



NLSC-108-5

108 及 109 年度 LiDAR 技術更新
數值地形模型成果測製工作採購案
第 2 作業區

Updating Taiwan DEM by LiDAR
technique - 2019 & 2020 2nd Work zone

109 年度工作總報告
Final Report

主辦機關：內政部國土測繪中心

The National Land Surveying and
Mapping Center (NLSC)

執行單位：自強工程顧問有限公司

Strong Engineering Consulting Co. Ltd.

中華民國 109 年 12 月

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規劃自 105 年度起, 分年委外以 LiDAR 技術更新 DTM 資料, 108 及 109 年度規劃以 LiDAR 技術辦理第 1 作業區 (348 幅)、第 2 作業區 (350 幅) 及第 3 作業區 (368 幅) DTM 更新範圍合計 1,066 圖幅 (1/5000)

本計畫由自強工程顧問有限公司(以下簡稱測製廠商)辦理第 2 作業區 109 年度範圍共 174 幅 1/5000 圖幅, 主要範圍包含南投縣魚池鄉與信義鄉, 西南側沿台 21 線河谷直切臺灣第一高峰—玉山, 高低落差甚鉅, 為本計畫飛航任務最為艱困的挑戰之一。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。

本計畫共架設 4 站 GNSS 基地站, 執行 25 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, 各架次以及率定成果皆獲得監審單位審查合格, 第一子測區點雲密度成果為 4.27 點/m², 第二子測區點雲密度成果 5.13 點/m², 全數符合作業規範。平差計算結果, 第一子測區點雲平差單位權中誤差為 8.1 公分; 第二子測區單位權中誤差為 9.0 公分, 成果符合作業規範(單位權中誤差應於 10 公分以內)。利用經過自動化與人工編修後的點雲製作 1m 解析度 DEM/DSM, 並搭配同步獲得的影像進行 25cm 正射影像製作, 成果精度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. Ministry of the interior(MOI) has outsourced the update of DTM data by LiDAR technique in 2019 and 2020 with the total amount of 1,066 map sheets in three work zone, which are 348, 350, and 368 map sheets for each place.

In the project of 2020, there are 174 map sheets of maps in second work zone, which most locate in Yuchi and Xinyi Township. Along provincial highway no. 21, The valley in the south-west side of the work zone is very steep according to the heighest mountain in Taiwan – Yusan mountain. In order to achieve the goal, Strongco planned to finish following works, including flight planning for laser scanning, control surveying, point cloud classification, DTM and orthophotos generating. In addition, an independent checking team, assigned by agencies, will examine the effectiveness of project during progress. Every stage of result will be delivered to the employer after been approved by the checking team.

4 GNSS station and 25 flight missions, equipped with full-waveform airborne LiDAR, were executed in our project, and the result has been approved by independent checking company. Point cloud density is 4.27 point/ m² in first area, 5.13 point/ m² in second area, and both results meet the contract's standard. Unit weight mean square error of point cloud adjustment is 8.1 cm in first area, 9.0 cm in second area, and both are also in line with the standard (number should be within 10 cm). 1m DEM derived from automatic and manual edited point cloud and orthophoto with the resolution of 25cm are both approve by the checking company and employer.

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	2
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 空載光達掃瞄施測資料獲取	3
1-3-4 正射影像製作	3
1-3-5 各項報告書、工作總報告	3
1-4 驗收辦法	5
1-5 其他相關規定	6
第二章 計畫執行方法與步驟	7
2-1 工作流程	7
2-2 儀器設備	8
2-2-1 空載光達掃瞄儀	8
2-2-2 高精度 IMU	10
2-2-3 航空攝像機	11
2-2-4 GNSS 衛星定位儀	13
2-3 掃瞄飛航規劃	14
2-3-1 作業原則	14
2-3-2 109 年航線規劃成果	15
2-3-3 實施計畫申請	16

2-4 空載光達率定作業	17
2-4-1 率定場設置	17
2-4-2 執行率定作業	21
2-5 控制測量	25
2-5-1 地面 GNSS 基地站	25
2-5-2 航帶平差控制點及平面控制點控制點測量	28
2-6 空載雷射掃瞄施測資料獲取	43
2-6-1 飛航掃瞄作業流程	43
2-6-2 飛航掃瞄成果	43
2-7 雷射掃瞄點雲資料處理	48
2-7-1 原始點雲解算	48
2-7-2 點雲航帶平差	50
2-7-3 點雲分類	56
2-7-4 地面點孔洞分析	60
2-8 DEM 與 DSM 製作及圖幅鑲嵌處理	63
2-8-1 製作程序	63
2-8-2 檢核點檢查	64
2-8-3 圖幅接邊	71
2-8-4 正高轉換	72
2-8-5 資料儲存格式	72
2-8-6 詮釋資料製作	73
2-8-7 成果展示	74
2-9 正射影像製作	78
2-9-1 正射影像製作流程	78
2-9-2 正射影像成果檢核	80
2-9-3 正射影像成果	82
2-9-4 正射影像詮釋資料製作	83
2-9-5 水域線與沙洲線劃設	84
2-10 航攝成果提送內政部備查	85

第三章 成本因子分析.....	86
3-1 進度管制計畫	86
3-2 點雲編修人力配置	86
3-3 影像處理人力配置	86
3-4 成本分析	87
第四章 執行團隊.....	89
4-1 團隊組織編制	89
4-2 性平統計	89
4-3 主要參與人員名冊	90
4-4 其他軟、硬體設備	91
4-4-1 軟體設備.....	91
4-4-2 硬體設備.....	92
第五章 檢討與建議.....	96
5-1 檢討	96
5-2 建議	96

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 航帶平差控制點位調查表(A)(電子檔)
- 附件四 平面平差控制點位調查表(B)(電子檔)
- 附件五 儀器規格、校正及率定文件(電子檔)
- 附件六 航線規劃參數表(電子檔)
- 附件七 點雲密度計算表(電子檔)
- 附件八 空載光達率定報告書(電子檔)
- 附件九 各架次監審單位審核通過紀錄(電子檔)
- 附件十 地類檢核點分析成果(電子檔)
- 附件十一 地類檢核點遠近照(電子檔)
- 附件十二 監審單位審查意見回復
- 附件十三 主辦機關審查意見回復

圖目錄

圖 1-1	109 年度第 2 作業區(4-2 測區)以及子測區範圍.....	2
圖 2-1	工作流程圖.....	7
圖 2-2	空載光達 Riegl LMS-Q780 實機照.....	8
圖 2-3	106 年 IGI IMU 原廠率定成果報告.....	10
圖 2-4	PhaseONE IXU-RS 1000 實機照.....	11
圖 2-5	PhaseOne IXA 180 實機照.....	12
圖 2-6	地面 GNSS 衛星定位儀實際作業照.....	13
圖 2-7	航線規劃圖.....	16
圖 2-8	率定場位置示意圖.....	18
圖 2-9	彰化和美率定場航線規劃資訊.....	19
圖 2-10	彰化縣和美鎮實況.....	19
圖 2-11	彰化縣和美鎮正射影像套疊植被覆蓋範圍與土地利用調查成果.....	20
圖 2-12	彰化和美率定場 GNSS 基地站分布圖.....	21
圖 2-13	Lever arm 量測作業照.....	22
圖 2-14	率定場點雲成果展示.....	23
圖 2-15	代入率定值前後點雲剖面.....	23
圖 2-16	GNSS 基地站以及 20km 範圍分布圖.....	26
圖 2-17	GNSS 基地站涵蓋範圍調整後成果.....	27
圖 2-18	航帶平差控制點分布.....	28
圖 2-19	平差控制點 VBS-RTK 工作照.....	29
圖 2-20	點位紀錄表(A、B).....	36
圖 2-21	多重影像匹配 SFM 計算原理.....	37
圖 2-22	AgiSoft MetaShape 操作畫面.....	37
圖 2-23	Metashape 空中三角測量平差整體資訊.....	38
圖 2-24	立體量測作業畫面.....	39
圖 2-25	地類檢核點實地施測作業照.....	40
圖 2-26	橫斷面檢核線位置分布.....	41
圖 2-27	橫斷面檢核點現場作業工作照.....	42
圖 2-28	空載雷射掃瞄施測資料獲取作業流程.....	43
圖 2-29	計畫範圍子測區點雲密度檢核成果.....	45

圖 2-30	計畫範圍子測區點雲密度分布直方圖	45
圖 2-31	各架次點雲涵蓋範圍圖	46
圖 2-32	109 年自強第一子測區(4-2-1 測區)測區覆蓋完整度檢核成果	47
圖 2-33	109 年自強第二子測區(4-2-2 測區)測區覆蓋完整度檢核成果	47
圖 2-34	Riegl LMS-Q780 原始空載光達資料解算整體流程	48
圖 2-35	Riegl RiPROCESS 展示全波形資料作業畫面	49
圖 2-36	點雲資料各別屬性展示圖	49
圖 2-37	點雲航帶平差作業流程	50
圖 2-38	點雲航帶平差作業畫面	51
圖 2-39	點雲航帶平差檢核成果-第一子測區(4-2-1 測區)	51
圖 2-40	點雲航帶平差檢核成果-第二子測區(4-2-2 測區)	52
圖 2-41	點雲資料所須包含儲存欄位檢查作業畫面	57
圖 2-42	LiDAR 點雲分類困難區域	58
圖 2-43	以人工進行點雲分類前後示意圖	59
圖 2-44	點雲編修分類成果示意圖	59
圖 2-45	109 年第一子測區(4-2-1 測區)地面點孔洞分析	61
圖 2-46	109 年第二子測區(4-2-2 測區)地面點孔洞分析	61
圖 2-47	109 年第一子測區(4-2-1 測區)地面點孔洞變異	62
圖 2-48	109 年第二子測區(4-2-1 測區)地面點孔洞變異	62
圖 2-49	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-裸露地	64
圖 2-50	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-矮植被	65
圖 2-51	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-植生地	65
圖 2-52	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-林地	66
圖 2-53	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-都會區	66
圖 2-54	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-濕地	67
圖 2-55	中高海拔山區地類檢核點成果-裸露地	68
圖 2-56	中高海拔山區地類檢核點成果-矮植被	68
圖 2-57	中高海拔山區地類檢核點成果-林地	69
圖 2-58	中高海拔山區地類檢核點成果-密林地	69
圖 2-59	中高海拔山區地類檢核點成果-植生地	70
圖 2-60	低海拔及河川洪泛溢淹測製地區-斷面檢核成果	70
圖 2-61	中高海拔山區測製地區-斷面檢核成果	71

圖 2-62	109 年度成果接邊分配圖	72
圖 2-63	內政部「詮釋資料建置系統」作業畫面	73
圖 2-64	DEM 詮釋資料成果示意	73
圖 2-65	4-2 測區 1m DEM 日照陰影圖	74
圖 2-66	4-2 測區 1m DEM 日照陰影圖-1	75
圖 2-67	4-2 測區 1m DEM 日照陰影圖-2	75
圖 2-68	4-2 測區 1m DSM 日照陰影圖	76
圖 2-69	4-2 測區 1m DSM 日照陰影圖-1.....	77
圖 2-70	4-2 測區 1m DSM 日照陰影圖-2.....	77
圖 2-71	正射影像製作流程	78
圖 2-72	航拍影像色調調整操作畫面	79
圖 2-73	正射影像鑲嵌作業畫面	79
圖 2-74	影像控制點量測作業畫面	81
圖 2-75	109 年度 4-2 測區全區正射影像成果.....	82
圖 2-76	正射影像詮釋資料製作畫面	83
圖 2-77	正射影像詮釋資料成果示意圖	83
圖 2-78	109 年度全區水域線與沙洲線成果.....	84
圖 2-79	108-109 年度航攝成果內政部准予備查函文.....	85
圖 3-1	成本分析圓餅圖	88
圖 4-1	團隊組織架構圖	89

表目錄

表 2-1	空載光達掃瞄儀計畫需求與儀器特性對照表.....	8
表 2-2	Riegl LMS-Q780 詳細規格.....	9
表 2-3	高精度 IGI IMU 詳細規格表.....	10
表 2-4	PhaseONE IXU-RS 1000.....	11
表 2-5	PhaseOne IXA 180 規格表.....	12
表 2-6	航空攝像機計畫需求與儀器特性對照表- iXA 180.....	12
表 2-7	本團隊擁有之地面 GNSS 衛星定位儀形號與數量.....	13
表 2-8	4-2 測區航線規劃參數.....	15
表 2-9	率定場 GNSS 基地站坐標位置.....	22
表 2-10	率定成果參數表.....	23
表 2-11	率定場高程控制點檢核成果(正規航線).....	24
表 2-12	率定場高程控制點檢核成果(確認航線).....	24
表 2-13	計畫區域周圍既有 GNSS 基地站列表.....	25
表 2-14	自架 GNSS 基地站列表.....	26
表 2-15	航帶平差高程控制點檢測成果(e-GNSS 2019).....	30
表 2-16	航帶平差高程控制點 TWD97 【2010】 成果.....	33
表 2-17	航帶平差平面控制點檢測成果(e-GNSS 2019).....	35
表 2-18	航帶平差平面控制點 TWD97 【2010】 成果.....	36
表 2-19	空中三角測量平差成果-曝光點解算後坐標平均差量.....	39
表 2-20	空中三角測量平差成果-曝光點解算後姿態平均差量.....	39
表 2-21	各架次執行航線資訊與審查結果.....	44
表 2-22	各航線 Find Fluctuations 成果分析(單位：公尺).....	52
表 2-23	109 年第一子測區(4-2-1 測區)DEMLAS 分批提送時程與檢查結果... ..	60
表 2-24	109 年第二子測區(4-2-2 測區)DEMLAS 分批提送時程與檢查結果... ..	60
表 2-25	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點總成果.....	64
表 2-26	中高海拔山區地類檢核點總成果.....	67
表 2-27	正射影像平面精度控制點檢核成果.....	80
表 2-28	正射影像平面精度檢核點成果統計表.....	81
表 4-1	本案作業人員男女統計.....	89

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 107 年度止已辦理 2,111 個圖幅 (1/5000) 範圍數值地形模型更新作業, 108 及 109 年度續規劃以 LiDAR 技術辦理第 1 作業區 (348 幅)、第 2 作業區 (350 幅) 及第 3 作業區 (368 幅) DTM 更新範圍合計 1,066 圖幅 (1/5000), 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, 俾達成計畫預期成效。

1-2 測製範圍

109 年度本案測區(4-2 測區)無臨海區域, 測區面積包含 174 幅 1/5000 圖幅, 全位於南投縣。另外依據作業規劃, 劃分為第 1 子測區(4-2-1)以及第 2 子測區(4-2-2), 其中第 1 子測區包含 72 幅 1/5000 圖幅(約 41%); 第 2 子測區包含 102 幅 1/5000 圖幅(約 59%), 兩子測區計畫範圍如圖 1-1。

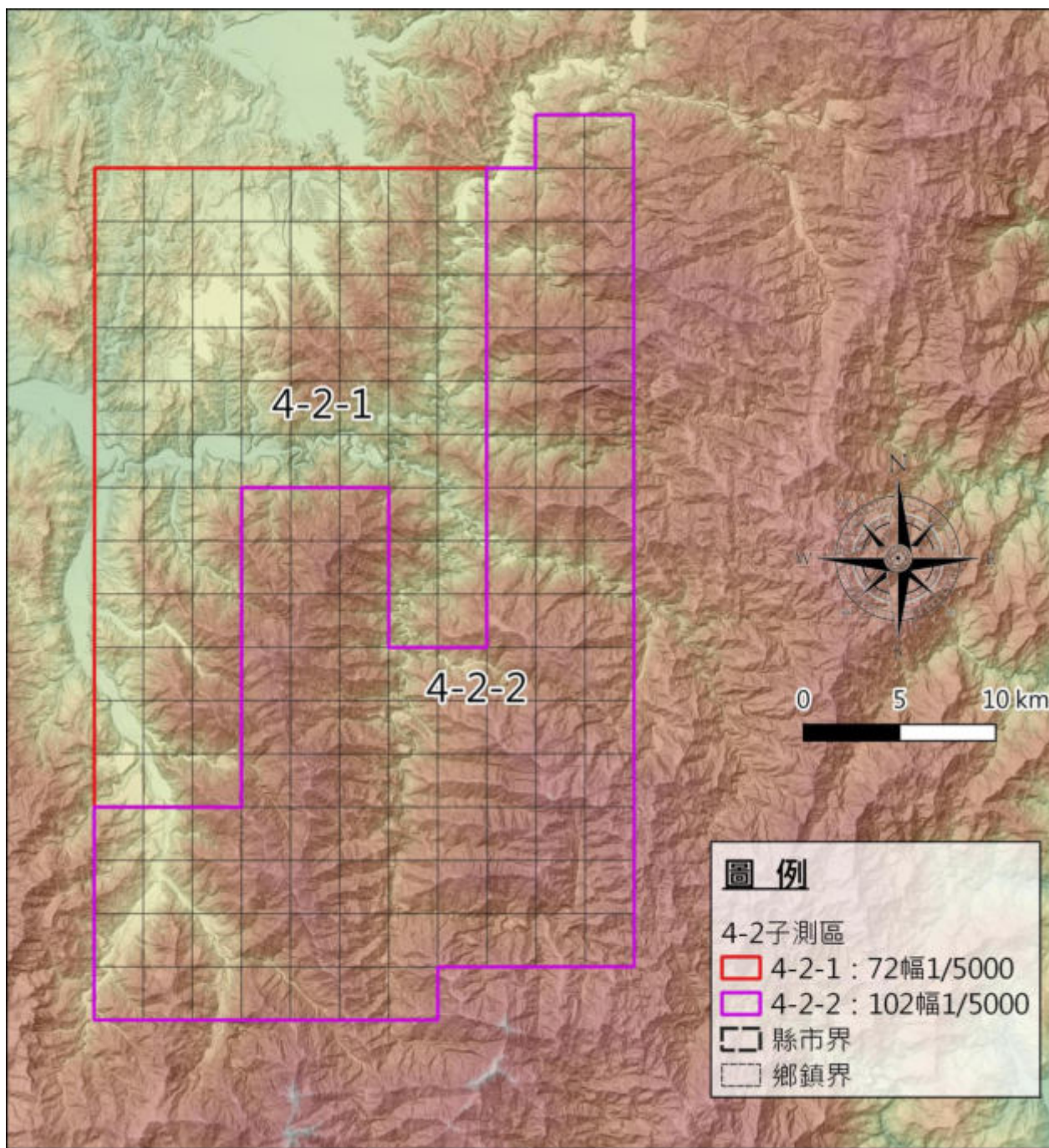


圖 1-1 109 年度第 2 作業區(4-2 測區)以及子測區範圍

1-3 工作項目

計畫執行期間，本案團隊配合主辦機關召開定期之工作討論會議與不定期之工作會議，討論工作進度、各階段執行成果、相關計畫的資料支援及需配合事項等事宜。

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、空載光達掃瞄施測、點雲資料處理、DEM 與 DSM 製作、正射影像產製等工作。

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，經監審單位檢查後，檢附相關文件向中央主管機關以公文提出申請，並副知本機關。
- 二、廠商提出之實施計畫內容，其範圍應包含本案 108 及 109 年度測製區域，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 109 年度測製區域之資料獲取時間，不得為 108 年 10 月 1 日之前。
- 四、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）送監審單位審核通過後，依計畫辦理掃瞄作業。

1-3-3 空載光達掃瞄施測資料獲取

廠商飛航掃瞄後之 7 日內，須繳交該次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)給監審案廠商，然而部分資料須洽相關機關取得而無法於 7 日內繳交者，囿於取得時效問題，可於 14 日內補齊。

1-3-4 正射影像製作

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。其原始航拍影像應繳交機敏區已遮蔽處理及無遮蔽處理之成果。

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)

作業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 25 日前提出當月之工作執行書面報告交付監審單位檢查並副知機關，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) 監審單位於作業期間定期召開工作會議，並以每個月 1 次為原則，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，並每月擇期召開工作會議，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

工作總報告內容至少包含以下項目：

- (一) 中文摘要（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 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 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 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 成果外業檢查，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較差計算均方根值，不得大於 $2.5\sqrt{2}$ 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單位複查至合格為止。

三、機關針對廠商繳交成果實施檢查，檢查時使用之儀器、操作人員及交通工具得由廠商及監審單位負責，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範，辦理成果外業之驗收或初驗，若驗收或初驗不合格項目，成果退回廠商，廠商應於機關發文次日起 14 個日曆天內進行全面檢測及修正後，送監審單位重新複查，監審單位應

於接獲廠商修正後成果次日起 14 個日曆天內複查完竣，並由機關針對不合格項目辦理複驗。複查作業次數超過 2 次以上時，所需檢查費用由廠商全額負擔，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。

1-5 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單位檢查完竣，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，分別為掃瞄飛航規劃、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)。

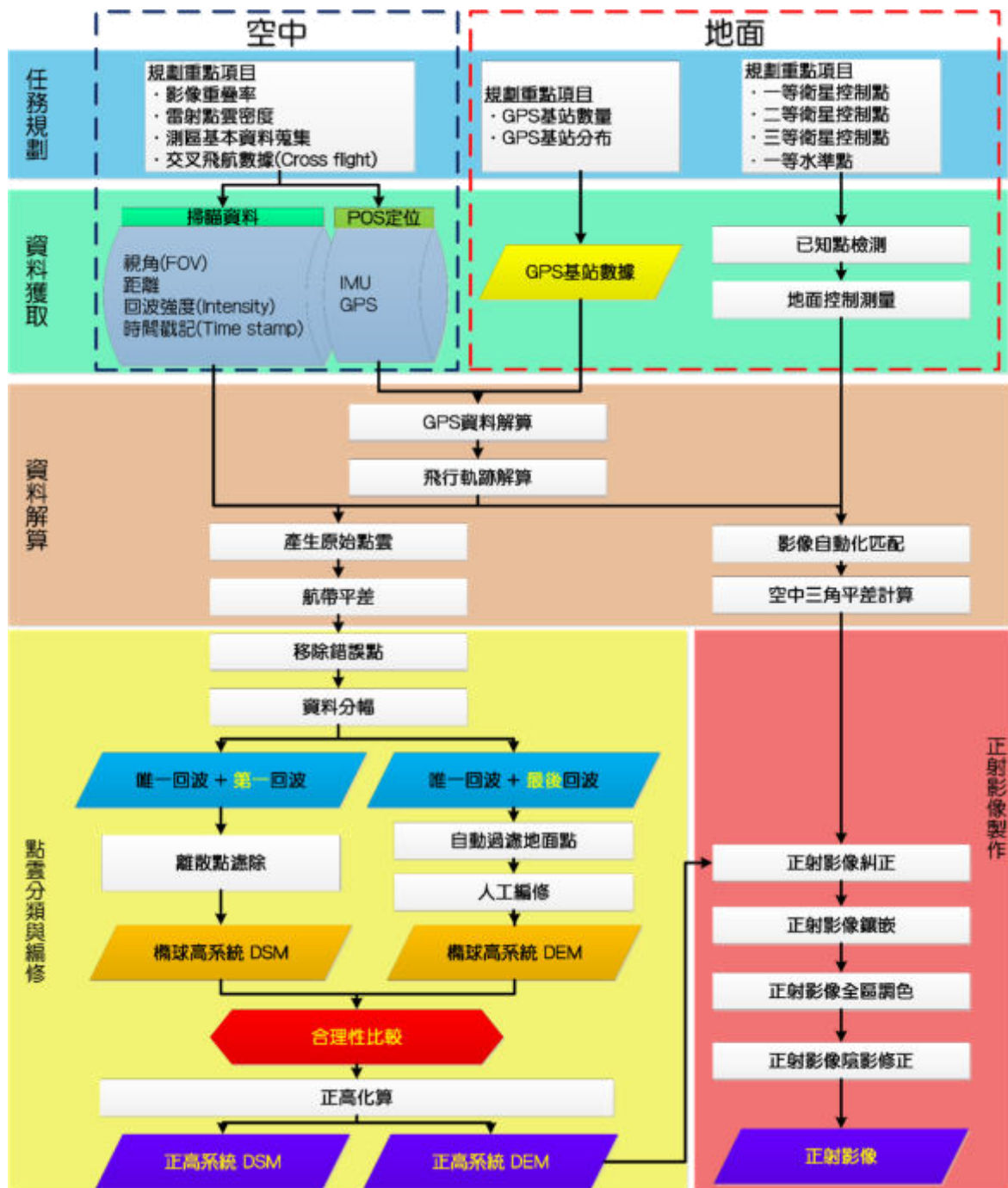


圖 2-1 工作流程圖

2-2 儀器設備

2-2-1 空載光達掃瞄儀

本團隊使用空載光達掃瞄設備 Riegl LMS-Q780 (圖 2-2)，依據本計畫空載光達掃瞄儀需求，彙整對照表如表 2-1，全數符合作業規範。其具有 107 年 12 月份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「108 年度內政部 LiDAR 技術更新數值地形成果檢核規定」檢核合格(平面方向器差 12 cm；高程方向為 0.8 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 30 cm)，儀器規格詳如表 2-2。

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 (107.12)



圖 2-2 空載光達 Riegl LMS-Q780 實機照

表 2-2 Riegl LMS-Q780 詳細規格

System Model	LMS-Q780		
Serial Number	2220561		
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 × 212 × 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 <i>RIEGL</i> 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 <i>RIEGL</i> 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 年度重回原廠進行維護與檢校，率定檢校成果報告如圖 2-3。

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



圖 2-3 106 年 IGI IMU 原廠率定成果報告

2-2-3 航空攝像機

一、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 108 年 4 月 1 日獲得內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室 TAF 校正報告，平面方向器差均方根值為 23 mm、高程方向器差均方根值為 60 mm。相關實機照如圖 2-4，儀器詳細規格詳如表 2-4，校正報告詳如附件五。



圖 2-4 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	快門速度	高達 1/2500 秒	
10	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）
11	溫度	-10°到 40°C (14°~104°F)	

二、PhaseONE iXA 180

本團隊擁有多台航測數位攝像機，其中 PhaseONE iXA 180(圖 2-5)曾執行多項大範圍飛航攝影計畫，成果品質通過多方監審單位認證，全數符合計畫需求，其儀器詳細規格詳如表 2-5。其中，此像機於 107 年度經過 PhaseONE 原廠率定，率定成果文件以及其實機照詳如附件五，並於 108 年 6 月 27 日獲得內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗之中像幅航攝數位像機校正報告，詳如附件五。



圖 2-5 PhaseOne iXA 180 實機照

表 2-5 PhaseOne iXA 180 規格表

項次	項目	像機規格	備註
1	像機焦距	55 (mm)	
2	像幅大小	10,328 × 7,760 (pixels)	符合作業規定 24 mm × 36 mm。
		53.706 x 40.352 (mm)	
3	像元解析度	5.2 (μm)	
4	曝光間隔	0.7 (秒)	

表 2-6 航空攝像機計畫需求與儀器特性對照表- iXA 180

項次	項目	儀器規格	是否符合
1	採用精密測圖用之數位式攝影機	-	是
2	感測器尺寸應大於 24 mm × 36 mm	53.706 x 40.352mm	是
3	影像成果應輸出為 24 位元自然彩色影像(紅、綠、藍各波段均為 8 位元)。	-	是
4	具有最近 2 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。其報告內容所列器差值之均方根誤差應小於本說明之正射影像製圖精度。	108.06.27 獲得校正報告	是

2-2-4 GNSS 衛星定位儀

本案於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。為彌補計畫範圍內可能有部分區域不能滿足計畫需求，廠商需於不足區域架設 GNSS 基地站，藉以獲得高品質飛航軌跡資訊。其 GNSS 基地站所使用之衛星定位儀規格需求，以及本團隊所有之相關儀器詳述如后。

一、計畫需求

(一) 應至少為雙頻儀器。

(二) 具有最近 3 年內經 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

本團隊擁有多部 GNSS 衛星定位儀(表 2-7)以及經驗豐富之外業作業小組，完整校正報告詳如附件八。主要使用之地面 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 2-7 本團隊擁有之地面 GNSS 衛星定位儀形號與數量

廠牌	UniStrong	NetSurv	JAVAD	STONEX	HORIZON
數量	2	2	2	6	2

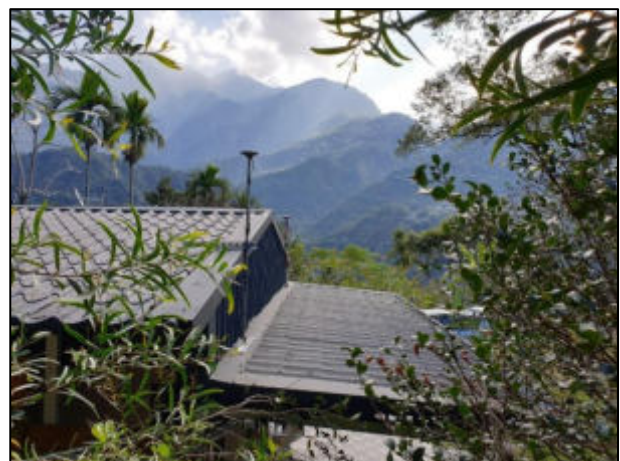


圖 2-6 地面 GNSS 衛星定位儀實際作業照

2-3 掃瞄飛航規劃

2-3-1 作業原則

一、航線規劃

- (一) 空載光達掃瞄飛航計畫範圍應包含全部工作區域。
- (二) 飛機換航線之轉彎掃瞄資料，不得使用於後續航帶平差及 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) 航帶重疊率：本案航線規劃全數採用左右重疊 50%，優於原計畫成果規範(其重疊率應大於 40%)。
- (五) 航拍影像前後重疊率規劃為 80% (優於原規範前後重疊率應為 60% ± 5%)，側向重疊率依空載光達航帶重疊率設計。
- (六) 航拍影像 GSD (Ground sample distance) 應優於或等於 25 公分。
- (七) 空載光達掃瞄之 FOV (Field of View) 設定不應超過 40 度。
- (八) 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、航帶平差控制點及平面控制點布設條件

- (一) 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)。
- (二) 相鄰之測區接邊處應共用控制點。
- (三) 航帶平差控制點位應設置鋼標(釘)，若於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。

2-3-2 109 年航線規劃成果

- 一、區域特性：測區大部分落在南投縣，僅有少部分位於花蓮縣，地勢高低落差大(466 m ~ 3832 m)。包含三條坡度大的河流上游段，又南端緊鄰台灣第一高峰—玉山主峰(海拔標高 3952 公尺)，其山脈縱橫所形成的溪谷地形提高飛航掃瞄作業難度。
- 二、航線規劃：依據前述區域計畫特性，共規劃 133 條航線(圖 2-7)，航線總長 3148 km，航高橫跨 3000 m ~ 4600m，確保成果符合作業規範，其航線規劃參數如表 2-8，航線分布如圖 2-7，各航線詳細資訊如附件六。

表 2-8 4-2 測區航線規劃參數

項次	項目	內容	
1	航線高度	3000 m	航線 42001~42029、42037
		3300 m	航線 42030、42070
		3400 m	航線 42072~42075、42081~42083、42127、42201、42202
		3500 m	航線 42031~42036
		3600 m	航線 42043、42084~42086
		3700 m	航線 42038~42042、42044~42046、42203
		3800 m	航線 42047~42052、42087、42089、42206
		3900 m	航線 42071、42204
		4000 m	航線 42053~42055、42065~42068、42076~42080、42102~42106、42205
		4100 m	航線 42088
		4200 m	航線 42056、42063~42064、42090~42101、42115~42126
		4300m	航線 42107~42114
		4400 m	航線 42057、42060~42062、42069、42096
		4600 m	航線 42058~42059
2	航空攝影	概略地表解析度	18~22 cm
		前後重疊	80%
		左右重疊 iXU-RS1000	65%
		左右重疊 iXA-180	60%
3	空載光達	左右重疊 (FOV 40 度)	50%
		發射頻率	230 kHz
		點雲密度	2 點/m ²

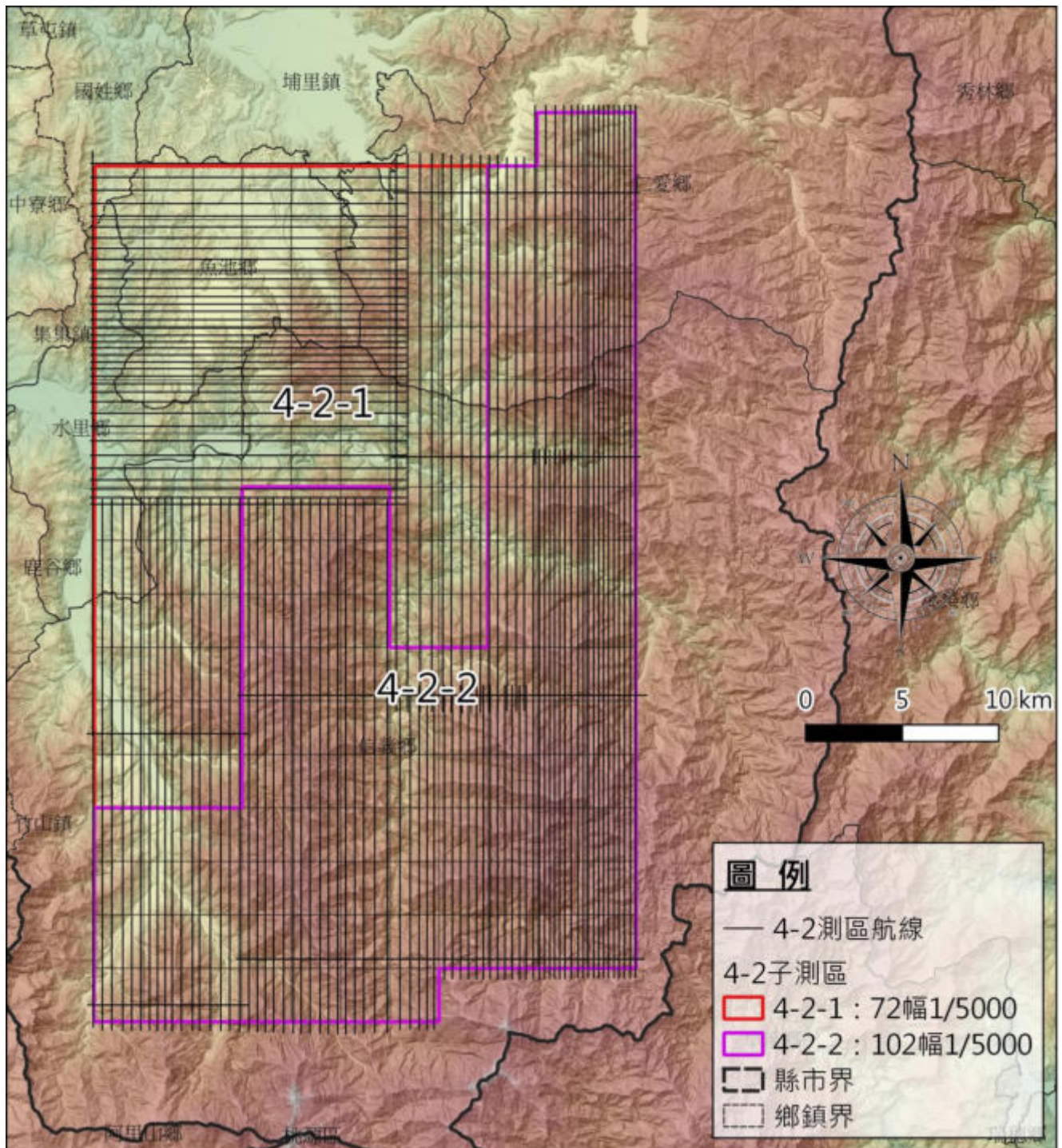


圖 2-7 航線規劃圖

2-3-3 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、本案於 108 年 1 月 23 日提送航攝實施計畫予監審單位(自工字 108015259 號)，並於 108 年 1 月 24 日審核通過(成大研總字第 1081100861 號)。108

年 1 月 24 日提送內政部航攝申請(自工字 108015262 號)，於 108 年 3 月 5 日獲得內政部航攝許可(台內地字第 1080108362 號)，同日依據內政部航攝許可函文申請民航局飛航許可(自工字 108035312 號)，後於 108 年 3 月 18 日獲得民航局飛航許可(空運管字第 1080006300 號)。因應本案民航局飛航許可以年度為申請單位，續於 108 年 12 月 30 日向民航局申請飛航許可展延(自工字第 108126118 號)，並於 109 年 1 月 8 日獲民航局飛航展延許可(空運管字第 1090000667 號)，相關函文詳見附件一。

2-4 空載光達率定作業

空載光達雷射掃瞄儀與儀器載具所有之 GNSS/IMU (Global Positioning System / Inertial Measurement Unit) 擁有自身的坐標系統，分別記錄兩者在掃瞄作業時的絕對位置以及姿態角度。因掃瞄儀在每一次與載具的安置作業中都會產生不同的偏移量，故需於每一次安置作業完成後，或於安置固定時間過長後，進行空載光達率定作業，以修正兩坐標系統間姿態角與空間位移的偏移量，降低掃瞄時所產生的系統誤差。其主要包含兩程序。其一為 GNSS/IMU 與空載光達儀器之三軸差量，其二為 GNSS/IMU 與空載光達三軸旋轉量。

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。
- (五) 率定場 GNSS 基地站：設置在率定場 5 公里範圍內，仰角 10 度內無遮蔽之透空極佳處，避開車輛、電塔、基地台與多路徑反射效應等干擾位置；儀器使用檢校過的雙頻 GNSS，觀測過程中 PDOP 需小於 4，且衛星數量需大於 6 顆，並以 2Hz/s 之接收頻率加以記錄。

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。

三、率定場選定-彰化縣和美鎮

依據 Riegl 原廠建議率定說明文件，率定場必須具備足夠量的平坦空地與建物。各建物的屋頂，其直角必須呈多方向排列，且飛航掃瞄重疊率必須大於 50%、點雲密度大於 4 點/平方公尺，並以相同航高但不同方向之航線進行掃瞄。依據前述條件，本計畫選定「彰化縣和美鎮」作為空載光達率定場，以下分別描述其航線規劃、實際現況以及相關地理與地形條件。

- (一) 設定長寬各約 1 公里範圍（圖 2-8），共規劃 6 條航線(航高 500m)，共擁有 4 個不同航向，以及航線 7、8 確認飛行（航高 1000m）檢核率定成果(圖 2-9)。

