



NLSC-104-20

# 104 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：財團法人工業技術研究院

中華民國 104 年 12 月

## 目 錄

圖 目 錄.....	V
表 目 錄.....	VII
摘要.....	1
Abstract.....	3
壹、前言.....	5
貳、工作內容及進度.....	7
一、全程計畫整體作業規劃.....	7
二、工作內容.....	8
三、工作進度及成果交付.....	8
參、協助 TAF 認證申請作業.....	13
一、實驗室品質系統確認、進行文件與表單調整.....	15
二、校正量測系統確認.....	18
(一)航空測量攝影機校正場單元.....	19
(二)衛星定位儀單元.....	20
(三)GNSS 量測原理.....	20
(四)航空攝影測量共線式量測原理.....	21
三、校正與追溯性確認.....	22
(一)校正追溯.....	22
(二)量測系統追溯圖.....	23
四、不確定度分析.....	26
(一)網形控制點不確定度分析.....	26
(二)校正標相對於網形控制點之不確定度分析.....	28
(三)校正件量測不確定度分析.....	29
(四)計算組合標準不確定度及有效自由度.....	31

(五)計算擴充不確定度.....	35
(六)航空測量攝影機校正系統，最小量測不確定度估計.....	36
五、量測品保.....	37
七、量測稽核的追溯性原理.....	42
(一)量測數據比對方程式.....	42
(二)量測稽核活動.....	42
八、航空測量攝影機校正實做.....	44
(一)航空測量攝影機校正航拍須知.....	45
(二)校正報告實例.....	46
肆、辦理規範檢討修訂.....	49
伍、發展中像幅攝影機及 UAS 影像校正作業.....	51
一、中像幅攝影機系統與 UAS 影像.....	51
二、中像幅攝影機校正場設施及相關校正設計.....	52
(一)校正場尺寸與校正標數量.....	52
(二)校正標尺寸與量測精度.....	54
三、中像幅攝影機航拍設計.....	55
四、中像幅攝影機校正項目與量測範圍.....	56
(一)校正項目.....	56
(二)量測範圍.....	56
(三)校正流程.....	56
五、校正標坐標參考值量測.....	58
六、校正標像坐標量測.....	58
(一)校正標像坐標量測.....	58
(二)連結點匹配.....	58
(三)粗差偵測.....	58
(四)校正標初步查核.....	59

(五)空中三角平差 .....	59
七、中像幅攝影機校正標準分析實例.....	60
(一)中像幅攝影機航拍成果.....	60
(二)中像幅影像 AIC Pro(P65+) 分析 .....	60
八、中像幅攝影機校正發展規劃與期程.....	63
(一) 105 年工作項目 .....	63
(二) 106 年工作項目 .....	64
九、UAS 影像分析.....	65
(一)非量測性小像幅攝影機.....	65
(二)小像幅攝影機內方位參數.....	65
(三) UAS 影像，攝影機 Cannon EOS 5D2 Mark II 分析.....	66
(四) UAS 影像分析發展規劃與期程.....	69
陸、建立空載光達校正作業.....	70
一、空載光達系統相關技術說明.....	70
(一)空載光達系統機具.....	70
(二)空載光達系統定位精度評估方法 .....	71
二、空載光達系統校正場設施及校正標設計.....	74
(一)空載光達校正場與既有設施適宜性.....	74
(二)空載光達校正標設計 .....	74
三、空載光達系統，飛航設計.....	76
四、空載光達測試分析實例.....	78
(一)利用航測標為光達校正標，評估點雲的高程精度.....	78
(二)利用點雲亮度值影像評估點雲的平面坐標.....	79
(三)利用航測模型評估光達點雲的平面坐標.....	86
(四)空載光達校正方法適宜性檢討.....	90
五、空載光達校正能量發展規劃.....	91

(一) 105 年發展空載光達校正系統.....	91
(二) 106 年發展空載光達校正系統.....	91
(三) 107 年發展空載光達校正系統.....	92
(四) 空載光達校正系統，硬體與人力需求.....	92
柒、協助參獎活動.....	93
捌、實驗室輔導活動與辦理教育訓練.....	95
一、實驗室輔導活動.....	95
二、教育訓練.....	97
玖、維持系統程式運作.....	101
拾、結論與建議.....	103
參考文獻.....	109
附件一、工作會議大綱會議紀錄與處理回覆.....	112
附件二、參獎活動文件(摘要版).....	113
附件三、校正報告範例模擬(摘要版).....	114
附件四、工作總報告審查意見與回覆處理.....	115
附件五、第 2 期成果審查意見與回覆處理.....	116
附件六、第 1 期成果審查意見與回覆處理.....	117
附件七、評選會議審查意見與回覆處理.....	118
附件八、教育訓練簽到表.....	119
附件九、品質文件調整.....	120
附件十、ISO 標準相關內容、校正程序書與評估報告撰寫要點.....	121

# 圖目錄

圖 3-1 航空測量攝影機校正系統建置流程 .....	14
圖 3-2 品質文件調整案例 .....	16
圖 3-3 品質紀錄調整案例 .....	17
圖 3-4 南崗校正場位置圖及校正標分布 .....	19
圖 3-5 航空測量攝影機校正追溯圖 .....	25
圖 3-6 校正標 B062 在 N 方向坐標管制圖 .....	39
圖 3-7 校正標 B062 在 E 方向坐標管制圖 .....	40
圖 3-8 校正標 B062 在 h 方向坐標管制圖 .....	40
圖 3-9 量測稽核追溯原理 .....	43
圖 3-10 校正系統說明海報 .....	45
圖 5-1 南崗校正場多重解析度校正功能 .....	54
圖 5-2 中像幅攝影機校正作業流程 .....	57
圖 5-3 AIC Pro(P65+)器差值在 N 方向直方圖 .....	62
圖 5-4 AIC Pro(P65+)器差值在 E 方向直方圖 .....	62
圖 5-5 AIC Pro(P65+)器差值在 h 方向直方圖 .....	63
圖 5-6 UAS 影像分析，器差值在 N 方向直方圖 .....	68
圖 5-7 UAS 影像分析，器差值在 E 方向直方圖 .....	68
圖 5-8 UAS 影像分析，器差值在 h 方向直方圖 .....	69
圖 6-1 Csanyi & Toth (2007)設計光達校正標 .....	72
圖 6-2 Toth 等(2008)利用道路標線評估光達幾何精度 .....	72
圖 6-3 Canovosio-Zuzeiski 等(2013)，設計六角形光達地面標 .....	72
圖 6-4 空載光達校正飛行方法(絕對航高 800 m) .....	77
圖 6-5 空載光達校正飛行方法(絕對航高 1600 m) .....	77

圖 6-6 高程器差值直方圖 .....	79
圖 6-7 成功辨識出航測標的案例，19 點分布圖 .....	81
圖 6-8 光達亮度影像量測航測標 .....	85
圖 6-9 航測模型量測案例分布圖 .....	87
圖 6-10 圖面黃色線條為航測模型量屋角形狀 .....	88
圖 6-11 獨立屋與相鄰建物分離完成 .....	88
圖 6-12 檢查剖面，確認屋頂表面點雲編修完整，可進行統計重心點 .....	89
圖 6-13 檢查房屋面(A).....	89
圖 6-14 檢查房屋面(B).....	89
圖 6-15 檢查房屋面(C).....	89
圖 9-1 校正場管理系統 .....	102
圖 9-2 校正資訊網校正報告功能 .....	102

## 表 目 錄

表 2-1 歷次工作會議日期與相關公文資訊 .....	9
表 2-2 工作項目執行進度 .....	11
表 3-1 網形控制點平面坐標之不確定度分析表 .....	27
表 3-2 網形控制點高程方向之不確定度分析表 .....	27
表 3-3 校正標相對於網形控制點之不確定度分析表(平面方向).....	28
表 3-4 校正標相對於網形控制點之不確定度分析表(高程方向).....	29
表 3-5 校正件量測不確定度源分析表(平面方向).....	30
表 3-6 校正件量測不確定度源分析表(高程方向).....	31
表 4-1 清查航測製圖之作業規範或作業手冊 .....	49
表 5-1 UAS 影像系統、中像幅攝影機與航測攝影機差異 .....	52
表 5-2 國內中像幅攝影機型號 .....	52
表 5-3 中像幅攝影機影像航拍成果 .....	60
表 5-4 中像幅影像 AIC Pro(P65+)飛航基本資料.....	61
表 5-7 Cannon EOS 5D2 Mark II 內方位參數 .....	66
表 5-8 102 年航拍 UAS 影像，飛航基本資料 .....	66
表 5-9 UAS 影像，器差值統計分析 .....	67
表 6-1 空載光達機具規格(李佩珊等 2014).....	71
表 6-3 空載光達文獻，校正標適用性分析 .....	73
表 6-3 光達點雲在高程方向，器差值統計量 .....	79
表 6-4 光達點雲在平面方向上器差值統計量 .....	80
表 6-5 光達點雲在航測標平面方向器差值 .....	81
表 6-6 航測模型評估平面器差值統計量 .....	87
表 8-1 校正場維護內業及外業課程 .....	98

表 8-2 航空測量攝影機校正流程 .....	99
表 8-3 實驗室訓練課程 .....	100

## 摘要

內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)，為國內測繪業務主管機關，為提升測繪成果品質、落實測繪法令，辦理「104年度擴充航遙測感應器系統校正作業採購案」，整體4年工作計畫目的是建立國家級的航遙測感應器校正場及建立具認證的校正能量。國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」(Survey Instrument Calibration Laboratory, SICL)是符合國際認證規範ISO/IEC 17025之品質管理系統要求之認證實驗室，也就是有取得全國認證基金會(TAF)認可名錄的校正實驗室。本案工作核心內容是藉由專業機構進行實驗室輔導活動，輔導調整實驗室營運機制，具體成果完成了校正能量的建置，將「航空測量攝影機校正系統」納入國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」。實驗室輔導活動是調整實驗室營運機制，俾利符合認證實驗室營運的要求，並可對外提供航空測量攝影機系統的校正服務。緣由於航空測量攝影機校正系統是國內在這方面技術類別的首套校正系統，在證認領域可屬於校正領域的長度技術項目，除了需要滿足實驗室共通性規範的要求，仍有許多增項認證所需的實驗室要求需要建置，本案成果包括：

1. 依據 ISO 17025 標準，完成 TAF 認證申請相關準備工作。
2. 關於國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」相關品質文件，完成認證前的文件調整。
3. 完成航空測量攝影機校正系統的不確定度評估。
4. 完成航空測量攝影機校正系統的校正程序與校正演練。
5. 完成「國家度量衡標準實驗」與國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」兩實驗室之間的校正能力比對活動。

6. 進行「中像幅攝影機校正」、「UAS 攝影系統校正」分析活動。
7. 「空載光達系統校正」完成校正方法初步的研訂。
8. 辦理教育訓練與協助內部稽核等品質活動的演練。

關鍵字：校正，數位航空攝影機，空載光達系統，不確定度評估，追溯

## **Abstract**

National Land Surveying and Mapping Center (NLSC) is the central government agency that is responsible for national surveying and mapping. NLSC has established a surveying instruments calibration laboratory (Survey Instrument Calibration Laboratory, SICL). SICL has been accredited by the Taiwan accreditation foundation (TAF), the local organization, a member of the global organization ILAC-MRA (ILAC, the International Laboratory Accreditation Cooperation. MRA, Mutual Recognition Arrangement). The calibration services for surveying instruments by SICL include EDM, GPS and theodolite. In order to ensure the quality of mapping with airborne sensors and to comply with the National Land Surveying Law, NLSC planned to establish a calibration field for calibration of airborne sensors, such as the digital camera and airborne Lidar system. The purpose of this project is to establish a calibration system which has to be accredited by the TAF.

The main tasks of this project include:

1. To meet the requirements of laboratory accreditation schemes based on ISO 17025.
2. Improvement the quality system and the documented quality management system of the laboratory of SICL.
3. Assessment on the uncertainty of the calibration system for airborne digital camera.
4. Establishing and validating the calibration procedure.
5. Evaluation the performance of the laboratory of SICL relative to

national measurement laboratory.

6. Validation the test method for medium format airborne camera systems and UAS cameras.
7. To confirm the test method for airborne Lidar system.
8. Checking and monitoring the quality system of the SICL laboratory.

Keywords: Calibration, digital airborne camera, airborne LIDAR system, Uncertainty evaluation, Traceability

## 壹、前言

內政部國土測繪中心，為國內測繪業務主管機關，為提升測繪成果品質、落實測繪法令，辦理「104年度擴充航遙測感應器系統校正作業採購案」，整體4年工作計畫目的是建立國家級的航遙測感應器校正場及建立具認證的校正能量。國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」（Survey Instrument Calibration Laboratory, SICL）是符合國際認證規範ISO/IEC 17025之品質管理系統要求之認證實驗室，也就是有取得全國認證基金會（TAF）認可名錄的校正實驗室。本案第一年首要任務是優先將「航空測量攝影機校正系統」納入國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」，藉由實驗室輔導的專業機構協助，輔導調整實驗室營運機制，俾利符合認證實驗室營運要求，對外提供航空測量攝影機系統校正服務。緣由於航空測量攝影機校正系統是國內在這方面技術類別的首套校正系統，在證認領域可屬於校正領域的長度技術項目，除了需要滿足實驗室共通性規範的要求，仍有許多增項認證所需的實驗室要求需要建置。第一年首要工作需先完成TAF認證申請相關準備工作，並向TAF提出增項認證申請；此外具體而言，整體的4年工作目標，是擴充辦理校正能量的建立，增項認證包括發展「中像幅攝影機、UAS攝影系統校正」及「空載光達系統校正」等認證項目，擴充國土測繪中心的校正實驗室認證校正能量。

100至103年，國土測繪中心就國內航遙測感應器系統校正制度的整體發展與未來技術趨勢完成研究分析。考量航測專用大像幅數位攝影機（本文以下稱航空測量攝影機）應用於地形測繪工作已行之有年，100至103年工作成果，優先辦理完成了航空測量攝影機之校正作業研究工作。包括1.國內外文獻蒐集、2.航空測量攝影機系統校正場及校正標設置、3.校正流程設計、4.校正航拍測試與成果分析等重要成果項目。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，104至107年擴充進一步辦理「擴充航遙測感應器系統校正作

業計畫」，除持續運作航空測量攝影機校正作業外，將進一步研究發展「中像幅攝影機校正作業」、「UAS攝影系統校正作業」及「空載光達系統校正作業」。尤其近年結合空載光達伴隨中像幅攝影機廣泛運用於數值地形模型及正射影像製作，應用價值相當廣泛且重要。而無人飛行載具搭載小像幅攝影機系統已運用於局部快速更新地形圖與正射影像，應用發展進步非常快速。擴充辦理「中像幅攝影機、UAS攝影系統」及「空載光達系統」校正作業，預期效益更彰顯校正能量建立的重要性。

校正實驗室的活動，是需要依據國際標準規範確實做好標準與實驗室運作工作，出具的校正報告，方能與國際標準接軌，校正活動確保在完善的標準追溯體系內執行，為達國際標準接軌的目標，具體執行方法，是校正實驗室需通過全國認證基金會（TAF）校正領域認證項目。校正實驗室是國際性活動，是國際相互認可協議，一地測試，全球通行。先進國家皆有設置國家標準實驗室(National Measurement Institute, NMI)，國家標準實驗室重要目標是維持國家最高量測標準，執行國際量測標準物理量傳遞到國內，並且擔負協助二級校正實驗室校正追溯的依據。我國國家度量衡標準實驗室由工研院量測中心執行，校正能量的研發與協助二級校正實驗發展技術是重要的服務能量，本服務案由工研院量測中心執行，量測中心是實驗認證輔導的專業機構，協助國土測繪中心發展航測攝影機校正等校正項目增項認證，納入TAF認證實驗室。國內航測攝影機有校正管道，航測界業者才能以高品質的製圖服務繼續立足國內外市場，這對於航遙測業界推向國際服務是重要的環境架構建置工作。

## 貳、工作內容及進度

### 一、全程計畫整體作業規劃

國土測繪中心於前期研究已經發展出航空測量攝影機校正的方法與測試分析，關於國際發展趨勢亦完成分析成果，相關技術趨勢的發展可參考前期研究成果報告(內政部國土測繪中心，2014)。本階段任務焦點於發展實驗室運作營運與滿足認證要求。首先是航空測量攝影機校正作業的認證工作，將航空測量攝影機校正的方法與測試分析，設計於校正實驗運作體系內，滿足實驗室技術考量與管理運作的要求，後續接著發展中像幅攝影機系統、UAS影像系統、空載光達系統校正作業。

本文為連續性4年計畫的第一年工作，年度工作內容將於第叁章開始敘述，此處重點在全程計畫構想，在4年全程工作，落實校正實驗室的運轉機制，具體目標是建置國家級航遙測感應器校正場，並獲取TAF校正實驗室認證，以實驗室運轉及營運管理為目標，關於4年計畫整體工作項目，本研究設定之4年工作目標如下：

- (一)「航空測量攝影機」校正實驗室之認證工作與運作管理能量建置。
- (二)「中像幅攝影機及 UAS 影像」校正系統，蒐集相關國際標準、校正能量發展、量測系統建置與作業分析。
- (三)「中像幅攝影機及 UAS 影像」校正實驗室之校正項目認證工作與運作管理技術輔導。
- (四)「空載光達」感應器，蒐集相關國際標準、校正能量發展、量測系統建置與作業分析。
- (五)「空載光達」校正實驗室之校正項目認證與校正技術輔導。
- (六)「航遙測感應器輻射校正」，校正能量發展、量測系統建置與作業

分析。

(七)國際標準追溯精進方案與量測自動化精進發展方案。

## 二、工作內容

為能達成本計畫執行的目標，本年度工作內容如下：

(一)協助航空測量攝影機校正作業 TAF 認證申請作業

(二)提供航空測量攝影機校正作業專業諮詢

(三)辦理規範檢討修訂

(四)發展中像幅攝影機及 UAS 影像校正作業

(五)建立空載光達校正作業

(六)協助參獎活動

(七)辦理教育訓練

(八)維持系統程式運作

(九)工作進度報告、工作會議及各期報告

## 三、工作進度及成果交付

工作進度與管理，藉由每月提報月報進度以及召開每月工作會議，提出工作執行進度、工作協調事項、遭遇困難的解決方案、說明來月工作重點等進度報告，充分溝通工作的重點，相關會議紀錄列於附件一，歷次工作會議日期及文號列於表2-1。每項工作項目的權重分配及工作進度百分比列於表2-2。

表 2-1 歷次工作會議日期與相關公文資訊

項 目	日 期	公文字號
第1次工作會議開會通知	104/3/09	測形字第1040900100號
第1次工作會議召開	104/3/12	
第1次工作會議紀錄	104/3/19	測形字第1040900120號
3月工作進度報告	104/3/26	工研量字第1040004038號
第2次工作會議開會通知	104/4/16	測形字第1040900179號
第2次工作會議召開	104/4/21	
第2次工作會議紀錄	104/4/29	測形字第1040900204號
4月工作進度報告	104/4/30	工研量字第1040006191號
第3次工作會議開會通知	104/5/18	測形字第1040900247號
第3次工作會議召開	104/5/20	
期初成果報告	104/5/25	工研量字第1040007515號
第3次工作會議紀錄	104/5/26	測形字第1040900259號
第4次工作會議開會通知	104/6/12	測形字第1040900286號
第4次工作會議召開	104/6/22	
6月工作進度報告	104/6/29	工研量字第1040009462號
第4次工作會議紀錄	104/7/01	測形字第1040900312號
期初成果報告修正	104/7/09	工研量字第1040010082號
提出量測稽核報名申請	104/7/17	測形字第1040900340號
第5次工作會議開會通知	104/7/20	測形字第1040900344號
第5次工作會議召開	104/7/21	
第1期成果驗收合格	104/7/23	測形字第1040900354號
7月工作進度報告	104/7/31	工研量字第1040011445號
第5次工作會議紀錄	104/08/04	測形字第1040900377號
第1期請款發票	104/08/05	工研量字第1040011451號

項 目	日 期	公文字號
第1期作業款撥款	104/08/12	測秘字第1041400932號
檢送期中成果報告	104/8/24	工研量字第1040012551號
第6次工作會議開會通知	104/8/28	測形字第1040900416號
第6次工作會議召開	104/9/3	
第6次工作會議紀錄	104/09/08	測形字第1040900427號
第2期成果審查合格	104/9/18	測形字第1040900445號
第7次工作會議開會通知	104/9/24	測形字第1040900448號
檢送9月工作進度報告	104/9/30	工研量字第1040014546號
第7次工作會議召開	104/9/30	
檢送第2期成果報告修正	104/10/02	工研量字第1040014763號
第7次工作會議紀錄	104/10/13	測形字第1040900487號
第2期成果驗收通知請款	104/10/13	測形字第1040900489號
檢送第2期請款發票	104/10/21	工研量字第1040015959號
檢送工作總報告及參獎文件。中像幅攝影機與UAS影像校正分析成果電子檔2份	104/10/23	工研量字第1040016168 號
支付第2期作業款	104/10/26	測秘字第1041401268號
召開工作總報告審查會議	104/11/11	測形字第1040900536號
影像校正分析成果檢查結果	104/11/26	測形字第10409005591號
工作總報告審查會議紀錄	104/11/26	測形字第1040900559號



工作項目	累積進度	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	人 月	成本 (萬)
文件，中像幅攝影機與 UAS 影像校正分析成果(權重 4%)											
預計工作累計進度 %	100	8	16	28	44	62	75	91	100	-	189.2
實際工作累計進度 %	100	8	16	28	44	62	75	91	100	-	189.2
當月投入人力(單位:人月)	13.5	1.0	1.0	1.5	2.0	2.5	2.0	2.0	1.5	-	-

預定進度:

實際進度: ■■■■■■■■



## 參、協助 TAF 認證申請作業

為確保航空測量攝影機校正項目通過TAF認證，俾使國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」可以順利對外提供航空測量攝影機校正服務，本研究進行認證前實驗室輔導活動，目的是要協助取得校正實驗室認證成功。實驗室認證申請必須檢付申請書相關必要檢附文件，諸如實驗室品質手冊、品質系統作業程序、申請校正項目之標準作業程序書、量測不確定度評估數據資料、參加能力試驗活動結果、實驗室地理／位址圖及實驗室配置簡圖等，需依據目前既有成果與文件，適當調整備齊相關文件與紀錄。本章說明實驗室認證前的準備工作，茲因調整完成的品質文件屬於校正實驗室智權資產，本文僅能摘要文件調整的原則，實際運作細節需參考校正實驗室品質文件。

