



NLSC-105-21

# 105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業

## 工作總報告

主辦機關：內政部國土測繪中心

執行單位：經緯航太科技股份有限公司

中華民國 105 年 12 月 26 日

## 摘要

為賡續發展 UAS 技術及推廣應用，國土測繪中心於「現代化測繪科技發展計畫」中研擬「發展無人飛行載具系統測繪作業計畫」(104 至 107 年度)計畫，規劃辦理發展多元化 UAS 載具技術、研究測試搭載多元化感測器、提升 UAS 航拍及影像處理技術、辦理 UAS 航拍及影像處理作業與協助其他政府機關辦理特定區域航拍作業等多項作業。

105 年度計畫共計 25 區 UAS 航拍及影像處理作業，總計面積達 5000 公頃以上，應用於臺灣通用電子地圖局部區域圖資更新及提供委託拍攝之政府機關辦理特定區域國土監測。針對 104 年度 GNSS 與 IMU 機電整合優化之 POS 系統，進行直接地理定位成果分析，此快速取得資料的能力與精度可應用於環境變遷監控、防救災應變、資源探測保護等各式應用。本年度同時延續 104 年度多相機組合雲台研究測試實驗，依據多視立體視覺三維建模技術，使用傾斜攝影方式與環繞式拍攝進行三維建模流程，並結合測繪車或地面近景攝影進行三維影像模型建置，可取得更大覆蓋率之有效影像建立建築物三維建模視覺模型。全景攝影設備提供更多的彈性與資訊，使用者可同時搭配一般數位相機及全景攝影設備所獲得影像資訊，即時掌握災害最新資訊，透過結合虛擬實境 VR 與多媒體等資訊技術，預期可應用於地震、火災、水災等緊急災害應變上。UAS 搭載多光譜感測器，可獲取地表更高解析度 NIR 影像，做為遙測影像判識使用，如常見的植物生長指標如常態化差值植生指標 NDVI、植生指數 GNDVI、簡易比植生指 SRVI 等，可用來判識植物生長及遙測影像分類使用。最後對後續計畫的改進與發展項目提出建議。

關鍵字：無人飛行載具、定位定向系統、三維影像模型、全景攝影設備、多光譜感測器



## 目 錄

摘 要.....	I
目 錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	XIV
第壹章 前言.....	1
第貳章 工作項目與內容及作業規劃 .....	2
第一節 工作項目與內容 .....	2
第二節 作業規劃 .....	8
第參章 無人飛行載具系統航拍及影像處理作業 .....	38
第一節 航拍及影像處理作業 .....	38
第二節 直接地理定位計算與成果分析 .....	170
第肆章 三維影像模型及全景攝影研究測試 .....	177
第一節 三維影像模型研究測試 .....	177
第二節 全景攝影研究測試 .....	211
第伍章 多光譜感測器研究測試 .....	226
第一節 設備簡介及整合 .....	226
第二節 作業方法流程 .....	230
第三節 航拍測試及影像處理作業 .....	230
第四節 小結 .....	240
第陸章 結論與檢討建議 .....	243
第一節 結論 .....	243
第二節 建議 .....	246
參考文獻.....	249
縮寫符號一覽表 .....	250
附錄.....	252
附錄一 作業計畫書審查紀錄 .....	252
附錄二 各階段成果審查意見與回覆表 .....	262

附錄三 會議紀錄 .....	278
附錄四 相機及鏡頭率定報告 .....	294
附錄五 投稿論文摘要 .....	324
附錄六 公共意外險投保保單 .....	325
附錄七 正射影像成果精度檢查紀錄 .....	326

## 圖目錄

圖 2-1 專案執行進度甘特圖 .....	7
圖 2-2 國土測繪一號定翼型 UAS .....	8
圖 2-3 國土測繪一號 UAS 系統架構 .....	9
圖 2-4 國土測繪一號搭載之 POS .....	10
圖 2-5 Sky Arrow 55 UAS .....	10
圖 2-6 旋翼型 UAS .....	12
圖 2-7 旋翼型 UAS POS 原型設計 .....	13
圖 2-8 ADIS16405 .....	13
圖 2-9 LEA-6T .....	13
圖 2-10 Canon 5D Mark II 數位相機 .....	14
圖 2-11 Sony $\alpha$ 7 全片幅數位相機 .....	15
圖 2-12 Sony $\alpha$ 7R 全片幅數位相機 .....	15
圖 2-13 UAS 航拍標準作業流程 .....	17
圖 2-14 航線規劃示意圖 .....	18
圖 2-15 UAS 執行航拍任務標準作業流程 .....	20
圖 2-16 UAS 飛行任務勤前提示單 .....	23
圖 2-17 UAS 飛行前檢查項目表 .....	24
圖 2-18 UAS 航拍任務執行紀錄 .....	25
圖 2-19 UAS 品保流程 .....	26
圖 2-20 快速拼接處理流程圖 .....	27
圖 2-21 選取控制點位置範例 .....	28
圖 2-22 空中三角測量示意圖 .....	28
圖 2-23 弱匹配區手動加點列表示意圖 .....	29
圖 2-24 像片網形連結範例圖 .....	29
圖 2-25 製作彩色無縫正射影像鑲嵌流程圖 .....	31
圖 2-26 正射影像糾正示意圖 .....	31
圖 2-27 ImageStation Orthopro 空三資料 .....	32

圖 2-28 ImageStation OrthoproDEM 資料 .....	32
圖 2-29 正射影像鑲嵌示意圖 .....	32
圖 2-30 正射影像編修前後比較 (左: 編修前、右: 編修後) .....	33
圖 3-1 105 年度航拍任務區域分布 .....	42
圖 3-2 雲林縣古坑鄉 (樟湖) 飛行航線規劃 .....	46
圖 3-3 雲林縣古坑鄉 (樟湖) 起降場地作業情形 .....	47
圖 3-4 雲林縣古坑鄉 (樟湖) 航拍影像中心點分布圖 .....	47
圖 3-5 雲林縣古坑鄉 (樟湖) 控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	48
圖 3-6 雲林縣古坑鄉 (樟湖) 空三網型圖 .....	48
圖 3-7 雲林縣古坑鄉 (樟湖) 正射鑲嵌影像成果 .....	49
圖 3-8 雲林縣古坑鄉 (嵌頭厝) 飛行航線規劃 .....	50
圖 3-9 雲林縣古坑鄉 (嵌頭厝) 起降場地作業情形 .....	51
圖 3-10 雲林縣古坑鄉 (嵌頭厝) 航拍影像中心點分布圖 .....	51
圖 3-11 雲林縣古坑鄉 (嵌頭厝) 控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	52
圖 3-12 雲林縣古坑鄉 (嵌頭厝) 空三網型圖 .....	52
圖 3-13 雲林縣古坑鄉 (嵌頭厝) 正射鑲嵌影像成果 .....	53
圖 3-14 豐原火車站飛行航線規劃 .....	55
圖 3-15 潭子火車站飛行航線規劃 .....	55
圖 3-16 太原火車站飛行航線規劃 .....	55
圖 3-17 大慶火車站飛行航線規劃 .....	56
圖 3-18 豐原火車站起降場地作業情況 .....	58
圖 3-19 潭子火車站起降場地作業情況 .....	58
圖 3-20 太原火車站起降場地作業情況 .....	59
圖 3-21 大慶火車站起降場地作業情況 .....	59
圖 3-22 豐原火車站航拍影像中心點分布圖 .....	60
圖 3-23 潭子火車站航拍影像中心點分布圖 .....	60
圖 3-24 太原火車站航拍影像中心點分布圖 .....	61
圖 3-25 大慶火車站航拍影像中心點分布圖 .....	61
圖 3-26 豐原火車站控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	62

圖 3-27 潭子火車站控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	62
圖 3-28 太原火車站控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	63
圖 3-29 大慶火車站控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	63
圖 3-30 豐原火車站空三網型圖 .....	64
圖 3-31 潭子火車站空三網型圖 .....	64
圖 3-32 太原火車站空三網型圖 .....	65
圖 3-33 大慶火車站空三網型圖 .....	65
圖 3-34 豐原火車站正射鑲嵌影像成果 .....	67
圖 3-35 潭子火車站正射鑲嵌影像成果 .....	67
圖 3-36 太原火車站正射鑲嵌影像成果 .....	68
圖 3-37 大慶火車站正射鑲嵌影像成果 .....	68
圖 3-38 臺中市太平區(坪林森林公園)飛行航線規劃 .....	69
圖 3-39 臺中市太平區(坪林森林公園)起降場地作業情形 .....	70
圖 3-40 臺中市太平區(坪林森林公園)航拍影像中心點分布圖 .....	70
圖 3-41 臺中市太平區(坪林森林公園)控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	71
圖 3-42 臺中市太平區(坪林森林公園)空三網型圖 .....	71
圖 3-43 臺中市太平區(坪林森林公園)正射鑲嵌影像成果 .....	72
圖 3-44 彰化縣田中鎮(高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)飛行航線 規劃 .....	73
圖 3-45 彰化縣田中鎮(高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)起降場地 作業情形 .....	74
圖 3-46 彰化縣田中鎮(高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)航拍影像 中心點分布圖 .....	75
圖 3-47 彰化縣田中鎮(高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)控制點(紅)/ 檢核點(綠)分布圖 .....	76
圖 3-48 彰化縣田中鎮(高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)空三網型 圖 .....	76
圖 3-49 彰化縣田中鎮(高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)正射鑲嵌 影像成果 .....	77

圖 3-50	雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）飛行航線規劃.....	78
圖 3-51	雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）起降場地作業情形.....	79
圖 3-52	雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）航拍影像中心點分布圖	80
圖 3-53	雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	81
圖 3-54	雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）空三網型圖.....	81
圖 3-55	雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）正射鑲嵌影像成果.....	82
圖 3-56	南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）飛行航線規劃.....	83
圖 3-57	南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）起降場地作業情形.....	84
圖 3-58	南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）航拍影像中心點分布圖	85
圖 3-59	南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	86
圖 3-60	南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）空三網型圖.....	86
圖 3-61	南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）正射鑲嵌影像成果.....	87
圖 3-62	南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）飛行航線規劃.....	88
圖 3-63	南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）起降場地作業情形.....	89
圖 3-64	南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）航拍影像中心點分布圖.....	89
圖 3-65	南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	90
圖 3-66	南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）空三網型圖.....	90
圖 3-67	南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）正射鑲嵌影像成果.....	91
圖 3-68	花蓮縣花蓮市（16 股大道）飛行航線規劃.....	92
圖 3-69	花蓮縣花蓮市（16 股大道）起降場地作業情形.....	93
圖 3-70	花蓮縣花蓮市（16 股大道）航拍影像中心點分布圖.....	93
圖 3-71	花蓮縣花蓮市（16 股大道）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖	94
圖 3-72	花蓮縣花蓮市（16 股大道）空三網型圖.....	94
圖 3-73	花蓮縣花蓮市（16 股大道）正射鑲嵌影像成果.....	95
圖 3-74	新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）飛行航線規劃.....	96
圖 3-75	新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）起降場地作業情形.....	97

圖 3-76 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）航拍影像中心點分布圖....	97
圖 3-77 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	98
圖 3-78 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）空三網型圖.....	98
圖 3-79 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）正射鑲嵌影像成果.....	99
圖 3-80 弘富重劃區飛行航線規劃.....	100
圖 3-81 弘富重劃區起降場地作業情形.....	101
圖 3-82 弘富重劃區航拍影像中心點分布圖.....	101
圖 3-83 弘富重劃區控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	102
圖 3-84 弘富重劃區空三網型圖.....	102
圖 3-85 弘富重劃區正射鑲嵌影像成果.....	103
圖 3-86 國 6 舊正交流道飛行航線規劃.....	104
圖 3-87 國 6 舊正交流道起降場地作業情形.....	105
圖 3-88 國 6 舊正交流道航拍影像中心點分布圖.....	105
圖 3-89 國 6 舊正交流道控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	106
圖 3-90 國 6 舊正交流道空三網型圖.....	106
圖 3-91 國 6 舊正交流道正射鑲嵌影像成果.....	107
圖 3-92 桃園市（新屋區）飛行航線規劃.....	108
圖 3-93 桃園市（新屋區）起降場地作業情形.....	109
圖 3-94 桃園市（新屋區）航拍影像中心點分布圖.....	110
圖 3-95 桃園市（新屋區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	110
圖 3-96 桃園市（新屋區）空三網型圖.....	111
圖 3-97 桃園市（新屋區）正射鑲嵌影像成果.....	111
圖 3-98 桃園市（平鎮區）飛行航線規劃.....	112
圖 3-99 桃園市（平鎮區）起降場地作業情形.....	113
圖 3-100 桃園市（平鎮區）航拍影像中心點分布圖.....	113
圖 3-101 桃園市（平鎮區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	114
圖 3-102 桃園市（平鎮區）空三網型圖.....	114
圖 3-103 桃園市（平鎮區）正射鑲嵌影像成果.....	115

圖 3-104	桃園市（觀音區）飛行航線規劃.....	116
圖 3-105	桃園市（觀音區）起降場地作業情形.....	117
圖 3-106	桃園市（觀音區）航拍影像中心點分布圖.....	117
圖 3-107	桃園市（觀音區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	118
圖 3-108	桃園市（觀音區）空三網型圖.....	118
圖 3-109	桃園市（觀音區）正射鑲嵌影像成果.....	119
圖 3-110	桃園市（蘆竹區）飛行航線規劃.....	120
圖 3-111	桃園市（蘆竹區）起降場地作業情形.....	121
圖 3-112	桃園市（蘆竹區）航拍影像中心點分布圖.....	121
圖 3-113	桃園市（蘆竹區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	122
圖 3-114	桃園市（蘆竹區）空三網型圖.....	122
圖 3-115	桃園市蘆竹區正射鑲嵌影像成果.....	123
圖 3-116	臺北市士林區（大油坑）飛行航線規劃.....	124
圖 3-117	臺北市士林區（大油坑）起降場地作業情形.....	125
圖 3-118	臺北市士林區（大油坑）航拍影像中心點分布圖.....	126
圖 3-119	臺北市士林區（大油坑）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	127
圖 3-120	臺北市士林區（大油坑）空三網型圖.....	127
圖 3-121	臺北市士林區（大油坑）正射鑲嵌影像成果.....	128
圖 3-122	臺北市士林區（馬槽）飛行航線規劃.....	129
圖 3-123	臺北市士林區（馬槽）起降場地作業情形.....	130
圖 3-124	臺北市士林區（馬槽）航拍影像中心點分布圖.....	130
圖 3-125	臺北市士林區（馬槽）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	131
圖 3-126	臺北市士林區（馬槽）空三網型圖.....	131
圖 3-127	臺北市士林區（馬槽）正射鑲嵌影像成果.....	132
圖 3-128	臺北市士林區（夢幻湖）飛行航線規劃.....	133
圖 3-129	臺北市士林區（夢幻湖）起降場地作業情形.....	134
圖 3-130	臺北市士林區（夢幻湖）航拍影像中心點分布圖.....	134
圖 3-131	臺北市士林區（夢幻湖）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖.....	135
圖 3-132	臺北市士林區（夢幻湖）空三網型圖.....	135

圖 3-133 臺北市士林區（夢幻湖）正射鑲嵌影像成果.....	136
圖 3-134 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）飛行航線規劃.....	137
圖 3-135 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）起降場地作業情形....	138
圖 3-136 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）航拍影像中心點分布圖 .....	139
圖 3-137 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）控制點(紅)/檢核點(綠)分 布圖.....	139
圖 3-138 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）空三網型圖.....	140
圖 3-139 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）正射鑲嵌影像成果....	140
圖 3-140 臺中市政府（振興路以南）飛行航線規劃.....	141
圖 3-141 臺中市政府（振興路以南）起降場地作業情形.....	142
圖 3-142 臺中市政府（振興路以南）航拍影像中心點分布圖.....	142
圖 3-143 臺中市政府（振興路以南）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	143
圖 3-144 臺中市政府（振興路以南）空三網型圖.....	143
圖 3-145 臺中市政府（振興路以南）正射鑲嵌影像成果.....	144
圖 3-146 臺中市政府（廍子地區）飛行航線規劃.....	145
圖 3-147 臺中市政府（廍子地區）起降場地作業情形.....	146
圖 3-148 臺中市政府（廍子地區）航拍影像中心點分布圖.....	146
圖 3-149 臺中市政府（廍子地區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .	147
圖 3-150 臺中市政府（廍子地區）空三網型圖.....	147
圖 3-151 臺中市政府（廍子地區）正射鑲嵌影像成果.....	148
圖 3-152 臺中市政府（太平新光地區）飛行航線規劃.....	149
圖 3-153 臺中市政府（太平新光地區）起降場地作業情形.....	150
圖 3-154 臺中市政府（太平新光地區）航拍影像中心點分布圖....	150
圖 3-155 臺中市政府（太平新光地區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	151
圖 3-156 臺中市政府（太平新光地區）空三網型圖.....	151
圖 3-157 臺中市政府（太平新光地區）正射鑲嵌影像成果.....	152
圖 3-158 臺中市政府（水湳機場原址）飛行航線規劃.....	153

圖 3-159 臺中市政府（水湳機場原址）起降場地作業情形.....	154
圖 3-160 臺中市政府（水湳機場原址）航拍影像中心點分布圖....	154
圖 3-161 臺中市政府（水湳機場原址）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 .....	155
圖 3-162 臺中市政府（水湳機場原址）空三網型圖.....	155
圖 3-163 臺中市政府（水湳機場原址）正射鑲嵌影像成果.....	156
圖 3-164 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）飛行航線規劃 .....	157
圖 3-165 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）起降場地作業情 形.....	158
圖 3-166 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）UAS 分布圖 .....	158
圖 3-167 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）控制點(紅)/檢核 點(綠)分布圖.....	159
圖 3-168 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）空三網型圖	159
圖 3-169 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）正射鑲嵌影像成 果.....	160
圖 3-170 公辦地重劃（第 13 期）飛行航線規劃.....	161
圖 3-171 公辦地重劃（第 13 期）起降場地作業情形.....	162
圖 3-172 公辦地重劃（第 13 期）航拍影像中心點分布圖.....	163
圖 3-173 公辦地重劃（第 13 期）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 ...	164
圖 3-174 公辦地重劃（第 13 期）空三網型圖.....	164
圖 3-175 公辦地重劃（第 13 期）正射鑲嵌影像成果.....	165
圖 3-176 公辦地重劃（第 14 期）飛行航線規劃.....	166
圖 3-177 公辦地重劃（第 14 期）起降場地作業情形.....	167
圖 3-178 公辦地重劃（第 14 期）航拍影像中心點分布圖.....	167
圖 3-179 公辦地重劃（第 14 期）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖 ...	168
圖 3-180 公辦地重劃（第 14 期）空三網型圖.....	168
圖 3-181 公辦地重劃（第 14 期）正射鑲嵌影像成果.....	169
圖 3-182 UAS 透過 GNSS/IMU 直接定位的概念圖.....	170

圖 3-183 POS 裝載於國土測繪一號完成圖 .....	171
圖 3-184 POS 軌跡 .....	172
圖 3-185 直接地理定位程式介面 .....	173
圖 4-1 旋翼型 UAS .....	179
圖 4-2 多相機組合雲台攝影系統整合圖 .....	179
圖 4-3 多相機相機拍照設定介面 .....	180
圖 4-4 UAS 三維建模技術與流程 .....	181
圖 4-5 點雲疏化示意圖 .....	182
圖 4-6 預率定實驗流程圖 .....	184
圖 4-7 Sony QX1 相機實驗組中檢核點及控制點分布圖 .....	185
圖 4-8 Sony QX1_01 傾斜攝影 (a) 預率定及 (b) 自率定成果 ...	186
圖 4-9 Sony QX1_02 傾斜攝影 (a) 預率定及 (b) 自率定成果 ...	186
圖 4-10 Sony QX1_03 傾斜攝影 (a) 預率定及 (b) 自率定成果 ..	187
圖 4-11 Sony QX_01 控制點及檢核點精度比較圖 .....	188
圖 4-12 Sony QX_02 控制點及檢核點精度比較圖 .....	189
圖 4-13 Sony QX_03 控制點及檢核點精度比較圖 .....	190
圖 4-14 3D Tiles for octree .....	192
圖 4-15 3D Lod Tiles (以 KML 為例) .....	193
圖 4-16 3D Lod Tiles (以 KML 為例) 顯示範圍 .....	194
圖 4-17 臺中歌劇院實驗區範圍 .....	195
圖 4-18 實際飛行航線及控制點檢核點分布圖 .....	196
圖 4-19 稠點雲成果 .....	197
圖 4-20 三維模型網格化 .....	198
圖 4-21 三維模型網格化 (網格顯示) .....	198
圖 4-22 三維模型紋理貼圖成果 .....	199
圖 4-23 104 年度與今年度三維模型成果比較 .....	203
圖 4-24 Ladybug 全景影像成果 .....	204
圖 4-25 全景影像三維建模成果 .....	205
圖 4-26 UAS 結合地面近景於高雄舊火車站範例 .....	205

圖 4-27 UAS 結合地面近景於高應大土木館範例.....	206
圖 4-28 UAS 結合地面近景成果比較.....	208
圖 4-29 UAS 結合低空環繞式拍攝軌跡.....	209
圖 4-30 UAS 結合測繪車三維建模成果.....	210
圖 4-31 靜態全景拼接影像成果範例.....	211
圖 4-32 720 度全景網頁展示示意圖.....	211
圖 4-33 RICOH THETA S 全景攝影設備.....	212
圖 4-34 RICOH THETA S 全景攝影設備說明 (摘自 <a href="https://theta360.com/">https://theta360.com/</a> ) .....	214
圖 4-35 智慧裝置遙控設定系統畫面.....	214
圖 4-36 智慧裝置上傳資料畫面.....	215
圖 4-37 旋翼型 UAS 與全景攝影設備.....	216
圖 4-38 全景攝影拍照成果.....	216
圖 4-39 全景攝影拍照成果 (調整前) .....	217
圖 4-40 全景攝影錄影成果.....	217
圖 4-41 臺中歌劇院航線規劃.....	218
圖 4-42 故宮南院航線規劃.....	218
圖 4-43 臺中歌劇院.....	219
圖 4-44 故宮南院.....	219
圖 4-45 臺中歌劇院向下 360 度環繞影像.....	220
圖 4-46 故宮南院向下 360 度環繞影像.....	221
圖 4-47 臺中歌劇院向上 360 度環繞影像.....	222
圖 4-48 臺中歌劇院向下/向上影像.....	223
圖 4-49 故宮南院向下/向上影像.....	223
圖 4-50 臺中歌劇院數位相機影像.....	224
圖 4-51 虛擬實境 VR 裝置 (摘自 <a href="http://store.sony.com.tw/">http://store.sony.com.tw/</a> ) .....	224
圖 5-1 四波段取像模組之多光譜感測器系統示意圖.....	227
圖 5-2 RGB 與 NIR 影像套疊假色示意圖.....	227
圖 5-3 多光譜相機系統整合.....	228

圖 5-4 單旋翼型 UAS .....	229
圖 5-5 多光譜感測器測試區域 .....	231
圖 5-6 多光譜感測器測試區域 RGB 拼接影像 .....	231
圖 5-7 多光譜感測器測試區域 NIRRGB 拼接影像 .....	232
圖 5-8 多光譜感測器測試區域假色拼接影像 .....	232
圖 5-9 影像分類訓練樣區分布圖 .....	233
圖 5-10 解析度 5 公分影像分類結果 .....	234
圖 5-11 解析度 160 公分影像分類結果 .....	234
圖 5-12 地面真像 (Ground-Truth) 分布圖 .....	235
圖 5-13 不同影像解析度分類精度 .....	235
圖 5-14 各類別於不同解析度之誤授誤差及漏受誤差情形 .....	236
圖 5-15 不同解析度與 5 公分解析度之誤授誤差及漏受誤差差值 ..	236
圖 5-16 初次拍攝影像分類 (摘自行政院農業委員會農業試驗所) .....	241
圖 5-17 前後期影像分析比較 (摘自行政院農業委員會農業試驗所) .....	241
圖 5-18 資訊傳遞決策擬定 (摘自行政院農業委員會農業試驗所) .....	242
圖 6-1 四波段取像模組 (摘自 <a href="https://www.micasense.com/sequoia/">https://www.micasense.com/sequoia/</a> ) .....	247

## 表目錄

表 2-1 各階段檢核點交付成果說明 .....	6
表 2-2 國土測繪一號 UAS 特色 .....	9
表 2-3 國土測繪一號細部規格表 .....	9
表 2-4 SkyArrow 55 UAS 載具規格 .....	11
表 2-5 Sky Arrow55 UAS 載具特色 .....	11
表 2-6 旋翼型 UAS 規格表 .....	12
表 2-7 Canon 5D Mark II 數位相機規格表 .....	14
表 2-8 Sony α7 全片幅數位相機規格表 .....	15
表 2-9 Sony α7R 全片幅數位相機規格表 .....	16
表 2-10 Canon 5D Mark II 航空攝影規劃資訊 .....	18
表 2-11 Sony α7R 航空攝影規劃資訊 .....	19
表 2-12 可靠度指標 .....	29
表 2-13 正射影像自我檢核表 .....	37
表 3-1 105 年度航拍作業區域彙整表 .....	39
表 3-2 105 年度航拍作業成果一覽表 .....	43
表 3-3 雲林縣古坑鄉（樟湖）任務執行概況 .....	46
表 3-4 雲林縣古坑鄉（樟湖）空三計算精度表 .....	49
表 3-5 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）任務執行概況 .....	50
表 3-6 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）空三計算精度表 .....	53
表 3-7 豐原火車站任務執行概況 .....	56
表 3-8 潭子火車站任務執行概況 .....	56
表 3-9 太原火車站任務執行概況 .....	57
表 3-10 大慶火車站任務執行概況 .....	57
表 3-11 豐原火車站空三計算精度表 .....	65
表 3-12 潭子火車站空三計算精度表 .....	66
表 3-13 太原火車站空三計算精度表 .....	66
表 3-14 大慶火車站空三計算精度表 .....	66

表 3-15 臺中市太平區（坪林森林公園）任務執行概況.....	69
表 3-16 臺中市太平區（坪林森林公園）空三計算精度表.....	72
表 3-17 彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）任務執行概況.....	74
表 3-18 彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）空三計算精度表.....	77
表 3-19 雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）任務執行概況.....	79
表 3-20 雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）空三計算精度表.....	82
表 3-21 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）任務執行概況.....	84
表 3-22 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）空三計算精度表.....	87
表 3-23 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）任務執行概況.....	88
表 3-24 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）空三計算精度表.....	91
表 3-25 花蓮縣花蓮市（16 股大道）任務執行概況.....	92
表 3-26 花蓮縣花蓮市（16 股大道）空三計算精度表.....	95
表 3-27 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）任務執行概況.....	96
表 3-28 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）空三計算精度表.....	99
表 3-29 弘富重劃區任務執行概況.....	100
表 3-30 弘富重劃區空三計算精度表.....	103
表 3-31 國 6 舊正交流道任務執行概況.....	104
表 3-32 國 6 舊正交流道空三計算精度表.....	107
表 3-33 桃園市（新屋區）任務執行概況.....	109
表 3-34 桃園市（新屋區）空三計算精度表.....	111
表 3-35 桃園市（平鎮區）任務執行概況.....	112
表 3-36 桃園市（平鎮區）空三計算精度表.....	115
表 3-37 桃園市（觀音區）任務執行概況.....	116
表 3-38 桃園市（觀音區）空三計算精度表.....	119
表 3-39 桃園市（蘆竹區）任務執行概況.....	120
表 3-40 桃園市（蘆竹區）空三計算精度表.....	122
表 3-41 臺北市士林區（大油坑）任務執行概況.....	125

表 3-42 臺北市士林區（大油坑）空三計算精度表.....	128
表 3-43 臺北市士林區（馬槽）任務執行概況.....	129
表 3-44 臺北市士林區（馬槽）空三計算精度表.....	132
表 3-45 臺北市士林區（夢幻湖）任務執行概況.....	133
表 3-46 臺北市士林區（夢幻湖）空三計算精度表.....	136
表 3-47 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）任務執行概況.....	138
表 3-48 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）空三計算精度表.....	140
表 3-49 臺中市政府（振興路以南）任務執行概況.....	141
表 3-50 臺中市政府（振興路以南）空三計算精度表.....	144
表 3-51 臺中市政府（廊子地區）任務執行概況.....	145
表 3-52 臺中市政府（廊子地區）空三計算精度表.....	148
表 3-53 臺中市政府（太平新光地區）任務執行概況.....	149
表 3-54 臺中市政府（太平新光地區）空三計算精度表.....	152
表 3-55 臺中市政府（水湳機場原址）任務執行概況.....	153
表 3-56 臺中市政府（水湳機場原址）空三計算精度表.....	156
表 3-57 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）任務執行概況.....	157
表 3-58 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）空三計算精度表.....	160
表 3-59 公辦地重劃（第 13 期）任務執行概況.....	162
表 3-60 公辦地重劃（第 13 期）空三計算精度表.....	165
表 3-61 公辦地重劃（第 14 期）任務執行概況.....	166
表 3-62 公辦地重劃（第 14 期）空三計算精度表.....	169
表 3-63 空三成果.....	171
表 3-64 固定臂與軸角率定成果.....	172
表 3-65 雙頻（BD970 與 ADIS16488）直接地理定位精度.....	174
表 3-66 單頻（LEA-6T 與 ADIS16488）直接地理定位精度.....	174
表 3-67 定翼機航高 600 公尺空中三角計算精度.....	175
表 3-68 旋翼機航高 200 公尺空中三角計算精度.....	175

表 3-69 旋翼機航高 200 公尺，空中三角計算精度（地面控制測量取得控制點坐標） .....	175
表 3-70 直接地理定位誤差估計 .....	176
表 4-1 五鏡頭與三鏡頭攝影系統比較表 .....	178
表 4-2 旋翼型 UAS 規格表 .....	179
表 4-3 影像處理硬體規格表 .....	183
表 4-4 Sony QX1_01 控制點及檢核點分析表 .....	188
表 4-5 Sony QX1_02 控制點及檢核點分析表 .....	189
表 4-6 Sony QX1_03 控制點及檢核點分析表 .....	190
表 4-7 控制點及檢核點分析表 .....	196
表 4-8 RICOH THETA S 全景攝影設備規格表 .....	212
表 4-9 旋翼型 UAS 規格表 .....	216
表 5-1 Sony α7 全片幅數位相機規格表 .....	228
表 5-2 單旋翼型 UAS 規格表 .....	229
表 5-3 不同影像解析度計算所需時間 .....	233
表 5-4 不同波段數量分類精度 .....	237
表 5-5 測試 2 判釋精度誤差矩陣 .....	238
表 5-6 測試 3 判釋精度誤差矩陣 .....	239
表 5-7 測試 10 判釋精度誤差矩陣 .....	239
表 5-8 測試 11 判釋精度誤差矩陣 .....	240
表 6-1 不同波長光譜應用特性 .....	247



## 第壹章 前言

測繪工作為國家發展規劃的重要基礎，對於政府各項施政建設規劃、國土與環境資源調查、整體防災決策體系均有重大助益，世界各先進國家無不重視國土測繪作業。近年來由於測量與空間資訊技術不斷進步，結合測量製圖的技術與整合式導航定位定向系統，搭配多種感測器來蒐集空間資料，普遍應用於國土保安、環境變遷、土石流即時監測、海洋及森林資源探測保護等工作。在臺灣地區特殊環境及氣候條件下，藉由具備視距外自主飛行能力之無人飛行載具系統（Unmanned Aircraft System, UAS）搭載數位相機與整合式全球導航衛星系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）與慣性測量元件（Inertial Measurement Unit, IMU）酬載，同時具備定位系統、自動飛行控制、即時影像及資訊傳輸等先進功能，使得空間資料的蒐集更有效率，並可提供空間資料庫最新資訊。

內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）積極發展測繪科技新技術，於「測繪科技發展後續計畫」之「發展無人飛行載具航拍技術作業案（100 至 103 年度）」共計 4 年度計畫期間，完成建置 1 套定翼型 UAS 及 48 區航拍與影像處理作業、影像處理軟體整合作業及升級數值航測影像工作站圖資編修軟體等多項工作。

為賡續發展 UAS 技術及推廣應用，國土測繪中心於「現代化測繪科技發展計畫」中研擬「發展無人飛行載具系統測繪作業計畫（104 至 107 年度）」，規劃辦理發展多元化 UAS 載具技術、研究測試搭載多元化感測器、提升 UAS 航拍及影像處理技術、辦理 UAS 航拍及影像處理作業，並協助其他政府機關辦理特定區域航拍作業等工作。104 年度完成 11 區 UAS 航拍及影像處理、GNSS 與 IMU 設備機電整合優化、多相機組合雲台研究測試等作業。

105 年度計畫辦理 UAS 航拍及影像處理、多光譜感測器研究測試、三維影像模型及全景攝影研究測試及成果展示等作業。同時針對工作成果配合國土測繪中心製作成果展示影片或相關展示海報，並支援相關展場展覽與解說工作。最後彙整相關作業成果並撰寫 105 年度工作總報告。

## 第貳章 工作項目與內容及作業規劃

### 第一節 工作項目與內容

#### 一、 UAS 航拍作業

- (一) 辦理國土測繪中心指定至少 10 區(分為緊急災害應變航拍與一般航拍)之航拍作業，平均每區航拍面積以 5 平方公里為原則(總航拍面積應達 50 平方公里以上)，如有特殊情形由國土測繪中心認定。航拍時 UAS 皆需搭載整合全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)及慣性測量元件(Inertial measurement unit, IMU)之定位定向系統(Position and Orientation System, POS)，並以使用國土測繪中心定翼型 UAS(國土測繪一號)且搭載國土測繪中心 104 年度整合之 POS 為原則，必要時可使用性能與酬載相當(含以上)之定翼型 UAS，惟使用國土測繪一號拍攝面積需達總航拍面積 50%以上；若航拍面積小於 1 平方公里(含)以下或經國土測繪中心同意，可採旋翼型 UAS 辦理航拍。
- (二) 本案 UAS 酬載相機均需辦理內方位參數率定作業，航拍時原始影像解析度需優於 0.25 公尺，影像前後重疊率為 75%以上，側向重疊率為 35%以上，重疊率誤差應在 15%以內。
- (三) 本案執行期間如遇緊急或特定航拍需求，本公司應無償至少提供定翼型及旋翼型 UAS 各 1 套(含酬載相機)備用並須提供航拍服務。緊急災害應變航拍應於接獲機關通知後即刻整備待命，並於國土測繪中心提出航拍需求區域後立即前往災點辦理航拍作業，且須於抵達災點後 24 小時內完成航拍作業(如遇天候或其他不可抗力因素不在此限)。
- (四) 一般航拍區應於國土測繪中心通知航拍區域後 5 個日曆天內提送空域申請相關資料，且航拍作業須於接獲國土測繪中心可辦理航拍通知次日起 15 個日曆天內完成(如遇天候或其他不可抗力因素不在此限)。如遇天候或其他不可抗力因素無法於期限內完成航拍，需於各階段繳交成果時提出相關佐證資料。
- (五) 增購航拍區原則上依一般航拍作業方式辦理，如有影像解析度 0.1 公尺之需求，應配合至現地辦理控制測量作業。
- (六) 每次執行任務前需檢查 UAS 系統功能是否正常，並填寫航拍任務紀錄表，記錄每次航拍日期、天氣狀況、風向、風級、飛航方向、飛行時間等資料。另航拍時國土測繪中心可遠端監控 UAS 航拍情形。

## 二、 UAS 航拍影像處理

### (一) 緊急災害應變影像處理

緊急災害應變應於航拍完成後 24 小時內繳交原始影像、快速幾何糾正鑲嵌影像。

### (二) 一般航拍影像處理作業

1. 辦理空中三角測量並製作正射影像，正射影像解析度（地元尺寸）需達 0.25 公尺以內，成果精度應達基本地形圖測製要求。一般航拍應於航拍完成次日起 20 個日曆天內繳交原始影像、空中三角測量及正射影像成果至國土測繪中心。國土測繪中心之 POS 應一併計算及分析航拍區域直接地理定位成果。
2. 另須於成果檢查合格後 15 個日曆天內協助更新五千分之一圖幅範圍之滿幅正射影像（需依周圍影像圖幅張進行影像調色作業），並協助修正詮釋資料。
3. 增購區原則上依一般航拍影像作業方式辦理，如有解析度 0.1 公尺正射影像之需求，應配合辦理且空中三角測量所使用之控制點應以現地測量之控制點進行解算。

(三) 由國土測繪中心指定至少 2 區航拍區成果須製作 3D 模型展示成果影片。

(四) 緊急災害應變及一般航拍影像處理成果應依據內政部訂頒之詮釋資料標準格式(TWSMP2.0)建置詮釋資料。

## 三、 三維影像模型及全景攝影研究測試（測試區為臺中國家歌劇院，另再由國土測繪中心指定 1 區測試區辦理，面積至少 1 平方公里）：

(一) 研究整合 UAS 搭載多相機組合雲台及地面（測繪車）等不同拍攝角度影像資料產製三維影像模型之改善及精進方式（設備由本公司提供）。

(二) 研究整合 UAS 搭載 360 度全景攝影設備辦理航拍測試作業，並以動態全景影像成果評估應用於緊急災害應變相關可行性。

## 四、 多光譜感測器研究測試：以 UAS 搭載多光譜感測器（設備由國土測繪中心向儀科中心借用提供）進行航拍及資料處理作業，並針對多光譜資料成果進行分析及評估應用於地物分類或植被

監測或災害判釋等作業可行性。測試作業由國土測繪中心指定 1 區測試區(面積至少 1 平方公里)辦理。

#### 五、 UAS 成果展示：

- (一) 本公司應配合國土測繪中心相關成果發表會流程內容，辦理 UAS 展示及製作海報，並支援 UAS 載運、架設、撤收及派員於展示場協助進行解說，本年度以 3 次為限。
- (二) 配合修正國土測繪中心全球資訊網站「無人飛行載具系統專區」為「移動測繪系統專區」網頁內容 (<http://www.nlsc.gov.tw/Home/UAS>)，除協助更新 UAS 相關內容外，並應配合國土測繪中心需求，增加國土測繪中心測繪車內容。

#### 六、 作業計畫書與進度報告及工作總報告：

- (一) 本公司應於決標日起 15 個日曆天內，依本案工作項目內容、規格標評選與會人員意見撰擬作業計畫書，經國土測繪中心審定通過後依計畫書內容辦理相關工作。作業計畫書應至少包含以下頁目：
  1. 作業執行規劃。
  2. UAS 航拍規劃與作業流程及方式說明。
  3. UAS 航拍影像處理作業流程及方式說明。
  4. 三維影像型及全景攝影研究測試作業流程及方式說明。
  5. 多光譜感測器研究測試作業流程及方式說明。
  6. 作業時程及進度管控方式說明。
  7. 品質管控方式。
  8. 其他相關資料及附件。
- (二) 本公司應於決標次月起，每月 30 日前提出工作執行書面報告交付國土測繪中心，內容包含預定及實際執行工作進度，並視需要提出工作協調事項及工作遭遇困難。
- (三) 工作總報告內容至少包含以下項目：
  1. 前言。
  2. 作業規劃。
  3. 工作項目及內容。
  4. 各項工作執行方法、情形、成果分析(含多光譜感測器與三維影像模型及全景攝影研究測試成果)。

5. 結論與檢討建議（含 106 年度研究發展建議）。
6. 其他相關資料及附件。

#### 七、 其他配合事項

- （一） 需依 UAS 保養維護手冊相關內容辦理國土測繪中心 UAS 設備保養維護作業，保養維護時需填寫保養維護紀錄表，各項紀錄資訊需送交國土測繪中心。
- （二） 配合民用航空法 UAS 相關規範規定，如需取得人員或 UAS 設備認證，依相關規範辦理。
- （三） 本公司需投稿研討會或期刊論文（初稿）至少 1 篇，投稿內容需與本案研究測試內容相關。研討會文稿格式若為中文內容，應比照測量及空間資訊研討會規定格式撰寫。期刊文稿格式若為中文內容，應比照國土測繪與空間資訊期刊規定格式；倘為英文內容，應比照 Survey Review 期刊規定格式撰寫。
- （四） 履約期間相關設施、器材（含國土測繪中心 UAS），若有人為操作疏失、遇天災或不可抗力因素而毀損，或造成第三者人員、財物損失，均由本公司負責。
- （五） 操作期間本公司將負責提供本案所需之工作車輛油料、保養維修費、汽車強制險及意外險等、UAS 保養維護費、耗材、油料，影像輸出設備及其他與本案相關之耗材。
- （六） 應針對國土測繪中心國土測繪一號及本案作業使用之 UAS 投保最高賠償金額至少達新臺幣 5000 萬元以上之公共意外責任保險。

本案作業期限為決標次日起 240 個日曆天內辦理完成，共分為 4 階段辦理。各階段應交付項目及期限如表 2-1 所示：

表 2-1 各階段檢核點交付成果說明

階段	交付項目	單位	數量	繳交期限
第 1 階段	作業計畫書	式	3	於決標次日起 15 個日曆天內繳交(105/4/8)
第 2 階段	2 區航拍成果	式	1	於決標次日起 90 個日曆天內繳交(105/6/22)
	相機率定報告	式	1	
第 3 階段	3 區航拍成果	式	1	於決標次日起 120 個日曆天內繳交(105/7/25)
	3 區航拍成果	式	1	於決標次日起 160 個日曆天內繳交(105/9/1)
	全景攝影研究測試成果報告	式	3	
第 4 階段	多光譜感測器研究測試成果(含航拍測試區原始數據資料)	式	1	於決標次日起 220 個日曆天內繳交(105/10/31)
	三維影像模型研究測試成果	式	1	
	2 區航拍成果	式	1	
	工作總報告	式	5	於決標次日起 240 個日曆天內繳交(105/11/21)
備註：航拍區成果含 UAS 航拍原始影像與任務執行紀錄及相關原始數據資料(含電子檔)；空中三角測量(含書面資料)及正射影像(含電子檔)等成果。				

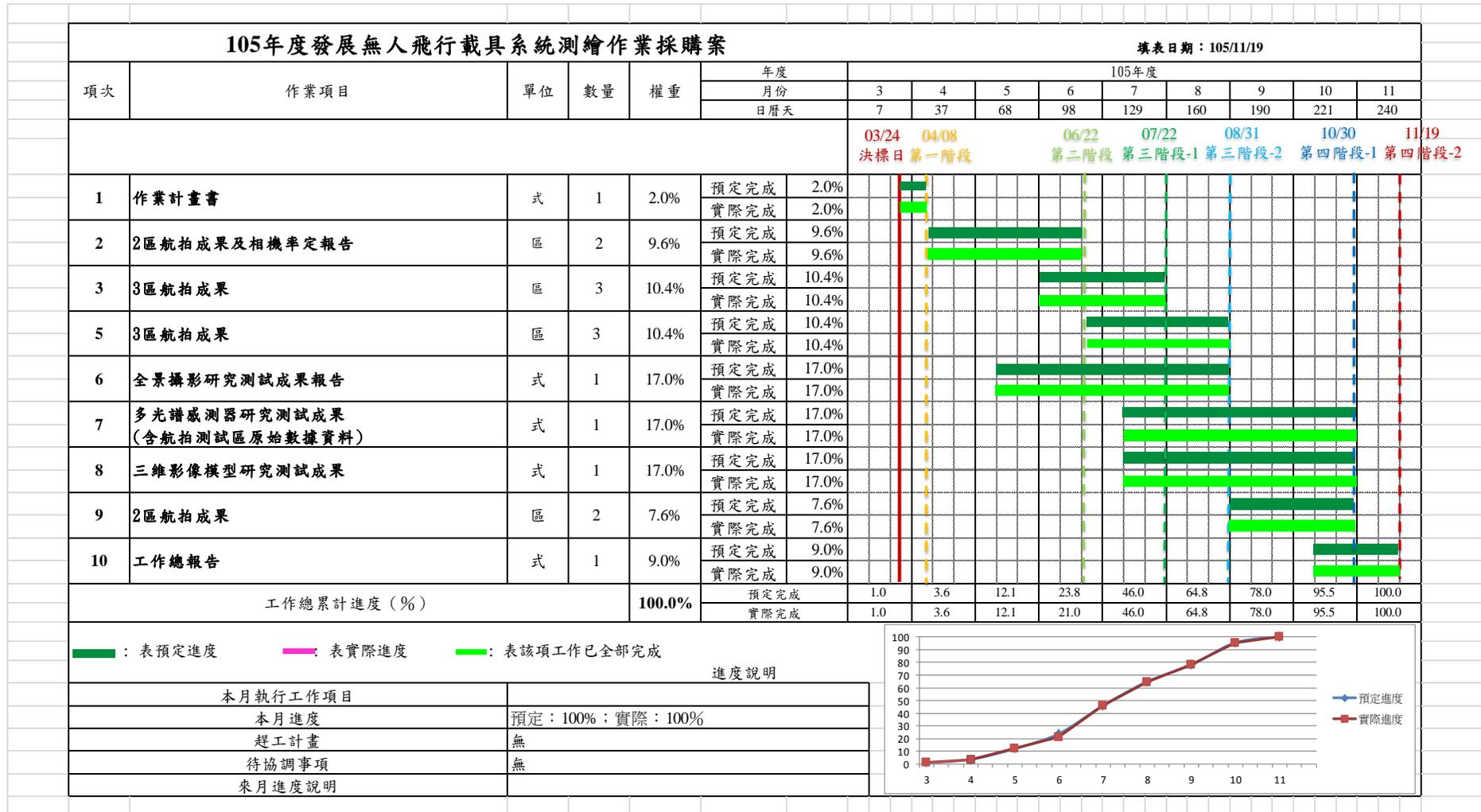


圖 2-1 專案執行進度甘特圖

## 第二節 作業規劃

本案航拍工作使用之 UAS 與酬載重要設備及作業規劃分述如下：

### 2.2.1 定翼型 UAS

UAS 航拍作業主要配合國土測繪中心需求採用升級後國土測繪一號定翼型 UAS 進行航拍為原則（圖 2-2）。國土測繪一號採用複合材料機身，翼展長 2.5 公尺，展弦比達 11，具有優越的滑降比與抗風性能，及 6 公斤的酬載能力，同時飛行滯空時間可達 3 個小時以上。



圖 2-2 國土測繪一號定翼型 UAS

機體設計為可拆式機翼，方便收納與運輸，並搭載自主飛行控制系統；動力系統設計為螺旋槳前拉式動力系統，採用 60cc 雙缸電子點火引擎，實際測試之最大飛行高度達 4,000 公尺。數位通訊資料鏈可傳輸 30 公里距離，類比影像傳送距離可達 15 公里。國土測繪一號 UAS 架構詳如圖 2-3 所示，特色與各項詳細規格彙整如表 2-2 與表 2-3 所示。



圖 2-3 國土測繪一號 UAS 系統架構

表 2-2 國土測繪一號 UAS 特色

項目	詳細說明
推進系統	採用以無鉛汽油為燃料之二行程引擎
巡航速度	70~120 公里
滯空時間	油箱 6.6 公升可飛行約 5 小時
抗風能力	可達蒲福風級 8 級風力
通訊	配備長距離數據通訊鏈路，控制半徑可達 30 公里以上，即時影像傳輸半徑可達 15 公里以上
起降操作	需 120 公尺柏油跑道滾行起飛與降落
酬載	可搭載全球導航衛星系統與慣性量測設備、高畫素單眼相機、高縮放倍率攝影模組等設備

表 2-3 國土測繪一號細部規格表

翼展	2.5 公尺	長度	2.0 公尺
最大重量	24.5 公斤	滯空時間	>4 小時
最高速度	125 公里/小時	最大航程	>420 公里
巡航速度	70~120 公里/小時	最大操作高度	4,000 公尺
推進系統	DLE-60 雙缸 CDI 電子點火引擎		

國土測繪一號搭載 104 年度整合優化後之定位定向系統(Position and Orientation System, POS) (圖 2-4)，該系統將 GNSS (Trimble BD970) 與 IMU (ADIS16488) 進行整合。Trimble BD970 雙頻 GNSS 可支援北斗獨立計算與航向解算，並具有 RTK(Real Time Kinematic)、低角度追蹤技術與多路徑抑制功能。另系統中使用雙頻 GNSS 所提供之 GNSS 資料與時間對 IMU 資料進行同步並提供相機 Trigger 時脈，使定位資料、相機姿態與拍照時間完全同步，能有效提高航空攝影測量之準確性，且後製處理可擁有更準確之定位定向資訊。



圖 2-4 國土測繪一號搭載之 POS

鑑於本案在緊急或特定航拍需求上，必須有百分之百之航拍載具妥善率，同時亦遭遇多處同步拍攝的可能性，本團隊將提供一台自主開發設計的『天箭級』Sky Arrow 55 載具系統，專屬於國土測繪中心本案所使用，做為備用之定翼型 UAS 載具。

Sky Arrow 55 為一款中航程後推式定翼型 UAS 載具 (圖 2-5)，機體設計為後推式引擎設計，可避免傳統前置式引擎運轉時產生之廢氣隨氣流向後汙染儀器與相機鏡頭之慮，在機身設計上除符合空氣動力學效率外，兼具酬載重量大與酬載空間寬敞，可快速更換不同酬載構型。載具基本規格資料如表 2-4 所示。



圖 2-5 Sky Arrow 55 UAS

表 2-4 SkyArrow 55 UAS 載具規格

翼展	3.0 公尺	長 度	2.4 公尺
最大重量	25 公斤	滯空時間	>3.5 小時
最高速度	145 公里/小時	最大航程	>350 公里
巡航速度	105 公里/小時	最大操作高度	4,000 公尺
推進系統	O.S GT-55 Gas Engine(5.5 BHP@7,000rpm)		

Sky Arrow 55 UAS 在飛控電腦的控制下，可進行視距外遠距長程自主飛行。微波指令鏈路範圍可達半徑 60 公里以上，可供隨時更新飛航任務(On-The-Fly Command, OTFC)，並有長達 3.5 小時以上有效滯空時間與針對航遙測應用最佳化的性能設計。此型式的 UAS 的酬載重量與空間可依任務需求做彈性調整，使任務的調度更為靈活，表 2-5 為本機型特色。

表 2-5 Sky Arrow55 UAS 載具特色

項目	詳細說明
推進系統	引擎型式為 O.S GT-55 Gas Engine 二行程汽油引擎，使用 92 無鉛汽油做為燃料
巡航速度	105 公里以上
最大航程	大於 350 公里，任務半徑 100 公里以上
滯空時間	可達 3.5 小時以上
最大高度	4,000 公尺
抗風能力	蒲福風級 8 級風力
起降操作	傳統跑道（起飛距離 30 公尺，降落距離 80 公尺）
酬載重量/空間	有效酬載重量大於 5 公斤，可搭載： 1. 高畫素數位相機與高縮放倍率攝影模組，以及 GNSS/IMU 設備 2. 數據通訊與即時影像傳輸設備，可將資訊下傳至地面導控站儲存供後處理使用 3. 酬載安裝於機體內均配置被動防震機構，防止設備震動影響功能 4. 40 x 28 x 22 公分的極大化酬載空間，可快速安裝與更換不同酬載構型
搬運方式	機體採模組化設計，可快速拆卸進行運送

### 2.2.2 旋翼型 UAS

本公司另視不同需求採用旋翼型 UAS (圖 2-6) 進行航拍，全機直徑約 120 公分，標準酬載設備可搭載 1800 萬畫素以上之數位相機 (含影像發射模組)。旋翼型 UAS 的操作高度可達 500 公尺，滯空拍攝作業時間可達 20 分鐘，可有效拍攝小範圍區域之高畫質影像。基本規格資料如表 2-6 所示。



圖 2-6 旋翼型 UAS

表 2-6 旋翼型 UAS 規格表

載具寬度	120 公分	最大航高	< 500 公尺
載具重量	5.0 公斤	載具飛行距離	< 2,500 公尺
酬載重量	1.0 公斤	酬載搭配	Canon-5DM2
滯空時間	< 20 分鐘		SONY-DV
			SONY-α7R

本公司也針對旋翼型 UAS 設計簡易型 POS 系統 (圖 2-7)，運用 GNSS 模組與微機電等級 IMU 整合設計而成。在 GNSS 模組選擇方面，採用單頻載波相位接收儀 U-BLOX LEA-6T 模組 (圖 2-8)；IMU 模組則選擇 ADIS16405 (圖 2-9)，兩者優點皆是精度高、價格便宜、重量輕，適合做為酬載重量相對較小的旋翼型 UAS 使用。此外本 GNSS 模組亦支援外部 Time mark 記錄功能，可記錄拍攝相片時的 GNSS 時間，做為相片與 POS 資料同步解算的基準。

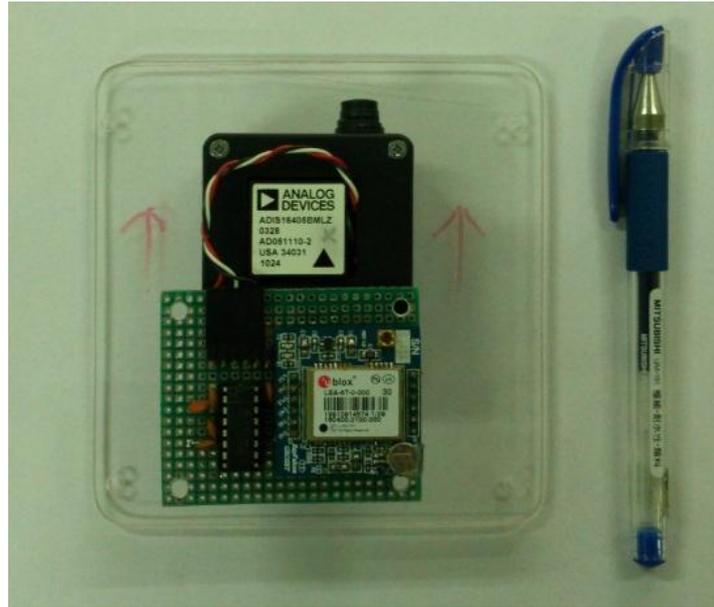


圖 2-7 旋翼型 UAS POS 原型設計

ADIS16405	
陀螺量測範圍	$\pm 350$ deg/sec
陀螺飄移	25.2 deg/h
加速度計測範圍	$\pm 18$ g
加速度計飄移	0.2 mg



圖 2-8 ADIS16405

LEA-6T GPS接收模組	
Receiver type	GPS L1 C/A Code 50-Channels
Update rate	5 Hz
Accuracy	Position 2.5m CEP SBAS 2.0m CEP
Acquisition	Cold starts : 29s Hot start : 1s



圖 2-9 LEA-6T

### 2.2.3 影像感測器

國土測繪一號搭載高解析度全片幅數位單眼相機（Digital Single-Lens Reflex, DSLR）Canon 5D Mark II（圖 2-10），並依不同航拍需求搭配相容之 20mm、24mm 或 50mm 焦距鏡頭並經過相機率定程序，詳細規格如表 2-7。



圖 2-10 Canon 5D Mark II 數位相機

表 2-7 Canon 5D Mark II 數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	全片幅 (24 x 36mm) CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 感測器, 有效畫素 2110 萬畫素
鏡頭焦距	焦距 20mm、24mm、50mm 定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB
影像格式	JPEG/RAW
記錄畫素	最高 5,616 x 3,744 像素
儲存張數	依記憶卡容量決定
連拍速度	最高每秒 3.9 張
快門速度	最快可達 1/8000 秒, 提供外部觸發快門
ISO 感光度	50~25,600

除國土測繪一號原有之數位單眼相機外, 為提升無人飛行載具系統測繪作業之效率與影像拍攝品質, 另提供數位相機設備備援。本公司引入全片幅數位相機 Sony  $\alpha 7$  與  $\alpha 7R$  (圖 2-11 與圖 2-12) 並搭配 21mm 與 35mm 定焦距鏡頭, 其感光元件同樣為全片幅尺寸 (24 x 36mm) 規格, 有效畫素提高較國土測繪一號原本採用的 Canon 5D Mark II 增加 70%, 在相同地面解析度 (Ground Sample Distance, GSD) 的航線規畫下, 可比原有 Canon 相機涵蓋更大的拍攝範圍。相機詳細規格如下表 2-8 與表 2-9。



圖 2-11 Sony α7 全片幅數位相機

表 2-8 Sony α7 全片幅數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	全片幅 (35.9 x 24.0mm) Exmor CMOS 感光元件，有效畫素 2430 萬畫素
鏡頭焦距	焦距 21mm 定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB
影像格式	JPEG/RAW
記錄畫素	最高 6,000 x 4,000 像素
儲存張數	依記憶卡容量決定
快門速度	最快可達 1/8,000 秒，提供外部觸發快門
ISO 感光度	100~25,600



圖 2-12 Sony α7R 全片幅數位相機

表 2-9 Sony α7R 全片幅數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	全片幅 (35.9 x 24.0mm) Exmor CMOS 感光元件，有效畫素 3640 萬畫素
鏡頭焦距	焦距 35mm 定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB
影像格式	JPEG/RAW
記錄畫素	最高 7,360 x 4,912 像素
儲存張數	依記憶卡容量決定
連拍速度	連拍模式最高每秒 1.5 張；速度先決連拍模式最高每秒 4 張
快門速度	最快可達 1/8,000 秒，提供外部觸發快門
ISO 感光度	100~25,600

## 2.2.4 UAS 航拍作業規劃

### 2.2.4.1 UAS 航拍標準作業流程

本案參考近年度專案航拍執行之經驗，整理 UAS 航拍標準作業流程如圖 2-13。本案航拍及影像處理作業依契約書規定，應於國土測繪中心通知航拍區域後 5 日內提送空域申請資料，於接獲可辦理航拍通知次日起 15 日內完成辦理航拍作業，航拍完成次日起 20 日內繳交影像處理成果。

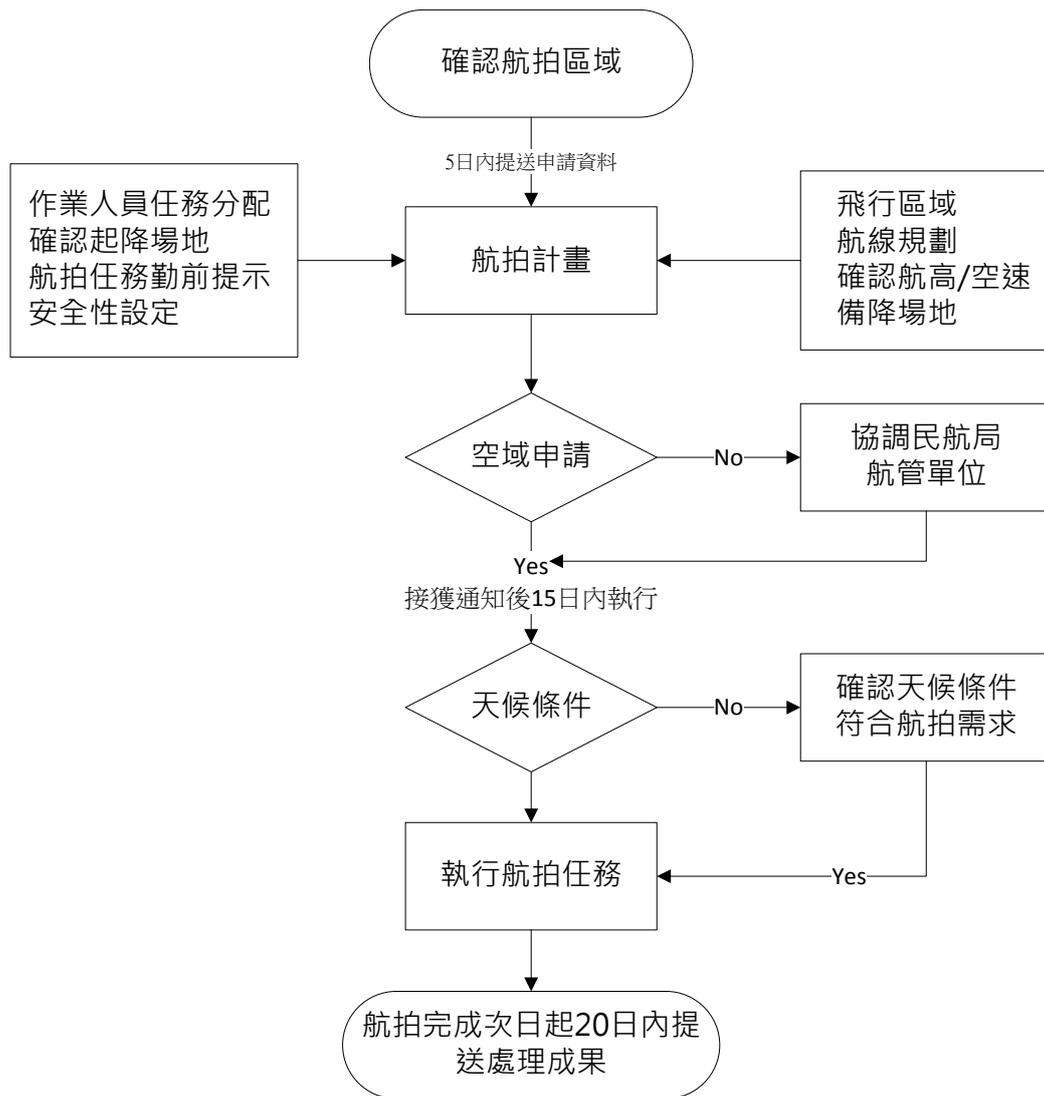


圖 2-13 UAS 航拍標準作業流程

### 2.2.4.2 航拍計畫

UAS 航拍所使用之數位相機為 Canon 5D Mark II 或 Sony α7R 全片幅數位單眼相機，相機感光元件經換算後可得到感光元件上每一像素之實際尺寸分別為  $6.4\mu\text{m}$  或  $4.8\mu\text{m}$ 。由於每一像素之寬度與焦距長，相對於 GSD 與航高（Above Ground Level, AGL）為相似三角形，因此可得式（2.1）：

$$\frac{\text{Pixel Size}}{\text{Focal Length}} = \frac{\text{GSD}}{\text{AGL}} \quad (2.1)$$

其中，Pixel Size 為像元大小；Focal Length 為相機鏡頭焦距；GSD 為地面解析度；AGL 為航高。

將相機鏡頭焦距、感光元件像素尺寸及需求之地面解析度帶入式 2.1 中，即可計算出對應的航高。

以 Canon 5D Mark II 相機於 1/5,000 比例尺航拍作業的航線規劃範例如圖 2-14 所示，各項航拍作業應規劃項目範例如表 2-10 與表 2-11 所示。經正確規劃於任務結束後，亦可藉由定位定向系統與相機空三解算得影像外方位參數，反推得實際前後與左右重疊率，航拍成果皆可達到 80% 以上的前後重疊率及 40% 以上之側向重疊率。

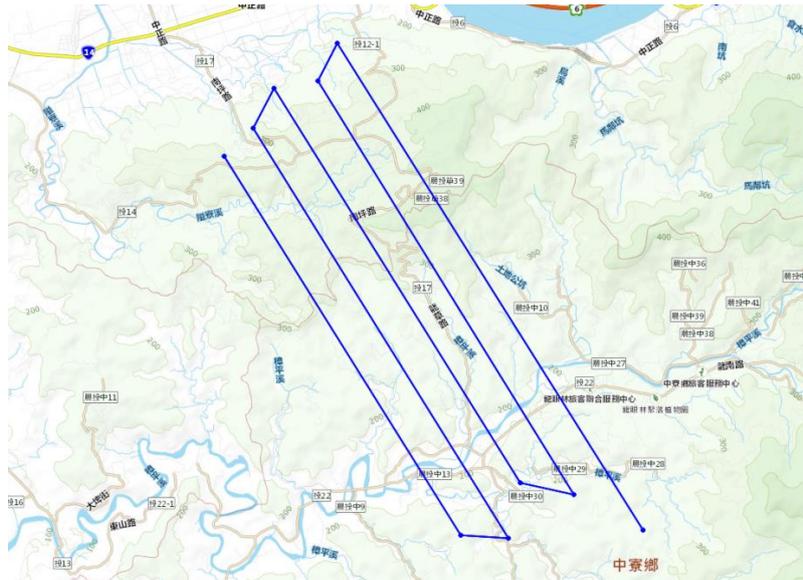


圖 2-14 航線規劃示意圖

表 2-10 Canon 5D Mark II 航空攝影規劃資訊

項目	資訊	備註
鏡頭焦距	20mm	採用高素質手動定焦鏡頭，避免 UAS 震動造成自動對焦位移。
像元解析度	6.4 $\mu$ m	
航帶寬	約 840 公尺	航拍影像有效寬度
飛航高度	780 公尺	距離地面高度，依照地形高程有所調整
航線間距	700 公尺	確保側向重疊率>40%
側向重疊	> 40%	
前後重疊	>80%	提高前後重疊，降低後續立製時遮蔽情形，提高正射品質
航空攝影	以 GNSS/IMU 輔助	提高空三及測圖等精度
地面解析度	25 公分	

表 2-11 Sony α7R 航空攝影規劃資訊

項 目	資 訊	備 註
鏡頭焦距	35mm	採用高素質定焦鏡頭，避免 UAS 震動造成對焦位移。
像元解析度	4.8 $\mu$ m	
航帶寬	約 1,100 公尺	航拍影像有效寬度
飛航高度	1,700 公尺	距離地面高度，依照地形高程有所調整
航線間距	1,050 公尺	確保側向重疊率>40%
側向重疊	> 40%	
前後重疊	>80%	提高前後重疊，降低後續立製時遮蔽情形，提高正射品質
航空攝影	以 GNSS/IMU 輔助	提高空三及測圖等精度
地面解析度	25 公分	

而 GCS (Ground Control Station) 介面的航線設定，本公司已有開發航點產生工具，藉由輸入特定參數，如範圍坐標、航帶間隔等參數，即可規劃出航線。軟體另有繪圖與標註、航線規劃、航線延長縮短、航線位移、空拍重疊率及航線匯出/匯入等功能。

### 2.2.4.3 空域申請

UAS 航拍空域申請流程，現階段主要係依據交通部民用航空局（以下簡稱民航局）「無人駕駛航空器系統在臺北飛航情報區之作業」航空公報 (AIC 04/2012)、「民用航空法」第三十四條、「交通部民用航空隊機場四周施放有礙飛航安全物體實施要點」等規定進行空域申請。根據以上相關規定，UAS 航拍作業需至少在任務執行 15 天前向民航局提出空域申請，空域申請通過且由民航局發布飛航公告後始得於申請之時間執行航拍任務。同時根據目前規範，航拍區域仍有以下限制：

- 一、 航拍區域若位於機場周圍禁、限航區，則無法執行任務。
- 二、 航拍區位於訓練空域、軍方管制空域、目視航線等，則需視與民航局及軍方單位協調後狀況方可執行任務。
- 三、 鄰近禁、限航區，可能影響民航機或軍機起降及其他航空器安全，亦需與相關單位協調後方能進行航拍。

### 2.2.4.4 執行航拍任務

UAS 執行航拍前置作業之任務規劃與勤前提示與工作分配亦為重要的工作規劃，並且執行航拍任務時，還需視天候條件許可下方可執行，UAS 執行航拍任務標準作業流程可參考圖 2-15。

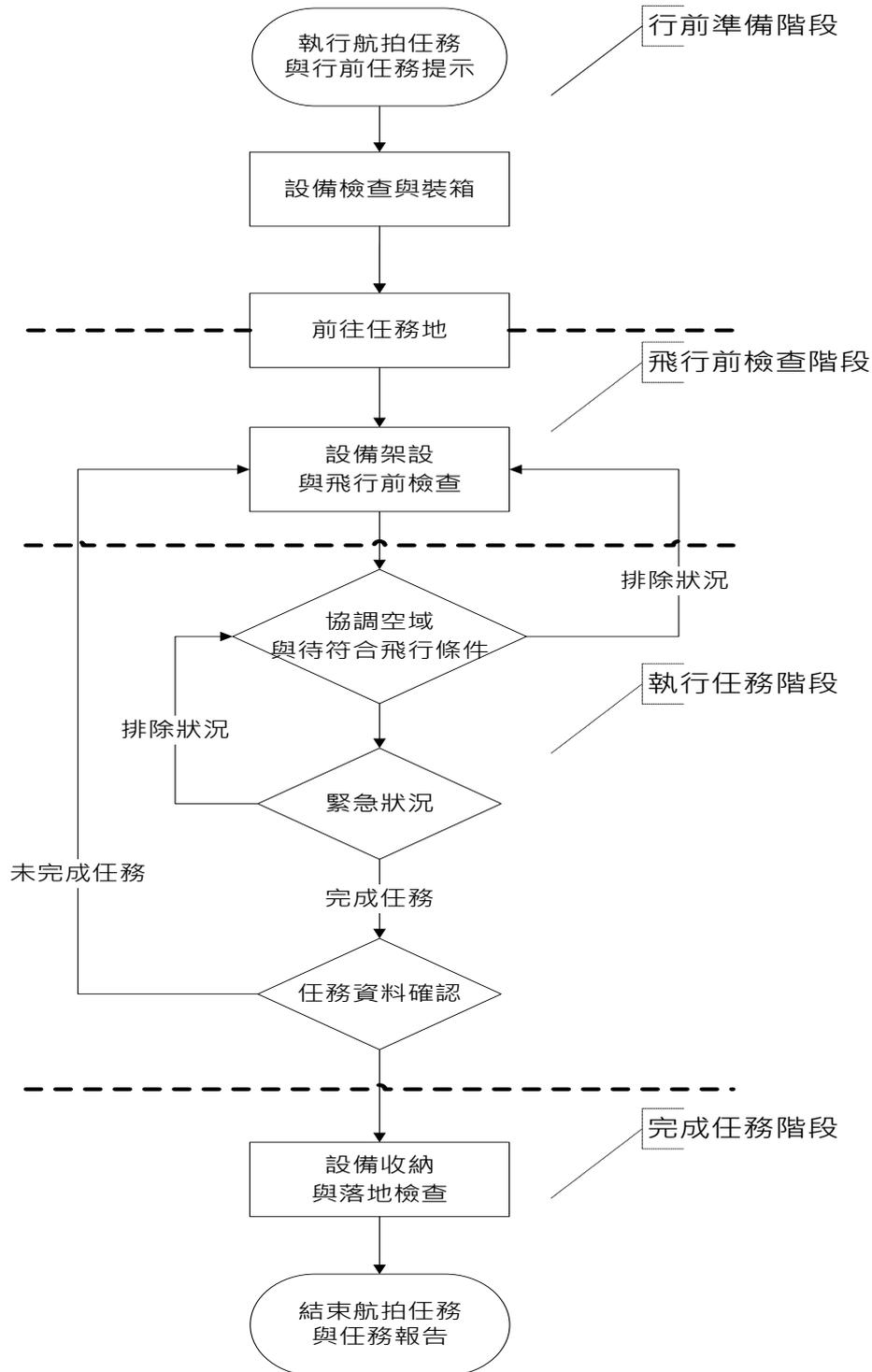


圖 2-15 UAS 執行航拍任務標準作業流程

UAS 執行航拍任務時地面控制站系統 (GCS) 的人力配置主要由 1 位外部操作員 (External Pilot, EP; 飛行員)、1 位內部操作員 (Internal Pilot, IP; GCS 軟體操作員) 及 1 位專案經理組成。每次只會有一架 UAS 執行任務，在外部操作員操作 UAS 起飛後及降落前，則由 GCS 之任務自動導引程序接管。內部操作員執行航拍任務前航線規劃，若 UAS 前往執行任務的路徑上將經過敏感性地區，GCS 軟體會警示該路線為避走路線，並顯示規劃建議之新航道給內部操作員參考；若於任務執行中時，GCS 軟體同樣會警示該路線為避走路線，並顯示規劃建議之新航道給內部操作員參考，內部操作員可選擇同意且傳送指令取代原路徑，UAS 於執行任務時會繞過該敏感地區。

本公司經過數年實務上的累積經驗，已針對執行航拍任務流程各重要步驟製作任務勤前提示、飛行前檢查項目、執行紀錄等表格，說明如下：

- (一) 在任務執行前，為了讓任務執行單位充分了解工作內容，需由當次任務負責主管公告「UAS 飛行任務勤前提示單」，並對任務執行單位解說任務執行細節及流程，其內容包含任務資訊、天氣預報、航點說明、任務預先規畫等任務執行細節，如圖 2-16。

SN : PS20140617-1

## UAS 飛行任務勤前提示單

最後更新日期：2014/06/17 14:15

任務資訊			
Leader(PM) :	陳信安	連絡電話 :	0922-906820
GCS(IP) :	洪崇仁	連絡電話 :	0933-456181
Pilot(EP) :	詹文洲	連絡電話 :	0932-628646
Repeater(1) :		連絡電話 :	-、-
Repeater(2) :		連絡電話 :	-、-
預劃飛行日期 :	2014/06/13	備用飛行日期 :	2014/06/14
UAV 起飛地點/座標 :	彰化芬園-台 14 丁馬路 120.634386° 24.001839°	中繼站地點/座標 :	
GSD (cm) :	< 16 cm	預估總飛行航程(km) :	178 + 48 km
任務航高設定 (m) :	700 M	拍照間隔 (s/frame) :	6.5 / 1.5
預劃起飛時間(hhmm) :	0730	預劃飛行時間 (min) :	< 200 min
地面起伏高度 (m) :	0~15 m	最高人口密度 (%) :	< 15
可通訊比例(%)	95	天線設備 :	全向形天線
飛航公告(NOTAM) <sup>1</sup> :	C0200/14	核准空域使用時段 :	1200~1630
進駐塔臺/近場台 :	台北近場台	軍方/塔台電話 :	
近場台聯絡人姓名 :	鍾禮竹	近場台聯絡人電話 :	03-3841060~1
飛航作業名稱/工程名稱 :	103 年度發展無人飛行載具航拍技術作業		
飛航作業用途/用途名稱 :	圖資更新、103 年度專案工作項目(18 區航拍任務)		
委託單位/工程業主 :	內政部國土測繪中心		
聯絡人 :	施錦輝	連絡電話 :	04-22522966-380

任務區 天氣預報 <sup>2</sup>			
預劃飛行日期 :	2014/06/13	備用飛行日期 :	2014/06/14
天氣狀況/降雨率 :	多雲時晴午後雷陣雨 /40%	天氣狀況/降雨率 :	多雲時晴午後雷陣雨/ 30%
風向/蒲福風級 :	偏南風 /3 級	風向/蒲福風級 :	偏南風 /3 級
最高/最低 氣溫 :	33 / 28°C	最高/最低 氣溫 :	32 / 27 °C
始曉/終昏時間 <sup>3</sup> :	0517 / 1845	始曉/終昏時間 :	0516 / 1845
相對溼度 :	88~79%	相對溼度 :	87~77%
潮汐時間 <sup>4</sup> :	潮位 時間 潮高(cm)	潮汐時間 :	潮位 時間 潮高(cm)
	滿潮		乾潮

<sup>1</sup> 參照飛航公告編號 查詢：[電子式飛航指南](#), [FAA NOTAM website](#), [NOTAM decoder](#)

<sup>2</sup> 天氣預報查詢：中央氣象局 ([鄉鎮預報](#))

<sup>3</sup> 始曉/終昏時間查詢：中央氣象局 (首頁> 常識> 天文氣象> [日出日落](#))

<sup>4</sup> 潮汐時間查詢：中央氣象局 (首頁> 預報 > 漁業氣象 > [潮汐預報](#))

SN：PS20140617-1

現場工作流程

時間	名稱	工作事項說明	位置/航點
1100	抵達起飛地點		起飛地點
	飛行前檢查	設備架設與飛行前檢查	
		架設地面站電腦	
		架設全向性天線	
		架設基站	
1120		裝載 POS System REV 1.0	
1130		確認酬載功能	
1135		完成任務整備	
1140	確認空域		
1145	Take off	起飛盤旋兩點測試	
		確認系統運作正常	
		上傳飛行計畫：	
		1.103NLSC 南崗校正場 Round3.1-1 20mm 700m-1.5s.txt	
		2.103NLSC 南崗校正場 Round3.1-2 20mm 700m-1.5s.txt	
		3.南投交流道 600M-NS-500m-5.2s.txt	
1150	執行任務	爬升高度至任務高度(700m)	WP 1 → WP 2
1155		開始執行空拍	WP 2
1200	抵達任務區上空		WP 3
1500	離開任務區上空		WP 18
1505		緩降高度	WP 18 → WP 19
1510	Landing		起飛地點
	落地檢查		
	任務資料確認	讀取飛行資料及酬載資料	
		與業主確認成果	
1530		任務報告	
1600		完成任務整備	