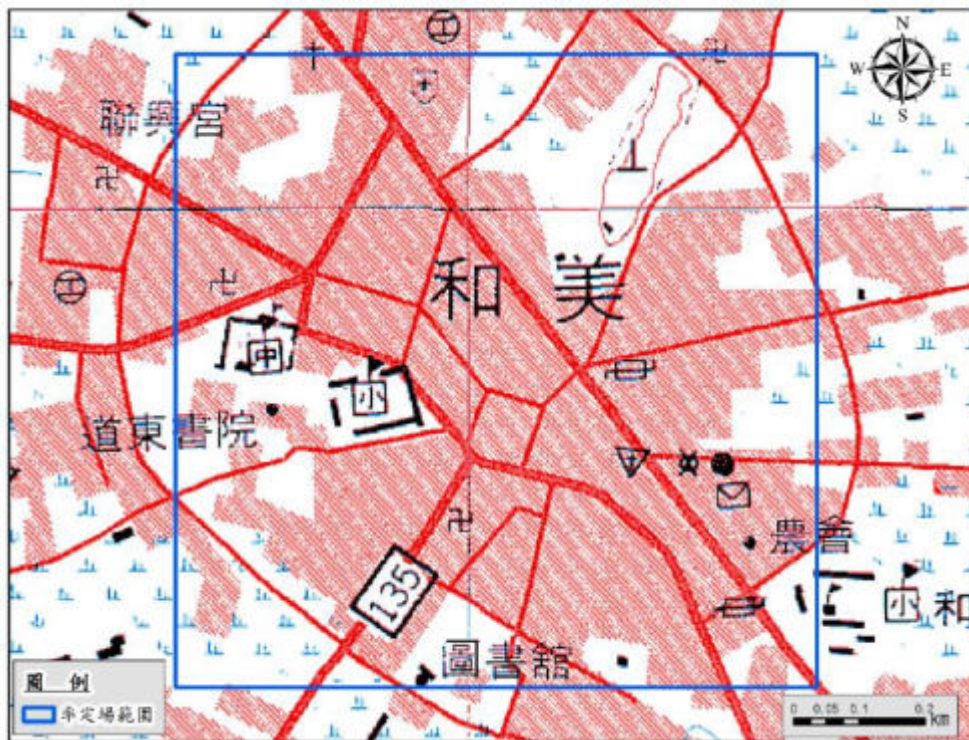
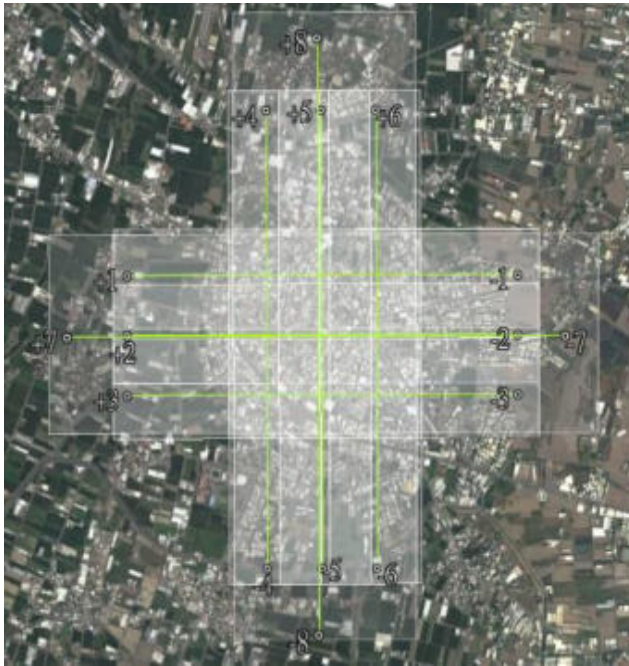


圖 2-8 率定場位置示意圖



項目	內容
航高	500m (航線 1~6) 1000m (航線 7~8)
雷射脈衝 頻率	400 KHz
航線方向	東→西 (航線 1、3)
	西→東 (航線 2)
	南→北 (航線 4、6)
	北→南 (航線 5)
點雲密度	大於 4 點/平方米
側向重疊	大於 50%

圖 2-9 彰化和美率定場航線規劃資訊

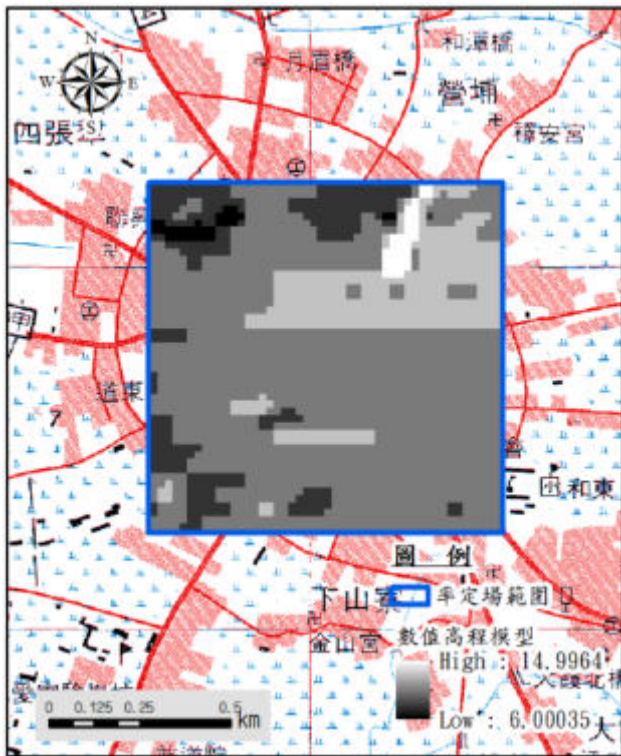
(二) 率定場現況屋頂樣貌多為低矮平房(圖 2-10)，提高低航線作業安全。另外，建物多為山形屋頂且較少特殊構造形狀，並且相應於道路擁有多方向的屋頂可作為率定作業所需的共軛平面，提高空載光達率定作業精度以及可靠度。



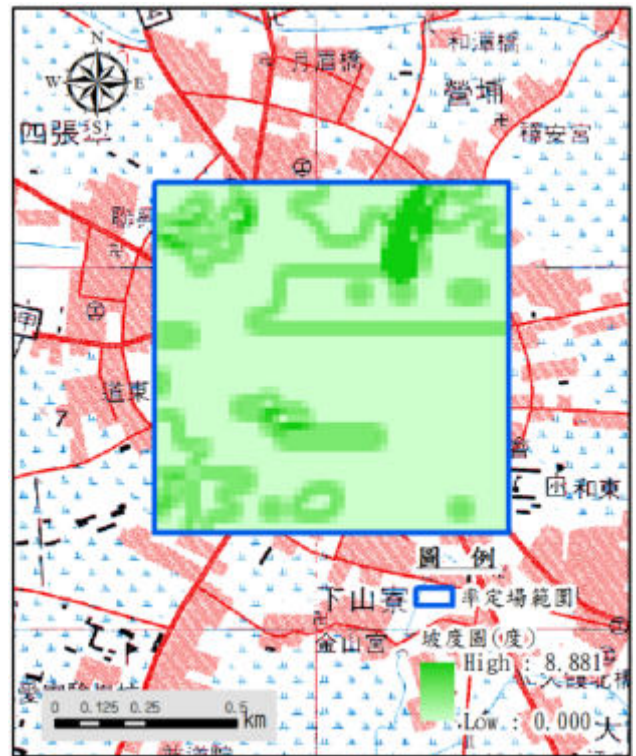
資料來源：空載光達掃描率定作業同步拍攝之傾斜像機系統原始航拍影像

圖 2-10 彰化縣和美鎮實況

(三) 針對率定場「地理位置」、「地形與地勢」、「地表覆蓋」以及「地層下陷情勢」分別繪製率定場範圍以及相關資料如圖 2-11，詳細說明請參閱附件八空載光達率定報告書。



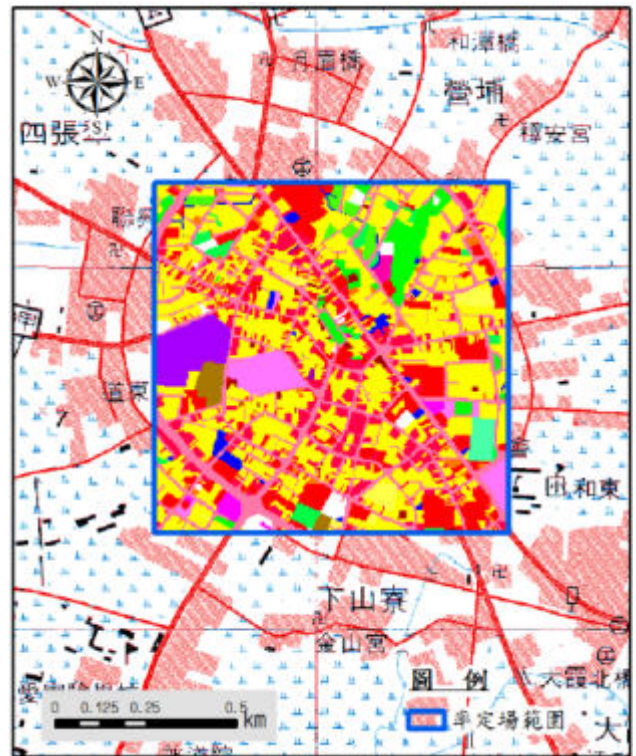
(a) 彰化和美率定場



(b) 率定場坡度圖



(c) 正射影像套疊植被覆蓋範圍



(d) 土地利用調查成果

資料來源： 國土測繪中心「國土利用調查成果資訊網」101 年度土地利用調查成果
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」

圖 2-11 彰化縣和美鎮正射影像套疊植被覆蓋範圍與土地利用調查成果

2-4-2 執行率定作業

本計畫設定「彰化縣和美鎮」作為空載光達率定場，並於 108 年 12 月 20 日執行飛航率定掃瞄任務，續進行率定解算作業。

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：於內政部公告之三等衛星控制點 NM45 及 M807 上架設 GNSS，詳細位置分布圖如圖 2-12，GNSS 基地站坐標位置如表 2-9，於觀測應符合下列條件：

- (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。

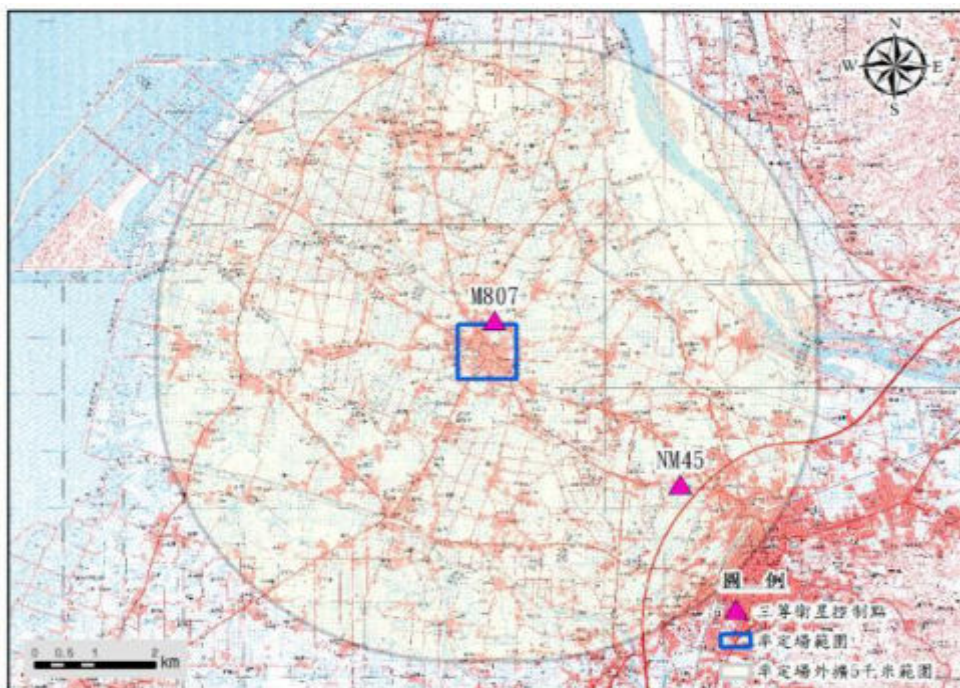


圖 2-12 彰化和美率定場 GNSS 基地站分布圖

表 2-9 率定場 GNSS 基地站坐標位置

項次	點號	經度	緯度	TWD97【2010】			類型
				X	Y	h	
1	M807	24:07:01.84	120:29:53.70	198997.112	2668091.614	38.057	三等衛星控制點
2	LSB0	24:09:12.15	120:38:03.23	212830.095	2672057.615	121.795	衛星追蹤站

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，詳述於附件八率定報告書中。

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 量測作業照如圖 2-13。



圖 2-13 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 108 年 12 月 20 日執行彰化縣和美鎮率定飛行，點雲成果以航線分色展示如圖 2-14，率定解算成果如表 2-10，相關描述詳如附件八。

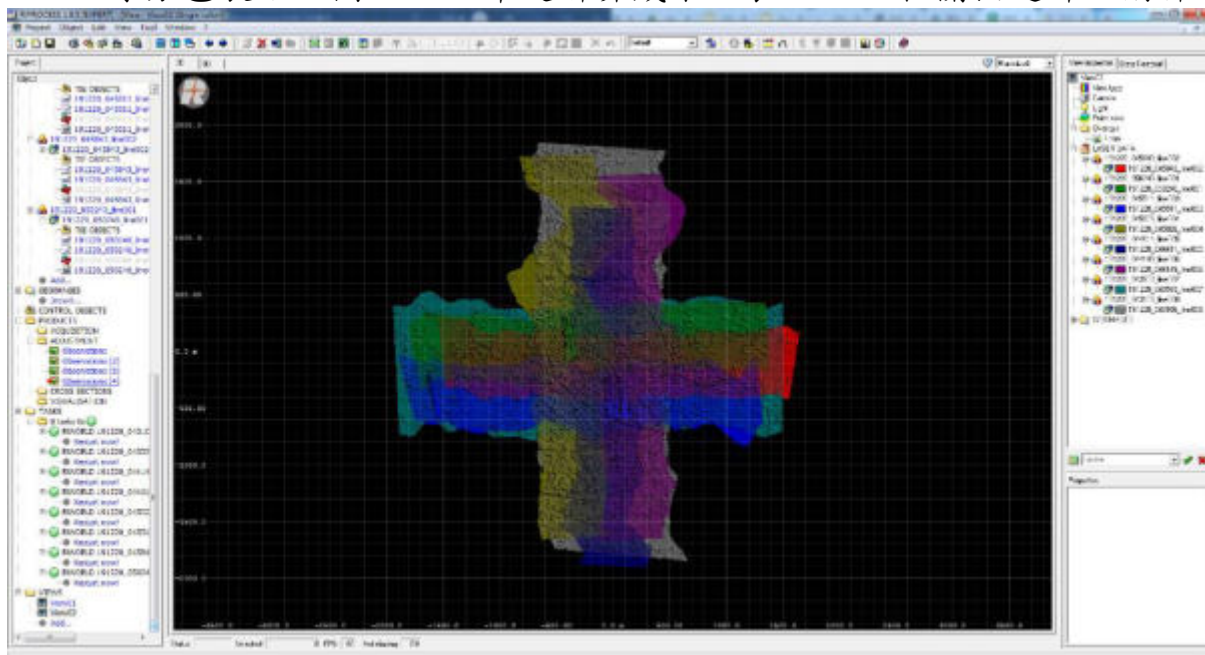


圖 2-14 率定場點雲成果展示

表 2-10 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	27866	率定解算結果
	Error (Std. deviation) [m]	0.0352	
	Roll	-0.19927	
	Pitch	0.11480	
	Yaw	-0.19940	以儀器規格計算
	X	0.057	
	Y	0.019	
	Z	0.271	

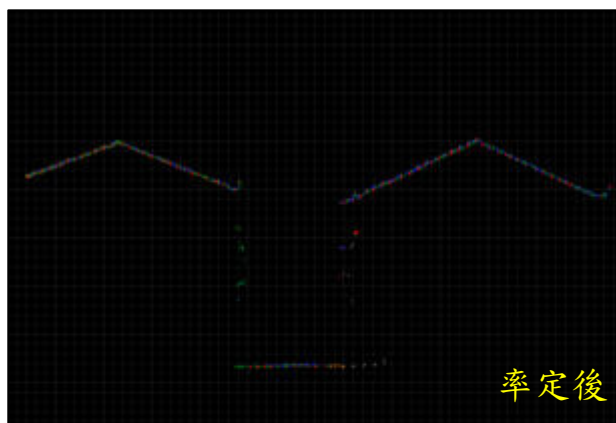
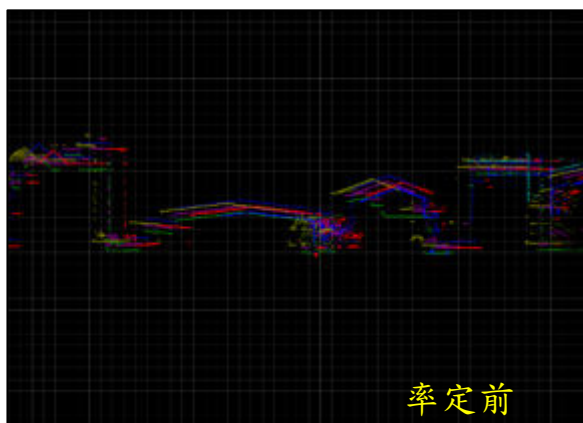


圖 2-15 代入率定值前後點雲剖面

八、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。
- (三) 地面控制檢核點：依據彰化縣政府「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」控制點測量成果共 6 點，於率定飛航點雲平差完成後進行地表點分類，再針對地表點執行 TerraScan 模組之 Output control report 之功能，清列與控制點最近之光達測點，並計算其與控制點之高程誤差(表 2-11 以及表 2-12)，成果均符合本案精度規範要求。

表 2-11 率定場高程控制點檢核成果(正規航線)

點號	高程控制點			點雲高程	高程誤差
	E	N	Z 橢高		
ST1304	199200.341	2667417.881	26.850	26.837	-0.013
ST1308	199066.653	2668158.878	26.550	27.593	0.022
ST1317	198308.166	2667334.217	26.201	26.240	0.039
ST1320	199270.786	2666911.524	27.007	27.006	-0.001
ST1329	198587.336	2667697.951	25.959	25.904	-0.055

表 2-12 率定場高程控制點檢核成果(確認航線)

點號	高程控制點			點雲高程	高程誤差
	E	N	Z 橢高		
ST1304	199200.341	2667417.881	26.850	26.840	-0.010
ST1308	199066.653	2668158.878	26.550	26.593	0.022
ST1317	198308.166	2667334.217	26.201	26.267	0.066
ST1320	199270.786	2666911.524	27.007	27.017	0.010
ST1329	198587.336	2667697.951	25.959	25.909	-0.050

- 九、本計畫於 108 年 12 月 20 日執行空載光達率定作業，並於 109 年 4 月 8 日提送空載光達率定報告書(自工字第 108045376 號)，並於 109 年 4 月 30 日獲得監審單位審核通過(成大研總字第 1081103677 號)，相關函文詳如附件一。

2-5 控制測量

2-5-1 地面 GNSS 基地站

- 一、空載光達資料獲取同時，應於掃瞄區域內 20 公里範圍內，選取 2 點以上之透空度佳(仰角 10 度以上無遮蔽)的地面 GNSS 基地站。
- 二、控制點平面採用 TWD97 坐標系統，並採用內政部最新公布之坐標成果，高程則採用橢球高系統。
- 三、採 GNSS 靜態測量，精度應符合內政部「基本測量實施規則」之加密控制測量規定。
- 四、繳交測量成果時，應包含使用之平面及高程地面控制點分布圖及說明、點之記、固定基站透空圖、原始觀測數據等。原始觀測數據如以電子記錄式儀器觀測，應依日期分檔繳交原始觀測數據。
- 五、本案依據作業規範，測區航線皆須在 2 站 GNSS 基地站外擴 20 公里範圍內，本公司蒐集測區 20 公里範圍內既有 GNSS 基地站資訊如表 2-13，本公司原規劃於南投縣地利國小及東埔派出所 2 處地點架設雙主站(ST10、ST11、ST12、ST13)，以滿足基站範圍能完整涵蓋測區之契約規範，惟前述 2 處地點之雙主站外擴 20 公里仍未能涵蓋測區東側區域(如圖 2-16)，必須外擴 27 公里方能滿足基站範圍能完整涵蓋測區，相關資料經監審單位及主辦機關審查同意(如附件一)，其中地利國小因故須改至雙龍派出所，本計畫業於 109 年 1 月 8 日重新提送 GNSS 基站規劃資料予監審單位審查(如附件一)，惟雙龍派出所及東埔派出所仍無法提供架設 GNSS 基站，故本計畫重新規劃於南投縣地利村那卡斯營地及東埔村帝綸溫泉度假大飯店架設 GNSS 基地站(資訊如表 2-14)。

表 2-13 計畫區域周圍既有 GNSS 基地站列表

點號	單位	站名	行政區	概略 x	概略 y
CHIU	交通部氣象局	九份二山	南投縣國姓鄉	232586	2648985
CN09	其他單位	CN09		264871	2659179
CN16	其他單位	CN16		237256	2606345
KFN2	內政部國土測繪中心	高峰	南投縣仁愛鄉霧社高峰茶園	261885	2653669
PLIM	內政部國土測繪中心	埔里	南投縣埔里鎮	248169	2652131
SANL	交通部氣象局	杉林溪	南投縣竹山鎮	226392	2617886
SINY	內政部國土測繪中心	信義	南投縣信義鄉信義國民中學	235030	2621419
SUN1	交通部氣象局	日月潭 1	南投縣魚池鄉	240667	2641874

點號	單位	站名	行政區	概略 x	概略 y
TATA	交通部氣象局	塔塔加	南投縣信義鄉	238463	2597597
WANS	交通部氣象局	望鄉	南投縣信義鄉	238284	2611561
YUSN	交通部氣象局	玉山	南投縣信義鄉	245827	2598246

表 2-14 自架 GNSS 基地站列表

點號	單位	站名	行政區	概略 x	概略 y
ST10	自強	地利 1	南投縣信義鄉地利村	244843	2632237
ST11	自強	地利 2	南投縣信義鄉地利村	244843	2632237
ST12	自強	東埔 1	南投縣信義鄉東埔村	242556	2606474
ST13	自強	東埔 2	南投縣信義鄉東埔村	242559	2606472

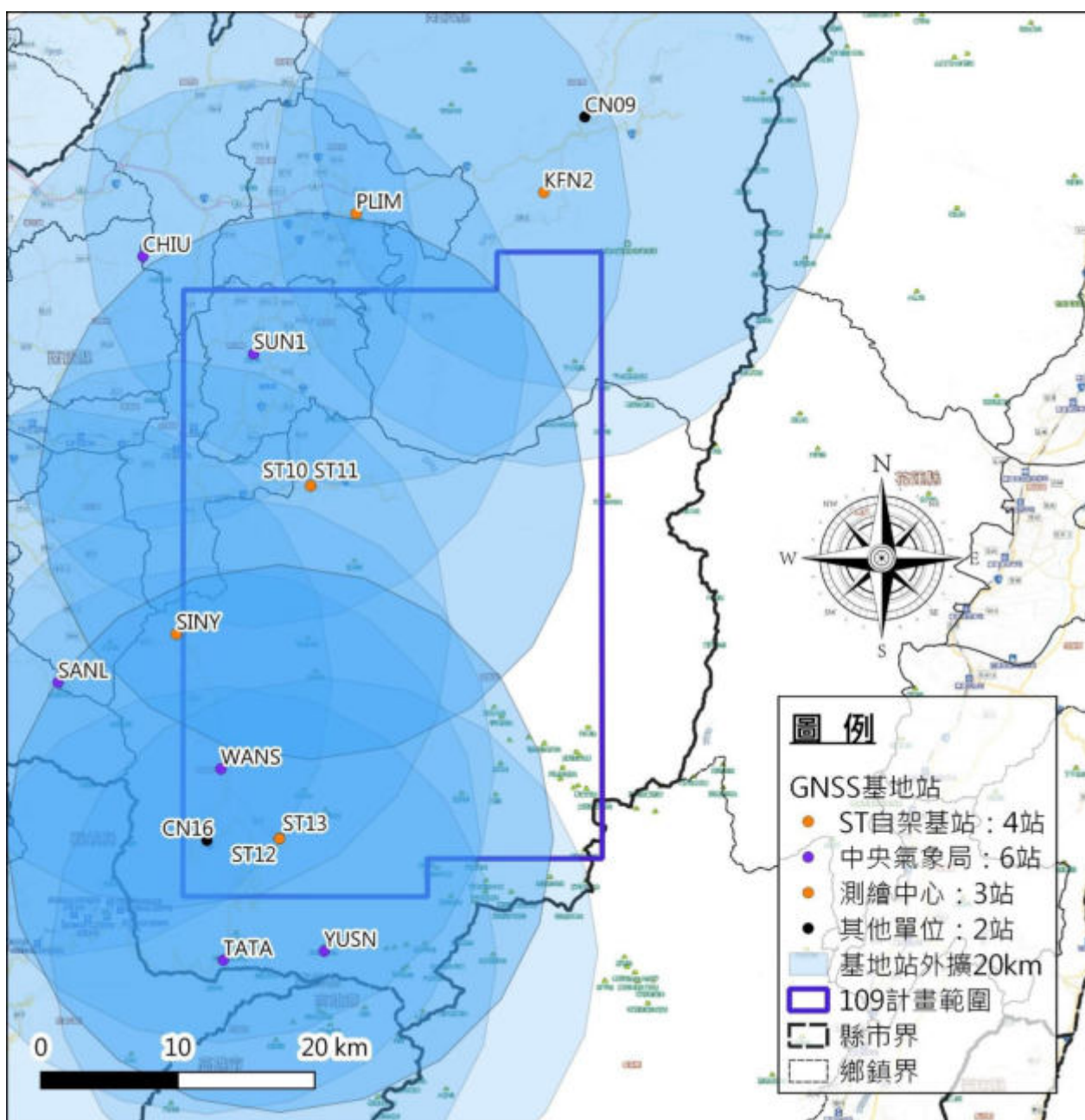


圖 2-16 GNSS 基地站以及 20km 範圍分布圖

前述 4 個自架 GNSS 基地站(ST10、ST11、ST12、ST13)須外擴至 27 公里，其他 11 個既有 GNSS 基地站則維持本案作業規範規定(GNSS 基地站外擴 20 公里範圍)，方可涵蓋全部測區(如圖 2-17)，以確保測區航線內皆能有 2 站以上 GNSS 基地站涵蓋。

前述 GNSS 基地站架設相關資訊已於 109 年 1 月 15 日提送監審單位(自工字第 109016171 號)確認，並於 109 年 1 月 21 日獲得監審單位判定屬實(成大研總字第 1091100650 號)，續於 109 年 1 月 22 日獲得主辦機關核可(測形字第 1091330555 號)，並於 109 年 3 月 12 日獲得監審單位解算各基地站坐標成果(成大研總字第 1091101624 號)，相關函文詳如附件一。

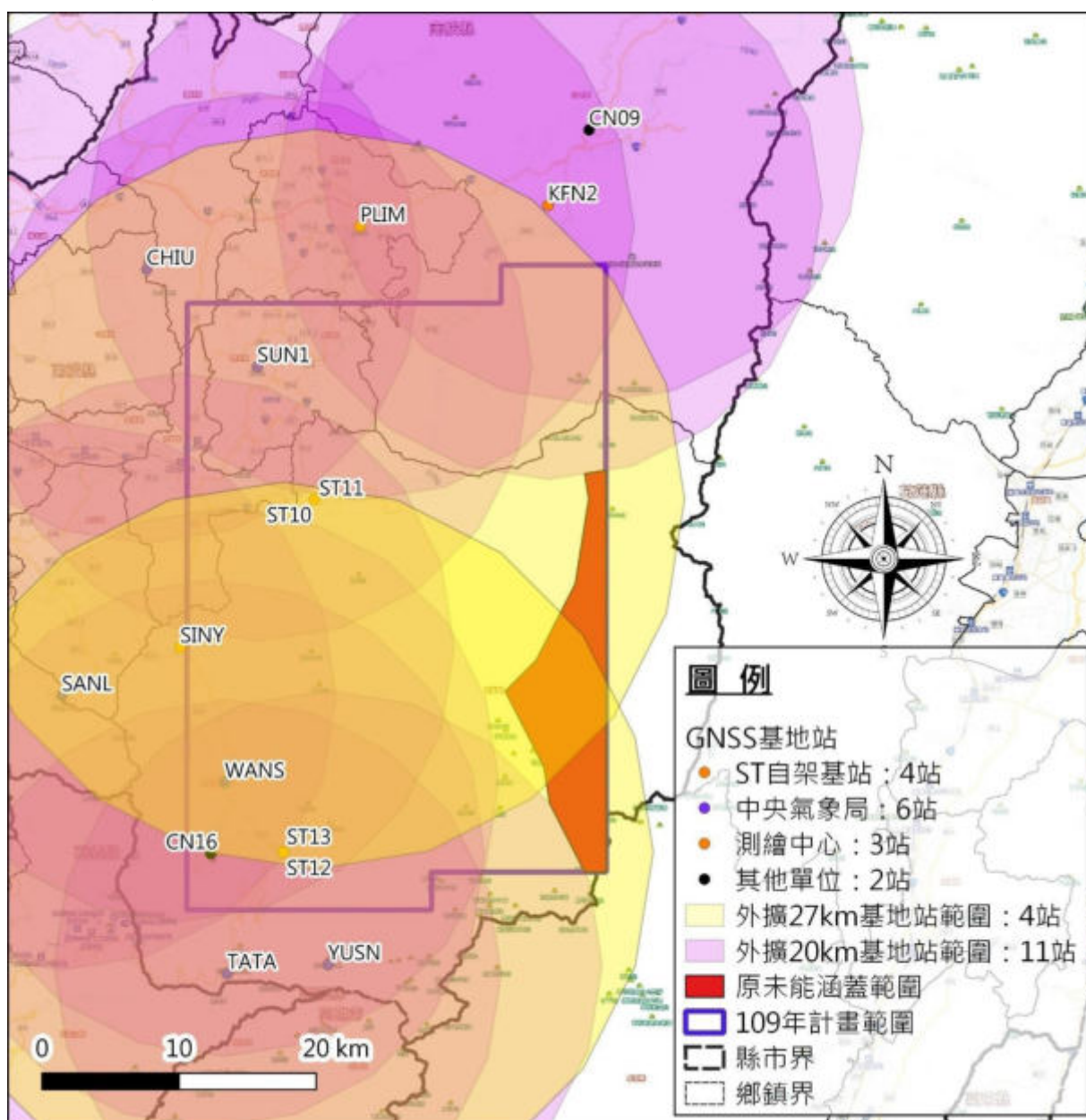


圖 2-17 GNSS 基地站涵蓋範圍調整後成果

2-5-2 航帶平差控制點及平面控制點控制點測量

一、依據作業規範規劃航帶平差控制點共 186 點，其中包含 68 點 VBS-RTK 測點，以及 118 點空三測點，詳細分布如圖 2-18。

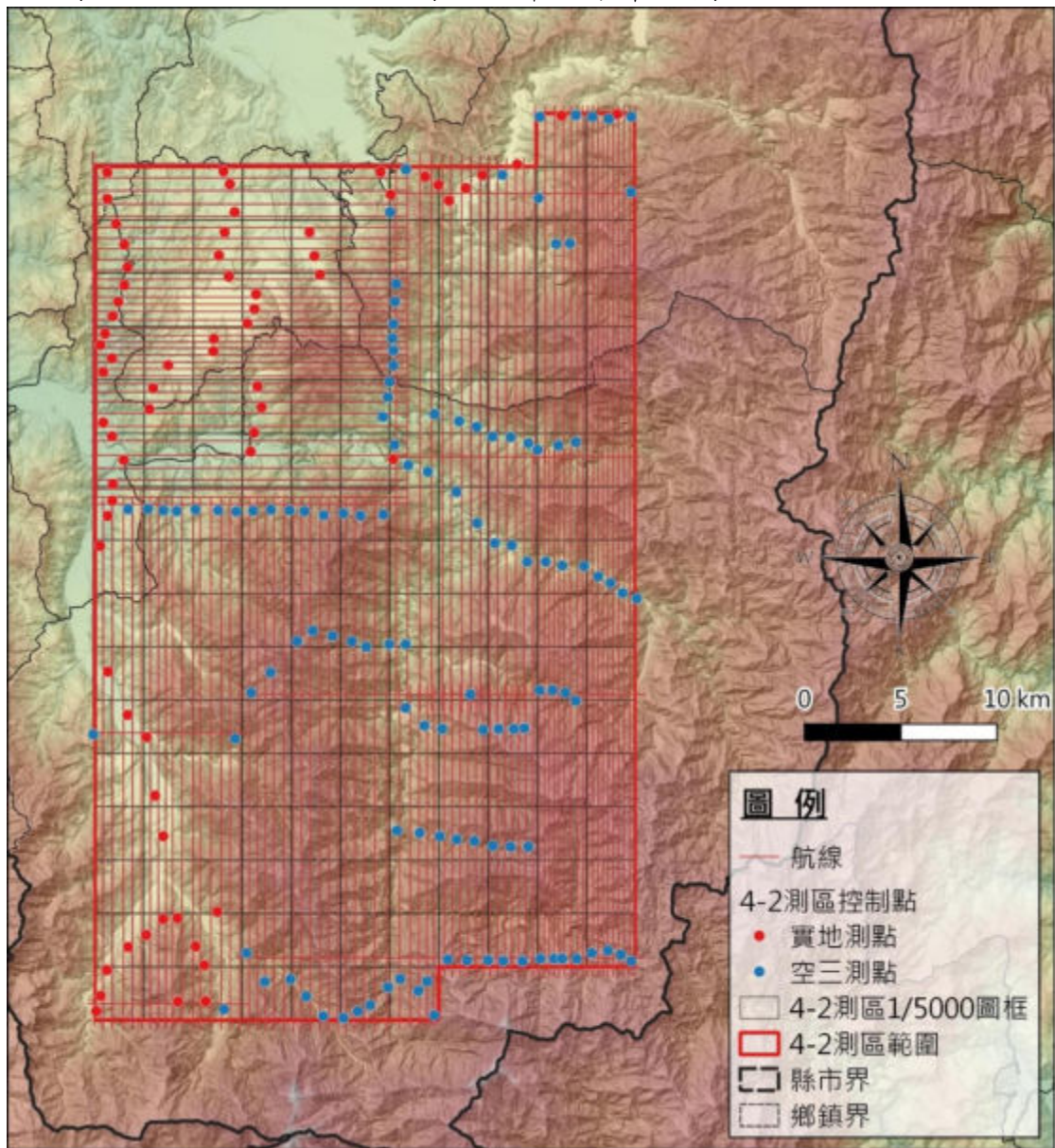


圖 2-18 航帶平差控制點分布

二、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，重複觀測至少 2 次，每次收斂筆數應達 180 筆(圖 2-19)，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，成果如表 2-15 以及表 2-16，全數符合作業規範。測量成果利用內政部測繪中心網頁版坐標轉換功能轉換至 TWD97【2010】，成果如表 2-16 至表 2-18，點位紀錄表如圖 2-20、附件三以及附件四。其中 A 類點代表航帶平差高程控制點，B 類點代表航帶平差平面控制點。



圖 2-19 平差控制點 VBS-RTK 工作照

表 2-15 航帶平差高程控制點檢測成果(e-GNSS 2019)

點名	縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)	平面差	高程差	坐標平均值		
						縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)
42-0001A	2646190.366	236163.361	559.800	0.011	-0.031	2646190.367	236163.366	559.816
	2646190.368	236163.372	559.831					
42-0002A	2644809.917	236298.267	704.365	0.030	0.025	2644809.932	236298.270	704.353
	2644809.946	236298.273	704.340					
42-0003A	2643556.630	236662.212	598.421	0.020	-0.026	2643556.639	236662.214	598.434
	2643556.649	236662.217	598.446					
42-0004A	2642379.122	236959.555	556.832	0.007	-0.006	2642379.122	236959.551	556.835
	2642379.122	236959.548	556.838					
42-0005A	2641252.118	237260.930	480.934	0.009	0.029	2641252.121	237260.926	480.919
	2641252.124	237260.923	480.905					
42-0006A	2640552.298	236888.392	484.751	0.011	-0.010	2640552.294	236888.396	484.756
	2640552.291	236888.400	484.761					
42-0007A	2639502.667	236675.692	481.225	0.011	0.017	2639502.671	236675.688	481.217
	2639502.674	236675.684	481.208					
42-0008A	2638880.808	236573.274	467.988	0.020	-0.082	2638880.810	236573.264	468.029
	2638880.811	236573.254	468.070					
42-0009A	2638071.353	235963.232	468.856	0.008	0.027	2638071.357	235963.233	468.843
	2638071.360	235963.235	468.829					
42-0010A	2637332.643	235753.274	422.111	0.030	0.018	2637332.637	235753.288	422.101
	2637332.630	235753.302	422.092					
42-0011A	2636418.404	236374.673	345.027	0.004	0.015	2636418.403	236374.675	345.019
	2636418.402	236374.677	345.012					
42-0012A	2635862.532	235963.715	340.474	0.030	0.003	2635862.544	235963.725	340.472
	2635862.555	235963.735	340.471					
42-0013A	2633151.019	235880.638	351.446	0.019	0.035	2633151.016	235880.647	351.429
	2633151.012	235880.655	351.411					
42-0014A	2632472.816	236406.317	384.128	0.005	-0.002	2632472.817	236406.319	384.129
	2632472.818	236406.321	384.131					
42-0015A	2631479.753	237065.975	341.772	0.005	0.047	2631479.751	237065.974	341.748
	2631479.749	237065.973	341.725					
42-0016A	2630085.246	236322.446	343.422	0.008	-0.019	2630085.242	236322.444	343.431
	2630085.238	236322.442	343.441					
42-0017A	2629364.891	236325.393	386.373	0.009	-0.016	2629364.889	236325.397	386.381
	2629364.886	236325.401	386.389					
42-0018A	2628509.566	236179.616	414.601	0.007	-0.015	2628509.566	236179.619	414.608
	2628509.566	236179.623	414.616					
42-0019A	2626796.194	235706.334	427.985	0.018	0.002	2626796.188	235706.341	427.984
	2626796.182	235706.348	427.983					
42-0020A	2620104.253	236135.471	548.784	0.012	0.000	2620104.249	236135.466	548.784
	2620104.246	236135.461	548.784					

