



NLSC-108-5

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

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

108 年度工作總報告
Final Report

主辦機關：內政部國土測繪中心

National Land Surveying and
Mapping Center (NLSC)

執行單位：自強工程顧問有限公司

Strong Engineering Consulting Co. Ltd.

中 華 民 國 108 年 12 月 31 日

摘要

數值地形模型 (DTM, 包括 DEM 及 DSM) 資料為國家各項重大建設的基礎, 舉凡遙測衛星影像糾正、水資源決策與管理、水文模擬應用、洪氾地區溢淹模式分析、工程設計與規劃、飛航安全管理等, 均需有精確詳實之數值地形資料以茲應用。行政院於 102 年中央災害防救會報第 28 次會議裁示: 高解析度 DTM 資料於災區潛在大規模崩塌調查成果, 對於政府防減災規劃與國土保育, 提供重要的決策資訊, 應持續規劃短、中、長期工作, 循年度及中長程施政計畫作業程序辦理。內政部報經行政院核定規劃自 105 年度起, 分年委外以 LiDAR 技術更新 DTM 資料, 108 及 109 年度規劃以 LiDAR 技術辦理第 1 作業區 (364 幅)、第 2 作業區 (366 幅) 及第 3 作業區 (373 幅) DTM 更新範圍合計 1,103 圖幅 (1/5000)

本計畫由自強工程顧問有限公司(以下簡稱測製廠商)辦理第 2 作業區 108 年度範圍共 176 幅 1/5000 圖幅, 工作項目包括飛航掃瞄規劃、控制測量、點雲過濾、DTM 製作及正射影像製作等成果, 並且由主辦機關另案委由專業服務廠商 (以下簡稱監審廠商) 協助成果檢核與監審工作, 各階段成果皆經過監審廠商審查認可後交付主辦機關。

本計畫共執行 23 架次飛航掃瞄任務, 全程採全波形掃瞄作業方式辦理飛行掃瞄及記錄, 各架次成果皆獲得監審廠商審查合格, 第一子測區點雲密度成果為 4.51 點/m², 第二子測區點雲密度成果 5.22 點/m², 全數符合作業規範。平差計算結果, 第一子測區點雲平差單位權中誤差應為 3.30 公分; 第二子測區單位權中誤差為 5.40 公分, 成果符合作業規範(單位權中誤差應於 10 公分以內)。利用經過自動化與人工編修後的點雲製作 1m 解析度 DEM/DSM, 並搭配同步獲得的影像進行 25cm 正射影像製作, 成果精度經監審廠商以及主辦機關審查後符合作業規範。

此外, 本計畫加值回饋清境區域 15 km² 傾斜像機系統飛航攝影, 以及 Skyline Photomesh 三維模型建製, 成果豐碩, 可提供主辦機關實景地貌參考。

關鍵字: 空載光達、數值地形模型、數值地表模型、數值高程模型

Abstract

DTM, including both DEM and DSM, is the basic data of every major infrastructures in modern time. It can provide works such as satellite image rectification, water resource management, hydrological modeling, flood forecasting, engineering design, and flight management with much precise topographic data. Therefore, on the 28th Central Disaster Prevention and Response Council of 2013, Executive Yuan announced that, due to the capability of high resolution DTM, which can aid disaster prevention and environmental conservation in hazard prone area, government should put effort into short term, medium term, and long term project on producing DTM through annual administrative plan. Ministry of the interior(MOI) has outsourced the update of DTM data by LiDAR technique in 2019 and 2020 with the total amount of 1,103 frames on three working areas, which are 364, 366, and 373 frames for each place.

In the project of 2019, there are 176 frames of maps in second working area. In order to achieve the goal, Strongco planned to finish following works, including flight planning for laser scanning, control surveying, point cloud filtering, making of DTM and orthophotos. In addition, a independent checking company, assigned by agencies, will examine the effectiveness of project during progress. Every stage of result will be delivered to the employer after been approved by the checking company.

23 flight missions, equipped with full-waveform airborne LiDAR, were executed in our project, and the result has been approved by independent checking company. Point cloud density is 4.51 point/ m² in first area, 5.22 point/ m² in second area, and both results meet the contract's standard. Unit weight mean square error of point cloud adjustment is 3.3 cm in first area, 5.4 cm in second area, and both are also in line with the standard (number should be within 10 cm). 1m DEM derived from automatic and manual edited point cloud and orthophoto with the resolution of 25cm are both approve by the checking company and employer.

In addition, our value-added service, including oblique photography in Cingjing and 3D model in Skyline Photomesh, can provide employer the information of real terrain.

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

目錄

摘要	I
Abstract.....	III
目錄	V
附件目錄	VII
圖目錄	VIII
表目錄	X
第一章 計畫概述	1
1-1 計畫緣起.....	1
1-2 測製範圍與特性分析.....	2
1-3 工作項目及內容.....	3
1-3-1 作業內容說明	3
1-3-2 空載光達掃瞄飛航規劃與申請	3
1-3-3 空載光達掃瞄施測資料獲取	3
1-3-4 正射影像製作	3
1-3-5 各項報告書、工作總報告	4
1-4 作業期程.....	5
第二章 工作執行方法與成果	7
2-1 作業程序.....	7
2-2 儀器設備.....	8
2-2-1 空載光達掃瞄儀	8
2-2-2 高精度 IMU.....	10
2-2-3 航空攝像機	11
2-2-4 GNSS 衛星定位儀	12
2-3 掃瞄飛航規劃.....	13
2-3-1 作業原則	13
2-3-2 108 年航線規劃成果	14
2-3-3 實施計畫申請	17

2-4 空載光達率定作業.....	17
2-4-1 率定場設置	17
2-4-2 執行率定作業	18
2-5 控制測量.....	22
2-5-1 地面 GNSS 基地站	22
2-5-2 航帶平差控制點及平面控制點控制點測量	24
2-6 空載雷射掃瞄施測資料獲取.....	32
2-7 雷射掃瞄點雲資料處理.....	34
2-7-1 原始點雲解算	34
2-7-2 點雲航帶平差	34
2-7-3 點雲分類	40
2-8 DEM 與 DSM 製作、人工檢核與編修及圖幅鑲嵌處理.....	44
2-8-1 製作程序	44
2-8-2 檢核點檢查	47
2-8-3 圖幅接邊	54
2-8-4 正高轉換	55
2-8-5 資料儲存格式	55
2-8-6 詮釋資料製作	56
2-9 正射影像製作.....	56
第三章 成本因子分析	58
3-1 進度管制計畫	58
3-2 點雲編修人力配置.....	58
3-3 影像處理人力配置.....	58
3-4 各項成本分析.....	59
第四章 執行團隊	61
4-1 團隊組織編制.....	61
4-2 性平統計.....	61
4-3 主要參與人員名冊.....	62
4-4 其他軟、硬體設備.....	63

4-4-1 軟體設備	63
4-4-2 硬體設備	64
第五章 加值回饋	66
5-1 5 平方公里傾斜像機拍攝.....	66
5-2 Photomesh 3D 地形地貌模型建置	67
第六章 檢討與建議	68
6-1 檢討	68
6-2 建議.....	68
參考文獻	69

附件目錄

附件一	相關函文(電子檔)
附件二	DEM 高程容許誤差之計算方式(電子檔)
附件三	航帶平差控制點位調查表_A_52 點(電子檔)
附件四	平面平差控制點位調查表_B_5 點(電子檔)
附件五	儀器率定文件(電子檔)
附件六	航線規劃參數表(電子檔)
附件七	點雲密度計算表(電子檔)
附件八	空載光達率定報告書(電子檔)
附件九	各架次監審廠商審核通過紀錄(電子檔)
附件十	地類檢核點分析成果(電子檔)
附件十一	各地類檢核點照片(電子檔)
附件十二	監審廠商審查意見回覆(電子檔)
附件十三	主辦機關審查意見回覆(電子檔)

圖目錄

圖 1-1	108 年度第 2 作業區(3-2 測區)以及子測區範圍	2
圖 2-1	工作流程圖	7
圖 2-2	空載光達 Riegl LMS-Q780 實機照	8
圖 2-3	107 年 IGI IMU 原廠率定成果報告	10
圖 2-4	PhaseONE IXU-RS 1000 實機照	11
圖 2-5	PhaseOne IXA 180 實機照	12
圖 2-6	航線規劃圖：3-2 分區	15
圖 2-7	3-2 測區航線規劃成果與樂山基地區域位置	16
圖 2-8	彰化縣和美鎮率定場	18
圖 2-9	彰化和美率定場航線規劃資訊	19
圖 2-10	彰化和美率定場 GNSS 基地站分布圖	19
圖 2-11	Lever arm 量測作業照	20
圖 2-12	GNSS 基地站以及 20km 範圍分布圖	23
圖 2-13	航帶平差控制點分布	24
圖 2-14	地類檢核點實地施測作業照	31
圖 2-15	計畫範圍子測區點雲密度檢核成果	33
圖 2-16	點雲涵蓋範圍圖	33
圖 2-17	點雲資料各別屬性展示圖	34
圖 2-18	TerraScan 之巨集設定畫面	41
圖 2-19	以人工進行點雲分類前後示意圖	42
圖 2-20	計畫範圍水域線數化成果	43
圖 2-21	計畫區域 DEM 成果展示	45
圖 2-22	計畫區域 DSM 成果展示	46
圖 2-23	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-裸露地	47
圖 2-24	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-矮植被	48
圖 2-25	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-植生地	48
圖 2-26	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-林地	49

圖 2-27	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-都會區	49
圖 2-28	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-濕地	50
圖 2-29	中高海拔山區地類檢核點成果-裸露地	51
圖 2-30	中高海拔山區地類檢核點成果-矮植被	51
圖 2-31	中高海拔山區地類檢核點成果-植生地	52
圖 2-32	中高海拔山區地類檢核點成果-林地	52
圖 2-33	中高海拔山區地類檢核點成果-密林區	53
圖 2-34	低海拔及河川洪泛溢淹測製地區-斷面檢核成果	53
圖 2-35	中高海拔山區測製地區-斷面檢核成果	54
圖 2-36	航拍影像色調調整操作畫面	56
圖 2-37	計畫範圍正射影像成果展示	57
圖 4-1	團隊組織架構圖	61
圖 5-1	AOS-5 傾斜像機實機照	66
圖 5-2	高重疊影像進行 3D 建模成果-1	67
圖 5-3	高重疊影像進行 3D 建模成果-2	67

表目錄

表 1-1	成果繳交項目及期限.....	5
表 2-1	空載光達掃瞄儀計畫需求與儀器特性對照表	8
表 2-2	Riegl LMS-Q780 詳細規格	9
表 2-3	高精度 IGI IMU 詳細規格表	10
表 2-4	PhaseONE IXU-RS 1000.....	11
表 2-5	PhaseOne IXA 180 規格表.....	12
表 2-6	本團隊擁有之地面 GNSS 衛星定位儀形號與數量	13
表 2-7	3-2 測區航線規劃參數	14
表 2-8	率定場 GNSS 基地站坐標位置	20
表 2-9	率定場區已知加密控制點成果列表	21
表 2-10	計畫區域周圍既有 GNSS 基地站列表	22
表 2-11	航帶平差控制點檢測成果(e-GNSS 2017)	25
表 2-12	航帶平差控制點 TWD97【2010】成果	28
表 2-13	平面平差控制點檢測成果(e-GNSS 2017)	29
表 2-14	平面平差控制點 TWD97【2010】成果	29
表 2-15	空中三角測量分區成果	30
表 2-16	各航線 Find Fluctuations 成果分析(單位：公尺)	35
表 2-17	低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點總成果	47
表 2-18	中高海拔山區地類檢核點總成果	50
表 4-1	本案作業人員男女統計.....	61
表 5-1	傾斜像機建模範圍航線規劃	66

第一章 計畫概述

1-1 計畫緣起

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

內政部報經行政院核定推動「落實智慧國土-國土測繪圖資更新及維運計畫(105-109)」，規劃自 105 年度起，分年委外以 LiDAR 技術更新 DTM 資料，截至 107 年度止已辦理 2,111 個圖幅（1/5000）範圍數值地形模型更新作業，108 及 109 年度續規劃以 LiDAR 技術辦理第 1 作業區（364 幅）、第 2 作業區（366 幅）及第 3 作業區（373 幅）DTM 更新範圍合計 1,103 圖幅（1/5000），由測製案廠商(以下簡稱測製廠商)辦理飛航掃瞄規劃、控制測量、點雲過濾、DTM 製作及檢核、正射影像製作等成果，由機關另案委由專業服務廠商（以下簡稱監審廠商）協助成果檢核與監審工作，俾達成計畫預期成效。

1-2 測製範圍與特性分析

本計畫測區(3-2 測區)無臨海區域，測區面積包含 176 幅 1/5000 圖幅，涵蓋臺中市、苗栗縣、南投縣、新竹縣。另外依據作業規劃，劃分為第 1 子測區(3-2-1)以及第 2 子測區(3-2-2)，其中第 1 子測區包含 75 幅 1/5000 圖幅(約 44%)；第 2 子測區包含 101 幅 1/5000 圖幅(約 56%)，兩子測區計畫範圍如圖 1-1。本計畫分區涵蓋新竹縣、苗栗縣、臺中市以及南投縣，地勢高低落差大(486 m~3899 m)。其中包含三條坡度大的河流上游段，其溪谷地形提高飛航掃瞄作業難度。本計畫北測緊鄰樂山基地區域，在航線規劃上需避免航線正向接近，確保本計畫飛航作業可順利進行。

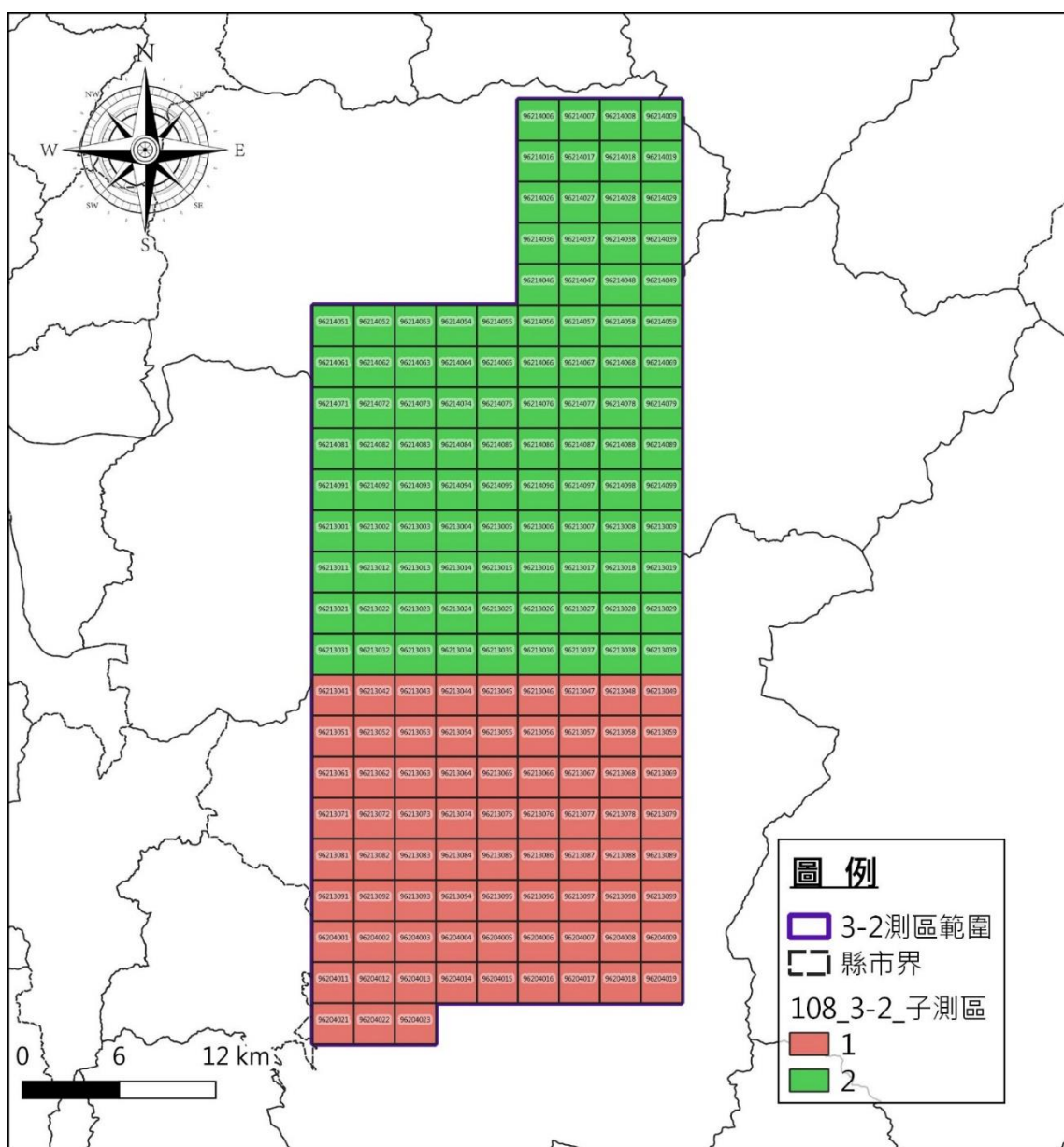


圖 1-1 108 年度第 2 作業區(3-2 測區)以及子測區範圍

1-3 工作項目及內容

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

1-3-1 作業內容說明

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

1-3-2 空載光達掃瞄飛航規劃與申請

- 一、實施計畫之申請：測製廠商應於決標後 20 日內，依「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」規定提出實施計畫，經監審廠商檢查後，檢附相關文件向中央主管機關以公文提出申請，並副知本機關。
- 二、測製廠商提出之實施計畫內容，其範圍應包含本案 108 及 109 年度測製區域，且應於實施計畫審核通過後，方能辦理空載光達掃瞄施測。
- 三、測製廠商 109 年度測製區域之資料獲取時間，不得為 108 年 10 月 1 日之前。
- 四、測製廠商另應於辦理空載光達掃瞄之前，將「空載光達測製數值地形模型作業說明」所規定之掃瞄飛航計畫(含掃瞄航線、參數設定、……等)送監審廠商審核通過後，依計畫辦理掃瞄作業。

1-3-3 空載光達掃瞄施測資料獲取

測製廠商飛航掃瞄後之 7 日內，須繳交該次執行之原始連續飛航掃瞄數據(含掃瞄儀器所下載未經處理前之資料及處理後之 LAS 格式檔)給監審廠商，然而部分資料須洽相關機關取得而無法於 7 日內繳交者，囿於取得時效問題，可於 14 日內補齊。

1-3-4 正射影像製作

製作正射影像使用之航拍影像，以辦理掃瞄飛航時同步取得為原則。其原始航拍影像應繳交機敏區已遮蔽處理及無遮蔽處理之成果。

1-3-5 各項報告書、工作總報告

一、提報作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)

作業計畫至少包含以下項目：

- (一) 各批次作業範圍規劃(作業區域應以連續接連為原則)
- (二) 作業項目、流程及方式說明。
- (三) 作業時程(含各項工作權重配比)及進度管控方式說明。
- (四) 精度檢核及品質管控方式。
- (五) 建議及配合事項。
- (六) 其他相關資料及附件。

二、提報工作進度報告

- (一) 每月進度報告：測製廠商應於決標次月起每個月 25 日前提出當月之工作執行書面報告交付監審廠商檢查並副知主辦機關，內容包含預定及實際執行工作進度，作業與成果檢查情形，視需要提出工作協調事項及工作遭遇困難，並於召開工作會議時提出報告。
- (二) 監審廠商於作業期間定期召開工作會議，並以每個月 1 次為原則，測製廠商應指派計畫主持人或主要參與作業人員參加，由主辦機關針對測製廠商各項工作辦理監督及檢查作業，並每月擇期召開工作會議，測製廠商應確實配合辦理，並依工作進度以書面通知機關據以辦理監督及檢核作業。

三、提送工作總報告

工作總報告內容至少包含以下項目：

- (一) 中文摘要(含關鍵字)。
- (二) 計畫概述。
- (三) 作業規劃及作業範圍特性分析(如工作項目、內容、作業期程規劃、作業程序及方法說明、執行情形)。
- (四) 工作項目、內容、執行方法、情形及成果。
- (五) 檢核方式及處理原則說明。
- (六) 成本分析(如成本因子說明、各項工作成本計算等)。
- (七) 檢討與建議。

(八) 其他相關資料及附件(含檢查報表、各次工作會議結論與追蹤事項辦理情形及函文)。

四、作業計畫與工作總報告繳交電子檔均包含 Microsoft Office Word 檔格式及 PDF 檔案格式，報告書面文件則採 A4 雙面列印(加註書背)。

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

1-4 作業期程

本案作業期程自決標日次日起至 109 年 11 月 10 日止(本案履約期限皆以日曆天計算，其星期例假日、國定假日或其他休息日均計入)。本案分 8 階段辦理，各階段成果應經監審廠商檢查合格後繳交予機關。測製廠商成果繳送監審廠商辦理檢查時，應以公文遞送並副知機關。各階段應交付項目、期限以及實際執行情況如表 1-1。

本案依據 108 年 4 月 26 日第 2 次工作會議結論(成大研總字第 1081103645 號)會議結論，調整部分成果提送如下：

- 一、測製廠商於第 2、3、6、7 階段應繳交之 DEM 與 DSM 成果係指橢球高系統、LAS 格式，並於合約期限內將經監審廠商審查通過之成果送至主辦機關。
- 二、監審廠商於第 3、6 階段分別繳交 108 及 109 年度測製區 DTM(DEM 與 DSM)鑲嵌及正高轉換成果，該成果係指正高系統、LAS 格式。
- 三、有關 GRD(含 HDR、XML)及 GeoTiff 格式，應於 LAS 成果確定後，再據以轉製 GRD(含 HDR、XML)及 GeoTiff 格式，主辦機關將於監審廠商成果驗收合格後，再請測製廠商轉製其它格式成果，請測製廠商於收到主辦機關通知次日起 30 個日曆天內繳交經監審廠商審查通過之 GRD 及 GeoTiff 格式(均含正高及橢球高)至主辦機關。

表 1-1 成果繳交項目及期限

期別	交付項目	說明	繳交期限
108 年度	第 1 階段	108 年度作業計畫(含空載光達掃瞄飛航計畫)初稿 10 份及電子檔 2 份。	決標次日起 20 個日曆天。 (108 年 2 月 9 日)

期別	交付項目	說明	繳交期限
	第 2 階段	實際執行情況： 108 年 1 月 29 日提送監審廠商審查(自工字 108015264) 108 年 1 月 30 日審查通過(成大研總字第 1081100919 號) 108 年 2 月 1 日提送主辦機關(自工字 108025276 號)。 108 年 2 月 23 日主辦機關提供審查意見(測形字第 1081570080 號) 108 年 3 月 7 日提送修正後報告書(自工字第 108035318 號)	
		1.DEM 與 DSM 成果【含圖幅接邊處理，同點雲資料處理繳交之圖幅、點雲資料處理(108 年度範圍 40%以上圖幅)及控制測量(繳交 108 年度範圍)】。 2.正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。	108 年 9 月 30 日
	第 3 階段	實際執行情況： 108 年 9 月 19 日提送第 2 階段成果予監審廠商(自工字第 108095787 號) 108 年 9 月 25 日監審廠商審查合格(成大研總字第 1081107371 號) 108 年 9 月 27 日提送第 2 階段資料予主辦機關(自工字第 108095813 號) 108 年 10 月 21 日主辦機關驗收合格(測形字第 1081570383 號)	
		1.DEM 與 DSM 成果【含圖幅接邊處理，同點雲資料處理繳交之圖幅、點雲資料處理(108 年度範圍之剩餘圖幅數)】。 2.正射影像成果(同點雲資料處理繳交之圖幅)。	109 年 1 月 31 日
	第 4 階段	實際執行情況： 108 年 11 月 18 日提送第 3 階段成果予監審廠商(自工字第 108115955 號) 108 年 11 月 25 日監審廠商審查合格(成大研總字第 1081108632 號) 108 年 11 月 27 日提送第 3 階段資料予主辦機關(自工字第 108115981 號) 108 年 12 月 10 日主辦機關驗收合格(測形字第 1081570462 號)	
		108 年度工作總報告(初稿)10 份及電子檔 2 份。	109 年 2 月 25 日
		實際執行情況： 108 年 12 月 4 日提送予監審廠商(自工字第 108126013 號) 108 年 12 月 17 日監審廠商審查合格(成大研總字第 1081109156 號) 108 年 12 月 17 日提送 108 年總報告予主辦機關(自工字第 108126057 號) 108 年 12 月 26 日主辦機關提供審查意見(測形字第 1081570514 號)	
		修正後 108 年度工作總報告 5 份及電子檔 2 份。	依機關指定期限內繳交。 (108 年 12 月 31 日)
		實際執行情況： 108 年 12 月 31 日提送修正後 108 年總報告予主辦機關(自工字第 108126130 號)	

第二章 工作執行方法與成果

2-1 作業程序

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

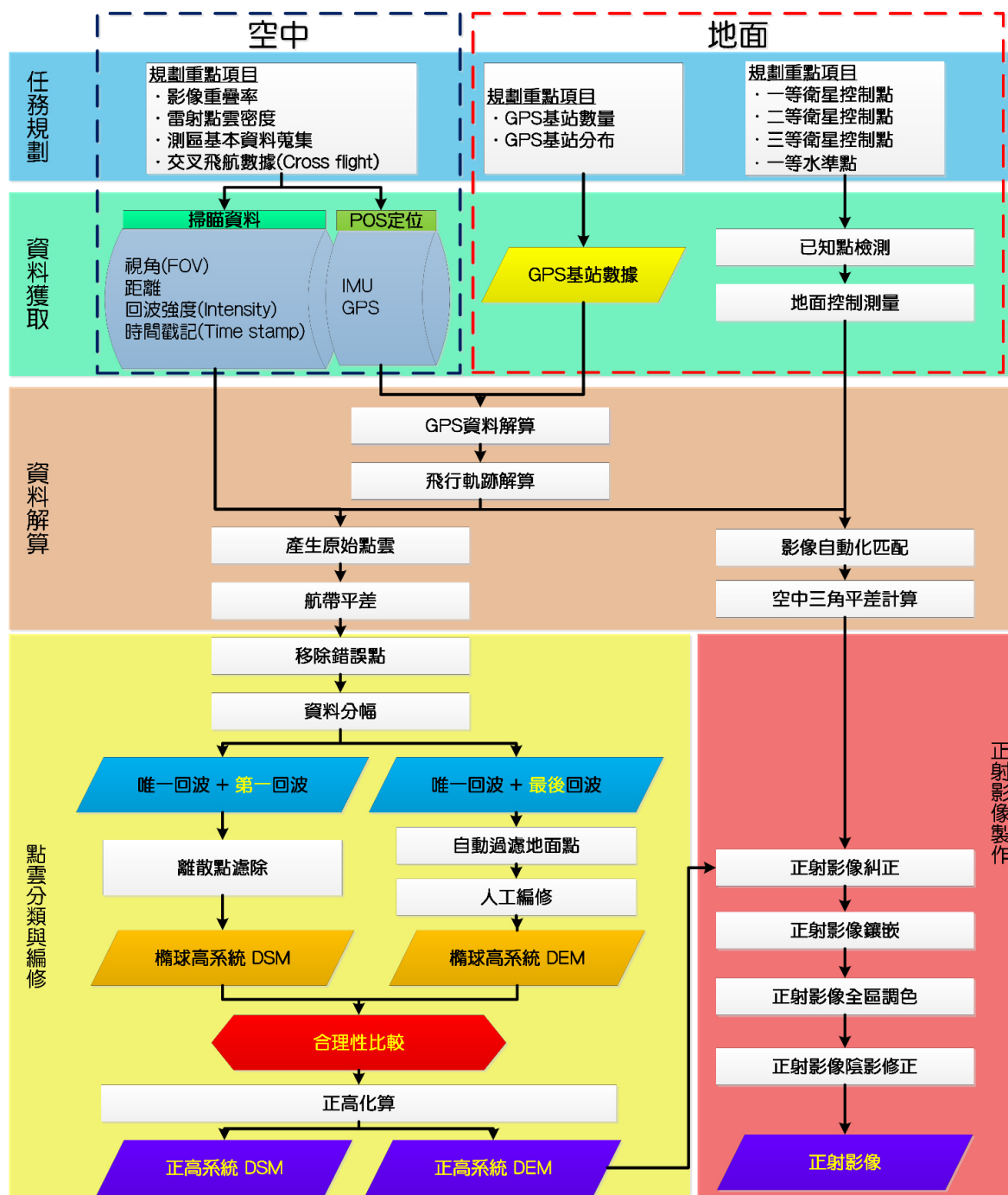


圖 2-1 工作流程圖

2-2 儀器設備

2-2-1 空載光達掃瞄儀

本團隊使用空載光達掃瞄設備 Riegl LMS-Q780 (圖 2-2)，依據本計畫空載光達掃瞄儀需求，彙整對照表如表 2-1，全數符合作業規範。其具有 107 年 12 月份經內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室出具之校正報告做為品保參據，符合作業規定(最近 2 年內)。其報告內容依據「108 年度內政部 LiDAR 技術更新數值地形成果檢核規定」檢核合格(平面方向器差 12 cm；高程方向為 0.8 cm)，符合本計畫作業規範要求(應小於本規範之平面容許誤差 50 cm 以及高程基本精度 30 cm)，儀器規格詳如表 2-2。

