



NLSC-105-17

105 年度擴充航遙測感應器系統 校正作業

工作總報告

主辦機關：內政部國土測繪中心

執行單位：中華民國航空測量及遙感探
測學會

中華民國 105 年 12 月 22 日

摘要

內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)基於確保測繪成果品質、落實測繪法令，於研擬「現代化測繪科技發展計畫」中程綱要計畫時，爭取經費辦理「擴充航遙測感應器系統校正作業」工作，並委託中華民國航空測量及遙感探測學會(以下簡稱本學會)探究建立國內航遙測感應器系統校正制度，並規劃建置完整校正體制，建立具有公信力校正場及研擬校正相關作業程序。

本計畫於 104 年已初步建立空載光達系統之校正作業流程，完成航測攝影機之校正場、校正程序研擬等相關工作，並通過全國認證基金會(TAF)認證。而本(105)年度計畫則是依據之前各年度完成的成果，繼續針對中像幅攝影機及空載光達系統研發校正作業系統，目標為設計並建置中像幅攝影機及空載光達系統的校正作業流程。本案成果包括：

1. 協助持續維持航空測量攝影機校正項目。
2. 辦理中像幅航空測量攝影機校正飛行測試及分析作業。
3. 辦理空載光達系統校正飛行測試及分析作業。
4. 辦理教育訓練與協助內部稽核。

關鍵字：中像幅航空測量攝影機、空載光達系統、校正場

Abstract

In order to ensure the quality of surveying and mapping with airborne sensors, the National Land Surveying and Mapping Center (NLSC), Ministry of the Interior (MOI), has planned to establish a calibration field to calibrate the airborne sensors intended for mapping purposes. The project was commissioned to CSPRS (Chinese Society of Photogrammetry and Remote Sensing).

This report is a summary of the work for the 2015 project. The main results of the project are:

1. To assist Survey Instrument Calibration Laboratory (SICL) to modify the calibration documents to ensure the quality of Taiwan accreditation foundation (TAF).
2. To validate the test method for medium format airborne camera systems.
3. To validate the test method and the calibration procedure for airborne LiDAR systems.
4. To check and monitor the quality system of the SICL laboratory.

Keywords: medium format airborne camera system, airborne LiDAR system, calibration field.

目錄

壹、前言.....	1
一、作業背景.....	1
二、作業規劃及特性分析.....	2
三、工作項目.....	3
貳、作業項目、流程及方式說明.....	4
一、作業項目.....	4
(一)協助持續維持航空測量攝影機校正項目.....	4
(二)辦理中像幅航空測量攝影機校正飛行測試及分析作業.....	5
(三)辦理空載光達系統校正飛行測試及分析作業.....	6
(四)辦理教育訓練.....	7
(五)投稿研討會或期刊論文.....	7
(六)工作會議.....	7
(七)各式報告書提送及重要行政事項收發文記錄.....	8
(八)各項工作時程進度.....	8
二、作業方法說明.....	11
參、中像幅航空測量攝影機校正作業程序與方法.....	12
一、作業項目說明.....	12
二、中像幅航空測量攝影機定義與簡介.....	12
(一)航空測量攝影機發展歷程.....	12
(二)中像幅航空測量攝影機之定義.....	13
(三)國內中像幅航空測量攝影機彙整.....	14
三、中像幅航空測量攝影機校正場設施及校正場設計.....	14
(一)現有南崗校正場各項優勢.....	15
(二)校正標設置原則及樣式.....	19
(三)中像幅航空攝影機校正場地規劃.....	20

(四)中像幅航測攝影機校正航拍規劃.....	21
肆、空載光達系統校正作業方法	22
一、作業項目說明	22
二、空載光達系統發展與彙整	22
(一)空載光達系統簡介.....	22
(二)國內空載光達系統彙整.....	25
(三)各國空載光達系統率定場簡介.....	26
三、空載光達系統校正測試方案提出	29
(一)空載光達系統校正作業方法蒐集.....	29
(二)評估因子說明.....	34
(三)校正標(物)評估因子分析及結果.....	34
(四)工作標準件評估因子.....	38
四、空載光達系統校正測試標物建立	40
(一)空載光達系統校正測試標物篩選.....	40
五、校正測試標物之參考值取得及計算	55
(一)針對不可及之校正標物(如:平頂面、山形屋)：	55
(二)針對可及之校正標物(如:道路標線)：	55
伍、測試飛行航拍及光達掃描規劃	56
一、成果需求	56
二、中像幅攝影機及空載光達資料取得	61
陸、中像幅航空測量攝影機校正飛行測試及成果分析	63
一、中像幅航空測量攝影機航拍成果取得	63
(一)實際飛航參數及空中三角平差使用相關參數	63
二、中像幅航空測量攝影機空三網形連結及校正標使用情形 ..	64
(一)空中三角測量網形連結.....	64
(二)控制點及檢核點分布情形.....	65
三、中像幅航空測量攝影機空三成果分析	67
四、現行之航空測量攝影機校正作業程序調整	70

(一)作業程序調整一.....	70
(二)作業程序調整二.....	70
(三)作業程序調整三.....	70
(四)作業程序調整四.....	71
柒、空載光達系統校正飛行測試及成果分析	72
一、空載光達掃描成果取得	72
(一)實際空載光達掃描相關參數.....	72
(二)建立空載光達系統校正測試標(物).....	73
二、空載光達點雲成果分析	74
(一)矩形建物平頂面.....	74
(二)山形屋之屋脊線.....	77
(三)道路標線.....	82
三、空載光達系統最佳校正方案之決定	86
(一)校正標物評估因子量化.....	86
(二)不確定度影響因子來源及量級.....	87
(三)實際資料測試實驗.....	88
四、不同參考值量測方式比較	91
五、空載光達系統校正作業程序	92
(一)空載光達系統校正作業程序之訂定.....	92
(二)空載光達系統校正場設計及點雲掃描規劃	97
捌、成果貢獻說明	99
一、學術成就	99
二、技術創新	99
三、經濟效益	99
四、社會影響	99
五、人才培育	100
六、法規制度	100
七、國際合作	100

玖、後續工作構想之重點	101
一、無人飛行系統(UAS)攝影機之測試分析.....	101
(一)目的及效益.....	101
(二)評估說明.....	101
(三)國土測繪中心 UAS 影像測試分析.....	103
(四)小結.....	104
二、中像幅航空攝影機及空載光達系統校正試營運作業	105
拾、檢討、建議與結論	106
一、中像幅航拍攝影機校正作業檢討、建議與結論	106
二、空載光達系統校正作業檢討、建議與結論	106
(一)確立校正的目的.....	106
(二)空載光達最佳校正方案之決定.....	107
三、空間特徵點模型庫之推動	107
四、國內航空測量相關規範之檢討及修訂建議.....	107
拾壹、作業辦理期程及人力成本分析	110
拾貳、參考文獻	112
拾參、第 3 階段第 3-2 批成果驗收審查意見回覆表.....	114
附件一、研討會投稿文章.....	I -1
附件二、歷次工作會議結論與追蹤事項辦理情形.....	II -1
附件三、歷次教育訓練之簽到簿、訓練照片.....	III -1
附件四、本案相關函文.....	IV -1
附件五、空載光達系統校正測試標物之地測參考值.....	V -1
附件六、航空測量攝影機校正作業程序.....	VI -1
附件七、空載光達校正作業程序.....	VII -1

圖目錄

圖 2-1、內部會議討論實況.....	5
圖 3-1、南崗工業區航測攝影機校正場位置圖.....	15
圖 3-2、南崗工業區飛航管制劃分圖.....	16
圖 3-3、南崗工業區等高線套疊地形暈染圖.....	16
圖 3-4、南崗工業區與 GNSS 站與氣象站設施相對位置圖.....	18
圖 3-5、南崗工業區已知控制點分布.....	18
圖 3-6、幾何校正標樣式.....	19
圖 3-7、大校正場、小校正場範圍及校正標分布情形.....	21
圖 4-1、全波形 LiDAR 紀錄示意圖.....	24
圖 4-2、英國自然環境研究中心設置之空載光達系統率定場.....	27
圖 4-3、彰濱工業區率定場示意圖(中興測量，2007).....	28
圖 4-4、彰濱工業區率定場示意圖(詮華國土測繪有限公司，2016).....	28
圖 4-5、彰化縣和美鎮率定場範圍示意圖(自強工程，2016).....	29
圖 4-6、校正標(物)類型.....	33
圖 4-7、空載光達系統校正測試標物篩選 1.....	41
圖 4-8、空載光達系統校正測試標物篩選 2.....	42
圖 4-9、理想平頂屋範例.....	44
圖 4-10、造成點雲萃取之干擾/誤判之範例-具有女兒牆之平頂屋 ...	45
圖 4-11、造成點雲萃取之干擾/誤判之範例-樹遮之平頂屋.....	46
圖 4-12、造成點雲萃取之干擾/誤判之範例-鄰樹之平頂屋.....	47
圖 4-13、難以地測方法進行參考值取得之平頂屋範例.....	48
圖 4-14、理想山形屋範例.....	50
圖 4-15、造成點雲萃取之干擾/誤判之範例-與鄰棟相連且高差不明顯 之山形屋.....	51
圖 4-16、造成點雲萃取之干擾/誤判之範例-屋形不明顯之山形屋 ...	52
圖 4-17、造成點雲萃取之干擾/誤判之範例-屋脊線交角接近平面之山	

形屋.....	53
圖 4-18、難以地測方法進行參考值取得之山形屋範例.....	54
圖 5-1、中像幅攝影機航帶設計需求.....	58
圖 5-2、中像幅攝影機航線規劃圖.....	58
圖 5-3、空載光達掃描航帶設計需求.....	59
圖 5-4、空載光達掃描航線規劃圖.....	59
圖 5-5、校正標之清查情形.....	61
圖 5-6、校正標之重漆及補漆情形.....	62
圖 6-1、中像幅航空測量攝影機航帶分布情形.....	64
圖 6-2、空中三角測量網形連結(6 重點以上).....	65
圖 6-3、小校正場之校正標實際情形.....	66
圖 6-4、本次空三使用控制點(洋紅)及檢核點(綠)之分布情形.....	67
圖 7-1、空載光達航帶及校正標物分布情形.....	73
圖 7-2、矩形建物平頂面之點雲萃取.....	75
圖 7-3、矩形建物平頂面之器差計算示意.....	75
圖 7-4、不同山形屋夾角擬合交會屋脊線距離變化.....	78
圖 7-5、山形屋屋脊線之點雲萃取.....	79
圖 7-6、山形屋點雲擬合計算屋脊線之處理流程.....	80
圖 7-7、山形屋屋脊線之器差計算示意.....	80
圖 7-8、山形屋屋脊線.....	81
圖 7-9、部分點雲落在樹上(如藍圈)之案例.....	82
圖 7-10、以雙峰分布特性分離柏油路面(灰點)及道路標線(紅點)....	83
圖 7-11、以折點坐標特性分離雙黃線(黃點)及停止線(紫點).....	83
圖 7-12、排除可能造成停止線與雙黃線誤判的點雲(如紅框).....	84
圖 7-13、道路標線點雲計算量測值之處理流程.....	84
圖 7-14、道路標線之器差計算示意.....	85
圖 7-15、道路標線不同外擴範圍之框選.....	89
圖 7-16、不同道路標線長度對於成果計算影響之實驗設計.....	90

圖 7-17、不同道路標線長度計算結果比較.....	90
圖 7-18、空載光達系統校正作業流程.....	93
圖 7-19、基本工作視窗.....	94
圖 7-20、展示建物剖面視角之步驟.....	95
圖 7-21、點雲分類及萃取步驟.....	96
圖 7-22、大校正場、矩形建物之平頂面座落位置及分布.....	98
圖 9-1、影像網格平均殘差向量圖(未加入附加參數).....	103
圖 9-2、影像網格平均殘差向量圖(加入附加參數).....	103

表目錄

表 2-1、歷次會議辦理情形	8
表 2-2、各階段應交付項目及期限表	9
表 2-3、工作執行進度表	10
表 3-1、國內目前中像幅數位式攝影機規格彙整表	14
表 3-2、日月潭氣象站氣象資料	17
表 3-3、國內目前中像幅數位式攝影機為達規畫場地之對應參數	21
表 4-1、全球空載光達系統的發展歷程表	24
表 4-2、國內常見空載光達系統之儀器型號(按引進時間)	25
表 4-3、常用之校正標(物)類型彙整	31
表 4-4、校正標(物)評估比較	35
表 4-5、工作標準件評估比較	39
表 4-6、校正測試標物之參考值量測數量及位置	55
表 5-1、中像幅攝影機及空載光達航線規劃資訊	60
表 6-1、實際中像幅航空測量攝影機相關參數	63
表 6-2、phaseone ixa180 內方位及畸變差	63
表 6-3、空三平差成果統計量	67
表 6-4、空三平差解算成果	68
表 7-1、空載光達掃描相關參數	72
表 7-2、校正標(物)位置對應航帶及相關資訊	74
表 7-3、矩形建物平頂面之光達點雲計算成果	76
表 7-4、山形屋屋脊線之光達點雲計算成果	82
表 7-5、道路標線之光達點雲計算成果	85
表 7-6、校正標(物)評估比較及量化	86
表 7-7、不同道路標線長度計算結果比較	90
表 7-8、不同參考值量測方式比較結果	92
表 11-1、本年度工作期程及成本估算	110

壹、前言

一、作業背景

航遙測影像資料內含豐富資訊，普遍已應用於各項測量工作，提供國土規劃、土地利用調查、防救災、環境與污染監控、資源探勘、地質分析等業務使用。如各比例尺之基本地形圖、數值地形模型、影像資料與通用版電子地圖等建置作業皆需仰賴航遙測技術，即衍生各航遙測感應器等設備之校正需求。此外，國土測繪法應用測量實施規則中第 12 條規定「辦理應用測量使用之儀器裝備所為之校正，應依測量計畫目的及作業精度等需求辦理」。

綜合上述因素，可見於實務作業、於法皆應有公信力之校正作業以利業務推展。因此，內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)為國內相關測繪業務之執行機關，基於確保測繪成果品質及落實測繪法令，於「建立航遙測感應器校正作業」之 4 年計畫(100 年至 103 年)，就國內航遙測感應器系統校正制度，已完成建立量測型航測攝影機之國家級校正場及擬定校正相關作業程式。

近年空載光達掃描器(airborne Lidar scanner, ALS)搭配中像幅攝影機廣泛應用於數值地形模型及正射影像製作，為確保中像幅攝影機及空載光達等成果品質。爰以 100 至 103 年建立航空測量攝影機系統校正作業計畫成果為基礎，進而提出「擴充航遙測感應器系統校正作業計畫」(104 至 107 年)，除持續運作量測型航測攝影機校正作業外，更進一步研究發展中像幅攝影機及空載光達系統校正作業。

另外，為擴充國土測繪中心之測量儀器校正實驗室(Survey Instrument Calibration Laboratory, SICL)中航空測量攝影機校正系統項目，並持續對外提供航空測量攝影機系統校正服務，本(105)年度將持續擴充航空測量攝影機系統校正 TAF 認證項目，並發展中像幅攝影機

及空載光達系統校正服務作業。

二、作業規劃及特性分析

航遙測攝影機及空載光達設備，即使在出廠時設備之性能如原廠率定報告所宣稱，但隨長期使用，儀器可能產生衰退之情形，或裝卸中曾遭遇碰撞等，致使儀器原有校準產生誤差。此外，目前市面上量測型航測攝影機所檢附之率定報告，多屬於原廠於環境控制良好的實驗室內完成之率定報告，是否與實際高空飛行作業結果相當，仍需經標準的校正流程及方法作公正的驗證。而空載光達系統更因為率定參數包含視準角(Boresight Angles)、軸臂(Lever Arm)，外加掃描系統之機械運動易受溫度、震動等因素影響，致使每個飛航作業都要做各別的率定或航帶平差以消除當次飛行作業特定的誤差，但廠商最終所獲取之成果是否如預期，亦需要經標準的校正流程及方法作公正的驗證。

因此，於 100 年至 103 年「建立航遙測感應器校正作業」已採用野外現場校正(In-Situ Calibration)方法，完成對航測攝影機校正之設計並建置野外校正場，對實際飛行拍攝的成果做校正，檢驗其是否與當初設計規格相符以及是否合於我國測繪相關規定，以保障測繪成果品質並且為民服務，達到雙贏目標。國土測繪中心目前已建立量測型航測攝影機之校正場地及流程，除可供校正儀器外，其校正結果尚可供攝影機擁有人瞭解其設備是否已發生與出廠當時所率定參數不同之情形。此外，4 年期「擴充航遙測感應器系統校正作業計畫」(104 年至 107 年)，已於 104 年初步建立空載光達系統之校正作業流程，完成航測攝影機之校正場、校正程序研擬等相關工作，並通過全國認證基金會(TAF)認證。而本年度計畫將依據之前各年度完成的成果，繼續針對中像幅攝影機及空載光達系統研發校正作業系統，目標為設計並建置中像幅攝影機及空載光達系統的校正作業流程。以實際飛行拍攝及掃描的成果執行校正，檢驗其受校當時的精度狀況，所設計的校正流程

僅作為規格之驗證，並不對中像幅攝影機及空載光達系統儀器內部零組件或參數設定等進行調校或變更，因此校正成果不得取代任何原製造廠商要求的任何定期或臨時召回之回廠校正。

三、工作項目

本案工作項目主要包括協助持續維持航空測量攝影機校正項目、辦理中像幅航空測量攝影機校正飛行測試及分析作業、辦理空載光達系統校正飛行測試及分析作業、辦理教育訓練、投稿研討會或期刊論文，並製作各式報告書。相關成果辦理及提送時程詳如第貳章。

貳、作業項目、流程及方式說明

一、作業項目

以下說明本年度之作業項目，並於各工作細項後說明執行情形：

(一)協助持續維持航空測量攝影機校正項目

1. **協助辦理文件修正：**於契約期間(含保固期)協助國土測繪中心辦理校正作業相關文件之修正，並執行校閱及修訂完稿作業，以符合最新 TAF 實驗室能力認證要求及其相關規定；協助國土測繪中心研擬航空測量攝影機英文校正報告範本。

辦理情形：關於航空測量攝影機英文校正報告範本之研擬已併同第二階段成果提送。另外，本會亦定期召開內部會議討論本案工作細項，關於 TAF 認證相關問題及校正作業程序修正文件亦以電話、電子郵件或當面與本會 TAF 顧問進行討論及確認。討論實況如圖 2-1。

2. **協助辦理內部稽核：**本案契約執行期間，提供至少具 TAF 合格評審員資格人員 1 人擔任 SICL 內部稽核作業之外部稽核員，協助稽核 SICL 各項作業之執行及紀錄之保存均符合 TAF、ISO/IEC 17025 及校正實驗室等相關文件規定，並製作內部稽核查檢表。

辦理情形：已聘請王炳雄顧問協助 SICL 於 105 年 9 月 29 號辦理內部稽核並完成內部稽核查檢表予 SICL 彙整。



圖 2-1、內部會議討論實況

(二)辦理中像幅航空測量攝影機校正飛行測試及分析作業

1. **彙整目前國內航空測量攝影機現況：**蒐集、彙整、歸納中像幅(暫指搭配空載光達系統進行影像拍攝之航測攝影機)與大像幅航空測量攝影機之決定性區分條件。

*辦理情形：*請詳閱第參章說明。

2. **設計中像幅航空測量攝影機校正程序：**參照目前國土測繪中心航空測量攝影機校正作業程序，據以評估中像幅航空測量攝影機航拍飛行規劃、校正方法及校正場區適宜性之調整。倘因校正場設施變更，需辦理校正標設置及 GNSS 測量作業，其 GNSS 設備由機關出借。

*辦理情形：*請詳閱第參章說明。

3. **取得飛行航拍成果及分析作業：**依前項評估調整之作業方式，取得至少 1 份飛行航拍資料，並辦理分析作業，並將分析成果(須含可行性分析、飛航參數調整方案、校正場調整方案、校正作業流程調整方案)詳列於期中及工作總報告。

*辦理情形：*請詳閱第陸章說明。

4. **修訂航空測量攝影機校正程序及相關文件：**依前項分析結果，

研提符合 TAF 認證規範之校正程序及相關文件之調整內容，經 SICL 討論會議通過後，完成符合 TAF 認證規範之實驗室相關文件之修訂。

辦理情形：相關文件已於 105 年 11 月 1 日以「105 航測會字第 0384 號」函送測繪國土測繪中心

(三)辦理空載光達系統校正飛行測試及分析作業

1. 研提空載光達系統校正測試方案：參考國土測繪中心「104 年度擴充航遙測感應器系統校正作業採購案」工作總報告內容及國內外相關文獻，研提空載光達系統校正作業測試方案。

辦理情形：空載光達系統校正作業測試方案報告已於 105 年 4 月 22 日以「105 航測會字第 0106 號」函送測繪國土測繪中心。

2. 建立空載光達系統校正測試標(物)：優先評估於國土測繪中心位於南崗工業區之航空測量攝影機校正場，依前述各種測試方案建立所需空載光達系統校正測試標(物)；倘南崗工業區內無法建立適合之測試標(物)，應提出適合區域經機關同意後，完成測試標(物)之建立。辦理各測試方案之校正測試標(物)設置及其參考值計算，並將相關成果納入期中報告。

辦理情形：請詳閱第肆章說明。

3. 辦理飛行測試及分析作業：完成空載光達系統校正飛行測試及分析作業，並提出最佳校正方案及作業程序，同時須將分析成果(含各測試方案之可行性分析、飛航參數調整方案、校正場調整方案、校正作業流程調整方案)詳列於工作總報告，並據以研提空載光達系統校正作業程序。

辦理情形：請詳閱第柒章說明。

(四)辦理教育訓練

本項目教育訓練分為 2 場次，每場次 5 員(含)以上參訓，每場次訓練時數至少 6 小時。廠商應提出教育訓練課程配當表，含課程、時數、講師等，提供至少 5 份書面教材，並製作簽到簿，其中訓練所需講師、教材、餐飲及場地費用均由廠商負責。

1. **第 1 場**:訓練內容為 TAF 實驗室認證相關訓練內容(如:ISO/IEC 17025、量測不確定度、校正及允收判定實務)。

辦理情形：本會於 105 年 6 月 27 日辦理完成，教育訓練地點為本學會 3 樓會議室，講習之內容及課程、簽到簿及辦理實況詳如附件三。

2. **第 2 場**:訓練內容為空載光達系統校正原理方式說明及校正作業實務操作訓練。

辦理情形：本會於 105 年 10 月 5 日辦理完成，教育訓練地點為本學會 3 樓會議室，講習之內容及課程、簽到簿及辦理實況詳如附件三。

(五)投稿研討會或期刊論文

撰擬 1 篇以上與本案執行內容相關之期刊或研討會論文，並投稿至期刊或研討會(得於契約期間完成稿件並於保固期內完成投稿)。

辦理情形：已撰擬 1 篇文章，並已投稿至第 35 屆測量及空間資訊研討會，如附件一。

(六)工作會議

國土測繪中心於作業期間定期召開工作會議，並以每 1 個月 1 次為原則，承辦廠商應指派計畫主持人或主要參與作業人員參加，由國

土測繪中心針對廠商各項工作辦理監督及檢查作業，並每月擇期召開工作會議，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。歷次會議辦理情形如表 2-1，歷次會議記錄如附件二。

表 2-1、歷次會議辦理情形

次別	工作會議		會議紀錄	
	會議日期	會議地點	收文日期	文號
1	105.03.16	國土測繪中心	105.03.16	測形字第 1050900133 號
2	105.04.13	國土測繪中心	105.04.14	測形字第 1050900188 號
3	105.05.18	國土測繪中心	105.05.23	測形字第 1050900277 號
4	105.06.15	國土測繪中心	105.06.17	測形字第 1050900321 號
5	105.07.14	國土測繪中心	105.07.19	測形字第 1050900384 號
6	105.08.16	國土測繪中心	105.08.17	測形字第 1050900434 號
7	105.09.12	國土測繪中心	105.09.13	測形字第 1050900483 號
8	105.10.13	國土測繪中心	105.10.17	測形字第 1050900533 號

(七)各式報告書提送及重要行政事項收發文記錄

各式報告書提送及重要行政事項收發文記錄詳如附件四。

(八)各項工作時程進度

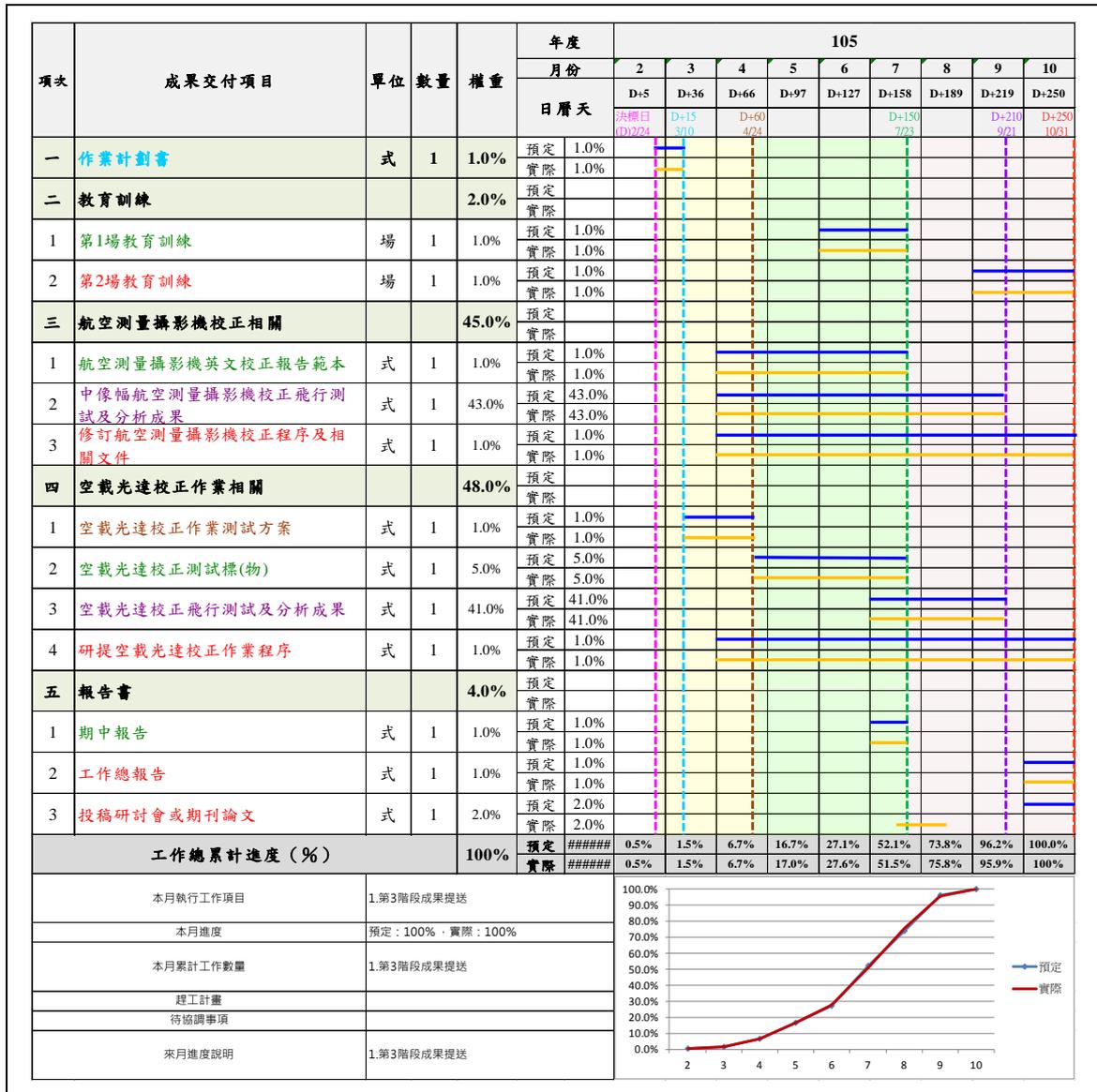
本計畫作業期限為決標次日起 250 日曆天，但因 105 年 9 月 27、28 日梅姬颱風影響，本會辦公地點(台北市)停止上班上課 2 日，因此本會於 105 年 10 月 14 日申請展延，國土測繪中心同意展延本案第 3 階段第 3-2 批履約期限 2 日，至 105 年 11 月 2 日。本案分 3 期辦理，每階段應交付項目、數量及期限如表 2-2 所示，工作進度表則規劃如表 2-3。

表 2-2、各階段應交付項目及期限表

階段	成果交付項目	單位	數量		契約規定繳交期限		實際繳交日期	驗收通過日期
			書面	電子檔				
第 1 階段	作業計畫書	份	8	2	於決標次日起 15 個日曆天	105 年 3 月 10 日	3/9 提送 成果	3/28
	空載光達系統校正作業測試方案	份	8	2	於決標次日起 60 個日曆天	105 年 4 月 24 日	4/22 提 送成果	5/5
第 2 階段	1.第 1 場教育訓練之簽到簿、訓練照片	式	-	2	於決標次日起 150 個日曆天	105 年 7 月 23 日	7/22 提 送成果	8/5
	2.空載光達系統校正測試標(物)							
	3.航空測量攝影機英文校正報告範本							
	4.期中報告	份	8	2				
第 3 階段	1.中像幅航空測量攝影機校正飛行測試及分析成果:(應含下列項目) (1)原始航拍影像及外方位資料 (2)攝影機率定報告 (3)拍攝中心展點圖(CAD 檔) (4)空中三角測量及平差解算成果及其解算軟體之專案資料夾 (5)相關分析成果計算檔案	式	-	2	於決標次日起 210 個日曆天	105 年 9 月 21 日	9/19 提 送成果	9/26
	2.空載光達系統校正飛行測試及分析成果:(應含下列項目) (1)原始空載光達資料 (2)空載光達系統率定報告 (3)飛行航線展繪圖(CAD 檔) (4)平差解算後之點雲成果及其解算軟體之專案資料夾 (5)相關分析成果計算檔案							
	1.第 2 場教育訓練之簽到簿、訓練照片	式	-	2	於決標次日起 250 個日曆天	105 年 10 月 31 日(因 颱風展延 至 105 年 11	11/1 提 送成果	
	2.修訂航空測量攝影機校正程序及相關文件							

階段	成果交付項目	單位	數量		契約規定繳交期限	實際繳交日期	驗收通過日期
			書面	電子檔			
	3.研提空載光達系統校正作業程序				月 2 日)		
	4.工作總報告	份	8	2			
	5.投稿研討會或期刊論文	份	2	2			

表 2-3、工作執行進度表



二、作業方法說明

按照契約規定之作業項目簡要說明對應之作業方法：

1. 有關中像幅航空測量攝影機校正作業之校正作業程序與方法，以校正場歷年相關作業為基礎，校正流程與方法沿用大像幅航空測量攝影機之方式，並綜觀設置完成之南崗校正場之各項優勢後，以原址沿用為優先選擇。然而，中像幅航空測量攝影機雖可比照大像幅航遙測攝影機之校正方式與流程，但因為像幅大小不同之特性，需略做調整，詳細之規劃及解算程序將於後續章節詳細說明。
2. 有關空載光達系統校正作業程序與方法設計已於本年 4 月繳交之空載光達系統校正作業測試方案報告內做過相當詳細之規劃及評估，而在期中報告內並已針對前述之方案報告當中根據評估因子而決定之測試方案說明校正測試標(物)設置情形及參考值計算結果。關於空載光達系統校正作業之規劃及實驗成果將於後續章節詳細說明。

參、中像幅航空測量攝影機校正作業程序與方法

一、作業項目說明

按照契約規定，本工作項目包含彙整目前國內航空測量攝影機現況、設計中像幅航空測量攝影機校正程序、取得飛行航拍成果及分析作業，以及修訂航空測量攝影機校正程序及相關文件。

二、中像幅航空測量攝影機定義與簡介

(一)航空測量攝影機發展歷程

20 世紀初 Sebastian Finsterwalder 由氣球上攝影繪製地形圖，以及蔡司儀器廠的 Carl Pulfrich 發展出第一具立體坐標儀，用於地面攝影測量，於是開展了攝影測量的歷史。

傳統底片式航測攝影機品牌少而且構造相同，基本上都是一個固定的鏡頭箱加上一個可拆卸的底片盒。它們的幾何結構簡單而且穩定，所有的原件都是特別為航空測攝影測量而製造的，工藝十分精密。它們成像的原理也非常簡單，地物點經中心透視投影到承影面成像，使用者拿到的就是原始影像，沒有經過任何加工(負片轉印正片不計)或轉換。

而數位式航空測量攝影機約自西元 2000 年興起後，拜電子科技之賜得以迅速發展，至今已有近十種品牌，而且還不斷在增加中。當今使用的數位航空測量攝影機，它們主要是以市售常見的電子零件，如：電荷耦合裝置(Charge Coupled Device，簡稱 CCD)、記憶體、訊號傳輸設備等加上光學鏡頭組合而成，而各家廠牌組合的構造及成像原理差

異卻極大。由於所用的電子設備大部分係市面上現成的原件，並非專門為航測目的而製造者，其來源非常分歧，使得一般使用者並無能力追溯其源頭品質。而其成像原理更是遠較底片式攝影機為複雜，幾乎沒有一種廠牌攝影機的原始影像是可以直接供航空測量使用，都要經過軟體的轉換計算後，才輸出為成果影像供航測使用。

目前常見的成像方式有採用多片面狀 CCD 拼接融合成像者，有採用多條線列式 CCD 掃描拼接融合成像者，亦有採整幅不拼接的 CMOS 感光元件者。而拼接影像的成像方式又有採交會式同步(Synchronous)攝影者，有採同位(Syntopic)攝影者，亦有採承影面移位方式同步(Synchronous)者。即使採大型單片面狀 CMOS 者，如 Z/I DMC-II 其彩色影像也是由多鏡頭攝影融合而成。

無論採何種方式成像，最終交出的成果影像都不是原始影像，而是由原始影像經過電腦軟體轉換而得到的。也就是同樣的原始影像，經由不同的轉換計算參數，卻可以得到不同幾何及輻射特性的成果影像，使得一些對航測精度影響極大的因素，如鏡頭畸變、內方位參數、解析力、像元的幾何精度與輻射特性等，都變得不如底片式攝影機那麼固定及明確。

(二)中像幅航空測量攝影機之定義

目前提及數位式航空測量攝影機普遍以像幅大小來初步分類攝影機等級，一般以感測器的面積小於 24 公厘 x36 公厘 者歸類為「小像幅」；介於 24 公厘 x36 公厘與 60 公厘 x90 公厘 之間者稱為「中像幅」；大於 60 公厘 x90 公厘則為「大像幅」(Luccio, 2010)。

以近年來航空測量作業應用上而言，大像幅航空測量攝影機多使用於測繪製圖，攝影成果多用於製作高精度正射影像與數值地形模型；而隨著空載光達系統搭載中像幅航空測量攝影機進行拍攝作業日益普及，其攝影成果則多用於製作正射影像、快速影像判識或光達資料編修參考。

無論像幅大小其攝影作業方式之原理基本相同，然而是否能執行測繪製圖任務，則取決於儀器製造的精密度與機具內元件之間相對穩定度，因此就校正方式來說中像幅攝影機與大像幅航空測量攝影機之方式一致，只是流程與細節等需再依攝影機特性調整配合。

(三)國內中像幅航空測量攝影機彙整

國內目前數位式中像幅航空測量攝影機使用已經非常普遍，廠牌型別非常多樣，初步將國內目前常見之中像幅航測攝影機表列如表 3-1 所示。

表 3-1、國內目前中像幅數位式攝影機規格彙整表

規格	攝影機	Trimble			IGI	Phase One
		P45+	P65+	P65+	DigiCAM-50M	iXA 180
攝影機感應器型式		CCD	CCD	CCD	CCD	CCD
光電感應器尺寸(公厘*公厘)		36.8*49.06	40.4*53.9	40.4*53.9	36.79*49.06	40.352*53.706
像元大小(微米)		6.8	6	6	6	5.2
影像大小(像素*像素)		5412*7216	6732*8984	6732*8984	6132*8176	7760*10328
影像大小(微米*微米)		36802*49069	40392*53904	40392*53904	36792*49056	40352*53706
焦距(公厘)		74.3040	60	50	50.386	55.0528
對地航高 1000 公尺對應 GSD 及地面涵蓋大小	GSD(公分)	9.2	10	12	12	9.5
	地面涵蓋大小(公尺*公尺)	495*660	673*898	808*1078	730*974	733*976

三、中像幅航空測量攝影機校正場設施及校正場設計

目前國土測繪中心已建置完成並持續維護之校正場址位於南崗工業區，關於中像幅航測攝影機之校正位置亦擬規劃於此校正場中。在維持校正作業時間成本不變的情形下，選擇既符合中像幅涵蓋大小又符合校正標分布密度之需求進行校正場之規劃設計。以下詳述沿用南崗校正場之理由，以及為使南崗校正場符合中像幅航空測量攝影機之校正作業所做的設計與調整。

(一)現有南崗校正場各項優勢

本校正場沿用南崗校正場之優勢如後所述：

1、交通便利性

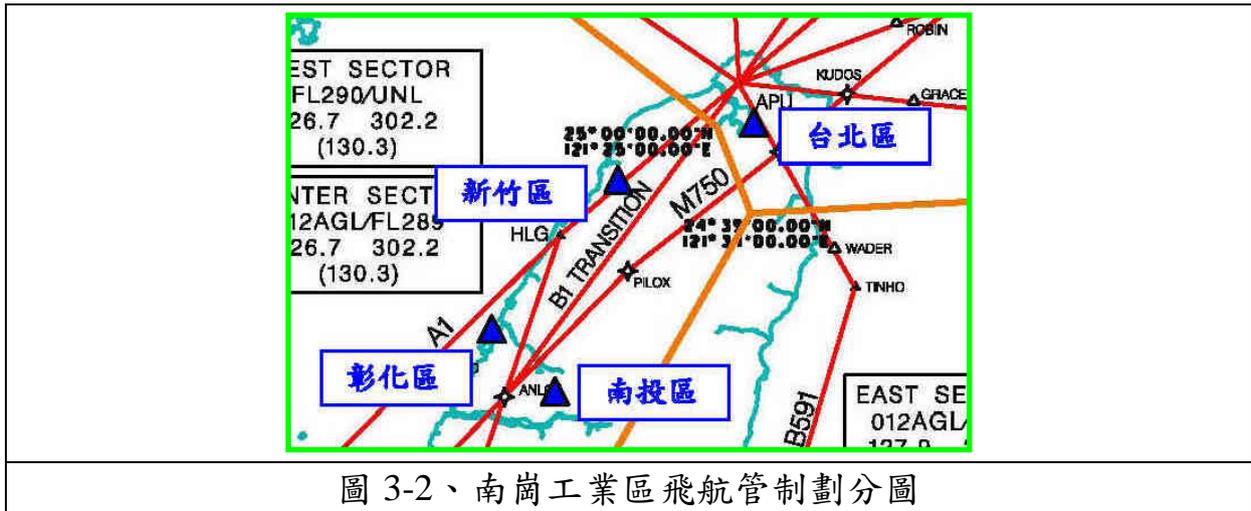
南崗工業區位在南投市西北方，背靠八卦山脈，面對中興新村。其交通有省道台三線貫穿本區，北經草屯到台中市約 25 公里，距離國道三號南投交流道也僅 1 公里，以地理位置考量，亦利於國土測繪中心就近維護。校正場之位置圖如圖 3-1。



圖 3-1、南崗工業區航測攝影機校正場位置圖

2、飛行方便性

南崗工業區鄰近台中航空站，亦不在飛航管制範圍，利於航拍申請和執行航拍工作，飛航管制劃分圖如圖 3-2 所示。

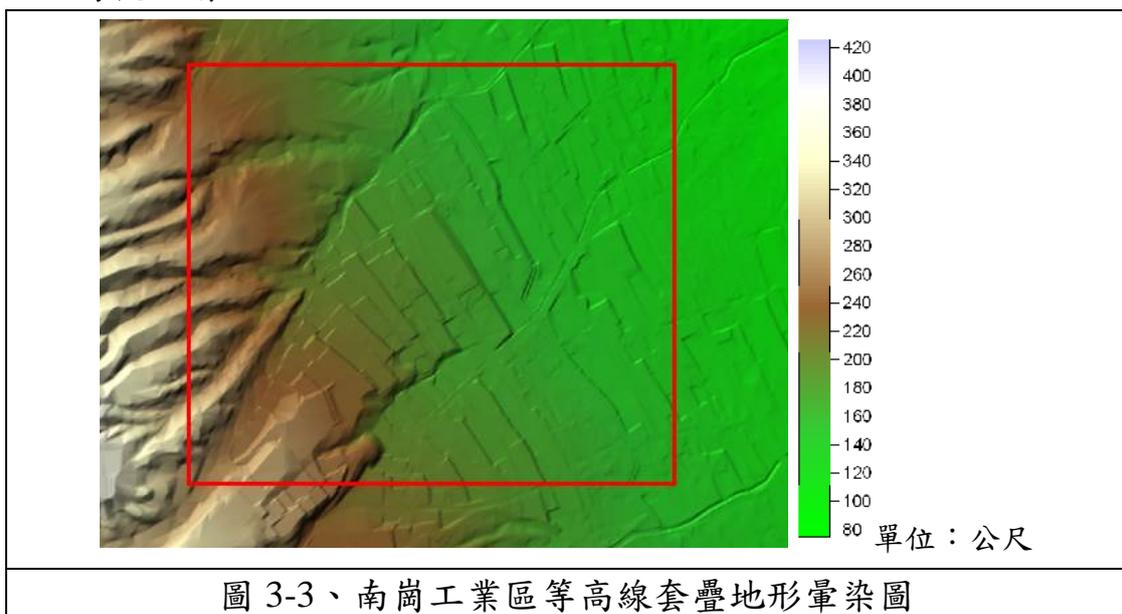


3、校正標之測量及維護

以校正標設置及維護之角度觀之，工業區內主要組成為私人公司行號或工廠為主，所有權人相對單純，利於連絡交涉，日後維護校正標、重新施測阻力較小。

4、校正場地形

本區域之高程在 95 ~ 275 公尺之間，地形高差約在 180 公尺間，其等高線套疊地形暈染圖如圖 3-3。符合地形起伏高差應至少達 100 公尺之要求，且不致造成低航高設計之困難，因此適合做為校正場。



5、鄰近 GNSS 衛星基準站

本校正場半徑約 30 公里周圍範圍內，設有 GNSS 永久接收站，即為全球定位系統連續追蹤站 CAOT(中部草屯站)，相距本校正場僅 6 公里。

6、天候

本校正場之長年氣候情況，可參考日月潭氣象站氣象資料概略推估得知，如表 3-2。以 2010 年為例，每月平均日照時數約 132 小時，每月平均降雨日數為 13 日，亦符合每年至少有一個月的期間，其平均雨、霧天不應多於 15 天。而且日月潭氣象站位於本區東方的山區，為本校正場最近之氣象站，但仍相距 26 公里之遙。相對日月潭氣象站，本校正場在其西方相對較平坦的南投彰化交界處，氣象狀況會較日月潭更為理想。

表 3-2、日月潭氣象站氣象資料

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均	統計期間 (年份)
雲量	6	6	7	8	8	8	7	8	7	6	6	5	6	1981 -2010
日照 時數	155	134	157	100	118	70	141	138	121	120	165	168	132	2010
降雨 日數	9	13	7	18	14	21	19	20	14	5	6	5	13	2010

上述第 5 及第 6 項中所提之 GNSS 站與氣象站兩設施與本校正場之相對位置如圖 3-4 所示。



圖 3-4、南崗工業區與 GNSS 站與氣象站設施相對位置圖

7、鄰近控制點分布情形

南崗工業區周圍之已知一、二、三等衛星控制點及一、二等水準控制點分布如圖 3-5 所示，圖中可知三等衛星控制點雖然分布多且均勻，但為能同時計算 TWD97 及 TWD97[2010]坐標之成果，故需選用具有兩種坐標之控制點。而本案之幾何校正標坐標品質要求與加密控制點同級，因此三等衛星控制點即足夠做為基準使用，故以衛星控制點 MX57 為坐標起算點，並與校正場相鄰且適用之衛星控制點：MX34、MX58、MX60、MX64、M085 等 5 點之中選取 4 點，構成網形控制點，作為本校正場區基準控制之用。

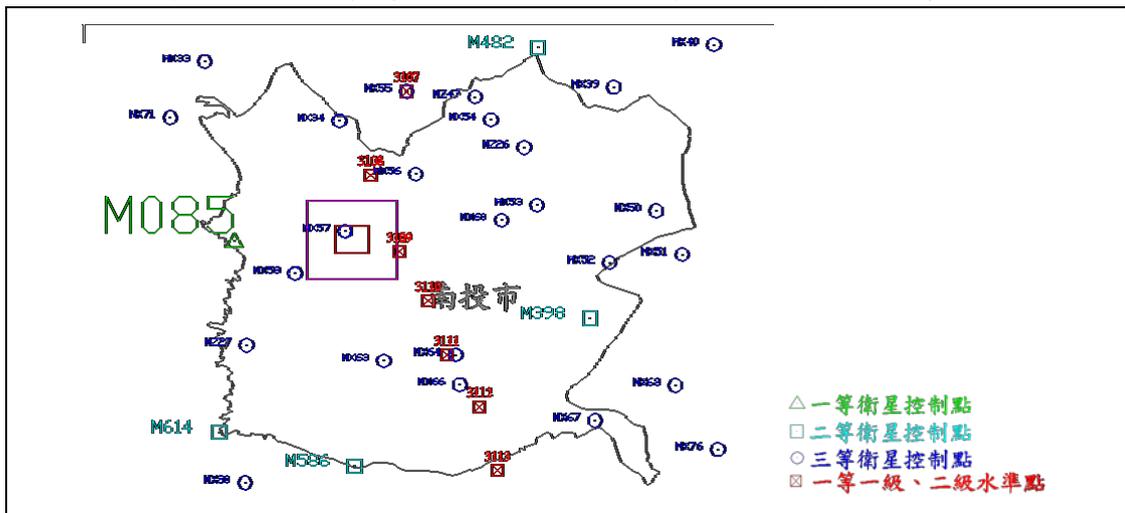


圖 3-5、南崗工業區已知控制點分布

(二)校正標設置原則及樣式

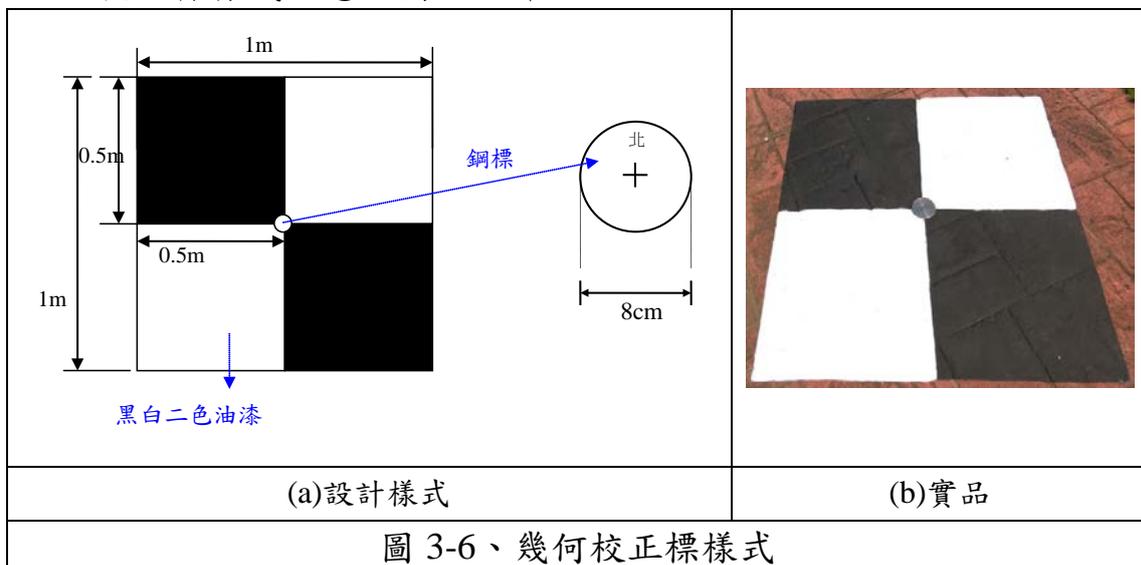
校正標之樣式沿用原南崗校正場所設計之樣式，以下敘述其佈標設置原則、樣式等資訊。

1、幾何校正標設置原則

校正場內之幾何校正標以均勻分布為宜。布設原則為將校正場等分 4 個象限，各象限點數不得低於 20% 總點數，各布設位置應有 45 度以上透空度，且幾何校正標間距原則不低於 USGS 規範 $Dp = \sqrt{[(Dx * Dy) / (2.5 * N)]}$ 公尺為原則 (Dp: 幾何校正標間距、Dx: 校正場長、Dy: 校正場寬、N: 幾何校正標數量)，另應進行實地勘查並經土地或建物所有權人同意。

2、校正標樣式

幾何校正標需易於直接量測坐標，且於像片上容易清楚辨識。因此，本校正場原為大像幅攝影機校正用，其標翼形狀為邊長 1 公尺的黑白相間四正方形組成，黑白二色之設計使標處於淺色水泥地面或深色柏油路面皆可清楚辨認，以便 20 公分至 5 公分間的 GSD 之影像皆可使用，因此亦可適用於中像幅攝影機校正之用。並為使清楚定義點位位置，幾何校正標中心則需加設鋼標，幾何校正標樣式示意如圖 3-6 所示。



(三) 中像幅航空攝影機校正場地規劃

中像幅航測攝影機之校正作業程序，原則上比照大像幅量測型航測攝影機方式校正，基於正確使用原廠提供航測攝影機參數之前提，計算待校件之器差。採用的校正方法類別為國際通用的野外校正法，校正場規劃選用南崗校正場設置的小校正場為範圍辦理航拍。

本案針對校正場之規劃則延續以往的設計，原南崗校正場因針對大像幅航空測量攝影機所設計，為使中像幅航空測量攝影機之空三作業量以及評估品質條件與大像幅攝影機相稱，並考量中像幅航空測量攝影機涵蓋範圍得以單張涵蓋整個校正場，於原校正場區內再行規劃設計劃分一較小形矩形場地，暫稱為小校正場。

此外，關於中像幅航測攝影機效能則參自「航空測量攝影機校正作業程序」，限定適用的中像幅航測攝影機為在相對航高大於 800 公尺以上時，航攝影像地面像素解析度可介於 5~25 公分者。

因此根據上述限制條件中，同時須使校正標涵蓋數量得以盡量維持 USGS 所建議之 50 點，綜合考量之下，最後決定之中像幅航測攝影機校正航拍場地東西距離 570 公尺，南北距離 602 公尺，涵蓋點數為 47 點，點位分布均勻且各象限之點數滿足至少 20% 幾何校正場，如圖 3-7 所示，無論點位密度及分布情形已與大校正場相稱。由表 3-3 國內所用之中像幅航測攝影機可知國內目前中像幅數位式攝影機在一定航高均可符合目前航測攝影機校正作業程序之要求，且單張影像之地面涵蓋範圍皆可涵蓋小校正場範圍。

