共 48 天方能完成外業飛航工作。

故於 111 年 6 月 13 日自工字第 111068213 號函彙整執行進度、天氣雲圖、執行情況以及評估展延天數等資料提請展延，並於 111 年 6 月 13 日自工字第 111068213 號函測應字第 1111565221 號獲得展延許可，相關公文請見附件一。

2-6-3 飛航掃瞄成果

- 一、規劃之飛行時間起迄點需與本案契約簽定後之日期相符，施測資料包含實際飛航時，結合 GNSS、IMU 與雷射掃瞄數據所取得之原始數據。
- 二、本計畫共執行 34 架次飛航掃瞄任務，全程採全波形掃瞄作業方式辦理飛行掃瞄及記錄，且全數依掃瞄飛航計畫書之點雲密度及航線設定參數辦理施測，各架次成果皆獲得監審單位審查合格，並列表如表 2-19，全數通過監審單位審查合格，各架次審查合格作業紀錄表詳如附件七。

表 2-19 各架次執行航線資訊與審查結果

項次	飛航架次	執行時間	執行航線	審查合格日期
1	P11M11-2022022807	2+22	62001、62002、62003、62004、62005、62006、62007、62201	111.05.25
2	P11M11-2022030107	2+41	62008、62009、62010、62011、62012、62013	111.05.25
3	P11M11-2022030909	2+40	62014、62015、62016、62017、62018、62019、62020、62021	111.05.27
4	P11M11-2022030913	2+38	62022、62023、62024、62058、62059、62060、62061	111.06.02
5	P11M11-2022031108	2+56	62041、62042、62043、62044、62045、62046、62051、62052	111.06.02
6	P11M11-2022031508	2+03	62047、62050、62053、62054	111.06.02
7	P11M11-2022040909	2+03	62048、62105、62114	111.06.02
8	P11M11-2022041409	1+52	62055、62056、62057、62803	111.06.02
9	P11M11-2022042408	2+00	62116、62124、62125	111.06.02
10	P11M11-2022042508	2+29	62115、62117	111.06.02

項次	飛航架次	執行時間	執行航線	審查合格日期
11	P11M11-2022053007	2+16	62022[R1]、62023[R1]、62024[R1]、62025、62026、62027、62028、62211	111.08.19
12	P11M11-2022060407	2+31	62047[R1]、62202、62203、62204、62206	111.08.19
13	P11M11-2022060507	2+46	62049、62110、62111、62112、62113	111.08.19
14	P11M11-2022061808	3+52	62062、62063、62064、62065、62066、62067、62068、62069	111.08.19
15	P11M11-2022061907	1+47	62029、62030、62031	111.09.13
16	P11M11-2022062008	1+39	62048[R1]	111.09.13
17	P12M11_2022070807	3+30	62048[R2]、62107、62108、62109、62114[R1]、62118、62119	111.08.24
18	P12M11_2022070908	3+06	62119[R1]、62120、62121、62125[R1]、62126、62208、62210、62803[R1]、62804、62805	111.08.24
19	P12M11_2022071007	2+51	62030[R1]、62031[R1]、62032、62106、62122、62123、62124[R1]、62801、62802	111.08.24
20	P12M11_2022071011	3+00	62070、62104、62105[R1]、62116[R1]、62117[R1]	111.08.24
21	P12M11_2022071107	2+37	62033、62034、62035、62036、62037、62038、62039、62040、62069[R1]、62070[R1]	111.08.24
22	P12M11_2022071206	2+35	62201[R1]、62202[R1]、62044[R1]、62045[R1]、62046[R1]、62047[R2]、62048[R3]、62050[R1]、62053[R1]、62054[R1]、62055[R1]、62116[R2]、62117[R2]、62118[R1]	111.08.24
23	P12M11_2022071210	2+18	62071、62072、62073、62074、62075、62209、62113[R1]、62114[R2]、62115[R1]	111.08.24
24	P12M11_2022071907	3+11	62076、62115[R2]	111.09.05
25	P12M11_2022072006	2+51	62077、62045[R2]、62046[R2]	111.09.05
26	P12M11_2022072107	1+58	62078、62079	111.09.05
27	P12M11_2022072206	3+02	62084、62085、62086、62087、62088、62205、62207、62212、62213	111.09.05
28	P12M11_2022072306	3+20	62089、62090、62091、62092、62093、62094、62095、62096	111.09.05
29	P12M11_2022072311	2+29	62097、62098、62099、62100、62101、62102	111.09.05

項次	飛航架次	執行時間	執行航線	審查合格日期
30	P12M11_2022072406	2+44	62058[R1]、62059[R1]、62060[R1]、62061[R1]、62080、62081、62082、62083、62103、62127	111.09.05
31	P12M11_2022072410	2+00	62067[R1]、62098[R1]、62099[R1]、62100[R1]、62101[R1]、62104[R1]、62111[R1]、62112[R1]、62125[R2]、62210[R1]	111.09.05
32	P12M11_2022072707	1+35	62045[R3]、62064[R1]、62065[R1]、62066[R1]、62068[R1]、62069[R2]、62099[R2]、62209[R1]	111.09.05
33	P12M11_2022072806	2+48	62074[R1]、62075[R1]、62076[R1]、62079[R1]	111.09.05
34	P12M11_2022072906	2+06	62100[R2]	111.09.05

*備註：執行時間為小時數+分鐘數。

[RX]註記為第 X 次重飛，無註記為首次飛航。

- 三、本計畫執行空載光達掃瞄飛航時，同步進行航拍影像的拍攝。為獲取品質良好之航拍影像，盡量於天氣晴朗無雲，無煙霧濛氣，能見度良好之時間拍攝，減少山區陰影，並獲得品質較為一致之成果。
- 四、本計畫點雲密度成果經監審單位審查後，第一子測區(6-2-1 測區)點雲密度成果為 4.62 點/m²，其點雲密度大於 2.0 的有 98.54%，大於 1.0 小於 2.0 的有 1.41%，低於 1.0 的有 0.06%。第二子測區(6-2-2 測區)點雲密度成果 4.57 點/m²，其點雲密度大於 2.0 的有 99.67%，大於 1.0 小於 2.0 的有 0.28%，低於 1.0 的有 0.04%。綜上所述點雲密度不足區域僅占作業區域內 0.04%~1.41%，全數符合作業規範(低於 2 點的網格數不得超過全部網格數的 10%，低於 1 點的網格數不得超過全部網格數的 5%)。
- 五、除水域外，應確認原始掃瞄飛航成果完整涵蓋測區範圍，所有架次點雲涵蓋範圍可完整涵蓋全測區(圖 2-32)。各航帶成果點雲提交監審單位後，監審單位利用已圈畫之點雲邊線，統計相鄰航帶點雲重疊率。其中，航帶重疊率未達 50% 處，採人工檢查，並經扣除補雲洞航帶及水體區域，檢查成果全數符合作業規範(重疊率須大於 40% 之規定)，檢核成果詳如圖 2-32。

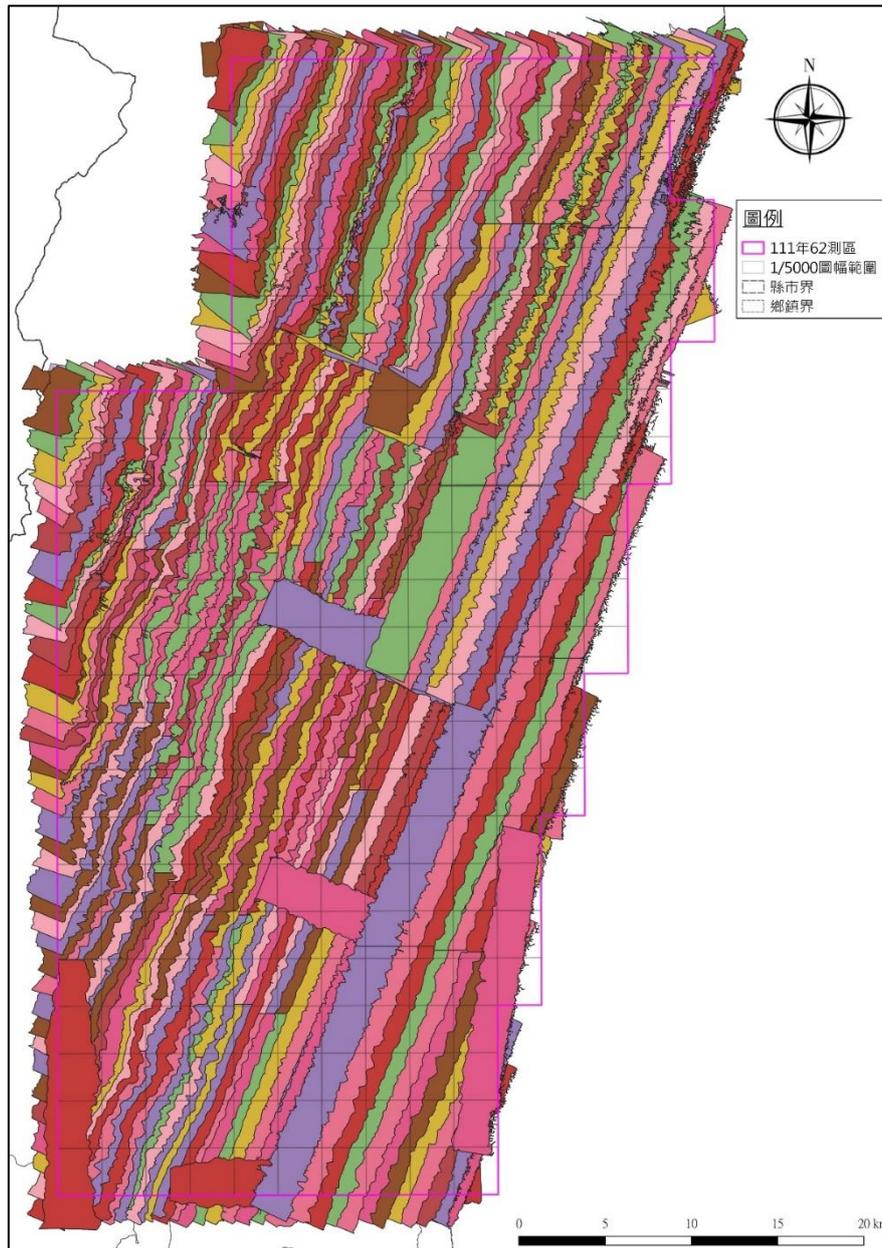


圖 2-32 各架次點雲涵蓋範圍圖

2-7 雷射掃瞄點雲資料處理

包括雷射掃瞄點雲資料前處理、解算與航帶平差、掃瞄點雲資料後處理、掃瞄作業成果檢查、點雲資料分幅、分類及編修等處理。

本計畫利用 Waypoint Grafnav(IE)軟體及 AeroOffice 慣性姿態解算軟體，整合地面 GNSS 固定基站資料及 LiDAR 機組之動態 GNSS 與 IMU 數據資料，分別解算出三維移動軌跡坐標資料及三維飛航姿態軌跡資料。並利用 Riegl 公司的 RiPROCESS 軟體，整合前述資料與原始雷射掃瞄資料。

由於地表之地物覆蓋的形態錯綜複雜，地表點雲覆蓋分類須利用 TerraSolid 軟體進行自動與人工的點雲濾除與分類步驟，將相關點雲資料分類成地面測點與非地面測點。

2-7-1 原始點雲解算

Riegl LMS-Q780 原始空載光達資料解算整體流程如圖 2-33，其中包含部分點雲平差以及平差成果確認詳述於後續章節。

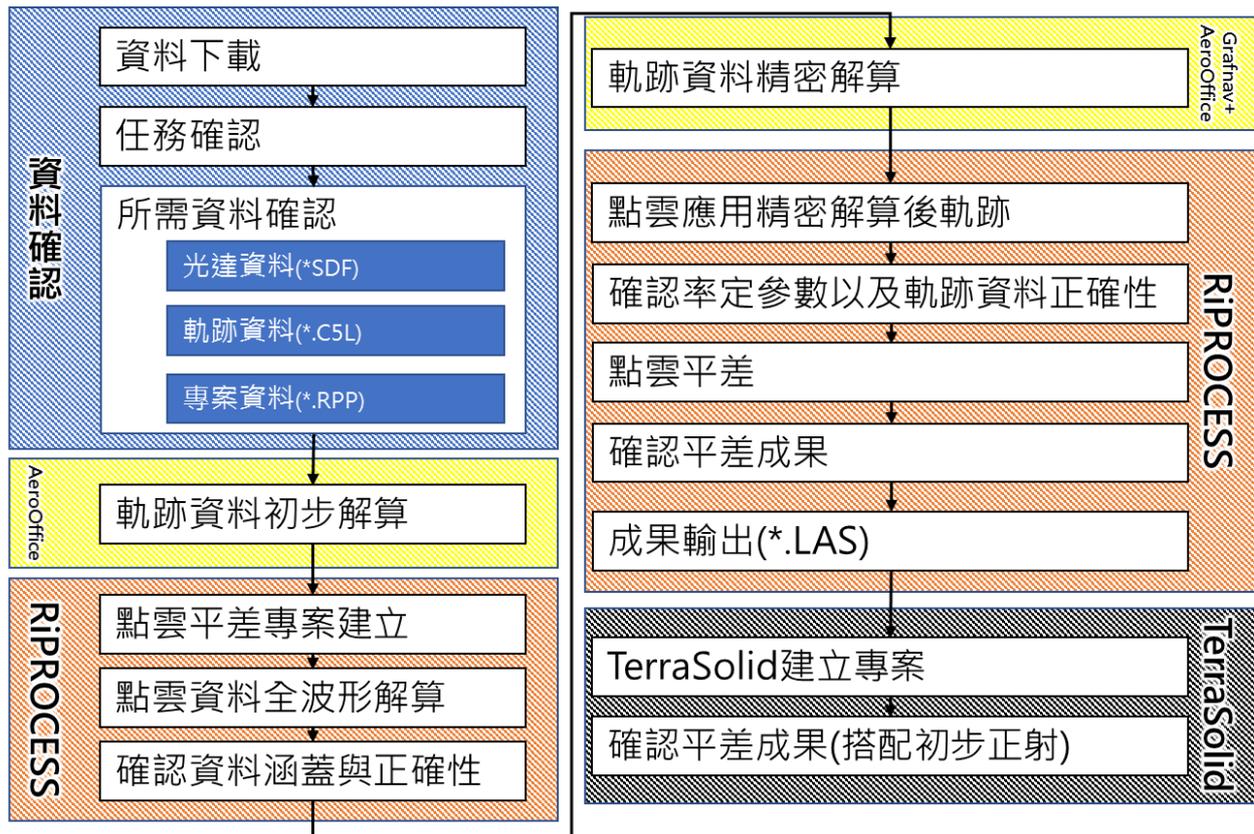


圖 2-33 Riegl LMS-Q780 原始空載光達資料解算整體流程

- 一、於飛航任務完成後先行確認執行任務，並清點所需原始資料是否完整下載。其中，原始資料包含光達原始資料(*.SDF)、軌跡原始資料(*.C5L)以及 Riegl 空載光達任務執行專案檔(*.RPP)。
- 二、利用 AeroOffice 處理軌跡原始資料(*.C5L)，依據飛航時所記錄之初步位置輸出初始軌跡資料。
- 三、依據原始下載資料(*.RPP)確認飛航掃瞄航線資料以及相關紀錄是否正確對應，資料是否有缺漏，以及時間日期戳記是否正確，並且記錄飛航任務當天天候狀況與資訊，建立點雲資料專案。

- 四、利用 Riegl RiPROCESS、RiANALYZE 以及 RiWORLD 進行點雲全波形解算(圖 2-34)、地理定位，並確認資料涵蓋範圍以及位置正確性。
- 五、於飛航任務執行後 1~3 日獲取飛航任務當日相應 GNSS 基地站資料，利用 Grafnav(IE)結合 AeroOffice 解算精密解軌跡資料。
- 六、應用精密解算後軌跡資料以 RiWORLD 再次進行地理定位，續進行平差解算。輸出成果以 LAS 格式儲存，並包含計畫需求所列之資料內容(圖 2-35)。

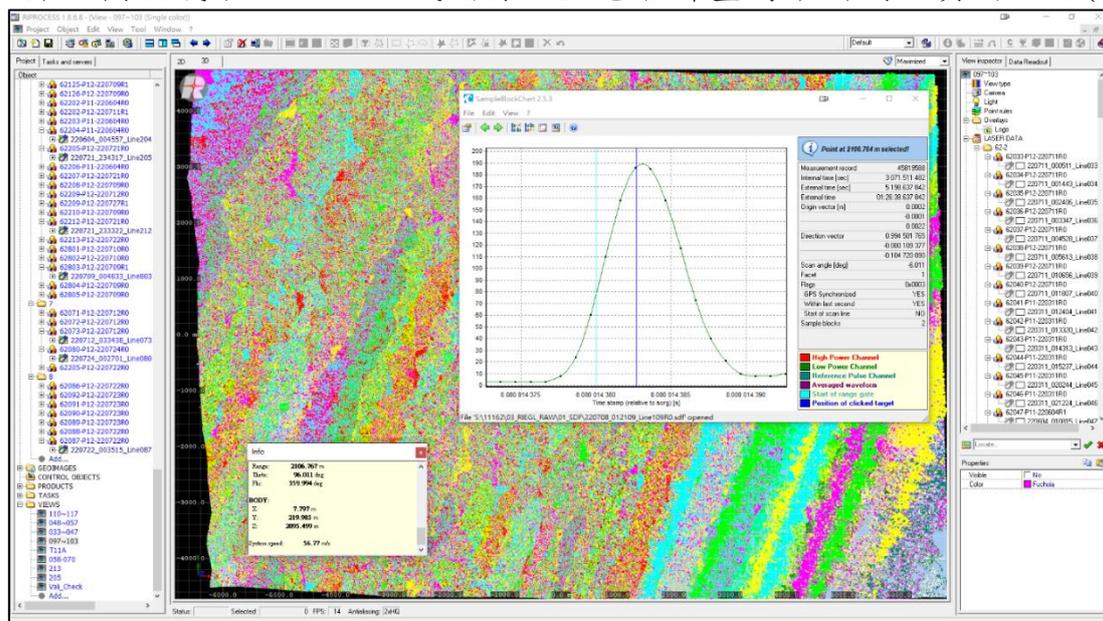


圖 2-34 Riegl RiPROCESS 展示全波形資料作業畫面

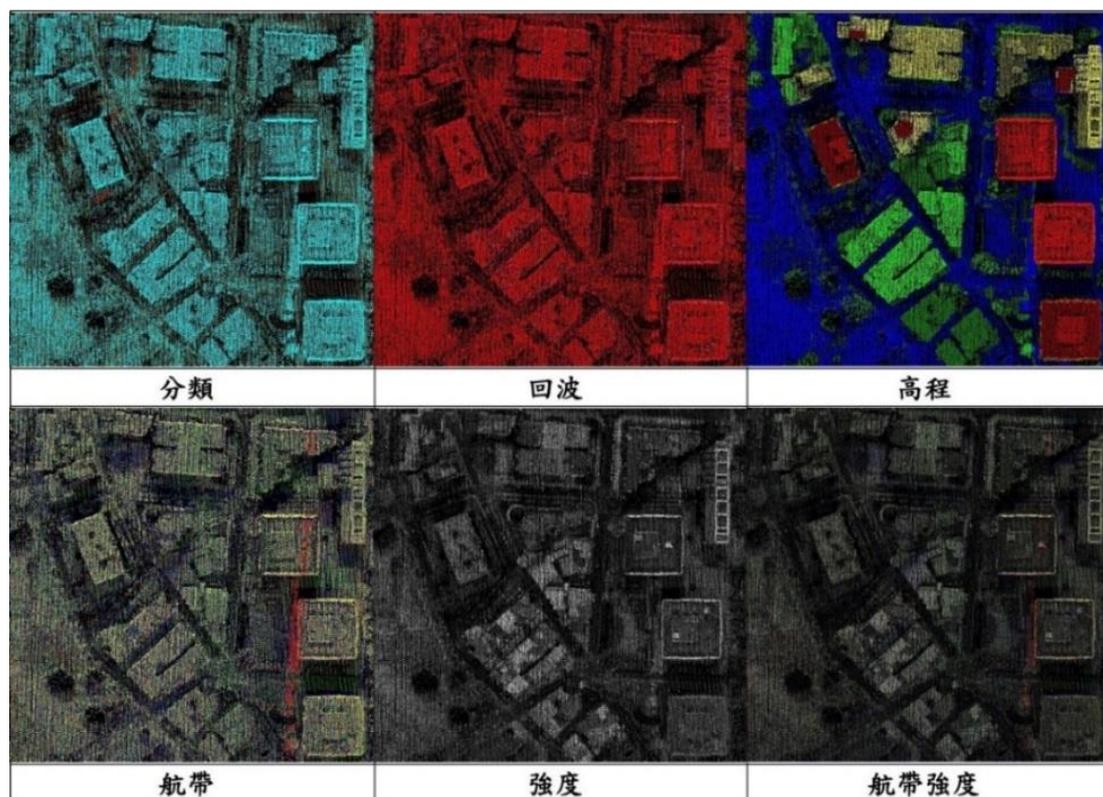


圖 2-35 點雲資料各別屬性展示圖

2-7-2 點雲航帶平差

空載光達資料經過點雲初始解算確認無誤後，續進行點雲平差解算，目的是依據真實獲得之地物測量點修正軌跡解算後可能因測距或大氣影響所導致的誤差，並且消除仍存在於軌跡的系統性誤差。另於點雲平差過程中加入實地測量所獲得的高程以及平差控制點，加強點雲資料與實地成果連結，可確保成果與使用坐標系統一致性，整體流程如圖 2-36。



圖 2-36 點雲航帶平差作業流程

一、平差作業

應用精密軌跡以及準確率定參數到航帶點雲上後，以航線分布圖為輔挑選重疊航線作為點雲平差作業目標，搜尋各航帶間共軛平面，並藉由共軛平面所獲得之三維殘差計算軌跡修正量，作業過程如圖 2-37。進行航帶平差時加入控制點，每航帶內有至少 3 個高程控制點(航帶頭、中及尾各段至少 1 點)，並於完成航帶平差後使用 TerraScan 模組 Output control report 功能計算各檢核點與航帶平差後點雲之高程中誤差，第 1 子測區點雲平差後高程中誤差為 4.1 公分，第 2 子測區點雲平差後高程中誤差為 3.4 公分，符合作業規範(應小於 10 公分)。

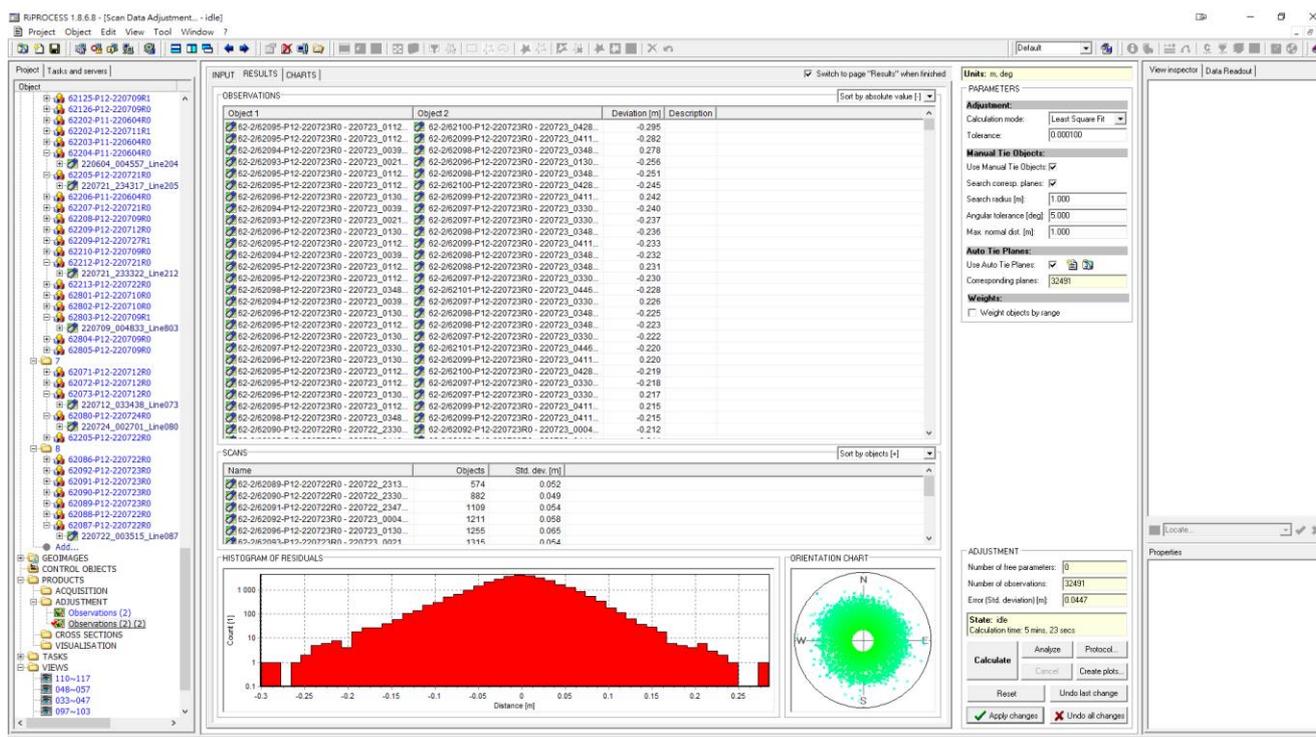


圖 2-37 點雲航帶平差作業畫面

二、航帶間相對高程誤差檢核

完成航帶平差後，重新進行航帶間相對高程誤差檢核，檢核方式使用 MstripAnalysis 軟體進行，由於高程取樣的方式，為避免因點雲的平面誤差導致航帶間相對高程的影響，檢核區之地形坡度估值須小於 10 度才可自動檢查，於第一子測區共有 27,611 個有效的檢測點，航帶間高程相對偏差量平均值為 11.3 公分，相關資訊如圖 2-38。第二子測區共有 42,038 個有效的檢測點，航帶間高程相對偏差量平均值為 11.8 公分，成果符合作業規範(精度應小於 20 公分以內)，相關資訊如圖 2-39。

而本作業區山區面積約占 7 成，故大部分檢核點均坐落在平地區域與山區河谷內，而透過圖片可以發現高程較差大於 20 公分以上的點多座落於農田、灘岸區域，此些地方由於農作物的生長或者是海浪的淘刷等，地貌會隨著時間有較大的變化，進而導致不同時間點所掃瞄的航帶間有著較大的高程變化存在。如圖 2-36 平差成果均經人工以 TerraScan 進行全區域的點雲剖面檢查，除複查前述方法的檢核點位以外，針對坡度大於 10 度的範圍亦會以人工的方式進行檢查，經檢視本作業區於都市區域、機場、道路等區域高程檢核點均正常，而山區區域之航帶間相對高程較差均良好，點雲航帶平差成果良好。

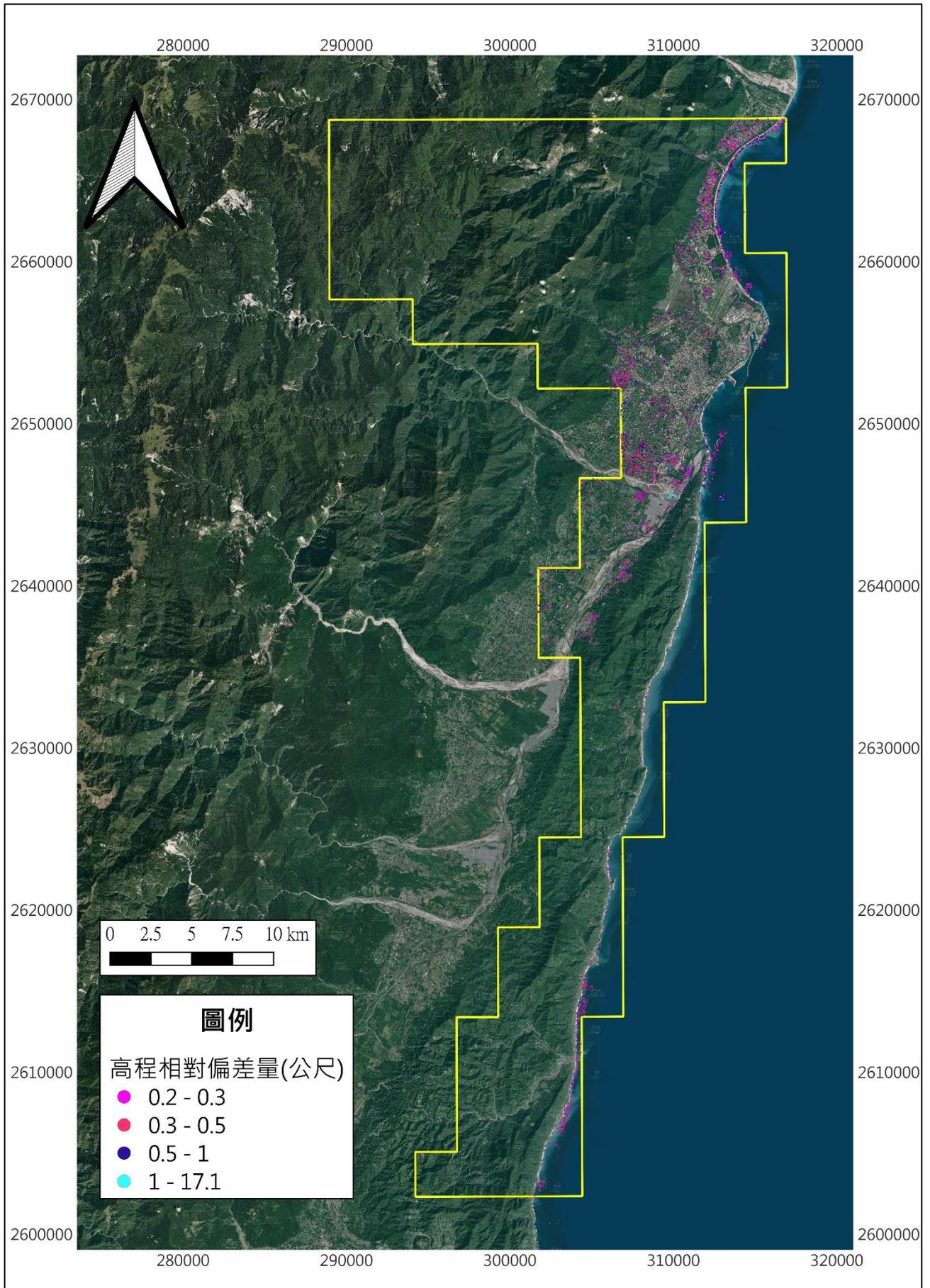


圖 2-38 航帶間相對高程誤差檢核-第 1 子測區(6-2-1 測區)