表 2-1 空載光達掃瞄儀計畫需求與儀器特性對照表

項次	項目	內容	Q780
1	坐標有效位數	應至少記錄至公釐	符合
2	回波數目	可記錄之回波數目應至少 3 回波	符合
3	回波強度值	值域至少為 256 階(2 ⁸)	符合
4	GNSS 時間	每一個回波均應記錄 GNSS 時間	符合
5	點雲記錄格式	應可轉換為美國航空測量及遙感探測學會 (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ASPRS) 制定的空載光達點雲資料記錄交換格式 (簡稱 LAS) 儲存	符合
6	全波形資料	可記錄全波形資料	符合
7	搭配 IMU 精度	滾動 Roll、顛頗 Pitch 之精度(RMS)應小於 0.015 度；偏航 Yaw 之精度 (RMS) 應小於 0.05 度。	符合
8	機載 GNSS	搭配之機載 GNSS 設備應至少為雙頻儀器	符合
9	品保依據	應具有最近 2 年內經內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室出具之校正報告做為品保參據。其報告內容所列器差值之均方根誤差應小於本規範之附件高程基本精度。	符合 (107.12)



圖 2-2 空載光達 Riegl LMS-Q780 實機照

表 2-2 Riegl LMS-Q780 詳細規格

System Model	LMS-Q780		
Serial Number	2220561		
Laser Product Classification	Class 3B Laser Product according to IEC60825-1:2007 The following clause applied for instruments delivered into the United States: Complies with 21 CFR 1040.10 and 1040.11 except for deviations pursuant to Laser Notice No.50, dated June 24, 2007.		
Intensity Measurement	For each echo signal, high-resolution 16-bit intensity information is provided which can be used for target discrimination and/or identification/classification.		
Power Supply	18 - 32 VDC/approx. 7 A @ 24 VDC		
Main Dimensions (L x W x H)	480 × 212 × 279 mm		
Weight	approx. 20 kg		
Protection Class	IP54		
Max. Flight Altitude	18500 ft (5600 m) above MSL - operating 18500 ft (5600 m) above MSL - not operating		
Temperature Range	-5°C up to +40°C (Operation)		
	-10°C up to +50°C (Storage)		
Mounting of IMU-Sensor	Steel thread inserts on both sides of the laser scanner, rigidly connected to the inner structure of the scanning mechanism		
Full Laser Power (Laser Power Level: 100%)			
Max. Measurement Performance	Laser Pulse Repetition Rate	Natural Targets $\rho \geq 20\%$	Natural Targets $\rho \geq 60\%$
	100 kHz	4100 m	5800 m
	200 kHz	3500 m	5100 m
	300 kHz	3000 m	4500 m
	400 kHz	2700 m	4100 m
Minimum Range	50 m		
Accuracy	20 mm		
Laser Pulse Repetition Rate	up to 400 kHz		
Laser Wavelength	Near Infrared		
Laser Beam Divergence	≤ 0.25 mrad		
Number of Targets per Pulse	Digitized waveform processing: unlimited (practically limited only by the maximum data rate allowed for the <i>RIEGL</i> Data Recorder)		
	monitoring data output: first pulse		
Scanning Mechanism	Rotating Polygon Mirror		
Scan Pattern	Parallel Scan Lines		
Scan Angle Range	$\pm 30^\circ = 60^\circ$ total		
Scan Speed	14 - 200 lines/sec (laser power level $\geq 50\%$)		
	10 - 200 lines/sec (laser power level $< 50\%$)		
Angle Measurement Resolution	0.001°		
Scan Sync	Option for synchronizing scan lines to external timing signal		
Configuration	TCP/IP Ethernet (10/100 MBit), RS232 (19.2 kBd)		
Monitoring Data Output	TCP/IP Ethernet (10/100 MBit)		
Digitized Data Output	High speed serial data link to <i>RIEGL</i> Data Recorder		
Synchronization	Serial RS232 interface, TTL input for 1 pps synchronization pulse, accepts different data formats for GNSS-time information		

2-2-2 高精度 IMU

本計畫空載光達設備皆搭配高精度 IGI IMU，其儀器規格詳如表 2-3，皆符合本計畫作業需求（滾動 Roll、顛頗 Pitch 之精度應小於 0.015 度；偏航 Yaw 之精度應小於 0.05 度）。其中，本計畫所使用的 IGI IMU 於 107 年度重回原廠進行維護與檢校，率定檢校成果報告如圖 2-3。

表 2-3 高精度 IGI IMU 詳細規格表

GENERAL	
IMU	high performance fibre-optic gyros (FOG) durable robust design for high-vibration environments adapter plate for IMU mounting to sensors
	transmission rate 64 Hz 128 Hz 256 Hz
	FOG-Bias: 0.1 deg / h FOG-RW: 0.02 deg / sqrt(h) resolution: 0.0038 mrad (@ 128 Hz) resolution: 0.0019 mrad (@ 256 Hz)
	accelerometer bias: 0.5 mg resolution: 0.122 *10 ⁻³ m / s (@ 128 Hz) resolution: 0.061 *10 ⁻³ m / s (@ 256 Hz)
Computer	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

Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH

Kalibrierschein
Calibration Certificate

Service number: IMU-55-002
Order number: 02850

Gegenstand / Object: Inertial Measurement Unit [IMU]

Hersteller / Manufacturer: Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH D-57223 Kreuztal

Typ / Type: IMU-Ile

Teilenummer / Part number: IMU-02-001-02704

Fabrikat / Seriennummer: 09-0120

Datenrate / Data rate: 256 Hz

Auftraggeber / Customer: Strong Engineering Consulting Co. Ltd. 6F, No.112 Ximin Street, Zhonghe City 235 Taipei Country, Taiwan (R.O.C.)

Auftragsnummer / Order number: SV2017-365007

Datum der Kalibrierung / Date of calibration: 25.01.2017

Anzahl der Seiten des Kalibrierscheins / Number of pages of the certificate: 2

Der Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung der Firma IGI mbH. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.
This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of IGI mbH. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Stempel / Seal: IGI mbH

Datum / Date: 26.01.2017

Aufsicht des Kalibrationsprozesses / Supervisor of calibration process: Dr. rer. nat. J. Kremer

Bearbeiter / Person in charge: Th. Theile

IGI mbH
Langenauer Straße 46
57223 Kreuztal / Germany

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

AEROcontrol

Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH

Seite / Page: 2

Service number: IMU-55-002-02850

Order number: SV2017-365007

Auftraggeber / Customer: Strong Engineering Consulting Co. Ltd. 6F, No.112 Ximin Street, Zhonghe City 235 Taipei Country, Taiwan (R.O.C.)

IMU S/N: 09-0120

Datum / Date: 26.01.2017

Dieser Kalibrierschein dokumentiert folgende Prüfungen:

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

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

This calibration certificate documents the following tests:

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

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

Ergebnis der AEROoffice Koeffizienten:
Result of the AEROoffice coefficients:

C ₀₁ = 28	C ₀₂ = 112	C ₀₃ = -74
C ₁₁ = 28	C ₁₂ = 112	C ₁₃ = -74
C ₂₁ = 45	C ₂₂ = -281	C ₂₃ = 343
C ₃₁ = -10	C ₃₂ = 178	C ₃₃ = -4

Please check this coefficients in your AEROoffice-Setup.

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

圖 2-3 107 年 IGI IMU 原廠率定成果報告

2-2-3 航空攝像機

一、PhaseONE IXU-RS 1000

1 億萬像素的辨識率：在 1 億萬像素的辨識率下，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 2-4，儀器詳細規格詳如表 2-4。



圖 2-4 PhaseONE IXU-RS 1000 實機照

表 2-4 PhaseONE IXU-RS 1000

項次	項目	規格	備註
1	解析度	100 MP (11,608 x 8708)	
2	動態範圍	>84 db	
3	長寬比	4:3	
4	像素大小	4.6 micron	
5	感測大小	53.4 x 40.0 mm	符合作業規定 24 mm × 36 mm。
6	感光度 (ISO)	50 - 6400	
7	像機類型	用於航空攝影的中畫幅像機	符合計畫作業所需精密測圖用之數位式攝影機
8	鏡頭	RS 鏡頭 50、70mm	
9	快門速度	高達 1/2500 秒	
10	輸出格式	Phase One RAW，TIF，JPG 可輸出 8-bits、16bits	符合計畫作業所需成果應輸出為 24 位元自然彩色影像（紅、綠、藍各波段均為 8 位元）
11	溫度	-10°到 40°C (14°~104°F)	

二、PhaseONE iXA 180

本團隊擁有多台航測數位攝像機，其中 PhaseONE iXA 180(圖 2-5)曾執行多項大範圍飛航攝影計畫，成果品質通過多方監審廠商認證，全數符合計畫需求，其儀器詳細規格詳如表 2-5。其中，此像機於今年 107 年度經過 PhaseONE 原廠率定，率定成果文件以及其實機照詳如附件五，並於 108 年 4 月獲得主辦機關測量儀器校正實驗之 TAF 認證中像幅航攝數位像機校正報告，詳如附件五。



圖 2-5 PhaseOne IXA 180 實機照

表 2-5 PhaseOne IXA 180 規格表

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

2-2-4 GNSS 衛星定位儀

本計畫於空載光達資料獲取同時，其掃瞄區域 20 公里範圍內，應至少有 2 個以上地面 GNSS 基站，同步接收 GNSS 觀測量。為彌補計畫範圍內可能有部分區域不能滿足計畫需求，測製廠商需於不足區域架設 GNSS 基地站，藉以獲得高品質飛航軌跡資訊。其 GNSS 基地站所使用之衛星定位儀規格需求，以及本團隊所有之相關儀器詳述如后。

一、計畫需求

(一) 應至少為雙頻儀器。

- (二) 具有最近 3 年內經 TAF 認證實驗室出具之校正報告做為品保參據。
其報告內容所列中基線水平分量器差應小於 15 公分($30\text{ mm} + 6\text{ ppm} \times 20\text{ km}$)，垂直分量應小於 37.5 公分($75\text{ mm} + 15\text{ ppm} \times 20\text{ km}$)。

二、地面 GNSS 衛星定位儀

本團隊擁有多部 GNSS 衛星定位儀(表 2-6)以及經驗豐富之外業作業小組，完整校正報告詳如附件五。

表 2-6 本團隊擁有之地面 GNSS 衛星定位儀形號與數量

廠牌	UniStrong	NetSurv	JAVAD	STONEX	HORIZON
數量	2	2	7	6	2

2-3 掃瞄飛航規劃

2-3-1 作業原則

一、航線規劃

- (一) 空載光達掃瞄飛航計畫範圍應包含全部工作區域。
- (二) 飛機換航線之轉彎掃瞄資料，不得使用於後續航帶平差及 DEM、DSM 之製作。
- (三) 點雲密度條件
 1. 掃瞄區以 100 公尺 $\times$ 100 公尺劃分網格單元。
 2. 以航帶重疊後之原始點雲數，計算該網格之平均點雲密度。
 3. 每平方公尺點雲密度以 2 點為原則，低於 2 點的網格數不得超過作業區全部網格數的 10%，低於 1 點的網格數不得超過作業區全部網格數的 5%。
- (四) 航帶重疊率：本計畫航線規劃全數採用左右重疊 50%，優於原計畫成果規範(其重疊率應大於 40%)。
- (五) 航拍影像前後重疊率規劃為 80% (優於原規範前後重疊率應為 60% $\pm$ 5%)，側向重疊率依空載光達航帶重疊率設計。
- (六) 航拍影像 GSD (Ground sample distance) 應優於或等於 25 公分。
- (七) 空載光達掃瞄之 FOV (Field of View) 設定不應超過 40 度。
- (八) 掃瞄海岸地區時，原則上為飛航當日低潮位前後 2 小時進行掃瞄，以蒐集最大面積海岸沙洲及潮間帶資料。

二、交叉飛航數據（Cross Flight）條件

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

三、地面 GNSS 基站布設條件

- (一) 空載光達資料獲取同時，其掃瞄區域 20 公里範圍內，應至少有 2 個以上地面 GNSS 基站，同步接收 GNSS 觀測量。
- (二) 基站透空度：仰角 10 度以上無遮蔽。
- (三) 得使用各機關設置之連續追蹤站。

四、航帶平差控制點及平面控制點布設條件

- (一) 每個航帶間應有 3 個高程控制點(航帶頭、中及尾各段應至少 1 點)。
- (二) 相鄰之測區接邊處應共用控制點。
- (三) 航帶平差控制點位應設置鋼標（釘），若於點位周圍有透空度良好的角點特徵時（如屋角點能於空載光達點雲中形成可辨識的角點特徵），一併設置航帶平差所需之平面控制點。

2-3-2 108 年航線規劃成果

- 一、區域特性：本計畫分區涵蓋新竹縣、苗栗縣、臺中市以及南投縣，地勢高低落差大(486 m ~ 3899 m)。其中包含三條坡度大的河流上游段，包含大甲溪上由谷關水庫、德基水庫、北港溪上游、眉溪、濁水溪上游以及萬大水庫。山勢陡峭且曲折的溪谷地形大幅提高飛航掃瞄作業難度。
- 二、航線規劃：依據前述區域計畫特性，共規劃 175 條航線(圖 2-6)，其中包含 5 條溪谷加密航線，確保成果符合作業規範，其航線分布如圖 2-6，各航線詳細資訊如附件六，各航線點雲密度計算表如附件七。
- 三、特殊地理位置：本計畫北測緊鄰樂山基地區域(圖 2-7)，規劃北側區域的交叉航線為東北-西南走向，刻意避開朝向樂山基地區域航線，確保本計畫飛航作業順利進行。

表 2-7 3-2 測區航線規劃參數

項次	項目	內容
1	航線高度	3000 m ~ 4600 m
2	航線數	175 條
3	航線總長	3275 km

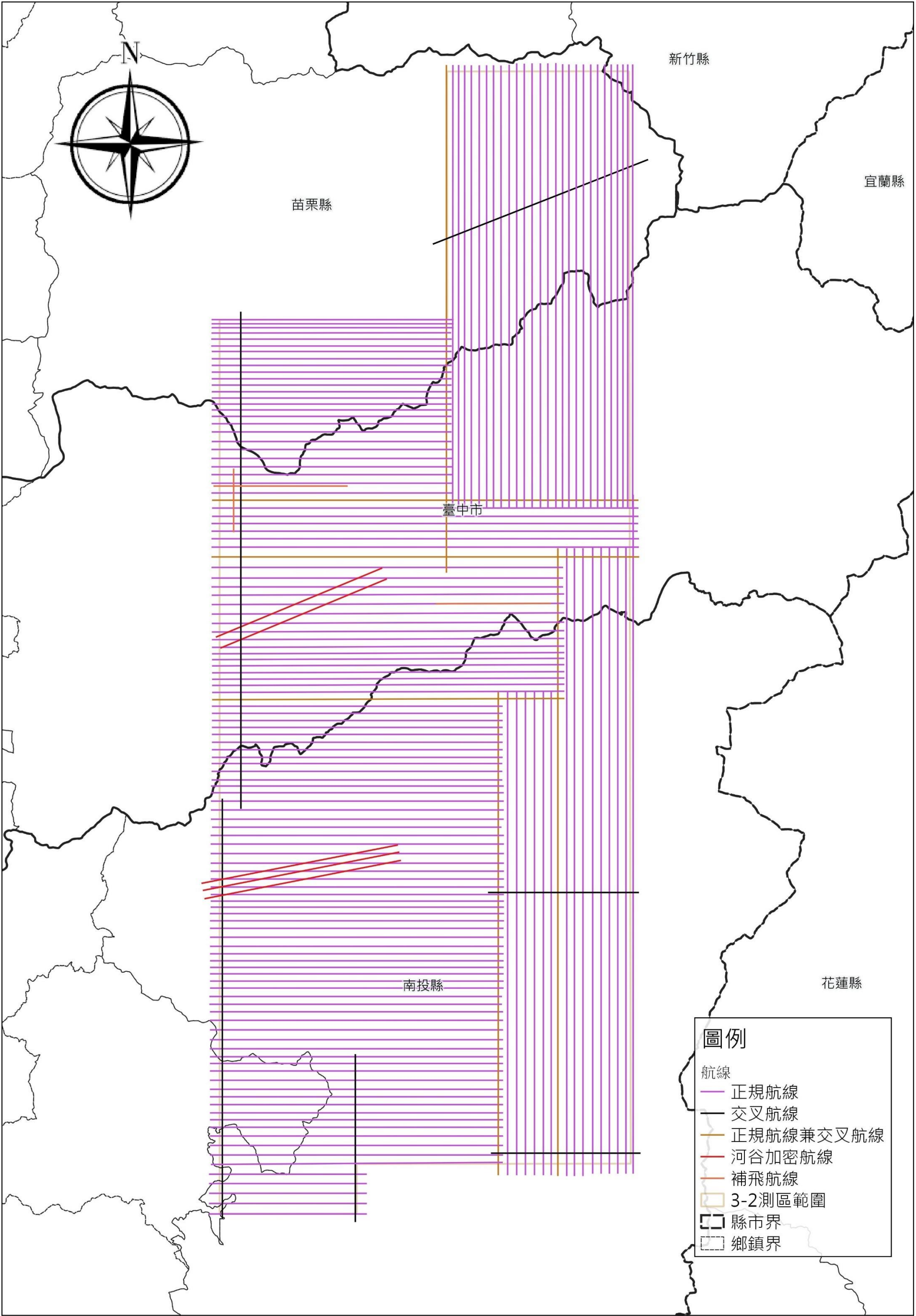


圖 2-6 航線規劃圖：3-2 分區

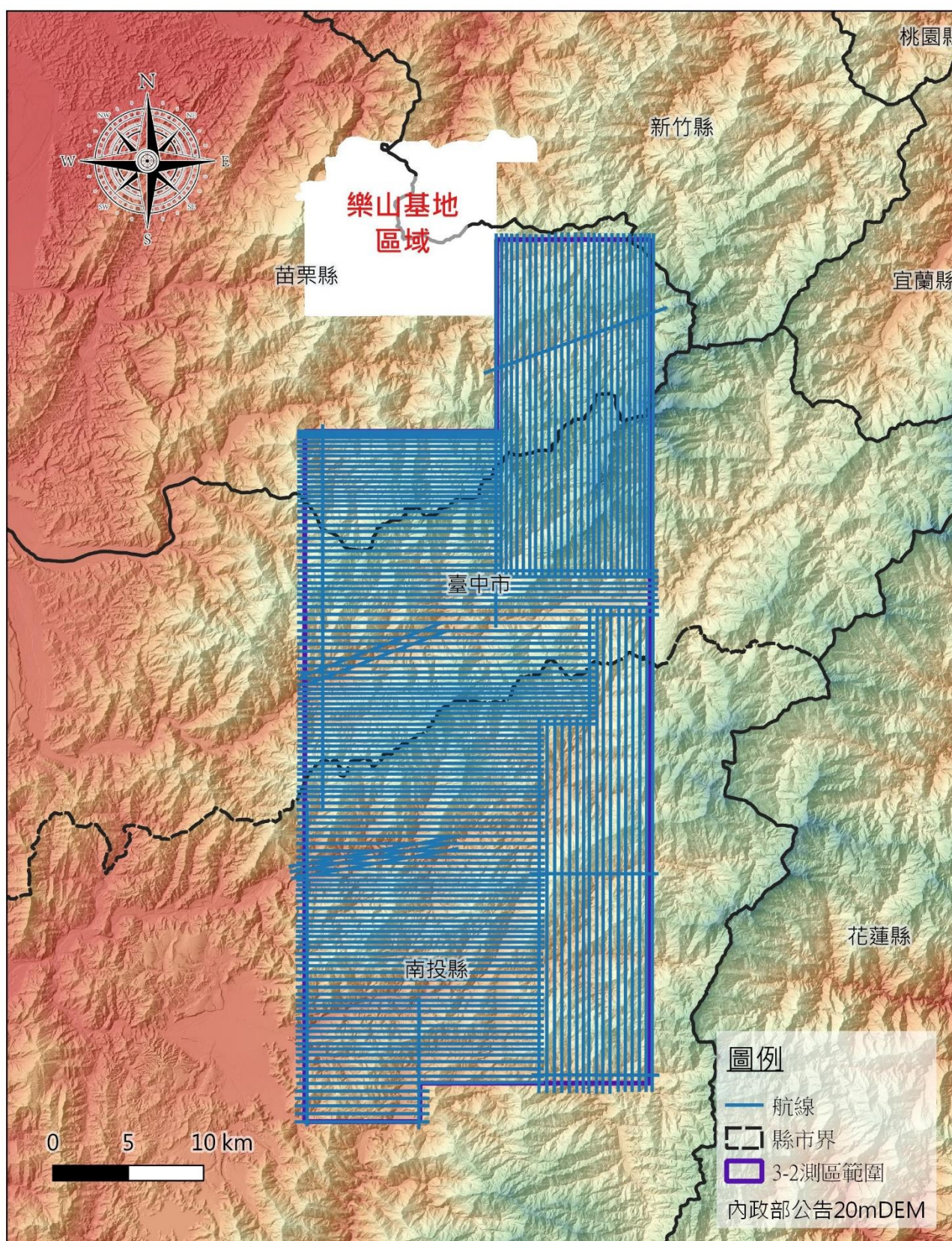


圖 2-7 3-2 測區航線規劃成果與樂山基地區域位置

2-3-3 實施計畫申請

- 一、辦理單位應依內政部「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」第 3 條規定，向中央主管機關提出申請。實施計畫內容應符合前開規則所定之項目。
- 二、本計畫於 108 年 1 月 23 日提送航攝實施計畫予監審廠商(自工字 108015259 號)，並於 108 年 1 月 24 日審核通過(成大研總字第 1081100861 號)。續於審核通過當日提送內政部航攝申請(自工字 108015262 號)，續於 108 年 3 月 5 日獲得內政部航攝許可(台內地字第 1080108362 號)，同日依據內政部航攝許可函文申請民航局飛航許可(自工字 108035312 號)，後於 108 年 3 月 18 日獲得民航局飛航許可(空運管字第 1080006300 號)，相關函文詳見附件一。

2-4 空載光達率定作業

2-4-1 率定場設置

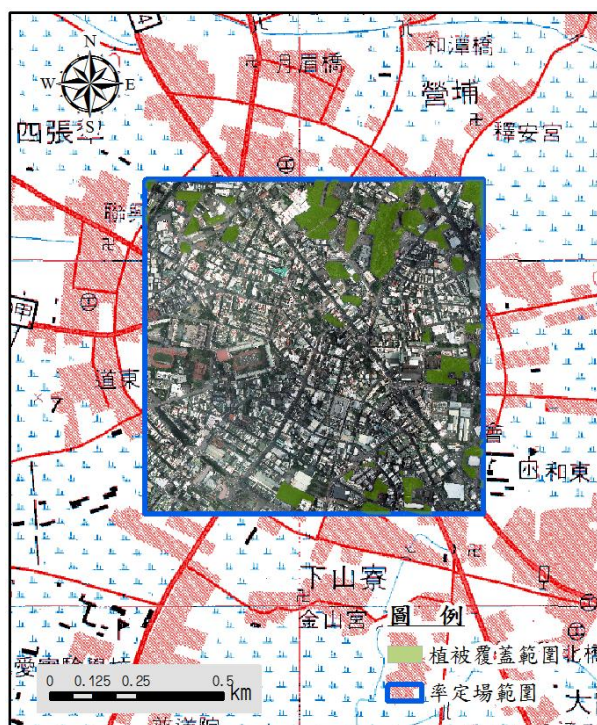
一、率定場地面 GNSS 基站設置方式

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

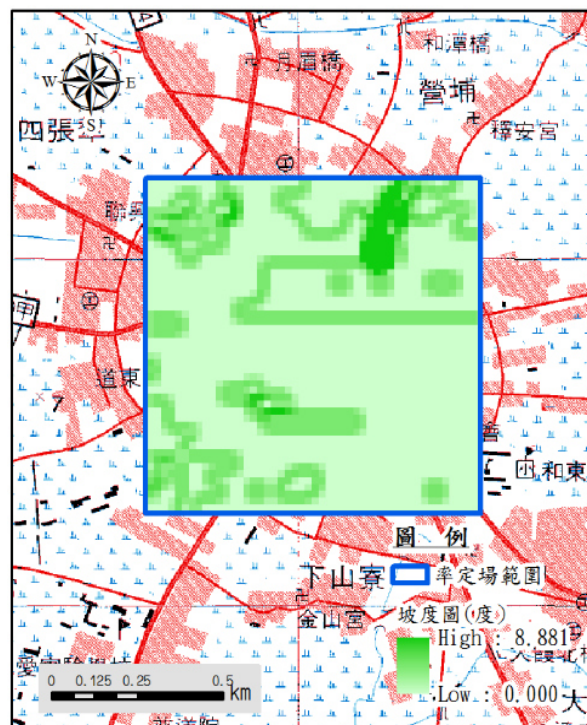
二、率定場環境條件

- (一) 面積為長寬各約 1 公里範圍。
- (二) 率定場內之地表坡度應平緩。
- (三) 植被覆蓋率應小於 10%。
- (四) 應具有容易辨識之大型建物(平頂、斜頂)及道路標線等明顯特徵。
- (五) 避免例行班機航道、軍事要地、大規模開發或地層下陷區域。

