
114 年崩塌地及崩塌潛勢區

無人機光達拍攝及圖層產製

**The UAV LiDAR scanning and layer production of
landslide ground and potential landslide areas
in 2025.**

執行單位：自強工程顧問有限公司

執行期間：114 年 7 月 10 日至 114 年 12 月 15 日

計畫主持人：楊豐毓 副總經理

共同主持人：李明軒 研發長

協同主持人：賴澄燦 總經理

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 114 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考）

摘要

在推動大規模崩塌及不安定土砂基礎資料調查工作上，現有全島光達數值地形產製時間約為 5~6 年一期，為提升時間解析度，採用低空無人機光達掃描，將有助於觀測區域時間解析度、圖資解析度的提升，輔助地形變異評估，提供後續防災應變等業務運用。

農業部農村發展及水土保持署(後稱主辦機關)，以本計畫於臺灣本島大規模崩塌潛勢區、不安定土砂高風險殘坡或其他主辦機關指定地點，以無人機光達建立高密度與高解析度數值地形資料，另對重點區域或災害事件後拍攝，以光學影像拍攝、產製正射影像，以利後續防災應用及分析地形變異情形。

本年度於本計畫北部地區共執行 292 公頃無人機光達測繪，並完成共 592 公頃光學正射影像拍攝與製作，建置 20cm DEM、DSM 以及 5cm 正射影像。

關鍵字：無人機、光達、崩塌地

Abstract

In advancing the fundamental data investigation for large-scale landslides and unstable sediment sites, the existing island-wide production cycle for LiDAR-derived Digital Terrain Models (DTMs) is approximately 5 to 6 years per cycle. To significantly enhance the temporal resolution, the adoption of low-altitude Unmanned Aerial Vehicle (UAV) LiDAR scanning is utilized. This measure is crucial for improving the temporal and geospatial resolution of data within observation areas, supporting refined terrain change assessments, and providing essential data for subsequent disaster prevention and emergency response operations.

The Agency for Rural Development and Soil and Water Conservation of the Ministry of Agriculture (referred to hereafter as 'the Client') commissioned this project to establish high-density and high-resolution digital terrain data using UAV LiDAR. The target areas included potential large-scale landslide zones, high-risk unstable sediment residual slopes on the island of Taiwan, or other locations specifically designated by the Client. Furthermore, for key areas or post-disaster events, optical imagery acquisition and orthophoto production were carried out to facilitate subsequent disaster prevention applications and analysis of terrain variability.

This year, the project executed 292 hectares of UAV LiDAR surveying in the northern region, and completed the acquisition and production of 592 hectares of optical orthophotography. The resulting deliverables include a 20 cm resolution Digital Elevation Model (DEM), a Digital Surface Model (DSM), and 5 cm resolution orthophoto imagery.

Key words : UAV, LiDAR, Landslide

目次

目次	I
表次	III
圖次	IV
第一章 計畫緣起	1-1
第一節 計畫需求及緣起	1-1
第二章 北部地區工作項目及範圍	2-1
第三章 作業執行項目及方法	3-1
第一節 計畫流程與規劃	3-1
第二節 控制測量及檢核點位布設	3-2
第三節 無人機攝影測量和光達	3-8
第四章 計畫成果	4-1
第一節 控制測量成果	4-1
第二節 無人機光達拍攝及圖層產製	4-15
第三節 無人機影像拍攝	4-40
第五章 專案執行進度及控管	5-1
第一節 工作進度	5-1
第二節 執行品質管制	5-3
第六章 工作組織與人力配置	6-5
第一節 計畫組織	6-5
第二節 主要工作人員學經歷	6-6
第三節 計畫使用軟硬體	6-7
第七章 承諾工作項目	7-1

第一節 無人機光達成果樹冠高程模型計算	7-1
參考文獻	1
附錄一 民航局無人機能力審查核准證明	
附錄二 無人機證照	
附錄三 儀器檢校證明	
附錄四 自強 ST-X6120 無人機資安認證(中階)	
附錄五 無人機作業自主檢核作業手冊	
附錄六 民航局飛行申請許可書	
附錄七 控制點位紀錄表	
附錄八 工作計畫書監審單位審查意見與回復	
附錄九 期末報告書監審單位審查意見與回復	

表次

表 2-1	北部地區無人機光達拍攝及圖層產製計畫範圍	2-1
表 2-2	北部地區無人機光達拍攝及圖層產製區	2-1
表 2-3	北部地區無人機純光學測製區.....	2-1
表 3-1	e-GNSS 即時動態定位系統施測作業規定	3-3
表 3-2	衛星定位儀(基站/控制點/檢核點測量).....	3-7
表 3-3	自強工程顧問有限公司 ST-X6120 無人機技術參數.....	3-9
表 3-4	RIEGAL MiniVUX-1 UAV 參數	3-9
表 3-5	SONY S ILX-LR1 技術參數	3-20
表 4-1	光達測區控制點基地站坐標總表.....	4-1
表 4-2	純光學測區控制點坐標總表.....	4-2
表 4-3	各測區拍攝掃瞄日期與架次統計.....	4-19
表 4-4	光達測區點雲密度檢核統計.....	4-23
表 4-5	光達測區點雲平差後控制點驗證成果	4-30
表 4-6	各測區影像拍攝掃瞄日期與架次統計	4-40
表 5-1	各期應交付項目及期限表.....	5-2
表 5-2	各測區作業批次送檢結果.....	5-3
表 6-1	主要作業人員學經歷與職務專長.....	6-6
表 6-2	軟體清單.....	6-7
表 6-3	硬體清單.....	6-8

圖次

圖 2-1	計畫範圍.....	2-2
圖 3-1	計畫工作流程圖.....	3-1
圖 3-2	地面控制點位現地照(航測標/特徵點).....	3-2
圖 3-3	VBS-RTK 即時動態定位技術測量作業流程.....	3-4
圖 3-4	大地起伏 Geoid.....	3-5
圖 3-5	內政部公告大地起伏模型(103 年 6 月 4 日).....	3-5
圖 3-6	內政部國土測繪中心網頁版三維坐標轉換作業畫面	3-6
圖 3-7	衛星定位儀 TAF 校正報告(節錄).....	3-7
圖 3-8	無人機光達掃瞄量測與攝影作業流程	3-8
圖 3-9	Riegl miniVUX 奧地利原廠率定/校正報告(節錄).....	3-10
圖 3-10	遙控無人機管理資訊系統(申請空域許可).....	3-12
圖 3-11	飛航許可書(節錄).....	3-12
圖 3-12	使用遙控無人機緊急狀況申請書暨民用航空局同意書(士文村).....	3-13
圖 3-13	無人機光達資料處理流程.....	3-14
圖 3-14	定位定向檢核內容(節錄).....	3-15
圖 3-15	定位定向軌跡解算作業畫面.....	3-16
圖 3-16	點雲平差解算作業畫面-航線分色	3-16
圖 3-17	點雲平差解算作業畫面-共軛平面解算	3-17
圖 3-18	點雲編修分類成果示意圖.....	3-17
圖 3-19	點雲人工編修畫面.....	3-18
圖 3-20	無人機影像處理作業流程.....	3-19
圖 3-21	空中三角測量計算與正射影像製作流程	3-21

圖 4-1	控制點位遠近照(列舉).....	4-4
圖 4-2	控制點位調查表(列舉).....	4-5
圖 4-3	基地站點位遠近照(列舉).....	4-6
圖 4-4	基地站點位調查表(列舉).....	4-6
圖 4-5	控制點位分布圖-HLL004	4-7
圖 4-6	控制點位分布圖-HLL003	4-7
圖 4-7	控制點位分布圖-HLL001	4-8
圖 4-8	控制點位分布圖-BLL002.....	4-8
圖 4-9	控制點位分布圖-BLL004.....	4-9
圖 4-10	控制點位分布圖-BLL006.....	4-9
圖 4-11	控制點位分布圖-ULL003.....	4-10
圖 4-12	控制點位分布圖-ULL010	4-10
圖 4-13	控制點位分布圖-花縣 SL0006.....	4-11
圖 4-14	控制點位分布圖-花縣 SL0011.....	4-11
圖 4-15	控制點位分布圖-花縣 SL0012.....	4-12
圖 4-16	控制點位分布圖-花縣 U113-3	4-12
圖 4-17	控制點位分布圖-東勢林場	4-13
圖 4-18	控制點位分布圖-花縣 DF173	4-13
圖 4-19	控制點位分布圖-花縣 SL0001.....	4-14
圖 4-20	控制點位分布圖-和仁野溪 DF025	4-14
圖 4-21	無人機仿地飛行說明示意圖.....	4-16
圖 4-22	無人飛機光達掃瞄作業高度與涵蓋範圍差異	4-18
圖 4-23	實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-HLL004	4-19

圖 4-24	實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-HLL003	4-20
圖 4-25	實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-HLL001	4-20
圖 4-26	實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-BLL002.....	4-21
圖 4-27	實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-BLL004.....	4-21
圖 4-28	實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-BLL006.....	4-22
圖 4-29	實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-ULL003	4-22
圖 4-30	實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-ULL010	4-23
圖 4-31	點雲密度計算作業畫面-LiDAR 360	4-24
圖 4-32	點雲密度計算作業畫面-QGIS.....	4-24
圖 4-33	點雲密度檢核成果-HLL004	4-25
圖 4-34	點雲密度檢核成果-HLL003	4-25
圖 4-35	點雲密度檢核成果-HLL001	4-26
圖 4-36	點雲密度檢核成果-BLL002.....	4-26
圖 4-37	點雲密度檢核成果-BLL004.....	4-27
圖 4-38	點雲密度檢核成果-BLL006.....	4-27
圖 4-39	點雲密度檢核成果-ULL003	4-28
圖 4-40	點雲密度檢核成果-ULL010	4-28
圖 4-41	無人機點雲平差作業流程.....	4-29
圖 4-42	使用 Surfer 執行 DEM、DSM 網格內插作業畫面.....	4-31
圖 4-43	20cmDSM 日照陰影圖-HLL004.....	4-32
圖 4-44	20cmDEM 日照陰影圖-HLL004.....	4-32
圖 4-45	20cmDSM 日照陰影圖-HLL003.....	4-33
圖 4-46	20cmDEM 日照陰影圖-HLL003.....	4-33

圖 4-47	20cmDSM 日照陰影圖-HLL001	4-34
圖 4-48	20cmDEM 日照陰影圖-HLL001	4-34
圖 4-49	20cmDSM 日照陰影圖-BLL002	4-35
圖 4-50	20cmDEM 日照陰影圖-BLL002	4-35
圖 4-51	20cmDSM 日照陰影圖-BLL004	4-36
圖 4-52	20cmDEM 日照陰影圖-BLL004	4-36
圖 4-53	20cmDSM 日照陰影圖-BLL006	4-37
圖 4-54	20cmDEM 日照陰影圖-BLL006	4-37
圖 4-55	20cmDSM 日照陰影圖-ULL003	4-38
圖 4-56	20cmDEM 日照陰影圖-ULL003	4-38
圖 4-57	20cmDSM 日照陰影圖-ULL010	4-39
圖 4-58	20cmDEM 日照陰影圖-ULL010	4-39
圖 4-58	Agisoft metashape 影像鑲嵌作業畫面	4-41
圖 4-59	5cm 正射影像-HLL004	4-41
圖 4-60	5cm 正射影像-HLL003	4-42
圖 4-61	5cm 正射影像-HLL001	4-42
圖 4-62	5cm 正射影像-BLL002	4-43
圖 4-63	5cm 正射影像-BLL004	4-43
圖 4-64	5cm 正射影像-BLL006	4-44
圖 4-65	5cm 正射影像-ULL003	4-44
圖 4-66	5cm 正射影像-ULL010	4-45
圖 4-67	5cm 正射影像-和仁野溪 DF025	4-45
圖 4-68	5cm 正射影像-東勢林場	4-46

圖 4-69	5cm 正射影像-花縣 DF173	4-46
圖 4-70	5cm 正射影像-花縣 SL0001	4-47
圖 4-71	5cm 正射影像-花縣 SL0006	4-47
圖 4-72	5cm 正射影像-花縣 SL0011	4-48
圖 4-73	5cm 正射影像-花縣 SL0012	4-48
圖 4-74	5cm 正射影像-花縣 U113-3	4-49
圖 4-75	5cm 正射影像-屏東士文村	4-49
圖 4-76	影像三維模型以及影像密匹配 DSM	4-50
圖 4-77	環景影像拍攝之原始影像-東勢林場	4-51
圖 4-78	環景影像(列舉)	4-53
圖 6-1	計畫組織	6-5
圖 7-1	樹高模型製作說明	7-1
圖 7-2	地上物高程點雲-BLL002	7-2
圖 7-3	地上物高程點雲-BLL004	7-2

第一章 計畫緣起

第一節 計畫需求及緣起

在推動大規模崩塌及不安定土砂基礎資料調查工作上，現有全島光達數值地形產製時間約為 5~6 年一期，為提升時間解析度，採用低空無人機光達掃描，將有助於觀測區域時間解析度、圖資解析度的提升，輔助地形變異評估，提供後續防災應變等業務運用。

農業部農村發展及水土保持署(後稱主辦機關)，以本計畫於臺灣本島大規模崩塌潛勢區、不安定土砂高風險殘坡或其他主辦機關指定地點，以無人機光達建立高密度與高解析度數值地形資料，另對重點區域或災害事件後拍攝，以光學影像拍攝、產製正射影像，以利後續防災應用及分析地形變異情形。因受限人力及專業能力，故擬委託國內具優良信譽及工作實績之專業服務廠商辦理。

第二章 北部地區工作項目及範圍

本計畫各項目數量如表 2-1，同時須配合主辦機關「114 年無人機測會成果檢核與監審」案(以下簡稱監審廠商)第三方監審流程辦理。北部地區作業區域共有 8 共光達測製區，共 292 公頃，符合本計畫原定 260 公頃；純光學測區共 300.2 公頃，符合本計畫原定 300 公頃，各測區名稱以及面積詳如表 2-2，區域位置分布圖如圖 2-1。

表 2-1 北部地區無人機光達拍攝及圖層產製計畫範圍

項目	114 年北部地區無人機光達拍攝及圖層產製	
品項	品名	數量
1	北部地區無人機光達拍攝及圖層產製	260 公頃
2	無人機純光學影像拍攝及圖層產製	300 公頃
3	測繪品管、工作期程及成果交付	1 式

表 2-2 北部地區無人機光達拍攝及圖層產製區

項次	分署	大崩編號	名稱	面積（公頃）
1	臺北	桃市 LL004	光華道路	17.4
2	臺北	桃市 LL003	上巴陵部落	24.5
3	臺北	桃市 LL001	義興電廠	41.5
4	臺中	中市 LL002	佳陽部落	12.4
5	臺中	中市 LL004	梨山部落	18.4
6	臺中	中市 LL006	松柏聚落	42.1
7	花蓮	花縣 LL003	富南村聚落	59.8
8	花蓮	花縣 LL010	客城聚落	76.8
合計				292.9

表 2-3 北部地區無人機純光學測製區

項次	編號	縣市	鄉鎮市	村里	面積（公頃）
1	花縣 SL0006	花蓮縣	秀林鄉	富世村	8.0
2	花縣 SL0011	花蓮縣	秀林鄉	水源村	9.7
3	花縣 SL0012	花蓮縣	豐濱鄉	新社村	6.8
4	花縣 U113-3	花蓮縣	秀林鄉	崇德村	13.2
5	東勢林場	台中市	東勢區	東新里	29.4
6	花縣 DF173	花蓮縣	秀林鄉	崇德村	49.3
7	花縣 SL0001	花蓮縣	秀林鄉	崇德村	29.3
8	和仁野溪 DF025	花蓮縣	秀林鄉	和平村	51.6
9	屏東士文村	屏東縣	春日鄉	士文村	102.8
合計					300.1

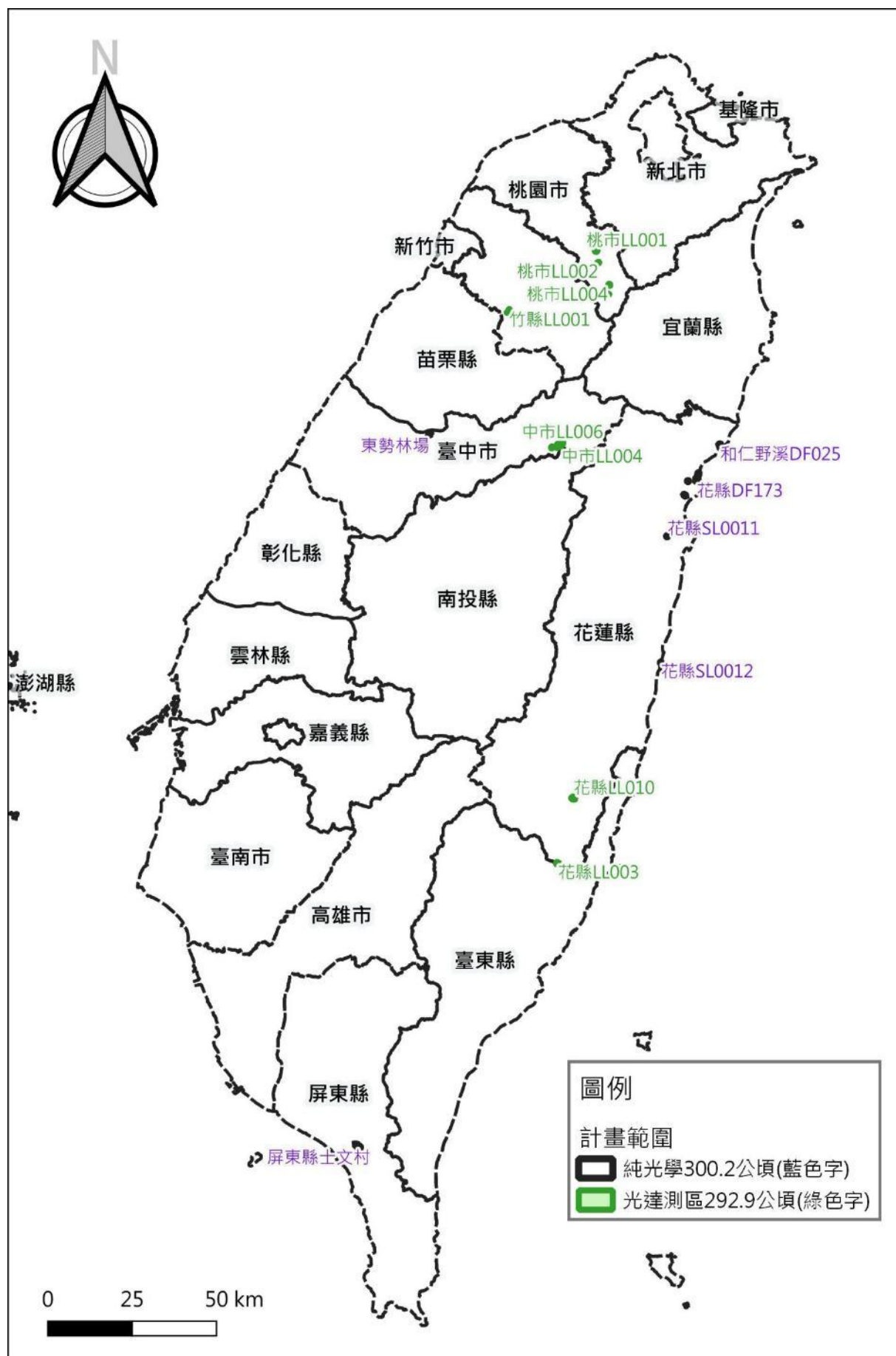


圖 2-1 計畫範圍

第三章 作業執行項目及方法

第一節 計畫流程與規劃

本計畫共分為三大工項，包含「無人機光達拍攝及圖層產製」、「無人機純光學影像拍攝及圖層產製」以及「測繪品管、工作期程及成果交付」。主要拍攝任務區分為年度任務及緊急任務。緊急任務為配合颱風豪雨等重大事件後由主辦機關通知拍攝地點。緊急任務於執行完成後 7 日內提供快速幾何糾正正射影像，7 日內提供 DSM，25 日內提供 DEM。

針對本計畫北區計畫地點，每處辦理工作細項包含地面控制點布設量測、無人機航空攝影、無人機光達掃描量測及建置 3D 模型成果，依據各項工作以及流程，繪製本計畫整體流程如圖 3-1。

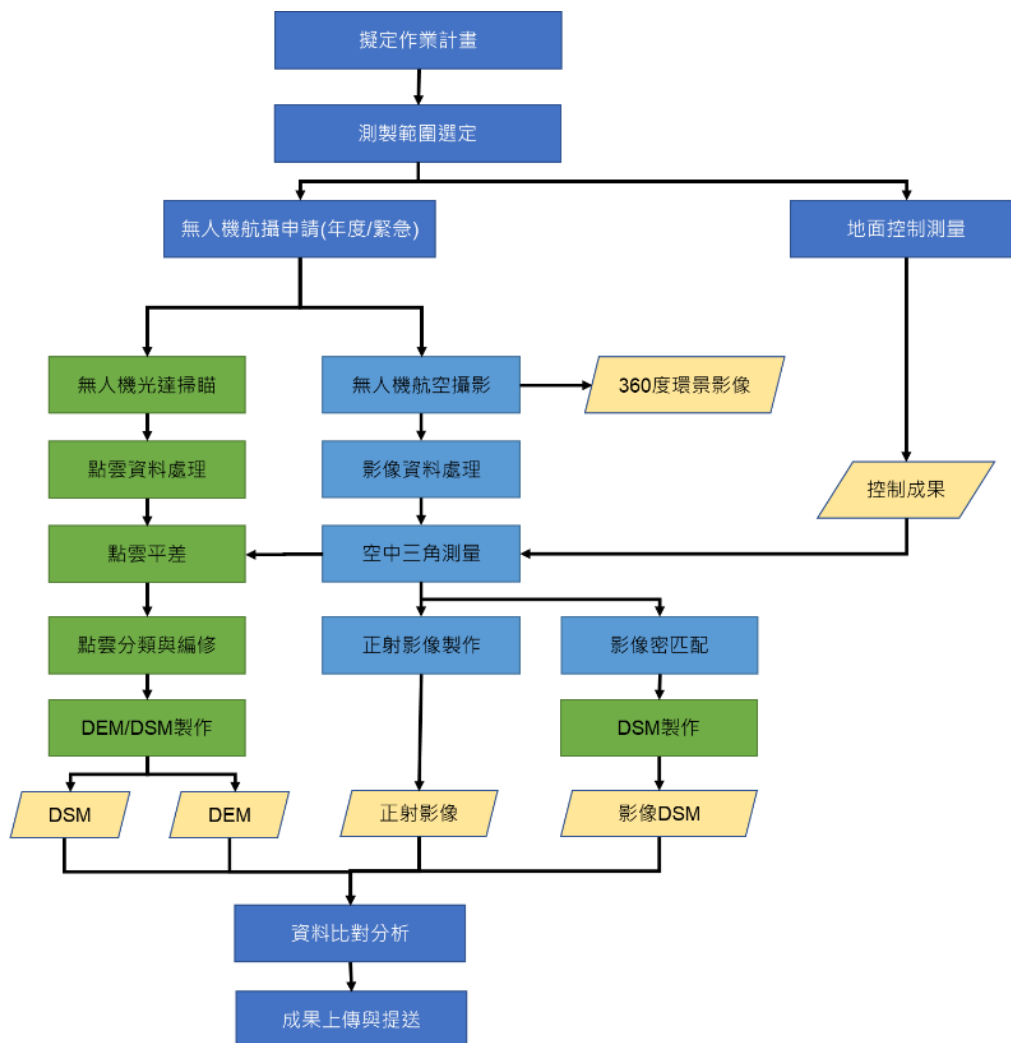


圖 3-1 計畫工作流程圖

第二節 控制測量及檢核點位布設

一、無人機測繪前，應辦理現地控制點及檢核點量測。檢核點不得納入光達或空拍影像平差，僅做為模型精度檢核使用。

二、控制點及檢核點布設作業

(一) 布設位置原則為透空良好之處，且影像上可清晰辨識為原則，單一測區四角需各設置 1 點控制點，範圍內亦需均勻布設控制點，測區以每 30 公頃至少 4 點(含)，每額外增加 10 公頃額外增加 1 點。每處測區內檢核點布設應合理均勻分布於測區內，檢核點數量需滿足至少為控制點數量之 20%，且至少 2 點(含) 之規定。

(二) 布設規格可採現地標線特徵，或為 30cm x 30cm 正方形，並等分為四小塊 30cm x 30cm 正方形，並以紅白為間隔標示，航測標與特徵點類型現地照片如圖 3-2。假使計畫區域內無人車可及，或未有合適控制點布設位置，盡可能擴大掃瞄與拍攝範圍至可布設合適控制點位區域，以確保計畫執行成效。



圖 3-2 地面控制點位現地照(航測標/特徵點)

三、若因交通中斷或現地條件限制，以致測區無法布設足夠之控制點及檢核點數量時，由廠商提出相關佐證資料，經主辦機關及監審廠商同意後，使用既有之外部參考資料納入使用或酌予減少點數。

四、光達點雲數據處理，應彙整無人機 GNSS 與地面固定式 GNSS 基站進行動態差分聯合解算。使用之地面固定式 GNSS 基站，其半徑 20 公里範圍應可完整涵蓋測區，如無法涵蓋測區時，應於飛航掃瞄同時，選定適合之已知點位架設移動式 GNSS 基站補足涵蓋。無論地面採用固定式或移動式 GNSS 基站，皆需確保地面 GNSS 基站與掃瞄飛航載具上 GNSS 接收儀之接收頻率設定一致，且接收頻率至少達 1Hz。

五、量測作業方法

(一) 採 VBS-RTK 即時動態定位技術測量方式，重複觀測至少 2 次，每次收斂比數應達 180 筆，計算每次觀測之平均坐標值，檢核其平面坐標值(N、E)中誤差應小於 2 公分，高程(Z)中誤差應小於 5 公分，並依據「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」原則辦理。

(二) 衛星 PDOP(positiondilation of precision 精度衰減因子)應小於或等於 5。

(三) 如 VBS-RTK 測量無法收斂時，則應取得連續 20 分鐘以上、記錄頻率為 1Hz 之靜態觀測資料，並以 VBS-RTK 後處理方式計算該點坐標。

表 3-1 e-GNSS 即時動態定位系統施測作業規定

項次	項目	作業規定
1	點位觀測重複率	100%(每個點觀測 2 測回)，需重新開機(含通訊設備)並整置儀器(須改變儀器高度)，時間間隔無限制。
2	觀測資料記錄筆數	每測回至少 180 筆固定(Fixed)解坐標。
3	最少接收衛星顆數	GNSS 系統衛星 ≥ 5 顆
4	衛星資料接收仰角	≥ 15 度
5	觀測資料記錄速率	1 Hz，每秒連續記錄坐標成果
6	坐標成果品質控制	$3DQC \leq 50mm$

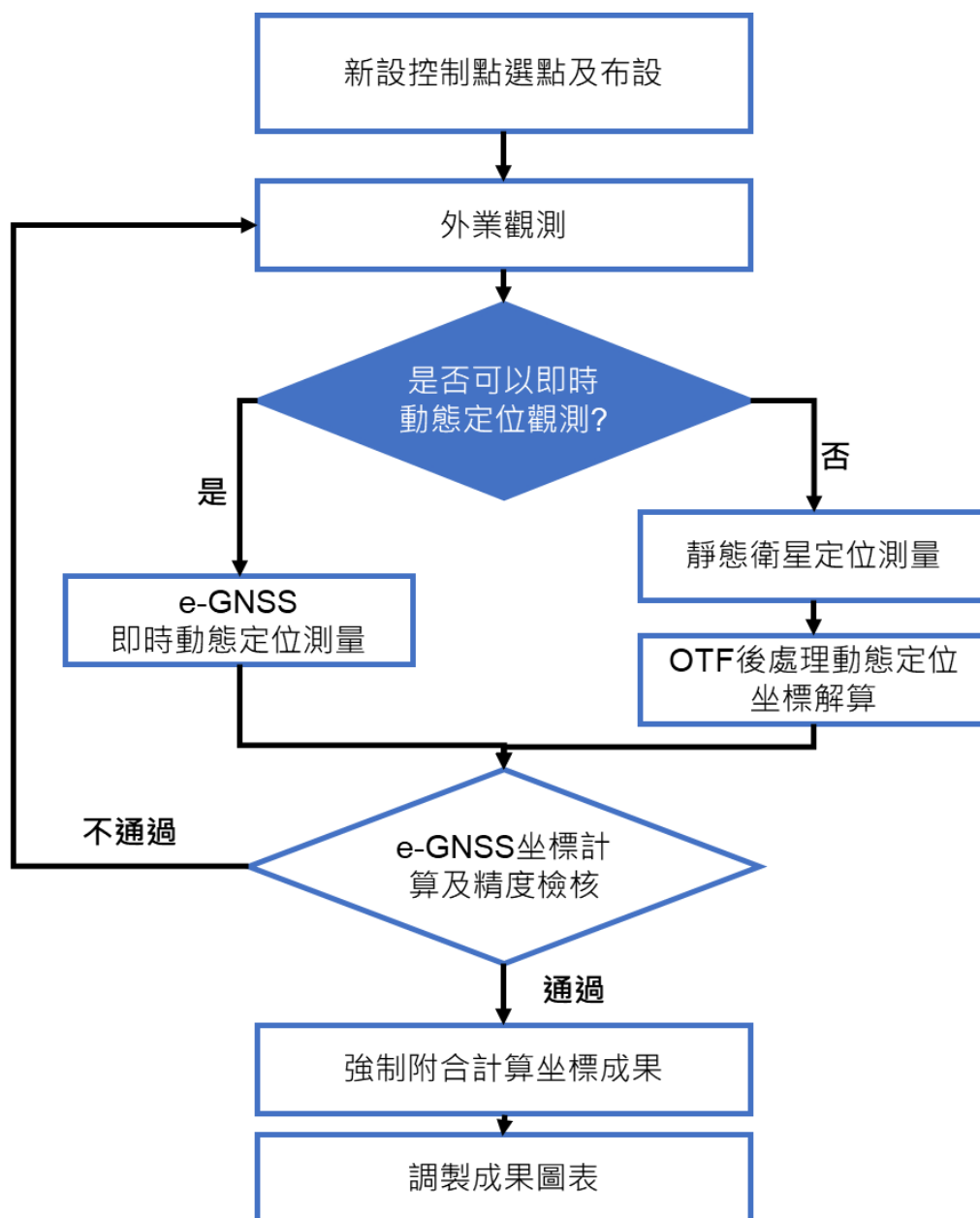


圖 3-3 VBS-RTK 即時動態定位技術測量作業流程

六、坐標系統

1. 坐標框架：控制測量成果建構在 TWD97[2020]坐標系統框架下。
2. 高程系統：本案控制測量需提供 TWD97[2020]坐標系統(橢球高)及 TWVD2001 高程系統(正高)，2 版高程系統成果。正高系統可採內政部最新公布之大地起伏模型(圖 3-4、圖 3-5)進行化算，無大地起伏模型涵蓋之地區則應進行水準測量或採臨近同時具有橢球高及正高成果之公告點位化算之。目前是以內政部 103 年 6 月 4 日最新

公布之混合法大地起伏模型(TWHYGEO2014)(台內地字第1030178307號)為之。

3. 本案各項測製成果採 TWVD2001 正高系統進行測製。

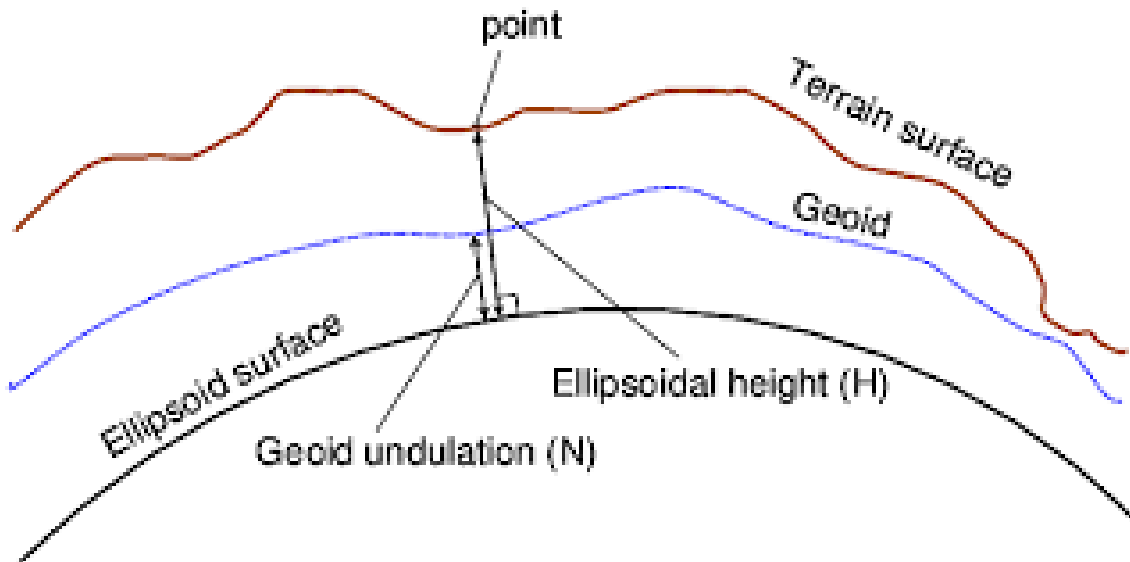


圖 3-4 大地起伏 Geoid

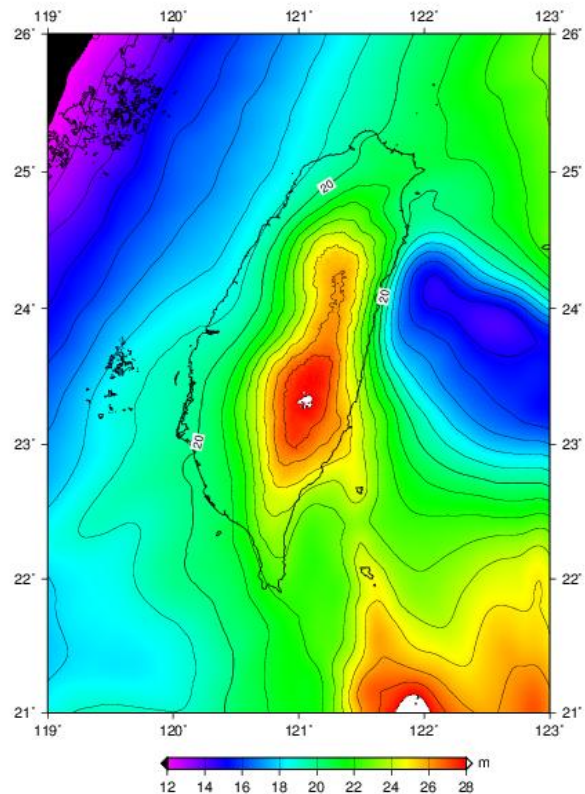
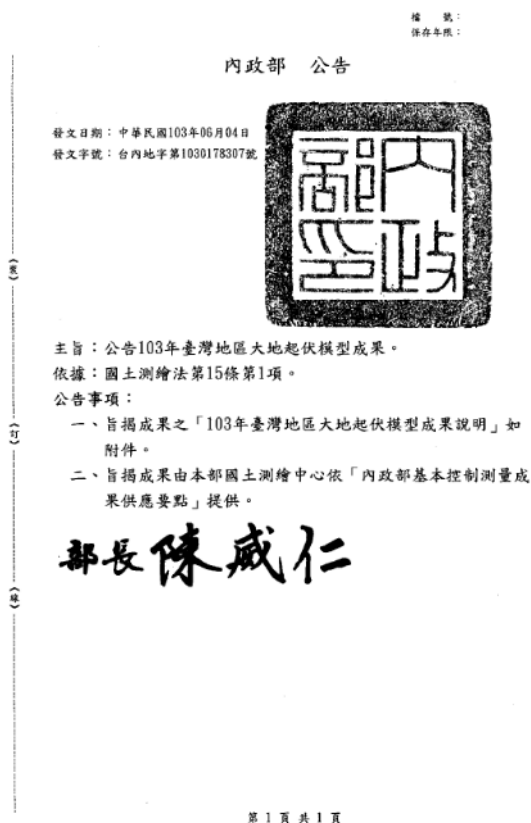


圖 3-5 內政部公告大地起伏模型(103 年 6 月 4 日)

4. 大地起伏轉換作業

利用內政部國土測繪中心網頁版三維坐標轉換功能，將 e-GNSS 坐標成果轉換至內政部公告之 TWD97【2020】以及 TWVD2001 高程坐標系統中，相關作業畫面如圖 3-6。

內政部國土測繪中心
National Land Surveying and Mapping Center

大地起伏計算 三維坐標轉換 會員資料 聯絡我們

三維坐標轉換 - 單點運算

轉換基準: e-GNSS[2021]轉TWD97[2020]

點號: 查詢 重置

運算模式: 多點運算

2度TM: N: m E: m 橢球高: m 中央經線: 121.0°E 送出 匯出轉換結果

已查詢坐標列表[單位: m] 顯示所有點號 重置地圖

序號	點號	轉換前			轉換後		
		N	E	橢球高	N	E	正高 橢球高
1	HC01	2723280.915	278801.709	866.390	2723280.867	278801.985	843.061 866.373
2	HC02	2723298.482	278812.843	864.895	2723298.434	278813.119	841.568 864.878
3	HC03	2723530.633	279078.069	853.395	2723530.586	279078.344	830.085 853.376
4	HC04	2723642.478	279097.185	851.878	2723642.431	279097.460	828.578 851.859
5	YL11	2575793.248	284849.719	198.712	2575793.168	284850.027	173.006 198.635
6	YL12	2575728.242	285110.344	266.743	2575728.161	285110.652	241.053 266.666
7	YL14	2576243.926	285341.103	351.717	2576243.846	285341.412	326.042 351.629
8	YL15	2575901.377	285489.689	395.761	2575901.296	285489.998	370.094 395.679
9	YL16	2575760.181	285267.219	310.065	2575760.100	285267.527	284.384 309.986

目前線上 本日 84 昨日 323 本週 2015 本月 7730 本年 124786 累計上線人數 799485 大地起伏總使用次數 30381 大地起伏總轉換點數 4160595
三維坐標總使用次數 101187 三維坐標總轉換點數 7835227

內政部國土測繪中心 | 電話: (04)22522966(代表號) | 地址: 40873臺中市南屯區黎明路2段497號4F
最佳瀏覽解析度: 1024 * 768 以上 | 建議使用瀏覽器: Internet Explorer 10 以上、Google Chrome、Firefox。

圖 3-6 內政部國土測繪中心網頁版三維坐標轉換作業畫面

七、控制測量儀器

採用義大利品牌衛星定位儀 STONEX 進行基地站架設、控制點以及檢核點測量作業，使用儀器皆於 114 年 2 月 11 日~13 日獲得 TAF 校正報告，儀器相關參數以及照片如表 3-2，測量儀器 TAF 校正報告詳如附錄三。

表 3-2 衛星定位儀(基站/控制點/檢核點測量)

GNSS Receiver:STONEX S9II		
Accuracy	$\pm 2.5\text{mm} + 1\text{ppm}$	
RTK Accuracy	Plane: 8mm + 1ppm Elevation: 15mm + 1ppm	
Tracked Signals	BeiDou/GPS/GLONASS/Galileo	
TAF 校正日期	114.02.11 ~ 114.02.13	

校 正 報 告

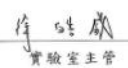
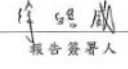


報告編號：BG114235257
發行日期：114.02.11

儀器名稱：衛星定位儀
廠牌型號：STONEX SC200
儀器序號：SC2007031004W
送校單位：自強工程顧問有限公司
地 址：新北市中和區新民街 112 號 5 樓

上述儀器經本實驗室校正，結果如內文。
本報告含內文共 6 頁，分離使用無效。




實驗室主管

報告簽署人

名家股份有限公司長度校正實驗室

校 正 報 告

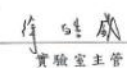
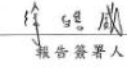


報告編號：BG114235257
發行日期：114.02.11

儀器名稱：衛星定位儀
廠牌型號：STONEX SC200
儀器序號：SC2007031004W
送校單位：自強工程顧問有限公司
地 址：新北市中和區新民街 112 號 5 樓

上述儀器經本實驗室校正，結果如內文。
本報告含內文共 6 頁，分離使用無效。




實驗室主管

報告簽署人

名家股份有限公司長度校正實驗室

圖 3-7 衛星定位儀 TAF 校正報告(節錄)

第三節 無人機攝影測量和光達

本計畫主要資料蒐集「無人機光達掃瞄量測」，其作業成果雖分別為 DEM/DSM 以及正射影像，但成果產製過程中仍會相互作為參考以及基礎資料，故彙整相關作業以及成果產製流程如圖 3-8。

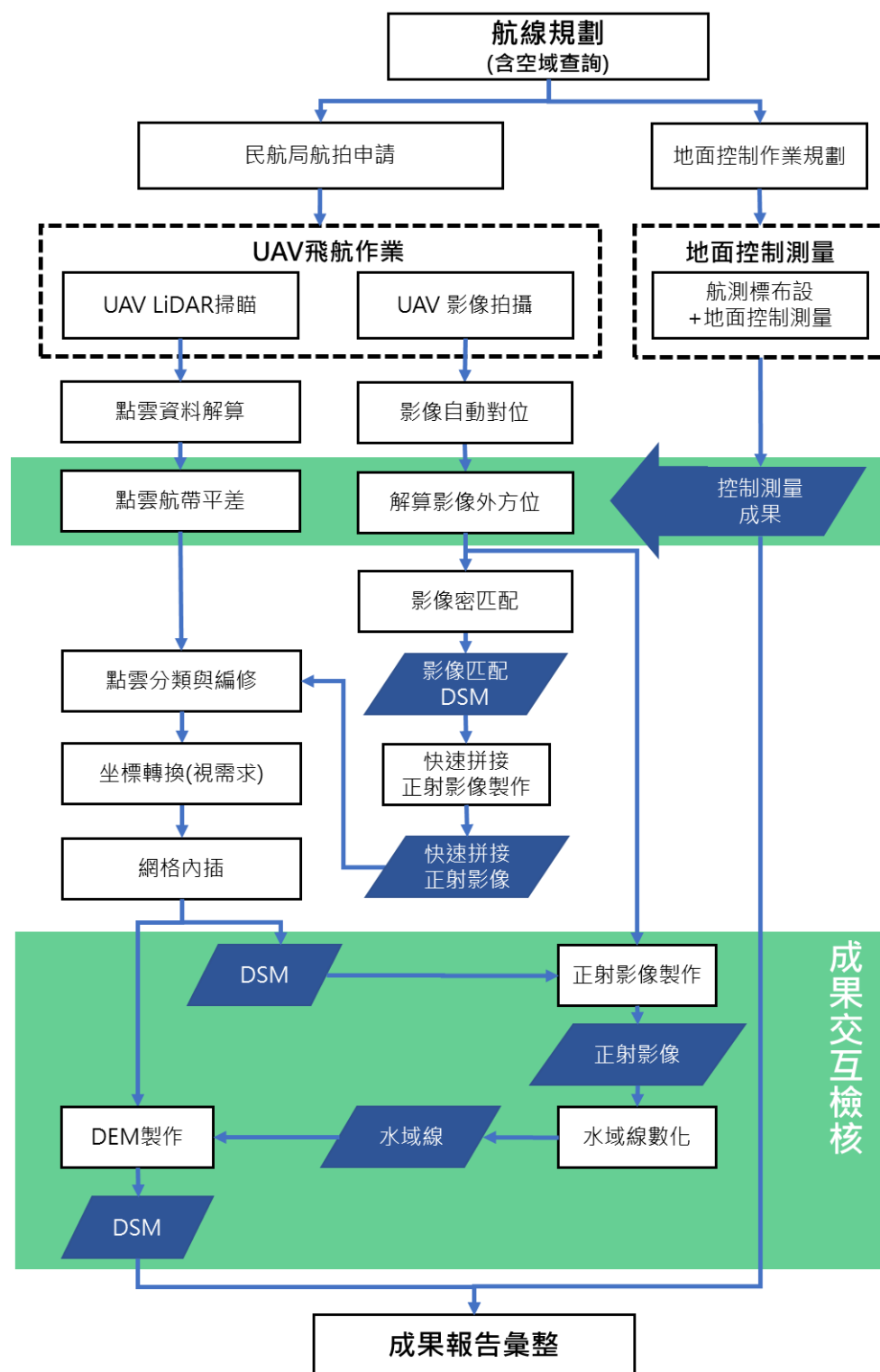


圖 3-8 無人機光達掃瞄量測與攝影作業流程

一、光達特性與掃瞄設備

所採用高精度旋翼機光達掃瞄系統包含本團隊自製研發的 ST-X6120 多軸旋翼無人機(表 3-3)，搭配高精度光達掃瞄感測器 miniVux-1-UAV 光達(表 3-4)以及 Applanix APX-15 定位定向系統所組成。此套設備於 113 年 9 月獲得奧地利原廠率定/校正報告(圖 3-9)確保資料取得的品質與安全性，儀器完整校正報告詳如附錄三。