表 3-3、國內目前中像幅數位式攝影機為達規畫場地之對應參數

規格		攝影機	Trimble			IGI	Phase One
			P45+	P65+	P65+	DigiCAM-50M	iXA 180
為達規畫場地 570*602 之對應最低航高、地面涵蓋大小及 GSD	最低絕對航高(公尺)		1340	1036	895	970	967
	最低對地航高(公尺)		1151	847	706	781	778
	地面涵蓋大小(公尺*公尺)		570*760	570*761	570*761	570*760	570*759
	GSD(公分)		10.5	8.5	8.5	9.3	7.4

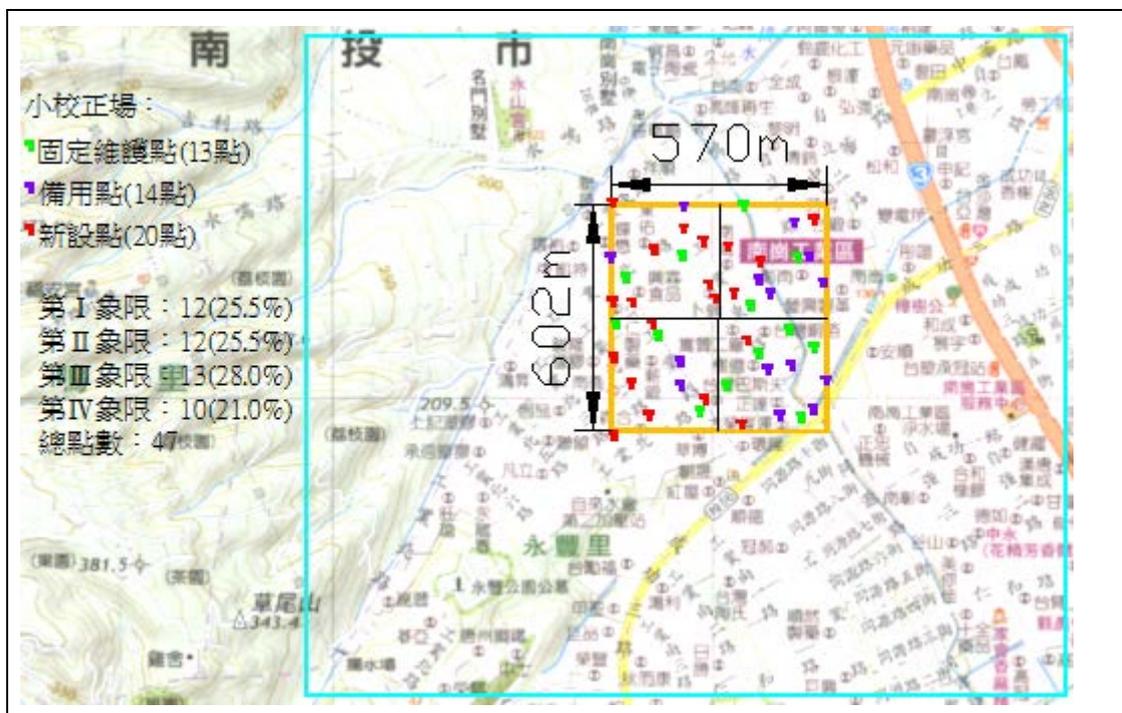


圖 3-7、大校正場、小校正場範圍及校正標分布情形

(分別以藍色方框、橘色方框表示，校正標類型如圖例說明)

(四)中像幅航測攝影機校正航拍規劃

根據目前 SICL 對於航空測量攝影機校正作業之航拍須知當中所規定的飛航參數，中像幅航測攝影機除了校正場範圍須調整，其他作業程序之調整原則上按照本案契約內容精神，以國土測繪中心現行之作業程序為基準，並以測試成果進行評估及作業程序調整，詳如第五章。

肆、空載光達系統校正作業方法

一、作業項目說明

按照契約規定，本工作項目包含研提空載光達系統校正測試方案、建立空載光達系統校正測試標(物)，以及辦理飛行測試及分析作業。關於「空載光達系統校正測試方案」報告中已經由多個評估因子之詳細分析，決定未來用以進行飛行測試之校正物，包含以平頂屋、山形屋交會之屋脊線及道路標線。關於「期中報告」則說明如何經過多種方式層層篩選出適合用來作為校正標物之建物，及其參考值之取得方式。關於本工作總報告則是說明如何透過飛行測試即分析作業，提出最佳校正方案及作業程序，並詳細說明分析成果(包括各測試方案之可行性分析、飛航參數調整方案、校正場調整方案、校正作業流程調整方案)。

二、空載光達系統發展與彙整

(一)空載光達系統簡介

光達發展於 1970 年代。最初是由美國國家航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration, 簡稱 NASA)研發出的雷射測距的設備，當時只能測量地面上停放的飛機高程。在 1980 年代後期，隨著全球定位系統(Global Positioning System, 簡稱 GPS)供民用的技術提高，使得全球定位系統定位精度達到公分量級。且用於記錄雷射來回時間的高精度計時器和高精度的慣性導航測量儀(Inertial Measurement Units, 簡稱 IMU)相繼問世,為空載光達系統的商業化打下了基礎。

在 1980 年代末,德國的 Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 開始了有關光達系統技術的研究課題。1989 年他們與 Fritz Ackermann 教授一

起在德國斯圖加特大學(University of Stuttgart)進行首次試驗飛行。測試結果顯示出空載光達系統用於地形地物地貌測量和製圖方面有巨大潛力和發展遠景。

1992 年，Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 成立 TopScan GmbH 公司，開始商業化空載光達系統的測試。TopScan 開始與位於加拿大多倫多市的 Optech 公司合作，並且在 1993 年聯合進行空載光達系統原型機的試飛和測試。1995 年由 Optech 公司與 TopScan 共同推出 ALTM1020 光達系統，並在 1997 年對其性能進行全面的提升，雷射發射的頻率由 200Hz 提高到 5000Hz，飛行高度也達到 1000 公尺，與此同時，德國的 TopSys 也開始發展 1225 光達系統。

1999 年時，美國 EnerQuest 公司在 Robert Kletzli 的帶領下，率先研發出配備數位攝影機的 RAMS 光達系統，並且用於 2000 年的雪梨奧運。接著奧地利 Riegl 公司於 2004 年推出的 LMS-Q560 是世界上第一款商業化進行數位化收集和處理光達全波形的二維雷射掃描儀。全波形空載光達系統是紀錄每個返回的雷射訊號，這些訊號代表雷射波接觸的所有截面，如圖 4-1 所示，紀錄器數化雷射波反射的截面訊號，以波形的型態紀錄(Lin, 2009)。此類資料收集和處理較能進一步地看到更多物體表面的細節、粗糙度和變化。

另外為提高點雲密度，Leica 公司在 2006 年 10 月 INTERGEO 大會上，推出一項新技術：空中多重脈衝技術(Multiple Pulses in Air，簡稱 MPiA)。它使得光達系統不需要等待是否收到了上一個雷射脈衝回波後才發出下一個新的雷射脈衝，因此可以接受到較多的訊號。全球空載光達系統的發展歷程，如表 4-1。

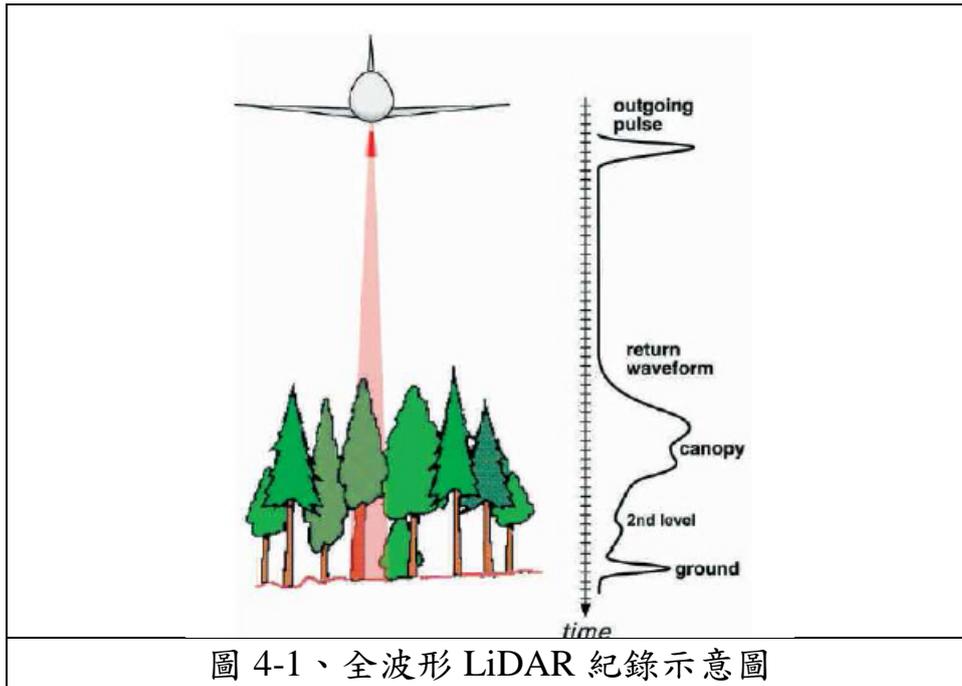


圖 4-1、全波形 LiDAR 紀錄示意圖

表 4-1、全球空載光達系統的發展歷程表

空載光達系統發展歷程概述		
年份	事件紀實	備註
1970	美國航太總屬 NASA 研發雷射測距技術。	
1975	奧地利維也納技術大學的 Rieggl 教授創立 Rieggl 公司。	
1980	後期，GPS 民用技術提昇以及高精度 IMU 的問世，開始進入空載光達系統商業化的時代。 末期，德國 Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 於攻讀博士學位期間，進行空載光達技術的研究。	
1989	Peter Frieb、Joachim Lindenberger 與 Fritz Ackermann 教授一起進行首次空載光達試驗飛行。	
1992	Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 獲得博士學位，並成立 TopScan GmbH 公司。	
1993	TopScan 與加拿大 Optech 公司合作，進行空載光達原型機的試飛和測試。	
1995	Optech 公司 ALTM1020 光達系統上市。	
1996	Rieggl 公司推出一系列(LMS 系列)二維雷射掃描儀。	
1997	Optech 公司將 ALTM1020 光達系統之雷射頻率由 200Hz 提高到 5000Hz，飛行高度達到 1000 公尺。 德國的 TopSys(Christian Weaver、Joachim Lindenberger)也開始發展 1225 光達系統。 美國從事製圖和 GIS 服務的 Azimuth 公司針對光達系統的不足之處，在技術方面進行了一些提升。	
1999	Azimuth 公司推出了 AeroSensor 光達系統，並與 EnerQuest 公司合作，由 EnerQuest 推出 RAMS 光達	RAMS 先後賣給日本和澳洲。

空載光達系統發展歷程概述		
年份	事件紀實	備註
	系統。	
2000	雪梨奧運會採用 EnerQuest 公司率先研發出配備數位攝影機的 RAMS 光達系統。	該 RAMS 光達系統在 Robert Kletzli 的帶領下研發完成。
2001	Leica 公司收購 Azimuth 公司，並將 AeroSensor 改名為 ALS40。同時引進推進掃描式的數位相機 ADS40。	
2003	Leica 公司推出 ALS50 空載光達系統。	
2004	Optech 公司推出於 1000 公尺的高空發射 100,000Hz 的 ALTM3100。	
	Riegl 公司推出 LMS-Q560，是世界上第一款商業化進行數位化收集和處理光達全波形的二維雷射掃描儀。	
2006	Optech 公司推出於近 2000 公尺的高空發射 100,000Hz 的 ALTM Gemini。	
	Leica 公司推出 ALS50-II 空載光達系統，並推出新技術 Multiple Pulses in Air (MPiA)。	
2008	Leica 公司推出 ALS60 空載光達系統。	
2010	Optech 公司推出 ALTM Pegasus 空載光達系統。	
2012	Leica 公司推出 ALS70 空載光達系統。	
2013	Riegl 公司推出 LMS-Q780 空載光達系統。	
2014	Leica 公司推出 ALS80 空載光達系統。	
	Riegl 公司推出 LMS-Q1560 空載光達系統。	
	Optech 公司推出 ALTM Galaxy 空載光達系統，並推出新技術 PulseTRAK。	

(二)國內空載光達系統彙整

國內目前有 3 家擁有空載光達系統之公司，屬於 3 類不同之空載光達系統，擁有者與型號如表 4-2。

表 4-2、國內常見空載光達系統之儀器型號(按引進時間)

廠牌型號	Riegl LMS-Q780	Optech Pegasus	Leica ALS70
規格			
引進時間	2016.06	2011.01	2013.10
FOV	MAX=60	MAX=45	MAX=75
有效距離	1600m	3000m	3500m

廠牌型號 規格	Riegl LMS-Q780	Optech Pegasus	Leica ALS70
特殊功能	MPiA FWD compact	Dual_laser	MPiA FWD
搭配攝影機	PhaseONE ixa180	DiMAC UltraLight	Rollei P65+
使用單位 (廠商)	自強	中興測量	詮華

- 註： 1. Compact：小型機型設計，可與航測攝影機一起組裝。
 2. MPiA：空中多重脈衝功能(Multiple Pulses in Air)。
 3. FWD：可進行全波形紀錄之功能(Full Waveform Digitization)。
 4. Dual Laser：雙雷射發射系統，可提升點雲密度。

(三)各國空載光達系統率定場簡介

1. 國外空載光達系統率定場

國外目前尚未有國家設置之空載光達系統校正場(Calibration field)，文獻中所見的校正場大多為空載光達產品服務業者及儀器製造商為了率定出廠設備或檢驗設備是否正常而必須設置之視準率定場(Boresight calibration field) 而不是某客觀第三方面為出具設備是否合格證明而特別設置的校正場。

文獻中所見由廠商自行所建的率定場設置之規格與國內空載光達設備擁有者自設率定場相近，主要差別為國外有較多的小型機場，其地形平坦，資料取得容易，且對低空航空管制不如我國嚴格，因此常以機場作為視準率定場。例如英國的自然環境研究中心(Natural Environment Research Council，簡稱 NERC)所設置之率定場，位於英國南部之格洛斯特(Gloucester)，範圍大小約 1.5 公里x1.5 公里，如圖 4-2 所示，圖中紅線代表飛行之航線，圖上數字為率定時所需之道路實測點編號，此率定場建置目的為進行空載光達系統之視準率定，不在對於光達系統施測的成果品質做評估。這種率定要求平坦場地，但是平坦的率定場無法對空載光達的平面精度進行校正，故與本計畫之校正場有些許差異，且本計畫與廠商自行為之的校正不同，目的不在對視

準做率定，而是針對設計使用已自行獲取已經完成視準軸率定參數之空載光達系統於執行實際測量任務時其可達之平面及高程精度為若干。亦即以受校廠商所提供自認為最佳的點雲成果與地面校正標比較，以其坐標差值做為校正結果。由目前收集到的資料顯示，尚無國家為了測繪目的對空載光達系統實施校正，所見極少數的校正均為研究機構所設置。

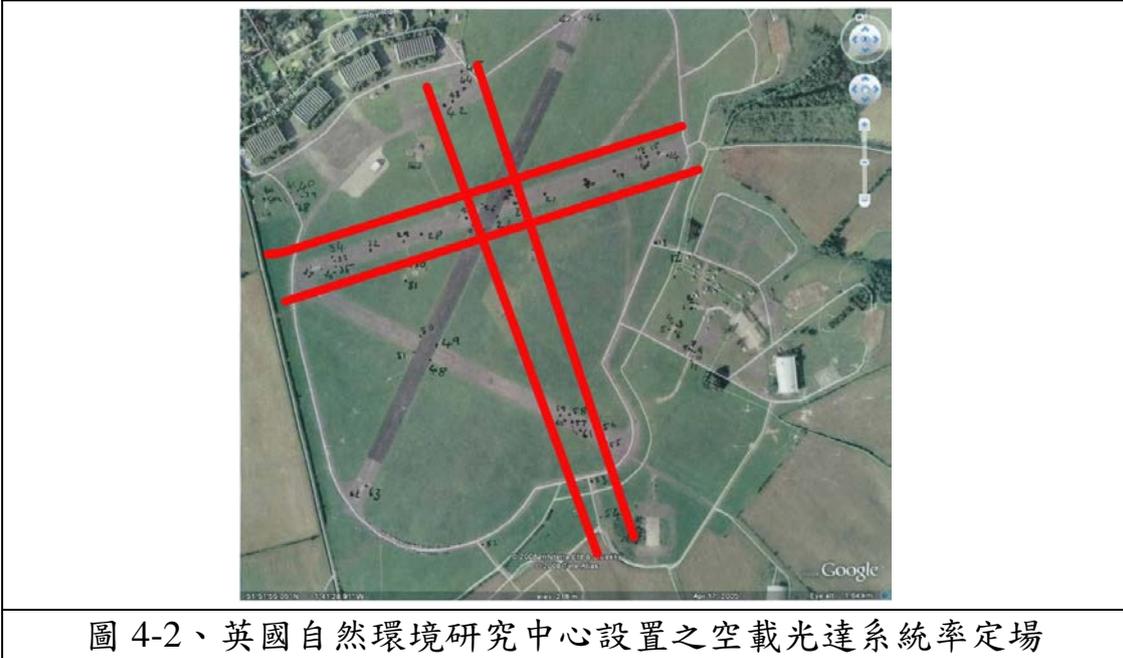


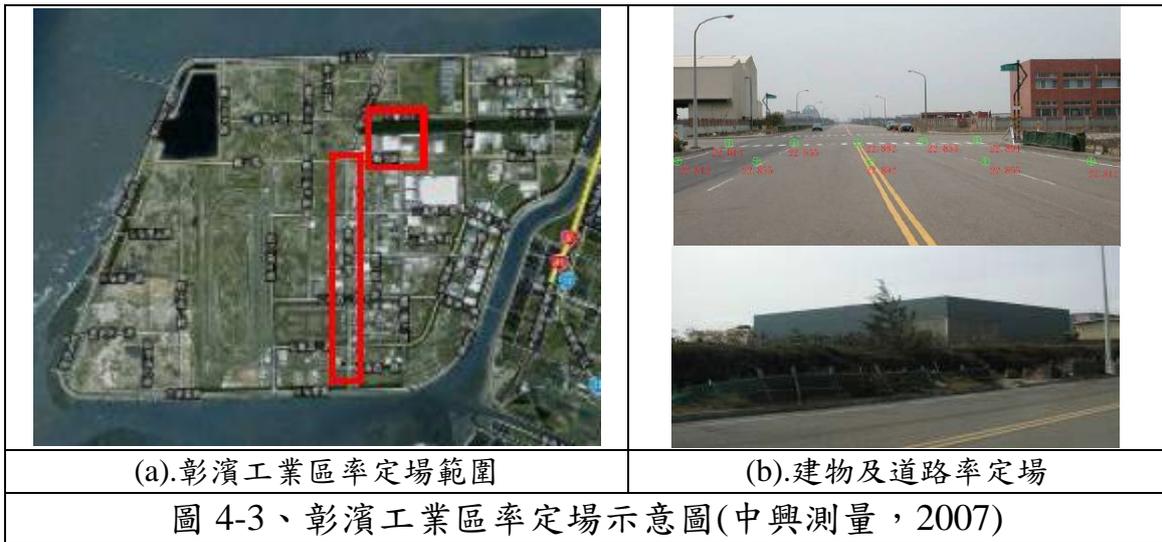
圖 4-2、英國自然環境研究中心設置之空載光達系統率定場

2. 國內空載光達系統率定場

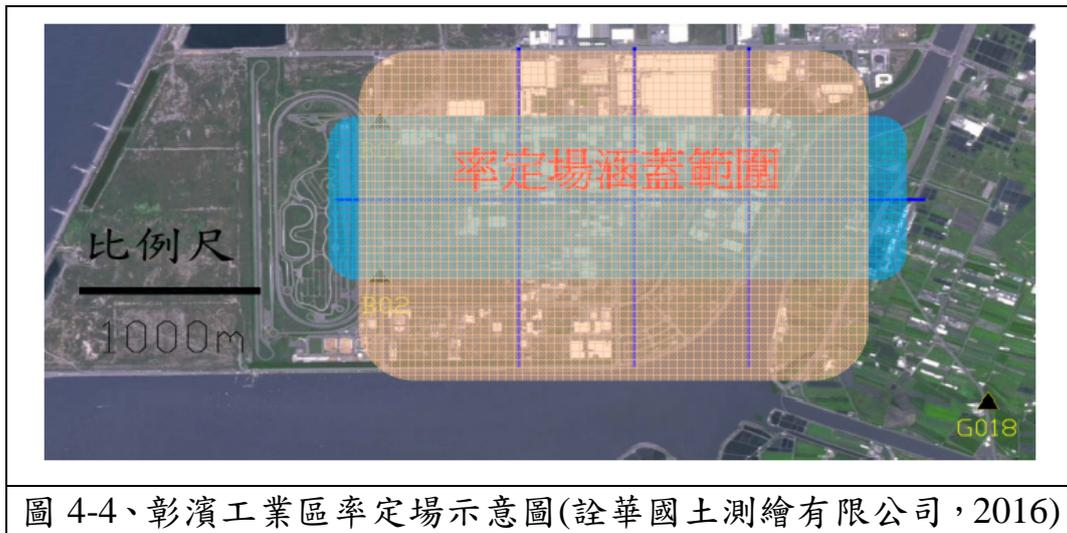
根據內政部「LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)」之內容，LiDAR 率定場設置之環境要求為：「標準的率定場面積為長寬各約 1 公里範圍，率定場內之地表坡度應平緩且植被覆蓋率應小於 10%，且應具有容易辨識之大型建物(平頂、斜頂)及道路標線等明顯特徵；通常可利用平原地區的工業區，但最好避免例行班機航道及軍事要地，並應避開大規模開發或地層下陷區域。」(內政部，2005)，由該規定可以看出其僅能對高程實施直接校正，而無法直接對於光達平面精度做校正。目前國內各空載光達測量業者均依前述規定自行設置校正場，如以下說明。

中興測量有限公司設置 Optech ALTM3070 之率定場，位於彰化縣彰濱工業區鹿工南五路，全長範圍約 2 公里x2 公里，另外範圍內包含

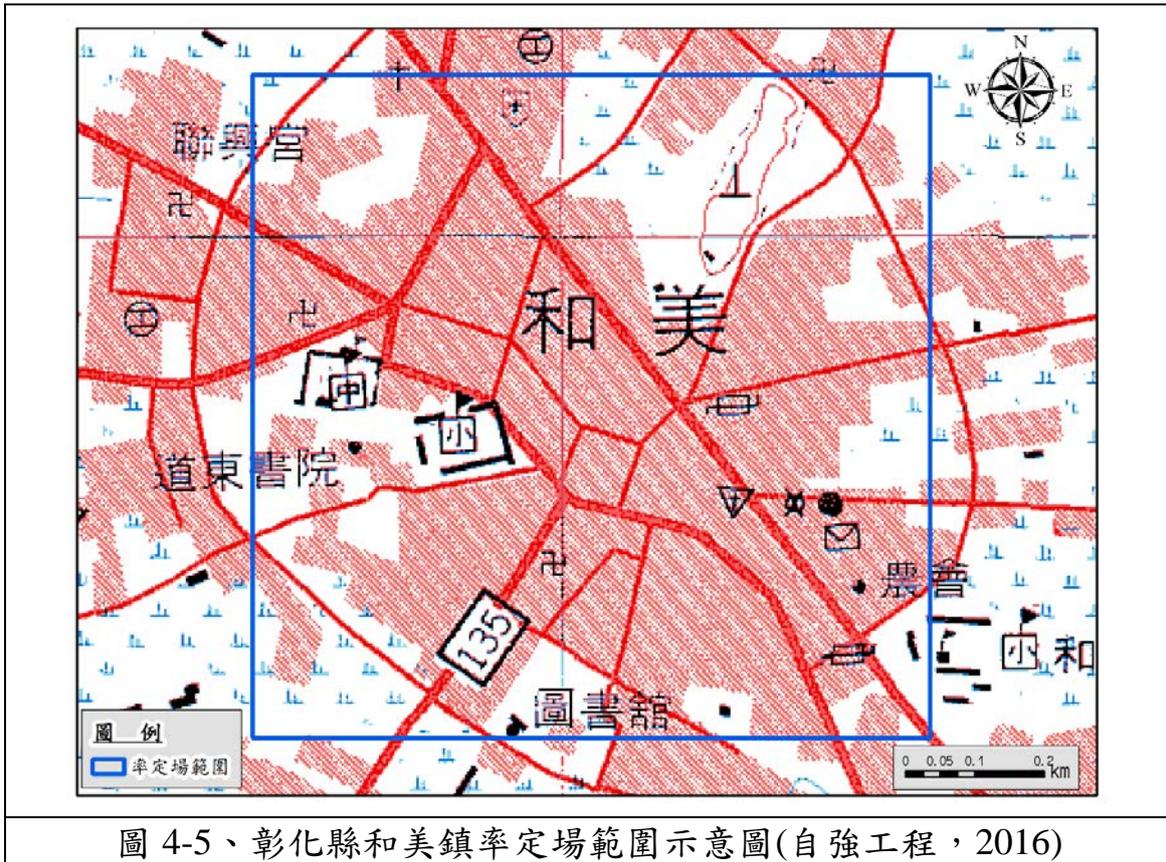
獨立建物，供建物型式的率定場地，如圖 4-3 所示。



詮華國土測繪有限公司設置 Leica ALS70 之率定場位於彰化縣彰濱工業區，範圍約 2 公里x2 公里，範圍內包含獨立建物與長 2 公里筆直道路，如圖 4-4 所示。



自強工程顧問有限公司於彰化縣和美鎮設置 Reigl LMS-Q780 率定場，範圍約 1 公里x1 公里，以區域內平坦建物與建物之特徵點進行參數率定，如圖 4-5 所示。



三、空載光達系統校正測試方案提出

本節藉由空載光達系統校正作業方法蒐集並擬定多項評估因子，期可藉由人力、成本、穩定性...等考量點，針對蒐集校正標(物)進行評估比較。首先針對各評估因子進行定義，評估比較各校正標(物)。在實際測試經驗後針對各評估因子進行量化及評分，最後提出最佳校正方案，詳如第柒章。

(一)空載光達系統校正作業方法蒐集

空載光達系統量測得到的是物面上的離散點，由於這些點不一定具有明顯可供肉眼辨識出來的特徵，因此無法以其他常見的檢核測量方法對其精度加以驗證。國際上目前所見的少數幾種分析光達測點精度的研究論文是採間接比對的方法，也就是先設法由已知位於一平面上的點雲中萃取出便於以其他檢核測量易於施測的三維特徵物後，藉

該特徵物的三維坐標來做比對而不直接拿光達點雲來比對，例如利用位於平坦道路上的標線(Toth, 2008a, 2008b)反射強度與背景道路的強烈差異做為特徵物或是另外特製高出地面的校正標做為特徵物(Csanyi, 2007; Roberto, 2013)，利用其突出地面的特性而易於與背景分離以得可供肉眼辨識的三維特徵物做為比對。截至目前為止，尚未見到有任何國家建立完成國家光達系統校正標準規格或設置有國家校正場者可供本計畫參考，故本計畫即以上述少數研究機構所提出的校正標（物）進行適用性分析。另外，由於本會於 102 年度校正案所實驗的以矩形建物平頂面做為校正標物之成果不錯，將以該法繼續實驗，而部分光達測量商用軟體使用包含建物平頂面以及山形屋的各類型平面地物來做航帶平差之連結物（tie-feature）(Lindenthal,2011)，故本方案亦將針對山形屋之屋脊線的適用性作研究分析。此外，104 年度校正案亦提出以既有航測校正標進行測試(2015，內政部)，因此針對目前收集到之校正標(物)及其校正實驗方式、優勢與限制等初步分析彙整如表 4-3 及圖 4-6。

表 4-3、常用之校正標(物)類型彙整

校正標(物)類型	實驗方式	優勢	限制	參考文獻
1. 矩形建物之平頂面 (示意如圖 4-7(a))	計算落於矩形建物平頂面之點雲資料(已經過航帶平差), 形心坐標, 與航測立體模型內 4 個屋角連線交點推得形心之坐標相比, 以此評估點雲掃描精度, 判斷此方式能否達到校正目的。	1. 平頂面建物為既有地物, 節省製作成本。 2. 特徵明顯, 容易辨識及萃取。	屋頂外觀單純且面積超過 25 平方公尺之矩形建物平頂面需費時尋找。 如果考慮校正標追溯問題, 則屋角坐標可能需改以便於追溯的 GNSS 施測。惟有的平頂面四角不便以 GNSS 施測坐標, 可能需改為以全測站施測。	(內政部, 2013)
2. 山形屋之屋脊線 (示意如圖 4-7(b))	利用山形屋之屋脊線做為特徵線。	1. 山形屋建物為既有地物, 節省製作成本。 2. 特徵明顯, 容易辨識及萃取。	屋脊線交會影響因子多如屋頂多為浪形板而非真實平面、斜面交角銳鈍影響屋脊交線精度等。而且光達點雲資料只能交會出一條不知端點何在的線, 如何由此線導出校正標準值, 須再進一步研究。此外, 屋脊線比平頂四角更難以 GNSS 施測。	(林柏丞, 2012)
3. 道路標線 (示意如圖 4-7(c))	1. 依照點雲反射強度萃道路標線 2. 曲線擬合 3. 以 ICP 演算法決定最適點位坐標 4. 定位精度: 比較以光達點雲決定及以 GNSS 測得的標線位置差異。	道路標線為既有地物, 節省製作成本。易以 GNSS 施測坐標。	須由點雲反射強度差異自動化萃取標線位置, 缺少品質佐證。如果萃取之標線本身品質未知, 無法估計校正的不確定度, 難據以用來校正。當道路標線之強度資訊包含過多雜訊, 則難以從地面萃取出標線。高品質的道路標線亦需人工維護, 而且道路標線易受車輛遮擋, 無法保證其在校正飛行當時之可用性。	(Toth, 2008a) (Toth, 2008b)
4. 圓形標 (示意如圖 4-7(d))	萃取點雲資料中之校正標中心坐標做為量測值。	特徵明顯, 容易辨識及萃取, 易以 GNSS 施測	需自行設計製作, 增加成本, 佔地面積大限制多, 難與校正飛行時同步架設看管。	(Csanyi, 2007)

校正標(物)類型	實驗方式	優勢	限制	參考文獻
		坐標。		
5.六角形反射標 (示意如圖 4-7(e))	1.點雲密度:以 HRRT 方式進行七種不同點雲密度下之精度比較。實驗顯示,校正標中心位置精度與點雲密度並無明顯相關。實驗結果:平均後驗精度平面達 5 公分,高程達 4 公分。 2.定位精度:比較以單航帶光達點雲決定及以 GNSS 測得的校正標中心位置差異。	六角形反射標設計特色為具有高差,可避免與地面點回波混淆,易以 GNSS 施測坐標。	需自行設計製作,增加成本,佔地面積大限制多,難與校正飛行時同步架設看管。	(Roberto,2013)
6.既有航測校正標 (示意如圖 4-7(f))	1.點雲高程精度:搜尋與參考值距離最短者之最鄰近點作為量測值,再與參考值計算高程差值,並計算其差值平均值。 2.點雲平面精度:將點雲依強度製成灰階影像,由此量測校正標中心點坐標作為量測值,再與參考值計算平面差量值,並計算其差值平均值。	航測校正標為航測攝影機校正作業之用,對光達系統校正作業而言算是既有地物,因此節省製作成本。易以 GNSS 施測坐標。	1.就評估點雲高程精度而言,與參考值距離最短者之最鄰近點即為量測值,當光達點雲存有系統誤差時,單以距離最短為搜尋條件則稍顯不足。 2.就評估點雲平面精度而言,目前航測校正標尺寸為 1 平方公尺,是針對 GSD 為 5~25 公分影像所設計,而目前點雲密度多為 2~4 點/平方公尺,若以點雲強度值製成灰階影像,其解析度約為 50 公分,欲量測灰階影像中的校正標中心點,除非雷射光錐足跡中心碰巧與標心重疊,否則所評估點雲平面不確定度可能大於目前光達點雲可達之平面精度。 3.若如前期計畫所建議以差值之平均值作為精度評估之指標,則有正負相消之疑慮,一般多以差量作為統計值計算的基礎。	(內政部,2015)

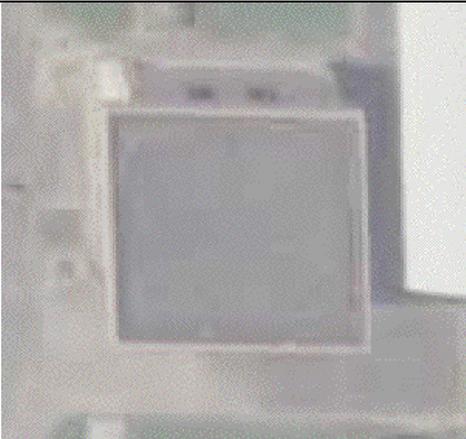
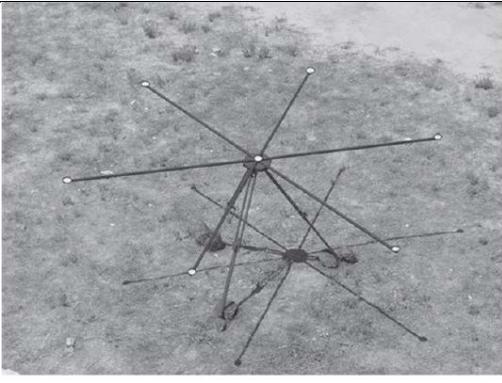
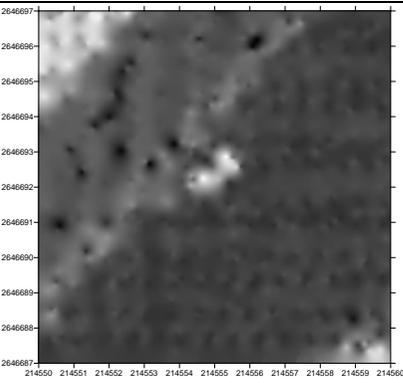
		
<p>(a) 矩形建物平頂面校正物</p>	<p>(b) 山形屋之屋脊線校正物</p>	<p>(c) 道路標線校正物</p>
		
<p>(d) 圓形校正標</p>	<p>(e) 六角形反射光達校正標</p>	<p>(f) 既有航測校正標(將點雲強度值轉換為灰階影像表示)</p>

圖 4-6、校正標(物)類型

(二)評估因子說明

1. **標(物)製作成本**：製作該標(物)之成本，若該標(物)已存在於現場，則無需製作，因此無製作成本。
2. **標(物)維護成本**：針對具有所有權之標(物)所進行之清理維護所需成本，若對於該標(物)未具有所有權，則無權進行維護，因此無維護成本。
3. **標(物)穩定性**：在固定時間內標(物)可能發生異動的機率。
4. **標(物)維護難度**：維護標(物)時可能受到的阻力，包含：技術上難以維護標(物)、人為因素所導致難以維護標(物)或以工作標準件進行標(物)參考值維護時可能面臨的工安風險...等。
5. **航拍時關於標(物)之人力機動程度**：航拍時是否需派員至校正場設置標(物)。
6. **標(物)參考值維護及追溯作業數量**：意即標(物)所包含的參考值量測數量。
7. **標(物)點雲篩選之自動化程度**：未來對於標(物)點雲篩選過程中可自動化的比重大小。
8. **標(物)不確定度推估難度**：標(物)所包含的不確定度因子之複雜程度。

(三)校正標(物)評估因子分析及結果

表 4-4 針對各方案之評估分析，基於作業能量及成本預算有限之主要考量點，初步先排除須耗費高製作成本及仰賴人力維護之特製標(六角形/圓形標)方案。此外，基於本會於 102 年度校正案相關測試之建議，以矩形建物平頂面為例，為保有足夠點雲資料進行推估，應選取面積大於 25 平方公尺之平頂面為原則。同理可知，既有航測校正標是專為航測校正作業所設計，因此以 1 平方公尺的航測校正標作為光達系統校正作業所用，則有取樣範圍過小之疑慮，因此亦初步排除

以既有航測校正標作為光達系統校正標之方案。因此在「空載光達系統校正作業測試方案」最後決定測試方案為**矩形建物之平頂面、山形屋之屋脊線及道路標線**。

表 4-4、校正標(物)評估比較

校正標(物) 評估因子	矩形建物之 平頂面	山形屋之 屋脊線	道路標線	特製標	既有航測校正標
標(物)製作 成本	無。 既有地物無製作成本。	無。 既有地物無製作成本。	無。 既有地物無製作成本。	圓形標：1 萬 六角形反射標：2.5 萬	無。 由於航測校正標為航測攝影機校正作業之用，對光達系統校正作業而言算是既有地物，因此無製作成本。
標(物)維護 成本	無。 既有地物無維護成本。	無。 既有地物無維護成本。	無。 既有地物無維護成本。	由相關文獻雖無從得知，但維護仍需費用。	粗估 1600 元/標 (包含人事、交通、材料費用)
標(物)穩定 性	高。 相較於道路標線，建物變動率低。	高。 相較於道路標線，建物變動率低。	中。 相較於建物，道路標線較易有變動問題 (重鋪) 以及易受車輛遮擋。	低。 使用前須搬動、運送及重新架設，存有校正標損毀風險。	中高。 由於既有航測校正標部分設置在建物，部分設置在路面上，因此同時包含建物及道路標線的特性。
標(物)維護 難度	中。 掃描前清查實際建物情形且參考值維護多為將儀器架於地面上進行施	中。 掃描前清查實際建物情形且參考值維護多為將儀器架於地面上進行施測，需注意交	中。 掃描前清查實際道路標線情形，如有脫落或污穢必須補漆或清洗，且參考	高。 製作及使用均最困難，除佔地面積大，需另闢收納空間外，且難以與校正飛	中高。 掃描前需清查航測校正標情形，必要時需重漆。由於既有航測校正標部分設置在平屋

校正標 (物) 評估 因子	矩形建物之 平頂面	山形屋之 屋脊線	道路標線	特製標	既有航測校正標
	測，需注意交通安全。(因需出入私人工廠，阻力相對較大，維護難度相對於道路標線為高)	通安全。(因需出入私人工廠，阻力相對較大，維護難度相對於道路標線為高)	值維護多為將儀器架於地面上進行施測，需注意交通安全。	行同步架設。不過由於標物之擺放位置可自行決定，因此可尋找合適且安全處再行參考值維護。	頂，部分設置在路面上，因此若以電子測距經緯儀進行參考值維護為例，則同時包含平屋頂建物及道路標線的特性。
航拍時關於標(物)之人力機動程度	無。	無。	無。	高。 航拍時須至現場架設校正標。	無。
標(物)參考值維護及追溯作業數量	參考值量測數量：4 點/建物。	參考值量測數量：2 點/屋脊線。	參考值量測數量：1 點/標線交點。	參考值量測數量：1 點/圓形標、1 點/六角形反射標心。	參考值量測數量：1 點/標。
標(物)點雲篩選之自動化程度	高。 相鄰地物高差的特性較強烈，自動化程度高。	高。 相鄰地物高差的特性較強烈，自動化程度高。	中。 點雲強度辨識之特性較弱，但就面積及幾何特行而言，自動化程度較既有航測標高。	高。 具有離地高差及高反射強度之特性，自動化程度高。	低。 點雲強度辨識之特性較弱，面積小，自動化程度低。

校正標 (物) 評估 因子	矩形建物之 平頂面	山形屋之 屋脊線	道路標線	特製標	既有航測校正標
	<p>備註：欲評估各方案之自動化程度，分做參考值追溯及校正單元品質評估分別說明：1. 關於參考值追溯，目前國土測繪中心之標準件包含電子測距經緯儀及衛星定位儀，皆須完全仰賴外業人力。若未來有機會建立校正場內空間特徵點模型庫，則可減少外業人力並提高自動化程度；2. 就本工作項目所探討之校正元件則為空載光達成果，其中用以評估成果品質則是透過從校正標(物)返回之雷射訊號，以其幾何或反射強度萃取該三維特徵物之點雲。(1)就平頂面/山形屋而言，就目前商用軟體可藉由幾何特性及形狀特性設定物件參數初步進行建物之點雲自動萃取，但缺乏有關可供評估校正品質的統計資訊，且若應用於校正用途，則仍須人工介入進一步確認及篩選。(2)就道路標線或航測校正標而言，由於道路標線範圍有限，因此涵蓋點雲不多，而航測校正標更是少，就目前商用軟體藉由反射強度值雖取樣不易但稍可概略區分，然而最後仍須人工介入進一步篩選。(3)假設特製標採用高反射強度材質製作，則可自動化萃取特徵點，但若作為校正之用，仍須人工介入進一步確認。</p> <p>綜結前述三點分析，「平頂面/山形屋」之相鄰地物高差的特性較「道路標線/既有航測校正標」之仰賴點雲強度辨識之特性為強烈，而特製標則具備高差及強度反差的特性，因此未來點雲萃取自動化程度以建物點雲及帶有高差特性的特製標亦高，就同為地面上的標線而言，由於道路標線具有折角且面積較既有航測標大，因此道路標線的自動化程度高於既有航測標。但無論點雲自動萃取之正確率高低，為符合本案校正用途之精神，針對自動萃取結果仍必須透過人工的方式輔以向量資料及/或正射影像進行確認及判斷篩選。</p>				
標(物)不確定度推估 難度	中。 平頂面點雲萃取明確，影響量測值成果之不確定度因子較為單純。	高。 山形屋之屋脊線，點雲萃取雖明確，但影響量測值成果之不確定度因子複雜，如：屋頂材質、屋脊線交會、山形屋夾角...等。	高。 道路標線，點雲萃取的部分因為標線較窄，萃取過程除了人為判斷亦需藉由強度數值特性輔助，且影響量測值成果之不確定度因子複雜，如：標線	低。 特製標是按照制式規格製作，且具備高差及強度反差的特性，點雲萃取及量測值取得過程最為明確。	高。 與道路標線類似，航測標之點雲萃取因航測標尺寸小，單以強度影像辨識有其難度，量測值取得更是不易。

校正標 (物) 評估 因子	矩形建物之 平頂面	山形屋之 屋脊線	道路標線	特製標	既有航測校正標
			長度、道路標線 折角之交會... 等。		
備註：特製標的不確定度相較於其它類型標(物)最為穩定最容易推估。矩形建物平頂面之不確定度經過本會之前在 102 年的實驗後，亦易以經驗法則評估而得。道路標線的不確定度影響因子較多，由表 2-3 所列的研究論文中還沒有看到有理論上的分析，由論文實驗得到的數據亦難看出其品質評估結果是否可以類推到其它案例上。航測校正標與道路標線類似。而由山形屋之屋脊線三維坐標的不確定度最難推導，而且一條屋脊線只能定出三維空間的一個向量，沒有「點」，一定要有成對而且正交的二條屋脊線才可校正出光達點雲三維點坐標的誤差，但如果由此導出此二條正交屋脊線的 4 個屋面的斜度、尺寸不能完全相同的話則又會對不確定度的推導增加額外的困難。由於不確定度評估與誤差源及誤差行為有關，必須以實際飛行資料進行實驗後再行分析評估。					

(四)工作標準件評估因子

由於目前國土測繪中心之工作標準件包含電子測距經緯儀及衛星定位儀之地測儀器，因此關於參考值追溯須仰賴外業人力，因此需特別考量人力成本、工作時程及安全性...等問題。除傳統地面測量，航空測量之技術於國內已具備高度成熟度且廣為相關產業廠商所應用，以航測方式獲取控制資料之技術非難事，甚至影像控制區塊資料建置已列為國土測繪中心基本地形圖案中之工作項目之一。

關於參考值追溯之工作標準件類型，應同時考量時效性、人事成本以及維護工作之自動化程度，因此擬提出「空間特徵點模型庫」的概念。目前國土測繪中心測量儀器校正實驗室經 TAF 認可之航空測量攝影機校正系統，其校正所用之校正標是以國土測繪中心擁有的工作標準件衛星定位儀量測而得的地面坐標，由此地面坐標參考值傳遞到投影中心，最後再以空中三角測量解算之坐標與參考值相比而計算器差，以展現攝影機之幾何特性。若可進一步將航空測量攝影機當作

參考值傳遞的介質，藉助平差解算後的投影中心為基礎，以前方交會方式獲得物空間特徵點(包括校正標物)坐標當作參考點，並將之廣納作為空間特徵點模型庫，如此一來，參考值除了可由地測方式施測亦可由空間特徵點模型庫取得。由於影像內可測的點數幾乎不受限制，量測成本亦低，可採大量的量測方式，得到極高的多餘觀測，對於校正能力及可信度都可大幅度提高，而且可節省大量的 GNSS 量測工作以及點位維護工作。惟如此「間接」針對校正標(物)進行參考值追溯的方式是否合於 TAF 的規定尚待後續討論評估。

表 4-5、工作標準件評估比較

工作標準件 類型 評估因子	地面測量儀器	空間特徵點模型庫
作業方式	按照校正標特性分作衛星定位儀或電子測距經緯儀測得待測點之參考值。部分校正標物，如平頂面屋角點及山形屋的屋脊線端點，難以衛星定位儀進行擺站，則將改以電子測距經緯儀進行測量。道路標線則可以電子測距經緯儀取得待測點之參考值。	以航測方式針對地物特徵進行量測並取得待測點之參考值。
產能	低。 以 50 個固定維護點為例，以靜態測量方式施測，約需 10 人/天施測完畢。	高。 以 50 個固定維護點為例，約需 1 人/天量測完畢。
成本	高。 粗估 6000 元/點(包含人事、交通、儀器設備費用)	低。 粗估 40 元/點(包含人事、儀器設備費用)
參考值精度	公厘～公分等級。	若以 GSD 為 5~10 公分之目標進行航拍，考量量測誤

工作標準件 類型 評估因子	地面測量儀器	空間特徵點模型庫
		差及整體空三解算誤差，參考值精度約 3~5 公分。
參考值維護 工安風險	高。 以光達系統校正標(物)為例，若需至現地量測屋角、屋脊線端點或道路標線，風險高。	低。 以光達系統校正標(物)為例，相對於現場實測，於室內作業之風險較低。

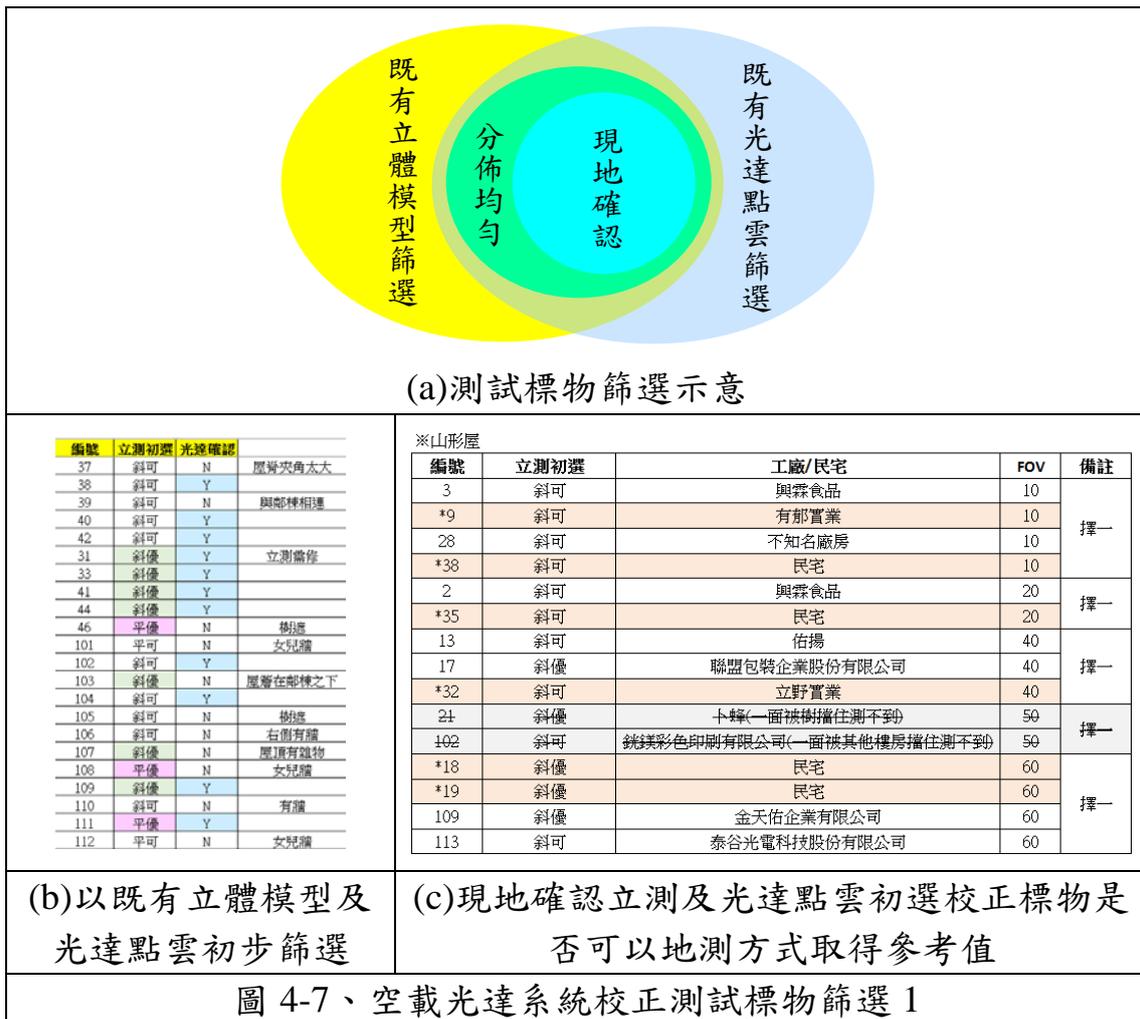
四、空載光達系統校正測試標物建立

經由方案選定的三種校正測試標物後，則進入建立空載光達系統校正測試標物階段。

(一)空載光達系統校正測試標物篩選

經由方案評估，決定放棄製作特殊校正標而採既有地物為測試標物。為提升空載光達系統校正作業測試之成功率，考量到如何降低後續點雲萃取干擾、誤判，校正標物的分布情形是否會影響成果評估，以及未來為 TAF 認證做準備，則亦需考量以國土測繪中心之工作標準件是否可以取得該校正標物之參考值...等因素，因此本會在進行實際飛行測試前，先以可取得之各類既有資料進行前置準備作業。首先先以既有立體模型內於校正場範圍內初步選取矩形建物平頂面、山形屋及道路標線之校正物，然後再以舊有之 104 年 9 月南崗校正場現成光達資料與立測初選的校正物進行套合，以確認個別校正物適用之情形。經過立測及既有光達資料之內業篩選校正標物後，再以校正標能均勻分布在單一航帶中左側、中間、右側三種不同掃描角度為原則進行校正標物挑選，接著再到現場確認是否可用地測方法取得參考值者為最後確定進行測試的校正標物。