點名	縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)	平面差	高程差	坐標平均值		
						縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)
42-0021A	2618089.118	237140.752	598.969	0.009	0.004	2618089.114	237140.754	598.967
	2618089.110	237140.756	598.965					
42-0022A	2616329.351	237878.695	663.012	0.009	0.010	2616329.354	237878.699	663.007
	2616329.357	237878.702	663.001					
42-0023A	2613851.351	238609.662	716.584	0.011	-0.003	2613851.353	238609.667	716.586
	2613851.355	238609.672	716.587					
42-0024A	2611853.123	239074.713	774.376	0.022	0.035	2611853.131	239074.720	774.359
	2611853.139	239074.728	774.341					
42-0025A	2607641.661	239800.925	1345.422	0.000	-0.033	2607641.662	239800.925	1345.438
	2607641.662	239800.925	1345.454					
42-0026A	2607532.557	239040.294	1329.211	0.008	-0.055	2607532.554	239040.296	1329.238
	2607532.550	239040.297	1329.265					
42-0027A	2606616.368	238171.592	1247.620	0.012	-0.060	2606616.362	238171.594	1247.650
	2606616.357	238171.596	1247.680					
42-0028A	2605996.396	237258.710	1119.181	0.008	-0.019	2605996.397	237258.713	1119.191
	2605996.399	237258.717	1119.200					
42-0029A	2604758.394	236201.487	1026.933	0.015	-0.004	2604758.387	236201.488	1026.935
	2604758.379	236201.490	1026.937					
42-0030A	2603488.507	235811.165	1268.820	0.018	-0.051	2603488.513	235811.171	1268.846
	2603488.520	235811.177	1268.871					
42-0031A	2602698.178	235570.365	1229.173	0.007	-0.044	2602698.177	235570.362	1229.196
	2602698.175	235570.359	1229.218					
42-0032A	2606066.029	240655.638	1428.042	0.016	-0.028	2606066.028	240655.630	1428.056
	2606066.027	240655.623	1428.069					
42-0033A	2605082.317	241157.647	1493.247	0.002	-0.014	2605082.318	241157.647	1493.253
	2605082.319	241157.647	1493.260					
42-0034A	2603191.221	241261.183	1652.283	0.027	-0.015	2603191.227	241261.171	1652.291
	2603191.233	241261.159	1652.299					
42-0035A	2603197.830	239894.868	2181.308	0.005	-0.019	2603197.832	239894.866	2181.318
	2603197.833	239894.864	2181.327					
42-0036A	2607785.636	241759.038	1216.441	0.009	0.008	2607785.638	241759.042	1216.437
	2607785.640	241759.045	1216.433					
42-0037A	2646264.358	242119.216	630.175	0.006	-0.020	2646264.355	242119.216	630.185
	2646264.352	242119.217	630.195					
42-0038A	2645680.073	242517.019	657.689	0.007	0.004	2645680.069	242517.019	657.687
	2645680.065	242517.020	657.685					
42-0039A	2644223.879	242746.171	663.275	0.008	0.016	2644223.875	242746.174	663.267
	2644223.872	242746.177	663.259					

點名	縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)	平面差	高程差	坐標平均值		
						縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)
42-0040A	2643155.570	242263.694	683.604	0.013	0.010	2643155.564	242263.696	683.599
	2643155.558	242263.697	683.594					
42-0041A	2642028.388	241893.102	710.068	0.008	0.011	2642028.390	241893.106	710.063
	2642028.392	241893.109	710.057					
42-0042A	2640750.714	242544.557	831.338	0.009	-0.025	2640750.719	242544.556	831.351
	2640750.723	242544.555	831.363					
42-0043A	2640021.503	243635.552	803.001	0.008	0.031	2640021.500	243635.552	802.985
	2640021.496	243635.552	802.970					
42-0044A	2639254.282	243886.959	807.320	0.017	0.059	2639254.281	243886.967	807.290
	2639254.279	243886.975	807.261					
42-0045A	2638530.800	243484.501	791.671	0.016	-0.053	2638530.804	243484.508	791.697
	2638530.807	243484.515	791.724					
42-0046A	2637541.261	241719.937	844.174	0.010	0.036	2637541.256	241719.938	844.156
	2637541.251	241719.939	844.137					
42-0047A	2636945.176	241612.746	793.611	0.003	0.001	2636945.175	241612.746	793.611
	2636945.173	241612.746	793.611					
42-0048A	2636257.599	239231.905	672.178	0.014	0.008	2636257.598	239231.912	672.174
	2636257.596	239231.919	672.170					
42-0049A	2635044.333	238516.176	683.818	0.026	0.016	2635044.328	238516.187	683.810
	2635044.322	238516.199	683.801					
42-0050A	2633760.001	238247.604	588.095	0.025	0.034	2633760.013	238247.602	588.078
	2633760.026	238247.599	588.061					
42-0051A	2635170.801	243921.199	746.530	0.014	0.003	2635170.806	243921.204	746.528
	2635170.810	243921.210	746.527					
42-0052A	2634107.026	244135.866	582.630	0.016	0.020	2634107.025	244135.874	582.620
	2634107.024	244135.882	582.610					
42-0053A	2632695.184	243777.924	440.302	0.008	-0.010	2632695.187	243777.922	440.307
	2632695.190	243777.919	440.311					
42-0054A	2631896.241	243621.144	399.813	0.018	0.007	2631896.249	243621.149	399.810
	2631896.257	243621.153	399.806					
42-0055A	2643036.045	246682.297	675.046	0.008	-0.022	2643036.045	246682.301	675.057
	2643036.046	246682.305	675.067					
42-0056A	2641863.243	247053.852	722.516	0.011	0.035	2641863.243	247053.858	722.499
	2641863.243	247053.863	722.481					
42-0057A	2640906.308	247335.949	761.022	0.004	-0.010	2640906.307	247335.948	761.027
	2640906.306	247335.946	761.032					
42-0058A	2631414.935	251094.116	493.037	0.018	0.003	2631414.942	251094.121	493.036
	2631414.950	251094.126	493.034					

點名	縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)	平面差	高程差	坐標平均值		
						縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)
42-0059A	2646283.654	250404.044	606.846	0.014	0.010	2646283.660	250404.046	606.841
	2646283.667	250404.048	606.835					
42-0060A	2645118.752	250882.626	729.326	0.005	0.024	2645118.751	250882.624	729.314
	2645118.751	250882.622	729.302					
42-0061A	2646019.286	252624.953	1391.199	0.017	-0.015	2646019.289	252624.945	1391.206
	2646019.292	252624.937	1391.214					
42-0062A	2645673.628	253380.769	1251.934	0.004	0.034	2645673.626	253380.767	1251.917
	2645673.625	253380.766	1251.900					
42-0063A	2644732.897	253922.555	845.659	0.010	-0.040	2644732.903	253922.557	845.679
	2644732.908	253922.558	845.699					
42-0064A	2644988.926	255311.212	777.036	0.004	-0.020	2644988.924	255311.212	777.046
	2644988.923	255311.213	777.056					
42-0065A	2645337.685	256113.939	802.000	0.008	-0.005	2645337.683	256113.943	802.003
	2645337.682	256113.946	802.005					
42-0066A	2646499.966	257286.673	825.376	0.004	0.038	2646499.967	257286.671	825.358
	2646499.967	257286.669	825.339					
42-0067A	2649235.344	259748.860	1309.860	0.017	0.006	2649235.350	259748.867	1309.857
	2649235.356	259748.873	1309.854					
42-0068A	2649357.097	262518.484	1040.848	0.003	0.019	2649357.095	262518.483	1040.838
	2649357.094	262518.483	1040.829					

表 2-16 航帶平差高程控制點 TWD97【2010】成果

點號	轉換前(e-GNSS2019)			轉換後(TWD97【2010】)			
	N	E	h(橢球高)	N	E	正高	h(橢球高)
42-0001A	2,646,190.367	236,163.366	559.816	2,646,190.258	236,163.542	537.399	559.715
42-0002A	2,644,809.932	236,298.270	704.353	2,644,809.823	236,298.453	681.844	704.247
42-0003A	2,643,556.639	236,662.214	598.434	2,643,556.529	236,662.405	575.817	598.322
42-0004A	2,642,379.122	236,959.551	556.835	2,642,379.011	236,959.748	534.118	556.719
42-0005A	2,641,252.121	237,260.926	480.919	2,641,252.011	237,261.128	458.102	480.800
42-0006A	2,640,552.294	236,888.396	484.756	2,640,552.186	236,888.597	461.942	484.638
42-0007A	2,639,502.671	236,675.688	481.217	2,639,502.566	236,675.890	458.369	481.100
42-0008A	2,638,880.810	236,573.264	468.029	2,638,880.707	236,573.466	445.159	467.912
42-0009A	2,638,071.357	235,963.233	468.843	2,638,071.257	235,963.432	445.998	468.729
42-0010A	2,637,332.637	235,753.288	422.101	2,637,332.540	235,753.487	399.239	421.988
42-0011A	2,636,418.403	236,374.675	345.019	2,636,418.306	236,374.880	322.032	344.903
42-0012A	2,635,862.544	235,963.725	340.472	2,635,862.450	235,963.928	317.498	340.358
42-0013A	2,633,151.016	235,880.647	351.429	2,633,150.929	235,880.853	328.269	351.317
42-0014A	2,632,472.817	236,406.319	384.129	2,632,472.731	236,406.529	360.846	384.015

點號	轉換前(e-GNSS2019)			轉換後(TWD97【2010】)			
	N	E	h(橢球高)	N	E	正高	h(橢球高)
42-0015A	2,631,479.751	237,065.974	341.748	2,631,479.666	237,066.190	318.302	341.632
42-0016A	2,630,085.242	236,322.444	343.431	2,630,085.162	236,322.657	319.923	343.319
42-0017A	2,629,364.889	236,325.397	386.381	2,629,364.811	236,325.611	362.795	386.269
42-0018A	2,628,509.566	236,179.619	414.608	2,628,509.491	236,179.833	390.947	414.497
42-0019A	2,626,796.188	235,706.341	427.984	2,626,796.118	235,706.555	404.202	427.876
42-0020A	2,620,104.249	236,135.466	548.784	2,620,104.189	236,135.694	524.287	548.681
42-0021A	2,618,089.114	237,140.754	598.967	2,618,089.048	237,140.990	574.133	598.868
42-0022A	2,616,329.354	237,878.699	663.007	2,616,329.283	237,878.941	637.898	662.912
42-0023A	2,613,851.353	238,609.667	716.586	2,613,851.277	238,609.916	691.142	716.497
42-0024A	2,611,853.131	239,074.720	774.359	2,611,853.051	239,074.975	748.663	774.276
42-0025A	2,607,641.662	239,800.925	1,345.438	2,607,641.583	239,801.194	1,319.343	1,345.385
42-0026A	2,607,532.554	239,040.296	1,329.238	2,607,532.477	239,040.564	1,303.184	1,329.186
42-0027A	2,606,616.362	238,171.594	1,247.650	2,606,616.288	238,171.863	1,221.588	1,247.606
42-0028A	2,605,996.397	237,258.713	1,119.191	2,605,996.326	237,258.982	1,093.162	1,119.153
42-0029A	2,604,758.387	236,201.488	1,026.935	2,604,758.321	236,201.757	1,000.891	1,026.907
42-0030A	2,603,488.513	235,811.171	1,268.846	2,603,488.450	235,811.445	1,242.769	1,268.828
42-0031A	2,602,698.177	235,570.362	1,229.196	2,602,698.115	235,570.639	1,203.078	1,229.183
42-0032A	2,606,066.028	240,655.630	1,428.056	2,606,065.948	240,655.906	1,401.679	1,428.013
42-0033A	2,605,082.318	241,157.647	1,493.253	2,605,082.237	241,157.927	1,466.742	1,493.216
42-0034A	2,603,191.227	241,261.171	1,652.291	2,603,191.145	241,261.460	1,625.639	1,652.267
42-0035A	2,603,197.832	239,894.866	2,181.318	2,603,197.752	239,895.158	2,154.829	2,181.298
42-0036A	2,607,785.638	241,759.042	1,216.437	2,607,785.557	241,759.311	1,189.997	1,216.381
42-0037A	2,646,264.355	242,119.216	630.185	2,646,264.226	242,119.425	607.163	630.062
42-0038A	2,645,680.069	242,517.019	657.687	2,645,679.940	242,517.232	634.588	657.562
42-0039A	2,644,223.875	242,746.174	663.267	2,644,223.747	242,746.395	640.031	663.137
42-0040A	2,643,155.564	242,263.696	683.599	2,643,155.437	242,263.921	660.350	683.466
42-0041A	2,642,028.390	241,893.106	710.063	2,642,028.265	241,893.334	686.778	709.927
42-0042A	2,640,750.719	242,544.556	831.351	2,640,750.597	242,544.790	807.899	831.215
42-0043A	2,640,021.500	243,635.552	802.985	2,640,021.380	243,635.791	779.336	802.849
42-0044A	2,639,254.281	243,886.967	807.290	2,639,254.163	243,887.209	783.545	807.154
42-0045A	2,638,530.804	243,484.508	791.697	2,638,530.688	243,484.750	767.955	791.561
42-0046A	2,637,541.256	241,719.938	844.156	2,637,541.144	241,720.174	820.597	844.022
42-0047A	2,636,945.175	241,612.746	793.611	2,636,945.065	241,612.982	770.031	793.478
42-0048A	2,636,257.598	239,231.912	672.174	2,636,257.494	239,232.136	648.850	672.047
42-0049A	2,635,044.328	238,516.187	683.810	2,635,044.230	238,516.408	660.488	683.687
42-0050A	2,633,760.013	238,247.602	588.078	2,633,759.919	238,247.823	564.686	587.957

點號	轉換前(e-GNSS2019)			轉換後(TWD97【2010】)			
	N	E	h(橢球高)	N	E	正高	h(橢球高)
42-0051A	2,635,170.806	243,921.204	746.528	2,635,170.700	243,921.453	722.522	746.394
42-0052A	2,634,107.025	244,135.874	582.620	2,634,106.922	244,136.125	558.521	582.487
42-0053A	2,632,695.187	243,777.922	440.307	2,632,695.088	243,778.173	416.159	440.176
42-0054A	2,631,896.249	243,621.149	399.810	2,631,896.152	243,621.400	375.614	399.680
42-0055A	2,643,036.045	246,682.301	675.057	2,643,035.921	246,682.538	651.285	674.928
42-0056A	2,641,863.243	247,053.858	722.499	2,641,863.121	247,054.100	698.570	722.369
42-0057A	2,640,906.307	247,335.948	761.027	2,640,906.187	247,336.194	736.971	760.896
42-0058A	2,631,414.942	251,094.121	493.036	2,631,414.844	251,094.395	468.027	492.909
42-0059A	2,646,283.660	250,404.046	606.841	2,646,283.537	250,404.279	582.872	606.726
42-0060A	2,645,118.751	250,882.624	729.314	2,645,118.629	250,882.863	705.196	729.197
42-0061A	2,646,019.289	252,624.945	1,391.206	2,646,019.168	252,625.185	1,366.955	1,391.094
42-0062A	2,645,673.626	253,380.767	1,251.917	2,645,673.505	253,381.010	1,227.550	1,251.805
42-0063A	2,644,732.903	253,922.557	845.679	2,644,732.783	253,922.804	821.184	845.565
42-0064A	2,644,988.924	255,311.212	777.046	2,644,988.805	255,311.461	752.408	776.935
42-0065A	2,645,337.683	256,113.943	802.003	2,645,337.564	256,114.193	777.290	801.894
42-0066A	2,646,499.967	257,286.671	825.358	2,646,499.848	257,286.920	800.556	825.252
42-0067A	2,649,235.350	259,748.867	1,309.857	2,649,235.231	259,749.116	1,284.909	1,309.758
42-0068A	2,649,357.095	262,518.483	1,040.838	2,649,356.978	262,518.733	1,015.555	1,040.742

表 2-17 航帶平差平面控制點檢測成果(e-GNSS 2019)

檢核點名	縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)	平面差	高程差	坐標平均值		
						縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)
42-0001B	2646207.664	236158.894	562.709	0.007	-0.015	2646207.668	236158.894	562.716
	2646207.671	236158.895	562.723					
42-0008B	2638883.271	236576.185	470.108	0.018	0.071	2638883.262	236576.186	470.072
	2638883.253	236576.187	470.037					
42-0017B	2629356.721	236330.932	389.778	0.012	-0.025	2629356.725	236330.928	389.790
	2629356.728	236330.923	389.803					
42-0037B	2646042.025	242385.975	646.384	0.014	-0.016	2646042.018	242385.978	646.391
	2646042.011	242385.980	646.399					
42-0039B	2644242.558	242762.180	668.006	0.016	-0.022	2644242.556	242762.172	668.016
	2644242.554	242762.165	668.027					
42-0044B	2639264.773	243915.366	807.297	0.019	0.010	2639264.782	243915.368	807.292
	2639264.792	243915.370	807.287					
42-0055B	2642948.796	246578.731	681.901	0.006	0.029	2642948.796	246578.728	681.886
	2642948.796	246578.725	681.871					

檢核點名	縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)	平面差	高程差	坐標平均值		
						縱坐標(N)	橫坐標(E)	高程(h)
42-0060B	2645567.366	250523.918	665.936	0.003	-0.006	2645567.367	250523.919	665.939
	2645567.368	250523.920	665.942					
42-0061B	2646443.538	252684.247	1398.460	0.009	-0.018	2646443.542	252684.245	1398.468
	2646443.547	252684.243	1398.477					
42-0066B	2646492.982	257301.697	828.343	0.006	0.021	2646492.979	257301.696	828.333
	2646492.977	257301.694	828.323					

表 2-18 航帶平差平面控制點 TWD97【2010】成果

點號	轉換前(e-GNSS2019)			轉換後(TWD97【2010】)			
	N	E	橢球高	N	E	正高	橢球高
42-0001B	2646207.668	236158.894	562.716	2646207.559	236159.070	540.301	562.615
42-0008B	2638883.262	236576.186	470.072	2638883.159	236576.388	447.202	469.955
42-0017B	2629356.725	236330.928	389.790	2629356.647	236331.142	366.202	389.678
42-0037B	2646042.018	242385.978	646.391	2646041.889	242386.189	623.327	646.267
42-0039B	2644242.556	242762.172	668.016	2644242.428	242762.393	644.780	667.886
42-0044B	2639264.782	243915.368	807.292	2639264.664	243915.610	783.544	807.156
42-0055B	2642948.796	246578.728	681.886	2642948.672	246578.965	658.118	681.757
42-0060B	2645567.367	250523.919	665.939	2645567.244	250524.155	641.904	665.822
42-0061B	2646443.542	252684.245	1398.468	2646443.420	252684.483	1374.232	1398.357
42-0066B	2646492.979	257301.696	828.333	2646492.860	257301.945	803.529	828.227

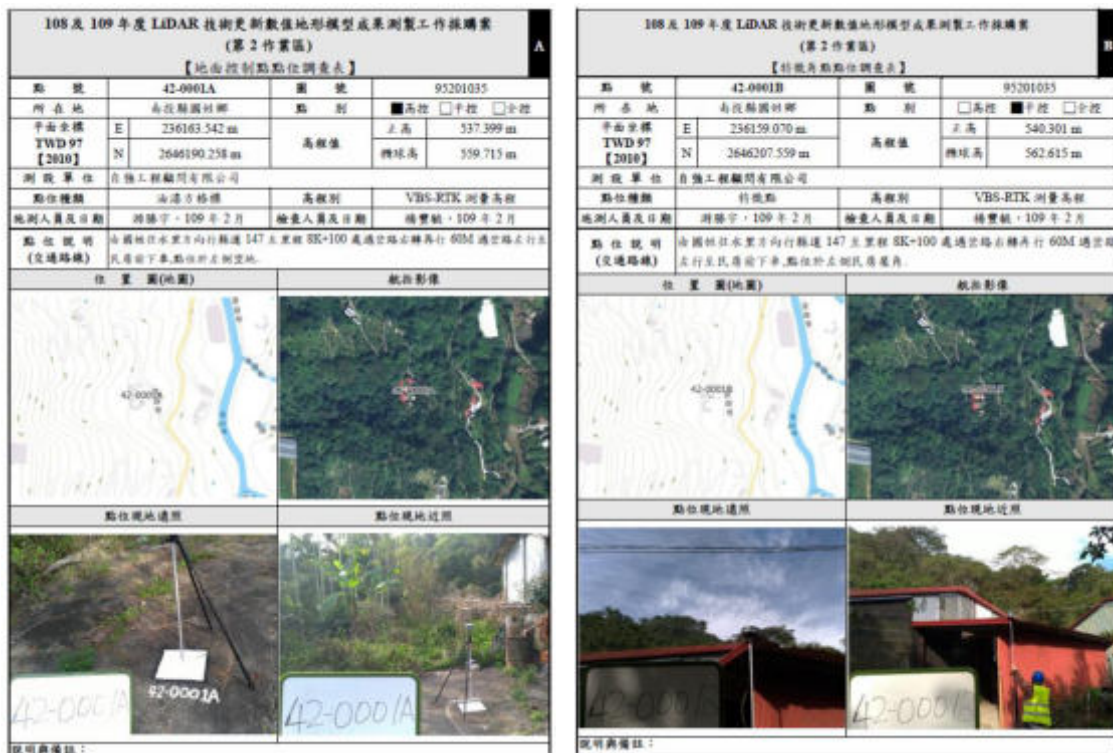


圖 2-20 點位紀錄表(A、B)

三、空中三角測量

因本計畫區域非為都市計畫區，且多位於高山溪谷等自然地貌區域，大部分地表為植被覆蓋，未能有明確有效之人工構造物作網形連結，提高傳統空三角測量作業難度。因此，本計畫採用多影像匹配技術，大量獲取影像匹配點(共軛點)，全面強化相鄰影像之間的相關性。其基於 SIFT(Scale-invariant feature transform)影像匹配演算法，融合攝影測量(Photogrammetry)方法與計算機視覺(Computer Vision)技術(圖 2-21)，提供非常多樣的自動化成果產製功能以符合各種領域需求，如 3D 點雲(Point Cloud)、正射影像、真實紋理貼圖模型(Mesh)等相關成果。

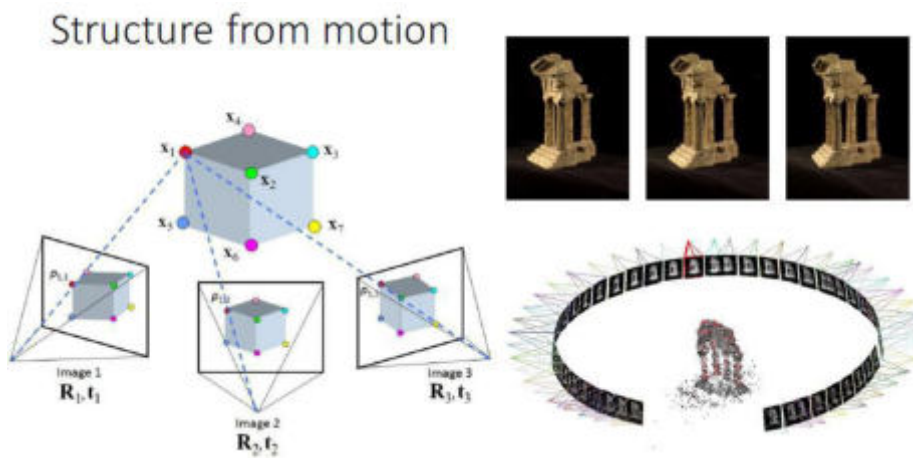


圖 2-21 多重影像匹配 SFM 計算原理

多重影像匹配技術軟體在市面上不斷推陳出新，本計畫選用 Agisoft MetaShape 作為主要影像空中三角測量處理軟體(圖 2-22)，可快速完成大範圍影像匹配，並獲得影像共軛點量測資料。

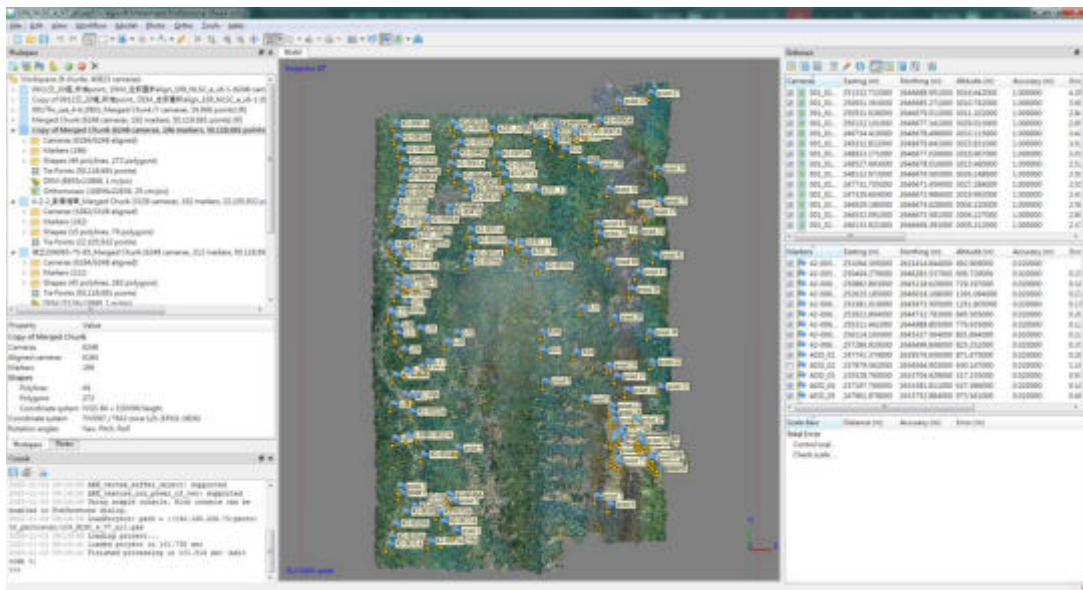


圖 2-22 Agisoft MetaShape 操作畫面

109 年度計畫全區空中三角測量初步共使用 6,248 張原始航拍影像，搭配影像內方位資訊(包含像幅大小、像元尺寸、焦距與畸變差等)進行多重影像匹配，整體匹配成果如圖 2-23，匹配點位以匹配點(Tie Point)重點數(顯示在不同原始影像上的次數)分色展示，圖例如右上數字展示，可見大部分區域匹配點偏向藍色系，重點數普遍高於 6。整體影像解析度為 22.5 公分，符合作業規範。空中三角測量平差解算後曝光點解算後坐標平均差量為 1.559 m(表 2-19)，空中三角測量平差解算後曝光點姿態平均差量為 0.096708 度(表 2-20)。

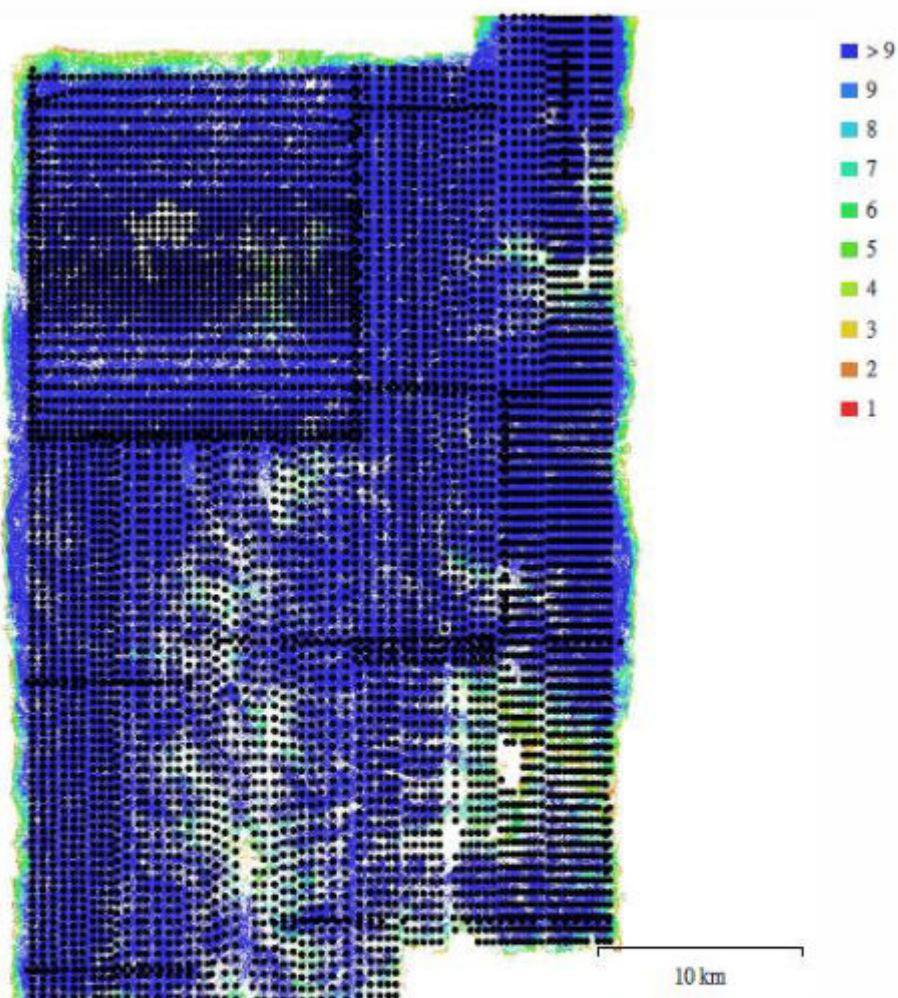


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	6,248	Camera stations:	6,177
Flying altitude:	2.5 km	Tie points:	50,098,785
Ground resolution:	22.5 cm/pix	Projections:	124,915,093
Coverage area:	1.05e+003 km ²	Reprojection error:	0.411 pix

圖 2-23 Metashape 空中三角測量平差整體資訊

表 2-19 空中三角測量平差成果-曝光點解算後坐標平均差量

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.01125	0.949731	0.711497	1.3873	1.55912

表 2-20 空中三角測量平差成果-曝光點解算後姿態平均差量

Yaw error (°)	Pitch error (°)	Roll error (°)	Total error (°)
0.0312559	0.0300251	0.0864524	0.096708

利用完成空中三角測量平差之外方位以及像機資訊，以立體像對方式上機量測所需高程控制點，主要挑選平坦且裸露地表，共量測 118 點，作為後續空載光達點雲平差作業高程依據，實際量測工作照如圖 2-24。



圖 2-24 立體量測作業畫面

四、地類檢核點測量：先於測定點以 VBS-RTK 方式施測，並於鄰近區域以 VBS-RTK 作主站，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。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 2-25，檢核成果詳如章節 2-8，全數符合本計畫作業規定。



(a) 裸露地



(b) 矮植被



(c) 植生地



(d) 林地



(e) 都會區



(f) 濕地

圖 2-25 地類檢核點實地施測作業照

五、橫斷面檢核點

於 109 年 1 月 7、9 以及 31 日完成外業測量，採用 VBS-RTK 方式施測，共施測 105 點，其中 61 點為低海拔及河川洪泛溢淹區，44 點為中高海拔山區，相關分布如圖 2-26，外業工作照如圖 2-27。

- (一) 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。
- (二) 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。

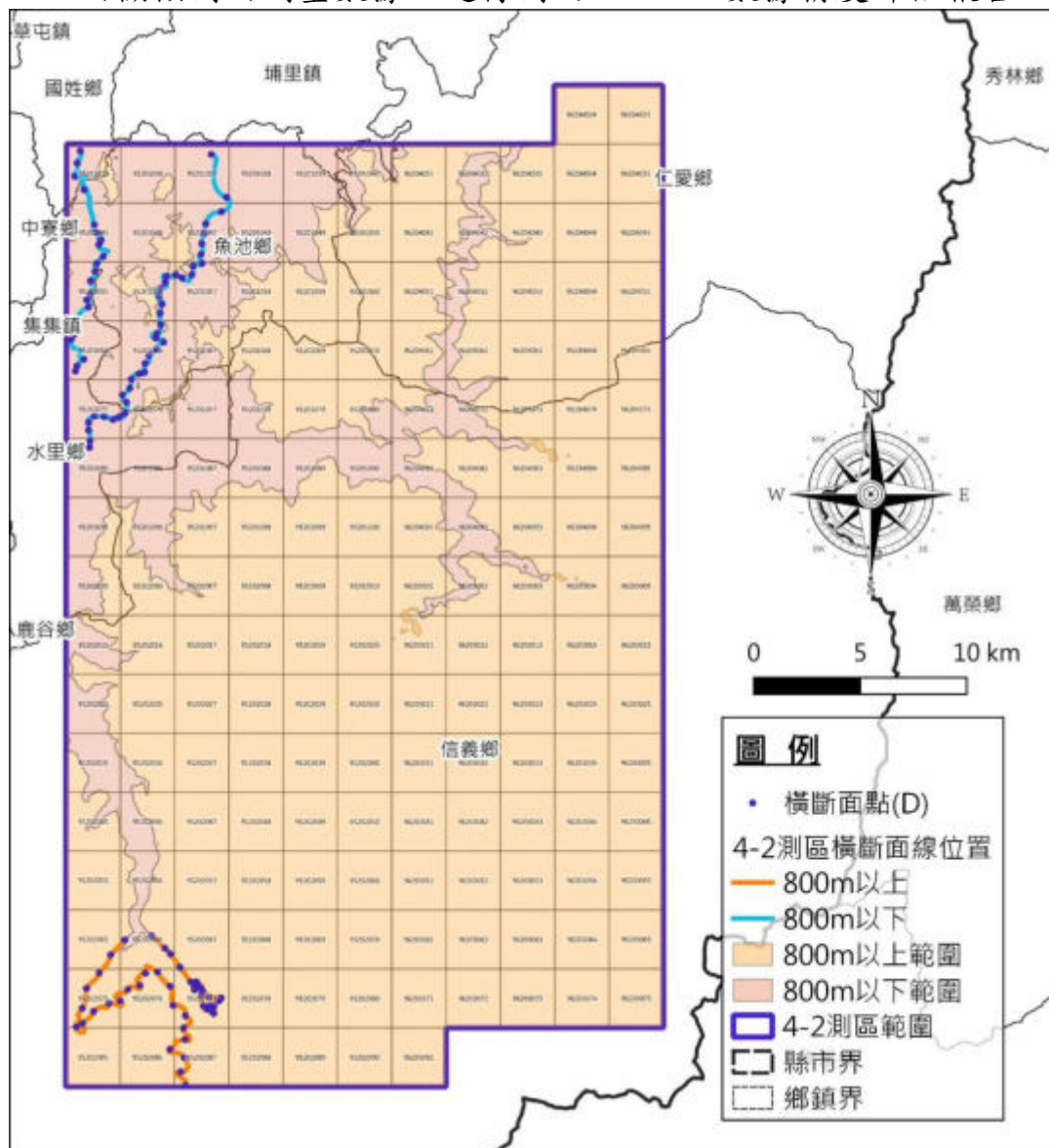


圖 2-26 橫斷面檢核線位置分布



圖 2-27 橫斷面檢核點現場作業工作照

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 2-28。

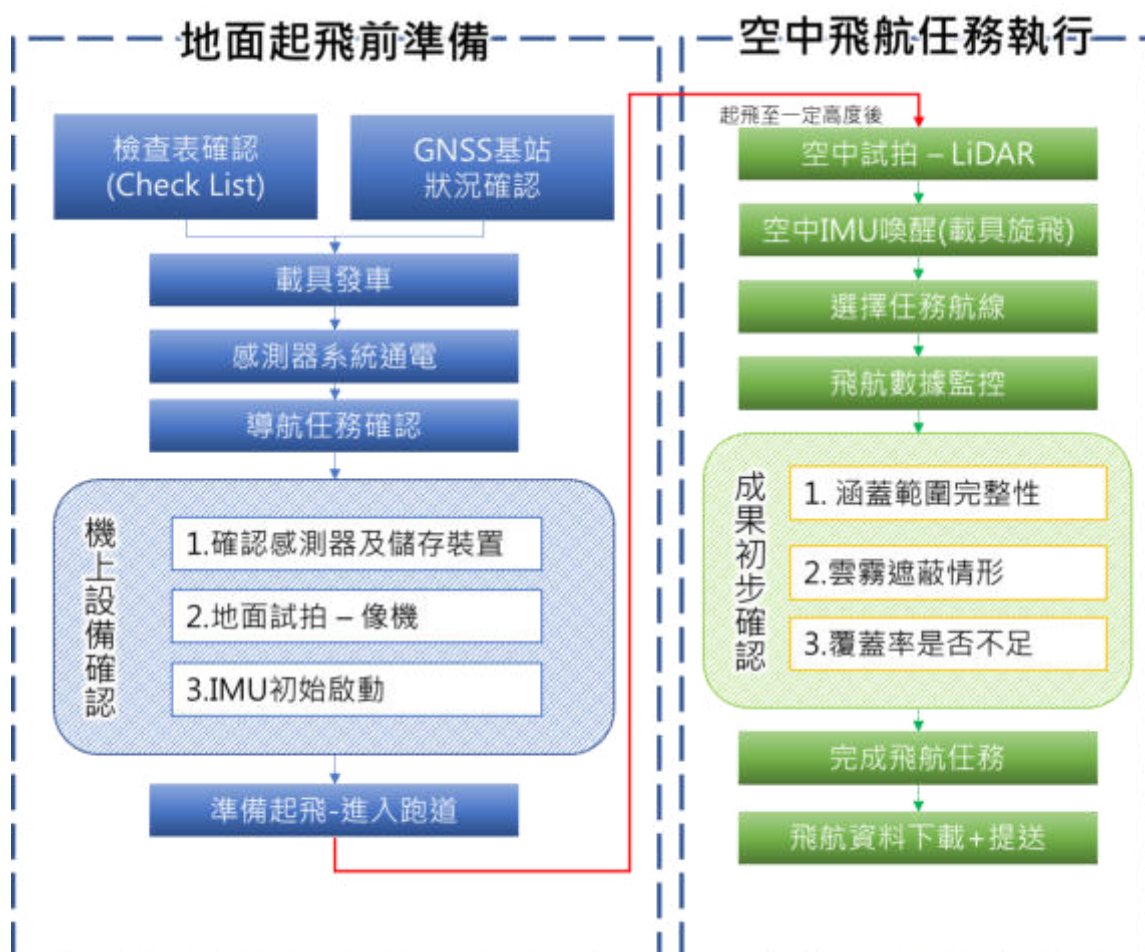


圖 2-28 空載雷射掃瞄施測資料獲取作業流程

2-6-2 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 25 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 2-21，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九。