表 3-3 自強工程顧問有限公司 ST-X6120 無人機技術參數

儀器照	參數名稱	參數
	尺寸(翼展)(mm)	1670×1670×510
	空機重量 (酬載+電池)(kg)	6 (10.6)
	最大起飛重量 (kg)	15
	最大可承受風速 (級)	5~6
	數控半徑 (km)	2
	滯空時間(空機)(min)	60
	適配感測器	miniVux-1-UAV 客製化雲台系統
	廠商	自強工程顧問有限公司

表 3-4 RIEGAL MiniVUX-1 UAV 參數

儀器照	參數名稱	參數
	尺寸 (mm)	243×111×85
	重量 (g)	1600
	IP 防護等級	IP64
	最大測量範圍(m, 物體反射率)	170, 20 / 290, 60 / 330, 80
	掃瞄模式	旋轉鏟鏡
	掃瞄速度 (轉/秒(等於次/秒))	10-100
	點雲資料率(點/秒)	100,000
	測距準確度(Accuracy) (mm)	15
	測距精確度(Precision) (mm)	10
	最多回波數	5, 全波形
	FOV (°)	360

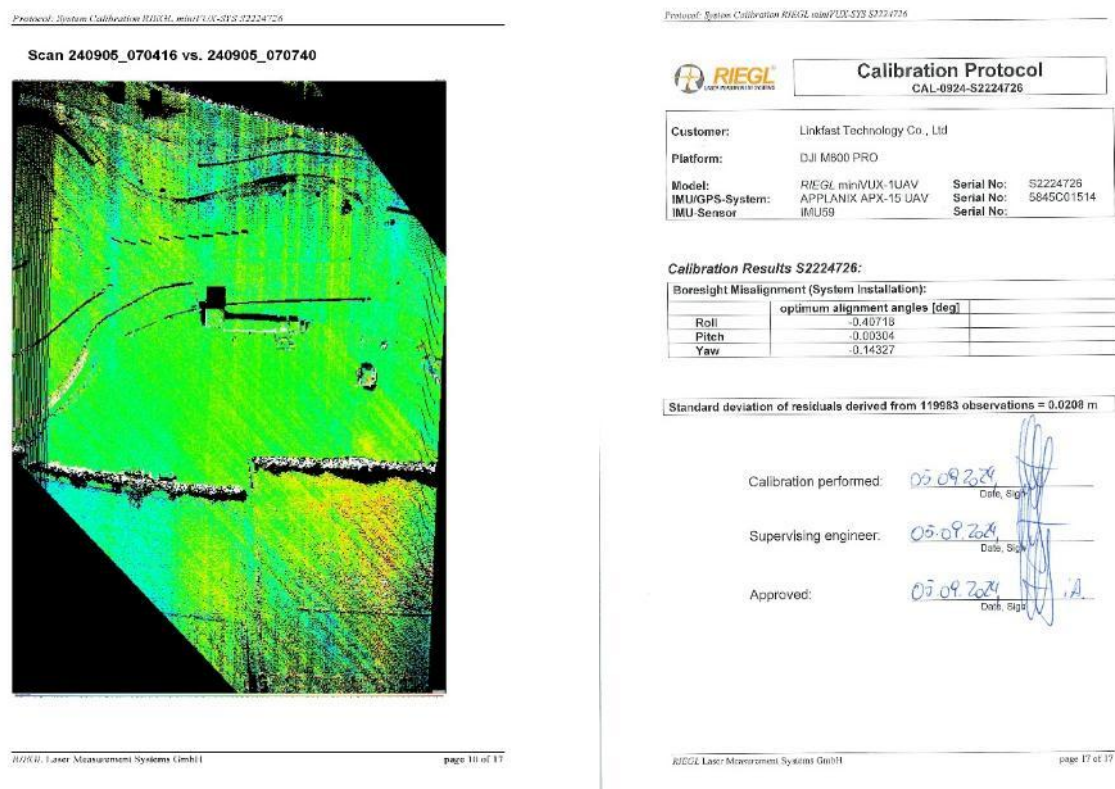


圖 3-9 Riegl miniVUX 奧地利原廠率定/校正報告(節錄)

二、空拍作業行前準備

- (一) 無人機空載光達掃瞄航帶規劃：航帶規劃應採 50%(含)以上重疊進行規劃，並確依規劃進行掃瞄作業，實際掃瞄成果航帶間應至少 40%重疊，轉彎、起降等航線掃瞄資料不應納入使用。
- (二) 累加所有原始航帶點雲，統計其第一回波點密度數值，應達每平方公尺 100 點(含)以上，除水域外，測區內不應有明顯之雲洞(資料缺漏)情況。同時應配合取得之光達或影像資料，合理繪製掃瞄當時之水域範圍，以界定光達不可測製區。
- (三) 測區內若包含主辦機關規劃之「特定重點區域」，為獲取較佳之地形表現，應針對該區域額外執行加密航線，或累加所有原始航帶點雲，統計其第一回波點密度數值，需達每平方公尺 400 點(含)以上，各測區「特定重點區域」之面積以不超該測區 20%(含)為原則。

- (四) 點雲應合理穿透至地表以呈現地形，如明顯為光達掃瞄參數或航高規劃瑕疵、雲霧遮蔽等因素造成穿透不佳之情況，廠商應額外規劃補飛航線補正。
- (五) 掃瞄點雲應分航帶儲存，並保留原始航帶編號、雷射反應值(強度)、多重回波數據、GNSS 時間等資訊，其三維坐標應至少保留至小數點以下 3 位(毫米)。掃瞄完成之點雲資料應納入實測控制點進行平差作業，並消除航帶間平面與高程之不一致。
- (六) 點雲資料經航帶平差後進行分類作業，其成果至少分為 4 個類別：編號 2 記錄地面點、編號 9 記錄水面點、編號 30 記錄雜點、編號 31 記錄非地面點，本項分類後點雲成果稱 DEMLASuav。
- (七) 依分類後點雲內插產製 20 公分網格間距數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)及數值地表模型(Digital Surface Mode, DSM)。原則上分測區儲存，如需分幅儲存時，則各圖幅應合理外擴，同時圖幅相鄰重疊區之高程值應一致。
- (八) 提交成果應包含：點雲資料航帶平差處理成果(las 或 laz 格式)、分類後點雲資料 DEMLASuav (las 或 laz 格式)、水域範圍繪製成果(shapefile 格式)、DEM 及 DSM 模型(geotif 格式)。檔案名稱應註明掃瞄作業日期時間，如同一檔案(依測測區分)包含多時期拍攝，則應提供 shapefile 檔案定義概略掃瞄時間分區。

三、飛航規劃

(一) 一般飛航申請

1. 為因應 114 年可能因新增颱風豪雨事件，控留最後一測區作為機動調整，至 114 年 8 月前召開工作會議評估是否調整。
2. 廠商於各測區執行前，須依「遙控無人機管理規則」辦理(圖 3-10)，並檢附相關文件申請航拍作業空域許可於該階段報告中，供主辦機關審閱，節錄飛航許可書資訊如圖 3-11。

圖 3-10 遙控無人機管理資訊系統(申請空域許可)

圖 3-11 飛航許可書(節錄)

(二) 緊急任務飛航

依據本計畫任務區域分類特性，於主辦機關轄管範圍有地震、豪雨或邊坡崩塌等災害情事發生時，必須依據民航局無人機辦公室相關作

業規定，進行緊急任務申請。除了可依據年度任務飛航申請作業方式向民航局申請飛航許可之外，本團隊於 114 年 9 月協助主辦機關執行屏東士文村堰塞湖緊急任務拍攝，節錄民航局「使用遙控無人機緊急狀況申請書暨民用航空局同意書」於圖 3-12，並於計畫與飛航許可時間內順利完成相關任務。

2025/10/20 15:29 078057109
2025 10/20 MON 16:01 FAX

2025/10/20 15:07 078057109

PAGE 01/03
001/002

**使用遙控無人機從事災害應變、災害預防、復原重建
或災害以外之緊急情況申請書暨民用航空局同意書**

傳 送 機 關 (交通部民用航空局飛航服務總臺)		通報時間	114 年 10 月 20 日 15 時 30 分
☐ 臺北近場管制塔臺 (電話 03-3841006, 傳真 03-3860192) 位於基隆市、臺北市、新北市、桃園市、新竹縣、新竹市、苗栗縣、臺中市、彰化縣(北部)、南投縣、宜蘭縣、花蓮縣(玉里鎮以北)、連江縣等縣市 ☒ 高雄近場管制塔臺 (電話 07-8057030, 傳真 07-8057109) 位於彰化縣(南部)、雲林縣、嘉義縣、嘉義市、臺南市、高雄市、屏東縣、花蓮縣(玉里鎮以南)、臺東縣、澎湖縣、金門縣等縣市		災害/緊急 情況名稱	1020 豪雨/屏東車芒溪崩塌地緊急應變
		申請人	姓名: 職稱: 電話: 傳真:
		現場聯絡 人員	姓名: 手機:
應變層級	遙控無人機管理規則第 33 條第 1 項 災害應變 ☐ 依災害防救法開設中央災害應變中心 ☐ 依災害防救法開設之 縣(市)政府災害應變中心 ☐ 緊急應變小組 遙控無人機管理規則第 33 條第 2 項 災害預防、復原重建或災害以外之緊急情況 ☒ 災害預防 ☐ 復原重建 ☐ 災害以外之緊急情況		
權責機關/ 災害防救策 劃主管機關	機關名稱: 農業部農村發展及水土保持署		
執行作業 單位	自強工程顧問有限公司		
	能力審查核准 號碼: AA2503070001		
警戒區或指 定區域及 高度	☒ 位於屏東縣(市)政府公告之禁 止、限制區域內: ☐ 位於限航區(列出限航區名稱) ☐ 民航局公告之航空站自地面或水面起禁止活動之一定距離範圍內 ☐ 民航局公告之航空站自地面或水面起算 200 呎以上高度禁止活動 之一定距離範圍內 ☐ 無人機飛航活動時不超過所在位置 100 公尺半徑範圍內之最高障礙物體高度(如 建築物等)且不逾距地面或水面 400 呎 ☐ 無人機飛航活動時距地面或水面 400 呎 ☐ 民航局公告之飛行場四周之一定距離範圍內 ☐ 非屬上述區域 ☒ 實際高度距地面或水面 660~2300 呎(AGL), 海拔高度(MSL) 1970~3600 呎		

圖 3-12 使用遙控無人機緊急狀況申請書暨民用航空局同意書(士文村)

四、無人機光達點雲資料處理

(一) 作業流程與處理軟體

結合主辦機關需求，彙整光達作業流程以及相應主要使用軟體如圖 3-13 所示。

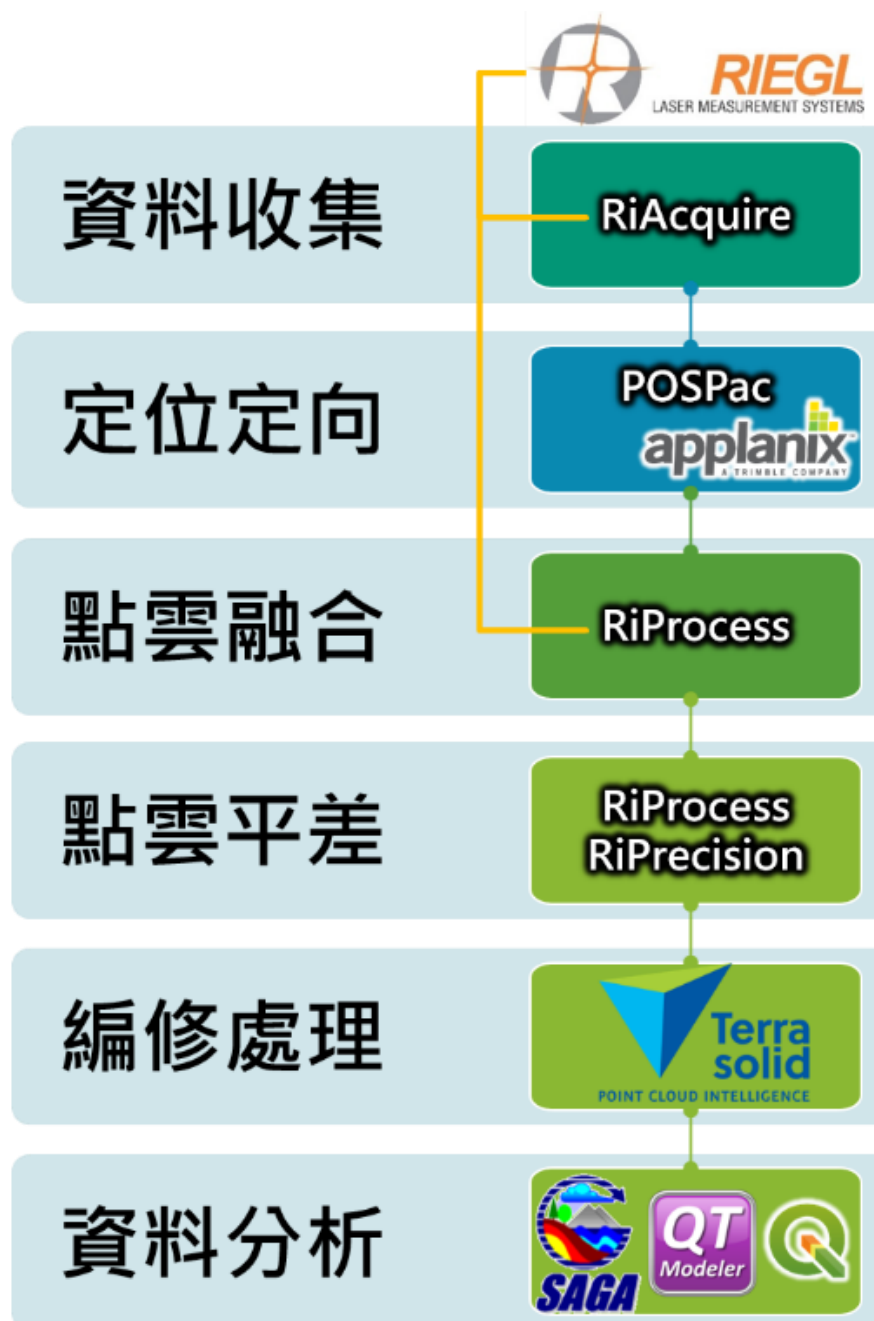
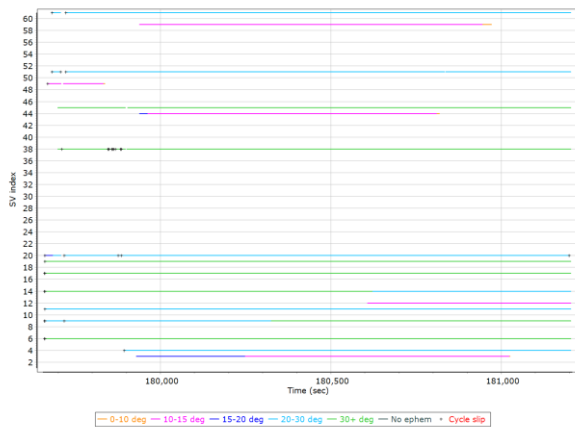


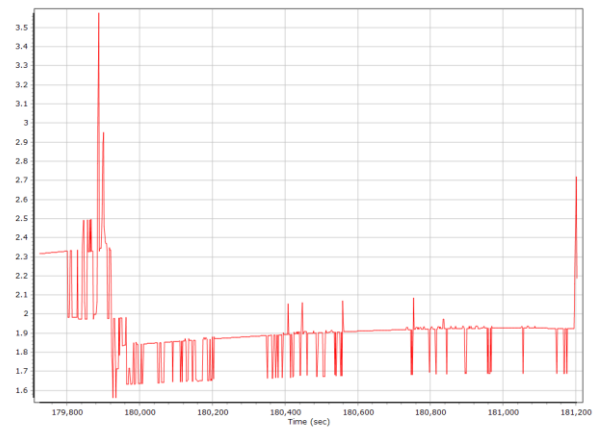
圖 3-13 無人機光達資料處理流程

1. 無人機光達掃瞄作業：現場飛航掃瞄任務執行依照所採用的定位定向系統之校準程序進行，同時架設靜態衛星接收儀(或採用距離測

區 10km 半徑以內之衛星追蹤站資料)，據以進行定位定向系統後處理，以確保成果點雲品質。接續利用軌跡解算軟體檢核軌跡分布以及解算精度。精度檢核報告包括衛星顆數、正反算差異量分析、PDOP 值分析等，節錄檢核圖表如圖 3-14，解算以及檢核作業畫面如圖 3-15。



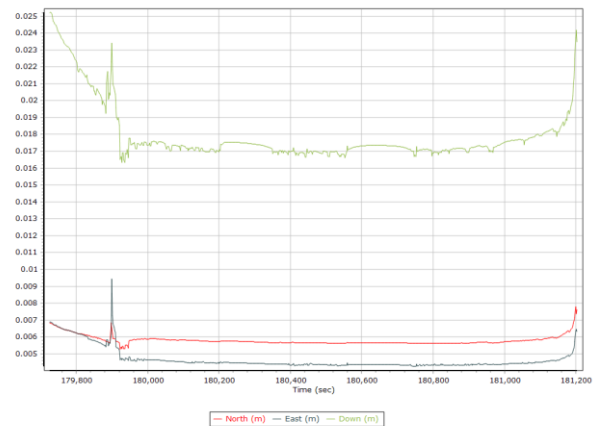
(a) GPS/GLONASS L2 Satellite



(b) PDOP



(c) Forward/Reverse Separation



(d) Estimated Position Accuracy

圖 3-14 定位定向檢核內容(節錄)

2. 無人機光達掃瞄資料處理：使用 Riegl 原廠建議之套裝軟體 RiPROCESS 融合定位定向資料進行後處理以及點雲平差計算，相關作業畫面如圖 3-16，解算後輸出通用 LAS 格式點雲資料。

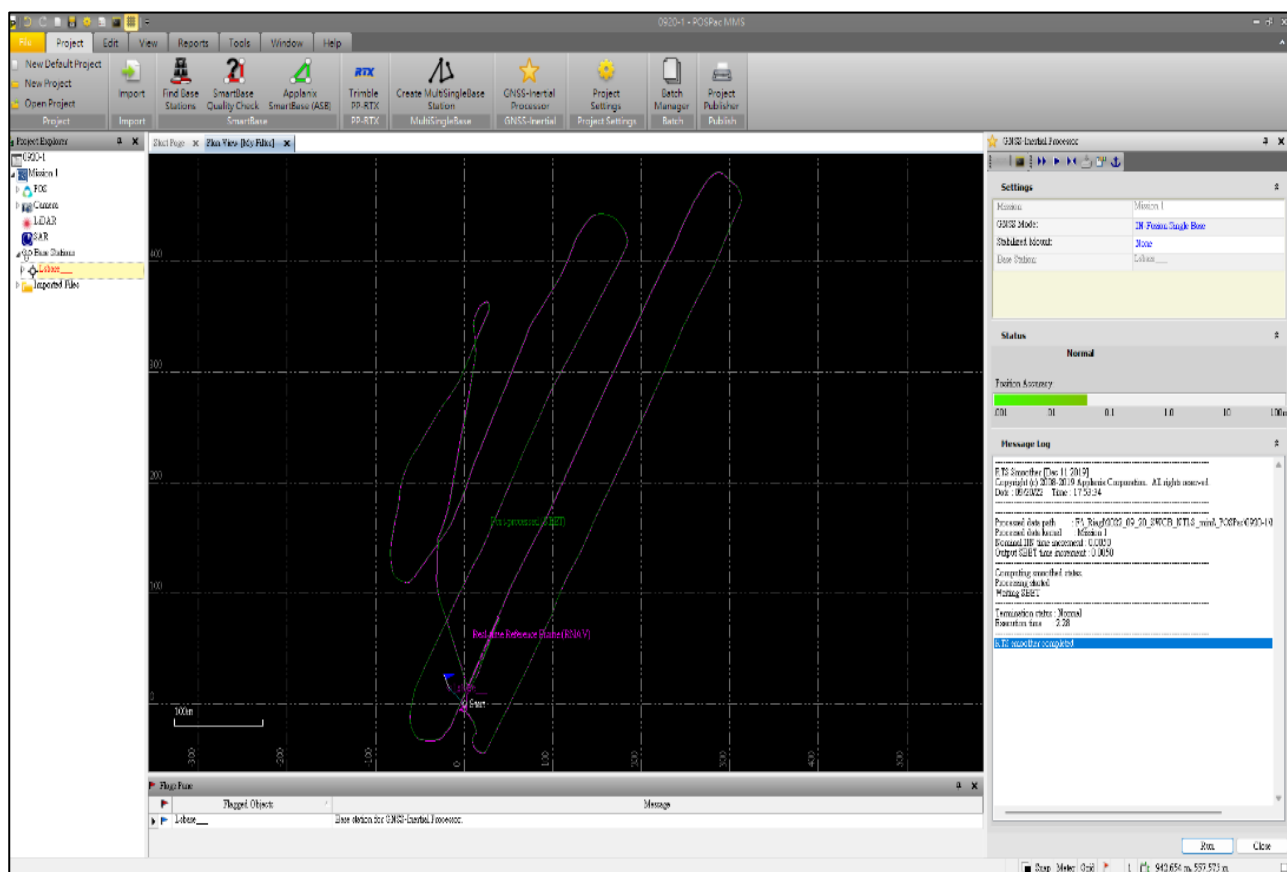


圖 3-15 定位定向軌跡解算作業畫面

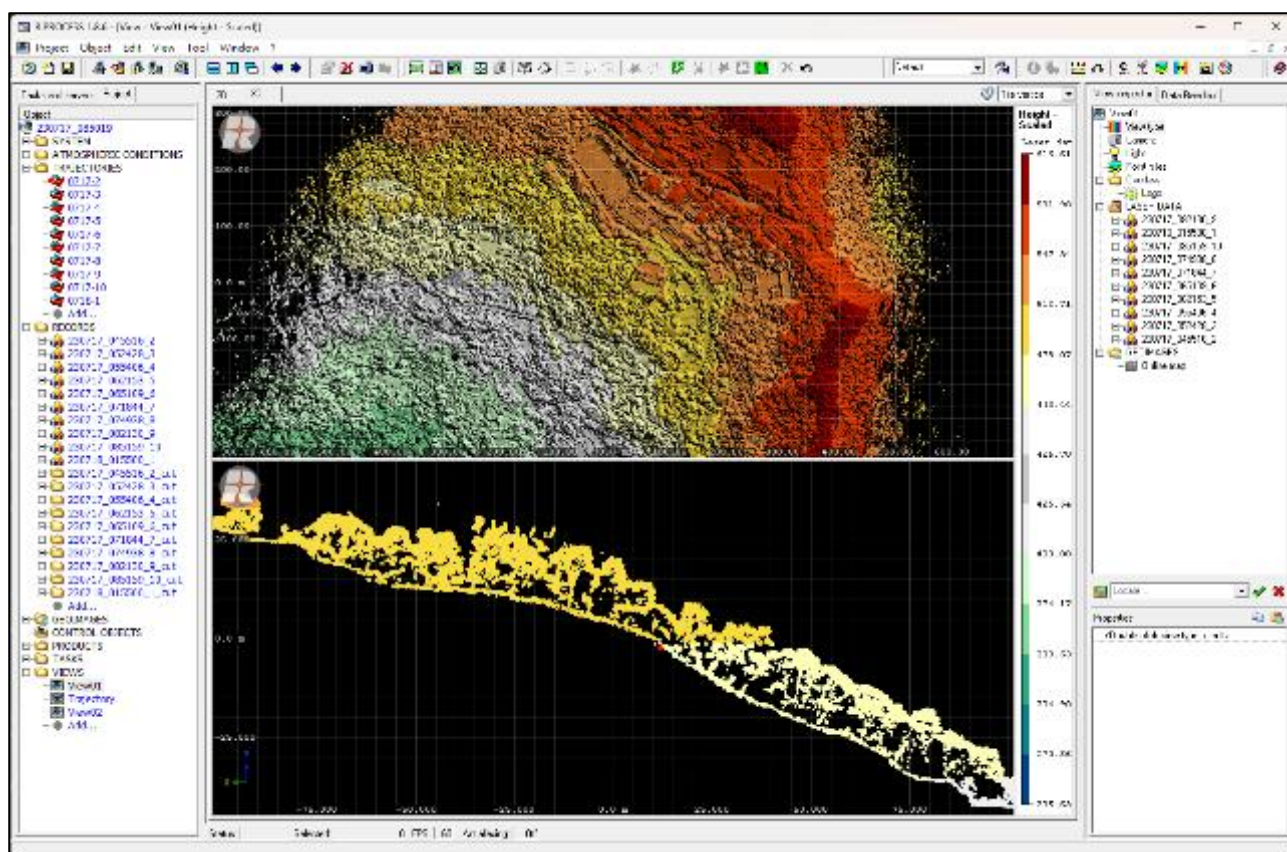


圖 3-16 點雲平差解算作業畫面-航線分色

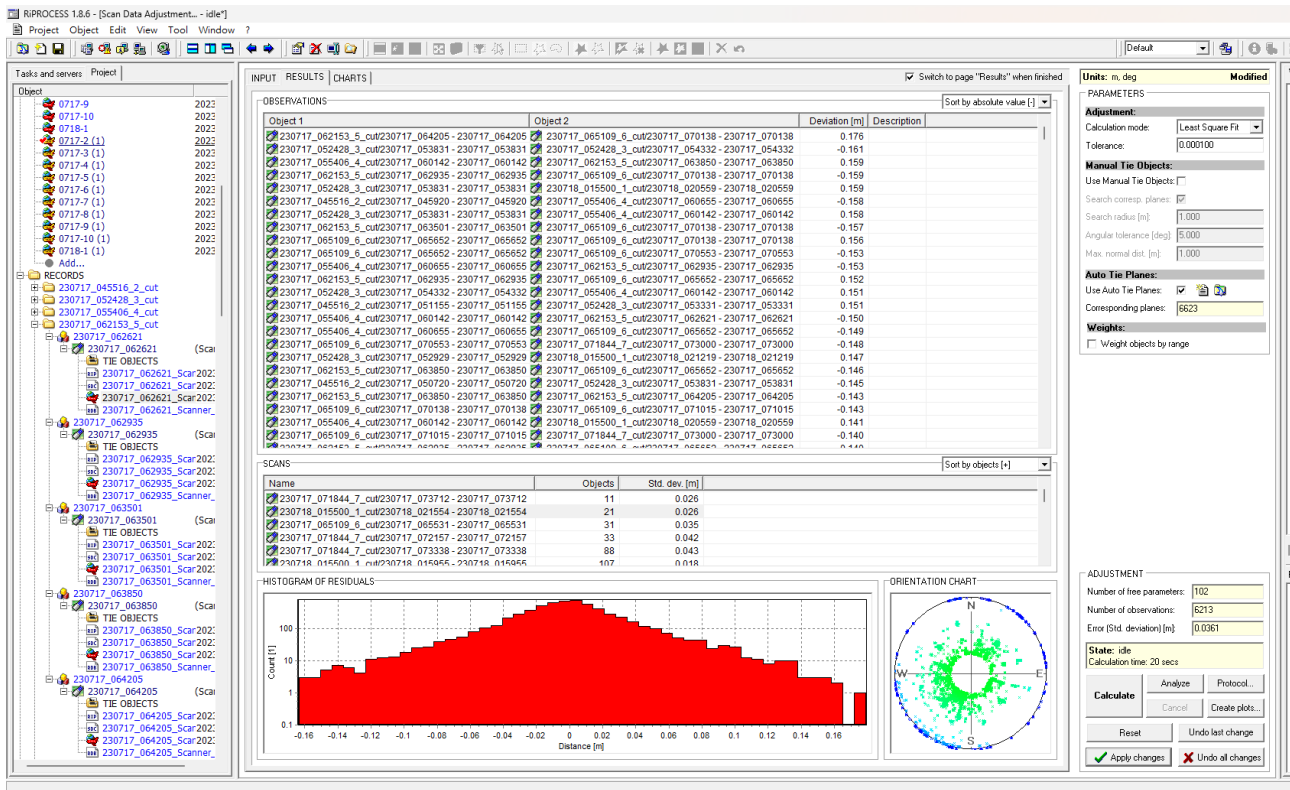


圖 3-17 點雲平差解算作業畫面-共軌平面解算

(二) 點雲分類與編修

1. 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。
2. 採用 Microstation 進行點雲自動化分類，再以人工編修方式全面確認點雲分類成果，點雲人工分類畫面如圖 3-19，成果如圖 3-18。

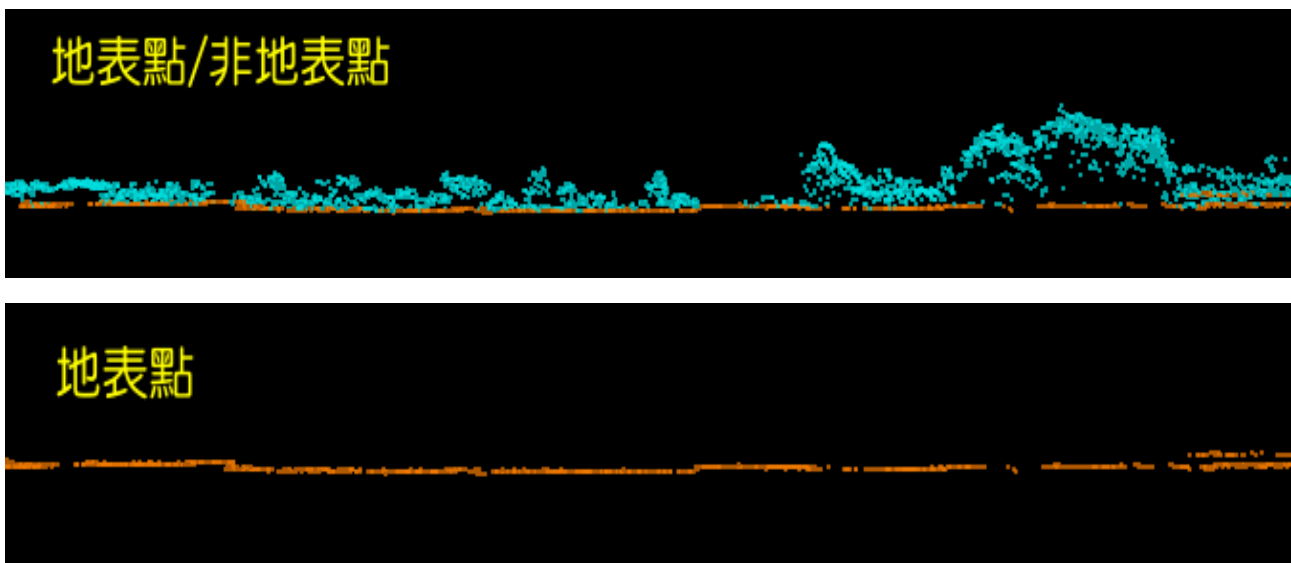


圖 3-18 點雲編修分類成果示意圖

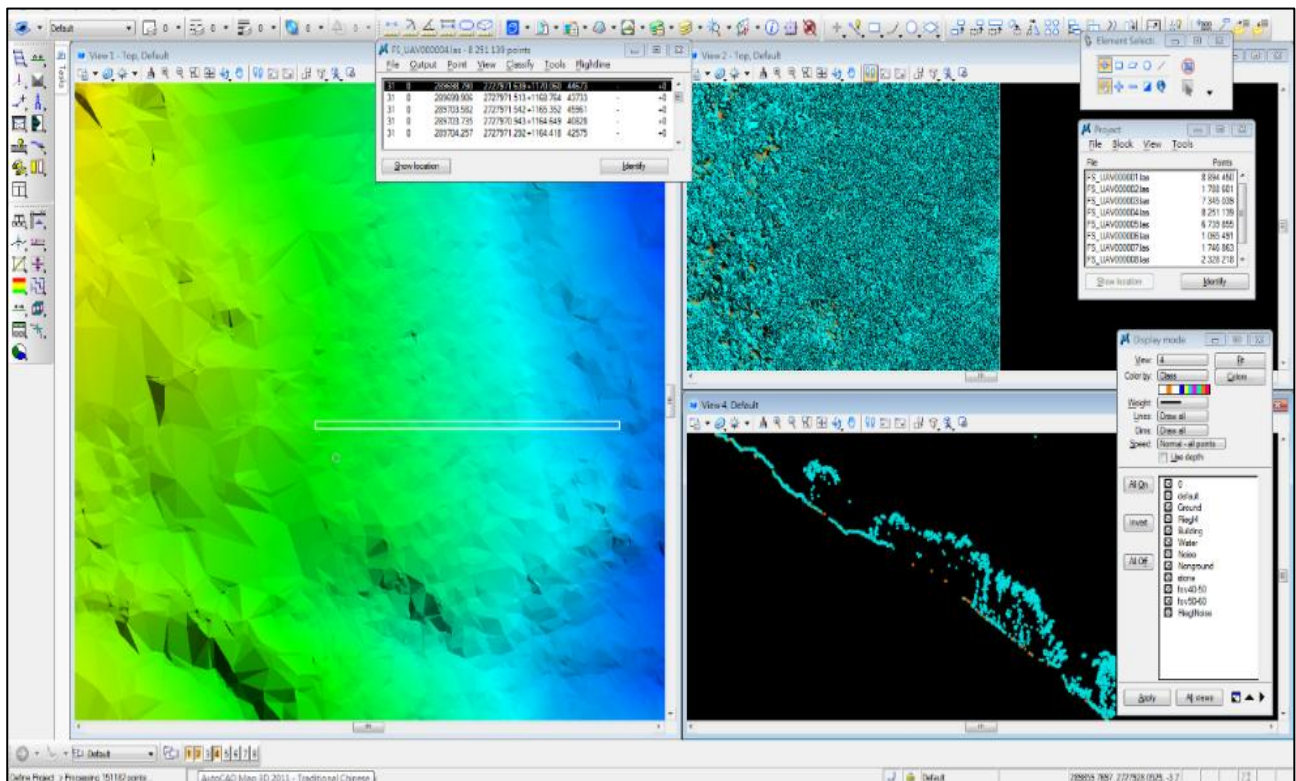


圖 3-19 點雲人工編修畫面

(三) 以分類後點雲資料產製 20 公分解析度數值地形模型資料，包含 DSM 以及 DEM。

五、無人機純光學影像拍攝及圖層產製

(一) 計畫範圍與作業流程

1. 本計畫工項「無人機純光學影像拍攝及圖層產製」，是計畫範圍為原則，支援外縣市為輔，於主辦機關指定特定事件災害地區、不安定土砂高風險殘坡或其他重點地區，辦理以下工作。
2. 每處產製正射影像、360 度環景影像、DSM，正射取像拍攝總涵蓋面積至少 300 公頃，每處須布設地面控制點，每處拍攝面積以 10 公頃以上為原則，並完成地表數值地表模型(DSM)製作。拍攝區域配合主辦機關需求機動性調整，以實做數量結算。
3. 彙整以上作業需求，繪製無人機純光學影像拍攝作業流程如圖 3-20。

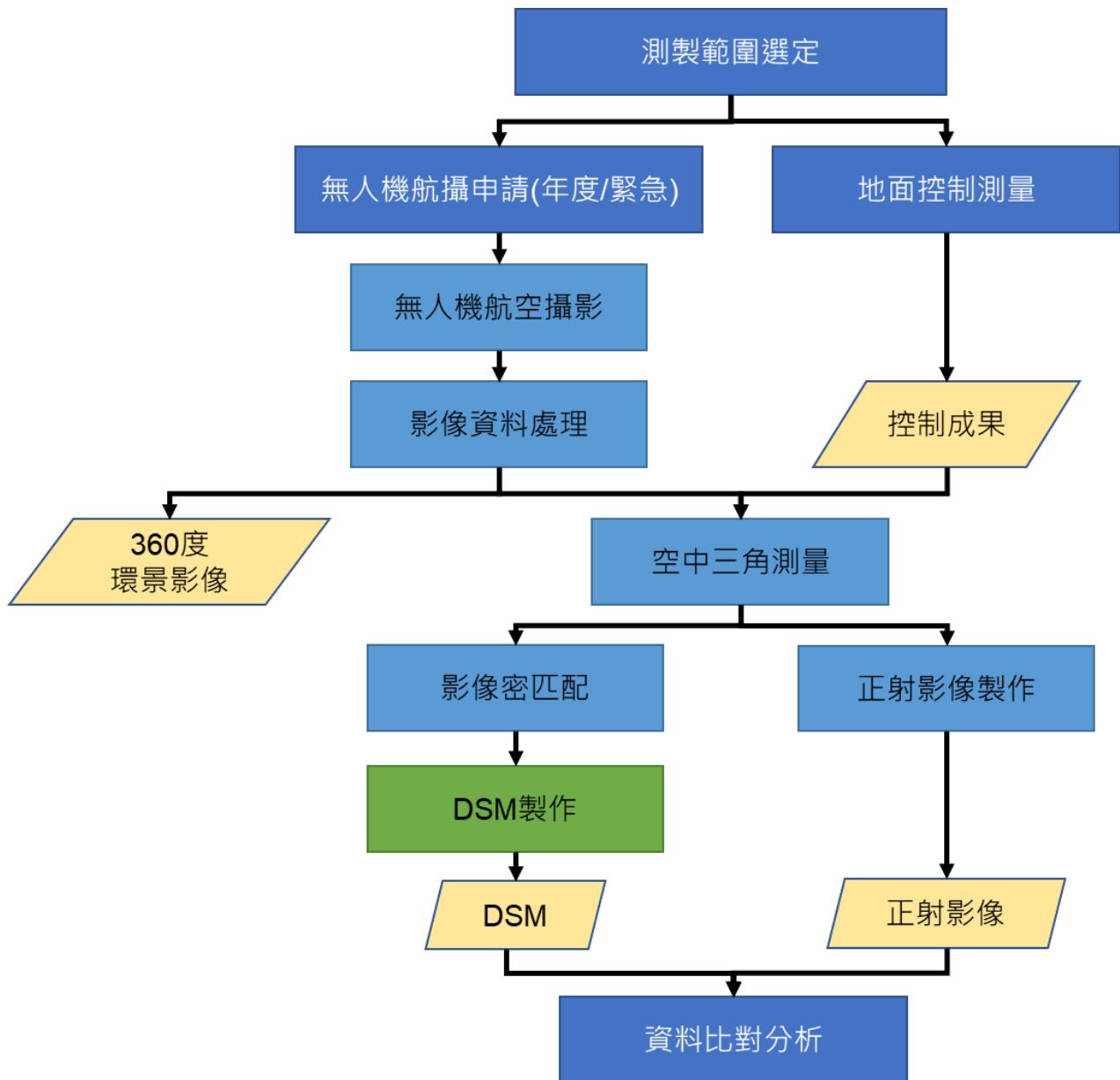


圖 3-20 無人機影像處理作業流程

(二) 控制測量(同光達拍攝控制點原則)

1. 控制點及檢核點布設作業：布設位置原則為透空良好之處，且影像上可清晰辨識為原則，單一測區(單一處待施測地點)四角需各設置 1 點控制點，範圍內亦需均勻布設控制點，測區以每 30 公頃至少 4 點(含)，每額外增加 10 公頃額外增加 1 點。每處測區內檢核點布設應合理均勻分布於測區內，檢核點數量需滿足至少為控制點數量之 20%，且至少 2 點(含) 之規定。

2. 若因交通中斷或現地條件限制，以致測區無法布設足夠之控制點及檢核點數量時，由廠商提出相關佐證資料，經主辦機關及監審廠商同意後，使用既有之外部參考資料納入使用或酌予減少點數。

(三) 航拍攝影儀器

採用 SONY ILX-LR1(表 3-5)無人機專用像機，其中，此兩套像機的像片尺寸達 6,100 萬像素，結合 35mm 鏡頭，提升作業效率。

表 3-5 SONY S ILX-LR1 技術參數

儀器照	參數名稱	參數
	尺寸 (mm)	100.0×74.0×42.5
	重量 (g)	243
	感測器尺寸(全片幅) (mm)	35.7×23.8
	像片尺寸 (pixel)	9504×6336 (6,100 萬)

(四) 作業需求及原則

1. 原始空拍影像地面解析度(Ground Sample Distance, GSD)需優於 10 公分(含)，採 RGB 8bits 色彩影像格式紀錄。空拍影像前後重疊量需達 80 % (含) 以上，左右重疊需達 40 % (含) 以上，所有空拍影像無雲範圍涵蓋，應足夠產製本案正射影像及建構 3D 模型。
2. 無人機光達掃描作業中的影像空拍，應符合光達資料蒐集之涵蓋範圍，並以同日取得為原則。如受限作業時程、飛行載具與天候因素影響無法同日取得，則兩者時間差應至少在 30 日內。當時間差超過 30 日，則廠商應提出說明，並經監審廠商及主辦機關確認，是否需額外進行補拍攝。
3. 原始空拍影像檔案之 EXIF (可交換圖檔格式) 資訊應保留完整，包含各張影像之概略位置、焦距、拍攝時間、ISO 值及相機型號等資訊。