UAS 飛行任務勤前提示單\_PS20140617-1\_南崗校正場(700NS).docx

8/15

UAS 飛行任務勤前提示單 Ver.16-Sep-13

圖 2-16 UAS 飛行任務勤前提示單

(二) UAS 飛行前必須先依「UAS 飛行前檢查卡」檢查 UAS 及地面控制站系統各個零組件，如機身結構、各個控制翼面、避震墊及飛控系統等功能是否正常，如圖 2-17 所示。

### 飛行前檢查項目

靜態檢查項目			
依檢查卡執行下列項目	檢查結果		維修
	正常	不正常	
機身外觀與檢查門有無損傷或鬆動			
空速管有無異物阻塞或鬆動			
鼻輪與主起落架組件與固定螺栓是否鬆動			
檢查輪胎外觀有無龜裂或損壞			
轉動輪胎觀察滾動是否正常，有無鬆動			
機翼與機身連接處裝置是否穩固，有無鬆動			
機翼結構樑裝置螺栓是否裝穩固，有無鬆動			
尾桿與機翼裝接處是否裝置穩固，有無鬆動			
垂直尾翼翼面與尾桿連接處是否穩固，有無鬆動			
水平尾翼翼面與尾桿連接處是否穩固，有無鬆動			
左、右副翼操縱面/舵角器/連桿與驅動裝置是否穩固，有無鬆動			
左、右垂直尾翼操縱面/舵角器/連桿與驅動裝置是否穩固，有無鬆動			
水平尾翼操縱面/舵角器/連桿與驅動裝置是否穩固，有無鬆動			
螺旋槳固定螺栓滑動標誌有無鬆動			
螺旋槳有無損傷、破裂			
油管油路裝置與化油器有無異物阻塞			
引擎排氣管裝置是否穩固，有無鬆動			
引擎汽缸頭裝置是否穩固，有無鬆動			
火星塞高壓線圈固定接頭是否穩固，有無鬆動			
引擎減震支柱與相關固定螺栓滑動標誌有無鬆動			
引擎座減震膠墊外觀是否正常，有無破損			
通訊鏈路與影像天線與接頭安裝是否穩固，有無鬆動			

填表人：

日期：

時間：

圖 2-17 UAS 飛行前檢查項目表

(三) 於每次任務結束後，任務執行單位必須填寫「UAS 航拍任務執行紀錄」，詳細記錄任務執行狀況及設備各諸元使用時數，如圖 2-18。



圖 2-18 UAS 航拍任務執行紀錄

### 2.2.5 系統保養

為確保 UAS 之更高安全性，除了依照周期性檢查項目檢查各零組件外，本公司制定一套 UAS 品保流程，從各零組件出廠至系統組裝完成，與累計時數的維修與性能評估，以確保最高的系統安全性，如圖 2-19 所示。

於每次操作 UAS 執行航拍作業時，除按操作手冊實施相關檢查外，並做成檢查與維護紀錄，另於每次執行任務時，按飛行前、中、後-檢查卡執行 UAS 相關保養維護與檢查工作，當載具飛行時數累積至週期檢查表所列之飛行時數時，按週期檢查與維護手冊執行相關零組件之保養與更換。另於執行航拍任務完成後，依照相關飛行紀錄資料整理成 UAS 航拍任務執行紀錄，以落實相關飛行文件與表格之建立。

### UAS品保流程

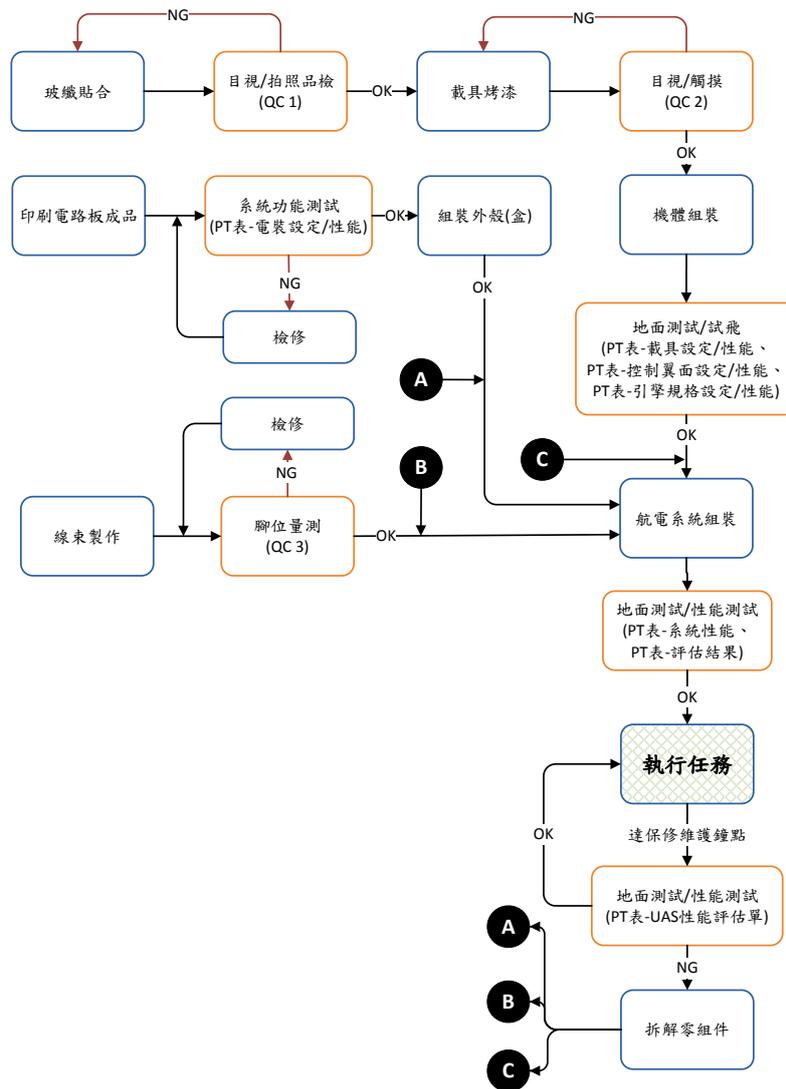


圖 2-19 UAS 品保流程

## 2.2.6 UAS 航拍影像處理作業規劃

### 2.2.6.1 快速拼接影像處理流程

在部分特定的應用情況，如重大災害發生後，需緊急取得現況影像時，時效性被視為首要目標，其次為資料精度。為了發揮 UAS 即時且機動的監測特性，如遇緊急災害而需快速提供影像時，可採用快速拼接之影像處理流程。配合使用影像拼接軟體將 UAS 航拍影像進行拼接，其特點為快速得到成果，成果精度約為公尺級。

快速拼接處理流程對於定翼型或旋翼型 UAS 所取得之影像皆可適用。利用 UAS 所搭載的 GNSS/IMU 資訊，於時效性緊迫需要緊急

取像情況時，僅需取得該區域連續航拍影像及拍攝地區之 DEM (Digital Elevation Model) 或 DSM (Digital Surface Model) 資料輔助即可立刻進行影像處理。圖 2-20 為快速拼接流程圖，其步驟如下：

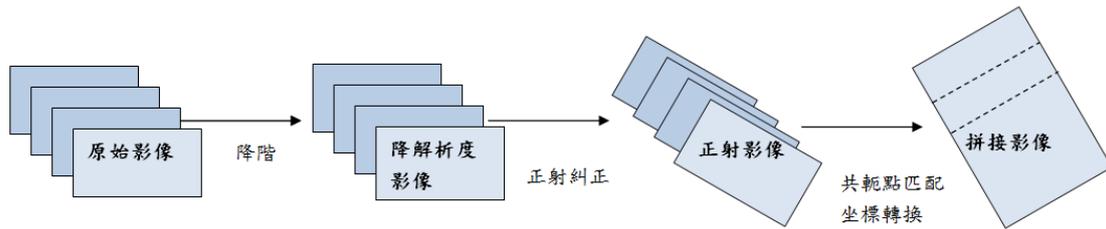


圖 2-20 快速拼接處理流程圖

- 一、視影像數量決定是否先將影像解析度進行降階處理，以增加拼接速度與一次可同時拼接數量，若在可處理範圍內則不做降階處理。
- 二、配合 DEM 或 DSM 及 GNSS/IMU 資訊，將影像逐一進行正射糾正。
- 三、將正射影像進行影像匹配以選取影像間共軛點，進行坐標轉換。
- 四、進行影像拼接以取得全區域之拼接影像。

### 2.2.6.2 正射影像處理流程

#### 一、控制點選定及量測

本案進行航拍作業之區域為 25 區，大部分航測控制點主要為引用向量圖資或影像資料之特徵點為主。每一航拍區原則上需挑選至少 5 點控制點，控制點選擇向量圖資或影像資料上比較明顯、不會變動的固定地物、易辨認之特徵點位（如斑馬線、道路標線等）且於 UAS 影像上可辨識之共同點為原則；其分布以可包圍測區且減少影像校正之外插情形為原則。另挑選至少 3 點檢核點，均勻分布於測區範圍內。控制點選取範例如圖 2-21。控制點選定後於向量圖資或影像資料之特徵點上量測坐標資訊，以作為後續空中三角測量解算使用。

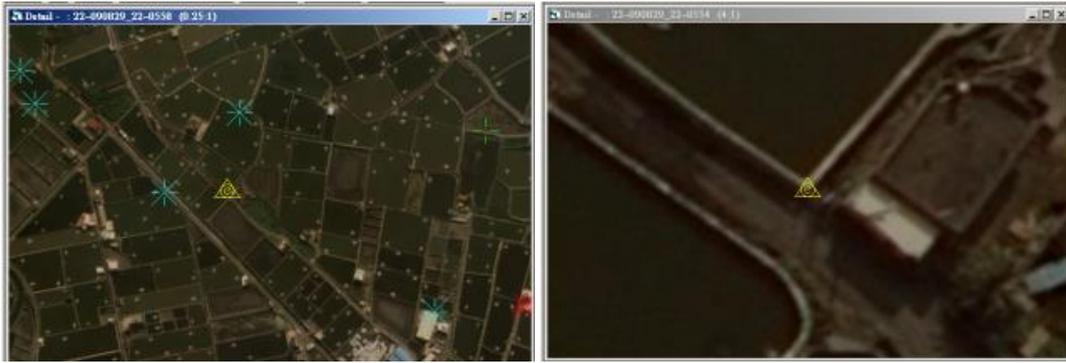


圖 2-21 選取控制點位置範例

## 二、空中三角測量

UAS 相片利用空中三角測量（以下簡稱空三）進行空間解算，同樣係根據少量的現地控制點，再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。

- (一) 空中三角測量採用航測數值影像工作站，量測模型連接點及全部設有航空標之控制點、水準點之點位坐標。

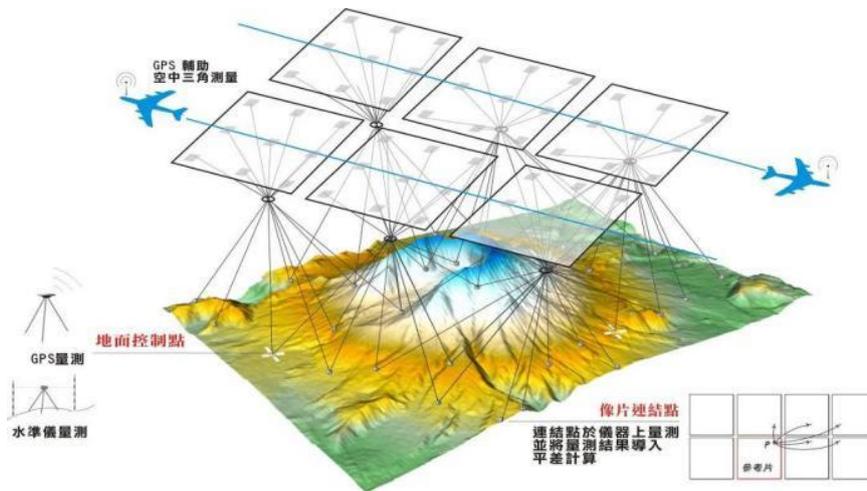


圖 2-22 空中三角測量示意圖

- (二) 空中三角像片連結點分布每一像片 9 個標準點以上，先以影像匹配產生連結點，再檢查連結網形補缺漏。每一標準點位以 2 點以上為原則，空中三角平差偵錯後，每一標準點位至少留存 1 點。
- (三) 航拍過程中全程採用 GNSS/IMU 輔助空中三角測量，GNSS 每 1 秒觀測 5 筆資料，IMU 每 1 秒觀測 100 筆資料以上，平差作業可加入每張航片經解算之投影中心坐標及姿態角，以提升空三

作業精度，並加速影像自動匹配作業時程，可大幅縮短人工選點作業時間與減少影像匹配錯誤情形。

- (四) 空三之連結點採自動匹配，自動匹配完後，會表列出匹配點不足處，稱之為弱匹配區；使用者可依表列之點號，手動加點，如圖 2-23。此外，尚會利用自行開發之網形檢核程式（圖 2-24）及可靠度計算程式，檢查每張像片間的連結點數以及連結情況，並參考地形圖測製規範之可靠度指標，不足處可手動加點。表 2-12 為可靠度指標。

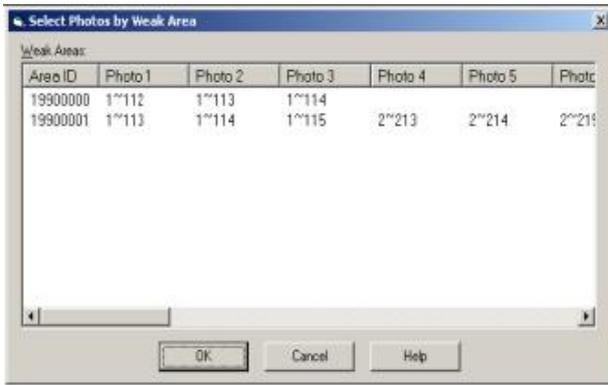


圖 2-23 弱匹配區手動加點列表示意圖

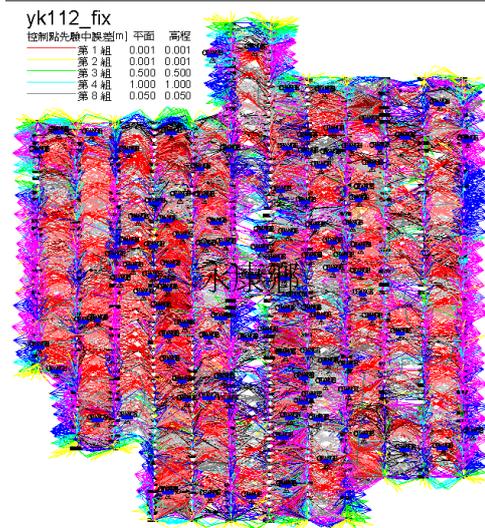


圖 2-24 像片網形連結範例圖

表 2-12 可靠度指標

前後重疊率 可靠度指標	60%	80%	90%
	平均多餘觀測數 (總多餘觀測數/總觀測數)	$\geq 0.55$	$\geq 0.6$
連結點平均光線數 (連結點總光線數/總連結點數)	$\geq 4$	$\geq 6$	$\geq 7$
連結點強度指標 (N 重光線以上連結點數/總點數)	(4 重光線以上連結點數)/(總點數) $\geq 0.3$	(6 重光線以上連結點數)/(總點數) $\geq 0.3$	(8 重光線以上連結點數)/(總點數) $\geq 0.3$

- (五) 空中三角測量平差計算採用光束法，分二個過程進行計算，先以最小約制（或自由網）平差，以進行粗差偵測並得到觀測值精度的估值，其次進行強制附合至控制點上平差。

- (六) 自由網平差後所得觀測中誤差不超過  $10\mu\text{m}$ ，坡度達 IV 級以上之山地或植被達 IV 以上之平地中誤差不超過  $15\mu\text{m}$ ，強制附合地面控制點後，其驗後觀測值之 RMSE (Root Mean Square Deviation) 值不大於  $13\mu\text{m}$ ，坡度達 IV 級以上之山地或植被達 IV 以上之平地中誤差不超過  $20\mu\text{m}$ 。

### 三、正射影像製作

本案正射影像解析度 (地元尺寸) 至少需達 25 公分以內；產製精度將參考「基本地形圖測製規範」辦理：

- (一) 每一像素以使用距離像主點最近之像素為原則。
- (二) 正射影像位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應小於 2.5 公尺，最大誤差應小於 10 公尺。如成果應用於臺灣通用電子地圖局部區域正射影像更新，正射影像位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應小於 1.25 公尺。鐵、公路、橋樑等對地圖判讀有重要意義的基礎建設，必須依其實際測量高度進行正射微分糾正，因而產生之無影像遮蔽區應以相鄰影像補足，若無影像可供補足，得以黑色區塊填補。
- (三) 彩色正射影像資料圖幅接合處影像接合誤差，相鄰圖幅無高差地物影像接邊相對移位應小於 2.5 公尺。

圖 2-25 為製作彩色無縫正射影像鑲嵌流程圖，作業流程包含正射影像糾正與正射影像鑲嵌作業，相關作業方式如下所示。

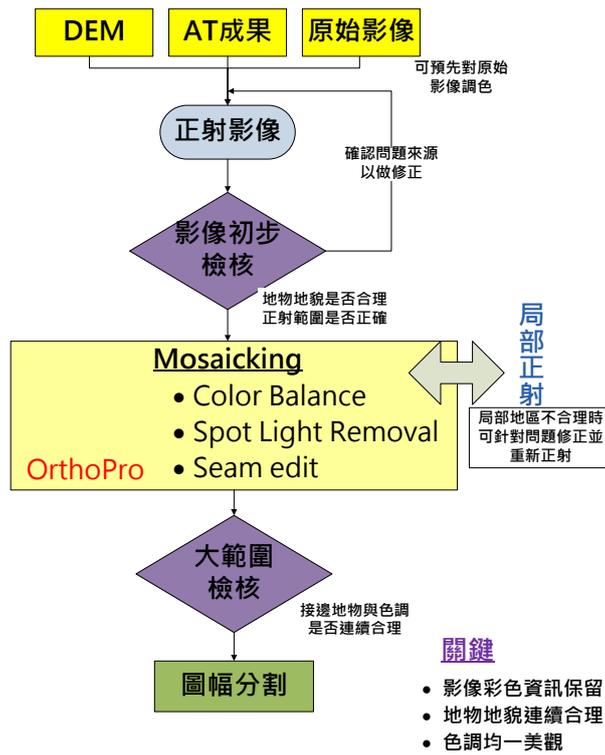


圖 2-25 製作彩色無縫正射影像鑲嵌流程圖

(一) 正射影像糾正

1. 利用數值航測影像工作站，配合數值高程模型 DEM 資料作為正射糾正之高程控制資料，將中心投影之航空像片，糾正成正射投影，消除像片上投影誤差，製作正射影像。圖 2-26 為正射影像糾正示意圖。

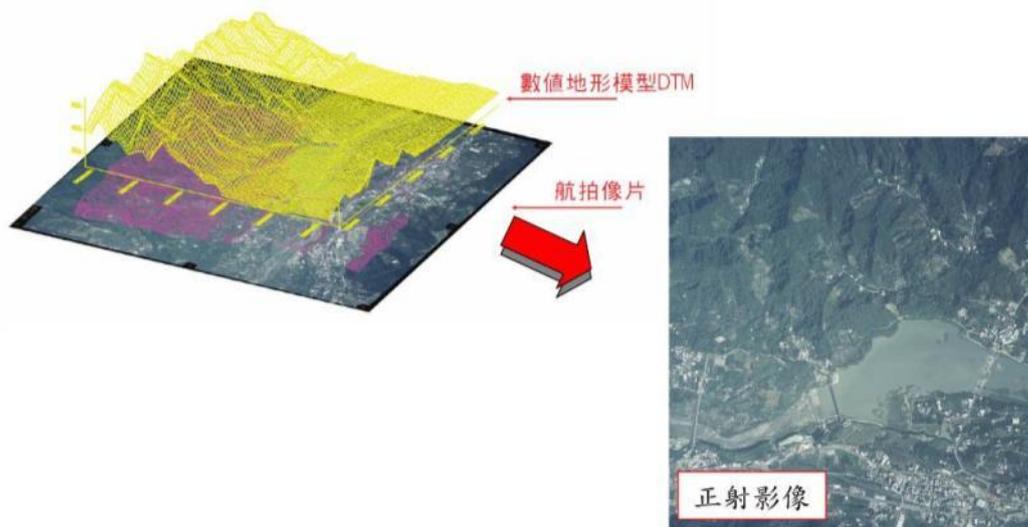


圖 2-26 正射影像糾正示意圖

2. 利用軟體 ImageStation Orthopro 將空三資料 (圖 2-27)、數值高程資料(圖 2-28)、原始檔案載入,產生正射後的單張影像,在產生前需先設定是否將影像壓縮、影像格式(TIF 或 JPG)、是否產生影像金字塔、影像定位檔 (TFW 或 JGW) 等。

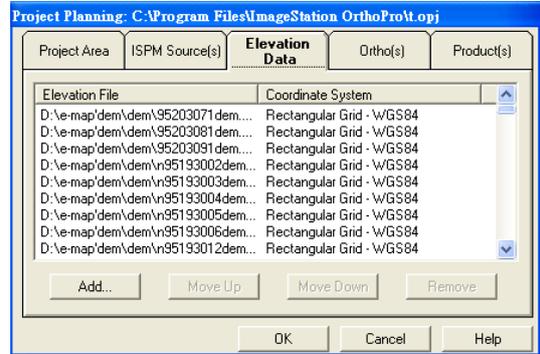
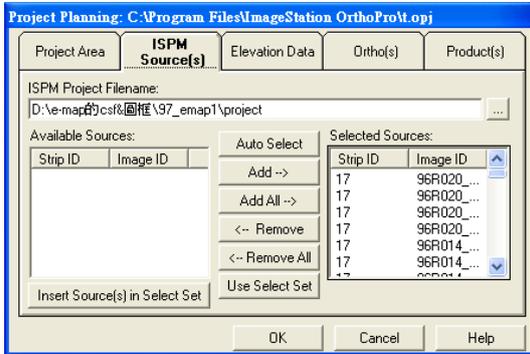


圖 2-27 ImageStation Orthopro 空三資料

圖 2-28 ImageStation OrthoproDEM資料

(二) 正射影像鑲嵌作業

1. 將相鄰影像之數值正射影像切去其邊緣與重複部分,使之互相拼接而成一地表連續之影像,逐一鑲嵌製作成為一張無接縫的正射影像鑲嵌圖,如圖 2-29 所示。

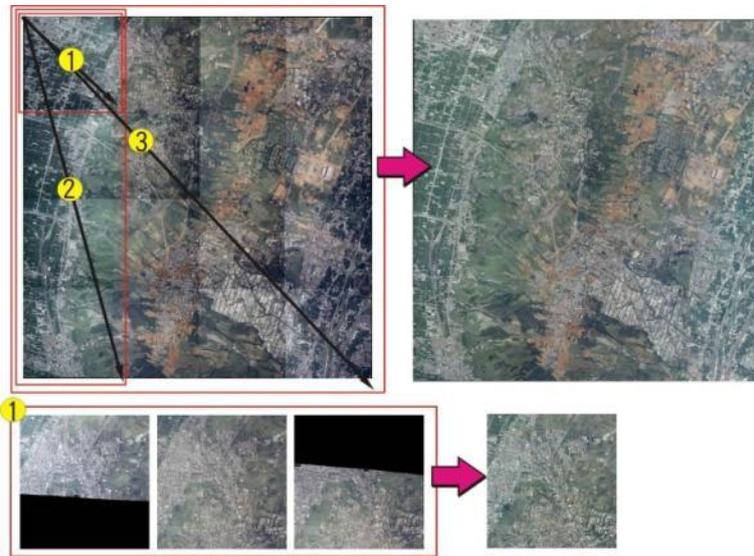


圖 2-29 正射影像鑲嵌示意圖

2. 正射影像處理需在影像工作站進行無縫式鑲嵌及全區影像色調均化處理。
3. 正射影像應盡量選取像主點附近之影像,避免傾斜位移大、陰影過長、陰影下影像模糊等區域,鑲嵌之接縫處宜位於水

系、平面道路或空曠地區，注意重要地標（高架道路、明顯建物）之銜接，並應力求色調、亮度一致，影像避免反光，保持柔和及清晰。

4. 正射影像鑲嵌後如造成疊影、錯位、扭曲、雲遮蔽等狀況，都必須再行編修處理，如圖 2-30。



圖 2-30 正射影像編修前後比較（左：編修前、右：編修後）

### 2.2.6.3 成果檢核

本案依規範之成果檢查作業說明，國土測繪中心針對空三測量與正射影像必須完成的檢查項目如下：

#### 一、 原始航拍影像檢查

針對原始影像成果進行查核，項目如下：

- （一） 抽查項目及方式：採上機檢查，檢查影像品質（影像解析度、是否含雲）、影像重疊率等項目。
- （二） 抽查數量：抽查航拍目標區域影像總片數 5% 像片。
- （三） 通過標準：抽樣之影像有 1 項（含）以上不合格，則該片影像為不合格；抽查影像片數 90% 以上合格，則檢查通過。

#### 二、 空中三角測量檢查

- （一） 抽查項目及方式：採上機檢查，檢查空中三角測量成果重新計算、連結點重複量測及檢核點等項目。
- （二） 抽查數量：抽查空中三角測量所使用之影像總片數 1%。
- （三） 通過標準：抽樣之影像有 1 項（含）以上不合格，則該片影像為不合格；抽查影像片數 90% 以上合格，則檢查通過。

### 三、 正射影像檢查

針對正射影像成果進行查核，說明如下：

- (一) 抽查項目及方式：採上機檢查，檢查影像解析度、色調及連續地物合理性（地物是否有扭曲變形、影像接邊情形是否連續無縫）等項目。正射影像地元尺寸 0.25 公尺。
- (二) 抽查數量：全面檢查。
- (三) 通過標準：每區缺點總數未超過 10 處，則該區視為合格；抽查區域數 90% 以上合格，則檢查通過。

另因本案 UAS 正射影像成果精度應達臺灣通用電子地圖相關測製規範要求，本團隊於精度檢核作業，將參考臺灣通用電子地圖圖資精度檢核及品質管控流程規劃進行。

#### 一、 航空攝影影像品質管控及檢核

- (一) 檢查項目：航線、航攝像片重疊率及影像品質。
- (二) 航線規劃：檢查航線規劃是否涵蓋測區，每幅圖兩個像對，各航線兩端應多加拍攝兩像對。
- (三) 航拍檢查：檢查航偏角、航傾角及重疊率。
- (四) 航拍檢查標準：
  1. 航線方向以南北、東西或平行預定路線為原則。
  2. 垂直連續攝影，檢查 POS 所記錄之角度資料，攝影軸傾斜應小於 8 度，各航線兩端應多攝兩個像對。
  3. 是否重疊度不佳以致像對不能涵蓋全測區或影響製圖精度。
  4. 攝影天氣：攝影天氣晴朗無雲，能見度良好，太陽高度大於三十度以上，以減少陰影。
  5. 影像有雲，影像模糊，陰影過長，或不能完全消除視差，導致無法用於量測及製圖。

#### 二、 空中三角測量及平差計算品質管控及檢核

空中三角測量作業之品質檢查，量測像片坐標時需對影像品質有檢核紀錄，空中作業完成後抽樣 1% 影像上機檢核紀錄之確實性。100% 檢查空中三角測量平差報表及生產單位對節點分布及連結況所做的分析報告。空中三角測量作業若檢查不通過不得進入下一階段之立體量測工作。

各項檢查要求：

- (一) 空中三角像片連結點應分布於每一像片 9 個標準點位上。每一個位置 2 個，空中三角平差偵錯後，每一標準點位至少留存 1 點。
- (二) 像片連結點之轉點：每一基線距離內至少有一種以上的點連結臨航帶。
- (三) 空中三角平差採用光束法計算，平差後所得之標準中誤差，最小約制平差後所得的觀測值中誤差不得超過  $10\mu\text{m}$ 。
- (四) 強制附合至地面控制點後中誤差之增加量應不超過上值之  $13\mu\text{m}$ ，否則應重新檢核地面控制點之正確性。
- (五) 連結點可靠度檢核，先將連結點重點數低的點刪除，再利用自行開發之網形檢核程式，檢查每張像片間的連結點數以及連結情況，不足處可手動加點，以達到可靠度規範要求，像片網形與統計資料如圖 2-31 所示。

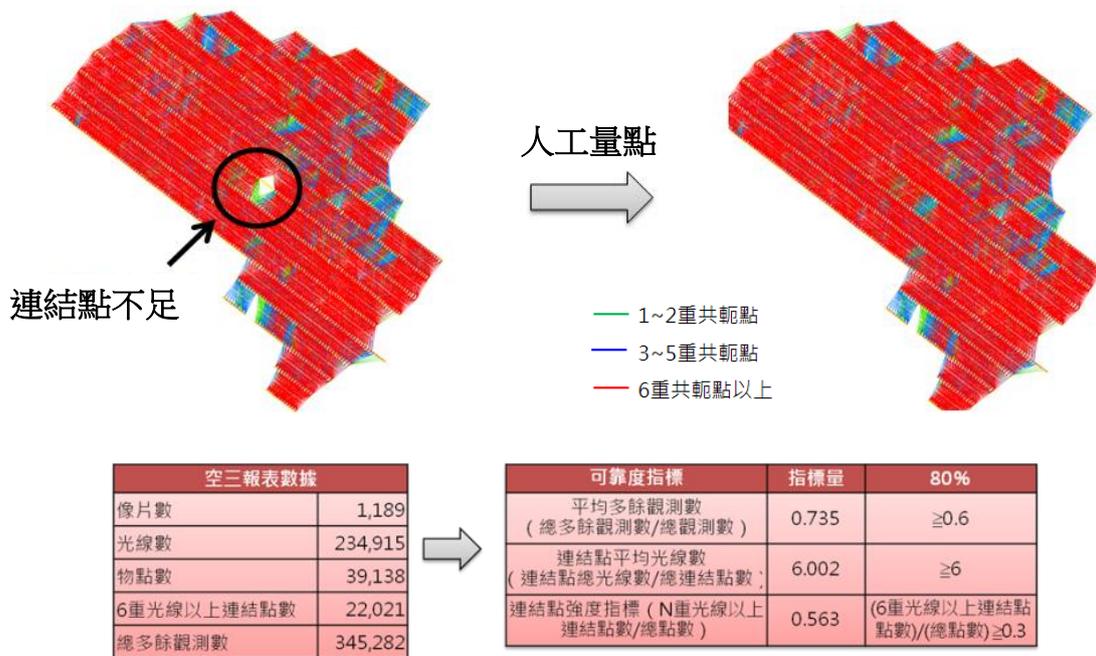


圖 2-31 空三網形與統計圖

### 三、彩色無縫鑲嵌正射影像製作品質控管及檢核

以測區需求範圍進行單區正射影像製作，範圍依據 DEM 範圍，且向四周擴大 50 公尺之重疊範圍，並進行無縫式鑲嵌製作，最後接合成一整張影像。

#### (一) 彩色無縫式鑲嵌品質控管

彩色無縫式鑲嵌品質控管分兩部分：

1. 單幅正射影像鑲嵌產生之品質控管：單一區域之正射影像由多張影像鑲嵌而成。
2. 影像成果之品質檢查包含：
  - (1) 檢查影像地物是否扭曲變形、或影像中有雲或陰影、影像對比及色彩飽和度。
  - (2) 彩色無縫鑲嵌正射影像地面解析度 0.25 公尺。
  - (3) 檢核正射用之 DEM 重疊區高程一致性。
  - (4) 正射影像資料檔以 TIFF 格式儲存，以每個區域一個檔案為原則。

## (二) 正射影像製作精度要求

### 1. 幾何精度

位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應在 2.5 公尺以內，最大誤差應在 10 公尺以內。如成果應用於臺灣通用電子地圖局部區域正射影像更新，正射影像位於平坦地表面無高差移位的明顯地物點其位置中誤差應小於 1.25 公尺。位於山坡地的中誤差值則應考量用為基準的 DEM 誤差因素，其界限值應參考相關的 DEM 規範。因建物高差引起的影像移位不得大於圖面上 2mm。

### 2. 色調

整張正射影像的色調應均勻，其明亮度（Intensity, Brightness）的直方圖分布應在 5~250 之間，且直方圖的兩端不得有如圖 2-32 所示之突然停止的現象，亦不得有突然觸到兩端的現象。突然停止的現象可依最端點灰值的像元數  $N_e$  與其內側鄰近三個灰值平均像元數  $N_i$  之比值來判斷， $N_e$  必須小於  $N_i$ 。不同張航拍影像的接邊處色調需一致，不得有肉眼能見到的邊緣。

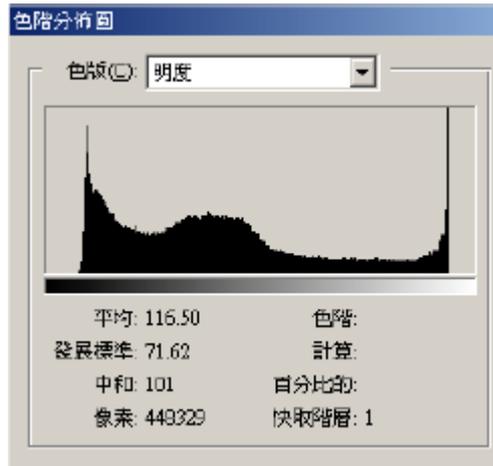


圖 2-32 直方圖兩端突然停止示意圖

### 3. 色彩平衡

所謂色彩平衡就是不同張的正射影像上所顯示地物的色彩應於一致。但由於同一地物彩色在不同正射影像上看起來色彩都不一樣，因此色彩平衡要做到整區影像地物顏色連續且均勻自然。本公司設計一「正射影像自我檢核表」(表 2-13) 檢核正射影像的色調、接縫、道路水系的修正。

表 2-13 正射影像自我檢核表

正射影像檢查表									
計畫名稱：					檢查日期：				
檢查範圍：					檢查人員：				
成果區域	地形地貌 扭曲錯開 修正	接邊 修正	橋墩平 直無扭 曲修正	影像對 比色調 修正	影像有 雲修正	影像套 道路水 系修正	影像編 修人員	QC 人員	備註

## 第參章 無人飛行載具系統航拍及影像處理作業

### 第一節 航拍及影像處理作業

105 年度 UAS 航拍任務之執行，主要為配合國土測繪中心指定 10 區需求區域以 UAS 進行航拍及影像處理，平均每區航拍面積以 5 平方公里為原則（總航拍面積應達 50 平方公里以上）。10 區需求區域包含 1 區緊急災害應變航拍作業與 9 區一般航拍作業，10 區航拍區依影像處理作業內容執行正射影像測製作業。

105 年度除國土測繪中心所選定之 10 區拍攝需求區域外，另有 15 處航拍區配合桃園市環保局、陽明山國家公園管理處、臺中市政府需求增購，協助拍攝並製作正射影像成果。相關成果完成後，由國土測繪中心函送予相關單位。

航拍作業區域彙整表如表 3-1，各航拍作業區位置分布如圖 3-1，作業成果彙整如表 3-2。各航拍區任務執行規劃與影像處理作業細節，詳述於本章各小節。

表 3-1 105 年度航拍作業區域彙整表

編號	航拍區域	用途	面積 (km <sup>2</sup> )	製作成果	使用機型	航拍日期	成果繳交	備註
1.	雲林縣古坑鄉(樟湖及嵌頭厝)	國土監測	0.1	正射影像	旋翼型	4/23	7/25	
	雲林縣古坑鄉(樟湖及嵌頭厝)	國土監測		正射影像	旋翼型	4/23	7/25	
2.	臺中豐原火車站	圖資更新	1	正射影像	旋翼型	9/2	9/21	
	臺中潭子火車站	圖資更新		正射影像	旋翼型	9/2	9/21	
	臺中太原火車站	圖資更新		正射影像	旋翼型	9/2	9/21	
	臺中大慶火車站	圖資更新		正射影像	旋翼型	9/2	9/21	
	臺中市太平區(坪林森林公園)	圖資更新	0.2	正射影像	旋翼型	5/6	5/26	
3.	彰化縣田中鎮(高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)	圖資更新	12.0	正射影像	定翼型(測繪一號)	7/21	8/31	
4.	雲林縣古坑鄉(國 3 古坑交流道)	圖資更新	23.5	正射影像	定翼型(測繪一號)	7/21	8/31	
5.	南投縣竹山鎮(國 3 南雲交流道)	圖資更新	5.6	正射影像	定翼型(測繪一號)	7/21	8/31	
6.	南投縣草屯鎮(投 17 線拓寬工程)	圖資更新	5.4	正射影像	定翼型(測繪一號)	7/21	7/25	
7.	花蓮縣花蓮市(16 股大道)	圖資更新	1	正射影像	旋翼型	6/3	6/22	

8.	新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）	圖資更新	1	正射影像	旋翼型	7/08	7/25	
9.	弘富重劃區	圖資更新	1	正射影像	旋翼型	10/18	10/28	
10.	國 6 舊正交流道	圖資更新	1.2	正射影像	旋翼型	10/18	10/28	
11.	桃園市（新屋區）	圖資更新	0.3	正射影像	旋翼型	7/12	8/10	協助桃園市環保局航拍，共 4 區
	桃園市（平鎮區）	圖資更新		正射影像	旋翼型	7/12	8/10	
	桃園市（觀音區）	圖資更新		正射影像	旋翼型	7/12	8/10	
	桃園市（蘆竹區）	圖資更新		正射影像	旋翼型	7/12	8/10	
12.	臺北市士林區（大油坑）	圖資更新	2.4	正射影像	旋翼型	6/30	7/28	協助陽明山國家公園管理處航拍，共 3 區
	臺北市士林區（馬槽）	圖資更新		正射影像	旋翼型	6/30	7/28	
	臺北市士林區（夢幻湖）	圖資更新		正射影像	旋翼型	6/30	7/28	
13.	臺中市政府（臺中火車站及糖廠）	圖資更新	7.85	正射影像	旋翼型	9/2	10/5	協助臺中市政府航拍，共 6 區
	臺中市政府（振興路以南）	圖資更新		正射影像	旋翼型	9/10	10/7	
	臺中市政府（廊子地區）	圖資更新		正射影像	旋翼型	9/7	11/16	
	臺中市政府（太平新光地區）	圖資更新		正射影像	旋翼型	9/9	11/16	
	臺中市政府（水湳機場原址）	圖資更新		正射影像	旋翼型	9/13	11/16	

	臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）	圖資更新		正射影像	旋翼型	9/10	11/16	
14.	公辦市地重劃（第 13 期重劃區）	圖資更新	7	正射影像	旋翼型	10/20	12/7	協助臺中市政府 航拍，共 2 區
	公辦市地重劃（第 14 期重劃區）	圖資更新		正射影像	旋翼型	10/24	12/7	
	合計		69.55					

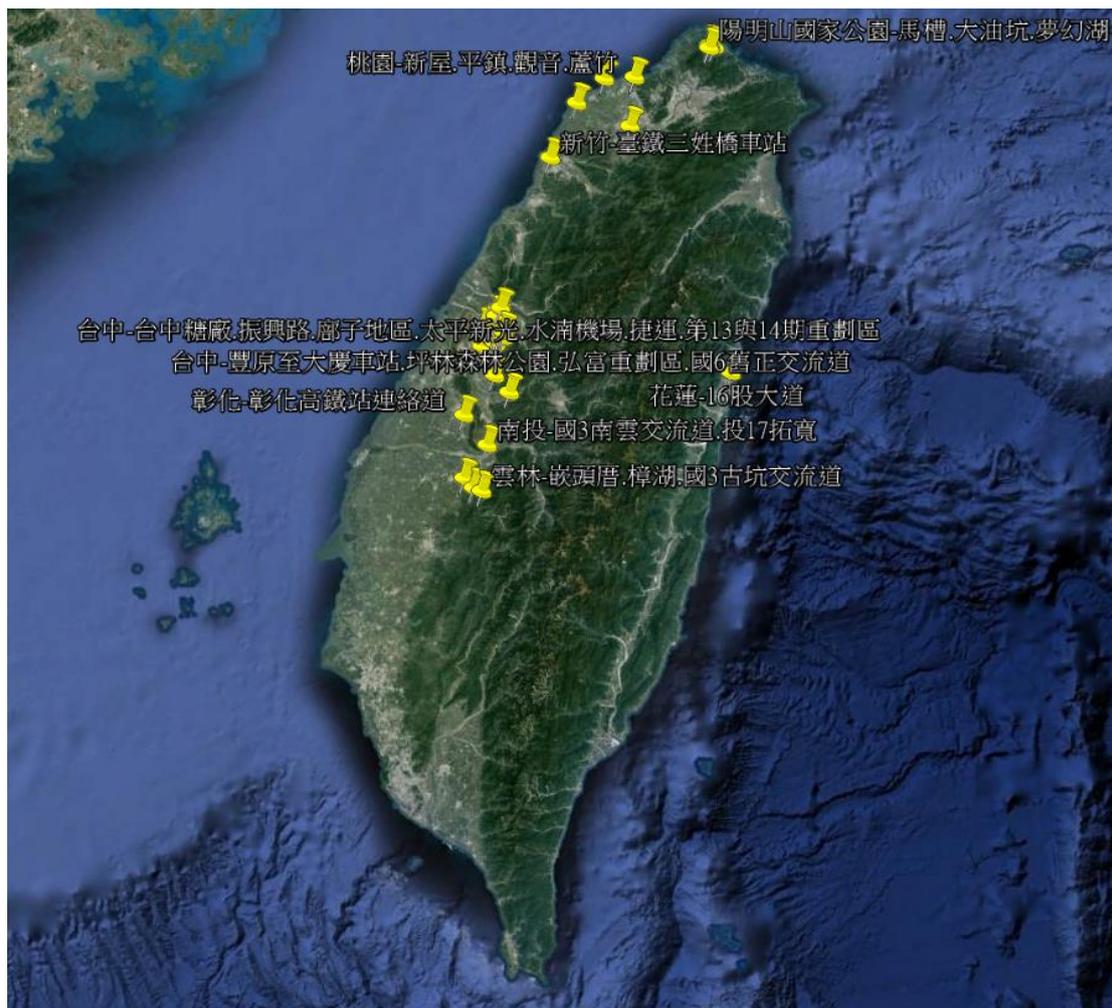


圖 3-1 105 年度航拍任務區域分布

表 3-2 105 年度航拍作業成果一覽表

編號	航拍區域	重疊率	相機/鏡頭焦距	航高 (公尺)/ GSD (公分)	使用相片張數	連結強度	自由網平差 (μm) / 強制附合平差 (μm)
1.	雲林縣古坑鄉 (樟湖)	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	60	0.781	6.0/6.8
	雲林縣古坑鄉 (嵌頭厝)	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	23	0.791	5.8/6.8
2.	臺中豐原火車站	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	91	0.915	3.6/3.5
	臺中潭子火車站	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	78	0.915	2.9/2.9
	臺中太原火車站	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	68	0.654	3.2/3.1
	臺中大慶火車站	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	46	0.948	3.0/2.9
	臺中市太平區 (坪林森林公園)	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	150/4	75	0.764	4.2/5.7
3.	彰化縣田中鎮 (高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)	前後 80% 側向 40%	Canon 5D Mark II/ 20mm	660/20	452	0.933	3.6/3.5
4.	雲林縣古坑鄉 (國 3 古坑交流道)	前後 80% 側向 40%	Canon 5D Mark II/ 20mm	660/20	266	0.839	4.1/3.9
5.	南投縣竹山鎮 (國 3 南雲交流道)	前後 80% 側向 40%	Canon 5D Mark II/ 20mm	660/20	228	0.474	4.2/4.0
6.	南投縣草屯鎮 (投 17 線拓寬工程)	前後 80% 側向 40%	Canon 5D Mark II/ 20mm	660/20	210	0.827	4.9/5.4

7.	花蓮縣花蓮市（16股大道）	前後 80% 側向 40%	Sony α7R/21mm	200/5	221	0.849	3.2/3.9
8.	新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）	前後 80% 側向 40%	Sony α7R/21mm	170/4	135	0.916	2.9/3.1
9.	弘富重劃區	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	220/6	179	0.880	2.7/2.7
10.	國 6 舊正交流道	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	220/6	227	0.964	2.8/2.9
11.	桃園市（新屋區）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	150/4	53	0.840	1.9/1.8
	桃園市（平鎮區）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	150/4	51	0.696	2.7/2.7
	桃園市（觀音區）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	271	0.896	3.6/3.5
	桃園市（蘆竹區）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	150/4	89	0.822	2.0/1.9
12.	臺北市士林區（大油坑）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	115	0.880	3.9/7.3
	臺北市士林區（馬槽）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	185	0.602	4.4/4.7
	臺北市士林區（夢幻湖）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	115	0.709	2.9/4.2
13.	臺中市政府（臺中火車站及糖廠）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	250/7	384	0.887	3.1/3.2
	臺中市政府（振興路以南）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	81	0.896	3.5/3.5
	臺中市政府（廍子地區）	前後 80% 側向 40%	Sony α7/21mm	200/6	541	0.811	3.5/3.5

	臺中市政府（太平新光地區）	前後 80% 側向 40%	Sony $\alpha$ 7/21mm	200/6	669	0.793	2.3/2.6
	臺中市政府（水湳機場原址）	前後 80% 側向 40%	Sony $\alpha$ 7/21mm	200/6	1,449	0.923	3.1/3.1
	臺中市政府（運文心北屯線機廠及車站）	前後 80% 側向 40%	Sony $\alpha$ 7/21mm	200/6	544	0.900	4.0/3.9
14.	公辦市地重劃（第 13 期重劃區）	前後 80% 側向 40%	Sony $\alpha$ 7R/21mm	200/6	1695	0.866	3.9/3.9
	公辦市地重劃（第 14 期重劃區）	前後 80% 側向 40%	Sony $\alpha$ 7/21mm	200/6	2283	0.853	2.7/3.2

## 一、雲林縣古坑鄉（樟湖及嵌頭厝）

本區域為財政部國有財產署委託國土測繪中心監測山坡地濫墾情形之緊急協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### ■ 雲林縣古坑鄉（樟湖）

#### （一） 航拍任務執行

雲林縣古坑鄉（樟湖）航拍區範圍約 7.5 公頃，地表高程約 750 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。雲林縣古坑鄉（樟湖）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-2 所示，航拍區任務執行概況如表 3-3 所示。



圖 3-2 雲林縣古坑鄉（樟湖）飛行航線規劃

表 3-3 雲林縣古坑鄉（樟湖）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	雲林縣古坑鄉（樟湖）
二、航拍日期	105/4/23
三、航線航程	總航程約 3.3 公里
四、天氣狀況	晴時多雲(氣溫 32°C, 降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 4 月 23 日 1050 時於雲林古坑樟湖國小旁馬路待命起飛（圖 3-3），於 1100 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 2 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1130 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 188 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-4。



圖 3-3 雲林縣古坑鄉（樟湖）起降場地作業情形



圖 3-4 雲林縣古坑鄉（樟湖）航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-5 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-6 所示，成果精度如表 3-4 所示。

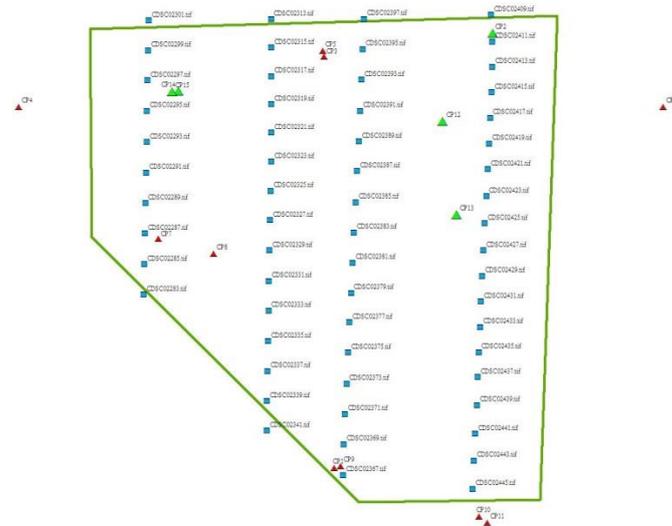


圖 3-5 雲林縣古坑鄉（樟湖）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

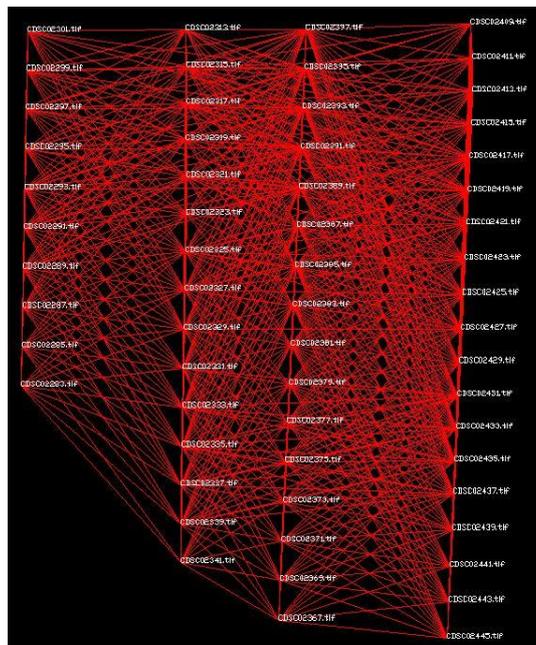


圖 3-6 雲林縣古坑鄉（樟湖）空三網型圖

表 3-4 雲林縣古坑鄉（樟湖）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
雲林縣古坑鄉 （樟湖）	連結強度	0.827	$\geq 0.3$
	自由網平差	6.0 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	6.8 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-7）。



圖 3-7 雲林縣古坑鄉（樟湖）正射鑲嵌影像成果

## ■ 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）

### （一） 航拍任務執行

雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）航拍區範圍約 2.5 公頃，地表高程約 350 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為 6.00 $\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-8 所示，航拍區任務執行概況如表 3-5 所示。



圖 3-8 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）飛行航線規劃

表 3-5 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）
二、航拍日期	105/4/23
三、航線航程	總航程約 1.2 公里
四、天氣狀況	晴時多雲(氣溫 32°C, 降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 4 月 23 日 1000 時於雲林古坑桂林國小旁馬路待命起飛（圖 3-9），於 1020 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 1 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1030 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 2 條航帶，拍攝影像數量合計 47 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-10。



圖 3-9 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）起降場地作業情形



圖 3-10 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新

建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-11 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-12 所示，成果精度如表 3-6 所示。

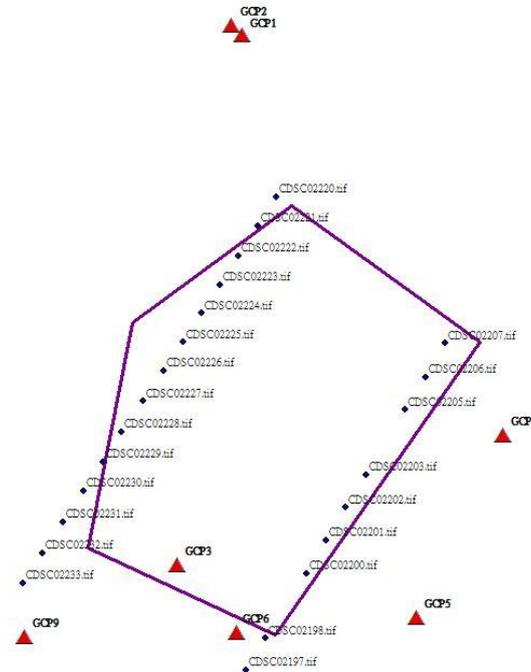


圖 3-11 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

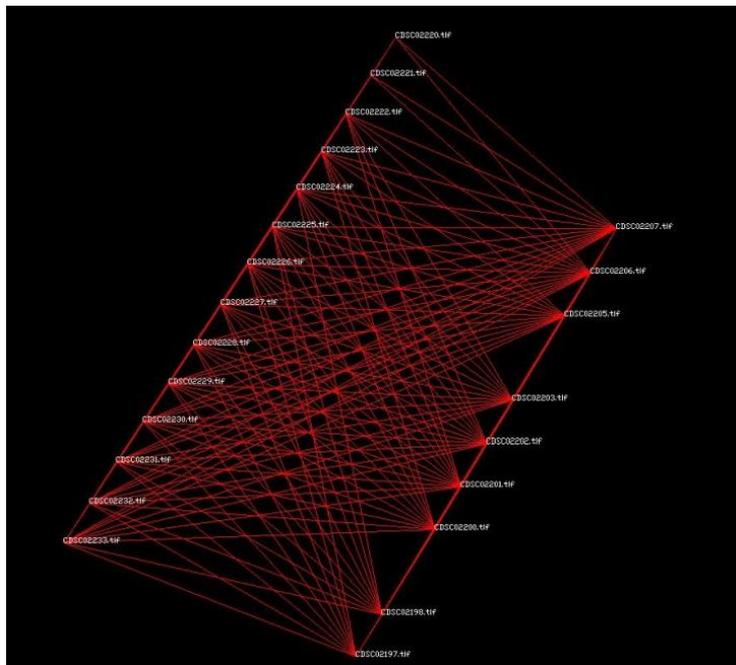


圖 3-12 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）空三網型圖

表 3-6 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
雲林縣古坑鄉 （嵌頭厝）	連結強度	0.791	$\geq 0.3$
	自由網平差	5.8 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	6.8 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-13）。

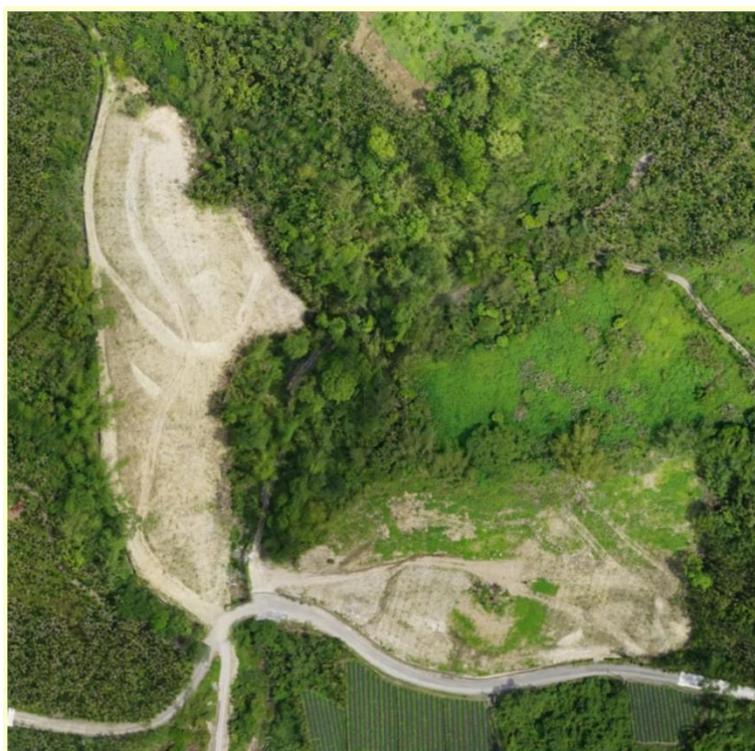


圖 3-13 雲林縣古坑鄉（嵌頭厝）正射鑲嵌影像成果

## 二、臺中豐原、潭子、太原、大慶火車站、臺中市太平區（坪林森林公園）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### ■ 臺中豐原、潭子、太原、大慶火車站

#### （一） 航拍任務執行

臺中豐原火車站航拍區範圍約 16 公頃，地表高程約 222 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。豐原火車站拍攝範圍及航線規劃如圖 3-14 所示，航拍區任務執行概況如表 3-7 所示。

臺中潭子火車站航拍區範圍約 16 公頃，地表高程約 170~180 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。潭子火車站拍攝範圍及航線規劃如圖 3-15 所示，航拍區任務執行概況如表 3-8 所示。

臺中太原火車站航拍區範圍約 9 公頃，地表高程約 110~125 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。太原火車站拍攝範圍及航線規劃如圖 3-16 所示，航拍區任務執行概況如表 3-9 所示。

臺中大慶火車站航拍區範圍約 8 公頃，地表高程約 45~55 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。大慶火車站拍攝範圍及航線規劃如圖 3-17 所示，航拍區任務執行概況如表 3-10 所示。



圖 3-14 豐原火車站飛行航線規劃

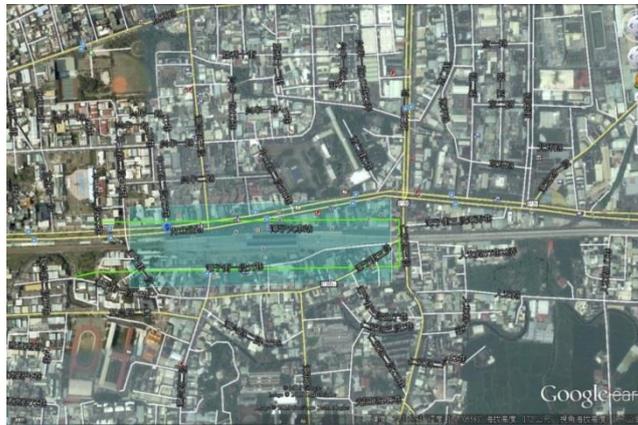


圖 3-15 潭子火車站飛行航線規劃



圖 3-16 太原火車站飛行航線規劃



圖 3-17 大慶火車站飛行航線規劃

表 3-7 豐原火車站任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	豐原火車站
二、航拍日期	105/9/1
三、航線航程	總航程約 2 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨（氣溫 29°C，降雨機率 70%）
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/500 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

表 3-8 潭子火車站任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	潭子火車站
二、航拍日期	105/9/1
三、航線航程	總航程約 2 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨（氣溫 29°C，降雨機率 70%）
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/500 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

表 3-9 太原火車站任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	太原火車站
二、航拍日期	105/9/1
三、航線航程	總航程約 1.6 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨（氣溫 29°C，降雨機率 70%）
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/500 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

表 3-10 大慶火車站任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	大慶火車站
二、航拍日期	105/9/1
三、航線航程	總航程約 1.1 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨（氣溫 29°C，降雨機率 70%）
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/500 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 9 月 2 日 0950 時於大慶火車站旁馬路待命起飛（圖 3-18 至圖 3-21），於 1100 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 8 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1500 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區豐原、潭子、太原、大慶火車站各拍攝 2、2、2、2 條航帶，拍攝影像數量各計 108、93、77、61 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-22 至圖 3-25。



圖 3-18 豐原火車站起降場地作業情況



圖 3-19 潭子火車站起降場地作業情況



圖 3-20 太原火車站起降場地作業情況



圖 3-21 大慶火車站起降場地作業情況

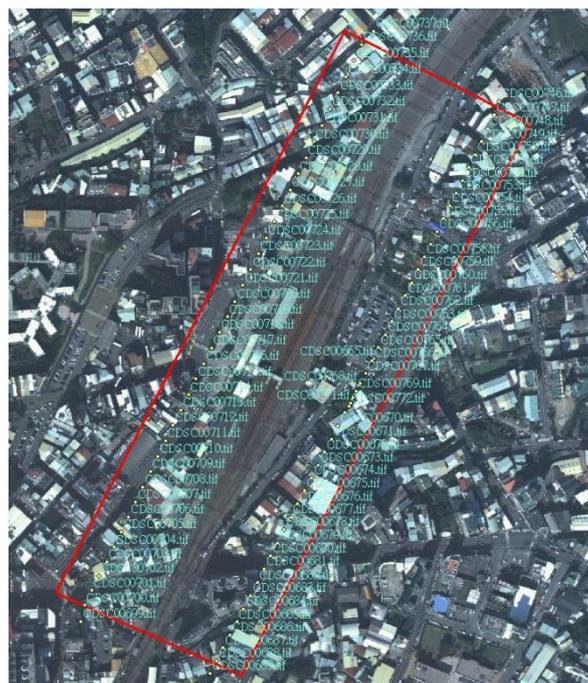


圖 3-22 豐原火車站航拍影像中心點分布圖

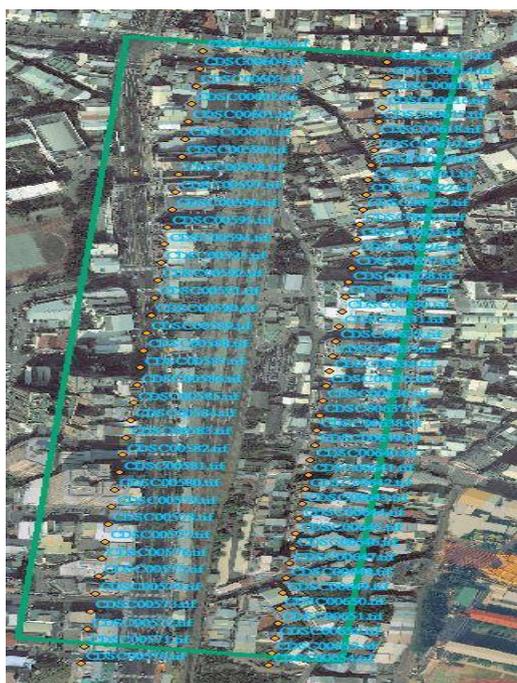


圖 3-23 潭子火車站航拍影像中心點分布圖

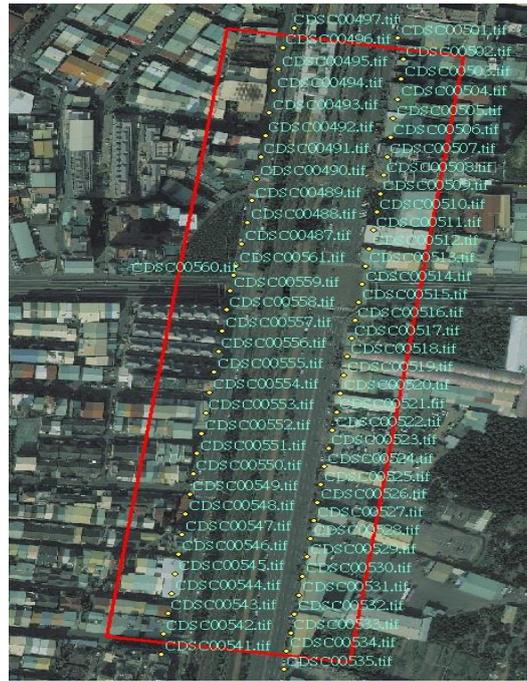


圖 3-24 太原火車站航拍影像中心點分布圖



圖 3-25 大慶火車站航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新

建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-26 至圖 3-29 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-30 至圖 3-33 所示，成果精度如表 3-11 至表 3-14 所示。

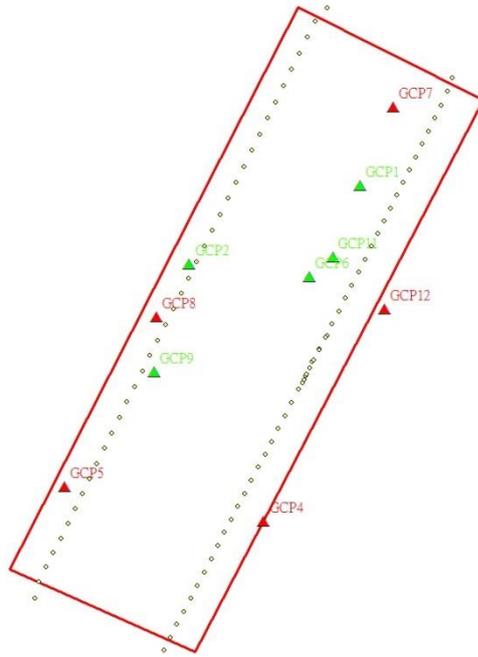


圖 3-26 豐原火車站控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

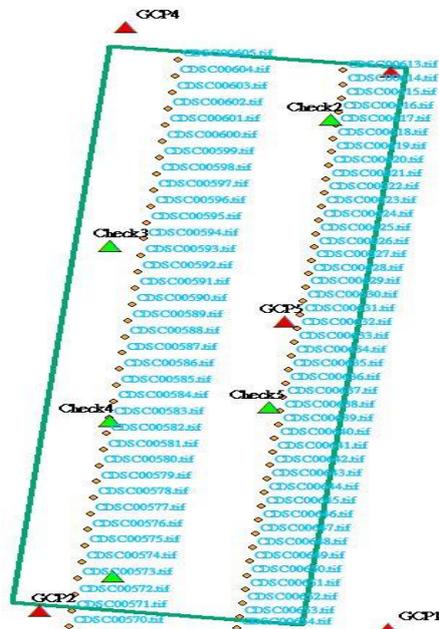


圖 3-27 潭子火車站控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

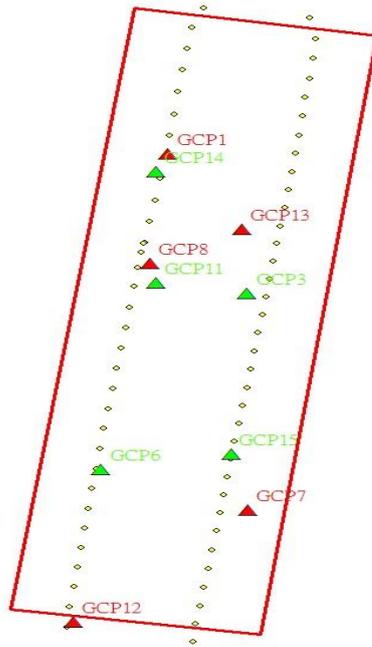


圖 3-28 太原火車站控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

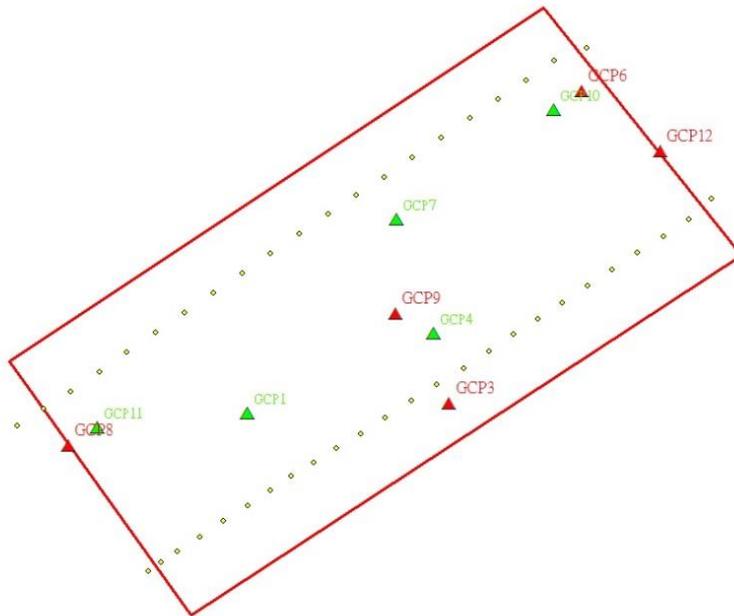


圖 3-29 大慶火車站控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

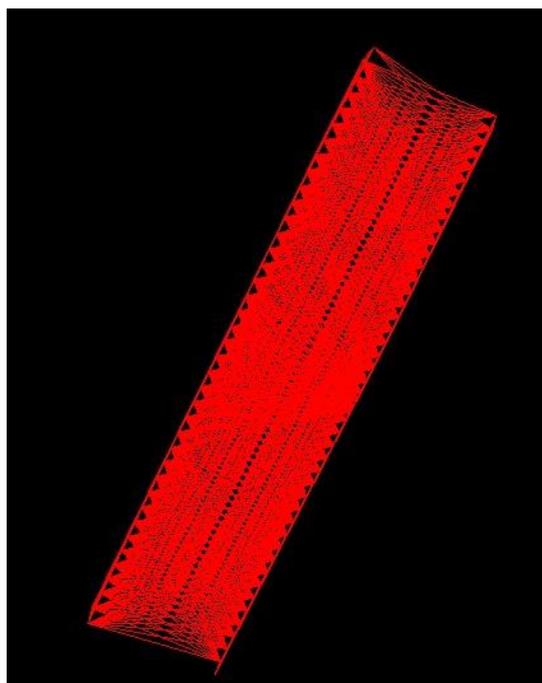


圖 3-30 豐原火車站空三網型圖

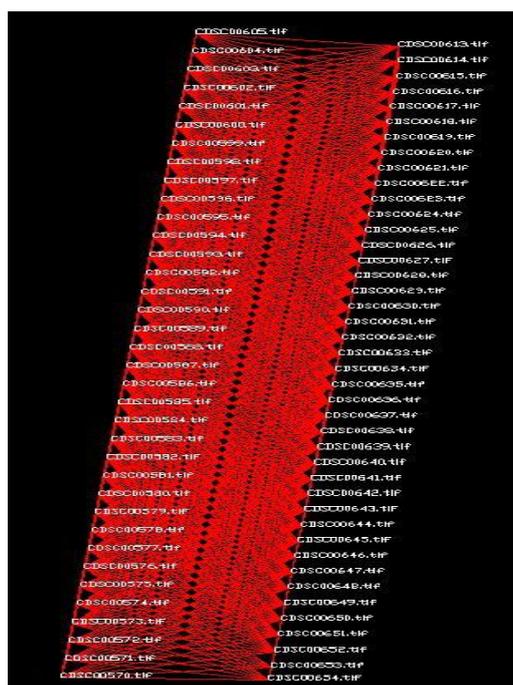


圖 3-31 潭子火車站空三網型圖

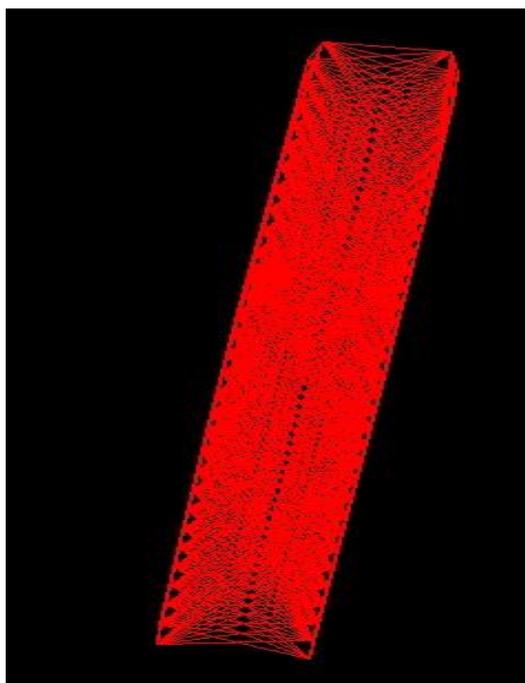


圖 3-32 太原火車站空三網型圖

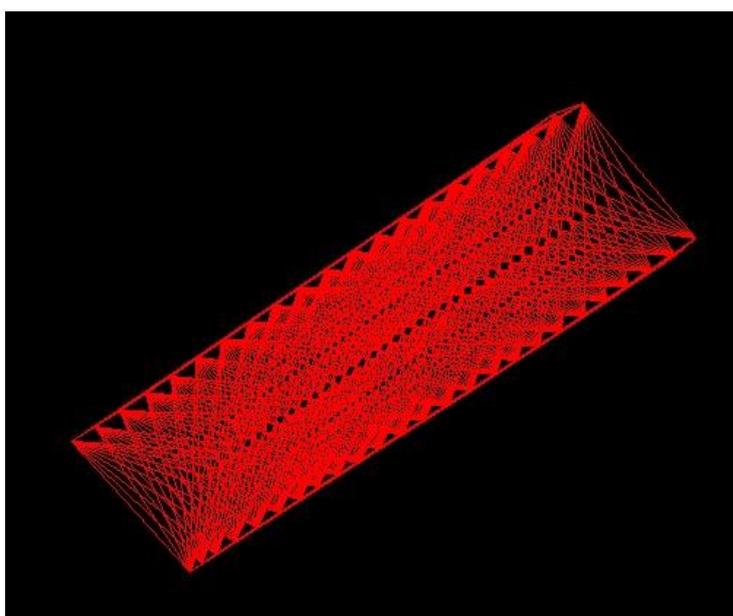


圖 3-33 大慶火車站空三網型圖

表 3-11 豐原火車站空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
豐原火車站	連結強度	0.915	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.6 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.5 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

表 3-12 潭子火車站空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
潭子火車站	連結強度	0.915	$\geq 0.3$
	自由網平差	2.9 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	2.9 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

表 3-13 太原火車站空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
太原火車站	連結強度	0.654	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.2 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.1 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

表 3-14 大慶火車站空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
大慶火車站	連結強度	0.948	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.0 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	2.9 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-34 至圖 3-37）。



圖 3-34 豐原火車站正射鑲嵌影像成果



圖 3-35 潭子火車站正射鑲嵌影像成果



圖 3-36 太原火車站正射鑲嵌影像成果



圖 3-37 大慶火車站正射鑲嵌影像成果

## ■ 臺中市太平區（坪林森林公園）

### （一） 航拍任務執行

臺中市太平區（坪林森林公園）航拍區範圍約 20 公頃，地表高程約 120 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 150 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺中市太平區（坪林森林公園）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-38 所示，航拍區任務執行概況如表 3-15 所示。



圖 3-38 臺中市太平區（坪林森林公園）飛行航線規劃

表 3-15 臺中市太平區（坪林森林公園）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺中市太平區（坪林森林公園）
二、航拍日期	105/5/6
三、航線航程	總航程約 3.5 公里
四、天氣狀況	晴時多雲( 氣溫 $32^{\circ}\text{C}$ ，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	150 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.04 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 5 月 6 日 1100 時於臺中市太平區坪林森林公園內旁馬路待命起飛(如圖 3-39)，於 1100 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 2 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1210 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 189 張，地面解析度(GSD)約 4 公分，影像中心點分布如圖 3-40。



圖 3-39 臺中市太平區(坪林森林公園)起降場地作業情形



圖 3-40 臺中市太平區(坪林森林公園)航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-41 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-42 所示，成果精度如表 3-16 所示。

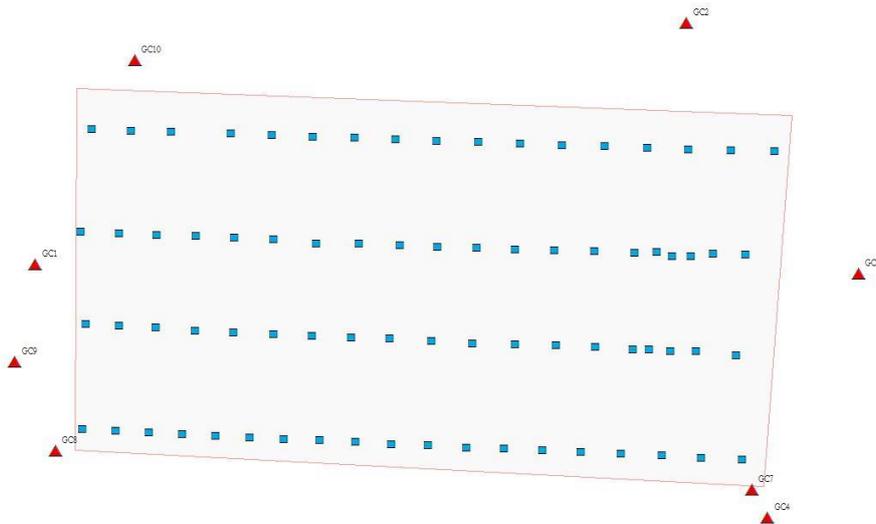


圖 3-41 臺中市太平區（坪林森林公園）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

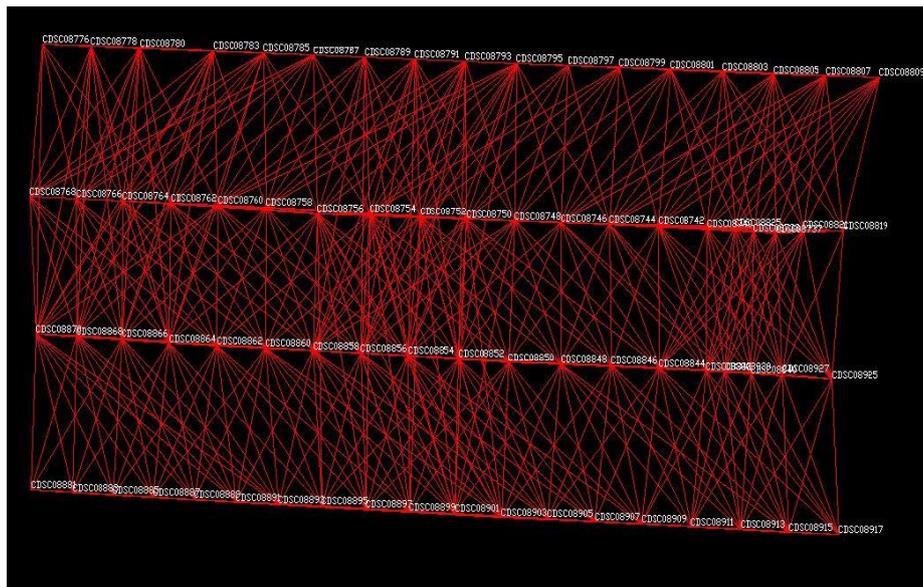


圖 3-42 臺中市太平區（坪林森林公園）空三網型圖

表 3-16 臺中市太平區（坪林森林公園）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺中市太平區 （坪林森林公 園）	連結強度	0.764	$\geq 0.3$
	自由網平差	4.2 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	5.7 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-43）。