- 三、本計畫選定彰化和美鎮長寬各約 1km 範圍(圖 2-8)，並於計畫航線執行前執行率定飛航，並提交率定場設置報告書。



(a) 彰化和美率定場



(b) 率定場坡度圖

圖 2-8 彰化縣和美鎮率定場

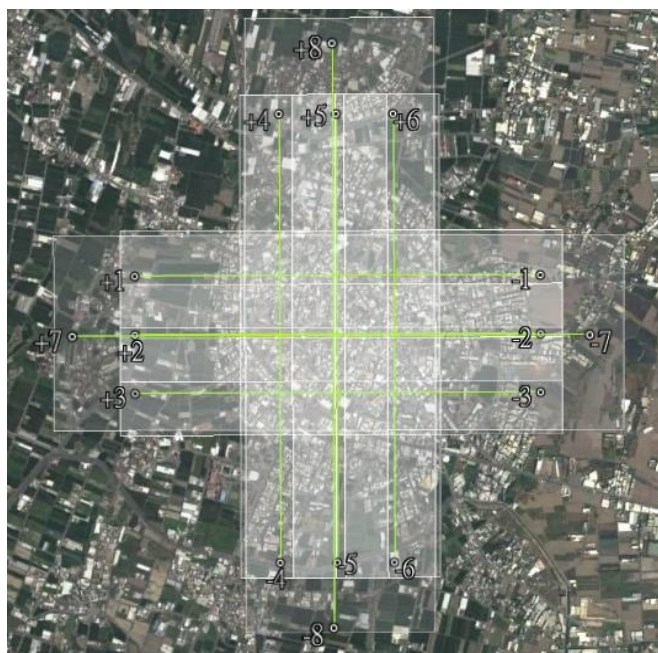
四、率定場 GNSS 基地站：設置在率定場 5 公里範圍內，仰角 10 度內無遮蔽之透空極佳處，避開車輛、電塔、基地台與多路徑反射效應等干擾位置；儀器使用檢校過的雙頻 GNSS，觀測過程中 PDOP 需小於 4，且衛星數量需大於 6 顆，並以 2Hz/s 之接收頻率加以記錄。

2-4-2 執行率定作業

一、率定飛航應符合下列條件

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

二、依據 Riegl 原廠建議率定說明文件，規劃 6 條航線(航高 500m)，共擁有 4 個不同航向，以及航線 7、8 確認飛行(航高 1000m)檢核率定成果(圖 2-9)。



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

圖 2-9 彰化和美率定場航線規劃資訊

三、地面 GNSS 基站：於內政部公告之三等衛星控制點 NM45 及 M807 上架設 GNSS，詳細位置分布圖如圖 2-10，GNSS 基地站坐標位置如表 2-8，於觀測應符合下列條件：

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

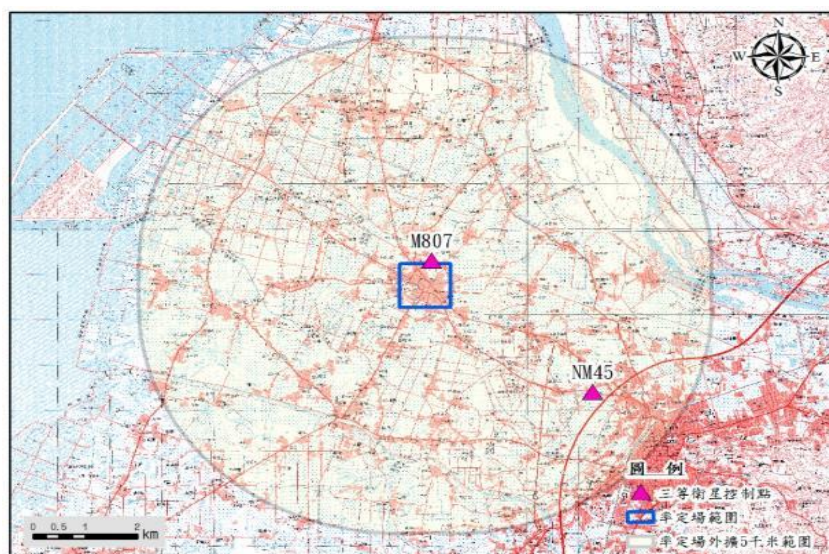


圖 2-10 彰化和美率定場 GNSS 基地站分布圖

表 2-8 率定場 GNSS 基地站坐標位置

項次	點號	經度	緯度	TWD97【2010】			類型
				X	Y	h	
1	M807	24:07:01.84	120:29:53.70	198997.112	2668091.614	38.057	三等衛星控制點
2	LSB0	24:09:12.15	120:38:03.23	212830.095	2672057.615	121.795	衛星追蹤站
3	CAOT	23:58:45.79	120:41:19.46	218326.738	2652775.098	141.676	衛星追蹤站

四、率定飛航之掃瞄參數應根據儀器特性及原廠建議進行設定，且必須完整記錄。

五、飛航軌跡之解算如以正反算差值進行檢核，其 Combined Separation 值應小於 20 公分，且不允許資料含有雲洞。

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

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

(一) GNSS 天線位置 (Lever Arm) 量測

Lever Arm 為 GNSS 相位中心與 IMU 中心之三維空間之坐標差量，儀器裝設後以全測站經緯儀進行測量，並於解算飛航軌跡時帶入，相關 Lever Arm 量測作業照如圖 2-11。



圖 2-11 Lever arm 量測作業照

(二) 視準軸角差 (Boresight angles) 率定

視準率定(Boresight Angles)作業的主要目的在於求解雷射掃瞄投影 LiDAR 系統元件間之安置誤差。整個系統由雷射掃瞄儀、全球定位系統(GNSS)、慣性量測單元(IMU)和飛行載具組成，整個 LiDAR 系統之誤差大多來自儀器率定不完善或三者之間的安置誤差，故此

種誤差大部分為系統誤差（童俊雄，2005），而執行光達系統之率定作業與進行航帶平差即為降低系統誤差影響的重要工作。

其中，雷射掃瞄儀中心與 IMU 中心的三軸旋轉角的差值(Roll, Pitch, Yaw)即為修正航帶平差作業中之系統誤差的參數，此參數用以作為航帶平差作業時濾除系統誤差的依據。根據求得之各率定參數重新代回解算點雲資料，選取不同航帶之各位置進行剖面及平面檢查，確認不同航帶間之點雲無明顯偏移。

八、率定成果檢核及驗證

- (一) 成果檢核：根據求得之各率定參數重新代回解算點雲資料，選取不同航帶之各位置進行剖面及平面檢查，確認不同航帶間之點雲無明顯偏移，且與地面實測之高程坐標差值小於 10 公分。
- (二) 確認飛行之驗證：根據求得之各率定參數解算確認飛行之點雲資料，確認不同航帶間之點雲無明顯偏移後，並再次與地面實測點比較，其高程坐標差值亦應小於 10 公分。
- (三) 地面控制檢核點：依據彰化縣政府「102 年度彰化縣都市計畫區一千分之一數值航測 GIS 地形圖測製第 5 期計畫」控制點測量成果，加密控制點皆布設長、寬皆為 20cm 方標，各已知加密控制點詳列表於表 2-9。於率定飛航點雲平差完成後，依據 108 年已 VBS-RTK 施測已知加密控制點檢核率定場點雲平差成果。

表 2-9 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	108.02
ST1308	199329.369	2668118.660	27.571	加密控制點	108.02
ST1316	198196.493	2667590.874	25.841	加密控制點	108.02
ST1317	198308.166	2667334.217	26.201	加密控制點	108.06
ST1320	199270.786	2666911.524	27.007	加密控制點	108.02
ST1329	198587.336	2667697.951	25.959	加密控制點	108.02

- 九、本計畫率定於 108 年 3 月 12 日執行率定飛行，率定成果中誤差為 4.73 公分，符合作業規範(小於 10 公分)，並於 108 年 4 月 8 日提送監審廠商審查(自工字第 108045376 號)，續於 108 年 4 月 30 日獲得監審廠商審查通過(成大研總字第 1081103677 號)，相關函文如附件一。

2-5 控制測量

2-5-1 地面 GNSS 基地站

- 一、空載光達資料獲取同時，應於掃瞄區域內 20 公里範圍內，選取 2 點以上之透空度佳(仰角 10 度以上無遮蔽)的地面 GNSS 基地站，
- 二、控制點平面採用 TWD97 坐標系統，並採用內政部最新公布之坐標成果，高程則採用橢球高系統。
- 三、繳交測量成果時，應包含使用之平面及高程地面控制點分布圖及說明、點之記、固定基站透空圖、原始觀測數據等。原始觀測數據如以電子記錄式儀器觀測，應依日期分檔繳交原始觀測數據。
- 四、蒐集現有各機關所有之 GNSS 基地站位置，選取計畫範圍外擴 20 公里範圍 GNSS 基地站共 24 站如表 2-10，並蒐集 108 年 2 月 12 以及 2 月 13 日資料，檢視是否符合本計畫作業需求。其中，有 4 站資料無法蒐集或不符合需求，剔除前述 4 點後增加 1 處自架基地站(點號：ST09)，點位位於臺中市和平區博愛國小-谷關分校。
- 五、本計畫於 108 年 4 月 26 日收到監審廠商解算之 GNSS 基地站坐標成果(成大研總字第 1081103644 號)，彙整最終使用之前述可使用以及自架基地站(共 21 站)與其 20km 範圍如圖 2-12，符合地面 GNSS 基站布設條件(掃瞄區域 20 公里範圍內，應至少有 2 個以上地面 GNSS 基站)。

表 2-10 計畫區域周圍既有 GNSS 基地站列表

項次	站碼	單位	站名	行政區	既有資料蒐集	是否符合需求
1	THAI	交通部氣象局	泰崗	新竹縣尖石鄉	108.2.12-13	是
2	DAHU	交通部氣象局	大湖	苗栗縣大湖鄉	108.2.12-13	是
3	NSAN	交通部氣象局	南山	宜蘭縣大同鄉	108.2.12-13	是
4	HLIU	交通部氣象局	合流坪	南投縣信義鄉	108.2.12-13	否
5	HNSN	交通部氣象局	環山	臺中市和平區	108.2.12-13	是
6	HOPN	交通部氣象局	和平	臺中市和平區	108.2.12-13	是
7	MFEN	交通部氣象局	梅峰	南投縣仁愛鄉	108.2.12-13	是
8	CHIU	交通部氣象局	九份二山	南投縣國姓鄉	108.2.12-13	否
9	PLA2	交通部氣象局	白蘭 2	新竹縣五峰鄉	108.2.12-13	是
10	JYAN	交通部氣象局	佳陽	臺中市和平區	108.2.12-13	是
11	HSUE	交通部氣象局	小雪山	臺中市和平區	108.2.12-13	否
12	SUN1	交通部氣象局	日月潭 1	南投縣魚池鄉	108.2.12-13	是
13	DPIN	交通部氣象局	大坪頂	南投縣埔里鎮	108.2.12-13	是

項次	站碼	單位	站名	行政區	既有資料蒐集	是否符合需求
14	HUAN	交通部氣象局	合歡山	南投縣仁愛鄉	108.2.12-13	是
15	SONA	交通部氣象局	松安	苗栗縣泰安鄉	108.2.12-13	是
16	HUYS	交通部氣象局	惠蓀林場	南投縣仁愛鄉	108.2.12-13	是
17	PENL	交通部氣象局	蓬萊	苗栗縣南庄鄉	108.2.12-13	否
18	CN09	森泰儀器	-	南投縣仁愛鄉	108.2.12-13	是
19	CN17	森泰儀器	-	新竹縣五峰鄉	108.2.12-13	是
20	PLIM	內政部國土測繪中心	埔里	南投縣埔里鎮	108.2.12-13	是
21	WULI	內政部國土測繪中心	武陵	臺中市和平區	108.2.12-13	是
22	KFN2	內政部國土測繪中心	高峰	南投縣仁愛鄉	108.2.12-13	是
23	DOSH	內政部國土測繪中心	東勢	臺中市東勢區	108.2.12-13	是
24	TIAN	內政部國土測繪中心	泰安	苗栗縣泰安鄉	108.2.12-13	是

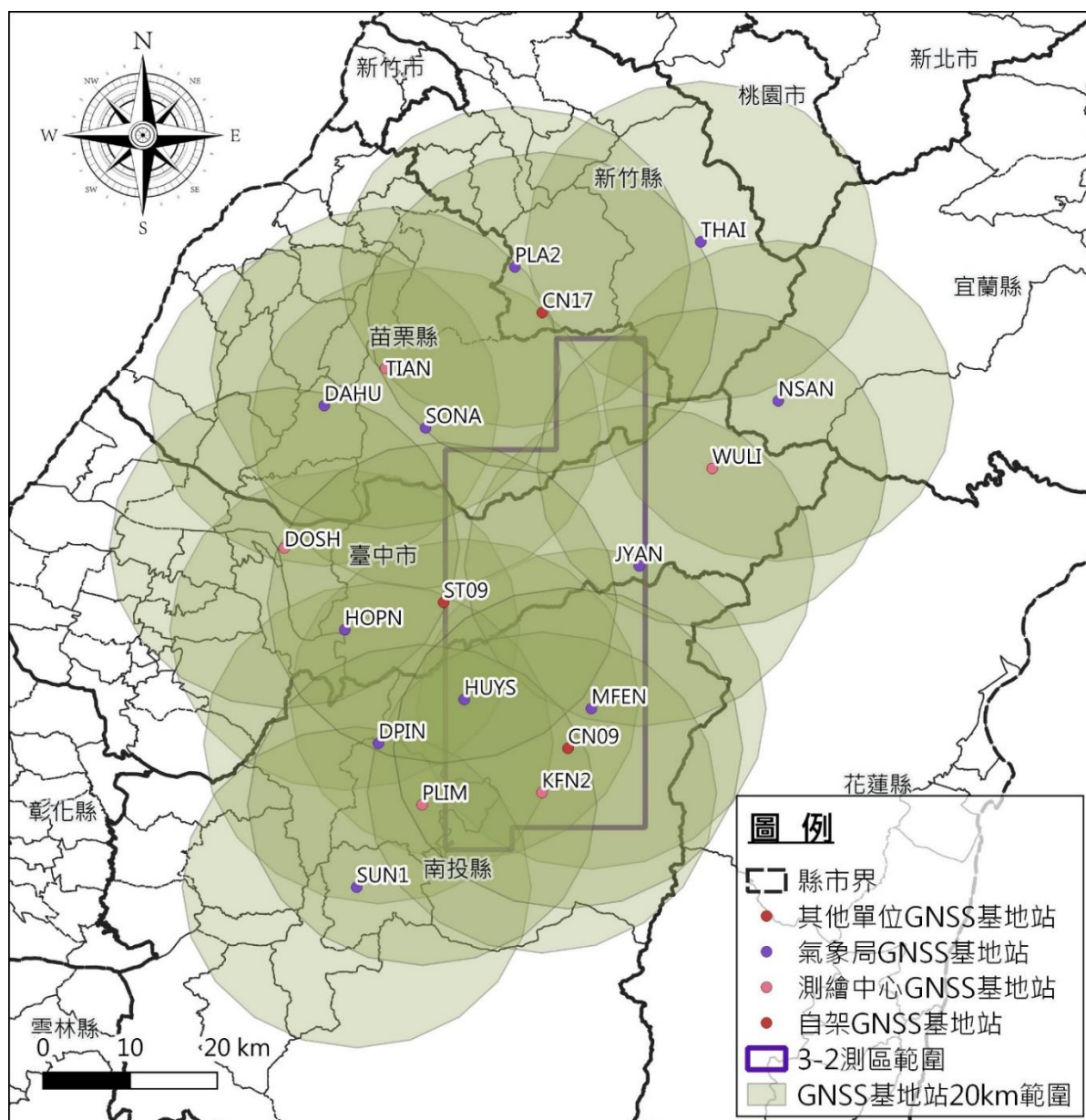


圖 2-12 GNSS 基地站以及 20km 範圍分布圖

2-5-2 航帶平差控制點及平面控制點控制點測量

一、依據作業規範規劃航帶平差高程控制點共 309 點，其中包含 52 點 VBS-RTK 測點，以及 257 點空三測點，詳細分布如圖 2-13。

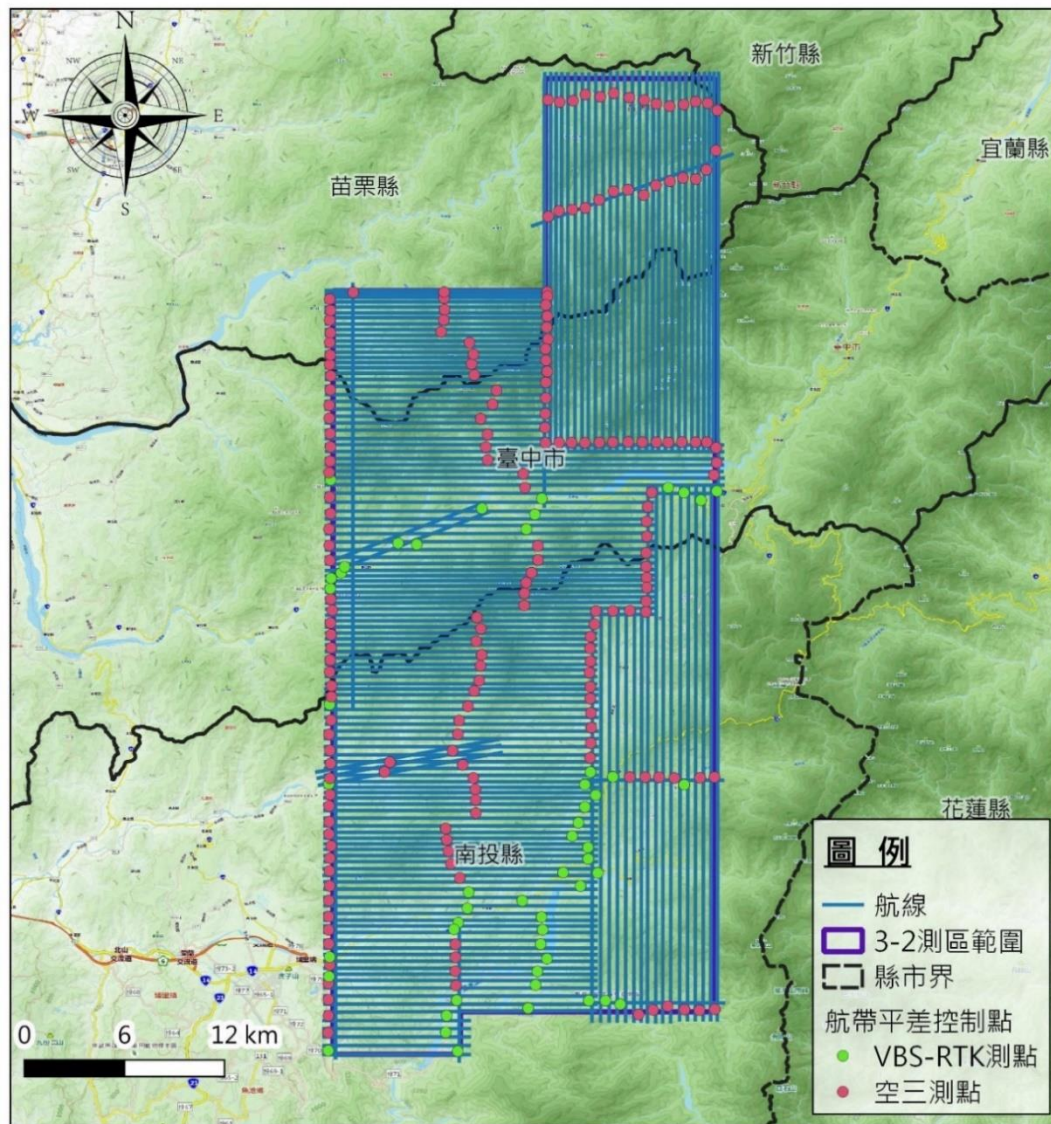


圖 2-13 航帶平差控制點分布

二、52 點 VBS-RTK 航帶平差高程控制點及平面控制點採內政部國土測繪中心 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 動態測量，重複觀測至少 2 次，每次收斂筆數應達 180 筆，計算每次觀測平均值，檢核其差值於平面方向應小於 4 公分，高程方向應小於 10 公分。VBS-RTK 成果檢測如表 2-11 以及表 2-12，全數符合作業規範。測量成果利用測繪中心網頁版坐標轉換功能轉換至 TWD97【2010】，成果如表 2-12 至表 2-14，點位紀錄表如附件三以及附件四。其中 A 類點代表航帶平差高程控制點，B 類點代表航帶平差平面控制點。

表 2-11 航帶平差高程控制點檢測成果(e-GNSS 2017)

點號	觀測值			平面差	高程差	平均值		
	N	E	h(橢球高)			N	E	h(橢球高)
32-0001A	2683366.042	250842.687	2291.912	0.015	-0.071	2683366.049	250842.685	2291.948
	2683366.056	250842.682	2291.983					
32-0002A	2683062.811	273755.845	1920.872	0.039	-0.014	2683062.803	273755.863	1920.879
	2683062.794	273755.880	1920.886					
32-0003A	2682394.895	272647.660	1747.380	0.026	0.028	2682394.887	272647.650	1747.366
	2682394.879	272647.639	1747.352					
32-0004A	2683197.139	271624.010	1615.105	0.021	-0.035	2683197.132	271624.018	1615.123
	2683197.125	271624.026	1615.140					
32-0005A	2683528.893	271240.002	1556.898	0.039	0.002	2683528.874	271240.005	1556.897
	2683528.854	271240.008	1556.896					
32-0006A	2682896.488	263384.955	1324.806	0.021	0.013	2682896.479	263384.959	1324.800
	2682896.469	263384.963	1324.793					
32-0007A	2681836.783	262923.800	1280.506	0.037	-0.02	2681836.799	262923.791	1280.516
	2681836.815	262923.782	1280.526					
32-0008A	2680841.080	262448.392	1246.901	0.004	0.067	2680841.078	262448.393	1246.868
	2680841.076	262448.393	1246.834					
32-0009A	2681700.955	259617.462	992.990	0.027	-0.014	2681700.967	259617.455	992.997
	2681700.978	259617.448	993.004					
32-0010A	2679644.194	255691.088	1062.318	0.026	0.074	2679644.192	255691.075	1062.281
	2679644.190	255691.062	1062.244					
32-0011A	2679916.111	254707.944	1000.965	0.035	-0.054	2679916.128	254707.939	1000.992
	2679916.145	254707.934	1001.019					
32-0012A	2678291.411	251467.857	827.099	0.035	-0.015	2678291.396	251467.849	827.107
	2678291.380	251467.841	827.114					
32-0013A	2678054.856	251264.792	814.547	0.014	-0.022	2678054.859	251264.786	814.558
	2678054.862	251264.779	814.569					
32-0014A	2677645.633	250791.365	739.461	0.029	0	2677645.620	250791.360	739.461
	2677645.606	250791.355	739.461					
32-0015A	2677073.973	251600.496	1056.760	0.021	-0.003	2677073.971	251600.507	1056.762
	2677073.969	251600.517	1056.763					
32-0016A	2664029.082	251090.967	522.066	0.009	-0.018	2664029.085	251090.971	522.075
	2664029.087	251090.975	522.084					
32-0017A	2664824.819	253518.501	807.810	0.036	-0.062	2664824.822	253518.483	807.841
	2664824.825	253518.465	807.872					

點號	觀測值			平面差	高程差	平均值		
	N	E	h(橢球高)			N	E	h(橢球高)
32-0018A	2664872.250	266083.929	1636.270	0.023	-0.014	2664872.260	266083.935	1636.277
	2664872.270	266083.940	1636.284					
32-0019A	2664112.389	265982.239	1659.156	0.016	-0.067	2664112.389	265982.247	1659.190
	2664112.389	265982.255	1659.223					
32-0020A	2663399.848	266546.384	1639.882	0.028	-0.043	2663399.839	266546.395	1639.904
	2663399.830	266546.405	1639.925					
32-0021A	2662520.922	265983.972	1561.413	0.032	-0.046	2662520.916	265983.987	1561.436
	2662520.909	265984.001	1561.459					
32-0022A	2661551.287	265493.156	1470.857	0.031	-0.043	2661551.273	265493.163	1470.879
	2661551.259	265493.169	1470.900					
32-0023A	2660743.826	265138.215	1474.267	0.024	-0.084	2660743.823	265138.227	1474.309
	2660743.820	265138.238	1474.351					
32-0024A	2658412.569	264595.243	1391.429	0.014	-0.053	2658412.564	264595.248	1391.456
	2658412.558	264595.252	1391.482					
32-0025A	2664153.869	271922.135	1420.412	0.039	-0.021	2664153.852	271922.145	1420.423
	2664153.835	271922.154	1420.433					
32-0026A	2664986.670	267645.539	2134.371	0.004	-0.081	2664986.671	267645.541	2134.412
	2664986.671	267645.543	2134.452					
32-0027A	2660092.256	266112.571	1700.575	0.016	-0.049	2660092.260	266112.578	1700.600
	2660092.264	266112.585	1700.624					
32-0028A	2659243.423	266086.054	1635.869	0.026	-0.038	2659243.413	266086.062	1635.888
	2659243.402	266086.069	1635.907					
32-0029A	2658362.245	266420.836	1220.442	0.011	-0.074	2658362.247	266420.831	1220.479
	2658362.249	266420.826	1220.516					
32-0030A	2657561.380	265499.872	1145.159	0.034	-0.031	2657561.397	265499.872	1145.175
	2657561.414	265499.871	1145.190					
32-0031A	2656496.667	262136.986	934.026	0.018	0.086	2656496.666	262136.995	933.983
	2656496.664	262137.004	933.940					
32-0032A	2655303.421	263343.068	1160.063	0.021	0.042	2655303.432	263343.069	1160.042
	2655303.442	263343.070	1160.021					
32-0033A	2654621.801	263376.736	1130.442	0.015	0.07	2654621.795	263376.733	1130.407
	2654621.788	263376.729	1130.372					
32-0034A	2653697.094	263223.324	1051.222	0.009	0.034	2653697.097	263223.321	1051.205
	2653697.099	263223.317	1051.188					
32-0035A	2652749.227	263779.854	1070.561	0.018	0.066	2652749.232	263779.847	1070.528
	2652749.237	263779.839	1070.495					

點號	觀測值			平面差	高程差	平均值		
	N	E	h(橢球高)			N	E	h(橢球高)
32-0036A	2652103.766	263065.372	955.237	0.009	0.081	2652103.763	263065.375	955.197
	2652103.759	263065.377	955.156					
32-0037A	2650774.630	263062.088	1074.301	0.022	-0.021	2650774.629	263062.077	1074.312
	2650774.627	263062.066	1074.322					
32-0038A	2649853.390	268051.583	1270.195	0.011	0.061	2649853.386	268051.580	1270.165
	2649853.382	268051.576	1270.134					
32-0039A	2649957.657	267234.099	1213.763	0.022	0.044	2649957.646	267234.101	1213.741
	2649957.635	267234.103	1213.719					
32-0040A	2650307.947	266076.266	1197.503	0.026	0.079	2650307.941	266076.255	1197.464
	2650307.934	266076.244	1197.424					
32-0041A	2649534.311	262561.746	1185.397	0.009	0.032	2649534.307	262561.748	1185.381
	2649534.303	262561.750	1185.365					
32-0042A	2657241.638	258867.188	829.546	0.021	0.095	2657241.648	258867.185	829.499
	2657241.658	258867.182	829.451					
32-0043A	2656113.204	258953.822	758.040	0.019	0.067	2656113.209	258953.814	758.007
	2656113.213	258953.805	757.973					
32-0044A	2655143.921	258333.225	720.603	0.035	-0.029	2655143.927	258333.209	720.618
	2655143.933	258333.192	720.632					
32-0045A	2654706.893	258113.095	711.854	0.010	0.02	2654706.888	258113.096	711.844
	2654706.883	258113.097	711.834					
32-0046A	2650072.440	258153.095	948.793	0.006	0.067	2650072.442	258153.093	948.760
	2650072.444	258153.091	948.726					
32-0047A	2649073.652	257678.376	835.163	0.028	0.082	2649073.645	257678.364	835.122
	2649073.638	257678.352	835.081					
32-0048A	2647986.488	257557.325	838.551	0.034	-0.042	2647986.476	257557.314	838.572
	2647986.463	257557.302	838.593					
32-0049A	2646782.106	257759.125	846.768	0.035	-0.091	2646782.090	257759.132	846.814
	2646782.074	257759.139	846.859					
32-0050A	2652836.598	250554.615	532.577	0.036	0.027	2652836.583	250554.605	532.564
	2652836.568	250554.595	532.550					
32-0051A	2651700.128	250671.313	576.076	0.022	0.023	2651700.118	250671.309	576.065
	2651700.107	250671.305	576.053					
32-0052A	2646713.554	250532.749	596.098	0.017	0.007	2646713.559	250532.756	596.095
	2646713.564	250532.763	596.091					

