

內政部國土測繪中心

建立航遙測感應器系統校正作業

4 年總報告

(100 至 103 年)

中華民國航空測量及遙感探測學會

中華民國 103 年 12 月

目錄

| | |
|--------------------------|----|
| 壹、計畫緣起..... | 1 |
| 貳、計畫概述..... | 2 |
| 一、依據..... | 2 |
| 二、目標..... | 2 |
| 三、各年度主要工作項目..... | 3 |
| 四、各年度投稿文章..... | 9 |
| 參、文獻回顧與分析..... | 10 |
| 一、航遙測感應器介紹..... | 10 |
| 二、國外校正服務與發展..... | 23 |
| 三、國內校正服務與發展..... | 39 |
| 肆、辦理航遙測感應器校正方案評估..... | 50 |
| 一、發展目標..... | 50 |
| 二、國內發展航遙測感應器校正評估與規劃..... | 51 |
| 三、航測攝影機校正場初步規格設計..... | 54 |
| 四、航測攝影機校正項目及方法設計..... | 57 |
| 伍、航測攝影機校正場設計與建立..... | 63 |
| 一、選址與場地設計..... | 63 |
| 二、校正標設置與 GPS 測量..... | 74 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 三、校正測試飛行..... | 95 |
| 四、校正程序與標準分析..... | 103 |
| 五、航測攝影機系統校正作業整合..... | 130 |
| 陸、航測攝影機校正場營運規劃..... | 148 |
| 一、校正作業服務流程..... | 149 |
| 二、作業流程品質管制..... | 151 |
| 三、校正航拍須知..... | 154 |
| 四、校正服務工作說明..... | 155 |
| 五、校正服務工作需求綜整..... | 170 |
| 六、作業人員能力訓練與考核..... | 173 |
| 七、小結..... | 176 |
| 柒、其他航遙測感應器測試分析作業..... | 177 |
| 一、空載光達系統..... | 177 |
| 二、中像幅攝影機與無人飛行載具測試分析..... | 186 |
| 捌、TAF 財團法人全國認證基金會認證準備..... | 191 |
| 一、歷年工作概要..... | 191 |
| 二、認證申請流程..... | 193 |
| 三、認證文件準備..... | 195 |
| 四、技術專家與評審員邀請..... | 198 |
| 五、能力試驗活動準備與執行..... | 202 |
| 六、小結..... | 212 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 玖、結語 | 213 |
| 一、計畫成果效益 | 213 |
| 二、計畫執行期間遭遇困難與解決方式 | 214 |
| 三、未來展望 | 216 |
| 拾、參考文獻 | 217 |
| 審查意見回覆 | 221 |

圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖 3-1、全波形 LIDAR 紀錄示意圖 | 14 |
| 圖 3-2、推掃式衛星成像原理示意圖 | 19 |
| 圖 3-3、合成天線陣列示意圖 | 21 |
| 圖 3-4、都卜勒波束削尖法 | 22 |
| 圖 3-5、美國地質調查所航遙測數位式攝影機室內校正場 | 24 |
| (摘自美國地質調查所官方網站) | 24 |
| 圖 3-6、美國 EROS 校正場 (摘自美國地質調查所官方網站) | 26 |
| 圖 3-7、美國地質調查所現有航遙測感應器校正場分布圖(黃色圖釘處)... | 26 |
| 圖 3-8、芬蘭 SJÖKULLA 測試場(TEST FIELD)之影像品質校正標 | 33 |
| 圖 3-9、芬蘭 SJÖKULLA 測試場幾何試驗場(TEST FIELD) | 33 |
| 圖 3-10、德國 VAIHINGEN/ENZ 檢定場(TEST SITE)航空影像 | 34 |
| 圖 3-11、德國 VAIHINGEN/ENZ 檢定場控制點分布示意圖 | 34 |
| 圖 3-12、中國大陸嵩山綜合試驗場範圍及控制點分布圖 | 35 |
| 圖 3-13、日本試驗場範圍及對空標分布圖 | 36 |
| 圖 3-14、英國自然環境研究中心設置之空載光達率定場 | 37 |
| 圖 3-15、美國俄亥俄州大學之空載光達實驗校正標與校正標實驗參數設定 (CSANYI, 2005) | 38 |
| 圖 3-16、農航所校正場示意圖 | 40 |

| | |
|---|----|
| 圖 3-17、NSPO 調制轉換函數(MTF)測試標 | 41 |
| 圖 3-18、彰濱工業區率定場示意圖(中興測量，2007) | 42 |
| 圖 3-19、臺中港工業區率定場示意圖(群立科技，2010) | 42 |
| 圖 3-20、彰濱工業區率定場示意圖(詮華國土測繪有限公司，2010) | 43 |
| 圖 3-21、苗栗市區率定場範圍示意圖(自強工程，2013) | 43 |
| 圖 3-22、成功大學歸仁校區率定場示意圖 | 44 |
| 圖 3-23、雲彰地區雷達校正場示意圖 | 45 |
| 圖 4-1、校正場地設計平面圖(括弧內數字為初期規劃之點數)..... | 54 |
| 圖 4-2、幾何校正標布標型式 | 55 |
| 圖 4-3、解析力校正標樣式(改良式西門子星標)..... | 56 |
| 圖 4-4、輻射校正標樣式 | 57 |
| 圖 5-1、新竹區校正場址地形(左)與影像圖(右)..... | 66 |
| 圖 5-2、新竹區地形剖面圖 | 67 |
| 圖 5-3、彰濱工業區地形圖(左)與影像圖(右) | 68 |
| 圖 5-4、彰濱工業區地形剖面圖 | 69 |
| 圖 5-5、南投區地形圖(左)與影像圖(右)..... | 70 |
| 圖 5-6、南投區地形剖面圖 | 70 |
| 圖 5-7、南崗工業區場地規劃成果..... | 72 |
| 圖 5-8、幾何校正標樣式 | 78 |
| 圖 5-9、各象限之幾何校正標點數..... | 78 |
| 圖 5-10、幾何校正標分布情形 | 79 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 圖 5-11、水泥地或硬式地面幾何校正標設置方式..... | 80 |
| 圖 5-12、建物頂樓幾何校正標設置方式..... | 80 |
| 圖 5-13、解析力校正標樣式..... | 81 |
| 圖 5-14、輻射校正標樣式..... | 83 |
| 圖 5-15、影像特徵校正區塊實例..... | 84 |
| 圖 5-16、101 年度聯測已知控制點位分布圖..... | 87 |
| 圖 5-17、102 年聯測已知控制點位分布圖..... | 92 |
| 圖 5-18、校正場建置維護工作各年度辦理情形..... | 94 |
| 圖 5-19、本計畫校正航拍所使用像機型別示意..... | 95 |
| 圖 5-20、101 年度航線規劃示意圖..... | 96 |
| 圖 5-21、拖動導致影像模糊示意圖..... | 98 |
| 圖 5-22、101 年校正航拍成果(A-F)..... | 99 |
| 圖 5-23、102 年度拍攝航線示意圖..... | 100 |
| 圖 5-24、102 年校正航拍成果..... | 101 |
| 圖 5-25、南崗校正場正射影像成果..... | 101 |
| 圖 5-26、南崗校正場 5M 間隔等高線成果..... | 102 |
| 圖 5-27、蛙跳法實施網形測量示意(不同顏色表不同時段)..... | 103 |
| 圖 5-28、GPS 網形平差流程圖..... | 106 |
| 圖 5-29、USGS 野外校正場數量與規範..... | 115 |
| 圖 5-30、幾何校正分析各年度工作辦理情形..... | 116 |
| 圖 5-31、解析力校正標量測區域示意..... | 117 |

| | |
|---|-----|
| 圖 5-32、沿西門子星半徑位置的切線方向之灰值示意圖 | 118 |
| 圖 5-33、101 年校正航拍 MTF 量測成果 | 118 |
| 圖 5-34、因顏色不均導致量測成果產生偏差示意 | 119 |
| 圖 5-35、改良式解析力校正標製作過程及 MTF 成果示意 | 119 |
| 圖 5-36、模糊參數量測成果 | 120 |
| 圖 5-37、建議未來用於解析力校正所使用之校正標標型 | 121 |
| 圖 5-38、輻射校正標光譜量測順序 | 122 |
| 圖 5-39、OTO SD1200 及其附件(准直鏡、光纖，各圖非依等比例) | 123 |
| 圖 5-40、101 年輻射校正標光譜強度值 | 124 |
| 圖 5-41、102 年輻射校正標光譜強度值 | 124 |
| 圖 5-42、101 年輻射校正標各階(橫軸)在各多光譜波段之反射積分值(縱軸) | 126 |
| 圖 5-43、102 年輻射校正標各階(橫軸)在各多光譜波段之反射積分值(縱軸) | 126 |
| 圖 5-44、101 年輻射校正標反射強度線性關係圖 | 127 |
| 圖 5-45、102 年輻射校正標反射強度線性關係圖 | 127 |
| 圖 5-46、多譜波段相對反應強度示意圖(ULTRACAMXP) | 128 |
| 圖 5-47、各波段獨立反應強度示意圖(DMC-I) | 128 |
| 圖 5-48、空間解析力與輻射校正分析各年度工作辦理情形 | 129 |
| 圖 5-49、整合作業架構 | 130 |
| 圖 5-50、系統功能結構圖 | 133 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 圖 5-51、校正場資訊管理系統環境圖..... | 134 |
| 圖 5-52、校正場資訊管理系統資料流程圖..... | 134 |
| 圖 5-53、校正標管理功能畫面示意..... | 136 |
| 圖 5-54、歷史控制測量坐標管理功能畫面示意..... | 137 |
| 圖 5-55、校正案件管理功能畫面示意..... | 138 |
| 圖 5-56、使用者帳號管理功能畫面示意..... | 139 |
| 圖 5-57、系統群組管理功能畫面示意..... | 140 |
| 圖 5-58、系統公告管理功能畫面示意..... | 141 |
| 圖 5-59、文件下載資料管理功能畫面示意..... | 141 |
| 圖 5-60、展示首頁功能結構..... | 142 |
| 圖 5-61、校正分析功能畫面示意..... | 143 |
| 圖 5-62、校正程式介面-幾何校正計算..... | 145 |
| 圖 5-63、幾何校正計算-檢核點檢查報表..... | 145 |
| 圖 5-64、幾何校正計算-像點檢核報表..... | 145 |
| 圖 5-65、校正程式介面-解析力校正計算..... | 146 |
| 圖 5-66、校正程式介面-校正標點位管制..... | 146 |
| 圖 6-1、航線規劃..... | 154 |
| 圖 6-2、對外提供校正服務前準備工作流程圖..... | 156 |
| 圖 6-3、校正服務作業工作流程圖..... | 157 |
| 圖 6-4、清查點位範例..... | 158 |
| 圖 6-5、鋼釘標設置方式..... | 160 |

| | |
|---|-----|
| 圖 6-6、鋼片標設置方式 | 160 |
| 圖 6-7、幾何校正標維護前後範例 | 161 |
| 圖 6-8、校正場資訊管理系統介面示意圖 | 165 |
| 圖 6-9、成果報表擷圖 | 168 |
| 圖 7-1、待測平屋頂正射示意圖 | 178 |
| 圖 7-2、平屋頂_A 點雲分布示意 | 179 |
| 圖 7-3、平屋頂_B 點雲分布示意 | 179 |
| 圖 7-4、平屋頂_C 點雲分布示意 | 179 |
| 圖 7-4、歷年空載光達校正研究辦理情形 | 184 |
| 圖 7-5、影像網格平均殘差向量圖(未加入附加參數) | 188 |
| 圖 7-6、影像網格平均殘差向量圖(加入附加參數) | 189 |
| 圖 8-1、認證流程圖(初次、延展與增項)..... | 194 |
| 圖 8-2、TAF 校正領域能力試驗活動判定流程圖 | 202 |
| 圖 8-3、102 年 5 月至日本測量機構 PASCO 公司參訪 | 204 |
| 圖 8-4、歷年 TAF 認證申請工作辦理情形 | 212 |

表目錄

| | |
|-----------------------------------|----|
| 表 2-1、本計畫 100 年度主要工作項目說明 | 4 |
| 表 2-2、本計畫 101 年度主要工作項目說明 | 5 |
| 表 2-3、本計畫 102 年度主要工作項目說明 | 6 |
| 表 2-4、本計畫 103 年度主要工作項目說明 | 8 |
| 表 2-5、各年度投稿文章資訊 | 9 |
| 表 3-1、國內目前大像幅數位式攝影機規格彙整表 | 12 |
| 表 3-2、國內目前中像幅數位式攝影機規格彙整表 | 12 |
| 表 3-3、全球空載光達系統的發展歷程表 | 14 |
| 表 3-4、國內常見空載光達系統之儀器型號(按引進時間)..... | 16 |
| 表 3-5、國際間運作中遙測衛星特性比較 | 18 |
| 表 3-6、國際常見機載合成孔徑雷達機型 | 20 |
| 表 3-7、國際間航遙測感應器校正場 | 23 |
| 表 3-8、美國數位航測攝影機校正與認證發展歷程表 | 28 |
| 表 3-9、歐盟數位航空攝影機校正發展歷程表 | 31 |
| 表 3-10、國內航遙測感應器校正場..... | 39 |
| 表 3-11、各國航測攝影機校正場資訊表 1 | 46 |
| 表 3-12、各國航測攝影機校正場資訊表 2 | 47 |
| 表 3-13、各國空載光達率定場資訊表 1 | 48 |

| | |
|---|-----|
| 表 3-14、各國空載光達率定場資訊表 2 | 49 |
| 表 4-1、校正項目說明 | 57 |
| 表 5-1、航測攝影機系統校正場綜合考量分析因素表 | 64 |
| 表 5-2、新竹氣象站氣象資料 | 67 |
| 表 5-3、梧棲氣象站氣象資料 | 69 |
| 表 5-4、日月潭氣象站氣象資料..... | 71 |
| 表 5-5、同意設置校正標之公司行號清單 | 73 |
| 表 5-6、幾何校正標點位數量統計..... | 75 |
| 表 5-7、各級已知控制點在 95%信心區間下之相關檢測標準 | 88 |
| 表 5-8、101 年已知控制點檢測-角度較差量 | 88 |
| 表 5-9、101 年已知控制點檢測-基線長度 L 較差量 | 88 |
| 表 5-10、101 年已知控制點檢測-坐標分量較差值 | 89 |
| 表 5-11、102 年校正標清查成果 | 91 |
| 表 5-12、102 年已知控制點檢測-角度較差量 | 92 |
| 表 5-13、102 年已知控制點檢測-基線長度 L 較差量..... | 93 |
| 表 5-14、102 年已知控制點檢測-坐標分量較差值 | 93 |
| 表 5-15、101 年度、102 年度 GPS 測量成果差值分析 | 94 |
| 表 5-16、101.09.04 航拍紀錄 | 97 |
| 表 5-17、101.09.21 航拍紀錄 | 97 |
| 表 5-18、102.06.28 航拍紀錄 | 100 |
| 表 5-19、101 年 UltraCamXp 影像檢核點殘差統計 | 112 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 表 5-20、102 年 DMC-I 影像檢核點殘差統計 | 112 |
| 表 5-21、101 年輻射校正標量測化算光譜儀反射積分值 | 125 |
| 表 5-22、102 年輻射校正標量測化算光譜儀反射積分值 | 125 |
| 表 5-23、校正標管理初步規劃應具備之欄位功能..... | 132 |
| 表 5-24、展示首頁功能規劃 | 132 |
| 表 6-1、歷年對外召開會議彙整..... | 148 |
| 表 6-2、服務流程各階段所使用表單清單 | 153 |
| 表 6-3、各級已知控制點在 95%信心區間下之相關檢測標準 | 163 |
| 表 6-4、校正場維護工作需求表..... | 170 |
| 表 6-5、校正分析工作需求表 | 172 |
| 表 7-1、航帶參數表..... | 180 |
| 表 7-2、待測平屋頂與航帶分布資訊..... | 180 |
| 表 7-3、平屋頂_A 計算成果..... | 181 |
| 表 7-4、平屋頂_B 計算成果 | 181 |
| 表 7-5、平屋頂_C 計算成果 | 181 |
| 表 7-6、點雲密度與坐標差值分析表..... | 182 |
| 表 7-7、坐標差值對照表 | 183 |
| 表 8-1、歷年 TAF 認證申請工作準備概要 | 192 |
| 表 8-2、航測攝影機校正實驗室文件整合清單 | 195 |
| 表 8-3、待測件資訊..... | 207 |
| 表 8-4、主辦實驗室校正成果 | 210 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 表 8-5、參與實驗室校正成果 | 210 |
| 表 8-6、檢核點器差比對結果 | 211 |
| 表 8-7、能力試驗活動文件清單..... | 211 |



壹、計畫緣起

航遙測影像資料內含豐富資訊，普遍已應用於各項測量工作，提供國土規劃、土地利用調查、防救災、環境與污染監控、資源探勘、地質分析等業務使用；隨著高精度航測數位攝影機的發展，大幅降低航測影像取得成本及作業時程，且影像品質提升及影像種類多樣化，促進航測影像使用範疇日益擴大；另空載光達問世，其快速獲取地面高程資訊，已成為目前地面高程資訊量取重要工具，且與航測攝影機整合，其應用層面更加廣泛。

數位航測攝影機約自 2000 年興起後，拜電子科技之賜得以迅速發展，至今已有近十種品牌，且在不斷增加中。鑑於其較傳統底片式攝影機在構造上、成像原理上以及操作上遠較複雜且多樣性，先進國家近年來紛紛對其校正及認證進行研究並規劃校正制度。推帚式 (Push broom) 衛星影像用於遙感探測的歷史雖然已久，但因解析力較航測攝影機差及受成像原理限制，長久以來對於否能用於測繪，尤其是對地物細節的判釋能力是否滿足測繪規範頗受爭議，且至今尚少有完全以衛星影像成功測繪向量式地形圖實例。此外，空載光達 (Airborne LiDAR)、合成孔徑雷達 (Synthetic Aperture Radar, 簡稱 SAR) 等設備亦逐漸用於測繪。近年更有以無人駕駛飛行載具 (Unmanned Aviation Vehicle 或 Unmanned Aerial Vehicle, 簡稱 UAV) 搭載中、小像幅航測攝影機進行航拍及相關測繪之應用。

本計畫任務係參考各先進國家針對這些先進航遙測感應器設備進行校正及認證的發展經驗及成果，分析我國目前航遙測感應器使用狀況及未來發展趨勢，以及此等設備用於測繪時應該校正之項目以及實施校正的可行性，以為我國確立目前建立航遙測感應器校正制度應有之作法。



貳、計畫概述

一、依據

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(規劃期程為 4 年期)，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，並優先發展航測專用大像幅攝影機之校正體制，建立具有公信力校正場及研擬校正相關作業程序，國土測繪中心並將據以辦理其校正及認證作業。

二、目標

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，本計畫目標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並落實，以保障測繪成果品質並且為民服務，達到雙贏目標。且此計畫推展速度快於歐、美、日等先進國家，有助於提昇我國於國際測繪領域之能見度。

三、各年度主要工作項目

本計畫自 100 年開始規劃分 4 年期辦理，以下將說明各年度主要工作辦理情形。

(一)100 年度

100 年度為本計畫執行第 1 年，主要工作項目說明如表 2-1。



表 2-1、本計畫 100 年度主要工作項目說明

| 100 年度 | |
|---|--|
| 主要工作項目 | 說明 |
| 規劃、設計國家航遙測感應器系統校正場建置方案及研擬作業機制 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 蒐集國外航遙測感應器校正場設置原理及方法。 2. 蒐集國內學術或政府機關航遙測感應器校正相關作業設置情形。 3. 校正場建置及各感應器校正可行性評估。 4. 納入全國認證基金會校正領域認證項目可行性評估。 |
| 航遙測感應器系統校正作業場址設計 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 影響校正作業環境及場址使用因素綜合考量及分析。 2. 召開專家學者會議討論校正場選擇之評估因素。 3. 邀集產官學界召開航測攝影機校正作業場址選定會議。 |
| 航遙測感應器系統校正場校正標之標形、材質、尺寸、架設及維護方式之規劃設計與製作 | 針對所需校正項目設計固定式及可攜式校正標規格並製作。 |



(二)101 年度

100 年度主要工作項目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。101 年度為本計畫執行第 2 年，主要工作項目說明如表 2-2。

表 2-2、本計畫 101 年度主要工作項目說明

| 101 年度 | |
|------------------|---|
| 主要工作項目 | 說明 |
| 建置航測攝影機系統校正場 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 設置 183 個幾何校正標點位。 2. 規劃 20 個影像特徵校正區塊位置，供後續研究使用。 3. 測量幾何校正標及影像特徵校正區塊特徵點坐標。 4. 製作校正場規格說明書。 |
| 辦理校正項目測試分析及標準研商 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 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。 2. 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。 3. 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。 |
| 辦理 TAF 認證準備及規劃作業 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 研擬航測攝影機校正系統評估。 2. 規劃校正項目可納入 TAF 校正領域認證之類別及項目並進行訪查。 |
| 辦理教育訓練 | 分享研究成果。 |
| 召開校正作業程序 | 廣納各界意見做為校正作業程序修訂參 |



| | |
|-------|-----------------|
| 研商座談會 | 考。 |
| 論文投稿 | 研究成果投稿至國內、外研討會。 |

(三)102 年度

101 年度於南崗工業區完成多達 183 個幾何校正標的設置，並完成空間解析力校正標與輻射校正標的製作，並透過校正測試飛行取得實驗資料，對規劃的校正項目進行測試分析。同年度與 TAF 成員取得聯繫並交流後，對認證申請程序有了初步的理解及方向。102 年度為本計畫第 3 年作業，工作重點在於持續了解國際校正相關發展，精進校正流程與成果分析，辦理航測攝影機系統校正整合作業、規劃 TAF 認證申請準備工作、規劃校正場更新維護與營運準備工作，並試辦空載光達校正測試分析，以作為未來發展參考，主要工作項目說明如表 2-3。

表 2-3、本計畫 102 年度主要工作項目說明

| 102 年度 | |
|---------------------|---|
| 主要工作項目 | 說明 |
| 文獻蒐集及翻譯 | 蒐集近期文獻了解國際發展 |
| 精進航測攝影機系統校正流程及成果分析 | <ol style="list-style-type: none"> 1.清理及維護各式校正標，並重新實施 GPS 測量。 2.重新實施校正場範圍校正飛行航拍作業。 3.分析 101 年度及本年拍攝之影像之幾何、空間解析力與輻射校正項目，具體描述分析方法、記錄數據分析過程與作業中遭遇問題。 4.校正報告設計。 |
| 修訂 TAF 認證申請相關文件與能力試 | 1.依據本年校正測試及分析結果，修訂 101 年度所撰寫各項技術文件。 |



| | |
|-------------------|---|
| 驗活動準備 | 2.參照 TAF 能力試驗活動要求，提出可行方案，以管制品質監控校正作業之有效性。 |
| 規劃校正場更新維護及營運準備作業 | 1.研提校正場更新維護作業手冊，規劃各式校正標之清理維護、測設、回報等更新維護作業流程。 2.研提營運作業手冊，設計對外提供校正服務作業流程。 3.辦理各項校正作業之校正人員需施以之訓練與能力評估、考評方式。 4.規劃校正場開放期程、校正週期、收費標準、校正場相關資料公開機制，並設計各項作業所需之文件、標識或表單。 |
| 辦理航測攝影機系統校正作業整合工作 | 1.提出未來辦理校正場更新維護及成果分析作業便利之整合作業流程，並整合作業所需各項資料、文件、表單、程式或軟體。 2.出具書面報告、撰擬航測攝影機系統校正作業整合作業手冊。 |
| 發展其他感應器系統校正作業規劃 | 1.規劃中像幅攝影機、UAV 系統於現有校正場內可辦理之校正作業，各項具體工作規劃所需期程與成本，並分析發展效益。 2.提出空載光達系統校正項目、方法之規劃，並實際辦理空載光達系統校正標準值量測或測量、分析校正項目、提出分析流程、結果。 |
| 辦理教育訓練 | 分享研究成果。 |
| 論文投稿 | 研究成果投稿至國外研討會。 |



(四)103 年度

102 年度使用 DMC 航測攝影機再次辦理校正航拍，並進行校正分析，研究後證實本場校正標數量及所設計之方法能確實辦理所規劃之校正作業。本年同時持續更新 web 平臺之校正場資訊管理系統與整合單機校正程式，以輔助作業人員辦理行政及校正作業。103 年度為本計畫第 4 年作業，主要工作為實際辦理試營運輔導訓練，確保作業人員熟悉各項校正工作內涵與技術，並持續辦理 TAF 認證申請準備，完善相關準備工作及各項文件，主要工作項目說明如表 2-4。

表 2-4、本計畫 103 年度主要工作項目說明

| 102 年度 | |
|---------------|---|
| 主要工作項目 | 說明 |
| 輔導辦理校正作業試營運 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 輔導人員辦理校正作業營運相關工作。 2. 提出包含輔導流程、所需時程、人力配置、儀具需求、輔導紀錄表等輔導計畫。 3. 依實際作業狀況需求，增修或整併各項手冊。 |
| 精進校正作業整合工作 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 更新、修正系統現有功能。 2. 校正程式介面整合。 3. 系統分析、設計文件撰寫。 |
| 辦理 TAF 認證申請準備 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 邀請曾任或現任 TAF 或 CNLA 合格評審員協助辦理 TAF 認證申請準備工作。 2. 提出 TAF 認證申請準備執行規劃文件。 3. 請審員及技術專家審查目前已完成技術文件提供修訂建議。 4. 參考評審員建議完成能力試驗活動。 5. 請評審員協同模擬 TAF 辦理航測攝影機系統校正認證流程及程序，找出執行各項程序可能的缺失。 |



| | |
|--------------|-----------------|
| 辦理教育訓練 | 分享研究成果。 |
| 召開校正場營運推廣說明會 | 廣納各界意見做為日後營運參考。 |
| 論文投稿 | 研究成果規劃投稿國外期刊。 |

四、各年度投稿文章

本計畫自 101 年建置校正場後便開始進行相關研究，各年度研究成果均規劃適當題目投稿論文期刊，相關資訊如表 2-5 所示。

表 2-5、各年度投稿文章資訊

| 年度 | 文章名稱 | 投稿期刊或研討會名稱 |
|-----|--|---|
| 101 | 數位攝影機灰度標校正探討 | 中華民國地籍測量學會會刊 |
| 101 | 野外校正場對數位航測像機幾何畸變之分析 | 第七屆海峽兩岸測繪發展研討會 |
| 102 | Image distortion assessment of an UltraCamXp camera with calibration field | ISRS2013 研討會 |
| 102 | Aerial Mapping Camera Spatial Resolution Assessment with Calibration Targets | ISRS2013 研討會 |
| 103 | On the Certification Program for UAS Imaging Mapping Systems | Photogrammetric Record(2015) |
| 103 | National Aerial Mapping Camera Field Calibration Facility in Taiwan | Journal of Surveying Engineering, American Society Of Civil Engineers(2015) |



參、文獻回顧與分析

一、航遙測感應器介紹

航遙測感應器為獲取空間資訊的系統，除了早期傳統的類比式像片系統外，還包含雷達影像、輻射電磁波影像、X 光影像以及最近的光達影像系統。

(一)數位式航空測量攝影機系統

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

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

數位式航空測量攝影機約自西元 2000 年興起後，拜電子科技之賜得以迅速發展，至今已有近十種品牌，而且還不斷在增加中。當今使用的數位航空測量攝影機，它們主要是以市售常見的電子零件，如：電荷耦合裝置(Charge Coupled Device，簡稱 CCD)、記憶體、訊號傳輸設備等加上光學鏡頭組合而成，而各家廠牌組合的構造及成像原理差異卻極大。由於所用的電子設備大部分係市面上現成的原件，並非專門為航測目的而製造者，其來源非常分歧，使得一般使用者並無能力追溯其源頭品質。而其成像原理更是遠較底片式攝影機為複雜，幾乎沒有一種廠牌攝影機的原始影像是可以直接供航空測量使用



的，都要經過軟體的轉換計算後，才輸出為成果影像供航測使用。目前常見的成像方式有採用多片面狀 CCD 拼接融合成像者，有採用多條線列式 CCD 掃描拼接融合成像者。而拼接影像的成像方式又有採交會式同步(Synchronous)攝影者，有採同位 (Syntopic) 攝影者，亦有採承影面移位方式同步(Synchronous)者。即使採大型單片面狀 CCD 者，如 Z/I DMC-II 其影像也是由多鏡頭攝影融合而成。無論採何種方式成像，最終交出的成果影像都不是原始影像，而是由原始影像經過電腦軟體轉換而得到的。也就是同樣的原始影像，經由不同的轉換計算參數，卻可以得到不同幾何及輻射特性的成果影像，使得一些對航測精度影響極大的因素，如鏡頭畸變、內方位參數、解析力、像元的幾何精度與輻射特性等，都變得不如底片式攝影機那麼固定及明確。

數位式航空測量攝影機的像幅大小，目前普遍以感測器的面積區分：24x36 mm 者歸類為「小像幅」；介於小像幅與 60x90 mm 之間者為「中像幅」；大於此者為「大像幅」(Luccio, 2010)。以近年來航測作業應用上而言，大像幅像機多使用於測繪製圖，攝影成果多用於製作高精度正射影像與數值地形模型；而隨著空載光達及 UAS 系統逐漸普及，中、小像幅像機多搭配此類型載具進行拍攝作業，攝影成果則多用於製作正射影像、快速影像判識或光達資料編修參考。大、中、小像幅在攝影作業方式之原理基本相同，然而是否能執行測繪製圖任務，則取決於儀器製造的精密度與機具內元件之間相對穩定度。

國內目前數位式航空測量攝影機使用已經非常普遍，廠牌型別非常多樣，如表 3-1、3-2 所示。



表 3-1、國內目前大像幅數位式攝影機規格彙整表

| 規格 | 攝影機 | ADS-40 | DMC | | UltraCam | | |
|-----------------------------|-----|--------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| | | | I | II | D | Xp | Xp w/a |
| 攝影機型式 | | 線列式 | 多片面陣式 | 單片面陣式 | 多片面陣式 | 多片面陣式 | 多片面陣式 |
| 影像大小(像元數) | | 12000 | 13824*7680 | 12096*11200 | 11500*7500 | 17310*11310 | 17310*11310 |
| 像元大小(μm) | | 6.5 | 12 | 7.2 | 9 | 6 | 6 |
| 焦距(mm) | | 62 | 120 | 91.98 | 100 | 100 | 70 |
| 視角($^{\circ}$, 交叉[沿飛行]方向) | | 64 | 69.3[43] | 50.7[43.3] | 61[42] | 55[37] | 73[52] |
| 彩色影像大小(像素) | | 12000 | 3072*2048 | 6096*6846 | 3680*2400 | 5770*3770 | 5770*3770 |
| GSD(公分, H=1000公尺) | | 10.5 | 10 | 7 | 9 | 6 | 8.6 |
| 連拍時間間隔(秒) | | — | 2.1 | 2.2 | 1 | 2 | 2 |
| 彩色影像成像方式 | | 3CCD | 3CCD | 3CCD | 3CCD | 3CCD | 3CCD |
| 儲存空間(張) | | — | 2200 | 1.5TB | 2692 | 6600 | 6600 |
| 像移補償 | | | TDI | TDI | TDI | TDI | TDI |

表 3-2、國內目前中像幅數位式攝影機規格彙整表

| 規格 | 攝影機 | Trimble | | | IGI | Phase One | Optech |
|------------------------|-----|---------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| | | P45+ | P65+ | P65+ | DigiCAM-50M | iXA 180 | DiMAC UltraLight |
| 攝影機感應器型式 | | CCD | CCD | CCD | CCD | CCD | 60mp full-frame CCD |
| 光電感應器尺寸 | | 49.06*36.80 | 53.9*40.4 | 53.9*40.4 | 36.79*49.06 | 53.706*40.352 | 53.90*40.39 |
| 影像大小(像元數) | | 7216*5412 | 8984*6732 | 8984*6732 | 8176*6132 | 10328*7760 | 8984* 6732 |
| 焦距(mm) | | 74.3040 | 60 | 50 | 50.386 | 55.0528 | 70.4268 |
| 視角($^{\circ}$) | | 23 $^{\circ}$ | 47 $^{\circ}$.86 x36 $^{\circ}$.79 | 84 $^{\circ}$ | 40 $^{\circ}$ | 52 $^{\circ}$ | 23 $^{\circ}$ |
| 像元大小(m) | | 6.8 | 6 | 6 | 6 | 5.2 | 6 |
| GSD(公分) (H= 1000公尺) | | 11.3 | 10 | 12 | 12 | 9.5 | 2公分~1公尺 |
| 連拍時間間隔 (秒) | | 2.8, 一般設定4 | 一般設定3.5 | 一般設定5 | 1.6 | 0.7 | 2.5 |
| 彩色影像成像方式 | | Bayer filter | Bayer filter | Bayer filter | Bayer filter | Bayer filter | Bayer filter |
| 儲存空間 | | - | 160G SSD *2 | 320GB *2 | 500GB | 128GB | 4GB |
| 像移補償 | | 無 | 無 | 無 | 無 | FMC | FMC |



(二)空載光達系統

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

在 1980 年代末，德國的 Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 開始了有關光達技術的研究課題。1989 年他們與 Fritz Ackermann 教授一起在德國斯圖加特大學 (University of Stuttgart) 進行首次試驗飛行。測試結果顯示出空載光達用於地形地物地貌測量和製圖方面有巨大潛力和發展遠景。

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

1999 年時，美國 EnerQuest 公司在 Robert Kletzli 的帶領下，率先研發出配備數位攝影機的 RAMS 光達，並且用於 2000 年的雪梨奧運。接著奧地利 Riegl 公司於 2004 年推出的 LMS-Q560 是世界上第一款商業化進行數位化收集和處理光達全波形的二維雷射掃描儀。全波形空載光達是紀錄每個返回的雷射訊號，這些訊號代表雷射波接觸的所有截面，如圖 3-1 所示，紀錄器數化雷射波反射的截面訊



號，以波形的型態紀錄(Lin, 2009)。此類資料收集和處理較能進一步地看到更多物體表面的細節、粗糙度和變化。

另外為提高點雲密度，Leica 公司在 2006 年 10 月 INTERGEO 大會上，推出一項新技術：空中多重脈衝技術(Multiple Pulses in Air, 簡稱 MPiA)。它使得光達不需要等待是否收到了上一個雷射脈衝回波後才發出下一個新的雷射脈衝，因此可以接受到較多的訊號。全球空載光達系統的發展歷程，如表 3-3。

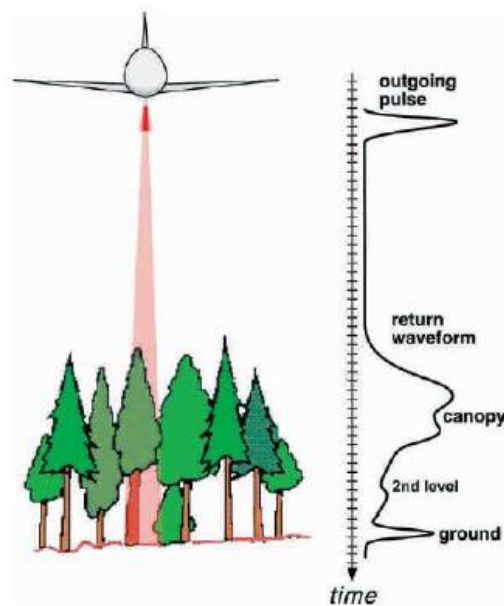


圖 3-1、全波形 LiDAR 紀錄示意圖

表 3-3、全球空載光達系統的發展歷程表

| 空載光達系統發展歷程概述 | | |
|--------------|--|----|
| 年份 | 事件紀實 | 備註 |
| 1970 | 美國航太總屬 NASA 研發雷射測距技術。 | |
| 1975 | 奧地利維也納技術大學的 Riegler 教授創立 Riegler 公司。 | |
| 1980 | 後期，GPS 民用技術提昇以及高精度 IMU 的問世，開始進入空載光達商業化的時代。 | |
| | 末期，德國 Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 於攻讀博士學位期間，進行空載光達技術的研究。 | |
| 1989 | Peter Frieb、Joachim Lindenberger 與 Fritz Ackermann 教授一起進行首次空載光達試驗飛行。 | |
| 1992 | Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 獲得博士學位，並成立 TopScan GmbH 公司。 | |
| 1993 | TopScan 與加拿大 Optech 公司合作，進行空載光達原型機的試飛和測試。 | |



| | | |
|------|---|-------------------------------------|
| 1995 | Optech 公司 ALTM1020 光達系統上市。 | |
| 1996 | Riegl 公司推出一系列(LMS 系列)二維雷射掃描儀。 | |
| 1997 | Optech 公司將 ALTM1020 光達系統之雷射頻率由 200Hz 提高到 5000Hz，飛行高度達到 1000 公尺。 | |
| | 德國的 TopSys(Christian Weaver、Joachim Lindenberger)也開始發展 1225 光達系統。 | |
| | 美國從事製圖和 GIS 服務的 Azimuth 公司針對光達的不足之處，在技術方面進行了一些提升。 | |
| 1999 | Azimuth 公司推出了 AeroSensor 光達系統，並與 EnerQuest 公司合作，由 EnerQuest 推出 RAMS 光達系統。 | RAMS 先後賣給日本和澳洲。 |
| 2000 | 雪梨奧運會採用 EnerQuest 公司率先研發出配備數位攝影機的 RAMS 光達。 | 該 RAMS 光達在 Robert Kletzli 的帶領下研發完成。 |
| 2001 | Leica 公司收購 Azimuth 公司，並將 AeroSensor 改名為 ALS40。同時引進推進掃描式的數位相機 ADS40。 | |
| 2003 | Leica 公司推出 ALS50 空載光達。 | |
| 2004 | Optech 公司推出於 1000 公尺的高空發射 100,000Hz 的 ALTM3100。 | |
| | Riegl 公司推出 LMS-Q560，是世界上第一款商業化進行數位化收集和處理光達全波形的二維雷射掃描儀。 | |
| 2006 | Optech 公司推出於近 2000 公尺的高空發射 100,000Hz 的 ALTM Gemini。 | |
| | Leica 公司推出 ALS50-II 空載光達，並推出新技術 Multiple Pulses in Air (MPiA)。 | |
| 2008 | Leica 公司推出 ALS60 空載光達。 | |
| 2010 | Optech 公司推出 ALTM Pegasus 空載光達。 | |
| 2012 | Leica 公司推出 ALS70 空載光達。 | |
| 2013 | Riegl 公司推出 LMS-Q780 空載光達。 | |
| 2014 | Leica 公司推出 ALS80 空載光達。 | |
| | Riegl 公司推出 LMS-Q1560 空載光達。 | |
| | Optech 公司推出 ALTM Galaxy 空載光達，並推出新技術 PulseTRAK。 | |

國內目前有 5 家擁有空載光達之公司，共有 7 部空載光達，擁有者與型號如表 3-4。



表 3-4、國內常見空載光達系統之儀器型號(按引進時間)

| 廠牌 型號 規格 | Optech ALTM 3070 | Leica ALS50 | Optech Orion M200 | Leica ALS60 | Reigl LMS- Q680i | Optech Pegasus | Leica ALS70 |
|----------------|------------------------|----------------|-------------------------|----------------|------------------------|---------------------|----------------|
| 引進時間 | 2004.05 | 2004.10 | 2010.01 | 2010.05 | 2010.06 | 2011.01 | 2013.10 |
| FOV | MAX=45 | MAX=75 | MAX=50 | MAX=75 | MAX=60 | MAX=45 | MAX=75 |
| 有效距離 | 3000m | 3000m | 2000m | 3000m | 1600m | 3000m | 3500m |
| 特殊功能 | N/A | N/A | compact | MPiA FWD | MPiA FWD compact | Dual_laser | MPiA FWD |
| 搭配像機 | Rollei P45 | Rollei P55 | Rollei P45 | Rollei P65+ | IGI DigiCAM | DiMAC UltraLight | Rollei P65+ |
| 使用單位 (廠商) | 中興測量 | 亞新國土 | 詮華 | 群立科技 | 自強 | 中興測量 | 詮華 |

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

(三)人造衛星系統

人造衛星(以下簡稱衛星)是人類建造太空飛行器的一種，也是太空飛行器中數量最多的一種。衛星以太空飛行載具如運載火箭、太空梭等發射到太空中，像天體衛星一樣環繞地球或其它行星運行。

衛星依用途可分為科學衛星、商業應用衛星、軍事衛星等。其中科學衛星為供科學研究用途的衛星，包含氣象衛星、地球觀測衛星(提供關於地球生態系統及空間資訊數據)、天文衛星等。商業應用衛星則含有商業性質用途的衛星，包含廣播衛星、通訊衛星(電視轉播、電話及網路通訊)、導航衛星(GPS)等。軍事衛星為專門供軍事用途的衛星，包含偵測衛星、預警衛星、反衛星衛星等。

20世紀末，全球只有少數國家進入太空俱樂部(具有獨立衛星發



射能力的國家)。這些國家和地區包括(截至 2010 年):前蘇聯、美國、法國、日本、中國大陸、英國、印度、以色列和伊朗。而伊拉克和朝鮮的發射並未被承認。巴西在 1997、1999 和 2003 年進行了 3 次發射嘗試,但均未成功。早期義大利和哈薩克都具備火箭和衛星研發技術條件,並且都有火箭發射場(聖馬科意海上平臺和拜科努爾發射場,主要為美國和俄國擔負發射任務)。烏克蘭具備火箭製造能力但卻不具備發射場等條件。多國合作的歐洲太空總署(European Space Agency, 簡稱 ESA),以及私人的海上發射公司等公司也被認為是太空俱樂部的成員。

地球觀測衛星(亦稱遙測衛星)是以離地約 450 公里至 900 公里間的軌道運行,用俯視方式觀測地表,是大面積地表探測的利器。它可以探測地表上地形地物、天災情況、污染情況、森林植被、生態聚落、礦產、海洋資源等。國際間運作中的地球觀測衛星包含:國內的 FORMOSAT 系列衛星、法國的 SPOT 系列衛星、美國地質調查所(U.S. Geological Survey, 簡稱 USGS)的 Landsat 系列衛星、美國國家航空暨太空總署的 MODIS 系列衛星、歐洲太空總署的 ERS 和 Kompsat 系列及 ENVISAT 衛星、日本的 ALOS 衛星、國際合作 ImageSat International N.V 公司的 EROS 系列衛星、美國 DigitalGlobe 公司的 QuickBird、WorldView 系列衛星、GeoEye 公司)的 GeoEye 系列及 IKONOS 衛星。截至 2013 年 2 月,GeoEye 公司與 DigitalGlobe 公司進行合併,預計於 2014 年下半年將 GeoEye-2 衛星系統重新命名為 WorldView-4,待美國商業部許可後推出。目前國際間運作中遙測衛星特性比較,如表 3-5 所示。



表 3-5、國際間運作中遙測衛星特性比較

| 衛星 \ 資訊 | 發射日期 | 感測器種類 | 軌道種類 | 軌道高度(公里) | 空間解析度(公尺) | 輻射解析度(Bits/Pixel) | 時間解析度(天) |
|-------------|------|-------|------|----------|-----------------------|--------------------|----------|
| IKONOS-2 | 1999 | 光學 | 太陽同步 | 681 | 1(PAN) 4(XS) | 11 | 1.5 |
| EROS | 2000 | 光學 | 太陽同步 | 480 | 1.8(PAN) | 11 | 1.8 |
| QuickBird | 2001 | 光學 | 太陽同步 | 450 | 0.61(PAN) 2.44(XS) | 11 | 1.5 |
| SPOT-5 | 2002 | 光學 | 太陽同步 | 832 | 10(PAN) 20(XS) | 8 | 2.5 |
| ENVISAT | 2002 | 雷達 | 太陽同步 | 800 | 25~100 | 4I 4Q (Complex) | 35 |
| FORMOSAT-2 | 2004 | 光學 | 太陽同步 | 891 | 2(PAN) 8(XS) | 8 | 1 |
| GeoEye-1 | 2008 | 光學 | 太陽同步 | 770 | 0.41(PAN) 1.65(XS) | 11 | 2.1 |
| Landsat-8 | 2013 | 光學 | 太陽同步 | 705 | 15(PAN) 30(XS) | 12 | 16 |
| WorldView-3 | 2014 | 光學 | 太陽同步 | 617 | 0.31(PAN) 1.24(XS) | 14 | 1~4.5 |

衛星攝影測量之感應器，以光學式為主，屬於被動式感應器，國際的光學攝影衛星有 3 個重要的里程碑。首先是 1972 年由美國國家航空暨太空總署發射運作的大地衛星 1 號(Landsat I)，此衛星是全球第 1 顆民用的資源探測衛星，其每個地面像元解析度為 80 公尺*80 公尺，開啟了衛星觀測地表的紀元。第二個里程碑是 1986 年 2 月法國發射的 SPOT 1 衛星，該衛星具有傾斜觀測的能力，因此，提供立體觀測與製作數值地形模型的能力，其地面像元解析度也提升至 10 公尺*10 公尺。第三個里程碑是 1999 年由美國民間 Space Image 公司發射的 IKONOS 衛星，它是第一個由民間公司發射、運作的衛星，其地面像元解析度更提升至優於 1 公尺，開啟了 21 世紀高解析力衛星發展的紀元(陳哲俊等，2009)。



由於衛星攝影測量為被動式感應器，需有光源才可感應，因此，衛星通常為太陽同步(Sun synchronous)衛星，同時為了降低雲層對光學影像的干擾，衛星通過測區的時間均安排在早上。現行適用立體測繪之衛星均採推帚式攝影(如圖 3-2)，感應器的主體由多個 CCD 感應元件組成 1 個線狀陣列，透過光學系統在取樣瞬間拍攝一列的地面影像，衛星持續繞行軌道，便對地表進行連續但單列的掃描，衛星影像就由許多單列的影像所組成。

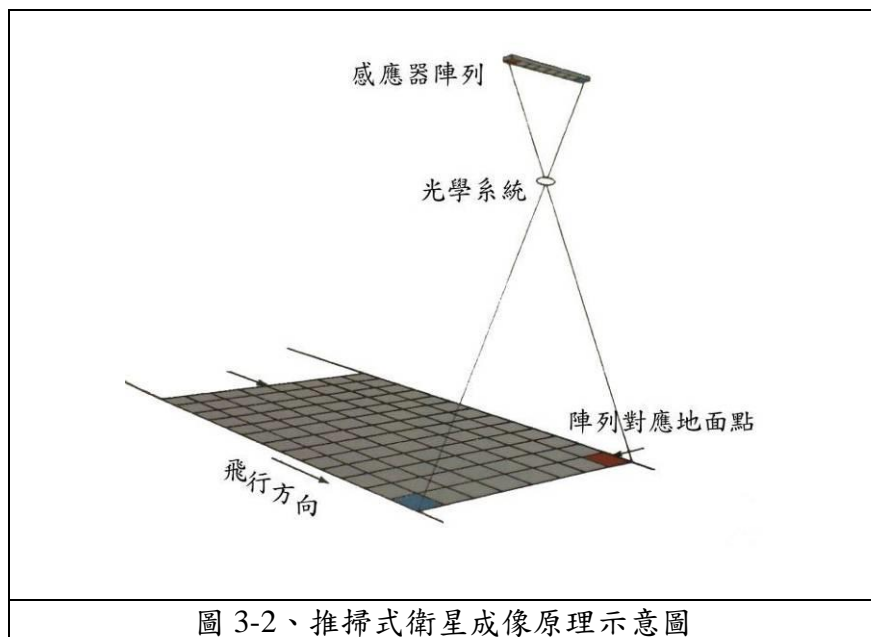


圖 3-2、推掃式衛星成像原理示意圖

(四)SAR 系統

雷達(Radar)系統包含 1 個微波發射器與 1 個接收器，以及將所接收到訊號加以處理、顯示、記錄的元件，屬於主動式感應器，可全天候及穿透雲層作業。在雷達系統發展後，一直被用來偵測及追蹤飛機與船艦等密標工具，1943 年美國海軍研究實驗室(Naval Research Laboratory，簡稱 NRL)研究完成一空載脈衝雷達系統。到了 1950 年，當時科學家基於軍事用途，將雷達天線架設於平行飛機的機身下方，並且朝側向偵測，藉以提升軌向(Along track)的解析度，此探測系統稱為空載側視雷達(Side-Looking Airborne Radar，簡稱 SLAR)。當時空載側視雷達主要是應用於軍事偵察上，後來發展出 35GHz 高頻掃



描系統，解析力可達 10~20m。1951 年，Wiley 提出應用都卜勒(Doppler) 頻譜分析技術，利用飛行方向的頻譜分析出兩個相當接近的目標物，利用都卜勒平移提高雷達解析力。直到 1953 年，Wiley 的觀念被應用到空載雷達系統，此為第一部空載合成孔徑雷達(Curlander and McDonough, 1991)。

1970 年代初期，美國國家航空暨太空總署於 DC-8 飛機上裝置合成孔徑雷達系統，稱為空載合成孔徑雷達(AirSAR)，美國噴射推進實驗室(Jet Propulsion Laboratory，簡稱 JPL)之空載合成孔徑雷達計畫因此開始(NASA/JPL 網頁，2002)。

1974 年，Graham 首先以空載合成孔徑雷達干涉方式獲取地面高程資訊，此後合成孔徑雷達干涉技術(Interferometry Synthetic Aperture Radar，簡稱 InSAR)開始多樣的研究發展(Graham, 1974)。

1978 年 6 月美國成功發射搭載雷達感應器的海洋衛星(Seasat)後，歐洲、日本、俄羅斯、加拿大等國家相繼發射自己的 SAR 衛星，掀起主動式感應器觀測系統的熱潮(陳哲俊等人，2009)。

1986 年，美國國家航空暨太空總署將空載合成孔徑雷達系統安裝於 CV990 飛機上，並於舊金山完成面積大小 11 公里*10 公里的數值高程模型(Zebker and Goldstein, 1986)。

目前國際常見機載合成孔徑雷達機型蒐集成果，如表 3-6 所示。

表 3-6、國際常見機載合成孔徑雷達機型

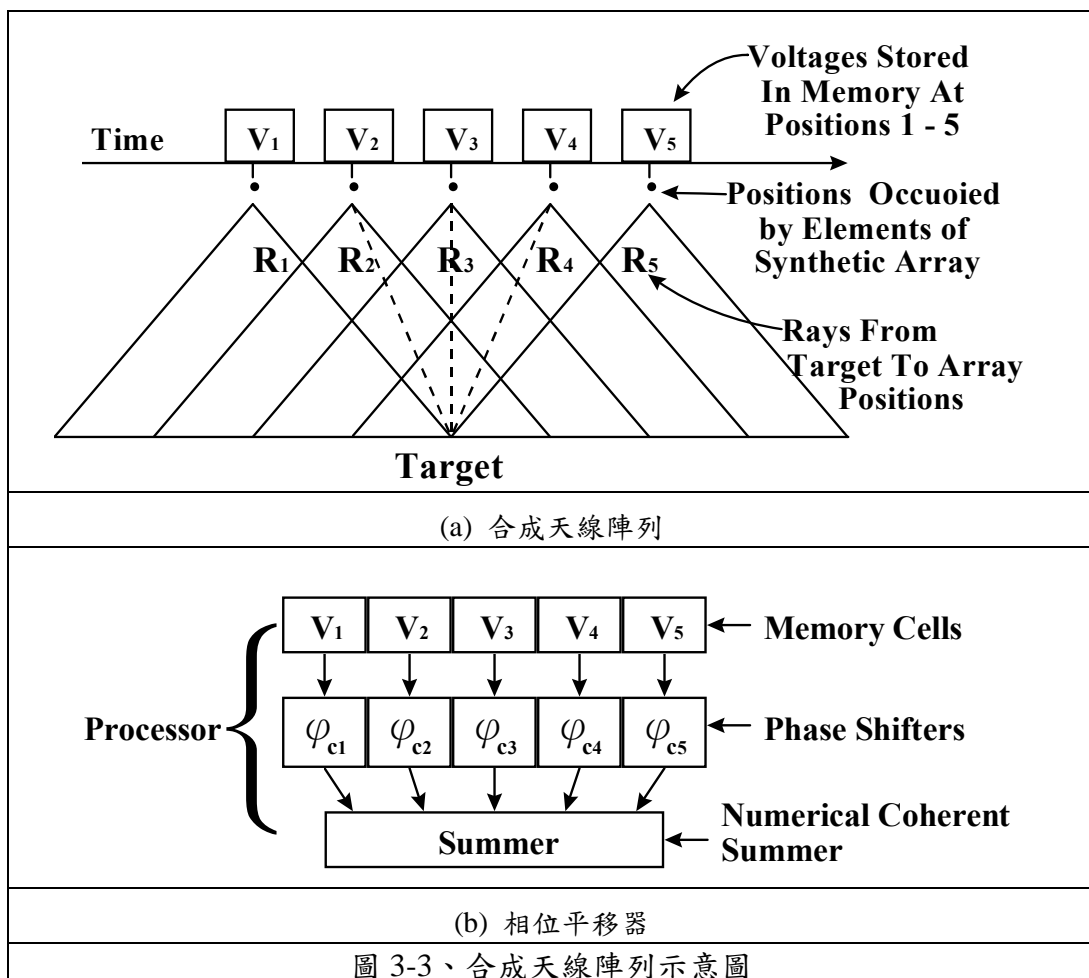
| 國家 | 機載合成孔徑雷達機型 |
|-----|--------------------------------------|
| 美國 | NASA UAVSAR、Lynx SAR、TE SAR、Nano SAR |
| 德國 | MiSAR |
| 以色列 | EL/M-2022U、EL/M2055 |
| 瑞典 | CARABAS |
| 英國 | I-Master、CoastMaster、PicoSAR |

合成孔徑雷達系統係應用一實際上較短的天線，但經由變更資料



的記錄與處理方式的技術，使之有合成天線的效果。其觀念可用兩種方式來解釋，一為合成天線陣列的方式；一為都卜勒波束削尖法(Doppler Beam Sharpening)。

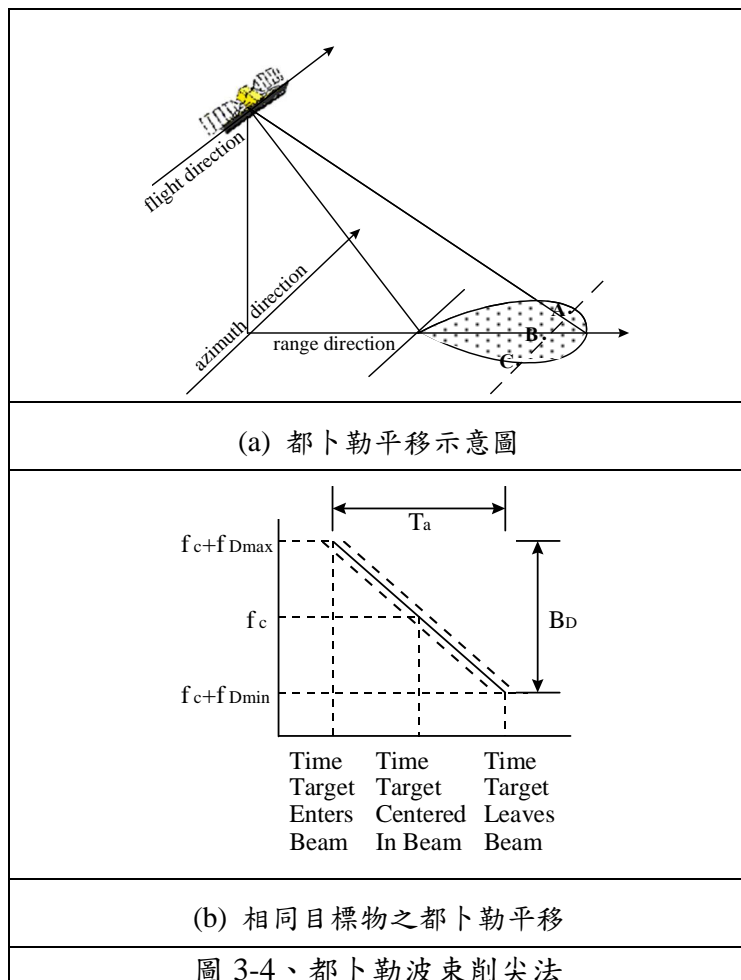
先以合成天線陣列的方式說明基本原理，攜帶著合成孔徑雷達的載具沿著既定的軌道向前運行時，在圖 3-3(a)所示的五個位置皆可看到目標物，然而雷達在這五個位置觀測同一個目標物的距離皆不同，所以訊號來回所需的時間並不相同，亦即目標物的回波會有不同的相位移，這些不同相位移的回波訊號分別被接收器接收之後，儲存在記憶體中不同的位置，接著再將這些訊號通過一相位平移器(Phase Shifter)，彌補原本存在各訊號中的相位差，最後再將各輸出結果加起來，如圖 3-3(b)所示。如此一來，在真實孔徑中無法分辨的目標物將會顯現出來。





其次，用都卜勒平移的觀念來說明合成孔徑雷達的基本原理，亦就是所謂的都卜勒波束削尖法。如圖 3-4(a)所示，籠罩在波束中的 A、B、C 三個不同目標物，與載具飛行方向有著不同的夾角，因此與載具的相對速度亦不同。依都卜勒原理，三個目標物對於雷達所發射的脈波將會產生不同的都卜勒平移，其中目標物 A 的回波會產生正的都卜勒平移；而目標物 B 因為與波束平行，故無都卜勒平移產生；至於目標物 C 的回波則會產生負的都卜勒平移。

隨著載具向前移動，目標物與雷達間的方位距離將隨著改變，而每一目標物的都卜勒平移量亦會不同。現在考慮一固定目標物，可以發現其都卜勒平移會隨著時間成線性的變化，如圖 3-4(b)所示。





