摘要

內政部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「測繪科技發展後續計畫」中程綱要計畫時，爭取經費辦理「建立航遙測感應器校正作業」工作。本案委託中華民國航空測量及遙感探測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。

國土測繪中心規劃分 4 年期辦理，本會於上(100)年度主要工作項目依序為蒐集國內外相關文獻，先探究國內航遙測感應器系統用於測繪時應辦理的校正項目以及如何建立校正制度，並實地辦理使用者需求訪談，進而選定場址，進行規劃、擬定航測攝影機之校正初步作業流程。承前期作業之成效，本(101)年度係辦理航測攝影機系統校正作業，實際建置航測攝影機校正場，包括 183 個幾何校正標、2 個可攜式校正標分別為空間解析力校正標及輻射校正標，並研擬校正程序。

本報告為第二年度之工作總報告，包含擬定幾何校正、空間解析力校正及輻射校正之流程及方法。

關鍵詞：航測攝影機、校正場、校正、幾何校正、空間解析力校正、輻射校正

Abstract

In order to ensure the quality of surveying and mapping with airborne sensors, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior, has planned to establish a calibration field for calibration of airborne sensors intended for photogrammetric mapping purposes. The project was commissioned to CSPRS (Chinese Society of Photogrammetry and Remote Sensing) in 2011.

The whole project will extend four years. The focus of the first year (2011) was on the overall planning, including calibration field site selection, and the design and test of portable calibration targets. Following the design and plan of the first year, the main work in the second year(2012) is to actually set up a calibration field. The field comprises 183 ground control points, two portable field calibration targets. Calibration processes were also drafted.

This report documents the entire work of the second year, from the setting up of the calibration field down to the preliminary results of the first experiment.

Keyword：aerial camera calibration field, geometric calibration, spatial resolution calibration, radiometric calibration.

目錄

第一章　前言 1

1-1、緣起 1

1-2、目的 2

1-3、作業方法 3

第二章　本年度工作項目執行情形 4

2-1、工作內容 4

一、需求訪談紀錄 4

二、建置航測攝影機系統校正場 4

三、辦理校正項目測試分析及標準研商 6

四、辦理 TAF 認證準備及規劃作業 6

五、辦理教育訓練 7

六、交付進度、工作總報告書及投稿文章 7

2-2、工作進度及應交付成果 8

一、工作進度管控 8

二、各項工作時程進度及權重分配 9

第三章　建置航測攝影機系統校正場 11

3-1、環境介紹 11

一、飛行方便性 12

二、校正標維護 13

三、校正場地形 13

四、鄰近 GNSS 永久追蹤站 13
五、天候 13
六、鄰近控制點分布情形 14
3-2、場地規劃設計 15
一、場地規劃 15
二、校正標選點規劃 16
3-3、校正標設置成果 19
一、幾何校正標 20
二、影像特徵校正區塊 24
三、空間解析力校正標 27
四、輻射校正標 30
3-4、校正標控制測量 32
一、坐標系統 32
二、準備項目 33
三、控制測量實際作業情形 34
四、平差計算及成果 39
第四章 校正測試飛行及成果 42
4-1、飛航申請及航線規劃 43
一、飛航申請 43
二、航線規劃 43
4-2、測試飛行航拍成果成果 44
第五章 校正項目程序、分析流程與標準 47
5-1、幾何校正 48

一、校正方法 48
二、校正程序及分析 50
5-2、空間解析力校正 56
一、校正方法 56
二、校正程序及分析 58
5-3、輻射線性度校正 60
一、校正方法 60
二、校正流程及分析 61
5-4、多譜波段間相對反應強度校正 62
一、校正方法 62
二、校正流程及分析 63
5-5、校正標準 63
一、成像幾何校正標準 63
二、空間解析力校正標準 63
三、輻射線性度校正標準 64
四、多譜波段間相對反應強度校正 64
第六章 航測攝影機校正作業系統規劃 65
6-1、航測攝影機校正作業系統功能 65
一、校正場資料庫 65
二、校正作業分析 65
6-2、航測攝影機校正作業系統規劃 67
第七章 校正作業程序座談會 68
7-1、校正作業程序座談會辦理情形 68

一、舉辦時間 68
二、參與人員 68
三、辦理地點 68
7-2、會議議程大綱 68
一、作業成果介紹 68
二、航測攝影機校正作業程序相關討論 69
7-3、辦理情形及簽到單 69
第八章　TAF 認證規劃 71
8-1、校正系統評估 72
一、量測原理 72
二、不確定度分析程序 76
8-2、TAF 訪談與認證作業規劃 82
一、TAF 訪談 82
二、TAF 認證作業規劃 82
三、能力比對方案規劃 83
第九章　教育訓練 85
第十章　結論、建議及後續工作 87
10-1、結論 87
10-2、檢討與建議 88
10-3、後續工作 89
一、持續進行校正成果分析測試 89
二、校正作業系統平台開發 90
三、空載光達校正作業試辦 90

四、航測攝影機校正認證營運規劃 90

五、校正場維護更新作業 91

六、TAF 申辦所需能力比對方式研究及手續準備 91

參考文獻 92

附件

附件一、歷次會議簽到簿及紀錄……....附件 1-1

附件二、教育訓練簽到簿……...……附件 2-1

附件三、校正作業程序研商座談會簽到簿及會議紀錄……附件 3-1

附件四、本案公文掃瞄檔……...……....……附件 4-1

附件五、校正作業手冊……...……....……附件 5-1

附件六、訓練合格證書……...……....……附件 6-1

附件七、中文論文全文及英文論文摘要……....……附件 7-1

附件八、審查意見修正回復……..……....……附件 8-1

圖目錄

圖 2-1、幾何校正標標形 4
圖 2-2、空間解析力校正標標形 5
圖 2-3、輻射校正標標形 5
圖 3-1、南崗工業區航測攝影機校正場位置圖 12
圖 3-2、南崗工業區飛航管制劃分圖 12
圖 3-3、南崗工業區與周遭設施相對位置 14
圖 3-4、南崗工業區已知控制點分布 15
圖 3-5、校正場平面設計圖 16
圖 3-6、幾何校正標樣式 20
圖 3-7、各象限之幾何校正標點數 21
圖 3-8、幾何校正標分布情形 22
圖 3-9、水泥地或硬式地面幾何校正標設置方式 23
圖 3-10、建物頂樓幾何校正標設置方式 24
圖 3-11、影像特徵校正區塊實例 24
圖 3-12、影像特徵校正區塊分布位置 25
圖 3-13、空間解析力校正標樣式 28
圖 3-14、解析力校正標規劃布設位置 29
圖 3-15、輻射校正標樣式 31
圖 3-16、輻射校正標規劃布設位置 32
圖 3-17、點位分布圖 34
圖 4-1、校正飛行作業流程 42
圖 4-2、航線規劃示意圖 44
圖 4-3、拖動導致影像模糊示意圖 45
圖 4-4、測試飛行之航拍成果(a-f) 46

圖 5-1、成像幾何校正的流程 51
圖 5-2、GSD5cm 之測量校正值與參考標準值平面殘差向量 54
圖 5-3、GSD5cm 之測量校正值與參考標準值高程殘差向量 55
圖 5-4、解析力標量測區域示意 58
圖 5-5、沿西門子星半徑位置的切線方向之灰值示意圖 59
圖 5-6、相對調正強度量測和高斯型 MTF 曲線圖 59
圖 5-7、計算 PSF 位置示意圖 60
圖 5-8、輻射標各色階於影像上之量測範圍示意圖 61
圖 5-9、本年度測試反射強度線性關係圖 62
圖 6-1、校正作業系統規劃圖 67
圖 7-1、座談會辦理情形 69
圖 7-2、座談會簽到單 70
圖 9-1、教育訓練實況 86
圖 9-2、教育訓練簽到單 86

表目錄

表 2-1、各階段繳交工作成果及期限 9
表 2-2、全案工作進度及權重配置表 10
表 3-1、日月潭氣象站氣象資料 13
表 3-2、幾何校正標點位數量統計 18
表 3-3、影像特徵校正區塊點位數量統計 25
表 3-4、各級已知控制點在 95%信心區間下之相關檢測標準 35
表 3-5、已知控制點檢測-角度較差量 35
表 3-6、已知控制點檢測-基線長度 L 較差量 35
表 3-7、已知控制點檢測-坐標分量較差值 36
表 3-8、幾何校正標觀測時段表 36
表 3-9、影像校正區塊觀測時段表 38
表 4-1、0904 航拍紀錄 44
表 4-2、0921 航拍紀錄 45
表 5-1、校正項目說明 47
表 9-1、教育訓練課程表 85

第一章　前言

1-1、緣起

行政院於民國 96 年 7 月 9 日「院臺建字第 0960027673 號函」核定經建會國土資訊系統推動小組之「國家地理資訊系統建置及推動十年計畫」，將全國「核心圖資建置與基礎圖資建置」納為重點工作，並預定於民國 104 年完成，包括各比例尺之基本地形圖、數值地形模型、影像資料(含航照影像資料與衛星影像資料)、門牌位置資料、地籍圖與臺灣地區通用版電子地圖等建置作業。而相關作業極度仰賴航遙測技術，有必要對其使用之基礎作業設備加以校正之需求。另外，國土測繪法應用測量實施規則第 12 條中，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」。

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，於研擬「測繪科技發展後續計畫」中程綱要計畫時，爭取經費辦理「建立航遙測感應器校正作業」工作，就國內航遙測感應器系統校正制度予以探究，建置完整體制，規劃建立國家級校正場及研擬校正相關作業程序，以利整體航遙測業發展與工作執行。並委託中華民國航空測量及遙感探測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。

中華民國航空測量及遙感探測學會除了是航遙測專家學者們的社團法人組織，以促進我國航遙測學術活動為宗旨外，其服務委員會還為國內少數歷史悠久的實際從事航遙測業務的機構之一。累積有 30 多年的正射影像製作、立體測圖、地圖編繪經驗以及多年地理資訊系統(Geographic Information System，簡稱 GIS)數值地形圖資料庫及地理資訊系統成果應用服務經驗。經上(100)年度與國土測繪中心共同蒐集相

關文獻資料，研擬合乎規範及符合測繪習慣的校正方法，有了初步的校正方案。本(101)年度實際將校正場建置，辦理測試飛行，取得了更多的實驗資料，並進一步規劃出適宜的校正系統及評估其系統不確定度。

此外，本(101)年度亦與財團法人全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation，以下簡稱 TAF)取得聯繫，針對本校正計畫欲納入校正領域的認證項目進行交流，除讓 TAF 對本校正計畫有初步的了解，本會也對於申請認證有更清楚的方向及理解。

1-2、目的

本案之目的為確認執行測繪任務之航測數位攝影機其幾何精度、幾何解析力及輻射特性等與原製造廠商所宣稱者是否相符，且需符合我國對航空攝影測量航拍所訂之規範需求。

航測攝影機即使在出廠時品質如原廠率定報告所宣稱，但隨執行各項業務長期，儀器可能產生衰退之情形，或因執行任務不同，於歷經多次裝卸中遭遇碰撞，致使儀器內方位改變產生誤差。截至目前為止國內卻無標準校正場地及流程，可供校正儀器了解是否有與出廠當時所率定參數不同之情形。

此外，目前市面上的航測數位攝影機所檢附之率定報告，多屬於原廠於實驗室內完成之率定報告、或廠商各自設計校正場自行校正之成果報告等。而廠商出具的報告或證明，則存在是否屬實或美化之疑慮，或於環境受控制的實驗室內所為之率定是否與實際高空飛行作業兩者間能共通等問題，卻尚未建立標準的校正流程及方法作公正的驗證。

因此，本案之目的即為設計並建置一個標準的室外校正場，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。所設計的校正流程僅作為規格之驗證，並不

對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的回廠校正。

1-3、作業方法

本案設計係為野外現場校正（In Situ Calibration），校正項目包含攝影機成像幾何精度、影像解析力以及影像輻射特性等項目。

本案參考國際上已建立之野外校正場作法並改良設置野外校正場，如芬蘭大地測量研究所(Finnish Geodetic Institute，簡稱 FGI) 的 Sjökulla 測試場(Test field)，作為高解析力航測與衛星攝影機在幾何、輻射及空間解析力等之校驗(Honkavaara et al., 2008)或是美國地質調查所的地球資源觀測與科學中心(Earth Resources Observation and Science，簡稱 EROS)於南達科他州蘇瀑 (Sioux Falls, SD)所建立的室外校正場(In Situ Calibration Ranges，簡稱 ISCRs) (USGS, 2008)。

而本案在本年度中，亦完成校正場設置工作。可於校正場內進行之校正項目有四項，依序如下：航測攝影機成像幾何校正、航測攝影機成像空間解析力校正、航測攝影機成像相對輻射比值的線性度校正及航測攝影機各多譜波段間相對反應強度比值校正。

受校攝影機對校正場進行航空攝影後，於拍得之影像中量測場內設置各類校正標的結果，將之與參考標準比對，以推定各項校正項目是否達到應有的品質標準。

第二章　本年度工作項目執行情形

2-1、工作內容

依據契約書規定，本年度工作項目預計如下：

一、辦理需求訪談

於決標次日起 15 日內至國土測繪中心進行需求訪談，並於決標次日起 20 日內將訪談紀錄送交國土測繪中心。

二、建置航測攝影機系統校正場

（一）設置至少 150 個幾何校正標點位，幾何校正標布設於「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業案」中所規劃之布設位置，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(Dp)原則不低於 USGS 規範 Dp=√【(Dx*Dy)/ (2.5*N)】公尺（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。

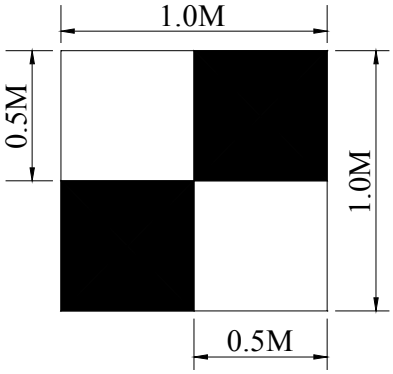


圖 2-1、幾何校正標標形

（二）選擇至少 20 個影像特徵校正區塊位置，區塊規格及相關資料由國土測繪中心提供「莫拉克颱風災區基本地形圖修測案」資料供參。

（三）規劃可攜式空間解析力及輻射校正標（由國土測繪中心提供）布設位置。

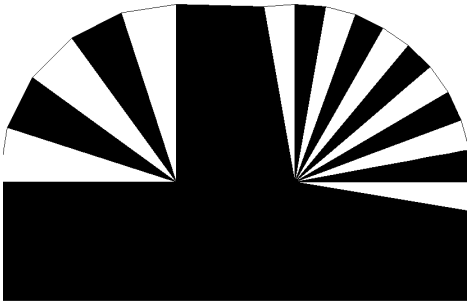


圖 2-2、空間解析力校正標標形

圖 2-3、輻射校正標標形

（四）測量幾何校正標及影像特徵校正區塊特徵點坐標，至少需聯測 3 個以上已知控制點，本會預計採聯測三等控制點以上之檢測合格之已知控制點，並採 1 年內通過 TAF 認證實驗室校正之 GPS（由國土測繪中心提供）設備辦理，採用 GPS 靜態測量方法，最少連續且同步觀測時間大於（含）45 分鐘，衛星訊號資料紀錄間隔為 5 秒，最少重複觀測率為 100%、不同時段最少共同測站數 2 個，不同時段最少基線重複觀測率 5%，重複觀測基線水平分量之差值不得超過（$30+6\times10^{-6}L$）毫米，重複觀測基線垂直分量之差值不得超過（$75+15\times10^{-6}L$）毫米。坐標平面中誤差小於 2 公分、高程中誤差小於 5 公分；必要時可採通過全國認證基金會（TAF）認證實驗室校正之電子測距經緯儀或水準儀辦理。

（五）製作校正場規格書，包含校正場週邊機場、氣象站、平面控制點、水準點、場內地形資料、校正標及影像特徵校正區塊設置位置（點之記）等。

三、辦理校正項目測試分析及標準研商

（一）設計校正航線、規劃校正飛行前置準備作業、校正飛行作業流程及其他相關事項。使用航測攝影機於大、小校正場辦理不同 GSD (Ground Sample Distance 地面解析度)校正測試飛行，產製 20 個影像特徵校正區塊及研究影像特徵校正區塊輔助幾何校正標之方案及可行性。

（二）研擬航測攝影機之幾何、空間解析力及輻射校正項目分析流程。使用國土測繪中心 ERDAS LPS 軟體平台，針對幾何、空間解析力及輻射校正項目，處理分析航測攝影機校正測試飛行資料，並研擬校正作業手冊。並規劃符合國土測繪中心需求之航測攝影機校正作業系統，針對資料庫架構、系統功能、開發及執行環境進行說明。

（三）依照國內製圖規範、原廠文件、測試飛行結果等，訂定校正項目標準；並研擬航測攝影機系統校正作業程序，包含概述、目的、適用範圍、儀具及設備、校正項目、校正流程、校正條件、校正前準備事項、校正程序、校正後作業事項、資料分析、申請書、校正報告等。

（四）辦理至少 1 場次校正作業程序研商座談會，至少邀請相關測繪業、航測攝影機擁有者、相關領域專家學者等，名單需報知國土測繪中心同意，並配合製作會議紀錄。召開座談會所需簡報資料製作、書面資料印製、餐食、場地租借（原則於國土測繪中心召開）、軟硬體設備、人員聯絡等各項費用由本會自行負擔。

四、辦理 TAF 認證準備及規劃作業

（一）研擬航測攝影機校正系統評估，包含概述、目的、適用範圍、儀具及設備、量測原理、量測系統追溯、環境因素、參考值計算程序、不確定度分析程序等。

（二）參考 ISO/IEC 17025 測試與校正實驗室能力一般要求 5.10 節、校正領域認證特定規範 5.4.1 節及校正領域量測不確定度評估指引撰寫。

（三）規劃本案校正項目可納入 TAF 校正領域認證之類別及項目，並向 TAF 訪查納入程序及評估納入 TAF 認證相關成本。

（四）為利本案推動及規劃 TAF 校正認證作業，派至少 1 員至 TAF 上 ISO/IEC 17025 課程，並取得訓練合格證書。

五、辦理教育訓練

辦理 1 梯次幾何、空間解析力及輻射校正項目處理分析教育訓練，初步規劃內容如下：

（一）航遙測基本觀念：國內應用航遙測之現況說明、航遙測所使用各項載具特性及後端資料處理相關技術。

（二）校正場資訊：介紹本案的緣起、目的及未來規劃，並針對各校正項目作說明，使受訓人員了解檢定的意義及作業方式。

人數至少 5 人，時數至少 6 小時，課程提供中文教材，至少提供 5 套以上訓練教材；訓練所需講師、教材費用、餐飲費用及場地費用由本會負責。

六、交付進度、工作總報告書及投稿文章

（一）於決標次日起每個月 1 日前提出工作執行書面報告交付國土測繪中心，內容包含預定及實際執行工作進度，並視需要提出工作協調事項及工作遭遇困難。每個月召開 1 次工作會議為原則，必要時得調整之，將工作執行情形及困難、請國土測繪中心協助事項等，於召開工作會議時提出討論。

（二）工作總報告書至少包含中英文摘要及關鍵字、前言、目的、本年度工作項目執行情形及成果、檢討、建議、下年度作業規劃及流程，附件包含歷次會議簽到簿及紀錄、教育訓練簽到簿、校正作業程序研

商座談會簽到簿及會議紀錄。

（三）撰寫 2 篇以上論文，中文原則比照測量及空間資訊研討會規定格式，英文原則比照 Survey Review 期刊規定格式撰寫，需於 101 年底前提送 1 篇至國內期刊或研討會，並於本案保固期間內提送 1 篇至國外期刊或研討會。

2-2、工作進度及應交付成果

本節將說明本會工作進度管控方法及對於整體工作之時程安排與規劃：

一、工作進度管控

為了確實掌握進度，本會提出的進度控管從三方面著手，並積極與國土測繪中心協調溝通，使工作能互相配合順利進行。

（一）提報月進度報告

於簽約後次日每個月 1 日前提出工作執行書面報告交付國土測繪中心，內容包含預定及實際執行工作進度，視需要提出工作協調事項及工作遭遇困難，並於召開工作會議時提出報告。

（二）參與工作會議

本案之工作會議之召開以每個月一次為原則，如於作業中遭遇困難或臨時有疑義，將第一時間提報國土測繪中心，先作充分溝通，如仍無法解決才會提出臨時召開工作會議之要求。

每次工作會議議題與結論將均列入會議紀錄，並持續追蹤後續執行狀況，會議召開時將優先針對上次會議結論辦理情形進行檢討說明。所有工作會議紀錄將收錄於工作報告書中，作為本案執行過程中的詳實紀錄，本年度之歷屆會議紀錄如本報告書附件 1「歷次會議簽到簿及紀錄」。

二、各項工作時程進度及權重分配

本計畫自決標日 101 年 4 月 6 日次日起，依契約於 230 日曆天內，分 2 階段完成所有工作項目。各階段計畫時程及交付成果如下表 2-1 所示：

表 2-1、各階段繳交工作成果及期限

階段	交付項目	單位	書面	電子檔	契約繳交期限	實際繳交日期
一	需求訪談紀錄	份	10	3	**101.04.26** 於決標次日起 20 日曆天	**101.04.26** 101 航測會字第 0105 號
	校正標及影像特徵校正區塊測量原始觀測數據、計算成果	份	3	3	**101.08.04** 於決標次日起 120 日曆天	**101.08.03** 101 航測會字第 0225 號
	航測攝影機系統校正場規格書	份	10	3		
二	校正測試飛行航拍紀錄、導航資料、數位影像檔	份	-	3	**101.10.23** 於決標次日起 200 日曆天	**101.10.22** 101 航測會字第 0299 號
	航測攝影機系統校正作業程序及校正系統評估	份	10	3		
	論文摘要	份	3	3	**101.11.22** 於決標次日起 230 日曆天	**101.11.22** 101 航測會字第 0339 號
	工作總報告書初稿	份	15	3		

各工作項目之權重分配，為依據實際作業之經費與時間進行計算，得出各作業項目及每個月之工作進度百分比。

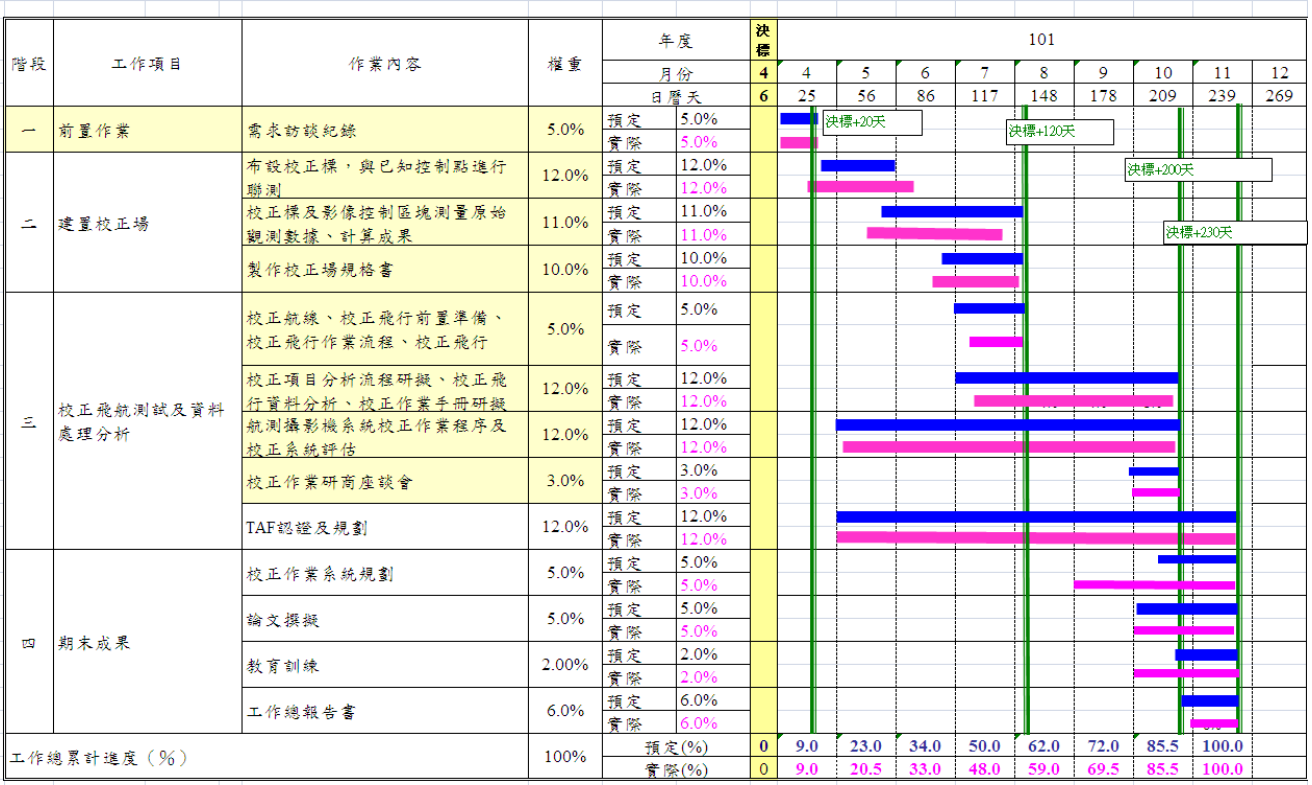
本會根據以上原則，並依實際的決標日再訂定明確的作業期程，配合各作業分配權重，規劃出每個月之預定進度，藉由工作進度管制圖，清楚完整呈現本案執行之實際進度是否與預計進度相符。