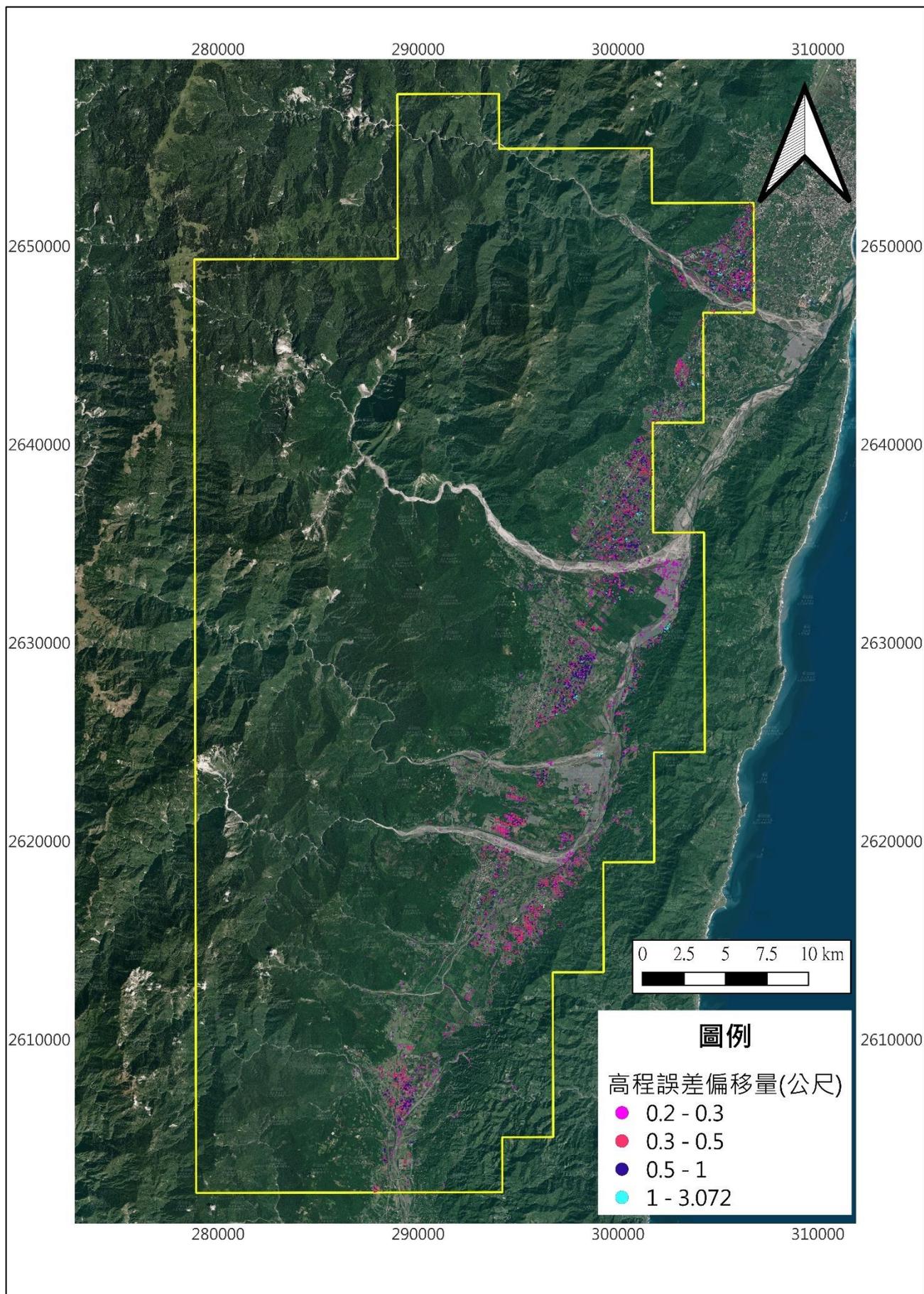
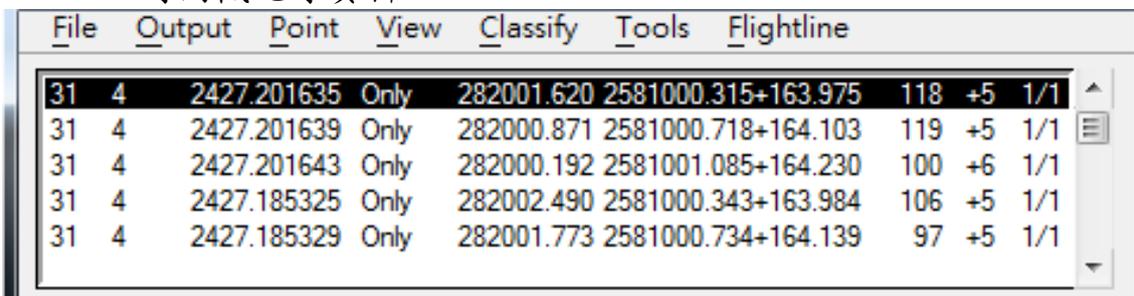


圖 2-39 航帶間相對高程誤差檢核-第 2 子測區(6-2-2 測區)

2-7-3 點雲分類

LiDAR 點雲掃瞄資料是三維空間中呈不規則分布的點雲(Points Cloud)資料。這些點位代表真實地形表面、人工建築物(房屋、煙囪、塔、輸電線等)或自然植被(樹、草)的位置，有些則是粗差資訊(雜訊)。所以 LiDAR 資料的濾波是在點雲中進行地面資訊的分類或雜訊濾除的過程，錯誤點類型包括低點、孤立點、空中點等，相關作業規定詳如后述。

一、點雲航帶平差後，以五千分之一圖幅分幅辦理點雲分類，以 LAS 檔為儲存格式，並保留點雲的地面三維坐標值、反射強度值、及回波順序、GNSS 時間戳記等資料。



File	Output	Point	View	Classify	Tools	Flightline
31	4	2427.201635	Only	282001.620	2581000.315+163.975	118 +5 1/1
31	4	2427.201639	Only	282000.871	2581000.718+164.103	119 +5 1/1
31	4	2427.201643	Only	282000.192	2581001.085+164.230	100 +6 1/1
31	4	2427.185325	Only	282002.490	2581000.343+163.984	106 +5 1/1
31	4	2427.185329	Only	282001.773	2581000.734+164.139	97 +5 1/1

圖 2-40 點雲資料所須包含儲存欄位檢查作業畫面

二、作業時，一幅五千分之一圖幅範圍，由單一人員辦理。

三、點雲分類成果應符合 LAS 1.2 規範，區分以下 4 類

- (一) 編號 2：ground 記錄地面點。
- (二) 編號 9：water 記錄水面點。
- (三) 編號 30：ASPRS reserve 記錄不合理點雲及雜點。
- (四) 編號 31：ASPRS reserve 記錄非地面點。

四、點雲分類製作程序

LiDAR 點雲掃瞄資料是三維空間中呈不規則分布的點雲(Points Cloud)資料。這些點位代表真實地形表面、人工建築物(房屋、煙囪、塔、輸電線等)或自然植被(樹、草)的位置，有些則是粗差資訊(雜訊)。所以 LiDAR 資料的濾波是在點雲中進行地面資訊的分類或雜訊濾除的過程，錯誤點類型包括低點、孤立點、空中點等。LiDAR 資料過濾處理結果與實際地貌起伏及地物之分布有關，過濾演算法對困難地貌的處理會有不同的準確性與適應性的問題。

(一) 點雲分類作業原則

1. 堤防或實心道路：應分類為地面點。
2. 地形反曲位置：應分類為地面點。
3. 消波塊：應分類為地面點。
4. 墓地：應分類為地面點。
5. 軍事掩體：應分類為非地面點。
6. 橋樑、高架道路：應分類為非地面點。
7. 涵洞：涵洞上方之道路應分類為非地面點。
8. 非永久性土堆：應分類為非地面點。
9. 水域：應分類為水面點。

(二) 點雲分類困難地貌

1. 低矮地物和陡坡上的植被：這類地物的高程突變相對於地面高程突變的區別較小，很容易造成錯分，導致地平面局部上升。
2. 複雜建築物：這類地物形狀怪異(如球頂、中空)，加上多層次，在局部區域與地面難以區分而不易濾除。
3. 大型地物和小型地物混合：這類地物由於其自身尺寸與某些演算法中的視窗大小不匹配，造成處理不完整或削平陡峭山地的現象。
4. 地形不連續或與地形連接之特殊地物點：這類地形物包括陡坡、建築群中的小片空地或懸空橋梁等，本身與所屬類別的特徵有一定差異，在實際的過濾處理中造成困難。

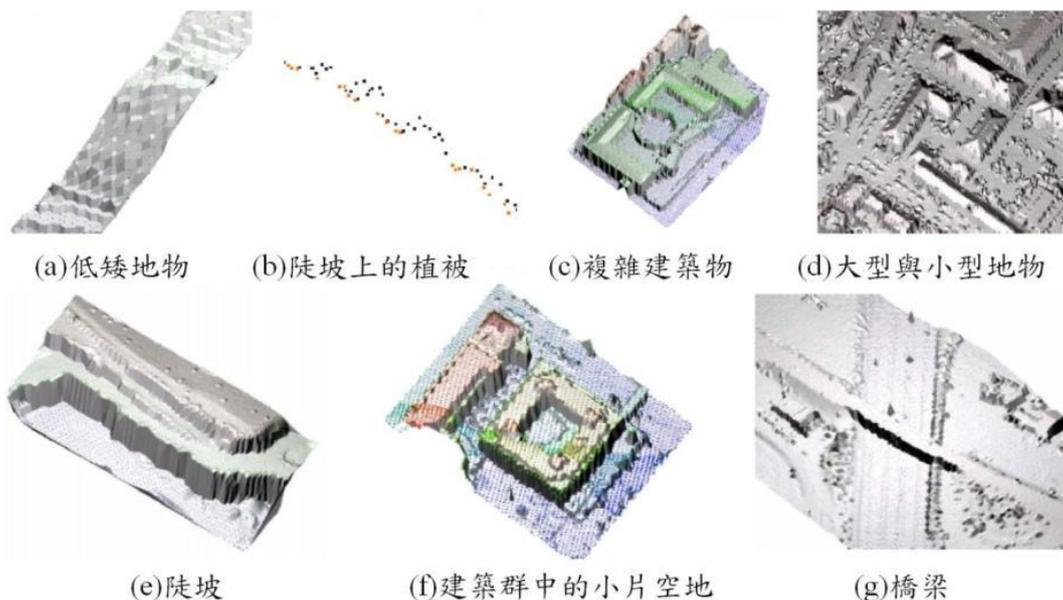


圖 2-41 LiDAR 點雲分類困難區域

(三) 點雲自動分類

本計畫進行點雲之自動處理與過濾時，採用 TerraSolid 軟體執行，將點雲、航線等資料載入後，可先進行點雲初步過濾，即簡單分為地表高程以上(可用於後續 DEM 與 DSM 製作)之點雲和非地形資料之點，如錯誤點(Low Point)和偶然出現的鳥類等。

進行完上述處理後，點雲分類可經設定後由 TerraScan 自動進行分類。此工作是透過軟體內之內建功能巨集(Macro)，輔以人工設定過濾參數而達成。其演算法原理，主要透過選取範圍內的低點組成三角網模型，形成初始地表，透過人工設定三角網垂直距離(Iteration Distance)以及離最近三角網頂點夾角(Iteration Angle)之係數，判定其餘點是否為地面點，以達成地表與地物自動分類。

如果用編修時間來區分，一般巨集執行時間僅 5%左右，人工占比約 95%，但以編修範圍整體完成度來看巨集使用比例會是 50~70%，其餘為人工進行。影響編修所費時間主要因素是地形，以純山區來說，因地形變化較小，編修時間約 2 個工作天；但如果是地形變化多端，且多人工構造物或者有雲覆的區域，使用巨集所能達成的完成度就會較低，需仰賴更多人工判識，可能會花費到 4 個工作天。

(四) 點雲人工分類

地面點/非地面點/雜點分類：藉由點雲自動分類完成初步地表分類，其分類結果準確度無法達成要求，尤其在地形變化複雜區域，誤判情況則更加嚴重，故初步處理結束後進行人工編修是必要的。圖 2-42 顯示以人工編修點雲之軟體畫面，分類前後剖面示意圖如圖 2-43。為正確將點雲分類，需要加入剖面、類別(Class)、反射值(Intensity)等點雲資訊輔助，如加入航拍影像則能提供更完整之資料，以辨識地物進行人工編修。

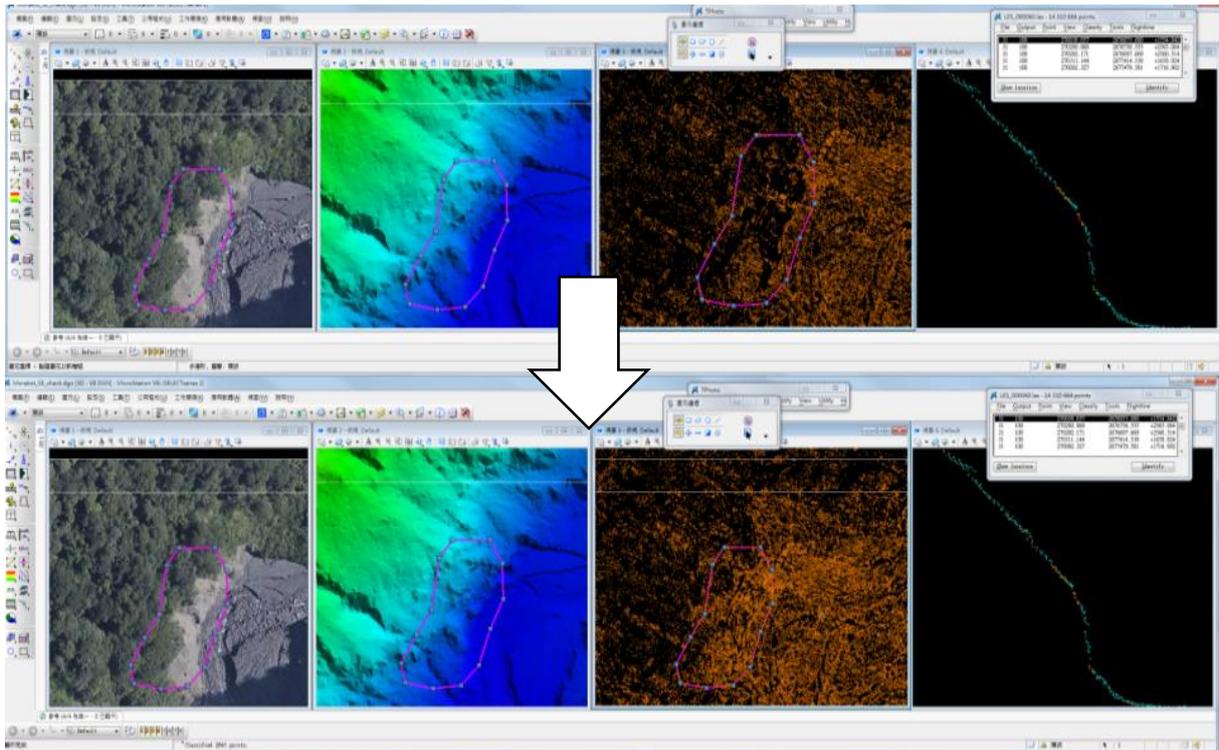


圖 2-42 以人工進行點雲分類前後示意圖

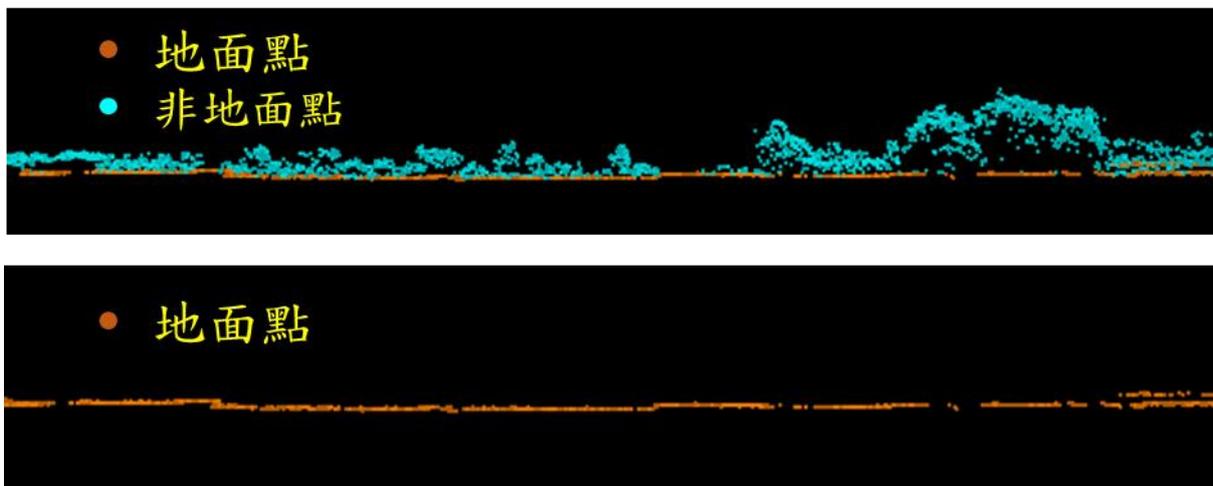


圖 2-43 點雲編修分類成果示意圖

(五) 水體點雲分類

利用正射影像製作測製範圍內水域數化成果，數化線段需閉合且沙洲、水域線及海域線等應分層紀錄，且水面點分類成果應與水域數化成果相符，並將水域內之地面點雲經由 TerraScan 悉數歸類為水點。本計畫點雲編修人員編號、負責圖幅範圍及各自初驗不合格率如表 2-20 與圖 2-44 所示，於 111 年 9 月 28 日獲得第一子測區(6-2-1 測區)監審單位審查合格；於 111 年 11 月 16 日獲得第二子測區(6-2-2 測區)監審單位審查合格，提送以及檢核相關期程詳如表 2-21 以及表 2-22。

表 2-20 編修人員作業編號及初驗不合格率統計表

編號	姓名	負責圖數	合格	不合格	待修正	已驗數	不合格率
OP-6-2-001	凌○晴	51	33	1	17	51	2.0%
OP-6-2-002	黃○婷	56	29	0	28	56	0.0%
OP-6-2-003	黃○玟	31	19	1	11	31	3.2%
OP-6-2-004	周○宜	49	23	0	26	49	0.0%
OP-6-2-005	彭○淇	40	26	1	13	40	2.5%
OP-6-2-006	陳○君	47	15	0	32	47	0.0%

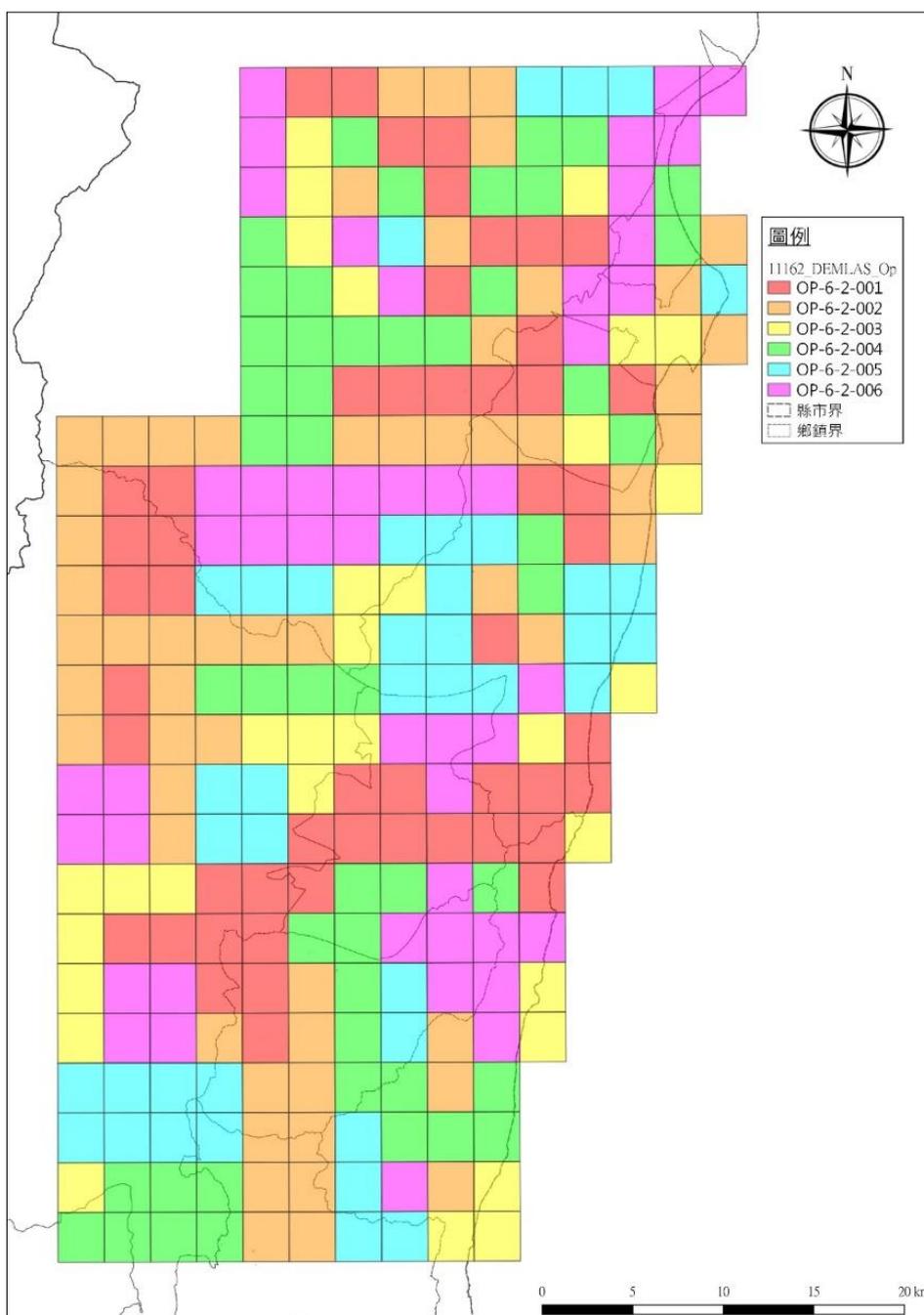


圖 2-44 作業人員編修圖幅分布圖

表 2-21 111 年第一子測區(6-2-1 測區)DEMLAS 分批提送時程與檢查結果

工作項目	圖幅數量	繳交日期	檢查合格日期	判定
DEM 點雲分類	33 幅	111/08/31	111/09/06	合格
	32 幅	111/09/08	111/09/19	合格
	22 幅	111/09/16	111/09/22	合格
	23 幅	111/09/23	111/09/28	合格
合計	110 幅	本項檢查完成日期 111/09/28 判定合格		

表 2-22 111 年第二子測區(6-2-2 測區)DEMLAS 分批提送時程與檢查結果

工作項目	圖幅數量	繳交日期	檢查合格日期	判定
DEM 點雲分類	32 幅	111/10/07	111/10/28	合格
	35 幅	111/10/18	111/11/04	合格
	34 幅	111/10/26	111/11/08	合格
	27 幅	111/11/04	111/11/11	合格
	36 幅	111/11/11	111/11/16	合格
合計	164 幅	本項檢查完成日期 111/11/16 判定合格		

2-8 DEM 與 DSM 製作及圖幅鑲嵌處理

於點雲分類完成，且經檢核通過後，方可進行 DEM 及 DSM 製作之工作。可採自動化過濾方法製作 DEM 及 DSM，惟最後的成果亦須經過人工的檢核及編修程序。

2-8-1 製作程序

- 一、網格間距：1 公尺×1 公尺。平面坐標值應為網格間距之整數倍。
- 二、圖幅：以現行五千分之一基本地形圖之圖幅為分幅之依據，實際涵蓋範圍應較標準圖幅框略大，以圖幅框 4 個圖隅點向外擴大至少 1 個網格點之四至坐標值(東、南、西、北邊界之極值)為矩形之範圍。各圖幅間得重疊，重疊區資料應重複且相同。
- 三、應採用一致之內插方法，產製 1 公尺間距之規則網格資料。
- 四、DEM 製作原則
 - (一) 將分類為地面點之不規則點雲，內插為規定間距之網格化成果。
 - (二) 若有地形特徵線則應匯入作為限制條件。

五、DSM 製作原則

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

六、陸域範圍之水域高程資料應由周邊地面點內插填滿。海域範圍應依判定合格海域線為準，海域範圍之高程資料應刪除。

七、精度評估

- (一) 高程容許誤差：受檢高程值與標準高程值之差(Dz)，應等於或介於高程容許誤差範圍之內。容許誤差計算數值包含 a、b、c 以及 t，其中 a 為固定值 0.18 m；c 為不同地類固定數值(裸露地 0.0、植生地 0.2、林地 0.3、密林地 0.5)；b 為坡度分及參數，坡度越大容許值越高，考量作業安全需求，以最嚴謹(容許誤差最小)之平地(地表坡度在 5 度以下)作為原則，全數設定為 0.0；t 為檢核點周圍樹高，由人為判釋作平均值評估(裸露地 0.0、矮植被 0.2、植生地 0.5、林地 2.0、都會區 0.0、濕地 0.0、密林地 3.0)。詳細高程容許誤差之計算方式詳附件二。
- (二) 平面容許誤差：受檢平面位置與標準位置之平均平面距離差，應等於或小於 0.5 公尺。

2-8-2 檢核點檢查

一、依據不同土地覆蓋分區進行檢核：

(一) 地類檢核點測量：先於測定點以 VBS-RTK 方式施測，並以 VBS-RTK 測量成果作為 RTK 主站之坐標，再以 RTK 方式施測待測點位，提升作業效率。依據不同土地覆蓋分區施測，每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測量檢核點，選點盡可能均勻分布於各圖幅(如圖 2-46 所示)。應用地面檢核點分析不同土地覆蓋分區之精度，提出精度評估報告(需附各點檢測像片，包含近景及遠景)。各地類檢核點施測實地照片如圖 2-45，檢核成果接續小節所述，全數符合本計畫作業規定。