具體而言，工作內容是實施實驗室校正訓練的輔導活動與具體演練，團隊TAF合格評審員進行專業認證模擬與相關校正技術確認、修正、技術轉移等活動。實驗室校正系統發展的流程，整理如圖3-1所示。重要的活動或步驟在本章敘述，條列如下：

- 一、實驗室品質系統確認；
- 二、量測系統確認；
- 三、校正與追溯性確認；
- 四、校正系統不確定度分析；
- 五、量測品保設計；
- 六、量測稽核；
- 七、實做校正與認證演練。



圖 3-1 航空測量攝影機校正系統建置流程

## 一、實驗室品質系統確認、進行文件與表單調整

輔導活動初期，首先全盤了解認證要求的整體面向，首先完成了人員(對應ISO/IEC 17025 /5.2節)、設施與環境(對應ISO/IEC 17025/5.3節)等實驗室要求的確認。藉由工作會議召開、電話諮詢討論、辦理教育訓練等過程，達成實驗室輔導的功效，本年度輔導活動過程如下：

- (一) 首先依據 ISO/IEC 17025，進行整體性確認，使實驗室成員了解認證要求的整體面向；包括校正服務的要件、人員資格、人員訓練。關於設施與環境完成確認工作標準件與校正設備、校正場環境條件確認等活動。
- (二) 依最新版次的 TAF 認證要求及相關規定，逐行逐字檢查並調整目前的相關品質文件及紀錄、校正程序、及系統不確定度評估數據等調整活動，並依檢視結果於本年度工作過程中完成了 50 多件的文件內容調整。

緣由於增加校正能量，有關聯性的相關文件與表單進行更新。此項工作是針對國土測繪中心校正實驗室既有品質管理系統、增項校正能量所需要增修的表單、相關品質管理系統進行查核與調整。依據類別完成工作項目包括：

- (一)完成一階文件審查與修訂；
- (二)完成二階文件審查與修訂；
- (三)完成三階文件審查與修訂；
- (四)完成四階品質紀錄與表單審查與修訂；
- (五)調整部分四階表單。





## 二、校正量測系統確認

「量測系統」是計量學術語，係指一組執行特定量測之完整性量測儀器及其他設備。與量測系統相關聯的常用計量名詞包括有「校正」「追溯性」「量測儀器」、「量測準確度」「量測重覆性」「量測重現性」「量測不確定度」「量測方程式」等計量學術語，由國際通用計量學基本術語(ISO, 1993. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, VIM)一書所編定，限於報告篇幅，未能將相關名詞定義表列於本文。

本項工作對應ISO/IEC 17025為5.4節，5.6節。量測活動是校正實驗室的核心工作。航空測量攝影機校正系統的量測系統設計有兩個主要單元構成，包括：

(一)航空測量攝影機校正場(簡稱：校正場)；

(二)GNSS 衛星定位儀單元。

航空測量攝影機校正系統，原理是以校正場戶外校正 (In Situ Calibration)方式，執行航空測量攝影機幾何校正。設置南崗航遙測校正場，校正場內設置航測校正標(Signalized Target)及GNSS控制點等單元，用以提供航測校正標之IERS地面參考框架(IERS Terrestrial Reference Frame, ITRF)標準坐標，標準坐標是校正之主要依據，而航測校正標的標準坐標的數值(亦稱為坐標參考值)，係由GNSS定位單元評定。

校正件是航空測量攝影機，關於校正件量測原理，校正件攝影機依約定的飛航參數進行航拍攝像，將地面的航測校正標攝像於航拍相片，量測影像的像坐標並經過空中三角平差計算，由像坐標定位計算航測校正標的大地坐標量測值。幾何校正乃依據坐標參考值比對航測校正標的量測值，據以評定攝影機幾何特性。

量測原理包括兩項：(一)GNSS量測原理；(二)航空測量攝影機定位量測原理。

### (一)航空測量攝影機校正場單元

航空測量攝影機校正場鄰近南投縣南崗工業區，位置如圖3-4所示。校正場內設置對空通視之校正標(Signalized Target)，利於成像在航空攝影相片。校正場內之校正標，以衛星定位儀量測坐標做為校正之主要依據。

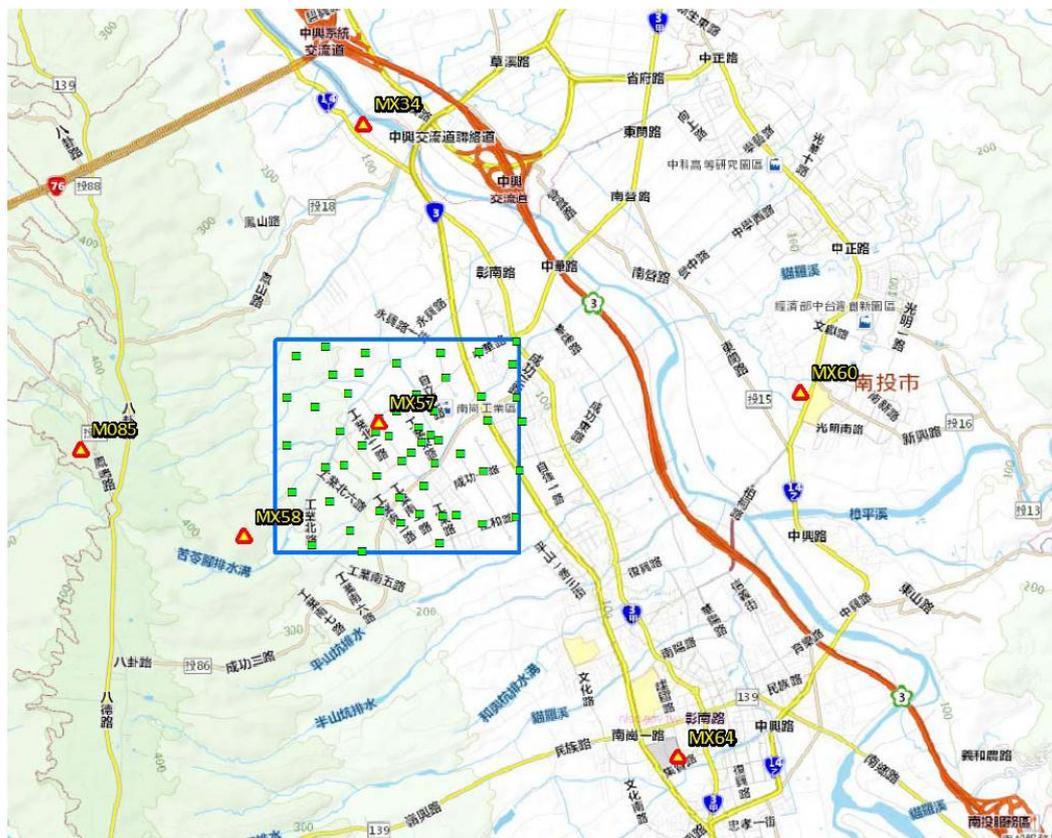


圖 3-4 南崗校正場位置圖及校正標分布

## (二) 衛星定位儀單元

關於校正單元所採用的工作標準件，國土測繪中心實驗室的衛星定位儀標準件包括有：1. Leica / ATX1230GG衛星定位儀、2. Leica / ATX1230衛星定位儀、3. TOPCON GR3衛星定位儀。

## (三) GNSS 量測原理

GNSS測量方法中，應用GNSS靜態相對定位測量是目前GNSS測量中精度較高的一種測量方法，GNSS靜態相對定位測量的應用，廣泛地應用於大地測量、高精度的變形測量、精密工程測量以及地球動力學等研究。

GNSS量測誤差源包括GNSS衛星和接收儀的時錶誤差、衛星星曆的誤差。此外，大氣層中對流層折射以及電離層折射對於電磁波訊號傳播所造成的時間延遲效應亦影響著GNSS測量的定位精度。這些誤差於相對定位時，經由觀測的設計，兩測站若採取同步觀測，則上述的大部份誤差，對於A、B兩測站在進行基線向量計算時，或因誤差大小相近似而消弱誤差，使得殘留下來的誤差已大幅減少。因此，相對定位的精度遂大為提高，這是相對定位精度會較單點定位為高的主要原因。

GNSS載波相位觀測的量測技術，將接收儀產生的相位連續比對GNSS載波訊號，目的要能分析出完整週期的整數相位數量『N』值，衛星到使用者的距離是量測相位總數量乘上波長可得到長度，相位量測具有未確定的N是未知數，需運用演算法分析解算起始整數週波數未定值『N』，量測方程式如下(Leica, 2004)：

$$L_{FA}^i = \rho_A^i + c(\delta_k - \delta^i) - I_k^i + \Delta\rho_k^i + \lambda_F N_{FA}^i \quad (3-1)$$

式中

$L_{FA}^i$  : 觀測的載波相位，觀測量為長度單位(如公尺)，上標  $i$  為編號  $i$

的衛星，下標  $A$  為  $A$  測站，下標  $F$  為載波頻率

$\rho_A^i$  : 地球上  $A$  測站到衛星  $i$  的距離

$c(\delta_k - \delta^i)$  :  $c$  是光速， $\delta_k$  是接收儀時錶誤差改正值， $\delta^i$  是衛星時錶誤差改正值

$I_k^i$  : 電離層折射誤差影響量改正值

$\Delta\rho_k^i$  : 對流層折射誤差影響量改正值

$\lambda_F N_{FA}^i$  :  $\lambda_F$  載波波長， $N_{FA}^i$  整數週波數未定值『N』

#### (四) 航空攝影測量共線式量測原理

本系統校正件量測方法是航空攝影測量一般所用的空中三角測量。航空攝影測量之空中三角測量基礎的物理及數學模式是中心透視投影，該模式將地表面任一個點的幾何位置與其在影像中拍攝所得的位置以式(3-2)關聯起來為共線式(Wolf, 2000)，以此為基礎進行最小二乘法平差，定位計算航測校正標的量測值。

$$\begin{aligned} x &= -c \frac{(X_P - X_C)r_{11} + (Y_P - Y_C)r_{12} + (Z_P - Z_C)r_{13}}{(X_P - X_C)r_{31} + (Y_P - Y_C)r_{32} + (Z_P - Z_C)r_{33}} \\ y &= -c \frac{(X_P - X_C)r_{21} + (Y_P - Y_C)r_{22} + (Z_P - Z_C)r_{23}}{(X_P - X_C)r_{31} + (Y_P - Y_C)r_{32} + (Z_P - Z_C)r_{33}} \end{aligned} \quad (3-2)$$

式中  $X_P$ 、 $Y_P$ 、 $Z_P$  代表地面航測校正標  $P$  點的地面局部直角坐標系坐標， $X_C$ 、 $Y_C$ 、 $Z_C$  代表投影中心的地面局部直角坐標系坐標，而  $x$ 、 $y$  是該點在影像坐標系內的像坐標， $c$  則是該攝影機的焦距。 $r_{11}$ 、 $r_{12} \sim r_{33}$  是局部直角坐標系坐標與影像坐標系之間正交旋轉參數的函數。該旋轉參數表示了攝影機曝光瞬間的三個姿態角，此一關係在攝影測量常以空中三角測量加以重建。

### 三、校正與追溯性確認

#### (一)校正追溯

校正追溯鏈的確認攸關於校正系統成敗的核心要項，校正的目的是藉由連續不間斷的追溯比較鏈，使量測值能夠與規定的參考標準連結組合。「校正」(Calibration)在國際通用計量學基本術語：

「為指定條件下的操作，在第一步驟裡，建立一個由量測標準提供且含有量測不確定度之量值和含有量測不確定度之對應器示值之間的關係；在第二步驟裡，使用上述資訊從某一器示值確立和量測結果的關係。」

說明上述校正術語，校正動作大致可分為兩個步驟。校正為指定條件下的操作，其在第一個步驟裡，建立一個(含有由量測標準提供量測不確定度之)量值和(含有量測不確定度之)對應儀器器示值間的關係；而在第二步驟，使用第一步驟，所得資訊從一個指示得到量測結果。

舉例來說，電子測距儀校正，在第一個步驟裡，由基線的長度參考標準值與校正件測距儀量得到的基線量測值，進行回歸分析(建立對應關係)，求定出校正參數「加常數改正量」與「比例常數改正量」。

階段二：歸算量測結果。將待校儀器器示值，經加常數改正量與比例常數改正後為「量測距離」。量測結果含擴充不確定度。

由於航空測量攝影機校正服務是國內創新第一套校正能量系統，校正追溯鏈的確認尤其重要，TAF認證之校正追溯管道是建立校正實驗室之重要課題，具體工作進行確認追溯管道，確認量測系統校正追溯的完整性，諸如坐標測量所用GNSS接收儀校正報告、坐標追溯來源、儀器配件求心基座等檢查紀錄、航測標的佈標方式檢討(查核航測標尺寸誤差之檢查紀錄)，經過整體分析與改進建議，供後續活動

評估各誤差源的不確定度評估，確保追溯鏈的完整性，取得符合申請 TAF 認證需求之校正追溯報告。

## (二)量測系統追溯圖

航空測量攝影機校正系統的校正方式原理，乃應用 GNSS 標準件衛星接收儀定位的坐標參考標準值，與校正件航空測量攝影機定位的坐標量測值進行比對。其中，校正件航空測量攝影機定位的坐標量測值 ( $L_m$ ) 與標準件衛星接收儀定位的坐標參考值 ( $L_r$ ) 的器差 ( $D_1$ ) 三者關係可表示為：

$$L_m = L_r + D_1 \quad (3-3)$$

$L_m$  為航空測量攝影機定位的坐標量測值，

$L_r$  標準件衛星接收儀定位的坐標參考值，

$D_1$  為二者量測器差值，

GNSS 觀測量若是採載波相位觀測進行定位，則校正系統的量測方程式參考式(3-1)，校正件航空測量攝影機定位的量測方程式參考式(3-2)。

GNSS 接收儀定位係參考瞬間時刻下已知衛星坐標，計算衛星至接收儀之距離後，再空間交會解得。其中，衛星至接收儀之距離，可由時間偏移量 (Time Shift) 求得虛擬距離 (Pseudo Range)，或由載波相位未定值 (Phase Ambiguity)，計算載波傳送所經過的距離，而衛星坐標可經由 GNSS 衛星即時提供廣播軌道 (Broadcast Orbits)，或數天後經由國際 GPS 地體動力服務組織 SOPAC, The Scripps Orbit and Permanent Array Center，SOPAC 服務是國際 IGS 服務 (IGS, The

International GNSS Service)網站直接取得經後級處理且準確度高的IGS軌道 (Final Orbits)。根據GNSS定位理論，為準確評估GNSS衛星追蹤站與航測校正標的ITRF坐標，必須引用到GNSS定位之全球組織所公布的參考標準，主要包含有：

1. 衛星定位儀天線相位中心偏移量與變化量改正資料，可經由網址 <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL> 取得，這些改正數值由美國國家大地測量局 (National Geodetic Survey, NGS) 校正。
2. 坐標追溯到 IGS 追蹤站坐標，坐標計算服務採用國際 SOPAC 服務，參考網址：<http://sopac.ucsd.edu/processing/coordinates/sector.shtml>)，其中 TNML 及 TWTF 國際站是國家度量衡標準實驗室所建置，國際站坐標計算服務準確度達(3~6) mm。
3. IGS 精密軌道 (Final Orbit)，可以從網址 [http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods\\_cb.html](http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html) 取得，準確度達 0.05 m。
4. 地球轉動參數，極運動改正資料及大氣延遲改正模式，這些數值由國際地球旋轉服務組織 (International Earth Rotation Service, IERS) 提供服務，網址 <http://hpiers.obspm.fr/>。
5. GNSS 定位解算軟體，本案校正系統案例，採用測繪業界使用的 GNSS 分析軟體 Topcon Tools。
6. 校正追溯，GNSS 定位單元工作標準件，校正報告由 TAF 實驗校正，追溯到國家度量衡標準實驗室，藉由不間斷追溯鏈追溯國際標準。

本案校正系統案例，GNSS 定位解算軟體，使用 Topcon Tools 商用軟體，Topcon Tools 有功能修正接收儀天線的相位中心改正值，仍需注意正確被載入。

航空測量攝影機校正的追溯圖如圖3-5所示。

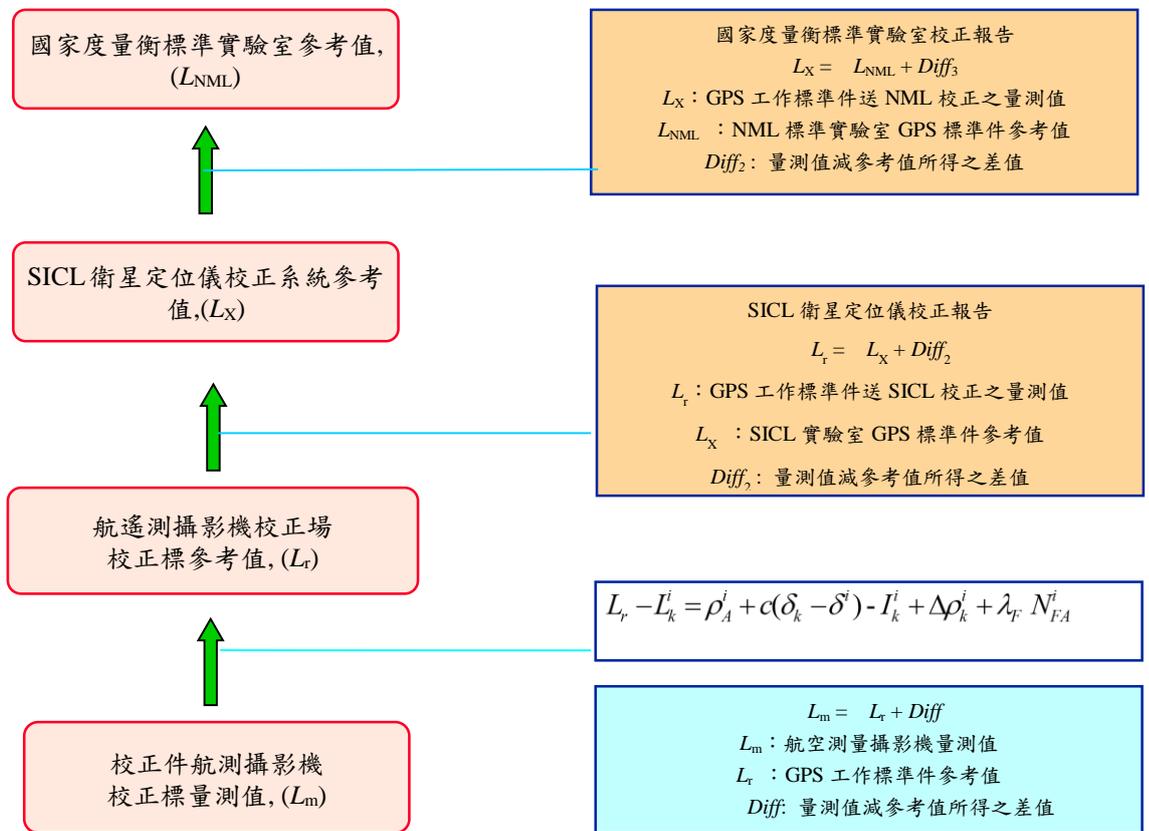


圖 3-5 航空測量攝影機校正追溯圖

#### 四、不確定度分析

依國際標準組織建議評估方法，將各項誤差來源分為A類及B類不確定度，並予以量化。其中，A類以統計方法評估，B類用其他方法評估，兩者皆以假設性機率分布為基礎，估得各標準不確定度，依特定信賴水準與有效自由度，決定涵蓋因子，計算擴充不確定度。

本章分析步驟分別為一、分析網形控制點不確定度；二、分析校正標相對於網形控制點之不確定度；三、校正件量測不確定度分析；四、計算組合標準不確定度及有效自由度；五、計算擴充不確定度；六、校正能量，最小量測不確定度估計。本章節就校正系統評估報告成果的重點摘要說明。

航空測量攝影機校正場系統單元包括有一、網形控制點；二、校正標。網形控制點選用校正場相鄰的三等衛星控制點包括：MX34、MX57、MX58、MX60。

在本系統中，影響衛星定位儀測量的主要誤差來源有：量測定位重複性、整置定平及定心、衛星定位接收儀、相位中心偏移量、IGS衛星軌道、氣象修正模式及改正以及衛星定位儀標準件來自校正追溯的誤差等誤差來源。茲分析影響量，並說明如下：

##### (一)網形控制點不確定度分析

誤差源分析分別以1.量測定位重複性、2.整置定平及定心、3.衛星定位儀接收儀的相位中心偏移量、4. IGS衛星軌道、5.氣象修正模式改正以及6.衛星定位儀標準件來自校正追溯的誤差等。各誤差源計算細節詳列在國土測繪中心「航空測量攝影機校正系統評估」文件，舉第2點與第6點為例說明，整置定平及定心誤差源估算方法，國土測繪中心求心基座使用皆有記錄與校正，表3-1定心定平不確定度估計量2.0 mm為經驗值。6.來自校正追溯不確定度，引用標準件送到國家標準實驗的校正報告，會隨著工作標準件汰換更新提升，可降低追溯

的不確定度數值。表3-1細節詳列在成果文件，本文僅能列出誤差源分析成果如表3-1、表3-2所示。其中，表3-1是網形控制點觀測網坐標在平面方向之不確定度分析表，表3-2是高程方向不確定度分析表。

表 3-1 網形控制點平面坐標之不確定度分析表

不確定度源	估計量(a) mm	除數 (b)	標準不確定度 (c)=(a)÷(b) mm	靈敏係 數(d)	不確定度分量 (e)= (c)× (d) mm	自由 度
平面量測定位重複性 $u(x_{1\_NE})$	7.877	1	7.877	1	7.877	56
整置定平及定心 $u(x_2)$	2.000	$\sqrt{3}$	1.155	1	1.155	12.5
相位中心偏移量 $u(x_3)$	0.300	$\sqrt{3}$	0.173	1	0.173	8
IGS 衛星軌道 $u(x_4)$	0.000875	$\sqrt{3}$	0.005	1	0.005	12.5
氣象修正模式及改正 $u(x_5)$	0.007	$\sqrt{3}$	0.004	1	0.004	12.5
來自校正追溯誤差 $u(x_{6\_NE})$	16.101	$\sqrt{3}$	9.296	1	9.296	22.2