表 2-21 各架次執行航線資訊與審查結果

項次	飛航架次	執行航線	審查日期	審查結果
1	P11M11_2020011008	42001、42002	109.03.06	合格
2	P11M11_2020011409	42003、42004、42005、42006、42007、42008、 42009、42010、42011、42012	109.03.06	合格
3	P11M11_2020011508	42013、42014、42015、42016、42017、42018、 42019、42020、42021、42022、42023	109.03.06	合格
4	P11M11_2020011511	42024、42025、42026、42027、42028、42029	109.03.06	合格
5	P11M11_2020011910	42030	109.03.06	合格
6	P11M11_2020012111	42031、42032、42033、42034、42035、42036、 42037、42070	109.03.06	合格
7	P11M11_2020013111	42038、42039、42040、42041、42042	109.03.06	合格
8	P11M11_2020020111	42043	109.03.06	合格
9	P11M11_2020020208	42044、42045、42081、42082、42083、42084、 42085、42086	109.03.06	合格
10	P11M11_2020022011	42071、42203、42204、42046、42047、42048、 42049、42050、42051、42052	109.06.02	合格
11	P11M11_2020022209	42053、42054	109.06.02	合格
12	P11M11_2020022411	42055、42056	109.08.21	合格
13	P11M11_2020022709	42072、42073、42074、42075、42201、42202	109.06.02	合格
14	P11M11_2020022809	42076、42077、42078、42079、42080、42090、 42091、42092、42093、42094、42095	109.08.21	合格
15	P11M11_2020030108	42081(R1)、42082(R1)、42083(R1)、42084(R1)、 42087、42088、42089、42096	109.06.02	合格
16	P11M11_2020030208	42060、42069、42205	109.06.02	合格
17	P11M11_2020032208	42127	109.05.28	合格
18	P11M11_2020032909	42057、42058、42059、42061、42062、42097	109.08.21	合格
19	P11M11_2020041011	42107、42108、42109、42110	109.08.21	合格
20	P11M10_2020061207	42063、42064、42065、42066、42067、42068	109.08.21	合格
21	P11M10_2020061707	42098、42099、42100、42101、42102、42103、 42104、42105、42106、42206	109.08.21	合格
22	P11M10_2020061808	42111、42112、42113、42114、42115、42116	109.08.21	合格
23	P11M10_2020062208	42117、42118、42119、42120	109.08.21	合格
24	P11M11_2020062407	42121、42122、42123、42124、42125、42126	109.08.21	合格
25	P11M11_2020070407	42058(R1)、42901、42902、42903	109.08.25	合格

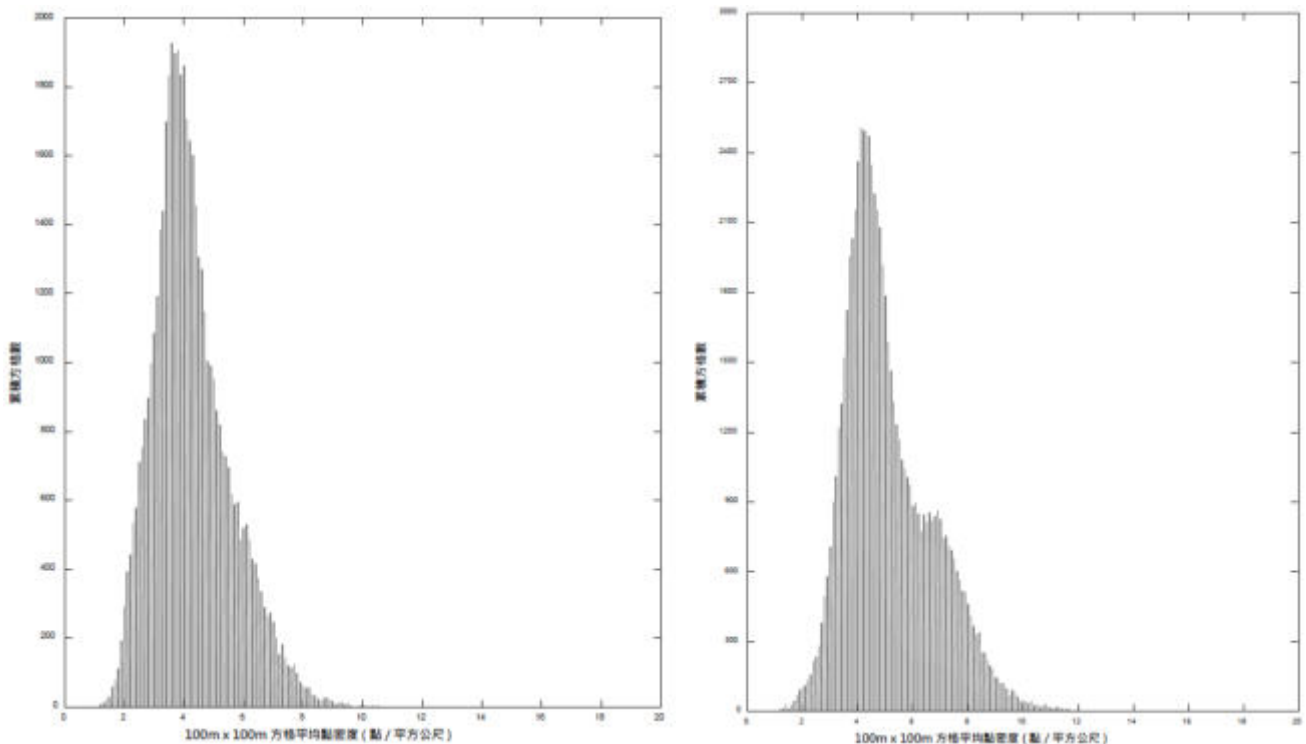
*備註：R1 註記為重飛，無註記為首次飛航。

- 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(4-2-1 測區)點雲密度成果為 4.27 點/m²，第二子測區(4-2-2 測區)點雲密度成果 5.13 點/m²，主要點雲密度不足區域為航線重疊區域因姿態改變所造成航帶重疊點雲降低，僅占作業區域內 0.5%~1.2%，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%)，成果詳如圖 2-29 以及圖 2-30。

4-2-1測區				4-2-2測區			
	方格內點密度	數量	百分比		方格內點密度	數量	百分比
白	D > 2.0	49,624	98.8%	白	D > 2.0	72,774	99.5%
紅	2.0 > D > 1.0	567	1.1%	紅	2.0 > D > 1.0	368	0.5%
黃	1.0 > D	61	0.1%	黃	1.0 > D	12	0.0%
藍	水域	984	-----	藍	水域	43	-----
合計總格數		51,236		合計總格數		73,197	
D為方格內點密度，水域方格不納入統計				D為方格內點密度，水域方格不納入統計			
整區平均密度		4.27 點/m ²		整區平均密度		5.13 點/m ²	

資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-29 計畫範圍子測區點雲密度檢核成果



資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-30 計畫範圍子測區點雲密度分布直方圖

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 2-31)。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 以及圖 2-33。

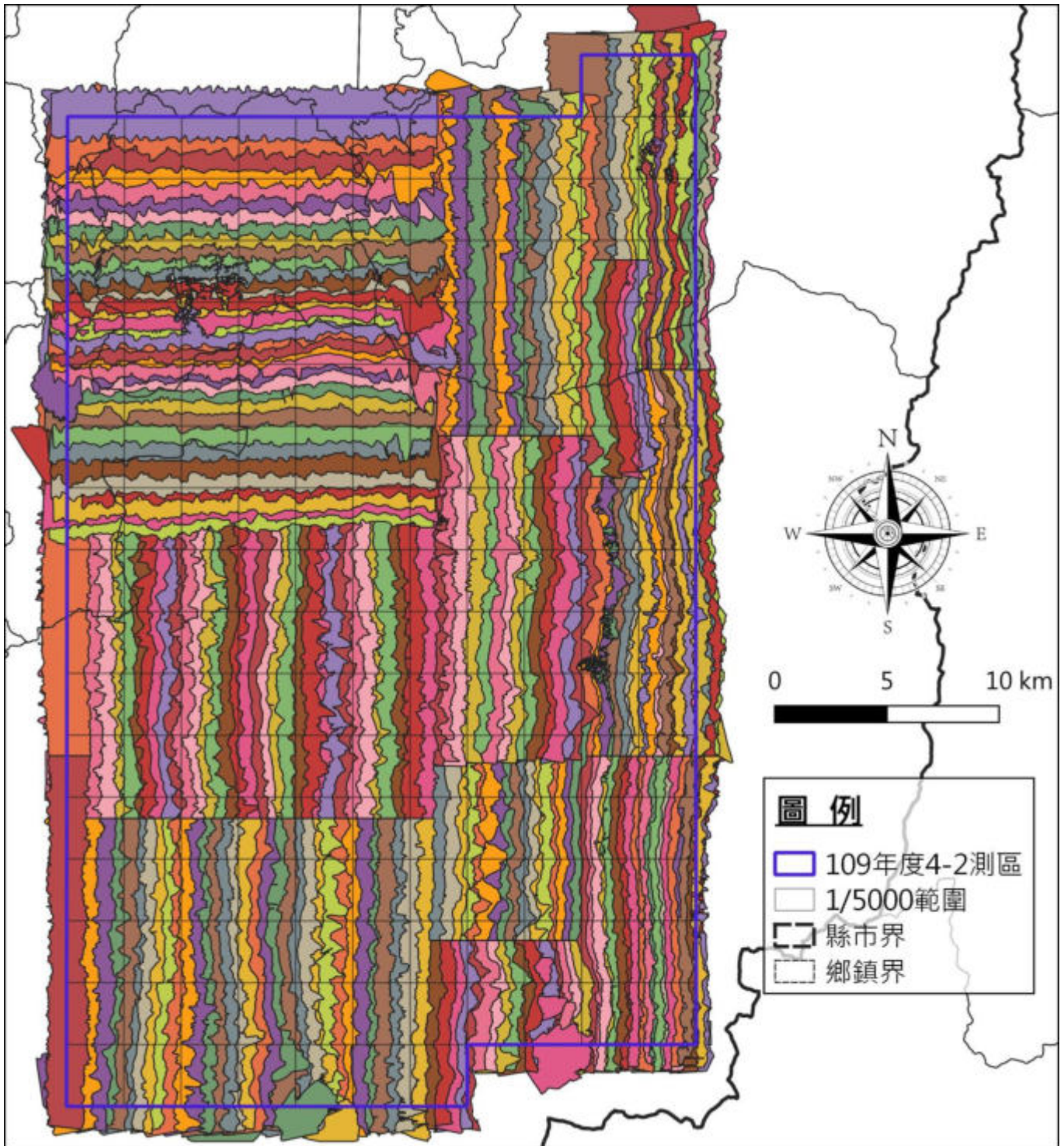
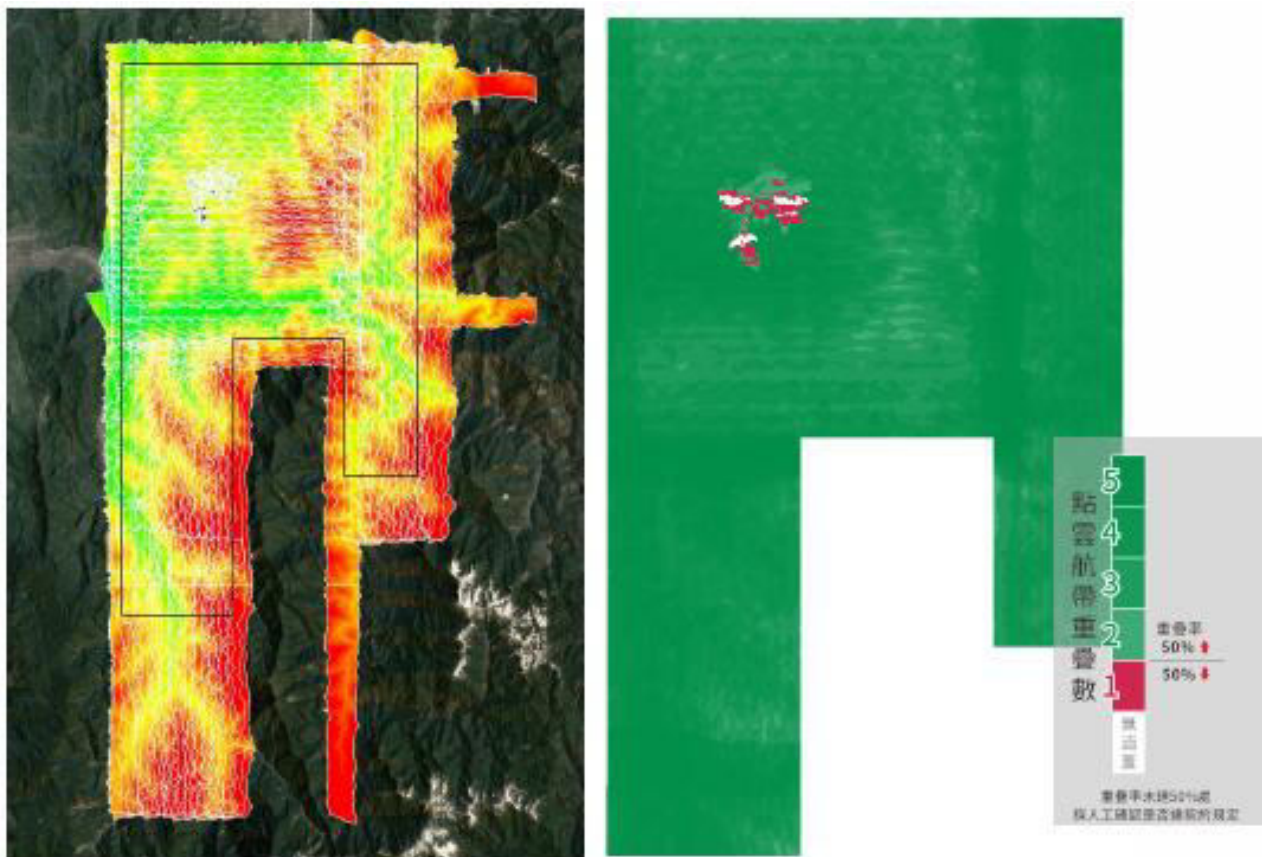
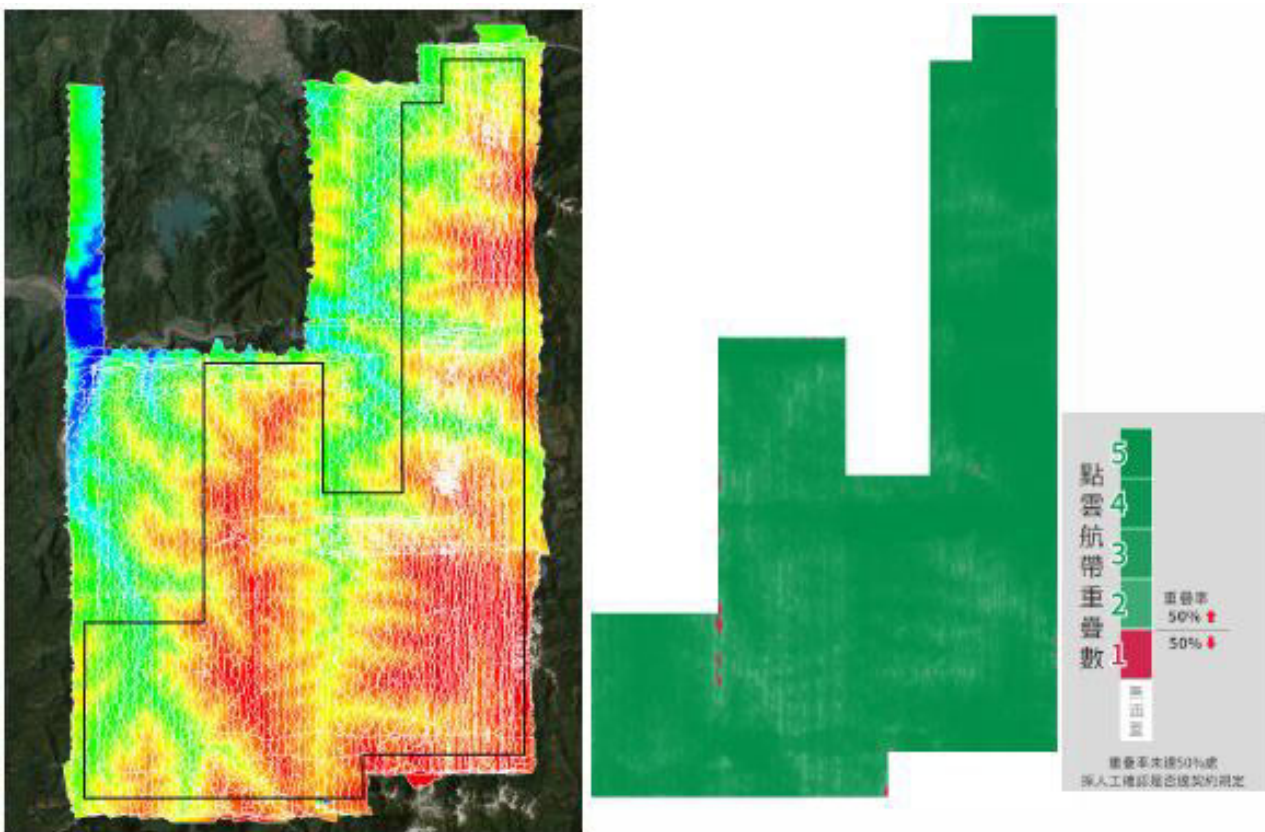


圖 2-31 各架次點雲涵蓋範圍圖



資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-32 109 年自強第一子測區(4-2-1 測區)測區覆蓋完整度檢核成果



資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-33 109 年自強第二子測區(4-2-2 測區)測區覆蓋完整度檢核成果

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型態錯綜複雜，地表點雲覆蓋分類須利用 TerraSolid 軟體進行自動與人工的點雲的濾除與分類步驟，將相關點雲資料分類成地面測點與非地面測點。

2-7-1 原始點雲解算

一、Riegl LMS-Q780 原始空載光達資料解算整體流程如圖 2-34，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。

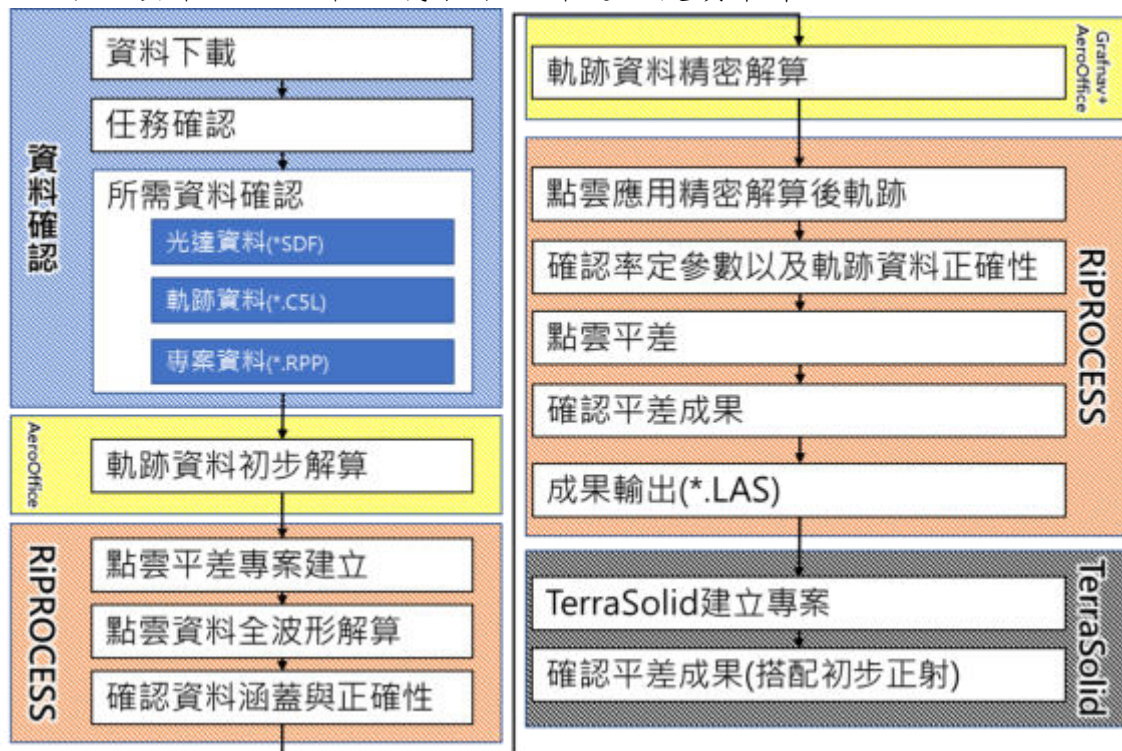


圖 2-34 Riegl LMS-Q780 原始空載光達資料解算整體流程

(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 2-35)、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 2-36)。

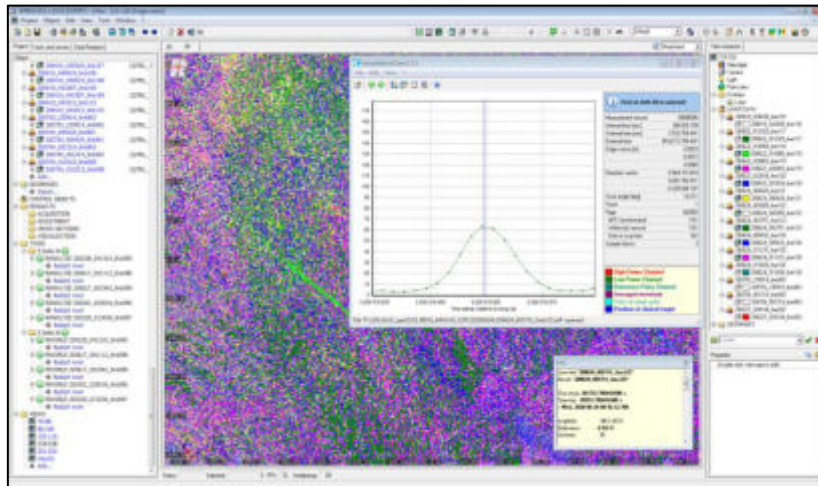


圖 2-35 Riegl RiPROCESS 展示全波形資料作業畫面

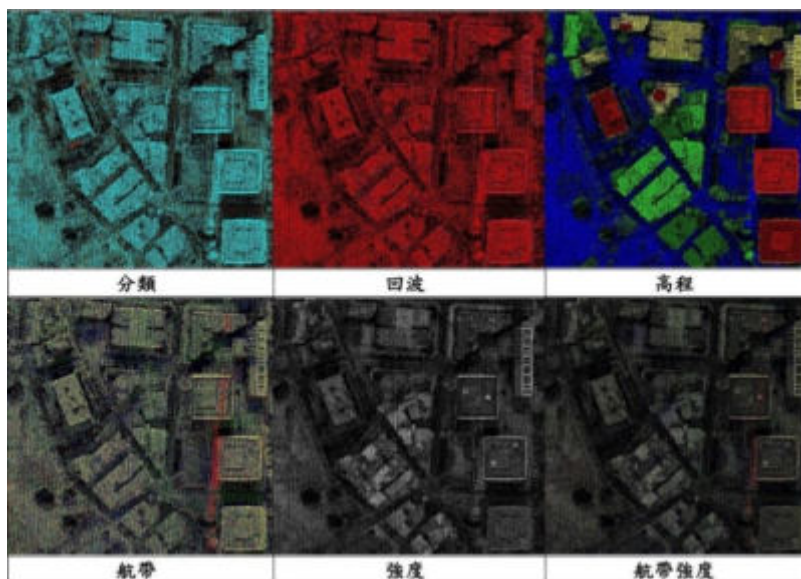


圖 2-36 點雲資料各別屬性展示圖

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。另外，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，可確保成果與既有坐標系統一致性，整體流程如圖 2-37。

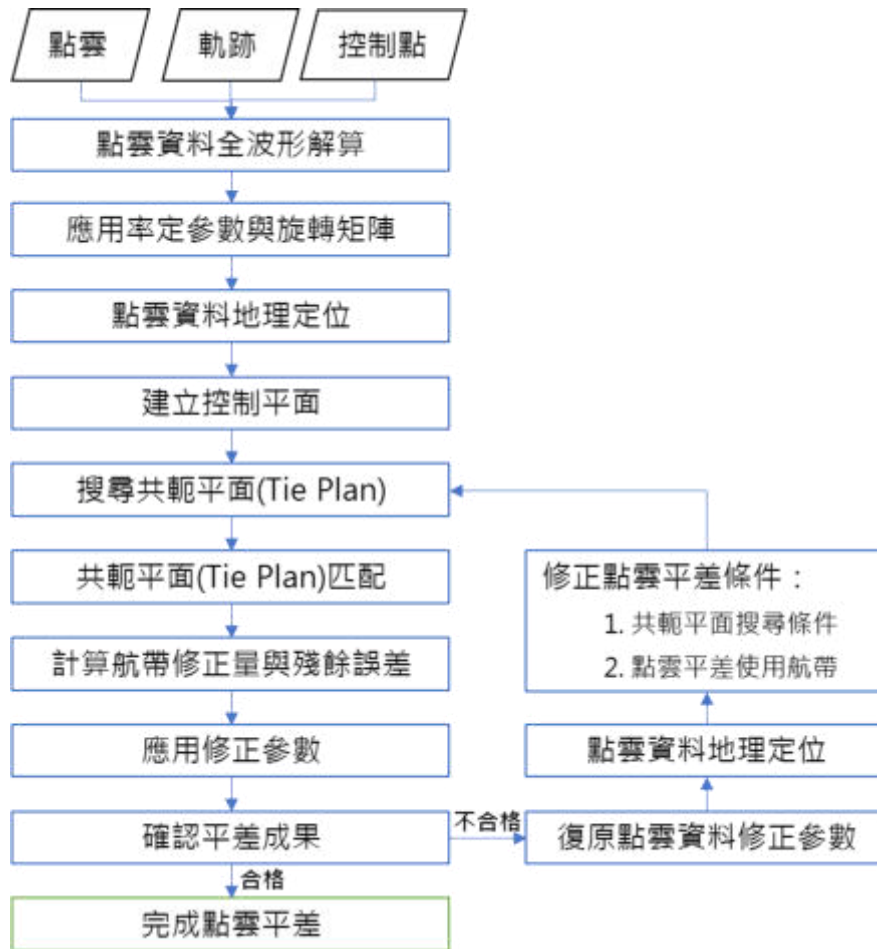


圖 2-37 點雲航帶平差作業流程

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，搜尋各航帶共軌平面，並藉由共軌平面所獲得之三維殘差計算軌跡修正量，作業過程如圖 2-38。進行航帶平差時應加入控制點，每航帶內應有至少 3 個高程控制點（航帶頭、中及尾各段應至少 1 點），並於平差後計算各控制點與點雲計算之中誤差，第 1 子測區(4-2-1 測區)點雲平差中誤差為 8.1cm；第 2 子測區(4-2-2 測區)為 9.0cm，符合作業規範(應小於 10cm)。

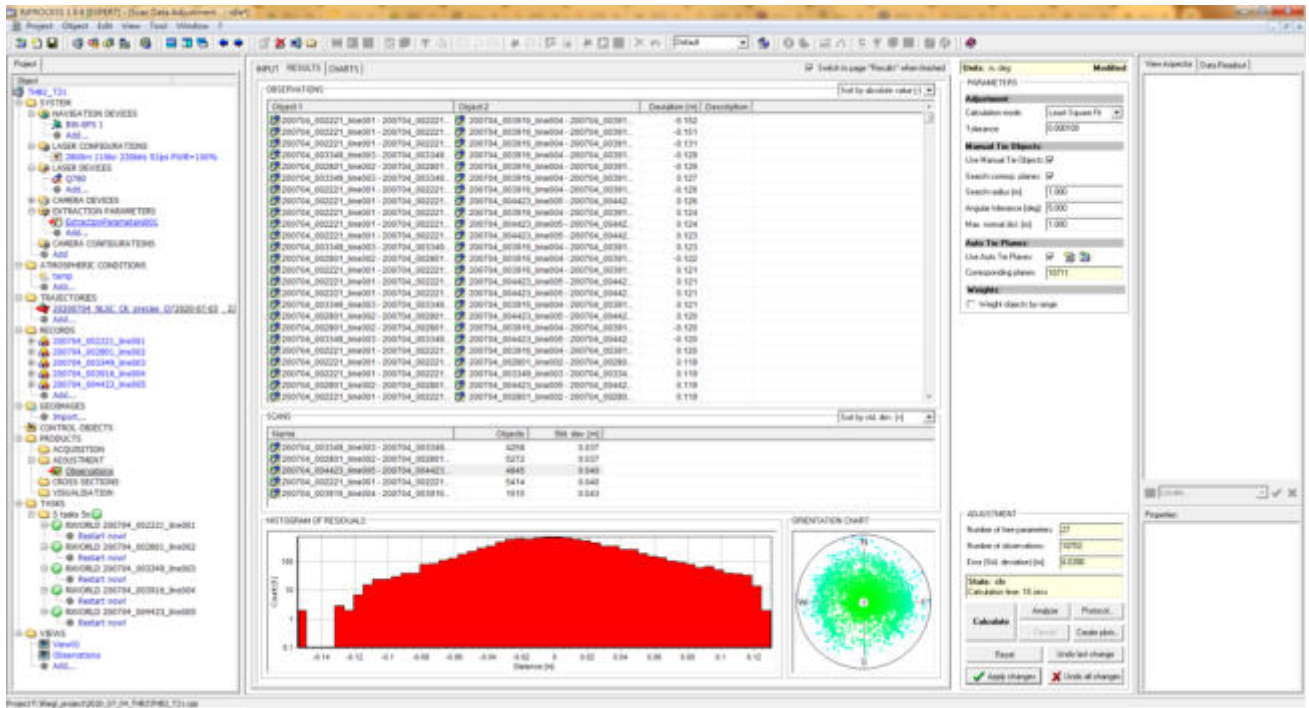
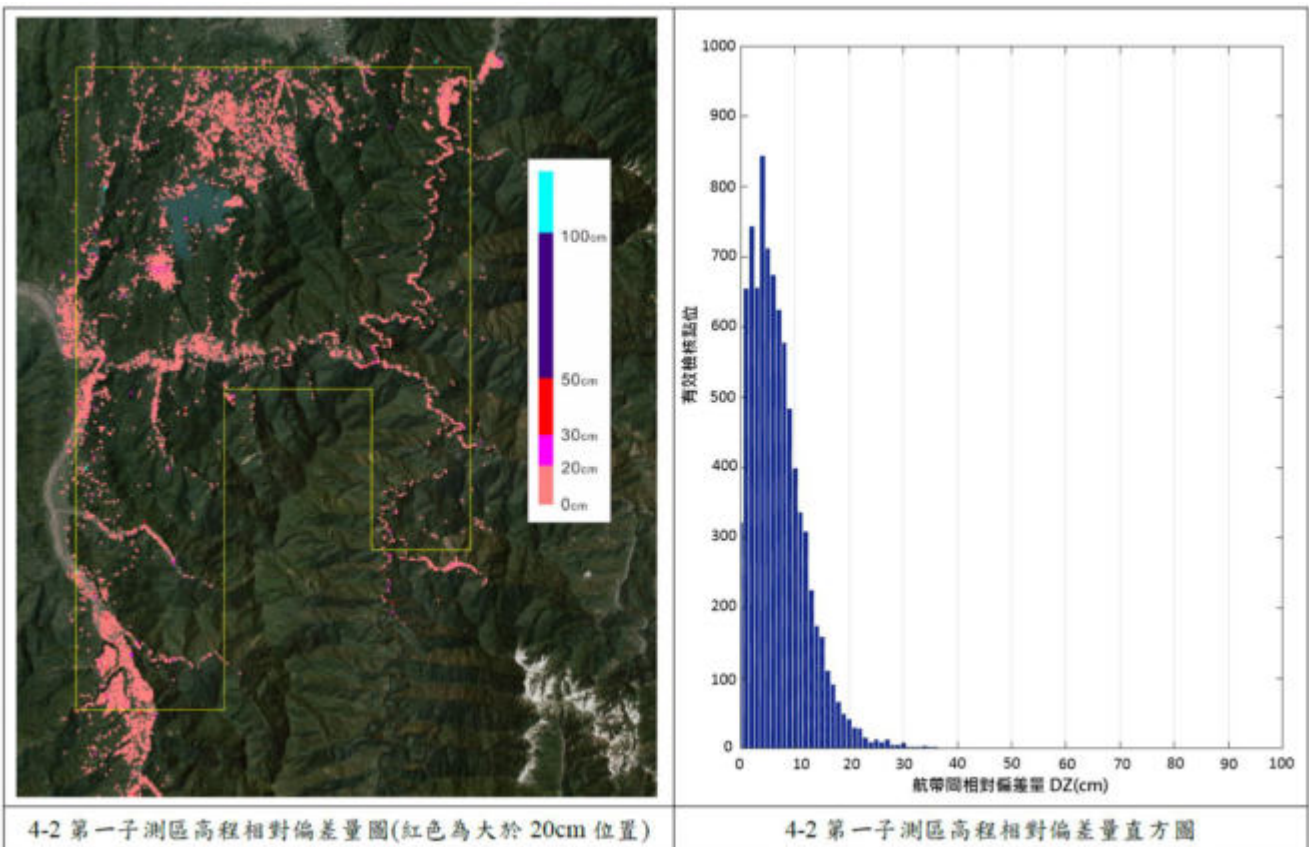


圖 2-38 點雲航帶平差作業畫面

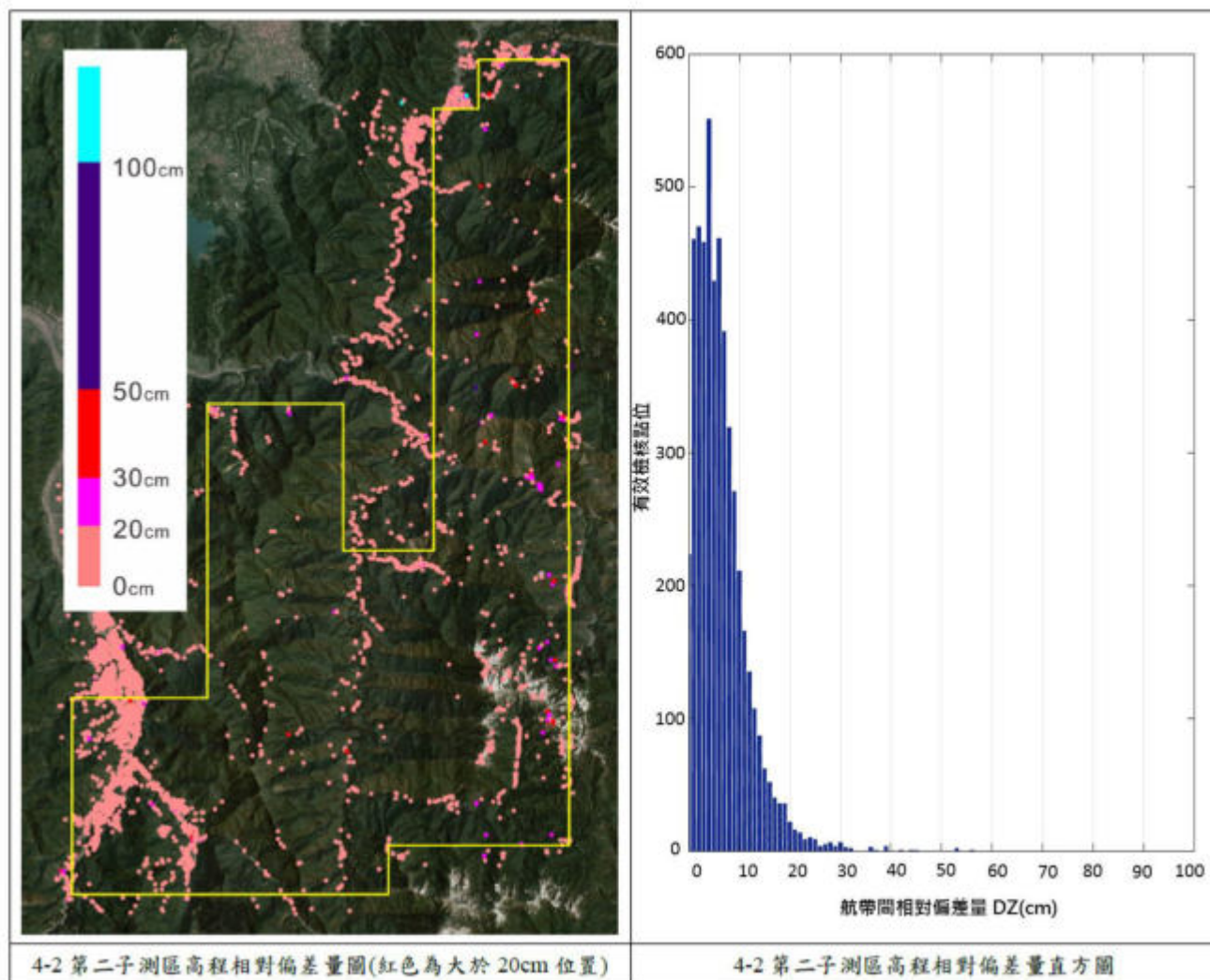
二、完成航帶平差後，重新進行航帶間相對高程誤差檢核，經監審單位審查後檢核成果於第一子測區共有 8,456 個有效的檢測點，航帶間高程相對偏差量平均值為 7.0 公分，相關資訊如圖 2-39。



資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-39 點雲航帶平差檢核成果-第一子測區(4-2-1 測區)

第二子測區共有 5,151 個有效的檢測點，航帶間高程相對偏差量平均值為 6.8 公分，成果符合作業規範(精度在 20 公分以內)，相關資訊如圖 2-40。



資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-40 點雲航帶平差檢核成果-第二子測區(4-2-2 測區)

三、本案相鄰航帶利用 TerraSolid 軟體中 TerraMatch 模組，經由其計算航帶間誤差之功能「Find Fluctuations」，於個別航帶中再求得高程誤差直方圖並加以校正，所獲得的誤差分析結果包含最大誤差、最小誤差、誤差平均值、標準差與平均誤差，成果如表 2-22。

表 2-22 各航線 Find Fluctuations 成果分析(單位：公尺)

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
42001	-0.110	0.104	-0.003	0.003	0.023	0.010	0.025	-0.001	0.001	0.005
42002	-0.028	0.014	-0.006	0.006	0.090	-0.016	0.003	-0.001	0.001	0.018
42003	-0.035	0.096	0.028	0.028	0.016	0.024	0.023	0.007	0.007	0.003