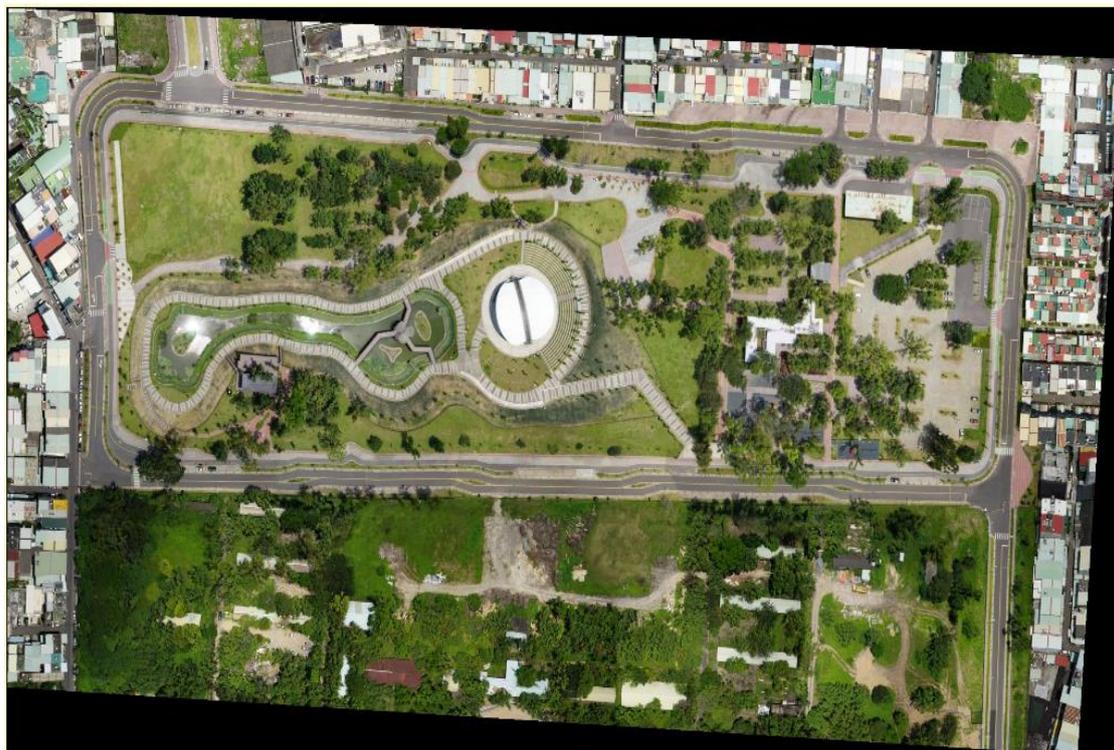


圖 3-43 臺中市太平區（坪林森林公園）正射鑲嵌影像成果

### 三、彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

#### （一） 航拍任務執行

彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）航拍區範圍約 1200 公頃，地表高程約 30~50 公尺。航拍任務規劃使用定翼型 UAS 搭載 Canon 5D Mark II 數位相機（像元大小為 6.40 $\mu$ m）搭配 20mm 焦距鏡頭，航高為 660 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-44 所示，航拍區任務執行概況如表 3-17 所示。

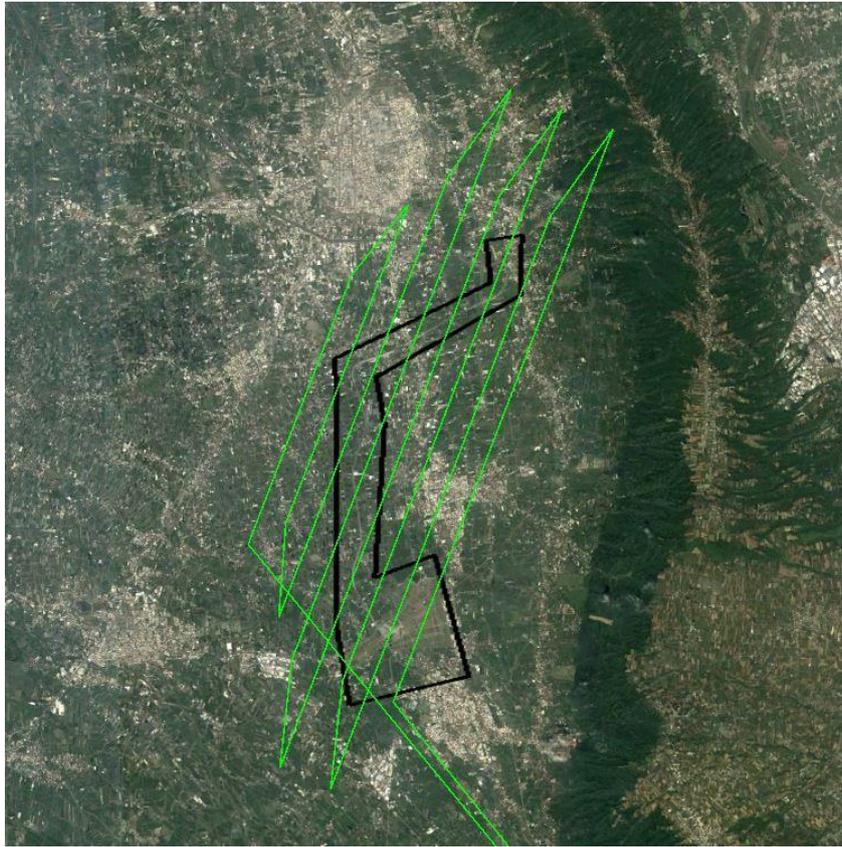


圖 3-44 彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）飛行航線規劃

表 3-17 彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）
二、航拍日期	105/7/21
三、航線航程	總航程約 80 公里
四、天氣狀況	晴時多雲（氣溫 30°C，降雨機率 10%）
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	660 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.20 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS（國土測繪一號）

任務作業於 105 年 7 月 21 日 1230 時於雲林縣新虎尾溪堤防旁馬路待命起飛（如圖 3-45），於 1300 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，定翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 1 架次，1500 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 8 條航帶，拍攝影像數量合計 1,150 張，地面解析度（GSD）約 20 公分，影像中心點分布如圖 3-46。



圖 3-45 彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）起降場地作業情形



圖 3-46 彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-47 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-48 所示，成果精度如表 3-18 所示。

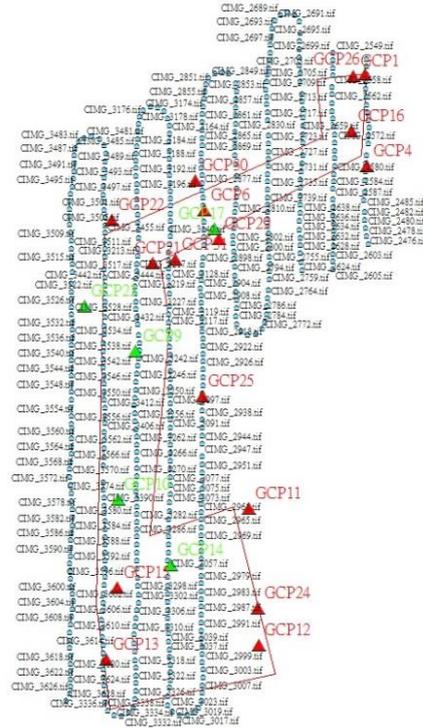


圖 3-47 彰化縣田中鎮(高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

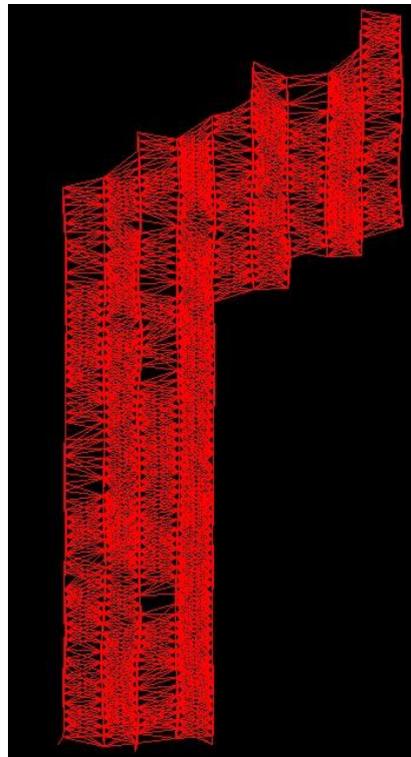


圖 3-48 彰化縣田中鎮(高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道)空三網型圖

表 3-18 彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
彰化縣田中鎮 （高鐵彰化站大 社路與台 76 聯絡 道）	連結強度	0.933	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.6 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.5 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-49）。



圖 3-49 彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）正射鑲嵌影像成果

#### 四、 雲林縣古坑鄉（國3古坑交流道）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

##### （一） 航拍任務執行

雲林縣古坑鄉（國3古坑交流道）航拍區範圍約2,350公頃，地表高程約95~150公尺。航拍任務規劃使用定翼型UAS搭載Canon 5D Mark II數位相機（像元大小為6.40 $\mu$ m）搭配20mm焦距鏡頭，航高為660公尺，影像前後重疊率約80%、側向重疊率約50%。雲林縣古坑鄉（國3古坑交流道）拍攝範圍及航線規劃如圖3-50所示，航拍區任務執行概況如表3-19所示。

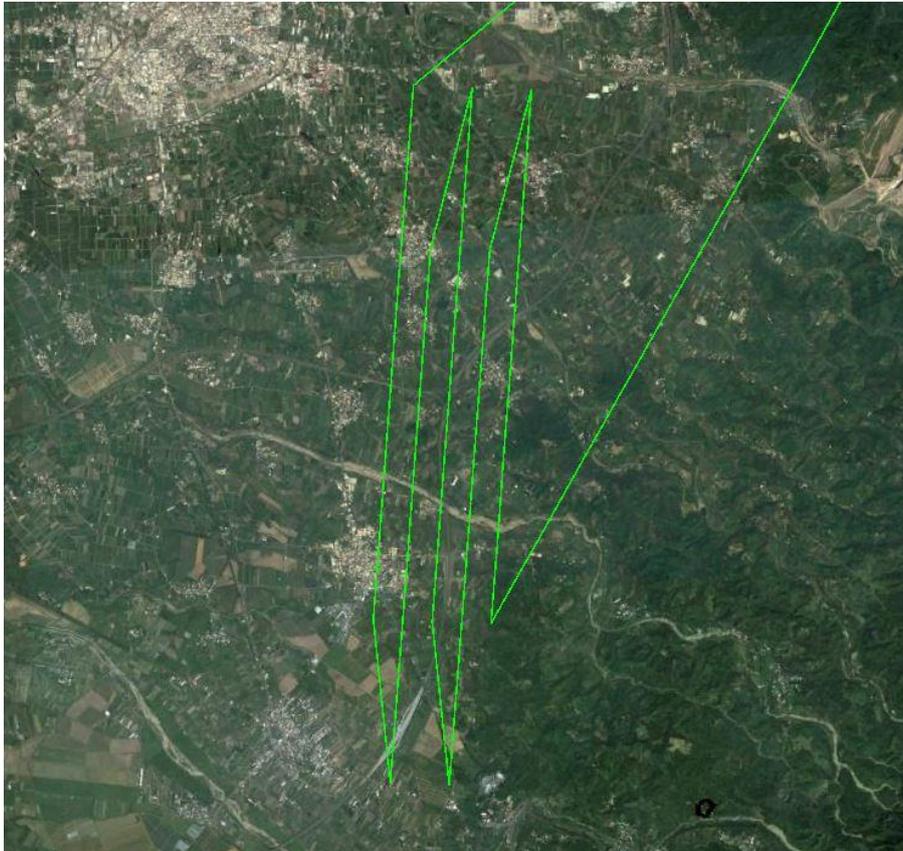


圖 3-50 雲林縣古坑鄉（國3古坑交流道）飛行航線規劃

表 3-19 雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）
二、航拍日期	105/7/21
三、航線航程	總航程約 50 公里
四、天氣狀況	晴時多雲（氣溫 30°C，降雨機率 10%）
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	660 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.20 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS（國土測繪一號）

任務作業於 105 年 7 月 21 日 1230 時於雲林縣新虎尾溪堤防旁馬路待命起飛（如圖 3-51），於 1300 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，定翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 1 架次，1500 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 5 條航帶，拍攝影像數量合計 620 張，地面解析度（GSD）約 20 公分，影像中心點分布如圖 3-52。



圖 3-51 雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）起降場地作業情形

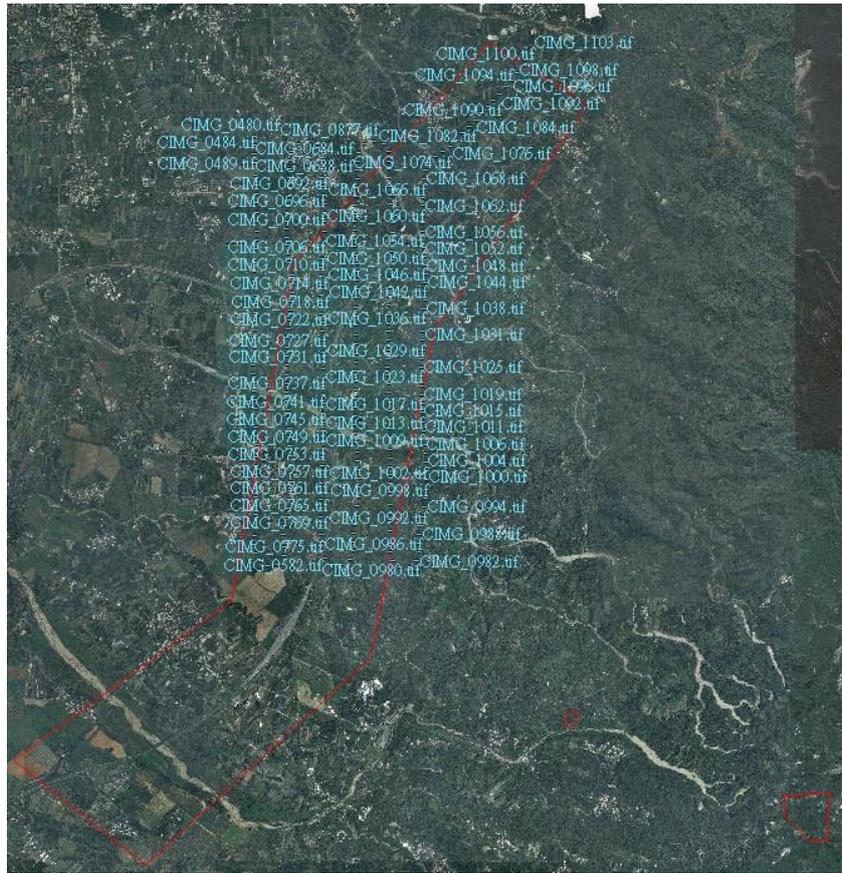


圖 3-52 雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-53 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-54 所示，成果精度如表 3-20 所示。

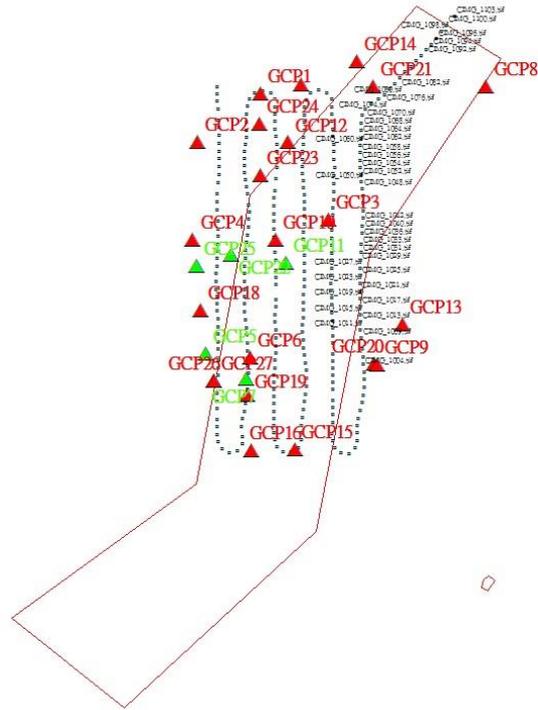


圖 3-53 雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

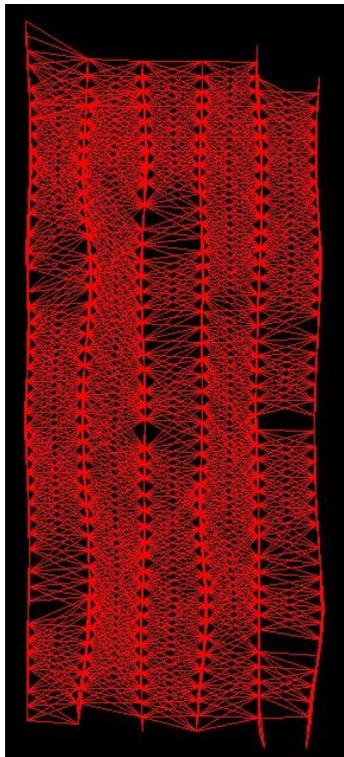


圖 3-54 雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）空三網型圖

表 3-20 雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
雲林縣古坑鄉 （國 3 古坑交流 道）	連結強度	0.839	$\geq 0.3$
	自由網平差	4.1 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.9 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-55）。



圖 3-55 雲林縣古坑鄉（國 3 古坑交流道）正射鑲嵌影像成果

## 五、 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### （一） 航拍任務執行

南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）航拍區範圍約 560 公頃，地表高程約 110~150 公尺。航拍任務規劃使用定翼型 UAS 搭載 Canon 5D Mark II 數位相機（像元大小為 6.40 $\mu$ m）搭配 20mm 焦距鏡頭，航高為 660 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-56 所示，航拍區任務執行概況如表 3-21 所示。

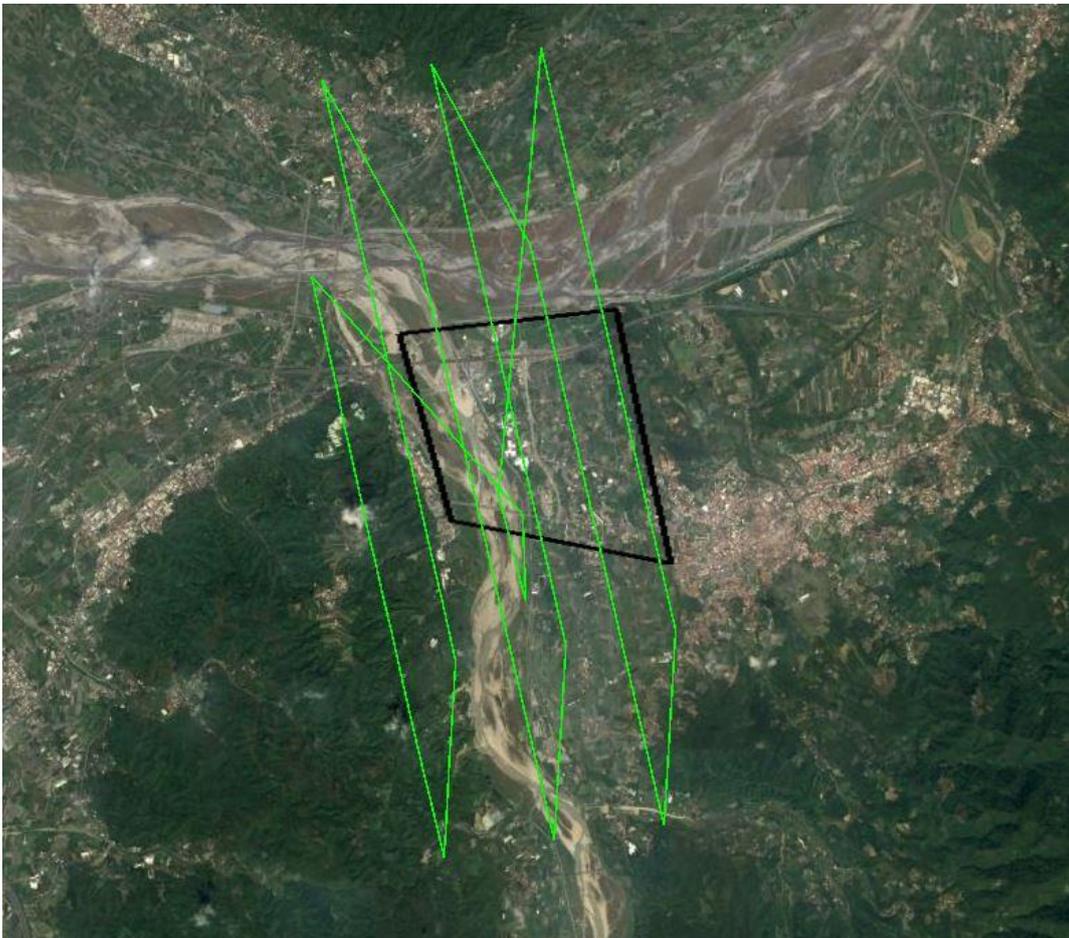


圖 3-56 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）飛行航線規劃

表 3-21 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）
二、航拍日期	105/7/21
三、航線航程	總航程約 30 公里
四、天氣狀況	晴時多雲（氣溫 30°C，降雨機率 10%）
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	660 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.20 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS（國土測繪一號）

任務作業於 105 年 7 月 21 日 1230 時於雲林縣新虎尾溪堤防旁馬路待命起飛（如圖 3-57），於 1300 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，定翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 1 架次，1500 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 6 條航帶，拍攝影像數量合計 575 張，地面解析度（GSD）約 20 公分，影像中心點分布如圖 3-58。



圖 3-57 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）起降場地作業情形

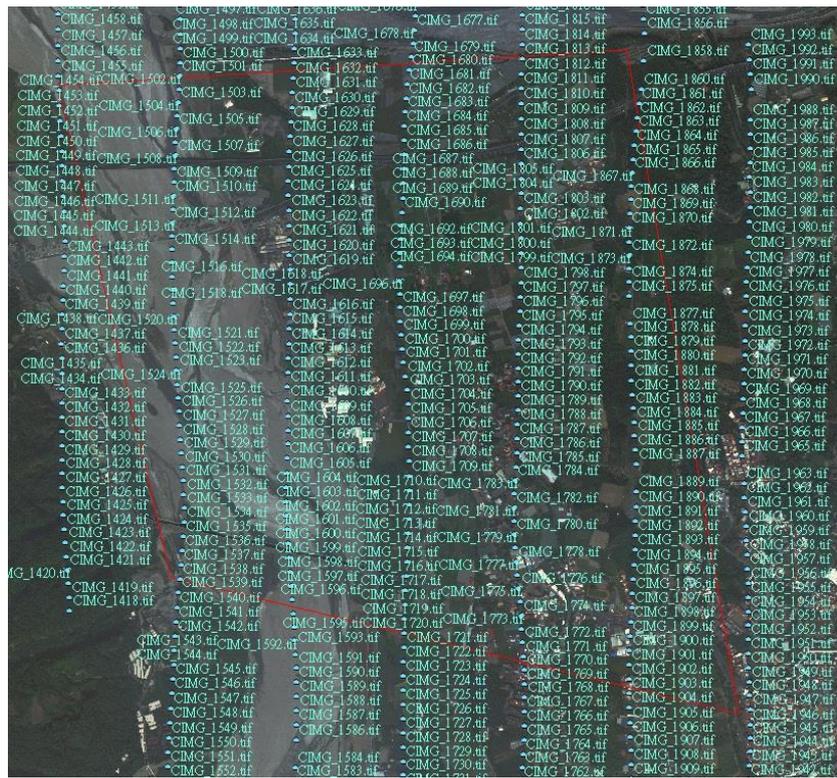


圖 3-58 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-59 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-60 所示，成果精度如表 3-22 所示。

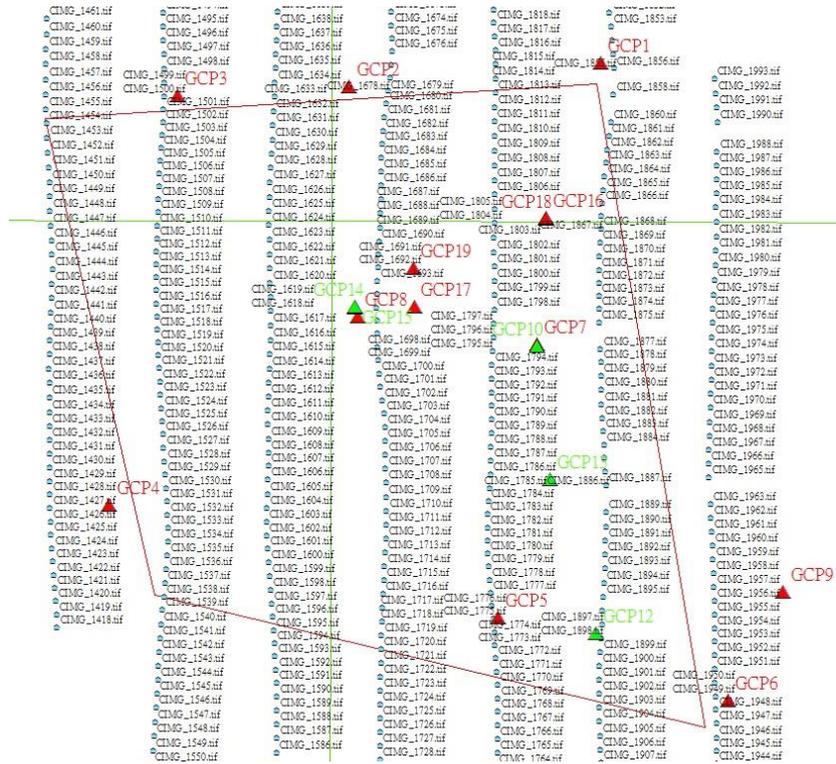


圖 3-59 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

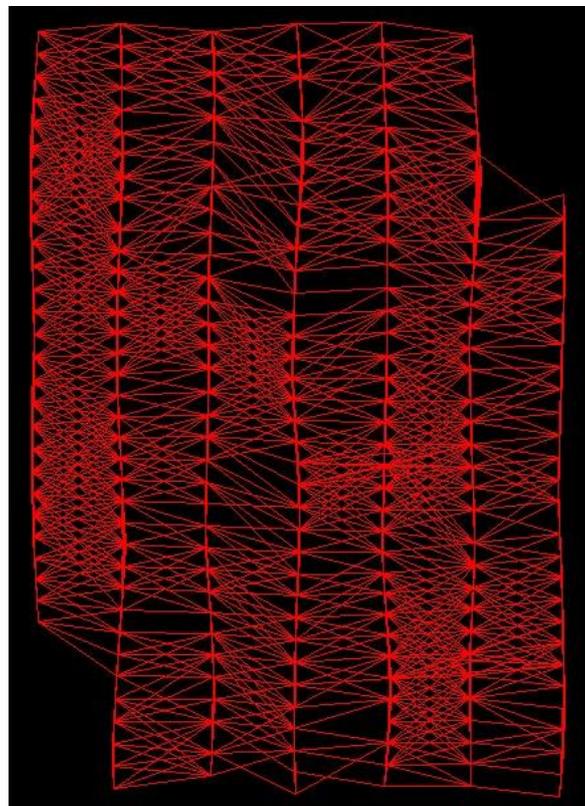


圖 3-60 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）空三網型圖

表 3-22 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
南投縣竹山鎮 （國 3 南雲交流 道）	連結強度	0.474	$\geq 0.3$
	自由網平差	4.2 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	4.0 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-61）。



圖 3-61 南投縣竹山鎮（國 3 南雲交流道）正射鑲嵌影像成果

## 六、 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### （一） 航拍任務執行

南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）航拍區範圍約 540 公頃，地表高程約 200~350 公尺。航拍任務規劃使用定翼型 UAS 搭載 Canon 5D Mark II 數位相機（像元大小為 6.40 $\mu$ m）搭配 20mm 焦距鏡頭，航高為 660 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-62 所示，航拍區任務執行概況如表 3-23 所示。

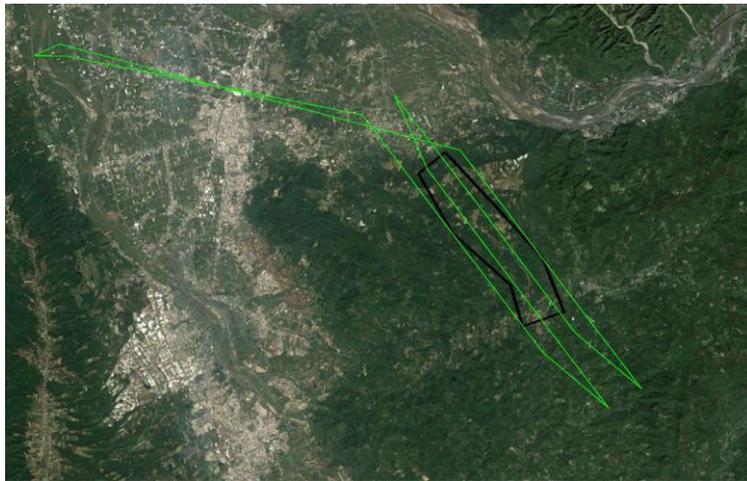


圖 3-62 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）飛行航線規劃

表 3-23 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）
二、航拍日期	105/7/15
三、航線航程	總航程約 60 公里
四、天氣狀況	晴時多雲(氣溫 32°C, 降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	660 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.20 公尺
八、UAS 載具	定翼型 UAS (國土測繪一號)

任務作業於 105 年 7 月 15 日 1230 時於雲林縣新虎尾溪堤防旁馬路待命起飛（如圖 3-63），於 1300 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，定翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 1 架次，1500 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 525 張，地面解析度（GSD）約 20 公分，影像中心點分布如圖 3-64。



圖 3-63 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）起降場地作業情形



圖 3-64 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-65 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-66 所示，成果精度如表 3-24 所示。

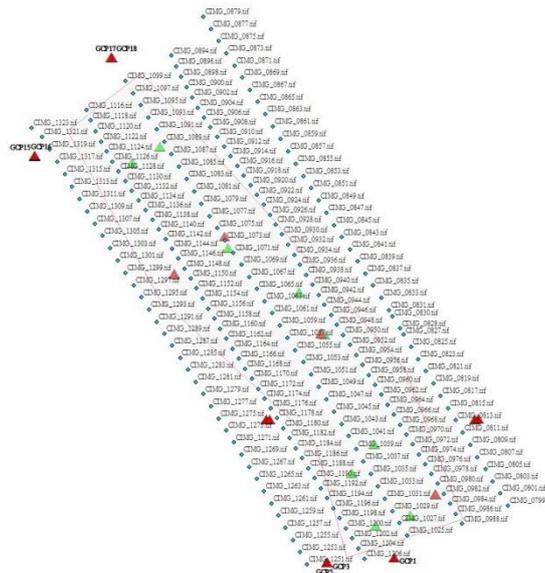


圖 3-65 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

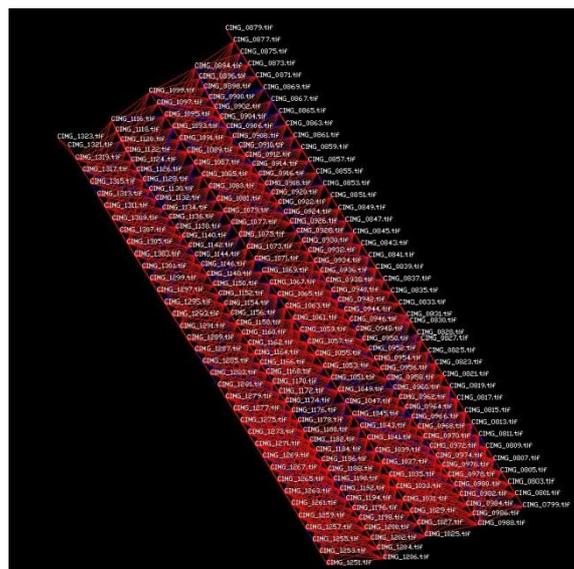


圖 3-66 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）空三網型圖

表 3-24 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
南投縣草屯鎮 （投 17 線拓寬工 程）	連結強度	0.836	$\geq 0.3$
	自由網平差	5.3 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	5.0 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-67）。



圖 3-67 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）正射鑲嵌影像成果

## 七、 花蓮縣花蓮市（16 股大道）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### （一） 航拍任務執行

花蓮縣花蓮市（16 股大道）航拍區範圍約 100 公頃，地表高程約 15 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony α7R 數位相機（像元大小為 4.90μm）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。花蓮縣花蓮市（16 股大道）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-68 所示，航拍區任務執行概況如表 3-25 所示。

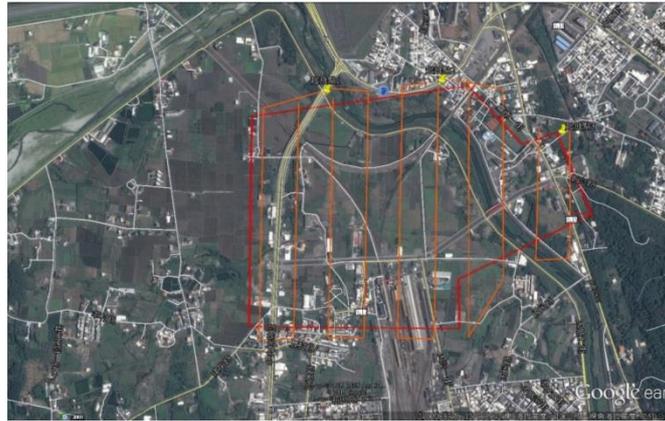


圖 3-68 花蓮縣花蓮市（16 股大道）飛行航線規劃

表 3-25 花蓮縣花蓮市（16 股大道）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	花蓮縣花蓮市（16 股大道）
二、航拍日期	105/6/3
三、航線航程	總航程約 10 公里
四、天氣狀況	多雲時晴（氣溫 28°C，降雨機率 10%）
五、風向/風級	偏南風/一級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/500 公尺
七、地面解析度	0.05 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 6 月 3 日 0500 時於花蓮中央路旁馬路待命起飛（如圖 3-69），於 0510 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 5 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，0630 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 10 條航帶，拍攝影像數量合計 581 張，地面解析度（GSD）約 5 公分，影像中心點分布如圖 3-70。



圖 3-69 花蓮縣花蓮市（16 股大道）起降場地作業情形



圖 3-70 花蓮縣花蓮市（16 股大道）航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-71 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-72 所示，成果精度如表 3-26 所示。

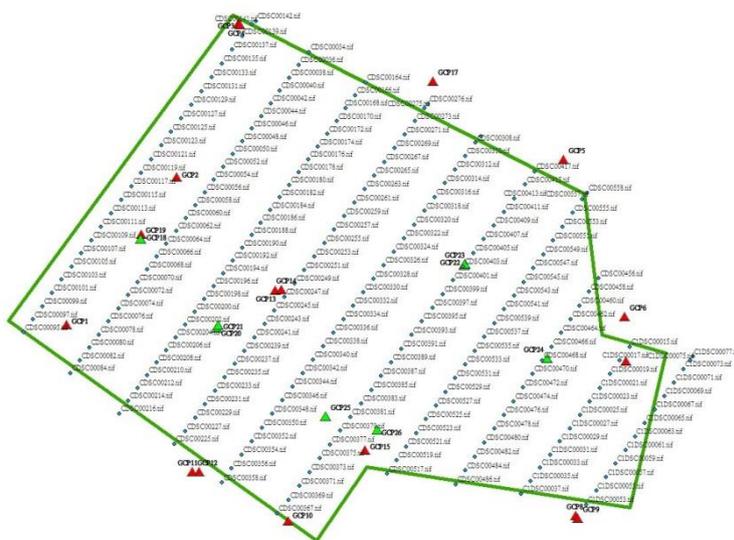


圖 3-71 花蓮縣花蓮市（16 股大道）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

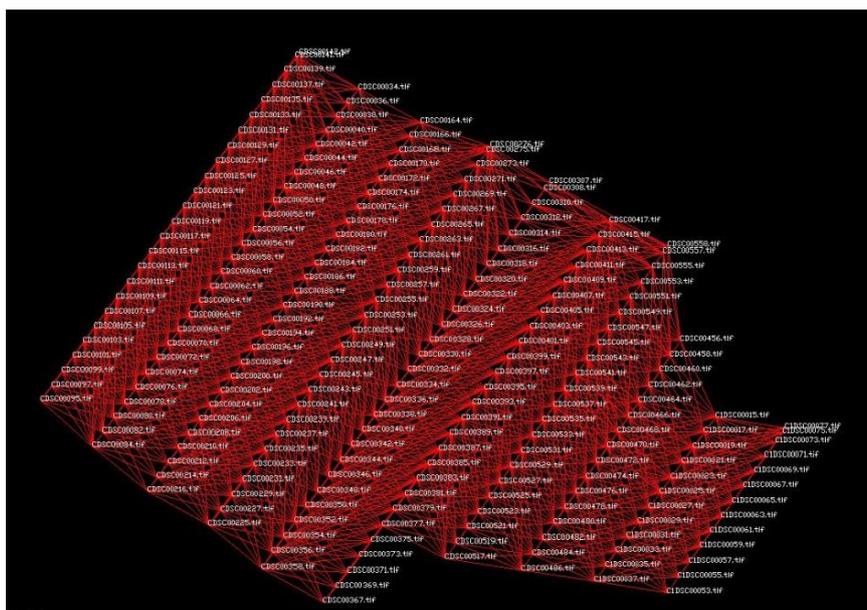


圖 3-72 花蓮縣花蓮市（16 股大道）空三網型圖

表 3-26 花蓮縣花蓮市（16 股大道）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
花蓮縣花蓮市 (16 股大道)	連結強度	0.849	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.2 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.9 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-73）。



圖 3-73 花蓮縣花蓮市（16 股大道）正射鑲嵌影像成果

## 八、 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### （一） 航拍任務執行

新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）航拍區範圍約 100 公頃，地表高程約 15 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony α7R 數位相機（像元大小為 4.90μm）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 170 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-74 所示，航拍區任務執行概況如表 3-27 所示。



圖 3-74 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）飛行航線規劃

表 3-27 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）
二、航拍日期	105/7/18
三、航線航程	總航程約 3.5 公里
四、天氣狀況	晴時多雲（氣溫 32°C，降雨機率 10%）
五、風向/風級	西南風/三級
六、航拍高度/雲層高度	170 公尺/2,000 公尺
七、地面解析度	0.04 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 7 月 18 日 1130 時於中華路四段 567 巷旁馬路待命起飛（如圖 3-75），於 1140 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 2 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1210 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 297 張，地面解析度（GSD）約 4 公分，影像中心點分布如圖 3-76。



圖 3-75 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）起降場地作業情形

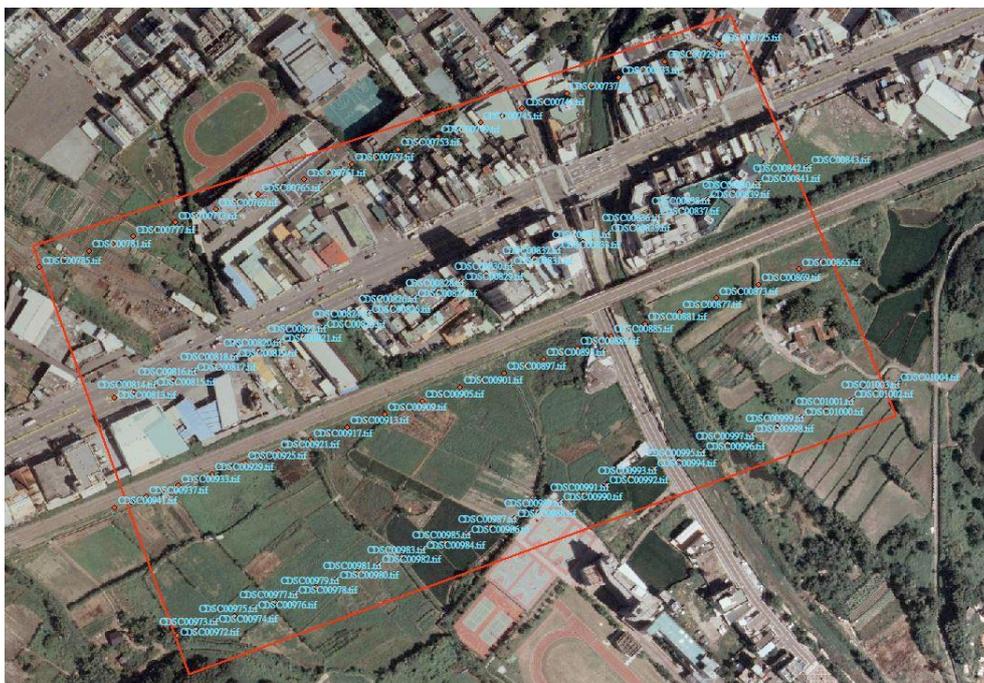


圖 3-76 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-77 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-78 所示，成果精度如表 3-28 所示。

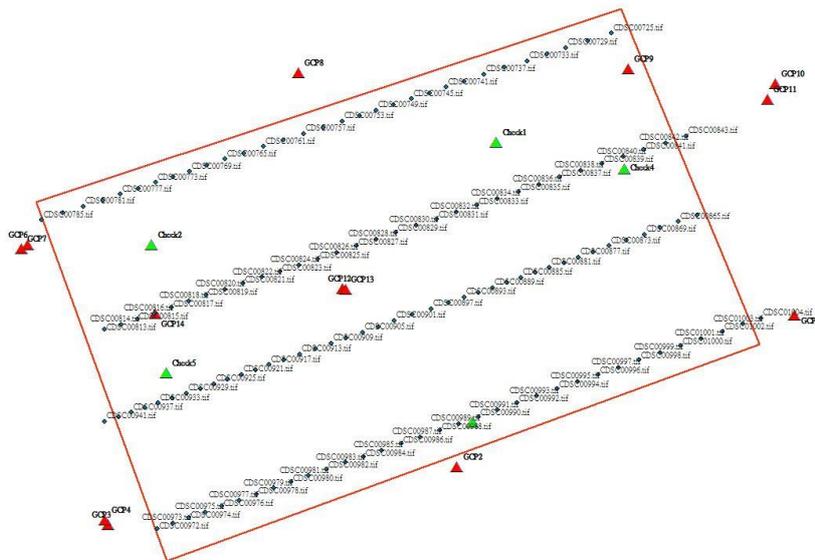


圖 3-77 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

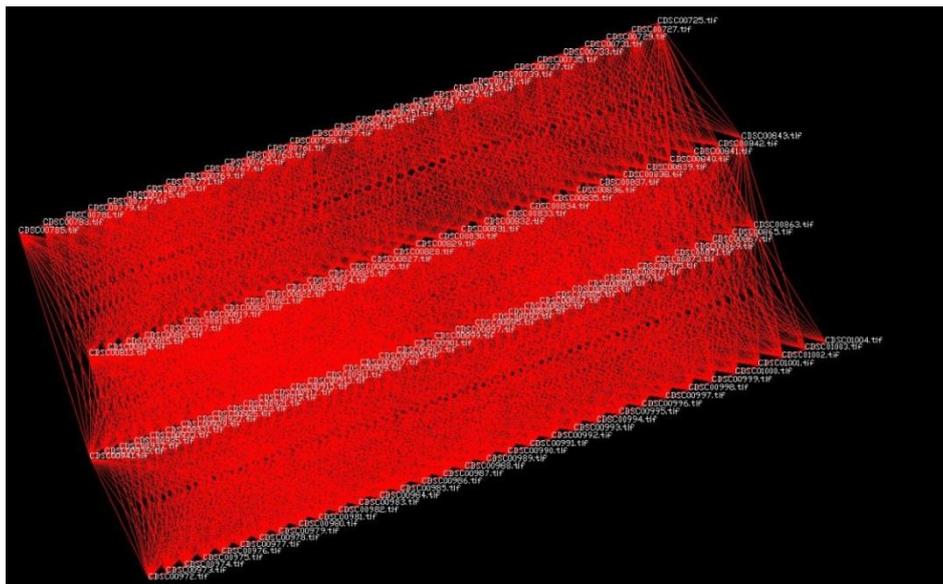


圖 3-78 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）空三網型圖

表 3-28 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
新竹市香山區 （臺鐵三姓橋 站）	連結強度	0.916	$\geq 0.3$
	自由網平差	2.9 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.1 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-79）。



圖 3-79 新竹市香山區（臺鐵三姓橋站）正射鑲嵌影像成果

## 九、 弘富重劃區

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### (一) 航拍任務執行

弘富重劃區航拍區範圍約 26 公頃，地表高程約 180~190 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony α7 數位相機（像元大小為 6.00μm）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 220 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。弘富重劃區拍攝範圍及航線規劃如圖 3-80 所示，航拍區任務執行概況如表 3-29 所示。

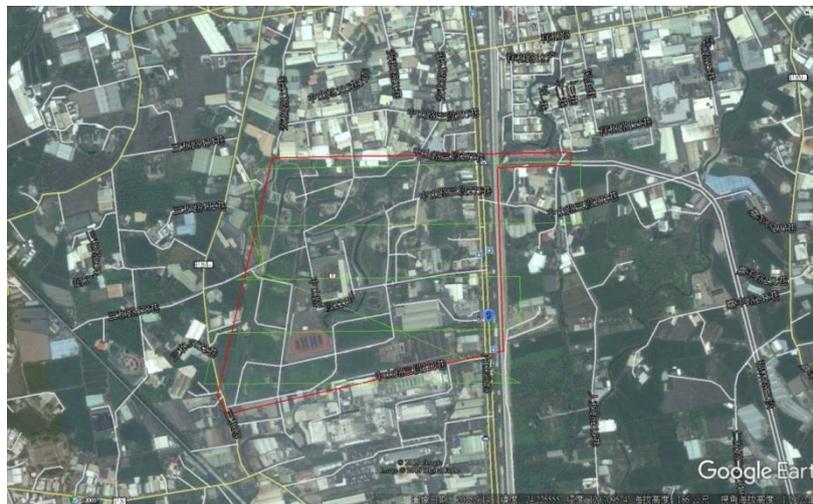


圖 3-80 弘富重劃區飛行航線規劃

表 3-29 弘富重劃區任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	弘富重劃區
二、航拍日期	105/10/18
三、航線航程	總航程約 3.2 公里
四、天氣狀況	晴時多雲(氣溫 31°C, 降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏北風/二級
六、航拍高度/雲層高度	220 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 10 月 18 日 1005 時於弘富重劃區旁馬路待命起飛(如圖 3-81)，於 1015 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 2 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1050 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 5 條航帶，拍攝影像數量合計 201 張，地面解析度 (GSD) 約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-82。



圖 3-81 弘富重劃區起降場地作業情形

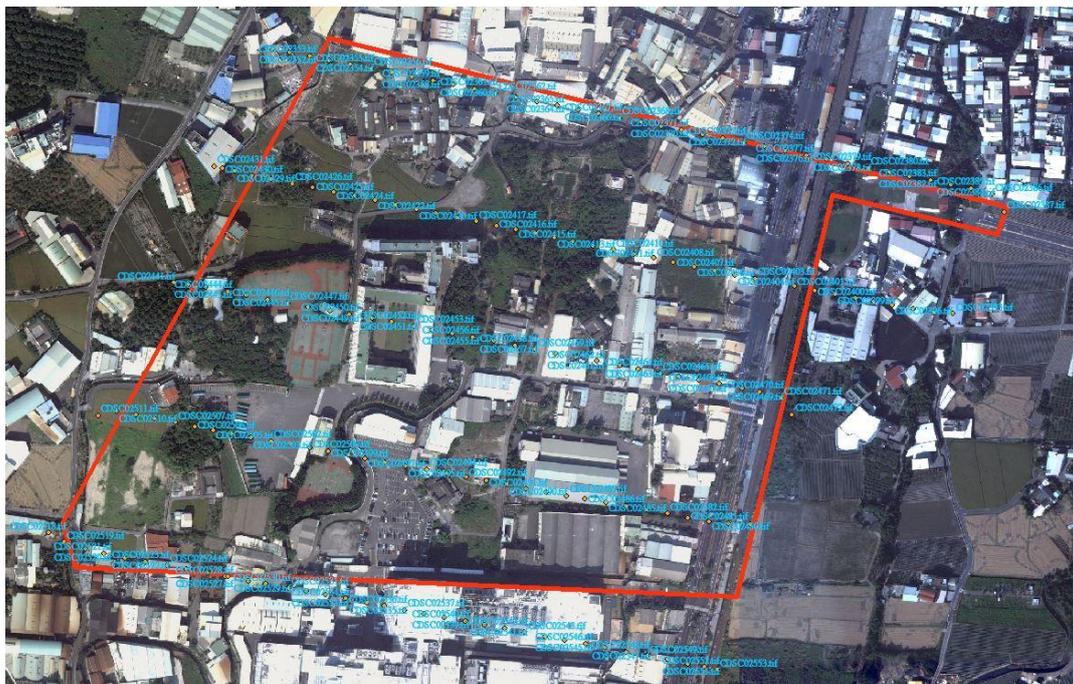


圖 3-82 弘富重劃區航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-83 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-84 所示，成果精度如表 3-30 所示。

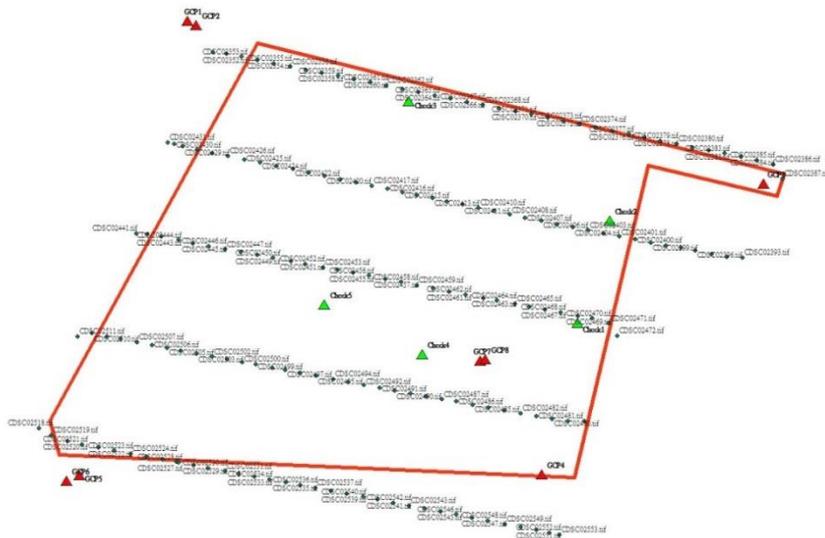


圖 3-83 弘富重劃區控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

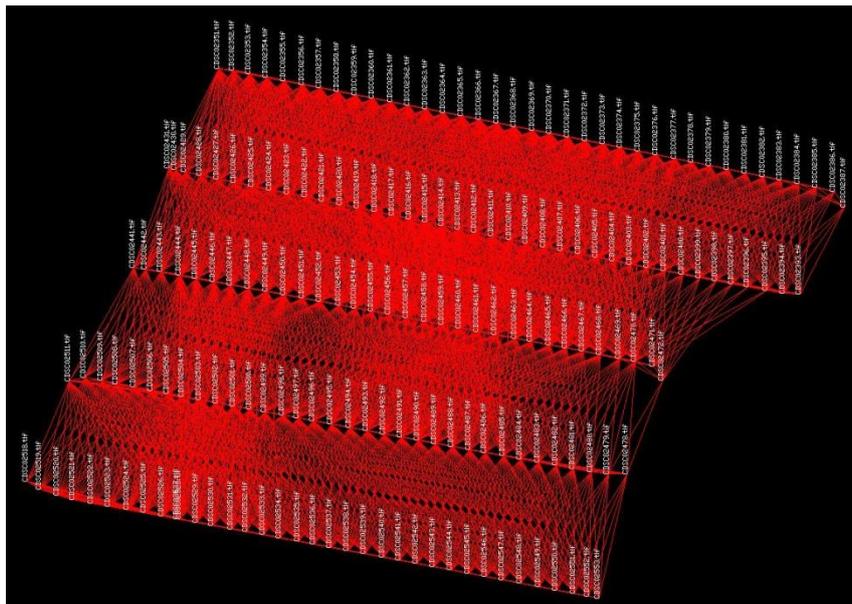


圖 3-84 弘富重劃區空三網型圖

表 3-30 弘富重劃區空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
弘富重劃區	連結強度	0.880	$\geq 0.3$
	自由網平差	$2.7\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	$2.7\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-85）。

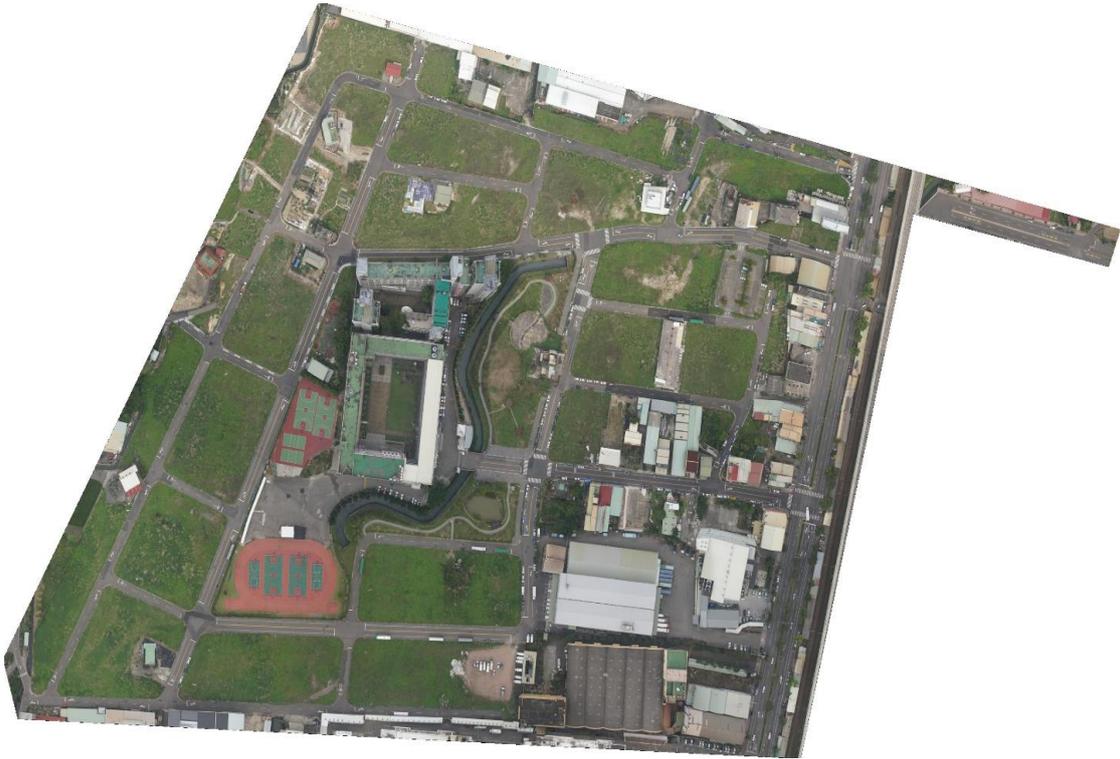


圖 3-85 弘富重劃區正射鑲嵌影像成果

## 十、 國 6 舊正交流道

本區域為國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### (一) 航拍任務執行

國 6 舊正交流道航拍區範圍約 47 公頃，地表高程約 85~110 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony α7 數位相機（像元大小為 6.00μm）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 220 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。國 6 舊正交流道拍攝範圍及航線規劃如圖 3-86 所示，航拍區任務執行概況如表 3-31 所示。

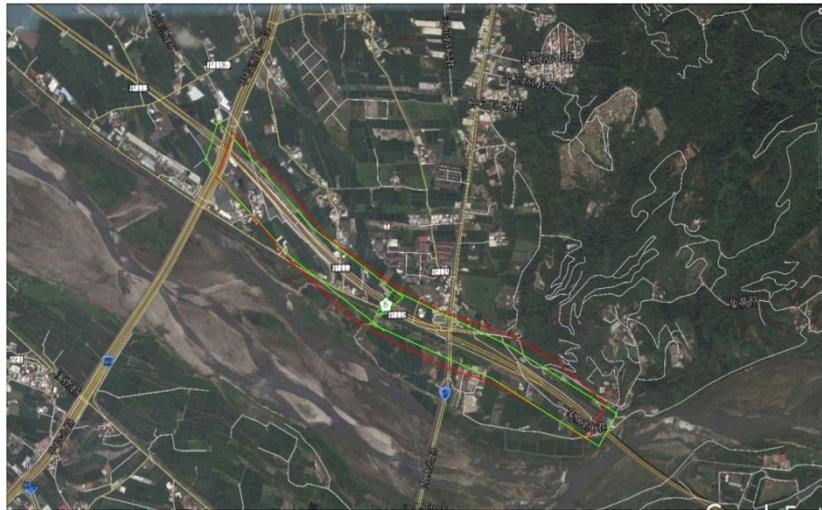


圖 3-86 國 6 舊正交流道飛行航線規劃

表 3-31 國 6 舊正交流道任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	國 6 舊正交流道
二、航拍日期	105/10/18
三、航線航程	總航程約 4.5 公里
四、天氣狀況	晴天（氣溫 31°C，降雨機率 0%）
五、風向/風級	偏北風/二級
六、航拍高度/雲層高度	220 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 10 月 18 日 1050 時於南投草屯國道六號旁馬路待命起飛（如圖 3-87），於 1135 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 2 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1220 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 248 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-88。



圖 3-87 國 6 舊正交流道起降場地作業情形



圖 3-88 國 6 舊正交流道航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-89 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-90 所示，成果精度如表 3-32 所示。

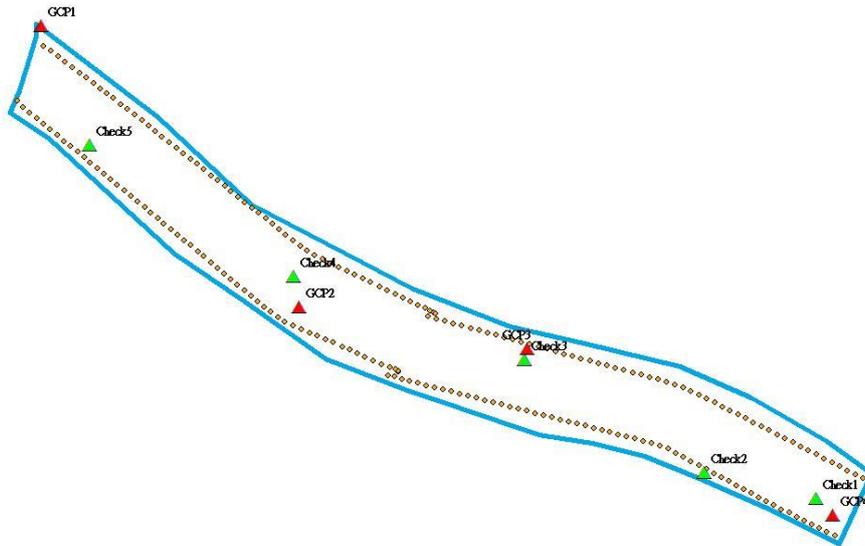


圖 3-89 國 6 舊正交流道控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

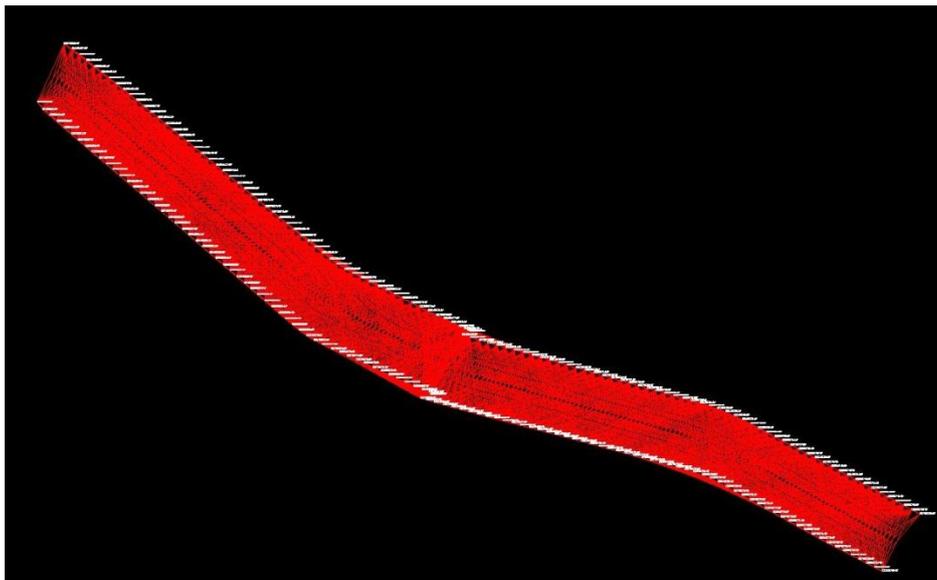


圖 3-90 國 6 舊正交流道空三網型圖

表 3-32 國 6 舊正交流道空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
國 6 舊正交流道	連結強度	0.964	$\geq 0.3$
	自由網平差	$2.8\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	$2.9\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-91）。



圖 3-91 國 6 舊正交流道正射鑲嵌影像成果

## 十一、桃園市（新屋區、平鎮區、觀音區、蘆竹區）

本區域為桃園市環保局委託國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### ■ 桃園市（新屋區）

#### （一） 航拍任務執行

桃園市（新屋區）航拍區範圍約 4.2 公頃，地表高程約 20 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 150 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。桃園市（新屋區）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-92 所示，航拍區任務執行概況如表 3-33 所示。

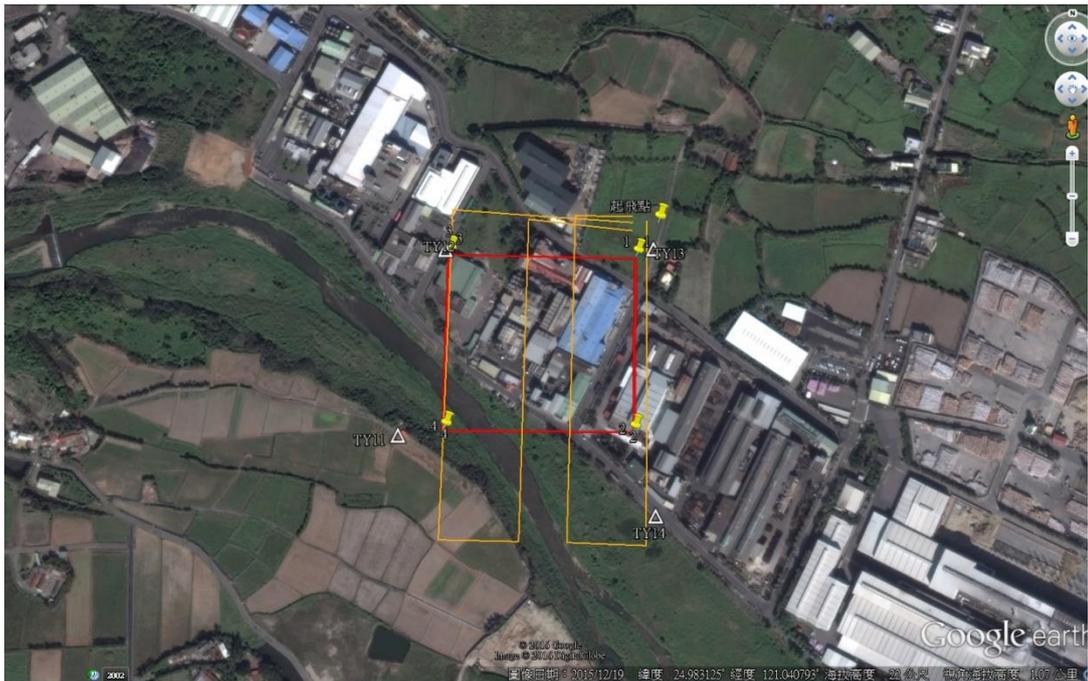


圖 3-92 桃園市（新屋區）飛行航線規劃

表 3-33 桃園市（新屋區）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	桃園市（新屋區）
二、航拍日期	105/6/30
三、航線航程	總航程約 1.7 公里
四、天氣狀況	晴時多雲(氣溫 32°C, 降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	150 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.04 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 6 月 30 日 1100 時於新屋永福道路旁馬路待命起飛（如圖 3-93），於 1110 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 2 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1130 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 89 張，地面解析度（GSD）約 4 公分，影像中心點分布如圖 3-94。



圖 3-93 桃園市（新屋區）起降場地作業情形



圖 3-94 桃園市（新屋區）航拍影像中心點分布圖

(二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為地面控制測量，挑選原則為尋找於新影像可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-95 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-96 所示，成果精度如表 3-34 所示。



圖 3-95 桃園市（新屋區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

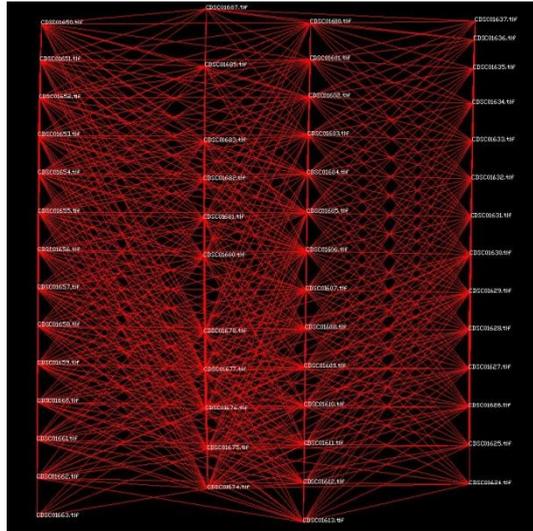


圖 3-96 桃園市（新屋區）空三網型圖

表 3-34 桃園市（新屋區）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
桃園市新屋區	連結強度	0.840	$\geq 0.3$
	自由網平差	1.9 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	1.8 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 10 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-97）。



圖 3-97 桃園市（新屋區）正射鑲嵌影像成果

## ■ 桃園市（平鎮區）

### （一） 航拍任務執行

桃園市(平鎮區)航拍區範圍約 2.6 公頃，地表高程約 200 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 150 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。桃園市（平鎮區）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-98 所示，航拍區任務執行概況如表 3-35 所示。

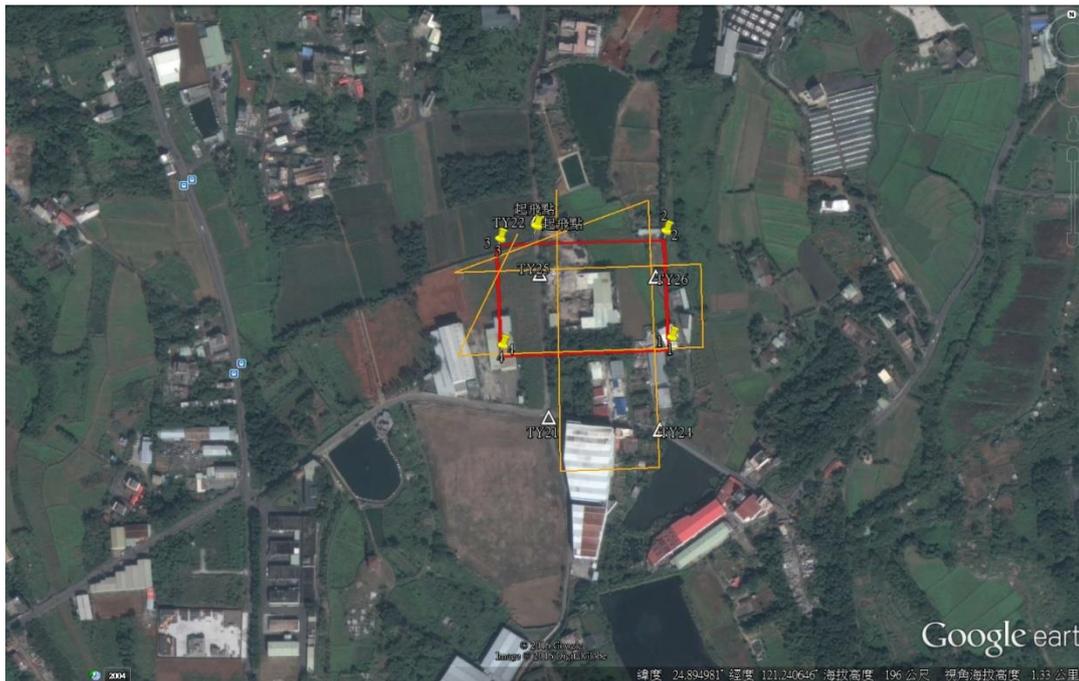


圖 3-98 桃園市（平鎮區）飛行航線規劃

表 3-35 桃園市（平鎮區）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	桃園市（平鎮區）
二、航拍日期	105/6/30
三、航線航程	總航程約 1.4 公里
四、天氣狀況	晴時多雲(氣溫 $32^{\circ}\text{C}$ ，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	150 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.04 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 6 月 30 日 0930 時於平鎮洪釗道路旁馬路待命起飛（如圖 3-99），於 0940 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 1 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，0950 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 100 張，地面解析度（GSD）約 4 公分，影像中心點分布如圖 3-100。



圖 3-99 桃園市（平鎮區）起降場地作業情形



圖 3-100 桃園市（平鎮區）航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為地面控制測量，挑選原則為尋找於新影像可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-101 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-102 所示，成果精度如表 3-36 所示。

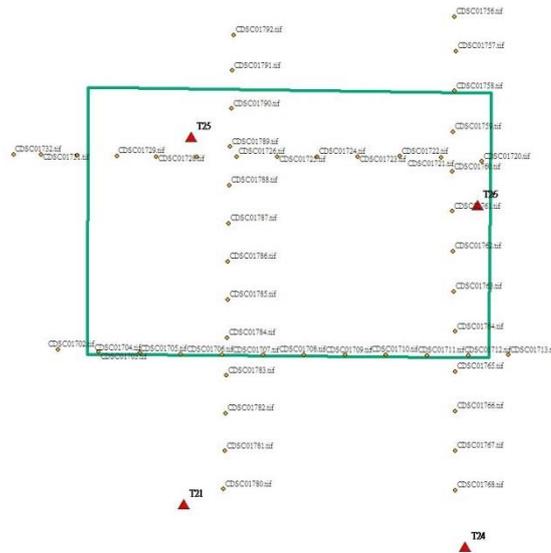


圖 3-101 桃園市（平鎮區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

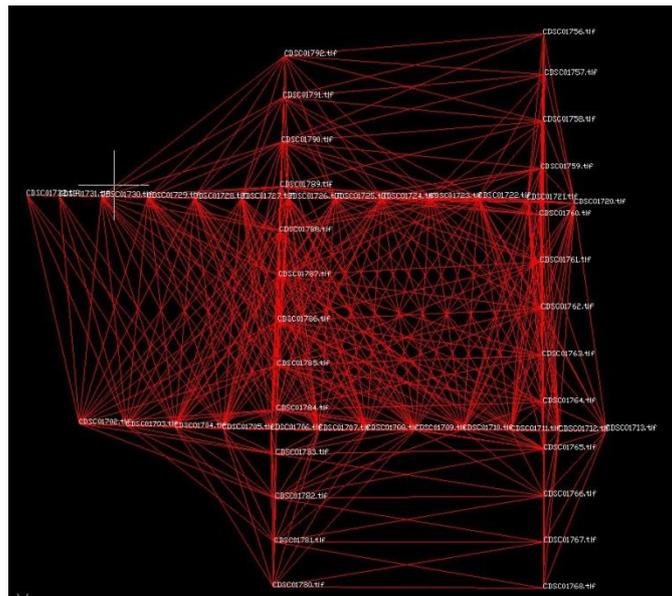


圖 3-102 桃園市（平鎮區）空三網型圖

表 3-36 桃園市（平鎮區）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
桃園市平鎮區	連結強度	0.696	$\geq 0.3$
	自由網平差	2.7 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	2.7 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 10 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-103）。



圖 3-103 桃園市（平鎮區）正射鑲嵌影像成果

## ■ 桃園市（觀音區）

### （一） 航拍任務執行

桃園市（觀音區）航拍區範圍約 14.1 公頃，地表高程約 20 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7R$  數位相機（像元大小為 4.90 $\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。桃園市（觀音區）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-104 所示，航拍區任務執行概況如表 3-37 所示。



圖 3-104 桃園市（觀音區）飛行航線規劃

表 3-37 桃園市（觀音區）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	桃園市（觀音區）
二、航拍日期	105/7/12
三、航線航程	總航程約 6.9 公里
四、天氣狀況	晴時多雲(氣溫 33°C, 降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/三級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.04 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 7 月 12 日 1000 時於觀音桃 33 道路旁馬路待命起飛（如圖 3-105），於 1010 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 4 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1055 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 8 條航帶，拍攝影像數量合計 490 張，地面解析度（GSD）約 4 公分，影像中心點分布如圖 3-106。



圖 3-105 桃園市（觀音區）起降場地作業情形

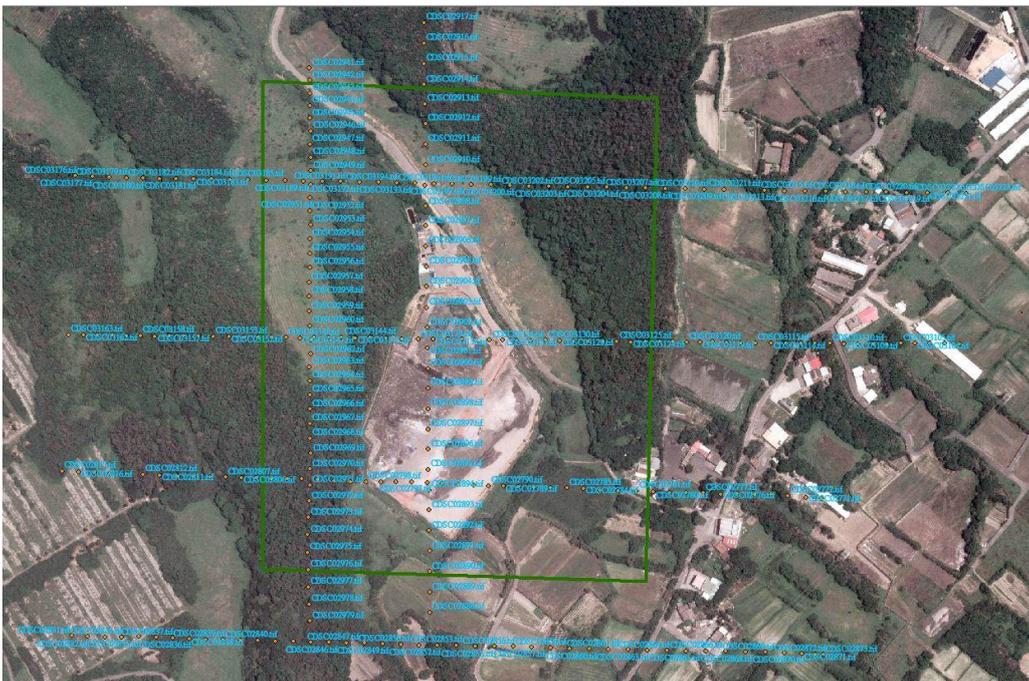


圖 3-106 桃園市（觀音區）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為地面控制測量，挑選原則為尋找於新影像可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹

配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-107 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-108 所示，成果精度如表 3-38 所示。

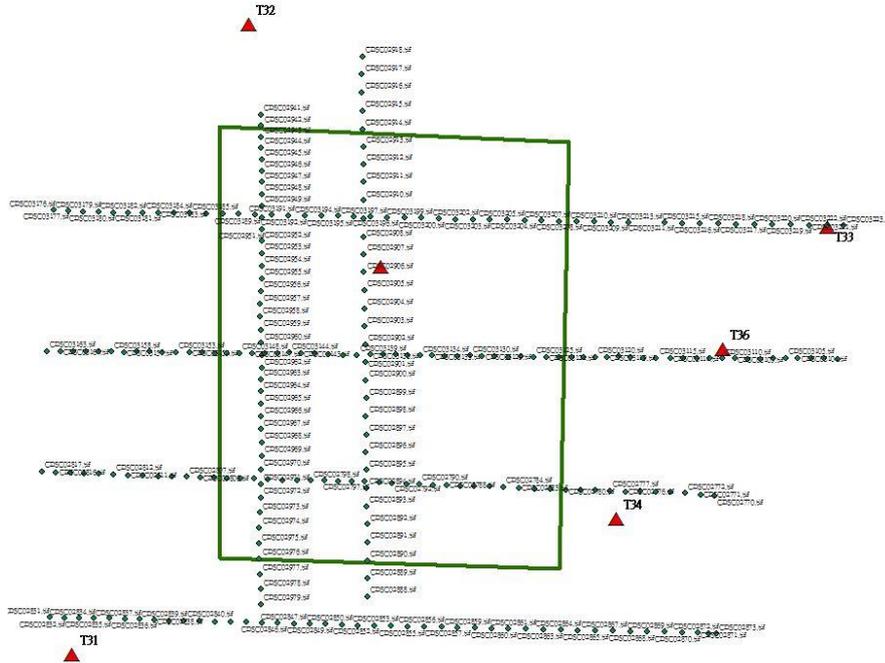


圖 3-107 桃園市（觀音區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

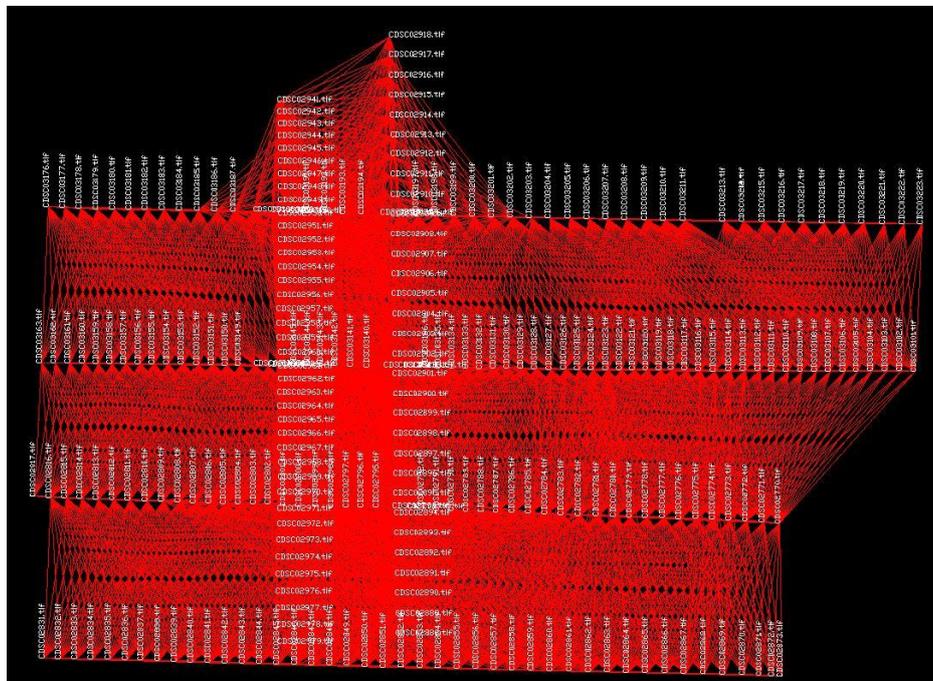


圖 3-108 桃園市（觀音區）空三網型圖

表 3-38 桃園市（觀音區）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
桃園市觀音區	連結強度	0.896	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.6 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.5 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 10 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-109）。



圖 3-109 桃園市（觀音區）正射鑲嵌影像成果

## ■ 桃園市（蘆竹區）

### （一） 航拍任務執行

桃園市（蘆竹區）航拍區範圍約 9.5 公頃，地表高程約 36 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為 6.00 $\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 150 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。桃園市（蘆竹區）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-110 所示，航拍區任務執行概況如表 3-39 所示。



圖 3-110 桃園市（蘆竹區）飛行航線規劃

表 3-39 桃園市（蘆竹區）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	桃園市（蘆竹區）
二、航拍日期	105/6/30
三、航線航程	總航程約 2.9 公里
四、天氣狀況	晴時多雲( 氣溫 32°C, 降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	150 公尺/1,000 公尺
七、地面解析度	0.04 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 6 月 30 日 1230 時於蘆竹三民路二段旁馬路待命起飛（如圖 3-111），於 1240 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 2 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1320 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 4 條航帶，拍攝影像數量合計 146 張，地面解析度（GSD）約 4 公分，影像中心點分布如圖 3-112。



圖 3-111 桃園市（蘆竹區）起降場地作業情形



圖 3-112 桃園市（蘆竹區）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為地面控制測量，挑選原則為尋找於新影像可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-113 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-114 所示，成果精度如表 3-40 所示。

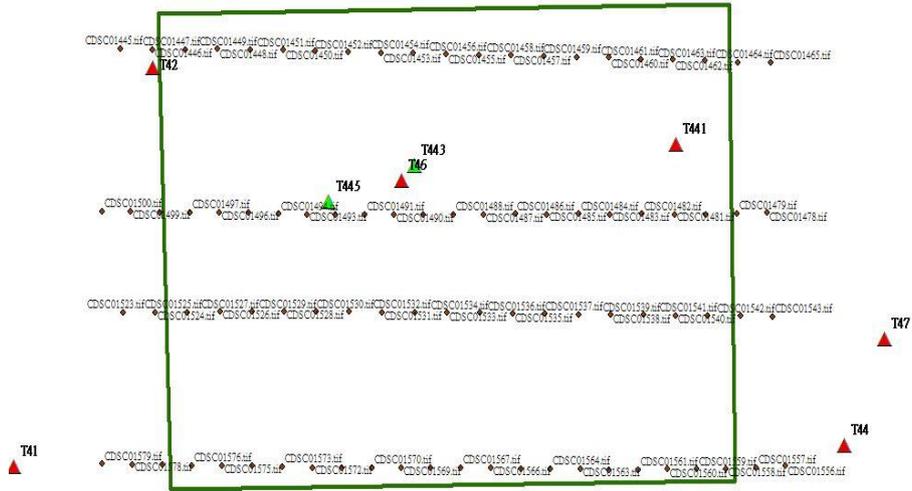


圖 3-113 桃園市（蘆竹區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

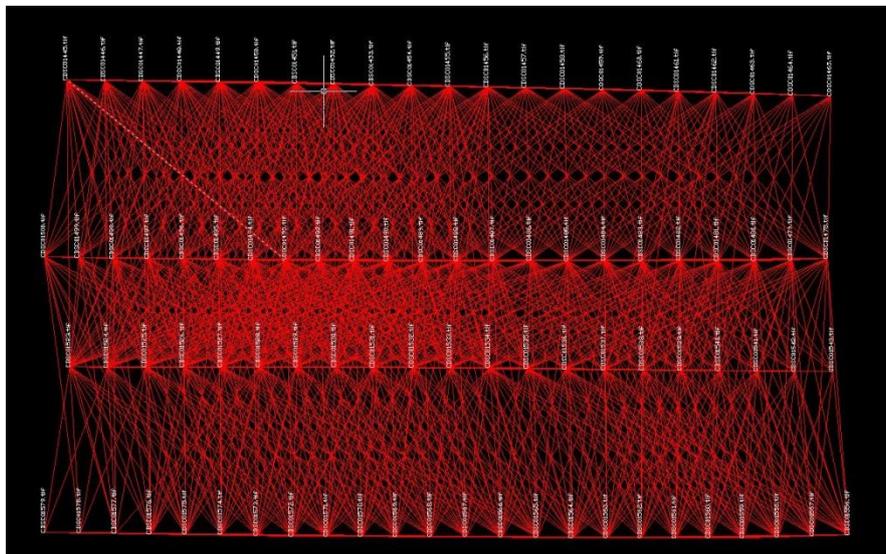


圖 3-114 桃園市（蘆竹區）空三網型圖

表 3-40 桃園市（蘆竹區）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
桃園市蘆竹區	連結強度	0.822	$\geq 0.3$
	自由網平差	2.0 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	1.9 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 10 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-115）。



圖 3-115 桃園市蘆竹區正射鑲嵌影像成果

## 十二、臺北市士林區（大油坑、馬槽、夢幻湖）

本區域為陽明山國家公園委託國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

### ■ 臺北市士林區（大油坑）

#### （一） 航拍任務執行

臺北市士林區（大油坑）航拍區範圍約 80 公頃，地表高程約 550 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺北市士林區（大油坑）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-116 所示，航拍區任務執行概況如表 3-41 所示。

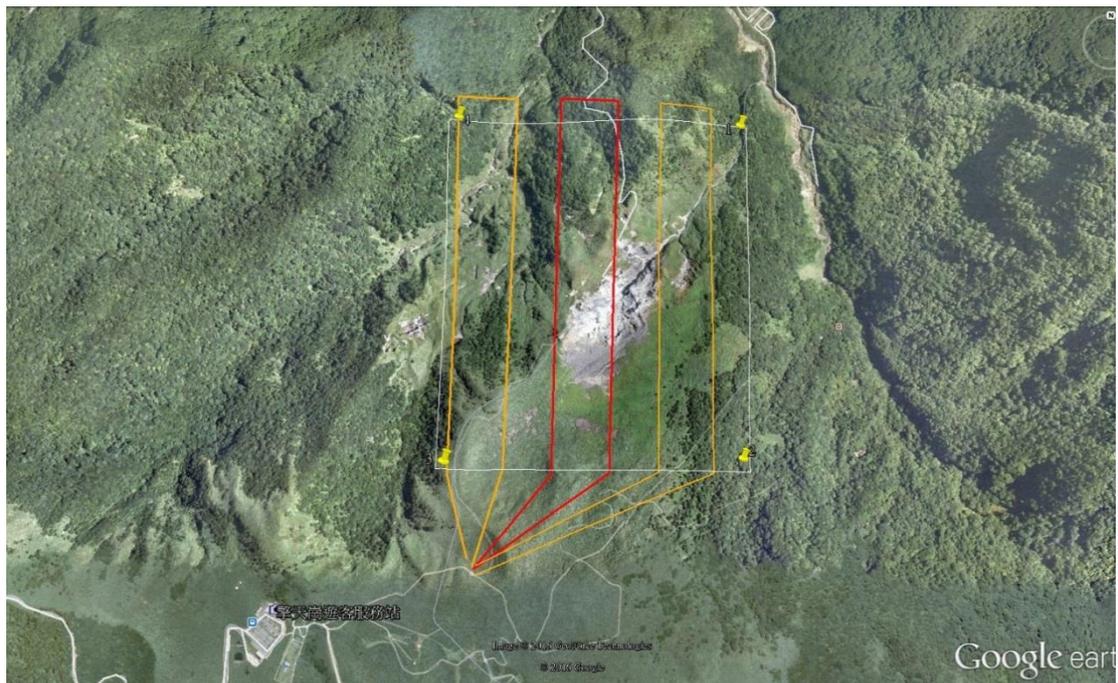


圖 3-116 臺北市士林區（大油坑）飛行航線規劃

表 3-41 臺北市士林區（大油坑）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺北市士林區（大油坑）
二、航拍日期	105/6/24
三、航線航程	總航程約 6.0 公里
四、天氣狀況	多雲時晴（氣溫 31°C，降雨機率 20%）
五、風向/風級	偏南風/一級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/250 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 6 月 24 日 1130 時於擎天崗登山步道旁馬路待命起飛（如圖 3-117），於 1140 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 4 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1330 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 6 條航帶，拍攝影像數量合計 262 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-118。



圖 3-117 臺北市士林區（大油坑）起降場地作業情形

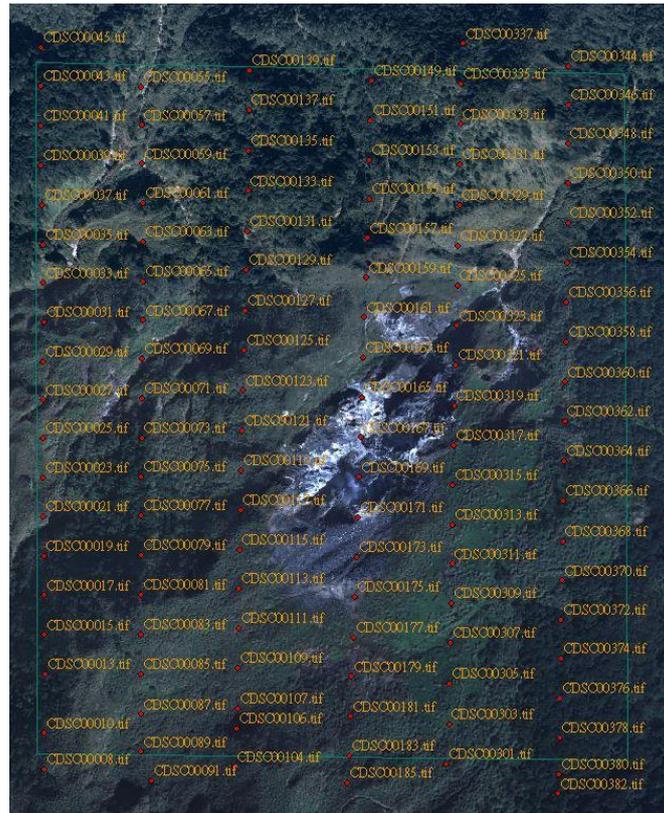


圖 3-118 臺北市士林區（大油坑）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-119 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-120 所示，成果精度如表 3-42 所示。

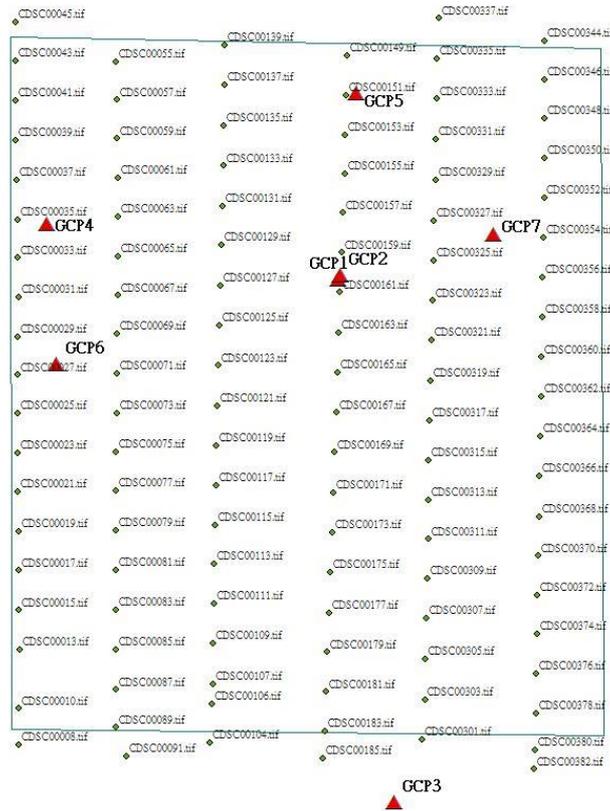


圖 3-119 臺北市士林區（大油坑）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

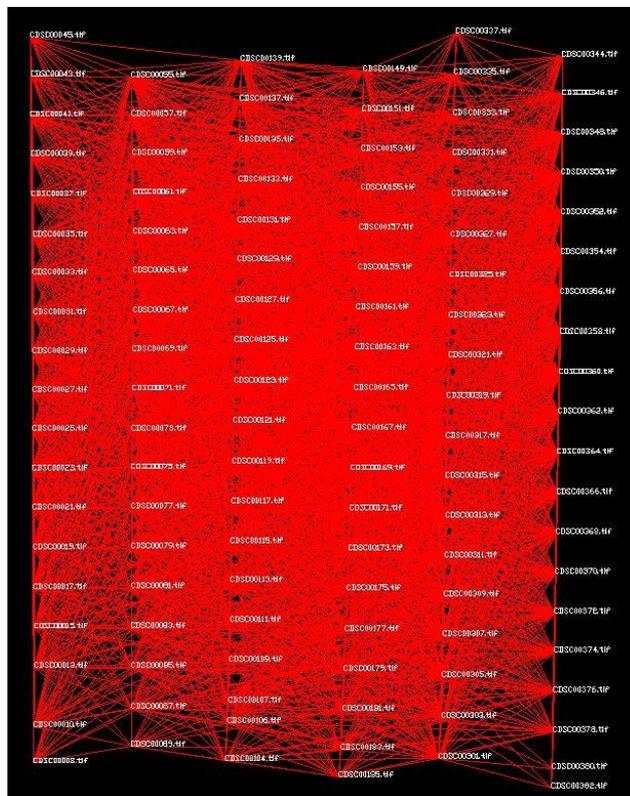


圖 3-120 臺北市士林區（大油坑）空三網型圖

表 3-42 臺北市士林區（大油坑）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺北市士林區 （大油坑）	連結強度	0.880	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.9 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	7.3 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-121）。

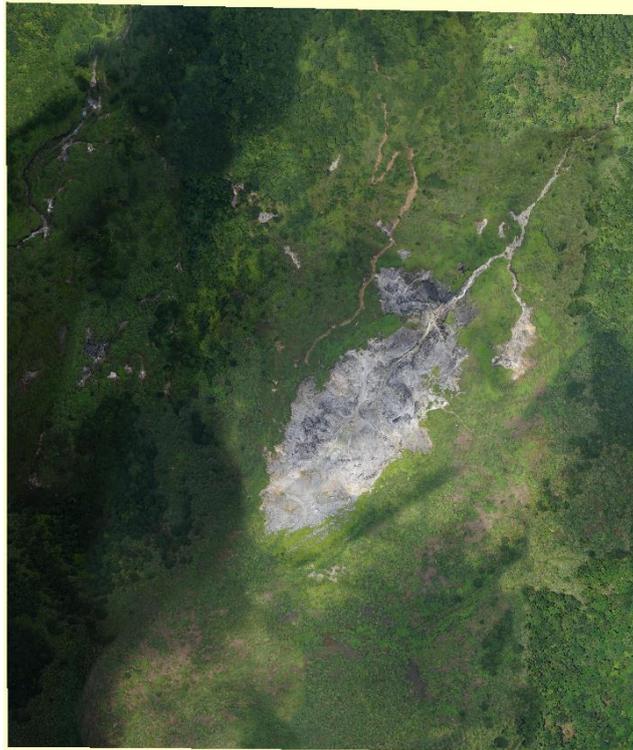


圖 3-121 臺北市士林區（大油坑）正射鑲嵌影像成果

## ■ 臺北市士林區（馬槽）

### （一） 航拍任務執行

臺北市士林區（馬槽）航拍區範圍約 80 公頃，地表高程約 700 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為 6.00 $\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺北市士林區（馬槽）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-122 所示，航拍區任務執行概況如表 3-43 所示。



圖 3-122 臺北市士林區（馬槽）飛行航線規劃

表 3-43 臺北市士林區（馬槽）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺北市士林（馬槽）
二、航拍日期	105/6/29
三、航線航程	總航程約 7.0 公里
四、天氣狀況	多雲時晴（氣溫 30°C，降雨機率 10%）
五、風向/風級	偏南風/一級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/300 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 6 月 29 日 0930 時於中湖戰備道路旁馬路待命起飛（如圖 3-123），於 0940 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 5 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1020 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 8 條航帶，拍攝影像數量合計 460 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-124。



圖 3-123 臺北市士林區（馬槽）起降場地作業情形

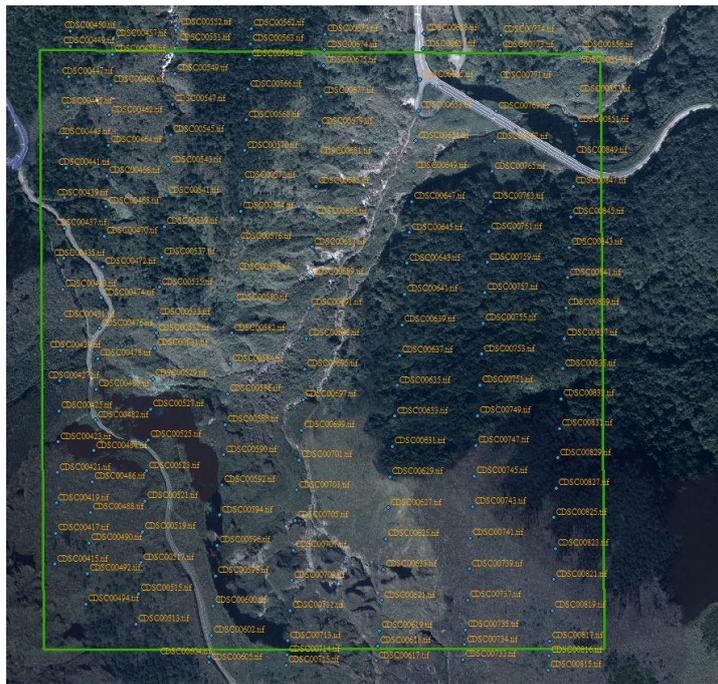


圖 3-124 臺北市士林區（馬槽）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新

建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-125 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-126 所示，成果精度如表 3-44 所示。

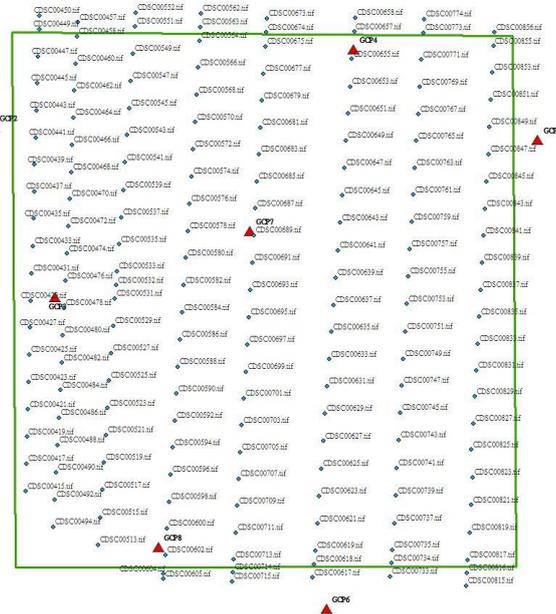


圖 3-125 臺北市士林區（馬槽）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

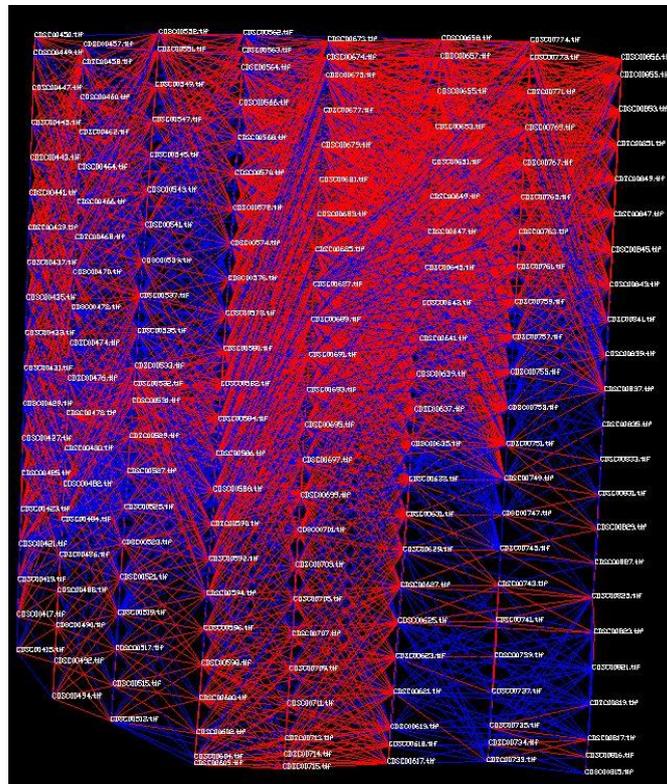


圖 3-126 臺北市士林區（馬槽）空三網型圖

表 3-44 臺北市士林區（馬槽）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺北市士林區 （馬槽）	連結強度	0.602	$\geq 0.3$
	自由網平差	4.4 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	4.7 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-127）。

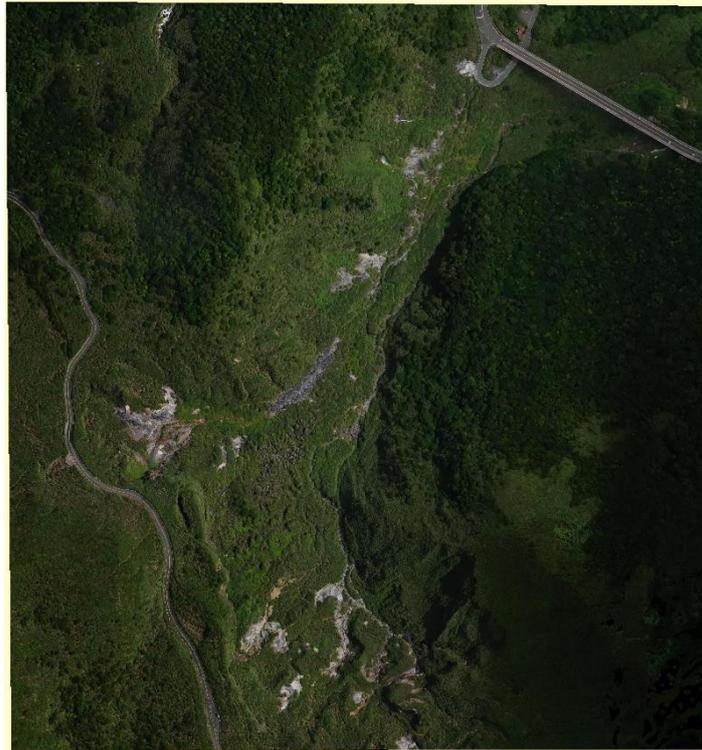


圖 3-127 臺北市士林區（馬槽）正射鑲嵌影像成果

## ■ 臺北市士林區（夢幻湖）

### （一） 航拍任務執行

臺北市士林區（夢幻湖）航拍區範圍約 80 公頃，地表高程約 900 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為 6.00 $\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺北市士林區（夢幻湖）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-128 所示，航拍區任務執行概況如表 3-45 所示。



圖 3-128 臺北市士林區（夢幻湖）飛行航線規劃

表 3-45 臺北市士林區（夢幻湖）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺北市士林區（夢幻湖）
二、航拍日期	105/6/29
三、航線航程	總航程約 5.5 公里
四、天氣狀況	多雲時晴（氣溫 31°C，降雨機率 20%）
五、風向/風級	偏南風/一級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/450 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 6 月 29 日 1040 時於七星山微波通訊站旁馬路待命起飛（如圖 3-129），於 1140 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 4 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1140 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 7 條航帶，拍攝影像數量合計 284 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-130。



圖 3-129 臺北市士林區（夢幻湖）起降場地作業情形

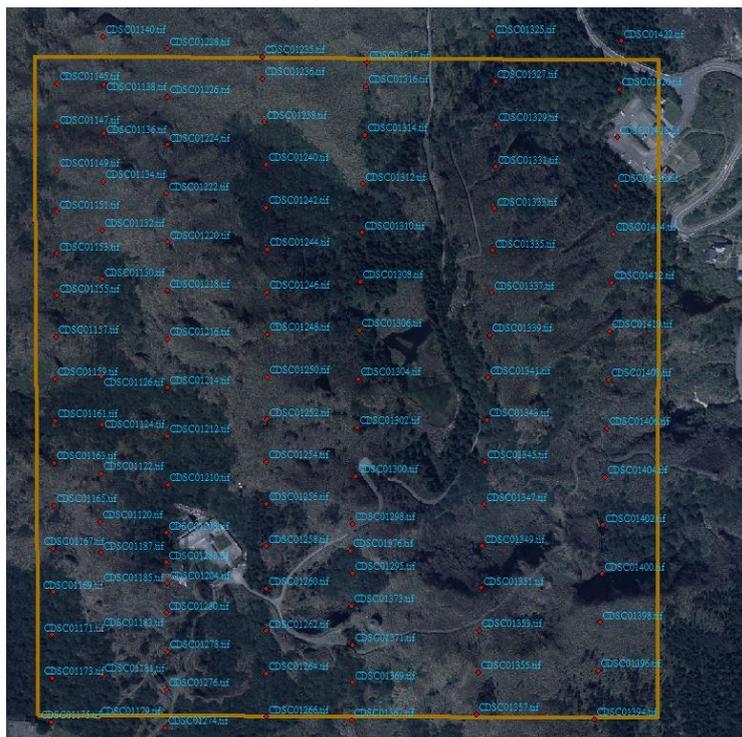


圖 3-130 臺北市士林區（夢幻湖）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物

點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-131 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-132 所示，成果精度如表 3-46 所示。

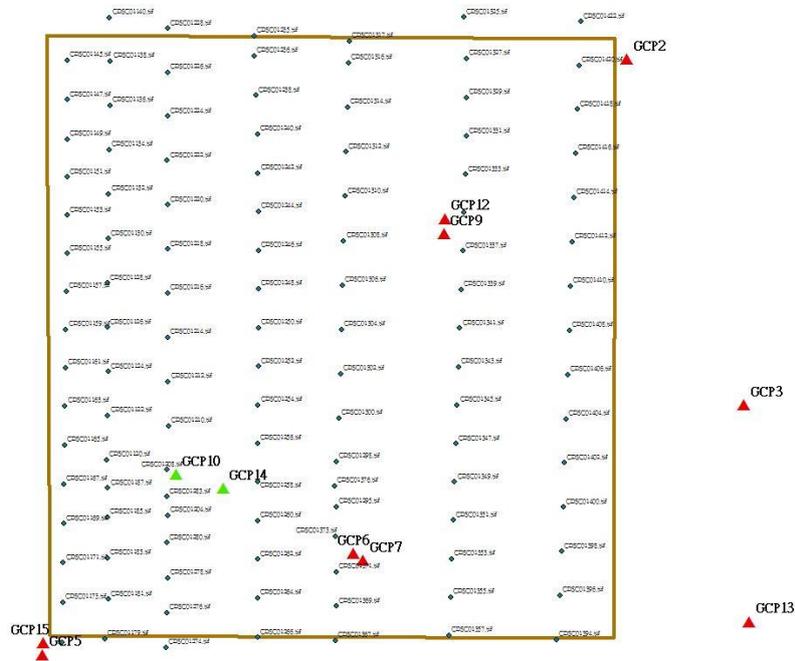


圖 3-131 臺北市士林區（夢幻湖）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

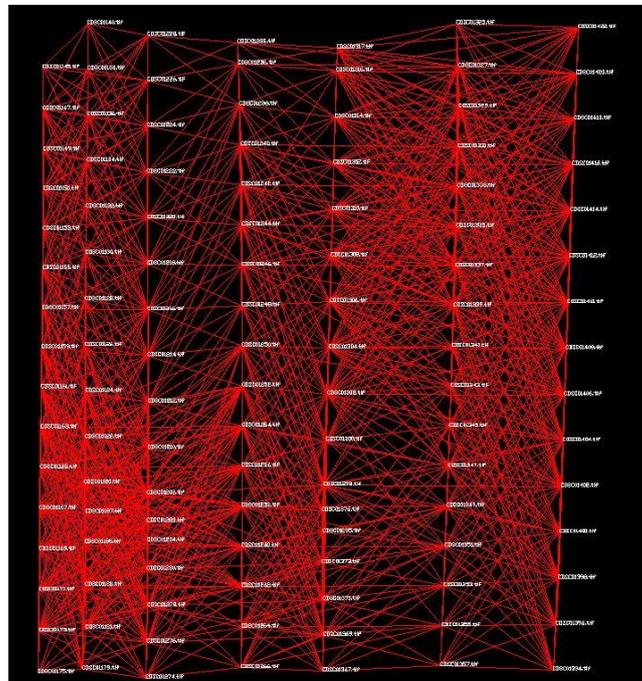


圖 3-132 臺北市士林區（夢幻湖）空三網型圖

表 3-46 臺北市士林區（夢幻湖）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺北市士林區 （夢幻湖）	連結強度	0.709	$\geq 0.3$
	自由網平差	2.9 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	4.2 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-133）。



圖 3-133 臺北市士林區（夢幻湖）正射鑲嵌影像成果

### 十三、臺中市政府（臺中火車站及糖廠、振興路以南、廊子地區、太平新光地區、水湳機場原址、捷運文心北屯線機廠及車站）

本區域為臺中市政府委託國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

#### ■ 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）

##### （一） 航拍任務執行

臺中市政府（臺中火車站及糖廠）航拍區範圍約 96 公頃，地表高程約 80 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺中市政府（臺中火車站及糖廠）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-134 所示，航拍區任務執行概況如表 3-47 所示。



圖 3-134 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）飛行航線規劃

表 3-47 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺中市政府（臺中火車站及糖廠）
二、航拍日期	105/9/2
三、航線航程	總航程約 7.2 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨(氣溫 29°C，降雨機率 70%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	250 公尺/500 公尺
七、地面解析度	0.07 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 9 月 2 日 1100 時於台中市復興東路及樂業路口旁馬路待命起飛（如圖 3-135），於 1120 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 4 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1210 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 8 條航帶，拍攝影像數量合計 469 張，地面解析度(GSD)約 7 公分，影像中心點分布如圖 3-136。



圖 3-135 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）起降場地作業情形



圖 3-136 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-137 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-138 所示，成果精度如表 3-48 所示。

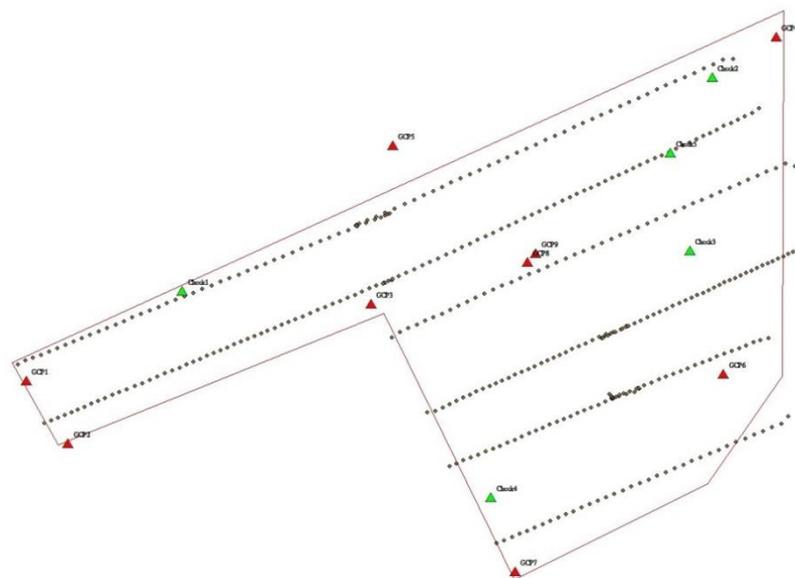


圖 3-137 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

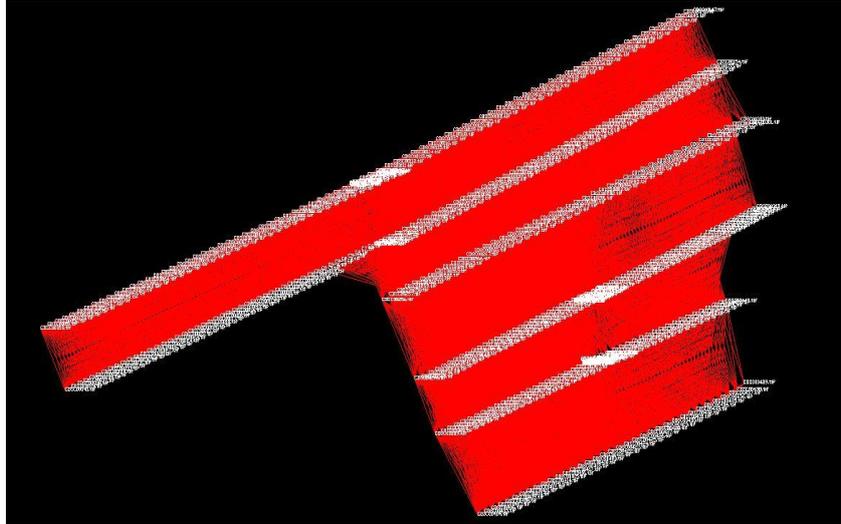


圖 3-138 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）空三網型圖

表 3-48 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺中市政府（臺中火車站及糖廠）	連結強度	0.887	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.1 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.2 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-139）。



圖 3-139 臺中市政府（臺中火車站及糖廠）正射鑲嵌影像成果

## ■ 臺中市政府（振興路以南）

### （一） 航拍任務執行

臺中市政府（振興路以南）航拍區範圍約 18 公頃，地表高程約 70 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony α7 數位相機（像元大小為 6.00 $\mu$ m）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺中市政府（振興路以南）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-140 所示，航拍區任務執行概況如表 3-49 所示。



圖 3-140 臺中市政府（振興路以南）飛行航線規劃

表 3-49 臺中市政府（振興路以南）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺中市政府（振興路以南）
二、航拍日期	105/9/10
三、航線航程	總航程約 2.0 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨(氣溫 28°C，降雨機率 20%)
五、風向/風級	偏南風/一級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺 800 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 9 月 10 日 0930 時於舊社街道路旁馬路待命起飛（如圖 3-141），於 0940 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 4 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1010 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 3 條航帶，拍攝影像數量合計 97 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-142。



圖 3-141 臺中市政府（振興路以南）起降場地作業情形



圖 3-142 臺中市政府（振興路以南）航拍影像中心點分布圖

## (二) 影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-143 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-144 所示，成果精度如表 3-50 所示。

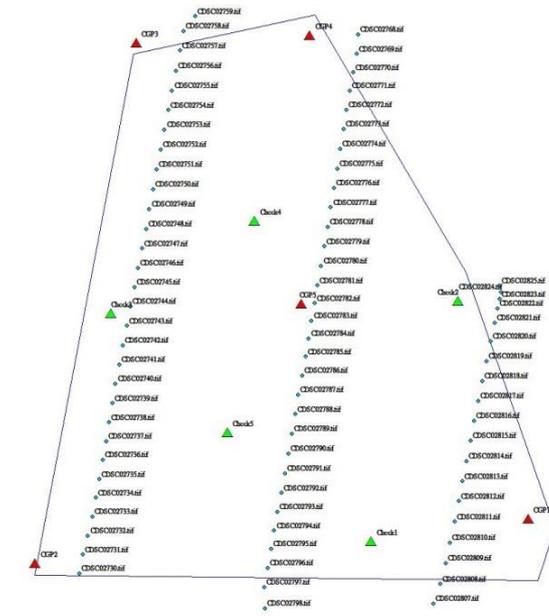


圖 3-143 臺中市政府（振興路以南）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

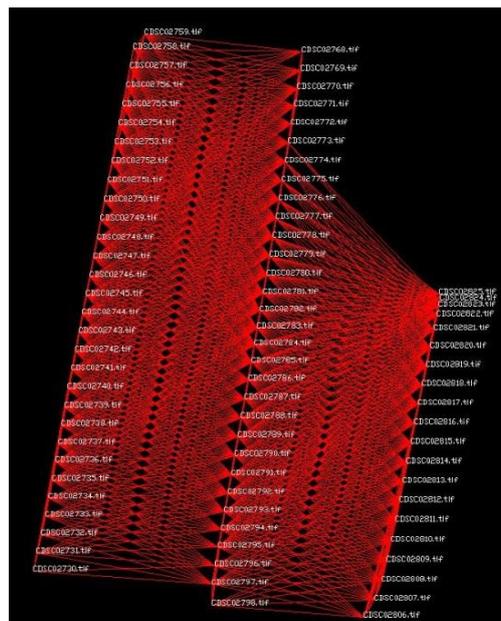


圖 3-144 臺中市政府（振興路以南）空三網型圖

表 3-50 臺中市政府（振興路以南）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺中市政府（振興路以南）	連結強度	0.896	$\geq 0.3$
	自由網平差	$3.5\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	$3.5\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-145）。



圖 3-145 臺中市政府（振興路以南）正射鑲嵌影像成果

## ■ 廊子地區

### （一） 航拍任務執行

臺中市政府（廊子地區）航拍區範圍約 250 公頃，地表高程約 120~160 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺中市政府（廊子地區）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-146 所示，航拍區任務執行概況如表 3-51 所示。

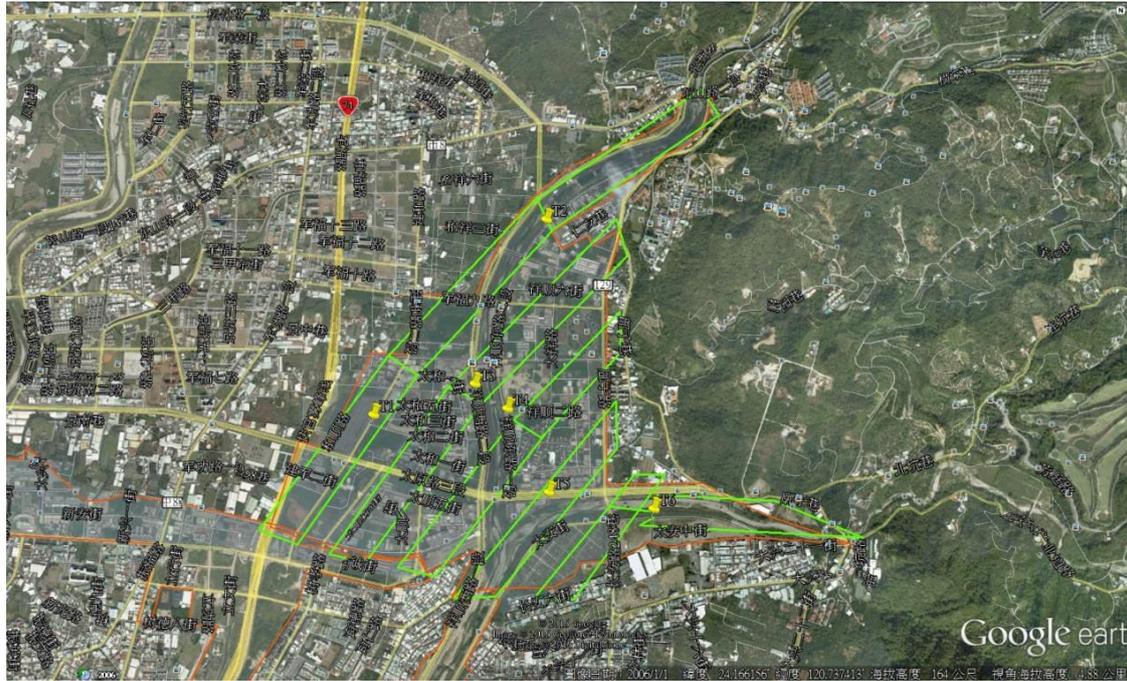


圖 3-146 臺中市政府（廍子地區）飛行航線規劃

表 3-51 臺中市政府（廍子地區）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺中市政府（廍子地區）
二、航拍日期	105/9/7
三、航線航程	總航程約 17.6 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨(氣溫 28°C，降雨機率 70%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/400 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 9 月 7 日 1000 時於建和路一段旁馬路待命起飛（如圖 3-147），於 1005 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 10 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1330 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 6 條航帶，拍攝影像數量合計 1,294 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-148。



圖 3-147 臺中市政府（廍子地區）起降場地作業情形

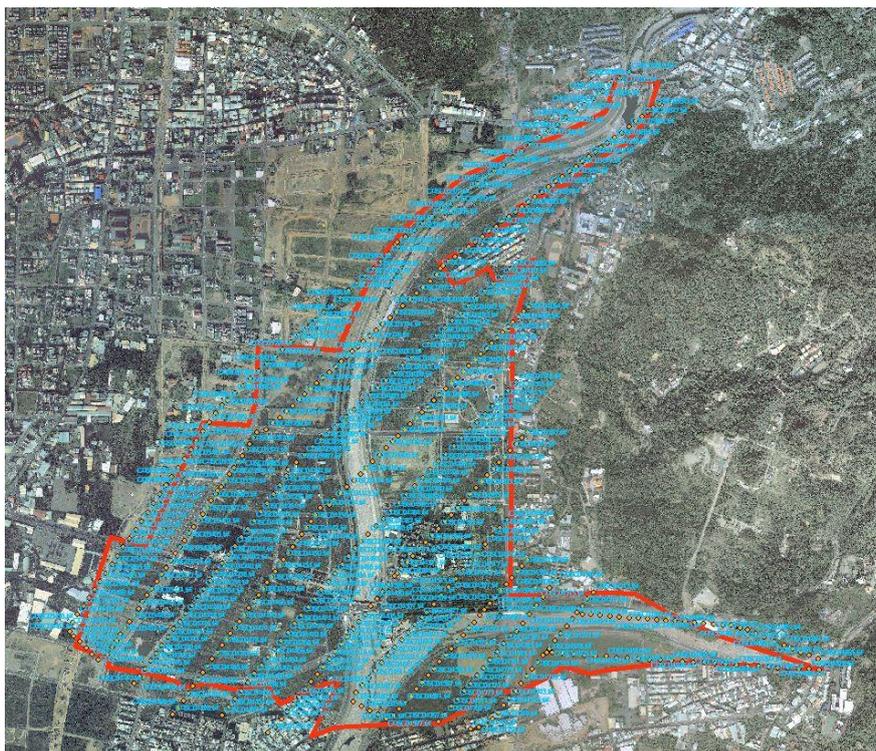


圖 3-148 臺中市政府（廍子地區）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物

點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-149 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-150 所示，成果精度如表 3-52 所示。

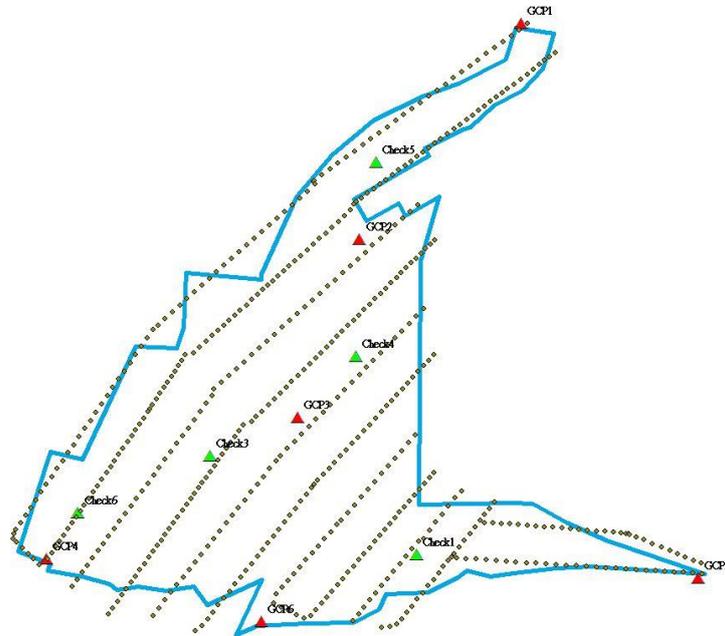


圖 3-149 臺中市政府（廍子地區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

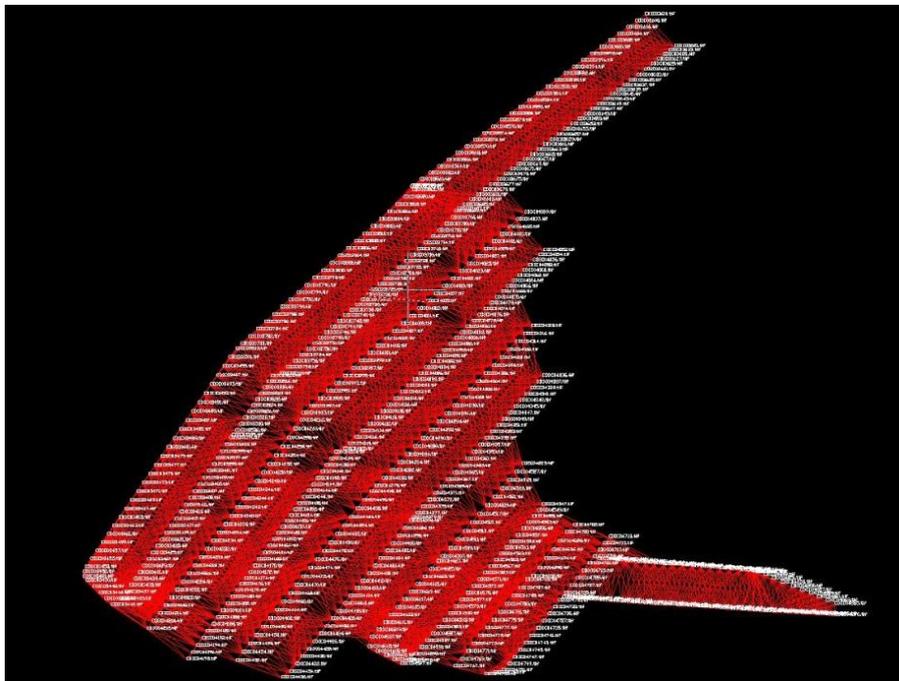


圖 3-150 臺中市政府（廍子地區）空三網型圖

表 3-52 臺中市政府（廊子地區）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺中市政府（廊子地區）	連結強度	0.811	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.5 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.5 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-151）。

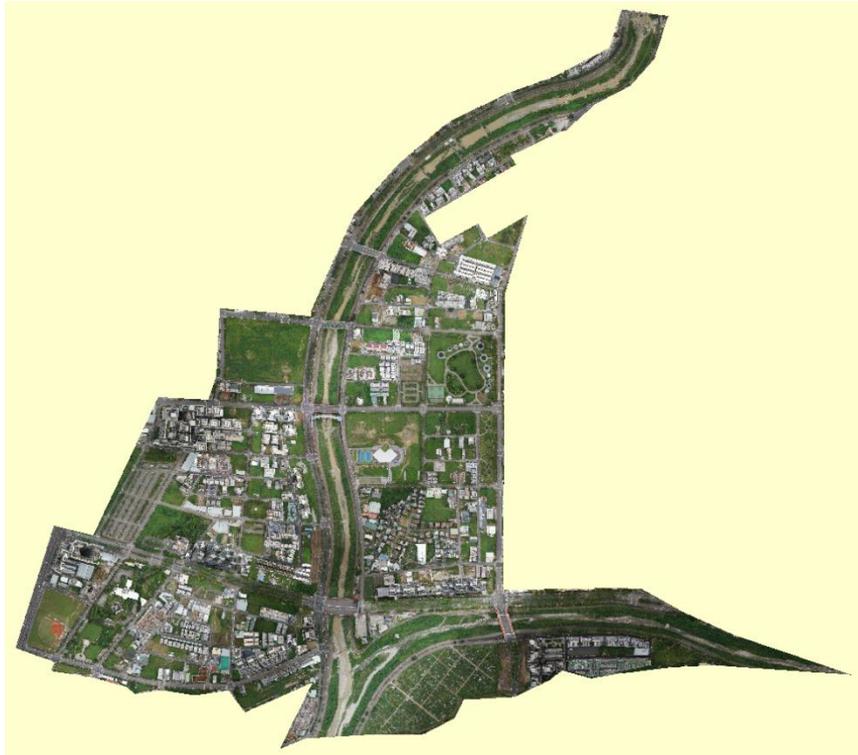


圖 3-151 臺中市政府（廊子地區）正射鑲嵌影像成果

## ■ 臺中市政府（太平新光地區）

### （一） 航拍任務執行

臺中市政府（太平新光地區）航拍區範圍約 400 公頃，地表高程約 80~120 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7R$  數位相機（像元大小為 4.90 $\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺中市政府（太平新光地區）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-152 所示，航拍區任務執行概況如表 3-53 所示。

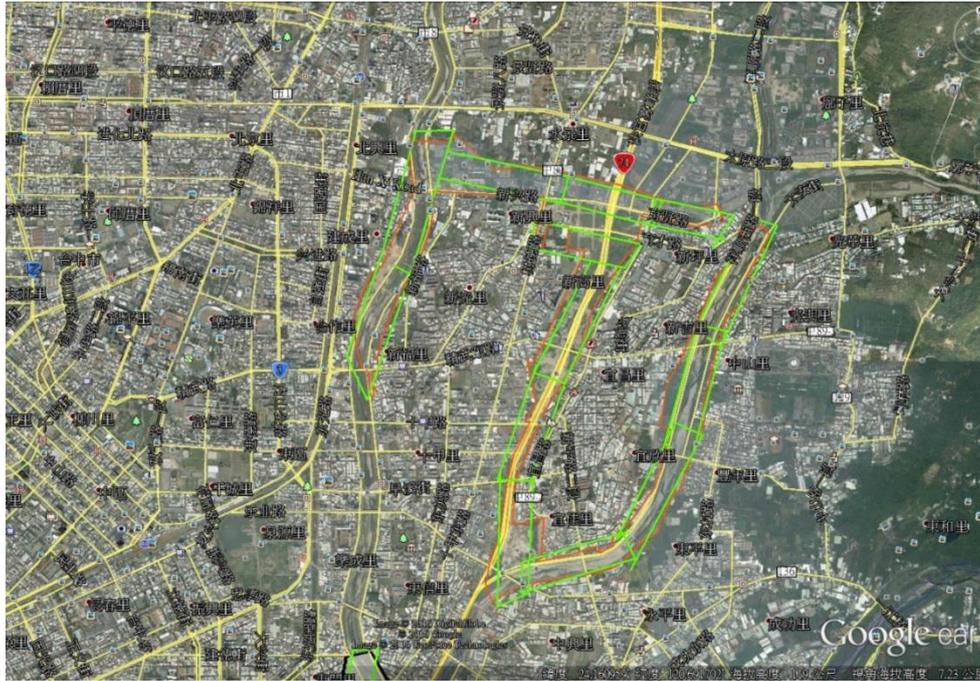


圖 3-152 臺中市政府（太平新光地區）飛行航線規劃

表 3-53 臺中市政府（太平新光地區）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺中市政府（太平新光地區）
二、航拍日期	105/9/9
三、航線航程	總航程約 21 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨(氣溫 28°C，降雨機率 70%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/500 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 9 月 9 日 0940 時於台 74 線旱溪街旁馬路待命起飛（如圖 3-153），於 0945 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 13 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1630 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 24 條航帶，拍攝影像數量合計 1,634 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-154。



圖 3-153 臺中市政府（太平新光地區）起降場地作業情形

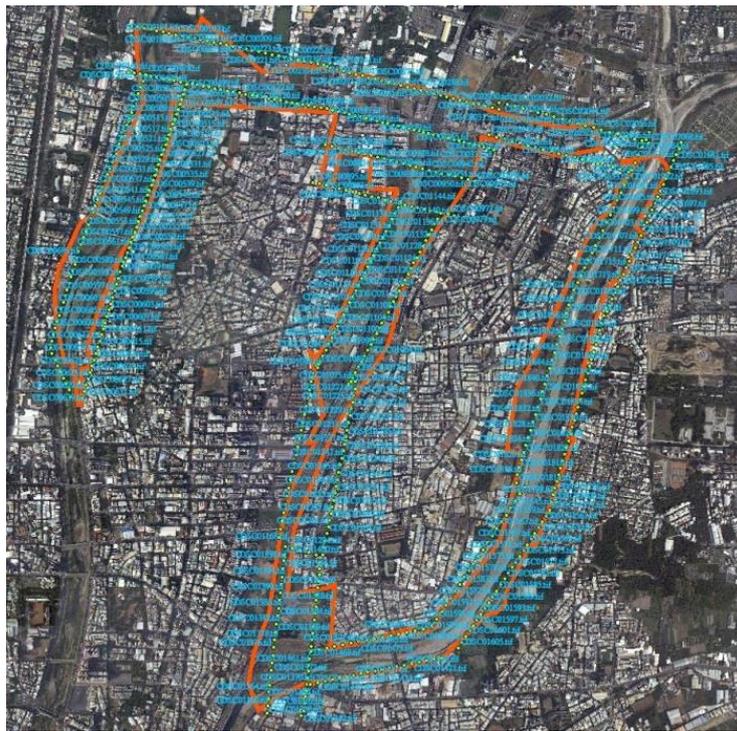


圖 3-154 臺中市政府（太平新光地區）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物

點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-155 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-156 所示，成果精度如表 3-54 所示。

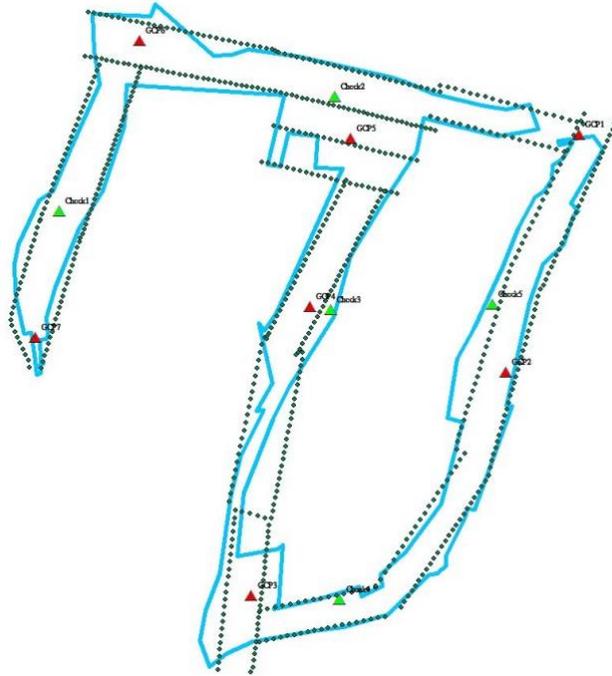


圖 3-155 臺中市政府（太平新光地區）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

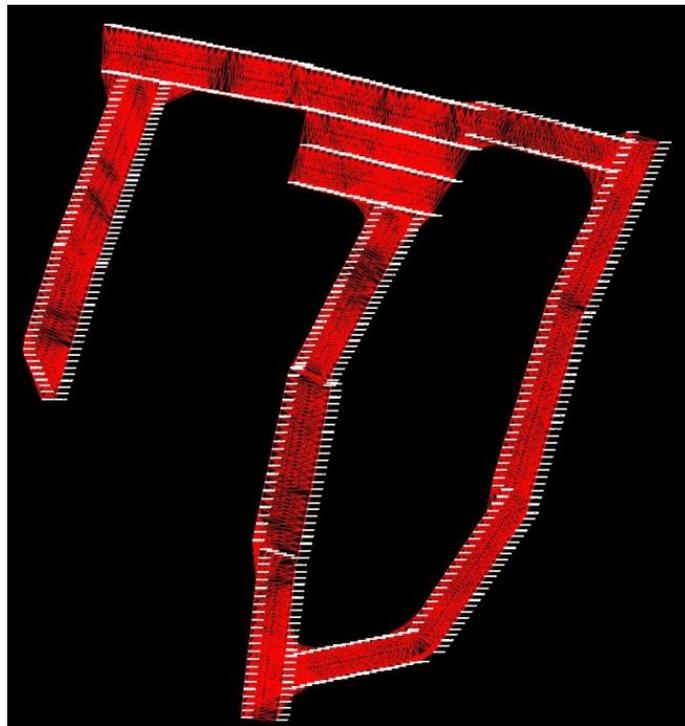


圖 3-156 臺中市政府（太平新光地區）空三網型圖

表 3-54 臺中市政府（太平新光地區）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺中市政府（太平新光地區）	連結強度	0.793	$\geq 0.3$
	自由網平差	2.3 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	2.6 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-157）。

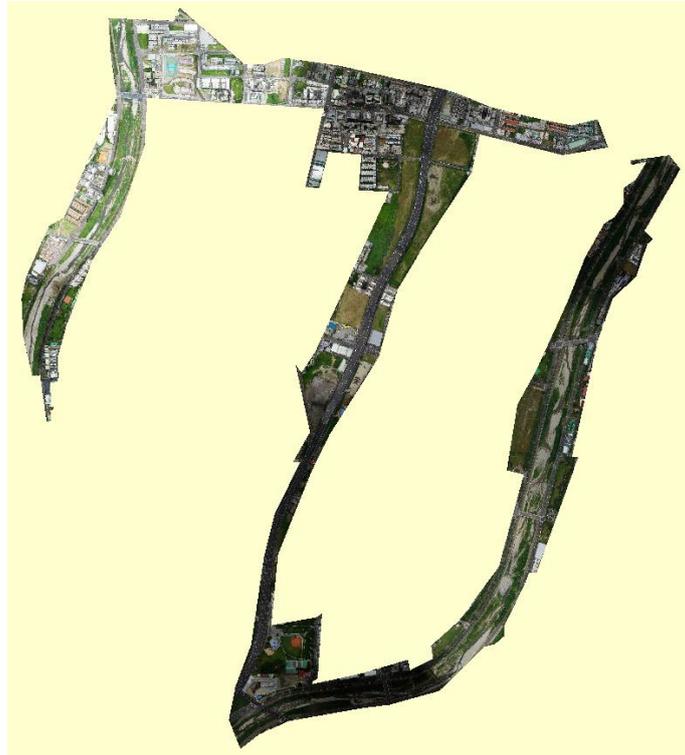


圖 3-157 臺中市政府（太平新光地區）正射鑲嵌影像成果

## ■ 臺中市政府（水湳機場原址）

### （一） 航拍任務執行

臺中市政府（水湳機場原址）航拍區範圍約 340 公頃，地表高程約 100~110 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為 6.00 $\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺中市政府（水湳機場原址）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-158 所示，航拍區任務執行概況如表 3-55 所示。



圖 3-158 臺中市政府（水湳機場原址）飛行航線規劃

表 3-55 臺中市政府（水湳機場原址）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺中市政府（水湳機場原址）
二、航拍日期	105/9/13
三、航線航程	總航程約 22.2 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨(氣溫 30°C, 降雨機率 10%)
五、風向/風級	偏北風/三級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/250 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 9 月 13 日 0940 時於凱旋路道路旁馬路待命起飛（如圖 3-159），於 0945 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 12 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1630 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 26 條航帶，拍攝影像數量合計 1,725 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-160。



圖 3-159 臺中市政府（水湳機場原址）起降場地作業情形

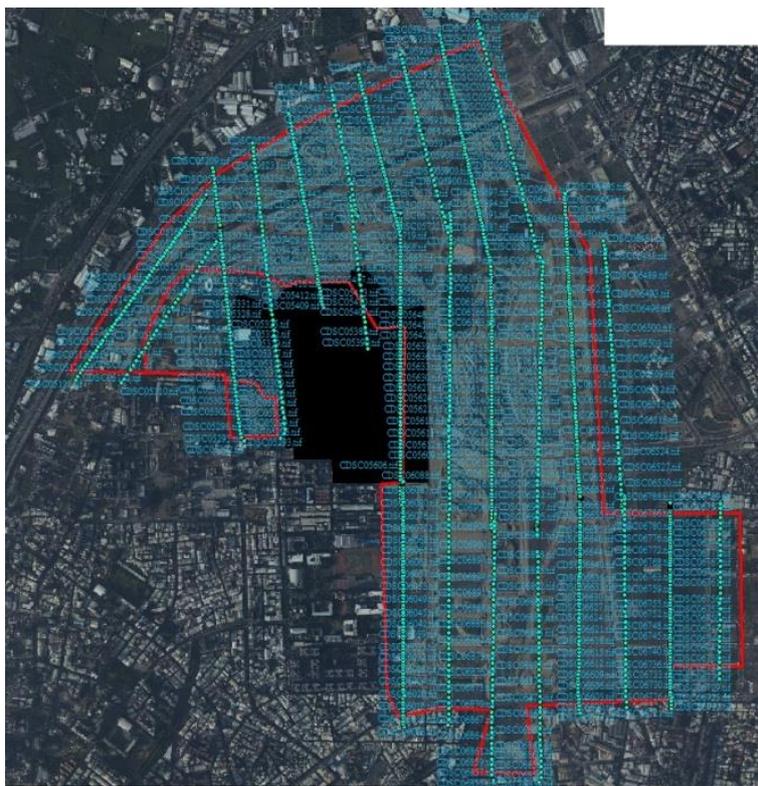


圖 3-160 臺中市政府（水湳機場原址）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物

點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-161 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-162 所示，成果精度如表 3-56 所示。

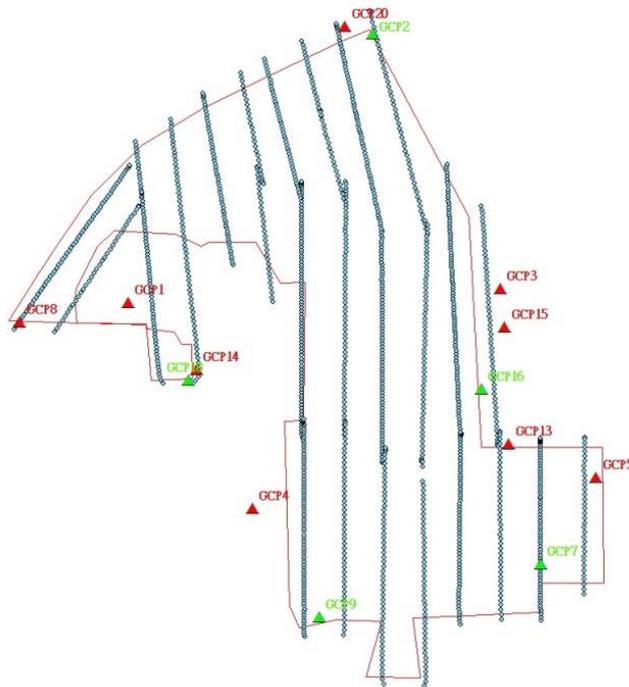


圖 3-161 臺中市政府（水湳機場原址）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

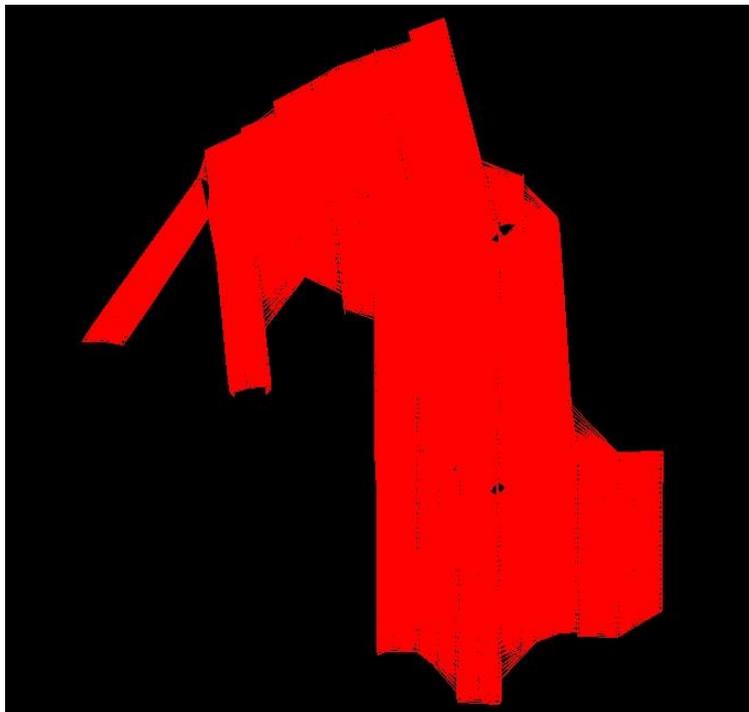


圖 3-162 臺中市政府（水湳機場原址）空三網型圖

表 3-56 臺中市政府（水湳機場原址）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺中市政府（水湳機場原址）	連結強度	0.923	$\geq 0.3$
	自由網平差	3.1 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.1 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-163）。

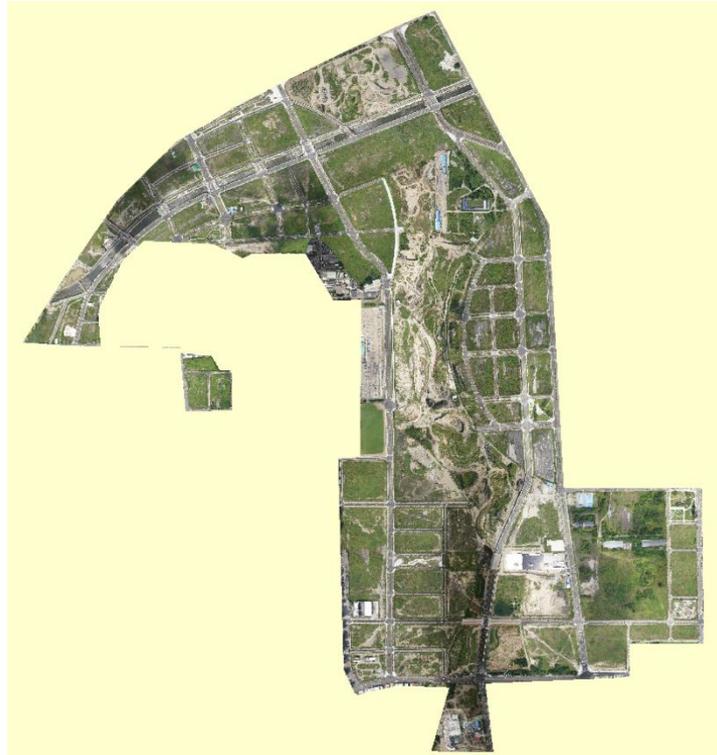


圖 3-163 臺中市政府（水湳機場原址）正射鑲嵌影像成果

#### ■ 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）

##### （三） 航拍任務執行

臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）航拍區範圍約 150 公頃，地表高程約 140~150 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為 6.00 $\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-164 所示，航拍區任務執行概況如表 3-57 所示。

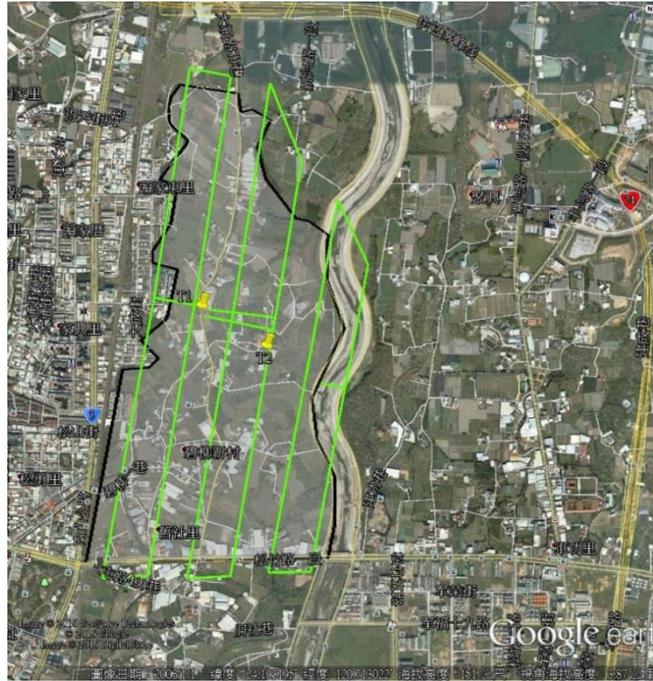


圖 3-164 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）飛行航線規劃

表 3-57 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）
二、航拍日期	105/9/10
三、航線航程	總航程約 10.0 公里
四、天氣狀況	多雲時陰短暫陣雨(氣溫 28°C, 降雨機率 20%)
五、風向/風級	偏南風/一級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/800 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 9 月 13 日 1030 時於十甲東路道路旁馬路待命起飛（如圖 3-165），於 1040 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 5 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1350 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 12 條航帶，拍攝影像數量合計 615 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-166。



圖 3-165 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）起降場地作業情形

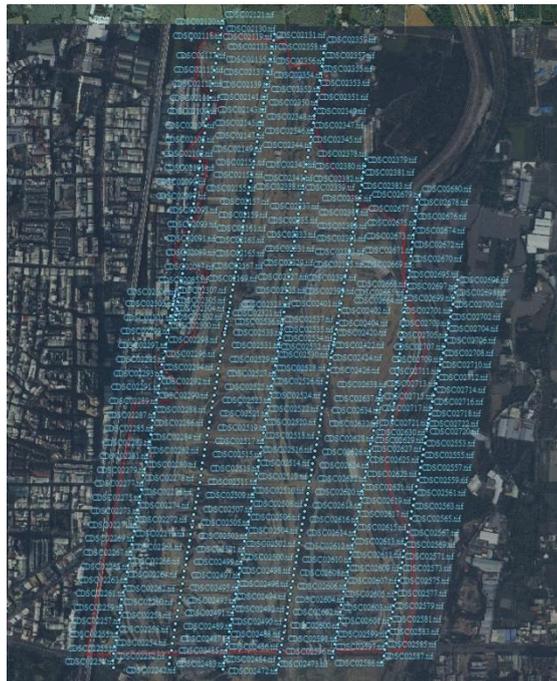


圖 3-166 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）UAS 分布圖

#### （四）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物

點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-167 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-168 所示，成果精度如表 3-58 所示。

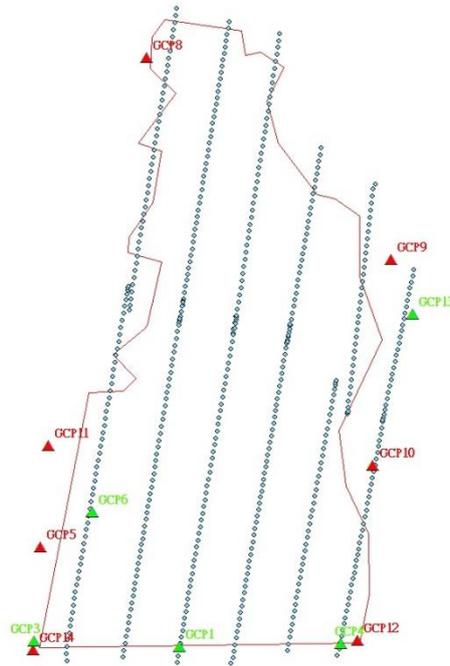


圖 3-167 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

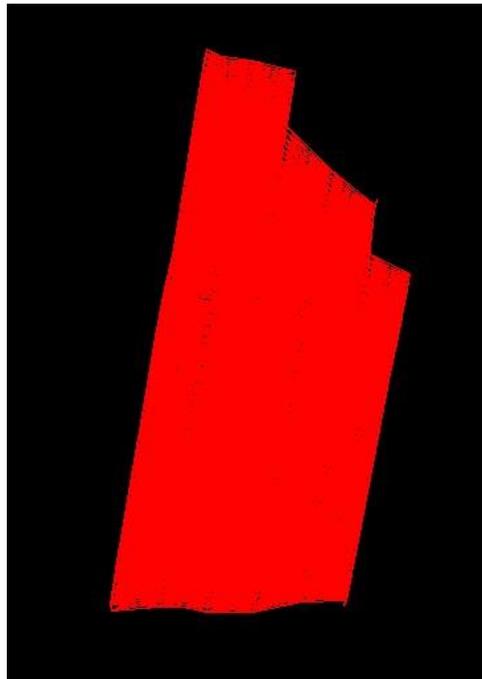


圖 3-168 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）空三網型圖

表 3-58 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
臺中市政府（捷 運文心北屯線機 廠及車站）	連結強度	0.900	$\geq 0.3$
	自由網平差	4.0 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.9 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-169）。