表 2-12 航帶平差高程控制點 TWD97【2010】成果

點號	e-GNSS 2017			TWD97【2010】			
	N	E	h(橢球高)	N	E	正高	h(橢球高)
32-0001A	2683366.049	250842.685	2291.948	2683366.002	250842.742	2268.232	2291.923
32-0002A	2683062.803	273755.863	1920.879	2683062.733	273755.930	1895.124	1920.817
32-0003A	2682394.887	272647.650	1747.366	2682394.817	272647.721	1721.644	1747.306
32-0004A	2683197.132	271624.018	1615.123	2683197.063	271624.087	1589.448	1615.066
32-0005A	2683528.874	271240.005	1556.897	2683528.805	271240.073	1531.230	1556.841
32-0006A	2682896.479	263384.959	1324.800	2682896.413	263385.033	1299.717	1324.758
32-0007A	2681836.799	262923.791	1280.516	2681836.733	262923.869	1255.444	1280.474
32-0008A	2680841.078	262448.393	1246.868	2680841.011	262448.474	1221.800	1246.826
32-0009A	2681700.967	259617.455	992.997	2681700.904	259617.531	968.299	992.960
32-0010A	2679644.192	255691.075	1062.281	2679644.133	255691.152	1037.981	1062.249
32-0011A	2679916.128	254707.939	1000.992	2679916.071	254708.014	976.812	1000.961
32-0012A	2678291.396	251467.849	827.107	2678291.344	251467.922	803.358	827.080
32-0013A	2678054.859	251264.786	814.558	2678054.808	251264.859	790.836	814.531
32-0014A	2677645.620	250791.360	739.461	2677645.569	250791.433	715.808	739.434
32-0015A	2677073.971	251600.507	1056.762	2677073.918	251600.584	1032.999	1056.734
32-0016A	2664029.085	251090.971	522.075	2664029.006	251091.092	498.543	522.020
32-0017A	2664824.822	253518.483	807.841	2664824.742	253518.607	784.036	807.785
32-0018A	2664872.260	266083.935	1636.277	2664872.170	266084.090	1611.073	1636.216
32-0019A	2664112.389	265982.247	1659.190	2664112.298	265982.404	1633.987	1659.128
32-0020A	2663399.839	266546.395	1639.904	2663399.747	266546.555	1614.658	1639.841
32-0021A	2662520.916	265983.987	1561.436	2662520.824	265984.147	1536.208	1561.371
32-0022A	2661551.273	265493.163	1470.879	2661551.181	265493.324	1445.688	1470.812
32-0023A	2660743.823	265138.227	1474.309	2660743.731	265138.388	1449.162	1474.240
32-0024A	2658412.564	264595.248	1391.456	2658412.471	264595.412	1366.343	1391.382
32-0025A	2664153.852	271922.145	1420.423	2664153.765	271922.291	1394.672	1420.354
32-0026A	2664986.671	267645.541	2134.412	2664986.580	267645.697	2109.108	2134.351
32-0027A	2660092.260	266112.578	1700.600	2660092.168	266112.741	1675.404	1700.529
32-0028A	2659243.413	266086.062	1635.888	2659243.321	266086.225	1610.654	1635.815
32-0029A	2658362.247	266420.831	1220.479	2658362.155	266420.995	1195.166	1220.405
32-0030A	2657561.397	265499.872	1145.175	2657561.305	265500.037	1119.927	1145.098
32-0031A	2656496.666	262136.995	933.983	2656496.573	262137.159	909.048	933.903
32-0032A	2655303.432	263343.069	1160.042	2655303.339	263343.236	1134.944	1159.960
32-0033A	2654621.795	263376.733	1130.407	2654621.702	263376.901	1105.281	1130.322
32-0034A	2653697.097	263223.321	1051.205	2653697.004	263223.490	1026.068	1051.118
32-0035A	2652749.232	263779.847	1070.528	2652749.139	263780.017	1045.280	1070.440

點號	e-GNSS 2017			TWD97【2010】			
	N	E	h(橢球高)	N	E	正高	h(橢球高)
32-0036A	2652103.763	263065.375	955.197	2652103.670	263065.546	930.002	955.106
32-0037A	2650774.629	263062.077	1074.312	2650774.536	263062.250	1049.051	1074.219
32-0038A	2649853.386	268051.580	1270.165	2649853.297	268051.751	1244.407	1270.075
32-0039A	2649957.646	267234.101	1213.741	2649957.556	267234.273	1188.044	1213.650
32-0040A	2650307.941	266076.255	1197.464	2650307.850	266076.428	1171.867	1197.373
32-0041A	2649534.307	262561.748	1185.381	2649534.214	262561.924	1160.103	1185.284
32-0042A	2657241.648	258867.185	829.499	2657241.554	258867.343	804.896	829.419
32-0043A	2656113.209	258953.814	758.007	2656113.114	258953.975	733.360	757.924
32-0044A	2655143.927	258333.209	720.618	2655143.832	258333.371	696.050	720.532
32-0045A	2654706.888	258113.096	711.844	2654706.792	258113.259	687.303	711.756
32-0046A	2650072.442	258153.093	948.760	2650072.345	258153.267	924.033	948.660
32-0047A	2649073.645	257678.364	835.122	2649073.547	257678.540	810.395	835.018
32-0048A	2647986.476	257557.314	838.572	2647986.379	257557.492	813.806	838.464
32-0049A	2646782.090	257759.132	846.814	2646781.993	257759.313	821.959	846.704
32-0050A	2652836.583	250554.605	532.564	2652836.481	250554.759	508.936	532.466
32-0051A	2651700.118	250671.309	576.065	2651700.015	250671.467	552.375	575.962
32-0052A	2646713.559	250532.756	596.095	2646713.454	250532.934	572.129	595.973

表 2-13 航帶平差平面控制點檢測成果(e-GNSS 2017)

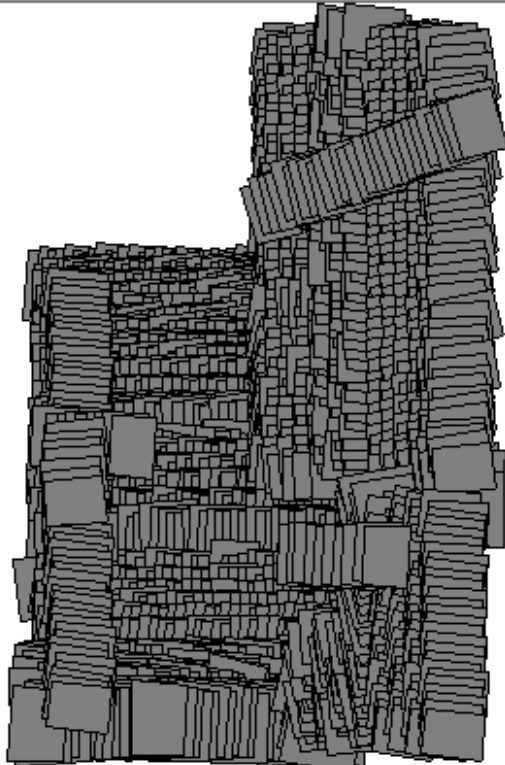
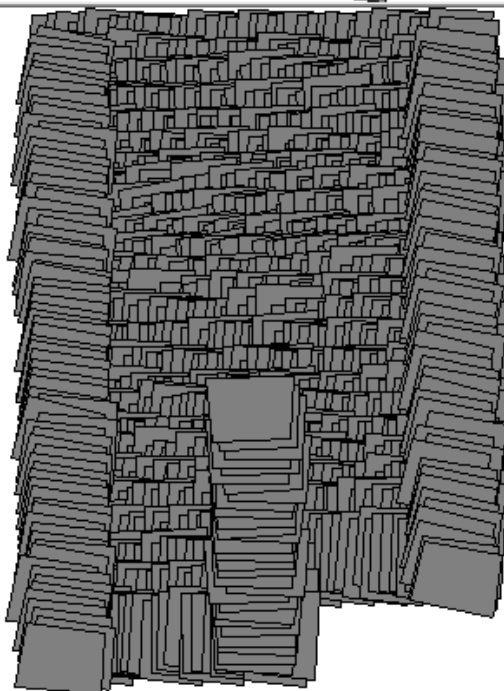
點號	觀測值			平面差	高程差	平均值		
	N	E	h(橢球高)			N	E	h(橢球高)
32-0036B	2652212.333	262924.483	963.582	0.015	-0.018	2652212.336	262924.476	963.591
	2652212.338	262924.469	963.600					
32-0044B	2655141.553	258338.883	723.319	0.007	-0.046	2655141.551	258338.886	723.342
	2655141.549	258338.889	723.365					
32-0046B	2650096.120	258180.376	951.025	0.033	-0.004	2650096.132	258180.388	951.027
	2650096.144	258180.399	951.029					
32-0049B	2646803.169	257706.768	844.123	0.038	0.036	2646803.184	257706.780	844.105
	2646803.198	257706.792	844.087					
32-0050B	2652845.180	250652.908	536.645	0.013	0.091	2652845.185	250652.913	536.600
	2652845.189	250652.918	536.554					

表 2-14 航帶平差平面控制點 TWD97【2010】成果

點號	e-GNSS 2017			TWD97【2010】			
	N	E	h(橢球高)	N	E	正高	h(橢球高)
32-0036B	2652212.336	262924.476	963.591	2652212.242	262924.647	2652212.336	963.500
32-0044B	2655141.551	258338.886	723.342	2655141.456	258339.048	2655141.551	723.256
32-0046B	2650096.132	258180.388	951.027	2650096.035	258180.562	2650096.132	950.927
32-0049B	2646803.184	257706.780	844.105	2646803.087	257706.961	2646803.184	843.995
32-0050B	2652845.185	250652.913	536.600	2652845.083	250653.067	2652845.185	536.501

三、本計畫空中三角測量共區分兩大塊進行，因本計畫區域非為都市計畫區，且多為植被覆蓋，未能有明確有效之人工構造物作網形連結，故不強制要求網形連結點強度，僅依據內政部公告「建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊」規定，以整體強制附合後不得大於 12 微米作約束，成果如表 2-15。

表 2-15 空中三角測量分區成果

項次	影像分布圖	成果資訊
1		第二子測區(3-2-2) 像片數：1,289 控制點數量：12 點 共軛點數量：33,124 觀測量：135,234 總觀測量量測中誤差： 2.0 微米 (< 12 微米)
2		第一子測區(3-2-1) 像片數：2,024 控制點數量：37 點 共軛點數量：50,281 總觀測量：218,715 總觀測量量測中誤差： 1.2 微米 (< 12 微米)

四、地類檢核點測量：先於測定點以 VBS-RTK 方式施測，並於鄰近區域以 VBS-RTK 作主站，以 RTK 方式施測代測點位，提升作業效率。依據不同土地覆蓋分區施測，每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測量檢核點，選點儘可能均勻分布於各圖幅。應用地面檢核點分析不同土地覆蓋分區之精度，提出精度評估報告（需附各點檢測像片，包含近景及遠景）。各地類檢核點施測實地照片如圖 2-14，檢核成果詳如章節 2-8。



裸露地



矮植被



植生地



林地



都會區



濕地

圖 2-14 地類檢核點實地施測作業照

五、橫斷面檢核點：採用 VBS-RTK 方式施測。

- (一) 低海拔及河川洪泛溢淹測製地區：需施行橫互航線的地面檢核剖面，檢核剖面至少有 60 個檢核點，剖面長度總和需超過 40 公里。依據橫互航線地面檢核剖面測量數據，進行剖面 LiDAR 數據精度評估報告。剖面檢核測量點允許選擇透空平坦地進行大剖面檢核。低海拔及河川洪泛溢淹測製地區
- (二) 中高海拔山區測製地區：需施行橫互航線的地面檢核剖面，檢核剖面至少有 40 個檢核點，剖面長度總和需超過 30 公里。依據橫互航線地面檢核剖面測量數據，進行剖面 LiDAR 數據精度評估報告。

2-6 空載雷射掃瞄施測資料獲取

- 一、規劃之飛行時間起迄點需與本案契約簽定後之日期相符，施測資料包含實際飛航時，結合 GNSS、IMU 與雷射掃瞄數據所取得之原始數據。
- 二、本計畫於 108 年 3 月 12 日執行空載光達率定，地點位於彰化縣和美鎮，並於 108 年 4 月 8 日提送相關資料與空載光達率定報告書予監審廠商(自工字第 108045376 號)，並於 108 年 4 月 30 日獲得監審廠商審查合格通知(成大研總字第 1081103677 號)，相關空載光達率定報告書詳如附件八。
- 三、本計畫共執行 23 架次飛航掃瞄任務，全程採全波形掃瞄作業方式辦理飛行掃瞄及記錄，且全數依掃瞄飛航計畫書之點雲密度及航線設定參數辦理施測，各架次成果皆獲得檢審單位審查合格，其中 P11M10-2019072907、P11M10-2019073007、P11M10-2019073108 共提送兩次，因 108 年 8 月 22 日提送之報告書未有檢附 GNSS 基地站分布圖、時間戳記、控制點分布與航線圖等，經補充修改後於 108 年 9 月 26 日再次提送相關報告說明，始通過監審廠商審查，各架次審查合格作業紀錄表詳如附件九。
- 四、掃瞄飛航應同時進行航拍影像的拍攝。為獲取品質良好之航拍影像，盡量於天氣晴朗無雲，無煙霧濛氣，能見度良好之時間拍攝，減少陰影。
- 五、本計畫點雲密度成果經監審廠商審查後，第一子測區點雲密度成果為 4.51 點/m²，第二子測區點雲密度成果 5.22 點/m²，主要點雲密度不足區域為航線重疊區域因姿態改變所造成航帶重疊點雲降低，僅占作業區域內 0.1%~0.3%，全數符合作業規範(低於 2 點的網格數不得超過全

部網格數的 10%，低於 1 點的網格數不得超過全部網格數的 5%)，成果詳如圖 2-15。

3-2-1測區			
方格內點密度	數量	百分比	
白 D > 2.0	53,435	99.9%	
紅 2.0 > D > 1.0	79	0.1%	
黃 1.0 > D	0	0.0%	
藍 水域	112	-----	
合計總格數		53,626	
D為方格內點密度，水域方格不納入統計			

3-2-2測區			
方格內點密度	數量	百分比	
白 D > 2.0	73,507	99.8%	
紅 2.0 > D > 1.0	117	0.2%	
黃 1.0 > D	48	0.1%	
藍 水域	335	-----	
合計總格數		74,007	
D為方格內點密度，水域方格不納入統計			

圖 2-15 計畫範圍子測區點雲密度檢核成果

六、除水域外，應確認原始掃瞄飛航成果完整涵蓋測區範圍，各架次點雲涵蓋範圍詳如圖 2-16，完整涵蓋全測區符合作業規範。

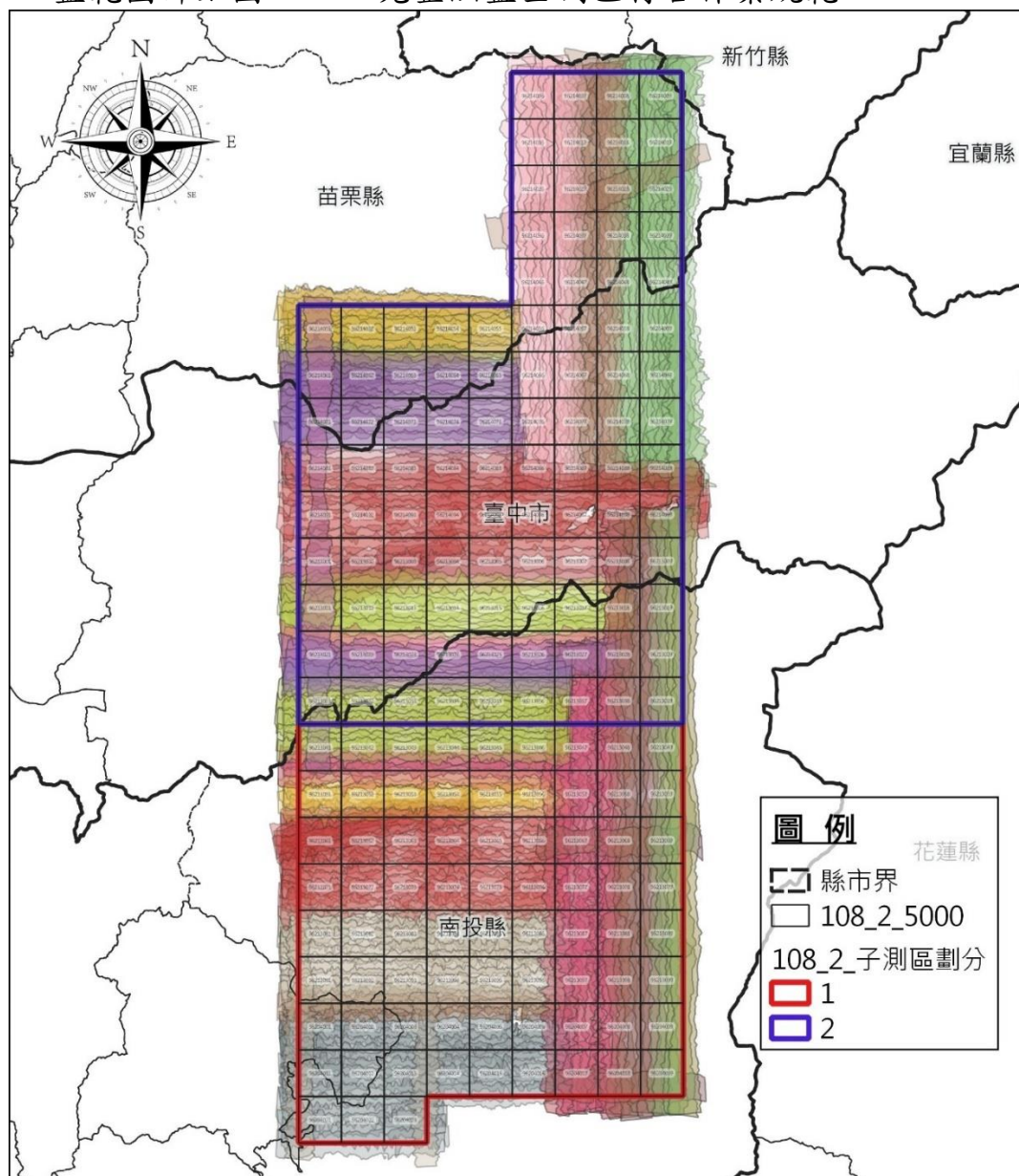


圖 2-16 點雲涵蓋範圍圖

2-7 雷射掃瞄點雲資料處理

2-7-1 原始點雲解算

- 一、空載光達之 GNSS 軌跡應以雙頻載波相位動態模式解算。其正向解與反向解差異應小於或等於 20 公分。
- 二、應以 LAS 格式儲存，並包含計畫需求所列之資料內容(圖 2-17)。
- 三、相對高程誤差：兩航帶重疊區域內，對應之平面位置稱為共軌位置，取共軌位置周邊 5×5 公尺之範圍，計算兩航帶點雲平均高程之較差，即為兩航帶之相對高程誤差。
- 四、應辦理航帶間重疊數據與交叉飛航數據誤差分析，並提出相對高程誤差分析評估報告。掃瞄作業成果之相對高程誤差大於 30 公分時，若非掃瞄時間差異造成水域、地物、地貌變遷或其他之合理之因素時，則需檢視空載光達設備，重新進行系統率定作業及確認飛行之驗證。

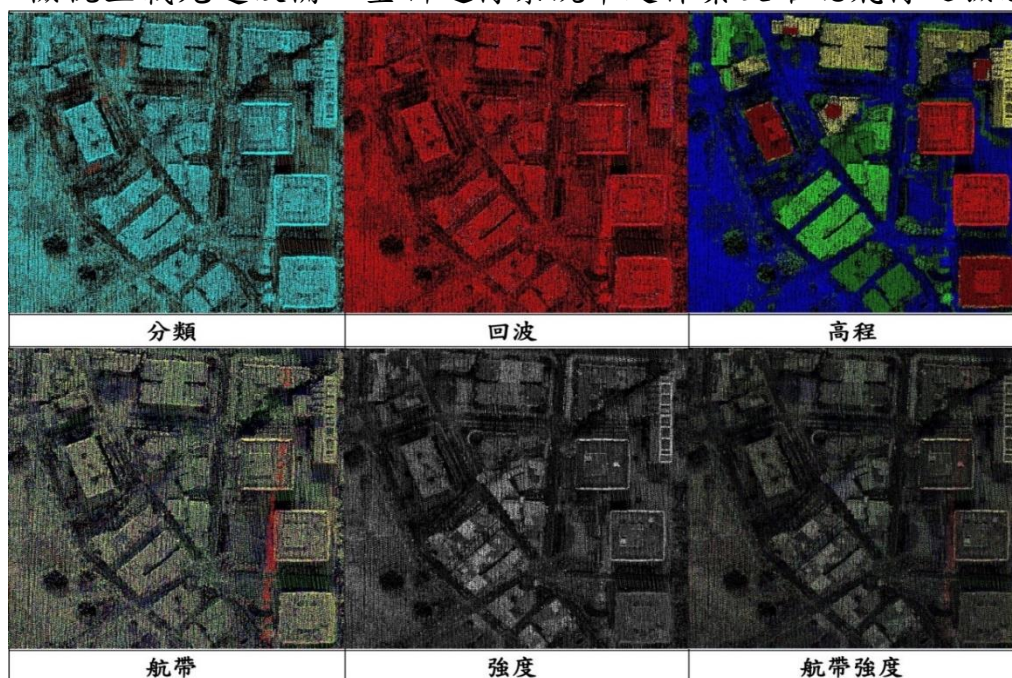


圖 2-17 點雲資料各別屬性展示圖

2-7-2 點雲航帶平差

本計畫利用 Waypoint GPS 軟體及 AEROoffice 慣性姿態解算軟體，整合地面 GPS 固定基站資料及 LiDAR 機組之動態 GPS 與 IMU 數據資料，分別解算出三維移動軌跡坐標資料及三維飛航姿態軌跡資料。並利用 RIEGL 公司的 RiPROCESS 軟體，整合前述資料與原始雷射掃瞄資料，解算產出雷射點雲之三維坐標數據。

一、使用資料

(一) 經軌跡解算後之各航帶 LAS 檔。

(二) 經坐標檢核之航帶平差控制點及平面控制點。

二、進行航帶平差時應加入控制點，每航帶內應有至少 3 個高程控制點(航帶頭、中及尾各段應至少 1 點)。

三、平差計算結果，第一子測區點雲平差單位權中誤差應為 **3.30 公分**；第二子測區單位權中誤差為 **5.40 公分**，**成果符合作業規範(單位權中誤差應於 10 公分以內)**。

四、完成航帶平差後，重新進行航帶間相對高程誤差檢核，檢核成果第一子測區共有 7,907 個有效的檢測點，航帶間高程相對偏差量平均值為 **4.49 公分**；第二子測區共有 3,936 個有效的檢測點，航帶間高程相對偏差量平均值為 **6.90 公分**，**成果符合作業規範(精度在 20 公分以內)**。

五、本計畫相鄰航帶利用 TerraSolid 軟體中 TerraMatch 模組，經由其計算航帶間誤差之功能「Find Fluctuations」，於個別航帶中再求得高程誤差直方圖並加以校正，所獲得的誤差分析結果包含最大值、最小值、平均值、平均絕對值與標準差，成果如表 2-16。

表 2-16 各航線 Find Fluctuations 成果分析(單位：公尺)

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
1	-0.072	-0.137	-0.058	0.044	-0.186	-0.013	0.028	-0.002	0.003	0.004
2	-0.165	-0.084	-0.085	0.046	-0.006	-0.026	0.012	0.000	0.003	0.004
3	-0.202	-0.106	-0.023	0.113	-0.011	-0.021	0.030	0.000	0.003	0.005
4	-0.094	-0.076	-0.054	0.089	-0.144	-0.022	0.019	0.000	0.004	0.006
5	-0.152	-0.110	-0.145	0.054	-0.070	-0.009	0.022	0.002	0.004	0.005
6	-0.112	-0.028	-0.091	0.031	-0.106	-0.031	0.020	-0.001	0.003	0.006
7	-0.035	-0.136	-0.084	0.077	-0.073	-0.028	0.052	0.002	0.003	0.010
8	-0.152	0.057	-0.154	0.145	-0.146	-0.024	0.065	0.003	0.005	0.010
9	-0.051	-0.026	-0.089	0.178	-0.092	-0.011	0.014	0.000	0.001	0.004
10	-0.146	-0.085	-0.133	0.120	-0.003	-0.026	0.046	0.000	0.001	0.009
11	-0.052	-0.058	-0.200	0.015	-0.082	-0.015	0.017	-0.001	0.001	0.004
12	-0.064	-0.013	-0.061	0.027	-0.061	-0.021	0.014	0.000	0.001	0.003
13	-0.059	-0.084	-0.042	0.085	-0.015	-0.017	0.011	0.001	0.002	0.003
14	-0.177	-0.032	-0.020	0.042	-0.004	-0.010	0.019	0.000	0.002	0.003