空載光達系統校正測試標物篩選示意如圖 4-7 及圖 4-8，最後選定之校正標物數量分別為矩形建物平頂面 6 處、山形屋之屋脊線 6 處及道路標線 5 處。原則上，校正標(物)數量 3 處即可，以位於不同方向航帶之重疊處為原則，如位於東西向及南北向航帶的重疊處即可，但未來校正標(物)是否發生異動或滅失之情形無可避免，因此本會依據篩選原則在校正場中盡可能找出適合的校正標(物)。



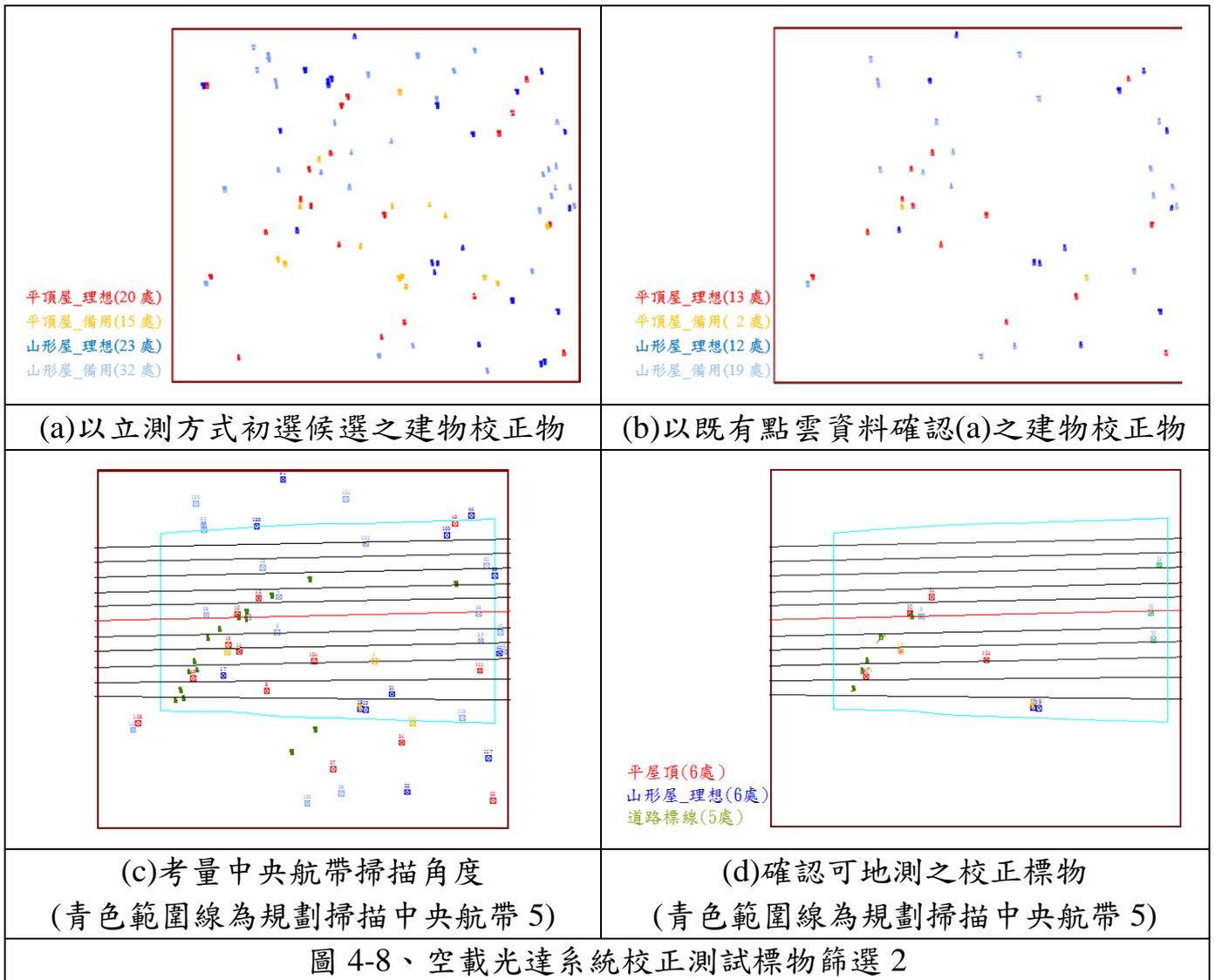


圖 4-8、空載光達系統校正測試標物篩選 2

1. 矩形建物平頂面：

(1)立測初步篩選：為使點雲篩選及點雲形心計算單純化，避免誤選屋頂面附屬構造物及低矮牆面之點雲，且為確保選取建物具有一定的穩定性，則以無附屬構造物、無女兒牆、形狀方正、永久性建物為優先選取之矩形建物平頂面，且根據本會於 102 年度校正案相關測試之建議，為保有足夠點雲資料進行推估，應選取面積大於 25 平方公尺之近似方形建物平頂面，因此以立測方式繪製矩形建物平頂面範圍，並判定為理想建物 20 處。另為避免理想建物分佈不如預期，則再以立測方式額外初判備用建物 15 處，包含屋頂稍有雜物及較低女兒牆。以立測方式初選候選之建物校正物如圖 4-8(a)。

(2)以既有光達資料確認：以光達點雲資料針對以立體模型篩選的平

頂屋逐一進行確認，確認結果中判定為理想建物 13 處，備用建物 2 處。以既有點雲資料確認立測方式初選之建物校正物如圖 4-8(b)。理想平頂屋範例如圖 4-9 所示。

有部份原以立體模型判定為理想建物在經光達點雲確認後，卻判斷為不適用於校正物之建物，其類型包含：

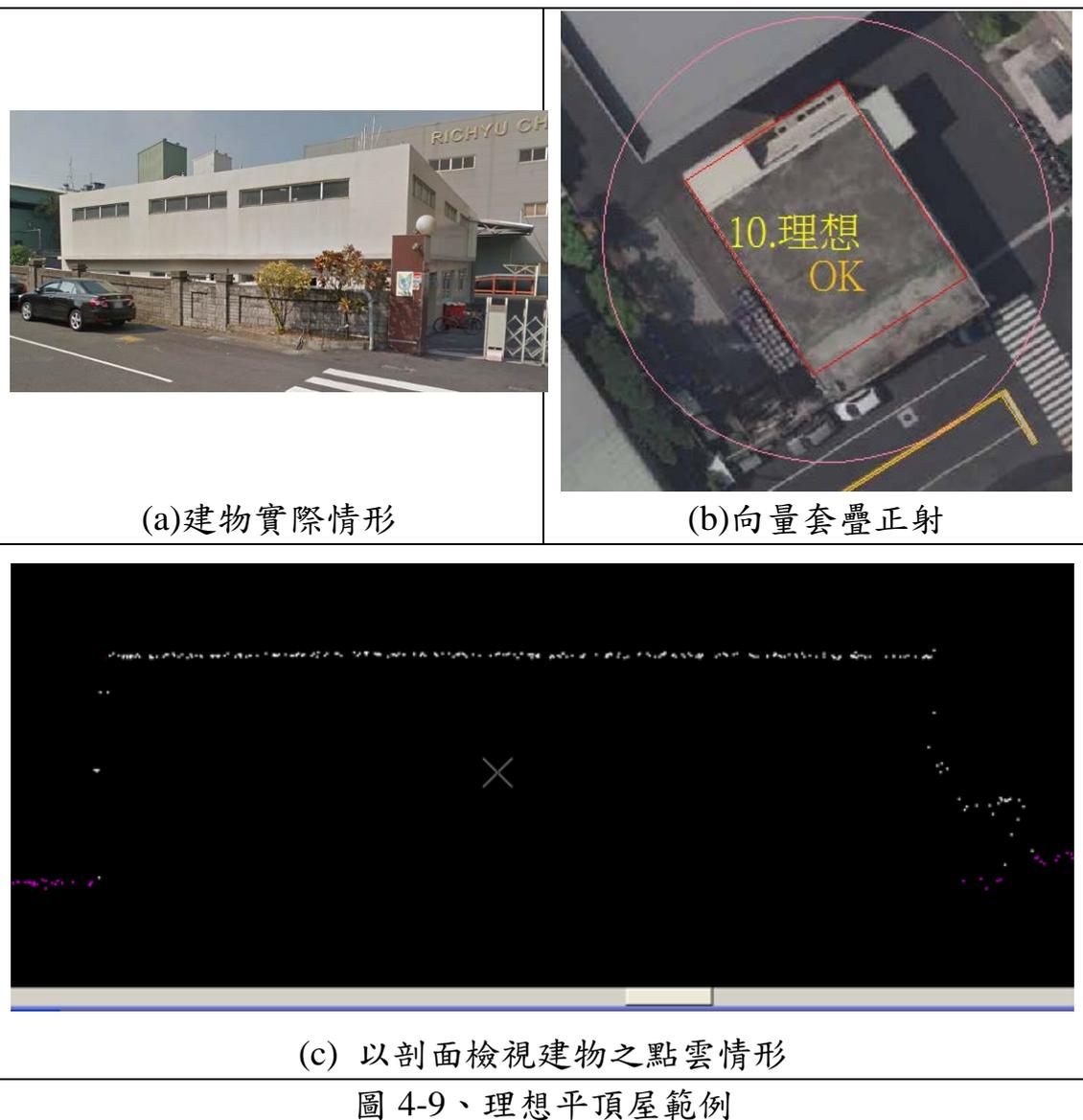
a.仍保有矮小女兒牆，而非絕對平坦(初步歸於不適用之校正物，但納入內部研究):由於平頂屋的量測值是計算平頂屋上點雲的形心位置，參考值則將以全測站並在建物周遭可通視屋角點處量測取得屋角點之邊角觀測量進而平差計算屋角點坐標。因此，以參考值計算之形心坐標與平頂上點雲所計算的形心坐標所計算之器差將存在女兒牆的高差；此外，若嘗試取點雲或地測成果之平面坐標計算形心位置或許可行，但在濾除女兒牆之點雲時恐因點雲實際回波情形導致難以清楚區分出牆與平頂之界線，無論採取人工方式判斷或以資料處理方式萃取點雲，最後成果難保不會因為處理細緻度而導致形心位置偏差。由圖 4-10(b)、(c)可知，針對具有女兒牆之平頂屋因受光達點雲對於建物邊緣線描述能力限制之影響，因此牆與頂面之間並非平整的直角，至於這部分光達點雲行為則需更深入之研究。因此，為篩選出理想的光達系統校正物，暫將此類平頂排除。

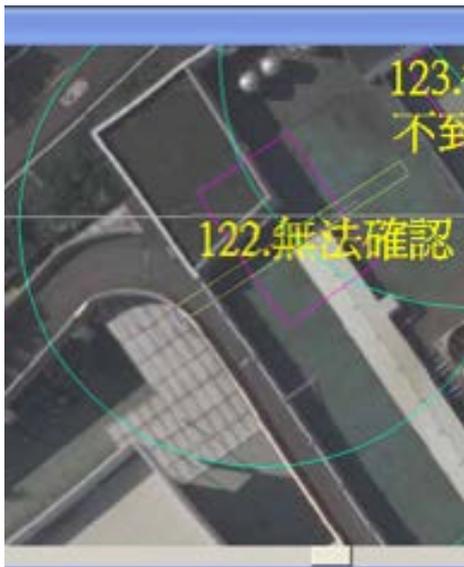
b.樹遮：導致建物點雲不完整，如圖 4-11。

c.與樹或建物相鄰：導致建物點雲難以區別，如圖 4-12。

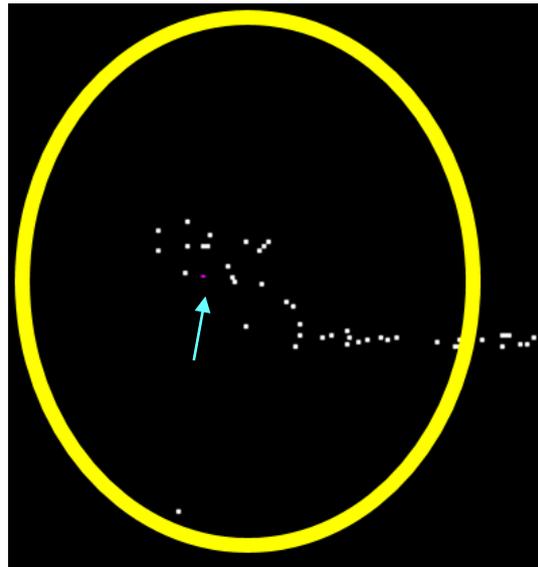
(3)現地確認：現地確認立測及光達點雲初選校正標物是否可以地測方式取得參考值，確認結果中判定為理想建物 6 處。

經過立體模型及光達點雲資料判定為理想建物，經過現地確認，仍有部分經過現地確認後判斷為不適用於校正物之建物，主因為無法通視待測點，如圖 4-13 之案例則是因為該平頂面位於窄巷內的樓頂且往後退縮，因此部分屋角點無法通視。





(a) 向量套疊正射



(b) 以剖面檢視光達點雲(放大)

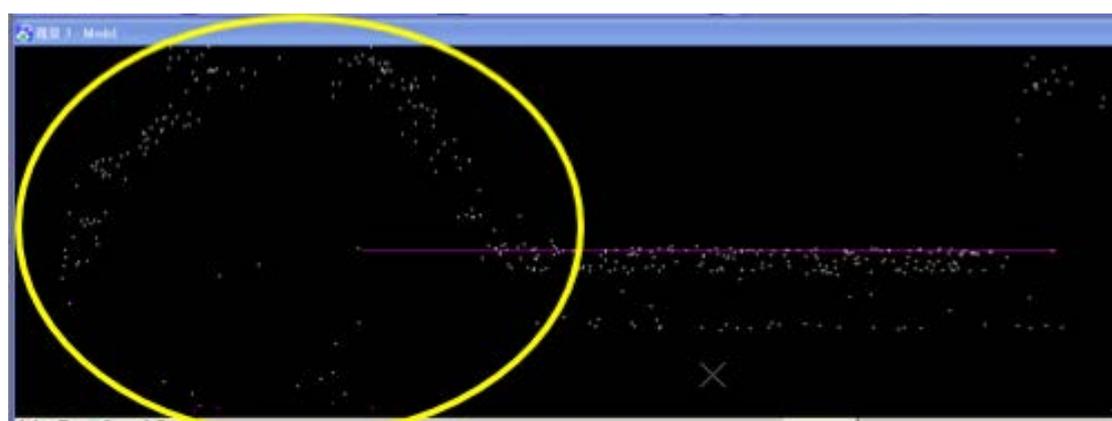


(c) 以剖面檢視建物之點雲情形

圖 4-10、造成點雲萃取之干擾/誤判之範例-具有女兒牆之平頂屋

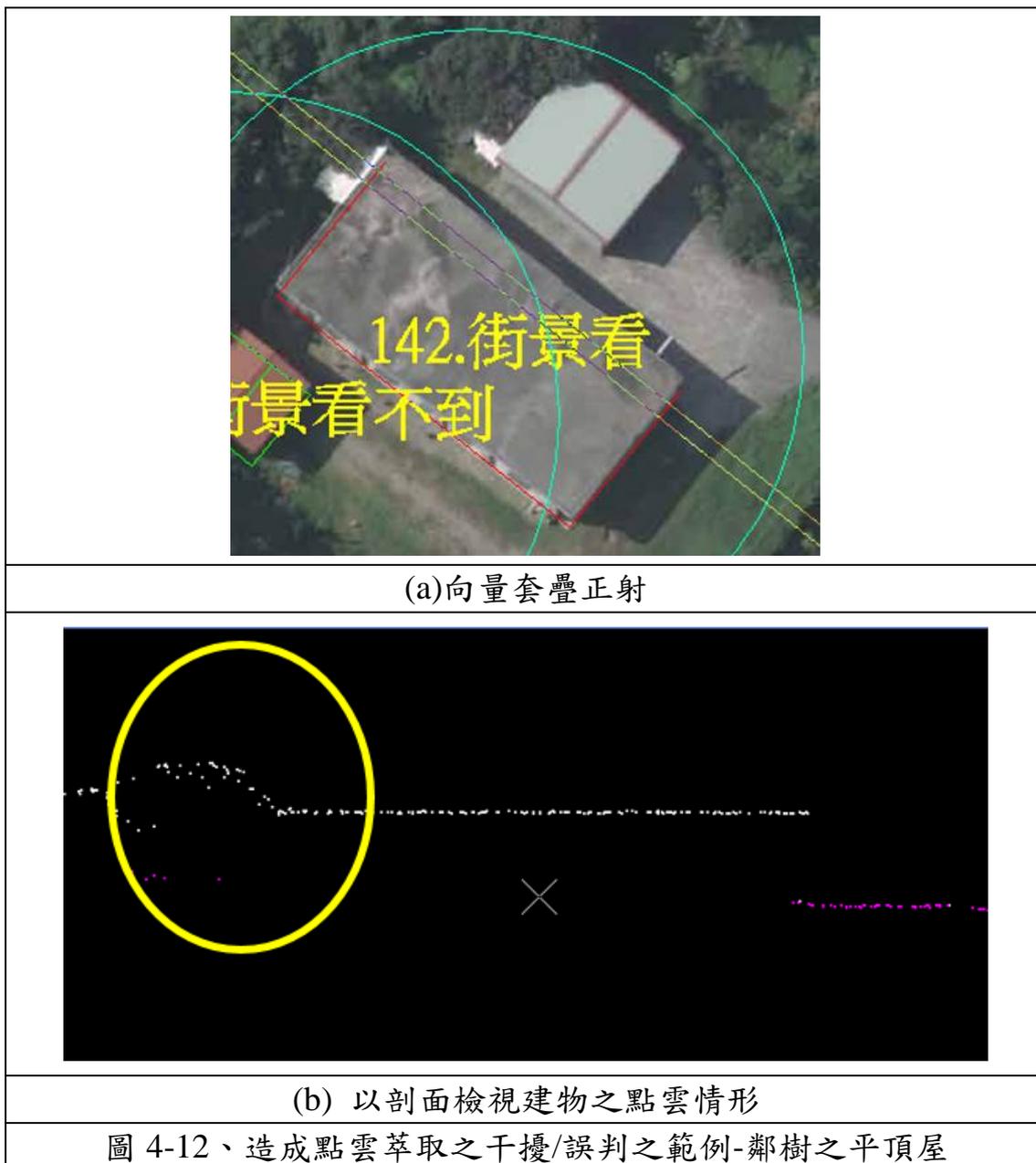


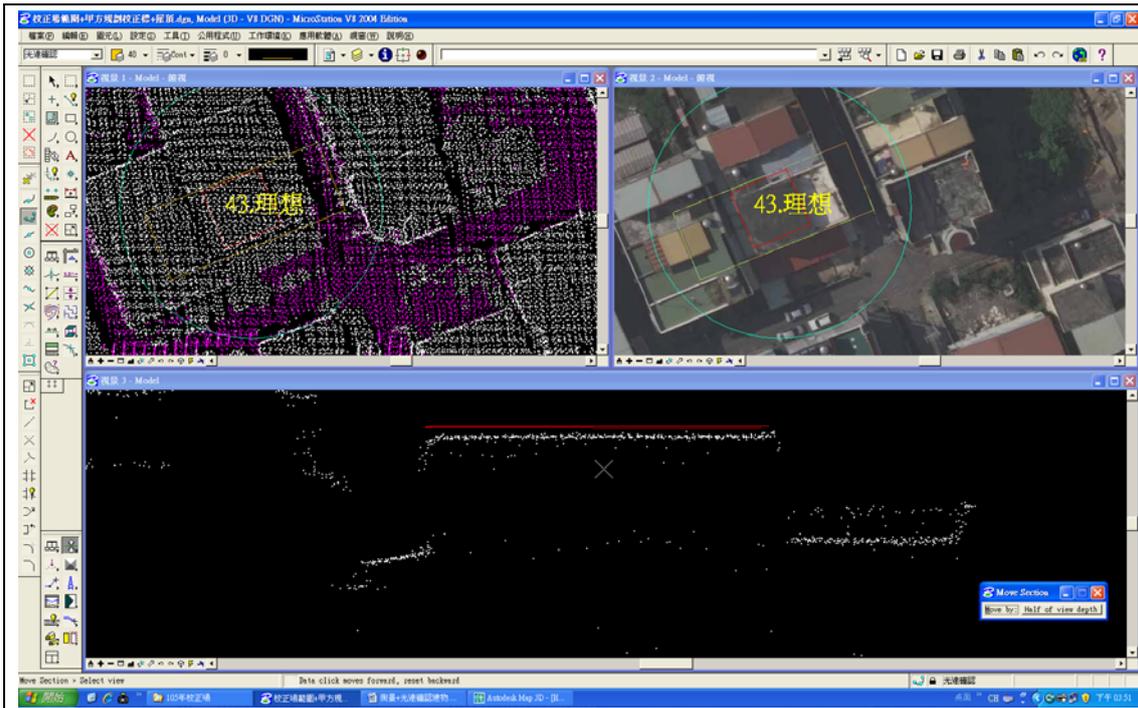
(a)向量套疊正射



(b) 以剖面檢視建物之點雲情形

圖 4-11、造成點雲萃取之干擾/誤判之範例-樹遮之平頂屋





(a)由立體模型及光達點雲判定為理想建物



(b)對於待測點無法全數通視

圖 4-13、難以地測方法進行參考值取得之平頂屋範例

2. 山形屋之屋脊線：

(1)立測初步篩選：如同矩形建物平頂面之校正標(物)選取原則，亦盡量選取無附屬構造物、永久性建物、且面積大於 25 平方公尺之山形屋，並繪製斜屋頂面及屋脊線，判定為理想建物 23 處。如同平頂屋，為避免理想建物分佈不如預期，則再以立測方式額外初判備用建物 32 處，包含屋頂稍有雜物。以立測方式初選候選之建物校正物如圖 4-14(a)。

(2)以既有光達資料確認：以光達點雲資料針對以立體模型篩選的平頂屋逐一進行確認，確認結果中判定為理想建物 13 處，備用建物 2 處。以既有點雲資料確認立測方式初選之建物校正物如圖 4-14(b)。理想山形屋範例如圖 4-14 所示。

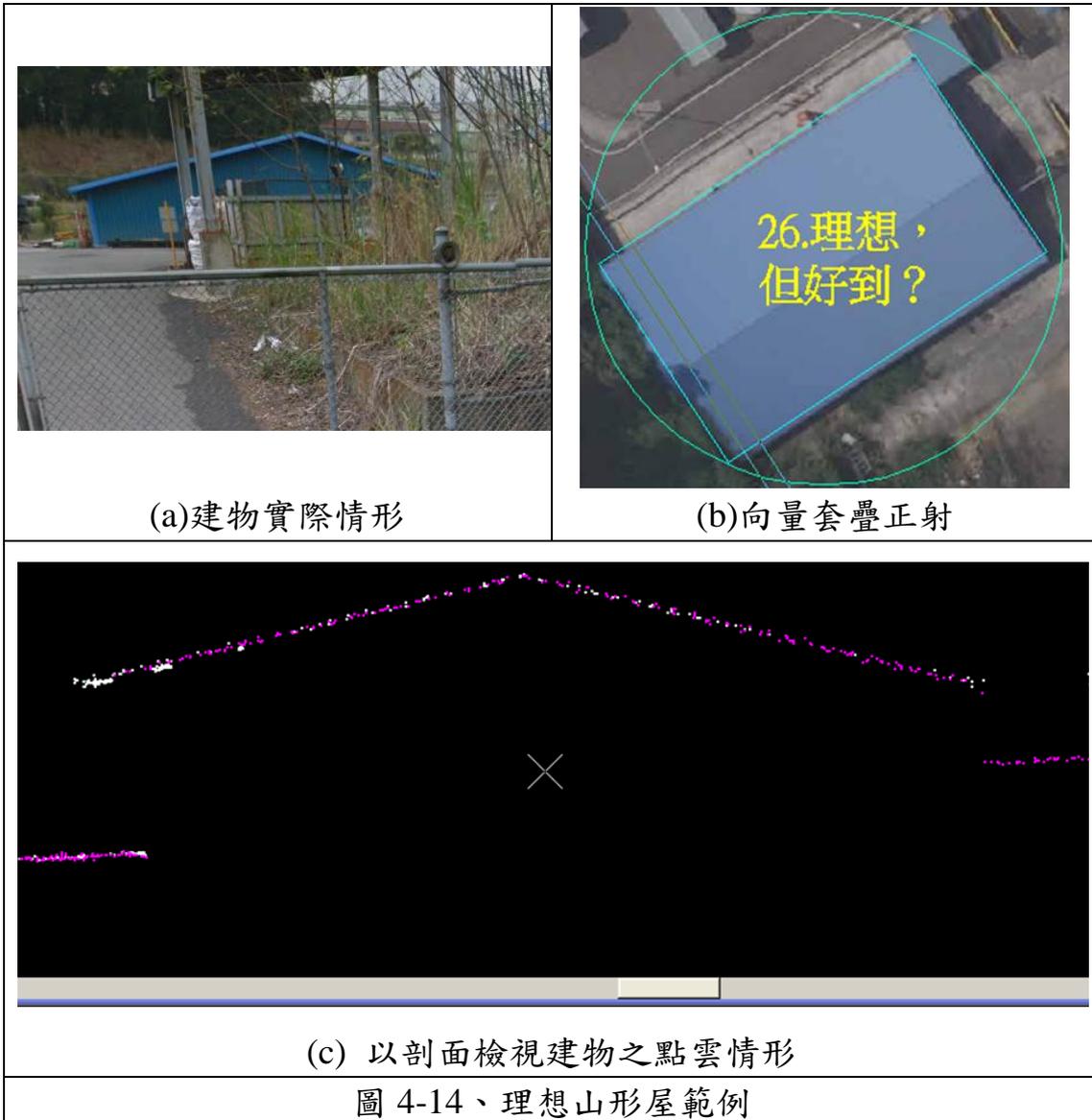
關於以立體模型判定為理想建物當中的部分在光達點雲確認後則判斷為不適用於校正物之建物，其類型包含：

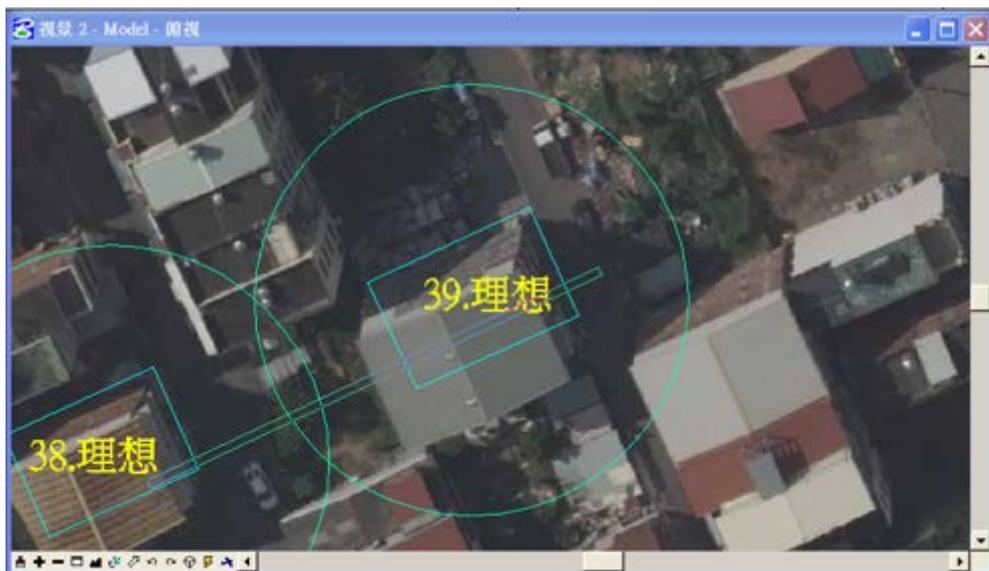
a.與鄰棟相連且高差不明顯之建物：導致建物點雲難以區別，如圖 4-15。

b.屋頂面或屋脊線難以認定：透過圖 4-16 之案例可知，由實際照片及立體模型認為理想的建物，若以光達點雲檢視，卻可能是屋形不明顯的建物。由於目前是以人工方式判定目標建物之光達點雲，因此，若山形屋之其中一個屋頂難以認定在同一個表面時，進而導致交會屋脊線不明確時，此類山形屋則建議不予採用。由此例可知關於篩選光達系統校正使用之校正物時，以既有光達點雲確認校正物情形之必要。

c.屋脊線夾角過大：如圖 4-17 案例。由於國內山形屋之主要功用為排水隔熱，與用來防止積雪之山形屋考量點不同，因此國內山形屋對於屋頂斜度之要求應僅止於符合法規。由「建築技術規則建築設計施工編」之第一條第九項之第(五)、(六)款提及若「非平屋頂建築物之屋頂斜率（高度與水平距離之比）在二分之一以下者。」則不列入建築高度，若斜率超過二分之一，則應經中央主管建築機關核可。因此，斜屋頂若是作為排水隔熱之用，為避免進入核可程序，就常理判斷屋

主理應選擇以建構斜率小於二分之一之斜屋頂，換句話說，國內山形屋夾角多數至少會大於 127 度。



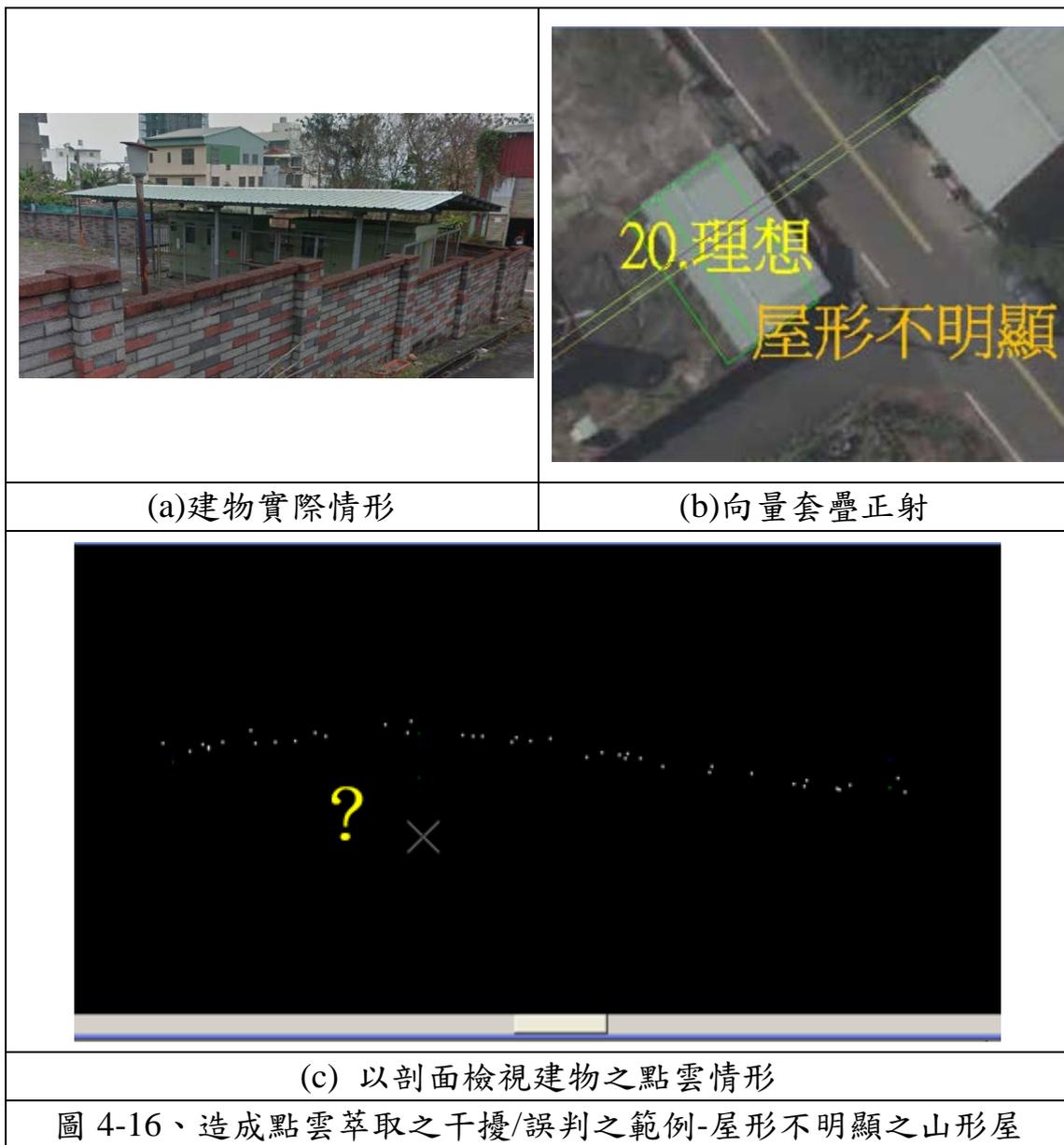


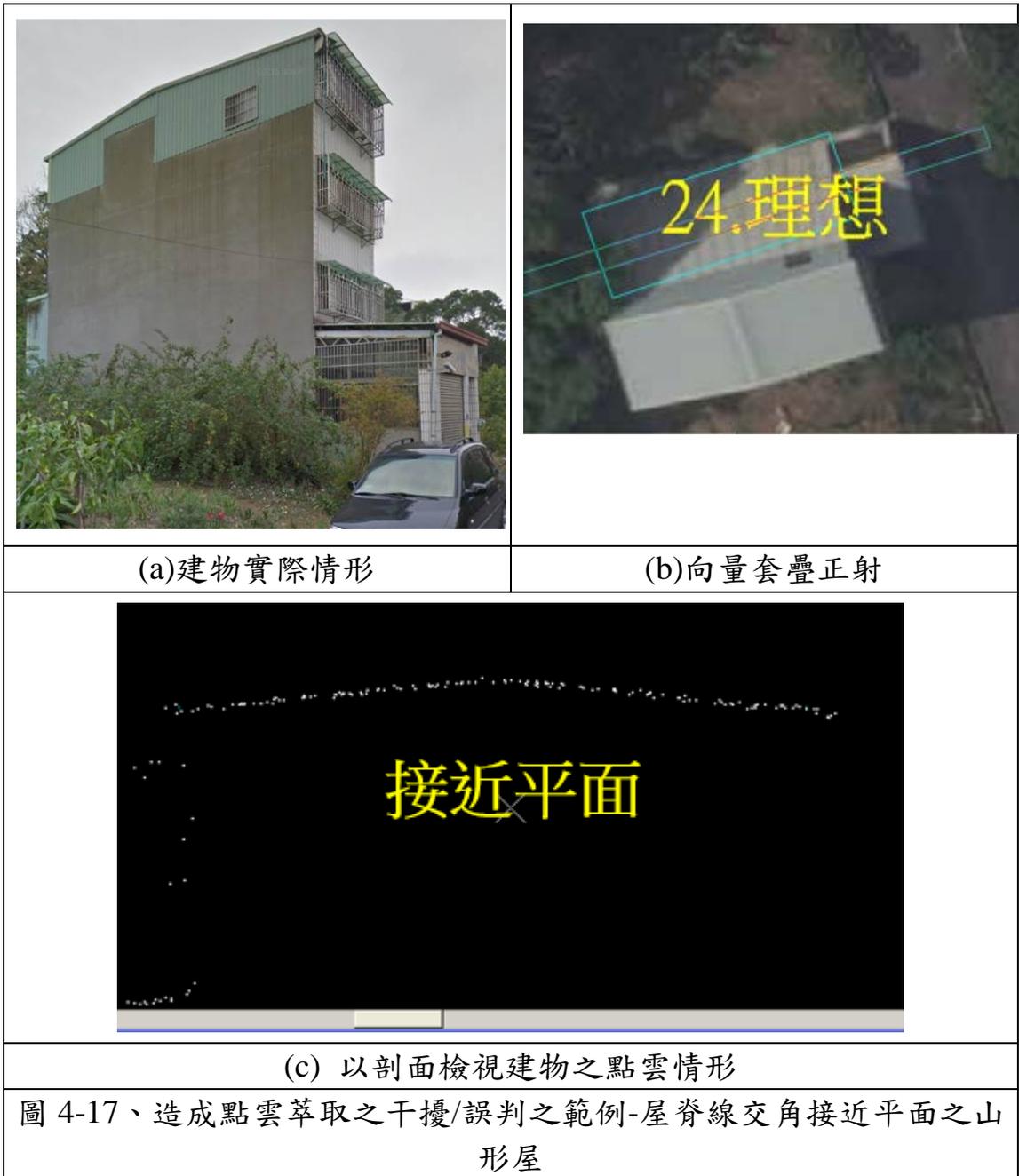
(a) 向量套疊正射



(b) 以剖面檢視建物之點雲情形

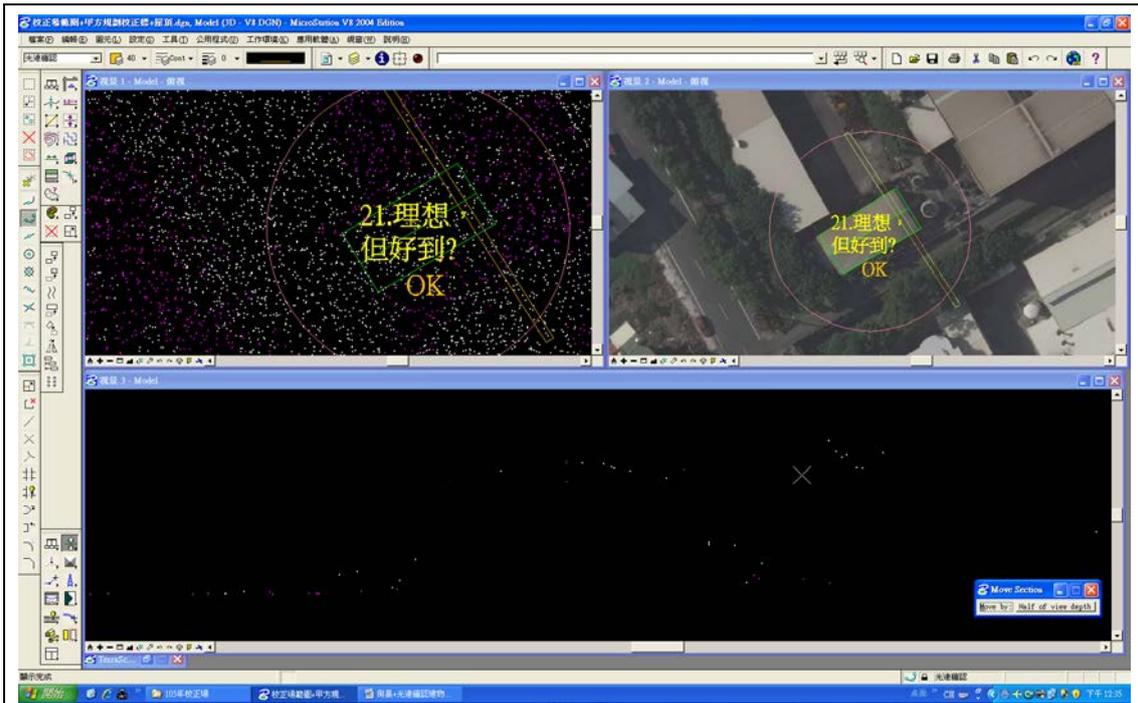
圖 4-15、造成點雲萃取之干擾/誤判之範例-與鄰棟相連且高差不明顯之山形屋





(3)現地確認：現地確認立測及光達點雲初選校正標物是否可以地測方式取得參考值，確認結果中判定為理想建物 6 處。

經過立體模型及光達點雲資料判定為理想建物，經過現地確認，仍有部分經過現地確認後判斷為不適用於校正物之建物，主因為無法通視待測點，如圖 4-18 之案例則是因為該山形屋外圍遭行道樹遮蔽，因此部分屋脊點無法通視。



(a)由立體模型及光達點雲判定為理想建物



(b) 對於待測點無法全數通視

圖 4-18、難以地測方法進行參考值取得之山形屋範例

3. 道路標線：

由方案報告中所蒐集之研究論文未提及關於道路標線應選取之長度，因此以能萃取出完整明顯的標線為原則，因此道路標線篩選原則是盡量選取透空良好無樹遮、標線完整、明顯、以停止線及與其相交之分隔線組合而成的 L 型標線為優先選取(因具備兩個方向的道路標線所形成之折角為較明確之特徵)，並繪製道路標線，約 16 處。考量掃描角分布情形，最後選定 5 處。

五、校正測試標物之參考值取得及計算

原則上，在進行現地確認校正標物時，即可同步進行校正測試標物的參考值取得。關於校正測試標物之參考值取得方式如下所列：

(一)針對不可及之校正標物(如:平頂面、山形屋)：

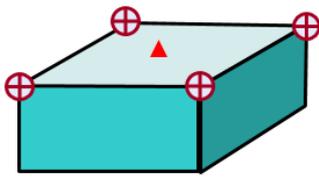
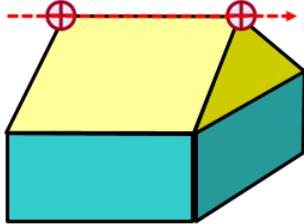
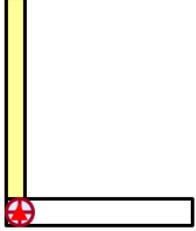
可採用國土測繪中心的電子測距經緯儀進行校正測試標物混合角邊測量，並在至少 2 個已知點上觀測同一個屋角點，增加多餘觀測以提升可靠度，最後再以觀測量計算校正物參考值。

(二)針對可及之校正標物(如:道路標線)：

可採用國土測繪中心的電子測距經緯儀或衛星定位儀針對道路標線折角處之中點進行施測，最後再以觀測量計算校正物參考值。

各校正測試標物之參考值量測數量及位置示意如表 4-6 所示。

表 4-6、校正測試標物之參考值量測數量及位置

校正標物 類型	矩形建物平頂面	山形屋之屋脊線	道路標線
參考值 /數量	建物角點所計算的 形心/1 點	屋脊點所計算的屋 脊線/1 條	L 型標線折 角中點/1 點
參考值 位置			

伍、測試飛行航拍及光達掃描規劃

一、成果需求

小校正場範圍如圖 3-7 所示，首先可決定中央航線位置，並向航拍飛行廠商提出航拍及掃描成果之需求，即可利用規劃軟體計算飛行參數之理論值。成果需求如下所列：

1、航拍需求(比照大像幅量測型航測攝影機校正作業要求)：

(1)GSD：至少達 10 公分。

(2)像片重疊率：

a. 前後重疊率：以 80%為原則，若受限於中像幅航測攝影機之快門速度及對地飛行速度，則調整至 60%。

b. 側向重疊率：60%。

2、光達掃描需求：

(1)單航帶原始點雲密度於低航高至少達 4 點/平方公尺(後續可藉由資料處理方式遞減點雲密度，以探討點雲密度變因對於成果品質評估之影響)。

(2)低航高航帶側向重疊率至少達 50%(後續可藉由資料處理方式遞減重疊率，探討航帶重疊率變因對於成果品質評估之影響)。

(3) FOV 最大不超過 50 度(由於點雲會記錄其掃描角度，因此後續可識別點雲之掃描角度屬性，探討掃描角度變因對於成果品質評估之影響)。

為達成上述預期目標，原則上，航帶原始點雲密度除了與航高成反比，亦與雷射脈衝頻率、掃描頻率...等因素相關，就目前業界所用之空載光達系統皆足以達到上述預期目標，考量安全因素及未來實際作業中，空載光達掃描與中像幅航空測量攝影機航拍同時進行的可能性很大，建議航高以設定在 1000 公尺為目標，以點雲密度可達 4 點/平方公尺之目標設定對應的雷射脈衝頻率

及掃描頻率。內政部(2012)提及，以中興測量公司所用之 Optech ALTM Pegasus 光達系統，在航高為 1403 公尺時，雷射脈衝頻率為 100kHz、掃描頻率 40Hz，點雲密度可達 6.49 點/平方公尺，且密度隨雷射脈衝頻率增加而更密。其他業界所用之 Leica ALS70(詮華)、Riegl LMS-Q780(自強)，無論就操作高度、雷射脈衝頻率、掃描頻率來評估皆可達所預設之點雲密度。由於雷射掃描儀性能提升甚快，例如目前已有更多脈衝的掃描儀，因此建議未來對於光達系統校正航線的要求與限制等相關參數規劃，不需要設定航高，因為目前業界所用空載光達系統皆已經能達到預期目標，未來掃描性能必定更高。其他如航帶重疊率屬於航帶規劃， $FOV \leq 50^\circ$ 就目前業界所用之空載光達系統亦可達到。

3、航高：併同攝影同步掃描，分為低航高及高航高二部份。就光達掃描而言，不同航高飛行的數據可以偵測出測距誤差源隨高度而變化(內政部，2015)。

(1)低航高：用於中像幅與光達掃描。以 GSD 達 10 公分且中央航帶可完整涵蓋小校正場所應對應的航高。

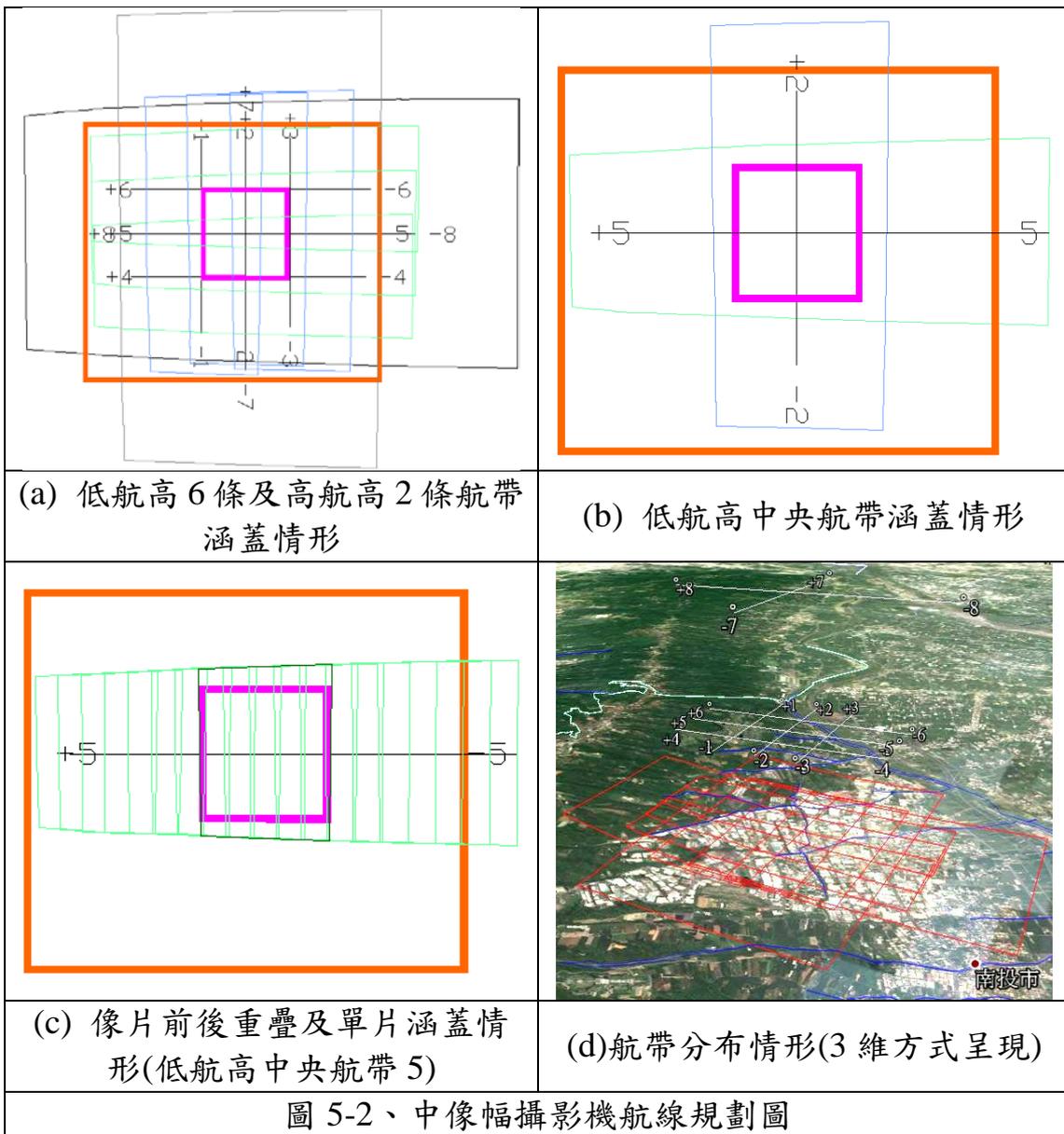
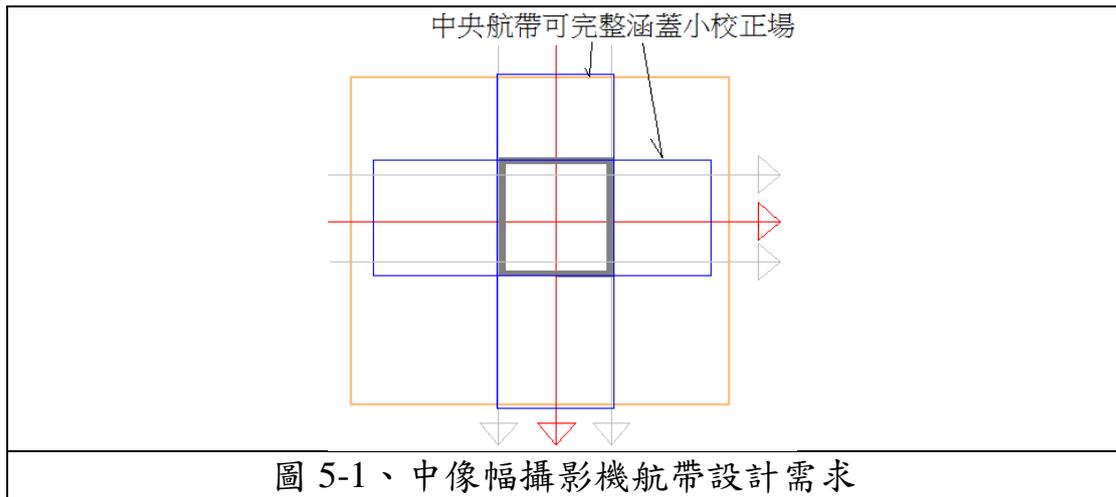
(2)高航高：用於光達掃描。約低航高的 2 倍。