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
42004	-0.164	0.022	-0.065	0.065	0.035	-0.045	0.005	-0.016	0.016	0.007
42005	-0.261	0.071	-0.086	0.086	0.064	-0.087	0.017	-0.021	0.021	0.013
42006	-0.009	0.134	0.057	0.057	0.048	0.015	0.032	0.014	0.014	0.010
42007	-0.250	0.049	-0.091	0.091	0.105	-0.106	0.012	-0.022	0.022	0.021
42008	-0.130	0.139	0.004	0.004	0.004	-0.071	0.033	0.001	0.001	0.001
42009	-0.220	0.165	-0.025	0.025	0.081	-0.079	0.040	-0.006	0.006	0.016
42010	-0.062	0.124	0.029	0.029	0.018	-0.042	0.030	0.007	0.007	0.004
42011	-0.071	0.048	-0.010	0.010	0.035	-0.053	0.012	-0.002	0.002	0.007
42012	-0.138	0.055	-0.038	0.038	0.062	-0.058	0.013	-0.009	0.009	0.012
42013	0.013	0.100	0.052	0.052	0.018	0.017	0.024	0.012	0.012	0.004
42014	-0.150	0.077	-0.033	0.033	0.066	-0.092	0.018	-0.008	0.008	0.013
42015	-0.141	0.181	0.019	0.019	0.081	-0.088	0.044	0.004	0.004	0.016
42016	-0.150	0.025	-0.057	0.057	0.002	-0.053	0.006	-0.014	0.014	0.000
42017	-0.074	0.129	0.025	0.025	0.012	-0.044	0.031	0.006	0.006	0.002
42018	-0.084	0.118	0.016	0.016	0.042	0.041	0.028	0.004	0.004	0.008
42019	-0.268	0.165	-0.047	0.047	0.040	-0.094	0.040	-0.011	0.011	0.008
42020	-0.150	0.101	-0.022	0.022	0.013	0.020	0.024	-0.005	0.005	0.003
42021	-0.272	0.074	-0.090	0.090	0.076	-0.112	0.018	-0.022	0.022	0.015
42022	-0.125	0.118	-0.003	0.003	0.094	-0.099	0.028	-0.001	0.001	0.019
42023	-0.253	0.107	-0.066	0.066	0.065	-0.072	0.026	-0.016	0.016	0.013
42024	-0.126	0.073	-0.024	0.024	0.071	-0.019	0.018	-0.006	0.006	0.014
42025	-0.201	-0.026	-0.103	0.103	0.004	-0.083	-0.006	-0.025	0.025	0.001
42026	-0.159	0.140	-0.008	0.008	0.045	0.005	0.034	-0.002	0.002	0.009
42027	-0.198	0.015	-0.083	0.083	0.090	-0.090	0.004	-0.020	0.020	0.018
42028	-0.166	0.174	0.004	0.004	0.091	-0.099	0.042	0.001	0.001	0.018
42029	-0.170	0.017	-0.070	0.070	0.037	-0.076	0.004	-0.017	0.017	0.007
42030	-0.302	0.033	-0.123	0.123	0.016	-0.113	0.008	-0.029	0.029	0.003
42031	-0.136	0.057	-0.036	0.036	0.067	-0.067	0.014	-0.009	0.009	0.013
42032	-0.261	0.083	-0.081	0.081	0.027	-0.065	0.020	-0.019	0.019	0.005
42033	-0.259	0.084	-0.080	0.080	0.005	-0.104	0.020	-0.019	0.019	0.001
42034	-0.126	0.041	-0.038	0.038	0.090	-0.047	0.010	-0.009	0.009	0.018
42035	-0.229	0.165	-0.029	0.029	0.073	-0.094	0.040	-0.007	0.007	0.015
42036	0.000	0.091	0.042	0.042	0.076	0.031	0.022	0.010	0.010	0.015
42037	-0.128	0.088	-0.018	0.018	0.047	0.038	0.021	-0.004	0.004	0.009
42038	0.014	0.130	0.065	0.065	0.091	0.044	0.031	0.016	0.016	0.018
42039	0.010	0.136	0.066	0.066	0.013	0.018	0.033	0.016	0.016	0.003

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
42040	-0.198	0.068	-0.059	0.059	0.030	-0.004	0.016	-0.014	0.014	0.006
42041	-0.026	0.137	0.051	0.051	0.075	0.045	0.033	0.012	0.012	0.015
42042	-0.153	0.133	-0.009	0.009	0.031	-0.041	0.032	-0.002	0.002	0.006
42043	-0.001	0.092	0.041	0.041	0.013	0.046	0.022	0.010	0.010	0.003
42044	-0.020	0.174	0.070	0.070	0.007	-0.015	0.042	0.017	0.017	0.001
42045	-0.035	0.029	-0.003	0.003	0.053	-0.033	0.007	-0.001	0.001	0.011
42046	-0.188	0.069	-0.054	0.054	0.089	-0.065	0.017	-0.013	0.013	0.018
42047	-0.095	0.111	0.007	0.007	0.020	-0.078	0.027	0.002	0.002	0.004
42048	-0.031	0.119	0.040	0.040	0.044	-0.004	0.029	0.010	0.010	0.009
42049	-0.150	0.178	0.013	0.013	0.081	-0.106	0.043	0.003	0.003	0.016
42050	-0.088	0.158	0.032	0.032	0.010	-0.013	0.038	0.008	0.008	0.002
42051	-0.224	0.066	-0.072	0.072	0.049	-0.098	0.016	-0.017	0.017	0.010
42052	-0.052	0.144	0.042	0.042	0.094	0.084	0.035	0.010	0.010	0.019
42053	-0.095	0.115	0.009	0.009	0.004	-0.078	0.028	0.002	0.002	0.001
42054	-0.090	0.105	0.007	0.007	0.017	-0.011	0.025	0.002	0.002	0.003
42055	-0.047	0.175	0.058	0.058	0.003	-0.017	0.042	0.014	0.014	0.001
42056	-0.253	0.124	-0.059	0.059	0.015	-0.060	0.030	-0.014	0.014	0.003
42057	-0.191	0.129	-0.028	0.028	0.079	-0.063	0.031	-0.007	0.007	0.016
42058	-0.110	0.062	-0.022	0.022	0.075	-0.076	0.015	-0.005	0.005	0.015
42059	-0.013	0.077	0.029	0.029	0.057	0.013	0.019	0.007	0.007	0.011
42060	-0.176	-0.032	-0.095	0.095	0.009	-0.096	-0.008	-0.023	0.023	0.002
42061	-0.137	0.109	-0.013	0.013	0.040	0.014	0.026	-0.003	0.003	0.008
42062	-0.106	0.089	-0.008	0.008	0.075	-0.071	0.021	-0.002	0.002	0.015
42063	-0.087	0.103	0.007	0.007	0.042	-0.079	0.025	0.002	0.002	0.008
42064	-0.138	0.036	-0.047	0.047	0.018	-0.072	0.009	-0.011	0.011	0.004
42065	-0.178	0.173	-0.002	0.002	0.016	-0.093	0.042	0.000	0.000	0.003
42066	-0.281	-0.007	-0.131	0.131	0.075	-0.106	-0.002	-0.031	0.031	0.015
42067	0.021	0.180	0.091	0.091	0.012	0.040	0.043	0.022	0.022	0.002
42068	-0.185	0.064	-0.055	0.055	0.029	-0.083	0.015	-0.013	0.013	0.006
42069	-0.275	0.059	-0.098	0.098	0.039	-0.081	0.014	-0.024	0.024	0.008
42070	-0.180	-0.065	-0.111	0.111	0.087	-0.068	-0.016	-0.027	0.027	0.017
42071	-0.210	0.081	-0.059	0.059	0.071	-0.033	0.019	-0.014	0.014	0.014
42072	-0.126	-0.002	-0.058	0.058	0.096	-0.091	0.000	-0.014	0.014	0.019
42073	-0.122	0.103	-0.009	0.009	0.009	-0.069	0.025	-0.002	0.002	0.002
42074	-0.163	0.047	-0.053	0.053	0.011	-0.094	0.011	-0.013	0.013	0.002
42075	-0.129	0.006	-0.056	0.056	0.080	-0.100	0.001	-0.013	0.013	0.016

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
42076	-0.124	0.103	-0.009	0.009	0.025	-0.022	0.025	-0.002	0.002	0.005
42077	-0.095	0.052	-0.020	0.020	0.000	-0.005	0.012	-0.005	0.005	0.000
42078	-0.186	0.102	-0.038	0.038	0.029	-0.034	0.025	-0.009	0.009	0.006
42079	-0.104	0.124	0.009	0.009	0.024	-0.036	0.030	0.002	0.002	0.005
42080	0.035	0.126	0.073	0.073	0.086	0.054	0.030	0.017	0.017	0.017
42081	-0.042	0.152	0.050	0.050	0.051	0.033	0.036	0.012	0.012	0.010
42082	-0.091	0.089	-0.001	0.001	0.072	-0.027	0.021	0.000	0.000	0.014
42083	-0.178	0.035	-0.065	0.065	0.009	-0.016	0.008	-0.016	0.016	0.002
42084	-0.217	0.177	-0.018	0.018	0.018	-0.067	0.042	-0.004	0.004	0.004
42085	-0.147	0.184	0.017	0.017	0.095	-0.074	0.044	0.004	0.004	0.019
42086	-0.132	0.054	-0.035	0.035	0.016	-0.007	0.013	-0.008	0.008	0.003
42087	-0.036	0.108	0.032	0.032	0.007	0.067	0.026	0.008	0.008	0.001
42088	-0.066	0.073	0.003	0.003	0.062	-0.065	0.018	0.001	0.001	0.012
42089	-0.036	0.125	0.040	0.040	0.052	-0.024	0.030	0.010	0.010	0.010
42090	-0.152	0.141	-0.005	0.005	0.078	0.019	0.034	-0.001	0.001	0.016
42091	-0.212	0.095	-0.053	0.053	0.005	-0.028	0.023	-0.013	0.013	0.001
42092	-0.128	0.089	-0.018	0.018	0.089	0.014	0.021	-0.004	0.004	0.018
42093	-0.077	0.110	0.015	0.015	0.028	-0.075	0.026	0.004	0.004	0.006
42094	-0.128	0.142	0.006	0.006	0.049	-0.090	0.034	0.002	0.002	0.010
42095	-0.037	0.067	0.014	0.014	0.053	-0.010	0.016	0.003	0.003	0.011
42096	-0.096	0.137	0.019	0.019	0.030	0.024	0.033	0.005	0.005	0.006
42097	0.012	0.056	0.031	0.031	0.074	0.017	0.013	0.007	0.007	0.015
42098	-0.135	0.113	-0.010	0.010	0.005	-0.055	0.027	-0.002	0.002	0.001
42099	-0.224	-0.032	-0.116	0.116	0.099	-0.080	-0.008	-0.028	0.028	0.020
42100	-0.119	0.096	-0.010	0.010	0.098	0.057	0.023	-0.002	0.002	0.020
42101	-0.072	0.111	0.018	0.018	0.002	-0.033	0.027	0.004	0.004	0.000
42102	-0.291	0.115	-0.080	0.080	0.028	-0.095	0.028	-0.019	0.019	0.006
42103	-0.109	0.096	-0.006	0.006	0.092	-0.032	0.023	-0.001	0.001	0.018
42104	-0.172	0.131	-0.019	0.019	0.047	-0.069	0.031	-0.004	0.004	0.009
42105	-0.078	0.077	0.000	0.000	0.092	0.049	0.019	0.000	0.000	0.018
42106	-0.147	0.084	-0.029	0.029	0.031	0.031	0.020	-0.007	0.007	0.006
42107	-0.008	0.119	0.050	0.050	0.094	0.073	0.029	0.012	0.012	0.019
42108	-0.069	0.169	0.046	0.046	0.025	0.056	0.041	0.011	0.011	0.005
42109	-0.040	0.064	0.011	0.011	0.088	-0.021	0.015	0.003	0.003	0.018
42110	-0.043	0.054	0.005	0.005	0.090	-0.037	0.013	0.001	0.001	0.018
42111	-0.229	0.074	-0.070	0.070	0.100	-0.084	0.018	-0.017	0.017	0.020

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
42112	-0.044	0.146	0.046	0.046	0.011	0.067	0.035	0.011	0.011	0.002
42113	-0.022	0.074	0.024	0.024	0.076	-0.007	0.018	0.006	0.006	0.015
42114	-0.106	0.150	0.020	0.020	0.028	-0.048	0.036	0.005	0.005	0.006
42115	-0.107	0.106	-0.001	0.001	0.030	0.013	0.025	0.000	0.000	0.006
42116	-0.139	0.069	-0.032	0.032	0.018	-0.081	0.016	-0.008	0.008	0.004
42117	-0.233	0.100	-0.060	0.060	0.066	-0.113	0.024	-0.015	0.015	0.013
42118	-0.163	0.152	-0.005	0.005	0.076	-0.063	0.037	-0.001	0.001	0.015
42119	-0.068	0.116	0.022	0.022	0.085	0.010	0.028	0.005	0.005	0.017
42120	0.001	0.091	0.042	0.042	0.076	0.056	0.022	0.010	0.010	0.015
42121	-0.194	0.176	-0.008	0.008	0.021	-0.051	0.042	-0.002	0.002	0.004
42122	-0.133	0.081	-0.024	0.024	0.096	-0.027	0.019	-0.006	0.006	0.019
42123	-0.196	0.021	-0.079	0.079	0.003	-0.149	0.005	-0.019	0.019	0.001
42124	-0.196	0.044	-0.069	0.069	0.071	-0.060	0.011	-0.017	0.017	0.014
42125	-0.213	0.071	-0.065	0.065	0.002	-0.080	0.017	-0.016	0.016	0.000
42126	-0.190	-0.076	-0.121	0.121	0.007	-0.125	-0.018	-0.029	0.029	0.001
42127	-0.230	0.016	-0.097	0.097	0.062	-0.105	0.004	-0.023	0.023	0.012
42201	-0.224	0.175	-0.022	0.022	0.058	-0.066	0.042	-0.005	0.005	0.012
42202	-0.060	0.124	0.029	0.029	0.047	0.030	0.030	0.007	0.007	0.009
42203	-0.278	0.022	-0.117	0.117	0.034	-0.098	0.005	-0.028	0.028	0.007
42204	-0.029	0.128	0.045	0.045	0.085	0.057	0.031	0.011	0.011	0.017
42205	-0.235	0.162	-0.033	0.033	0.096	-0.102	0.039	-0.008	0.008	0.019
42206	-0.084	0.079	-0.002	0.002	0.064	0.077	0.019	-0.001	0.001	0.013

2-7-3 點雲分類

LiDAR 點雲掃描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 2-41 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 點雲掃描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。

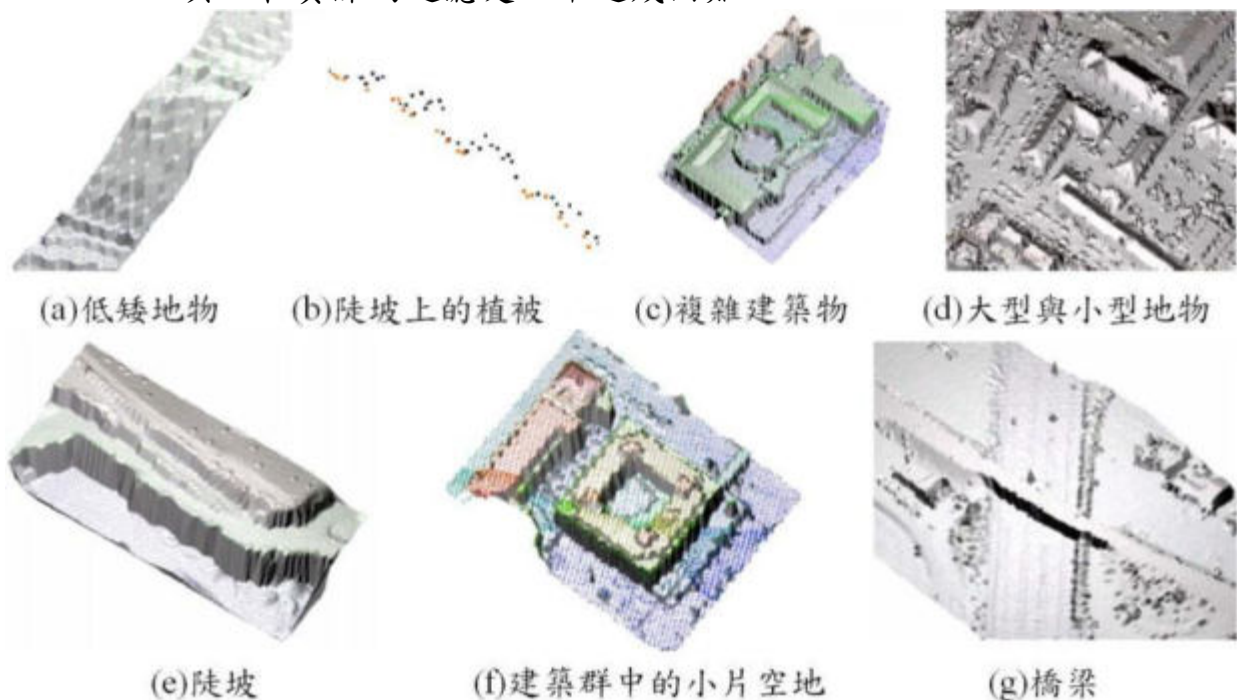


圖 2-42 LiDAR 點雲分類困難區域

(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表點，以達成地表與地物自動分類。

(四) 點雲人工分類

地表點/非地表點/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 2-43 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 2-44。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完整之資料，以辨識地物進行人工編修。

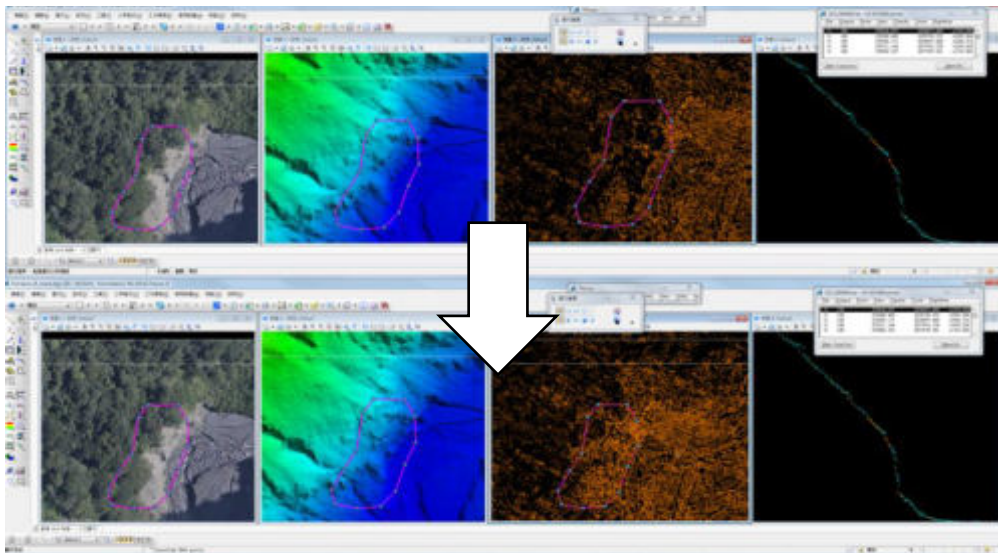


圖 2-43 以人工進行點雲分類前後示意圖

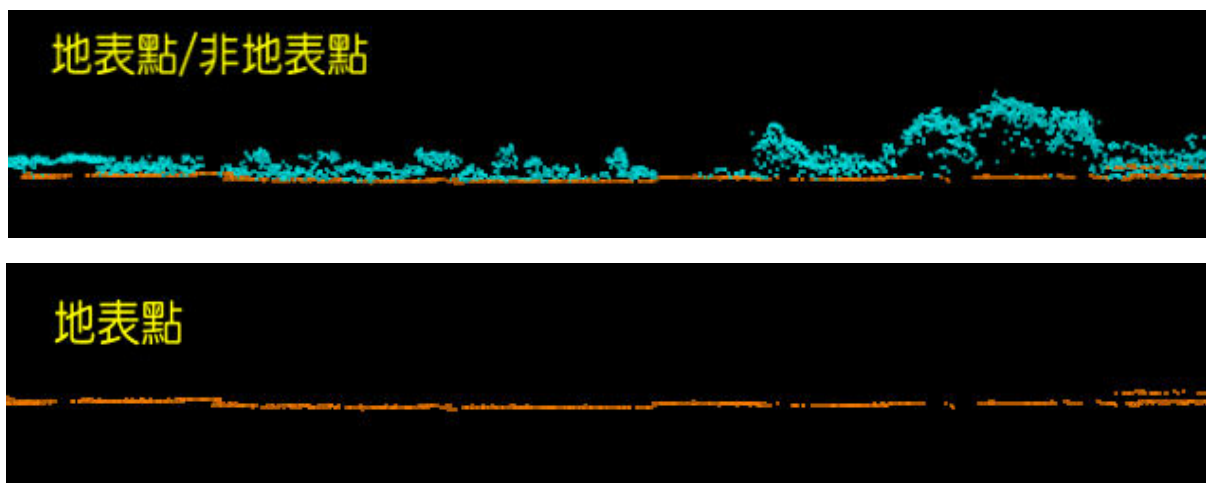


圖 2-44 點雲編修分類成果示意圖

(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，並將水域內之地表點雲經由 TerraScan 悉數歸類為水點。本計畫於 109 年 5 月 20 日獲得第一子測區(4-2-1 測區)監審單位審查合格；於 109 年 9 月 28 日獲得第二子測區(4-2-2 測區) 監審單位審查合格，各分批提送以及檢核相關期程詳如表 2-23 以及表 2-24。

表 2-23 109 年第一子測區(4-2-1 測區)DEMLAS 分批提送時程與檢查結果

提送成果項目	提送數量	提送日期	檢查完成日期	檢查結果
DEM 點雲分類	36 幅	109/04/17	109/04/24	通過
	18 幅	109/04/29	109/05/08	通過
	18 幅	109/05/13	109/05/20	通過
合計	72 幅	本項檢查完成日期 109.05.20 判定合格		

資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

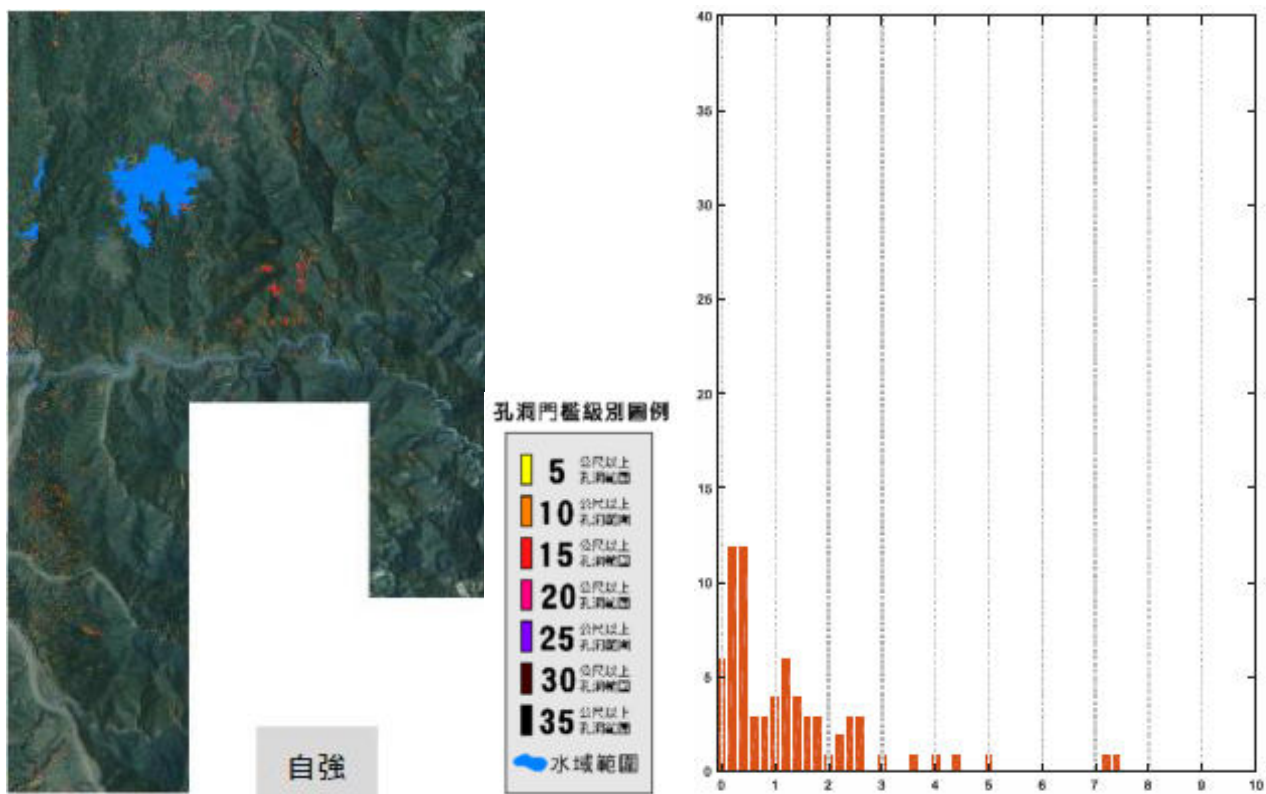
表 2-24 109 年第二子測區(4-2-2 測區)DEMLAS 分批提送時程與檢查結果

提送成果項目	提送數量	提送日期	檢查完成日期	檢查結果
DEM 點雲分類	12 幅	109/07/29	109/08/03	通過
	30 幅	109/08/07	109/08/18	通過
	13 幅	109/09/02	109/09/10	通過
	18 幅	109/09/09	109/09/17	通過
	9 幅	109/09/21	109/09/25	通過
	20 幅	109/09/23	109/09/28	通過
合計	102 幅	本項檢查完成日期 109.09.28 判定合格		

資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

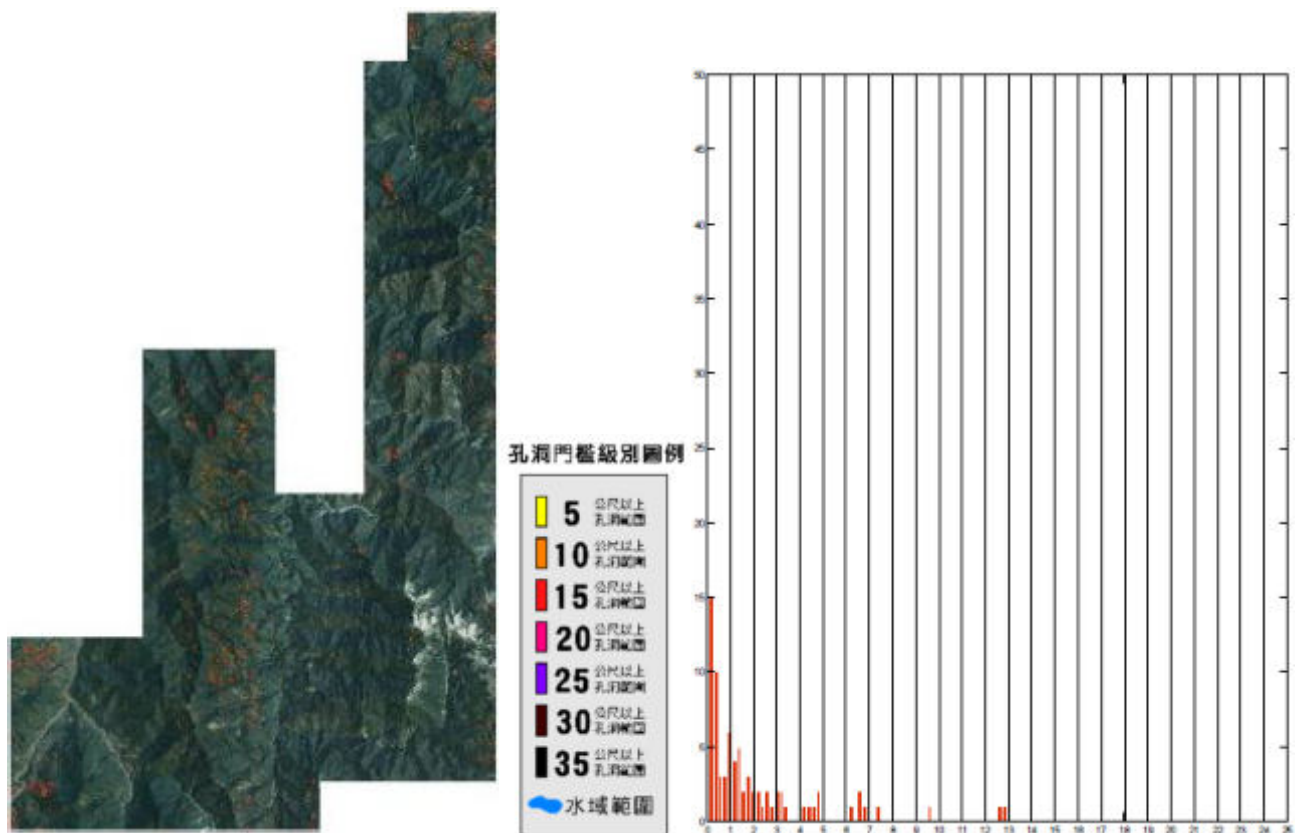
2-7-4 地面點孔洞分析

為確認測製成果品質，監審單位依第 7 次工作會議紀錄決議辦理(成大研總字第 1081108013 號文)，採用「地面點孔洞分析」作為點雲成效評估指標進行檢查，成果如圖 2-45 以及圖 2-46。以圖像化色階展示本計畫成果與既有光達成果地面點孔洞分析比較，普遍優於既有成果，比較變異分析如圖 2-47 以及圖 2-48，詳細分析請參考本計畫監審單位成果報告書。



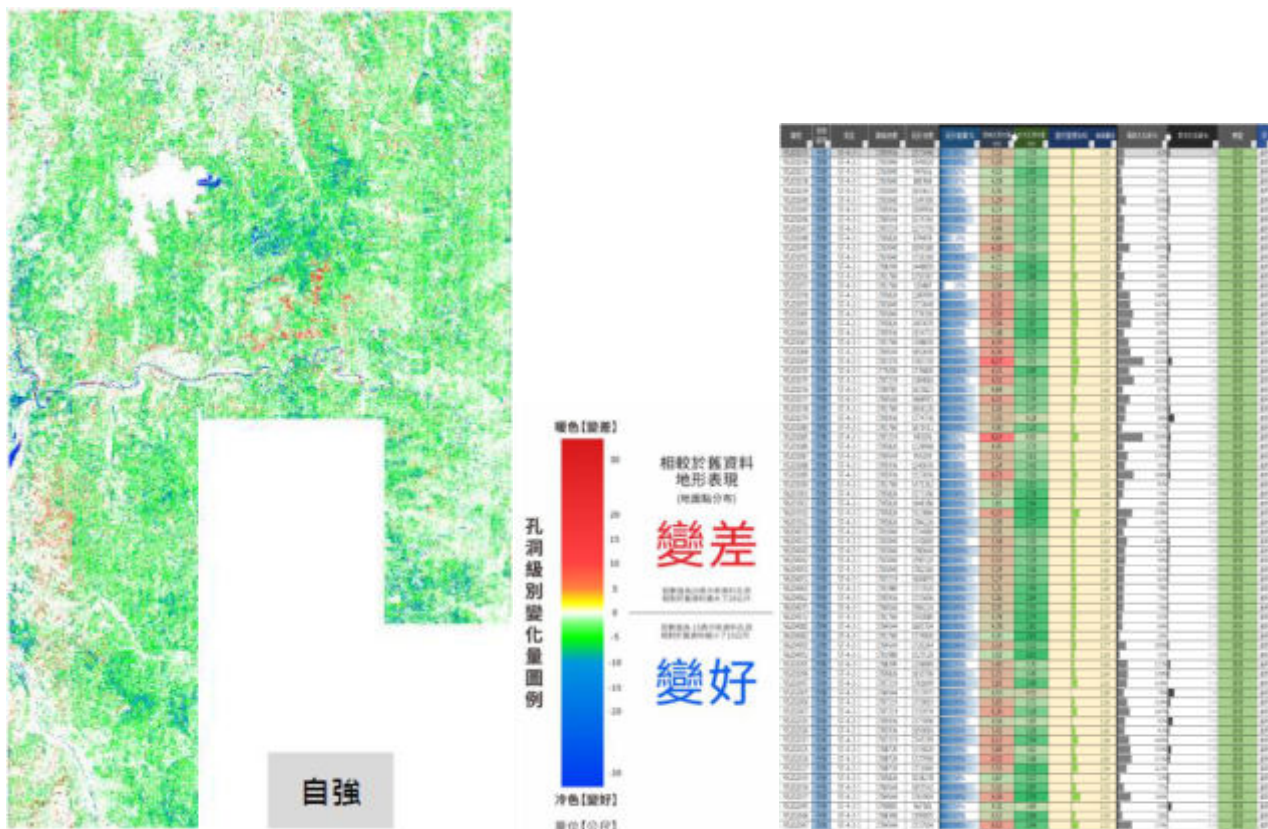
資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-45 109 年第一子測區(4-2-1 測區)地面點孔洞分析



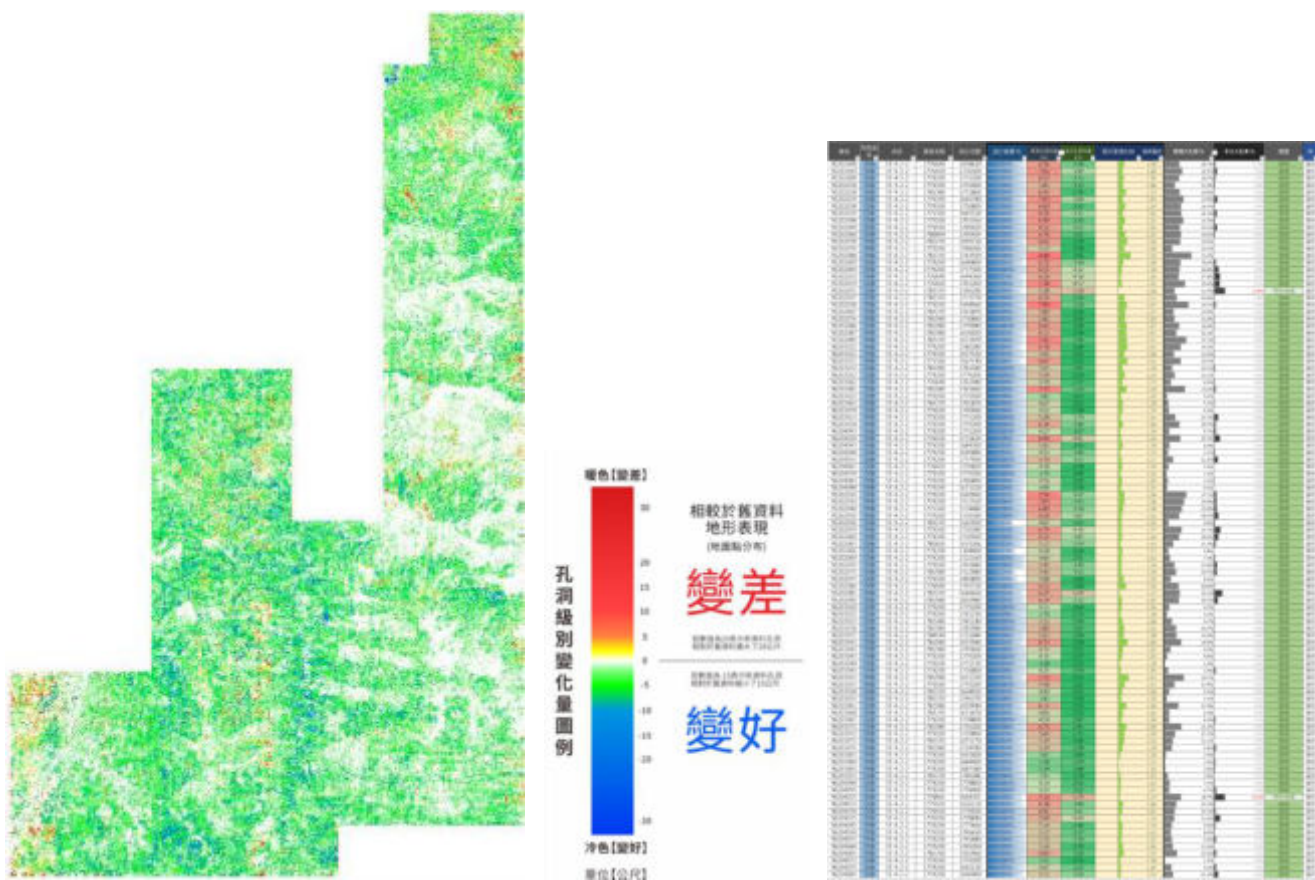
資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-46 109 年第二子測區(4-2-2 測區)地面點孔洞分析



資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-47 109 年第一子測區(4-2-1 測區)地面點孔洞變異



資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

圖 2-48 109 年第二子測區(4-2-1 測區)地面點孔洞變異

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 0.25m；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，由人為判識作平均值評估(裸露地 0.0、矮植被 0.1、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、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 2-25，繪製各類別統計分析圖如圖 2-49~圖 2-54，全數符合作業規範，各點檢核成果詳細資訊如附件十，各點位近景及遠景像片詳如附件十一。

表 2-25 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點總成果

項次	地類檢核點	測設數量	檢核成果	作業規範	是否合格
1	裸露地	30	-0.180 m ~ 0.181 m	± 0.350 m	合格
2	矮植被	30	-0.067 m ~ 0.308 m	± 0.378 m	合格
3	植生地	30	-0.159 m ~ 0.416 m	± 0.490 m	合格
4	林地	30	-0.059 m ~ 0.442 m	± 0.910 m	合格
5	都會區	30	-0.164 m ~ 0.306 m	± 0.350 m	合格
6	濕地	30	-0.179 m ~ 0.010 m	± 0.350 m	合格