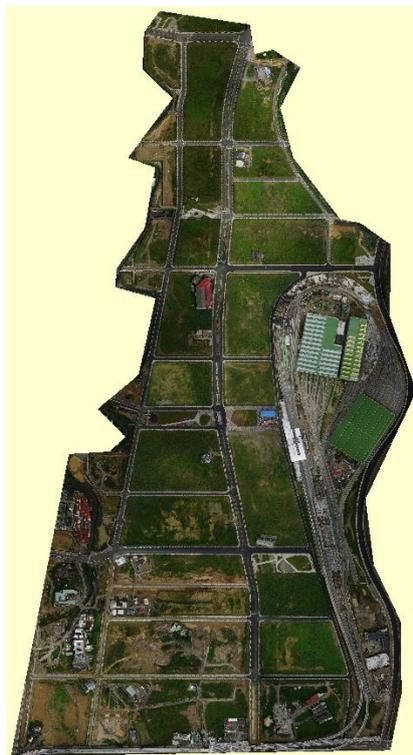


圖 3-169 臺中市政府（捷運文心北屯線機廠及車站）正射鑲嵌影像成果

#### 十四、公辦地重劃（第 13 期、第 14 期）

本區域為臺中市政府委託國土測繪中心為滿足圖資更新之需求辦理協助航拍作業，後續並配合圖資更新之需求辦理測製正射影像成果，更新臺灣通用電子地圖正射影像。相關航拍任務執行與影像處理作業說明如下：

##### ■ 公辦地重劃（第 13 期）

###### （一） 航拍任務執行

公辦地重劃(第 13 期)航拍區範圍約 280 公頃，地表高程約 40~60 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7R$  數位相機（像元大小為  $4.90\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。公辦地重劃（第 13 期）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-170 所示，航拍區任務執行概況如表 3-59 所示。



圖 3-170 公辦地重劃（第 13 期）飛行航線規劃

表 3-59 公辦地重劃（第 13 期）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	公辦地重劃（第 13 期）
二、航拍日期	105/10/20
三、航線航程	總航程約 24 公里
四、天氣狀況	晴時多雲午後陣雨(氣溫 30°C，降雨機率 10%)
五、風向/風級	偏南風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/800 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 10 月 20 日 0930 時於環中路五段道路旁馬路待命起飛（如圖 3-171），於 0945 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 10 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1500 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 16 條航帶，拍攝影像數量合計 1695 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-172。



圖 3-171 公辦地重劃（第 13 期）起降場地作業情形

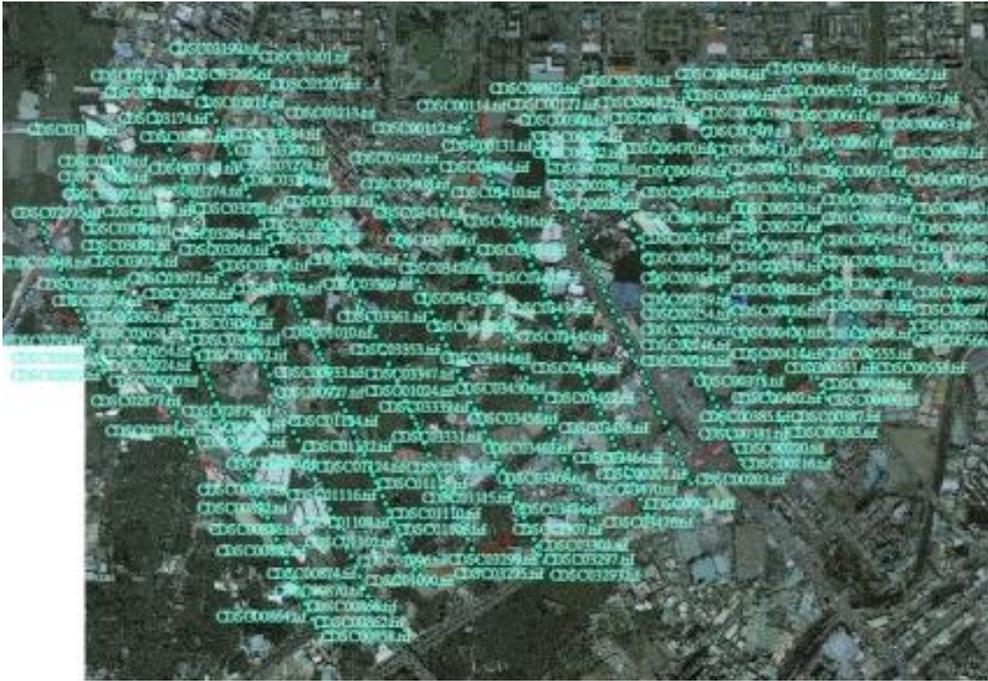


圖 3-172 公辦地重劃（第 13 期）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-173 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-174 所示，成果精度如表 3-60 所示。

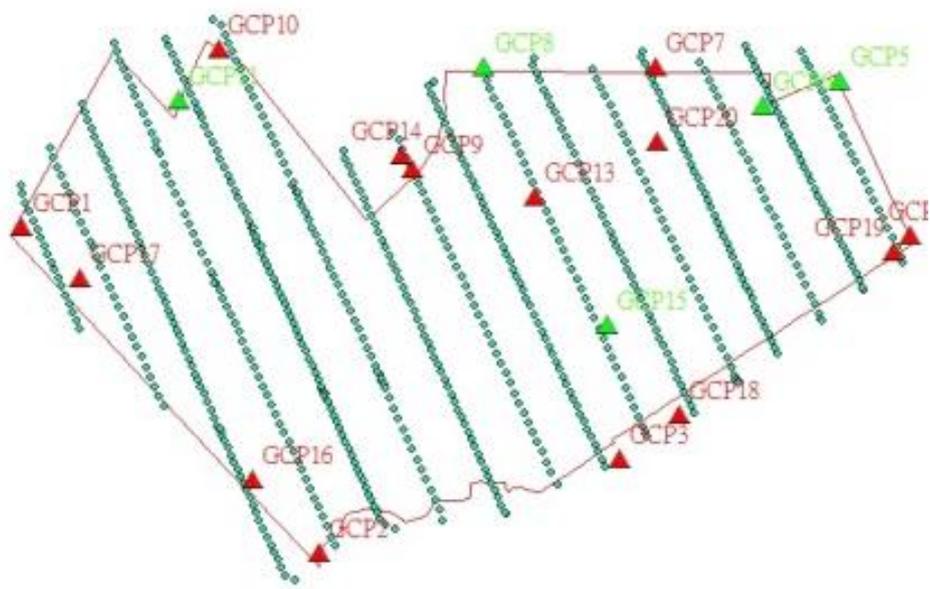


圖 3-173 公辦地重劃（第 13 期）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

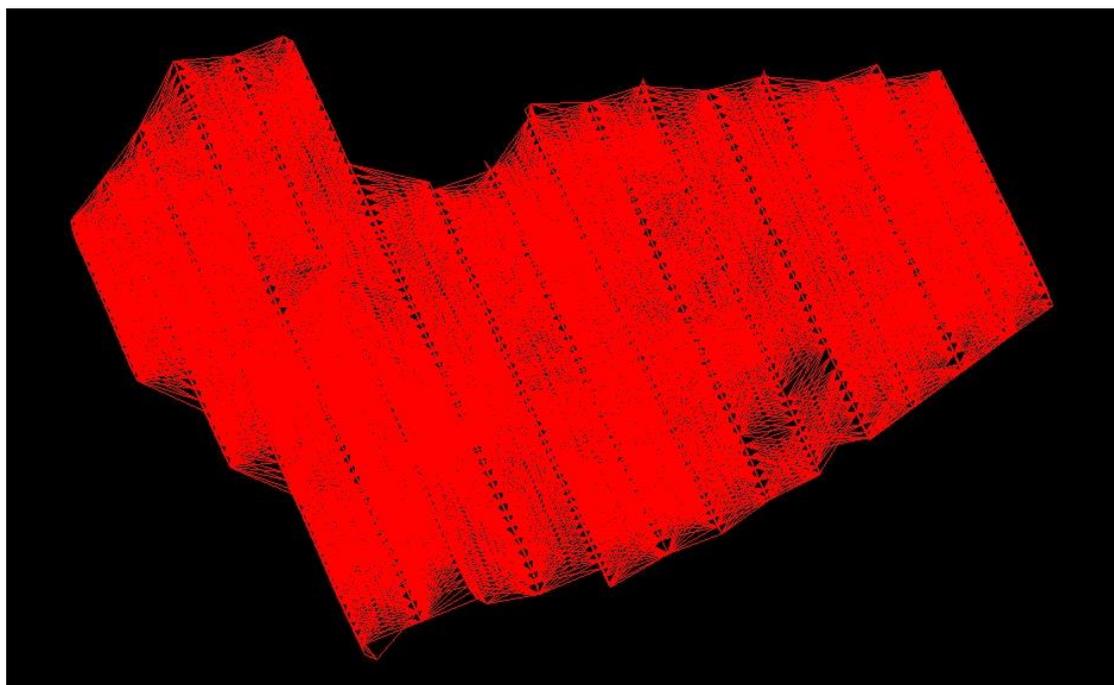


圖 3-174 公辦地重劃（第 13 期）空三網型圖

表 3-60 公辦地重劃（第 13 期）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
公辦地重劃（第 13 期）	連結強度	0.866	$\geq 0.3$
	自由網平差	$3.9\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	$3.9\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-175）。



圖 3-175 公辦地重劃（第 13 期）正射鑲嵌影像成果

## ■ 公辦地重劃（第 14 期）

### （一） 航拍任務執行

公辦地重劃（第 14 期）航拍區範圍約 650 公頃，地表高程約 125~145 公尺。航拍任務規劃使用旋翼型 UAS 搭載 Sony  $\alpha 7$  數位相機（像元大小為  $6.00\mu\text{m}$ ）搭配 21mm 焦距鏡頭，航高為 200 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%。公辦地重劃（第 14 期）拍攝範圍及航線規劃如圖 3-176 所示，航拍區任務執行概況如表 3-61 所示。

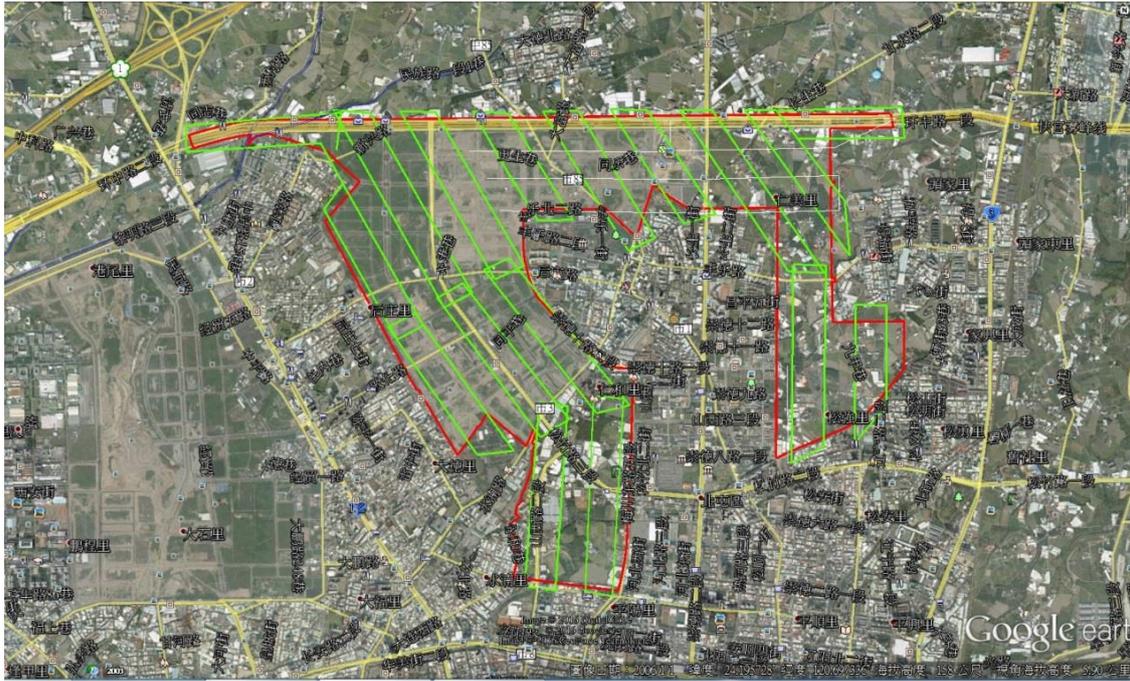


圖 3-176 公辦地重劃（第 14 期）飛行航線規劃

表 3-61 公辦地重劃（第 14 期）任務執行概況

項目	說明
一、航拍區域	公辦地重劃（第 14 期）
二、航拍日期	105/10/24
三、航線航程	總航程約 30 公里
四、天氣狀況	晴時多雲午後陣雨(氣溫 31°C，降雨機率 0%)
五、風向/風級	偏北風/二級
六、航拍高度/雲層高度	200 公尺/1000 公尺
七、地面解析度	0.06 公尺
八、UAS 載具	旋翼型 UAS

任務作業於 105 年 10 月 24 日 0915 時於環中路道路旁馬路待命起飛（如圖 3-177），於 0930 時與台北近場台協調空域完成，執行路面車輛管制後，旋翼型 UAS 起飛執行航拍任務，飛行總架次為 18 架次，每 1 架次飛行時間約為 7~8 分鐘，1610 時飛機任務執行完畢安全降落後與近場台告知飛行任務結束，並讀取拍攝照片確認正常後，結束本次任務。本區共拍攝 26 條航帶，拍攝影像數量合計 2283 張，地面解析度（GSD）約 6 公分，影像中心點分布如圖 3-178。



圖 3-177 公辦地重劃（第 14 期）起降場地作業情形

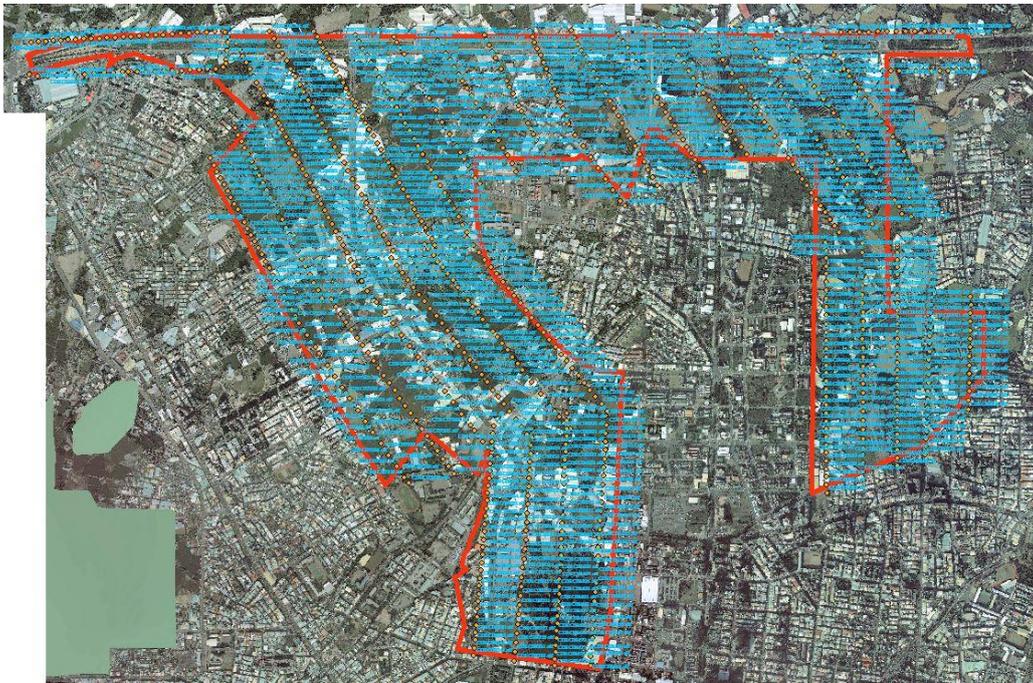


圖 3-178 公辦地重劃（第 14 期）航拍影像中心點分布圖

## （二）影像處理作業

UAS 相片利用空三測量進行空間解算，控制點來源為前期影像資料之特徵點，挑選原則為尋找於新舊影像皆可清楚辨識之不變地物點（如人行道邊角，未改之道路標線，明顯之磁磚等），再於室內新建相片間的匹配點位資訊，解算以求得點位之空間位置。控制點檢核點位置分布如圖 3-179 所示，空中三角測量網形圖如圖 3-180 所示，成果精度如表 3-62 所示。

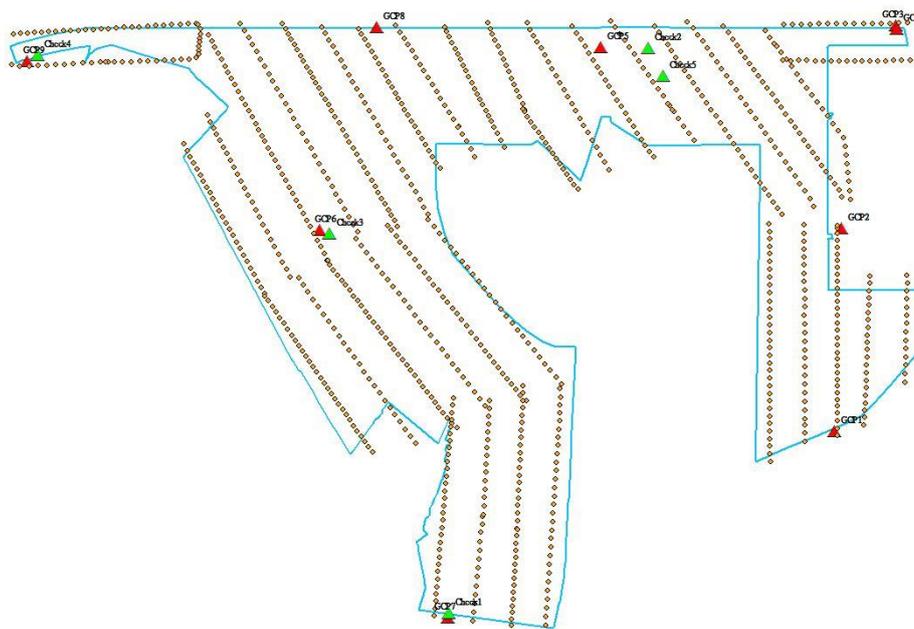


圖 3-179 公辦地重劃（第 14 期）控制點(紅)/檢核點(綠)分布圖

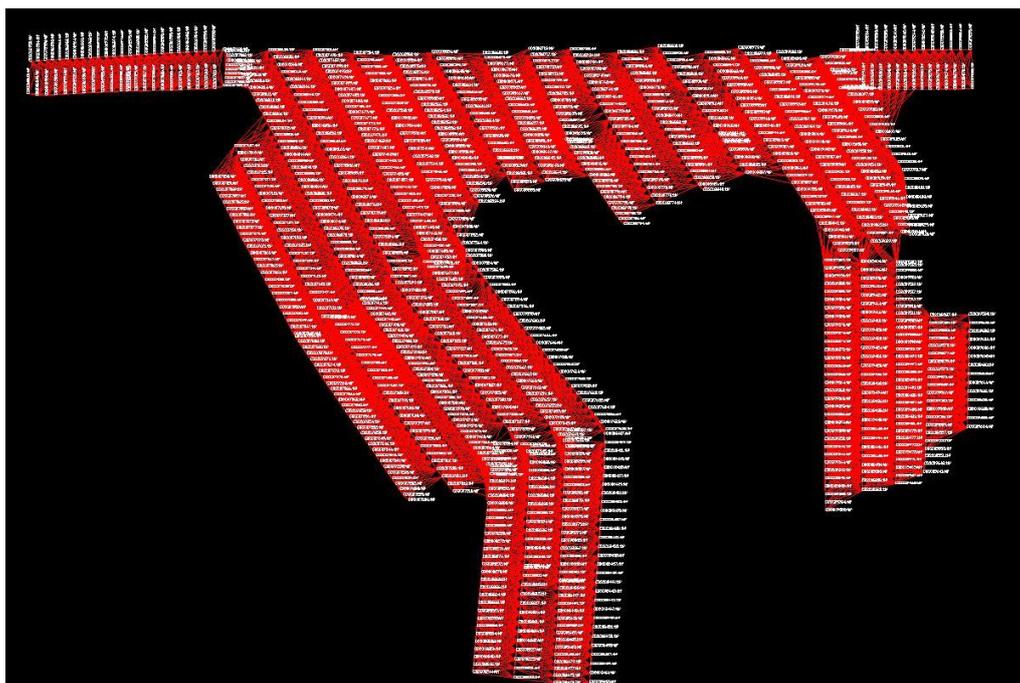


圖 3-180 公辦地重劃（第 14 期）空三網型圖

表 3-62 公辦地重劃（第 14 期）空三計算精度表

作業區	類型	計算成果	規範
公辦地重劃（第 14 期）	連結強度	0.853	$\geq 0.3$
	自由網平差	2.7 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	3.2 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

正射影像產製解析度為 25 公分，首先製作單張正射，再拼接為全區正射影像（圖 3-181）。



圖 3-181 公辦地重劃（第 14 期）正射鑲嵌影像成果

## 第二節 直接地理定位計算與成果分析

近年來由於 GNSS 與 IMU 等相關技術的發展之下，航測作業中以直接地理定位方法得到外方位元素的方法逐漸成熟，透過 GNSS 與 IMU 進行直接地理定位可以大量減少進行地面控制測量以及空三計算的時間與成本，因此於飛機或 UAS 等飛行載具利用直接地理定位的技術逐漸受到重視。圖 3-182 所示為 UAS 直接地理定位的概念圖。

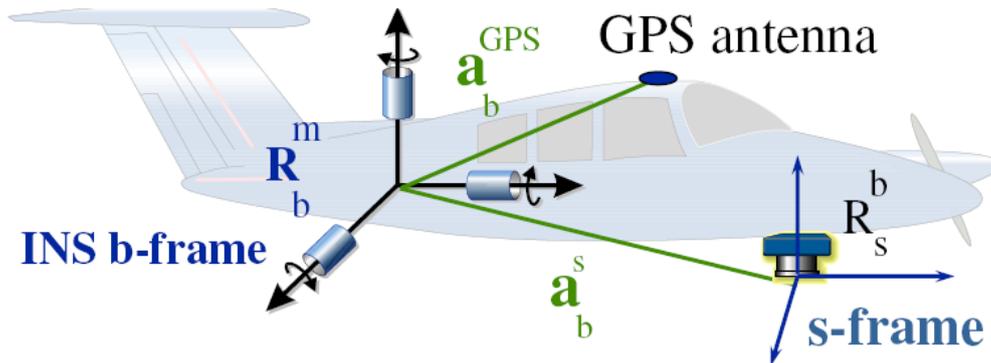


圖 3-182 UAS 透過 GNSS/IMU 直接定位的概念圖

本公司於 104 年專案協助國土測繪中心優化 POS，本年度實際搭載於國土測繪一號辦理航拍作業（圖 3-183），並計算 POS 優化後之直接地理定位成果與資料分析。本案優化 POS 之 GNSS 與 IMU 架構採用雙頻 GNSS 作為定位資訊來源，並搭配高精度微機電等級 (Micro Electro Mechanical Systems, MEMS) IMU，提供航空攝影測量所需之姿態與定位資訊，並將資料進行處理後儲存至記憶卡中。記憶卡所儲存之資料包含拍照時間、姿態與定位資訊，後續將航拍影像結合上述三種資訊便能進行量測。本項快速取得影像定位與定向資料的直接地理定位技術，特別是在防救災應變需快速反應或地面控制點缺乏的森林等地區，可快速取得航拍影像中等精度外方位資料，未來可應用於緊急應變快速圖資供應、環境變遷監控、資源探測保護等作業。



圖 3-183 POS 裝載於國土測繪一號完成圖

### 3.2.1 固定臂與軸角率定

欲實現直接地理定位，必備的關鍵設備為 GNSS 及 IMU，其中 GNSS 定位技術可提供位置資訊，而 IMU 提供姿態參數。然而 GNSS 與 IMU 並非與感測器中心位於相同位置，其位置與姿態資料不能直接當作感測器的位置與姿態。因此，欲達到直接地理定位的目的，須先透過兩項率定工作消除系統性誤差，分別為(1)GNSS 相位中心與感測器間的位置偏移量率定，即固定臂（Leverarm）率定；(2)IMU 與感測器觀測向量的軸角（Boresight）率定。為了驗證資料成果，本案首先針對優化後之 POS 進行固定臂與軸角率定工作，消除兩項系統性誤差。此兩項系統性誤差需藉由建立地面控制場取得控制來源，經由空三解算得影像外方位後，並與整合 GNSS 與 IMU 解算的外方位資料進行比較，計算得到固定臂與軸角率定成果。本案利用南投縣草屯鎮航拍成果進行固定臂與軸角率定，並使用率定結果計算彰化縣田中鎮、雲林縣古坑鄉、南投縣竹山鎮等 3 區直接地理定位結果。南投縣草屯鎮空三成果計算總計使用相片數量 525 張，成果精度如表 3-63 所示。

表 3-63 空三成果

作業區	類型	計算成果	規範
南投縣草屯鎮 (投 17 線拓寬工程)	連結強度	0.836	$\geq 0.3$
	自由網平差	5.3 $\mu\text{m}$	$\leq 10\mu\text{m}$
	強制附合平差	5.0 $\mu\text{m}$	$\leq 12\mu\text{m}$

圖 3-184 所示為整合 GNSS 與 IMU 的 POS 飛行軌跡，藉由 GNSS 與 IMU 軌跡得 POS 系統的外方位，與空三得相機系統的外方位，兩者之間資料比較，獲得固定臂及軸角率定成果（表 3-64）。

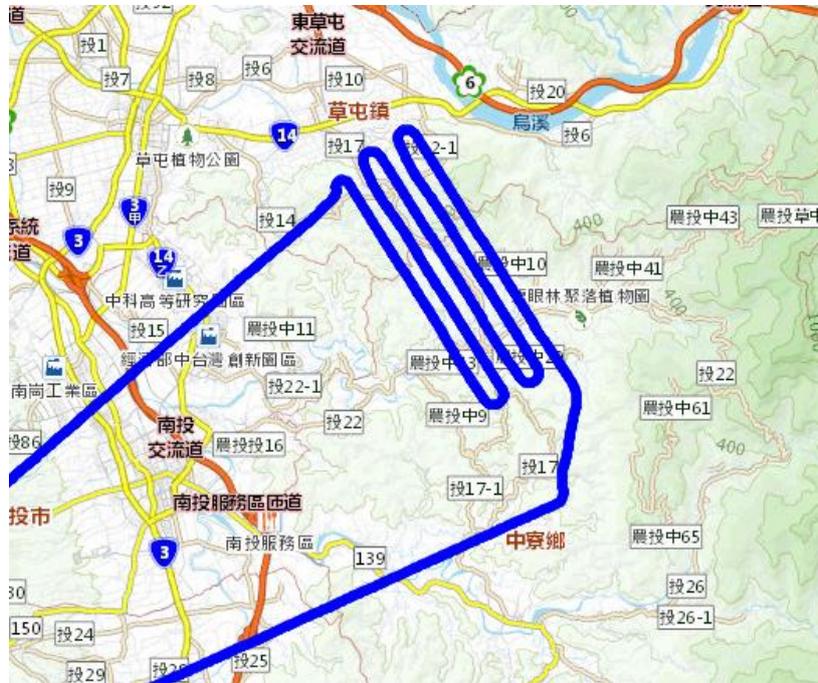


圖 3-184 POS 軌跡

表 3-64 固定臂與軸角率定成果

固定臂（公尺）		軸角（度）	
X	-0.2308	Omega	-0.0158
Y	-0.0973	Phi	-6.1689
Z	-0.5497	Kappa	4.9840

### 3.2.2 直接地理定位成果分析

計算得到固定臂與軸角率定成果後，即可使用自行研發軟體模組進行直接地理定位解算，評估 POS 直接地理定位成果的精度。圖 3-185 為使用 Visual Studio 及 C++ 所自行研發之直接地理定位模組，除可匯入地控點坐標、相機外方位及影像外方位資料外，程式具反投影及消除透鏡畸變誤差功能，可使欲量測之地控點坐標顯示在影像上，以減少量測之錯誤。藉此概念，搜尋所有拍到此地控點之影像，一併顯示在視窗底處，以人工挑選適當間距與交會角之多張影像進行前方交會，以評估系統直接地理之定位精度。最後計算之坐標成果則顯現在模組視窗上，將地面測量之三維物空間資料作為參考坐標，並以足量檢核點進行比對，其成果即可作為本系統直接地理定位能力之指標。

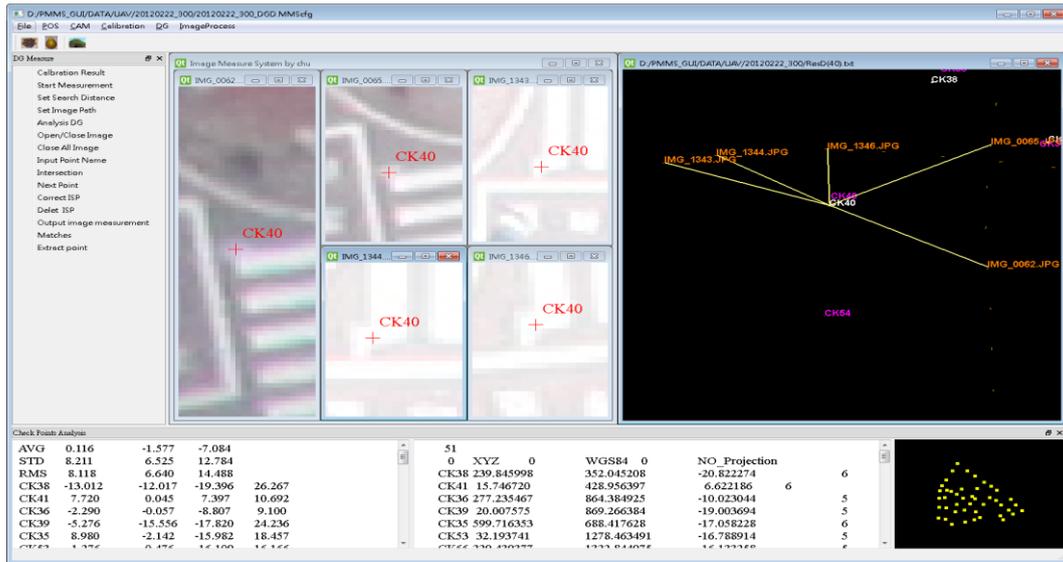


圖 3-185 直接地理定位程式介面

彙整本年度國土測繪 1 號拍攝區域（彰化縣田中鎮、雲林縣古坑鄉、南投縣竹山鎮）之直接地理定位計算結果（表 3-65），挑選檢核點 20 點進行精度分析。當定翼機搭載優化 POS 執行一般航拍任務，飛行高度約 600 公尺（影像 GSD 為 25 公分）時，在三軸方向定位精度 RMS（Root Mean Square）值約為 4.331、5.030、4.471 公尺。相較於過去使用單頻 GNSS 之 POS 定位精度（如表 3-66），本案使用雙頻 GNSS 之 POS 在三軸定位精度（RMS 值）上各提升約 27%、29%、55%。依結果來看，目前直接地理定位精度相較於空中三角測量（表 3-67 至表 3-69）而言，仍有提升空間，但因處理時間僅需 1 小時內即可進行量測作業，空三計算則需 1~3 天，於精度需求不高或具時效性應用領域如防救災應變、環境變遷監控、資源探測保護等各式應用上，仍有很大的效益。

表 3-65 雙頻 (BD970 與 ADIS16488) 直接地理定位精度

定翼機		航高 600 公尺	
	E(公尺)	N(公尺)	H(公尺)
AVG	-1.571	-1.313	1.489
STD	4.079	5.245	4.554
RMS	4.331	5.030	4.471

誤差：各量測值與已知值之差值， $x' = x_i - X$

AVG：各誤差值之平均值， $\mu = \frac{x'}{n}$

STD：各誤差值減去誤差之平均值，平方和除以個數， $STD = \sqrt{\frac{\sum(x' - \mu)^2}{n}}$

RMS：各誤差值平方和除以個數，開根號得 RMS 值， $RMS = \sqrt{\frac{\sum(x')^2}{n}}$

其中  $x'$  為誤差； $x_i$  為觀測值； $X$  為已知值； $\mu$  為誤差值之平均值； $n$  為個數。

表 3-66 單頻 (LEA-6T 與 ADIS16488) 直接地理定位精度

定翼機		航高 600 公尺	
	E(公尺)	N(公尺)	H(公尺)
AVG	0.149	0.723	-1.163
STD	5.819	7.034	8.908
RMS	5.910	7.109	9.997

表 3-67 定翼機航高 600 公尺空中三角計算精度

	平面(公尺)	高程(公尺)
AVG	0.250	0.250
STD	0.547	0.359
RMS	0.588	0.419

表 3-68 旋翼機航高 200 公尺空中三角計算精度

	平面(公尺)	高程(公尺)
AVG	0.218	0.215
STD	0.576	0.432
RMS	0.614	0.480

表 3-69 旋翼機航高 200 公尺，空中三角計算精度（地面控制測量取得控制點坐標）

	平面(公尺)	高程(公尺)
AVG	0.108	0.128
STD	0.141	0.149
RMS	0.163	0.186

直接地理定位誤差估計可參考表 3-70，此估計誤差來源為本案自行評估，如 GNSS/IMU 定位誤差若為 1~2 公尺，則直接地理定位精度就會有 1~2 公尺的誤差。因此依照開發的定位定向系統規格，與飛行的航高，率定結果等誤差因素來源，將誤差量相加，對照此表評估最終直接地理定位精度屬合理範圍。此誤差可藉由搭載較佳的 IMU、靜態率定、較低的飛行高度等進行改善。同時透過誤差表的統計計算，可驗證本系統於直接地理定位誤差皆屬於合理範圍內。

表 3-70 直接地理定位誤差估計

誤差來源	量級	影響直接地理定位誤差 $\delta r_i^m$
GNSS/IMU 定位誤差	1~2 公尺	1~2 公尺
GNSS/IMU 定向誤差	0.5~1 度	航高 600 公尺時 6~12 公尺
率定誤差 $\delta R_m^b$	0.5~1 度	航高 600 公尺時 6~12 公尺
率定誤差 $\delta a^b$	0.05~0.1 公尺	航高 600 公尺時 1~2 公尺
同步誤差 $V\delta T$	1~2 毫秒	時速 100 公里時 2.7~5.4 公分
同步誤差 $\omega\delta T$	1~2 毫秒	航高 600 公尺，Angular $\omega$ 每秒 30 度時 30~60 公分

由上述成果可知，國土測繪一號搭載優化後之 POS，在一般航拍之航高約 600 公尺時，航拍影像透過固定臂及軸角率定資料修正 POS 系統誤差後（約 1 小時處理時間），其直接地理定位精度約為 5 公尺左右，雖然影像直接地理定位成果仍較空三處理過後成果精度為差，但因處理時間僅需 1 小時內即可進行量測作業，空三計算則需 1~3 天，於精度需求不高或具時效性應用領域如防救災應變、環境變遷監控、資源探測保護等各式應用上，仍有很大的效益。如森林火源偵測僅需 20~50 公尺量測精度或緊急防救災應變及地面控制點缺乏的森林、山區等地區，直接地理定位即能滿足其需求，並快速提供決策單位相關空間資訊。然而於正射影影像輸出與鑲嵌，直接地理定定方式求得之外方位參數精度仍不足，僅能作為輔助空三計算使用，減少影像匹配時所需作業時間。

## 第肆章 三維影像模型及全景攝影研究測試

### 第一節 三維影像模型研究測試

UAS 傾斜攝影建置三維影像模型於 104 年度測試成果中，已可完成高樓層三維模型建置，與地面影像（測繪車）結合部分因遭遇車輛與行人及行道樹等因素致影像匹配成果不佳，本年度繼續研究測試精進 UAS 傾斜攝影三維建模工作，並修正加入地面影像（測繪車或人工拍攝）之作法，藉以整合不同角度影像進行三維建模，達到製作更精細三維影像模型之目的。本案延續 104 年度計畫，優化無人飛行載具專用傾斜攝影系統，改由三鏡頭攝影系統替代原五鏡頭攝影系統，主要因應旋翼型 UAS 酬載限制，並採用較高等級之攝影系統，以解決五鏡頭傾斜攝影系統中，相機無法固定焦距相機組合，期能以此獲取更佳相片品質來完成三維建模。

#### 4.1.1 設備簡介及整合

三維影像模型研究測試採用本團隊自行開發設計的三相機組合雲台，本次設計之三鏡頭傾斜攝影設備與 104 年度五相機設計比較表如表 4-1 所示，三鏡頭方向為前後向下傾斜 45 度，且改搭載 Sony DSC-QX1 數位相機，拍攝焦距為 16mm，拍攝相片畫素大小為 5,456 x 3,632（約 2,000 萬畫素），CMOS 感測器尺寸為 23.2 x 15.4 $\mu$ m。此款相機規格為 COMS，大小為標準 APS-C，為 Sony 製造給手機專用之微型單眼，其優點在於沒有螢幕，大幅降低相機重量。規格部分皆比照微型單眼，拍照模式可以調整光圈先決、快門先決、手動模式等。由於自動模式鏡頭焦距會自動調整，導致每張內方位率定成果不一致，藉由手動模式設定鏡頭焦距固定，相機執行預率定工作以解決傾斜攝影相關不穩定性，提升三維影像建模成果更加精準。

表 4-1 五鏡頭與三鏡頭攝影系統比較表

鏡頭組	五鏡頭設計	三鏡頭設計
鏡頭外觀		
相機及鏡頭	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sony QX10</li> <li>● CMOS 1/2.3</li> </ul> <p>(6.17 x 4.55mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pixel Size: 1.25 μm</li> <li>● f = 4.45~44.5mm</li> <li>● 全自動拍照模式</li> <li>● 自動 (4~1/1600)/程式化自動 (1~1/1600)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sony QX1</li> <li>● CMOS APS-C</li> </ul> <p>(23.2 x 15.4mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pixel Size: 4.21 μm</li> <li>● 定焦 16mm</li> <li>● 自動/手動 (A、S、M)</li> <li>● 單拍/連拍/速度先決連拍/自拍計時器 (10 秒/2 秒延遲)</li> </ul>
總重量	1.1 公斤	1.4 公斤
POS 觸發	GPS 偵測、移動觸發	手動、高度、自動、區域拍攝
觸發端子	須改機(破壞保固)	Multi/Micro USB 端子
設計規劃	採用輕巧設計，以垂直及周圍五鏡頭為設計架構	採用高解析度鏡頭組，配合手動拍攝模式，採用鏡頭預率定方法，以解決傾斜攝影相關不穩定性

本案使用旋翼型 UAS (圖 4-1 與表 4-2) 搭載多相機組合雲台，旋翼機直徑約 120 公分，飛行操作高度可達 500 公尺，每次滯空拍攝作業時間達 20 分鐘，可搭載多相機組合雲台拍攝需求範圍區域之高畫質傾斜影像。三鏡頭傾斜攝影設備整合裝載至旋翼型 UAS 如圖 4-2 所示，其上搭載無線通訊、控制設備、POS 系統等。當旋翼型 UAS 起飛後，相機啟動模式包含(1)手動：地面人員上傳命令開啟相機拍照；(2)定點：設定範圍西北角起點與東南角終點坐標，UAS 至定點後開啟拍照；(3)自動：UAS 飛行至設定高度啟動相機拍照功能。拍照觸

發模式包含定距離與定時間拍攝，相關設定介面圖如 4-3 所示。



圖 4-1 旋翼型 UAS

表 4-2 旋翼型 UAS 規格表

載具寬度	120 公分	最大航高	< 500 公尺
載具重量	5.0 公斤	載具飛行距離	< 2,500 公尺
酬載重量	1.0 公斤	滯空時間	< 20 分鐘



圖 4-2 多相機組合雲台攝影系統整合圖

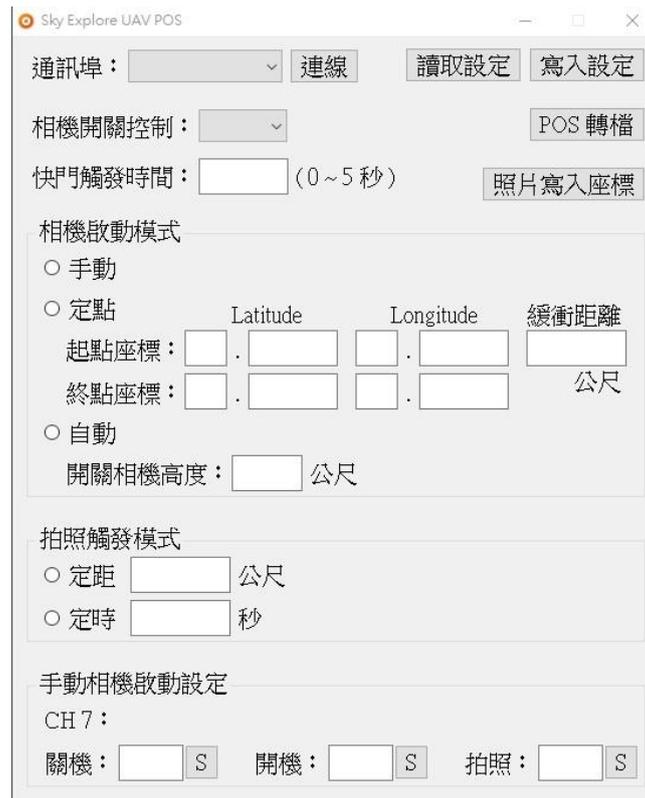


圖 4-3 多相機相機拍照設定介面

## 4.1.2 作業方法流程

### 4.1.2.1 三維建模作業方法流程

本案依據多視立體視覺三維建模技術，規劃以傾斜攝影方式進行三維建模，採用多軸攝影系統，並搭配自製傾斜攝影系統拍攝，於演算法中探討曲面重建技術，讓傾斜攝影側面資訊可以更加完整，最後再使用地面高解析度影像(測繪車或人工拍攝)補強三維模型之紋理。傾斜攝影三維建模可依據圖 4-4 之流程圖，依據多視立體視覺三維建模技術選擇傾斜相機，再依序進行 SfM(Structure from Motion)解算、稠密點雲計算、點雲疏化、三維表面建構 (Mesh) 及紋理貼附後完成三維影像模型建置。



圖 4-4 UAS 三維建模技術與流程

在三維建模過程中點雲疏化扮演了不可或缺之重要地位，首先透過稠密點雲可產製非常高密度之點雲資訊，但透過如此高稠密點雲資訊進行三維建模，會導致表面估算效率過低，以及三維建模後須更強大硬體設備才能進行瀏覽。因此本案透過保留點雲邊緣方法進行點雲疏化，再透過法線估算過程重建表面，最後將紋理貼附於重建表面上完成三維建模之目的，點雲疏化示意如圖 4-5。

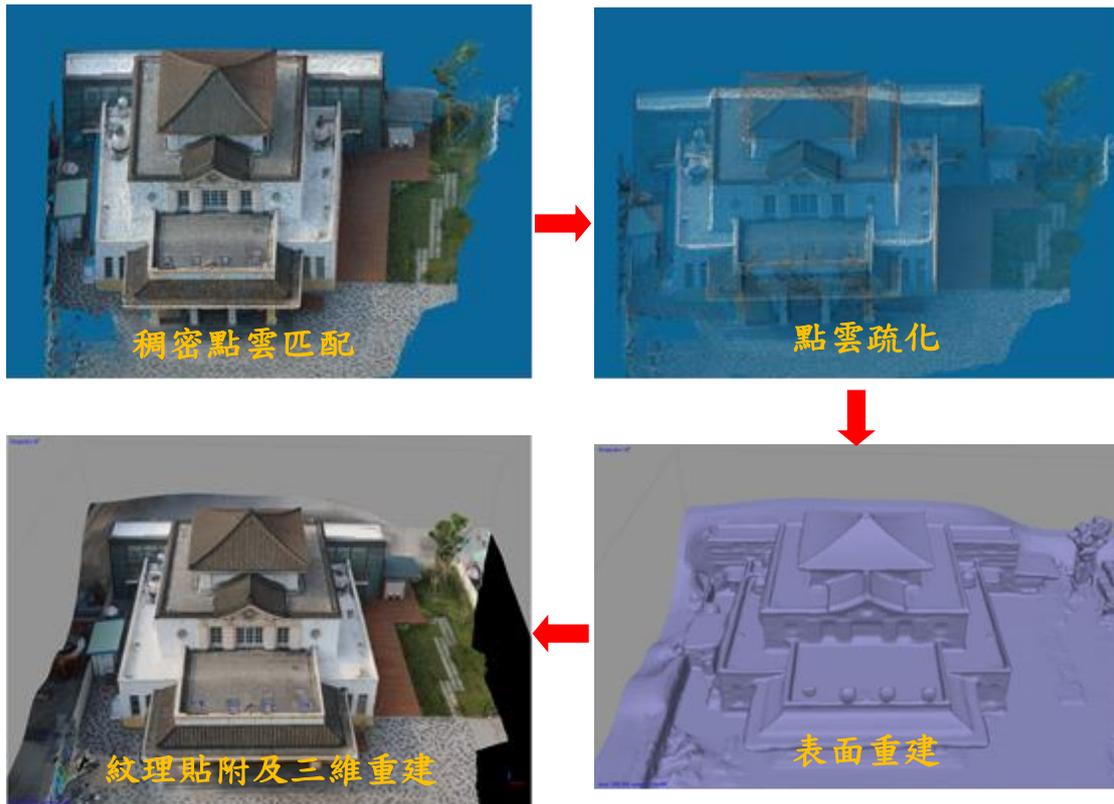


圖 4-5 點雲疏化示意圖

#### 4.1.2.2 影像處理軟硬體簡介

三維建模計算軟體部分採用 Agisoft 公司所開發之 PhotoScan 軟體，並配合自行編寫之 Python 程式進行搭配運算。PhotoScan 軟體支援透過 Python 程式進行附加功能開發，本團隊分別針對傾斜攝影開發包含點雲疏化、表面三維建模、分區塊計算方式等附加程式，主要解決 PhotoScan 軟體功能不足之地方。

三維建模工作需要非常大量運算，擁有強大運算單元將可省去等待之時間，若只採用單一主機進行運算，則運算時間及效率將會降低。本團隊利用 3 台高階工作站進行運算，主要目的使運算平行化，降低運算時間，解決運算效率問題。

執行運算之電腦硬體環境使用 Clustering Computing 架構進行運算，共計採用 3 台工作站進行計算，各工作站硬體規格如下表 4-3：

表 4-3 影像處理硬體規格表

項目	HP Z620	Dell	HP Z440
	WorkStation	WorkStation	WorkStation
處理器	Intel Xeon E5-2620*2  ( 24 Core )	Intel Xeon E5-620*2  ( 16 Core )	Intel Xeon E5-1630 V3  ( 8 Core )
記憶體	96 GB	24 GB	68 GB
顯示卡	Nvidia GeForce GTX 780 Ti  Nvidia Quadro 2000	Nvidia Quadro 4000	Nvidia Quadro M4000  Nvidia Quadro 200
作業系統	Windows 10	Windows 10	Windows 10

另於三維建模軟體本年度也加入了 Bentley ContextCapture 軟體進行三維建模工作，ContextCapture 前身為 SmartCapture Acute3D 軟體，與 Skyline Photomesh 使用相同運算核心，為目前公認三維建模成果最佳之商業軟體，但於現行版本中仍無法手動加入相關模型合併、模型對齊等功能，因此本年度所執行專案仍以 PhotoScan 軟體為主，ContextCapture 軟體為三維建模與模型展示使用。

#### 4.1.2.3 相機率定作業方法流程

相機率定程序為攝影測量也是三維建模最重要工作之一，而本案例中採用 Sony QX-1 相機，主要考量可將鏡頭調整為定焦模式，並可自行決定相關拍攝參數，這些功能將有效解決高空拍照之相關不穩定因素，如快門速度不足以致模糊現象、採用相機預率定參數可有效降低解算時間等，而因應多視立體視覺三維建模技術所提出之相關相機自率定程序，本案也一併與預率定進行相關測試與比較，評估自率定與預率定於不同控制點環境下之精度，以於後續三維建模時，採用最適合之相機率定方式。

##### 一、 相機預率定流程說明

本實驗預率定程序採用近景攝影測量 Australis (iWitness PRO) 軟體進行相機率定，相機率定程序如圖 4-6 所示。預率定程序中採用 Australis 自動率定標誌進行率定，求得率定參數後於高雄應用科技大

學操場做為實驗區進行驗證，利用 SfM 方法進行自率定解算，預率定部分為將 Australis 率定後參數經轉換後帶入 SfM 進行後續解算。最後依據不同實驗所設計之檢核點及控制點進行絕對坐標驗證，以驗證自率定及預率定成果是否一致，以論述本實驗中假設自率定成果已可取代預率定成果之結果。

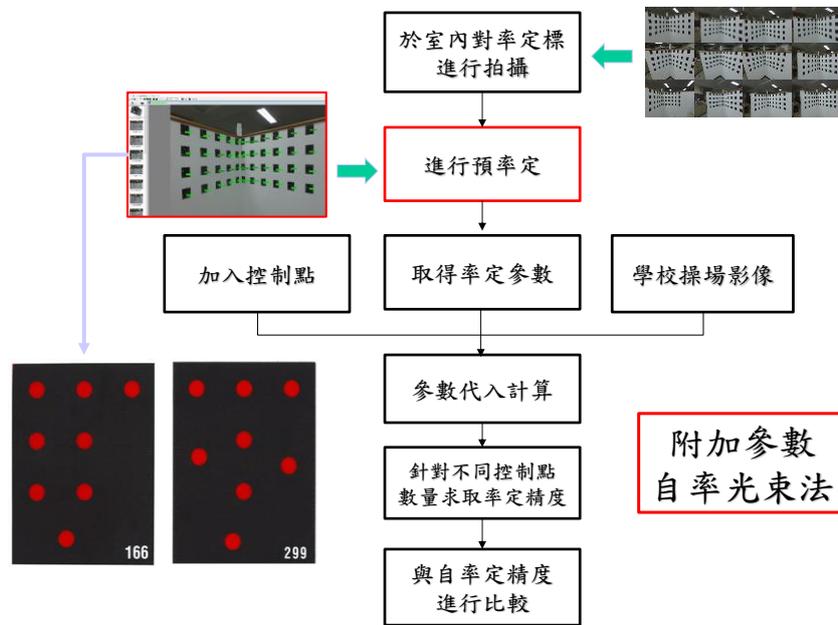


圖 4-6 預率定實驗流程圖

## 二、 相機預率定結果

相機率定包含上述傾斜攝影使用之 Sony QX1 相機，並以上述率定步驟來探討傾斜攝影預率定成果，率定成果請參考附錄四。相關率定成果將於後續實驗中，以真實場景配合控制點及檢核點進行精度驗證。

## 三、 自率定及預率定比較之實驗設計

為了驗證自率定與預率定之成果，本實驗設計以自然場景並布設大量控制點及檢核點，控制點及檢核點皆採用靜態GNSS進行操場周圍 10 點控制點觀測，並以全測站經緯儀採三角三邊多站交會方式進行觀測，以確保觀測數據之精度。Sony QX1 相機組控制點及檢核點分布如圖 4-7 所示。本實驗規劃採用不同控制點數量，對固定檢核點數量進行計算，主要目的在於探討控制點數量多寡，是否對自率定及預率定解算成果產生精度提升。圖中 0 為檢核點分布位置，1 6 11 16 21 26 分別代表各個實驗組中採用之控制點數量。如實驗組一為 1

控制點分布位置；實驗組二為 ①+⑥ 控制點分布位置；實驗組三為 ①+⑥+⑪，依此類推。



圖 4-7 Sony QX1 相機實驗組中檢核點及控制點分布圖

實驗組 1 至 3 以傾斜攝影三鏡頭組，設計航高為 50 公尺，拍攝地面解析度約 1.6 公分，每顆鏡頭共計拍攝 160 張。

#### 四、 自率定及預率定成果比較分析

本實驗採用上述設備及拍攝相片進行實驗，並採用 SfM 計算工具進行相關實驗。自率定部分直接採用 SfM 計算工具所計算之成果，直接進行控制點及檢核點精度驗證。預率定部分因採用 Australis 進行相機率定，而每套率定軟體所使用的率定參數 (c、xp、yp、K1、K2、K3、P1、P2、B1、B2) 名稱相同，但表示的公式卻不一定相同，因此須先進行參數轉換。如圖 4-8 至圖 4-10 所示，(a) 為預率定相機率定參數轉換成果，(b) 為直接採用自率定率定成果，自率定因受到控制點數量的多寡而有些微變化，以下取 5 個控制點為例。

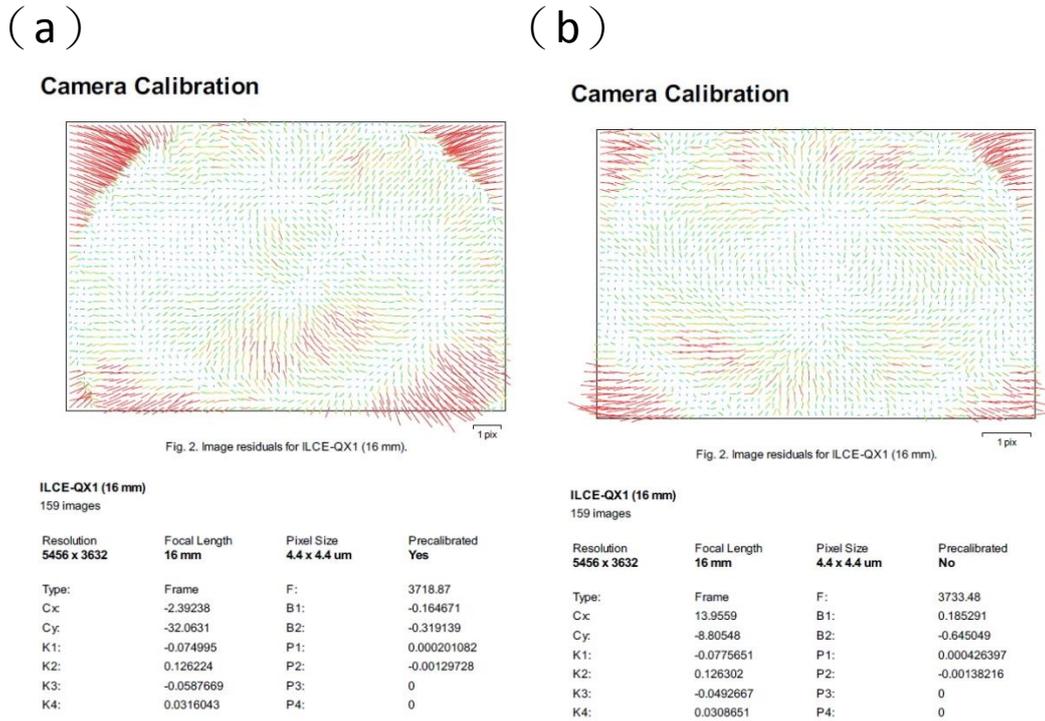


圖 4-8 Sony QX1\_01 傾斜攝影 (a) 預率定及 (b) 自率定成果

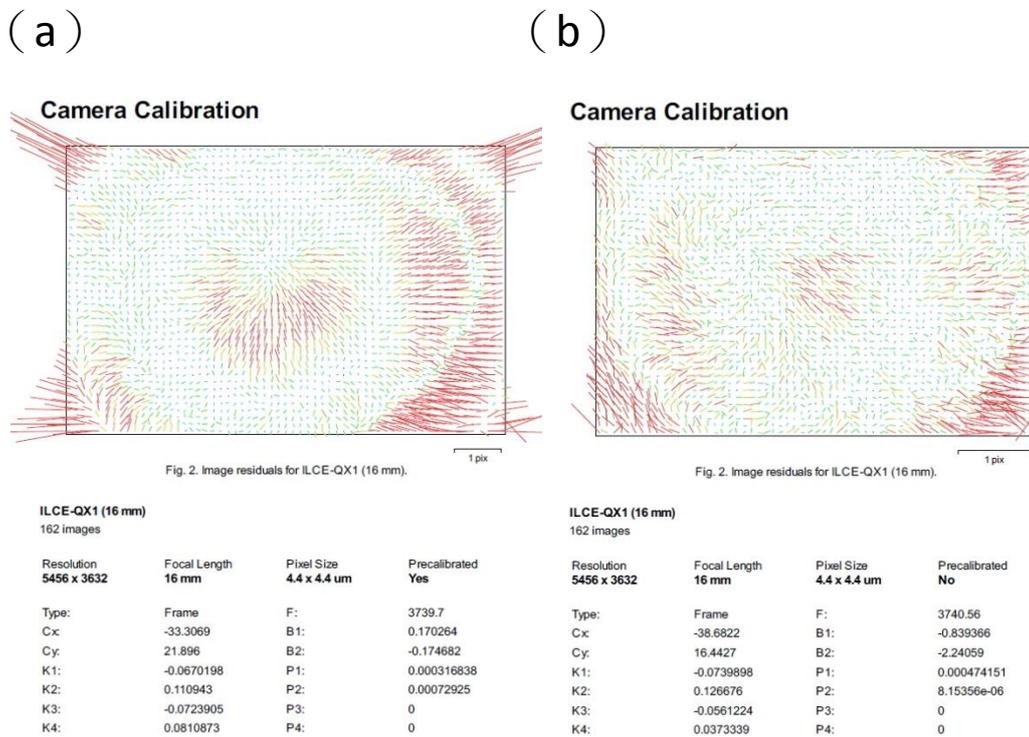


圖 4-9 Sony QX1\_02 傾斜攝影 (a) 預率定及 (b) 自率定成果

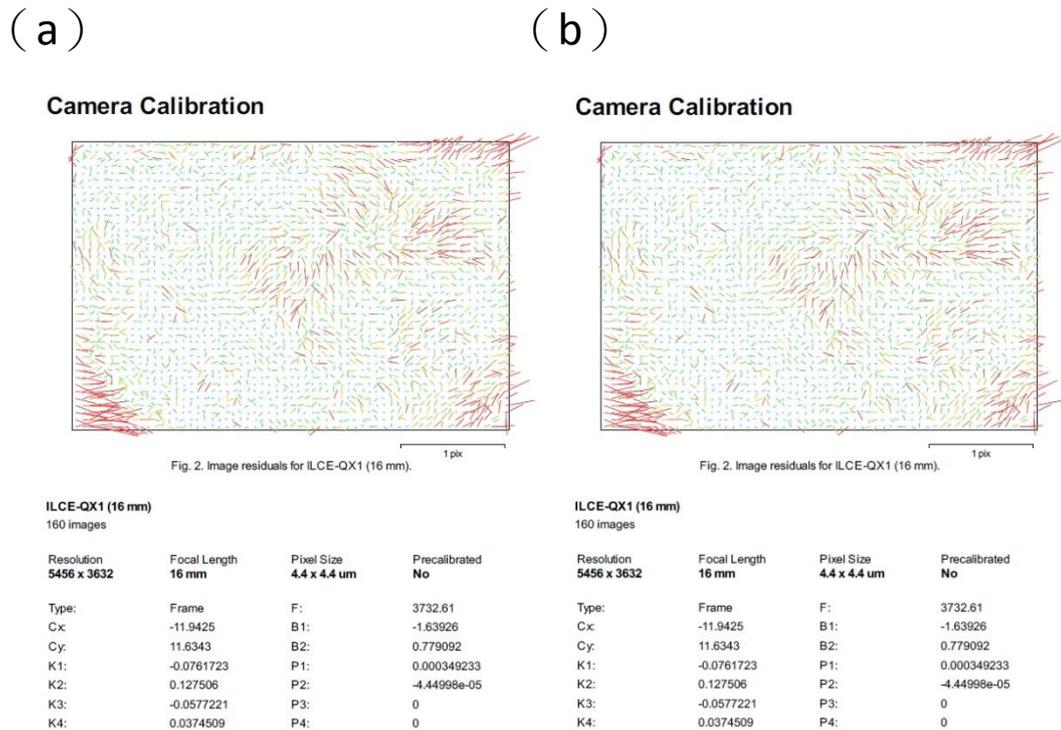


圖 4-10 Sony QX1\_03 傾斜攝影 (a) 預率定及 (b) 自率定成果

經相同拍攝相片，相同 SfM 解算成果，利用不同控制點數量，以相同檢核點數量進行絕對精度驗證，共採用 16 個檢核點，實驗過程中僅於 SfM 程序中替換自率定數據為預率定，再重新進行平差計算得控制點及檢核點精度分析表。初步成果顯示，QX1 第一顆鏡頭計算檢核點最大發生於控制點數量僅 5 點時，總均方根誤差為 1.603 公分，約平均 Pixel Size 為 1.028 個 Pixel，其餘精度均小於 1 個 Pixel，如表 4-4 及圖 4-11 所示。QX1 第二顆鏡頭計算檢核點最大發生於控制點數量僅 5 點時，總均方根誤差為 1.149 公分，約平均 Pixel Size 為 0.705 個 Pixel，其餘精度均小於 1 個 Pixel，如表 4-5 及圖 4-12 所示。QX1 第三顆鏡頭計算檢核點最大發生於控制點數量僅 5 點時，總均方根誤差為 1.708 公分，約平均 Pixel Size 為 1.025 個 Pixel，其餘精度均小於 1 個 Pixel，如表 4-6 及圖 4-13 所示。

實驗成果證明控制點數量在 5 個點時精度最差，但檢核點精度仍可維持約 1 個 Pixel (最大值为 1.028 pixel)，因此三維建模時若使用 5 個控制點亦能獲得一定程度的精度。而自率定與預率定在控制點數量為 10 個時，檢核點精度值趨近一致，因此在一般條件之下，控制點數量 10 點即可達到一定程度之率定精度。本案後續解算仍先以預率定成果為主。

表 4-4 Sony QX1\_01 控制點及檢核點分析表

Sony QX1_01控制點及檢核點精度分析表											
控制點數	率定方法	控制點精度					檢核點精度				
		RMSE (cm)			Total RMSE		RMSE (cm)			Total RMSE	
		X	Y	Z	(cm)	(Pixel)	X	Y	Z	(cm)	(Pixel)
5	自率定	0.473	0.479	1.177	1.107	0.748	0.735	0.924	2.513	1.603	1.083
	預率定	1.009	0.833	0.738	1.25	0.844	1.528	1.174	1.395	1.374	0.928
10	自率定	0.659	1.031	1.847	1.279	0.864	0.751	0.651	1.584	1.079	0.729
	預率定	1.383	1.28	1.598	1.427	0.964	1.259	0.839	0.958	1.034	0.699
15	自率定	0.926	0.901	1.804	1.281	0.866	0.731	0.634	1.457	1.01	0.682
	預率定	1.504	1.102	1.519	1.389	0.938	1.252	0.845	0.856	1.002	0.677
20	自率定	0.813	0.808	1.737	1.201	0.812	0.723	0.634	1.409	0.985	0.665
	預率定	1.38	1.007	1.51	1.316	0.889	1.247	0.838	0.86	0.999	0.675
25	自率定	0.746	0.875	1.632	1.153	0.779	0.712	0.647	1.298	0.932	0.63
	預率定	1.312	1.134	1.386	1.282	0.866	1.261	0.834	0.887	1.012	0.684
30	自率定	0.834	0.848	1.561	1.133	0.766	0.692	0.638	1.237	0.897	0.606
	預率定	1.41	1.118	1.37	1.306	0.882	1.246	0.828	0.837	1	0.676

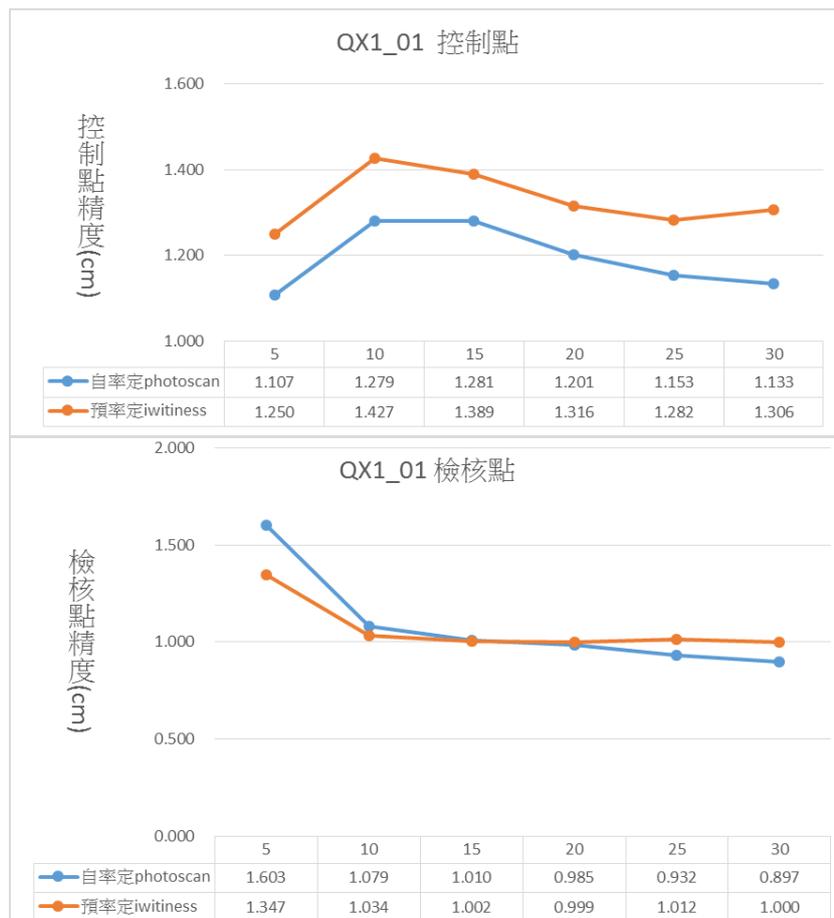


圖 4-11 Sony QX\_01 控制點及檢核點精度比較圖

表 4-5 Sony QX1\_02 控制點及檢核點分析表

Sony QX1_02控制點及檢核點精度分析表											
控制點數	率定方法	控制點精度					檢核點精度				
		RMSE (cm)			Total RMSE		RMSE (cm)			Total RMSE	
		X	Y	Z	(cm)	(Pixel)	X	Y	Z	(cm)	(Pixel)
5	自率定	0.57	0.352	0.997	0.981	0.602	0.952	1.139	1.262	1.125	0.69
	預率定	0.92	0.913	0.877	1.278	0.784	1.123	1.4	0.86	1.149	0.705
10	自率定	0.703	1.169	1.265	1.074	0.659	0.888	1.061	0.754	0.91	0.558
	預率定	0.954	1.435	1.008	1.153	0.707	1.067	1.335	0.722	1.071	0.657
15	自率定	1.203	1.035	1.079	1.108	0.68	0.869	0.984	0.682	0.854	0.524
	預率定	1.538	1.244	0.874	1.249	0.766	1.04	1.28	0.66	1.026	0.629
20	自率定	1.102	1.001	1.052	1.053	0.646	0.887	0.979	0.606	0.839	0.515
	預率定	1.392	1.251	0.815	1.179	0.723	1.051	1.279	0.626	1.022	0.627
25	自率定	1.049	1.149	1.015	1.073	0.658	0.883	0.975	0.592	0.833	0.511
	預率定	1.337	1.443	0.901	1.249	0.766	1.057	1.278	0.62	1.022	0.627
30	自率定	1.055	1.149	1.033	1.08	0.663	0.866	0.97	0.524	0.81	0.497
	預率定	1.332	1.442	0.882	1.242	0.762	1.032	1.284	0.564	1.005	0.617

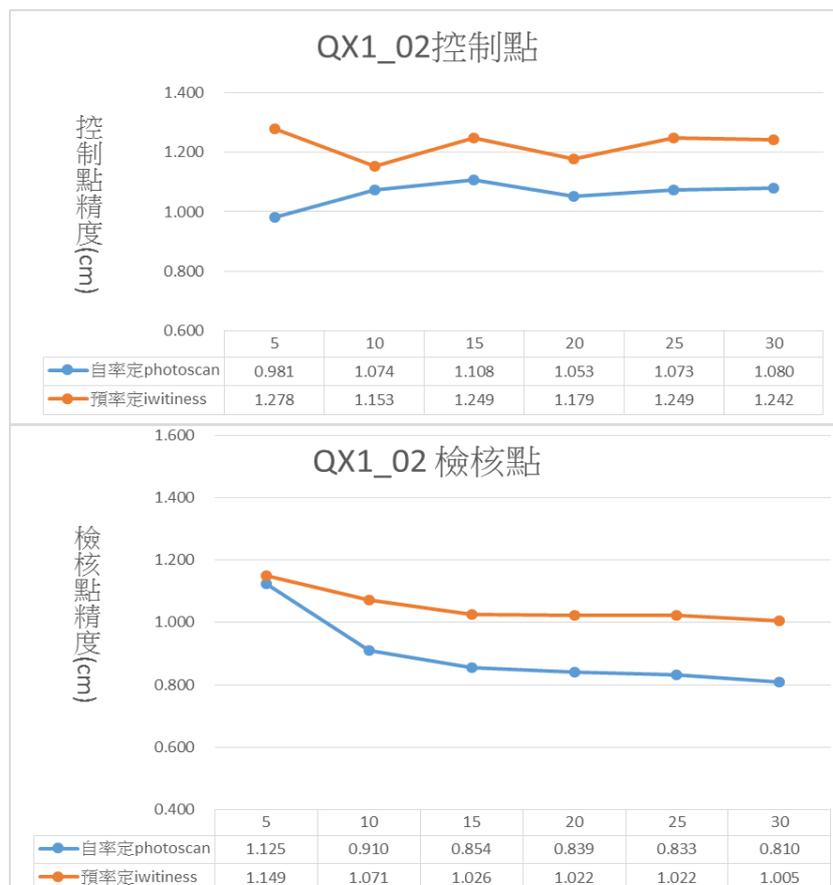


圖 4-12 Sony QX\_02 控制點及檢核點精度比較圖

表 4-6 Sony QX1\_03 控制點及檢核點分析表

Sony QX1_03控制點及檢核點精度分析表											
控制點數	率定方法	控制點精度					檢核點精度				
		RMSE (cm)			Total RMSE		RMSE (cm)			Total RMSE	
		X	Y	Z	(cm)	(Pixel)	X	Y	Z	(cm)	(Pixel)
5	自率定	0.859	0.622	0.336	0.908	0.523	0.905	1.01	1.008	0.967	0.561
	預率定	0.953	1.087	1.497	1.699	0.977	1.234	1.149	2.586	1.783	1.025
10	自率定	1.039	1.227	0.6	0.991	0.569	0.794	0.858	0.694	0.785	0.451
	預率定	1.207	1.445	2.573	1.841	1.058	1.215	1.099	1.957	1.234	0.847
15	自率定	1.218	1.127	0.588	1.016	0.584	0.801	0.789	0.612	0.739	0.425
	預率定	1.1	1.4	2.396	1.724	0.991	1.231	1.033	1.995	1.479	0.85
20	自率定	1.129	1.054	0.606	0.955	0.549	0.847	0.81	0.518	0.736	0.423
	預率定	1.031	1.281	2.196	1.584	0.91	1.031	1.281	2.196	1.584	0.91
25	自率定	1.02	1.136	0.618	0.951	0.547	0.836	0.802	0.495	0.727	0.418
	預率定	0.946	1.315	2.244	1.598	0.918	1.232	1.053	1.991	1.483	0.852
30	自率定	0.994	1.083	0.702	0.94	0.54	0.817	0.788	0.476	0.71	0.408
	預率定	0.949	1.293	2.206	1.575	0.905	1.172	1.049	1.986	1.462	0.84

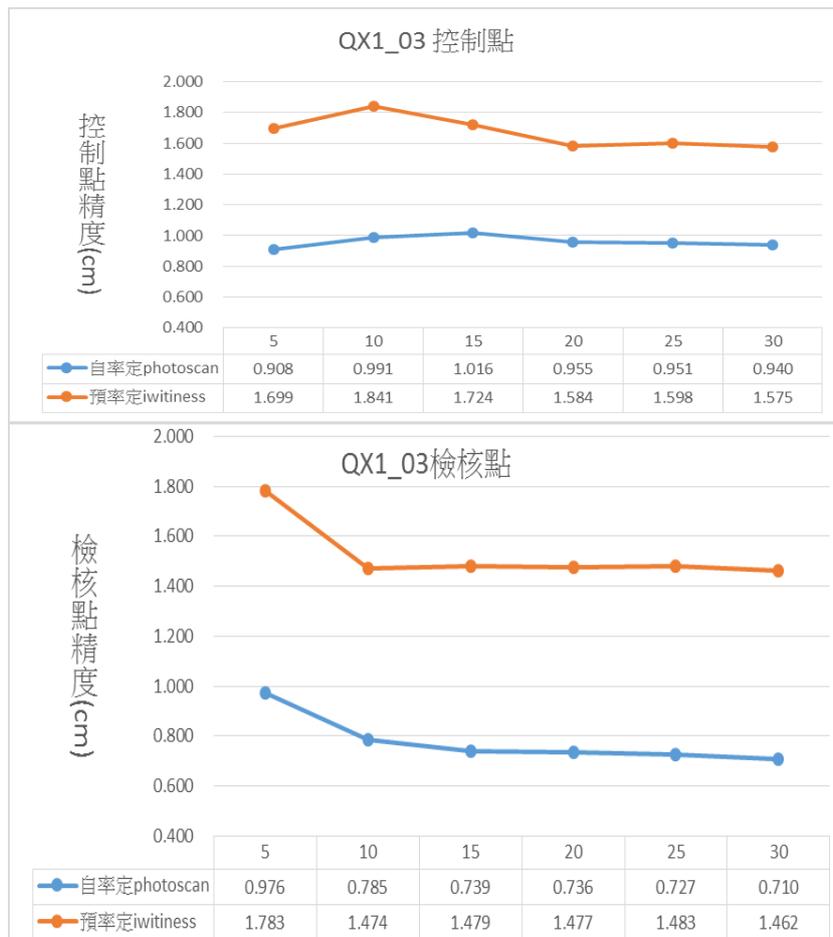


圖 4-13 Sony QX\_03 控制點及檢核點精度比較圖

#### 4.1.2.4 三維模型資料展示方式

使用 WebGL 技術配合引擎庫，於網路上瀏覽三維模型已是非常成熟之技術，而三維模型格式中，並沒有一個真正通用於所有平台與環境的格式，常見的格式包含 OBJ、STL、X3D 及 DAE 等，這些格式皆有其遵循之檔案資料結構，當資料需進行交換時，往往會產生模型遺失等問題，因此制定標準開放格式能有助於資料交換及檔案資料制定。三維資料格式目前由科納斯組織（Khronos Group）訂製「COLLADA（COLLABorative Design Activity）」（Digital Asset Exchange, DAE）標準，為目前較通用之三維格式之一，但該格式並沒有針對傳輸以及讀取做最佳化處理，對於目前 WebGL 來說或許已不太適用，而為了解決這個問題，Khronos 再推出一個適用於 WebGL 傳遞之三維資料格式 glTF（GL Transmission Format），期望可成為「JPEG for 3D」，其設計目標為提供一個有效率且方便傳輸的檔案格式與定義，讓程式開發者方便地儲存、讀取 3D 的場景設定及其模型。現階段 glTF 格式是將所有原始檔案格式轉為 COLLADA，再轉換成 glTF 格式，事實上 glTF 格式是基於 JSON 檔案架構，用來描述場景、3D 模型等資訊，並透過網路串流方式，將所需檔案進行傳遞，同時 glTF 格式也定義幾何多邊形資料、材質、貼圖、攝影機資訊及定義動畫效果及光源等資訊，並提供擴展（Extension）功能供擴充使用。

上述檔案架構已可實現於 WebGL 中顯示三維模型，但傾斜攝影等大規模都市真實場景建模之模型，因拍攝解析度之不同，利用這些格式進行檔案儲存已無法滿足線上瀏覽之目的。為了解決此問題，3D LoD 模型架構進行一系列的衍伸與發展，而多尺度 3D 模型架構仍延續上述三維檔案格式，並採用多尺度壓縮及切割，因此用 3D Tiles 方法進行模形切割，採用 octree 方式作為主要切割方式，如圖 4-14 所示。