4、有效航線的長度：

(1)低航高：以大校正場的範圍來計算，11.25 公里(1750 公尺(南北)*3 條航帶+2000 公尺(東西)*3 條航帶)。

(2)高航高：以大校正場的範圍來計算，3.750 公里(1750 公尺(南北)*1 條航帶+2000 公尺(東西)*1 條航帶)。

5、航線設計：分南北向及東西向飛行，且各組方向之相鄰航帶必須為同向，且南北向及東西向的中央航線(紅色箭頭)落在小校正場範圍的中軸區域上，如圖 5-1。



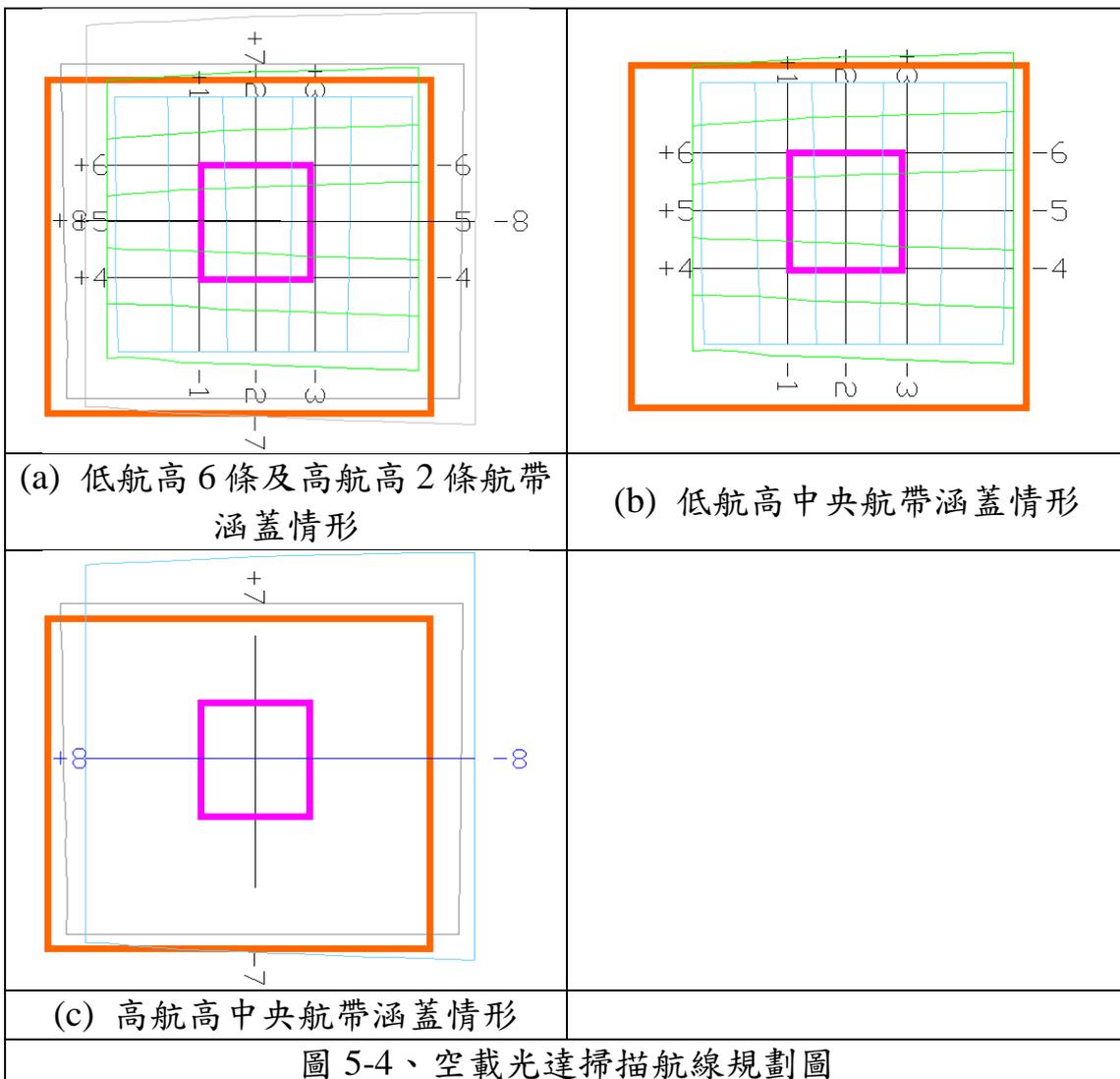
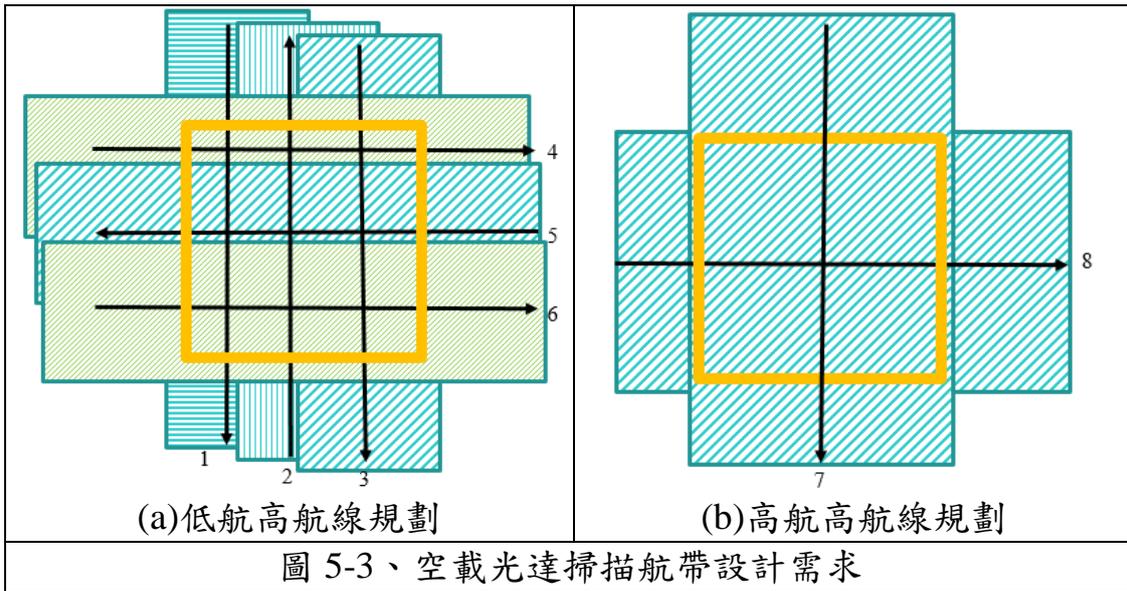
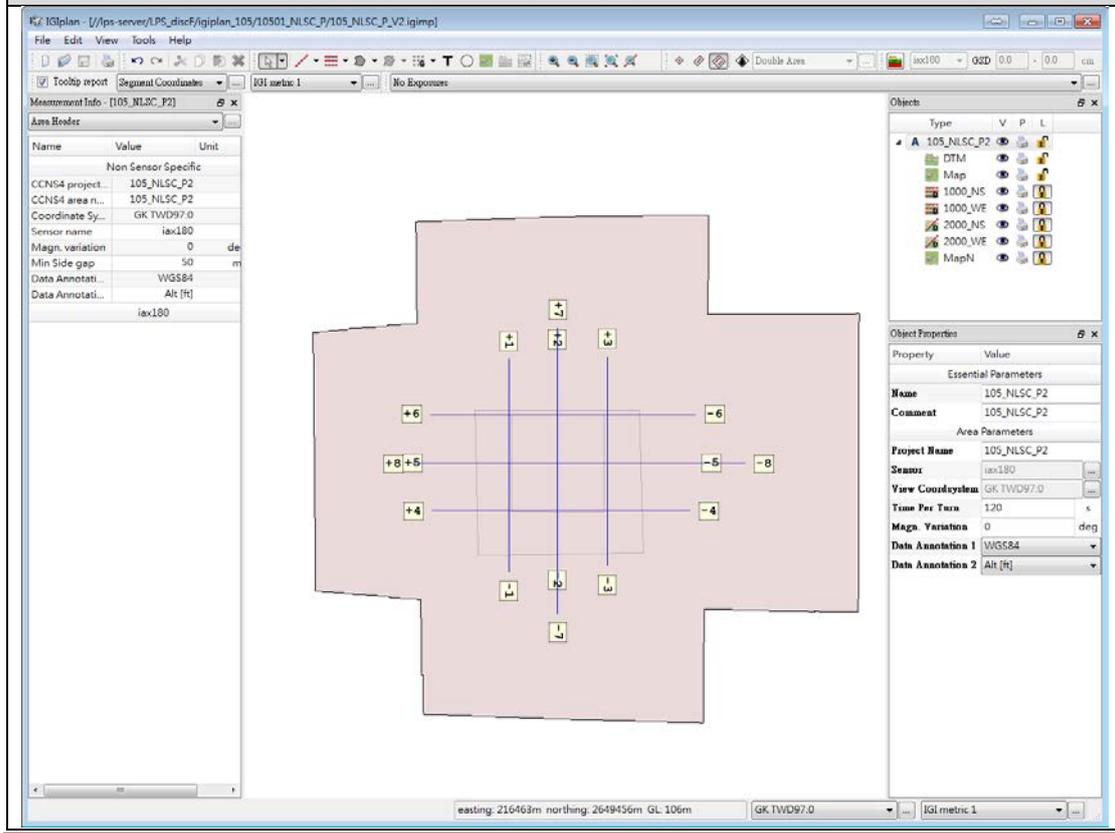


表 5-1、中像幅攝影機及空載光達航線規劃資訊

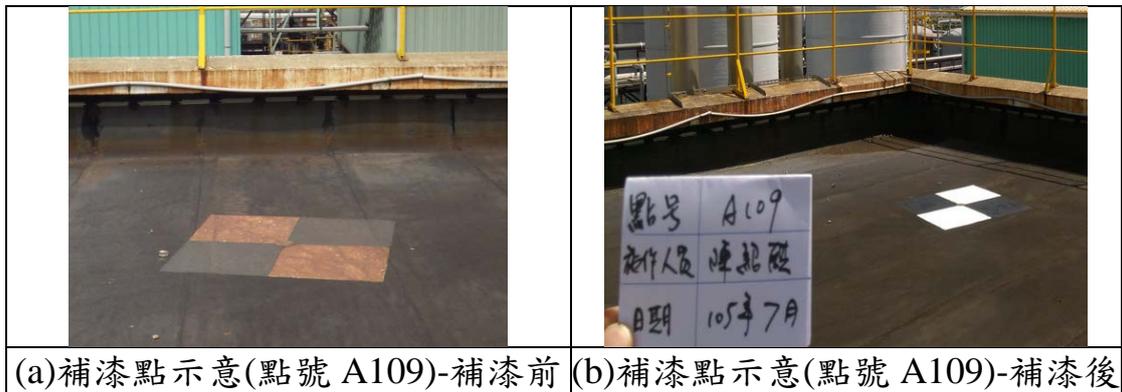
項目	規劃資訊	備註
飛航高度	1000 公尺、2000 公尺	航線 1~6: 1000 公尺； 航線 7、8: 2000 公尺
航拍測線	8 條	
飛航長度	12 公里	
航拍影像前後重疊	80%	
航拍影像側向重疊	60%	
GSD	8 公分	航高 1000 公尺
東西方向像片數	15 片/航帶	
南北方向像片數	12 片/航帶	
Lidar 側向重疊	66%	FOV 60 度； (FOV 50 度時，左右重疊為 58%)
Riegl LMS-Q780 掃描頻率	400 KHZ	航高 1000 公尺
Riegl LMS-Q780 點雲密度	5 點/平方公尺	單條區域
PhaseONE ixa180		
像元大小	5.2 微米	
像幅大小	10328 x 7760	像素
移動補償方式	TDI	
焦距	55 公厘	

航線規劃圖



二、中像幅攝影機及空載光達資料取得

本會於 105 年 4 月 28 日、29 日完成小校正場內校正標之清標，示意如圖 5-5，並分別於 105 年 7 月 21 日、29 日及 105 年 8 月 11 日針對清標結果進行重漆及補漆，示意如圖 5-6。於 105 年 7 月 28 日完成航拍及光達掃描工作，並於 105 年 8 月 12 日取得完整資料。





(c)重漆點示意(點號 A147)

圖 5-6、校正標之重漆及補漆情形

陸、中像幅航空測量攝影機校正飛行 測試及成果分析

一、中像幅航空測量攝影機航拍成果取得

(一)實際飛航參數及空中三角平差使用相關參數

本會委託自強工程顧問公司進行中像幅航空測量攝影機拍攝，拍攝完成日期為 105 年 7 月 28 日。飛航參數及空中三角平差使用相關參數列如表 6-1，內方位及透鏡畸變參數如表 6-2，航帶分布如圖 6-1 所示，圖中黃色框為校正場域。

表 6-1、實際中像幅航空測量攝影機相關參數

航空測量攝影機型號	PhaseONE ixa180
焦距 (公厘)	55
平均絕對航高 (公尺)	1007
平均地面高 (公尺)	189
平均基線長(公尺)	121
攝影比例尺	1/15236
像元大小 (微米)	5.2
地面像素解析度 GSD (公分)	7.7
像片前後重疊率(%) (End-lap)	80%
像片側向重疊率(%) (Side-lap)	60%
航線總數量(條)	6
東西向航線數量(條)	3
南北向航線數量(條)	3
平差使用的像片總數量 (片)	78
平差使用校正標總數 (點)	47

表 6-2、phaseone ixa180 內方位及畸變差

內方位參數	像主點偏移(x_0, y_0)	-0.1489,0.0002
	焦距改正量(f)	-55.0528
單位: ±公厘		
畸變差	輻射畸變差(a_1, a_2, a_3)	-2.294662E ⁻⁵ ,

		9.173002E ⁻⁹ , 1.528804E ⁻¹²
	仿射或非正交性之變形畸變差(b_1, b_2)	-8.117224E ⁻⁷ , 2.858204E ⁻⁶
	像平面誤差(c_1, c_2)	-1.693318E ⁻⁵ , -2.790624E ⁻⁶
單位: ±unitless		

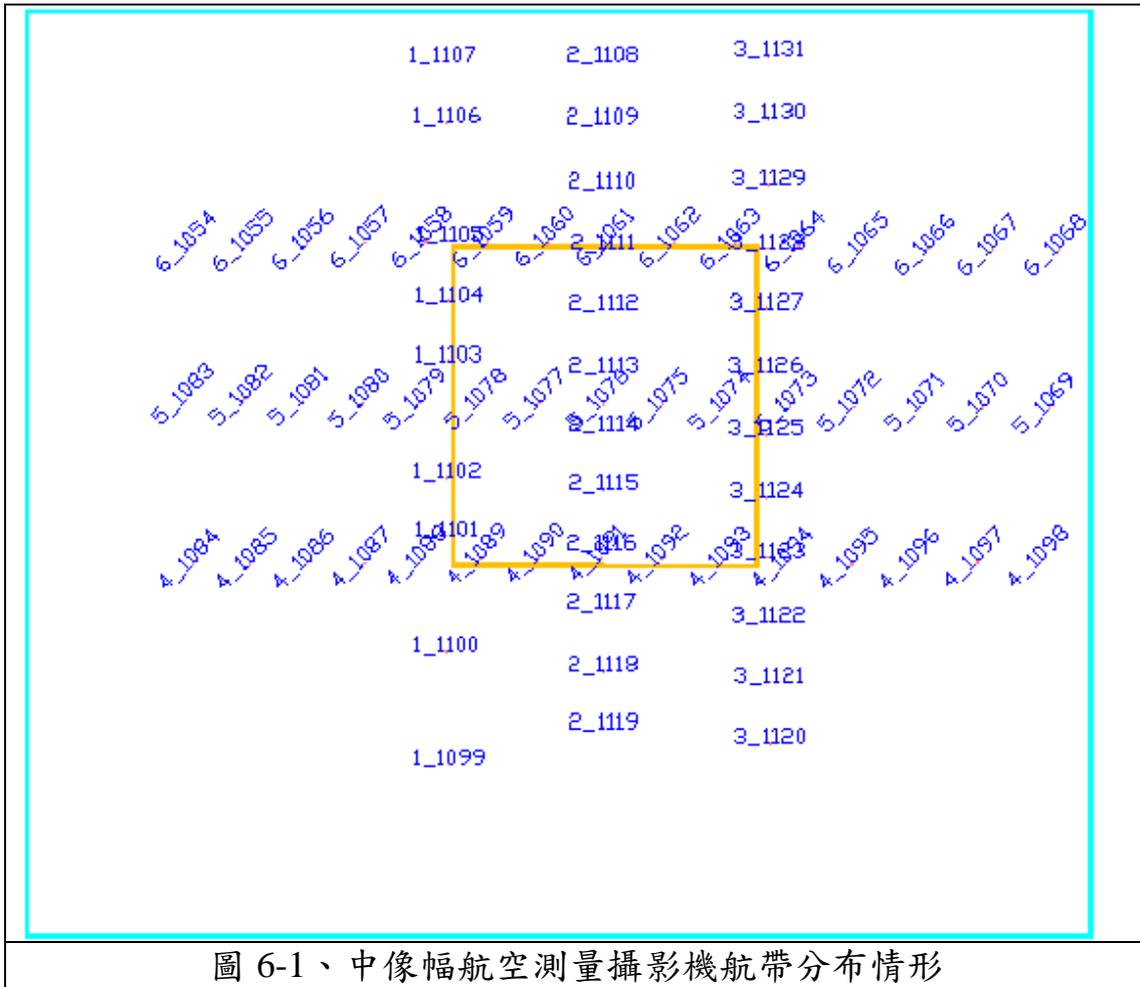


圖 6-1、中像幅航空測量攝影機航帶分布情形

二、中像幅航空測量攝影機空三網形連結及校正標使用情形

(一)空中三角測量網形連結

空中三角測量網形連結情形如圖 6-2 所示，以展繪 6 重以上之連結情形來看，航帶間無明顯網形連結不足之問題。航帶間的連結點其交會光線若以四個象限區分，圖中之藍色線段表示以該連結點為中心之四個象限皆有交會光線，顯示其網形連結強度平均且穩固；若以黃

色線段表示，則該連結點之交會光線並未來自四個象限，顯示其網形連結強度不平均，此情形在測區週邊，屬正常。

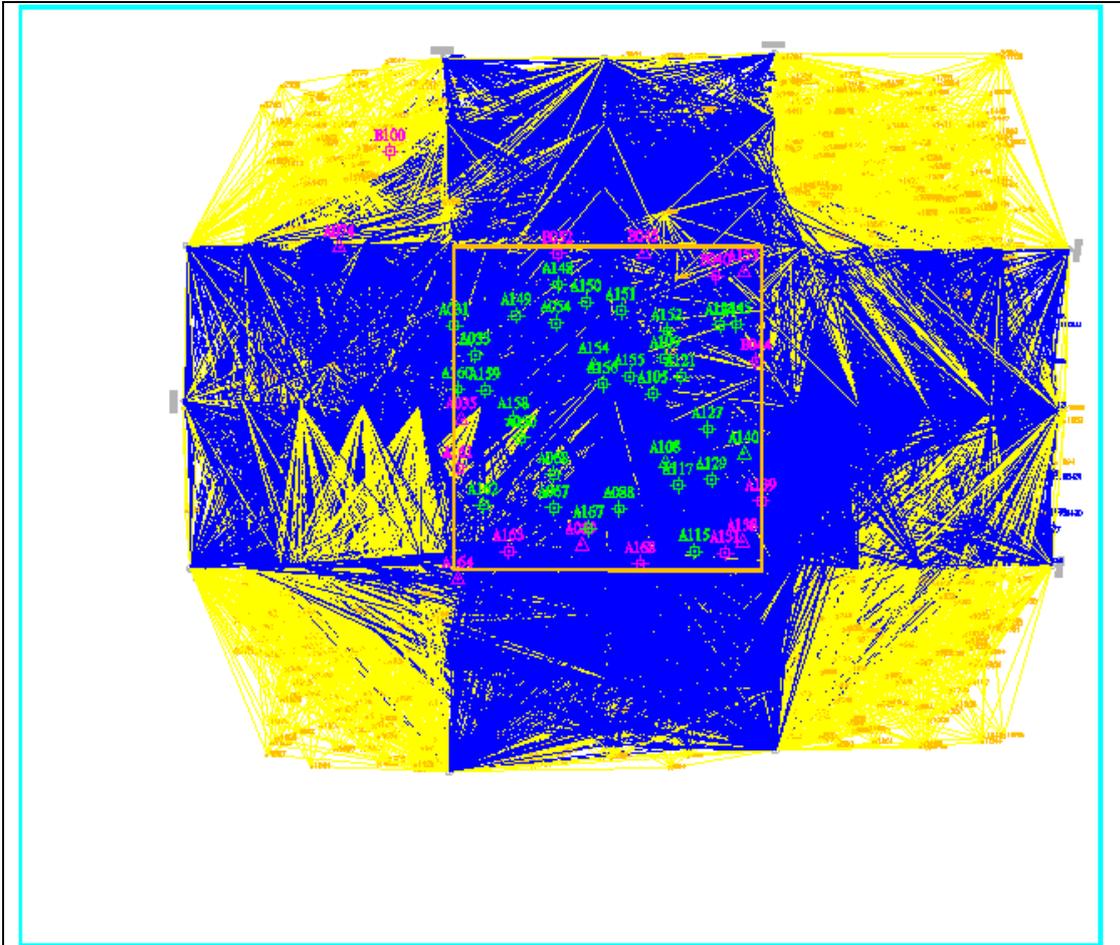
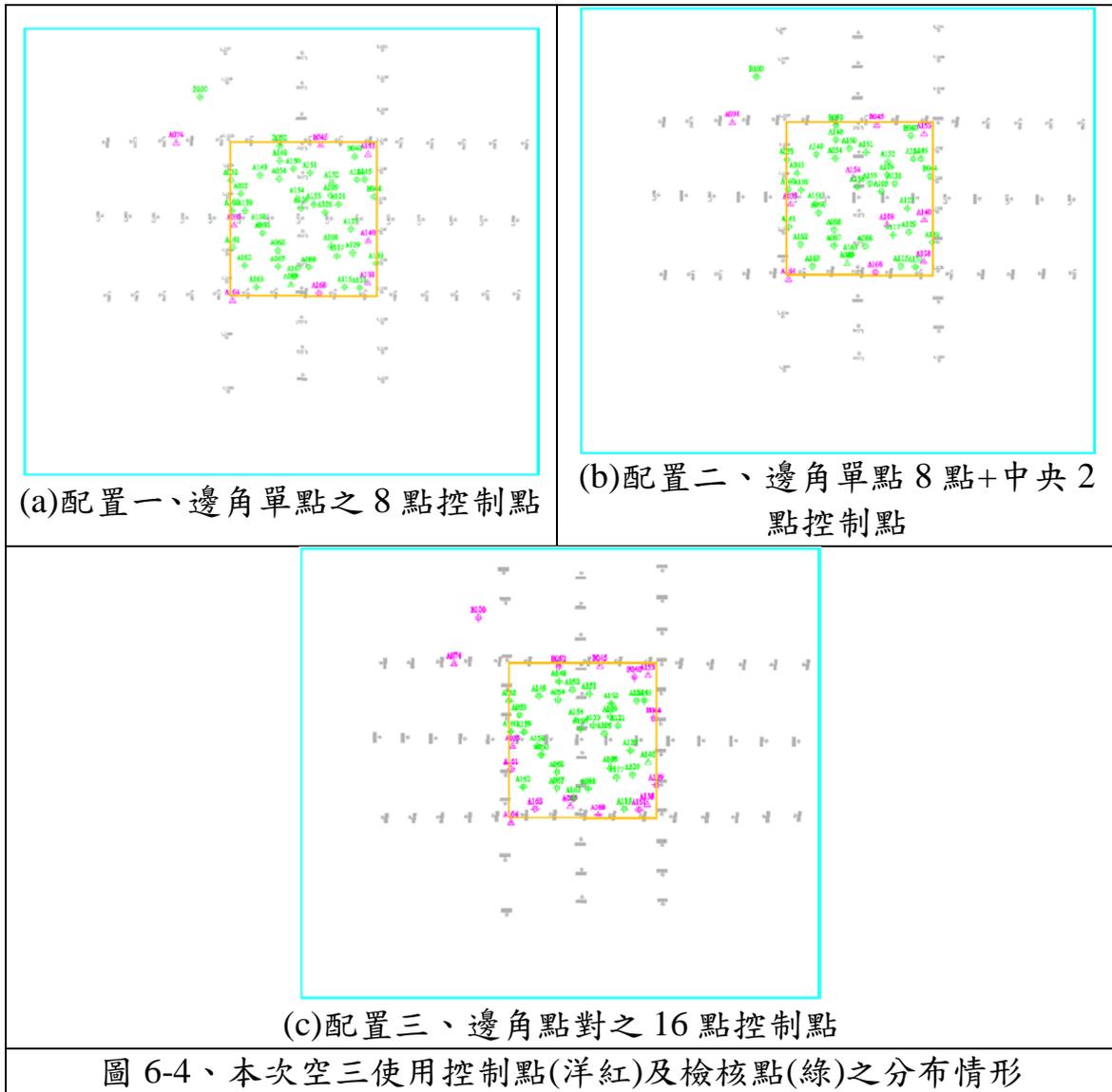


圖 6-2、空中三角測量網形連結(6 重點以上)

(二)控制點及檢核點分布情形

原大像幅之航測攝影機校正作業程序中，關於空中三角程序規定「在校正場 4 個角落各取 1 點、4 邊各取 1 點與中央位置選取 2 點，共選取 10 個校正標，作為平差計算控制點...」，考量校正之目的在最大限度地顯示攝影機真實誤差情形，不應採用測區中央布設控制點來過度壓抑攝影機誤差的不當措施，再加上即使大像幅攝影機原廠之校正報告內或目前航測地形圖測製規範內，均無於測區中央必須布設全控制點之規定，因此本作業程序採取中央位置不予設置控制點，始能使攝影機真實的畸變不會受中間控制點之不當壓抑，以達到校正之目的。



三、中像幅航空測量攝影機空三成果分析

成果統計列於如表 6-3，校正結果則列於表 6-4。

表 6-3、空三平差成果統計量

項次	空三平差程序	空三平差成果統計量			
		最小約制 自由網平差	強制網平差		
1	平差方法				
2	參與平差之航帶	1~6	1~6	1~6	1~6
3	控制點數量	3	8	10	16
4	檢核點數量	44	39	37	31
5	像片前後重疊率	80%	80%	80%	80%

項次	空三平差程序		空三平差成果統計量			
	6	像點觀測量粗差數量		0	0	0
7	後驗單位權中誤差(微米)		2.6	2.6	2.6	2.6
8	航測觀測值統計	連結點數(≤3重)	358	358	358	358
		連結點數(4重)	171	172	172	172
		連結點數(5重)	142	143	143	143
		連結點數(≥6重)	2463	2461	2461	2461
		總連結點數	3134	3134	3134	3134
		連結點總光線數	34885	34870	34870	34870
		總觀測數	69785	69889	69917	69887
		總未知數	9876	9876	9876	9876
9	可靠度指標	平均多餘觀測數 (總多餘觀測數/總觀測數)	0.9	0.9	0.9	0.9
		連結點平均光線數 (連結點總光線數/總連結點數)	11.1	11.1	11.1	11.1
		連結點強度指標(6重光線以上連結點數)/(總點數)	0.8	0.8	0.8	0.8

表 6-4、空三平差解算成果

序號	點號	平面橫軸方向器差 ΔE(公尺)			平面縱軸方向器差 ΔN(公尺)			高程方向器差 ΔH(公尺)		
		8GCP	10GPC	16GCP	8GCP	10GPC	16GCP	8GCP	10GPC	16GCP
1	A031	0.0025	0.0064	0.0006	-0.0082	-0.0079	-0.0100	-0.0959	-0.0736	-0.1049
2	A033	-0.0052	-0.0014	-0.0083	-0.0112	-0.0104	-0.0121	-0.1231	-0.1004	-0.1302
3	A050	0.0269	0.0308	0.0212	-0.0068	-0.0051	-0.0059	-0.0959	-0.0741	-0.0996
4	A054	0.0127	0.0158	0.0076	0.0037	0.0046	0.0003	-0.1592	-0.1344	-0.1638
5	A067	0.0090	0.0129	0.0010	-0.0236	-0.0211	-0.0215	-0.0451	-0.0246	-0.0472
6	A068	-0.0082	-0.0043	-0.0153	-0.0193	-0.0171	-0.0181	-0.0906	-0.0689	-0.0928
7	A088	-0.0023	0.0012	-0.0115	-0.0037	-0.0006	-0.0029	-0.0081	0.0138	-0.0076
8	A089	0.0035	0.0074	-	-0.0093	-0.0062	-	0.0152	0.0353	-
9	A105	0.0050	0.0078	-0.0032	0.0058	0.0081	0.0029	-0.1355	-0.1093	-0.1345
10	A108	-0.0213	-	-0.0310	-0.0164	-0.0032	-0.0176	-0.0906	-	-0.0888
11	A109	-0.0191	-0.0166	-0.0272	-0.0053	-0.0095	-0.0094	-0.1154	-0.0880	-0.1143
12	A115	-0.0131	-0.0100	-0.0245	-0.0133	-0.0150	-0.0131	-0.0081	0.0126	-0.0049
13	A117	-0.0143	-0.0113	-0.0243	-0.0184	-0.0175	-0.0194	-0.0950	-0.0708	-0.0919
14	A121	-0.0310	-0.0285	-0.0394	-0.0198	-0.0136	-0.0236	-0.0831	-0.0560	-0.0810

序號	點號	平面橫軸方向器差 ΔE(公尺)			平面縱軸方向器差 ΔN(公尺)			高程方向器差 ΔH(公尺)		
		8GCP	10GPC	16GCP	8GCP	10GPC	16GCP	8GCP	10GPC	16GCP
15	A124	-0.0015	0.0003	-0.0105	-0.0155	-0.0028	-0.0212	-0.0839	-0.0561	-0.0814
16	A127	-0.0168	-0.0145	-0.0268	-0.0057	-0.0064	-0.0084	-0.0632	-0.0378	-0.0606
17	A129	-0.0122	-0.0096	-0.0230	-0.0098	0.0177	-0.0114	0.0548	0.0789	0.0581
18	A131	0.0289	0.0318	-	0.0134	0.0086	-	0.0495	0.0716	-
19	A139	-0.0180	-0.0157	-	0.0045	-0.0032	-	0.0101	0.0344	-
20	A140	-	-	-0.0311	-	-	-0.0156	-	-	-0.0674
21	A145	0.0053	0.0069	-0.0039	0.0052	0.0074	-0.0008	-0.0378	-0.0095	-0.0345
22	A148	0.0202	0.0232	0.0158	-0.0026	-0.0020	-0.0075	-0.1269	-0.1013	-0.1322
23	A149	-0.0061	-0.0026	-0.0098	-0.0029	-0.0022	-0.0060	-0.1139	-0.0897	-0.1204
24	A150	0.0445	0.0474	0.0391	0.0235	0.0244	0.0188	-0.0836	-0.0576	-0.0873
25	A151	0.0158	0.0184	0.0094	-0.0011	0.0001	-0.0060	-0.0902	-0.0635	-0.0921
26	A152	0.0136	0.0160	0.0059	-0.0124	-0.0106	-0.0173	-0.0926	-0.0648	-0.0918
27	A154	-0.0032	-	-0.0097	0.0005	-	-0.0022	-0.1089	-	-0.1109
28	A155	0.0015	0.0044	-0.0058	-0.0010	0.0010	-0.0040	-0.1543	-0.1280	-0.1544
29	A156	-0.0142	-0.0111	-0.0213	-0.0004	0.0015	-0.0026	-0.1345	-0.1088	-0.1357
30	A158	-0.0109	-0.0070	-0.0161	-0.0257	-0.0242	-0.0252	-0.1178	-0.0957	-0.1222
31	A159	-0.0049	-0.0009	-0.0087	-0.0192	-0.0181	-0.0192	-0.1085	-0.0866	-0.1143
32	A160	-0.0059	-0.0019	-0.0090	-0.0191	-0.0183	-0.0185	-0.1284	-0.1073	-0.1357
33	A161	0.0182	0.0224	-	-0.0215	-0.0201	-	-0.0838	-0.0654	-
34	A162	0.0164	0.0207	0.0103	0.0050	0.0069	0.0086	-0.0487	-0.0305	-0.0526
35	A163	0.0266	0.0309	-	-0.0078	-0.0055	-	0.0122	0.0291	-
36	A167	0.0189	0.0228	0.0101	-0.0059	-0.0029	-0.0041	-0.0209	-0.0002	-0.0214
37	B040	0.0101	0.0117	-	0.0026	0.0040	-	-0.0727	-0.0441	-
38	B044	0.0007	0.0023	-	-0.0028	-0.0001	-	-0.0303	-0.0022	-
39	B052	0.0588	0.0616	-	0.0436	0.0440	-	-0.1189	-0.0931	-
40	B100	-0.0298	-0.0262	-	0.0189	0.0171	-	0.1593	0.1824	-
差量最大值(公尺)		0.0588	0.0616	0.0394	0.0436	0.0440	0.0252	0.1593	0.1824	0.1638
差量最大值點位		B052	B052	A121	B052	B052	A158	B100	B100	A054
均方根值(公尺)		0.0191	0.0202	0.0188	0.0144	0.0138	0.0136	0.0944	0.0784	0.1000
器差均方根值換算至像坐標(微米) (平均像片比例尺 = 1/15236)		1.2545	1.3251	1.2326	0.9454	0.9070	0.8925	6.1974	5.1433	6.5610

四、現行之航空測量攝影機校正作業程序調整

(一)作業程序調整一

- 1.原報告內容：關於連結點之像點量測於原作業程序中的文字「辦理影像連結點自動匹配，每張影像與同航帶及鄰航帶之影像，均須有均勻分布之連結點，匹配不足處須由人工進行像坐標量測。」
- 2.修改後內容：「由人工立體量測連結點，且要求每張影像的 9 個標準點位都必須有連結點與同航帶及鄰航帶之鄰片相連結。」
- 3.修改原因：為避免在進行校正的過程中，因自動匹配連結點導致難以從連結強度檢查及粗差偵測結果判斷偵測出來的粗差是否真的是來自航空測量攝影機待校件本身的問題，建議改為以人工量測連結點。

(二)作業程序調整二

- 1.原報告內容：在粗差偵測過程中提及「檢核經粗差偵測剔除的連結點數量及分布，是否仍於 9 個標準點位，至少一點有 9 重光束連結點位與鄰片相連結...」。
- 2.修改後內容：「檢核經粗差偵測剔除的連結點數量及分布，是否仍符合 9 個標準點位都與鄰片連結之規定...」。
- 3.修改原因：重點數與重疊率及像片位置有關。

(三)作業程序調整三

- 1.原報告內容：針對空中三角平差步驟中，關於影像控制點之選取原則為「在校正場 4 個角落各取 1 點、4 邊各取 1 點與中央位置選取 2 點，共選取 10 個校正標，作為平差計算控制點」。
- 2.修改後內容：「在校正場 4 個角落各取 2 點及 4 邊中央各取 2 點共選取 16 個校正標，作為平差計算控制點」。
- 3.修改原因：由表 6-4 可知，對應圖 6-4 三種控制點分布則計算出三種不同的空三成果。配置一(邊角單點 8 點)、配置二(邊角單點 8 點+中央 2 點控制點)及配置三(邊角點對 16 點)器差之均方根值平面分量無差別皆約 2 公分，但高程分量則因配置二相較於配置一多了中央 2

點控制點，使得高程精度提升 2 公分。在穩固網形但又避免過度強化網形之考量下，建議刪去中央位置控制點。此外，為避免校正標更動或量錯校正標，建議以點對方式選取控制點。

(四)作業程序調整四

- 1.原報告內容：關於校正標初步查核步驟提及「查核前項完成之空中三角測量所獲得之校正標投影坐標值，與衛星定位儀所得之校正標坐標參考值之坐標較差，倘超過平面 4 公分、高程 10 公分，則須確認校正標像坐標量測及校正標坐標參考值引用之正確性。倘非前述事項造成較差過大，則該校正標予以剔除，並通報該校正標暫時停用。」。
- 2.修改後內容：「查核前項完成之空中三角測量所獲得之校正標投影坐標值，與衛星定位儀所得之校正標坐標參考值之坐標較差，倘超過平面 6 公分、高程 15 公分，則須確認校正標像坐標量測及校正標坐標參考值引用之正確性。倘非前述事項造成較差過大，則該校正標予以剔除，並通報該校正標暫時停用。」。
- 3.修改原因：由表 6-4 可知，以控制點配置三結果來看，器差差量最大值平面方向 3.9 公分(X 分量)，高程方向 16.3 公分。對應差量最大值之點位為 A121、A158、A054，經確認校正標未發生更動或點位量測錯誤之情形，但若要符合該初步查核之標準，則就本案例以中像幅像機所計算之空三成果而言，有 2 點平面方向之差量接近 4 公分，13 點高程方向之差量大於 10 公分，為使初期查核達到之效益及工作量之間取得平衡，建議將標準放寬至平面 6 公分、高程 15 公分。

柒、空載光達系統校正飛行測試及成果分析

一、空載光達掃描成果取得

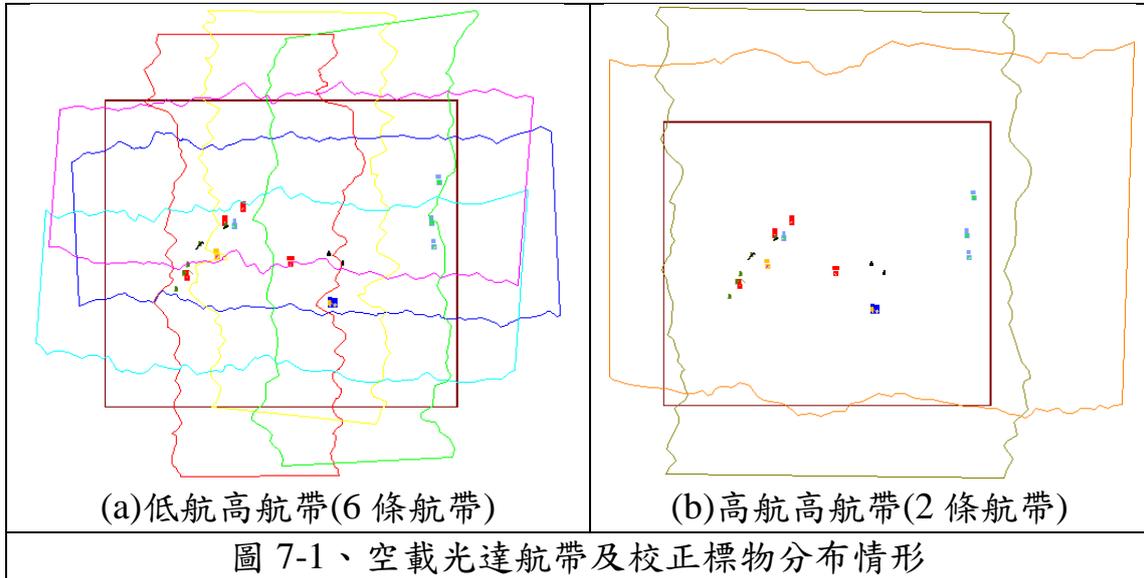
(一) 實際空載光達掃描相關參數

本會委託自強工程顧問公司進行空載光達掃描，掃描資料是與中像幅航拍影像同步取得，因此掃描日期亦為 105 年 7 月 28 日。關於實際空載光達掃描使用相關參數如表 7-1，空載光達掃描航帶及校正標物分布情形如圖 7-1：

表 7-1、空載光達掃描相關參數

空載光達系統型號		Riegl LMS-Q780
絕對航高 (公尺)		分別為低航高約 1000，高航高約 2000
平均地面高 (公尺)		約 190
航帶重疊		66%
掃描頻率 (KHZ)		400
點雲密度 (點/m ²)	航帶 1	5.35
	航帶 2	6.01
	航帶 3	5.11
	航帶 4	5.74
	航帶 5	5.42
	航帶 6	5.77
	航帶 7	2.88
	航帶 8	2.69
FOV (度)		60
低航高航線總數量(條)		6
東西向航線數量(條)		3
南北向航線數量(條)		3
高航高航線總數量(條)		2
東西向航線數量(條)		1
南北向航線數量(條)		1

測試校正標物-平頂矩形屋(處)	6(如圖 7-1 紅、橘點)
測試校正標物-山形屋(處)	6(如圖 7-1 藍點)
測試校正標物-道路標線(處)	5(如圖 7-1 綠點)



(二)建立空載光達系統校正測試標(物)

關於空載光達系統校正測試標物之設置，按契約規定，優先於國土測繪中心位於南崗工業區之航空測量攝影機校正場評估設置，依前述各種測試方案建立所需空載光達系統校正測試標(物)；倘南崗工業區內無法建立適合之測試標(物)，應提出適合區域經機關同意後，完成測試標(物)之建立。本會在南崗工業區針對各測試方案之校正測試標(物)設置及其參考值計算，並在期中報告先行提供航測立測方式取得之校正標物參考值，之後以地測方式取得校正標物參考值，詳如附件一。校正標物相關資訊如表 7-2。原則上校正標(物)之成果統計是基於中央航帶編號 5 之點雲資料進行處理，因此表 7-2 僅針對航帶 5 所涵蓋之校正標(物)之點雲數量和點雲密度額外進行統計說明。

表 7-2、校正標(物)位置對應航帶及相關資訊

航帶 編號		面積 (平方 公尺)	1	2	3	4	5		6	7	8	
			掃描角	掃描角	掃描角	掃描角	掃描角	點雲 數量	點雲 密度	掃描角	掃描角	掃描角
矩形建物 平頂面	F10	340.5	-8	27	-	-22	3	1922	5.6	18	13	1
	F12	25.4	0	20	-	-26	8	140	5.5	13	10	4
	F16	43.1	-10	-	-	-11	-10	209	4.9	29	14	-5
	F45	36.4	-22	-	-	-2	-19	201	5.5	-	19	-9
	F124	24.2	18	2	-22	-7	-12	89	3.7	-	1	-6
	F201	25.5	-	-13	-8	8	-26	314	3.5	-	-6	-13
山形屋之 屋脊線	S9	107.9	-4	-24	-	-21	2	672	6.2	19	11	1
	S18	97.2	-	-14	-7	9	-27	373	3.8	-	-6	-13
	S19	108.9	-	-15	-6	9	-27	444	4.1	-	-7	-13
	S32	245.9	-	-	30		18	1161	4.7	1	-23	9
	S35	76.2	-	-	29	-13	-5	417	5.5	23	-22	1
	S38	156.2	-	-	28	-21	3	837	5.4	16	-22	-3
道路標 線	R3	12.0	-26	-	-	3	-24	53	4.4		21	-11
	R4	13.4	-23	-	-	-4	-17	76	5.7	-	20	-8
	R6	13.0	-22	-	-	-7	-15	56	4.3	-	19	-6
	R7	24.0	-16	-	-	-16	-5	86	3.6	24	17	-3
	R9	10.8	-6	26	-	-21	2	48	4.4	19	12	1

二、空載光達點雲成果分析

本節針對各校正測試標(物)說明其點雲萃取、參考值計算方法，以及器差值之計算成果統計。一般以空載光達系統執行大面積測量時都需要飛行多條平行的航帶才可涵蓋整個測區，因此都會拿多條航帶的點雲先做一次航帶之間的平差，以消除一些系統誤差。但是如果是為電力線及鐵、公路等廊道測量時，由於寬度有限，一般只沿廊道飛行單一航帶，此時無法做航帶平差。因此以下的分析有必要針對有作航帶平差以及未作航帶的精度差異一併分析。

(一)矩形建物平頂面

1.點雲萃取方法：

(1)參考向量及正射影像，得知該校正物概略位置，再根據高差特性，如圖 7-2 為從原初步分類之地面點及非地面點之點雲，以剖面視角輔

助判定該建物之點雲並將三維點坐標匯出，以利後續分析計算。

(2)將矩形建物平頂面上之點雲，以平面方程式擬合屋頂面之點雲並排除雜訊點，最後將取出之點雲供後續分析比較。

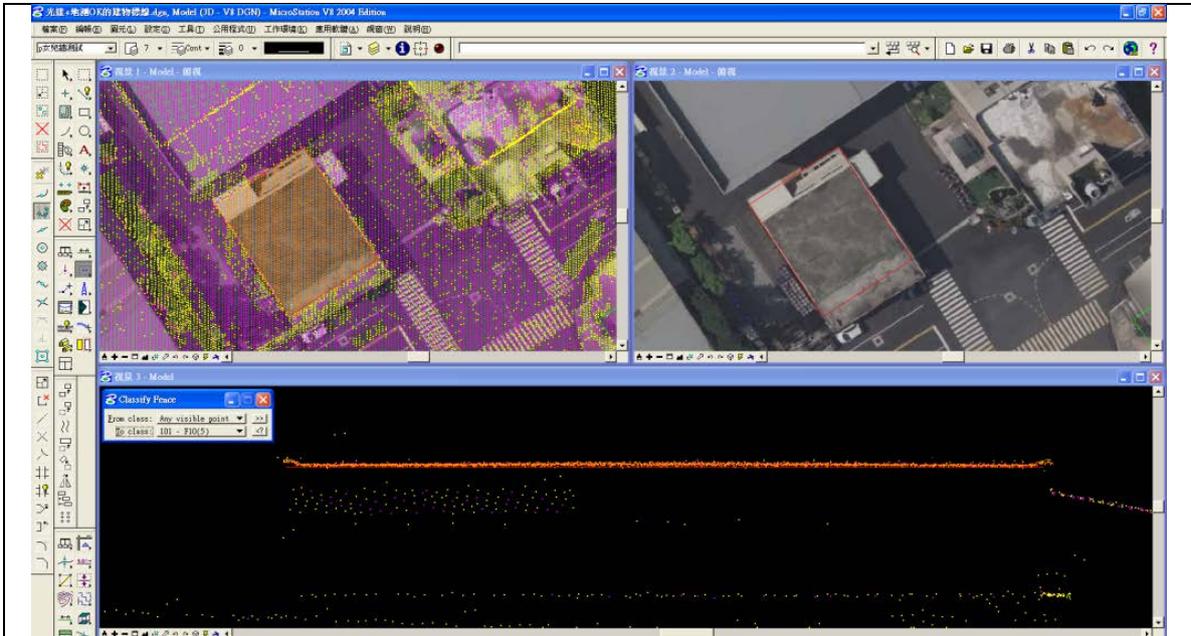


圖 7-2、矩形建物平頂面之點雲萃取

2.評估方式：

- (1)參考值：以電子測距經緯儀進行校正物混合角邊測量平差計算 4 角點坐標，並利用校正物 4 角點坐標計算校正物形心坐標為參考值。
- (2)量測值：利用點雲處理軟體萃取校正物點雲並計算校正物重心坐標作為量測值。
- (3)器差值：比對參考值及量測值二者之差異作為判定空載光達掃描點雲的精度，以評估此校正方式是否可達目的。比對方式示意如圖 7-3。

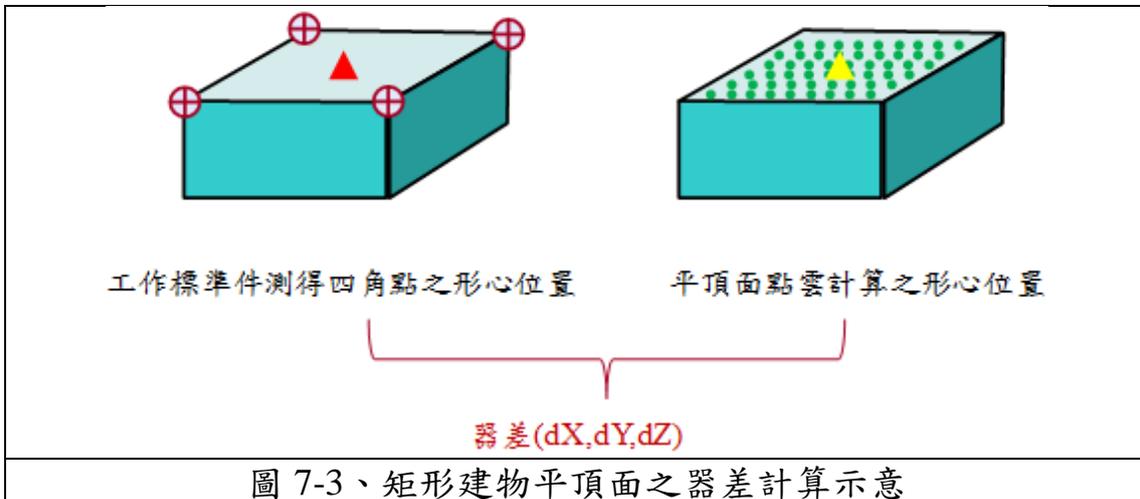


圖 7-3、矩形建物平頂面之器差計算示意

3. 成果統計與分析：

矩形建物平頂面校正物於是否執行航帶平差的光達點雲萃取計算成果比較如表 7-3 所示。

(1) 由於航帶平差主要的目標是在於使航帶重疊間的共軛面的差距最小，因此相較於平面，未做過航帶平差與做過航帶平差後差異較大的是高程方向的器差，而且是約為 28 公分的系統誤差。

(2) 航帶平差前，當航高升高時，平面精度明顯變差，但高程精度影響較小。

(3) 航帶平差後，高低航高的成果精度差異變小。意即航帶平差除了將各航帶的高程精度趨近於共軛面，也將高航高的平面精度趨近於低航高的平面精度。

(4) 由成果精度可看出與掃描角度相關性不大。

表 7-3、矩形建物平頂面之光達點雲計算成果

航帶 5 (低 航高)	平頂屋 編號	掃描角 (度)	航帶平差前器差(公尺)			航帶平差後器差(公尺)		航帶平差前後器差之差值(公尺)		
			dXY	dZ	平移 dZ	dXY	dZ	Δ dXY	Δ dZ	
	F10	3	0.058	-0.289	暫不比較	0.173	0.023	0.115	0.313	
	F12	8	0.456	0.375	0.091	0.397	0.079	0.059	0.296	
	F16	-10	0.213	0.298	0.014	0.342	0.045	0.129	0.253	
	F45	-19	0.365	0.354	0.070	0.338	0.022	0.028	0.332	
	F124	-12	0.316	0.297	0.013	0.373	0.046	0.057	0.251	
	F201	-26	0.448	0.317	0.033	0.217	0.058	0.230	0.259	
		RMSE:	0.339	0.323	0.054	0.318	0.050	平均值:	0.103	0.284
航帶 8 (高 航高)	平頂屋 編號	掃描角 (度)	航帶平差前器差(公尺)			航帶平差後器差(公尺)		航帶平差前後器差之差值(公尺)		
			dXY	dZ	平移 dZ	dXY	dZ	Δ dXY	Δ dZ	
	F10	1	0.614	-0.295	暫不比較	0.185	0.014	0.429	0.309	
	F12	4	0.687	0.396	0.110	0.388	0.082	0.299	0.314	
	F16	-5	0.640	0.289	0.003	0.156	0.034	0.483	0.255	
	F45	-9	0.558	0.353	0.067	0.283	0.019	0.274	0.334	
	F124	-6	0.598	0.280	-0.006	0.283	0.049	0.315	0.231	
	F201	-13	0.788	0.306	0.020	0.214	0.033	0.574	0.273	
		RMSE:	0.652	0.322	0.058	0.263	0.045	平均值:	0.396	0.286

(二)山形屋之屋脊線

1. 模擬實驗：

為充分探討山形屋夾角對於屋脊線精度之影響，先採取模擬實驗欲驗證其關係。如表 4-4 有關校正標（物）不確定度難度分析所述，對空間中一條沒有端點的直線精度是很難做評估的。但是由於本實驗僅模擬點雲高程誤差對於屋脊線交會的影響，不模擬光達系統的視準誤差以及軸臂誤差，所以狀況較簡單，以自創的二個指標做為評估依據，一個是由點雲交會出來的直線與真實屋脊線之間的公垂線距離，另一個是真實屋脊線二個端點到由點雲交會出來直線的最短距離。此二指標在本模擬試驗中是可以代表由點雲交會出來的直線與真實屋脊線之間的差異，但由後續實驗分析可知，此二指標對於實務的光達掃瞄時則不一定適用。