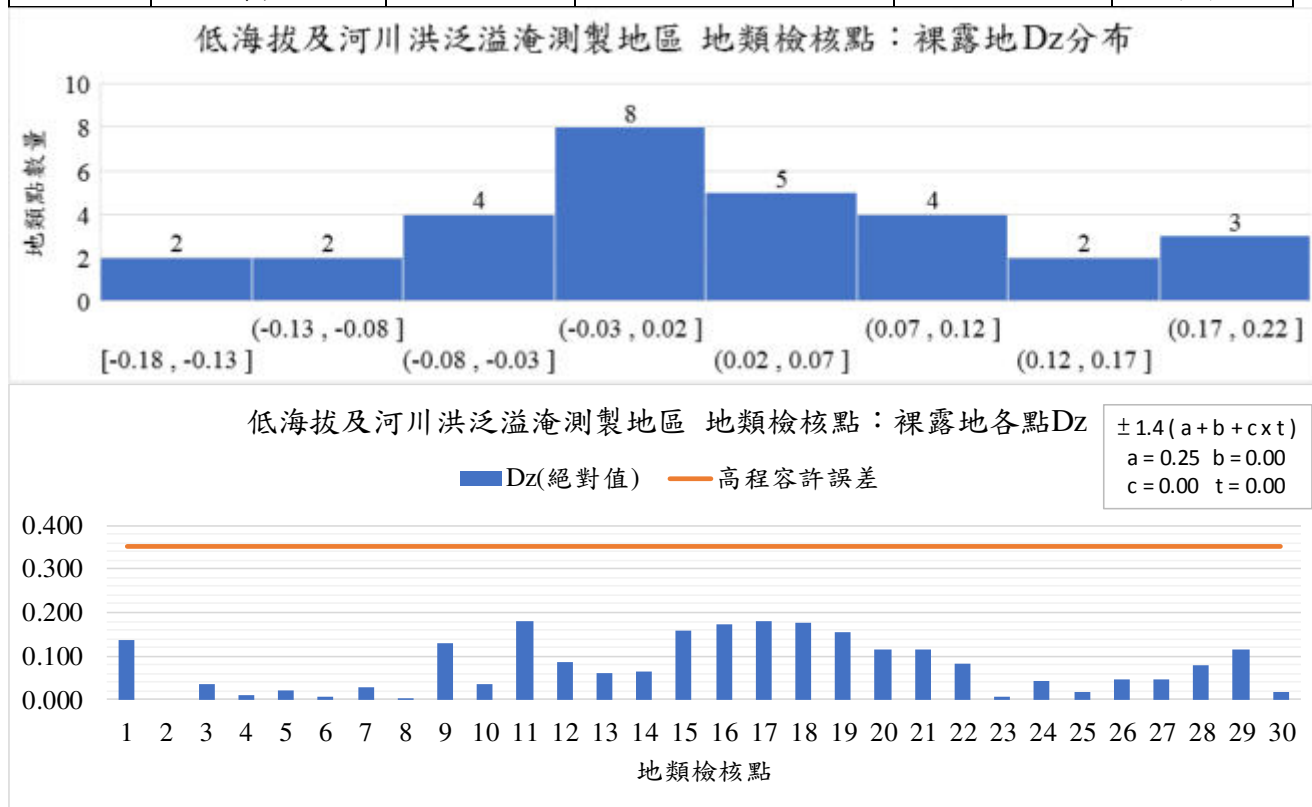


圖 2-49 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-裸露地

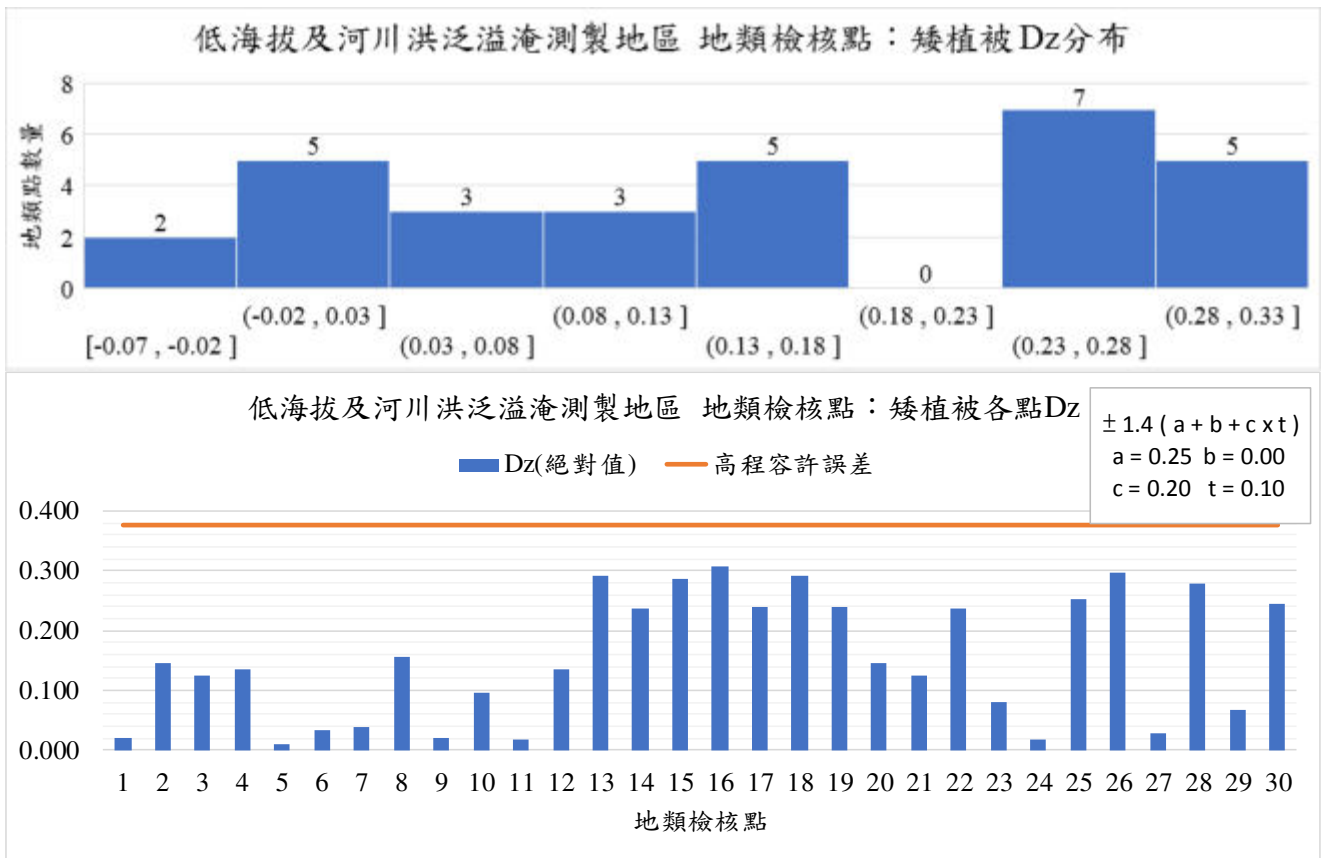


圖 2-50 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-矮植被

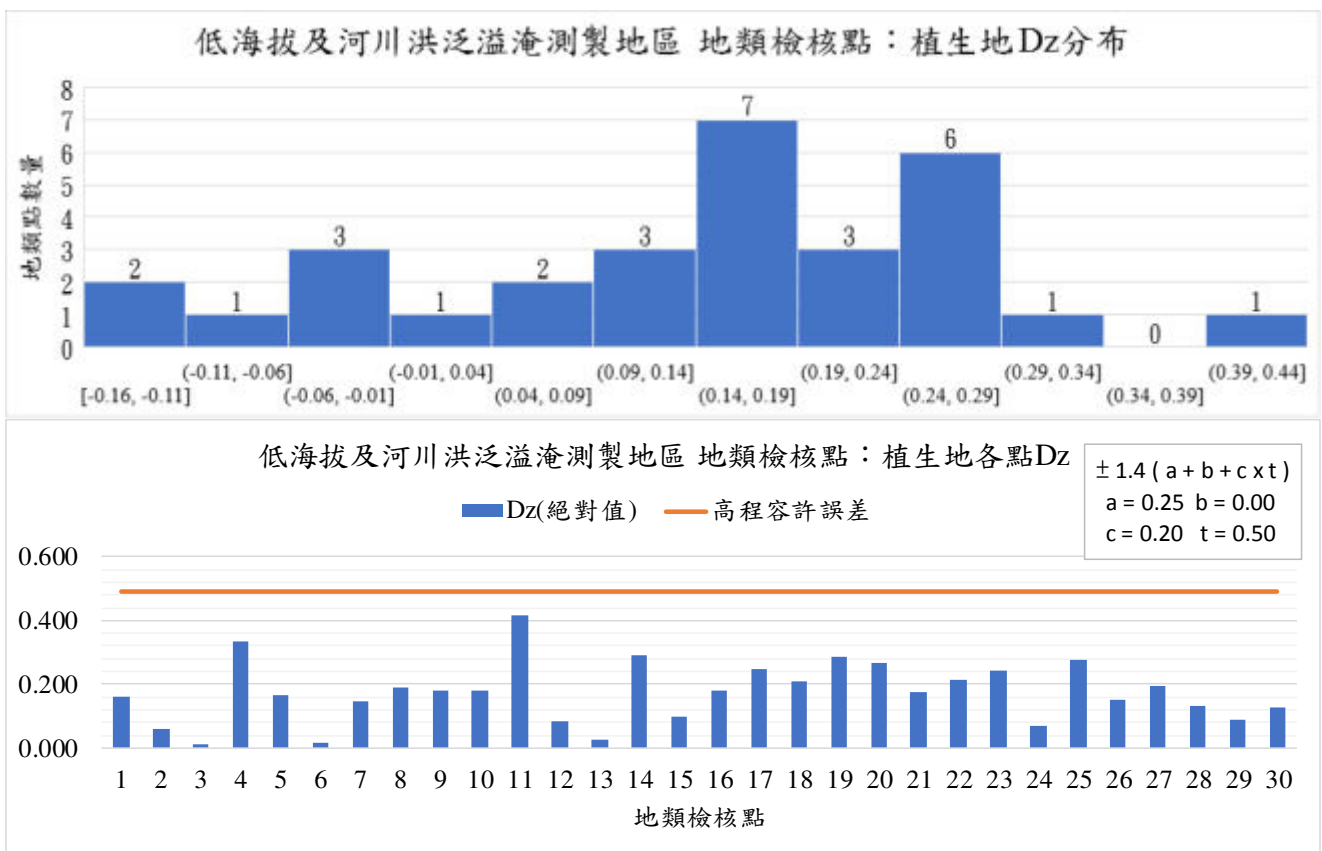


圖 2-51 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-植生地

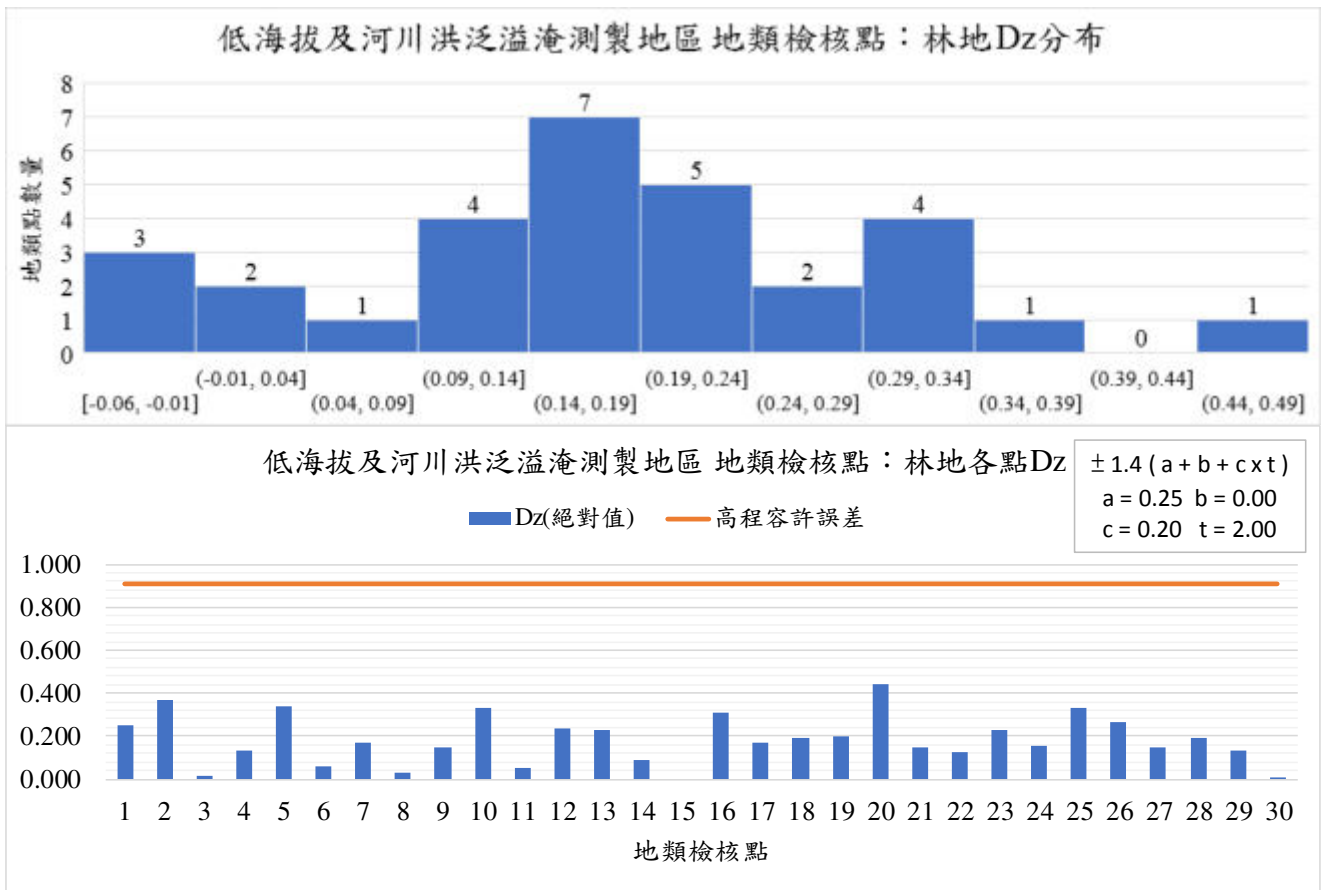


圖 2-52 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-林地

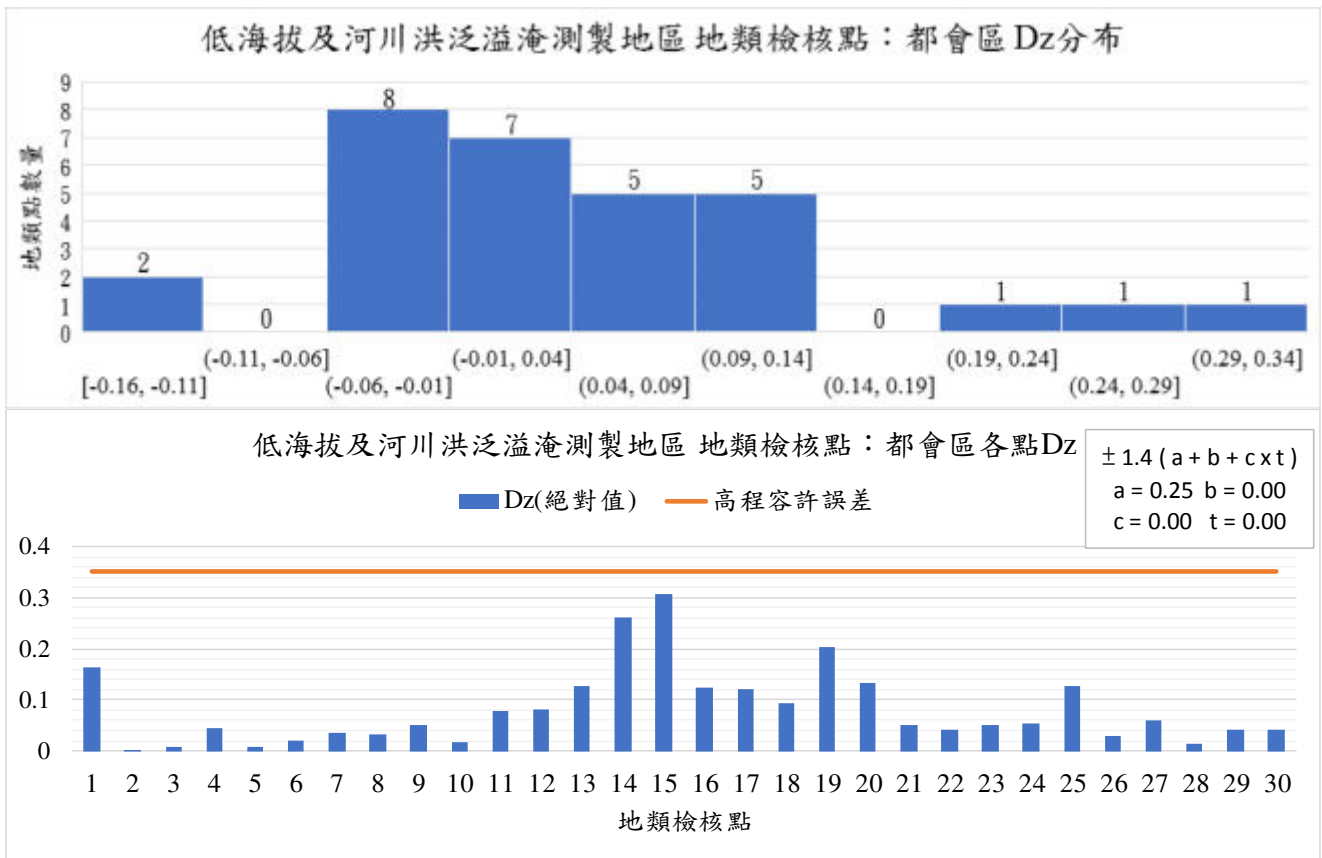


圖 2-53 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-都會區

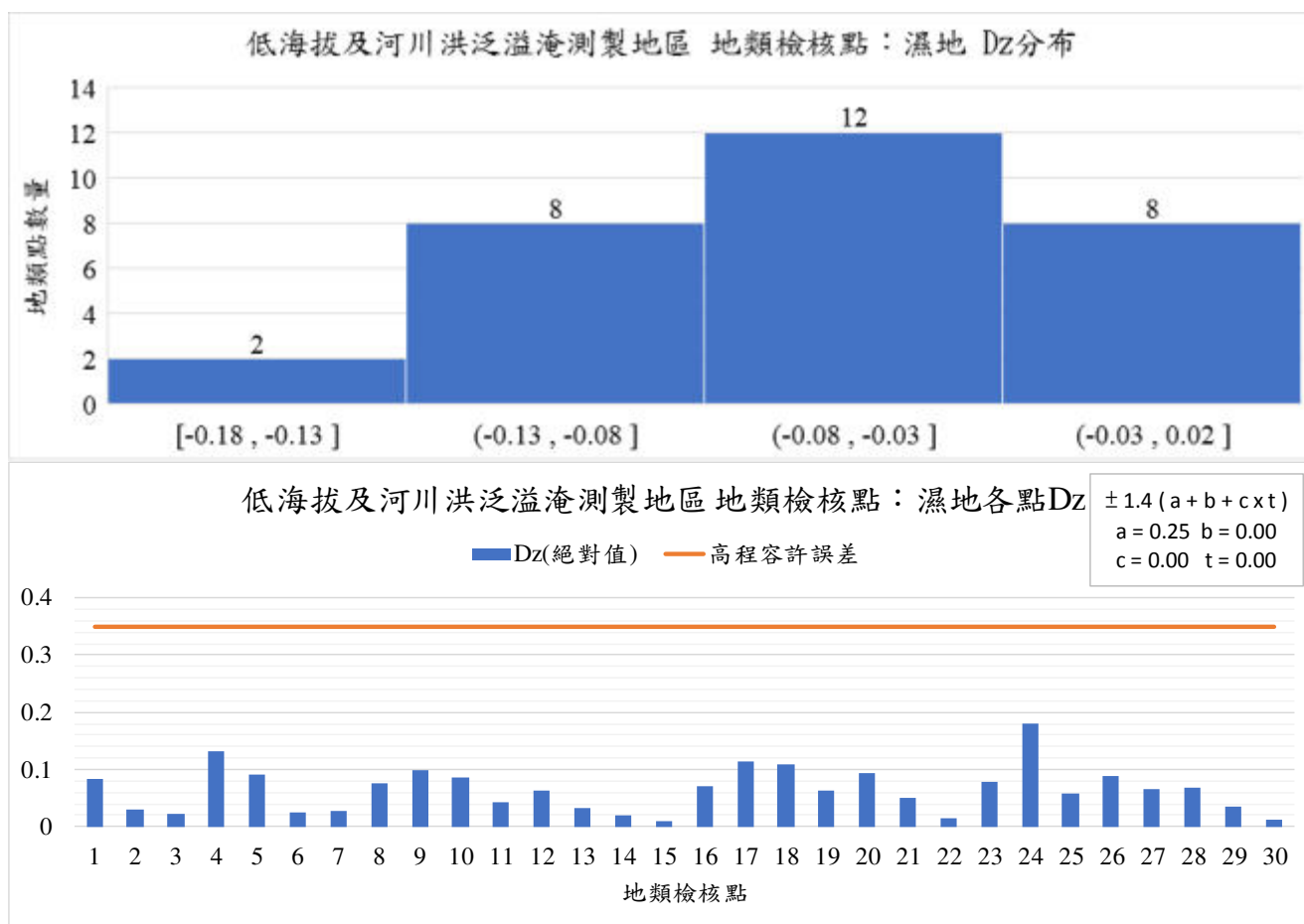


圖 2-54 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-濕地

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 2-25 以及附件十，繪製各類別統計分析圖如圖 2-55~圖 2-59，各點位近景及遠景像片詳如附件十一。

表 2-26 中高海拔山區地類檢核點總成果

項次	地類檢核點	測設數量	檢核成果	作業規範	是否合格
1	裸露地	30	-0.098 m ~ 0.200 m	± 0.350 m	合格
2	矮植被	30	-0.200 m ~ 0.230 m	± 0.378 m	合格
3	植生地	30	-0.386 m ~ 0.197 m	± 0.49 0m	合格
4	林地	30	-0.299 m ~ 0.416 m	± 1.190 m	合格
5	密林地	30	-0.507 m ~ 0.381 m	± 2.450 m	合格

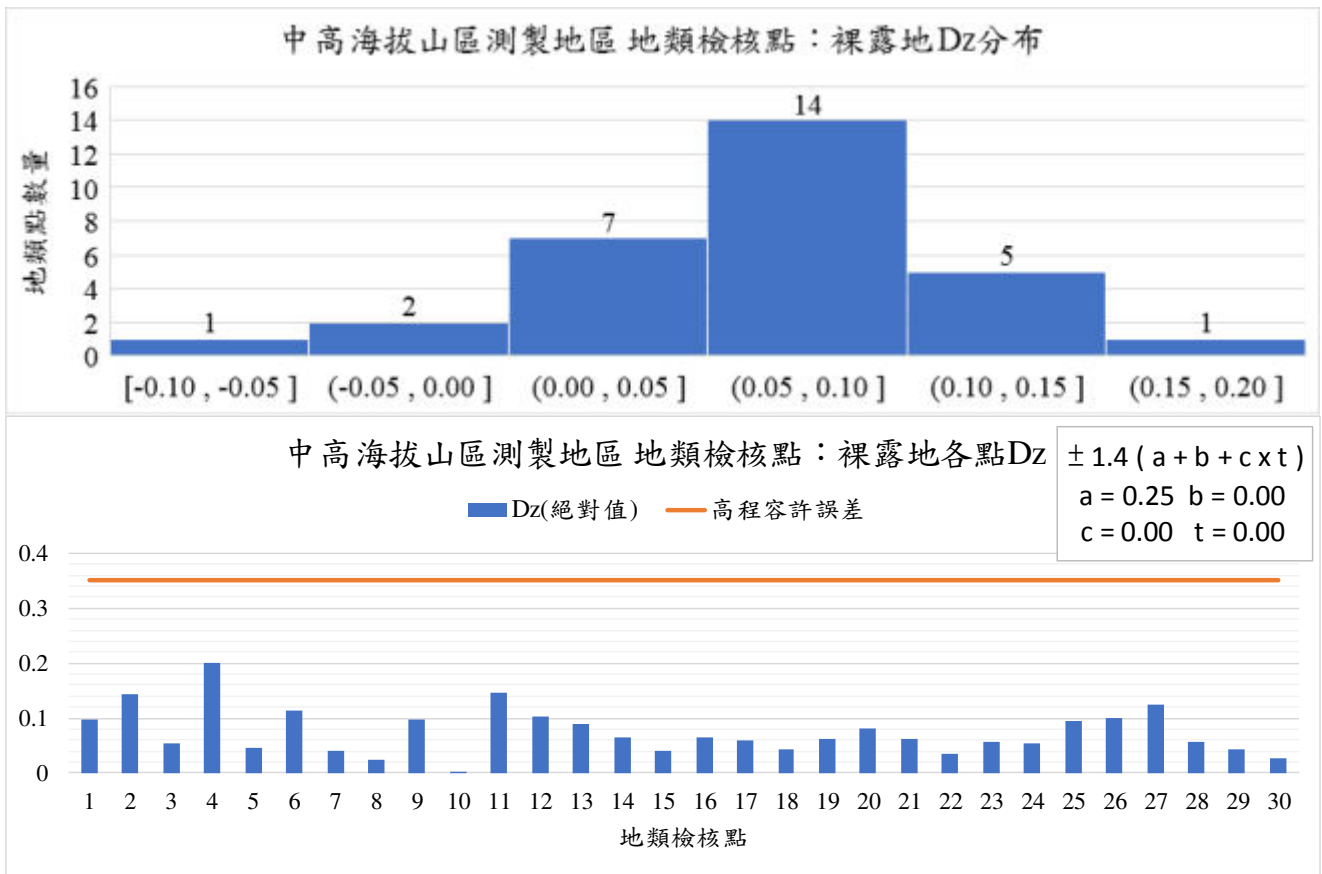


圖 2-55 中高海拔山區地類檢核點成果-裸露地

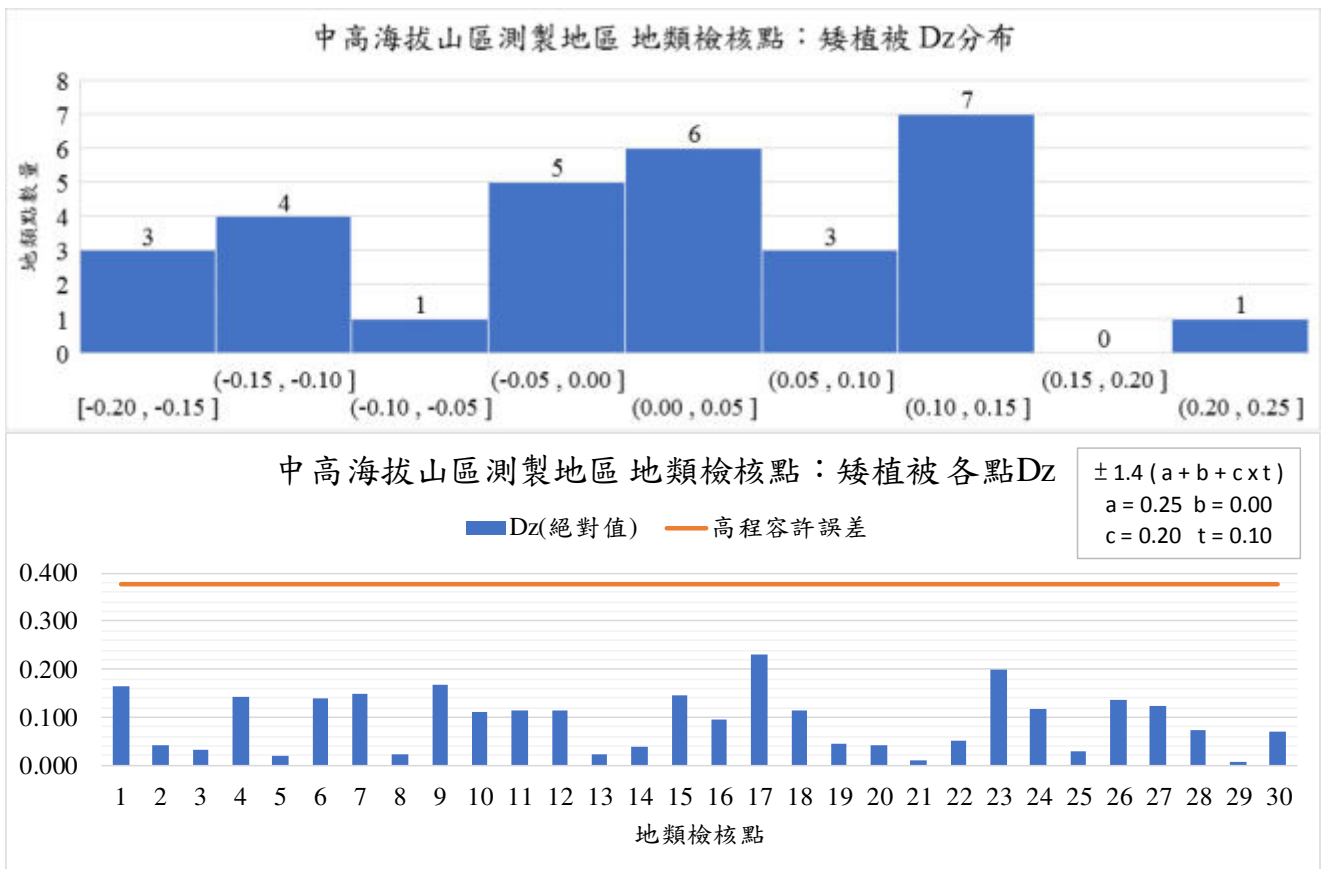


圖 2-56 中高海拔山區地類檢核點成果-矮植被

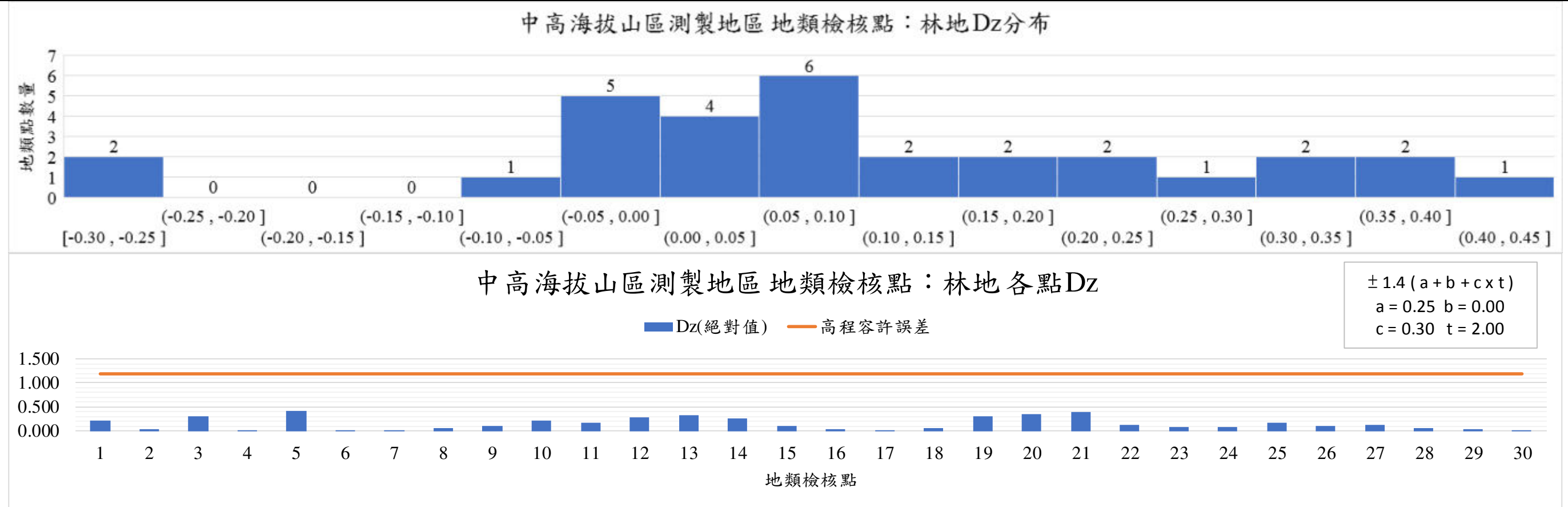


圖 2-57 中高海拔山區地類檢核點成果-林地

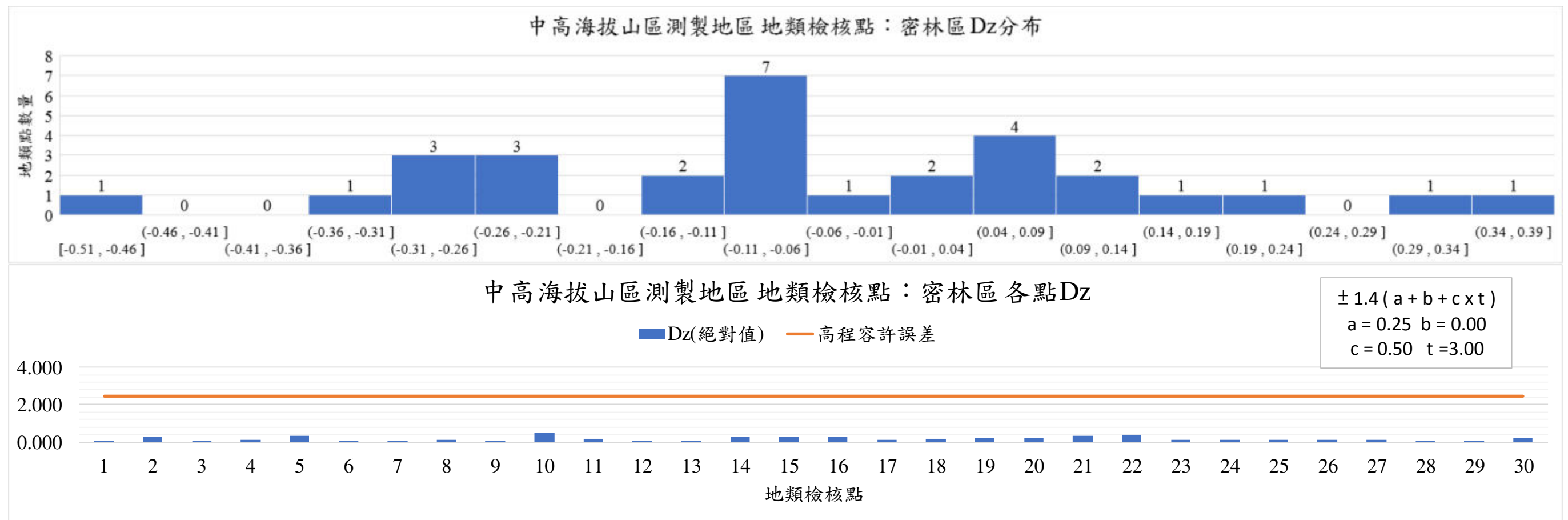


圖 2-58 中高海拔山區地類檢核點成果-密林地

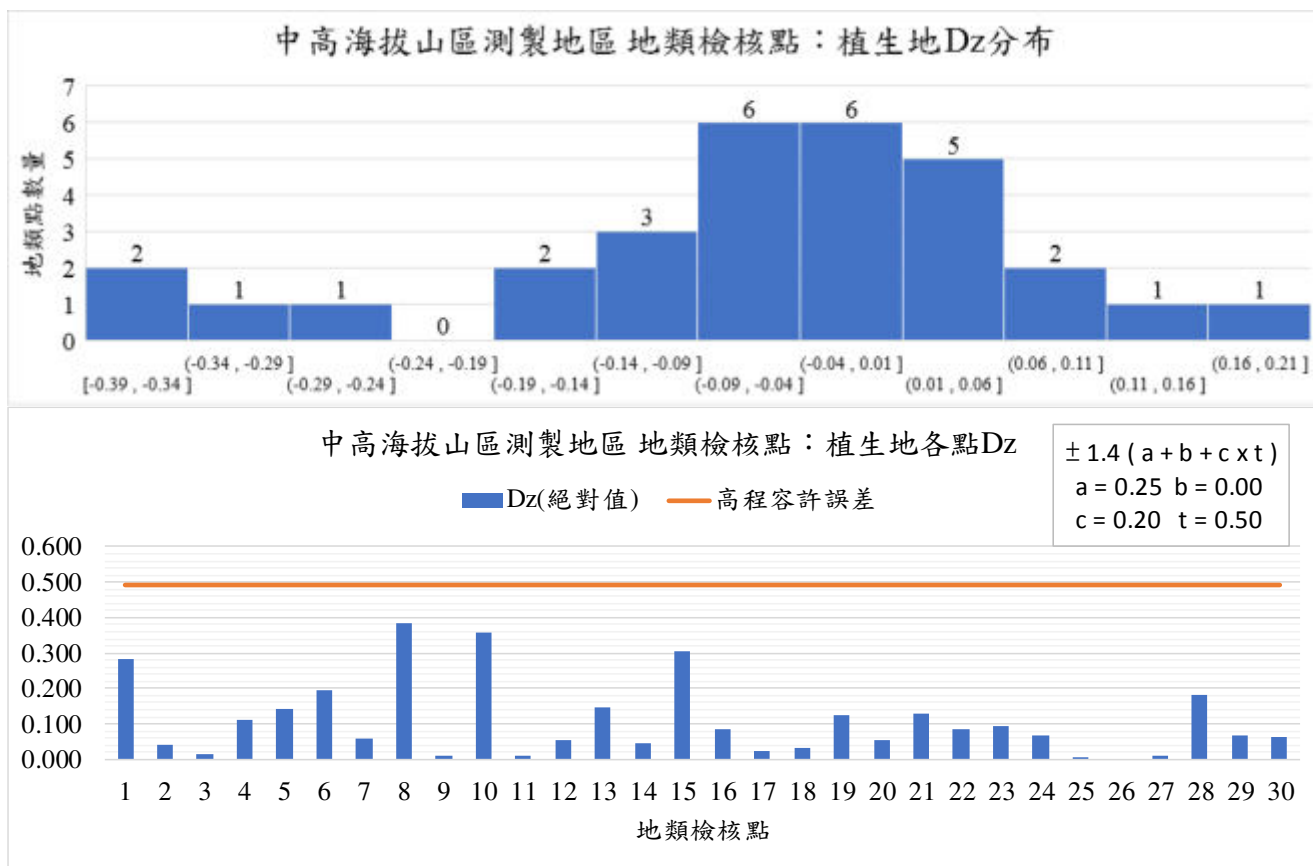


圖 2-59 中高海拔山區地類檢核點成果-植生地

三、橫斷面(cross section)檢核測量

(一) 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，分析檢核成果如圖 2-60。

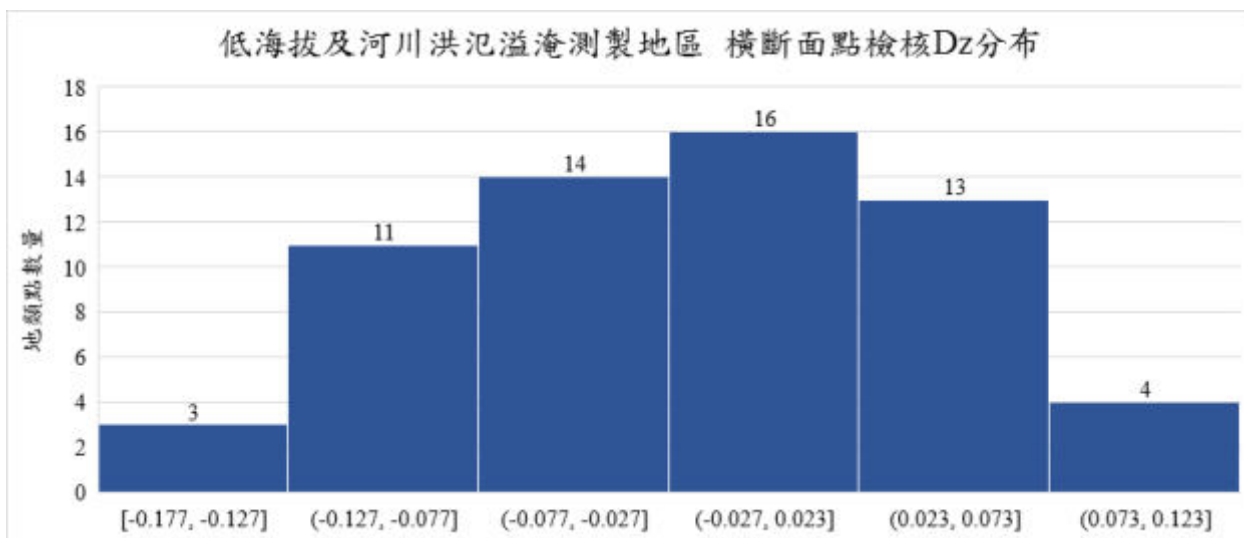


圖 2-60 低海拔及河川洪泛溢淹測製地區-斷面檢核成果

(二) 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。

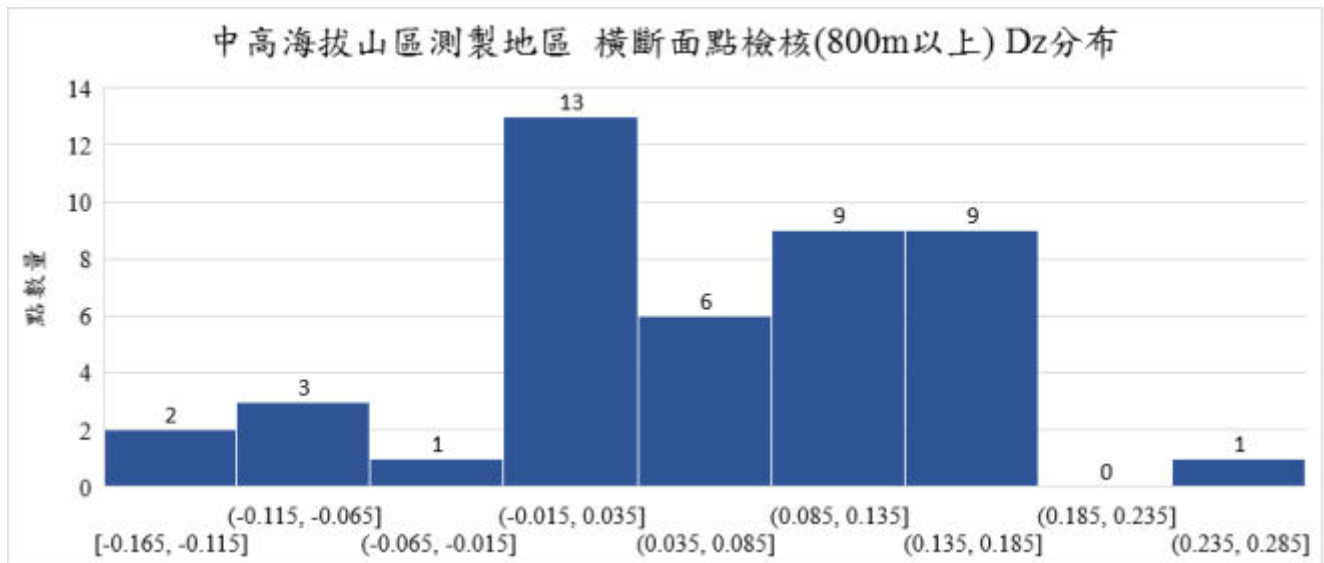


圖 2-61 中高海拔山區測製地區-斷面檢核成果

2-8-3 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 109 年 2 月 19 日 109 年第 1 次工作會議紀錄(成大研總字第 1091101136 號)，各測製廠商完成 109 年度成果後，應進行內外部接邊分配方案如圖 2-62。詮華公司負責 54 幅成果接邊；自強公司負責 54 幅成果；中興公司負責 77 幅成果，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。