二、國外校正服務與發展

研究初期蒐集國內、外航遙測感應器系統校正場之設置方法，分述於後，以作為後續設計適於本國航遙測感應器系統校正場規格、場址選定及建置等作業參考之用。

在世界各先進國家中，已有多個國家設置航遙測感應器校正場，並行之有年，經驗豐富，值得我國參考。目前數個較知名且正在運作中的國際校正場情況如表 3-7。

表 3-7、國際間航遙測感應器校正場

| 國家名 | 場地所在與名稱 | 維護機構 | 感應器種類 |
|-----|--|---------------------------------|----------------|
| 美國 | EROS campus- EROS Cage and EROS Range | USGS/NASA | 數位攝影機 |
| 美國 | Sioux Falls, South Dakota- Sioux Falls Range | USGS/NASA | 數位攝影機、遙測衛星 |
| 美國 | Reston-OSL(實驗室) | USGS | 數位攝影機 光學攝影機 |
| 美國 | Ohio-Madison | Ohio State University | 空載光達 |
| 英國 | Gloucester | NERC | 空載光達 |
| 芬蘭 | Masaala -Sjökulla | Finnish Geodetic Institute(FGI) | 數位攝影機 |
| 德國 | Stuttgart-Vaihingen/Enz | University of Stuttgart | 數位攝影機 |
| 挪威 | Aas, Oslo- Fredrikstad | University of Life Sciences | 數位攝影機 |
| 義大利 | Strada Nuova -Pavia | University of Pavia | 數位攝影機 |



| | | | |
|----------|-------------------------|------------------|-------|
| 中國 大陸 | 河南省登封市-嵩山校 正場 | 武漢大學 | 數位攝影機 |
| 日本 | 神奈川縣松田町-日本 攝影測量學會試驗場 | 社團法人 日本攝影測量學會 | 數位攝影機 |

(一)美國數位攝影機校正場

美國國家航遙測感應器校正場以美國地質調查所為主，該機構從 1970 年代初期開始，便提供類比(底片)式攝影機的校正。隨著數位式攝影機技術的不斷進步並且普及，該機構認為對於數位式攝影機成果的驗證(Verification)、校正(Calibration)與認證(Certification)有其必要性(Stensaas et al., 2008)。

因此，美國地質調查所在該機構下的地球資源觀測與科學中心(Earth Resources Observation and Science, 簡稱 EROS)的數位攝影機校正實驗室(Digital Camera Calibration Lab)裡，設置能進行數位式攝影機空間幾何、解析力與輻射的驗證與校正設備(如圖 3-5)，目前該實驗室已能認證(型別認證, Type certification)七家(Applanix、Intergraph、Leica、Microsoft Vexcel、M7 Visual Intelligence、Pictometry 及 GeoVantage)數位攝影機製造商所產製的數位攝影機(<http://calval.cr.usgs.gov/digaerial/usgs-digital-aerial-type-certification/>)。

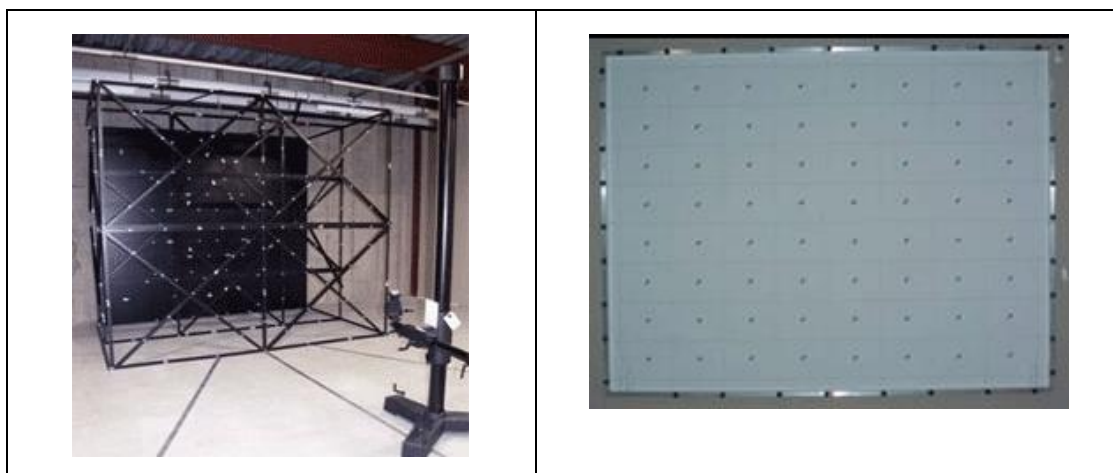


圖 3-5、美國地質調查所航遙測數位式攝影機室內校正場
(摘自美國地質調查所官方網站)



美國地質調查所室外校正場(In Situ Calibration Ranges，簡稱 ISCRs)的規劃設計為 1750 公尺x2000 公尺，內含一個較小的校正場，大小為 600 公尺x750 公尺；場內地形的高度變化約 100 公尺左右，但坡度變化需有高低起伏；場區需容易並安全進入，校正場周圍 10 公里內不得有超過 100 公尺高的障礙物及航空管制區(USGS, 2008)。

校正場內至少有 50 個以上控制點及 25 個以上檢核點，分布位置須均勻分布於校正場區四個象限內，且每一個象限內至少含有總數量 20% 的控制點數，每一個控制點四周的障礙物仰角不得大於 45 度，檢核點的分布原則同於控制點。

基於以上的設計原則，美國地質調查所的地球資源觀測與科學中心在其位於南達科他州蘇福爾斯(Sioux Falls, SD)城之分校，建置 1 座 320 英畝(約 1.3 平方公里)的航遙測感應器室外校正場(如圖 3-6)，供各式各樣的航遙測感應器校正之用，該場地適用於各類型高解析度航遙測產品的校正，從地面解析度(Ground Sample Distance，簡稱 GSD)15 公分(6 英吋)到 1 公尺的航拍影像，以及 15 公里以上的寬航帶衛星影像都可以於該場地校正。該場地地面控制點(外圍 34 個控制點，內部 43 個控制點)均勻布設於該城市內，其範圍不超過該城市邊境，且該校正場地鄰近美國國家大地測量局(National Geodetic Survey，簡稱 NGS)的衛星追蹤站(Continuously Operated Reference Stations，簡稱 CORS)，可提供飛行載具上的全球定位系統數據之後處理。

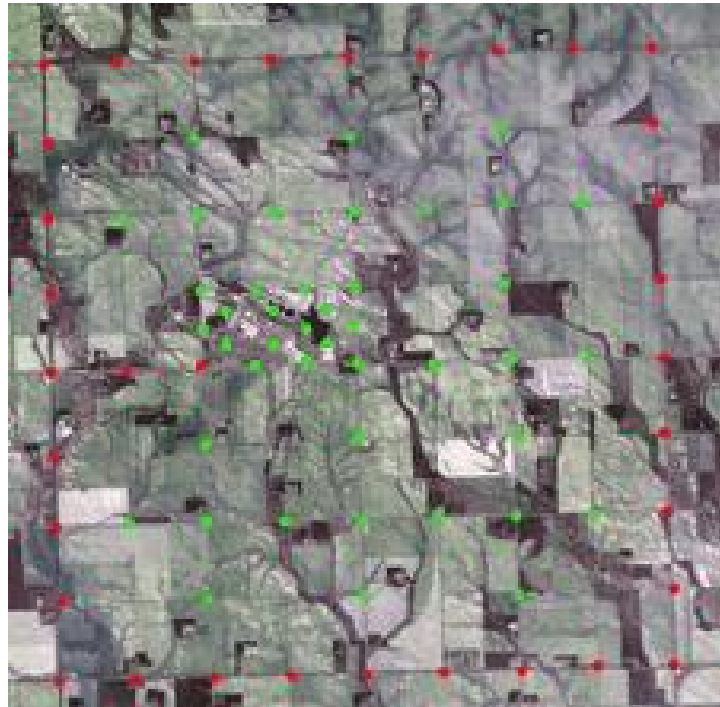


圖 3-6、美國 EROS 校正場 (摘自美國地質調查所官方網站)

美國國家本土內 48 州因幅員廣闊，上述校正場已於西元 2009 年正式營運外，美國地質調查所亦在西元 2010 年於美國中部密蘇里州及科羅拉多州兩州各建立一處航遙測感應器校正場(Rolla, MO 及 Pueblo, CO，如圖 3-7)，同時該機構也繼續尋找其他潛在的適合地點設置航遙測感應器校正場(USGS, 2010)，以利於該國內業界的驗證與校正作業。



圖 3-7、美國地質調查所現有航遙測感應器校正場分布圖(黃色圖釘處)



美國校正場之營運採儀器製造商自行飛越美國地質調查所的校正場，進行航空攝影並生產產品，再將產品提供給美國地質調查所進行評估(Stensaas et al., 2008)。因此美國地質調查所認證的方式並非對每一個航測攝影機感應器去認證，而是對生產感應器的廠商去進行認證。為了提升校正的自動化並減少地面控制點設置及維護成本，美國地質調查所打算對校正場進行高精度正射製作以及空載光達掃描製作數值高程模型(Digital Elevation Model，簡稱DEM)，以正射影像的影像區塊(Image chips)取代傳統的布標做為檢核點，要求受校廠商改為繳交正射影像校正，則可以用影像匹配的技術自動化量測檢核點上的誤差。

美國地質調查所對數位航空攝影機校正與認證發展歷程，詳如表3-8。



表 3-8、美國數位航測攝影機校正與認證發展歷程表

| 年份 | 計畫項目 | 內容 | 細目 | 備註 |
|------|----------------------------------|---------------------------------|----------------|--|
| 2000 | USGS 與 ASPRS 討論決定應發展數位攝影機進行校正能力。 | | | |
| 2001 | | 研發中、小像幅室內校正設備。 | | |
| | | 研發中、小像幅室外校正設備及軟硬體。 | | |
| | 組成跨機關數位攝影機工作組(IADIWG)。 | 分析聯邦機關需求及對建立校正及品保計畫之支持。 | | 14 個大型對影像有需求的聯邦機構。 |
| 2005 | | 建立數位影像品保程序。 | | |
| 2007 | | 建立品質計畫 (RST2007)。 | 擬定影像購置合約指導綱要。 | |
| | | | 攝影機型別認證。 | 認證攝影機製造商，而非認證其設備。 |
| | | | 影像拍攝者認證。 | 認證軟硬體設備整合符合航測需求(正確整合 GPS、IMU、航拍規劃軟硬體、正確操作攝影機)。 |
| | | | 航拍廠商影像品質合格驗證。 | |
| | 推動國際通用校正場。 | 與加拿大、歐洲合作。 | (降低廠商負擔) | 建議 ISPRS 承擔推動責任。 |
| | | | 幾何校正、輻射校正。 | |
| | | | 建議增加遙測影像校正與認證。 | |
| 2011 | | 宣布停止 OSL 對於數位攝影機認證與校正服務。 | | |
| | | 因應市場與消費者需求，發表聲明仍持續提供底片式像機的校正服務。 | | |



(二)歐洲數位攝影機校正場

歐洲實驗攝影研究組織(The European Organisation for Experimental Photogrammetric Research, 簡稱 OEEPE)是歐盟成立之前歐洲各國政府及學術機構聯合組成的攝影測量研究協會(Cramer, 2008)。歐盟成立後擴大成為空間資訊學術研究協會。成立的宗旨是建立歐洲各個國家測圖機關、地籍機關與研究機構、大學之間的連結,以推展空間資料的供應、管理及傳輸的應用研究為目的的非營利性的研究網路。本身並非另外成立一個凌駕於各國之上的固定研究單位,而是協調及資助歐洲各國現有的空間資訊相關機構,包含各國測繪及地籍機關與其附屬研究機構、各大學及研究所等,合作協力進行普遍適用於全歐洲空間資訊系統的相關研究。

2003 年時,該組織首次提出應該對市場上正在發展的數位攝影機進行認證的研究倡議。經過一系列的討論會及初步研究,決定分為 2 個階段完成歐洲的數位攝影機檢定及校正研究。第一階段:蒐集分析已經公開發表的有關數位攝影機的資料,撰寫詳細的有關現有的檢定校正的作業及方法。第二階段:依據專家們的經驗及建議,進行實際測試,提出能為多數人所認同的校正及驗證方法。

第 1 階段的報告在 2004 年 10 月完成,第 2 階段工作在 2006 年正式展開。計有 8 個攝影機系統製造商、12 家測量軟體系統開發商及測繪科技研究機構、16 所歐美大學以及歐美 16 個國家的測繪機關參與了研究網路,並由德國斯圖加特大學為中心協調組織人。2006 年底公布了初步實驗結果,而在 2007 年開始又擴大了第二階段後續計畫之第 b 階段的實驗(詳如表 3-9),最後實際積極參與實驗的有 13 個機構於 2007 年完成全部計 80 個實驗的分析。初始時,表達參加意願的攝影機生產廠商很多,但是最後實際參加實驗的攝影機只有目前市場上銷售最多的 ADS、DMC 及 UltraCAM 三種。實驗結果主要內容曾發表於 2007 年在德國漢諾威大學舉辦的高解析力對地觀測影像研討會(High Resolution Earth Imaging Workshop),以及 2008 年在北京



舉辦的國際航遙測學會(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 簡稱 ISPRS)大會上(Cramer, 2008)。

依據該研究結果，認為有必要建立歐洲自主的數位空載攝影機認證制度，也就是將原本僅針對數位空載攝影機的檢定及校正的研究，延伸為要為歐洲建立一個正式的認證制度。於是研究團隊提出新的計畫，並經 2007 年 5 月在荷蘭鹿特丹舉行的歐洲空間資料網路研究組織的科學委員會及成員國代表會會議上，正式通過了歐洲數位空載攝影機認證(European Digital Airborne Camera Certificate, 簡稱 EuroDAC²)創制計畫，邀請所有軟硬體廠商及使用者參與研究建立一個在歐洲普遍適用的認證程序。

該創制計畫主要的依據是認為數位攝影機的檢定與校正確實與傳統攝影機不同，有必要另外設計專用的校正及認證方法程序。而由於數位攝影機廠牌眾多，製作原理與結構分歧，認證時必須注意普遍適用原則，不可有特殊優遇或歧視現象。雖然美國地質調查所已有認證辦法，但是由於數位空載攝影機大多為歐洲生產，而且美國的認證方法中有的不適用於歐洲，所以歐洲有必要自行建立認證制度。預計分 5 個階段完成認證計畫：

1. 評估由各國測繪及地籍機關提出的使用者需求。
2. 評估數位空載攝影機生產者的意見。
3. 認證程序的定義。
4. 認證程序的認可(國家測繪機關、數位空載攝影機生產廠商及其它相關者共同認可)。
5. 正式實施認證制度。

該組織所推動之認證計畫已進行至第 2 階段，而下階段認證程序與制度的設計，由近期蒐集資料顯示尚在評估中。



表 3-9、歐盟數位航空攝影機校正發展歷程表

| 年份 | 計畫項目 | 內容 | 參與機構 |
|------|--|---|---|
| 2003 | 歐洲空間資訊研究組織 EuroSDR 啟動數位攝影機校正研究計畫。 | | 由德國斯圖加特大學主持。 |
| 2004 | 第 1 階段。 | 完成已發表之航測數位攝影機校正資料蒐集並整理成報告。 | |
| 2006 | 第 2 階段。 | 進行初步之實際校正測試。 | 邀請了 8 個攝影機製造商、12 個軟體系統開發商及測繪科技研究機構、16 所大學、16 個國家測繪機關參與第二階段研究。 |
| 2007 | 第 2 階段後續計畫。 | 完成 80 個實驗，成果發表於 2008 年北京 ISPRS 大會。 | 實際參與機構僅 13 個，參與攝影機僅 DMC、ADS、UCD 三種。 |
| | 歐洲數位空載攝影機認證 (European Digital Airborne Camera Certificate, 簡稱 EuroDAC ²) 計畫。 | 研究建立一個歐洲普遍適用的認證程序。其階段分為： a. 評估由各國測繪及地籍機關提出的使用者需求及數位空載攝影機生產者的意見。 b. 認證程序的定義。 c. 研擬之認證程序的認可 (由國家測繪機關、數位空載攝影機生產廠商及其它相關者共同認可)。 d. 正式實施認證制度。 | 邀請所有軟硬體廠商及使用者。 |
| 2008 | | 增加攝影機輻射研究及中像幅攝影機之校正認證。 | |
| 2011 | | 53 屆航測週報告攝影機輻射問題研究現況。 | |

除了上述校正及認證計畫外，歐洲空間資料研究網路組織於 2008 年又啟動了對數位攝影機的輻射特性研究以及對中、小像幅數位攝影機應用潛力等的後續與數位攝影機有關的研究。近年來中、小像幅攝影機、無人載具也更廣泛地在航測業務運用，建議未來可試辦此類型攝影機校正分析，並持續關注收集歐洲在此方面的最新研究成果。



該機構用於研究的校正場有 4 個，分別為在芬蘭的 Sjäkulla、德國的 Vaihingen/Enz、挪威的 Fredrikstad 及義大利的 Pavia(Casella and Franzini, 2005)。此 4 個校正場均非新設而是各國原本即已經設置之校正場。以德國 Vaihingeng/Enz 為例，係由德國斯圖加特大學於 30 多年前所設置，芬蘭的校正場也早在歐盟數位攝影機校正研究計畫立案之前即已設置，並且持續用於芬蘭國內底片式攝影機校正之用。歐洲空間資料研究網路為了進行數位攝影機校正研究，才邀請各廠商參與，目前研究還正在進行中，所以至今在歐洲尚未針對航測數位攝影機訂有正式具有強制性的校正規定及法定校正場。

4 個校正場都是各國原有的以幾何校正為主的舊校正場，但是為前開研究均作了些微改進。尤其是為了校正輻射解析力部分，增加了不同光譜反射的校正能力。但是只有芬蘭校正場最後被選為研究輻射校正之用。

位在芬蘭的 Sjäkulla 測試場(Test field)為芬蘭大地測量研究所(Finnish Geodetic Institute, 簡稱 FGI)於 1994 年在 Sjäkulla 設立一個永久性試驗場，作為高解像力航測與衛星攝影機在幾何、輻射及空間解像力等之校驗，以及相關測試之用。此試驗場的特色是利用礫石作為解像力與反射率的測標。礫石測標的優點是不受天氣影響，下雨後礫石表面灰塵被清除，下雪與結凍不至於影響圖案，而且不同種類的礫石之反射特性不同，適當的混和可以得到不同的光譜反應特性。Sjäkulla 測試場並設有許多輔助測標，提供作為航遙測攝影測量校正場之用。同時，除永久固定式測標外，也開發移動式輔助測標(Honkavaara et al., 2008)。

Sjäkulla 測試場規劃設置的基本原則，包括：維持全年可用、降低維護成本、可以長期使用、經常性的監測、開放給所有影像生產者自由且方便使用。

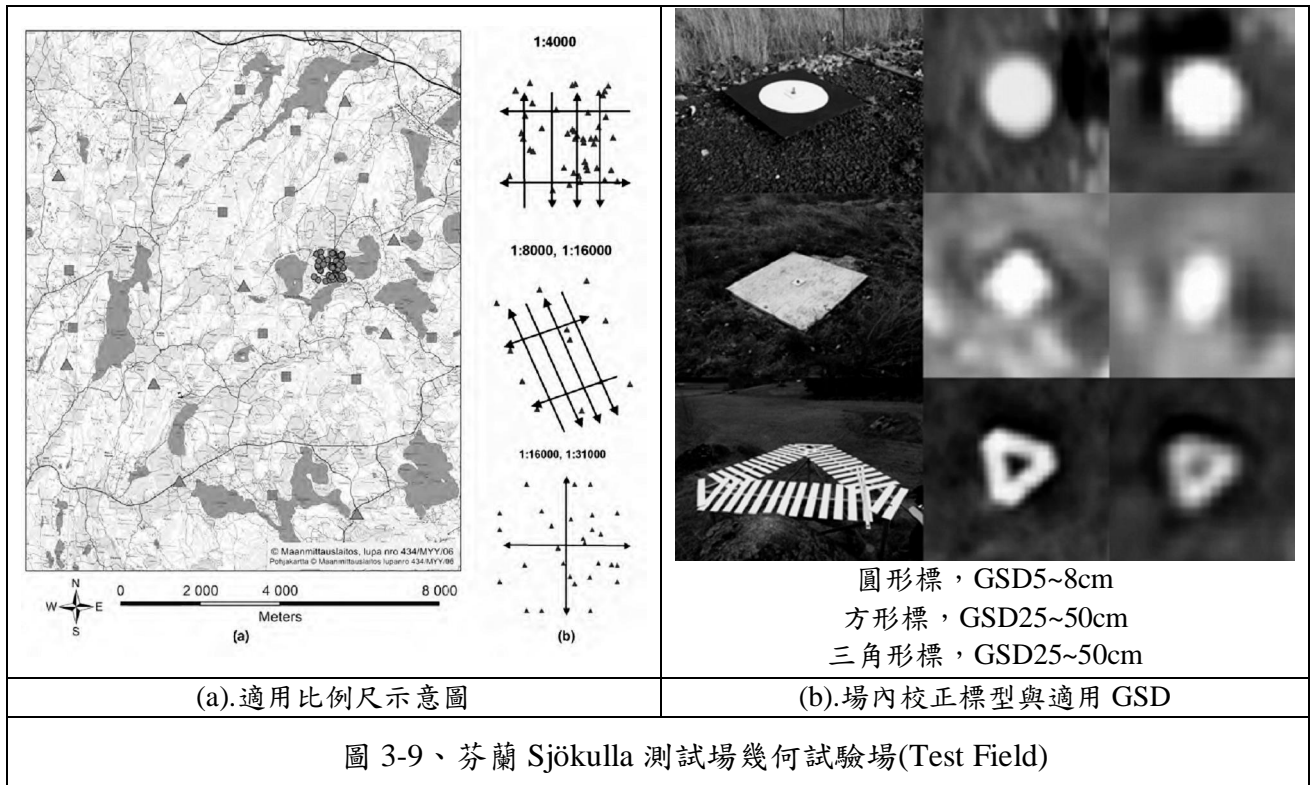
Sjäkulla 測試場位於芬蘭鄉村地區，周圍為田野、湖泊、與森林，



與芬蘭大地測量研究所及機場都很近。此試驗場包括 1 個影像品質試驗場(如圖 3-8，圖中第 6 區塊為可移動式西門子星測標，第 7 區塊為可移動式輻射校正標，其餘為永久式固定測標)與 1 個可適用 3 種以上比例尺的控制點基準測網(每 1 種比例尺至少有 50 個地面控制點，如圖 3-9)。前者供輻射校驗與空間解析力校驗，後者供幾何校驗。



圖 3-8、芬蘭 Sjöckulla 測試場(Test Field)之影像品質校正標





德國的 Vaihingen/Enz 檢定場(Test site，如圖 3-10)涵蓋約 7.5 公里x4.8 公里，布設了 200 多個精密測定的控制點。為高、低不同的航高分別設計了二種不同的空標尺寸，分別為 1 公尺x1 公尺及 0.25 公尺x0.25 公尺，測區為在德國西南部的丘陵區，有足夠的高差，地面主要為農業用地夾雜小的村落(Cramer, 2009b)。



圖 3-10、德國 Vaihingen/Enz 檢定場(Test Site)航空影像

由蒐集的文獻得知，場內布設大約 200 多個控制點，分布如圖 3-11 所示。其中位在西側的控制點較密，可供低空攝影校正之用。

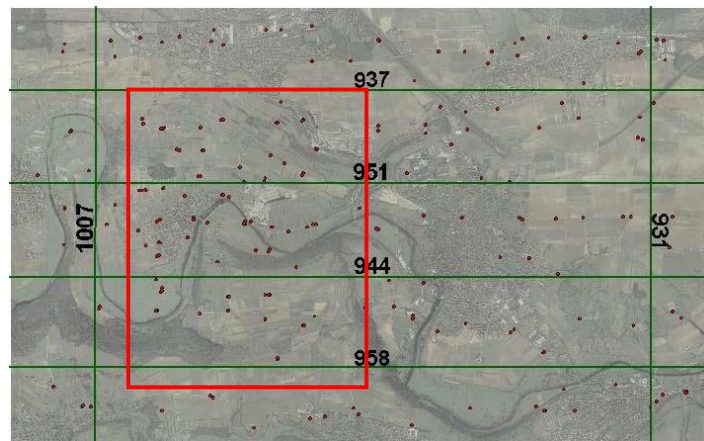


圖 3-11、德國 Vaihingen/Enz 檢定場控制點分布示意圖



(三) 亞洲數位攝影機校正場

除了上述歐美國家，中國國家測繪局亦曾在山西省太原市建置一座專供航測光學感應器檢校的幾何校正場，惟目前已廢棄不用；中國大陸亦有供給遙測(衛星)影像輻射校正專用的青海校正場和敦煌校正場。另武漢大學測繪遙感信息工程國家重點實驗室於河南省登封市之嵩山附近，建置一座航空攝影測量與遙感綜合試驗場(如圖 3-12)，共有 214 固定式控制點，能進行航遙測感應器系統之幾何與輻射校正作業(許妙忠等人，2009)。

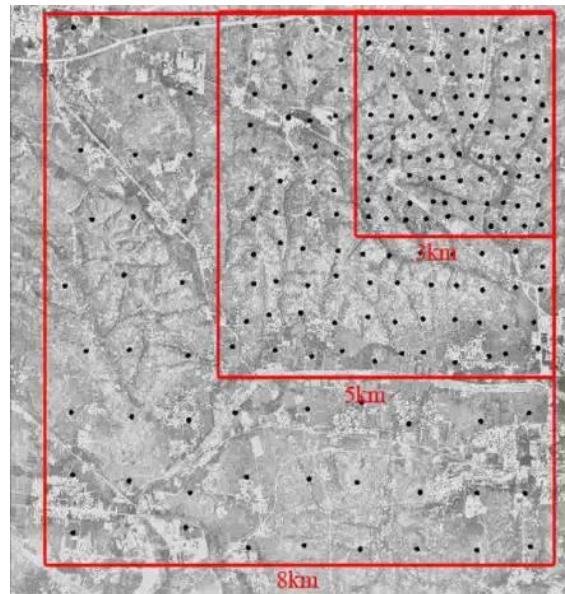


圖 3-12、中國大陸嵩山綜合試驗場範圍及控制點分布圖

此外，日本的攝影測量學會「航測驗證委員會」(航測檢證委員會，Committee of Test Field)於 2002 年 9 月籌組成立試驗場，開始使用後四年，於 2006 年 12 月~2007 年 3 月實施改正測量。該試驗場位於日本神奈川縣足柄上郡松田町附近地區。五萬分之一地形圖之圖名為「秦野」。最近火車站為「小田急線新松田駅」，車程約 15 分鐘。

試驗場之長度為 3 公里，寬度為 1.5 公里。對空標之形狀為圓形，直徑 60 公分，包括：白色圓形鐵板、塗料塗布、岩石露頭上黃色塗裝。對空標設置之數量總共 64 個，包含：鐵板 4 個、移動式 38 個、邊坡岩石塗裝 22 個。其分布如圖 3-13。

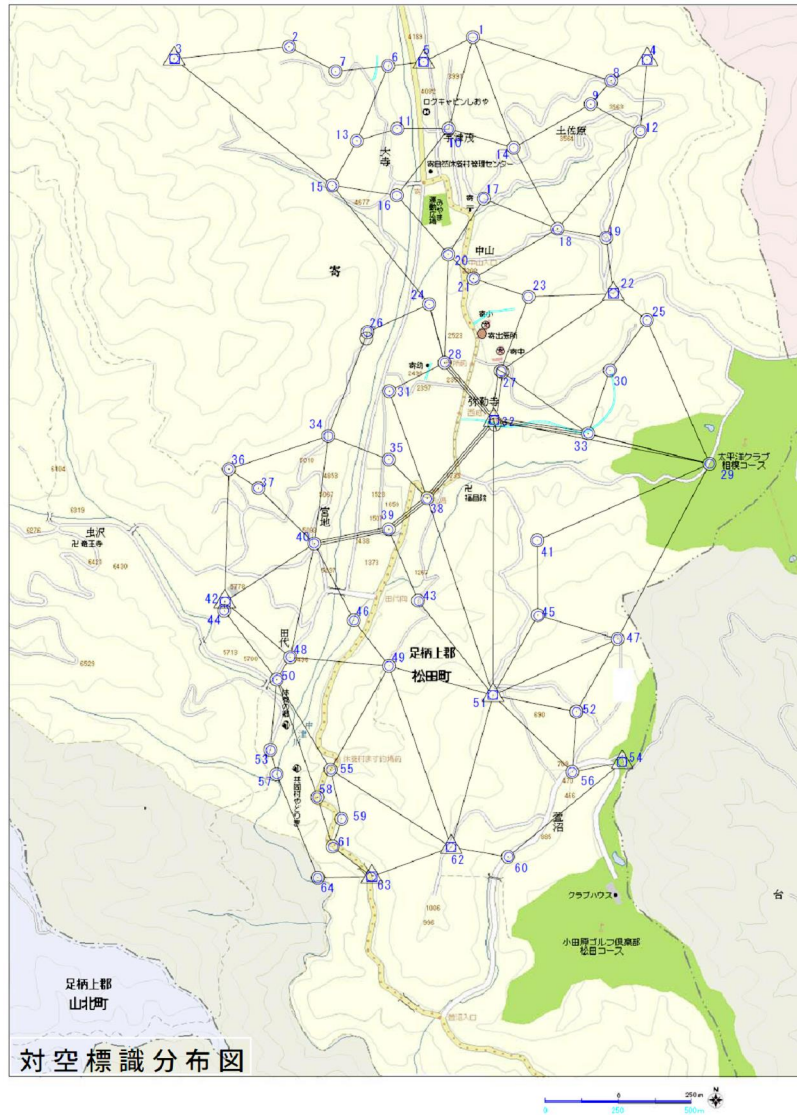


圖 3-13、日本試驗場範圍及對空標分布圖

(四)國外空載光達率定場

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

文獻中所見由廠商自行所建的率定場設置之規格與國內空載光達設備擁有者自設率定場相近，主要差別為國外有較多的小型機場，



其地形平坦，資料取得容易，且對低空航空管制不如我國嚴格，因此常以機場作為視準率定場。例如英國的自然環境研究中心(Natural Environment Research Council，簡稱 NERC)所設置之率定場，位於英國南部之格洛斯特(Gloucester)，範圍大小約 1.5 公里x1.5 公里，如圖 3-14 所示，圖中紅線代表飛行之航線，圖上數字為率定時所需之道路實測點編號，此率定場建置目的為進行空載光達之視準率定。

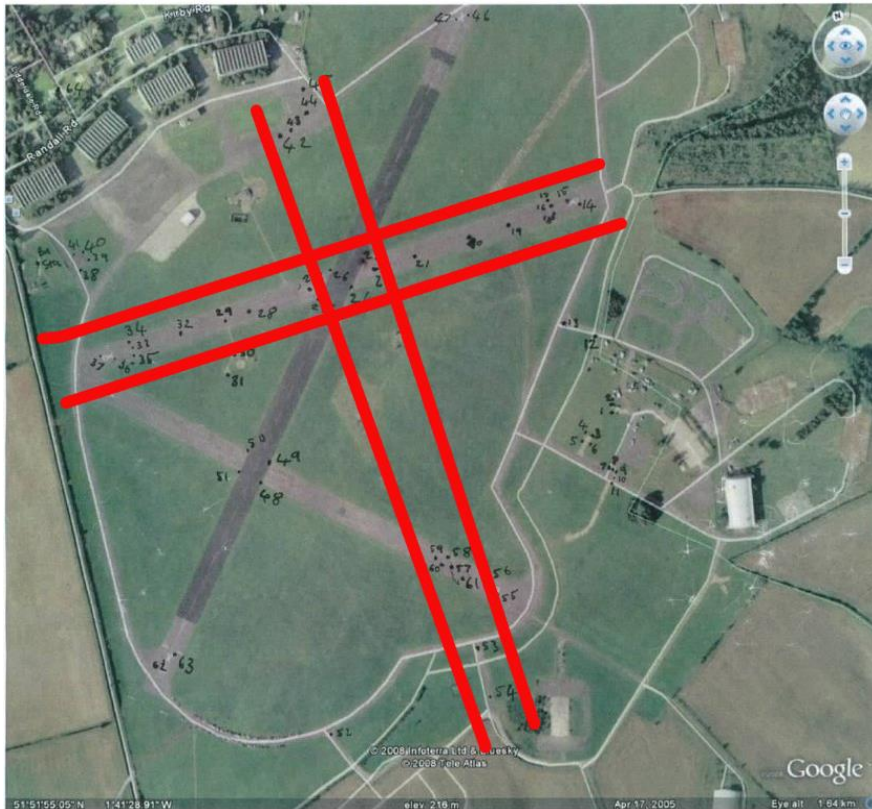
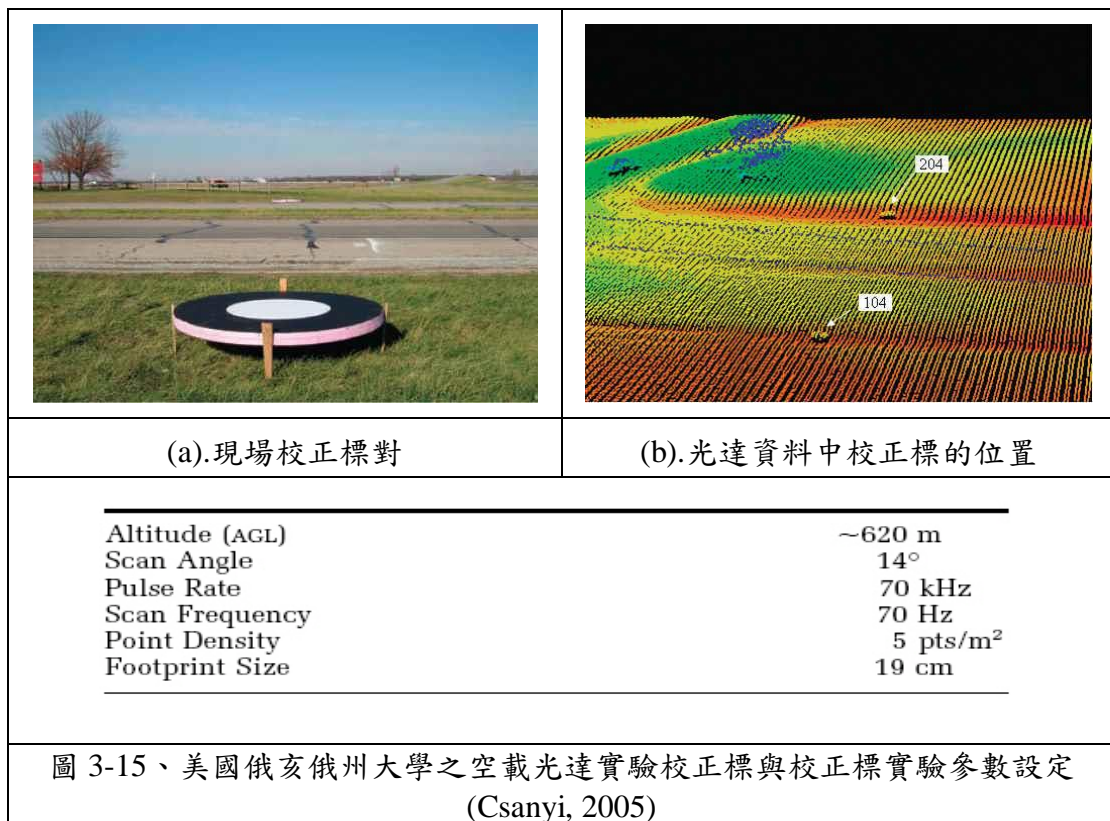


圖 3-14、英國自然環境研究中心設置之空載光達率定場

由目前收集到的資料顯示，尚無國家為了測繪目的對空載光達實施校正，所見極少數的校正均為研究機構所做，並非國家測繪規範要求者。研究用之校正大多利用既有地形地物為校正使用並未設置額外之校正標，目前僅知美國俄亥俄州大學於空載光達測試實驗中設計專用校正標(LiDAR-Specific Ground Targets，如圖 3-15)，用以調查各項數據，如飛行參數、地面控制點的分布等。該校正標為雙同心圓，外圓半徑 1 公尺、內圓半徑 0.5 公尺，中心設置衛星定位儀天線，用於標定校正標位置。校正標置於俄亥俄州的 Ashtabula 長 23 公里的道路



兩邊，對稱放置 15 對，平均 1.6 公里放置一對校正標，利用筆直道路，對於空載光達進行點雲的平面與高程精度探討。此研究是利用 Optech ALTM 30/70 進行校正標平面精度之研究，實驗參數設定如，飛機距地距離(Above Ground Level，簡稱 AGL)約 620 公尺、掃描角度(Field Of View，簡稱 FOV)約 14 度、掃描頻率約 70Hz，點雲密度需達 5 pts/m²。此篇研究報告並未提供實驗時的飛行速度，因此利用 Leica 的飛航規劃軟體 AeroPlan 軟體，根據實驗中飛行參數設定，粗估飛行速度約 90~110kts(節)。



此類型校正標尺寸相當龐大，實際製作有困難，因此研究中於 102 年度提出以既有平頂建物代替特製之校正標來進行平面與高程精度校正測試，將於後續章節說明。



三、國內校正服務與發展

在國內方面，自民國 90 年起即由學界與民間測繪業開始引進數位航測攝影機與空載光達系統進行使用，相關設備應用至今已超過 10 年，型式種類眾多。但除了行政院農業委員會林務局航空測量所(以下簡稱農航所)於彰化縣鹿港鎮設有簡易式數位航空攝影機校正場外，其餘大多以既有地形地物地貌進行檢校，並未有規劃完善的場地。目前數個已知且正在運作中的國內航遙測感應器校正場地狀況如表 3-10。

表 3-10、國內航遙測感應器校正場

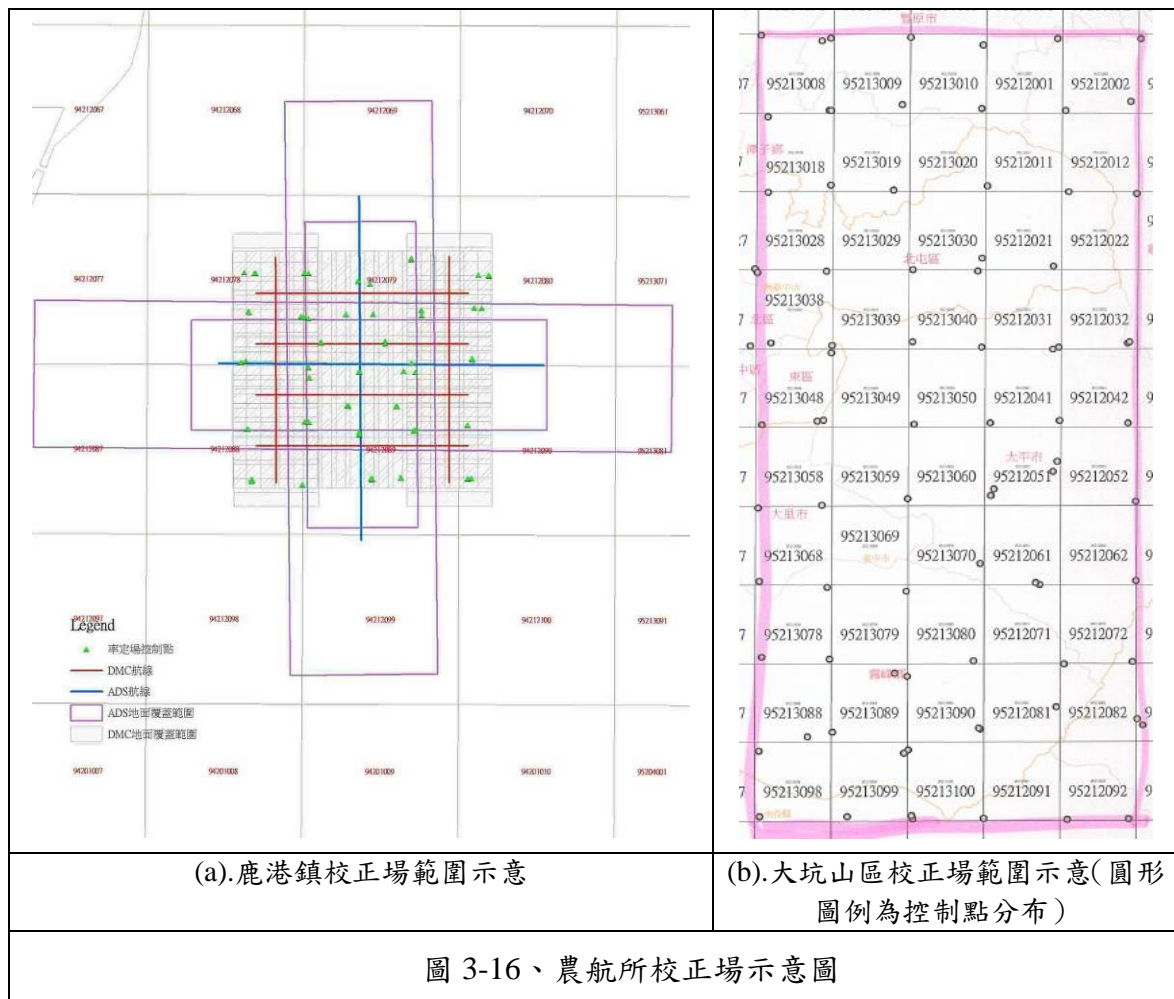
| 校正場地 所在位置 | 建置時間 | 使用單位 | 感應器種類 | 校正用途 | 維護狀況 |
|--------------|--------|------------|--------|------|--------|
| 彰化縣鹿港鎮 | 2005 年 | 林務局農林航空測量所 | 航測攝影機 | 參數率定 | 不定期維護 |
| 臺中市北屯區大坑山區 | 2007 年 | 林務局農林航空測量所 | 航測攝影機 | 參數率定 | 不定期維護 |
| 澎湖機場 | 2001 年 | 國家太空中心 | 遙測衛星 | 輻射校正 | 每年至少一次 |
| 彰化縣彰濱工業區 | 2007 年 | 中興測量 | 空載光達 | 參數率定 | 不定期維護 |
| 臺中市臺中港工業區 | 2010 年 | 群立科技 | 空載光達 | 參數率定 | 不定期維護 |
| 彰化縣彰濱工業區 | 2010 年 | 詮華國土測繪有限公司 | 空載光達 | 參數率定 | 不定期維護 |
| 苗栗縣苗栗市區 | 2011 年 | 自強工程顧問 | 空載光達 | 參數率定 | 不定期維護 |
| 成功大學歸仁校區 | 2011 年 | 國立成功大學 | 街景車 | 參數率定 | 不定期維護 |
| 彰化縣、雲林縣 | 2007 年 | 工業技術研究院 | 合成孔徑雷達 | 信號校正 | 不定期維護 |

(一)國內數位航測攝影機校正場

農航所目前設置有 2 座光學式航測攝影機校正場，以因應不同尺度任務。1 座設置於彰化縣鹿港鎮者，於中華民國 95 年 05 月啟用，涵蓋面積約為 1/5,000 圖幅 4 幅左右(如圖 3-16(a))，供航高 1000 公



尺，影像地面解析度 10 公分時使用。現場地面控制點大多採自然點布設，適合 Leica ADS 與 DMC 系列航測攝影機。ADS 航線為東西向與南北向各一航帶，地面範圍大小約為 10 公里x2.5 公里；DMC 航線有 4 條東西向及頭尾 2 條南北向，地面覆蓋範圍約為 4 公里x4 公里，範圍內布設約 40 多個地面控制點。另 1 座位於臺中近郊至大坑山區，適合較大尺度應用，於中華民國 96 年 04 月設置，地面範圍大小約為 30 公里x13 公里，涵括 1/5,000 圖幅 50 幅範圍（如圖 3-16(b)），場內布設約 100 多個地面控制點。2 處校正場均於有任務需求時進行清標、檢測等維護作業。其中位於鹿港校正場近年各年度均有使用，而位於大坑校正場則因面積較大，維護成本較高，使用頻率較低。此 2 處校正場均為農航所日常營運時參數率定(Calibration)或測試所需而規劃，亦用於新購航空攝影機之驗收測試場地。





(二)國內衛星校正場

而我國自有之福衛二號衛星由財團法人國家實驗研究院國家太空中心（以下簡稱國家太空中心），The National Space Organization，簡稱 NSPO)設置校正場，位於澎湖設置簡易式解析力及輻射測試標(尺寸大小為 60 公尺x60 公尺，如圖 3-17)，並無幾何校正場之設置。該校正場設立於西元 2001 年，目前平時由當地駐軍協助維護管理或每年一次派人前往該校正場定期進行維護。



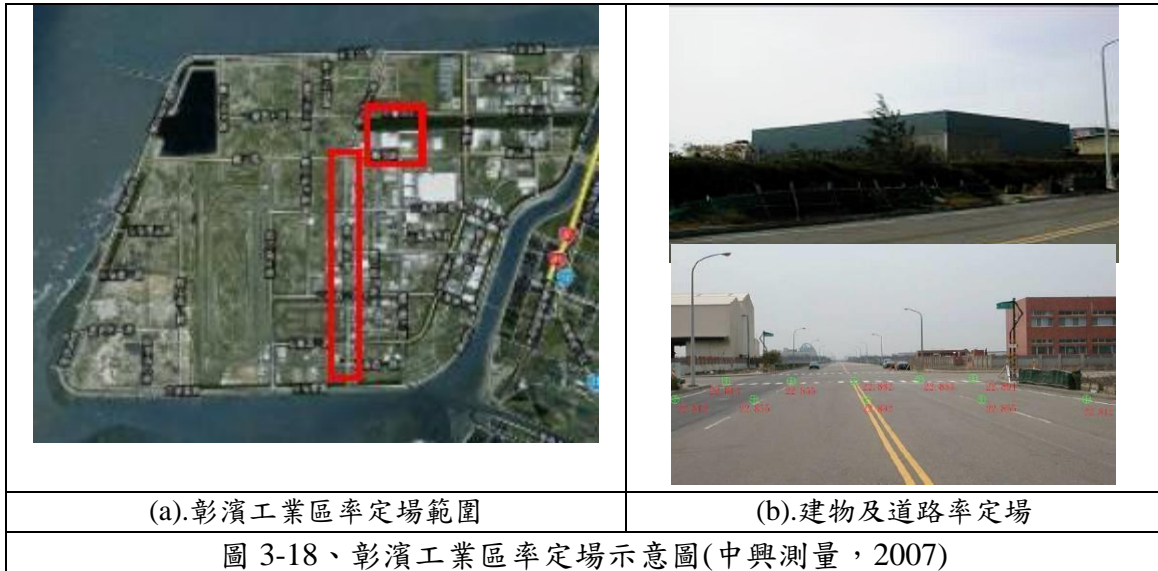
圖 3-17、NSPO 調制轉換函數(MTF)測試標

(三)國內空載光達率定場

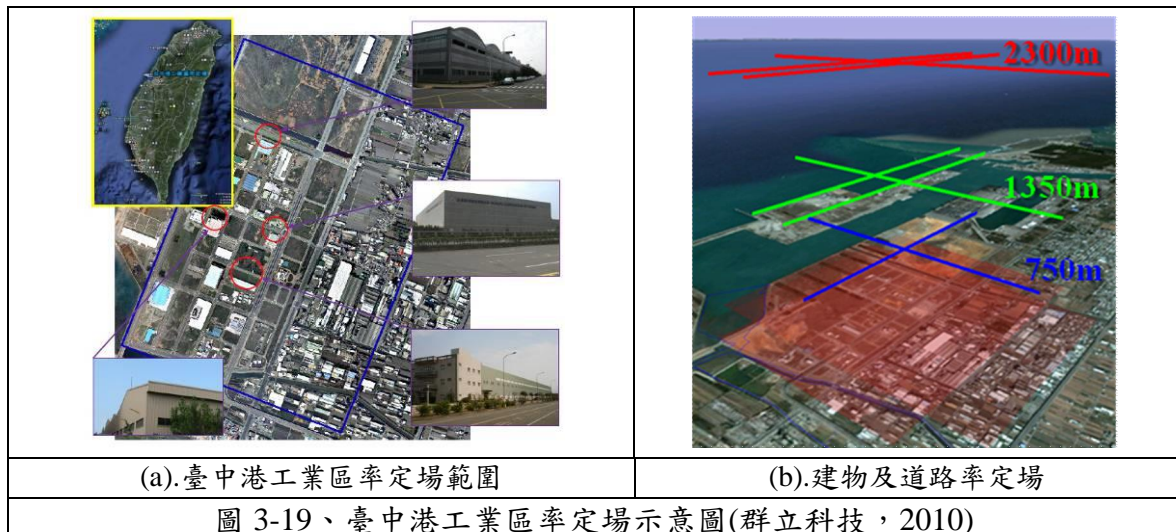
根據內政部「LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)」之內容，LiDAR 率定場設置之環境要求為：「標準的率定場面積為長寬各約 1 公里範圍，率定場內之地表坡度應平緩且植被覆蓋率應小於 10%，且應具有容易辨識之大型建物(平頂、斜頂)及道路標線等明顯特徵；通常可利用平原地區的工業區，但最好避免例行班機航道及軍事要地，並應避開大規模開發或地層下陷區域。」(內政部，2005)。國內各空載光達業者均依前述規定自行設置校正場，如以下說明。



中興測量有限公司設置 Optech ALTM3070 之率定場，位於彰化縣彰濱工業區鹿工南五路，全長範圍約 2 公里x2 公里，另外範圍內包含獨立建物，供建物型式的率定場地，如圖 3-18 所示。



群立科技股份有限公司設置 Leica ALS60 之率定場，位於臺中市臺中港工業區，範圍約 2 公里x2 公里，範圍內並有大型獨立建物(廠房)，如圖 3-19 所示。



詮華國土測繪有限公司設置 Leica ALS60 與 Optech ALTM Orion 之率定場位於彰化縣彰濱工業區，範圍約 2 公里x2 公里，範圍內包含獨立建物與長 2 公里筆直道路，如圖 3-20 所示。

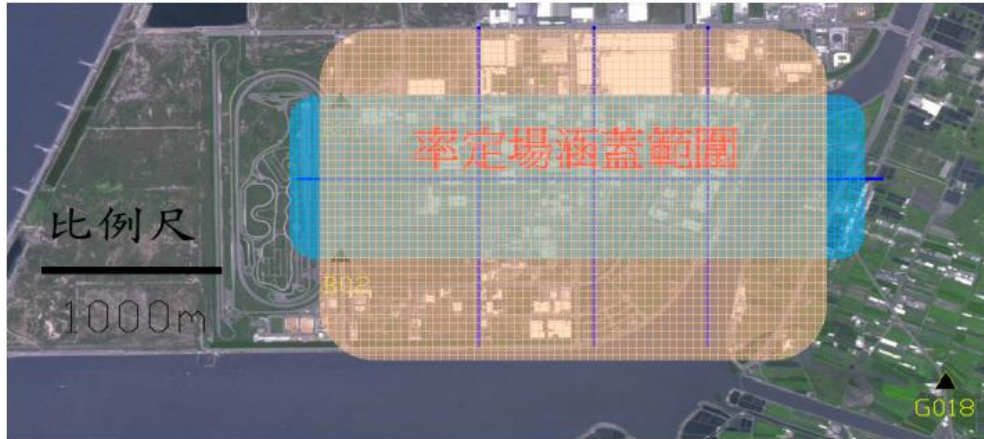


圖 3-20、彰濱工業區率定場示意圖(詮華國土測繪有限公司，2010)

自強工程顧問有限公司於苗栗縣苗栗市區設置 Reigl LMS-Q680i 率定場，範圍約 1.5 公里x1.5 公里，以區域內道路或斜屋頂特徵點進行參數率定，如圖 3-21 所示。



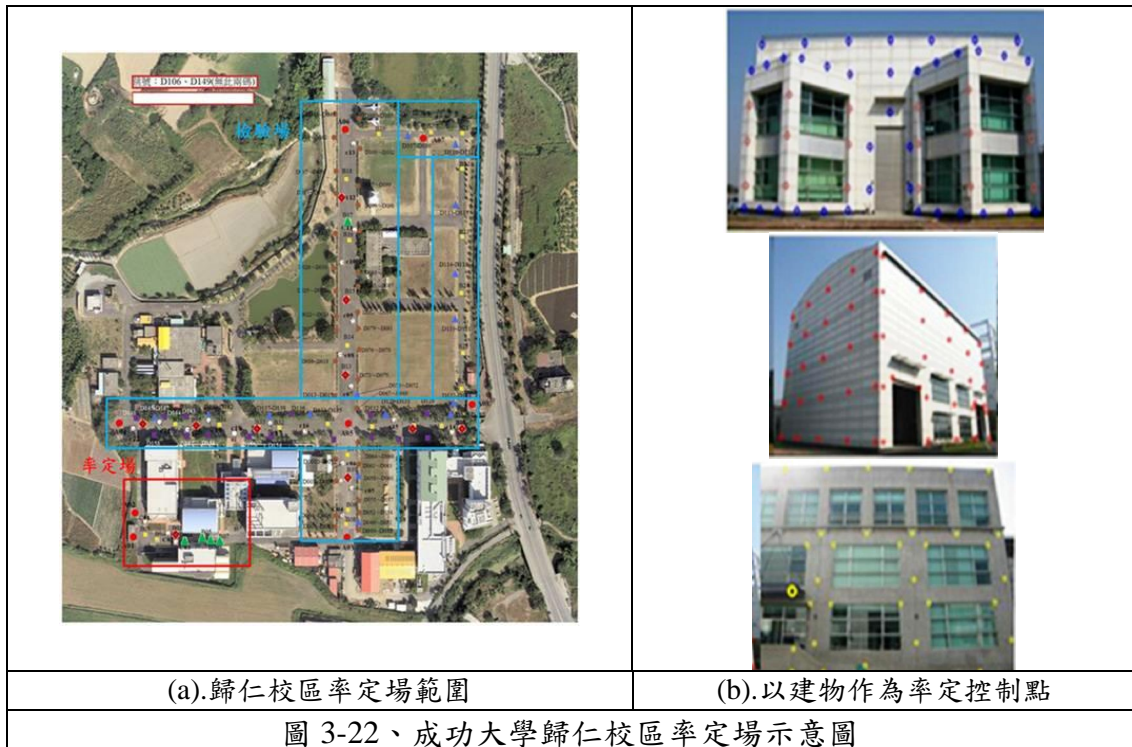
圖 3-21、苗栗市區率定場範圍示意圖(自強工程，2013)

標準作業程序所述之率定場主要目的僅在做視準率定(Boresight calibration)，這種率定要求平坦場地，但是平坦的率定場對空載光達的平面精度進行校正時鑑別度不高，故與本計畫之校正場有些許差異。本計畫設計使用已自行獲取視準軸率定參數之空載光達進行點雲資料收集，確認不同航帶間之點雲無明顯偏移後，再與地面實測點比較，坐標差值應小於一定範圍。本計畫亦研擬對空載光達平面精度校正可行性分析之研究，將於後續章節說明。



(四)國內街景車率定場

近年來測繪界已開始嘗試使用街景車進行地面測量及調查判識，獲得相當良好之成果。成功大學於歸仁校區設置了街景車室內像機率定場及室外地面控制場，分別對使用之像機參數與導航設備參數進行率定，如圖 3-22 所示。





(五)國內雷達校正場

雷達影像之校正，採用角反射器(Corner Reflector)，其形如圖3-23。圖中角反射器為水利署委託工研院設置於彰化縣、雲林縣一帶(工研院，2007)，目的為衛星雷達影像信號校正使用。而臺灣地區之空載雷達校正設施，目前由農航所籌備中，規劃採用可攜式角反射器，於校正作業前布置於測試區，未來場地位址可能設於於彰濱工業區。

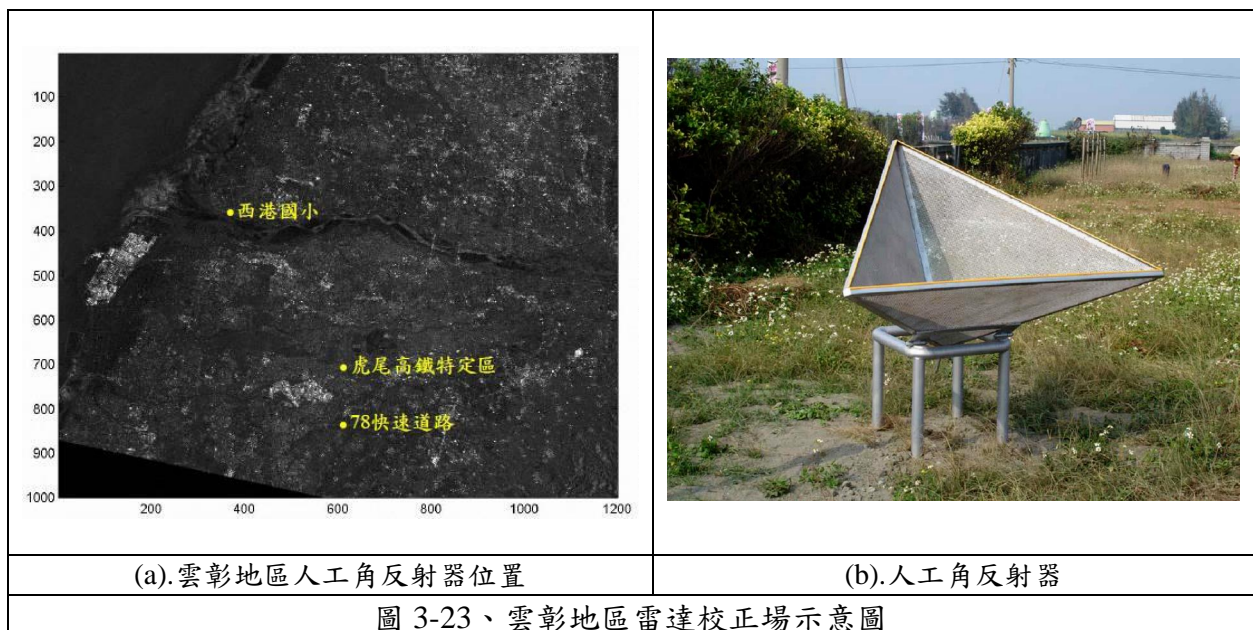


圖 3-23、雲彰地區雷達校正場示意圖

此章所述為國、內外航遙測感應器校正作業文獻中，較具代表性內容之摘錄。綜整其餘文獻資料後，各國校正場運作情形與資訊於下頁表 3-11~表 3-14 所示。

表 3-11、各國航測攝影機校正場資訊表 1

| 國家 項 目 | 美國 | 德國 | 挪威 | 義大利 | 芬蘭 |
|------------|---|---------------------------------|-----------------|-------------------------------|--|
| 提出機關/學校 | USGS | Stuttgart 大學 | Agricultural 大學 | Pavia 大學 | FGI |
| 校正感應器機種 | Applanix, Intergraph, Leica, Vexcel, M7 Visual Intelligence, Pictometry, GeoVantage | ADS40 | DMC、UltraCamD | Applanix | DMC、UltraCamD、ADS40 |
| 校正項目 | 幾何精度、空間解析力 | 幾何精度 | 幾何精度 | DG 直接地理定位、GPS/IMU | 幾何精度、輻射及空間解析力 |
| 建置年代(西元年) | 2000 | 2003 | 1992 | 1997 | 1994 |
| 設置位置/場址名稱 | 美國 SD、MO 及 CO 州 | Stuttgart | Aas | Pavia | Masaala |
| 場地尺寸大小(公尺) | 1750*2000 600*750 | 4800*7500 | 4500*6000 | 4500*6000 | 10000*10000 |
| 校正比例尺/GSD | — | GSD 18、26cm | GSD 10~34cm | 1:5000、 1:8000、 1:18000 | GSD 4~50cm |
| 地面控制點形狀 | 圓形或十字形 | — | — | 正方形 | 圓形、正方形及三角形 |
| 地面控制點數量 | 50 個以上控制點及 25 個以上檢核點 | 200 個以上可供控制及檢核的地面點 | 51 個明確且永久性標誌 | 230 個人造物及 62 個自然點 | 44 個(大比例尺)、 12 個(中比例尺)、 23 個(小比例尺) |
| 運作機制 | 廠商繳交成果至 USGS | 政府機關可委託 | — | — | 由廠商自行委託 |
| 出具認證書/報告 | 有, 但不做合格與否判定, 僅作可達到的幾何精度等級評定 | — | — | — | 有, 依據空三作業成果評估幾何精度 |
| 參與認證組織 | 否 | 未來配合 EuroDAC ² 計畫發展。 | | | |
| 備 註 | 1. 設置地點除上述 3 處, 尚有 2 處評估中 2. 採儀器擁有者和製造商認證 3. 2011 宣布停止對於數位攝影機認證與校正服務 | | | | 1. 有可攜式校正標及灰度標設計 |

| |
|---|
| 參考文獻 美國： 1. DIQAP Implementation Plan 2010-07-28 2. In Situ Calibration Range Requirements V02 3. The USGS Plan for Quality Assurance of Digital Aerial Imagery 德國： 1. The EuroSDR Approach on Digital Airborne Camera Calibration and Certification 挪威： 1. The EuroSDR Performance Test for Digital Aerial Camera Systems 義大利： 1. Experiences in GPS/IMU Calibration Rigorous and Independent Cross-Validation of Results 芬蘭： Calibrating Digital Photogrammetric Airborne Imaging Systems in A Test Field |
|---|