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
15	-0.012	-0.159	-0.034	0.036	-0.092	-0.007	0.009	-0.001	0.002	0.002
16	-0.086	-0.139	-0.156	0.116	-0.019	-0.007	0.005	0.000	0.001	0.002
17	-0.100	-0.189	-0.077	0.132	-0.099	-0.010	0.011	0.000	0.001	0.003
18	-0.100	-0.125	-0.091	0.132	-0.045	-0.007	0.010	0.001	0.002	0.003
19	-0.139	-0.116	-0.107	0.049	-0.151	-0.011	0.011	-0.001	0.003	0.003
20	-0.056	-0.112	-0.071	0.019	-0.036	-0.009	0.011	0.002	0.003	0.004
21	-0.204	-0.094	-0.105	0.137	-0.133	-0.012	0.007	-0.002	0.003	0.003
22	-0.185	0.002	-0.060	0.041	-0.020	-0.009	0.016	0.000	0.002	0.003
23	-0.084	-0.023	-0.126	0.042	-0.043	-0.012	0.011	-0.002	0.003	0.003
24	-0.126	-0.009	-0.038	0.139	-0.188	-0.012	0.017	0.002	0.003	0.004
25	-0.171	-0.187	-0.092	0.024	-0.131	-0.009	0.008	0.001	0.002	0.003
26	-0.068	-0.152	-0.065	0.160	-0.124	-0.007	0.006	-0.001	0.002	0.002
27	-0.068	-0.108	-0.102	0.045	-0.098	-0.019	0.009	0.000	0.002	0.003
28	-0.191	-0.156	-0.088	0.200	-0.170	-0.012	0.007	-0.002	0.003	0.003
29	-0.026	-0.065	-0.138	0.083	-0.107	-0.008	0.015	0.003	0.004	0.004
30	-0.158	-0.123	-0.054	0.186	-0.150	-0.039	0.009	-0.001	0.003	0.004
31	-0.050	-0.040	-0.030	0.030	-0.108	-0.014	0.007	-0.001	0.003	0.003
32	-0.113	-0.112	-0.018	0.149	-0.099	-0.012	0.021	-0.001	0.003	0.004
33	-0.071	-0.036	-0.009	0.060	-0.046	-0.008	0.017	0.002	0.003	0.004
34	-0.164	-0.074	-0.182	0.082	-0.014	-0.017	0.008	-0.002	0.003	0.003
35	-0.089	-0.044	-0.131	0.119	-0.169	-0.009	0.010	-0.001	0.002	0.003
36	-0.107	-0.094	-0.096	0.077	0.004	-0.010	0.012	-0.001	0.003	0.004
37	-0.070	-0.138	-0.113	0.081	-0.062	-0.008	0.017	0.001	0.003	0.003
38	-0.061	-0.007	-0.069	0.120	-0.031	-0.007	0.010	0.000	0.002	0.003
39	-0.150	-0.122	-0.174	0.141	-0.117	-0.012	0.018	-0.002	0.003	0.004
40	-0.118	-0.112	-0.080	0.164	-0.001	-0.014	0.022	0.006	0.006	0.003
41	-0.217	-0.040	-0.083	0.130	-0.185	-0.020	0.007	-0.002	0.003	0.003
42	-0.093	-0.074	-0.072	0.016	-0.093	-0.012	0.016	-0.001	0.003	0.004
43	-0.206	-0.054	-0.015	0.165	-0.040	-0.012	0.013	0.000	0.003	0.004
44	-0.050	-0.176	-0.075	0.028	-0.069	-0.011	0.012	0.000	0.002	0.004
45	-0.066	-0.139	-0.008	0.054	-0.093	-0.017	0.011	0.000	0.002	0.003
46	-0.161	-0.126	-0.063	0.110	-0.086	-0.009	0.008	0.000	0.003	0.003
47	-0.148	-0.178	-0.153	0.043	-0.046	-0.011	0.012	0.000	0.002	0.004
48	-0.137	-0.072	-0.031	0.199	-0.168	-0.009	0.017	0.002	0.003	0.004
49	-0.188	-0.175	-0.153	0.177	-0.152	-0.009	0.012	0.000	0.002	0.003
50	-0.011	-0.165	-0.072	0.182	-0.131	-0.009	0.010	0.001	0.003	0.003

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
51	-0.020	-0.089	-0.046	0.121	-0.080	-0.010	0.010	0.000	0.003	0.004
52	-0.127	-0.159	-0.016	0.196	-0.019	-0.009	0.015	0.003	0.004	0.004
53	-0.171	-0.092	-0.099	0.099	-0.160	-0.012	0.008	-0.002	0.003	0.003
54	-0.051	-0.121	-0.133	0.162	-0.186	-0.020	0.009	0.000	0.002	0.004
55	-0.157	-0.018	-0.009	0.036	-0.078	-0.013	0.018	0.001	0.003	0.000
56	-0.198	0.011	-0.122	0.073	-0.067	-0.007	0.017	0.001	0.002	0.004
57	-0.026	-0.067	-0.111	0.191	-0.064	-0.013	0.010	-0.001	0.003	0.003
58	-0.057	-0.034	-0.077	0.185	-0.011	-0.010	0.038	-0.001	0.003	0.004
59	-0.052	-0.018	-0.183	0.117	-0.049	-0.004	0.015	0.002	0.003	0.003
60	-0.059	0.006	-0.189	0.142	-0.181	-0.008	0.014	0.001	0.003	0.004
61	-0.123	-0.063	-0.087	0.038	-0.196	-0.008	0.012	0.002	0.003	0.003
62	-0.137	-0.104	-0.017	0.173	-0.035	-0.005	0.017	0.003	0.004	0.003
63	-0.090	-0.060	-0.067	0.018	-0.137	-0.009	0.009	0.001	0.003	0.003
64	-0.184	-0.108	0.000	0.089	-0.168	-0.011	0.013	0.001	0.003	0.003
65	-0.088	-0.013	-0.045	0.149	-0.036	-0.006	0.008	-0.001	0.002	0.003
66	-0.068	-0.037	-0.005	0.055	-0.057	-0.014	0.015	-0.001	0.002	0.004
67	-0.187	-0.153	-0.191	0.037	-0.007	-0.023	0.015	-0.001	0.003	0.005
68	-0.021	-0.153	-0.023	0.027	-0.194	-0.020	0.017	-0.002	0.004	0.005
69	-0.198	0.000	-0.046	0.046	-0.073	-0.013	0.019	0.000	0.004	0.004
70	-0.093	-0.117	-0.157	0.193	-0.052	-0.013	0.014	0.003	0.004	0.004
71	-0.155	-0.188	-0.157	0.079	-0.159	-0.010	0.011	0.000	0.003	0.003
72	-0.203	-0.178	-0.149	0.094	-0.047	-0.014	0.012	0.002	0.004	0.004
73	-0.145	-0.118	-0.056	0.154	-0.111	-0.012	0.010	0.001	0.002	0.003
74	-0.047	-0.136	-0.131	0.165	-0.089	-0.008	0.008	0.000	0.002	0.003
75	-0.161	-0.159	-0.065	0.193	-0.061	-0.006	0.009	0.001	0.002	0.003
76	-0.188	-0.126	-0.173	0.027	-0.107	-0.010	0.011	-0.001	0.002	0.003
77	-0.076	-0.175	-0.044	0.120	-0.187	-0.009	0.013	0.000	0.003	0.002
78	-0.205	-0.026	-0.112	0.134	-0.019	-0.011	0.009	0.000	0.002	0.003
79	-0.208	0.006	-0.178	0.101	-0.004	-0.010	0.016	0.001	0.003	0.004
80	-0.107	-0.096	-0.048	0.185	-0.106	-0.011	0.010	0.000	0.002	0.003
81	-0.016	-0.139	-0.103	0.181	-0.025	-0.015	0.007	0.000	0.003	0.003
82	-0.054	-0.086	-0.150	0.014	-0.186	-0.007	0.022	0.003	0.004	0.004
83	-0.096	-0.180	-0.023	0.019	-0.072	-0.012	0.007	-0.001	0.002	0.003
84	-0.057	-0.040	-0.168	0.163	-0.091	-0.015	0.009	-0.001	0.002	0.003
85	-0.068	-0.146	-0.005	0.085	-0.012	-0.011	0.014	-0.001	0.002	0.003
86	-0.093	-0.071	-0.069	0.031	-0.126	-0.009	0.010	0.001	0.002	0.003

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
87	-0.128	-0.084	0.000	0.124	-0.019	-0.009	0.090	0.001	0.003	0.006
88	-0.198	-0.178	-0.148	0.089	-0.120	-0.007	0.010	0.001	0.002	0.003
89	-0.168	-0.002	-0.087	0.005	-0.142	-0.013	0.015	0.001	0.003	0.004
90	-0.110	-0.080	-0.046	0.067	-0.122	-0.011	0.013	0.001	0.002	0.003
91	-0.175	-0.091	-0.173	0.017	-0.140	-0.008	0.010	0.000	0.002	0.003
92	-0.202	-0.004	-0.118	0.167	-0.018	-0.011	0.006	0.000	0.002	0.003
93	-0.187	-0.140	-0.136	0.017	-0.196	-0.010	0.009	-0.002	0.003	0.003
94	-0.145	-0.150	-0.162	0.044	-0.106	-0.010	0.011	0.002	0.004	0.004
95	-0.023	-0.152	-0.016	0.181	-0.111	-0.017	0.009	0.000	0.003	0.004
96	-0.186	-0.120	-0.079	0.077	-0.009	-0.009	0.010	-0.002	0.003	0.003
97	-0.156	-0.113	-0.079	0.158	-0.166	-0.013	0.012	0.000	0.002	0.003
98	-0.132	-0.168	-0.022	0.199	-0.159	-0.007	0.007	-0.001	0.002	0.002
99	-0.158	-0.139	-0.078	0.173	-0.132	-0.013	0.015	-0.001	0.002	0.003
100	-0.116	-0.153	-0.139	0.091	-0.093	-0.011	0.007	0.000	0.002	0.003
101	-0.019	-0.138	-0.185	0.049	-0.144	-0.005	0.014	0.002	0.002	0.003
102	-0.141	-0.102	-0.040	0.198	-0.112	-0.010	0.009	0.001	0.002	0.003
103	-0.184	-0.155	-0.048	0.074	-0.082	-0.007	0.012	0.002	0.003	0.004
104	-0.056	-0.088	-0.083	0.166	-0.064	-0.010	0.013	-0.001	0.003	0.004
105	-0.116	-0.115	-0.180	0.028	-0.059	-0.009	0.013	0.001	0.002	0.004
106	-0.039	-0.134	-0.002	0.048	-0.113	-0.009	0.009	-0.001	0.002	0.003
107	-0.083	-0.175	-0.029	0.009	-0.026	-0.016	0.009	0.001	0.002	0.004
108	-0.122	-0.172	-0.047	0.134	-0.020	-0.008	0.014	0.000	0.003	0.004
109	-0.154	-0.073	-0.082	0.021	-0.024	-0.017	0.008	0.001	0.003	0.005
110	-0.020	-0.048	-0.139	0.163	-0.159	-0.011	0.012	-0.001	0.003	0.005
111	-0.197	-0.082	-0.168	0.178	-0.016	-0.011	0.012	-0.001	0.002	0.004
112	-0.104	-0.169	-0.071	0.196	-0.109	-0.016	0.010	-0.003	0.003	0.004
113	-0.024	-0.173	-0.100	0.089	-0.112	-0.007	0.010	0.000	0.001	0.003
114	-0.073	-0.051	-0.168	0.031	-0.140	-0.008	0.009	0.002	0.003	0.004
115	-0.104	-0.100	-0.069	0.064	-0.049	-0.006	0.017	0.001	0.002	0.005
116	-0.085	-0.144	-0.011	0.148	-0.103	-0.018	0.020	0.000	0.002	0.006
117	-0.057	-0.141	-0.016	0.013	-0.027	-0.038	0.033	0.002	0.004	0.009
118	-0.207	-0.064	-0.039	0.073	-0.159	-0.087	0.014	0.000	0.003	0.006
119	-0.199	-0.187	-0.084	0.161	-0.062	-0.023	0.007	-0.001	0.002	0.004
120	-0.057	-0.161	-0.127	0.082	-0.130	-0.009	0.010	0.000	0.002	0.003
121	-0.115	-0.151	-0.105	0.116	-0.140	-0.018	0.007	0.000	0.002	0.003
122	-0.205	-0.157	-0.114	0.176	-0.129	-0.009	0.014	-0.001	0.002	0.003

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
123	-0.217	-0.024	-0.015	0.199	-0.169	-0.066	0.030	0.000	0.002	0.005
124	-0.177	-0.085	-0.087	0.145	-0.118	-0.006	0.018	0.001	0.003	0.004
125	-0.090	-0.134	-0.120	0.016	-0.001	-0.013	0.025	0.000	0.002	0.004
126	-0.156	-0.116	-0.192	0.141	-0.165	-0.026	0.011	0.000	0.002	0.004
127	-0.065	-0.074	-0.187	0.036	-0.004	-0.028	0.013	0.000	0.003	0.004
128	-0.152	-0.079	-0.013	0.047	-0.103	-0.024	0.021	0.001	0.003	0.004
129	-0.106	0.011	-0.036	0.087	-0.109	-0.020	0.022	-0.002	0.003	0.004
130	-0.106	-0.144	-0.103	0.039	-0.141	-0.014	0.014	0.001	0.003	0.004
131	-0.026	-0.149	-0.146	0.004	-0.176	-0.016	0.040	-0.001	0.003	0.005
132	-0.042	-0.156	-0.132	0.098	-0.085	-0.013	0.026	-0.001	0.003	0.004
133	-0.080	-0.094	-0.107	0.008	-0.042	-0.012	0.012	0.001	0.001	0.003
134	-0.184	-0.093	-0.106	0.067	-0.044	-0.037	0.017	0.000	0.002	0.004
135	-0.105	-0.144	-0.066	0.019	-0.159	-0.011	0.012	0.000	0.001	0.003
136	-0.140	-0.045	-0.055	0.084	-0.164	-0.010	0.019	0.000	0.002	0.003
137	-0.099	-0.046	-0.024	0.186	-0.171	-0.007	0.010	-0.001	0.001	0.002
138	-0.177	-0.105	-0.172	0.155	0.001	-0.009	0.008	0.001	0.002	0.003
139	-0.136	-0.163	-0.007	0.004	-0.045	-0.012	0.013	-0.001	0.002	0.003
140	-0.179	-0.082	-0.175	0.083	-0.157	-0.013	0.007	0.001	0.002	0.003
141	-0.034	-0.050	-0.174	0.161	-0.021	-0.008	0.014	0.000	0.001	0.003
142	-0.081	-0.165	-0.005	0.122	-0.005	-0.015	0.010	0.001	0.002	0.003
143	-0.182	-0.095	-0.143	0.189	-0.183	-0.011	0.009	0.000	0.001	0.003
144	-0.190	-0.023	-0.075	0.087	-0.084	-0.018	0.013	0.000	0.001	0.003
145	-0.062	-0.086	-0.171	0.034	-0.119	-0.021	0.011	0.000	0.003	0.005
146	-0.207	-0.106	-0.069	0.133	-0.193	-0.013	0.006	-0.001	0.003	0.003
147	-0.185	-0.098	-0.015	0.171	-0.008	-0.014	0.011	0.001	0.002	0.004
148	-0.073	-0.131	-0.102	0.081	-0.131	-0.009	0.015	0.000	0.002	0.003
149	-0.058	-0.081	-0.060	0.065	-0.005	-0.013	0.020	0.001	0.003	0.004
150	-0.186	-0.129	-0.096	0.071	-0.017	-0.014	0.013	-0.001	0.003	0.003
151	-0.069	-0.052	-0.076	0.025	-0.121	-0.012	0.010	-0.001	0.003	0.003
152	-0.077	-0.141	-0.139	0.124	-0.145	-0.012	0.023	0.000	0.003	0.003
153	-0.165	-0.047	-0.002	0.037	-0.113	-0.008	0.014	0.001	0.002	0.003
154	-0.133	-0.163	-0.135	0.031	-0.002	-0.010	0.018	-0.002	0.003	0.003
155	-0.097	-0.100	-0.109	0.005	-0.110	-0.010	0.017	0.000	0.003	0.004
156	-0.070	-0.129	-0.063	0.139	-0.168	-0.009	0.011	0.001	0.002	0.003
157	-0.197	-0.083	-0.127	0.056	-0.161	-0.010	0.014	0.000	0.002	0.003
158	-0.201	-0.073	-0.143	0.014	-0.177	-0.013	0.011	0.000	0.002	0.003

航線	平差前					平差後				
	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差	最小值	最大值	平均值	平均絕對值	標準差
159	-0.045	-0.018	-0.191	0.197	-0.013	-0.019	0.007	-0.001	0.002	0.003
160	-0.072	-0.011	-0.063	0.004	-0.160	-0.011	0.010	0.000	0.002	0.003
161	-0.217	-0.006	-0.001	0.185	-0.148	-0.019	0.027	0.001	0.002	0.005
162	-0.037	-0.001	-0.097	0.047	-0.126	-0.008	0.007	0.001	0.002	0.003
163	-0.050	-0.108	-0.143	0.047	-0.081	-0.014	0.010	-0.001	0.003	0.003
164	-0.029	-0.162	-0.008	0.084	-0.013	-0.010	0.005	0.000	0.002	0.003
165	-0.046	-0.134	-0.144	0.015	-0.175	-0.005	0.005	0.000	0.002	0.002
166	-0.121	-0.095	-0.186	0.084	-0.194	-0.009	0.007	-0.001	0.004	0.003
201	-0.086	0.015	-0.059	0.181	-0.094	-0.016	0.019	-0.001	0.003	0.005
202	-0.112	-0.164	-0.061	0.146	-0.126	-0.015	0.011	-0.001	0.004	0.005
205	-0.160	-0.085	-0.169	0.110	-0.015	-0.046	0.013	-0.014	0.015	0.012
206	-0.154	-0.170	-0.062	0.064	-0.183	-0.020	0.016	0.003	0.004	0.005
901	-0.213	-0.027	0.000	0.100	-0.101	-0.048	0.050	0.001	0.002	0.010
7101	-0.081	-0.018	-0.155	0.191	-0.014	-0.012	0.027	0.000	0.003	0.004

2-7-3 點雲分類

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

- 一、點雲航帶平差後，以五千分之一圖幅分幅辦理點雲分類，以 LAS 檔為儲存格式，並保留點雲的地面三維坐標值、反射強度值、及回波順序、GNSS 時間戳記等資料。
- 二、作業時，一幅五千分之一圖幅範圍，應由單一人員辦理。
- 三、點雲分類成果應符合 LAS 1.2 規範，區分以下 4 類

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

四、點雲分類製作程序

(一) 點雲自動分類

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

進行完上述處理後，點雲分類可經設定後由 TerraScan 自動進行分類。此工作是透過軟體內之內建功能巨集(Macro)，輔以人工設定過濾參數而達成(如圖 2-18)。其演算法原理，主要透過選取範圍內的低點組成三角網模型，形成初始地表，透過人工設定三角網垂直距離(Iteration Distance)以及離最近三角網頂點夾角(Iteration Angle)之係數，判定其餘點是否為地表點，以達成地表與地物自動分類。

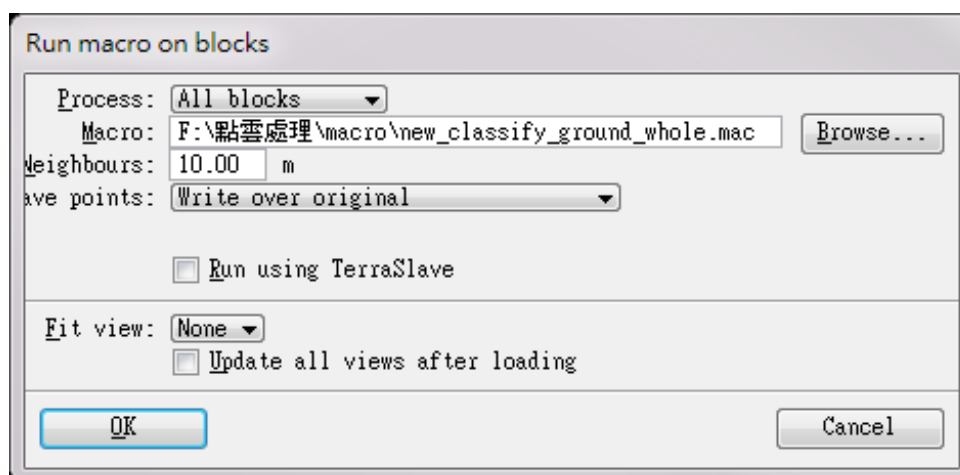


圖 2-18 TerraScan 之巨集設定畫面

五、點雲人工分類

(一) 地表點/非地表點/雜點分類：藉由點雲自動分類完成初步地表分類，其分類結果準確度無法達成要求，尤其在地形變化複雜區域，誤判情況則更加嚴重，故初步處理結束後進行人工編修是必要的。圖 2-19 顯示以人工編修點雲之軟體畫面。為正確將點雲分類，需要加入剖面、類別(Class)、反射值(Intensity)等點雲資訊輔助，如加入航拍影像則能提供完整之資料，以辨識地物進行人工編修。

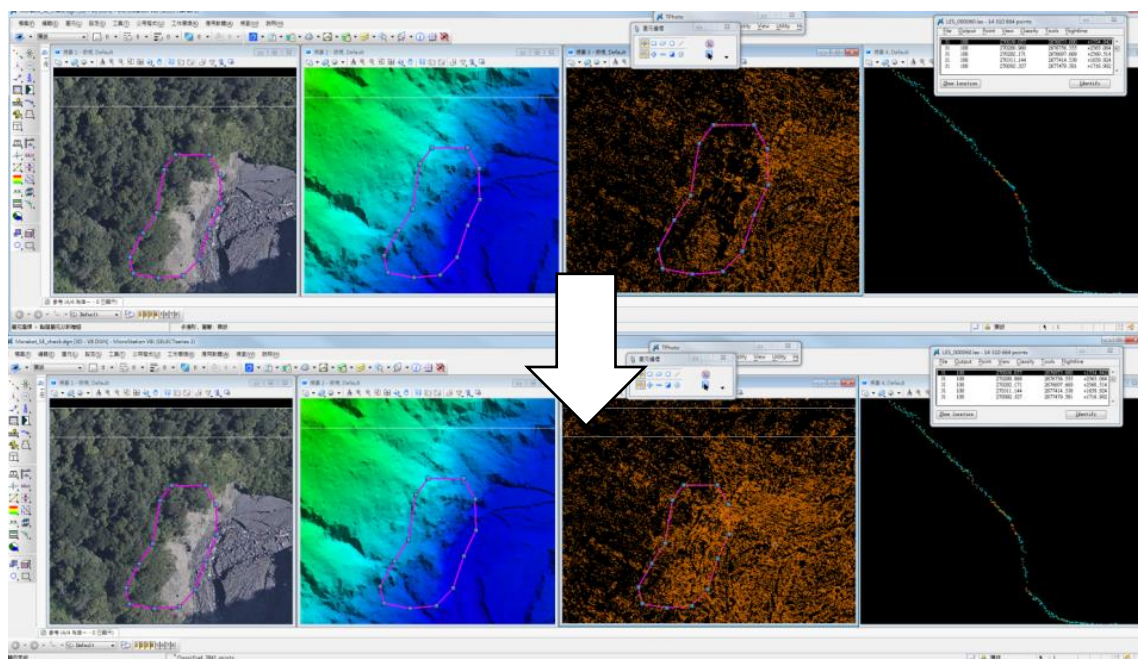


圖 2-19 以人工進行點雲分類前後示意圖

(二) 水體點雲分類：本案中以正射影像製作測製範圍內水域數化成果，數化線段需閉合且沙洲、水域線及海域線等應分層紀錄，且水面點分類成果應與水域數化成果相符，並將水域內之地表點雲經由 TerraScan 悉數歸類為水點，全區水線成果如圖 2-20

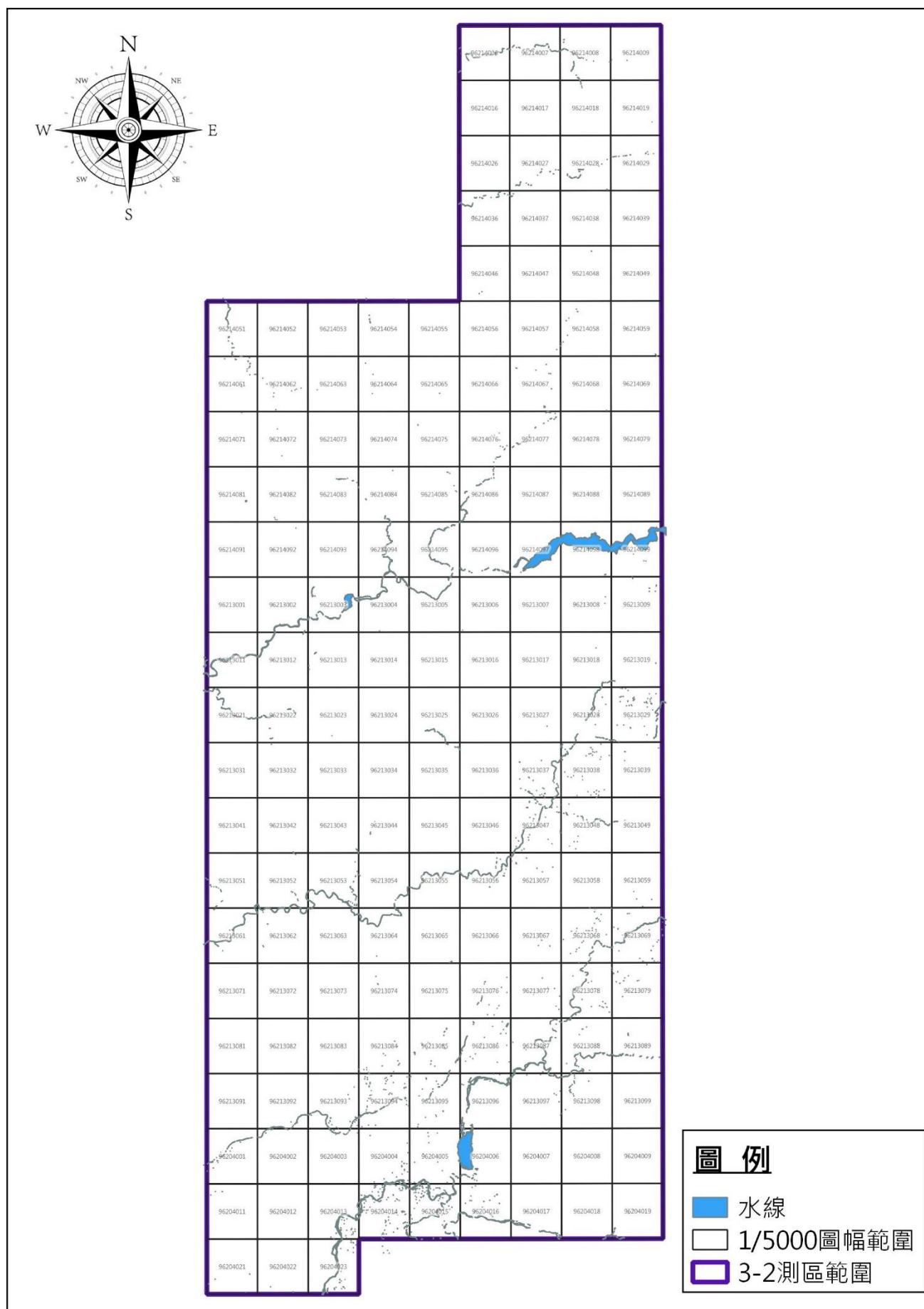


圖 2-20 計畫範圍水域線數化成果

2-8 DEM 與 DSM 製作、人工檢核與編修及圖幅鑲嵌處理

於點雲分類完成，且經檢核通過後，方可進行 DEM 及 DSM 製作之工作。整合前述資料與原始雷射掃瞄資料，解算產出雷射點雲之三維坐標數據。解算出之三維雷射點雲坐標數據，依其資料中之多回波(Multiple Echoes)屬性值，萃取當中之第一回波與唯一回波以製作數值地表模型(DSM)。另萃取當中之最後回波與唯一回波，以製作數值地高程模型(DEM)。可採自動化過濾方法製作 DEM 及 DSM，惟最後的成果亦須經過人工的檢核及編修程序。

2-8-1 製作程序

- 一、網格間距：1 公尺 × 1 公尺。平面坐標值應為網格間距之整數倍。
- 二、圖幅：以現行五千分之一基本地形圖之圖幅為分幅之依據，實際涵蓋範圍應較標準圖幅框略大，以圖幅框 4 個圖隅點向外擴大至少 1 個網格點之四至坐標值（東、南、西、北邊界之極值）為矩形之範圍。各圖幅間得重疊，重疊區資料應重複且相同。
- 三、應採用一致之內插方法，產製 1 公尺間距之規則網格資料。
- 四、DEM 製作原則
 - (一) 將分類為地面點之不規則點雲，內插為規定間距之網格化成果。
 - (二) 若有地形特徵線則應匯入作為限制條件。
- 五、DSM 製作原則
 - (一) 萃取第 1 回波之點雲，濾除不合理之空中點雲資料後，內插為規定間距之網格化成果。
 - (二) 必要時應另進行適當編修（如：電力線、電塔等）。
- 六、陸域範圍之水域高程資料應由週邊地面點內插填滿。海域範圍應依判定合格海域線為準，海域範圍之高程資料應刪除。
 - (一) 本計畫共完成 176 幅 1/5000 圖幅 1m 解析度 DEM/DSM，成果以日照陰影圖(Hill Shading)展示如圖 2-21 以及圖 2-22。