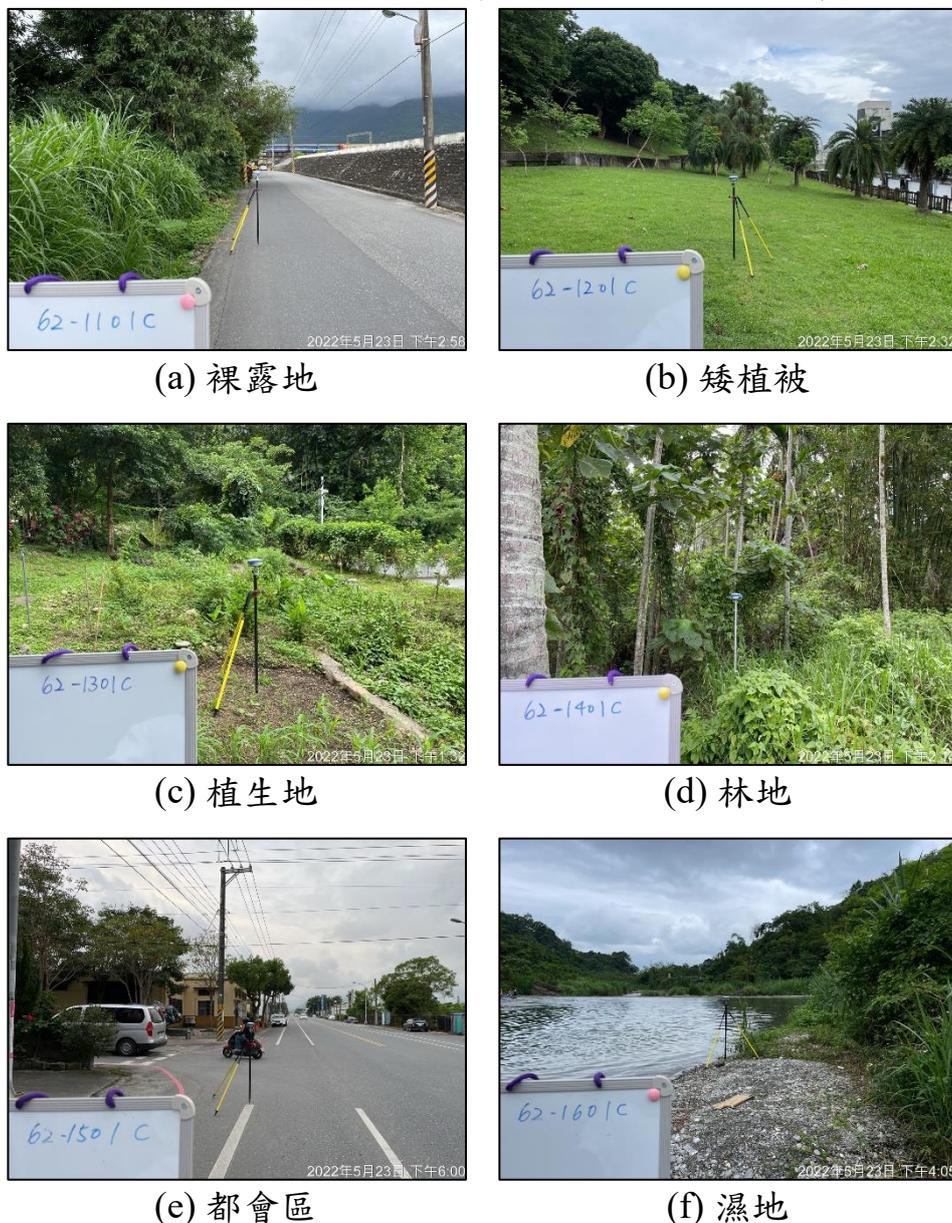


圖 2-45 地類檢核點實地施測作業照

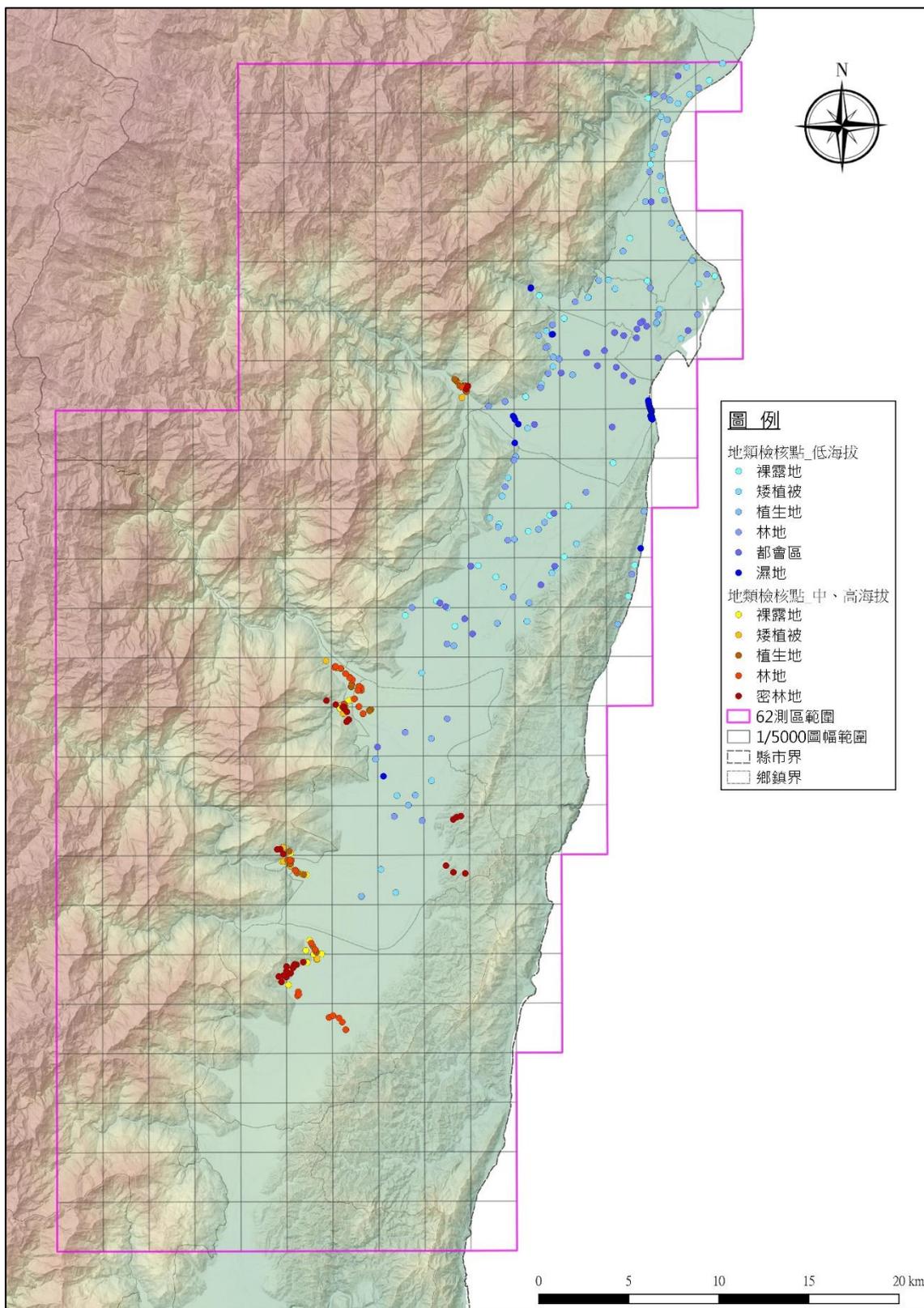


圖 2-46 地類檢核點分布圖

二、依據不同海拔高度分區：

地類檢核點與橫斷面檢核測量均有以海拔高度分區為：低海拔及河川洪泛溢淹地區測製地區、中高海拔山區。本測區因地形陡峭，山區佔了測區大部分面積且多為人車無法到達之處，且為了符合橫斷面檢核測量所要求 2 個海拔高度分區之檢核剖面長度均需超過 40 公里長，故在分析地形與人車可至路線後，擇定海拔高度 120 米(正高)，作為本作業區之海拔分界高度。

- (一) 低海拔及河川洪泛溢淹地區測製地區：土地覆蓋分區檢核作業需包括裸露地、矮植被(周圍為高度不超過 1 公尺之草生地、矮樹群、茶區等)、植生地、林地、都會區、濕地。每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測量檢核點。檢核成果相關資訊如表 2-23，繪製各類別統計分析圖如圖 2-47~圖 2-52，各點檢核成果詳細資訊如附件九，各點位近景及遠景像片詳如附件十。

表 2-23 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點總成果

地類 檢核點	檢核 點數	平均高差 (m)	平均絕對 高差(m)	最大高差 (m)	最小高差 (m)	標準偏差	均方根誤差
裸露地	30	0.003	0.065	0.14	-0.336	0.101	0.101
矮植被	30	0.060	0.076	0.344	-0.066	0.089	0.107
植生地	30	0.123	0.153	0.323	-0.263	0.132	0.181
林地	30	0.136	0.245	0.621	-0.737	0.287	0.318
都會區	30	-0.001	0.036	0.11	-0.097	0.045	0.045
濕地	30	-0.057	0.148	0.280	-0.340	0.166	0.175

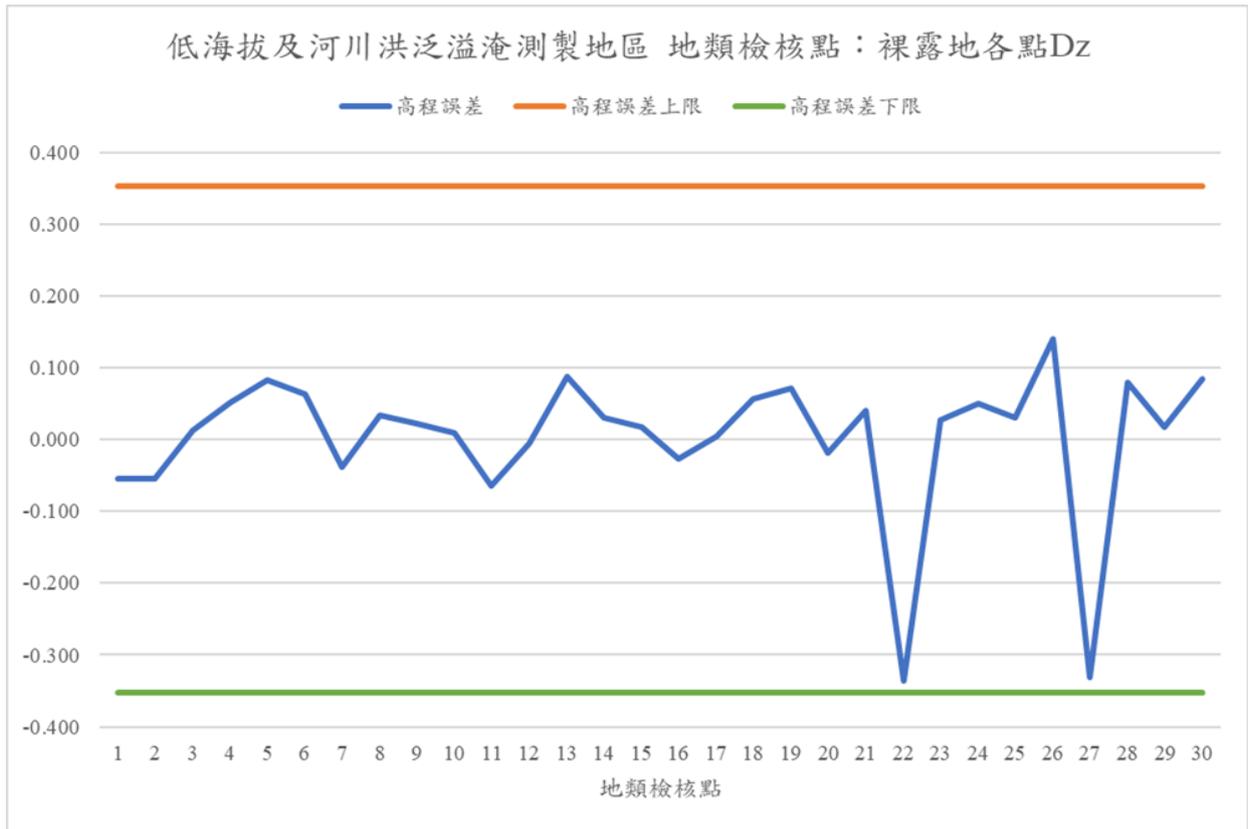


圖 2-47 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-裸露地

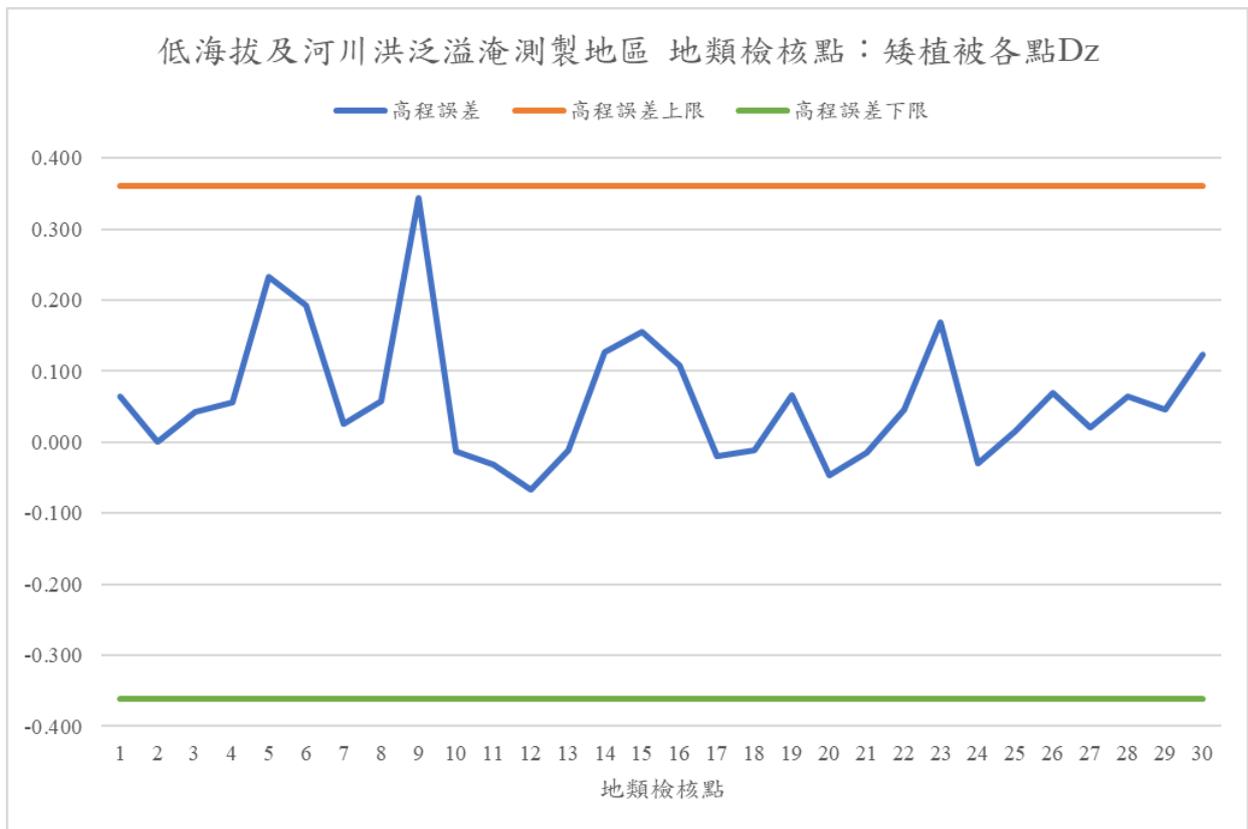


圖 2-48 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-矮植被

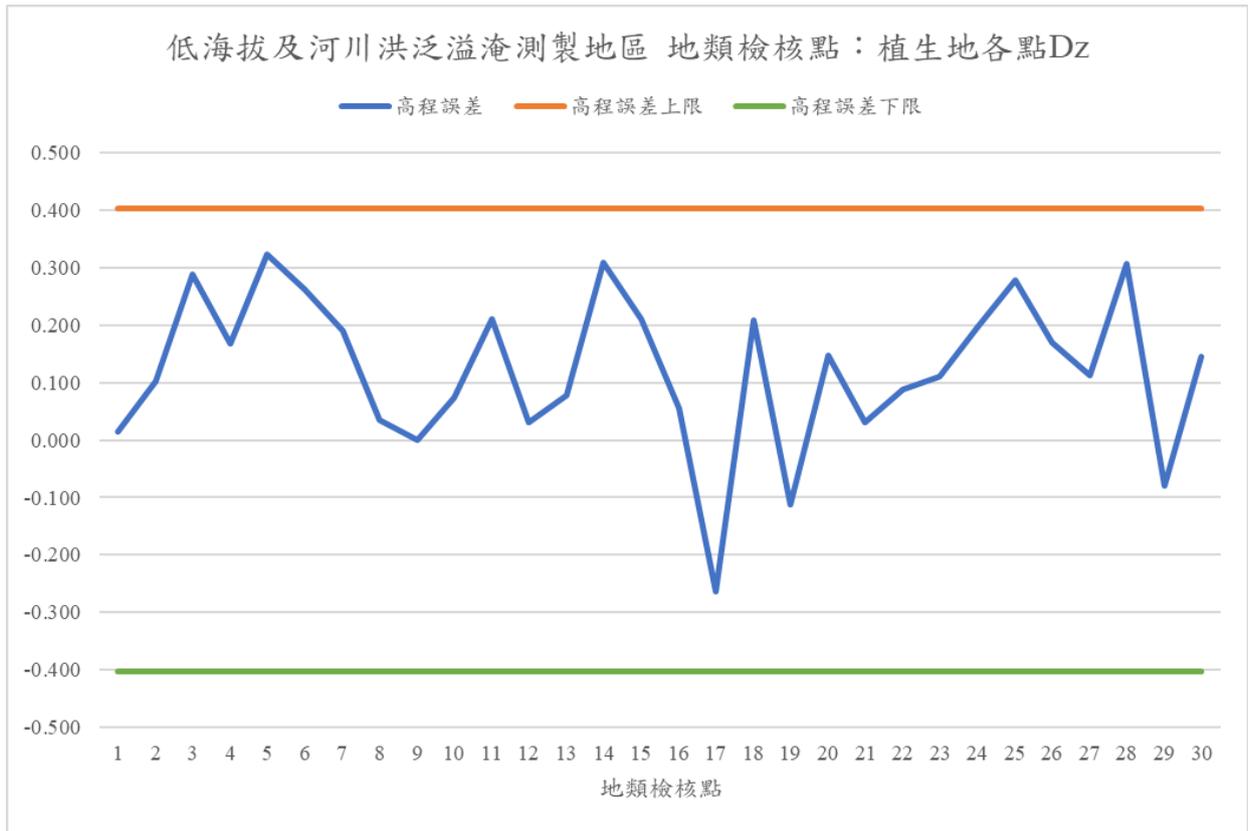


圖 2-49 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-植生地



圖 2-50 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-林地

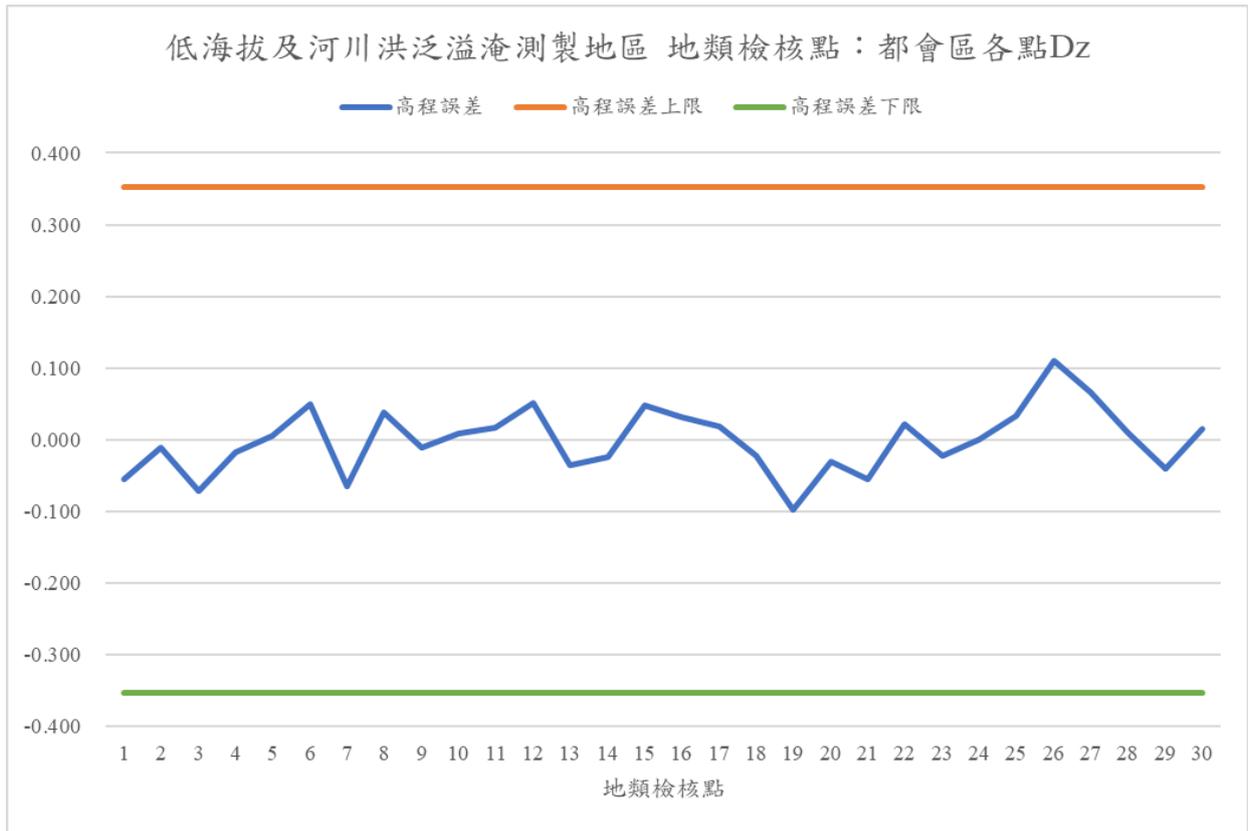


圖 2-51 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-都會區



圖 2-52 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-濕地

(二) 對於中高海拔山區測製地區進行檢核作業，土地覆蓋分區檢核作業包括裸露地、矮植被(周圍為高度不超過 1 公尺之草生地、矮樹群、茶區等)、植生地、林地、密林地。每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測量檢核點。檢核成果如表 2-23 以及附件九，繪製各類別統計分析圖如圖 2-53~圖 2-57，各點位近景及遠景像片詳如附件十。

表 2-24 中高海拔山區地類檢核點總成果

地類 檢核點	檢核 點數	平均高差 (m)	平均絕對 高差(m)	最大高差 (m)	最小高差 (m)	標準偏差	均方根誤差
裸露地	30	-0.032	0.051	0.128	-0.129	0.056	0.065
矮植被	30	-0.143	0.147	0.052	-0.342	0.095	0.172
植生地	30	-0.149	0.150	0.015	-0.400	0.104	0.182
林地	30	-0.264	0.342	0.969	-1.042	0.417	0.494
密林地	30	-0.084	0.216	0.729	-0.393	0.274	0.287