表 3-2 網形控制點高程方向之不確定度分析表

不確定度源	估計量(a) mm	除數 (b)	標準不確定度 (c)=(a)÷(b) mm	靈敏係 數(d)	不確定度分量 (e)= (c)× (d) mm	自由 度
高程量測定位重複性 $u(x_{1\_h})$	19.000	1	19.000	1	19.000	28
整置定平及定心 $u(x_2)$	2.000	$\sqrt{3}$	1.155	1	1.155	12.5
相位中心偏移量 $u(x_3)$	0.300	$\sqrt{3}$	0.173	1	0.173	8
IGS 衛星軌道 $u(x_4)$	0.00875	$\sqrt{3}$	0.005	1	0.005	12.5

不確定度源	估計量(a) mm	除數 (b)	標準不確定度 (c)=(a)÷(b) mm	靈敏係 數(d)	不確定度分量 (e)= (c)× (d) mm	自由 度
氣象修正模式及改正 $u(x_5)$	0.007	$\sqrt{3}$	0.004	1	0.004	12.5
來自校正追溯誤差 $u(x_{6\_h})$	18.742	$\sqrt{3}$	10.821	1	10.821	22.2

## (二)校正標相對於網形控制點之不確定度分析

校正標相對於網形控制點之不確定度分析，原理雷同，誤差源分析分別以1.量測定位重複性、2.整置定平及定心、3.衛星定位儀接收儀的相位中心偏移量、4. IGS衛星軌道、5.氣象修正模式改正以及6.衛星定位儀標準件來自校正追溯的誤差等。本文僅列出誤差源分析成果如表3-3、表3-4所示，各誤差源計算細節有詳列在「航空測量攝影機校正系統評估」文件。表3-3、表3-4乃列出估算原則與初步評估數值。

表 3-3 校正標相對於網形控制點之不確定度分析表(平面方向)

不確定度源	估計量(a) mm	除數 (b)	標準不確定度 (c)=(a)÷(b) mm	靈敏係 數(d)	不確定度分量 (e)= (c)× (d) mm	自由 度
平面量測定位重複性 $u(x_{1b\_NE})$	3.450	1	3.450	1	3.450	86
整置定平及定心 $u(x_{2b})$	2.0000	$\sqrt{3}$	1.155	1	1.155	12.5
相位中心偏移量 $u(x_{3b})$	0.300	$\sqrt{3}$	0.173	1	0.173	8
IGS 衛星軌道 $u(x_{4b})$	0.00875	$\sqrt{3}$	0.005	1	0.005	12.5
氣象修正模式及改正 $u(x_{5b})$	0.007	$\sqrt{3}$	0.004	1	0.004	12.5
來自校正追溯誤差 $u(x_{6b\_NE})$	18.742	$\sqrt{3}$	10.821	1	10.821	22.2

表 3-4 校正標相對於網形控制點之不確定度分析表(高程方向)

不確定度源	估計量(a) mm	除數 (b)	標準不確定度 (c)=(a)÷(b) mm	靈敏係 數(d)	不確定度分量 (e)= (c)× (d) mm	自由 度
標準件量測定位重複性 $u(x_{1_h})$	10.600	1	10.600	1	10.600	43
整置定平及定心 $u(x_{2b})$	2.000	$\sqrt{3}$	1.155	1	1.155	12.5
相位中心偏移量 $u(x_{3b})$	0.300	$\sqrt{3}$	0.173	1	0.173	8
IGS 衛星軌道 $u(x_{4b})$	0.00875	$\sqrt{3}$	0.005	1	0.005	12.5
氣象修正模式及改正 $u(x_{5b})$	0.007	$\sqrt{3}$	0.004	1	0.004	12.5
來自校正追溯誤差 $u(x_{6b_h})$	26.856	$\sqrt{3}$	15.505	1	15.505	22

### (三)校正件量測不確定度分析

由於像坐標並無法直接與參考值比對，所以比對之前必須先藉助空中三角測量平差計算，轉換至物空間坐標進行比對。空中三角測量過程中，各張影像須藉助所謂連結點組成空中三角網，由於連結點也是選取影像中具有明顯紋裡特徵的自然點，由大量連結點觀測與離群值數據(粗差)偵錯程序維持連結點觀測量的品質。校正場內，區內紋理豐富，像片連結點觀測量品質與校正標相似。進行空中三角測量時，影響物空間高程精度的因素包含拍攝影像地面像素解析度、基線航高比、像坐標觀測精度等。以一般航空測量作業實務經驗式推估，數位航空測量攝影機經空中三角測量後，所推算物空間高程精度約與拍攝地面像素解析度相同，平面精度約達拍攝地面像素解析度的1/3。

#### (1)校正件量測定位重複性 $u(x_7)$ ：

校正件案例，航空測量攝影機廠牌：Vexcel Imaging GmbH，型

號：UltraCamXp-wa，焦距0.0705 m，感測器像元尺寸 $6\mu\text{m}$ ，攝影日期：民國104年6月24日，絕對航高1200 m，拍攝的影像地面像素解析度尺寸約0.09 m。由空中三角測量計算連結點與校正標的大地坐標，平差報表的後驗點位中誤差(SigE, SigN, Sigh)計算RMSE統計量，引用報表成果分別為E:23.0 mm，N:25.7 mm，h:60.0 mm。在68.3%信賴水準下，平面方向計算組合標準差 $\sigma = [(23.02 + 25.72) / 2]^{1/2} = 24.387$  mm，作為航空測量攝影機在平面方向的坐標重複性組合標準不確定度，則量測定位重複性不確定度 $u(x_{7\_NE}) = 24.387$  mm， $u(x_{7\_h}) = 60.000$  mm，估算其相對不確定性為15%，則自由度 $\nu_{x7} = (1/2) \times (15/100)^{-2} = 22$ 。

(2)校正件攝影地面像素解析度規格  $u(x_8)$ ：

拍攝地面像素解析度以尺寸(m)表現，攸關於校正件量測精度，地面像素解析度數值越小者，校正標成像較為清晰，量測精度高。地面像素解析度與攝影機感測器像元尺寸規格 $a$ (m)、航攝的絕對航高(m)、攝影機焦距(m)有關。校正場校正標地面尺寸為1 m×1 m，地面像素解析度限制，尺寸數值需小於0.25 m否則難以清晰辨識校正標。以同一台攝影機而言，攝影機感測器像元尺寸與焦距條件固定，則需降低飛航高度獲取較好的地面像素解析度(尺寸數值小者)。受限於飛航安全高度限制與飛航速度條件，實務經驗式推估，本校正場攝影條件可達地面像素解析度為0.05 m。校正場地地面像素解析度介於(0.05~0.25) m。

校正件拍攝地面像素解析度以0.05 m為例，假設為矩形分布，則標準不確定度 $u(x_8) = 0.05 / \sqrt{3} = 29$  mm。估算其相對不確定性為15%，則自由度 $\nu_{x8} = (1/2) \times (15/100)^{-2} = 22.2$ 。

綜整上述相關數據，校正件量測不確定度來源分析表，平面方向如表3-5，高程方向如表3-6。

表 3-5 校正件量測不確定度源分析表(平面方向)

不確定度源	估計量(a) mm	除數 (b)	標準不確定度 (c)=(a)÷(b) mm	靈敏係 數(d)	不確定度分量 (e)= (c)× (d) mm	自由 度
校正件量測定位重複性 $u(x_{7\_NE})$	24.387	1	24.387	1	24.387	22
校正件儀器精度規格 $u(x_8)$	50.000	$\sqrt{3}$	28.868	1	28.868	22

表 3-6 校正件量測不確定度源分析表(高程方向)

不確定度源	估計量 (a)	除數 (b)	標準不確定度 (c)=(a)÷(b)	靈敏係 數(d)	不確定度分量 (e)= (c)× (d)	自由 度
校正件量測定位重複性 $u(x_{7\_h})$	60.000	1	60.000	1	60.000	22
校正件儀器精度規格 $u(x_8)$	50.000	$\sqrt{3}$	28.868	1	28.868	22.2

#### (四)計算組合標準不確定度及有效自由度

##### 1. 網形控制點坐標之組合標準不確定度

表3-1、表3-2網形控制點坐標之不確定度分析表，假設各誤差源彼此獨立不相關，則網形控制點坐標之組合標準不確定度  $u_c(C_1)$  計算：

##### (1)平面方向：

$$u_c(C_{1\_NE}) = \left( u(x_{1NE})^2 + u(x_2)^2 + u(x_3)^2 + u(x_4)^2 + u(x_5)^2 + u(x_{6NE})^2 \right)^{1/2}$$

$$= \left[ \begin{array}{l} (7.877)^2 + (1.155)^2 + (0.173)^2 + (0.005)^2 \\ + (0.004)^2 + (9.296)^2 \end{array} \right]^{1/2} = 12.2 \text{ mm}$$

而有效自由度  $\nu_{eff(C_1)}$  依 Welch-Satterthwaite 公式計算，則有效自由度

$$v_{eff(C1\_NE)} = (u_C(C1\_NE))^4 / \left( \frac{u(x_{1NE})^4}{v_{1NE}} + \frac{u(x_2)^4}{v_2} + \frac{u(x_3)^4}{v_3} + \frac{u(x_4)^4}{v_4} + \frac{u(x_5)^4}{v_5} + \frac{u(x_{6NE})^4}{v_{6NE}} \right)$$

$$= (12.2)^4 / \left( \frac{7.877^4}{56} + \frac{1.155^4}{12.5} + \frac{0.173^4}{8} + \frac{0.005^4}{12.5} + \frac{0.01^4}{12.5} + \frac{9.296^4}{22.2} \right) = 55.4$$

(2) 高程方向：

$$u_C(C1\_h) = \left( u(x_{1h})^2 + u(x_2)^2 + u(x_3)^2 + u(x_4)^2 + u(x_5)^2 + u(x_{6h})^2 \right)^{1/2}$$

$$= \left[ (19)^2 + (1.155)^2 + (0.173)^2 + (0.005)^2 + (0.004)^2 + (10.821)^2 \right]^{1/2} = 21.9 \text{ mm}$$

而有效自由度  $v_{eff(C1)}$  依 Welch-Satterthwaite 公式計算，則有效自由度

$$v_{eff(C1\_h)} = (u_C(C1\_h))^4 / \left( \frac{u(x_{1h})^4}{v_{1h}} + \frac{u(x_2)^4}{v_2} + \frac{u(x_3)^4}{v_3} + \frac{u(x_4)^4}{v_4} + \frac{u(x_5)^4}{v_5} + \frac{u(x_{6h})^4}{v_{6h}} \right)$$

$$= (21.9)^4 / \left( \frac{19^4}{28} + \frac{1.155^4}{12.5} + \frac{0.173^4}{8} + \frac{0.005^4}{12.5} + \frac{0.004^4}{12.5} + \frac{10.821^4}{22.2} \right) = 43.6$$

## 2. 校正標相對於網形控制點坐標之組合標準不確定度

校正標相對於網形控制點坐標之組合標準不確定度  $u_C(C2)$ ，假設各誤差源彼此獨立不相關，則

(1) 平面方向：

$$u_C(C2\_NE) = \left( u(x_{1bNE})^2 + u(x_{2b})^2 + u(x_{3b})^2 + u(x_{4b})^2 + u(x_{5b})^2 + u(x_{6bNE})^2 \right)^{1/2}$$

$$= \left[ (3.45)^2 + (1.155)^2 + (0.173)^2 + (0.005)^2 + (0.004)^2 + (10.821)^2 \right]^{1/2} = 11.4 \text{ mm}$$

而有效自由度  $\nu_{eff(C2)}$  依 Welch-Satterthwaite 公式計算，則有效自由度

$$\begin{aligned} \nu_{eff(C2\_NE)} &= (u_c(C2\_NE))^4 / \left( \frac{u(x_{1bNE})^4}{\nu_{1bNE}} + \frac{u(x_{2b})^4}{\nu_{2b}} + \frac{u(x_{3b})^4}{\nu_{3b}} + \frac{u(x_{4b})^4}{\nu_{4b}} + \frac{u(x_{5b})^4}{\nu_{5b}} + \frac{u(x_{6bNE})^4}{\nu_{6bNE}} \right) \\ &= (11.4)^4 / \left( \frac{3.45^4}{86} + \frac{1.155^4}{12.5} + \frac{0.173^4}{8} + \frac{0.005^4}{12.5} + \frac{0.004^4}{12.5} + \frac{10.821^4}{22.2} \right) = 27.5 \end{aligned}$$

(2) 高程方向：

$$\begin{aligned} u_c(C2\_h) &= \left( u(x_{1bh})^2 + u(x_{2b})^2 + u(x_{3b})^2 + u(x_{4b})^2 + u(x_{5b})^2 + u(x_{6bh})^2 \right)^{1/2} \\ &= \left[ (10.6)^2 + (1.155)^2 + (0.173)^2 + (0.005)^2 \right]^{1/2} \\ &\quad \left[ + (0.004)^2 + (15.505)^2 \right]^{1/2} = 18.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

而有效自由度  $\nu_{eff(C2\_h)}$  依 Welch-Satterthwaite 公式計算，則有效自由度

$$\begin{aligned} \nu_{eff(C2\_h)} &= (u_c(C2\_h))^4 / \left( \frac{u(x_{1b-h})^4}{\nu_{1b-h}} + \frac{u(x_{2b})^4}{\nu_{2b}} + \frac{u(x_{3b})^4}{\nu_{3b}} + \frac{u(x_{4b})^4}{\nu_{4b}} + \frac{u(x_{5b})^4}{\nu_{5b}} + \frac{u(x_{6b-h})^4}{\nu_{6b-h}} \right) \\ &= (18.8)^4 / \left( \frac{10.6^4}{43} + \frac{1.155^4}{12.5} + \frac{0.174^4}{8} + \frac{0.005^4}{12.5} + \frac{0.004^4}{12.5} + \frac{15.505^4}{22.2} \right) = 43.3 \end{aligned}$$

### 3. 校正標坐標之組合標準不確定度

校正標坐標之組合標準不確定度  $u_c(C3)$ ，假設各誤差源彼此獨立不相關：

(1) 平面方向

$$u_c(C3\_NE) = [u_c(C1)^2 + u_c(C2)^2]^{1/2} = (12.2^2 + 11.4^2)^{1/2} = 16.739 \text{ mm}。$$

而自由度依 Welch-Satterthwaite 公式計算，則自由度

$$= 16.739^4 / [(12.2^4 / 55.4) + (11.4^4 / 27.5)] = 76.69 \text{。}$$

## (2) 高程方向

$$u_c(C_{3\_h}) = [u_c(C_{1h})^2 + u_c(C_{2h})^2]^{1/2} = (21.9^2 + 18.8^2)^{1/2} = 28.872 \text{ mm。}$$

而自由度依 Welch-Satterthwaite 公式計算，則自由度  
 $= 28.872^4 / [(21.9^4 / 43.6) + (18.8^4 / 43.3)] = 85.092 \text{。}$

## 4. 航測攝影機校正件量測值組合標準不確定度

### (1) 校正件量測值在平面方向組合標準不確定度

$$u_c(C_{4\_NE}) = [u(x_{7\_NE})^2 + u(x_8)^2]^{1/2} = (24.387^2 + 28.868^2)^{1/2} = 37.8 \text{ mm。}$$

自由度：  
 $= 37.8^4 / [(24.387^4 / 22) + (28.868^4 / 22.22)] = 43.1$

### (2) 校正件量測值在高程方向組合標準不確定度

$$u_c(C_{4\_h}) = [u(x_{7\_h})^2 + u(x_8)^2]^{1/2} = (60^2 + 28.868^2)^{1/2} = 66.6 \text{ mm。}$$

自由度 =  $66.6^4 / [(60^4 / 22) + (28.868^4 / 22.2)] = 31.7 \text{。}$

## 5. 校正結果之組合標準不確定度

### (1) 量測器差在平面方向組合標準不確定度

$C_5$  為量測器差值  $C_5 = L_m - L_r = C_4 - C_3$ ，所以  $C_5$  的組合標準不確定度：

$$u_c(C_{5\_NE}) = \sqrt{u_c(C_{4\_NE})^2 + u_c(C_{3\_NE})^2} = [(37.8)^2 + (16.739)^2]^{1/2} = 41.33$$

$$v_{eff(C5)} = u_c(C_{5-NE})^4 \left/ \left( \frac{u(C_{4-NE})^4}{v_{C4NE}} + \frac{u(C_{3NE})^4}{v_{C3NE}} \right) \right.$$

而有效自由度

$$= (41.33)^4 \left/ \left( \frac{37.8^4}{43.1} + \frac{16.739^4}{76.69} \right) = 60.35$$

## (2) 量測器差在高程方向組合標準不確定度

$$u_c(C_{5h}) = \sqrt{u_c(C_{4-h})^2 + u_c(C_{3-h})^2} = [(66.6)^2 + (28.872)^2]^{1/2} = 72.57$$

$$v_{eff(C5h)} = u_c(C_{5h})^4 \left/ \left( \frac{u(C_{4-h})^4}{v_{C4h}} + \frac{u(C_{3-h})^4}{v_{C3h}} \right) \right.$$

而有效自由度

$$= (72.57)^4 \left/ \left( \frac{66.6^4}{31.7} + \frac{28.872^4}{85.092} \right) = 44.14$$

## (五) 計算擴充不確定度

### 1. 量測結果在平面之擴充不確定度 $U_1$

取有效自由度  $v_{eff(c5)} = 60.35$ ，在95%信賴水準，得  $t$  分布值為 2.00，即涵蓋因子  $k_1 = 2.00$ 。本校正系統採95%信賴水準，故校正量測結果坐標擴充確定度  $U_1 = k_1 \times u_c(c5)$ ，則

$$U_1 = 2.00 \times 41.33 = 82.67 \text{ mm} \doteq 83 \text{ mm}$$

### 2. 量測結果在高程之擴充不確定度 $U_2$

取有效自由度  $v_{eff(c5)} = 44.14$ ，在95%信賴水準，得  $t$  分布值為 2.02，即涵蓋因子  $k_2 = 2.02$ 。本校正系統採95%信賴水準，故校正量測結果坐標擴充確定度  $U_2 = k_2 \times u_c(c5h)$ ，則

$$U_2 = 2.02 \times 72.57 = 146.26 \text{ mm} \doteq 150 \text{ mm}$$

## (六)航空測量攝影機校正系統，最小量測不確定度估計

上述分析步驟為：標準不確定度、計算組合標準不確定度及擴充不確定度，本文數據乃初步估算數值，說明計算原理與原則，本文呈獻數據與國土測繪中心實驗室重新評估成果有些微差異，依據國土測繪中心實驗室「航空測量攝影機校正系統評估」如下：

1. 平面方向：最小量測不確定度為 83 mm。
2. 高程方向：最小量測不確定度為 150 mm。

## 五、量測品保

航測攝影機校正系統是國內創新第一套校正系統，發展校正系統有其難度，目前量測品保活動有完成三個面向：一、定期量測並繪製管制圖；二、完成量測稽核活動；三、校正程序含中間查核活動。本節說明第一項活動，設計一套查核參數和管制圖來監控本校正系統。

對航空測量攝影機校正場校正單元，定期採查核件做監控，設計一套查核參數和管制圖來監控本校正系統。應用衛星定位儀校正單元工作標準件，施測校正標靜態衛星定位觀測，構成基線觀測網絡。每一靜態觀測時段施測1 小時。計算校正標坐標，並經過投影轉換到投影坐標，分析坐標三軸變化，並繪製管制圖進行查核。查核週期1 年1 次。

### (一)管制圖

校正標坐標之管制圖繪製方法，本文舉一案例說明：以基線相對坐標，相對於MX57的 $dN$ 、 $dE$ 、 $dh$ 為查核參數 $y_j$ 。n個校正標會有 $3n$ 張管制圖(本文案例為150張管制圖)。下圖管制圖案例，是比對2015年與2014年管制參數( $dN_{i_{2015}}$ 、 $dE_{i_{2015}}$ 、 $dh_{i_{2015}}$ )，( $dN_{i_{2014}}$ 、 $dE_{i_{2014}}$ 、 $dh_{i_{2014}}$ )，分析各點位的查核參數在2015與2014的變化量(較差值)，可計算得n個校正標的較差值(共 $3n$ 個較差值)，在 $3n$ 個較差值中取絕對值進行排序最大誤差，得到當年排序最大誤差的校正標點號(如下案例B062)，繪製該點號(B062)歷年的查核參數 $y_j$ 成為管制圖。同理，較差值取絕對值進行排序最大誤差，可以取最大10個，則繪製出30張管制圖供校正查核監控。

### (二)管制圖繪製案例

當次n個校正標的較差值，較差值絕對值排序誤差最大者，以基線相對坐標為查核參數 $y_j$

查核參數為基線相對坐標：

$$y_4 \text{ 在 N 坐標: } dN_{i\_2015} = N_{i\_2015} - N_{\text{FMX57\_2015}}$$

$$y_4 \text{ 在 E 坐標: } dE_{i\_2015} = E_{i\_2015} - E_{\text{FMX57\_2015}}$$

$$y_4 \text{ 在高程: } dh_{i\_2015} = h_{i\_2015} - h_{\text{FMX57\_2015}}$$

$$y_3 \text{ 在 N 坐標: } dN_{i\_2014} = N_{i\_2014} - N_{\text{FMX57\_2014}}$$

$$y_3 \text{ 在 E 坐標: } dE_{i\_2014} = E_{i\_2014} - E_{\text{FMX57\_2014}}$$

$$y_3 \text{ 在高程: } dh_{i\_2014} = h_{i\_2014} - h_{\text{FMX57\_2014}}$$

式中

$N, E, h$ : 投影坐標

$i$ : 校正標序號

2015: 下標 2015 為量測時間順序，例如  $y_1=2012$ ,  $y_2=2013$ ,  $y_3=2014$ ,  $y_4=2015$ 。

分析查核參數平均值  $A_c$ 、計算標準差  $S_c$  及管制上限  $UCL$ 、管制下限  $LCL$ ，作為系統評估之參考。其計算式如下：

$$A_c = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k y_j$$

$$S_c = \left[ \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (y_j - A_c)^2 \right]^{1/2}$$

$$UCL = A_c + 3S_c$$

$$LCL = A_c - 3S_c$$

$S_c$  計算，為了考量實驗室運作初期，查核次數少，自由度小，實

務做法引用校正標參考值量測不確定度(組合標準不確定度)平面方向  $u_c(C_{3\_NE})$  為18 mm，高程方向  $u_c(C_{3\_h})$  30 mm。