表 3-12、各國航測攝影機校正場資訊表 2

| 項 目 | 國 家 | | | |
|------------|--|--|--------------|----------------------------|
| | 中 國 | 日 本 | 中 華 民 國 | |
| 提出機關/學校 | 武漢大學 | 社團法人日本攝影測量學會 | NSPO | AFASI |
| 校正感應器機種 | ADS40、DMC、ALS50 | 無限制 | 福衛二號 | ADS40、DMC |
| 校正項目 | 幾何精度 | 幾何精度 | 輻射校正 | 幾何精度 |
| 建置年代(西元年) | 2007 | 2002 | 2004 | 2006 |
| 設置位置/場址名稱 | 河南省嵩山附近 | 神奈川縣松田町附近 | 馬公機場 | 彰化縣鹿港鎮 |
| 場地尺寸大小(公尺) | 3000*3000 5000*5000 8000*8000 | 1500*3000 | 60*60 | 10000* 10000 |
| 校正比例尺/GSD | GSD 6~30cm | — | — | — |
| 地面控制點形狀 | 正方形 | 圓形 | 正方形 | 十字形 |
| 地面控制點數量 | 214 個永久性地面控制點 | 64 個 | — | 40 多個 |
| 運作機制 | 尚未實際運作 | 僅提供場地，不負責認證 | 未對外營運 | 未對外營運 |
| 出具認證書/報告 | — | 2013 年於該機構參訪表示不 出具正式報告書 | 否 | 否 |
| 參與認證組織 | — | 否 | 否 | 否 |
| 備 註 | 1. 人造衛星綜合試驗場，範圍 1000 平方公里 2. 標石尺寸有 0.4 及 1.0 公尺 | 1. 鄰近有滑翔翼與飛行傘等飛行休閒遊憩區 2. 控制點直徑 60 公分鐵板或油漆 | 校正場僅供衛星輻射校正用 | 1. 校正場僅供率定或測試用 2. 未特別維護 |
| 參考文獻 | 中國大陸： 1. 航空几何定标场建设技术研究 | | | |

- 日本：
1.航空機搭載センサーの精度検証用テストフィールド
- 國內：
1.財團法人國家實驗研究院國家太空中心(NSPO)
2.行政院農業委員會林務局農林航空測量所(AFASI)

表 3-13、各國空載光達率定場資訊表 1

| 國名 項目 | 美國 | | 加拿大 | 荷蘭 |
|--|--|--|--|---|
| 提出機關/學校 | 美國俄亥俄州交通局 | | Calgary 大學 | ITC |
| 提出年代(西元年) | 2008 | 2006 | 2010 | 2008 |
| 儀器設備 | Optech ALTM 30/70 | Optech ALTM 30/70 | Optech ALTM 2050 | FLI- MAP400 |
| 校正項目 | roll、pitch、 heading、 Scale、 Elevation | 利用校正標 進行點雲的 水平與高程 經度探討 | 利用 Simplified method 與 Quasi-rigorous method 方法進行視 準率定 | 利用屋脊線進行 精度評估 |
| 場地特性 | 俄亥俄州麥 迪遜市，筆 直道路、大 型倉庫與工 廠和一般住 宅 | 俄亥俄州的 Ashtabula 的 23 公里長筆 直道路 | Simplified method： 需在平坦地形進 行，Quasi-rigorous method：無地形限制 | Brabant 的 Dutch national elevation model (AHN)， province of Zeeland 的高程模 型，city of Enschede 的高程 模型 |
| 場地大小 | 0.3 平方公 里 | 長度 23 公里 的道路 | — | Brabant：16 條航 帶，Zeeland：9 條 航帶，Enschede： 15 條航帶 |
| <p>參考文獻</p> <p>美國：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.An Approach to Optimize Reference Ground Control Requirements for Estimating LiDAR/IMU Bore-sight Misalignment 2.Spatial Distribution Requirements of Reference Ground Control for Estimating LiDAR/INS Bore-sight Misalignment 3.Improvement of LiDAR Data Accuracy Using LiDAR Specific Ground Targets 4.Precision LiDAR Mapping of Transportation Corridors Using LiDAR-Specific Ground Targets <p>加拿大：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Alternative Methodologies for LiDAR System Calibration <p>荷蘭：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Analysis of Planimetric Accuracy of Airborne Laser Scanning Surveys | | | | |

表 3-14、各國空載光達率定場資訊表 2

| 國名 項目 | 瑞士 | 芬蘭 | 中華民國 | | |
|---|---|---|----------------------------|------------------------------------|--------------------|
| 提出機關/學校 | EPFL | FGI | 群立科技 | 中興測量 | 自強工程顧問 |
| 提出年代(西元年) | 2007 | 2006 | 2010 | 2007 | 2013 |
| 儀器設備 | Optech ALTM3100, Leica ALS 50, Riegl LMS Q240-x | Optech ALTM 3100 | Leica ALS60 | Optech ALTM 30/70 | Riegl LMS-Q 680(i) |
| 校正項目 | roll、pitch、heading | Intensity values | roll、pitch、heading、torsion | roll、pitch、heading、Scale、Elevation | roll、pitch、heading |
| 場地特性 | 於城市中,且具有較大的屋頂,並且具有不同方向與傾角 | 採用芬蘭的 Sjokulla 測試場, 輻射灰度標的反射率分別為 5%、10%、20%、25%、30%、45%、50% 和 70% | 臺中港工業區,地形平坦、有斜頂建築、裸露地 | 彰濱工業區,有斜頂建築、筆直道路 | 苗栗縣苗栗市街道 |
| 場地大小 | — | — | 4.75 平方公里 | 4 平方公里 | — |
| <p>參考文獻</p> <p>瑞士： 1.Towards Automated LiDAR Boresight Self-Calibration</p> <p>芬蘭： Calibration of the Optech Altm 3100 Laser Scanner Intensity Data Using Brightness Targets</p> <p>國內： 1.地調所莫拉克災區 LiDAR 高解析度數值地形製作(1/3)-空載光達掃瞄儀率定報告書 2.大臺北地區特殊地質災害調查與監測-高精度空載雷射掃瞄(LIDAR)地形測製與構造地形分析(3/3)-ALTM30/70 率定作業 3.Operating Instructions for RIEGL Laser Instruments</p> | | | | | |



肆、辦理航遙測感應器校正方案評估

一、發展目標

依據第參章所述，分析後可知美國地質調查所(USGS)提出的美國聯邦「數位航空影像品質保障計畫」較為完整，其提出保障影像品質必須同時兼顧四個面向，分別為：(1)攝影機生產廠商的調查及攝影機型別認證、(2)拍攝機構執行航拍能力及產品品質的認證、(3)有效的影像購置或拍攝規範、(4)每個航拍影像成果的檢核方法及工具開發。該計畫的特點是由攝影機生產廠商支付費用，由美國地質調查所聘請的專家們親赴攝影機生產廠商調查分析其某型攝影機生產過程及成果是否如同廠商所宣稱。一旦某型別攝影機型別經過認證後，基本上就可在美國執行航拍。美國地質調查所並不判定某型別是否合於某種精度航測之用，只認證該型攝影機是否達到如同廠商宣稱品質，亦即低品質之攝影機也可通過認證。至於經認證過的型別其個別單獨售出的攝影機是否能生產出如廠商所宣稱的品質產品，則交由航拍廠商自行利用美國地質調查所校正場去舉證。舉證的方法則是航拍業者自行前往美國地質調查所設置的校正場盡最大的努力拍攝出最好的成果提交美國地質調查所認證。提交的成果包含檢核點坐標以及正射影像。

而歐盟的機制則是對個別攝影機進行校正，其作法是每一臺在歐洲使用的攝影機應自行前往校正場依據規範拍攝影像，交由客觀的第三者進行量測分析後出具校正報告。某攝影機雖經校正通過後，以後是否由合格的人員執行正確的操作以及是否能轉換出合格的成果等問題，則非校正場的責任。

日本的作法也是由攝影機擁有者自行前往日本航測學會所設的校正場拍攝，但是校正的工作是攝影機擁有者自行執行。換言之業者



必須憑自行負擔所有責任，如有作假則並無第三方來進行檢核。

美國的作法在我國並不可行，第一是我國目前由於攝影機廠牌分歧，每種型別數量卻很少，不可能要求廠商支付我國專家前往攝影機生產場所進行調查認證。第二是如果舉證的責任是交給廠商自行量測及製作正射影像成果送審，而做為比對用的標準檢核點坐標及標準正射影像卻都是已知的公開資料，很難避免廠商作假。

由於目前攝影機生產廠商大多在歐洲，所以歐洲常見的作法為要求廠商於攝影機出廠時都自行前往歐洲的校正場拍攝，但是在我國則無法要求攝影機生產廠商來臺申請校正。

因此與攝影機擁有者、執行航拍的航空公司以及國外攝影機代理商等相關單位於 100 年進行訪談後，提出方案為比照美國「數位航空影像品質保障計畫」四個面向中的第二個，要求攝影機擁有者前往國家校正場拍攝，但是校正及認證制度則比照歐洲交由獨立的第三者來執行。如此不但對攝影機本身進行校正，也順便對拍攝者的能力進行或多或少的確認。

二、國內發展航遙測感應器校正評估與規劃

(一)航測攝影機

傳統底片式航測攝影機出廠後需要校正的機率甚低，在業界的習慣是當某型攝影機經過某些使用者校正確認無誤後，其他使用者往往就以出廠校正報告為使用依據（稱為型別認證；Type certificate），除非遭遇碰撞或水浸等意外事件，或是使用者由空中三角測量成果中察覺有異狀，否則很少再進行校正。

當今使用的數位航測攝影機所用的電子設備大部分係市面上現成的元件，並非專門為航測目的而製造者，其來源非常分歧，使得一般使用者並無能力追溯其源頭品質。而其成像原理更是遠較底片式攝



影機為複雜，一般使用者根本無法瞭解，只能相信生產廠商的出廠報告，但是生產廠商或設備擁有本身卻往往並未經任何公正的第三方面再加以認證。有時同廠牌的不同型號產品之間的差異也很大，同一廠牌的另一型產品，其內方位的參數品質有時也會完全不同。還有一點與傳統機械式攝影機不同的是數位航測攝影機採用的電子零件都是日新月異，幾乎沒有機會經過長時期使用測試，到底由它們組裝而成的系統隨著時間產生的衰退如何，連生產廠商自己都不知道，常見的情形是某型的產品出廠才二、三年，還沒有機會經過時間考驗，裡面使用的電子零件就已經被更新的產品淘汰了。由第三章文獻所述可知，自 2000 年起美國航測及遙測學會即對美國政府提出建議，應該建立對數位航測攝影機建立校正的機制，經過十年的研究及階段性試驗，終於在 2010 年由美國地質調查所(美國聯邦測繪主管機構)正式提出校正運作建議。而 2004 年起歐盟也開始對數位攝影機校正的問題進行研究，經過三年的研究，在 2007 年決定要建立一個歐洲普遍適用的校正及認證機制(Cramer, 2009)。初期僅以幾何校正為目標，但是在研究中發現輻射校正的需求以及困難，所以至今還在陸續針對如何進行輻射校正作研究。此外也同時針對校正場是否應參與國際認證以及參與何種認證的問題等進行研究，所以至今尚未全面正式開始實施校正運作。

由此看來本國建立航測攝影機校正機制為勢在必行，除了順應國際趨勢外，並落實國土測繪法規定。從前述文獻可知，目前國際間雖已開始發展相關設備校正機制，但尚無任何國家由政府單位對於設備本身及其成果進行強制校正並出具校正報告書。規劃航測攝影機校正制度，等同於走在其它國家之前，並由政府機構出面辦理校正，除符合現代化測繪管理的精神，亦為測繪行業解決品質檢核的問題，建置的經驗也可供其它國家參考。統整各方意見後，決定本計畫以研究發展航測攝影機校正制度為主，於執行期間實際建置野外校正場地(In-Situ Calibration)，而校正項目則包含航測攝影機之：(1)影像幾



何精度、(2)影像空間解析力、以及(3)影像輻射特性項目。

(二)空載光達系統

空載光達校正目標係針對廠商所使用、且已完成各項原廠要求必須執行之率定後之系統，用於實際測量時，所能達到的精度為何。亦即本校正之目的不在為廠商解決 IMU/GPS 與掃瞄器間的安置問題，即不進行視準率定 (Boresight Calibration)，而僅在評估待校件所得到的最終成果品質如何。至於經本場校正而發現之誤差來源及如何解決等，為送校廠商之責任，非本校正作業規劃之任務，本場不對儀器做任何參數改正。

參考俄亥俄大學所設計空載光達校正方式，提出之校正標尺寸相當龐大，實際製作有困難，經討論後提出以既有平頂建物代替特製之校正標來進行平面與高程精度校正測試。研究初期僅在驗證方法的可行性，數據來源不限定為校正場掃瞄所得，因此暫先以現成點雲資料進行可行性研究。若研究後證明所設計方法可行的話，即可於所設計之航測攝影機校正場選擇合適之地物作為校正之用。

(三)其他航遙測感應器

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



果的品質。經評估後認為此項目校正研究亦有其必要性，因此規劃待航測攝影機校正場建置完成後，亦對中、小像幅攝影機及 UAV 校正工作進行相關評估，評估成果將可作為未來發展相關校正工作參考之依據。

三、航測攝影機校正場初步規格設計

(一)場地尺寸及形狀

依理想情形設計場地尺寸矩形之長邊應達 2,000 公尺以上，短邊應達 1,750 公尺以上；場地內再劃分一小的矩形校正場供低空飛行之校正用，邊長分別為 750 公尺及 600 公尺；大區係供較高航高校正之用（GSD>20 公分），小區（圖 4-1 斜線標示區域）係供較低航高校正之用（GSD>5 公分）。以目前臺灣現有攝影機而言，基本上校正航拍時只要對向飛行南北向各一條及與其正交的對向東西向各一條航線，即可達到統計檢定需要的足夠可靠度，且飛行時間預估 10 分鐘內，無論由臺灣任意機場起飛都可輕易在一個架次內完成校正攝影。

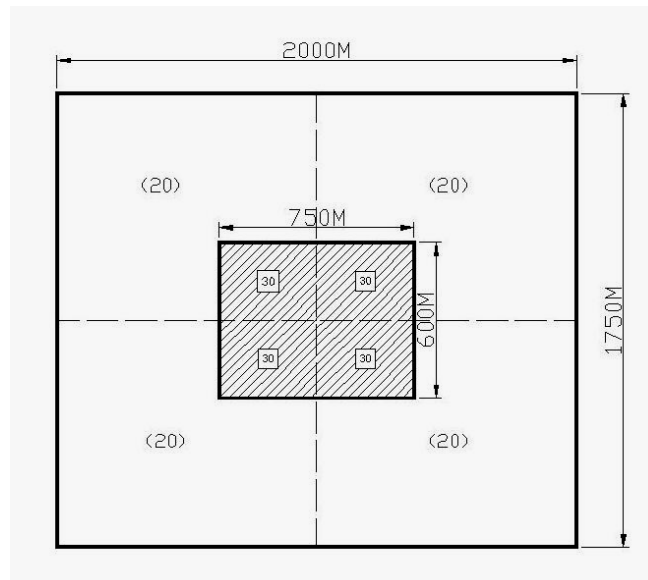


圖 4-1、校正場地設計平面圖(括弧內數字為初期規劃之點數)

在控制點(含檢核點)數目方面，以美國地質調查所頒布的校正場設置規範為例，最少只要有 50 個控制點即可；本計畫初期以實驗性



質為主，因此提高控制點數目達 150~200 個，日後視需要再酌予降低控制點數目。同時亦參照美國地質調查所打算對校正場進行高精度正射影像製作，以影像特徵校正區塊方式取代傳統的布標做為檢核點進行測試。

(二)幾何校正標樣式

幾何校正標即為一般所謂地面控制點及地面檢核點，參考中國大陸設置之校正標，並考量本場校正目標訂為地面解析度為 5 公分~25 公分，故採用的形狀為邊長 1 公尺的黑白相間正方形(如圖 4-2)，正方形的中心貼上鋼標。幾何校正標之材質可為合板、水泥、尼龍布 (Polyvinyl Chloride，簡稱 PVC)或其他合適之材質，依據選定點位的環境而定，表面塗料以油漆為主。

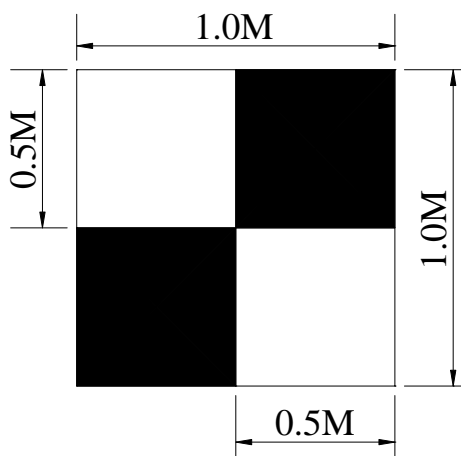


圖 4-2、幾何校正標布標型式

校正場內實際布設 183 個幾何校正標，目標使單一像幅即可涵蓋足夠數量的點位，將校正飛行的時間縮到最短。如未來因為場地使用權取得困難造成尺寸及點數不如理想，則再酌予減少。控制點及檢核點施測時，精度應優於 2 公分。



(三) 解析力校正標樣式

參考美國之經驗(USGS, 2008)，解析力校正標採用可攜式改良之西門子星 (Siemens star)，黑底白標，其尺寸大小如圖 4-3 所示。美國原設計者為一個星分解為四個象限，以便能檢核出平行及垂直飛行方向解析力的差異，但是由於本場設計的校正飛行採南北及東西向正交對向飛行，因此可以設計成 1/4 的星即一個象限即足夠，使能夠出現在所有不同飛行方向的影像上。為了能符合不同的地面解析度需要，比照美國地質調查所的方式設計了二種扇形寬度。

解析力校正標之材質採用帆布或尼龍布為基底材質，其表面塗料以油漆為主，布標時選擇校正場內一處平坦地，將校正標水平的固定於地面上，待使用完畢再將其拆除。

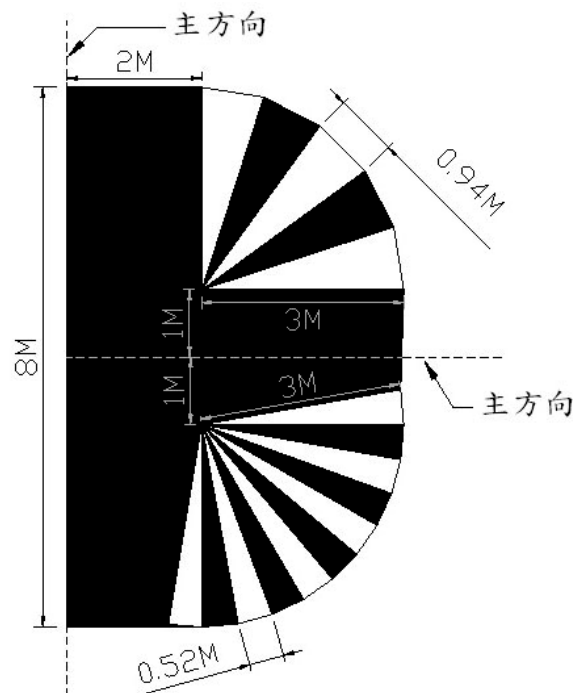


圖 4-3、解析力校正標樣式(改良式西門子星標)

(四) 輻射校正標樣式

因絕對輻射校正係由攝影機製造廠商於室內校正場實施，本場設定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。參考芬蘭之經驗，規劃設置一近似藍勃特 (Lambertian) 散射面的可攜式對空八階之灰度標，其尺寸大小如圖 4-4 所示。



圖 4-4、輻射校正標樣式

輻射校正標之材質設計採用尼龍布為基底材質，其表面塗料以油漆為主，布標時選擇校正場內一處平坦地，將校正標攤開並水平的固定於地面上，待校正飛行結束後再將其拆除。

此校正標均事先以光譜計精確量測其波譜反應強度做為計算相對強度比值的標準。由於測繪用影像輻射校正的目的主要在為正射影像提供最基本品質判斷的標準，而正射影像製作時本來就還要再對色調及色彩加以調整，並不會完全拷貝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要求不必很高，只要能達到驗證其與原廠宣稱的數據相符而且可以用為正射影像製作即可。

四、航測攝影機校正項目及方法設計

初步設計之校正項目如表 4-1 所示，分別為航測攝影機之幾何校正、空間解析力校正，而輻射特性項目則包含輻射線性度及多譜波段間相對反應強度。

表 4-1、校正項目說明

| 項目 | 校正項目 | 性能說明 | 校正方法 |
|----|------|---|--|
| 1 | 幾何校正 | 地元尺寸 (ground sampling distance , GSD) 5 至 25 公分的航拍影像。 | 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。 |



| 項目 | 校正項目 | 性能說明 | 校正方法 |
|----|--------------|---|--|
| 2 | 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 | 輻射線性度校正 | 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。 |
| 4 | 多譜波段相對反應強度校正 | 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。 |

(一) 幾何校正

校正目的僅在確認航測攝影機所拍得影像其整體幾何精度(幾何畸變程度)如何，並不對內方位元素個別做校正。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。

實際辦理校正作業時，有以下各項必須注意：

- 1、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。

- 2、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需以 TWD97 及 TWD97 [2010] 二個坐標系聯測。
- 3、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。所規劃校正航拍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。
- 4、各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。

(二)空間解析力校正

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：

1.MTF 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，要求該函數在每毫米 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。

2. 以推估點散函數 (point spread function, PSF) 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 (Gonzalez 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} 。

(三) 輻射線性度校正

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。

(四)多譜波段間相對反應強度校正

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峯值即可。量測峯值後，將各個波段峯值與原廠校正書內峯值相除所得的商值，其最大者與最小者之間的差異應在一定的百分比以內。



伍、航測攝影機校正場設計與建立

一、選址與場地設計

目前各類型航遙測感應器於原廠出廠時，原廠均在實驗室內進行率定校正，並提出出廠率定報告書，因此，本計畫並不考慮建置室內校正場，僅為室外校正場之規劃設計，但實驗室內環境皆為可控制，不若室外環境變化之複雜。

本計畫於 100 年時舉辦校正場選擇評估因素專家學者研商會議，共 30 多位專家學者與會，會中就多項考量因素進行討論，並提出多處場址建議。以下將說明各場址環境分析與最後選址考量。

(一)校正場址綜合評量分析

野外校正場需審慎考量外在環境影響，因此需就建置場址所需考量之因素進行全面評估。有關影響航測攝影機校正場址選擇之評估因素，依優先順序排列：飛行方便性(飛航管制、起降機場距離)、控制點測量及維護(交通狀況、門禁)、場地尺寸及形狀(場地使用、土地使用權)、與全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System，簡稱 GNSS)永久追蹤站的距離、地形起伏(至少起伏 100 公尺)、天候(雲霧遮蔽日數、氣象站距離)等。

由於考量布標位置使用權取得的便利性，故初步選擇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為原則，選出的場址有宜蘭縣龍德工業區、新竹市新竹科學園區、新竹縣工業技術研究院、臺中市臺中港區、臺中市鐵砧山、臺中市大坑、彰化縣彰濱工業區、彰化縣鹿港鎮、南投縣南崗工業區等，詳細條件內容如表 5-1 所示。



表 5-1、航測攝影機系統校正場綜合考量分析因素表

| 項次 | 項目 | 縣市 | 宜蘭縣 | 新竹市 | 新竹縣 | 臺中市 | 臺中市 | 臺中市 | 彰化縣 | 彰化縣 | 南投縣 |
|-----|-------------------|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 場址 條件 | 龍德工 業區 | 竹科 | 工研院 | 臺中港 | 鐵砧山 | 大坑 | 彰濱 | 鹿港 | 南崗 |
| 1 | 飛行 管制 | 無管制 | • | • | • | • | | | • | • | • |
| | | 不定時管制 | | | | | | • | • | | |
| | | 經常管制 | | | | | | | | | |
| | 起降機 場距離 (A) | 機場名稱 距離 | 松山 61km | 松山 63km | 松山 61km | 臺中 10km | 臺中 10km | 臺中 30km | 臺中 30km | 臺中 30km | 臺中 37km |
| | | 20km 以下 | | | | • | • | | | | |
| | | $20\text{km} \leq A < 60\text{km}$ | | | | | | • | • | • | • |
| | 60 km 以上 | • | • | • | | | | | | | |
| 2 | 交通 狀況 | 全程車輛可 達 | • | • | • | • | • | | • | • | • |
| | | 部分車輛可 達部分步行 | | | | | | • | | | |
| | | 全程步行 | | | | | | | | | |
| | | 無法抵達 | | | | | | | | | |
| | 門禁 | 容易進入 | • | • | | | | • | | | |
| | | 可以進入 | | | • | • | | • | • | • | • |
| 難進入 | | | | | | | | | | | |
| 3 | 場地 使用 | 容易使用 | • | • | • | | | | • | • | |
| | | 可使用 | | | | | | | | | |
| | | 不易使用 | | | | • | • | • | | • | |
| | 土地 使用權 | 容易取得 | • | • | • | | | | • | • | |
| | | 可取得 | | | | | | | | | |
| | | 不易取得 | | | | • | • | • | | • | |



| 項次 | 項目 | 縣市 | 宜蘭縣 | 新竹市 | 新竹縣 | 臺中市 | 臺中市 | 臺中市 | 彰化縣 | 彰化縣 | 南投縣 | |
|----------------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 場址 條件 | 龍德工 業區 | 竹科 | 工研院 | 臺中港 | 鐵砧山 | 大坑 | 彰濱 | 鹿港 | 南崗 | |
| 4 | 與 GNSS 永 久追蹤站的 距離(C) | 站名距離 | SUAO 9km | HCHM 1km | TNML 6km | TACH 6km | TACH 11.5km | FCU1 20km | VR01 12km | VR01 9km | CAOT 6km | |
| | | $C < 10\text{km}$ | • | • | • | • | | | | • | • | |
| | | $10\text{km} \leq C < 30\text{km}$ | | | | | • | • | • | | | |
| | | $C \geq 30\text{km}$ | | | | | | | | | | |
| 5 | 地形起伏 (D) | 實際高程範圍 | 4~ 5m | 59~ 130m | 95~ 130m | 4~ 5m | 21~ 155m | 35~ 860m | 4~ 5m | 0~ 14m | 95~ 275m | |
| | | 高程差 | 1m | 71m | 35m | 1m | 134m | 825m | 1m | 14m | 180m | |
| | | $D < 50\text{m}$ | • | | • | • | | | • | • | | |
| | | $50\text{m} \leq D < 100\text{m}$ | | • | | | | | | | | |
| | | $D \geq 100\text{m}$ | | | | | • | • | | | • | |
| 6 | 天 候 | 雲霧遮 蔽日數 (E) | 實際天數 | 213 天 | 130 天 | 130 天 | 105 天 | 105 天 | 131 天 | 105 天 | 105 天 | 150 天 |
| | | | $E < 100$ 天 | | | | | | | | | |
| | | | $100 \text{天} \leq E < 150 \text{天}$ | | • | • | • | • | • | • | • | |
| | | | $150 \text{天} \leq E < 200 \text{天}$ | | | | | | | | | • |
| | | $E \geq 200$ 天 | • | | | | | | | | | |
| | 天 候 | 氣象站 距離 (B) | 站名距離 | 蘇澳 6km | 新竹 6km | 新竹 8km | 梧棲 3km | 梧棲 15km | 臺中 20km | 梧棲 27km | 梧棲 25km | 日月潭 26km |
| | | | $0\text{km} \leq B < 10\text{km}$ | • | • | • | • | | | | | |
| | | | $10\text{km} \leq B < 20\text{km}$ | | | | | • | | | | |
| $B \geq 20\text{km}$ | | | | | | | | • | • | • | • | |



就飛航方便性而言，鐵砧山為航道區，不適建置校正場。就交通而言，宜蘭縣龍德工業區，因位於東部，使用上容易造成不便。就土地使用權，臺中港區、鐵砧山、大坑及鹿港較不易取得。

排除上述可能設場困難的地點，篩選後的場址計有：新竹市新竹科學園區、彰化縣彰濱工業區及南投縣南崗工業區。以下將對此三場址所在地之地理及氣象特性做更進一步分析說明。

新竹區：

新竹科學園區地區(包含國立交通大學校區)：位於新竹市區，高程在 59 ~ 130 公尺之間，其地形剖面圖如圖 5-2，各剖面位置分別為圖 5-1 中 A1-A2、B1-B2、C1-C2 線段所在位置，圖中黃色與紅色框分別為航測與空載光達校正場之範圍，此區域中，以國立交通大學校區地形起伏較為平緩。由相距 6 公里的新竹氣象站氣象資料可知(如表 5-2)，1992 ~ 2010 年每月平均雲量除 9 月與 10 月為 5，其餘都大於 6(氣象學上將天空劃分為 10 等分，以人工觀測天空總雲量佔全天空幾等分，以該等分數為雲量之數值)。2010 年每月平均日照時數約 150 小時，每月平均降雨日數為 11 日。最近之全球定位系統連續追蹤站為 TNML，相距 6 公里。無飛航管制。

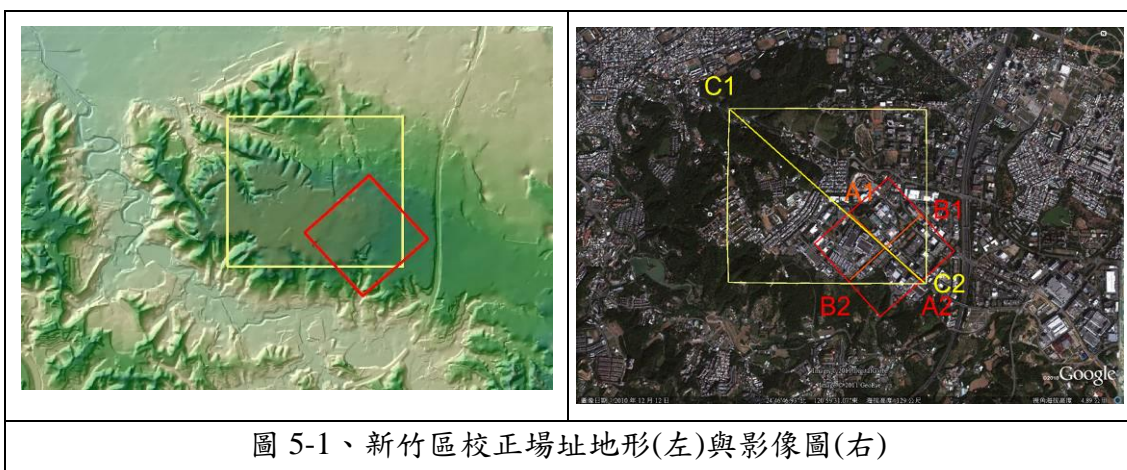


圖 5-1、新竹區校正場址地形(左)與影像圖(右)

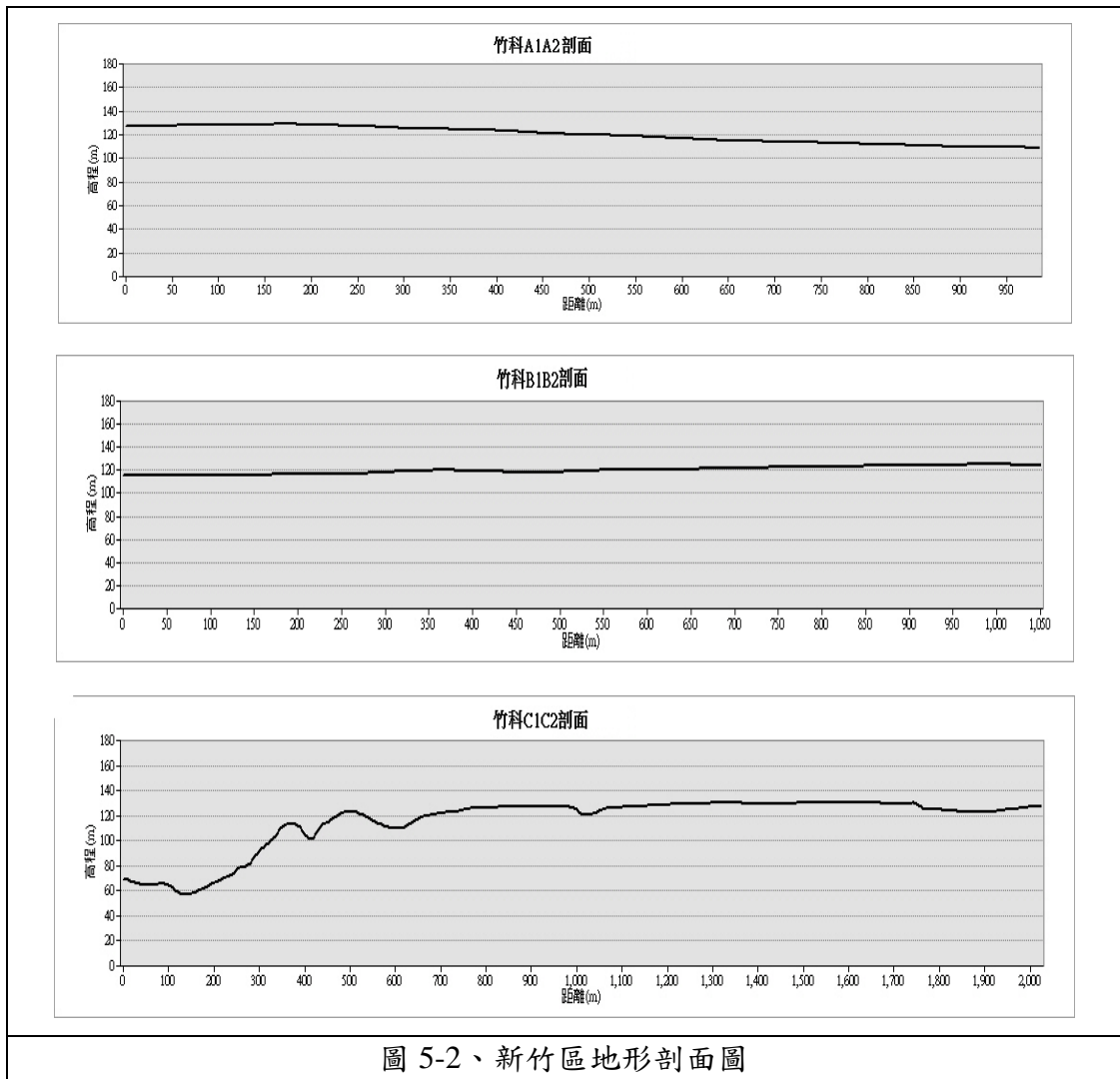


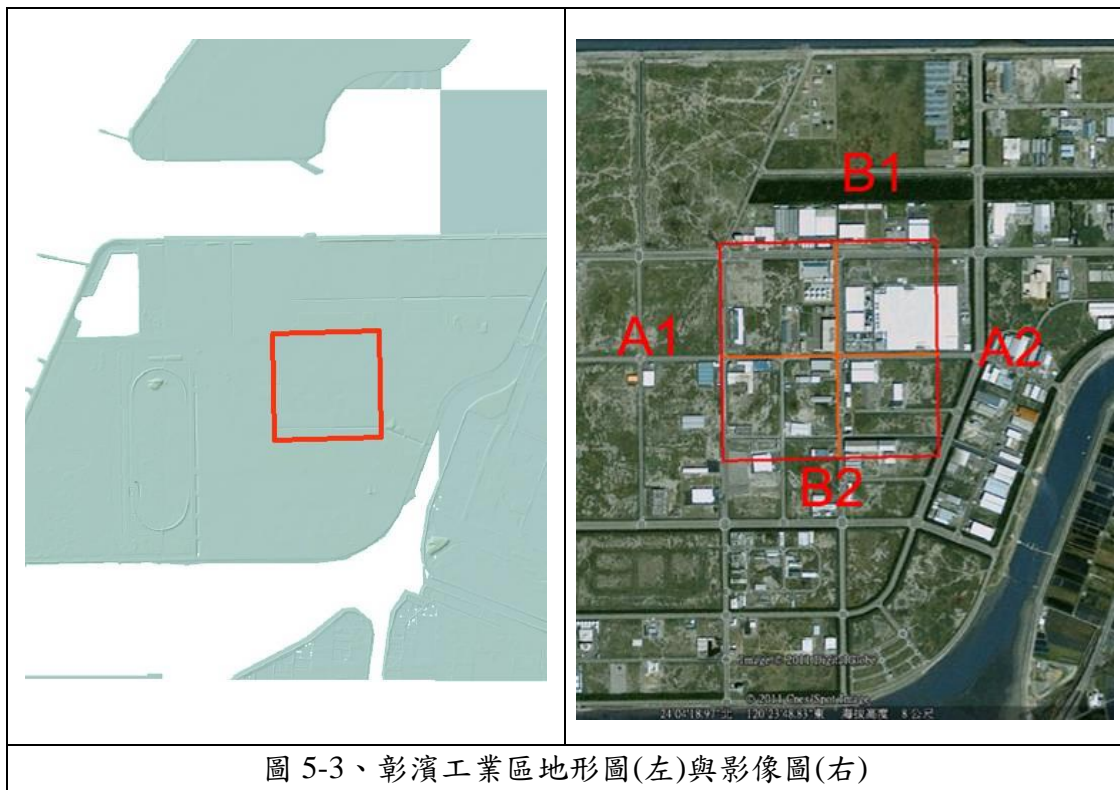
表 5-2、新竹氣象站氣象資料

| | 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 |
|------|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 雲量 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 1992-2010 |
| 日照時數 | 121 | 75 | 131 | 84 | 136 | 118 | 250 | 240 | 207 | 130 | 132 | 177 | 150 | 2010 |
| 降雨日數 | 11 | 15 | 7 | 18 | 13 | 15 | 6 | 9 | 10 | 11 | 9 | 6 | 11 | 2010 |



彰化區：

彰濱工業區：位於彰化縣鹿港鎮邊緣上，剖面位置分別為圖 5-3 中 A1-A2 與 B1-B2 線段所在位置，高程變化不大，高程介於 4~5 公尺，其地形剖面圖如圖 5-4。由相距 27 公里之梧棲氣象站之氣象資料可知(如表 5-3)，2010 年整年每月平均日照 171 小時，10、11、12 月降雨天數少，雲量低，日照時數高。最近之全球定位系統連續追蹤站為 VR01，相距 12 公里。



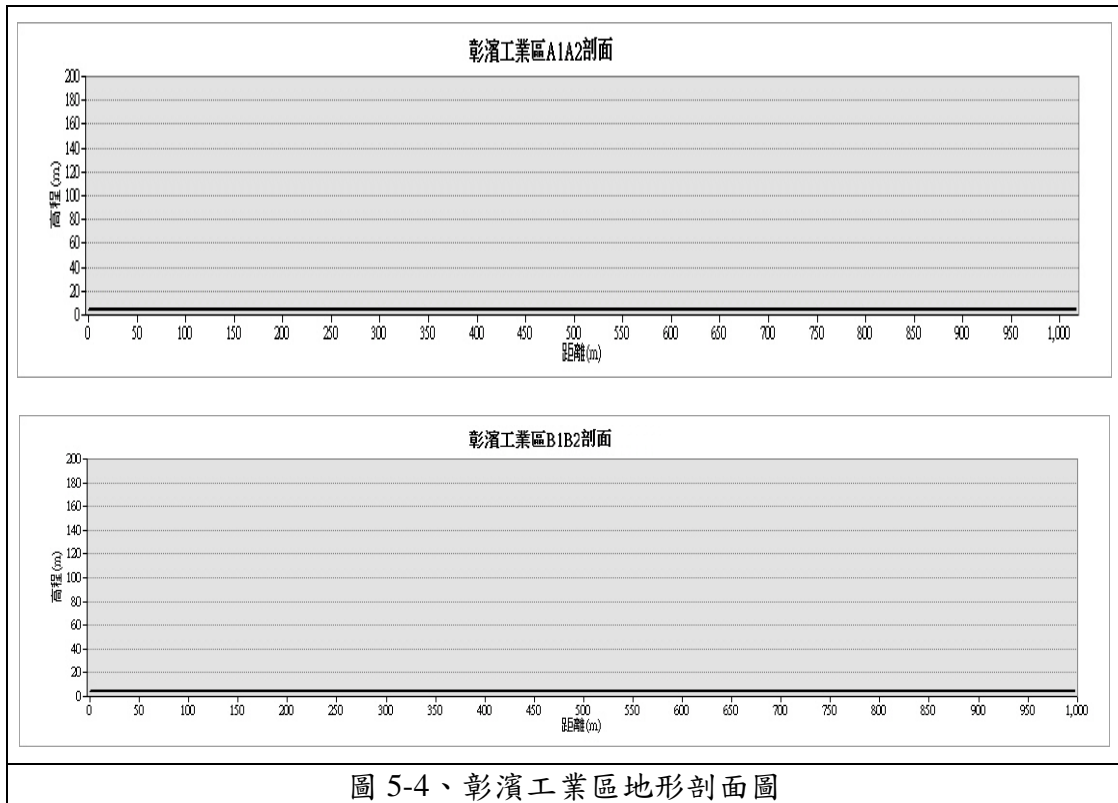


表 5-3、梧棲氣象站氣象資料

| | 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 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 雲量 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 6 | 5 | 4 | 5 | 5 | 6 | 1981-2010 |
| 日照時數 | 133 | 105 | 169 | 121 | 154 | 132 | 242 | 229 | 208 | 184 | 165 | 215 | 171 | 2010 |
| 降雨日數 | 9 | 12 | 3 | 13 | 11 | 17 | 6 | 9 | 13 | 4 | 6 | 2 | 9 | 2010 |

南投區：

南崗工業區南崗工業區位於南投市，高程在 95 ~ 275 公尺之間，其地形剖面圖如圖 5-6，各剖面位置分別為圖 5-5 中 A1-A2、B1-B2 與 C1-C2 線段所在位置，圖中黃色與紅色框分別為航測與空載光達校正場之範圍。由相距 26 公里的日月潭氣象站氣象資料可知(如表 5-4)，1992 ~ 2010 年每月平均雲量除 12 月為 5，其餘都大於 6。2010



年每月平均日照時數約 132 小時，每月平均降雨日數為 13 日。最近之全球定位系統連續追蹤站為 CAOT，相距 6 公里。無飛航管制。

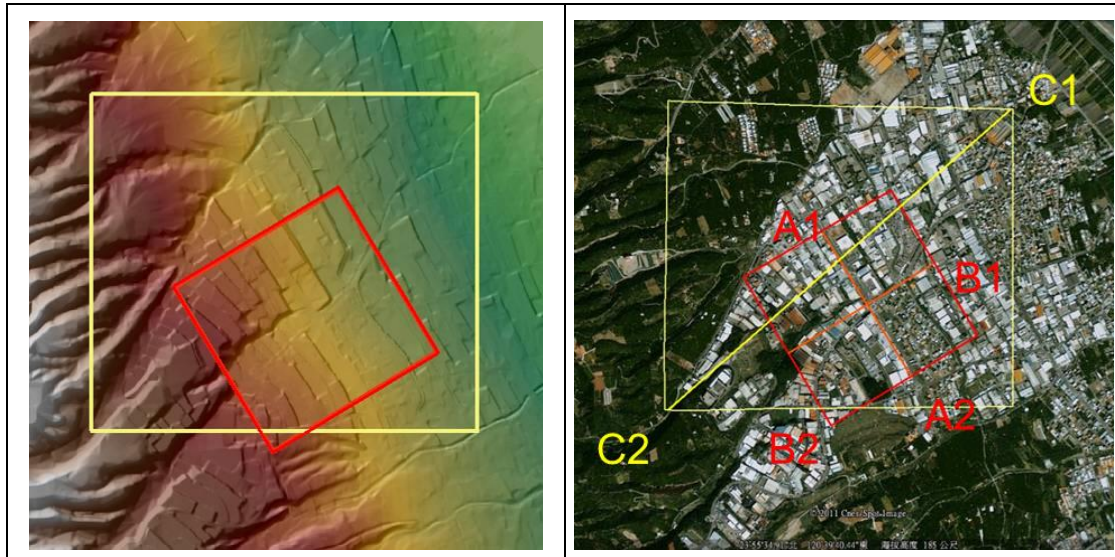


圖 5-5、南投區地形圖(左)與影像圖(右)

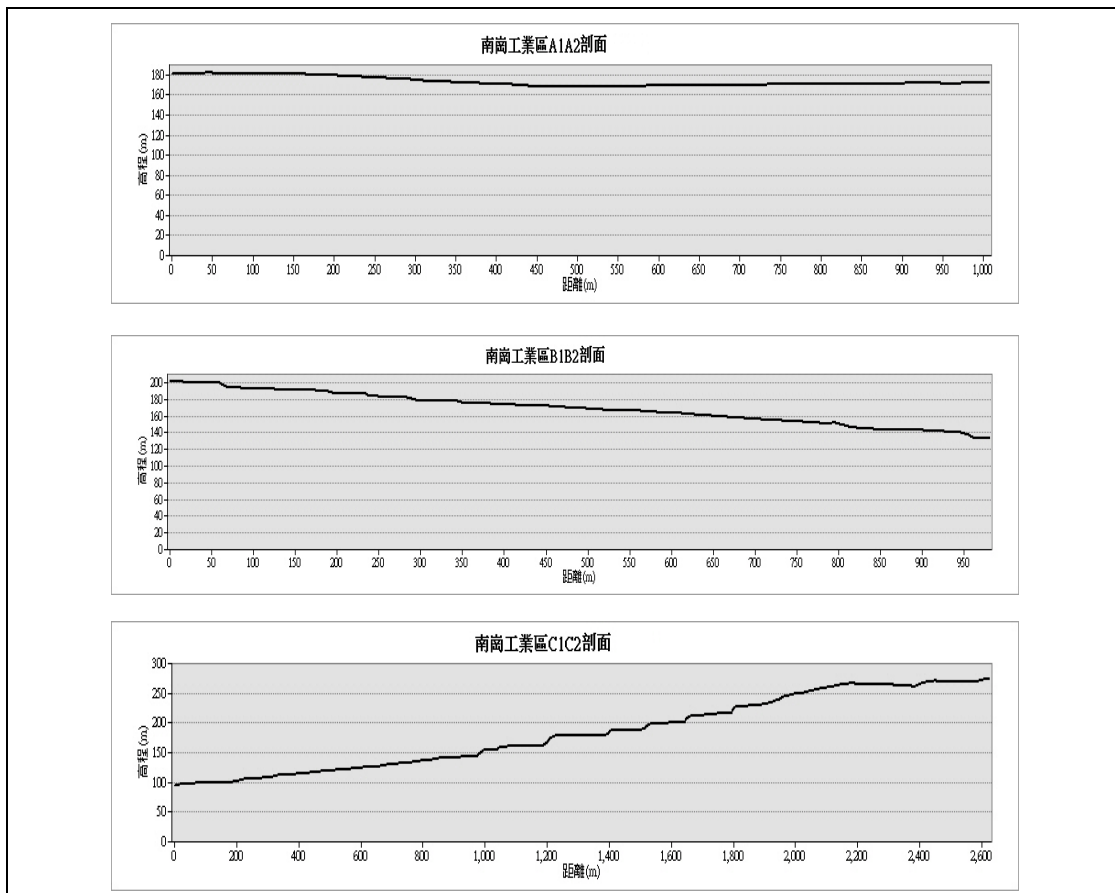


圖 5-6、南投區地形剖面圖



表 5-4、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 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----------|
| 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 |

(二) 航測攝影機校正選址

由上述資料顯示，就與全球導航衛星系統永久追蹤站的距離而言，新竹科學園區(1 公里)為最近，其次為南崗工業區(6 公里)、工業技術研究院(6 公里)、臺中港區(6 公里)。就地形高差而言，南崗工業區(高差 180 公尺)為第 1，鐵砧山(高差 134 公尺)為第 2，新竹科學園區(高差 71 公尺)為第 3。就天候因素，臺中氣候較佳，臺灣北部尤其是新竹區，冬天風力強、氣流不穩，航線不易精準控制，不適合航拍。就空氣品質因素，校正場選擇評估因素專家學者會議會中學者意見表示考量大氣輻射校正，外島或離島環境較佳，但交通不便，臺灣本島則以南投市南崗工業區環境為最佳。經過考量專家會議結論以及研究團隊研商結果，最後提出以南投市南崗工業區為優先建議之航測攝影機校正場場址。

(三) 南投市南崗工業區場地規劃設計

依據校正場選擇評估因素專家學者會議會中結論，先行對南投地區場地進行規劃，以南崗工業區的範圍為優先考量，規劃設計長邊 2,000 公尺，短邊 1,750 公尺之場地。場地內劃分一小的矩形校正場供低空飛行之校正用，其邊長分別為 750 公尺及 600 公尺，並規劃布設 200 個地面幾何控制點，如圖 5-7 所示。

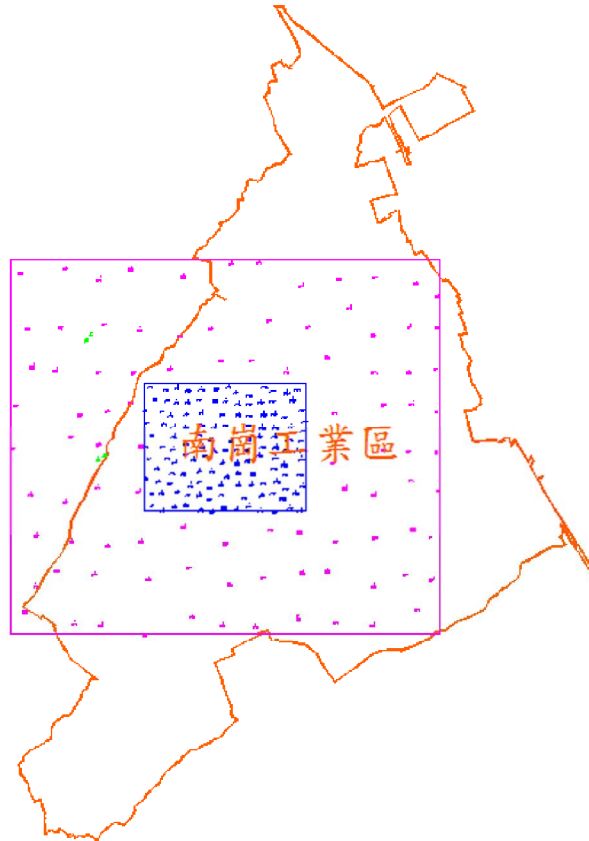


圖 5-7、南崗工業區場地規劃成果

地面控制點選擇完成後，原規劃召開校正作業場址所有權人說明會議，但是考量各業主出席意願可能不高，再加上要於短時間內協調出 80 多個單位的所有權人之大多數有相同時間可以會合在一起聆聽說明的困難度，因而未辦理。後續改以先行電話抽樣訪談，徵詢所有權人意見，部分單位因主管人員無法聯繫，或因多種因素，不便提供場地，所聯繫單位均婉拒設置校正標。

為了完成校正作業場址之設置，再度派遣人員，攜帶各點位正射影像、全區點位布設圖及相關證明文件，至南投縣南崗工業區服務中心拜訪該中心服務組尋求協助。服務組組長表示工業區支持國家政策，請國土測繪中心正式行文各欲布設校正標的公司，並告知南崗工業區服務中心，若遇執行有困難的公司，再由工業區服務中心派人陪同前往該公司解說，徵得所有權人同意。

會後並至南投縣政府、南投市公所及抽樣 24 家工業區內私人廠



商進行現場訪談，徵詢所有權人意見。其中公務部門皆無特殊意見，表示基本上不要有破壞行為(如：砍伐樹木、挖掘路面)，該單位皆會支持。部分私人公司行號有多種考量因素，如：屬甲種營業場所、公司商業機密、公司精密製程不容干擾、校正標設置時間過久、屋頂施工考慮公共安全等，婉拒設置校正標。部分私人公司行號有條件式允諾設置校正標，如：協助校正標周遭環境美化，避免校正標與公司原有景觀衝突，產生景觀不協調。

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。至 101 年經多次反覆連繫後，終徵得 17 間私人公司行號允諾可於公司所屬範圍內設置校正標，名單如表 5-5 所示。

表 5-5、同意設置校正標之公司行號清單

| 公司行號清單 | |
|--------|----------------------|
| 1 | 久仁製藥廠股份有限公司 |
| 2 | 台灣卜蜂企業股份有限公司 |
| 3 | 台灣裕昌國際股份有限公司 |
| 4 | 台灣銅箔股份有限公司 |
| 5 | 有郁實業股份有限公司 |
| 6 | 壯特實業股份有限公司 |
| 7 | 高鋒鋁業股份有限公司 |
| 8 | 喜瑋工業有限公司 |
| 9 | 惠民製藥股份有限公司 |
| 10 | 聖芳股份有限公司 |
| 11 | 精都工業股份有限公司(工廠為京鋒公司) |
| 12 | 劍麟股份有限公司(總公司在汐止科學園區) |
| 13 | 樹億興業股份有限公司 |
| 14 | 嘉里大榮物流股份有限公司 |
| 15 | 東亞國際股份有限公司 |
| 16 | 台勵福股份有限公司 |
| 17 | 瑞油有限公司 |

由於較大多數私人所有權人始終不同意於其土地上設置校正標，而為利於後續校正標設置作業，於布標條件容許情況之下，移動



校正標原有位置至鄰近公有地上(如：道路、人行道、公園等)。

二、校正標設置與 GPS 測量

(一)校正標選點

決定本場大小設置規劃，並完成聯繫布標相關工作後，於 101 年 5 月份便開始進行布標前的選點工作。校正標選點內容包括幾何校正標、解析力校正標、輻射校正標、影像特徵校正區塊位置選點。

1.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 (D_p) 依契約規定，以不低於 $D_p = \sqrt{[(D_x * D_y) / (2.5 * N)]}$ 公尺為原則 (D_p ：幾何校正標間距、 D_x ：校正場長、 D_y ：校正場寬。 D_p 、 D_x 、 D_y 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 200 處布設幾何校正標，經電話連繫取得土地所有權人同意，再經現場勘並再次就位置、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 5-6。

表 5-6、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 |

2. 解析力校正標選點原則

解析力校正標為可攜式而非永久固定式，布標位置較為彈性，故於場內選擇場地寬闊、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。

3. 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。



4. 影像特徵校正區塊選點原則

經過布標前的訪談工作，發現要在私人土地上布設控制點並油漆校正標困難度很高。替代方案是布標在道路上，其缺點是維護不易。另一種方案是參照美國地質調查所未來打算以正射影像建置影像控制區塊做為校正點的方式，以高精度及高解析度的航空攝影測量取得大量的自然地物點取代人工布標、測量的控制點做為校正點。

為測試此方法，研究團隊由美國地質調查所之構想進一步改良，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。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。

選點時考量須為可進入建物其頂樓平臺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。

(二)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，以下說明各式校正標之、規格、製作、設置及實際布設點位位置等項目。

1.幾何校正標

(1)規格

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。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，採標翼形狀為邊長 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 25 公分至 5 公分間的 GSD 之影像皆可使用。為使清楚定義點位位置，幾何校正標中心則需加設鋼標，幾何校正標設置後樣式如圖 5-8 所示。