實驗方法則是假設山形屋每個屋頂面是由 5*5 平方公尺正方形組成，以程式模擬產生點雲密度為屋頂上每平方公尺 1 點之三維點坐標，並參考實際光達點雲精度，於 X、Y、Z 三方向加入 10 公分的偶然誤差，由此作為點雲模擬資料。欲探討山形屋不同屋頂面交會角度對於交會屋脊線之精度影響，因此以五種不同交會角度作為實驗變因，分別為 90 度、120 度、150 度、170 度及 175 度，分別以真實屋脊線及擬合平面交會屋脊線間之公垂線距離、真實屋脊兩端點擬合和平面交會屋脊線間之距離進行成果分析。如圖 7-4，折線 A 表示不同山形屋交會角度對應不同之真實屋脊線至交會屋脊線公垂線段距離，折線 B、C 表示不同山形屋交會角度對應不同之真實屋脊不同兩端點至交會屋脊線之空間距離。該模擬實驗之初步成果呈現二個重點：重點 1、不同評估方式呈現出不同差量趨勢。由圖 7-4 可知，就整體趨勢而言，折線 A 評估方式在五種夾角的變化中較不明顯，B、C 評估方式則顯示變化呈現夾角越大，距離越大的趨勢。由此顯示若以中垂距離作為評估交會屋脊線精度會有高估的情況；重點 2、當山形屋夾角超過 150 度時，真實屋脊兩端點至擬合平面交會屋脊線間之距離將顯著增加，

如圖 7-4 中之 B、C 折線，詳細研究結果分析已發表於第 35 屆測量及空間資訊研討會。由此可知，未來若將山形屋之屋脊線列為校正物之一，應優先尋找屋脊線夾角小於 150 度者為理想之山形屋類型。

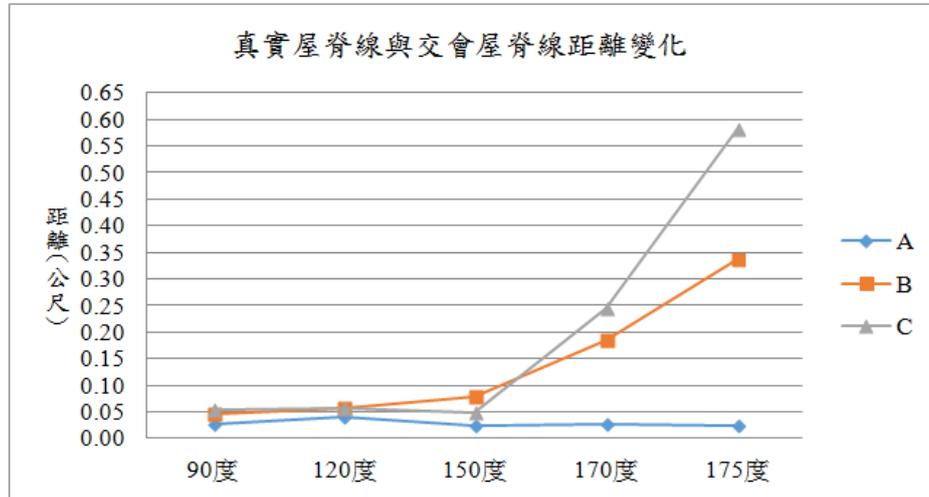


圖 7-4、不同山形屋夾角擬合交會屋脊線距離變化

2. 點雲萃取方法：

- (1) 參考向量及正射影像，得知該校正標物概略位置，再根據高差特性，如圖 7-5 為從原初步分類之地面點及非地面點之點雲，以剖面視角輔助判定該建物之點雲並將三維點坐標匯出，以利後續分析計算。
- (2) 依據參考向量中屋脊線之位置，概略將山形屋上之點雲分成兩屋頂面之點雲，之後再分別以平面方程式擬合方式排除異常點並取得兩屋頂面之平面參數，最後由兩屋頂面之平面參數進一步計算交會屋脊線上之任意兩點，形成交會屋脊線供後續分析比較。

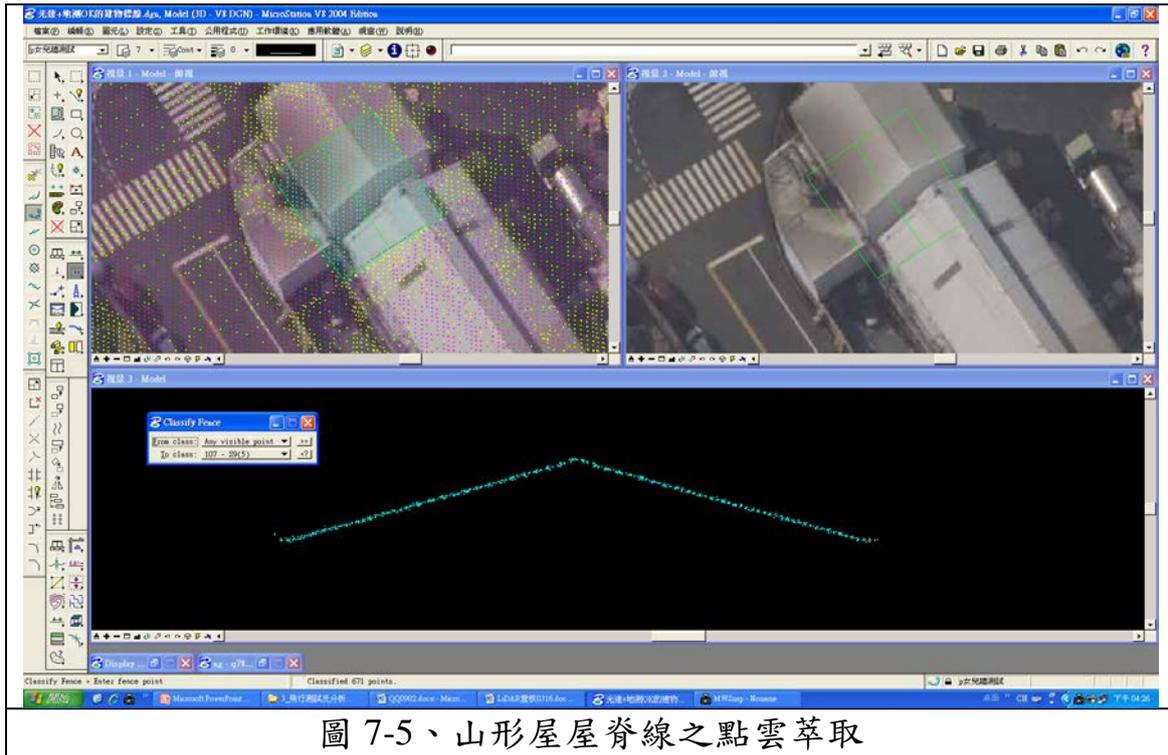
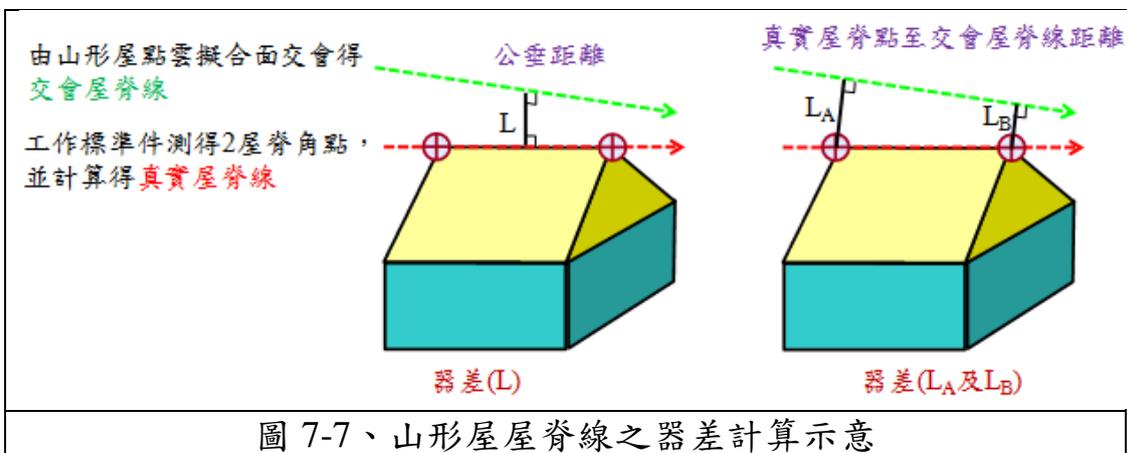
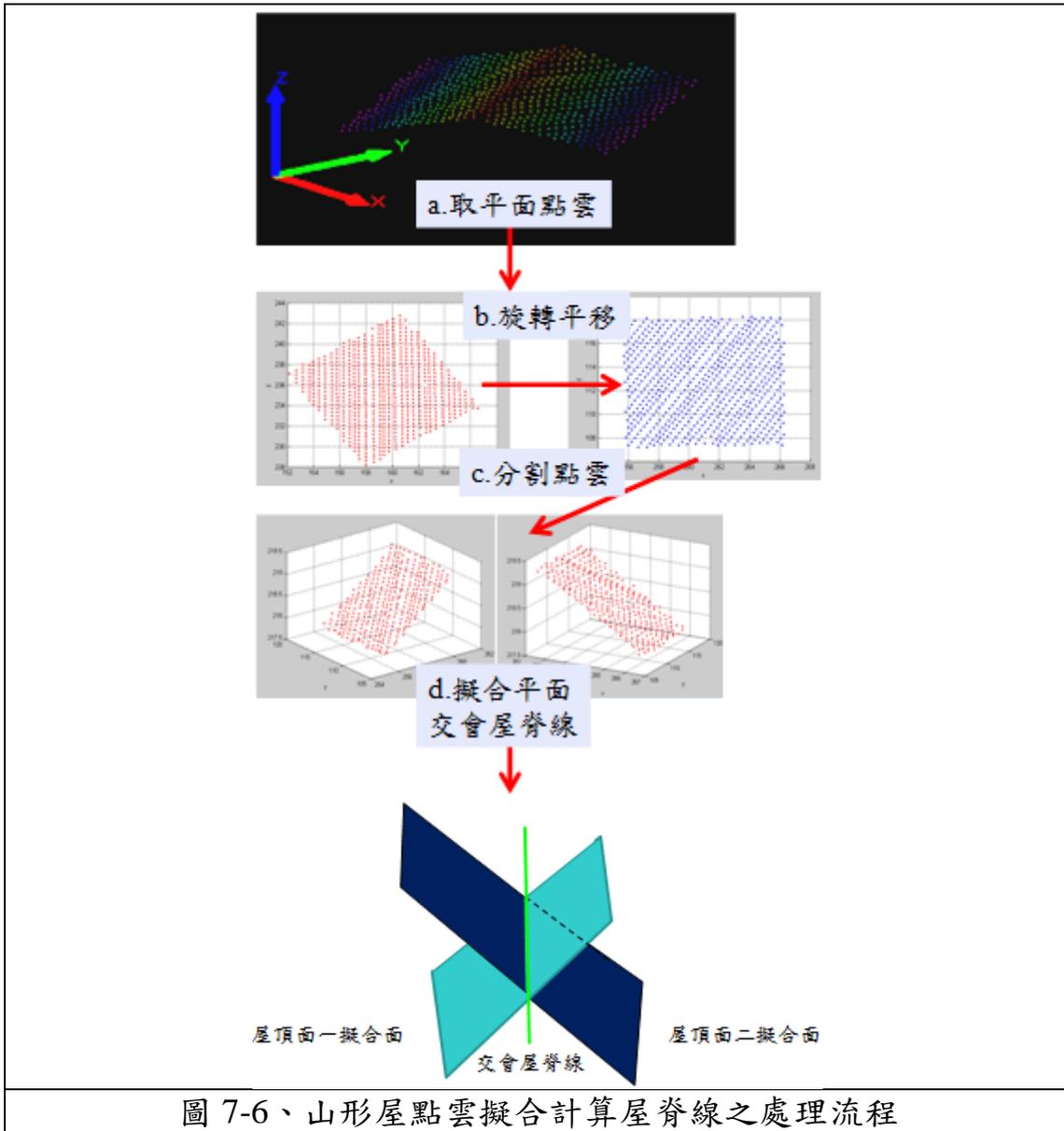


圖 7-5、山形屋屋脊線之點雲萃取

3. 評估方式：

- (1) 參考值：以電子測距經緯儀進行校正物混合角邊測量平差計算屋脊角點坐標，並利用此校正物 2 屋脊點作為參考值。
- (2) 量測值：利用點雲處理軟體萃取校正物點雲，並分別擬合山形屋二斜屋頂之平面，再以此二擬合平面交會屋脊線作為量測值。如圖 7-6 所示意。
- (3) 器差值：由於以二斜面組成的山形屋，原則上經前述資料處理方式僅能得到屋脊線之三維直線方程式，無法得知屋脊點坐標，亦即無法直接進行點對點的比對。如前述模擬實驗所採用二直線間的公垂線及屋脊端點到點雲交會線距離做為精度評估指標，在此仍然借用。為比對參考值及量測值二者之差異。此二指標示意如圖 7-7：
 - a. 比較真實屋脊線與交會屋脊線之公垂距離(線對線比對)
 - b. 比較真實屋脊兩端點至交會屋脊線距離(點對線比對)



但是這種比對方式不一定能忠實地反應系統的誤差。以公垂線指標來看，除了地面測量的屋脊端點是實際存在的點以外，交會出來的屋脊線是沒有端點的。目前所用的公垂線模式其實是強迫認定地面測得的屋脊端點垂直投影到交會線的位置就是虛擬的屋脊端點，這個假設不一定與真實狀況符合。而交會線與真實屋脊線間的最短距離則是在比較真實屋脊線與交會線間之最短距離，但是空間中二條直線即使完全密合，但因不知其中一條之端點何在，並不能保證他們的端點一定也密合。以圖 7-8 之例而言，圖中紅色代表真實的屋脊線，綠色代表為交會屋脊線之向量，藍色是由點雲交會出來的一條未知端點的直線。此例之藍線恰好只有順屋脊線方向的平移誤差，以致二線完全重疊。此時二個指標都會顯示為沒有誤差。

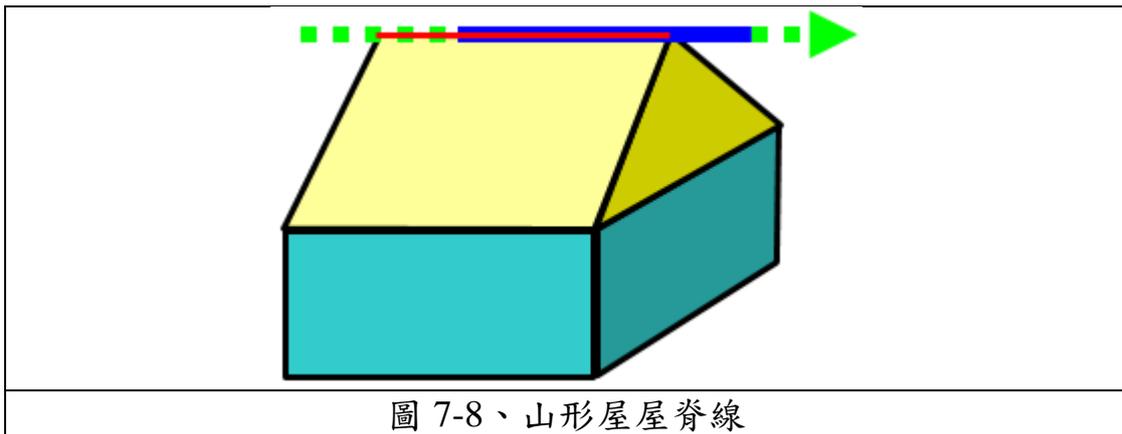


圖 7-8、山形屋屋脊線

4. 成果統計與分析：

以山形屋作為校正物光達點雲萃取計算成果如表 7-4 所示。二個指標值的大小比表 7-3 的平頂面形心偏差量為小，但由於此二指標並不能完全代表光達點雲在空間中的誤差情形，所以並不表示用山形屋做為校正標的校正能力比比平頂屋為高。就目前案例只能看出由光達點雲交會屋脊線時，交會線的精度與光達側向掃描角度相關性不大。另外，只要斜屋頂面交角不大於 170 度，則交會線的精度與屋頂面交角大小也無明顯的相關。

表 7-4、山形屋屋脊線之光達點雲計算成果

	山形屋 編號	屋頂面 交角 (度)	掃描角 (度)	航帶平差後器差(m)		
				公垂 距離	端點 A 至 直線距離	端點 B 至 直線距離
航帶 5 (H=1000 公 尺)	S9	150	2	0.021	0.038	0.055
	S18	163	-27	0.132	0.140	0.139
	S19	157	-27	0.064	0.081	0.098
	S32	161	18	0.029	0.122	0.085
	S35	162	-5	0.012	0.015	0.034
	S38	162	3	0.020	0.133	0.101
				RMSE:	0.062	0.100

(三)道路標線

1.點雲萃取方法：

原則上如同前述二種方案，先參考向量及正射影像，得知該校正標物之概略位置。由於道路標線相對於柏油路面，其點雲反射強度較強，理應可直接將光達點雲之反射強度以灰度影像展示並據以萃取，但由於道路標線寬度有限(約 30~40 公分)，光達點的地面投影範圍(footprint)約 50 公分，若單以強度影像辨識困難，欲以人工方式萃取則充滿不確定，因此擬以適當範圍初步篩選點雲，再以資料處理方式過濾一定反射強度以上之點雲，由此方式決定屬於道路標線之點雲，方法如下：

(1)外擴合適範圍並以剖面視角確認範圍內皆為地面點，再將三維點坐標匯出。由圖 7-9 則是在外擴範圍中以剖面視角發線部分點雲非屬地面點之案例，因此應將其濾除，以利後續處理及分析計算。

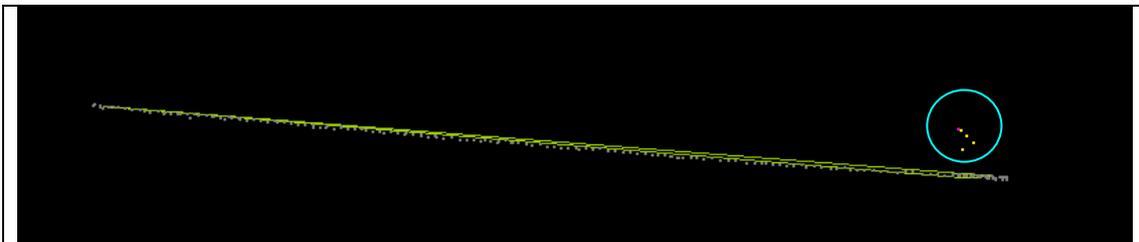
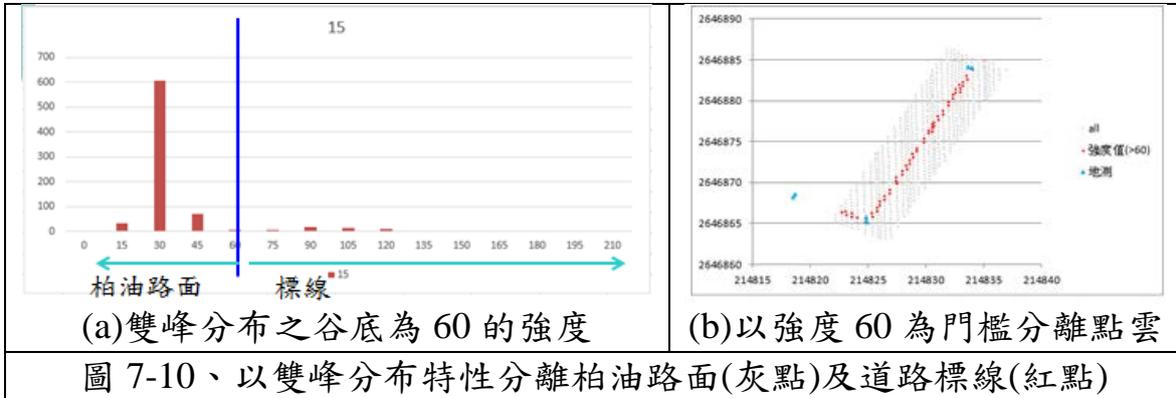


圖 7-9、部分點雲落在樹上(如藍圈)之案例

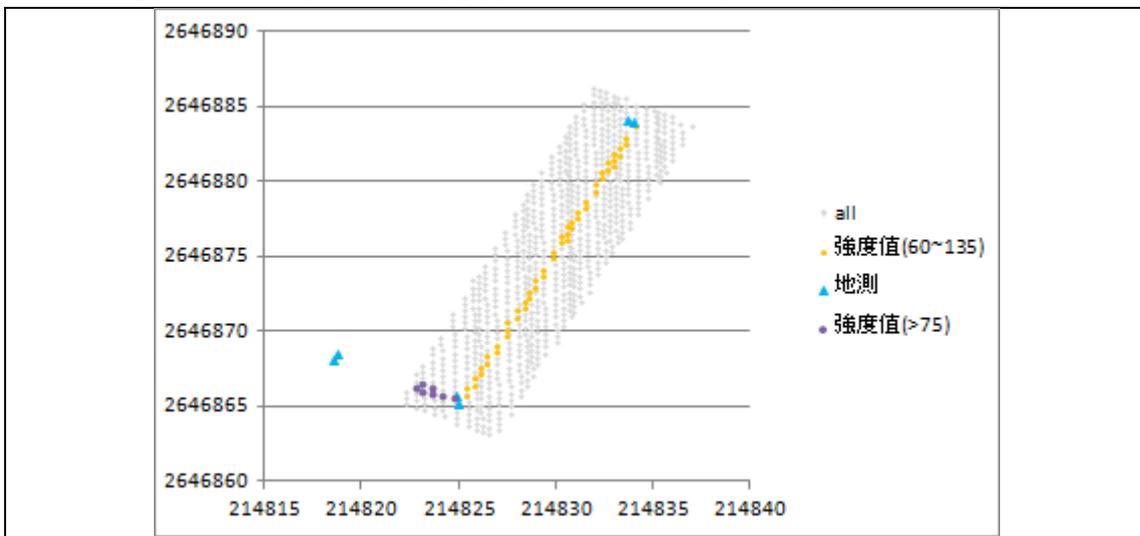
(2)分割點雲:

a.由於柏油路面與道路標線點雲之反射強度分布在不同區間，統計外

擴範圍內的點雲，若製作數量為橫軸，強度為縱軸之直方圖，則點雲將呈現雙峰分布之現象(見圖 7-10(a))，由此特性濾除柏油路面之點雲。由此步驟則可將道路標線分離出來，如圖 7-10(b)所示。



b. 由於道路標線中雙黃線與停止線之點雲反射強度不如道路標線與柏油路面對於點雲反射強度具有較大的差別，因此點雲反射強度區間是有可能重疊的。為有效分離雙黃線及停止線之點雲，則假設 L 型標線是由二條直線所組成，折角落於二條道路標線斜率變換處，在暫不考量 Z 坐標的情形下，其 X 或 Y 坐標應為極值(極大或極小值)，因此由坐標特性將停止線及雙黃線之點雲分割，如圖 7-11 所示。



(3) 為避免點雲分割造成誤判，如誤將停止線判為雙黃線，因此將外圍折角點向左向右 2 倍 footprint(本成果 footprint 為 50 公分)範圍內的點排除，如圖 7-12 所示。

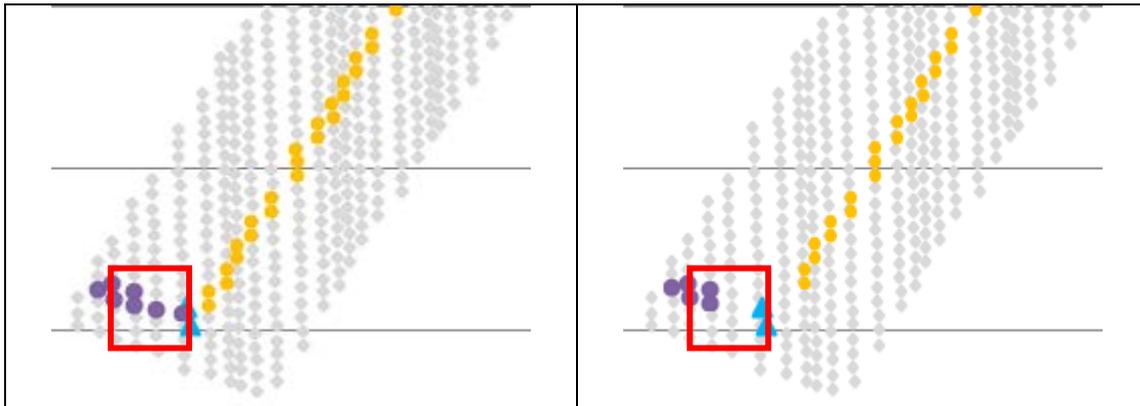


圖 7-12、排除可能造成停止線與雙黃線誤判的點雲(如紅框)

2. 評估方式：

- (1) 參考值：以電子測距經緯儀進行校正物混合角邊測量或以衛星定位儀測量標線內外側之兩折點坐標，並利用此兩折點坐標計算出校正物之折角中心點作為參考值。
- (2) 量測值：完成點雲萃取及分割後，針對雙黃線及停止線個別擬合 2 維直線，並計算交點(X,Y)，再利用點雲擬合平面，得交點之 Z 值，以此交點作為量測值。如圖 7-13 所示意。
- (3) 器差值：比對參考值及量測值二者坐標差異作為判定空載光達掃描點雲的精度，以評估此校正方式是否可達目的。比對方式示意如圖 7-14。

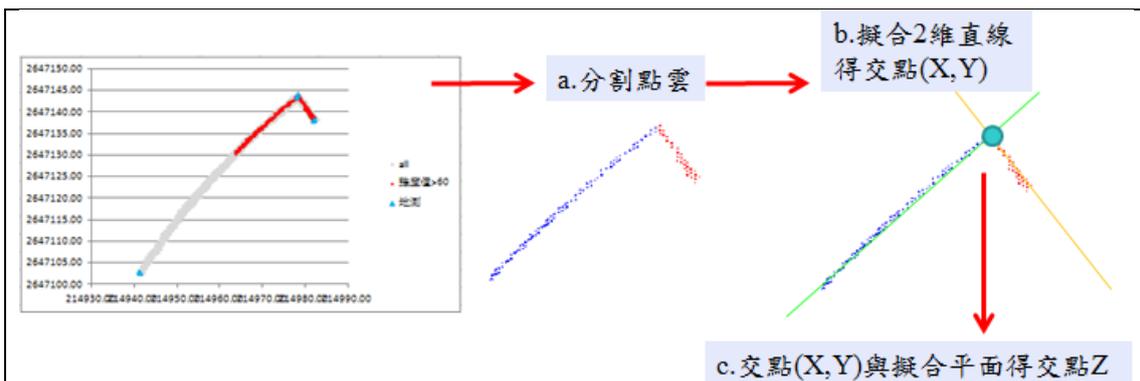
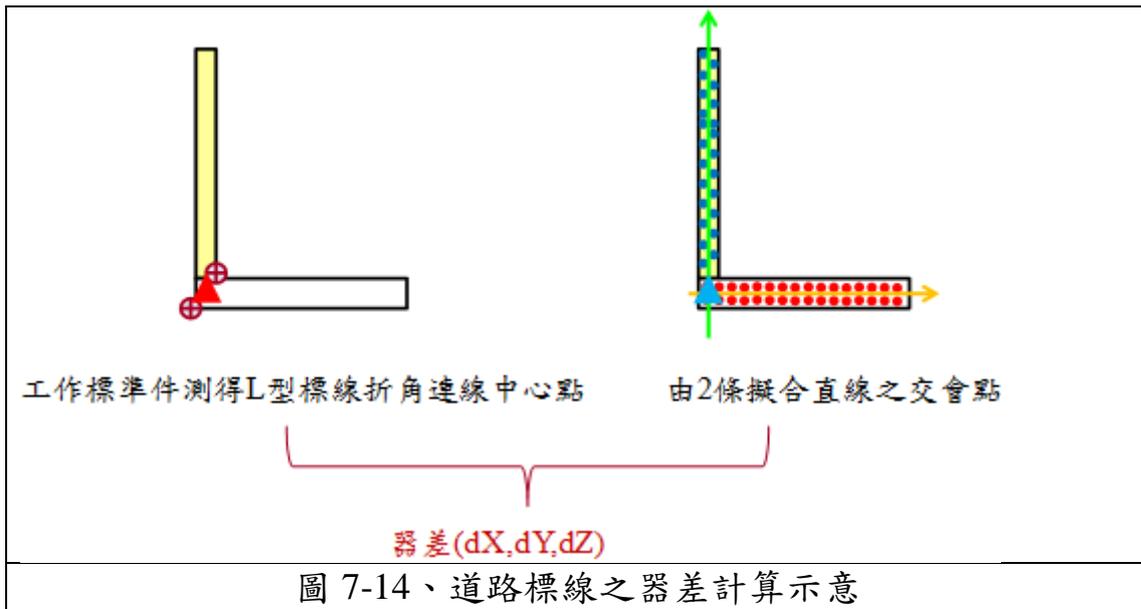


圖 7-13、道路標線點雲計算量測值之處理流程



3. 成果統計：

以道路標線作為校正物光達點雲萃取計算成果如表 7-5 所示。由其計算之成果顯示：

- (1) 相較於平面器差，平差前後點雲萃取計算之差異較大的是高程方向的器差，而且是約為 35 公分的系統誤差。
- (2) 道路標線平差前後點雲萃取計算之平面精度，與平頂屋相比，皆略優 7 公分
- (3) 道路標線平差前後點雲萃取計算之高程精度，與平頂屋相比，約有 1.5 公分之差。
- (4) 由成果可看出與掃描角度相關性不大。

表 7-5、道路標線之光達點雲計算成果

航帶 5 (H=1000 公尺)	道路標線 編號	掃描角 (度)	平差前器差(公尺)			平差後器差(公尺)		平差前後器差之差值(公尺)		
			dXY	dZ	平移 dZ	dXY	dZ	△dXY	△dZ	
	R3	-24	0.235	-0.405	-0.051	0.239	-0.011	0.004	0.394	
	R4	-17	0.243	-0.309	0.045	0.227	0.062	0.015	0.371	
	R6	-15	0.259	-0.412	-0.059	0.272	-0.038	0.012	0.375	
	R7-短	-5	0.221	-0.296	0.058	0.099	0.024	0.122	0.319	
	R9	2	0.348	-0.323	0.031	0.362	-0.012	0.014	0.311	
		RMSE:	0.265	0.353	0.050	0.254	0.035	平均值:	0.034	0.354

三、空載光達系統最佳校正方案之決定

從測試方案中所決定空載光達系統最佳校正方案為**矩形建物之平頂面**，本會分別說明如何以「校正標物評估因子量化」及「實際資料測試實驗」兩種方式進行決策：

(一)校正標物評估因子量化

在經過空載光達系統根據校正飛行測試及分析成果後，根據實際經驗針對各評估因子進行量化評分，如表 7-6 所示。就校正標物評估因子量化結果得知**矩形建物之平頂面**為空載光達系統最佳校正方案。

表 7-6、校正標(物)評估比較及量化

校正標(物) 評估因子	矩形建物之 平頂面	山形屋之 屋脊線	道路標線
1.標(物)製作成本	無。 既有地物無製作成本。	無。 既有地物無製作成本。	無。 既有地物無製作成本。
評分:	3	3	3
2.標(物)維護成本	無。 既有地物無維護成本。	無。 既有地物無維護成本。	無。 既有地物無維護成本。
評分:	3	3	3
3.標(物)穩定性	高。 相較於道路標線，建物變動率低。	高。 相較於道路標線，建物變動率低。	低。 相較於建物，道路標線較易有變動問題。(重鋪)
評分:	3	3	1
4.標(物)維護難度	中。 1.如需出入私人工廠，阻力較大。 2.維護方式是以電子測距經緯儀施測。 3.屋角點對點有其困難度。 4.參考值維護時需注意交通安全。	高。 1.如需出入私人工廠，阻力較大。 2.維護方式是以電子測距經緯儀施測。 3.屋脊點非尖銳點，難度相對於平頂屋高。 4.參考值維護時需注意交通安全。	低。 1.道路標線位於公有路面上，較無人為阻力。 2.維護方式是以電子測距經緯儀/衛星定位儀施測皆可。 3.相較於建物，道路標線折角對點較明確。 4.參考值維護時需注意交通安全。

校正標(物) 評估因子	矩形建物之 平頂面	山形屋之 屋脊線	道路標線
評分:	2	1	3
5.掃描時關於標(物) 之人力機動程度	無。	無。	無。
評分:	3	3	3
6.標(物)參考值維護 及追溯作業數量	參考值量測數量:4 點/ 屋角點。	參考值量測數量:2 點/屋脊點。	參考值量測數量:1 點/ 標線折角。
評分:	1	2	3
7.標(物)點雲篩選之 自動化程度	高。 相鄰地物高差的特性 較強烈, 自動化程度 高。	高。 相鄰地物高差的特 性較強烈, 自動化程 度高。	低。 點雲強度辨識之特性較 弱, 自動化程度低。
評分:	3	3	1
8.標(物)不確定度推 估難度	低。 由於一處矩形建物平 點面只有一個形心且 形心計算方式單純, 不確定度推估難度較 低。	高。 二擬合斜面只能交 會一條屋脊線, 無法 得交會屋脊點, 若間 接比較真實及交會 屋脊線之公垂線距 離, 或比較真實屋脊 點至交會屋脊線距 離, 皆視與虛擬的點 比較, 評估方式難以 反映光達點雲品質。	高。 由於既有道路標線寬度 有限, 欲辨識及萃取點 雲, 需人工介入的部分 較建物多, 因此人為所 造成的不確定度來源較 多, 導致不確定度難以 估計。
評分:	3	1	1
總評分:	21	19	18

(二)不確定度影響因子來源及量級

不確定度主要來自二個部份, 第一是來自以電子測距經緯儀量測之標準值, 第二是來自校正件執行點雲萃取及處理所估算之量測值。

影響電子測距經緯儀量測的主要誤差來源有: 整置定平及定心、電子測距經緯儀相位中心偏移量、氣象修正模式及改正以及電子測距經緯儀來自校正追溯的誤差等誤差來源, 量級約為公厘等級。

就本次成果測試經驗, 關於校正件以人為方式執行點雲萃取過程

所造成的不確定度，量級約為公厘等級；估算量測值之不確定度，平頂面之平面分量為次公分等級，高程分量為公分等級。然而，道路標線之點雲萃取易受到人為影響，因此須以適當方式萃取道路標線點雲為前提，道路標線量測值之不確定度才可達平面分量為次公分等級，高程分量為公分等級。此外，就山形屋之屋脊線而言，本測試成果所用之二指標並不能完全代表光達點雲在空間中的誤差情形，因此山形屋之屋脊線所估算量測值之不確定度則暫無法具有代表性。

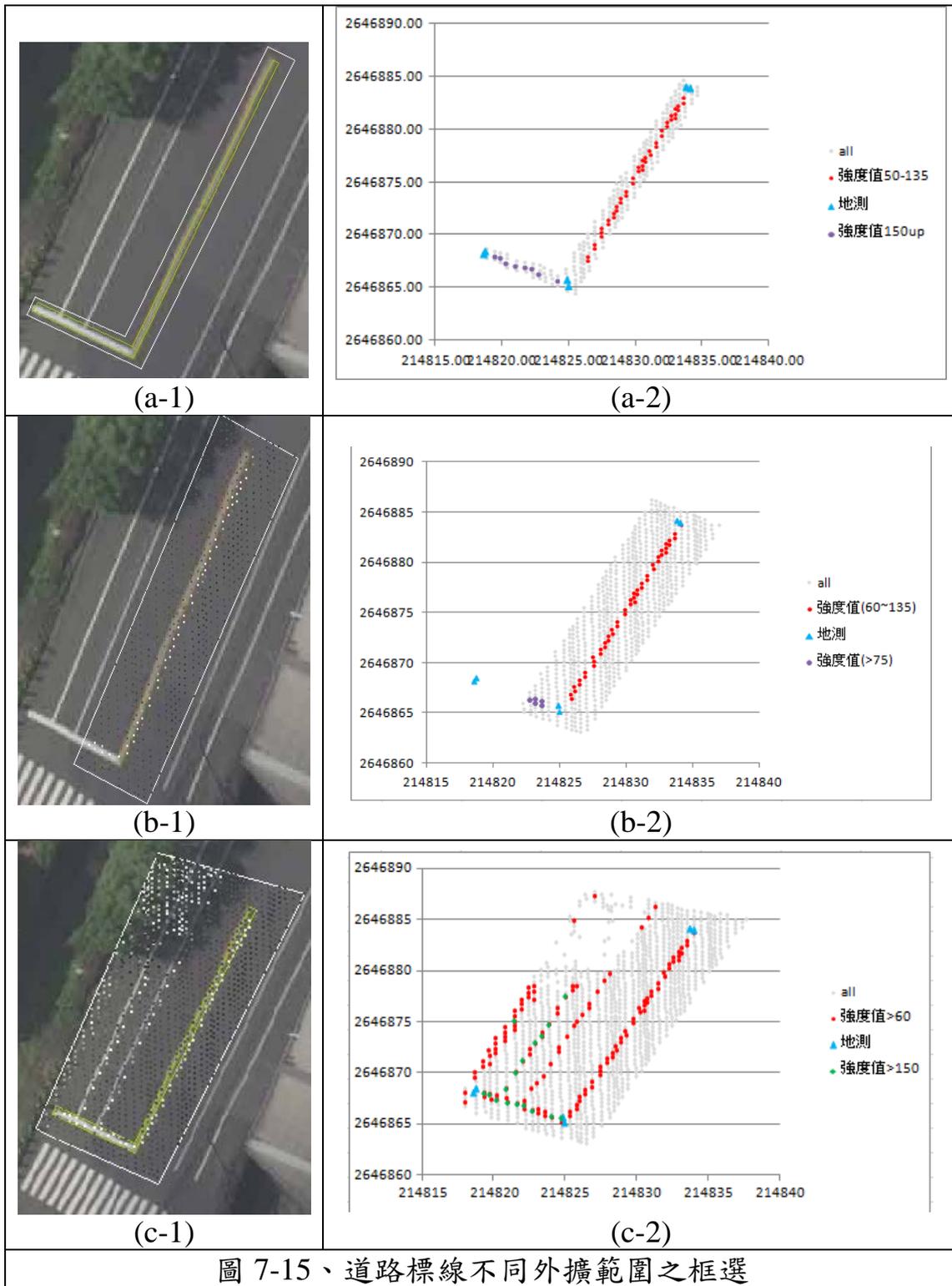
(三) 實際資料測試實驗

從實際資料測試實驗結果得知**矩形建物之平頂面**為空載光達系統最佳校正方案。就實際執行面可歸納以下結論：

1. 點雲萃取

(1) 平頂面及山形屋因高差特性使得特徵明確，而道路標線雖具有高反射強度之特性，但由於既有道路標線寬度限制，恐落於與航測校正標方案存在相同之點雲取樣不足問題，因此無法直接藉由強度值判斷點雲是否屬於該道路標線，且若先以外擴方式初步選取點雲，不同選取方式可能導致不同的計算結果，此部分不確定性難以估計。因此就點雲萃取的觀點，具有高差特性之平頂面及山形屋較無爭議。

(2) 為進一步得知不同外擴範圍是否影響解算成果，因此試以 3 種方式進行框選。圖 7-15(a-1)~(c-1) 為不同外擴方式，其中圖 7-15(a-1) 為參考道路標線向量以原型放大外擴；圖 7-15(b-1) 為參考正射影像以四邊形框選，但避免讓其他標線選進框線內；圖 7-15(c-1) 為參考正射影像以四邊形框選，但框線範圍內存在其他標線。圖 7-15(a-2)~(c-2) 是利用強度門檻及折角坐標特性進行點雲分割的分類結果，其中圖 7-13(a-2) 及圖 7-15(b-2) 尚可各自擬合直線，但圖 7-15(c-2) 則因外擴範圍包含其他標線，無法進行後續作業。



2. 成果精度

就目前所抽樣的五處道路標線計算得知平面精度優於平頂面 7 公分，高程精度亦優於平頂面 1.5 公分。為進一步探討標線長度對於成果解算之影響，則嘗試針對圖 7-15(a-2)所篩選分割出雙黃線的點雲，

進行 6 種長度的成果解算比較，如圖 7-16 及表 7-7 所示。圖中的道路標線編號為 R3，停止線 3 公尺，雙黃線 21 公尺。由表 7-8 及圖 7-17 可知，道路標線長度與成果解算精度成正比，道路標線方案精度優於平頂屋之結果是架構在道路標線接近直線且達一定長度以上之前提才成立。

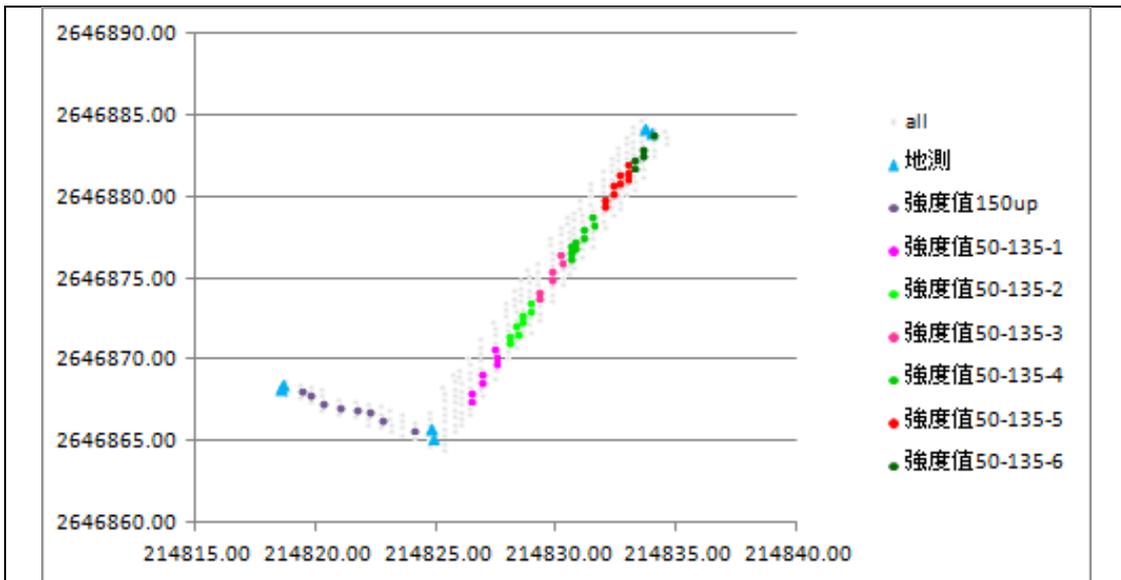


圖 7-16、不同道路標線長度對於成果計算影響之實驗設計

表 7-7、不同道路標線長度計算結果比較

實驗設計	標線長度	器差值	
		dXY	dZ
組合 1	3.3	0.507	-0.021
組合 12	5.9	0.407	-0.018
組合 123	8.7	0.396	-0.018
組合 1234	11.4	0.356	-0.016
組合 12345	14.1	0.331	-0.016
組合 123456	16.3	0.300	-0.015

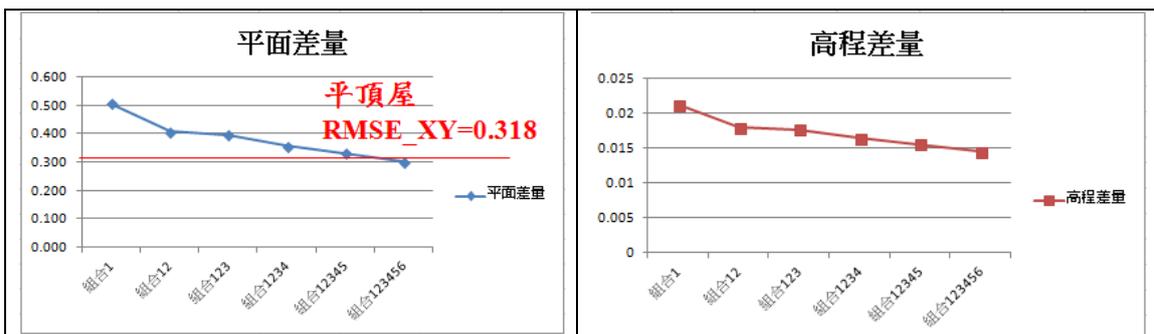


圖 7-17、不同道路標線長度計算結果比較

3. 成果評估

- (1) 如前二、(二) 節所分析，目前僅能以交會屋脊線與真實屋脊線之間公垂線（線對線比對），以及交會屋脊線與真實屋脊點的最短距離（線對點比對）這二種指標來評估由點雲交會所得屋脊線與標準值屋脊線的偏差，但是這樣得到的偏差不一定能充分描述真實的誤差情形。以公垂線指標來看，除了地面測量的屋脊端點是實際存在的點以外，交會出來的屋脊線是沒有端點的。目前所用的公垂線模式其實是強迫認定地面測得的屋脊端點垂直投影到交會線的位置就是虛擬的屋脊端點，這個假設不一定與真實狀況符合。而交會線與真實屋脊線間的最短距離則是在比較真實屋脊線與交會線間之最短距離，但是空間中二條直線即使完全密合，但因不知其中一條之端點何在，並不能保證他們的端點一定也密合。因此嚴格來說，以上二種校正用量測值是不存在且不唯一的虛擬點，就 TAF 認證之觀點，恐怕無法成立。
- (2) 平頂面之器差值計算是比較該平頂面形心位置，而形心是唯一且不確定度估計方式相對於山形屋之屋脊線及道路標線最為簡易。

四、不同參考值量測方式比較

依據本案第 3 次工作會議決議「有關空載光達校正作業中，所提之標準值量測方式疑義，經會議討論結果，為能正確評估地測及立測等 2 種取得方式，請航測學會針對上開取得方式均予以辦理測試作業。」進行進一步探討。

目前關於校正標物參考值取得方式，就 SICL 目前的工作標準件而言僅能以地測方法取得。若未來有機會建立「空間特徵點模型庫」，則參考值除了地測方法，亦可以用航測方法以立體模型測得校正標物取得，為了解地測、航測立測之間的差異，以及與空載光達點雲量萃取得之量測值的差異，進行以下實驗：

以下所稱「地測」坐標為本案進行實驗時以電子測距經緯儀所測得；所稱「立測」坐標則是以去年由詮華國土測繪有限公司以大像幅航空測量攝影機 DMC II 所拍攝校正場影像，進行空三解算後之立體

模型所測得。雖然航拍時間已相隔一年，但是由於去年使用之校正標與今年相同，所以立測的坐標系與今年地測的坐標系一致，二者之間沒有系統誤差，因此可以直接拿二者測得坐標相比較。由去年的空三成果得知檢核點的器差值 RMSE 約平面 1.5 公分，高程 3 公分，若以此代表當次整體空三的誤差的話，表 7-8 中，立測與地測之間 3 公分的差值也可推算為立體量測過程中合理的誤差。

由表 7-8 可知，個別比較地測與光達測量，立測與光達測量之重心與形心坐標之差值，可發現差異並不顯著，因此就本次所用地測儀器及立體模型為例，以立測成果來評估光達點雲精度與用地測成果來評估者相當，此也呼應本會於 102 年度校正案所實驗之結論。但關於 TAF 認證規定及相關參考值追溯問題仍需後續討論評估。

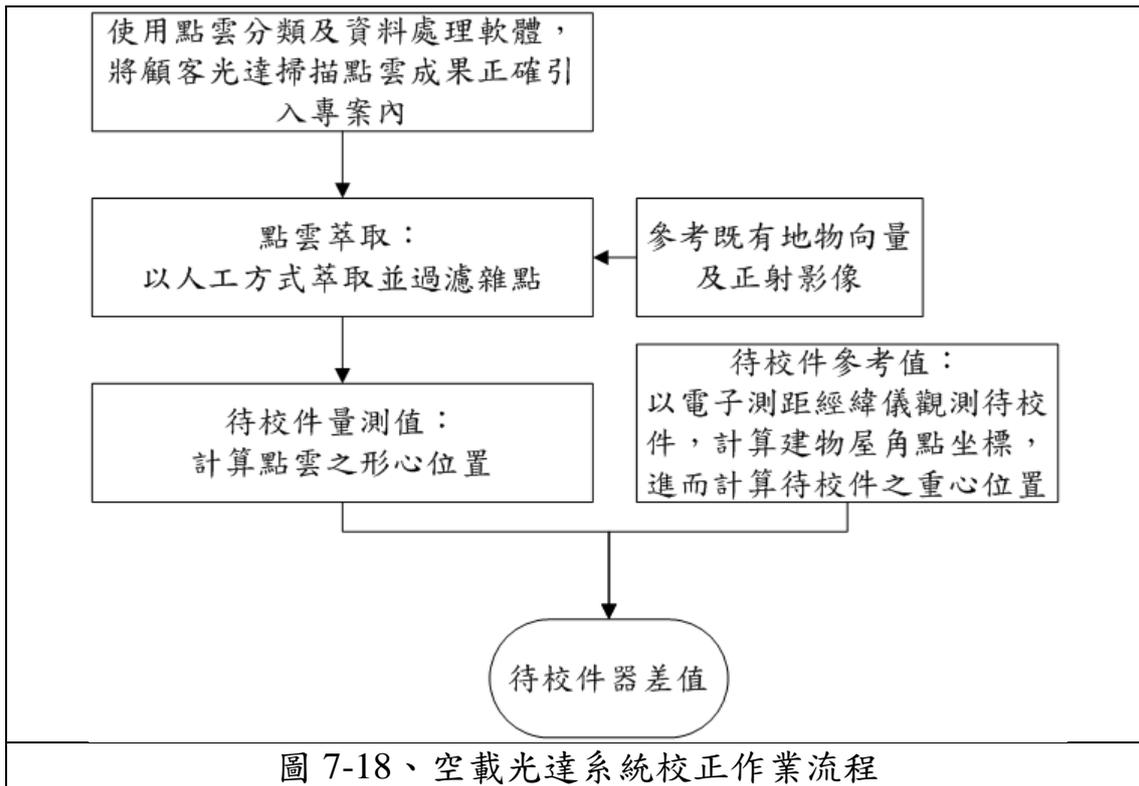
表 7-8、不同參考值量測方式比較結果

校正標物 類型	校正標物 編號	地測形心與立測 形心差量			地測形心與光達點雲 重心差量			立測形心與光達點雲 重心差量		
		dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
矩形建物 平頂面	10	0.072	0.039	0.020	0.184	0.057	0.022	0.112	0.096	0.003
	12	0.003	0.056	0.017	0.199	0.343	0.079	0.196	0.287	0.062
	16	0.025	0.015	0.006	0.195	0.281	0.045	0.220	0.267	0.039
	45	0.010	0.010	0.044	0.313	0.127	0.022	0.302	0.137	0.066
	124	0.004	0.037	0.037	0.218	0.302	0.046	0.214	0.340	0.083
	201	0.012	0.021	0.048	0.098	0.194	0.058	0.110	0.173	0.107
	RMSE:	0.032	0.034	0.032	0.211	0.240	0.050	0.204	0.233	0.068
	0.046			0.319			0.310			