截至本案作業至 11 月 22 日止，本案工作進度及權重配置如表 2-2

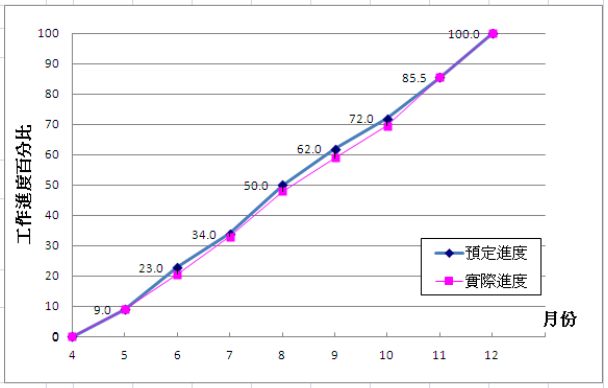
所示，天數的部分是以日曆天規劃。

表 2-2、全案工作進度及權重配置表

階段	工作項目	作業內容	權重	年度		決標	101								
				月份		4	4	5	6	7	8	9	10	11	12
				日曆天		6	25	56	86	117	148	178	209	239	269
一	前置作業	需求訪談紀錄	5.0%	預定	5.0%										
				實際	5.0%										
二	建置校正場	布設校正標，與已知控制點進行聯測	12.0%	預定	12.0%										
				實際	12.0%										
		校正標及影像控制區塊測量原始觀測數據、計算成果	11.0%	預定	11.0%										
				實際	11.0%										
		製作校正場規格書	10.0%	預定	10.0%										
				實際	10.0%										
三	校正飛航測試及資料處理分析	校正航線、校正飛行前置準備、校正飛行作業流程、校正飛行	5.0%	預定	5.0%										
				實際	5.0%										
		校正項目分析流程研擬、校正飛行資料分析、校正作業手冊研擬	12.0%	預定	12.0%										
				實際	12.0%										
		航測攝影機系統校正作業程序及校正系統評估	12.0%	預定	12.0%										
				實際	12.0%										
		校正作業研商座談會	3.0%	預定	3.0%										
				實際	3.0%										
		TAF認證及規劃	12.0%	預定	12.0%										
				實際	12.0%										
四	期末成果	校正作業系統規劃	5.0%	預定	5.0%										
				實際	5.0%										
		論文撰擬	5.0%	預定	5.0%										
				實際	5.0%										
		教育訓練	2.00%	預定	2.0%										
				實際	2.0%										
		工作總報告書	6.0%	預定	6.0%										
				實際	6.0%										
工作總累計進度（%）			100%	預定(%)		0	9.0	23.0	34.0	50.0	62.0	72.0	85.5	100.0	
				實際(%)		0	9.0	20.5	33.0	48.0	59.0	69.5	85.5	100.0	



進度說明	
本月執行工作項目	1. 提送論文摘要。2. 提送工作總報告書。
本月進度	預定:100%，實際：100%
趕工計畫	無
待協調事項	無
來月進度說明	



第三章　建置航測攝影機系統校正場

本案為延續前案「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」之規劃，由於考量布標的便利性，故建議校正場址以設置在工業區、科學園區或學校再搭配週邊區域設施為原則。

於 100 年度舉行之「校正場選擇評估因素專家學者研商會議」，會中就初步選出的候選校正場址進行選址討論，候選校正場址如下：宜蘭縣龍德工業區、新竹市新竹科學園區、新竹縣工業技術研究院、台中市台中港區、台中市鐵砧山、台中市大坑、彰化縣彰濱工業區、彰化縣鹿港鎮、南投縣南崗工業區及台北市國立政治大學校區周邊等。經會上決議排定校正場優先設置順序，第一順位為南崗工業區，故 101 年度於南崗工業區進行實際校正場之建置。

於本章節將說明選址考量因素，再就選址考量因素依序作校正場環境背景介紹。

3-1、環境介紹

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，到台中港約 47 公里，向西可達員林、彰化，至中山高速公路王田交流道約 21 公里，距離第二高速公路南投交流道也僅 1 公里。向南沿名間、竹山可至斗六、嘉義，對外交通四通八達，極為方便，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。

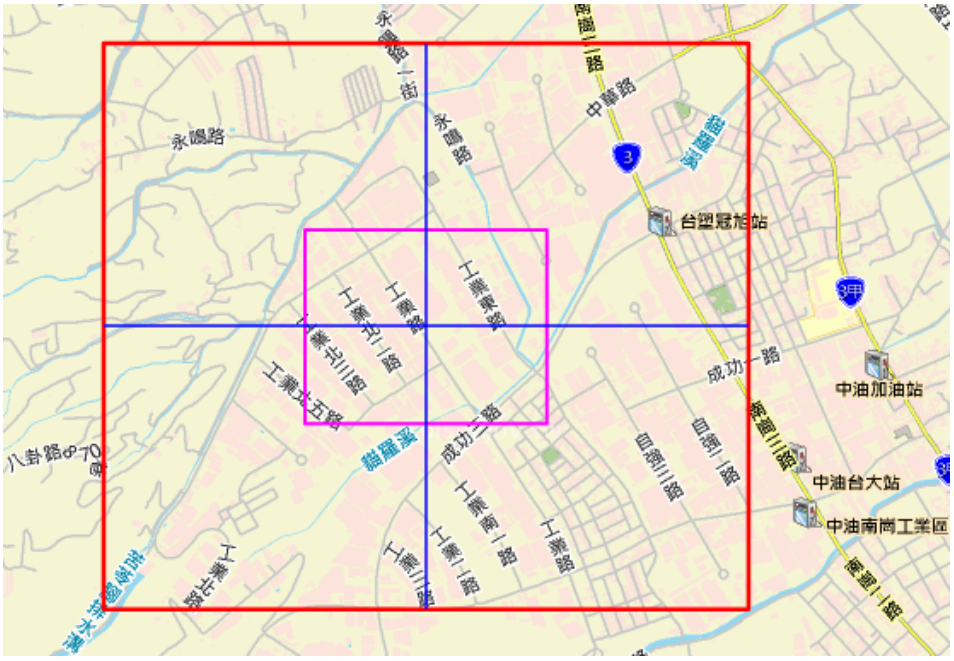


圖 3-1、南崗工業區航測攝影機校正場位置圖

本場選定於南崗工業區設置，總括考量因素如下：

一、飛行方便性

南崗工業區鄰近台中清泉崗機場，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。

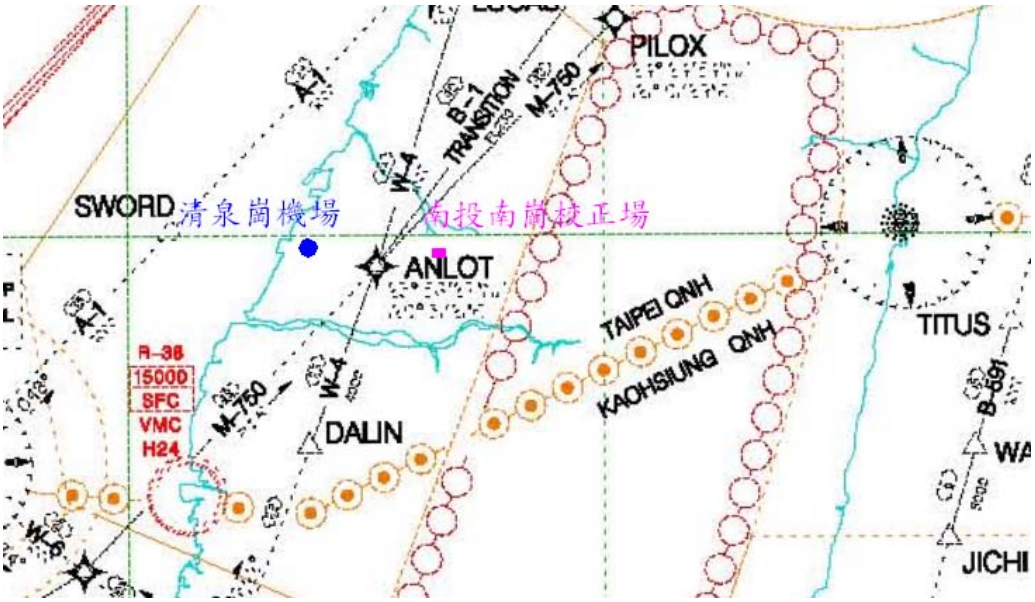


圖 3-2、南崗工業區飛航管制劃分圖

二、校正標維護

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、重新施測較易協調。

三、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。

此處地形有足夠的起伏高差便於偵測出與高差相關的誤差，而又不會因為有高山造成低航高設計之困難，因此適合作校正之用。

四、鄰近 GNSS 永久追蹤站

本場半徑約 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），相距本場僅 6 公里。

五、天候

本場之長年氣候情況，可參考日月潭氣象站氣象資料概略推估得知，如表 3-1。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 3-1、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

而上述第四及第五項兩設施與本場之相對位置如圖 3-3 所示。

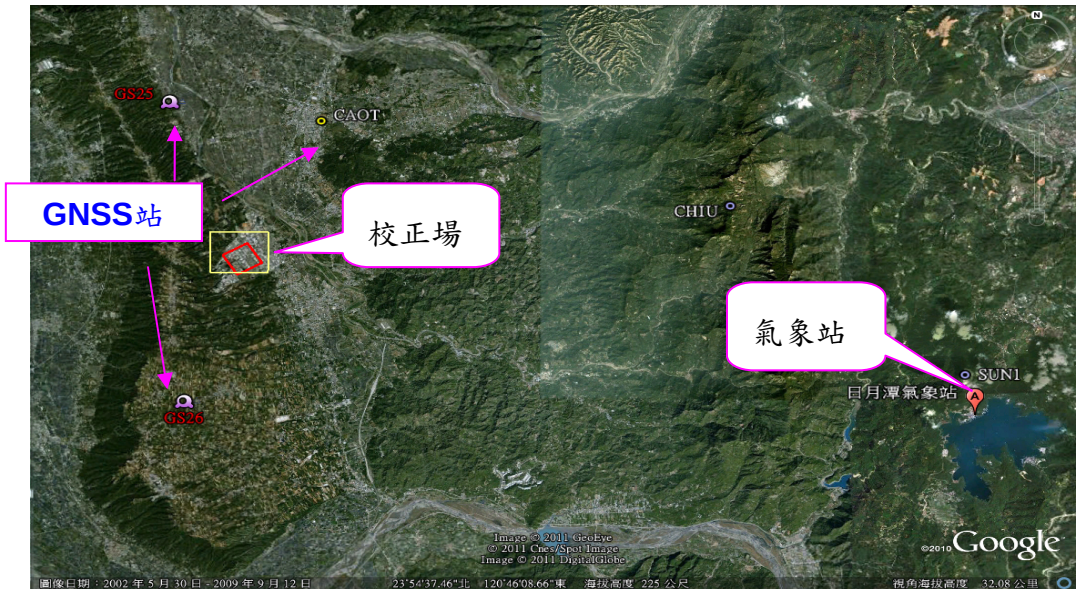


圖 3-3、南崗工業區與周遭設施相對位置

六、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 3-4 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品質要求與加密控制測量同級，因此三等衛星控制點即足夠做為基準使用，故最後選擇 MX34、MX57、MX58 及 MX64 等 4 個三等衛星控制點，做為本場區基準控制之用。

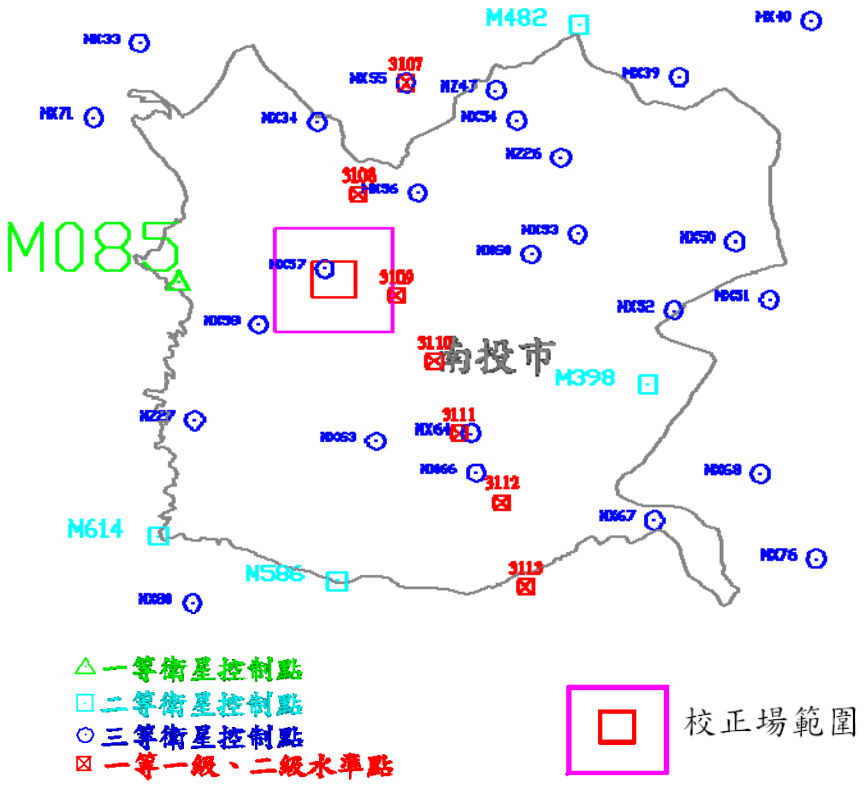


圖 3-4、南崗工業區已知控制點分布

3-2、場地規劃設計

校正場址選定後，即設計規劃校正場之設置細節。選址因素考量、校正場址優先順序、幾何、輻射及解析力校正標規格、樣式等，皆是依照上一年度「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」之工作結論辦理。

一、場地規劃

本場地設計為矩形，矩形之長、短邊分別平行東西及南北方向。完整校正場為大校正場，矩形長邊為 2,000 公尺，短邊為 1,750 公尺。大校正場內再劃分一小的矩形場地為小校正場，其邊長分別為 750 公尺及 600 公尺，供低空飛行之校正用。為使大校正場之每一象限能共用小校正場的控制點，故小校正場安排於大校正場之中央位置，如圖 3-5 所示。

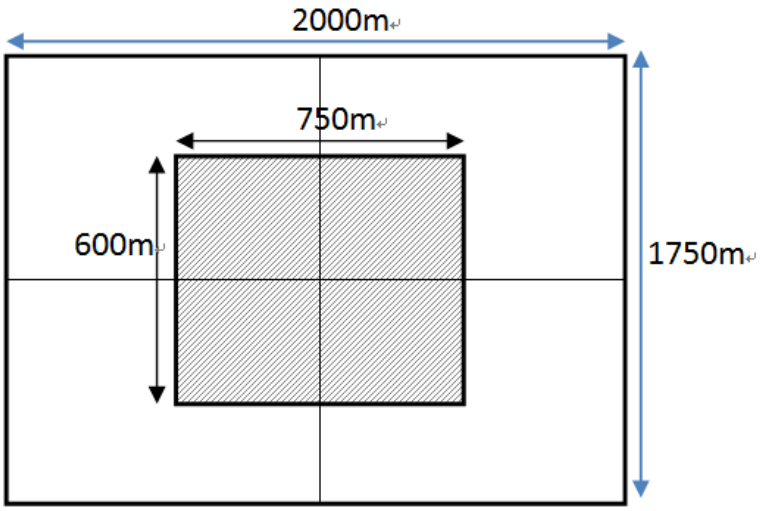


圖 3-5、校正場平面設計圖

決定本場大小設置規劃後，首先須考量校正場內是否能順利布標，下一步則聯繫布標相關工作。

雖然南崗工業區之土地所有權人較為單純，多為公司行號，但工廠廠區涵蓋範圍通常相對私人零碎土地為大，若有一家工廠拒絕進入，則整體校正標分布會有局部空洞之情形產生。實務上和所有權人交涉時，事先電話連繫，聯繫完畢後，再行文告知，現場登門拜訪說明來意，以同一窗口同一說法，進而至現場拜訪私人土地所有權人，以取得土地所有權人信任，若無法取得信任，將增加布標之困難度。

所有權人允許布標設置後，進入私人土地，應尊重工廠作業管制區及土地所有權人使用情形，遵守相關規定；服裝儀容整齊，避免過度頻繁進出，勿隨意喧嘩，勿隨意進出私人辦公室或非土地所有權人同意之區域。

二、校正標選點規劃

校正標選點內容包括幾何校正標、影像特徵校正區塊、輻射標及解析力標位置選點，其各校正標之選點原則如後所述。

(一)幾何校正標選點原則

校正場內之幾何校正標以均勻分布為原則。設置時，將本場等分

為 4 個象限，各象限內之幾何校正標數量不得低於幾何校正標總點數之 20%。

1. 點位間距及透空要求

幾何校正標選點的工作，首先於影像上圈選備選位置，選點原則為優先選擇具有 45 度以上透空度之位置，且幾何校正標間距（Dp）依契約規定，以不低於 $Dp=\sqrt{[(Dx*Dy)/(2.5*N)]}$公尺為原則（Dp：幾何校正標間距、Dx：校正場長、Dy：校正場寬。Dp、Dx、Dy 單位均為公尺。N：幾何校正標數量）。

依上述公式換算之後，初步選點時，排除無法進入之私人土地情形，點位間距離於大校正場約為 150 公尺，小校正場則約為 45 公尺為原則，設定此點位間距的目的是為了確實實踐點位分布均勻的原則。

2. 布設點位之地面材質

由於幾何校正標中心為鋼釘標，其標翼為直接於現地塗漆，故亦須考慮地面材質是否堅硬不易變動，且平整易上漆，才合適布標，如維護良好柏油路面、平整之水泥地面甚至紅磚步道，皆適宜鑿洞釘標及塗漆上色，須避開如沙地、碎石地，已略為龜裂沙化之地面等土質鬆軟易晃動且不合適塗漆之地。

3. 遇有無法布標或無法進入之情況

儘管事先於影像選點時，規劃為均勻分布，且點間距盡量一致，但至現場發現備選點位遭受停車遮蔽、地面材質不適合布標或同意布標之廠區內有管制區無法進入之情況，只能退而求其次以附近道路或公有土地為替代點位置，變更至鄰近適合點位取代。

4. 實際布標數量

實際布標時，受前述因素影響，未能如規劃選定位置布設。原先規劃於影像上選點 231 處布設幾何校正標，經初步電話連繫取得土地所有權人同意後，可用點位為 207 點，再經現場場勘並再次就位置、

施工方式等取得土地所有權人同意後，實際布標點位剩餘 183 點，各點位置統計分析表，如表 3-2。

表 3-2、幾何校正標點位數量統計

位置	私人土地		馬路	人行道	加總
	地面	樓頂			
小校正場	23	12	36	7	78
大校正場	2	0	96	7	105
加總	25	12	132	14	**總計 183**

(二)影像特徵校正區塊選點原則

依實際執行經驗，實務上幾何校正標維護成本高，有易受遮蔽且到達現場施測成本高之情形。為了減少地面控制點設置及維護成本，本場納入美國地質調查所（以下簡稱 USGS）於蘇瀑測試場(Sioux Falls Range)測試所提出之構想，製作校正場高精度正射影像，從中取得之影像區塊(Image chips)取代傳統的布標做為檢核點(USGS,2008)。

本場再由 USGS 之構想進一步改良，非從高精度正射影像取得影像區塊，而是以大比例尺（GSD 約 5cm）之航照影像，先完成空三計算後求得外方位，組成航照影像立體模型，從中選取影像特徵校正區塊。兩者差異在於正射影像上取得之影像區塊僅有平面(x,y)坐標，而立體模型所量得之影像特徵校正區塊則能獲得三維(x,y,z)坐標，更適合作為校正之用。

設置影像特徵校正區塊之目的在於避免幾何校正標之布標限制及降低成本，因此影像特徵校正區塊選點時，優先以是否利於立體模型量測之角度考量，其幾何精度則是以立體模型之幾何精度為依據。

於本年度作業中，為證實以影像特徵校正區塊校正之可行性，因此以 GPS 靜態測量之成果作為坐標標準值，將依實際成果驗證立體模型取得影像特徵校正區塊之幾何精度。由於需要取得在 GPS 靜態測量之坐標成果，因此在選點之考量上，除透空良好、點位定義明確且利於立體量測外，尚須考量人員易於到達施測 GPS，短時間內不易變動等特性。

於本場內，影像特徵校正區塊皆位於小校正場內，即將來規劃航拍 GSD 5cm 影像之範圍內，選點時考量須為可進入建物其頂樓平台之女兒牆點位為優先，其次為其他明顯之點位特徵，再來考慮盡量使影像特徵校正區塊能均勻分布。

如以影像特徵校正區塊校正為可行，於後續應用，只要立體像對內外方位正確，且確立立體模型之幾何精度後，立體像對可視為恢復成像當時真實世界情況之模型，則處處都是已知點位。只要點位定義明確、立體量測人員有把握能在一定之精度內量測取得三維坐標點位，則毋須考慮人員是否容易到達現地之因素。即使需實地驗證時，也只要選擇幾處容易到達之點位進行現場 GPS 測量即可推論其他。

相對來說，影像特徵校正區塊之幾何精度和航高（影像解析度）有關，以本場預計拍攝之最大解析度 5cm 之影像而言，考量量測精度及對點誤差後，粗估算應可達平面約 3cm 以內之幾何精度（一倍之標準偏差），當然不若實際布設幾何校正標要求 2cm 為高，但就以測繪用途來說，目前大比例尺 1/1,000 精度要求為 25cm，1/5,000 比例尺圖資要求為 1.25m，應已足夠使用。

(三)空間解析力校正標選點原則

空間解析力標為可攜式而非永久固定式，布標位置較為彈性，故於小校正場內選擇場地寬闊、無遮蔽、不受干擾且方便進出之場所，航拍前攜帶至現場視情況擇一布設即可。

(四)輻射校正標選點原則

輻射校正標同空間解析力標為可攜式而非永久固定式，布標原則相同，通常和空間解析力標為同一位置。

3-3、校正標設置成果

選點原則及規劃確立後，即進行校正標設置。本章節說明各式校

正標之校正目的、規格、製作、設置、實際布設點位位置及後續維護等項目。

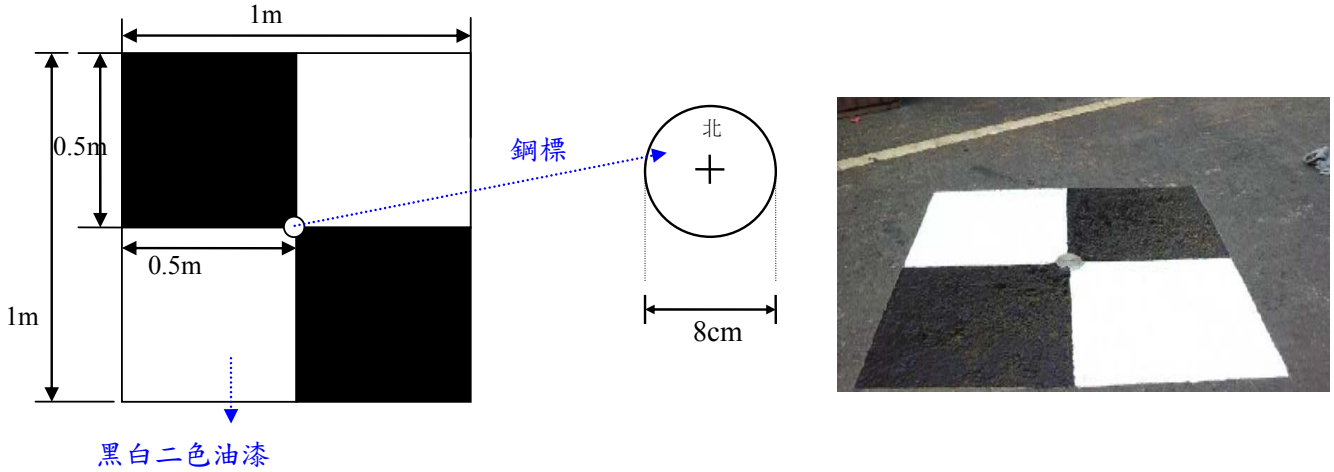
一、幾何校正標

(一)校正目的

幾何校正標可做為地面控制點或地面檢核點之用。目的為量測幾何校正標在地表(物空間)真實位置與由影像(像空間)推算所得位置間的差量，此差量即可作為幾何精度的指標，來判斷儀器是否達到高精度定位之能力。

(二)幾何校正標規格

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，本場採用之標翼形狀為邊長 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，且 20 公分至 5 公分間的 GSD 之影像皆可使用。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。



(1)設計樣式　　(2)實品

圖 3-6、幾何校正標樣式

(三)幾何校正標布設位置

實際布設時因受限現地情況，如私人土地無法順利進入或布設不

易，加上需考量點位間距已達均勻分布之目的及透空度等，故有無法完全滿足所有條件之情形，但最終仍符合幾何校正標點位盡可能均勻分布之要求。

目前校正場內共布設 183 個幾何校正標，已有足夠數量的點位來做數量與分布對於校正效力的分析實驗，未來將依據實驗結果再決定校正時實際需要的點數，各象限之點數如圖 3-7 所示。

小校正場內四象限之點數，由右上順時鐘開始依序為 24、18、15 及 17 點，共 74 點；大校正場（含小校正場內點數）則為點數 48、48、36 及 51，總計 183 個點。於大校正場至少兩幾何校正標之最短距離為 150m，小校正場則為 50m，且各象限之點數滿足至少 20%幾何校正場之要求。