4. 產製之彩色正射影像及 3D 模型內不可有雲霧遮蔽，其色彩呈現自然色，色調一致且接邊連續無縫，作業流程如圖 3-21。

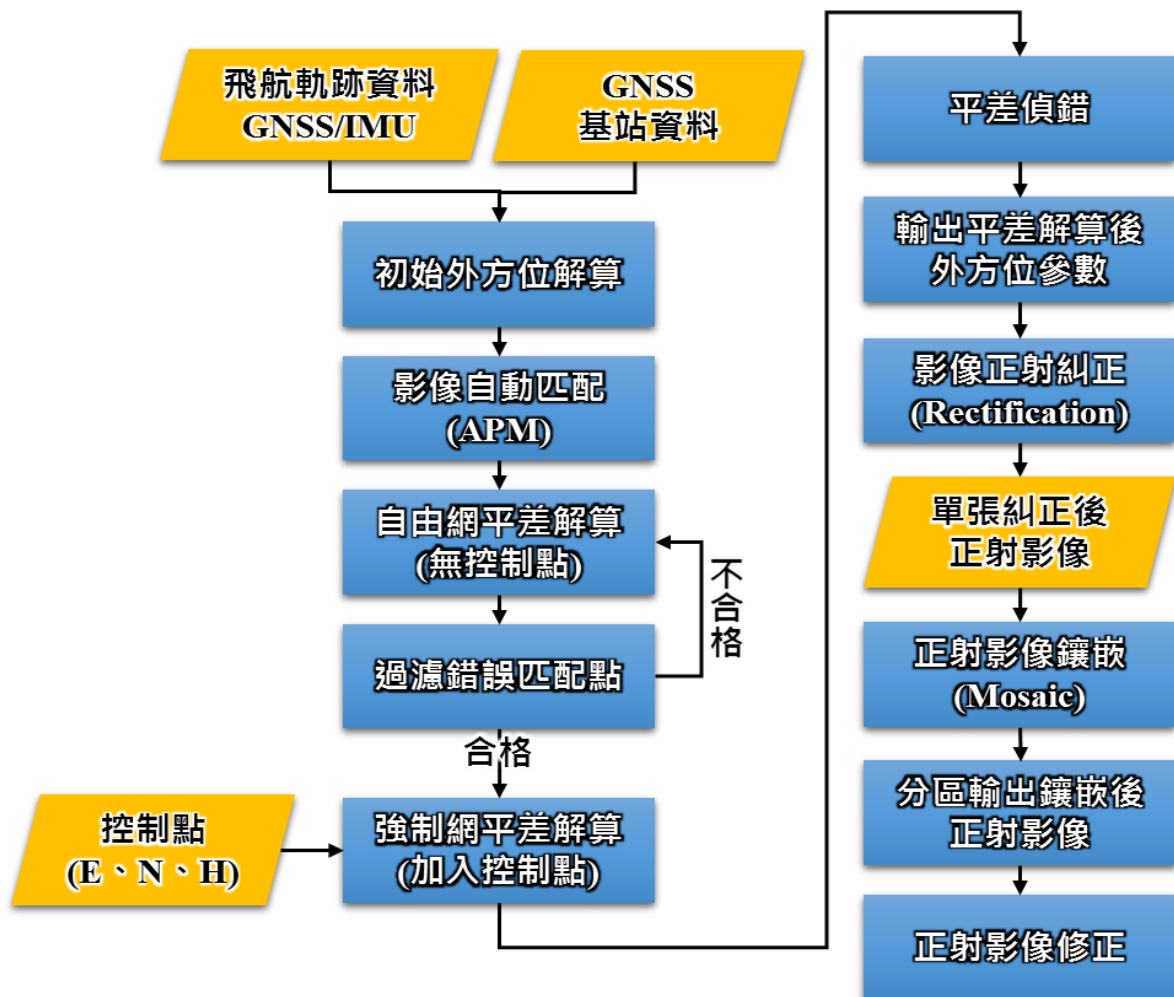


圖 3-21 空中三角測量計算與正射影像製作流程

5. 測製成果以彩色 24 位元之 GeoTIF 格式儲存(紅、綠、藍各波段均為 8 位元)，製作計畫範圍外擴 5 公尺以上 5 公分正射影像(優於原計畫作業規定 10 公分)。
6. 無人機航拍影像製作提交成果應包含：原始空拍影像(jpg 或 tif 格式)、快速幾何糾正鑲嵌影像及坐標檔(tif 格式及 tfw 格式)、正射影像及坐標檔(tif 及 tfw 格式)、360 度環景影像及 3D 模型成果。成果檔案名稱應註明空拍作業日期時間，如同一檔案(測區)包含多時期拍攝，則應提供 shapefile 檔案定義概略拍攝時間分區。

(五) 簡易分析報告

團隊將利用本案產製之數值地形與正射影像成果，配合農村水保署提供之既有相關成果，如歷史光學影像、現地地形、工程整治與災害調查成果、歷史雨量…等資料，進行崩塌地現況分析。

1. 樹冠孔隙分析

樹冠孔隙（canopy gap）可視為坡地穩定度的自然指標。當邊坡承受自重、降雨或地震等外力時，滑動剪力會直接破壞根系並誘發林木傾倒，進而增加樹冠孔隙。因此在崩崖、張力裂隙、遷急點或蝕溝附近的植生多有密集的樹冠孔隙分布。

因此，透過無人機影像衍生之樹冠高程模型（CHM）與微地形分析，可以快速萃取孔隙位置與大小，再與張力裂隙、崩崖及蝕溝微水溪疊合比對：若某區域孔隙密度高且與不穩定微地形特徵空間一致，往往意味著坡體已進入頻繁破壞與植生重建的動態循環，失穩風險亦同步升高，樹冠孔隙分布不僅揭示生態演替階段，也能作為早期偵測邊坡潛在滑動、評估工程監測優先順序與制定防災對策的重要輔助資訊。

2. 樹冠高程模型分析

團隊亦將利用無人機光達的數值地表模型（DSM）與數值地形模型（DEM）進行差異運算，產製樹冠高程模型模型(CHM)，掌握植被高度，分析不同區域林相結構與植生覆蓋狀況，可用於評估崩塌地復育成效、坡面植生穩定功能及生態環境狀況，詳如第七章。

第四章 計畫成果

第一節 控制測量成果

本計畫於 8 處光達測區共布設 55 控制點以及 8 處基地站；9 處光學測量區域共布設 X 控制點。施測時，採用內政部國土測繪中心 eGNSS2025 坐標系統，並於測量完成後計算與轉換至內政部公告之最新 TWD97【2020】坐標系統，整體控制測量成果如表 4-1 以及表 4-2。各點位皆拍攝點位遠近照(圖 4-1 以及圖 4-3)，並製作程點位紀錄表如圖 4-2 以及圖 4-4。

表 4-1 光達測區控制點基地站坐標總表

序號	點號	eGNSS2025			TWD97【2020】			正高	備註
		N	E	橢球高 h	N	E	橢球高 h		
1	B0201	2682437.065	273338.042	1789.398	2682437.034	273338.318	1789.386	1763.692	
2	B0202	2682443.414	273107.106	1779.872	2682443.382	273107.384	1779.862	1754.177	
3	B0203	2682384.554	273017.927	1776.489	2682384.522	273018.205	1776.481	1750.798	
4	B0204	2682181.541	273157.949	1873.354	2682181.511	273158.223	1873.346	1847.657	
5	B0280	2682469.911	273220.063	1785.828	2682469.880	273220.341	1785.817	1760.127	
6	B0281	2682347.333	273199.631	1836.756	2682347.302	273199.907	1836.746	1811.056	
7	B0401	2683203.157	276171.837	2060.415	2683203.128	276172.114	2060.352	2034.566	
8	B0402	2682909.390	275670.965	2113.396	2682909.362	275671.239	2113.341	2087.571	
9	B0403	2683349.674	275728.564	1905.919	2683349.644	275728.842	1905.863	1880.103	
10	B0404	2683415.680	275806.725	1903.615	2683415.650	275807.004	1903.558	1877.798	
11	B0480	2683048.993	276053.108	2063.904	2683048.964	276053.384	2063.843	2038.052	
12	B0481	2683202.861	275914.233	1994.890	2683202.832	275914.510	1994.831	1969.057	
13	B0601	2683753.112	276102.649	1875.132	2683753.081	276102.931	1875.071	1849.321	
14	B0602	2684236.013	276330.284	1850.205	2684235.982	276330.567	1850.144	1824.390	
15	B0603	2683918.137	276605.448	1972.125	2683918.107	276605.730	1972.061	1946.274	
16	B0604	2683623.029	276628.828	2022.004	2683622.999	276629.109	2021.938	1996.140	
17	B0605	2683543.156	276535.147	2025.557	2683543.126	276535.427	2025.492	1999.698	
18	B0606	2683552.422	276386.275	2022.148	2683552.392	276386.555	2022.084	1996.307	
19	B0680	2683892.701	276183.190	1867.853	2683892.670	276183.472	1867.791	1842.043	
20	B0681	2684093.394	276257.951	1855.945	2684093.363	276258.234	1855.883	1830.135	
21	H0101	2740538.350	286432.438	500.040	2740538.320	286432.718	500.016	478.226	
22	H0102	2740771.379	286360.498	479.567	2740771.349	286360.779	479.544	457.780	
23	H0103	2741150.265	286368.851	462.116	2741150.234	286369.133	462.093	440.368	
24	H0104	2741166.299	286507.348	376.047	2741166.268	286507.630	376.024	354.295	
25	H0105	2740951.921	286619.318	351.063	2740951.890	286619.599	351.040	329.283	
26	H0106	2740901.051	286666.878	313.961	2740901.020	286667.159	313.937	292.173	
27	H0180	2740655.855	286358.063	487.252	2740655.825	286358.344	487.229	465.453	

114 年無人機光達拍攝及圖層產製-北區

序號	點號	eGNSS2025			TWD97【2020】			正高	備註
		N	E	橢球高 h	N	E	橢球高 h		
28	H0181	2740857.730	286350.253	477.200	2740857.699	286350.534	477.177	455.422	
29	H0301	2730588.098	290003.528	1138.877	2730588.088	290003.800	1138.823	1116.125	
30	H0302	2730958.990	290263.904	1177.795	2730958.979	290264.175	1177.737	1155.058	
31	H0303	2730754.698	290409.254	1020.830	2730754.687	290409.525	1020.772	998.080	
32	H0304	2730445.627	290490.261	871.503	2730445.616	290490.532	871.446	848.731	
33	H0380	2730823.510	290124.500	1159.839	2730823.499	290124.772	1159.782	1137.099	
34	H0381	2730620.074	290125.739	1075.827	2730620.063	290126.011	1075.772	1053.075	
35	H0401	2728262.740	289527.710	1344.470	2728262.729	289527.981	1344.436	1321.582	
36	H0402	2728146.468	289482.240	1366.504	2728146.457	289482.511	1366.471	1343.607	
37	H0403	2727954.888	290222.964	976.132	2727954.875	290223.235	976.096	953.219	
38	H0404	2727822.432	290163.051	955.788	2727822.419	290163.322	955.753	932.861	
39	H0480	2728182.935	289505.754	1358.049	2728182.924	289506.025	1358.016	1335.155	
40	H0481	2727945.306	290069.684	967.496	2727945.294	290069.955	967.461	944.583	
41	U0301	2559422.494	274599.658	308.612	2559422.338	274600.260	308.621	282.370	
42	U0302	2559243.334	274554.167	313.894	2559243.179	274554.767	313.902	287.654	
43	U0303	2559000.939	274542.170	331.569	2559000.785	274542.768	331.576	305.333	
44	U0304	2559257.862	274905.436	370.493	2559257.703	274906.038	370.502	344.267	
45	U0305	2559163.349	275215.157	434.908	2559163.187	275215.760	434.918	408.695	
46	U0306	2559150.955	275308.917	456.881	2559150.792	275309.521	456.891	430.672	
47	U0307	2558956.720	275538.175	584.965	2558956.555	275538.778	584.975	558.766	
48	U0380	2559248.409	274664.598	323.397	2559248.253	274665.199	323.405	297.162	
49	U0381	2559168.379	275078.670	406.412	2559168.218	275079.273	406.421	380.194	
50	U1001	2578573.921	280071.752	215.400	2578573.678	280072.425	215.447	189.403	
51	U1002	2578354.425	280054.321	203.880	2578354.181	280054.995	203.927	177.885	
52	U1003	2578193.511	280076.069	200.910	2578193.266	280076.745	200.957	174.920	
53	U1004	2578070.065	280090.186	198.544	2578069.819	280090.863	198.592	172.558	
54	U1080	2578388.454	280052.989	205.057	2578388.210	280053.663	205.104	179.061	
55	U1081	2578296.166	280060.486	202.055	2578295.922	280061.161	202.102	176.061	
56	B0S01	2730922.830	290015.070	1251.640	2730922.820	290015.342	1251.584	1228.908	上巴陵(H03)
57	B0S02	2727943.859	290067.505	967.346	2727943.847	290067.776	967.311	944.433	光華(H04)
58	B0S03	2740905.666	287002.641	380.130	2740905.635	287002.922	380.106	358.328	義興電廠(H01)
59	B0S01	2683344.084	276130.989	2026.134	2683344.054	276131.268	2026.072	2000.298	梨山部落(B04) 松柏部落(B06)
60	B0S02	2682340.849	273203.252	1836.919	2682340.818	273203.528	1836.909	1811.219	佳陽部落(B02)
61	B0S07	2559336.377	274479.722	308.185	2559336.223	274480.323	308.193	281.939	富南村(U03)
62	B0S08	2578380.905	280163.981	193.566	2578380.660	280164.656	193.613	167.585	客城(U10)

表 4-2 純光學測區控制點坐標總表

序號	點號	eGNSS2025			TWD97【2020】			正高
		N	E	橢球高 h	N	E	橢球高 h	
1	0-1	2618642.061	305530.304	46.297	2618641.962	305530.693	46.313	24.025
2	0-2	2618799.208	305616.590	39.710	2618799.109	305616.977	39.726	17.458
3	0-3	2618715.818	305538.208	47.350	2618715.719	305538.596	47.366	25.081

序號	點號	eGNSS2025			TWD97【2020】			正高
		N	E	橢球高 h	N	E	橢球高 h	
4	0-4	2618596.139	305512.853	46.223	2618596.040	305513.242	46.239	23.947
5	0-5	2618568.427	305493.100	45.988	2618568.328	305493.489	46.004	23.708
6	0-6	2618767.512	305591.083	40.671	2618767.413	305591.471	40.687	18.413
7	1-1	2682572.368	322879.211	44.143	2682572.351	322879.476	44.131	23.812
8	1-2	2682491.983	323000.439	45.817	2682491.966	323000.704	45.804	25.527
9	1-3	2682558.829	322923.420	44.047	2682558.812	322923.685	44.034	23.729
10	1-4	2682598.871	322842.952	45.064	2682598.854	322843.216	45.052	24.721
11	1-5	2682552.956	322809.231	41.838	2682552.939	322809.495	41.826	21.491
12	1-6	2682608.261	322781.139	46.328	2682608.244	322781.403	46.316	25.968
13	2-1	2675027.370	316761.162	50.167	2675027.311	316761.407	50.008	28.798
14	2-2	2674810.371	316689.951	42.991	2674810.311	316690.195	42.829	21.624
15	2-3	2674633.282	316656.062	48.343	2674633.221	316656.306	48.178	26.983
16	2-4	2674439.464	316607.243	48.587	2674439.402	316607.487	48.419	27.234
17	2-5	2674238.177	316556.803	47.937	2674238.114	316557.046	47.766	26.592
18	2-6	2674075.706	316502.897	46.854	2674075.643	316503.140	46.682	25.512
19	3-1	2674039.591	316506.895	45.705	2674039.527	316507.138	45.532	24.367
20	3-2	2673967.152	316476.787	43.900	2673967.088	316477.030	43.726	22.562
21	3-3	2673857.018	316466.619	42.364	2673856.953	316466.862	42.188	21.035
22	3-4	2673816.232	316435.327	42.157	2673816.167	316435.570	41.981	20.824
23	3-5	2673762.431	316446.727	41.620	2673762.366	316446.970	41.443	20.296
24	3-6	2673659.010	316394.962	42.193	2673658.945	316395.205	42.016	20.867
25	4-1	2672417.078	313673.270	101.330	2672417.074	313673.524	101.281	79.528
26	4-2	2672490.863	313603.230	111.100	2672490.861	313603.484	111.054	89.275
27	4-3	2672599.498	313465.806	109.292	2672599.500	313466.060	109.251	87.427
28	4-4	2672533.045	313457.546	89.101	2672533.046	313457.800	89.060	67.240
29	4-5	2672444.876	313480.725	91.956	2672444.877	313480.980	91.915	70.109
30	4-6	2672408.978	313553.298	93.805	2672408.977	313553.553	93.761	71.977
31	5-1	2673500.027	316470.879	38.067	2673499.959	316471.122	37.884	16.774
32	5-2	2673277.581	316299.143	49.766	2673277.514	316299.386	49.586	28.456
33	5-3	2673085.373	316256.550	54.840	2673085.305	316256.793	54.659	33.540
34	5-4	2672873.243	316170.011	58.606	2672873.176	316170.254	58.426	37.311
35	5-5	2672620.694	316086.298	67.140	2672620.627	316086.542	66.963	45.853
36	5-6	2672460.471	316052.944	71.093	2672460.405	316053.189	70.919	49.810
37	6-1	2656090.248	307543.586	86.638	2656090.240	307543.860	86.635	64.300
38	6-2	2656191.053	307533.659	93.277	2656191.045	307533.934	93.274	70.929
39	6-3	2656162.856	307497.557	91.316	2656162.848	307497.832	91.313	68.962
40	6-4	2656143.973	307422.846	88.777	2656143.965	307423.121	88.774	66.406
41	6-5	2656054.251	307349.343	82.494	2656054.242	307349.618	82.492	60.112
42	6-6	2656038.725	307285.554	84.193	2656038.716	307285.829	84.191	61.796



圖 4-1 控制點位遠近照(列舉)

農業部農村發展及水土保持署 「114 年無人機光達拍攝及圖層產製」 【地面控制點點位調查表】						北區
點 號	B0201		所 在 地	佳陽部落(B02)		
點 別	☒ 全控 ☐ 檢核點	點 位 種 類	☒ 油漆 ☐ 鋼釘 ☐ 特設角點 ☐ 特設點(地面)			
平面坐標 TWD97[2020]	E	273338.318	高 程 值	正高	1763.692	
	N	2682437.034		機球高	1789.386	
測 設 單 位	自強工程顧問有限公司		高 程 別	☒ GNSS 測算高程 ☐ 全測站引測 ☐ 直接水準		
施測人員及日期	周詩凱 / 114 年 7 月		內檢人員及日期	楊雲敏 / 114 年 8 月		
位 置 圖(地圖)			影像圖			
						
點位現地遠照			點位現地近照			
						
說明與備註：						

農業部農村發展及水土保持署 「114 年無人機光達拍攝及圖層產製」 【地面控制點點位調查表】						北區
點 號	B0280		所 在 地	佳陽部落(B02)		
點 別	☐ 全控 ☒ 檢核點	點 位 種 類	☒ 油漆 ☐ 鋼釘 ☐ 特設角點 ☐ 特設點(地面)			
平面坐標 TWD97[2020]	E	273220.341	高 程 值	正高	1760.127	
	N	2682469.880		機球高	1785.817	
測 設 單 位	自強工程顧問有限公司		高 程 別	☒ GNSS 測算高程 ☐ 全測站引測 ☐ 直接水準		
施測人員及日期	周詩凱 / 114 年 7 月		內檢人員及日期	楊雲敏 / 114 年 8 月		
位 置 圖(地圖)			影像圖			
						
點位現地遠照			點位現地近照			
						
說明與備註：						

農業部農村發展及水土保持署 「114 年無人機光達拍攝及圖層產製」 【地面控制點點位調查表】						北區
點 號	U1002		所 在 地	客城(U10)		
點 別	☒ 全控 ☐ 檢核點 ☐ 基地點	點 位 種 類	☒ 油漆 ☐ 鋼釘 ☐ 特設角點 ☐ 特設點(地面)			
平面坐標 TWD97[2020]	E	280054.995	高 程 值	正高	177.885	
	N	2578354.181		機球高	203.927	
測 設 單 位	自強工程顧問有限公司		高 程 別	☒ GNSS 測算高程 ☐ 全測站引測 ☐ 直接水準		
施測人員及日期	余承恩 / 114 年 10 月		內檢人員及日期	楊雲敏 / 114 年 10 月		
位 置 圖(地圖)			影像圖			
						
點位現地遠照			點位現地近照			
						
說明與備註：						

農業部農村發展及水土保持署 「114 年無人機光達拍攝及圖層產製」 【地面控制點點位調查表】						北區
點 號	U1003		所 在 地	客城(U10)		
點 別	☒ 全控 ☐ 檢核點 ☐ 基地點	點 位 種 類	☒ 油漆 ☐ 鋼釘 ☐ 特設角點 ☐ 特設點(地面)			
平面坐標 TWD97[2020]	E	280076.745	高 程 值	正高	174.920	
	N	2578193.266		機球高	200.957	
測 設 單 位	自強工程顧問有限公司		高 程 別	☒ GNSS 測算高程 ☐ 全測站引測 ☐ 直接水準		
施測人員及日期	余承恩 / 114 年 10 月		內檢人員及日期	楊雲敏 / 114 年 10 月		
位 置 圖(地圖)			影像圖			
						
點位現地遠照			點位現地近照			
						
說明與備註：						

圖 4-2 控制點位調查表(列舉)



圖 4-3 基地站點位遠近照(列舉)

農業部農村發展及水土保持署 「114 年無人機光達拍攝及圖層產製」 【基地站控制點位調查表】						北區	
點 號		BS07		所 在 地		富南村(U03)	
點 別		☐ 全控 ☐ 檢核點 ☒ 基地站		點 位 種 類		☐ 油漆 ☒ 鋼釘 ☐ 特徵角點 ☐ 特徵點(地面)	
平面坐標 TWD97[2020]		E	274480.323	高 程 值		正高	281.939
		N	2559336.223			標高	308.193
測 設 單 位		自強工程顧問有限公司		高 程 別		☒ GNSS 測算高程 ☐ 全測站引測 ☐ 直接水準	
施測人員及日期		余承恩 / 114 年 10 月		內檢人員及日期		楊豐毓 / 114 年 10 月	
位 置 圖(地圖)				影像圖			
							
點位現地遠照				點位現地近照			
							
說明與備註：				2025年10月16日 上午7:49:50			

農業部農村發展及水土保持署 「114 年無人機光達拍攝及圖層產製」 【基地站控制點位調查表】							北區	
點 號		BS08		所 在 地		客城部落(U10)		
點 別		☐ 全控 ☐ 檢核點 ☒ 基地站		點 位 種 類		☐ 油漆 ☒ 鋼釘 ☐ 特徵角點 ☐ 特徵點(地面)		
平面坐標 TWD97[2020]		E	280164.656	高 程 值		正高		167.585
		N	2578380.660			標高		193.613
測 設 單 位		自強工程顧問有限公司			高 程 別		☒ GNSS 測算高程 ☐ 全測站引測 ☐ 直接水準	
施測人員及日期		余承恩 / 114 年 10 月			內檢人員及日期		楊豐毓 / 114 年 10 月	
位 置 圖(地圖)					影像圖			
								
點位現地遠照					點位現地近照			
								
說明與備註：					2025年10月16日 上午7:48:50			

圖 4-4 基地站點位調查表(列舉)