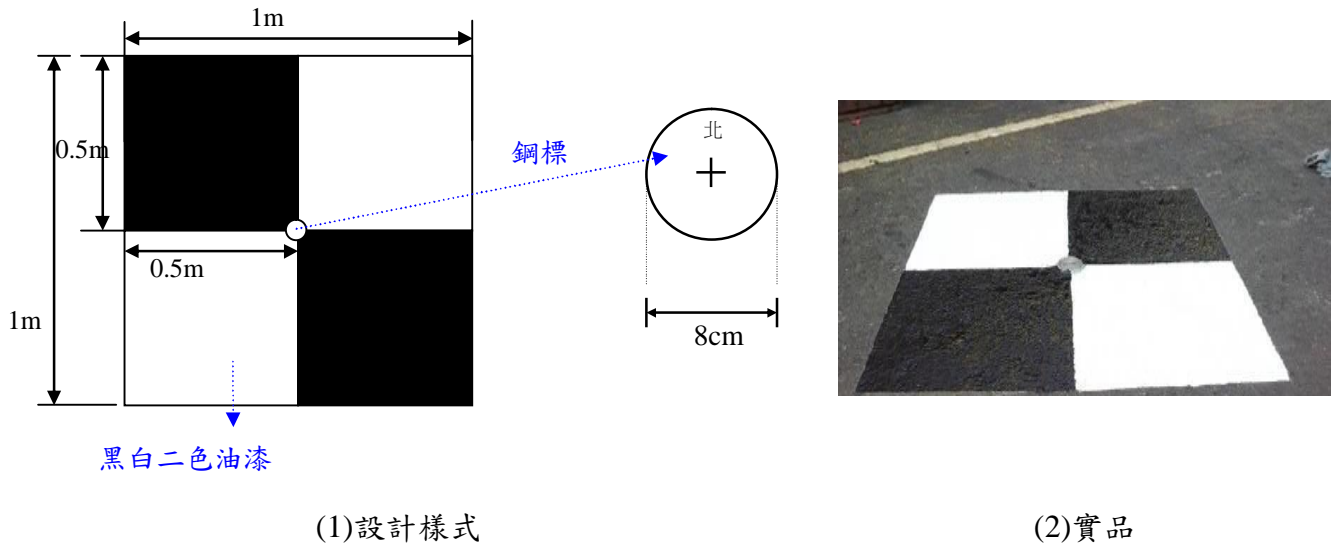


圖 5-8、幾何校正標樣式

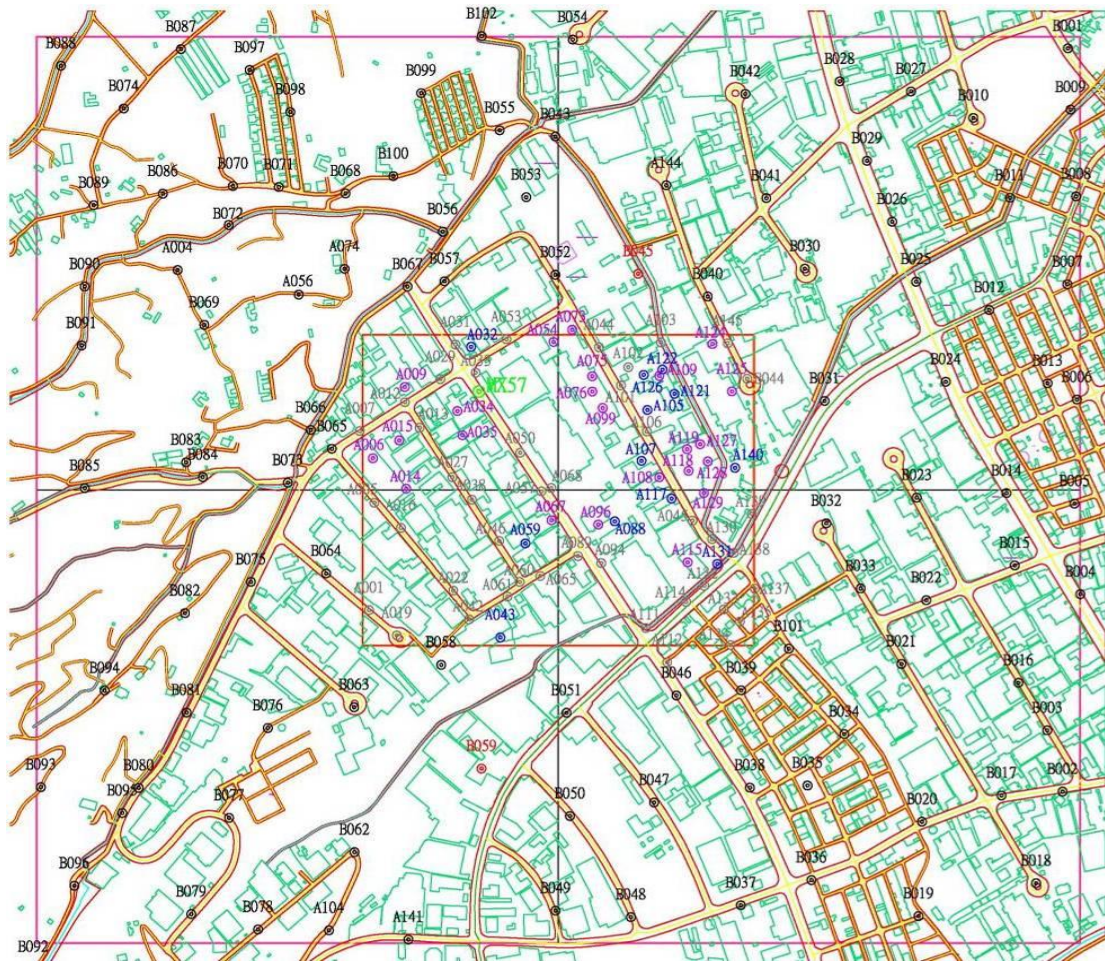
(2) 布設位置

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。

101 年於校正場內共布設 183 個幾何校正標，應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。各象限之點數如圖 5-9、點位於校正場分布如圖 5-10 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於該年製作幾何校正標點之記並收錄於航測攝影機系統校正場規格書內。

| | |
|----|----|
| 51 | 48 |
| 17 | 24 |
| 15 | 18 |
| 36 | 48 |

圖 5-9、各象限之幾何校正標點數



| | |
|-------------|-------|
| 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 5-10、幾何校正標分布情形

(3) 點號編碼原則

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。



(4) 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。

A. 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 5-11。

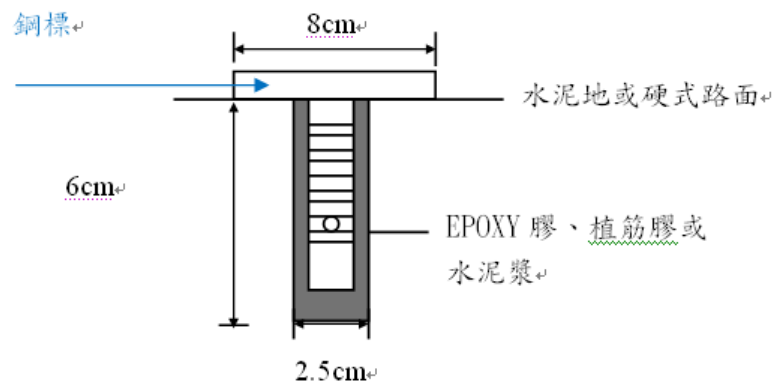


圖 5-11、水泥地或硬式地面幾何校正標設置方式

B. 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 5-12。

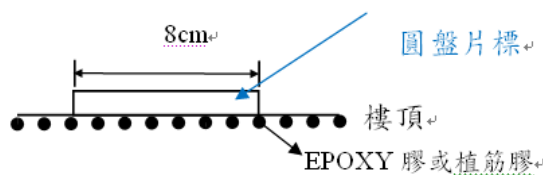


圖 5-12、建物頂樓幾何校正標設置方式



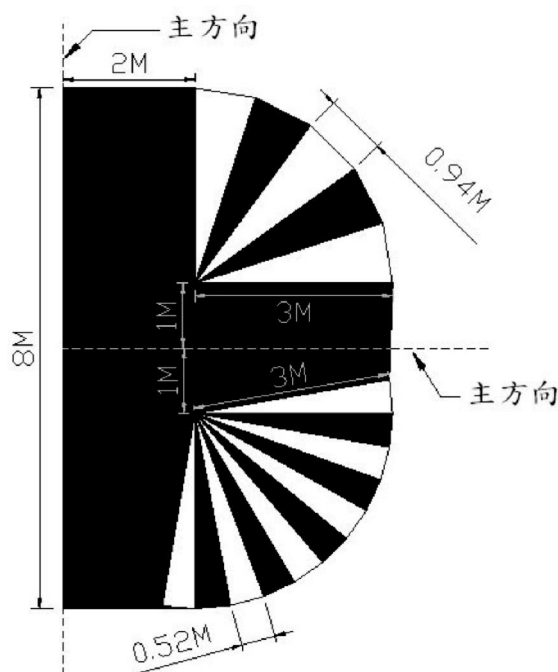
(5) 維護方式

規劃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。

2. 解析力校正標

(1) 規格

解析力校正標是參考美國之經驗作改良，將原來 360 度對稱的完整星形校正標，由中心等分為四，僅取其一個象限制成改良後之西門子星 (Siemens Star)，黑底白標。規格為長方形尺寸為 8 公尺 x 2 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。製作成果如圖 5-13 所示。



(1) 設計樣式



(2) 實品

圖 5-13、解析力校正標樣式



至此階段本場校正航拍飛行規劃採四重疊飛行方式，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。

(2) 布設位置

布標時可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)。

(3) 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。解析力校正標周圍設有金屬孔洞，將整個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。

(4) 維護方式

開放校正時間內，於規定准許校正航拍前，將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；航拍結束後，將解析力校正標收納放置於乾燥室內保存。

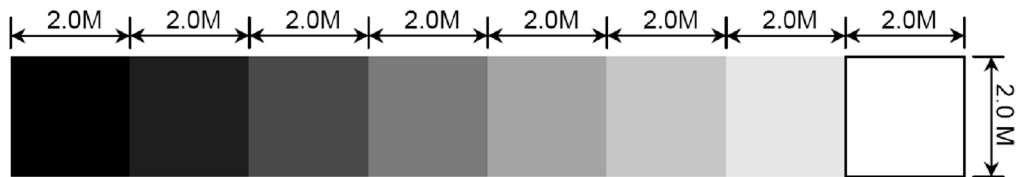
3. 輻射校正標

(1) 規格

原材質設計採用帆布或尼龍布為基底材質，其表面塗料以油漆為主，於 101 年校正航拍前曾先行試拍，發現以帆布製作之輻射校正標



收藏時難免產生摺痕，於航拍影像上產生色調不均之現象，易使量測的灰度值有所偏差。因此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，製作成果如圖 5-14。



(1)設計樣式



(2)實品

圖 5-14、輻射校正標樣式

(2)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。

(3)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。



(4) 維護方式

於校正航拍前將校正包標裝置妥當，並清掃標布之表面，以免累積塵埃、水分和其他雜物。航拍結束後，將全部標體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。

4. 影像特徵校正區塊

(1) 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 5-15，詳細位置資訊收錄於該年所編寫航測攝影機系統校正場規格書內。作業之初使用 98 年度所測製之地形圖規劃選擇女兒牆點位 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。



圖 5-15、影像特徵校正區塊實例

(2) 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。

(3) 可行性分析

經過初步實驗後，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。而依據前述所列條件以及實際選點情形，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，尚需待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。

(三)校正標 GPS 測量

完成幾何校正標設置後，於 101 年 6 月份第 1 次辦理場內校正標 GPS 測量工作，以下將說明作業細節及測量成果。

1.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。

(1)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 Union of 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 (Transverse 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。

(2)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。

2. 準備項目

(1) 作業方法

採靜態測量方式辦理，並使用 1 年內經過 TAF 認證實驗室校正之雙頻或單頻 GPS。

(2) 儀器設備

使用校正效期內的衛星定位儀，且定位精度優於 $5\text{mm}\pm 1\text{ppm}$ 。

(3) 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。

3. GPS 測量實際作業情形

(1) 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 5-16 所示。

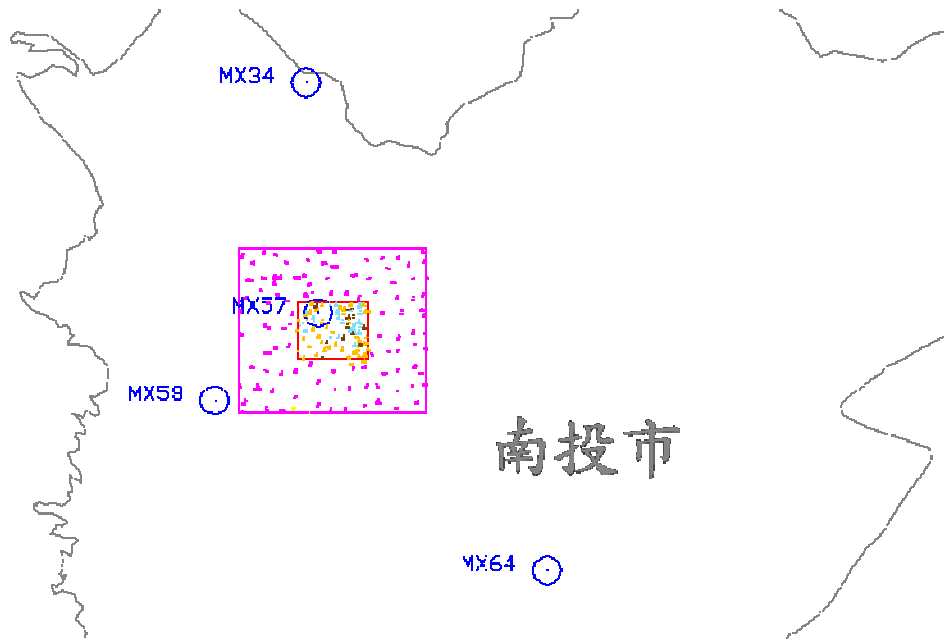


圖 5-16、101 年度聯測已知控制點位分布圖

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化算後與相應兩點坐標反算之邊長相較，其較差小於一萬分之一者，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 5-7 所示。



表 5-7、各級已知控制點在 95%信心區間下之相關檢測標準

| 等級 項目 | 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 |

所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 5-8、表 5-9 及表 5-10 所示。

表 5-8、101 年已知控制點檢測-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 5-9、101 年已知控制點檢測-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 5-10、101 年已知控制點檢測-坐標分量較差值

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

(2)幾何校正標 GPS 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 50 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 臺 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。

(3)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 臺 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。



4. 平差計算及成果

(1) 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。

(2) 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，但於強制约制網平差時採用兩種方式：

A. 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。

B. 與 183 個幾何校正標點位控制網整網聯合平差計算。



計算時皆同時解算 TWD97、TWD97[2010]兩種基準之坐標結果，成果精度亦滿足規格所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。

(3) 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。

(四) 校正標清查及維護

於 102 年 4 月上旬辦理清查作業，確認 101 年所布設點為保存情形。經統計共遺失 27 個校正標，剩餘 156 個校正標。遺失的主要原因，可能是因工業區內時常進行道路維護重鋪、挖掘所導致。剩餘 156 個校正標中，判斷尚足以進行空三量測，保存良好的點位共計 92 個。而標翼因髒汙、破損，經判斷無法進行空三量測，油漆剝落需維護的點位共計 64 個，統計資訊如表 5-11。並於同年 4 月下旬完成所有標翼油漆剝落的點位之維護工作。

表 5-11、102 年校正標清查成果

| | 可用點位 | | 不可用點位 | |
|------|------|---------|-------|------|
| | 保存良好 | 油漆剝落需維護 | 鋼標遺失 | 點位滅失 |
| 第一象限 | 35 | 9 | 1 | 3 |
| 第二象限 | 17 | 26 | 1 | 7 |
| 第三象限 | 12 | 13 | 0 | 11 |
| 第四象限 | 28 | 16 | 1 | 3 |
| 小計 | 92 | 64 | 3 | 24 |
| 總計 | 156 | | 27 | |



(五)重複實施 GPS 測量

102 年亦再次對全場幾何校正標實施 GPS 靜態測量，除了作為對 101 年 GPS 測量成果的驗證外，也藉由再次測量的成果確認點位是否有明顯位移變化，作業之方法、儀器設備及要求均與 101 年相同。

於場址選擇測區周圍 5 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、MX60 及 MX64，並計算兩種坐標基準之成果，點位分布如圖 5-17 所示。

102 年 GPS 靜態測量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 5-12~14 所示，均符合施測要求。



圖 5-17、102 年聯測已知控制點位分布圖

表 5-12、102 年已知控制點檢測-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) |
|------|------|--------------|--------------|-------|----------|
| MX57 | MX58 | 229-45-34.39 | 229-45-34.02 | 0.38 | Y |
| MX57 | MX34 | 356-57-33.93 | 356-57-34.12 | -0.19 | Y |
| MX57 | MX64 | 138-21-25.48 | 138-21-25.77 | -0.29 | Y |
| MX57 | MX60 | 85-54-39.07 | 85-54-39.43 | -0.36 | Y |
| MX58 | MX34 | 16- 1-41.81 | 16- 1-42.28 | -0.47 | Y |



| | | | | | |
|------|------|--------------|--------------|-------|---|
| MX58 | MX64 | 117- 4-54.78 | 117- 4-54.85 | -0.07 | Y |
| MX58 | MX60 | 75-28- 8.87 | 75-28- 8.93 | -0.05 | Y |
| MX34 | MX64 | 153-40-35.73 | 153-40-35.6 | 0.03 | Y |
| MX34 | MX60 | 121-38-20.86 | 121-38-20.55 | 0.31 | Y |
| MX64 | MX60 | 18-37-14.90 | 18-37-14.82 | 0.08 | Y |

表 5-13、102 年已知控制點檢測-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 (m) | 精度 | 容許 誤差 | 合格 (Y/N) |
|----|------|------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|----------|-------------|
| 1 | MX57 | MX58 | 1459.356 | 1459.364 | -0.008 | 1/ 188237 | 0.073 | Y |
| 2 | MX57 | MX34 | 2462.678 | 2462.665 | 0.013 | 1/ 185196 | 0.123 | Y |
| 3 | MX57 | MX64 | 3682.272 | 3682.281 | -0.009 | 1/ 419397 | 0.184 | Y |
| 4 | MX57 | MX60 | 3466.678 | 3466.680 | -0.002 | 1/1857824 | 0.173 | Y |
| 5 | MX58 | MX34 | 3540.920 | 3540.917 | 0.003 | 1/1068232 | 0.177 | Y |
| 6 | MX58 | MX64 | 3997.145 | 3997.152 | -0.007 | 1/ 568168 | 0.200 | Y |
| 7 | MX58 | MX60 | 4720.635 | 4720.641 | -0.006 | 1/ 755893 | 0.236 | Y |
| 8 | MX34 | MX64 | 5811.106 | 5811.102 | 0.004 | 1/1473968 | 0.291 | Y |
| 9 | MX34 | MX60 | 4213.330 | 4213.325 | 0.005 | 1/ 835858 | 0.211 | Y |
| 10 | MX64 | MX60 | 3163.995 | 3163.999 | -0.004 | 1/ 818551 | 0.158 | Y |

表 5-14、102 年已知控制點檢測-坐標分量較差值

| 序號 | 點號 | 自由網 | | 已知點 | | 差值 | | | 合格 (Y/N) |
|----|------|-------------|------------|-------------|------------|--------|--------|-------|-------------|
| | | N-坐標(m) | E-坐標(m) | N-坐標(m) | E-坐標(m) | dN(m) | dE(m) | 差值(m) | |
| 1 | MX34 | 2649726.904 | 215141.836 | 2649726.890 | 215141.839 | -0.014 | 0.003 | 0.014 | Y |
| 2 | MX57 | 2647269.617 | 215272.362 | 2647269.617 | 215272.362 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | Y |
| 3 | MX58 | 2646334.370 | 214167.230 | 2646334.364 | 214167.227 | -0.006 | -0.003 | 0.007 | Y |
| 4 | MX64 | 2644518.419 | 217718.678 | 2644518.409 | 217718.680 | -0.010 | 0.002 | 0.010 | Y |
| 5 | MX60 | 2647516.729 | 218728.933 | 2647516.723 | 218728.935 | -0.006 | 0.002 | 0.006 | Y |

施測時共使用 9 臺 GPS，分別為 7 部 Trimble4000 及 2 部 Trimble5700。據前節所述網形規劃原則，於 102 年 4 月 15 日起至 102 年 4 月 20 日止進行 6 天共 39 個測段之 GPS 靜態觀測。實際作業時，每時段觀測時間達 55 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%，網形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，並將已知控制點與幾何校正標聯測，附合至坐標系統。

個別獨立觀測之間，兩次成果必然有差異，在不合錯誤觀測量的前提下，其差異應相當微小。將觀測結果經統計分析後，由表 5-14 可知，2 年度 GPS 測量成果間，平面較差均方根小於 0.01m，高程較差均方根值小於 0.02m，可判定校正標中心位置應無明顯變化。

表 5-15、101 年度、102 年度 GPS 測量成果差值分析

| | E | N | EN | H |
|-------------|-------|--------|-------|-------|
| 較差平均值(m) | 0.001 | -0.003 | 0.007 | 0.001 |
| 較差均方根值(m) | 0.006 | 0.006 | 0.005 | 0.017 |
| 最大較殘差絕對值(m) | 0.023 | 0.028 | 0.031 | 0.068 |

綜整本計畫建場施測及場地維護作業成果，各年度主要辦理情形如圖 5-18 所示。

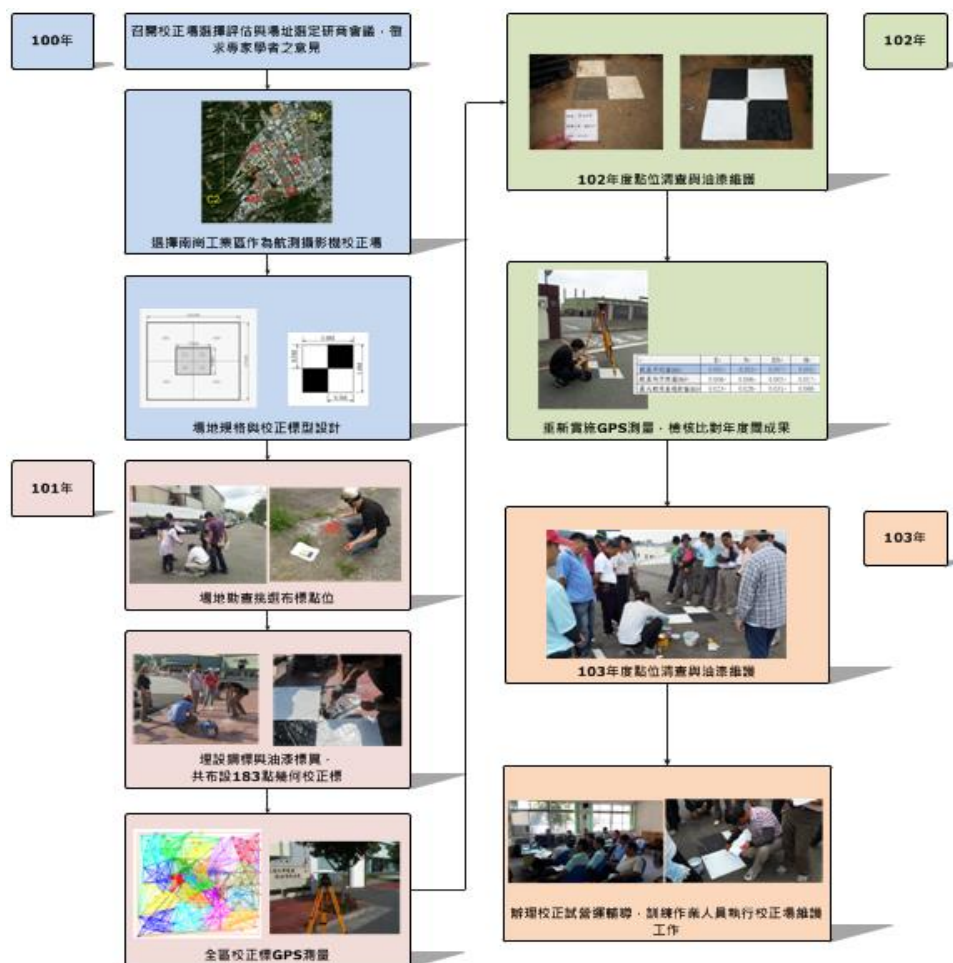


圖 5-18、校正場建置維護工作各年度辦理情形



三、校正測試飛行

目前各國地形圖測製機構均使用航測專用攝影機測製地形圖，使用率最高的三大品牌航測攝影機分別為 ADS、DMC 及 UltraCam 系列。本計畫執行期間校正航拍測試所使用像機型別，如圖 5-19 所示。



圖 5-19、本計畫校正航拍所使用像機型別示意

幾何校正項目使用上述所提三大品牌航測攝影機中，DMC 及 UltraCam 系列進行校正航拍作業，以下將說明 101、102 年度校正航拍作業辦理情形。

(一)101 年校正航拍作業

此階段校正場設計分大、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。所使用航測攝影機為群立科技股份有限公司所擁有 UltraCamXp w/a 此機型。

因本場西邊高於東邊之地形特性，初次航拍規劃時尤特別注意飛行順序之問題，並提供初次飛行者東西向航線的地形剖面圖及相關所



需資料，以減少低空飛行時的心理壓力。

1. 航拍規劃

(1) 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 5-20，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。

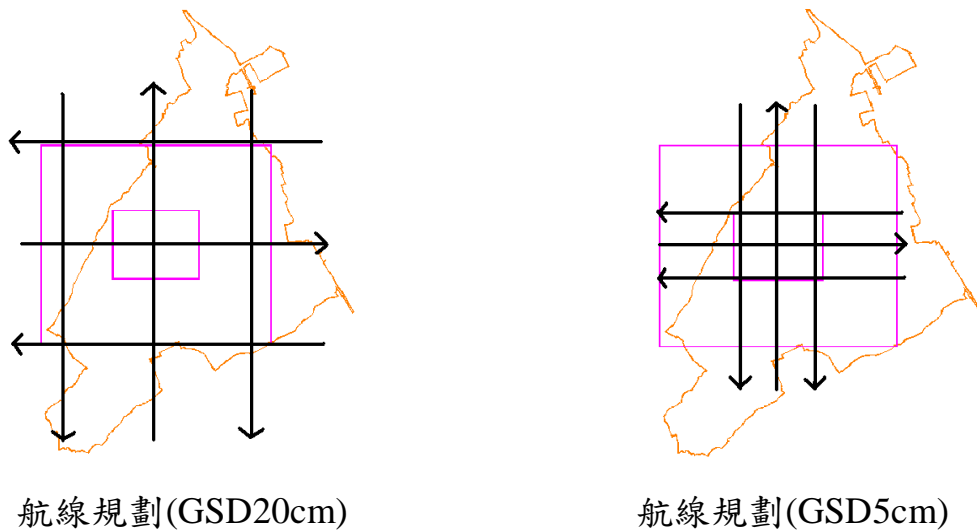


圖 5-20、101 年度航線規劃示意圖

(2) 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。

2. 航拍成果

101 年共實施 2 次校正測試飛行，航拍紀錄如表 5-16 及表 5-17。



表 5-16、101.09.04 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 5-17、101.09.21 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 101 年 9 月 4 日上午約 10 時，並將可移動式解析力校正標、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 5-21。

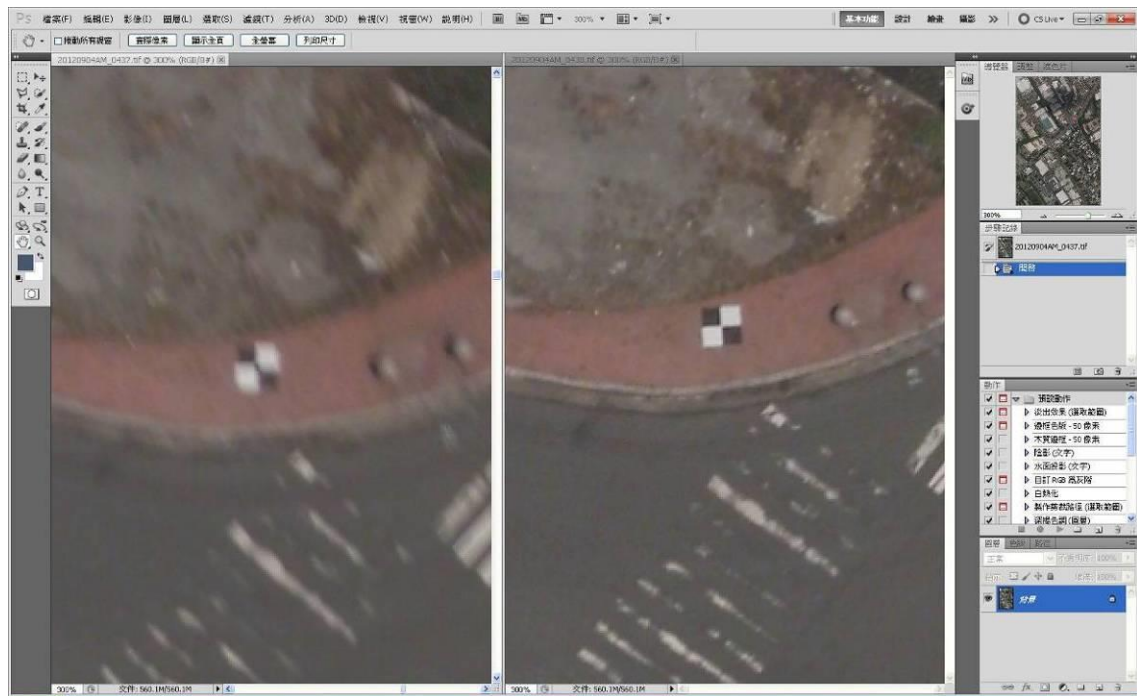
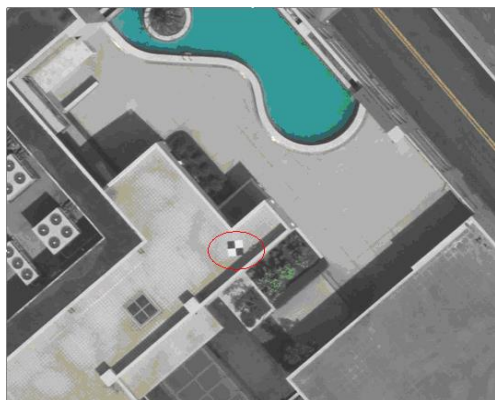
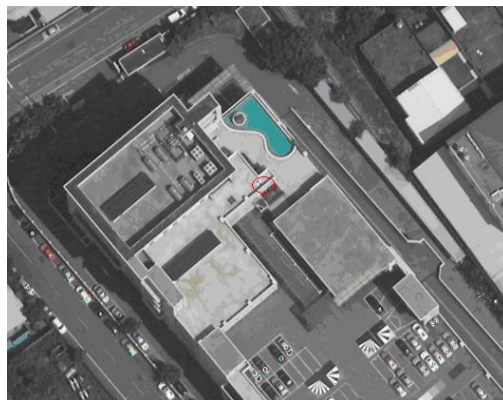


圖 5-21、拖動導致影像模糊示意圖

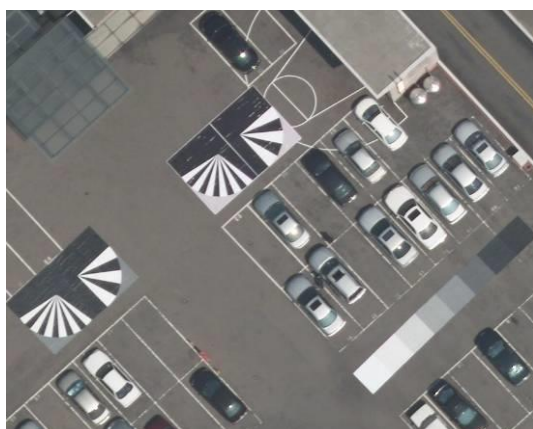
因此針對小校正場 5cm 之 GSD 影像測試關閉前移補償，提高快門速度再進行第二次飛行，拍攝時間為 101 年 9 月 21 日上午 10 時左右，經改正後影像模糊現象已消除。因此校正場未來正式開放營運後，必須提醒航拍公司注意關閉前移補償功能，並以拍攝當天日照強度允許的最高速快門拍攝，務必注意如何使影像最清晰，以得到最高品質影像提供校正。而 101 年校正航拍後所取得之航拍影像，於場地內所建置之各類標誌範例如圖 5-22 所示。



(a)幾何校正標(GSD 5cm)



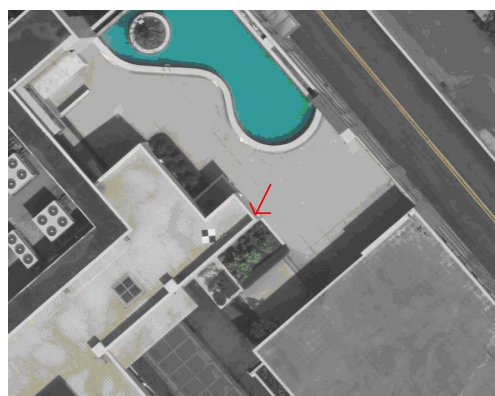
(b)幾何校正標(GSD 20cm)



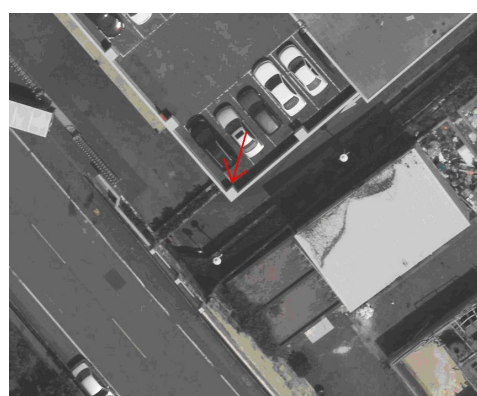
(c)空間解析力校正標、輻射校正標
(GSD 5cm)



(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 5-22、101 年校正航拍成果(a-f)



(二)102 年校正航拍作業

101 年辦理國內最常用的 UltraCamXp 航測攝影機進行校正航拍，並做校正方法規劃與標準測試。102 年調整以國內較常使用，詮華國土測繪有限公司所擁有的 DMC-I 航測攝影機繼續測試。

1. 航拍規劃

此年度校正航拍規劃略作調整，改以不對受校航測攝影機航線及拍攝 GSD 作限制，僅告知場地範圍，於航拍結束後由受校廠商提出自認最佳的航拍影像供校正使用。校正航拍於 102 年 6 月 28 日下午 14 時進行，航線規劃如圖 5-23 所示，航拍紀錄表如表 5-18 所示。

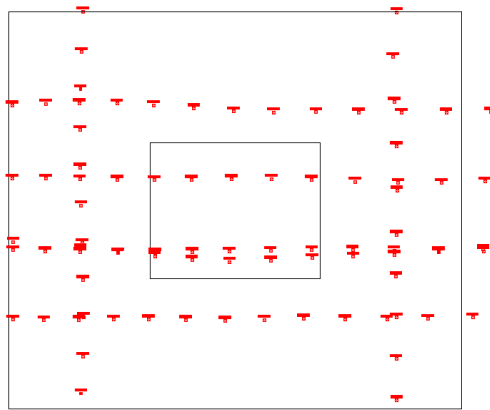


圖 5-23、102 年度拍攝航線示意圖

表 5-18、102.06.28 航拍紀錄

| 航拍攝影記錄表 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|-----------------|----------|----------|----------|-----------|----|-----------|----|-----------|---------|---------|--|
| 工程編號: | | 作業編號: 廣益測繪系統 | | | | 訂約日期: | | | | | | | |
| 工程名稱: | | D1: 國土測繪系統-D1C1 | | | | 開工日期: | | | | | | | |
| 業務單位: | | | | | | 完工日期: | | | | | | | |
| 建圖單位: | | 詮華國土測繪有限公司 | | | | 製表日期: | | 102.07.04 | | | | | |
| 工作內容: | | 固定標拍攝航線 | | | | 製表人員: | | 劉德明 | | | | | |
| 任務: | | 航空攝影 | | 航空公司: | | 廣益航空 | | 攝影日期: | | 102.06.28 | | | |
| 正駕駛: | | 黃君昌 | | 副駕駛: | | 薛鴻榮 | | 浮航攝影: | | 張智遠 | | | |
| 機型: | | D100B | | 機號: | | E11063 | | 縮比例尺: | | 1:888 | | | |
| GSD: | | 5cm | | | | | | | | | | | |
| 序號 | 航線目標 | 攝影時間 | | | 俯仰 量角 | 航高 (m) | 片號 | | 張數 | 是否 使用 | 耗時 | 相機 | |
| | | 日期 | 開始 | 結束 | | | 開始 | 結束 | | | | | |
| 1 | 1 | 102.06.28 | 15:34:39 | 15:35:14 | 80% | 800 | 75 | 87 | 13 | Y | 0:00:36 | DMC | |
| 2 | 2 | 102.06.28 | 15:30:20 | 15:30:59 | 80% | 800 | 82 | 74 | 13 | Y | 0:00:39 | DMC | |
| 3 | 3 | 102.06.28 | 15:28:01 | 15:28:33 | 80% | 800 | 80 | 81 | 12 | Y | 0:00:32 | DMC | |
| 4 | 3 | 102.06.28 | 15:40:38 | 15:44:11 | 80% | 800 | 88 | 100 | 13 | Y | 0:03:33 | DMC | |
| 5 | 4 | 102.06.28 | 15:22:14 | 15:22:51 | 80% | 800 | 37 | 49 | 13 | Y | 0:00:37 | DMC | |
| 6 | 5 | 102.06.28 | 15:13:47 | 15:14:16 | 80% | 800 | 16 | 26 | 11 | Y | 0:00:29 | DMC | |
| 7 | 6 | 102.06.28 | 15:18:05 | 15:18:37 | 80% | 800 | 27 | 36 | 10 | Y | 0:00:32 | DMC | |
| 備註: 本次拍攝共計12張影像, 共計01張影像可用 | | | | | | | | 合計: | | 85 | | 0:06:57 | |



2. 航拍成果

102 年校正航拍共拍攝 6 條航線，前後重疊約 80%，側向重疊約 60%，地元尺寸約為 10 cm，航拍成果如圖 5-24 所示。

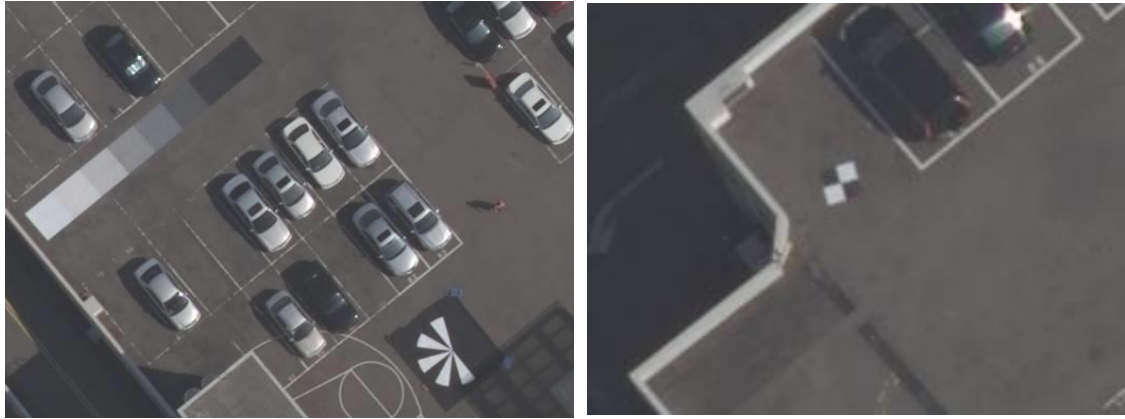


圖 5-24、102 年校正航拍成果

此年所拍攝影像經過調色、空中三角量測計算及其它適當程序處理後，按契約要求製作出涵蓋本場範圍之正射影像(解析度 10cm)與數值地形模型(5m 網格)，成果如圖 5-25、5-26 所示。



圖 5-25、南崗校正場正射影像成果

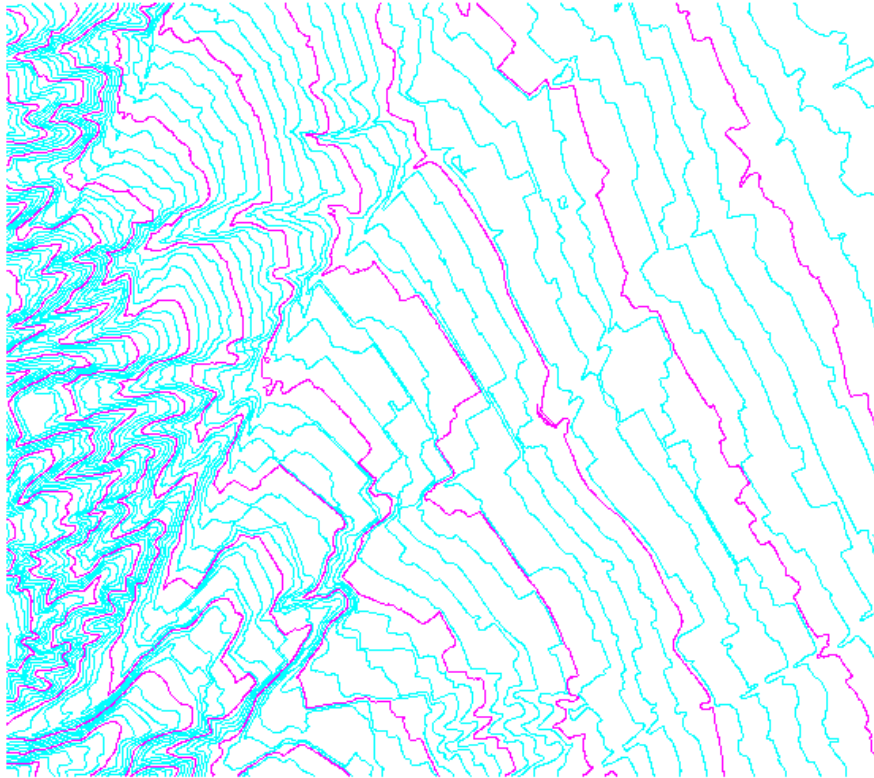


圖 5-26、南崗校正場 5m 間隔等高線成果

後續將說明 101、102 年所作幾何、空間解析力與輻射校正相關分析，檢視以不同航測攝影機航拍影像所得校正成果之差異，藉以調整並精進校正作業。



四、校正程序與標準分析

(一)幾何校正

校正之目的在以影像畸變情形評估航測攝影機幾何品質，採用方法為國際通用的野外校正法。於野外校正場內均勻布設足夠數量的校正標，藉由校正效期內之衛星定位儀量測得到校正標於物空間內之三維坐標作為標準值。而受校正之航測攝影機進行校正航拍後，以空中三角測量建立場內光束網形模型，推算影像中校正標於物空間之之三維坐標作為量測值。藉由均勻分布校正標所得量測值與標準值間之差值，做為評估航測攝影機幾何品質之依據並出具校正報告書。

1. GPS 網形平差偵錯及統計估計分析方法

(1)GPS 觀測成果品質分析

如前所述，GPS 測量是採靜態測量方式辦理，並使用校正效期內之衛星定位儀。於施測時，採用「蛙跳法」或稱「逐步推移法」，如圖 5-27 所示，使基線向量形成閉合之幾何圖形，以增加成果的可靠度和精度。

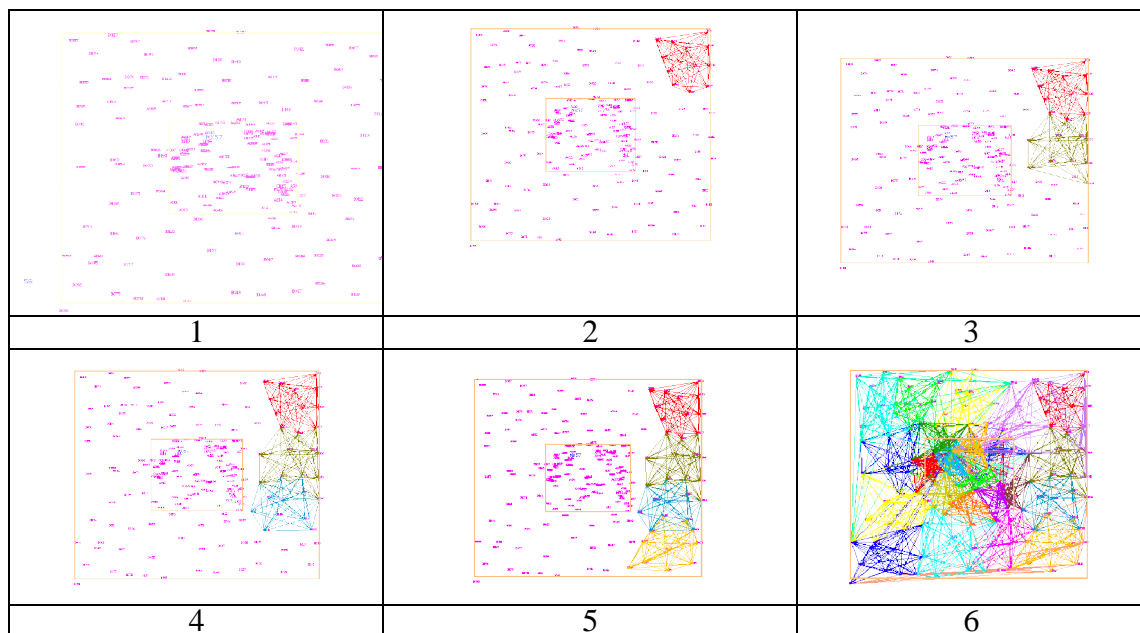


圖 5-27、蛙跳法實施網形測量示意(不同顏色表不同時段)



一般而言，GPS 靜態測量觀測成果品質的好壞，和下列幾項因素有關：

- (1) GPS 觀測數據（衛星分布、接收狀況）。
- (2) 人為錯誤（定心、定平及量測天線高等）。
- (3) GPS 網形設計及規劃。
- (4) GPS 數據處理。

採用蛙跳法施測其優點為對各基線進行長時間、多時段觀測，不同時段觀測可以降低衛星分布或某一段接收狀況不好的影響，且由於限制最低重複觀測點位數量（如兩時段間至少要有 2 個重複觀測點），重複點位在每一時段觀測前亦須重複定心、定平及量測天線高，也可以減少人為因素影響。

另外，在 GPS 網形中，由於各點位之位置和可靠度無關，而是和該點位的獨立基線數有關，因此該點位上觀測的獨立基線越多，則點位可靠度越高，故作業時應該盡可能保持每個點位都有 3 個以上的獨立觀測基線。

至於 GPS 網形的可靠度指標，可以區分為內可靠度和外可靠度。內可靠度指的是該 GPS 網形發現粗差的能力，即可以偵測出最小粗差的大小；而外可靠度則是指粗差對 GPS 網形平差造成影響的大小。整體來看可以用簡單的指標，稱為平均可靠度指標 η 。

$$\eta = B_R / B_L, \quad B_R : \text{多餘基線數}, \quad B_L : \text{獨立基線總數}$$

而 GPS 網的精度指標可從 GPS 網的設計矩陣 B ，得到協因數矩陣 $Q=(B^T P B)$ ，其精度指標可以用 $\text{tr}(Q)$ 作為衡量 GPS 網在設計階段整體精度的指標。



(2) 資料收集

GPS 觀測結束之後，應於每日工作結後對接收之觀測數據作預處理以進行初步檢核，透過觀測數據預處理的結果評估成果好壞，及決定需不需要補測。觀測成果預處理的要點如下：

- (1) 傳輸及整理觀測數據(統一檔案格式、剔除無效觀測等)。
- (2) 剔除無效觀測後是否網形有缺漏之情形。
- (3) 觀測當時衛星幾何強度，可觀測衛星顆數是否不小於 4 且分布均勻，PDOP 值小於 6 等。
- (4) 初步基線解算是否合乎精度指標。

(3) GPS 網形平差

GPS 網形平差之流程如圖 5-24 所示。

(4) GPS 網形平差偵錯

自由網平差

在自由網平差時，GPS 網的幾何形狀和 GPS 基線向量有關，而和坐標起算數據無關，因此自由網平差結果顯現 GPS 觀測值品質優劣。依據自由網的平差結果，可以作為判斷粗差或調整觀測基線權重及進行後續處理的依據。其判斷方式如下：

A、單位權方差檢驗

平差完成後，利用卡方檢定 (Chi-square test) 對單位權方差 σ_0^2 作檢定，判斷先驗和後驗單位權方差是否一致。

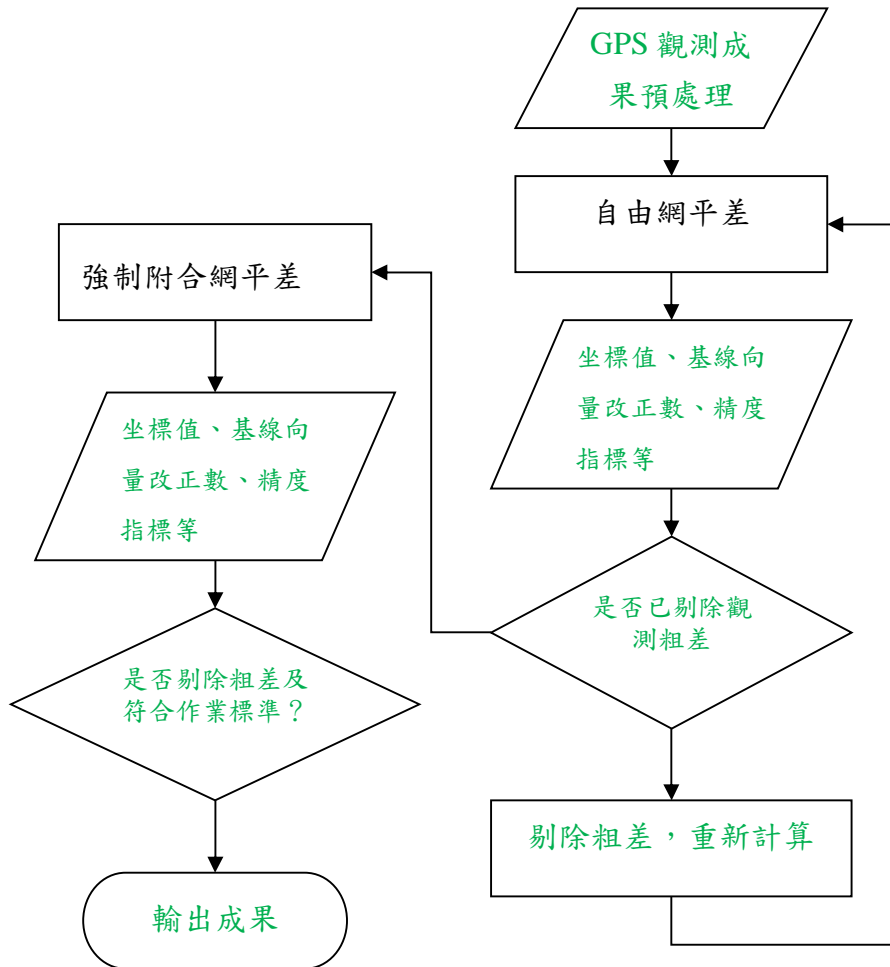


圖 5-28、GPS 網形平差流程圖

假設 $H_0: \sigma_0^2 = \sigma_0^2$, $H_1: \sigma_0^2 \neq \sigma_0^2$

若 $\frac{V^T P V}{\chi_{\alpha/2}^2} < \sigma_0^2 < \frac{V^T P V}{\chi_{1-\alpha/2}^2}$, 則 為顯著水準下 H_0 通過，反之則檢驗

未通過。

單位權方差檢定的目的如下：

- (a) 檢驗觀測值的先驗單位權方差是否合適。
- (b) 各觀測值間的權重是否合適。

若未通過檢驗，則表示：



- (a) 先驗單位權方差不合適。
- (b) 各觀測值間的權重不合適。
- (c) 觀測值間可能存有粗差。

B、GPS 觀測基線的改正數

根據 GPS 觀測基線的改正數大小判斷是否隱含誤差，判斷標準為：

當 $|v_i| < \hat{\sigma}_0 \cdot \sqrt{q_i} \cdot t_{1-\alpha/2}$ 時，則認為不含有粗差。

其中 v_i 為觀測值改正數， $\hat{\sigma}_0$ 為單位權中誤差， q_i 為第 i 個觀測值的協因數， $t_{1-\alpha/2}$ 為顯著水準 α 下 t 分布的區間。

C、相鄰點位的中誤差

檢核 GPS 網形中相鄰點位的中誤差和其 GPS 基線之相對中誤差是否符合精度要求？

D、網形內獨立基線構成之封閉幾何圖形閉合差

針對欲檢核之區域，選取網形內互相獨立之基線（即非同步觀測之基線）以組成閉合幾何圖形，檢核其閉合差是否滿足要求。

E、重複基線較差或不同一時段同基線之分量差值

不同時段同一基線的長度較差或其各分量較差，是否滿足要求？

強制附合網平差

原則上 GPS 觀測量的粗差及錯誤應在自由網平差時發現並作相應處理，如剔除、補測、調整權重等。進入強制附合網平差時，主要是希望依據給予的控制點坐標，將成果附合於國家定義之坐標基準上。因此，此階段的偵錯是針對給予的控制點坐標是否存有粗差。

強制附合網平差完成後，其檢核順序如下：



A、單位權方差檢驗

和自由網相同，平差完成後先對單位權方差作檢驗，這裡檢驗的目的是為了解給予的控制點坐標（起算基準）和 GPS 觀測成果是否一致？計算方式如前所述。

B、殘差檢驗

GPS 強制附合網平差後其基線分量改正數與同一組經粗差別錯後之自由網基線分量改正數，兩者較差是否滿足要求？如較差是否小於 2σ 。如不滿足，則表示給予的控制點坐標中可能隱含粗差。

C、控制點坐標檢驗

平差計算時，不是一次固定所有的控制點，可逐一加以固定，第一次固定 1 個控制點，第二次再增加固定 1 個控制點，即共 2 個控制點，以此類推。將未約制的控制點每次平差所得的值與已知值作比較，如差異過大，即可確定是已知點坐標有誤，並可依此方法找出有問題的控制點。

2.幾何校正分析與空中三角量測相關統計分析

(1)平差分析

一般來說，空中三角測量平差中的未知數理論精度是以平差獲得的未知數協方差矩陣表示：

$$D(X) = \sigma_0^2 \cdot Q$$

其中第 i 個未知數理論精度為

$$m_i = \sigma_0 \cdot \sqrt{Q_{ii}}$$

σ_0 是驗後權單位中誤差，可用像點坐標觀測值得驗後中誤差表示， Q_{ii} 為協方差矩陣對角線元素。



故以本校正場來說，假設空三網形中有 n 個檢核點，則 i 代表 X_j 、 Y_j 、 Z_j ($j=1, 2, 3, \dots, n$)，則檢核點位的理論平均平面精度為

$$m_{XY} = \sigma_0 \cdot \sqrt{\Sigma(Q_{X_jX_j} + Q_{Y_jY_j})/n}$$

平均高程理論精度則為

$$m_Z = \sigma_0 \cdot \sqrt{\Sigma Q_{Z_jZ_j}/n}$$

理論上實際精度可視為理論精度的無偏估值，故當多餘檢核點夠多時，理論精度和實際精度應達一致。

因此，實務評估精度時，常以多個多餘的已知地面點坐標(即檢核點)之已知值與平差之不符值(ΔX ， ΔY ， ΔZ)計算整體的平面精度與高程精度，及平面位置均方根誤差與高程均方根誤差，如下列公式，作為評估空三結果的依據。

$$\mu_{XY} = \sqrt{\Sigma(\Delta X_j^2 + \Delta Y_j^2)/n}$$

$$\mu_Z = \sqrt{\Sigma \Delta Z_j^2 / n}$$

以校正作業來說，本場布設相當數量的幾何校正標，再以這些幾何校正標用來當成控制點或檢核點用。

檢核點所計算出來結果，除了量測誤差影響外，也受系統誤差綜合影響，故為了盡量減少量測誤差的影響，盡可能以呈現系統誤差為主，故應盡可能連結出現在各像片的同名點，9 個標準點位均須有連結點，以提高量測點位的精度和可靠度。

而評估觀測值結果的好壞，則可以內可靠度和外可靠度來表現。



內可靠度指的是可發現系統誤差和粗差的能力，外可靠度則表示隱含粗差對平差結果的影響。

由 Baarda 的可靠度理論可知，可發現粗差最小值即內可靠度為：

$$\nabla_0 l_i = \frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}} \sigma_{li} = \delta'_{0,i} \sigma_{li}$$

σ_{li} 為觀測值 l_i 的均方差， r_i 是 l_i 的多餘觀測分量， δ_0 為非中心化參數，當取顯著水準 $\alpha=0.1\%$ ，檢驗功效 $\beta=80\%$ 時， δ_0 為 4.13，則內可靠度為

$$\delta'_{0,i} = \frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}}$$

外可靠度則以 $\overline{\delta_{0,i}}$ 表示，其定義為未發現粗差對平差結果的影響，數學式如下：

$$\overline{\delta_{0,i}} = \delta_0 \sqrt{\frac{1-r_i}{r_i}}$$

又

$$\overline{\delta_{0,i}} = \delta_0 \sqrt{\frac{1-r_i}{r_i}} = \delta'_{0,i} \sqrt{1-r_i} \leq \delta'_{0,i}$$

(2) 連結點光線數規範

101、102 年校正航拍皆有達前後重疊 80%，側向重疊約 60% 此基本規定，以影像自動化匹配量測空中三角連結點，其 6 重光線以上連結點點數除以總點數應大於等於 0.3，且相鄰航帶影像間，每一基線距離內應至少有一 4 重光線以上連結點做連結。

空中三角作業中，連結點的數量及位置決定了空中三角網的形



狀，也決定所建立空中三角模型的品質。空中三角測量初步會以影像自動化匹配得到數量龐大的連結點，基本上標準點位位置應有相當數量連結點，但分布較少區域需再以人工補量，且該區域可能是因為紋理接近造成匹配困難，因此粗差偵測時應特別留意。