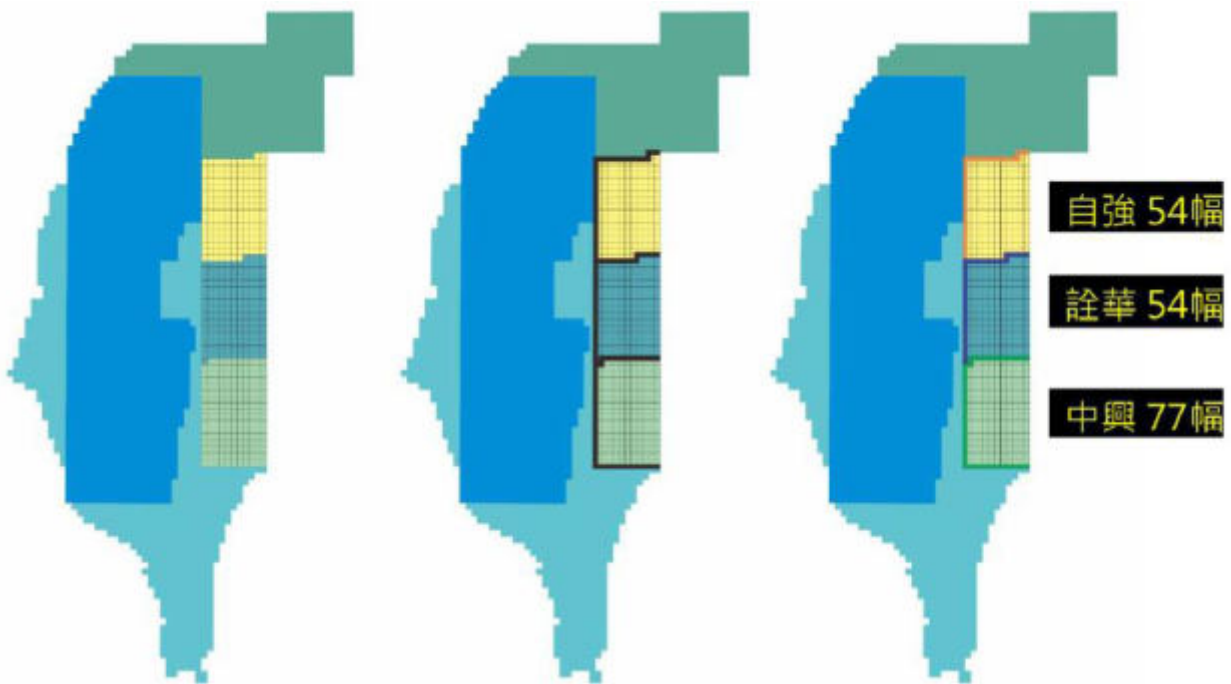


圖 2-62 109 年度成果接邊分配圖

2-8-4 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。

2-8-5 資料儲存格式

依據 108 年 4 月 26 日第 2 次工作會議紀錄(成大研總字第 1081103645 號)以及 108 年 6 月 3 日第 3 次工作會議紀錄結論(成大研總字第 1081104353 號)，資料儲存格式與內容如下：

- 一、有關 GRD(含 HDR、XML)及 GeoTiff 格式，應於 LAS 成果確定後，再據以轉製 GRD(含 HDR、XML)及 GeoTiff 格式，主辦機關將於監審單位成果驗收合格後，再請測製廠商轉製其它格式成果，請測製廠商於收到主辦機關通知次日起 30 個日曆天內繳交經監審單位審查通過之 GRD 及 GeoTiff 格式(均含正高及橢球高)至主辦機關。
- 二、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。
- 三、依據本案 108 年 5 月份第 3 次工作會議決議(成大研總字第 1081104353 號)，為使本案成果有延續性，本案 DTM GRD 網格點記錄方式循往例，採西南向東北記錄。

2-8-6 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 2-63，成果示意如圖 2-64。

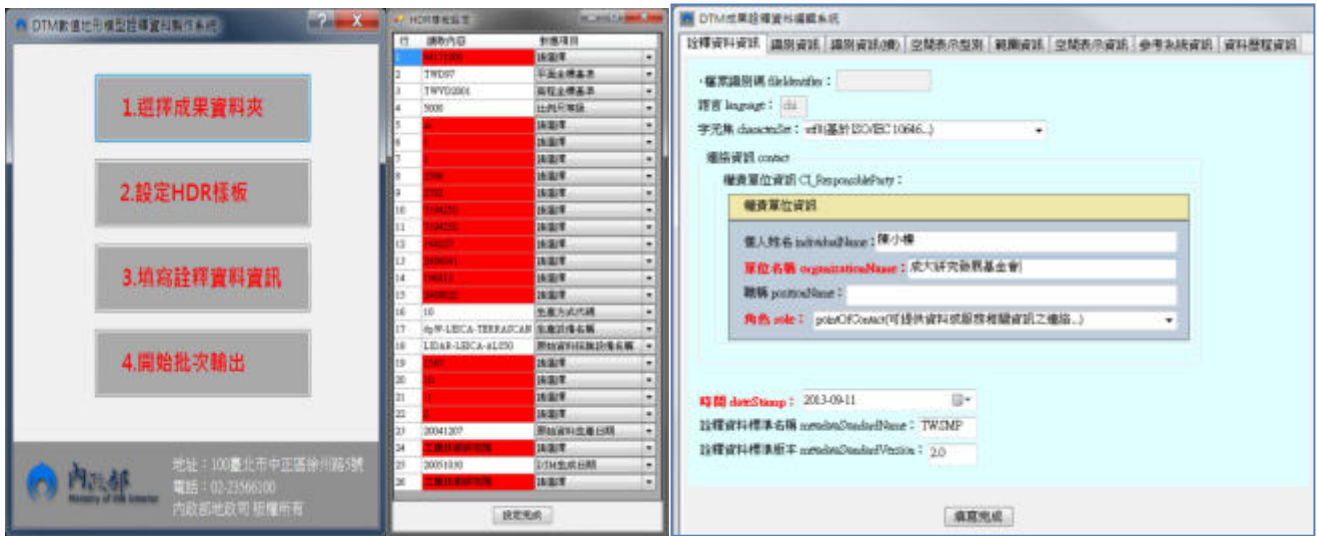


圖 2-63 內政部「詮釋資料建置系統」作業畫面



圖 2-64 DEM 詮釋資料成果示意

2-8-7 成果展示

本計畫成果產製 1m 解析度 DEM/DSM，成果展示如圖 2-65~圖 2-70。

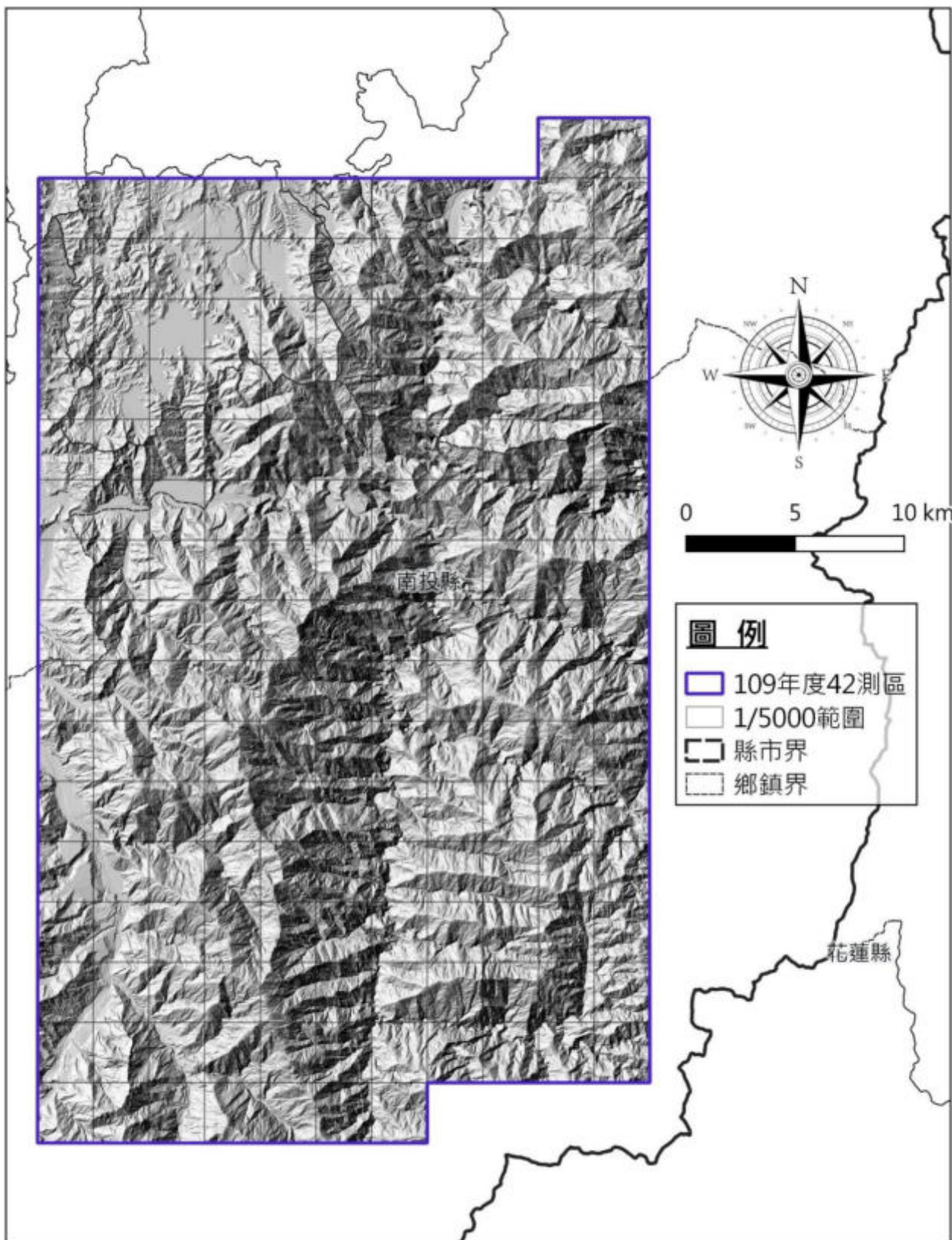


圖 2-65 4-2 測區 1m DEM 日照陰影圖

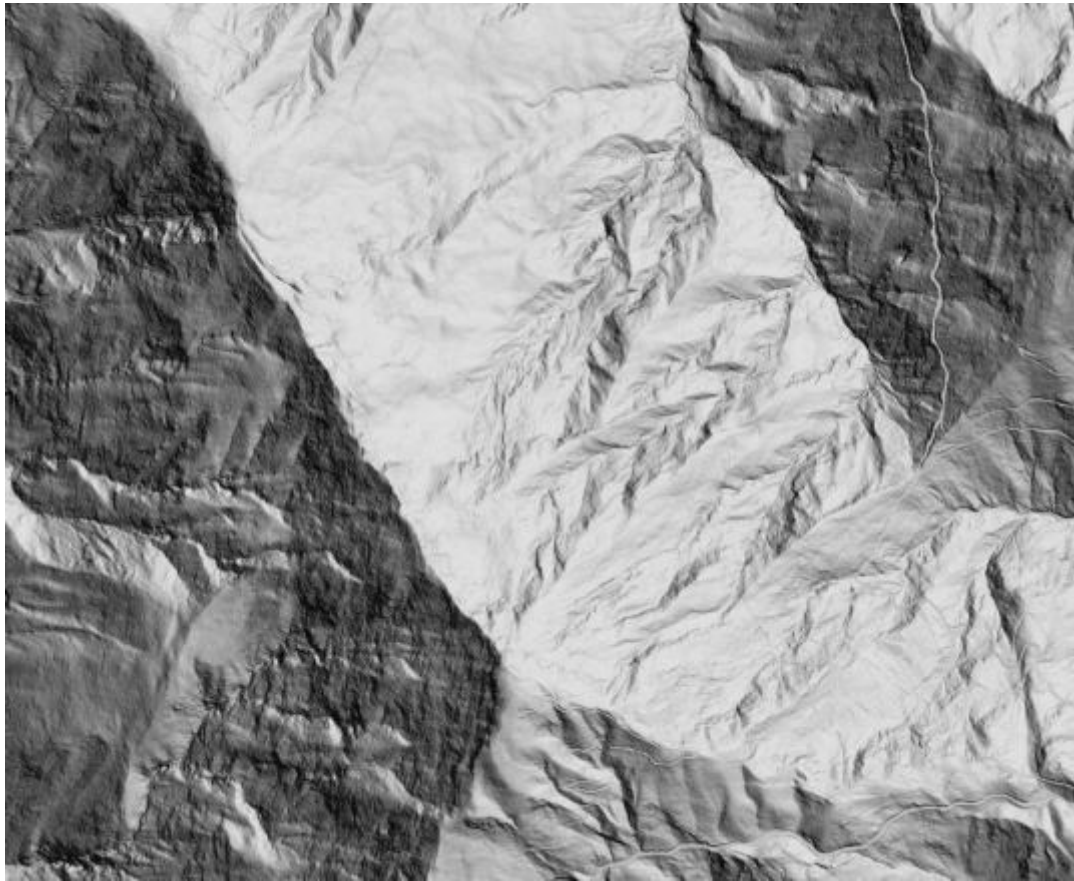


圖 2-66 4-2 測區 1m DEM 日照陰影圖-1

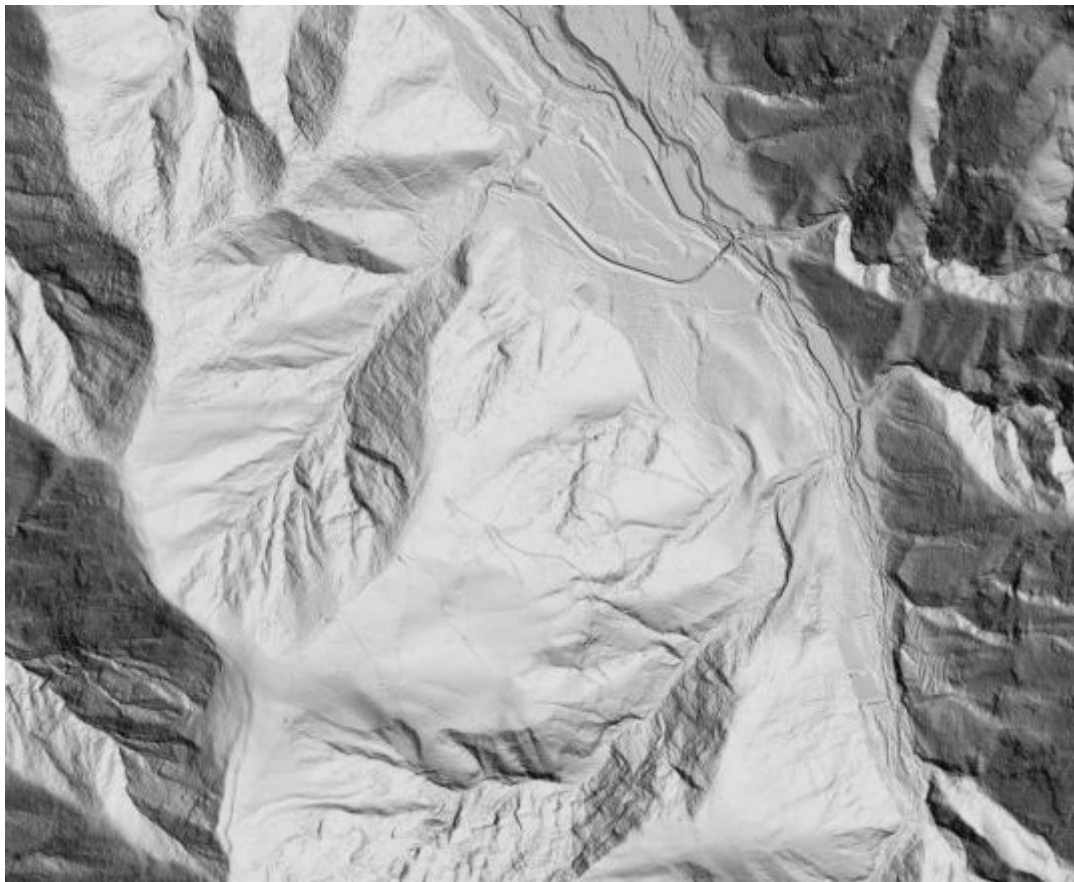


圖 2-67 4-2 測區 1m DEM 日照陰影圖-2

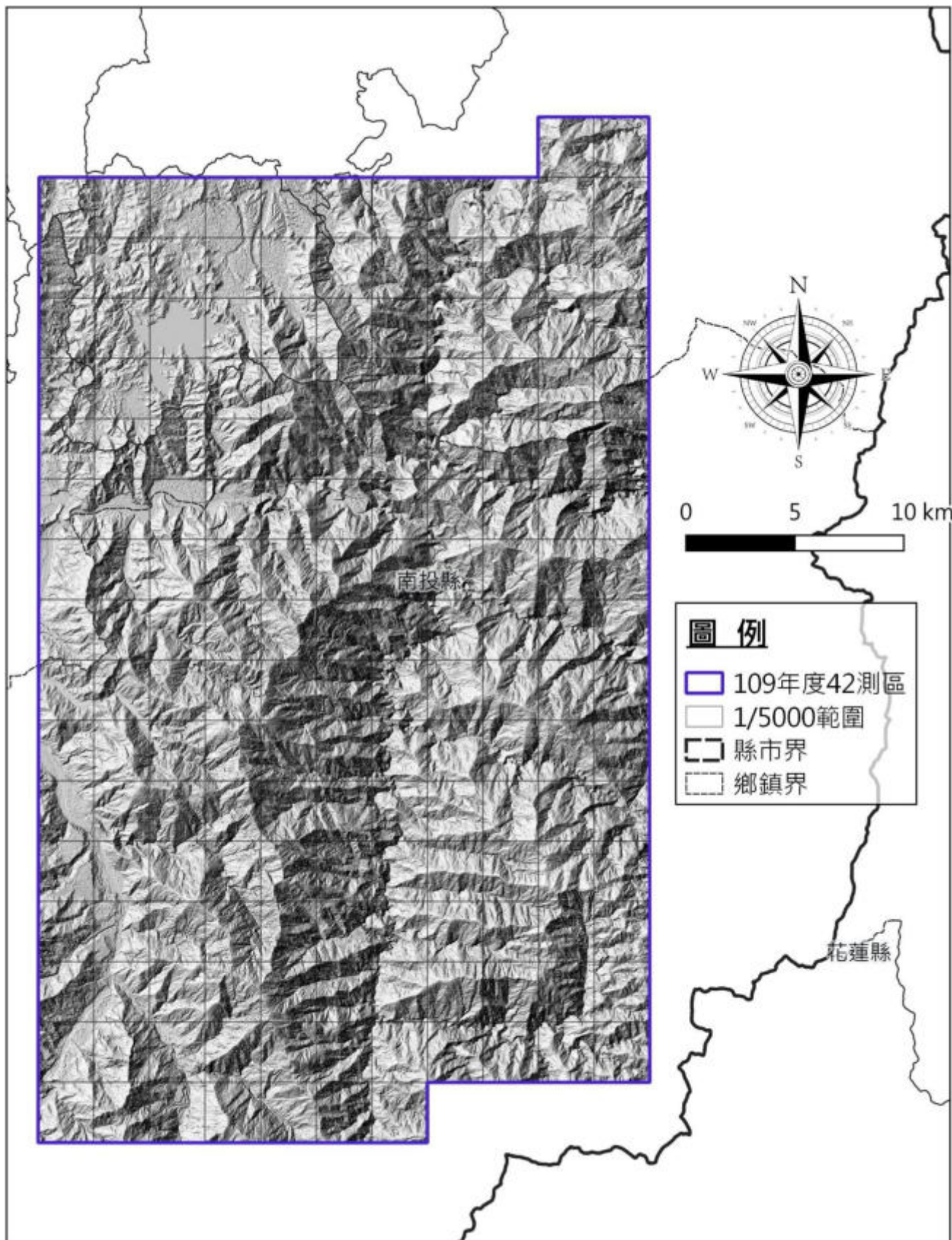


圖 2-68 4-2 測區 1m DSM 日照陰影圖



圖 2-69 4-2 測區 1m DSM 日照陰影圖-1

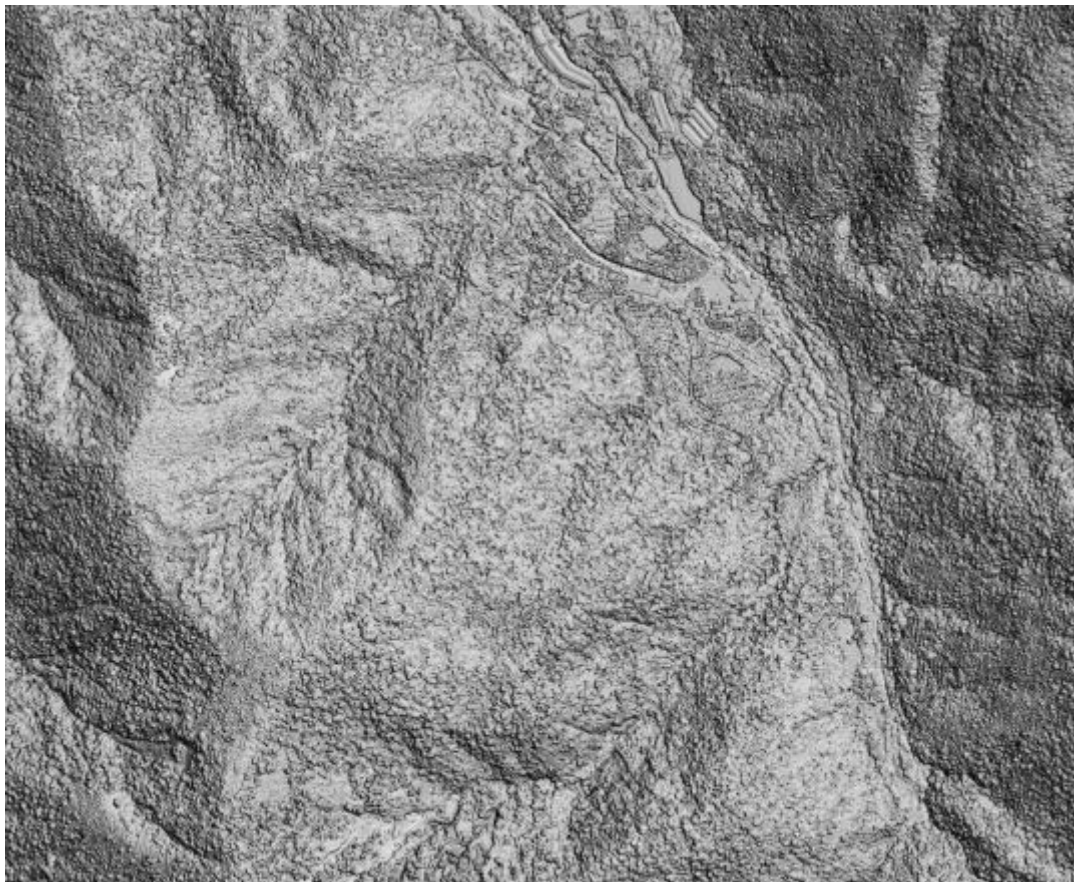


圖 2-70 4-2 測區 1m DSM 日照陰影圖-2

2-9 正射影像製作

2-9-1 正射影像製作流程

利用空三解算後外方位，以同步獲取之空載光達點雲所生成的 DEM 作影像正射糾正依據，製作 25cm 正射影像，整體詳細流程如圖 2-71。

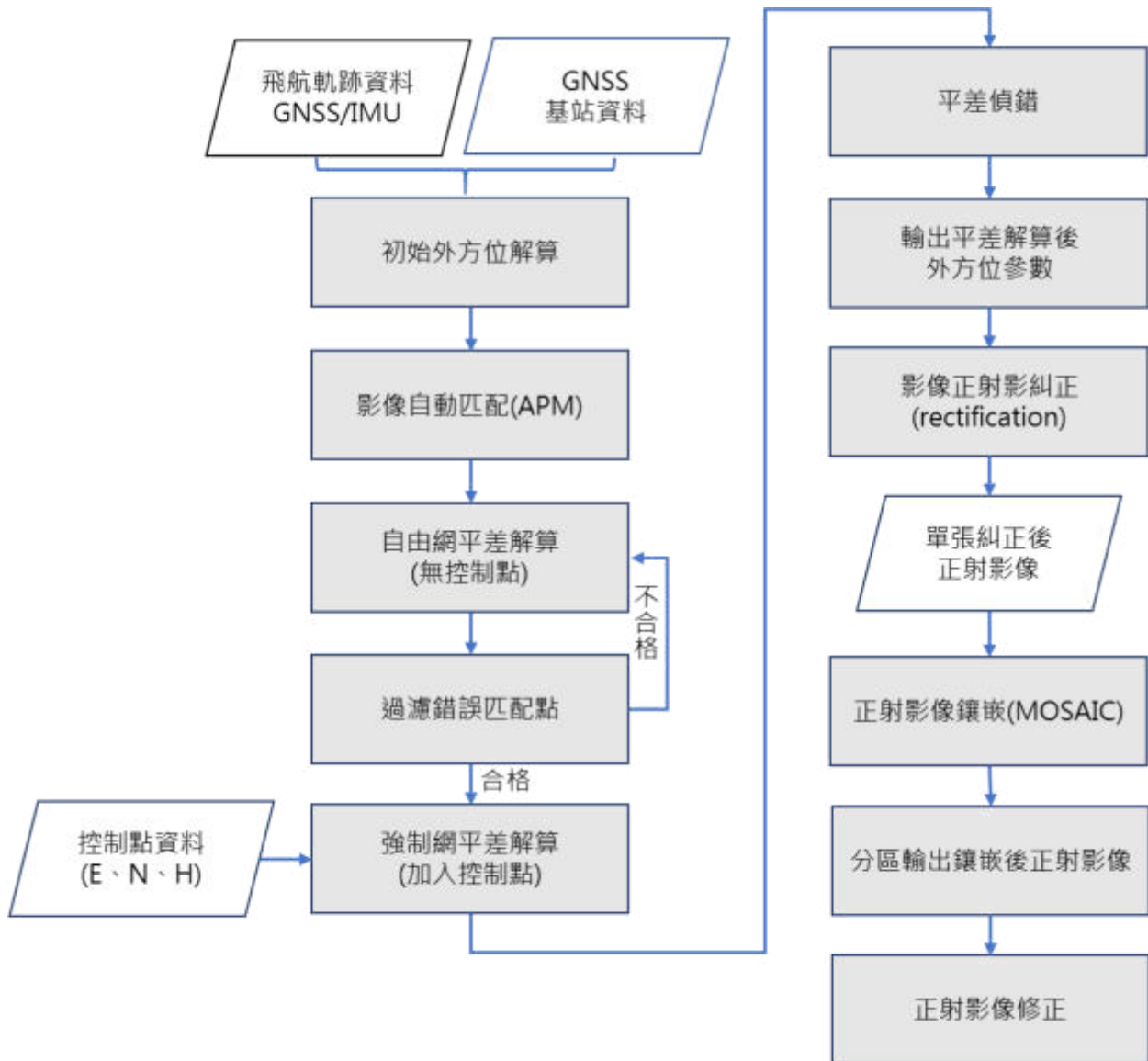


圖 2-71 正射影像製作流程

- 一、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。本案 109 年度範圍無機敏區域，原始航拍影像無須進行遮蔽處理。
- 二、影像正射糾正使用空三解算後外方位，並於成果繳交時提供。相關空中三角作業說明詳如章節 2-5-2 第三項，並利用同步獲得之空載光達點雲製作 DEM 成果做為影像正射糾正依據。
- 三、影像所顯示地物的色彩，應與其原本天然色彩一致。

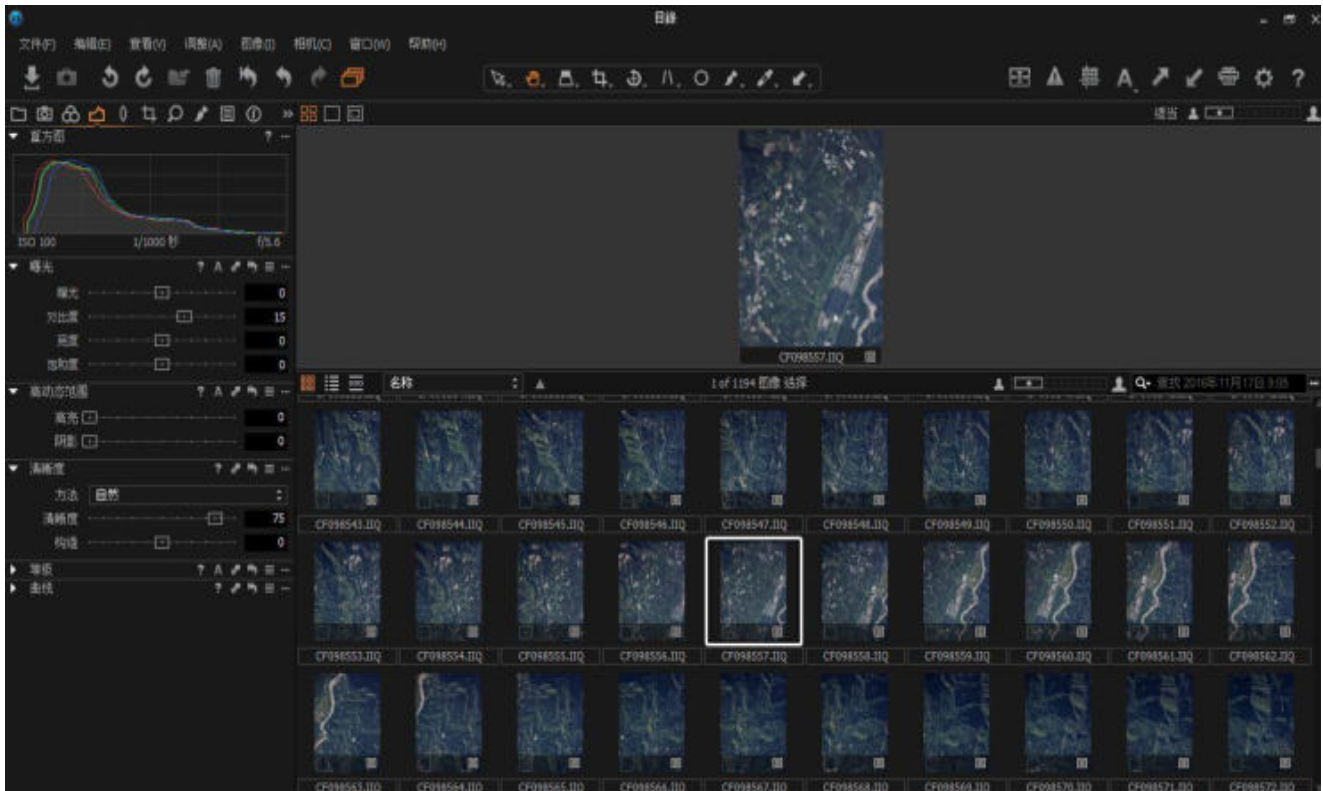


圖 2-72 航拍影像色調調整操作畫面

四、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 2-73，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。

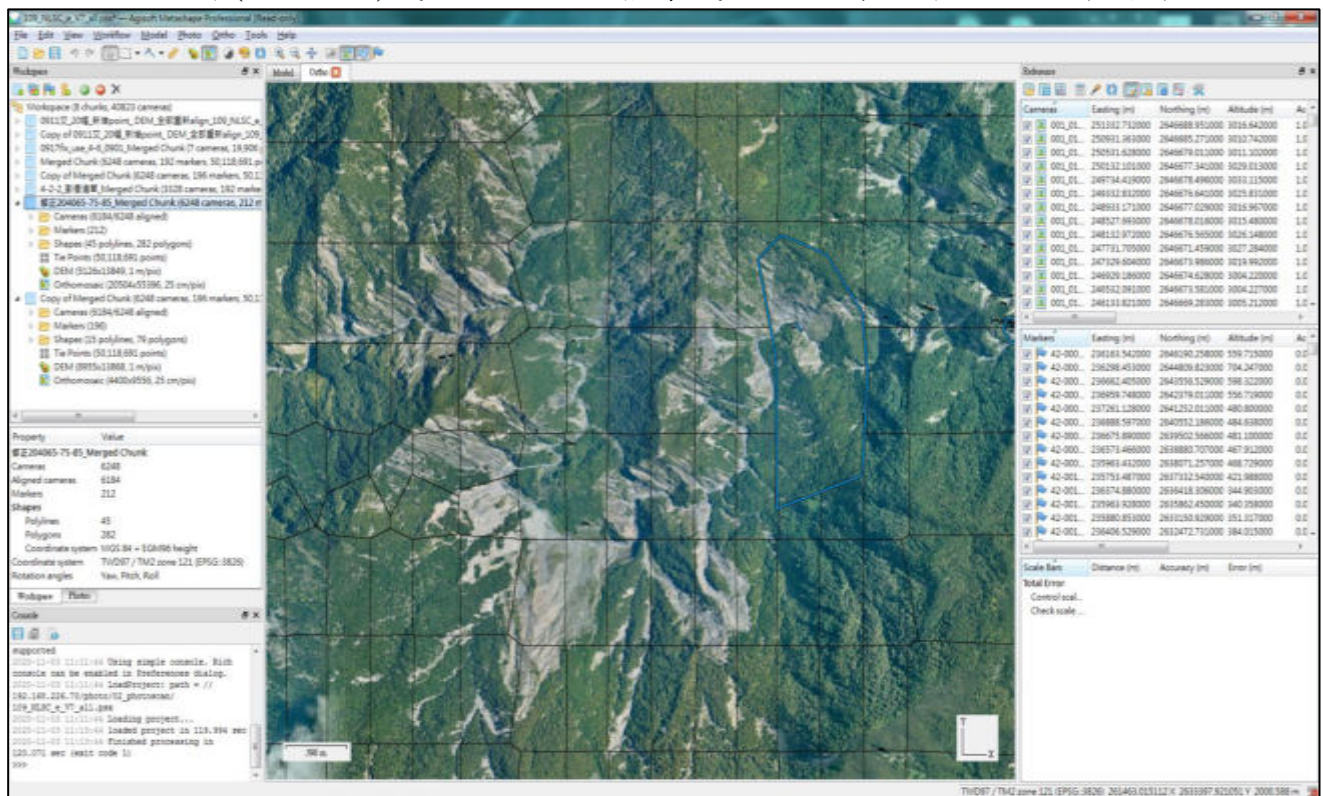


圖 2-73 正射影像鑲嵌作業畫面

2-9-2 正射影像成果檢核

- 一、本計畫依據作業規範僅需依照解算後軌跡資料製作正射影像，為提高本計畫正射影像製作精度，本計畫於實地測設之高程平差控制點全數布設 40cm x 40cm 航測標，並於空三作業時加入計算。
- 二、量測正射影像上航測標與實測控制點之平面檢核結果表列於表 2-27，作業畫面如圖 2-74。其中，整體平面方向標準差為 13 cm。