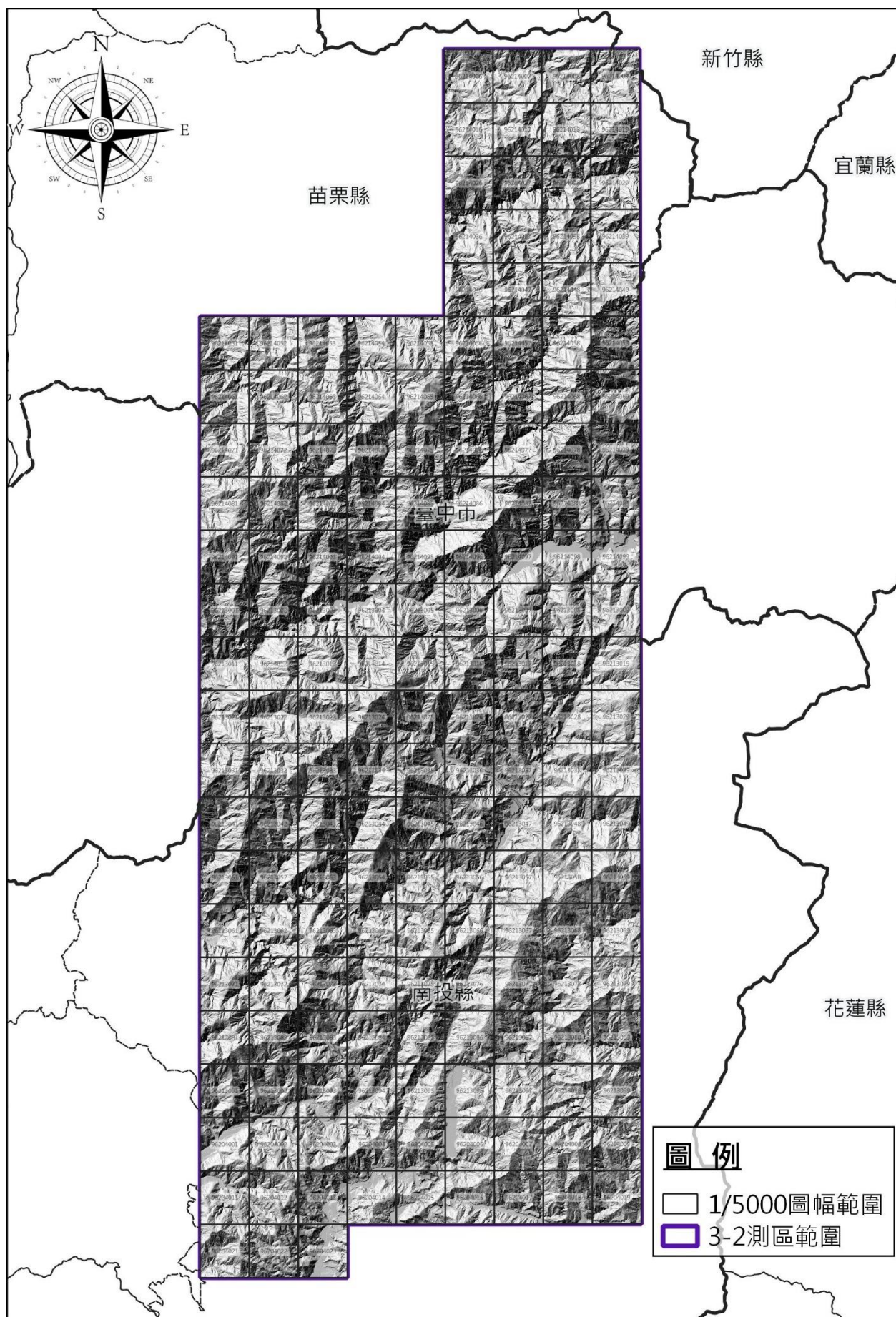


圖 2-21 計畫區域 DEM 成果展示

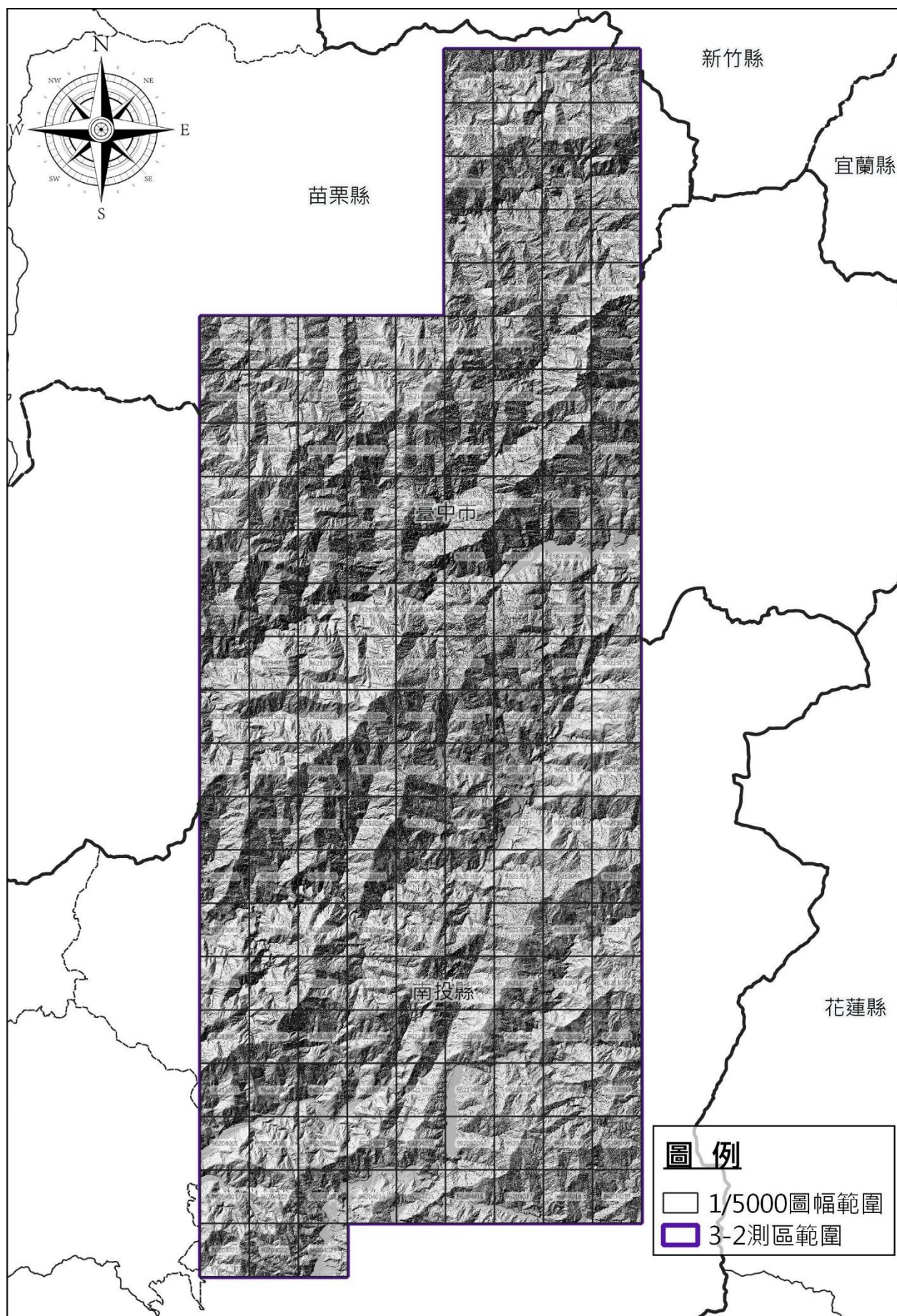


圖 2-22 計畫區域 DSM 成果展示

2-8-2 檢核點檢查

一、低海拔及河川洪泛溢淹地區測製地區：土地覆蓋分區檢核作業需包括裸露地、矮植被(周圍為高度不超過 1 公尺之草生地、矮樹群、茶區等)、植生地、林地、都會區、濕地。每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測量檢核點。檢核成果相關資訊如表 2-17，繪製各類別統計分析圖如圖 2-23~圖 2-28，全數符合作業規範，各點檢核成果詳細資訊如附件十，各點位近景及遠景像片詳如附件十一。

表 2-17 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點總成果

項次	地類檢核點	測設數量	檢核成果	作業規範	是否合格
1	裸露地	30	-0.258m ~ 0.136m	±0.350m	合格
2	矮植被	30	-0.163m ~ 0.266m	±0.378m	合格
3	植生地	30	-0.179m ~ 0.343m	±0.490m	合格
4	林地	34	-0.377m ~ 0.368m	±0.910m	合格
5	都會區	30	-0.188m ~ 0.198m	±0.350m	合格
6	濕地	44	-0.169m ~ 0.107m	±0.350m	合格

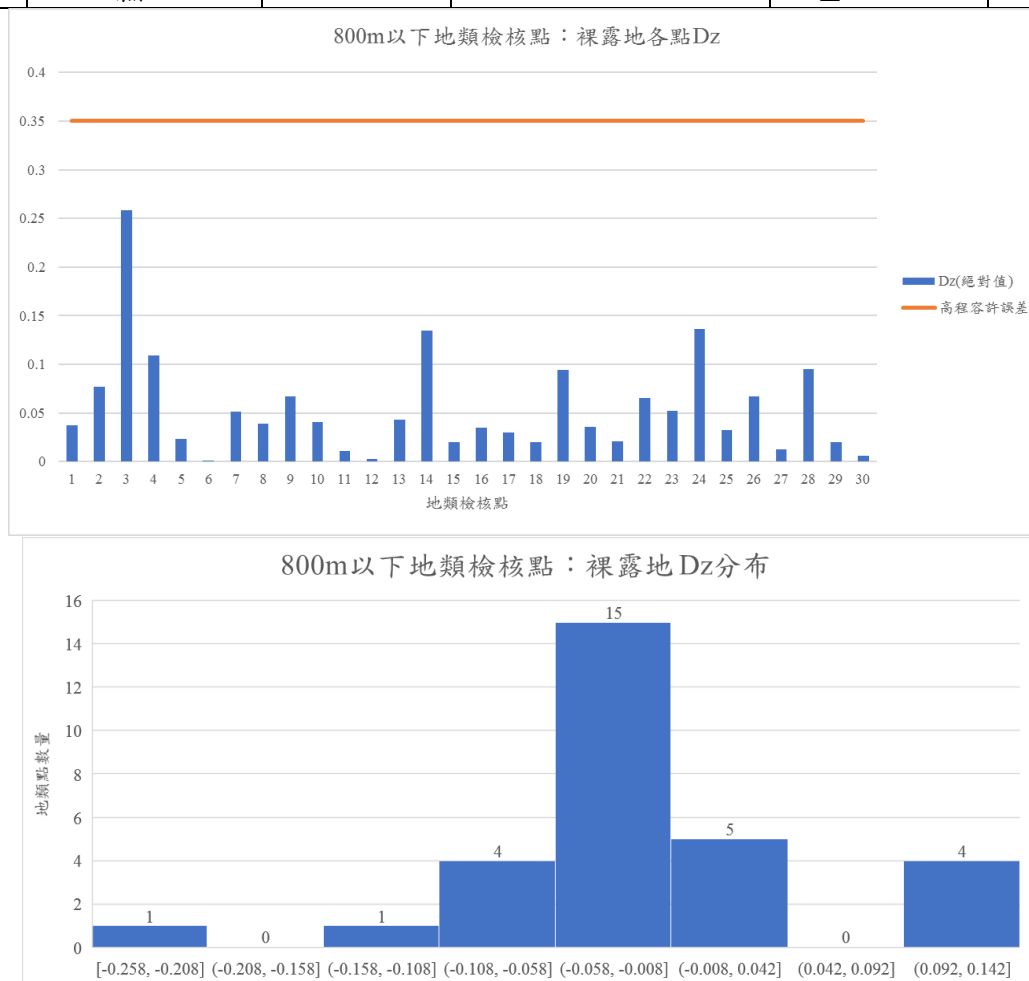


圖 2-23 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-裸露地

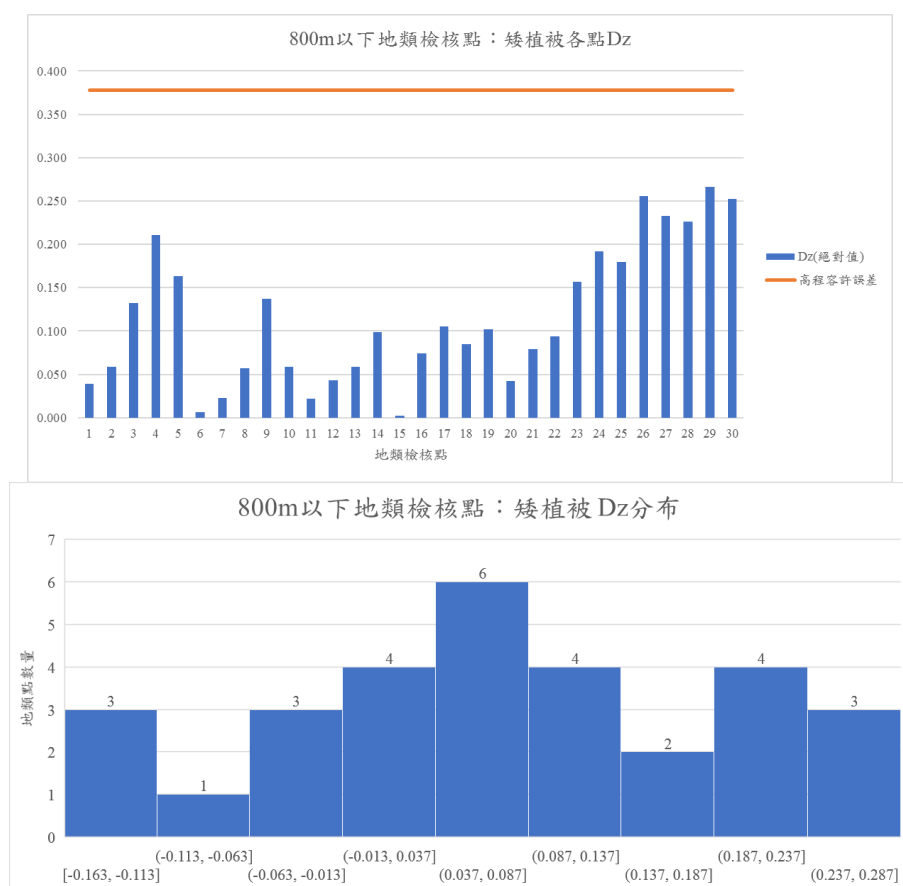


圖 2-24 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-矮植被

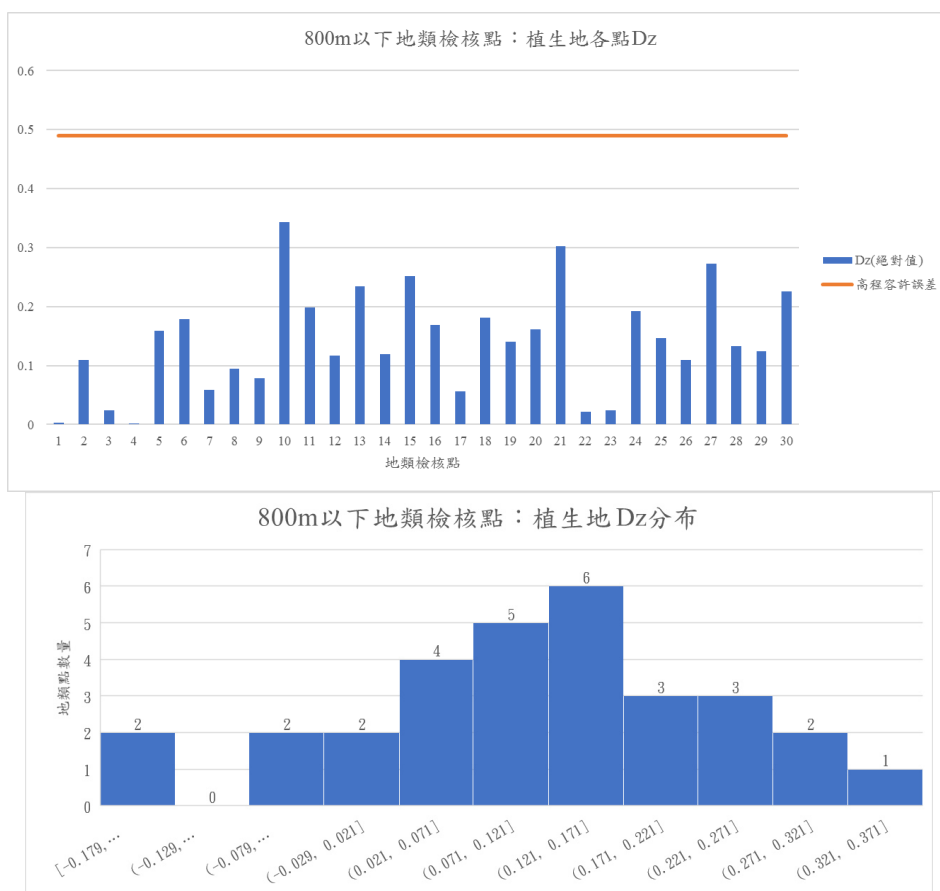


圖 2-25 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-植生地

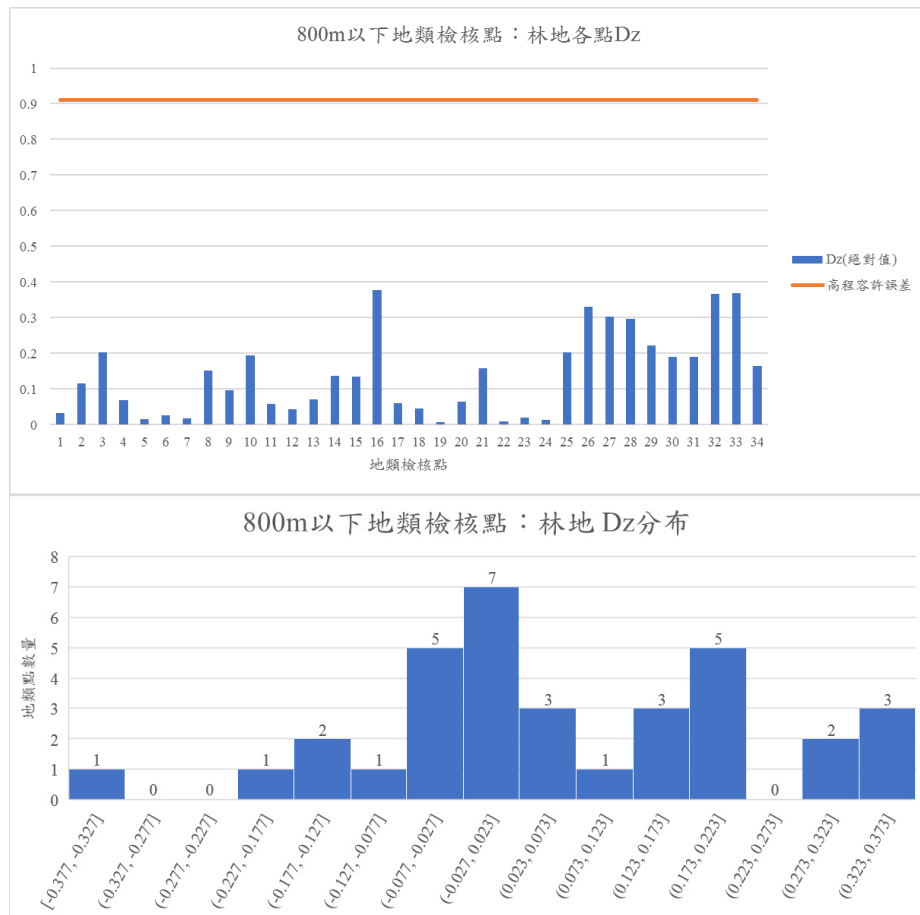


圖 2-26 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-林地

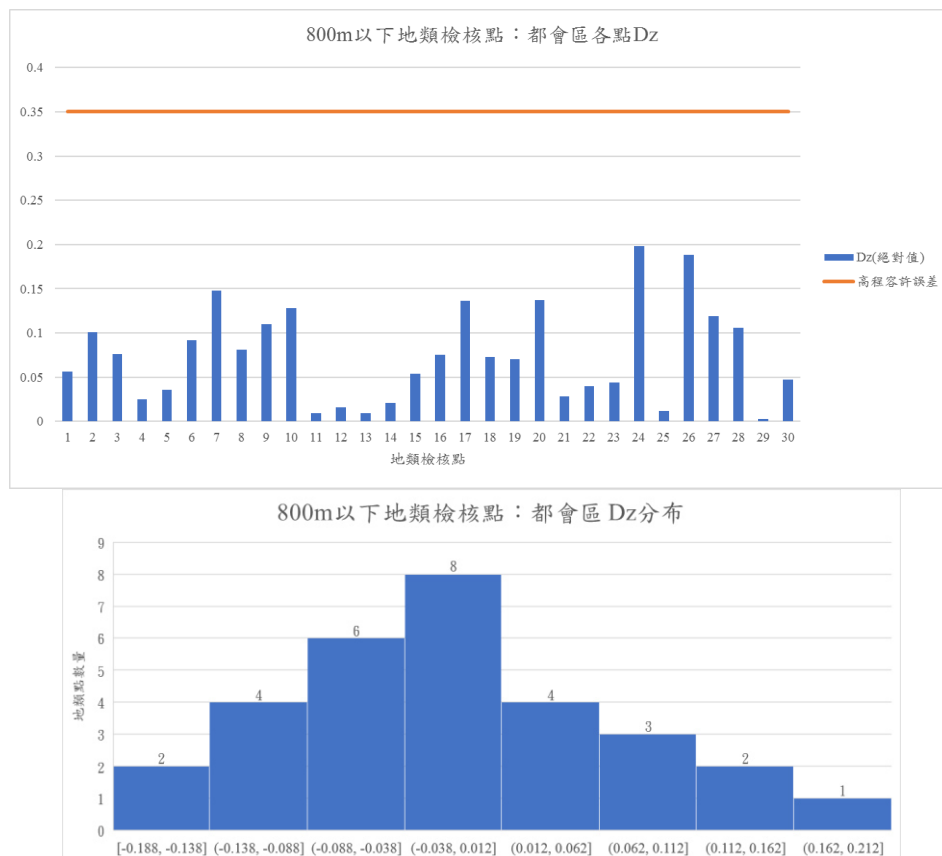


圖 2-27 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-都會區

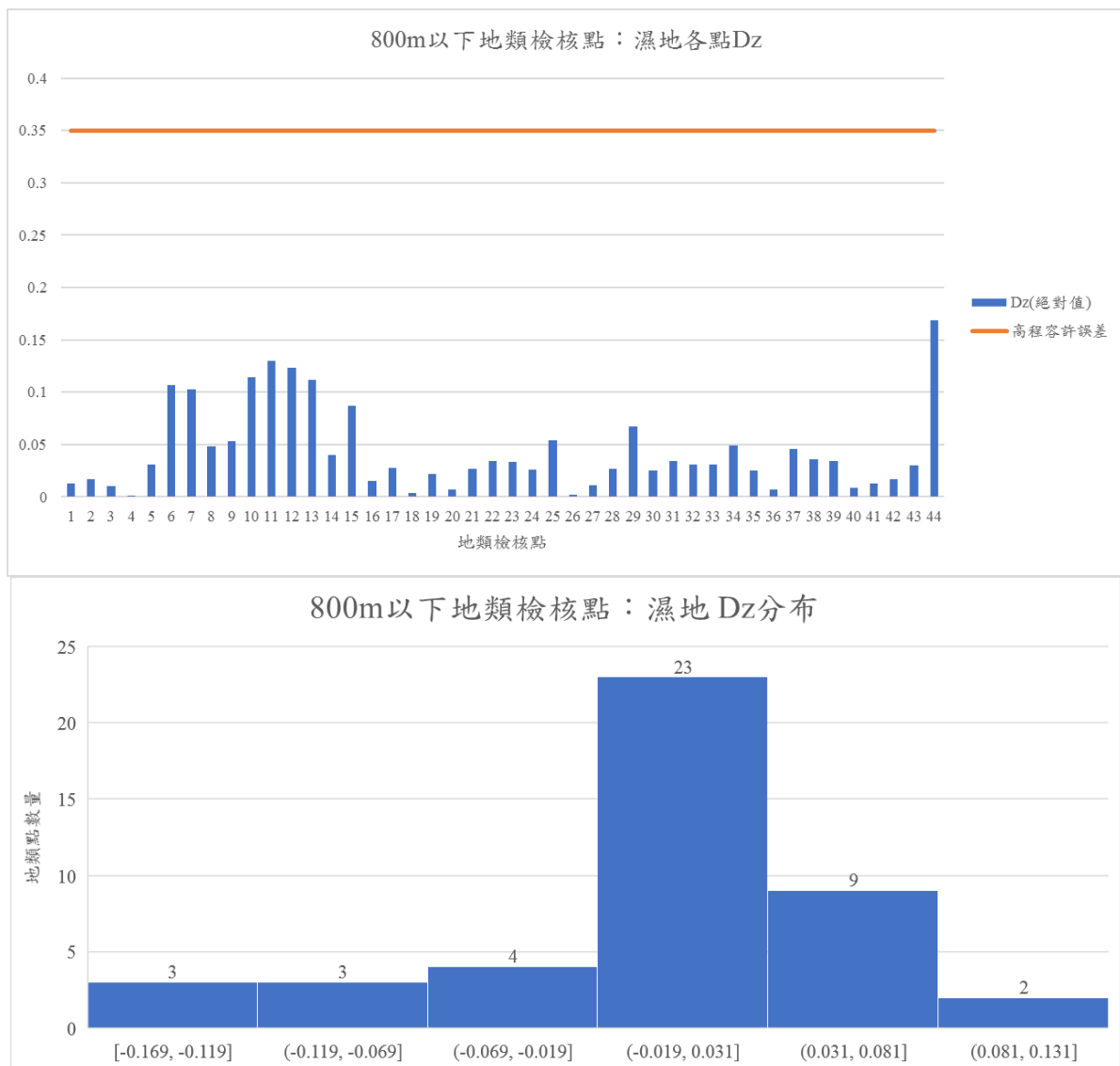


圖 2-28 低海拔及河川洪泛溢淹地區地類檢核點成果-濕地

二、對於中高海拔山區測製地區進行檢核作業，土地覆蓋分區檢核作業包括裸露地、矮植被(周圍為高度不超過 1 公尺之草生地、矮樹群、茶區等)、植生地、林地、密林地。每種土地覆蓋分區至少要有 30 個地面測量檢核點。檢核成果如表 2-17 以及附件十，繪製各類別統計分析圖如圖 2-29~圖 2-33，各點位近景及遠景像片詳如附件十一。

表 2-18 中高海拔山區地類檢核點總成果

項次	地類檢核點	測設數量	檢核成果	作業規範	是否合格
1	裸露地	35	-0.195m ~ 0.194m	±0.350m	合格
2	矮植被	37	-0.079m ~ 0.318m	±0.378m	合格
3	植生地	33	-0.146m ~ 0.319m	±0.490m	合格
4	林地	30	-0.094m ~ 0.380m	±1.190m	合格
5	密林地	35	-0.382m ~ 0.536m	±2.450m	合格

