



玉山國家公園管理處

55344 南投縣水里鄉中山路一段 515 號

網址：<http://www.ysnp.gov.tw/>

無障礙環境：電子信箱：tmc@ysnp.gov.tw

電話：(049) 2348-237

總機：(049) 2773-121 (代表)

傳真：(049) 2348-214

契約編號：109-18

玉山國家公園叢刊編號：1325

玉山國家公園西北園區航空攝影 與光達掃描作業暨圖資製作案

成果報告書



玉山國家公園管理處

中華民國 109 年 10 月

目錄

目錄	I
附件目錄	II
圖目錄	III
表目錄	VI
第一章 計畫概述	1
1-1 計畫緣起及目的	1
1-2 工作範圍	1
1-3 工作項目	2
1-4 繳交成果項目	2
第二章 工作規劃與執行方法	3
2-1 工作流程	3
2-2 儀器設備	5
2-3 空載光達掃描飛航計畫規劃與申請	9
2-4 控制測量	15
2-5 空載光達掃描施測資料獲取	29
2-6 光達掃描點雲資料處理	31
2-7 數值高程模型(DEM)與數值地表模型(DSM)製作	37
2-8 正射影像製作	49
2-9 圖幅接邊處理	57
2-10 影像自動匹配成果	58
2-11 執行成果展示影片製作	60
第三章 工作期程與管制維運計畫	61
3-1 計畫執行期程	61
3-2 進度管制計畫	62
3-3 品質管制與自主檢查	62
第四章 人力計畫及配置	64
4-1 組織架構	64

4-2 人力總整表.....	65
第五章 結論與建議.....	66
5-1 結論.....	66
5-2 建議.....	66

附件目錄

附件一	航空攝像機 PhaseONE iXU RS1000 測繪中心校正報告
附件二	空載光達掃描率定報告書
附件三	原始航空影像縮圖(垂直攝影鏡頭)
附件四	航測控制點點位調查表
附件五	地類檢核點坐標比對表及點位遠近照
附件六	自主檢查表
附件七	工作執行計畫書審查意見及回復
附件八	期中報告書審查意見及回復
附件九	期末報告書審查意見及回復

圖目錄

圖 1-1	計畫範圍.....	1
圖 2-1	本案工作計畫流程圖.....	3
圖 2-2	空載光達及航空攝影工作流程圖	4
圖 2-3	空載光達 Riegl LMS-Q780 實機照	5
圖 2-4	測量儀器校正實驗室-Q780 校正報告	6
圖 2-5	PhaseONE iXU-RS 1000 實機照.....	7
圖 2-6	Phase One iXU-RS 1000 NLSC 校正報告及原廠率定報告	8
圖 2-7	航線規劃成果圖.....	10
圖 2-8	內政部航攝申請公文.....	11
圖 2-9	航攝申請許可公文.....	12
圖 2-10	民航局飛航許可申請公文	12
圖 2-11	民航局飛航許可公文.....	13
圖 2-12	率定場航線規劃資訊.....	14
圖 2-13	率定成果精度分析圖.....	14
圖 2-14	空載光達掃描率定前後點雲剖面示意圖	15
圖 2-15	架次 1：109 年 6 月 3 日架次(上午)GNSS 資料連續性	16
圖 2-16	架次 2：109 年 6 月 3 日(中午)GNSS 資料連續性	16
圖 2-17	架次 3：109 年 6 月 5 日 GNSS 資料連續性	16
圖 2-18	GNSS 基地站與計畫範圍分布圖	17
圖 2-19	地類檢核點分布圖.....	18
圖 2-20	地類檢核點工作照.....	19
圖 2-21	航測標規格.....	20
圖 2-22	航測標現地標註照片	20
圖 2-23	空中三角測量作業畫面	21
圖 2-24	航線頭、中、尾控制點位置分布	23
圖 2-25	已知控制點與航測標分布圖	24
圖 2-26	GNSS 靜態解算作業流程	25

圖 2-27	GNSS 網形圖	27
圖 2-28	航測標控制點點位紀錄表	28
圖 2-29	架次 1：109 年 6 月 3 日架次(上午).....	29
圖 2-30	架次 2：109 年 6 月 3 日架次(中午).....	30
圖 2-31	架次 3：109 年 6 月 5 日架次	30
圖 2-32	空載光達掃描點雲成果初步展示(航線分色).....	31
圖 2-33	空載光達點雲解算處理流程	31
圖 2-34	空載光達點雲平差作業畫面	32
圖 2-35	點雲涵蓋範圍.....	33
圖 2-36	MStripAnalysis 軟體操作畫面	35
圖 2-37	空載光達點雲密度統計圖	36
圖 2-38	點雲密度檢核成果圖.....	36
圖 2-39	點雲人工編修畫面.....	37
圖 2-40	點雲編修分類成果示意圖	37
圖 2-41	SCOP++內插作業畫面.....	38
圖 2-42	DEM/DSM 成果示意圖.....	38
圖 2-43	計畫範圍 1/5000 圖幅分布	40
圖 2-44	level 2A DEM 產品等級之處理流程.....	42
圖 2-45	level 2B DEM 產品等級之處理流程.....	42
圖 2-46	地類檢核點成果-裸露地.....	43
圖 2-47	地類檢核點成果-植生地.....	44
圖 2-48	地類檢核點成果-林地	44
圖 2-49	地類檢核點成果-密林區	44
圖 2-50	DEM 31 幅全數通過檢核.....	45
圖 2-51	DSM 31 幅全數通過檢核.....	46
圖 2-52	數值高程模型(DEM)成果展示圖.....	47
圖 2-53	數值地表模型(DSM)成果展示圖.....	48
圖 2-54	影像正射糾正概念示意圖	49
圖 2-55	正射影像製作流程.....	49

圖 2-56	垂直攝影鏡頭影像涵蓋範圍分布圖	50
圖 2-57	使用 POS 數據糾正航拍影像製作畫面	51
圖 2-58	正射影像繳交圖幅分布	51
圖 2-59	正射影像製作畫面.....	52
圖 2-60	正射影像成果展示.....	53
圖 2-61	正射影像歷年成果接邊局部放大 1	54
圖 2-62	正射影像歷年成果接邊局部放大 2	54
圖 2-63	本案成果與公開影像比對-東埔地區	55
圖 2-64	本案成果與公開影像比對-鹿林山莊	55
圖 2-65	本案成果與 105 年成果比對-塔塔加遊客中心入口	56
圖 2-66	本案成果與 105 年成果比對-楠溪林道.....	56
圖 2-67	網格資料接邊處理示意圖	57
圖 2-68	玉山各年度分區接邊成果圖	57
圖 2-69	AOS-5 傾斜像機實機照	58
圖 2-70	ContextCapture Center 軟體影像 3D 建模畫面	58
圖 2-71	本案模型成果展示-東埔地區	59
圖 2-72	本案模型成果展示-鹿林山莊	59
圖 2-73	執行成果展示影片示意圖	60
圖 3-1	工作進度干特圖.....	61
圖 3-2	進度管制流程.....	62
圖 3-3	品質管制計畫流程圖.....	63
圖 3-4	六大自主檢查表.....	63
圖 4-1	計畫組織人力架構圖.....	64

表目錄

表 2-1	Riegl LMS-Q780 詳細規格	6
表 2-2	高精度 IGI IMU 詳細規格表	7
表 2-3	PhaseONE iXU-RS 1000.....	8
表 2-4	航空攝影與光達掃描航線規劃資訊	10
表 2-5	率定成果參數表.....	14
表 2-6	計畫區域 40 公里範圍內使用之 GNSS 衛星追蹤站	15
表 2-7	地類檢核點資訊.....	19
表 2-8	航線頭、中、尾控制點資訊	22
表 2-9	已知控制點資訊.....	24
表 2-10	已知控制點邊條件檢核成果	26
表 2-11	已知控制點角條件檢核成果.....	26
表 2-12	航測標測量成果.....	28
表 2-13	點雲平差成果資訊.....	32
表 2-14	點雲航線重疊率分析(面積單位：平方公里).....	33
表 2-15	計畫範圍涵蓋 31 幅 1/5,000 圖幅列表	39
表 2-16	計畫範圍涵蓋 96 幅 1/2,500 圖幅列表	39
表 2-17	高程基本精度 a (單位 m)	42
表 2-18	地形類別調整參數 b (單位 m)	42
表 2-19	地表植被覆蓋情形調整參數 c (無單位).....	42
表 2-20	DEM 地類檢核點總成果	43

第一章 計畫概述

1-1 計畫緣起及目的

為獲取較大尺度之空間資訊及提升圖資準確度，玉管處已完成玉山主峰線區域及南二段周邊區域共 290 平方公里之航空傾斜攝影暨空載光達掃描作業，產製高精度正射影像及數值高程模型圖資，為持續建置園區重要區域之空間資訊，並作為玉管處辦理通盤檢討計畫底圖參考，以掌握園區重要服務據點及周邊區域之環境現況，本(109)年度規劃建置西北園區之範圍區域，爰辦理此案。

1-2 工作範圍

本次規劃於西北園區及周邊區域進行航空傾斜攝影暨空載光達掃描作業、彩色正射影像與數值高程模型(DEM)等圖資製作，本案(109 年)執行範圍如圖 1-1 紅線範圍所示，製作成果需與玉管處既有資料(105~108 年)接邊，面積約 109.82 平方公里。



圖 1-1 計畫範圍

1-3 工作項目

- 一、空載光達掃描飛航計畫規劃與申請。
- 二、地面 GNSS 基地站控制測量。
- 三、空載光達掃描施測資料獲取。
- 四、光達掃描點雲資料處理。
- 五、數值高程模型(DEM)與數值地表模型(DSM)製作、正高改算、人工檢核與編修及圖幅鑲嵌處理等。
- 六、正射影像製作。
- 七、圖幅接邊處理。
- 八、影像自動匹配成果

1-4 繳交成果項目

繳交項目	份數
一、成果報告書(印刷定稿本之樣式、紙張、彩色照片、圖幅等，應先徵得玉管處同意)	12 份
二、完整成果資料(電子檔以 USB 外接式硬碟方式繳交)	3 份
(一) 航空傾斜攝影作業暨空載光達掃描作業 ■ 航空攝影計畫 ■ 航線涵蓋圖、航拍紀錄(攝影日期、天氣資料) ■ 航空測量攝影機之校正報告、LiDAR 系統率定報告 ■ 飛機上 GNSS 及 IMU 原始資料 ■ 攝影站坐標(GNSS 輔助空三需檢附基地站坐標) ■ 原始航拍影像(tiff 檔)及航空攝影自主檢查表 ■ 繳交成果需含平差後原始空載點雲(las 檔) ■ 空中三角平差報表(含最小約制與強制符合)及解算資料。 ■ 空載光達檢核密度圖、空三成果自我檢核紀錄(至少有 5 個檢核點) (二) 正射影像及數值高程模型圖資製作 ■ 分幅 1/2500、1/5000 彩色正射影像(tiff 檔，含坐標定位檔)，提供 TWD97【2010】及 WGS84 經緯度等兩種坐標系統。 ■ 產製 1m DEM 數值高程模型，提供 TWD97[2010]及 WGS84 經緯度 2 種坐標系統。 ■ 繳交 1/2500、1/5000 圖幅 DEM 成果(含 DSM 圖資，資料欄位包括 XYZ 檔)。 ■ 繳交 1/5000 圖幅之 DEM 及 DSM 成果相關檢核明細、成果列表。前項成果檔案，至少包含:檔案清單、詮釋資料檔(.xml)、檔頭資料檔(.hdr)、網格資料檔(.grd)。 (三) 影像自動匹配成果 (四) 執行成果展示影片製作(內容包含所有成果資料，執行範圍需套疊山岳、山屋及視需要標示重要地標)，片長約 3 分鐘，以常用的檔案格式(如.AVI、.WMV、.MPEG、.FLV)之一繳交 以上繳交之圖資成果雖驗收合格後，仍需再經玉管處委由第三方機關(團體)等單位協助進行成果檢查，如有不符內政部相關規定或修正建議者，應於接獲玉管處函請依契約工作項目及期限之 30 日內，完成無償修改及檢附修正後之自主檢查資料送玉管處備查，俟無待解決事項後 30 日內發還履約保證金(如無辦理則免)。	
三、報告書內容、圖表成果之資料檔案 報告書電子檔應包含內文檔、封面檔(*.jpg)且內文、封面之*.doc 檔及*.pdf 檔應各合併為 1 個檔案、各階段簡報(*.ppt 檔)等本案成果電子檔資料。	

第二章 工作規劃與執行方法

2-1 工作流程

本計畫依據各項工作項目包括空載光達掃描飛航計畫規劃與申請、地面 GNSS 基地站控制測量、空載光達掃描施測資料獲取與處理、數值高程模型(DEM)與數值地表模型(DSM)製作、正高改算、人工檢核 與編修及圖幅鑲嵌處理等，彙整工作流程如圖 2-1。

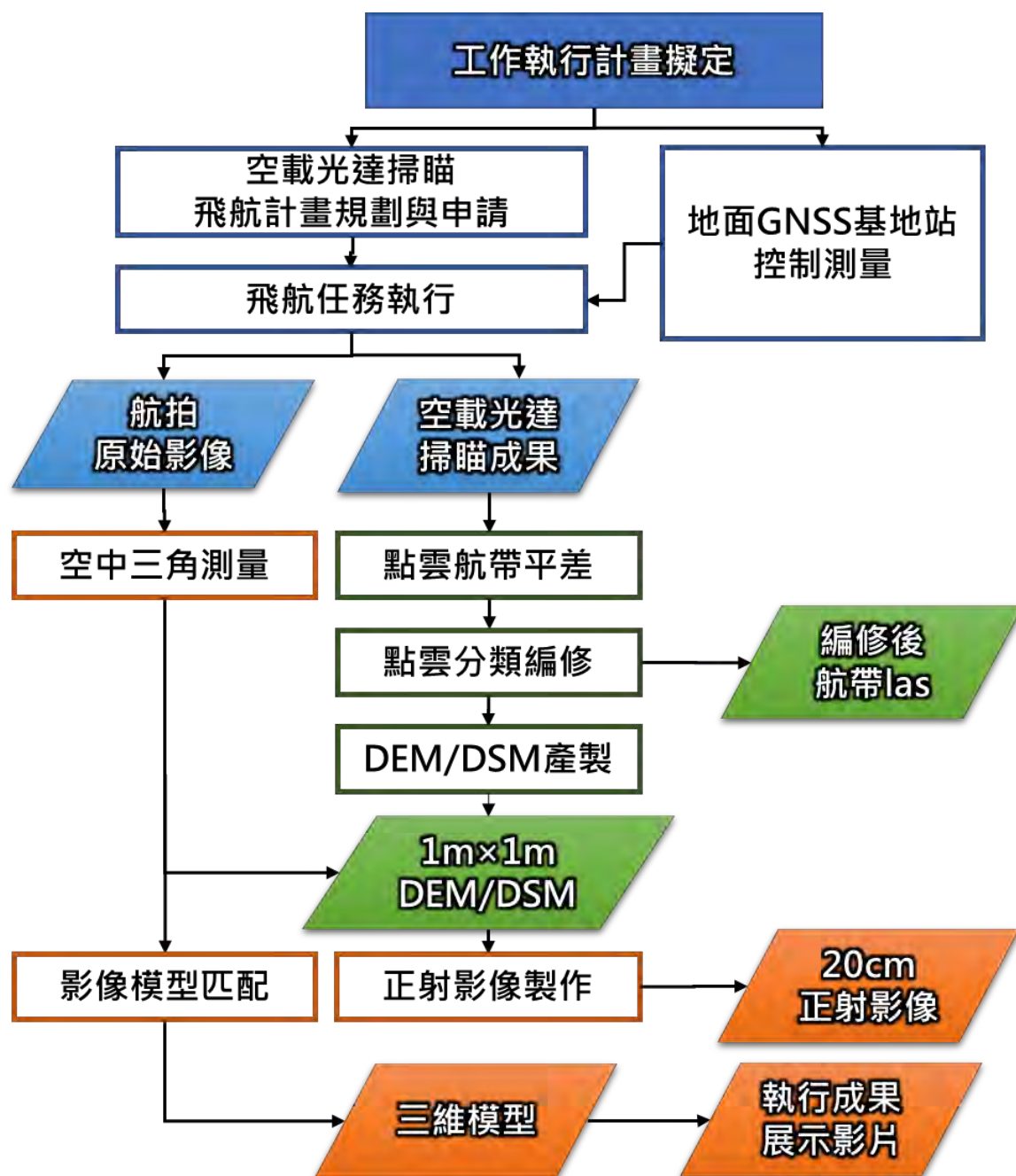


圖 2-1 本案工作計畫流程圖

本計畫空載光達掃描、航空攝影測量以及控制測量等作業較為繁複，特整理相關作業流程如圖 2-2，其中包含空中與地面之任務規劃、資料獲取、資料解算以及相關成果產製流程，詳細說明詳如本章節。

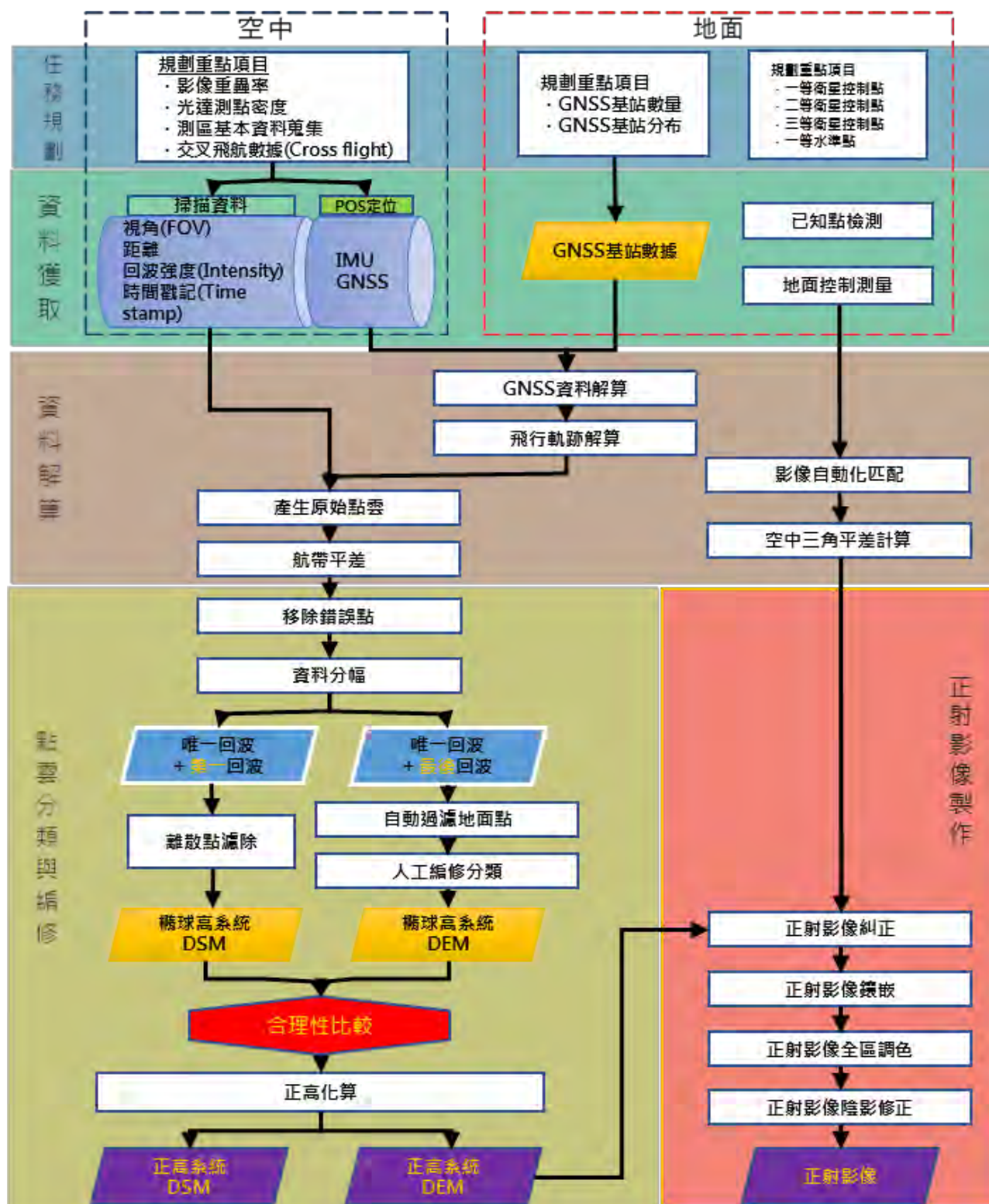


圖 2-2 空載光達及航空攝影工作流程圖

2-2 儀器設備

依據內政部國土測繪中心「108 及 109 年度內政部 LiDAR 技術更新數值地形成果測製工作」規定應具有最近 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，及依據內政部「一千分之一航測地形圖測製作業規定」航測攝影機必須提出最近 5 年內攝影機檢定報告及合格證明書(經實驗室或地面檢定場檢定)，本案儀器使用均符合以上作業規定詳述如後，校正(檢定)報告如附件一與附件二。

一、空載光達掃描儀 Riegl LMS-Q780

本團隊使用 Riegl LMS-Q780 空載光達掃描設備(圖 2-3)，具有多時段光達回波接收技術以及數位全波形分析，這兩項技術的結合大幅提升在複雜的地形執行掃描任務的作業效率，並獲得真實地表高程成果。此外，本儀器具有 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(圖 2-4)做為品保參據，其報告內容經內政部國土測繪中心「108 及 109 年度內政部 LiDAR 技術更新數值地形成果測製工作」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 2-1，校正報告如附件二-空載光達掃描率定報告書之附件。



圖 2-3 空載光達 Riegl LMS-Q780 實機照

校正報告

校正項目：空載光達
報告日期：197 年 12 月 20 日
報告編號：J10713260101

儀器名稱：空載光達
廠牌型號：RIEGL/Q780
儀器序號：2220651
送校單位：自強工程顧問有限公司
地址：新北市中和區新街 112 號 5 樓

上述儀器經本實驗室校正，結果如內文。
本報告封面及 2 頁內文，分離使用無效。



報告簽署人

內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室
臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓

3.2 本符合性聲明採用之決定規則係使用顧客所提供規範或標準規定進行判斷；當顧客未提供或指定任何規範或標準時，係參考內政部最新年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核規定，當平面方向器差平均值或高程方向器差均方根值小於或等於判斷標準時為合格，反之不合格。

3.3 符合性判斷結果
使用規範標準名稱：108 年度內政部 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核規定
使用規範標準版本：1.0
使用決定規則來源：108 年度內政部 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核規定
使用決定規則版本：1.0

	器差平均值(mm)	器差均方根值(mm)	規範標準(mm)	判斷結果
平面方向	120	-	500	合格
高程方向	-	8	250	合格

註：空載光達資訊與飛航掃描參數

雷射掃描儀	廠牌：RIEGL	型號：Q780	序號：2220651
	測距精度：20mm		掃描發散角：51°
	掃描角解析度：3.6"		
衛星定位系統 GNSS	廠牌：Antcom	型號：G5Ant	序號：42AT1
	平面定位精度：50mm		高程定位精度：100mm
空載光達資訊	廠牌：IGI AeroControl	型號：IMU-IIe	序號：09-0120

圖 2-4 測量儀器校正實驗室-Q780 校正報告

表 2-1 Riegl LMS-Q780 詳細規格

System Model	LMS-Q780		
Serial Number	2220561		
Main Dimensions (L x W x H)	480 × 212 × 279 mm		
Weight	approx. 20 kg		
Max. Flight Altitude	18500 ft (5600 m) above MSL *) Note: Data Recorder DR680 useable in operation up to 18,000 ft (5,500 m), DR560 useable in operation up to 16,500 ft (5,000 m), DR560-RD up to 10,000 ft (3,050 m).		
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)		
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 $< 50\%$)		

二、高精度 IMU-IGI IMU

本計畫空載光達設備搭配高精度 IGI IMU，其儀器規格詳如表 2-2，其滾動 Roll、顛頗 Pitch 之精度小於 0.015 度；偏航 Yaw 之精度小於 0.05 度。

表 2-2 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: $0.122 \times 10^{-3} \text{ m / s}^2$ (@ 128 Hz) resolution: $0.061 \times 10^{-3} \text{ m / s}^2$ (@ 256 Hz)
	Computer: 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
	Data storage: PC card, 512 MB

三、航空像機- PhaseONE iXU-RS 1000

1 億像素的辨識率：在 1 億像素的辨識率下，iXU 像機可提供 11,608 像素的橫向覆蓋範圍，同時在飛行中保持相同的地面採樣距離 (GSD)，提供高品質的影像成果。相關實機照如圖 2-5，儀器詳細規格詳如表 2-3。



圖 2-5 PhaseONE iXU-RS 1000 實機照

表 2-3 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 × 36 mm。
6	感光度 (ISO)	50 - 6400	
7	像機類型	用於航空攝影的中像幅像機	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, TIFF, JPG 可輸出 8-bits、16bits	符合繳交成果提供原始航拍影 像(.tif 檔)

本計畫所使用之像機於 108 年 3 月獲得內政部國土測繪中心校正報告，其平面方向器差為 2.3 公分；高程方向器差為 6 公分，皆符合內政部公告之「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」，校正報告如圖 2-6 以及附件一。另外，本團隊所添購之五台 1 億畫素像機皆經過 PhaseONE 原廠率定，率定成果文件如圖 2-6。

校 正 報 告

校正項目：航空測量攝影機
報告日期：108 年 4 月 1 日
報告編號：F201902120101



儀器名稱：航空測量攝影機
廠牌型號：PHASE ONE/iXU-RS-1000
儀器序號：YC030264
送校單位：自強工程顧問有限公司
地 址：23545 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。
本報告含封面及 9 頁內文，分離使用無效。



報告簽署人

內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室
臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓



Date: February 06, 2018

Camera Calibration Certificate

Camera Name	Phase One iXU-RS-1000
Back Serial Number	YC030264
Sensor Resolution	11608 x 8708 (100 MP) (X Axis; Y Axis)
Pixel Size	4.6 µm
Lens Type & Focal Length	50 MM
Lens Serial Number	12402555
Distance Setting	Infinity [m]
Date Of Calibration	06-Feb-18

Calibration Lab - Phase One.

Signed by - Ahs

YC030264 - 50 MM
Page 1 of 4

圖 2-6 Phase One iXU-RS 1000 NLSC 校正報告及原廠率定報告

2-3 空載光達掃瞄飛航計畫規劃與申請

空載光達掃瞄飛航計畫規劃與申請為符合本計畫之基本需求，廠商申請之飛航計畫範圍及航線規劃應包含全部工作區域。規劃之飛行時間起迄點需與本案契約簽定後之日期相符。

一、航線規劃成果與作業規定

- (一) 本案首次飛航前及每次儀器經拆卸後之首次飛航前，均需進行光達系統率定。率定報告至少需包含系統率定方法、日期、地點、原始率定資料、計算過程紀錄(含關鍵之軟體處理畫面、率定結果校差不得超過 10 公分)及成果精度說明等相關資料。
- (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) 光達測點密度：本案掃瞄區域所有航帶重疊後之原始數據之第一或最後回波 100×100 平方米之平均密度，於中高海拔地區(高程 800 米以上)應高於每平方米 2 點，至於低海拔及河川洪泛溢淹地區(高程 800 米以下)應高於每平方米 1 點。
- (四) 航帶重疊比例：其重疊率應大於 30%。
- (五) 每條航線至少應有 2 個 GNSS 基站同步接收 GNSS 觀測量。所用之 GNSS 接收儀須為雙頻儀器，每秒至少接收 1 筆數據，且基站與航線範圍的距離應小於 40 公里。飛航時定位光達掃瞄之 FOV 設定不應超過 40 度。依據『內政部 LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)』規定，進行率定場之率定作業時，地面 GNSS 基站接收頻率皆須達 2Hz；其餘飛航掃瞄時地面 GNSS 基站接收頻率應達 1Hz。
- (六) 交叉飛航數據(Cross Flight)：作業區域範圍內各條航線每隔至多 25 公里，應進行垂直各航線之交叉飛航掃瞄。

二、航線規劃成果

依據前述航線規劃作業規定，規劃本計畫測區航線相關資訊如表 2-4，共 21 條航線，總長為 325 公里，航線規劃成果以及計畫範圍套疊如圖 2-7。**(服務建議書原規劃 20 條，經評選委員建議，重新規劃航線為 21 條)**

表 2-4 航空攝影與光達掃描航線規劃資訊

項次	項 目	規 劃 資 訊	備 註
1	飛航高度	3800~4600 m	
2	航拍測線	21 條	-
3	飛航長度	325 公里	-
4	iXU RS-1000 影像	GSD	≤ 20 cm
5		左右重疊	≥ 53 %
6		前後重疊	≥ 80 %
7	Riegl LMS-Q780	左右重疊	≥ 30 %
8		發射頻率	230 kHz
9		光達強度	100 %
10		密度	≥ 2 點/m ²

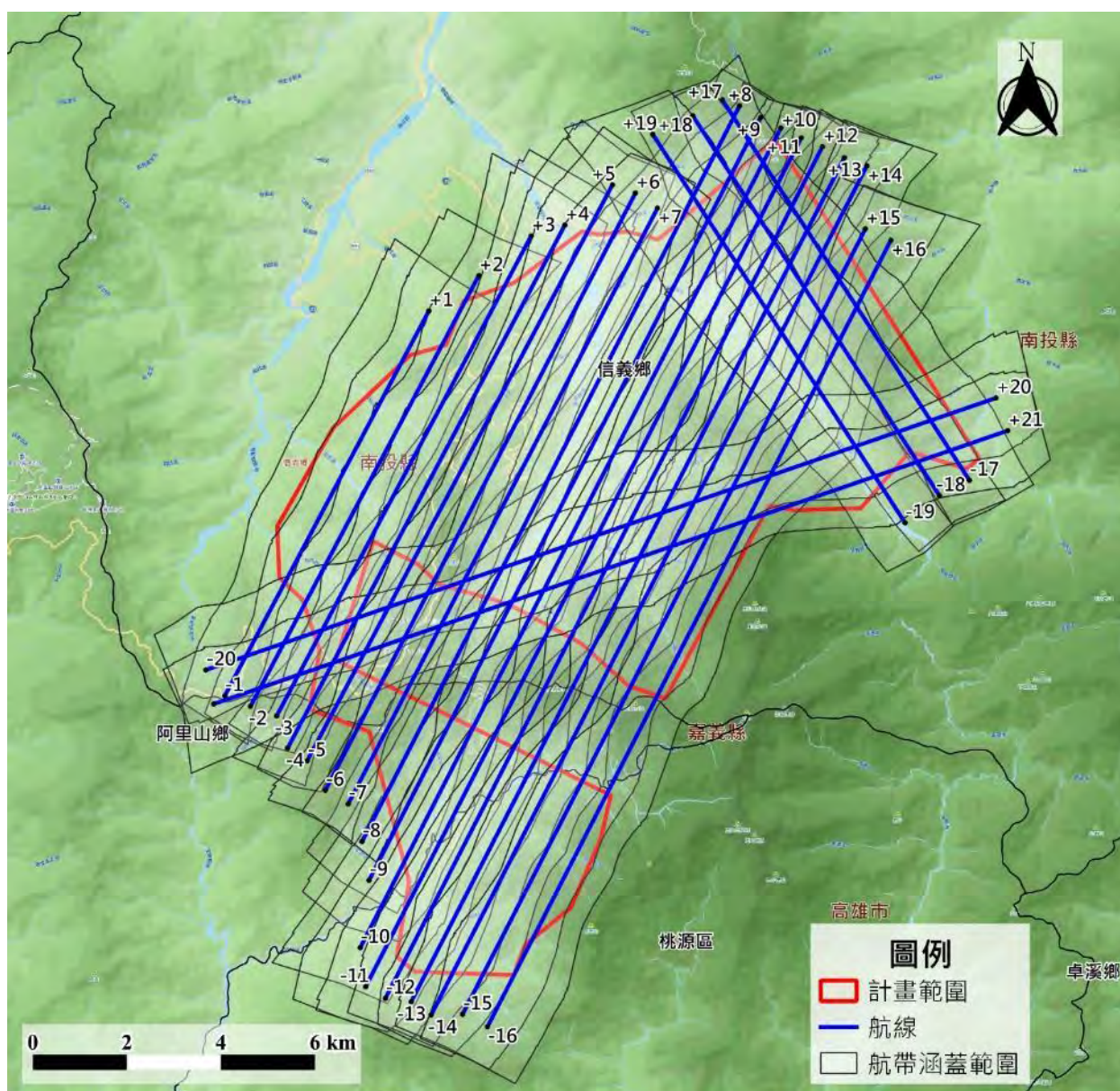


圖 2-7 航線規劃成果圖

三、航線規劃申請

本計畫於決標當日 109 年 2 月 18 日(自工字第 109026219 號)依「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」規定提出實施計畫以公文向內政部申請航攝許可並副知玉管處，符合作業規定(決標後 20 日內，109 年 3 月 10 日)，並於 109 年 3 月 20 日獲得內政部核准(台內地字第 1090110620 號)，續於 109 年 3 月 20 日向民航局申請飛航許可(自工字第 109036272 號)，並於 109 年 4 月 8 日獲得許可(空運管字第 1090009040 號)，相關函文掃描檔如圖 2-8 致圖 2-11。

正本	檔 號：
發文方式：郵 寄	保存年限：


自強工程顧問有限公司 函

公司地址：235 新北市中和區新民街112號5樓
 聯 絡 人：張舒婷
 聯絡電話：02-22252200#分機251
 傳真電話：02-32349980
 電子信箱：251@st2200.com

10017
 台北市中正區徐州路5號
 受文者：內政部

發文日期：中華民國109年02月18日
 發文字號：自工字第 109026219 號
 速 別：一般
 附 件：航攝實施計畫書乙式3份（副本無附件）。

主 旨：本公司承攬玉山國家公園管理處「玉山國家公園西北園區航空攝影與光達掃描作業暨圖資製作案」，檢送航攝相關文件申請航攝許可，敬請 惠予核准，請 查照。

說 明：依據「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」第3條規定，檢送航攝實施計畫書乙式3份、航攝地區範圍圖(附件一)、辦理航攝業務之設備清冊(第四項)、營利事業登記證(第十項)、測繪業登記證(第十一項)、議價紀錄(第十三項)、招標公告(第十四項)供 貴部辦理審查，請准予航空攝影工作。

正本：內政部
 副本：玉山國家公園管理處

董事長 **賴澄漂**

圖 2-8 內政部航攝申請公文

檔 號： 保存年限： 內政部 函 地址：10017臺北市中正區徐州路5號 聯絡人：廖英雄 聯絡電話：2355-3339 電子信箱：mo15724@mail.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3月20日 發文字號：台內地字第1090113020號 類別：普通件 密等及解密條件或保密期限： 附件： 主旨：貴公司受玉山國家公園管理處委託辦理「玉山國家公園西北園區航空攝影與光達掃描作業暨圖資製作案」，申請實施航空測量攝影1案，原則同意，請查照。 說明： 一、依據國土測繪法第55條規定及國防部109年3月18日國情整備字第1090055130號函辦理，並復貴公司109年2月18日自工字第109026219號函。 二、貴公司實施航空測量攝影期間為核准次日起至109年10月20日止，本案實施航空測量攝影獲取成果，請依「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」第8條及第9條規定，於沖洗或影像處理後，送本部會同國防部審查，以完備程序；並於執行任務完竣後60日內編製相關文件送本部備查。 三、請依「普通航空管理規則」第9條規定於執行航空攝影作業5工作日前，檢附相關文件向交通部民用航空局申請核准，並應依據飛航規則、飛航指南等相關規定飛航。 四、另請於執行航空攝影任務時，勿涉軍事機敏設施，並於任 第 1 頁，共 2 頁	務前2日通知國防部、空軍司令部、空軍作戰指揮部及軍事飛航單位，以修飛安。 五、貴公司對本處分如有不服，應於接到本處分書次日起30日內，逕具訴願書送由本部陳轉行政院提訴願。 正本：自強工程顧問有限公司 副本：國防部、交通部民用航空局、玉山國家公園管理處 第 2 頁，共 2 頁
---	--

圖 2-9 航攝申請許可公文

正本 發文方式：傳 真  自強工程顧問有限公司 函 公司地址：235 新北市中和區新民街112號5樓 聯絡人：張衍婷 聯絡電話：02-22252200#分機251 傳真電話：02-32349980 電子信箱：251@st2200.com 10548 台北市松山區敦化北路340-15號 受文者：大鵬航空股份有限公司 發文日期：中華民國109年03月20日 發文字號：自工字第 109036272 號 速 別：一般 附 件：機上工作人員名冊乙式乙份 主 旨：本公司欲執行玉山國家公園管理處委託「玉山國家公園西北園區航空攝影與光達掃描作業暨圖資製作案」，擬使用本公司P68C-TC飛行器及BN-2型飛行器執行航攝工作，請貴公司協助辦理民航局飛航許可，請 查照。 說 明：1. 作業範圍為南投縣、嘉義縣、高雄市。 2. 預計作業時間為核准次日起至109年10月20日。 3. 檢附機上工作人員名冊乙式乙份。 正本：大鵬航空股份有限公司 副本： 董事長 賴澄漂