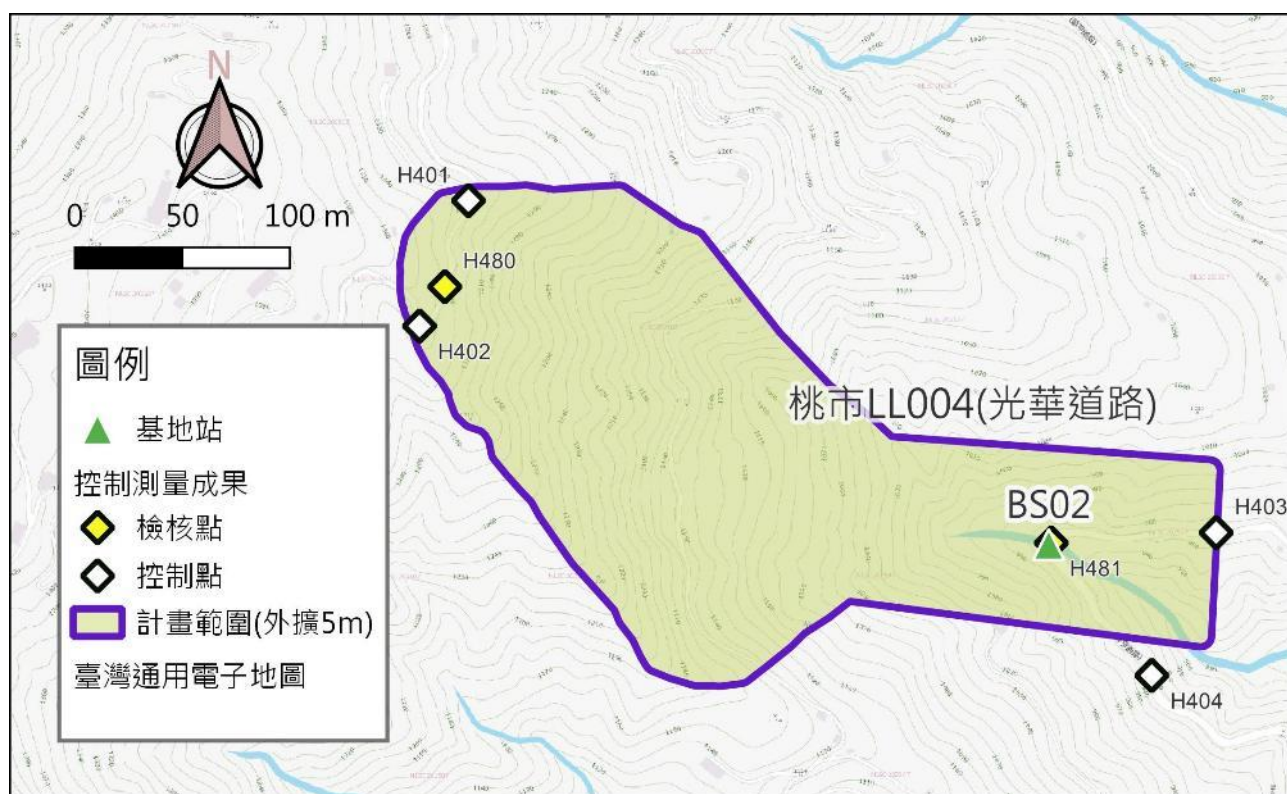


圖 4-5 控制點位分布圖-HLL004

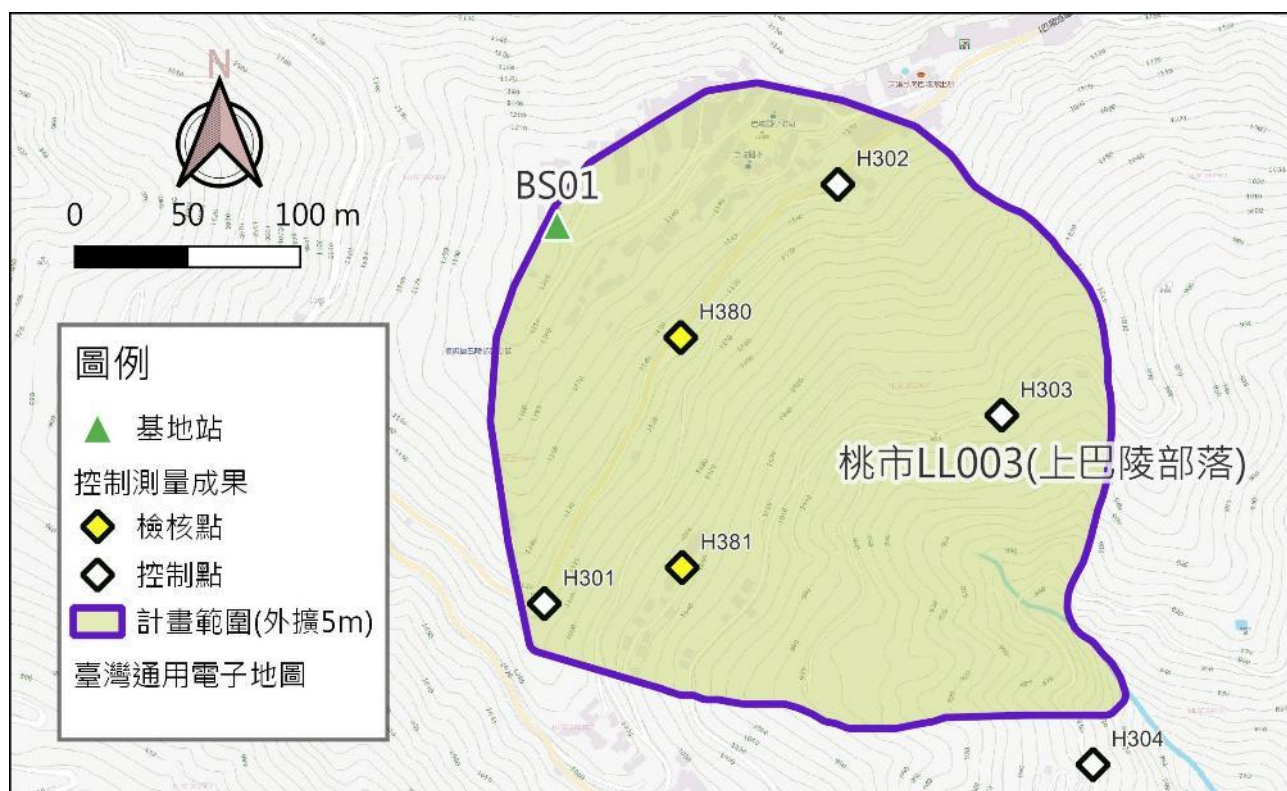


圖 4-6 控制點位分布圖-HLL003

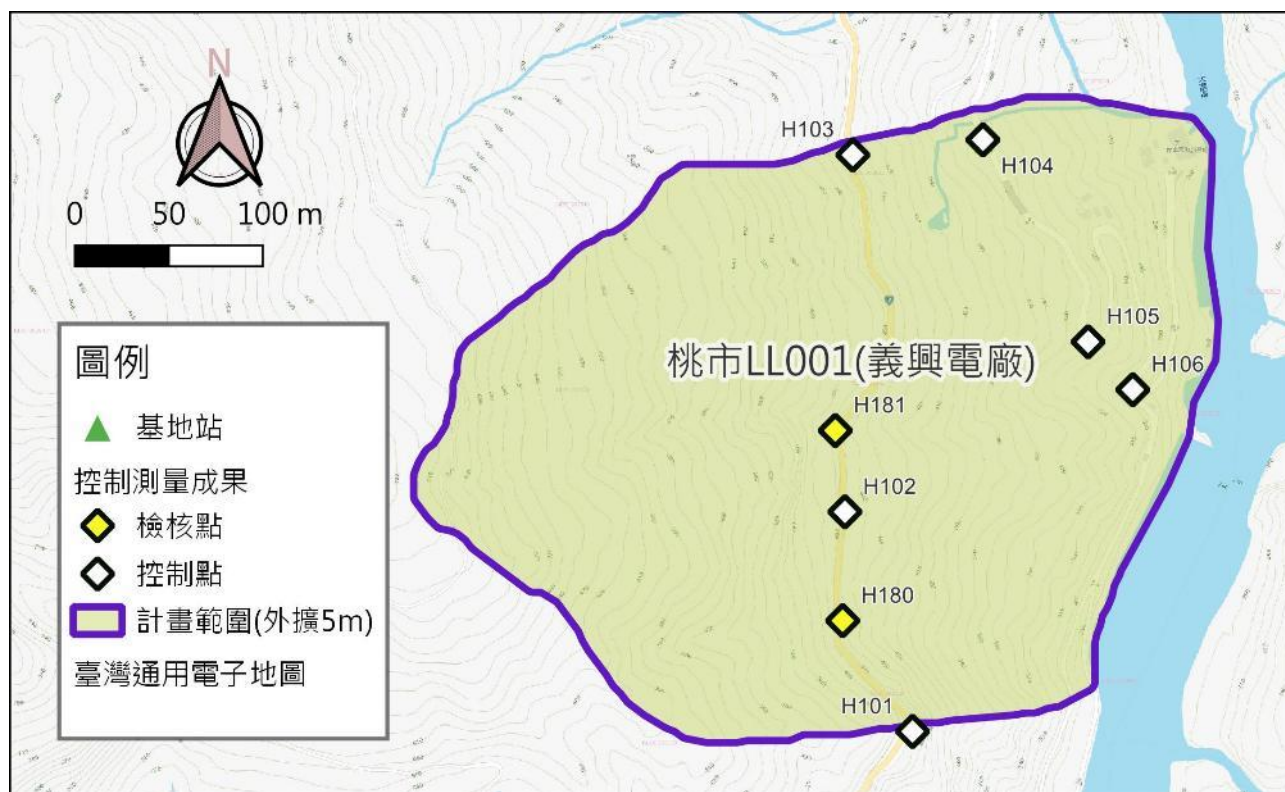


圖 4-7 控制點位分布圖-HLL001

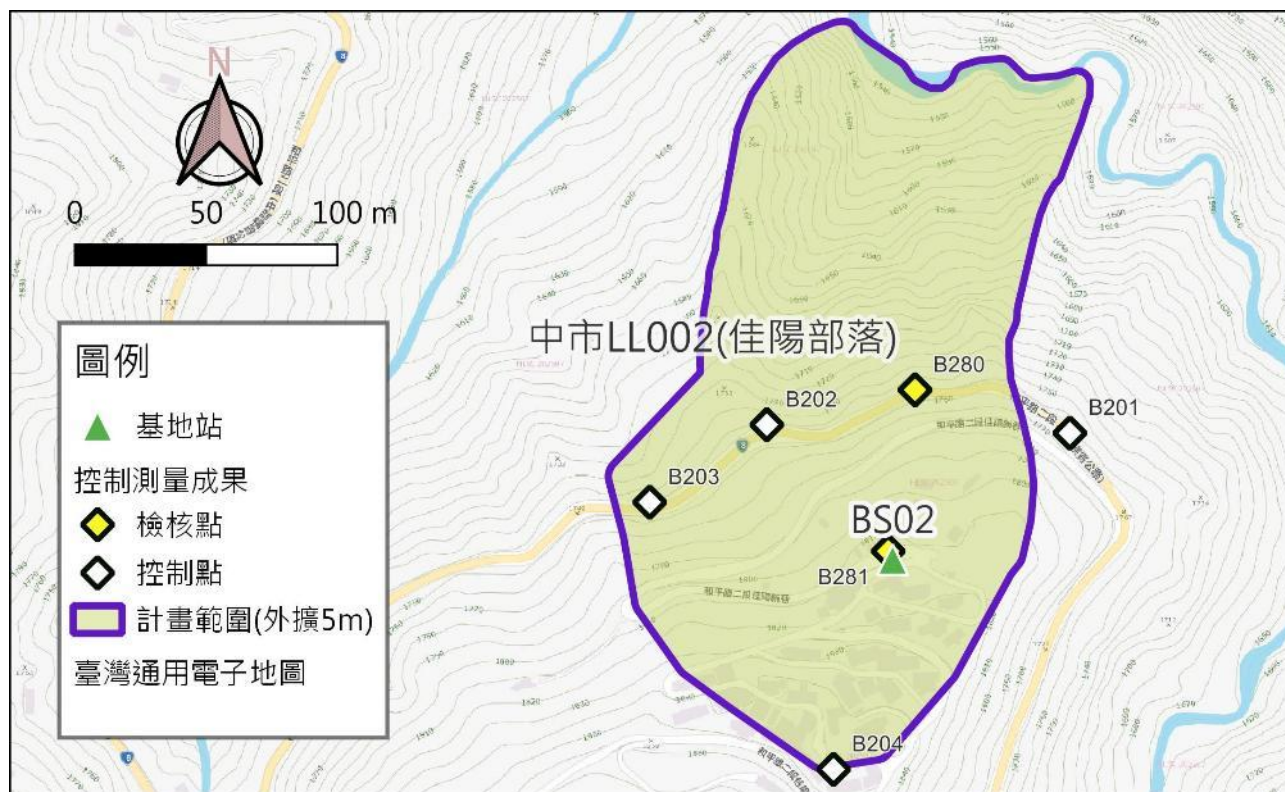


圖 4-8 控制點位分布圖-BLL002

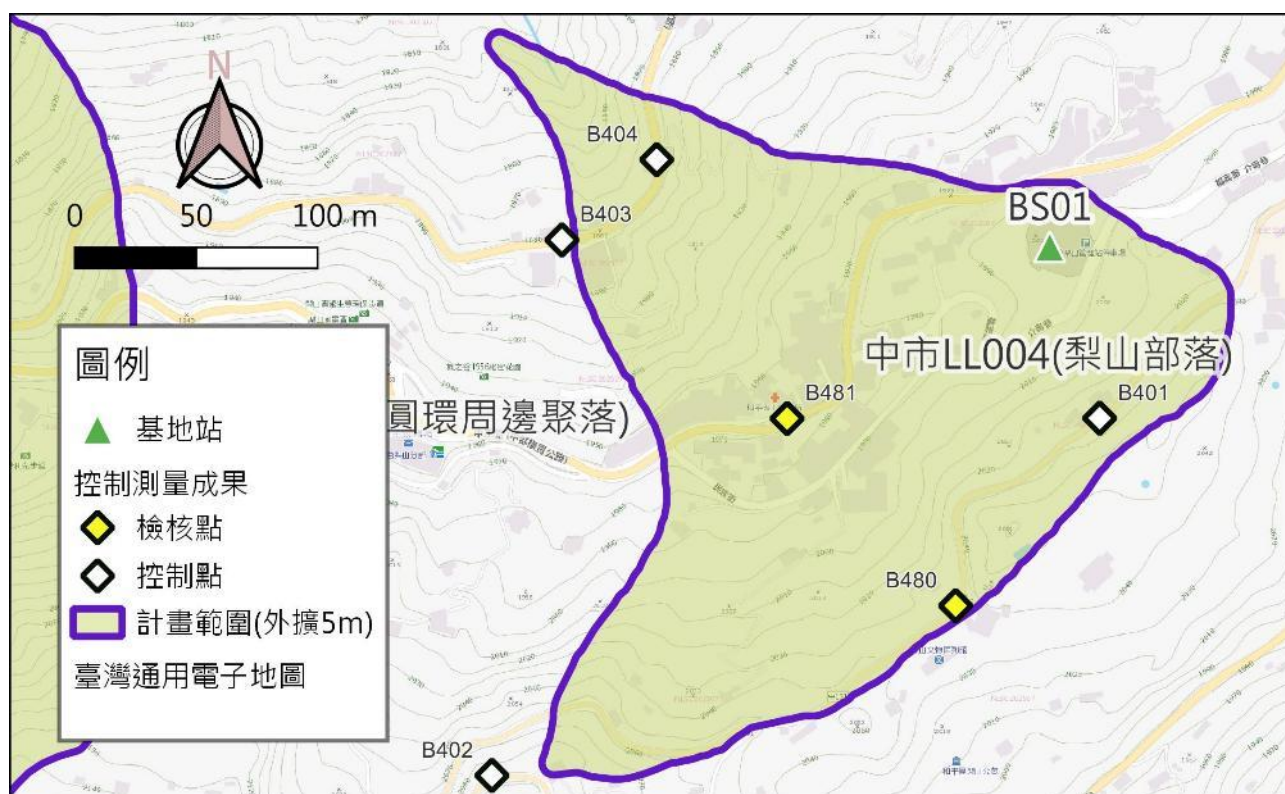


圖 4-9 控制點位分布圖-BLL004

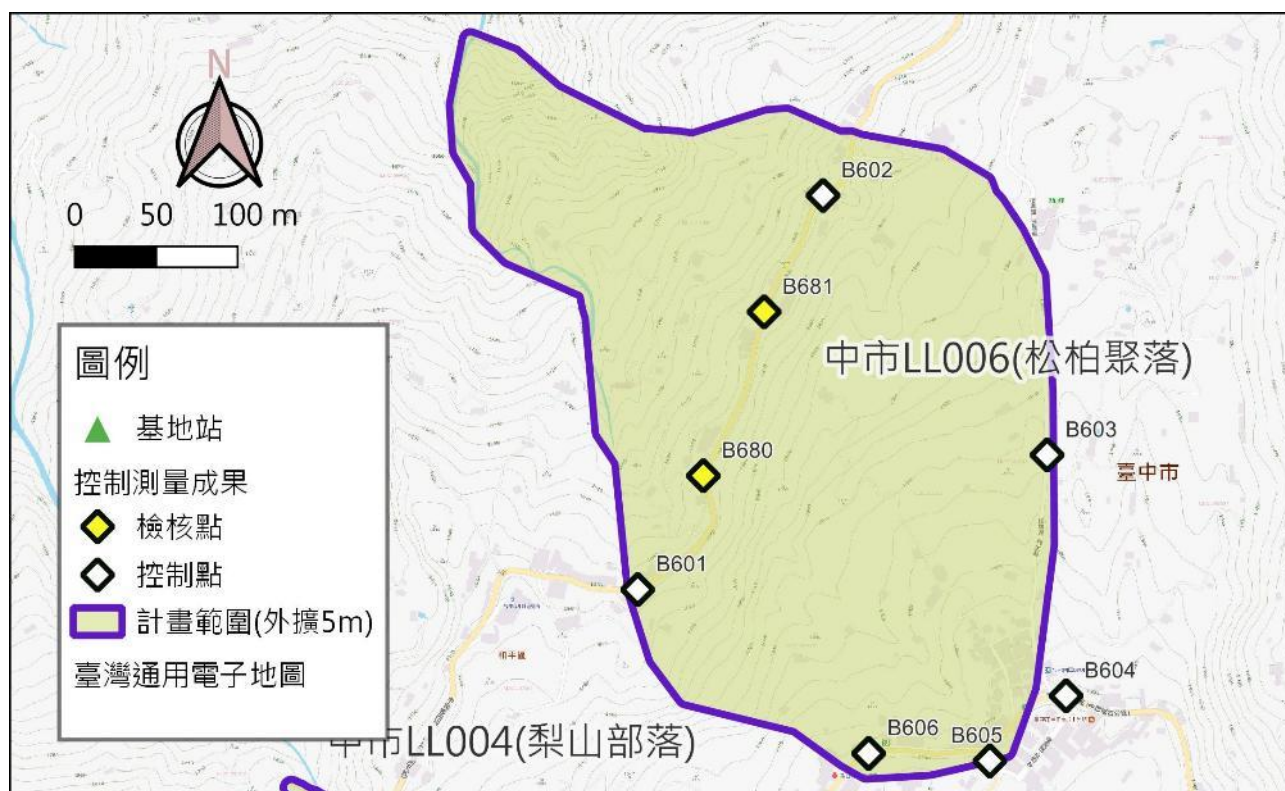


圖 4-10 控制點位分布圖-BLL006

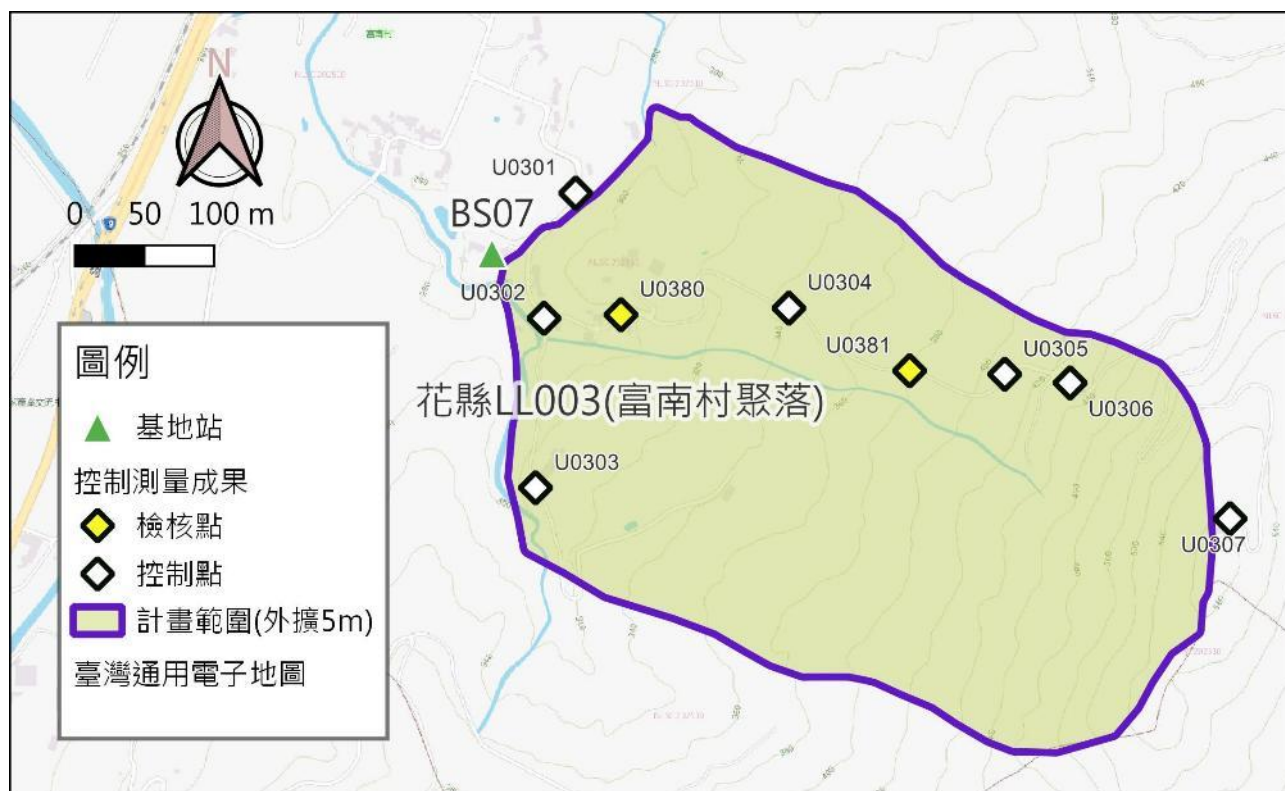


圖 4-11 控制點位分布圖-ULL003

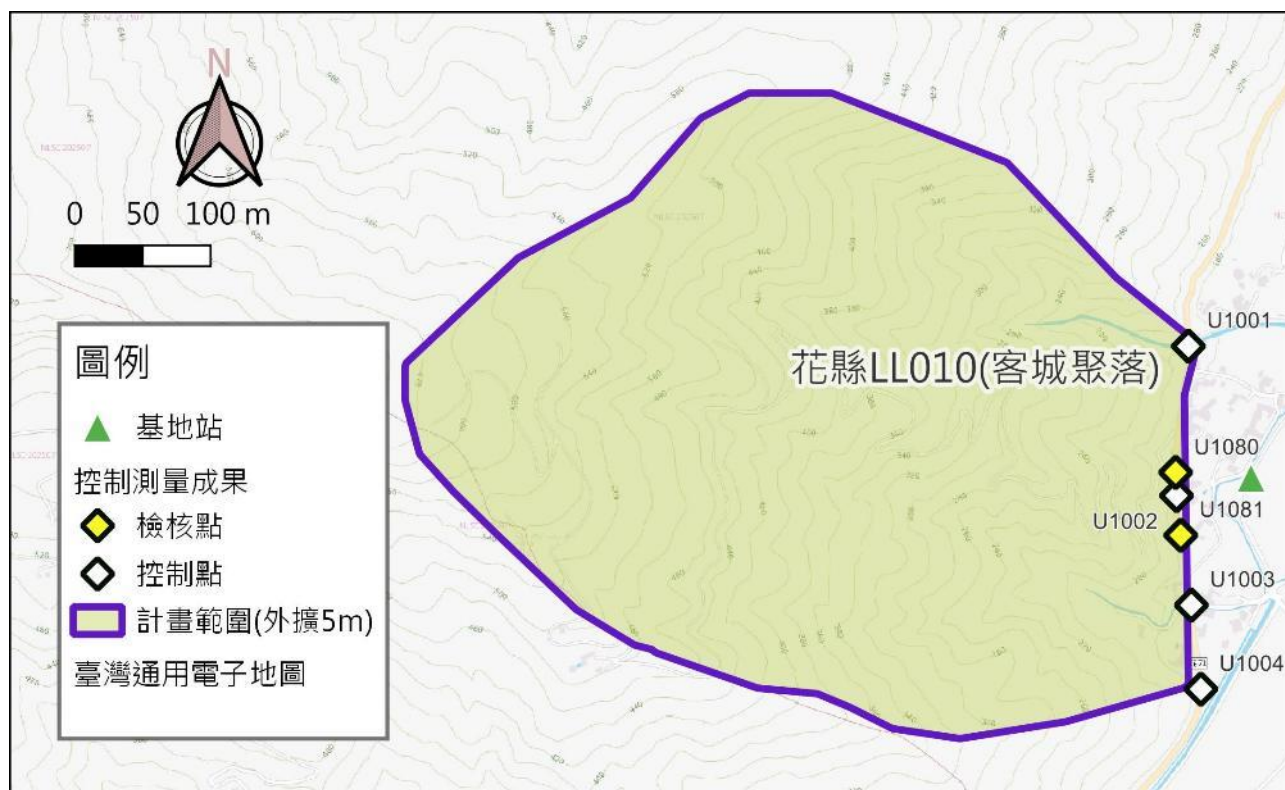


圖 4-12 控制點位分布圖-ULL010

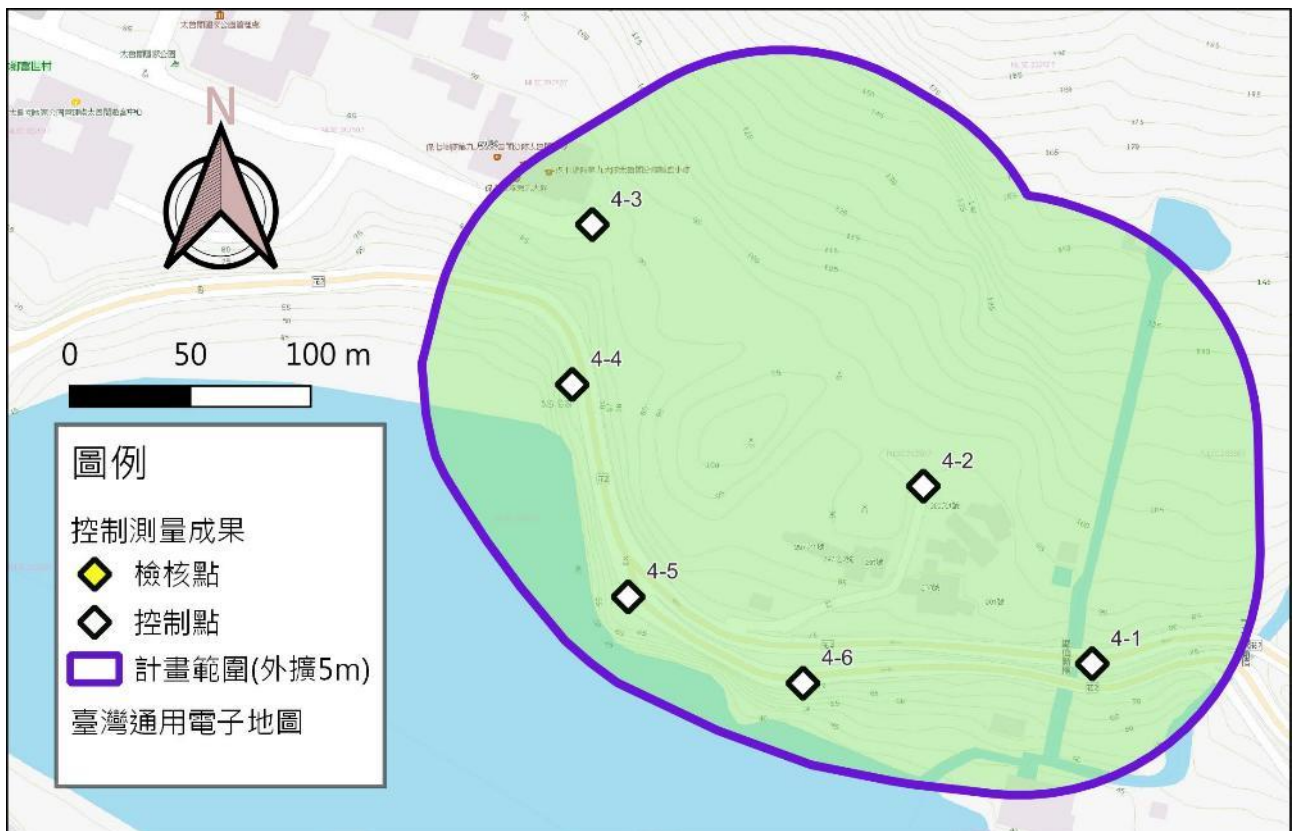


圖 4-13 控制點位分布圖-花縣 SL0006

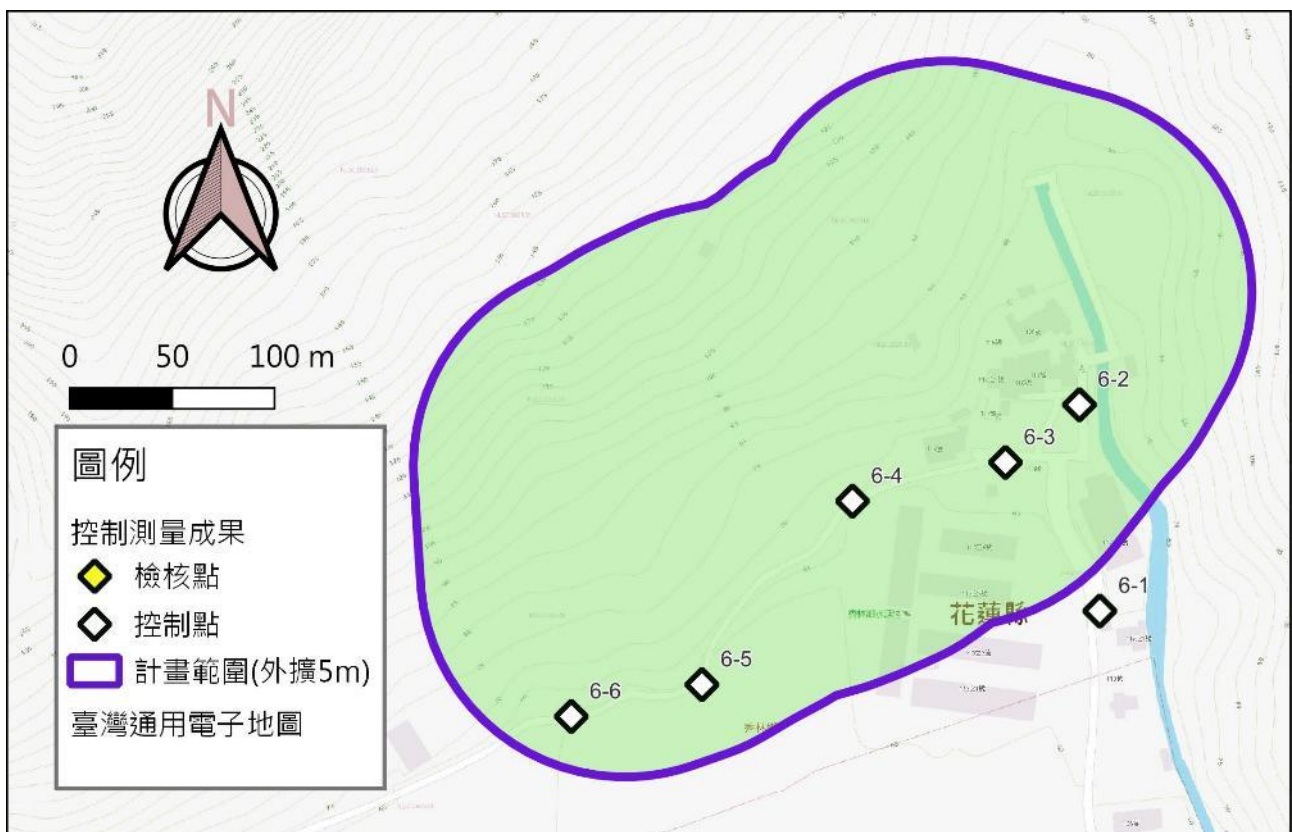


圖 4-14 控制點位分布圖-花縣 SL0011

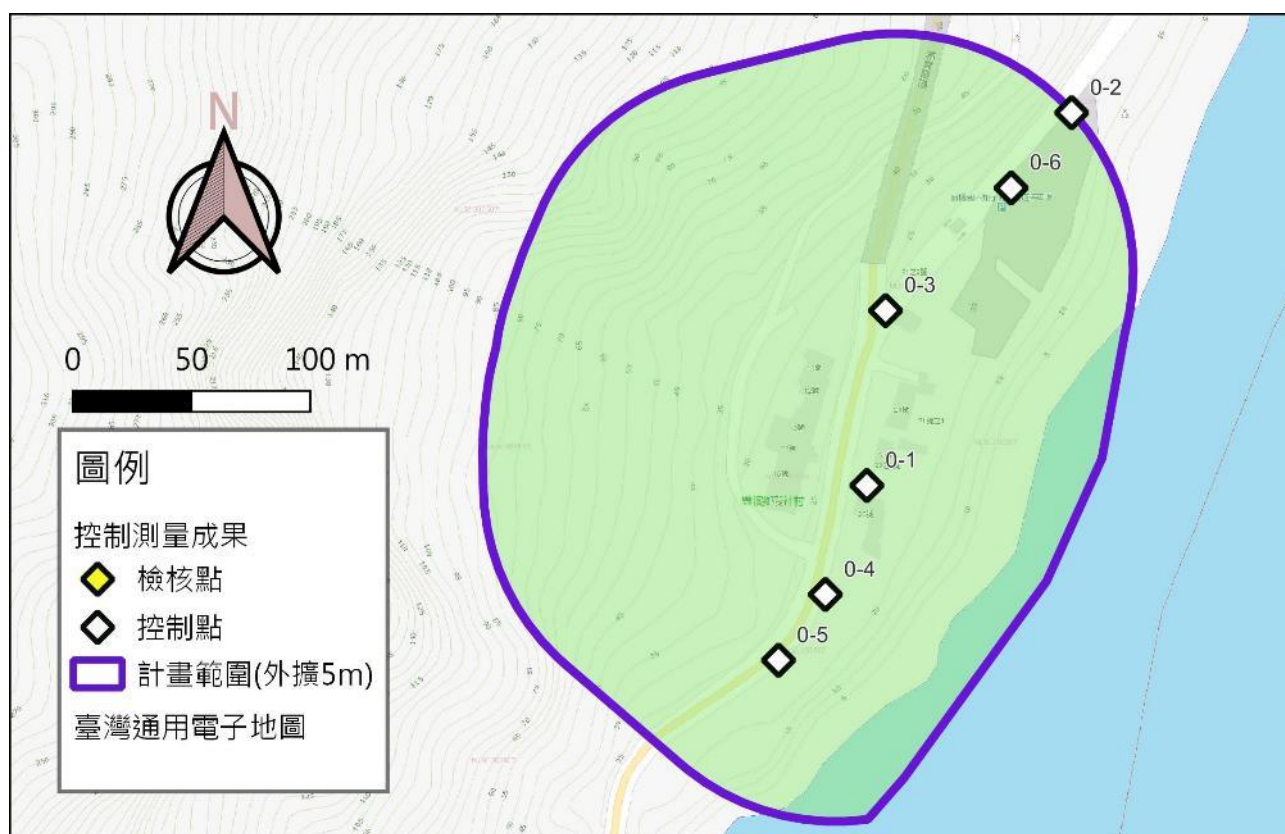


圖 4-15 控制點位分布圖-花縣 SL0012

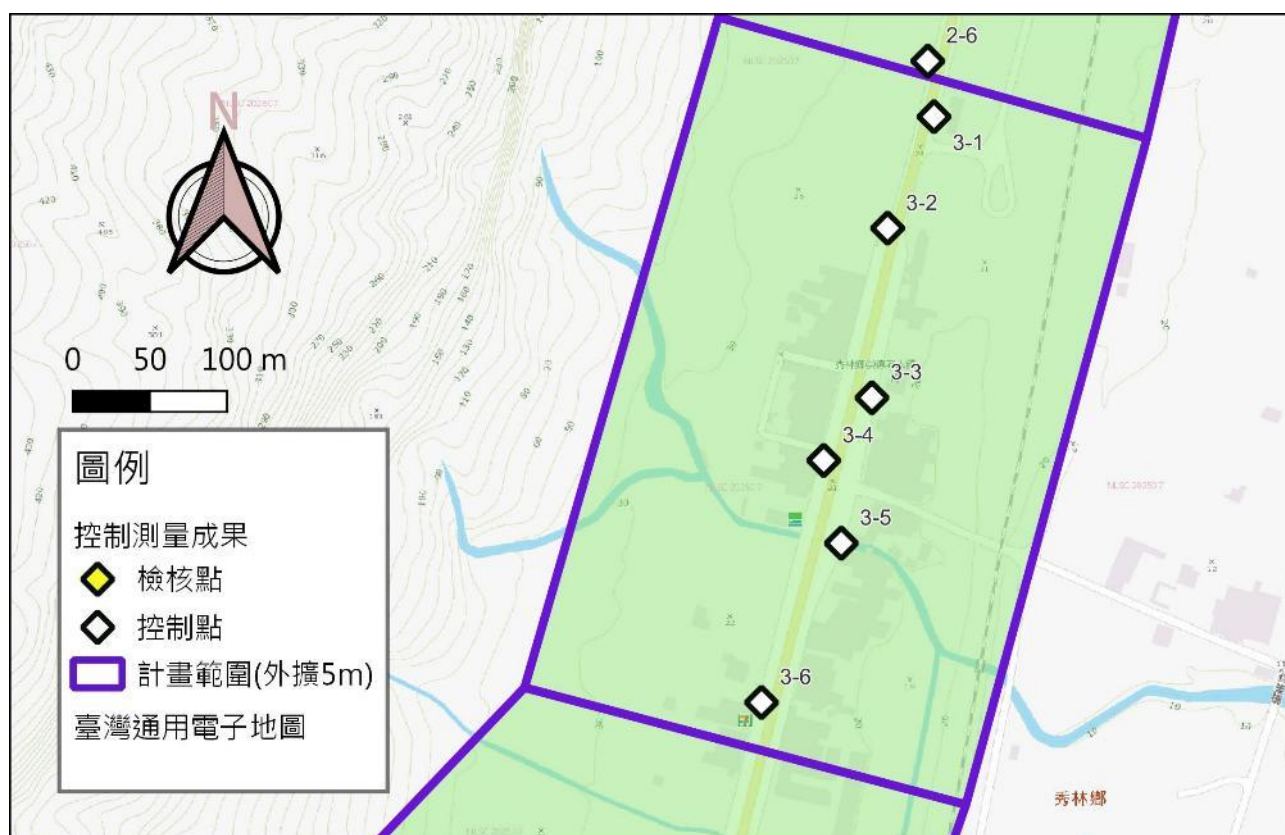


圖 4-16 控制點位分布圖-花縣 U113-3

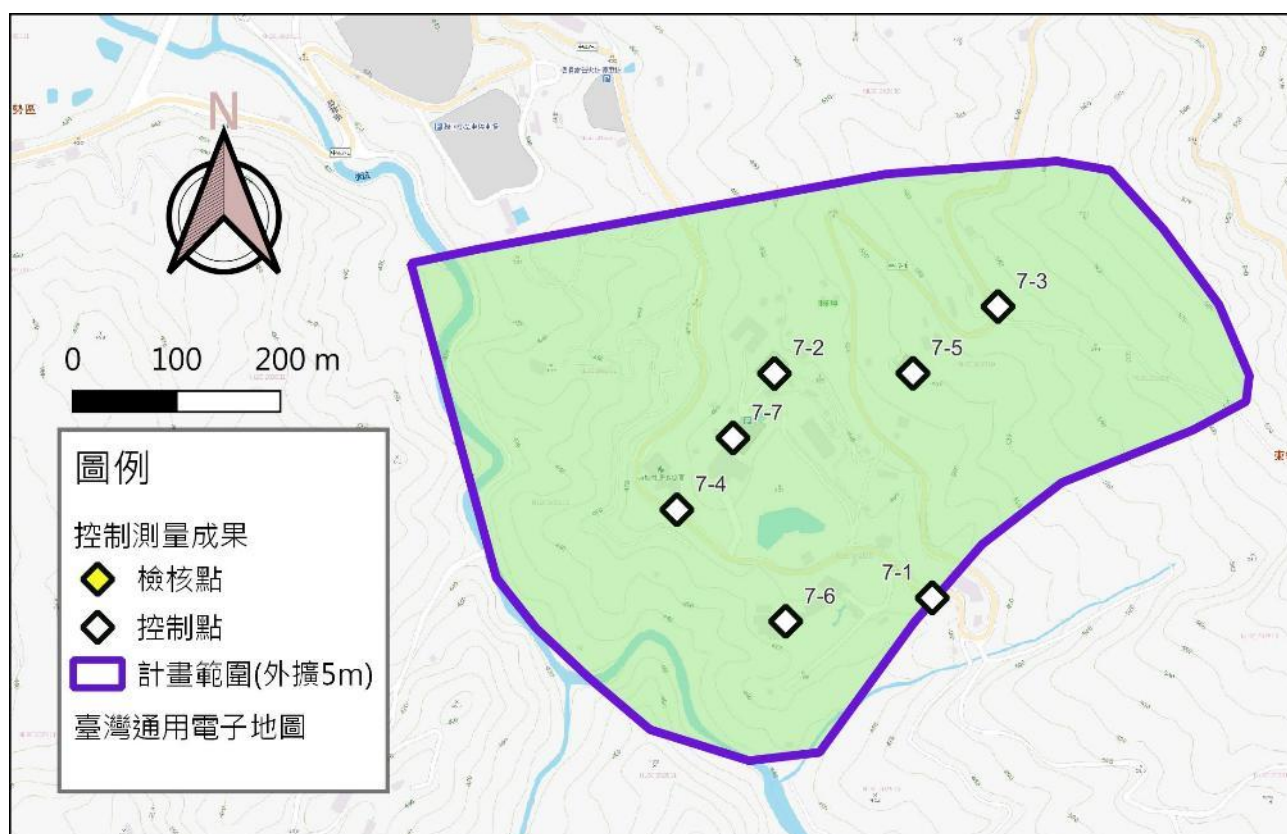


圖 4-17 控制點位分布圖-東勢林場

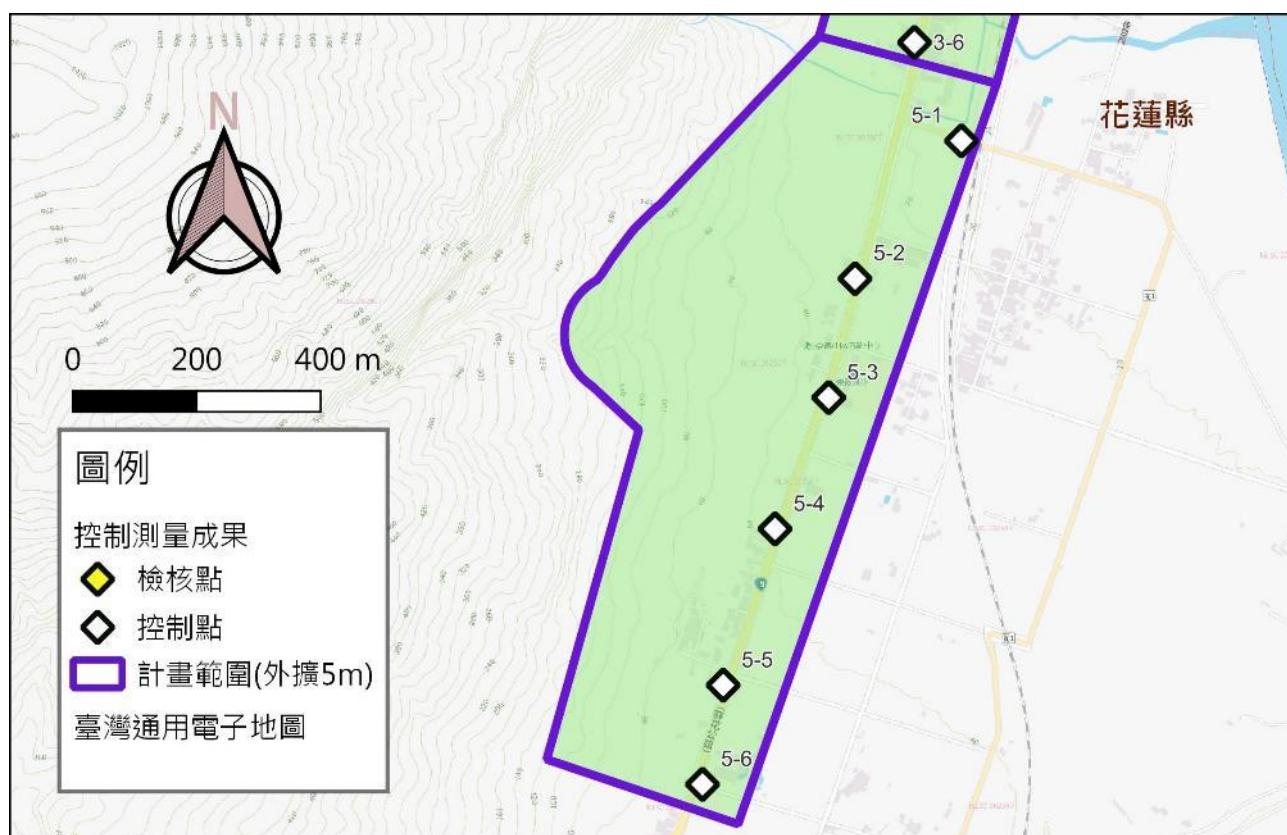


圖 4-18 控制點位分布圖-花縣 DF173



圖 4-19 控制點位分布圖-花縣 SL0001

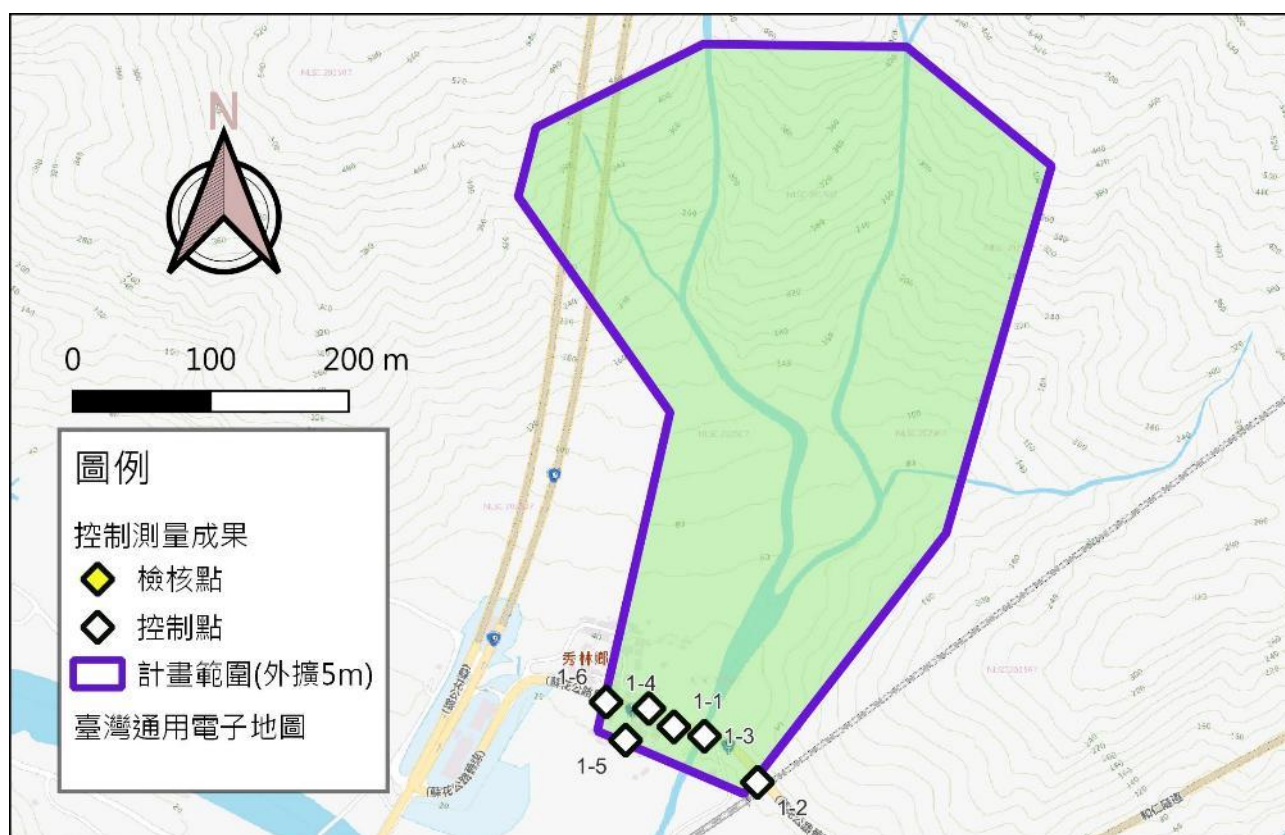


圖 4-20 控制點位分布圖-和仁野溪 DF025

第二節 無人機光達拍攝及圖層產製

一、無人機點雲資料特性分析

有人飛機空載光達在台灣執行大範圍數值地形模型測製已逾十年，相應作業程序以及作業規定已達到一定成熟度。近年無人機技術發展快速，主辦機關已於 110 年起針對山坡地形區域採用無人機光達快速蒐集重點區域數值地形模型，成效豐碩。本計畫作業團隊依據過往參與有人機空載光達作業，以及本計畫所執行的無人機光達作業經驗，提出以下三點無人機點雲資料特性。

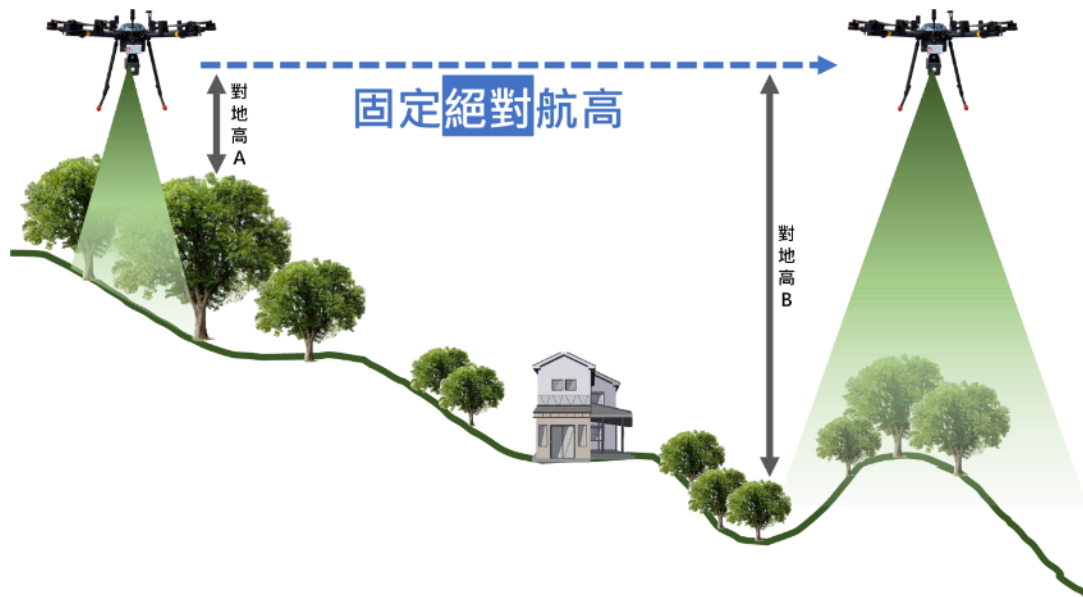
(一) 固定航高與仿地飛行

有人飛機空載光達多數於對地 1600 公尺以上，以固定航高方式採 FOV 40~60 度向下掃瞄，無人機光達受限於雷射掃瞄需要高功率電量，因此選用的雷射強度等級無法與有人機空載光達相同，因此必須降低對地航高，藉此提高地表的穿透效果。

一般航線規劃軟體是以劃定執行區域，設定固定的絕對飛行高度、前後重疊以及左右重疊參數，進一步規劃出無人機的飛行航線位置以及預計曝光位置，在符合作業需求的前提下，通常會以單一區塊相同參數的方式執行無人機作業，一般會用在影像拍攝作業。

本計畫主要為「無人機光達點掃瞄」作業需求，因此，為提高獲得較高的地面點穿透，本團隊於光達掃瞄作業中，採用「鎖定對地相對高度」的作業方式進行「仿地飛行」(圖 4-21)，採用對地 60 公尺，以 FOV 120 度方式掃瞄，。

進行仿地飛行前，必須先蒐集計畫測區既有的數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM)，作為仿地飛行依據。本計畫於資料蒐集階段，是以內政部地政司「圖資供應平台」作為資料蒐集來源，蒐集前期既有之 1 公尺解析度 DSM，並藉由軟體計算各航線上應執行的飛航高度與其變化。



(a) 固定絕對航高飛行



(b) 仿地飛行

圖 4-21 無人機仿地飛行說明示意圖

設定「對地高為 60 公尺進行仿地飛行。實際執行仿地飛行有兩種作業方式，第一種是以人工方式進行，首先固定航線間距，再以一位主控(對準航線)搭配一位副控(監看作業高度)的作業方式進行；第二種是使用既有的高解析 DSM，先行設定所需要的對地高度，再由軟體自動計算應有的無人載具的絕對高度進行導航，以上兩種方式皆能獲得高成效仿地飛行，也都擁有其可能的風險。以囑咐控進行人

工手動仿地的方式，受限於飛控訊號的好壞，在地形多起伏或無空曠合適的起降點的區域，可能在作業過程中無法及時獲得無人機回傳的前視畫面，使得無人機失去飛手傳遞的航高調整訊號，導致任務中斷，甚至無人機失速墜毀；另外，在使用既有 DSM 進行仿地作業時，也可能因為受限於 DSM 解析度無法呈現電線與細小的空中障礙物，此時就仰賴飛手即時監控飛行器前進方向視野，確保飛行穩定。

本團隊綜合前述兩項作業方式，以雙飛控(主控加副控)，以主控監控無人機前進方向障礙物，副控顯示對地高度，並結合同一出隊任務所獲得的影像，及時解算 1m 解析度 DSM 作為仿地飛行參考，並依據地形走勢，以垂直於地形陡坡(平行於等高線)的方式為原則方式進行。

(二) 飛行時間與航線長度限制

無人機光達為高精度姿態需求，一般作業多數採用穩定性高的多旋翼無人機，而此類無人機受限於電池動力，滯空作業時間多數為 40 分鐘以內，在測區面積較大、飛機起降點距離較遠的區域，會增加許多往返航程，提高所需的飛航架次。而光達掃瞄作業不同於影像拍攝，可以在預定航線中間中斷拍攝，返程更換電池，光達掃瞄為了無人機空中軌跡與姿態的連續性，應以完整航線為原則，避免單一連續航線被切分為多段，甚至喪失有效的地表共軌特徵物件，造成後續內頁平差作業的困難度。

(三) 點雲特性與編修方式調整

有人飛機空載光達多數於對地 1600 公尺以上，以固定航高方式採 FOV 40~60 度向下掃瞄，本計畫無人機光達為了提高地表的穿透效果，採低空對地 60 公尺，以 FOV 120 度方式掃瞄。再加上仿地飛行所影響的地面涵蓋差異(圖 4-22)，會使得各條航線之間的共軌特徵呈現差異，為了避免造成航線之間的缺漏，本計畫採用航線左右重疊 70%為原則進行仿地飛行，並且在點雲平差過程中，特別針對區域內

較高區域的突出建物手動量測各航線之間共軌點，並設定較高權重，提高航線之間點雲平差作業效益。

此外，無人機空載光達因採用低的航高以及較大的 FOV 獲得高密度點雲，高機率獲得建物的牆面以及週圍堆放的地物資訊，在點雲細部平差檢核時，加重作為評估檢覈的項目之一。

在採用 Terrasolid Terrascan 執行點雲自動分類時，許多建物周邊的細碎物件以及牆面會被分為地表點。同時，又因為影像拍攝的航高較高，並不一定能拍攝到建物屋簷下物件，增加人工編修、判別式地物或是地形的困難度，同樣也成為點雲編修調整的重點方向之一。

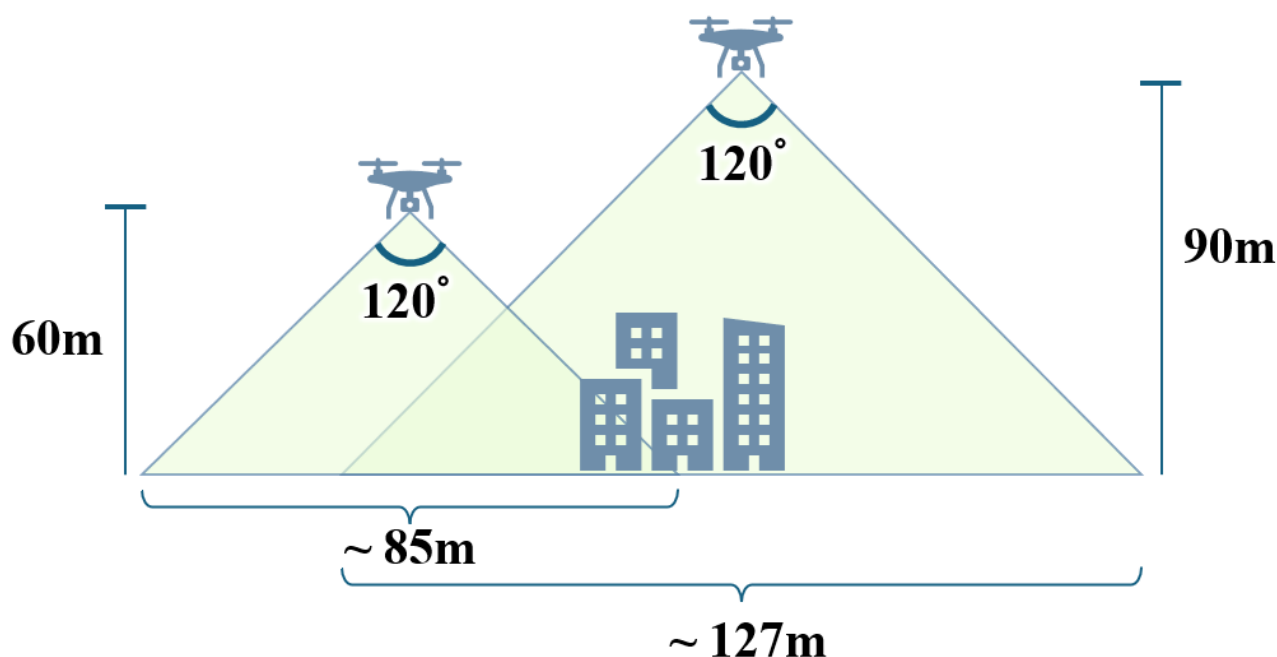


圖 4-22 無人飛機光達掃瞄作業高度與涵蓋範圍差異

二、作業成果展示

(一) 航線設計(含點雲密度規劃)與實際航拍軌跡

本計畫作業規定每平方公尺應為 100 點，因應本計畫作業規定，規劃採用 Riegl miniVUX-1 光達掃瞄儀，以 FOV(Field of view)角度 120(垂直向下)方式掃瞄，並利用相近時間之影像產製之 DSM 進行仿地航線規劃，航線左右重疊為 70%。

統計各測區拍攝掃瞄日期與架次如表 4-3，其中，因本計畫所採用的相機擁有較小的像元尺寸(可參考表 3-5)，可於對第 460m 以內獲得小於 5cm 的影像解析度，因此主要的架次起落次數會測區涵蓋面積相關；光達掃瞄的起落架次數量除了與計畫面積相關之外，同樣會受到地表高程以及起降點位置影響，展繪各測區光達掃瞄軌跡以及計畫範圍如圖 4-23~圖 4-30。

表 4-3 各測區拍攝掃瞄日期與架次統計

大崩編號	名稱	面積 (公頃)	地表概略高度 (m)	高低落差 (m)	拍攝 日期	光達掃瞄 架次	影像拍攝 架次
桃市 LL004	光華道路	17.4	894~1370	476	114.07.15	5	1
桃市 LL003	上巴陵部落	24.5	810~1241	431	114.07.15	4	1
桃市 LL001	義興電廠	41.5	254~737	483	114.07.15	8	2
中市 LL002	佳陽部落	12.4	1524~1858	334	114.07.01	2	1
中市 LL004	梨山部落	18.4	1809~2095	286	114.07.01	2	1
中市 LL006	松柏聚落	42.1	1549~2021	472	114.07.01	4	2
花縣 LL003	富南村聚落	59.8	280~568	288	114.10.16	5	3
花縣 LL010	客城聚落	76.8	172~647	475	114.10.15	9	4