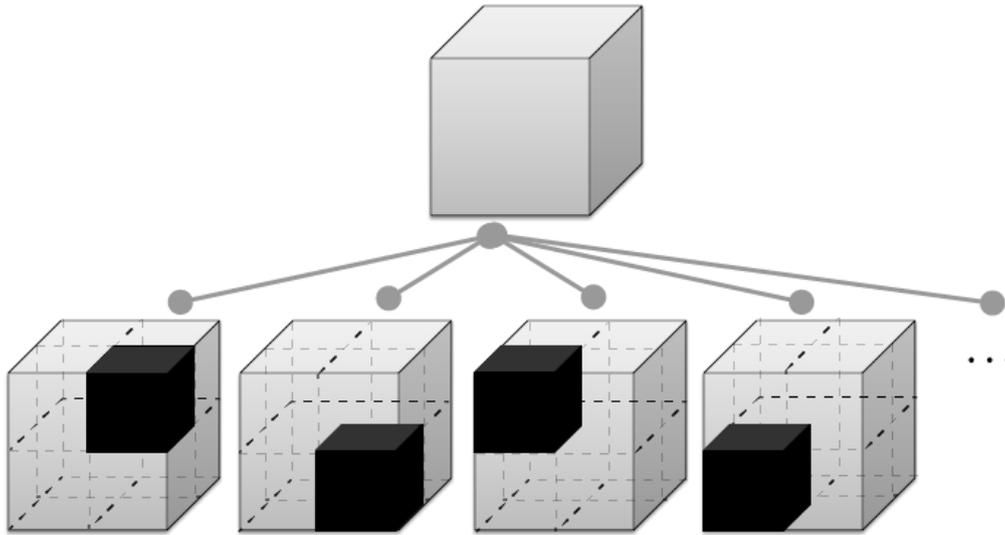


圖 4-14 3D Tiles for octree

為了達到 LoD 架構，octree 將第一層模型進行切割完成之後，必須將模型解析度縮小一半，再進行 octree 分割，持續縮小模型解析度，以達設定最小解析度後終止 3D LoD 切割，以 Google Earth KML 為例（圖 4-15），圖中顯示由 KUAS.kml 進行 3D Tiles 包裝，其中包含三維模型 000\_000 至 002\_002 共計 9 塊，每塊 3D Tiles 再由解析度不同進行分割，而每個 3D Tiles 再進行設置 LoD 要顯示的範圍，讓模型讀取釋放可達到最佳顯示效果，而圖中 L15~L17 因模型解析度已達最小，無法再進行切割，因此僅降低解析度，讓模型讀取可以更順暢，實際顯示如圖 4-16 所示。

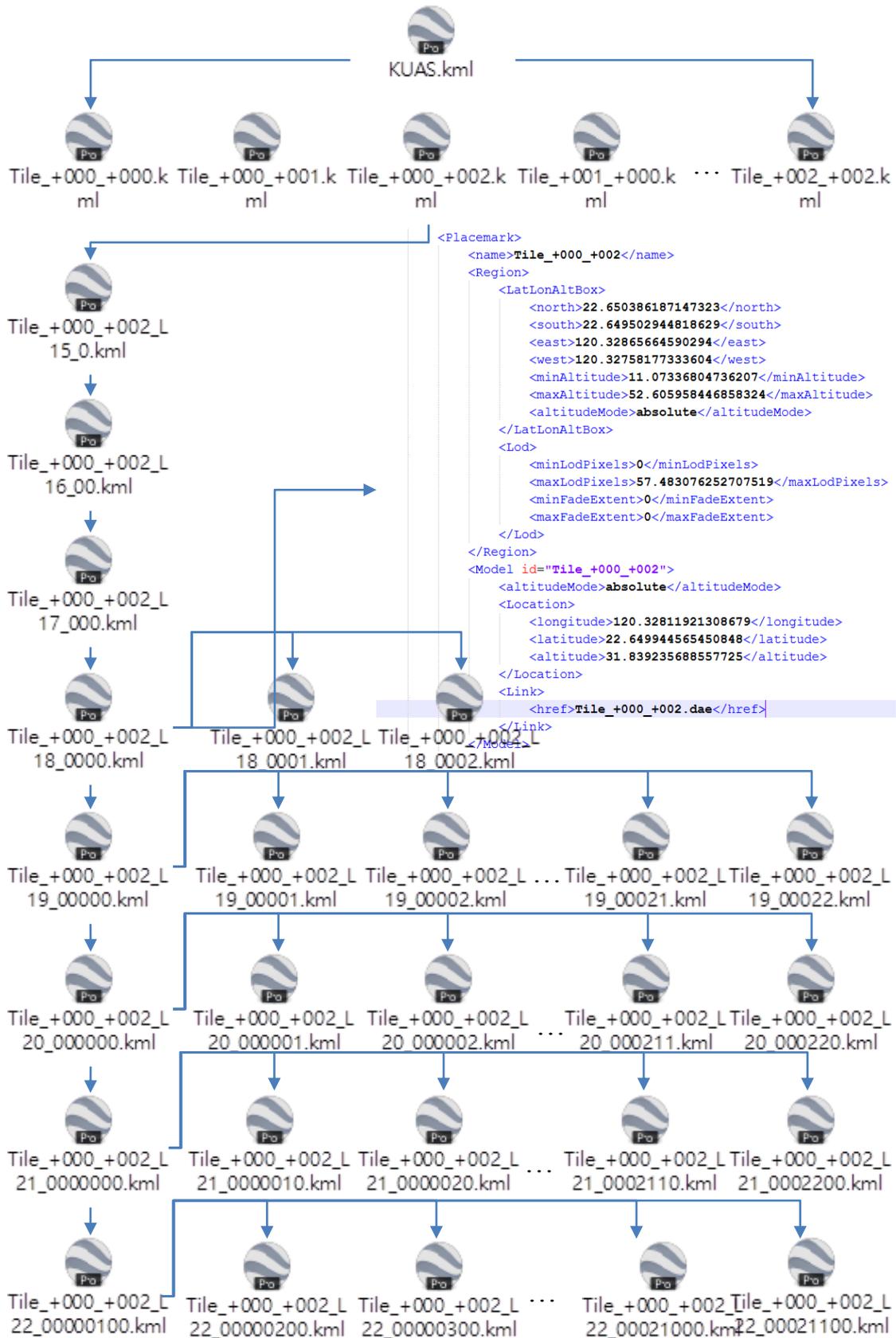


圖 4-15 3D Lod Tiles (以 KML 為例)



(a) L15



(b) L16



(c) L17



(d) L18



(e) L19



(f) L20



(g) L21



(h) L22

圖 4-16 3D Lod Tiles (以 KML 為例) 顯示範圍

3D LoD 為目前最有效的顯示大量三維模型解決方案，因應此架構，眾多三維格式也開始支援此顯示方式，另上述為了達到 WebGL 線上瀏覽目的之 glTF 格式，也定義出新一代線上 3D 模型串流方式，並於 Cesium 中封裝 glTF 格式 b3dm，讓線上三維顯示可以更為快速方便。因此本案將成果轉換成上述格式來展示三維影像模型成果。

#### 4.1.3 影像拍攝及處理作業與成果分析

本實驗選定臺中歌劇院周圍作為實驗示範區，實驗範圍如圖 4-17 所示，紫色為實驗範圍，紅色為旋翼型 UAS 拍攝路徑，規劃拍攝高度約為 300 公尺，拍攝地面解析度約為 8 公分，總拍攝面積約為 1.16 平方公里，拍攝採用前述自行研發之多相機組合雲台進行拍攝，共計拍攝 4 架次，拍攝 1,557 張相片。



圖 4-17 臺中歌劇院實驗區範圍

控制點及檢核點至現地進行外業測量取得坐標，分布如圖 4-18 所示，經 SfM 過程推估外方位參數，並採用上述相機預率定參數進行相機約制後得檢核點精度如表 4-7 所示，平面最大誤差約為 14.3 公分，高程誤差最大約 10.3 公分，計算檢核點總均方根誤差為 9.17 公分，換算為 Pixel 單位為 0.828 個 Pixel。

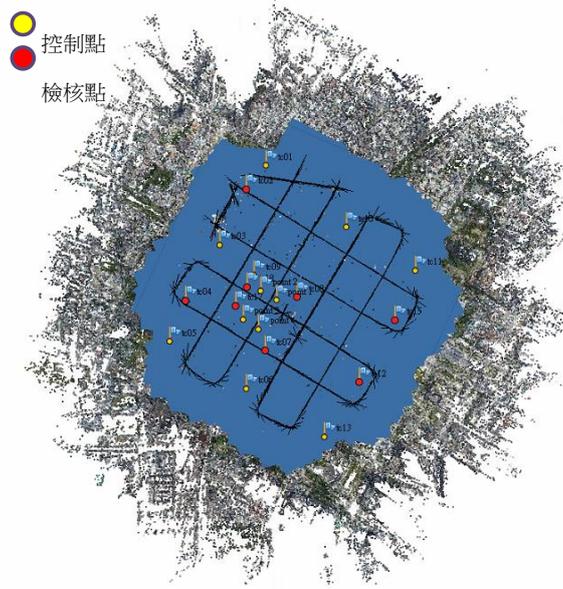


圖 4-18 實際飛行航線及控制點檢核點分布圖

表 4-7 控制點及檢核點分析表

ID	Error				
	X (m)	Y (m)	Z (m)	XY (m)	Pixel
<b>Control Point</b>					
Tc01	0.0333	-0.0996	0.0440	0.1139	0.698
Tc03	0.0141	-0.0039	0.0111	0.0184	0.958
Tc05	-0.0352	-0.0680	-0.0066	0.0769	0.984
Tc06	0.0365	-0.0211	-0.0196	0.0465	0.637
Tc09	0.0142	0.1106	-0.0337	0.1165	0.848
Tc10	0.0190	0.0528	-0.0366	0.0670	0.746
Tc11	-0.0327	0.0590	0.0223	0.0710	0.653
Tc13	-0.0561	-0.0382	0.0295	0.0740	0.975
RMSE				0.0790	0.809
<b>Check Point</b>					
Tc02	-0.0056	-0.0442	0.0431	0.0620	0.877
Tc04	0.0586	-0.0351	0.0359	0.0771	0.970
Tc07	0.0150	0.0051	-0.0145	0.0214	0.577
Tc08	0.0202	-0.0270	0.0384	0.0511	0.613
Tc12	0.0031	-0.0648	0.1063	0.1245	0.721
Tc15	-0.0767	-0.1207	0.0036	0.1431	0.987
Tc17	-0.0548	-0.0652	0.0782	0.1157	0.862
Tc18	-0.0356	0.0160	0.0603	0.0718	0.861
RMSE				0.0917	0.828

完成上述精度評估之後，再依序完成稠密點雲匹配、稠密點雲網格化及紋理貼圖程序，成功建置 UAS 影像三維模型，如圖 4-19 至圖 4-22 所示。另取本年度三維建模成果與 104 年度三維建模成果比較如圖 4-23 所示，顯示本年度採用三相機組成品質較佳，且三相機組採用之 QX-1 相機片幅及成像品質也都優於 QX-10，另本年度改用 Bentley Contexture 軟體做為主要計算軟體，其計算成果也較優於 104 年度相關製作成果。

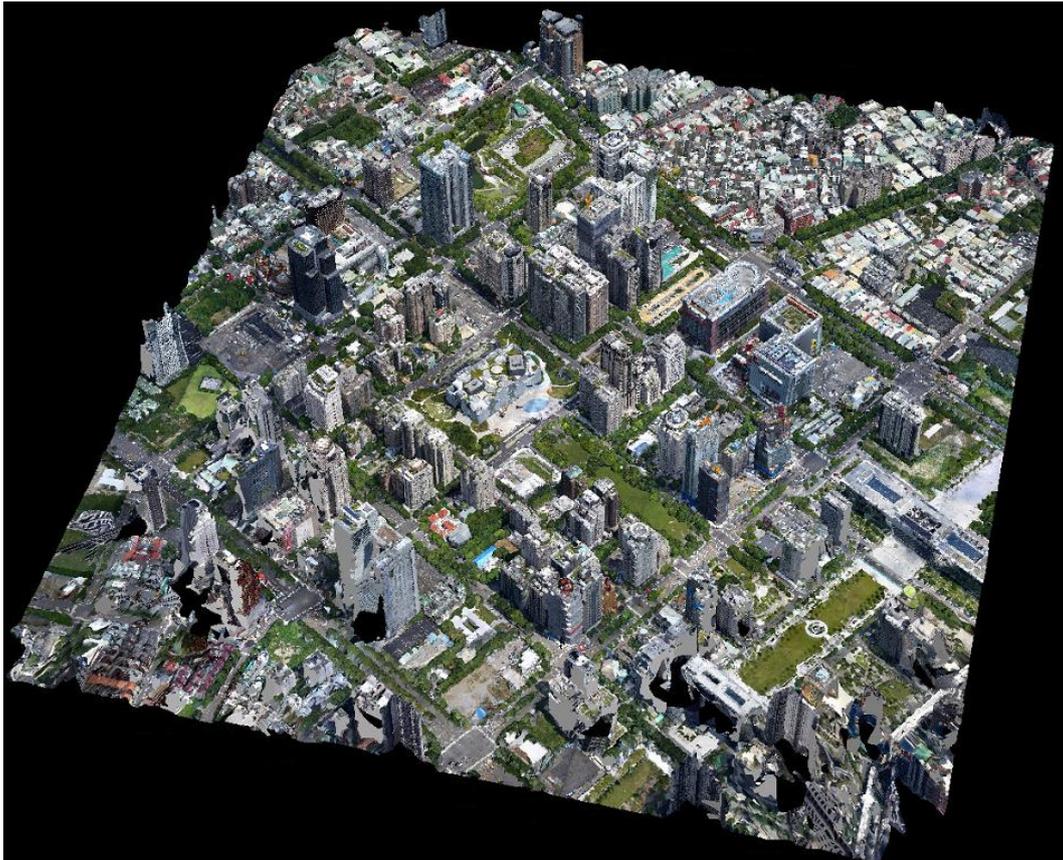


圖 4-19 稠點雲成果

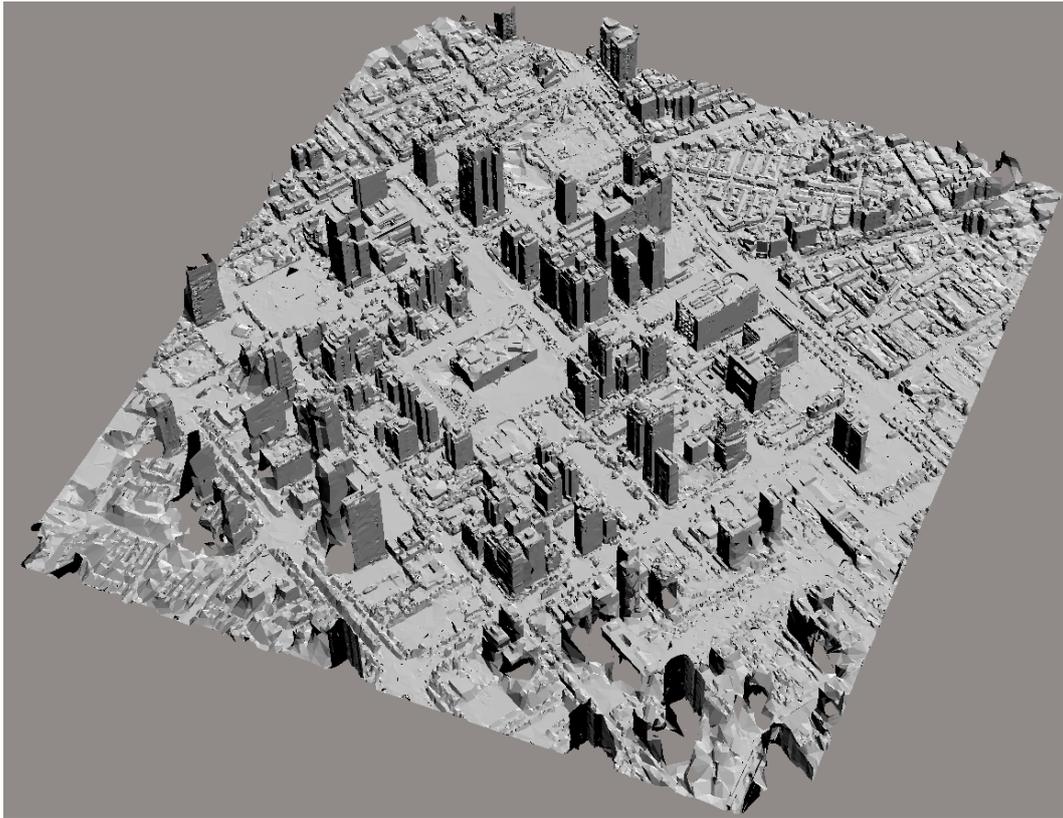


圖 4-20 三維模型網格化

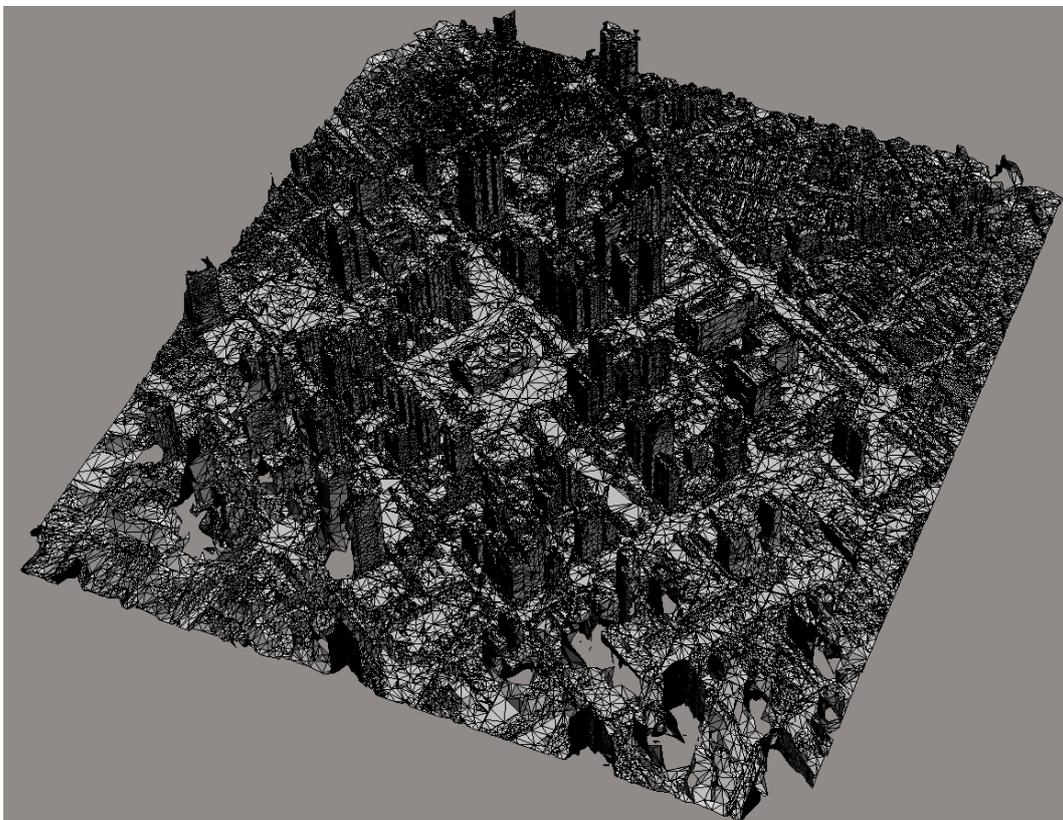


圖 4-21 三維模型網格化（網格顯示）

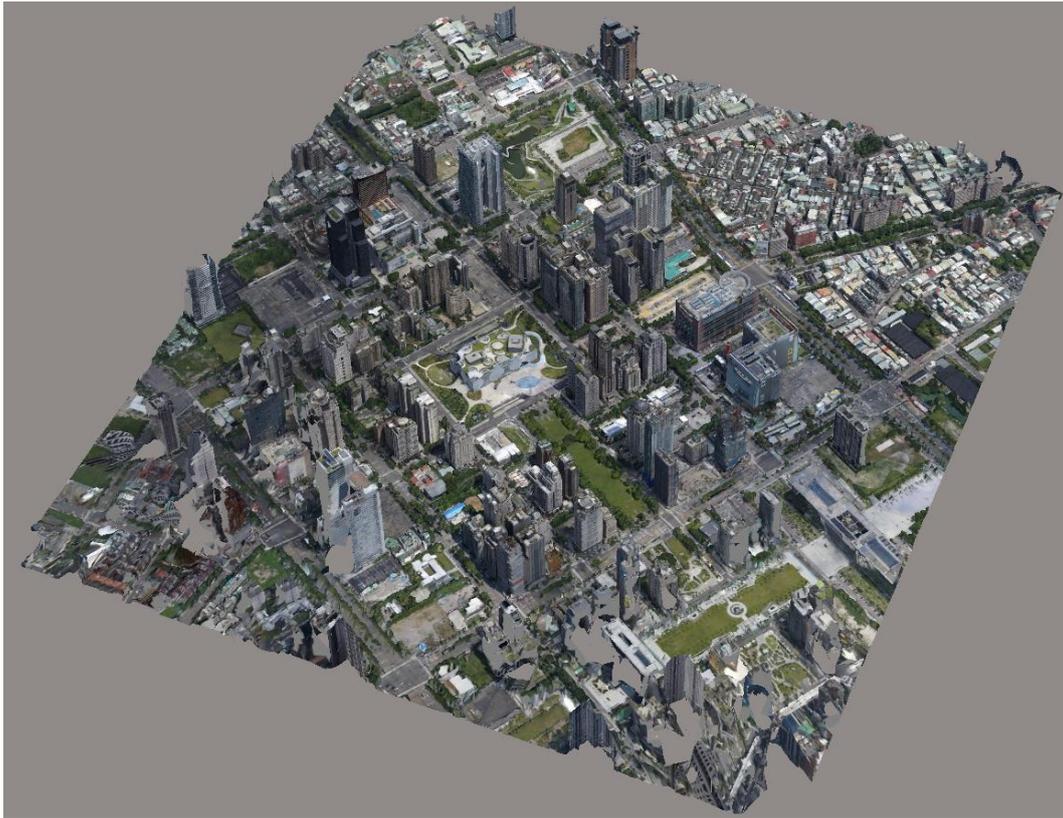
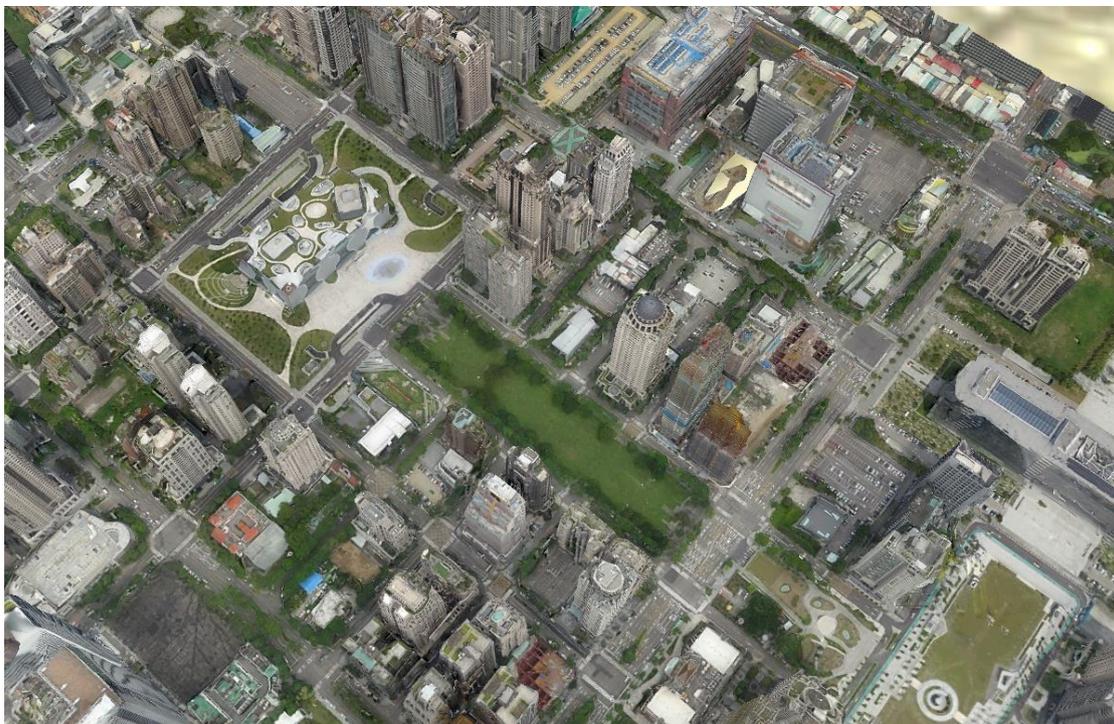


圖 4-22 三維模型紋理貼圖成果



(a) Sony QX-10 五鏡頭比較組 1



(b) Sony QX-1 三鏡頭比較組 1



(c) Sony QX-10 五鏡頭比較組 2



(d) Sony QX-1 三鏡頭比較組 2



(e) Sony QX-10 五鏡頭比較組 3



(f) Sony QX-1 三鏡頭比較組 3



(g) Sony QX-10 五鏡頭比較組 4



(h)Sony QX-1 三鏡頭比較組 4

圖 4-23 104 年度與今年度三維模型成果比較

#### 4.1.4 UAS 結合地面影像產製三維模型

##### 4.1.4.1 UAS 結合測繪車搭載 Ladybug 地面近景攝影問題

###### ■ 測繪車搭載 Ladybug 全景攝影鏡頭拍攝角度限制

UAS 結合地面影像產製三維模型，於 104 年度曾選用測繪車搭載工業相機進行三維建模測試，因拍攝覆蓋率較低導致其影像匹配成果不佳，因此今年度改採用 Ladybug 全景相機進行測試，期許解決拍攝覆蓋率之問題。本年度採用測繪車搭載 Ladybug 進行全景建模試驗，因影像式建模依賴影像匹配獲取 SfM 相關內外方位參數，本案中採用 Ladybug 鏡頭拍攝之影像（圖 4-24），車身位置與空中部分占據整幅影像一半之位置，於攝影幾何條件下仍難以匹配到足夠之點位進行 SfM 求解，另測繪車於街上行走易受到移動車輛與路樹等影響，以致匹配成果不佳，進而影響三維建模的表現。



圖 4-24 Ladybug 全景影像成果

#### ■ Ladybug 全景相機模組並未進行校正

全景相機成像幾何目前均採用拼接方式進行，因此會產生多相機中心等問題，而 SfM 中針對全景影像之相機模式僅描述攝影關係，並未對相機畸變差進行校正，因此如僅採用全景相機進行三維建模成果並未能如預期美觀，如圖 4-25 所式，相機模式如式 (4.1) 所示。

$$\begin{aligned} u &= w \times 0.5 + f \times \tan^{-1} \left( \frac{X}{Z} \right) \\ v &= h \times 0.5 + f \times \tan^{-1} \left( \frac{y}{\sqrt{X^2 + Z^2}} \right) \end{aligned} \quad (4.1)$$

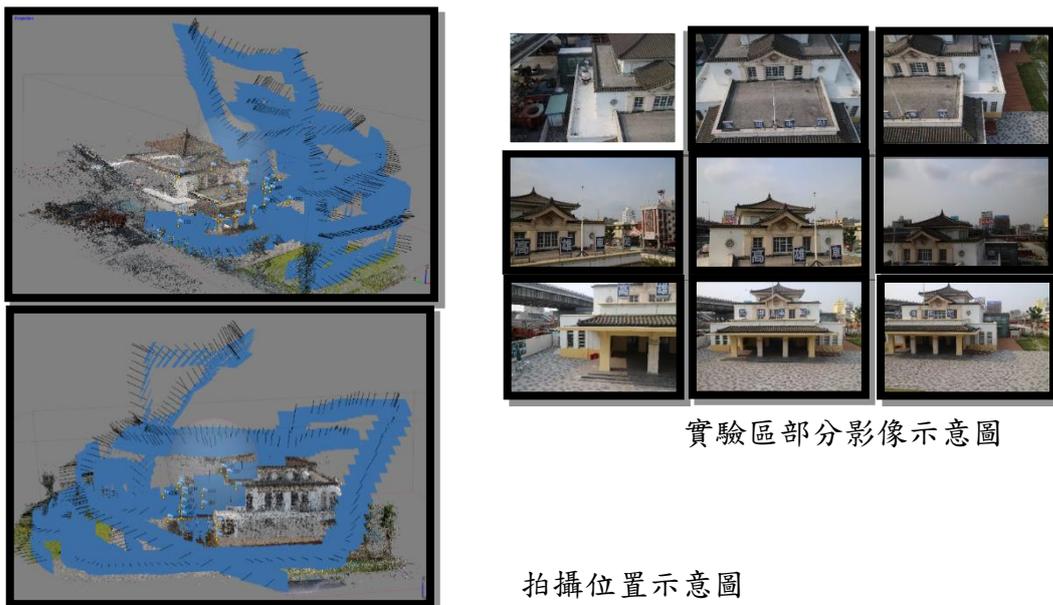
其中  $u$ 、 $v$  為物點影像坐標； $w$ 、 $h$  為影像片幅寬與高； $f$  為焦距長； $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  為物點本地坐標。



圖 4-25 全景影像三維建模成果

### ■ 近景攝影三維建模問題

近景攝影三維建模過程中，仍然依賴影像匹配獲取兩影像共軛關係，以推求兩影像之核線幾何，因此匹配過程中，若因影像干擾導致匹配成果不佳，將影響三維建模成果。本案中之臺中歌劇院為玻璃帷幕建築物，玻璃帷幕易反射周圍場景，相關場景將移動而改變，導致部分影像匹配成果會產生匹配錯誤問題，若該建築物為非玻璃帷幕建築物，則更適合合併近景與 UAS 影像一併解算。如圖 4-26 與圖 4-27 所示。



實驗區部分影像示意圖

拍攝位置示意圖

圖 4-26 UAS 結合地面近景於高雄舊火車站範例

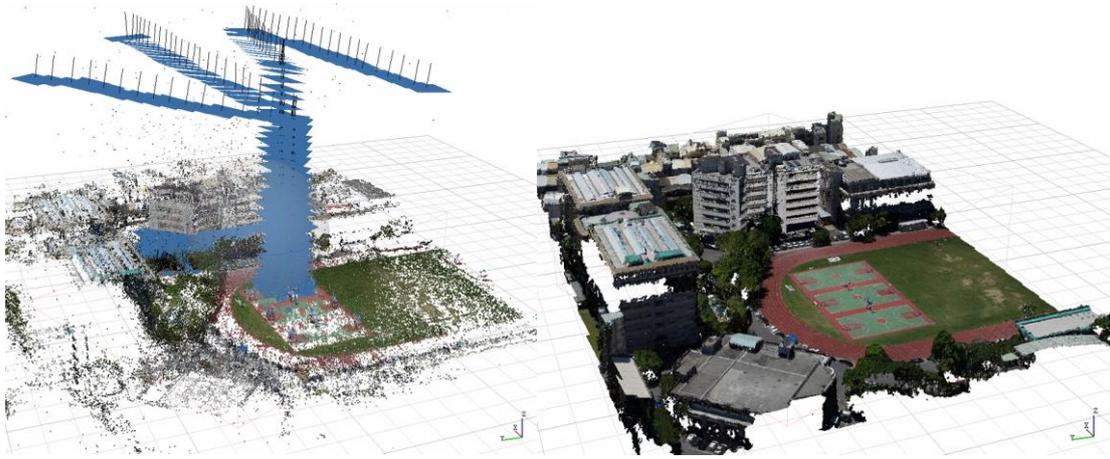


圖 4-27 UAS 結合地面近景於高應大土木館範例

#### ■ 稠密點雲匹配理論思考問題

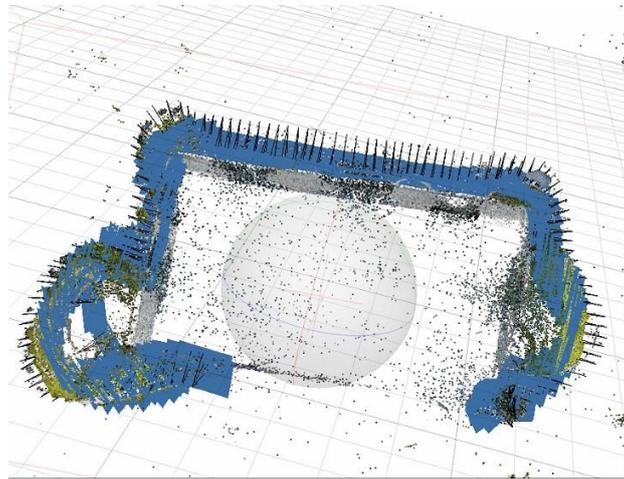
以 SfM 多視立體視覺三維建模技術演算法為考量前提進行思考，常見之多視立體視覺三維建模演算法包含 CMVS (Clustering Multi-View Stereo)、PMVS (Patch-based Multi-View Stereo)、CMPMVS (Clustering Patch-based Multi-View Stereo) 等演算法，這類型演算法主要依據所推估之稀疏點雲進行面片擴展，並於立體匹配過程中依據法線方向進行立體匹配選擇及推估，最後完成面片過濾，以完成稠密點雲資訊。而紋理化推估及紋理貼圖步驟皆是參考所推估的法線方向作為參考影像索引條件，若拍攝幾何條件不佳，如建築物由下往上拍攝，將導致三維建模過程中，模型美觀度喪失。若欲獲取較完美之相片，可參考採用 UAS 環繞式拍攝，以獲取更佳三維建模幾何影像。

#### 4.1.4.2 臺中歌劇院成果

綜合上述，採用地面影像（測繪車或人工拍攝）進行三維建模，因測繪車搭載 Ladybug 攝影問題，於本案例中大部分區域仍無法進行解算；另若配合地面人工近景拍攝則亦受到玻璃帷幕干擾，使原本規劃拍攝整棟臺中歌劇院，部分區域無法順利匹配成果。因此若採用空中與地面影像分別進行三維建模再將模型整合之方法，其效果並不佳。本案例進一步測試改以 UAS 影像為主，地面影像（測繪車或人工拍攝）為輔方式進行三維建模。先使用空中 UAS 航拍影像進行三維建模，最後再針對模型匹配效果較差區域，使用地面高解析度影像（測繪車或人工拍攝）補強三維模型之紋理。以 UAS 進行拍攝位置如圖 4-28 所示，另同時使用測繪車搭載 Ladybug 拍攝與地面人工拍攝，以獲取更多模型側面資訊。



(a) UAS 結合測繪車與地面近景拍攝位置圖



(b) 測繪車與地面近景拍攝位置圖



(c) UAS 結合測繪車與地面近景拍攝建模成果



(d) UAS 結合測繪車與地面近景成果與 UAS 成果比較

圖 4-28 UAS 結合地面近景成果比較

經上述成果比較顯示，地面影像（測繪車與人工拍攝）已可有效補足 UAS 空中拍攝角度及遮蔽問題，但地面近景在某些環境下亦可能受到拍攝物體之干擾，後續並可加入空中環繞拍攝方式，以進一步提升三維建模品質及效率。

#### 4.1.4.3 臺中郵局成果

本案另選取臺中向上郵局為測試區域，測試傾斜攝影配合 UAS 環繞式拍攝進一步提升建築物側面資訊方法，資料蒐集採用與臺中歌劇院相同傾斜攝影方式，並配合測繪車與人工近景拍攝方式，另加上低空環繞重要建築物方式進行拍攝，其拍攝航線如圖 4-29 所示。圖 4-30 所示為整合 UAS 傾斜攝影、UAS 環繞式拍攝、測繪車搭載工業相機或 Ladybug、地面人工近景拍攝產製三維模型成果。

針對單一模型真實三維建模最佳化方法探討其作業時間，以空中傾斜攝影、地面近景及街景車三種不同攝影條件為前提下進行相關實驗。真實三維模型建模易受到建築物周圍遮蔽之影像，因此欲藉由不同攝影角度獲取更多遮蔽區之影像資訊，而建築物空中環繞拍攝方法為目前單一建築物最簡單也較快速方式之一，其主要原因為空中環拍之影像尺度與空中傾斜攝影差異最小，於特徵匹配條件下不須額外加入共軛點進行對準，且拍攝時程也最短。至於作業時間以臺中郵局為例加入空中環拍約 100 張相片，時間上必然會增加些許時間，但不需加入模型接合所需控制點之動作，其整體作業時間反而會優於地面與空中模型合併之計算效率

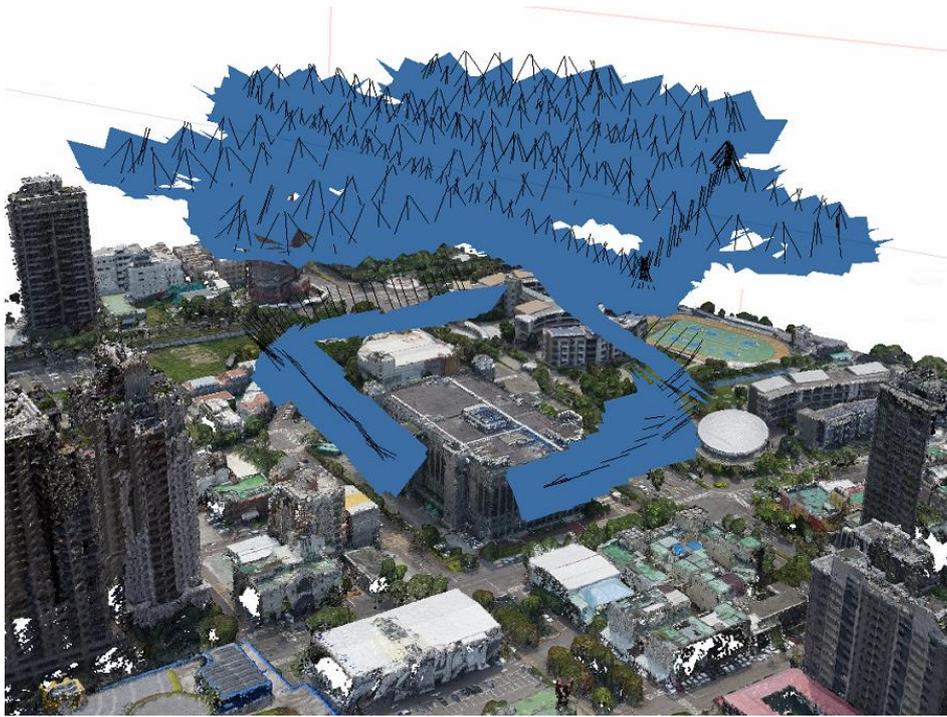


圖 4-29 UAS 結合低空環繞式拍攝軌跡





圖 4-30 UAS 結合測繪車三維建模成果

#### 4.1.5 小結

因全景鏡頭相關攝影條件問題與拍攝工作仍易受到移動車輛與路樹等影響，以致部分區域影像匹配成果不佳，因此本案修正作業方式，以 UAS 影像為主，地面影像（測繪車或人工拍攝）為輔方式進行三維建模，並增加採用 UAS 空中環繞式拍攝方法來提升建模效果，於上述實驗成果中顯示效果甚優。故後續作業建議將以 UAS 傾斜攝影與環繞式拍攝為主，側面資訊不足處再以地面高解析度影像（測繪車或人工近景）補強；另拍攝距離可再靠近即降低航拍高度，配合三鏡頭傾斜攝影進行建模將可獲取更佳建模效果。未來可針對重要地標採用前述方式來建置三維模型成果，相關成果亦可用於環境調查、三維城市建構、都市管理、公路鐵路探勘、公路邊坡監測、港區結構體監測、森林管理、海岸線保護等監測上之應用，另資料處理過程產製之三維點雲可有效描述監測目標之三維環境，並由三維點雲計算，來獲取表達監測區域之變化。

## 第二節 全景攝影研究測試

全景影像以往主要針對重要拍攝標的（如特定災害點位），以旋翼機在適當高度定點盤旋並以不同俯角分別拍攝影像。拍攝完成照片可經由影像處理軟體拼接成全景影像（如下圖 4-31），提供災區單一定點不同角度更大範圍的影像資訊，並可進行網頁動態 720 度展示（如下圖 4-32）。本案進一步以旋翼型 UAS 搭載全景攝影設備進行研究測試，期望將單一定點全景影像提升為連續性動態全景影像，可提供特定區域 UAS 航拍時所經過航線連續性的動態全景影像，未來可應用於災害應變掌握災情、輔助救災決策或相關成果展示作業上。



圖 4-31 靜態全景拼接影像成果範例

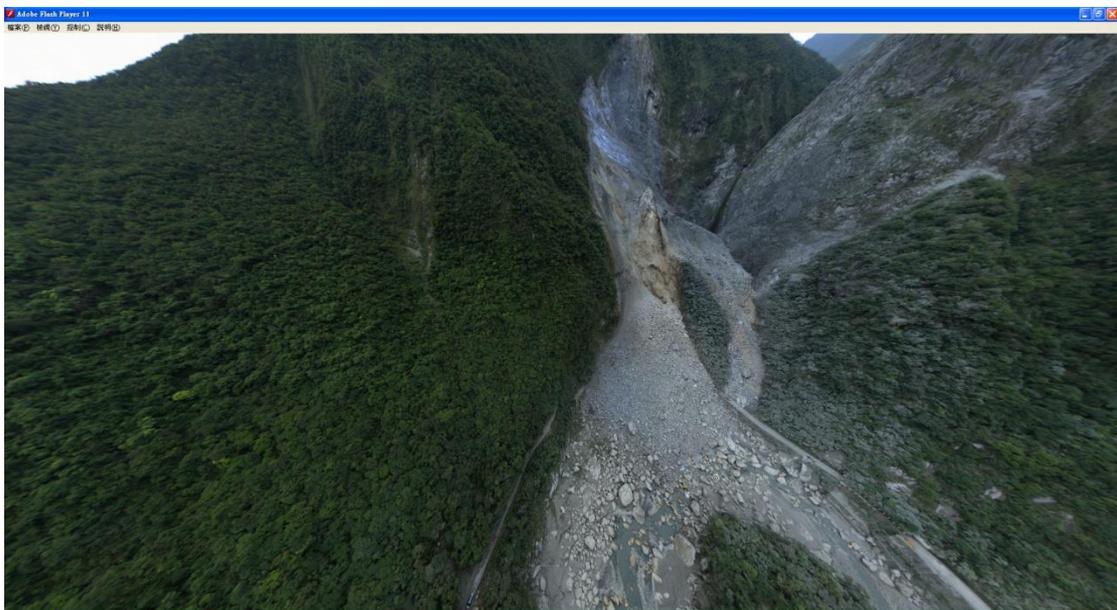


圖 4-32 720 度全景網頁展示示意圖

### 4.2.1 全景設備介紹及航拍測試

本案選擇搭載 RICOH THETA S 360 度全景攝影設備，如圖 4-33

所示，規格如表 4-8 所示，該全景攝影設備搭載雙鏡頭 190 度拍攝，於系統中可自動組合全景 360 度影像。圖 4-34 所示為 RICOH THETA S 全景攝影設備各部位說明，透過按壓快門，取得周圍完整影像，亦可經由智慧裝置（如手機）下載應用程式，遙控執行全景攝影設備作業，設定拍攝時的模式，如快門速度、ISO 感光度等，同時於智慧裝置上觀看現場畫面，增加拍攝取景彈性，如圖 4-35 所示。完成拍攝後，亦可即時上傳至網路，節省資料傳遞時間，即時取得現場資訊，相關設定如圖 4-36 所示。



圖 4-33 RICOH THETA S 全景攝影設備

表 4-8 RICOH THETA S 全景攝影設備規格表

拍攝距離		約 10 公分~∞（從鏡頭前端）
拍攝模式	靜態影像	自動、快門優先、ISO 優先
	影音	自動
曝光控制模式		自動
曝光補償		手動補償（-2.0 至 +2.0EV，級距 1/3EV）
ISO 感光度	靜態影像	ISO100~1,600

	影音	ISO100~400
白平衡模式	靜態影像	自動、室外、室內、陰天、白熾燈、晝光色日光燈、晝白色日光燈、白色日光燈、燈泡色日光燈
	影音	自動
快門速度	靜態影像	1/8,000~1/7.5 秒
	影音	1/8,000~1/15 秒
記憶體容量		約 4GB
可記錄張數、時間	靜態影像	約 1,200 張
	影音	每個視訊約 3 分鐘；合計記錄時間約 40 分鐘
電源		可充電式鋰電池
電池壽命		約 200 張
影像檔案格式	靜態影像	JPEG (Exif 2.3 版) DCF2.0 相容
	影音	MOV (畫面：MPEG-4 AVC/H.264、聲音：LinearPCM)
輸出入端子		microUSB：USB2.0
尺寸		約 W42 x H129 X D22.8 公釐
重量		約 95 公克
使用溫度範圍		0~40 度 C
使用濕度範圍		90% 以下
保存溫度範圍		-20~60 度 C



圖 4-34 RICOH THETA S 全景攝影設備說明 (摘自 <https://theta360.com/>)

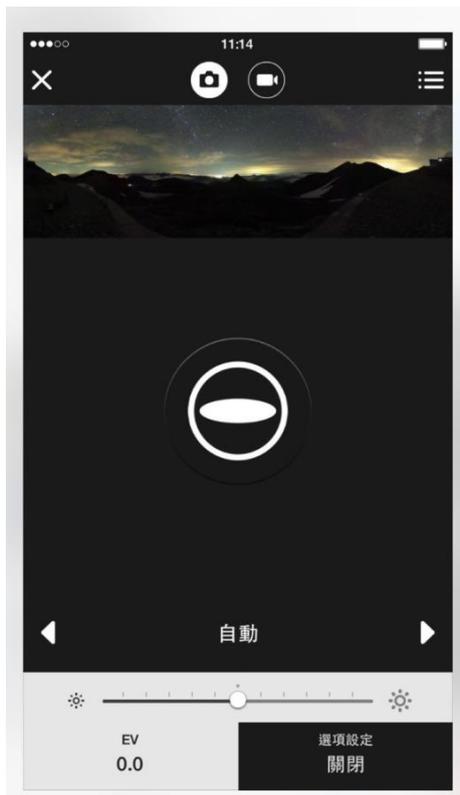


圖 4-35 智慧裝置遙控設定系統畫面



圖 4-36 智慧裝置上傳資料畫面

全景攝影設備安裝於旋翼型 UAS 情況如圖 4-37，旋翼型 UAS 規格資訊如表 4-9 所示，設備安裝時為了增加全景攝影設備拍攝地物範圍，且減少拍攝旋翼型 UAS 本體，因而製作支架固定於雲台上。當 UAS 起飛後調整雲台使全景攝影設備向下延伸，其拍攝結果如圖 4-38 所示，與調整前（圖 4-39）比較，圖面上方拍攝 UAS 本體減少，可得更多欲拍攝地物資訊。

測試項目包含拍照與錄影功能，拍照得到為 JPG 檔案，如圖 4-38 與圖 4-39 所示，以影像展開樣式呈現；錄影功能為 MP4 檔案，可分為原始與後處理兩部分，原始影音部分如圖 4-40 所示，以兩個魚眼鏡頭影像顯示方式呈現，後處理影音部分則與照片樣式相同，以展開樣式呈現。



圖 4-37 旋翼型 UAS 與全景攝影設備

表 4-9 旋翼型 UAS 規格表

載具寬度	120 公分	最大航高	< 500 公尺
載具重量	5.0 公斤	載具飛行距離	< 2,500 公尺
酬載重量	1.0 公斤	滯空時間	< 20 分鐘



圖 4-38 全景攝影拍照成果



圖 4-39 全景攝影拍照成果（調整前）

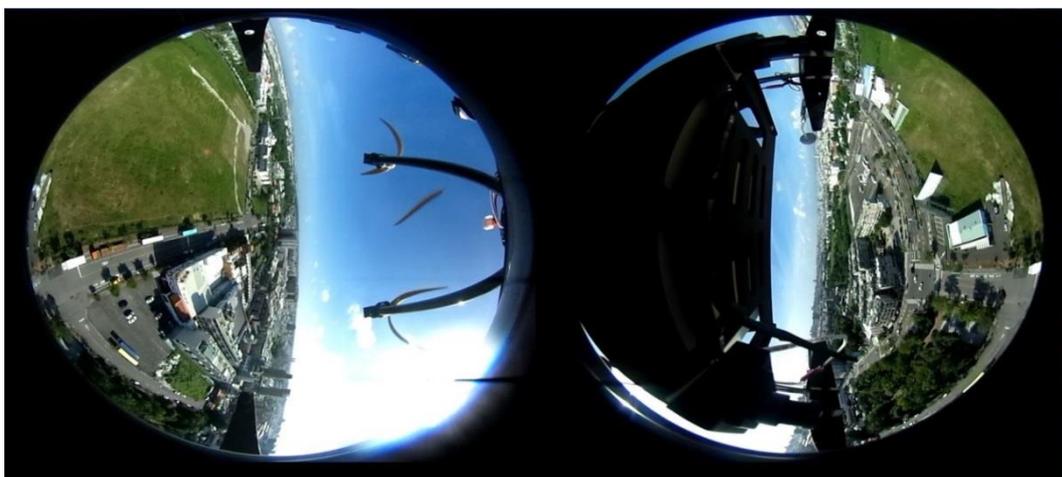


圖 4-40 全景攝影錄影成果

選定航拍測試作業區域如圖 4-41 與圖 4-42 所示，分別為臺中歌劇院與故宮南院，航線規劃如圖上黃線所示，航高 60 公尺，拍攝方式為環繞物體四周進行拍照或錄影。



圖 4-41 臺中歌劇院航線規劃



圖 4-42 故宮南院航線規劃

#### 4.2.2 航拍成果與展示

旋翼型 UAS 搭載全景攝影設備航拍臺中歌劇院及故宮南院，可取得建物上方及側面影像，同時全景攝影設備相較於一般相機可拍攝更大的範圍，單一影像可得到更多的資訊，藉由 RICOH THETA S 相關軟體，可依需求調整得到不同角度的影像，成果如圖 4-43 至 4-49 所示。圖 4-45 與 4-46 為向下 360 度環繞一圈，圖 4-47 為向上 360 度

環繞一圈之影像，圖 4-48 與 4-49 為向上與向下，使用者可依目的自行選擇角度取得影像資訊。



圖 4-43 臺中歌劇院



圖 4-44 故宮南院

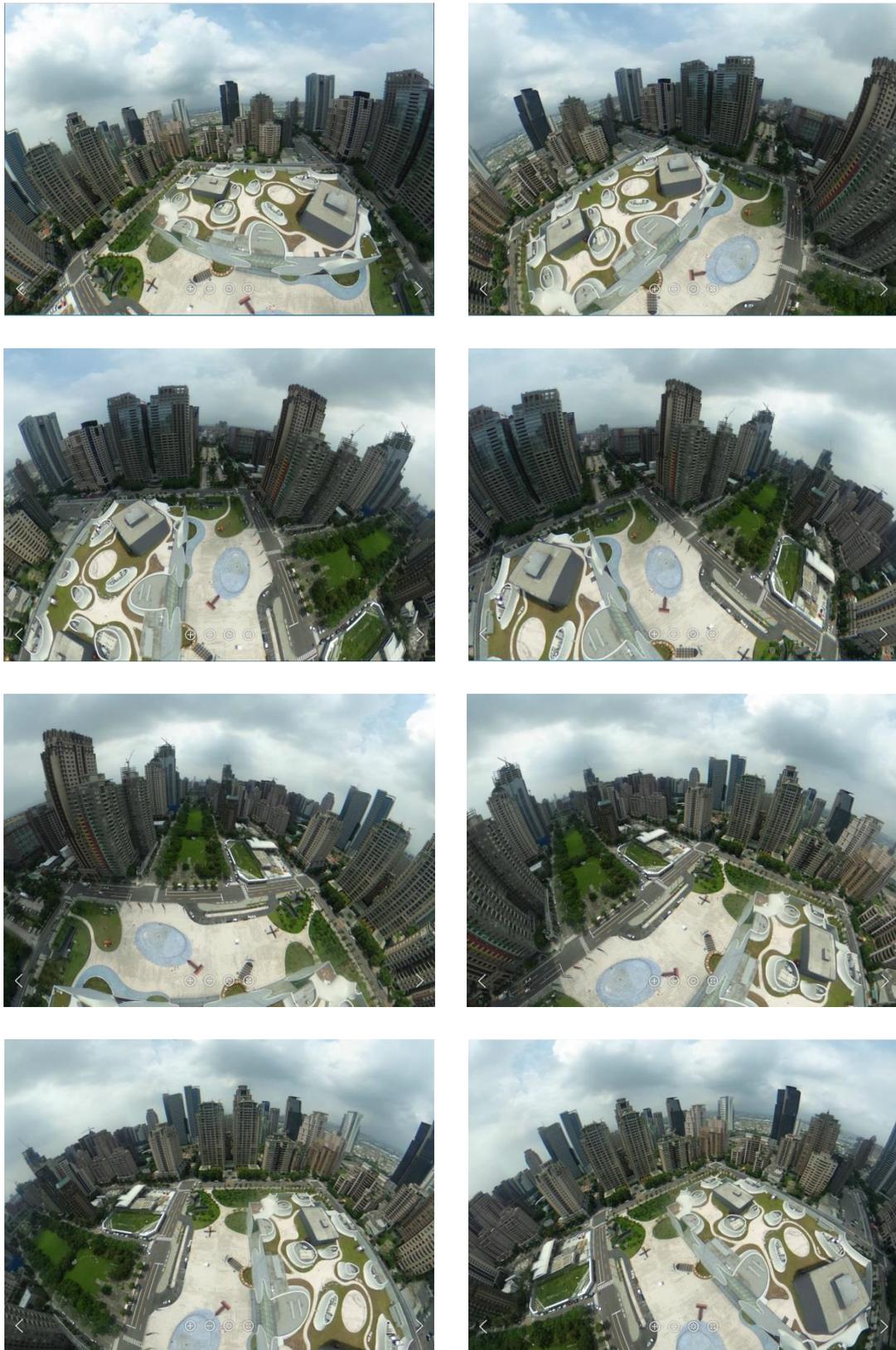


圖 4-45 臺中歌劇院向下 360 度環繞影像

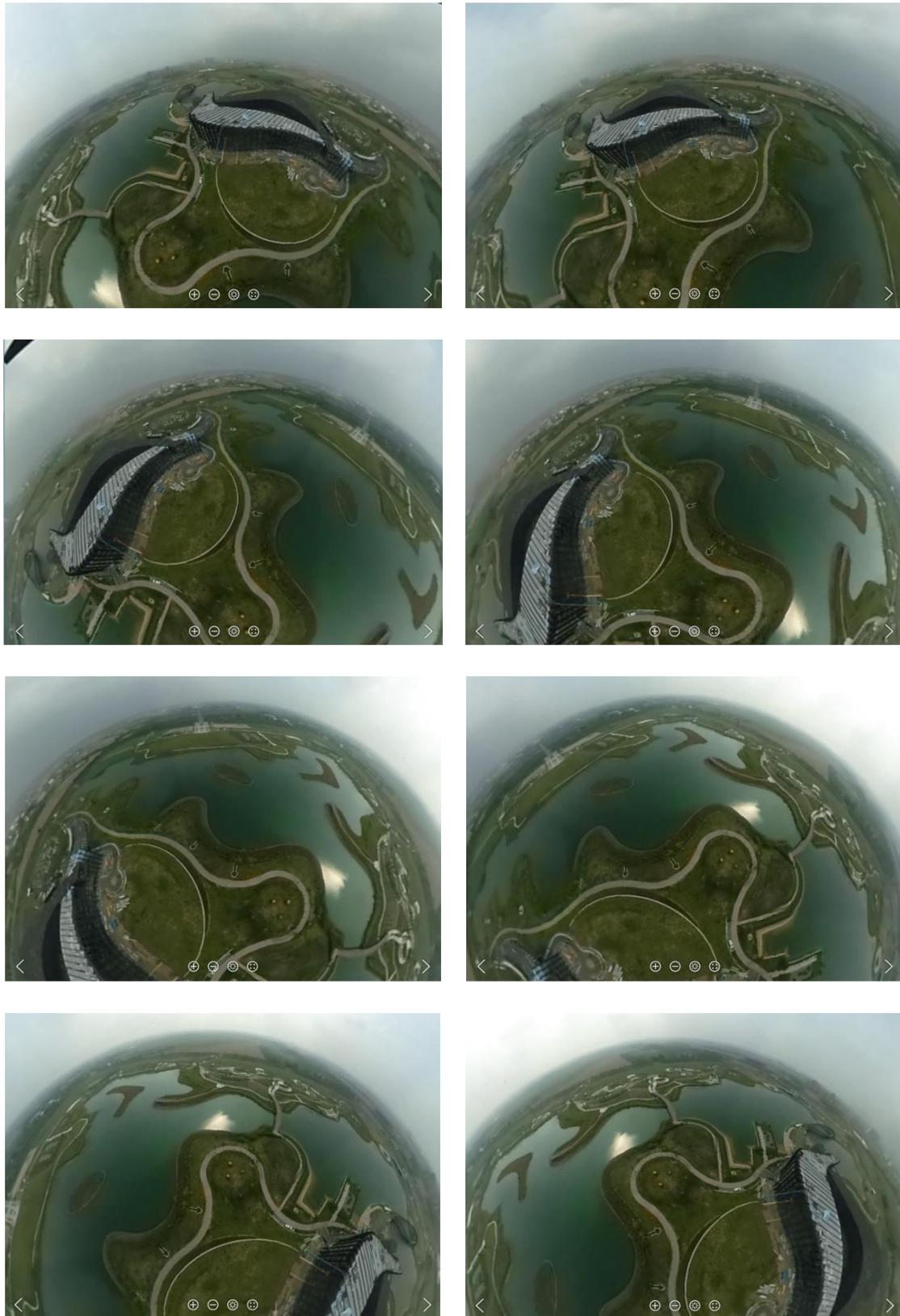


圖 4-46 故宮南院向下 360 度環繞影像

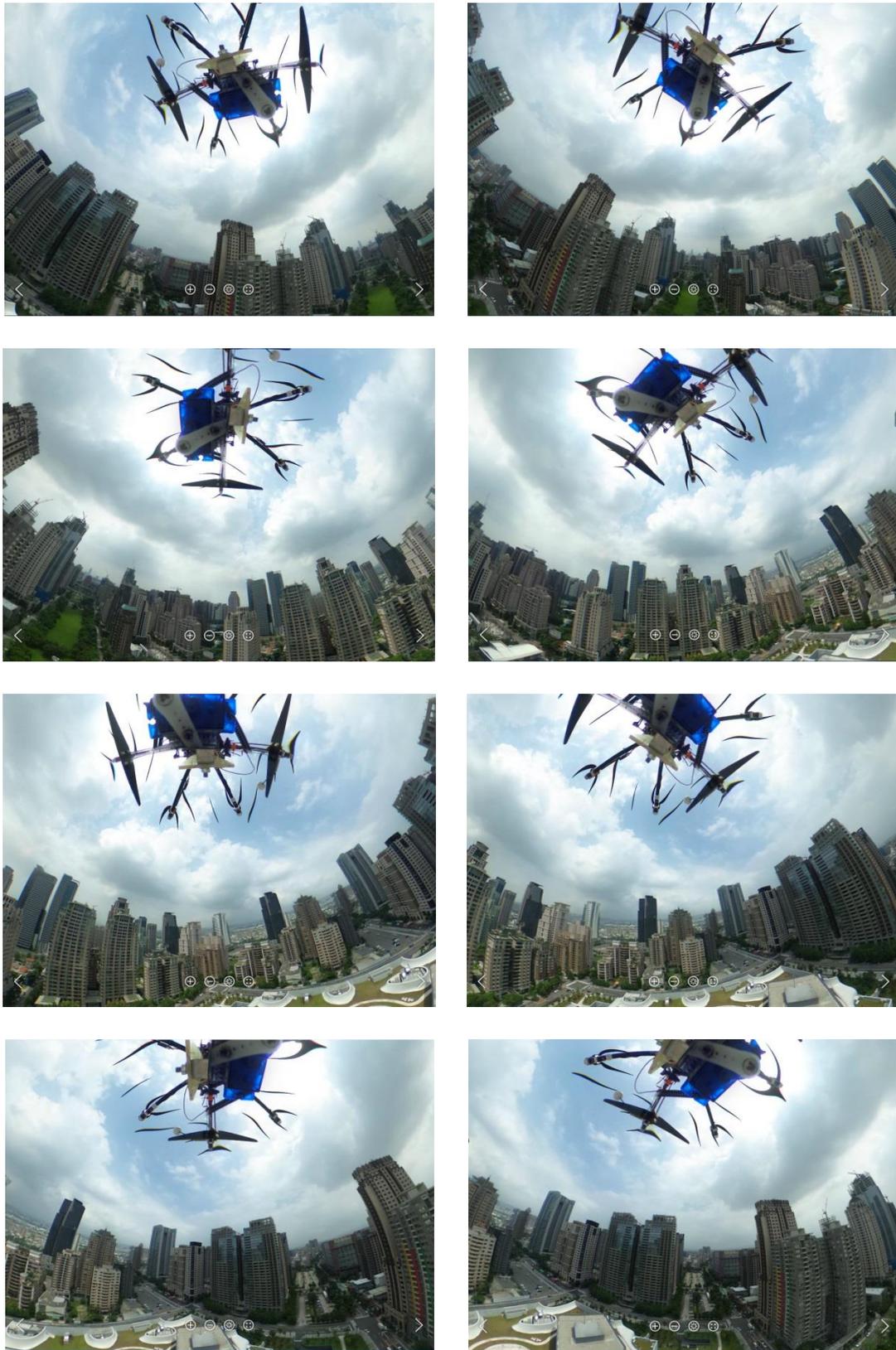


圖 4-47 臺中歌劇院向上 360 度環繞影像



圖 4-48 臺中歌劇院向下/向上影像



圖 4-49 故宮南院向下/向上影像

一般數位相機拍攝影像如圖 4-50 所示，其拍攝範圍受到 FOV 角與航高影響，航高愈高拍攝範圍愈大，但其解析度降低，且受氣候與雲層高低影響，進行影像處理拼接時需花費較多的時間與人力，拼接成果偶爾有錯位等情況發生，然而其優點為影像處理可達高精度，包含空三解算、製作正射影像等。



圖 4-50 臺中歌劇院數位相機影像

全景攝影設備取得之影像為 360 度連續性全景影像，如圖 4-45 所示，使用者不需另外進行影像處理，拍攝時範圍相對較不受限制，同時全景攝影設備可選用錄影模式，經由影像處理並上傳至網路，配合內建陀螺儀的智慧型裝置（如手機、平板）與 VR 虛擬實境眼鏡（圖 4-51），可讓使用者改變過去單一影像觀看方式，配合聲光效果可增加臨場感，彷彿身歷其境走入現場之感受。



圖 4-51 虛擬實境 VR 裝置（摘自 <http://store.sony.com.tw/>）

### 4.2.3 小結

全景攝影設備於本案成功取得臺中歌劇院與故宮南院 360 度連續性全景影像，相關作業僅需利用 UAS 在航拍任務執行時同時搭載全景攝影設備，依照規劃航線進行拍攝即可取得航線上錄影或影像資訊，透過全景攝影設備所附軟體可在 15 分鐘內快速輸出成動態 360 度全景影像而毋須額外經過影像拼接等處理作業，並藉由展示軟體可自由選擇所欲觀看之視野，提供目標區域不同角度影像資訊。另外即時上傳網路並搭配智慧型裝置與 VR 虛擬實境設備，可改變過去使用電腦觀看方式，增加臨場感。與一般使用數位相機取得的影像不同點在於全景攝影設備提供更多觀看視角彈性，雖全景影像並無地物坐標等相關量測資訊，但使用者可同時搭配一般數位相機及全景攝影設備所獲得影像資訊，快速掌握災害最新資訊，並透過結合虛擬實境 VR 與多媒體等資訊技術，提供更真實的影像虛擬環境展示。

未來全景攝影設備預期可應用於地震、火災、水災等緊急災害應變上，如地震引發大樓倒塌事故，藉由旋翼型 UAS 搭載全景攝影設備，環繞現場拍攝，快速取得建物與周圍環境影像，指揮人員可藉由全景攝影影像輔助快速評估現場環境，下達與執行快速正確的搜救任務，亦可作為工程人員研擬災害應變方案或防災規劃之參考依據。另一方面，UAS 於定點持續錄影，藉由 Wi-Fi 傳輸至智慧型裝置，可方便於掌控人員各處救難進度與建物拆除時是否有倒塌等情形之監控。後續相關照片或影音亦可經由 VR 技術作為災害防範教育宣傳影片，讓人們置身於體驗真實的災害場景中，提醒人們災害預防的重要性，同時可提供其他搜救人員模擬救災訓練使用。

## 第五章 多光譜感測器研究測試

國土涵蓋範圍包含陸地、海洋、領空等，陸地上之植物、湖泊、土壤等，海洋浮游物、鹽分等，領空上有大氣、懸浮粒子等多種物質，大部分物質多對可見光或紅外線光會產生特徵光譜，依照這些反射或穿透光譜反應，可以進一步進行土地利用分類調查等工作，如各作物土地分界處，除了可藉由地面測量外，亦可利用多光譜感測器執行航拍做國土分類，同時可將車輛人員不易到達之道路，進行分類與繪製更新圖資。

本案運用 UAS 搭載多光譜感測器如近紅外相機 (NIR, Near Infrared Spectroscopy) 主要可用於遙測影像判識使用，因為植物於近紅外有很強反射光譜，有別於 RGB 影像，可快速分辨植被範圍。最常見可用來判識植物生長及遙測影像分類的植物生長指標有常態化差值植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、植生指標 (Green Normalized Difference Vegetation Index, GNDVI)、簡易比植生指標 (Sample Ratio Vegetation Index, SRVI) 等。而運用 UAS 搭載 NIR 攝影系統可獲取地表更高解析度 NIR 影像，更有助於影像分類、植生指標計算使用。本案國土測繪中心與行政院農業委員會農業試驗所 (以下簡稱農試所) 合作，選擇彰化芳苑鄉測試區為樣區，利用 RGB 與 NIR 四波段相機進行拍攝，並進行影像處理製作四波段影像與假色影像及測試影像分類，相關成果將可提供農試所於後續遙測影像分類等使用，協助相關農業勘查作業。

### 第一節 設備簡介及整合

本研究測試運用 UAS 搭載多光譜感測器 (設備由國土測繪中心向國研院儀科中心借用提供) 進行航拍與影像處理作業，同步雙相機取像系統示意圖如圖 5-1 所示，取像模組採用一組 RGB 彩色相機及一組具 800~980nm 濾波片之 NIR 相機，兩臺相機間以些許傾角設計使影像相互對地重疊，使 RGB 影像與 NIR 影像能重合一起，範例如圖 5-2 所示。

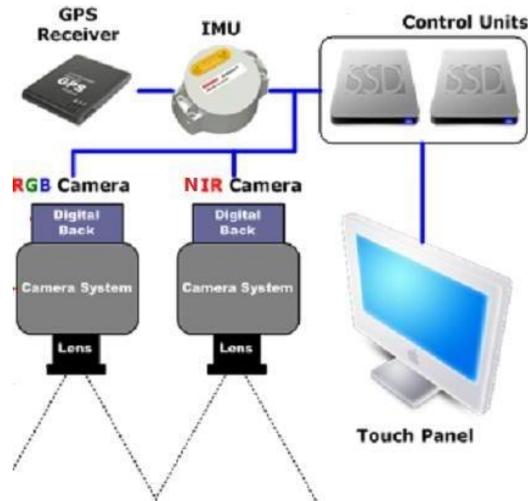


圖 5-1 四波段取像模組之多光譜感測器系統示意圖

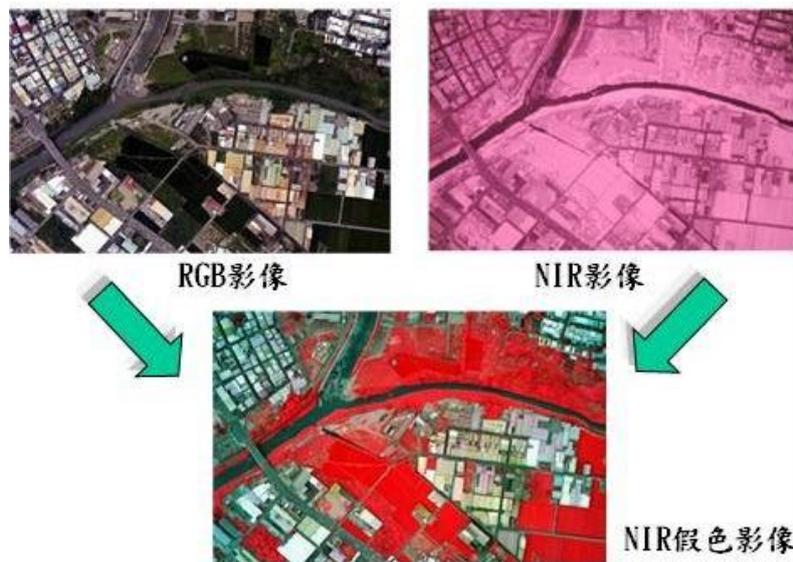


圖 5-2 RGB 與 NIR 影像套疊假色示意圖

多光譜感測器為國研院儀科中心自行開發之 NIR 系統，採用兩台 Sony  $\alpha 7$  數位相機，規格如表 5-1 所示，一台取得 RGB 影像，另一台修改 CMOS 感測器，改用近紅外光譜，光譜約為 380~1,200nm，可見光波長於 380nm~780nm 之間，光譜響應曲線大於 780nm 且低於 1200nm 為 CCD (Charge Coupled Device) 或 CMOS 感測器可應用的近紅外光範圍，配合可選擇搭配的 FE-Mount 鏡頭中，目前定焦鏡只有兩款，分別是 Carl Zeiss Sonnar T\* FE 35mm F2.8 ZA 和 Carl Zeiss Sonnar T\* FE 55mm F1.8 ZA，選用 35mm 長焦距鏡頭拍攝相同面積範圍時，較 20mm 或短焦距鏡頭可增加拍攝航高以減少飛行時間，同時也減少照片數量，影像處理時間縮短提高效率。感測器元件採用 2,400

萬畫素，整體重量約為 2.2 公斤，多光譜感測器系統架構如圖 5-3 所示。

表 5-1 Sony α7 全片幅數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	全片幅 (35.9 x 24.0mm) Exmor CMOS 感光元件，有效畫素 2430 萬畫素
鏡頭焦距	焦距 35mm 定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB
影像格式	JPEG/RAW
記錄畫素	最高 6,000 x 4,000 像素
儲存張數	依記憶卡容量決定
快門速度	最快可達 1/8,000 秒，提供外部觸發快門
ISO 感光度	100~25,600



圖 5-3 多光譜相機系統整合

因為相機模組為個別獨立，採用機械快門訊號進行系統同步，若 RGB 及 NIR 波段影像拍攝時間同步誤差  $< 1/100$  秒，則影像誤差預估在一個畫素之內，換言之，誤差約略為 1 公尺；四波段同步雙相機取像系統中，姿態對於航拍的穩定及控制為不可或缺之資料，對於某些航拍任務必須精確且毫無誤差的定位精準，才能圓滿達成，故本案同時整合一慣性量測元件 IMU，來獲取精準姿態資料以搭配影像及 GNSS 資料，慣性量測元件 IMU 包含了 3 個單軸的加速度計及 3 個單軸的陀螺，加速度計監測物體在載體座標系統中獨立三軸的加速度訊號，而陀螺監測載體相對於導航座標系的角速度訊號。這些輸出資訊可輔助影像及 GNSS 資料來達到資料的完整性，在航拍中，IMU 感測器可經由 RS232 的傳輸，經電腦接收到後進行資料的傳輸與即時影像的拍攝及 GNSS 的接收，來取得正確的影像品質，此輸出訊號

資料並送至電腦端測量設備記錄資訊，以利於後續的數據比對匹配及影像作業。

本案選用單旋翼型 UAS，做為搭載多光譜感測器之飛行載具，圖 5-4 與表 5-2 為單旋翼型設備及其規格表。彰化芳苑測試區域範圍約 1.5 x 2 公里，藉由單旋翼型 UAS 長滯空時間，相較於多旋翼型 UAS 可縮短作業時間，同時因雙相機與支架重量，UAS 籌載空間大小等限制，不建議使用多旋翼型 UAS，因而使用單旋翼型 UAS 執行航拍作業。



圖 5-4 單旋翼型 UAS

表 5-2 單旋翼型 UAS 規格表

載具尺寸	169 x 49.5 x 70 公分	最大航高	< 500 公尺
主/尾旋翼 旋轉直徑	190/36 公分	載具飛行距離	< 7,000 公尺
載具重量	9.0 公斤	滯空時間	< 50 分鐘
酬載重量	15.0 公斤		

## 第二節 作業方法流程

本案測試區位於彰化縣芳苑鄉，使用單旋翼搭載整合後多光譜感測器系統進行航拍與影像處理，將處理後成果進行植被分類，並探討影像解析度、影像波段數對於分類結果之影響。分類方法採用監督式方法，並以半自動方式判釋影像，人工選擇訓練區後再由電腦於訓練區中的定義判釋全圖，另一種分類方式為非監督式方法則由電腦自動運算。監督式方法較耗時但準確性較高，人工訓練度越高，一般來說較適合用於地表特徵較複雜的情況。而分類錯誤狀況可分為誤授誤差（Commission Error, CE）及漏授誤差（Omission Error, OE）兩種，誤授誤差表示分類後類別被錯誤分類的百分比，漏授誤差則表示分類後類別被遺漏分至其他類別之百分比。分類精度指標則使用整體精確度（Overall Accuracy）及 Kappa 係數（Kappa Coefficient）來評估分類成果。另針對幾項可能影響影像分類因素及分類方法說明如下：

### ■ 解析度

本案使用最大概似法（Maximum Likelihood）來測試影像解析度對於分類的影響情況，最大概似法為一種監督式（Supervised）分類方法，需以人工方式圈選訓練樣區，再由電腦進行分類計算，而本案在解析度測試這個部分，先採用影像的四個波段及計算出之 NDVI 一併進行影像分類，後續再分別探討波段數對於影像分類之影響。

### ■ 波段數

本階段採用不同波段數，測試對於影像分類之影響，除了影像本身四個波段外，另外再加入該影像之歸一化植被指數一併測試，其計算方式是利用紅光與近紅外光的反射，顯示植物生長資訊，數值愈大表示植物生長越多；反之，則越少。

## 第三節 航拍測試及影像處理作業

本次選定測試區域為彰化縣芳苑鄉（圖 5-5），航拍區範圍約 350 公頃，地表高程約 10 公尺，航高為 250 公尺，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 50%，地面解析度約 5 公分。RGB 波長分別為 625~740、500~565、470~500nm，NIR 波長為 760~850nm。圖 5-6 至圖 5-8 為 RGB 與 NIR 影像處理後之拼接與假色影像。