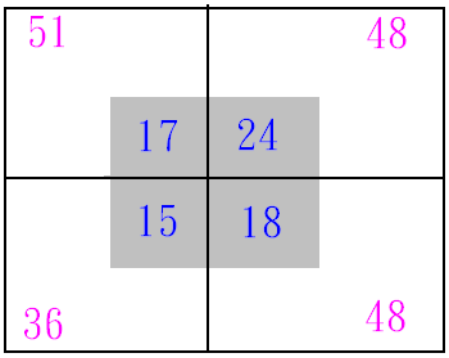
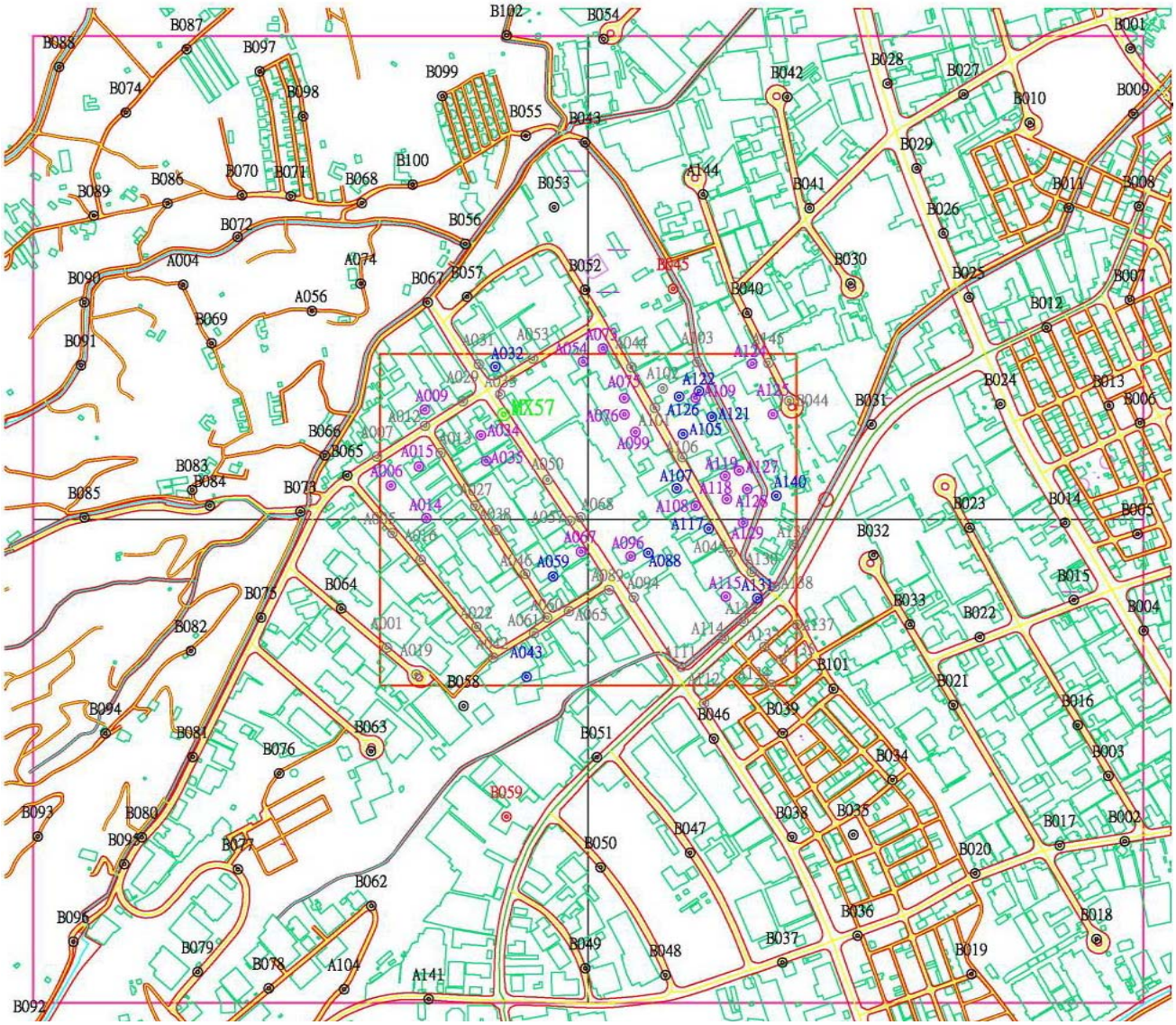


圖 3-7、各象限之幾何校正標點數

幾何校正標點位於校正場分布如圖 3-8 所示，而各幾何校正標之點位布設位置、點位周遭環境等資訊則記錄於點之記。



小校正場_私人土地點位	12 點
小校正場_頂樓點位	23 點
小校正場_道路點位	43 點
大校正場_私人土地點位	2 點
大校正場_道路點位	103 點

圖 3-8、幾何校正標分布情形

(四)點號編號原則

點號編碼為 4 碼，英文文字 1 碼，數字 3 碼，文字為前數字於後。位於小校正場內之點號以英文數字 A 為開頭，如 A001，以此依序排列，於大校正場內且不落於小校正場內之點號以英文數字 B 為開頭，如 B001，影像特徵校正區塊則以 C 為開頭，以此原則依序排列編碼。

(五)幾何校正標設置方式

幾何校正標及標心之鋼標埋設環境有二種，第一種是水泥地或硬式路面，第二種是建物頂樓，因環境不同有不同的施作方式，其中第一種施工方式若所有權人不同意地面鑿洞作業，則改以第二種施工方式辦理。

1.水泥地或硬式路面設置設置方式

水泥地或硬式地面以塗刷黑白兩色油漆於地面作為幾何校正標；另考量設置穩固性，於埋設位置鑿洞灌滿 EPOXY 膠、植筋膠或水泥漿後埋設鋼標，施工方式如圖 3-9。

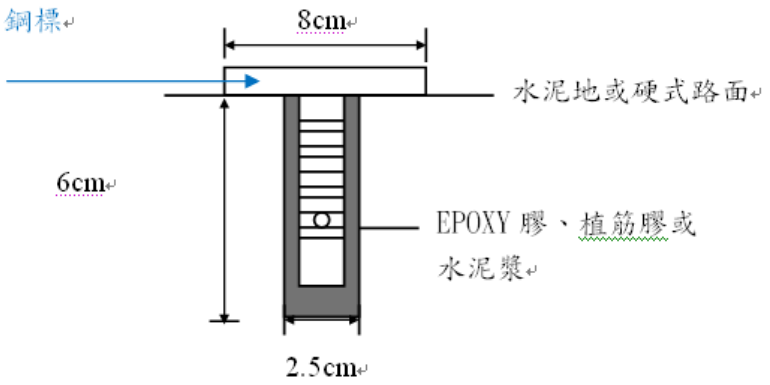


圖 3-9、水泥地或硬式地面幾何校正標設置方式

2.建物頂樓設置方式

以塗刷黑白兩色油漆於頂樓表面作為幾何校正標；另因優先考量盡量不破壞建物表面，使用 EPOXY 膠或植筋膠黏著圓盤片標，施工方式如下圖 3-10。

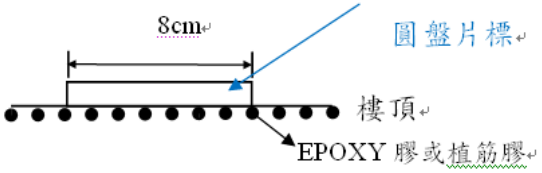


圖 3-10、建物頂樓幾何校正標設置方式

(六)維護方式

幾何校正標之維護方式為每年於校正場開放之前，完成清標之工作，並重新油漆，確認遺失點位數量、分布是否足以供校正作業使用，不足者須重新補足。

二、影像特徵校正區塊

(一)校正目的

校正目的同幾何校正標，構想為參照美國 USGS 以正射影像建置影像特徵校正區塊輔助地面實測控制點為校正點的方式，利用現地已有之明顯可辨認、定義清楚且易於施測之地物特徵點，做為幾何校正之用，以減輕日後幾何校正標維護之負擔。

(二)影像特徵校正區塊規格

影像特徵校正區塊點位要求為特徵位置須明確不易變動、便於施測且透空度良好如圖 3-11，詳細位置請參考規格書附錄 3「影像特徵校正區塊點之記」。

圖 3-11、影像特徵校正區塊實例

作業之初使用國土測繪中心提供之 98 年度所測製之地形圖規劃選點女兒牆點位 25 點，經現場勘查排除點位布設困難後施測 24 點，施測完畢後發現其中 3 點位於不利於影像判斷故剔除，最後剩餘 21 點，點位統計如表 3-3。

表 3-3、影像特徵校正區塊點位數量統計

位置	私人土地		道路或公有地	加總
	地面	樓頂		
小校正場	0	21	0	21
大校正場	0	0	0	0
加總	0	21	0	總計 21 點

(三)影像特徵校正區塊布設位置

影像特徵校正區塊主要集中在可進入之工廠廠房頂樓，其周圍亦有幾何校正標，測量時，將影像特徵校正區塊點位聯測到幾何校正標之網形上，點位分布如圖 3-12，詳細之影像特徵校正區塊之位置、透空情形記錄於點之記。

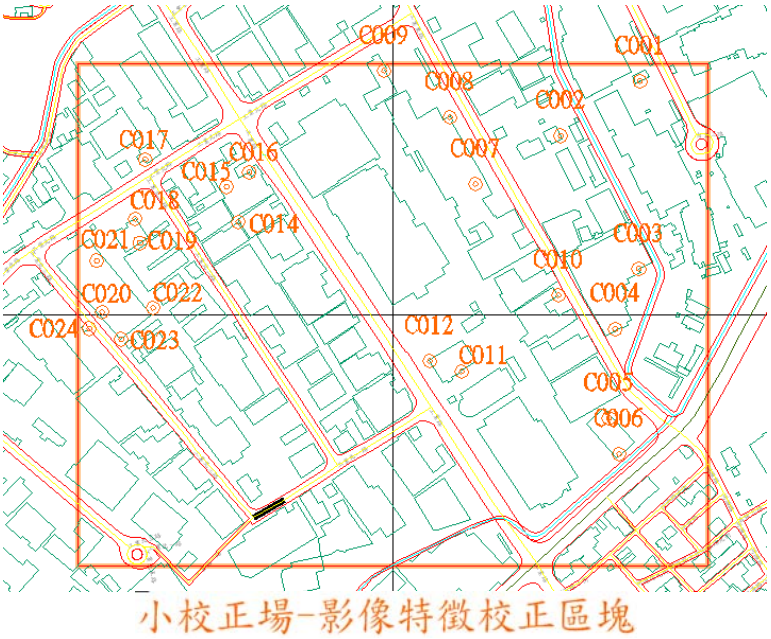


圖 3-12、影像特徵校正區塊分布位置

(四)影像特徵校正區塊可行性分析

經過本次初步實驗後，發現以影像特徵點做為校正標時，特徵點本身是沒有問題的。因為經過此次空中三角測量以特徵點做為空三連結點的立體量測精度與人工布設的校正標立體量測的精度是一樣的。但是如果以滿足 TAF 對於標準件必須能追溯為先決條件的話，則以影像特徵點做為校正標在目前是不可行的。因為如果要追溯，則影像特徵點必須以具有追溯能力的 GPS 施測。而依據前（二）所列條件以及前（三）中實際選點的結果可以發現，在工業區內大部分廠房的屋頂為人字形斜頂，沒有適合 GPS 測量且可以登上屋頂施測的女兒牆。少數可以允許登頂施測具有的鋼筋混凝土式廠房雖然座樓可有多處女兒牆可供施測，但是對於全區整個校正場而言，點位分布無法達到人工埋設般均勻程度。而工業區周邊民宅樓頂大多亦加蓋有斜頂違建，亦無法供 GPS 施測，情況比工業區更差。

因此以影像特徵點做為校正標是否可行，仍待本研究以人工埋設之校正標做完最少校正標數目研究後，才可定案。如果後續研究結果證明不需要一百多各校正標，只要三、四十個即足夠，且分布不均勻亦可，則使用可以追溯到 GPS 測量的影像特徵點即有可能代替人工埋設的校正標。

另外一個方案就是以人工埋設的校正標做為可追溯標準件，一旦此標準件獲得 TAF 認可後，則繼續向 TAF 申請凡以該標準件為基準所做的空中三角測量獲得的成果（坐標）做為次一級可追溯之標準件。如果此案可行，則本場初創時空中三角測量量出的結果均可做為後次級標準件。此時即使不能施測 GPS 的影像特徵點亦可於經過空中三角測量的量測後做為次級追溯的標準件使用。點位分布及數量即不成問題了。

不過無論是何方案，在本場初步實驗未完成之前，尚無定論。建議等實際運行順暢獲得業界認可後，才逐步試著推行以影像特徵點取代布標點。

三、空間解析力校正標

(一)校正目的

本場解析力校正方式是推估受校正影像實際之調制轉換函數(Modulation Transfer Function，以下簡稱 MTF)。以此函數在空間解析力為 20 lp/mm 時是否能達到基本圖測製規範所定之 0.4 的調制轉換能力判定其精度是否滿足國土測繪之需求。

同一航次航拍之影像，其解析力水準應該是一致的，因此此項校正標之數量不需要很多，實際作業時，也僅需針對其中一兩幅影像做校正，確認是否可達原廠商所述之解析力，或可供某一比例尺製圖使用。

傳統量測 MTF 的方法是於校正場內布設多種不同空間頻率的條紋式校正標，以量測各頻率的實際調制能力來擬合一 MTF。亦有採用所謂西門子星（Siemens Star）以輻射狀扇形條紋取代長方形條紋者。而近年來由影像處理學又導出一個新的方法，是以估計受校正影像點散函數（Point Spread Function，以下簡稱 PSF，對於邊緣而言則稱為邊散函數 Edge Spread Function，以下簡稱 ESF）的方式來間接推算 MTF。此間接法的好處是不必布設多種頻率的校正標，只要布設一個符合航拍影像解析度單一黑白並列的標即可。

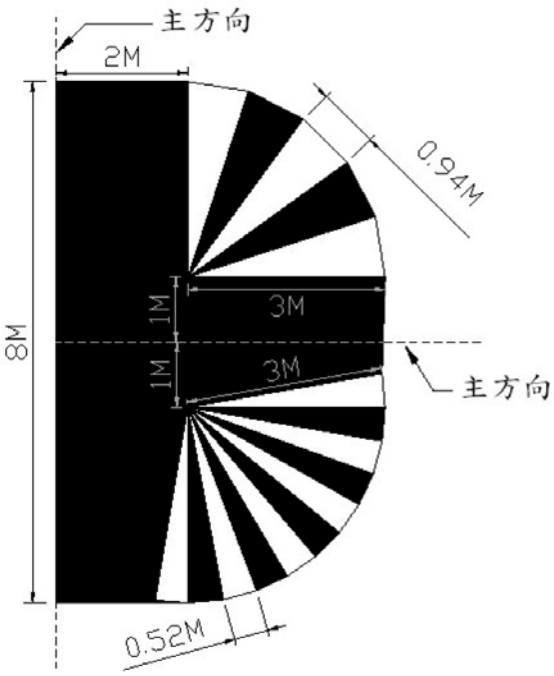
(二)空間解析力校正標規格

空間解析力校正標是參考美國之經驗(USGS, 2008)作改良，將原來 360 度對稱的完整星形校正標，由中心等分為四，僅取其一個象限製成改良後之西門子星（Siemens Star)，黑底白標，如圖 3-13。

空間解析力校正標之規格長方形尺寸為 8 公尺x2 公尺。另外，加入 2 個扇形；一個扇形其夾角為 90 度，半徑為 3 公尺，將該扇形區分為 5 等分；另一個扇形其夾角亦為 90 度，半徑為 3 公尺，將該扇形區分為 9 等分，並於扇形兩側外多加 1 等分之白色。

因為本場校正飛行採四重疊飛行方式，故四分之一西門子星經四

重疊飛行後，即可出現在像幅的任何方向。但為了顧慮小校正場之高解析力應用，再多加上一個象限的較細緻的星（圖中下半部）。同時為了便於間接法計算 PSF，在二個象限之間以及二個象限的左側留有較寬黑邊以取得足夠的邊緣寬度，供量測計算 PSF 所需的邊緣強度變化值。



(1)設計樣式

(2)實品

圖 3-13、空間解析力校正標樣式

(三)空間解析力校正標布設位置

布標時選擇校正場內一處平坦地，架設場地以空曠平坦之區域為優先考量，如為泥土場地則應對欲架設之場地範圍進行雜草清除。亦可架設於不易或受干擾破壞之場地(如：大型平頂樓頂上)，初步選擇地點約略如圖 3-14 為劍麟公司頂樓停車場，概略位置於圖中 E1 處。

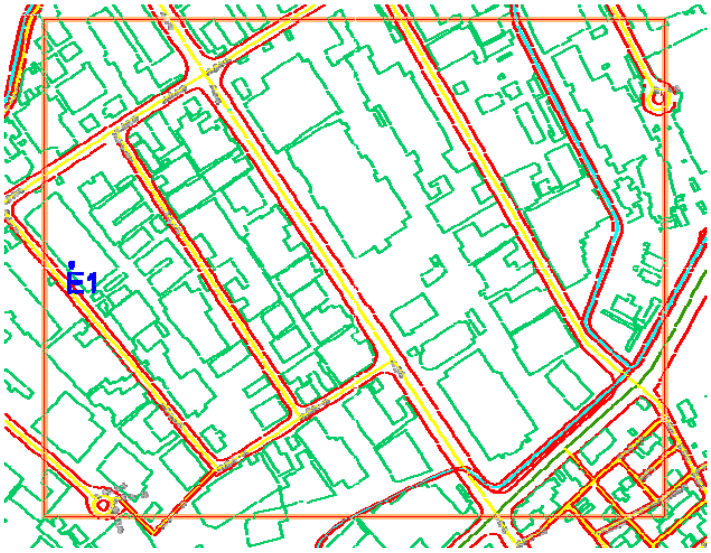


圖 3-14、解析力校正標規劃布設位置

(四)空間解析力校正標設置方式

架設場地以空曠平坦地為優先考量，對欲架設之場地範圍進行碎石、異物的清除。空間解析力校正標周圍設有金屬孔洞，將整個空間解析力校正標拉開輔以繩索及營釘固定於地面，繩索繫住營釘，並將營釘釘牢於地面上。若須架設於不可施工造成損壞之場地(如：大型屋頂上)，則可將繩索繫在周圍固定物上或以人力拉開繩索並維持，以求空間解析力校正標平整地展開，同時亦可於校正標四角擺放重物(例：磚頭、石塊)，避免風吹移動。

為避免破壞既有場地，又要使校正標平坦布設且不受風吹移動影響，日後可考慮設計專屬鐵架框，將整個空間解析力校正標繫於鐵架框上。

(五)空間解析力校正標維護方式

開放校正時間內，於規定准許航空攝影前，將空間解析力校正標裝置妥當，並清掃標布之表面，不得累積塵埃、水分和其他雜物；每日航空攝影結束後，將空間解析力校正標收納放置於乾燥室內保存。

四、輻射校正標

(一)校正目的

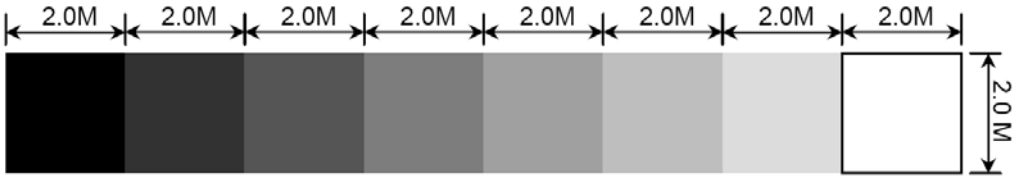
輻射校正之項目有輻射域、輻射解析度、色彩平衡。因絕對輻射校正係由攝影機製造廠商於室內校正場實施，本場僅對攝影機的全色態、紅、綠、藍及近紅外光感應器相對強度感應是否正確以及原廠所宣稱的相對感應強度比值及反應的線性度（Linearity）是否屬實。

本輻射校正之構想為經由配合標準白板以地面光譜儀(Spectral Radiometer) 量取校正標各灰階在各波段的輻射值(Radiance)化算為反射值(Reflectance)的相對比值，以供比對受校正影像中所拍攝校正標實際各波段相對比值，進行輻射校正。

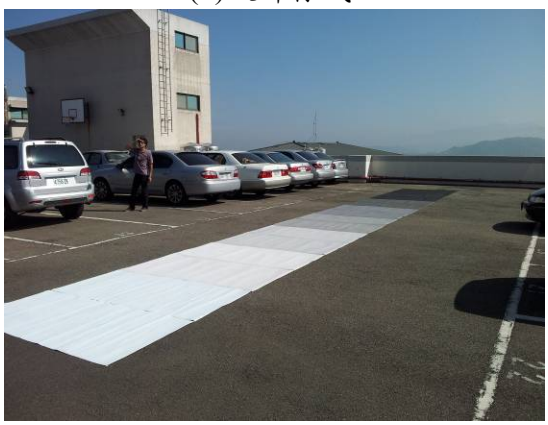
僅供航空攝影測量而非遙感探測使用之攝影機校正，校正時僅對其影像三原色波段光譜進行相對性比對。其目的在對所產製之正射影像各波段比例提供參考。如果未來還要將遙測亦納入國土測繪規定之校正項目，則受驗之攝影機必須具有獲取影像之反射值能力。亦即該影像必須先經由適當程序完成大氣修正(Atmospheric Correction)，得到反射值後方可進行校正，至於遙測影像之校正不屬於本場設計之範圍。

(二)輻射校正標規格

本場係參考芬蘭以礫石為材料之經驗，加以改良為以粗砂紙做材料。設計成以 16 張長寬各為 1 公尺、2 公尺粒度 40 之矩形砂紙組成以製作一近似藍勃特散射面，並於砂紙上平光漆由黑至白共八色階，每色階由兩張同色之砂紙拼接成長寬各為 2 公尺之正方形，如圖 3-15。



(1)設計樣式



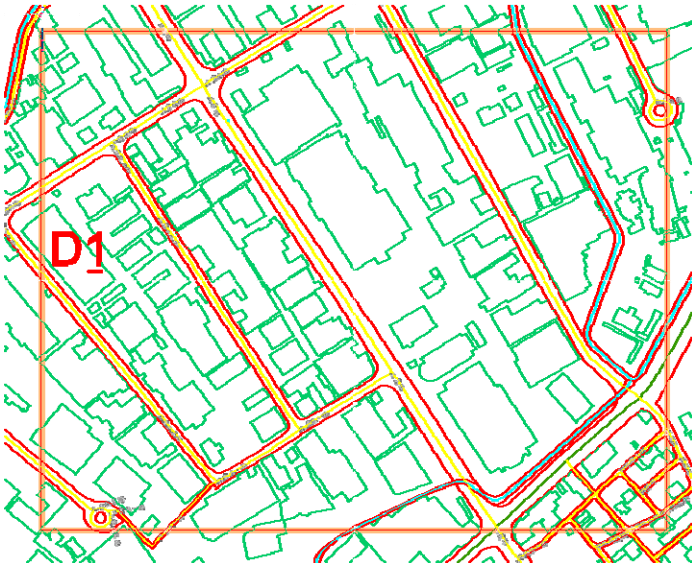
(2)實品

圖 3-15、輻射校正標樣式

由於測繪所用之影像輻射校正目的在為正射影像提供最基本品質判斷的標準，而正射影像製作時，還需對色調及色彩加以調整，不會直接複製原始影像的色調及色彩，所以對原始影像中灰階標波譜反應強度的量測精度只要能達到驗證其與原廠宣稱的數據相符，且可以用為正射影像製作即可。

(三)輻射校正標布設位置

輻射校正標之布設點位，通常連同空間解析力標一起布設，因此選擇之條件相同。選擇校正場內空曠平坦之區域為優先考量，如為泥土場地或大型平頂樓頂，初步選擇位置可參考圖 3-16，為劍麟公司頂樓停車場。概略位置於圖中 D1 處。



規劃一處布設位置，概略位於圖中 D1（劍麟公司頂樓）

圖 3-16、輻射校正標規劃布設位置

(四)輻射校正標設置方式

設置時選擇寬闊之場地，按照色階由黑至白排列，兩張同色階之砂紙（1 公尺x2 公尺）拼接成長寬各 2 公尺之正方形，每張砂紙之間背面以魔鬼氈(又名黏帶扣)互相連結成一列長方形。

(五)輻射校正標維護方式

每日於航空攝影之前將灰度標裝置妥當，並清掃標布之表面，以免累積塵埃、水分和其他雜物。航空攝影結束後，將全部灰度標收納放置於室內保存，儘量平放不扭曲，避免粗砂紙表面已上漆的沙粒掉落。

3-4、校正標控制測量

一、坐標系統

同時採用 TWD97 及 TWD97 [2010]二度分帶坐標系統，高程為橢球高。

(一)TWD97（1997 臺灣地區大地基準）

採用 1980 年國際大地測量學與地球物理學協會（International

Unionof Geodesy and Geophysics 簡稱為 IUGG）公布之參考橢球體（GRS80），其橢球參數如下：長半徑 a=6378137 公尺，扁率 f=1/298.257222101。另地圖投影方式採用橫梅式（Tranverse Mercator）投影經差二度分帶，其中央子午線為東經 121 度，投影原點向西移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。

(二)TWD97[2010]（1997 臺灣地區大地基準之 2010 年成果）

大地基準和坐標系統同 TWD97，只是因為地表上之衛星追蹤站及各級衛星控制點因地殼變動隨同變動其位置，且因地域不同而各有其特性，在長期累積下致部分地區套合引用有所困難，因此於各已知控制點重新施測其坐標數值，更新其坐標數值稱為 2010 年之最新成果，以 TWD97[2010]表示。

二、準備項目

(一)作業方法

採靜態測量方式辦理，並使用雙頻或單頻 GPS。

(二)儀器設備

使用的 GPS 定位儀精度優於 5mm±1ppm，並於 1 年內通過 TAF 認證實驗室校正。

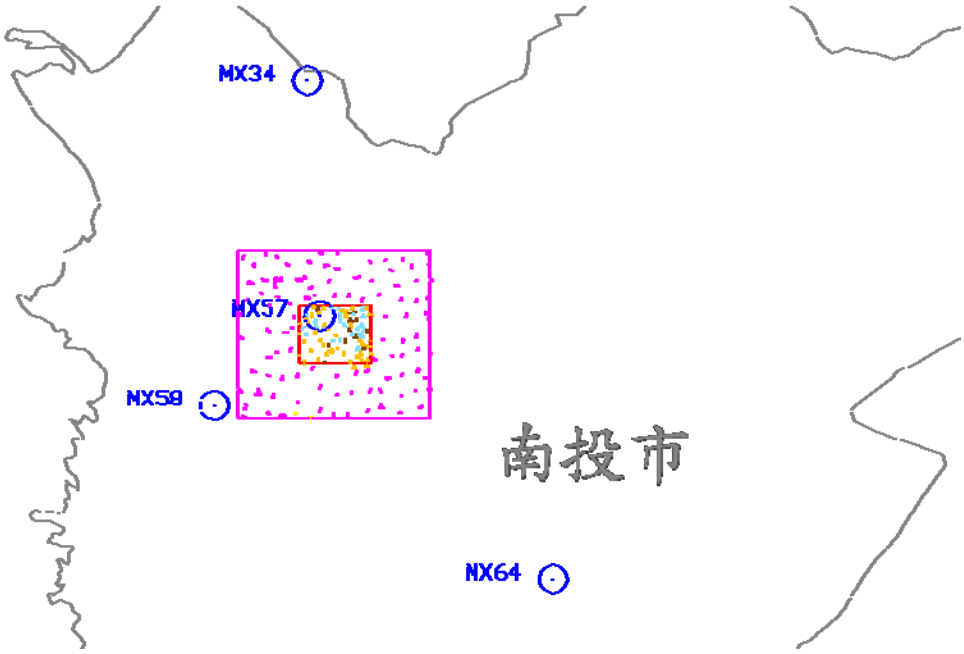
(三)作業要求

外業觀測採用 GPS 靜態測量方法，最少連續且同步觀測時間大於（含）45 分鐘，衛星訊號資料紀錄間隔為 5 秒，不同時段最少共同測站數 2 個，不同時段最少基線重複觀測率 5%，重複觀測基線水平分量之差值不得超過 30 毫米，重複觀測基線垂直分量之差值不得超過 75 毫米，點位坐標平面中誤差小於 2 公分、高程中誤差小於 5 公分。