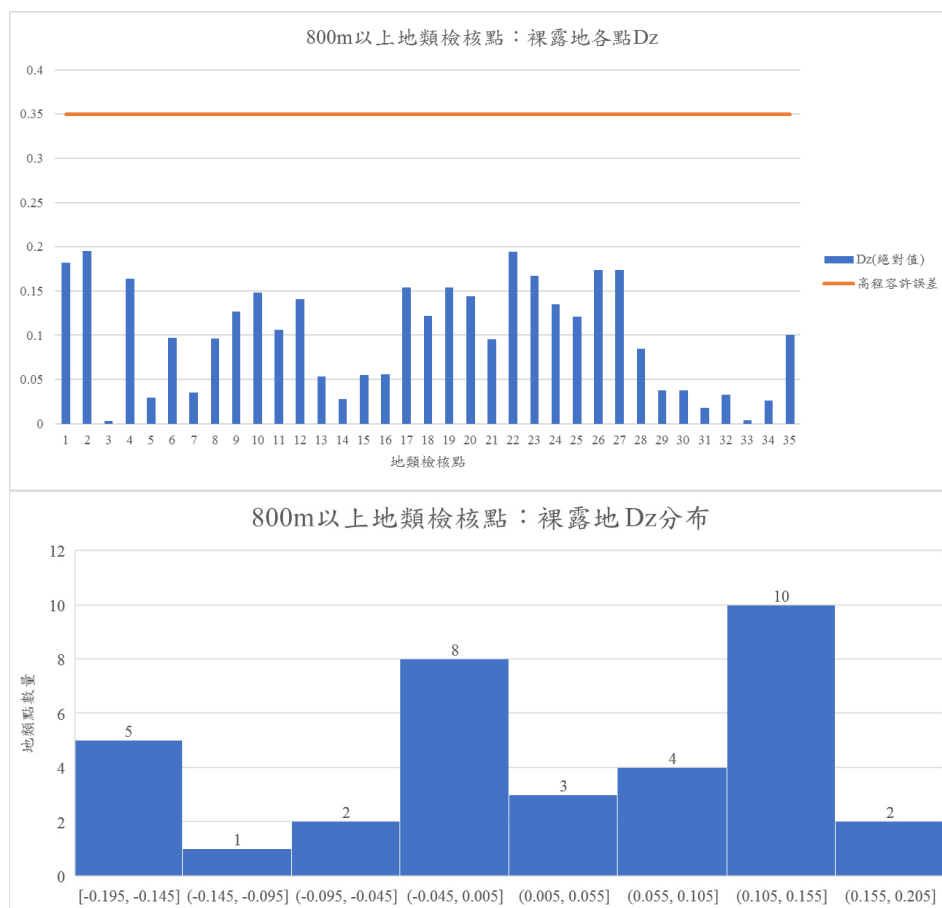


圖 2-29 中高海拔山區地類檢核點成果-裸露地

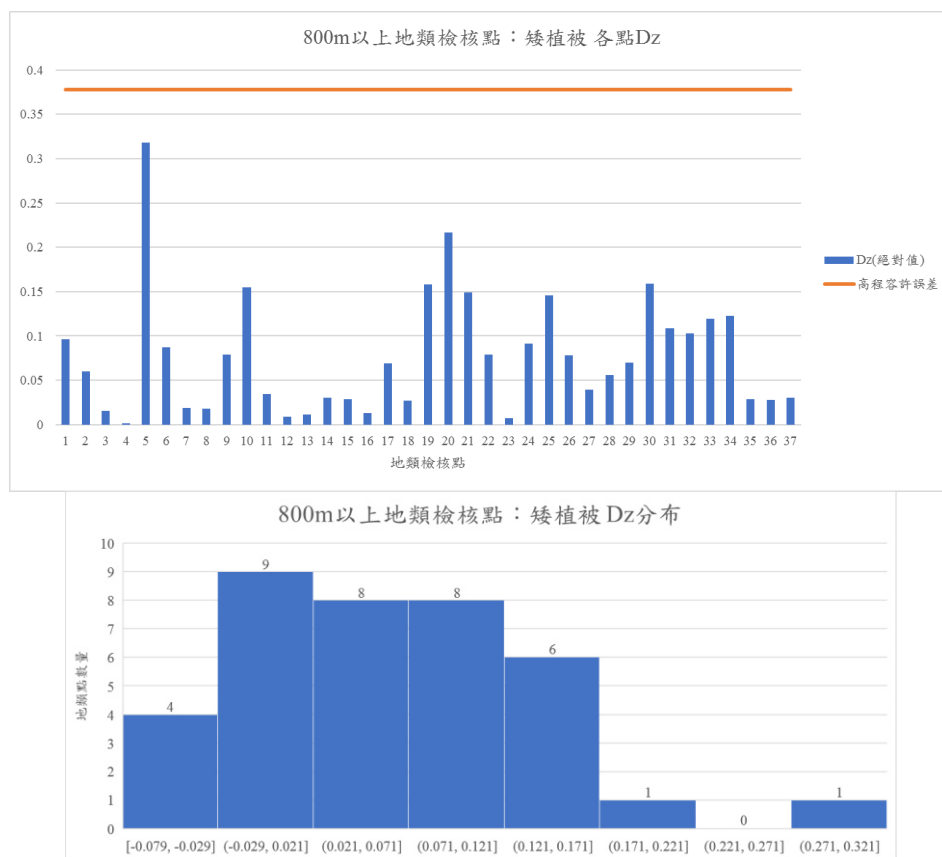


圖 2-30 中高海拔山區地類檢核點成果-矮植被

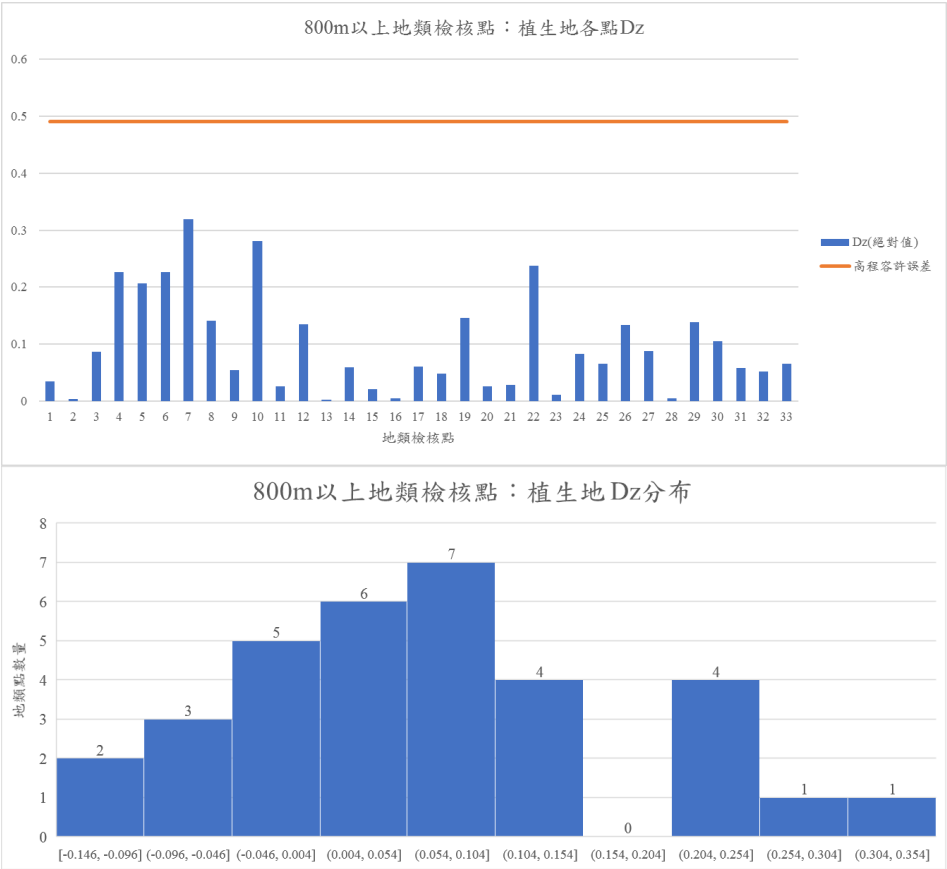


圖 2-31 中高海拔山區地類檢核點成果-植生地

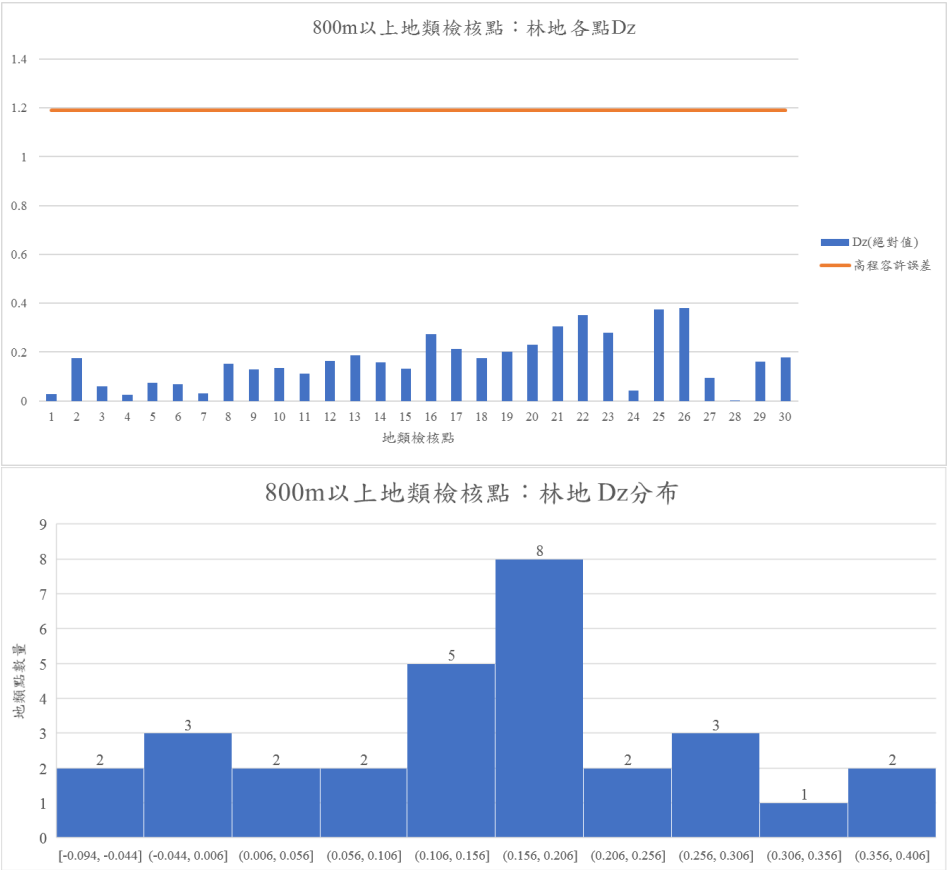


圖 2-32 中高海拔山區地類檢核點成果-林地

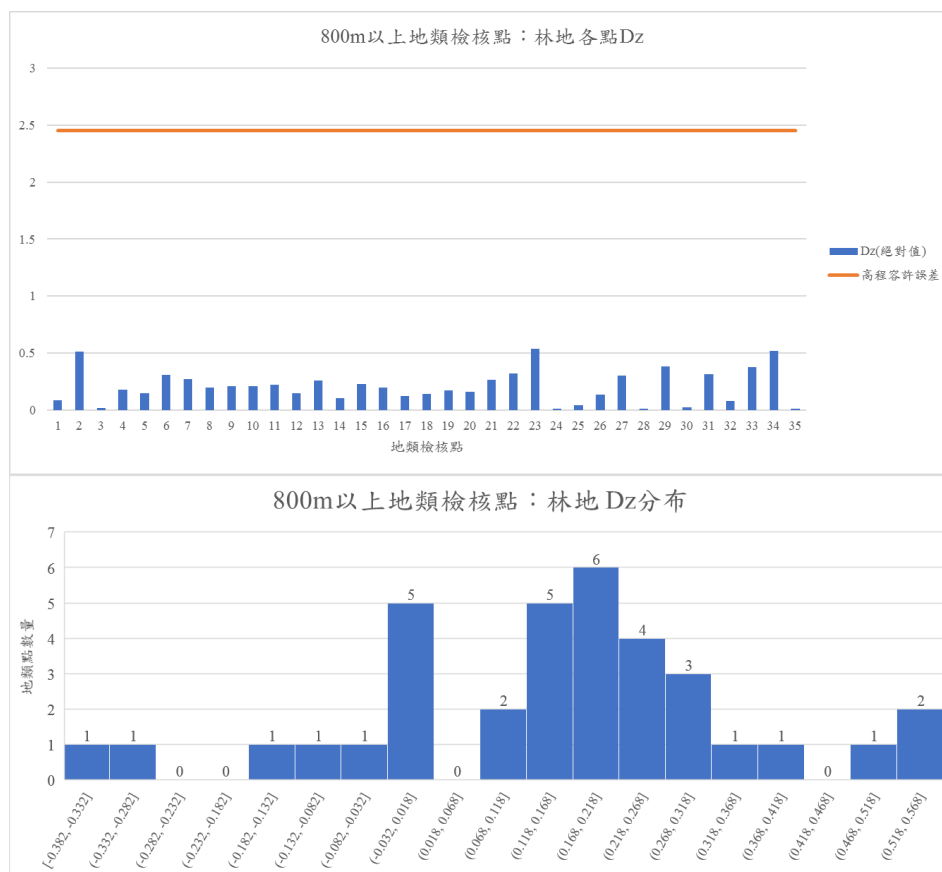


圖 2-33 中高海拔山區地類檢核點成果-密林區

三、橫斷面(cross section)檢核測量：依據橫互航線地面檢核剖面測量數據，進行剖面 LiDAR 數據精度評估報告。

(一) 低海拔及河川洪泛溢淹測製地區：需施行橫互航線的地面檢核剖面，檢核剖面共施測 63 個，符合作業規範(至少有 60 個檢核點)，剖面長度總和約為 42 公里(超過 40 公里)，檢核成果分布圖如圖 2-34。

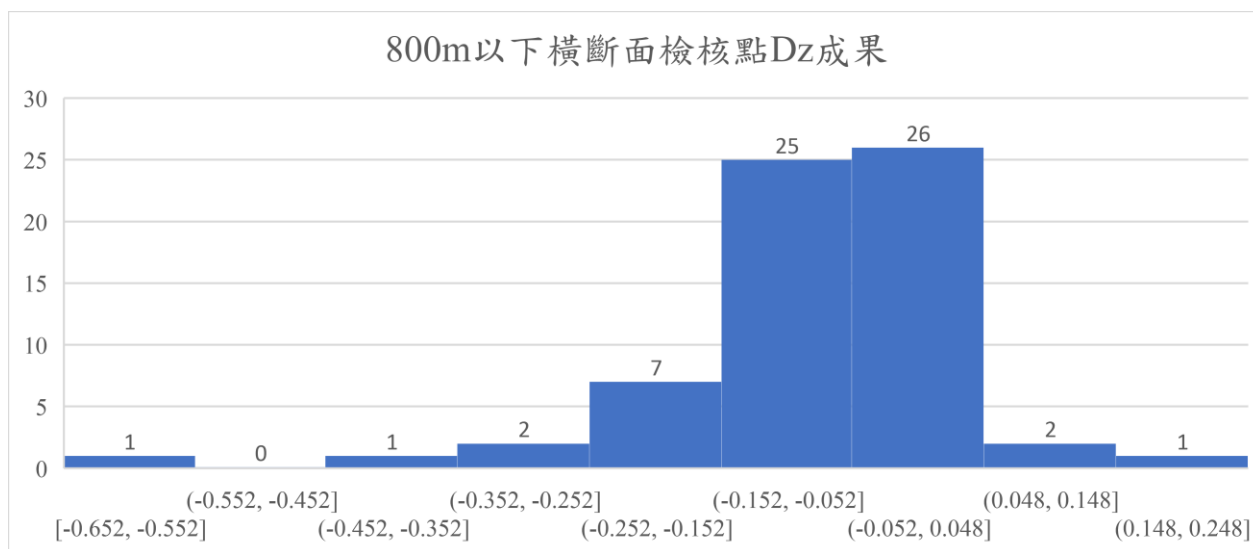


圖 2-34 低海拔及河川洪泛溢淹測製地區-斷面檢核成果

(二) 中高海拔山區測製地區：需施行橫互航線的地面檢核剖面，檢核剖面共 48 個，符合作業規範(至少有 40 個檢核點)，剖面長度總和約 36 公里(超過 30 公里)，檢核成果分布圖如圖 2-35。

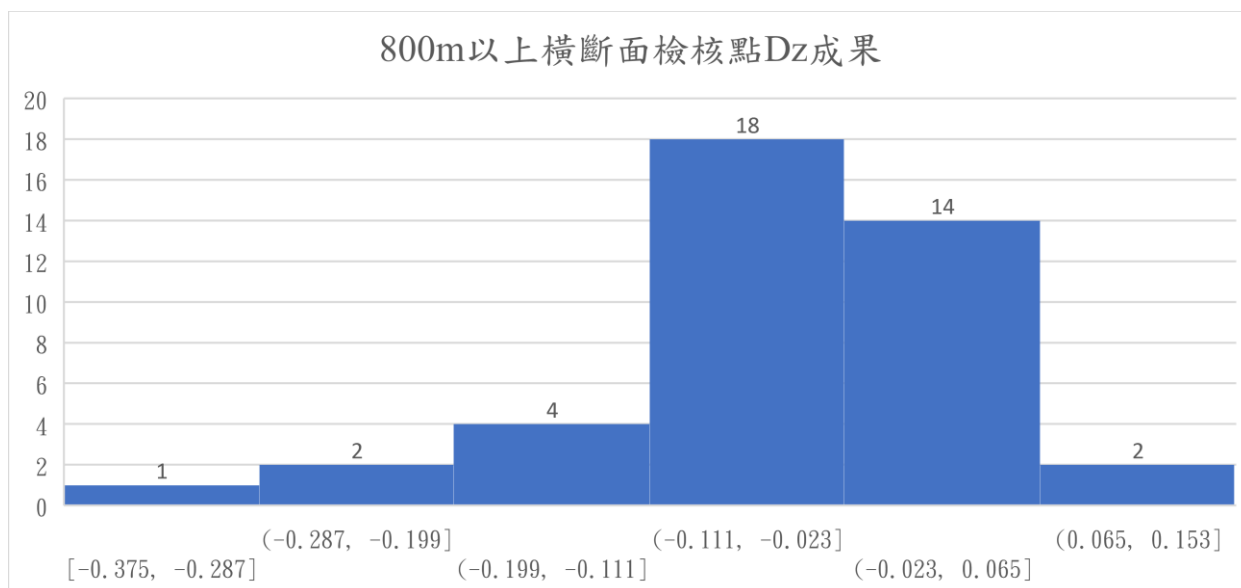


圖 2-35 中高海拔山區測製地區-斷面檢核成果

2-8-3 圖幅接邊

- 一、測區內部及測區外部圖幅重疊區域之 DEM / DSM 網格資料成果應一致。
- 二、若測區銜接處，因掃瞄時間差距造成地形明顯變遷(如：河谷、崩塌地等)，無法製作一致之地形成果，應將不一致範圍圈選成向量檔案，經認定合理後，保留該處範圍存查。
- 三、依據 108 年監審廠商第七次工作會議紀錄(成大研總字第 1081108013 號)，各測製廠商完成 108 年度成果後，應進行內外部接邊分配方案如圖 2-36。詮華公司負責 58 幅成果接邊(網格成果與正射影像)；自強公司負責 108 年度與詮華接邊處 36 幅成果(格成果與正射影像)；中興公司負責 108 年度與自強接邊處 44 幅成果(網格成果與正射影像)。

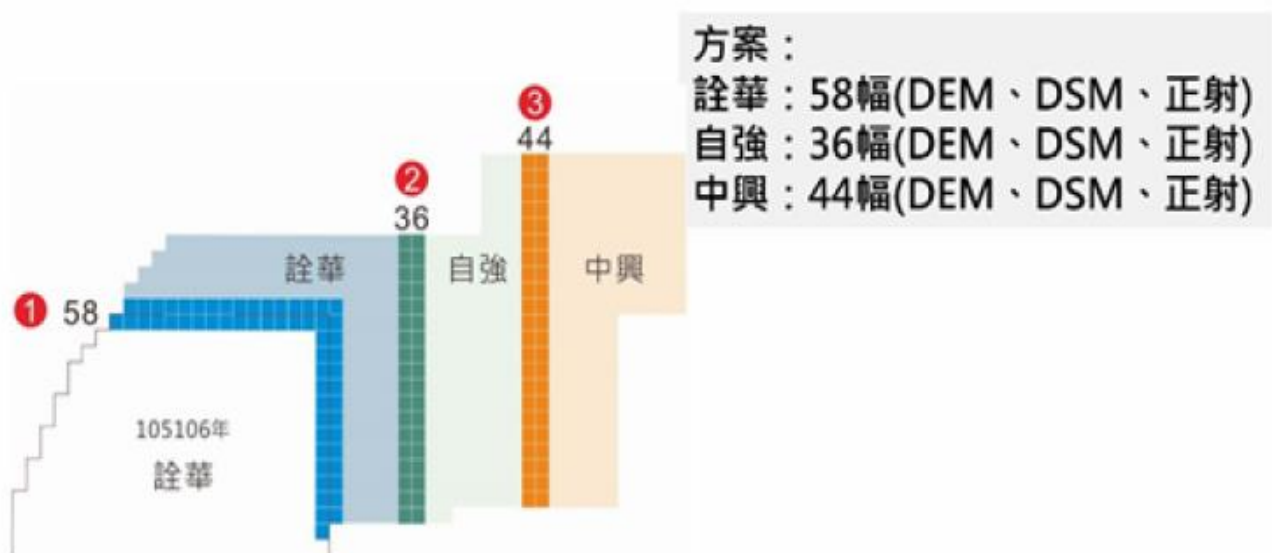


圖 2-36 108 年度成果接邊分配圖

2-8-4 正高轉換

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

2-8-5 資料儲存格式

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

- 一、有關 GRD(含 HDR、XML)及 GeoTiff 格式，應於 LAS 成果確定後，再據以轉製 GRD(含 HDR、XML)及 GeoTiff 格式，主辦機關將於監審廠商成果驗收合格後，再請測製廠商轉製其它格式成果，請測製廠商於收到主辦機關通知次日起 30 個日曆天內繳交經監審廠商審查通過之 GRD 及 GeoTiff 格式(均含正高及橢球高)至主辦機關。
- 二、DTM 海域之高程給值方式：為使本案成果有延續性，依循往例海域高程值不賦予任何值。
- 三、為使本案成果有延續性，本案 DTM GRD 網格點記錄方式循往例，採西南向東北記錄。
- 四、資料建置完成後，應執行內政部「DTM 成果資料檢核程式」，輸出檢核成果報表，並應通過檢核。

2-8-6 詮釋資料製作

- 一、依據內政部國土資訊系統之「地理資訊詮釋資料標準」(TaiWan Spatial MetadataProfile；TWSMP) 2.0 版相關規定填寫各項成果之詮釋資料。
- 二、利用內政部「詮釋資料建置系統」針對詮釋資料資訊、識別資訊、限制資訊、資料品質資訊、資料歷程資訊、空間展示資訊、供應資訊、範圍資訊、維護資訊、引用資訊、參考系統資訊等類別按規定之項目填寫。

2-9 正射影像製作

- 一、製作正射影像使用之航拍影像，以辦理掃瞄飛航時同步取得為原則。其原始航拍影像應繳交機敏區已遮蔽處理及無遮蔽處理之成果各 1 式。
- 二、影像正射糾正使用空三解算後外方位，並於成果繳交時提供。
- 三、正射影像所顯示地物的色彩，應與其原本天然色彩一致(圖 2-37)。

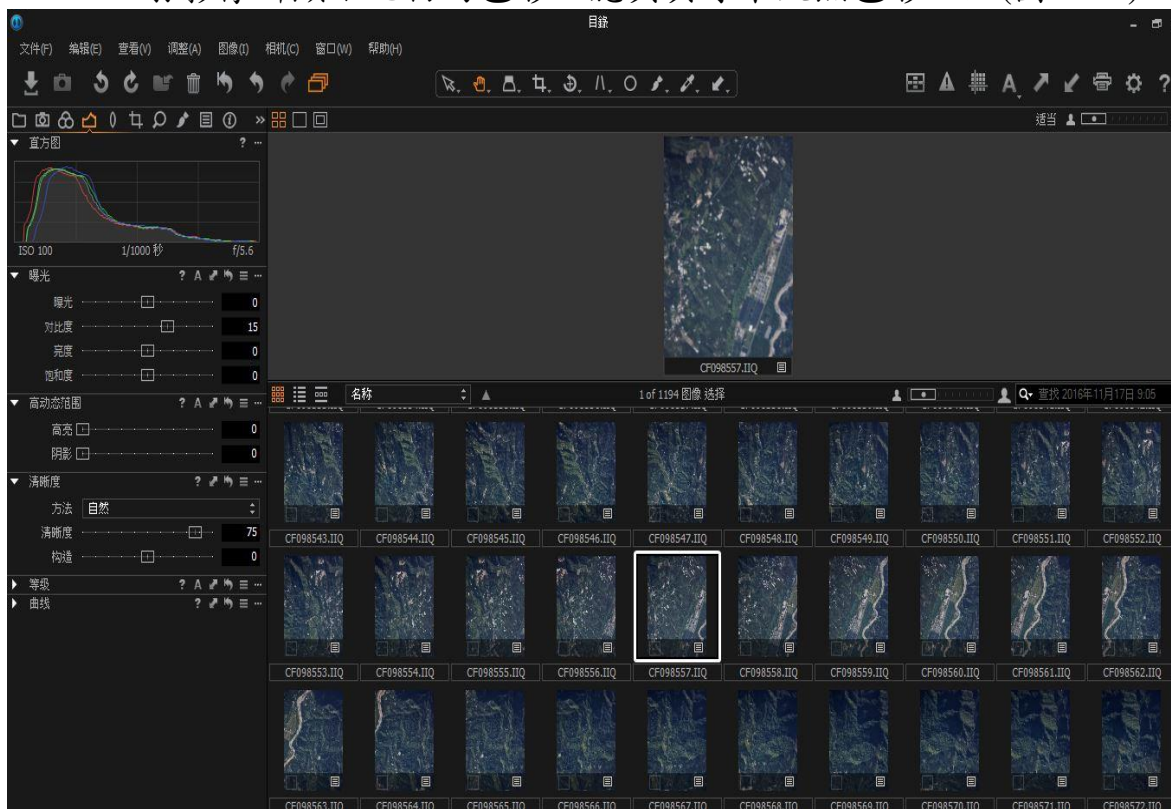


圖 2-37 航拍影像色調調整操作畫面

- 四、正射影像內部或測區內圖幅接邊處，所呈現之地物、地貌（如：建物、交通系統），應無扭曲變形、色調連續一致。
- 五、正射影像平面精度應優於 2.5 公尺。
- 六、正射影像格式

- (一) 以 1/5000 圖幅範圍分幅(須外擴)，其範圍與 DTM 成果範圍一致。
- (二) GSD 應優於或等於 25 公分。
- (三) 以彩色 24 位元之 TIFF 格式儲存(紅、綠、藍各波段均為 8 位元)。
- (四) 包含對應之 Tfw 坐標檔。