五、空載光達系統校正作業程序

(一)空載光達系統校正作業程序之訂定

作業流程如圖 7-18，詳細作業程序請參考「空載光達系統校正作業程序」文件。



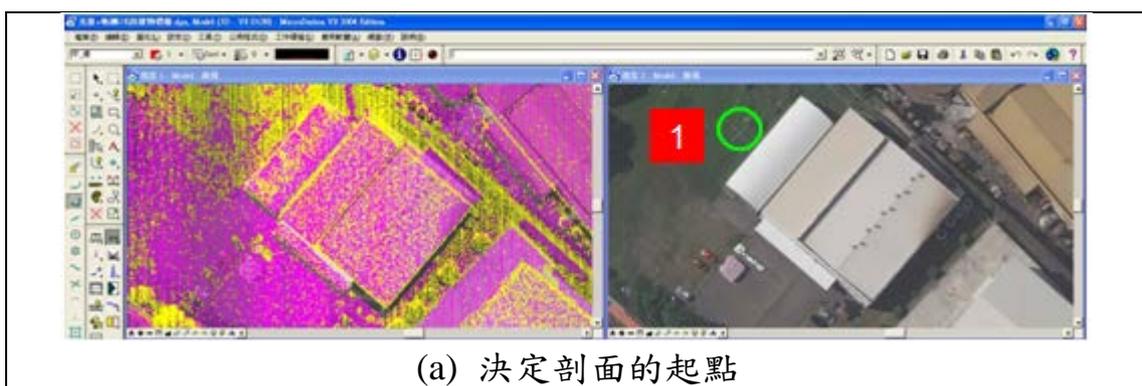
其中需進一步說明的是關於校正物點雲如何以人工方式進行萃取，本會主要使用 TerraSolid 軟體系列中主要進行點雲分類及資料處理軟體 TerraScan 進行校正物之點雲萃取、分類及資料匯出。如流程圖 7-18 所示，在將光達資料正確引入專案之後，即可開始進行萃取點雲，本會目前是以人工方式進行萃取，並輔以其他參考資料，如向量、正射影像...等，以有效提高點雲萃取之正確率及效率。基本工作視窗如圖 7-19，以多個視窗展示不同參考資料。為清楚表達點雲萃取步驟，圖 7-20 選用剖面視角較明瞭易懂之建物作為範例展示，非校正物，步驟如下：

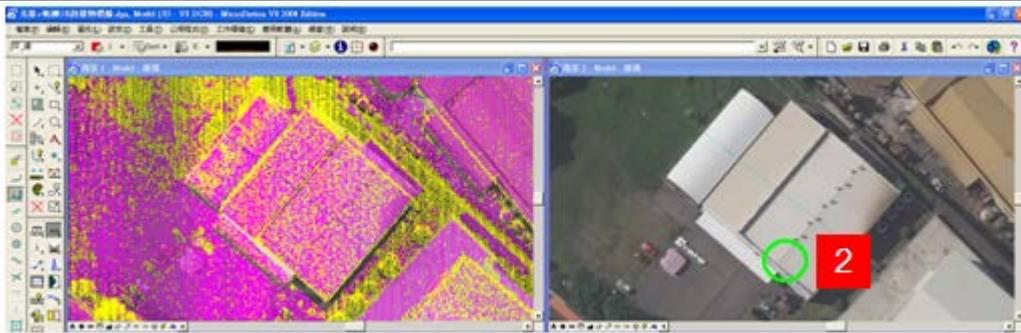
1. 展示剖面視角：首先決定剖面的起點(如圖 7-20(a))、終點(如圖 7-20(b))及厚度(如圖 7-20(c))，再點選基本工作視窗之一(如圖 7-20(d))，即可展示該建物之剖面視角。
2. 點雲分類及萃取：
 - (1) 首先決定點雲上彩的依據，通常廠商繳交之點雲在尚未人工編修之前通常會進行自動分類，將點雲初步分類為地面點、非地面點及雜點。因此點雲通常會選擇依據點雲自動分類類別上彩(如圖

7-21(a)。接著按照建物特性決定合適的分類工具(如圖 7-21(b))並選擇點雲分類的類別(如圖 7-21(c))。

(2) 以參考圖資為輔助找尋校正物位置，再以剖面視角檢視校正物點雲並判釋屬於該校正物之點雲，最後選取屬於該校正標物之點雲，完成分類(如圖 7-21(d))。

3. 將分類後的點雲匯出所需資料以作為後續分析之用(如圖 7-21(e))。基本輸出資料為 ENZ，即點雲的三維坐標。

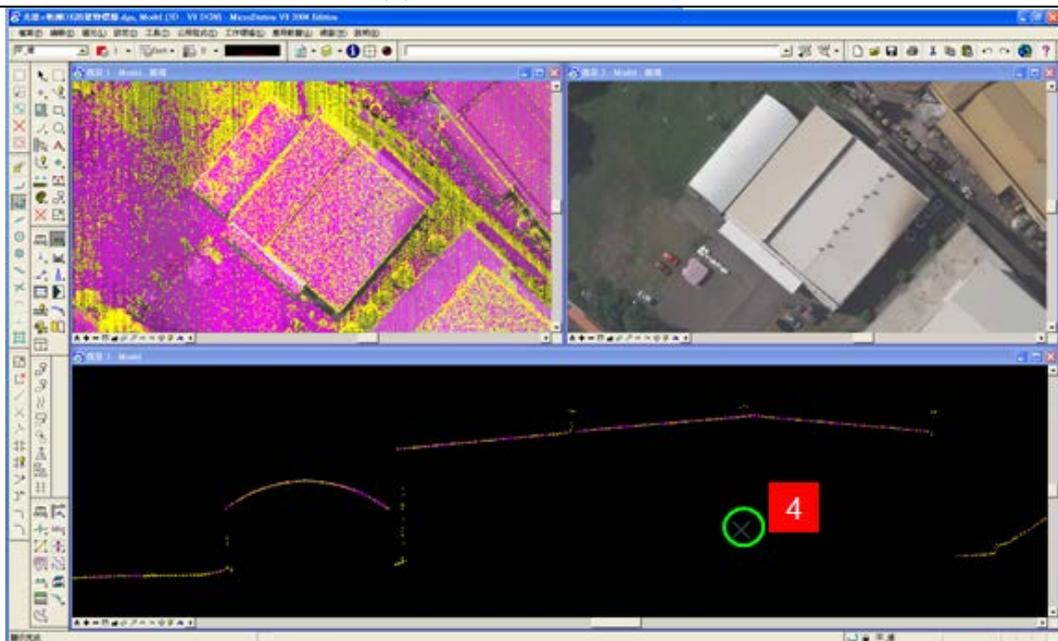




(b) 決定剖面的終點



(c) 決定剖面的厚度



(d) 點選展示剖面視角的視窗

圖 7-20、展示建物剖面視角之步驟

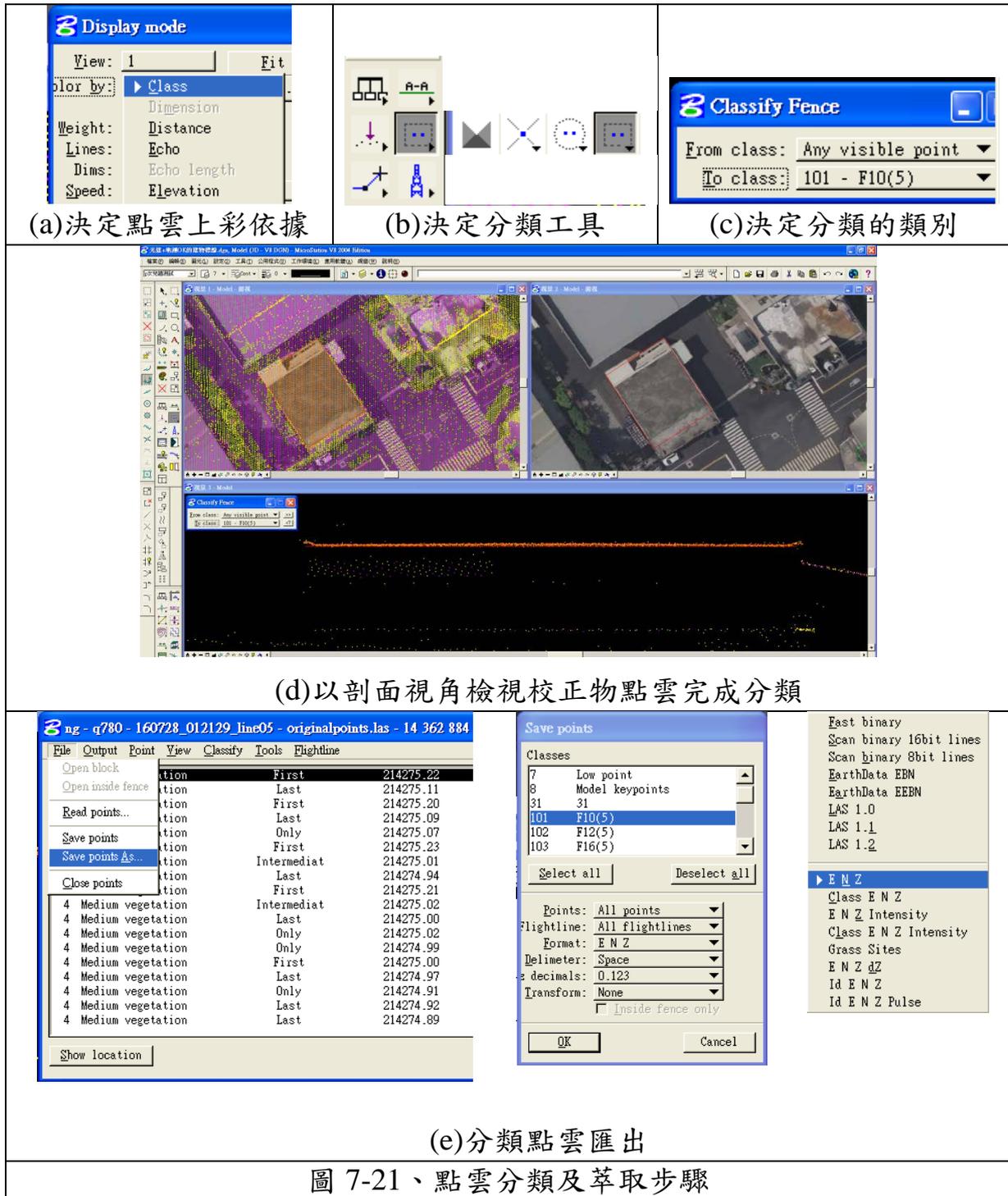


圖 7-21、點雲分類及萃取步驟

(二)空載光達系統校正場設計及點雲掃描規劃

1.空載光達系統校正場之確定：目前空載光達系統搭配中像幅攝影機已為趨勢，因此建議隨同中像幅航空攝影機之校正，空載光達系統之校正位置除了持有與第參章、三、(一)相同的理由，透過航測立製初選及現地確認，於南崗工業區也有適合的校正標物，因此亦擬規劃於南崗工業區之校正場中。

2.點雲掃描規劃：由於光達掃描是以航帶為單元，因此校正場範圍不侷限特定面積大小，原則上是在特定掃描需求下取得校正物之點雲：

(1)航高：考量飛安因素，絕對航高須大於 800 公尺。若僅進行空載光達系統校正，則須達到單航帶原始點雲密度至少達 4 點/平方公尺所應對應的航高。若採取併同攝影同步掃描，除須達到單航帶原始點雲密度至少達 4 點/平方公尺所應對應的航高以外，規劃參數亦須使 GSD 達 10 公分、中央航帶可完整涵蓋小校正場。

(2)單航帶原始點雲密度：至少達 4 點/平方公尺。

(3)FOV：最大不超過 50 度。

(4)航帶數量及重疊率：航帶數量 2 條，航帶重疊率大於 50%。

3.校正物位置：經評估，最佳光達系統校正方案選定為矩形建物之平頂面，座落位置如圖 7-22 所示，均在大校正場內。

4.校正物數量：經實驗證明，校正物成果精度與掃描角度無關，因此無須特別限定校正物位置，理論上只要 1 個校正標即足以校正出光達點雲的誤差情形，但是 1 個標沒有可靠度。原則上有 3 處即有足夠的多餘觀測可以互相檢核，剔除萬一突發之粗差，保障校正的可信度。目前確認符於需求的校正物有 6 處，因此有充分的多餘觀測可做檢核之用。

5.航帶設計：航帶重疊率大於 50% 之 2 條航帶之飛行方向以同向為原則，且其中 1 條航帶皆需完整涵蓋所用校正物。

6.顧客繳交成果資料：除校正作業行政流程中所應繳交之制式表單，針對光達點雲成果的部分，則請顧客繳交經過航帶平差後且航帶規劃

與設計符於上述規定所掃描之點雲資料，並用以萃取點雲並計算待校件之量測值。

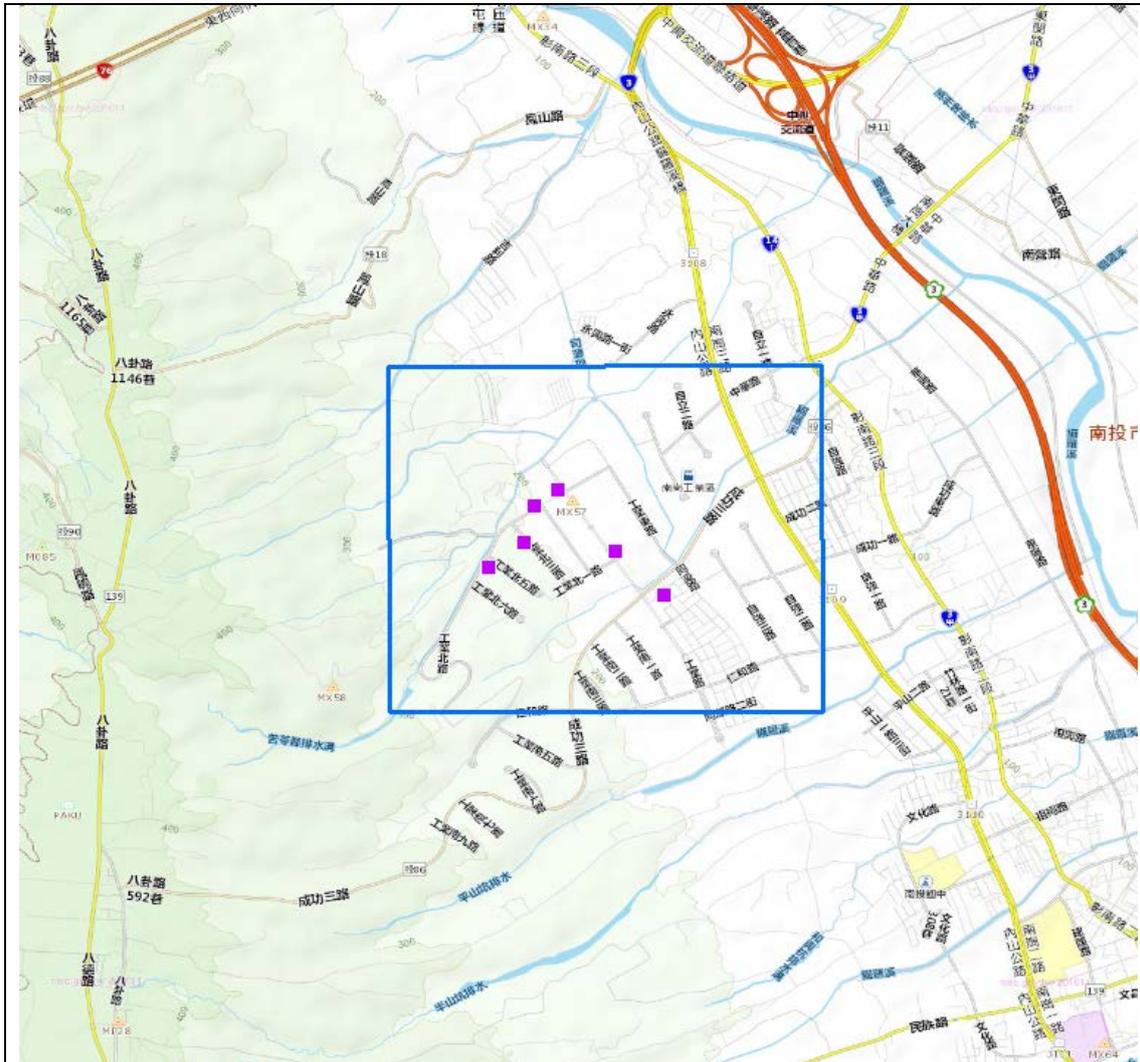


圖 7-22、大校正場、矩形建物之平頂面座落位置及分布
(分別以藍色方框、紫色方形表示)

捌、成果貢獻說明

一、學術成就

- (一)由於中像幅航測攝影機品質遜於大像幅航測攝影機，乃依據可靠度理論發展出中像幅航測攝影機校正時應該修正之作業程序。
- (二)探討由空載光達掃描點雲擬合平面進一步推導虛擬幾何點、線幾何資訊來描述平頂屋、山形屋、道路標線做為校正物參考值之可行性並探討其精度，評估其做為空載光達系統校正標準之效益及可行性。
- (三)發展空載光達系統校正作業程序。

二、技術創新

- (一)發展以既有地物做為空載光達系統校正之校正技術。

三、經濟效益

- (一)建立國內中像幅航測攝影機校正場，使得國內以中像幅航測攝影機執行相關圖資建置有品質依據，增加國內航測可用設備，促進產業發展，進一步增加各種應用之經濟效益。
- (二)國內自有校正場後，可以降低廠商將攝影機送回原廠率定之頻率，節省營運成本。
- (三)建立國內空載光達系統校正場，使得國內廠商執行空載光達測量時，能清楚了解自家空載光達系統率定成果之適用性，減少無效之空載光達掃描任務，降低任務成本，增進經濟效益。

四、社會影響

圖資資料是國家建設之基礎資料，不同於其他科學研究，圖資資料建置為務實施政之一環。各類圖資資料蒐集儀器校正場之設置與校正方法之施行，不僅可保障圖資資料蒐集之可靠度與精度，亦可維持圖資資料之品質，對社會發展影響甚大。

五、人才培育

- (一) 透過教育訓練培養國土測繪中心全國認證基金會 TAF 認證之人才。
- (二) 透過教育訓練培養國土測繪中心具備空載光達系統校正之能力。
- (三) 透過校正方案之研發，培養碩士生撰寫研討會論文及碩士論文，已經完成「空載光達點雲擬合屋頂面交會屋脊線精度之研究」，並於「第 35 屆測量及空間資訊研討會暨國土測繪成果發表會」中發表。

六、法規制度

建立國內中像幅航測攝影機校正場，與建立國內空載光達系統校正方案，將來可建立空載光達系統校正場，使得國內廠商將來考量是否以中像幅航測攝影機執行相關圖資建置或以空載光達系統執行空載光達測量時，能符合國土測繪法應用測量實施規則中第 12 條「辦理應用測量使用之儀器裝備所為之校正，應依測量計畫目的及作業精度等需求辦理」之規定。

七、國際合作

本案研發以既有地物做為空載光達系統校正物之技術，是國際間辦理類似校正作業之首例，其成果可做為將來國際間辦理類似校正作業案之參考。此外，將來所建立之中像幅航測攝影機之校正場，與空載光達系統校正場，均可尋求國際合作，提供相關校正服務。配合國土測繪中心測量儀器校正實驗室於 104 年度已通過全國認證基金會航空測量攝影機校正項目認證申請，將來中像幅航測攝影機之校正，與空載光達系統校正，若均通過全國認證基金會認證申請，將使得中心測量儀器校正實驗室成為國際間具備辦理航遙測多項感應器校正項目之實驗室，使得國土測繪中心測量儀器校正實驗室之校正能力走向國際化。

玖、後續工作構想之重點

一、無人飛行系統(UAS)攝影機之測試分析

(一)目的及效益

當自然災害發生時，傳統衛星遙測與航拍飛機易受天候(雲遮)影響及起飛限制，無法及時取得災區影像資訊，供救災及災後重建所使用。近年來發展出以無人飛行載具(UAV)搭載非傳統航測專用攝影機組成的無人飛行系統(UAS)，以其機動快速及低空作業等特性，快速獲取地面空間的資訊。隨著此技術的發展，不少業者亦宣稱 UAS 搭載之非量測型攝影機可用於航測製圖。但一般非量測型攝影機因為生產價位低，設計時多未考量測量所需之高品質內方位。未來若在未經具有公信力的校正前即宣稱此種攝影機具有執行國土測繪的能力，則可能使一般人誤解 UAS 搭載之非量測型攝影機所能達到的精度，進而影響到測繪成果的品質。因此本會針對 UAS 攝影機校正工作進行相關評估，評估成果將可作為國土測繪中心執行相關校正工作參考之依據。

(二)評估說明

1.使用場地

校正方式係採野外現場校正 (In-Situ Calibration) 方式，由廠商依據校正作業規範以其 UAS 攝影機進行航拍，就其拍攝所得之影像，進行校正。

UAS 攝影機校正目前規畫與航測量測型攝影機、中像幅航測攝影機合用校正場，原則上儘量採相同校正標之分布，不另外增設點位。但是由於 UAS 搭載之非量測型攝影機型別繁多，各型的像幅、焦距、像元尺寸、航高等差異很大，因此校正航拍時考慮不對航高及航線做強制性的規定，僅規範地面取樣解析度和航拍像幅涵蓋、為原則。

2.校正評估

目前航測攝影機校正作業程序已定航測量測型攝影機與中像幅攝影機校正程序，而 UAS 攝影機校正亦可採相同之作業程序執行校正工作。但兩者差異在於，航測攝影機之內方位係經過精密率定而且保持穩定，基本上經過測試，證明其不受高空環境低溫、氣壓、濕度等急遽變化而有顯著的變化。有別於航測攝影機，UAS 攝影機之內方位一般是未知且並較不穩定，即使經過事後率定，可能也無法證明其在日後使用時，不同的溫度、氣壓、濕度等環境下仍然保持不變。航測攝影機的像元幾何精度均經過實驗室率定以及出廠時空中三角測量驗證過(burn-in flight)，並附有率定報告，說明幾何精度的檢定結果數據。而非量測型攝影機生產原廠並不作此方面的率定及檢核。

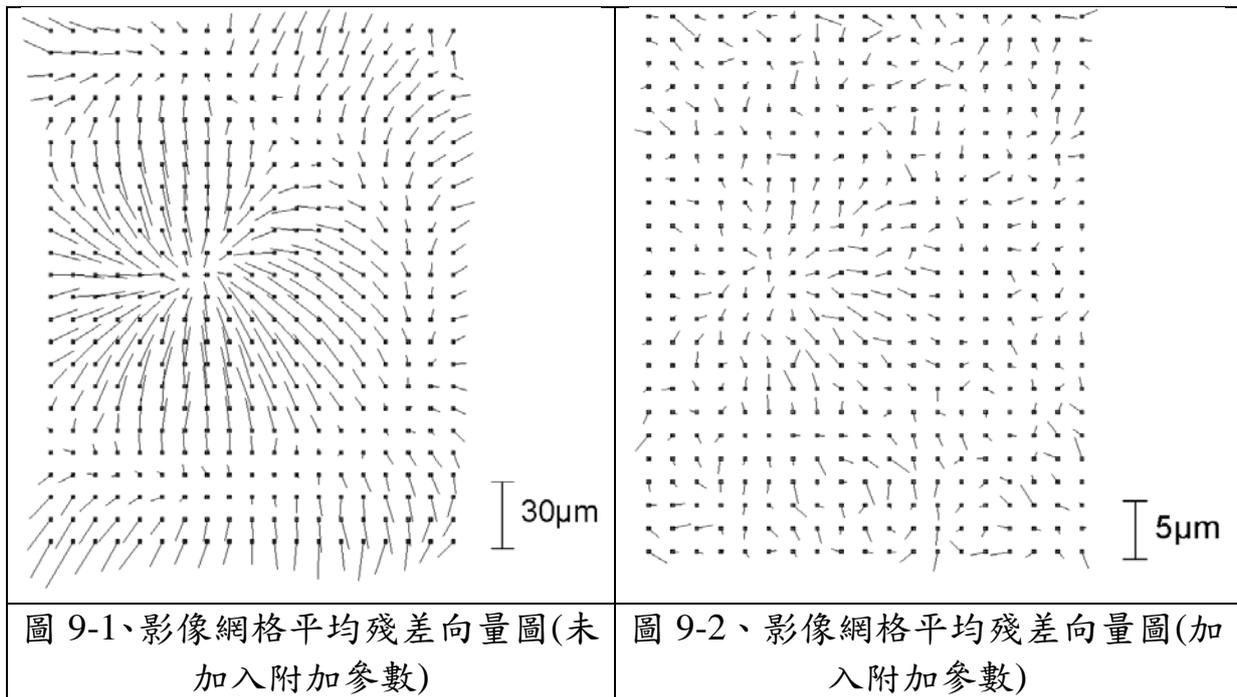
航測攝影機的彩色(包含近紅外光)部分，是由多鏡頭同步拍攝的多譜影像融合至高解析力的全色態影像而成；而非量測型攝影機所使用的感光元件大多採用拜爾過濾(Bayer's Filter)原理內插得到彩色影像。因此航測攝影機所拍攝得到的全色態影像各像元顯示的為真實解析力，而非量測攝影機則沒有全色態影像，而是直接拍攝彩色影像。但是由於涵蓋波譜的不完整，原始的一個像元只有紅、藍、綠其中的一個波段，其餘二個波段是由相鄰像元內插而得，亦即其影像真實色彩解析力要較總像元數換算出的解析力為低。

一般航測規範內除了對於航測攝影機本身品質進行規範外，為了維持立體量測的精度，還會對航帶內的前後重疊率、航帶間的側向重疊率、影像的航偏角及傾斜角...等做出規範。但對於無人駕駛 UAS 飛行載具而言，因載具重量較輕，飛行狀態易受天氣影響，較不容易達到上述規範要求。因此非航測專用攝影機若搭載於 UAV 上，除了直接引用目前的航測攝影機校正程序外，對於影像的重疊率、航偏角以及航傾角的標準要求需研究後加以擬定。

(三)國土測繪中心 UAS 影像測試分析

國土測繪中心於 102 年度以自有 UAS 系統拍攝南崗校正場，本學會於 102 年度則嘗試以此拍攝影像進行校正測試分析。為了觀察非量測型攝影機影像畸變的情形，將所有校正標作為控制之用賦予適當權值(中誤差約 1 公厘)後進行空中三角平差。完成平差計算後，於影像坐標系中將全幅影像畫分規則的棋盤網格，將所有的影像疊加後，視每網格為一個單元並統計出現在各單元內殘差的個數，並計算各單元內殘差之平均值，即為該單元內系統誤差分量之估值。

加入附加參數前，影像幾何畸變的情形十分嚴重，除了影像邊緣外，其他位置亦有變形的情形，如圖 9-1 所示。而將所提供的附加參數加入空三平差系統解算，消除了大部分系統誤差，得到良好的影像成果，如圖 9-2 所示。



由於內方位穩定性及成像方式的不同，使得航測攝影機與其它型攝影機所能達到的成像精度與解析力有一定差異，所得測繪成果的品質亦不在相同水平。非量測型攝影機的校正工作在於評估其整體綜合性能是否符合任務規劃需求，並不針對該系統個別組成原件或配置做

校正。如經幾何校正後，顯示檢核點上所呈現的幾何精度不佳，廠商亦可使用其他參數或校正結果自行反推原因，進行改善。未來校正場若開放非量測量攝影機進場校正，是否允許送校廠商視其所執行任務及其成果需要對影像進行改正，應再詳加研議。

(四)小結

近年來漸漸以 UAS 攝影機代替傳統航測攝影機執行資源調查及探勘，飛航次數日趨頻繁，於本場校正後可能難以追蹤 UAS 攝影機使用狀況。若校正完畢後發生攝影機不慎撞擊卻持續使用，或是以其它攝影機替代使用，恐對本場校正公信力產生影響。且透過附加參數改正，可消除大部分非量測型攝影機影像畸變的情形。考量上述情形，未來尚需研擬合理的送校程序與校正標準的判定。

無論中、小像幅攝影機或非量測型攝影機與航測攝影機最大的差異在於內方位的穩定性，若校正航拍前後的內方位並不一致，縱使校正後合乎標準，有可能是透過後處理達成，亦無法掌握攝影機真實情況。目前多見以實驗室內近景攝影測量的率定方式取得非量測型攝影機的內方位參數，若能於校正航拍前先得知待校件的內方位參數，確認航拍前後內方位的一致性，才能使校正成果具有意義。因此未來可考慮增設近景攝影測量實驗室或簡易野外率定場，於校正航拍前先行計算內方位，但應考量：1.實驗室或簡易野外率定場建置需額外經費；2.實驗室環境或簡易野外率定場與後續實際測繪時之航拍環境不盡相同。近景攝影測量實驗室或簡易野外率定場所需軟、硬體設備普遍昂貴，需評估校正場實際營運及其它經費來源是否能支持此預先檢核的構想。而航拍時攝影機與拍攝物體的距離與近景攝影測量或簡易野外率定場所拍攝物體的距離相差甚遠，於室內或簡易野外率定場率定所得參數未必適用於航拍，因此航拍前後參數的比對是否適合納入未來送校程序內，尚待商議。此外，UAS 系統之攝影機隨時可用同型號的來替換，如何確認廠商在校正後，確實是使用經過校正的攝影機

執行航拍而非使用另外一台未經校正的攝影機？一個顛覆傳統校正思維的作法就是不單獨設置校正場對 UAS 攝影機做校正，而是針對定 UAS 攝影測量另外訂定特殊的航測作業規範，要求每個各案，每個測區都要做高重疊率、高幾何強度的空中三角網來實施自率光束法，求解其特有的畸變數並依據解出的參數執行影像重取樣，得到經過畸變改正的影像後，始得繼續後續測繪工作。

二、中像幅航空攝影機及空載光達系統校正試營運作業

關於中像幅航空攝影機及空載光達系統校正作業，已經過規劃、評估及實際測試並建立作業流程，後續工作則將配合國土測繪中心實際辦理試營運輔導訓練，以確保未來作業人員熟悉各項校正工作內涵與技術。

拾、檢討、建議與結論

一、中像幅航拍攝影機校正作業檢討、建議與結論

以往世界各國航測專用攝影機校正之目的僅在評估攝影機本身的品質，例如美國 USGS 之 Optical Science Laboratory 所辦理之校正僅在確認像點、物點及投影中心等三個點的共線性，並不包含使用者對於影像畸變的改正能力。可是中像幅攝影機以及非量測型攝影機製作不如大像幅者精準，影像畸變較航測專用之大像幅攝影機為大，內方位亦較不穩定，即使在空中三角測量過程中可以用附加參數的方法將部份畸變予以補償，但是該等影像用於後續測繪時，如未先依據空三所求得的附加參數做重取樣(resampling)，則影像本身還是含有畸變的，並不會因為空三曾加過附加參數而有任何改善。因此若中小像幅校正目的不僅單純檢驗攝影機本身的畸變大小，且還要評估廠商使用其設備執行航拍、空三到立體測繪一系列整體的航空攝影測量綜合能力，則建議由廠商正確使用其以往於實務上所使用的驗前參數對原始影像做一次影像重取樣(如果該廠商以往在實務上確實有做重取樣的話)，允許廠商展現其改正掉畸變之能力後，再以經過重取樣的影像進行校正，以評估廠商執行航空攝影測量的綜合能力。

二、空載光達系統校正作業檢討、建議與結論

(一)確立校正的目的

空載光達測量的品質受到光達掃描器本身精度、掃描器與定位定姿系統之間的校準、雷射脈衝率、掃描頻率、掃描方式、側向重疊率等...多項因素影響，而本項目所規劃之校正，僅以確認廠商於校正飛行當時實際測量所能達到精度為主，是一個綜合各因素的結果。校正的目的不在為被校正件找出各種誤差的來源，亦即目的不在提供廠商自我率定用的各類參數。建議將來可以隨著校正經驗的累積後，可再評估本場是否進一步提供安置參數率定服務。

(二)空載光達最佳校正方案之決定

- 1.一開始提出的測試方案包含矩形建物之平頂面、山形屋之屋脊線及道路標線，以實際掃描資料，透過「校正標物評估因子量化」及「實際資料測試實驗」，於最後決定空載光達最佳校正方案為矩形建物之平頂面。
- 2.雖然空載光達最佳校正方案為矩形建物之平頂面，但在實驗過程中發現道路標線之點雲經適當篩選，且在一定長度以上時，成果精度是可優於矩形建物之平頂面。因此建議在未來工作中，若有機會可以規劃在地形單純的地方(如平頂面上)自行油漆十字形校正標，既可排除折角的問題，亦可便於維護、追溯及管制。

三、空間特徵點模型庫之推動

由於目前國土測繪中心之標準件僅包含電子測距儀、經緯儀及衛星定位儀，基於參考值追溯之考量，若要取得空載光達校正物或航空攝影機校正標之參考值則勢必使用前述之需要仰賴外業人力之地測儀器，因此需特別考量人力成本、工作時程及安全性...等問題。相較於傳統地面測量，航空攝影測量之技術於國內已具備高度成熟度且廣為相關產業廠商所應用，以航空攝影測量方式獲取控制資料之技術已非難事，甚至影像控制區塊資料建置已列為國土測繪中心基本地形圖案中之工作項目之一，若可善加管理並更新維護，將來或許可廣泛應用以航空攝影測量之方式獲取空載光達校正物或航空攝影機校正標之參考值，則勢必可減少外業人力並提高自動化程度。

四、國內航空測量相關規範之檢討及修訂建議

1.校正週期建議改為 2 年

由於國土測繪中心目前已建立量測型航測攝影機之校正場地及流程並於 104 年通過 TAF 認證，為充分達到測繪成果品質保障及為民服務之目的，建議參考美國、德國對於航測攝影機校正週期之規定為每 1 至 3 年必須校正一次之作法，規劃國內對實施航空攝影測量用

之航測攝影機規劃採每 2 年校正一次。關於「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」之參、三、(三)、4 及參、三、(三)、5 關於航空攝影機檢定報告相關文字建議修改如下：

作業規定修改前	作業規定修改後
4.航空攝影機檢定報告 (1)航空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（經由實驗室或地面檢定場檢定），各項檢定方法均需於檢定報告中詳述。	4.航空攝影機檢定報告 (1)航空攝影機必須提出最近 5 年內攝影機原廠檢定報告（經由實驗室或地面檢定場檢定），或最近 2 年內經由全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation , TAF)認證之實驗室所出具之攝影機校正報告。
(2)數位式攝影機檢定項目至少包含幾何率定(像主點、透鏡畸變差)、CCD 幾何位置精度、輻射率定（像機靈敏度、光圈校正、線性度(Sensor Linearity)、雜訊、缺陷像元 (Defect Pixel Recognition)）、調制轉換函數（Modulation Transfer Function；MTF）、像素光譜反應特性曲線等檢定項目。	(2)關於原廠檢定報告之檢定項目至少包含幾何率定(像主點、透鏡畸變差)、CCD 幾何位置精度等檢定項目。
(3)底片式攝影機至少包含幾何率定(像主點、框標率定、透鏡畸變差)、輻射率定、離心變形等項目。	(3)底片式攝影機至少包含幾何率定(像主點、框標率定、透鏡畸變差)、輻射率定、離心變形等項目。
	(4)航空攝影機必須以原廠率定參數做重取樣 (resampling)，以改正攝影機之畸變。以原廠率定參數改正過後的影像，必須曾由校正實驗室校正過。校正實驗室所出具的校正報告內的器差均方根誤差值化算至像坐標系統後，不得大於 1.5 個像元。最大值不得大於 3 個像元。
5.若原廠檢定報告內容不全，或對其檢定有疑慮時，得委託本國具有檢定能力之學術或研究單位予以補充或重作。	(5)若原廠檢定報告或校正報告內容不全，或對其檢定有疑慮時，得委託本國具有檢定能力之學術或研究單位予以補充或重作。

2.效益說明

對於 2 年校正一次之校正週期所產生的效益，則可針對申請第 1 次校正及 2 次以上校正之廠商分別說明：(1)針對申請第 1 次校正之廠商：與出廠規格相比，了解是否達到原廠所宣稱的品質；(2)針對申請

校正 2 次以上之廠商：除了與出廠規格相比，亦可與前次校正成果追蹤比對，檢視儀器之穩定性。

3. 儀器穩定性判斷原則

原則上將按照實驗室所規定管制容許值判斷，若變動量在管制容許值以內，航測攝影機視為穩定。關於系統管制標準之訂定將於後續工作深究。

拾壹、作業辦理期程及人力成本分析

以下針對本年度主要工作所需期程、費用進行概估，作為國土測繪中心未來計畫執行之參考。

表 11-1、本年度工作期程及成本估算

階段	成果交付項目	相關說明	人工天統計 (人×天)		成本 費用
			辦理 期程	人力投 入	
第 1 階段	1.作業計畫書	報告撰寫	15 天	2 人	40,000
	2.空載光達校正作業 測試方案(報告)	報告撰寫	45 天	2 人	80,000
第 2 階段	1.第 1 場教育訓練之 簽到簿、訓練照片 (TAF 相關)	包含教材準備、場地租用、講 師費	N/A	1 人	35,000
	2.空載光達校正測試 標(物)	內業(以既有資料篩選合適測 試標物)	15 天	1 人	20,000
	3.航空測量攝影機英 文校正報告範本	報告撰寫	30 天	2 人	80,000
	4.期中報告	報告撰寫	15 天	2 人	40,000
第 3 階段	1.中像幅航空測量攝 影機校正飛行測試及 分析成果	飛行規劃及資料取得	30 天	廠商	150,000
		外業(資料處理、清標、漆標)	10 天	4 人	30,000
		參考值取得(航測校正標地 測、平差計算)	N/A	國土測 繪中心	-
		量測值取得(空中三角測量)	15 天	1 人	50,000
	2.空載光達校正飛行 測試及分析成果	成果分析(數據整理、統計、 判讀、分析)	75 天	3 人	300,000
		飛行規劃及資料取得	30 天	廠商	150,000
		參考值取得(光達校正測標物 清查、地測、平差計算)	30 天	4 人	100,000
		量測值取得(點雲萃取及資料 處理)	60 天	1 人	80,000
	3.第 2 場教育訓練之 簽到簿、訓練照片(光 達相關)	成果分析(數據整理、統計、 判讀、分析)	75 天	3 人	300,000
		包含教材準備、場地租用、講 師費、雜費	30 天	3 人	100,000
	4.修訂航空測量攝影 機校正程序及相關文	報告撰寫	15 天	1 人	20,000

階段	成果交付項目	相關說明	人工天統計 (人×天)		成本 費用
			辦理 期程	人力投 入	
	件				
	5.研提空載光達校正 作業程序	報告撰寫	15 天	1 人	20,000
	6.工作總報告	報告撰寫	30 天	2 人	80,000
	7.投稿研討會或期刊 論文	報告撰寫	30 天	1 人	40,000
	提送成果(硬碟)	4 顆 64G 隨身碟	N/A	N/A	2,800
	其他工作成果、耗材、管 銷、保險、雜費...)		N/A	N/A	100,000
	總計				1,917,800

註：人工天單價包含酬勞、差旅費及分攤法定退休、資遣準備、保險等固定支出。

拾貳、參考文獻

- Csanyi, N., and Toth C., 2007, Improvement of LIDAR data accuracy using lidar-specific ground targets, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 73, No. 4, pp. 385–396.
- Lin, Y.C., 2009. Digital Terrain Modelling From Small-Footprint, Full-Waveform Airborne Laser Scanning Data, *Ph.D. Dissertation*, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK.
- Lindenthal, S.M., 2011. AIRBORNE LIDAR: A FULLY-AUTOMATED SELF-CALIBRATION PROCEDURE, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-5/W12 : 73-78.
- Luccio, Matteo, 2010. Aerial Cameras, Focus Shifts to Productivity, *Imaging Notes*, 25(4), http://www.imagingnotes.com/go/article_freeJ.php?mp_id=243，前次查詢：2013-04-05。
- Roberto, C., James H., Craig R., Mark L., and Aaron B., 2013. Assessing Lidar Accuracy with Hexagonal Retro-Reflective Targets, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 79, No. 7, pp. 663–670.
- Toth C., Paska E., 2008a, QUALITY ASSESSMENT OF LIDAR DATA BY USING PAVEMENT MARKINGS, *ASPRS 2008 Annual Conference*, Portland Oregon.
- Toth C., Paska E., Brzezinska D., 2008b. USING ROAD PAVEMENT MARKINGS AS GROUND CONTROL FOR LIDAR DATA, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1, China Beijing.
- 內政部，2005。LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)。
- 內政部，2012。101 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案。
- 內政部，2013。102 年度建立航遙測感應器系統校正作業案工作總報告。
- 內政部，2015。104 年度遙測感應器系統校正作業工作總報告。
- 中興測量有限公司，2007。大台北地區特殊地質災害調查與監測—高精度空載雷射掃描(LIDAR)地形測製與構造地形分析(3/3)暨 94-96 年度計畫總報告，經濟部中央地質調查所。
- 自強工程股份有限公司，2016，空載光達率定報告書。

詮華國土測繪有限公司，2016，光達系統率定報告。

林柏丞，2012。張量分析應用於結合光達資料與地形圖重建建物模型的品質預估之研究，國立成功大學測量及空間資訊學系博士論文。

拾參、第 3 階段第 3-2 批成果驗收審查意見回覆表

審查委員	審查意見	意見回覆
高委員書屏	1. 能否說明「中像幅航空攝影機校正飛行測試」之作業項目，目前國外或大陸是否有與本項相關之校正飛行規範或類似研究報告？	本會曾於「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業案」已包含完整的文獻搜集。此外，在 100 至 103 年間持續進行過世界各主要國家在航測攝影機校正方面的文獻與規範搜尋，本年度亦繼續搜尋相關文獻。經研讀後在針對中像幅方面，除有少數對其成果精度做研究的論文外，未見有國家或地區以公權力設置校正場的文獻或規範。
	2. 同上，能否說明「空載光達」之作業項目，目前國外或大陸是否有與本項相關之校正飛行規範或類似研究報告？	本會曾於「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業案」進行過空載光達校正方面的文獻與規範蒐集，除廠商為品保所為之自我率定外，未見有國家或地區以公權力設置校正場的規範。本年度亦繼續搜尋相關文獻，除 OHIO 州立大學有以道路標線進行空載光達品質確認之研究報告外，未有足資本研究採用的新發展。
	3. 倘國外或大陸有 1.及 2.提及之程序、規範或相關研究報告，則建議將該等資料置於總結報告中供委辦單位參考。	承上，目前本會已蒐集之相關內容資料甚多且均已彙整於本會以往各年度總報告書內，應足數委辦單位查詢之用。
	4. 簡報第 9 頁及 10 頁中提及刪去中央控制點之建議，請問於報告中是否有數據成果來支持本項建議之可行性及正確性？此建議與大地測量進行坐標轉換時採共同點之原則相違背(即共同點在外圍夾住測區，中央部分亦選取適當點位)如此轉換成果較佳。	當今航測攝影系統均搭配 GPS/IMU 輔助定位系統，在此狀況下世界各國航測地形圖作業規範內已無在測區中央需布設任何型式控制點之規定，為使本場校正結果能儘量接近未來受校攝影機於實際作業時可達之品質，建議不在測區中央設置控制點。有關中央設置控制點與不設置控制點之差異，已於第陸章第三節做過分析。

審查委員	審查意見	意見回覆
	5. 又請說明先前執行之大像幅航空測量攝影機校正案，不知是否係貴團隊執行？如果是，當初為何未能提出？如果不是貴團隊執行，則另外執行團隊是否能認同，則是一個有待商榷的問題？	104 年校正案非本團隊執行。本會自 100 年承接本校正案起至本年度皆持相同控制點數及分布之設計概念，未曾變更。
	6. 對所有提及修正原作業程序之建議，均應提出可受公評之數據或文獻來佐證提出修正內容之正確性。	各項建議均係參考世界各國相關文獻及規範而提出者，相關之實驗數據及分析亦已於第陸章詳列並說明。
吳委員水吉	1. 本期末報告能依合約規定項目及初審各位委員所提意見執行完成。	遵照辦理。
	2. 報告書內有些圖文無法搭配，如 P.62 頁圖 3-13，找不到相對應附圖，P.55 之圖文之間也無法搭配。	已修正。
	3. P.32 表 4-2 國內常見空載光達系統之儀器型號中自強公司的部分 2010 年 6 月引進的應該是 Riegl LMS-Q680i，而 Riegl LMS-Q780 應該是今年 6 月引進的。	已修正。
	4. 在本計畫建議中像幅取消中央控制點，而在大像幅航測校正，是否也有取消中央控制點？	原校正程序是按大像幅航測攝影機所設計，而本計畫工作項目之一「辦理中像幅航空測量攝影機校正飛行測試及分析作業」是以飛行航拍成果及分析作業，修訂目前航空測量攝影機校正程序及相關文件。意即無論大像幅或中像幅航測攝影機皆使用同一份航空測量攝影機校正程序
	5. 各個空載光達廠商自設的率定場與本計畫的校正場有何區別或者以後各廠商統一使用此率定場。	廠商自設的率定場為率定出廠設備或檢驗設備所設置的場地，目的為取得空載光達視準率定；校正場為客觀第三方為出具設備是否合格證明所設置的場地，目的為評估空載光達成果品質，不對受校系統做任何率定改正。

審查委員	審查意見	意見回覆
	6. 在檢討建議與結論中第二項的第(三)點，在空載光達系統校正作業檢討建議與結論放在空間特徵點模型庫之推動，好像有點不對題。	已於 P.107 修正。
	7. P.108 數位航空測量相機的彩色影像，其彩色的部分是用低於數倍的 RGB 影像內插到高解析度黑白影像，所以其彩色解析度真能與原來黑色影像解析度相等嗎？拿來此中像幅或 UAV 使用相機的色彩解析度相比，是否是影像誤差來源的主因。	本校正僅在對攝影系統輸出之供測繪使用的影像做品質校正，並不追究影響品質之誤差來源。雖然中像幅與大像幅影像色彩成因不同，但是否因此而造成誤差大小不同，自非本校正場欲探討者。
蔡委員季欣	1. 本案空載光達校正所使用的標準件有無追溯問題？是否仍使用經緯儀或衛星定位儀？	各校正物坐標會採用經 SICL 校正合格之電子測距經緯儀測得，據以供空載光達系統校正使用，因此無追溯問題。
	2. 空載光達校正作業中所使用的平頂屋校正物是否足夠，倘若不足，貴團隊是否考量納入道路標線採混同使用之可能？	關於校正物數量請參考 P97 文字說明。
	3. 空間特徵模型庫之影像特徵區塊是使用在大像幅、中像幅航空測量攝影機校正作業中還是空載光達系統校正作業中？請說明。	請參考 P.107 修正後文字。
	4. 目前 UAV 產製正射影像的方式係採用密匹配的技術，與傳統作業方式不同，請問是否適合目前的航測校正方式？	感謝委員提示，此問題將列入未來研究項目之一。
梁委員旭文	1. P.7~14，教育訓練、報告書提送發文及收文紀錄的相關內容與附件三、四重覆。	已於 P.7、P.8 將重複內容刪除。
	2. P19、34、36，報告所提到參考文獻於 P.118 沒有列出，請補充。	已補充。
	3. P.21 第二高速公路及台中清泉崗機場請更改為國 3 號及台中航空站，另「南崗工業區鄰近台中航空站」語意不明，請修正。	專有名詞已更改。
	4. P.23 永久追蹤站請修正為	已修正。

審查委員	審查意見	意見回覆
	衛星基準站。	
	5. P.27 圖 3-7 小校正場範圍及校正標分布情形及 P.104 圖 7-22 矩形建物之平頂面座落位置，應該有底圖或有原校正場之範圍，方能顯示實際範圍及座落。	已更新。
	6. P.34 詮華國土測繪有限公司設置 Leica ALS60 之率定場與表 4-2 儀器型號不合，請修正。	已修正。
	7. P.45 表 4-5 工作標準件評估比較，空間特徵模型庫之成本評估因子僅估人事、儀器設備費用，應該少估航拍費用，請補充。	由於本校正場每次對大像幅航測攝影機進行校正時，都必定會取得一次新的航拍資料，可用於特徵模型庫之量測、更新之用，故不需特別為其另外執行航拍。表 4-5 工作標準件之成本評估是以取得參考值時所需耗費的成本作為比較基準。
	8. P.62 小校正場範圍如圖 3-13，惟報告中沒有圖 3-13，請修改。	已修正為圖 3-7。
	9. P.67 小校正場內約有 50 點校正標，報告中表示 1 日內完成重漆及補漆，是全部或部分點位？另請提供重漆或補漆前之相片。	已於 P.61、P.62 補充說明。
	10. P.72 圖 6-3 校正標圖示有紅、綠及紫等三種顏色，未見說明。	已補充圖例說明。
	11. P.76 作業程序調整四，建議將標準放寬至平面 6 公分、高程 15 公分，惟看 P.74~75 表 6-4 之高程方向器差有偏向負值，尤其 16GCP 更明顯，會不會有系統誤差，請補充說明。	畢竟中像幅攝影機之內方位精度不如大像幅攝影機，因此空三解算成果存有系統誤差係屬正常。本場校正之目的即在顯示該攝影機真實的品質狀況。
	12. P.106 本案研發之「二階段式空三平差」評估中像幅航測攝影機之校正，惟報告第陸章並沒有提到此方法，請補充說明。	文字誤植，已刪除。
林委員志清	1. 於第陸章第四節有關中像幅相機校正，提出幾個作業程序調整內容，如空三控制點選定原則，及初步查核步	關於第陸章第四節有關中像幅相機校正，是針對原航空測量攝影機校正作業程序提出內容調整之建議，因此最後的航空測量