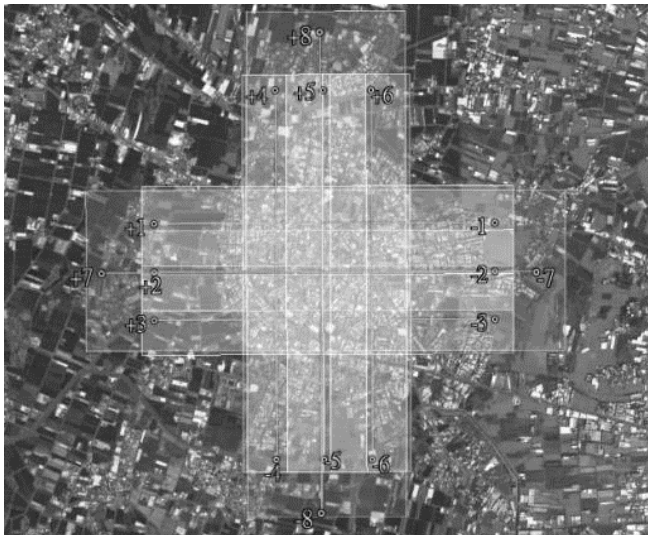
圖 2-10 民航局飛航許可申請公文

交通部民用航空局 函 地址：台北市敦化北路340號 傳真：(02)23435352 聯絡人：李松榮 聯絡電話：(02)23436047 電子郵件：ch170918@mail.caa.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4月8日 發文字號：空運管字第109003010號 類別：普通件 附件：如左(申請書及航圖各份)(1090009340-0-3.pdf) 主旨：貴公司使用BN-2型機(國籍編號：B-68802)及P68C TC型機(國籍編號：B-77709)於南投縣、嘉義縣及高雄市等地區執行自強工程顧問有限公司委託之「玉山國家公園西北園區航空攝影與光達掃描作業暨圖資製作案」所需航空測量攝影作業一案，同意自本局核准次日起至109年10月20日止辦理，請查照。 說明： 一、貴公司109年3月23日略(109)字第010號申請書。 二、請依據「航空器飛航作業管理規則」、「航空產品與各項裝備及零組件適航維修管理規則」、「飛航規則」、「飛航指南」等相關規定作業，作業前應先與相關航管單位協調並保持密切聯繫。 三、作業範圍應符合內政部同意之航攝區域，另執行作業1工作日前務必將飛航作業地區簡圖(應附有比例尺之簡圖，包括：飛行路線及作業範圍)送交本局飛航服務總室。 四、本案因涉及航空測量作業，請依「國土測繪法」、「實施 第 1 頁，共 2 頁	航空測量攝影及遙感探測管理規則」相關法規及內政部109年3月20日台內地字第1090110620號函辦理。 五、執行航空攝影任務時，勿涉軍事機密設施，並於任務前2日通知國防部、空軍司令部、空軍作戰指揮部、當地軍方起降基地、當地航空站、軍事飛航單位及飛航管制聯合協調中心(JCC)等單位。另將本案空照成果送交國防部情報參謀次長室檢查。如涉機密資料部分，請按「國家機密保護法」、「臺灣堡壘地帶法」及其相關法規之規定妥慎處理。 六、嚴禁未依核准之作業項目實施作業，嚴禁在未依核准之臨時性起降場所起降或搭載未經核准之乘員，否則依民用航空法第112條之6規定，處新臺幣6萬元以上30萬元以下罰鍰。 正本：自強工程顧問有限公司、國防部參謀本部情報參謀次長室、國防部參謀本部作戰及計畫參謀次長室(戰情中心)、國防部參謀本部戰術訓練處、陸軍航空特戰旅、國防部海軍司令部戰備訓練處、海軍艦隊指揮部、海軍陸戰隊指揮部、海軍航空艦隊、國防部空軍司令部、空軍作戰指揮部、內政部地政司、內政部警政署、內政部警政署航空警察局、飛航管制聯合協調中心、交通部民用航空局飛航服務總室、交通部民用航空局高雄國際航空站、交通部民用航空局臺中國際航空站、交通部民用航空局嘉義航空站、本局飛航服務總室、飛航管制中心(均含附件) 第 2 頁，共 2 頁
--	--

圖 2-11 民航局飛航許可公文

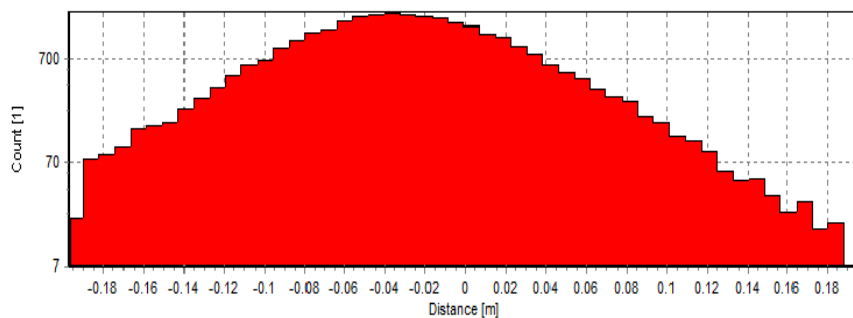
四、空載光達掃描率定作業

- (一) 首次飛航前及每次儀器經拆卸後之首次飛航前應進行光達系統率定，藉以確認後續施測任務之資料品質。率定後可校正率定前不穩定資料至正確位置。本計畫光達率定方法及規範參考空載光達掃描儀器原廠建議率定說明文件、內政部之 LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)及本計畫契約書規定辦理。
- (二) 本計畫選用 Riegl LMS-Q780，依據 Riegl 原廠建議率定說明文件，選定彰化縣和美都市計畫區為率定場，規劃 6 條航線(航高 500m)，並增加航線 7、8 確認飛行(航高 1000m)檢核率定成果，詳細規劃資訊如圖 2-12。
- (三) 本計畫於 109 年 5 月 15 日執行飛航率定掃描任務，共 8 條航線(含正規率定航線與確認飛行)，並使用 Riegl RiPROCESS 軟體進行率定解算作業，成果中誤差為 2.04cm 符合作業規定(中誤差小於 10cm)，相關成果詳如圖 2-13 以及附件二空載光達掃描率定報告書。
- (四) 空載光達掃描率定報告書內容包含率定作業規劃、率定作業執行、率定計算成果、確認飛行成果以及控制點檢核成果，率定成果前後剖面示意圖如圖 2-14。

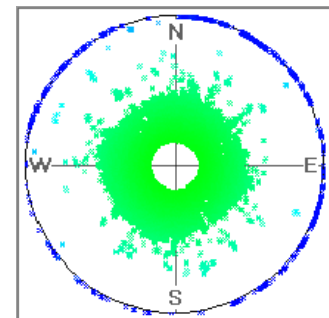


項目	內容
航高	500m (航線 1~6) 1000m (航線 7~8)
光達脈衝 頻率	400 KHz
航線方向	東—西 (航線 1~3、7) 南—北 (航線 4~6、8)
點雲密度	大於 4 點/平方米
側向重疊	大於 50%

圖 2-12 率定場航線規劃資訊



(a) 高程精度直方圖(縱軸非等比)



(b) 平面精度方向分布

圖 2-13 率定成果精度分析圖

表 2-5 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	94953	率定解算結果
	Error (Std. deviation) [m]	0.0204	
	Roll (°)	-0.04076	
	Pitch (°)	0.26698	
	Yaw (°)	-0.24814	
	X [m]	0.057	以儀器規格計算
	Y [m]	0.019	
	Z [m]	0.261	

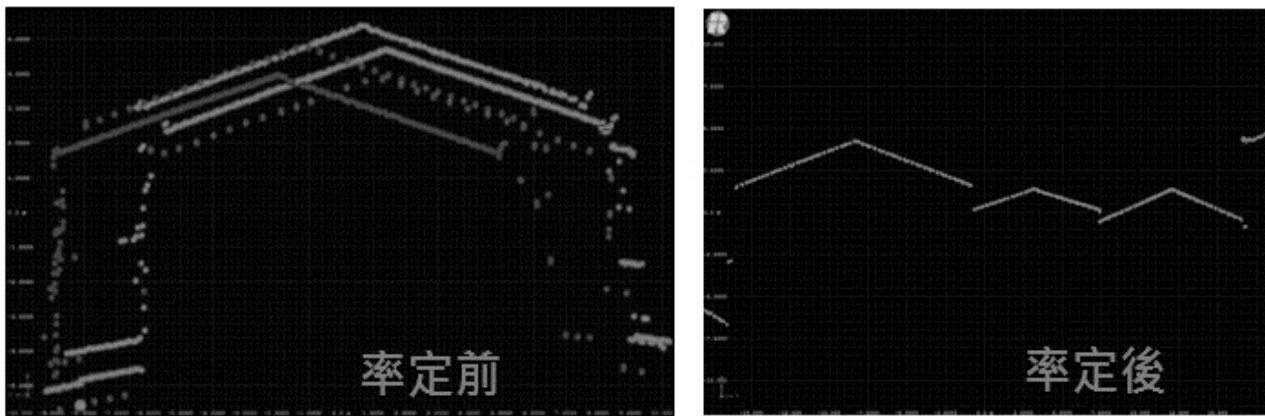


圖 2-14 空載光達掃描率定前後點雲剖面示意圖

2-4 控制測量

一、地面 GNSS 基地站(衛星追蹤站)

- (一) 空載光達資料獲取同時，應於掃描區域內 40 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)的地面基地站，展繪地面基地站與計畫範圍如圖 2-18。
- (二) 本計畫於 109 年 6 月 3 日(2 架次)、109 年 6 月 5 日(1 架次)共執行 3 架次飛航掃描作業，使用地面基地站共七站(包括內政部國土測繪中心架設之 JHCI、JULI、SINY、TAYN、WULU 五站，以及自強公司自行架設基地站 ST12、ST13 兩站)，採用周圍測繪中心基站並使用測區內自架 2 基站除了因為距離較近，並可做為雙重確認，搭配兩種資料來獲得最佳解算成果。基地站詳細資訊如表 2-6。基地站資料於各架次起飛前後皆有完整資料接收與涵蓋(詳如圖 2-15、圖 2-16 以及圖 2-17)，彙整本計畫使用之 GNSS 基地站，以及計畫區域外擴 40km 範圍繪製 GNSS 基地站與其分布圖如圖 2-18。

表 2-6 計畫區域 40 公里範圍內使用之 GNSS 衛星追蹤站

項次	站碼	站名	行政區	概略橢球高程(m)	單位
1	JHCI	竹崎	嘉義縣竹崎鄉	151	內政部國土測繪中心
2	JULI	玉里	花蓮縣玉里鎮	178	內政部國土測繪中心
3	SINY	信義	南投縣信義鄉	536	內政部國土測繪中心
4	TAYN	桃源	高雄市桃源區	646	內政部國土測繪中心
5	WULU	霧鹿	臺東縣海端鄉	928	內政部國土測繪中心
6	ST12	ST12	南投縣信義鄉	1188	自強工程
7	ST13	ST13	南投縣信義鄉	1188	自強工程

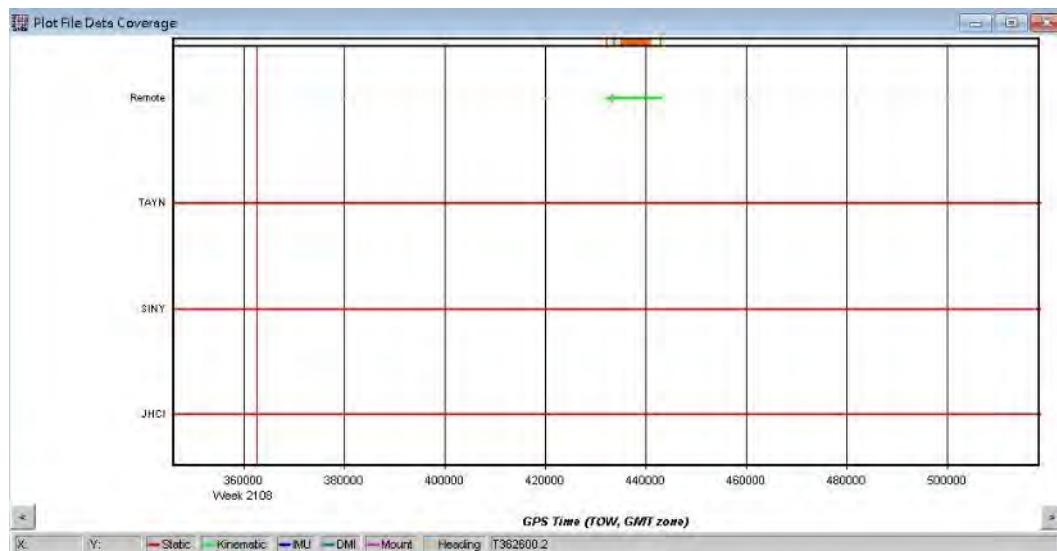


圖 2-15 架次 1：109 年 6 月 3 日架次(上午)GNSS 資料連續性

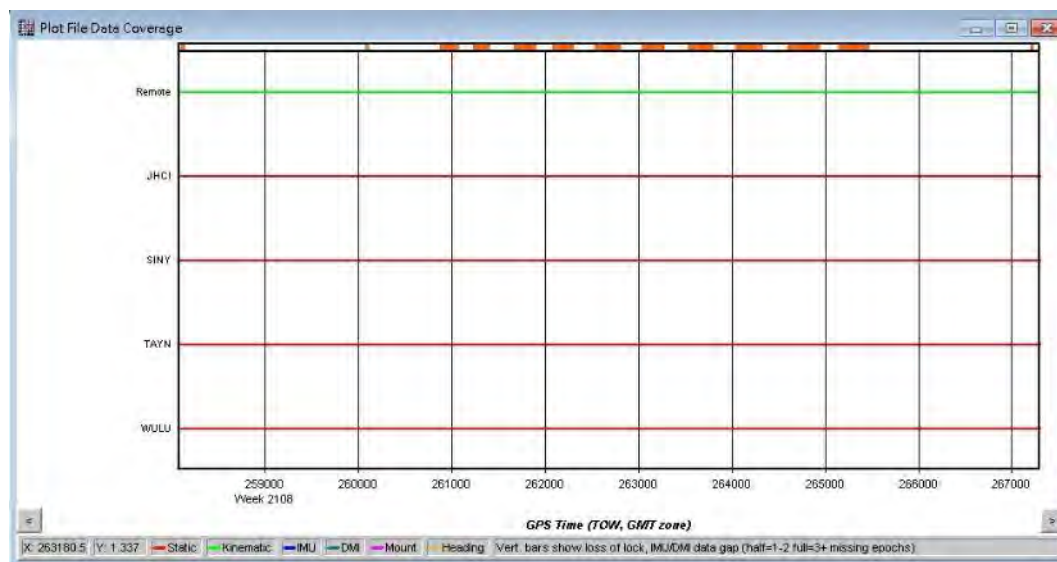


圖 2-16 架次 2：109 年 6 月 3 日(中午)GNSS 資料連續性

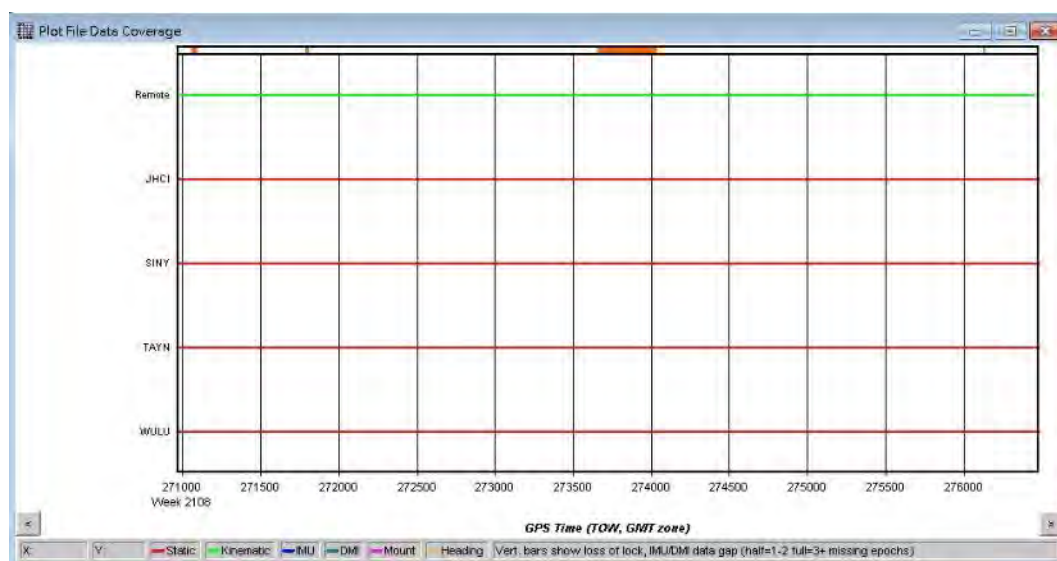


圖 2-17 架次 3：109 年 6 月 5 日 GNSS 資料連續性

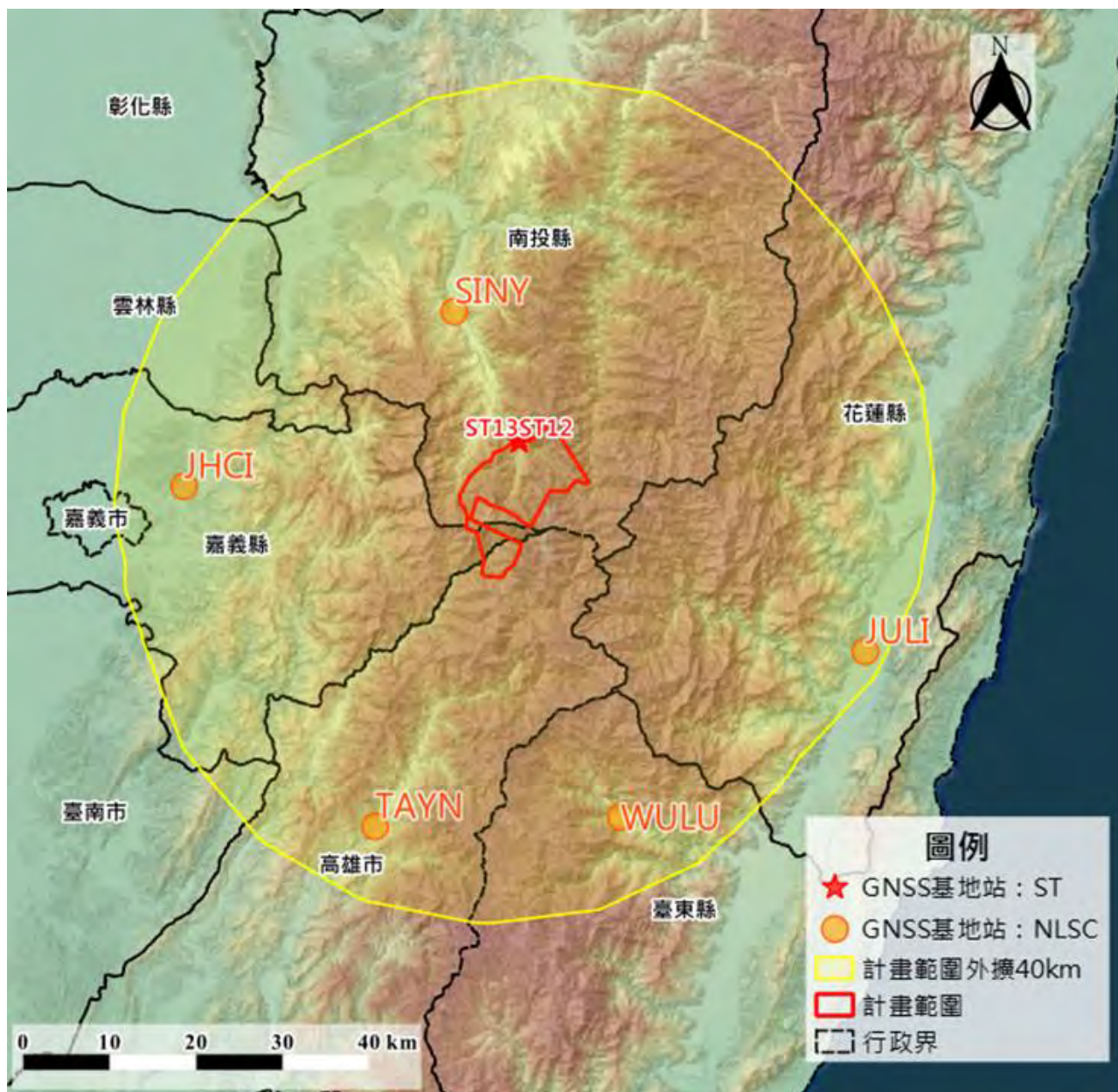


圖 2-18 GNSS 基地站與計畫範圍分布圖

備註：採用周圍測繪中心基站並使用測區內自架 2 基站除了因為距離較近，並可做為雙重確認，搭配兩種資料來獲得最佳解算成果。

二、地類檢核點測量

- (一) 地表植被覆蓋情形於本計畫區域(海拔高 800 米以上)分別為裸露地、植生地、林地、密林地，其定義為以任一點為中心，半徑在 10 個 1m 網隔間距的範圍內受植被覆蓋之面積，以概估該範圍內可看到地面的面積來與範圍所包圍的總面積比計算。
- (二) 於人車可以抵達區域(東埔、台 18 線及台 21 線)，採用 GNSS 之 VBS-RTK 方式施測不同地物類別各 20 點，分布圖如圖 2-19。綜整地類檢核點資訊如表 2-7，相關工作照如圖 2-20，坐標比對表及點位遠近照如附件五。

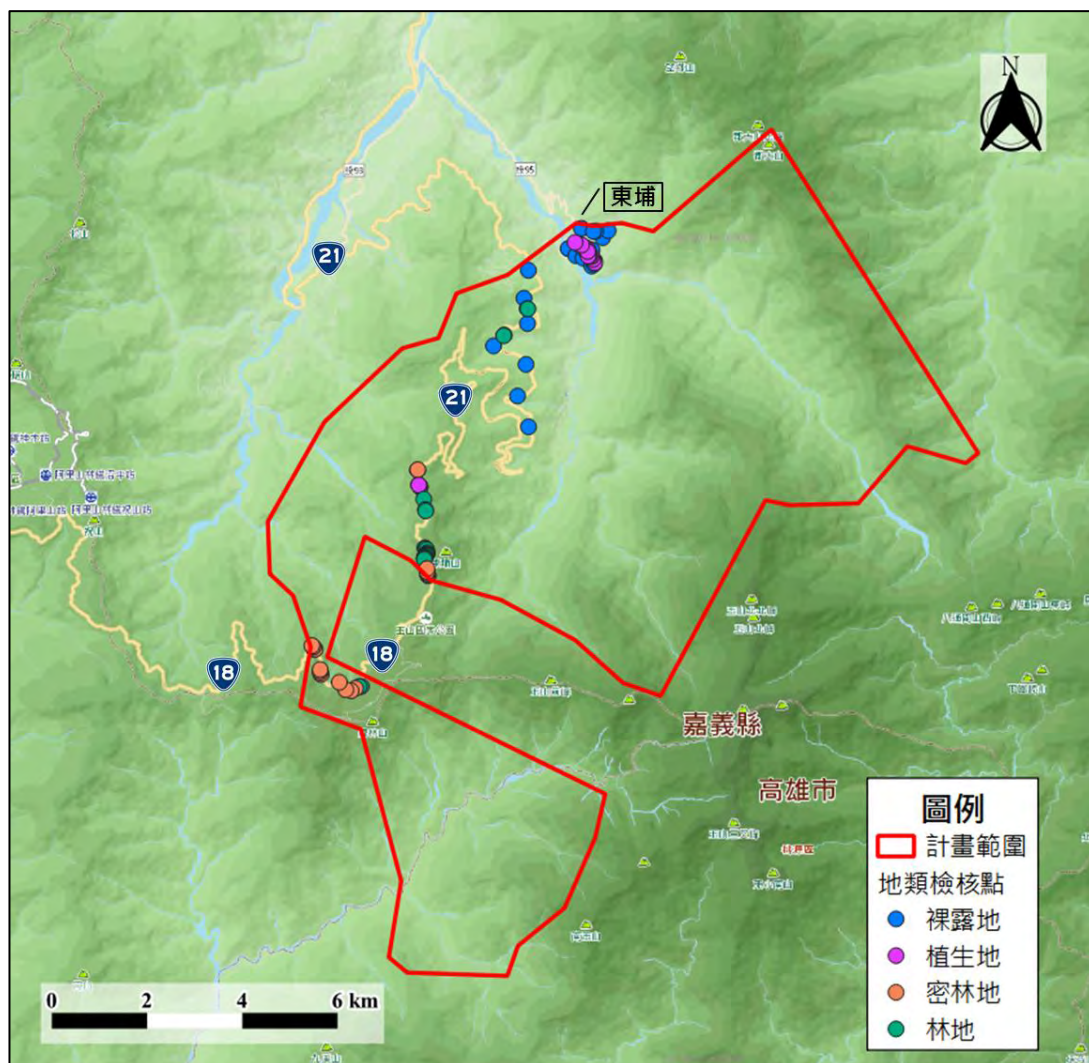


表 2-7 地類檢核點資訊

類 型	定 義	數 量	點 號
裸露地	植被覆蓋之面積少於 25%者	20	1001~1020
植生地	植被覆蓋之面積介於 25%~50%者	20	2001~2020
林地	植被覆蓋之面積介於 50%~75%者	20	3001~3020
密林地	植被覆蓋之面積大於 75%者	20	4001~4020

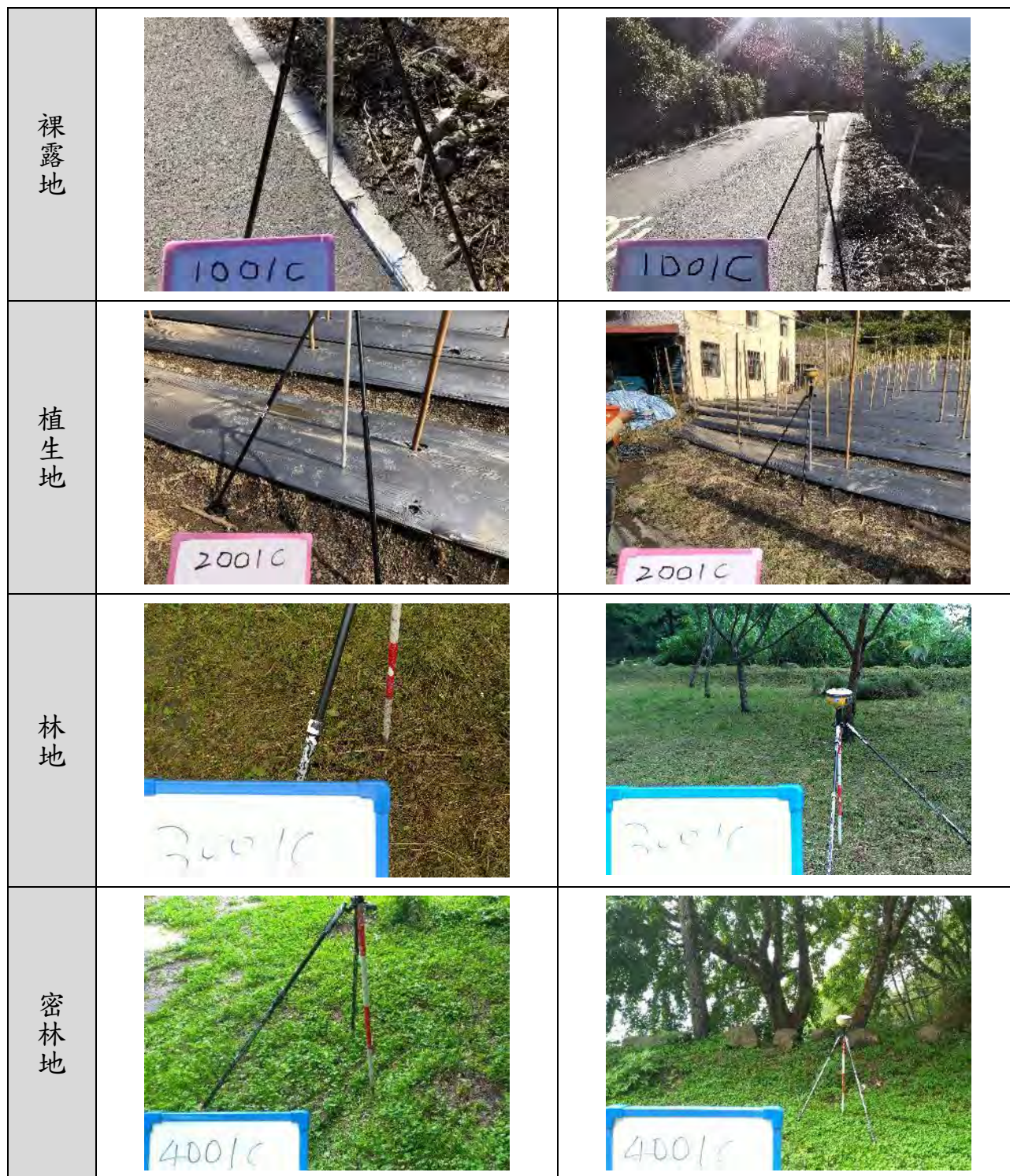


圖 2-20 地類檢核點工作照

三、航線頭、中、尾控制測量

(一) 控制點規劃：依據本計畫空載光達航線規劃作業規範，各航線頭、中、尾皆需有控制點進行點雲平差作業，規劃各航線頭、中、尾控制點位分布如圖 2-24。其中，依據人、車是否可到達分為兩大區域，人車可到區域布設航測標，而於人車無法抵達區域以航空攝影測量方式施測，以下分別針對不同區域的作業說明控制測量作業方式。

1. 人車可以抵達區域：

本計畫人車可以抵達區域(東埔、台 18 線及台 21 線)於透空良好處布設航測標，使用靜態 GNSS 施測 TWD97【2010】三維坐標資訊，並經由內政部公告之 Geoid2014 轉換至 TWVD2001 正高系統。依據玉管處需求，為避免遊客與用路人誤會地面畫設的航測標為惡意塗鴉，本計畫設計航測標規格如圖 2-21，並於現地航測標旁標記「航測標」以及相應點號字樣，相關現地工作照如圖 2-22。

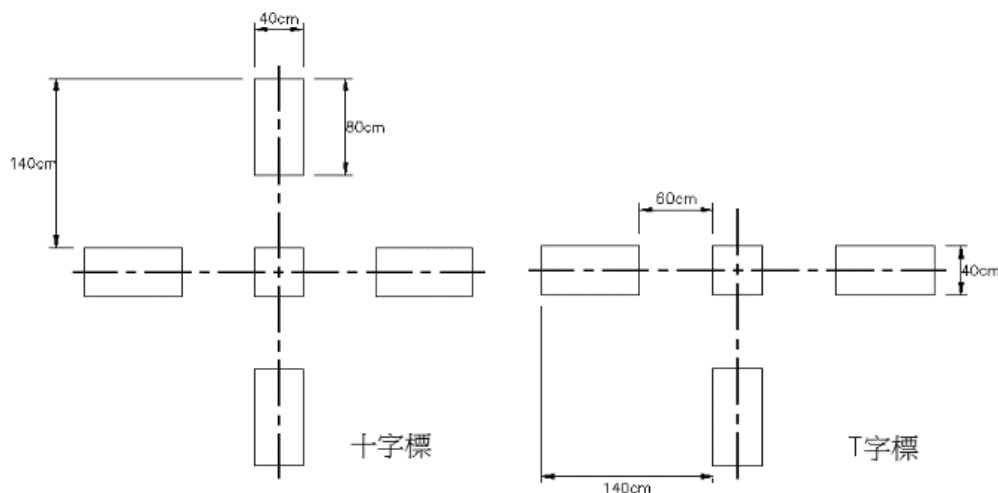


圖 2-21 航測標規格



圖 2-22 航測標現地標註照片

2. 人車無法抵達區域：

本計畫範圍因地形關係多為人車無法到達區域且多為植被覆蓋，使用 ERDAS IMAGINE LPS ORIMA 軟體針對「垂直攝影鏡頭影像」以進行空中三角測量，並使用 GNSS+IMU 輔助空中三角測量，作業畫面如圖 2-23，解算後成果以立體量測方式針對裸露地表進行高程測量，獲取航線頭、中、尾控制點位三維坐標成果，作為空載光達掃描資料檢核使用，量測成果以及相關資訊如表 2-8。

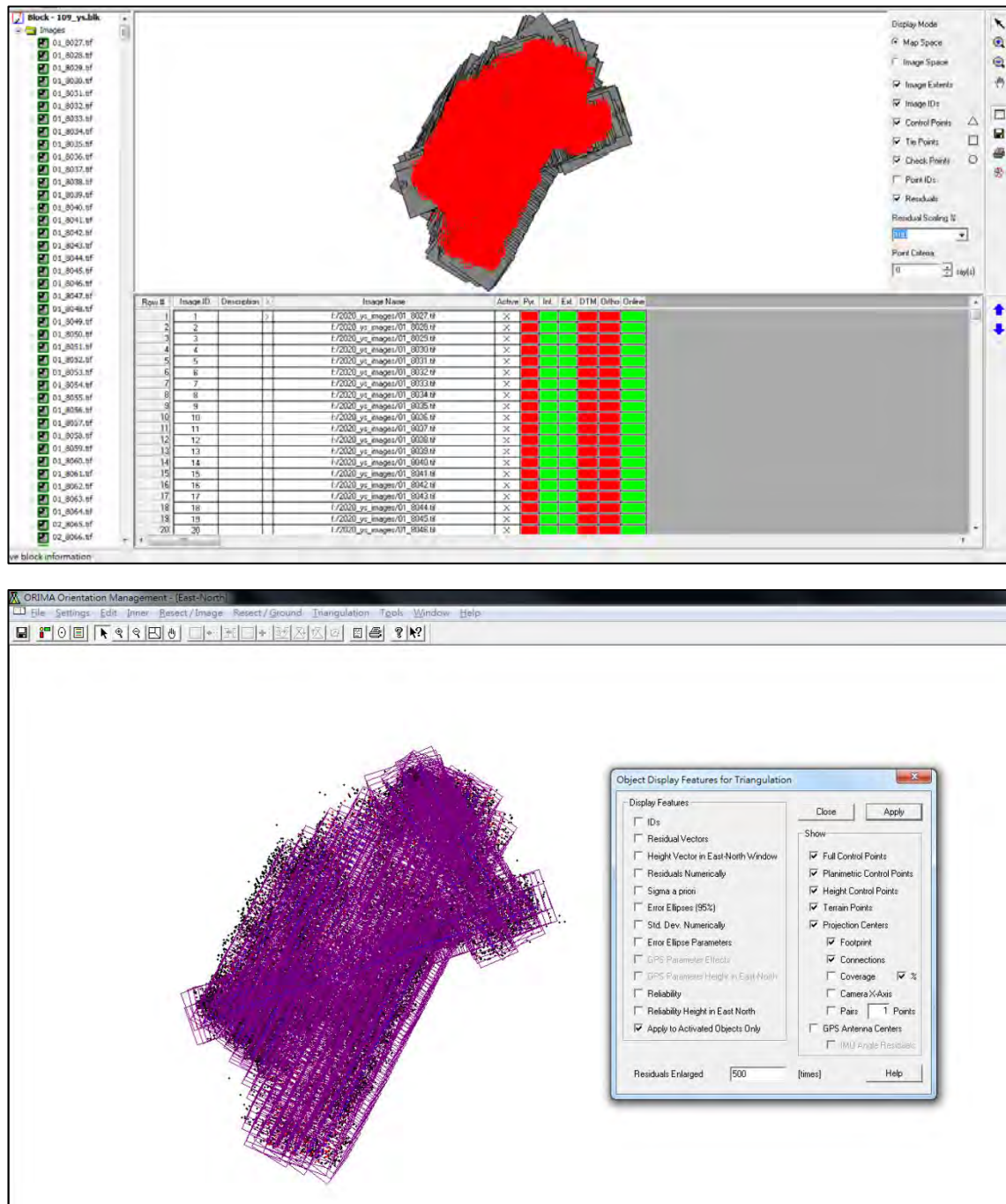


圖 2-23 空中三角測量作業畫面

表 2-8 航線頭、中、尾控制點資訊

項次	點號	TWD97【2010】		正高高程(m)
		X 坐標(m)	Y 坐標(m)	
1	A1	238646.806	2603979.913	2027.217
2	A2	240028.350	2605049.932	1915.792
3	A3	244504.824	2607098.545	2160.659
4	A4	245405.248	2607743.538	2730.324
5	A5	246549.604	2608049.349	3123.792
6	A6	247051.199	2607274.625	2872.759
7	A7	247608.199	2606447.702	2585.659
8	A8	248301.730	2605460.754	2348.987
9	A9	246487.879	2605300.708	2134.698
10	A10	249889.849	2602621.451	2320.809
11	A11	250072.519	2601916.869	2123.693
12	A12	246514.554	2602526.584	2088.059
13	A13	247634.873	2601753.030	2016.382
14	A14	248701.844	2601619.659	2399.241
15	A15	236317.143	2600715.676	2002.099
16	A16	237116.272	2600282.251	2160.657
17	A17	240522.139	2600084.198	1738.087
18	A18	241377.525	2600059.825	1605.628
19	A19	242053.457	2599202.031	2501.698
20	A20	242931.775	2599410.848	2133.351
21	A21	243780.190	2598819.439	2406.235
22	A22	244538.685	2598413.103	3094.149
23	A23	237990.227	2595732.196	2645.957
24	A24	238005.460	2594657.673	2297.010
25	A25	238298.877	2593724.074	1884.731
26	A26	238355.566	2592150.567	1683.412
27	A27	239190.627	2591609.082	1690.184
28	A28	239778.210	2591047.216	1820.543
29	A29	240672.888	2591216.692	2003.872