(3)校正方法評估與校正標最低數量

南崗校正場位於工業區，空地比例雖較一般住宅地區為多，但經聯繫最終有意願配合布設校正標的廠區僅占少數，致幾何校正標有 75% 是布設於路面上。為了獲得足夠的對空視角，需被迫較靠近車輛行駛車道上，易受碾壓移位；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。校正場於 101 年度共布設多達 183 個幾何校正標，於該年度測試分析，校正標數量足以供所設計的校正作業程序所使用。102 年度辦理清查維護作業時，統計保存良好點位共 92 個、油漆剝落需維護點位共 64 個、遺失點位共 27 個，保存良好點位比例僅 50%。待維護校正標數量眾多，則需投入相當人力、時間及金錢方能完成維護工作。因此至 102 年亦著手研究幾何校正標數量與分析成果的關聯，若以較少的校正標數量就能達到高精度的幾何校正成果，不僅降低維護成本，並可縮短校正過程中空中三角立體量測時間，提高整體作業程序的效率。

實際以不同年度影像進行測試，欲選取作為控制點的校正標需適當分布於測試範圍周圍，於此前提下分別使用 4 個、16 個、32 個校正標賦予適當權值作為控制點，於單一航線範圍內校正標權值為零作為檢核點，進行空中三角測量平差計算。平差完成後，計算檢核點殘差平均值、均方根值。101 年所拍攝 UltraCamXp 影像(GSD20cm)測試結果如表 5-19，102 年所拍攝 DMC-I(GSD10cm)影像測試結果如表 5-20。



表 5-19、101 年 UltraCamXp 影像檢核點殘差統計

| 控制點 數量 | 殘差平均值(m) | | | | 殘差均方根值(m) | | | |
|-----------|----------|--------|-------|--------|-----------|-------|-------|-------|
| | E | N | EN | H | E | N | EN | H |
| 4 | 0.053 | -0.001 | 0.053 | 0.016 | 0.058 | 0.041 | 0.071 | 0.114 |
| 16 | 0.041 | 0.012 | 0.043 | -0.030 | 0.050 | 0.042 | 0.065 | 0.103 |
| 32 | 0.027 | 0.014 | 0.030 | -0.021 | 0.049 | 0.043 | 0.065 | 0.086 |

表 5-20、102 年 DMC-I 影像檢核點殘差統計

| 控制點 數量 | 殘差平均值(m) | | | | 殘差均方根值(m) | | | |
|-----------|----------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| | E | N | EN | H | E | N | EN | H |
| 4 | 0.013 | -0.012 | 0.018 | 0.179 | 0.015 | 0.030 | 0.034 | 0.074 |
| 16 | -0.002 | 0.009 | 0.009 | 0.056 | 0.013 | 0.023 | 0.026 | 0.044 |
| 32 | -0.006 | 0.010 | 0.012 | 0.050 | 0.010 | 0.012 | 0.015 | 0.037 |

空三階段粗差偵測完成後，已將校正標及其它連結點錯誤的觀測量剔除，影像的品質將可由檢核點的殘差統計值推估。由上表可看出，當控制點數量為 4 個僅分布於影像範圍四角時，其檢核點殘差均方根值與控制點數量為 32 個時相當接近，證明依然有一定的檢核能力。但為提升控制點可靠度，避免所使用位於校正場四角的控制點含有粗差影響校正結果，且考量點位分布且能達互相檢核的目的，日後進行不同 GSD 影像進行校正作業時，均希望以點對方式選擇控制點；即於單一航線涵蓋校正場區內之四角、四邊各選 2 個校正標，共 16 個校正標做控制點使用。

3.校正作業程序設計

根據以上分析結果，設計航測攝影機幾何校正作業程序。

◆ 使用軟體：

ORIMA 空中三角測量軟體(或其它同等空中三角測量軟體)。

◆ 平差步驟：

(1)進行空中三角平差前，將該次航拍所有影像檔及各項參數檔



正確引入軟體專案內。

(2)使用軟體之影像自動匹配功能匹配連結點，每張影像的9個標準點位都必須有連結點與同航帶及鄰航帶之鄰片相連結。匹配不足處必須由人工補量。

(3)對影像內全數校正標進行立體量測。凡影像內校正標有模糊、遮蔽之情形，則該校正標不予量測。

(4)自由網平差：

本階段係針對影像坐標量測值進行粗差偵測及剔除，其進行步驟為：

4.1 於測區內任意選定2個校正標作為全控制點(平面及高程均為控制)，再加上任一第3個校正標作為高程控制點，。

4.2 平差計算時將全控制點及高程控制點配附權值(中誤差約1cm)，進行空中三角平差計算。

4.3 平差計算完成後，配合軟體自動除錯功能，以漸進方式依據「平差計算 → 粗差偵測 → 平差計算 → 再粗差偵測」的循環，剔除軟體平差計算後所判定為粗差的觀測量(Blunders)，至數量達0為止。

4.4 全面檢核經粗差偵測剔除的連結點數量及分布，是否仍符合9個標準點位都與鄰片連結之規定，否則應補足之。最後經判定為粗差之觀測值除了平差軟體標示為刪除以外，必須由原始觀測值檔案內確實刪除，以免影響總觀測量及驗後方差等統計值之計算。

(5)半強制網平差

經過前一階段剔除影像坐標量測值粗差後，本階段再以半強制網平差針對校正標進行粗差偵測及剔除。所謂校正標粗差不僅



是校正標坐標的錯誤，還包括校正標位移或因髒污導致的立體辨識錯誤。

平差時應依據衛星定位測量驗後精度對於校正標坐標配賦適當權值(本場目前平面中誤差約 2cm、高程中誤差約 5cm)，進行空中三角平差計算，比照前 4.3 之漸進程序，剔除具有粗差之校正標量測值。如粗差係肇因於立體量測錯誤，則須重新量測。如非立體量測錯誤，則可能係校正標位移或衛星定位測量有錯，此時該校正標剔除不予使用，並將異常情形備註於航測攝影機校正場點位管制表。

◆ 成果檢核：

- (1)上述全區空中三角平差完成後，平差報表內的驗後權單位中誤差 (σ_0) 應小於 1/3 像元。
- (2)檢核確認每片之 9 個標準點位都有連結點與相鄰各片連結。
- (3)確認所有粗差均經剔除。

若全區空中三角平差成果經檢核後均符合上述條件後，則可進行下階段「單航線空中三角平差」。

◆ 單航線空中三角平差

本階段採用中央單一航線實施空中三角測量。

- (1)完成全區空中三角平差，並將經過偵測後的粗差由原始觀測值檔案內確實刪除後，取中央單一航線 60%縱向重疊影像進行平差計算。
- (2)於該航線影像所涵蓋整個校正場範圍內，最外側四角選取各 2 個校正標，四邊亦選取各 2 個校正標，計 16 個校正標作為控制點之用。



(3)選擇控制點後，選取位於區域中央且均勻分布之校正標作為檢核點。

控制點賦予約 1mm 之中誤差作為強制附合，而檢核點賦予約 1m 之中誤差作為純檢核之用，進行空中三角平差計算。平差後所得檢核點坐標值即為校正標量測值，後續將與衛星定位儀所測定之校正標標準值進行器差計算。

器差量測方程式：

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} E \\ N \\ H \end{bmatrix}$$

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

4.小結

美國地質調查所所設計野外校正場規格，校正標數量至少應達 50 個，各象限校正標數量至少應達總數的 20%，相鄰校正標間距長度不應超過 290m，如圖 5-29 所示。

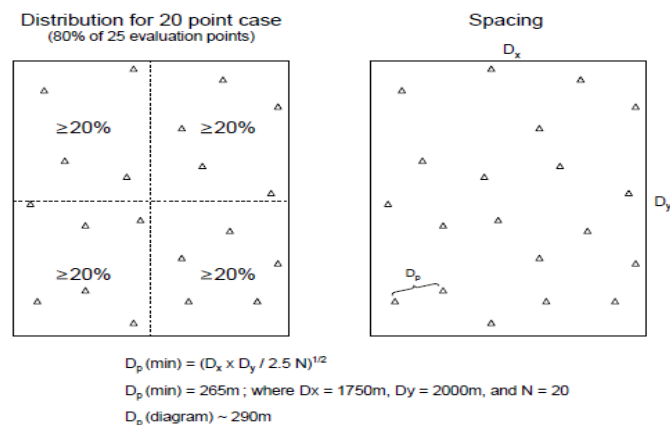


圖 5-29、USGS 野外校正場數量與規範

南崗校正場 101 年共布設 183 個校正標，102 年清查維護後剩餘可用校正標 156 個，對照 USGS 野外校正場規格，數量上已多出許多，暫時不需增加校正標數量；而現存校正標相鄰間距清查後均無超過



290m，亦符合 USGS 點位均勻分布的規範。考量校正標數量、維護難易度等因素涉及日後維護及校正標坐標標準值管制等問題，故校正標採固定維護點位與備用點位 2 種分類。經實驗後此校正系統至少需 32 個校正標方可進行校正作業程序，因此可由現存校正標挑選均勻分布的 50 個校正標作為固定維護點位供校正航拍使用，如未來點位遇毀損及遮蔽情形，其餘點位即可作為備用點位替代。本場校正能力為 GSD5cm~GSD25cm，2 個年度所辦理不同類型像機、不同 GSD 校正航拍，經確認航空公司均以場地整體範圍作為航線規劃依據，因此規劃未來可不必以拍攝 GSD 細分大、小校正場場地範圍。

綜整本計畫幾何校正作業成果，各年度主要辦理情形與研究進展流程如圖 5-30 所示。

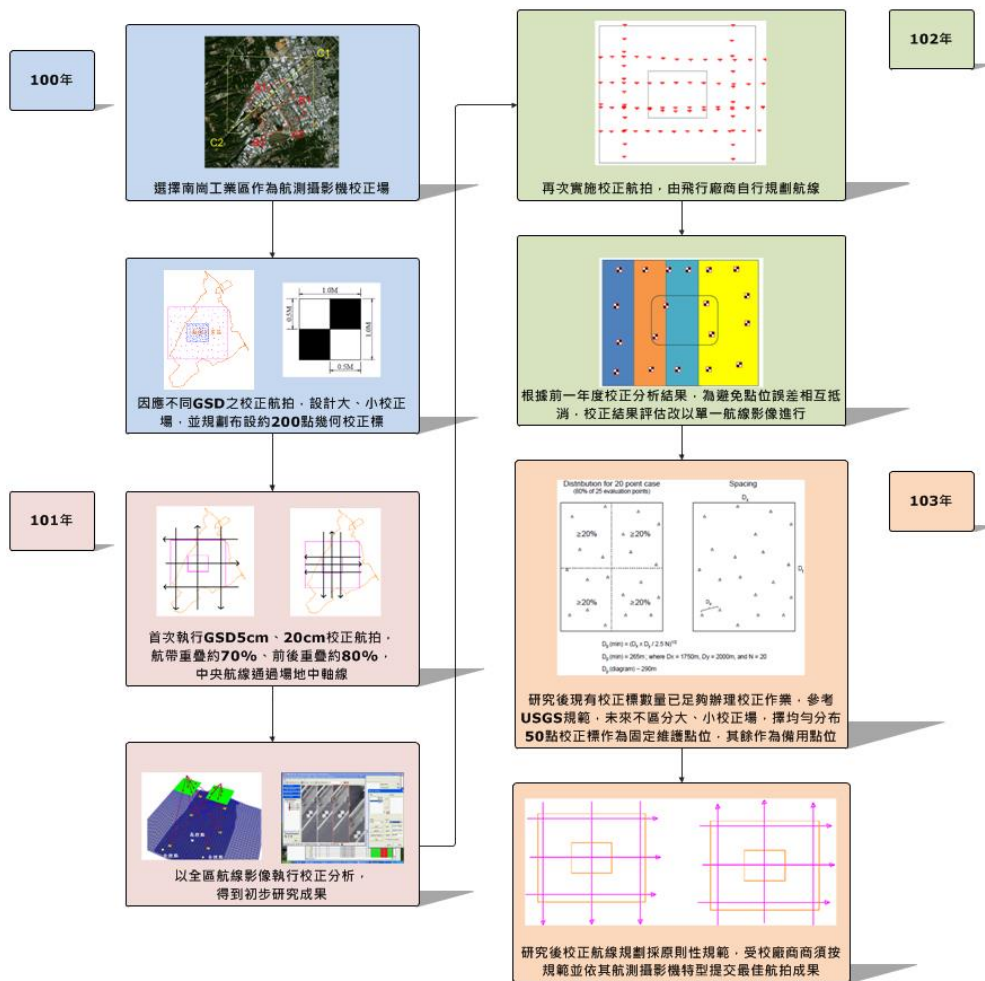


圖 5-30、幾何校正分析各年度工作辦理情形



(二)空間解析力校正

1.MTF 量測程序及分析

取得解析力校正標所在的影像後，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 5-31、解析力校正標量測區域示意

量測時係由半徑為 1 個像元處開始，以每次增加 2 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 5-32 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。

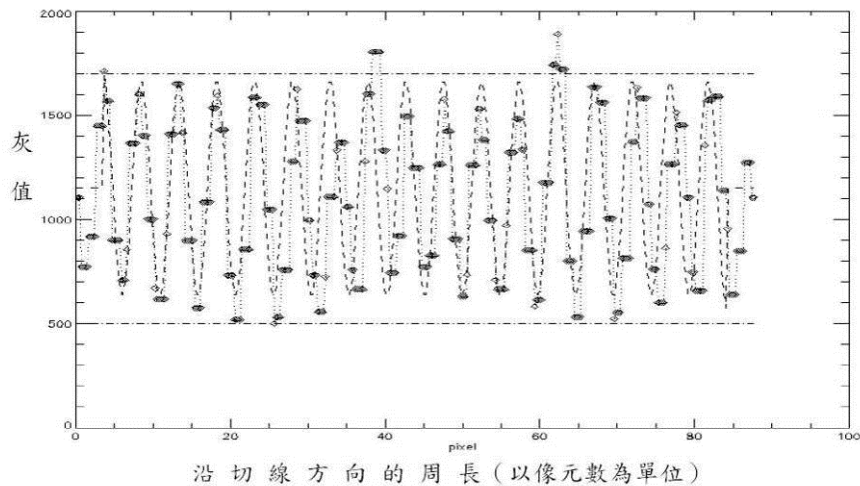


圖 5-32、沿西門子星半徑位置的切線方向之灰值示意圖

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 5-33 為 101 年度量測所展繪之 MTF 曲線。

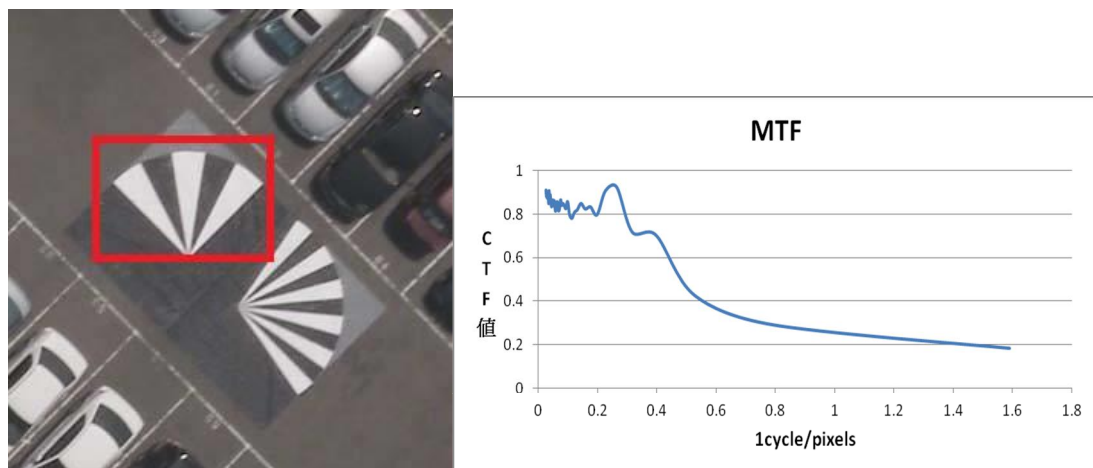


圖 5-33、101 年校正航拍 MTF 量測成果

由於以帆布製作的空間解析力校正標面積龐大，收存或布標擺放時難免產生折痕。經實驗後證實，拍攝所得帆布標影像，部分受拍攝角度及折痕影響產生反光導致顏色不均，亦會使 MTF 量測成果受到影響，如圖 5-34 所示。

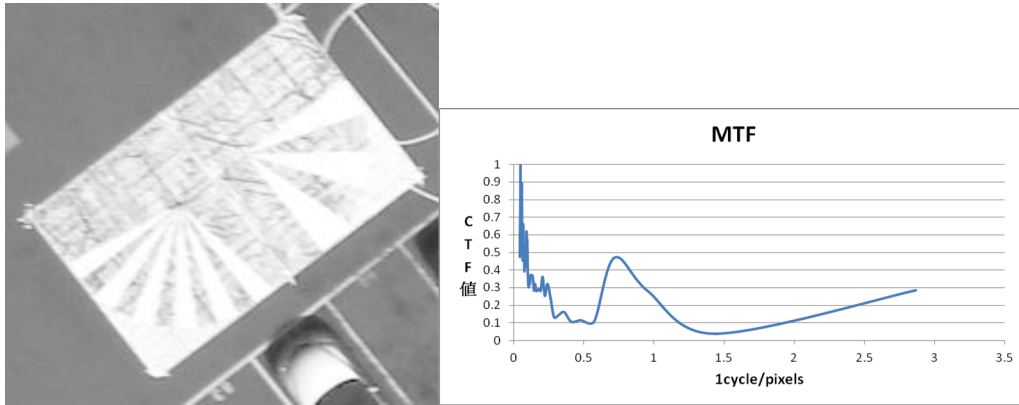


圖 5-34、因顏色不均導致量測成果產生偏差示意

有鑑於此，102 年同樣參考芬蘭以礫石為材料之經驗，改良以粗砂布配合平光漆重新製作校正標，設計成 4 張長寬各為 1m、5m，粒度 40 之矩形砂布組成近似藍勃特散射面的校正標，成果如圖 5-35。標形為長方型，尺寸為 5m×4m，每個扇形半徑為 2m，夾角為 22.5 度。此標形設計亦考量到以點散函數 (Point Spread Function, 以下簡稱 PSF) 方式間接評估影像解析力，因此白色扇形並未 360 度完全對稱，留半側黑底，可透過黑白區塊交界以計算 σ_{PSF} (模糊參數)。確認後改良之校正標已大幅改善先前因摺痕導致顏色不均之情形。



(1)砂布、平光漆製作過程



(2)102 年製作解析力校正標影像示意

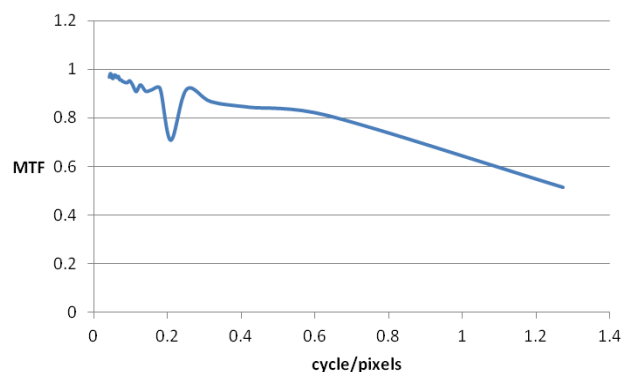


圖 5-35、改良式解析力校正標製作過程及 MTF 成果示意



2. 模糊參數 PSF 量測程序及分析

為了本計畫之研究所開發模糊參數量測程式，為第二種評估空間解析力的方式。依據影像處理學內的影像退化（degradation）模式，藉由量測影像內邊緣退化的情形，可導出所謂的點散函數（point spread function）後，間接推斷對應的 MTF 值。 σ_{PSF} 與 MTF 可藉由數學模式做轉換，意即求得 σ_{PSF} 則也等於得到 MTF 函數。由影像處理學來看，MTF 量測是直接在此空間內進行，模糊參數量測則是在頻率域內做影像退化模式估計，然後再做轉換計算。101 年研究進行時，解析力校正標材質尚維持原先帆布之設計，102 年調整以砂布、平光漆所製作之解析力校正標，於影像各位置均有良好的品質。因此實驗時挑選 2 個年度良好之校正標影像進行測試，以開發之程式計算出模糊參數 σ_{PSF} 並作比對分析。

```
輸入檔名稱: fusiondata.txt  
模糊參數: 0.934401  
請按任意鍵繼續 . . .
```

(1)101 年模糊參數成果

```
輸入檔名稱: input.txt  
模糊參數: 0.531875  
請按任意鍵繼續 . . .
```

(2)102 年模糊參數成果

圖 5-36、模糊參數量測成果

由量測成果比對可研判，102 年所使用改良後解析力校正標影像，量測後解析力略優於 101 年以帆布所製作之校正標影像。

3. 小結

101 年解析力校正標所使用之材質為帆布，其表面屬於亮面材質，油漆時雖加入消光劑但效果有限。又因其面積龐大收存時難免產生摺痕，於特定日光照射角度下便有亮斑情形產生，使校正結果出現偏差，可能較不宜作為空間解析力校正使用。102 年改善測試標型材質，可得知所使用校正標材質如能近似完全散射(Lambertian scattering)之特性，就算選擇校正標位於像幅邊緣之影像，幾乎不會產生所謂亮斑與暗影之情形。因此空間解析力校正日後若採以砂布材質所製作之



校正標，則校正過程中所使用之影像無論空間解析力校正標出現於像幅中任意位置，校正成果均須符合目前所設定之標準。

目前國內影像空間解析力標準，是以基本圖測製說明（內政部,2013）內所規定「調制轉換函數（MTF）在 20lp/mm 時不得低於 0.4」為校正標準。101 年以 UltraCamXP 攝影機與 102 年以 DMC-I 攝影機的測試結果，調制能力均達此規範，顯示數位攝影機的空間解析力比起以往傳統底片式攝影機高出許多。空間解析力校正方式，目前所設計可採 MTF 量測或模糊參數 PSF 量測二種方法進行，而兩種方法都為國際標準組織（ISO）採納作為判定數位攝影機解析力之用（ISO12233）。航測基本地形圖作業規範除了 MTF 的規定以外，影像品質要求亦有提及「模糊參數（blur parameter）不得大於 1 個像素尺寸」。考量西門子星標型尺寸龐大，需多片砂布方能拼湊而成，攜帶較為不便，且製作相對耗時。因此建議未來可採模糊參數小於 1 作為空間解析力校正標準。日後可於校正場內尋找適宜地點，油漆 2m × 2m(或以上)的黑白對半標形(如圖 5-37)，以現地布設方式，作為模糊參數量測使用。

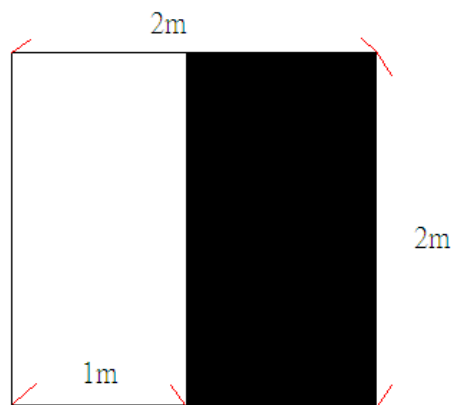


圖 5-37、建議未來用於解析力校正所使用之校正標標型



(三) 輻射校正

1. 輻射線性度校正

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資訊，但實際航拍時，由於未知的大氣干擾因素，所拍得影像不可能如實驗室般理想，故本校正截至目前研究僅為相對校正。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。

101 年實驗使用攝影機為 UltraCamXP，於 101 年 9 月 21 日上午 11 時至 12 時間對場內對八階輻射校正標進行拍攝。102 年實驗使用攝影機為 DMC-I，於 102 年 6 月 28 日下午 14 時至 16 時間對場內對八階輻射校正標進行拍攝。結束後以光譜儀先量取標準白板之光譜強度值，再依序量取輻射校正標之光譜強度值，順序如圖內 5-38 所示。



圖 5-38、輻射校正標光譜量測順序

光譜儀(Spectrometer)為量度某一特定目標在不同波長光之強度所設計之儀器，量測所得稱為該物件之波譜。波譜量測之的型態可大分為自發光(emitted light)、穿透光(transmitted light)、反射光(reflected light)、吸收光(absorbed light)，航空攝影所紀錄者為反射光。



本研究採用之地面光譜儀為臺灣超微光學(OTO Photonics Inc.)所發展製作之微型光譜儀 SD1200(圖 5-39)，該機型採用半導體微型光柵，相對應於一般使用透鏡與反射鏡組合者，對於震動之抗力較高，經評估認為較適合於外業作業。該型儀器之規格為：

- 光譜解析度：1.3 ~ 5.0 nm FWHM (可調整)
- 波長範圍：300-1000nm
- 開縫寬度(Slit)：25um
- 積分時間：1ms - 24s
- 光纖輸入端子：SMA905
- A/D 解析度：16 bit
- 外觀尺寸：84.5(W)x 100(D)x 28.4(H)mm

配件包含：

- 短光纖(Optical Fiber) : 芯徑 1000um, 長度 0.04m
- 光纖准直鏡(Collimator)



圖 5-39、OTO SD1200 及其附件(准直鏡、光纖，各圖非依等比例)

由於一般航空製圖攝影機，多以可見光為主，故此型光譜儀之光譜波長範圍應符合目前作業需求。積分時間為視當時日照強度決定，以能獲得不飽和情況下最大反應值為原則。因為，訊號強時訊雜比相對較佳。短光纖與光纖准直鏡則視所欲量測之標的大小與感測端與標的距離而定。一般而言，光纖准直鏡只收集垂直進入之光線，故較不受量測標的以外之其他物件影響。

除光譜儀以外，白板採用 Spectralon 製成者(Labsphere, 2006)。該標準件在波長 250-2500nm 區間，反射率分布於 0.939-0.989 之間。



在波長 400-800nm 區間，反射率則分布於 0.988-0.989 之間。由於該特性為材料所具，本標準件在出廠率定後便無需再度率定。本研究使用之 Spectralon，其率定追溯至美國國家標準檢驗局(NIST, U.S. National Institute of Standard and Technology)。

輻射校正標分別對應由白至黑共八階，2 年度量測光譜強度值如圖 5-40、5-41 所示，橫軸為光譜波長，縱軸為光譜強度值。

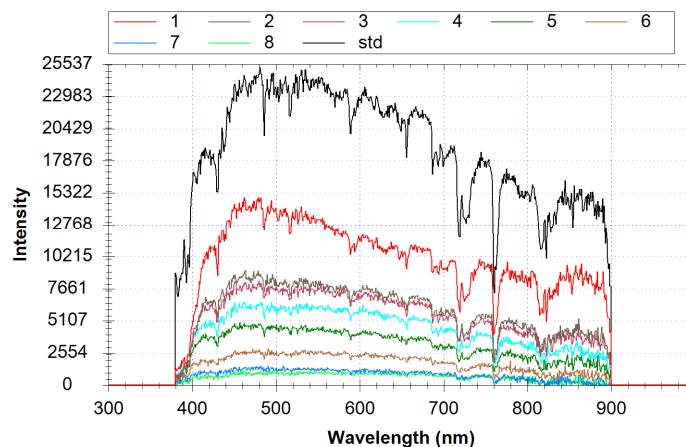


圖 5-40、101 年輻射校正標光譜強度值

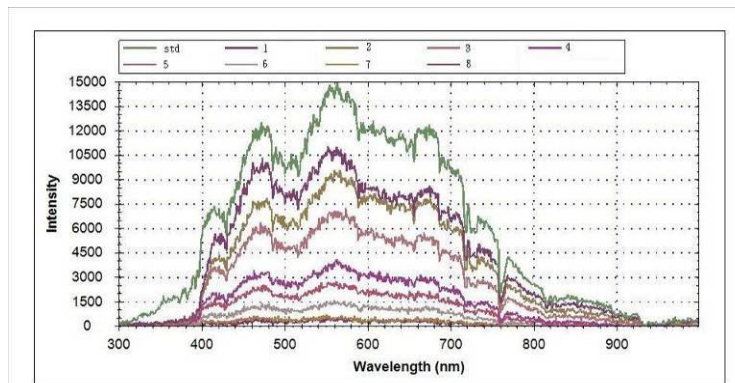


圖 5-41、102 年輻射校正標光譜強度值

光譜儀之感應範圍在波長 300-1000nm，2 次拍攝的環境條件與校正標塗料維持情形均有所差異，因此波形、灰度值與亮度間距，2 次所得量測成果並非完全一致，但可證明所設計之輻射校正標已可明顯區分 8 種不同色階，符合本項校正研究需求。而單一年度所有校正標之量測為在同一種大氣狀況下進行，除各波長對應之峰谷外，各個波譜中不同波長之強度值近乎相同，亦可佐證本研究所設計之標形已盡力符合白色之要求。



輻射校正標藉由光譜儀所量測的光譜強度值，以標準白板之光譜強度值作為分母，則可得反射值。取可見光波段資料進行計算，如表5-21、5-22，以差分方式進行積分，所計算之值為反射積分值。而各階輻射校正標以光譜儀量測，在各多光譜波段之反射積分值如圖5-42、5-43所示。

表 5-21、101 年輻射校正標量測化算光譜儀反射積分值

| 標形 | 波長(nm) | | |
|------|------------------|------------------|------------------|
| | 藍(399.67-499.63) | 綠(500.37-599.34) | 紅(600.13-699.37) |
| 白 1 | 57.2743 | 54.3288 | 50.2864 |
| 2 | 35.0579 | 33.3246 | 32.3293 |
| 3 | 32.4979 | 31.3591 | 30.3765 |
| 4 | 26.1295 | 25.6603 | 24.7137 |
| 5 | 19.9150 | 18.5469 | 17.5215 |
| 6 | 10.6994 | 10.6753 | 10.2382 |
| 7 | 5.5275 | 5.2265 | 4.9519 |
| 黑 8 | 3.9149 | 4.0964 | 4.1708 |
| 標準白板 | 100.64 | 99.71 | 100.03 |

表 5-22、102 年輻射校正標量測化算光譜儀反射積分值

| 標形 | 波長(nm) | | |
|------|------------------|------------------|------------------|
| | 藍(399.67-499.63) | 綠(500.37-599.34) | 紅(600.13-699.37) |
| 白 1 | 77.454 | 74.987 | 69.058 |
| 2 | 59.594 | 63.436 | 63.725 |
| 3 | 48.032 | 47.392 | 45.503 |
| 4 | 26.114 | 25.490 | 24.204 |
| 5 | 18.897 | 17.409 | 16.132 |
| 6 | 9.598 | 9.330 | 8.732 |
| 7 | 3.752 | 3.296 | 2.864 |
| 黑 8 | 2.234 | 2.456 | 2.379 |
| 標準白板 | 100.700 | 99.760 | 100.070 |

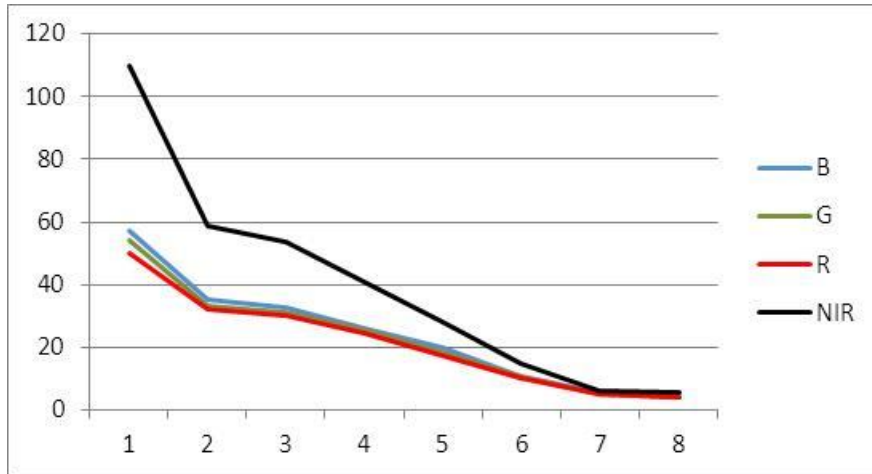


圖 5-42、101 年輻射校正標各階(橫軸)在大多光譜波段之反射積分值(縱軸)

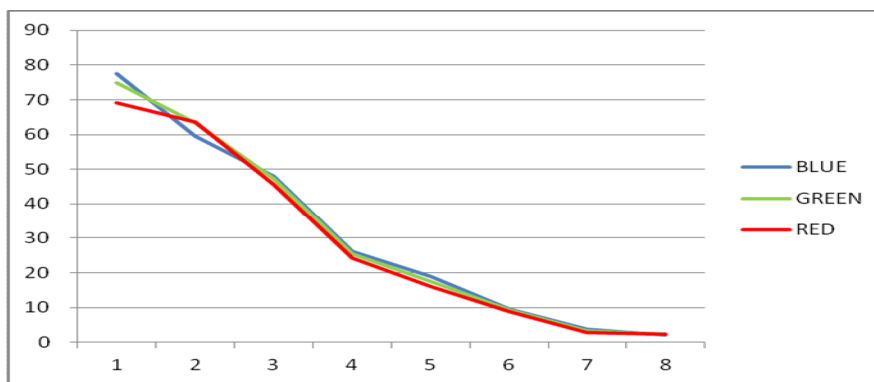


圖 5-43、102 年輻射校正標各階(橫軸)在大多光譜波段之反射積分值(縱軸)

101 年使用之影像為 GSD 約為 5cm，，原始影像為 16 位元各個輻射校正標在影像上約為 40x40 各像元。影像中各灰階標之統計值由影像中選取興趣區(Region of Interest)計算獲得，選取時為避免背景之影響，由各灰度標外緣內縮，本研究選擇內縮約 3 像元，故興趣區約為 34x34 像元。102 年使用之影像 GSD 約為 8cm，原始影像為 12 位元，灰度值值域介於 0 至 4096。各個輻射校正標在影像上約為 25x25 各像元，量取範圍選擇內縮約 2 像元，興趣區約為 21x21 像元。

由於興趣區為人為在影像上選取操作，各標選取大小及位置並非一致，且多次作業時亦難於重複。但是由於選取像元數均大於 1000，經試驗，對統計值之結果幾無影響。此外，內縮像元數愈多，受邊界背景影響愈小；但是反之，興趣區像元數亦會愈少。雖使用砂紙為背材，鏡面反射現象不大，但是各灰度標影像內仍有不均勻現象。如何



選取興趣區，內縮像元數應為多少，尚需進一步評估。

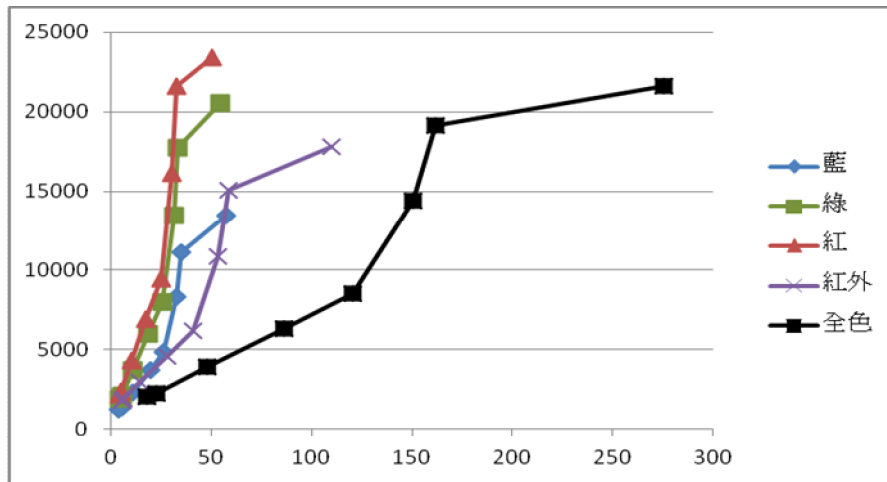


圖 5-44、101 年輻射校正標反射強度線性關係圖

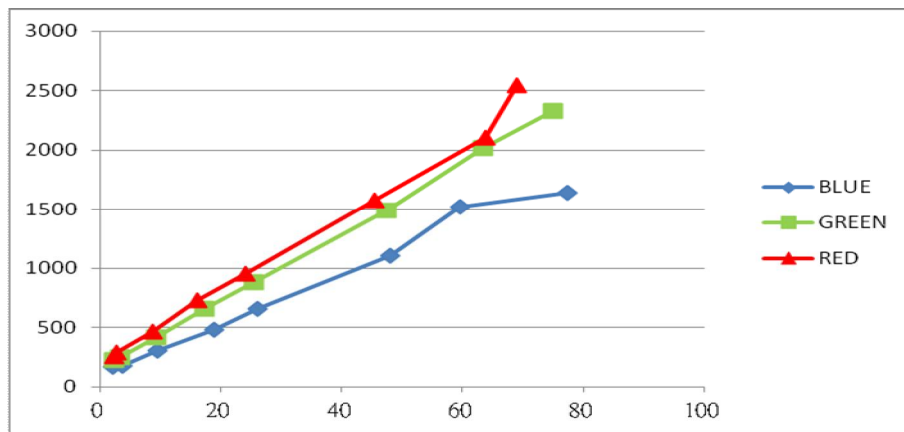


圖 5-45、102 年輻射校正標反射強度線性關係圖

2. 多譜波段間相對反應強度校正

校正方法為量測八階校正標中於多波段影像中反射率最強的輻射強度。量測峰值後，將各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。

101 年校正航拍使用的 UltraCamXp 攝影機，其出廠率定報告書內附有各波段的波譜反應曲線圖（圖 5-46），可以針對實際拍攝的結果是否與原廠率定書內所載相符進行校正。102 年所使用 DMC-I 攝影機的出廠率定報告書內雖附有各波段獨立的相對反應曲線（圖 5-47），但是並沒有敘明波段之間的相對比值，評估後並無合適方法執行此項校正。

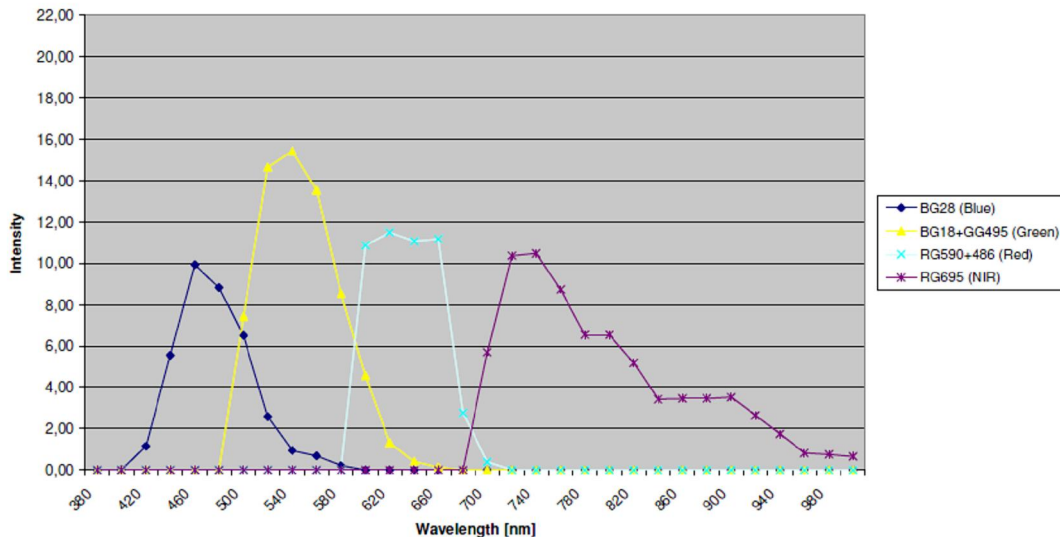


圖 5-46、多譜波段相對反應強度示意圖(UltraCamXp)

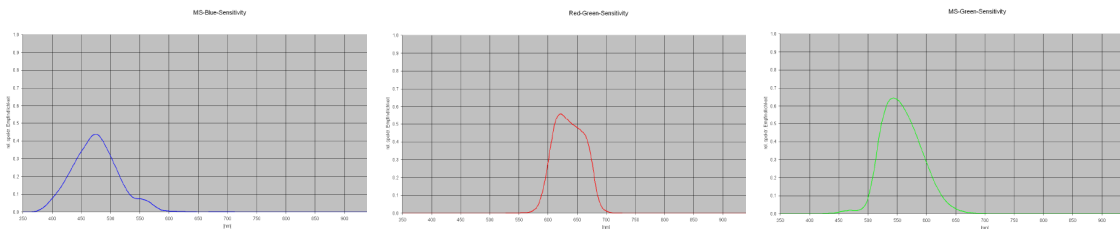


圖 5-47、各波段獨立反應強度示意圖(DMC-I)

多譜波段間相對反應強度校正目前評估較為困難，因各廠牌所用感光元件 (CCD) 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，僅是所呈現的各個色彩有所不同，原則上沒有標準可供校正參考。而各廠牌攝影機出廠報告內所載資訊不盡相同，且率定成果皆為實驗室率定所得，因此要以本場校正結果與出廠報告進行比對，其比對標準亦難定義。

3. 小結

截至目前分析結果，以砂布作為輻射校正標所得之航拍成果，進行輻射線性度校正已符合目前之預期。目前各廠牌的航測攝影機出廠率定書內都列有在實驗室內完成之輻射線性度率定，因此輻射線性度可以針對此部分進行校正。本場目前所規劃的輻射線性度校正為使用地面布設之不同亮度輻射校正標，觀察影像中相對反射率與地面校正標反射率間是否為線性。此一作業，受到影像後處理，如：由 12 位



元轉8位元方式 i 等影響，適合作為最後影像產品之管制使用。未來如何納入校正場營運項目，及擬定合格標準，需再詳加研議。

不同廠牌航測攝影機所用的多光譜（紅、綠、藍及近紅外光）濾鏡，因用途與遙測判釋不同，其頻域及頻寬等尚無標準化規範。各廠牌攝影機出廠報告格式不同，且感光元件亦多未提供絕對校正，故影像所得強度值(Grayscale, intensity)不易化算為輻射值(Radiance)，亦不易進一步經大氣修正等過程進而化算為絕對反射值(Reflectivity)，因此目前難於建立校正標準。經蒐集了解國際上的最新資訊，此項目雖持續有學術研究，但尚無重大成果發表。

綜整本計畫空間解析力與輻射校正作業成果，各年度主要辦理情形與研究進展流程如圖5-48所示。

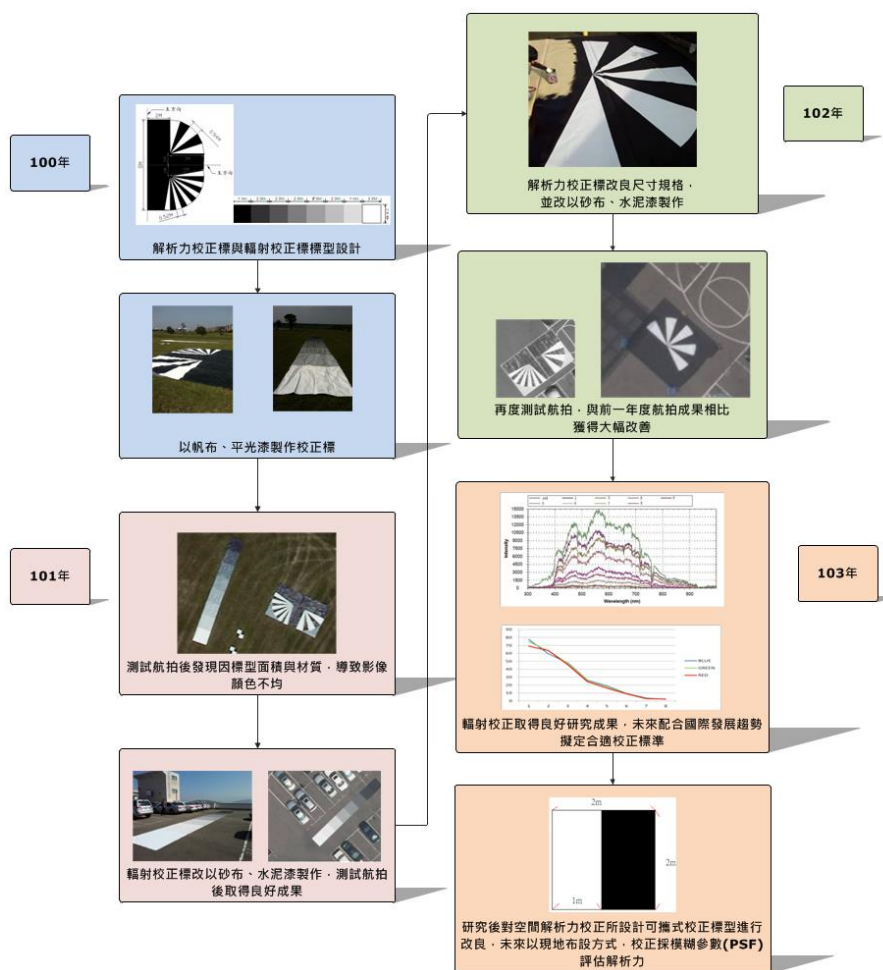


圖 5-48、空間解析力與輻射校正分析各年度工作辦理情形



五、航測攝影機系統校正作業整合

航測攝影機校正作業，包含了校正場維運相關行政作業、校正案件管理及校正分析技術。經考量國土測繪中心日後對外需提供的服務，以及內部辦理校正分析作業的需求，102 年預先以行政、技術此二層面將整體校正作業服務的工作內容適當地分類，如圖 5-49，規劃將不同工作內容需要的功能與流程進行連結整合，以輔實驗室未來辦理校正工作。

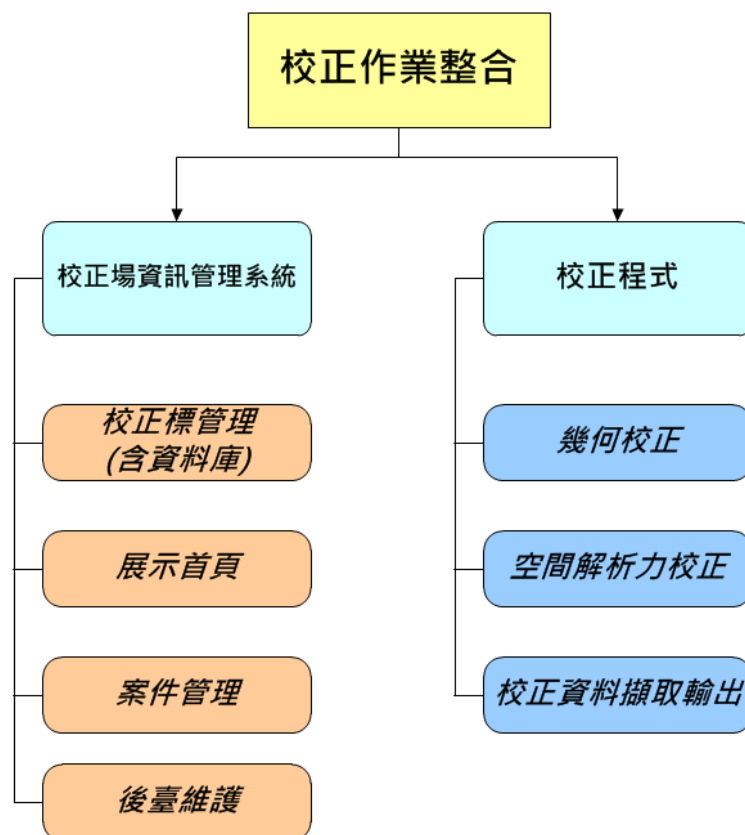


圖 5-49、整合作業架構

因應營運時將產生一般行政及校正案件管理的需求，因此規劃開發一作業系統，協助一般行政事務處理，並能整合校正分析作業所產生的報表、文件，使分析作業更為便利。



(一)校正場資訊管理系統雛形

為提高未來營運時之行政效率，校正作業系統架構規劃以網際網路系統之型態建置為主，透過網際網路之快速與便捷，輔助行政作業程序，並透過系統達到管理之功效。因應行政項目，規劃系統功能計有：

- 1、公開資訊如常態性或週期性之公告事項、下載使用申請表單檔案等，不需登入系統即可查閱或操作。
- 2、校正案件管理，有效整合送校廠商申請校正作業案的各項資料，廠商也可透過登入系統做查詢及資料的登錄。
- 3、幾何校正標資料維護。

由於未來本場規劃於每年開場前，需要對幾何校正標實施 GPS 測量，如此將產生相當數量的測量資料，且部分幾何校正標資料亦須更新或修改。經討論後，幾何校正標維護管理列為本年系統開發首要目標之一。具備功能如下，詳如表 5-22：

- 1、校正標資訊查詢、成果維護等。
- 2、為利於迅速了解幾何校正標空間概略位置及分布情形，展示所需之底圖資料，擬以介接方式將國土測繪中心網路地圖服務導入系統，避免系統底圖重複建置，達到資源共享之目的。
- 3、在校正標管理功能圖臺上，設置簡單套疊分析之功能。
- 4、歷史 GPS 控制測量成果查詢。



表 5-23、校正標管理初步規劃應具備之欄位功能

| 主功能 | 次功能 | 內容 | 說明 |
|-------|----------|---|----------------------|
| 校正標管理 | 校正標查詢 | 校正標點號、坐標值、關鍵字查詢、套圖顯示、統計、簡單量距 | 查詢校正標資料 |
| | 校正標維護管理 | 點號、校正場類別、土地產權測設機關、測設日期、測設地點、中心點規格、最近清查日期、清查情形、維護方式、維護後狀況、坐標控制測量年份、點位坐標、點位到達方式說明、點位到達方式說明(圖)、是否需事先聯絡、受文單位、受文地址、聯絡人、聯絡電話、位置示意圖、點位現場照片…等 | 校正標資料編輯 |
| | 校正標資訊輸出 | 匯出所需項目 | 匯出所需欄位 EXCEL 或 TXT 檔 |
| | 校正標點之記輸出 | 校正標點之記 | 列印校正標點之記 |

同時亦規劃設計展示首頁，能利於各界使用者對於本校正計畫能有所了解。展示首頁之版面配置參考國土測繪中心「通用版電子地圖」入口網站首頁，內容包含各項校正場資訊介紹，並有中、英文兩種不同語言類型的入口網站，各項功能按表 5-24 規劃建置：

表 5-24、展示首頁功能規劃

| 功能資訊列 | 內容 | 說明 |
|-------------|-----------------------------------|----------------|
| 訊息公告 | | 訊息公告 |
| 關於航測攝影機校正 | 計畫緣起、計畫目標 | 校正服務介紹 |
| 校正項目說明與場地介紹 | 各項校正說明與場內地理資訊、交通方式 ⁱ 等 | 校正項目簡介 |
| 服務流程說明 | 服務流程 | 服務流程介紹 |
| 檔案下載 | | 提供相關文件表格下載 |
| 人數統計器 | | 統計網站當日、當月瀏覽總人數 |
| 關鍵字搜尋 | | 列出輸入關鍵字的頁面 |
| 服務信箱 | | 使用者可以電子郵件方式提問 |
| 相關連結 | | 相關領域網站連結 |
| 管理者專區 | | 登入校正場資訊管理系統 |



(二)校正場資訊管理系統更新建置成果

101年以上述規劃完成校正場資訊管理系統雛形架構，同時並預留多項功能欄位於102年持續精進開發。經過多次需求訪談及工作會議討論後，決定將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。功能層次結構圖如下所示。

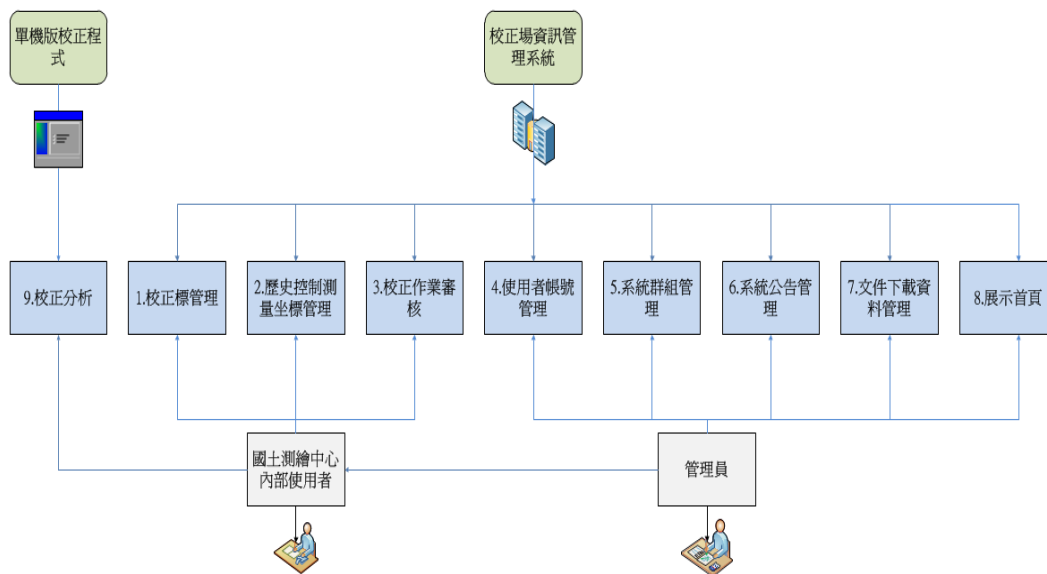


圖 5-50、系統功能結構圖

以下對完成建置後之系統功能作說明。

1.系統環境

系統相關參與者可分為系統管理員、國土測繪中心內部使用者、以及一般使用者。系統管理員主要為本系統之維護管理人員，主要功能為管理後端平臺、資訊網內容維護與管理系統權限、帳號管理。國土測繪中心內部使用者主要為校正業務之負責人員，負責校正標資料維護、案件資料管理及校正分析作業。一般使用者不需帳號登入，即可進入航測攝影機系統校正資訊網瀏覽網頁訊息，作系統前端之功能使用。

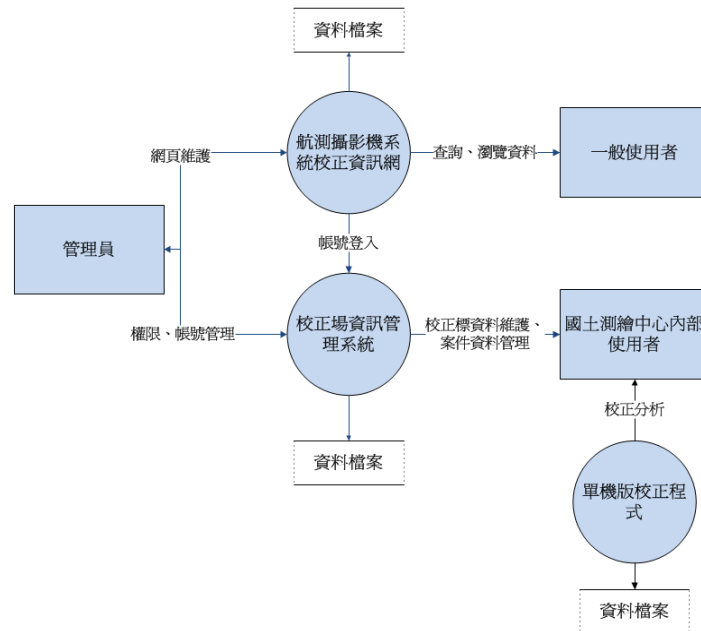


圖 5-51、校正場資訊管理系統環境圖

2. 系統資料流程圖

系統前端主要為建立航測攝影機校正資料內容首頁，供一般使用者查看相關資料，後端系統則對校正相關資料進行管理，資料流程圖如下圖所示。

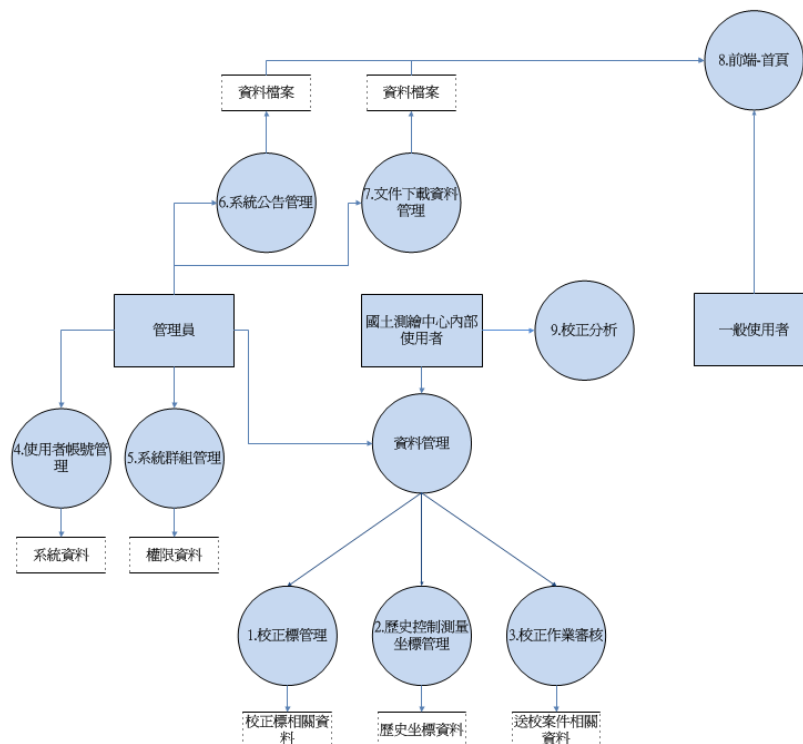


圖 5-52、校正場資訊管理系統資料流程圖



後端系統說明如下：

- (1) 校正標管理：維護校正標資料。主要功能為校正標資料查詢、校正標資料編輯、校正標資料輸出。
- (2) 歷史控制測量坐標管理：維護歷年校正標控制測量資料。主要功能為控制測量坐標查詢、控制測量坐標編輯、控制測量坐標輸出。
- (3) 校正作業審核：維護校正案件資料。主要功能為送校案件維護、送校案件查詢、案件檔案管理、審查進度查詢、校正成果上傳、校正報告輸出。
- (4) 使用者帳號管理：維護系統資料及個人帳號使用功能權限。主要功能為系統資料維護、帳號資料維護、管理者個人資料維護。
- (5) 系統群組管理：維護群組帳號資料及帳號使用功能權限。主要功能為使用者群組維護、使用者群組權限設定。
- (6) 系統公告管理：首頁訊息公告管理。主要功能為系統公告編輯、系統公告查詢。
- (7) 文件下載資料管理：首頁檔案下載管理。主要功能為文件下載資料編輯、文件下載資料查詢。
- (8) 首頁：提供航測攝影機相關資訊瀏覽
- (9) 校正分析：
 - A. 幾何校正計算：可計算檢核點坐標值於空中三角測量平差計算後與地面測量值之差值，或檢核點之像點於空中三角測量平差計算前後之差值，並分別計算 dx 、 dy 、 dxy 、 dz 和 $dxyz$ 的及其均方根值。
 - B. 解析力校正計算：計算航測影像指定位置之 MTF、PSF 之標準偏差 σ ，並輸出計算作業相關資訊。
 - C. 幾何校正點位坐標管制：可讀取不同專案之空三報表檔，比較控制點之差值。