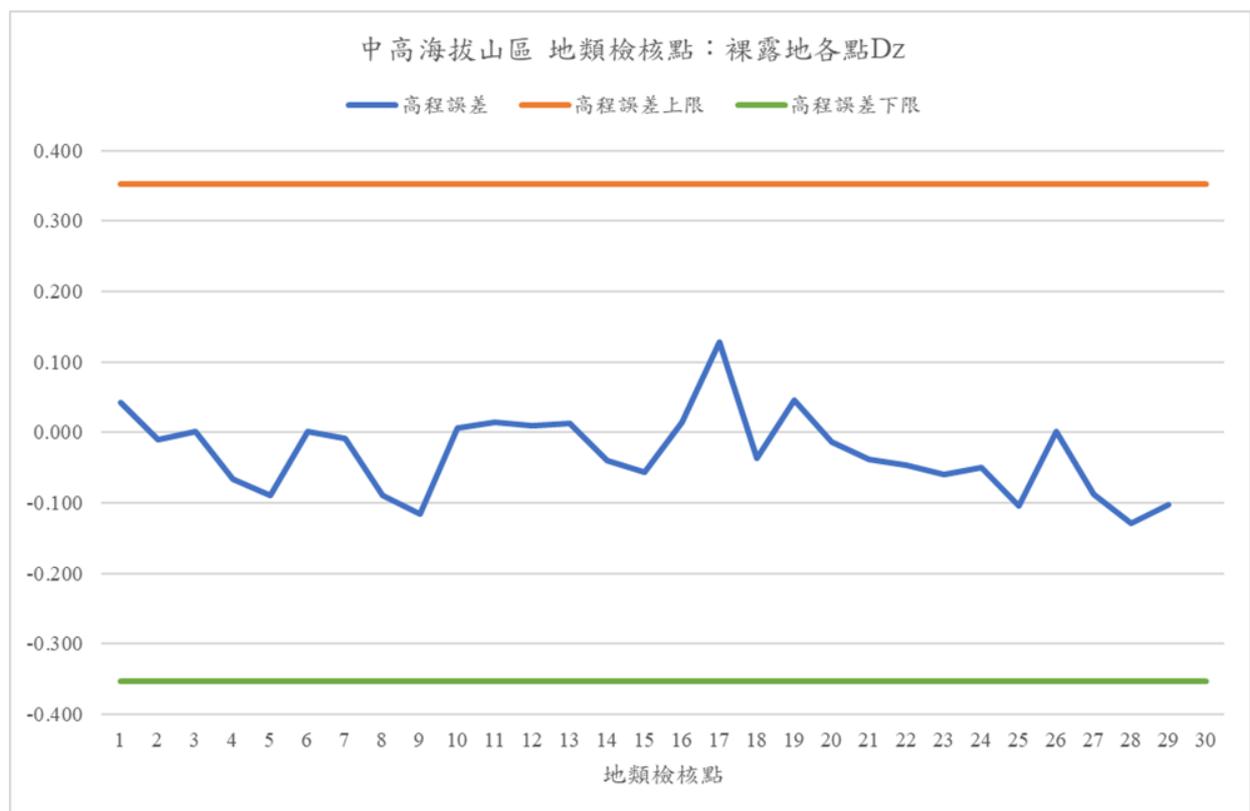


圖 2-53 中高海拔山區地類檢核點成果-裸露地

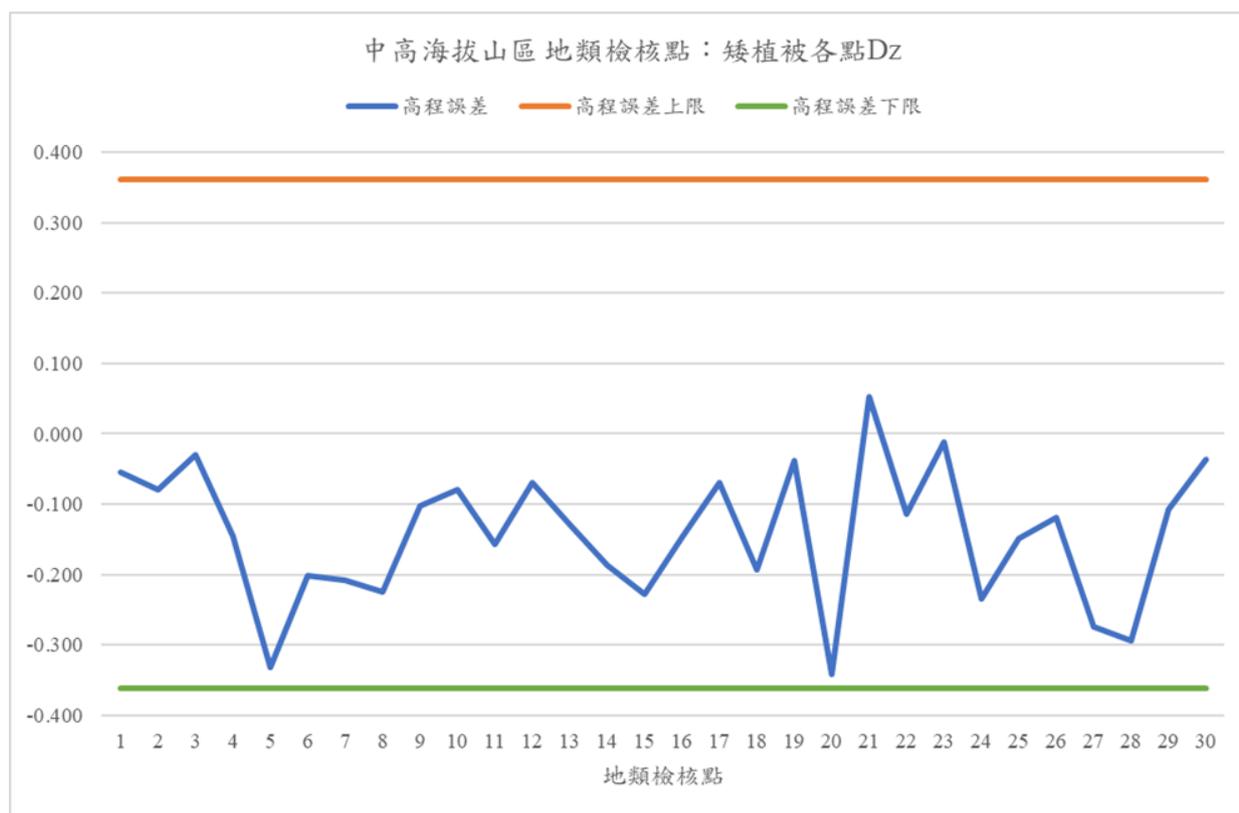


圖 2-54 中高海拔山區地類檢核點成果-矮植被

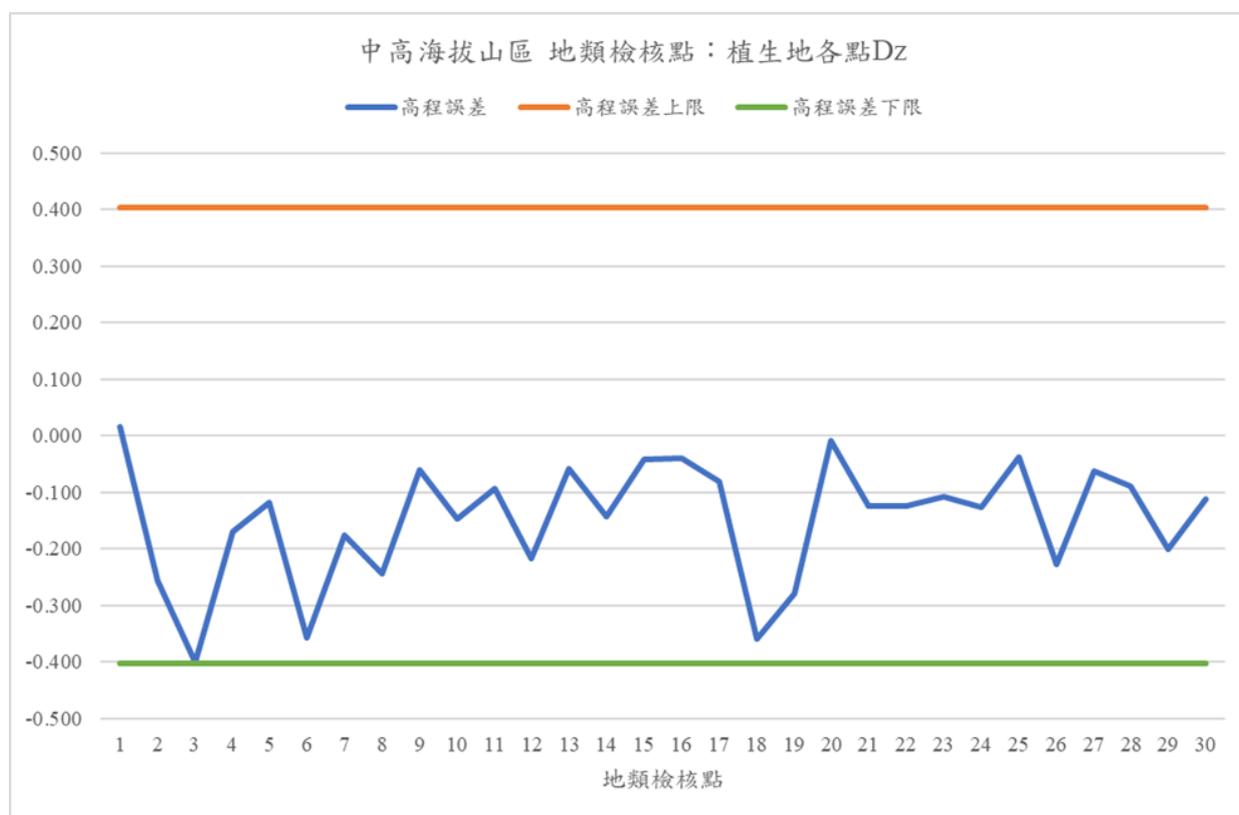


圖 2-55 中高海拔山區地類檢核點成果-植生地

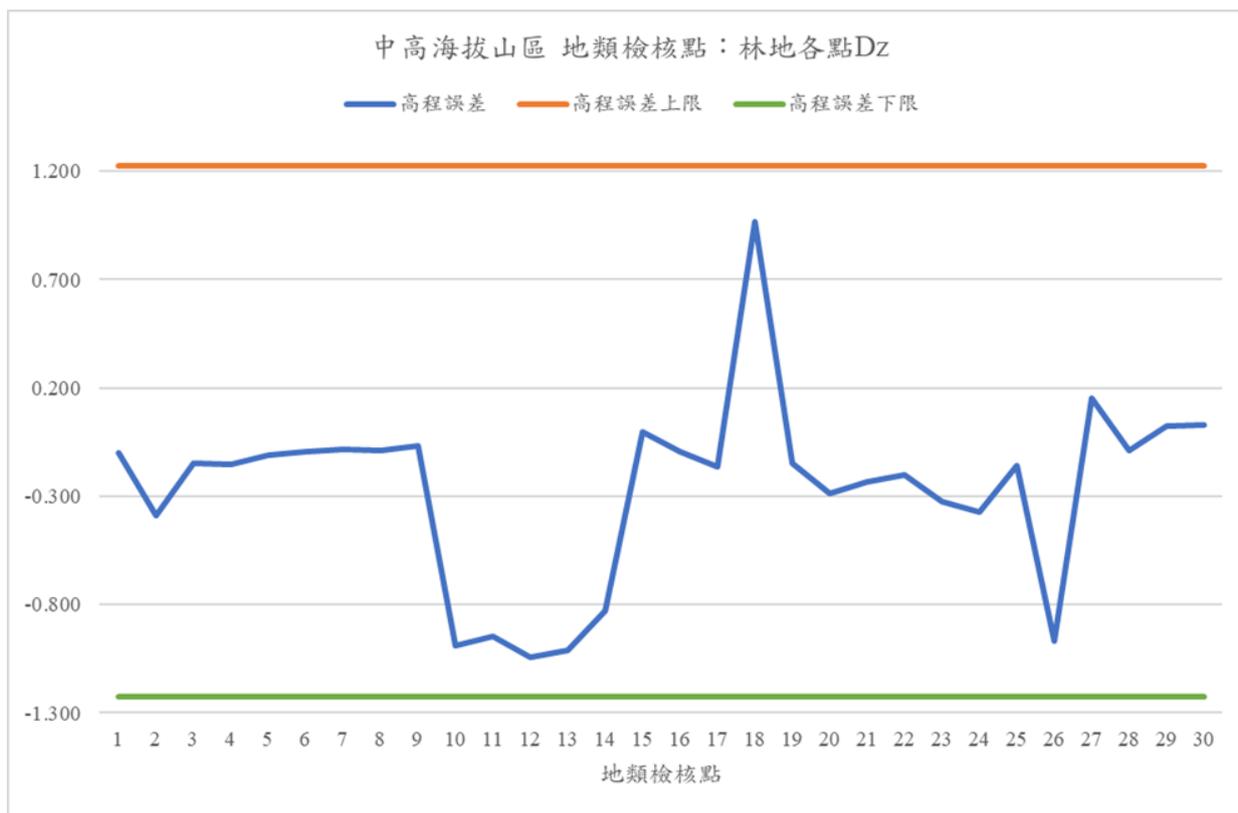


圖 2-56 中高海拔山區地類檢核點成果-林地

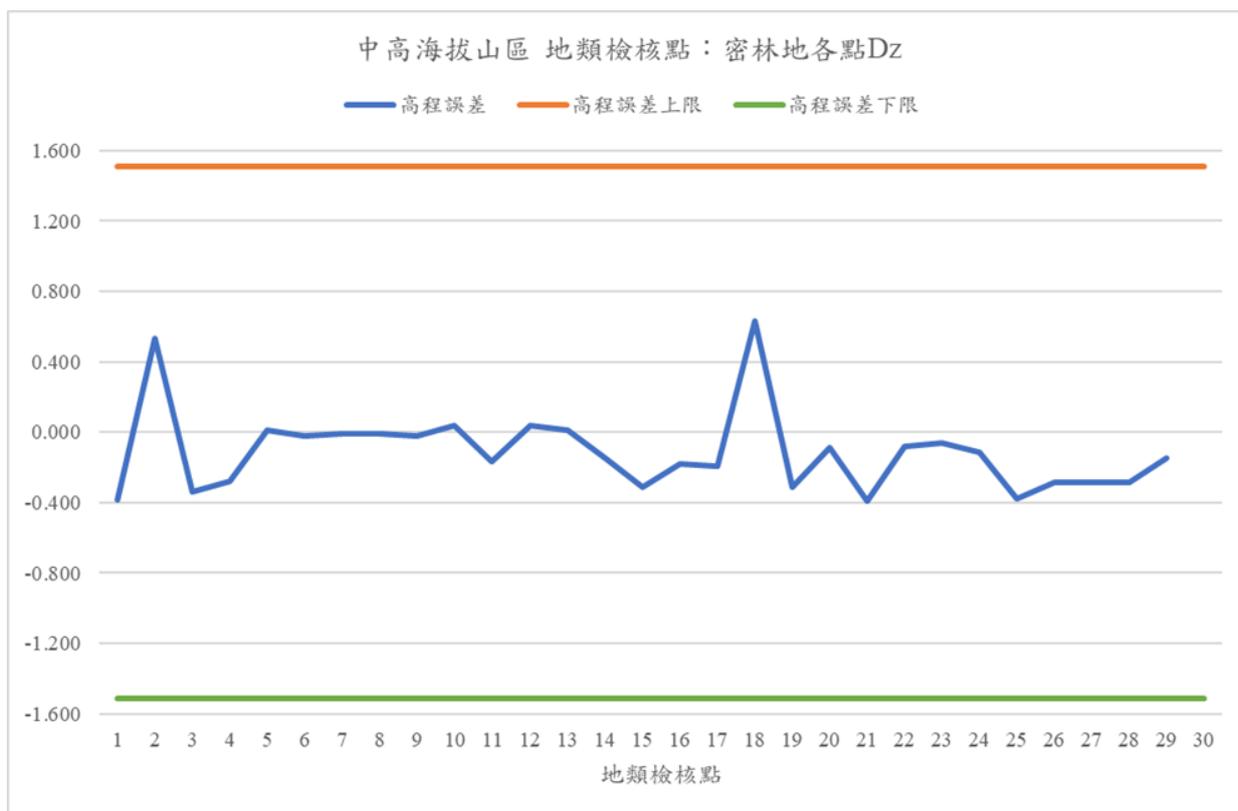


圖 2-57 中高海拔山區地類檢核點成果-密林地

三、橫斷面(cross section)檢核測量

(一) 橫斷面檢核點測量

於 111 年 2 月 8 日起至 2 月 18 日完成外業測量，採用 VBS-RTK 方式施測，共施測 104 點，其中 62 點為低海拔及河川洪泛溢淹區，42 點為中高海拔山區，相關分布如圖 2-58，外業工作照如圖 2-59。

1. 低海拔及河川洪泛溢淹測製地區：需施行橫互航線的地面檢核剖面，檢核剖面至少有 60 個檢核點，剖面長度總和需超過 40 公里。依據橫互航線地面檢核剖面測量數據，進行剖面 LiDAR 數據精度評估報告。剖面檢核測量點允許選擇透空平坦地進行大剖面檢核。
2. 中高海拔山區測製地區：需施行橫互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。依據橫互航線地面檢核剖面測量數據，進行剖面 LiDAR 數據精度評估報告。

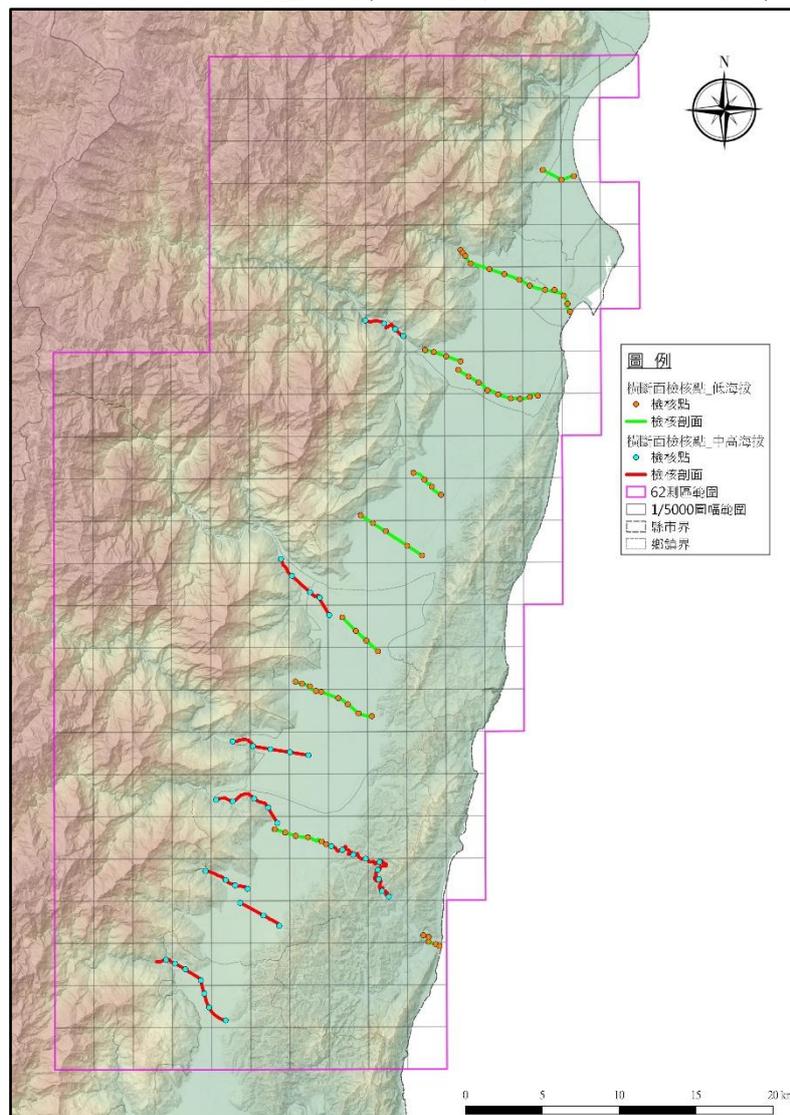


圖 2-58 橫斷面檢核線位置分布



圖 2-59 橫斷面檢核點現場作業工作照

(二) 低海拔及河川洪泛溢淹測製地區：需施行橫互航線的地面檢核剖面，檢核剖面為 62 個檢核點，剖面長度總和為 41.3 公里。依據橫互航線地面檢核剖面測量數據，進行剖面 LiDAR 數據精度評估報告，分析檢核成果如圖 2-60。

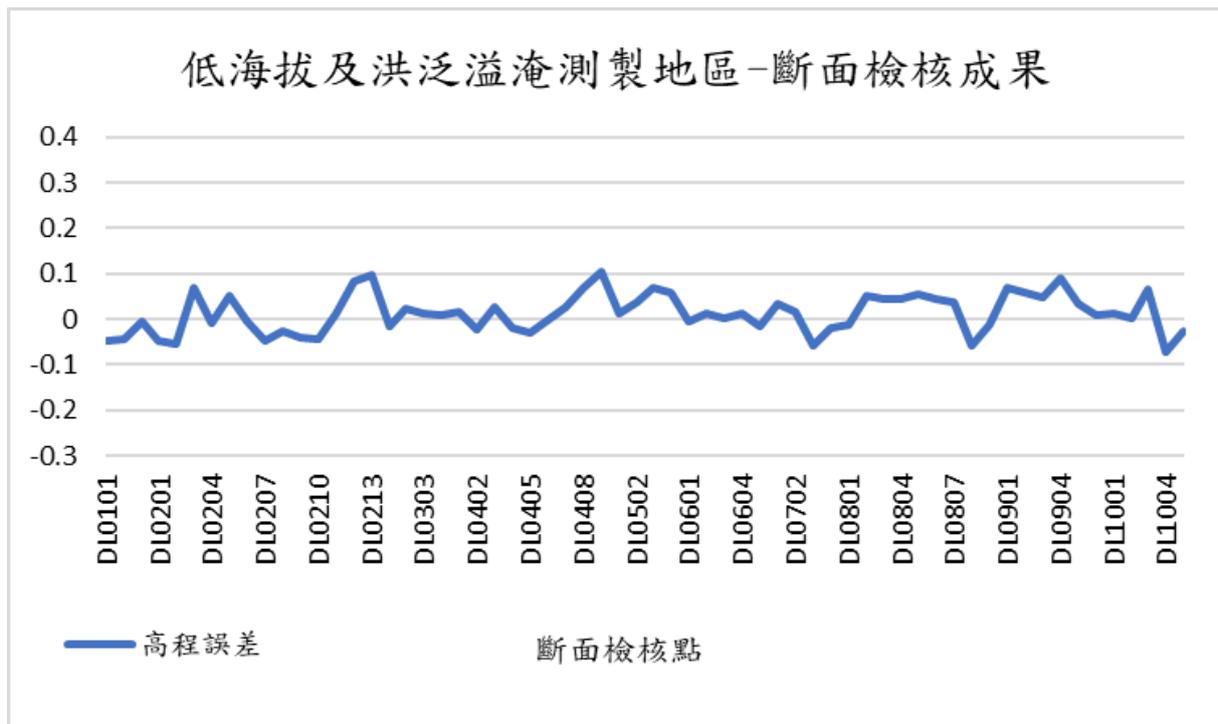


圖 2-60 低海拔及河川洪泛溢淹測製地區-斷面檢核成果

(三) 中高海拔山區測製地區：需施行橫互航線的地面檢核剖面，檢核剖面為 42 個檢核點，剖面長度總和為 41.3 公里。依據橫互航線地面檢核剖面測量數據，分析檢核成果如圖 2-61。

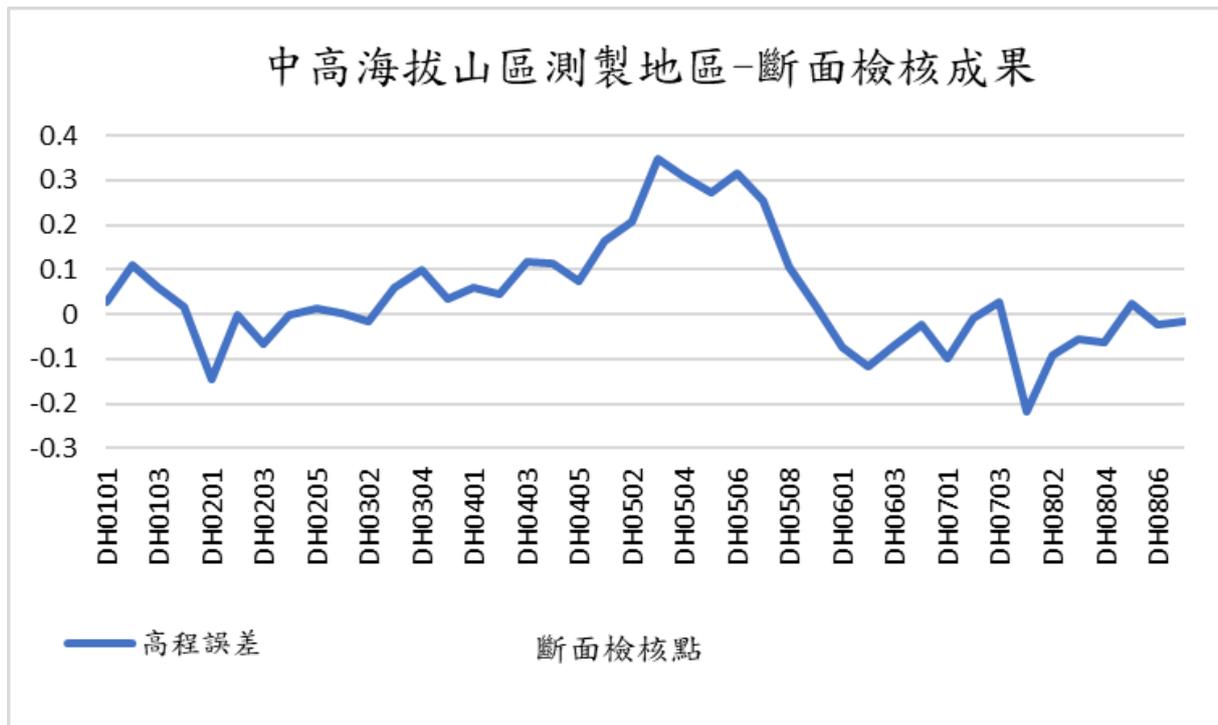


圖 2-61 中高海拔山區測製地區-斷面檢核成果

部分橫斷面點高程較差超過 20 公分，與其餘點位較差有明顯差距(如表 2-25 所示)。經相關資訊佐證研判應為地形變化所造成，相關敘述如下。

於民國 111 年 6 月 20 日上午 9 點 5 分在花蓮地區發生芮氏規模 6.0 的地震，震央在花蓮縣光復鄉，震源深度僅 6.8 公里，最大震度出現在花蓮、台東與南投等地，震度 5 弱至 4 級不等，本次地震係由位於中央山脈東側與花東臺東縱谷交界的斷層活動所引起，本所動員構造與地震地質組人力進行花蓮地區野外調查工作，重點在花蓮縣北部的壽豐、鳳林與光復等地；(節錄自經濟部中央地質調查所-台灣活動斷層-20220620 光復地震地質調查報告。)

表 2-25 推測受地震影響之橫斷面點資訊

項次	點號	東坐標	北坐標	檢核點高程	DEM 成果高程	高程較差
1	DH0501	296895.206	2616961.498	144.997	145.163	0.166
2	DH0502	297607.672	2616715.820	188.705	188.914	0.209
3	DH0503	298329.946	2616400.344	292.431	292.780	0.349
4	DH0504	299130.217	2616130.541	283.907	284.215	0.308
5	DH0505	300029.117	2615918.402	309.472	309.745	0.273
6	DH0506	299925.567	2615406.948	253.253	253.567	0.314
7	DH0507	299980.750	2614793.826	228.959	229.215	0.256

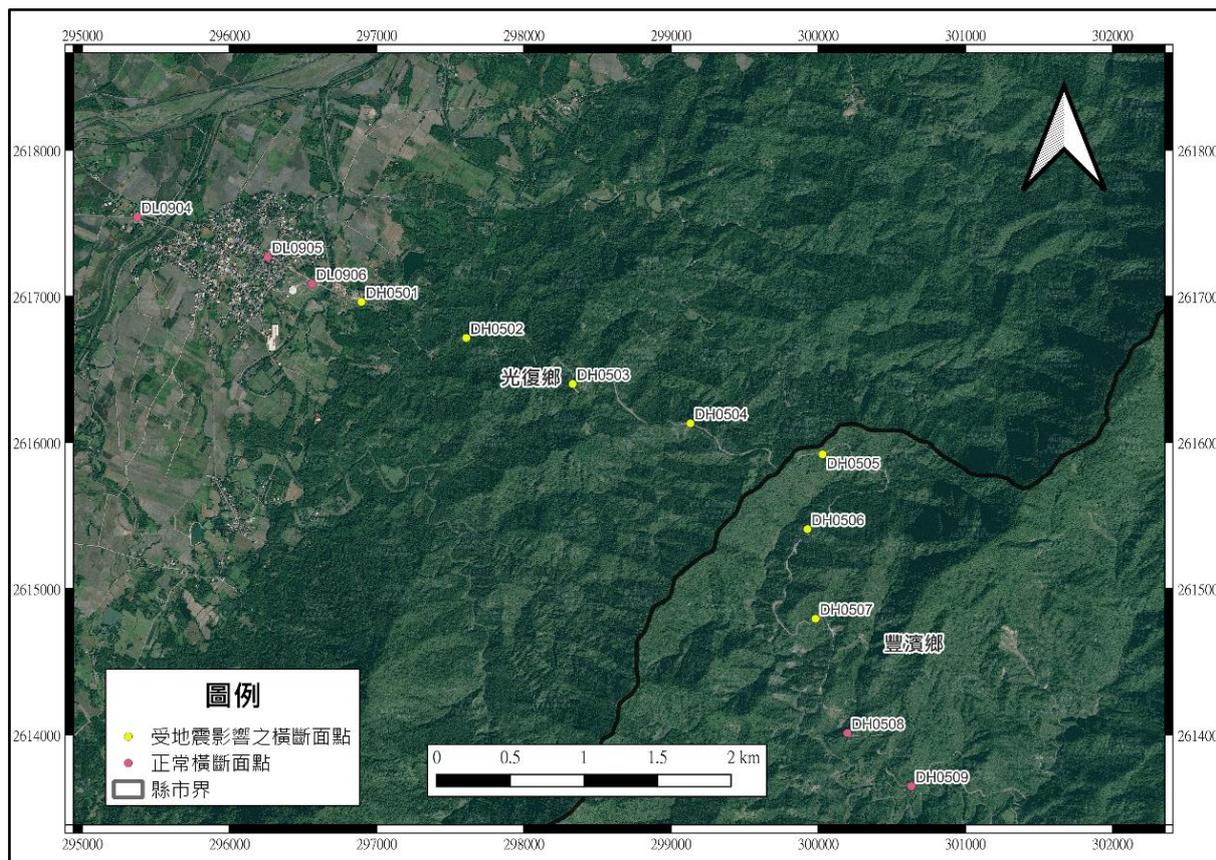


圖 2-62 推測受地震影響之橫斷面點分佈

此區域之橫斷面點控制測量於 111 年 2 月完成，地震活動於 111 年 6 月發生，本公司空載光達在此區域作業於 111 年 7 月 11 日完成掃瞄。如圖中所示數個高程較差較大之點位恰好介於花蓮縣光復鄉與花蓮縣豐濱鄉之山區，相關橫斷面點位如圖所示。綜上述時間軸推論，該區域可能因受板塊擠壓造成地形抬升，使得該地區空載光達點雲高程成果較橫斷面點控制測量成果高。受地震影響之橫斷面點照片如圖 2-62 所示。

2-8-3 DEM 成果外業檢核

依契約書規定 DEM/DSM 成果實地抽驗地面檢核點位：第 2 及第 6 階段辦理外業檢查，每一階段至少抽查 4 個圖幅、合計至少 20 個檢核點。第 3 及第 7 階段辦理外業檢查，每一階段至少抽查 6 個圖幅、合計至少 30 個檢核點。其通過標準為檢核點除符合高程容許誤差規定(詳如附件二)，合格率應達 90%(含)以上。

本計畫於 111 年 10 月 17 日至 111 年 10 月 19 日間進行第 6 階段外業檢查，計有檢核點共 25 點，平均值為 0.5 公分，均方根誤差(RMSE)值為 9.2 公分，全數檢核合格。並於 111 年 12 月 12 日至 111 年 12 月 15 日間進行第 7 階段外業檢查，計有檢核點共 35 點，平均值為 1.6 公分，均方根誤差(RMSE)值為 7.9 公分，全數檢核合格，其誤差分析統計如表 2-29 所示，作業照片如圖 2-63 所示。

表 2-26 外業檢查誤差分析統計表

測區	所有檢核點數 (e-GNSS)	平均值 (公分)	RMSE (公分)	平均誤差 t (公分)
第 6 階段(6-2-1)	25	0.4	9.2	6.3
第 7 階段(6-2-2)	35	1.6	7.9	6.0

資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

表中之平均誤差為 $t = \frac{|D|}{n}$ ，(|D|=誤差絕對值總和，n=檢測數量)



111.10.17



111.10.18



111.12.13



111.12.14

圖 2-63 DEM 成果外業檢核作業照

2-8-4 圖幅接邊

為使不同作業區間或不同年度的網格資料成果接邊一致，在進行圖幅接邊時會優先排除地形明顯變遷、水域等區域，再將重疊區域的網格資料重新內插，藉此產製較為契合之高程點，並視地形複雜程度貼回重疊區域的網格資料，以求有效解決不同作業區、不同年度間網格邊界處資料高差的問題。

- 一、測區內部及測區外部圖幅重疊區域之 DEM / DSM 網格資料成果應一致。
- 二、若測區銜接處，因掃瞄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。
- 三、依據中華民國 111 年 4 月 1 日 111 年第 1 次工作會議紀錄(成大產創字第 1111101074 號)，各測製廠商完成 111 年度成果後，應進行內外部接邊分配方案如圖 2-64。中興公司負責詮華測區與歷年資料成果接邊；自強公司負責詮華測區與歷年資料成果接邊；詮華公司負責與歷年資料成果接邊作業，以上分配皆包含 DEM/DSM/正射影像之接邊作業，並於接收到監審方通知後始得作業。
- 四、接邊完成後必須利用接邊檢核程式執行檢核，確保成果接邊一致。