3. 規劃後各航線頭、中、尾控制點分布如圖 2-24，共 8 支航測標及 29 點空三控制點，並於測量完成後針對航測標製作航測控制點點位調查表，如附件四。

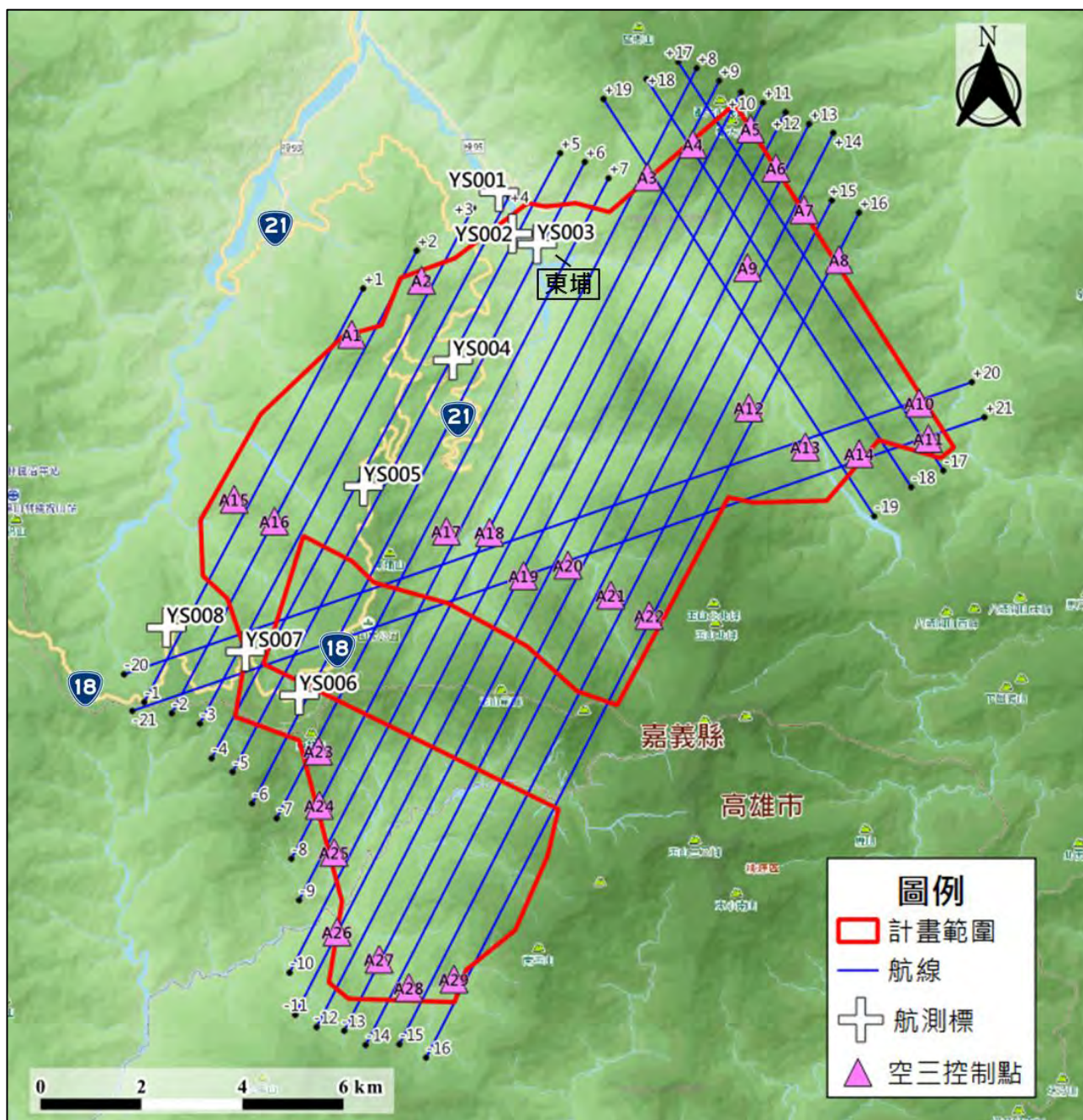


圖 2-24 航線頭、中、尾控制點位置分布

(二) 已知控制點檢核

1. 本計畫人車可以抵達區域(東埔、台 18 線及台 21 線)於透空良好處布設航測標共 8 支，清查使用內政部公告之三等衛星控制點(MP77、MZ04、MZ21、Q264、SY78 共 5 點)使用靜態 GNSS 方式施測，已知控制點相關資訊如表 2-9，已知控制點與航測標控制點分布如圖 2-25。

表 2-9 已知控制點資訊

編號	點號	內政部公告坐標 TWD97【2010】			類型
		Y 坐標(m)	X 坐標(m)	橢球高(m)	
1	MP77	2606460.631	242121.896	1119.146	三等衛星控制點
2	MZ04	2612998.374	239053.352	801.780	三等衛星控制點
3	MZ21	2599967.818	238753.782	2556.740	三等衛星控制點
4	Q264	2598597.507	226621.064	1670.664	三等衛星控制點
5	SY78	2594931.435	240506.343	1935.809	三等衛星控制點

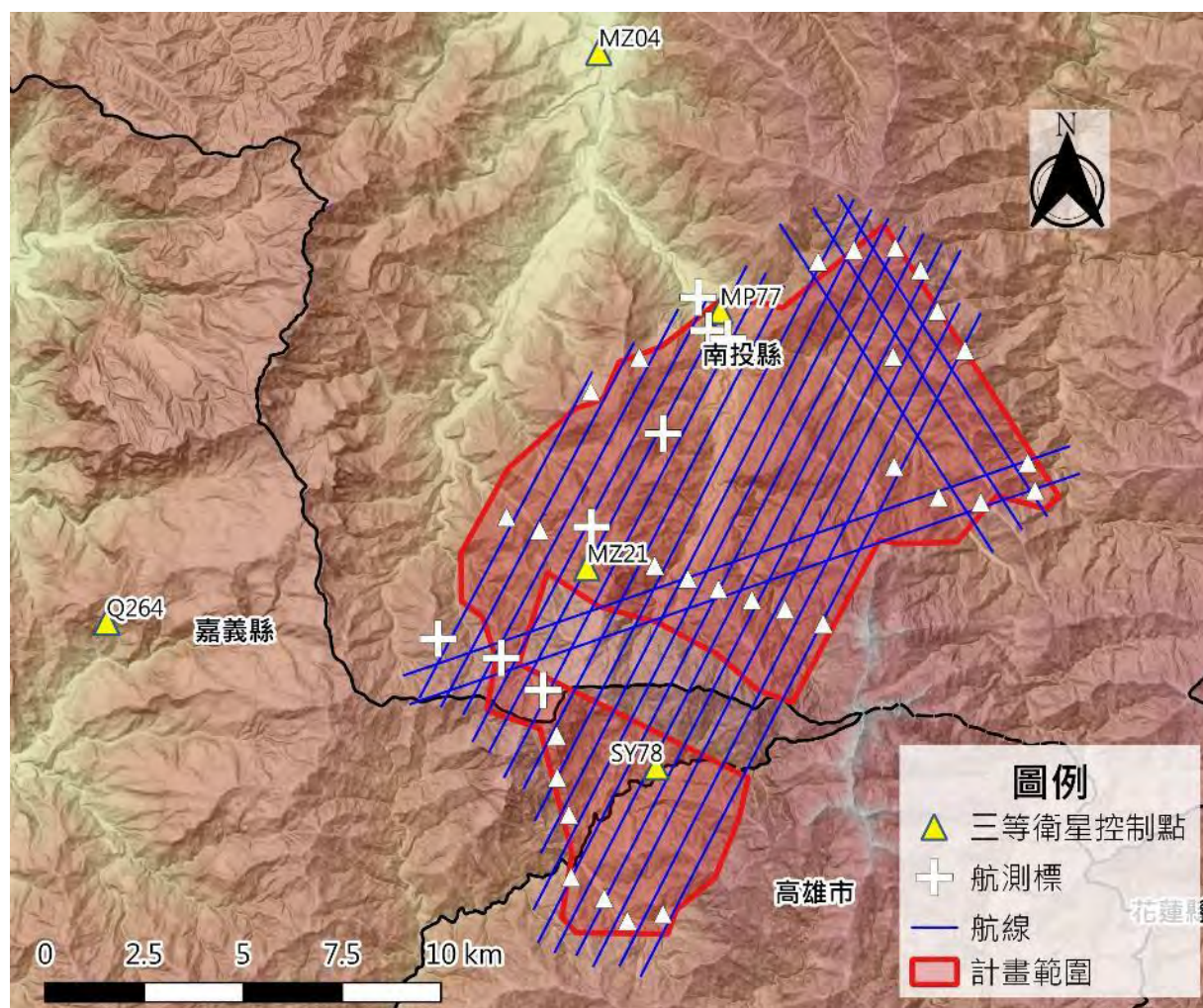


圖 2-25 已知控制點與航測標分布圖

2. GNSS 靜態作業內容包含最小約制以及強制附和兩階段(圖 2-26)，其中，於最小約制階段需固定一至二站已知控制點坐標，解算其餘已知點三維坐標，並與內政部公告之坐標值比較公告基線與解算基線差異(邊條件)、公告方位角與解算方位角差異(角條件)數值，作為最小約制檢核依據，以邊條件不得大於二萬分之一、角條件不得大於 20 秒為標準規範，通過檢核規範的已知點方可用於後續強制套合作業。

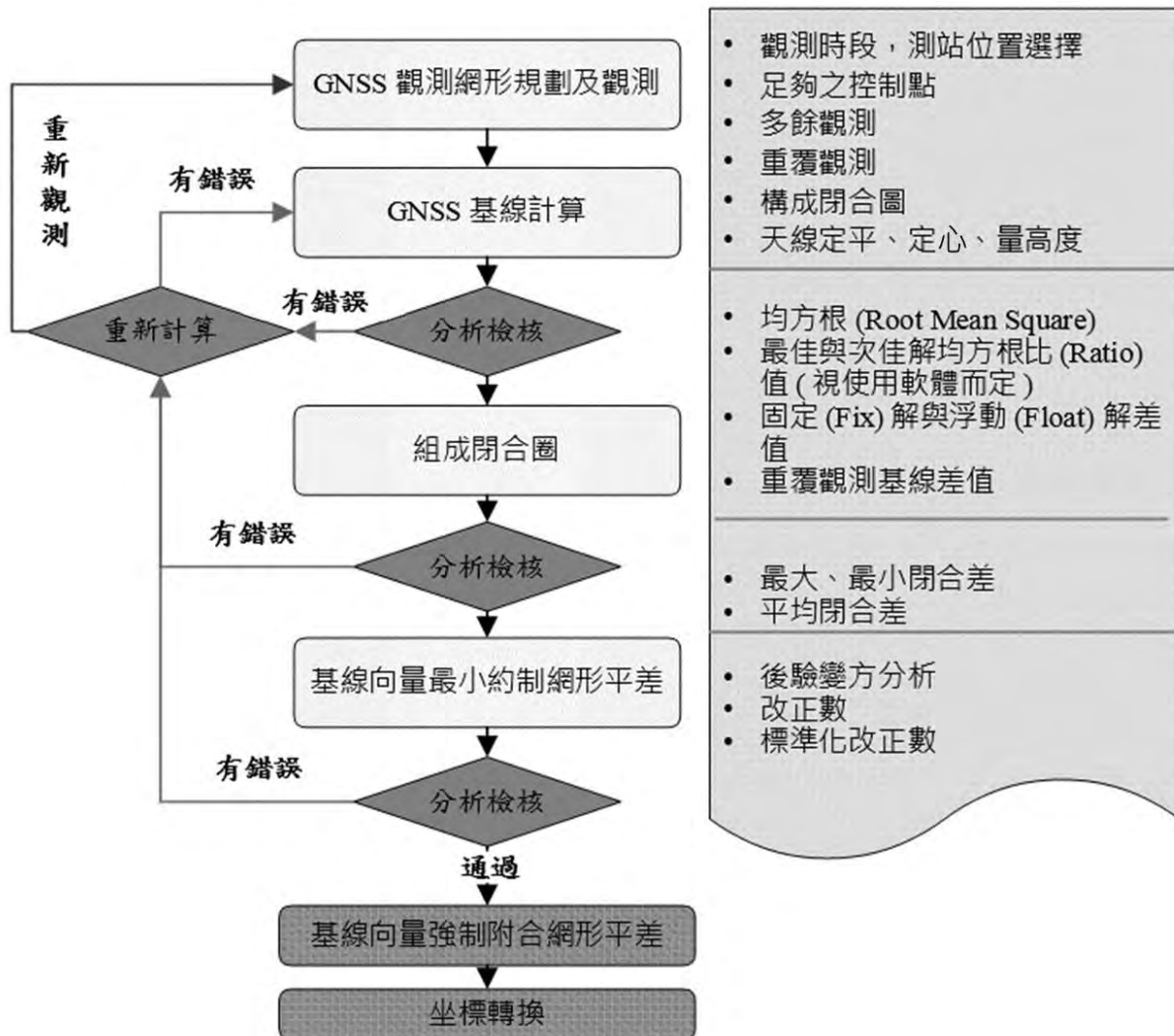


圖 2-26 GNSS 靜態解算作業流程

3. 本計畫所使用之內政部公告已知控制點邊條件以及角條件檢核成果如表 2-10 以及表 2-11，全數通過檢核，續加入強制套合網形平差作業，解算航測標控制點坐標成果。

表 2-10 已知控制點邊條件檢核成果

起點號	終點號	公告坐標邊長 (m)	最小約制邊長 (m)	距離差值 (m)	最小約制 邊長精度	容許精度	是否 合格
MP77	MZ04	7222.053	7222.056	-0.004	1/1934,392	1/20,000	合格
MP77	MZ21	7314.425	7314.441	-0.016	1/449,354	1/20,000	合格
MP77	Q264	17381.154	17381.122	0.032	1/537,064	1/20,000	合格
MP77	SY78	11641.837	11641.824	0.013	1/915,045	1/20,000	合格
MZ04	MZ21	13033.999	13034.039	-0.040	1/328,958	1/20,000	合格
MZ04	Q264	19024.898	19024.944	-0.045	1/420,811	1/20,000	合格
MZ04	SY78	18125.272	18125.296	-0.024	1/750,117	1/20,000	合格
MZ21	Q264	12209.857	12209.790	0.066	1/184,106	1/20,000	合格
MZ21	SY78	5332.600	5332.611	-0.011	1/480,486	1/20,000	合格
Q264	SY78	14361.095	14361.091	0.004	1/3734,933	1/20,000	合格

表 2-11 已知控制點角條件檢核成果

起點號	終點號	公告坐標方位角			最小約制方位角			角度差值 (秒)	容許 精度	是否 合格
		度	分	秒	度	分	秒			
MP77	MZ04	334	51	23.749	334	51	25.471	1.722	20 秒	合格
MP77	MZ21	207	25	4.078	207	25	4.411	0.334	20 秒	合格
MP77	Q264	243	6	9.492	243	6	8.911	0.581	20 秒	合格
MP77	SY78	187	58	36.313	187	58	35.342	0.970	20 秒	合格
MZ04	MZ21	181	19	1.153	181	19	2.263	1.109	20 秒	合格
MZ04	Q264	220	48	14.716	220	48	14.321	0.395	20 秒	合格
MZ04	SY78	175	24	7.264	175	24	7.252	0.012	20 秒	合格
MZ21	Q264	263	33	22.048	263	33	21.581	0.467	20 秒	合格
MZ21	SY78	160	48	47.236	160	48	44.354	2.881	20 秒	合格
Q264	SY78	104	47	24.216	104	47	23.725	0.490	20 秒	合格

（三）航測標控制點測量

依據前述通過最小約制檢核之已知控制點，進行航測標控制點強制套合解算，相關 GNSS 網形分布圖如圖 2-27，解算後三維坐標成果如表 2-12，彙整點位近照、遠照以及點位說明等資訊，製作航測控制點點位調查表圖 2-28 以及附件四。

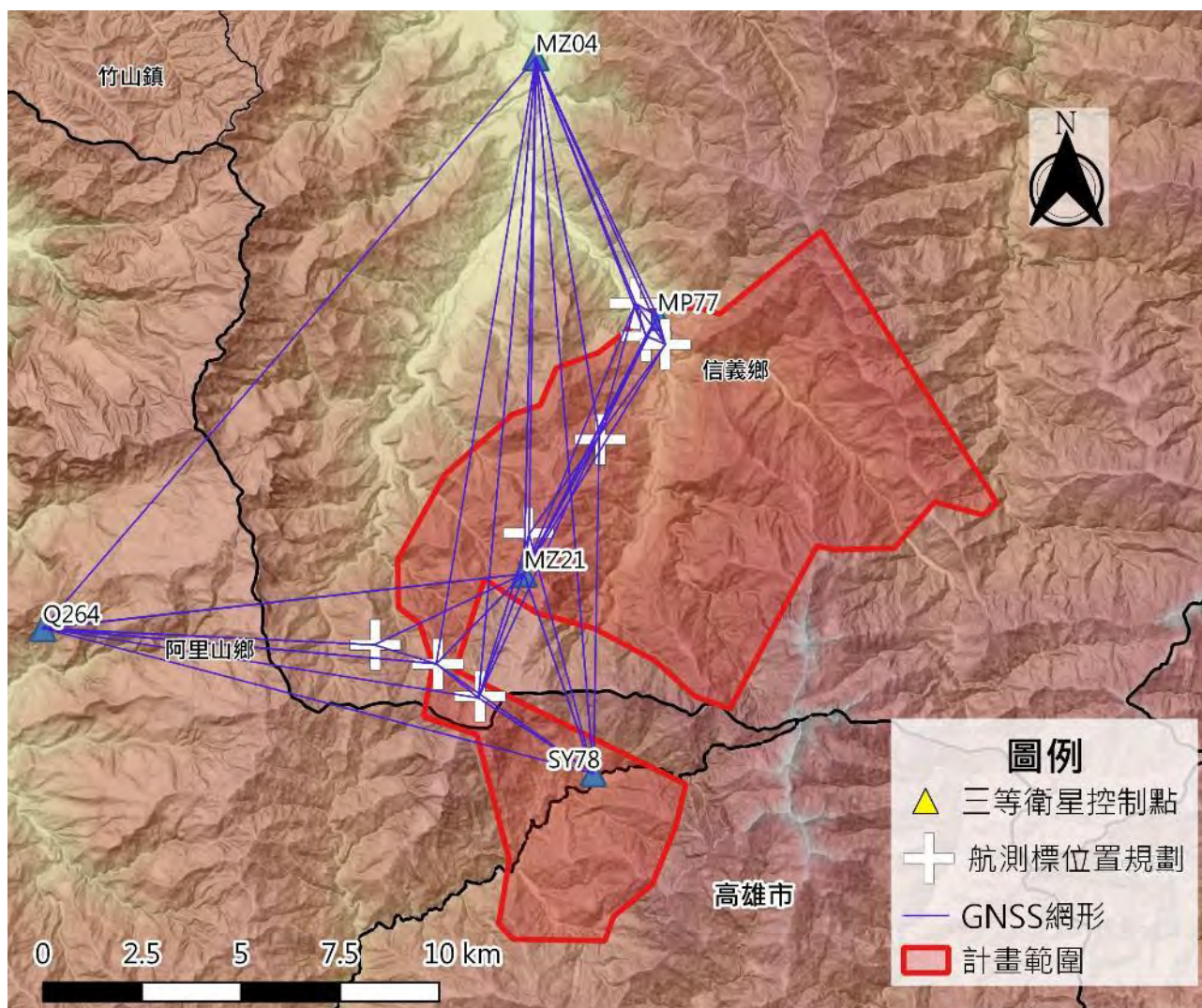


圖 2-27 GNSS 網形圖

表 2-12 航測標測量成果

點號	TWD97【2010】			內政部公告 大地起伏(m)	轉換後 正高(m)
	橫坐標(m)	縱坐標(m)	橢球高(m)		
YS001	241565.568	2606796.360	981.311	26.442	954.869
YS002	241829.852	2605974.386	1002.127	26.537	975.590
YS003	242318.673	2605762.981	1084.993	26.623	1058.370
YS004	240652.201	2603464.345	1946.999	26.490	1920.509
YS005	238881.871	2600970.693	2488.638	26.431	2462.207
YS006	237608.090	2596835.455	2540.536	26.558	2513.978
YS007	236542.174	2597698.894	2496.026	26.428	2469.598
YS008	234976.546	2598174.435	2394.675	26.285	2368.390

玉山國家公園西北園區航空攝影與光達掃描作業暨圖資製作案 【航測控制點點位調查表】					
點 號	YS001		圖 號	95202077	
所 在 地	玉山		點 別	☐ 高控 ☐ 平控 ☒ 全控	
平面坐標 TWD 97 【2010】	E	241565.568m	高程值	正高	954.869m
	N	2605974.386m		橢球高	981.311m
測 設 單 位	自強工程顧問有限公司				
點位種類	油漆十字標		高程別	靜態 GNSS	
施測人員及日期	游錫宇・4月		檢查人員及日期	楊璧敏・5月	
點 位 說 明 (交通路線)	由省道台 21 與鄉道投 60 路口研投 60 往東南方向行約 5KM 至岔路口,點位於左側路旁				
位置略圖			詳圖		
					
點位現地遠照			點位現地近照		
					
說明與備註:					

玉山國家公園西北園區航空攝影與光達掃描作業暨圖資製作案 【航測控制點點位調查表】					
點 號	YS002		圖 號	95202077	
所 在 地	玉山		點 別	☐ 高控 ☐ 平控 ☒ 全控	
平面坐標 TWD 97 【2010】	E	241829.852m	高程值	正高	975.590m
	N	2605974.386m		橢球高	1002.127m
測 設 單 位	自強工程顧問有限公司				
點位種類	油漆十字標		高程別	靜態 GNSS	
施測人員及日期	游錫宇・4月		檢查人員及日期	楊璧敏・5月	
點 位 說 明 (交通路線)	由省道台 21 與鄉道投 60 路口研投 60 往東南方向行約 5KM 至岔路口往叉路行至沙里仙橋,過橋後右轉,點即位於左側路旁				
位置略圖			詳圖		
					
點位現地遠照			點位現地近照		
					
說明與備註:					

圖 2-28 航測標控制點點位紀錄表

2-5 空載光達掃描施測資料獲取

- 一、採用全波形空載光達 Riegl LMS-Q780 與傾斜像機 AOS-5 同步拍攝掃描，完整獲取相應航拍影像之地形資訊，能記錄 1ns 取樣之波形資料，需包含發射脈衝（transmitted pulse）與接收回波之波形，以及 8bit（含）以上之反射強度資訊，掃描成果需能輸出回波波形相關屬性資料，如波形寬度（width）、振幅（amplitude）值等。
- 二、施測資料包含實際飛航時，結合 GNSS、IMU 所取得之原始軌跡數據。
- 三、航線掃描 GNSS 數據 PDOP 圖形：展示 GNSS 數據 PDOP 圖形，用以說明每條掃描航線掃描當時 GNSS 之幾何條件。地面 GNSS 基站之 PDOP 之規範平均小於 3，飛航時定位光達掃描成果之 GNSS 之原始 PDOP 值不得大於 4。
- 四、LiDAR 系統率定報告：報告內容至少包括系統率定方法、日期、地點、成果精度說明。率定方式可參照各硬體設備製造商之標準程序進行，惟率定後之高程中誤差不得大於 10 公分，詳如附件二。
- 五、本計畫於 109 年 6 月 3 日執行 2 架次、109 年 6 月 5 日執行 1 架次，共 3 架次飛航掃描作業，完成本計畫航線任務，各架次飛航軌跡以三維方式呈現如圖 2-29、圖 2-30 以及圖 2-31，。

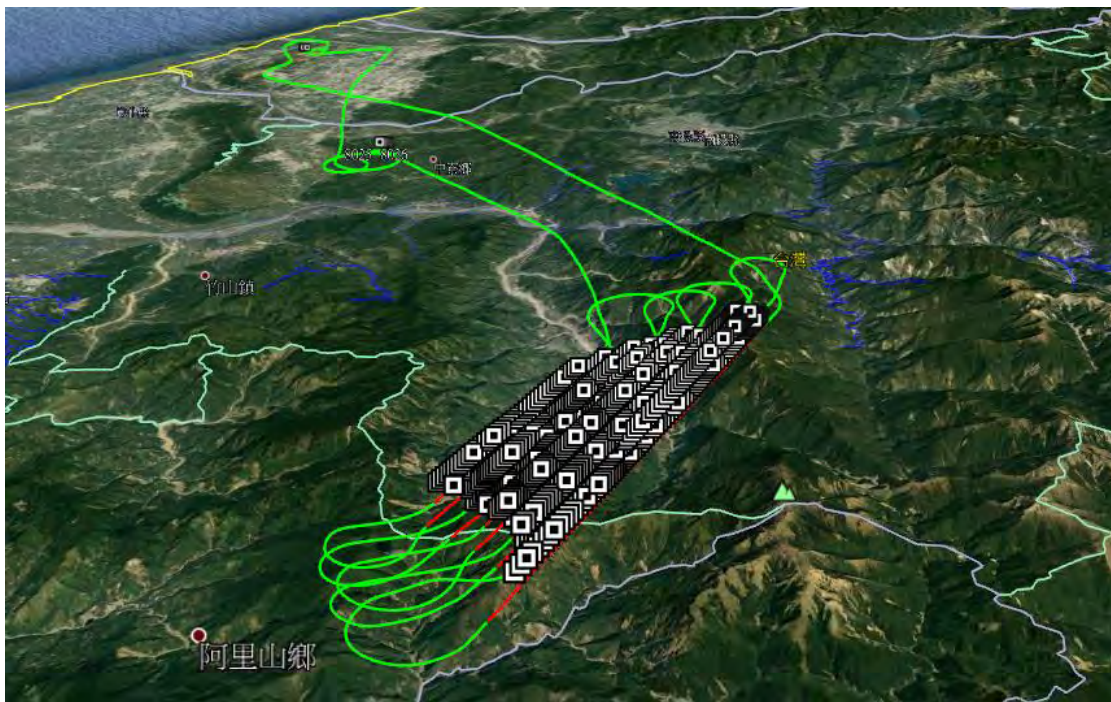


圖 2-29 架次 1：109 年 6 月 3 日架次(上午)

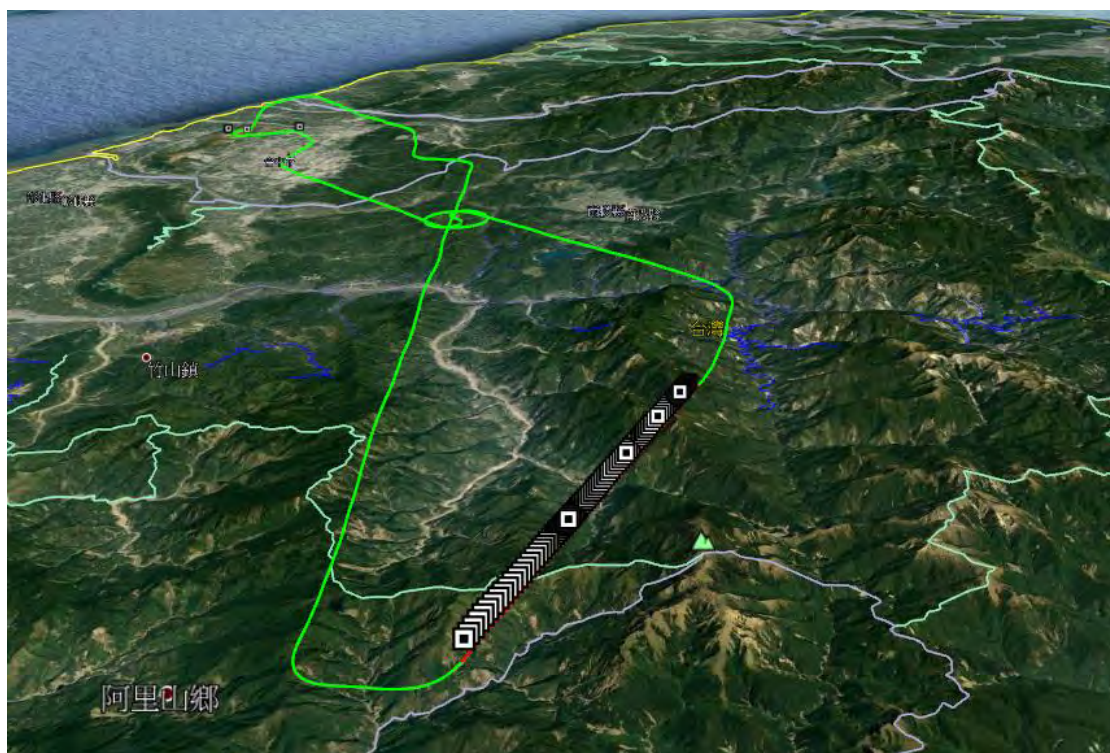


圖 2-30 架次 2：109 年 6 月 3 日架次(中午)

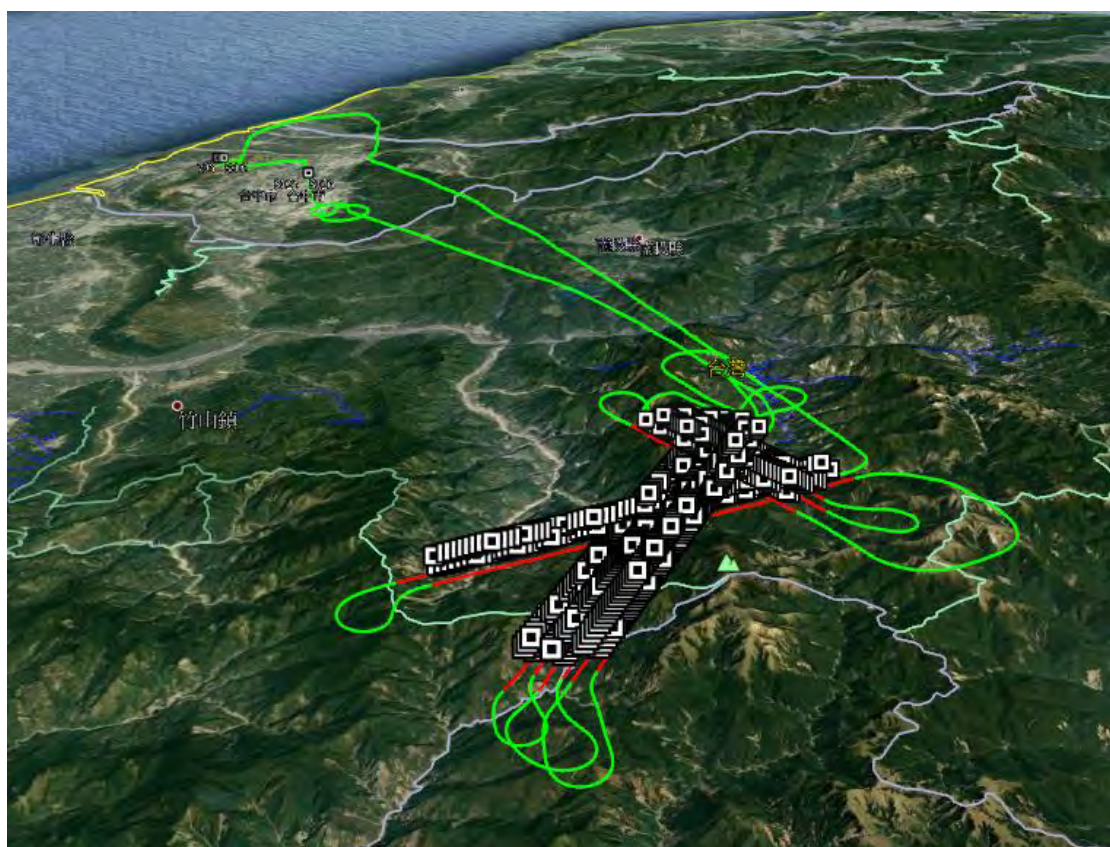


圖 2-31 架次 3：109 年 6 月 5 日架次

2-6 光達掃描點雲資料處理

本計畫共執行 21 條空載光達掃描航線(如圖 2-32)，作業內容包括光達掃描點雲資料前處理、解算與航帶平差、掃描點雲資料後處理、掃描作業成果檢查、點雲資料分幅、分類及編修等處理，相關作業流程如圖 2-33。

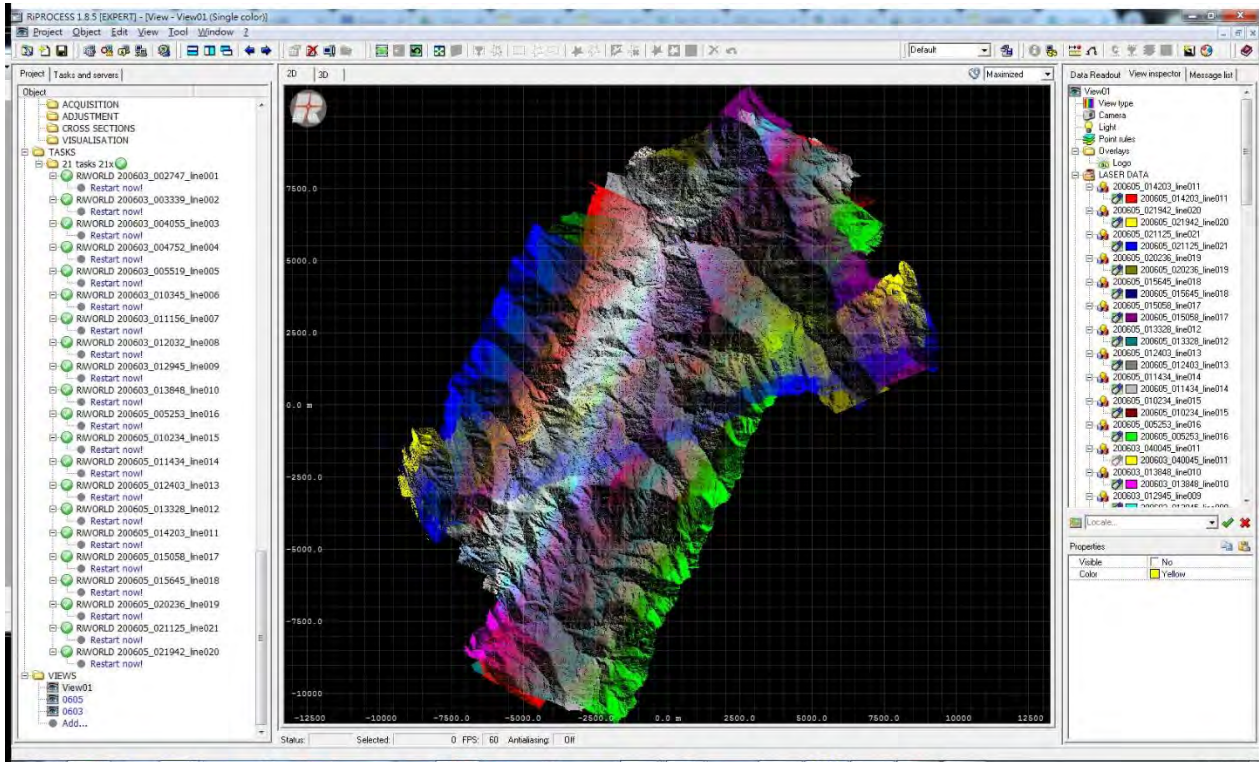


圖 2-32 空載光達掃描點雲成果初步展示(航線分色)

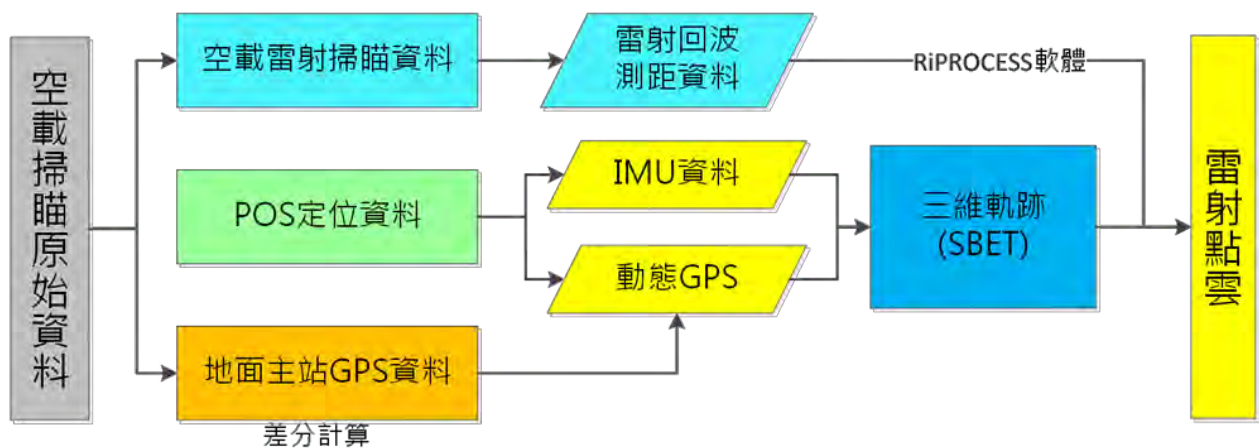


圖 2-33 空載光達點雲解算處理流程

一、應用航帶重疊數據與交叉飛航數據誤差分析：依據航帶間重疊數據進行誤差分析評估，並提出重疊數據內部精度與誤差分析評估報告。

二、應進行航帶平差，並以航帶平差之成果進行精度分析，以及資料之整合，作業畫面如圖 2-34，平差成果如表 2-13，測量中誤差為 4.9 公分，符合本計畫作業規定(20cm)。進行航帶平差時應加入控制點，每航帶間應有 3 個控制點(包括頭、中及尾各 1 點)。