值得注意圖3-8乃本文呈獻評估報告初版，國土測繪中心實驗室自行演練重新計算評估數據，管制圖則無超出管制下限。

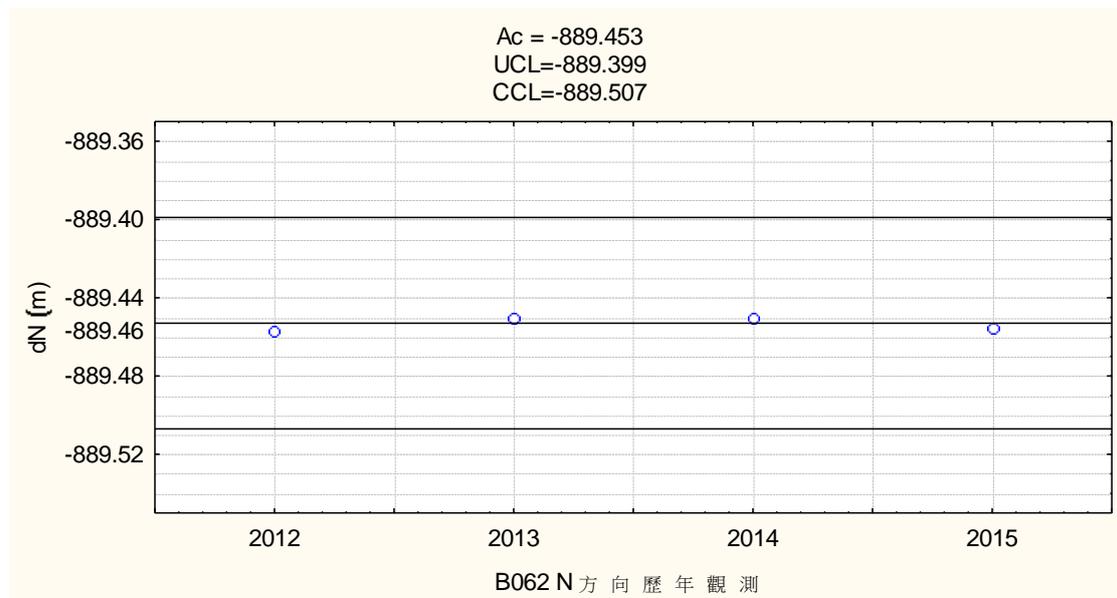


圖 3-6 校正標 B062 在 N 方向坐標管制圖

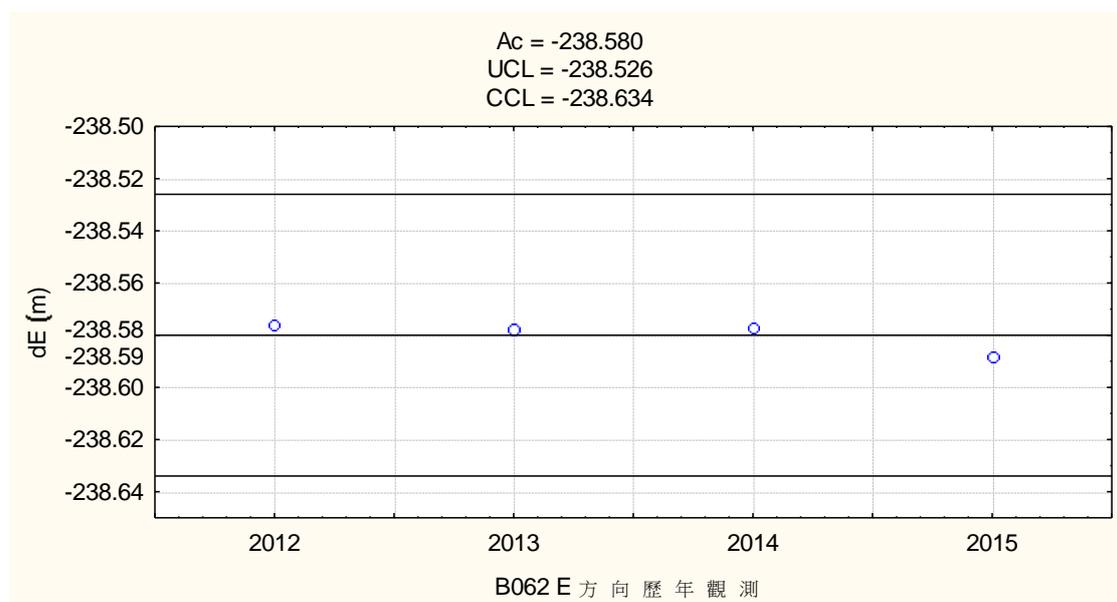


圖 3-7 校正標 B062 在 E 方向坐標管制圖

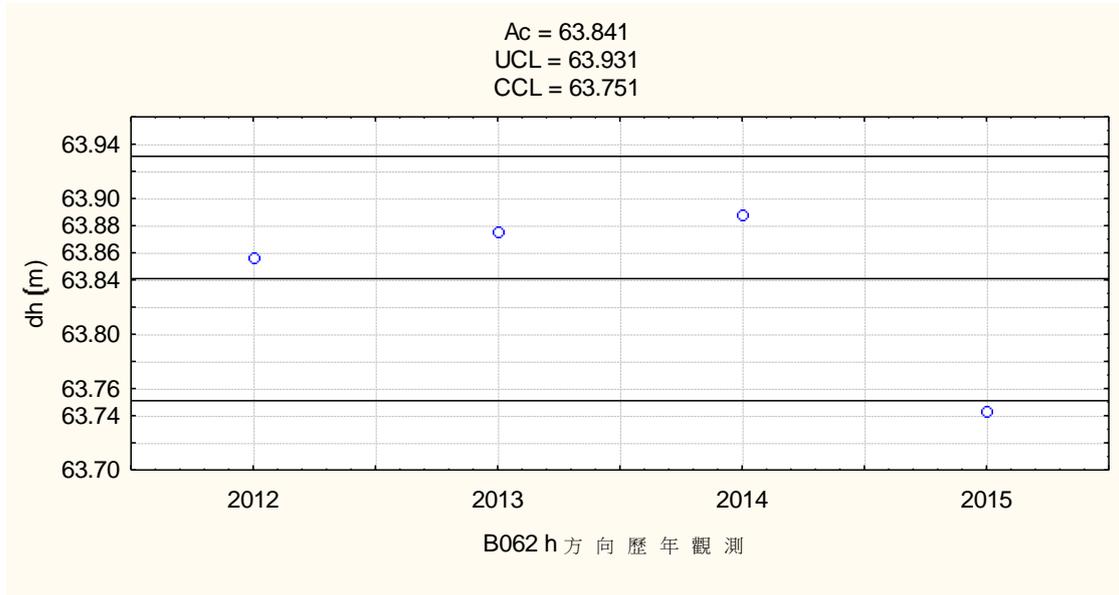


圖 3-8 校正標 B062 在 h 方向坐標管制圖

## (二)校正標坐標參考值中間查核

校正標坐標參考值查核週期原則為每年1次。使用工作標準件衛星定位儀接收衛星資料，並使用網路RTK技術(採用國土測繪中心 e-GNSS系統)辦理測量衛星，資料記錄間格為1秒。

- (1)網形控制點查核：選取 4 點網形控制點 (由 FMX34、FMX57、FMX58、FMX60、FMX64、DM085 中選取)，每點進行 2 次觀測，每次觀測 25 分鐘至少接收 1300 筆坐標成果，2 次觀測時間間隔須大於 1 小時。
- (2)校正標查核：校正標查核每點進行 2 次觀測，每次觀測 10 分鐘至少接收 500 筆坐標成果，2 次觀測時間間隔須大於 1 小時。各校正標之 e-GNSS 觀測坐標成果須轉換至與校正標坐標參考值同一坐標系統。

作業情形記錄於『校正標衛星動態定位測量外業觀測紀錄表』，作業結果與最近一次校正標坐標參考值比對，較差平面方向應小於0.06 m、高程方向應小於0.09 m。

## 七、量測稽核的追溯性原理

### (一)量測數據比對方程式

參考實驗室與參與實驗室量測數據比對方式的規劃如下：

1. 參與實驗室校正標航空測量攝影機量測結果( $L_m$ ) – NML(參考實驗室)校正標 GPS 量測結果( $L_x$ ) = 比對值 1

$$L_m - L_x = Check_1$$

2. 參與實驗室校正標 GPS 量測結果( $L_r$ ) – NML(參考實驗室)校正標 GPS 量測結果( $L_x$ ) = 比對值 2

$$L_r - L_x = Check_2$$

為了證明上述數據比對方式規劃的合理性，援用校正追溯圖原理說明量測數據比對能達成校正追溯的要求，如圖3-9所示。校正標航空測量攝影機量測結果( $L_m$ )追溯SICL參與實驗室校正標GPS量測結果( $L_r$ )，參與實驗室(既SICL實驗室)校正標GPS量測結果( $L_r$ )追溯NML(參考實驗室)赴校正場，量測校正標GPS量測結果( $L_x$ )，最終追溯到國家度量衡標準實驗室。

### (二) 量測稽核活動

依據TAF規定辦理認證申請須附能力試驗或量測稽核結果之合格報告以為佐證。本案完成此項活動具體方案，於8月14日完成標準實驗(參考實驗室)數據量測活動。國土測繪中心並完成量測稽核報名申請，量測中心品質工程部，依據申請書執行量測稽核報告。

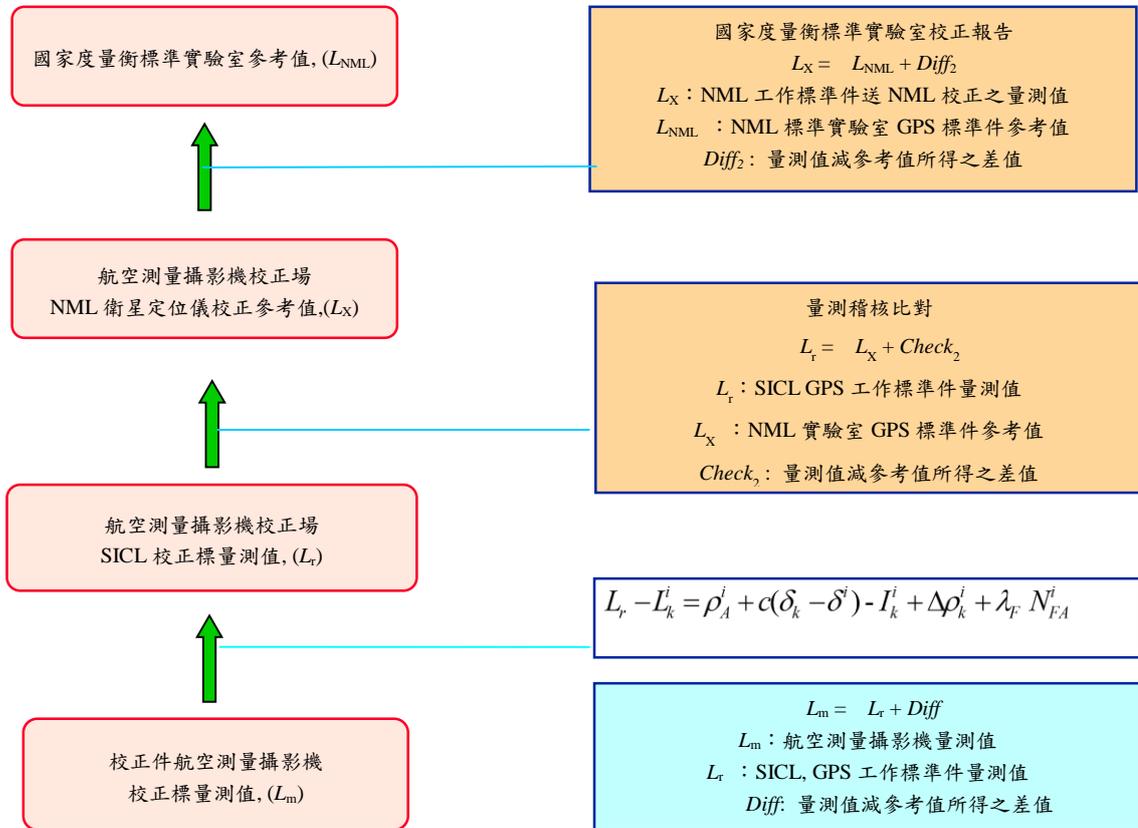


圖 3-9 量測稽核追溯原理

## 八、航空測量攝影機校正實做

本章工作是運用前期研究成果，包括已經演練的航空測量攝影機校正作業流程，進行維運演練。活動內容包括校正案件申請收件、校正場維護、校正分析作業及出具校正報告練習等。實際的作為包括完成自強工程顧問公司、銓華國土測繪公司、群立科技公司三家航空測量攝影機模擬申請校正，討論航線規劃，校正需求溝通等庶務，藉由測繪業界實際參與，確保了校正表單的實用性。關於實驗室營運有關的品質表單，本期工作完成了調整，確認表單的合宜性。關於實務活動，最後並完成航空測量攝影機校正推廣應用上所需要的系統簡介、說明及海報(如圖3-10)。本章就校正演練時航拍須知及校正報告內容說明如後。

# 航空測量攝影機校正系統

## 目的

應用航空測量攝影機測繪與調查，已大量應用在國家重大建設、資源調查、國土利用評估、防救災等領域，為確保儀器測量品質及符合ISO品保要求，儀器校正追溯受各界重視。本中心成立「測量儀器校正實驗室」，並通過TAF(全國認證基金會)校正實驗室認證。進一步擴充校正能量，據以提供航空測量攝影機之校正服務。

## 原理

以校正場戶外校正(In Situ Calibration)方式執行。於南投縣南投市設置校正場，校正場內設置校正標(Signalized Target)單元，而校正標之參考坐標係由衛星定位儀單元評定。參考坐標是校正之主要依據。量測航測影像的像坐標並經過空三平差定位計算，獲得校正標的地面坐標量測值。幾何校正係依據坐標參考值與量測值比對，評定攝影機幾何特性。

## 方法

$$Diff = L_m - L_r$$

Diff：為二者量測器差值

$L_m$ ：量測值，航測空三平差定位的地面坐標

$L_r$ ：參考值，衛星定位儀單元的坐標參考值

量測值定位方程式

$$\begin{aligned} x &= -\frac{(X_p - X_c)r_{11} + (Y_p - Y_c)r_{12} + (Z_p - Z_c)r_{13}}{(X_p - X_c)r_{31} + (Y_p - Y_c)r_{32} + (Z_p - Z_c)r_{33}} \\ y &= -\frac{(X_p - X_c)r_{21} + (Y_p - Y_c)r_{22} + (Z_p - Z_c)r_{23}}{(X_p - X_c)r_{31} + (Y_p - Y_c)r_{32} + (Z_p - Z_c)r_{33}} \end{aligned}$$

參考值定位方程式

$$L_{r_{2d}}^i = \rho_d^i + c(\delta_k^i - \delta^i) - I_k^i + \Delta\rho_k^i + \lambda_f N_{r_{2d}}^i$$

## 程序

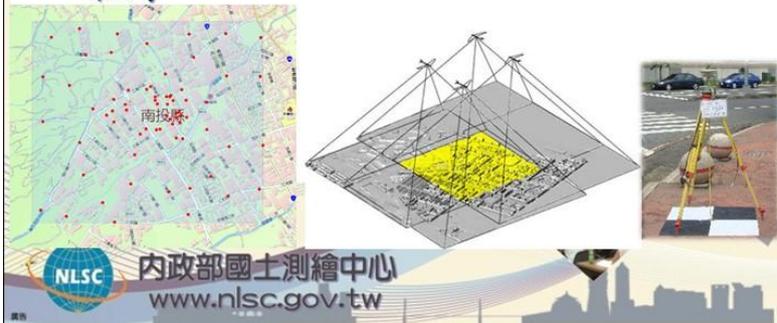


圖 3-10 校正系統說明海報

### (一) 航空測量攝影機校正航拍須知

校正航拍前，顧客應參考本須知設計航線，請按下述原則進行規劃：

1. 航線設計以南北向、東西向為原則，須有交叉航線航拍。
2. 航高 1,000 m 為原則，航拍影像地面像素解析度原則介於 0.06 m~0.1 m 間。
3. 原則有 1 航線接近或 2 航線對稱於校正場中軸線（南北及東西向中央航線，航線編號並請編為 1 及 2）。
4. 航線縱向（前後）及左右（側向）重疊至少分別 80% 及 60%。
5. 影像涵蓋校正場區域不得有雲霧遮蔽、或模糊之情形，導致無法用於空中三角測量。

於收受顧客校正航拍成果時，將依「導航紀錄表」及「校正航拍影像檢核紀錄表」記載辦理審核，確認航拍相關成果是否符合校正需求。

6. 導航紀錄至少包含航空公司與載具型號、攝影機型號、作業人員、天候、航拍日期、GSD、比例尺、各航線之航線編號、片號、數量、作業時間、航高、航速、航向及前後重疊等。請至測量儀器校正實驗室服務網（網址：<http://sicl.nlsc.gov.tw/Download>）下載(7)~(10)項參考。
7. 校正場範圍檔
8. 航拍參數資料檔
9. 航線圖範例檔
10. 導航輔助資料範例檔

## (二) 校正報告實例

本案完成校正報告設計，包括報告規格與報告內容，如附件三所

示。本案輔導國土測繪中心，完成國內第一件實驗室認證前航空測量攝影機校正報告，攝影飛航日期為民國104年6月24日，儀器廠牌型號為Vexcel Imaging GmbH / UltraCamXp-wa，校正結果為幾何校正在平面及高程方向器差值，及校正成果的擴充不確定度。

本案期末審查委員建議校正報告格式宜列出控制點分布圖於報告中，本文圖3-4展示校正場控制點分布圖，校正報告格式修正，建議宜在文件改版時機，納入圖3-4以利讀者閱讀報告。

### 1. 報告首頁內容

首頁內容包含：(1)校正項目、(2)校正日期、(3)報告編號、(4)儀器名稱、(5)廠牌型號、(6)儀器序號、(7)送校單位、(8)送校單位地址。

### 2. 校正結果

校正結果內容包含縱橫坐標器差值與擴充不確定度，高程方向器差與擴充不確定度。

航空攝影飛航參數的說明，內容有：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 (m)。

空中三角平差使用相關參數的說明，內容有：攝影機序號、焦距 (m)、像主點坐標 (mm)、鏡頭畸變差參數、像元大小 ( $\mu\text{m}$ )、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)、校正標作為控制點數量 (點)、校正標作為檢核點數量 (點)。

### 3. 校正說明

校正說明內容含：校正日期與地點、校正方法、校正用工作標準件、擴充不確定度。



## 肆、辦理規範檢討修訂

清查國內以航測影像製圖之作業規範或作業手冊，並檢討提出納入航空測量攝影機校正相關規定草案內容。

(一) 清查航測製圖之作業規範或作業手冊。

工作步驟一，清查航測製圖之作業規範或作業手冊，藉由電話訪談方式，諮詢縣市政府、都市發展局(城鄉發展局)，訪查出辦理航測地形圖測製業務承辦人員姓名，經由電話訪談承辦人，了解所採用的航測製圖之作業規範或作業手冊。

訪談時間與受訪人電話及結果如表4-1所示，縣市政府大都無自訂航測製圖作業規範或作業手冊，都採用內政部頒發文件「建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊」，辦理航測製圖勞務委託。清查結果顯示，納入航空測量攝影機校正相關規定，宜優先建議修訂內政部頒發文件「建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊」、國土測繪中心頒定「基本圖測製說明」、「通用版電子地圖測製更新作業說明」。

表 4-1 清查航測製圖之作業規範或作業手冊

項次	縣市政府	受訪人	訪談時間	訪談紀錄
1	台北市政府	02-23212186#2403 陳先生	104.04.02 11:16	無自訂法規
2	新北市政府	02-29603456 廖先生	104.04.02 11:05	無自訂法規
3	基隆市政府	02-24201122# 羅先生	104.04.02 11:23	無自訂法規
4	桃園市政府	03-322101#5312 陳先生	104.04.14 10:14	無自訂法規
5	新竹縣政府	03-5518101#3342 呂先生	104.04.14 11:10	無自訂法規
6	新竹市政府	03-5216121 吳先生	104.04.14 11:08	無自訂法規
7	苗栗縣政府	03-7322150 郭先生	104.04.14 11:06	無自訂法規
8	台中市政府	04-22289111#63150 李先生	104.04.14 11:13	無自訂法規

項次	縣市政府	受訪人	訪談時間	訪談紀錄
9	彰化縣政府	04-7222151 林先生	104.04.14 11:02	無自訂法規
10	南投縣政府	04-92222106#1961 蕭先生	104.04.02 11:35	無自訂法規
11	雲林縣政府	05-5522690 蔡小姐	104.04.14 10:04	無自訂法規
12	嘉義縣政府	05-3620123 邱先生	104.04.02 10:43	無自訂法規
13	嘉義市政府	05-2246501 陳先生	104.04.14 11:03	無自訂法規
14	台南市政府	06-3901520 鄭先生	104.04.14 10:06	無自訂法規
15	高雄市政府	07-8368333#2568 黃先生	101.04.14 10:11	無自訂法規
16	屏東縣政府	08-7320415 王先生	104.04.14 15:17	無自訂法規
17	宜蘭縣政府	03-9251000 劉先生	104.04.02 11:20	無自訂法規
18	花蓮縣政府	03-8332351 洪小姐	104.04.02 11:31	無自訂法規
19	台東縣政府	08-9326141 王先生	104.04.02 11:27	無自訂法規
20	澎湖縣政府	06-9274400 張先生	104.04.14 10:55	無自訂法規