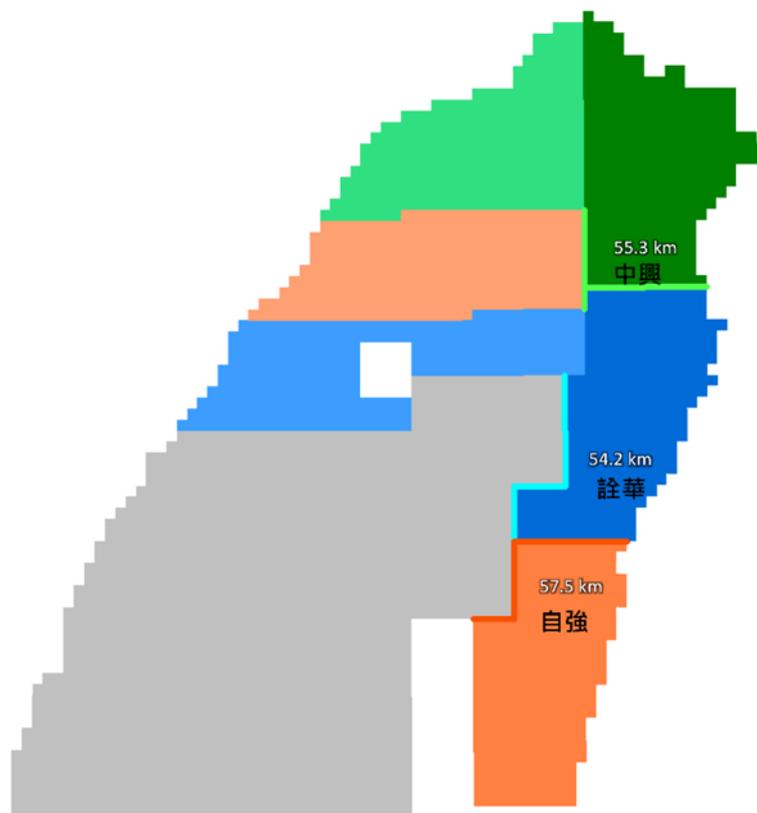


圖 2-64 111 年成果接邊分配圖

2-8-5 正高轉換

- 一、於完成圖幅接邊後，應將 DEM / DSM 高程資料由橢球高轉換至正高。
- 二、轉換正高之方式應利用內政部公告之大地起伏模式進行轉換。

2-8-6 資料儲存格式

一、資料儲存格式

- (一) 內政部 XYZ 格式。
- (二) 規則網格之 LAS 檔。
- (三) GeoTIFF 格式。

二、資料建置完成後，應執行內政部「DTM 成果資料檢核程式」，輸出檢核成果報表，並應通過檢核。

三、DTM 海域之高程給值方式：為使本案成果有延續性，依循往例海域高程值不賦予任何值。

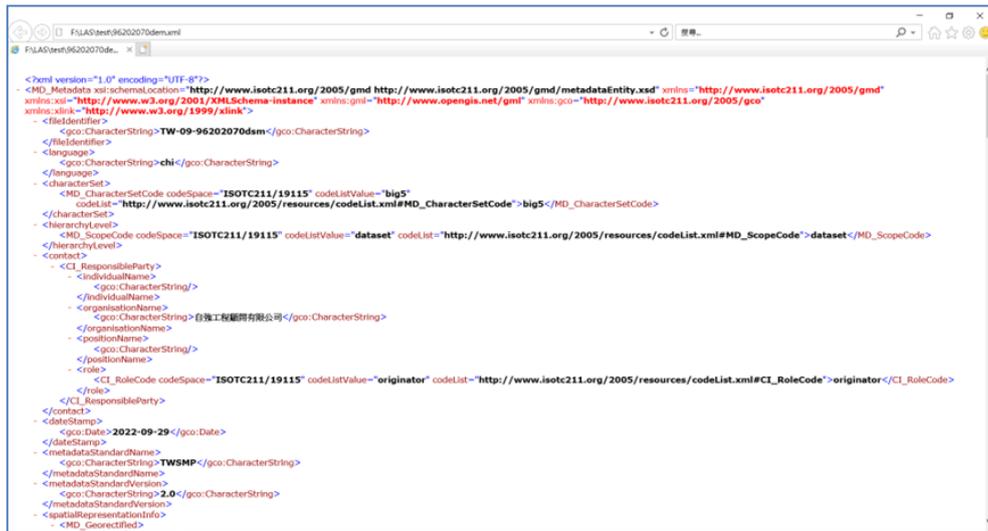
2-8-7 詮釋資料製作

一、依據內政部國土資訊系統之「地理資訊詮釋資料標準」(TaiWan Spatial MetadataProfile; TWSMP) 2.0 版相關規定填寫各項成果之詮釋資料。

二、利用內政部「詮釋資料建置系統」針對詮釋資料資訊、識別資訊、限制資訊、資料品質資訊、資料歷程資訊、空間展示資訊、供應資訊、範圍資訊、維護資訊、引用資訊、參考系統資訊等類別按規定之項目填寫，相關作業畫面如圖 2-65，成果示意如圖 2-66。



圖 2-65 內政部「詮釋資料建置系統」作業畫面



```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<MD_Metadata xmlns:schematoc="http://www.isotc211.org/2005/gmd http://www.isotc211.org/2005/gmd/metadataEntity.xsd" xmlns="http://www.isotc211.org/2005/gmd" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns:gco="http://www.isotc211.org/2005/gco" xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink">
  <fileIdentifier>
    <gco:CharacterString>TW-09-96202070dsm</gco:CharacterString>
  </fileIdentifier>
  <language>
    <gco:CharacterString>chi</gco:CharacterString>
  </language>
  <characterSet>
    <MD_CharacterSetCode codeSpace="ISOTC211/19115" codeListValue="big5">
      <codeList="http://www.isotc211.org/2005/resources/codeList.xml#MD_CharacterSetCode">big5</MD_CharacterSetCode>
    </MD_CharacterSetCode>
  </characterSet>
  <hierarchyLevel>
    <MD_ScopeCode codeSpace="ISOTC211/19115" codeListValue="dataset" codeList="http://www.isotc211.org/2005/resources/codeList.xml#MD_ScopeCode">dataset</MD_ScopeCode>
  </hierarchyLevel>
  <contact>
    <CI_Responsibility>
      <individualName>
        <gco:CharacterString/>
      </individualName>
      <organisationName>
        <gco:CharacterString>自強工程顧問有限公司</gco:CharacterString>
      </organisationName>
      <positionName>
        <gco:CharacterString/>
      </positionName>
      <role>
        <CI_RoleCode codeSpace="ISOTC211/19115" codeListValue="originator" codeList="http://www.isotc211.org/2005/resources/codeList.xml#CI_RoleCode">originator</CI_RoleCode>
      </role>
    </CI_Responsibility>
  </contact>
  <dateStamp>
    <gco:Date>2022-09-29</gco:Date>
  </dateStamp>
  <metadataStandardName>
    <gco:CharacterString>TWSMP</gco:CharacterString>
  </metadataStandardName>
  <metadataStandardVersion>
    <gco:CharacterString>2.0</gco:CharacterString>
  </metadataStandardVersion>
  <spatialRepresentationInfo>
    <MD_Georectified>
  </MD_Georectified>
</MD_Metadata>

```

圖 2-66 DEM 詮釋資料成果示意

2-8-8 地面點空間分布檢核(地面點孔洞分析)

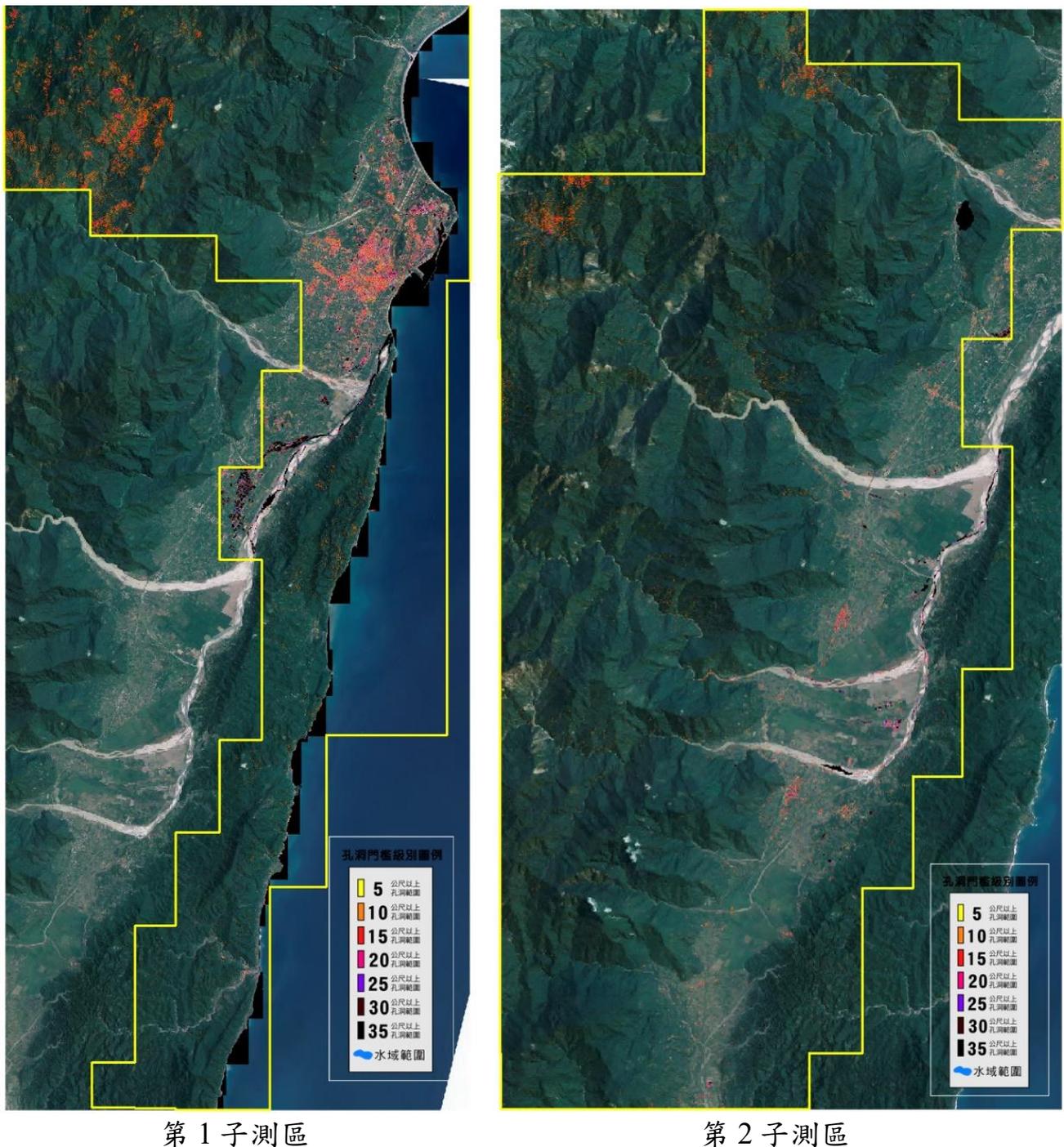
因應空載光達植被穿透或在地形落差大的區域獲取地面點的能力，對如何取得良好的地形表現來說，地面點的分布均勻十分重要，自 105 年度空載光達更新案後，監審單位依作業經驗，設計地面點空間分布之分析指標，用以反應地面點分布狀況。後續經多次工作會議討論，研擬地面點分布檢查之門檻及規範，並透過 109 年度實際試辦後，於 110 年度納入實際契約規範要求。

本計畫地面點孔洞分析成果為監審單位分析後反饋成果，如圖 2-67 至圖 2-68 所示。本測區 274 幅範圍內除 38 幅位於平地坡度過小不納入統計外，計有 233 幅為通過(大孔洞 10%以下)，有 1 幅(96212078)大孔洞比例超過 10%之圖幅，與既有成果比較後判定為相對通過(大孔洞比例增量相較既有成果小於 10%)，有 2 幅(96212079、96212098)大孔洞比例超過 10%之圖幅，與既有成果比較後判定為不通過(大孔洞比例增量相較既有成果大於 10%)，如表 2-27 所示。

經與規劃航線套疊發現此 3 圖幅主要是由 111 年 5 月 30 日 P11M11-2022053007 此架次所涵蓋，另該範圍既有成果為本公司於經濟部中央地質調查所 104 年度『非莫拉克災區與特定事件(颱風豪雨或地震等事件)後 LiDAR 高解析度數值地形製作(3/3)』勞務採購案所飛航。並且如 2-2-5 節所述，Riegl LMS-Q780 (2220651)於 111 年 6 月 19 日即發生故障，期間於 111 年 6 月 4 日、6 月 5 日與 6 月 18 日執行本計畫飛航任務，其中 111 年 6 月 18 日 P11M11-2022061808 架次為飛航山區範圍，其對地高 AGL 與 111 年 5 月 30 日 P11M11-2022053007 架次最相近。

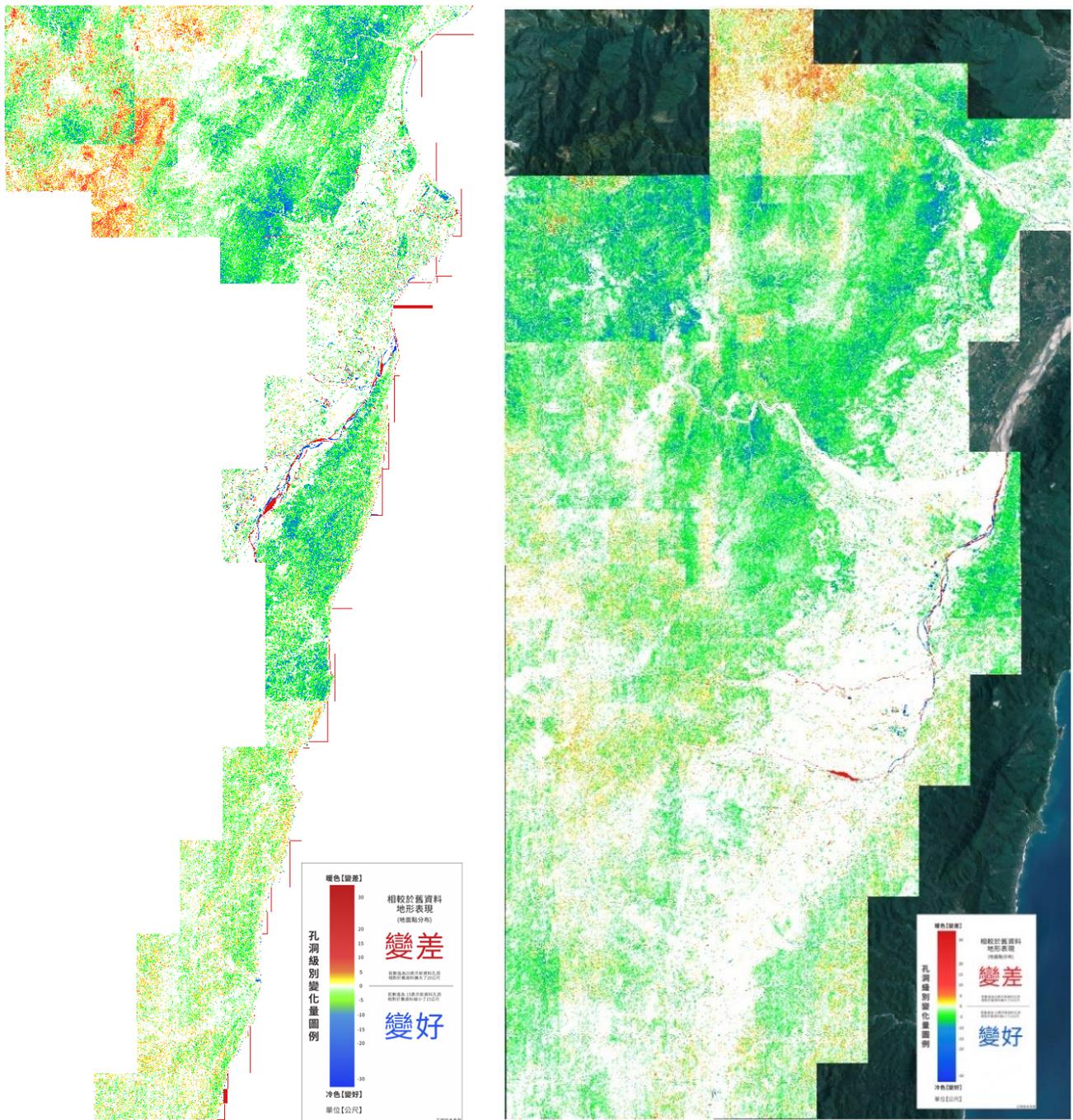
綜上所述，針對此 3 圖幅之地面點孔洞分布不佳範圍(圖 2-69)，共朝下列方向分析：

1. Riegl LMS-Q780 航線規劃合理性。
2. Riegl LMS-Q780 (2220651)設備穩定性。
3. 現地環境影響。



資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-67 111 年 6-2 測區地面點孔洞分析圖



第 1 子測區

第 2 子測區

資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-68 111 年 6-2 測區地面點孔洞變異圖

表 2-27 地面點孔洞分析 1 幅相對通過、2 幅不通過資訊表

圖號	測製廠商	測區	圖幅格數	統計格數	統計範圍 %	既有孔洞均值 (m)	本次孔洞均值 (m)	變好變壞BAR	變異量級	既有大孔洞 %	本次大孔洞 %	判定	新
96212078	自強	6-2-1	1783040	1782240	100%	7.10	6.44		1.10	21.6%	17.9%	相對通過	最新
96212079	自強	6-2-1	1789785	1788985	100%	3.52	6.63		1.88	1.0%	19.3%	不通過	最新
96212098	自強	6-2-1	1788390	1774630	99%	2.88	5.92		2.06	0.1%	13.3%	不通過	最新

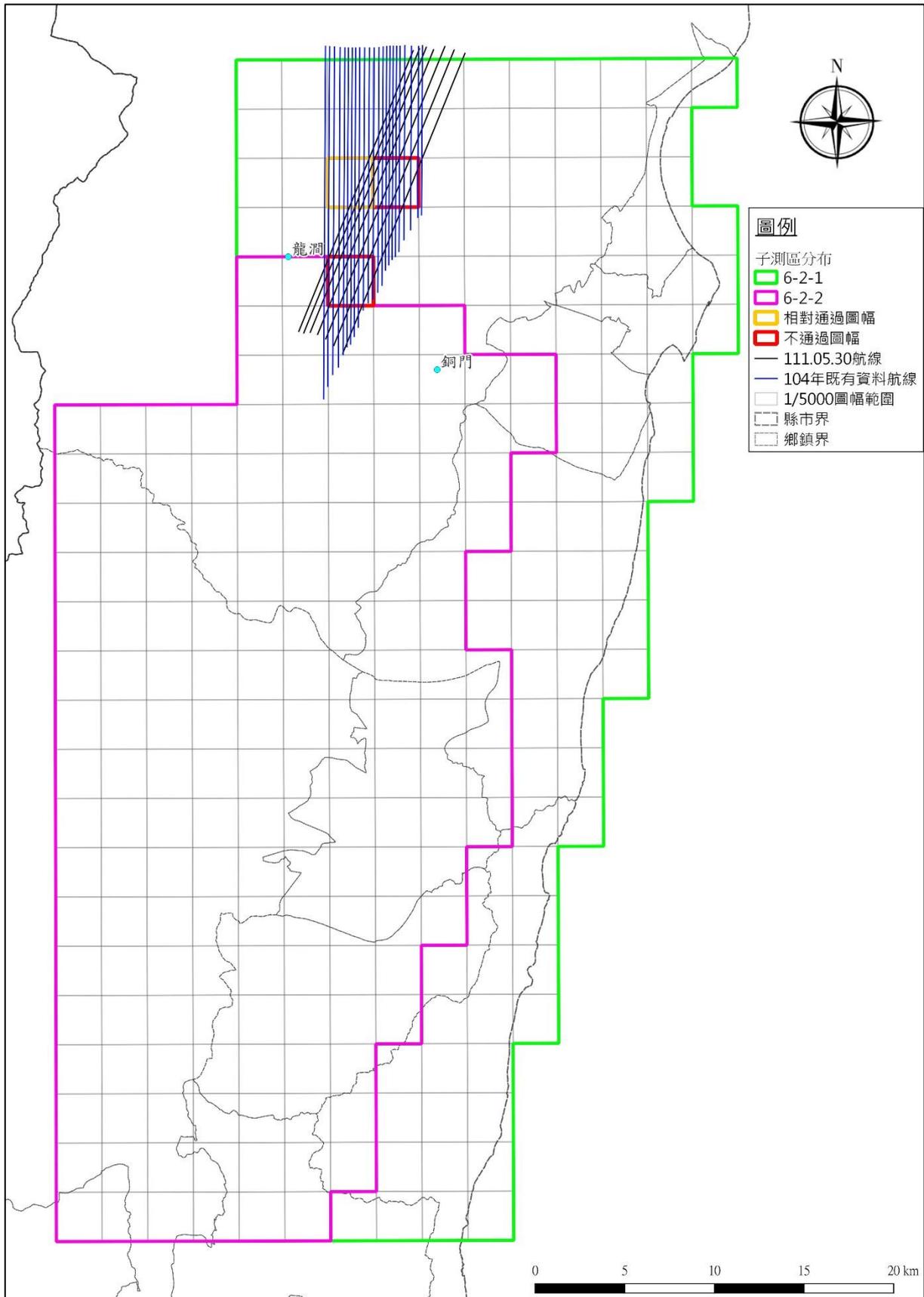


圖 2-69 地面點孔洞分析 1 幅相對通過、2 幅不通過相關資訊分布圖

一、Riegl LMS-Q780 航線規劃合理性

111 年 5 月 30 日 P11M11-2022053007 架次飛航之航線 62022 至 62028 其規劃飛航高度(AMSL)為 3,700 公尺，實際飛航高度也均在 3,700 公尺，其平均對地高(AGL)為 2,035 至 2,177 公尺之間，為 Riegl LMS-Q780 正常作業高度，與鄰近航線之平均對地高度亦相仿。另查詢既有資料於 104 年 11 月 17 日、11 月 18 日與 11 月 19 日之飛航相關參數，其規劃高度(AMSL)為 3,500 公尺，而實際飛航高度則在 3,500 至 3700 公尺間，使用設備為 Riegl LMS-Q680i。

以設備所能達到的掃瞄對地高度來說 Riegl LMS-Q780 要優於 Riegl LMS-Q680i，而且二者實際飛航高度相近，再加上本作業區有眾多相同對地高度之飛航其地面孔洞分析均正常，故此次 Regl LMS-Q780 於此 3 圖幅範圍之航線規劃並無問題。

二、Riegl LMS-Q780 (2220651)設備穩定性

Riegl LMS-Q780 (2220651)於 111 年 6 月 19 日執行 1 條航線後發生故障，另此前於 111 年 6 月 4 日、6 月 5 日與 6 月 18 日尚有執行本計畫飛航任務，評估會否設備因掃瞄功率衰落造成穿透率不佳，使得此 3 圖幅之地面孔洞分布出現問題。此 4 架次中以 111 年 6 月 18 日 P11M11-2022061808 架次為飛航山區範圍(航線 62062 至 62069)，其規劃飛航高度(AMSL)為 4,000 與 4,200 公尺，實際飛航高度也如規劃高度，其平均對地高(AGL)為 1,596 至 2,053 公尺之間，經檢核其涵蓋圖幅地面點孔洞分布均良好，而另外 3 架次(包含 111 年 6 月 19 日故障前的 1 條航線)其表現亦無異狀，惟後續原廠檢修指出本次故障部件為雷射模組，若故障可能會造成穿透率不佳。

三、現地環境影響

使用中央氣象局歷史觀測資料查訊網：<https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/> 查詢 111 年 5 月份資料，使用測站為鄰近區域的龍澗站與銅門站(如圖 2-69)，歷史觀測資料如圖 2-70 與圖 2-71 所示，惟此 2 測站僅有降水量資料能參考資訊較少，已知 2 站雖然於當日均無降水量，但前數日均有零星降水量，依據前述，此 3 圖幅內主要為 111 年 5 月 30 日 P11M11-2022053007 架次飛航之航線 62022 至 62028，其航線規劃合理且空載光達掃瞄設備運作無明顯異狀，但因現地人車無法到

達且可參考氣象資訊僅有降水量，建議未來針對此塊(大氣環境、地貌、地表環境等對於光達穿透率的影像)加強資料收集與分析。

月報表 (monthly data) 測站: C1T980_龍澗 C1T980_龍澗 觀測時間: 2022-05																									
觀測時間 (day)	press						temperature						Dew Point			RH			WSWD					降水 (mm)	降水時數 (hour)
	測站海平面 (hPa)	海平面高度 (gpm)	測站海平面 (hPa)	測站最高海平面 (LST)	測站最低海平面 (hPa)	測站最低海平面 (LST)	溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	最高溫度時間 (LST)	最低溫度 (°C)	最低溫度時間 (LST)	露點溫度 (°C)	相對濕度 (%)	最小相對濕度 (%)	最小相對濕度時間 (LST)	風速 (m/s)	風向 (360degree)	最大陣風 (m/s)	最大陣風 (360degree)	最大陣風時間 (LST)	降水				
ObsTime	StnPres	SeaPres	StnPresMax	StnPresMaxTime	StnPresMin	StnPresMinTime	Temperature	T Max	T Max Time	T Min	T Min Time	Td dew point	RH	RHMin	RHMinTime	WS	WD	WSGust	WDGust	WGuTime	Precip	PrecipHour			
01	6.5	...		
02	21.0	...		
03	14.0	...		
04	1.5	...		
05	0.0	...		
06	2.0	...		
07	1.5	...		
08	4.5	...		
09	7.0	...		
10	15.0	...		
11	1.0	...		
12	8.0	...		
13	1.0	...		
14	32.5	...		
15	24.5	...		
16	44.0	...		
17	11.0	...		
18	3.5	...		
19	2.0	...		
20	3.5	...		
21	4.5	...		
22	10.0	...		
23	2.0	...		
24	12.5	...		
25	22.5	...		
26	5.0	...		
27	7.0	...		
28	1.0	...		
29	0.5	...		
30	0.0	...		
31	12.0	...		

圖 2-70 中央氣象局龍澗站測站 111 年 5 月歷史觀測資料圖

月報表 (monthly data) 測站: C1Z130_銅門 C1Z130_銅門 觀測時間: 2022-05																									
觀測時間 (day)	press						temperature						Dew Point			RH			WSWD					降水 (mm)	降水時數 (hour)
	測站海平面 (hPa)	海平面高度 (gpm)	測站海平面 (hPa)	測站最高海平面 (LST)	測站最低海平面 (hPa)	測站最低海平面 (LST)	溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	最高溫度時間 (LST)	最低溫度 (°C)	最低溫度時間 (LST)	露點溫度 (°C)	相對濕度 (%)	最小相對濕度 (%)	最小相對濕度時間 (LST)	風速 (m/s)	風向 (360degree)	最大陣風 (m/s)	最大陣風 (360degree)	最大陣風時間 (LST)	降水				
ObsTime	StnPres	SeaPres	StnPresMax	StnPresMaxTime	StnPresMin	StnPresMinTime	Temperature	T Max	T Max Time	T Min	T Min Time	Td dew point	RH	RHMin	RHMinTime	WS	WD	WSGust	WDGust	WGuTime	Precip	PrecipHour			
01	2.0	...		
02	15.0	...		
03	4.5	...		
04	1.0	...		
05	8.5	...		
06	1.0	...		
07	0.0	...		
08	2.0	...		
09	13.5	...		
10	22.5	...		
11	0.5	...		
12	5.5	...		
13	0.0	...		
14	34.0	...		
15	9.0	...		
16	19.5	...		
17	5.0	...		
18	0.5	...		
19	4.5	...		
20	0.5	...		
21	0.0	...		
22	4.0	...		
23	1.0	...		
24	12.0	...		
25	19.0	...		
26	3.0	...		
27	9.5	...		
28	0.5	...		
29	0.0	...		
30	0.0	...		
31	49.5	...		