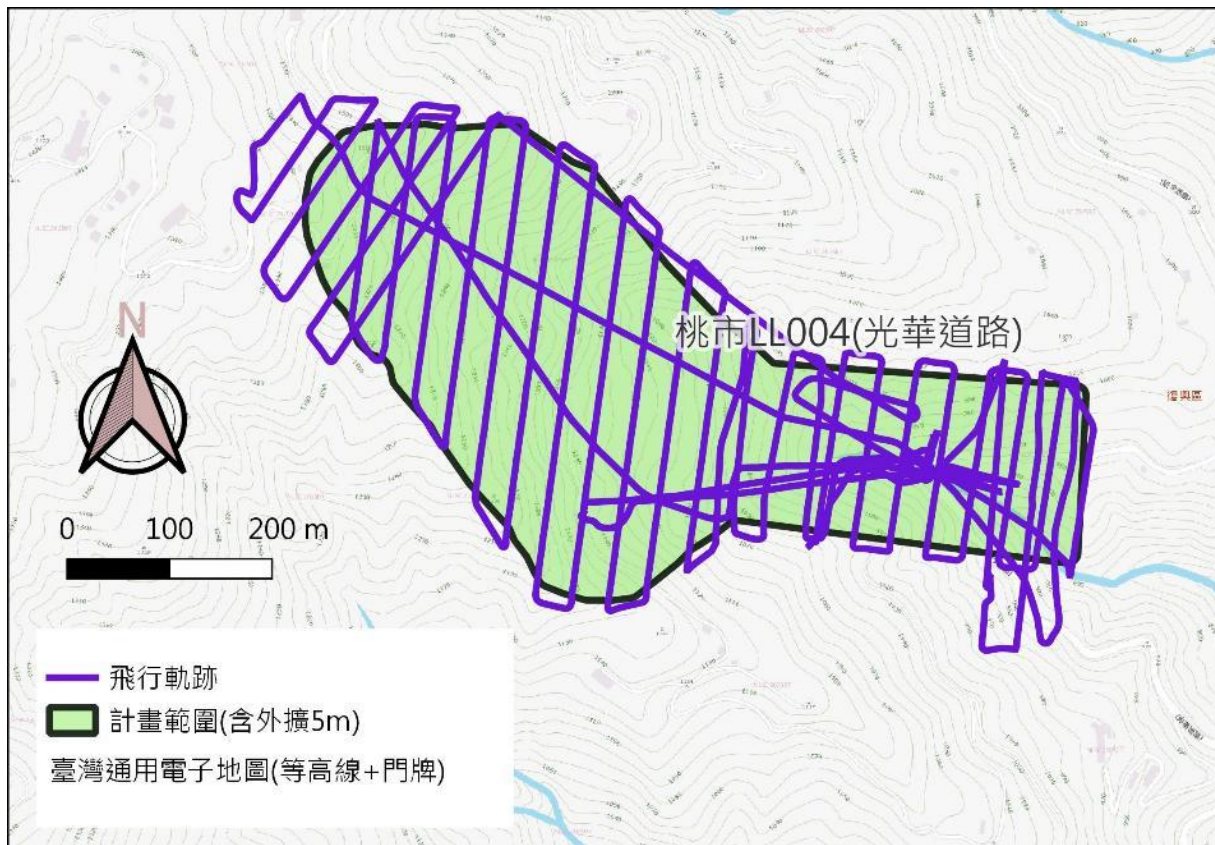


圖 4-23 實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-HLL004

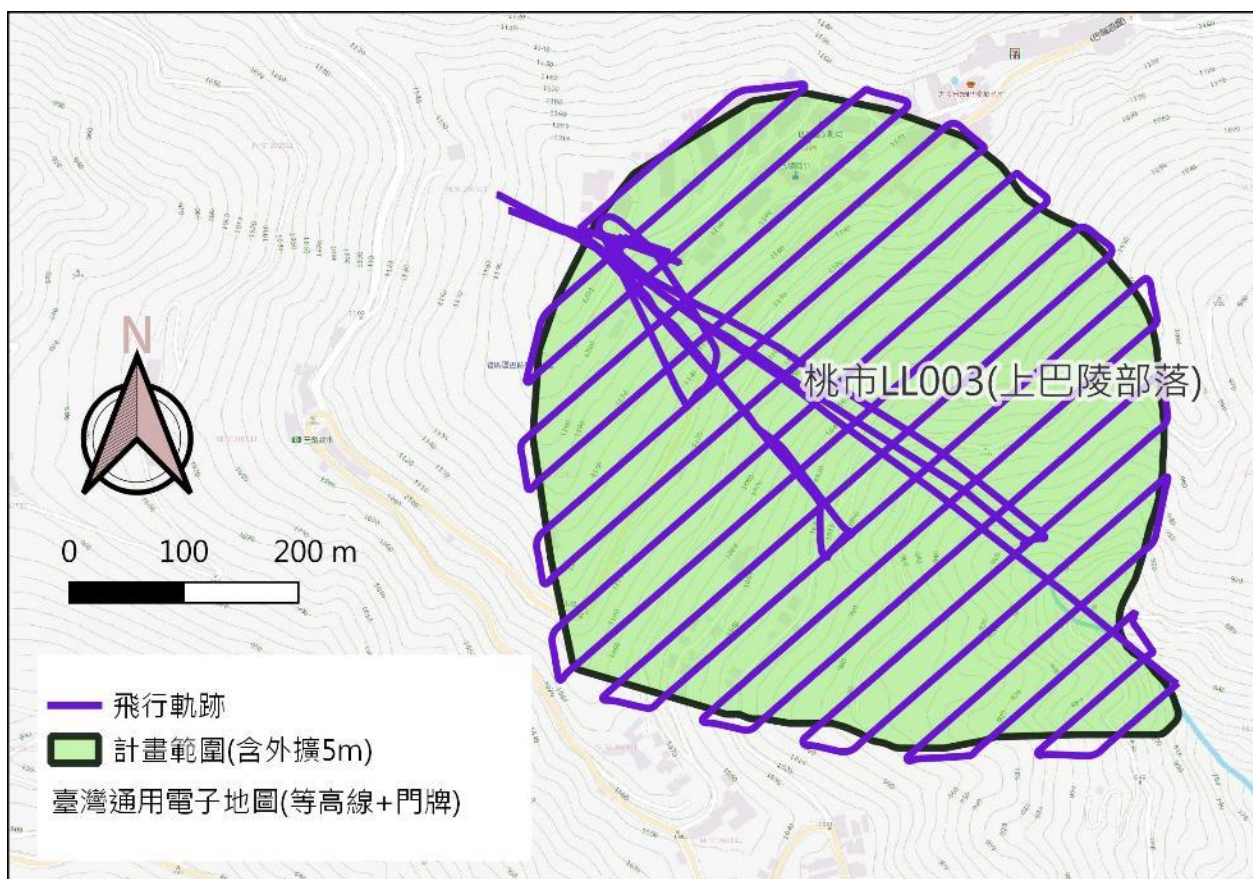


圖 4-24 實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-HLL003

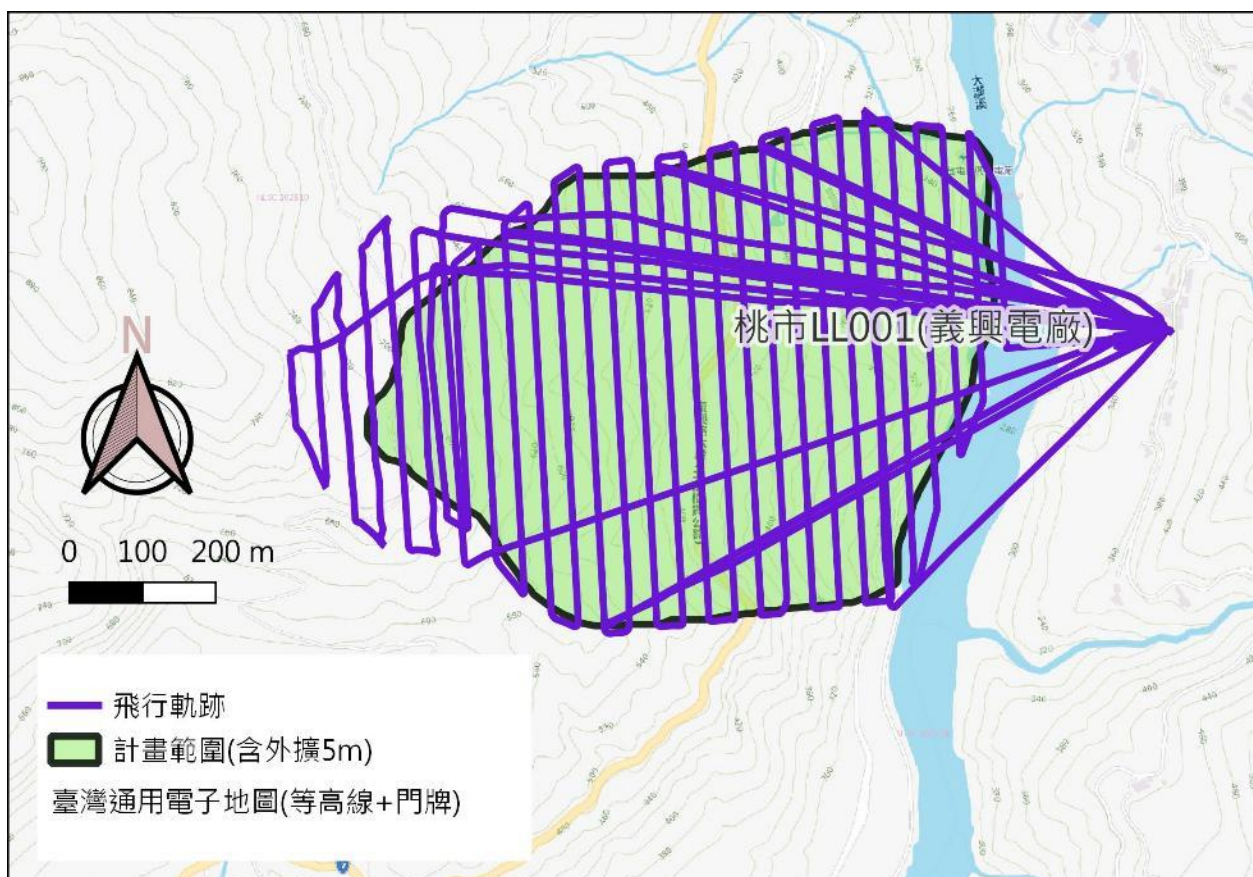


圖 4-25 實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-HLL001

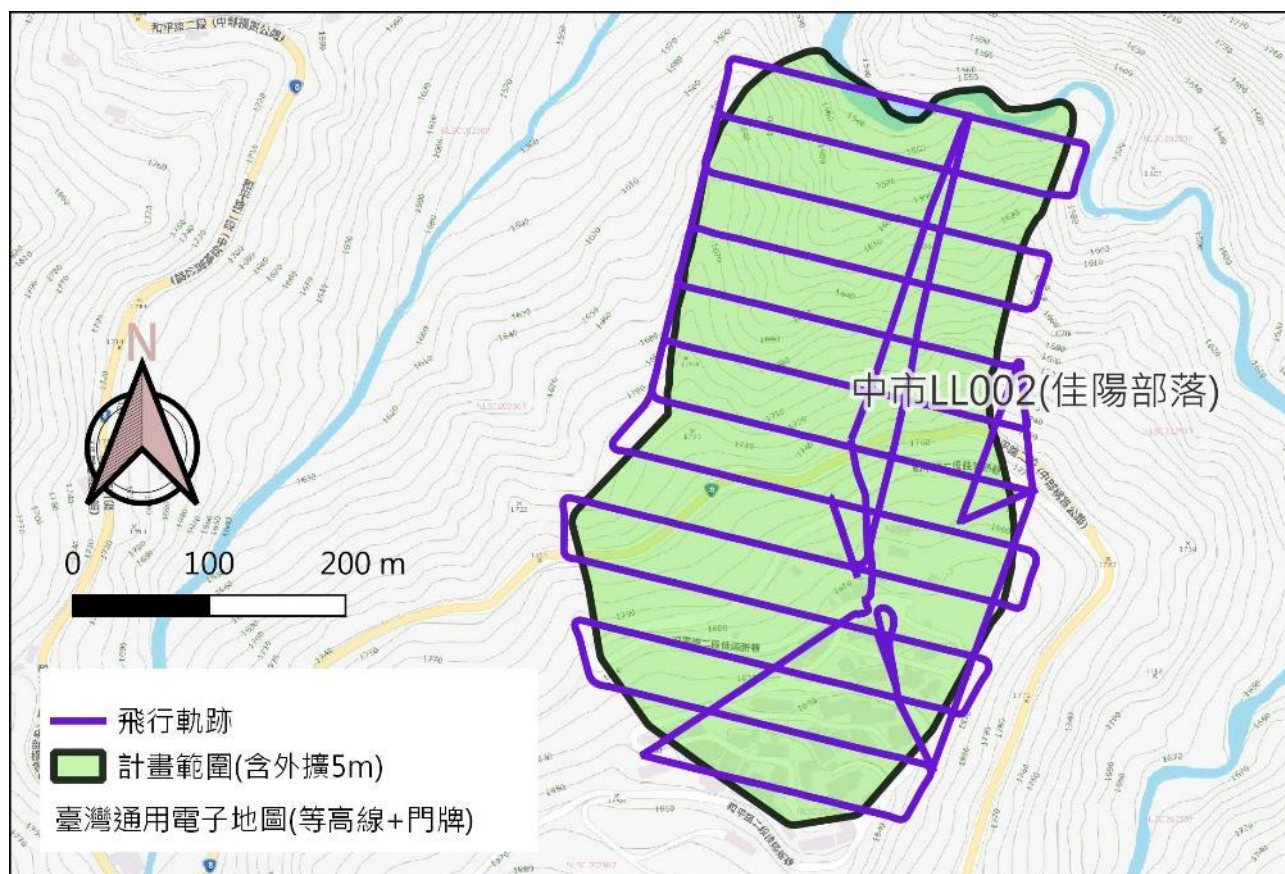


圖 4-26 實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-BLL002

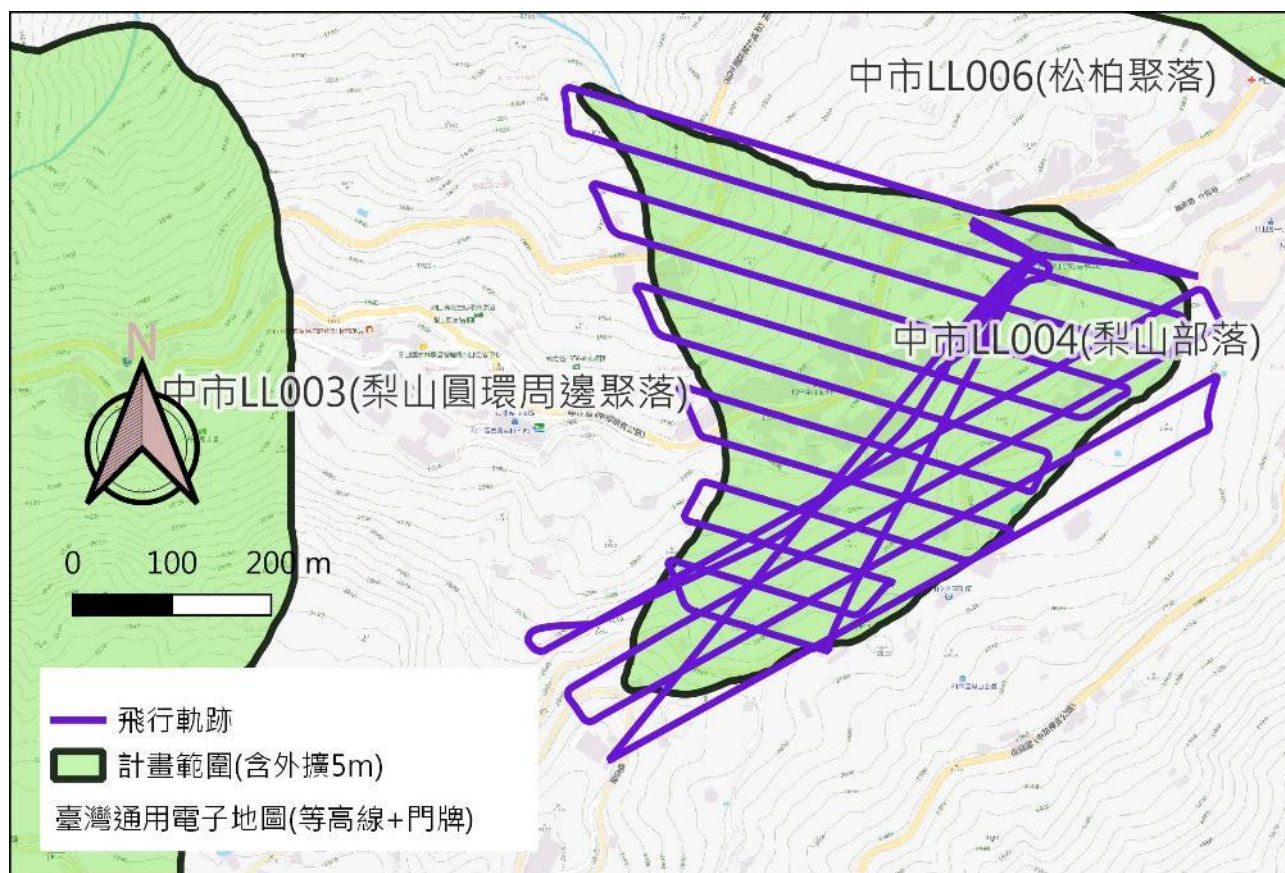


圖 4-27 實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-BLL004

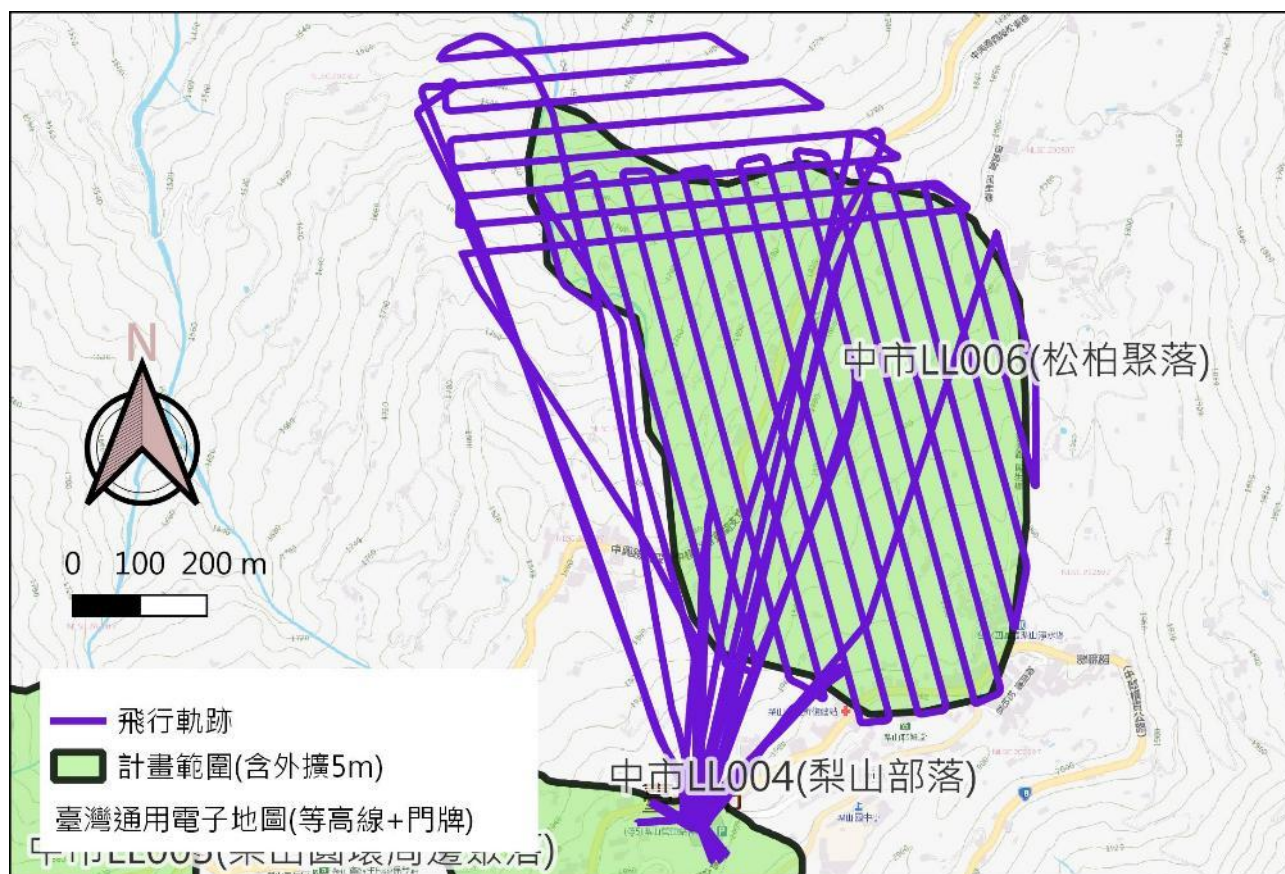


圖 4-28 實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-BLL006

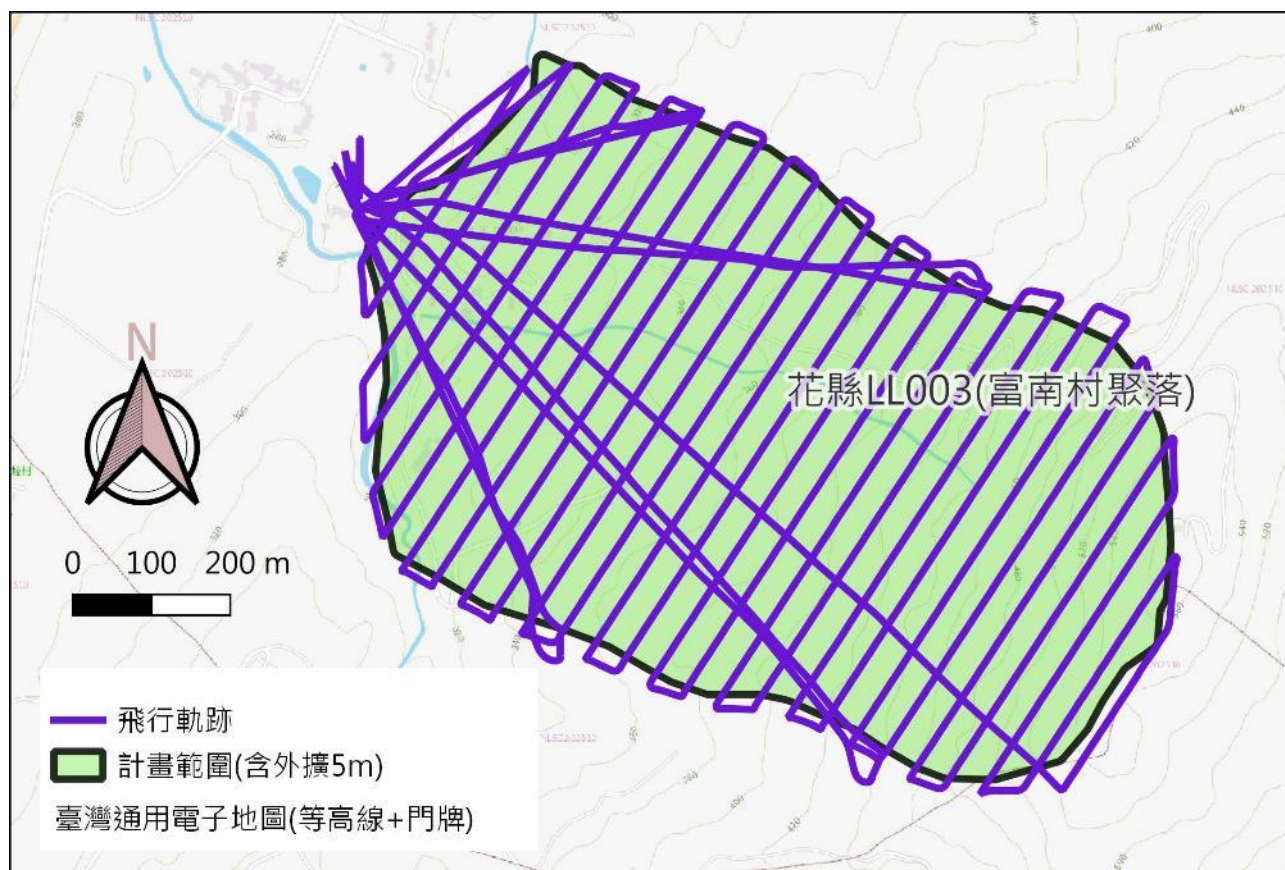


圖 4-29 實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-ULL003

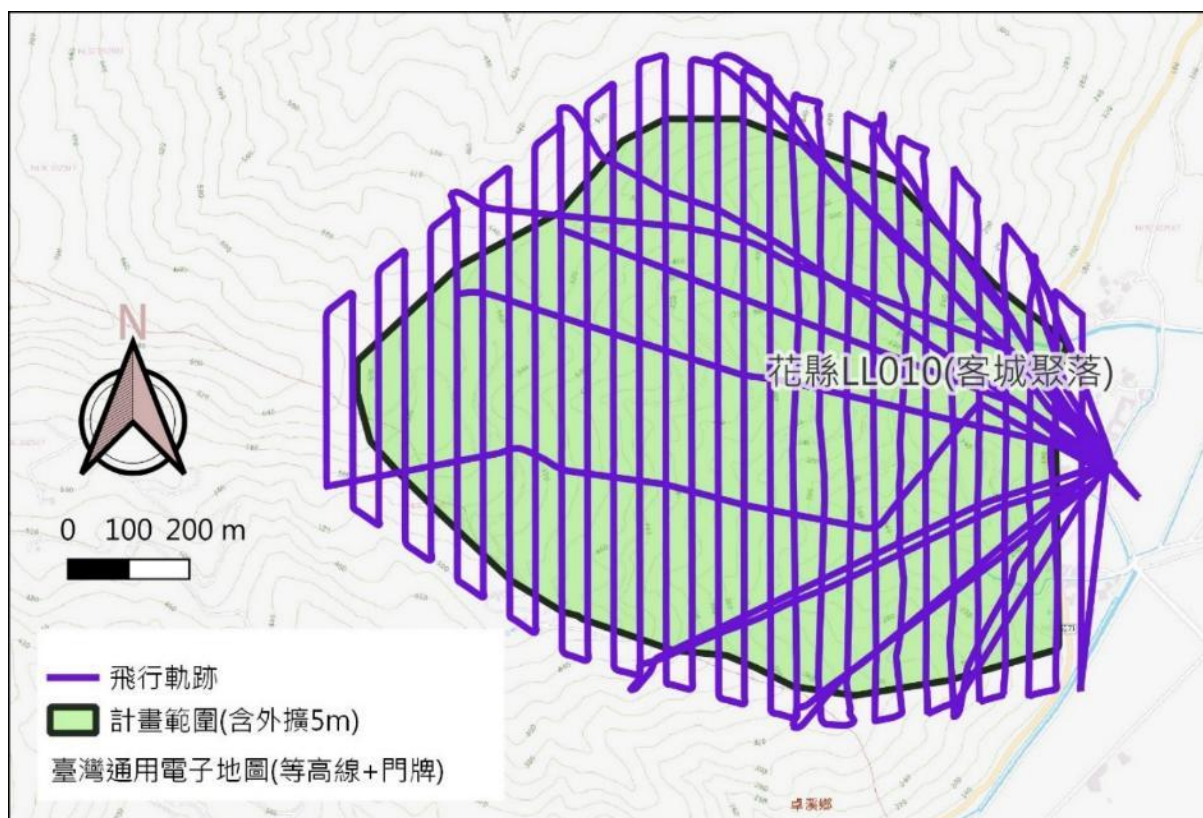


圖 4-30 實際拍攝航線軌跡與計畫範圍-ULL010

(二) 點雲密度檢核作業

全計畫點雲密度計算以美國 Green Valley LiDAR 360 點雲處理軟體採用平差後全航線點雲合併計算，以每 10 公尺 x 10 公尺為檢核單元，並扣除水體區域，計算計畫範圍內有效點雲密度。本計畫共 8 處光達作業區檢核結果詳列如表 4-4，相關作業畫面如圖 4-31，8 處光達測區點雲密度檢核合格數量全數大於 98%，符合作業需求。

表 4-4 光達測區點雲密度檢核統計

大崩編號	名稱	面積 (公頃)	平均 點雲密度	檢核單元 網格數量	>100 點/m ² 網格數量	>100 點/m ² 網 格數百分比
桃市 LL004	光華道路	17.4	360	1850	7	0.4%
桃市 LL003	上巴陵部落	24.5	316	2538	8	0.3%
桃市 LL001	義興電廠	41.5	322	4283	25	0.6%
中市 LL002	佳陽部落	12.4	234	1323	22	1.7%
中市 LL004	梨山部落	18.4	283	1947	9	0.5%
中市 LL006	松柏聚落	42.1	210	4349	77	1.8%
花縣 LL003	富南村聚落	59.8	226	6135	10	0.2%
花縣 LL010	客城聚落	76.8	229	7850	11	0.1%