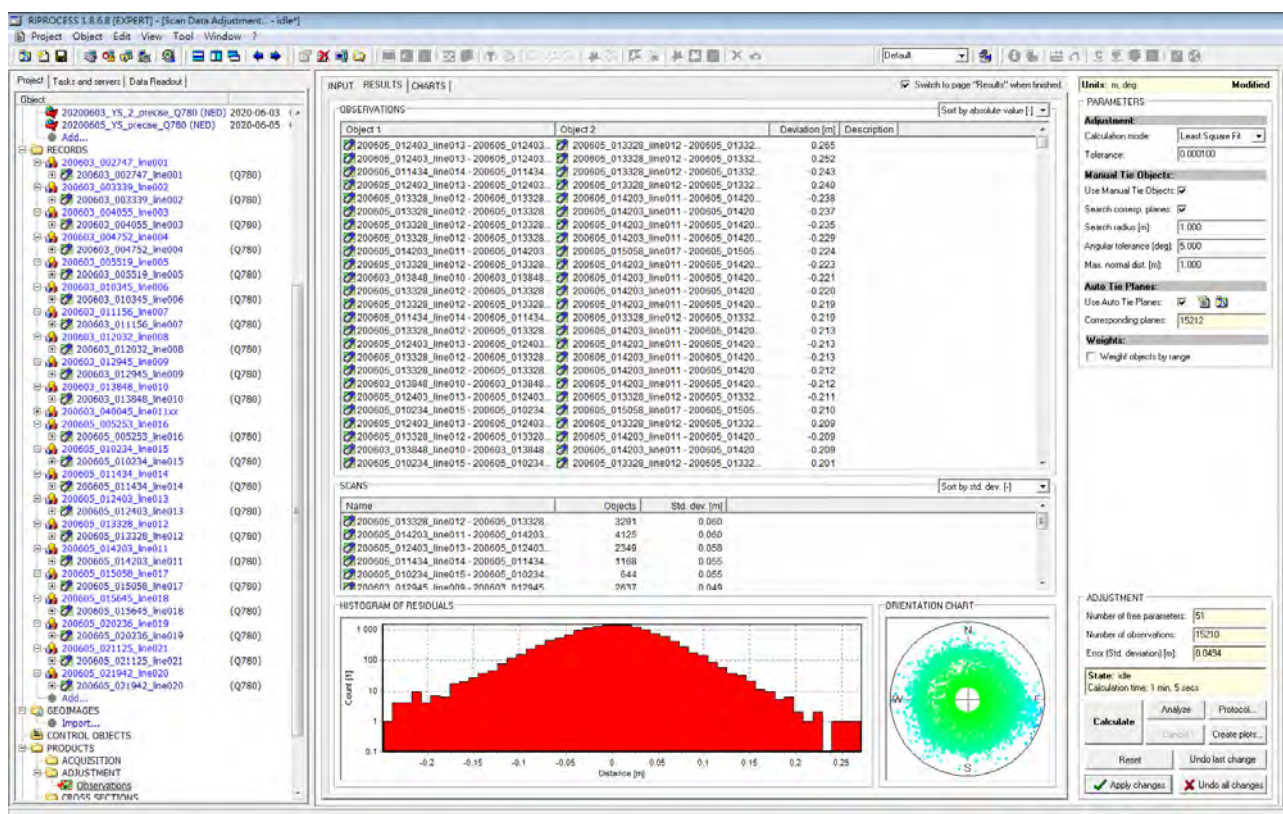


圖 2-34 空載光達點雲平差作業畫面

表 2-13 點雲平差成果資訊

項次	項目	平差結果
1	Calculation mode:	Analyze
2	Calculation time:	1 mins, 5 secs
3	Calculation mode:	Least Square Fit
4	Tolerance:	0.000100
5	Observations active:	True
6	Number of observations:	15210
7	Error (Std. deviation) [m]:	0.0494 m

三、本計畫工作規範規定航線左右重疊不得小於 30%，依據掃瞄成果計算點雲涵蓋範圍(圖 2-35)，並計算相鄰平行航線重疊面積與重疊率如表 2-14，成果全數符合作業規範。

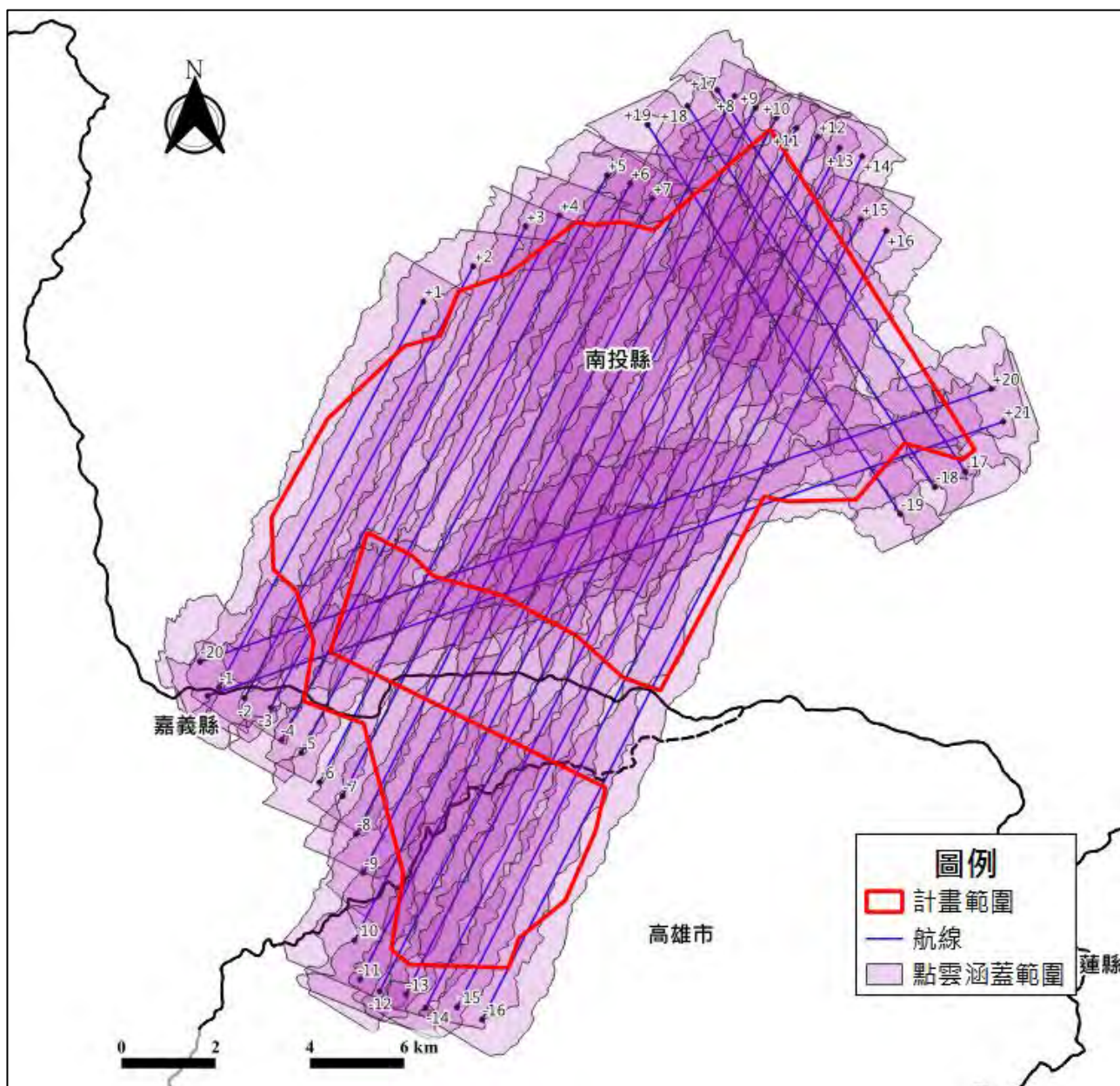


圖 2-35 點雲涵蓋範圍

表 2-14 點雲航線重疊率分析(面積單位：平方公里)

項次	航線編號	面積(km ²)	重疊面積(km ²)	百分比	作業規範	是否合格
1	1	16.684	-	-	-	-
			11.079	66.40%	30%	合格
2	2	19.202	10.569	57.70%	30%	合格
				55.04%	30%	合格
3	3	19.525		54.13%	30%	合格

項次	航線編號	面積(km ²)	重疊面積(km ²)	百分比	作業規範	是否合格
			13.2	67.61%	30%	合格
4	4	22.143		59.61%	30%	合格
			14.532	65.63%	30%	合格
5	5	23.547		61.71%	30%	合格
			16.699	70.92%	30%	合格
6	6	27.745		60.19%	30%	合格
			16.216	58.45%	30%	合格
7	7	26.309		61.64%	30%	合格
			19.674	74.78%	30%	合格
8	8	33.924		57.99%	30%	合格
			24.571	72.43%	30%	合格
9	9	36.074		68.11%	30%	合格
			27.821	77.12%	30%	合格
10	10	38.413		72.43%	30%	合格
			27.609	71.87%	30%	合格
11	11	39.516		69.87%	30%	合格
			27.689	70.07%	30%	合格
12	12	37.725		73.40%	30%	合格
			26.366	69.89%	30%	合格
13	13	36.743		71.76%	30%	合格
			24.463	66.58%	30%	合格
14	14	34.521		70.86%	30%	合格
			24.54	71.09%	30%	合格
15	15	36.801		66.68%	30%	合格
			20.871	56.71%	30%	合格
16	16	33.295		62.69%	30%	合格
			-	-	-	-
17	17	15.953		-	-	-
			7.828	49.07%	30%	合格
18	18	18.307		42.76%	30%	合格
			8.605	47.00%	30%	合格
19	19	19.646		43.80%	30%	合格
			-	-	-	-
20	20	33.900		-	-	-
			17.656	52.08%	30%	合格
21	21	30.607		57.69%	30%	合格
			-	-	-	-

四、點雲密度

(一) 規範

1. 依據本案作業規定，於中高海拔地區(高程 800 米以上) 應高於每平方米 2 點，至於低海拔及河川洪泛溢淹地區(高程 800 米以下)應高於每平方米 1 點。
2. 依據內政部國土測繪中心「108 及 109 年度內政部 LiDAR 技術更新數值地形成果測製工作」規定，點雲密度條件：
 - (1) 掃描區以 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%。

(二) 本計畫利用 MStripAnalysis 軟體建立 100 尺 x100 公尺大小網格，計算網格內點雲數量，如圖 2-37，分析計畫範圍內各網格點雲密度成果共 11419 格，平均密度為 3.77 點/m²，其中點雲密度 1~2 點共有 719 格(6.30%)，2 點以上共有 10598 格(92.81%)，1 點以下共有 102 格(0.89%)大多位於河谷，無法反射光達點雲資料，網格計算成果統計資訊如圖 2-38，成果符合作業規範。

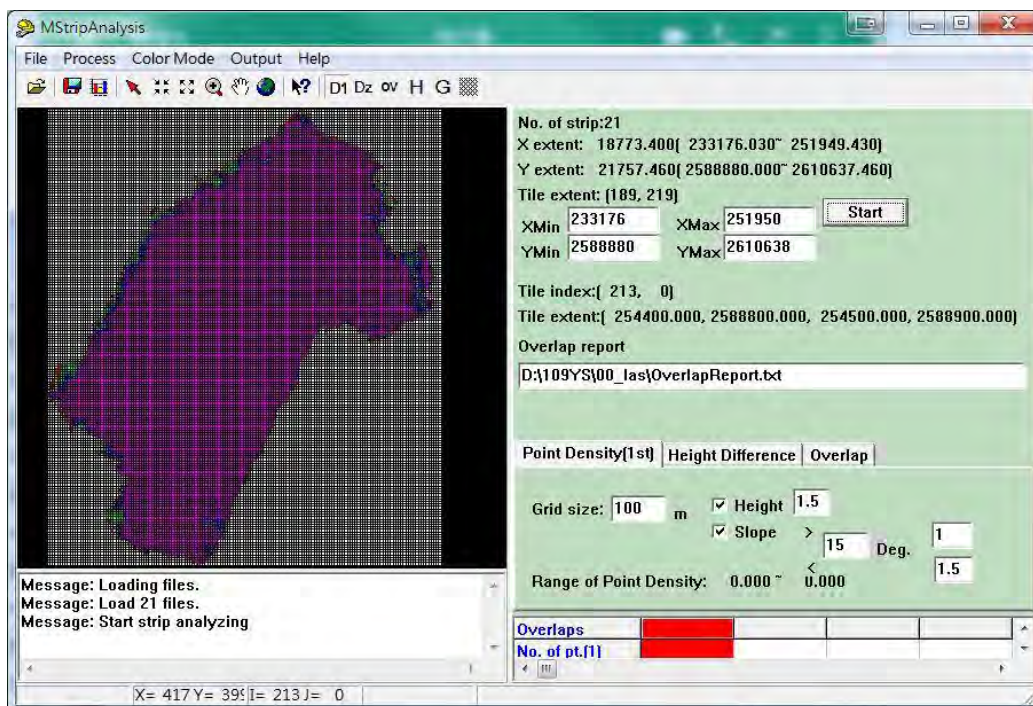


圖 2-36 MStripAnalysis 軟體操作畫面

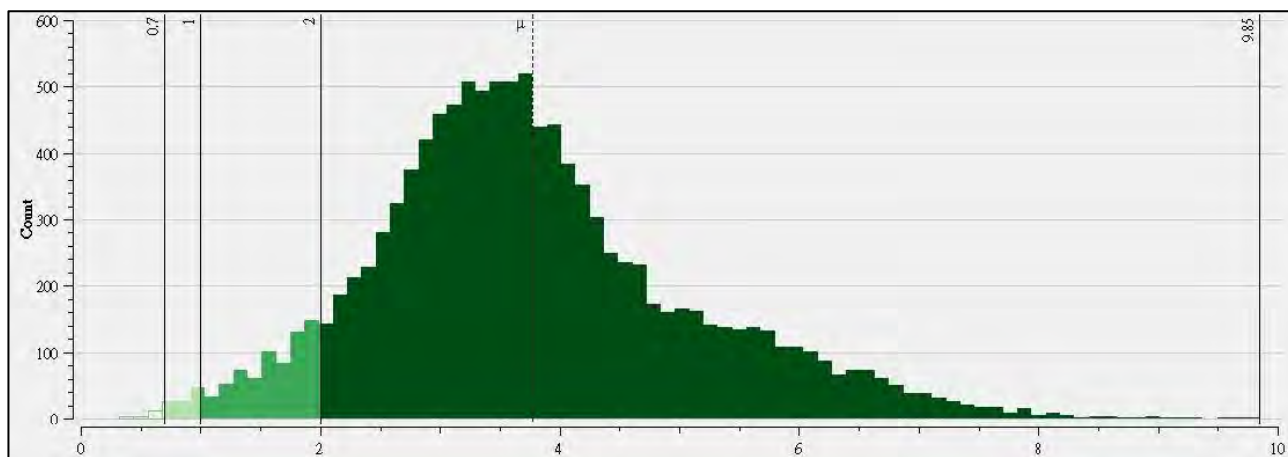


圖 2-37 空載光達點雲密度統計圖

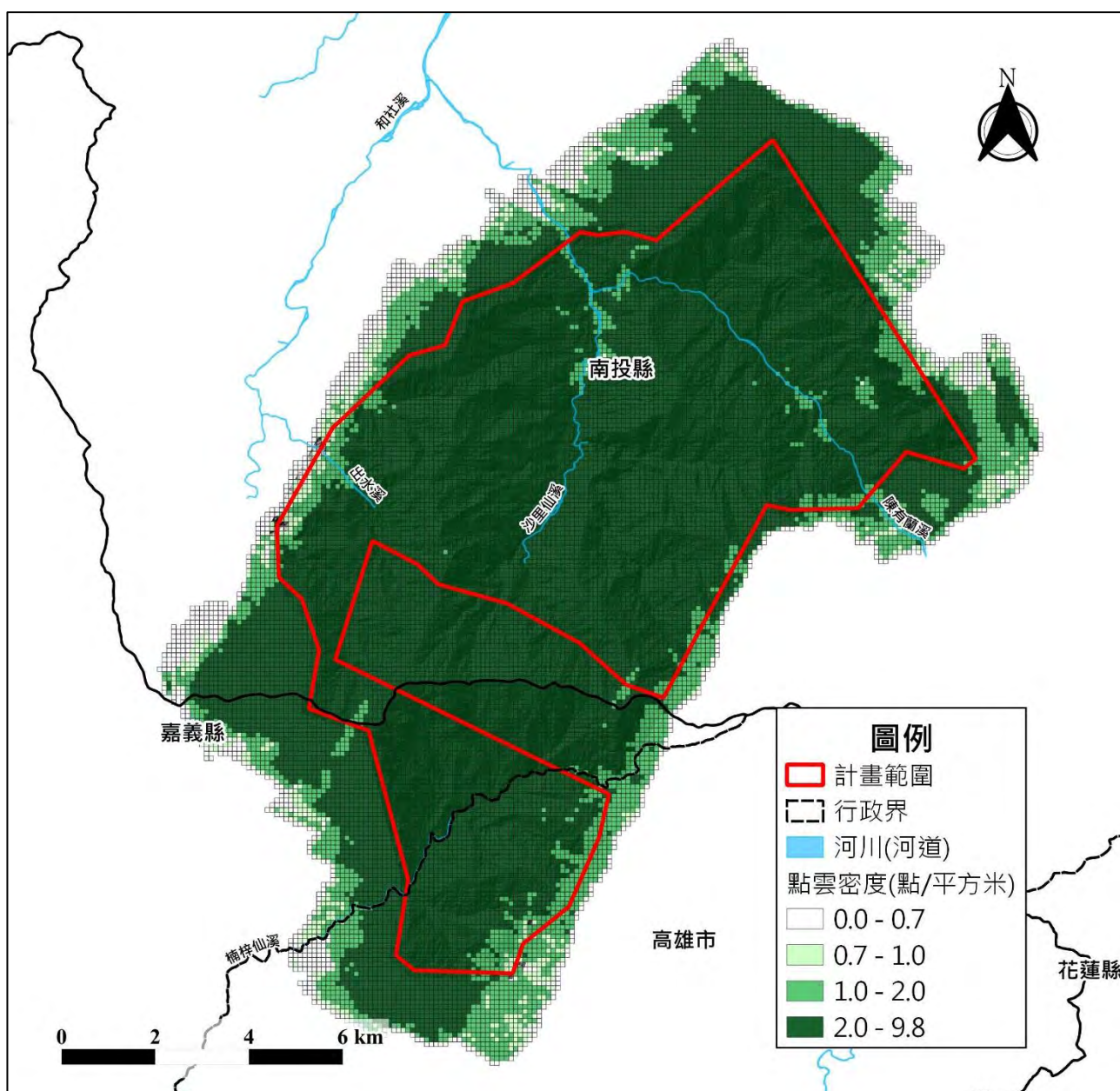


圖 2-38 點雲密度檢核成果圖

2-7 數值高程模型(DEM)與數值地表模型(DSM)製作

- 一、製作內容：包含人工編修與檢核、正高改算、網格計算以及圖幅鑲嵌處理等。
- 二、製作程序：應於航帶平差工作完成，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，但最後的成果應經過人工的檢核及編修程序。
- 三、人工編修與檢核：利用 Terrascan 模組進行點雲自動分類，其演算法原理主要利用選取範圍內的低點組成三角網模型，形成初始地表，接續以人工設定三角網垂直距離(iteration distance)，判定其餘點是否為地表點，自動分類地表點雲與非地表點雲。藉由點雲自動分類完成初步地表分類，接續以人工編修獲取完整地表資料，人工編修畫面如圖 2-39 以及圖 2-40。

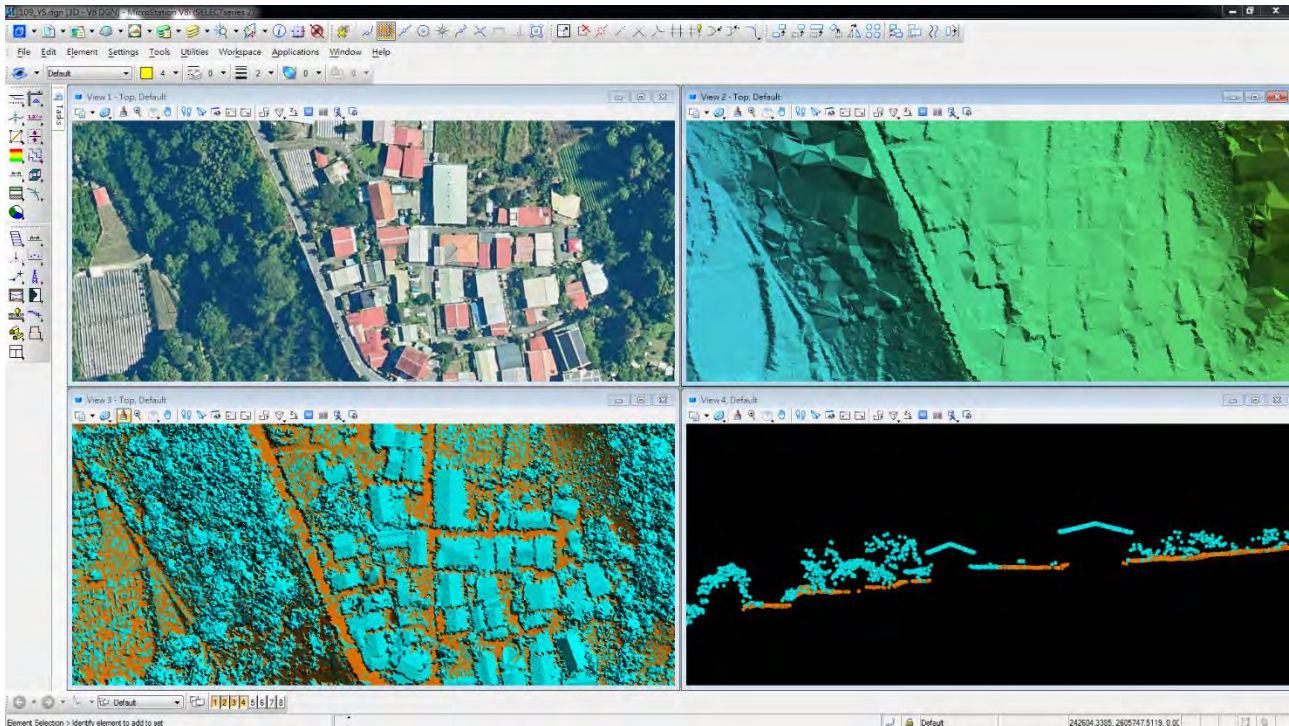


圖 2-39 點雲人工編修畫面

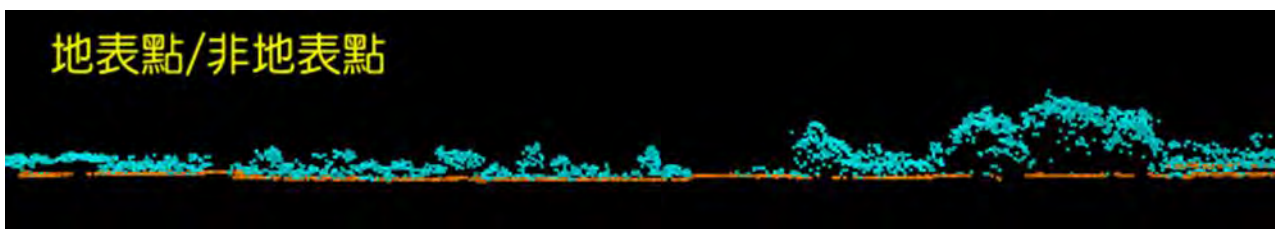


圖 2-40 點雲編修分類成果示意圖

四、DEM/DSM 網格內插：本計畫使用 SCOP++軟體，將分類後點雲成果內插為 1 米之 DEM/DSM，SCOP++操作畫面如圖 2-41，成果示意圖如圖 2-42。

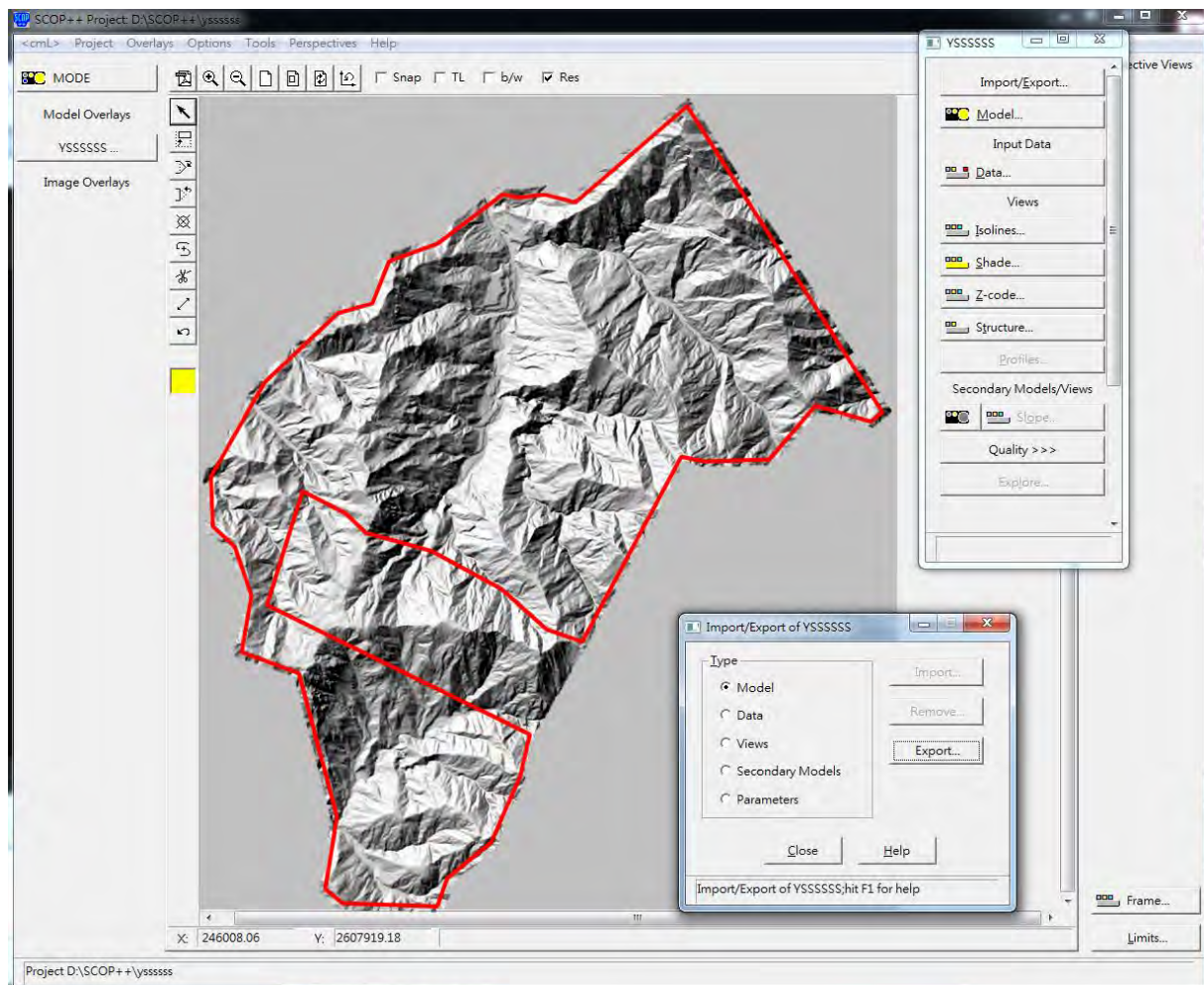


圖 2-41 SCOP++內插作業畫面

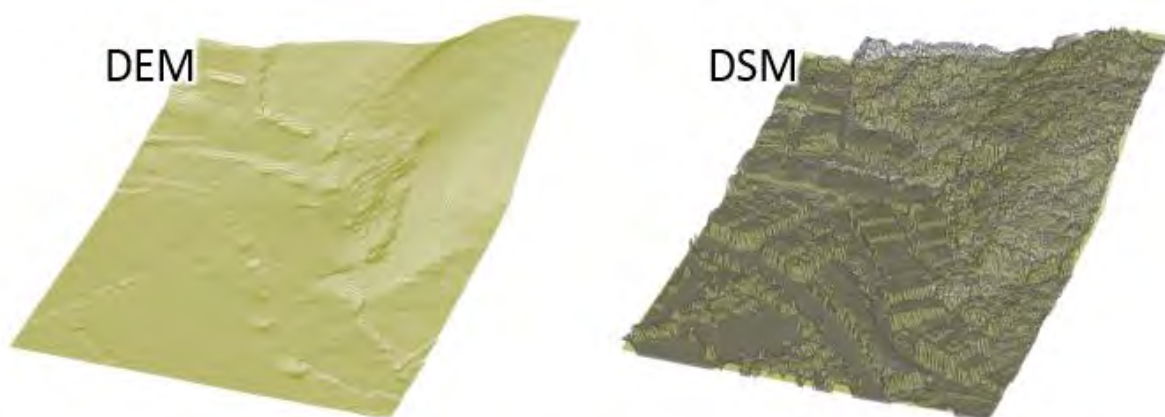


圖 2-42 DEM/DSM 成果示意圖

五、圖幅：以現行 1/5,000 像片基本圖之圖幅為分幅之依據，實際涵蓋範圍應較基本圖略大，以能包括 4 個圖隅點，並向外擴大到 1 米整倍數坐標值之網格點所連接之矩形為準。各圖幅間得重疊，重疊區資料應重複且相同。本案需繳交 1/2,500、1/5,000 圖幅 DEM/DSM 成果，共包含 31 幅 1/5,000 圖幅及 96 幅 1/2,500 圖幅，圖幅列表如表 2-15 及表 2-16，圖幅與計畫範圍分布如圖 2-43。

表 2-15 計畫範圍涵蓋 31 幅 1/5,000 圖幅列表

1	95191005	9	95191026	17	95202078	25	95202090
2	95191006	10	95191027	18	95202079	26	95202095
3	95191007	11	95191036	19	95202080	27	95202096
4	95191008	12	95191037	20	95202085	28	95202097
5	95191015	13	95202068	21	95202086	29	95202098
6	95191016	14	95202069	22	95202087	30	95202099
7	95191017	15	95202076	23	95202088	31	95202100
8	95191018	16	95202077	24	95202089		

表 2-16 計畫範圍涵蓋 96 幅 1/2,500 圖幅列表

1	95191005NE	26	95191018NW	51	95202079SE	76	95202095NW
2	95191005NW	27	95191026NE	52	95202079SW	77	95202095SE
3	95191005SE	28	95191026NW	53	95202080SW	78	95202095SW
4	95191005SW	29	95191026SE	54	95202085SE	79	95202096NE
5	95191006NW	30	95191026SW	55	95202085SW	80	95202096NW
6	95191006SE	31	95191027NE	56	95202086NE	81	95202096SE
7	95191006SW	32	95191027NW	57	95202086NW	82	95202096SW
8	95191007NE	33	95191027SE	58	95202086SE	83	95202097NE
9	95191007NW	34	95191027SW	59	95202086SW	84	95202097NW
10	95191007SE	35	95191036NE	60	95202087NE	85	95202097SE
11	95191007SW	36	95191036NW	61	95202087NW	86	95202097SW
12	95191008NE	37	95191037NW	62	95202087SE	87	95202098NE
13	95191008NW	38	95202068SE	63	95202087SW	88	95202098NW
14	95191008SE	39	95202069SW	64	95202088NE	89	95202098SE
15	95191008SW	40	95202076SE	65	95202088NW	90	95202098SW
16	95191015NE	41	95202077NE	66	95202088SE	91	95202099NE
17	95191015NW	42	95202077NW	67	95202088SW	92	95202099NW
18	95191015SE	43	95202077SE	68	95202089NE	93	95202099SE
19	95191016NE	44	95202077SW	69	95202089NW	94	95202099SW
20	95191016NW	45	95202078NE	70	95202089SE	95	95202100NE
21	95191016SE	46	95202078NW	71	95202089SW	96	95202100NW
22	95191016SW	47	95202078SE	72	95202090NW		
23	95191017NW	48	95202078SW	73	95202090SE		
24	95191017SE	49	95202079NE	74	95202090SW		
25	95191017SW	50	95202079NW	75	95202095NE		

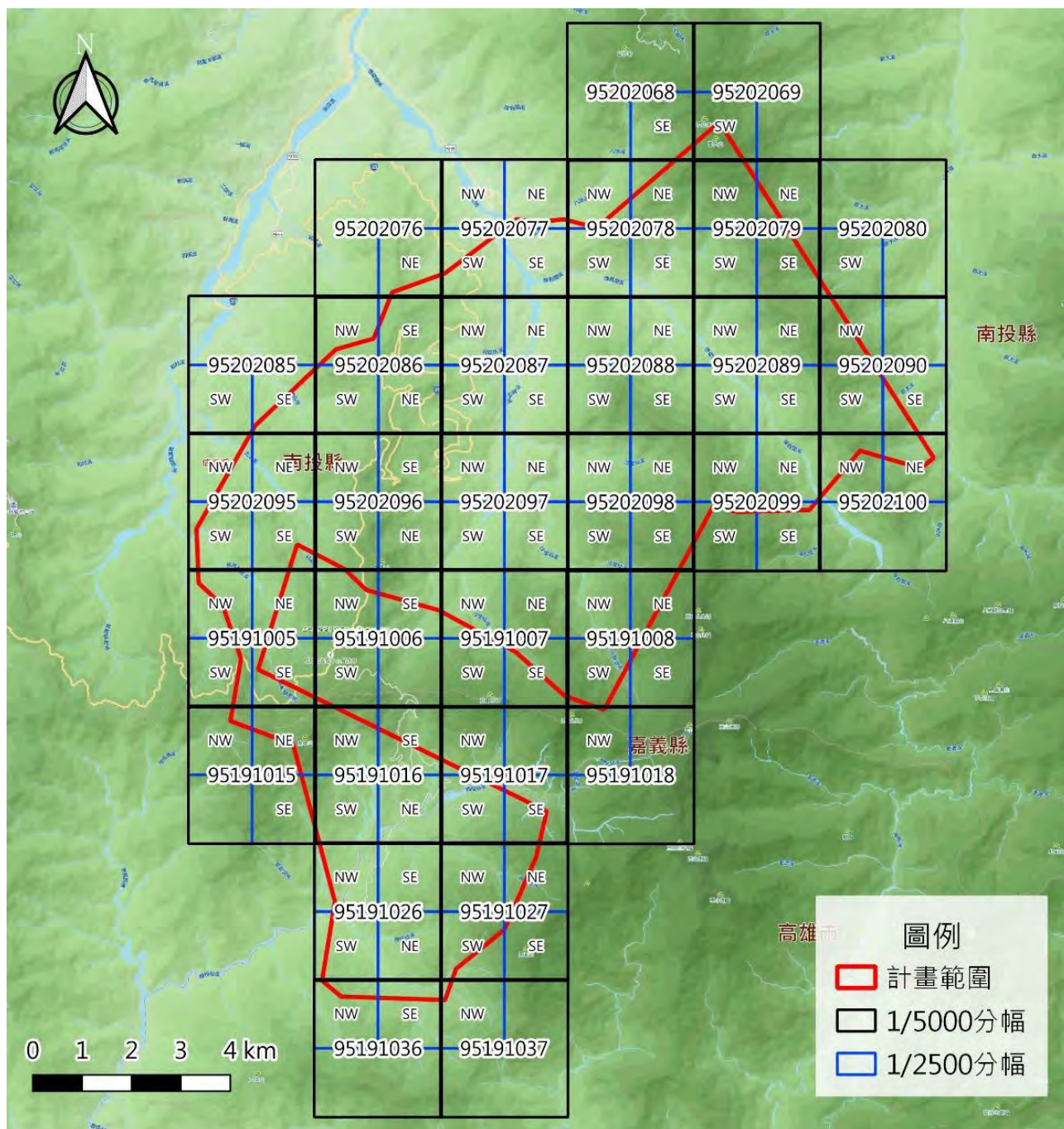


圖 2-43 計畫範圍 1/5000 圖幅分布

六、資料格式：數據以米為單位，光達掃瞄如遭遇水體而無反射資料，以致沒有水體面高程數據，於本案仍屬可接受。規則網格 DEM 及 DSM 在水體面無高程數據者，使用同一識別碼識別「無數據」，並於詮釋資料中加以說明。

- (一) 原始光達數據：WGS84 坐標系統，屬不規則離散測點，資料格式為 LAS 檔，資料欄位包括 x,y,z 三維坐標、光達反應值(intensity)、多重回波之數據紀錄及分類後類別之代碼。每幅數據需有詮釋資料文件。
- (二) 分類後地面測點與非地面測點數據：WGS84 坐標系統，屬不規則離散測點，資料格式為 LAS 檔，資料欄位包括 x,y,z 三維坐標、測點光達反應值(intensity)。每幅數據需有詮釋資料文件。
- (三) DEM 及 DSM 規則網格資料：資料格式依內政部「**高精度及高解析度數值地形模型測製規範**」(草案)規定辦理。
- (四) 數值地形資料鑲嵌：執行範圍施測之成果必須與已執行完畢之區域進行接邊資料的銜接，並重新加以編修，使鑲嵌之成果平滑化。

七、資料精度：DEM 之品質依地形類別及地表植被覆蓋情形而分別訂定如后，本案之 DEM 處理過程屬於 Level 2B 等級，詳細內容依據『高精度及高解析度數值地形模型測製規範』草案之規定方式辦理。

(一) 精度標準

以基本精度加上地形類別及地表植被覆蓋情形之精度調整參數而得，計算公式如下：

$$\sigma = a + b + c \cdot t$$

式中 a 為基本精度；

b 為地形類別調整參數；

c 為地表植被覆蓋情形調整參數；

t 為地表植被平均高度。

1. DEM 產品分成兩類，定義為 level 2A 及 2B，其處理流程如圖 2-44 以及圖 2-45。本案之處理過程屬於 Level 2B 等級，精度取該等級之參數計算。以下依空載光達生產的 DEM 產品等級，列出上述各參數之數值如表 2-17 以及表 2-18。

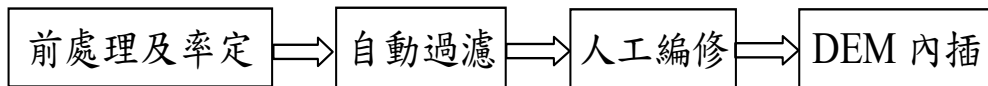


圖 2-44 level 2A DEM 產品等級之處理流程

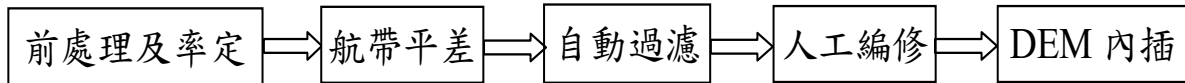


圖 2-45 level 2B DEM 產品等級之處理流程

表 2-17 高程基本精度 a (單位 m)

基本精度	Level 1	Level 2	Level 3
A	0.8	0.6	0.5
B	0.5	0.3	0.2

表 2-18 地形類別調整參數 b (單位 m)