## (二) 修訂納入航空攝影機校正報告內容草案

草案內容如下：

### 1. 航空測量攝影機校正報告

航空測量所使用之航空測量攝影機，應依實施計畫之校正項目及週期辦理校正。

前項校正應由國家度量衡標準實驗室或簽署國際實驗室認證聯盟相互承認協議 (ILAC MRA) 之認證機構所授權認可實驗室為之，並出具附有ILAC MRA實驗室組合標記之校正報告。

## 伍、發展中像幅攝影機及 UAS 影像校正作業

中像幅攝影機及UAS影像校正作業是以航空測量攝影機校正系統為基礎，以沿用航空測量攝影機校正場及場內校正標為原則，擴建校正能量。建置工作流程包括：(1)校正場設施及相關校正設計；(2)航拍攝影規劃；(3)校正標坐標標準值量測系統；(4)校正程序與標準分析，4個工作項次完成校正能量的設計。

### 一、中像幅攝影機系統與 UAS 影像

本章說明中像幅攝影機及UAS影像校正作業，首先說明攝影機之間在硬體的差異，UAS影像為以無人飛行載具系統使用非量測型小像機航拍，本文稱為UAS影像。中像幅攝影機系統屬於量測型攝影機，中像幅攝影機多為與LiDAR同時掛載使用的像機，中像幅攝影機系統目前發展快速廣為應用，有很大的因素是因伴隨著空載光達系統同時進行資料獲取，整合成為空載光達系統的影像子系統。中像幅攝影機系統特色在於儀器價位低、低用電量、儀器輕巧，相對於航空測量攝影機而言，二者有很多不同的使用領域，諸如在小範圍調查領域、災害快速調查、廊道式製圖工作等應用，使用中像幅攝影機系統作業經費低、可使用低廉航空載具或無人機，中像幅攝影機系統有很多可擴展的應用層面。攝影機之間的差異可參考表5-1，非量測型小像機價格(約3千美金)遠低於航測攝影機價格(超過百萬美金)，很容易區別不易混淆。如何分辨是屬於中像幅攝影機或者是與航測攝影機，表5-2列出國內6款中像幅攝影機，這6款像機宜採用中像幅攝影機校正系統流程作業，航測攝影機的辨識方式，1.價格高(超過百萬美金)、2.航測攝影機多為多鏡頭組合、3.並且感測器元件的像元數目超過一億像素。李佩珊等(2014)整理說明目前國內中像幅攝影機具之現況，目前在台使用中之Trimble、IGI、Optech、Phase One等廠牌所產製之6型攝影機列於表5-2，均具有原廠率定報告，如果再經過校正證明其內方

位穩定，則均屬於量測型攝影機，可以執行航空攝影測量業務。

表 5-1 UAS 影像系統、中像幅攝影機與航測攝影機差異

	非量測型小像機	中像幅攝影機	航測攝影機
鏡頭	單鏡頭	單鏡頭	多鏡頭組合
可換/固定鏡頭	可換鏡頭	可換鏡頭	固定鏡頭
影像像元數目	~39 MegaPixel	~76 MegaPixel (Phase One IXA180)	~136 MegaPixel
像移補償	na	機械式	TDI
GPS、INS	DGPS、GPS/L1	RTK GPS 定位<0.1 m IMU < 0.01”	RTK GPS 定位<0.1 m IMU < 0.01”
價位	< US\$ 3,000	低價	高價
重量	輕	輕	重
耗電	低	低	高

表 5-2 國內中像幅攝影機型號

項次	廠牌	型號
1	Trimble	P25
2	Trimble	P45+
3	Trimble	P65+
4	IGI	DigiCAM-50M
5	Phase One	iXA 180
6	Optech	DiMAC UltraLight

## 二、中像幅攝影機校正場設施及相關校正設計

### (一)校正場尺寸與校正標數量

攝影機校正場位於南投市南崗工業區場址，校正場設計已經規劃

具備多重解析度/多元感測器共用的校正場，校正場長邊約2 km，短邊約1.75 km。

校正場尺寸需進行調整，中像幅攝影機校正，緣由攝影機片幅約為航測攝影機片幅1/4，同樣的校正條件下，像片數量需超過航測攝影機4倍以上，校正工作量亦增加好幾倍份量，實務上考量，片幅小的中像幅攝影機宜調整校正場範圍，調整如圖5-1場地內小型矩形校正場，小型校正場長邊約1 km，短邊約0.9 km，可供中像幅攝影機或是低空飛行(GSD數值小者)之校正用。目前地面校正標分布密度可約達到空中三角測量2-4基線有分布校正標，小校正場校正標規劃配置超過50個，大校正場校正標同樣約超過50個。



### 三、中像幅攝影機航拍設計

中像幅攝影機航拍設計，按下述原則進行航拍規劃：

1. 航線設計以南北向、東西向為原則，須有交叉航線航拍。
2. 航高 900 m~1000 m 為原則，航拍影像地面像素解析度 0.08 m 為原則，限於實際作業考量與攝影機焦距的差異性，中像幅攝影機限於機身精密性弱於航測攝影機，校正分析需求上需取得更清晰的影像，航拍影像審查要求地面像素解析度調整為介於 0.05 m~0.10 m 間。
3. 原則有 1 航線接近或 2 航線對稱於校正場中軸線（南北及東西向中央航線，航線編號並請編為 1 及 2）。
4. 航線縱向（前後）及左右（側向）重疊至少分別 80% 及 60%。
5. 影像涵蓋校正場區域不得有雲霧遮蔽、或模糊之情形，導致無法用於空中三角測量。

於收受顧客校正航拍成果時，中像幅攝影機航拍循照航測攝影機航拍品質紀錄，將依「導航紀錄表」及「校正航拍影像檢核紀錄表」記載辦理審核，確認航拍相關成果是否符合校正需求。

6. 導航紀錄至少包含航空公司與載具型號、攝影機型號、作業人員、天候、航拍日期、GSD、比例尺、各航線之航線編號、片號、數量、作業時間、航高、航速、航向及前後重疊等。請至測量儀器校正實驗室服務網（網址：<http://sic1.nlsc.gov.tw/Download>）下載 (7)~(10)項參考。
7. 校正場範圍檔
8. 航拍參數資料檔
9. 航線圖範例檔
10. 導航輔助資料範例檔

## 四、中像幅攝影機校正項目與量測範圍

### (一)校正項目

中像幅攝影機校正項目原理同航空測量攝影機，校正項目為：「中像幅攝影機(系統)」或「中像幅攝影機(系統)幾何校正」。

### (二)量測範圍

量測範圍：「航拍影像地面像素解析度介於 (0.05 to 0.1) m，航拍絕對航高> 800 m校正場」。

以幾何校正標作為地面檢核點，目的為量測幾何校正標在地表(物空間)坐標為參考值，與由影像(像空間)推算所得位置(量測值)二者之間進行比對(得到器差值)，透過此差量作為幾何精度的指標，來判斷儀器定位之能力。

### (三)校正流程

校正流程如下圖所示，建議直接參考「航空測量攝影機校正流程」無需調整。

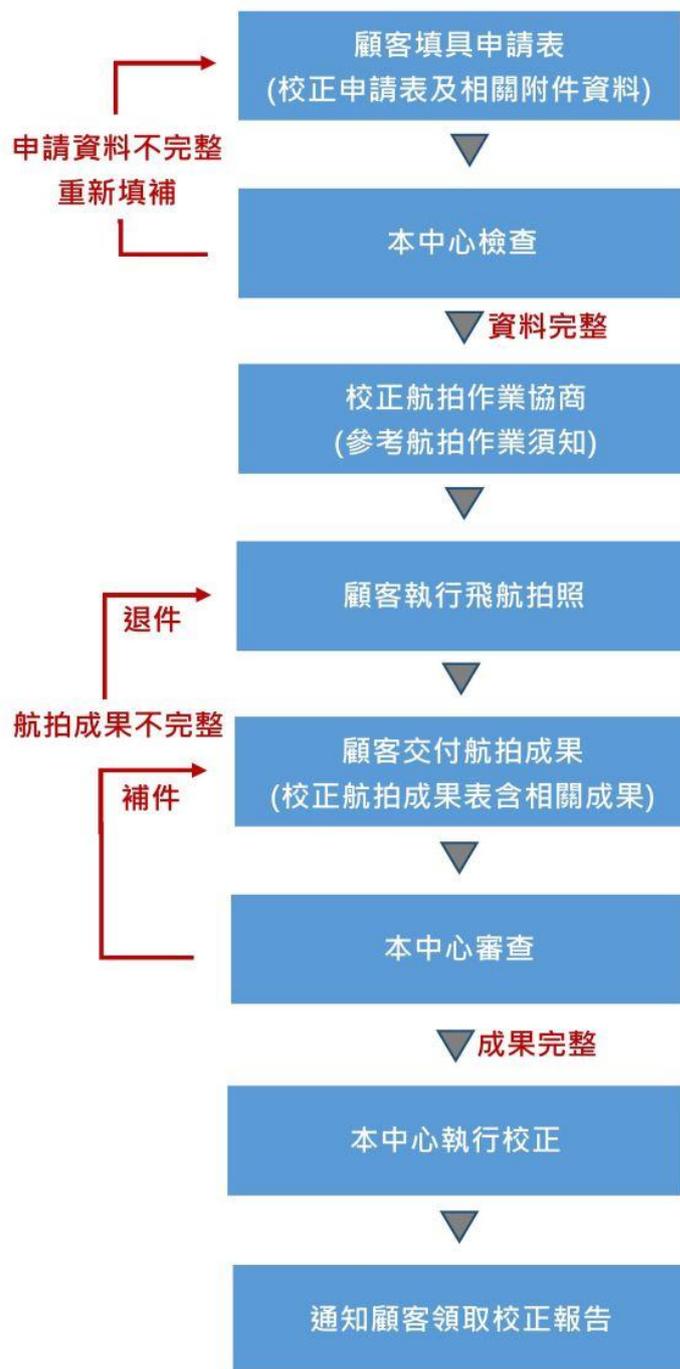


圖 5-2 中像幅攝影機校正作業流程

## 五、校正標坐標參考值量測

校正標坐標參考值量測，仍以航空測量攝影機校正系統為基礎，沿用航空測量攝影機校正系統校正標量測方法與分析方法為原則，採用GNSS衛星定位儀量測技術，測量校正標大地坐標，作為校正用參考值。

## 六、校正標像坐標量測

### (一)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。

### (二)連結點匹配

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。

### (三)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 0.01 m 及高程中誤差約 0.02 m，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，是否仍於 9 個標準

點位，皆有 9 重光束連結點位與鄰片相連結，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，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。校正標之坐標較差在可接受範圍內，則再次進行空中三角平差計算，至平差報表內的後驗權單位中誤差 ( $\sigma_0$ ) 小於 1/2 像元，始完成校正標初步查核。

#### (五)空中三角平差

1. 關於控制點分布，考慮中像幅攝影機的精密特性與航測攝影機有所差異，調整控制點為在校正場布設 9 個校正標全控制點，校正場四邊四角落平均分布 8 個校正標全控制點及校正場中央佈設 1 個校正標全控制點，作為平差計算控制點(配賦權值中誤差為 0.001 m)，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. 平差計算後獲得影像坐標量測值，校正用量測值是非控制用校正標之投影坐標。

## 七、中像幅攝影機校正標準分析實例

### (一)中像幅攝影機航拍成果

赴校正場拍攝的中像幅攝影機影像包括銓華國土測繪公司民國102年6月22日AIC Pro(P65+)攝影機影像、航拍影像基本資料如表5-3。

表 5-3 中像幅攝影機影像航拍成果

攝影機分類	日期	攝影機	絕對航高	GSD
中像幅	102/6/22	AIC Pro (P65+)	1000 m	0.108 m

### (二)中像幅影像 AIC Pro(P65+) 分析

中像幅影像AIC Pro(P65+)飛航基本資料如表5-4。依據校正流程：  
1.校正標像坐標量測：量測像片174張；2.連結點匹配：匹配後觀測量44082點；3.粗差偵測：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，查核(Im. Blunders = 0)。4.空三平差：地面控制點調整後採用9點全控制點，平差後的後驗權單位中誤差 ( $\sigma_0$ ) 為2.4  $\mu\text{m}$ 。

由空三平差報表，像坐標量測定位重複性估計，由報表像坐標(SigX、SigY、SigZ欄位計算RMSE數值)，標準不確定度估計平面為0.071 m，高程方向0.11 m，校正件儀器精度規格由地面像素解析度估計為0.108 m，依據航測攝影機校正系統評估報告不確定度計算程序，計算擴充不確定度，平面方向涵蓋因子(k=2.03)，高程方向(k=2.01)，

相對應為95 %信賴水準，擴充不確定度在平面方向150 mm，高程方向230 mm。

由器差值進行統計，計算器差值的直方圖如圖5-3~圖5-5。分析結果以校正報告方式呈現，列於附件三。

表 5-4 中像幅影像 AIC Pro(P65+)飛航基本資料

攝影比例尺	1/18078
飛航絕對高度(m)	1100 m
兩相鄰航線間距 (m)	308 m
像片前後重疊率(%) (Over-lap)	60 %
像片側向重疊率(%) (Side-lap)	30 %
航線總數量(條)	10
南北向單一航線的像片總數量(片)	29
東西向單一航線的像片總數量(片)	25
地面像素解析度 GSD (m)	0.108 m
攝影機序號	200912xx
焦距 (m)	0.060846 m
像主點坐標 (mm)	X:0.0274 Y:0.124
像元大小(μm)	6.0 μm
感測器像元數量 (pixels)	8984/6732
Along track/ Cross track	

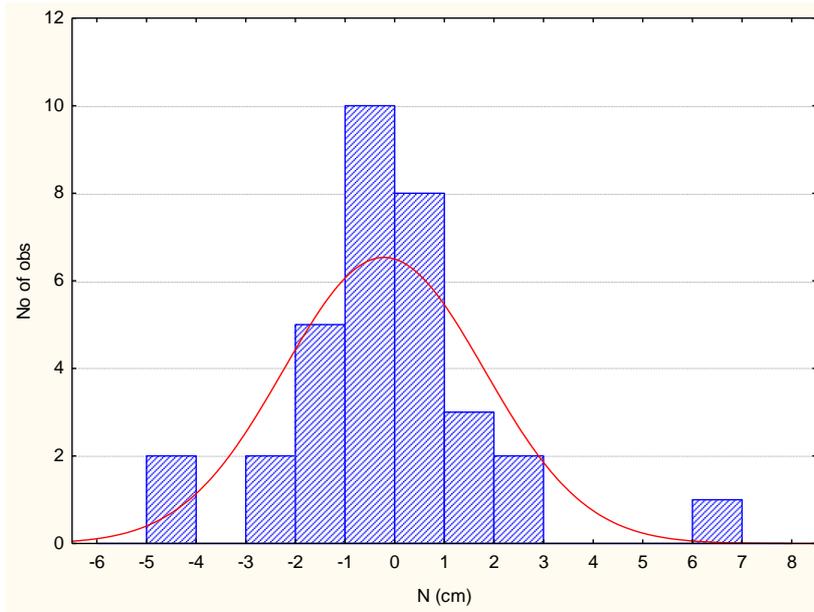


圖 5-3 AIC Pro(P65+)器差值在 N 方向直方圖

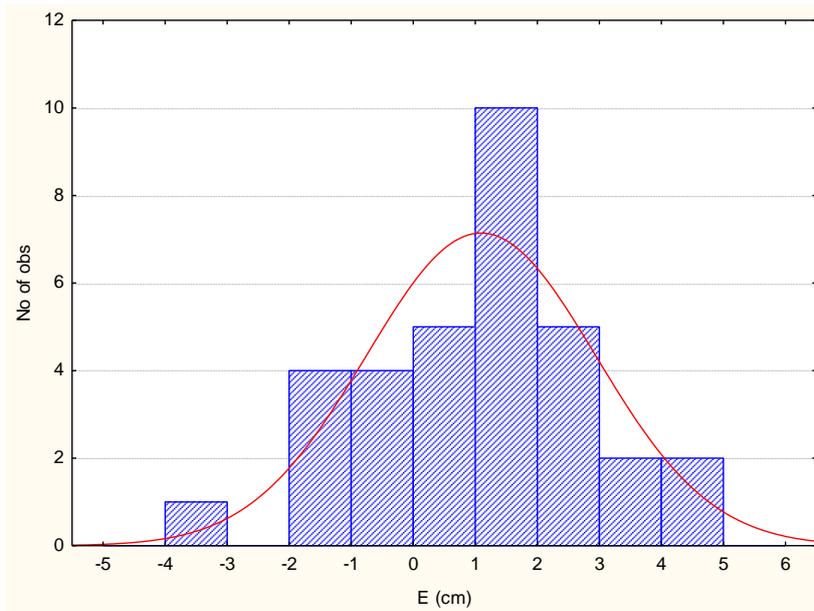


圖 5-4 AIC Pro(P65+)器差值在 E 方向直方圖

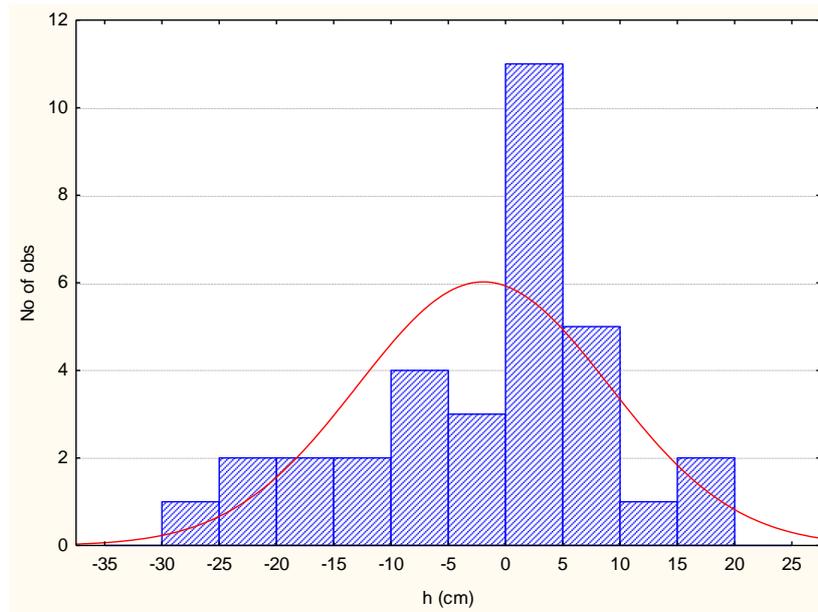


圖 5-5AIC Pro(P65+)器差值在 h 方向直方圖

## 八、中像幅攝影機校正發展規劃與期程

中像幅攝影機校正作業，本年度完成校正場等設施確認、航拍設計、校正項目與流程確認，符合校正實驗室要求，本年度並實做一份中像幅攝影機校正報告，中像幅攝影機校正作業認證，已經有初步成果，具體可行。

中像幅攝影機精密性與航測攝影機有所差異，校正件攝影機必須提交原廠內方位率定報告，待校攝影機型號規格為量測型攝影機，再經過校正過程證明其內方位穩定，這樣過程已經達成儀器品質確認目的。攝影機幾何特性的差異之處建議由定期校正報告佐證，中像幅攝影機建議校正週期為1年，藉由定期校正，校正報告可以佐證中像幅攝影機是否穩定。至於哪些中像幅攝影機型號是否適合製圖要求，建議由完成的歷年校正報告研判，不宜主觀判定造成排擠效應。

「中像幅攝影機系統」校正系統發展期程如下：

### (一) 105 年工作項目

1. 建議辦理中像幅攝影機校正標加密

2. 建議辦理建置中像幅攝影機系統校正作業程序書、校正件量測不確定估計、中像幅攝影機系統不確定度評估報告。
3. 因應校正能量增項，建議辦理調整相關品質文件。
4. 建議辦理辦理量測稽核活動、協助模擬評鑑。
5. 建議辦理「中像幅攝影機系統」校正系統認證工作與運作管理能量建置。

## (二) 106 年工作項目

1. 辦理「中像幅攝影機校正系統」暨第 2 次航遙測感應器校正系統推廣說明會。
2. 「中像幅攝影機校正系統」校正服務，提供校正技術與實驗室運轉諮詢。

## 九、UAS 影像分析

無人飛行載具系統(Unmanned Aircraft System)搭載小像幅攝影機系統，本文稱為UAS影像。UAS影像作業考量上，設備體積小、設備相對低廉、飛航相對機動，適合小範圍機動性調查測繪應用，隨著相關導航設備微型化與無人飛行載具系統快速發展，UAS影像調查作業方式深具發展潛力。緣由於UAS影像攝影機多採用非量測性小像幅攝影機，攝影機的精密性與內方位參數穩定性並不符合製圖的考量，是否能藉由攝影機校正確認非量測性小像幅攝影機在製圖領域的品質，仍是一項重要課題。

### (一)非量測性小像幅攝影機

小像幅攝影機因為設備相對低廉，機身的精密性和航測攝影機製造精密性有落差，在飛行載具降落碰撞等操作環境，對於精密儀器是屬於嚴苛的條件，這樣嚴苛操作環境對於小像幅攝影機的機身精密性可能是挑戰，無法確保內方位參數穩定，製圖影像與製圖精度的穩定性仍有疑慮。

### (二)小像幅攝影機內方位參數

非量測性攝影機設計製造並無考量到製圖應用，沒有提供內方位參數資訊，本文試驗UAS影像是民國102年，應用Canon EOS 5D2 Mark II由經緯航太公司拍攝，攝影機內方位參數參考國土測繪中心(2013)，經緯航太公司在室內校正場率定攝影機，設計一可旋轉的圓盤率定架，其上均勻佈置了不同高度的木柱與Australis 編碼過之人造標，拍攝時每旋轉圓盤 $30^{\circ}$ ~ $45^{\circ}$ ，拍攝兩張相片，一張正拍，一張旋轉攝影機 $90^{\circ}$ 以避免參數間之高相關性。經過此種拍攝程序後，其效果如同環繞此圓盤四周以交會式拍攝的效果，產生三度空間的率定場，藉此率定焦距，內方位參數列於表5-7。