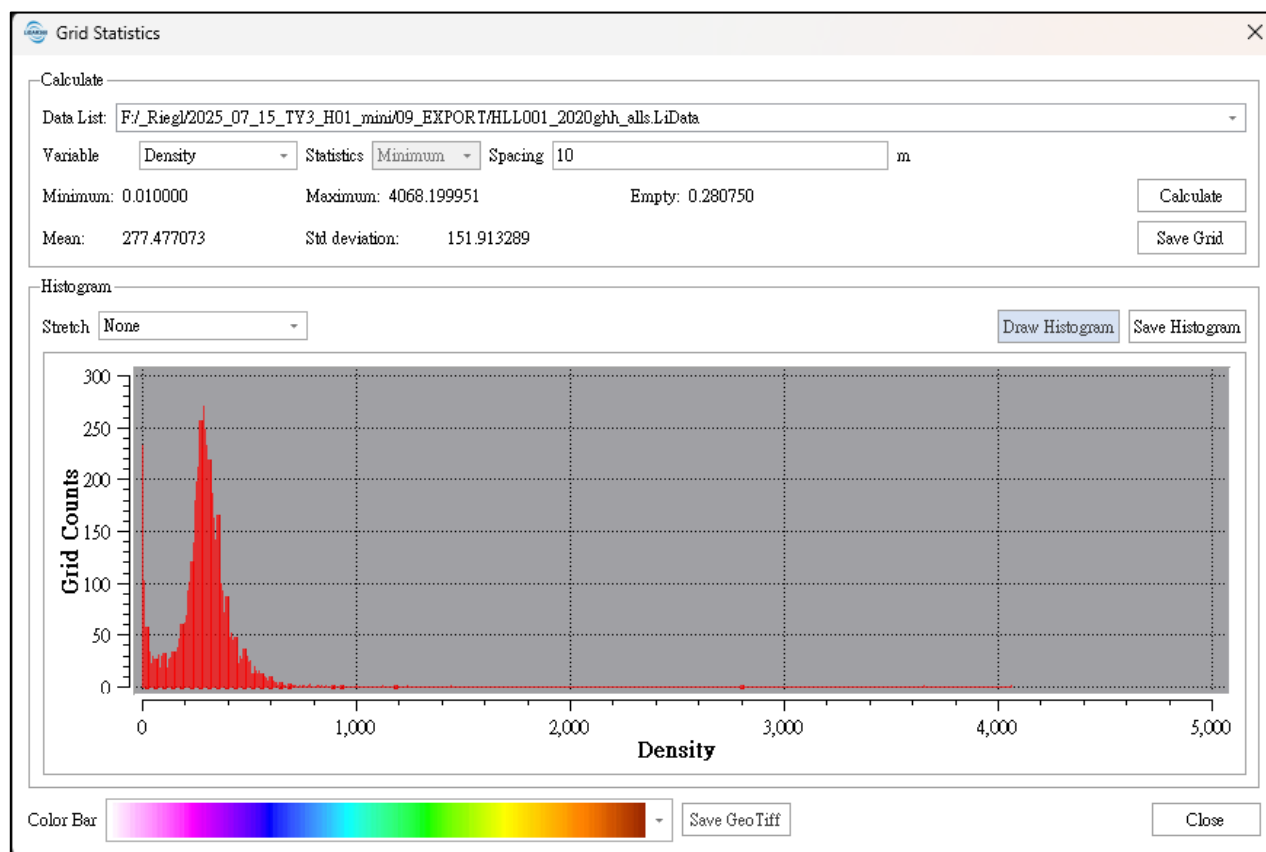


圖 4-31 點雲密度計算作業畫面-LiDAR 360

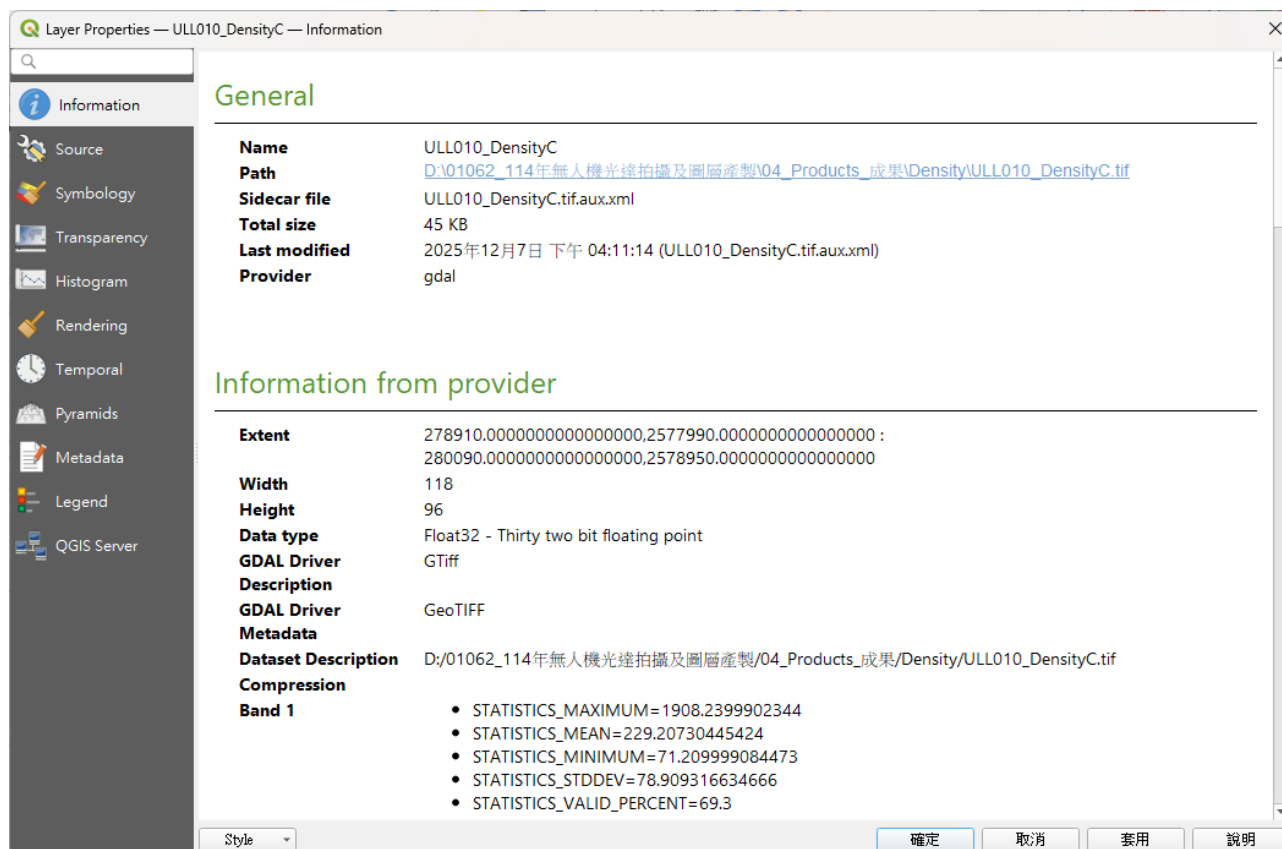


圖 4-32 點雲密度計算作業畫面-QGIS

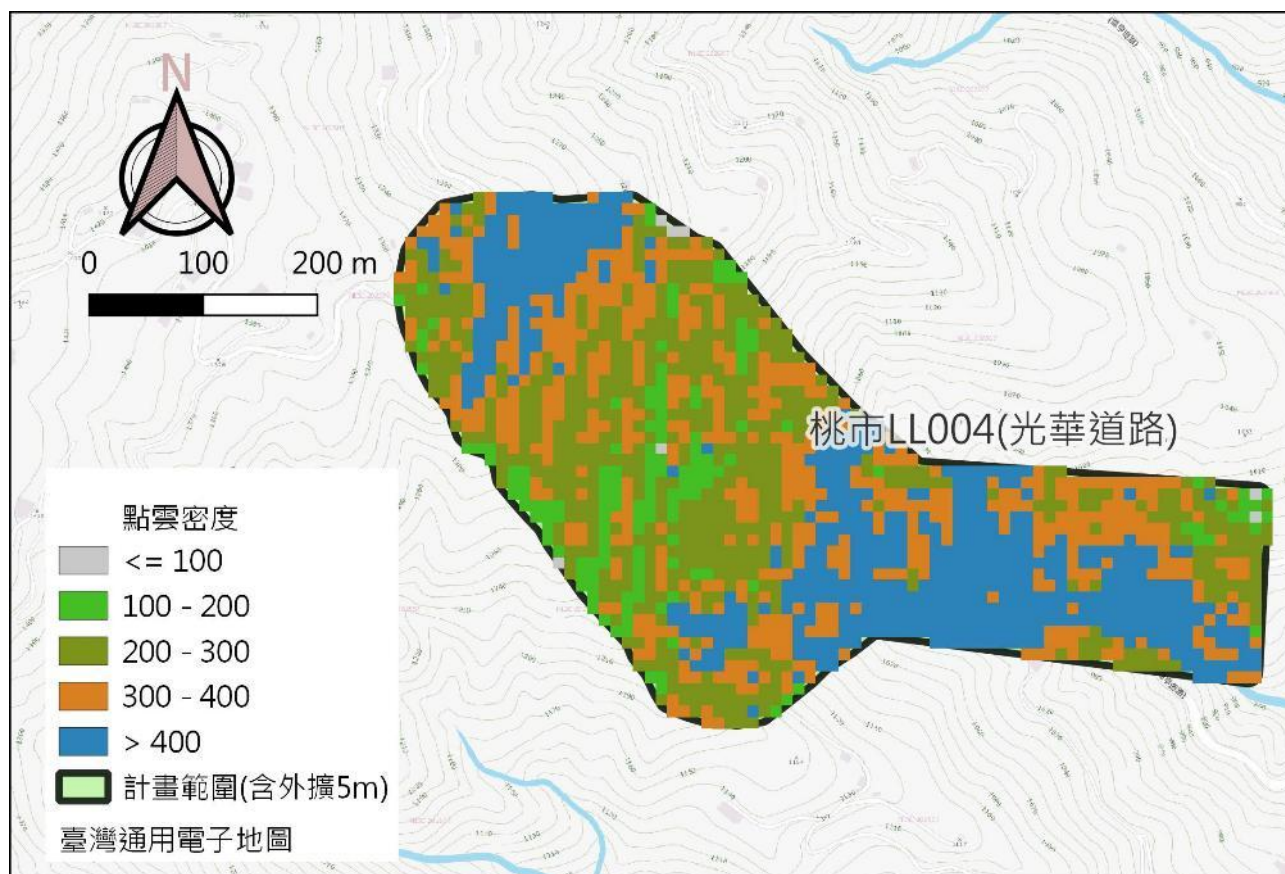


圖 4-33 點雲密度檢核成果-HLL004

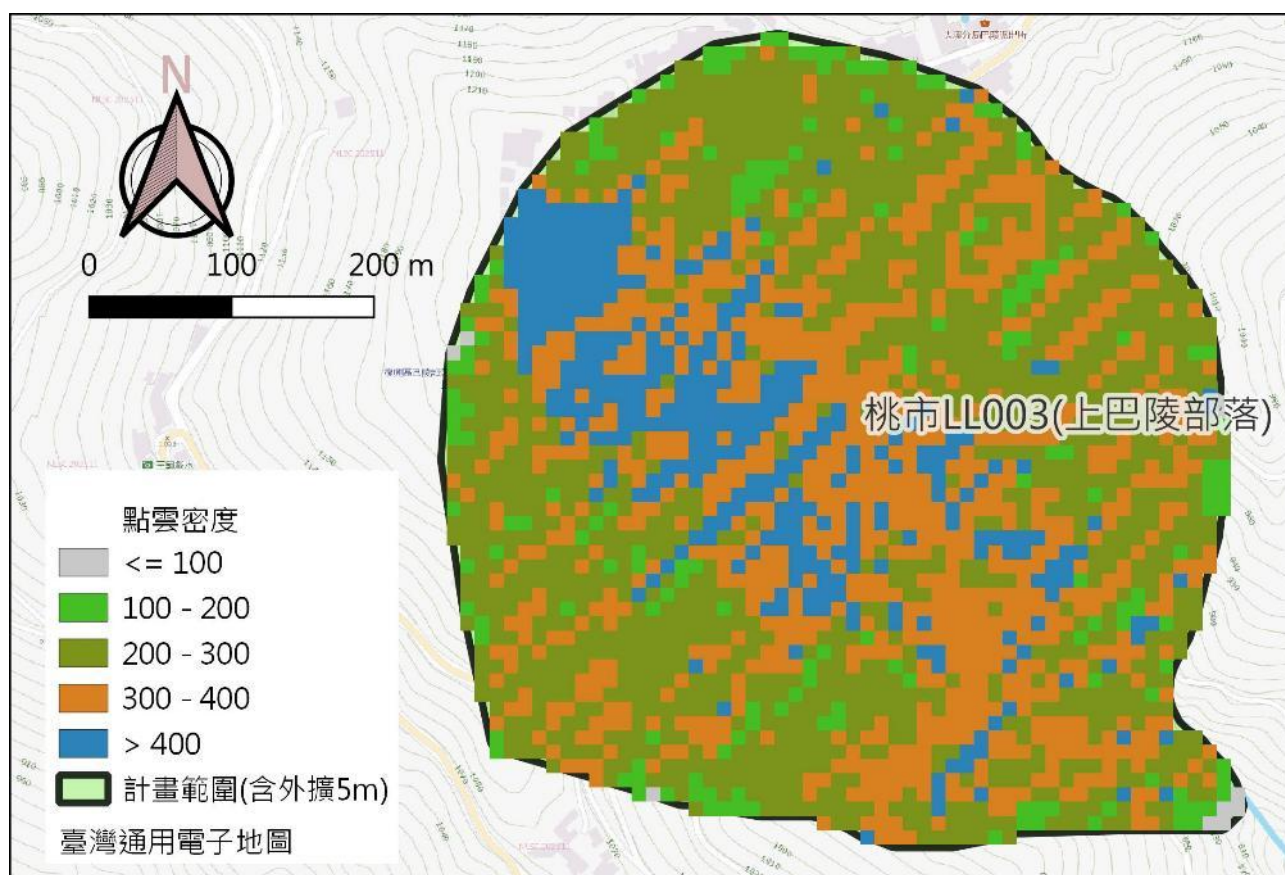


圖 4-34 點雲密度檢核成果-HLL003

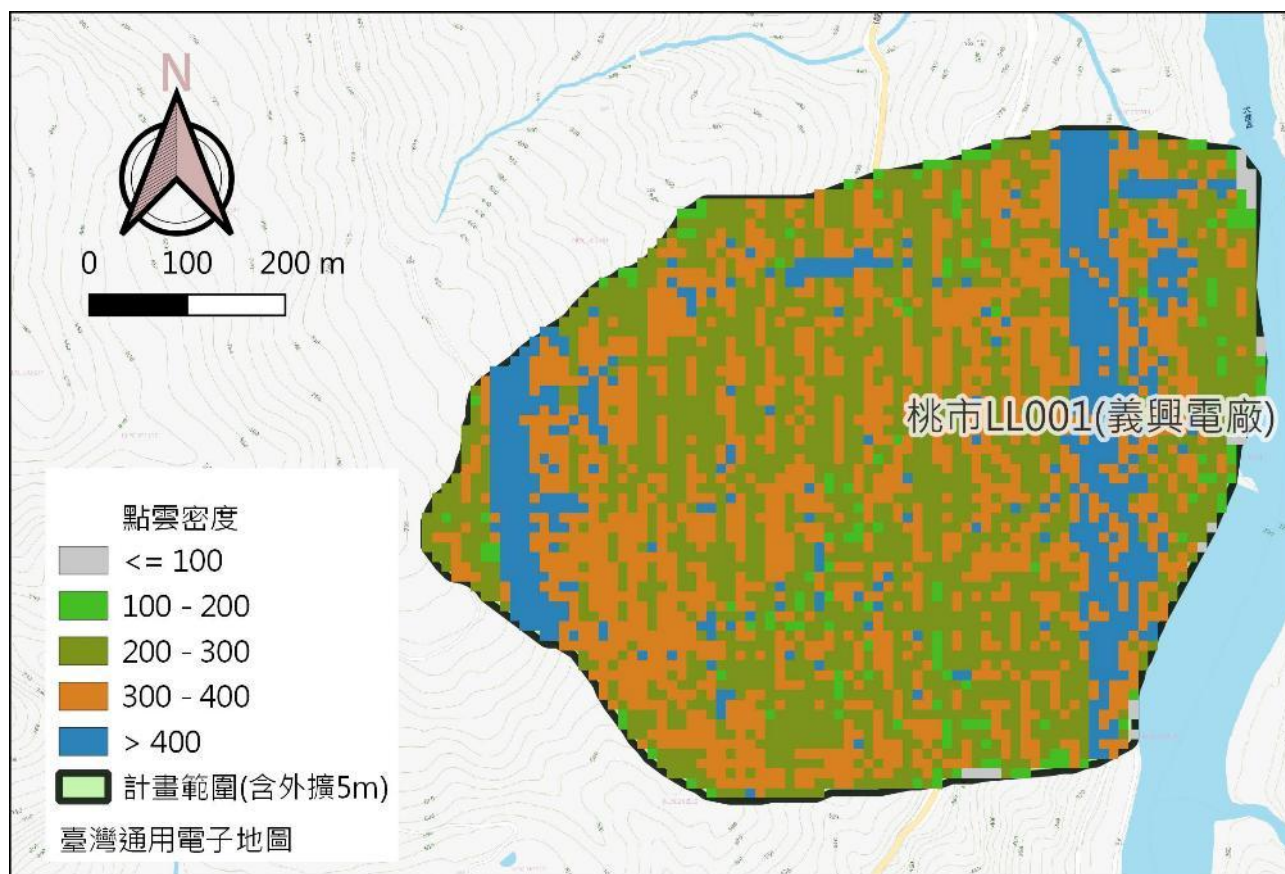


圖 4-35 點雲密度檢核成果-HLL001

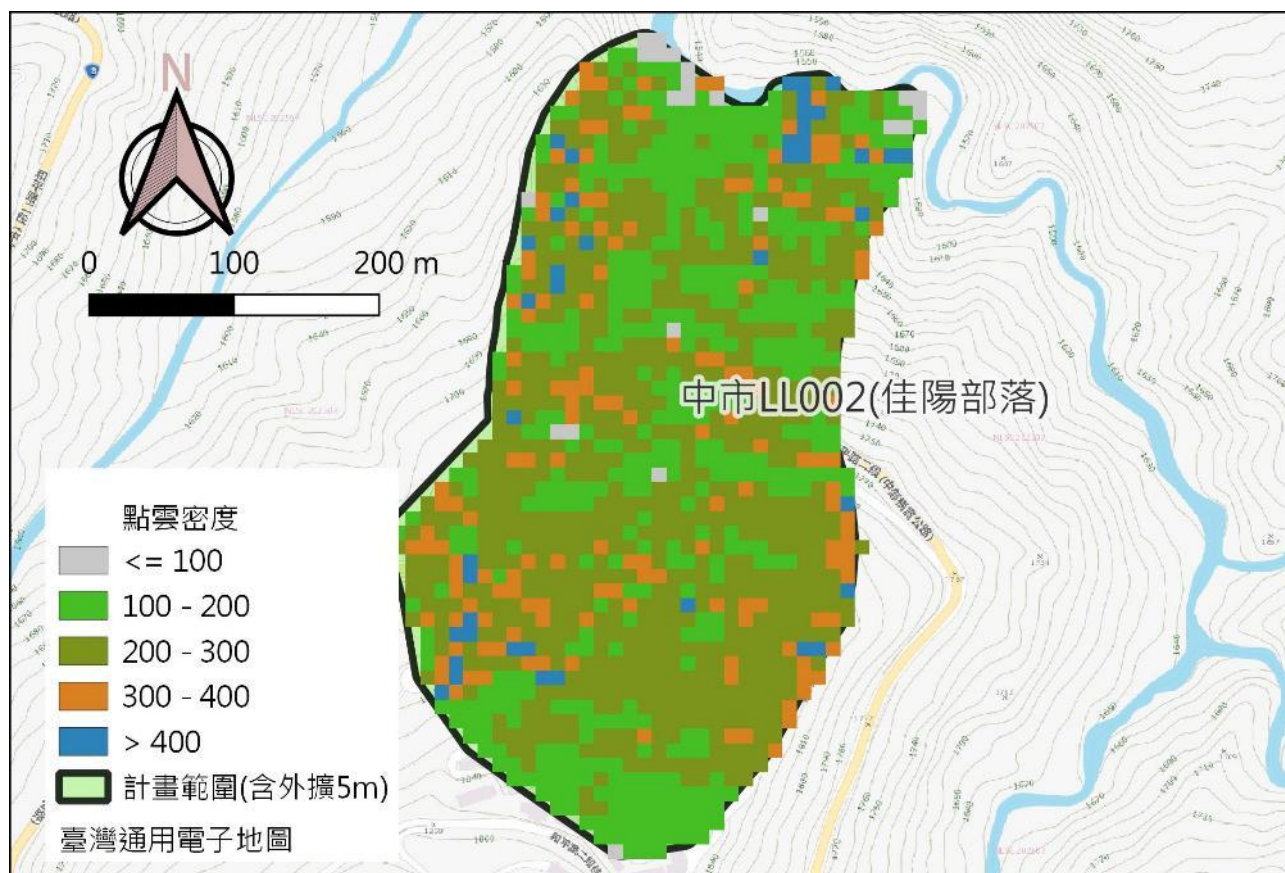


圖 4-36 點雲密度檢核成果-BLL002

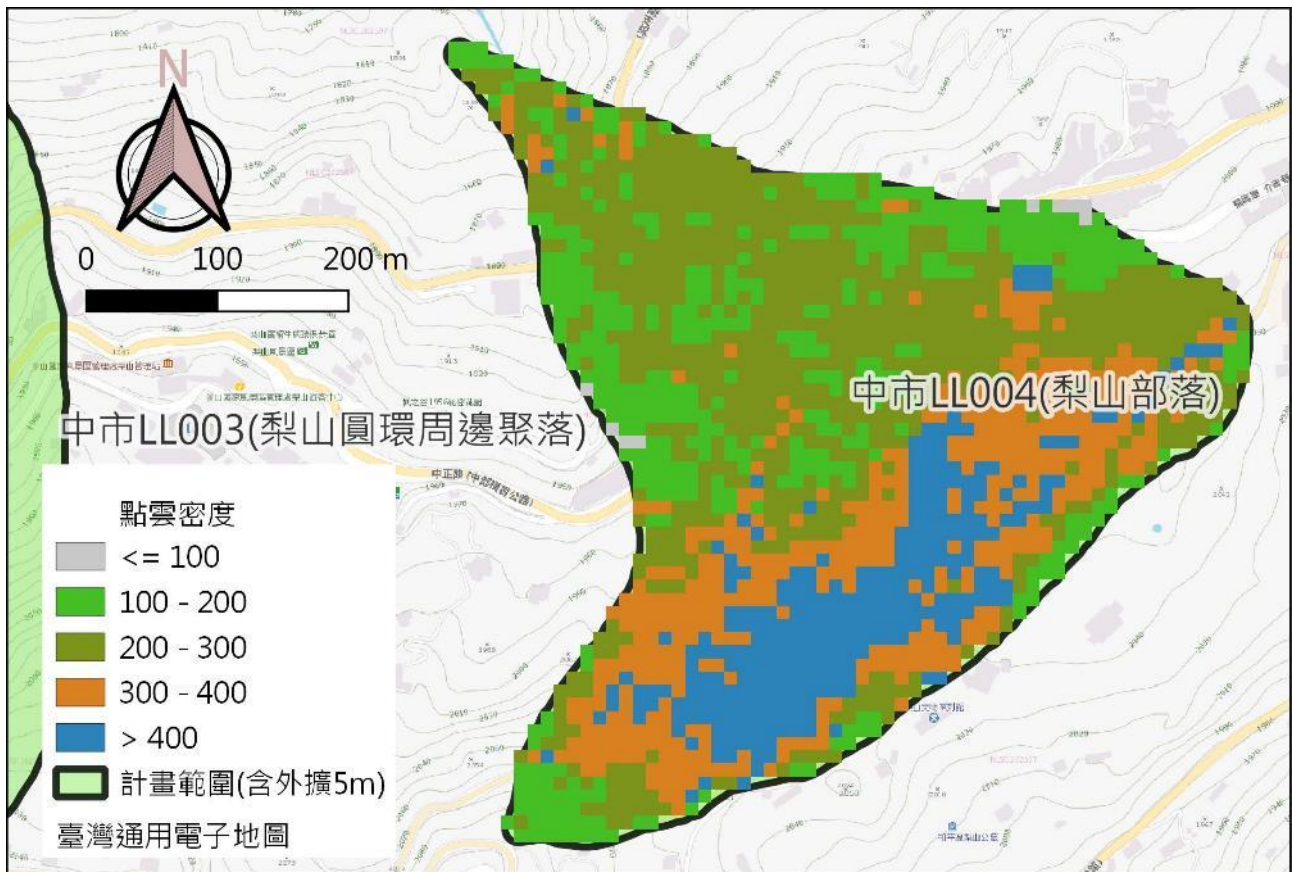


圖 4-37 點雲密度檢核成果-BLL004

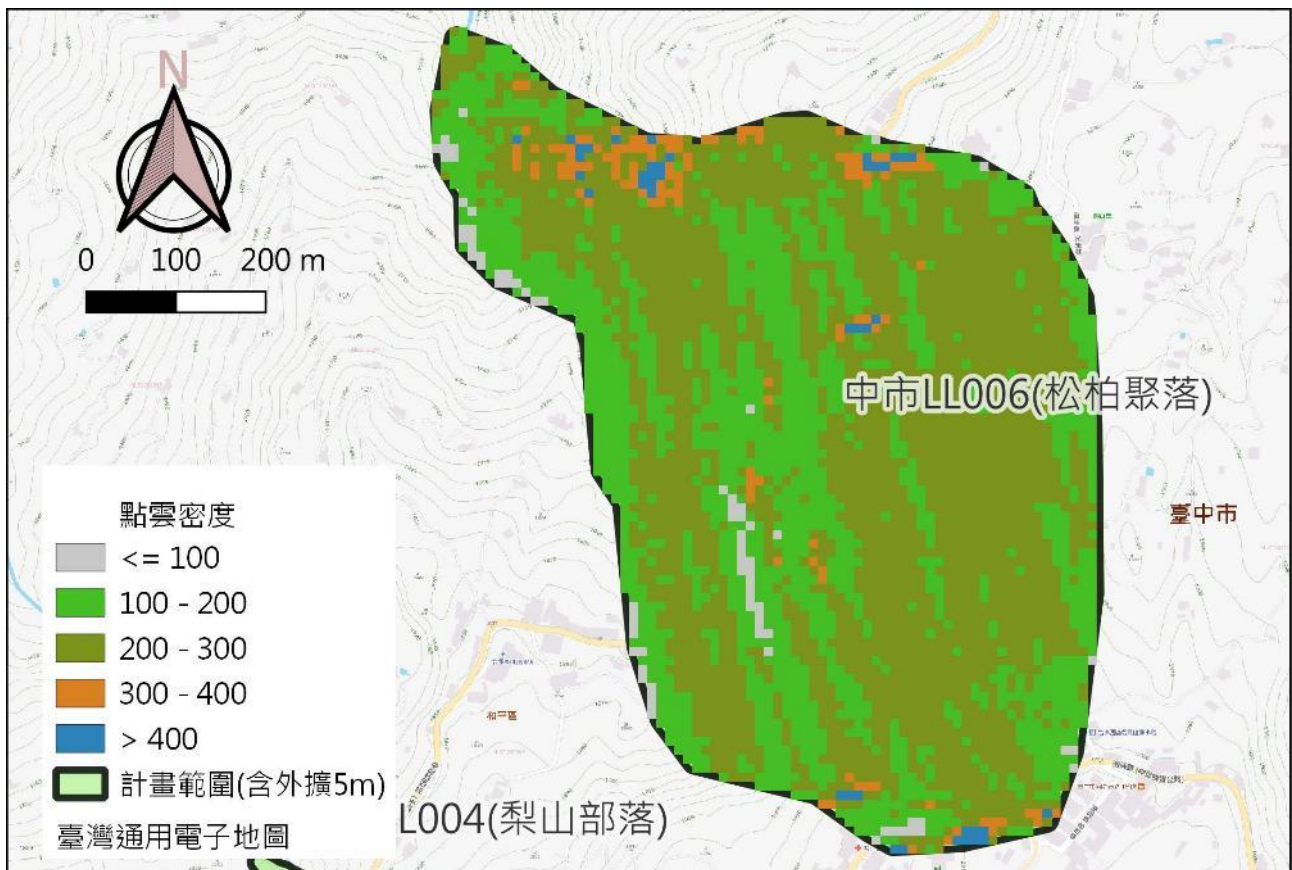


圖 4-38 點雲密度檢核成果-BLL006

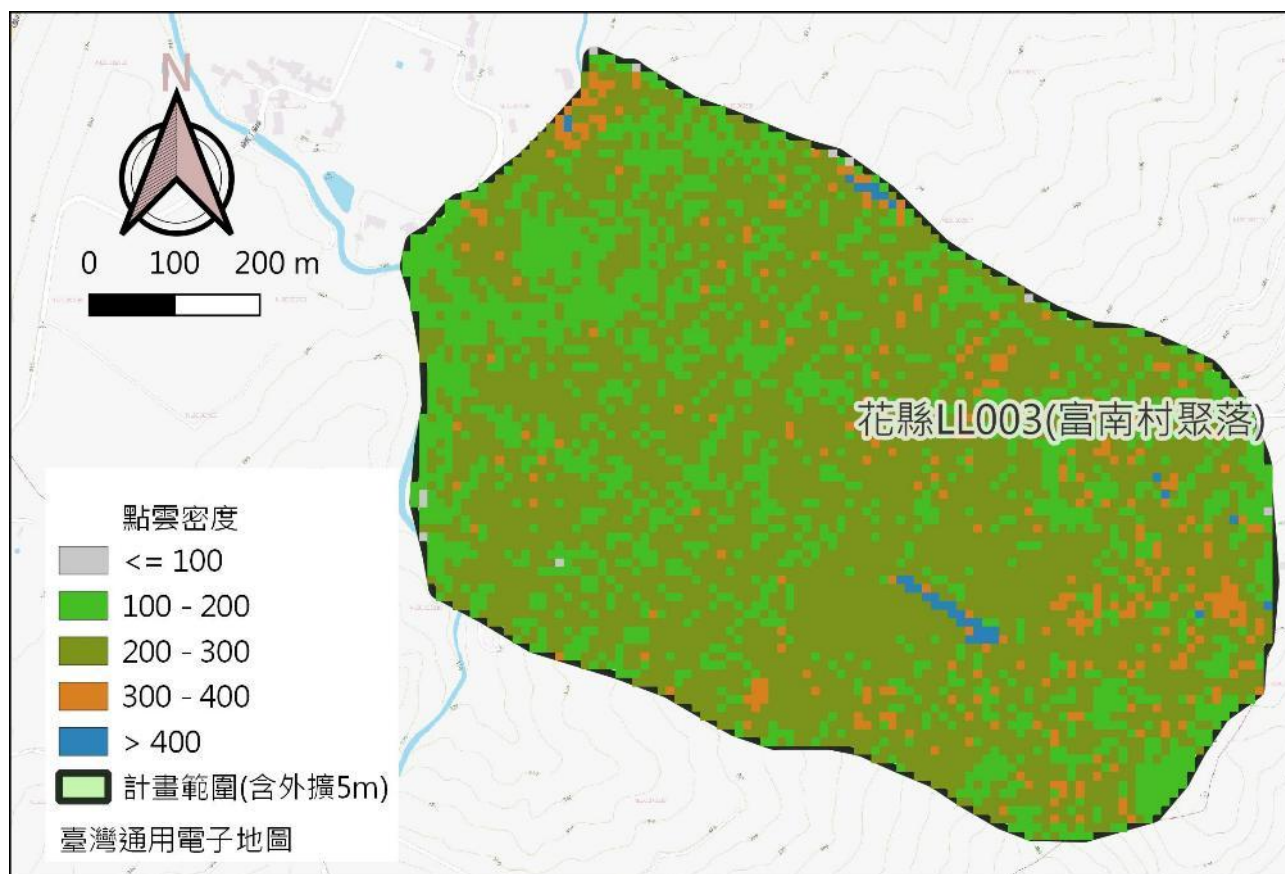


圖 4-39 點雲密度檢核成果-ULL003

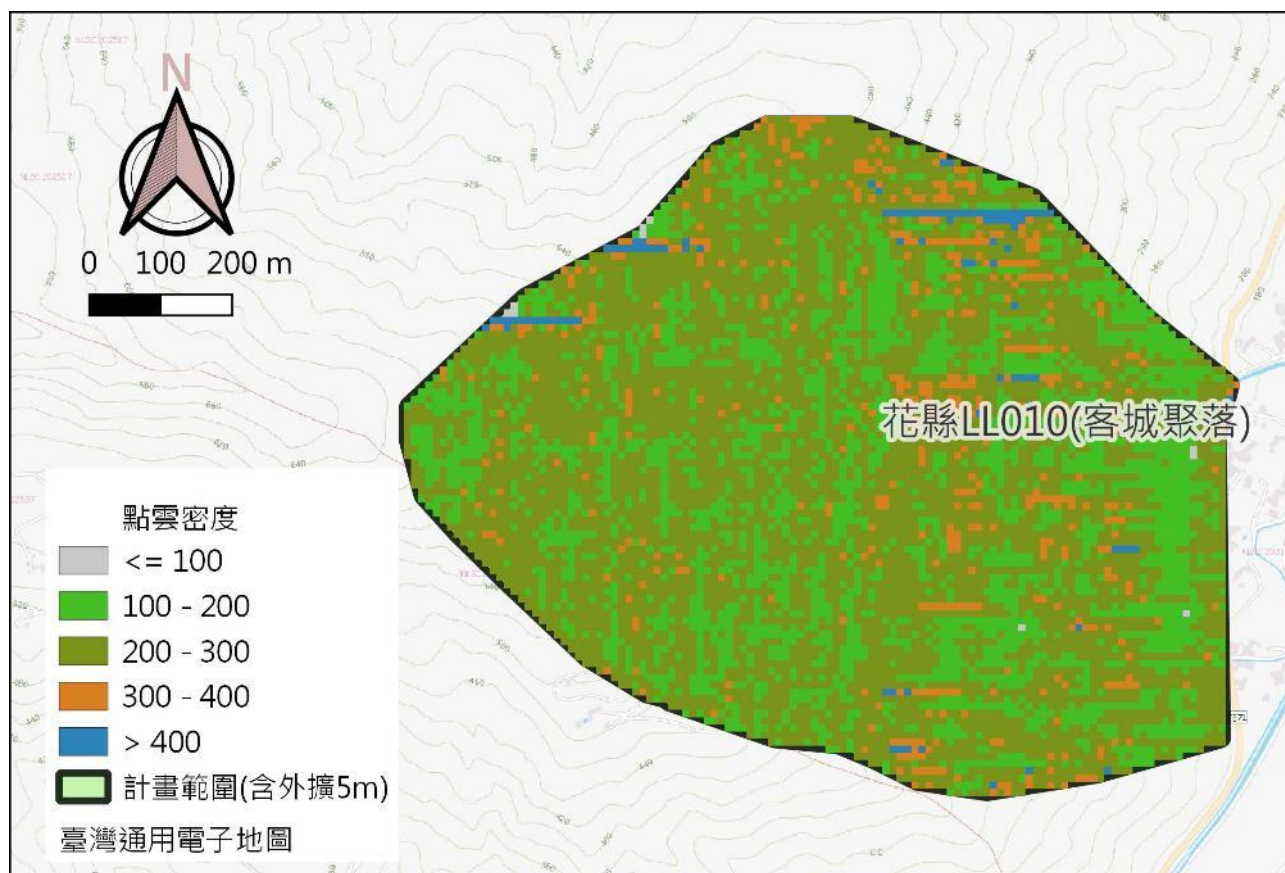


圖 4-40 點雲密度檢核成果-ULL010

(三) 航帶平差作業成果

本計畫所採用的無人機光達掃瞄儀為 Riegl miniVUX-1，點雲全波形解算以及平差作業皆是使用 Riegl 所推出軟體 RiPROCESS 以及 RiPRECISION-ULS 模組進行。其中，在點雲的解算流程時，會計算所採用的共軛平面中誤差，並以控制點作為解算後驗證。

控制點驗證做法是採用 Terrasolid Terrascan 中的 OutputControl Report 功能，輸入控制點的絕對坐標以及高程，比對控制點以及點雲之間的高程差，得到成果後，接續計算高程差的絕對值，最後獲得整體測區比對控制點的高程差絕對值平均，本計畫 8 處光達掃瞄作業區高程差絕對值平均落於 0.009~0.066 公尺，全數小於 10 公分，各點位分析成果詳如表 4-5。

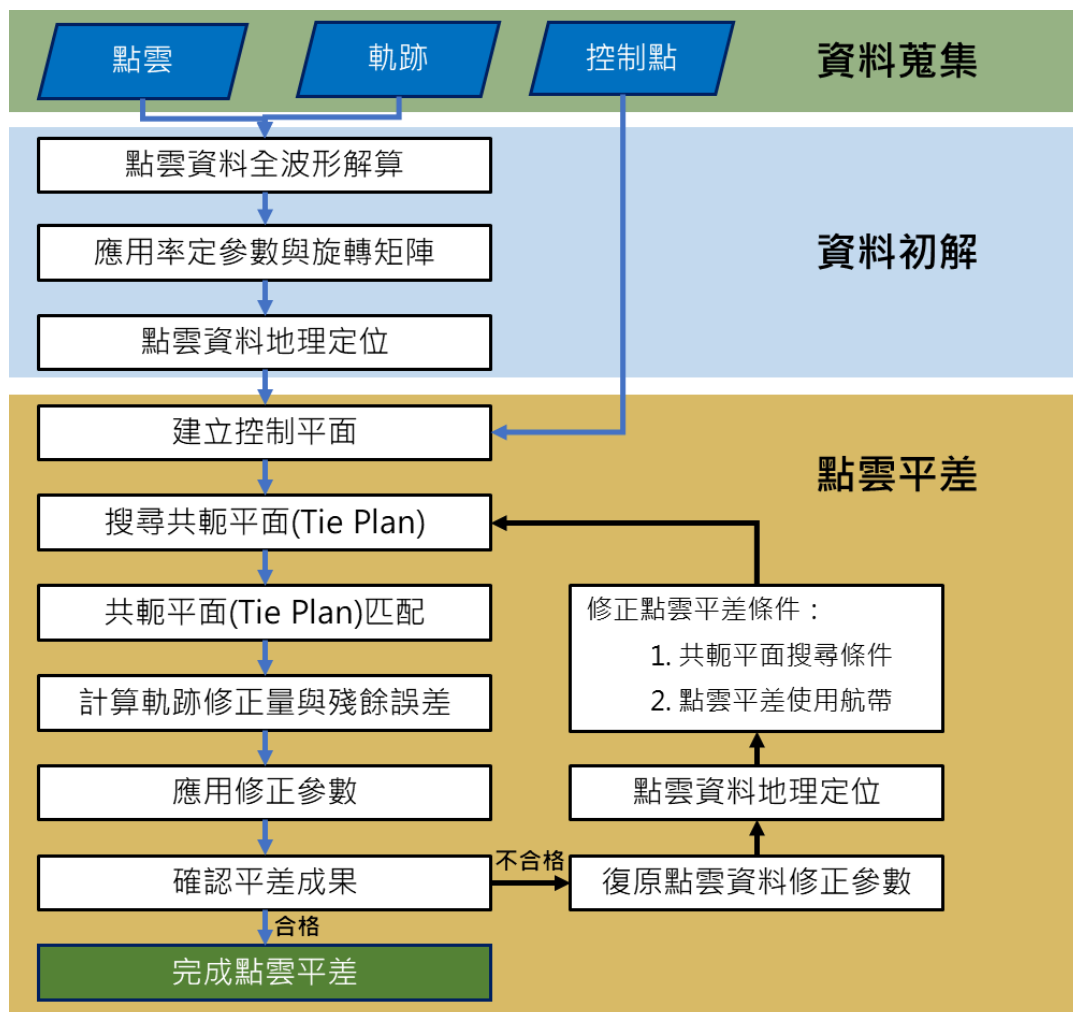


表 4-5 光達測區點雲平差後控制點驗證成果

點號	控制點正高高程	點雲正高高程	高程差	高程差絕對值	高程差絕對值平均
B0201	1763.692	1763.473	-0.219	0.219	0.063
B0202	1754.177	1754.196	0.019	0.019	
B0203	1750.798	1750.905	0.107	0.107	
B0204	1847.657	1847.650	-0.007	0.007	
B0280	1760.127	1760.122	-0.005	0.005	
B0281	1811.056	1811.034	-0.022	0.022	
B0401	2034.566	2034.577	0.011	0.011	0.033
B0402	2087.571	2087.586	0.015	0.015	
B0403	1880.103	1880.225	0.122	0.122	
B0404	1877.798	1877.819	0.021	0.021	
B0480	2038.052	2038.075	0.023	0.023	
B0481	1969.057	1969.062	0.005	0.005	
B0601	1849.321	1849.577	0.256	0.256	0.066
B0602	1824.390	1824.398	0.008	0.008	
B0603	1946.274	1946.288	0.014	0.014	
B0605	1999.698	1999.685	-0.013	0.013	
B0606	1996.307	1996.307	0.000	0.000	
B0680	1842.043	1842.080	0.037	0.037	
B0681	1830.135	1830.272	0.137	0.137	0.019
H0101	478.226	478.246	0.020	0.020	
H0102	457.780	457.782	0.002	0.002	
H0103	440.368	440.379	0.011	0.011	
H0104	354.295	354.336	0.041	0.041	
H0105	329.283	329.335	0.052	0.052	
H0106	292.173	292.192	0.019	0.019	
H0180	465.453	465.448	-0.005	0.005	
H0181	455.422	455.417	-0.005	0.005	0.058
H0301	1116.125	1116.045	-0.080	0.080	
H0302	1155.058	1155.037	-0.021	0.021	
H0303	998.080	997.960	-0.120	0.120	
H0380	1137.099	1137.100	0.001	0.001	
H0381	1053.075	1053.009	-0.066	0.066	
H0401	1321.582	1321.602	0.020	0.020	0.022
H0402	1343.607	1343.674	0.067	0.067	
H0403	953.219	953.221	0.002	0.002	
H0480	1335.155	1335.166	0.011	0.011	
H0481	944.583	944.593	0.010	0.010	

點號	控制點正高高程	點雲正高高程	高程差	高程差絕對值	高程差絕對值平均
U1002	177.885	177.897	0.012	0.012	0.034
U1003	174.92	174.871	-0.049	0.049	
U1004	172.558	172.504	-0.054	0.054	
U1080	179.061	179.105	0.044	0.044	
U1081	176.061	176.07	0.009	0.009	
U0302	287.654	287.663	0.009	0.009	0.009
U0303	305.333	305.344	0.011	0.011	
U0304	344.267	344.266	-0.001	0.001	
U0305	408.695	408.684	-0.011	0.011	
U0306	430.672	430.688	0.016	0.016	
U0307	558.766	558.766	0	0.000	
U0380	297.162	297.167	0.005	0.005	
U0381	380.194	380.215	0.021	0.021	

(四) DEM、DSM 網格成果產製

本計畫使用採用 Golden Software Surfer 進行網格內插，採用克里金 (Kriging) 方法。其中，克里金法是 DEM 網格內插中一種最優線性無偏估計的地統計學方法，相較起傳統的反距離加權或雙線性函數，克里金同時考慮空間自相關性 (Spatial Autocorrelation)，確保能獲得最小的估計值方差，因此成為最常用於數值地形模型產製的內插方法，相關作業面如圖 4-42。依據前述方法，製作 20cm DEM 以及 DSM，並以日照陰影圖方式展現如圖 4-43 ~ 圖 4-58。