3.系統子功能

(1)校正標管理

內政部國土測繪中心
National Land Surveying and Mapping Center
航測攝影機系統校正資訊網

累計瀏覽次數：001071
目前線上使用人數：001

使用者帳號管理 系統群組管理 校正標管理 歷史控制測量坐標管理 校正作業審核 系統公告管理 文件下載資料管理 登出 首頁

| | | | | | |
|--------------|---|--------------|------------|--------------|-------------|
| 校正標類別 | 固定維護點位 | 土地產權 | 私有地 | 測設機關 | 內政部國土測繪中心 |
| 測設年月 | 101/06 | 測設地點 | 建物頂樓 | 中心點規格 | 網片標 |
| 最近清查年月 | 102/04 | 清查人員 | 王怡舜 | 清查情形 | 點位存在 |
| 補漆年月 | 102/04 | 補漆人員 | 陳紹麒 | GPS控制測量年月 | 101/06 |
| N_TWD97 | 2647141.088 | E_TWD97 | 215068.934 | h_TWD97 | 235.194 |
| N_TWD97_2010 | 2647140.851 | E_TWD97_2010 | 215069.271 | h_TWD97_2010 | 235.129 |
| 點位到達方式說明 | 劍麟股份有限公司大門口位於工業北路上，從大門沿黃色箭頭方向直行進入中央大樓電梯，搭乘電梯前往四樓，出電梯後直行抵達四樓露臺，即可發現點位。 | 是否需事先聯絡 | 是 | 單位 | 劍麟股份有限公司 |
| 地址 | 南投縣南投市工業北路13號 | 聯絡人 | 蔡奇學先生 | 聯絡電話 | 0963-025115 |
| 備註 | 無 | | | | |

注意：
1、若要更新附件檔案請選取上傳檔案，系統將覆蓋原有附件檔案，若否請勿上傳檔案。
2、上傳檔案格式需為「.jpg、.jpeg、.gif、.png、.bmp」。

編輯資料檔案

| | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|-------|
| 點位到達方式說明圖 | 位置示意圖 | 近照 | 遠照 | 點位透空圖 |
| | | | | |
| 四方向照片(東) | 四方向照片(南) | 四方向照片(西) | 四方向照片(北) | 航拍照片 |
| | | | | |

圖 5-53、校正標管理功能畫面示意

- 校正標資料匯入：依範例檔格式將校正標資料匯入。
- 校正標維護管理：依關鍵字查詢或依條件篩選資料後，搜尋出符合條件之校正標資料後，對資料進行編輯。
- 校正標資訊輸出：依關鍵字查詢或依條件篩選資料後，將選取之校正標資料匯出。
- 校正標圖臺查詢：以介接方式將國土測繪中心網路地圖服務導入系統。依設定條件查詢後，於圖臺上展示校正標分布與資料，並可進行簡易地理資訊分析與資料輸出。



- E. 校正標點之記輸出：依關鍵字查詢或依條件篩選資料後，將個別校正標點之記或所選取之校正標資料匯出。
- F. 校正標管制圖表：依範例檔格式將管制表資料匯入，可於畫面顯示各點位校正標管制圖。

(2) 歷史控制測量坐標管理

| 點號 | 年分 | Y坐標(TWD97) | X坐標(TWD97) | 高程(TWD97) | Y坐標(TWD97[2010]) | X坐標(TWD97[2010]) | 高程(TWD97[2010]) |
|------|-----|-------------|------------|-----------|------------------|------------------|-----------------|
| A004 | 102 | 2647504.449 | 214694.695 | 251.718 | 2647504.214 | 214695.032 | 251.651 |
| A006 | 102 | 2647141.086 | 215068.936 | 235.210 | 2647140.852 | 215069.273 | 235.144 |
| A007 | 102 | 2647193.539 | 215043.694 | 213.371 | 2647193.305 | 215044.029 | 213.306 |
| A009 | 102 | 2647278.683 | 215129.927 | 221.317 | 2647278.449 | 215130.263 | 221.251 |
| A014 | 102 | 2647082.072 | 215132.716 | 230.286 | 2647081.837 | 215133.051 | 230.221 |
| A015 | 102 | 2647175.565 | 215119.285 | 216.132 | 2647175.330 | 215119.621 | 216.066 |
| A016 | 102 | 2647006.622 | 215122.527 | 224.668 | 2647006.388 | 215122.862 | 224.603 |
| A027 | 102 | 2647104.445 | 215221.188 | 213.165 | 2647104.212 | 215221.522 | 213.099 |
| A029 | 102 | 2647293.634 | 215198.174 | 201.782 | 2647293.400 | 215198.509 | 201.717 |
| A031 | 102 | 2647360.662 | 215227.232 | 198.900 | 2647360.427 | 215227.567 | 198.835 |

圖 5-54、歷史控制測量坐標管理功能畫面示意

- A. 控制測量坐標匯入：依範例檔格式將歷史控制測量坐標資料匯入。
- B. 控制測量坐標資料管理：依關鍵字查詢或依條件篩選資料後，搜尋出符合條件之歷史控制測量坐標資料，對資料進行編輯。
- C. 控制測量坐標資料圖臺查詢：以介接方式將國土測繪中心網路地圖服務導入系統。依設定條件查詢後，於圖臺上展示歷史控制測量坐標分布與資料，並可進行簡易地理資訊分析與資料輸出。



(3) 校正案件管理

內政部國土測繪中心
National Land Surveying and Mapping Center
航測攝影機系統校正資訊網

累計瀏覽次數：001071
目前線上使用人數：001

使用者帳號管理 系統群組管理 校正標管理 歷史控制測量坐標管理 校正作業審核 系統公告管理 文件下載資料管理 登出 首頁

送校案件維護

| | |
|--|------------------------|
| 申請單編號：2014092601 | *申請日期：2014/09/26 |
| *顧客單位名稱：中華民國航空測量及遙感探測學會 | *統一編號：04191993 |
| 聯絡人：王怡舜 | *聯絡電話：02-29311112 |
| *傳真：02-29317225 | |
| *聯絡地址：臺北市文山區羅斯福路五段113號五樓 | |
| *報告抬頭：中華民國航空測量及遙感探測學會 | |
| *報告地址：臺北市文山區羅斯福路五段113號五樓 | |
| *廠牌型號：TESTABC1234567890 | *儀器序號：A1234567890 |
| *航拍日期：2014/09/25 | *航拍影像地元解析度 (GSD)：10 cm |
| GPS(衛星定位系統)型號：Applanix POS 510 (未使用則可填無) | *儀器焦距：62.7 mm |
| IMU(慣性測量元件)型號：Applanix POS 510 (未使用則可填無) | *儀器像元尺寸：6 μm |

顧客資料
校正件資料

案件狀態：審核完畢

儲存 取消

圖 5-55、校正案件管理功能畫面示意

- 送校案件維護：依關鍵字查詢或依條件篩選資料後，搜尋出符合條件之案件資料，對資料進行編輯。
- 送校案件查詢：依關鍵字查詢或依條件篩選資料後，搜尋出符合條件之案件資料。
- 案件檔案管理：將校正航拍成果檔案、校正作業成果檔案、紀錄表單上傳，並可執行下載或刪除檔案功能。
- 幾何校正成果上傳：選取案件後，將幾何校正成果檔案上傳，可執行下載或刪除檔案功能。上傳幾何校正成果檔案後，可輸出幾何校正報告。
- 空間解析力校正成果上傳：選取案件後，將空間解析力校正成果檔案上傳，可執行下載或刪除檔案功能。上傳空間解析力校正成果檔案後，可輸出空間解析力校正報告。



(4)使用者帳號管理

圖 5-56、使用者帳號管理功能畫面示意

- A. 使用者帳號維護：管理使用者資料。
- B. 使用者帳號權限維護：管理使用者之權限使用狀態。
- C. 個人資料維護：使用者編輯個人資料。
- D. 單位維護：使用者之單位資料編輯。
- E. 系統資料維護：可針對如：「校正場類別」、「土地產權」、「測設機關」內容作資料編輯。



(5) 系統群組管理

內政部國土測繪中心
National Land Surveying and Mapping Center
航測攝影機系統校正資訊網

累計瀏覽次數：001071
目前線上使用人數：001

使用者帳號管理 系統群組管理 校正標管理 歷史控制測量坐標管理 校正作業審核 系統公告管理 文件下載資料管理 登出 首頁

第 1 頁 / 共 1 頁，資料筆數共 2 筆

| 權限設定 | 群組名稱 | 說明 |
|---|---------|---------|
| <input type="button" value="儲存"/> <input type="button" value="取消"/> | 系統管理群組 | 系統管理群組 |
| <input type="button" value="權限設定"/> | 測繪中心使用者 | 測繪中心使用者 |

- 使用者帳號管理--使用者帳號維護
- 使用者帳號管理--使用者帳號權限維護
- 使用者帳號管理--個人資料維護
- 使用者帳號管理--單位維護
- 使用者帳號管理--系統資料維護
- 系統群組管理--使用者群組維護
- 系統群組管理--使用者群組權限設定
- 校正標管理--校正標資料匯入
- 校正標管理--校正標維護管理
- 校正標管理--校正標資訊輸出
- 校正標管理--校正標查詢
- 校正標管理--校正標點之記錄輸出
- 校正標管理--校正標管制圖表
- 歷史控制測量坐標管理--控制測量坐標匯入
- 歷史控制測量坐標管理--控制測量坐標資料管理
- 歷史控制測量坐標管理--控制坐標資料查詢
- 校正作業審核--送校案件維護
- 校正作業審核--送校案件查詢
- 校正作業審核--案件檔案管理
- 校正作業審核--審查進度查詢
- 校正作業審核--幾何校正成果上傳
- 校正作業審核--空間解析力校正成果上傳
- 系統公告管理--系統公告維護
- 系統公告管理--系統公告查詢
- 文件下載資料管理--文件下載資料維護
- 文件下載資料管理--文件下載資料查詢

圖 5-57、系統群組管理功能畫面示意

- A. 使用者群組維護：可對使用者群組資料如：「群組名稱」、「說明」進行新增、編輯或刪除。
- B. 使用者群組權限設定：可設定使用者群組使用系統功能之權限。



(6) 系統公告管理

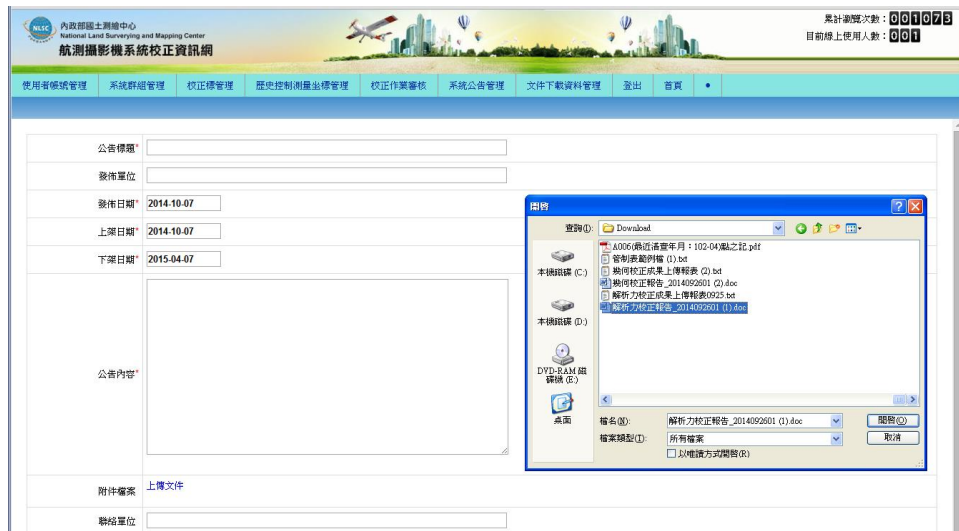


圖 5-58、系統公告管理功能畫面示意

- A. 系統公告維護：可新增、編輯、刪除公告資料，並上傳任意格式之附件檔案，提供瀏覽者下載。
- B. 系統公告查詢：依設定條件查詢公告資料。

(7) 文件下載資料管理



圖 5-59、文件下載資料管理功能畫面示意

- A. 文件下載資料維護：可新增、編輯、刪除文件資料，並可上傳任意格式之附件檔案，提供展示首頁瀏覽者下載。
- B. 文件下載資料查詢：可依設定條件查詢上傳之文件資料。



(8) 展示首頁

The screenshot shows the homepage of the National Land Surveying and Mapping Center (NLSC). The header includes the NLSC logo and the text '內政部國土測繪中心 National Land Surveying and Mapping Center 航測攝影機系統校正資訊網'. There is an 'English' button in the top right. A navigation menu on the left lists: 訊息公告, 關於航測攝影機校正, 校正項目說明, 校正場地介紹, 服務流程說明, and 檔案下載. Below the menu are '管理者專區' and '服務信箱' buttons. The main content area features a '訊息公告' section with two items: 'test' dated 2014-10-07 and '123' dated 2014-10-07. On the right, there are two sidebars: '相關連結' with links to the center's website, a digital map, and data integration; and '瀏覽人數' showing 1 visitor online, with a table of daily, daily, weekly, monthly, and cumulative counts.

| Category | Count |
|----------|-------|
| 本日 | 2 |
| 昨天 | 1 |
| 本週 | 3 |
| 本月 | 22 |
| 累計人數 | 1073 |

圖 5-60、展示首頁功能結構

- A. 首頁靜態資料：瀏覽網頁訊息。
- B. 檔案下載：已上傳系統之文件可供一般使用者下載。
- C. 服務信箱：提供一般使用者以電郵方式與實驗室聯絡。



(9) 校正分析

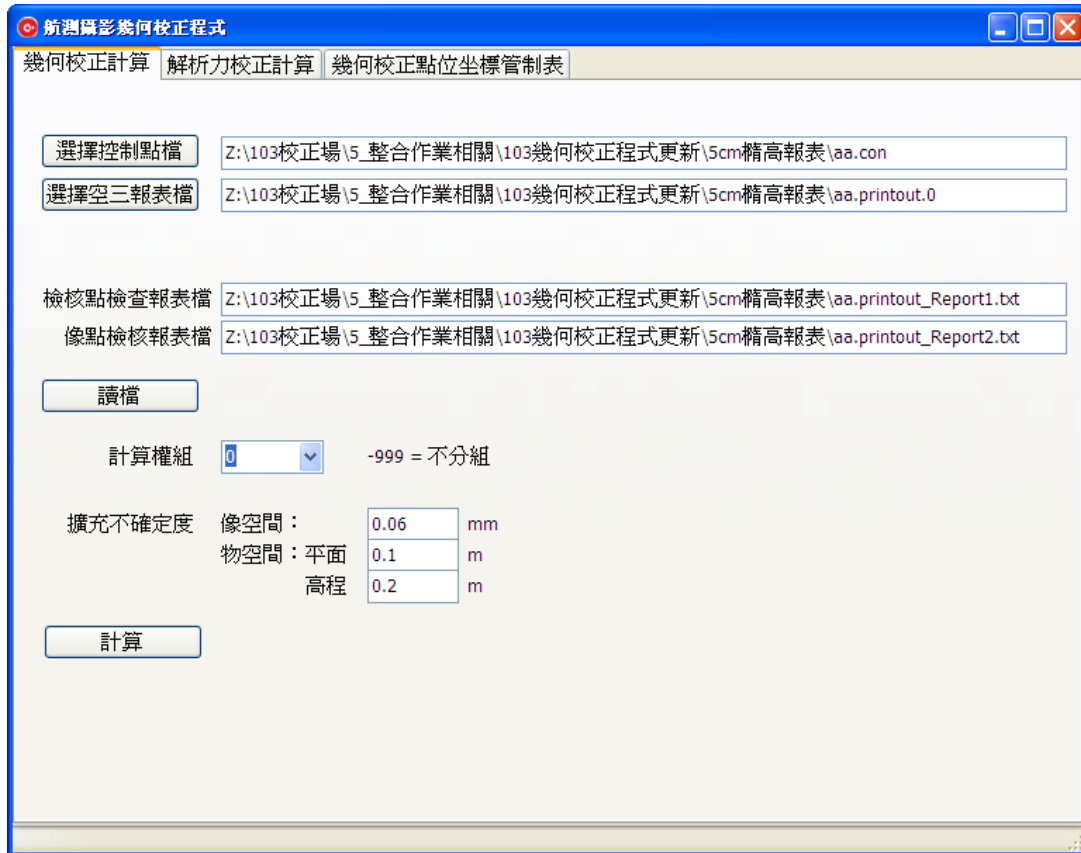


圖 5-61、校正分析功能畫面示意

- A. 幾何校正計算：可計算檢核點坐標值於空中三角測量平差計算後與地面測量值之差值，或檢核點之像點於空中三角測量平差計算前後之差值，並分別計算 dx 、 dy 、 dxy 、 dz 和 $dxyz$ 的及其均方根值。
- B. 空間解析力校正計算：計算航測影像指定位置之 MTF、PSF 之標準偏差 σ ，並輸出計算作業相關資訊。
- C. 幾何校正坐標點位管制表：可讀取不同專案之空三報表檔，比較控制點之差值。



(三)校正程式開發與整合

1.程式規劃

考量各校正項目分析環節是各自獨立，均於單機環境下現有的軟體或程式執行，因此不與校正場資訊管理系統直接連結，採個別開發程式來進行不同校正項目的分析。

幾何校正規劃於單機作業環境執行，所使用軟體為國土測繪中心現有的空中三角計算軟體。幾何校正辦理完畢後，可產生校正成果報表，並以匯入方式於校正場資訊管理系統輸出校正報告資訊。

空間解析力校正規劃開發計算 MTF、PSF 量測程式亦是在單機作業環境執行。校正作業辦理完畢後，可產生校正成果報表，並以匯入方式於校正場資訊管理系統輸出校正報告資訊。

而為確認當期校正標於場地開放後至校正航拍完畢期間是否有位移之情形，空中三角測量階段以半強制網平差對校正標進行粗差偵測，規劃可將不同期空三報表同時匯入程式，並可設定管制範圍，程式計算後輸出管制報表。報表內設計列出控制點實測坐標值與平差後計算坐標值，若超出管制範圍便於計算差值結果旁作註記，提醒作業人員應再對此點位作檢核。

2.整合成果

102 年所開發幾何校正程式、空間解析力校正程式，於 103 年與坐標管制計算程式完成整合工作，可供作業人員於單一介面使用。以下說明程式功能與操作方式。

(1)幾何校正計算

如圖 5-62 所示，於程式操作介面下，匯入單航線校正所使用的控制點檔、空中三角專案報表檔，可設定計算檢核點之權組與該次校



正擴充不確定度，點選計算按鈕後即匯出結果報表。

圖 5-62、校正式式介面-幾何校正計算

檢核點檢查報表內除了列有各項統計指標外，亦列出個別檢核點的器差結果，若超出該次校正所設定擴充不確定度，結果旁以星號(*)作標記，作業人員應再次作檢核。

| dX | dY | dXY | dZ | |
|----------|---------|---------|---------|-------------------------------|
| -0.0477* | 0.0204 | 0.0519* | -0.0046 | X差值絕對值之最大殘差值: 0.1136 (9134) |
| -0.0334 | 0.0114 | 0.0353* | -0.0100 | Y差值絕對值之最大殘差值: 0.0566 (8099) |
| -0.0044 | 0.0227 | 0.0231 | -0.0176 | XY差值最大殘差值: 0.1188 (9134) |
| -0.0568* | 0.0264 | 0.0626* | -0.0566 | Z差值絕對值之最大殘差值: 0.1812 (9134) |
| -0.0491* | 0.0201 | 0.0531* | -0.0330 | 差值最大殘差值(XYZ): 0.2167 (9134) |
| -0.0679* | -0.0055 | 0.0681* | -0.1075 | X差值平均值: 0.0118 |
| -0.0186 | 0.0134 | 0.0229 | 0.0133 | Y差值平均值: 0.0047 |
| | | | | XY差值平均值: 0.0334 |
| | | | | Z差值平均值: -0.0432 |
| | | | | XYZ差值平均值: 0.0636 |
| | | | | X差值均方根值: 0.0341 |
| | | | | Y差值均方根值: 0.0198 |
| | | | | XY差值均方根值: 0.0394 |
| | | | | Z差值均方根值: 0.0632 |
| | | | | XYZ差值均方根值: 0.0744 |

圖 5-63、幾何校正計算-檢核點檢查報表

像點檢核報表則列有各檢核點倒投影回像面後的像點坐標與殘差，作業人員可由此報表確認校正標立體量測的精度與品質。

| 點號 | 片號 | 倒投影像坐標imx | 倒投影像坐標imy | 觀測值obsx | 觀測值obsy | dx | dy | dxy |
|------|-------|-----------|-----------|----------|---------|---------|---------|--------|
| 9005 | 3_136 | 13.5612 | 51.4941 | 13.5615 | 51.4963 | -0.0003 | -0.0022 | 0.0022 |
| 9005 | 3_137 | 1.1361 | 50.6312 | 1.1359 | 50.6313 | 0.0002 | -0.0001 | 0.0002 |
| 9005 | 3_138 | -15.2623 | 49.8803 | -15.2623 | 49.8779 | 0.0000 | 0.0024 | 0.0024 |
| 9009 | 3_137 | 30.1947 | 40.1300 | 30.1944 | 40.1292 | 0.0003 | 0.0008 | 0.0009 |
| 9009 | 3_138 | 15.0572 | 41.0527 | 15.0573 | 41.0526 | -0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 9009 | 3_139 | -1.4055 | 41.9201 | -1.4048 | 41.9206 | -0.0007 | -0.0005 | 0.0009 |
| 9009 | 3_140 | -17.5678 | 41.5615 | -17.5687 | 41.5609 | 0.0009 | 0.0006 | 0.0011 |
| 9009 | 3_141 | -29.6394 | 40.3568 | -29.6391 | 40.3578 | -0.0003 | -0.0010 | 0.0010 |
| 9012 | 3_137 | 25.6734 | 39.5015 | 25.6745 | 39.5030 | -0.0011 | -0.0015 | 0.0019 |

圖 5-64、幾何校正計算-像點檢核報表



(2)空間解析力校正計算

如圖 5-65 所示，於程式操作介面下，匯入空間解析力校正標影像，於視窗內設定欲量測的邊界線，點選計算按鈕後即匯出結果報表，報表內資訊包含影像名稱、大小、量測範圍、校正結果 i 等資訊。

影像名稱: 103dmc2.tif
 影像寬: 316
 影像高: 411
 第一點Sample: 52
 第一點Line : 348
 第二點Sample: 74
 第二點Line : 355
 計算的線數 : 13
 PSF sigma: 0.232484
 MTF sigma: 0.684585

圖 5-65、校正式介面-解析力校正計算

(3)校正標點位管制

如圖 5-66 所示，於程式操作介面下，匯入全區空中三角平差所使用的控制點檔、空中三角專案報表檔，可設定管制區間，點選計算按鈕後即匯出結果報表。坐標管制報表內列出控制點實測坐標值與平差後計算坐標值，若超出管制範圍於計算差值結果旁以星號(*)作標記，作業人員應檢核該點位坐標成果品質。

| GPS實測坐標值 | 校正作業 | 102 |
|-------------|------|-------------|
| 2647932.115 | 計算值 | 2647932.182 |
| | 差值 | 0.067 |
| 216401.369 | 計算值 | 216401.456 |
| | 差值 | 0.087 |
| 96.354 | 計算值 | 96.722 |
| | 差值 | 0.368* |
| 2646319.986 | 計算值 | 2646319.965 |
| | 差值 | -0.021 |
| 216340.376 | 計算值 | 216340.351 |
| | 差值 | -0.025 |
| 137.237 | 計算值 | 137.703 |
| | 差值 | 0.466 |

圖 5-66、校正式介面-校正標點位管制



(四)總結

校正程式內所匯出之幾何校正檢核點檢查報表、空間解析力校正結果報表及校正標坐標管制報表，均可上傳至校正場資訊管理系統隨校正案件共同管理，於系統內藉由讀取報表輸出各類校正報告與管制圖。詳細系統與程式操作方式，可參考103年校正整合作業相關工作成果。

經102年建置系統雛型、103持續精進整合後，網頁系統各項功能趨於完善，能有效對校正標資料與案件資料進行管理。單機版校正程式整合後以更簡捷的介面提供使用者操作，可省略繁瑣計算程序以半自動化方式進行校正作業計算；一方面可減少校正作業所需時間，一方面可減少因人工所產生的失誤。本計畫透過開發管理系統與程式，達到輔助營運行政作業之功效，以助於校正工作執行及推展，提升作業效率。



陸、航測攝影機校正場營運規劃

為確保測繪成果品質和落實測繪法令，未來將逐步要求國內航測攝影機應經過校正才可執行國土測繪相關。航測攝影機校正制度將使國內測繪業應負之義務與責任有所改變，因此計畫執行期間，研究團隊均希望能廣納各界意見，作為此制度建立之參考。期間對外所召開會議如表 6-1 所示。

表 6-1、歷年對外召開會議彙整

| 召開年度 | 會議名稱 | 內容 |
|-------|-------------------|-----------------------------|
| 100 年 | 校正場選擇評估因素專家學者研商會議 | 評估校正場選址考量與建議 |
| 100 年 | 校正作業場址選定研商會議 | 提出候選校正場址名單，並決定作業場址優先順序 |
| 101 年 | 校正作業程序座談會 | 對所設計的校正作業程序、分析流程與分法討論提供作業參考 |
| 103 年 | 校正場營運推廣說明會 | 說明校正作業現況及未來營運設計，並徵詢各界對於營運建議 |

本計畫於 100 年首度進行校正作業相關評估時，即召開專家學者會議討論校正場選址之因素與建議，隨後同年亦邀集產官學界召開測攝影機校正作業場址選定會議，聽取各界建議。完成準備評估工作後，於 101 年實際建場並進行校正航拍測試，依測試結果撰寫校正作業程序、系統評估等技術文件後，邀集產官學界召開校正作業程序座談會，確認所設計之程序、分析流程與方法是否恰當。102 年再次辦



理校正航拍，持續辦理各校正項目分析工作。至 103 年研究計畫辦理完畢，已確認所設計之作業程序及系統評估均為正確可行，開始制定未來校正場營運方針與細節。考量需讓各界瞭解本場未來營運方式，因此同年舉辦校正場營運推廣說明會，向各界說明所設計之營運服務流程。

目前所規劃航測攝影機校正頻率為每 2 年 1 次，費用每案 10 萬元，採野外現場校正方式對外提供校正服務，每年度僅於事先公告之時間內開放校正場辦理校正，非為全年常態性執行業務，開場時間長短視該年度預估校正案件數量及天候狀況每年彈性決定。目前規劃開放受理申請項目為「幾何校正」，其餘校正項目尚需研議合適校正標準，因此暫時未納入申請項目。執行校正服務之人員需完成相關訓練經過評估及考核，取得實驗室授權資格後始得以進行特定作業。航測攝影機校正場整體營運規劃，包含服務流程、品保要求、校正準備工作項目... 等，以下將作出說明。

一、校正作業服務流程

(一)校正場維護

執行校正服務前先完成場地更新維護作業，包含幾何校正標清查、維護以及 GPS 測量作業。

(二)公告野外校正場開場日期

南崗校正場每年擇定固定期間開放，且須於開放前完成維護工作。實際開放期間未來由實驗室依場地維護狀況及遠期氣象預報而定，並於預定開放 2 個月前，於航測攝影機系統校正資訊網頁上公告。目前規劃開放期以至少連續 15 至 20 個工作天為原則，並限定顧客於期間內每工作天上午 09：00 至下午 14：30 間內進行校正航拍。



(三)顧客進行航拍作業及提出校正案件申請

顧客應遵守校正航拍須知所訂原則，於公告校正場開放期間完成航拍作業，填具申請表及其他表單，隨航拍成果資料向實驗室提出校正案件申請。如資料完整無缺漏實驗室將繼續辦理後續校正作業，並列管追蹤作業進度；如資料不齊全，則退回通知補件。

(四)校正案件申請審核

接獲校正申請資料及航拍成果，實驗室應於接受申請後14天內完成資料審核。經審核發現因檔案數量或格式有誤而無法校正時，即通知顧客於10日內補件，補件以2次為限，未完成補件者退件；如因校正航拍影像成果不符合校正之要求，則以退件處理。實驗室確認需求接受委託後，作業人員即可將申請資料及航拍成果登錄至校正場資訊管理系統。

(五)執行校正作業及製作校正報告

確認顧客繳交成果資料齊全無誤後，由校正作業人員依「航測攝影校正作業程序」執行校正作業；校正作業中若發現異常導致無法校正，通知實驗室主管及顧客進行異常事件處理。校正作業完成後，製作校正報告初稿並由品管主管負責審核；審核通過簽章後，正式出具校正報告。

(六)通知與結案

取得校正報告後，通知顧客領取。顧客收取校正報告且對內容成果無異議後，完成繳費相關行政手續，由實驗室主管簽核結案，相關資料存檔列冊備查。

(七)異議處理

如顧客對校正結果或實驗室服務程序有異議，依實驗室「客戶服務與抱怨處理程序(SICL-2-03-0)」處理。顧客針對校正作業方法、



內容或服務提出之不滿或建議，由承辦人員負責與顧客協調，如涉及技術相關異議則會同技術主管協助處理。

二、作業流程品質管制

(一)校正資料檢核

顧客應自行依其所擁有的航測攝影機之儀器規格，如像元尺寸、焦距 f 等，依據實驗室所訂航拍作業須知規劃航線，以取得最佳影像為原則。航測攝影機於無雲、晴朗之天候，即可進行航拍，影像涵蓋南崗校正場之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。實驗室接受申請後，亦會再對顧客所提交校正資料作審核，審核重點包括：

- 1、檔案數量、格式是否正確；
- 2、檔案是否能正常開啟無損壞；
- 3、航拍影像是否符合航拍須知要求；
- 4、自行查核紀錄是否完備無遺漏。

(二)人員品質管制

1.實驗室人員

實驗室人員除需遵守相關管理與訓練作業程序規定外，校正系統作業手冊內詳述人員訓練及考核機制，作業人員需達各項能力要求，並定期接受技術考核以維持作業資格。

2.外部人員

由於校正作業為取得航測攝影機之航拍影像後進行，校正航拍及航拍影下載像處理均由顧客端負責。因此規定顧客提送資料前須檢附紀錄表格如：校正航拍作業紀錄表、檔案清冊、人員資料表、能力評



估及授權表ⁱ 等，以證明相關工作人員之能力及確實按標準程序執行航拍設備。

(三)標準值品質管制

1.標準值量測儀器設備管制及操作

校正之標準值係衛星定位儀測得校正標於國家坐標系統之三維空間坐標，因此規定採用校正效期內之衛星定位儀進行標準值量測，並由實驗室合格作業人員負責操作及計算。

2.GPS 測量成果檢核

完成校正標 GPS 測量與成果解算後，作業人員需再次確認測量成果之正確性，並詳實填寫年度幾何校正標 GPS 靜態測量成果檢核表。

3.標準值空中三角測量檢核

為確認當期校正標於場地開放後至校正航拍完畢期間是否有位移之情形，空中三角測量階段以半強制網平差對校正標進行粗差偵測。

(四)校正作業品質管制

1.校正作業成果檢核

校正作業程序完畢後，作業人員須填寫航測攝影機校正作業及檢核紀錄表，確認作業程序之正確性。若發現異常事項，通知品質主管及技術主管並做異常事項檢核。

2.校正作業比對查核

由檢核人員自單航帶受校影像中抽樣 5%，每張影像抽 5 點進行完全獨立之人工重複量測後，加入原校正量測成果中，重新進行空中



三角測量平差計算，完成之結果與既有成果比較，兩者差異在本校正系統不確定度 1/5 以內，則原既有成果可視為可靠無誤。

3.校正報告檢核

校正報告製作前，須由其他作業人員擔任數據檢核工作，檢查校正結果數據是否有計算錯誤或誤植的情形。校正報告製作人員及數據檢核人員不得為同一人。

校正報告製作完成後，作業人員須填寫航測攝影機校正報告檢核表，隨校正作業管理表送審。主管確認相關文件無誤後，使得出示校正報告並通知顧客領取。

以下為航測攝影機校正服務流程所需新設之表單清單：

表 6-2、服務流程各階段所使用表單清單

| 服務流程 | 使用表單 |
|---------------|--|
| 校正場維護 | 幾何校正標點位維護紀錄表 幾何校正標點位維護結果清冊及檢核表 幾何校正標點位調查表 幾何校正標 GPS 靜態測量外業觀測紀錄表 幾何校正標 GPS 靜態測量成果檢核表 航測攝影機校正場維護紀錄表 |
| 校正案件申請 | 航測攝影機校正申請表 校正航拍作業紀錄 校正航拍檔案清冊 航測攝影機校正作業設備操作人員基本資料表 航測攝影機校正作業設備操作人員能力評估及授權表 校正航拍影像檢核紀錄表 |
| 校正案件申請審核 | 校正航拍成果審核紀錄表 校正航拍成果補件紀錄單 |
| 執行校正作業及製作校正報告 | 航測攝影機校正作業及檢核紀錄表 航測攝影機校正報告檢核表 |
| 結案與異議處理 | 航測攝影機校正作業管理表 |



三、校正航拍須知

校正航拍前，顧客應於校正場資訊管理系統展示首頁下載校正航拍須知，並參考進行航線規劃。原則上航線設計應遵守：

- (一) 航線設計以南北向、東西向為原則，且航線應各自朝同一方向飛行。
- (二) 航拍影像地元解析度應介於 5cm~25cm 間。
- (三) 必須有一航線通過校正場中軸線(中央航線)，且像幅涵蓋應超過半場。
- (四) 縱向(前後)重疊至少 80%，左右航線(側向)重疊達 60%。
- (五) 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。

實際航線規劃不限於圖 6-1 範例，顧客可自行依其所擁有的航測攝影機之儀器規格，如像元尺寸、焦距 f 等，按上述原則進行航線規劃。實驗室受理顧客申請後，依校正航拍影像檢核紀錄表記載檢核項目確認相關資料是否符合校正需求。

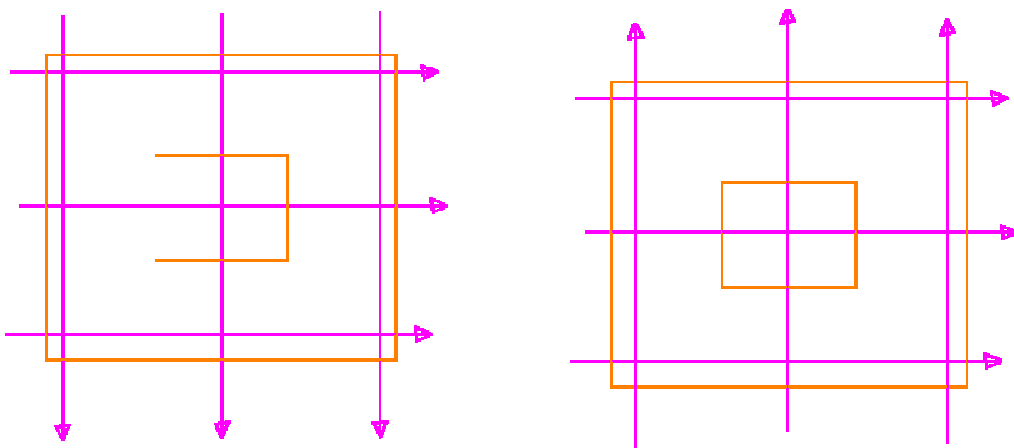


圖 6-1、航線規劃



四、校正服務工作說明

於提供校正服務前，實驗室人員應先完成前置準備工作，準備工作流程如圖 6-2 所示。此階段校正場維護工作主要項目計有：

- (一)幾何校正標清查。
- (二)幾何校正標選址及設置。
- (三)幾何校正標油漆與維護。
- (四)GPS 測量時段規劃、靜態測量及成果解算。
- (五)校正場資訊管理系統更新。

開場後顧客完成校正航拍並提出申請，由實驗室人員辦理校正分析工作並出具校正報告，作業流程圖如圖 6-3 所示。此階段校正分析工作主要項目計有：

- (六)校正資料蒐集與整理。
- (七)空中三角測量與平差計算。
- (八)校正程式操作與結果判定。

以下將詳述各項主要工作項目作業內容及要點，以為實驗室人員日後執行相關工作時之參考依據。

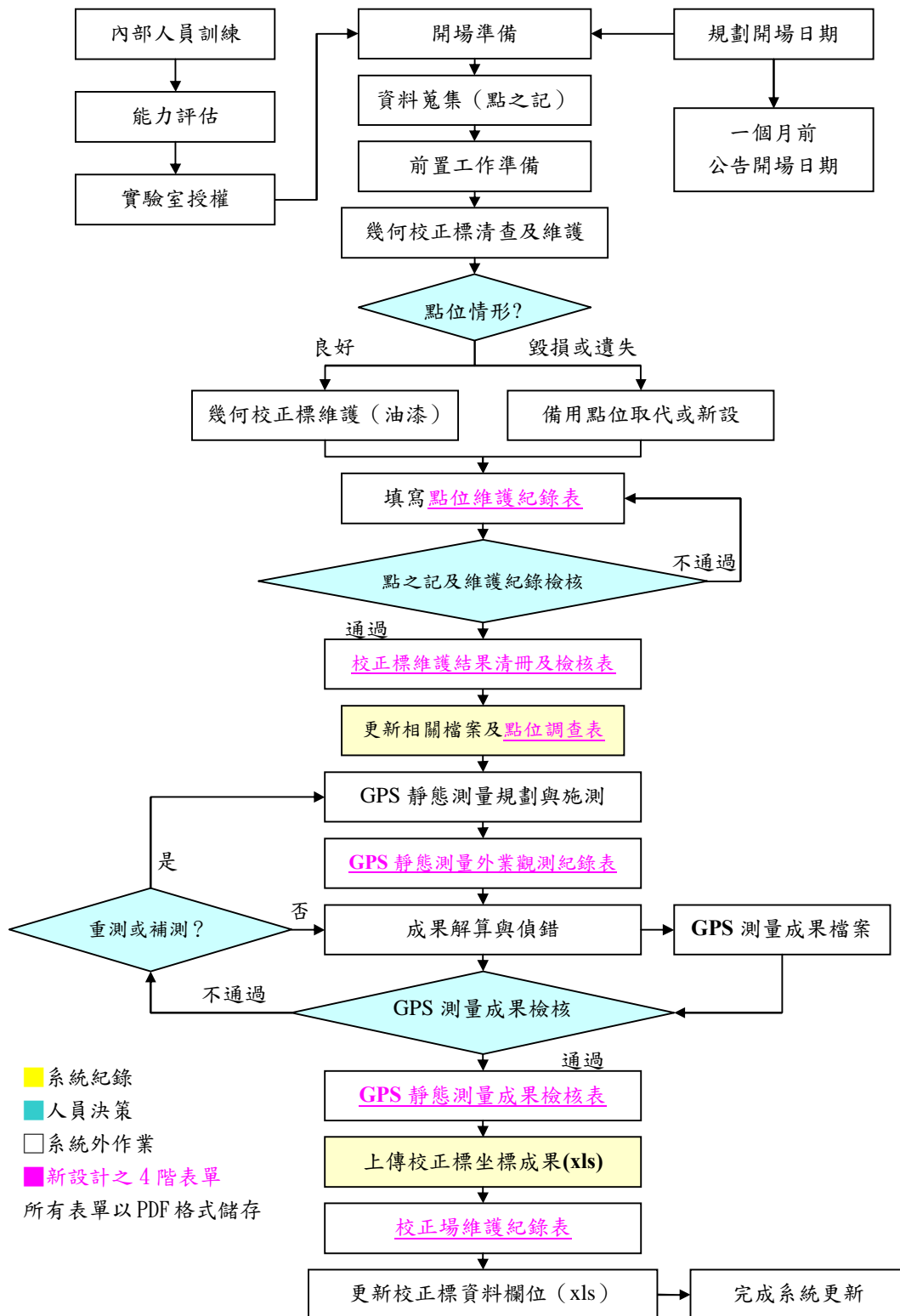


圖 6-2、對外提供校正服務前準備工作流程圖

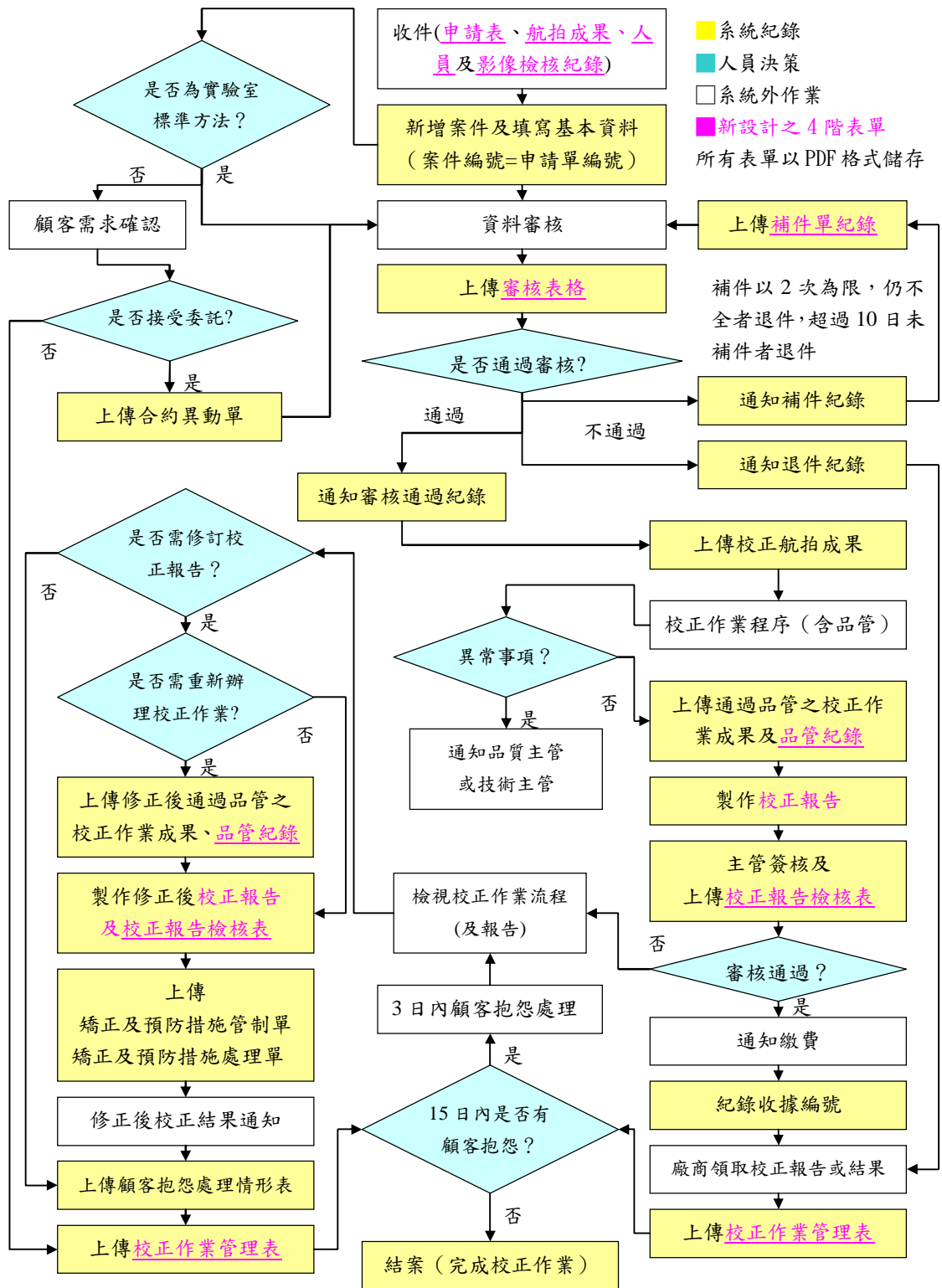


圖 6-3、校正服務作業工作流程圖

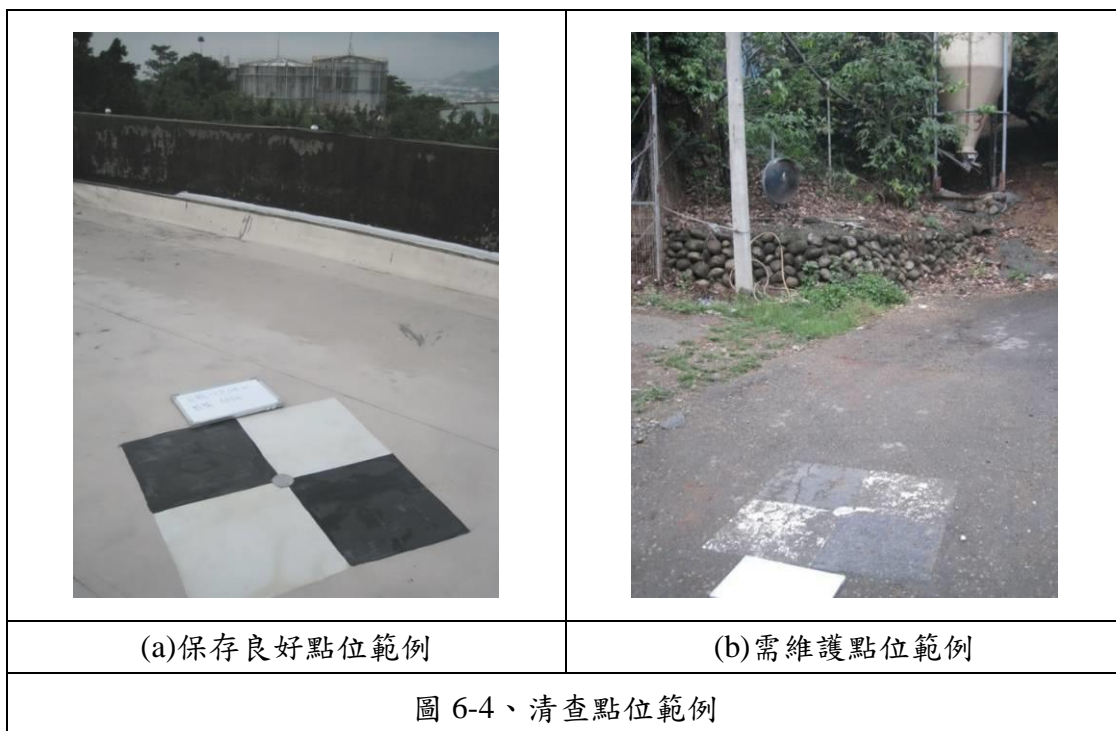


(一)幾何校正標清查

1.作業說明

使用校正場資訊管理系統輸出幾何校正標點位調查表與點位分布圖為作業準備資料，並根據調查表內聯絡人資訊，事先完成校正標所在私有土地所有權人聯繫。點位分布圖則於清查作業時攜帶，便於安排清查路線與尋找點位。

依據幾何校正標點位調查表所載資訊，執行幾何校正標數量及保存狀況調查並記錄。清查前備齊幾何校正標點位調查表及點位維護紀錄表，到達點位先進行簡單清理動作並判斷點位是否堪用，之後以白板或紙本記錄點位保存狀況、清查日期以及清查人員姓名，連同點位四方向照片，以數位像機拍照存檔。清查人員須能判斷點位保存狀況是否符合空中三角測量需求並當場記錄。



清查作業時需注意，布設於水泥地或路面上的幾何校正標，埋設於中心的鋼標有無遺失、明顯位移；標翼油漆是否因積水、髒汙或車輛磨損導致無法清理、辨識。若有上述情形，應特別註記於點位維護



紀錄表。清查作業完成後，作業人員需提交數位像機電子檔以及點位維護紀錄表。電子檔應包含該次清查作業所有點位資料，點位維護紀錄表各欄位需確認是否依清查情形詳實勾選。

2. 儀器工具需求

- (1) 幾何校正標點位調查表、點位分布圖、點位維護紀錄表。
- (2) 白板、紙本或其它記錄工具。需記錄點位保存狀況、清查日期以及清查人員姓名
- (3) 數位像機或其它拍攝工具。
- (4) 掃帚、抹布。

3. 工作人力配置

2~3 人。

4. 工作時程估算

2~3 工作天。

(二) 幾何校正標選址及設置

1. 作業說明

幾何校正標清查後，於判斷須補設點位處重新埋設鋼標。幾何校正標需易於直接量測坐標，且應於像片上清楚辨識，因此補設點位位置需注意透空度及有無其他遮蔽物。鋼標類型區分為鋼釘標與鋼片標，因應環境不同而有不同的施作方式。

鋼釘標為埋設水泥地或硬式路面所設計，於選定位置以電鑽鑿出深約 6cm 之洞孔，於洞內灌滿 EPOXY 膠後將其置入。

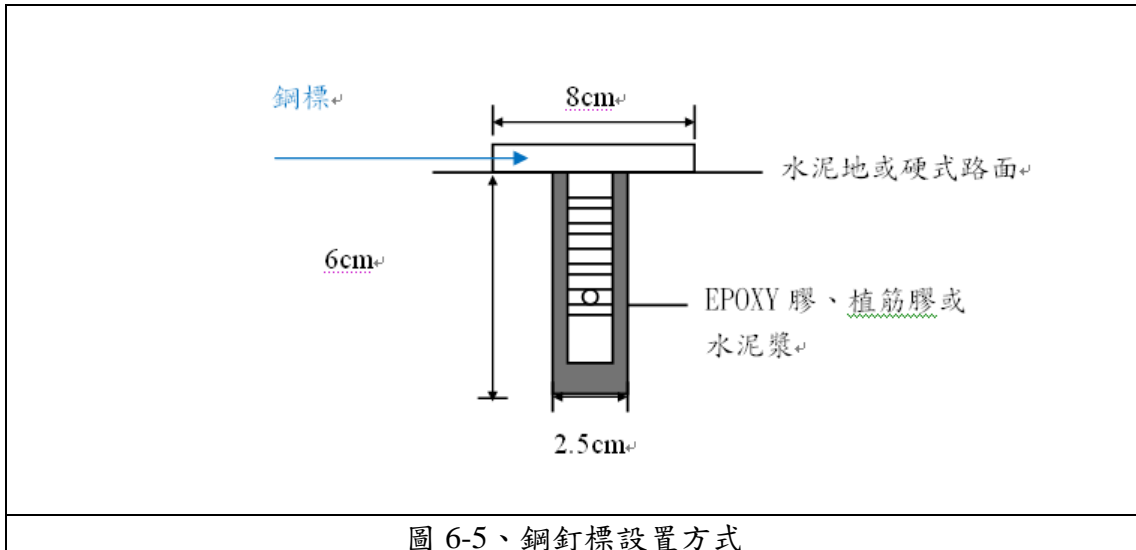


圖 6-5、鋼釘標設置方式

鋼片標為建物頂樓或特殊無法鑽鑿之地形所設計，因所選點位無法鑽鑿或破壞，因此使用 EPOXY 膠塗滿鋼片標底部，直接黏著於布設位置表面。

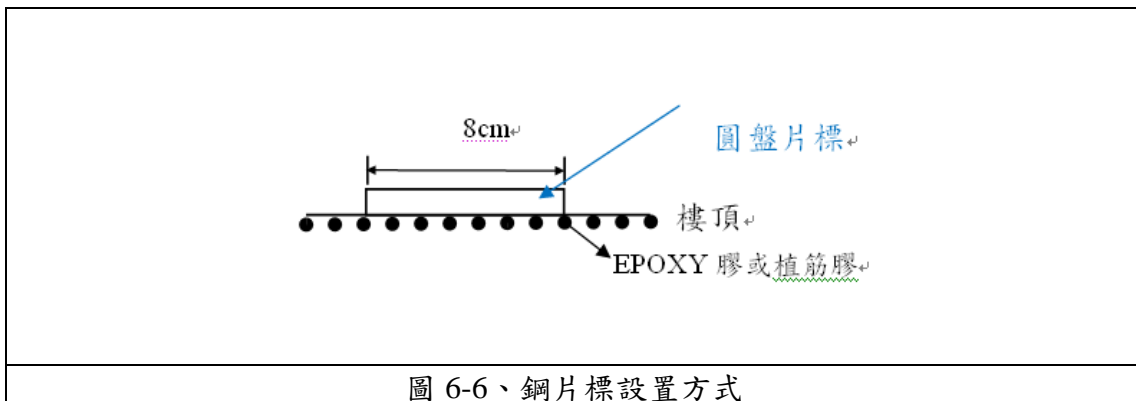


圖 6-6、鋼片標設置方式

2. 儀器工具需求

- (1) 鋼釘標、鋼片標。
- (2) 電鑽(鑽頭半徑約 25mm)。
- (3) EPOXY 膠(或以 AB 膠、植筋膠、水泥漿代替)。

3. 工作人力配置

一組 2~3 人。



4. 工作時程估算

不含重新油漆的情形下，鋼釘標布設一個需 30~40 分鐘，鋼片標布設一個需 10 分鐘。

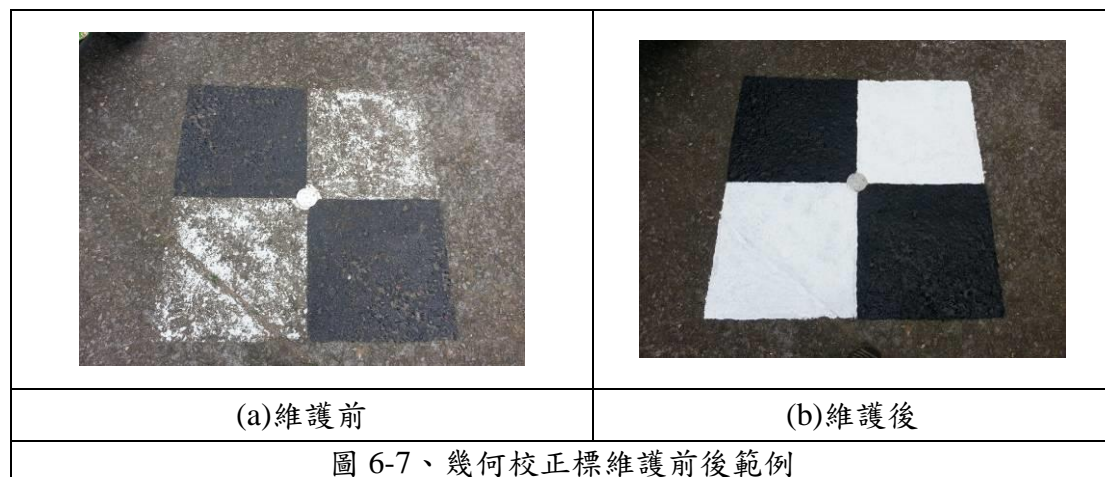
(三) 幾何校正標油漆與維護

1. 作業說明

根據點位維護紀錄表記載之點位保存狀況，對新設或標翼已磨損不利於空中三角測量時影像量測需求的點位，進行重新清理或油漆標翼，即為校正標之維護。

若幾何校正標已無法藉由簡單的清理動作維持其狀態，或標翼油漆已遭破壞、磨損，則需對標翼進行重新油漆。標翼表面的積水可以抹布或刮刀去除，而泥沙髒汙則以掃帚或鋼刷盡可能地清除乾淨，再以黑色、白色的油漆針對破損處塗刷。

油漆維護前先拍攝點位遠照、近照存檔；油漆完成後以白板或紙本記錄維護日期以及維護人員姓名，連同點位四方向照片，以數位像機拍照存檔。



2. 儀器工具需求

(1) 白色、黑色油性油漆。1 加侖油漆約可塗刷 10 個幾何校正標。



- (2) 甲苯溶劑與白色油性油漆以適當比例混合。
- (3) 松香水溶劑與黑色油性油漆以適當比例混合。
- (4) 水桶與油漆刷。
- (5) 掃帚、抹布、鋼刷、刮刀。
- (6) 白板、紙本或其它記錄工具。需記錄維護日期以及維護人員姓名。
- (7) 數位像機或其它拍攝工具。

3. 工作人力配置

一組 2~3 人。

4. 工作時程估算

一個幾何校正標油漆需 30~40 分鐘。

(四) GPS 測量時段規劃、靜態測量及成果解算

1. 作業說明

(1) 測量時段規劃

校正場將以 GPS 測量方式辦理標準值量測，場內校正標數量眾多，測量時段規劃可採用「蛙跳法」(或稱「逐步推移法」)的方式，使基線向量形成閉合的幾何圖形，以增加成果的可靠度和精度。

規劃時需引用測區周圍已知控制點納入聯測，且需滿足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% 此原則。完成測量時段規劃後，可依據時段表繪製觀測網絡圖，檢視所排定測量時段是否符合原則。



(2) 已知控制點檢測

依清理後存在且適合進行衛星定位測量之已知控制點進行檢測，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：

- A. 利用衛星接收儀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。
- B. 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，其較差小於一萬分之一者，視為未變動。
- C. 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。
- D. 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 6-3 所示。

表 6-3、各級已知控制點在 95%信心區間下之相關檢測標準

| 等級 項目 | 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 |

(3) 靜態測量及成果解算

GPS 測量使用校正效期內之衛星定位儀辦理，測量作業採靜態測量方法，過程中需注意：

- A. 最少連續且同步觀測時間應大於(含)45 分鐘；
- B. 衛星訊號資料記錄間格為 5 秒；



- C. 觀測衛星顆數應大於 4；
- D. PDOP 值需在 6 以下；
- E. 詳實填寫觀測紀錄表；
- F. 如為相鄰兩時段之重複觀測點位，待上一時段觀測時間結束後，則必需於下一時段開始觀測前，重新定心定平設置天線盤及量取儀器高。

若測量作業達一天以上，則每日作業結束後，應對下載之觀測數據做預處理以進行初步檢核，透過觀測數據預處理的結果評估成果好壞，及決定是否需要補測。觀測資料預處理要點如下：