三、控制測量實際作業情形

(一)已知點檢測

清理後統計存在且適合進行衛星定位測量之已知控制點，製作已知控制點成果表。於場址選擇測區周圍 4 個三等控制點同時聯測，聯測之三等衛星控制點以同時具有 TWD97、TWD97[2010]兩種坐標基準者為優先，分別為 MX34、MX57、MX58 及 MX64，並計算兩種坐標基準之成果，點位分布如圖 3-17 所示。



（藍色-三等衛星控制點，粉紅色-大區幾何校正標點位，
黃色-小區幾何校正標地面點位，藏青色-小區幾何校正標頂樓點位）

圖 3-17 、點位分布圖

選定合適控制點後，即進行檢測。檢測方式以衛星定位測量檢測相鄰各點間之角度及距離為原則，檢測之程序如下：

1. 利用 GPS 於所有已知控制點間進行靜態測量，觀測量平差計算 得到已知控制點間之基線長及方位角。
2. 所得之基線長經過傾斜改正、化歸至平均海水面改正及尺度比改正之 算後與相應兩點坐標反算之邊長相較，其較差小於二

萬分之一者，視為未變動。

3. 每一條基線可反算得一方位角，此角度值與相應坐標反算所得角度相較，其較差在± 20 秒以內者，視為未變動。

4. 檢測標準以強制附合網形平差計算相應點位間之基線長、方位角及坐標差分量為準，各級已知控制點在 95%信心區間下之相關檢測標準如表 3-4 所示。

表 3-4、各級已知控制點在 95%信心區間下之相關檢測標準

項目＼等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點	加密基本控制點
角度較差量	20″	20″	20″
基線長度L較差量	10mm+2ppm・L	20mm+4ppm・L	30mm+6ppm・L
坐標分量較差值	24mm	50mm	98mm

本場使用之已知控制點為三等衛星控制點其角度、基線長度及坐標分量差量之檢測結果如表 3-5、表 3-6 及表 3-7 所示。

表 3-5、已知控制點檢測-角度較差量

測站	測站	檢測方位角(度-分-秒)	反算方位角(度-分-秒)	較差(秒)	合格（Y/N）
MX34	MX57	176-57-34.33	176-57-34.12	0.21	Y
MX34	MX64	153-40-36.11	153-40-35.69	0.42	Y
MX34	MX58	196-1-41.89	196-1-42.28	-0.39	Y
MX57	MX64	138-21-26.36	138-21-25.77	0.59	Y
MX57	MX58	229-45-32.70	229-45-34.02	-1.32	Y
MX64	MX58	297-4-55.35	297-4-54.85	0.5	Y

表 3-6、已知控制點檢測-基線長度 L 較差量

序號	測站	測站	檢測距離 (m)	反算距離 (m)	較差	精度 ppm	容許誤差	合格（Y/N）
1	MX34	MX57	2462.655	2462.665	-0.009	1/259354	0.123	Y
2	MX34	MX64	5811.085	5811.102	-0.017	1/341443	0.291	Y
3	MX34	MX58	3540.906	3540.917	-0.011	1/317055	0.177	Y

4	MX57	MX64	3682.270	3682.281	-0.011	1/350372	0.184	Y
5	MX57	MX58	1459.354	1459.364	-0.010	1/148629	0.073	Y
6	MX64	MX58	3997.127	3997.152	-0.026	1/155288	0.200	Y

表 3-7、已知控制點檢測-坐標分量較差值

序號	點號	自由網		已知點		差值			合格
		N-坐標(m)	E-坐標(m)	N-坐標(m)	E-坐標(m)	dN(m)	dE(m)	差值(m)	(Y/N)
1	MX34	2649726.890	215141.839	2649726.890	215141.839	0.000	0.000	0.000	Y
2	MX57	2647269.626	215272.359	2647269.617	215272.362	-0.009	0.003	0.009	Y
3	MX58	2646334.371	214167.236	2646334.364	214167.227	-0.007	-0.009	0.011	Y
4	MX64	2644518.419	217718.662	2644518.409	217718.680	-0.010	0.018	0.021	Y

(二)幾何校正標控制測量

進行施測前需進行施測規劃，規劃點位觀測順序、觀測時間、基線重複率、兩不同時段間之共同測站點號及人員編組安排等。

實際作業時，每時段觀測時間達 45 分鐘以上，相鄰時段間至少觀測 2 個共同點位，相鄰時段之共同點，需重新架站觀測，不同時段間基線重複率至少 5%，觀測順序則先從校正場之東北方開始，由北至南、由東向西觀測，最後觀測網形和第 1 時段觀測點位之網形閉合，採蛙跳式觀測方式作業，再將已知控制點和幾何校正標聯測，附合至坐標系統。

施測時共使用 13 台 GPS，分別為 8 部 TOPCON GR3 及專用天線盤，及 5 部 Trimble5700 及 Trimble Zephyr Geodeti 天線盤。據前述選點原則及 GPS 儀器數量，進行 GPS 測量網形規劃，並於 101 年 6 月 4 日起至 101 年 6 月 8 日止進行 5 天共 27 個測段之 GPS 靜態觀測，觀測時段如表 3-8。

表 3-8、幾何校正標觀測時段表

日期	序號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
起訖時間	機器型號	TOPCON	TOPCON	TOPCON	TOPCON	TOPCON	TOPCON	TOPCON	TOPCON	Trimble5700-	Trimble5700-	Trimble5700-	Trimble5700-	Trimble5700-

	時段	GR3-15	GR3-16	GR3-13	GR3-12	GR3-11	GR3-14	GR3-10	GR3-20	4	1	3	2	5
6 月 4 日	1	B001	B009	B008	B011	B010	B027	B028	B029	B026	B007	B012	B025	MX34
1440~1530	儀器高	1.796	1.701	1.706	1.756	1.600	1.540	1.537	1.601	1.465	1.531	1.248	1.430	1.475
6 月 4 日	2	B013	B006	B004	B014	B005	B024	B031	B032	B023	B007	B012	B025	MX34
1615~1705	儀器高	1.685	1.619	1.691	1.681	1.668	1.473	1.625	1.559	1.535	1.531	1.248	1.429	1.475
6 月 4 日	3	B022	B015	B004	B014	B003	B033	B101	B032	B023	B016	B021	B034	MX34
1740~1830	儀器高	1.731	1.654	1.691	1.681	1.655	1.555	1.636	1.559	1.535	1.612	1.685	1.496	1.475
6 月 5 日	4	B019	B018	B002	B017	B003	B036	B037	B035	B020	B016	B021	B034	MX57
0820~0910	儀器高	1.552	1.684	1.693	1.638	1.709	1.520	1.475	1.602	1.453	1.667	1.573	1.477	1.367
6 月 5 日	5	B049	B048	B038	B047	B101	B050	B037	B035	B039	A134	B046	B034	MX57
0930~1020	儀器高	1.660	1.689	1.674	1.691	1.649	1.548	1.640	1.706	1.425	1.588	1.554	1.368	1.367
6 月 5 日	6	A132	A133	A138	A135	B101	A131	A137	B032	A139	A134	A130	B031	MX57
1040~1130	儀器高	1.613	1.697	1.663	1.668	1.649	1.513	1.575	1.666	1.624	1.594	1.659	1.360	1.367
6 月 5 日	7	A117	A108	A119	A118	A129	A107	A128	A140	A127	A045	A130	B031	MX57
1200~1250	儀器高	1.556	1.623	1.678	1.669	1.673	1.534	1.594	1.687	1.513	1.583	1.564	1.411	1.367
6 月 5 日	8	A101	B044	A109	A126	A105	A107	A125	A124	A122	A121	A106	B031	MX57
1315~1405	儀器高	1.572	1.716	1.696	1.646	1.680	1.672	1.715	1.563	1.582	1.634	1.579	1.328	1.367
6 月 5 日	9	A101	A145	B025	A103	B042	B040	B030	B041	A102	B045	B028	B031	MX57
1440~1530	儀器高	1.633	1.705	1.668	1.641	1.673	1.570	1.478	1.628	1.551	1.666	1.622	1.293	1.367
6 月 5 日	10	B067	B102	A144	B057	B042	B053	B055	B054	B056	B045	B043	B052	MX57
1555~1645	儀器高	1.562	1.656	1.684	1.651	1.673	1.576	1.534	1.712	1.557	1.673	1.573	1.429	1.367
6 月 6 日	11	B067	B102	B068	B072	B099	B070	B098	B097	A056	B100	B071	A074	MX57
0835~0925	儀器高	1.733	1.633	1.695	1.637	1.705	1.593	1.656	1.686	1.600	1.646	1.574	1.522	1.330
6 月 6 日	12	B069	B087	B090	B091	B089	B070	B088	B097	A056	B086	B074	A004	MX57
0945~1035	儀器高	1.768	1.694	1.596	1.611	1.629	1.685	1.621	1.756	1.494	1.667	1.652	1.284	1.330
6 月 6 日	13	B069	B083	B073	B091	B065	B064	B085	B084	A056	B075	B066	A074	MX57
1055~1145	儀器高	1.648	1.687	1.734	1.700	1.668	1.650	1.553	1.683	1.550	1.660	1.526	1.308	1.330
6 月 6 日	14	B082	B080	B063	B094	B093	B064	B085	B076	B081	B075	A019	A001	MX57
1205~1255	儀器高	1.681	1.580	1.588	1.661	1.652	1.735	1.690	1.704	1.554	1.618	1.561	1.454	1.330
6 月 6 日	15	B096	B080	B063	B092	B093	B077	B095	B076	B079	A104	B078	B062	MX57
1310~1400	儀器高	1.696	1.711	1.687	1.671	1.612	1.568	1.611	1.675	1.604	1.657	1.671	1.290	1.330
6 月 6 日	16	B048	B051	B063	A141	B058	B059	B050	B046	B049	A104	A019	B062	MX57
1425~1515	儀器高	1.716	1.772	1.744	1.691	1.621	1.547	1.603	1.628	1.530	1.613	1.607	1.384	1.330
6 月 6 日	17	A111	B051	A061	A065	B058	A043	A094	B046	A112	A060	A089	A042	MX57
1530~1620	儀器高	1.658	1.611	1.680	1.686	1.531	1.655	1.638	1.742	1.574	1.639	1.618	1.362	1.330
6 月 6 日	18	A111	A133	A115	A114	A045	A134	A094	B046	A112	A132	A089	A130	MX57

日期	序號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
起訖時間	機器型號	TOPCON GR3-15	TOPCON GR3-16	TOPCON GR3-13	TOPCON GR3-12	TOPCON GR3-11	TOPCON GR3-14	TOPCON GR3-10	TOPCON GR3-20	Trimble5700-4	Trimble5700-1	Trimble5700-3	Trimble5700-2	Trimble5700-5
	時段													
1635~1725	儀器高	1.760	1.669	1.670	1.651	1.716	1.613	1.771	1.676	1.681	1.625	1.509	1.378	1.330
6 月 7 日	19	A108	A117	A068	A065	A045	A107	A059	A088	A096	A067	A089	A046	MX57
0835~0925	儀器高	1.694	1.605	1.707	1.651	1.634	1.710	1.543	1.698	1.680	1.645	1.621	1.378	1.372
6 月 7 日	20	A054	A073	A068	A076	A075	A107	A044	A053	A101	B045	A099	B052	MX57
1000~1050	儀器高	1.706	1.632	1.596	1.634	1.694	1.577	1.619	1.673	1.612	1.619	1.719	1.454	1.372
6 月 7 日	21	B067	A029	A009	B057	A033	A032	A012	A053	A074	A031	B066	B052	MX57
1110~1200	儀器高	1.744	1.676	1.716	1.666	1.716	1.680	1.580	1.750	1.557	1.648	1.725	1.218	1.372
6 月 7 日	22	A007	A015	A016	A013	B065	B064	A012	A006	A014	A027	B066	A005	MX57
1250~1340	儀器高	1.718	1.641	1.689	1.674	1.677	1.700	1.670	1.635	1.580	1.678	1.592	1.607	1.372
6 月 7 日	23	A035	A034	A068	A013	A033	A050	A012	A053	A057	A027	A038	A046	MX57
1355~1445	儀器高	1.732	1.706	1.670	1.553	1.698	1.547	1.503	1.676	1.627	1.627	1.724	1.460	1.372
6 月 7 日	24	A061	A060	A016	A065	B058	B064	A022	A019	A042	A027	A038	A046	MX57
1500~1550	儀器高	1.651	1.687	1.670	1.651	1.683	1.636	1.697	1.650	1.544	1.597	1.503	1.365	1.372
6 月 8 日	25	B001	B009	B008	B006	B013	B027	B028	MX58	MX34	B007	B005	MX64	MX57
0840~0930	儀器高	1.683	1.737	1.639	1.634	1.707	1.602	1.558	1.708	1.603	1.622	1.680	1.525	1.404
6 月 8 日	26	B019	B018	B004	B049	B092	B048	B002	MX58	MX34	A104	B078	MX64	MX57
0945~1035	儀器高	1.665	1.640	1.715	1.646	1.668	1.665	1.603	1.708	1.603	1.647	1.652	1.525	1.404
6 月 8 日	27	B091	B087	B102	B089	B090	B042	B093	MX58	MX34	B088	B097	MX64	MX57
1055~1145	儀器高	1.710	1.613	1.705	1.605	1.703	1.617	1.496	1.708	1.603	1.640	1.627	1.525	1.404

(三)聯測影像特徵校正區塊

影像特徵校正區塊之作業要求同幾何校正標。實際施測時，共使用 6 台 GPS，分別為 1 部 Trimble4000，及 5 部 Trimble5700 及其 Trimble Zephyr Geodeti 天線盤。據前述選點原則及 GPS 儀器數量，進行 GPS 測量網形規劃，並於 101 年 7 月 16 日起至 101 年 7 月 18 日止進行 3 天共 11 個測段之 GPS 靜態觀測，觀測時段如表 3-9。

表 3-9、影像校正區塊觀測時段表

日期	機器	Trimble4000	Trimble5700	Trimble5700	Trimble5700	Trimble5700	Trimble5700
起訖時間	時段	6	5	1	2	3	4
7 月 16 日	1	B044	A132	C001	C004	C010	C003
1440 1530	儀器高	1.745	1.530	1.130	0.607	1.120	0.785

日期	機器	Trimble4000	Trimble5700	Trimble5700	Trimble5700	Trimble5700	Trimble5700
起訖時間	時段	6	5	1	2	3	4
7 月 16 日	2	B044	B040	C001	C002	C010	C007
1605 1655	儀器高	1.705	1.552	1.130	0.083	1.120	1.840
7 月 17 日	3	B073	A016	C020	C021	C024	C023
0910 1000	儀器高	1.765	1.548	1.240	1.159	0.196	1.300
7 月 17 日	4	A027	A016	C022	C021	C019	C023
1015 1105	儀器高	1.650	1.502	1.168	1.159	1.123	1.300
7 月 17 日	5	A007	A009	C017	C021	C019	C018
1135 1225	儀器高	1.778	1.582	1.932	1.159	1.123	1.180
7 月 17 日	6	A029	A009	C017	C014	C015	C018
1330 1420	儀器高	1.730	1.552	1.932	0.930	1.195	1.180
7 月 17 日	7	A089	A027		C014	C015	C016
1435 1527	儀器高	1.710	1.548		0.930	1.195	1.210
7 月 17 日	8	A089	A132	C011	C005	C010	C006
1600 1650	儀器高	1.598	1.560	1.663	1.163	1.120	1.210
7 月 18 日	9	A089	A027	C014	C012	C009	C016
0945 1037	儀器高	1.725	1.516	0.933	1.128	1.083	1.210
7 月 18 日	10	A053	B052	C008	C012	C009	C007
1102 1152	儀器高	1.712	1.543	1.060	1.128	1.083	1.840
7 月 18 日	11	B052	B040	C011	C012	C010	C007
1215 1305	儀器高	1.645	1.512	1.663	1.128	1.120	1.840

四、平差計算及成果

(一)幾何校正標觀測成果平差計算方式

經外業觀測後，將所接收的觀測資料註明儀器編號及日期存放，

並使用「TURBO-NET®」軟體進行基線計算。

單條基線計算為假設其中一個測站的坐標為已知，由兩個測站所接收的原始觀測數據，常用最小二乘法平差方式來計算基線分量及整數週波未定值，進而求得兩點間的坐標分量差。

基線計算成果只是坐標差，並沒有坐標基準的意義，就如同常規測量所測得的角度、距離和高差一樣，必須經過網形的連結，並賦予坐標基準的約制條件，以求得測站坐標位置。因此本場以「蛙跳式」之測量方式承轉不同觀測時段點位間相對坐標關係，以組成局部測區坐標系，再以聯測三等衛星控制點之方式導入坐標系統框架。

成果計算時，首先進行自由網平差，以了解相對於坐標起算點位之相對精度，是否能達到本場之精度要求，並由自由網平差計算過程中剔除含有粗差之基線觀測量，此外，亦可得到各點位誤差橢圓之傳播情形，確認各點位相對精度皆符合本場之要求。

經自由網平差後，再進一步以已知之三等衛星控制點 MX34、MX57、MX58 及 MX64 為基準，分別導入 TWD97、TWD97[2010]坐標基準進行全網之強制附合平差計算。

(二)影像特徵校正區塊觀測成果平差計算方式

施測時比照幾何校正標方式計算，但於強制約制網平差時採用兩種方式：

（1）僅採用能完整涵蓋影像校正區塊點位之幾何校正標進行平差，即將此網形附合於幾何校正標網形之上。

（2）與 183 個幾何校正標點位控制網整網聯合平差計算。

無論採用(1)或(2)方式,計算時皆同時解算 TWD97、TWD97[2010]兩種基準之坐標結果，成果精度亦滿足契約要求點位坐標平面中誤差小於 2 公分、高程中誤差小於 5 公分。

(三)平差計算成果

本場之幾何校正標及影像特徵校正區塊之作業方法及要求，及最終之施測成果皆符合契約要求，各點位觀測時間皆達 45 分鐘以上，不同測時段最少共同測站數 2 個以上，幾何校正標 GPS 測量基線重複率 25.91%，總基線數 2106 條，剔除 111 條，餘 1995 條，重複 517 條，而影像校正區塊 GPS 測量基線重複率 32.70%，總基線數 160 條，剔除 1 條，餘 159 條，重覆 52 條，兩者之重複觀測基線水平分量及垂直分量差值皆小於 30mm 及 75mm，符合契約要求。

第四章 校正測試飛行及成果

本章節說明本案之工作項目中，校正測試飛行之作業方式及成果。

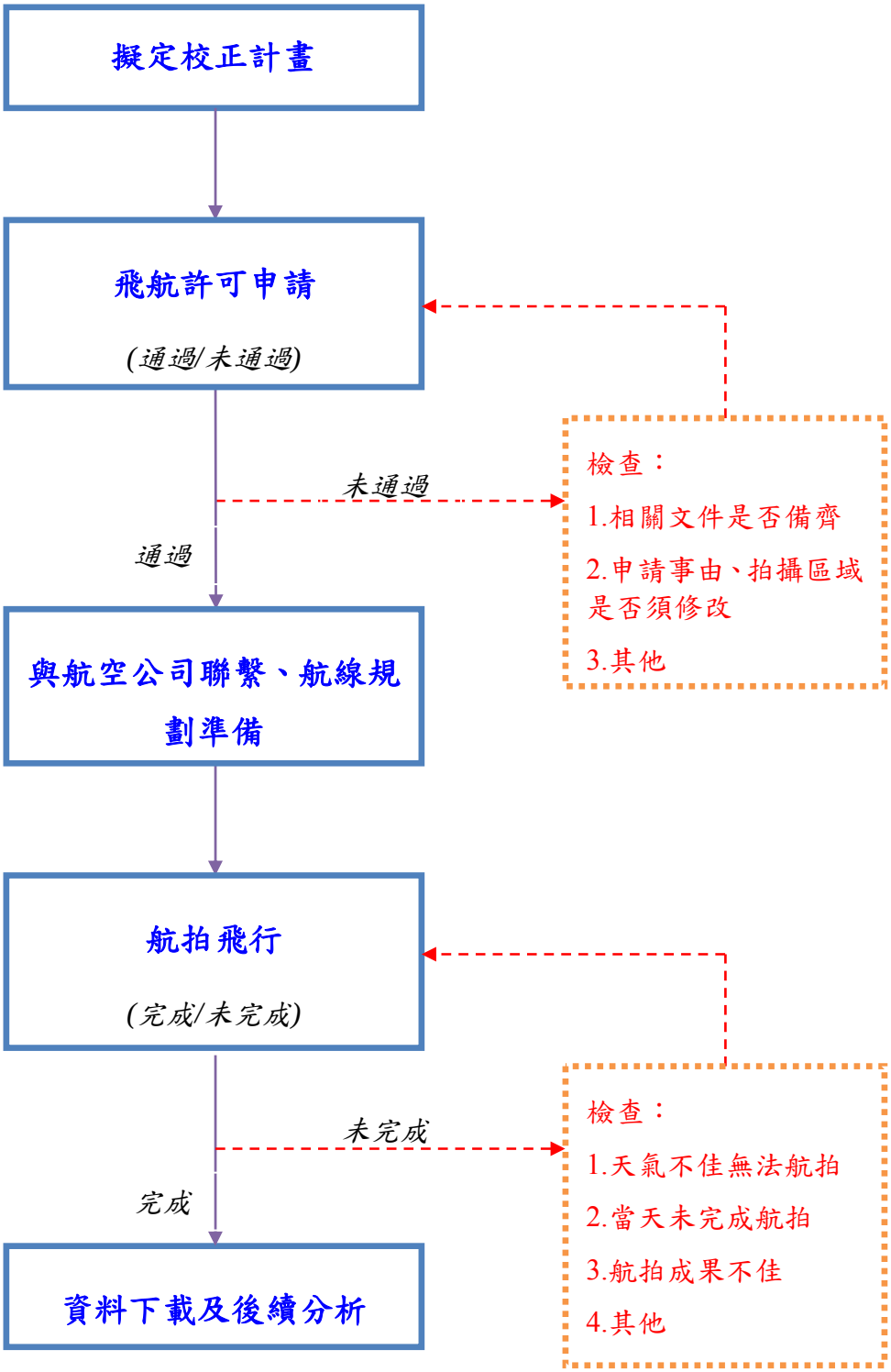


圖 4-1、校正飛行作業流程

4-1、飛航申請及航線規劃

一、飛航申請

本案委請航空公司於 101 年 5 月 8 日發函交通部民用航空局提出飛航申請(翔管 101 字 0054 號)，如附件 4-37。交通部民用航空局於 101 年 5 月 14 日發函本會告知飛航注意事項(空運管字第 1010014815 號)，如附件 4-38、4-39，副本抄送內政部。內政部於 101 年 6 月 19 日回函本會同意飛航申請(台內地字第 1010223394 號)，如附件 4-40、4-41。

二、航線規劃

校正場設計分大、小校正場，可針對不同解析度的航照影像進行校正，因此航線設計也因應不同的解析度設計不同航高的飛行。

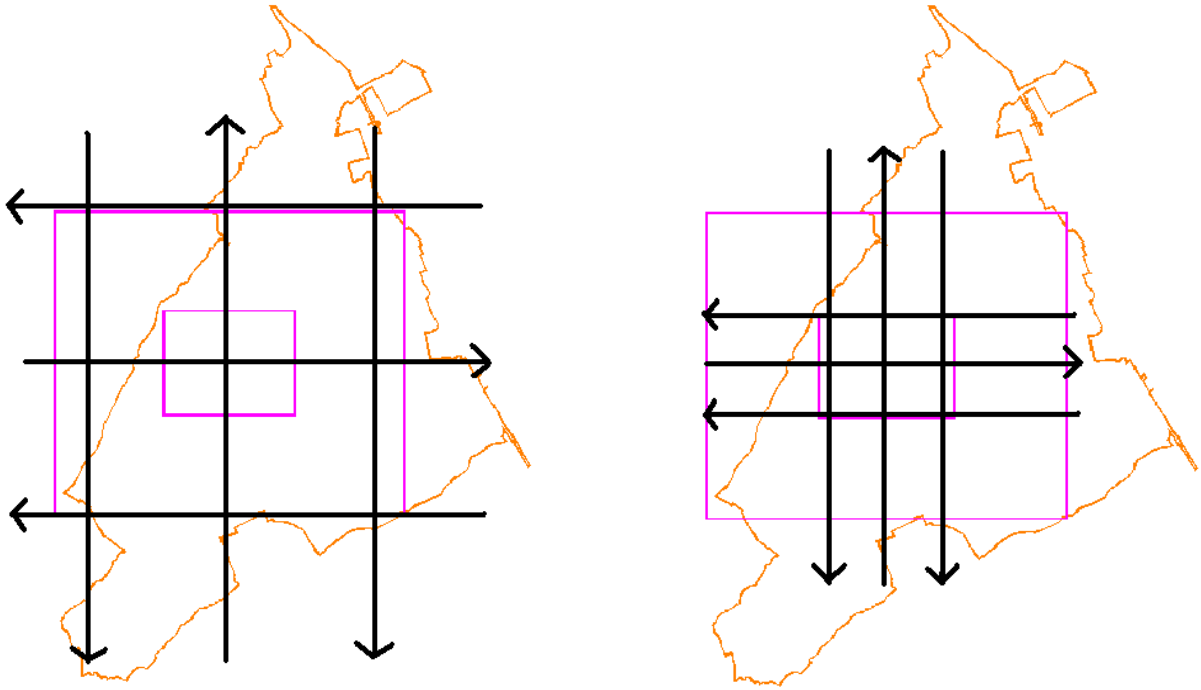
另外需針對本場西邊高於東邊之地形特性，航拍規劃時需特別注意飛行順序之問題，並應提供初次飛行者東西向航線的地形剖面圖或各種航高的淨高剖面圖，以減少低空飛行時的心理壓力。