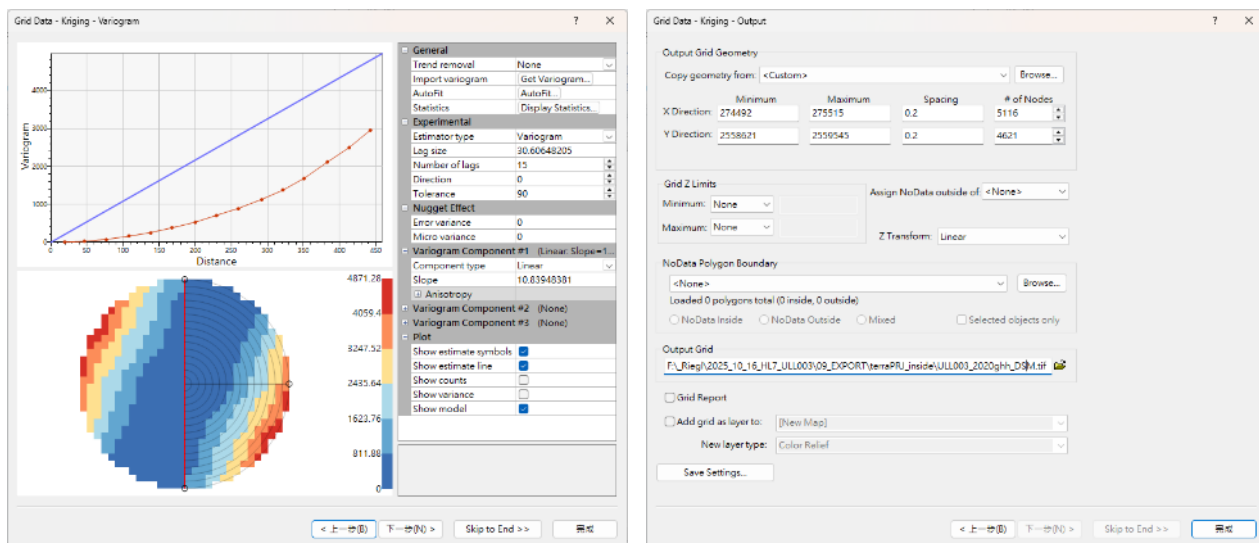


圖 4-42 使用 Surfer 執行 DEM、DSM 網格內插作業畫面



圖 4-43 20cmDSM 日照陰影圖-HLL004



圖 4-44 20cmDEM 日照陰影圖-HLL004

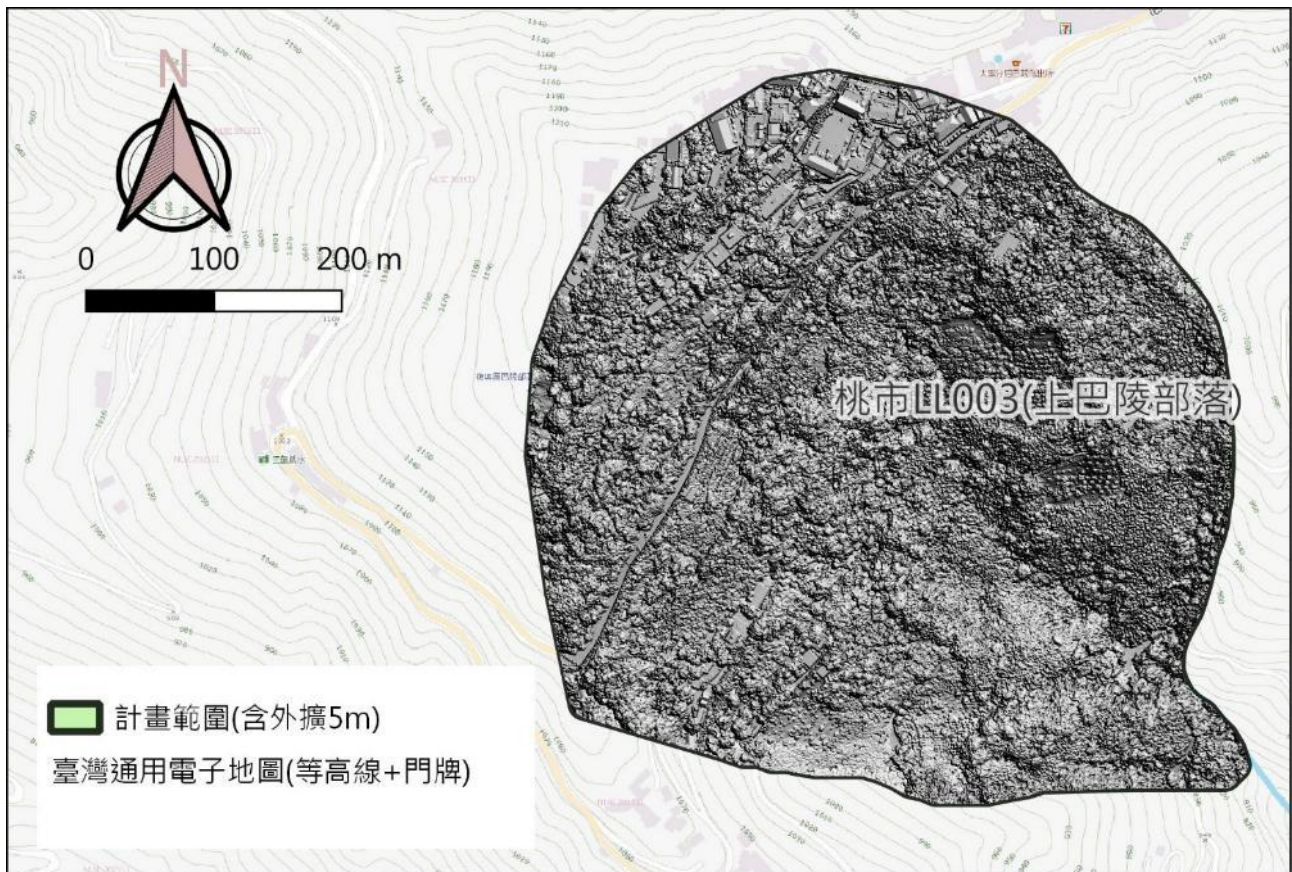


圖 4-45 20cmDSM 日照陰影圖-HLL003

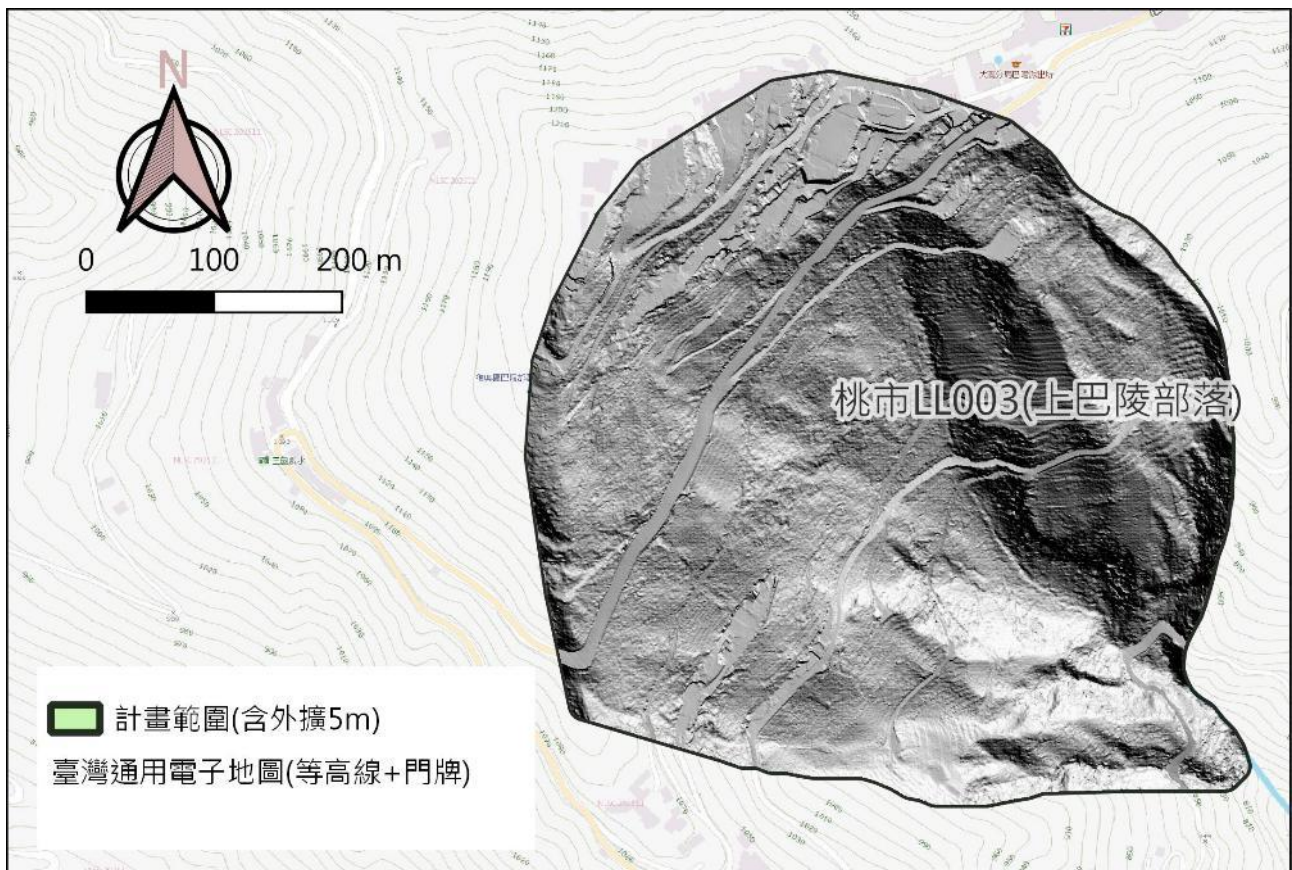


圖 4-46 20cmDEM 日照陰影圖-HLL003



圖 4-47 20cmDSM 日照陰影圖-HLL001



圖 4-48 20cmDEM 日照陰影圖-HLL001

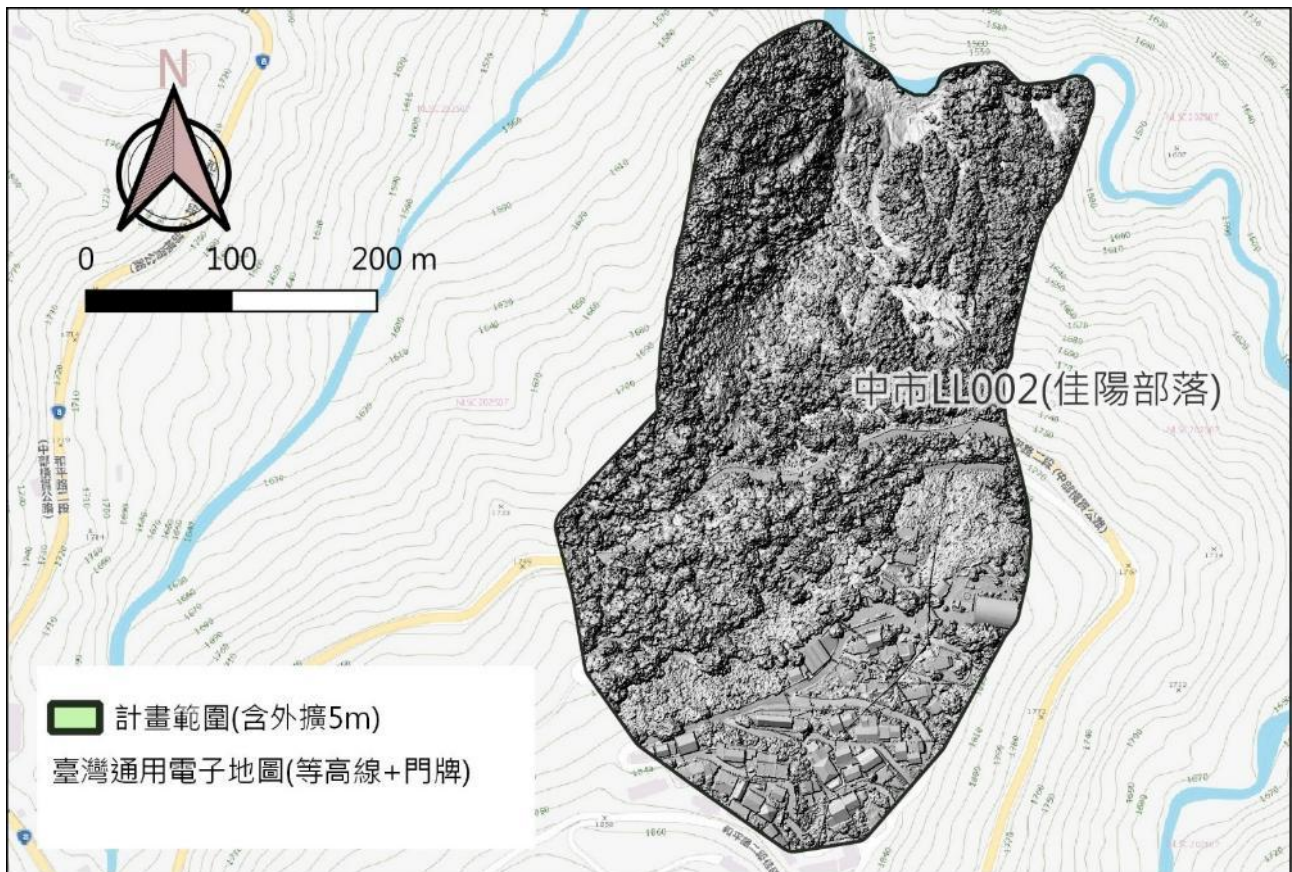


圖 4-49 20cmDSM 日照陰影圖-BLL002

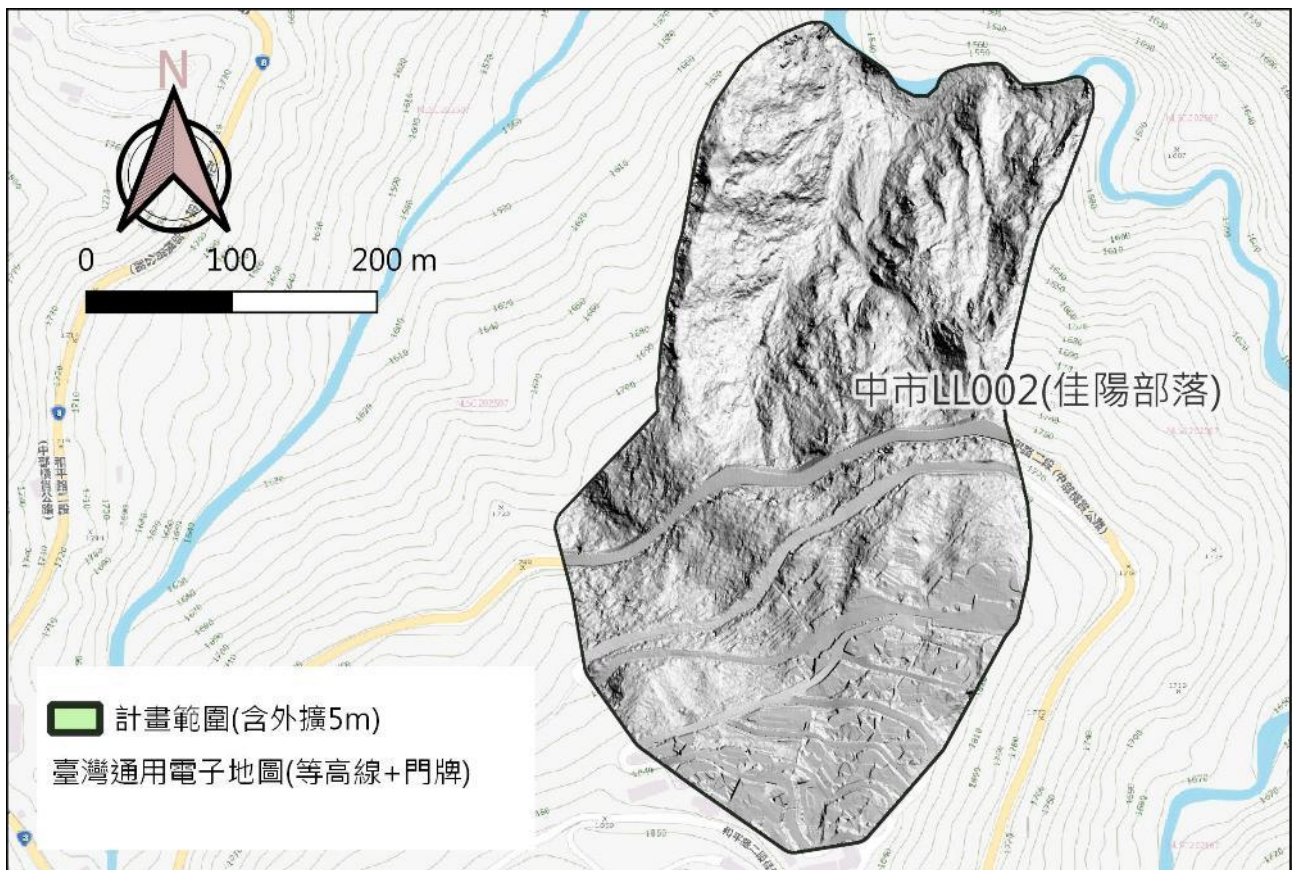


圖 4-50 20cmDEM 日照陰影圖-BLL002



圖 4-51 20cmDSM 日照陰影圖-BLL004

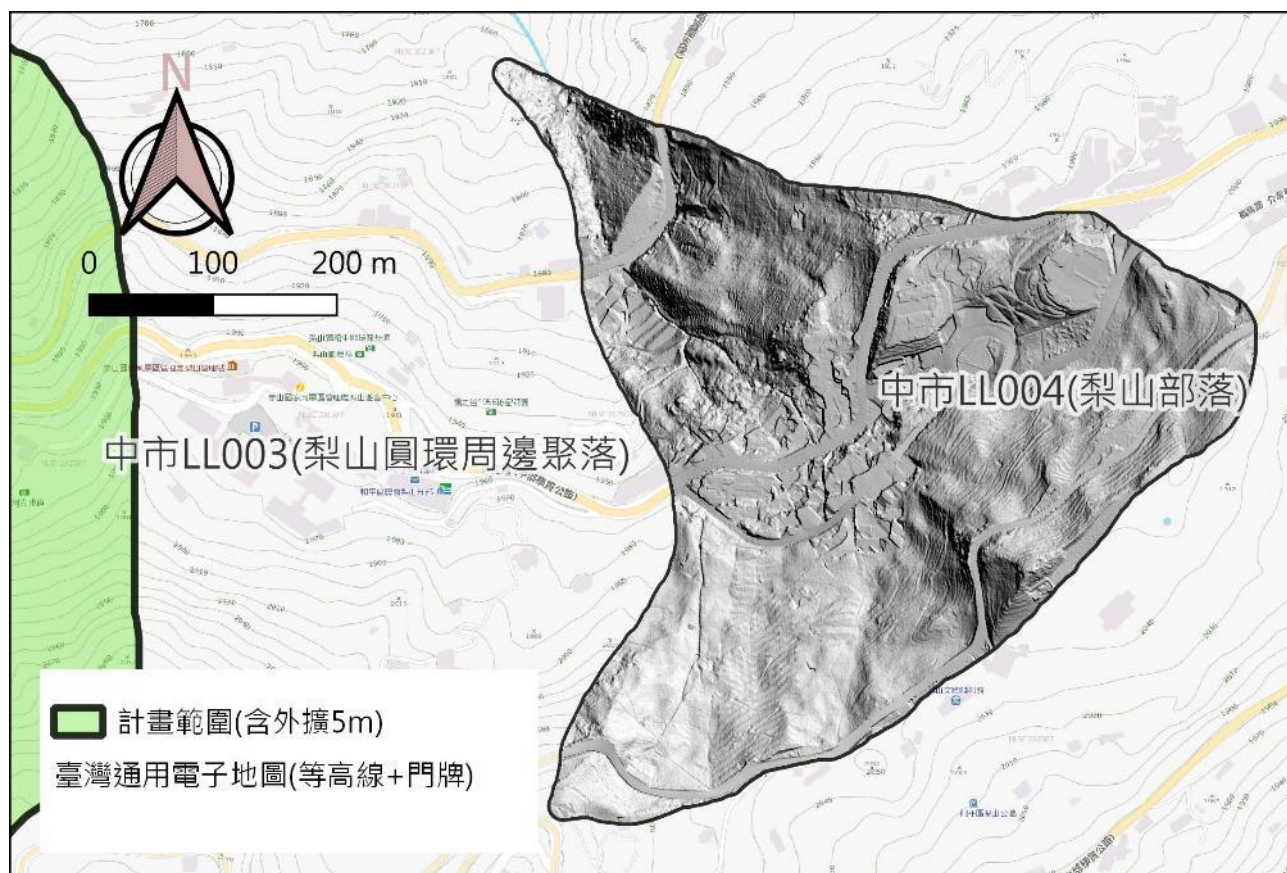


圖 4-52 20cmDEM 日照陰影圖-BLL004



圖 4-53 20cmDSM 日照陰影圖-BLL006



圖 4-54 20cmDEM 日照陰影圖-BLL006

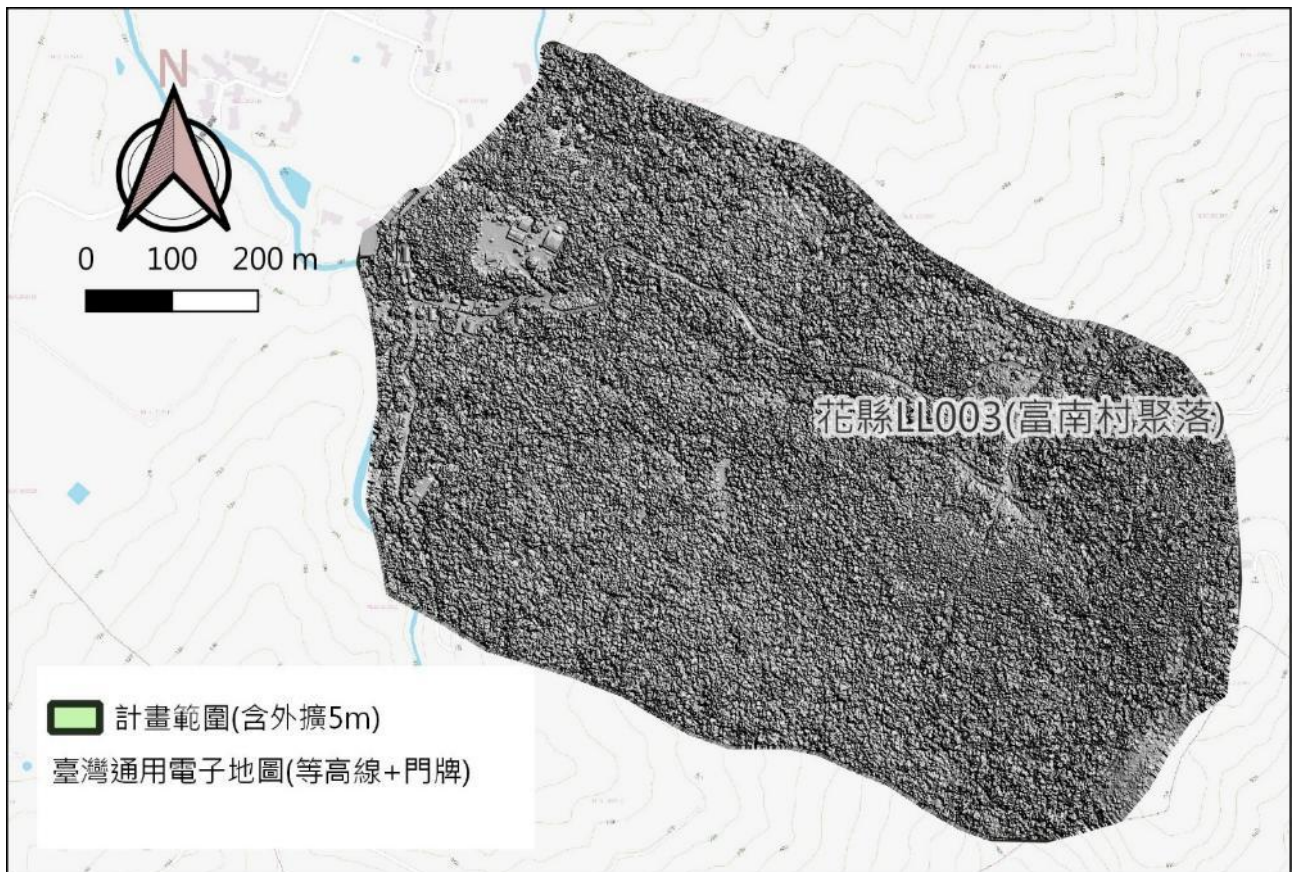


圖 4-55 20cmDSM 日照陰影圖-ULL003



圖 4-56 20cmDEM 日照陰影圖-ULL003



圖 4-57 20cmDSM 日照陰影圖-ULL010



圖 4-58 20cmDEM 日照陰影圖-ULL010

第三節 無人機影像拍攝

一、影像拍攝架次、原始影像張數與曝光位置

本計畫無人機光達測區共執行 8 處，除光達點雲資料之外，於相同計畫範圍內製作 5cm 正射影像。除此之外，純光學影像拍攝區域共有 9 處，同樣製作 5cm 正射影像，並拍攝與製作環景影像，各測區影像拍攝掃瞄日期與架次統計如表 4-6。

表 4-6 各測區影像拍攝掃瞄日期與架次統計

大崩編號	名稱	面積	地表概略高度	高低落差	拍攝日期	光達掃瞄架次	影像拍攝架次
桃市 LL004	光華道路	17.4	894~1370	476	114.07.15	5	1
桃市 LL003	上巴陵部落	24.5	810~1241	431	114.07.15	4	1
桃市 LL001	義興電廠	41.5	254~737	483	114.07.15	8	2
中市 LL002	佳陽部落	12.4	1524~1858	334	114.07.01	2	1
中市 LL004	梨山部落	18.4	1809~2095	286	114.07.01	2	1
中市 LL006	松柏聚落	42.1	1549~2021	472	114.07.01	4	2
花縣 LL003	富南村聚落	59.8	280~568	288	114.10.16	5	3
花縣 LL010	客城聚落	76.8	172~647	475	114.10.15	9	4
花縣 SL0006	花縣 SL0006	8	34~161	127	114.10.09	-	1
花縣 SL0011	花縣 SL0011	9.7	61~153	92	114.10.09	-	1
花縣 SL0012	花縣 SL0012	6.8	0~129	129	114.10.09	-	1
花縣 U113-3	花縣 U113-3	13.2	16~49	33	114.10.09	-	1
東勢林場	東勢林場	29.4	430~599	169	114.10.10	-	1
花縣 DF173	花縣 DF173	49.3	16~210	194	114.10.10	-	2
花縣 SL0001	花縣 SL0001	29.3	5~47	42	114.10.10	-	1
和仁野溪 DF025	和仁野溪 DF025	51.6	20~427	407	114.10.10	-	5
屏東士文村	屏東士文村	102.8	112~461	349	114.10.21	-	7

二、正射影像製作成果(含光達測區水線繪製)

本計畫主要使用 Agisoft metashape 影像作業處理軟體進行正射影像製作，相關內容包含影像匹配、空中角測量、控制點量測、鑲嵌線編修(圖 4-59)等，完成影像製作後，並於 GIS 軟體中繪製區域內水體區域，本計畫各測區 5cm 正射影像成果列舉展示如圖 4-60 ~ 圖 4-76。

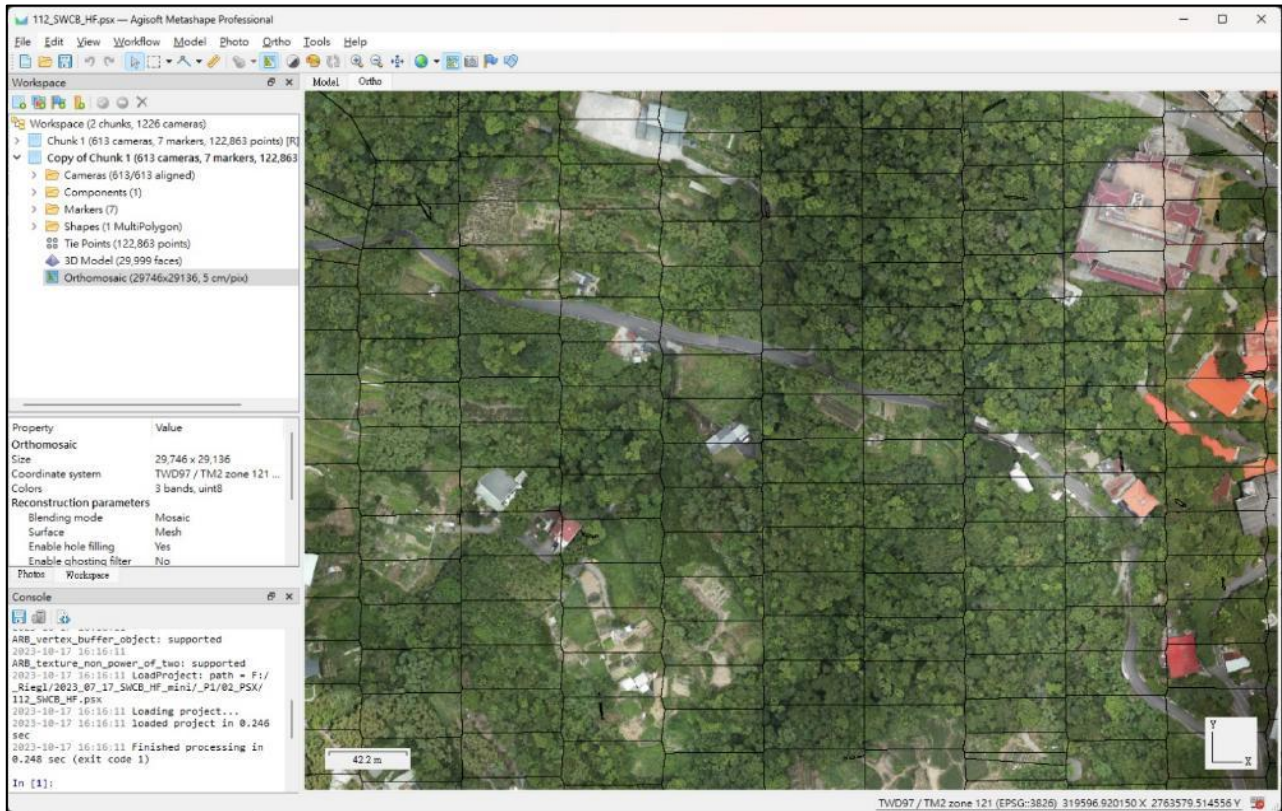


圖 4-59 Agisoft metashape 影像鑲嵌作業畫面



圖 4-60 5cm 正射影像-HLL004

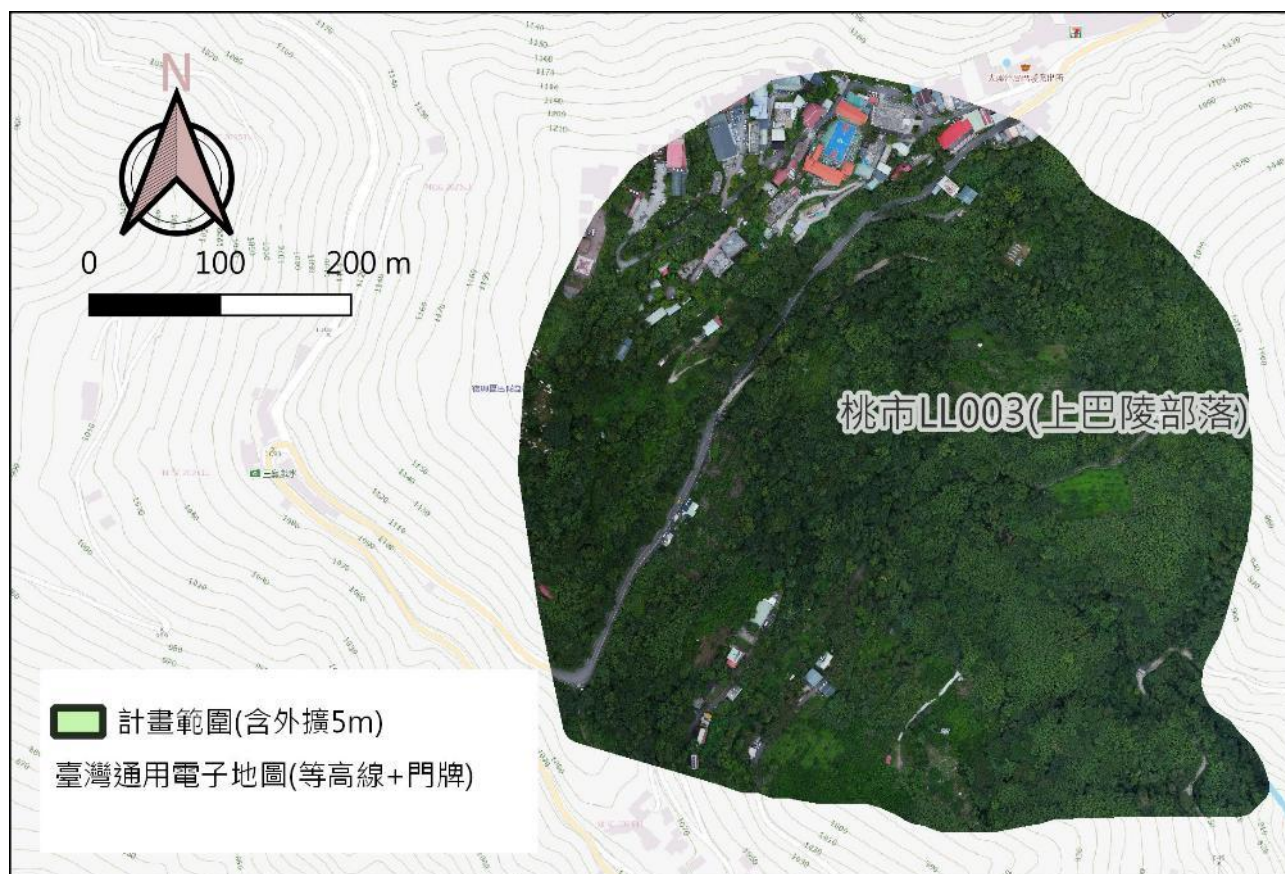


圖 4-61 5cm 正射影像-HLL003



圖 4-62 5cm 正射影像-HLL001



圖 4-63 5cm 正射影像-BLL002



圖 4-64 5cm 正射影像-BLL004



圖 4-65 5cm 正射影像-BLL006



圖 4-66 5cm 正射影像-ULL003



圖 4-67 5cm 正射影像-ULL010



圖 4-68 5cm 正射影像-和仁野溪 DF025

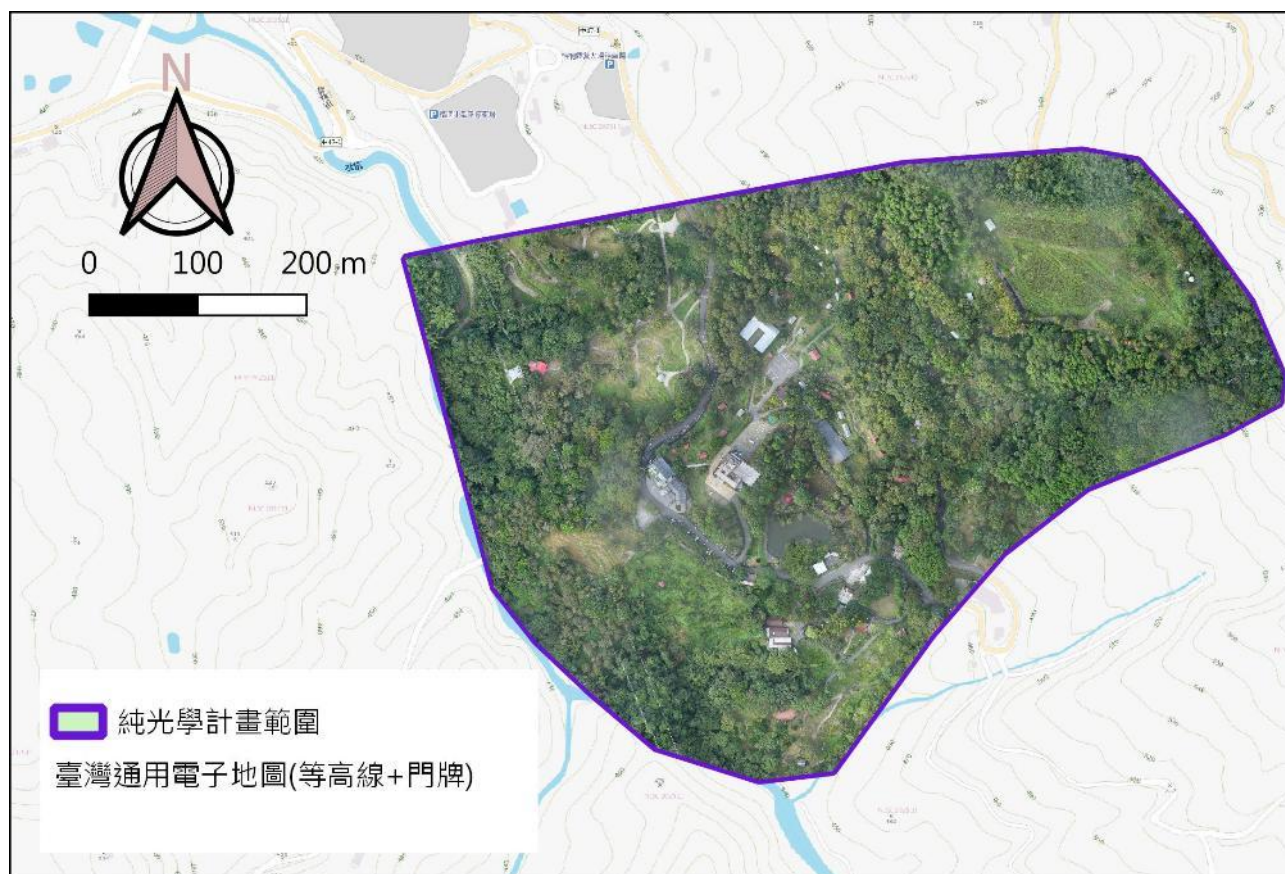


圖 4-69 5cm 正射影像-東勢林場

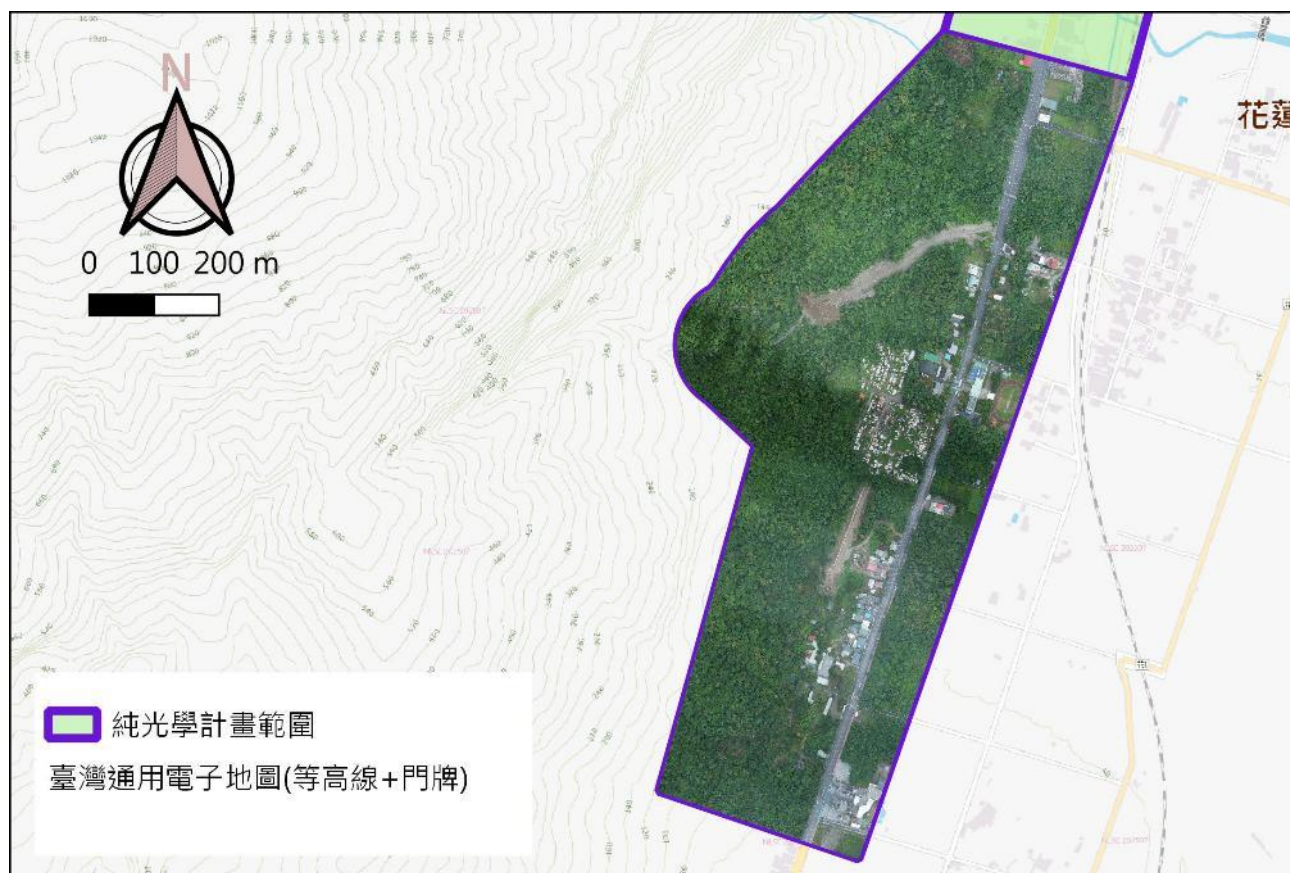


圖 4-70 5cm 正射影像-花縣 DF173

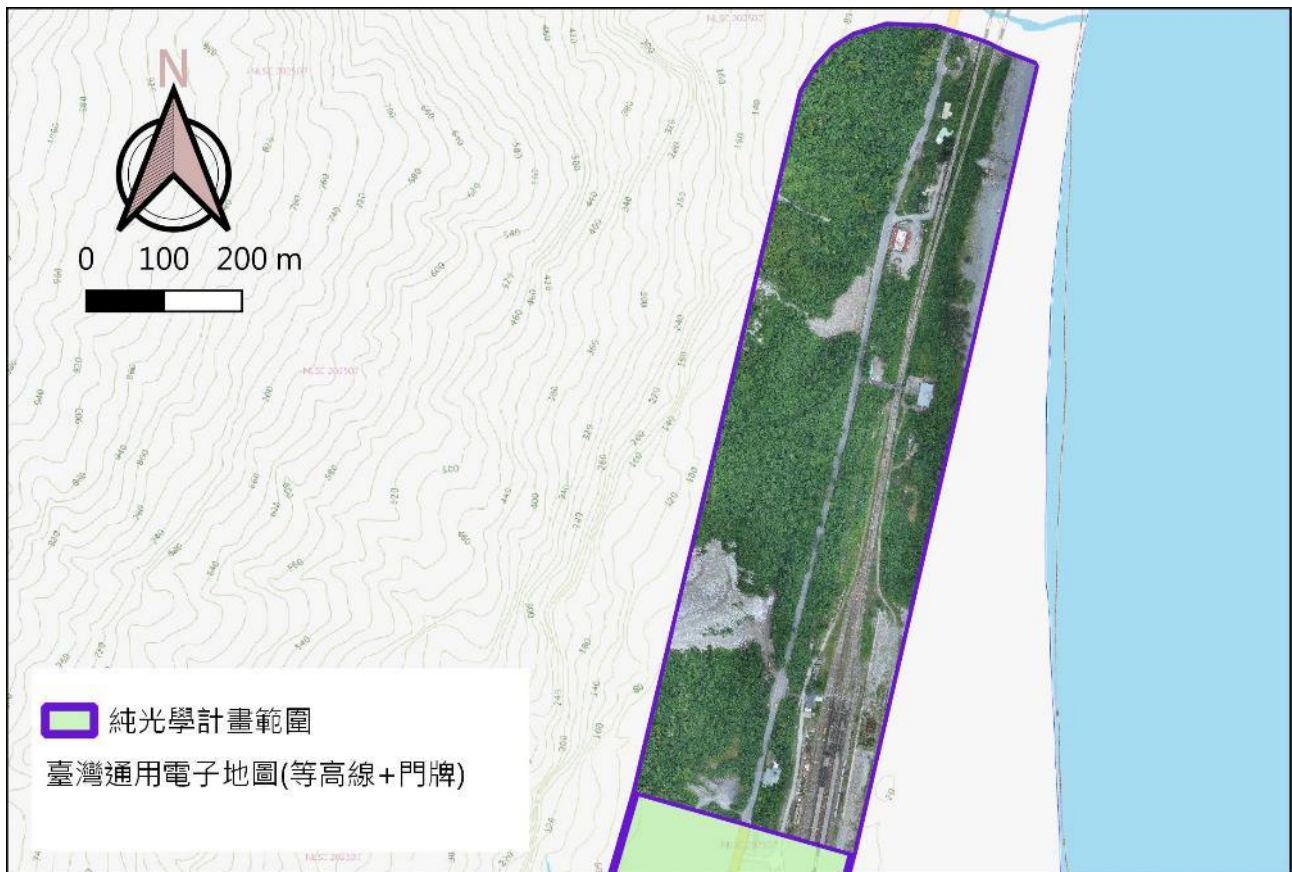


圖 4-71 5cm 正射影像-花縣 SL0001



圖 4-72 5cm 正射影像-花縣 SL0006

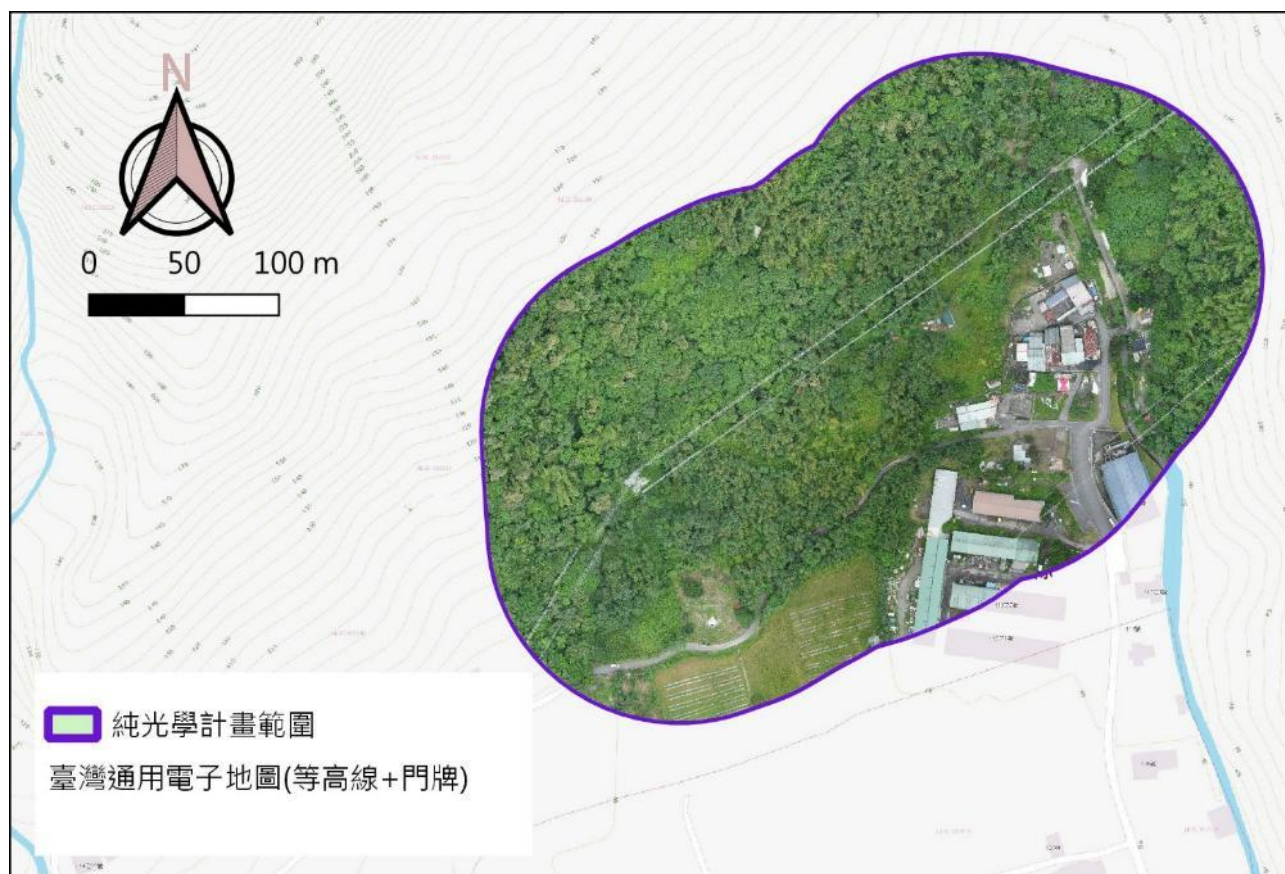


圖 4-73 5cm 正射影像-花縣 SL0011



圖 4-74 5cm 正射影像-花縣 SL0012

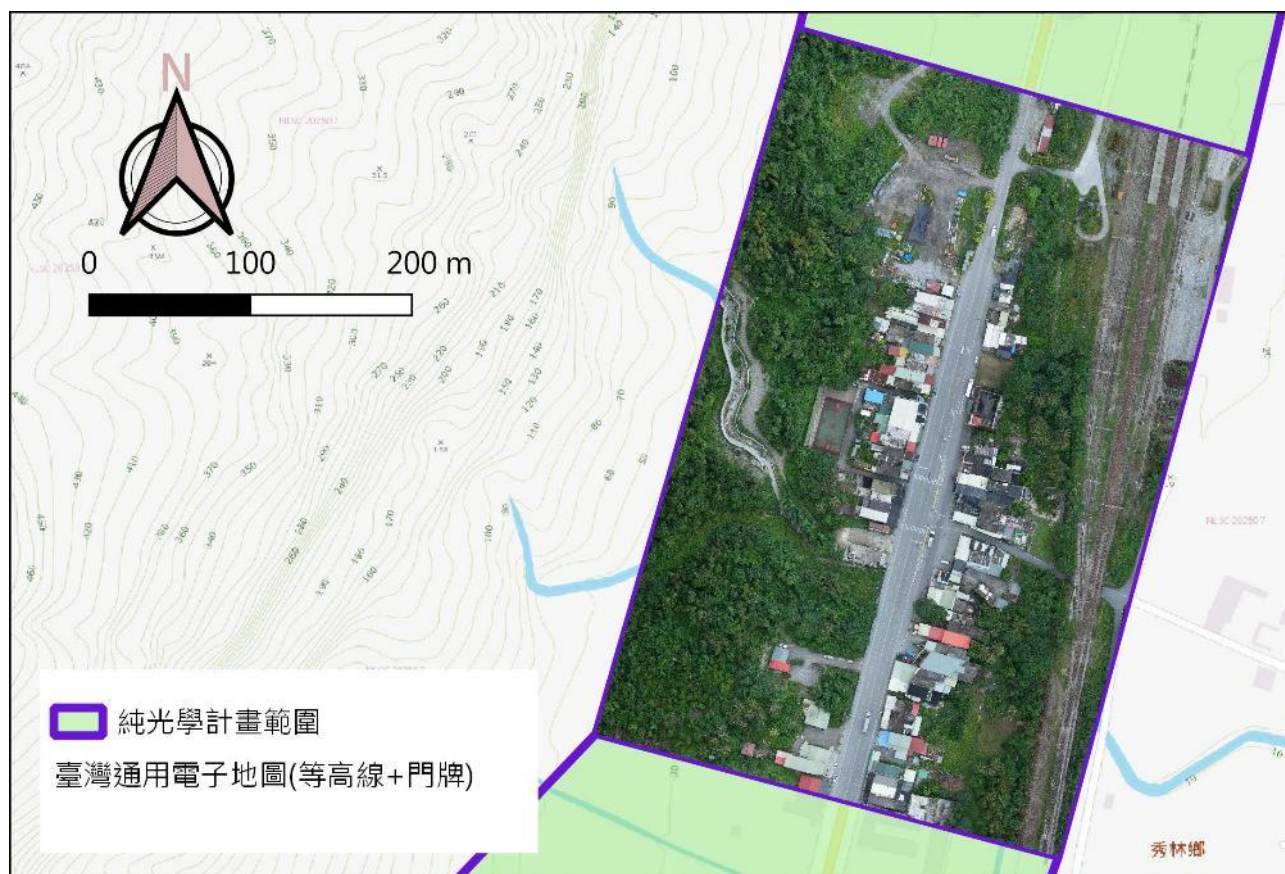


圖 4-75 5cm 正射影像-花縣 U113-3



圖 4-76 5cm 正射影像-屏東士文村

三、3D Mesh 網格模型與 DSM 製作

影像匹配技術是一種透過分析影像中的特徵點 (Key Point)，建立不同影像間對應關係的技術。首先，採用多張影像拍攝同一個物體的照片，以自動識別的方式抓取照片中共同的特徵 (例如建築物邊角、窗戶的邊緣或地面的紋理等)。接續以 SFM (Structure from Motion) 原理計算與比對特徵點之間的共同關係，並藉由空間交會概念計算出不同影像上，各特徵點的對應位置，藉此建立起它們之間的聯繫，得到影像之間的匹配點 (Matching Point)。最後，藉由均方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE) 計算剔除錯誤匹配，確立各張影像在空間中精準的相對位置，進而逐像元 (By Pixel) 匹配為廣域三角網格面，成為三維模型。

本次建模使用 Bently Context Capture Center，是全球市佔率最高之影像匹配模型建置軟體，完成控制點量測、重建影像外方位以及影像地物後，可獲得三維模型以及規則格網 DSM，展示 BLL002 如圖 4-77。

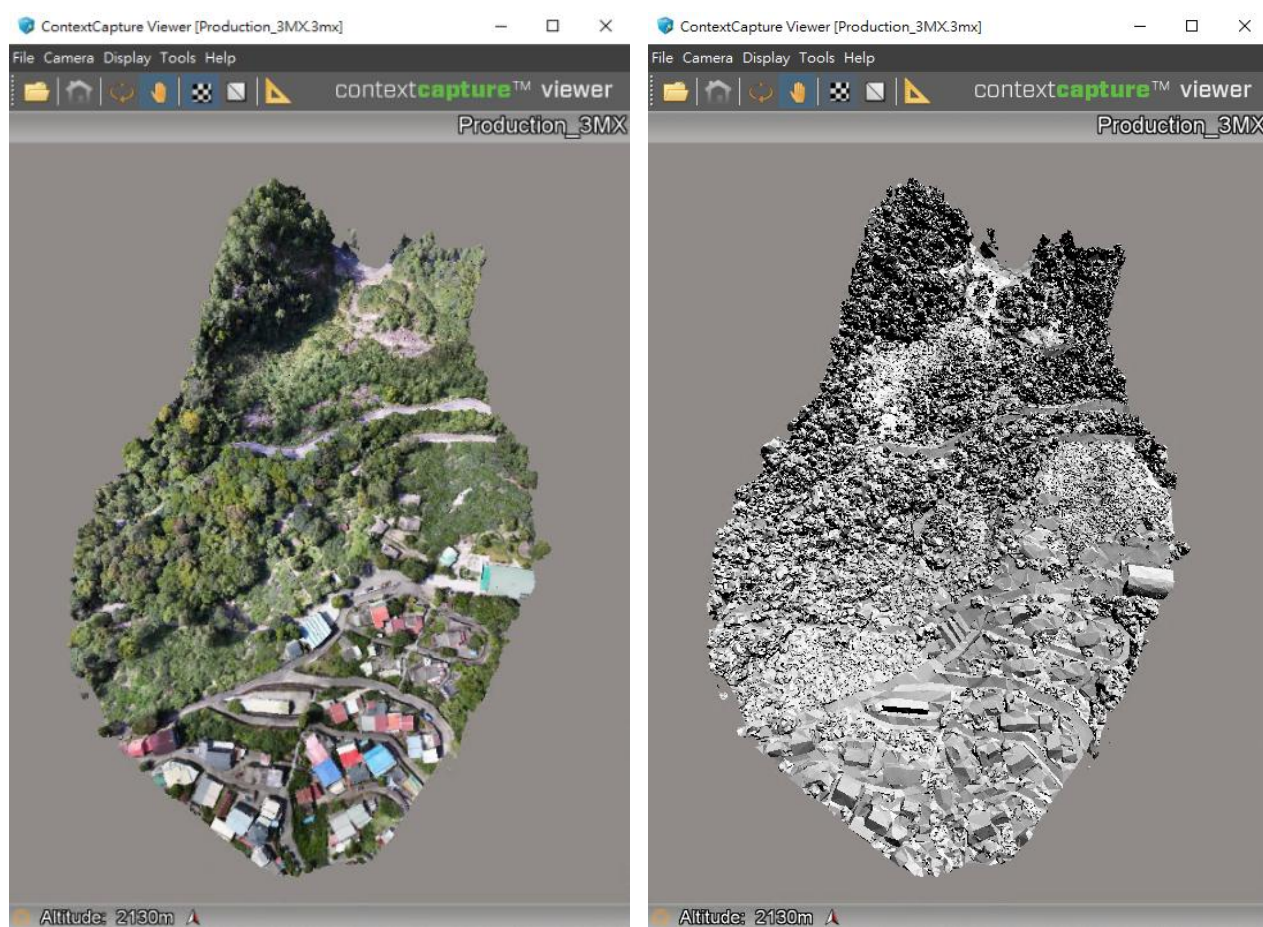


圖 4-77 影像三維模型以及影像密匹配 DSM

四、環景影像拍攝與製作

環景影像拍攝時，採取俯仰共三種不同的角度，包含：仰角 30 度、水平 0 度以及俯角 30 度，並於三種俯仰角的水平 360 度內拍攝 8 張，共 24 張影像和拼成一張全景 720 度環景影像，擷取本計畫東勢林場原始影像如圖 4-78，並以 Autopano 軟體將 24 張原始影像拼接成環景影像，相關作業畫面如圖 4-79。展示本計畫共 9 處環景影像成果如圖 4-83 ~ 。其中，士文村因佔地廣大，且有重點關注堰塞湖，因此拍攝三處環景影像。