地形類別	Level 1	Level 2	Level 3
平地	0.2	0.0	0.0
丘陵	0.5	0.2	0.2
山地	1.0	0.5	0.5
陡峭山地	2.0	1.0	1.0

表 2-19 地表植被覆蓋情形調整參數 c (無單位)

植被覆蓋類別	Level 1	Level 2	Level 3
裸露地	0.1	0.0	0.0
植生地	0.3	0.2	0.2
林地	0.5	0.3	0.3
密林地	1.0	0.5	0.5

1. 地形類別分為平地、丘陵地、山地及陡峭山地，其定義如后。

- (1) 平地—地表坡度在 5° 以下的地區。
- (2) 丘陵地—地表坡度在 $5^\circ \sim 15^\circ$ 之間的地區。
- (3) 山地—地表坡度在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 之間的地區。
- (4) 陡峭山地—地表坡度在 30° 以上的地區。

2. 地表植被覆蓋情形分為裸露地、植生地、林地及密林地等類別，計算方式如后。

- (1) 裸露地—以任一點為中心，半徑在 10 個網格間距的範圍內，其受植被覆蓋之面積少於 25% 者，則在該範圍內視為裸露地。

- (2) 植生地—以任一點為中心，半徑在 10 個網格間距的範圍內，其受植被覆蓋之面積介於 25%~50% 者，則在該範圍內視為植生地。
- (3) 林地—以任一點為中心，半徑在 10 個網格間距的範圍內，其受植被覆蓋之面積介於 50%~75% 者，則在該範圍內視為林地。
- (4) 密林地—以任一點為中心，半徑在 10 個網格間距的範圍內，其受植被覆蓋之面積大於 75%，且範圍內樹冠平均高度達 DEM 或 DSM 規範中誤差之 4 倍以上者，則視為密林地。

(二) 檢核結果

於人車可以抵達區域(東埔、台 18 線及台 21 線)，採用 GNSS 之 VBS-RTK 方式施測不同地物類別各 20 點，檢核成果如表 2-20 以及附件五，繪製各類別統計分析圖如圖 2-46~圖 2-49，各點位近景及遠景像片詳如附件五。

表 2-20 DEM 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	20	-0.185m ~ 0.179m	±0.3m	合格
2	植生地	20	-0.187m ~ 0.265m	±0.4m	合格
3	林地	20	-0.216m ~ 0.177m	±0.9m	合格
4	密林地	20	-0.249m ~ 0.150m	±1.8m	合格



圖 2-46 地類檢核點成果-裸露地

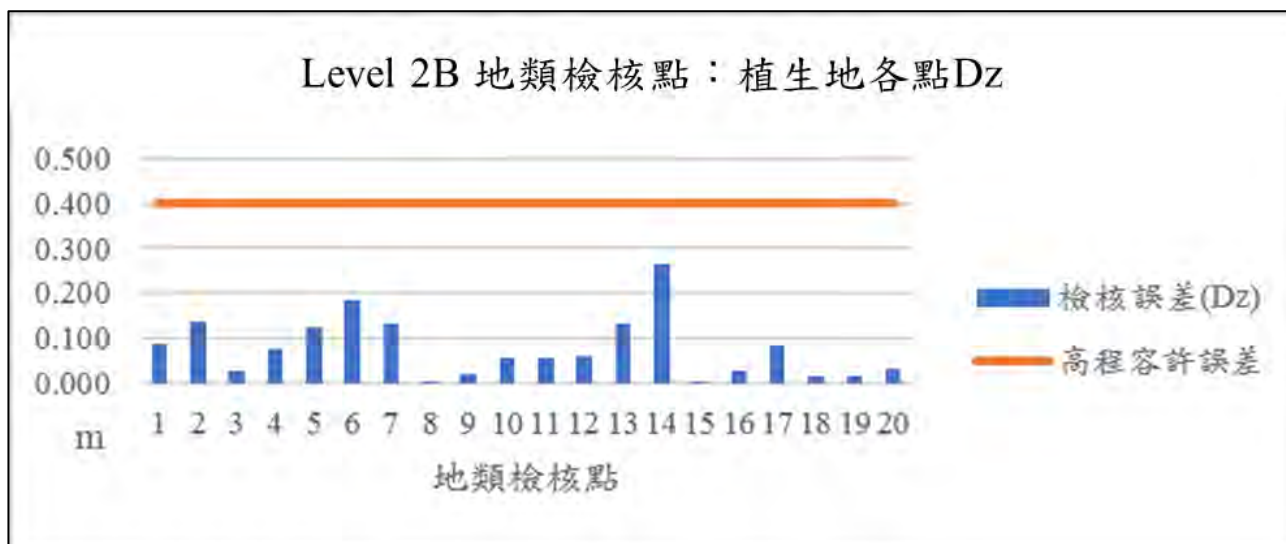


圖 2-47 地類檢核點成果-植生地

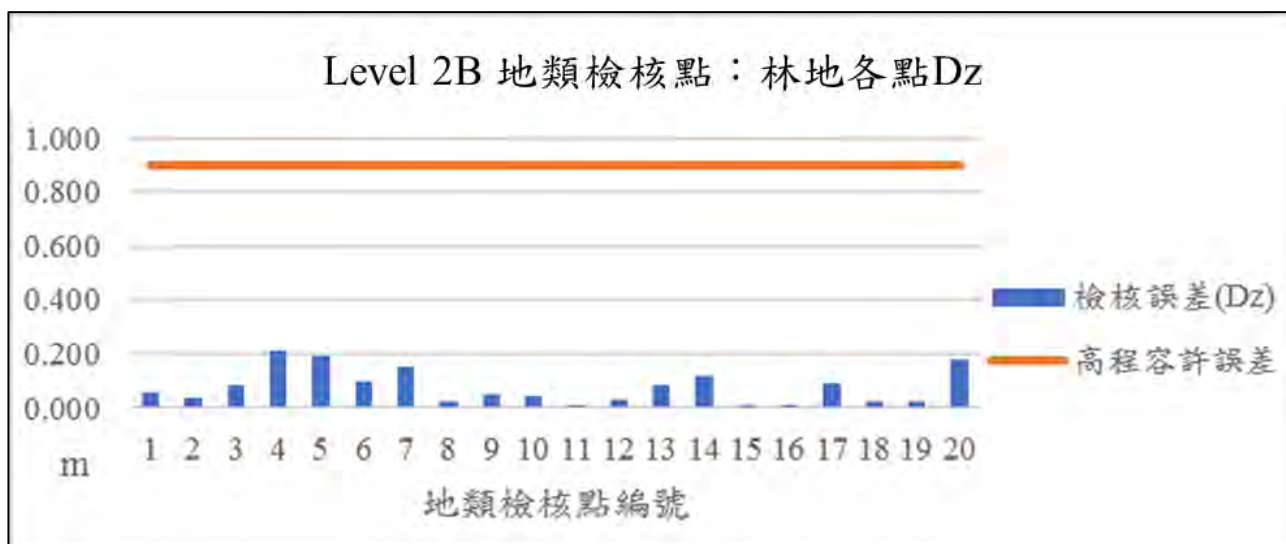


圖 2-48 地類檢核點成果-林地

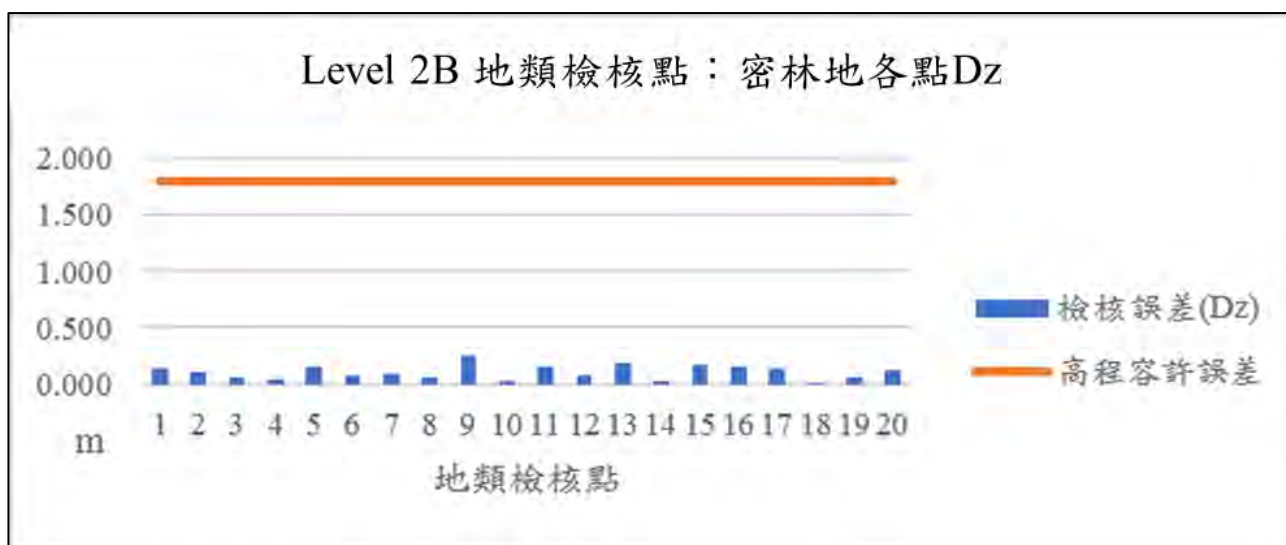


圖 2-49 地類檢核點成果-密林區

八、內政部數值地形模型資料流通供應平台格式

繳交 1/5000 圖幅之 DEM 及 DSM 成果相關檢核明細、成果列表。
前項成果檔案，至少包含：檔案清單、詮釋資料檔(.xml)、檔頭資料檔(.hdr)、網格資料檔(.grd)。DEM 及 DSM 成果均經過內政部 DTM 成果資料檢核程式檢核，並全數通過檢核如圖 2-50 及圖 2-51。

原始資料路徑 D:\109YS\1mDEM_5000							
	檢核項目						
圖幅號碼	1.檔案齊全	2.檔案名稱	3.檔案開啟	4.檔頭內容	5.網格格式	6.網格內容	7.坐標檢核
95191005dem	○	○	○	○	○	○	○
95191006dem	○	○	○	○	○	○	○
95191007dem	○	○	○	○	○	○	○
95191008dem	○	○	○	○	○	○	○
95191015dem	○	○	○	○	○	○	○
95191016dem	○	○	○	○	○	○	○
95191017dem	○	○	○	○	○	○	○
95191018dem	○	○	○	○	○	○	○
95191026dem	○	○	○	○	○	○	○
95191027dem	○	○	○	○	○	○	○
95191036dem	○	○	○	○	○	○	○
95191037dem	○	○	○	○	○	○	○
95202068dem	○	○	○	○	○	○	○
95202069dem	○	○	○	○	○	○	○
95202076dem	○	○	○	○	○	○	○
95202077dem	○	○	○	○	○	○	○
95202078dem	○	○	○	○	○	○	○
95202079dem	○	○	○	○	○	○	○
95202080dem	○	○	○	○	○	○	○
95202085dem	○	○	○	○	○	○	○
95202086dem	○	○	○	○	○	○	○
95202087dem	○	○	○	○	○	○	○
95202088dem	○	○	○	○	○	○	○
95202089dem	○	○	○	○	○	○	○
95202090dem	○	○	○	○	○	○	○
95202095dem	○	○	○	○	○	○	○
95202096dem	○	○	○	○	○	○	○
95202097dem	○	○	○	○	○	○	○
95202098dem	○	○	○	○	○	○	○
95202099dem	○	○	○	○	○	○	○
95202100dem	○	○	○	○	○	○	○
圖幅總數	31						
檢驗日期	2020/9/24					權責機關 (請加蓋機關印信)	
檢核結果	☐ 不通過 ☒ 通過第 3 級檢核						
檢核說明	1、任一圖幅之檢核項目1~3有錯誤情形，判定為「不通過」。 2、通過第1級檢核者：即通過檢核項目1~3。 3、通過第2級檢核者：即通過檢核項目1~5。 4、通過第3級檢核者：即通過檢核項目1~7。 5、欲了解各圖幅之檢核情形，請查對各圖幅所對應之檢核成果明細(*.chk)檔						

圖 2-50 DEM 31 幅全數通過檢核

原始資料路徑	D:\109YS\1mDSM_5000						
	檢核項目						
圖幅號碼	1.檔案齊全	2.檔案名稱	3.檔案開啟	4.檔頭內容	5.網格格式	6.網格內容	7.坐標檢核
95191005dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191006dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191007dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191008dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191015dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191016dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191017dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191018dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191026dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191027dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191036dsm	○	○	○	○	○	○	○
95191037dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202068dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202069dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202076dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202077dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202078dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202079dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202080dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202085dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202086dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202087dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202088dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202089dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202090dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202095dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202096dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202097dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202098dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202099dsm	○	○	○	○	○	○	○
95202100dsm	○	○	○	○	○	○	○
圖幅總數	31						
檢驗日期	2020/9/24					權責機關 (請加蓋機關印信)	
檢核結果	☐ 不通過 ☒ 通過第 3 級檢核						
檢核說明	1、任一圖幅之檢核項目1~3有錯誤情形，判定為「不通過」。 2、通過第1級檢核者：即通過檢核項目1~3。 3、通過第2級檢核者：即通過檢核項目1~5。 4、通過第3級檢核者：即通過檢核項目1~7。 5、欲了解各圖幅之檢核情形，請查對各圖幅所對應之檢核成果明細(*.chk)檔						

圖 2-51 DSM 31 幅全數通過檢核

九、DEM/DSM 成果展示

本案加值回饋製作計畫範圍外與玉管處既有 105 年成果之重疊處之 DEM/DSM，重疊區面積約為 17.13 平方公里，原委辦計畫面積為 109.82 平方公里，本案提交成果面積為 126.95 平方公里。

以日照陰影圖(Hillshade)並加上重要地標位置，展示本案 1 米之數值高程模型(DEM)與數值地表模型(DSM)製作成果，如圖 2-52 及圖 2-53。

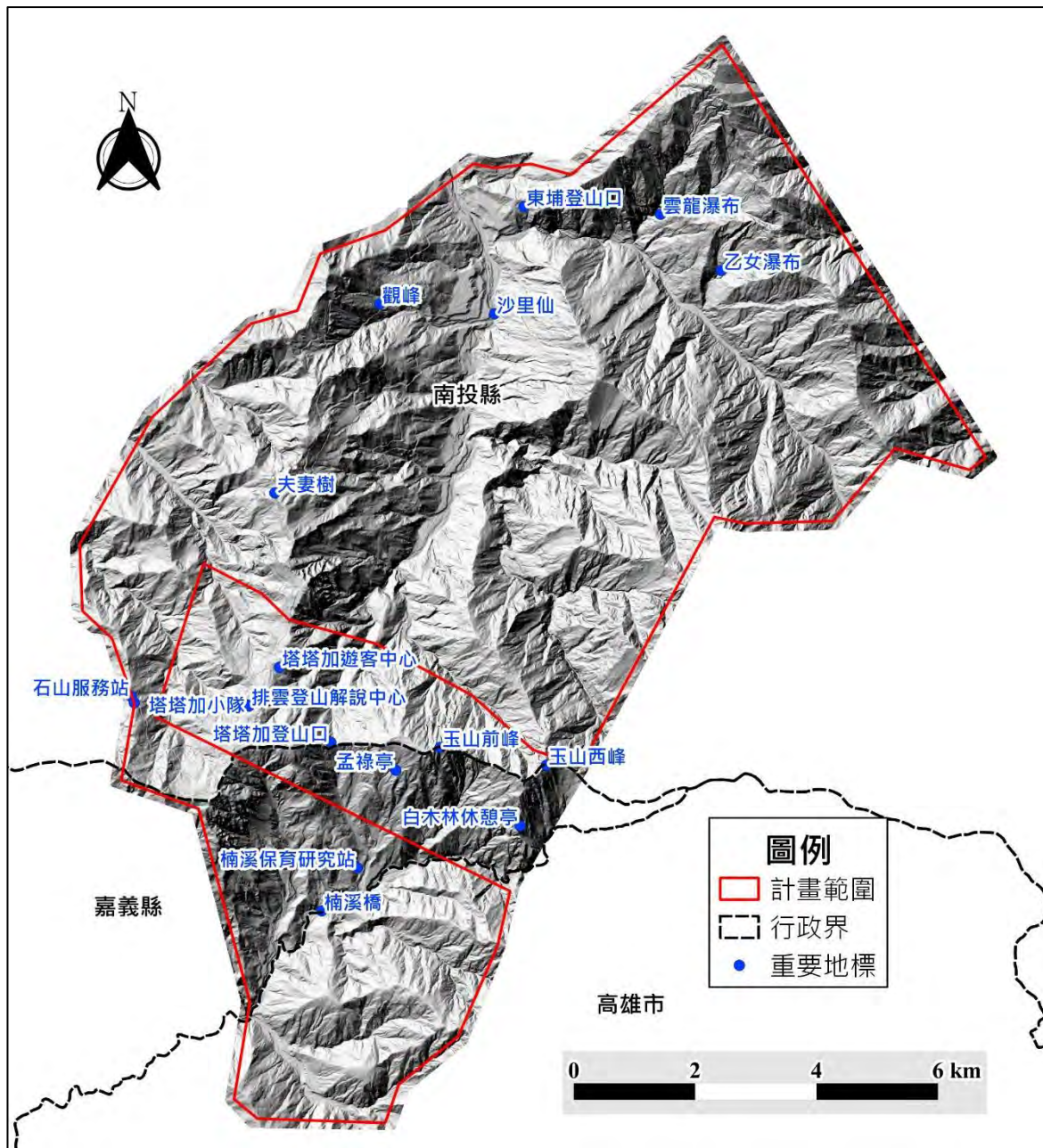


圖 2-52 數值高程模型(DEM)成果展示圖

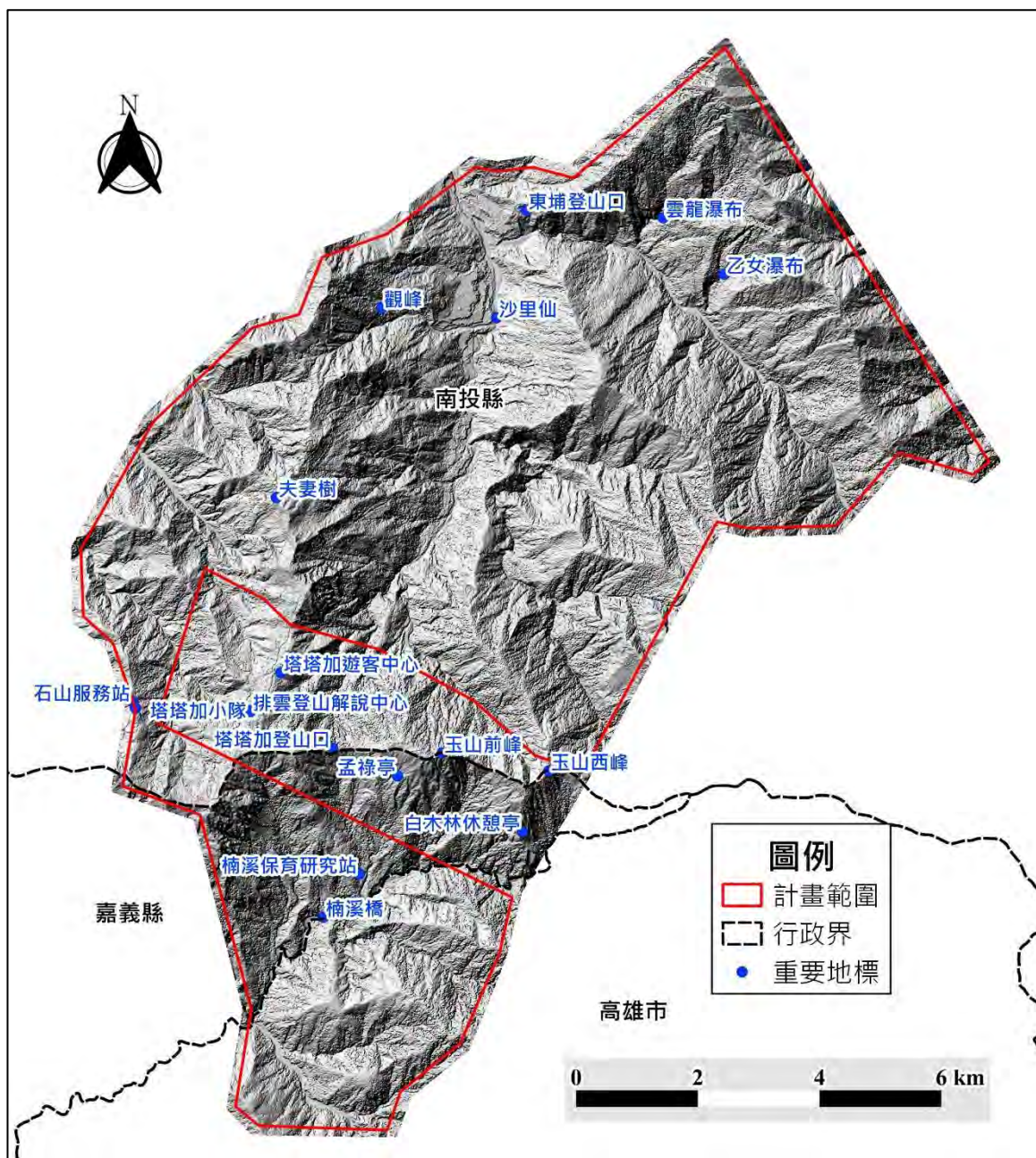


圖 2-53 數值地表模型(DSM)成果展示圖

2-8 正射影像製作

本計畫正射影像製作工作依據內政部「基本圖測製說明」作業規範執行。利用本計畫製作1米數值高程模型作為正射糾正使用之高程基礎資料，將中心投影的航空像片糾正為正射投影，消除像片上因影像傾斜、高差移位所造成比例尺不一致之投影誤差(圖 2-54)，正射作業製作流程如圖 2-55。

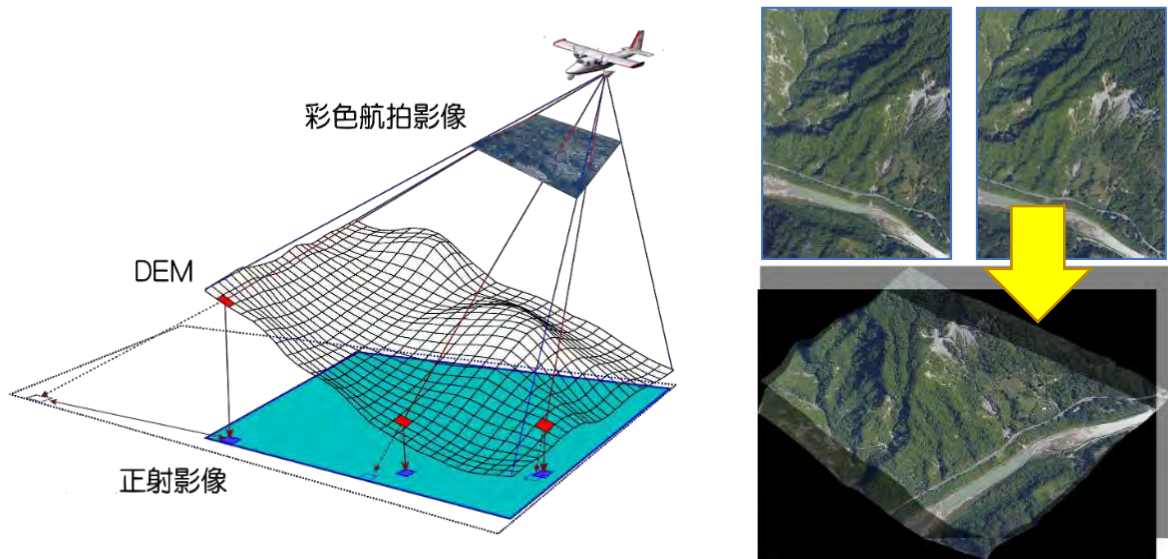


圖 2-54 影像正射糾正概念示意圖

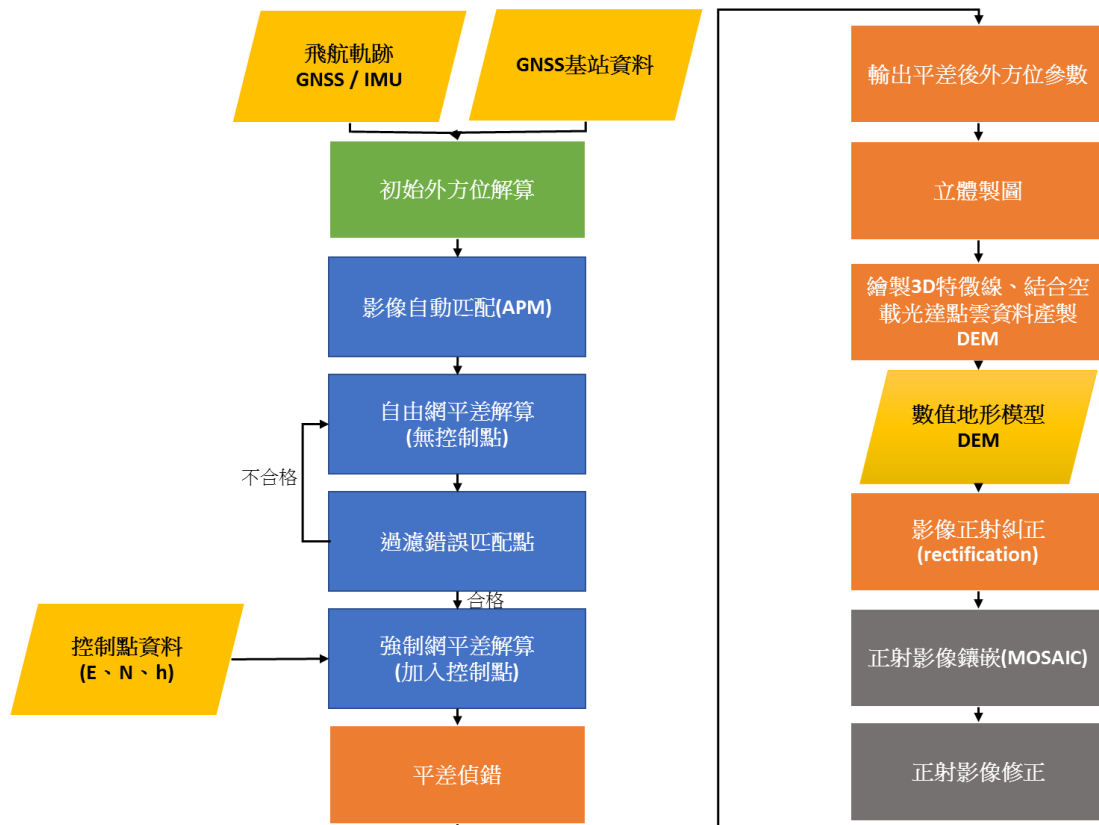


圖 2-55 正射影像製作流程

一、航空攝影

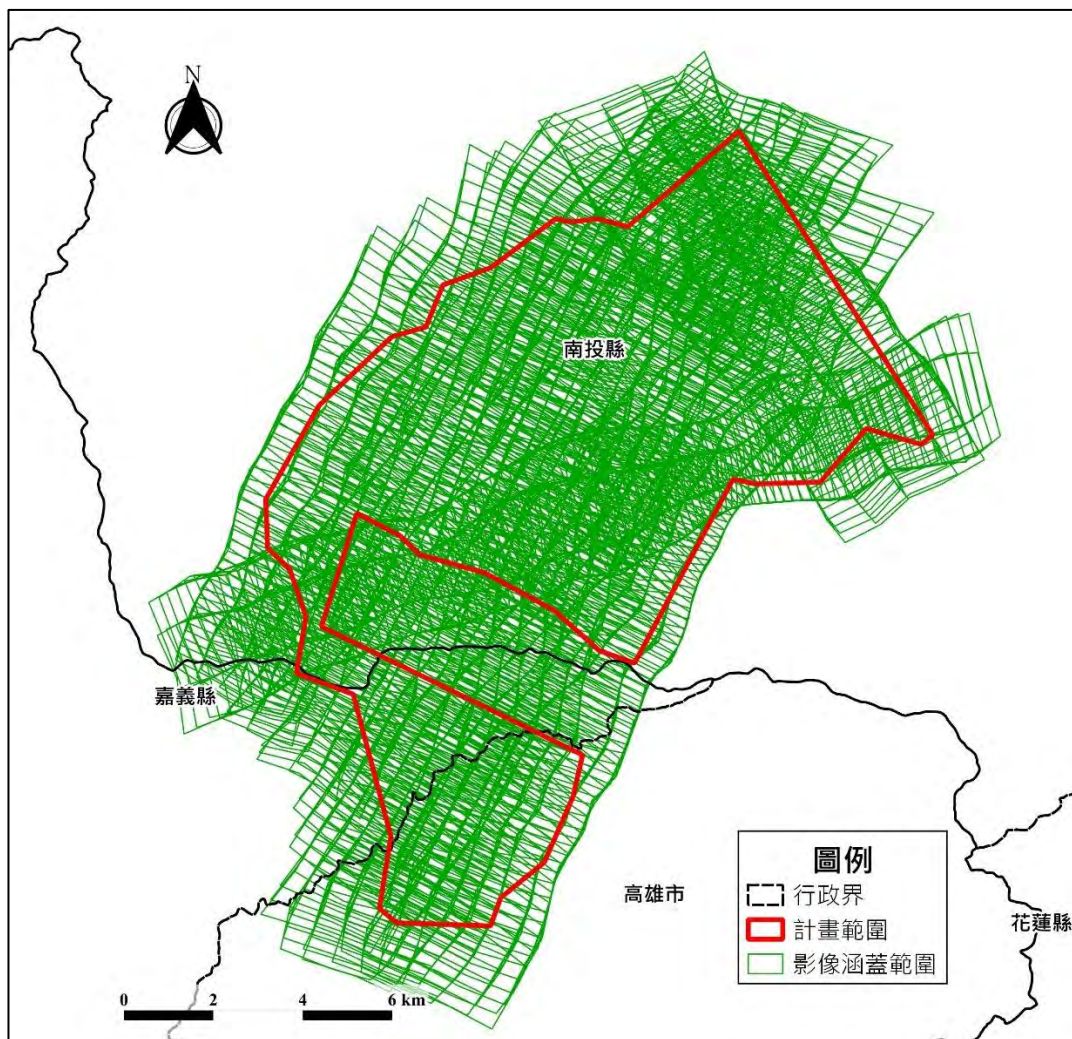
(一) 彩色航照與 LiDAR 資料以同步取得為原則。

於 109 年 6 月 3 日(2 架次)及 109 年 6 月 5 日(1 架次)採用全波形空載光達 Riegl LMS-Q780 與傾斜像機 AOS-5 同步拍攝掃描，完成同步取得本案彩色航照與 LiDAR 資料，影像涵蓋範圍如圖 2-56，重疊區域完整涵蓋計畫範圍，符合作業規範。

(二) 像機：像機像幅應大於 4,000×4,000 pixels。

本案使用 PhaseONE iXU-RS 1000 像機，像幅 11,608 x 8708 pixels，符合作業規範。

(三) 航空攝影應於天氣晴朗、能見度較佳時實施為原則。航拍影像含雲率應低於 5%，彙整本計畫拍攝原始影像(垂直攝影鏡頭)詳如附件三。



二、正射影像糾正

(一) 使用 POS 數據(GNSS+IMU)糾正航拍影像，如圖 2-57。

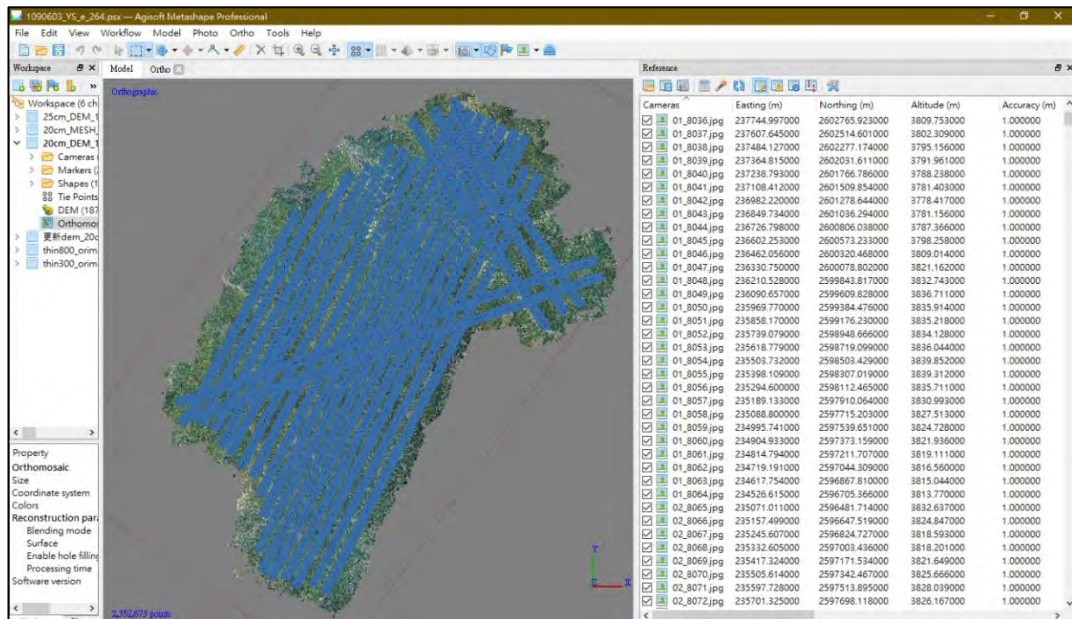


圖 2-57 使用 POS 數據糾正航拍影像製作畫面

(二) 本案繳交地面解析度 20 公分彩色正射影像，以 8bit 之 tiff 格式儲存，並含坐標定位檔。且依內政部基本圖 1/5,000 圖幅分幅正射影像資料，計畫範圍內 1/5,000 及 1/2,500 分幅分布如圖 2-58。

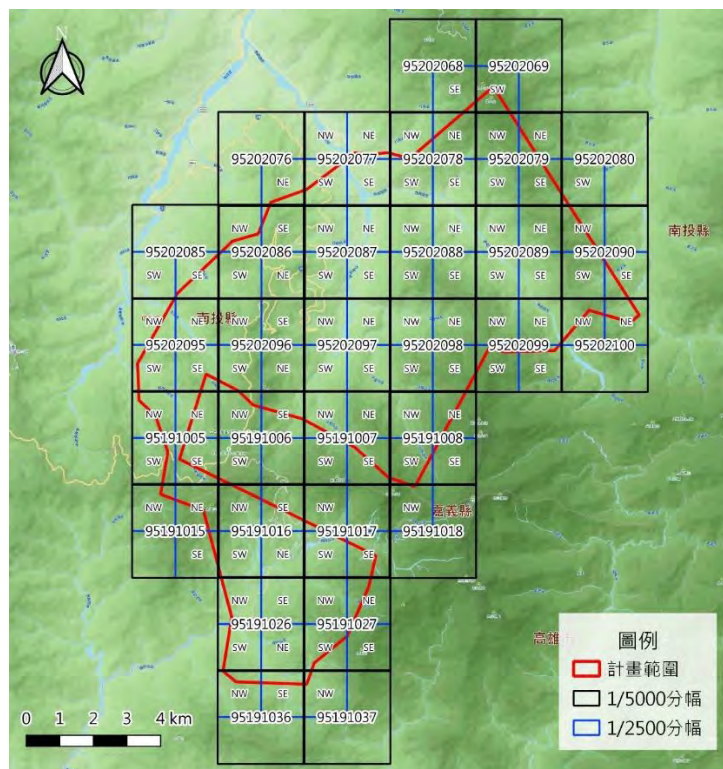


圖 2-58 正射影像繳交圖幅分布

(三) 數值正射影像以彩色影像表示，並進行無接縫鑲嵌及調整全區影像之色調、亮度一致，整張正射影像之色調應均勻圖幅鑲嵌處理，製作畫面如圖 2-59。

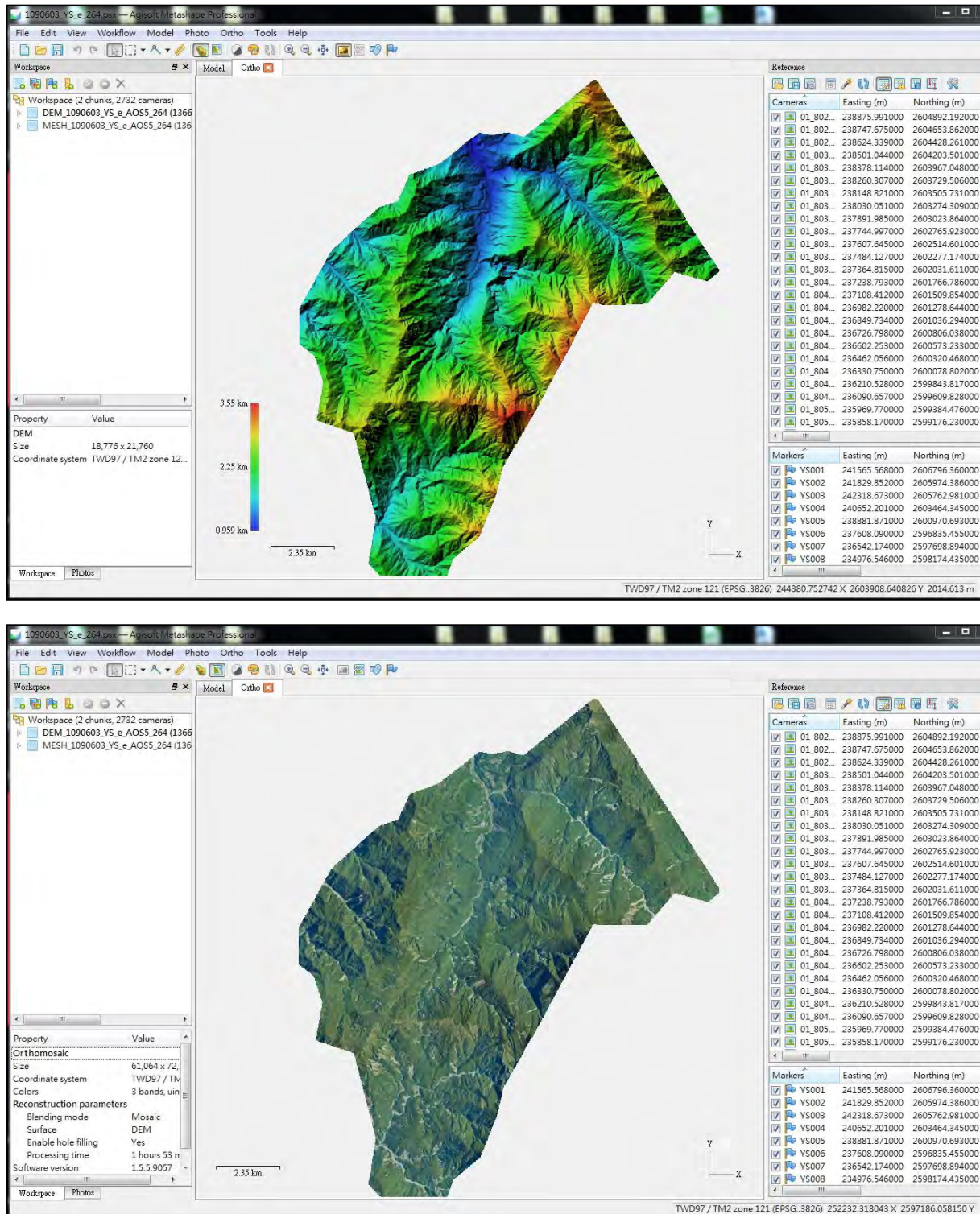


圖 2-59 正射影像製作畫面

三、正射影像成果展示

本案正射影像成果與玉管處 105 年「玉山主群峰線區域」既有正射影像成果接合，依據色彩較飽和美觀之色調修正各期影像，本期與 105 年影像色調已調整協調一致，成果展示如圖 2-60，成果接邊處局部放大檢查比對如圖 2-61 及圖 2-62。