審查委員	審查意見	意見回覆
	<p>驟之坐標較差放寬等，那大像幅相機要不要配合修正？此部分請補充說明。</p>	<p>攝影機校正作業程序將同時適用於大、中像幅攝影機。</p>
	<p>2. 就 LiDar 校正部分，「是著重於幾何位置還是著重在高度呢？」及「可否與水深成果比對方式一樣，直接比對待校正件 LIDAR 成果與校正場的高程模型間之差異性？」，另有以下疑問：</p>	<p>LiDAR 除非僅用於對一水平面之高程實施測量，否則只要遇有傾斜面時，平面位置測量的誤差必定也會造成高程的誤差，因此對於 LiDAR 的校正必須包含平面，亦即必須係針對三維幾何位置進行校正。由於建立光達校正場目的之一是要通過 TAF 認證，而只有使用明確的校正物，方符合 TAF 對於參考值、量測值以及不確定度估計的規定。</p>
	<p>(1)按報告內找到 LIDAR 校正點計有 17 點，P103 表示只要 6 個就足夠了，惟按 USGS 對航測校正標建議要有 50 點左右，如此而 LIDAR 校正場點數是否稍少？而 6 個點來計算器差對不確定度統計會不會太薄弱？請釐清！</p>	<p>USGS 野外校正場數量與規範是針對航拍影像校正所設計，期望藉著足夠數量且成面狀式分布的校正標來顯示二維面狀影像的誤差情形。而光達掃瞄測量僅以一個一維向量做往復式掃瞄，頗類似用全測站儀做光線法測量，一旦方位未知數確定後，理論上只要標定一個檢核點即足以瞭解其誤差情形。但為了提高本場校正之可靠度，故建議選取 6 個點，就可靠度觀點而言，多餘觀測分量已達 5/6，遠遠超過任何大地控制網或空中三角網可達之可靠度。詳見第柒章第五節之說明。</p>
	<p>(2)有關校正方法，須涵蓋作業程序及使用軟體，故針對使用軟體提供建議軟體，並敘明原因，供本中心參考。</p>	<p>原則上任何一套軟體系統都可用於本校正作業。本會純出於經費考量使用此套光達資料處理軟體，未來貴中心欲採購軟體時，本會將就各類軟體價格及友善性提供建議。</p>
	<p>2. 有些章節對應上有些困擾，如第三章結語對應到第五章，及第捌章內容好像太薄弱！故於修正時請注意。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>地形及海洋測量課</p>	<p>1. 就辦理空載光達校正航拍作業的飛航參數需求而言，分散</p>	<p>遵照辦理。</p>

審查委員	審查意見	意見回覆
	於報告各章節，請航測學會參考航空測量攝影機的航拍作業須知，彙整空載光達校正作業的航拍須知。	
	2. 有關空載光達校正作業程序中，請補充工作標準件(電子測距經緯及衛星定位儀)之準備及查核等內容。	遵照辦理。

附件一、研討會投稿文章

空載光達點雲擬合屋頂面交會屋脊線精度之研究

Accuracy Evaluation of Ridge Line Determining from Plane Fitting of Airborne LiDAR Point Cloud

詹立丞¹ 邱式鴻² 王蜀嘉³ 林昌鑑⁴ 許展祥⁵

摘要

空載光達點雲為大量分布於地面具有三維資訊的點位資料，若掃描的區域為都市地區，則分布於建築物屋頂上面的非地面點雲可以顯著辨識，獲得建物點雲則可用來自動化製作三維建物模型。對山形屋建模而言，屋脊線是重要之結構，但是光達點並不會正好落在真實屋脊線上，因此可由最小二乘平面擬合點雲找出平面特徵再交會出屋脊線。因此，本研究主要以模擬資料探討最小二乘擬合屋頂面交會關鍵結構屋脊線於不同屋頂夾角的空間位置變化之精度分析；另外考慮到掃描屋頂面時不可避免會掃描到如通風口之非屋頂面點雲，可將其視為粗差，因此研究中亦以模擬資料測試使用資料搜評法(data snooping)的粗差偵錯方式於屋頂面擬合時剔除粗差的可行性，進而討論其交會屋脊線之精度。

關鍵字：空載光達、平面擬合、粗差偵錯、資料搜評法

一、研究動機與目的

空載光達(Airborne LiDAR)作為獲取地表面三維資訊的測量技術已行之多年，其優勢為作業範圍大，獲得大量精確的掃描光達坐標成為建置數碼城市(Cyber city)的重要資料來源。三維建物模型是數碼城市中的必要單元，越來越多的研究展開基於LiDAR資料的自動化三維建物模型重建工作，而山形屋為其中一種簡單的幾何對稱結構屋頂類型。由於光達點雲為三維空間的離散資訊，欲找出最主要的屋頂面及屋脊線段幾何特徵，必須經過後處理方可獲得，王正楷(2007)提出將屋頂結構線分為以霍夫轉換及其他附加幾何條件萃取得到的外部結構線，以及利用相鄰屋頂面的交會獲得的內部結構線。另外可使用擬合(fitting)的方式去萃取出最佳的平面及線段，線段的部分在非地面光達點雲的處理分為屋頂邊緣及屋脊線，配合由航空影像萃取出來的線段結構作為基準，將光達點雲擬合至線段上(Awrangjeb et al., 2012)。屋脊線在空間幾何的意義為由兩平面交會出來的直線，計算方式較屋頂邊緣線萃取容易，然而擬合屋頂面交會屋脊線的精度會影響建物模型建置，這部份鮮有文獻探討，尤其是山形屋，因此本研究使用模擬資料分析屋頂面交角對擬合屋脊線之影響，以及資料搜評法對於非屋頂面點雲擬合屋頂面將其視為粗差

¹國立政治大學地政學系 碩士生

²國立政治大學地政學系 副教授

³國立成功大學測量及空間資訊學系 退休教授

⁴內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課 課長

⁵內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課 課員

排除之能力以及其擬合屋頂面交會屋脊線精度之影響分析。

二、研究方法

本研究以 Matlab 撰寫模擬空載光達掃描山形屋頂的點雲資料，平面大小長寬均約 5m，點雲密度為每平方公尺 1 點，實驗設計五種交會角度的山形屋頂，分別是 90 度、120 度、150 度、170 度及 175 度，並在平面 X、Y 及高程 Z 加入 10 公分的偶然誤差，為簡化，以最小二乘擬合時僅在高程 Z 方向加入改正數 v ，則第 i 點所列的間接觀測方程式 $Z_{i+v}=aX_i+bY_i+c$ ，其中 a, b, c 為平面參數，之後再計算交會屋脊線，並評估精度。

因交會之屋脊線無法得知真正的屋脊點，因此評估交會屋脊線精度的方式為計算模擬之真實屋脊線與交會屋脊線在空間中的公垂線段距離，以及真實屋脊兩端點至交會屋脊線在空間中的距離，並將不同屋頂夾角的精度評估結果繪成折線圖以進行比較。

山形屋頂上若有非屋頂面之結構，例如廠房上面通常會有通風設備，這些會影響到擬合平面交會屋脊線的精度，因此擬合時可將其視為含有粗差的觀測值剔除，提升觀測成果的精度，Baarda(1967)提出的資料搜評法(Data Snooping)是其中一種方式，過對標準化殘差 W_i 的統計檢驗來判斷觀測值是否存在粗差，給定顯著水準 $\alpha_0=0.1\%$ ，其臨界值為 3.29，若大於臨界值則判定可能含有粗差並剔除之，重複計算至所有 W_i 小於臨界值為止。因此本研究嘗試在六個高程 Z 觀測量隨機加入四倍到六倍偶然誤差的粗差，討論使用資料搜評法進行粗差偵錯之可行性。

三、實驗結果與討論

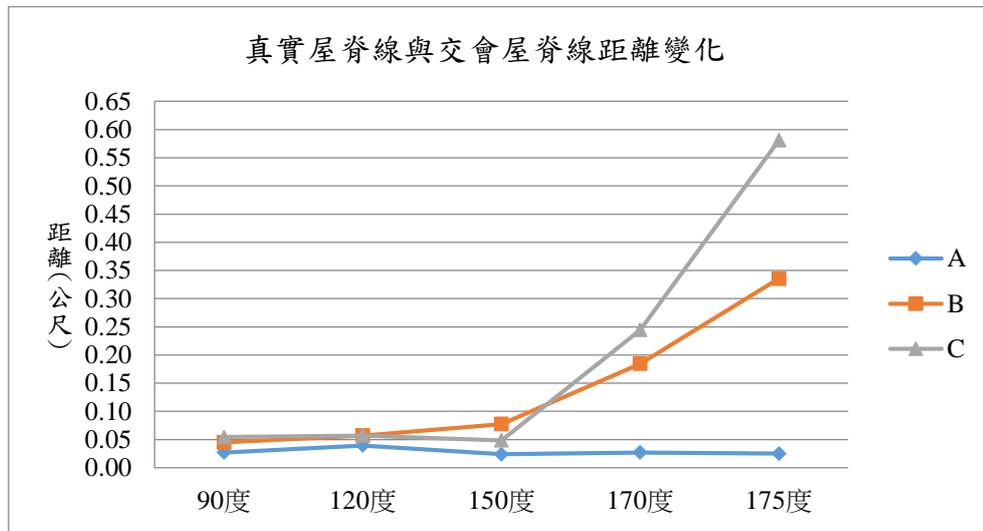
本次實驗結果分為兩部分，第一部分為模擬空載光達掃描 5m*5m 平面的山形屋頂不同交會夾角結構的點雲資訊，以最小二乘法進行平面擬合並計算出交會屋脊線，與模擬真實屋脊線所在位置作比較。第二部分為模擬隨機六個觀測量加入四倍到六倍偶然誤差後，比較使用資料搜評法剔除粗差的能力。下列圖一至圖三的 A 表示模擬之真實屋脊線至交會屋脊線公垂線段距離，B、C 則表示模擬之真實屋脊兩端點至交會屋脊線之空間距離。

(一)、僅考慮觀測量含偶然誤差之交會屋脊線精度評估

觀測量不含粗差，僅平面 X、Y 與高程 Z 含有 10cm 之偶然誤差的情況，表一及圖一所示為模擬程式執行五次取平均值之結果。

表一、不同屋頂夾角擬合交會屋脊線精度評估結果(單位：公尺)

	90 度	120 度	150 度	170 度	175 度
A	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03
B	0.04	0.06	0.08	0.18	0.34
C	0.05	0.06	0.05	0.24	0.58



圖一、不同屋頂夾角擬合交會屋脊線距離變化

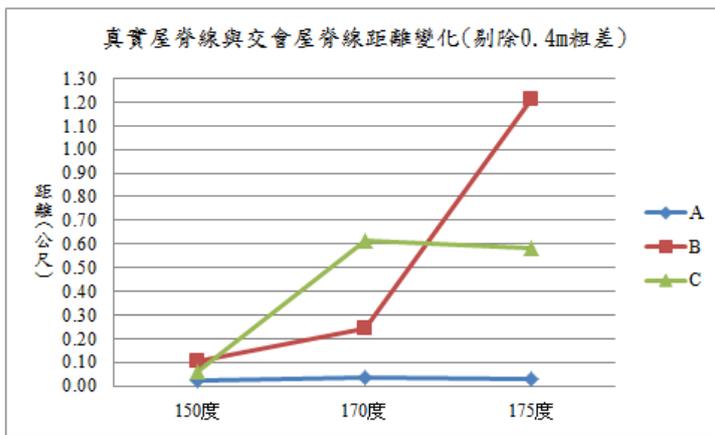
由表一和圖一可發現屋頂夾角 90 度的交會表現最佳，距離大約在 3 公分到 5 公分之間，接近水平的夾角的 175 度交會狀況最差，尤其是表現在兩端屋脊點至真實屋脊線的距離，分別為 34 公分及 58 公分，整體趨勢而言，圖一折線 A 評估方式在五種夾角的變化中較不明顯，距離約在 5 公分左右，B、C 評估方式則顯示變化呈現夾角越大，距離越大的趨勢。由此顯示若以中垂距離作為評估交會屋脊線精度會有高估的情況。

(二)、使用資料搜評法剔除含粗差觀測值之可行性評估

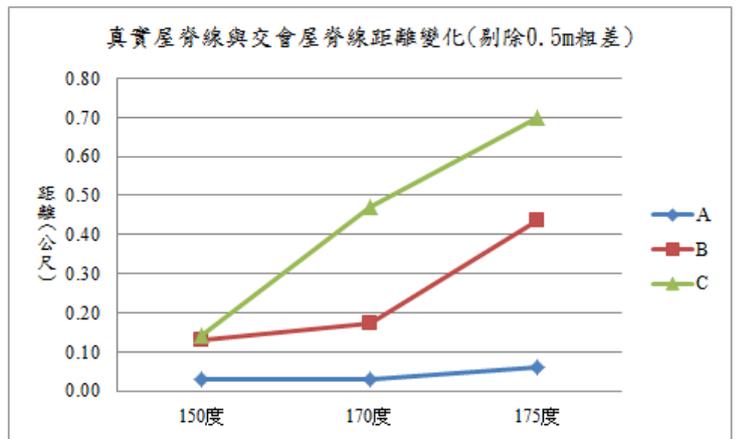
本實驗隨機挑選 6 個光達點加入粗差，粗差值僅加在高程 Z 值上，加入 4 倍、5 倍及 6 倍偶然誤差(偶然誤差為 0.1 公尺)，再以模擬程式重複執行五次計算剔除粗差的能力。如表二所示，隱藏在隨機 6 個光達點的 0.4m 粗差值無法在每一次平差計算當中全部成功剔除，但是粗差值 0.5m 及 0.6m 的情況則是大部分可以找出並剔除之，顯示資料搜評法在粗差值為 0.5m 以上時，其偵錯的能力越好。

表二、資料搜評法在不同屋頂夾角及粗差值的剔除成果

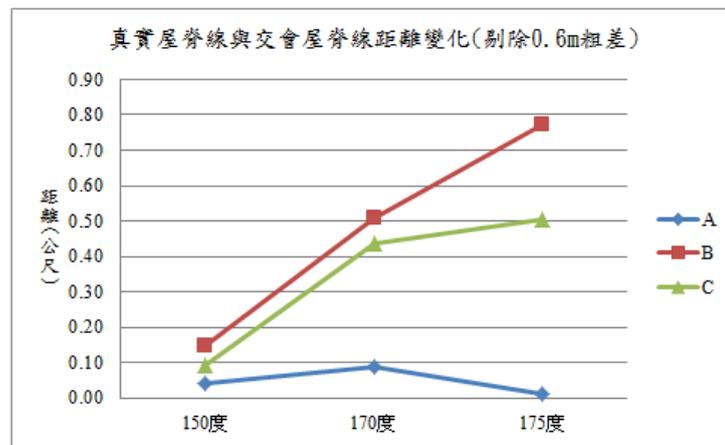
粗差值	0.4m			0.5m			0.6m		
	150 度	170 度	175 度	150 度	170 度	175 度	150 度	170 度	175 度
執行模擬 程式五次 之光達點 剔除個數	6	4	4	6	6	6	6	6	6
	3	3	5	6	5	5	6	6	6
	5	3	5	4	6	5	6	6	6
	4	3	5	4	5	6	6	6	6
	6	4	4	6	6	6	6	6	6



(a)



(b)



(c)

圖二、剔除粗差後真實屋脊線與交會屋脊線距離變化：(a)0.4m，(b)0.5m，(c)0.6m

四、結語與建議

本文討論模擬不同屋頂夾角的光達點雲資擬合交會屋脊線之精度。由實驗結果可知，若觀測量僅含偶然誤差，則 90 度時有最佳的擬合交會精度，角度越大，精度越差，且不適合用兩線段之公垂線距離執行精度評估，然而臺灣地區山形屋屋頂面交角一般都是大於 150 度，因此須慎選精度評估方式；且測量作業觀測量難免含有粗差，因此模擬在光達點雲加入粗差，發現粗差大於 5 倍偶然誤差之情況下，資料搜評法才可較正確剔除粗差，不影響擬合交會屋脊線精度。後續可探討大於 5m 屋脊線之交會精度及討論其他粗差偵錯法(如穩健估值法)之偵錯能力。

參考文獻

Baarda, W. 1967, "A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks, Delft", the Netherlands: Computing Centre of the Delft Geodetic Institute.

Awrangjeb, M., Zhang, C. and Fraser, C. 2012, "Automatic Reconstruction of Building Roofs Through Effective Integration of LiDAR and Multispectral Imagery", ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2012 XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia, August 25- September 1 2012, Volume I-3.

王正楷, 2007, 「由空載光達資料進行建物偵測與結構線萃取」, 國立台灣大學土木工程學系碩士論文: 台北。

附件二、歷次工作會議結論與追蹤事項
辦理情形

第 1 次工作會議決議	辦理情形
1.有關本次會議討論中像幅航空測量攝影機校正作業之相關規劃，請航測學會將飛航參數、備用校正標、不確定計算、校正方法調整幅度及後續 TAF 認證影響納入本項之設計考量。	遵照辦理。
2.有關本次會議討論空載光達校正作業之相關規劃，請航測學會將所提方案均納入評估，並於空載光達校正測試方案中具體詳述測試實驗之前置準備作業、方案評估因子、測試標建置規劃、實驗飛行規劃及分析方法及步驟。	遵照辦理。
第 2 次工作會議決議	辦理情形
1.有關中像幅航空測量攝影機校正作業之校正標選用及觀測事宜，因本中心測量隊僅可於 7 月份提供有限支援，請航測學會謹慎評估校正標數量及設置範圍，避免新設過多點位情形，並積極掌控航拍期程。	遵照辦理。
2.有關空載光達測試方案之評估因子，其中人力因子請考量後續標準值維護及追溯作業之成本，並增加可判斷各種測試方案好壞之標準，如：不確定度大小、人為干涉程度、……等。	遵照辦理。
第 3 次工作會議決議	辦理情形
1.有關中像幅航空測量攝影機校正作業中，針對清查後需重新補漆的 28 點校正標，將由本中心提供 1 組人力協助航測學會人員共同辦理，並請航測學會儘早確定航拍時間，以安排補漆作業。	遵照辦理。
2.有關空載光達校正作業中，所提之標準值量測方式疑義，經會議討論結果，為能正確評估地測及立測等 2 種取得方式，請航測學會針對上開取得方式均予以辦理測試作業。	遵照辦理。
3.有關第 1 次教育訓練辦理日期及場地，由本中心承辦人員洽詢相關單位後，於 6 月 3 日前回復航測學會。	遵照辦理。
第 4 次工作會議決議	辦理情形
1.本中心將於 6 月 17 日辦理校正標新設點位勘查作業，請航測學會提供之前南崗工業區廠商聯絡資料，方便本中心使用，並俟勘查結果評估篩選中像幅像機校正使用之校正標。	已於 6/16 提供。
2.有關空載光達校正測試標(物)之建立，請航測學會評估各方案測試標(物)其標準值的量測方式，並掌握測量作業期程，積極辦理。	遵照辦理。
3.本中心規劃近期邀請國內辦理航空測量之相關廠商召開航測校正推廣暨收費標準說明會，請航測學會協助背景說明簡	已於 6/21 提供。

報。	
第 5 次工作會議決議	辦理情形
1.請航測學會於 7 月底前完成漆標作業，並依規劃期程完成中像幅航空測量攝影機及空載光達測試航拍作業。	已於 7/21、7/29(補)、8/11(補)辦理。
2.請航測學會辦理空載光達測試標(物)之布設及地面量測作業前，先彙整使用私人場地布標之相關資訊，屆時攜帶本中心公文與前開場地所有權人接洽測試標作業事宜。	遵照辦理。
第 6 次工作會議決議	辦理情形
1.有關中像幅航空測量攝影機校正方法，請依期中報告所提之兩階段平差及目前本中心校正程序等兩種方式，辦理測試並提出分析結果。	遵照辦理。
2.有關光達測試標(物)標準值之地面測量作業，請航測學會於行前提供使用私有場地之資料，俾利本中心先行聯繫相關單位，並於航測學會辦理測量作業時派員會同前往。	遵照辦理。
3.有關本案第 2 場教育訓練辦理期程，請航測學會於 9 月初提供課程配當表，俾利本中心簽辦調訓事宜。	遵照辦理。
第 7 次工作會議決議	辦理情形
1.請航測學會確依本案之作業計畫書及空載光達測試方案積極辦理成果分析。	遵照辦理。
2.本中心測量儀器校正實驗室訂於 105 年 9 月 29 日上午 10 時至下午 4 時於本中心第 1 會議室辦理內部稽核，請航測學會配合本中心需求，派遣 1 位合格稽核員擔任此本次內部稽核委員。	辦理完畢。
3.有關本案第 2 次教育訓練日期暫定為 10 月 5 日，並請航測學會儘早提送所規畫之課程配當表及講師資料。	辦理完畢。
第 8 次工作會議決議	辦理情形
有關中像幅航空測量攝影機校正作業程序原則以納入本中心現行航空測量攝影機校正作業程序為主，請航測學會於適當章節補充相關內容。	遵照辦理。
有關空載光達校正作業程序，請以評估後最佳方案，並參考本中心相關校正作業程序架構撰寫，另請將相關評估細節及建議事項納入工作總報告。	遵照辦理。

「105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業」 第 1 次工作會議紀錄

- 一、時間：105 年 3 月 16 日（星期三）上午 9 時 30 分
- 二、地點：本中心第 3 會議室
- 三、主持人：林課長昌鑑
記錄：許展祥
- 四、出席人員：中華民國航空測量及遙感探測學會（以下簡稱航測學會）、本中心地形及海洋測量課及企劃課（人員詳如簽到簿）。
- 五、報告事項：航測學會報告，詳書面資料。
- 六、會議結論：
 - （一）航測學會所提各階段成果繳交項目及期程規劃符合契約期限規定，請航測學會確依規劃執行。
 - （二）有關本次會議討論中像幅航空測量攝影機校正作業之相關規劃，請航測學會將飛航參數、備用校正標、不確定計算、校正方法調整幅度及後續 TAF 認證影響納入本項之設計考量。
 - （三）有關本次會議討論空載光達校正作業之相關規劃，請航測學會將所提方案均納入評估，並於空載光達校正測試方案中具體詳述測試實驗之前置準備作業、方案評估因子、測試標建置規劃、實驗飛行規劃及分析方法及步驟。
- 七、散會：上午 12 時 30 分。

105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業

第 1 次工作會議簽到簿

時 間：105 年 3 月 16 日(星期三)上午 9 時 30 分

地 點：本中心第 3 會議室

主 席：林課長昌鑑

記 錄：許展祥

出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
中華民國航空測量及遙感探測學會	主持人	王崑堯 郁大峻 邱依屏 王怡婷
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課		林昌鑑 黃英亭 許展祥
企劃課		邱明全

「105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業」 第 2 次工作會議紀錄

一、時間：105 年 4 月 13 日（星期三）上午 9 時 30 分

二、地點：本中心第 3 會議室

三、主持人：林課長昌鑑

記錄：許展祥

四、出席人員：中華民國航空測量及遙感探測學會（以下簡稱航測學會）、本中心地形及海洋測量課及企劃課（人員詳如簽到簿）。

五、報告事項：航測學會報告，詳書面資料。

六、會議結論：

（一）有關中像幅航空測量攝影機校正作業之校正標選用及觀測事宜，因本中心測量隊僅可於 7 月份提供有限支援，請航測學會謹慎評估校正標數量及設置範圍，避免新設過多點位情形，並積極掌控航拍期程。

（二）有關空載光達測試方案之評估因子，其中人力因子請考量後續標準值維護及追溯作業之成本，並增加可判斷各種測試方案好壞之標準，如：不確定度大小、人為干涉程度、……等。

七、散會：上午 11 時 15 分。

105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業

第 2 次工作會議簽到簿

時 間：105 年 4 月 13 日(星期三)上午 9 時 30 分

地 點：本中心第 3 會議室

主 席：林課長昌鑑

記 錄：許展祥

出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
中華民國航空測量及遙感探測學會		王蜀嘉 邱大凌 李祥徽 邱依屏
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課		林昌鑑 黃美婷 許展祥
企劃課		印明全

「105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業」 第 3 次工作會議紀錄

- 一、時間：105 年 5 月 18 日（星期三）下午 2 時
- 二、地點：本中心第 3 會議室
- 三、主持人：林課長昌鑑
記錄：許展祥
- 四、出席人員：中華民國航空測量及遙感探測學會（以下簡稱航測學會）、本中心地形及海洋測量課及企劃課（人員詳如簽到簿）。
- 五、報告事項：航測學會報告，詳書面資料。
- 六、會議結論：
 - （一）有關中像幅航空測量攝影機校正作業中，針對清查後需重新補漆的 28 點校正標，將由本中心提供 1 組人力協助航測學會人員共同辦理，並請航測學會儘早確定航拍時間，以安排補漆作業。
 - （二）有關空載光達校正作業中，所提之標準值量測方式疑義，經會議討論結果，為能正確評估地測及立測等 2 種取得方式，請航測學會針對上開取得方式均予以辦理測試作業。
 - （三）有關第 1 次教育訓練辦理日期及場地，由本中心承辦人員洽詢相關單位後，於 6 月 3 日前回復航測學會。
- 七、散會：下午 4 時。

「105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業」 第 4 次工作會議紀錄

一、時間：105 年 6 月 15 日（星期三）下午 2 時

二、地點：本中心第 3 會議室

三、主持人：林課長昌鑑

記錄：許展祥

四、出席人員：中華民國航空測量及遙感探測學會（以下簡稱航測學會）、本中心地形及海洋測量課及企劃課（人員詳如簽到簿）。

五、報告事項：航測學會報告，詳書面資料。

六、會議結論：

（一）本中心將於 6 月 17 日辦理校正標新設點位勘查作業，請航測學會提供之前南崗工業區廠商聯絡資料，方便本中心使用，並俟勘查結果評估篩選中像幅像機校正使用之校正標。

（二）有關空載光達校正測試標（物）之建立，請航測學會評估各方案測試標（物）其標準值的量測方式，並掌握測量作業期程，積極辦理。

（三）有關校正報告文字增修提案，決議如下：

1. 於校正報告中增加「因量測結果（器差）之位數必須與擴充不確定度之位數一致，故器差結果四捨五入修正至相同位數。」

2. 有關校正報告結論內容，暫不增加符合特定規範之相關論述。

（四）本中心規劃近期邀請國內辦理航空測量之相關廠商召開航測校正推廣暨收費標準說明會，請航測學會協助背景說明簡報。

七、散會：下午 4 時。

105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業

第 4 次工作會議簽到簿

時 間：105 年 6 月 15 日(星期三)下午 2 時

地 點：本中心第 3 會議室

主 席：林課長昌鑑

記 錄：許展祥

出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
中華民國航空測量及遙感探測學會		王蜀嘉 邱大濤 李新 邱依屏
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課		林昌鑑 許展祥 黃英婷
企劃課		邱明金

「105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業」 第 5 次工作會議紀錄

- 一、時間：105 年 7 月 14 日（星期四）下午 2 時
- 二、地點：本中心第 3 會議室
- 三、主持人：林課長昌鑑
記錄：許展祥
- 四、出席人員：中華民國航空測量及遙感探測學會（以下簡稱航測學會）、本中心地形及海洋測量課（人員詳如簽到簿）。
- 五、報告事項：航測學會報告，詳書面資料。
- 六、會議結論：
 - （一）請航測學會於 7 月底前完成漆標作業，並依規劃期程完成中像幅航空測量攝影機及空載光達測試航拍作業。
 - （二）請航測學會辦理空載光達測試標（物）之布設及地面量測作業前，先彙整使用私人場地布標之相關資訊，屆時攜帶本中心公文與前開場地所有權人接洽測試標作業事宜。
- 七、散會：下午 3 時 30 分。

105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業

第 5 次工作會議簽到簿

時 間：105 年 7 月 14 日(星期四)下午 2 時

地 點：本中心第 3 會議室

主 席：林課長昌鑑

記 錄：許展祥

出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
中華民國航空測量及遙感探測學會		王蜀嘉 鄭尤淳 邱依屏 林其山
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課		林昌鑑 許展祥
企劃課		

「105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業」 第 6 次工作會議紀錄

- 一、時間：105 年 8 月 16 日（星期二）上午 10 時
- 二、地點：本中心第 2 會議室
- 三、主持人：林課長昌鑑
記錄：許展祥
- 四、出席人員：中華民國航空測量及遙感探測學會（以下簡稱航測學會）、本中心地形及海洋測量課（人員詳如簽到簿）。
- 五、報告事項：航測學會報告，詳書面資料。
- 六、會議結論：
 - （一）有關中像幅航空測量攝影機校正方法，請依期中報告所提之兩階段平差及目前本中心校正程序等兩種方式，辦理測試並提出分析結果。
 - （二）有關光達測試標（物）標準值之地面測量作業，請航測學會於行前提供使用私有場地之資料，俾利本中心先行聯繫相關單位，並於航測學會辦理測量作業時派員會同前往。
 - （三）有關本案第 2 場教育訓練辦理期程，請航測學會於 9 月初提供課程配當表，俾利本中心簽辦調訓事宜。
- 七、散會：上午 11 時 40 分。

105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業

第 6 次工作會議簽到簿

時 間：105 年 8 月 16 日(星期二)上午 10 時

地 點：本中心第 2 會議室

主 席：林課長昌鑑

記 錄：許展祥

出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
中華民國航空測量及遙感探測學會		王蜀柔 邱大鴻 邱依屏
內政部國土測繪中心		林昌鑑 黃英婷 許展祥

「105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業」 第 7 次工作會議紀錄

一、時間：105 年 9 月 12 日（星期一）下午 2 時

二、地點：本中心第 3 會議室

三、主持人：林課長昌鑑

記錄：許展祥

四、出席人員：中華民國航空測量及遙感探測學會（以下簡稱航測學會）、本中心地形及海洋測量課及企劃課（人員詳如簽到簿）。

五、報告事項：航測學會報告，詳書面資料。

六、會議結論：

（一）請航測學會確依本案之作業計畫書及空載光達測試方案積極辦理成果分析。

（二）本中心測量儀器校正實驗室訂於 105 年 9 月 29 日上午 10 時至下午 4 時於本中心第 1 會議室辦理內部稽核，請航測學會配合本中心需求，派遣 1 位合格稽核員擔任此本次內部稽核委員。

（三）有關本案第 2 次教育訓練日期暫定為 10 月 5 日，並請航測學會儘早提送所規畫之課程配當表及講師資料。

七、散會：下午 3 時 30 分。

105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業

第 7 次工作會議簽到簿

時 間：105 年 9 月 12 日(星期一)下午 2 時

地 點：本中心第 3 會議室

主 席：林課長昌鑑

記 錄：許展祥

出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
中華民國航空測量及遙感探測學會		王蜀素 印依南 李維斌
內政部國土測繪中心		林昌鑑 印明全 許展祥

「105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業」 第 8 次工作會議紀錄

- 一、時間：105 年 10 月 13 日（星期四）下午 2 時
- 二、地點：本中心第 3 會議室
- 三、主持人：林課長昌鑑
記錄：許展祥
- 四、出席人員：中華民國航空測量及遙感探測學會（以下簡稱航測學會）、本中心地形及海洋測量課（人員詳如簽到簿）。
- 五、報告事項：航測學會報告，詳書面資料。
- 六、會議結論：
 - （一）有關中像幅航空測量攝影機校正作業程序原則以納入本中心現行航空測量攝影機校正作業程序為主，請航測學會於適當章節補充相關內容。
 - （二）有關空載光達校正作業程序，請以評估後最佳方案，並參考本中心相關校正作業程序架構撰寫，另請將相關評估細節及建議事項納入工作總報告。
- 七、散會：下午 3 時 30 分。

105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業

第 8 次工作會議簽到簿

時 間：105 年 10 月 13 日(星期四)下午 2 時

地 點：本中心第 3 會議室

主 席：林課長昌鑑

記 錄：許展祥

出 席 機 關 (單 位)

職 稱

簽 到 處

中華民國航空測量及遙
感探測學會

王國嘉

邱大凌

邱依屏

內政部國土測繪中心

林昌鑑

黃英婷

許展祥

附件三、歷次教育訓練之簽到簿、訓練
照片

一、本案第 1 場教育訓練

1.課程配當表

時間 \ 日期	105 年 6 月 27 日 (星期一)
09：20~09：30	報 到
09：30~12：00	<p>1.檢測/量測相關標準與規範簡介：</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ ISO/IEC 17025(General requirements for the competence of testing and calibration laboratories-測試與校正實驗室通用要求) ✓ ISO/IEC 10012(Measurement management systems Requirements for measurement processes and measuring equipment-量測管理系統之量測過程和量測設備要求) ✓ ISO GUM(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement-不確定度表達指引)、與UKAS M3003(The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement-量測之不確定度與信心的表示)、TAF-CNLA-G16(校正領域之不確定度評估指引)與TAF-CNLA-G03(測試領域之不確定度評估指引) ✓ MSA(Measurement Systems Analysis-量測系統分析)概論 <p style="text-align: right;">講師：鄭希龍</p>
12：00~12：50	午 餐
12：50~14：20	<p>2.儀器設備管理</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 儀器設備之採購與評估 ✓ 設備設備之維護管理(含鑑別與追溯性). ✓ 儀校允收與失效管理(含校正允收、不符合之矯正與預防措施、改進). <p style="text-align: right;">講師：鄭希龍</p>
14：30~16：00	<p>3.不確定度評估作業與案例</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 量測不確定度基本概念與評估指引 ✓ 不確定度評估常用之基本統計概論 ✓ ISO GUM方法(量測方程式導引、A類不確定度評估、B類不確定度評估、標準不確定度之組合、量測結果與不確定度之表達注意事項) ✓ 不確定度評估實務案例解析、不確定度評估簡易案例演練 <p style="text-align: right;">講師：鄭希龍</p>
16：00~16：30	<p>4.實際案例與問題討論</p> <p style="text-align: right;">講師：鄭希龍</p>

2. 簽到簿

6/27 TAF實驗室認證教育訓練						
						105/06/27
編號	單位	職稱	姓名	上午簽到	下午簽到	備註
1	地形及海洋測量課	技正	黃英婷	黃英婷	黃英婷	
2	地形及海洋測量課	技士	陳鴻智	陳鴻智	陳鴻智	
3	地形及海洋測量課	技士	許展祥	許展祥	許展祥	
4	地形及海洋測量課	技士	高名旻	高名旻	高名旻	
5	地形及海洋測量課	技士	游政恭	請假	請假	
6	航測學會	主持人	王蜀嘉	王蜀嘉	王蜀嘉	
7	航測學會	協同主持人	邱式鴻	邱式鴻	邱式鴻	
8	航測學會		邱依扁	邱依扁	邱依扁	
9	航測學會		李新	李新	李新	
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

講師：鄭希龍

工作人員：

3.教育訓練照片



二、本案第 2 場教育訓練

1.課程配當表

時間 \ 日期	105 年 10 月 5 日 (星期三)
09：20~09：30	報 到
09：30~10：20	空載光達校正作業程序說明(1) 講師：邱依屏
10：30~10：50	空載光達校正作業程序說明(2) 講師：邱依屏
11：00~12：00	空載光達校正原理介紹 講師：邱式鴻
12：00~13：00	午 餐
13：00~13：50	空載光達資料處理軟體操作介紹(1) 講師：曾建文
14：00~14：50	空載光達資料處理軟體操作介紹(2) 講師：曾建文
15：00~15：50	實際案例分析說明(1) 講師：邱依屏
16：00~16：30	實際案例分析說明(2) 講師：邱依屏

2.簽到簿

內政部國土測繪中心

105 年度擴充航遙測感應器系統校正作業採購案

-第 2 場教育訓練-簽到單

壹、時間：105 年 10 月 5 日 上午 09：30 至下午 16：30

貳、地點：中華民國航空測量及遙感探測學會 三樓會議室

參、出席人員：(如簽名)

No	單位	職稱	上午簽到	下午簽到	備註
1		技正	黃英亭	黃英亭	<input type="checkbox"/> 素
2		課員	陳鴻智	陳鴻智	<input type="checkbox"/> 素
3		技士	高名曼	高名曼	<input type="checkbox"/> 素
4		技士	許展祥	許展祥	<input type="checkbox"/> 素
5		技士	游政恭	游政恭	<input type="checkbox"/> 素
6					<input type="checkbox"/> 素
7					<input type="checkbox"/> 素
8					<input type="checkbox"/> 素
9					<input type="checkbox"/> 素
10					<input type="checkbox"/> 素

廠商：中華民國航空測量及遙感探測學會

王蜀嘉

講師：邱式傳

邱依屏

曾建文

李祥

3.教育訓練照片



附件四、本案相關函文

收發文紀錄如表 1 及表 1 所示。

表 1、發文紀錄

提送日期	提送文號	摘要
105.02.25	105 航測會字第 0037 號	質權設定通知書用印
105.02.26	105 航測會字第 0039 號	檢送契約書
105.03.03	105 航測會字第 0043 號	檢送定存單+覆函
105.03.09	105 航測會字第 0048 號	檢送作業計畫書(初稿)
105.03.29	105 航測會字第 0084 號	檢送 10503 月報
105.04.06	105 航測會字第 0093 號	檢送作業計畫書(修訂)
105.04.22	105 航測會字第 0106 號	檢送光達方案報告(初稿)
105.04.27	105 航測會字第 0111 號	檢送 10504 月報
105.05.17	105 航測會字第 0132 號	檢送光達方案報告(修訂)
105.05.30	105 航測會字第 0153 號	檢送 10505 月報
105.05.30	105 航測會字第 0154 號	第 1 場教育訓練通知
105.05.30	105 航測會字第 0155 號	檢送第一期發票
105.06.28	105 航測會字第 0192 號	檢送 10506 月報
105.07.22	105 航測會字第 0228 號	檢送第 2 階段成果
105.07.27	105 航測會字第 0239 號	檢送 10507 月報
105.08.18	105 航測會字第 0267 號	檢送第 2 階段成果(修訂)
105.08.24	105 航測會字第 0275 號	檢送第二期發票
105.08.25	105 航測會字第 0280 號	檢送 10508 月報
105.09.19	105 航測會字第 0300 號	第 2 場教育訓練通知
105.09.19	105 航測會字第 0301 號	檢送第 3 階段飛行測試及分析成果
105.09.26	105 航測會字第 0315 號	檢送 10509 月報
105.10.14	105 航測會字第 0353 號	申請展延 2 日
105.10.27	105 航測會字第 0379 號	檢送 10510 月報
105.11.01	105 航測會字第 0384 號	檢送第 3 階段 3-2 批成果
105.11.25	105 航測會字第 0428 號	檢送 10511 月報
105.11.28	105 航測會字第 0429 號	檢送第 3 階段 3-2 批成果(修訂)
105.11.01	105 航測會字第 0487 號	檢送第 3 階段 3-2 批成果(依評委意見修訂)

表 2、收文紀錄

提送日期	提送文號	摘要
105.03.01	測形字第 1050900090 號	第 1 次工作會議通知
105.03.16	測形字第 1050900133 號	第 1 次工作會議紀錄
105.03.28	測形字第 1050900153 號	作業計畫書審查原則通過
105.04.14	測形字第 1050900180 號	第 1 階段成果之作業計畫書驗收合格
105.04.14	測形字第 1050900188 號	第 2 次工作會議紀錄
105.04.22	測形字第 1050900212 號	進出入南崗工業區校正場公文
105.05.03	測形字第 1050900233 號	第 2 次工作會議通知
105.05.05	測形字第 1050900237 號	空載光達校正作業測試方案審查原則通過
105.05.23	測形字第 1050900277 號	第 3 次工作會議紀錄
105.05.27	測形字第 1050900285 號	第 1 階段驗收合格檢送領款憑據(第 1 期款)
105.06.01	測形字第 1050002120 號	依契約辦理「TAF 實驗室認證教育訓練」
105.06.02	測形字第 1051400628 號	已撥第 1 期款
105.06.02	測形字第 1050900302 號	第 4 次工作會議通知
105.06.17	測形字第 1050900321 號	第 4 次工作會議紀錄
105.07.06	測形字第 1050900369 號	第 5 次工作會議通知
105.07.14	測形字第 1050900377 號	辦理校正標維護測量之進出入校正場公文
105.07.15	測形字第 1050900384 號	第 5 次工作會議紀錄
105.08.03	測形字第 1050900403 號	第 6 次工作會議通知
105.08.05	測形字第 1050900411 號	第 2 階段成果驗收合格
105.08.17	測形字第 1050900434 號	第 6 次工作會議紀錄
105.08.23	測形字第 1050900440 號	第 2 階段驗收合格檢送領款憑據(第 2 期款)
105.08.26	測形字第 1051400628 號	已撥第 2 期款
105.09.01	測形字第 1050900460 號	第 7 次工作會議通知
105.09.13	測形字第 1050900483 號	第 7 次工作會議紀錄
105.09.21	測形字第 1050003675 號	依契約辦理「空載光達校正作業教育訓練」
105.09.26	測形字第 1050900497 號	第 3 階段飛行測試及分析成果審查通過
105.10.04	測形字第 1050900512 號	第 8 次工作會議通知
105.10.17	測形字第 1050900533 號	第 8 次工作會議紀錄
105.10.19	測形字第 1050004066 號	同意展延 2 日
105.12.05	測形字第 1050900608 號	第 3 階段第 3-2 批成果驗收審查會議通知
105.12.20	測形字第 1050900641 號	第 3 階段第 3-2 批成果驗收審查會議紀錄

附件五、空載光達系統校正測試標物之
地測參考值

屬性	編號	點名	地測									
			不同網形之屋角點坐標(m)				平差數值(m)					
			橫坐標	縱坐標	橢球高	正高	橫坐標	縱坐標	橢球高	正高		
平型屋	10	1	215092.895	2647255.292	213.875	193.663	215092.893	2647255.295	213.874	193.662		
			215092.891	2647255.298	213.873	193.661						
		2	215104.350	2647237.823	213.874	193.662	215104.348	2647237.821	213.877	193.665		
	215104.347		2647237.817	213.879	193.666							
	215104.346		2647237.822	213.879	193.667							
		3	215106.591	2647264.253	213.886	193.675	215106.591	2647264.253	213.878	193.666		
			215106.594	2647264.248	213.870	193.658						
			215106.588	2647264.257	213.878	193.666						
		4	215118.037	2647246.803	213.885	193.671	215118.038	2647246.805	213.883	193.669		
			215118.040	2647246.807	213.884	193.671						
			215118.038	2647246.807	213.878	193.665						
			215118.037	2647246.803	213.883	193.670						
	12	1	215206.313	2647331.464	201.783	181.570	215206.315	2647331.465	201.784	181.571		
			215206.317	2647331.466	201.786	181.572						
		2	215209.478	2647326.503	201.902	181.687	215209.477	2647326.504	201.901	181.686		
			215209.475	2647326.504	201.900	181.685						
		3	215209.888	2647333.842	201.859	181.646	215209.894	2647333.843	201.857	181.644		
			215209.896	2647333.845	201.856	181.643						
			215209.899	2647333.843	201.855	181.642						
		4	215213.125	2647328.895	201.884	181.669	215213.127	2647328.895	201.882	181.667		
			215213.131	2647328.894	201.881	181.666						
			215213.124	2647328.894	201.882	181.667						
		16	1	215053.294	2647064.026	224.976	204.758	215053.292	2647064.028	224.974	204.756	
				215053.290	2647064.030	224.972	204.753					
		2	215057.726	2647058.740	225.077	204.857	215057.725	2647058.741	225.078	204.859		
			215057.723	2647058.743	225.080	204.860						
		3	215058.294	2647068.207	224.855	204.637	215058.291	2647068.208	224.853	204.635		
			215058.288	2647068.209	224.851	204.633						
		4	215062.644	2647062.920	224.988	204.769	215062.647	2647062.920	224.990	204.771		
			215062.648	2647062.919	224.992	204.773						
			215062.645	2647062.921	224.992	204.773						
			215062.649	2647062.920	224.988	204.769						
			45	1	214885.470	2646939.740	244.103	223.888	214885.471	2646939.739	244.110	223.896
					214885.472	2646939.740	244.125	223.911				
214885.471	2646939.737	244.103		223.888								
	2	214886.887	2646935.305	244.178	223.962	214886.888	2646935.305	244.178	223.962			
		214886.892	2646935.305	244.178	223.962							
		214886.885	2646935.306	244.177	223.962							

		3	214893.305	2646941.994	244.138	223.923	214893.304	2646941.993	244.138	223.923
			214893.302	2646941.993	244.138	223.923				
			214893.305	2646941.992	244.138	223.923				
		4	214894.605	2646937.762	244.173	223.957	214894.606	2646937.759	244.183	223.968
			214894.607	2646937.756	244.194	223.979				
	124	1	215475.353	2647021.911	200.477	180.230	215475.352	2647021.916	200.471	180.225
			215475.350	2647021.916	200.468	180.221				
			215475.352	2647021.920	200.470	180.223				
		2	215477.761	2647018.141	200.453	180.206	215477.756	2647018.135	200.454	180.206
			215477.758	2647018.133	200.453	180.205				
			215477.749	2647018.132	200.455	180.207				
		3	215479.840	2647024.779	200.449	180.202	215479.838	2647024.780	200.445	180.199
			215479.836	2647024.780	200.442	180.195				
		4	215482.265	2647021.001	200.465	180.217	215482.261	2647020.998	200.465	180.217
			215482.258	2647020.995	200.465	180.217				
	201	1	215692.739	2646792.814	196.076	175.803	215692.737	2646792.812	196.076	175.804
			215692.734	2646792.810	196.077	175.804				
		2	215696.627	2646788.440	196.107	175.834	215696.628	2646788.439	196.107	175.834
			215696.630	2646788.438	196.107	175.834				
		3	215703.453	2646802.472	196.062	175.789	215703.454	2646802.471	196.062	175.789
			215703.454	2646802.471	196.062	175.789				
		4	215707.376	2646798.152	196.065	175.792	215707.376	2646798.152	196.065	175.793
			215707.375	2646798.153	196.066	175.793				
山型屋	9	1	215151.778	2647237.327	217.770	197.554	215151.771	2647237.321	217.768	197.552
			215151.776	2647237.315	217.770	197.554				
			215151.761	2647237.322	217.767	197.551				
			215151.770	2647237.321	217.766	197.550				
		2	215157.820	2647228.391	217.757	197.540	215157.815	2647228.394	217.757	197.540
			215157.817	2647228.397	217.757	197.541				
			215157.809	2647228.395	217.757	197.540				
		3	215156.101	2647240.276	219.163	198.947	215156.100	2647240.277	219.160	198.945
			215156.099	2647240.278	219.159	198.944				
			215156.100	2647240.278	219.159	198.944				
		4	215162.154	2647231.291	219.144	198.927	215162.155	2647231.292	219.144	198.927
			215162.156	2647231.293	219.144	198.927				
		5	215160.484	2647243.144	217.735	197.520	215160.491	2647243.146	217.759	197.543
			215160.498	2647243.146	217.770	197.555				
			215160.490	2647243.147	217.771	197.555				
		6	215166.502	2647234.233	217.765	197.549	215166.500	2647234.232	217.755	197.538
			215166.499	2647234.232	217.749	197.532				
			215166.499	2647234.233	217.750	197.533				

	18	1	215696.378	2646782.316	196.165	175.891	215696.378	2646782.315	196.165	175.892
			215696.379	2646782.314	196.166	175.892				
		2	215699.692	2646778.607	196.185	175.911	215699.692	2646778.608	196.185	175.911
			215699.689	2646778.609	196.185	175.911				
			215699.694	2646778.608	196.184	175.911				
		3	215703.664	2646788.934	197.623	177.349	215703.665	2646788.934	197.623	177.350
			215703.667	2646788.935	197.624	177.350				
		4	215706.991	2646785.165	197.641	177.368	215706.991	2646785.165	197.641	177.368
			215706.992	2646785.166	197.642	177.368				
			215706.991	2646785.163	197.642	177.368				
		5	215710.904	2646795.469	196.176	175.902	215710.905	2646795.468	196.176	175.902
			215710.906	2646795.468	196.176	175.902				
		6	215714.264	2646791.812	196.206	175.932	215714.262	2646791.808	196.207	175.933
			215714.260	2646791.803	196.207	175.933				
			215714.263	2646791.809	196.207	175.934				
	19	1	215722.974	2646781.327	189.639	169.364	215722.975	2646781.327	189.638	169.364
			215722.974	2646781.325	189.638	169.364				
			215722.975	2646781.328	189.639	169.364				
		2	215727.941	2646775.945	189.618	169.343	215727.941	2646775.945	189.618	169.343
			215727.940	2646775.945	189.618	169.342				
			215727.943	2646775.944	189.619	169.343				
		3	215728.474	2646786.448	191.127	170.852	215728.476	2646786.450	191.127	170.852
			215728.478	2646786.452	191.127	170.852				
		4	215733.475	2646781.033	191.118	170.843	215733.474	2646781.033	191.119	170.843
			215733.477	2646781.037	191.119	170.843				
			215733.472	2646781.028	191.119	170.843				
		5	215734.050	2646791.533	189.606	169.331	215734.051	2646791.532	189.606	169.331
			215734.054	2646791.531	189.605	169.331				
			215734.049	2646791.533	189.606	169.331				
		6	215739.015	2646786.144	189.607	169.331	215739.015	2646786.135	189.604	169.329
			215739.017	2646786.133	189.603	169.327				
			215739.014	2646786.128	189.603	169.328				
	32	1	216312.228	2647494.638	140.180	119.905	216312.228	2647494.638	140.177	119.903
			216312.228	2647494.638	140.175	119.900				
		2	216316.853	2647476.284	140.144	119.868	216316.853	2647476.284	140.144	119.869
			216316.853	2647476.284	140.144	119.868				
			216316.853	2647476.284	140.146	119.870				
		3	216318.598	2647496.225	141.192	120.918	216318.599	2647496.225	141.193	120.918
			216318.600	2647496.225	141.193	120.918				
		4	216323.207	2647477.842	141.191	120.914	216323.206	2647477.842	141.192	120.915
			216323.205	2647477.841	141.193	120.916				

			216323.208	2647477.842	141.192	120.915				
		5	216324.994	2647497.796	140.139	119.863	216324.994	2647497.796	140.139	119.863
			216324.994	2647497.796	140.139	119.863				
			216324.995	2647497.796	140.140	119.864				
		6	216329.586	2647479.441	140.154	119.877	216329.586	2647479.441	140.153	119.876
			216329.586	2647479.441	140.151	119.874				
			216329.586	2647479.441	140.153	119.876				
	35	1	216284.605	2647118.373	154.416	134.123	216284.603	2647118.376	154.416	134.123
			216284.602	2647118.377	154.416	134.123				
			216284.602	2647118.377	154.415	134.123				
			216284.603	2647118.376	154.416	134.123				
		2	216287.376	2647113.790	154.378	134.085	216287.378	2647113.787	154.378	134.085
			216287.379	2647113.785	154.378	134.085				
			216287.379	2647113.786	154.378	134.085				
			216287.379	2647113.786	154.379	134.086				
		3	216290.706	2647122.161	155.476	135.183	216290.707	2647122.161	155.476	135.184
			216290.708	2647122.162	155.477	135.184				
		4	216293.552	2647117.513	155.471	135.178	216293.552	2647117.513	155.471	135.178
			216293.553	2647117.513	155.471	135.178				
		5	216296.810	2647125.901	154.362	134.069	216296.810	2647125.901	154.365	134.072
			216296.809	2647125.901	154.368	134.075				
		6	216299.706	2647121.273	154.399	134.106	216299.704	2647121.272	154.400	134.106
			216299.703	2647121.271	154.400	134.106				
	38	1	216271.327	2647253.507	147.616	127.331	216271.328	2647253.507	147.616	127.331
			216271.330	2647253.508	147.615	127.331				
		2	216275.525	2647243.936	147.624	127.339	216275.527	2647243.937	147.625	127.339
			216275.529	2647243.937	147.625	127.339				
		3	216278.168	2647256.708	149.392	129.107	216278.170	2647256.709	149.391	129.106
			216278.172	2647256.710	149.391	129.106				
			216278.170	2647256.708	149.391	129.106				
		4	216282.468	2647247.076	149.420	129.134	216282.470	2647247.077	149.420	129.134
			216282.472	2647247.078	149.420	129.134				
			216282.470	2647247.077	149.420	129.134				
		5	216285.110	2647259.801	147.638	127.353	216285.107	2647259.802	147.638	127.353
			216285.104	2647259.804	147.638	127.353				
		6	216289.332	2647250.289	147.640	127.354	216289.331	2647250.290	147.639	127.354
			216289.330	2647250.293	147.639	127.354				
			216289.331	2647250.289	147.639	127.354				
女兒牆	5	1	215770.301	2647030.134	172.902	152.638	215770.301	2647030.134	172.905	152.641
			215770.302	2647030.133	172.907	152.643				
		2	215781.854	2647023.915	172.893	152.628	215781.855	2647023.918	172.894	152.629