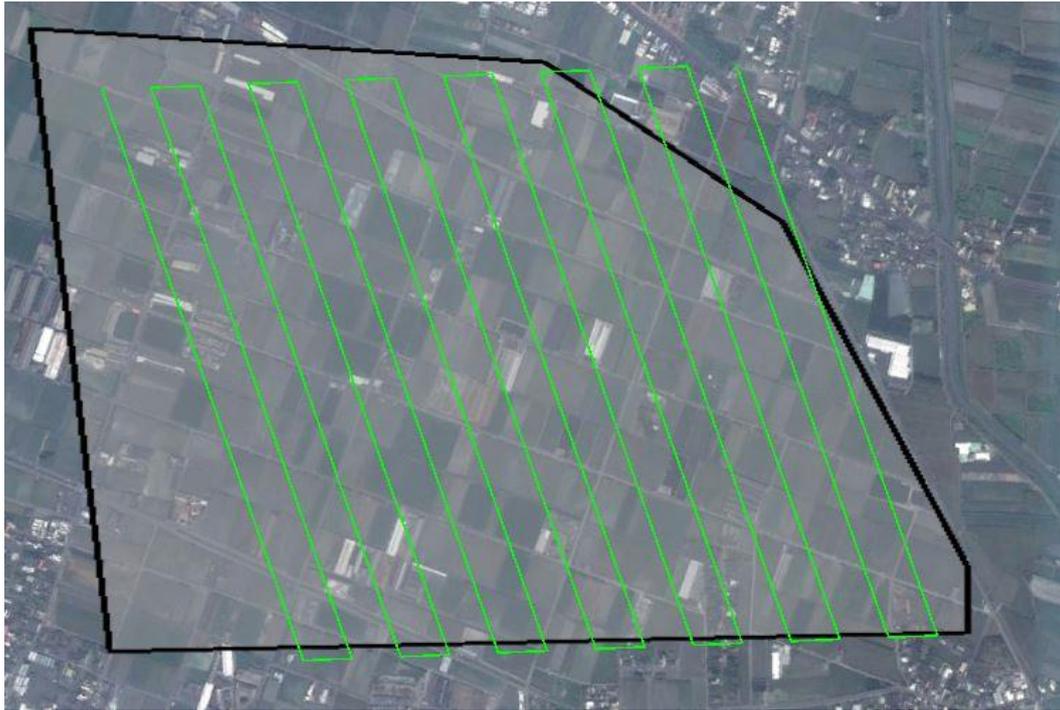


圖 5-5 多光譜感測器測試區域

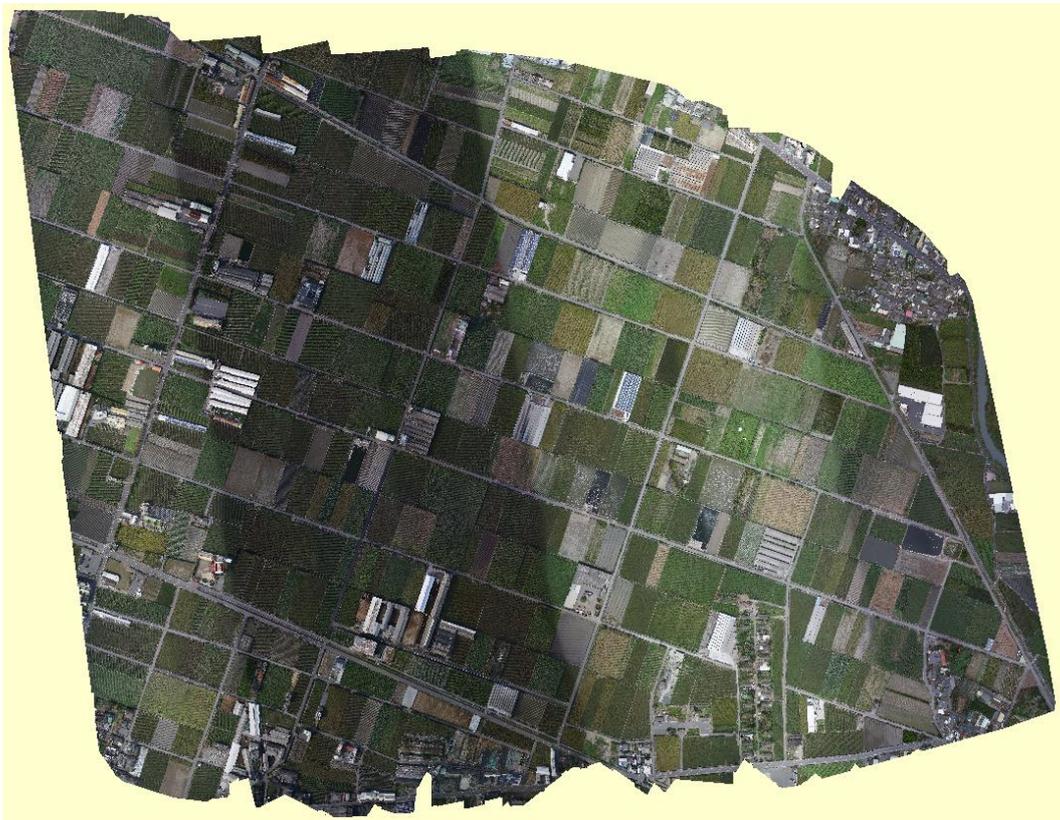


圖 5-6 多光譜感測器測試區域 RGB 拼接影像

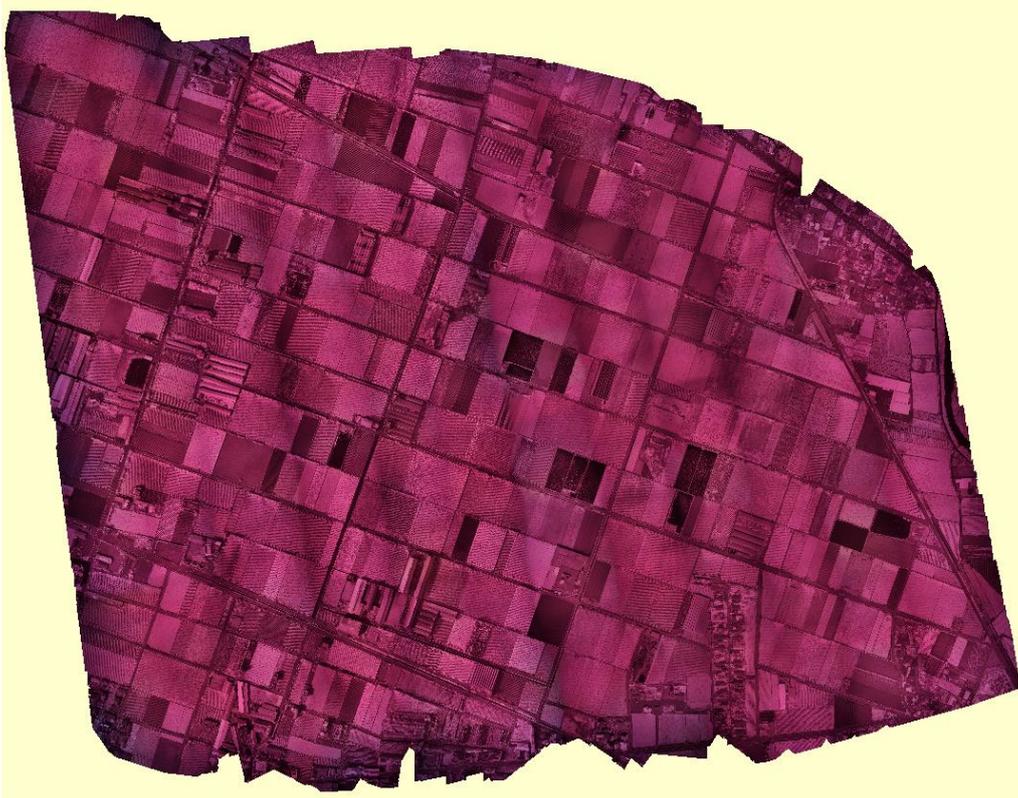


圖 5-7 多光譜感測器測試區域 NIRRGB 拼接影像

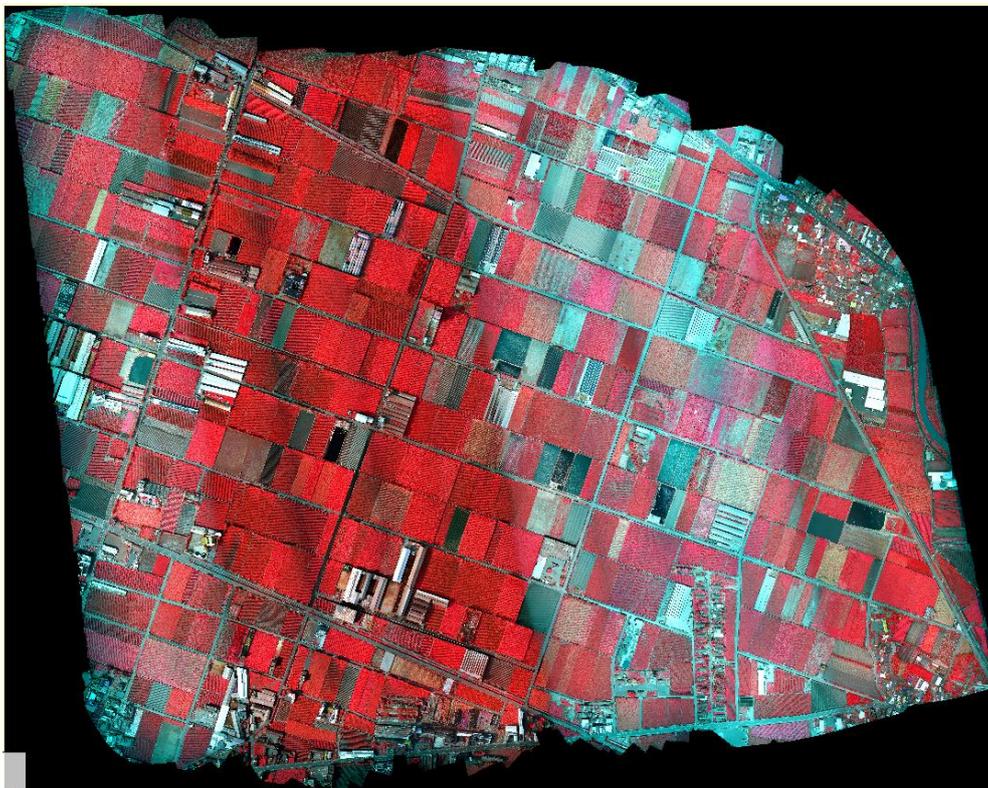


圖 5-8 多光譜感測器測試區域假色拼接影像

### 5.3.1 影像成果分類與分析

本案將影像依照農業試驗所與國土測繪中心需求，主要分成五個類別（圖 5-9），其中紅色為建物、洋藍色為水體、橘色為道路、綠色為農田、黃色為無耕作之農田。本案統計不同解析度影像進行分類時電腦所需的計算時間，解析度越高表示電腦所需的計算量就越大，本次測試之結果如表 5-3 所示，當解析度 5 公分時影像需花費超過 30 分鐘計算，而隨著解析度下降，電腦所需耗費之時間大幅度的縮減。

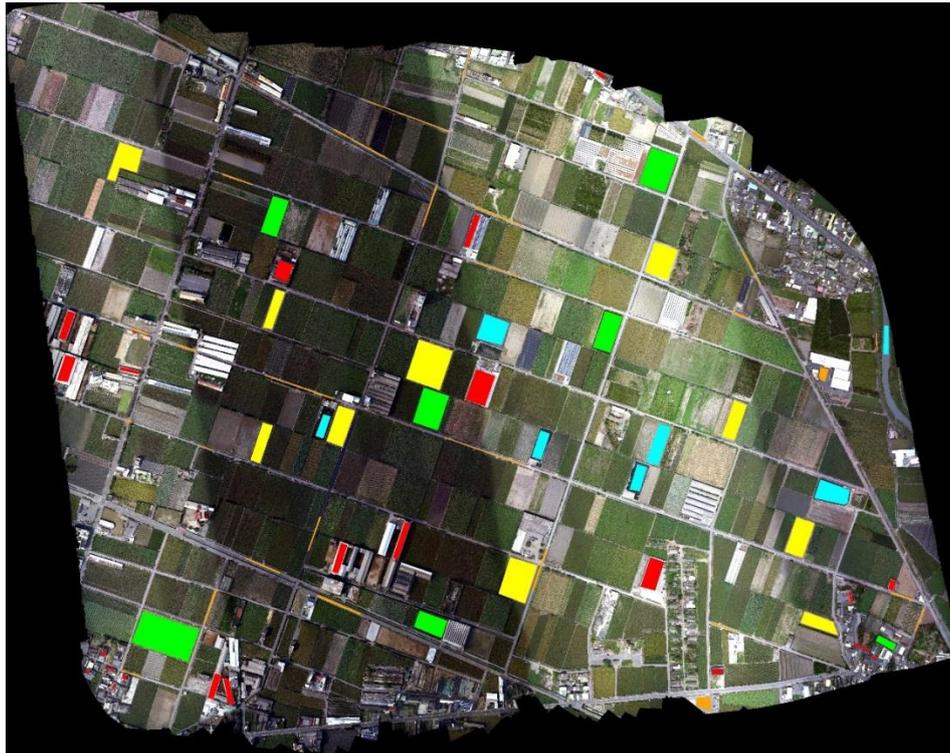


圖 5-9 影像分類訓練樣區分布圖

表 5-3 不同影像解析度計算所需時間

解析度	影像大小 (Pixels)	計算時間
5cm	42,971 x 34,297	34 分鐘
10cm	21,486 x 17,149	5 分鐘
20cm	10,743 x 8,575	1 分鐘
40cm	5,372 x 4,288	小於 30 秒
80cm	2,686 x 2,144	小於 30 秒
160cm	1,343 x 1,072	小於 30 秒

圖 5-10 與圖 5-11 分別為解析度 5 與 160 公分之分類成果，其兩者並無明顯差別，接著選定地面真像 (Ground-Truth) (圖 5-12) 進行分類精度之評估，檢核樣本之分布為隨機分散於整張影像中，整體分類精度成果如圖 5-13 所示，當解析度小於 40 公分時，隨著解析度下降而分類精度有些許提升；解析度大於 40 公分時，分類精度開始下降，而解析度 160 公分時分類精度有顯著性的下滑。

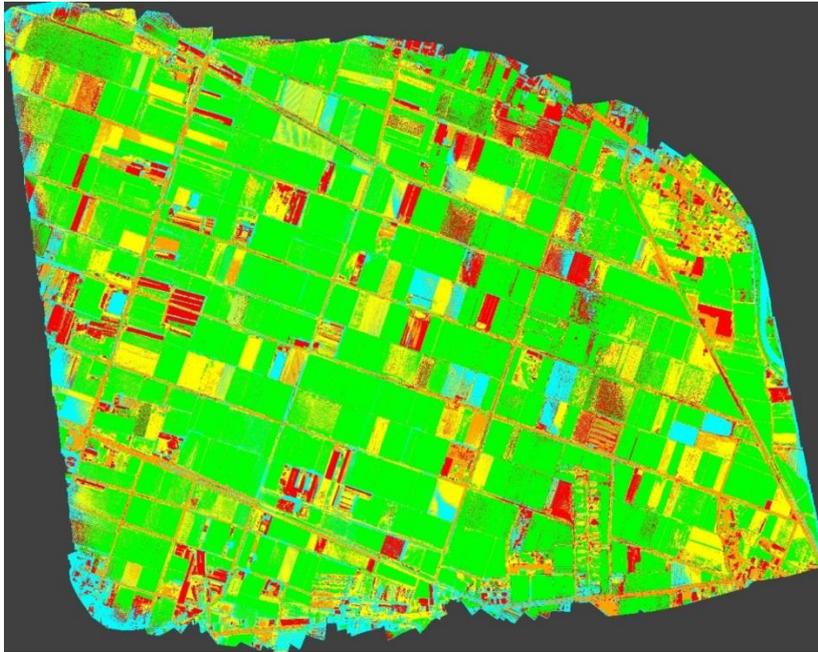


圖 5-10 解析度 5 公分影像分類結果

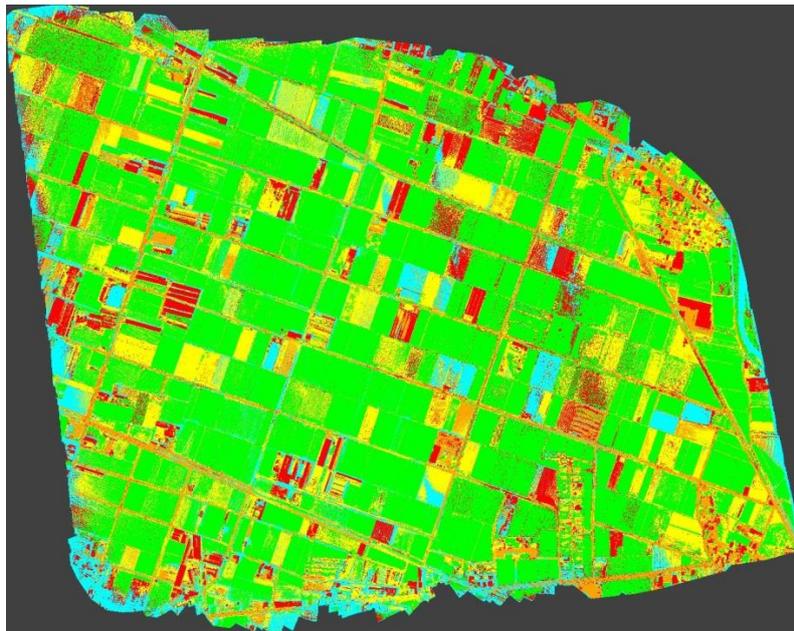


圖 5-11 解析度 160 公分影像分類結果

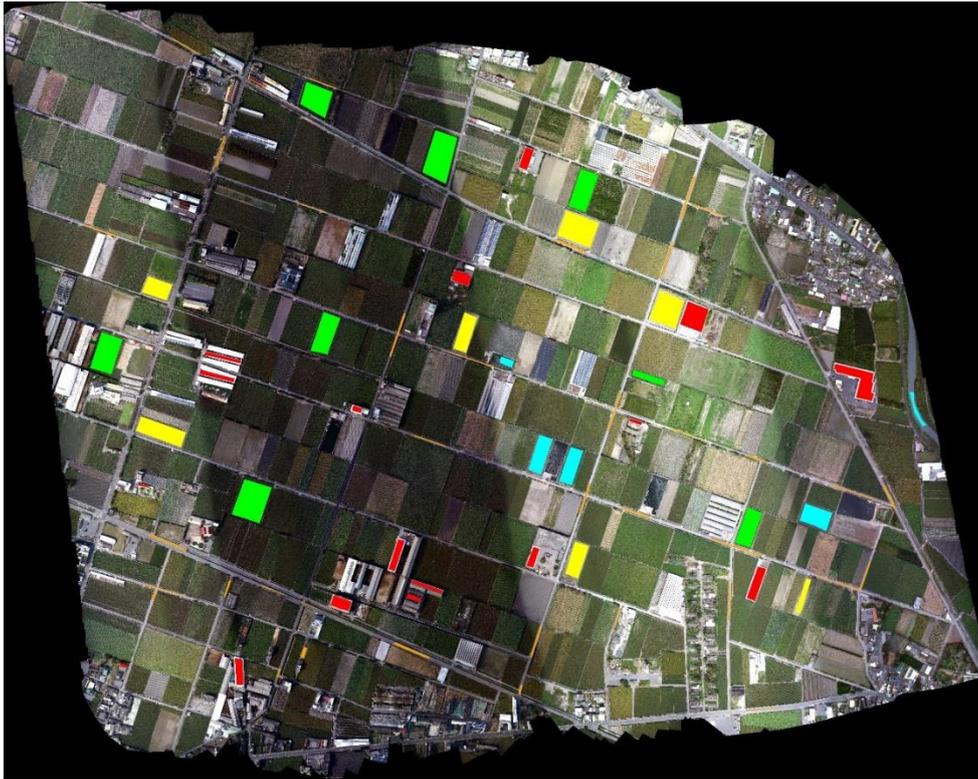


圖 5-12 地面真像 (Ground-Truth) 分布圖

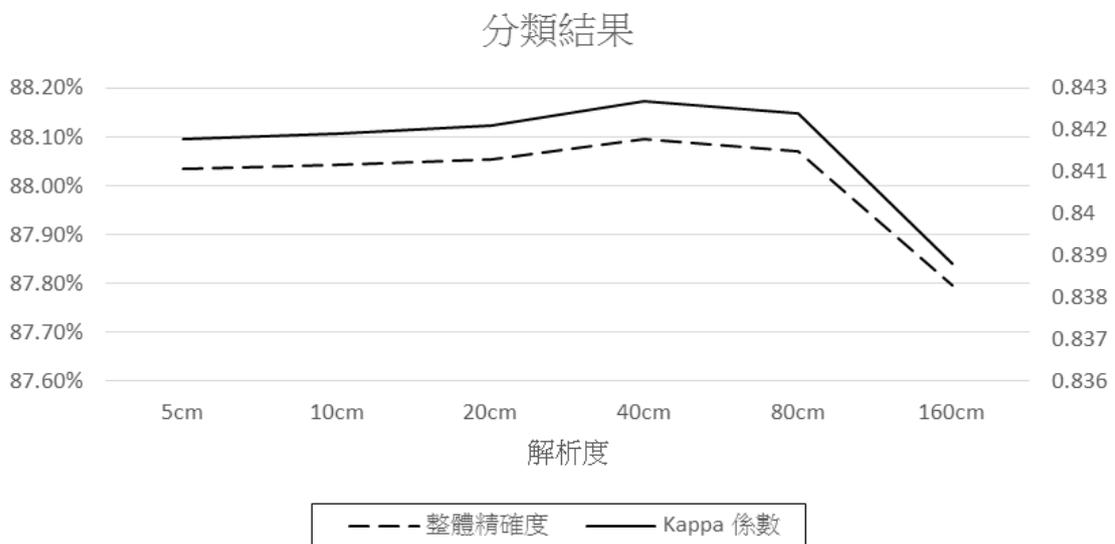


圖 5-13 不同影像解析度分類精度

從各解析度下五種地物分類結果計算得到之誤授誤差及漏受誤差情形 (圖 5-14)，以及各解析度與 5 公分解析度之誤授誤差及漏受誤差差值 (圖 5-15)，可注意到水體及農田隨著解析度下降，誤授誤差亦跟著下降，但這並不完全表示其分類精度提高，因其漏授誤差亦提高了不少，表示該正確分到此類別之地物並沒有正確地分類過去。

而根據誤授誤差及漏受誤差情形，可發現解析度 40 公分的誤授誤差結果並沒有提高且其漏授誤差還有些許下降，其分類結果較其他解析度有些許的提升。

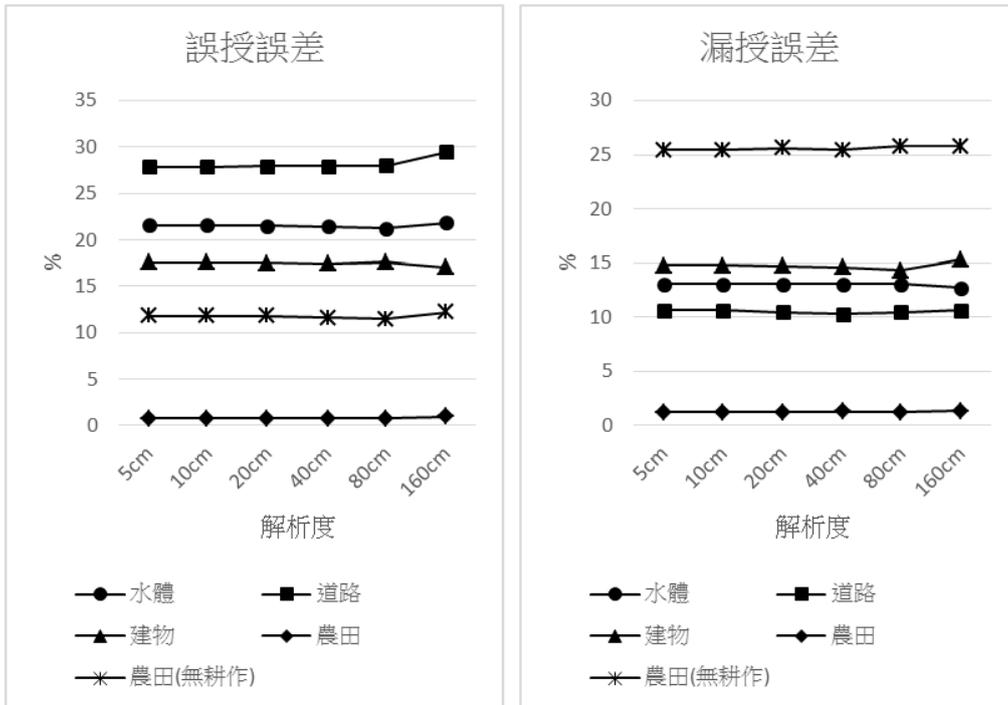


圖 5-14 各類別於不同解析度之誤授誤差及漏受誤差情形

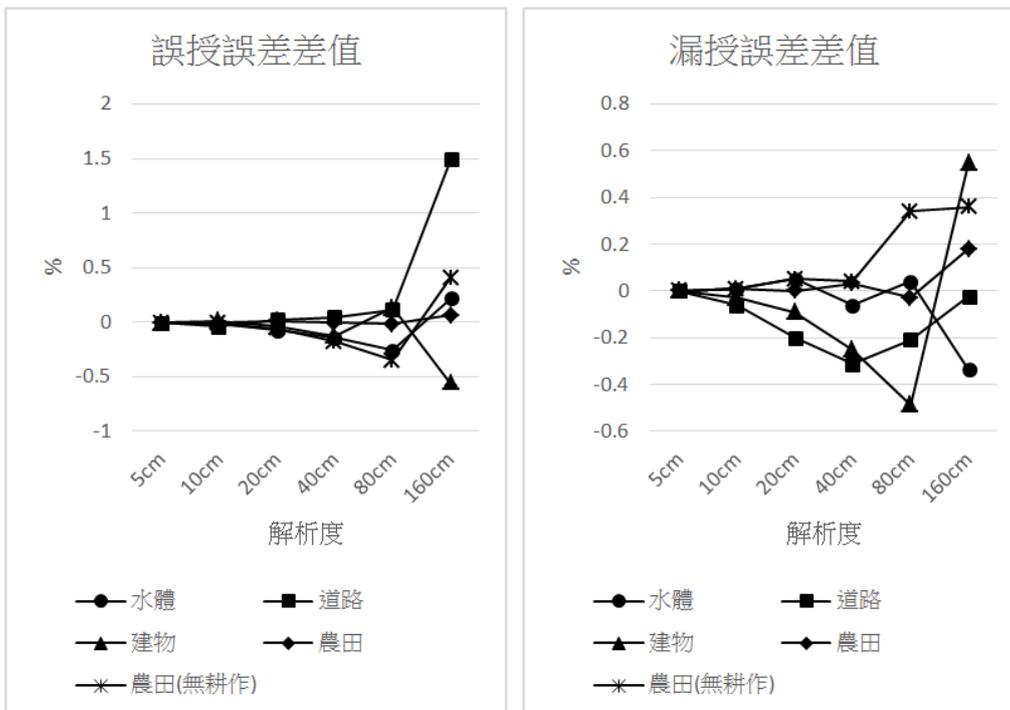


圖 5-15 不同解析度與 5 公分解析度之誤授誤差及漏受誤差差值

因此，高解析度影像對於影像分類結果不一定較佳，解析度越高之影像在進行分類時，往往耗費的時間也就越長，本案影像分類技術採用像元式 (Pixel-Based) 方法，藉由統計方法進行分類，逐一給予影像中每個像元統計類別，忽略空間中之地物並非單純由單一像元組成，因而若使用高解析度影像時會產生椒鹽效應 (Salt and Pepper Effect)，導致分類精度不一定有所提升，因太細緻的地表狀況可能會干擾分類的計算。而後續分類結果之分析我們採用本次測試精度最佳之解析度 40 公分影像來進行測試。

### 5.3.2 不同波段數分類

本階段將測試採用不同波段數對於影像分類之影響，使用解析度 40 公分影像來進行，測試組合以及影像分類精度結果如表 5-4 所示，初步成果得知測試 11 即選用 R、G、B 波段、NDVI 指數之精度為最佳，測試 10 之精度為最差。測試 10 輸入之波段數為 4 個，但其分類精度卻低於輸入波段數為 3 個 (如測試 1 至測試 7)，其代表輸入之波段數多並不一定會直接反應在分類精度上。

表 5-4 不同波段數量分類精度

測試	R	G	B	NIR	NDVI	整體精確度 (%)	Kappa 係數
1	●	●	●			83.2524	0.7799
2	●	●		●		68.7976	0.6006
3	●	●			●	69.2376	0.6048
4	●		●	●		87.1036	0.8292
5	●		●		●	87.5676	0.8351
6		●	●	●		86.2276	0.8175
7		●	●		●	87.9812	0.8403
8		●	●	●	●	87.0942	0.8289
9	●		●	●	●	85.9899	0.8148
10	●	●		●	●	68.4661	0.5970
11	●	●	●		●	88.4609	0.8475
12	●	●	●	●		87.1028	0.8297
13	●	●	●	●	●	88.0967	0.8427

根據本次影像分類之結果，NIR 波段及 NDVI 擇一即可，如表 5-4 的測試 2 及 3、測試 4 及 5、測試 6 及 7，RGB 之任兩個個段無論搭配 NIR 波段或是 NDVI，其分類精度皆無明顯差異，其原因為 NIR 波段及 NDVI 皆是顯示植物生長資訊，兩波段之性質相近，故無論使用 NIR 波段或 NDVI 計算出之分類結果相似。

表 5-5 至 5-8 所示為判釋精度誤差矩陣，第二列之類別為真實類別，第一欄之類別為被分類類別，以表 5-5 為例，真實類別為水體被分類至水體百分比為 80.90%，真實類別為道路被分類至水體為 5.80%，真實類別為水體被分類至道路為 17.46%。而分類比例代表被分類至該類別佔全部的多少百分比，其包含正確與錯誤分類部分，與精度無關。而初步結果顯示，未選擇 B 波段之影像，影像分類精度皆較差，特別是無耕作之農田類別分類精度，正確率分別為 10.31%、12.00%、7.10%，多數之無耕作農田被分類至道路類別，有加入 B 波段之影像其無耕作農田類別分類精度則提升至 77.22%，誤判之情形減低許多。除此之外，B 波段對於水體也有一定程度之影響，B 波段之選擇與否，影響水體分類精度約上升 15%。

表 5-5 測試 2 判釋精度誤差矩陣

測試 2	Ground Truth (百分比)					
	水體	道路	建物	農田	無耕作農田	分類比例
水體	80.90	5.80	1.59	0.05	0.68	9.54
道路	17.46	76.79	5.64	0.28	79.02	30.02
建物	1.10	3.51	82.67	2.28	6.76	18.43
農田	0.01	0.01	1.89	96.29	3.24	36.12
無耕作農田	0.53	13.90	8.20	1.10	10.31	5.88
總合	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表 5-6 測試 3 判釋精度誤差矩陣

測試 3	Ground Truth (百分比)					
	水體	道路	建物	農田	無耕作農田	分類比例
水體	78.03	3.18	1.19	0.16	0.85	9.00
道路	20.60	72.85	4.10	0.30	73.15	28.23
建物	0.98	7.15	84.18	1.59	11.30	19.93
農田	0.01	0.00	1.00	97.42	2.71	36.23
無耕作農田	0.37	16.81	9.54	0.52	12.00	6.61
總合	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表 5-7 測試 10 判釋精度誤差矩陣

測試 10	Ground Truth (百分比)					
	水體	道路	建物	農田	無耕作農田	分類比例
水體	73.44	3.66	1.47	0.41	0.32	8.58
道路	25.41	82.60	4.90	0.40	81.51	31.94
建物	0.91	4.44	84.43	1.49	7.77	18.79
農田	0.01	0.00	2.37	97.32	3.30	36.60
無耕作農田	0.23	9.30	6.84	0.37	7.10	4.09
總合	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表 5-8 測試 11 判釋精度誤差矩陣

測試 11	Ground Truth (百分比)					
	水體	道路	建物	農田	無耕作農田	分類比例
水體	91.64	1.93	1.12	0.84	12.16	13.37
道路	3.16	85.84	6.37	0.00	5.16	10.97
建物	0.51	8.27	82.83	0.08	4.65	17.53
農田	0.01	0.00	0.09	98.86	0.81	36.11
無耕作農田	4.68	3.95	9.59	0.22	77.22	22.02
總合	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

#### 第四節 小結

UAS 搭載多光譜感測器初步測試，其檢核樣本數量雖不多，不能完全代表其判釋精度，不過其與分類精度有一定程度之相關性，而本案主要比較影像解析度及波段數對於分類之影響情況，在完全一樣的訓練樣本及檢核資料下，計算出分類精度，故比較之基準相同之下可看出不同測試情況之優劣。成果顯示當影像解析度 40 公分時其精度為最佳，配合選擇適當的波段進行影像處理，針對水體、道路、建物、農田、無耕作農田等五種類別，可成功自動辨識分類，分類精確度皆在 77% 以上，農田精確度更可達到 98% 以上，對於協助農業勘查有很大的幫助。未來可針對特定區域，初次拍攝以進行類別分類（圖 5-6、圖 5-7、圖 5-16），後續定期拍攝監測變化，天然災害（如颱風）過後拍攝提供淹水與農害災損情況量化數據（圖 5-17），未來更可發展半/自動化影像判釋提升資料處理效率，即時資訊傳遞供輔助決策擬定（圖 5-18），透過空間資訊管理提供精準位置，大數據分析提高應變效率。

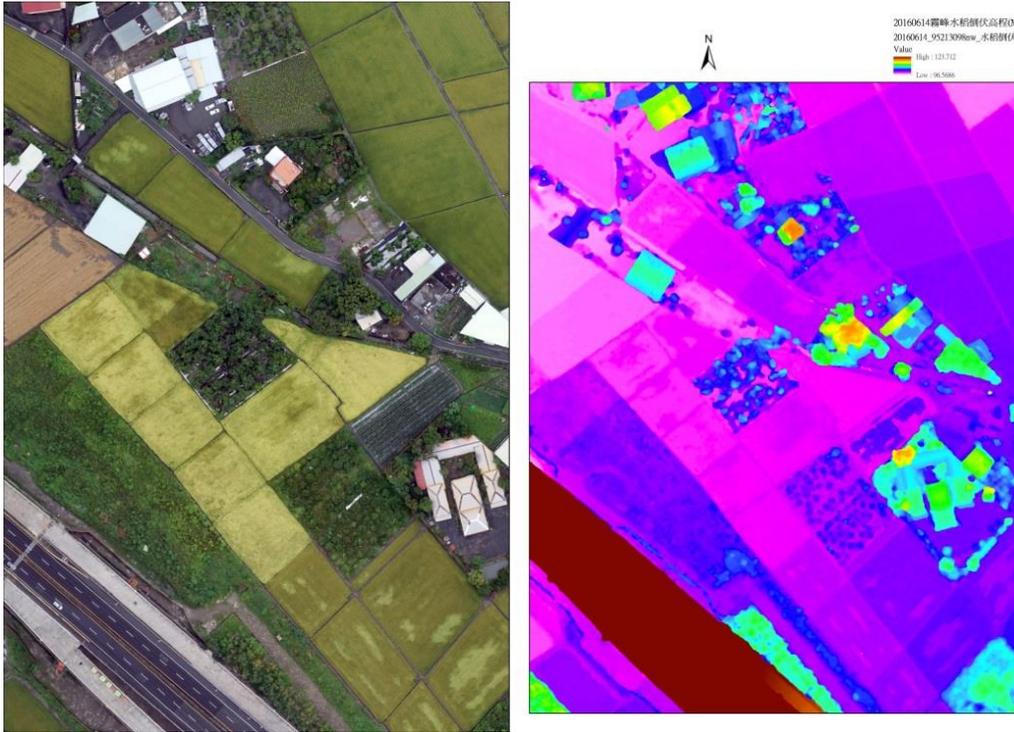


圖 5-16 初次拍攝影像分類（摘自行政院農業委員會農業試驗所）



圖 5-17 前後期影像分析比較（摘自行政院農業委員會農業試驗所）



縣市名	鄉鎮區名	地段名	地號	倒伏程度
台中市	霧峰區	豐正段	593	1
台中市	霧峰區	豐正段	593	1
台中市	霧峰區	豐正段	813	1
台中市	霧峰區	豐正段	578	2
台中市	霧峰區	豐正段	580	2
台中市	霧峰區	豐正段	580	2
台中市	霧峰區	豐正段	819	2
台中市	霧峰區	豐正段	813	3
台中市	霧峰區	豐正段	593	7
台中市	霧峰區	豐正段	x	8
台中市	霧峰區	豐正段	x	10
台中市	霧峰區	豐正段	x	10
台中市	霧峰區	豐正段	506	25
台中市	霧峰區	豐正段	579	70
台中市	霧峰區	豐正段	817	80
台中市	霧峰區	豐正段	565	95
台中市	霧峰區	豐正段	566-3	98
台中市	霧峰區	豐正段	565	98
台中市	霧峰區	豐正段	566-1	100
台中市	霧峰區	豐正段	594	100
台中市	霧峰區	豐正段	594	100
台中市	霧峰區	豐正段	594	100
台中市	霧峰區	豐正段	594	100

圖 5-18 資訊傳遞決策擬定(摘自行政院農業委員會農業試驗所)

## 第陸章 結論與檢討建議

### 第一節 結論

本案自 105 年 3 月 24 日起開始執行，至 11 月 21 日提交第 4 階段作業成果，全案共計執行 240 個日曆天，其間因天候或其他不可抗力因素展延工期 1 日，並完成以下各項工作項目：

- 一、 辦理 UAS 航拍及影像處理作業總計 10 區，總計面積達 5000 公頃以上；配合桃市環保局、陽明山國家公園管理處、臺中市政府需求增購區域航拍總計 15 區。
- 二、 延續 104 年度多相機組合雲台研究，建置三維影像模型，測試區域為臺中國家歌劇院與臺中向上郵局；全景攝影研究測試區域為臺中國家歌劇院與故宮南院。
- 三、 UAS 搭載多光譜感測器進行航拍及影像處理作業，針對成果進行分析及評估應用於地物分類或植被監測或災害判釋等作業可行性，測試區域為彰化縣芳苑鄉。
- 四、 配合國土測繪中心相關成果發表，辦理 UAS 載運、架設、展示、撤收、製作海報、派員解說，協助更新修正國土測繪中心全球資訊網站「無人飛行載具系統專區」為「移動測繪系統專區」網頁內容。

本案所完成各項工作與作業成果，歸納以下幾點結論：

- 一、 本案總計完成 10 區與增購 15 區的航拍及影像處理作業，航拍作業過程中均填寫航拍任務紀錄表，包含航拍日期、天氣狀況、風向、風級、飛航方向、飛行時間等，影像處理作業製作正射影像成果。航拍作業以使用國土測繪中心定翼型 UAS（國土測繪一號）為原則，拍攝面積達總航拍面積 50% 以上，唯航拍面積小於 1 平方公里之區域，經國土測繪中心同意，採用旋翼型 UAS 辦理航拍，以簡化申請流程以提升作業效率。另雲林縣古坑鄉（樟湖及嵌頭厝）為緊急航拍任務，於航拍完成後 24 小時內繳交原始影像、快速幾何糾正鑲嵌影像；協助桃園市環保區增購區域正射影像解析度需達 10 公分，配合至現地辦理控制測量作業。相關成果協助圖資更新、國土監測等應用，達成提升圖資更新效率及增進政府機關橫向協調聯繫等成果效益。

本案國土測繪一號航拍直接地理定位計算結果，當定翼機搭載優化 POS 執行一般航拍任務，飛行高度約 600 公尺（影像 GSD 為

25 公分) 時，在三軸方向定位精度 RMS (Root Mean Square) 值約為 4.331、5.030、4.471 公尺。相較於過去使用單頻 GNSS 之 POS，本案使用雙頻 GNSS 之 POS 在三軸定位精度 (RMS 值) 上各提升約 27%、29%、55%。依結果來看，目前直接地理定位精度相較於空中三角測量而言，仍有提升空間，但因處理時間僅需 1 小時內即可進行量測作業，空三計算則需 1~3 天，於精度需求不高或具時效性應用領域如防救災應變、環境變遷監控、資源探測保護等各式應用上，仍有很大的效益。

本團隊執行 105 年度 UAS 測繪作業，完成 5000 公頃以上面積之航拍作業，UAS 飛航時數總計達 10 小時以上，航拍期間無發生任何失事或重大意外情形，在任務執行安全度上連續 4 年保持良好安全紀錄。

二、於三維影像模型研究測試方面，本案修正作業方式，以 UAS 影像為主，地面影像(測繪車或人工拍攝)為輔方式進行三維建模，並增加採用 UAS 空中環繞式拍攝方法來提升建模效果，於實驗成果中顯示效果甚優。故後續作業建議將以 UAS 傾斜攝影與環繞式拍攝為主，側面資訊不足處再以地面高解析度影像 (測繪車或人工近景) 補強；另拍攝距離可再靠近即降低航拍高度，配合三鏡頭傾斜攝影進行建模將可獲取更佳建模效果。未來可針對重要地標採用前述方式來建置三維模型成果，相關成果亦可用於環境調查、三維城市建構、都市管理、公路鐵路探勘、公路邊坡監測、港區結構體監測、森林管理、海岸線保護等監測上之應用，另資料處理過程產製之三維點雲可有效描述監測目標之三維環境，並由三維點雲計算，來獲取表達監測區域之變化。

另全景攝影設備不同於過去使用數位相機取得的影像，可提供更多的彈性與資訊，本案成功取得臺中歌劇院與故宮南院 360 度連續性全景影像，相關作業僅需利用 UAS 在航拍任務執行時同時搭載全景攝影設備，依照規劃航線進行拍攝即可取得航線上錄影或影像資訊，透過全景攝影設備所附軟體可在 15 分鐘內快速輸出成動態 360 度全景影像而毋須額外經過影像拼接等處理作業，並藉由展示軟體可自由選擇所欲觀看之視野，提供目標區域不同角度影像資訊。另外即時上傳網路並搭配智慧型裝置與 VR 虛擬實境設備，可改變過去使用電腦觀看方式，增加臨場感。與一般使用數位相機取得的影像不同點在於全景攝影設備提供更多觀看視角彈性，雖全景影像並無地物坐標等相關量測資訊，但使用者可同時搭配一般數位相機及全景攝影設備所獲得影像資訊，快

速掌握災害最新資訊，並透過結合虛擬實境 VR 與多媒體等資訊技術，提供更真實的影像虛擬環境展示。未來全景攝影設備預期可應用於地震、火災、水災等緊急災害應變上，指揮人員可藉由全景攝影影像輔助快速評估現場環境，下達與執行快速正確的搜救任務，亦可作為工程人員研擬災害應變方案或防災規劃之參考依據。後續相關照片或影音亦可經由 VR 技術作為災害防範教育宣傳影片，讓人們置身於體驗真實的災害場景中，提醒人們災害預防的重要性，同時可提供其他搜救人員模擬救災訓練使用。

- 三、 UAS 搭載多光譜感測器為與國研院儀科中心及農試所間政府橫向協調聯繫合作，初步測試成果顯示，當影像解析度 40 公分時其精度為最佳，配合選擇適當的波段進行影像處理，針對水體、道路、建物、農田、無耕作農田等五種類別，可成功自動辨識分類，分類精確度皆在 77% 以上，農田精確度更可達到 98% 以上，對於協助農業勘查有很大的幫助。未來可針對特定區域，初次拍攝以進行類別分類，後續定期拍攝監測變化，天然災害（如颱風）過後拍攝提供淹水與農害災損情況量化數據，未來更可發展半/自動化影像判釋提升資料處理效率，即時資訊傳遞供輔助決策擬定，透過空間資訊管理提供精準位置，大數據分析提高應變效率。

## 第二節 建議

- 一、 UAS 搭載定位定向系統與相機等感測器，除了永續發展的國土利用規劃與圖資更新之外，如何迅速且有效地提供近即時空間資訊為發展重點，特別是現今社會因極端氣候及天然災害頻傳，如何有效地在災害發生期間或黃金救援時期提供決策者快速近即時資訊，對於後續災損評估、人員撤離、近即時人員救援是相當重要的。然而目前作業仍以 UAS 任務結束後，下載與解算資料，未來可更進一步，建議搭載無線通訊設備，將位置與影像資料即時傳輸至地面控制站，監控人員可更快速且即時掌握現場狀況，搭配開發近即時直接地理定位，可立即進行影像量測求得位置，提供相關人員資訊，快速抵達現場。如森林火點偵測，當 UAS 發現不正常熱源時，藉由影像上辨識或利用相關設備如熱感相機影像等，可提供救災人員火點相關資訊，快速抵達現場進行現場確認或展開滅火等任務。
- 二、 國土涵蓋範圍包含陸地、海洋、領空等，大部分物質對可見光或紅外線光會產生特徵光譜，依照這些反射或穿透光譜反應，可進一步進行土地利用分類調查等工作，不同波長光譜的應用特性如下表 6-1。本團隊建議後續研發可使用單一完整 4 個波段的多光譜感測器(圖 6-1)，除了提供 RGB 與 NIR 影像(0.790nm, 帶寬 40nm)外，另增加綠光波段(550nm, 帶寬 40nm)、紅光波段(660nm, 帶寬 40nm)、紅邊光波段(Red edge)(735nm, 帶寬 10nm)影像等資訊；搭載 GNSS 與 IMU 提供定位定向資訊，增加影像處理效率；系統另裝置陽光感測器(Sunshine sensor)與標尺(Test pattern)，可自行率定輻射校正(如大氣校正)。藉由完整 4 波段多光譜感測器與相關校正，選定適當影像解析度與波段數，依監督式方式進行訓練與分類。作業區域可與農業試驗所合作，進行國土植生作物觀測或勘災與國土復育植生情形，並進一步藉由分類劃分各水體、道路、建物、農田、無耕作農田等範圍與面積，提供國土利用調查等後續應用。如 UAS 搭載多光譜感測器，可針對國有或私有土地進行監控，比對前後期影像，分析植物生長與變化的情況，進一步判斷是否有山坡地濫墾或侵占國有地的事情發生。

表 6-1 不同波長光譜應用特性

可見光 光譜區	藍光光譜 區	0.485~0.505 $\mu\text{m}$	此波段對水的穿透力強、可應用於分辨土壤和植物，海洋水色遙測
	綠光光譜 區	0.505~0.550 $\mu\text{m}$	水的穿透力強、可應用於鑑別混濁水體的反射、評估植物活力、海洋水色遙測，亦可用於分辨土壤和植物
	紅光光譜 區	0.620~0.760 $\mu\text{m}$	葉綠素主要吸收紅光，可用於區分植物種類與覆蓋地面的面積
紅外線 光譜區	近紅外線 光譜區	0.7~1.5 $\mu\text{m}$	植物之於近紅外有很強反射光譜，可區分植物類別與水體，亦可用於判斷病蟲害

圖 6-1 四波段取像模組（摘自 <https://www.micasense.com/sequoia/>）

三、為了提升移動遙測製圖系統的效率與效能，本團隊建議以 UAS 搭載整合光達製圖系統、開放軟體、定位定向系統，透過光達資料處理技術可快速地重建與管理龐大點雲資料，藉由三維點雲資料輔助達到三維製圖與自動化目的。該技術所包含的大多數核心項目與室外車載/空載導航與移動製圖技術大多相同，作業項目包含定位定向系統、光達製圖系統、電力設備、資料同步、儲存裝置等硬體整合、系統率定、三維點雲展示、結合影像等不同資料快速重建三維模型等相關應用。依據國內外先行研究顯示，相關 UAS 研究除了投入於室外三維點雲資料蒐集與三維環境重建外，於室內製圖及導航應用發展也相當完善。如於山洞等無法利用 GNSS 輔助定位、光線不足、地形崎嶇不平等環境中，可採

用雷射掃瞄儀輔助定位，並透過不同方向上的掃描，可精確的建構出真實環境。如今年9月發生貨輪因受損導致漏油事件，除了藉由影像提供相關資訊外，亦可搭載光達製圖系統，進行船體外部與內部資料蒐集，取得傳統車輛與飛機無法勘查地區資訊，提供相關單位探勘資訊、災損評估、救援方針等。

## 參考文獻

1. Ellum, C. M., and El-Sheimy, N., 2003, The Calibration of Image-Based Mobile Mapping Systems, Proceedins of 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, on CD-ROM.
2. Fraser, C. S., and Edmundson, K. L., 2000, Design and Implementation of a Computational Processing System for Off-Line Digital Close-Range Photogrammetry, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 55, Page 94-104.
3. Mostafa, M., 2002, Camera/INS Boresigh Calibration: New Advances and Performance Analysis, ASPRS Annual Meeting, Washington.
4. Pinto, L. and Forlani, G., 2002, A Single Step Calibration Procedure for INS/GPS in Aerial Photogrammetry, Photogrammetric Computer Vision, ISPRS Commission III.
5. Skaloud, J., 1999, Optimizing Georeferencing of Airborne Survey Systems by INS/DGPS, Ph.D Thesis, Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada.
6. Sequoia, <https://www.micasense.com/sequoia/>
7. SONY, <http://store.sony.com.tw/>
8. THETA, <https://theta360.com/>
9. 行政院農業委員會農業試驗所，<http://www.tari.gov.tw/index.asp>

## 縮寫符號一覽表

縮寫	英文名稱	中文說明
AGL	Above Ground Level	航高
AIC	Aeronautical Information Circulars	飛航情報相關公告
CCD	Charge Coupled Device	感光耦合元件
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	互補式金屬氧化物半導體
CMPMVS	Clustering Patch-based Multi-View Stereo	整合群集觀點與區域基礎多視立體
CMVS	Clustering Views for Multi-view Stereo	群集觀點多視立體
COLLADA	COLLABorative Design Activity	三維資料格式
DAE	Digital Asset Exchange	COLLADA 三維資料格式之副檔名
DEM	Digital Elevation Model	數值高程模型
DSLR	Digital Single-Lens Reflex	數位單眼相機
DSM	Digital Surface Model	數值地表模型
EP	External Pilot	外部操作員
GCS	Ground Control Station	地面控制站
glTF	GL Transmission Format	三維資料格式
GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index	植生指標
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球導航衛星系統
GSD	Ground Sample Distance	地面解析度
IMU	Inertial Measurement Unit	慣性測量元件
IP	Internal Pilot	內部操作員
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems	微機電系統
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	常態化差值植生指標
NIR	Near Infrared Spectroscopy	近紅外光

縮寫	英文名稱	中文說明
OTFC	On The Fly Command	飛航任務
PMVS	Patch-based Multi-View Stereo	區域基礎多視立體
POS	Position and Orientation System	定位定向系統
RMS	Root Mean Square	均方根
RMSE	Root Mean Square Deviation	均方根誤差
RTK	Real Time Kinematic	即時動態定位技術
SfM	Structure from Motion	多視立體視覺三維建模技術
SRVI	Sample Ratio Vegetation Index	簡易比植生指標
UAS	Unmanned Aircraft System	無人飛行載具系統

## 附錄

## 附錄一 作業計畫書審查紀錄

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
<p>請補充說明今年多相機雲臺系統改善如何修正去年整合空中及地面影像製作三維影像模型所遭遇的問題?</p>	<p>去年度計畫整合地面影像的問題，主要受限於 MMS 工業相機鏡頭的角度設計是固定的，拍攝的街景影像有一半會拍攝到天空，因此嚴重影響匹配成果。本年度規劃將改用 Ladybug 相機拍攝，可適當調整拍攝角度，並補以部分地面控制點協助匹配。</p>	<p>pp.34-35</p>
<p>今年增加多光譜感測器研究測試，使用的是儀科中心的雙相機系統，由兩台相機所組合，一為 RGB 一為 NIR 可以組成四波段的影像，用來做分類及計算 NDVI 等的植生指標，可能分類到什麼程度?又兩部相機波段間不能很吻合，尤其山區或高樓地區會比較嚴重，如何修正?請補充明。</p>	<p>本年度計畫增加儀科中心四波段(RGB+NIR)相機，透過增加的 NIR 波段，可以計算 NDVI、GNDVI、SRVI 等植生指數，可用來辨識植物生長及遙測影像分類使用。因 UAS 可降低航高提高解析度，其分類程度應該提高，將列入本案實驗項目。另外本年度農業測試區，預計將先採用平原地帶，逐步克服 band shift 問題。</p>	<p>pp.39-43</p>
<p>貴公司有 6 個相當大型的標案在進行，在人員的調度是否會有問題?</p>	<p>目前公司承攬的計畫絕大部分人力偏重於立製編輯與調繪等相關人員，本案人力偏重於 UAS 飛行與技術研發人員，人員使用重疊性不高，故人力調度無影響。</p>	<p>pp.53-54</p>
<p>本案工作項目中有三維影像</p>	<p>本案所製作的三維模型，主</p>	<p>pp.34-35</p>

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
<p>模型及全景攝影研究(測試區為臺中國家歌劇院)，由於 Apple Map 蘋果 3D 地圖開始支援臺灣(臺中市為首位)；國內另一家廠商採 3D 城市傾斜攝影方式亦有製作臺中市 3D 城市模型，請說明本案製作之臺中國家歌劇院成果精度是否會超過上述兩種已建置成果？</p>	<p>要針對視覺化呈現目的所產製，並針對產生的 3D 展示面數(精細度)作探討，尚未探討絕對精度數據。同時 Apple Map 與其他廠商並無提供精度數據可供比較，因此目前無法做比較。</p>	
<p>請補充全片幅之像幅大小(表 2-8, Canon 5DSR 數位相機)。</p>	<p>遵照委員意見補充。</p>	pp.14
<p>請補充說明一般航照影像及測繪車之影像空間解析度。</p>	<p>一般航拍作業 25 公分，緊急災害應變影像 10 公分。測繪車拍攝時物距變化較大，距離 20 公尺以內，解析度小於 1 公分。</p>	pp.29
<p>服務建議書有提及品質保證及稽核組，但未敘明各相關流程，例如地面控制點、正射影像製作精度等之品質查核及抽驗方式，請補充說明。</p>	<p>本案原則優先選擇已知的地面控制點與過去既有空三專案影像特徵點做為本案地面控制點，未實施地控點外業測量。若有需要執行地面控制測量，檢核內容包含：檢核控制點展點及網系圖、已知控制點檢測紀錄、觀測手簿或紀錄、點之記、平差計算成果報表、相對誤差橢圓、精度及可靠度分析等資料，檢核網形多餘觀測數是否足夠，平差後坐標精度是否合於規定。而影像製作相關檢核與評管標準如第肆章第二節所示，內部依作業標準定期抽驗。</p>	pp.46-52

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
<p>UAS 操作員是否有標準流程可查核其可正常及合適操控 UAS?請補充說明。</p>	<p>民航局目前針對 UAS 的適航與 UAS 飛行員操作證的規範仍在擬訂中，目前並沒有檢核標準。本團隊目前使用自行撰擬的操作 SOP 與操作手冊，進行內部教育訓練與檢核。</p>	<p>pp.15-21</p>
<p>請補充說明多光譜感測器測試所使用之照相機規格及一般航照影像之空間解析度。</p>	<p>相機規格為 Sony A7 數位相機，2400 萬畫素。</p>	<p>pp.42</p>
<p>為何一定需要 RGB 照相機及 NIR 影像同時拍照之雙相機系統?同時請補充說明此測試之預期品質、精度及目標。</p>	<p>針對紅外線與多光譜等其他波段的影像酬載，除了向國外採購以外，使用國內機構自主研發的設備，對於未來設備與技術自主都有助益，因此採用儀科中心所開發之雙相機四波段系統。其預期目標可利用 RGB IR 四波段相機進行拍攝優於 GSD 25cm 影像，並採用此影像進行正射影像製作。</p>	<p>pp.39-43</p>
<p>利用 UAS 搭載全景設備所拍攝的影像與地面測繪車之影像如何結合?其處理方式為何?如何產生連續動態影像?</p>	<p>UAS 攝影系統修改採用三相機攝影系統與 RICOH 360 度相機，演算法部分採用多視立體視覺三維建模技術，以 SfM 為主再由立體匹配演算重建三維點雲資訊；MMS 測量車系統將改由 Ladybug5 全景攝影系統進行拍攝，並由地面少數控制點方式與 UAS 進行整合，利用該方式解決拍攝覆蓋率之問題，並提高 UAS 三維建模模型與 MMS 街景</p>	<p>pp.34-39</p>

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
	車模型合併之可能性。而選用之 RICOH 相機可採用錄影模式，進而產生連續動態影像。	
服務建議書第 8 頁提到 Sky Arrow 55 可以避免廢氣污染鏡頭，那國土測繪一號會影響鏡頭嗎？	國土測繪一號於設計時，亦有考量廢氣排放方向對相機酬載的影像，其廢棄氣流方向有避開機腹，避免影響。	
空中三角測量若幾何條件不足將採手動補足，其補點原則為何？	依空三檢核與可靠度指標規範評估是否達到要求，如連結點平均光線數達 6 重光線以上，再依自行開發之網形程式檢核評估幾何約制條件不足處，補足連結點，補點方式依照像片連結點應分布於每一像片 9 個標準點位上，每一個位置至少 2 個連結點為主要依據。	pp.49
於 104 年度航拍作業案偶有落後情事，其原因為何或是無人載具航拍執行有其困難？於本年度有無策略調整方案？	去年度航拍因天候狀況不佳，如颱風、雲層過低等不可抗力因素，導致作業偶有落後。本年度航拍作業策略為天候狀況允許時，儘速執行並超前後續時程所需之航拍。	
有關多光譜感測器研究測試，利用 RGB 及 NIR 來辦理評估地物分類等作業，辦理內容是著重在多光譜感測器與無人載具組裝作業？還是在後續地物分類或判釋作業之自動化軟體設計？請補充說明。	本年度研究目標主要在於完成多光譜感測器與無人載具組裝作業，並可產製 4 波段正射影像。後續地物分類或判釋作業之自動化軟體設計，為後續研發目標。	pp.39-43

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
<p>服務建議書第 33 頁提到有關在研究整合 UAS 搭載多相機組合雲台部分，要在 105 年改用 Sony QX1 單眼型的三相機攝影系統來取代 104 年採用的五相機攝影系統，其中團隊特別提到要採用「手動」方式來調整快門、ISO 值以及焦距來進行拍攝，但 UAS 是屬於較快速動態拍攝模式，個人認為這部分將涉及遠距遙控技術，以及影響成像品質精度的穩定度，請問團隊是否已有初步的實務經驗以及影像精度品質測試的相關數據？請補充說明。</p>	<p>去年度計畫選擇 Sony QX10 組合五鏡頭多相機傾斜系統，主要考慮輕巧之問題，但該相機拍攝模式與簡易型傻瓜相機相似，每次拍攝作業均會執行對焦後再拍攝，雖然拍攝時的焦距因飛行高度關係，均以無窮遠進行拍攝，拍攝同時將自動計算快門速度、ISO 值、光圈等，若這三個值無法固定，高空拍攝容易因快門速度不足，導致拍攝模糊等現象發生。本年度將改用 Sony QX1 相機進行替換，該相機源自於 Sony NEX 微型單眼相機，修改移除顯示螢幕及控制按鈕，其重量較 QX10 重，然而優點為可自行更換定焦鏡頭，並可手動調整快門速度，依據本團隊拍攝經驗，一般航空拍攝條件下，拍攝快門須大於 1/1000 秒，並由機上相機控制模組，以 Multi Media 介面 (Mini Usb Type B) 作為拍攝控制，拍攝將依據飛行距離進行覆蓋率計算，以執行相機拍攝。同時因 QX1 體積及重量考量，本團隊將鏡頭改由三鏡頭進行拍攝，期能透過取得更高品質之航拍影像，讓三維建模成果能有所提升。</p>	<p>pp.34-35</p>
<p>服務建議書第 34 頁第(二)項</p>	<p>本團隊目前擁有兩款全景</p>	<p>pp.35-39</p>

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
<p>提到有關研究採用整合 UAS 搭載 360 度全景攝影設備辦理航拍測試作業，依據本案規格是要以「動態全景」影像成果來評估後續應用於緊急災害應變的可行性，而團隊在服務建議書中係規劃採用單相機環繞拍攝，再以單片量度的方式來進行影像的量測與拼接，這部分要如何能夠達到規格所定「動態全景影像」的要求？請補充說明。</p>	<p>360 度攝影設備：(1)Ladybug® 5；(2)RICOH THETA S。兩款攝影系統均可進行全景 360 度動態拍攝，但考量應用於無人飛行載具拍攝使用，本團隊選擇搭載 RICOH THETA S 進行拍攝。該全景攝影系統搭載雙鏡頭 190 度拍攝，於系統中可自動組合全景 360 度影像，另外本案將配合球型全景校正方式，配合球型全景三維建模技術，以完成全景拍攝及三維建模。</p>	
<p>本案規格最後提到應針對機關國土測繪一號及本案作業使用之 UAS 投保最高賠償金額至少達新臺幣 5,000 萬元以上之公共意外責任險，但團隊似乎並未明列在服務建議書的經費分析當中，請補充說明成本大約需要多少金額？</p>	<p>104 年度計畫案，投保 5,000 萬元以上之公共意外責任險的投保保費約 2 萬元，此部分已列入每次的航拍作業費用均攤，無另外獨立編列於經費分析。</p>	
<p>請補充如有解析度 0.1 公尺正射影像需求，相關航拍及影像處理作業方式。</p>	<p>解析度 0.1 公尺正射影像主要為緊急災害應變影像拍攝時的需求，此航拍作業會使用六旋翼 UAS 以航高 200 公尺拍攝，影像處理作業方式依計畫書第貳章第四節緊急災害應變與國土變異監測作業處理流程進行。</p>	pp.32-33
<p>服務建議書中說明整合 UAS 及測繪車影像產製三維影像模型方法，惟測繪車提及採用全景相機拍攝，因全景影像畸</p>	<p>全景三維建模為近年來非常熱門之研究議題，本案將採用全景攝影系統於地面</p>	pp.35-39

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
變差較大，請補充說明相關影像處理方式。	進行動態攝影，並於球型全景中進行相機校正，其校正方式並非傳統相機校正將影像糾正回無畸變差之影像，球型全景校正將球型全景影像展開為等距柱狀投影圖 (Equirectangular Projection)，該影像水平方向由 0 至 360 度，垂直方向為 90 度至 -90 度，因球型全景影像多半採用多鏡頭進行組合，因此會有多鏡頭中心問題發生。而糾正方式將可透過已知控制點進行水平角及垂直角反算，並將影像坐標轉換為角度坐標，藉此修正球型全景影像之水平角及垂直角偏移量。完成上述全景鏡頭校正之後，由全景 SfM 計算方式取得每張動態拍攝之影像位置，並由全景核線幾何推估景深資訊，以完成全景攝影三維建模方法。	
報告書中「Sky Arrow 55」、「天箭 55」(如 P.8) 請統一用詞；「多旋翼機」、「(多)旋翼型 UAS」請統一用詞為「多旋翼型 UAS」(如 P.9-10)；「規畫」請修正為「規劃」(如 P.16)；「本計畫」請修正為「本案」(如 P.42)，請全面檢視修正。	已修正。	
P.2，倒數第 2 行，本年度專案需繳交之 3D 模型展示成果影	已修正至一般航拍作業內，並註明包含緊急災害應	pp.3

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
片，並非僅限定於緊急災害應變航拍時間才需製作，請修正文字說明。	變航拍區域。	
P.6, 本年度專案並無需求訪談工作項目，請修正。另請補充 104 年度整合優化完成後供國土測繪一號使用之 POS 圖片及相關系統說明。	優化後之 POS 整合 GNSS (Trimble BD970) 與 IMU (ADIS16488)。Trimble BD970 雙頻 GNSS 可支援北斗獨立計算與航向解算，並具有 RTK、低角度追蹤技術與多路徑抑制功能。另系統中使用雙頻 GNSS 所提供之 GPS 資料與時間對 IMU 資料進行同步並提供相機 Trigger 時脈，使定位資料、相機姿態與拍照時間完全同步，能有效提高航空攝影測量之準確性，且後製處理可擁有更準確之定位定向資訊。	pp.8
P.8, 第 1 段文字建議修正為「...專屬於國土測繪中心於本案執行及保固期間所使用...」。	已修正。	pp.8
P.12, 提到本專案引入 Phase One iXU 150 中片幅相機，請補充說明該設備之使用時機。	拍攝時機主要用於拍攝地物缺乏特殊紋理或地面單調較少變化之航拍任務時，如海岸線、森林等區域，大像幅的優點可有效增加地面拍攝範圍，提升正射影像之自動化作業程度，減少人工後製的必要。	pp.13
P.23, 表 2-10 飛航高度 936 公尺與 104 年度工作總報告 (P.21, 740 公尺) 數據不同，	參考 104 年度工作總報告內容進行修正。	pp.23

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
請查明修正。		
P.25-26，2.3.1 控制點量測規劃作業方式請參考 104 年度工作總報告內容（2.5.1 小節）撰寫，請修正。	參考 104 年度工作總報告內容進行修正。	pp.25-26
P.32，第四節標題文字建議修正為「 <u>緊急災害應變影像處理流程</u> 」；另影像處理作業應有使用其他軟體（如 Pix4D）進行處理，請補充說明相關處理流程。	已補充相關商用軟體資料處理流程。	pp.33
P32-33，圖 2-34 快速拼接處理流程圖中，降低影像解析度之步驟已於說明 1 敘述並非絕對必要，請於該圖示下方增加「（視影像數量決定）」或修正流程圖內容，並補充說明使用時機。	已修正並進行說明。	pp.32-33
P.35，圖 2-38 為本中心測繪車，但本中心測繪車並無 Ladybug 設備，請補充說明如何結合相關設備進行拍攝作業；另請補充 Ladybug 全景攝影設備率定方式及作業流程。360 度全景攝影設備選擇 RICOH THETAS，請補充相關硬體規格資訊。	Ladybug5 全景攝影系統率定與作業流程與一般相機或工業相機相似，僅需將單張全景影像拆成 6 張影像，方可進行率定與作業，相關細節已補充。另補上 RICOH THETAS 相關資料。	pp.35-36
P.39，圖 2-46 為 Nikon D700 光感測器光譜響應圖，但本案採用為儀科中心之 Sony $\alpha$ 7 雙相機系統，請修正。	已修正。	pp.41
P.43，圖 3-1，文字請修正為「 <u>本案進度甘特圖</u> 」；另因決	已修正為實際日期。	pp.45

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
標日已確定，請補充各階段成果繳交實際日期（如決標日 D 修正為 3/24；D+15 為 4/8，以此類推）。		
P.46，正射影像檢查通過標準依本案契約規定應為每區缺點總數未超過 5 處，則該區視為合格，請修正。	已修正。	pp.48
P57，本計畫書提出所用到的部分軟硬體（如 UAS 搭載之 360 度全景攝影設備）未列於表 6-1 設備表中，請補充。	加入相關軟硬體設備規格。	pp.59-60
本案契約書規定如增購區域有解析度為 0.1 公尺正射影像之需求，應配合至現地辦理控制測量作業，請補充說明相關作業方式。	控制測量作業先由過去影像，依規範評估選擇控制點位置，再至現地佈設地面控制點；另如第 2.3.1 小節控制點量測規劃，第二項輔以自然點加強控制。依規劃另行補測控制點，採用 e-GNSS 進行控制測量作業。	pp.25-26

## 附錄二 各階段成果審查意見與回覆表

## 全景攝影研究報告審查意見彙整表

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
有關報告標題部分建議修正為「第二章 全景設備介紹及航拍測試」、「第三章 航拍成果與展示」。	遵照審查意見修正。	pp.2 與 8
第一章前言內容建議補充說明利用 UAS 搭載全景攝影設備航拍取像之目的，如緊急災害應變航拍時可提供災區不同角度及範圍影像資訊等。	遵照審查意見補充第一章前言內容。	pp.1
P.5，請補充旋翼型 UAS 相關設備規格說明。	遵照審查意見加入旋翼型 UAS 相關設備規格。	pp.5
P.7，請補充旋翼型 UAS 拍攝臺中歌劇院及故宮南院之航高資訊。	遵照審查意見加入拍攝航高 60 公尺。	pp.7
有關全景攝影成果因航拍時遭遇較大側風，導致出現影像晃動情況，如何解決？請補充說明。	現有設備為固定於 UAS 腳架下方空間，易因載具影響而產生全景影像晃動情況，未來需設計可動自穩式雲台與減震裝置，即攝影設備持續向下拍攝，不因載具震動而晃動。	
未來旋翼型 UAS 能否同時搭載一般相機及全景攝影設備進行航拍？另航線規劃部分是否相同？請補充說明。	旋翼型 UAS 可同時搭載一般相機及全景攝影設備進行航拍，需注意載具酬載重量限制，另由於全景攝影設備拍攝為 360 度，容易拍到載具與相機，若依本案設計調整雲台使全景攝影設備	

問題與意見	回覆說明	修正頁數對照
	<p>向下延伸，一般相機將拍攝到全景設備，將影響後續影像空三、正射影像處理成果。因此兩者雖可同時搭載，但不建議。</p> <p>一般相機拍攝主要針對正射影像製作，航線規劃為固定重疊率航帶式進行拍攝，全景攝影設備主要拍攝為定點目標物，拍攝方法偏向定點式或環繞目標物，建議可先依相同航線進行拍攝，全景攝影設備再依需求另規劃航線。</p>	

## 工作總報告審查委員意見回應表

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
吳 水 吉 委 員	英文縮寫在第一次出現時應該加全文及說明，如 P.19 之 GCS。	遵照審查意見修正。	
	P.21，UAS 如何在執行任務路徑經過敏感地區自動偵測，請補充說明。	遵照審查意見補充內容，內部操作員執行航拍任務前航線規劃，若 UAS 前往執行任務的路徑上將經過敏感性地區，GCS 軟體會警示該路線為避走路線，並顯示規劃建議之新航道給內部操作員參考；若於任務執行中時，GCS 軟體同樣會警示該路線為避走路線，並顯示規劃建議之新航道給內部操作員參考，內部操作員可選擇同意且傳送指令取代原路徑，UAS 於執行任務時會繞過該敏感地區。	pp.21
	P.28、29 有 2 個圖 2-25，請修正。	遵照審查意見修正。	pp.30
	本計畫在航拍方面有左右重疊及前後重疊的規定，但在報告都沒有原始航拍的相關資訊與檢核，請補充說明。	遵照審查意見補充內容，航拍前規劃時會依據選用的相機、鏡頭、重疊率(設定前後與左右重疊率提高至 80%與 40%)、地面解析度等，進行航線規劃與拍照時間間隔設定。任務結束後藉由定位定向系統與相機空三解算得影像外方位參數，反推得實際前後與左右重疊率。以國土測	pp.18-19

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
		繪一號、時速 120 公里、航高 600 公尺、Canon 5D Mark II 與 20mm 鏡頭為例：前後重疊 75%時相片間隔需小於 180 公尺，本案設定每 2 秒觸發快門拍照，相片間隔為 67 公尺，實際計算相鄰相片位置約為 65~70 公尺，達到前後重疊 75%以上重疊率；左右重疊 35%時航帶間隔需小於 702 公尺，實際計算相鄰航帶間隔約 490~520 公尺，達到左右重疊 35%以上重疊率。	
	P.193，公式中各文字代表什麼意義，請補充說明。	遵照審查意見補充內容，u、v 為物點影像坐標；w、h 為影像片幅寬與高；f 為焦距長；X、Y、Z 為物點本地坐標。	pp.204
	多光譜感測器研究測試使用儀科中心的感測器，其每個波段光譜感應範圍多少，不應該是 P.219 所述只是 660 nm 等，每個波段應該有一定的範圍。	遵照審查意見補充內容，RGB 波長分別為 625~740、500~565、470~500nm，NIR 波長為 760~850nm。	pp.230
	分類方法（如監督式或非監督式分類）、訓練樣區如何取得應加強說明，建議多嘗試不同分類方式；另分類之檢核標準與數量	監督式方法主要以半自動方式判釋影像，需要以人工選擇訓練區，再由電腦在訓練區中的定義判釋全圖，而非監督式方法全由電腦自動運算。監督式方	pp.230、234 與 240

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
	及精度是否能夠代表其判釋精度？請補充說明。	法較耗時但準確性較高，人工訓練度越高，一般來說較適合用於地表特徵較複雜的情況。本案檢核樣本之分布為隨機分散於整張影像中，雖其數量並不多，不能「完全」代表其判釋精度，不過其與分類精度有一定程度之相關性，而本案主要比較影像解析度及波段數對於分類之影響情況，在完全一樣的訓練樣本及檢核資料下，計算出分類精度，故比較之基準相同之下可看出不同測試情況之優劣。	
	照片數量相當多，不同時期拍攝時亦可能有不同天氣型態，是否有做大氣校正？請補充說明。	本案並未對影像進行大氣校正處理，主要原因為訓練數據來自其研究之影像，並非來自其他時間或地點影像，大氣校正與否對於分類精度沒有顯著影響。如本案例中採用最大相似法進行影像分類，其訓練樣本分散於整張正射影像中，且欲分類之影像和訓練樣本有一致的尺度(皆未經過大氣校正)。未來有進一步研究時將考慮相關校正作業。	
	在建議裡面提到森林火點偵測，當 UAS 發現不正常熱源時，是否前述 RGB 及 NIR 相	建議事項中建議未來可搭載無線通訊設備，將位置與影像資料即時傳輸至地面控制站，搭配開發近即	pp.246

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
	機就可以達到偵測目的，或者還需要其他的感測器，請補充說明。	時直接地理定位，可立即進行影像量測求得位置，因此若為火點偵測應用，將建議選擇之感測器為熱感相機。	
洪 本 善 委 員	建議各章節、小節、段，注意層次的配置，以利於閱讀。	遵照審查意見修正。	
	P.37-43，表內之欄位數字上有中文的註記說明，建將數字置前，文字註記請以括弧說明，以示主從分別。	遵照審查意見修正。	pp.39-45
	第三章，不同區域成果說明之統計表，建議同性質不同地區之表格彙整於同一表格即可。	遵照審查意見修正。	pp.39-45
	P.170，圖 4-4 內之 UAV，是否應該修改為 UAS?請統一用詞。	遵照審查意見修正，用詞統一為 UAS。	
高 書 屏 委 員	簡報 P.18，能否說明旋翼型 UAS 地面解析度可達 4~6 公分，而定翼型 UAS 僅可達到 20 公分左右，其原因何在?另針對旋翼型 UAS 最佳解析度為 4 公分，是否可再提升?或這已是最佳解析度，請補充說明。	影像地面解析度取決於相機、鏡頭、飛行高度之選擇。旋翼型 UAS 飛行高度約 150~250 公尺，搭配選用 Sony α7 或 α7R 與 21mm 鏡頭，地面解析度為 4~6 公分；定翼型 UAS 因安全考量，飛行高度約 600~700 公尺，搭配選用 Canon 5D Mark II 與 20mm 鏡頭，地	

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
		<p>面解析度約 20 公分。未來可選用更高規格相機、使用長焦距鏡頭、降低飛行航高，皆可使解析度提升；但相對而言，於相同重疊率設定下，使用長鏡頭其影像數量將增加，增加影像處理作業時間，另降低航高也會增加其風險。</p>	
	<p>簡報 P.18，目前另外廠家利用飛機配合航拍相機所得影像之地面解析度已可達 8 公分，故定翼型 UAS(測繪一號)之地面解析度(20 公分)可否有再提升之可能性及作法，建議補充說明提供給國土測繪中心參考。</p>	<p>目前因合約規定地面解析度高於 25 公分即可，然而基於安全性考量，定翼型 UAS 飛行高度約 600~700 公尺，搭配選用 Canon 5D Mark II 與 20mm 鏡頭，地面解析度約 20 公分。若需提高地面解析度就理論上是可行的。影像地面解析度取決於相機、鏡頭、飛行高度之選擇。國土測繪一號未來若選用更高規格相機、使用長焦距鏡頭、降低飛行航高，皆可使解析度提升；但相對而言，於相同重疊率設定下，使用長鏡頭其影像數量將增加，增加影像處理作業時間，另降低航高也會增加其風險。</p>	
	<p>P.51，雲林古坑(崁頭厝)航拍成果中無檢核點規劃？請補充說明。</p>	<p>因該區屬緊急應變航拍區域，為國土濫墾監測使用，以快速產製拼接鑲嵌影像提供國有財產署參考</p>	