圖 2-71 中央氣象局銅門站測站 111 年 5 月歷史觀測資料圖

2-8-9 成果展示

本計畫成果產製 1m 解析度 DEM/DSM，成果展示如圖 2-72、圖 2-73。

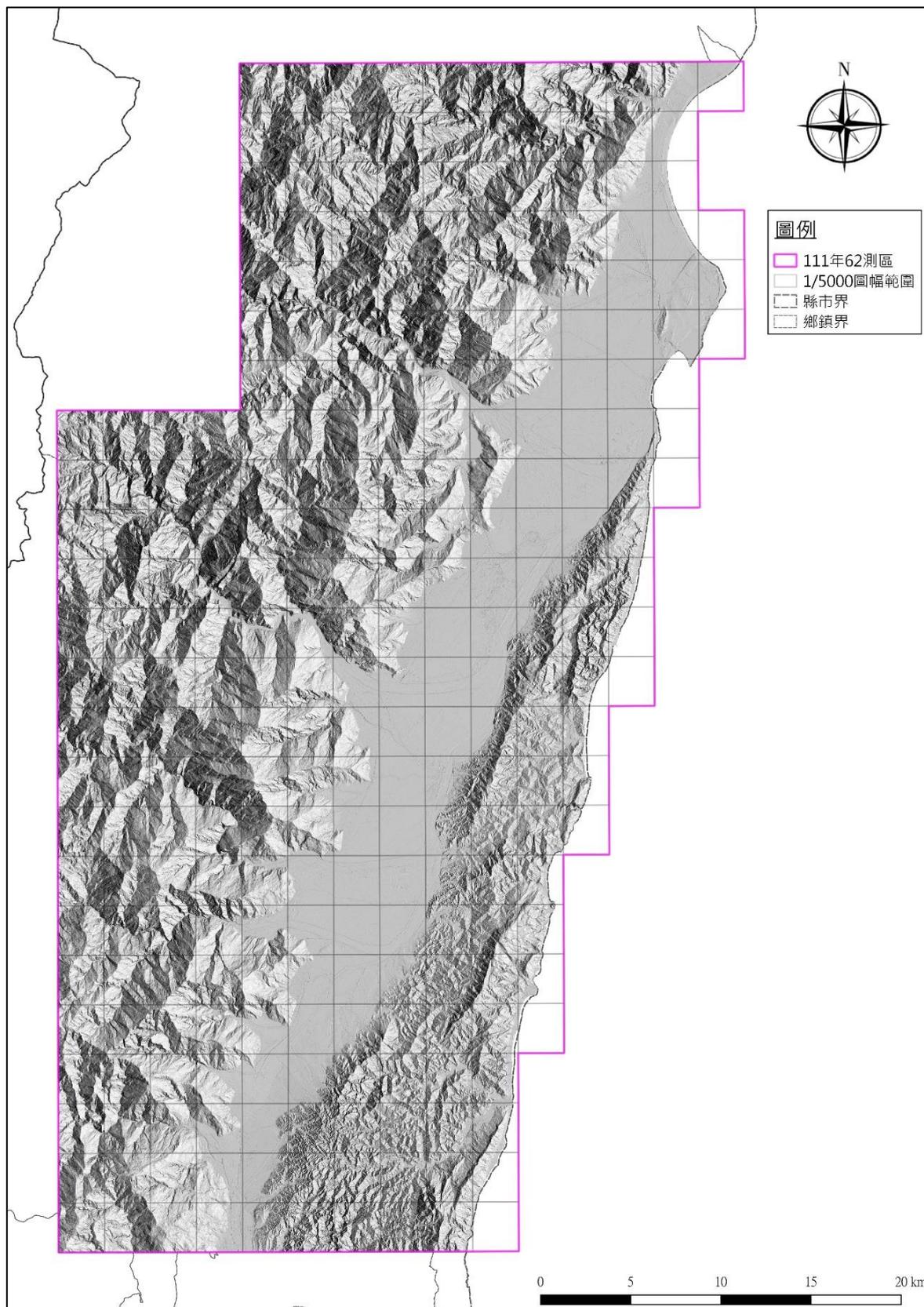


圖 2-72 111 年 6-2 測區 1m DEM 日照陰影圖

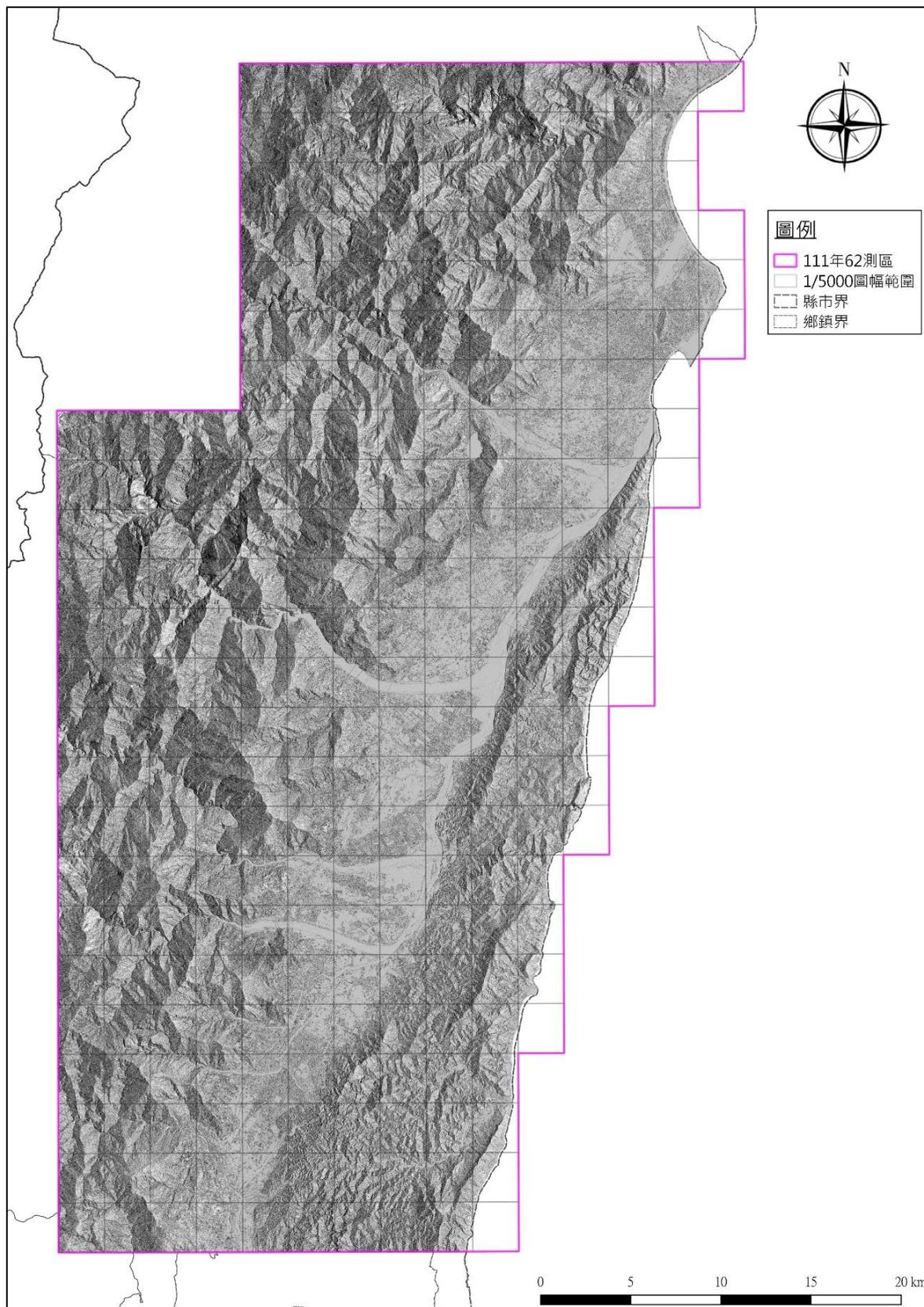


圖 2-73 111 年 6-2 測區 1m DSM 日照陰影圖

2-9 正射影像製作

本計畫使用 PhaseONE iXU-RS 1000 (焦距：50 mm) 中像幅航攝像機(詳見附件三)進行拍攝，航線規劃(詳見附件四)上影像拍攝使用左右重疊率 56%、前後重疊率 80% 進行作業，全航線平均 GSD 的平均值為 18.5 公分。

在第 1 子測區共挑選了 7,286 張影像進行空中三角測量，而在第 2 子測區共挑選了 8,052 張影像進行空中三角測量，而其間共有 1,223 張影像為兩個子測區空中三角測量均有使用的共用影像，故全作業區總計使用影像為 14,115 張，共用影像的空中三角測量外方位成果數值僅取其在單一空中三角測量作業區之外方位成果數值，每張航拍影像均有其獨立的空中三角測量外方位成果數值(詳見附件十一)。

2-9-1 空中三角測量

採用航測影像工作站量測空中三角連結點及航測控制點，本計畫採用軟體為 ERDAS IMAGINE LPS ORIMA，詳細作業流程如圖 2-74。

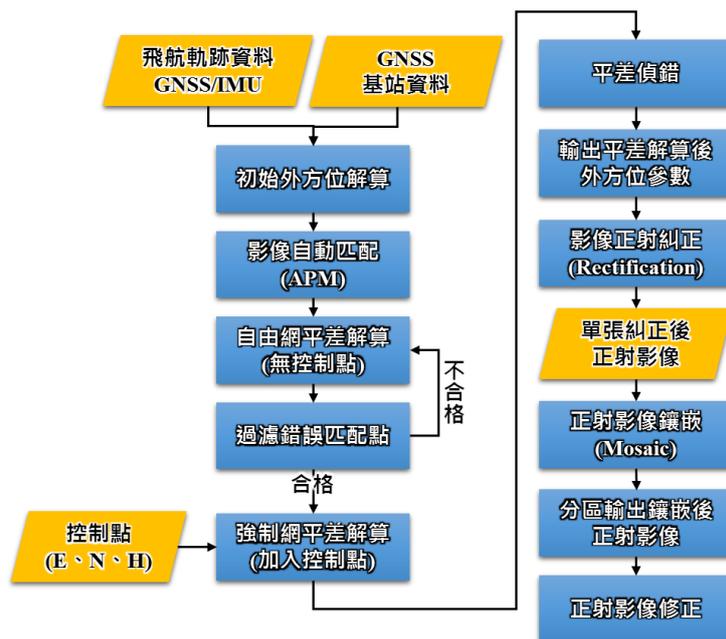


圖 2-74 空中三角測量作業流程

(一) 空中三角測量連結點分布

1. 每片的 9 個標準位置上至少量測 2 個點，每一標準位置至少有量測與同航帶或相鄰航帶像片上共軛點相連，不同鄰片允許以不同量測點連結。惟相鄰航帶連結點必須至少為 4 重點(4 光線束)。當航帶前後重疊大於標準 60%(例如為 80%)時，則相鄰航帶間之連結可以不

必每片之每一標準位置都與相鄰航帶相連，而可減至以前後重疊率 60% 計算之基線距離內，至少有一連結點為原則。

2. 如採影像匹配自動化量測空中三角連結點，得不以上述原則分析連結強度，惟其連結應符合以下標準(如表 2-28)，且相鄰航帶之間仍應達到以 60% 重疊率計算基線時，每一基線距離內至少有一 4 重以上點連結鄰航帶。
 3. 如因地形限制，連結點分布無法滿足以上規定，經監審單位確認後得酌降連結點數量。
- (二) 空中三角測量平差計算，須分 2 個過程進行。先以最小約制(或自由網)平差，進行粗差偵測並得到觀測值精度的估值，其次進行強制附合至控制點上平差，連結點觀測值之殘餘誤差均方根值不得大於 1.5 個像元，最大殘餘誤差不得大於 3 個像元。
- (三) 空中三角平差成果應繳交正高成果。
- (四) 空中三角平差成果格式

1. 原始影像

(1) 應繳交【未糾正之原始影像 + 畸變差糾正參數】

(2) 繳交之影像應為無壓縮之 Tif 格式。

(3) 像機畸變差參數：請統一採用 Australis 模式糾正參數。

2. 空中三角測量平差結果：依規定格式填寫內、外方位資訊，並繳交其電子檔。

表 2-28 空中三角測量連結點強度標準

前後重疊率 可靠度指標	60%	80%	90%
平均多餘觀測數(總多餘觀測數/總觀測數)	≥ 0.55	≥ 0.6	≥ 0.7
連結點平均光線數(連結點總光線數/總連結點數)	≥ 4	≥ 6	≥ 7
連結點強度指標(N 重光線以上連結點數/總點數)	(4 重光線以上連結點數)/(總點數) ≥ 0.3	(6 重光線以上連結點數)/(總點數) ≥ 0.3	(8 重光線以上連結點數)/(總點數) ≥ 0.3
註 1：平均多餘觀測數：空中三角測量平差計算時，網系總多餘觀測數除以總觀測值個數後所得到之一個平均可靠度之指標。 註 2：連結點平均光線數：觀測同一連結點的總影像片數，即為該連結點的光線數，亦稱為連結點重點數。所有連結點的總光線數除以總連結點數，即為連結點平均光線數。 註 3：連結點強度指標：N 重光線以上連結點數(N 指自然數)除以總點數後所得到之一強度指標。			

(五) 空中三角測量平差報表：為空中三角測量平差軟體直接輸出之成果報表，按解算軟體不同其格式不限，惟須包含下列資訊，以呈現空中三角測量品質。

1. 總觀測數
2. 多餘觀測數
3. 總連結點數
4. 總光線數
5. 多重光線之連結點數統計資料
6. 量測值像坐標中誤差(σ_0)
7. 連接點地面坐標標準偏差之 RMS(RMS_X、RMS_Y、RMS_Z)

本計畫空中三角平差測量作業將本作業區分為 8 區，其中各分區部分有再切分數個小區，各分區分布圖如圖 2-75 所示，各項成果統計詳如表 2-29，並使用本計畫空三檢核點(控制點編號 C)進行檢核，平面均方根差值為 9.8 公分，高程均方根差值為 35.4 公分，均小於 40 公分，檢核成果如表 2-30。

由於本作業區西半部均位於中央山脈上，地勢起伏大影響三角平差測量作業，因此在將第 4 區至第 7 區中都有再拆分成小區以利計算。而為確保成果品質，本公司使用立體製圖方式，進行上機組模檢核。由於影像眾多在考量工作期程與人力時，全區採跳條方式檢核(基數條航線或偶數條航線檢核)，若有發現問題時，則會進行該區域的整體檢核，找出待修正區域後進行三角平差測量重新解算。但因空中三角平差測量作業小分區較多，故在各區與區間相接處外之航線均進行完整檢核以確保分區不影響整體成果。

(六) 本計畫空中三角測量平差報表成果如附件十一。

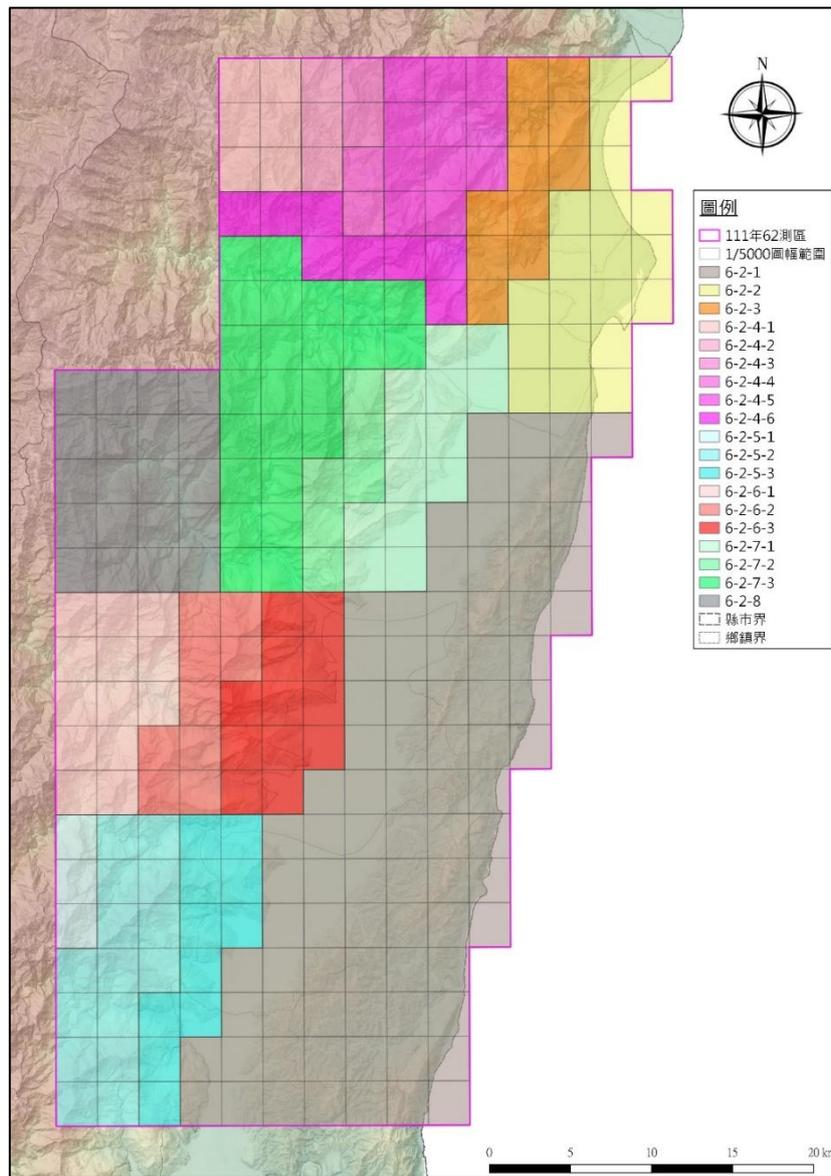


圖 2-75 空中三角測量平差作業區套疊渲染圖

表 2-29 空三計算成果統計

測區	6-2-1	6-2-2	6-2-3	6-2-4-1	6-2-4-2
影像張數	3,034	1,124	770	1,201	325
前後重疊率	80%	80%	80%	80%	80%
總多餘觀測數	228,886	374,526	328,886	301,611	228,886
總觀測數	322,492	539,535	450,849	443,018	322,492
平均多餘觀測數	0.71	0.69	0.73	0.68	0.71
連結點總光線數	156,644	326,392	450,909	496,288	132,283
總連結點數	25,146	52,871	35,990	78,391	21,903
連結點平均光線數	6.22	6.17	12.53	6.33	6.03
N	6	6	6	6	6
N 重光線以上 連結點數	11,217	31,080	31,666	71,987	17,257

測區	6-2-1	6-2-2	6-2-3	6-2-4-1	6-2-4-2
總點數	25,146	52,871	35,990	78,391	21,903
連結點強度指標	0.45	0.59	0.88	0.92	0.79
是否符合作業規定	符合	符合	符合	符合	符合

測區	6-2-4-3	6-2-4-4	6-2-4-5	6-2-4-6	6-2-5-1
影像張數	59	193	1,270	356	438
前後重疊率	80%	80%	80%	80%	80%
總多餘觀測數	57,795	185,726	228,965	53,676	143,678
總觀測數	91,573	271,693	380,038	80,024	239,294
平均多餘觀測數	0.63	0.68	0.60	0.67	0.60
連結點總光線數	107,035	302,681	371,353	68,534	188,559
總連結點數	17,806	50,393	61,597	11,410	30,994
連結點平均光線數	6.01	6.01	6.02	6.01	6.08
N	6	6	6	6	6
N 重光線以上 連結點數	15,711	42,530	47,001	8,301	30,491
總點數	17,806	50,393	61,597	11,410	30,994
連結點強度指標	0.88	0.84	0.76	0.72	0.98
是否符合作業規定	符合	符合	符合	符合	符合

測區	6-2-5-2	6-2-5-3	6-2-6-1	6-2-6-2	6-2-6-3
影像張數	1,075	706	867	479	598
前後重疊率	80%	80%	80%	80%	80%
總多餘觀測數	467,942	233,706	287,083	167,543	167,543
總觀測數	678,883	368,541	442,846	275,975	275,975
平均多餘觀測數	0.69	0.63	0.65	0.61	0.61
連結點總光線數	616,141	266,603	302,363	214,378	279,857
總連結點數	101,495	43,597	50,187	35,295	46,118
連結點平均光線數	6.07	6.12	6.02	6.07	6.07
N	6	6	6	6	6
N 重光線以上 連結點數	100,411	43,237	48,024	34,649	45,848
總點數	101,495	43,597	50,187	35,295	46,118
連結點強度指標	0.99	0.99	0.96	0.98	0.99
是否符合作業規定	符合	符合	符合	符合	符合

測區	6-2-7-1	6-2-7-2	6-2-7-3	6-2-8
影像張數	933	354	1219	1,436
前後重疊率	80%	80%	80%	80%
總多餘觀測數	275,626	160,427	288,876	331,148
總觀測數	409,661	259,249	475,167	510,629
平均多餘觀測數	0.67	0.62	0.61	0.65
連結點總光線數	372,643	274,953	369,208	356,675
總連結點數	59,501	45,666	59,660	57,082
連結點平均光線數	6.26	6.02	6.19	6.25
N	6	6	6	6
N 重光線以上 連結點數	58,915	45,458	58,350	56,185
總點數	59,501	45,666	59,660	57,082
連結點強度指標	0.99	0.99	0.98	0.98
是否符合作業規定	符合	符合	符合	符合

表 2-30 空三檢核點(C)平差後計算成果

點號	地面實測成果			空三解算成果			差值	
	E	N	正高	E	N	正高	平面	高程
62-0004C	313660.659	2667111.427	14.361	313660.702	2667111.58	14.531	0.159	-0.170
62-0105C	306738.889	2651792.559	45.581	306738.7	2651792.289	44.941	0.307	0.640
62-0106C	310794.351	2658885.389	18.066	310794.212	2658885.307	18.095	0.161	-0.029
62-0107C	309730.250	2652895.391	20.808	309730.399	2652895.302	20.351	0.174	0.457
62-0301C	298709.618	2637002.668	73.275	298709.991	2637002.613	73.733	0.377	-0.458
62-0302C	302056.753	2641316.429	35.715	302056.897	2641316.63	36.365	0.247	-0.650
62-0303C	303792.260	2634558.149	68.453	303792.61	2634558.176	68.417	0.351	0.036
62-0304C	307715.840	2641940.929	27.720	307716.071	2641940.837	27.542	0.249	0.178
62-0414C	295068.868	2627592.284	101.689	295068.805	2627592.186	102.179	0.117	-0.490
62-0415C	300146.045	2625452.048	84.615	300146.105	2625452.11	84.566	0.086	0.049
62-0503C	293113.784	2620605.921	148.024	293113.915	2620605.929	148.459	0.131	-0.435
62-0511C	304612.067	2616299.572	14.898	304612.005	2616299.522	14.684	0.080	0.214
62-0513C	288759.950	2611687.749	216.771	288759.811	2611687.494	216.763	0.290	0.008
62-0514C	293765.002	2615217.734	130.489	293765.049	2615217.801	130.529	0.082	-0.040

2-9-2 正射影像製作流程

- 一、利用數值航測影像工作站或同等精度之航測儀器，配合數值地形模型資料作為正射糾正之高程控制資料，將中心透視投影之影像，逐點糾正成正射影像，並製作數值正射影像資料檔。
- 二、製作正射影像使用之航拍影像，以辦理空載光達掃瞄飛航時同步取得為原則。
- 三、正射影像製作，其每一像素以使用距離像主點最近之像素為原則產製檔案以五千分之一基本地形圖圖幅為單位，並涵蓋該圖幅範圍與五千分之一基本地形圖圖幅相配合，以每幅圖 1 個檔案為原則，其地元尺寸不得大於 25 公分，正射影像解析度之查核仍以原始影像解析度為準。
- 四、測製地區地勢陡峭，於影像較邊緣處投影位移大，加上地勢變化劇烈，正射影像上植被在糾正時有影像拉扯的現象，必須檢查數值地形模型成果，且儘量選擇合宜拍攝位置的空照影像來製作正射影像，並進行正射影像鑲嵌。若無合宜的影像可替換則仍使用原影像，不得在影像拉扯處直接填上重複的紋理影像。
- 五、鐵路、公路及橋樑等對地圖判讀有重要意義的基礎建設，於空載光達點雲編修階段時將其分類至特定圖層，並且製作 DBM(Digital Building Model) 以另外作為影像正射微分糾正之依據。
- 六、如因高度修正關係產生無影像之遮蔽區應以鄰影像補足，若無影像可供補足，得以黑色區塊填補。正射影像以彩色影像表示，並須進行無接縫鑲嵌(mosaic)且按正射影像之樣本進行調色處理，使全區影像色調、亮度趨於一致，整張正射影像的色調應均勻，其明亮度(intensity, brightness)的直方圖分布在 5~250 之範圍(全反射之地物不計入範圍)，影像色調調整作業畫面如圖 2-76。

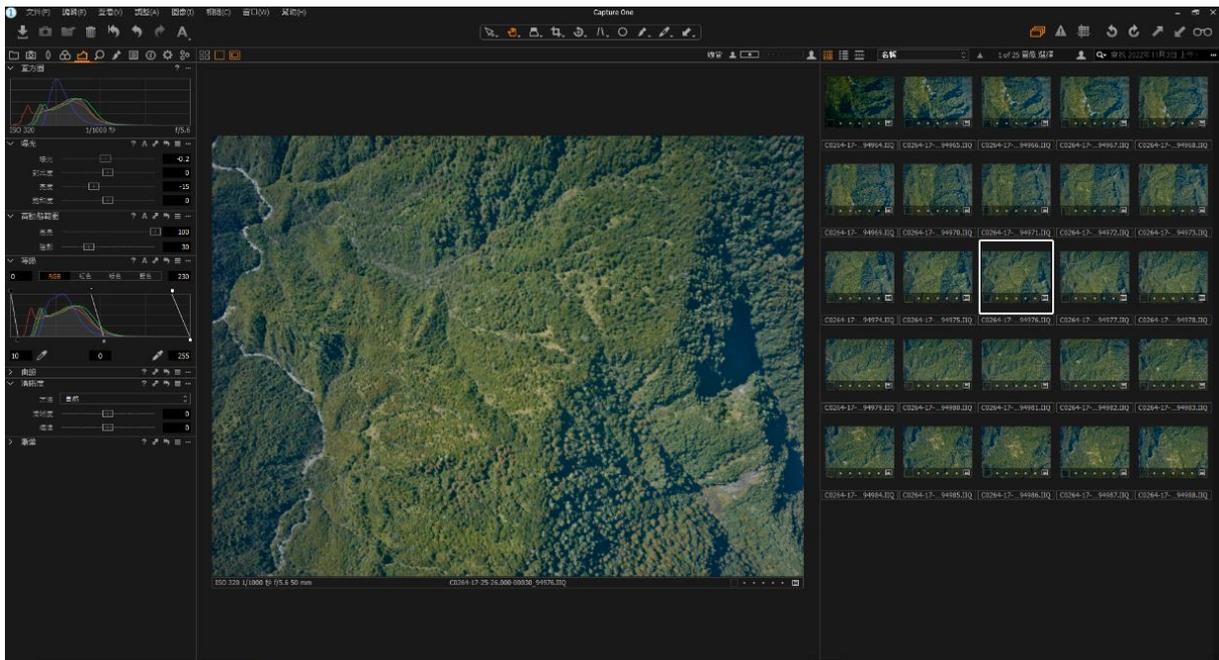


圖 2-76 航拍影像色調調整操作畫面

七、正射影像位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其平面位置精度應優於 2.5 公尺。

八、正射影像內部或測區內圖幅接邊處，所呈現之地物、地貌(如：建物、交通系統)，應無扭曲變形、色調連續一致，鑲嵌作業畫面如圖 2-77，鑲嵌線(seamline)成果並同正射影像成果繳交時一併提交主辦機關。

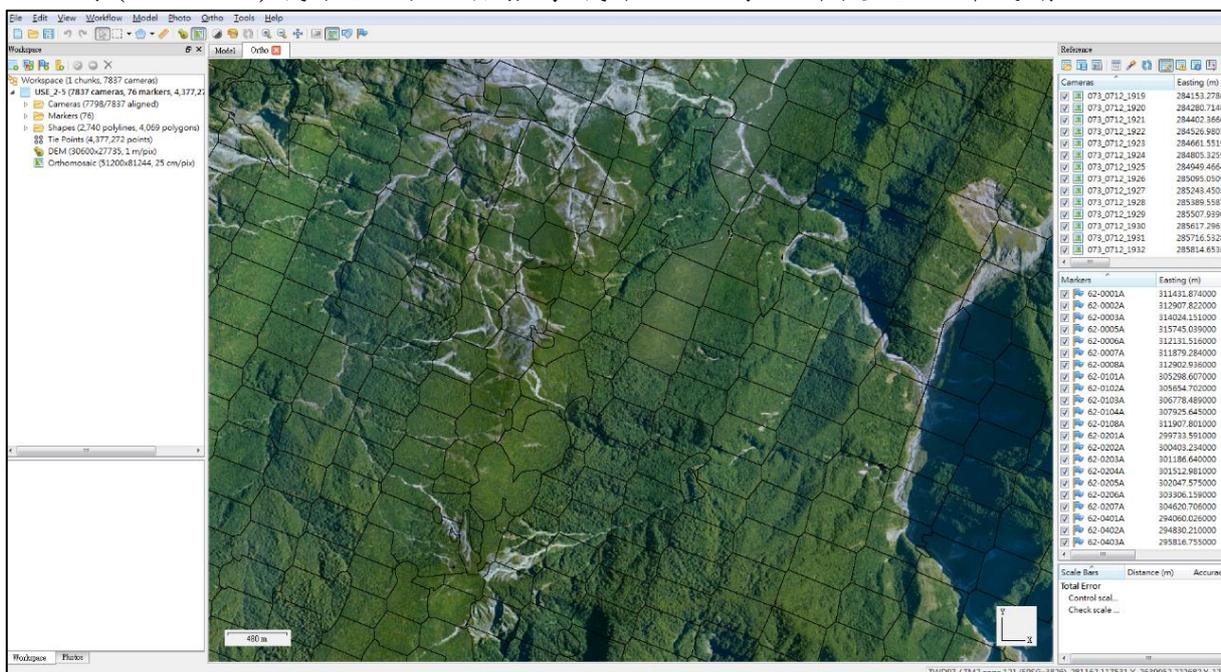


圖 2-77 正射影像鑲嵌作業畫面

2-9-3 正射影像成果

- 一、以 1/5000 圖幅範圍分幅(須外擴)，共 274 幅，成果範圍與 DTM 成果範圍一致(圖 2-78)。
- 二、正射影像解析度為 25 公分。
- 三、以彩色 24 位元之 TIFF 格式儲存(紅、綠、藍各波段均為 8 位元)。
- 四、包含對應之 Tfw 坐標檔。