表 2-27 正射影像平面精度控制點檢核成果

點號	ΔX	ΔY	ΔS	點號	ΔX	ΔY	ΔS
42-0001A	0.144	0.130	0.194	42-0034A	-0.171	0.515	0.543
42-0002A	-0.161	-0.043	0.167	42-0035A	0.062	0.368	0.373
42-0003A	-0.207	-0.096	0.228	42-0036A	-0.299	0.077	0.309
42-0004A	-0.121	0.133	0.180	42-0037A	-0.198	-0.022	0.199
42-0005A	-0.241	0.121	0.270	42-0038A	-0.139	-0.204	0.247
42-0006A	-0.250	0.024	0.251	42-0039A	-0.103	-0.016	0.104
42-0007A	0.013	0.181	0.181	42-0040A	-0.191	-0.185	0.266
42-0008A	0.079	0.075	0.109	42-0041A	-0.290	-0.107	0.309
42-0009A	0.049	0.127	0.136	42-0042A		-	-
42-0010A	-0.041	0.039	0.057	42-0043A		-	-
42-0011A	-0.012	0.443	0.443	42-0044A	0.088	0.028	0.092
42-0012A	0.066	0.309	0.316	42-0045A	-0.120	0.069	0.138
42-0013A	-0.034	0.539	0.540	42-0046A	0.049	0.036	0.061
42-0014A	-0.099	0.315	0.330	42-0047A	0.090	0.222	0.240
42-0015A		-	-	42-0048A	0.272	0.372	0.461
42-0016A		-	-	42-0049A	0.031	0.095	0.100
42-0017A	-0.262	-0.303	0.401	42-0050A		-	-
42-0018A	0.198	0.108	0.226	42-0051A	-0.152	0.281	0.319
42-0019A	0.437	0.241	0.499	42-0052A	0.135	0.362	0.386
42-0020A		-	-	42-0053A	0.048	0.199	0.205
42-0021A		-	-	42-0054A	-0.215	-0.239	0.321
42-0022A	0.059	0.410	0.414	42-0055A	-0.068	-0.040	0.079
42-0023A	0.049	0.140	0.148	42-0056A	-0.033	-0.021	0.039
42-0024A	-0.149	0.158	0.217	42-0057A	0.063	-0.175	0.186
42-0025A		-	-	42-0058A		-	-
42-0026A	0.191	0.107	0.219	42-0059A	0.145	-0.088	0.170
42-0027A	-0.256	0.174	0.310	42-0060A	-0.004	0.003	0.005
42-0028A	0.045	0.238	0.242	42-0061A		-	-
42-0029A	-0.364	-0.037	0.366	42-0062A	0.153	-0.129	0.200
42-0030A	0.065	0.072	0.097	42-0063A	-0.069	0.151	0.166
42-0031A	0.027	0.125	0.128	42-0064A	0.082	-0.065	0.105
42-0032A	0.029	0.059	0.066	42-0065A		-	-
42-0033A	0.043	-0.136	0.143	42-0066A	-0.035	0.238	0.241
平面標準差							0.130

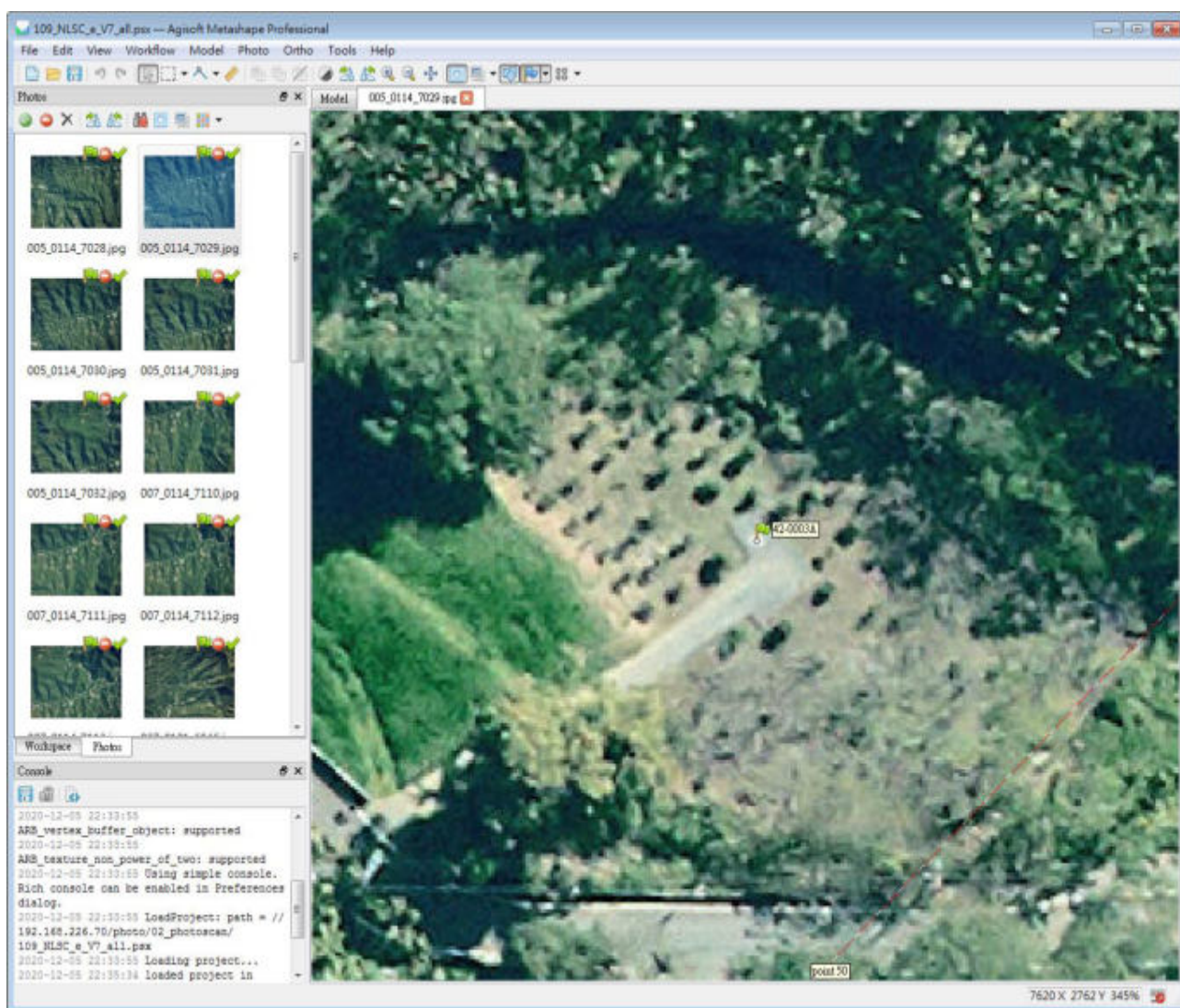


圖 2-74 影像控制點量測作業畫面

三、監審單位以「外業實際量測特徵點位與正射影像比對」以及「內業正射影像與點雲平面位置一致性檢查」作為本計畫正射影像檢核作業方式。並於選定之抽樣圖幅，且抽查點位重複量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於 2.5 公尺作為檢核標準。節錄本計畫範圍內監審單位檢核成果統計 4-2-1 測區以及 4-2-2 測區數值如表 2-28。其中，4-2-1 測區共檢核 50 點，平均平面差值為 24.7 公分；4-2-2 測區共檢核 11 點，平均平面差值為 23.9 公分，全數小於 2.5 公尺，符合作業規範。

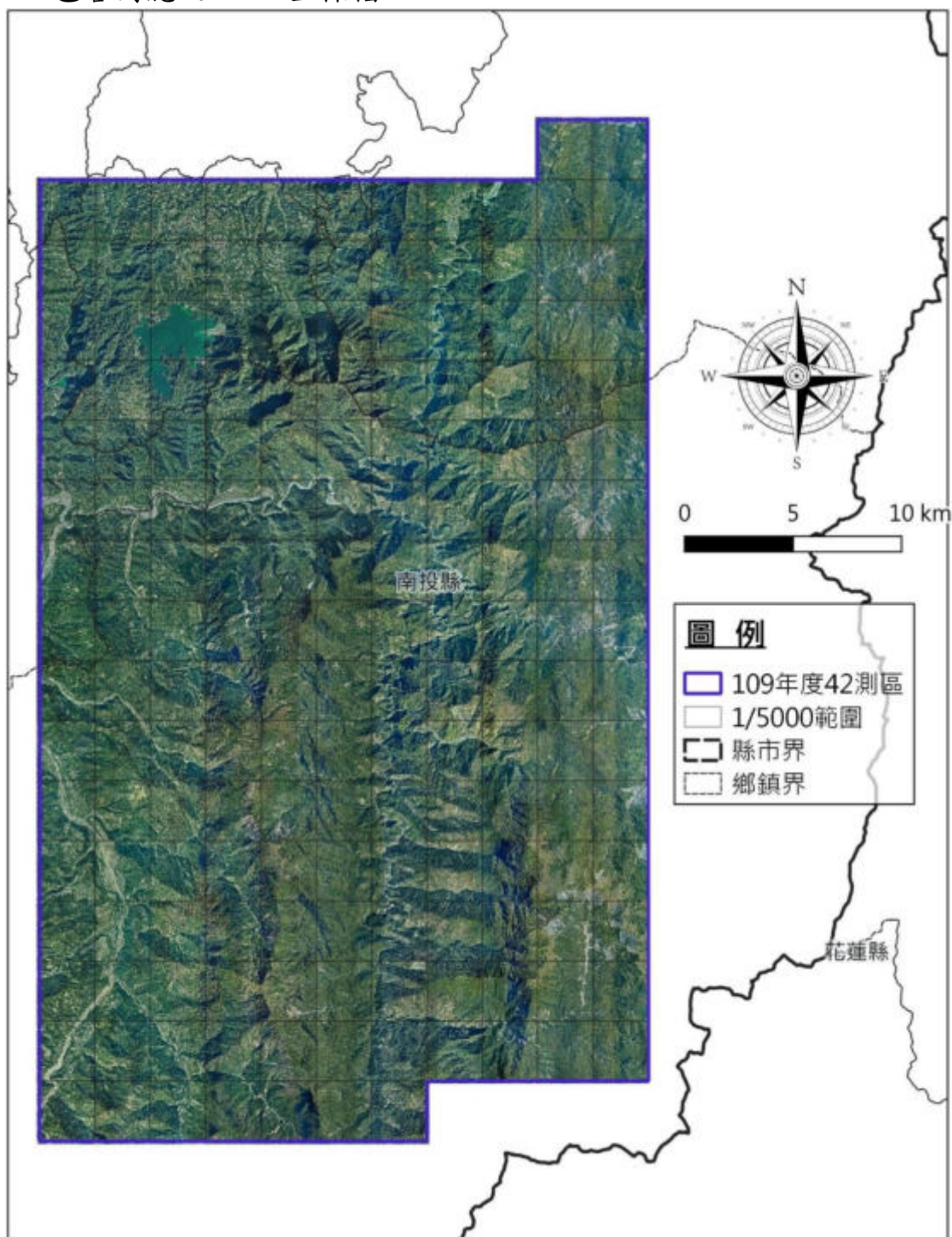
表 2-28 正射影像平面精度檢核點成果統計表

測區	點數	合格點數	不合格點數	不合格率	平均平面差值	是否合格
4-2-1	50	50	0	0.00%	24.7 公分	合格
4-2-2	11	11	0	0.00%	23.9 公分	合格

資料來源：成功大學衛星資訊研究中心(監審單位)

2-9-3 正射影像成果

- 一、以 1/5000 圖幅範圍分幅（須外擴），共 174 幅，成果範圍與 DTM 成果範圍一致(圖 2-75)。
- 二、正射影像 GSD 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。



2-9-4 正射影像詮釋資料製作

配合主辦機關成果統整需求，於 109 年度起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 2-76，製作成果如圖 2-77。

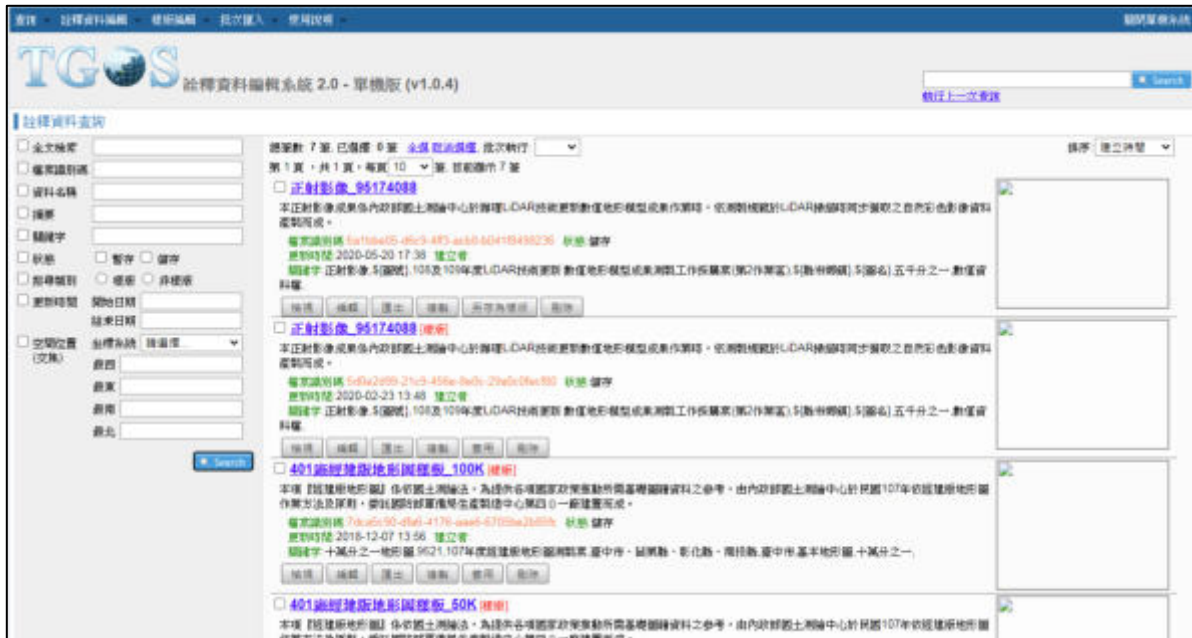


圖 2-76 正射影像詮釋資料製作畫面

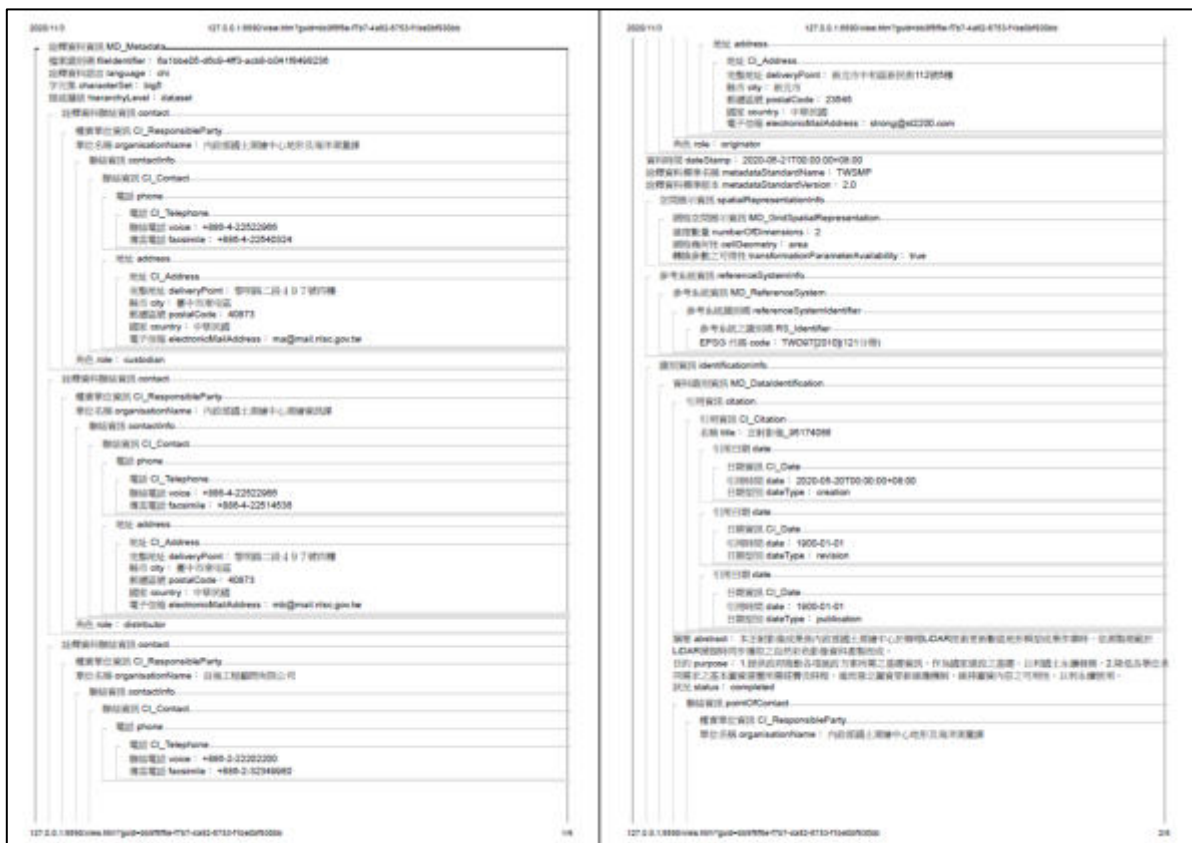
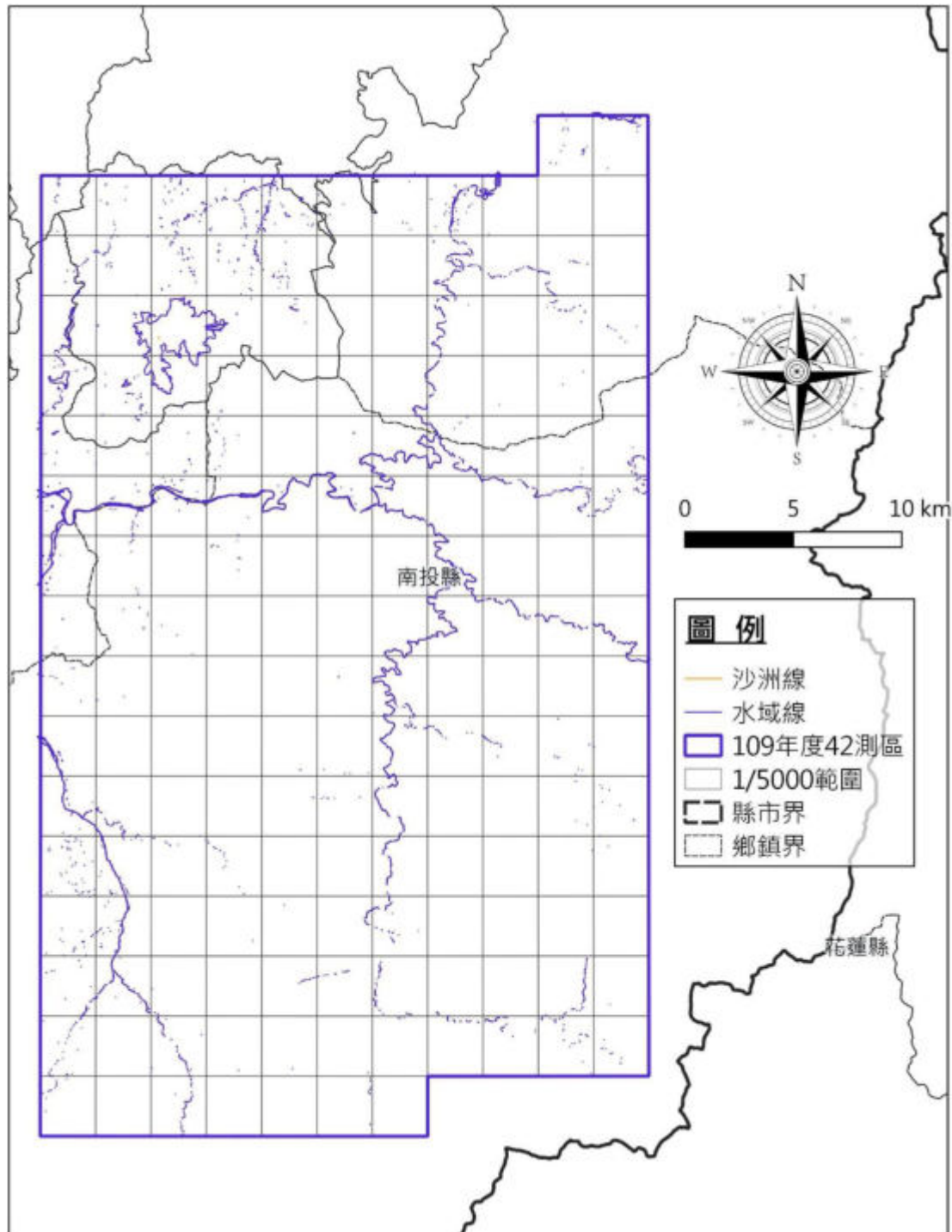


圖 2-77 正射影像詮釋資料成果示意圖

2-9-5 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，將水域線內地表點雲分類為水點，沙洲線內水點分類為地表點，提供後續成果應用參考(詳如章節 2-7)，本計畫範圍全區水域線以及沙洲線現成果展示如圖 2-78



2-10 航攝成果提送內政部備查

本計畫於 108 年 1 月 24 日提送航攝相關文件申請航拍許可(自工字第 108015262 號)，並於 108 年 3 月 5 日獲得內政部同意(台內地自第 1080108362 號)。依據 109 年度第 4 次工作會議紀錄結論(成大產創字第 1091107532 號)，以及「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」第 8 條規定，本案實施航攝或遙測獲取之相關成果，應經中央主管機關會同國防部審查。本案 108 及 109 光達測製案之航拍影像資料，各測製廠商須於 109 年 11 月 15 日前提送內政部辦理審查。續於 109 年 11 月 13 日發函內政部(自工字第 109116889 號)提送相關成果備審，並於 109 年 11 月 24 日獲得內政部准予備查(台內地字第 10900643881 號)，相關函文詳如圖 2-79 以及附件一。

檔 號： 保存年限：	
內政部 函	
地址：100218 臺北市中正區徐州路5號 聯絡人：余徐維 聯絡電話：02-23566097 傳真：02-23976875 電子信箱：moil799@moi.gov.tw	
受文者：自強工程顧問有限公司	
發文日期：中華民國109年11月24日	
發文字號：台內地字第10900643881號	
速別：普通件	
密等及解密條件或保密期限：	
附件：	
主旨：貴公司檢送辦理本部國土測繪中心「108及109年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作採購案」航空 測量攝影成果工作報告書1案，准予備查，請查照。	
說明：	
一、依據實施航空測量攝影及遙感探測管理規則第9條規定辦理，並復貴公司109年11月13日自工字第109116889號函。	
二、另首揭函所送成果資料光碟業經轉請國防部會同審查，俟審查完竣後將另案函復。	
正本：自強工程顧問有限公司	
副本：本部國土測繪中心	
第 1 頁，共 1 頁	

圖 2-79 108-109 年度航攝成果內政部准予備查函文

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需配合事項等事宜

3-2 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，其中兩位為主要內部檢核人員(點雲編修經驗 8 年)，於作業前期加入點雲編修，並交互檢核，中、後期由一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 30 幅(5 人 x 21 天 / 3.5 天 1 幅)。預計第 2 階段(3-2-1 子測區)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；另外增加兩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。

3-3 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，故預定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。趕工製作其主要工作人員有 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。

3-4 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	9,000	9,000	
1.2	飛航計畫規劃	式	1	28,000	28,000	
1.3	航拍許可申請	式	1	5,000	5,000	
	小計				42,000	
二	控制測量					
2.1	外業平差控制點測設	式	1	731,830	731,830	含平、高控點
2.2	地面檢測點測設	式	1	340,000	340,000	含中高低海拔
2.3	橫斷面檢核測量	式	1	166,000	166,000	含中高低海拔
2.4	地面 GPS 基地站規劃	式	1	10,000	10,000	
2.5	GPS 儀器 TAF 檢校	式	1	40,000	40,000	
2.6	地面 GPS 基地站架設	式	1	208,000	208,000	含基站維護
2.7	地面 GPS 基地站網路架設	式	1	48,000	48,000	
2.8	GPS 資料彙整及報告製作	式	1	10,000	10,000	提送丙方解算
	小計				1,553,830	
三	空載光達掃瞄施測資料獲取					
3.1	飛航載具費用(含進駐外站費用)	幅	174	30,000	5,220,000	含飛機折舊及耗損
3.2	LiDAR 系統率定	幅	174	2,000	348,000	含率定報告製作
3.3	LiDAR 掃瞄施測費	幅	174	15,000	2,610,000	含設備折舊及耗損
3.4	LiDAR 掃瞄資料繳交	幅	174	1,000	174,000	採硬碟方式儲存
3.5	飛航掃瞄報告書製作	幅	174	300	52,200	採書面方式繳交
	小計				8,404,200	
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	174	1,500	261,000	含 POS 解算
4.2	航帶平差	幅	174	5,000	870,000	含精度分析
4.3	點雲分幅、分類及人工編修	幅	174	14,000	2,436,000	含軟體使用
4.4	作業成果檢查	幅	174	4,000	696,000	含精度分析
4.5	資料彙整及成果繳交	幅	174	1,000	174,000	採硬碟方式儲存
	小計				4,437,000	
五	DEM 與 DSM 製作(含圖幅接邊處理)					
5.1	DEM、DSM 製作	幅	174	3,500	609,000	
5.2	DEM 精度評估	幅	174	1,000	174,000	
5.3	內部圖幅接邊	幅	174	2,000	348,000	含 DEM/DSM
5.4	外部圖幅接邊	幅	174	2,000	348,000	含 DEM/DSM

項次	工作項目	單位	數量	單價	總價	備註
5.5	資料彙整及成果繳交	幅	174	1,000	174,000	
	小計				1,653,000	
六	正射影像製作					
6.1	航拍影像處理	幅	174	1,000	174,000	
6.2	空中三角平差計算	幅	174	4,000	696,000	
6.3	正射影像糾正、調色及鑲嵌處理	幅	174	6,000	1,044,000	
6.4	水域線數化	幅	174	2,000	348,000	
6.5	資料彙整及成果繳交	幅	174	1,000	174,000	
	小計				2,436,000	
七	各項報告書、工作總報告等					
7.1	各項成果報告製作	式	1	164,200	164,200	
7.2	工作總報告製作	式	1	50,000	50,000	
	小計				214,200	
	總計				18,740,230	

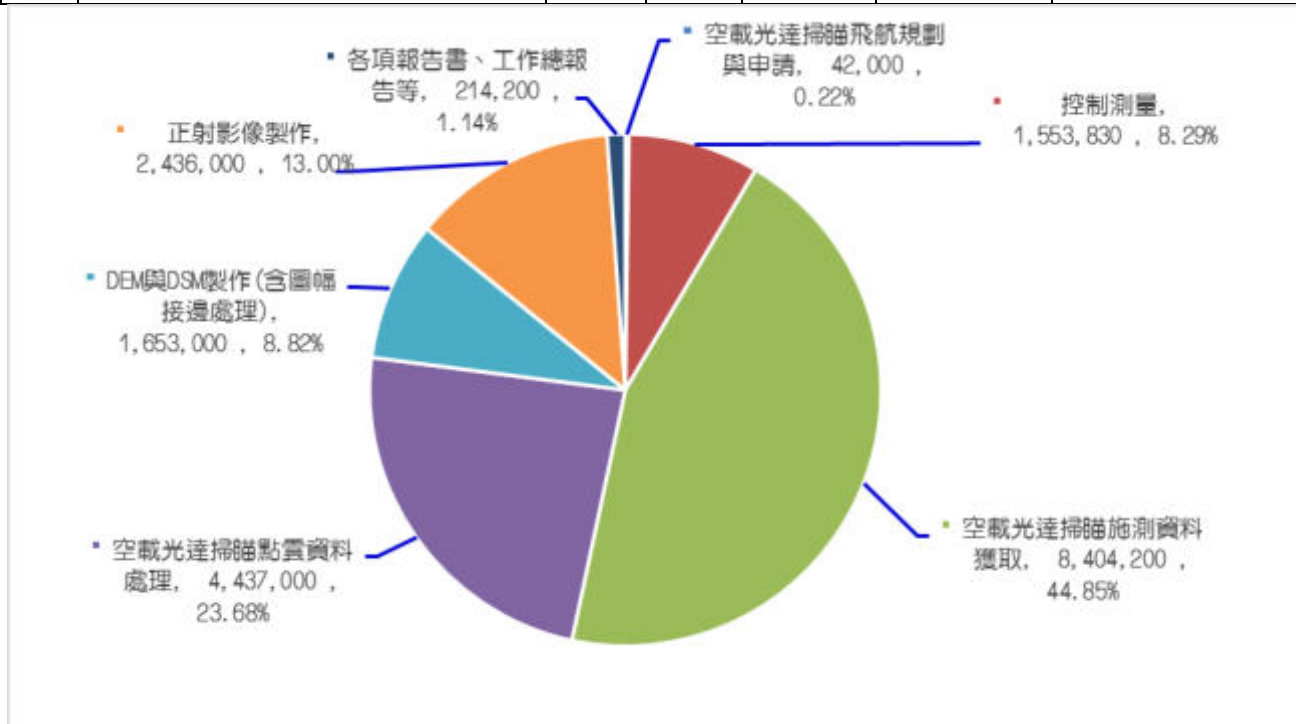


圖 3-1 成本分析圓餅圖

第四章 執行團隊

4-1 團隊組織編制

本團隊擁有 9 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

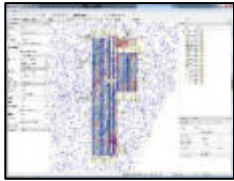
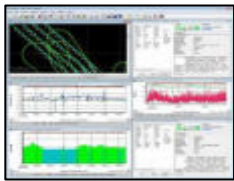


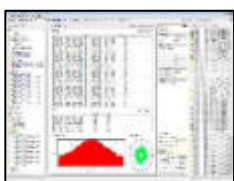
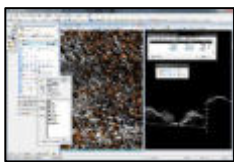
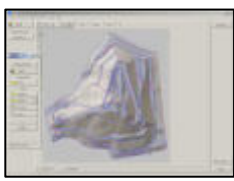
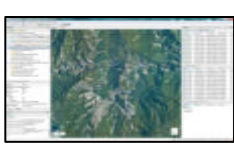
項次	作業項目	男(人數)：女(人數)
1	空載光達掃瞄飛航規劃與申請	2：2
2	空載光達掃瞄飛航資料獲取	8：14
3	正射影像製作	2：8
4	各項報告書、工作總報告	4：2

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	測量部副理/ 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	副理	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	廖煥貞	行政部助理	會計業務/行政業務
14	飛航掃瞄	飛航掃瞄組長	杜 詔	航拍組長	飛航任務執行
15		飛航掃瞄副組長	康祐程	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	陳俊佑	測量工程師	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	副理/ 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	張舒婷	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 Controller 以及 CCNS4 導航器可依據 DEM 規劃空載光達以及像機飛航測現，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
4	LeadSurvey ：自主研發地面控制測量 本公司自主研發測量計算管理系統，可應用於導線水準數值地形，斷面測量…等各項作業		1
5	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
6	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
10	Microstation ：點雲資料處理/數值繪圖 TerraScan/ TerraModeler/ TerraMatch 點雲分類與編修、		6
14	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，其最是性內插演算能呈現自然地地形起伏與走勢，成果廣為國內更急單位肯定。		2
15	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

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
地形與控制測量	Uni Strong 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：106.03.17-106.03.18 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: $\pm(5\text{mm}+01\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$		2
	NetSurv 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：106.04 靜態 GNSS 測量/RTK 測量 Horizontal: $\pm(5\text{mm}+1\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$ Vertical: $\pm(10\text{mm}+1\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$		2
	JAVAD 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：107.01.30、107.02.01 靜態 GNSS 測量/快速靜態/動態/RTK 測量 Horizontal: $\pm(3\text{mm}+0.5\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$ Vertical: $\pm(5\text{mm}+0.5\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$		7
	STONEX 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：107.01.30、107.12.11、107.12.13 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: $\pm(5\text{mm}+01\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$		6
	HORIZON Kronos 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：107.12.11、107.12.13 靜態 GNSS 測量/快速靜態/動態/RTK 測量 Horizontal: $\pm(2.5\text{mm}+0.5\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$ Vertical: $\pm(3.5\text{mm}+0.5\text{ppm}) \times (\text{baseline}) \text{ RMS}$		2
	Leica 全站儀 Leica 1100 系列 全站式經緯儀 $\pm 3 \text{ mm}+1 \text{ ppm}$ Leica 1200 系列 全站式經緯儀 $\pm 3 \text{ mm}+1 \text{ ppm}$ TAF 校正日期：107.06.06、107.06.05 地形測量/地類檢核點測量/橫斷面點測量		4

用途	儀器型式/儀器精度及規格	儀器照片	數量
空 載 光 達 掃 瞄 與 航 空 攝 影 測 量	<p>P68C-TC 專業航拍定翼機</p> <p>由義大利製造之全新 P68C-TC 定翼機，可同時取得高解析影像與高密度點雲成果，用以產製高解析度正射影像及高精度數值地形模型，提高正射影像以及地形圖精度。</p>		1
	<p>數位像機(PhaseOne ixu-rs 1000)</p> <p>2018 年全新購買 Phase One 航測像機(IXU-RS 10000)具有 10000 萬像素(111,608 x 8708 像素)，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(PhaseOne)</p> <p>PhaseOne 航測像機(IXA180)具有 8000 萬像素(10320x 7752 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(1.5 秒)。</p>		1
	<p>慣性穩定平台(Ultramount GSM3000)</p> <p>用於慣性導航系統，其功能為使裝載於其上之數位像機維持水平和方位的一致性。內部配有加速度計、電子線路(積分器)、陀螺力矩器及電子油壓系統。</p>		1
	<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

本計畫歷時 660 日曆天始得完成，中間過程遭逢連續不穩定天候狀況以及各項工作期程目標查核，是仰賴主辦機關、測製廠商、監審單位三方充分溝通、通力合作使能獲得如此豐碩且可靠的成果。

109 年度測區沿台 21 線有南北向河谷地形，緊接測區西南隅臺灣第一高峰—玉山主峰；沿台 14 線有東西向濁水溪上游河谷地形，高低落差甚鉅，在飛航規劃上是一相當嚴峻的挑戰。依據計畫作業規定，飛航規劃主要考量為點雲密度需滿足每平方公尺 2 點以上，使得測製廠商會優先以高頻率、高點雲密度方式規劃飛航掃瞄，在平地人口活動密集區因較少植被阻擋，一般皆能獲得有效 DTM 表現。但在高山自然地貌植被茂盛區域，較難兼顧點雲是否達到地表，添增成果表現不確定性。

今年度監審單位落實工作會議中決議，試辦點雲孔洞分析探討點雲穿透效益，以圖像化、量化點雲地表點穿透情形，同時回饋分析結果予測製廠商，提供測製廠商檢討航線規劃以及儀器設定的機會，藉以作為未來飛航規劃參考。其中，部分區域可由既有資料大空洞的分布推測歷史航線方向與地形死角，再藉此畫設與既有航線不同之新航線方向，或加強此區域航線點雲穿透率(降低航高或降低掃瞄頻率)，提高同類型計畫飛航掃瞄所獲得的成果品質。此一獨創的點雲測繪知識，讓本計畫執行過程中同步提升主辦單位、測製廠商以及相關單位對於成果品質的認知與實作依據，獨步於全球，提升臺灣在光達測繪的知識水準。

5-2 建議

本計畫作業規範針對低海拔易淹區域以及中高海拔作為許多作業規範區分依據，可能間接使得計畫參與者誤認為海拔高度較高區域作業較為困難。本計畫 108 年度以及 109 年度測區地形起伏介於 500m~3000m(以上)，包含中央山脈以及上游河川發源地，地勢陡峭且擁有多條深切河谷以及水庫。其中，在短距離內地勢變化大的區域(如深切河谷、陡峭山體以及坡度陡升區域)，在飛航掃瞄作業上最為艱困，而並非僅是利用地形高低區分作業困難度。

另外，考量孔洞分析未來作為分析成果品質之參考之一，建議未來計畫之主辦機關可以參考既有孔洞分布圖，規劃安排 LiDAR 更新數值地形模型作業區域

的優先順序，針對前期孔洞成果表現較差的區域優先更新數值地形模型，以提高整體國土資料品質。

綜整前述兩點，因點雲穿透地表成果與航線規劃、地形起伏的連續性有高度的相關性，建議主辦機關可依據地形起伏(坡度變化)以及孔洞成果規劃計畫執行範圍與計畫分區，平衡各年度、各分區可能執行的航線數量以及飛航架次，提高各年度整體計畫執行效率。