表 5-7 Cannon EOS 5D2 Mark II 內方位參數

Principal distance	c = 0.0206478 m
Principal point offset in x-image coordinate	x <sub>p</sub> = -0.0819 mm
Principal point offset in y-image coordinate	y <sub>p</sub> = -0.0792 mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 2.38021e-04
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -4.75072e-07
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 5.80760e-11
Coefficient of decentering distortion	P1 = 1.0121e-05
Coefficient of decentering distortion	P2 = 2.7671e-06

### (三) UAS 影像，攝影機 Cannon EOS 5D2 Mark II 分析

UAS 影像航拍時使用焦距約 20 mm 的 Canon EOS5DII 數位攝影機。航拍日期民國 102 年 7 月 31 日。航高設定 650 公尺，航拍影像成果前後重疊率約 80%，左右重疊率約 40%，此區資料共使用 13 條航帶。GSD 分布約 0.15~0.20 m。飛航基本資料整理於表 5-8。

表 5-8 102 年航拍 UAS 影像，飛航基本資料

攝影比例尺	1/32500
飛航絕對高度(m)	650 m
兩相鄰航線間距 (m)	700 m
像片前後重疊率(%) (Over-lap)	80 %
像片側向重疊率(%) (Side-lap)	40 %
航線總數量(條)	13
地面像素解析度 GSD (m)	0.15 m
攝影機序號	-
焦距 (m)	0.0206478 m
像主點坐標 (mm)	X:-0.0819 Y:-0.0792
像元大小(μm)	6.4 μm
感測器像元數量 (pixels)	3744/5616
Along track/ Cross track	

UAS影像的校正標像坐標量測程序採用與中像幅攝影機校正流程相同步驟：1.量測像坐標；2.連結點匹配：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；3.粗差偵測：最小約制平差，進行空中三角初步平差計算並偵測剔除粗差；4.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；5.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，皆有9重光束連結點位與鄰片相連結，否則補足之。

由36個校正標檢核點，統計計算分析器差值，成果如表5-9所示，分析結果，RMSE在平面為0.15 m，RMSE在高程為0.42 m。計算器差值的直方圖如圖5-6~圖5-8，器差值大小分佈近似常態分布。

表 5-9 UAS 影像，器差值統計分析

統計量	N 方向 (m)	E 方向 (m)	h 方向 (m)
檢核點數	36	36	36
RMSE	0.14	0.15	0.42
MAE	0.10	0.11	0.39
Mean Error	0.024	0.019	-0.17
Std Dev	0.32	0.42	0.39
Min	-0.07	-0.086	-0.35
Max	0.077	0.093	0.077

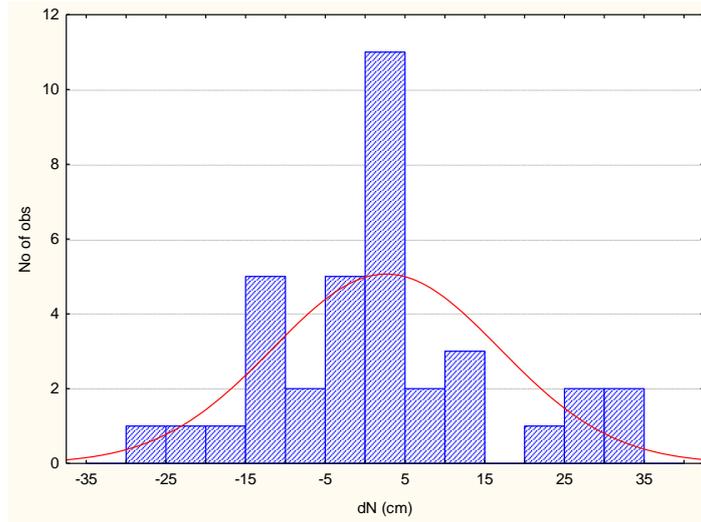


圖 5-6 UAS 影像分析，器差值在 N 方向直方圖

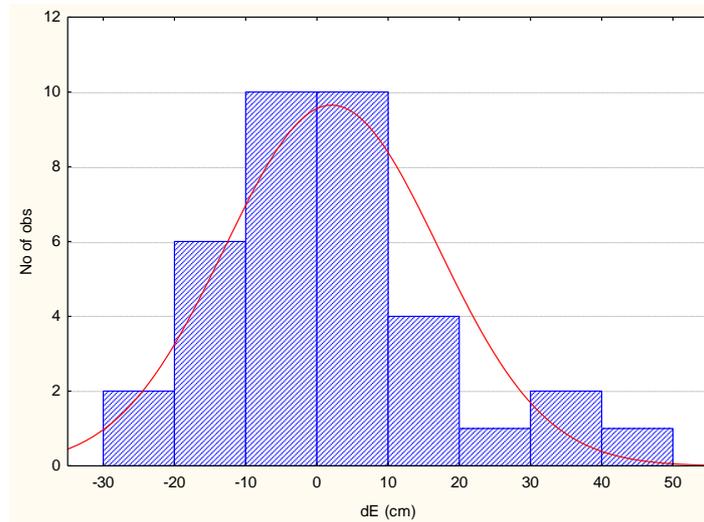


圖 5-7 UAS 影像分析，器差值在 E 方向直方圖

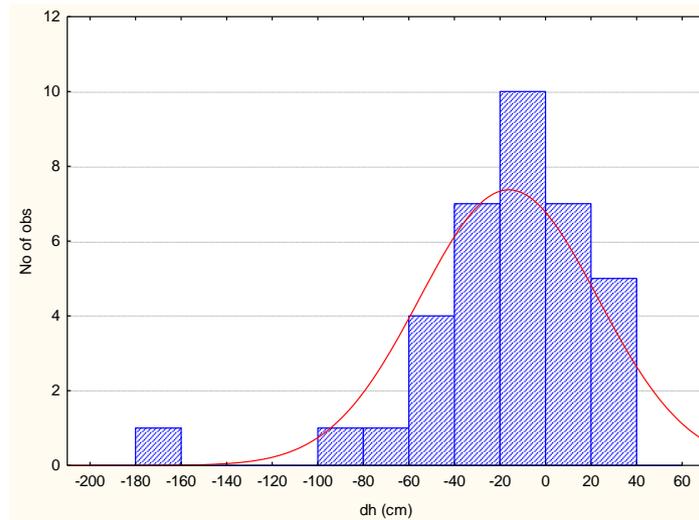


圖 5-8 UAS 影像分析，器差值在 h 方向直方圖

UAS 搭載小像幅攝影機，本節應用中像幅影像校正流程有初步分析結果，但需要考慮非量測性攝影機機身的精密性無法確保內方位參數穩定，實際作業時飛行載具降落碰撞等操作環境非常嚴苛，非量測性攝影機在實際作業時的攝影機幾何條件和在校正場進行校正分析時，無法確保有相似條件，校正分析成果是否能成為品質確認的一環仍值得進一步探究。

#### (四) UAS 影像分析發展規劃與期程

##### 1. 105 年工作項目

- (1) 持續試作 UAS 影像分析。
- (2) 應用 UAS 搭載中像幅攝影機系統航拍，分析校正作業。

##### 2. 106 年工作項目

- (1) 建置 UAS 影像校正作業程序書、校正件量測不確定估計、UAS 影像校正系統不確定度評估報告。
- (2) 因應校正能量增項，調整相關品質文件。
- (3) 辦理量測稽核活動、協助模擬評鑑。
- (4) 「UAS 影像校正」系統認證工作與運作管理能量建置。

## 陸、建立空載光達校正作業

空載光達校正方式，銜接100至103年度工作成果，本章參考國際空載光達相關技術發展，規劃光達校正標型，年度並完成光達測試分析有初步成果，考量空載光達校正原理與方法，本章就光達校正提出校正標準值追溯與作業流程等校正實驗室要求，設計空載光達校正能量建置的步驟。

關於設置空載光達校正場，歷經多次會議討論確認，並經赴現場勘查，規劃與航空測量攝影機校正場共用是具體可行，便利於國土測繪中心後續管理維護作業。本作業建議空載光達校正場依據航空測量攝影機校正場進行擴充，增設光達校正標功能。

### 一、空載光達系統相關技術說明

空載光達系統(Airborne Lidar System)校正目地，如同航空測量攝影機校正系統，主要目的(1)藉由校正實驗室評估系統的量測精度；(2)藉由校正活動，監控儀器系統硬體效能或進而改善並減弱儀器的系統性誤差。

#### (一)空載光達系統機具

國內現有空載光達機具參考李佩珊等(2014)整理規格如表6-1所列。依據表6-1規格，不同機具在考慮飛航任務設計時，雷射脈衝率、掃描頻率對點密度及其分佈、飛行器飛航速度、飛航高度、視場角等綜合考量做航線規劃。

表 6-1 空載光達機具規格(李佩珊等 2014)

掃描儀 規格	Optech		Leica			Riegl
	ALTM3070	Pegasus	ALS50	ALS60	ALS70	LMS-Q680i
雷射波長	1064nm	1064nm	1064nm	1064nm	1064nm	1550nm
雷射脈衝率	33~70kHz	100~400k Hz	~83kHz	~200kHz	20~500kHz	80~240kHz
操作高度 (AGL)	200~3000m	200~2500 m	200~4000m	200~5000m	200~3500m	30~3000m
掃描方式	震盪式反射鏡 z-shaped	震盪式反射 鏡, z-shaped	震盪式反射鏡 z-shaped	震盪式反射鏡	震盪式反射鏡 Sin, Triangle, Raster	旋轉多邊角鏡
掃描頻率	0~70Hz	0~140Hz	70Hz	100Hz	0~200Hz	0~200Hz
最大掃描角 度(FOV)	50 °	60 °	75 °	75 °	75 °	60 °

## (二)空載光達系統定位精度評估方法

空載光達系統的校正方法，不同於其他航測感測器，空載光達量測值為點雲(Point Cloud)，分析方法須將點雲萃取出特徵點、特徵線，方能進一步與校正的參考值比對分析。空載光達定位精度測試分析的方法，參考國際實例包括Csanyi & Toth (2007)，執行美國交通部門研究案所設計大形空載光達標地面標，Canovosio-Zuzeiski 等(2013)，設計六角形光達地面標。Toth 等(2008)，利用地面道路鋪面，道路上交通標誌反射成像在空載光達點雲資料，進行比對分析。

其他形式的校正標方案，如本案100至103年度前期研究工作成果

(國土測繪中心，102年)，利用航空測量成果，量測航測模型平屋頂高度，比對光達點雲高程，並以屋頂航測模型量得幾何重心點，評估比對光達點雲平面精度。



圖 6-1 Csanyi & Toth (2007)設計光達校正標



圖 6-2 Toth 等(2008)利用道路標線評估光達幾何精度

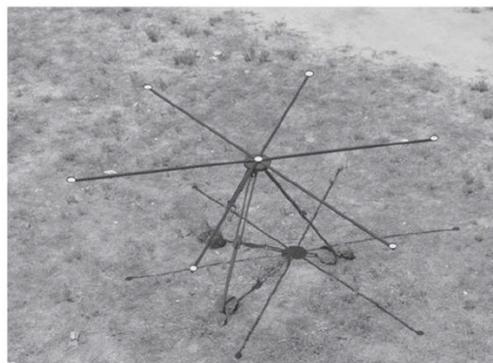


圖 6-3 Canovosio-Zuzeiski 等(2013)，設計六角形光達地面標

上述的不同的光達校正標型，參考值與光達點雲量測值的量測方式有不同特性，光達點雲量測方法大約分別為：

1. 在點雲量測光達標(設計標誌)；
2. 在點雲量測地物點特徵(如轉角)；
3. 利用反射強度影像，量測原理近似量正射影像平面坐標。

參考值的量測方法則分為地面測量與航測量測方法。光達點雲量測方法與參考值量測方法的組合，案例比如1. Csanyi & Toth (2007)、Canovosio-Zuzeiski 等(2013)，設計的光達校正標可以用地面測量方式量參考值；2. Toth 等(2008)，利用地面道路鋪面，道路上交通標誌反射成像在空載光達點雲資料，進一步製做成光達反射強度影像。參考值則是採用地面測量方法測量交通標誌坐標。

關於本節空載光達文獻回顧，光達標型方案的適用性，Csanyi & Toth (2007) 大形空載光達地面標，尺寸相當龐大，實際製作有困難，Canovosio-Zuzeiski 等(2013)設計的六角形光達地面標，佔地面積大，標型造價高，宜設計成臨時性架設方案，臨時性架設方案在使用上機動性低，配合掃描時機進行機動架設，人力架設成本極高。Toth 等(2008)方法，利用地面道路鋪面現成的交通標誌，因為設施經費低，場地現制小，值得進一步試驗改良設計，光達標型方案適宜性整理於表6-3。

表 6-3 空載光達文獻，校正標適用性分析

光達標型方案	設施經費	場地限制
Csanyi & Toth (2007) 大形空載光達地面標	每個標型 NT\$1 萬	尺寸相當龐大，實際製作有困難，永久性標，佔地面積大限制多
Canovosio-Zuzeiski 等 (2013) 六角形光達地面標	每個標型 NT\$2.5 萬	佔地面積大，標型造價高，宜設計臨時性架設方案，機動性低

Toth 等(2008) 地面道路鋪面現成交通 標誌	標型利用現成交通標誌	可以進一步改良設計， 設施經費低，場地現制 小
----------------------------------	------------	-------------------------------

## 二、空載光達系統校正場設施及校正標設計

關於評估光達點雲的量測精度，校正項目是整體儀器系統的定位精度，暨光達儀器系統定位的物空間量測點坐標比對參考值的坐標。校正件是空載光達系統的儀器整體系統，包括光達感測器、GNSS、IMU整體量測精度。

### (一)空載光達校正場與既有設施適宜性

空載光達系統校正場址建議和航空測量攝影機校正場址共用，評選規格非常近似，維護規格與維護項目近似，所以可以共用場。利用既有航空測量攝影機校正場，可適用於光達校正標包括有1. 既有航空測量校正標；2.校正場內造型單純的平屋頂或斜屋頂構成校正標。

1. 既有航空測量校正標，納入光達系統校正單元，評估高程及平面方向定位精度。
2. 校正場內造型單純的平屋頂或斜屋頂，藉由航空測量攝影機校正，由航測模型量測造型單純的平屋頂或斜屋頂，量測幾何重心點與屋頂高程值。

### (二)空載光達校正標設計

本節進一步討論光達校正標的適用性。雖然光達地面標誌(本文稱為光達校正標)的設計有所不同，光達校正標設計目地與需求規格，需要達成的效能如下述：

1. 在近紅外波段具有高反射率；

2. 評估包括 3 維度坐標(平面及高程)；
3. 校正方法採用設計型標誌(Signalized)，平面位置的定義比較明確，反之，若採用地物特徵結構體為光達校正標，比如房屋的屋角轉角點，平面位置的定義相對比較不明確。光達點雲數據表現在屋角，平面位置並不是很銳利的直角而不容易定義出平面位置，點雲量測的方法，在定義不明確的位置，則方法需進一步提出確認與證明。
4. 光達校正標設計，標型具有抬高特性(校正標高度與背景地面有高差)，這樣設計可以自動化萃取標誌內反射的點雲，也就是自動化分類出標誌內反射點雲以及標誌外反射點雲；
5. 光達校正標設計與能反射到的點雲密度有關係，小尺寸的校正標型式需求高密度點雲，關於校正所需求的點雲密度初步約定為密度 25 點/m<sup>2</sup>。

空載光達系統的量測成果為點雲，性質不同於航測數位影像，量測成果的產品為數值高程模型及相關性產品。用地面測量查核評估光達產品，諸如光達所生產的數值高程模型，僅就高程方向評估精度，查核的程序在測繪業界評估檢核光達高程模型，已經是成熟的步驟。

關於光達系統校正能量的發展，優先考慮既有校正能量的可用資源，航空測量攝影機校正場有 50 個航測校正標，校正標參考值已經完成校正追溯特性確認、不確定度評估、品保方案監控等實驗室活動維持參考值數據，航測校正標透空度佳，多數為平坦人行道面或道路鋪面，校正標幾公尺內無濃密植被，航測校正標很適合改良成光達校正標，雖然未盡能達成上述 5 點光達校正標的使用需求，仍不失為可行方案。

若考慮直接用航測校正標做為光達校正標，可進一步設計校正程序，包括 1. 雲點標準處理程序；2. 校正標自動化確認程序(比如被汽車遮蔽雲點數據，排除部分校正標比對)，3. 由校正標高程參考值，直接

比對光達數值高程模型高程，等步驟完成定位精度比對的步驟。

利用航空測量攝影機校正能量既有設施進行擴充，針對空載光達系統定位的高程方向進行校正項目評估，是直接可行方案之一。

### 三、空載光達系統，飛航設計

關於光達掃描校正飛行方式，建議飛9條航帶，如下圖所示，7條絕對航高800 m，第1、2條為一組且對向飛行，第二組為第3、4條航帶且為對向飛行，第三組為第5、6條航帶且為對向飛行。第二組的2條航帶位於校正場中軸線。三組航帶彼此重疊50%。第7條航帶為東西向掃描。第8、9條航帶以東西南北交叉飛航，絕對航高1600 m。對向飛行可以偵測光達系統角度誤差源，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。

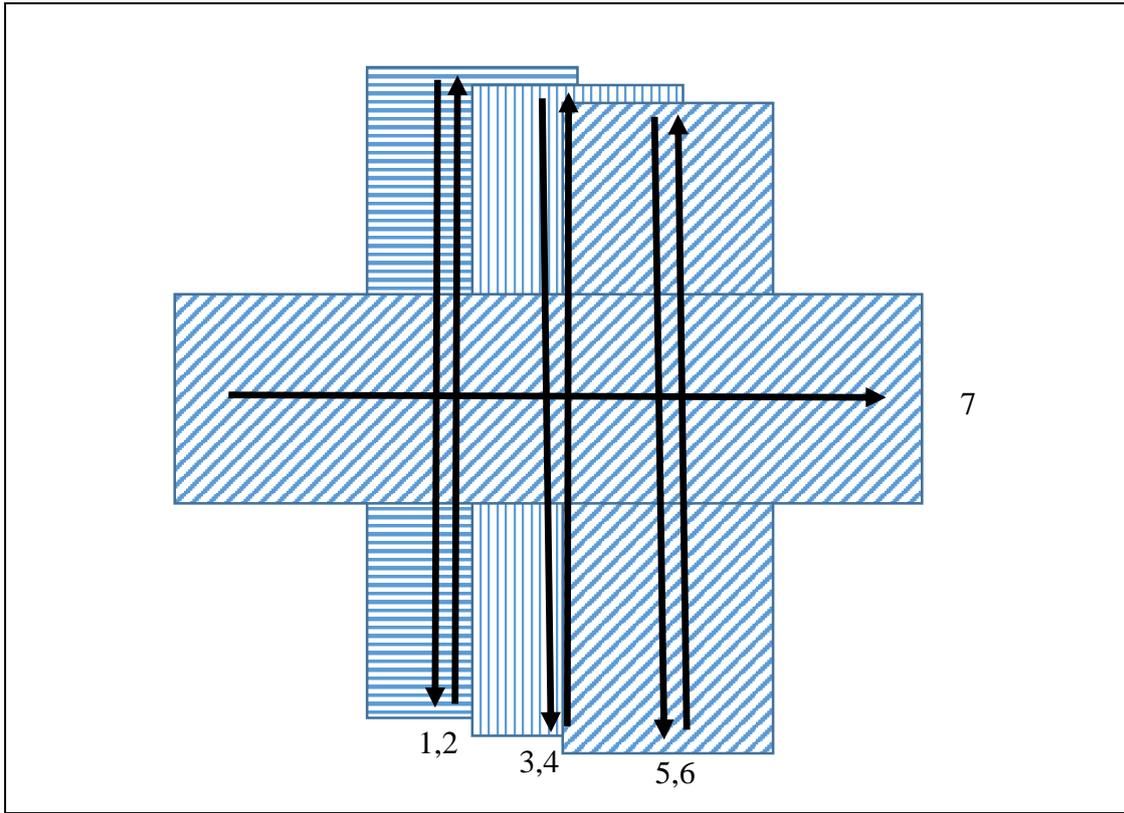


圖 6-4 空載光達校正飛行方法(絕對航高 800 m)

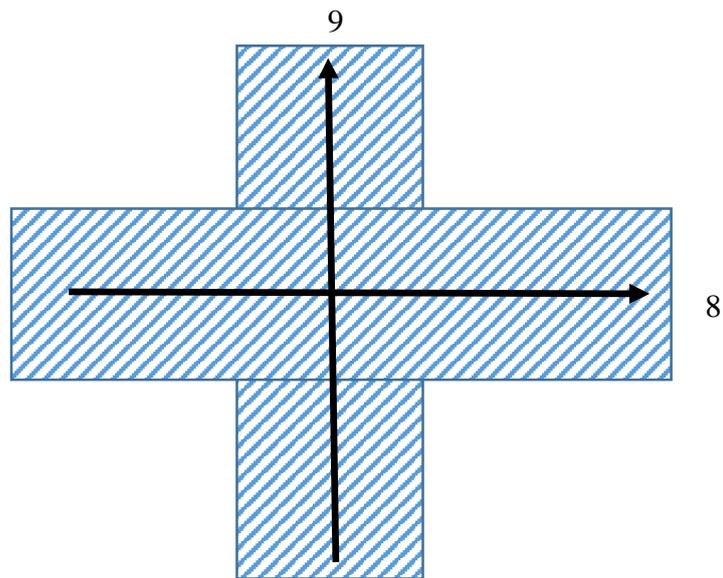


圖 6-5 空載光達校正飛行方法(絕對航高 1600 m)

#### 四、空載光達測試分析實例

##### (一)利用航測標為光達校正標，評估點雲的高程精度

光達數據係Leica ALS 70設備執行掃描，掃描東西方向3條航帶，南北方向3條航帶，絕對航高約1400 m。參考值係利用衛星定位測量技術求得，計算得到航測校正標的三維大地投影坐標。空載光達點雲數據的三維大地投影坐標為量測值，參考值與量測值在高程方向的比對方法如下：