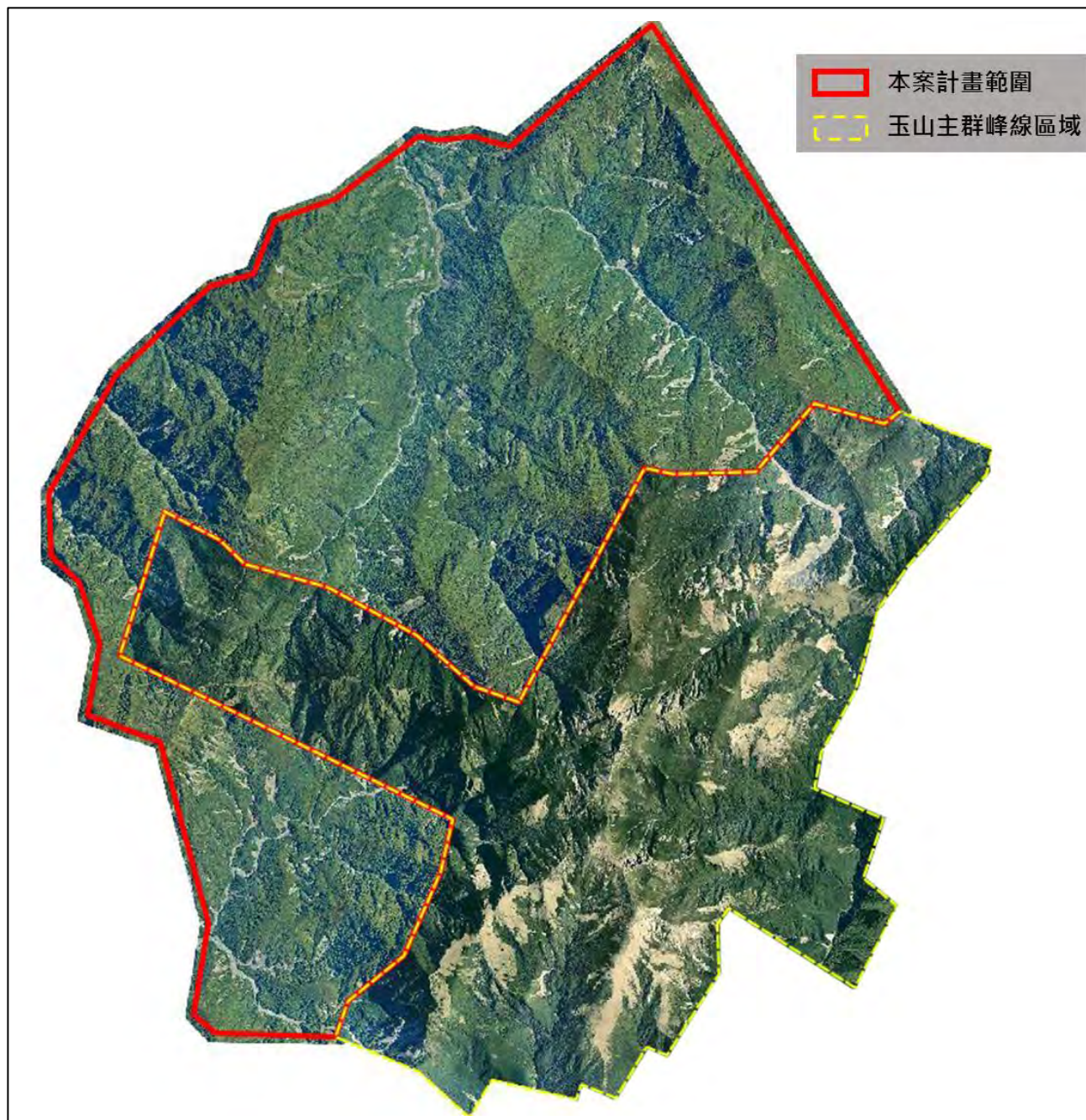


圖 2-60 正射影像成果展示

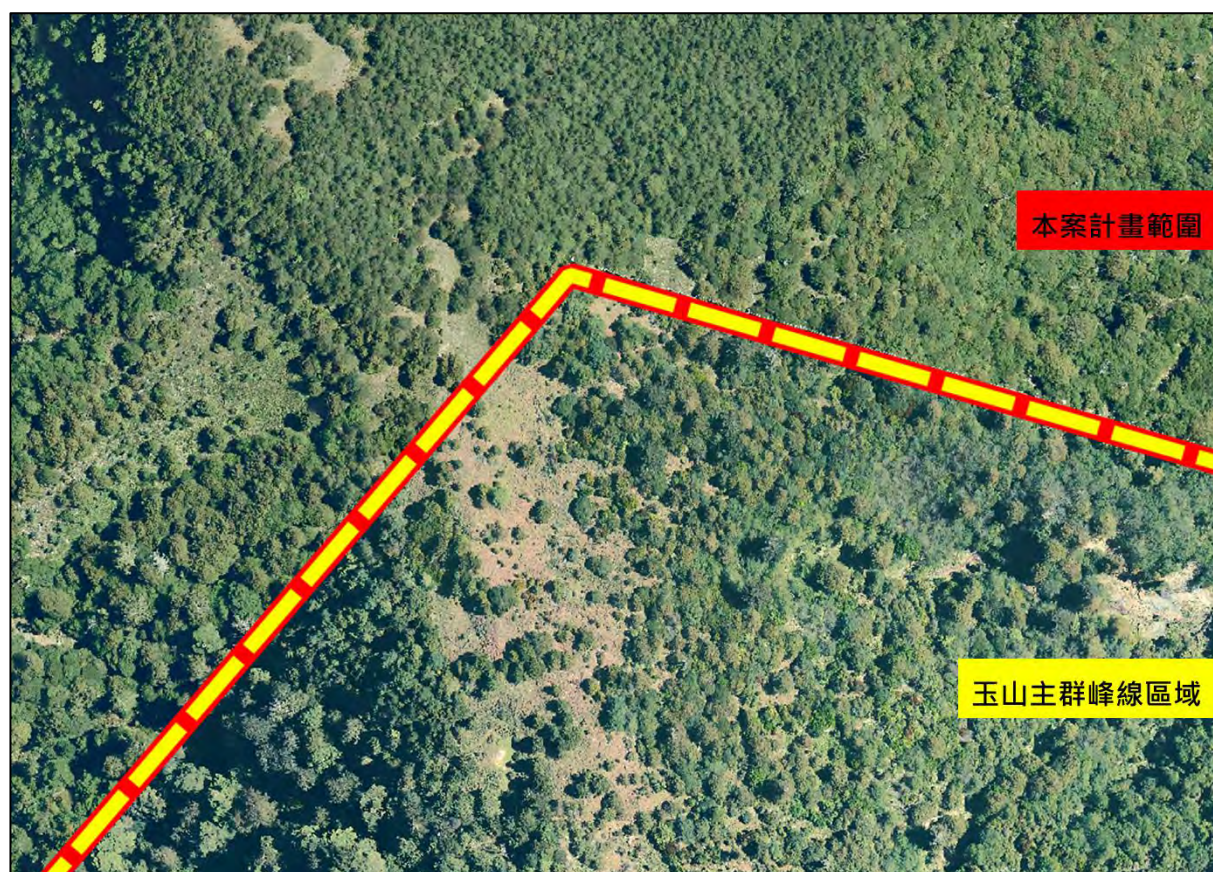


圖 2-61 正射影像歷年成果接邊局部放大 1



圖 2-62 正射影像歷年成果接邊局部放大 2

四、正射影像成果比對

(一) 本案成果與公開影像比對

本案使用航空攝影製作之 20cm 正射影像成果，擷取相同地點比對測繪中心及 Google earth 之公開影像，相比之下色調、解析度及精度遠優於以上兩者公開影像，如圖 2-63 及圖 2-64。

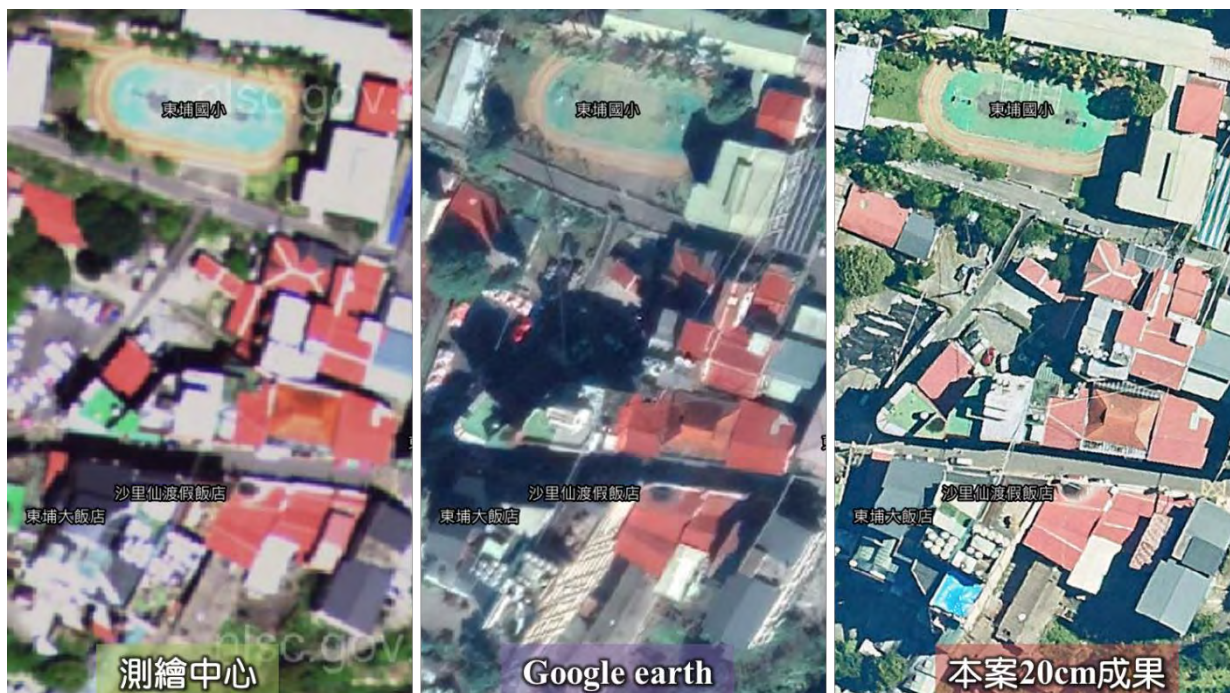


圖 2-63 本案成果與公開影像比對-東埔地區



圖 2-64 本案成果與公開影像比對-鹿林山莊

(二) 本案成果與歷年成果比對

本案加值回饋製作計畫範圍外與玉管處既有 105 年成果之重疊處正射影像，重疊區面積約為 17.13 平方公里，原委辦計畫面積為 109.82 平方公里，本案提交成果面積為 126.95 平方公里。判釋不同時期影像可瞭解其變遷過程作為環境評估分析之依據，兩期影像比對如圖 2-65 及圖 2-66。



圖 2-65 本案成果與 105 年成果比對-塔塔加遊客中心入口



圖 2-66 本案成果與 105 年成果比對-楠溪林道

2-9 圖幅接邊處理

圖幅接邊處理工作包含 DEM/DSM，除各年度範圍內部圖幅接邊之外，各年度分區接邊與不同年度資料的接邊工作，已完成本案與歷年成果重疊區域的坐標點與高程值一致，作業畫面如圖 2-67 及圖 2-68。

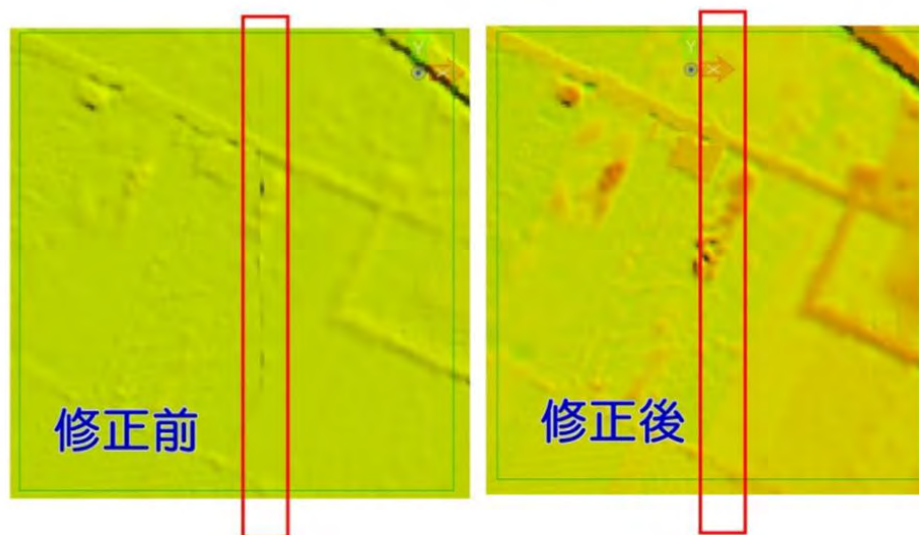


圖 2-67 網格資料接邊處理示意圖

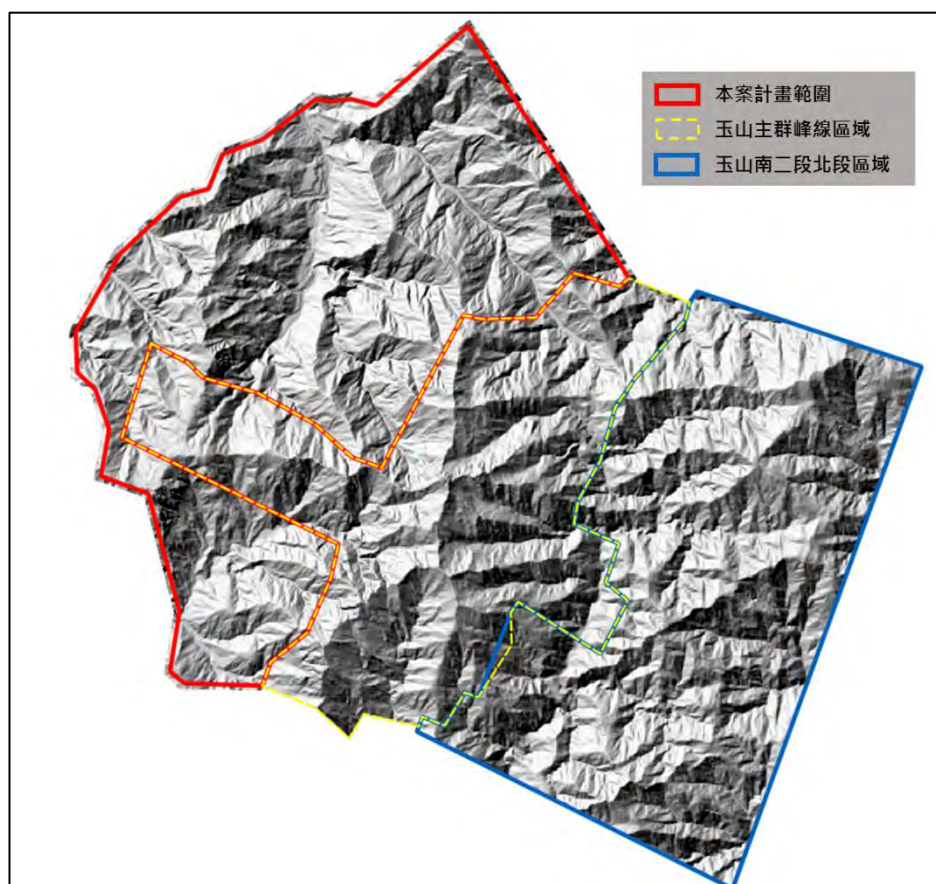


圖 2-68 玉山各年度分區接邊成果圖

2-10 影像自動匹配成果

本公司以五台 1 億畫素航測像機(Phase ONE iXU-RS 1000)組成 AOS-5 傾斜像機(圖 2-69),執行本案全區傾斜攝影。利用傾斜攝影成果,使用 ContextCapture Center 軟體進行 3D 地貌重建(圖 2-70),使用影像資料創建逼真的 3D 建模場景,在精度、自動化、適應性及流暢性等方面都有著相當高的優勢。本案局部放大成果如圖 2-71 及圖 2-72。

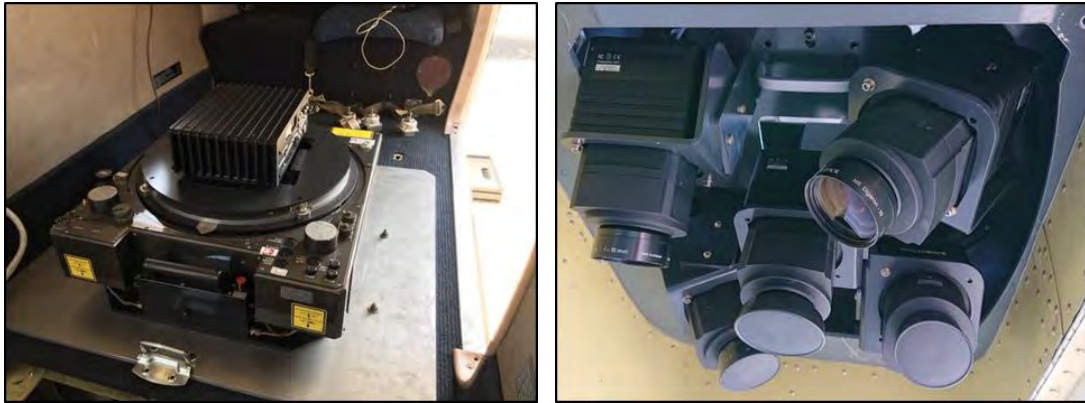


圖 2-69 AOS-5 傾斜像機實機照

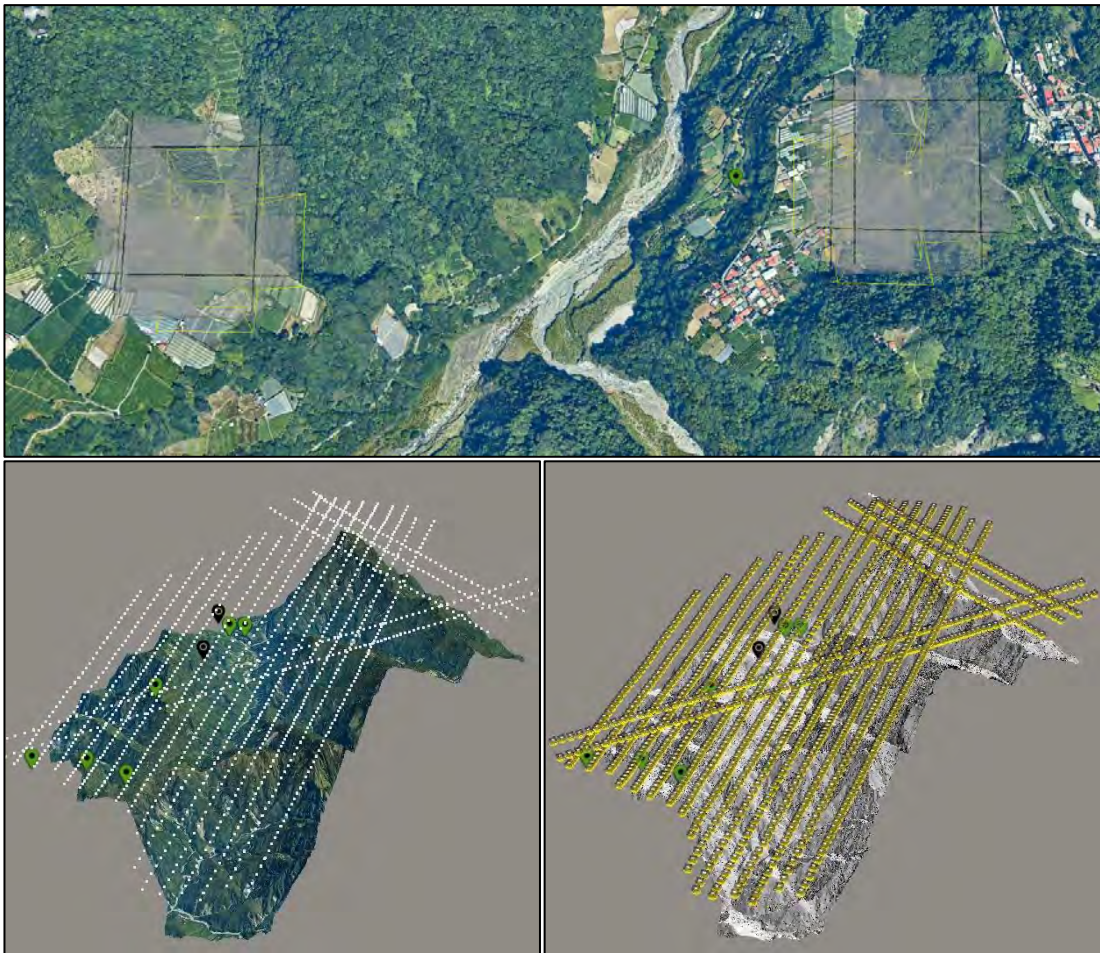


圖 2-70 ContextCapture Center 軟體影像 3D 建模畫面

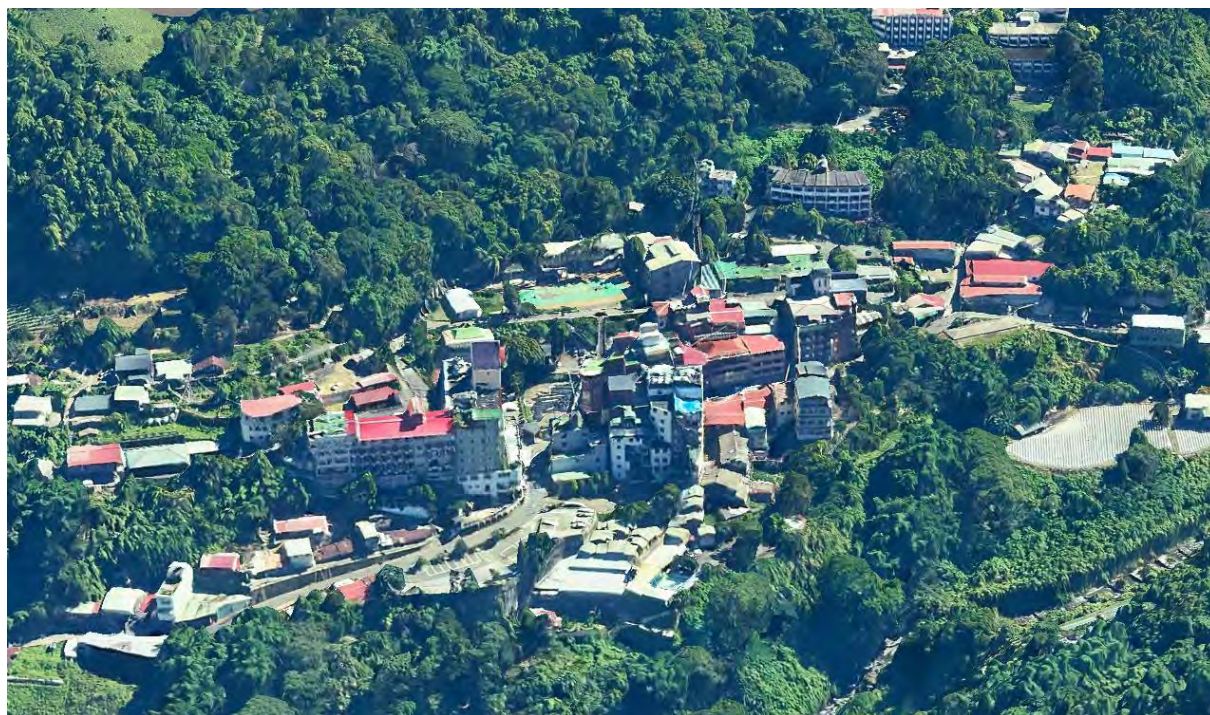


圖 2-71 本案模型成果展示-東埔地區



圖 2-72 本案模型成果展示-鹿林山莊

2-11 執行成果展示影片製作

影片內容包含工作執行方法、所有成果資料(正射影像、DEM/DSM、3D 實景模型)及本案計畫範圍新中橫公路沿線、塔塔加遊憩區及東埔至雲龍瀑布路線遊憩據點介紹,製作影片長度約 5 分鐘,影片畫面節錄如圖 2-73。

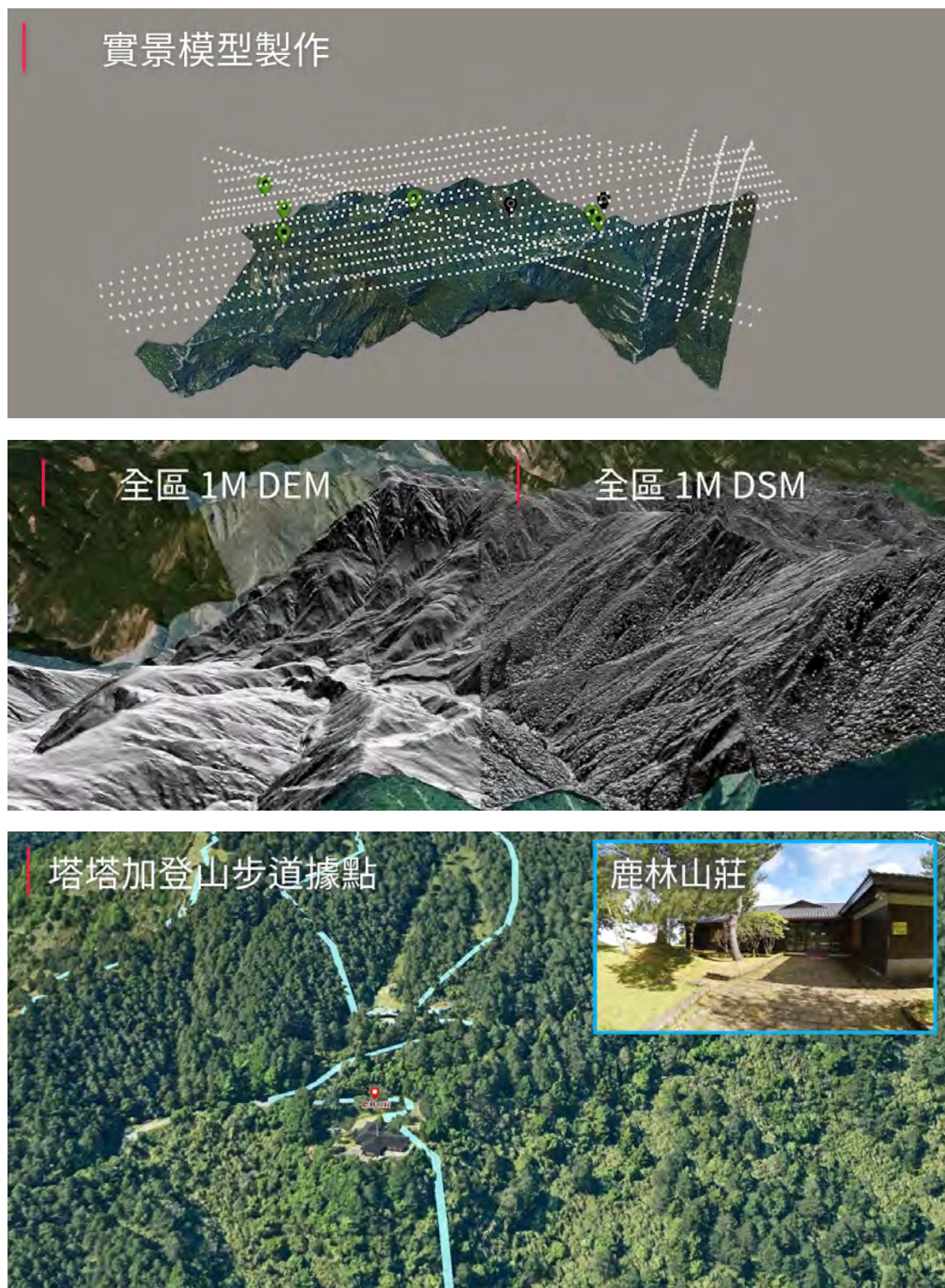


圖 2-73 執行成果展示影片示意圖

第三章 工作期程與管制維運計畫

3-1 計畫執行期程

一、工作期限：自決標次日起至 109 年 10 月 20 日止(決標日為 2 月 18 日)。

二、分項工作進度

- (一) 期初審查：本計畫於 109 年 3 月 17 日(自工字第 109036260 號)提出工作執行計畫書 10 份，並擬訂航空攝影計畫，符合契約簽訂後 30 日內(109 年 3 月 20 日)。玉管處續於 109 年 3 月 26 日辦理工作執行計畫書審查，且審查通過(營玉企字第 1091000967 號)。
- (二) 期中審查：本計畫於 109 年 7 月 16 日(自工字第 109076553 號)提出期中報告 12 份，符合契約規範(109 年 7 月 20 日前)，已取得相關航拍申請許可並已完成航空傾斜攝影及空載光達掃描作業等初步航拍及產製圖資成果。玉管處續於 109 年 8 月 6 日辦理期中報告審查，且審查通過(營玉企字第 1091002330 號)。
- (三) 期末審查：本計畫於 109 年 9 月 30 日(自工字第 109096751 號)提出期末報告書 12 份，完成本計畫所有工作項目。玉管處續於 109 年 10 月 15 日辦理期中報告審查，且審查通過(營玉企字第 1091003013 號)。

三、彙整本計畫各工作項目以及分項工作進度如圖 3-1。

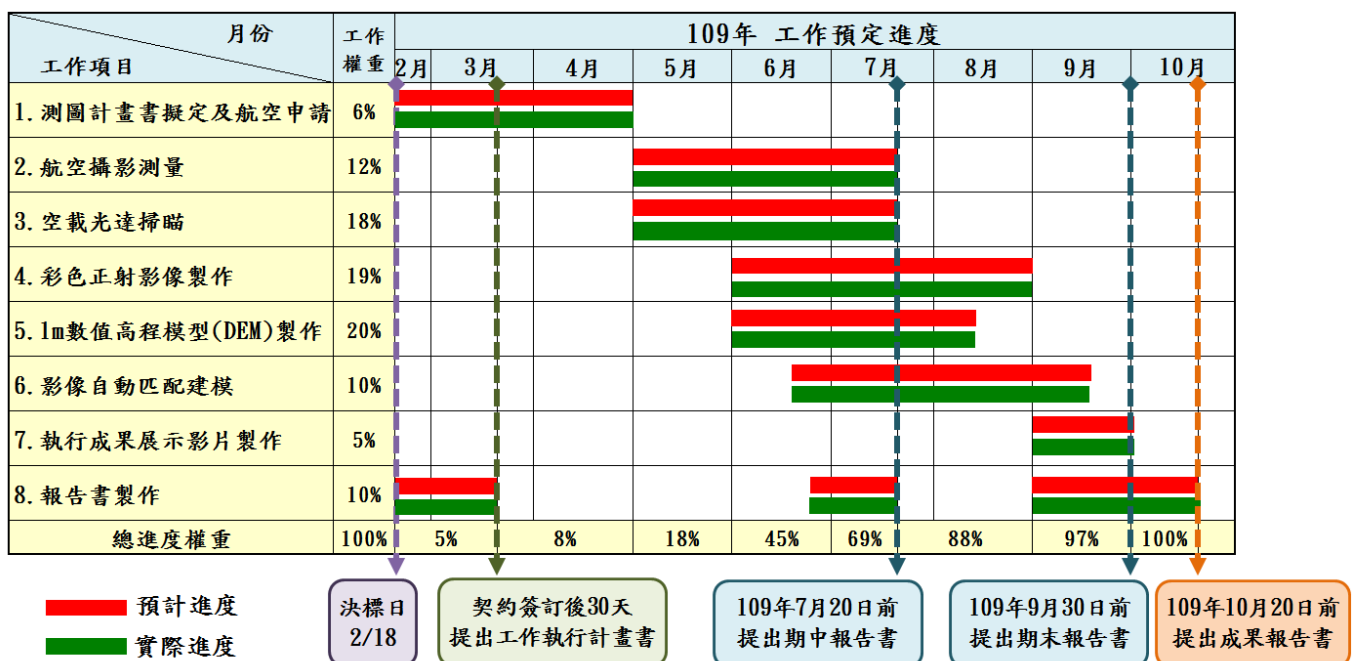


圖 3-1 工作進度干特圖

3-2 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之作業進度，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) 問題處理：首先彙整各項問題，以問題的來源、性質及處理時限來區分，於每週進度檢討時開會討論作成問題處理決議，並將問題做一經驗的傳承避免日後重複犯錯。

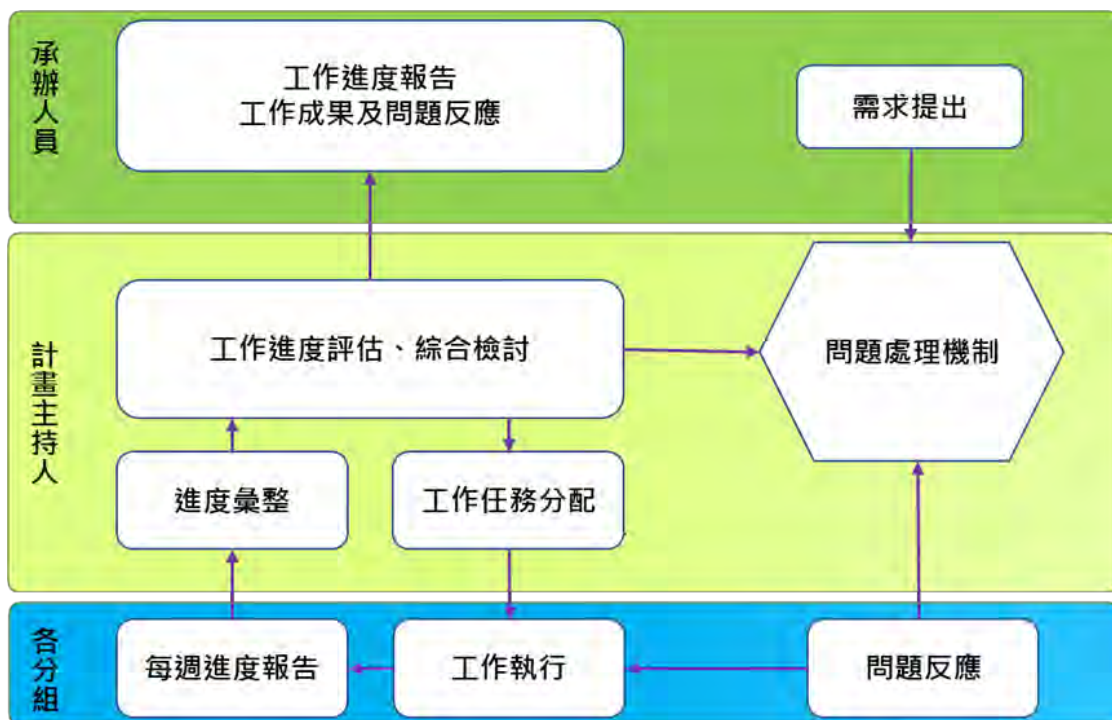


圖 3-2 進度管制流程

3-3 品質管制與自主檢查

- 一、為提供玉管處最完善的成果，特別設立「品管小組」管制成果品質，組長為藍國華測量技師，組員皆有豐富之點雲編修及 DEM 製作經驗，並獨立於資料成果製作，經由分工合作及交互檢核下，確保檢核效率及避免檢核盲點，品質管制流程如圖 3-3。
- 二、本計畫工作內容繁多，為真正落實成果之品管審核將擬定各項工作之自主檢查表，本計畫落實六大項自主檢查成果表，詳如圖 3-4 以及附件六。