（一）小比例尺影像：

期望 GSD 約在 25cm 以內，為求校正標能均勻且數量多地出現在影像各個角落，設計 6 條航線，如圖 4-2，航高為 2000m~2350m，航帶重疊約 70%，前後重疊約 80%，中央航線通過校正場中軸線。如果是以前受校過的攝影機進行定期複校，則只需飛行 1 條航線幾足夠判定其精度是否與之前相同，不必飛行 6 條航線。

（二）大比例尺影像：

期望 GSD 至少能達到 5cm，因此設計的航高為 490m~590m，航帶重疊約 60%，前後重疊約 80%，中央航線通過校正場中軸線。同樣地如果是以前受校過的攝影機進行定期複校，亦只需飛行一條航線幾足夠判定其精度是否與之前相同，不必飛行 6 條航線。



航線規劃(GSD20cm)　　航線規劃(GSD5cm)

圖 4-2、航線規劃示意圖

4-2、測試飛行航拍成果

本案共實施兩次校正測試飛行，航拍紀錄如表 4-1 及表 4-2。

表 4-1、0904 航拍紀錄

群立科技 UltraCamXpWA 攝影記錄											
檔案名稱/飛行計劃		南崗校正場						飛機編號	B-69832	航拍日期	2012/9/4
飛行人員	李元復, 紀森烈		航拍人員	呂佳穎, Robert Ho		起飛地點 時間	955		落地地點 時間	MQ1125	
序號	航線	片號	片量	照相時間	光圈	快門	航高(ft)	航速(kts)	天氣概況	方向	備註
1	4	361-366	6	1006-1006	8	350	7660(ft)	110(kts)	Good	360	GSD20
2	6	367-372	6	1008-1009	11	350	7660(ft)	110(kts)	Good	180	GSD20
3	5	373-378	6	1012-1012	11	350	7660(ft)	110(kts)	Good	360	GSD20
4	3	379-385	7	1016-1016	11	350	7660(ft)	110(kts)	Good	270	GSD20
5	1	386-392	7	1019-1019	11	350	7660(ft)	110(kts)	Good	90	GSD20
6	2	393-399	7	1022-1022	11	350	7660(ft)	110(kts)	Good	270	GSD20
7	6	400-409	10	1039-1040	11	350	2430(ft)	100(kts)	Good	360	GSD5
8	4	410-419	10	1043-1044	11	350	2430(ft)	100(kts)	Good	180	GSD5
9	5	420-429	10	1046-1047	11	350	2430(ft)	100(kts)	Good	360	GSD5
10	3	430-441	12	1050-1050	11	350	2430(ft)	100(kts)	Good	90	GSD5
11	1	442-453	12	1052-1053	11	350	2430(ft)	100(kts)	Good	270	GSD5
12	2	454-464	11	1055-1056	11	350	2430(ft)	100(kts)	Good	90	GSD5
特別事項											
NanGun_GSD20_120813 & NanGun_GSD5_120813 BaseGPS Station: GS22,GS23,GS24,GS25,GS26,GS27, GGDS,CHIU,PUSN,CAOT,WFEN,CHUA											
任務編號	20120904AM		航拍總片量		104	飛行時間	1:30 hrs	飛行總時間	1:30 hrs	POS	Applanix

表 4-2、0921 航拍紀錄

群立科技 UltraCamXpWA 攝影記錄											
檔案名稱/飛行計劃		南崗校正場						飛機編號	B-69832	航拍日期	2012/9/21
飛行人員	紀森烈, 簡榮志		航拍人員	Robert Ho		起飛地點 時間	940		落地地點 時間	MQ1115	
序號	航線	片號	片量	照相時間	光圈	快門	航高(ft)	航速(kts)	天氣概況	方向	備註
1	1	105-111	7	0958-0959	8	350	8300(ft)	120(kts)	Good	360	
2	6	112-121	10	1012-1013	8	500	2430(ft)	100(kts)	Good	360	No FMC.
3	3	122-133	12	1018-1019	8	500	2430(ft)	95(kts)	Good	90	No FMC.
4	5	134-143	10	1023-1024	8	500	2430(ft)	100(kts)	Good	360	No FMC.
5	4	144-153	10	1029-1030	8	500	2430(ft)	95(kts)	Good	360	No FMC.
6	2	154-164	11	1032-1033	8	500	2430(ft)	100(kts)	Good	270	No FMC.
7	1	165-176	12	1036-1037	8	500	2430(ft)	100(kts)	Good	90	No FMC.
特別事項											
NanGun_20cm_patch_120912 & NanGun_GSD5_120813 BaseGPS Station: GS22,GS23,GS24,GS25,GS26,GS27, GGDS,CHIU,PUSN,CAOT,WFEN,CHUA											
任務編號	20120921AM			航拍總片量	72	飛行時間	1:35 hrs	飛行總時間	3:05 hrs	POS	Applanix

第一次測試飛行時間為 9 月 4 日上午約 10 時，並將可移動式空間解析力校正標、輻射校正標攜帶至現場布設。當日飛行結束後，將影像資料下載後經檢核，發現 GSD 5cm 的影像相隔若干片後偶有模糊情形。研判 GSD 5cm 的影像因航高極低僅約 800 公尺，比航拍人員一般所遇的 GSD 為 10cm 的航高還要低一半，在此極低航高時氣流更不穩定，飛機抖動較劇，若使用前移補償功能(FMC)，會因快門時間較長，抖動會導致影像模糊，如圖 4-3。

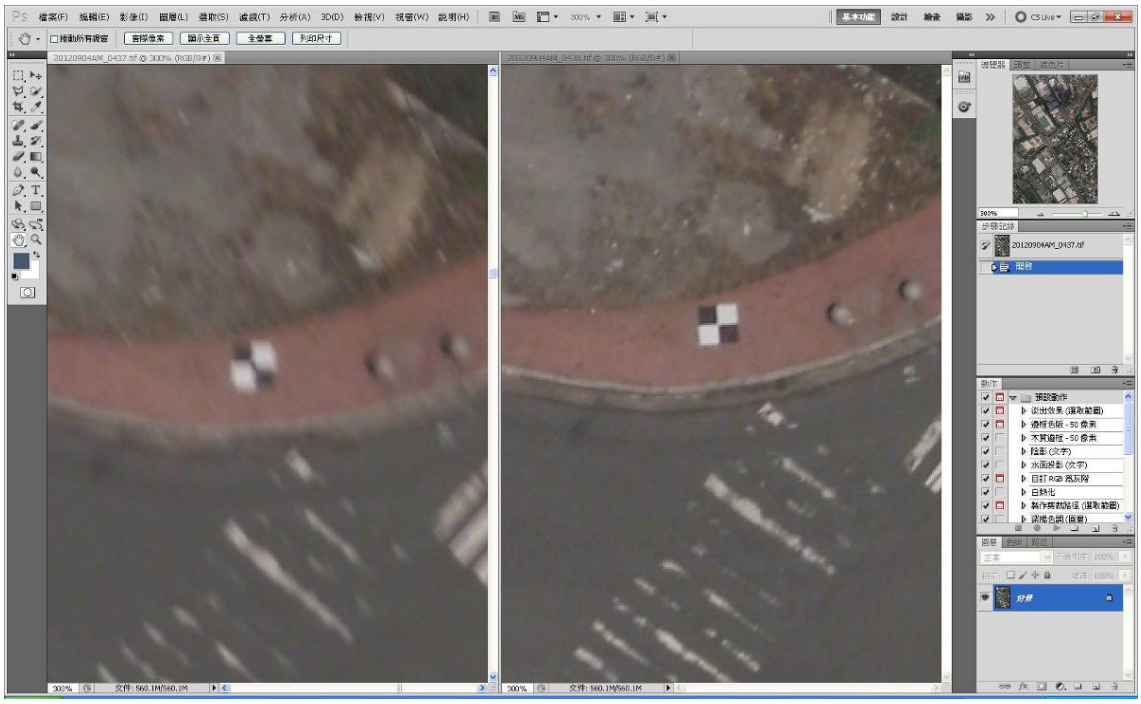
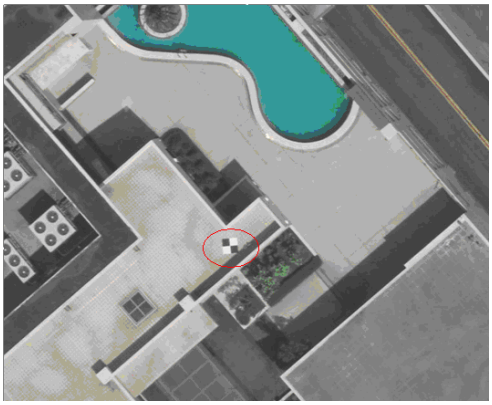


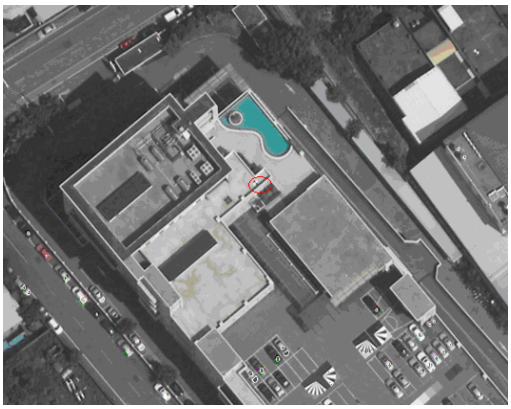
圖 4-3、拖動導致影像模糊示意圖

因此針對小校正場 5cm 之 GSD 影像測試關閉前移補償，提高快門速度再進行第二次飛行，拍攝時間為 9 月 21 日上午 10 時左右，經改

正後影像模糊現象已消除。未來本場正式開放營運後，必須提醒航拍公司注意關閉前移補償功能，並以拍攝當天日照強度允許的最高速快門拍攝，務必注意如何使影像最清晰，以得到最高品質影像提供校正。

而校正測試飛行後所取得之航拍影像，於本場所建置之各類標誌範例如圖 4-4 所示。


(a)幾何校正標(GSD 5cm)


(b)幾何校正標(GSD 20cm)

(c)空間解析力校正標、輻射校正標(GSD 5cm)

(d)空間解析力校正標、輻射校正標(GSD 20cm)

(e)影像特徵校正區塊選點範例 1

(f)影像特徵校正區塊選點範例 2

圖 4-4、測試飛行之航拍成果(a-f)

第五章 校正項目程序、分析流程與標準

於本場校正即是以野外校正場作為參考標準，確認欲執行任務之航測攝影機是否達到原廠所宣稱的品質，以及該品質能否符合國土測繪法內對於實施航空攝影測量時應滿足的相關規定，利用統計分析方法計算出各項品質指標並出具校正報告書。本場僅在顯示校正結果，評估實際拍攝的結果與該受校件率定報告書內所載是否相符，並不判定航測攝影機的優劣好壞，也不做任何率定調整的動作。

本計畫之校正項目如表 5-1 所示，主要分為 2 大類共 4 項，幾何校正為航測攝影機之幾何校正及空間解析力校正，而輻射校正則為成像相對輻射比值的線性度校正及多譜波段間相對反應強度比值校正。

表 5-1、校正項目說明

項目	校正項目	性能說明	校正方法
1	航測攝影機幾何校正	幾何畸變均方根值不大於原廠校正報告書內宣稱值或不大於 1/3 像元。	由可追溯至標準件的幾何校正標反推影像中幾何位置偏差量，以統計方法推定攝影機成像後幾何畸變量。
2	航測攝影機空間解析力校正	調制轉換函數 (Modulation Transfer Function，MTF)在相當於 20lp/mm 時不低於 0.4。	以量測影像內西門子星在不同頻率時的調諧度擬合至高斯型調諧轉換函數，內插出受校正影像在 20lp/mm 位置的調諧能力，或依據 ISO12233 階躍標（step edge target）來測定其邊緣反應函數（Edge Response Function）或點散函數（point spread function）來推定 MTF
3	航測攝影機成像相對輻射比值的線性度校正	輻射校正標在受校影像上呈現的八階強度相對比值與校正標標準比值之間應如原廠率定報告書內所載成直線關係。	量測作為標準的 8 階反射標於影像中之 DN（Digital Number）值，將量測所得之 DN 值視為縱軸，8 階標準反射強度標準值做為橫軸擬合一直線。

項目	校正項目	性能說明	校正方法
4	航測攝影機各多譜波段間相對反應強度比值校正	反射校正標在各波段成像 DN 值之比值與原廠率定報告書內比值差異應在一定百分比以內。	量測作為標準的 8 階反射標之最強者於各波段影像中之 DN 值與校正標本身相對應的頻率反射強度相比。

本案所規劃之校正方法及流程，並於 101 年 10 月 26 日舉行座談會，並廣邀學者專家及業界先進參與討論，名單亦先向國土測繪中心核備同意，座談會議紀錄附於本報告書附件 3，校正項目及程序得到認同。而校正作業程序手冊，則詳述各校正項目之作業步驟。

以下章節將說明於本年度工作所研擬之校正程序及方法及座談會辦理情形。

5-1、幾何校正

一、校正方法

為滿足航空攝影測量對於幾何精度的要求，航測攝影機之成像面必須為平面，內方位參數固定且不隨時間及外在環境變化，透鏡的畸變要小。以上各點除生產廠商於該機出廠前已經予以率定完竣並出具率定報告書外，在實際後續應用時還可藉助野外校正場加以檢核。

於地面上布設足夠數量且已知其坐標的幾何校正標作為參考標準，由受校攝影機對其進行航拍後於影像中量取各該校正標的坐標後與參考標準比較，由其差值推估受校正攝影機之幾何精度。

校正作業於實際作業時，有以下各項必須注意：

（一）差值比較必須在同一坐標系。參考標準點係在地面坐標系內，因此影像內量測到的坐標必須經由空中三角測量將之轉換至地面坐標系後始能進行差值計算。一般由影像內直接量測到的是所謂掃瞄坐標系（scanner coordinate system），即像元的行列序數，而空中三角測量平差計算所需的是影像坐標系或像片坐標系。如果該攝影機的像主點不在影像行列序位的中央位置，亦即內方位參數的原點有偏移時（此

點可由原廠率定報告書內取得），則尚須經過平移轉換方能得到影像坐標。當然如果使用的空中三角平差計算軟體內已經包含像主點偏移轉換，則可略去此項轉換。

（二）由於差值比對是相對長度量測，所以原則上與坐標系統定義無關。任何一個真實三維坐標系，包含簡單的局部直角坐標系，均可適用於差值比對。但是為了與國家基準坐標系相聯，以及為了未來還可能發展的對航測攝影機系統所包含的載具導航定位定姿進行校正，本場的幾何校正標均與 TWD97 及 TWD97 [2010]二個坐標系聯測，具有雙重坐標。但由於做為國家坐標基準的地圖投影坐標系並非卡氏直角坐標系，雖然本場很小僅 2 公里寬，因地球曲率造成的相對高程誤差最大約 7 公分，於空中三角測量平差後，最大誤差應僅在 3 公分左右，約略與校正標 GPS 高程測量精度相當，不致於影響目前所規畫之校正能力。但是如果欲進行更高精度之高程校正，建議應採局部直角坐標系做為基礎。至於平面精度方面，因場地很小，完全不會受地圖投影的影響。

（三）由於目前常見的航空攝影機成像的影像面尺寸都很大，約在一億個像元左右，要為如此大面積的影像推估出其幾何精度，必須要有數量足夠且均勻分布於全影像面的校正標，以便得出具有統計顯著性以及具有代表性的結果。至於分布數量的多寡又繫於待校正攝影機品質的高低。對於高幾何精度的攝影機，因其幾何畸變小，只要少數的幾個離散點即足以描述其面狀畸變函數。但是對於幾何精度較差的航測攝影機可能需要較多的參考標準點方可描述其畸變情形。不過本校正的目的不在為個別攝影機尋找其畸變函數而僅在簡單判定影像之幾何精度是否達到標準，除非碰巧所有供比對用的參考標準都恰在該攝影機無畸變的位置，否則只要有少數 3、5 個參考標準上發現有過大的偏差，即足可判定該攝影機幾何精度有問題。本場規劃的飛行航線為東西向及南北向均採對向飛行，使全場均受到 4 重疊涵蓋，加上各航帶均採 80%縱向及 60%橫向重疊，幾何校正標會高密度均勻分布於影

像各個位置，得以發現任何局部的幾何畸變。

（四）各個影像內量測值與參考標準值的差異均以空中三角測量整網聯合平差（區域平差）後的改正數為準，不採個別影像套合至參考標準點的方式來取得，亦不採在空中三角測量後再在各別立體模型內量測校正標的方式取得校正標的影像坐標，所有的影像坐標均必須於空中三角測量時量測完畢，並一併參與空中三角測量。由於空中三角測量的品質與連結點的光線數或稱重點數有關，因此本場規定每張影像的 9 個標準點位都必須有連結點與同航帶及鄰航帶鄰片相連結。由於縱向有 80%重疊橫向有 60%重疊，因此對於位在測區中心的該連結點而言，最理想時應該是 30 重點。其附近的連結點也應有 20 重以上。由測區中央向外重點數則逐漸減少。在量測校正標方面，凡涵蓋到參考標準點的影像都必須量測到。凡校正標之位置可用為連結點者，則儘量以其作為空中三角測量之連結點，而不另外增設連結點。

二、校正程序及分析

幾何校正的流程如圖 5-1 所示：

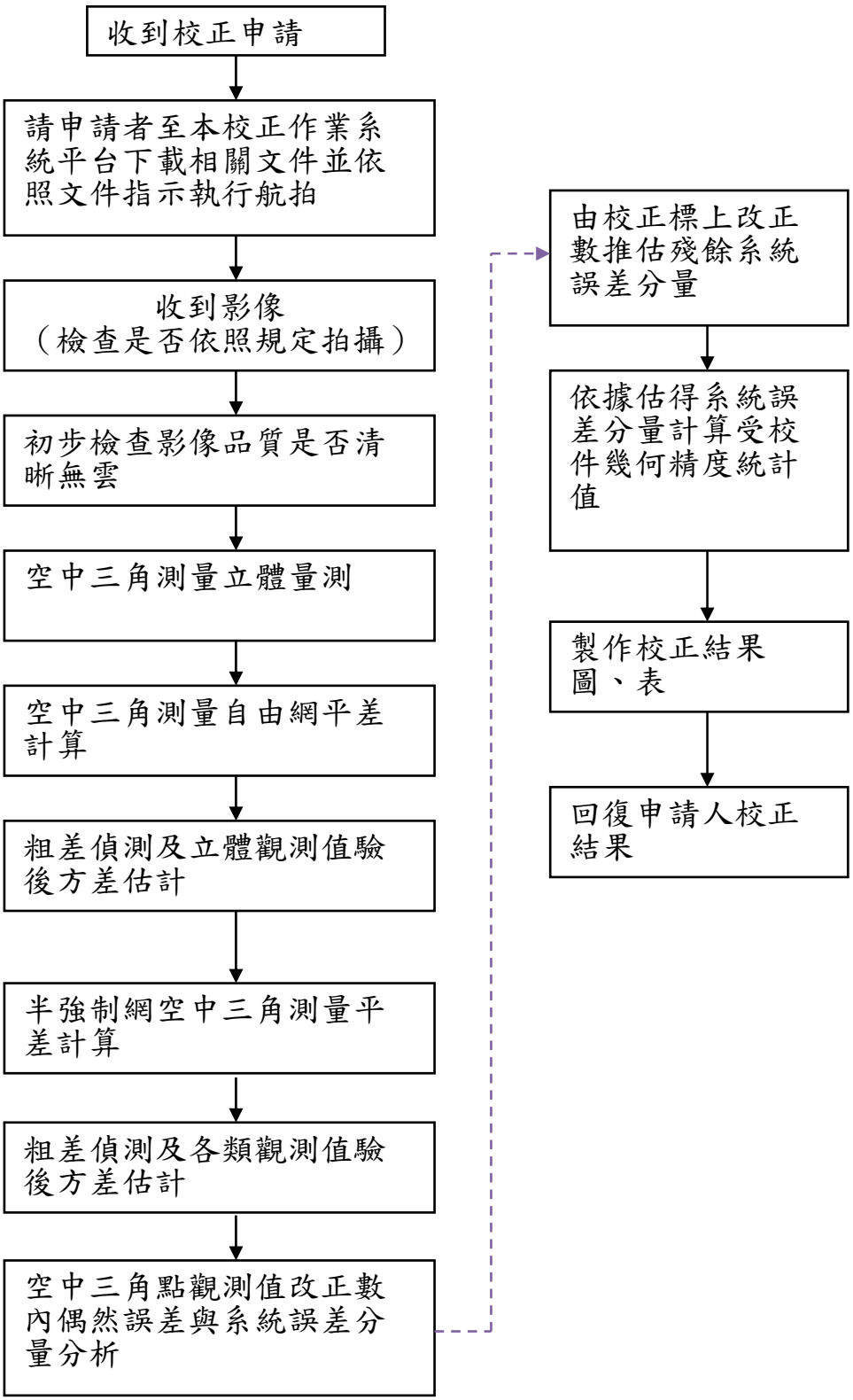

收到校正申請
請申請者至本校正作業系統平台下載相關文件並依照文件指示執行航拍
收到影像
（檢查是否依照規定拍攝）
初步檢查影像品質是否清晰無雲
空中三角測量立體量測
空中三角測量自由網平差計算
粗差偵測及立體觀測值驗後方差估計
半強制網空中三角測量平差計算
粗差偵測及各類觀測值驗後方差估計
空中三角點觀測值改正數內偶然誤差與系統誤差分量分析
由校正標上改正數推估殘餘系統誤差分量
依據估得系統誤差分量計算受校件幾何精度統計值
製作校正結果圖、表
回復申請人校正結果

圖 5-1、幾何校正的流程

（一）收到校正申請後，通知申請者至本系統網站下載校正場配置圖、開放月份、航線規劃要點（方向、重疊率、應有之 GSD 範圍等設計航線及辦理航拍申請。航拍申請過後，通知國土測繪中心預計執行航拍日期，以便辦理校正清查。並於航拍前一天再度與國土測繪中心確認，以便辦理可攜式校正標布設事宜。

（二）收到受校件拍攝之影像後，先確認影像確實出自受校件。然後確認是否依據本場相關規定，諸如航拍影像 GSD、重疊比例、涵蓋、航偏角、航傾角（俯仰角、側滾角）等，正確辦理航拍。如果受校件在拍攝時沒有使用慣性測量儀（IMU），則僅以肉眼近似檢查航偏角及航傾角有無過大不合規定，詳細之檢查待空中三角測量平差計算（下面第七項步驟）完竣後，由計算所得之外方位參數檢查之。

（三）確認影像無雲霧、陰影，並利用輻射校正標以肉眼概略檢查色調及反差是否正常。

（四）使用航測影像工作站進行空中三角點立體量測。依據前節之規定，量測連結點以及影像內出現之校正標。所有連結點及校正標原則上均以立體觀測方式量測。

（五） 進行空中三角測量最小約制（自由網）平差計算。由於本場規定必須實施東西及南北正交且側向重疊為 60%，故此處所謂最小約制係於測區內任意選定二個校正標做為全控制點（平面及高程均為控制）再加上任一第三個校正標的高程做為高程控制點。此三個點之平面位置不得在一直線上，以免影響平差計算的收斂。

（六） 粗差剔除完成後，檢查剩餘的連結強度是否仍然符合前節規定的最少數量。如否，則應進行補測。補測完後重新回到上一步驟。補測平差完成後，由平差報表統計值，得到本次空三連結點觀測精度的實際驗後方差估值，做為下一步驟平差的驗前方差值。此值應當與該次量測人員受檢定時的精度相當。如果相差顯著則有二種可能，第一是該次量測時精度確實較差（偶然誤差較大），第二是受校正攝影機幾

何畸變很大（存在過大之系統誤差）。但是在此階段暫不追究其原因，留待後面步驟（十）時才會更進一步詳細分析系統誤差及偶然誤差分量。

（七）半強制網平差。自由網平差完成後，改將全部校正標做為控制，再進行半強制網平差計算。所謂半強制網即將全體校正標都做為控制，但是並不強制附合，而視校正標的坐標亦為具有誤差的觀測值，並依據其中誤差估值之概略值（以目前 GPS 實測結果：平面 2mm，高程 4mm）配賦適當權值，並以由自由網平差估得的立體量測驗後方差做為本步驟平差配權之依據。平差時以 Baarda 粗差偵測理論，採 10%的顯著水準對校正標進行粗差偵測。凡被判定為粗差之校正標，應回到航測影像工作站內進行完全獨立之重測。若重測後仍然被判定為粗差，則該校正標應予作廢，並做成書面記錄。以便於校正季節結束後，或是校正場維護時對其進行重測。

（八）依據粗差偵測完成後的半強制網平差結果所得到各類觀測值的驗後方差，檢討平差計算內所有觀測值權的合理性。若經統計檢定認為有顯著不一致情形，則進行調整後重新平差，直至各類觀測值權的配賦合理為止，平差始算完成。所謂各類驗後方差估計是分別對連結點及校正標的像坐標觀測值進行驗後方差估計。連結點驗後方差方差估計值可直接取自空中三角測量自由網平差報表。而校正標像坐標量測驗後方差估值則係由觀測之中僅挑出校正標影像觀測值在平差時獲得之改正數計算之。此值應不低於連結點之驗後方差估值，因為校正標影像品質不會低於自然點。如果有統計顯著的較差情形，則顯示係因校正標 GPS 坐標觀測值的權過大而導致之偶然誤差分配錯誤的現象。不過依據本次初步實驗的結果，由於 GPS 坐標量測的精度遠高於像坐標量測的精度，故在正確剔除有粗差的校正標後，即使校正標 GPS 坐標的權錯誤給得過大，對於驗後方差的估計也沒有統計顯著的影響。