由航測校正標參考值( $E_r, N_r, h_r$ )，搜尋點雲數據，計算點雲與該航測校正標坐標3維空間距離最小者為最鄰近點( $E_m, N_m, h_m$ )，高程方向器差值為：

$$Diff\_h = h_m - h_r$$

查核評估的校正標點數共54點，統計54個器差值如表6-3。分析成果RMSE在高程為0.059 m，最大誤差0.16 m，誤差最小為-0.76 m。器差值的直方圖分布如圖6-6。光達雲點的掃描密度亦是重要屬性，由最鄰近點與航測校正標的距離可以概估出點雲數據之間的相鄰點距離(spacing)，由54個距離值(最鄰近點與航測校正標的距離)計算平均值為0.27 m，由此指標估計雲點數據相鄰點距平均可達 $0.27/0.5 = 0.54$  m。

本案光達數據分析成果，高程RMSE0.059 m，空載光達系統測繪高程的儀器精度規格值約0.15 m，比較二者的差異在於掃描區的地形植被覆蓋與地形高差，空載光達系統高程測繪精度與測區植被密度及地形高差有關。本文掃描區在校正場環境，植被覆蓋率極低，地形起伏在2000 m範圍內高差200 m，避免誤導讀者研判空載光達系統的高程測繪精度過於樂觀，光達實際作業測區的複雜度與本案作業條件有所差異，值得注意本文成果是在校正場的條件下分析。

表 6-3 光達點雲在高程方向，器差值統計量

統計量	
點數	54
RMSE	0.059 m
MAE	0.044 m
Mean Error	0.014 m
Std Dev	0.058 m
Min	-0.076 m
Max	0.16 m

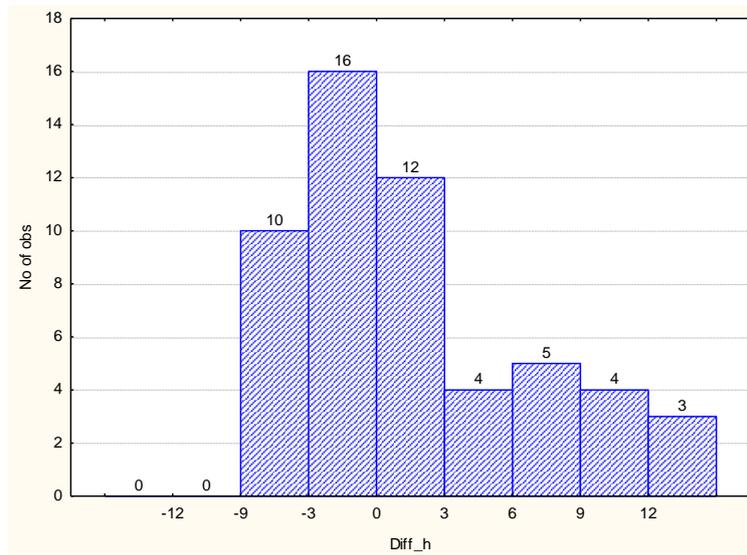


圖 6-6 高程器差值直方圖

## (二)利用點雲亮度值影像評估點雲的平面坐標

前一小節是說明用既有的航測校正標，評估光達點雲高程的精度，本節說明將點雲亮度值，製做成量度值影像，評估點雲的平面精度。為了評估點雲平面坐標精度，將點雲轉換成亮度值影像，若是在亮度值影像內能辨識航測標的形狀，則可以量測航測標平面坐標值，這個原理近似是在量測一張粗略解析度的航照正射影像。將點雲亮度值

影像如圖6-8所示，點雲強度影像是展示航測標顯示在「點雲亮度值影像」放大後的形式，航測標為田字標型，在點雲亮度值影像的地面像素解析度(GSD)約0.54 m，點雲亮度值影像內，呈現出高亮度「8」字形態，應用點雲亮度值影像，量測「8」字形態高亮度的兩個亮點的交會中點平面坐標，量測值(下標m)與航測標參考值(下標r)比對：

$$dN = N_m - N_r$$

$$dE = E_m - E_r$$

步驟如下：

1. 將 ALS 70 掃描的 6 條航帶點雲合併成單一檔案簡稱全數點檔案 ALS70.las。
2. 由全數點檔案轉檔成亮度值影像(Intensity image)。
3. 55 個航測校正標近似位置，逐一量測航測標在點雲亮度值影像的平面坐標
4. 55 個航測校正標，可以辨識「8」字形態的標型有 19 個，器差值(dN, dE)亦列於表 6-5。
5. 器差值統計量於表 6-4，RMSE 約 0.22 m。

表 6-4 光達點雲在平面方向上器差值統計量

統計量	N 方向 (m)	E 方向 (m)
點數	19	19
RMSE	0.25	0.19
MAE	0.21	0.15
Mean Error	-0.18	-0.06
Std Dev	0.17	0.19

Min	-0.45	-0.47
Max	0.12	0.19



圖 6-7 成功辨識出航測標的案例，19 點分布圖

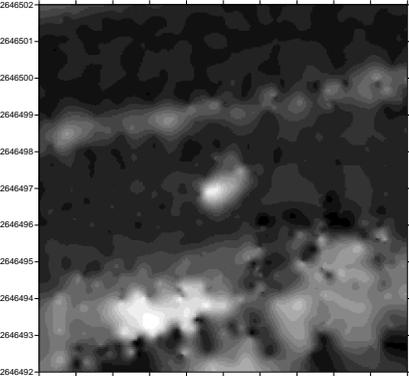
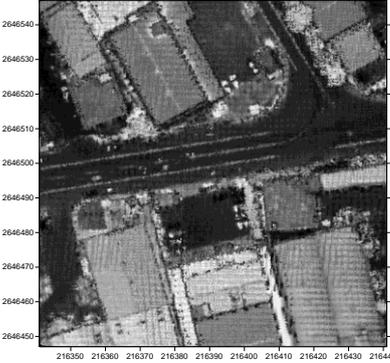
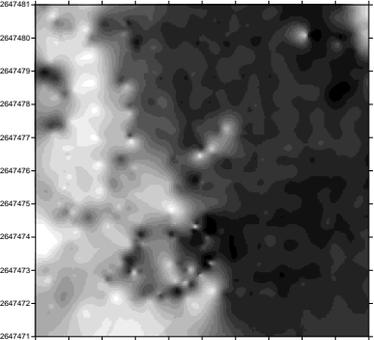
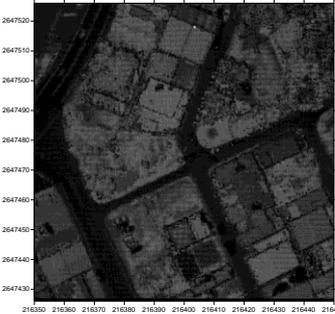
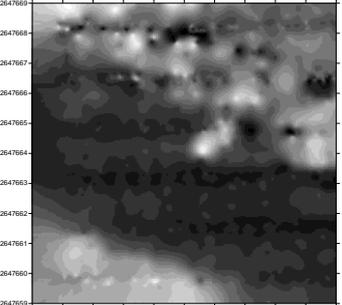
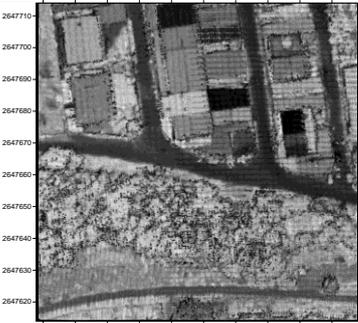
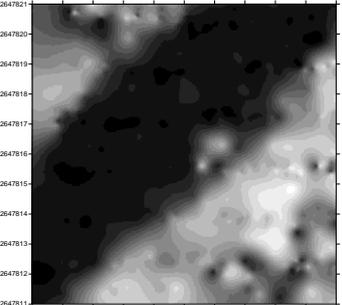
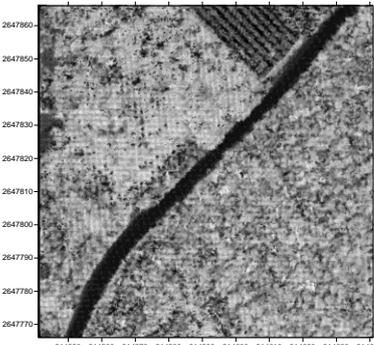
表 6-5 光達點雲在航測標平面方向器差值

點號	dN (m)	dE (m)
A104	0.054	6.6
A035	0.040	19.1
A088	-0.339	-15.7
A105	-0.234	5.1
A108	-0.170	-1.7
A124	-0.365	-0.329
A140	0.115	-0.006
B001	-0.298	0.182
B002	-0.144	-0.350
B004	-0.313	-0.465

點號	dN (m)	dE (m)
B007	-0.168	-0.225
B051	-0.390	-0.252
B071	-0.233	-0.091
B074	-0.396	0.060
B075	-0.041	-0.057
B079	-0.452	0.117
B085	-0.08.8	0.038
B094	0.046	-0.030
B107	-0.10.1	0.132

點號	點雲強度影像 (放大)	點雲強度影像
A104		
A035		

點號	點雲強度影像 (放大)	點雲強度影像
A088		
A105		
A108		
A124		

點號	點雲強度影像 (放大)	點雲強度影像
B002	 <p>2646502 2646501 2646500 2646499 2646498 2646497 2646496 2646495 2646494 2646493 2646492 216396 216387 216388 216389 216390 216391 216392 216393 216394 216395 216396</p>	 <p>2646540 2646530 2646520 2646510 2646500 2646490 2646480 2646470 2646460 2646450 216350 216360 216370 216380 216390 216400 216410 216420 216430 216440</p>
B007	 <p>2647481 2647480 2647479 2647478 2647477 2647476 2647475 2647474 2647473 2647472 2647471 216395 216396 216397 216398 216399 216400 216401 216402 216403 216404 216405</p>	 <p>2647520 2647510 2647500 2647490 2647480 2647470 2647460 2647450 2647440 2647430 216350 216360 216370 216380 216390 216400 216410 216420 216430 216440</p>
B051		
B071	 <p>2647669 2647668 2647667 2647666 2647665 2647664 2647663 2647662 2647661 2647660 2647659 214883 214884 214885 214886 214887 214888 214889 214890 214891 214892 214893</p>	 <p>2647710 2647700 2647690 2647680 2647670 2647660 2647650 2647640 2647630 2647620 214840 214850 214860 214870 214880 214890 214900 214910 214920 214930</p>
B074	 <p>2647821 2647820 2647819 2647818 2647817 2647816 2647815 2647814 2647813 2647812 2647811 214586 214587 214588 214589 214590 214591 214592 214593 214594 214595 214596</p>	 <p>2647860 2647850 2647840 2647830 2647820 2647810 2647800 2647790 2647780 2647770 214550 214560 214570 214580 214590 214600 214610 214620 214630 214640</p>

點號	點雲強度影像 (放大)	點雲強度影像
B075		
B085		
B094		

圖 6-8 光達亮度影像量測航測標

### (三)利用航測模型評估光達點雲的平面坐標

應用UltraCam攝影機影像，經完成空中三角平差技術，獲得相片外方位參數，在立體影像內取樣25個房屋，量測房屋4個屋角3維坐標(N, E, h)。分布如圖6-9。

1. 將點雲依高程資訊分類，獨立屋屋頂與地面可以分離。
2. 獨立屋藉由高程資訊，與其他建物分離，則此刻房屋頂面雲點高程可以進一步統計，計算屋頂的高程值與屋頂雲點的重心位置(N, E)。
3. 檢查屋頂雲點，呈現僅有屋頂面點雲，確認後進行統計。
4. 光達點雲的房屋重心坐標為量測值(下標 m)，航測模型量測 4 個角落坐標平均值為參考值(下標 r)比對：

$$dN = N_m - N_r$$

$$dE = E_m - E_r$$

5. 以 P 點房屋為例，點雲重心位置(量測值)與航測模型所量測四個角落點平均值，器差值為 dN(-0.16 m)，dE(+0.19 m)。
6. 篩選房屋屋頂原則：(1)平屋頂優先考慮；(2)屋頂平面簡單、無雜物無違建、無雨遮。(3)房屋屋頂滴水線為完整四邊形，無連接小違建等突出造型。(4)山型屋亦可考慮；(5)房屋轉角銳利無圓弧轉角。(6)獨立屋優先篩選，容易分離出屋頂。
7. 全區篩選出 25 個屋頂，其中僅有 6 處為平屋頂，校正場內工廠房的屋頂多以山型屋居多，其中少數為平屋頂且為獨立屋，屋頂乾淨無違建雨遮則更難篩選，值得注意，平屋頂有 3 處屋頂高程經量測得知，略呈斜屋頂型態。

8. 圖 6-13、圖 6-14、圖 6-15 舉例，房屋屋頂編修完成的樣式，可進行統計屋頂重心位置。
9. 器差值統計量於表 6-6 平面坐標精度評估 RMSE 約 0.26 m。
10. 值得注意，平面最大誤差發生在編號 H 房屋，H 房屋點雲因航帶重疊因素，同一屋頂點雲密度分布有單航帶與多航帶，導致雲點重心與房屋形狀重心不一致。若是要解決此問題，採用疏化點雲運算，刪除密重疊的點雲，另外可能會產生問題是在房屋邊緣線則會因疏化過濾而屋角轉角會鈍化現象。
11. 平屋頂高程比對航測模型量測的參考值，6 處高程比對 RMSE 為 0.31 m。



圖 6-9 航測模型量測案例分布圖

表 6-6 航測模型評估平面器差值統計量

統計量	N 方向 (m)	E 方向 (m)

統計量	N 方向 (m)	E 方向 (m)
點數	25	25
RMSE	0.226	0.298
MAE	0.152	0.188
Mean Error	0.051	0.060
Std Dev	0.225	0.298
Min	-0.164	-0.498
Max	0.751	1.134

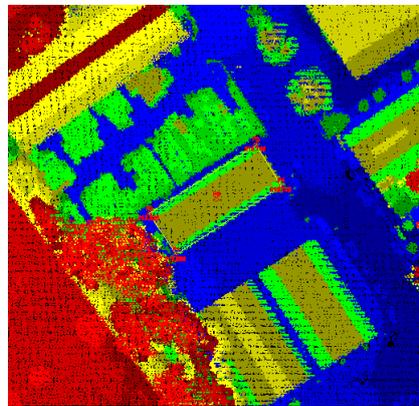


圖 6-10 圖面黃色線條為航測模型量屋角形狀

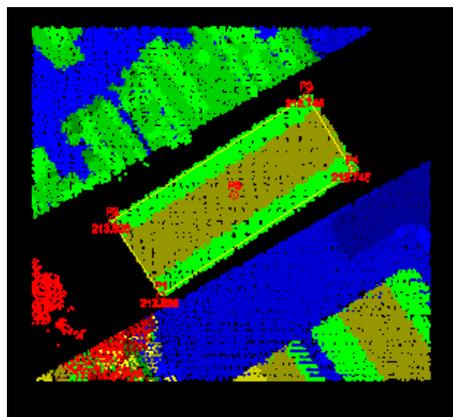


圖 6-11 獨立屋與相鄰建物分離完成

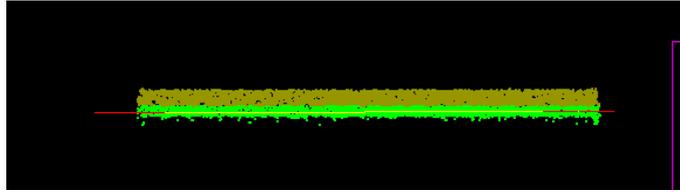


圖 6-12 檢查剖面，確認屋頂表面點雲編修完整，可進行統計重心點

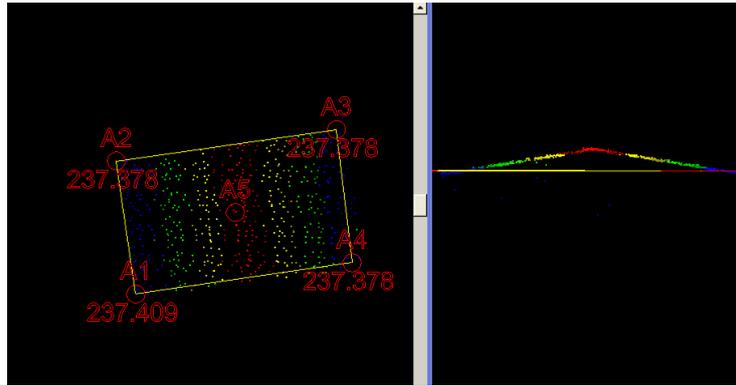


圖 6-13 檢查房屋面(A)

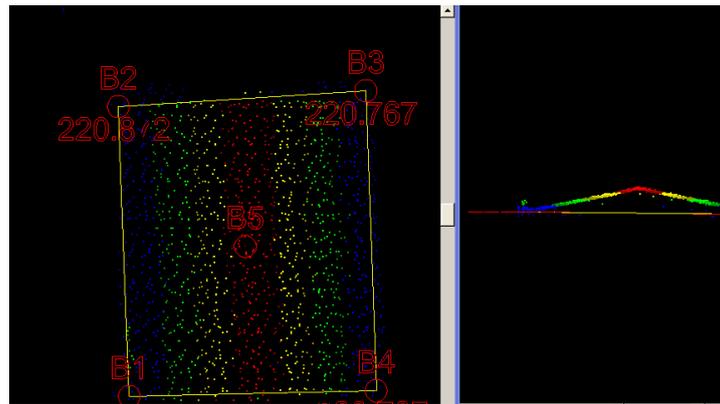


圖 6-14 檢查房屋面(B)

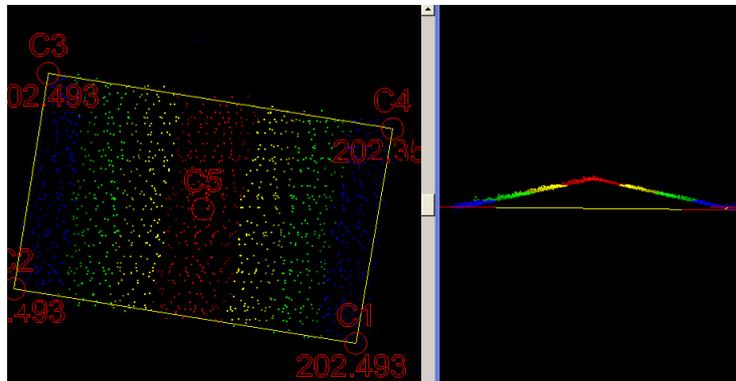


圖 6-15 檢查房屋面(C)

#### (四)空載光達校正方法適宜性檢討

本節討論空載光達校正方法主要分為2類：1. 利用航測校正標、GNSS量測技術分析空載光達定位精度；2. 利用航測技術量測航測模型分析空載光達定位精度(100~103年作業規劃建議方案)。檢討兩種方法發展校正能量的適宜性如下：

1. 利用航測校正標、GNSS 量測技術，分析空載光達定位精度，本文分析結果，平面精度 RMSE：0.22 m，高程精度 RMSE：0.059 m。分析方法的優點是在既有的航測攝影機校正方法進行擴展，校正實驗室的要求容易達成，達到校正多目標效益。額外建置費用低，額外校正人力需求在光達點雲量測成本，GNSS 標準值量測外加的成本，僅在部分的增測費用。缺點是航測校正標直接利用為光達校正標仍有缺失，諸如點雲數據密度的要求需要高密度，校正標在辨識上仍屬不明確。
2. 利用航測技術量測航測模型分析方法，分析空載光達定位精度，本文分析結果，平面精度 RMSE：0.26 m，高程精度 RMSE：0.31 m。分析方法的優點是在航測模型上選擇房屋做為比對校正標，選點彈性、快速，校正成本低。缺點是若採用此方案，國土測繪中心宜具有自主設備量測性攝影機，校正實驗室的要求才容易具體逐步建置完成，若採用非自主設備的量測性攝影機做為工作標準件，校正流程的設計難度較高。

## 五、空載光達校正能量發展規劃

發展空載光達校正系統，所需要步驟、工作項目與期程如下：

### (一) 105 年發展空載光達校正系統

1. 量測系統確認：光達校正場沿用南崗工業區航測攝影機校正場，校正標標型延用航測校正標，於下年度可進行標型調整尺寸，利於航測校正標與光達校正標共用。參考值量測方法採用 GNSS 靜態或 e-GNSS 動態測量模式皆可行。工作標準件採用 GNSS 接收儀。
2. 持續辦理空載光達校正方法研擬，諸如不同的參考標準值量測方法評估、增加道路標誌方案為校正標適宜性分析。
3. 校正追溯管道確認：GNSS 量測方法，沿用航測攝影機校正系統的追溯管道，完成校正追溯的確認。
4. 光達數據量測方法程序建立，數據分析方法確認，軟體工具驗證確認。
5. 量測不確定度分析：需設計重覆性量測活動，估計量測定位重覆性不確定度，分析量測方程式、分析量測誤差源、計算不確定度。

### (二) 106 年發展空載光達校正系統

1. 因應校正能量增項，相關品質文件調整、品質表單設計。
2. 完成校正作業程序書、校正系統不確定度估計、校正系統評估報告。
3. 光達數據掃描，模擬校正報告練習。
4. 進行量測稽核活動。

5. 協助辦理認證事宜、模擬評鑑等活動。

### (三) 107 年發展空載光達校正系統

1. 發展空載光達數據自動化分析程序，發展校正件自動化量測。

### (四) 空載光達校正系統，硬體與人力需求

1. 軟體設備需求：

(1) TerraScan 軟體，NT\$25 萬。

(2) MicroStation 軟體，NT\$15 萬。

(3) 硬體設備，可採用既有電腦環境，無特殊規格。

2. 校正成本估計

(1) 航測校正標型調整能與光達校正標共用，標型重繪人力 5 人 x 5 天。

(2) 參考值量測，需用人力 20 人 x 5 天。

(3) 光達數據分析人力，量測值分析，1 人 x 3 天。

## 柒、協助參獎活動

本案協助國土測繪中心以航空測量攝影機校正作業為題參加 Geospatial World Award，並協助參獎文件製作及參獎期間相關準備事宜。參獎文件為英文，全文完成繳交，初稿摘要版(不含圖及表)如附件三。除了國際獎項競賽，中文稿件的參獎園地有計量科技研發創意獎(Metrology Innovation Award)，主辦單位為中華民國計量工程學會。也是值得投稿的園地。

由於空間資訊產業之成長，發展為世界經濟的主流業務之一。為了表彰和鼓勵具有創新和卓越的空間資訊技術人才，包括相關開發人員、專業人員、使用者顧客端和政策決策機構等面向，鼓勵其在空間資訊產業的貢獻，Geospatial Media and Communication 機構提供下列獎項：<http://awards.geospatialmedia.net/gwf/Default.aspx> )