圖 3-3 品質管制計畫流程圖

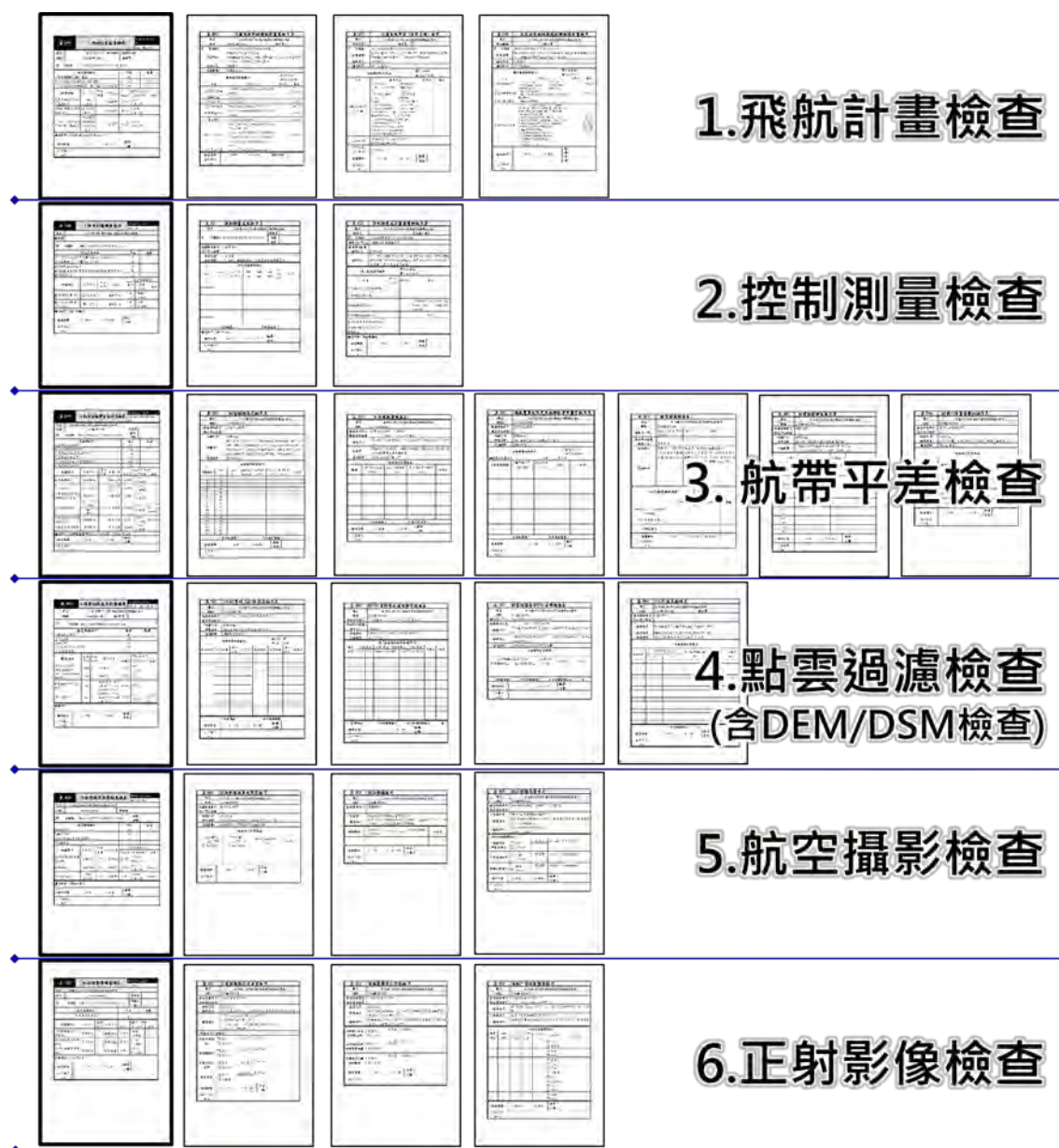


圖 3-4 六大自主檢查表

第四章 人力計畫及配置

4-1 組織架構

本計畫由邱俊榮 測量技師/副總經理 擔任計畫主持人，由楊豐毓 測量技師擔任計畫共同主持人，並由具有研發能力以及博士學位之賴澄燦 總經理擔任計畫協同主持人。前述主持人皆擁有豐富的航空攝影測量、空載光達掃描資料處理以及 DEM/DSM 產製作業經驗，搭配本公司自主研發能力，提高作業效率以及準確性。此外，特別邀請 藍國華 測量技師/副總經理擔任本計畫品質管制中心組長，配合獨立運作的資料檢核小組，定可提供玉管處最為優質的成果。

綜合前述主要工作人員說明，本計畫組織人力架構圖如圖 4-1。



圖 4-1 計畫組織人力架構圖

4-2 人力總整表

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	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/空載光達掃描/專案管理
3		共同主持人	楊豐毓	測量部副理/ 測量技師	航空攝影測量/空載光達掃描/專案管理
4		協同主持人	賴澄燦	總經理/博士	資安管理/技術研發/綜合督導
5		專案承辦人	簡睿怡	專案副組長	專案負責/成果製作
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	飛航掃描	飛航掃描組長	陳俊佑	航拍組長	飛航任務執行
15		飛航掃描組員	洪健嘉	航拍組員	飛航任務執行
16		飛航掃描組員	顏梓修	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/飛航任務協助
18		陸域測量副組長	游勝宇	測量部副理	陸域測量/飛航任務協助
19		陸域測量副組長	林文凱	測量部副理	陸域測量/飛航任務協助
20		陸域測量組員	林育聖	測量副組長	陸域測量/飛航任務協助
21		陸域測量組員	賴世豪	測量工程師	陸域測量/飛航任務協助
23	光達處理組	光達處理組長	李明軒	經理/測量技師	空載光達掃描資料後處理
24		光達處理副組長	康祐程	測量工程師	空載光達掃描資料後處理
26		光達處理組員	凌子晴	製圖工程師	點雲編修
27		光達處理組員	黃潔玟	製圖工程師	點雲編修
28		光達處理組員	周佩宜	製圖工程師	點雲編修
29		光達處理組員	彭暄淇	製圖工程師	點雲編修
30	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/3D 模型建置
31		影像處理副組長	曾淑枝	製圖組長	影像處理/立體製圖
32		影像處理組員	董秀琪	製圖組長	影像處理/立體製圖
33		影像處理組員	陳品蓉	製圖組員	影像處理/3D 模型建置
34		影像處理組員	涂茵蓀	製圖組員	影像處理/立體製圖

第五章 結論與建議

5-1 結論

為持續建置玉山國家公園重要區域之空間資訊，以掌握園區重要服務據點及周邊區域之環境現況，本(109)年度規劃玉山國家公園西北園區之範圍航空傾斜攝影暨空載光達掃描作業。

本計畫團隊使用自有專業航攝飛行載具(P68C-TC)、空載 LiDAR(Riegl LMS-Q780)以及五部 1 億畫素航測像機(Phase ONE iXU-RS 1000)組成 AOS-5 傾斜像機執行航空傾斜攝影作業暨空載光達掃描作業，於 109 年 6 月以 3 架次完成飛航任務，獲得高品質成果。

本計畫製作相關成果包含 1m 數值高程模型(DEM)與數值地表模型(DSM)、20cm 正射影像、影像匹配 3D 地形地貌模型，正射影像成果精度優於測繪中心及 Google earth 公開影像，提供玉管處最新型且優質的空載光達掃描資料以及影像建模技術成果，所產製圖資在未來可評估做植群類型判斷或植被覆蓋率計算等之應用，定能成為玉管處規劃、評估、展示、執行最佳利器。

5-2 建議

本計畫產製之 1m 數值高程模型(DEM)與數值地表模型(DSM)、20cm 正射影像、影像匹配 3D 地形地貌模型，建議匯入玉管處既有 3D 整合圖台內。

本計畫成果豐碩，建議玉管處仍能編列預算執行其餘範圍之航空傾斜攝影及空載光達掃描作業，逐年完成玉山國家公園範圍最新正射影像、高精度數值高程模型及影像匹配 3D 地形地貌模型等成果。

【附件一】

航空攝像機

PhaseONE iXU RS1000

測繪中心校正報告

【附件二】

空載雷射掃瞄率定報告書



Riegl LMS-Q780

空載雷射掃瞄率定報告書

執行單位：自強工程顧問有限公司
日期：中華民國 109 年 5 月

目錄

目錄.....	I
附件目錄.....	II
圖目錄.....	III
表目錄.....	IV
第一章 率定作業規劃.....	1
1-1 執行說明	1
1-2 空載雷射掃瞄掃瞄儀與飛航載具	1
1-3 率定場地點與規格	3
一、 率定場區地物特徵條件.....	3
二、 彰化和美鎮率定場.....	4
三、 率定場航線規劃.....	8
第二章 率定作業執行.....	10
2-1 率定飛航掃瞄資料獲取	10
一、 率定時間與地點.....	10
二、 GNSS 基地站.....	10
三、 GNSS/IMU.....	12
四、 軌跡解算結果.....	12
五、 率定飛航.....	12
2-2 Lever Arm 量測	14
2-3 Boresight Angles 率定.....	16
一、 傾斜(Roll)偏差修正	16
二、 仰俯(Pitch)偏差修正.....	17
三、 偏航(Yaw)偏差修正.....	17

第三章 率定計算.....	18
3-1 資料前處理	18
3-2 率定解算設定與步驟	19
一、 自動搜尋 Tie Plane 相關參數.....	19
二、 搜尋共軛平面(Search corresp. Planes)相關參數.....	19
三、 率定平差計算參數.....	20
四、 率定解算步驟.....	21
3-3 率定解算成果	22
第四章 率定解算後平差成果.....	23
第五章 控制點檢核.....	25

附件目錄

附件一	Riegl 率定建議說明文件
附件二	GNSS 衛星定位儀檢校報告
附件三	Riegl LMS-Q780 原廠檢校證明
附件四	內政部國土測繪中心校正報告
附件五	飛航掃瞄姿態資訊圖

圖目錄

圖 1-1	Riegl LMS-Q780 空載雷射掃瞄儀+DR680 儲存設備實機照	1
圖 1-2	率定場位置示意圖	6
圖 1-3	彰化縣和美鎮數值高程模型與坡度圖	6
圖 1-4	彰化縣和美鎮實況	7
圖 1-5	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	7
圖 1-6	彰化縣和美鎮地層下陷分布與已知控制點分布圖	8
圖 1-7	率定場航線規劃示意圖	9
圖 2-1	率定場 GNSS 基地站分布圖	10
圖 2-2	率定場 GNSS 基地站 PDOP 值與 GNSS 衛星數量	11
圖 2-3	機上 GNSS 資料(remote)與 GNSS 基地站連續接收時間軸	11
圖 2-4	機上 GNSS 之 PDOP 值	12
圖 2-5	軌跡解算正反算結果	12
圖 2-6	航線 2 Roll 值大於 15 度區域	13
圖 2-8	Lever Arm 量測示意圖	14
圖 2-9	IMU 之 N, E, Z 的 RMS 精度圖	15
圖 2-10	理想空載雷射掃瞄作業及點雲分布足跡示意圖	16
圖 2-11	傾斜(Roll)偏差之點雲分布足跡示意圖	17
圖 2-12	仰俯(Pitch)偏差之點雲分布足跡示意圖	17
圖 2-13	偏航(Yaw)偏差之點雲分布足跡示意圖	17
圖 3-1	率定場點雲展示	18
圖 3-2	未率定解算前航帶展示	18
圖 3-3	Tie Plane 自動搜尋平面參數設定	19
圖 3-4	率定解算操作相關運算參數設定畫面	20
圖 3-5	Boresight Angles 解算作業畫面	21
圖 3-6	率定成果精度分析圖	22
圖 4-1	套用率定成果後進行航帶平差解算成果	24
圖 4-2	平差結果精度分析圖	24
圖 4-3	航帶平差後航線剖面	24
圖 5-1	地面控制點分布	25
圖 5-2	和美率定場控制點施測作業圖	26
圖 5-2	和美率定場控制點施測作業圖 (續)	27

表目錄

表 1-1	LMS-Q780 空載雷射掃瞄儀儀器規格效能表.....	2
表 1-1	LMS-Q780 空載雷射掃瞄儀儀器規格效能表(續).....	3
表 1-2	率定場規格參考依據	5
表 1-3	102 年度彰化縣和美都市計畫區已知高程檢核成果表	8
表 1-4	率定場區已知加密控制點成果列表	8
表 1-5	率定飛航規劃資訊	9
表 2-1	率定場 GNSS 基地站坐標位置	11
表 2-2	GNSS 基站資訊表	11
表 2-3	和美率定場航線規劃設計表	14
表 3-1	率定計算參數	20
表 3-2	率定成果參數表	22
表 4-1	確認飛行計算參數	23
表 4-2	確認飛行成果參數表	23
表 5-1	率定場高程控制點檢核成果(正規航線).....	25
表 5-2	率定場高程控制點檢核成果(確認航線).....	26

第一章 率定作業規劃

1-1 執行說明

空載雷射掃瞄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，進行空載雷射掃瞄率定作業，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。

本計畫選定彰化縣和美鎮作為空載雷射掃瞄率定場，並於 109 年 5 月 15 日執行飛航率定掃瞄任務，續進行率定解算作業，以確保雷射掃瞄資料的精度。

1-2 空載雷射掃瞄掃瞄儀與飛航載具

完整的空載雷射掃瞄系統由空載雷射掃瞄儀、飛行載具（固定翼載具或螺旋翼載具）、GNSS/IMU 以及相關數據資料處理軟體等所構成。本計畫採用奧地利 Riegl 公司所生產之 LMS-Q780 的空載雷射掃瞄儀，搭配 DR680 三顆 SSD 儲存設備（圖 1-1），其詳細規格效能如表 1-1。



圖 1-1 Riegl LMS-Q780 空載雷射掃瞄掃瞄儀+DR680 儲存設備實機照

表 1-1 LMS-Q780 空載雷射掃瞄儀儀器規格效能表

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 ρ ≥ 20%	Natural Targets ρ ≥ 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
Max. Operating Flight Altitude AGL	PRR	m	ft
	100 kHz	4700 m	15500 ft
	200 kHz	4200 m	13700 ft
	300 kHz	3700 m	12000 ft
	400 kHz	3300 m	11000 ft
NOHD ENOHD	PRR	NOHD	ENOHD
	100 kHz	200 m	1500 m
	200 kHz	160 m	1200 m
	300 kHz	125 m	960 m
	400 kHz	105 m	820 m

表 1-1 LMS-Q780 空載雷射掃瞄儀儀器規格效能表(續)

Reduced Laser Power (PRR: 400 kHz)			
Max. Measurement Performance	Laser Power Level	Natural Targets $\rho \geq 20\%$	Natural Targets $\rho \geq 60\%$
	50%	2100 m	3200 m
	25%	1500 m	2400 m
	12%	1120 m	1800 m
	6%	1350 m	50 m
Max. Operating Flight Altitude AGL	Laser Power Level	m	ft
	50%	2600 m	8600 ft
	25%	1950 m	6400 ft
	12%	1450 m	4800 ft
	6%	1100 m	3600 ft
NOHD ENOHD	Laser Power Level	NOHD	ENOHD
	50%	70 m	560 m
	25%	68 m	550 m
	12%	44 m	360 m
	6%	25 m	250 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		

1-3 率定場地點與規格

一、率定場區地物特徵條件

依據原廠就率定作業的建議說明（附件一），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。

二、彰化和美鎮率定場

本計畫率定場設置於「彰化縣和美鎮」（圖 1-2），面積約 947,372 平方公尺，該區「地理位置」、「地形與地勢」、「地表覆蓋」、「地層下陷情勢」以及「已知控制點成果」詳述如後，並詳列其參考資料來源於表 1-2。

- （一）地理位置：和美鎮位於彰化縣北部，東北側以大肚溪與台中市之龍井區、大肚區為界，西面以彰濱工業區之線西區臨海，而彰濱工業區之北方即為台中港，南向則與彰化市、鹿港鎮、秀水鄉相接。
- （二）地形與地勢：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」5 公尺數值高程模型成果，正高高程介於 4 公尺～15 公尺，成果如圖 1-3(a)。續計算率定場區坡度，成果如圖 1-3(b)，最大坡度為 8.881 度，地表坡度平緩。
- （三）地表覆蓋：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」正射影像以及 104 年度自強公司傾斜像機拍攝之航拍影像，確認場區具有容易辨識之大型建物（平頂、斜頂）及道路標線等明顯特徵（圖 1-4）。續利用國土測繪中心「國土利用調查成果資訊網」之率定場區最新 101 年度土地利用調查成果，以及前述正射影像劃設植被覆蓋範圍約 91,348 平方公尺（約為 9.6%場區面積），主要劃設目標為面積大於 50 平方公尺，且較不易獲得地表點之範圍（圖 1-5）。
- （四）地層下陷情勢：依據經濟部水利署地層下陷防治資訊網成果（圖 1-6(a)）。以及彰化縣政府「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」高程控制測量已知點檢測成果（表 1-3），測區非地層下陷區域，高程已知控制點分布如圖 1-6(b)。
- （五）已知加密控制點成果：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，加密控制點皆布設長、寬皆為 20 厘公尺方標，於本率定場區內分布

圖如圖 1-6(b)，各已知加密控制點詳列表於表 1-4。於率定飛航點雲平差完成後，重新施測已知加密控制點，用以檢核率定場點雲平差成果，並彙整成果精度說明詳述於本計畫後續報告中。

表 1-2 率定場規格參考依據

項次	作業規範所需資訊	參考依據
1	面積	地理資訊系統面積計算功能
2	坡度	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」1 公尺數值高程模型成果
3	植被覆蓋率	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」正射影像與空載雷射掃瞄掃瞄成果
4	地層下陷情勢	經濟部水利署地層下陷防治資訊網 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」高程控制測量檢測成果
5	具有容易辨識之地物特徵	104 年度自強工程顧問有限公司傾斜像機拍攝成果
6	已知控制點成果 (提供率定後成果精度說明)	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」控制測量成果

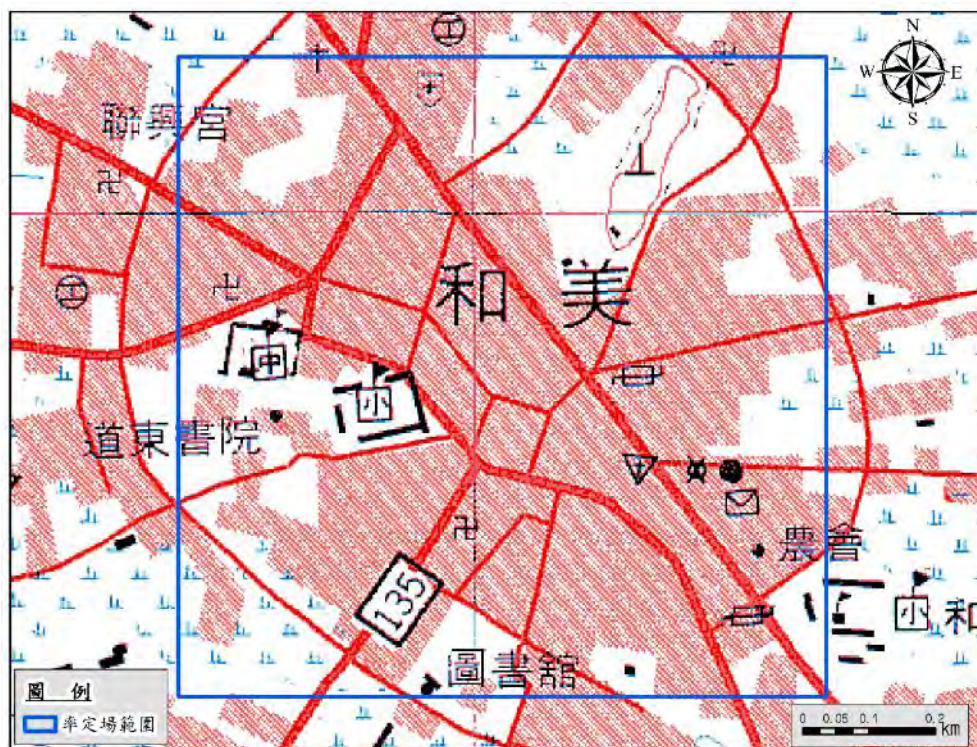
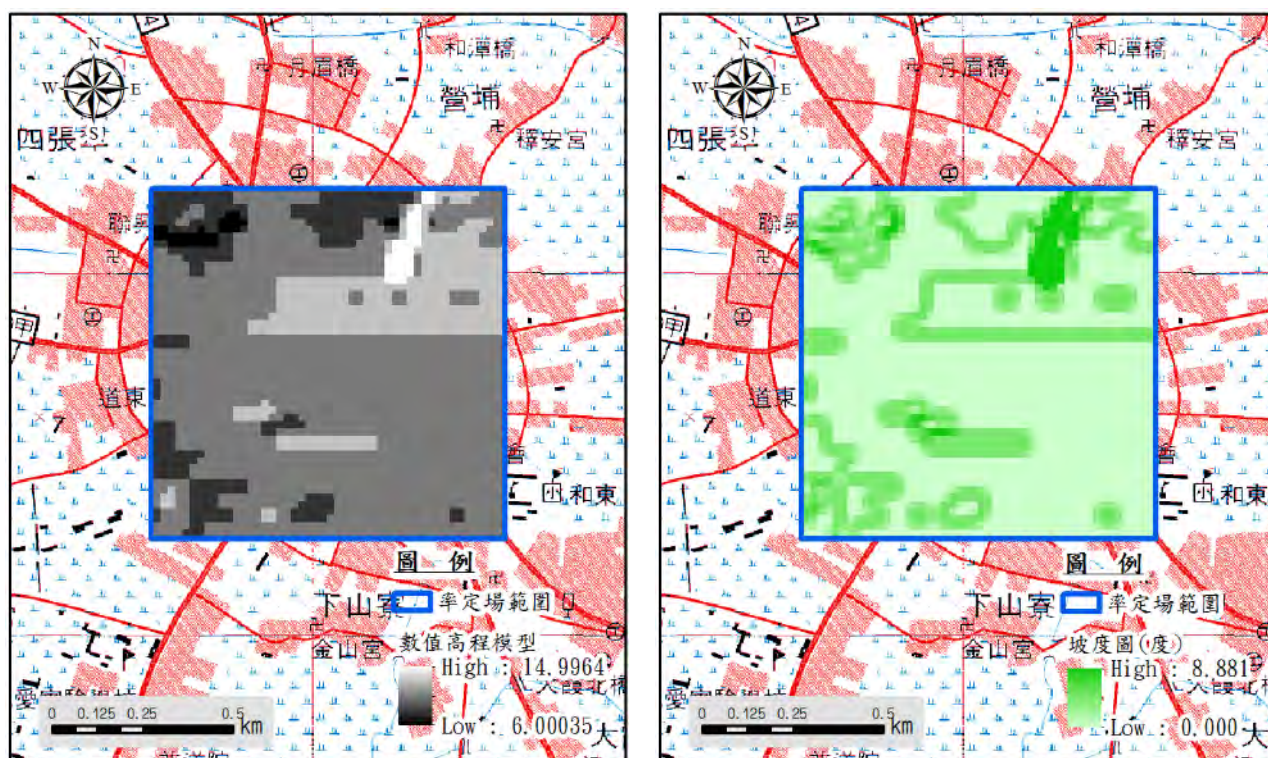


圖 1-2 率定場位置示意圖



(a) 數值高程模型

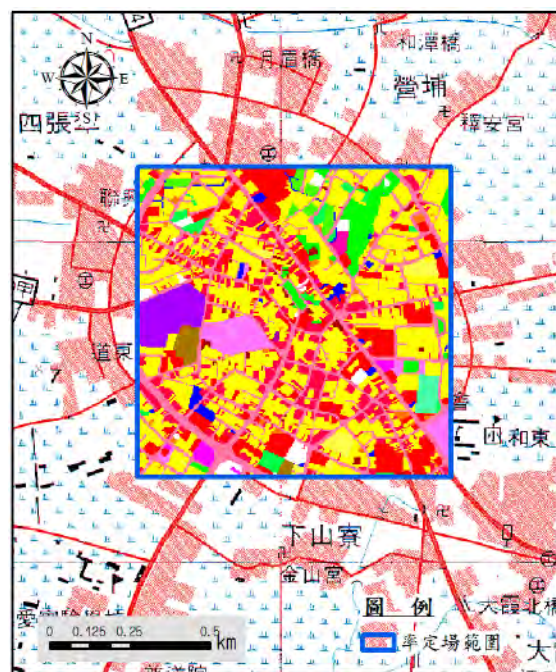
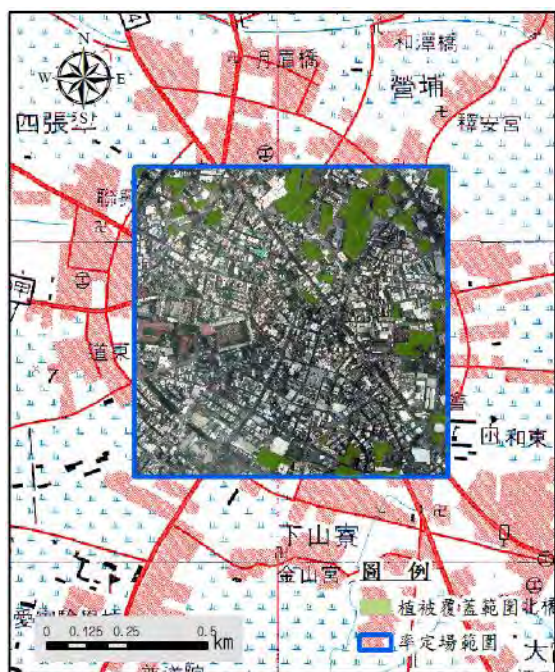
(b) 坡度圖

資料來源：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 1-3 彰化縣和美鎮數值高程模型與坡度圖



圖 1-4 彰化縣和美鎮實況



(a) 正射影像套疊植被覆蓋範圍

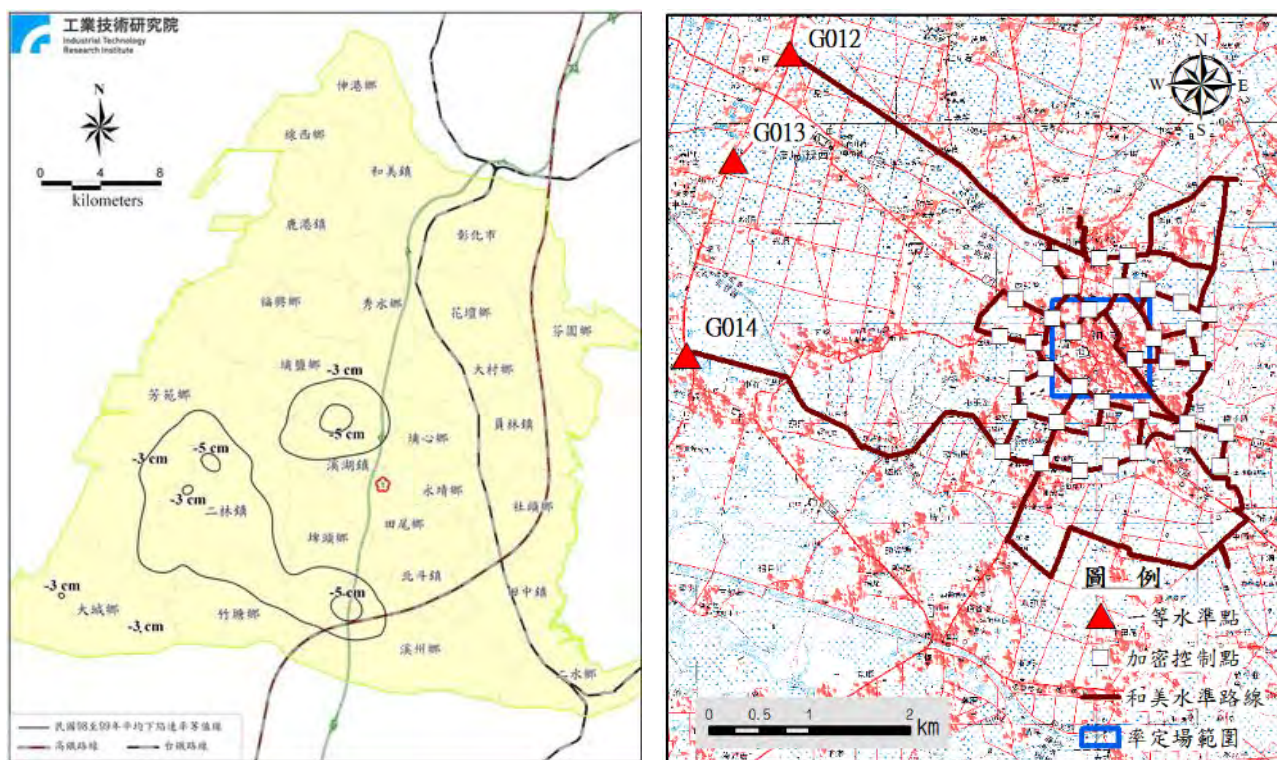
(b) 土地利用調查成果

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 1-5 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



(a) 100 年~101 年下陷速率等值線圖
 資料來源： 101 年度多元化監測及整合技術應用於台北、彰化及雲林地區地層下陷監測
 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 1-6 彰化縣和美鎮地層下陷分布與已知控制點分布圖

表 1-3 102 年度彰化縣和美都市計畫區已知高程檢核成果表

測線	起點		終點		資料高差	觀測高差	較差	測線距離	精度
	點 號	高程值(m)	點 號	高程值(m)	(m)	(m)	(mm)	(km)	mm $\sqrt{K}$
1	G012	4.88865	G013	3.83553	1.05312	-1.05245	0.67	1.22	0.61
2	G013	3.83553	G014	4.12705	-0.29152	0.29266	1.14	2.06	0.79

表 1-4 率定場區已知加密控制點成果列表

點號	縱坐標	橫坐標	橢球高	類別	施測日期
ST1304	199200.341	2667417.881	26.850	加密控制點	104.02
ST1308	199066.653	2668158.878	26.550	加密控制點	102.06
ST1316	198196.493	2667590.874	25.841	加密控制點	104.02
ST1317	198308.166	2667334.217	26.201	加密控制點	102.06
ST1320	199270.786	2666911.524	27.007	加密控制點	104.02

三、率定場航線規劃

本計畫採用 6 條正規航線（3 條東西向、3 條南北向），航高定為 500 公尺，雷射脈衝頻率為 400KHz，並增加兩條 1000 米航高東-西及南-北向

確認航線(Verification)，用以確認其率定解算後精度，詳細航線分布圖如圖 1-7，航線規劃資訊如表 1-5。

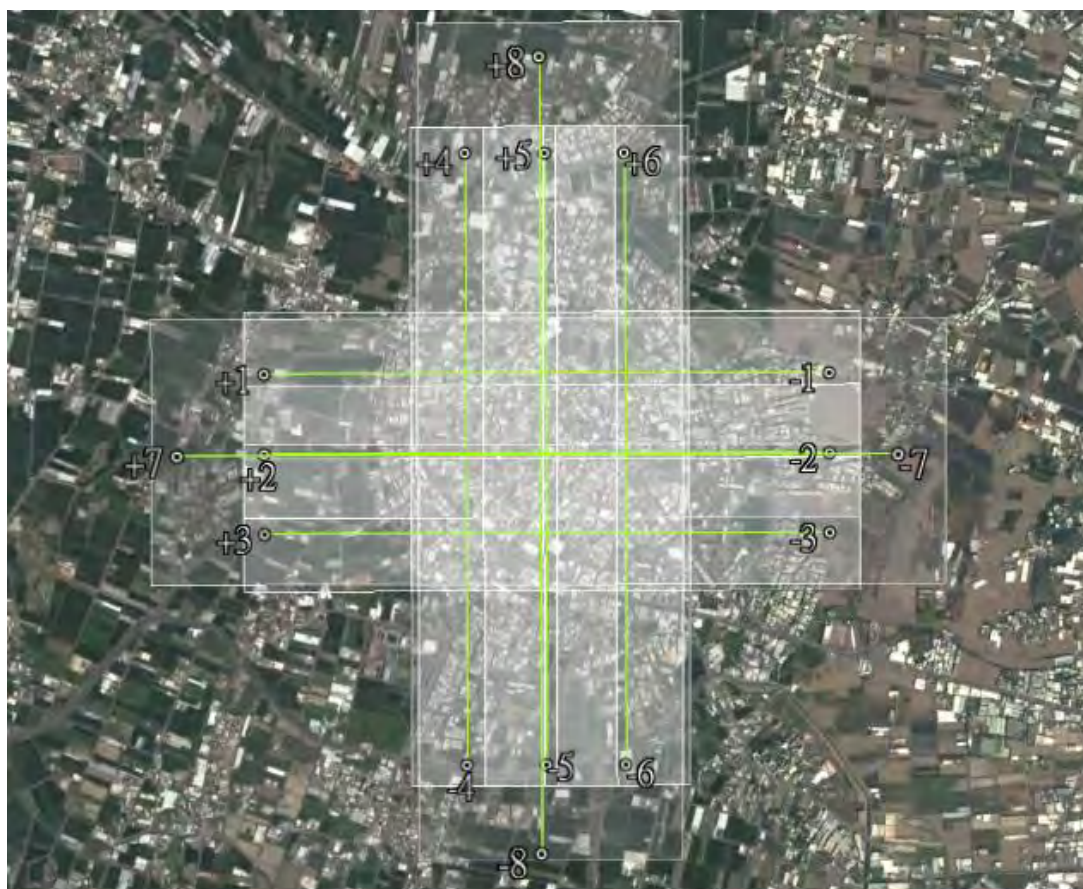


圖 1-7 率定場航線規劃示意圖

表 1-5 率定飛航規劃資訊

項次	項目	內容
1	航高	500 公尺 (航線 1~航線 6)
2	雷射脈衝頻率	400 KHz
3	航線方向	北—南 (航線 4~航線 6)
		西—東 (航線 1~航線 3)
4	點雲密度	大於 4 點/平方公尺
5	前後、側向重疊率	大於 50%

第二章 率定作業執行

率定作業的主要目的在於求取雷射感測器與 GNSS/IMU 的偏差量，其主要包含兩程序。其一為 GNSS/IMU 與空載雷射掃瞄儀器之三軸差量，其二為 GNSS/IMU 與空載雷射掃瞄三軸旋轉量。本報告率定方式利用率定場之建物屋頂，與其他平面偵測共軛平面，藉由共軛平面間的差量解算前述三軸差量與三軸旋轉量。

2-1 率定飛航掃瞄資料獲取

一、率定時間與地點

於首次飛航前及每次儀器經拆卸後之首次飛航前皆須進行率定作業，本計畫首次率定作業時間為 109 年 5 月 15 日，地點位於彰化縣和美鎮。

二、GNSS 基地站

避開車輛、電塔、基地台與多路徑反射效應等干擾位置，於內政部公告之三等衛星控制點 M807 上架設 GNSS，詳細位置分布圖如圖 2-1，GNSS 基地站坐標位置如表 2-1；架設之雙頻 GNSS 檢校證明詳見附件二。觀測過程中 PDOP 皆小於 4，且衛星數量需大於 6 顆（圖 2-2），並以 2 Hz/s 之接收頻率記錄。機上 GNSS 資料(remote)與 GNSS 基地站連續接收時間軸如圖 2-3



圖 2-1 率定場 GNSS 基地站分布圖

表 2-1 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

表 2-2 GNSS 基站資訊表

點 號	M807
使用儀器	LEICA GX1230GG
天線型號	LEIAX1202GG
基站類型	三等衛星控制點
接收形式	雙頻
接收頻率	2Hz (0.5 秒接收一筆)
觀測時段	13 : 30 : 04 ~ 15 : 50 : 36

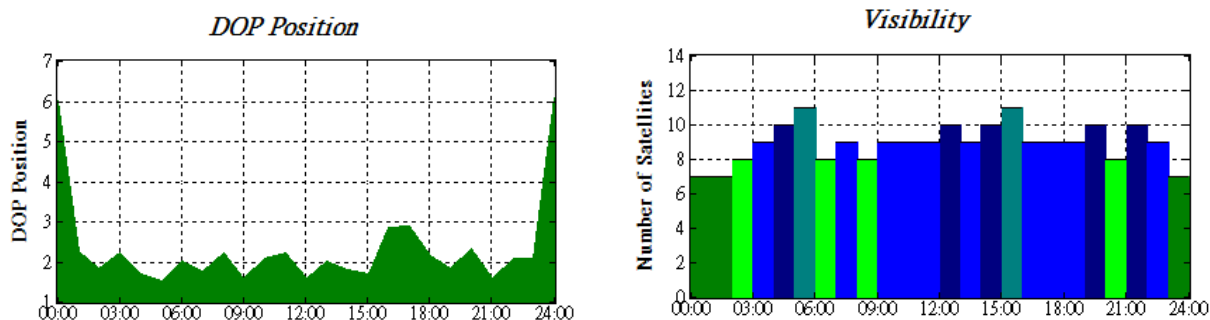


圖 2-2 率定場 GNSS 基地站 PDOP 值與 GNSS 衛星數量

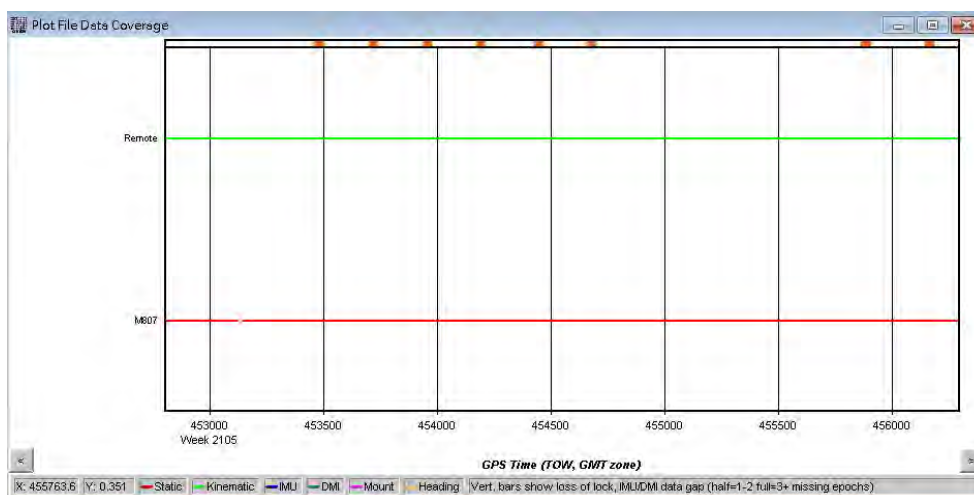


圖 2-3 機上 GNSS 資料(remote)與 GNSS 基地站連續接收時間軸

三、GNSS/IMU

圖 2-4 為機上 GNSS 之 PDOP 值圖形，由圖中可知觀測過程中 PDOP 值均小於 4，GNSS 基站接收情形如圖 2-2 所示，GNSS 訊號於起飛、降落及飛行過程中皆維持穩定接收狀態。