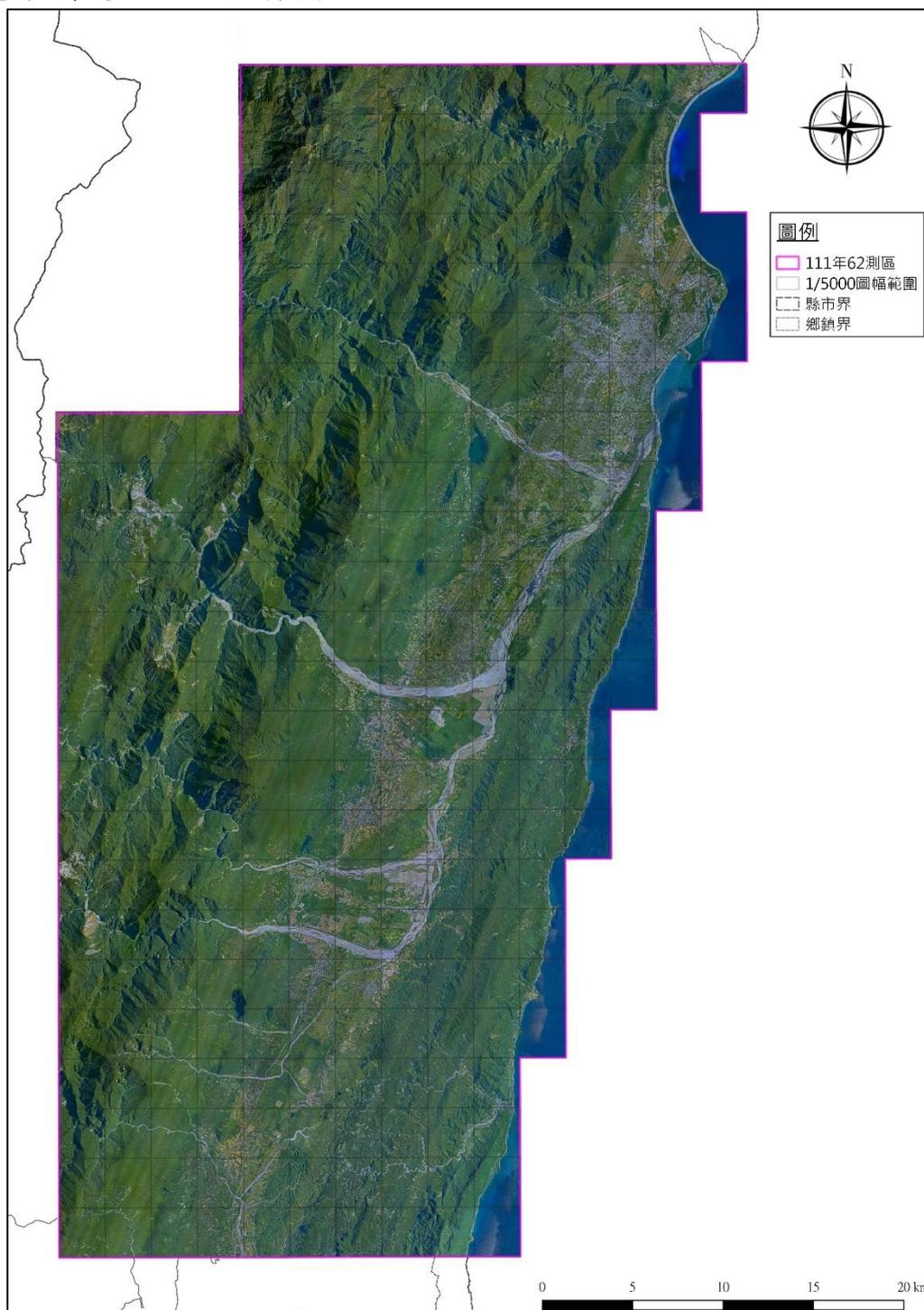


圖 2-78 111 年 6-2 測區全區正射影像成果

2-9-4 正射影像地物平面精度檢查

依契約書規定本計畫正射影像地物平面位置精度檢查：第 2、3、6 及 7 階段辦理外業檢查，每一階段至少抽查 4 個圖幅、合計至少 20 個檢核點。通過標準為以檢核點位量測平面坐標與正射影像平面坐標之較差，計算均方根值，不得大於 2.5 公尺。

本計畫於 111 年 10 月 17 日至 111 年 10 月 19 日間進行第 6 階段外業檢查，計有檢核點共 25 點，均方根值為 19.0 公分，全數檢核合格。並於 111 年 12 月 12 日至 111 年 12 月 15 日間進行第 7 階段外業檢查，計有檢核點共 35 點，均方根值為 19.9 公分，全數檢核合格，其平面精度統計如表 2-31 所示，作業照片如圖 2-79 所示。

表 2-31 正射影像平面精度檢查統計表

測區	點數	合格點數	不合格點數	不合格率	RMSE (公分)	ΔE(公分)		ΔN(公分)	
						平均值	RMSE	平均值	RMSE
第 6 階段 (6-2-1)	25	25	0	0.0%	25.1	-3.9	16.6	-3.0	18.1
第 7 階段 (6-2-2)	35	35	0	0.0%	36.6	-13.5	28.0	6.4	18.2

資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)



111.10.17



111.10.18



111.12.13



111.12.14

圖 2-79 正射影像地物平面精度檢查外業檢核作業照

2-9-5 正射影像詮釋資料製作

配合主辦機關成果統整需求，利用主辦機關提供之詮釋資料製作程式，針對每一幅 1/5000 圖幅正射影像須製作相對應詮釋資料(*.XML)，軟體操作畫面如圖 2-80，製作成果如圖 2-81。

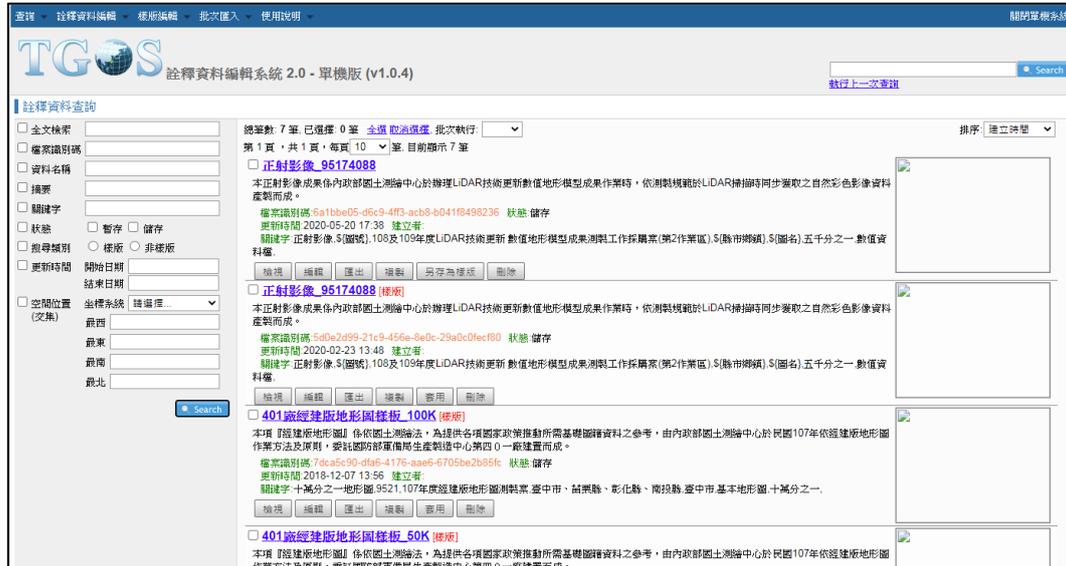


圖 2-80 正射影像詮釋資料製作畫面

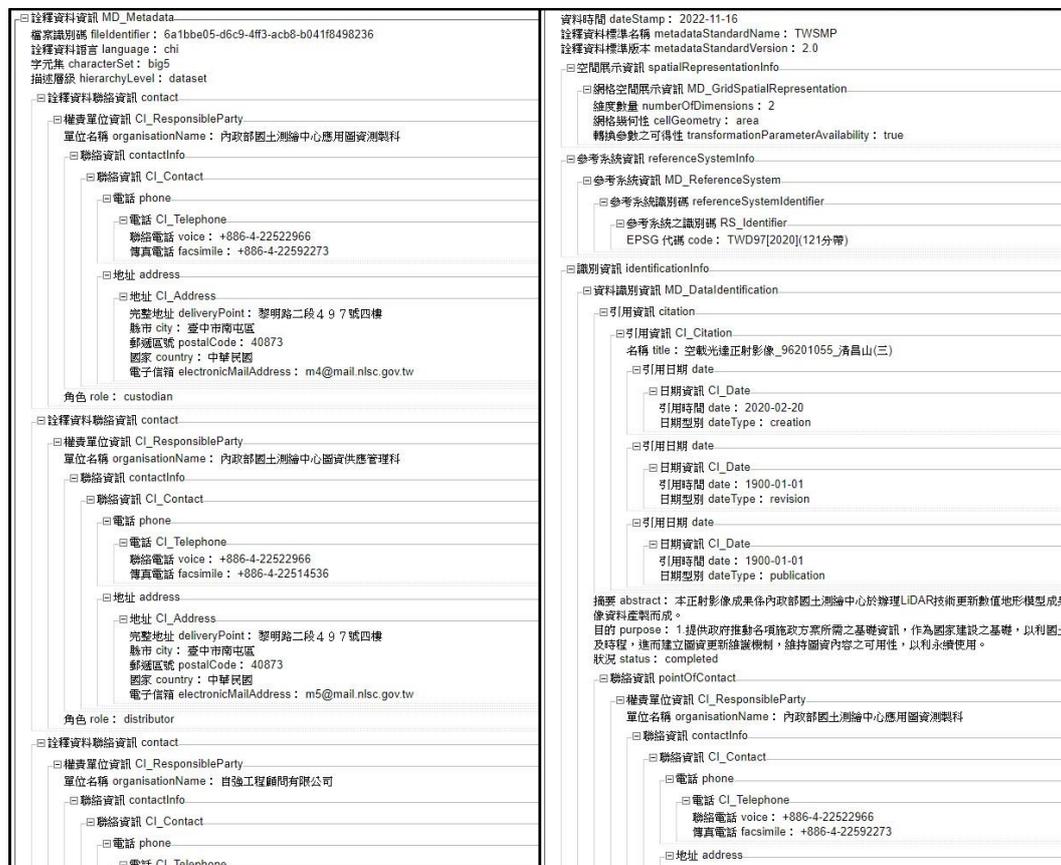


圖 2-81 正射影像詮釋資料成果示意圖

2-9-6 正射影像外部接邊

本計畫圖幅接邊相關說明如 2-8-3 節所述，而為配合後續正射影像接邊需求，落於測區接邊處之圖幅，將外擴 100 公尺而非原先之 10 公尺，如圖 2-82。各家廠商將調色完成之外擴影像進行資料交換後，進行正射影像之接邊處理。透過圖幅影像之無縫鑲嵌，將接好之無縫影像回饋於原測區廠商，廠商再自行將圖幅切回原外擴 10 公尺之版本，並將成果提送監審方審查。

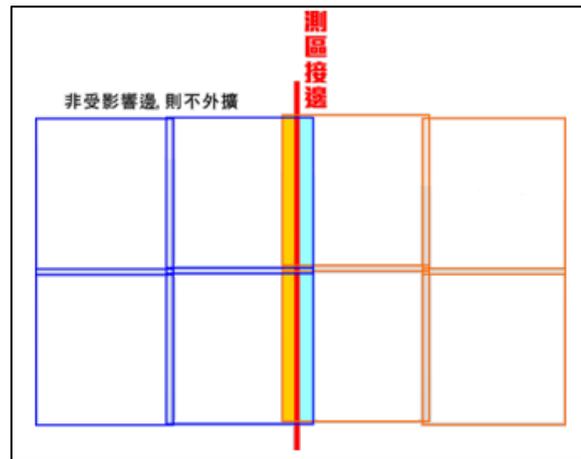


圖 2-82 正射影像接邊示意圖

2-9-7 水域線與沙洲線劃設

因應光達雷射遇到水體可能導致無反射回訊或因水面折射等因素影響成果精度之特性，本計畫利用與空載光達同步拍攝之影像所製作成的正射影像劃設水域以及沙洲範圍，並於點雲分類時作為水域分界線，將水域線內地面點雲分類為水點，沙洲線內則依實際地形進行分類，提供後續成果應用參考，本計畫範圍全區水域線以及沙洲線成果展示如圖 2-83。

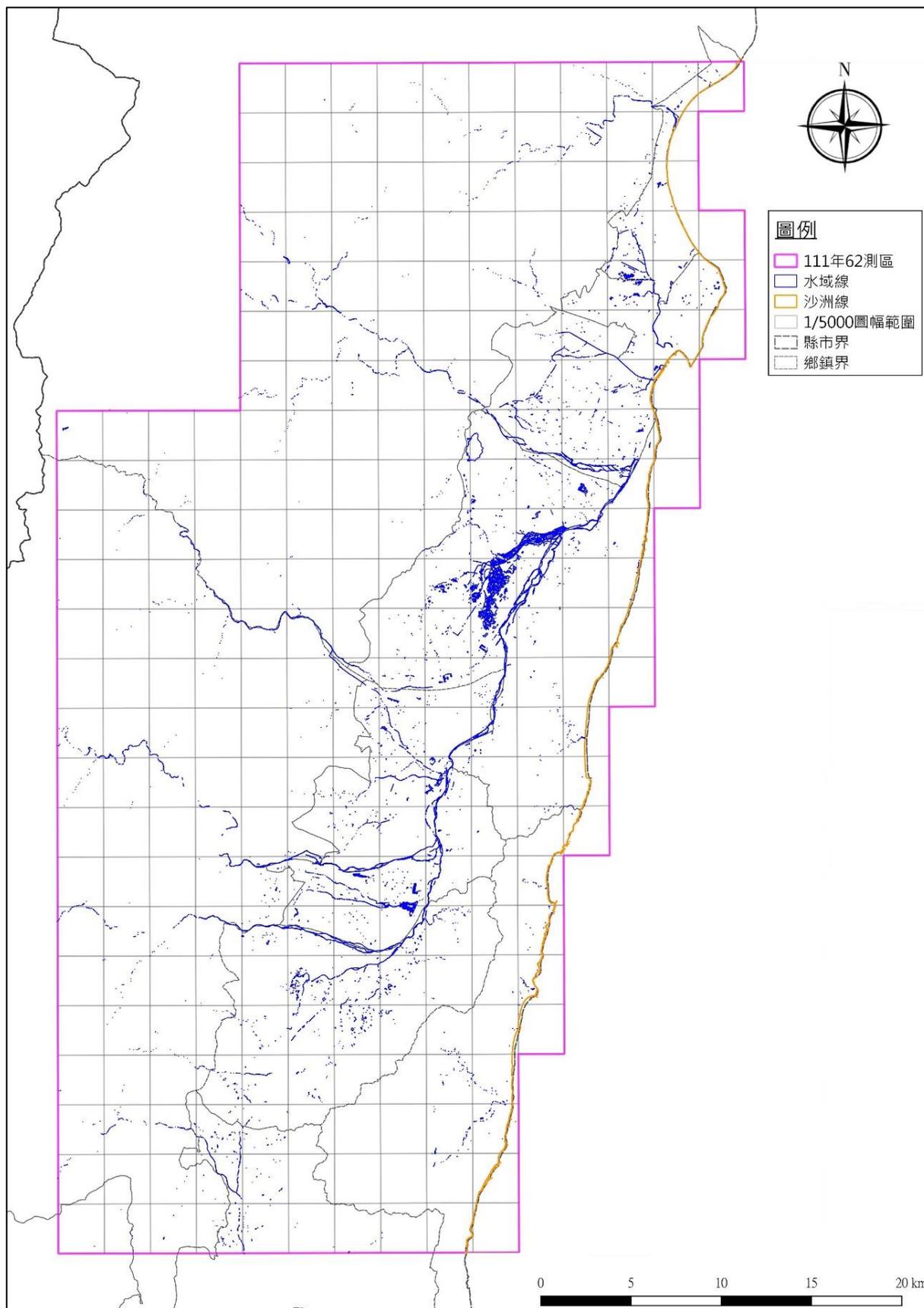


圖 2-83 111 年全區水域線與沙洲線成果

第三章 成本因子分析

3-1 進度管制計畫

- 一、每週進度檢討：設立週報表回報制度，確實掌握各工作小組作業進度，並由計畫主持人每週或不定期召開工作會議，檢討工作進度、資源使用狀況及潛在疑義問題，負責之組長回報作業情形及工作成果，再經稽核人員(品管審核組)確認，以確保成果之正確性。
- 二、每月進度檢討：每月由計畫主持人召開，探討遭遇問題解決對策與進度報告討論，確保工作方針與需求契合。
- 三、於主辦機關將召開定期之工作討論會議與不定期之工作會議中，討論工作進度、各階段執行成果、相關計畫的資料支援及須配合事項等事宜。

3-2 飛航掃瞄工作

本計畫空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取工作所佔成本比重最高，主要有下列各項：飛航載具費用(含進駐外站費用)、LiDAR 系統及航拍像機率定、LiDAR 掃瞄及航空攝影施測、LiDAR 掃瞄及航拍影像資料繳交、飛航掃瞄報告書製作。

飛航載具費用(含進駐外站費用)此部分由於本計畫執行協力團隊自強航空有限公司(以下簡稱自強航空)董事長亦為本公司董事長，成本計算會較與其他通航公司簽約來的低，如是與一般通航公司簽約並有進駐外站且計算待命費用的話，此部分費用視飛航測區與駐點機場位置而定，會有大幅度的變化，但為確保計畫進行進度，一般在有 5 成天氣機會的情況下即會要求航空公司配合待命。而本計畫範圍位於花蓮縣內北起新城南至北瑞穗，對於待命飛航來說花蓮航空站為最適宜的位置，但因為自強航空主基地站為台北松山航空站(人員主要駐地、飛機保養檢修地與設備倉儲地)，所以必須考量飛機停放申請、人員派遣、油車運送、空域協調(花蓮航空站軍事基地眾多)以及飛航資料之下載與運輸等。

本計畫共執行 3 次 LiDAR 系統及航拍像機率定，各分別使用 1 架次飛行，飛行時數均在 1.5 小時左右。LiDAR 掃瞄及航空攝影施測部分，本計畫共飛航 34 架次，提送 34 本飛航掃瞄報告書。

3-3 點雲編修人力配置

本計畫除飛航時程受限於天候之外，最大量工作落在 DEMLAS(點雲編修)，本計畫擁有 6 位點雲編修作業人員，其中 2 位為主要內部檢核人員(點雲編修經驗 10 年)，於作業前期加入點雲編修並交互檢核，中、後期由 1 位資深點雲編修人員作為主要內部檢核人，檢核其餘 5 位點雲編修人員編修後成果。依每人每幅 1/5000 圖幅編修時間平均約為 3~4 日、每月工作 21 日計算，每月可編修圖幅約為 36 幅(6 人 x 21 天 / 3.5 天 1 幅)。第 2 階段(6-2-1 子測區)依計算需 2.5 個月。趕工作業期間可於星期一~五增加 2~4 小時加班，另於星期六(非國定假日)加班 8 小時趕工，每人每月可提升約 2~3 幅 1/5000 的作業量，每月約增加 10 幅進度；另外增加 2 位趕工計畫支援人員，每月約可編修 4 幅 1/5000 圖幅，於趕工期間可於每月增加 15~18 幅 1/5000 圖幅編修進度，相關人員配置詳如第四章執行團隊。

3-4 影像處理人力配置

本計畫正射影像製作皆是使用同步蒐集之點雲所產製的 DEM 作影像糾正，故其執行時程皆是在局部區域點雲編修完竣後，始得進行影像糾正、編修、分幅等工作。又因監審單位需以「已依據水線分類完水體的點雲編修成果」作審查，其中的水線又是依據正射畫設，正射影像製作人力成本通常落在階段後密集趕工。趕工製作主要工作人員有 4 位，每人每天約可編修 2~3 幅 1/5000 圖幅影像，4 位約 1 天 8~12 幅 1/5000 圖幅，一週(5 工作天)約為 40~60 幅。

另本計畫新增鐵路、公路及橋樑等對地圖判讀有重要意義的基礎建設，必須依其實際測量高度進行正射微分糾正之新規定，針對此工項必須於作業過程中增加使用實際測量高度的參考資料，此部分採用與影像拍攝同步的空載光達掃瞄資料來進行，唯過往正射影像均使用數值高程模型(DEM)進行影像糾正，而數值高程模型(DEM)並不包含高架鐵路、公路及橋樑之數據，故須額外使用數值地表模型(DSM)資料來作為此種區域的糾正資料。此過程需要大量的人力進行編修，如以 6 幅 1/5000 圖幅範圍原需 3 個工作天處理，若在都會區有大量高架道路及橋樑區域約需 5 個工作天方能處理完畢，平均約需過往 1.2~1.5 倍的處理時間。

3-5 空中三角測量影像需求

在本計畫中，以航拍影像作為基礎資料之成果最主要分為兩項，一為正射影像製作，二為須供基本圖使用的空中三角測量外方位成果。此兩大項目對於原始影像的品質要求有所差異。

首先以正射影像為例，若影像有雲覆影響正射影像使用。由於航線規劃的高重疊率，可以使用鄰近航線影像透過鑲嵌的方式補足雲洞部分，無法補足的部分則須安排補飛航線。

再來以空中三角測量為例。首先，大塊的雲覆會導致兩像幅間之共軛點分配不均或是數量不足，致使平差解算不佳甚至是無法解算。再者，由於此空中三角測量成果將會提供基本圖繪製使用，小塊的雲覆會使繪製人員無法判定地物。因此，若雲覆在地物上則此原始影像仍不行使用。第三，山區或雲層的陰影會使地面特徵不明顯(圖 3-1)，使得共軛點取得不易，亦會使解算難以執行。第四，若拍攝時間差距過大，地物變化差異大時，亦會影響共軛點的產出，增添空中三角測量作業難度。

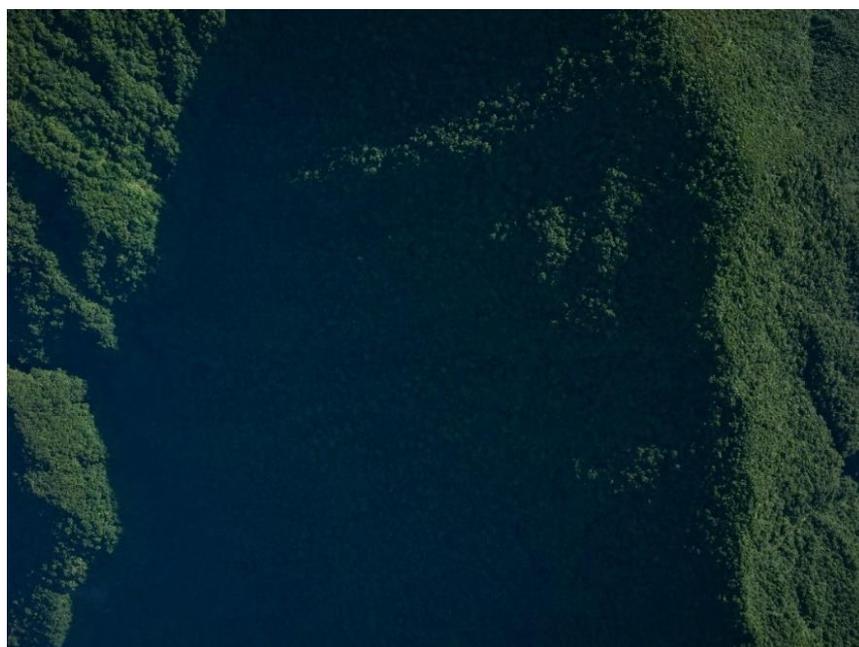


圖 3-1 原始影像陰影示意圖

總上所述，可以得知若空中三角測量成果需用於繪製地形圖則原始影像需考慮許多條件，原始影像需近乎無雲覆、無陰影才符合使用需求，較正射影像之需求嚴苛。本公司於本計畫中，統計共有 7 個架次，24 條航線單為滿足空中三角測量需求而執行，相關架次及航線紀錄如表 3-1 所示。

表 3-1 空三需求補飛架次統計表

架次日期	航線
P12M11_2022071206	62048[R3]、62201[R1]、62202[R1]
P12M11_2022071907	62115[R1]
P12M11_2022072406	62058[R1]、62059[R1]、62060[R1]、62061[R1]
P12M11_2022072410	62100[R1]、62101[R1]、62111[R1]、62210[R1]
P12M11_2022072707	62045[R3]、62064[R1]、62069[R2]、62074[R1]、62075[R1]、 62099[R2]、62100[R2]、62209[R1]
P12M11_2022072806	62074[R2]、62075[R2]、62100[R3]
P12M11_2022072906	62100[R4]

3-6 空中三角測量成果檢核

本案空中三角測量成果需滿足 1/5000 基本地形圖測製使用，為檢核成果滿足基本地形圖測製需求，本公司使用立體製圖方式來檢核空中三角測量之外方位成果，惟立體製圖檢核需花費大量人力與時間，由於本計畫使用中像幅像機拍攝，再加上航線規劃以光達左右重疊率為主要考量以確保點雲密度，故影像數量會較一般使用大像幅像機拍攝進行立體製圖的專案多許多，會使單一專案檔無法匯入所有張數的影像，必須拆分數個批次匯入，當數量過於龐大會導致開啟時間緩慢，且重新組模耗費時間長。

龐大的檢核工作量皆是人力取向工作。以立體製圖組模檢核為例，100 張影像會產生 98 個模組，礙於時間關係，無法每個模組都檢查完全，需要跳模檢查。此外，藉由點雲畫設對位線供檢核使用，一樣需要人工辨識，方可供立體製圖檢核使用，上述皆為人力介入且時間成本高，亦會提高本案成果製作之成本。

3-7 成本分析

項次	工作項目	單位	數量	單價	總價	備註
一	空載光達掃瞄飛航規劃與申請					
1.1	工作計畫書擬訂	式	1	9,900	9,900	
1.2	飛航計畫規劃	式	1	29,900	29,900	
1.3	航拍許可申請	式	1	4,900	4,900	
	小計			44,700	44,700	
二	控制測量					
2.1	外業平差控制點測設	式	1	1,316,000	1,316,000	
2.2	地面檢測點測設	式	1	723,800	723,800	
2.3	橫斷面檢核測量	式	1	219,300	219,300	
2.4	地面GNSS基地站規劃	式	1	9,900	9,900	
2.5	GNSS儀器TAF檢校	式	1	59,800	59,800	
2.6	地面GNSS基地站架設	式	1	239,200	239,200	
2.7	地面GNSS基地站網路架設	式	1	59,800	59,800	
2.8	GNSS資料彙整及報告製作	式	1	9,900	9,900	
	小計			2,637,700	2,637,700	
三	空載光達掃瞄及航空攝影施測資料獲取					
3.1	飛航載具費用(含進駐外站費用)	幅	274	29,900	8,192,600	
3.2	LiDAR系統及航拍像機率定	幅	274	1,900	520,600	
3.3	LiDAR掃瞄及航空攝影施測費	幅	274	16,300	4,466,200	
3.4	LiDAR掃瞄及航拍影像資料繳交	幅	274	900	246,600	
3.5	飛航掃瞄報告書製作	幅	274	200	54,800	
	小計			49,200	13,480,800	
四	空載光達掃瞄點雲資料處理					
4.1	LiDAR點雲資料處理及解算	幅	274	1,400	383,600	
4.2	航帶平差	幅	274	4,900	1,342,600	
4.3	點雲分幅、分類及人工編修	幅	274	13,900	3,808,600	
4.4	作業成果檢查	幅	274	3,900	1,068,600	
4.5	資料彙整及成果繳交	幅	274	900	246,600	
	小計			25,000	6,850,000	
五	DEM/DSM製作(含圖幅接邊處理)					
5.1	DEM、DSM製作	幅	274	3,400	931,600	
5.2	DEM精度評估	幅	274	900	246,600	
5.3	內部圖幅接邊	幅	274	1,900	520,600	
5.4	外部圖幅接邊	幅	274	1,900	520,600	
5.5	資料彙整及成果繳交	幅	274	900	246,600	
	小計			9,000	2,394,000	
六	正射影像製作(含空中三角測量)					
6.1	航拍影像處理	幅	274	900	246,600	
6.2	空中三角平差計算	幅	274	5,900	1,616,600	
6.3	正射影像糾正、調色及鑲嵌處理	幅	274	5,900	1,616,600	
6.4	水域線數化	幅	274	1,900	520,600	
6.5	資料彙整及成果繳交	幅	274	900	246,600	
	小計			15,500	4,247,000	
七	各項報告書、工作總報告等					
7.1	各項成果報告製作	式	1	150,800	150,800	
7.2	工作總報告製作	式	1	42,600	42,600	
	小計			193,400	193,400	
	總計				29,916,600	

第四章 執行團隊

4-1 團隊組織編制

本團隊擁有 6 名點雲編修以及正射影像製作的人力，並且設立「獨立審核測量組」(圖 4-1)，由經驗豐富之資深作業人員執行成果自主檢核，可充分發揮團隊人力調度彈性，獲得最為優質計畫成果。