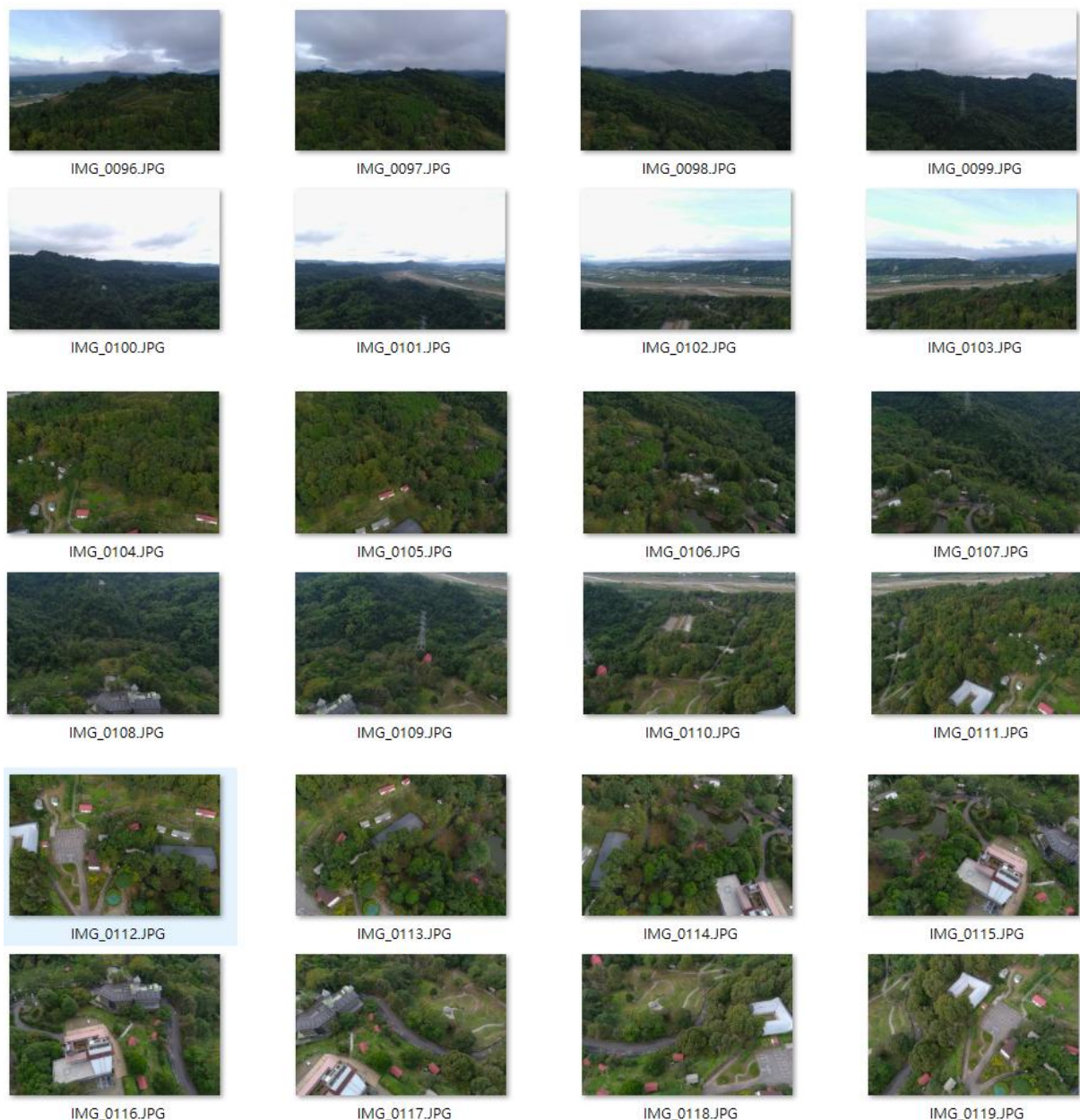


圖 4-78 環景影像拍攝之原始影像-東勢林場

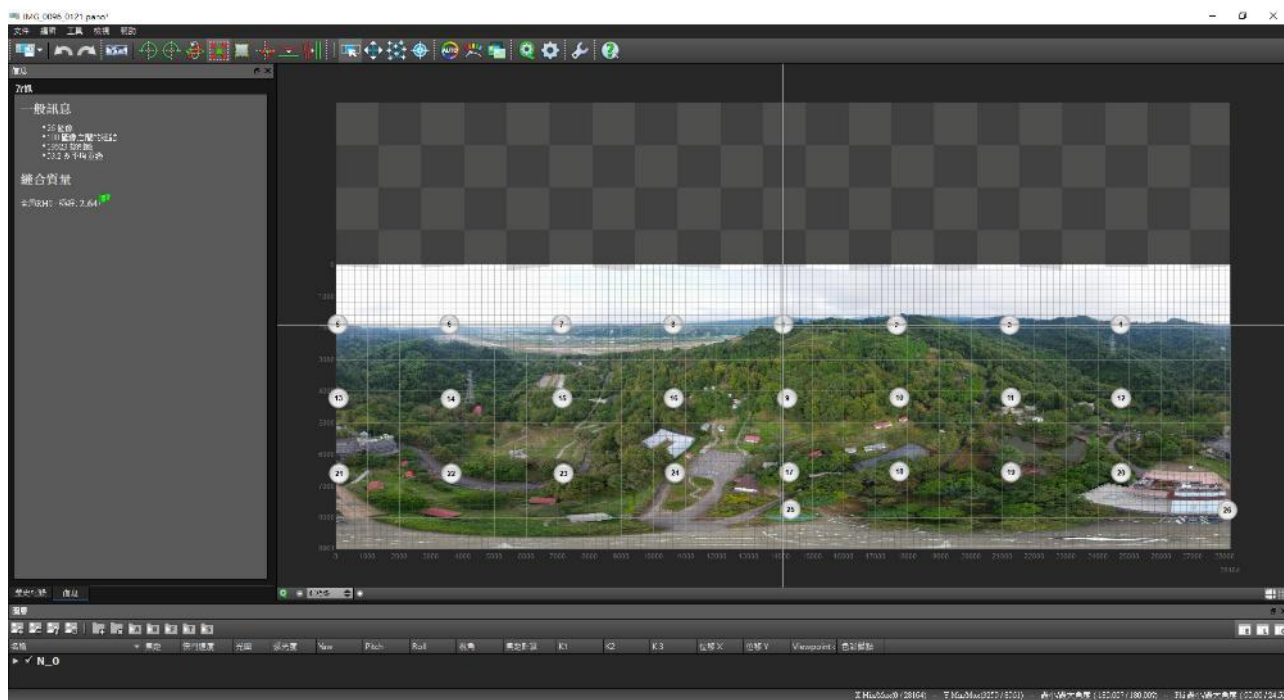


圖 4-79 Autopano 拼接環景影像作業畫面



圖 4-80 環景影像-花縣 SL0006



圖 4-81 環景影像-花縣 SL0011



圖 4-82 環景影像-花縣 SL0012



圖 4-83 環景影像-花縣 U113-3



圖 4-84 環景影像-東勢林場



圖 4-85 環景影像-花縣 DF173



圖 4-86 環景影像-花縣 SL0001



圖 4-87 環景影像-和仁野溪 DF025

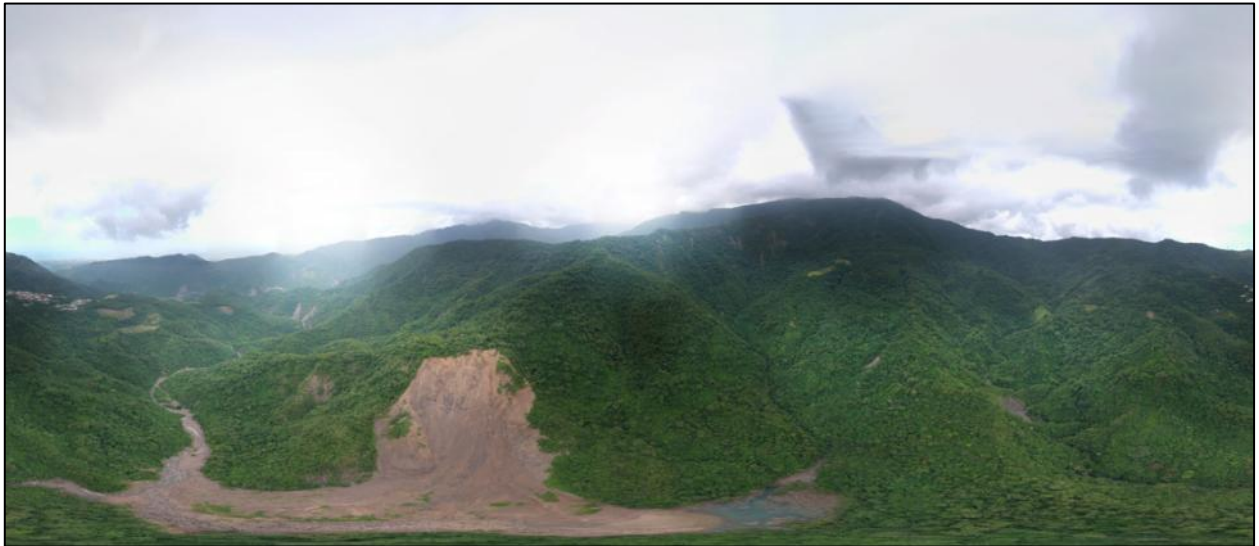


圖 4-88 環景影像-屏東士文村 01



圖 4-89 環景影像-屏東士文村 02



圖 4-90 環景影像-屏東士文村 03

第五章 專案執行進度及控管

第一節 工作進度

本委託計畫自決標次日起至民國一百一十四年十二月十日完成，受託廠商應依擬妥之工作進度確實執行依限完成。

一、分段預定進度

- (一) 期初時需完成工作：完成工作執行計畫並提送監審廠商審查，包含人員資格、作業規劃、軟硬體規格、認證文件。
- (二) 期中時需完成工作：完成光達測製面積 50%並產製成果、提送監審廠商審查。
- (三) 期末時需完成工作：完成所有光達測製面積、純光學測製面積及產製成果，測製成果報告書初稿，提送監審廠商審查。
- (四) 期末至契約完成期間，如委託機關發現問題仍需協助修正。

二、各期應交付項目及期限

- (一) 本案期程分 3 期，各期成果應經監審廠商檢核通過後，以公文遞送並副知主辦機關，各期應交付項目及期限如表 5-1。
- (二) 如本案第 1 期繳交期限日前，主辦機關尚未完成監審廠商委託程序，則廠商應先提送第 1 期成果至主辦機關，待主辦機關完成委託程序後，再提送至監審廠商複審，並依監審廠商之審查意見進行修正及執行本案各項成果測製作業。
- (三) 經監審廠商檢核未達標準之項目，需於 30 個日曆天內提送補正成果，若補正作業受天候或其他不可抗力因素無法如期完成時，得提出相關佐證資料，辦理展延。
- (四) 廠商需配合主辦機關規定分區完成測繪成果，並經監審廠商檢核通過後，上傳至主辦機關指定平台或系統。

(五) 每月 28 日前，廠商應提送工作執行月進度報告，含工作協調事項及工作遭遇困難，交付監審廠商彙整，並副知主辦機關。

(六) 颱風豪雨等重大事件後主辦機關緊急啟動之拍攝地點、測製內容及規格，不受限以上監審作業規定。廠商應於規定時間內，測製完成交付主辦機關，並副知本案監審廠商進行複查，如複查過程發現錯誤或需補正之項目，廠商仍應配合修正。

表 5-1 各期應交付項目及期限表

期別	交付項目	交付項目
第 1 期	工作執行計畫書	契約簽訂日起 10 個日曆天
第 2 期	1. 全數控制測量(含檢核點)施測成果。 2. 50%(含)以上光達測製成果(以面積公頃計) ^{*註 1} 。 3. 無人機空載光達數值地形成果及航拍影像製作成果之提送範圍應一致。 4. 純光學成果，光達測區 3D 模型成果	114 年 7 月 18 日(五)
第 3 期	1. 全部光達測製成果 ^{*註 22} 。 2. 無人機空載光達數值地形成果及航拍影像製作成果之提送範圍應一致。 3. 全部純光學成果，光達測區 3D 模型成果。 4. 測製成果報告書	114 年 10 月 17 日(五)

註 1：測製成果包含：無人機原始影像、影像外方位成果、快速幾何糾正鑲嵌影像(tif 格式含 tfw 坐標檔)、正射影像(tif 格式含 tfw 坐標檔)、360 度環景影像、點雲資料航帶平差處理成果(las 或 laz 格式)、分類後點雲資料 DEMLASuav(las 或 laz 格式)、水域繪製成果、掃瞄及航拍時間概略分區定義檔、數值地形模型 DEM 與 DSM(tif 檔)、詮釋資料與軟體產製報告等相關檔案。

註 2：第 2 期提送成果所包含之各個測區中，如已涵蓋完整之測區，則應提送該測區相應之 3D 模型成果檔，如尚未涵蓋完整之測區 3D 模型成果檔，則納入第 3 期一併提送。

三、各階段實際執行進度及今年度趕工內容

本計畫於第一階段工作計畫書通過監審單位審查後，依據工作會議決議之測區範圍申請民航局飛航許可，確認可執行天候執行光達作業。作業過程中，因受天候影響壓縮作業時間，使得局部測區作業完整度不足，在第二階段、第三階段所提送的成果，不符合作業需求。經內部重新檢視，多數成果需重新處理，延誤成果繳交時間。後續啟動趕工計畫，增派作業人員輪班處理，最後於本案履約前提送所有成果。

第二節 執行品質管制

配合第三方監審：本計畫應配合監審廠商第三方監審流程，包含相關儀器設備、空載光達掃描及影像航拍之飛航規劃、交付成果及成果報告等，需提送監審廠商審查，待成果繳交項目、數量及內容規格均應符合規定後，再向主辦機關申請辦理驗收。各階段工作會議應通知監審廠商出席，並應列席監審廠商相關工作會議、期初、期末審查會議。表 5-1 說明本計畫各階段以及各測區批次送交監審單位時間、審查結果以及修正方式。

表 5-2 各測區作業批次送檢結果

各階段	內容	測區	提送日期	檢核結果
期初階段	工作執行計畫	-	114.07.18	114.07.28：通過
第二階段	50%以上 光達測區	桃市 LL004	114.07.18 (第一次)	114.08.15：不合格
		桃市 LL003	114.09.12 (第二次)	114.10.08：不合格
		桃市 LL001	114.11.07 (第三次)	114.12.03：合格
		中市 LL002		
		中市 LL004		
第三階段	剩餘光達測區	花縣 LL003	114.10.17 (第一次)	114.11.05：不合格
		花縣 LL010	114.11.26 (第二次)	114.12.03：合格
	純光學測區	花縣 SL0006		
		花縣 SL0011		
		花縣 SL0012		
		花縣 U113-3		
		東勢林場		
		花縣 DF173		
		花縣 SL0001		
		和仁野溪 DF025		
		屏東士文村		
成果報告書	成果報告書	-	114.11.25	114.12.05：合格

一、提交工作執行計畫書送監審廠商審查，內容包含：

- (一) 作業人員、工作流程、控制點布設原則及數量、自主品管流程、需主辦機關協助事項。
- (二) GNSS 控制測量儀器、無人機及光達掃描儀規格。

(三) GNSS 控制測量儀器、無人機及光達掃描儀最近一次 TAF 實驗室校正報告書(原廠文件或 TAF 實驗室校正文件)。

(四) 廠商取得民航局核發之無人機能力審查核准證明，及所有參與本案之操作人員持有之遙控無人機專業操作證明。

二、品保作業

(一) 品保作業檢核項目

依據本計畫作業流程以及成果，設定八大檢核點，依檢核作業順序分別包含「控制測量成果檢核」、「外業測繪成果涵蓋範圍檢核」、「環景影像成果檢核」、「點雲密度檢核」、「點雲平差作業檢核」、「DSM 網格成果檢核」、「正射影像(含水線)成果檢核」以及「DEM 網格成果檢核」，並設計相應檢核項目。相關作業說明及檢核表格如附錄五。

(二) 品保作業流程與執行成果

依據前述各項檢核表，於各階段提送檢核人進行檢核，分別註記提送檢核項目、作業規定、內容、使用軟體等，詳列如表 5-3。其中，以檢核人員的完成日期為主要檢核完成日期，並由品質管制組長、專案人員以及計畫主持人確認後簽屬。

表 5-3 自主檢核作業提送與檢核結果

項次	項目	提送檢核日期	檢核完成日期	是否合格
1	控制測量成果檢核	114.10.20	114.10.21	合格
2	環景影像成果檢核	114.10.28	114.10.28	合格
3	初步測繪成果涵蓋範圍檢核	114.10.26	114.10.26	合格
4	光達點雲密度成果檢核	114.11.04	114.11.04	合格
5	點雲平差成果檢核	114.11.20	114.11.20	合格
6	DSM 網格成果檢核	114.11.20	114.11.20	合格
7	正射影像(含水線)成果檢核	114.11.04	114.11.04	合格
8	DEM 網格成果檢核	114.11.21	114.11.21	合格

第六章 工作組織與人力配置

第一節 計畫組織

本團隊由楊豐毓測量技師擔任計畫主持人，並由李明軒測量技師擔任共同計畫主持人，並邀請賴澄潔博士擔任協同主持人，設定六大獨立作業執行組別，並皆由經驗豐富之測量技師、組長以及經理帶領。需要大量人力之光達資料處理組以及影像處理組則擁有多名專任點雲編修以及正射影像製作的人力，可充分且完整處理本計畫相關成果。同時，設立資料品管中心以及「獨立審核測量組」(圖 6-1)，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。

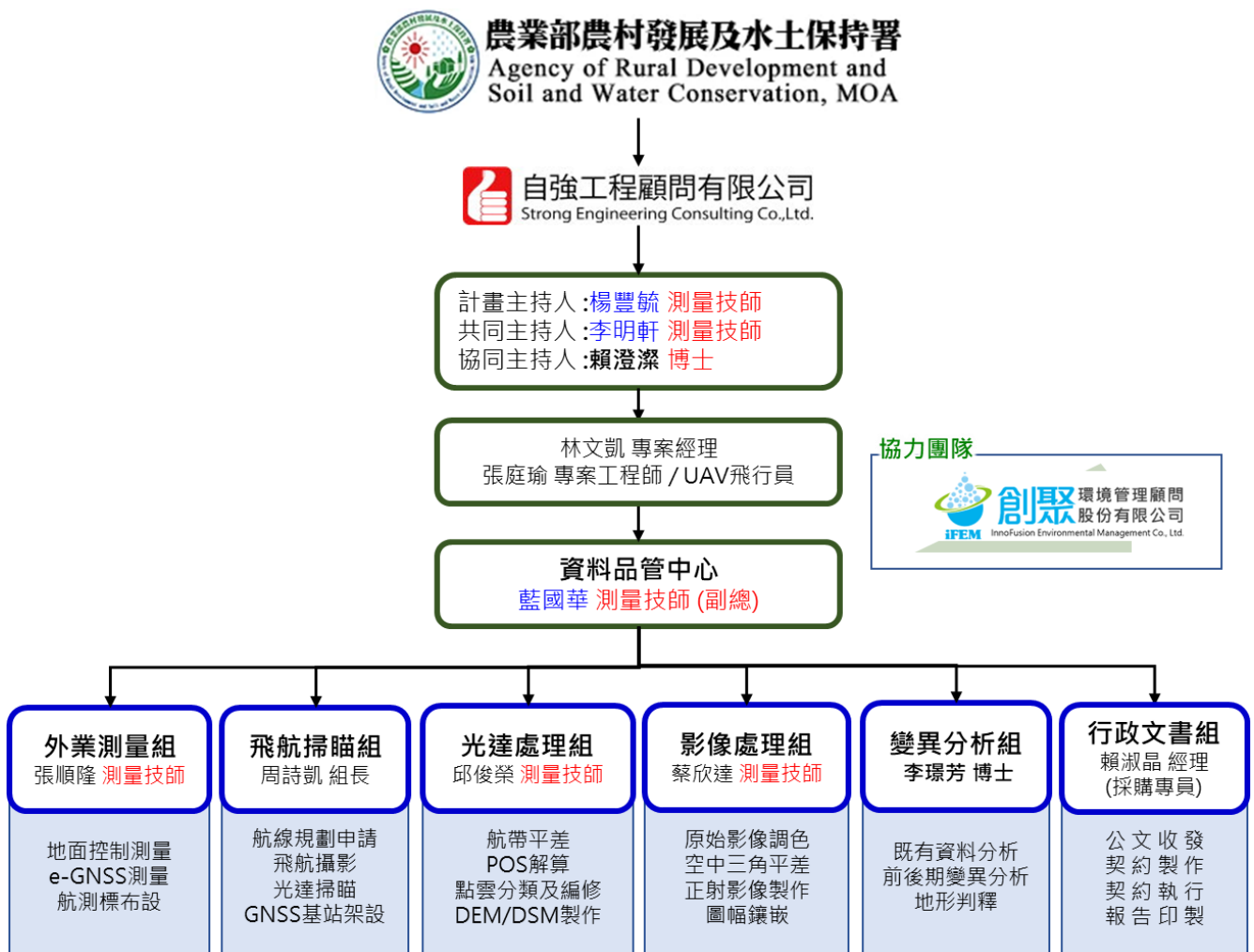


圖 6-1 計畫組織

第二節 主要工作人員學經歷

表 6-1 主要作業人員學經歷與職務專長

組別	姓名	職稱	學歷	資歷	專長
綜合督導	賴澄漂	董事長	瑞芳商工測量科	43 年	策略規劃/綜合督導
專案管理	楊豐毓	副總經理/測量技師	政治大學地政所碩士	13 年	攝影測量/光達掃瞄
	李明軒	研發長/測量技師	成功大學測量及空間資訊研究所碩士	13 年	攝影測量/光達掃瞄
品質管制	藍國華	副總經理/測量技師	成功大學測量工程研究所碩士	29 年	陸域測量/專案管理
	林文凱	專案經理	蘭陽技術學院電腦應用工程科	19 年	專案管理/光達掃瞄
資訊安全	吳秋芸	副總經理	臺灣海洋大學河海工程學系碩士	20 年	資訊安全管理
	蔡宛諭	副理	逢甲大學土地管理學系	16 年	資訊安全管理
行政文書	賴淑晶	管理部經理	省立基隆商工綜商科	40 年	會計、採購人員
	林沂珊	管理部秘書	中國科技大學財務金融系	14 年	行政業務
UAV 攝影與掃瞄	周詩凱	航拍組長	國立聯合大學機械工程系	9 年	飛航任務執行
	余承恩	航拍副組長	健行科技大學應用空間資訊系	6 年	飛航任務執行
	張庭瑜	航拍組員	國立臺灣大學歷史學系	3 年	飛航任務執行
	戴嘉	航拍組員	國立台北大學不動產與城鄉環境	3 年	飛航任務執行
	郭雨鴻	航拍組員	中國科技大學觀光與休閒事業管理	1 年	飛航任務執行
變異分析	李璟芳	變異分析組長	國立中央大學土木工程學研究所博士	10 年	變異分析/地形分析
	藍振維	變異分析副組長	國立政治大學地政學研究所碩士	6 年	變異分析/地形分析
	柳鈞元	變異分析組員	國立台灣大學土木工程學研究所碩士	5 年	變異分析/地形分析
外業測量	張順隆	副總經理/ 測量技師	成功大學測量工程研究所	23 年	陸域測量
	林宏偉	測量組長	瑞芳高工測量科	7 年	陸域測量
	林柏宇	測量組員	宏國德霖科技大學土木工程系	3 年	陸域測量/
	詹庭瑋	測量組員	健行科技大學應用空間資訊系	3 年	陸域測量
	阮行健	測量組員	國立臺灣大學海洋研究所	2 年	
光達處理	邱俊榮	副總經理/ 測量技師	成功大學測量工程研究所	22 年	光達掃瞄
	羅佩玲	測繪組長	公東高工資料處理科	10 年	點雲平差/編修
	吳曜宗	測繪工程師	國立東華大學臺灣文化學系	3 年	點雲編修
	涂家銘	測圖工程師	致理科技應用大學企業管理系	2 年	點雲編修
	馬翰成	測圖工程師	國立師範大學地理系	2 年	點雲編修
影像處理	蔡欣達	測量技師	政治大學地政學系	12 年	航空攝影測量
	羅翌蓉	測圖組長	中國科技大學二專室內設計系	16 年	UAV 影像處理
	陳永智	測圖員	台中市立大甲工業高級中等學校	1 年	UAV 影像處理

第三節 計畫使用軟硬體

表 6-2 軟體清單

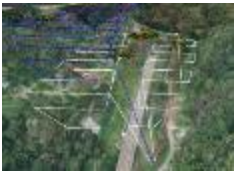
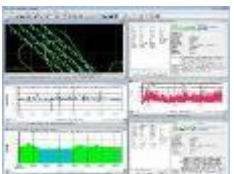
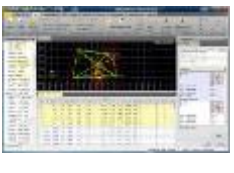
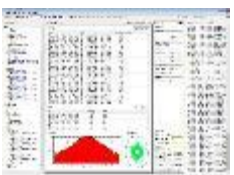
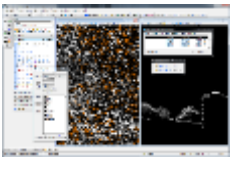
項次	軟體名稱	操作畫面	數量
1	整合 Mission Planner(開源無人機控制與規劃軟體)、QGC(開源的行動無人機控制與規劃軟體)、Google Earth(3D 地圖軟體)等開源工具		5
2	GrafNav、IE、POSPAC ：GNSS 軌跡解算 高精度動態解算 ARTK 模式可加入使用者自定義坐標以及基地站資料，提供使用者坐標系統框架之高精度解算成果。		2
3	Trimble Business Center ：靜態 GNSS 解算 全方位的解算、測繪軟體，整合 GNSS 資料、空中三角測量、數值製圖等作業。		1
4	Riegl 系列 ：點雲資料處理 結合 RiPROCESS、RiANALYZE、RiWORLD 系列軟體，解算空載光達波形式資訊並進行點雲平差作業，擁有人性化操作介面以及圖表展示功能，提高作業效率。		4
5	Microstation ：點雲資料處理/數值繪圖 TerraScan/ TerraModeler/ TerraMatch：點雲分類與編修，可支援紀錄 GPStime、類別、回波數、儀器編號等坐標值等資訊。		6
6	Scop++ ：DEM/DSM 網格內插 專門為了數值地形模型內插、管理、以及視覺化應用的軟體，其最適性內插演算能呈現自然地形起伏與走勢，成果廣為國內各級單位肯定。		2
7	Agisoft Metashape ：影像處理/空三平差 新一代的數位航測工作系統，能讀取各類數位影像資料，執行空三平差計算及偵錯，地面數值模型自動匹配量測及正射糾正鑲嵌等功能。		2
8	ERDAS IMAGINE LPS Orima ：影像處理/空三平差 專業數位航測工作系統，能讀取各類數位影像資料，執行空三平差計算及偵錯，地面數值模型自動匹配量測及正射糾正鑲嵌等功能。		1

表 6-3 硬體清單

用途	儀器型式/儀器精度及規格	儀器照片	數量
控制測量	STONEX 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：114.02.11~114.02.13 (詳如附錄三) 靜態 GNSS 測量/快速靜態/動態/RTK 測量 Horizontal: $\pm(2.5\text{mm}+1\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS Vertical: $\pm(5\text{mm}+01\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS		4
無人機光達掃描與攝影	RIEGAL miniVux-1-UAV 奧地利原廠校正率定時間：113.09.09 (詳如附錄三) 奧地利 RIEGL 公司的 Mini-Vux-1-UAV 無人機光達產品，提供高精度且全套資料處理解決方案。具全波形掃描模式，點雲資料率可達每秒 10 萬點，測距之準確度小於 15mm、量測距離最高達 290mm		1
	RIEGAL miniVux-1-UAV 奧地利原廠校正率定時間：112.12.15 (詳如附錄三) 奧地利 RIEGL 公司的 Vux-120 無人機光達產品，提供高精度且三條同步全波形掃描模式，點雲資料率可達每秒 200 萬點，測距之準確度小於 10mm、量測距離最高達 1430m		1
	SONY A7R IV、III 像機 像片尺寸達 6,100 萬像素，結合視野較廣(63 度)的 SONY SEL35F28Z 鏡頭(35mm)(表 2 23)，可提升作業效率，同時確保有效航高之彈性並提升安全性。		2
	SONY ILX-LR1 像機 ILX-LR1 機身重量僅在 250 公克以下，採用與 α 7R IV、 α 7R V 相同的 6100 萬畫素背照式感光元件，對應 ISO 100 至 32000 感光值，支援最高每秒 3 張連拍速度，本身也具備 XAVC S 4K 錄影功能，主要作為航拍紀錄使用，同時 Sony 也將開放遠端遙控功能，能將此功能整合於軟體功能。		1
	自強工程顧問有限公司 ST-X6120 無人機 為 MIT 之 6 軸旋翼機，全機設計、組裝與維修皆在台灣，確保了資訊保密與安全，並具備高度客製化相容各種感測器之能力。ST-X6 酬載重量 5 公斤以上，具有豐富的高階感測器整合方案，結合自主研發之減振雲台，降低振動對影像與點雲資料的影響，提升資料的品質。		2

第七章 承諾工作項目

第一節 無人機光達成果樹冠高程模型計算

近年來，光達技術憑藉其高精度、高效率的數據獲取能力，已成為生成高解析度 DSM 和 DEM 的重要手段。本計畫在無人機光達掃描及圖層產製工項中，可以蒐集完整的點雲資料，並且製作 DSM 以及 DEM。其中，可以利用 DSM 以及 DEM 兩項成果製作樹冠高程模型 CHM (Canopy Height Model, CHM)，其在環境監測與資源管理領域的面向，擁有相當大的應用潛力，甚至可能進一步的獲得不同樹種與水土保持規劃之間的關係。因此，本團隊以 CHM 作為一種重要的森林垂直結構量化指標，加值提供無人機光達成果 CHM 計算，並提供計算後成果(錯誤! 找不到參照來源。)，以期能夠精確呈現地表植被的高度資訊，為深入分析森林生態系統的組成、結構和功能提供關鍵數據。

本計畫使用已完成編修的點雲製作 20cmDEM 以及 20cmDSM 的規則化網格數值模型，並利用規則網格 DSM 減去 DEM 的高程，計算樹高模型(解析度同樣為 20cm)，如圖 7-1。

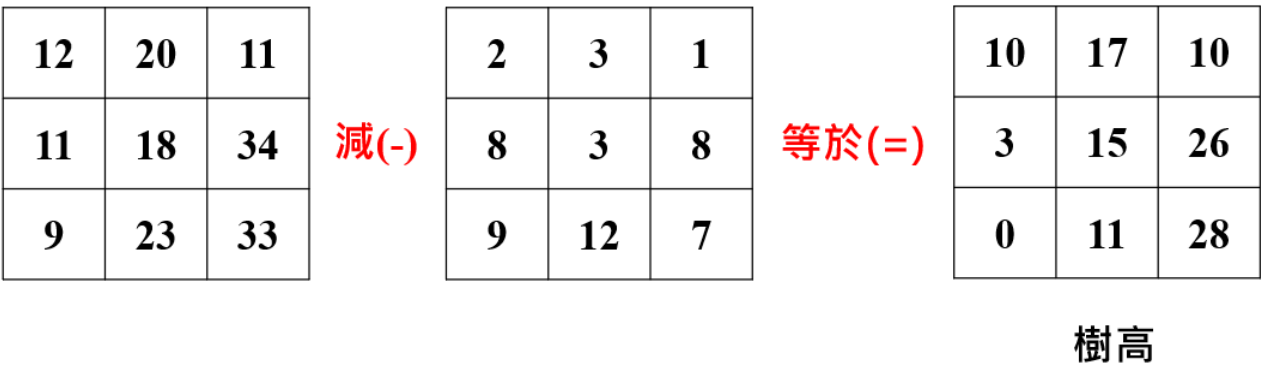


圖 7-1 樹高模型製作說明

此外，同樣利用編修後地表點作為基準，將所有點雲扣除鄰近地表高程，消除地形起伏所造成的影響，得到地上物高程點雲(以下簡稱 CHMlas)，提供給署內做後續研究應用。相關作業畫面列舉 BLL002 以及 BLL004 如圖 7-2 以及圖 7-3。

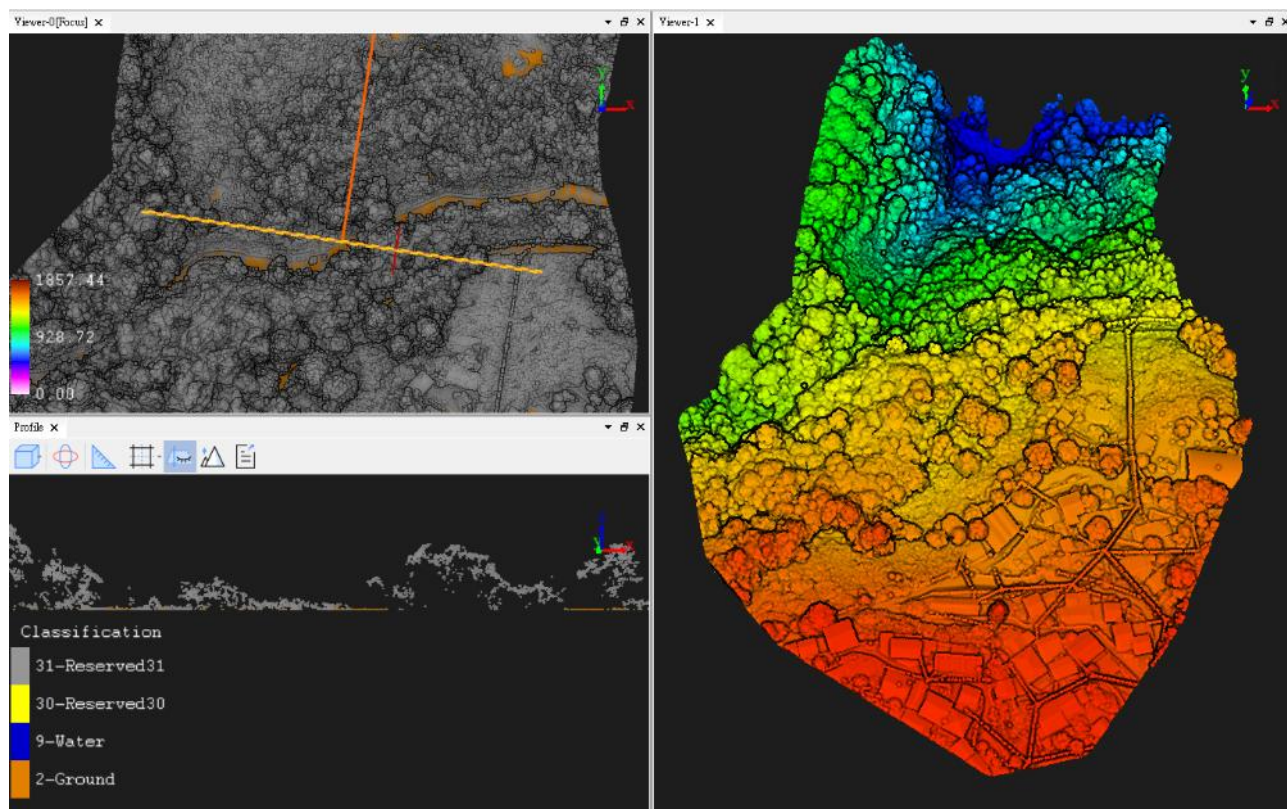


圖 7-2 地上物高程點雲-BLL002

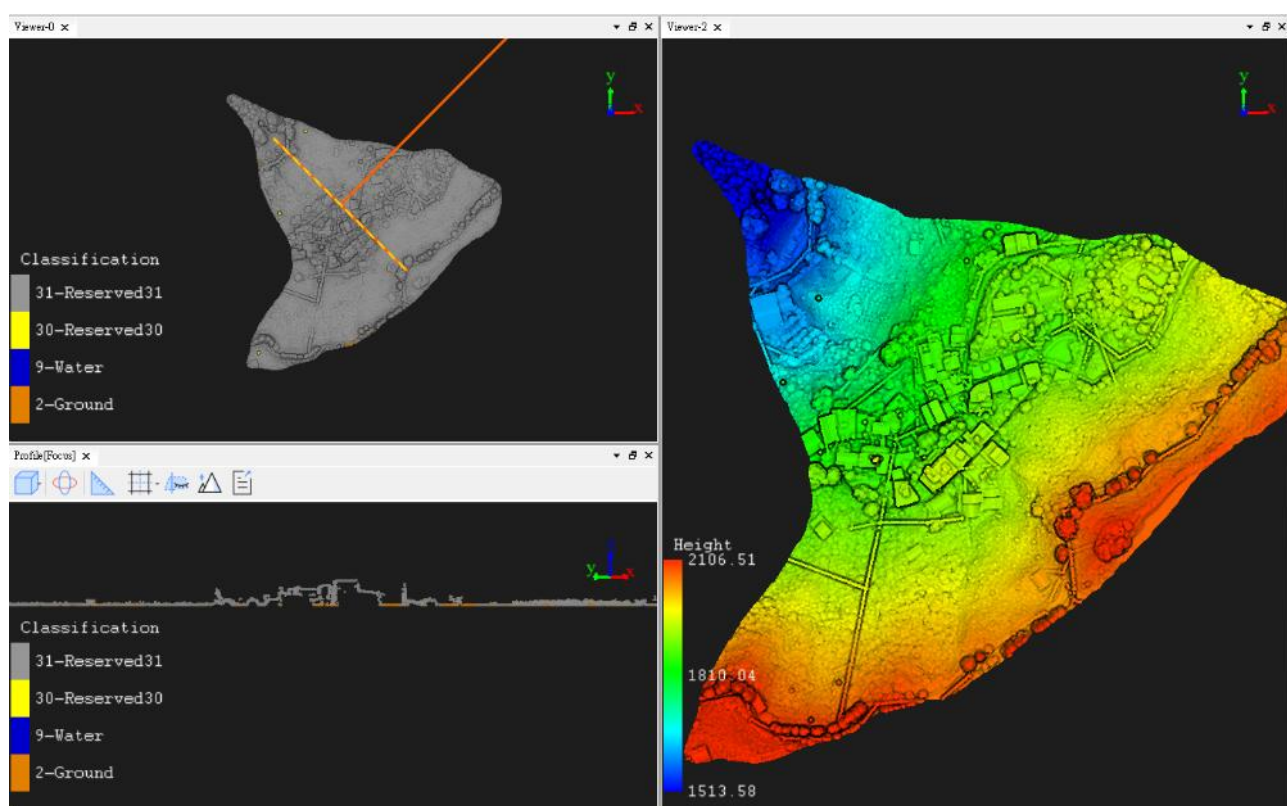


圖 7-3 地上物高程點雲-BLL004

參考文獻

1. 土石流防災資訊網-大規模崩塌潛勢區調查
https://246.ardswc.gov.tw/Landslide/Landslide_Evaluation
2. 內政部國土測繪中心(2011)大地基準及一九九七坐標系統 2010 年成果說明。
3. 內政部國土測繪中心(2011)發展高程測量現代化技術。
4. 內政部(2007)高精度及高解析度數值地形模型測製規範(草案)修訂(初稿)。
5. 曾清涼及儲慶美(1999)GNSS 衛星測量原理與應用，國立成功大學衛星資訊研究中心。
6. 曾義星(2005)空載光達資料誤差分析、航帶平差及生產數值地形模型之研究(2/3)，行政院國家科學委員會專題研究計畫。
7. 童俊雄(2005)空載光達系統誤差分析與航帶平差方法之探討，國立成功大學碩士論文。
8. 蔡欣怡(2004)結合雷射測高與強度資料進行區域平差可行性之研究，國立成功大學測量及空間資訊研究所碩士論文。
9. Behan, A. 2000. On the Matching Accuracy of Rasterised Scanning Laser Altimeter Data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, part B2, Amsterdam, pp. 75-82.
10. Burman, H., 2000. Adjustment of Laser Scanner Data for Correction of Orientation Errors, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, part B2, Amsterdam, pp. 125-132.
11. Crombaghs, M.J.E., Bruegelmann, R. and de Min, E.J., 2000. On the Adjustment of overlapping Strips of Laseraltimeter Height Data, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, part B2, Amsterdam, pp. 230-237.

12. Fritsch, D. and J. Kilian, 1994. Filtering and Calibration of Laser Scanner Measurements, Paper presented at ISPRS Commision III Symp. Muenchen, Sept. 1994.
13. Ferretti, A., Fumagalli, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, F., & Rucci, A. (2011). A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(9), 3460–3470. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2124465>
14. Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(5 I), 2202–2212. <https://doi.org/10.1109/36.868878>
15. Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(1), 8–20. <https://doi.org/10.1109/36.898661>
16. Kilian, J., Haala, N. and Englich, M., 1996. Capture and Evaluation of Airborne Laser Scanner Data, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna, Vol.31, part B3, pp. 383-388.
17. Latypov, D., 2002. Estimating relative LiDAR accuracy information from overlapping flight lines. ISPRS, 56, pp. 236-245.
18. Mass H.G., 2000. Least-Square Matching with Airborne Laserscanning Data in a TIN Structure. Interational Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. vol.33, Part 3A, pp. 548-555.
19. Mass H.G., 2002. Methods for measuring height and planimetry discrepancies in airborne laserscanner data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol.68(9),pp.933-940.

20. Morin, K. and N. El-Sheimy 2002. Post-Mission Adjustment Methods of Airborne Laser Scanning Data. FIG XXII International Congress, Washington, D.C.
21. Perissin, D., & Wang, T. (2012). Repeat-Pass SAR Interferometry With Partially Coherent Targets. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(1), 271–280. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2160644>
22. Schenk, T., 2001. Modeling and Recovering Systematic Errors in Airborne Laser Scanners, OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, Vol. OEEPE Publication no. 40, Stockholm, pp. 40-48.
23. Tamburini, A., Del Conte, S., Ferretti, A., & Cesa, S. (2014). Advanced Satellite InSAR Technology For Fault Analysis And Tectonic Setting Assessment. Application To Reservoir Management And Monitoring. <https://doi.org/10.2523/17574-MS>
24. Vosselman, G. and Maas, H.G., 2001. Adjustment and Filtering of Raw Laser Altimetry Data, OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, Vol. OEEPE Publication no. 40, Stockholm, pp. 62-73.
25. Wehr, A. and Lohr, U., 1999. Airborne Laser Scanning - an Introduction and Overview, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol.54,pp. 68-82.
26. Zilkoski D. B., Carlson E. E. and Smith C. L., 2008. Guidelines for Establishing GNSS-Derived Orthometric Heights, NOAA Technical Memorandum NOS NGS 59, National Geodetic Survey, Maryland, pp. 1-15.