七、本計畫正射影像成果展示如圖 2-38。

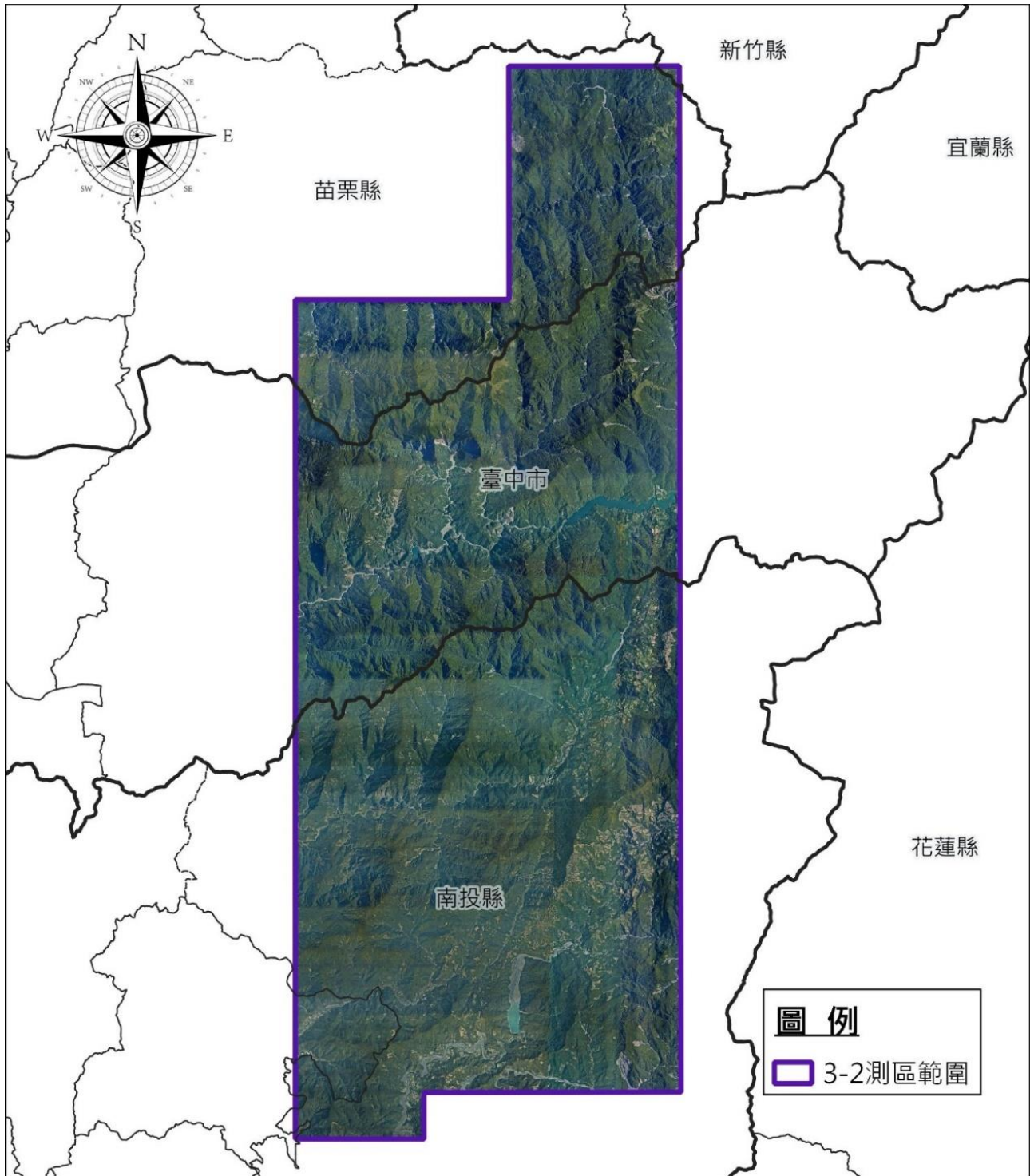


圖 2-38 計畫範圍正射影像成果展示

第三章 成本因子分析

3-1 進度管制計畫

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

3-2 點雲編修人力配置

本計畫除飛航時程受限於天候之外，最大量工作落在 DEMLAS(點雲編修)，本計畫擁有 6 位點雲編修作業人員，其中兩位為主要內部檢核人員(點雲編修經驗 8 年)，於作業前期加入點雲編修，並交互檢核，中、後期由一位資深點雲編修人員作為主要內部檢核人，檢核期於 5 位點雲編修人員編修後成果。依每人每幅 1/5000 圖幅編修時間平均約為 3~4 日、每月工作 21 日計算，每月可編修圖幅約為 30 幅(5 人 x 21 天 / 3.5 天 1 幅)。預計第 2 階段(3-2-1 子測區)需 2.5 個月。趕工作業期間可於星期一~五增加 2~4 小時加班，另於星期六(非國定假日)加班 8 小時趕工，每人每月可提升約 2~3 幅 1/5000 的作業量，每月約增加 10 幅進度；另外增加兩位趕工計畫支援人員，每月約可編修 4 幅 1/5000 圖幅，於趕工期間可於每月增加 15~18 幅 1/5000 圖幅編修進度，相關人員配置詳如第四章執行團隊。

3-3 影像處理人力配置

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

3-4 各項成本分析

項次	工作項目	單位	數量	單價	總價	備註
一 空載光達掃瞄飛航規劃與申請						
1.1	工作計畫書擬訂	式	1	10,000	10,000	
1.2	飛航計畫規劃	式	1	30,000	30,000	
1.3	航拍許可申請	式	1	5,000	5,000	
	小計				45,000	
二 控制測量						
2.1	外業平差控制點測設	式	1	900,000	900,000	含平、高控點
2.2	地面檢測點測設	式	1	400,000	400,000	含中高低海拔
2.3	橫斷面檢核測量	式	1	200,000	200,000	含中高低海拔
2.4	地面 GPS 基地站規劃	式	1	10,000	10,000	
2.5	GPS 儀器 TAF 檢校	式	1	40,000	40,000	
2.6	地面 GPS 基地站架設	式	1	208,000	208,000	含基站維護
2.7	地面 GPS 基地站網路架設	式	1	48,000	48,000	
2.8	GPS 資料彙整及報告製作	式	1	10,000	10,000	提送丙方解算
	小計				1,816,000	
三 空載光達掃瞄施測資料獲取						
3.1	飛航載具費用(含進駐外站費用)	幅	176	30,000	5,280,000	含飛機折舊及耗損
3.2	LiDAR 系統率定	幅	176	2,000	352,000	含率定報告製作
3.3	LiDAR 掃瞄施測費	幅	176	15,000	2,640,000	含設備折舊及耗損
3.4	LiDAR 掃瞄資料繳交	幅	176	1,000	176,000	採硬碟方式儲存
3.5	飛航掃瞄報告書製作	幅	176	300	52,800	採書面方式繳交
	小計				8,500,800	
四 空載光達掃瞄點雲資料處理						
4.1	LiDAR 點雲資料處理及解算	幅	176	1,500	264,000	含 POS 解算
4.2	航帶平差	幅	176	5,000	880,000	含精度分析
4.3	點雲分幅、分類及人工編修	幅	176	14,000	2,464,000	含軟體使用
4.4	作業成果檢查	幅	176	4,000	704,000	含精度分析
4.5	資料彙整及成果繳交	幅	176	1,000	176,000	採硬碟方式儲存
	小計				4,488,000	
五 DEM 與 DSM 製作(含圖幅接邊處理)						
5.1	DEM、DSM 製作	幅	176	3,500	616,000	
5.2	DEM 精度評估	幅	176	1,000	176,000	
5.3	內部圖幅接邊	幅	176	2,000	352,000	含 DEM/DSM

項次	工作項目	單位	數量	單價	總價	備註
5.4	外部圖幅接邊	幅	176	2,000	352,000	含 DEM/DSM
5.5	資料彙整及成果繳交	幅	176	1,000	176,000	
	小計				1,672,000	
六 正射影像製作						
6.1	航拍影像處理	幅	176	1,000	176,000	
6.2	空中三角平差計算	幅	176	4,000	704,000	
6.3	正射影像糾正、調色及鑲嵌處理	幅	176	6,000	1,056,000	
6.4	水域線數化	幅	176	2,000	352,000	
6.5	資料彙整及成果繳交	幅	176	1,000	176,000	
	小計				2,464,000	
七 各項報告書、工作總報告等						
7.1	各項成果報告製作	式	1	164,200	164,200	
7.2	工作總報告製作	式	1	50,000	50,000	
	小計				214,200	
	總計				19,200,000	

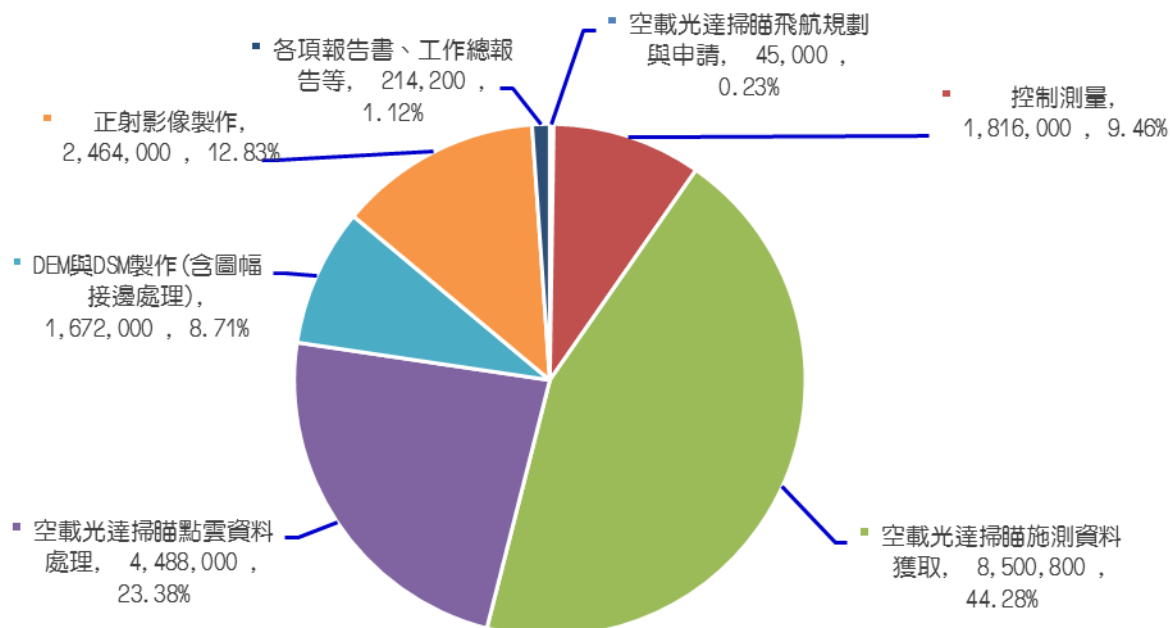


圖 3-1 成本分析圓餅圖

第四章 執行團隊

4-1 團隊組織編制

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

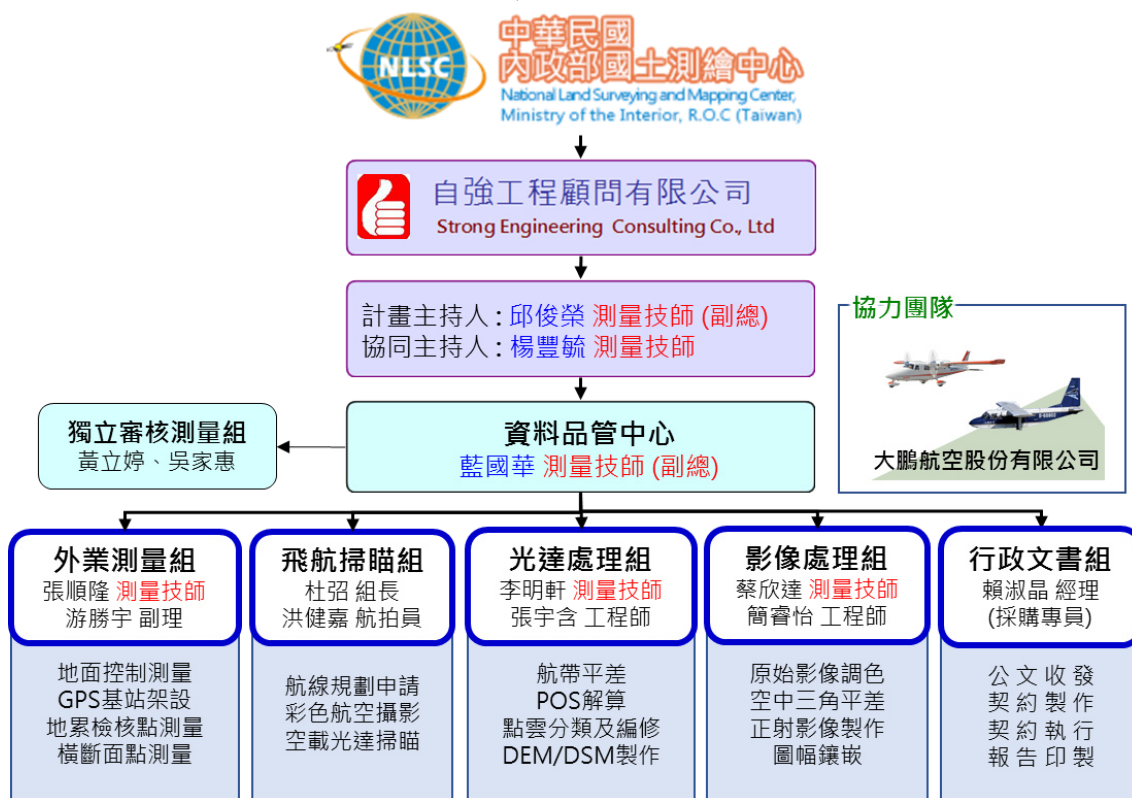


圖 4-1 團隊組織架構圖

4-2 性平統計

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

表 4-1 本案作業人員男女統計

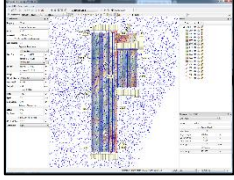
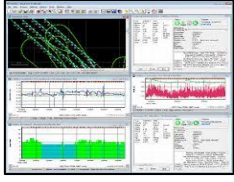
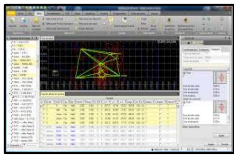
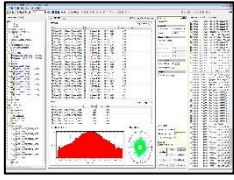
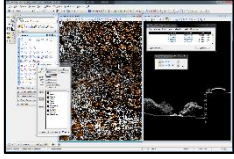
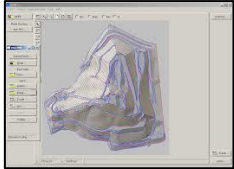
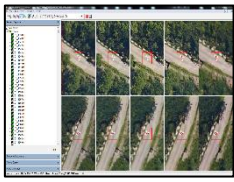
項次	作業項目	男(人數)：女(人數)
1	空載光達掃瞄飛航規劃與申請	2：2
2	空載光達掃瞄飛航資料獲取	8：14
3	正射影像製作	2：8
4	各項報告書、工作總報告	4：2

4-3 主要參與人員名冊

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

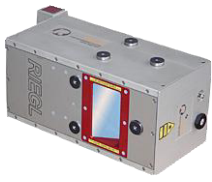
4-4 其他軟、硬體設備

4-4-1 軟體設備

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

4-4-2 硬體設備

用途	儀器型式/儀器精度及規格	儀器照片	數量
地形與控制測量	Uni Strong 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：106.03.17-106.03.18 靜態 GNSS 測量/快速靜態/動態/RTK 測量 Horizontal: $\pm(2.5\text{mm}+1\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS Vertical: $\pm(5\text{mm}+0.1\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS		2
	NetSurv 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：106.04 靜態 GNSS 測量/RTK 測量 Horizontal: $\pm(5\text{mm}+1\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS Vertical: $\pm(10\text{mm}+1\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS		2
	JAVAD 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：107.01.30、107.02.01 靜態 GNSS 測量/快速靜態/動態/RTK 測量 Horizontal: $\pm(3\text{mm}+0.5\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS Vertical: $\pm(5\text{mm}+0.5\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS		7
	STONEX 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：107.01.30、107.12.11、107.12.13 靜態 GNSS 測量/快速靜態/動態/RTK 測量 Horizontal: $\pm(2.5\text{mm}+1\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS Vertical: $\pm(5\text{mm}+0.1\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS		6
	HORIZON Kronos 系列 GNSS 衛星定位儀 TAF 校正日期：107.12.11、107.12.13 靜態 GNSS 測量/快速靜態/動態/RTK 測量 Horizontal: $\pm(2.5\text{mm}+0.5\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS Vertical: $\pm(3.5\text{mm}+0.5\text{ppm}) \times (\text{baseline})$ RMS		2
	Leica 全站儀 Leica 1100 系列 全站式經緯儀 $\pm 3 \text{ mm}+1 \text{ ppm}$ Leica 1200 系列 全站式經緯儀 $\pm 3 \text{ mm}+1 \text{ ppm}$ TAF 校正日期：107.06.06、107.06.05 地形測量/地類檢核點測量/橫斷面點測量		4

用途	儀器型式/儀器精度及規格	儀器照片	數量
空 載 光 達 掃 瞄 與 航 空 攝 影 測 量	P68C-TC 專業航拍定翼機 由義大利製造之全新 P68C-TC 定翼機，可同時取得高解析影像與高密度點雲成果，用以產製高解析度正射影像及高精度數值地形模型，提高正射影像以及地形圖精度。		1
	數位像機(PhaseOne ixu-rs 1000) 2018 年全新購買 Phase One 航測像機(IXU-RS 10000)具有 10000 萬像素(111,608 x 8708 像素)，並採用 CMOS 感光元件，快門可達 1/2500，可克服光線較不理想的天候時間，應對山區天氣變化迅速，機身質量相對輕巧，飛航任務更多彈性。		5
	數位像機(PhaseOne) PhaseOne 航測像機(IXA180)具有 8000 萬像素(10320x7752 像素)，並採用 TDI 時間延遲積分方法進行像移補償，可克服光線較不理想的天候時間，應對山區天氣變化迅速，機身質量相對輕巧，飛航任務更多彈性，最小曝光間格(1.5 秒)。		1
	慣性穩定平台(Ultramount GSM3000) 用於慣性導航系統，其功能為使裝載於其上之數位像機維持水平和方位的一致性。內部配有加速度計、電子線路(積分器)、陀螺力矩器及電子油壓系統。		1
	IMU (慣性測量單元) 使用 IGI 公司之產品，IMU 用在需要進行運動控制的設備，內裝有三軸的陀螺儀和三個方向的加速度計，來測量物體在三維空間中的角速度和加速度，並以此解算出物體的姿態。		2
	Airborne Lidar 空載光達系統-Q780 使用 Riegl LMS-Q780，系統整合了雙頻衛星定位器(Global Position System, GNSS)、慣性導航儀(Inertial Measurement Unit, IMU)、光達掃瞄儀、量測型數位像機及機上電腦系統(computer rack)五部份，以即時獲取大量的地形高程點空間資料。		1
	Airborne Lidar 空載光達系統-Q680i Riegl LMS-Q680i 作為本公司空載光達備援機，整合了雙頻衛星定位器(Global Position System, GNSS)、慣性導航儀(Inertial Measurement Unit, IMU)、光達掃瞄儀、量測型數位像機及機上電腦系統(computer rack)五部份，以即時獲取大量的地形高程點空間資料。		1

第五章 加值回饋

5-1 5 平方公里傾斜像機拍攝

本公司以今年度五部最新添購億萬畫素航測像機（Phase ONE iXU-RS 1000）組成 AOS-5 傾斜像機（圖 5-1），加值回饋南投清境一帶 15km² 傾斜攝影，相關航線規劃如表 5-1，並於 108 年 10 月 05 日完成傾斜攝影。

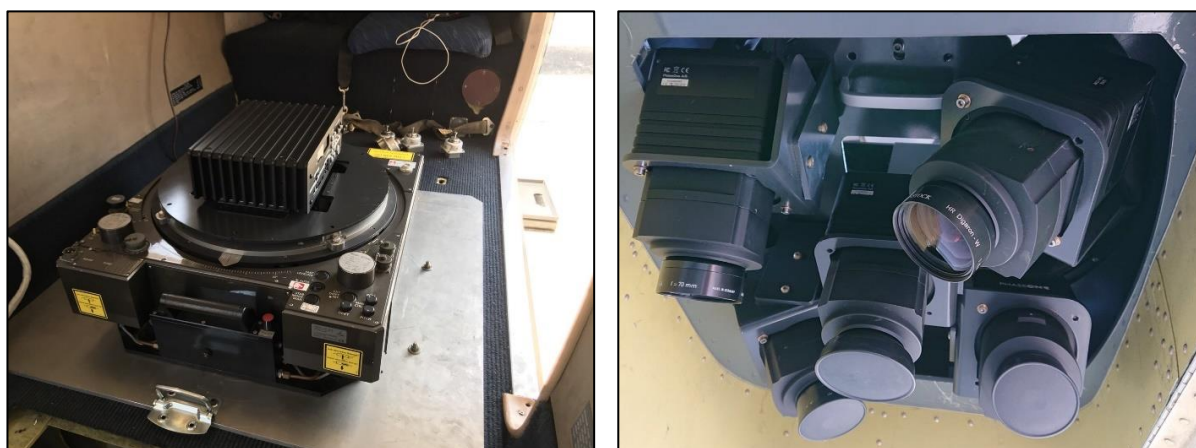


圖 5-1 AOS-5 傾斜像機實機照

表 5-1 傾斜像機建模範圍航線規劃

項 目		規 劃 資 訊	備 註	航線規劃成果
飛航高度		3200 m	-	
航拍測線		3 條	南投清境一帶 約 1500 公頃	
飛航長度		26 公里	-	
iXU RS 1000 影像	GSD	15 cm	影像解析度	
	左右 重疊	50 %	需製作 photomesh 模型	
	前後 重疊	80 %	-	

5-2 Photomesh 3D 地形地貌模型建置

利用本案加值回饋之傾斜攝影成果，以 Skyline Photomesh 軟體進行 3D 地貌重建(圖 5-2)，Photomesh 具有影像解譯及平行處理能力，僅依靠影像資料，即可以創建逼真的 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，成果如圖 5-2 以及圖 5-3。

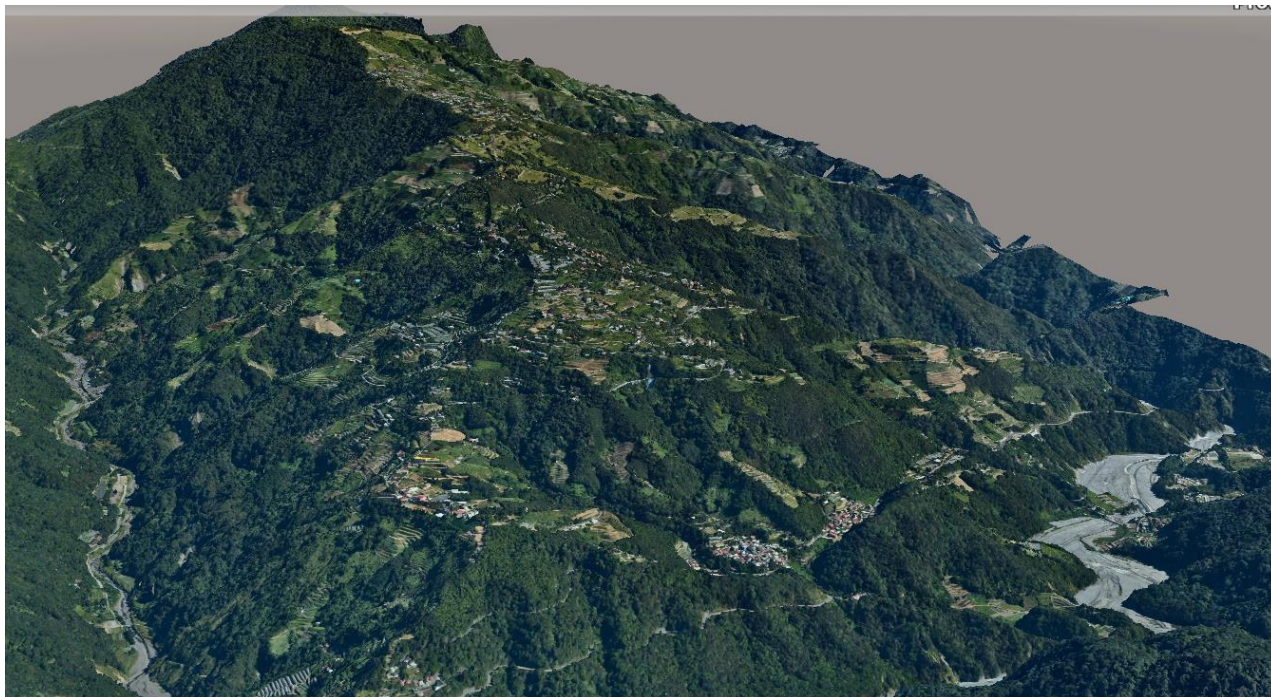


圖 5-2 高重疊影像進行 3D 建模成果-1



圖 5-3 高重疊影像進行 3D 建模成果-2

第六章 檢討與建議

6-1 檢討

本計畫整體提前至 108 年 12 月以前完成 108 年度所有工作，是仰賴主辦機關、測製廠商、監審廠商三方充分溝通、通力合作使能獲得如此豐碩且可靠的成果。

本計畫測區幾乎為 800 公尺以上高山區，且多有東西向河谷切割各山脈，高低落差甚鉅，在飛航規劃上實為一嚴峻的挑戰。依據計畫作業規定，飛航規劃主要考量為點雲密度需滿足每平方公尺 2 點以上，使得測製廠商會優先以高頻率、高點雲密度方式規劃飛航掃瞄，較難兼顧點雲是否達到地表。今年度監審廠商加入孔洞分析探討點雲穿透效益，以圖像化、量化點雲地表點穿透情形，同時回饋分析結果予測製廠商，提供測製廠商檢討航線規劃以及儀器設定的機會，藉以作為未來飛航規劃參考。未來可依據今年度作業經驗規劃飛航掃瞄設定參數(如降低掃瞄頻率提高穿透性)，或是調整施測航高等，提高同類型計畫飛航掃瞄所獲得的成果品質。

6-2 建議

考量孔洞分析未來作為分析成果品質之參考之一，建議未來計畫之主辦機關可以參考既有孔洞分布圖，規劃安排 LiDAR 更新數值地形模型作業區域的優先順序，針對前期孔洞成果表現較差的區域優先更新數值地形模型，以提高整體國土資料品質。

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

參考文獻

1. 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。
2. 內政部國土測繪中心(2011)發展高程測量現代化技術。
3. 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)。
4. 曾清涼及儲慶美(1999)GPS 衛星測量原理與應用，國立成功大學衛星資訊研究中心。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Fritsch, D. and J. Kilian, 1994. Filtering and Calibration of Laser Scanner Measurements, Paper presented at ISPRS Commision III Symp. Muenchen, Sept. 1994.
12. Kilian, J., Haala, N. and English, 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.

13. Latypov, D., 2002. Estimating relative LiDAR accuracy information from overlapping flight lines. ISPRS, 56, pp. 236-245.
14. Mass H.G., 2000. Least-Square Matching with Airborne Laserscanning Data in a TIN Structure. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. vol.33, Part 3A, pp. 548-555.
15. 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.
16. Morin, K. and N. El-Sheimy 2002. Post-Mission Adjustment Methods of Airborne Laser Scanning Data. FIG XXII International Congress, Washington, D.C.
17. 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.
18. 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.
19. Wehr, A. and Lohr, U., 1999. Airborne Laser Scanning - an Introduction and Overview, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol.54,pp. 68-82.
20. Zilkoski D. B., Carlson E. E. and Smith C. L., 2008. Guidelines for Establishing GPS-Derived Orthometric Heights, NOAA Technical Memorandum NOS NGS 59, National Geodetic Survey, Maryland, pp. 1-15.