- A. 傳輸及整理觀測數據(統一檔案格式、剔除無效觀測)；
- B. 剔除無效觀測後網形是否有缺漏情形；
- C. 初步基線解算是否符合精度指標。

待整體測量作業完成後，將所有接收的觀測資料註明儀器編號及日期歸檔，以本實驗室現有平差計算軟體進行資料解算。過程採半自動化作業，部分階段需人工介入判斷。觀測資料處理全區採網形平差，其主要流程是以「自由網平差→粗差偵測→強制附合網平差→粗差偵測」，配合所使用之平差計算軟體，進而完成資料解算。

完成資料解算後，檢視成果品質須滿足：

- A. 重複觀測基線水平分量之差值不得超過 $\leq (30+6\times 10^{-6}L)$ 毫米，重複觀測基線垂直分量之差值不得超過 $\leq (75+15\times 10^{-6}L)$ 毫米 (L 為單一基線長度，單位為公里)。
- B. 校正標坐標平面中誤差小於 2 公分、高程中誤差小於 5 公分。

詳細已知控制點資訊與本階段作業細節說明，可參考 103 年所編寫航測攝影機系統校正作業手冊-附錄：標準值 GPS 測量作業手冊。



2.儀器工具需求

- (1)校正效期內之衛星定位儀。
- (2)GPS 基線解算軟體。
- (3)GPS 網形平差計算軟體。

3.工作人力配置

GPS 靜態測量依觀測時段及機器數量而定。

4.工作時程估算

- (1)GPS 測量時段規劃約需 1 工作天。
- (2)GPS 靜態測量單一觀測時段需 80 分鐘(含架設儀器及移動換站)。
- (3)資料解算約需 2 工作天。

(五)校正場資訊管理系統更新

1.作業說明

完成校正場維護工作後，所測得校正標坐標值作為航測攝影機校正項目之標準值，作業人員應將登錄於校正場資訊管理系統內資訊予以更新以符合實際。

| 校正場編號 | 坐標資訊 | 校正日期 | 中心點座標 | 航攝機型號 | 操作人員 | 操作日期 | 校正日期 | 校正狀態 | 備註 | 校正場方式 |
|-------|-------|----------|-------|-------|------|-------|-------|------|----------|-------|
| A004 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |
| A001 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |
| A005 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |
| A006 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |
| A007 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |
| A008 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |
| A009 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |
| A010 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |
| A011 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |
| A012 | 航空攝影機 | 10/10/06 | 10204 | 10204 | 王自勝 | 10204 | 10204 | 修正 | 10/10/06 | 否 |

圖 6-8、校正場資訊管理系統介面示意圖



2. 儀器工具需求

PC 電腦設備(可連接網際網路)。

3. 人力規劃

1~2 人。

4. 工作時程估算

完成校正場資訊管理系統資訊更新需 0.5 工作天。

校正場資訊管理系統詳細操作說明，可參考 103 年所編寫校正場資訊管理系統及介面操作手冊。

(六) 校正資料蒐集與整理

於辦理校正分析工作前，應先確認下列資料項目是否完備：

- 1、航線圖。
- 2、GPS 或 IMU 輔助資料。
- 3、像機參數檔。
- 4、航拍影像。
- 5、其它附件(航拍作業紀錄表、影像檢核紀錄表..)。

上述資料為顧客完成校正航拍所提送之成果，需與校正航拍檔案清冊所記載為一致。確認資料無毀損且檔案可正常使用，進入下一階段作業項目。

(七) 空中三角測量與平差計算

1. 作業說明

幾何校正方式採地面上布設足夠數量且已知其坐標的幾何校正標，由受校航測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，由差值推估受校航測攝影機幾何畸變之情形，



因此影像量測與平差計算分析為校正之重要作業程序。作業流程如下說明：

- (1) 專案建立。
- (2) 影像匹配、人工補點與連結點除錯。
- (3) 校正標立體量測。
- (4) 平差分析與粗差偵測。
- (5) 單航線校正。

建立專案後，初步以影像自動匹配得到連結點後，使用航測影像工作站進行空中三角測量影像立體量測，量測連結點以及所有航線影像內出現之校正標，隨後進行連結點粗差偵測。連結點粗差偵測完畢後，將校正標依其 GPS 網形平差後結果推估其應有之中誤差配賦適當權值，進行校正標粗差偵測用之平差計算。校正標粗差偵測完畢，選擇單一航線進行校正平差。平差時以該航線涵蓋區周圍校正標作為控制點，其餘校正標作為檢核點，進行空中三角測量平差計算。以平差後檢核點坐標與標準值器差，配合幾何校正程式進行幾何精度分析。

本階段詳細作業程序與軟體操作說明，可參考 103 年所編寫航測攝影機校正作業程序及航測攝影機系統校正作業手冊-附錄：LPS 作業手冊。

2. 儀器工具需求

- (1) PC 電腦設備。
- (2) 影像工作站。
- (3) 空中三角測圖軟體(採用國土測繪中心現有之 Leica Photogrammetry Suite)。



(4)空中三角平差軟體(搭配前項軟體之 ORIMA 套件)。

3.人力規劃

1~2 人。

4.工作時程估算

空中三角測量與平差計算作業需 14~20 工作天。

(八)校正程式操作與結果判定

1.作業說明

幾何校正辦理完畢後，將產生的報表匯入本實驗室所開發之檢核點器差計算程式，所輸出之成果報表將展示校正報告所需的數據及資訊。

| | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|---------|----------|---------|----------|
| 8039 | 215774.9790 | 2646692.6820 | 180.7280 | 215774.9842 | 2646692.7144 | 180.7454 | 0.0052 | 0.0324 | 0.0328 | 0.0174 |
| 8041 | 215823.2330 | 2647643.1340 | 152.2550 | 215823.3175 | 2647643.1891 | 152.1060 | 0.0845* | 0.0551* | 0.1009* | -0.1490* |
| 8043 | 215418.9940 | 2647761.9310 | 170.3090 | 215418.9830 | 2647761.8901 | 170.3248 | -0.0110 | -0.0409* | 0.0424* | 0.0158 |
| 8044 | 215786.6080 | 2647294.3470 | 160.5310 | 215786.6431 | 2647294.3637 | 160.5336 | 0.0351* | 0.0167 | 0.0389* | 0.0026 |
| 8045 | 215577.4300 | 2647497.0770 | 171.9140 | 215577.4534 | 2647497.0706 | 171.8418 | 0.0234 | -0.0064 | 0.0243 | -0.0722 |
| 8046 | 215650.8610 | 2646682.7210 | 188.8440 | 215650.8930 | 2646682.7033 | 188.7280 | 0.0320 | -0.0177 | 0.0366* | -0.1160 |
| 8052 | 215419.0290 | 2647495.1210 | 180.3060 | 215419.0400 | 2647495.0891 | 180.3317 | 0.0110 | -0.0319 | 0.0337 | 0.0257 |
| 8067 | 215135.4910 | 2647472.2560 | 194.4070 | 215135.4665 | 2647472.2632 | 194.3864 | -0.0245 | 0.0072 | 0.0255 | -0.0206 |
| 8099 | 215161.7810 | 2647845.8470 | 189.0470 | 215161.8215 | 2647845.7904 | 189.0586 | 0.0405* | -0.0566* | 0.0696* | 0.0116 |
| X差值絕對值之最大殘差值: | 0.1136 (9134) | | | | | | | | | |
| Y差值絕對值之最大殘差值: | 0.0566 (8099) | | | | | | | | | |
| XY差值最大殘差值 | : 0.1188 (9134) | | | | | | | | | |
| Z差值絕對值之最大殘差值: | 0.1812 (9134) | | | | | | | | | |
| 差值最大殘差值(XYZ) | : 0.2167 (9134) | | | | | | | | | |
| X差值平均值 | : 0.0118 | | | | | | | | | |
| Y差值平均值 | : 0.0047 | | | | | | | | | |
| XY差值平均值 | : 0.0334 | | | | | | | | | |
| Z差值平均值 | : -0.0432 | | | | | | | | | |
| XYZ差值平均值 | : 0.0636 | | | | | | | | | |
| X差值均方根值 | : 0.0341 | | | | | | | | | |
| Y差值均方根值 | : 0.0198 | | | | | | | | | |
| XY差值均方根值 | : 0.0394 | | | | | | | | | |
| Z差值均方根值 | : 0.0632 | | | | | | | | | |
| XYZ差值均方根值 | : 0.0744 | | | | | | | | | |

圖 6-9、成果報表擷圖

成果報表所展示資訊包含最大殘差值、平均值、差值均方根值的計算成果。作業人員需再次確認作業過程中所使用檔案、報表之正確性，確認結果無誤後，將差值均方根值計算成果填入計正報告內。

本階段詳細程式操作說明，可參考 103 年所編寫校正場資訊管理系統及介面操作手冊。

2.儀器工具需求

(1) PC 電腦設備。



(2) 檢核點器差計算程式。

3. 人力規劃

1~2 人。

4. 工作時程估算

完成校正程式操作與成果判定約需 0.5 工作天。



五、校正服務工作需求綜整

以下將綜整上述校正場維護工作與校正分析工作中，所需之儀器工具、人力配置、工作時程及參考文件資訊，供作業人員參考。

表 6-4、校正場維護工作需求表

| 1.幾何校正標清查 | |
|--------------|--|
| 儀器工具 | (1)幾何校正標點位調查表、點位分布圖、點位維護紀錄表。 (2)白板、紙本或其它記錄工具。 (3)數位像機或其它拍攝工具。 (4)掃帚、抹布。 |
| 工作人力配置 | 2~3 人。 |
| 工作時程估算 | 2~3 工作天。 |
| 工作成果確認 | (1)點位現場清查像片電子檔。 (2)點位維護紀錄表。 |
| 2.幾何校正標選址及設置 | |
| 儀器工具 | (1)鋼釘標、鋼片標。 (2)電鑽。 (3)EPOXY 膠(或 AB 膠、植筋膠、水泥漿)。 |
| 工作人力配置 | 一組 2~3 人。 |
| 工作時程估算 | 不含重新油漆的情形下，僅鋼釘標布設一個需 30~40 分鐘；鋼片標布設一個需 10 分鐘。 |
| 參考文件手冊 | |
| 工作成果確認 | 完成鋼標設置像片電子檔。 |
| 3.幾何校正標油漆與維護 | |
| 儀器工具 | (1)白色、黑色油性油漆。 (2)甲苯溶劑。 (3)松香水溶劑。 (4)水桶與油漆刷。 (5)掃帚、抹布、鋼刷、刮刀。 |



| | |
|--------------------------------|---|
| | (6)白板、紙本或其它記錄工具。 (7)數位像機或其它拍攝工具。 |
| 工作人力配置 | 2~3 人。 |
| 工作時程估算 | 一個幾何校正標油漆需 30~40 分鐘。 |
| 參考文件手冊 | |
| 工作成果確認 | (1)油漆維護前、後像片電子檔。 (2)點位維護紀錄表。 |
| 4. GPS 測量時段規劃、靜態測量及成果解算 | |
| 儀器工具 | (1)通過 TAF 認證實驗室校正合格之衛星定位儀。 (2)GPS 基線解算軟體。 (3)GPS 網形平差計算軟體。 |
| 工作人力配置 | 依觀測時段及機器數量而定 |
| 工作時程估算 | (1)GPS 測量時段規劃需 1 工作天。 (2)GPS 靜態測量單一觀測時段需 80 分鐘(含架設儀器及移動換站)。 (3)資料解算需 2 工作天。 |
| 參考文件手冊 | 航測攝影機系統校正作業手冊。 |
| 工作成果確認 | (1)三等衛星控制點檢測成果。 (2)成果網形圖。 (3)觀測時段表(含儀器高)。 (4)觀測資料原始檔。 (5)平差成果報表。 |
| 5. 校正場資訊管理系統更新 | |
| 儀器工具 | PC 電腦設備(可連接網際網路)。 |
| 工作人力配置 | 1~2 人。 |
| 工作時程估算 | 0.5 工作天。 |
| 參考文件手冊 | 校正整合作業手冊 |
| 工作成果確認 | (1)帳號權限管理。 (2)校正標資料編輯。 (3)圖臺功能使用。 (4)公告與文件管理。 |



表 6-5、校正分析工作需求表

| 1. 空中三角測量與平差計算 | |
|----------------|---|
| 儀器工具 | (1)PC 電腦設備。 (2)影像工作站。 (3)空中三角測圖軟體。 (4)空中三角平差軟體。 |
| 工作人力配置 | 1~2 人。 |
| 工作時程估算 | 需 14~20 工作天。 |
| 參考文件手冊 | 航測攝影機校正作業程序、航測攝影機系統校正作業手冊。 |
| 工作成果確認 | (1)控制點及連結點展點網系圖。 (2)控制點號及像片編號對照表。 (3)像坐標原始量測檔。 (4)控制點檔。 (5)GPS 與 IMU 資料。 (6)空中三角平差報表(含最小約制與強制附合)。 (7)空三成果自我檢核紀錄。 (8)稽核人員隨機抽選影像總數 5%的像片，於像片內隨機挑選 5 連結點檢視其連結情形。確認後作業人員重新量測此 2 連結點，量測完成後平差成果與先前差異不得超過 1/10，則通過成果查核。 |
| 2. 校正式操作與結果判定 | |
| 儀器工具 | (1)PC 電腦設備。 (2)幾何校正式。 |
| 工作人力配置 | 1~2 人。 |
| 工作時程估算 | 需 0.5 工作天 |
| 參考文件手冊 | 校正場資訊管理系統及介面操作手冊。 |
| 工作成果確認 | 幾何校正分析報表。 |



六、作業人員能力訓練與考核

所設計之人員能力訓練規範，作業人員需完成相關訓練達成所訂定要求後，方具備該工作項目之作業資格；且特定工作項目需定期接受技術考核，以維持該工作項目之作業資格。作業人員完成訓練及考核後，需填寫輔導訓練紀錄表，由品質主管評估訓練成果。如作業人員未能通過考核，應暫時停止該員業務，該員重新進行訓練及考核。品質主管依作業程序、方法等逐一檢視，要求該員改善缺失以重新取得作業資格。

(一)校正場維護工作

以下表列校正場維護工作人員能力訓練規範及技術考核說明。

表 6-5、校正場維護工作人員能力訓練規範及技術考核說明

| | |
|--------------|--|
| 1.幾何校正標清查 | |
| 人員能力訓練要求 | 作業人員需具備測量外業實務經驗 3 個月以上，或經 4 小時以上相關訓練，可視為具有作業資格。 |
| 2.幾何校正標選址及設置 | |
| 人員能力訓練要求 | <ol style="list-style-type: none"> 1.作業人員需具備測量外業實務經驗 3 個月以上，或經 4 小時以上相關訓練，可視為具有作業資格。 2.作業人員需能獨立使用電鑽完成挖掘，並將鋼釘標、鋼片標黏著固定。 3.作業人員需具有航測影像成像幾何基本知識，瞭解透空度需求。 |
| 3.幾何校正標油漆與維護 | |
| 人員能力訓練要求 | 1.作業人員需具備測量外業實務經驗 3 個月以上，或經 4 小時以上相關訓練，可視為具有作業資格。 |



| | |
|-------------------------|--|
| | 2.作業人員需有影像立體量測相關經驗，以判斷校正標維護後是否能清楚於航拍影像中辨識。 |
| 4. GPS 測量時段規劃、靜態測量及成果解算 | |
| 人員能力訓練 要求 | <p>1.外業作業人員需具備測量外業實務經驗3個月以上，或經4小時以上相關訓練，可視為具有作業資格。</p> <p>2.內業解算人員需具備軟體操作經驗3個月以上，完成測量成果解算專案3件以上，或經6小時以上軟體操作訓練，可視為具有作業資格。</p> <p>3.於靜態測量階段，外業作業人員需於10分鐘以內完成測站定心、定平、架設天線、儀器高量測及完成衛星定位儀接收器設定。</p> <p>4.內業解算人員每2年需接受技術考核或提出1年內持續執行GPS測量工作證明，以維持作業資格。</p> |
| 技術考核 | 選擇過去已完成GPS靜態測量成果專案為案例進行考核，內業解算人員需重新使用未完成平差之基線資料進行處理，實際完成測量成果解算。完成成果與既有成果比較，若整體中誤差在2公分以內，則視為通過考核。 |
| 5. 校正場資訊管理系統操作 | |
| 人員能力訓練 要求 | 作業人員需具備系統操作經驗2個月以上，或經4小時以上軟體操作訓練，可視為具有作業資格。 |

(二)校正分析工作

以下表列校正分析工作人員能力訓練規範及技術考核說明。



表 6-6、校正分析工作人員能力訓練規範及技術考核說明

| 1. 空中三角測量 | |
|----------------|--|
| 人員能力訓練要求 | <p>1.作業人員具有影像立體量測、空中三角測量平差計算分析與粗差偵測經驗1年以上；或完成空中三角測量專案5件以上；或經16小時以上軟體操作訓練，可視為具有作業資格。</p> <p>2.作業人員每2年需接受技術考核或於1年內持續立體量測以及空中三角測量平差計算經驗，以維持作業資格。</p> |
| 技術考核 | <p>1.影像立體量測：須以立體觀測之方式，對一立體像對內之所有校正標實施4次獨立重複觀測，估計其觀測標準誤差。由全部重複觀測計算出之觀測標準誤差不得超過1/3像元。</p> <p>2.空中三角測量平差分析：選擇過去已完成之空中三角測量專案，作業人員需由未完成除錯前之原始量測資料開始，執行平差計算分析及偵錯。完成後透過幾何校正程式與既有成果比較，差異需在本校正系統不確定度1/5以內。</p> <p>3.完成上述二項目之考核要求，則視為通過考核。</p> |
| 2. 校正程式操作與結果判定 | |
| 人員能力訓練要求 | <p>1.作業人員需具有1年以上執行校正實務經驗；或完成校正專案3件以上；或經4小時以上校正作業教育訓練，可視為具有校正作業資格。</p> <p>2.作業人員每2年需接受技術考核或於1年內持續執行校正計算經驗，以維持作業資格。</p> |
| 技術考核 | <p>1.選擇歷年已完成校正資料為案例進行考核，作業</p> |



| | |
|--|--|
| | <p>人員需實際完成校正作業並進行比對。</p> <p>2.幾何校正：器差成果差異不得超過 1/5。 空間解析力校正：模糊參數成果差異不超過 1/10。</p> <p>3.完成上述之考核要求，則視為通過考核。</p> |
|--|--|

七、小結

由於國內感應器數量有限，每年服務件數與未來規定之校正頻率有關。參考歐美規定，如規劃航測攝影機每 2 年校正 1 次，則國內平均每年約有 3 件校正案。國土測繪中心目前制定校正作業服務各項管制措施與要求，即確保校正作業之有效性，並將檢核機制、作業流程、工作說明以各類型圖表呈現實施，書面化至相當程度，使未來作業人員易於了解及使用。實際完成輔導訓練後，人員若已符合校正服務特定工作項目能力要求，則將實際受訓情形登載於各項考核紀錄表，實驗室即依據考核紀錄表所登載資訊將作業資格予以授權。



柒、其他航遙測感應器測試分析作業

一、空載光達系統

空載光達校正目標係針對廠商所使用、且已完成各項原廠要求必須執行之率定後之系統，用於實際測量時，所能達到的精度為何。亦即校正之目的不在為廠商解決 IMU/GPS 與掃瞄器間的安置問題，不進行視準率定 (Boresight Calibration)，而僅在評估待校件所得到的最終成果品質如何。至於校正後發現之誤差來源及如何解決，因不涉及對儀器做任何參數改正，暫非本校正作業規劃之任務。

(一)方法評估說明

本計畫於 100 年度參考俄亥俄大學所設計空載光達校正方式，提出之校正標尺寸相當龐大，實際製作有困難，因此研究團隊於 102 年提出以既有平頂建物代替特製之校正標來進行平面與高程精度校正測試。研究初期僅在驗證方法的可行性，數據來源不限定為校正場掃瞄所得，因此暫先以現有點雲資料進行可行性研究。選擇若干平屋頂，將落於平屋頂的點雲資料經過適當篩選剔除粗差後，由剩餘點雲資料計算出形心坐標，將此坐標與在航測立體模型內依據 4 個屋角交點推得之坐標相比，由二者之差異作為判定空載光達掃瞄點雲的精度，以評估此校正方式是否可達目的。

(二)校正分析流程

1.選擇適當參考位置

為使校正分析評估更具有可靠度，共選取三個位置不同、面積不相同的方形平屋頂進行測試。選取時，已由立體模型內確認頂面無突出物，確定點雲均落在相同平面上。平屋頂位於不同的位置，便能使用不同航帶的資料進行計算，不至於因特定航帶的誤差影響分析結



果；而面積不相同的屋頂則能評估點雲數量及密度與計算成果的關聯，可作為校正規劃的依據；採方形的平屋頂的目的是使重心位置的誤差橢圓能接近圓形。




| | | | |
|--|---|--|-------|
| |  | | 平屋頂_A |
| |  | | 平屋頂_B |
| |  | | 平屋頂_C |

圖 7-1、待測平屋頂正射示意圖

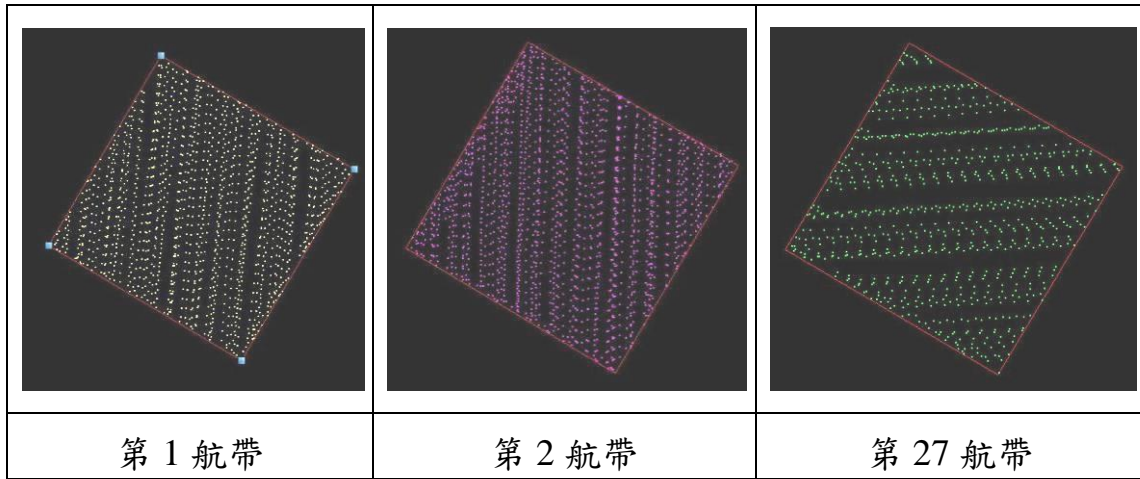


圖 7-2、平屋頂_A 點雲分布示意

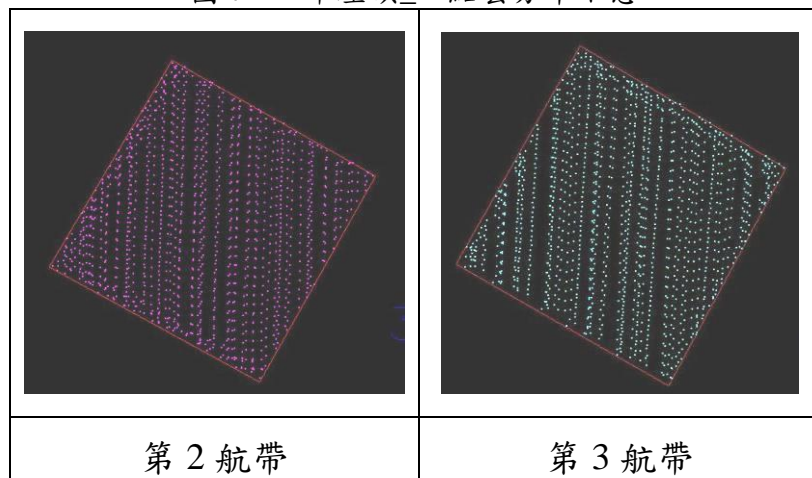


圖 7-3、平屋頂_B 點雲分布示意

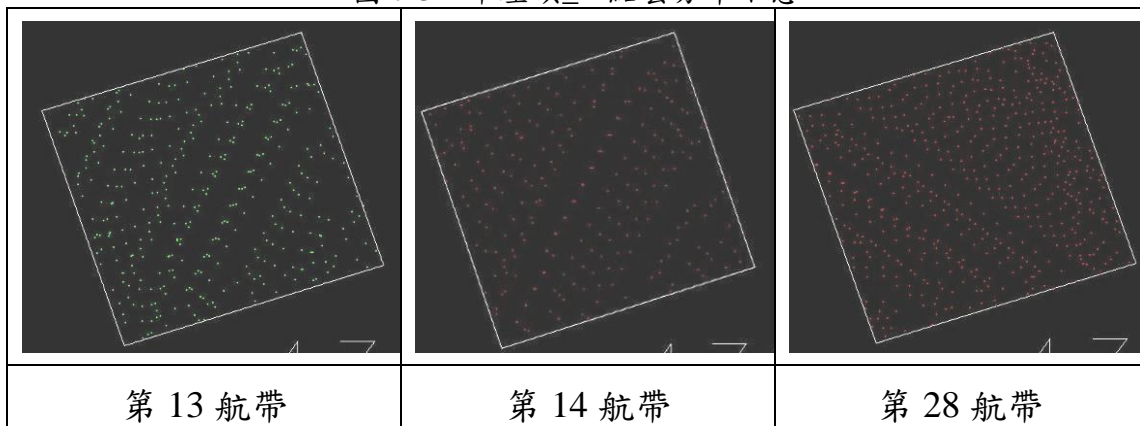


圖 7-4、平屋頂_C 點雲分布示意

2. 點雲篩選

以所選平屋頂範圍外擴約 10cm，將此區域內點雲資料取出。首先以回波類型對點雲資料做第一次分類，再以立體模型內所量測之平屋頂高程作為參考，將高程值差異過大的點雲剔除做第二次分類。分



類完畢後剩餘點雲判定落於所選取平屋頂，以剩餘點雲計算一形心坐標，與立體模型所量測屋角坐標所計算之重心坐標相比較，進行統計。

表 7-1、航帶參數表

| 航帶序號 | 航高(m) | 航速(kTS) | 航向(deg.) | 掃瞄角(deg.) | 雷射脈衝率(KHz) | 掃瞄頻率(Hz) |
|------|-------|---------|----------|-----------|------------|----------|
| 1 | 1600 | 100 | 90 | 22 | 150 | 31 |
| 2 | 1600 | 100 | 90 | 22 | 150 | 31 |
| 3 | 1600 | 100 | 270 | 22 | 150 | 31 |
| 13 | 2000 | 100 | 135 | 22 | 150 | 31 |
| 14 | 2000 | 100 | 315 | 22 | 150 | 31 |
| 27 | 1600 | 100 | 180 | 22 | 150 | 31 |
| 28 | 1600 | 100 | 45 | 22 | 150 | 31 |

表 7-2、待測平屋頂與航帶分布資訊

| 選取範圍 | 面積(m ²) | 航帶序號 | 掃瞄角(度) | 平屋頂視角(度) | 點雲密度(pt/ m ²) | 使用點數量 |
|-------|---------------------|------|--------|----------|---------------------------|-------|
| 平屋頂 A | 195.580 | 1 | 22 | -7 | 6.269 | 1226 |
| | | 2 | 22 | -7 | 7.716 | 1509 |
| | | 27 | 22 | -6 | 3.456 | 676 |
| 平屋頂 B | 194.255 | 2 | 22 | 0 | 5.565 | 1081 |
| | | 3 | 22 | +9 | 5.755 | 1118 |
| 平屋頂 C | 26.283 | 13 | 22 | +7 | 5.174 | 136 |
| | | 14 | 22 | -2 | 3.348 | 88 |
| | | 28 | 22 | +2 | 7.039 | 185 |

3.校正分析

表 7-3~表 7-5 為立體模型內平屋頂重心與光達點雲形心的坐標差值分析，參與計算點雲高程標準差均不超過 0.1m，顯示應無過高、



過低、或不屬於該平屋頂的點雲同時參與計算。平面坐標差值最小為 0.007m，差值最大為 0.240m；高程差值最小為 0.003m，差值最大為 0.266m。本次分析所使用的點雲資料已經過航帶平差處理，且計算坐標差值並不隨平屋頂視角變化，暫時排除航帶掃瞄角位置對於計算成果的影響。

表 7-3、平屋頂_A 計算成果

| 航帶序號 | 平屋頂視角(度) | 點雲密度 (pt/m ²) | 坐標差 (m) (立體模型重心-光達點雲形心) | | | 點雲高程標準差(m) |
|------|----------|---------------------------|----------------------------|--------|--------|------------|
| | | | △E | △N | △H | |
| 1 | -7 | 6.269 | 0.167 | 0.139 | -0.133 | 0.061 |
| 2 | -7 | 7.716 | -0.240 | -0.022 | -0.179 | 0.073 |
| 27 | -6 | 3.456 | -0.153 | 0.287 | -0.131 | 0.063 |

表 7-4、平屋頂_B 計算成果

| 航帶序號 | 平屋頂視角(度) | 點雲密度 (pt/m ²) | 坐標差 (m) (立體模型重心-光達點雲形心) | | | 點雲高程標準差(m) |
|------|----------|---------------------------|----------------------------|-------|--------|------------|
| | | | △E | △N | △H | |
| 2 | 0 | 5.565 | 0.149 | 0.007 | -0.251 | 0.065 |
| 3 | +9 | 5.755 | 0.082 | 0.042 | -0.266 | 0.066 |

表 7-5、平屋頂_C 計算成果

| 航帶序號 | 平屋頂視角(度) | 點雲密度 (pt/m ²) | 坐標差 (m) (立體模型重心-光達點雲形心) | | | 點雲高程標準差(m) |
|------|----------|---------------------------|----------------------------|--------|-------|------------|
| | | | △E | △N | △H | |
| 13 | +7 | 5.174 | 0.184 | -0.189 | 0.003 | 0.047 |
| 14 | -2 | 3.348 | 0.131 | -0.240 | 0.030 | 0.041 |
| 28 | +2 | 7.039 | -0.054 | -0.220 | 0.051 | 0.038 |

此次實驗亦試著逐次減少參與計算點雲數量，希望能得知點雲密度與坐標偏差量之關係。將參與計算點雲資料依坐標值大小排列後，逐漸加大間隔方式抽樣，使得參與計算的點數逐次減少，直至點雲密度達 1 平方米約 1 個點為止，計算成果如表 7-6。從計算成果可初步



判斷，各航帶點雲密度在逐次減少至1平方米約1個點時，點雲形心與立體模型重心的坐標差值並無明顯劇烈變化。唯有平屋頂_A所使用的27號航帶在減少點雲數量後，其與立體模型重心的坐標差值有顯著增加的趨勢，顯示計算的光達點雲形心有偏移情形。由圖7-2可看出，27號航帶點雲掃瞄間距可能是因為飛機俯仰角抖動緣故有較明顯的疏密不勻現象以致落於屋頂面北方的點雲較稀少，在分布不平均的情況下，降低點雲密度計算時可能造成屋頂面北方參與的點雲過少，因此所得形心位置逐漸向南方偏移。

表 7-6、點雲密度與坐標差值分析表

| 選取範圍 | 航帶序號 | 參與計算點數量 | 點雲密度 (pt/ m ²) | 坐標差(m) (立測重心-光達點雲形心) | | |
|-------|-----------|-------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|
| | | | | △E | △N | △H |
| 平屋頂 A | 1 | 1226 | 6.269 | 0.167 | 0.139 | -0.133 |
| | | 613 | 3.134 | 0.161 | 0.206 | -0.133 |
| | | 306 | 1.565 | 0.160 | 0.073 | -0.132 |
| | | 153 | 0.782 | 0.128 | -0.102 | -0.135 |
| | 2 | 1509 | 7.716 | -0.240 | -0.022 | -0.179 |
| | | 754 | 3.855 | -0.240 | -0.044 | -0.179 |
| | | 377 | 1.928 | -0.252 | 0.059 | -0.176 |
| | | 188 | 0.961 | -0.254 | -0.083 | -0.176 |
| | 27 | 676 | 3.456 | -0.153 | 0.287 | -0.131 |
| | | 338 | 1.728 | -0.167 | 0.434 | -0.138 |
| | | 169 | 0.864 | -0.198 | 0.511 | -0.139 |
| 平屋頂 B | 2 | 1081 | 5.565 | 0.149 | 0.007 | -0.251 |
| | | 540 | 2.780 | 0.148 | 0.011 | -0.252 |
| | | 270 | 1.390 | 0.131 | 0.034 | -0.253 |
| | | 135 | 0.695 | 0.101 | 0.172 | -0.251 |
| | 3 | 1118 | 5.755 | 0.082 | 0.042 | -0.266 |
| | | 559 | 2.878 | 0.073 | 0.132 | -0.262 |
| | | 279 | 1.436 | 0.071 | 0.013 | -0.262 |
| | | 139 | 0.716 | 0.076 | -0.094 | -0.264 |
| 平屋頂 C | 13 | 136 | 5.174 | 0.184 | -0.189 | 0.003 |
| | | 68 | 2.587 | 0.160 | -0.012 | 0.001 |
| | | 34 | 1.294 | 0.115 | 0.032 | -0.009 |



| | | | | | | |
|--|-----------|------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| | | 17 | 0.647 | 0.049 | -0.105 | 0.002 |
| | 14 | 88 | 3.348 | 0.131 | -0.240 | 0.030 |
| | | 44 | 1.674 | 0.098 | -0.182 | 0.035 |
| | | 22 | 0.837 | 0.040 | -0.299 | 0.031 |
| | 28 | 185 | 7.039 | -0.054 | -0.220 | 0.051 |
| | | 92 | 3.500 | -0.126 | -0.221 | 0.050 |
| | | 46 | 1.750 | -0.020 | -0.191 | 0.050 |
| | | 23 | 0.875 | 0.069 | -0.125 | 0.051 |

考量立體模型內可能包含測圖人員的量測誤差，不同測圖人員所量測之坐標值也會略有不同，因此也由第二位測圖人員以相同立體模型量測屋角坐標推算平屋頂重心，與光達點雲形心比較，對照如表7-7。由表可知不同測圖人員其立體量測能力應相當接近，光達點雲形心的坐標差值並無明顯變化，驗證本次所選之立體模型平屋頂作為中心參考基準位置具有一定精度與可靠度。

表 7-7、坐標差值對照表

| 選取範圍 | 航帶序號 | 坐標差 (m) (立體模型重心-光達點雲形心) | | | 坐標差(m) (重複上機量測重心-光達點雲形心) | | |
|----------|-----------|----------------------------|------------|------------|-----------------------------|------------|------------|
| | | ΔE | ΔN | ΔH | ΔE | ΔN | ΔH |
| 平屋頂 A | 1 | 0.167 | 0.139 | -0.133 | 0.140 | 0.032 | -0.074 |
| | 2 | -0.240 | -0.022 | -0.179 | -0.268 | -0.130 | -0.120 |
| | 27 | -0.153 | 0.287 | -0.131 | -0.180 | 0.179 | -0.072 |
| 平屋頂 B | 2 | 0.149 | 0.007 | -0.251 | 0.115 | 0.052 | -0.142 |
| | 3 | 0.082 | 0.042 | -0.266 | 0.048 | 0.086 | -0.156 |
| 平屋頂 C | 13 | 0.184 | -0.189 | 0.003 | 0.016 | -0.126 | -0.130 |
| | 14 | 0.131 | -0.240 | 0.030 | 0.098 | -0.261 | -0.102 |
| | 28 | -0.054 | -0.220 | 0.051 | -0.086 | -0.242 | -0.081 |



(三)小結

綜整本計畫空載光達校正測試工作成果，各年度主要辦理情形如圖 7-4 所示。

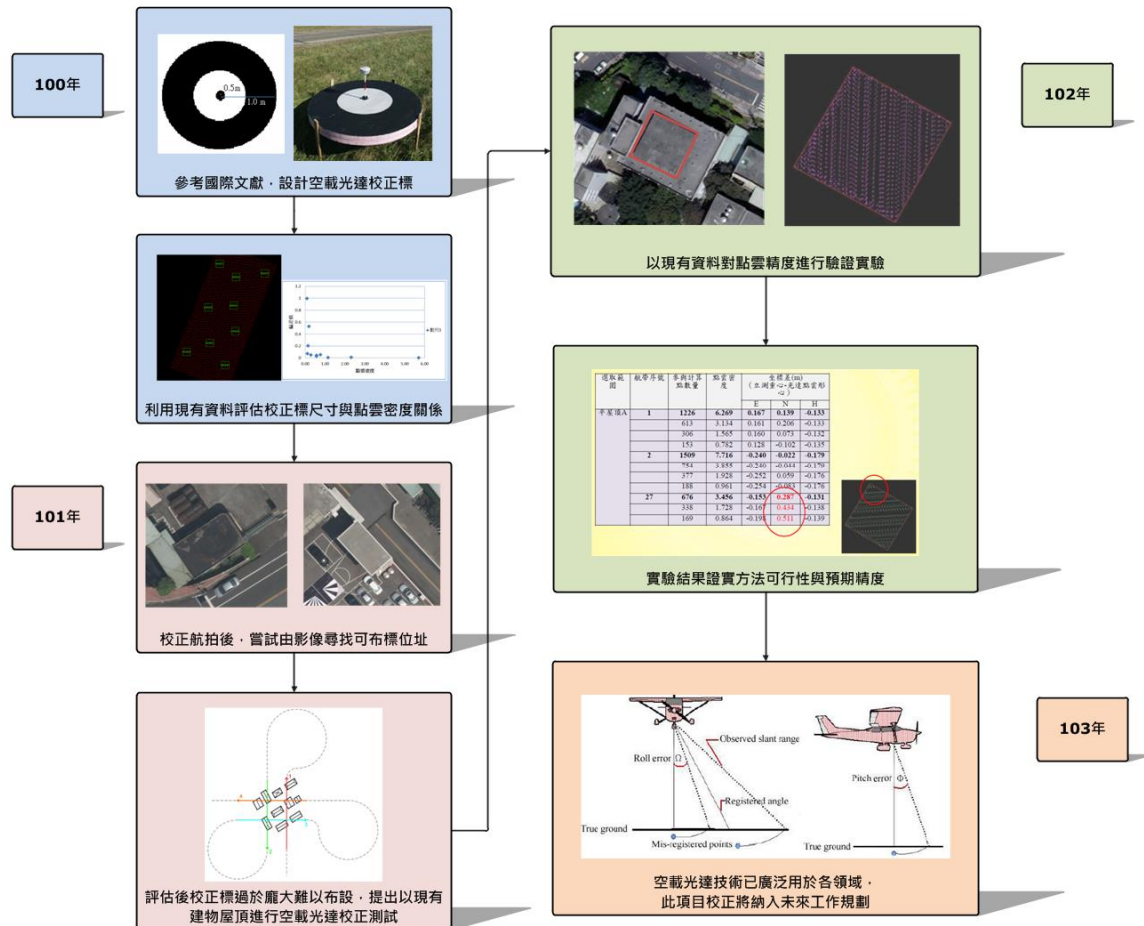


圖 7-4、歷年空載光達校正研究辦理情形

經 102 年所執行光達校正測試分析，可得知點雲密度即使不及 1 pt/m^2 ，光達點雲形心位置與推估的屋頂中心點參考基準位置依然與密度較高時所得成果無太大差異，可歸納原因為屋頂面積應符合校正需求，即使點雲密度低，依然有足夠點雲資料進行推估。日後評估光達點雲平面、高程精度如使用此方法，所挑選平屋頂面積至少應達本次試驗所使用最小面積約 25 m^2 。而目前以立體模型計算重心作為中心點參考基準位置，在此次實驗中所能偵測的點雲精度平面約為 0.3 m 、高程約為 0.2 m ，證明此方法在一



定條件下確實可以用於空載光達測量系統校正。而未來值得更進一步精進研究，如於校正前以篩選航帶方式剔除光達點雲在校正平面上分布不均的航帶（如圖 7-2 第 27 號航帶），或增加重複掃瞄航帶，提高篩選成功率。空載光達作業能力受到雷射脈衝率、掃瞄頻率、掃瞄方式等ⁱ 多項因素影響，因此本項目未來所規劃之校正，以確認測試機型實際測量時，所能達到精度為主，隨校正經驗累積再評估是否進一步提供參數率定服務。而空載光達所搭載之中、小像幅像機，隨著任務執行所拍攝的影像為點雲編修重要參考，拍攝能力如能達到一定規格，將有助於成果品質之提升。下節將對本計畫執行期間，中像幅像機及 UAS 設備的校正測試分析結果作出說明。



二、中像幅攝影機與無人飛行載具測試分析

(一)目的及效益

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

(二)評估說明

1.使用場地

校正方式亦採野外現場校正(In-Situ Calibration)方式，由廠商依據校正作業規範進行航拍，就其拍攝所得之影像，進行校正。

中、小像幅攝影機及 UAV 校正得與航測攝影機合用校正場，原則上儘量採相同校正標之分布，不另外增設點位。但是由於中、小像幅攝影機型別繁多，各型的像幅、焦距、像元尺寸、航高等差異很大，因此校正航拍時暫不考慮對航高及航線做強制性的規定，僅以其像幅涵蓋且地元尺寸在原南崗校正場規格所定之範圍內為原則。



2. 校正評估

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

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

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



3. 校正測試分析

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

加入附加參數前，影像幾何畸變的情形十分嚴重，除了影像邊緣外，其他位置亦有變形的情形，如圖 7-5 所示。而透過加入平差系統所提供的附加參數，消除了大部分系統誤差，得到良好的影像成果，如圖 7-6 所示。

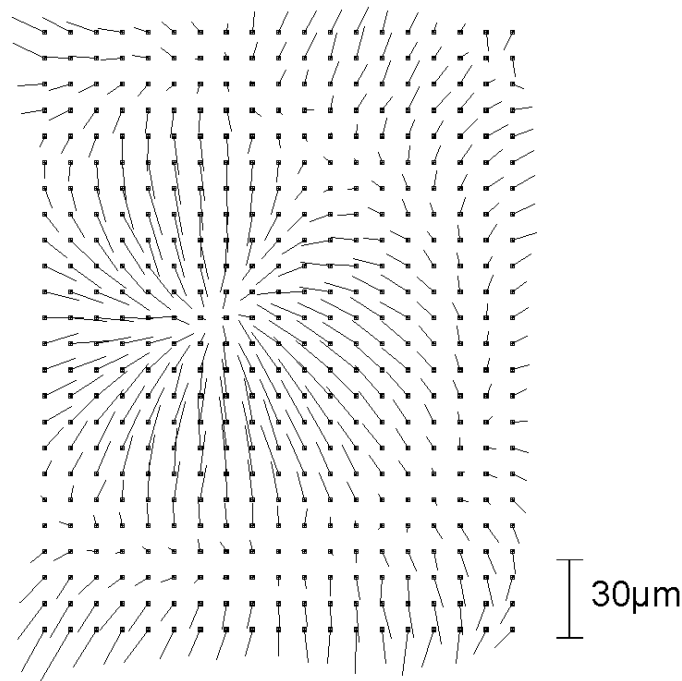


圖 7-5、影像網格平均殘差向量圖(未加入附加參數)

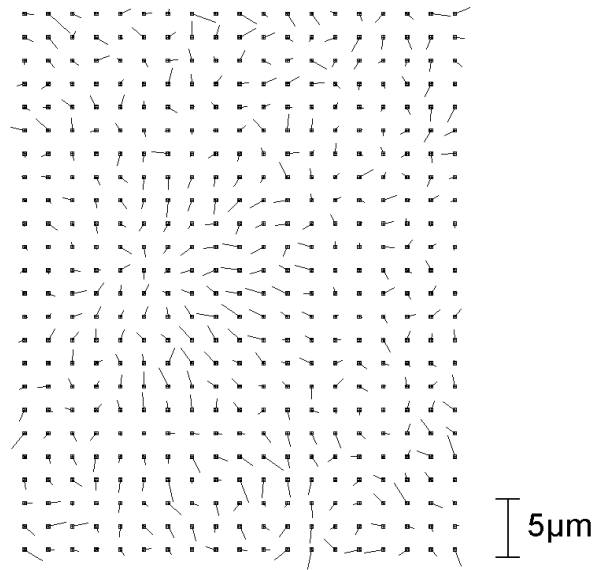


圖 7-6、影像網格平均殘差向量圖(加入附加參數)

由於內方位穩定性及成像方式的不同，使得航測攝影機與其它型攝影機所能達到的成像精度與解析力有一定差異，所得測繪成果的品質亦不在相同水平。中、小像幅攝影機以及非量測型攝影機的校正工作在於評估其整體綜合性能是否符合任務規劃需求，並不針對該系統個別組成原件或配置做校正。如經幾何校正後，顯示檢核點上所呈現的幾何精度不佳，廠商亦可使用其他參數或校正結果自行反推原因，進行改善。未來校正場若開放非航測專用攝影機進場校正，是否允許送校廠商視其所執行任務及其成果需要對影像進行改正，應再詳加研議。

(三)小結

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

中、小像幅攝影機及非量測型攝影機與航測攝影機最大的差異在



於內方位的穩定性，若校正航拍前後的內方位並不一致，縱使校正後合乎標準，有可能是透過後處理達成，亦無法掌握攝影機真實情況。若中像幅攝影機能更進一步證明其內方位確實穩定，則未來有機會達到航空攝影測量之標準作使用。

目前多見以實驗室內近景攝影測量的率定方式取得非量測型攝影機的內方位參數，若能於校正航拍前先得知待校件的內方位參數，確認航拍前後內方位的一致性，才能使校正成果具有意義。因此未來可評估增設近景攝影測量實驗室，於校正航拍前先行計算內方位，但應考量：1.實驗室建置需額外經費；2.實驗室環境與航拍環境不盡相同。近景攝影測量實驗室軟、硬體設備普遍昂貴，需評估校正場實際營運及其它經費來源是否能支持此預先檢核的構想。而航拍時攝影機與拍攝物體的距離與近景攝影測量所拍攝物體的距離相差甚遠，於室內率定所得參數未必適用於航拍，因此航拍前後參數的比對是否適合納入未來送校程序內，尚待商議。



捌、TAF 財團法人全國認證基金會認證準備

本計畫具體目的是建置國家級航遙測感應器校正場，原則上如果以國家公權力來執行，其本身即具有公信力，並不需要藉助第三者加以認證，美國地質調查所建置之校正場即為一例。美國地質調查所要求所有執行美國政府航測業務之航測攝影機均必須經過其所設置的校正場進行校正，但對於非政府業務者，不做硬性接受校正之規定。由於不牽涉到干涉私人業務的情形，因此並未就該校正場申請過任何第三者的認證。世界其餘各國校正場也沒有辦理過認證的先例。歐盟目前還正在研究是否需要認證以及如果需要認證，應該申請哪些項目以及由誰來認證的問題。

但是我國為外銷導向的國家，為了與世界接軌使得產品獲得世界認同，目前正推行建立工業品質保證觀念，希望藉由現代化的認證機制，建立各類實驗室、校正場重視品質保證的認知。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。國土測繪中心已經加入財團法人全國認證基金會(以下簡稱 TAF)量測實驗室的認證，未來若航測攝影機校正也能申請得到認證，亦具有導入品保觀念，進行自我品保要求的意義。

一、歷年工作概要

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。為了符合認證需求，本團隊於 100 年開始參考 TAF 所依據的國際規範及認證程序提供相關文件進行可行性研究，於 101 年依技術要求撰寫了航測攝影機校正作業程序與系統評估，分析本案校正系統之不確定度與其來源，並經由受訓與參訪，釐清認證需求提出更進一步的準備規劃。102 年持續進行品質、技術及



其他各項文件的撰寫，並實際至國外訪查可能的能力試驗活動辦理機構，依訪查結果提出申請準備方案。103年完成所規劃各項準備工作後，邀請具相關經驗之輔導人員協助，確認準備是否完善，以助實驗室於未來提出增項認證申請。

表 8-1、歷年 TAF 認證申請工作準備概要

| 年度 | 說明 |
|----------------------------|---|
| 100年 蒐集國內外相關文獻並規劃 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 規劃及設計校正方法及相關校正作業準備。 2. 評估校正場計畫各項校正項目納入 TAF 校正領域認證項目之可行性。 |
| 101年 試辦並撰寫校正作業相關文件初稿 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 按校正方法建置校正場，並以 UltraCamXp 辦理校正測試飛行。 2. 依校正測試結果辦理航測攝影機校正系統評估及校正程序文件撰寫。 3. 至 TAF 辦理訪查，並達成本校正項目可納入貴中心實驗室之擴充項目，及其 TAF 校正領域認證類別歸類為 KA4099 之共識。 |
| 102年 試辦並精進校正作業相關文件 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 按校正方法辦理校正測試飛行(DMC-I)。 2. 依 102 年校正測試及分析結果，精進 101 年所撰寫校正作業程序、系統評估、校正報告ⁱ 等文件。 3. 分別提出實驗室比對及以不同商業軟體進行量測比對成果兩方案作為能力試驗活動方案。 4. 參考 TAF 規定及經評估可行性後，進一步提出「以坐標標準值品保管制程序」為可行之能力試驗方案。 |
| 103年 完成能力試驗活動 (預期目標) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 邀請現任 TAF 或 CNLA 合格評審員協助辦理 TAF 認證申請準備工作。 2. 依評審員建議增修相關技術文件或活動紀錄。 3. 完成符合「能力試驗活動要求」(TAF-CNLA-R05(4)) 的參加紀錄。 |



二、認證申請流程

初期研究後經多次評估討論，決議未來先建立航測專用之大像幅航測攝影機校正制度，因此規劃申請項目為「航測攝影機」，並以申請之「幾何校正」為技術標的。除了前往 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外，同年並實際辦理訪談，拜訪認證實驗室經理進行相關諮詢，提出所了解申請認證困難處，依訪談結果及建議，進行作業規劃。

經洽詢後確認航測攝影機校正可納入長度領域之其他「KA4099」項目，且與國土測繪中心測量儀器校正實驗室同屬長度領域，故可以增項認證方式提出申請。

根據 TAF 「能力試驗執行機構認證服務說明 (TAF-PTP-A01(2))」，無論初次、增項或延展認證申請，皆須能符合下列二項要求。

1、申請前，所申請領域之技術類別需親自執行下列三項主要工作的能力試驗紀錄：

- (1) 規劃與設計能力試驗計畫。
- (2) 評估能力試驗計畫參加者表現。
- (3) 發布能力試驗計畫之結果/報告。

註：TAF 區分能力試驗計畫之主要工作為(1)規劃設計、(2)待測件製備、(3)均勻性\穩定性、(4)統計設計、(5)設定值、(6)資料分析及結果之評估與(7)發布結果/報告等七項。

2、承諾認證項目每三年至少舉辦一次能力試驗活動。

依此要求觀之，如欲申請 TAF 增項認證，須先完備參與能力試驗活動之計畫、文件及相關紀錄等項目，故以設計能力試驗活動方案



為此申請重點辦理項目。

進入實質評鑑階段，包含認證申請及資料審查等作業，依現場評鑑結果所提出不符合事項及改善建議後，按結果設計實施改善措施，評鑑小組認可後，辦理認證核可事宜。認證申請完整之評鑑流程如圖 8-1 所示。

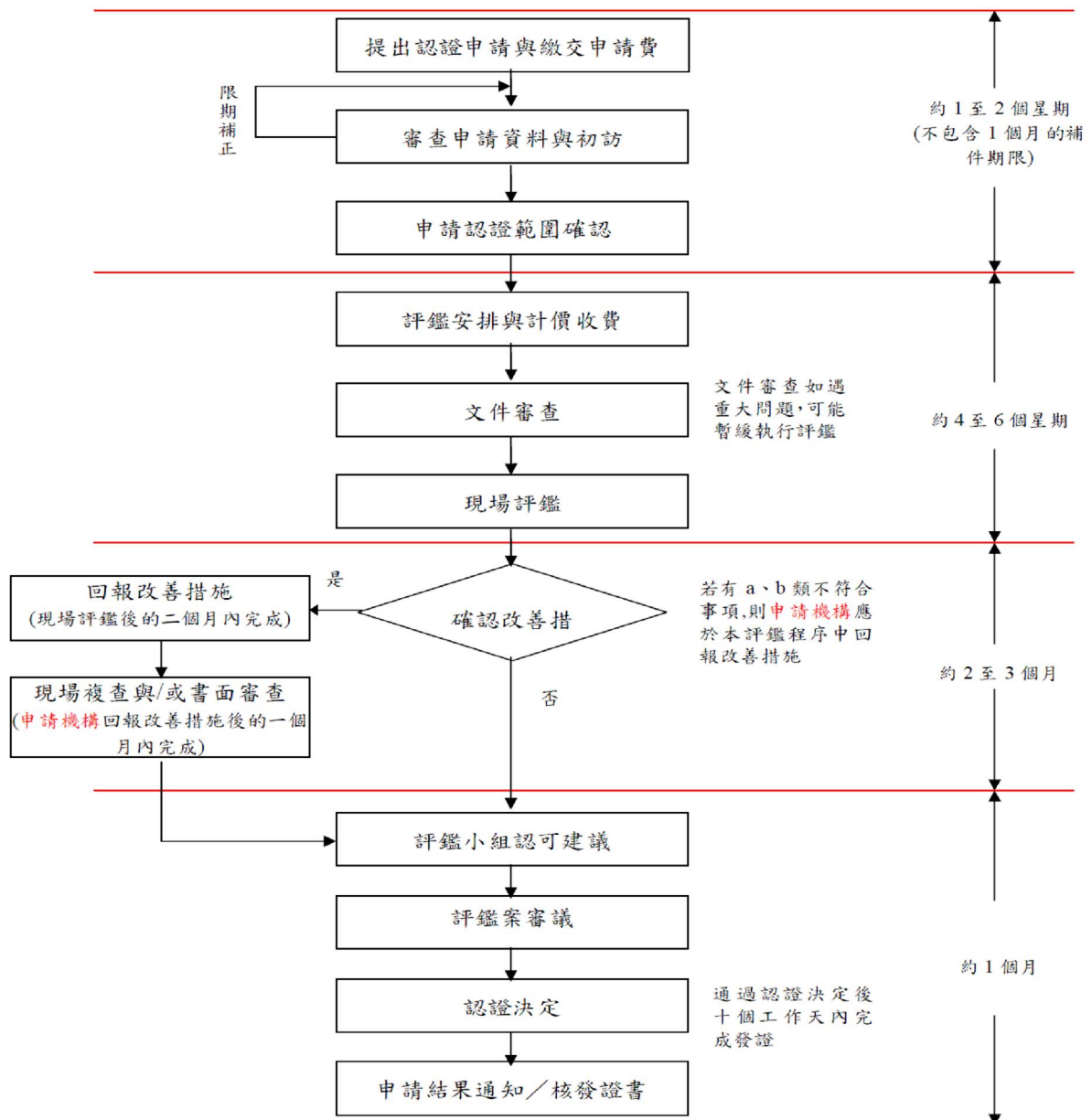


圖 8-1、認證流程圖(初次、延展與增項)



三、認證文件準備

實驗室作業程序與文件化紀錄是否完整為認證審查的重要事項，用以判斷實驗室是否具備應有的品質與技術能力。

實驗室文件可區分為技術性文件、程序性文件與其他表單手冊。現有程序性文件，如：實驗室品質手冊、實驗室程序書¹等，若適用於實驗室整體的原則性規定，不因校正作業不同而有所區別，則維持原版本不再進行調整，但若需增加文字敘述則進行補充修訂。航測攝影機校正技術文件則包含：航測攝影機校正作業程序、校正系統評估、能力試驗活動參與計畫方案、與校正報告，相關技術文件則以航測攝影機校正測試分析後結果進行撰寫。研究團隊於 101、102 年期間完成文件準備後，103 年即邀請具相關經驗之輔導人員協助，依 ISO/IEC 17025 管理要求及技術要求給予修訂建議。修訂過程中亦隨時保持與輔導人員聯繫，確認所提建議內涵與修訂方向為一致，進而完成認證文件準備。

實驗室現有第一階文件屬政策性文件，原則性制訂實驗室之運作流程及規定；第二階文件屬程序性文件，即實驗室運作時需要依循的項目；第三階文件屬技術性文件，說明實驗室各校正項目技術內容；第四階文件為各種表單、紀錄。依航測攝影機校正適用之原則，逐一檢視實驗室各項文件，並設計航測攝影機所屬各類檢核紀錄表單，整合後文件清單及說明可參考表 8-2。

表 8-2、航測攝影機校正實驗室文件整合清單

| 文件編號 | 文件名稱 | 說明 |
|---------------|-----------|-----------------|
| 第一階文件-實驗室品質手冊 | | |
| SICL-1-01-0 | 品質手冊 | 依航測攝影機校正適用性修訂內容 |
| 第二階文件-實驗室程序書 | | |
| SICL-2-01-0 | 組織與管理作業程序 | 沿用 |



| | | |
|-------------------|-------------------------|-----------------|
| SICL-2-02-0 | 文件與紀錄管制作業程序 | 依航測攝影機校正適用性修訂內容 |
| SICL-2-03-0 | 顧客服務與抱怨處理程序 | 沿用 |
| SICL-2-04-0 | 不符合事項矯正措施及預防程序 | 沿用 |
| SICL-2-05-0 | 內部稽核程序 | 沿用 |
| SICL-2-06-0 | 人員管理與訓練作業程序 | 沿用 |
| SICL-2-07-0 | 校正方法與確認程序 | 沿用 |
| SICL-2-08-0 | 實驗室管理程序 | 依航測攝影機校正適用性修訂內容 |
| SICL-2-09-0 | 設備儀器管理及量測追溯程序 | 依航測攝影機校正適用性修訂內容 |
| SICL-2-010-0 | 校正作業管理程序 | 沿用 |
| SICL-2-011-0 | 校正報告管制作業程序 | 沿用 |
| 第三階文件-校正作業程序、系統評估 | | |
| SICL-3-04-0 | 航測攝影機校正作業程序 | 新增技術文件 |
| SICL-3-04-1 | 航測攝影機校正系統評估 | 新增技術文件 |
| 第四階文件-表單及紀錄 | | |
| SICL-4-46-0 | 幾何校正標點位維護紀錄表 | 新增表單 |
| SICL-4-47-0 | 幾何校正標點位維護結果清冊及檢核表 | 新增表單 |
| SICL-4-48-0 | 幾何校正標點位調查表 | 新增表單 |
| SICL-4-49-0 | 幾何校正標 GPS 靜態測量外業觀測紀錄表 | 新增表單 |
| SICL-4-50-0 | 幾何校正標 GPS 靜態測量成果檢核表 | 新增表單 |
| SICL-4-51-0 | 航測攝影機校正場維護紀錄表 | 新增表單 |
| SICL-4-52-0 | 航測攝影機校正場點位管制表 | 新增表單 |
| SICL-4-53-0 | 航測攝影機校正申請表 | 新增表單 |
| SICL-4-54-0 | 校正航拍作業紀錄 | 新增表單 |
| SICL-4-55-0 | 校正航拍檔案清冊 | 新增表單 |
| SICL-4-56-0 | 航測攝影機校正作業設備操作人員基本資料表 | 新增表單 |
| SICL-4-57-0 | 航測攝影機校正作業設備操作人員能力評估及授權表 | 新增表單 |
| SICL-4-58-0 | 校正航拍影像檢核紀錄表 | 新增表單 |



| | | |
|-------------|------------------|------|
| SICL-4-59-0 | 校正航拍成果審核紀錄表 | 新增表單 |
| SICL-4-60-0 | 校正航拍成果補件紀錄單 | 新增表單 |
| SICL-4-61-0 | 航測攝影機校正作業及檢核紀錄表 | 新增表單 |
| SICL-4-62-0 | 航測攝影機校正報告檢核表 | 新增表單 |
| SICL-4-63-0 | 航測攝影機校正作業管理表 | 新增表單 |
| 其他 | | |
| | 航測攝影機校正系統作業手冊 | 作業手冊 |
| | 標準值 GPS 測量作業手冊 | 作業手冊 |
| | LPS 作業手冊 | 作業手冊 |
| | 校正場資訊管理系統及介面操作手冊 | 作業手冊 |