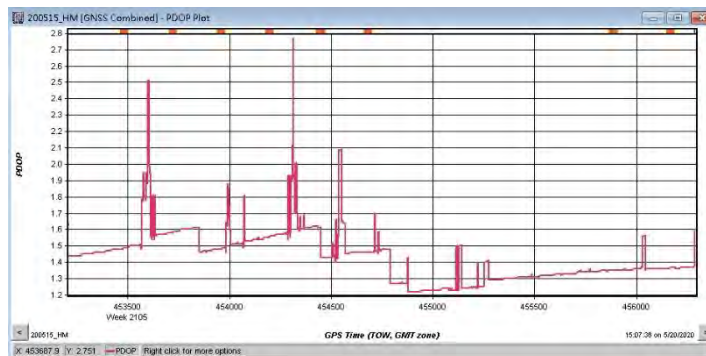


圖 2-4 機上 GNSS 之 PDOP 值

四、軌跡解算結果

圖 2-5 為本架次軌跡解算的正反算結果，其 Combined Separation 值皆小於 20 公分，符合作業規範。

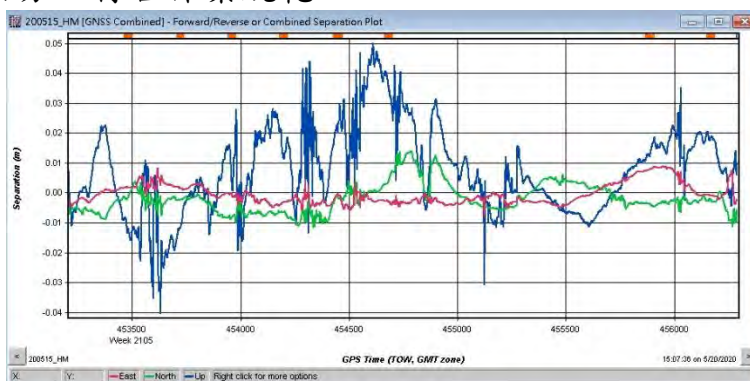


圖 2-5 軌跡解算正反算結果

五、率定飛航

飛航前於停機坪靜止接收 10 分鐘以上的 GNSS 及 IMU 訊號，確保穩定無誤後再進行率定飛航，於率定場區域中執行飛航掃瞄過程中，飛機的傾斜角(roll, pitch, yaw)均保持在 15 度以內，且 POS 系統無斷訊等錯誤訊息產生，各航線姿態資訊詳如附件五。其中，航線 2(line002)於進入率定場區前因側風影響，於時間 453696s~453699s(GPS Time)間的 roll 值大於 15 度(圖 2-6)，全數皆落於率定場區外(圖 2-7)，並於解算過程中剔除，不影響率定資料解算，符合規範要求，飛航參數與掃瞄參數資訊如

表 2-3。

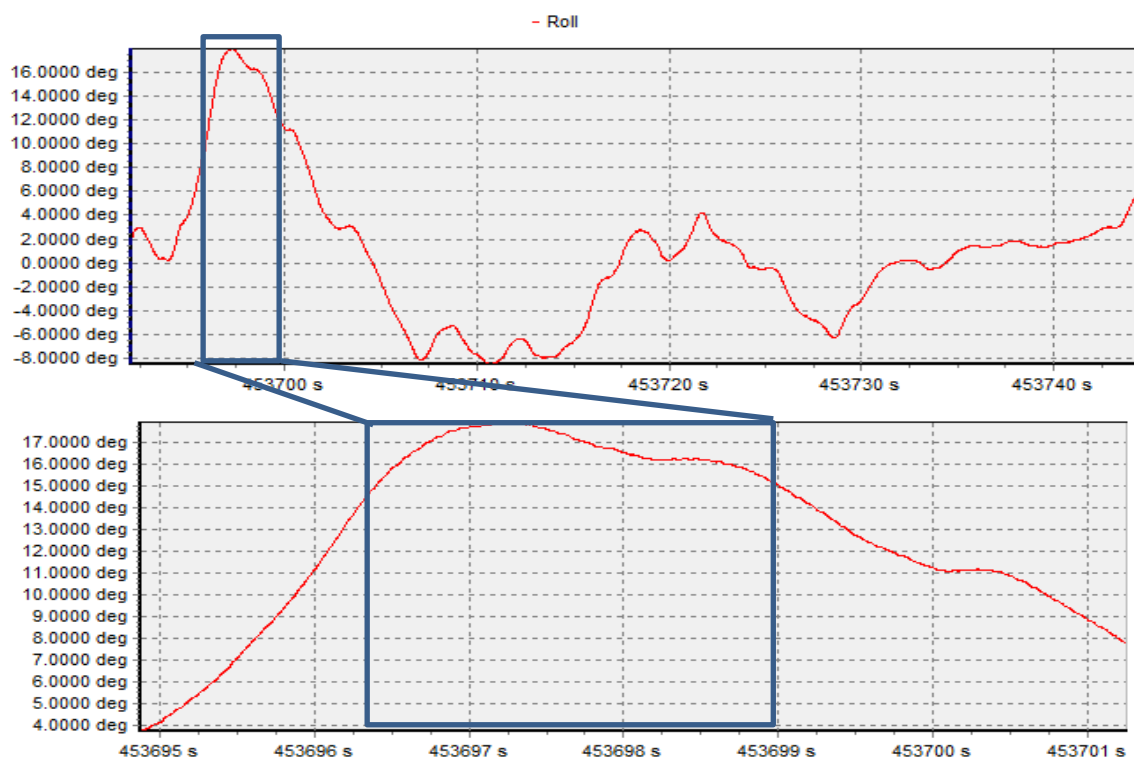


圖 2-6 航線 2 Roll 值大於 15 度區域

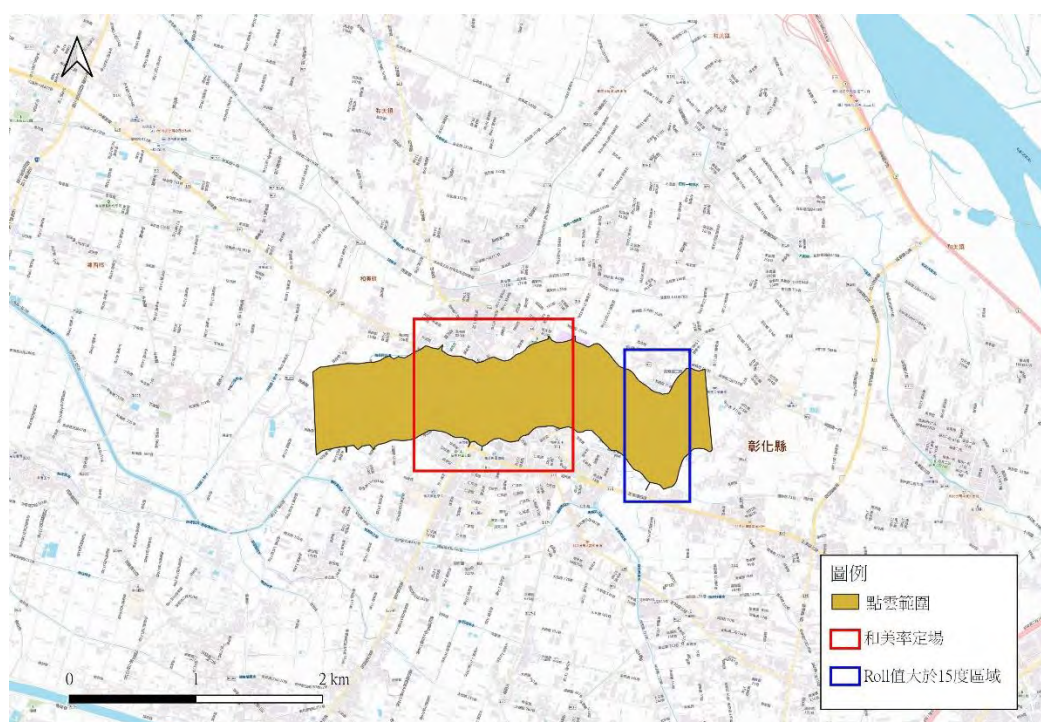


圖 2-7 航線 2 Roll 值大於 15 度區域(黃色區域)與率定場區分布

表 2-3 和美率定場航線規劃設計表

航線編號	飛行高度	航向	飛行速度	FOV	掃瞄頻率 (line/s)	雷射脈衝 頻率(KHz)
200515_064213_line007	1000m	南北	110 節	60 度	111	400
200515_063732_line008	1000m	東西	110 節	60 度	111	400
200515_060922_line006	500m	東西	110 節	60 度	155	400
200515_061728_line004	500m	東西	110 節	60 度	155	400
200515_061332_line005	500m	東西	110 節	60 度	155	400
200515_060522_line003	500m	南北	110 節	60 度	155	400
200515_060129_line002	500m	南北	110 節	60 度	155	400
200515_055728_line001	500m	南北	110 節	60 度	155	400

2-2 Lever Arm 量測

IMU 與 GNSS 之位置偏差量又稱為 Lever Arm。而 IMU 與 GNSS 天線的率定是以全測站經緯儀測量，量測示意圖如圖 2-8 所示，並於解算飛航軌跡前輸入。以 IMU 為基準點，量得本次率定作業空載雷射掃瞄雷射掃瞄系統與 GNSS 天線之 x, y, z 三軸偏差量分別為 1.039, -0.224, 0.925（單位為公尺）。另外，以 Areooffice 解算 IMU 之 N、E、Z 的 RMS 精度如圖 2-9，成果皆於 5cm 以內，顯示航拍過程中 POS 訊號皆維持穩定。

率定飛航中提到率定飛航前於停機坪靜止接收 10 分鐘以上的訊號，確保穩定無誤後再進行率定飛航，過程中飛機的傾斜角(roll, pitch)均保持在 15 度以內，且無 POS(Position & Orientation System)系統斷訊或其他錯誤訊息產生。



圖 2-8 Lever Arm 量測示意圖



圖 2-9 IMU 之 N,E,Z 的 RMS 精度圖

2-3 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），而執行雷射掃瞄系統之率定作業與進行航帶平差即為降低系統誤差影響的重要工作。

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

在穩定不受任何外力影響的空載掃瞄環境下，理想的雷射掃瞄作業及點雲紀錄分布如圖 2-10 所示。本率定作業將飛行高度固定在離地高 500 公尺、飛航速度為 110 節，Riegl 系統的雷射脈衝頻率設定為 400(KHz)、掃瞄頻率設定為 155(Line/s)、掃瞄視角(FOV)設定為 60 度，在固定各先決掃瞄參數後進行飛航掃瞄。由於率定場屬小區域範圍，載具的姿態變動非常低，由此可從後續雷射點雲作業中，檢測出 IMU 在各軸的安置誤差及其偏移量。

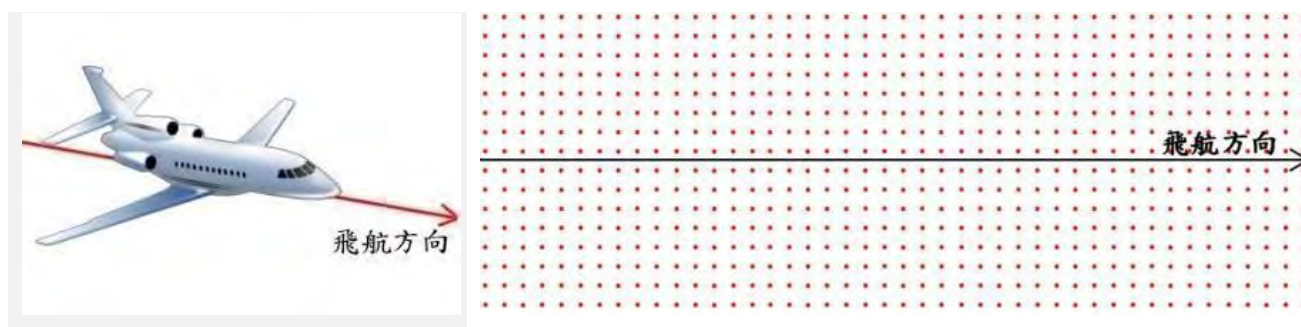


圖 2-10 理想空載雷射掃瞄作業及點雲分布足跡示意圖

一、傾斜(Roll)偏差修正

在空載雷射掃瞄過程中，儀器載具的傾斜軸變化量即為傾斜角 Roll。其會影響雷射光波的發射方向，使點雲記錄的分布足跡如圖 2-11 所示。而雷射掃瞄儀與 IMU 所記錄的傾斜角度的差異，即為本次雷射掃瞄投影 LiDAR 系統的傾斜軸安置偏差。

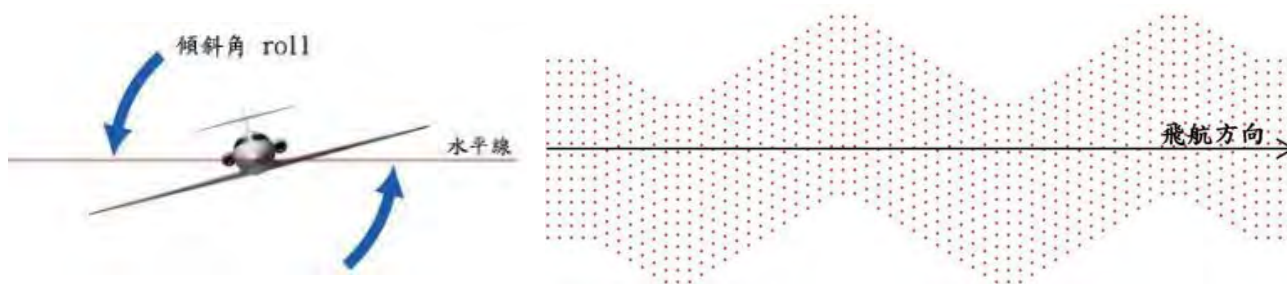


圖 2-11 傾斜(Roll)偏差之點雲分布足跡示意圖

二、仰俯(Pitch)偏差修正

在空載雷射掃瞄過程中，儀器載具的仰俯軸變化量即為傾斜角 Pitch。其會影響雷射光波的發射方向，使點雲記錄的分布足跡如圖 2-12 所示。而雷射掃瞄儀與 IMU 所記錄的仰俯角度的差異，即為本次雷射掃瞄投影 LiDAR 系統的仰俯軸安置偏差。

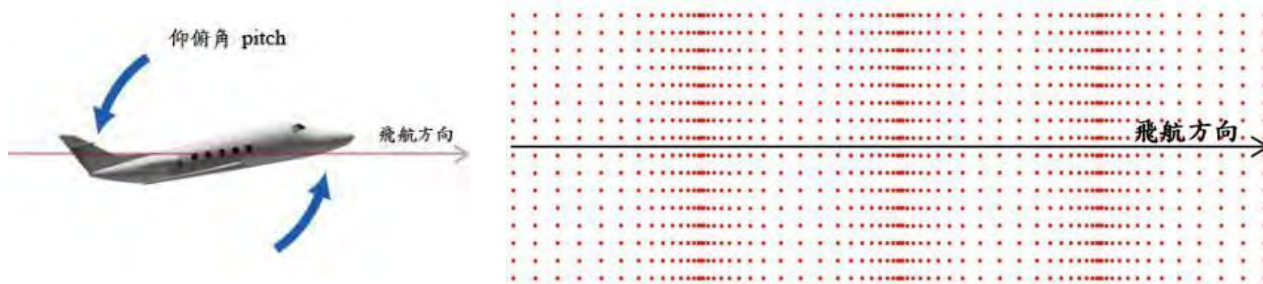


圖 2-12 仰俯(Pitch)偏差之點雲分布足跡示意圖

三、偏航(Yaw)偏差修正

在空載雷射掃瞄過程中，儀器載具的偏航軸變化量即為傾斜角 Yaw。其會影響雷射光波的發射方向，使點雲記錄的分布足跡如圖 2-13 所示。而雷射掃瞄儀與 IMU 所記錄的偏航角度的差異，即為本次雷射掃瞄投影 LiDAR 系統的偏航軸安置偏差。

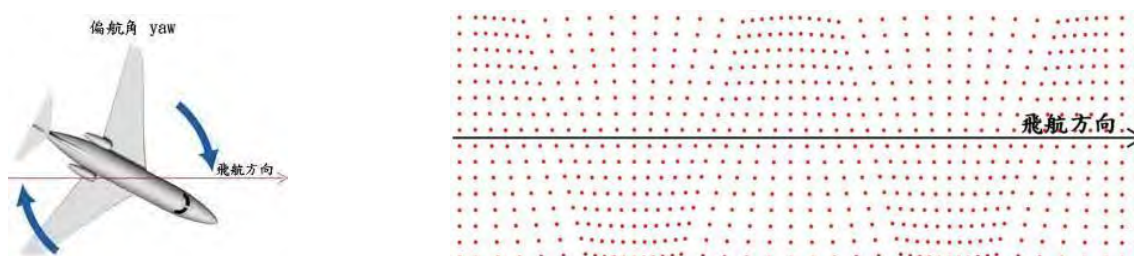


圖 2-13 偏航(Yaw)偏差之點雲分布足跡示意圖

第三章 率定計算

3-1 資料前處理

將空載雷射掃瞄後之資料產生點雲並展示，作業程序分為三個部分，即 Target extraction（解碼掃瞄成果資料）、Global registration（將解碼後之資料與地心坐標系統如 WGS84 進行套合）及 View preparation（點雲資料展點呈現）。圖 3-1 為率定場點雲展示成果，圖 3-2 為率定解算前航帶點雲偏差情況。

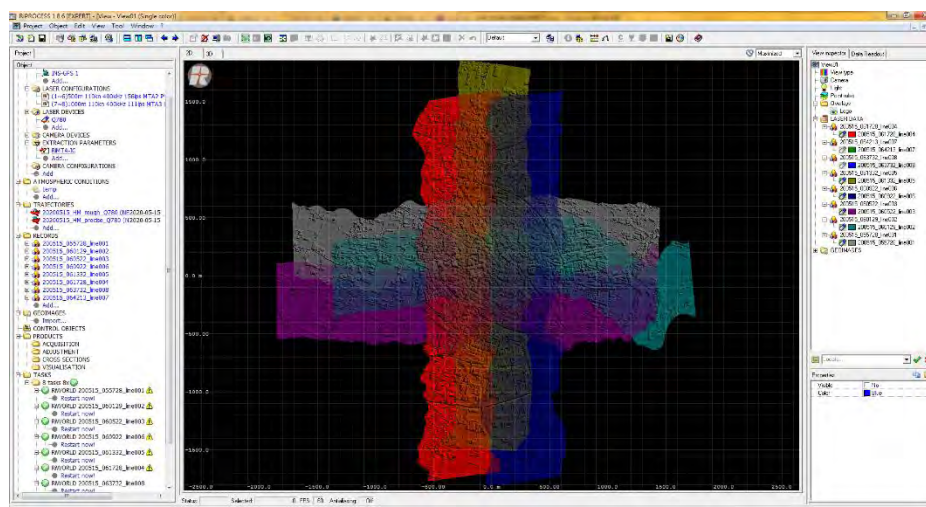


圖 3-1 率定場點雲展示

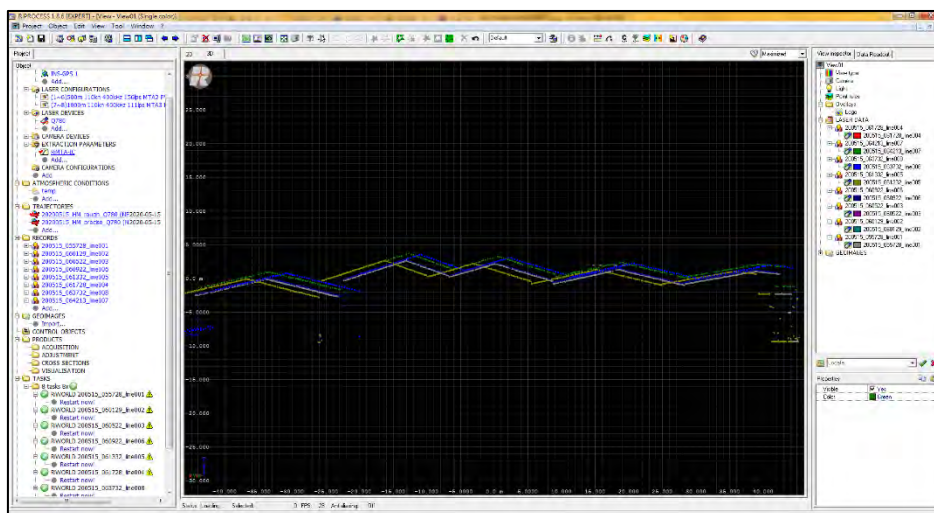


圖 3-2 未率定解算前航帶展示

3-2 率定解算設定與步驟

率定解算作業使用率定正規航線(航線 1~航線 6)進行,以 RiPROCESS 軟體自動偵測重疊航帶中的平面狀物體(如斜屋頂、平台,稱為 Tie Plane)進行共軛匹配,進而解算 Boresight Angles。

一、自動搜尋 Tie Plane 相關參數

- (一) 最小平面傾角(Min. plane inclination angle): 定義 tie plane 與水平面之間的最小夾角。
- (二) 最大偏移量(Max. plane point deviation): 設定點雲至最佳 tie plane 之最大偏移距離。
- (三) 最小平面點雲數(Min. plane point count): 定義一平面最少須包含點雲數。

二、搜尋共軛平面(Search corresp. Planes)相關參數

- (一) 搜尋半徑(兩平面中心的距離門檻值)
- (二) 角度門檻值(兩平面法向量交角門檻值)
- (三) 兩平面法線距離(normal dist)門檻值

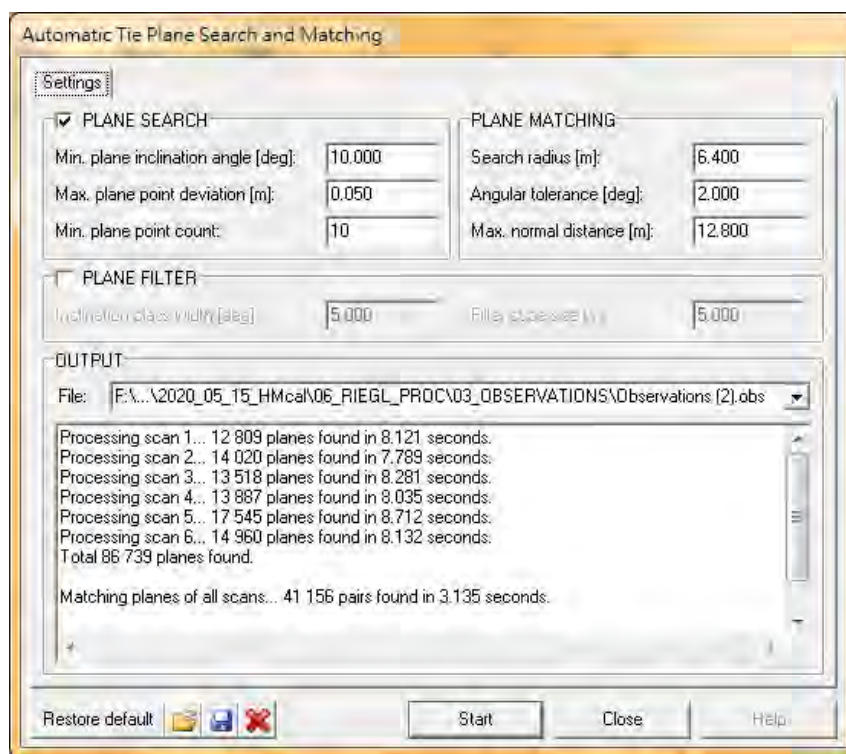


圖 3-3 Tie Plane 自動搜尋平面參數設定

三、率定平差計算參數

- (一) 計算模式(Calculation mode)：有兩種模式供選擇。一為最小二乘擬合(Least Squares Fit)，意義為使兩共軛平面間距離的平方和為最小；另一為強鈍法(Robust)，目的是使兩共軛平面間距離之絕對值最小。
- (二) 門檻值(Tolerance)：若兩次迭代成果之差值小於此門檻，迭代即停止。
- (三) 其他相關計算參數詳如表 3-1。

表 3-1 率定計算參數

項次	參數項目	計算參數
1	計算模式	Adjustment
2	計算時間	32 secs
3	計算模式	Least Square Fit
4	門檻值	0.0001000
5	觀測值個數	41156

Units: m, deg

PARAMETERS

Adjustment:

Calculation mode: Least Square Fit

Tolerance: 0.000100

Manual Tie Objects:

Use Manual Tie Objects: ☒

Search corresp. planes: ☒

Search radius [m]: 1.000

Angular tolerance [deg]: 5.000

Max. normal dist. [m]: 1.000

Auto Tie Planes:

Use Auto Tie Planes: ☒ 

Corresponding planes: 41156

Weights:

☐ Weight objects by range

圖 3-4 率定解算操作相關運算參數設定畫面

四、率定解算步驟

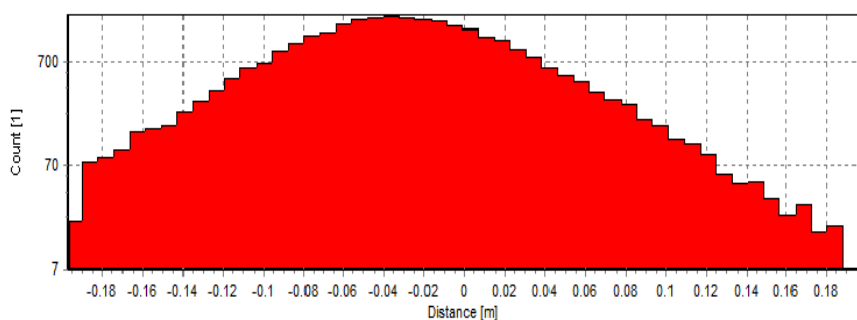
- (一) 勾選儀器 Boresight Angles 讓其得以調整(圖 3-5)。
- (二) 由分析(Analysis)功能，分析前述作業所搜尋到之觀測數據，成果包括自由度、觀測量個數、航帶間距離之標準差等。
- (三) OBSERVATIONS 表示軟體所尋找出之共軛面及其高差，若高於三倍標準差，則被視為是錯誤觀測量(平面配對錯誤)，在之後的計算步驟中需考慮是否予以剔除。
- (四) 檢視解算後誤差分布直方圖以及方向分布圖，如誤差分布為依常態分布鐘形曲線，則視為平差率定解算完成。

LASER DATA and CALIBRATIONS												PRCS	SH
Object	Record												
Laser data			Roll	Pitch	Yaw	East	North	Height	Time				
☒ 200515_055728_line001	200515_0557...	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.0000
☒ 200515_060129_line002	200515_0601...	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.0000
☒ 200515_060522_line003	200515_0605...	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.0000
☒ 200515_060922_line006	200515_0609...	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.0000
☒ 200515_061332_line005	200515_0613...	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.0000
☒ 200515_061728_line004	200515_0617...	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.0000
☐ 200515_063732_line008	200515_0637...	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.0000
☐ 200515_064213_line007	200515_0642...	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.0000
Laser devices			Roll	Pitch	Yaw	X	Y	Z					
☒ Q780		☒	-0.040...	☒	0.26698	☒	-0.248...	☐	0.057	☐	0.019	☐	0.261
Navigation devices			Roll	Pitch	Yaw	East	North	Height	Time				
☒ INS-GPS 1		☐	0.00000	☐	0.00000	☐	0.00000	☐	0.000	☐	0.000	☐	0.0000

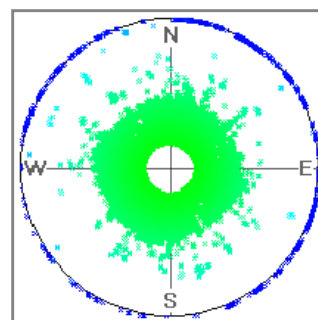
圖 3-5 Boresight Angles 解算作業畫面

3-3 率定解算成果

依據前述各項參數設定以及解算步驟，解算成果如圖 3-6 以及表 3-2。



(a) 高程精度直方圖(縱軸非等比)



(b) 平面精度方向分布

圖 3-6 率定成果精度分析圖

表 3-2 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)	Roll	-0.04076	率定解算結果
	Pitch	0.26698	
	Yaw	-0.24814	
	X	0.057	以儀器規格計算
	Y	0.019	
	Z	0.261	

第四章 率定解算後平差成果

利用第三章率定解算結果(Brosight Angle)代入率定航線(航線 1~6)以及確認飛行航線(航線 7、8)後確認差異情形，以表 4-1 所列之計算參數計算確認飛行成果如表 4-2，其中誤差為 2.04 公分，無明顯偏移。

表 4-1 確認飛行計算參數

項次	參數項目	計算參數
1	計算模式	Adjustment
2	計算時間	5 mins, 29 secs
3	計算模式	Least Square Fit
4	門檻值	0.0001000
5	觀測值個數	94953

表 4-2 確認飛行成果參數表

儀器名稱	參數項目	率定場成果參數	備註
Scanner 1 (Q780, 2220651)	Number of observations	94953	確認飛行航線 套用 率定解算結果
	Error (Std. deviation) [m]	0.0204	
	Roll	-0.04076	
	Pitch	0.26698	
	Yaw	-0.24814	
	X	0.057	以儀器規格計算
	Y	0.019	
	Z	0.261	

利用第三章率定解算結果(Brosight Angle)代入率定航線(航線 1~6)以及確認飛行航線(航線 7、8)後進行平差解算，確認率定解算成果得以將不同航高、不同方向之飛航掃瞄成果聯合解算平差。各條航線解算結果如圖 4-1、圖 4-2 以及圖 4-3。

Laser data							
Name	Roll [deg]	Pitch [deg]	Yaw [deg]	East [m]	North [m]	Height [m]	Time [s]
200515_055728_line001	-0.010	0.002	0.014	0.013	-0.042	-0.039	0.0000
- Confidence	0.000050	0.000017	0.000098	0.000793	0.001095	0.000384	0.0000000
200515_060129_line002	-0.001	0.000	0.011	-0.017	-0.028	-0.044	0.0000
- Confidence	0.000010	0.000003	0.000070	0.000894	0.000541	0.000589	0.0000000
200515_060522_line003	0.006	-0.007	0.015	-0.010	0.034	-0.021	0.0000
- Confidence	0.000037	0.000051	0.000113	0.001051	0.000606	0.001148	0.0000000
200515_060922_line006	0.004	0.002	-0.001	-0.058	-0.044	-0.012	0.0000
- Confidence	0.000021	0.000018	0.000023	0.000485	0.000980	0.000464	0.0000000
200515_061332_line005	0.002	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.0000
- Confidence	0.000010	0.000020	0.000015	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000
200515_061728_line004	-0.012	0.001	-0.010	0.029	-0.052	0.025	0.0000
- Confidence	0.000049	0.000012	0.000088	0.000887	0.000427	0.000264	0.0000000
200515_063732_line008	-0.003	0.000	-0.005	-0.029	-0.018	0.019	0.0000
- Confidence	0.000014	0.000005	0.000041	0.000648	0.000590	0.000173	0.0000000
200515_064213_line007	-0.001	0.000	0.007	0.023	-0.004	0.061	0.0000
- Confidence	0.000008	0.000003	0.000050	0.000977	0.000906	0.000518	0.0000000

圖 4-1 套用率定成果後進行航帶平差解算成果

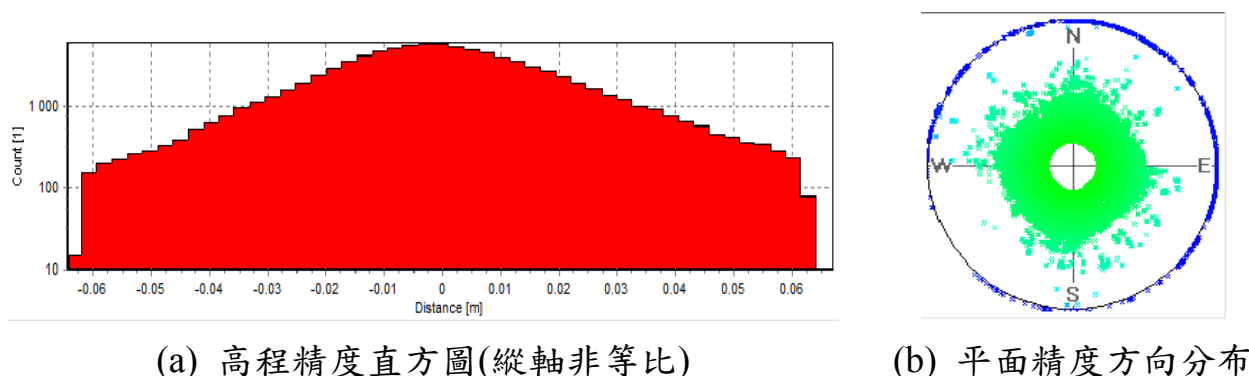


圖 4-2 平差結果精度分析圖

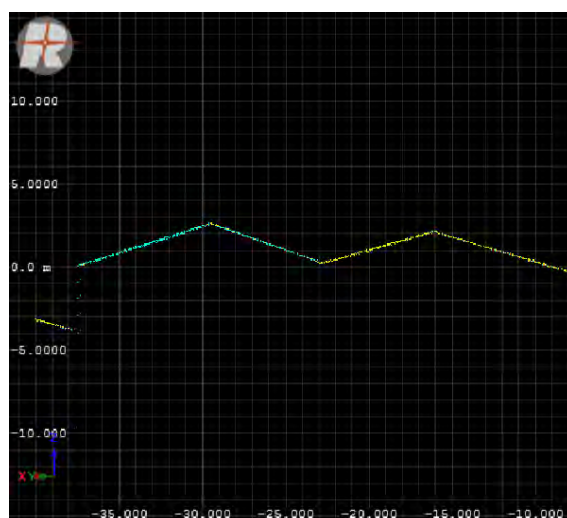


圖 4-3 航帶平差後航線剖面

第五章 控制點檢核

率定場範圍內設置五個控制點(ST1304, ST1308, ST1316, ST1320, ST1329)，分布圖如圖 5-1 所示。施測作業所使用之 GNSS 接收儀的檢校資料詳見附件二。檢核作業首先將平差過後之各航帶進行地表點分類，然後針對地表點執行 TerraScan 模組之 Output control report 之功能，輸出與控制點最近之雷射掃瞄測點，解算其與控制點之高程誤差，均符合本案精度規範要求，高程控制點檢核成果如表 5-1。加入確認飛行後，解算其與控制點之高程誤差，同樣符合本案精度規範要求，高程控制點檢核成果如表 5-1。

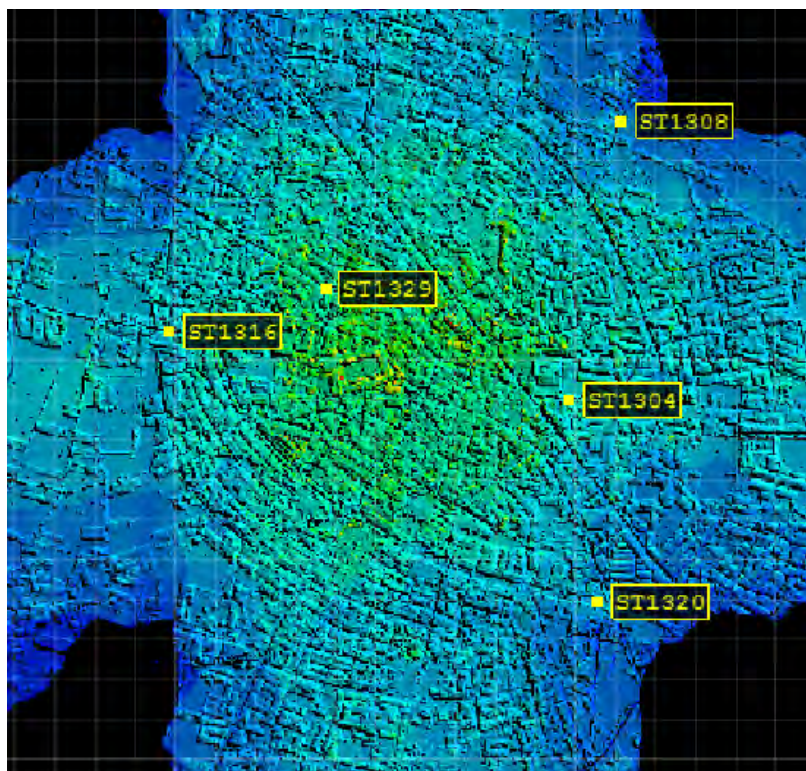


圖 5-1 地面控制點分布

表 5-1 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		
ST1304	199200.341	2667417.881	26.850	26.903	0.053
ST1308	199066.653	2668158.878	27.571	27.499	-0.072
ST1316	198196.493	2667590.874	25.841	25.832	-0.009
ST1320	199270.786	2666911.524	27.007	26.965	-0.042
ST1329	198587.336	2667697.952	25.959	25.948	-0.011

表 5-2 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		
ST1304	199200.341	2667417.881	26.850	26.880	0.030
ST1308	199066.653	2668158.878	27.550	27.499	-0.051
ST1316	198196.493	2667590.874	25.841	25.832	-0.009
ST1320	199270.786	2666911.524	27.007	26.970	-0.037
ST1329	198587.336	2667697.952	25.959	25.949	-0.010



圖 5-2 和美率定場控制點施測作業圖



圖 5-2 和美率定場控制點施測作業圖（續）