（九）由每張影像內每個校正標在平差後獲得的改正數計算殘差向量。將所有影像的殘差向量視為抽樣的母體，計算其絕對值的平均值、

母體標準偏差、最大值、最小值、平均值的標準誤差，平均值 95%的信賴區間填寫於校正結果報告書內，並與原廠所謂 burn-in（burn-in flight 即出廠時使用野外校正，即 in situ calibration，有別於實驗室內校正）空中三角率定結果比較，做為幾何校正結果。

圖 5-2 及圖 5-3 即是本次 GSD5cm 校正測量得到的校正值與參考標準值之間的差值（器差）向量展點圖。圖 5-2 是平面殘差向量，圖 5-3 是高程殘差向量（向上為正，向下為負）。平面殘差均方根為 1cm，高程為 2cm。

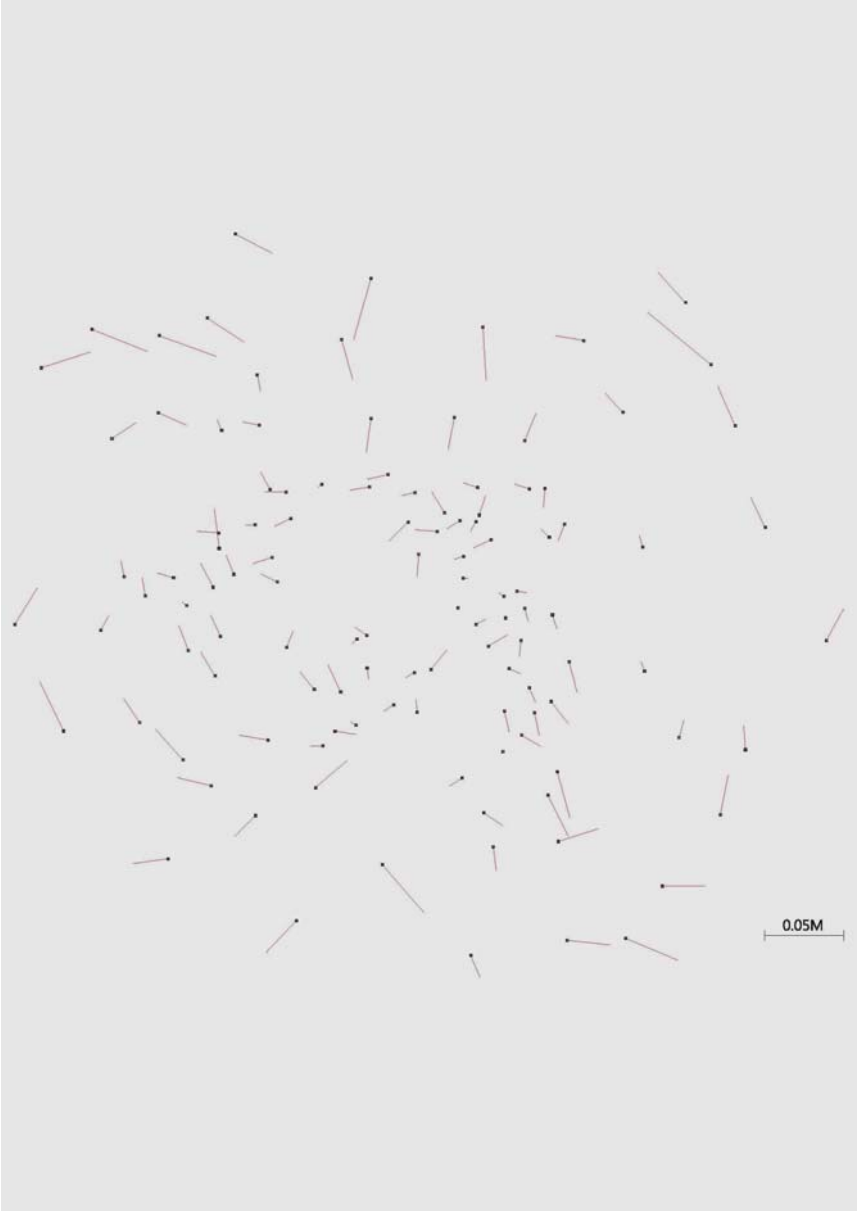


圖 5-2、GSD5cm 之測量校正值與參考標準值平面殘差向量

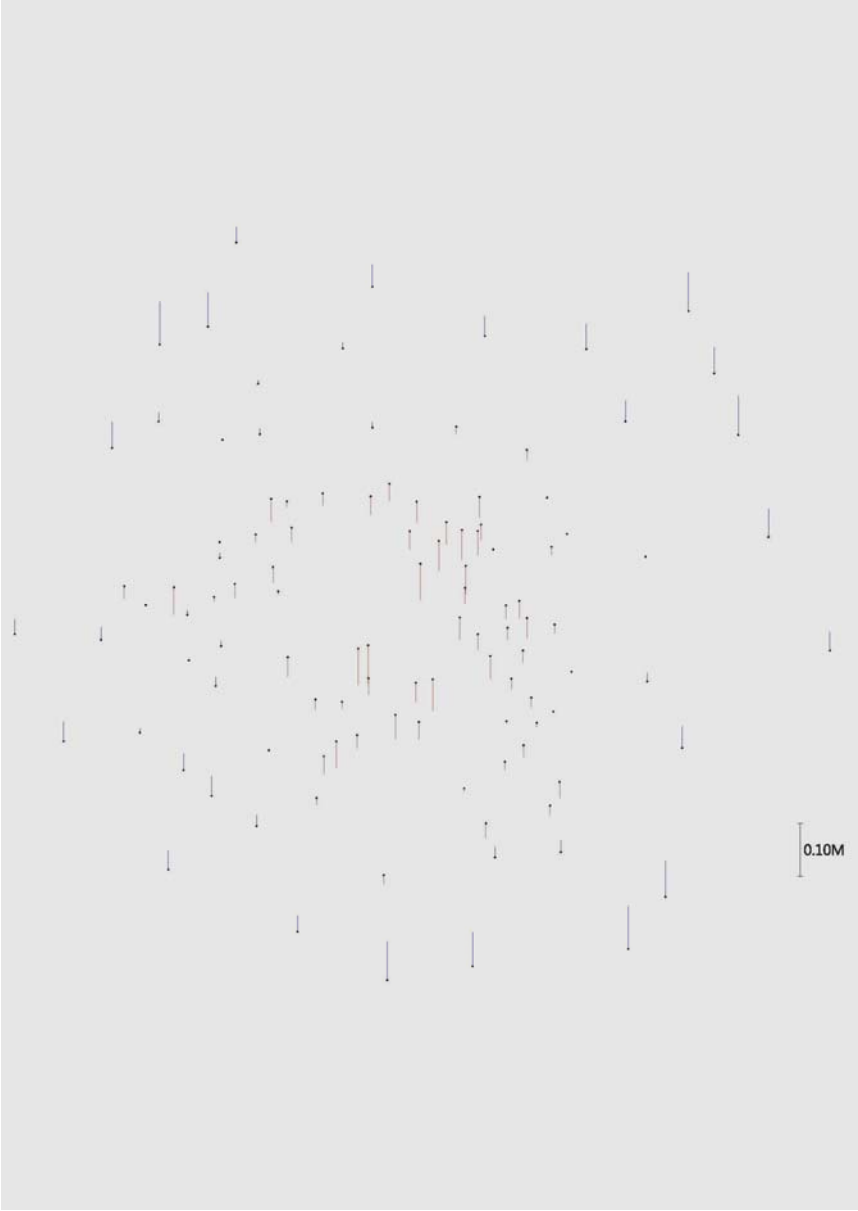


圖 5-3、GSD5cm 之測量校正值與參考標準值高程殘差向量

（十）系統誤差與偶然誤差分量估計。將全幅影像劃分為每 20x30（暫定）網格的規則棋盤網格，由全數影像套合後，視每個網格為一個單元，統計出現在每個單元內殘差的個數，計算每網格單元內殘差向量的平均值，即為該單元內系統誤差分量估值。另外將各單元內所有改正數減去該單元殘差平均值後的均方根值做為該次校正空中三角測量觀測值偶然誤差分量之統計抽樣估值。殘差向量的平均值代表影像本身幾何變形量（系統誤差），而觀測值偶然誤差估值則代表該次校正量測人員實際的量測精度。如果該精度估值經過統計檢定顯著較該人員

以往或當初在訓練考核時所得到的精度為低，顯示該次校正有問題。首先應檢核該次校正攝影的影像品質是否有模糊、反差不足等現像，如無，則該次校正應予作廢。而改由第二人重新量測，重新校正。

5-2、空間解析力校正

一、校正方法

ISO（ISO12233）對解析力定義的有 RP（Resolving Power）、MTF(Modulation Transfer Function)及 OTF（Optical Transfer Function），並規定可以用條碼式、邊緣式以及變頻線條式的校正標加以校正。本場目前規劃採用西門子星以及邊緣式二種校正標。以下是有關其原理的簡要說明：

(一)以西門子星量測

所謂幾何解析力是以調制轉換函數 MTF 代表。該函數本為一連續曲線，但為便於實用，目前基本地形圖測製規範內將之簡化單一數字為判定依據，要求該函數在每豪米 20 線對（20 lp/mm）的頻率時，仍應有 40%的調制轉換能力。

西門子星為一空間頻率連續變化的校正標。由於西門子星之每一片扇形由圓心起逐漸向外發散，亦即以扇形中心為原點的同心圓之周長隨著半徑的增加而增加，因此沿著圓周方向量測黑白頻率變化時，隨著半徑的增加頻率會逐漸降低，可以得到連續的頻率變化。

依據影像處理學可知，由於成像折積(convolution)的作用，越靠近扇形圓心部分的黑白信號調制能力越差。做相對調制能力檢定時，是以與扇形最寬處中央位置量得之白黑 DN 值視為未經干擾的 100%調制，以此值做為基準。其它各頻率所量得之調制值與此基準值相比，得到對應於各該不同頻的調制能力。以各頻率為橫軸，調制力為縱軸可擬合得到一個曲線即為 MTF。在此曲線上內插出該影像在 20lp/mm

處的調制轉換能力是否大於 0.4。由於本場採多方向多重疊飛行，因此可在多張影像內量得 MTF 曲線，內插出在 20lp/mm 處的調制轉換能力略有不同，而以最佳者為校正結果。

(二) 以推估點散函數（point spread function, PSF）方式量測

影像內成像的信號可視為是被拍攝物體信號經過攝影系統的 PSF 折積後的結果（Gonzale and Wintz, 1987， digital image processing）因此 PSF 完全決定了該攝影系統的解析力。而且 ISO（ISO12233:2000）對解析力定義的 OTF（optical transfer function）在數學定義上來看就是 PSF 的傅立葉轉換，而 MTF 即為 OTF 傅立葉轉換的能譜（模量，modulus）。因此 OTF（或 MTF）與 PSF 是空間域與頻率域一體的兩面。當假設它們都是高斯型函數時，它們之間的關係可以用下式來表示：

$$\text{scale} \cdot \text{MTF}(k) = e^{-2\pi^2 \sigma_{PSF}^2 k^2}$$

式中 σ_{PSF} 即為高斯型 PSF 函數的二階動差。scale 則是為數位攝影機所設的一個調整參數，用來調整公式內的單位，使得 MTF 得以像元為單位，而不是以實際空間頻率 lp/mm 為單位。由此式可以看出只要求得 σ_{PSF} 則也等於得到 MTF 函數。以 PSF 得到的 MTF 與以西門子星得到的不同之處，在以西門子星求得的是 MTF 曲線上的離散點，而函數本身還要再由離散點擬合而得。而由 PSF 可以直接得到連續 MTF 函數不需要作擬合。

由於影像內不易找到脈衝式的點信號做為估計 PSF 之用，一般乃間接藉助一個階躍型邊緣（step edge）求得邊散函數 ESF，再間接求 PSF。假設 PSF 具有等方位性（isotropic）時，沿著一條黑白區塊交界的邊緣，量測垂直邊緣方向的灰值剖面，即可計算出 σ_{PSF} 。

實際拍攝所得的影像其幾何解析力還會受到航拍時攝影機設定之快門、光圈、是否作前移補償（forward motion compensation）以及天候及影像下載後做後處理時設定的參數影響。

二、校正程序及分析

（一）由西門子星計算

1. 首先量測西門子星由扇形外側沿半徑方向向內退縮 5 像元處，而且離黑白交界邊緣退縮 4 個像元處的局部梯形區塊內黑白灰值的平均值，做為 100%調制的相對參考基準值。

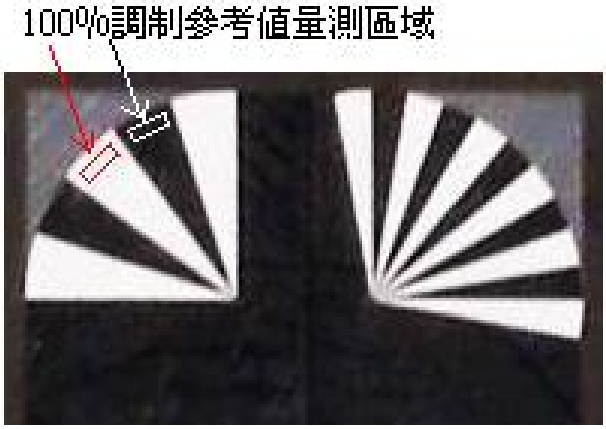


圖 5-4、解析力標量測區域示意

2. 量測時係由半徑為一個像元處開始，以每次增加二個像元為步階（increment）的半徑長度，沿切線方向，量測等半徑上黑白相間條紋的灰值，將其用 100%調制參考值除之，則得到相對調制百分比值。由於雜訊的影響，實際量測得到的變化並不均勻。下圖 5-5 所示為沿某圓形西門子星內一特定半徑位置的切線方向實際量測得到的灰值情形。因此尚必須以平滑方式求得各個頻率的平均調制值（圖中兩條水平的破折線）做為代表。

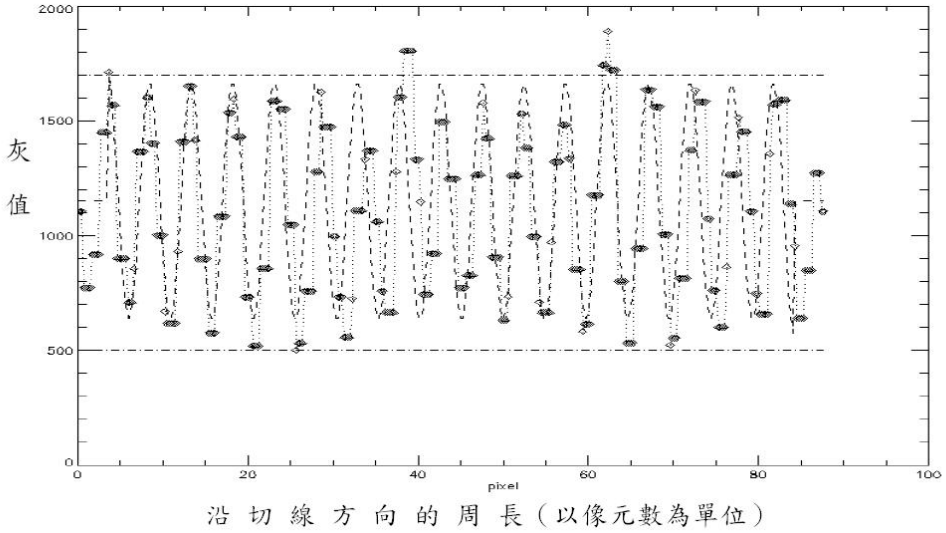


圖 5-5、沿西門子星半徑位置的切線方向之灰值示意圖

(S. Becker, N. Haala, E.Honkavaara, L. Markelin,2006)

3. 得到各個頻率的調制代表值後，以橫軸為頻率縱軸為調制值，以最小二乘法計算出 σ_{MTF} 後擬合一高斯型 MTF 曲線。圖 5-6 為本年度量測所展繪之 MTF 曲線。

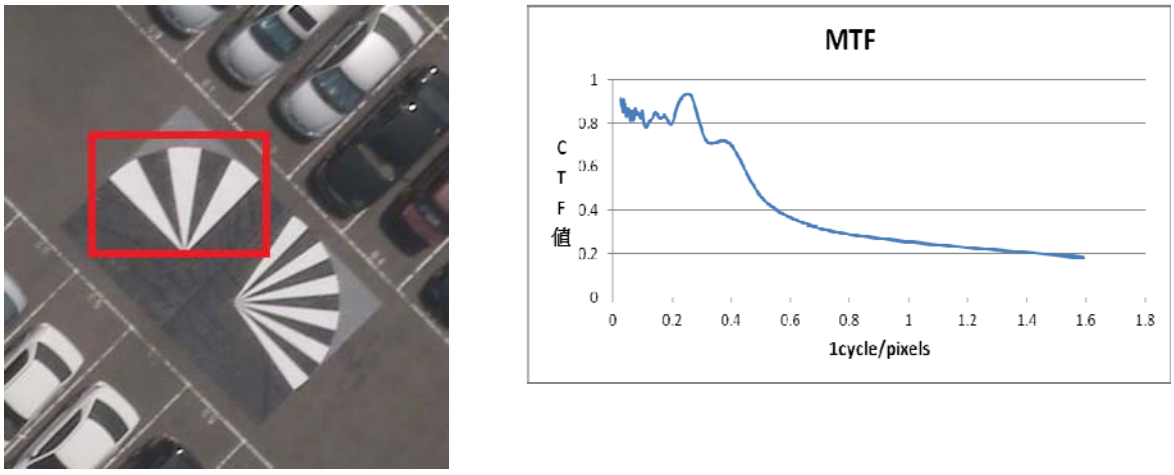


圖 5-6、本年度 MTF 量測成果

（二）由 PSF 計算

1. 沿西門子星最外側扇形的邊緣線取一黑白至少各佔 10 個像元寬（總寬在 20 像元以上）而長度越長越好的長方形為計算區（如圖 5-7 紅色矩形），沿邊緣線計算垂直方向的梯度代入 PSF 計算公式計算 PSF 的參數 σ_{PSF} ：

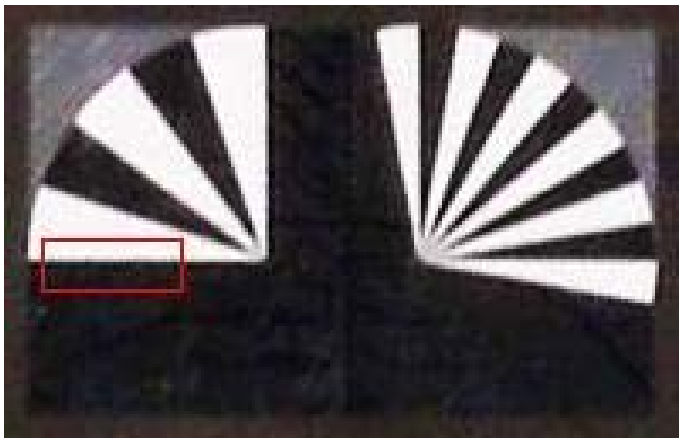


圖 5-7、計算 PSF 位置示意圖

2. 由公式的關係可以得到第二個σ_{MTF} 估值。

$$\sigma_{PSF} = \frac{1}{2\pi\sigma_{MTF}}$$

由於目前用於航測的數位攝影機其幾何解析力均遠高於以往膠片式攝影機，故計算所得的 MTF 應都能達到目前基本地形圖測製規範內對 MTF 在 20 lp/mm 時應達 0.4 之品質規定(或在 0.04n line/pixel 時達 0.4 之品質規定，n 代表像元大小，單位為 μm)。

5-3、輻射線性度校正

一、校正方法

由於目前各廠牌的航測攝影機出廠率定書內雖都列有在實驗室內完成之輻射線性度率定，但在實際航拍時，由於未知的大氣干擾因素，所拍得的影像不可能如實驗室般理想，故本校正僅為相對校正。僅比對 8 階已知反射率的標準與影像中實際量測到的 DN 值是否成線性關係，而不探討其與校正標絕對反射率之關係是否正確。

比對時需分別針對各該攝影機之各個波段作校正。以已知的標準反射率為橫軸，影像中量測到的 DN 值為縱軸，得到相對關係曲線。如果攝影機感測器對於入射的輻射量的反應是線性的，則此關係曲線應該是一條直線。由於攝影機在各波段的 DN 值是於某連續波譜內的積分值而非某單一頻率處的輻射強度，因此在計算做為標準的校正標

反射率時，應該參考各該受校件率定報告書內各波段涵蓋範圍，計算一代表值做為橫軸。

二、校正流程及分析

（一）因希望所取出的灰度值受到雜訊的影響降至最低，在 8 階灰度校正標的每個方塊內由邊緣起退縮 5 個像元後得到的中央方塊內為淨計算區（net computing area）

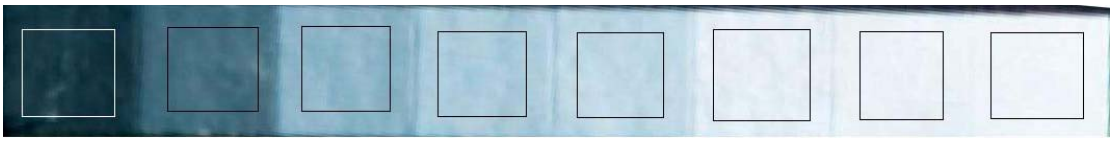


圖 5-8、輻射標各色階於影像上之量測範圍示意圖

（二）為每個波段影像的每個淨計算區內以 5x5 單窗進行平滑計算，消除雜訊。

（三）量測 8 階淨計算區內各階灰值的平均值，做為各階在實際攝影所得影像中反射強度代表值。

（四）依據受校件出廠率定書內所載各波段 R_p、G_p、B_p、NIR_p 所在波譜反應強度量測出校正標對應於 R_f、G_f、B_f、NIR_f 之標準反射率 R_r、G_r、B_r、NIR_r。

（五）將經過受校件反應特性調整後的 8 階校正標反射強度值 R_r、G_r、B_r、NIR_r 做為橫軸，影像內實際量測到的各階灰值做為縱軸，展繪如圖 5-9 之反射強度線性關係。

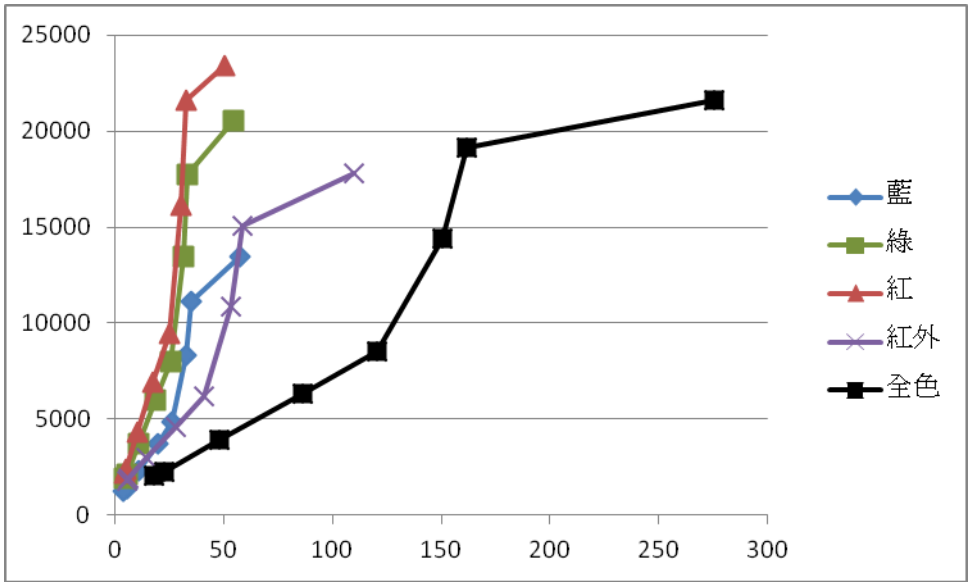


圖 5-9、本年度測試反射強度線性關係圖

（六）以最小二乘法擬合一條直線，計算出 8 階灰值與此直線間偏差量的標準偏差以及差值絕對值的平均值。隨同上圖製作於校正報告書內。

5-4、多譜波段間相對反應強度校正

一、校正方法

各個廠牌所用的感光原件不同，對於紅、綠、藍以及近紅外光波段的敏感度不同，其間並無優劣之分，僅是所呈現的色彩各個不同而已。

由於航測影像到底該以人眼主觀感覺像天然彩色為主（製作正射像片圖）還是應該以適合遙測分辨為主，在航測界並無一致的共識，因此本校正並不在判定其波段反應是否合格，僅在校正其實際拍攝的結果是否與原廠率定書內所載相符。

校正時量測八階校正標中反射率最強的一個在多波段影像中的輻射強度。由於僅在觀察波段間相對感應強度，因此僅量測各該波段之高峰值即可。量測峰值後，將各個波段峰值與原廠校正書內峰值相除所得的商值，其最大者與最小者之間的差異應在一定的百分比以內。

二、校正流程及分析

（一)以 5-3 節中量得之 8 階校正標中反射強度之最高階之調整後反射值 R_r、G_r、B_r、NIR_r 除以原廠率定報告書內各該波段反應強度後得到標準化（normalized）後 4 個波段反射強度值。

（二）繪製標準化後各波段反應強度比對柱狀圖。

（三）計算此 4 個標準化反射強度值的平均值，個別值與平均值之差異列於校正報告內。

5-5、校正標準

本章提出之校正方法為本年度初次實驗所擬，未來經實際測試，更可驗證其效果及合理性，並做適度的調整，期能使校正規則更趨於完善。本校正包含四項，依序將資料分析說明分列如後：

一、幾何校正標準

成像的幾何校正，首先需經過空中三角測量平差計算，計算軟體均使用 Intergraph 公司 Orima 計算，此軟體目前廣泛於航測製圖所用。計算時不使用附加參數，坐標系統採用 TWD97 或 TWD97[2010]。