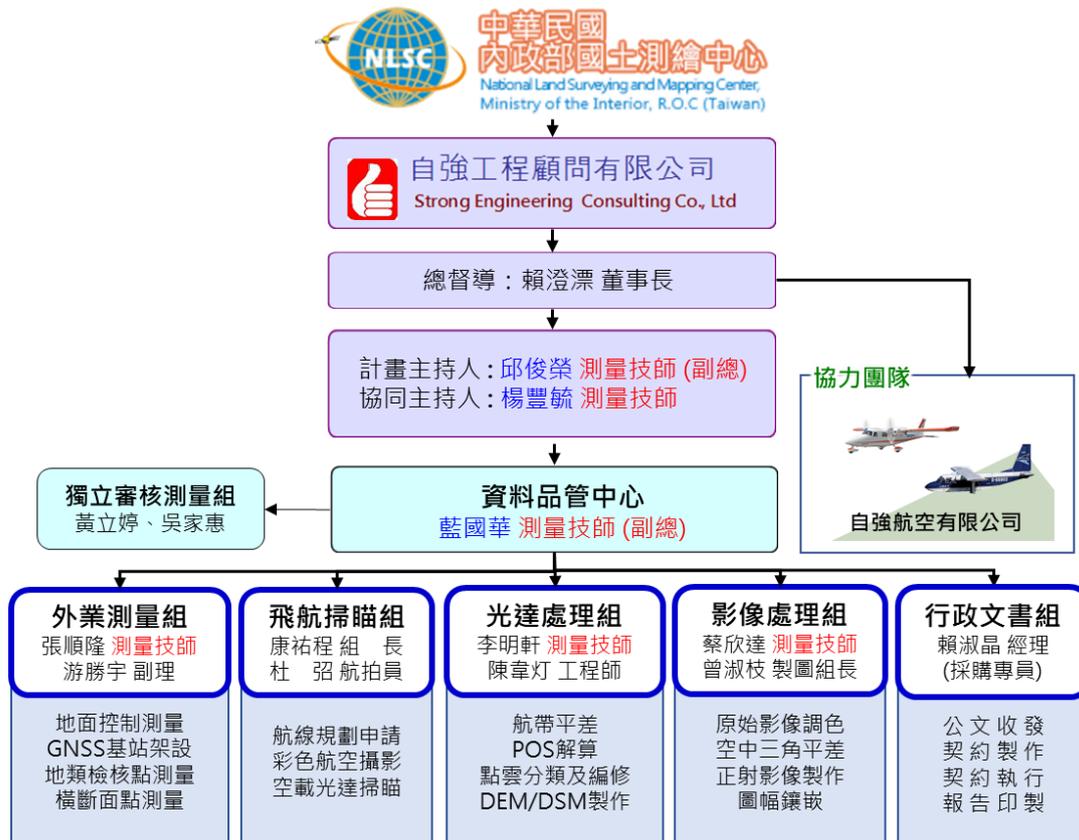


圖 4-1 團隊組織架構圖

4-2 性平統計

本案契約規定測製廠商對於履約所僱用之人員，應遵守性別工作平等法之規定，保障其性別工作權之平等，不得有歧視婦女、原住民或弱勢團體人士之情事，本案作業人員性別統計資訊如表 4-1。

表 4-1 本案作業人員男女統計

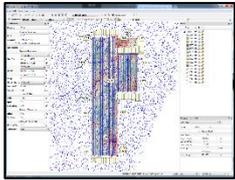
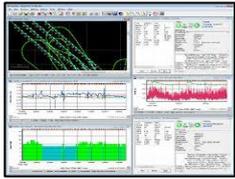
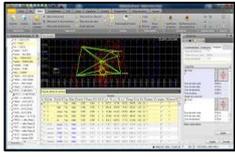
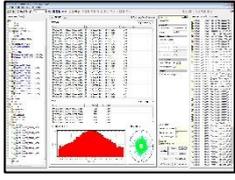
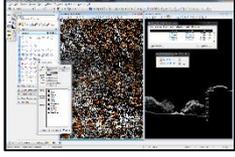
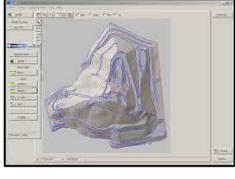
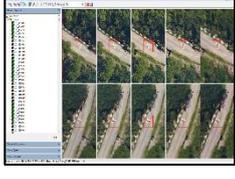
項次	作業項目	男(人數)：女(人數)
1	空載光達掃瞄飛航規劃與申請	2：2
2	空載光達掃瞄飛航資料獲取	8：14
3	正射影像製作	2：8
4	各項報告書、工作總報告	2：2

4-3 主要參與人員名冊

編號	組別	計畫專案職務	姓名	職稱	工作項目
1	綜合督導	綜合督導	賴澄漂	董事長	策略規劃/綜合督導
2		綜合督導	賴澄燦	總經理	資安管理/技術研發/綜合督導
3	顧問	顧問/綜合督導	陳慈明	顧問 測量技師	航空攝影測量/空中三角測量
4	專案管理	計畫主持人	邱俊榮	副總經理/ 測量技師	航空攝影測量/空載光達掃瞄/專案管理
5		協同主持人	楊豐毓	整合部協理/ 測量技師	航空攝影測量/空載光達掃瞄/專案管理
6	品質管制	品質管制組長	藍國華	副總經理/ 測量技師	GNSS測量/陸域測量
7		品質管制組員	吳家惠	製圖副組長	影像處理
8		品質管制組員	黃立婷	製圖副組長	點雲編修
9	資訊安全	資訊安全管理組長	吳秋芸	副總經理	資訊安全管理
10		資訊安全管理組員	蔡宛諭	經理	資訊安全管理
11	行政文書	行政事務組長	賴淑晶	行政部經理	會計業務/行政業務/採購人員
12		行政事務組員	林沂珊	行政部特助	會計業務/行政業務
13		行政事務組員	高珮珊	行政部助理	會計業務/行政業務
14	飛航掃瞄	飛航掃瞄組長	康祐程	航拍組長	飛航任務執行
15		飛航掃瞄副組長	杜 弨	航拍組員	飛航任務執行
16		飛航掃瞄組員	洪健嘉	航拍組員	飛航任務執行
17	外業測量組	陸域測量組長	張順隆	副總經理/ 測量技師	陸域測量/GNSS測量
18		陸域測量副組長	游勝宇	測量部副理	陸域測量/GNSS測量
19		陸域測量副組長	林文凱	測量部副理	陸域測量/GNSS測量
20		陸域測量組員	陳冠宏	測量組長	陸域測量/GNSS測量
21		陸域測量組員	吳韶驊	測量副組長	陸域測量/GNSS測量
22		陸域測量組員	黃明江	測量副組長	陸域測量/GNSS測量
23		陸域測量組員	林育聖	測量副組長	陸域測量/GNSS測量
24		陸域測量組員	賴世豪	測量工程師	陸域測量/GNSS測量
25	光達處理組	光達處理組長	李明軒	經理/ 測量技師	空載光達掃瞄資料後處理/專案管理
26		光達處理副組長	陳韋灯	副理	空載光達掃瞄資料後處理/專案管理
27		光達處理副組長	陳俊偉	測量工程師	空載光達掃瞄資料後處理/專案管理
28		光達處理組員	凌子晴	製圖工程師	點雲編修
29		光達處理組員	黃潔玟	製圖工程師	點雲編修
30		光達處理組員	周佩宜	製圖工程師	點雲編修
31		光達處理組員	彭暄淇	製圖工程師	點雲編修
32		光達處理組員	陳品蓉	製圖工程師	點雲編修
33		光達處理組員	洪雨慈	製圖工程師	點雲編修
34	影像處理組	影像處理組長	蔡欣達	經理/ 測量技師	航空攝影測量/專案管理
35		影像處理副組長	曾淑枝	製圖組長	影像處理/立體製圖
36		影像處理副組長	董秀琪	製圖組長	影像處理/立體製圖/點雲編修
37		影像處理組員	陳任頤	測量工程師	影像處理/點雲編修
38	備援	點雲處理組員	孫睦涵	製圖工程師	趕工計畫點雲編修
39		點雲處理組員	張玲玲	製圖工程師	趕工計畫點雲編修

4-4 其他軟、硬體設備

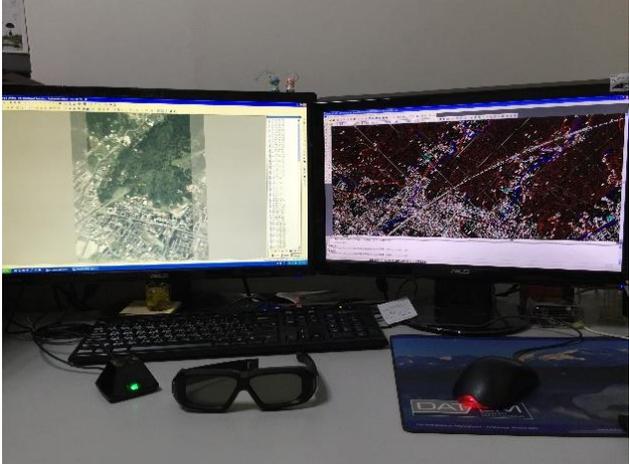
4-4-1 軟體設備

項次	軟體名稱	操作畫面	數量
1	IGI Plan ：空載雷射掃瞄飛航規劃 結合 IGI 系列 Areo Control 以及 CCNS4 導航器可依據 DEM 規劃空載光達以及像機飛航測線，並估算計畫成果。		1
2	GrafNav、IE ：GNSS 軌跡解算 高精度動態解算 ARTK 模式可提高解算成果精度。		2
3	Trimble Business Center ：靜態 GNSS 解算 全方位的解算、測繪軟體，整合 GNSS 資料、空中三角測量、數值製圖等作業。		1
4	Riegl 系列 ：點雲資料處理 結合 RiPROCESS、RiANALYZE、RiWORLD 系列軟體，解算空載光達波形資訊並進行點雲平差作業，擁有人性化操作介面以及圖表展示功能，提高作業效率。		4
5	Microstation ：點雲資料處理/數值繪圖 TerraScan/ TerraModeler/ TerraMatch 點雲分類與編修。		6
6	SCOP++ ：DEM/DSM 網格內插 專門為了數值地形模型內插、管理、以及視覺化應用的軟體，其最適性內插演算能呈現自然地形起伏與走勢，成果廣為國內各級單位肯定。		2
7	Agisoft Metashape ：影像處理/空三平差 新一代的數位航測工作系統，能讀取各類數位影像資料，執行空三平差計算及偵錯，地面數值模型自動匹配量測及正射糾正鑲嵌等功能。		2
8	ERDAS IMAGINE LPS Orima ：影像處理/空三平差 專業數位航測工作系統，能讀取各類數位影像資料，執行空三平差計算及偵錯，地面數值模型自動匹配量測及正射糾正鑲嵌等功能。		1

4-4-2 硬體設備

用途	儀器型式/儀器精度及規格	儀器照片	數量
控制測量	<p>STONEX 系列 GNSS 衛星定位儀</p> <p>TAF 校正日期：109.01.04~109.08.27</p> <p>靜態 GNSS 測量/快速靜態/動態/RTK 測量</p> <p>Horizontal: $\pm(2.5\text{mm}+1\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$</p> <p>Vertical: $\pm(5\text{mm}+01\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$</p>		4
飛航載具	<p>P68C TC 專業航拍定翼機</p> <p>由義大利製造之 P68C TC 定翼機，可同時搭載航空攝像機、空載光達掃瞄儀。相較其他機種，在高溫、高濕度、高海拔的地區時能更好地維持飛機性能，並於空域較擁擠的地區更具有靈活性、提高安全性。</p>		1
	<p>BN2 系列專業航拍定翼機</p> <p>能低速飛行並保持機身平穩，且能靈活地進入規劃航線，相當受航空攝影測量業界喜愛，可搭載全方位的航空測量儀器設備，具備穩定性、合適性極高的平台以供航空攝影測量作業使用。</p>		3
空載光達掃瞄與航空攝影	<p>數位像機(Phase One iXU-RS 1000)</p> <p>2018 年採購航測像機，具有 1 億像素(11,608 x 8,708)，並採用 CMOS 感光元件，快門可達 1/2500，可克服光線較不理想的天候時間，應對山區天氣變化迅速，機身質量相對輕巧，飛航任務更多彈性。</p>		5
	<p>數位像機(Phase One iXA 180)</p> <p>Phase One 航測像機(iXA 180)具有 8000 萬像素(10,320 x 7,752 像素)，並採用 TDI 時間延遲積分方法進行像移補償，可克服光線較不理想的天候時間，應對山區天氣變化迅速，機身質量相對輕巧，飛航任務更多彈性，最小曝光間格(0.7 秒)。</p>		1

用途	儀器型式/儀器精度及規格	儀器照片	數量
測量	<p>IMU(慣性測量單元)</p> <p>使用 IGI 公司之產品，IMU 用在需要進行運動控制的設備，內裝有三軸的陀螺儀和三個方向的加速度計，來測量物體在三維空間中的角速度和加速度，並以此解算出物體的姿態。</p>		2
	<p>Airborne LiDAR 空載光達系統-Q780</p> <p>使用 Riegl LMS-Q780，系統整合了雙頻衛星定位器(Global Position System, GNSS)、慣性導航儀(Inertial Measurement Unit, IMU)、光達掃瞄儀、量測型數位像機及機上電腦系統(computer rack)五部份，以即時獲取大量的地形高程點空間資料。</p>		1
	<p>Airborne LiDAR 空載光達系統-Q680i</p> <p>Riegl LMS-Q680i 作為本公司空載光達備援機，整合了雙頻衛星定位器(Global Position System, GNSS)、慣性導航儀(Inertial Measurement Unit, IMU)、光達掃瞄儀、量測型數位像機及機上電腦系統(computer rack)五部份，以即時獲取大量的地形高程點空間資料。</p>		1

名稱	用途類別	數量	自有或租賃	實體照片
立體影像工作站	空三解算 地形圖測製 正射影像製作	3	自有	
搭配硬體		搭配軟體		
<ul style="list-style-type: none"> ■ CPU：E3 ■ 3D MouseTrack ■ Z-Screen 同步式立體觀測裝置 		<ul style="list-style-type: none"> ■ ERDAS 軟體 ■ TBC、Grafnav、IE 衛星解算平差軟體 ■ LEICA 廠 Orima 空中三角測量平差軟體 ■ LEICA 廠 LPS 立體影像量測軟體 ■ LEICA 廠 PRO600 立體影像測繪軟體 ■ OrthoVista V3.2.1 影像色差處理軟體 		
性能說明	<ul style="list-style-type: none"> ■ LPS(Leica Photogrammetry Suite)為新一代的數位航測工作系統，能讀取各類類比掃瞄、空載掃瞄及衛星等數位影像資料，執行空三平差計算及偵錯，地面數值模型(DTM)自動匹配量測及正射糾正鑲嵌等功能。 ■ 空三推算：用 Intel®Core™ 2 Quad processor 四核心 CPU，提供高效能，穩定空三推算環境。 ■ 影像處理：使用 P4000 高階顯示卡，使其影像處理達最佳化。 ■ 搭配 3D 立體眼鏡及可輸出 120Hz 更新頻率之螢幕，提供立體測量之功用。 ■ 配合 ERDAS 軟體，可提供準確的立體測量，空三報表驗證。 			
執行計畫經歷	<ul style="list-style-type: none"> ■ 桃園市政府地政局：桃園航空城航空測量攝影暨空載光達掃瞄作業 ■ 內政部國土測繪中心：106 年度擴充航遙測感應器系統校正作業採購案 ■ 行政院農業委員會林務局農林航空測量所：107 年度航攝數位影像採購案 ■ 行政院農業委員會林務局農林航空測量所：107 年度航攝數位影像採購案(二期稻作及冬季裡作) ■ 海洋國家公園管理處：澎湖南方四島國家公園一千分之一數值航測地形圖測製 ■ 玉山國家公園管理處：玉山國家公園第 4 次通盤檢討計畫圖修正、地形圖及航空攝影圖資製作案 ■ 陽明山國家公園管理處：103 年度陽明山國家公園一千分之一數值航測地形圖測製-新北市部分案 ■ 彰化縣政府：102 年度彰化縣都市計畫區一千分之一數值航測 GIS 地形圖測製第 5 期計畫 			

名稱	用途類別	儀器型號名稱	容量	自有或租賃	實體照片
儲存設備	專案資料儲存	獨立運算伺服器	40T	自有	如下圖
性能說明	<ul style="list-style-type: none"> ■ 使用雙 Quad-Core Intel® Xeon® processor 之 CPU，提供高效能之運算伺服器。 ■ 專業的 Cluster 叢集運算、分散式運算環境，有效提供穩定，高效率之運算平台。 ■ 建置於 Giga 網路傳輸環境中，提供穩定且高速率之資料傳遞運算。 ■ 整合在線式(On-Line)UPS，提供穩定電源供應。 ■ 使用 Microsoft's Vexcel UltraMap 分散式運算軟體，提供穩定，高效率，低錯誤率之運算。 ■ 完整之機房監控平台，提供穩定的運算環境。 				
					

名稱	用途類別	儀器型號名稱	自有或租賃	實體照片
安全監控系統	專案工作室資安監控	人員進出管制計畫 監視器*2 整合型監控螢幕 監視影像獨立儲存設備	自有	如下圖
性能說明	<ul style="list-style-type: none"> ■ 特定人員出入管制 ■ 獨立儲存監視畫面 ■ 完整之機房監控平台，全面紀錄專案工作室內人員與電腦操作畫面。 			
				

第五章 檢討與建議

5-1 檢討

一、天候因素

本公司於 111 年 2 月 18 日地面控制點布設完畢後即開始待命飛航，至 111 年 2 月 28 日飛航第 1 架次，但接續數月天候不佳，於 3 月共飛航 5 架次、4 月飛航 4 架次、5 月至 5 月 30 才飛航該月第 1 架次，而原定第 6 階段成果繳交期限為 111 年 6 月 15 日，故後續提請展延第 6 至第 8 階段相關期程，如 1-4 節所述。

此期間由於好天氣的連續天數不多，以自強航空主基地位於松山航空站來說，考量外站派遣之人力成本與工作安排，較難常駐花蓮航空站，而作業區距離松山航空站亦十分遙遠，經計算至提請展延時平均飛航總時間為 2 小時 31 分、平均去程時間為 53 分鐘、平均回程時間為 39 分鐘與平均作業時間為 1 小時，故為增加飛航效率本公司套疊中央氣象局衛星雲圖以及依照作業進度更新的本計畫飛航航線圖如圖 5-1 所示，因測區範圍廣大，此方式較能保握較短的好天氣空窗或者待飛航區域的空檔。

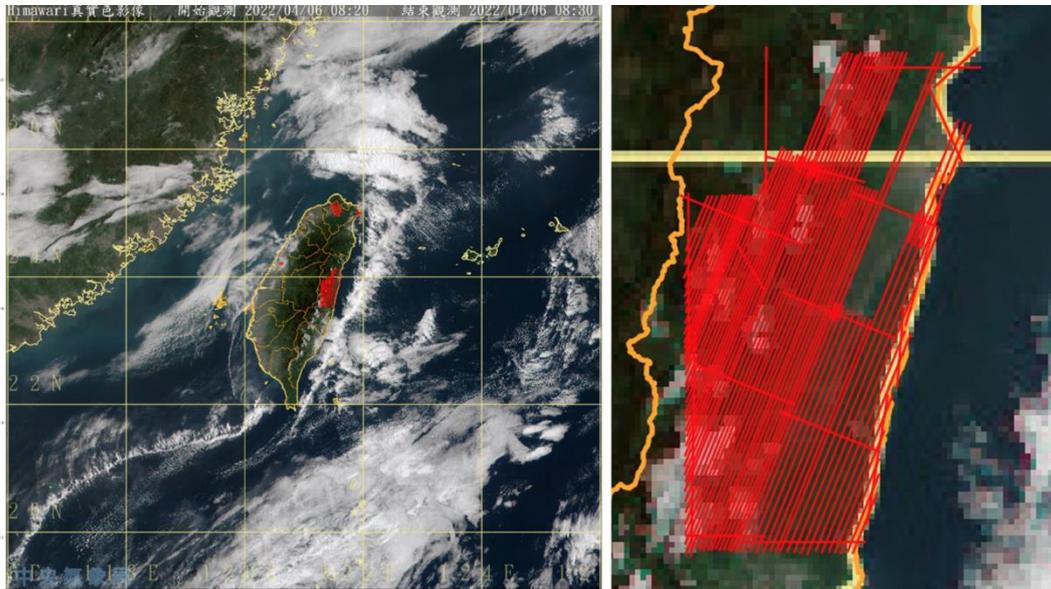


圖 5-1 作業區當下飛航進度航線套疊天氣雲圖

二、空中三角測量平差作業之精進作為

根據本計畫於 110 年度空三成果進行檢討，認為有兩大主因可以加強改善。

- (一) 原始影像品質：於 110 年度時由於天候不佳造成工作進度緊張，於飛航上天氣要求有放寬，加緊航拍後有部分原始影像含有雲覆，因為空載光達掃瞄方式與影像曝光點成像方式不同，再加上飛機飛航與雲均是動態的，雲覆影響位置不同，故此區域之點雲透過左右航線重疊後並無雲洞，而正射影像亦可透過鑲嵌方式將雲覆區域蓋過，但於空中三角測量平差時，會使得像對間無法產生連結點，乃只能用人工方式逐一補點，此作業需要大量人力及時間。
- (二) 航線間之時間間隔過長：由於 110 年底天候不佳，導致部分相鄰航線拍攝時間間隔過長。例：某一航線於 5 月拍攝完成，而相鄰航線則於 12 月才拍攝完成。地物上之樹葉顏色、植被位置皆有所變化，使得產生連結點與人工補點均十分困難，導致空中三角測量平差作業困難。

故依據上述 111 年度航拍作業時特別將此兩因素加入考慮，評估若有影像會嚴重影響空中三角測量平差作業則另外安排架次補飛該雲洞，若有相鄰航線時間間隔過長亦安排補飛架次，盡力排除影像品質影響空中三角測量平差作業的問題。本年度因上述原因而補飛的架次已整理於表 3 1。此外，本年度亦有嘗試使用空三解算軟體 ISAT(Image Station Aerial Triangulation)進行空中三角測量平差作業，比較作業效率用以精進。

5-2 建議

一、建議空載光達(航偏角不設限)及影像(航偏角 15°)分開檢查：

依據「空載光達測製數值地形模型作業說明」中的肆、成果檢查 二、掃瞄飛航計畫檢查 (二)空載光達系統率定(含率定場)檢查：B.檢查航線掃瞄飛機姿態傾角(bank angle)圖形，飛航過程中飛機之傾斜角包含偏航(Yaw)、顛簸(Pitch)、滾動(Roll)亦須保持在 15 度以內。此規定之檢查一般透過安裝於飛機上的空載光達與航攝像機系統內的慣性導航單元(IMU)的讀數來進行檢查，因為此讀數為光達與影像於軌跡解算時的角度數據來源之一[其他如光達掃瞄器本體掃瞄鏡的角度紀錄與陀螺穩定平台(Gyro Stabilization Mount, GSM)所記錄修正角度]。

而此建議為與執行飛航掃瞄任務的飛行教官多次討論後所歸結，教官於飛航掃瞄任務執行時，主要工作為對準規劃航線進行飛航，然有一情況為飛行時有強側風導致教官必須頂風且須對準航線前行，此時就會出現飛機為歪頭(有航偏角度)但前進方向為依照規劃航線航向行進(如圖 5-2 所示)，此情況會造成當天氣為無雲但現場有側風時，飛行教官在能確保飛安但無法把控頂風的角度時，會因為要避免無效飛行(航偏角不合規範)而放棄無雲天氣，但承上節所述本計畫最大的影響因子即為能否在有限的天候下把握天氣，故有此建議並分為 2 點簡述如下：

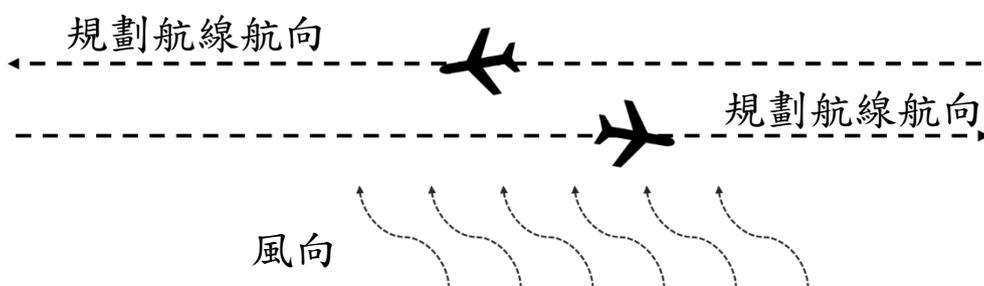


圖 5-2 側風影響飛機飛航時航偏角示意圖

(一) 空載光達航偏角不設限：

空載光達的成果產物為點雲，其生產過程概要為透過 GNSS 獲取位置後再加上 IMU 與掃瞄鏡的角度，再與雷射的測距資料解算成一個個的光達點，也就是說空載光達在飛機為不同的姿態角度時測量同一點位，對此點位來說就是雷射光透過不同的路徑射入並反射，當然在光斑足跡、距離、路徑等都會有約略不同，但是在飛機能安全作業的情況下，並不會對其點位精度造成明顯變化，而對後續點雲的平差

作業來說，各個共軌面仍會是相近的共軌面，只是形成兩者的點雲是透過不同的角度與測距所解算出，另本公司於他案有於強側風情況下進行飛航，部分航線航偏角經解算後大於 15° ，但是從平差作業、成果產製至外業現地驗收均完全符合規範的經驗。

(二) 空載光達與影像的航偏角分開檢查：

為保證飛安與率定參數，設備均會與飛機做硬連接的安裝並經過民航局的構型認證，於過往多為單孔位(機腹上開單一孔位執行航攝)且光達與像機設備為同軸安裝，並透過飛控導航系統使用單 1 顆 IMU 時，空載光達、航攝像機與飛機三者的航偏角角度紀錄來源相同，故僅需一起檢查。然現執行任務之飛機機型多有雙孔位可分別安裝空載光達與像機，在此情況下可以分別記錄兩個傳感器的角度，亦即有了分開檢查的能力。

另在陀螺穩定平台此種設備的出現後，航攝儀器於飛航時可以大幅確保各個飛航角度的穩定，以本公司使用 SOMAG GSM3000 陀螺穩定平台搭配 Vexcel UltraCam 大像幅像機的飛航經驗，在設備補償角度(Pitch at 0° Roll： $\leq \pm 8.8^\circ$ 、Roll at 0° Pitch： $\leq \pm 7.0^\circ$ 、Yaw： $\leq \pm 25.0^\circ$)的範圍內，影像曝光點都可以確保各個角度偏差量均在規劃的 1° 內。

但若以現行主流航攝光達與像機系統搭配陀螺穩定平台來說，雖然各種像幅的航攝像機幾乎都有相對應的陀螺穩定平台可以整合，可空載光達設備約僅有半數以下的機型有相對應的支援。

綜上所述，本公司建議 貴中心可考量空載光達航偏角不設限，並且將空載光達與影像的航偏角分開檢查，主要緣由為能更加把握側風較強場域的任務執行，也能降低飛行教官於此情況飛行時擔心無效飛行的心理壓力，且在其他檢核規範不變的情況下，測製廠商仍須要符合在航偏角過大但無陀螺穩定平台補償，造成掃瞄帶寬變小時的重疊率與點密度等相關規範，並不會因此變化而造成計畫成果有精度品質下降的情況發生。

二、建議不使用中像幅像機之成果製作須供基本圖繪製使用之空三成果

本計畫使用中像幅像機 Phase One iXU-RS 1000 (焦距：50 mm)進行航拍影像獲取，其空中三角測量以透過 IMU 數值所獲得之外方位做為初始值，並配合 GSD 25 公分之原始影像及地面控制點進行空三外方位解算，且必須提供做為基本圖繪製使用。然而因為本計畫性質，作業區涵蓋廣闊，此次山地面積約全作業區 7 成以上面積，不但多數地形陡峭且大部分區域均為人車無法到達之處，亦即無法布設地面控制點。

而本計畫針對航拍影像 GSD 之要求可至 25 公分，以 Phase One iXU-RS 1000 (焦距：50 mm)可飛航至 2,700 米(AGL)，但為配合空載光達掃瞄之點密度與穿透率等考量，本公司多以 2,200 米(AGL)進行航線規劃，此時的 GSD 約會在 20 公分左右，而飛行高度的降低也代表影像的覆蓋面積愈小，須要飛航的航線數量更多，需要計算的影像張數也愈多。且這也會造成在地形困難區域時地表特徵點辨識不易與像幅過多導致空三連結點數量龐大等問題，使得空中三角測量作業執行困難，需要極大量的人力時間成本。

若使用大像幅像機進行相同工作，以本公司之 UltraCam Osprey 4.1 為例，其相關規格如下所述，感光元件為 20,544*14,016 個像元，像元大小為 3.76*3.76 μ m，焦距為 79.6mm。在 GSD 為 20 公分的條件下，對地高約為 4,200 公尺，單一影像涵蓋長度約為 4,100 公尺，寬度約為 2,803 公尺，面積約為 11.49 平方公里。而中像幅像機 Phase One iXU-RS-1000 為例，其感光元件為 11,608*8,708 個像元，像元大小為 4.6*4.6 μ m，焦距為 50mm。在 GSD 需求為 25 公分的前提下，對地高約為 2,700 公尺，單一影像涵蓋長度約為 2,900 公尺，寬度約為 2,180 公尺，面積約為 6.32 平方公里。於此可知兩者於資料量以及解算難易度有著相當大的區別，且本計畫尚需考量空載光達掃瞄的要求，以本公司現有設備會需要再降低飛航高度，進而使航線增多、影像增多、影像涵蓋面積變小。