			215781.856	2647023.919	172.896	152.631				
			215781.856	2647023.919	172.892	152.627				
			215781.856	2647023.917	172.894	152.628				
		3	215774.495	2647010.217	172.900	152.634	215774.492	2647010.214	172.899	152.634
			215774.492	2647010.212	172.899	152.634				
			215774.493	2647010.213	172.900	152.634				
			215774.488	2647010.214	172.899	152.634				
		4	215762.947	2647016.415	172.938	152.673	215762.948	2647016.414	172.936	152.671
			215762.948	2647016.414	172.933	152.668				
	6	1	215681.892	2647075.719	182.941	162.684	215681.894	2647075.720	182.941	162.684
			215681.897	2647075.721	182.941	162.684				
		2	215688.565	2647062.510	182.832	162.574	215688.562	2647062.509	182.832	162.575
			215688.559	2647062.509	182.833	162.575				
		3	215701.973	2647085.875	182.907	162.649	215701.971	2647085.878	182.921	162.663
			215701.969	2647085.881	182.935	162.677				
		4	215708.484	2647072.911	182.821	162.562	215708.484	2647072.910	182.821	162.562
			215708.481	2647072.909	182.821	162.562				
			215708.487	2647072.910	182.821	162.562				
標線	R3	1	214818.675	2646868.541	240.051	219.836				
		2	214818.514	2646868.179	240.071	219.857				
		3	214824.807	2646865.721	240.276	220.061				
		4	214824.899	2646865.160	240.299	220.084				
		5	214833.974	2646883.993	238.890	218.675				
		6	214833.688	2646884.125	238.893	218.678				
	R4	1	214866.775	2646951.832	231.907	211.694				
		2	214866.497	2646951.967	231.913	211.699				
		3	214877.049	2646973.879	229.913	209.701				
		4	214877.169	2646973.364	229.942	209.729				
		5	214884.255	2646969.918	229.921	209.708				
		6	214884.425	2646970.271	229.893	209.679				
	R6	1	214885.304	2647006.430	228.224	208.013				
		2	214885.473	2647006.796	228.206	207.994				
		3	214891.618	2647003.962	228.426	208.214				
		4	214891.750	2647003.500	228.439	208.228				
		5	214900.550	2647021.769	227.330	207.119				
		6	214900.254	2647021.896	227.327	207.115				
	R7	1	214981.800	2647138.277	217.123	196.913				
		2	214982.117	2647138.507	217.111	196.900				
		3	214977.986	2647143.731	217.269	197.060				
		4	214978.123	2647144.235	217.248	197.038				
		5	214940.952	2647103.087	220.902	200.693				

		6	214941.210	2647102.916	220.903	200.693				
	R9	1	215101.032	2647223.684	209.776	189.563				
		2	215101.178	2647223.428	209.775	189.561				
		3	215124.194	2647231.905	208.566	188.351				
		4	215123.869	2647231.686	208.576	188.362				
		5	215121.134	2647236.132	208.674	188.461				
		6	215121.328	2647236.594	208.653	188.439				

附件六、航空測量攝影機校正作業程序

內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室

航空測量攝影機校正作業程序

文件編號：

版次：

文件日期：

機密等級： 普通



National Land Surveying and Mapping Center
Survey Instrument Calibration Laboratory

目 錄

壹、	概述	1
貳、	目的	1
參、	適用範圍	1
肆、	管理項目	1
一、	校正儀具需求.....	1
二、	校正標坐標參考值量測及分析.....	3
三、	校正前準備.....	5
四、	校正件校正步驟.....	6
五、	完成校正後應有步驟.....	8
六、	資料分析.....	8
伍、	校正報告	8
陸、	參考文件	9
柒、	附件	9
捌、	附錄	9

圖目錄

圖 1 校正場、校正標及鄰近三等衛星控制點位置及分布 3

表目錄

表 1 校正件性能說明 1
表 2 校正系統各單元 2



壹、 概述

航空測量攝影機校正作業程序(以下簡稱本程序)技術資料即為說明內政部國土測繪中心(以下簡稱本中心)測量儀器校正實驗室(以下簡稱本實驗室)，於執行航空測量攝影機校正系統(以下簡稱本系統)時各項程序及資料處理方法，作為執行校正之依據。

貳、 目的

本文件目的，係以本實驗室所建置之航空測量攝影機校正場(以下簡稱校正場)，進行航空測量攝影機校正工作的操作依據。

參、 適用範圍

適用於航空測量攝影機，校正件性能說明如表 1。

表 1 校正件性能說明

校正件	性能說明	校正系統
航空測量攝影機	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 航攝影像地面像素解析度介於 (5 to 25) cm ◆ 絕對航高 > 800 m 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以自設校正場內之校正標，進行衛星定位儀靜態相對定位，計算校正標坐標參考值。 2. 續運用航空測量攝影機進行航拍攝像，於影像工作站量測並計算校正標坐標量測值。 3. 比對校正標坐標以評定航空測量攝影機之量測能力。

肆、 管理項目

一、 校正儀具需求

本系統主要儀具如下：

(一) 校正系統各單元如表 2。

(二) 本校正場位於南投縣南投市南崗工業區內，校正場內設置對空通視之校正標，及鄰近校正場的三等衛星控制點，位置及分布如圖 1。各校正標坐標係經本中心校正合格之衛星定位儀測得，據以供航空測量攝影機校正使用。

表 2 校正系統各單元

項次	名稱	廠牌/型號	序號	數量	規格	備註
1	航空測量攝影機校正場	自建	N/A	1	場內布設對空通視校正標	
2	衛星定位儀	Leica ATX1230GG Leica ATX1230 Leica GX1230 TOPCON GR-3	- (詳校正報告)	-	靜態測量基線 R.M.S. 平面： $5\text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times D$ 垂直： $10\text{mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times D$, D 係基線長，單位為公里	工作標準件
3	衛星定位測量資料處理軟體	Topcon Tools 8.2	N/A	1	N/A	計算軟體
4	衛星定位測量網形平差軟體	國土測繪中心衛星測量基線網形平差系統	N/A	1	N/A	計算軟體
5	航測影像工作站系統	ERDAS IMAGINE LPS 2010	1430-E100-79A 6-883C-D4AF-A857	1	N/A	計算軟體
6	空中三角測量平差軟體	ORIMA	0974-52C8-352 0-8B08-7F10-8395	1	N/A	計算軟體
7	鋼捲尺	Topcon	B627	1	N/A	標準件

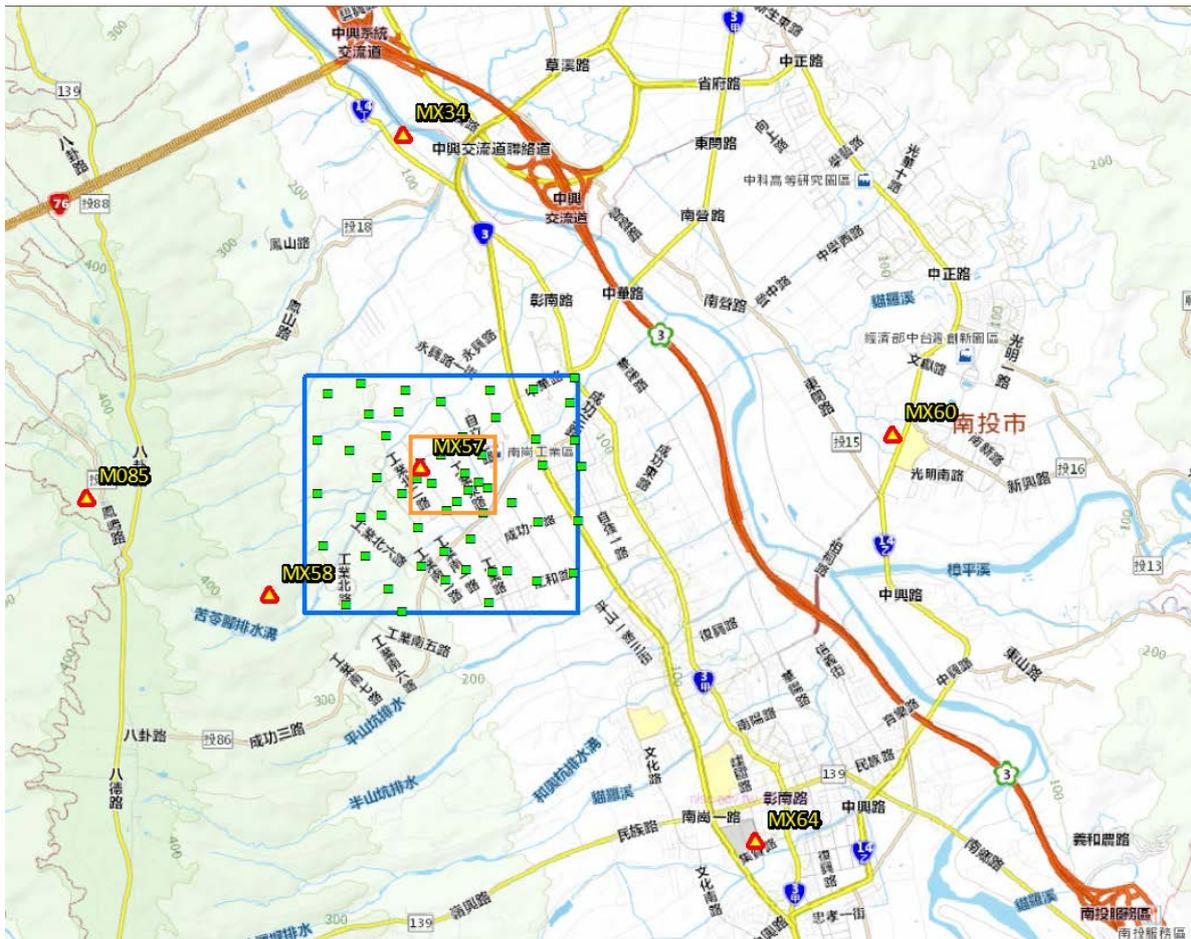


圖 1 大校正場、小校正場、校正標及鄰近三等衛星控制點位置及分布
(分別以藍色方框、橘色方框、綠色方形及三角形表示)

校正標坐標參考值量測及分析

- (三) 校正人員執行被授權之校正作業前，應參閱本程序相關內容，熟悉校正程序。
- (四) 校正標量測週期原則為每年 1 次，使用工作標準件衛星定位儀接收衛星資料，計算校正標坐標參考值。衛星定位儀觀測均在室外辦理，外業時毋需進行環境控制，且衛星定位儀無輸入溫度、溼度及壓力之功能，故參考值量測時無進行環境量測。測量時段規劃採用蛙跳法(或稱逐步推移法)，使基線向量形成閉合的幾何圖形，增加成果的可靠度和精度。

1. 工作標準件之準備與查核

- (1) 衛星定位測量觀測所需要的工作標準件，須於赴校正場前先行

查核其校正報告，於 2 年校正效期，並檢查衛星定位儀(含天線盤)開機檢查、記憶體檢查、電池檢查及求心基座查核可正常運作。

- (2) 衛星定位儀天線高量測用鋼捲尺之查核：鋼捲尺查核週期原則為每年 1 次，查核方法為在實驗室設置 5 段刻劃，每段刻劃相鄰約 40 cm，查核長度約 200 cm(建議量測值近似值為 1~40 cm, 1~80cm, 1~120 cm, 1~160 cm, 1~200 cm)。使用有校正報告的標準鋼捲尺量測 5 段刻劃，每段刻劃量測起終點讀數，計算刻劃長度，並量測 2 次觀測取平均值，作為參考值；待查核的鋼捲尺，使用上述步驟量測前開 5 段刻劃，計算其平均值，作為量測值，並將查核數據記錄於『鋼捲尺查核紀錄表』。

2. 網形控制點衛星定位測量

以衛星控制點 MX57 為坐標起算點，並與校正場相鄰且適用之衛星控制點：MX34、MX58、MX60、MX64、M085 等 5 點之中選取 4 點，構成網形控制點，並進行量測；使用標準件之衛星定位儀，採衛星訊號記錄間隔為 5 秒之設定辦理同步觀測，每天不間斷觀測應達 3 小時，共觀測 3 天。作業人員應將量測紀錄填寫於『校正標衛星靜態定位測量外業觀測紀錄表』。

3. 校正標衛星定位測量

使用納入工作標準件之衛星定位儀辦理校正標測量，觀測參數如下：

- (1) 每時段連續且同步觀測時間應達 60 分鐘；
- (2) 衛星訊號記錄間格為 5 秒；

(3) 觀測衛星顆數應大於 4；

(4) PDOP 值需在 6 以下；

記錄觀測開始與結束之天線高，並將作業情形記錄於『校正標衛星靜態定位測量外業觀測紀錄表』。每日測量作業完成後，整理所有接收的觀測資料並歸檔。

(五) 校正標坐標參考值分析

1. 網形控制點衛星定位測量成果分析，該成果係以 MX57 投影坐標 (N, E, h)，作為坐標起算點。續分析計算其他 4 個網形控制點坐標，通過已知點檢核步驟後，作為強制附合平差計算之依據。
2. 將網形控制點與校正標同步觀測成果進行衛星定位測量自由網基線(Baseline)解算，本實驗室採用衛星定位測量資料處理軟體，計算各時段基線成果。
3. 使用本中心衛星測量基線網形平差系統軟體工具，執行自由網重複基線解精度分析，包括基線相對精度與中誤差。由精度分析成果進行粗差偵錯。除錯後成果為各時段基線計算成果，並進行強制附合平差精度分析，計算校正標參考值的三維大地坐標。
4. 解算工作完成，應填寫『校正標衛星靜態定位測量成果檢核表』記錄檢核結果，確認無誤之各校正標坐標值即作為校正標坐標參考值。

二、 校正前準備

(一) 顧客校正航拍及航拍成果繳交

校正航拍前，顧客須參照校正航拍作業須知，辦理航線規劃，

並自行指派航空測量攝影機操作人員，操作人員作業能力須經顧客自行評估及授權後，方可辦理校正航拍攝像。校正航拍攝像係在室外辦理，外業時毋需進行環境控制，且航空測量攝影機無輸入溫度、溼度及壓力之功能，故校正航拍時無進行環境量測。繳交航拍成果時，須自行完成影像品質檢核，並填寫『航空測量攝影機校正航拍成果表』。

(二) 航拍成果審核

本中心人員應依據『校正申請表』，核對顧客交付之航拍成果及相關資料，並將檢查結果記錄於『航空測量攝影機校正航拍成果表』。

三、 校正件校正步驟

(一) 校正人員取得 1 年內有效校正標坐標參考值資料。

(二) 自儀器櫃取出顧客送校資料，含申請與成果交付文件及航拍成果。使用航測影像工作站系統及空中三角測量平差軟體，建立案件專案檔，並將顧客航拍影像及校正件對應之各項參數正確引入專案內。

(三) 空中三角測量及粗差偵測

1. 校正標像坐標量測

對影像內之有效校正標進行像坐標量測，其中影像內校正標有模糊或遮蔽之情形，導致無法判斷標心位置，則該校正標不予量測，並予以記錄。

2. 連結點量測

由人工立體量測連結點，且要求每張影像的 9 個標準點位都必須有連結點與同航帶及鄰航帶之鄰片相連結。

3. 粗差偵測

- (1) 選定全區影像涵蓋範圍內之 3 個校正標作為全控制點，並將其配賦權值為平面中誤差 1 cm 及高程中誤差約 2 cm，進行空中三角初步平差計算。
- (2) 初步平差計算完成後，利用軟體偵錯功能，以漸進方式處理，並依照「平差計算→粗差偵測→平差計算→再粗差偵測」的原則循環作業，剔除軟體平差計算後所判定為粗差的觀測量，重複至沒有粗差被偵測出來為止(Im. Blunders = 0)。
- (3) 檢核經粗差偵測剔除的連結點數量及分布，是否仍符合 9 個標準點位都與鄰片連結之規定，否則應補足之。最後經判定為粗差之觀測值，除了由平差軟體自動標示為停用外，必須由觀測資料檔內確實刪除，以免影響總觀測量及驗後方差等統計值之計算。

(四) 校正標初步查核

查核前項完成之空中三角測量所獲得之校正標投影坐標值，與衛星定位儀所得之校正標坐標參考值之坐標較差，倘超過平面 6 cm、高程 15 cm，則須確認校正標像坐標量測及校正標坐標參考值引用之正確性。倘非前述事項造成較差過大，則該校正標予以剔除，並通報該校正標暫時停用。

(五) 空中三角平差

1. 在校正場 4 個角落各取 2 點及 4 邊中央各取 2 點共選取 16 個校正標，作為平差計算控制點(配賦權值中誤差為 1 mm)，將其餘校正標作為平差計算連結點(配賦權值中誤差為 10 m)，進行空中三角平差。
2. 平差計算後獲得非控制用校正標之投影坐標量測值。

四、完成校正後應有步驟

- (一) 詳實將作業情形記錄於『航空測量攝影機校正作業紀錄表』。
- (二) 將顧客送件之資料放回儀器櫃保存。
- (三) 將計算完成後之案件專案資料備份至管理專區。

五、資料分析

將衛星定位儀所測定之校正標坐標參考值，與航空測量攝影機影像空中三角平差計算得之校正標坐標量測值，進行器差計算。

器差值計算方程式：

$$\begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_m \\ N_m \\ h_m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} E_r \\ N_r \\ h_r \end{bmatrix}$$

ΔE ：平面橫軸方向器差。

ΔN ：平面縱軸方向器差。

Δh ：高程方向器差。

E_m, N_m, h_m ：校正標坐標量測值。

E_r, N_r, h_r ：校正標坐標參考值。

伍、校正報告

- 一、執行本項校正後，校正者必須將所得之結果，依相關規定出具準確、清晰、不混淆及客觀之校正報告。校正報告應包含必要的校正結果與說明，且須符合 ISO/IEC 17025 中所規定必須賦予之資訊。

二、 校正報告格式範本及內容如「附錄一、報告範本」。

陸、 參考文件

一、 本實驗室「航空測量攝影機校正系統評估」，SICL-3-04-1。

柒、 附件

一、 『鋼捲尺查核紀錄表』 SICL-4-48-0，版次 1.1。

二、 『校正標衛星靜態定位測量外業觀測紀錄表』 SICL-4-49-0，版次 2.0。

三、 『校正標衛星靜態定位測量成果檢核表』 SICL-4-50-0，版次 1.1。

四、 『航空測量攝影機校正航拍成果表』 SICL-4-51-0，版次 1.1。

五、 『航空測量攝影機校正作業紀錄表』 SICL-4-52-0，版次 1.1。

捌、 附錄

一、 校正報告範例

附錄一、校正報告範例

1. 封面首頁

校正報告

校正項目：航空測量攝影機

校正日期：XX 年 XX 月 XX 日

報告編號：Fyyyymmddaabb



Calibration Laboratory
2218

儀器名稱：
廠牌型號：廠牌/型號
儀器序號：序號
送校單位：
地 址：

上述儀器經本實驗室校正，結果如內文。
本報告含封面及__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

2.封面內頁

校正報告使用說明

1. 內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室（以下簡稱本實驗室）執行航空測量攝影機校正作業(以下簡稱本校正作業)所產生的校正結果詳列於本報告內，僅對本校正件負責。
2. 本報告內的數值是本實驗室環境下執行校正所得的結果。爾後使用該校正件時，儀器之準確度則依使用時之環境狀況與使用頻率而定。
3. 未得到本實驗室同意，本報告不得節錄或部分複製，但全部複製除外。
4. 為確保校正件之準確度，請依送校單位訂定之校正週期，按時送校。



3.報告內容

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

報告編號：Fyyyyymmddaabb

儀器名稱：	航空測量攝影機	航空攝影日期：	yyyy 年 mm 月 dd 日
收件日期：	yyyy 年 mm 月 dd 日	作業地點：	航空測量攝影機校正場
廠牌：			
型號：			
序號：			

校正結果與說明

一、校正結果：

1.平面方向幾何校正

序號	校正標 點號	橫坐標器差(mm) $E_m - E_r$	縱坐標器差(mm) $N_m - N_r$	平面方向 擴充不確定度(mm)

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

報告編號：Fyyyymmddaabb

2. 高程方向幾何校正

序號	校正標 點號	高程方向器差(mm) h_m-h_r	高程方向 擴充不確定度(mm)



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

報告編號：Fyyyymmddaabb

註 1：航空攝影飛航參數

攝影比例尺	
絕對航高 (m)	
平均地面高 (m)	
像片前後重疊率(%) (Over-lap)	
像片側向重疊率(%) (Side-lap)	
航線總數量(條)	
東西向航線數量(條)	
南北向航線數量(條)	
地面像素解析度 GSD (cm)	

2：空中三角平差使用相關參數

攝影機序號	
焦距 (mm)	
像主點坐標 (mm)	
鏡頭畸變差參數	
像元大小 (μm)	
感測器像元數量 (pixels) Rows/Columns	
GPS(衛星定位系統)型號	
IMU(慣性測量元件)型號	
平差使用的像片總數量 (片)	
平差使用校正標總數 (點)	
作為控制點數量 (點)	
作為檢核點數量 (點)	

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

報告編號：Fyyyyymmddaabb

二、校正說明：

1.校正日期與地點

本校正作業係於 yyyy 年 mm 月 dd 日執行航空攝影。本實驗室設置之航空測量攝影機校正場位於南投縣南崗工業區內，校正場內設置對空通視之校正標，位置及分布如下圖。



航空測量攝影機校正場位置及校正標分布

2.校正方法

2.1 本校正係依據本實驗室「航空測量攝影機校正作業程序」[1]實施。

2.2 校正場之校正標坐標參考值，係利用衛星定位測量技術求得，計算流程如下：

2.2.1 使用標準件之衛星定位儀觀測 5 個網形控制點，採衛星訊號記錄間隔為 5 秒用之設定辦理同步觀測，每天不間斷觀測應達 3 小時，共觀測 3 天。以 MX57 投影坐標($E = 215272.362 \text{ m}$, $N = 2647269.617 \text{ m}$, $h = 201.201 \text{ m}$)為坐標起算點，計算 4 個網形控制點投影坐標(N, E, h)，作為網形坐標成果計算依據。

2.2.2 使用多組工作標準件衛星定位儀，連續且同步觀測校正標，每個時段連續觀測應達 60 分鐘，衛星訊號資料記錄間格為 5 秒，觀測衛星顆數應大於 4，PDOP 值需在 6 以下。測量規劃使基線向量形成閉合的幾何圖形，以增加成果的可靠度和精度。

2.2.3 採用衛星定位測量資料處理軟體(Topcon Tools)計算各時段基線(Baseline)成果，另採用本中心衛星測量基線網形平差系統軟體工具，以最小約制平差技術進行網形初步平差，並辦理基線成果品管分析，包括基線重複性分析、觀測數據偵錯、離群值數據剔除及觀測網形閉合差分析等處理。以強制附合平差技術計算校正標的投影坐標為坐標參考值(E_r, N_r, h_r)。

2.3 顧客依協議以校正件於校正場執行校正航拍。本實驗室依據顧客提供校正件拍攝之影像及其他相關資料，執行航空測量攝影機幾何校正分析。

2.4 航空測量攝影機拍攝影像內校正標坐標量測值，係利用空中三角測量技術求得，計算流程如下：

2.4.1 以航測影像工作站對航空測量攝影機影像實施空中三角測量，量測空中三角連結點及立體量測所有校正標之像坐標。針對像坐標進行離群值觀測量的偵測及刪除離群值數據等處理。透過空中三角測量初步平差，獲得校正標投影坐標，並經由校正標的坐標參考值比對，確保校正標的像坐標不含離群值數據。

2.4.2 於校正場 4 個角落各取 2 點及 4 邊中央各取 2 點，共選取 16 個校正標，作為空中三角平差控制點，其餘分布於全區域且均勻分布之校正標作為連結點，共同進行空中三角平差計算，以獲得非控制用校正標之投影坐標量測值(E_m, N_m, h_m)。

2.5 將衛星定位儀所測定之校正標投影坐標參考值，與空中三角平差計算所得之校正標投影坐標量測值，計 xx 個，進行器差計算，器差值計算方程式如下：

$$\begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_m \\ N_m \\ h_m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} E_r \\ N_r \\ h_r \end{bmatrix}$$

ΔE ：平面橫軸方向器差。 ΔN ：平面縱軸方向器差。 Δh ：高程方向器差。

E_m, N_m, h_m ：校正標坐標量測值。 E_r, N_r, h_r ：校正標坐標參考值。

3.校正用工作標準件

工作標準件	廠牌/型號/序號	校正報告編號	最近校正日期	校正週期	校正單位

4.擴充不確定度

4.1 本校正系統依據本實驗室「航空測量攝影機校正系統評估」[2]進行評估。

4.2 本校正報告中之擴充不確定度，係組合標準不確定度與涵蓋因子(平面坐標方向 $k=X.XX$ ，高程方向 $k=X.XX$)之乘積，相對應約為 95 % 之信賴水準。

三、參考資料

- 「航空測量攝影機校正作業程序」，SICL-3-04-0，2.0 版，內政部國土測繪中心，民國 XX 年。
- 「航空測量攝影機校正系統評估」，SICL-3-04-1，2.0 版，內政部國土測繪中心，民國 XX 年。

附件七、空載光達校正作業程序

內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室

空載光達系統校正作業程序

文件編號：

版次：

文件日期：

機密等級： 普通



National Land Surveying and Mapping Center
Survey Instrument Calibration Laboratory

目 錄

壹、	概述	1
貳、	目的	1
參、	適用範圍	1
肆、	管理項目	2
一、	校正儀具需求.....	2
二、	校正前準備.....	7
三、	校正件校正步驟：.....	7
四、	資料分析.....	8
伍、	校正報告	9
陸、	參考文件	9
柒、	附件	9
捌、	附錄	9

圖目錄

圖 1 大校正場、校正物及鄰近三等衛星控制點位置及分布 3

表目錄

表 1 校正件性能說明 1
表 2 校正系統各單元 2



壹、概述

本空載光達系統校正作業程序(以下簡稱本程序)係依據本計畫執行空載光達校正初步實驗結果所設計的基本作業程序，可供未來撰寫 TAF 格式空載光達校正作業程序之參考。

貳、目的

本程序目的，係設計未來建置空載光達系統校正場(以下簡稱校正場)，進行空載光達系統校正工作應有的操作程序。

參、適用範圍

適用於空載光達系統，校正件性能說明如表 1。

表 1 校正件性能說明

校正件	性能說明	校正系統
空載光達系統	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 點雲密度 > 4 點/每平方公尺 ◆ FOV 不超過 50 度 ◆ 絕對航高 > 800 公尺 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以自設校正場內之平屋頂矩形校正物(簡稱校正物)，先以衛星定位儀靜態相對定位方式取得航空測量攝影機校正場之校正標(簡稱航測校正標)，再以電子測距經緯儀引測校正物鄰近之航測校正標至可通視校正物之點位，並據以進行校正物角邊混合測量，利用校正物 4 角點坐標計算校正物形心坐標參考值。 2. 以待校件空載光達系統進行點雲掃描，利用點雲處理軟體萃取校正物點雲並計算校正物形心坐標量測值。 3. 比對待校件所得校正物點雲形心坐標與參考值坐標以評定空載光達系統之量測能力。

肆、管理項目

一、校正儀具需求

本系統主要儀具如下：

(一) 校正系統各單元如表 2。

(二) 本校正場位於南投縣南投市南崗工業區內，校正場內選取對空通視之校正物，位置及分布如圖 1。各校正物坐標係經本中心校正合格之電子測距經緯儀測得，據以供空載光達系統校正使用。

表 2 校正系統各單元

項次	名稱	廠牌/型號	序號	數量	規格	備註
1	空載光達系統校正場	自建	N/A	1	場內選取對空通視平屋頂矩形校正物	
2	電子測距經緯儀					
3	電子測距經緯儀測量資料處理軟體					
4	電子測距經緯儀坐標平差軟體					
5	衛星定位儀	Leica ATX1230GG Leica ATX1230 Leica GX1230 TOPCON GR-3	- (詳校正報告)	-	靜態測量基線 R.M.S. 平面： $5\text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times D$ 垂直： $10\text{mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times D$, D 係基線長，單位為公里	工作標準件
6	衛星定位測量資料處理軟體	Topcon Tools 8.2	N/A	1	N/A	計算軟體
7	衛星定位測量網形平差軟體	國土測繪中心衛星測量基線網形平差系統	N/A	1	N/A	計算軟體
8	點雲分類及資料處理軟體	Terrascan		1	N/A	計算軟體
9	鋼捲尺	Topcon	B627	1	N/A	標準件

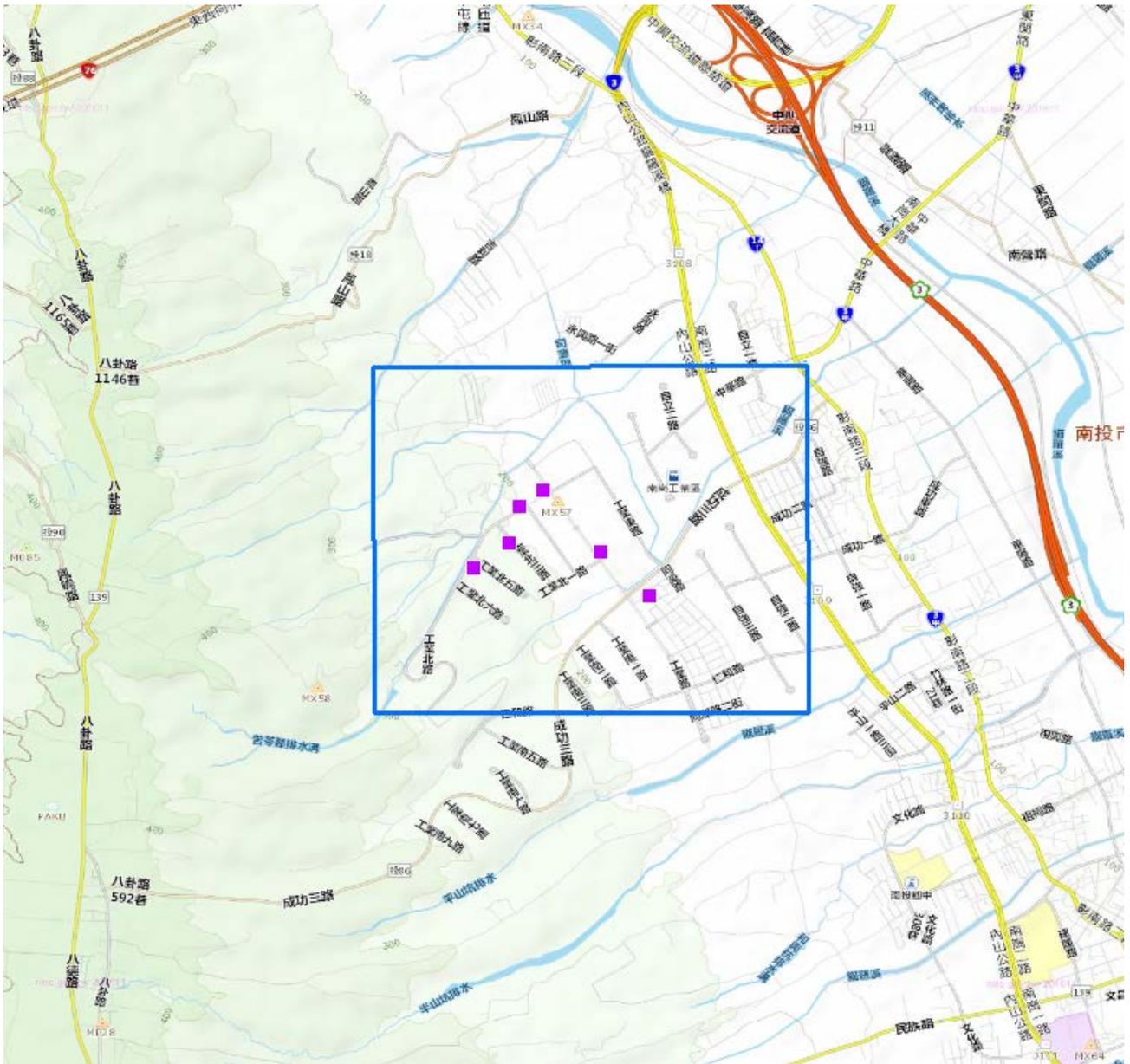


圖 1 大校正場、校正物及鄰近三等衛星控制點位置及分布
(分別以藍色方框、紫色方形及三角形表示)

- (三) 校正人員執行被授權之校正作業前，應參閱本程序相關內容，熟悉校正程序。
- (四) 校正物量測週期原則為每年 1 次。校正物的參考坐標值可使用電子測距經緯儀工作標準件，先以衛星定位儀靜態相對定位方式取得航空測量攝影機校正場之校正標(簡稱航測校正標)，將現有之航測校正標引測至可通視校正物之點位，並以電子測距經緯儀進行校正物角邊混合測量，利用校正物 4 角點坐標計算校正物形心坐標參考值。

電子測距經緯儀觀測均在室外辦理，外業時毋需進行環境控制，且衛星定位儀無輸入溫度、溼度及壓力之功能，故參考值量測時無進行環境量測。測量採以 2 個以上測站對校正物進行角邊混合測量，增加成果的可靠度。

1. 工作標準件之準備與查核-衛星定位儀

(1) 衛星定位測量觀測所需要的工作標準件，須於赴校正場前先行查核其校正報告，於 2 年校正效期，並檢查衛星定位儀(含天線盤)開機檢查、記憶體檢查、電池檢查及求心基座查核可正常運作。

(2) 衛星定位儀天線高量測用鋼捲尺之查核：鋼捲尺查核週期原則為每年 1 次，查核方法為在實驗室設置 5 段刻劃，每段刻劃相鄰約 40 cm，查核長度約 200 cm(建議量測值近似值為 1~40 cm, 1~80cm, 1~120 cm, 1~160 cm, 1~200 cm)。使用有校正報告的標準鋼捲尺量測 5 段刻劃，每段刻劃量測起終點讀數，計算刻劃長度，並量測 2 次觀測取平均值，作為參考值；待查核的鋼捲尺，使用上述步驟量測前開 5 段刻劃，計算其平均值，作為量測值，並將查核數據記錄於『鋼捲尺查核紀錄表』。

2. 工作標準件之準備與查核-電子測距經緯儀

(1) 電子測距經緯儀觀測所需要的工作標準件，須於赴校正場前先行查核其校正報告，於 2 年校正效期，並檢查電子測距經緯儀開機檢查、記憶體檢查、電池檢查及求心基座查核可正常運作。

(2) 電子測距經緯儀儀器高量測用鋼捲尺之查核：鋼捲尺查核週期原則為每年 1 次，查核方法為在實驗室設置 5 段刻劃，每

段刻畫相鄰約 40 cm，查核長度約 200 cm(建議量測值近似值為 1~40 cm, 1~80cm, 1~120 cm, 1~160 cm, 1~200 cm)。使用有校正報告的標準鋼捲尺量測 5 段刻劃，每段刻劃量測起終點讀數，計算刻劃長度，並量測 2 次觀測取平均值，作為參考值；待查核的鋼捲尺，使用上述步驟量測前開 5 段刻劃，計算其平均值，作為量測值，並將查核數據記錄於『鋼捲尺查核紀錄表』。

3. 網形控制點衛星定位測量

以衛星控制點 MX57 為坐標起算點，並與校正場相鄰且適用之衛星控制點：MX34、MX58、MX60、MX64、M085 等 5 點之中選取 4 點，構成網形控制點，並進行量測；使用標準件之衛星定位儀，採衛星訊號記錄間隔為 5 秒之設定辦理同步觀測，每天不間斷觀測應達 3 小時，共觀測 3 天。作業人員應將量測紀錄填寫於『校正標衛星靜態定位測量外業觀測紀錄表』。

4. 校正標衛星定位測量

使用納入工作標準件之衛星定位儀辦理校正標測量，觀測參數如下：

- (1) 每時段連續且同步觀測時間應達 60 分鐘；
- (2) 衛星訊號記錄間格為 5 秒；
- (3) 觀測衛星顆數應大於 4；
- (4) PDOP 值需在 6 以下；
- (5) 記錄觀測開始與結束之天線高，並將作業情形記錄於『校正標衛星靜態定位測量外業觀測紀錄表』。每日測量作業完成後，整理所有接收的觀測資料並歸檔。

(五) 航測校正標坐標參考值分析

1. 網形控制點衛星定位測量成果分析，該成果係以 MX57 投影坐標 (N, E, h)，作為坐標起算點。續分析計算其他 4 個網形控制點坐標，通過已知點檢核步驟後，作為強制附合平差計算之依據。
2. 將網形控制點與校正標同步觀測成果進行衛星定位測量自由網基線(Baseline)解算，本實驗室採用衛星定位測量資料處理軟體，計算各時段基線成果。
3. 使用本中心衛星測量基線網形平差系統軟體工具，執行自由網重複基線解精度分析，包括基線相對精度與中誤差。由精度分析成果進行粗差偵錯。除錯後成果為各時段基線計算成果，並進行強制附合平差精度分析，計算校正標參考值的三維大地坐標。
4. 解算工作完成，應填寫『校正標衛星靜態定位測量成果檢核表』記錄檢核結果，確認無誤之各校正標坐標值即作為校正標坐標參考值。

(六) 校正物坐標參考值分析

1. 以電子測距經緯儀引測鄰近校正物之航測校正標至可通視校正物之點位，並據以進行校正物角邊混合測量，一個屋角點原則上應由至少二個已知點上觀測，以提升可靠度。
2. 使用電子測距經緯儀測量資料處理軟體工具，執行全數觀測量之平差計算校正物的屋角點三維坐標。
3. 解算工作完成，應填寫『校正物電子測距經緯儀角邊混合測量成果檢核表』記錄檢核結果，確認無誤後，各校正物 4 個屋角點計

算重心坐標即作為校正物坐標參考值。

二、 校正前準備

(一) 顧客執行校正光達系統掃描作業及掃描成果繳交

校正光達系統掃描前，顧客須參照校正光達掃描作業須知，辦理航線規劃，並自行指派空載光達系統操作人員，操作人員作業能力須經顧客自行評估及授權後，方可辦理校正光達掃描。掃描飛行之同時，顧客應於現場架設地面 GNSS 參考站，參考站得架設於本場設置之航測校正標上，以利光達掃描坐標系統與本場坐標系統之一致性。

(二) 光達掃描成果審核

本中心人員應依據『校正申請表』，核對顧客交付之掃描成果及相關資料，並將檢查結果記錄於『光達系統校正掃描成果表』。

三、 校正件校正步驟：

(一) 使用點雲分類及資料處理軟體，建立案件專案檔，並將顧客光達掃描點雲成果及校正件對應之各項參數正確引入專案內。

(二) 校正物點雲萃取及形心位置計算

1. 針對光達掃描點雲成果內之校正物進行點雲萃取，其中點雲內校正物有形狀改變或其他異動情形，導致無法判斷校正物位置，則該校正物不予處理，並予以記錄。
2. 以人工方式過濾雜點，並計算剩餘光達掃描點雲之形心位置，作為校正物坐標量測值。未來可開發自動化粗差過濾軟體，自動化剔除粗差。

(三) 校正物查核

查核前項完成之光達掃描點雲量測值，與以電子測距經緯儀所觀測計算而得之校正物參考值之坐標較差，倘超過平面 45 cm、高程 15 cm，則須確認校正物點雲萃取及校正物坐標參考值之正確性。倘非前述事項造成較差過大，則通報該校正物暫時停用。

四、 資料分析

將電子測距經緯儀所測定之校正物坐標參考值，與空載光達掃描點雲計算得之校正物坐標量測值，進行器差計算。

器差值計算方程式：

$$\begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_m \\ N_m \\ h_m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} E_r \\ N_r \\ h_r \end{bmatrix}$$

ΔE ：平面橫軸方向器差。

ΔN ：平面縱軸方向器差。

Δh ：高程方向器差。

E_m, N_m, h_m ：校正物坐標量測值。

E_r, N_r, h_r ：校正物坐標參考值。

有關本系統校正結果之擴充不確定度，取信賴水準為 95 %。有關本系統、有效自由度、信賴水準、涵蓋因子及擴充不確定度如下表，至評估方法請參閱本實驗室「空載光達系統評估」。

校正項目	量測範圍	擴充不確定度 U	涵蓋因子 k	信賴水準 p%	有效 自由度
------	------	---------------	----------	---------	-----------

校正項目	量測範圍	擴充不確定度 U	涵蓋因子 k	信賴水準 $p\%$	有效 自由度
空載光達 系統	點雲密度>4 點 /每平方公尺， FOV 不超過 50 度，，絕對航 高> 800 m	平面： 高程：	平面： 高程：	平面： 高程：	平面： 高程：

伍、 校正報告

- 一、 執行本項校正後，校正者必須將所得之結果，依相關規定出具準確、清晰、不混淆及客觀之校正報告。校正報告應包含必要的校正結果與說明，且須符合 ISO/IEC 17025 中所規定必須賦予之資訊。
- 二、 校正報告格式範本及內容如「附錄一、報告範本」。

陸、 參考文件

柒、 附件

捌、 附錄

校正報告範例。

校正申請表(適用空載光達系統)

申請單編號： _____ (本實驗室收件人填寫)		申請日期： _____ 年 _____ 月 _____ 日	
顧客資料	顧客名稱： _____		統一編號： _____
	聯絡人： _____	聯絡電話： _____	傳真： _____
	聯絡地址： _____		
	報告抬頭： _____		聯絡人： _____
	報告地址： _____		
校正目的 _____			
校正件基本資料	校正件編號： _____ (本中心收件人填寫)		廠牌： _____
	型號： _____		序號： _____
飛航規劃資料	預定航拍期間： _____ 年 _____ 月		航線間距： _____ m
	GPS(衛星定位系統)型號：(未使用則填無)		IMU(慣性測量元件)型號：(未使用則填無)
	絕對航高(橢球高)： _____ m		FOOTPRINT： _____ cm
	雷射脈衝頻率： _____ KHZ		掃描頻率： _____ KHZ
	點雲密度： _____ %		側向重疊率： _____ %
	FOV(掃瞄角度)： _____ 度		
請檢附下列資料：			
<input type="checkbox"/> 最近一期原廠率定報告(pdf檔)，檔名：			
<input type="checkbox"/> 飛航軌跡圖(dwg 或 shp 檔)，檔名：			
聲明	本單位同意所委託之校正作業依照國土測繪中心所訂之作業程序執行，並同意遵守本實驗室所有校正作業相關規定事宜。 <input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否		
收費	費用合計新台幣 _____ 元整，領取校正報告前請先繳費。		
注意事項	1. 請參考本實驗室服務網(網址： http://sicl.nslc.gov.tw/)下載專區公告之校正掃描作業須知，辦理航線圖設計及飛航規劃，以利辦理校正作業。 2. 請自行指定校正件操作人員，並辦理其能力評估及授權後，方可至辦理空載光達攝影機校正場掃描作業，作業結果並詳實記錄於校正掃描成果表(請至本實驗室服務網下載)。掃描成果交付當天將進行檢查，倘發現不符合校正作業要求時，將請顧客補件或退件。 3. 校正掃描成果通過書面檢查，但仍可能於校正作業中發現異常現象而無法校正，則再另行通知。		

4. 校正件校正完畢後，請先付費後領取校正報告。
5. 本實驗室經通知顧客校正完畢或退件後，最長代管顧客設備 15 個工作天，逾期不領回恕不負責。
6. 顧客倘對校正報告內容有疑問，請於 15 個工作天內向本實驗室反應，逾期恕不受理。
7. 本表經顧客及收件人簽章後，即具「委託契約」效力，實驗室應影印 1 份供顧客留存。

顧客簽章	收件人簽章	技術主管	收費簽章
			收據編號



空載光達系統校正掃描成果表

編號：

申請單編號：_____ (本實驗室收件人填寫)		填寫日期：_____年_____月_____日	
顧客資料	顧客名稱：_____		統一編號：_____
	聯絡人：_____	聯絡電話：_____	傳真：_____
	聯絡地址：_____		
校正 件 航 拍 資 料	廠牌：_____		型號：_____
	序號：_____		儀器櫃編號：_____ (本實驗室收件人填寫)
	掃描日期：_____年_____月_____日		FOOTPRINT：_____ cm
	雷射脈衝頻率：_____ KHZ		掃描頻率：_____ KHZ
	點雲密度：_____ 度	側向重疊率：_____ %	絕對航高：_____ m
	GPS(衛星定位系統)型號：(未使用則填無)		IMU(慣性測量元件)型號：(未使用則填無)
請檢附下列校正航拍資料：			
<input type="checkbox"/> 飛航許可掃描(pdf檔)，檔名：_____			
<input type="checkbox"/> 實際飛行軌跡圖(dwg檔)，檔名：_____			
<input type="checkbox"/> 「空載光達系統校正掃描作業紀錄表」(pdf檔)，檔名：_____			
<input type="checkbox"/> 「空載光達系統校正掃描檢核紀錄表」(doc及pdf檔)，檔名：_____			
<input type="checkbox"/> 校正點雲(1.4版本以上之LAS檔)，共_____條。			
<input type="checkbox"/> 其他相關檔案，檔名：_____			
顧客聲明	<p>1.本單位於執行校正作業前，業已詳讀校正掃描作業須知，並願遵守國土測繪中心所有校正作業之相關規定。</p> <p>2.執行所有本校正掃描作業、校正件設備操作及審核等人員均經本單位認可具有相關學歷或操作經驗，其能力皆符合執行業務之要求，且由本單位授權辦理。</p> <p>3.本表所載均屬事實，若經查明有不實或隱匿等情事，本次申請之校正報告當無條件失效，並願負一切法律責任。</p>		
成果 檢 查	<input type="checkbox"/> 校正掃描資料 <input type="checkbox"/> 資料項目及內容填寫完整。 <input type="checkbox"/> 異狀註記： <input type="checkbox"/> 校正掃描點雲 <input type="checkbox"/> 點雲檔案格式及數量正確。 <input type="checkbox"/> 異狀註記：		
顧客簽章		檢查人簽章	
技術主管			

空載光達系統校正掃描作業紀錄表

申請單編號： (本實驗室收件人填寫)		顧客名稱	
校正件操作人員基本資料			
操作人員姓名		身分證字號	
出生日期	____年____月____日	任職單位	
到職日		職稱	
工作經驗年資		E-mail	
電話		手機	
住址		操作人員簽章	
校正件操作人員能力評估及授權資料			
能力認定條件	學歷		
	經歷		
	訓練紀錄		
能力評估方式	<input type="checkbox"/> 檢視學經歷， <input type="checkbox"/> 檢視訓練證書， <input type="checkbox"/> 授權人員面談、口試或筆試		
能力評估結果	<input type="checkbox"/> 通過， <input type="checkbox"/> 不通過	授權人員簽章	
點雲掃描作業及審核資料			
飛行器		航拍日期	____年____月____日
飛行人員		起飛地點/時間	
航線總數		落地地點/時間	
校正件操作人員		拍攝時間	____時____分至____時____分
天氣概況		點雲掃描航帶總數	
絕對航高(橢球高)		FOOTPRINT	
1.校正件操作人員是否為能力評估通過人員？ <input type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否			
2.校正件之搬運及安裝是否按原廠說明書之標準流程作業？ <input type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否			
3.校正件之操作是否按原廠說明書之標準流程作業？ <input type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否			
4.校正掃描點雲之下載、儲存及格式等是否按原廠說明書之標準流程作業？ <input type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否			
5.校正掃描點雲是否確實來自本校正件，且未經偽造處理？ <input type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否			
6.校正掃描點雲之掃描時間是否與本校正作業之飛航許可與飛航紀錄一致？ <input type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否			
審核人員簽章		負責人簽章	

空載光達系統校正場掃描作業須知

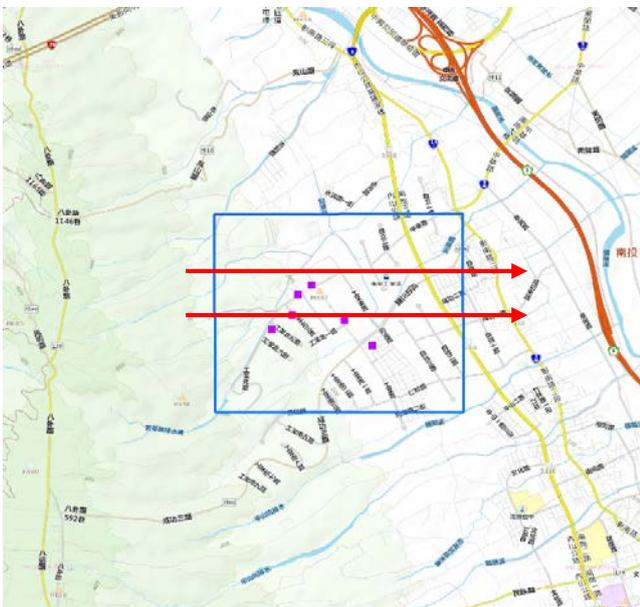
- 本校正系統性能說明如下：

校正件	性能說明	校正系統
空載光達系統	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 點雲密度>4 點/每平方公尺 ◆ FOV 不超過 50 度 ◆ 絕對航高> 800 公尺 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以自設校正場內之平屋頂矩形校正物(簡稱校正物)，先以衛星定位儀靜態相對定位方式取得航空測量攝影機校正場之校正標(簡稱航測校正標)，再以電子測距經緯儀引測校正物鄰近之航測校正標至可通視校正物之點位，並據以進行校正物角邊混合測量，利用校正物 4 角點坐標計算校正物形心坐標參考值。 2. 以待校件空載光達系統進行點雲掃描，利用點雲處理軟體萃取校正物點雲並計算校正物形心坐標量測值。 3. 比對待校件所得校正物點雲形心坐標與參考值坐標以評定空載光達系統之量測能力。

- 顧客辦理掃描前應參考本須知，按下列原則規劃飛航拍攝參數：

1. 航高：考量飛安因素，絕對航高須大於 800 公尺。
2. 單航帶原始點雲密度：至少達 4 點/平方公尺。
3. FOV：最大不超過 50 度。
4. 航帶數量及重疊率：航帶數量 2 條，航帶重疊率大於 50%。
5. 航帶設計：航帶重疊率大於 50% 之 2 條航帶之飛行方向以同向為原則，且其中 1 條航帶皆需完整涵蓋所用校正物。

- 建議航線如下圖所示：



- 相關範例請至本實驗室服務網<http://sicl.nslc.gov.tw/Download>下載：

1. 校正場範圍 kml 檔。
2. 掃描軌跡範例(DWG 檔)。
3. 空載光達系統校正掃描檢核紀錄表範例。