經所謂半強制附合空中三角測量平差後，求得各影像像點坐標改正數，本年度測試擬將全幅影像劃分為每 20x30(暫定)網格的規則棋盤網格，由全數影像套合後，視每個網格為一個單元，統計出現在每個單元內改正數個數，計算每網格單元內改正數的平均值向量及其標準誤差。以 t 分佈檢定每個單元內改正數平均值的顯著性後，將確定為顯著的改正數向量與原廠率定報告值比較是否屬與合理範圍。其次計算平差後校正標坐標與標準值之間的差值均方根，並將之與同單元內已經確定為顯著的改正數比較。如果為一致，則將其列為該攝影機幾何偏差校正值。

二、空間解析力校正標準

無論是以西門子星求得 MTF 或由 PSF 推出 MTF，其 MTF 值須

在 20 lp/mm 時應達 0.4 之品質規定。

三、輻射線性度校正標準

依據受校件出廠率定書內所載各波段 R_p、G_p、B_p、NIR_p 所在波譜頻率範圍，量測出校正標對應於該範圍之標準反射率 R_r、G_r、B_r、NIR_r。

將經過受校件反應特性調整後的 8 階校正標反射強度值 R_r、G_r、B_r、NIR_r 與影像內實際量測到的各階灰值比較其線性關係是否與原廠率定報告一致。

四、多譜波段間相對反應強度校正

由影像中量得輻射標 8 色階中反射強度之最高該階之各波段 DN 值 R_r、G_r、B_r、NIR_r 由大到小依序排列後與原廠率定報告書內各該波段反應強度曲線下積分面積大小之排序應該一致。

第六章 航測攝影機校正作業系統規劃

本案之航測攝影機校正作業系統規劃，主要以輔助本案校正作業之執行為主，輔助產生校正報告所需之各項報表成果及圖片。

6-1、航測攝影機校正作業系統功能

原則上會以 Microsoft Windows 為作業環境的電腦當作平台，設計出適於校正分析的作業系統。隨著校正場的營運，也能慢慢得知使用者或受校廠商的需求，再對校正作業系統進行修改、更新，使系統趨近於完善。

校正作業系統初步規劃應具備下列功能：

一、校正場資料庫

(一)校正場範圍、位置。

(二)校正標相關資訊。

(三)航拍歷史資料展示及查詢。

二、校正作業分析

(一)幾何校正

幾何校正應具備的功能如下:

1.建立校正場資料庫及航拍影像查詢

(1)校正標點位資訊、簡單查詢坐標及聯絡人資訊...等。

(2)航拍影像展點及像幅展示。

(3)空三網形圖。

(4)像點殘差向量表示圖。

2.空三報表統計分析及校正報告

(1)空三成果表格化(擷取 ORIMA 報表中所需之相關資訊)。

(2)影像殘差向量統計分析（包含絕對值平均值、母體標準偏差、最大值、最小值、平均值、統計顯著性檢定值等）

(3)幾何校正報告輸出。

(二)空間解析力校正

1.計算西門子星解析力。

2.計算 PSF（點散函數）解析力。

3.解析力校正報告（包含 MTF 曲線圖）

(三)輻射校正

1.輻射線性度校正。

2.多譜波段間相對反應強度校正。

3.輻射校正報告輸出（包括反射強度線性關係圖、各波段反應強度排序柱狀圖）。

6-2、航測攝影機校正作業系統規劃

校正作業系統規劃如圖 6-1 所示。

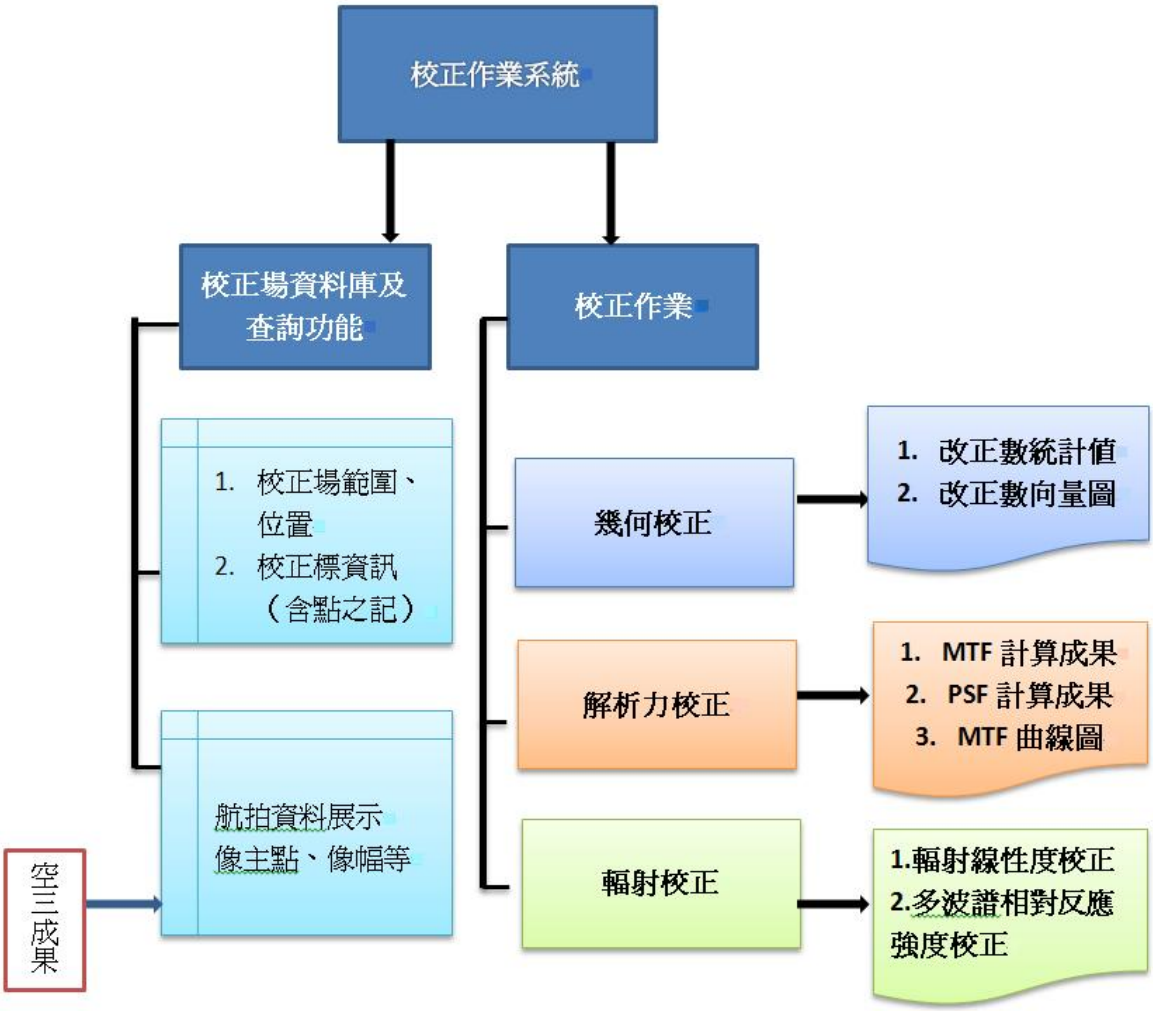


圖 6-1、校正作業系統規劃圖

第七章 校正作業程序座談會

本年度研擬校正作業程序及標準後，為了廣納各界意見避免閉門造車，依契約舉辦校正作業程序座談會。

邀請本領域各專家學者及業界人士人約達 37 名，實際前來與會的人士有相關領域學者 5 名，專家 3 名，業界代表 9 名。

於會中就本案之校正作業程序、分析流程與分法討論，獲得與會人士肯定，並提出相關建議， 詳細之會議紀錄詳如本報告書附件 3。

7-1、校正作業程序座談會辦理情形

一、舉辦時間

101 年 10 月 26 日（星期五）下午 2 時。

二、參與人員

1、邀集測繪業、國內航測攝影機擁有者及相關領域專家學者。

2、承辦單位：本會參與本案作業之計畫主持人及相關作業人員。

3、主辦單位：國土測繪中心。

三、辦理地點

地點：國土測繪中心（位址：台中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓）。

7-2、會議議程大綱

一、作業成果介紹

於會前提供本案相關文件給與會人士參考，並於會上簡介本案「建置航測攝影機系統校正場」作業成果介紹。

二、航測攝影機校正作業程序相關討論

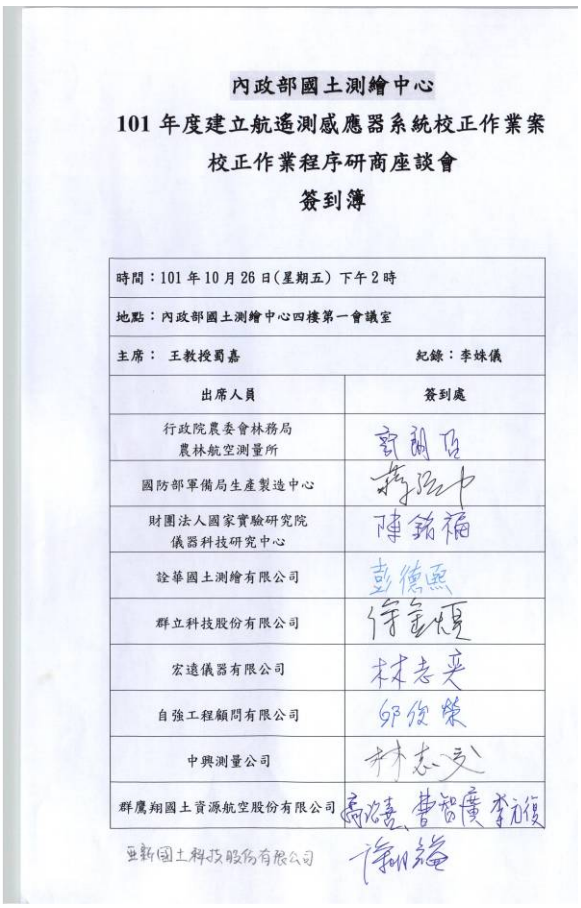
依本案「航測攝影機校正作業程序」文件進行討論，討論之項目如後：

1. 適用範圍、儀具及設備。
2. 校正項目。
3. 校正流程。
4. 校正條件。
5. 校正相關準備事項。
6. 校正程序。
7. 校正後作業事項。
8. 資料分析。
9. 其他相關事項。

7-3、辦理情形及簽到單

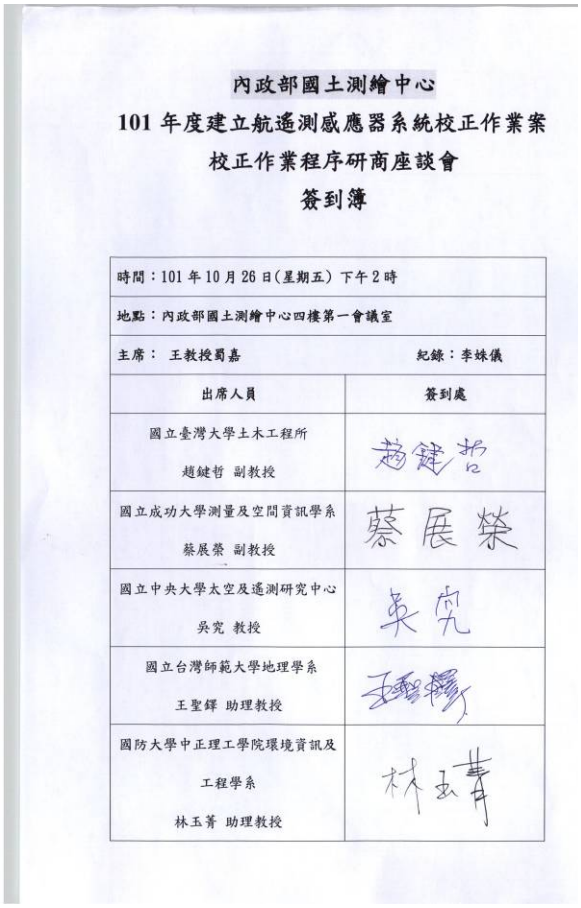
舉辦會議當日討論踴躍，與會人士亦提供相當之意見，可供後續作業參考，對本案有所助益。辦理之情形及簽到單如圖 7-1、圖 7-2 所示。

圖 7-1、座談會辦理情形



內政部國土測繪中心
101 年度建立航遙測感應器系統校正作業案
校正作業程序研商座談會
簽到簿

時間：101 年 10 月 26 日(星期五) 下午 2 時	
地點：內政部國土測繪中心四樓第一會議室	
主席： 王教授蜀嘉	紀錄：李姝儀
出席人員	簽到處
行政院農委會林務局 農林航空測量所	郭朗昌
國防部軍備局生產製造中心	蔣弘中
財團法人國家實驗研究院 儀器科技研究中心	陳銘福
詮華國土測繪有限公司	彭德熙
群立科技股份有限公司	徐金煜
宏遠儀器有限公司	林志奕
自強工程顧問有限公司	邱俊榮
中興測量公司	林志文
群鷹翔國土資源航空股份有限公司	高冶喜、曹智廣 李方復
亞新國土科技股份有限公司	徐翊綸



內政部國土測繪中心
101 年度建立航遙測感應器系統校正作業案
校正作業程序研商座談會
簽到簿

時間：101 年 10 月 26 日(星期五) 下午 2 時	
地點：內政部國土測繪中心四樓第一會議室	
主席： 王教授蜀嘉	紀錄：李姝儀
出席人員	簽到處
國立臺灣大學土木工程所 趙鍵哲 副教授	趙鍵哲
國立成功大學測量及空間資訊學系 蔡展榮 副教授	蔡展榮
國立中央大學太空及遙測研究中心 吳究 教授	吳究
國立台灣師範大學地理學系 王聖鐸 助理教授	[illegible]
國防大學中正理工學院環境資訊及 工程學系 林玉菁 助理教授	林玉菁

列席人員	簽到處
內政部國土測繪中心	白敏思 蔡李欣 黃英婷 李佩珊
中華民國航空測量及遙感探測學會	王蜀嘉 史文文 [illegible] 王怡舜

圖 7-2、座談會簽到單

第八章　TAF 認證規劃

由於測繪之基礎在使用正確的設備，而設備正確與否若能經由經過認證的機構來評定，可以具有公信力。由於國土測繪中心已經取得財團法人全國認證基金會（Taiwan Accreditation Foundation，以下簡稱 TAF）量測實驗室的認證，如本場如果也能申請得到認證，亦具有導入品保觀念，進行自我品保要求的意義。

本場目的在於建立能出具有公信力的校正報告，基於此條件之下，必須由沒有利益衝突的單位來執行此項作業。本會目前規劃由國土測繪中心執行此項作業，一來國土測繪中心現為全國認證基金會會員，部分建置作業目前已完備，二來國土測繪中心為公務機關，不涉及私人利益；本會將於後續工作中協助國土測繪中心盡可能取得校正場認證。

鑑於本場內容與一般工業實驗室不同，由於全世界沒有類似的校正場有過申請認證的案例，全國認證基金會在執行評鑑時可能會有無法以經過認證的相同實驗室進行比對的困難，故如何提出能力證明進行能力比對，將是一大難題。

此外，為了符合 TAF 認證需求，本會也撰寫了航測攝影機校正系統評估，分析本案校正系統之不確定度，不確定度的來源包括但不限於：所使用的參考標準與參考物質、所使用的方法與設備、環境條件、待試驗件或待校正件的特性與條件及操作者。

本會為了能協助國土測繪中心日後取得 TAF 認證，本會兩名同仁於 101 年 7 月 3～7 月 5 日，前往 TAF 受訓取得 ISO17025 之訓練合格資格，了解 TAF 之實驗室認證之精神及要求，合格資格如附件 6-1 所示。

並前往 TAF 進行訪談，於 101 年 10 月 24 日拜訪楊認證實驗室經理及諮詢等，就申請認證之困難了解其相關規定及意見，並依訪談之

結果及了解，提出相關認證作業之成本分析。

8-1、校正系統評估

由於校正系統評估主要是針對納入 TAF 認證項目撰寫，且經會議決議，初步以爭議較小之幾何校正納入 TAF 認證項目為目標，因此本章節主要著重於幾何校正之系統評估。

本章節之撰寫遵照全國認證基金會 TAF-CNLA-R06「有關量測不確定度之政策」第 3 節的要求，校正實驗室必須針對校正及量測能力（Capacity and Measurement Capability, CMC）的量測不確定度（Uncertainty of Measurement）做評估。因此本文件即依據 TAF-CNLA-G16「校正領域量測不確定度評估指引」文件撰寫。

基本上本校正屬於 TAF-CNLA-R05 文件附件 4 表一所列之「長度」校正領域，將設置於國土測繪中心之內，與現有已經獲得 TAF 認證的 GPS 校正同屬「長度」校正。

由於校正場之設計、校正量測方式及量測精度限制、校正所依據之理論與真實物理環境之間模式的差異、實際每次校正飛行時，受到周圍環境與理論模式之間的差異、量測人員能力差異等等因素的影響，必定會使得校正時有不可避免的模式以及量測的不確定度，使得校正的能力受到一定的限制。本章節即為針對本系統在作業時的不確定度以及能達到的校正能力進行分析說明。

一、量測原理

校正量測的原理是將經由空中三角測量計算所得的校正標坐標與地面實測的坐標相比，以評估該攝影機成像的幾何精度。

航空攝影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下式(1)關連起來為共線式，以此為基礎進行最小二乘平差：

$$\frac{X-X_0}{Z-Z_0}=\frac{a_1x+a_2y-a_3f}{c_1x+c_2y-c_3f}$$

$$\frac{Y-Y_0}{Z-Z_0}=\frac{b_1x+b_2y-b_3f}{c_1x+c_2y-c_3f} \qquad (1)$$

式中 X、Y、Z 代表地表點的坐標（在本場即為大地坐標系內的坐標），X_0、Y_0、Z_0 代表投影中心在大地坐標系內的坐標，而 x、y 是該點在影像坐標系內的像坐標，f 則是該攝影機的焦距。a、b、c 是大地坐標系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姿態角。此一關係在攝影測量是以空中三角測量加以實現。

需注意的是一般由影像內直接量測到的是所謂掃瞄坐標系（scanner coordinate system），即像元的行列序數，而中心透視投影模式內所需的是影像坐標系或稱像片坐標系。如果該攝影機的像主點不在影像行列序位的中央位置，亦即內方位參數的原點有偏移時（此點可由原廠率定報告書內取得），則尚必須經過平移轉換方能得到可供影像坐標。當然如果使用的空中三角平差計算軟體內已經包含像主點偏移轉換，則可略去此項轉換。

為滿足此模式，攝影機之成像面必須為平面，內方位參數固定而且不隨時間及外在環境變化，透鏡的畸變要小。針對以上各要求，生產廠商於該機出廠前已經在實驗室內予以率定完竣並出具率定報告書。但是在實際航測時，其環境與有控制的實驗相差很大，所以生產廠商一般還會在攝影機出廠時，再以一實際野外校正場航拍的空中三角測量，即所謂 burn-in 空中三角測量，對實際環境中能達到的精度予以確認。而對於攝影機的使用者而言，也是藉助野外校正場實際航拍加以校正（Honkavaara,2008）。

野外校正之原理係於地面上布設足夠數量的已知其坐標的幾何校正標作為參考標準。由受校攝影機對其進行航拍後於影像中量取各該校正標的坐標後與參考標準比較，由其差值推估受校正攝影機之幾何

精度，因此量測方程式為：

$$\Delta = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} \qquad (2)$$

X、Y、Z 為經平差計算後之點位坐標，而 X_r、Y_r、Z_r 則代表標準件（由校正場設置時，經 GPS 測量求得之坐標）。

另外，在以校正場實施空中三角測量來評估攝影機的幾何精度時有以下各項必須注意：

1. 比對之前必須確認空中三角測量平差計算本身的正確性。
2. 空中三角測量平差計算後得到的驗後方差分量估值（variance components estimation）若與驗前估值有統計顯著（statistically significant）的差異，則表示空中三角測量平差計算尚未收斂，必須調整驗前之比值後繼續計算，直至驗前與驗後方差估值檢定不出有差異為止。
3. 而在做驗後方差分量估計時，必須確認觀測值內已無粗差。由於粗差會扭曲驗後方差估值，而驗後方差又是用來做粗差偵測的依據，所以粗差偵測與驗後方差估計在理論上是二個互相矛盾衝突的過程。在實用上則是以重複漸進的方式，不斷進行「驗前方差假說—>平差計算—>驗後方差估值—>依據驗後方差精進驗前方差假說—>平差計算…」，直至沒有粗差而且各類觀測值驗後方差比值與驗前比值相當為止。
4. 由於目前常見的航空攝影機成像的影像面尺寸都很大，約在一億個像元左右，要為如此大面積的影像推估出其幾何精度，必須要有數量足夠且均勻分布於全影像面的校正標，以便得出具有統計顯著性以及代表性的結果。至於分布數量的多寡又繫於待校正攝影機品質的高低。對於高幾何精度的攝影機，因其幾何畸變小，只要少數的幾個離散點即足以描述其面狀畸變函數。但是對於幾何精度較差的航測攝影機可能需要較多的參考

標準點方可描述其畸變情形。不過本校正的目的不在為個別攝影機尋找其畸變函數，而僅在簡單判定影像之幾何精度是否達到標準。因此除非碰巧所有供比對的用的參考標準都恰在該攝影機無畸變的位置，否則只要有少數 3、5 個參考標準上發現有過大的偏差，即足可判定該攝影機幾何精度有問題。不過為了避免有漏網之魚，本場規劃的飛行航線為東西向及南北向均採對向飛行，使全場均受到 4 重疊涵蓋，加上各航帶均採 80%縱向及 60%橫向重疊，務使參考標準標會高密度均勻分布於影像各個位置，得以發現任何局部的幾何畸變。

5. 各個影像內量測值與參考標準值的差異均以空中三角測量整網聯合平差（區域平差）後的改正數為準，不採個別影像套合至參考標準點的方式來取得。由於空中三角測量的品質與連結點的光線數或稱重點數有關，因此本場規定每張影像的 9 個標準點位都必須有連結點與同航帶及鄰航帶鄰片相連結。

6. 當僅採單一東西或南北飛行方向時，以中央航帶之像主點為例，由於縱向有 80%重疊橫向有 60%重疊因此每個連結點原則上都應該是 15 重點。不過如遇到不可避免的遮蔽或陰影無法使每個點都與所有鄰片連結時，得將連結分為二組，例如一組連結 7 重另一組連結 8 重。但是為保證最低之可靠度，依以往作業經驗，任一組的重點數不得少於 3。在量測參考標準點方面，凡涵蓋到參考標準點的影像都必須量測到。凡參考標準點之位置可用為連結點者，則儘量以參考標準點作為空中三角測量之連結點，而不另外增設連結點。

7. 當空中三角測量平差計算粗差剔除殆盡且合理收斂以後，再選擇分布於校正場靠外邊的校正標做為控制點，其餘的當作檢核點，重做一次空中三角測量平差計算，此平差稱為校正平差。平差後由全部檢核點計算偏差量的平均值，並依據「校正領域量測不確定度指引」（TAF-CNLA-G16 文件）第 4.7 節公式（5）

估計之偏差的標準偏差。

8. 如果平均值落在本系統之擴充不確定度範圍內，則顯示受校件沒有顯著的幾何偏差。

二、不確定度分析程序

1. 校正標對心不確定度

漆標時應於現場量測偏心量並做成紀錄。此偏心量為以理想標心為中值的常態分佈其標準偏差在此稱為 σ_1。依照校正場布標規範其最大誤差不得超過 0.5 公分，故對於本校正整體的不確定度沒有影響，可忽略。如果在檢核時發現某有超過限值的偏差量，則必須責令重新布設。務使本偏差量不得影響整體的不確定度。如有必要，本部分的不確定度可以依據 TAF「校正領域量測不確定度指引」(TAF-CNLA -G16 文件)內 A 類標準不確定度估計的方式於現場量測偏差量加以估計之。

2. 校正標 GPS 測量偏心不確定度

此為以三角架設站做 GPS 觀測時，GPS 天線相位中心與校正標心之間的偏差量，分為水平及垂直二獨立偏心量。其中水平偏心量依據設站觀測規定，必須利用基座之對心器與位於地面上的標心對齊，而天線相位中心與基座之間的偏差量為固定，大地測量用並經 TAF 認證過的 GPS 接收儀天線相位偏移量隨廠牌不同，但其標準偏差一般都在 1 毫米以內（參考 http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/），而且還可藉助於要求天線架設時恆標定一固定方位，將其影響消除。由於本校正受校件（航測攝影機）本身之幾何精度約在 1/3 像元以內，即使以極高解析度 5 公分之 GSD 而言，亦有約 1.7 公分，故天線相位中心與基座對心器之間的偏心量可以忽略不計。

基座對心器與標心之間的水平方向偏差量是偶然誤差而且是不可避免的。而垂直偏心量係藉助量測天線儀器高而得到，量測儀器高時亦不可避免有偶然誤差。水平及垂直誤差皆屬於「校正領域量測不確定度指引」(TAF-CNLA-G16 文件）內所稱 A 類標準不確定度，其遵

從常態分佈在此記為 σ_2。

儀器高量測本身不確定度 σ_{2h} 可以藉助重複量測予以估計，但是基座對心器與標心之間的水平不確定度 σ_{2p} 較難以重複量測方式加以估計。GPS 施測規範內所要求的基線重複設站，理論上可以用於估計此二偏心量之用，但是由於基線重複觀測時，又引入其它更多的不確定度，如衛星數目及分佈、多重路徑來源變更、大氣環境變化等，使得無法由其中將天線偏心量單獨分離出來，故對於本場而言，水平偏心不確定度必須依照 GPS 施測規範確實定心來儘量減小，垂直偏心量必須藉助重複觀測加以估計。而殘餘的偏心都將影響後續 GPS 基線網解算，並在基線網解算時，合併於整體 GPS 坐標測量之不確定度而不另外單獨予以分離。

3. 校正標基線測量 GPS 觀測不確定度

所謂 GPS 觀測的不確定度指的是，即使接收儀置於固定點不動，於持續觀測時，觀測值之間隨機的散佈性。GPS 觀測的不確定度有來自系統本身，也有來自外在環境的。前者包含整個框架系統的不確定度，表現在做為本場基準的國家衛星基準點上，以及測量所用的接收儀品質所引起的不確定度。後者有電離層、大氣層、多路徑、氣溫、氣壓、日照等。詳細估計細節可參考 TAF GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告（彭淼祥，2009）。