- 一.空間資訊應用優秀獎 (Geospatial Application Excellence Awards)
- 二.空間資訊技術創新獎 ( Geospatial Technology Innovation Awards )
- 三.空間資訊政策執行獎 ( Geospatial Policy Implementation Awards )

本團隊協助國土測繪中心以航空測量攝影機校正作業為題參獎比賽。參加獎項投稿內容比較偏重在技術分析，投稿方向朝空間資訊應用優秀獎。

關於投稿的期程，Geospatial World Award截稿為每年12月，計量科技研發創意獎的投稿期程同樣為每年12月。投稿題目與大綱如下，並以實際校正成果報告為實例的參獎附件。

一、參獎題目：

Development of calibration system for digital photogrammetric camera in Taiwan

二、大綱：

1. Introduction

2. Calibration method

2.1 Outline of the approach

2.2 Traceability of the measurement system

3. Uncertainty evaluation of calibration system

3.1 Uncertainty in coordinates of geodetic stations

3.2 Uncertainty in coordinates of signalized targets

3.3 Uncertainty in coordinates of item calibrated camera

3.4 Expanded Uncertainty in coordinates of item calibrated camera

4. Example of calibrating airborne cameras

5. Conclusions

References

## 捌、實驗室輔導活動與辦理教育訓練

### 一、實驗室輔導活動

實驗室輔導活動藉由月報撰寫與工作會議，陸續傳遞了實驗室運作要求的要點及需要建置的實驗室品質活動，簡述如下。

(一) 內部稽核與模擬評鑑:量測中心為國內最大規模之專業校正實驗室，半數以上同仁具有 TAF 合格登錄評審員資格，對 TAF 運作極為了解，本案團隊核心成員皆為 TAF 評審員。內部稽核課程與技巧演練等，104 年 7、8 月持續進行教育訓練、課程、工作會議中進行輔導活動，達成品質系統與技術運作的能力。航空測量攝影機系統評鑑前，104 年 8 月 25 日協助國土測繪中心實驗室內稽活動，104 年 8 月 25 日並有針對增項的航測攝影機校正能量進行模擬評鑑，增加實驗室同仁接受評鑑之經驗。

(二) 本案執行協助 TAF 認證作業與 NCR 改善與回覆之協助工作。

(三) 校正實驗室，運用實驗室以外人力協助之考量分析

航空測量攝影機校正系統，校正流程參與人力眾多，為考慮後續校正量劇增，尋求支援性人力增進校正效率，據此需求，討論 ISO 17025 4.5 節，釐清有關校正外包的管理要求。ISO 17025 規範校正實驗室活動範圍，尋求支援性人力或有關校正外包管理需保留紀錄供稽核線索。

1. ISO 4.5 試驗與校正之外包，標準所列含意，校正外包之定義為實驗室將顧客委託之校正件全部或局部範圍委託另外一家實驗室進行校正，並將接受委託實驗室之全部或局部範圍之校正數據或結果納入本實驗室之校正報告中或以本實驗室的名義出具校正報告。
2. 4.5 節所列外包，有別於轉委託，係將顧客委託之校正件轉委託

給另一家實驗室校正及另一家實驗室出具該實驗室之校正報告。

3. ISO 標準「4.5.1 實驗室無論因任何非預期的原因(如工作能力、需更進一步深入的專業技術或暫時能量不足等)或在持續的基礎上(如通過長期性外包、代理或加盟協議)將工作外包時，此工作應交給有能力的分包者。例如，工作能符合本規範要求就是有能力之分包者。」。4.5.1 標準所列含意，校正外包應委託"該校正項目"通過 TAF 所認可(符合本規範 ISO/IEC 17025 要求)，且可出具該項 TAF LOGO 校正報告之實驗室執行。
4. ISO 標準「4.5.2 實驗室應以書面方式告知顧客此項安排，若在適當時，得到顧客認可，最好是書面方式。」。4.5.2 標準所列含意，實驗室欲將部份校正工作委託外包實驗室時，應書面告知顧客並取得顧客之書面同意。
5. ISO 標準「4.5.3 實驗室就其分包者的工作對顧客負責，除非該分包者的採用是由顧客或法規主管機關所指定。」。4.5.3 標準所列含意，實驗室應對外包項目校正數據或結果向顧客負責，除非該外包者是由顧客或法規主管所指定。
6. ISO 標準「4.5.4 實驗室應維持使用於試驗與(或)校正的所有分包者之登錄，及其工作符合本規範的證據紀錄。」。4.5.4 標準所列含意，實驗室應評估及登錄所有外包實驗室，並留存其評估紀錄及符合 ISO/IEC 17025 之證據紀錄。
7. 小結：上述 6 點精神在同屬於認證實驗室之間的加盟協議來共同執行校正工作，關於航空測量攝影機校正系統，本套是國內第一套系統，無法尋求其他 TAF 認證實驗室協議共同執行校正工作，尋求支援性人力不適合依據 ISO 4.5 節所列標準而執行。若規劃支援性人力來增進校正效率，建議將其他單位有經驗的人力納入實驗室人員名單，成為非全職支援人力，協助校正工作，以增進校正效率。

## 二、教育訓練

1. 航空測量攝影機系統校正場維護、內外業流程、表單填寫、校正場管理資訊系統操作及內業資料整理等訓練 1 場次，課表如表 8-1。
2. 校正分析作業、幾何校正流程、上機量測分析、校正報告製作與校正程式操作等訓練 1 場次，課表如表 8-2。
3. 實驗室課程

校正實驗室人員是校正實驗室最重要的資產之一，而人員訓練為建立實驗室之要務，需培訓專業實驗室成員、主管與品質主管，完成辦理實驗室訓練，課表如表 8-3。

表 8-1 校正場維護內業及外業課程

日期 時間	104 年 7 月 3 日 (星期五)
08:30 § 09:00	報到
09:00 § 09:50	航空測量攝影機校正整體概述 李瓊武
10:00 § 10:50	校正標維護及資料整理 許吉川
11:00 § 11:50	校正標 GNSS 靜態測量 鍾岳龍
12:00 § 13:00	午 餐
13:00 § 13:50	校正標 GNSS 靜態測量網形規劃 彭淼祥
14:00 § 14:50	GNSS 內業分析計算 陳鶴欽
15:00 § 15:50	GNSS 內業分析計算 陳鶴欽
16:00	賦 歸
備註	訓練場地：國土測繪中心中區測量隊

表 8-2 航空測量攝影機校正流程

日期 時間	104 年 8 月 3 日 (星期一)
08 : 30 § 09 : 00	報到
09 : 00 § 09 : 50	航空測量攝影機影像空中三角測量平差作業 王蜀嘉 教授
10 : 00 § 10 : 50	航空測量攝影機校正、量測分析流程(1) 陳建全
11 : 00 § 11 : 50	航空測量攝影機校正、量測分析流程(2) 陳建全
12 : 00 § 13 : 00	午 餐
13 : 00 § 13 : 50	航空測量攝影機校正量測分析(實作演練) 陳建全
14 : 00 § 14 : 50	校正程式操作與報告製作 陳建全 彭淼祥
15 : 00 § 15 : 50	UAS 影像校正 徐百輝 教授
16 : 00	賦 歸
備註	訓練場地：工研院台中學習中心 台中市中科工商服務大樓

表 8-3 實驗室訓練課程

日期 時間	104 年 7 月 14 日 (星期二)
08 : 30 § 09 : 00	報到
09 : 00 § 09 : 50	ISO/IEC 17025 概述 實驗室內部稽核與管理審查 (1) 黃仁光
10 : 00 § 10 : 50	實驗室內部稽核與管理審查 (2) 黃仁光
11 : 00 § 11 : 50	實驗室能力試驗與量測稽核 張國明
12 : 00 § 13 : 00	午 餐
13 : 00 § 13 : 50	TAF 認證要求與評鑑要點(1) 張國明
14 : 00 § 14 : 50	TAF 認證要求與評鑑要點(2) 張國明
15 : 00 § 15 : 50	航空測量攝影機校正系統作業程序 航空測量攝影機校正系統不確定度評估 彭淼祥
16 : 00	賦 歸
備註	訓練場地：工研院台中學習中心 台中市中科工商服務大樓

## 玖、維持系統程式運作

國土測繪中心102至103年度已開發航空測量攝影機校正資訊網頁系統（含校正場資訊管理系統）及幾何校正程式介面。校正場資訊管理系統功能主要區分為九大部份，分別為校正標管理、歷史控制測量坐標管理、校正案件作業、使用者帳號管理、系統群組管理、系統公告管理、文件下載資料管理、展示首頁及校正分析(圖9-1)，圖9-2試做校正報告可成功納入資料庫。執行期間確保網站持續運作，並有備援在工研院伺服器。

The screenshot displays the website interface for the National Land Surveying and Mapping Center (NLSC). The main content area is titled '關於航測攝影機校正' (About Aerial Photography Camera Calibration). It features a '計畫目錄' (Plan Directory) section with a list of items, including '航測攝影機校正' and '校正場資訊管理系統'. The page also includes a '相關連結' (Related Links) section with links to the NLSC website, a user login section, and a '瀏覽人數' (Visitor Count) section showing the number of visitors for the current day, yesterday, this week, and this month. The footer contains copyright information for 2013 and contact details for the center.



圖 9-1 校正場管理系統



圖 9-2 校正資訊網校正報告功能

## 拾、結論與建議

### 一、TAF 認證申請作業

(一)本案工作內容與航測產業界熟悉的研究發展技術委託案在屬性與特性上有很大區別，本案精神屬於實作練習，核心為實驗室輔導工作、傳遞實驗室運作的要素。

(二)本計畫首要任務是優先將「航空測量攝影機校正系統」納入國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」，藉由實專業驗室輔導的協助，俾利符合認證實驗室營運要求，以取得校正系統認證為目標。

(三)本期成果完成校正系統認證的核心文件，TAF 文件調整具體作為：

- 1.完成校正系統評估報告。
- 2.完成校正程序書。
- 3.調整完成實驗室主要品質文件與表單，經過逐字逐行檢討修正，輔以實際運作國家標準實驗室的經驗進行調整，修正後的文件超過 50 餘件。
- 4.完成第一件航空測量攝影機校正報告，校正演練日益成熟。

### 二、發展中像幅攝影機及 UAS 影像校正作業

(一)中像幅攝影機校正作業，本年度完成校正場等設施確認、航拍設計、校正項目與流程確認，符合校正實驗室要求，本年度並實做一份中像幅攝影機校正報告，中像幅攝影機校正作業認證，已經有初步成果，具體可行。

(二)中像幅影像校正作業流程，考量攝影機片幅較航空測量攝影機小，同樣的校正條件下，像片數量需超過航測攝影機4倍以上，校正工作量亦增加好幾倍份量，實務上考量，中像幅攝影機宜調整校正場範圍，採用小型校正場長邊約1 km，短邊約0.9 km，小校正場內校正標數量需調整到50個，因考量中像幅攝影機精度與航測攝影機有差異，空中三角所採用控制點數量調整為9個全控制點。

(三)本文分析結果，中像幅攝影機影像 AIC Prp(P65+)為例，分析成果，標準不確定度平面為0.068 m，高程為0.105 m。

(四)雖然中像幅攝影機精密性與航測攝影機有所差異，差異之處建議由定期校正報告佐證，中像幅攝影機建議校正週期為1年，藉由定期校正，校正報告可以佐證中像幅攝影機是否穩定性。

(五)UAS 搭載非量測性攝影機，限於攝影機精密度，攝影機內方位參數穩定度仍有疑慮，實際作業時飛行載具降落碰撞等操作環境非常嚴苛，非量測性攝影機在實際作業時的攝影機幾何條件和在校正場進行校正分析時，無法確保有相似條件，校正報告分析成果是否能成為品質確認的一環仍值得進一步探究。

(六)UAS 影像分析結果，於102年在航測攝影機校正場航拍成果為例，分析成果，UAS影像定位坐標與標準值比對後的器差值，RMSE在平面方向為0.15 m，高程為0.42 m。

### 三、發展空載光達校正作業

關於空載光達校正作業的核心課題，初步有完成空載光達校正標設計，本文建議與航測校正標共用，本文提出具體分析方法，分析結果顯示，本文案例，空載光達定位精度，RMSE在平面為0.22 m，高程0.059 m。飛航規劃建議等實務課題，今年並完成實例的分析，後續仍需繼續落實空載光達校正標的測試，據以擬出空載光達系統校正

方法。

#### 四、運用實驗室以外人力協助校正分析之考量

關於航空測量攝影機校正系統，本套是國內第一套系統，無法尋求其他TAF認證實驗室協議共同執行校正工作，尋求支援性人力不適合依據ISO 4.5節所列標準而執行。若規劃支援性人力來增進校正效率，建議將其他單位有經驗的人力納入實驗室人員名單，成為非全職支援人力，協助校正工作，以增進校正效率。

#### 五、本案具體效益

校正實驗室需通過全國認證基金會（TAF）校正領域認證項目。校正實驗室是國際性活動，是國際相互認可協議，一地測試，全球通行。

航空測量攝影機校正系統屬創新系統，在國際上航測攝影機校正如何接軌校正實驗室仍屬探索階段，國土測繪中心增項此校正能量具有領先創新。本案由工研院量測中心執行協助認證輔導，確保航空測量攝影機校正系統與國際接軌，本案創新的校正系統建置過程有國家標準實驗室技術參與，符合國際趨勢的期望。

國內航測攝影機有校正管道，航測界業者才能以高品質的製圖服務繼續立足國內外市場，這對於航遙測業界推向國際服務是重要的環境架構建置工作。

#### 六、後續工作

##### （一）105 年工作項目

##### 1. 實驗室運轉諮詢

（1）關於航測攝影機校正服務，提供校正技術與實驗室運轉諮詢。

（2）辦理航測攝影機系統校正作業推廣說明會。

(3)辦理第2年教育訓練。

## 2. 校正場營運改進

(1)改良航測標與空載校正標共用，低反射率塗料改進，標型試做檢討。

(2)中像幅校正標加密、暨空載光達校正標佈設。

## 3. 「中像幅攝影機系統」校正系統發展

(1)建置中像幅攝影機系統校正作業程序書、校正件量測不確定度估計、中像幅攝影機系統不確定度評估報告。

(2)因應校正能量增項，調整相關品質文件。

(3)辦理量測稽核活動、協助模擬評鑑。

(4)「中像幅攝影機系統」校正系統認證工作與運作管理能量建置。

## 4. 「UAS 影像」校正系統發展

(1)持續辦理無人飛行載具小像幅攝影系統測試分析。

(2)應用 UAS 搭載中像幅攝影機系統航拍，分析校正作業。

## 5. 空載光達校正系統發展

(1)量測系統確認：光達校正場沿用南崗工業區航測攝影機校正場，校正標標型延用航測校正標，於下年度可進行標型調整尺寸，利於航測校正標與光達校正標共用。參考值量測方法採用 GNSS 靜態或 e-GNSS 動態測量模式皆可行。工作標準件採用 GNSS 接收儀。

(2)持續辦理空載光達校正方法研擬，諸如不同的參考標準值量測方法評估、增加道路標誌方案為校正標適宜性分析。

- (3)校正追溯管道確認：GNSS 量測方法，沿用航測攝影機校正系統的追溯管道，完成校正追溯的確認。
- (4)光達數據量測方法程序建立，數據分析方法確認，軟體工具驗證確認。
- (5)量測不確定度分析：需設計重覆性量測活動，估計量測定位重複性不確定度，分析量測方程式、分析量測誤差源、計算不確定度。

## (二) 106 年工作項目

### 1.實驗室運轉諮詢暨「中像幅攝影機系統」校正系統推廣

- (1)辦理校正技術諮詢與實驗室運轉諮詢。
- (2)「中像幅攝影機校正系統」發表暨第 2 次航遙測感應器校正系統推廣說明會。
- (3) 辦理第 3 年教育訓練。

### 2. 校正場營運改進

持續辦理校正標維護與標型試做檢討。

### 3. 「UAS 影像」校正系統發展

- (1) 建置 UAS 影像校正作業程序書、校正件量測不確定度估計、UAS 影像校正系統不確定度評估報告。
- (2) 因應校正能量增項，調整相關品質文件。
- (3) 辦理量測稽核活動、協助模擬評鑑。

### 4. 空載光達校正系統發展

- (1) 因應校正能量增項，相關品質文件調整、品質表單設計。
- (2) 完成校正作業程序書、校正系統不確定度估計、校正系統評

估報告。

- (3) 光達數據掃描，模擬校正報告練習。
- (4) 進行量測稽核活動。
- (5) 協助辦理認證事宜、模擬評鑑等活動。
- (6) 發展航空測量攝影機輻射校正系統，量測系統建置與作業分析。

### (三) 107 年工作項目

- 1. 「空載光達校正系統」發表暨第 3 次航遙測感應器校正系統推廣說明會。
- 2. 發展空載光達數據自動化分析程序，光達校正件自動化量測。
- 3. 辦理航空測量攝影機輻射校正系統認證。
- 4. 辦理第 4 年教育訓練。

## 參考文獻

經緯航太科技，2013。102 年度發展無人飛行載具航拍技術作業工作總報告。內政部國土測繪中心。

航空測量及遙感探測學會，2014。建立航遙測感應器系統校正作業 4 年總報告。內政部國土測繪中心。

航空測量及遙感探測學會，2014。103 年度建立航遙測感應器系統校正作業。內政部國土測繪中心。

李佩珊、史天元、王蜀嘉、蔡季欣、林昌鑑，2014。國內空載光達伴隨攝影機現況及未來校正規劃。第9屆數為地球國際研討會。

內政部國土測繪中心，2015。航空測量攝影機校正系統評估。

內政部國土測繪中心，2015。航空測量攝影機校正作業程序。

「航測攝影機、中像幅攝影機及UAS影像」參考文獻：

ASPPRS Guidelines: Guidelines for the in situ geometric calibration of the aerial camera system.

Cramer, M., G. Grenzdörffer, E. Honkavaara, 2010. IN SITU DIGITAL AIRBORNE CAMERA VALIDATION AND CERTIFICATION – THE FUTURE STANDARD ? ISPRS Archives – Volume XXXVIII - Part 1.

Cramer, M. 2004. The EuroSDR network on digital camera calibration, Report Phase 1 (<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/euroedr/EuroSDR-Phase1-Report.pdf>)

Cramer, M. 2008. The EuroSDR approach on digital airborne camera calibration and certification, IAPRS 27(B4), pp17531-1758, proceedings 21. ISPRS congress, Beijing 2008, published on CD.

Honkavaara, E., J. Peltoniemi, E. Ahokas, R. Kuittinen, J. Hyypä, J. Jaakkola, H. Kaartinen, L. Markelin, K. Nurminen, J. Suomalainen, 2008. A permanent test field for digital photogrammetric systems. Photogrammetric Engineering & Remote

Sensing, 74(1): 95-106.

Honkavaara, E., E. Ahokas, J. Hyypä, J. Jaakkola, H. Kaartinen, R. Kuittinen, L. Markelin, K. Nurminen, 2006 a. Geometric test field calibration of digital photogrammetric sensors. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Special Issue on Digital Photogrammetric Cameras, 60(6): 387-399.

Honkavaara, E., J. Jaakkola, L. Markelin, K. Nurminen, E. Ahokas, 2006 b. Theoretical and empirical evaluation of geometric performance of multi-head large format photogrammetric sensors. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(A1), unpaginated CD-ROM, 6 pages.

Honkavaara, E., J. Jaakkola, L. Markelin, S. Becker, 2006 c. Evaluation of resolving power and MTF of DMC. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(A1), unpaginated CD-ROM, 6 pages.

Leick, A. 2004. *GPS satellite surveying*, Wiley.

Markelin, L., E. Honkavaara, J. Peltoniemi, E. Ahokas, R. Kuittinen, J. Hyypä, J. Suomalainen, A. Kukko, 2008. Radiometric Calibration and Characterization of Large-format Digital Photogrammetric Sensors in a Test Field. *PE&RS*, 74(12)1487–1500.

Martin, D., 2012. Standards and traceability of a terrestrial reference frames GNSS – Part I. EUROPEAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY. IAG/FIG Commission 5/ICG Technical Seminar. <http://www.iso.org/iso/home/standards.htm>, last accessed April 20, 2015.

Z. Zhang, A, 1998. Flexible New Technique for Camera Calibration. Technical Report MSRTR-98-71, Microsoft Research, December. Available together with the software at <http://research.microsoft.com/~zhang/Calib>

Wolf, PR. 2000. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*. McGraw-Hill Science.

「空載光達系統」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

Habib, A., 2010, Alternative Methodologies for LiDAR System Calibration. *Remote Sens*, 2, 874-907.

Roberto Canavosio-Zuzelski, James Hogarty, Craig Rodarmel, Mark Lee, and Aaron Braun Canavosio-Zuzelski, R., Hogarty, J., Rodarmel, C., Lee, M., Braun, A., 2013. Assessing Lidar Accuracy with Hexagonal Retro-Reflective Targets. *PE&RS*, 79(7):663-370.

Toth, C., Paska, C., Brzezinska, D., 2008. Quality assessment of lidar data by using pavement markings. *Proceedings of the ASPRS Annual Conference, Portland Oregon.*

「國際標準」文件：

DIN 18740-4: Photogrammetric products Part 4: Requirements of digital aerial cameras and digital aerial photographs.

ISO Guide 99:1993 - International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM).

ISO/TS 19159-1:2014 – Part 1: Optical sensors.

ISO/TS 19159-2: – Part 2: Lidar.

ISO 17123-1:2014

ISO 17123-2:2001

ISO 17123-8:2007.

## 附件一、工作會議大綱會議紀錄與處理回覆

## 附件二、參獎活動文件(摘要版)

### 附件三、校正報告範例模擬(摘要版)

## 附件四、工作總報告審查意見與回覆處理

## 附件五、第 2 期成果審查意見與回覆處理

## 附件六、第 1 期成果審查意見與回覆處理

## 附件七、評選會議審查意見與回覆處理

## 附件八、教育訓練簽到表

## 附件九、品質文件調整

## 附件十、ISO 標準相關內容、校正程序書與評估報告

### 撰寫要點