註 1：新增之文件、表單，編號依實驗室原有文件編號續編。

註 2：實驗室原有四階文件，屬於營運管理、或適用於所有校正作業之表單紀錄，在此未列出。



四、技術專家與評審員邀請

103 年度工作規劃邀請具相關經驗之輔導人員協助，確保航測攝影機系統校正作業設計、技術與文件符合 ISO/IEC 17025 之規定。除確認文件內容符合 ISO/IEC 17025 之要求外，有關追溯、標準件使用、校正方法之確認、能力試驗活動方案、品質管制措施完善程度與相關工作準備是否符合 TAF 認證要求。

工業技術研究院量測技術發展中心(以下簡稱工研院量測中心)長年來致力於計量技術發展與計量驗證，且為 TAF 校正領域內指定之能力試驗與量測稽核指定辦理機構，因此優先列為尋訪對象。經實際與工研院量測中心取得聯繫後，其所屬部門「機構精密與動態工程計量部」正工程師李瓊武先生，及「品質工程部」品質副理呂錦華先生，具備豐富評鑑經驗與技術知識，且目前均為現任 TAF 合格評審員。經邀請後同意擔任本案之技術專家及評審員角色，協助本案認證準備工作。

(一)協助技術文件審查

取得工研院量測中心同意協助本計畫認證準備工作後，於 103 年 3 月 25 日安排第一次會談，說明本案校正原理、作業細節與認證申請規劃。評審員聽取後表示，相關技術準備已有相當程度，原則上已符合校正領域所要求。唯航測攝影機校正之特殊性，整體作業並非於特定環境或由實驗室作業人員執行，如航測攝影機執行校正航拍與影像處理階段便是由外部人員執行，因此作業流程各階段還需注意人員資格或器材管制措施的規範是否完備，實驗室文件化紀錄是否完整，連同校正結果品質之保證，以符合認證所要求的品質精神。

會談後依評審員提示之重點，隨即對技術文件進行調整修訂送交評審員檢閱，並再次評估整體作業流程品管措施適當性做改善調整。期間密集保持與評審員的聯繫，在其提出技術文件審查意見後，於



103年5月14日安排第二次會談，釐清評審員所提意見內涵。各項技術文件除依評審員提示應呈現於文件中之管理、技術重點進行補充修訂外，整體校正作業流程亦再逐一檢視是否符合 ISO/IEC 17025 品質及技術之要求。

(二)評鑑模擬認證討論會議

此次會議即委託所邀請評審員及技術專家，協同國土測繪中心測量儀器校正實驗室召開，目的為模擬航測攝影機校正申請 TAF 認證時所須之流程及程序，針對執行程序可能缺失、修訂後文件內容適當性再做確認及建議。會中就校正作業服務、校正作業技術文件、表單以及能力試驗活動三方面為主題進行相關討論。以下說明各主題重要討論事項。

1.校正作業服務相關

- (1) 校正作業名稱經討論後決議由原「航測攝影機幾何精度校正」調整為「航測攝影機校正」，而校正項目為「影像幾何畸變」。
- (2) 校正計量追溯以工作標準件(1年內經校正之衛星定位儀)進一步追溯至國際單位，由工作標準件測得校正標坐標作為標準值。本校正作業雖於二維影像平面(像空間)進行量測工作，但標準值為物空間之三維坐標，因此校正結果之器差建議以物空間量值呈現較為恰當。
- (3) 本校正使用均勻分布且一定數量之校正標來呈現影像幾何畸變之情形，原器差定義為所有檢核點所計算之殘差均方根值，經討論後決議器差改以表列出所有檢核點之殘差值作呈現，故相關文件所提及器差敘述應一併作調整。
- (4) 本校正作業程序始於收到顧客所提供相關資料後進行，校正航拍及航拍影像下載處理均由顧客端負責，因此執行校正航拍之資格管理與資料成果品質保證屬於校正前注意之準備事



項，於校正作業程序文件內說明即可。

- (5) 本校正場之有效期僅限於每年公告之服務期間，故標準值的管制亦只在服務期間進行，並以每年 GPS 靜態測量施測得之校正標坐標作為該年度之標準值，而標準值之管制建議除於校正空中三角測量時以粗差偵測進行外，可設計於服務期間或服務結束後，以定期或不定期對校正標抽樣的方式對坐標值進行管制。若於管制期間發現坐標差值超出 2 倍測量中誤差則視為異常，應查明原因並通報技術主管處理。

2. 校正作業技術文件相關

- (1) 校正為在特定條件下所確立之量測儀器或量測系統的器示值（或實物量具、參考物質所代表的值），與相對應被量測已知值之間關係的一組操作。因此估計不確定度時，應考量特定條件之影響，故建議系統評估文件內補充本校正系統能力與航高條件對應之關係。且不確定度可以變數表示，如最後轉換為不同校正能量(5cm~25cm 地元尺寸)及不同方向(平面、高程)所對應之不確定度。
- (2) 有關校正系統評估中之不確定度來源分析，應適當考量校正作業過程中各項影響因素與不確定度類別，並建議以表列方式評估各項不確定度。
- (3) 估計不確定度時，以保守估計為佳；但擴充不確定度可以最佳情況宣稱，如以使用最佳之校正能力(5cm 地元尺寸)試算各項量值，以此推算擴充不確定度。

3. 校正作業文件表單

- (1) 建議於校正報告內補充航測攝影機規格資訊如：焦距(f)、像元大小(pixel size)í 等，並清楚描述本校正之器差。



- (2) 本校正項目新增之文件、表單，可適當納入技術文件內作為附件。國土測繪中心測量儀器校正實驗室現有之實驗室品質手冊(第一階文件)及實驗室程序書(第二階文件)，文件架構及內容尚屬完整，僅需依本校正項目適用性對文字敘述微幅調整。

4.能力試驗活動相關

- (1) 本校正經評估後主要不確定度來源為空中三角測量，所執行之實驗室比對採比對機構與國土測繪中心測量儀器校正實驗室使用相同校正件所拍攝之航空影像，執行本校正作業程序計算器差後，比對雙方校正成果。有關比對結果判定，校正領域多以 E_n 為比對結果一致性之判定標準，且可同時包含雙方作業過程中所受 A 類與 B 類不確定度之影響，因此建議可採用 E_n 值評估比對雙方一致性。其中比對結果建議可採所有檢核點殘差之平均值作為代表。
- (2) 本校正目前所辦理之實驗室比對，比對機構並無提供航測攝影機校正、能力比對或其他量測稽核之服務，因此以達成比對活動要求之精神為主。能力試驗活動適當性查檢表則視實際比對情形填寫即可。

研究團隊後續根據討論內容及會議決議，再次檢視整體認證申請作業之完整性並做調整。透過邀請具相關經驗之輔導人員協助，即為確保航測攝影機系統校正作業設計、文件與品質管制程序符合 ISO/IEC 17025 之規定。



五、能力試驗活動準備與執行

經訪談與研讀認證相關文件，ISO17025 5.9 節提到有關試驗與校正結果品質之保證：「實驗室應有品質管制程序，以監控試驗與校正作業之有效性」。由於國際實驗室認證聯盟採用實驗室間比對或能力試驗為簽署相互承認之認證機構應展現其認可實驗室技術能力的主要且重要方式，因此 TAF 對於認證對象均要求規劃設計能力試驗參與計畫，且須參與並發佈結果。校正領域中能力試驗活動判定的流程如圖 8-2 所示：

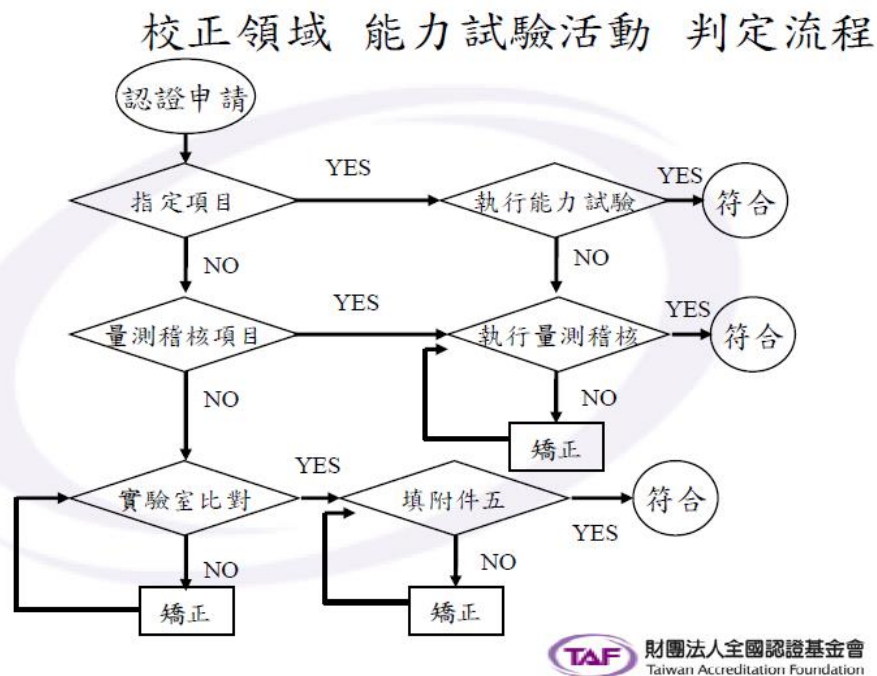


圖 8-2、TAF 校正領域能力試驗活動判定流程圖

評估後因沒有適當之能力試驗參加，目前亦無提供航測攝影機校正之實驗室，為符合 TAF-CNLA-R05 之要求，且同時平衡實驗室財務面與品質面之需求，研究團隊依此判定原則提出了數項能力試驗活動方案，以下說明各方案構想以及可行性評估。



(一)能力試驗活動方案研擬

1.執行校正件比對

於 101 年與認證實驗室經理訪談後，提出問題釋疑，整理相關資訊，並參考 ISO17025，提出以作為校正件的航測攝影機執行比對的方案規劃：

- (1) 取得目前臺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。此方案是否可行，繫於目前在臺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) 將航測攝影機送至國外校正場，或由國外租借航測攝影機於本場拍攝，於校正飛行後比對本場與國外所出具之校正報告，以證明本場之校正能力。此方案涉及運輸費用以及校正期間無法執行任務之損失，估計成本較高。

經多次討論後，以上述第 2 項方案概念較為直觀，因此優先作為校正件比對方案，進行可行性評估。研究團隊於 102 年 5 月中旬派員前往日本，至該國測量機構 PASCO 公司參訪，與該公司成員會面，就雙方於航測實務上的經驗做分享交流。於訪談中，亦藉此機會向該公司提及本計畫案執行現況，並對本國認證制度中能力試驗活動項目作說明。

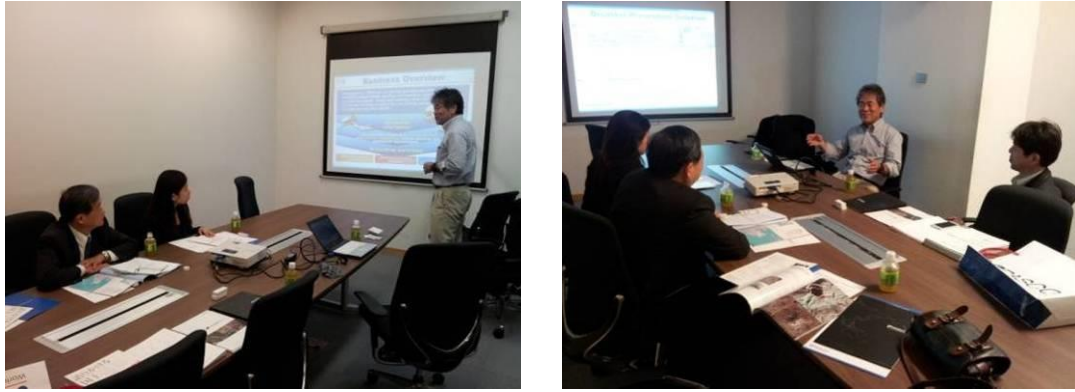


圖 8-3、102 年 5 月至日本測量機構 PASCO 公司參訪

PASCO 公司表示，日本國內執行空拍的航測攝影機均要向政府申請使用執照，申請時間需數月；國外航測攝影機如要引進日本當地航拍，同樣也要申請使用執照，且欲執行的飛航計畫也要由政府機關審核，行政流程所需時間可能遠比日本國內公司提出申請的時間還要更長。而 PASCO 公司到目前為止並無租借航測攝影機至國外執行非公司業務的航拍任務，且租借至國外也必定將無法執行業務的損失轉嫁至租金上，因此 PASCO 公司評估租借費用可能會在數百萬元臺幣以上。

2. 執行實驗室比對

考量航測攝影機校正項目之獨特性與不確定度的來源，擬邀請國內、外卓有信譽的航測機構，執行本校正項目的校正作業程序，比較雙方校正成果，以符合 ISO17025 之 5.9 節要求之品管概念。國土測繪中心測量儀器校正實驗室將與比對機構以相同的航測影像，執行本校正項目的校正作業程序，以量測值與標準值的差異，比較實驗室間校正成果。由於規劃與比對機構使用相同影像、相同軟體、進行相同的校正作業程序，所得成果精度理論上應趨近一致，因此可針對彼此所產生結果報表內的量測精度誤差標準值進行比較。其差異應符合實驗室所訂規範，以此證明實驗室人員立體量測能力與國際航測機構相同，擁有相當校正品質水準。



3.其他品質保證方案

執行實驗室比對雖在校正領域能力試驗活動判定流程內，但因本校正項目之獨特性，未來所尋找之比對機構絕大多數未獲得 ISO/IEC 17043:2010 認證。考量不同的評審員對於比對機構的資格認定可能有不同標準，因此以完善品保方式作為能力試驗活動替代方案。

(二)可行性評估

經確認目前國內外確實尚無於該校正項目經 ISO/IEC 17043:2010 認證或經其他國際認證組織認可之能力試驗執行機構，可進而提供航測攝影機項目之校正。因此執行能力試驗活動或執行傳統之實驗室間比對實有困難。

為解決此困境，於「能力試驗活動要求 (TAF-CNLA-R05(4))」中，於「4.3 制定能力試驗參與計畫的要求」之註 2 所述：「實務上，有許多校正或測試項目之合適的能力試驗是不存在或不可行，因此當現實可行的能力試驗活動不足以支持實驗室所有校正或測試品質保證時，實驗室應研究發展其它品質保證方案，以取得或維持本會認證。」有鑑於此，為了確保校正品質，於校正作業各階段建立完善品質保證方案作為代替能力試驗活動方案之選項，但是為盡可能符合 TAF 對能力試驗活動之要求，本計畫中亦仿照能力試驗活動，尋找合適之機構辦理實驗室比對。兩方案並陳，於申請時再由 TAF 組織作最後認定。

(三)能力試驗活動執行

因航測攝影機校正並非 TAF 指定項目及量測稽核項目，無法按規定與已經過認證實驗室進行比對以證明本實驗室能力。依所邀請評審員提出除了完善目前作業程序各階段品保措施外，可尋找國內機構具有專業設備及航測實務經驗豐富的公務部門或大學，執行所訂定之校正作業程序以執行校正比對，保證校正品質。雖然國內目前此領域



並無通過相關認證之機構，但因本案項目類型特殊，且於校正領域內首次提出申請，並無其他案例可參考，因此比對活動若符合能力試驗活動所要求的精神，比對執行後相關紀錄亦可作為品質保證之參考。

1. 邀請比對機構

就國內而言，航測領域於產、官、學界不乏許多設備齊全及實務經驗豐富的單位。經評估後，國立政治大學地政學系土地測量與資訊組(以下簡稱政大地政系)，為國內唯一整合地政與測量專業之完整學系，系所內設有測量儀器實驗室、製圖教室與遙測實驗室，且為配合航測教學及研究需求，購置軟、硬體設備如：光達系統、數值航測工作站、MapInfo、ArcInfo、ArcView、LPSí 等均相當齊全。系所具備相關技術設備與專業師資人才，亦常接受政府單位委託執行航測相關研究計畫，因此規劃為優先邀請比對機構。與系所實際取得聯繫後，說明本案研究目標與比對目的，政大地政系了解後認同且同意協助配合辦理實驗室比對工作。

2. 比對方法說明

比對方法係依據 ISO/IEC17043:2010 符合性評鑑—能力試驗的一般要求 (TAF-PTP-R01(2)) 文件附錄 A.1 所述的定量型比對且採 A.2 的順序參加型計畫類型所設計。國土測繪中心測量儀校正實驗室為主辦實驗室，政大地政系為參與實驗室。由於空中三角測量為航測攝影機校正作業程序中重要之環節，因此規劃雙方使用相同校正件所拍攝之數位影像，執行校正作業程序中所規定的空中三角測量，將器差計算之結果予以比對，比較雙方校正成果。比對所使用待測件為 101 年校正航拍試驗所得的 UltraCam Xp 航測攝影機所拍得的影像，相關資訊如表 8-3 所示：



表 8-3、待測件資訊

| 拍攝日期 | 航測攝影機 廠牌型號 | 航測攝影機 像元尺寸 | 校正航拍地 元尺寸 | 校正航拍航 高 | 航拍影 像數量 |
|-----------|---------------|---------------|--------------|------------|------------|
| 101.09.04 | UltraCam Xp | 6 μ m | 20cm | 2200m | 39 張 |

主辦實驗室依據校正作業程序對待測件執行校正後，將資料傳給參與實驗室依據相同的作業程序重複進行校正作業，依據 TAF-PTP-R01(2)附錄 B.3 之統計方法評估雙方校正成果之一致性。比對規劃雙方實驗室由檢核點中選取相同的 16 個，以該 16 個點上所呈現器差的相符性來驗證雙方實驗室針對相同待測件所得的校正結果是否一致。

由於僅在比對二實驗室之間所得結果是否一致，而不在判定受校件幾何精度到底如何，因此器差的大小不影響比對結果。只要二實驗室所得的器差一致，無論器差值大小如何，都顯示二實驗室結果相符。16 個校正標的器差是由母體中隨機抽樣 16 個的結果，故比對時可以針對 16 個器差的平均值，亦即器差母體的估值，做為比對對象，不必 16 個器差一一比對。此外，器差係以絕對值大小來判定，故實際計算以絕對值來計算平均值，避免正負器差互相抵消產生錯誤。

3.比對結果判定

由二實驗室各 16 個器差絕對值的平均值分別做為比對設定值及參加值，得依 TAF-PTP-R01(2)附錄 B.3 公式(B.1)計算設定值與參加值的差值。各實驗室 16 個器差的均方根值即為各實驗室器差量測的不確定度，由該值再分別計算器差絕對值平均值的不確定度以及平均值的擴充不確定度。

由於航測空中三角測量所得的平面坐標與高程獨立不相關，而且平面與高程之標準偏差不同，故計算設定值及參加值時係將平面(E、N)與高程(H)分開計算。



器差絕對值之平均值

平面：

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n |d_{Ei}|}{n}, \quad N = \frac{\sum_{i=1}^n |d_{Ni}|}{n}$$

高程：

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n |d_{Hi}|}{n}$$

式中 d_{Ei} 、 d_{Ni} 及 d_{Hi} 為空三平差後校正標坐標與校正標標準值在 E、N 及 H 三個方向上之器差， n 為校正標個數。上式分別為設定值（主辦實驗室校正成果）與參加值（參與實驗室校正成果）各算一次。

器差值的標準不確定度

由於器差值是由校正結果與標準值相減而得，而標準值為高精度 GPS 測量所得者，在此可視為無誤差之真值，因此估計器差的標準不確定度時，係依據已知母體中值(mean)時的公式計算。

平面：

$$S_E = \sqrt{\frac{\sum d_{Ei}^2}{n}}, \quad S_N = \sqrt{\frac{\sum d_{Ni}^2}{n}}$$

高程：

$$S_H = \sqrt{\frac{\sum d_{Hi}^2}{n}}$$

式中 d_{Ei} 、 d_{Ni} 及 d_{Hi} 為空三平差後校正標坐標與校正標標準值在 E、N 及 H 三個方向上之器差， n 為校正標個數。



器差絕對值平均值的標準不確定度

平面：

$$S_{\bar{E}} = \sqrt{\frac{S_E}{n}}, \quad S_{\bar{N}} = \sqrt{\frac{S_N}{n}}$$

高程：

$$S_{\bar{H}} = \sqrt{\frac{S_H}{n}}$$

式中 S_E 、 S_N 及 S_H 為三方向器差標準不確定度， n 為校正標個數。標準不確定度是由 16 個校正標依照精密的量測技術所得到的值所計算出來的，各校正標器差屬常態分佈，以 95% 信賴水準估計，採涵蓋因子 $k=2$ 計算擴充不確定度：

$$U_E = 2S_{\bar{E}}, \quad U_N = 2S_{\bar{N}}, \quad U_H = 2S_{\bar{H}}$$

表現評估係依據 E_n 值來判定

E_n 值計算：

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

因比對所含不確定度同時包含 A 類與 B 類 2 種，因此校正領域內多以 E_n 值表示參加單位間等同度。式中 x 為參與實驗室所得 n 個偏差量絕對值的平均值， X 為主辦實驗室所得 n 個偏差量絕對值的平均值， U_{lab} 及 U_{ref} 分別為參與實驗室及主辦實驗室的擴充不確定度。由於 E、N、H 三方向器差係分別評估，故 E_n 值亦須三方向分別評估。當 $|E_n| \leq 1$ 時，表示參與實驗室與主辦實驗室之量測結果一致；若 $|E_n|$



> 1 時，表示參與實驗室與主辦實驗室之量測結果可能不一致，應該重新檢核實驗設計或操作程序的正確性。

4.能力試驗活動成果

以本計畫過去所完成校正成果與本次政治大學所作校正成果比對，結果如下：

(1)主辦實驗室校正結果

表 8-4、主辦實驗室校正成果

| | |
|-----------------|--------|
| 器差絕對值平均值(E) | 0.067m |
| 器差絕對值平均值(N) | 0.043m |
| 器差絕對值平均值(H) | 0.075m |
| 器差絕對值平均值標準偏差(E) | 0.071m |
| 器差絕對值平均值標準偏差(N) | 0.058m |
| 器差絕對值平均值標準偏差(H) | 0.074m |
| 擴充不確定度(E) | 0.142m |
| 擴充不確定度(N) | 0.116m |
| 擴充不確定度(H) | 0.148m |

(2)參與實驗室校正結果

表 8-5、參與實驗室校正成果

| | |
|-----------------|--------|
| 器差絕對值平均值(E) | 0.023m |
| 器差絕對值平均值(N) | 0.020m |
| 器差絕對值平均值(H) | 0.081m |
| 器差絕對值平均值標準偏差(E) | 0.042m |
| 器差絕對值平均值標準偏差(N) | 0.040m |
| 器差絕對值平均值標準偏差(H) | 0.083m |
| 擴充不確定度(E) | 0.084m |
| 擴充不確定度(N) | 0.080m |
| 擴充不確定度(H) | 0.166m |



(3) 校正比對結果

表 8-6、檢核點器差比對結果

| 項目 | 主辦實驗室 量測值 | 擴充不確定度 | 參與實驗室 量測值 | 擴充不確定度 | $ E_n $ 值 |
|----------------------|--------------|--------|--------------|--------|-----------|
| E 方向器 差絕對值 平均值 | 0.067m | 0.142m | 0.023m | 0.084m | 0.267 |
| N 方向器 差絕對值 平均值 | 0.043m | 0.116m | 0.020m | 0.080m | 0.141 |
| H 方向器 差絕對值 平均值 | 0.075m | 0.148m | 0.081m | 0.166m | 0.026 |

此次比對於 E、N、H 三方向所計算之 $|E_n|$ 分別為 0.267、0.141 與 0.026，就結果而言可視為比對雙方校正能力相當。

根據「能力試驗執行機構認證服務說明 (TAF-PTP-A01(2))」，能力試驗計畫主要工作可區分為：1. 規劃設計、2. 待測件製備、3. 均勻性\穩定性、4. 統計設計、5. 設定值、6. 資料分析及結果之評估與 7. 發布結果/報告等七項。研究團隊依上述條件，將 103 年所辦理比對活動資料詳實記錄並整理相對應之文件，以作為辦理能力試驗活動之證明。文件清單如表 8-7 所示詳細內容可參考本年度 TAF 認證申請準備工作成果。

表 8-7、能力試驗活動文件清單

| 航測攝影機校正-檢核點器差比對(PT-3-04-01) | |
|-----------------------------|----------------|
| 文件編號 | 文件名稱 |
| PT-3-04-0101 | 實驗室比對同意書 |
| PT-3-04-0102 | 航測攝影機校正比對計畫 |
| PT-3-04-0103 | 主辦實驗室校正報告 |
| PT-3-04-0104 | 參與實驗室校正報告 |
| PT-3-04-0105 | 航測攝影機校正比對結果與說明 |
| PT-3-04-0106 | 實驗室比對紀錄 |
| PT-3-04-0107 | 能力試驗活動適當性檢查表 |



六、小結

綜整本計畫 TAF 認證準備各項工作成果，各年度主要辦理情形如圖 8-4 所示。

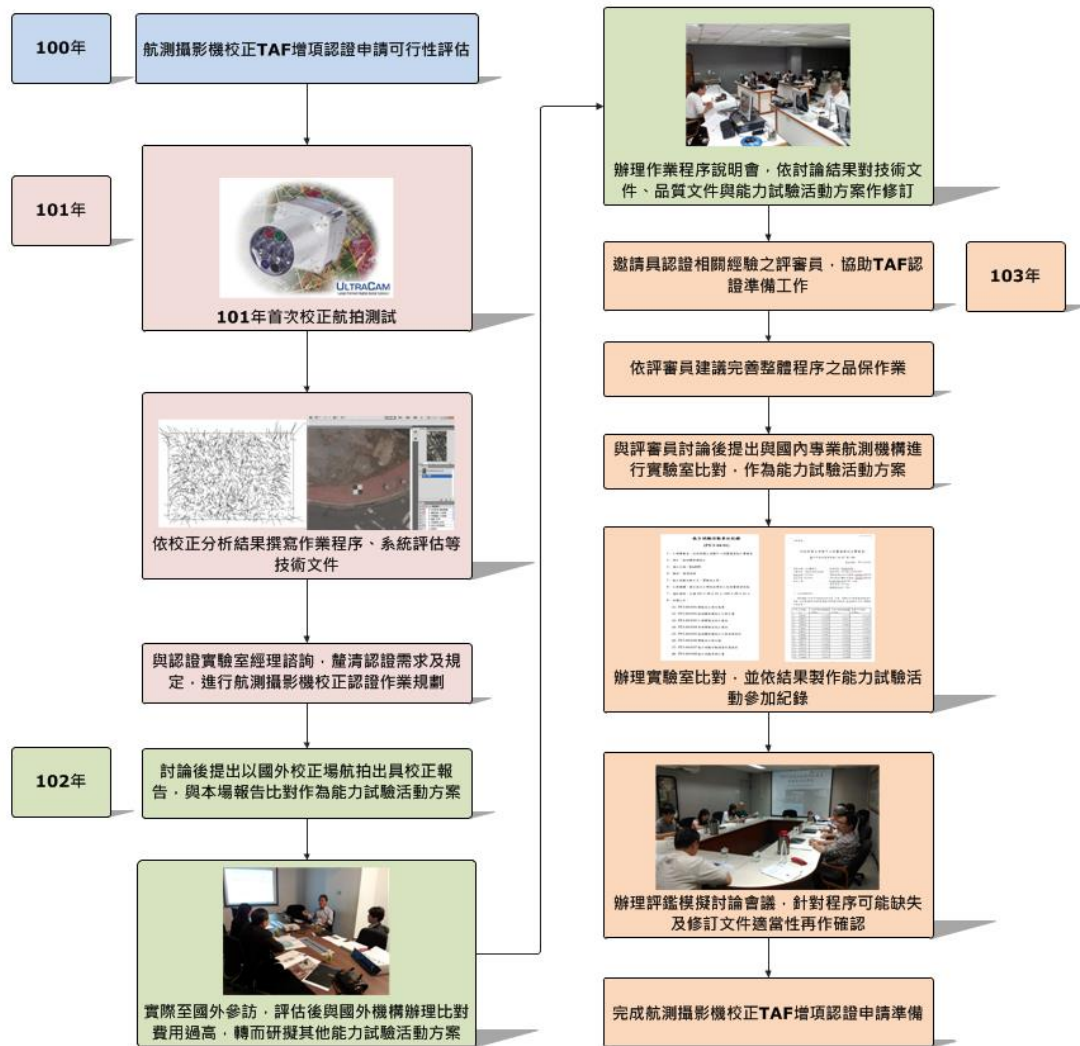


圖 8-4、歷年 TAF 認證申請工作辦理情形

本計畫執行期間，研究團隊投入大量時間籌備各項 TAF 認證準備工作，包含討論修訂多項技術文件、籌備能力試驗活動方案、制定嚴密的品保措施、實際與國外航測機構接洽、並邀請相關專家預先模擬審查。透過多方面的準備，以達成 TAF 認證申請的各項評鑑需要，目標協助實驗室完成此項目增項認證申請，建立校正場公信力，提升國內測繪成果品質。



玖、結語

一、計畫成果效益

本計畫參考國外航遙測感應器系統校正制度，藉以提升本國航遙測感應器系統校正能力，使我國校正標準與國際同步。建立本國合適之航遙測感應器系統校正機制後，可有效檢核影像品質及精度，確保相關測量成果精度。

未來校正場開放營運後，依校正情形評估國內航遙測感應器系統之作業能力，研訂符合國內環境條件之規定，或視實際情形增修相關測繪法規，有利於提升國內測繪成果品質。目前國內航遙測設備擁有者多為民間公司與私人企業，若未來校正制度可發展至與國外原廠能力相當，即可節省相關設備送國外原廠的時程及費用，可增加儀器使用頻率，不僅便民服務且有助於經濟發展。

本計畫自 100 年起執行至今，各年度規劃之工作項目均順利完成。以下綜整各年度主要之工作成果：

(一)100 年

- 1、 規劃、設計國家航遙測感應器校正場建置方案及作業機制。
- 2、 選定航遙測感應器校正作業場址。
- 3、 各航遙測感應器系統校正可行性評估。
- 4、 航遙測感應器校正場地設備規劃與製作。

(二)101 年

- 1、 建置航測感應器校正場。
- 2、 實際以航測攝影機拍攝校正場，進行校正測試分析。



- 3、研擬符合 TAF 標準之航測攝影機校正技術文件。
- 4、為輔助校正作業，研擬開發校正作業系統功能。

(三)102 年

- 1、再次以其他型航測攝影機拍攝校正場，精進校正成果分析。
- 2、辦理校正場地更新維護及營運準備作業。
- 3、空載光達、UAS 校正作業測試。
- 4、TAF 認證申請文件與能力試驗活動籌備。
- 5、完成校正作業系統開發。

(四)103 年

- 1、辦理校正作業試營運與技術訓練，輔導作業人員熟悉校正工作。
- 2、舉行營運推廣說明會，廣納各界意見。
- 3、邀請技術專家協助，完成 TAF 認證申請準備。
- 4、校正作業系統功能擴充。

二、計畫執行期間遭遇困難與解決方式

本計畫初期以航測攝影機校正為研究目標後，便開始規劃場地設置事宜，由於南崗工業區廠房較多為私人所有，原規劃召開校正作業場址所有權人說明會議，希望土地所有權人同意配合辦理布標工作。初期各所有權人出席意願不高，故未辦理此說明會議，且經電話聯繫後，所有權人大部分較不傾向進入廠區範圍作業。但國土測繪中心後續逐一拜訪工業區服務中心、南投縣政府、南投市公所及多家私人廠房，說明此項計畫對於國家測繪研究發展的重要性以及品質提升後對



於各產業的經濟幫助，最終徵得 17 間私人廠房同意配合辦理布標工作。因為這些私人廠房的配合，使得校正標設置得以維持一定間距且分布均勻，以符合校正航拍之需求。

校正場場地設置完成後，隨即進行首次校正航拍測試，於飛行結束後將影像資料下載並檢核，發現 GSD 5cm 的影像相隔若干片後偶有模糊情形。此解析度的影像因拍攝航高極低僅約 800 公尺，比國內航拍人員一般執行任務的航高還要低許多，在此極低航高時氣流更不穩定，飛機抖動較劇，研判航拍人員可能使用前移補償功能(FMC)，使得快門時間較長，加上機身抖動導致影像模糊。第二次校正航拍測試，航拍人員經提醒後關閉此項功能，於飛行結束後檢核影像，確認影像模糊情形已改正，可進行校正分析。

經約半年的時間再次對校正場內校正標進行清查，發現保存良好的比例僅約 50%，其餘油漆剝落損壞均需重新維護工作。維護工作需投入相當人力、時間及金錢方能完成，因此次年度計畫也著手研究幾何校正標數量與分析成果的關聯，後續證實可以較少的校正標數量達到高精度幾何校正成果，不僅降低維護成本，亦縮短校正過程中立體量測時間，提高整體作業的效率。

空載光達校正方面，研究初期欲參考美國俄亥俄大學所設計空載光達校正方式，但其提出之校正標尺寸相當龐大，實際製作有困難。國土測繪中心後續以現有點雲資料設計其他校正測試方法，最終順利完成校正可行性評估測試。

TAF 認證方面，由於航測攝影機校正內容與一般工業實驗室校正項目不同，全世界沒有類似的校正場或項目有過申請認證的案例，故如何提出能力證明進行能力比對為一大難題。研究初期研擬各種可能能力比對方法，評估其可行性，計畫執行期間除拜訪 TAF 實驗室了解認證相關規定外，更曾至國外航測機構參訪尋求意見。歷經多次會議與參考各方意見後，終擬出最適本校正項目之能力比對方法，除能



有效證明實驗室校正能力外，亦與 TAF 能力比對精神相符。期待國土測繪中心實驗室未來順利通過增項認證申請，可為國家測繪品質把關多盡一份心力。

三、未來展望

- (一)目前所設計營運服務流程，與初步所擬定送校費用、頻率之參考規劃，待校正場正式開放後，視實際營運狀況作調整。
- (二)持續研究以影像內地物特徵點（屋角、牆角、地磚）代替人工漆標方式之校正標。目前已累積有不同年度辦理校正實驗各機型所拍攝的影像，具有大量的重複觀測能力。依據研究結果，所量測的地物特徵點應該可以得到極高品質的特徵點位坐標供作未來校正標之用。
- (三)建立地物特徵點坐標管制制度。研究於每年度校正作業後，依據當年地物特徵校正標量測的最新成果，與往年平均值比較，建立坐標管制圖。一方面可以剔除有位移變化的特徵點，另一方面可以將新的成果納入平均值平差計算，以提升舊有坐標的精度。而長期累積下來，既可以得到大量極高品質的地物特徵校正標，又可節省每年校正場維護的費用與相關成本。
- (四)未來 UAV 所搭載之攝影機是否適合一般航測製圖使用，除受載臺穩定性影響外，還與其內方位是否穩定有關。因此其校正項目與時機與本場目前所設計之大像幅航測專用攝影機不同，必須另行研究始可定案。鑒於近年來 UAV 或其他中、小像幅航測攝影機已更廣泛地應用於各項測繪任務，將積極爭取經費持續發展中、小像幅航測攝影機校正作業。
- (五)航遙測載具使用日漸頻繁，若日後執行相關研究案，將建議相關單位須留意飛安與保險問題，以保障權益。



拾、參考文獻

數位航測攝影機系統

- 內政部，2010。基本地形圖測製說明，內政部，臺北。
- 內政部，2011。建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊，內政部，臺北。
- 許妙忠、尹粟、李振濤，2009。航空幾何定標場建設技術研究，2010年亞洲地理資訊系統國際研討會暨臺灣地理資訊學會年會，兩岸四地GIS與應用遙感研討會論文集，高雄。
- Becker, S., Haala, N., Honkavaara, E., and Markelin, L., 2006. Image Restoration For Resolution Improvement Of Digital Aerial Images: A Comparison Of Large Format Digital Cameras, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI. Part 1.
- Casella, V., and Franzini, M., 2005. Experiences In GPS/IMU Calibration. Rigorous And Independent Cross-Validation Of Results, <http://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/113-casella.pdf>，上次查詢：2011-11-20。
- Cramer, M., 2008. The EuroSDR Approach On Digital Airborne Camera Calibration And Certification, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B4: 1753-1758.
- Cramer, M., 2009a. Digital Aerial Camera Calibration, *The Official Publication of EuroSDR*, No.55.
- Cramer, M., 2009b. The EuroSDR Performance Test For Digital Aerial Camera Systems, *Photogrammetric Week 09*, pp.89-106.
- Luccio, Matteo, 2010. Aerial Cameras, Focus Shifts to Productivity, *Imaging Notes*, 25(4), http://www.imagingnotes.com/go/article_freeJ.php?mp_id=243，前次查詢：2013-04-05。
- 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.
- Li, J., 2000. Spatial Quality Evaluation Of Fusion Of Different Resolution Images, *The International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII. Part B2: 339-346.
- Stensaas, G., Lee, G.Y.G., and Christopherson, J., 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：2011-11-20。

USGS, 2008. Digital Aerial Imagery Calibration Range Requirements Version 0.2, EROS Remote Sensing Technology Project, http://calval.cr.usgs.gov/digital_aerial_imaging_quality_assurance.php，上次查詢：2011-11-20。

USGS, 2010. USGS Quality Assurance Plan For Digital Aerial Imagery, Implementation Proposal, http://calval.cr.usgs.gov/digaerial/digital_qa/，上次查詢：2011-11-20。

空載光達系統

中興測量有限公司，2007。大臺北地區特殊地質災害調查與監測—高精度空載雷射掃描(LIDAR)地形測製與構造地形分析(3/3)暨 94-96 年度計畫總報告，經濟部中央地質調查所，臺北。

內政部，2005。LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序，內政部，臺北。

群立科技股份有限公司，2010，莫拉克災區 LiDAR 高解析度數值地形製作(1/3)—空載光達掃描儀率定報告書，經濟部中央地質調查所，臺北。

自強工程股份有限公司，2013，澎湖南方四島互動式多目標 3D 圖臺系統建置，海洋國家公園管理處，高雄。

Csanyi, N., and Toth, C.K., 2007. Improvement Of Lidar Data Accuracy using Lidar Specific Ground Targets, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 73, No. 4, April 2007, pp. 3856396.

Lin, Y.C., 2009. Digital Terrain Modelling From Small-Footprint, Full-Waveform Airborne Laser Scanning Data, *Ph.D. Dissertation*, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK.

衛星系統

陳哲俊、陳良健、王蜀嘉、史天元、吳水吉、劉進金、鄭祈全，2009。航遙測技術在自然資源之應用，財團法人中正農業科技社會公益基金會，臺北。

維基百科，2011。人造衛星，<http://zh.wikipedia.org/wiki/人造衛星>，上次查詢：2011-11-20。

SAR 系統

NASA/JPL 網頁，2002。Chapter 1：Historical Overview,



<http://airsar.jpl.nasa.gov/documents/genairsar/chapter1.pdf>，上次查詢：
2011-11-20。

Curlander, J.C., and McDonough, R.N., 1991. Synthetic Aperture Radar: Systems And Signal Processing, *John Wiley & Sons Inc.*, New York.

Graham, L.C., 1974. Synthetic Interferometer Radar For Topographic Mapping, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 62, pp. 763-768.

Zebker, H.A., and Goldstein, R.M., 1986. Topographic Mapping From Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 91, pp. 4993-5000.

潘宜輝、張德仁，2012，無人飛行載具合成孔徑雷達運用探討，國防雜誌第 27 卷第 1 期。

工業技術研究院，2007，96 年度地層下陷水準檢測及其相關分析，經濟部水利署，臺北。

街景車系統

李育華、江凱偉、饒見有，2010，測繪車之系統率定及其效能分析，航測及遙測學刊第 15 卷第 3 期。

幾何校正分析

李德仁，1988，「誤差處理與可靠度理論」，測繪出版社。

李征航，2010，「GPS 測量與數據處理」，武漢大學出版社。

TAF 認證申請

財團法人全國認證基金會，2005，「測試與校正實驗室能力一般要求」，文件編號 TAF-CNLA-R01(2)，民國 94 年。

財團法人全國認證基金會，2008，「校正領域量測不確定度評估指引」，文件編號 TAF-CNLA-G16(1)，民國 98 年。

財團法人全國認證基金會，2012，「能力試驗活動要求」，文件編號 TAF-CNLA-R05(4)，民國 101 年。

財團法人全國認證基金會，2014，「能力試驗執行機構認證規範」，文件編號



TAF-RTP-R01(2)，民國 103 年。

工研院量測技術發展中心，2009，「GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告」，文件編號 07-3-91-0043，民國 98。



審查意見回覆

| 審查意見 | 回覆 |
|---|--|
| 蔡榮得委員 | |
| 1. P23，表 3-3 之格式請調整(行列對調)成與表 3-1 一致。 | 已調整，p16 表 3-4。 |
| 2. P24，表 3-4 列出國際間首次成功發射衛星次序表，與本案之地球資源遙測衛星(地球觀測衛星)關係不大，建議改為列出成功發射地球資源遙測衛星次序與特性表，更可讓讀者了解有那些遙測衛星資料可供取得使用。 | 已補充，p18 表 3-5。 |
| 3. P25，國際間運作中之地球觀測衛星，請加入 DigitalGlobe 之 WorldView 系列。 | 已補充，p18 末段。 |
| 4. P26，「圖 3-2 衛星成像原理示意圖」標題請改為「圖 3-2 推掃式衛星成像原理示意圖」，否則易誤導讀者認為所有遙測衛星均為此種成像方式，但 LANDSAT 系列衛星明顯不是。 | 已修正，p19 圖 3-2。 |
| 5. P93、174，控制點檢測程序中，2. 所得基線長經過..改正化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。建議修正為「其較差精度小於一萬分之一者」，以與「測量學」(何維信，1999)中述及控制點(三角點)檢測中之距離檢測之標準一致，或與 FGCS (Federal Geodetic Control Subcommittee)之 GPS Relative Positioning Orders of Accuracy (Table 14.4, p. 378, Elementary Surveying, 12th ed., by C. D. Ghilani and P.R. Wolf, 2008, Pearson Prentice Hall)中之 order C-3 (1/10000) or order C-2-II (1/20000)。另外，高程之檢測標準為何？是否可參考 NGS (National Geodetic Survey) Geodetic Height Order and Class 之標準 (Table 14.5, p. 379, Elementary Surveying, 12th ed., by C. D. | 感謝委員建議，已參考基本測量實施規則將邊長較差調整為一萬分之一，p87。 另由於基線為三維向量，故檢測標準並未特意區分平面與高程。 |



| | |
|--|---|
| Ghilani and P.R. Wolf, 2008, Pearson Prentice Hall) ? | |
| 6. P95, 表 5-10 中之「差值(m)」請於表中列出計算公式, 亦即「差值(m)= $\sqrt{dN^2 + dE^2}$ 」。料該表中判定合格與否之依據如為第 94 頁表 5-7 中之「坐標分量較差值」, 則該「差值(m)」是否有必要列出? 或者請修正表 5-7 中之「坐標分量較差值」為「位置較差值」。 | 已刪除 dN、dE 合向量計算之差值(m)欄位, 如 P89 表 5-10。 |
| 7. P100, 最後一段及表 5-13:「個別獨立觀測之間, 兩次成果必然有差異」, 此差異稱為較差或不符值(Discrepancy)或於 TAF-PTP-R01(01) B.3.1.3 中所謂之差值, 與殘差(Residual)或誤差(Error)之概念不同。本文中未說明殘差定義及其計算方式, 且表 5-13 標題為控制測量成果差值分析, 但內容為殘差, 又殘差平均值與最大殘差絕對值二者, 參考意義不大, 建議修正。 | 該段相關敘述已更正為較差, p94 首段。列出較差平均值在顯示二年度之間無顯著之系統性偏移(如受地震影響), 列出較差最大值可顯示是否有個別大的較差在計算均方根時被隱藏。 |
| 8. P115, 「因此, 實務評估精度時, i 計算整體的平面精度與高程精度, 作為評估空三結果之依據。」建議修正為「因此, 實務評估精度時, i 計算整體的平面精度與高程精度, 及平面位置均方根誤差與高程均方根誤差, 如下列公式, 作為評估空三結果之依據。」 | 感謝委員建議, 已修正, p109 第 3 段。 |
| 9. P192-194, 表 7-3~表 7-7 中之坐標差(m)一欄, 建議各方向分量標示為 E、N、H; 表 7-3~表 7-5 中之點雲高程標準差請標示單位(m); 表 7-6 中之點雲密度請標示單位 pt/m ² 。 | 已按建議修正表 7-3~7-7, p181~183。 |
| 10. P216-220, 意見同本案 103 年度工作總報告(初稿)審查意見書第 2 點及第 3 點。 | 已修正, p206~211。 |
| 11. P226, 「ISO/IEC 17043:2010 符合性評鑑 - 能力試驗的一般要求 TAF-PTP-R01(2)能力試驗執行機構認證規範」為本案執行實驗室認證之重要依 | 感謝委員提醒, 已補充於參考文獻, P219-220。 |



| | |
|---|---|
| 據，未列於參考文獻。 | |
| 曾義星委員 | |
| 1. P2 中說明本案校正對象為航測攝影機，然針對航測攝影機，似未明確定義，請補充相關資訊以利校正作業服務對象的釐清。 | 已補充說明，p.2。 |
| 2. P63 幾何校正作業中似乎不含內方位的校正，請問是否依賴原攝影機出場內方位的檢定報告，或者會透過自率光束法檢定內方位？ | 本校正目的僅在確認航測攝影機所拍得影像其整體幾何精度（幾何畸變程度）如何，並不對內方位元素（透式中心位置、逕向畸變等）個別做校正。幾何畸變本身即已綜合顯示內方位誤差。已補充說明於 p.58。 |
| 3. 建議提出每年可能的服務案件數的評估，以利國土測繪中心規劃整體服務作業的維護人力與經費。 | 由於國內感應器數量有限，每年服務案件數與未來規定之校正頻率有關。參考歐美規定，如規劃航測攝影機每二年校正一次，則國內平均每年約有 3 件校正案。已補充說明於 p.176。 |
| 趙鍵哲委員 | |
| 1.倘 UAS 考量納入未來校正對象，可考量進行多時多次之幾何精度穩定性校正。 | 感謝提醒，建議國土測繪中心於規劃後續計畫時參考。 |
| 林玉菁委員 | |
| 1. P19 表 3-1 中 DMC 缺漏 I 的資訊，且內文混用 DMC I 與 II 進行說明，請修訂。 | 已全文檢視修正。 |
| 2.報告書內涉及歷年資料蒐集呈現者，均請補充更新近年資訊，如 p22、24（更新衛星資訊） | 已更新第參章內容，p10~49。 |
| 3. P23 表 3-3 建議目前已不使用資料予以刪除，且有關欄位內資訊亦請再確認，如 Riegl 廠牌亦具備特殊功能 MPiA，並請更新表格清晰度。 | 已更新，p16 表 3-4。 |
| 4. P26 請補充 SAR 的機型列表供參，另請說明納入 SAR 系統之必要性。 | 已補充國際主要使用機載 SAR 之機型，p20 表 3-6。本計畫初期文獻蒐集包含各類航遙測感應器，SAR 亦包含其中。但後續統整各方意見後，本計畫優先以發展航測攝影機校正為主。 |
| 5. P30 請補充國內校正場的使用現況，另表 3-6 是否應增列 Riegl 使用的校正場資訊。 | 已更新，p39 表 3-10。 |



| | |
|---|---|
| 6. P44 請針對圖 3-13 補充各編號代表意義。 | 已補充，p33 首段。 |
| 7. P34 有關 Lidar 校正場圖說 (3-7~3-9) 請比照農航所校正場圖說 (3-5) 呈現校正場的範圍、校正標分布等狀況。 | 已調整圖 3-18~3-21，p42~43。 |
| 8. 國外校正場請補充針對不同比例尺校正標之布設方式、校正標型等資訊圖說。 | 已補充，p33 圖 3-9。 |
| 9. 請彙整本案辦理校正航拍經驗，如 P104，為航拍注意事項。 | 感謝委員建議，相關經驗納入公告於網站之航拍注意事項備註。 |
| 10. P107 請說明 DTM 與正射影像在本案後續應用。 | DEM 與正射影像為按該年度合約所製作，供國土測繪中心做其他研究使用。 |
| 11. P188 請加強空載光達試辦校正測試分析具體結論。 | 已補充，p184~185、圖 7-4。 |
| 邱式鴻委員 | |
| 1. 為區分報告書各章節及整本報告書的結論，請分別以「小結」及「結語或總結」作為標題。 | 感謝委員建議，全文以檢視並修正。 |
| 2. 4 年總報告書應於總結中將 100 至 103 年計畫之貢獻適度描述。 | 感謝委員建議，已補充 p213~214。 |
| 3. 目前校正場航拍以規範 GSD 介於 5 至 25 公分，是否可能發生某攝影機在 GSD 為 5 公分時校正結果符合，然當實際作業時攝影機以 GSD 25 公分航拍取像時將導致其空三結果無法達到應有之精度？ | 航測專用攝影機穩定性高，目前實驗結果並未發現有因航高不同導致之成像幾何畸變不同現象。其餘飛航測專用攝影機因目前非屬校正標的，故未實驗，請國土測繪中心納入後續計畫規劃參考。 |
| 鄭彩堂委員 | |
| 1. 報告書封面標題請修訂為「建立航遙測感應器系統校正作業4年(100至103年)總報告」即可，無需放置本年標案名稱。 | 已修正。 |
| 2. 請依規格書所訂於報告書補充 100~103 年期辦理本案所遭遇之困難與解決方式。 | 已補充，p214~216。 |
| 3. P184 目前主要訂定國土測繪中心辦理校正人員之能力資格，請評估是否亦需針對外部人員，如辦理航拍攝影操作及影像處理人員規範其能力及資格，以完善本場對人員能力之要求。 | 本校正亦有對外部人員作能力及資格之管制，相關說明於 p151 末段。 |



| | |
|--|---|
| 林志清委員 | |
| 1. P60 末段引用圖 4-1 說明校正標數量，然圖 4-1 並無包含校正標點位資訊，請修訂。另圖 4-1 與 4-2 置放順序應對調。 | 該段已調整文字內容，p54~55。 |
| 地形及海洋測量課 | |
| 1. 目前 P3~16 的內容，請擇要歸納以表列方式呈現，含期程、主要工作項目、延續說明所辦理之重點項目，並可簡要說明以適當突顯各年度辦理的差異。 | 已按建議調整內容，p3~9。 |
| 2. P19 請補充大、中、小像幅的差異，並請列表補充國內現有中像幅攝影機資訊。 | 已補充說明 p12 表 3-2。 |
| 3. P23 表格模糊，請更新，並請比照 P19 表 3-1 欄位格式置放。 | 已修正，p16 表 3-4。 |
| 4. P30 表 3-6 請增列欄位說明該校正場可應用之校正領域，如幾何、空間解析力、輻射等；建置年代，另使用單位請以全名呈現，並請補充國內 SAR、MMS 校正場資訊。 | (1)已補充，p39 表 3-10。 (2)SAR、MMS 校正場資訊已補充於 p44~45。 |
| 5. 報告書內橫式表格(如 p50)，均請調整為直式，並可適當則要精簡。 | 已修正，p46~49、表 3-11~3-14。 |
| 6. 請列表呈現 4 年分別辦理投稿的文章名稱、投稿至國內或國外期刊或研討會名稱。 | 已補充，p9 表 2-5。 |
| 7. P29~30 請與圖 3~5~3-6、3-7~3-9、3-13~3-16 對應說明，並請補充 p36 圖 3-10 資訊於表中，圖 3-12 黃色點位請標註校正場名稱。表 3-5 請比照表 3-6，酌予補充航測攝影機、衛星及空載光達校正場之介紹。 | (1)已重新整理此章關於國內、外校正服務發展內容，p23~38 為國外，p39~45 為國內。 (2)已更新，p23 表 3-7。 (3)已補充黃色點位校正場名稱，圖 3-7，p26。 (4)已補充國內航遙測感應器校正場感應器種類與校正用途資訊，p39 表 3-10。 |
| 8. P30 請補充說明數位攝影機、空載光達引進的年份。 | 已補充，p39 首段。 |
| 9. P30 農業部請修訂為農委會。 | 已修正，p39 首段。 |
| 10. P31 針對農航所校正場，說明應適當整併，並請補充大坑山區場地圖說。圖名修訂為農航所彰化/臺中校正場示意圖。並補 | (1)內容已整併，p39~40。 (2)已補充大坑校正場資訊，p39~40。 |



| | |
|---|--|
| 充臺中大坑場內控制點數量。 | |
| 11. P39、P42 表 3-7、3-8 請延續說明至 2014 年，美國與歐洲在校正、認證或服務上的發展。 | (1) 已補充說明表 3-8，p28。 (2) EuroDAC 所推動之認證計畫已進行至第 2 階段，而下階段認證程序與制度的設計，由近期蒐集資料顯示尚在評估中，p30。 |
| 12. 請補充 P45、P46 圖 3-16、3-17 之校正標數量資訊。 | 已補充說明，p33~34。 |
| 13. P50~54 表 3-9 與 3-10 請增加欄位紀錄參考來源，並請對應註記各欄位資訊之出處。 | 已補充說明表 3-11~3-14，p46~49。 |
| 14. P93 請補充圖 5-16 圖名之年度資訊，為求完善，亦請補充 102 及 103 年使用之已知點資訊，相關表格（含表 5-8~5-10）內容亦請概述 101 至 103 年辦理情形。 | (1) 已補充圖名年度資訊圖 5-16，p87。 (2) 已調整此節內容，p85~94。 |
| 15. P19、101 表格內容重複，請修訂。 | 保留表 3-1，p13。 |
| 16. P134 有關多譜波段相對反應強度之校正，請補充近年國際發展狀況。 | 經蒐集了解國際上的最新資訊，此項目雖持續有學術研究，但尚無重大成果發表，p129。 |
| 17. P203 請補充注解的出處。 | 已補充，p211 第 2 段。 |
| 18. 目前報告書撰寫語氣係以團隊的角度出發，請修訂為以國土測繪中心的角度出發撰寫。 | 已全文檢視並修正。 |
| 19. 請針對建場及維護過程補充具時序概念圖片，包含 100 年召開場址選擇因素會議、100 年召開選址評估會議、101 年建場、測 GPS、102 及 103 年維護，並適當放置會議召開情境、幾何校正標型、場地現況、人員使用 GPS 維護等照片，以活潑方式呈現 4 年辦理的工作情形。 | 已補充圖 5-18，p94。 |
| 20. 請針對校正飛行測試工作補充具時序概念圖片，包含 101 年使用 UltraCAM、102 年使用 DMC、P65 與 UAV、103 年使用 UAV，並放置不同攝影機的照片，呈現歷年辦理校正測試情形。 | 已補充圖 5-19，p95。 |
| 21. 請針對幾何校正精進情形補充具時序概念圖片，包含航拍航線規劃、原區分大、小校正場，後以校正場為中心不區分 | 已補充圖 5-30，p116。 |



| | |
|--|------------------|
| 大小場地、使用全區平差結果出具報告、後以中央單一航線資料出具報告，並適當說明之間的轉則原因。 | |
| 22. 請針對空間解析力、輻射校正標之設計作為補充具時序概念圖片，包含初始參考芬蘭製作帆布校正標、改善為砂布校正標、後續改變空間解析力校正標標型 (PSF)，呈現歷年校正標改善情形。 | 已補充圖 5-48，p129。 |
| 23. 請針對 TAF 文件建置補充具時序概念圖片，包含先建立 sop、校正系統評估文件，101 年至 TAF 訪查、訪查日本 pasco 公司、召開 sop 研商座談會、逐漸納入品質文件、103 年與評審員召開討論會議等、103 年辦理模擬能力試驗活動等，並適當放置會議照片，呈現歷年辦理重點項目。 | 已補充圖 8-4，p212。 |
| 24. 摘錄 103 年工作總報告書內文字者，4 年總報告內容請一併修訂。 | 已全文檢視並修正。 |
| 25. 控制測量均請修訂為 GPS 測量。 | 已全文檢視並修正。 |
| 26. 數字請由國字改為阿拉伯數字，如 P42 表 3-8 之第一階段改為第 1 階段。 | 已全文檢視並修正。 |
| 27. 其他文字修訂部分，另提供 Word 追蹤修訂檔或書面資料供參。 | 配合辦理。 |
| 28. 各圖表請儘量提供原始檔，表格以如 excel 檔案、圖片以如 visio 等可編輯格式為主。 | 提送修訂成果時將檢附相關電子檔。 |