就本場而言，實際的不確定度可以由二方面獲得。一是所用的接收儀製造商所提供的不確定度數據。另一個是將此不確定度併入下一階段基線網平差後，在計算坐標時合併所有 GPS 測量不確定度，包含之前所述之由基線重複觀測偏心所引起的不確定度。對於本場而言，此一總體不確定度即代表做為參考的校正標坐標的綜合不確定度，足敷校正需求，不必細分來源個別估計不確定度。故在此不再對單獨對 GPS 觀測值本身不確定度做評估。

4. 校正標 GPS 坐標測量不確定度

如前所述，無論不確定度的來源多麼分歧複雜，由於本場有一百多個校正標，以 GPS 進行聯測時，組成幾何強度以及自由度極高的三維三邊網。因其自由度極高，故具有極佳的自我檢核能力，些微的誤差都會表現在網形平差計算的改正數上（Baarda,1968），因此可以很可靠地估計出基線測量以及由基線解算出的坐標之不確定度。

此不確定度 σ_3 屬於「校正領域量測不確定度指引」（TAF-CNLA-G16 文件）內所稱 A 類標準不確定度且為常態分佈，其標準偏差以下式估計之：

$$\sigma_3 = \sigma_0 \sqrt{Q_{xx}} \qquad (3)$$

式中 Q_{xx} 為 GPS 坐標解算時坐標未知數的協方差矩陣。是 GPS 平差計算的驗後權單位中誤差。

σ_3 的自由度為:

$$v = n - u \qquad (4)$$

式中 n 為網形的總觀測數，u 為網形的未知數總數。

上式為個別單獨坐標中誤差的驗後估值，在估計系統整體平均不確定度時，可以求其平方和之平均值做為代表。如果平面坐標中誤差與高程中誤差相差很大，則應將平面坐標不確定度與高程不確定度分開估計。

5. 校正標像坐標量測以及連結點像坐標量測的不確定度

本校正之基礎是將影像上量得的校正標坐標與參考值（GPS 觀測值解算出來的大地坐標）相比，以評估影像的幾何精度。而影像中校正標坐標量測是依靠人工量測的，因此人工量測的不確定度大小是決定本校正系統能力高低的最主要因素。對於執行此項量測人員必須經過一定的訓練及考核，並對各人的量測不確定度確實加以估計。由於量測的誤差遵從常態分佈，屬於「校正領域量測不確定度指引」

（TAF-CNLA-G16 文件）內第 4 節所稱 A 類標準不確定度。對於它的估計則係採用「校正領域量測不確定度指引」（TAF-CNLA-G16 文件）內第 4.7 節公式（5）計算而得。此項不確定度記為 σ_4，此值不得大於 1/5 像元尺寸。

由於影像坐標與大地坐標分屬二個不同的坐標系，並無法直接比對，所以比對之前必須先以藉助空中三角測量平差計算求得二者之間轉換關係，方可在同一坐標系內進行比對。而在此空中三角測量過程中，各張影像又須藉助所謂連結點組成一張空中三角網。由於連結點也是選取影像中具有明顯紋裡特徵的自然點，其不確定度應該與校正標像坐標觀測量不確定度相當。以本場而言，涵蓋的範圍是南崗工業區，區內紋理豐富，所以連結點觀測的不確定度可設定為與校正標相同，可同樣記為 σ_4。

雖然目前許多空中三角測量是以影像匹配技術自動化量測空中三角網的連結點。但是如前所述，即使以自動化影像匹配量測連結點還必須靠人工加以補足及重測，故其最後不確定度還是可以用 σ_4 來估計。

空中三角網量測不僅提供了影像坐標與大地坐標之間的轉換，它的一個額外加值副作用就是僅靠它本身就可用於校正影像幾何精度。因為本場設計的飛行航線是東西及南北正交飛行，而且每個方向都採 80%縱向以及 60%側向重疊，使得這些連結點均勻分佈於像幅各個位置，而且它們本身就組成一個自由度極高的空中三角網，其自由度達到 6 萬以上，以致影像如有些微的變形（幾何精度差）都會導致這些連結點無法完美連結。因此即使沒有校正標，僅由這些連結點連結的好壞，也可評估出影像的幾何精度。如果連結點驗後中誤差比 σ_4 顯著大很多，則不需校正標也可判斷受校件影像的幾何精度達不到數位航空攝影測量一般的標準。

像坐標量測不確定度是以影像坐標系為基準，而做為參考值的校正標坐標是以大地坐標系為基準，二者不能直接比對。所以 σ_4 還必須在各個校正空中三角測量後依據實際的驗後協方差矩陣化算到大地坐

標系內，成為大地系統內三維坐標的不確定度 σ_{4G}。

6. 航拍空載 GPS（IMU）觀測的不確定度

現今各航測攝影機大多搭配有空載 GPS 即時記錄飛行軌跡，並據以內插出攝影機曝光瞬間飛機的位置。有的更加載慣性量測設備（IMU）記錄曝光瞬間飛機的方位角及姿態（傾斜角）。由於此類附加輔助設備並非國土測繪相關規範所規定必須加裝者，故本場目前並不對此類設備進行校正。惟廠商於執行校正場航拍時使用了這些設備，這些觀測值可以加入空中三角測量作為額外觀測值，此時就有新增不確定度的問題。

GPS（IMU）的不確定度更形複雜，因其除了不確定度外，還有可靠度問題，也就是提供的數據是否正確的問題。無論是不確定度還是可靠度都難於事前加以估計，因為他們無法做重複觀測，僅能藉助航線間足夠側向重疊或正交飛行航線於空中三角測量平差計算時，以驗後方差分量估計技術，間接加以估計。

7. 幾何校正結果綜合不確定度

由於校正時不區分坐標軸方向，而是以空間誤差大小為判斷依據，因此在推算系統綜合不確定度時，逕以三維不確定度為基礎。

綜合以上所述的各類不確定度，實際算在本校正系統校正能力內的有校正標布設對心不確定度、GPS 觀測設站對心不確定度、GPS 觀測不確定度、以及像坐標觀測不確定度。由於各項不確定度均為獨立不相關，因此依據誤差傳播（協方差傳播）理論，系統的綜合不確定度 σ 以下式估計之：

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + \sigma_{4G}^2} \qquad (5)$$

由於 σ_1 及 σ_3 與 σ_{4G} 相比非常小，實際計算時可以忽略，所以系統的不確定度其實只有一項 σ_{4G}。

依據它即可按照「校正領域量測不確定度指引」（TAF-CNLA-G16

文件）內第 6 節的原理校正結果的 95%信賴區間及擴充不確定度。

8-2、TAF 訪談與認證作業規劃

本年度作業執行期間，就 TAF 認證有過多次討論及決議，本章節即說明本案校正項目預計將納入校正領域之類別及項目等。

一、TAF 訪談

本會於 101 年 10 月 24 日前往新竹 TAF 分會，與 TAF 實驗室認證楊經理進行訪談，就提出相關問題一一釋疑，相關資訊整理如下。

1. 關於認證項目類別：

本校正項目可擴充在原國土測繪中心的校正實驗室下，分類為長度類別下代碼 KA40.99（幾何/形狀標準-其他）。

2. 關於能力試驗比對：

實驗室認證後能力比對部分為 3 年一次，實驗室不限於政府公家機關單位或學術團體，私人民間具有公信力之實驗室亦可行。

3. 關於儀具設備：

校正場內之儀具設備不需專作校正用途，只需要在進行校正前，確保儀具的穩定性及正確性，不致使對成果產生錯誤之判斷。

二、TAF 認證作業規劃

經本會與國土測繪中心前往 TAF 進行訪談後，有關本案校正項目之 TAF 認證規劃如下：

1. 於國土測繪中心測量儀器校正實驗室下擴充航測攝影機系統校正項目，且國土測繪中心為日後執行執行校正相關作業之單位。
2. 執行校正之法源依據為「國土測繪法應用測量實施規則第 12 條」，實驗室校正作業程序之品管方法依照 ISO 17025 要求撰寫。
3. 校正之對象為執行測繪業務之航遙測攝影機，先建立航測專用之大像幅航測攝影機(如 DMC、UltraCamR 及 ADS40 等)之校正為主，

日後再視需求考量納入中像幅像機或 UAV 等航遙測攝影機校正。

4. 校正之對象為完整之航遙測攝影機系統(包含攝影機、GPS 及/或 IMU)，以野外校正場之方式校正，校正項目為經空中三角測量(以下簡稱空三)平差計算後之物空間點位坐標，標準件為使用通過 TAF 認證實驗室校正之 GPS 接收儀，參考/標準值之點位坐標則以 GPS 靜態測量且經網形平差計算而得。

三、能力比對方案規劃

本會依據 ISO17025 及訪談後，對將來申請認證時，最困難的部分做以下 4 個方案之規劃：

1. 取得目前台灣正在使用的航測攝影機於國外出廠時，曾做過的 burn-in flight 成果，與本場的報告相比，證明本場校正能力。此方案幾乎不需要額外的成本，只要對該攝影機再以本場進行一次校正，即可達到能力比對的目的。但是此方案是否可行，卻繫於目前在台灣使用中的攝影機在出廠時是否曾經做過野外現場校正，以及如果攝影機出廠已有一段時日的話，其出廠時的校正結果是否還能為 TAF 能力比對所接受。

2. 將受校件(航測攝影機)送至國外校正場，經校正飛行後所出具的校正報告，與本場做比對以證明本場之校正能力。此方案成本最高，在送至國外校正時，將有 1 至 2 個月的時間使得該機無法執行任務，其停機之損失必須由本場支付。此外尚須支付國外航測公司執行校正飛行以及空中三角測量與平差計算費用。目前國內攝影機雖有受召送回原廠實施實驗室內再校正的案例，並沒有請國外公司於國外野外校正場辦理校正的實例，所以難精確估計本方案的成本。但是以約租用攝影機二個月時間的停機損失、辦理來回運送、委請國外航測公司代飛校正場並辦理空中三角測量與平差等項目粗略概估，約需 400~500 萬左右。

3. 租借國外已做過野外校正並附有校正報告的航測攝影機來本場再

度進行校正，將其結果與國外校正場之校正報告相比對以做為能力比對。目前規劃以航測學會名義聯絡國外航測公司洽談相機出租事宜。此方案可行性完全繫於國外已有校正紀錄的的攝影機是否願意出租並辦理出口手續運送到台灣。因少有航測公司會以出租攝影機為其營業項目之一，而普通航測公司一旦將其攝影機外租，則會影響其正常航測業務。除非以友情協商並選擇其業務清淡之季節租用，否則不易成功。視租期長短（包含運送、通關等時間），加上在本場重新校正的費用，所需成本粗估約在 300~400 萬左右。

4. 其他 TAF 認可能取代能力比對之方案。據稱 TAF 也體認到目前的能力比對的設計，對於具有屬全世界初創性且稀少性的實驗室確有其執行上的困難，故正在研究變通方案中，例如以邀請該領域內著名的學者專家對該實驗室能力進行現場檢核以取代同類實驗室之間的能力比對。本會將繼續追蹤 TAF 在此方面的進展，瞭解本替代方案的可行性。

第九章　教育訓練

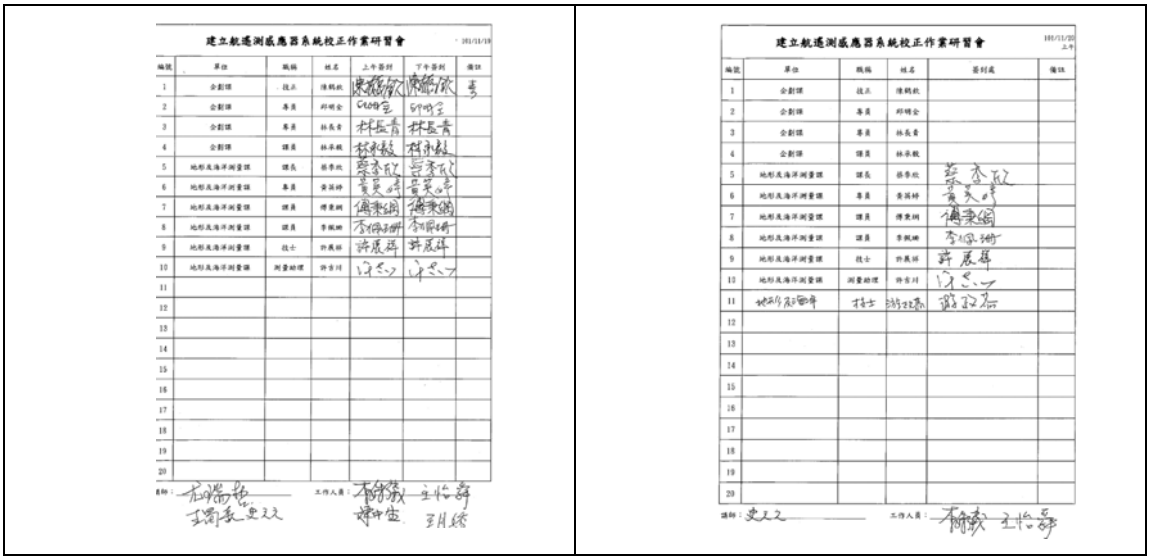
本會並於 101 年 11 月 19 日及 20 日兩日，於國土測繪中心舉辦約 6 小時之校正作業教育訓練，為了讓實際執行人員真正了解本校正之精神，且日後具有判斷及解決問題之能力，本次教育訓練以理論講述為主，最後再以本案之實際作業流程及作業心得作分享。並特別聘請成功大學測量及空間資訊學系尤瑞哲副教授，講述幾何校正相關之誤差理論基礎，課程表安排，如表 9-1，相關課程內容、時數及參與人數滿足契約之要求。

表 9-1、教育訓練課程表

日期 時間	101 年 11 月 19 日 （星期一）	日期 時間	101 年 11 月 20 日 （星期二）
10：00 ∫ 10：10	報　到		報　到
10：10 ∫ 11：00	幾何校正之誤差理論基礎 1 成功大學 尤瑞哲 副教授	09：30 ∫ 10：20	輻射校正的理論基礎 交通大學 史天元 教授
11：10 ∫ 12：00	幾何校正之誤差理論基礎 2 成功大學 尤瑞哲 副教授	10：30 ∫ 12：00	幾何、空間解析力及輻射校正之處理與分析 航測學會 李姝儀 工程師
12：00 ∫ 13：30	午　餐	12：00 ∫ 13：30	午　餐
14：00 ∫ 14：50	幾何校正的方法 成功大學 王蜀嘉 教授		
15：00 ∫ 16：30	幾何解析力校正的方法 成功大學 王蜀嘉 教授		

兩天之教育訓練之現場約有 10 名人員參與訓練，上課情況及簽到單如圖 9-1 及 9-2 所示。

圖 9-1、教育訓練實況



建立航遙測感應器系統校正作業研習會 101/11/19

編號	單位	職稱	姓名	上午簽到	下午簽到	備註
1	企劃課	技正	陳鶴欽	陳鶴欽	陳鶴欽	秀
2	企劃課	專員	邱明全	邱明全	邱明全	
3	企劃課	專員	林長青	林長青	林長青	
4	企劃課	課員	林承毅	林承毅	林承毅	
5	地形及海洋測量課	課長	蔡李欣	蔡李欣	蔡李欣	
6	地形及海洋測量課	專員	黃英峰	黃英峰	黃英峰	
7	地形及海洋測量課	課員	傅秉綱	傅秉綱	傅秉綱	
8	地形及海洋測量課	課員	李佩珊	李佩珊	李佩珊	
9	地形及海洋測量課	技士	許展祥	許展祥	許展祥	
10	地形及海洋測量課	測量助理	許吉川	許吉川	許吉川	
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

講師：[illegible] 工作人員：[illegible]

建立航遙測感應器系統校正作業研習會 101/11/20 上午

編號	單位	職稱	姓名	簽到處	備註
1	企劃課	技正	陳鶴欽		
2	企劃課	專員	邱明全		
3	企劃課	專員	林長青		
4	企劃課	課員	林承毅		
5	地形及海洋測量課	課長	蔡李欣	蔡李欣	
6	地形及海洋測量課	專員	黃英峰	黃英峰	
7	地形及海洋測量課	課員	傅秉綱	傅秉綱	
8	地形及海洋測量課	課員	李佩珊	李佩珊	
9	地形及海洋測量課	技士	許展祥	許展祥	
10	地形及海洋測量課	測量助理	許吉川	許吉川	
11	地形及海洋測量課	技士	游政嘉	游政嘉	
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

講師：史文之 工作人員：[illegible]

圖 9-2、教育訓練簽到單

第十章　結論、建議及後續工作

10-1、結論

一、我國數位航測攝影機設備密度極高，但設備擁有者或資料使用者，對攝影成果或品質無統一的判斷標準及方法，只能相信成果產生單位、或廠商所出示之報告及宣稱。目前國際間也尚無任何國家由政府單位對於航測攝影機及其成果進行強制校正並出具校正報告書。國土測繪中心為落實國土測繪法規定，規劃此校正制度，走在其它國家之前，由政府機構出面辦理校正，除符合現代化測繪管理的精神，亦為民解決品質檢核的問題，建置的經驗也可供其它國家參考。

二、本校正系統原則參考歐、美、日等先進國家著名校正場設計原理與作法，但設計了較先進國家多的幾何校正標數量，以便進行校正標數量與校正可信度之間關係的研究，確定本場的校正能力。

三、目前對於數位影像地元校正範圍設計係最常見之 GSD 由 5 公分到 25 公分航測影像。校正精度能力範圍以約 1/3 GSD 尺寸為目標，實際能力尚與立體量測人員觀測精度有關，須待進一步實驗研究估計之。

四、本年度實際辦理幾何、空間解析力與輻射校正測試分析，各實驗項目的結果與預期初步相符，原則上已可對目前國內現有的航測攝影機進行校正。但國際上目前對輻射校正項目及標準尚無共識，明年度將持續對此研究及評估，擬提出合理可行的校正項目及標準。

五、雖然在校正技術及相關文件之撰寫方面沒有遭遇重大困難，但在申請 TAF 認證方面，卻遭遇到一些困難。其中最大的困難是航測攝影機幾何校正系統為國內首先規劃申請納入 TAF 認證項目，故沒有類似的校正場可以提供 TAF 所需之能力比對。目前初步研究

出三個可能方案，後續將繼續針對能力比對方式持續進行研究。如果沒有較經濟的方案，勢必得將該比對成本轉嫁至受校廠商身上。而航測攝影機不同於其他測量儀器，數量有限，總數不到十台。若此該成本轉嫁至數量有限的受校件後，校正費用將極高，對於本場之營運可行性有甚大影響。

10-2、檢討與建議

一、近年來中、小像幅攝影機以及無人飛行載具搭載之非量測型攝影機宣稱亦可用於航測。但一般中、小像幅攝影機及非量測型攝影機由於價位低，設計時多未考量測量所需之高品質內方位。目前廠商在未經具有公信力的校正前即貿然宣稱此種攝影機具有執行國土測繪上的能力，顯然有不當誤導一般外行人之嫌疑。建議國土測繪中心待測繪型攝影機校正系統穩定營運後，未來能再針對非量測型攝影機的校正設計規劃。

二、建議本場未來由國土測繪中心負責實際營運，以昭公信。

三、本場實際營運一段時間獲得普遍認可後，再研究以影像特徵點（女兒牆角、屋角、屋脊等）取代人工布設幾何校正標作法，即次級追溯標準的可行性，以節省經費，提高維護效率。

四、為達到為民服務並提升航測品質的目的，在訂定每台攝影機應受校正之頻率及費用時，應考量受校廠商負擔能力，或建議未來政府在編列航測預算時，適當酌列校正分攤費用。

五、校正場開放季節選擇時應考量對正常航拍業務影響最小之月份。

六、可考量將部分校正分析過程中間數據提供給廠商，以便進行自我改善。

七、校正報告建議修改為中英並列，以利攝影機原生產廠商瞭解。

八、本場為工業區，空地比例較一般住宅地區為多，有利於布設幾何校正標，且業主相對較為少，較一般民宅易於聯繫布標事宜。但

最後有意願配合布設校正標的廠區仍僅佔少數，致幾何校正標約有百分之七十五是布設於路面上。為了獲得足夠的對空視角，常被迫較靠近車輛行駛車道上，易受碾壓移位。此外，道路挖掘或維護重鋪面時，亦容易使校正標受破損、髒汙、甚至滅失。有鑑於此，建議國土測繪中心應在每年開放校正場之前對於校正場內的幾何校正標進行清查及維護，掌握校正標的數量及現況。長期而言，應以增加位於屋頂校正標的數量，或朝使用影像特徵點之方向努力。

九、相關校正作業，多須以人工進行立體量測，建議國土測繪中心加強人員實際上機操作訓練，以應日後各項校正作業。

10-3、後續工作

一、持續進行校正成果分析測試

本案尚處於研究階段，需進行方法驗證，依據本年度測試飛行的成果，已撰寫校正作業流程和校正系統評估兩份文件。為使校正方案能夠更完善，下年度建議繼續執行校正項目的分析，包含：

(一)幾何校正

1. GPS 網形平差偵錯、驗後方差估計。
2. 空中三角網平差偵錯、驗後方差估計。
3. 空中三角網連結點最少光線數規範確定。
4. 影像內分區改正數最少數目及改正數平均值顯著性檢定方式。
5. 分區改正數平均值與校正標殘差關係。
6. 校正報告書內容。
7. 最少飛行航線數目。
8. 立體量測不確定度估計。
9. TAF 相關文件內容測試及修正。

10. 空間解析力計算方法比對以及不確定度分析。

(二)輻射校正

1.輻射線性度校正方法設計及測試。

2.多譜波段間相對反應強度校正方法設計及測試。

二、校正作業系統平台開發

校正作業系統平台將包含本案三種校正作業項目（包括幾何校正、空間解析力校正及輻射校正）功能整合至同一視窗介面下，以產生校正報告所需之相關圖表及文件為設計依據。由於輻射校正方法尚待設計及測試，故平台內暫以幾何精度及空間解析力二項功能為主。

校正作業系統平台著重在各校正作業成果之數據的整合為主，產生校正所需的相關報表，並期能引入系統外的程式（如空三計算軟體 ORIMA）所產生的報表及檔案做進一步處理、分析。

三、空載光達校正作業試辦

至本年度止研究尚為理論推論，為使光達校正作業評估具有代表性，建議可納為明年度工作規劃，並請國土測繪中心代為取得現有數據，以作評估分析。由於初期僅在驗證方法的可行性，數據來源不限定為本場掃瞄所得，任何有適當現成資料的區域均可供研究用。待取得合用之現有數據資料後，將視取得數據資料之品質，依點雲密度、點雲掃瞄方向及掃瞄視角（FOV）等情形，研究以平頂或屋脊線做為校正參考標準實際可達的品質及影響品質的因素。

四、航測攝影機校正認證營運規劃

本年度研擬校正作業程序完成後，於明年度將進一步規劃實際運作之相關執行細節及營運方法。

原則上由於場地維護不易，建議本場地每年擇定一段時間開放，至少應連續開放 30 天。開放時間由場地維護單位依維護狀況及遠期氣象預報決定，並在預定開放期前三個月於網站上公布。

由於航空攝影為測繪任務之前期工作，校正作業應於作業之前完成，而年初至年中為航空攝影業務量高峰期，並考量南崗地區天候因素等，本場之建議開放校正時間為 10 月、11 月兩月份之間。

五、校正場維護更新作業

為了確保本場之公信力，定期維護更新是有其必要的。建議實際執行時，須於校正場開放前一個月內應對各類標進行清掃一次，為使各類標能維持清晰可辨識。

如清標後發現遇毀損應於開放期前補建及施測完成，或確認該點附近有足夠之自然點可替代，必要時於開放期內補測完成。如於開放期間發現某幾何校正標毀損或遺失，而不及補建施測，則應設法於其附近覓得自然點位（即影像特徵校正區塊）代替，再補測此點位之坐標替代之。

空間解析力校正標及輻射校正標以製作可攜式為原則，於接獲飛行預告後布於現場，並於攝影後，移回乾燥室內保管，保管時避免重物壓疊而產生折痕，並防止污染、或潮濕而產生褪色之情形。如有褪色情況，則隨時依原規格予以補漆。

六、TAF 申辦所需能力比對方式研究及手續準備

依據 8-2 第三節所述之 TAF 所需能力比對各項可能方案，與國外航測公司接洽租機或代辦國外校正可行性及經費。另外同時亦持續接洽 TAF，詢問不以國外同類型野外校正場而改以由專家學者評審做為能力比對替代方案的可能性。

參考文獻

USGS, 2008. Digital Aerial Imagery Calibration Range Requirements Version 0.2,EROS Remote Sensing Technology Project.

USGS, 2008. The USGS Plan for Quality Assurance of Digital Aerial Imagery.http://calval.cr.usgs.gov/digital_aerial_imaging_quality_assurance.php，上次查詢：2012-09-20。

Honkavaara, E., Markelin, L., Ahokas, E., Kuittinen, R., and Peltoniemi, J., 2008.Calibrating Digital Photogrammetric Airborne Imaging Systems In A Test Field,The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B1: 555-560.

ISO，2000, Photography -- Electronic still-picture cameras -- Resolution measurements,ISO 12233:2000，2008-8-31.

Luxen, M., Foerstner, W. 2002: Characterizing Image Quality: Blind Estimation of the Point Spread Function from a Single Image. ISPRS Comm. III, Vol.34, Part 3A, Graz, Austria

Gonzale and Wintz, 1987，Digital Image Processing，ISBN-13: 9780201110265，1987.

Baarda, W. ,1968,"A Test Procedure for use in Geodetic Networks.", Netherland Geodetic Commission, Vol.2, No.5, 1968.

Honkavaara, E., Markelin, L., Ahokas, E., Kuittinen, R., and Peltoniemi, J., 2008.Calibrating Digital Photogrammetric Airborne Imaging Systems In A Test Field,The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B1: 555-560

彭淼祥，2009，「GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告」，工業技術研究院技術文件編號 07-3-91-0043，民國 98 年 3 月 18 日四版。

內政部，2010。基本地形圖測製說明，內政部，台北。