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
張 崑 宗 委 員		為主要目的。	
	P.163，直接定位所用檢核點數量多少？請補充說明。	遵照審查意見補充內容，檢核點數量 20 點。	pp.173
	P.186，本年度三相機建模品質較佳，有何數據顯示？請補充說明。	圖 4-23 說明 104 年度與今年度三維模型成果比較圖進行比較，因真實三維模型牽涉到模型美觀與表面模型數量等問題，不易藉由量化數據進行比較，目前僅能採取直觀方式，以美觀度進行評判。另於 104 年度計畫中曾以模型表面數量作為量化數據，但以此指標來表示該模型是否完整仍稍有不足，將於後續參考國外最新相關研究，對模型量化數據表示方式進行引用。	
P.198-199，以 UAS 搭配地面近景攝影進行建模，團隊後續作業建議應如何進行？另建模所使用之處理軟體以何者為主、何者為輔？請補充說明。	地面近景與 UAS 結合於實作上如圖 4-27 所示為可行方向，唯本案中因以臺中國家歌劇院為範例，該建築物採全帷幕玻璃方式進行外牆裝飾，玻璃帷幕易反射周圍景色及反光，此材質於近景建模中屬較不易建模之場景，因此本案另選定臺中向上郵局測試區域並依相關作業方式結合空中及地面影像完成建模成果。近景攝影與 UAS 結合建模方式，均可於現		

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
		<p>行 AgiSoft Photoscan Pro 及 Bentley ContextCapture 軟體中進行解算，但解算過程中因兩影像尺度差異盛大，因此建議於建築物上量測少量控制點，可以方便兩模型進行對齊使用，將模型對齊後再進行兩模型合併，再計算後續相關真實三維模型，即可獲得如圖 4-30 之模型成果。</p>	
	<p>在多光譜影像分類實驗中一些細節語意不清，如所用訓練與測試樣本數、分類方法及評估等應說明清楚，未來建議在遙測研究測試上再加強。</p>	<p>遵照審查意見補充內容。</p>	<p>pp.230-240</p>
林志清委員	<p>建議直接地理定位計算與成果分析獨立一章予以描述。</p>	<p>因直接地理定位分析與影像處理作業內容相關與連貫性，仍將直接地理定位計算與成果撰寫於該章節小節內。</p>	
	<p>表 3-61 至表 3-65 內的 STD 數字有問題，請配合今日簡報內容修正，其計算方式，請用備註予以描述。</p>	<p>遵照審查意見補充內容，各量測值與已知值之差值得誤差值；各誤差值之平均值得 AVG；各誤差值減去誤差之平均值，平方和除以個數，開根號得 STD；各誤差值平方和除以個數，開根號得 RMS</p>	<p>pp.174-175</p>
	<p>最後一段(P164-P165)</p>	<p>直接地理定位與空三之比</p>	<p>pp.176</p>

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
	內容太薄弱、太定性描述，請針對有直接定位功能其時間投入節省、精度提升程度、作業方法簡化等予以探討，再作妥適結語，如果可以的話請以產品輸出如鑲嵌圖、空三、正射影像等來作比較點。	較於作業時間上，直接地理定位僅需 1 小時處理時間即可求得影像外方位參數，優於空三作業約 3 天作業時間；但直接地理定位方式精度約為 5 公尺可做為防救災應變使用，如森林火源偵測僅需 20~50 公尺量測精度，對於正射影像與鑲嵌而言，僅能作為輔助空三計算使用。	
	第四章第二節全景攝影研究章節，應著重在緊急災害應變可行性上，故建議就投入與產出效率，來比較利用全景攝影與現行 UAS 作業方式，在時間投入、精度及產品等來說明，另小結，請以本案實際測試情形，及具體結果，予以撰寫。	遵照審查意見補充內容。	pp.225
	表 5-5 至表 5-7 內容有些問題，請釐清查明。	遵照審查意見補充內容，各欄位代表意義。	pp.238-240
	另章節之小結，請以本案實際測試情形，及具體結果，予以撰寫。	遵照審查意見補充內容。	pp.240
	表 2-2(P9) 及 表 2-5(P12) 描述方式請一致，如二行程與二	遵照審查意見修正，用詞統一為二行程。	

委員	問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
	衝程。		

## 工作總報告審查業務單位意見回應表

問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
P.18，圖 2-14，請更正為本中心臺灣通用電子地圖新版圖臺畫面。	遵照審查意見修正。	pp.18
P.21~23，圖片中文字不清晰，建議放大圖片或更換。	遵照審查意見修正。	pp.20-24
P.38、43，請補充臺中第 13 及 14 期重劃區相關航拍及成果資訊。	遵照審查意見補充內容。	pp.161-169
P.164~165，本年度是否有計算旋翼機直接地理定位結果?請補充說明。另定翼型及旋翼型 UAS 直接地理定位結果，因所搭載 POS 及影像地面解析度等條件有差異，建議再補充說明各搭載何種 POS 及影像解析度多少時可達到目前計算精度結果。	遵照審查意見補充內容，本年度直接地理定位精度主要針對定翼型 UAS(國土測繪一號)於航高 600 公尺(影像解析度約 20 公分)時，原 POS 系統(16488+單頻 GNSS)與優化之 POS 系統(16488+雙頻 GNSS)進行分析比較，優化之 POS 系統三軸定位精度提升約 27%、29%、55%。旋翼型 UAS 直接地理定位成果可參閱 104 年度報告內容。而直接地理定位精度分析可藉由相關系統誤差來源推算其定位精度是否合理，初步成果顯示其飛行高度與搭載之 POS 系統於直接地理定位誤差屬合理範圍。	pp.176
P.177~179，三相機鏡頭個別的預率定及自率定檢核點精度結果差異是否與拍攝角度	本案中主要探討自率定與預率定之成果是否接近，自率定成果是否可直接替	

問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
有關?請補充說明。	<p>代預率定使用，其成果中顯示以 QX1_01 為例，自率定與預率定僅使用 5 個控制點之情況之下，檢核點精度分別為 1.603 及 1.347 公分，差異僅 0.256 公分，甚至將控制點數量提升至 10 點時，兩者差異更接近至 0.045 公分，而目前採用攝影幾何 (Projective Geometry) 之多視立體視覺 (Multi-View Stereo) 三維重建方法，其主要演算法與相關最佳化參數推定方式都與數值攝影測量方式不同，因此有必要探討利用此方式進行三維重建時，控制點數量多寡是否直接影響製作成果之精度，依據本案實驗例可證，自率定與預率定成果接近，引用控制點部分甚至可降至 5 點左右即可達到一定之測量精度，甚至大於 10 點後，對檢核點精度將不具有實質提升之效益。另外本文中 QX1_01 為往前 45 度拍攝，QX1_02 為垂直拍攝，QX1_03 為往後 45 度拍攝，實驗成果中之精度差異因已經到達公分以下，本次拍攝平均 GSD 約為 3 公分，控制點實測採 GNSS 靜態觀測，此誤差差異已經小於控制點量測精度及</p>	

問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
	影像量測精度了，因此較難以判定此微小誤差量是否來自於攝影角度關係。	
P.192，為何測繪車選用 Ladybug 全景相機而非使用工業相機進行三維建模測試拍攝?請補充說明。	104 年度曾選用測繪車搭載工業相機進行三維建模測試，因拍攝覆蓋率較低導致其影像匹配成果不佳，因此今年度改採用 Ladybug 全景相機進行測試，期許解決拍攝覆蓋率之問題；另透過量測少數控制點方式將可解決 UAS 三維模型與 MMS 測繪車模型合併之問題。	pp.203
P.197，內容提及加入空中環繞拍攝方式以提升三維建模品質，請補充加入空中環繞拍攝及後續影像處理所需時間與成果品質提升程度間之差異比較，以利後續製作三維模型時品質及效率間權衡參考。	本案範例中為單一模型真實三維建模最佳化方法探討，因此考慮作業時間，以空中傾斜攝影、地面近景及街景車三種不同攝影條件為前提下進行相關實驗。真實三維模型建模易受到建築物周圍遮蔽之影像，因此欲藉由不同攝影角度獲取更多遮蔽區之影像資訊，而建築物空中環繞拍攝方法為目前單一建築物最簡單也較快速方式之一，其主要原因為空中環拍之影像尺度與空中傾斜攝影差異最小，於特徵匹配條件下不須額外加入共軌點進行對準，且拍攝時程也最短。至於作業時間以臺中郵局為例加入空	pp.208

問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
	<p>中環拍約 100 張相片，時間上必然會增加些許時間，但不需加入模型接合所需控制點之動作，其整體作業時間反而會優於地面與空中模型合併之計算效率。另模型品質部分因難以用量化數據來進行表示，於 104 年度計畫中曾以模型表面數量作為量化數據，但以此指標來表示該模型是否完整仍稍有不足，將於後續參考國外最新相關研究，對模型量化數據表示方式進行引用。</p>	
<p>P.198~199，三維建模測試結果建議補充不同模型製作方式之模型完整度相關評估資訊。</p>	<p>於 104 年度計畫比較若僅採用垂直攝影與加入傾斜攝影之模型完成度實驗，本案實驗例主要說明單一建築物之多鏡頭組合併解算方法，並探討多尺度模型(Multi Scale)建置方法，因此未於本方案中進行傾斜攝影與環繞拍攝之模型差異分析。另模型品質部分因難以用量化數據來進行表示，於 104 年度計畫中曾以模型表面數量作為量化數據，但以此指標來表示該模型是否完整仍稍有不足，將於後續參考國外最新相關研究，對模型量化數據表示方式進行引用。</p>	

問題與意見	回覆說明	修正頁數 對照
P.232，第柒章結論與檢討建議，請補充後續年度或未來研究發展相關具體建議事項，如多光譜及光達研究工作項目及流程簡要說明等。	遵照審查意見補充內容。	pp.246-248
P.235，第 11 行，文字建議修正為「…可提供救災人員製作火點相關影像資訊…」。	遵照審查意見修正。	pp.246

## 附錄三 會議紀錄

## 每月工作會議紀錄

內政部國土測繪中心

「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

5 月份工作會議紀錄

- 壹、時間：105 年 5 月 3 日（星期二）上午 10 時
- 貳、地點：本中心第 2 會議室
- 參、主持人：林課長昌鑑 記錄：施錦揮
- 肆、出席單位及人員：如簽到簿。
- 伍、廠商報告事項：經緯航太科技股份有限公司報告「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」4 月份工作執行情形。
- 陸、會議結論：
- 一、國土測繪 1 號請於 5 月 16 日前完成航拍執行前之相關測試作業（含搭載 POS 之航拍測試），並將相關測試紀錄及本案完成投保之公共意外責任險資料函送本中心。另使用國土測繪 1 號之航拍區域，請拍攝現場作業相片及影片。
  - 二、有關協助行政院農委會農林航空測量所拍攝宜蘭縣南澳鄉水青岡植生情形，請務必掌握天候辦理航拍。如確實因天候因素無法辦理航拍，請蒐集相關詳細佐證資料後送交本中心。
  - 三、請預先規劃整合 UAS 及測繪車影像資料製作 3D 影像模型作業方式，利用 UAS 搭載三相機雲臺請於 5 月 16 日前完成相關航拍測試。另請研究 3D 影像模型成果檔案格式轉換方式，以利於本中心 3D 地圖展示平台展示。
  - 四、本案應協助修正本中心「無人飛行載具系統專區」為「移動測繪系統專區」，請參考目前專區網頁架構，更新 UAS 及新增測繪車相關網頁內容。
  - 五、本年度航拍區域及相關研究測試項目請預先規劃作業時程，並於本次工作會議結束後每 2 週彙整相關工作細項及進度情形通報本中心。
- 柒、散會：上午 11 時 50 分

104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案  
及 105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案  
工作會議簽到簿

時間：105 年 5 月 3 日(星期二)上午 10 時		
地點：本中心第 2 會議室		
主席：林謀長昌鑑		記錄：岳志霖
出席機關(單位)	職稱	簽到處
經緯航太科技股份有限公司		林奕翔 蔡孟師 謝佳諭
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課		林昌鑑 林水賢 夜錦輝 岳志霖

## 內政部國土測繪中心

## 「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

## 6 月份工作會議紀錄

- 壹、時間：105 年 6 月 15 日（星期三）上午 10 時
- 貳、地點：本中心第 2 會議室
- 參、主持人：林課長昌鑑 記錄：施錦揮
- 肆、出席單位及人員：如簽到簿。
- 伍、廠商報告事項：經緯航太科技股份有限公司報告「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」6 月份工作執行情形。
- 陸、會議結論：
- 一、有關旋翼機搭載多光譜感測器支架請評估考量可一併搭載全景攝影機進行規劃設計及製作。
  - 二、南投縣竹山鎮、草屯鎮及雲林縣古坑鄉等空域協調完成之航拍區域，請於 6 月 17 日前完成航拍時程規劃並通知本中心。
  - 三、協助陽明山國家公園管理處及桃園市政府環境保護局航拍區域，請預先規劃航拍時程；因桃園市政府環境保護局成果需求為解析度 0.1 公尺正射影像，請依契約規定至現地辦理控制點測量作業。
  - 四、本案第 2 階段應繳交 2 航拍區成果及相機率定報告，請掌握時程辦理；相機率定報告請依本中心提供之格式撰寫。
  - 五、本中心預計於 8 月 25 及 26 日辦理國土測繪成果發表會及 10 月辦理移動測繪體驗營，請配合辦理並於下次工作會議中提出相關規劃說明。
- 柒、散會：上午 12 時 15 分

104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案  
及 105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案  
工作會議簽到簿

時 間：105 年 6 月 15 日(星期三)上午 10 時		
地 點：本中心第 2 會議室		
主 席：林課長昌鑑		記 錄：岳志霖
出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司		張瑞慶 林亞翔 謝任諭 蔡孟偉 詹樹棟
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課		林昌鑑 林世賢 岳志霖 施錦輝

## 內政部國土測繪中心

## 「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

## 8 月份工作會議紀錄

- 壹、時間：105 年 8 月 3 日（星期三）上午 10 時
- 貳、地點：本中心第 2 會議室
- 參、主持人：林課長昌鑑  
記錄：施錦揮
- 肆、出席單位及人員：如簽到簿。
- 伍、廠商報告事項：經緯航太科技股份有限公司報告「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」7 月份工作執行情形。
- 陸、會議結論：
- 一、有關協助桃園市政府環境保護局航拍區域，因採至現地辦理控制點測量作業，請一併將精度檢核結果及直接地理定位計算成果納入工作總報告中。
  - 二、本案第 3 階段應繳交 3 區航拍成果及全景攝影研究測試成果報告，請注意契約規定之航拍成果繳交與各階段繳交期限，並請掌握時程辦理。
  - 三、有關三維影像模型研究測試作業，請針對 104 年遭遇問題於下次工作會議時報告本年度改進方法及測試結果。
  - 四、本中心將於 8 月 25 及 26 日辦理國土測繪成果發表會，請配合於 8 月 24 日協助載運國土測繪 1 號及進行相關布置與測試，並請安排作業人員於成果發表會期間進行旋翼型 UAS 實機操作展示。
  - 五、為規劃 106 年度 UAS 專案工作項目，請協助蒐集近年 UAS 相關研究參考文獻資料，並於 10 月份工作會議時簡報。
- 柒、散會：上午 12 時 30 分

104 及 105 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案  
及 105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案  
工作會議簽到簿

時 間：105 年 8 月 3 日(星期三)上午 10 時		
地 點：本中心第 2 會議室		
主 席：林課長昌鑑		記 錄：岳志霖
出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司	經 理 專案經理	林奕翔 譚佳諭 蔡孟倫
內政部國土測繪中心 地形及海洋測量課		林昌鑑 邱 賢 岳志霖 張錦輝

## 內政部國土測繪中心

## 「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

## 9 月份工作會議紀錄

- 壹、時間：105 年 9 月 13 日（星期二）下午 2 時
- 貳、地點：本中心第 2 會議室
- 參、主持人：林課長昌鑑 記錄：施錦揮
- 肆、出席單位及人員：如簽到簿。
- 伍、廠商報告事項：經緯航太科技股份有限公司報告「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」8 月份工作執行情形。
- 陸、會議結論：
- 一、有關協助行政院農委會農林航空測量所拍攝宜蘭縣南澳鄉水青岡植生情形，請務必掌握天候辦理航拍；如確實因天候因素無法辦理，請蒐集詳細佐證資料後送交本中心。
  - 二、多光譜研究測試作業已選定彰化芳苑為測試區，請儘速規劃於 9 月及 10 月各辦理 1 次航拍並製作影像成果；另請於下次工作會議時提出後續成果應用說明。
  - 三、目前三維影像模型及多光譜研究測試作業進度稍有落後情形，原則上自 9 月起至 10 月止改為每 2 週召開 1 次工作會議，並針對前開作業進度提出說明。
  - 四、有關本案採用國土測繪一號航拍區域（南投草屯、竹山、彰化田中、雲林古坑）之直接地理定位計算結果，請於下次工作會議時說明。
- 柒、散會：下午 3 時 10 分

內政部國土測繪中心「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

工作會議簽到簿

時 間：105 年 9 月 13 日(星期二)下午 2 時		
地 點：本中心第 2 會議室		
主 席：林課長昌鑑		記 錄：施錦揮
出席人員(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司	經 理	林 秉 翔
		蔡 孟 卿
地形及海洋測量課		林 昌 鑑
		李 世 賢
		施 錦 揮

## 內政部國土測繪中心

- 「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」9 月份工作會議紀錄
- 壹、 時間：105 年 9 月 30 日（星期五）上午 10 時
- 貳、 地點：本中心第 2 會議室
- 參、 主持人：林課長昌鑑 記錄：施錦揮
- 肆、 出席單位及人員：如簽到簿。
- 伍、 廠商報告事項：經緯航太科技股份有限公司報告「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」9 月份工作執行情形。
- 陸、 會議結論：
- 一、 有關本年度多光譜研究測試作業，請儘速辦理 2 次航拍並製作影像成果，並將規劃航拍期程提送本中心。另請將蒐集之國內外相關研究資料及規劃後續成果推廣應用方向內容納入工作總報告書。
  - 二、 本案三維影像模型研究測試作業，請儘速辦理臺中歌劇院地面影像補拍及第 2 測試區域拍攝作業，並將規劃拍攝期程提送本中心。另應提出整合多相機雲臺及地面影像資料製作三維影像模型實際可行之作業方法及流程，包含設備選定與拍攝規劃及影像處理作業等，並針對遭遇困難與問題進行分析及提出改善方案。
  - 三、 有關協助行政院農委會農林航空測量所拍攝宜蘭縣南澳鄉水青岡植生情形，請儘速規劃航拍時程並送交本中心，並於規劃航拍當日回報作業情形。
  - 四、 有關臺中市政府地政局委託本中心協助航拍 13 及 14 期重劃區，已發函交通部民用航空局申請空域中，請預先辦理國土測繪一號相關航拍規劃作業。
  - 五、 請確實計算及檢視分析本案採用國土測繪一號航拍區域（南投草屯、竹山、彰化田中、雲林古坑）直接地理定位結果，以利作為後續緊急航拍相關應用影像精度評估參考。
- 柒、 散會：上午 11 時 20 分

內政部國土測繪中心「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

## 工作會議簽到簿

時 間：105 年 9 月 30 日(星期五)上午 10 時		
地 點：本中心第 2 會議室		
主 席：林課長昌鑑		記 錄：施錦揮
出席人員(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份 有限公司		林奕翔
		蔡立倚
地形及海洋測量課		林昌鑑
		李世賢
		施錦揮

## 內政部國土測繪中心

「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」10 月份工作會議紀錄  
壹、 時間：105 年 10 月 11 日（星期二）上午 10 時 30 分

貳、 地點：本中心第 3 會議室

參、 主持人：林課長昌鑑

記錄：施錦揮

肆、 出席單位及人員：如簽到簿。

伍、 廠商報告事項：經緯航太科技股份有限公司報告「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」10 月份工作執行情形。

陸、 會議結論：

- 一、 多光譜研究測試區第 1 次航拍作業因天候因素未完成拍攝部份，請於 10 月 12 日前完成補拍作業，並於 10 月 18 日前將影像處理成果提送本中心。
- 二、 本案三維影像模型研究測試作業，請於 10 月 14 日前儘速完成辦理第 2 測試區域相關拍攝作業。
- 三、 有關協助行政院農委會農林航空測量所拍攝宜蘭縣南澳鄉水青岡植生情形，請掌握天候依規劃航拍時程（10 月 25 日至 27 日）辦理航拍，並於完成後回報影像拍攝及作業情形。
- 四、 本案應配合修正及協助更新移動測繪系統專區網頁內容，請於 10 月 19 日前完成網頁內容更新並提送本中心。

柒、 散會：上午 11 時 30 分



內政部國土測繪中心「105年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

工作會議簽到簿

時 間：105年10月20日(星期四)上午10時		
地 點：本中心第3會議室		
主 席：林課長昌鑑		記 錄：施錦揮
出席人員(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司		林奕翔
		蔡孟倫
地形及海洋測量課		李世豐
		張錦揮

## 工作總報告會議紀錄

## 內政部國土測繪中心

## 「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業」

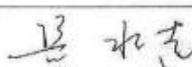
## 第 4 階段成果驗收審查會議紀錄

- 一、時間：105 年 12 月 21 日（星期三）上午 10 時
- 二、地點：本中心 4 樓第 1 會議室
- 三、主持人：林簡任技正志清  
記錄：施錦揮
- 四、出席人員：如簽到簿。
- 五、業務單位報告：略。
- 六、廠商報告事項：如經緯航太科技股份有限公司（以下簡稱經緯公司）辦理「105 年度發展無人飛行載具系統測繪作業」簡報（略）。
- 七、審查結果：  
經與會委員審查期末成果，廠商所送履約成果報告符合契約規定，惟廠商須依審查意見修正報告，於本中心發文次日起 7 個日曆天內將修正後成果（工作總報告）書面 5 份及電子檔（格式包含 WORD 及 PDF 檔）1 份送交本中心，俟本中心書面審查通過後合格。
- 八、散會：上午 11 時 25 分。

內政部國土測繪中心

「105年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案」

工作總報告審查會議簽到簿

時 間：105年12月21日(星期三)上午10時00分		
地 點：本中心4樓第1會議室		
主 席：林簡任技正志清 		記 錄：施錦揮
出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
吳水吉	副所長(退休)	
高書屏	教授	
洪本善	副教授	
張崑宗	副教授	
張嘉強	教授	請假
王敏雄	課長	請假

時 間：105 年 12 月 21 日(星期三)上午 10 時 00 分		
地 點：本中心 4 樓第 1 會議室		
主 席：林簡任技正志清		記 錄：施錦揮
出席機關(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司		林奕翔 蔡孟輝 蔡錦輝
地形及海洋測量課		李世聖 施錦揮

## 附錄四 相機及鏡頭率定報告

### Canon 5D Mark II + 20mm 鏡頭

# CAMERA CALIBRATION REPORT

#### PROJECT DETAILS

Camera: Canon EOS 5D Mark II

Filename: E:\work\測繪\20160706\20160706\_5D2.aus

Calibration Date: 06/07/2016 9:45am

#### METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 5616 x 3744 pixels

Pixel width = 0.0064mm, Pixel height = 0.0064mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 20.7302mm	0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.2035mm	< 0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.1539mm	< 0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 2.26713e-04	2.0751e-07
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -4.50944e-07	1.0592e-09
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 6.04264e-11	1.7503e-12
Coefficient of decentering distortion	P1 = -2.1384e-05	2.479e-07
Coefficient of decentering distortion	P2 = -3.4733e-05	1.900e-07
No significant differential scaling present	B1 = 0.0000e+00	5.534e-20
No significant non-orthogonality present	B2 = 0.0000e+00	5.534e-20
9th-order term of radial distortion correction	K4 = 0.00000e+00	5.5345e-36
11th-order term of radial distortion correction	K5 = 0.00000e+00	5.5345e-40

#### STANDARD CORRECTION EQUATION

The corrected image coordinates  $x(\text{corr})$  &  $y(\text{corr})$  can be calculated from the measured coordinates  $x(\text{meas})$  &  $y(\text{meas})$  by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

$x$  and  $y$  are now with respect to the principal point,

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr / r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr / r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

Camera self-calibration determined in a network of 40 images and 676 points, to an image measurement accuracy (RMS 1-sigma) of 0.27 pixels or 1.70 um, and of 1.0.

Produced by Australis from Photometrix - <http://www.photometrix.com.au>

PAGE 1 of 5

## CAMERA CALIBRATION REPORT

### GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance  $c$ , Gaussian radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr / r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr / r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
$c =$	20.730mm	0.0014mm
$K1 =$	2.26713e-04	2.0751e-07
$K2 =$	-4.50944e-07	1.0592e-09
$K3 =$	6.04264e-11	1.7503e-12
$K4 =$	-1.72827e-52	5.5345e-36
$K5 =$	-6.98057e-58	5.5345e-40

$r(\text{mm})$	$dr(\text{microns})$
0.00	0.0
2.00	1.8
4.00	14.0
6.00	45.5
8.00	101.4
10.00	182.2
12.00	281.7
14.00	385.9
16.00	472.0
18.00	507.1
20.00	448.0

## CAMERA CALIBRATION REPORT

**BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)**

For 'balanced' principal distance  $cb$ , radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$cb = 20.1466\text{mm}$$

$$K0 = -2.81499\text{e-}02$$

$$K1 = 2.20331\text{e-}04$$

$$K2 = -4.38250\text{e-}07$$

$$K3 = 5.87254\text{e-}11$$

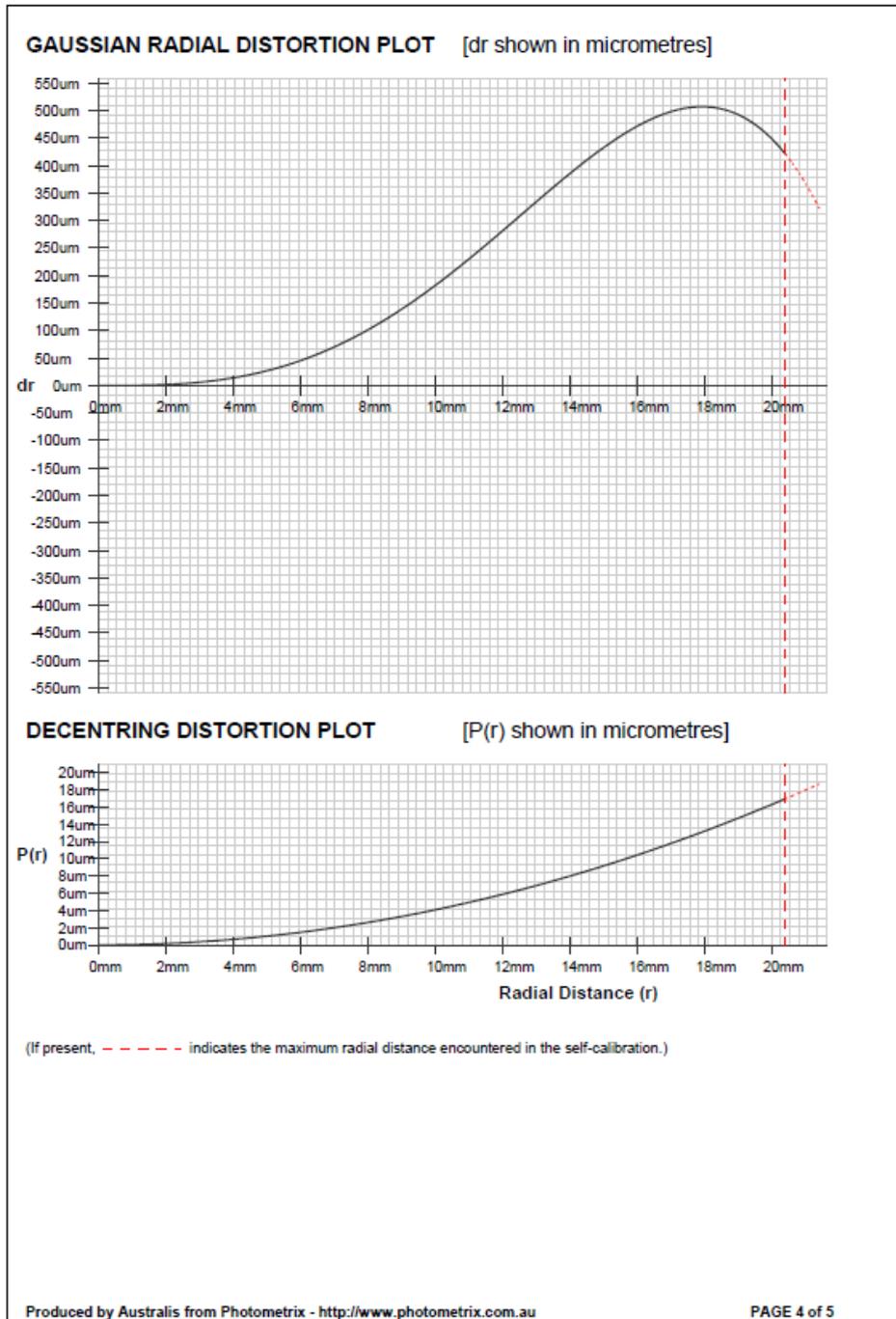
$$K4 = -1.67962\text{e-}52$$

$$K5 = -6.78407\text{e-}58$$

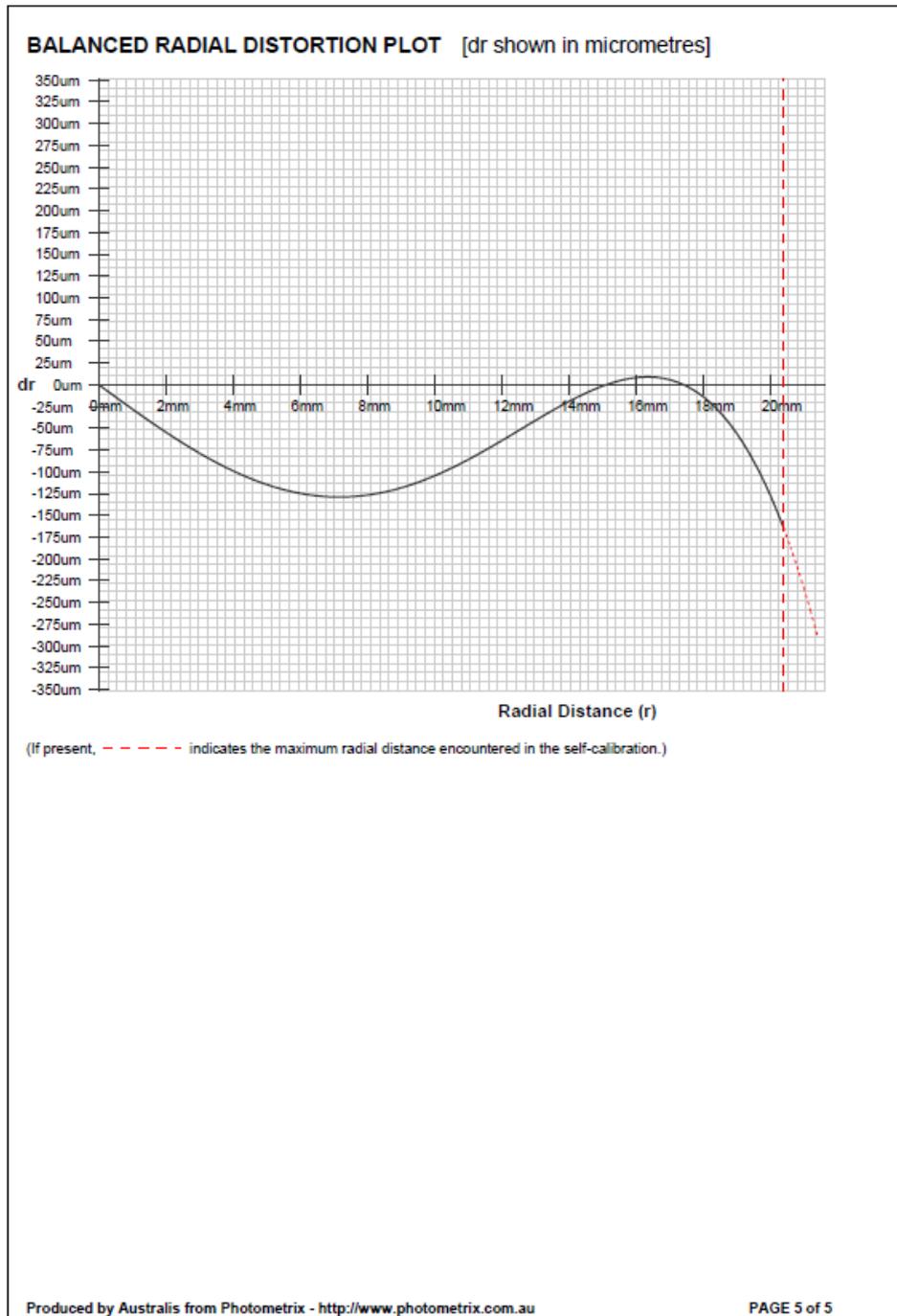
$r(\text{mm})$	$dr(\text{microns})$
0.00	0.0
2.00	-54.6
4.00	-98.9
6.00	-124.7
8.00	-126.6
10.00	-104.4
12.00	-64.0
14.00	-19.0
16.00	8.3
18.00	-13.9
20.00	-127.6

Distortion profile is 'balanced' ( $dr = 0.0$ ) about a radial distance of  $r = 15.1\text{mm}$

# CAMERA CALIBRATION REPORT



# CAMERA CALIBRATION REPORT



Sony  $\alpha 7$  + 21mm 鏡頭

## CAMERA CALIBRATION REPORT

**PROJECT DETAILS**

Camera: SONY ILCE-7

Filename: E:\work\測繪\20160321\_A7R\20160321\_A7.aus

Calibration Date: 21/03/2016 10:55am

**METRIC CALIBRATION PARAMETERS**

Resolution = 6000 x 4000 pixels

Pixel width = 0.0060mm, Pixel height = 0.0060mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 21.4504mm	< 0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = 0.1688mm	< 0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.0253mm	< 0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.48505e-04	1.5265e-07
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -2.88152e-07	7.8644e-10
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 1.41601e-10	1.2834e-12
Coefficient of decentering distortion	P1 = 1.0822e-06	1.841e-07
Coefficient of decentering distortion	P2 = 2.0893e-05	1.338e-07
No significant differential scaling present	B1 = 0.0000e+00	5.201e-20
No significant non-orthogonality present	B2 = 0.0000e+00	5.201e-20
9th-order term of radial distortion correction	K4 = 0.00000e+00	5.2013e-36
11th-order term of radial distortion correction	K5 = 0.00000e+00	5.2013e-40

**STANDARD CORRECTION EQUATION**

The corrected image coordinates  $x(\text{corr})$  &  $y(\text{corr})$  can be calculated from the measured coordinates  $x(\text{meas})$  &  $y(\text{meas})$  by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

$x$  and  $y$  are now with respect to the principal point,

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr/r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr/r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

Camera self-calibration determined in a network of 40 images and 846 points, to an image measurement accuracy (RMS 1-sigma) of 0.25 pixels or 1.49  $\mu\text{m}$ , and of 1.0.

Produced by Australis from Photometrix - <http://www.photometrix.com.au>

PAGE 1 of 5

## CAMERA CALIBRATION REPORT

### GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance c, Gaussian radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr/r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr/r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
c =	21.450mm	0.0007mm
K1 =	1.48505e-04	1.5265e-07
K2 =	-2.88152e-07	7.8644e-10
K3 =	1.41601e-10	1.2834e-12
K4 =	-1.23722e-52	5.2013e-36
K5 =	-5.46379e-58	5.2013e-40

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	1.2
4.00	9.2
6.00	29.9
8.00	66.9
10.00	121.1
12.00	190.0
14.00	267.5
16.00	344.1
18.00	408.3
20.00	447.2

## CAMERA CALIBRATION REPORT

**BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)**

For 'balanced' principal distance  $cb$ , radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$cb = 21.0183\text{mm}$$

$$K0 = -2.01445\text{e-}02$$

$$K1 = 1.45514\text{e-}04$$

$$K2 = -2.82347\text{e-}07$$

$$K3 = 1.38749\text{e-}10$$

$$K4 = -1.21229\text{e-}52$$

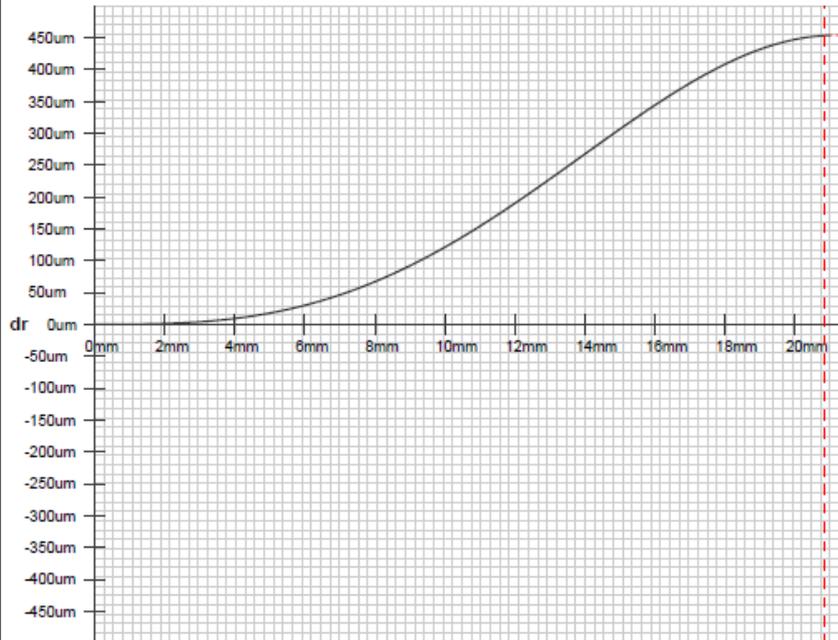
$$K5 = -5.35372\text{e-}58$$

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	-39.1
4.00	-71.6
6.00	-91.6
8.00	-95.6
10.00	-82.8
12.00	-55.6
14.00	-20.0
16.00	14.9
18.00	37.5
20.00	35.3

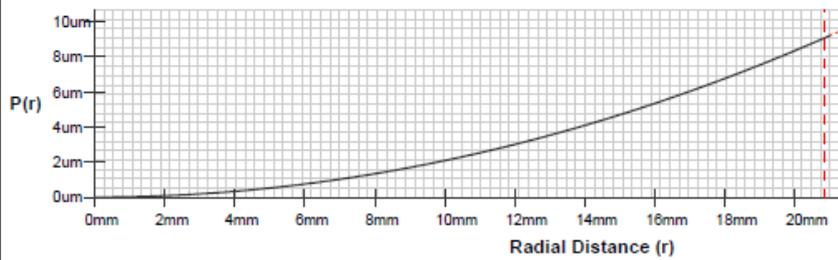
Distortion profile is 'balanced' ( $dr = 0.0$ ) about a radial distance of  $r = 15.1\text{mm}$

# CAMERA CALIBRATION REPORT

**GAUSSIAN RADIAL DISTORTION PLOT** [dr shown in micrometres]

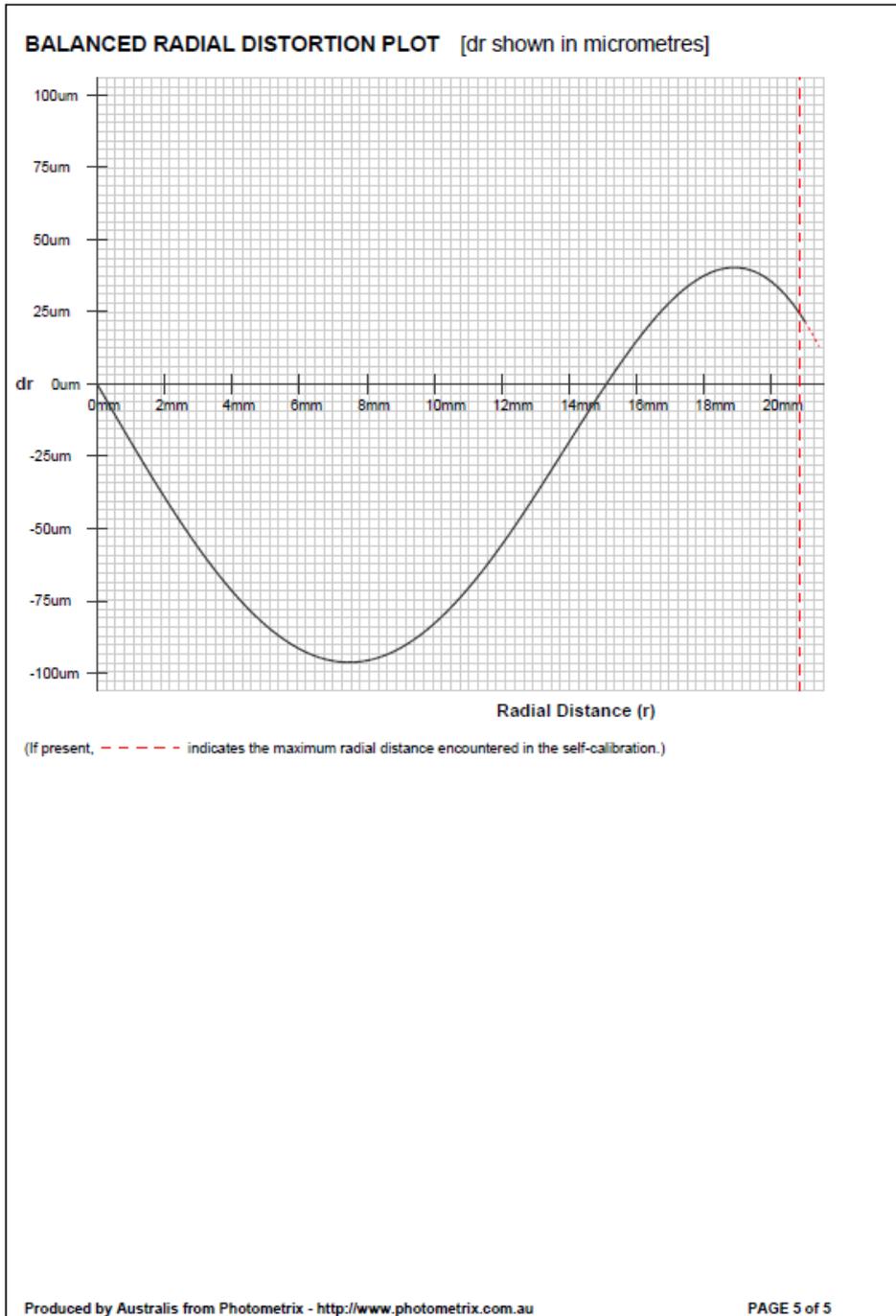


**DECENTRING DISTORTION PLOT** [P(r) shown in micrometres]



(If present, - - - - indicates the maximum radial distance encountered in the self-calibration.)

# CAMERA CALIBRATION REPORT



Sony  $\alpha$ 7R + 21mm 鏡頭

## CAMERA CALIBRATION REPORT

**PROJECT DETAILS**

Camera: SONY ILCE-7R

Filename: C:\Data\Sonya7r21mm\_20160523.aus

Calibration Date: 23/05/2016 14:58pm

**METRIC CALIBRATION PARAMETERS**

Resolution = 7360 x 4912 pixels

Pixel width = 0.0049mm, Pixel height = 0.0049mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 21.4915mm	< 0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.1612mm	< 0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.0685mm	< 0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.42854e-04	1.7309e-07
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -2.69432e-07	8.2187e-10
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 1.09469e-10	1.2698e-12
Coefficient of decentering distortion	P1 = 5.8984e-06	2.291e-07
Coefficient of decentering distortion	P2 = -5.6737e-06	1.491e-07
Differential scaling between x & y	B1 = 1.1166e-04	3.085e-06
Non-orthogonality between x & y axes	B2 = -1.2010e-04	3.098e-06
9th-order term of radial distortion correction	K4 = 0.00000e+00	5.8430e-36
11th-order term of radial distortion correction	K5 = 0.00000e+00	5.8430e-40

**STANDARD CORRECTION EQUATION**

The corrected image coordinates  $x(\text{corr})$  &  $y(\text{corr})$  can be calculated from the measured coordinates  $x(\text{meas})$  &  $y(\text{meas})$  by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

$x$  and  $y$  are now with respect to the principal point,

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr/r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr/r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

Camera self-calibration determined in a network of 40 images and 873 points, to an image measurement accuracy (RMS 1-sigma) of 0.28 pixels or 1.35  $\mu$ m, and of 1.0.

Produced by Australis from Photometrix - <http://www.photometrix.com.au>

PAGE 1 of 5

## CAMERA CALIBRATION REPORT

**GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)**

For principal distance  $c$ , Gaussian radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr/r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr/r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
$c =$	21.492mm	0.0007mm
$K1 =$	1.42854e-04	1.7309e-07
$K2 =$	-2.69432e-07	8.2187e-10
$K3 =$	1.09469e-10	1.2698e-12
$K4 =$	-1.50167e-52	5.8430e-36
$K5 =$	-5.75399e-58	5.8430e-40

$r(\text{mm})$	$dr(\text{microns})$
0.00	0.0
2.00	1.1
4.00	8.9
6.00	28.8
8.00	64.5
10.00	117.0
12.00	183.7
14.00	258.6
16.00	332.0
18.00	391.0
20.00	420.8

## CAMERA CALIBRATION REPORT

### BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

For 'balanced' principal distance  $cb$ , radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$cb = 21.0729\text{mm}$$

$$K0 = -1.94756\text{e-}02$$

$$K1 = 1.40072\text{e-}04$$

$$K2 = -2.64185\text{e-}07$$

$$K3 = 1.07337\text{e-}10$$

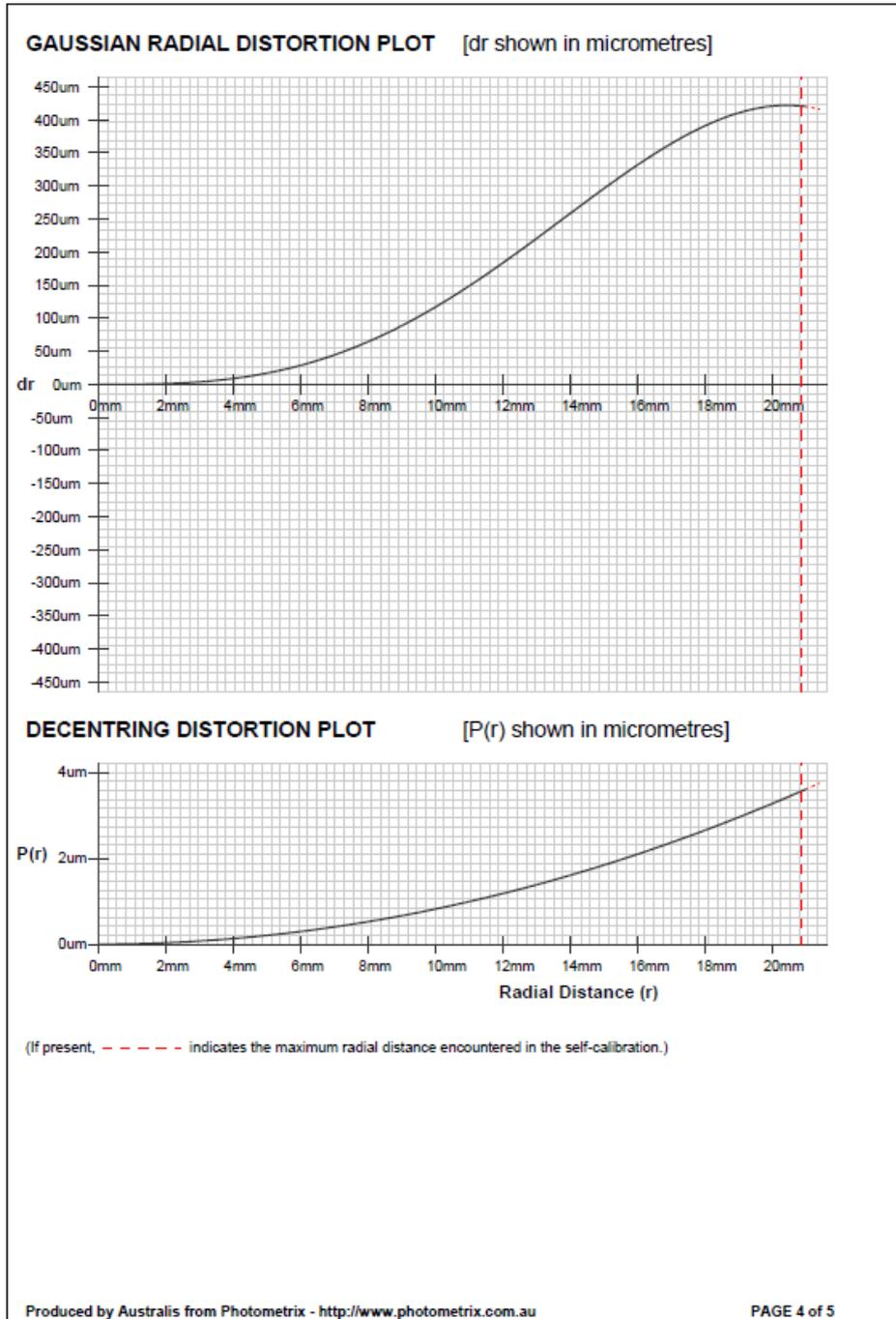
$$K4 = -1.47242\text{e-}52$$

$$K5 = -5.64193\text{e-}58$$

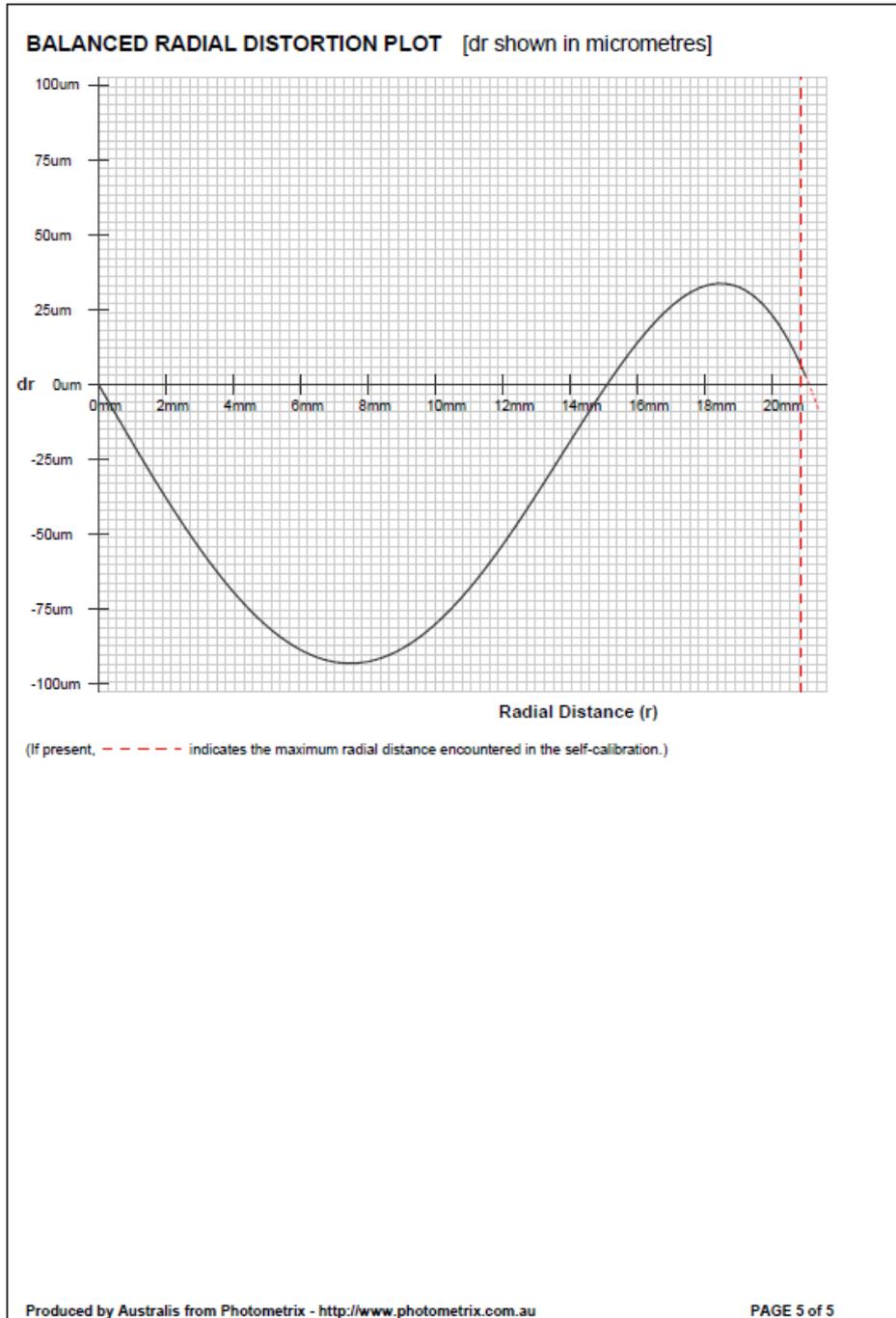
r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	-37.8
4.00	-69.2
6.00	-88.6
8.00	-92.5
10.00	-80.0
12.00	-53.6
14.00	-19.1
16.00	13.9
18.00	32.9
20.00	23.1

Distortion profile is 'balanced' ( $dr = 0.0$ ) about a radial distance of  $r = 15.1\text{mm}$

# CAMERA CALIBRATION REPORT



# CAMERA CALIBRATION REPORT



## Sony QX1\_01 鏡頭

## CAMERA CALIBRATION REPORT

**PROJECT DETAILS**

Camera: SONY ILCE-QX1

Filename: F:\iWitness\QX1\_0504\01\QX1\_01\_0504.iwpro

Calibration Date: 06/05/2016 10:21am

**METRIC CALIBRATION PARAMETERS**

Resolution = 5456 x 3632 pixels

Pixel width = 0.0050mm, Pixel height = 0.0050mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 18.5762mm	0.003mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.0152mm	0.000mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.1648mm	0.000mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 2.05497e-004	-1.#INDe+000
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -6.47337e-007	-1.#INDe+000
7th-order term of radial distortion correction	K3 = -1.13485e-009	1.0128e-008
Coefficient of decentering distortion	P1 = -4.9218e-006	7.457e-010
Coefficient of decentering distortion	P2 = -7.1427e-005	7.457e-010
Differential scaling between x & y	B1 = 4.7217e-005	1.013e-008
Non-orthogonality between x & y axes	B2 = -3.4695e-005	-1.#IOe+000

**STANDARD CORRECTION EQUATION**

The corrected image coordinates  $x(\text{corr})$  &  $y(\text{corr})$  can be calculated from the measured coordinates  $x(\text{meas})$  &  $y(\text{meas})$  by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

$x$  and  $y$  are now with respect to the principal point.

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr / r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr / r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

## CAMERA CALIBRATION REPORT

### GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance  $c$ , Gaussian radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr / r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr / r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
c =	18.576mm	0.0029mm
K1 =	2.05497e-004	-1.#INDe+000
K2 =	-6.47337e-007	-1.#INDe+000
K3 =	-1.13485e-009	1.0128e-008

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
1.00	0.2
2.00	1.6
3.00	5.4
4.00	12.5
5.00	23.6
6.00	39.0
7.00	58.7
8.00	81.6
9.00	106.2
10.00	129.4
11.00	147.1
12.00	153.4
13.00	139.9
14.00	96.1
15.00	8.1
16.00	-141.7

## CAMERA CALIBRATION REPORT

### BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

For 'balanced' principal distance  $cb$ , radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7$$

$$cb = 18.3337\text{mm}$$

$$K0 = -1.30573e-002$$

$$K1 = 2.02814e-004$$

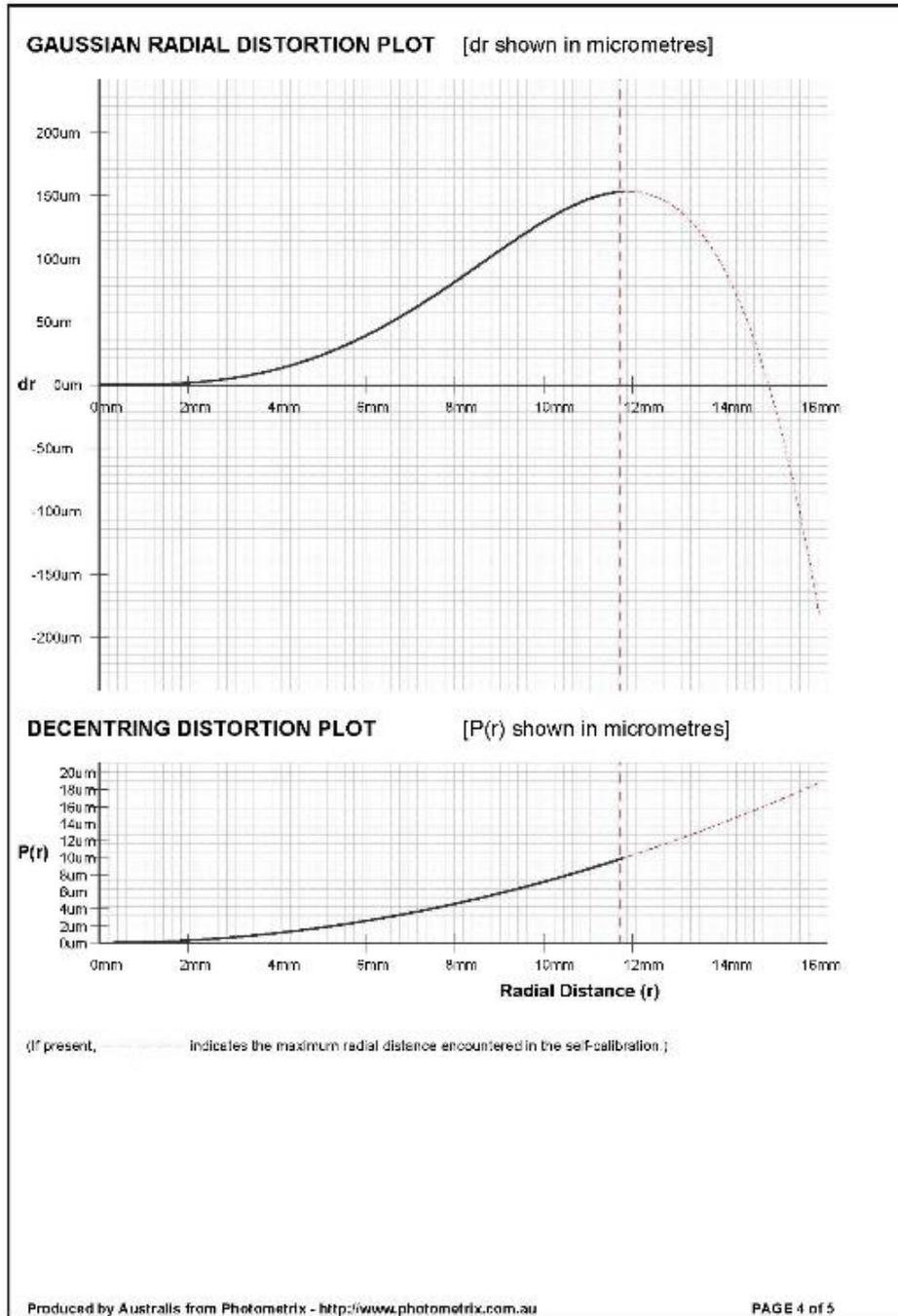
$$K2 = -6.38885e-007$$

$$K3 = -1.12004e-009$$

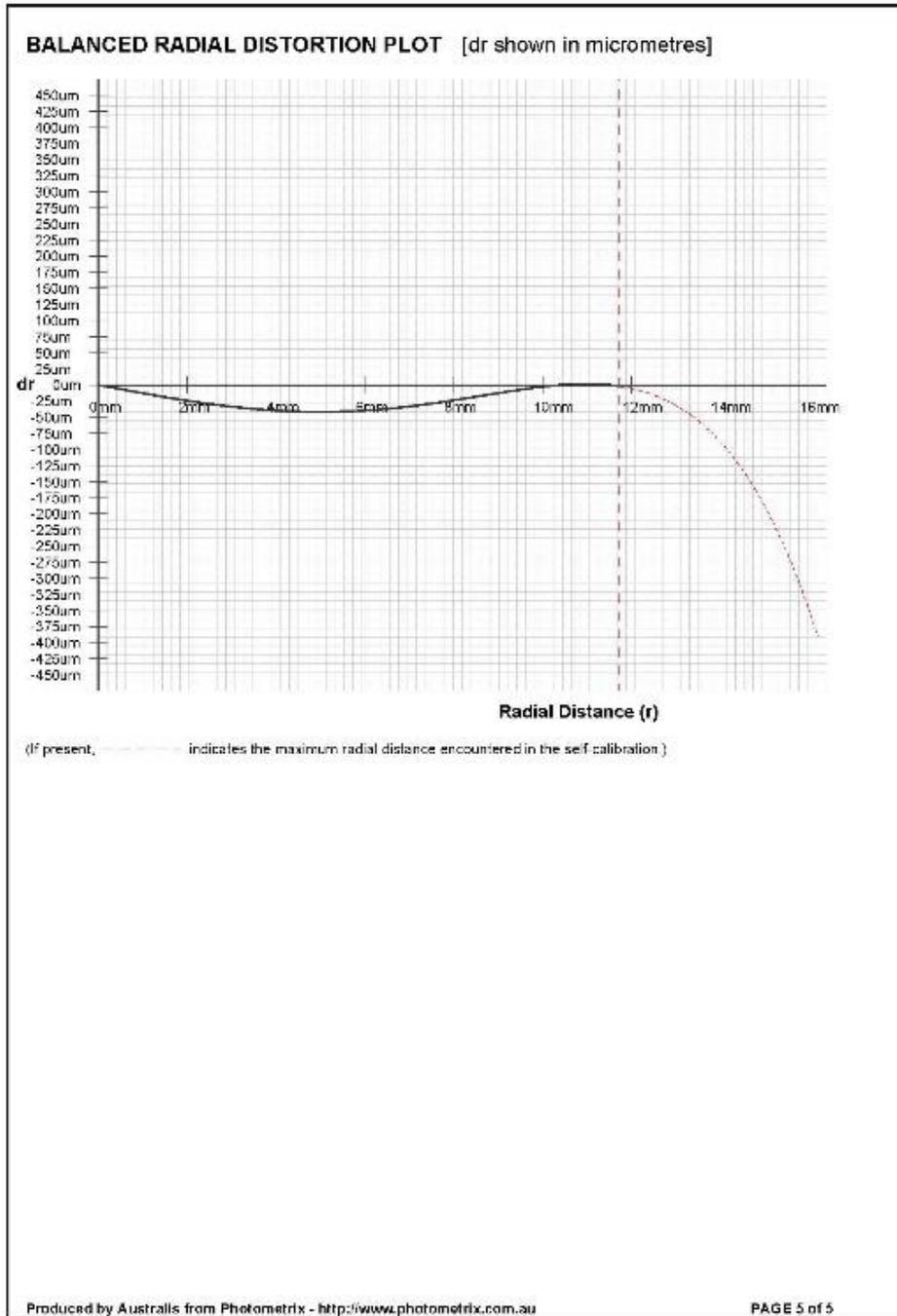
r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
1.00	-12.9
2.00	-24.5
3.00	-33.9
4.00	-39.9
5.00	-42.0
6.00	-39.8
7.00	-33.5
8.00	-23.9
9.00	-12.7
10.00	-2.8
11.00	1.6
12.00	-5.3
13.00	-31.7
14.00	-88.0
15.00	-187.9
16.00	-348.8

Distortion profile is 'balanced' ( $dr = 0.0$ ) about a radial distance of  $r = 11.5\text{mm}$

# CAMERA CALIBRATION REPORT



# CAMERA CALIBRATION REPORT



## Sony QX1\_02 鏡頭

## CAMERA CALIBRATION REPORT

**PROJECT DETAILS**

Camera: SONY ILCE-QX1

Filename: F:\iWitness\QX1\_0504\02\QX1\_02\_0504.iwpro

Calibration Date: 04/05/2016 18:03pm

**METRIC CALIBRATION PARAMETERS**

Resolution = 5456 x 3632 pixels

Pixel width = 0.0050mm, Pixel height = 0.0050mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 18.6960mm	0.003mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.1664mm	0.000mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = -0.1097mm	0.000mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.82906e-004	-1.#INDe+000
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -6.35776e-007	-1.#INDe+000
7th-order term of radial distortion correction	K3 = -5.89013e-010	3.7290e-008
Coefficient of decentering distortion	P1 = -1.6431e-005	1.874e-009
Coefficient of decentering distortion	P2 = 3.8255e-005	1.874e-009
Differential scaling between x & y	B1 = -4.6991e-005	3.729e-008
Non-orthogonality between x & y axes	B2 = -4.9148e-005	-1.#IOe+000

**STANDARD CORRECTION EQUATION**

The corrected image coordinates  $x(\text{corr})$  &  $y(\text{corr})$  can be calculated from the measured coordinates  $x(\text{meas})$  &  $y(\text{meas})$  by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

$x$  and  $y$  are now with respect to the principal point.

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr / r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr / r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

## CAMERA CALIBRATION REPORT

### GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance  $c$ , Gaussian radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr / r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr / r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
$c =$	18.696mm	0.0029mm
$K1 =$	1.82906e-004	-1.#INDe+000
$K2 =$	-6.35776e-007	-1.#INDe+000
$K3 =$	-5.89013e-010	3.7290e-008

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
1.00	0.2
2.00	1.4
3.00	4.8
4.00	11.0
5.00	20.8
6.00	34.4
7.00	51.6
8.00	71.6
9.00	93.0
10.00	113.4
11.00	129.6
12.00	136.8
13.00	128.8
14.00	97.9
15.00	33.9
16.00	-75.6

## CAMERA CALIBRATION REPORT

### BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

For 'balanced' principal distance  $cb$ , radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7$$

$$cb = 18.4796\text{mm}$$

$$K0 = -1.15717\text{e-}002$$

$$K1 = 1.80790\text{e-}004$$

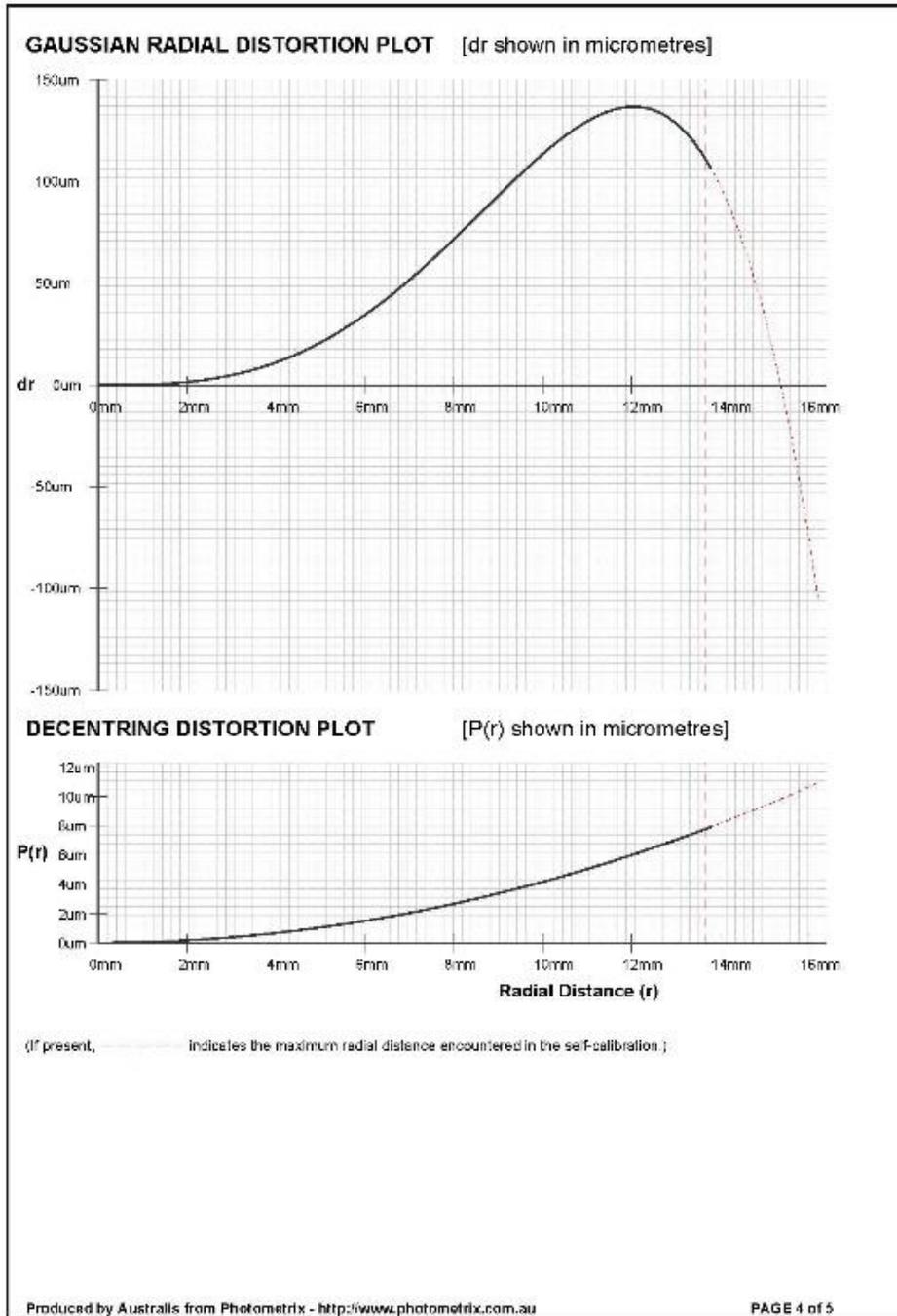
$$K2 = -6.28419\text{e-}007$$

$$K3 = -5.82197\text{e-}010$$

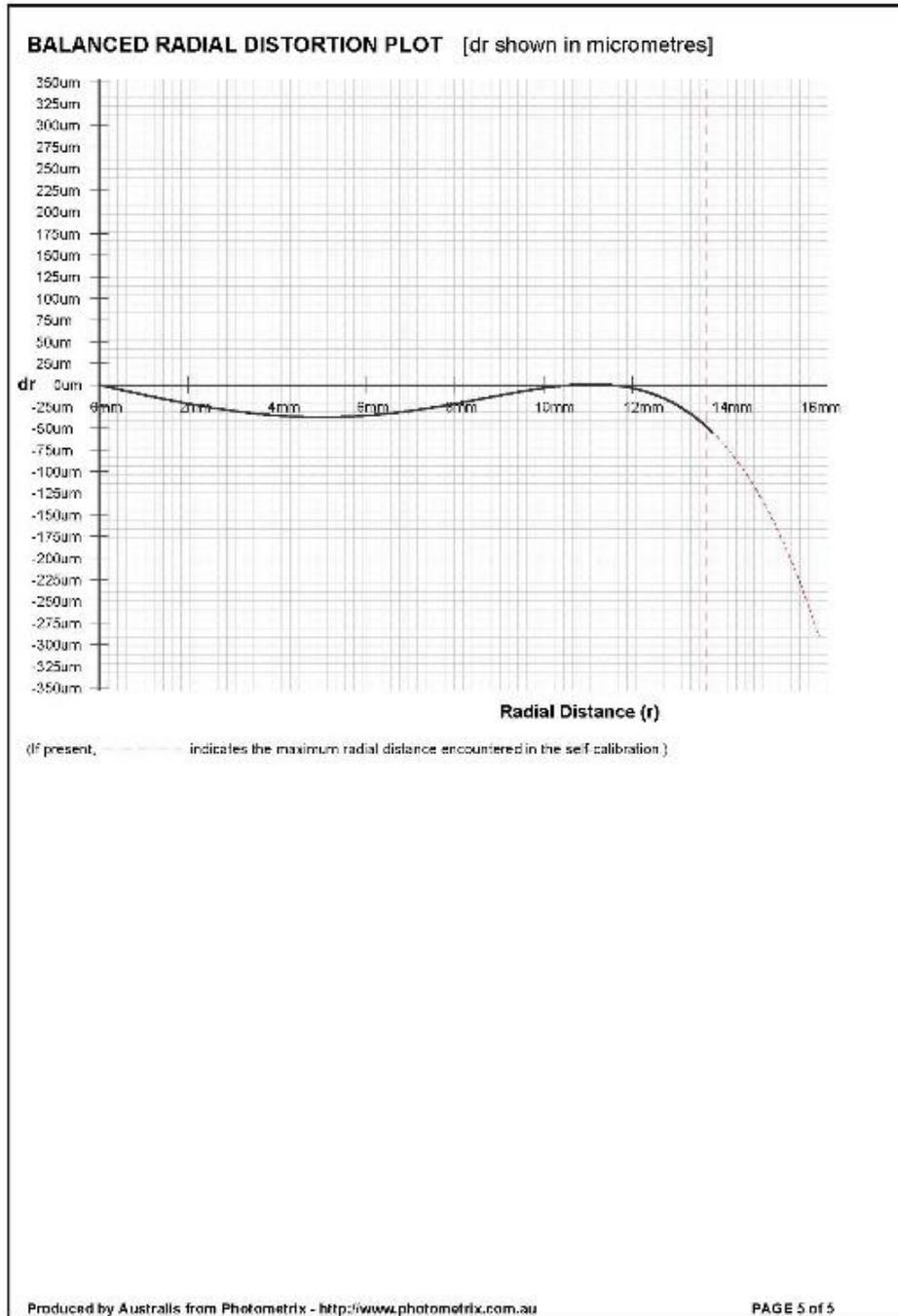
r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
1.00	-11.4
2.00	-21.7
3.00	-30.0
4.00	-35.4
5.00	-37.3
6.00	-35.4
7.00	-30.0
8.00	-21.8
9.00	-12.2
10.00	-3.6
11.00	0.8
12.00	-3.7
13.00	-23.1
14.00	-65.3
15.00	-140.1
16.00	-259.9

Distortion profile is 'balanced' ( $dr = 0.0$ ) about a radial distance of  $r = 11.5\text{mm}$

# CAMERA CALIBRATION REPORT



# CAMERA CALIBRATION REPORT



## Sony QX1\_03 鏡頭

## CAMERA CALIBRATION REPORT

**PROJECT DETAILS**

Camera: SONY ILCE-QX1

Filename: F:\iWitness\QX1\_0504\03\QX1\_03\_0504.iwpro

Calibration Date: 04/05/2016 18:07pm

**METRIC CALIBRATION PARAMETERS**

Resolution = 5456 x 3632 pixels

Pixel width = 0.0050mm, Pixel height = 0.0050mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 18.6523mm	0.003mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = -0.0836mm	0.000mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = -0.0550mm	0.000mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 2.19989e-004	-1.#INDe+000
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -1.10543e-006	-1.#INDe+000
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 1.19227e-009	-1.#INDe+000
Coefficient of decentering distortion	P1 = -5.1832e-006	1.833e-009
Coefficient of decentering distortion	P2 = 2.6802e-005	1.833e-009
Differential scaling between x & y	B1 = -4.1211e-005	-1.#IOe+000
Non-orthogonality between x & y axes	B2 = 8.8693e-005	-1.#IOe+000

**STANDARD CORRECTION EQUATION**

The corrected image coordinates  $x(\text{corr})$  &  $y(\text{corr})$  can be calculated from the measured coordinates  $x(\text{meas})$  &  $y(\text{meas})$  by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

$x$  and  $y$  are now with respect to the principal point.

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr / r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr / r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

## CAMERA CALIBRATION REPORT

### GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance  $c$ , Gaussian radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr / r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr / r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
$c =$	18.652mm	0.0034mm
$K1 =$	2.19989e-004	-1.#INDe+000
$K2 =$	-1.10543e-006	-1.#INDe+000
$K3 =$	1.19227e-009	-1.#INDe+000

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
1.00	0.2
2.00	1.7
3.00	5.7
4.00	13.0
5.00	24.1
6.00	39.3
7.00	57.9
8.00	78.9
9.00	100.8
10.00	121.4
11.00	138.0
12.00	147.8
13.00	147.7
14.00	134.8
15.00	106.7
16.00	62.0

## CAMERA CALIBRATION REPORT

### BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

For 'balanced' principal distance  $cb$ , radial distortion correction  $dr$  (microns) is given for any radial distance  $r$  (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7$$

$$cb = 18.4217\text{mm}$$

$$K0 = -1.23627\text{e-}002$$

$$K1 = 2.17270\text{e-}004$$

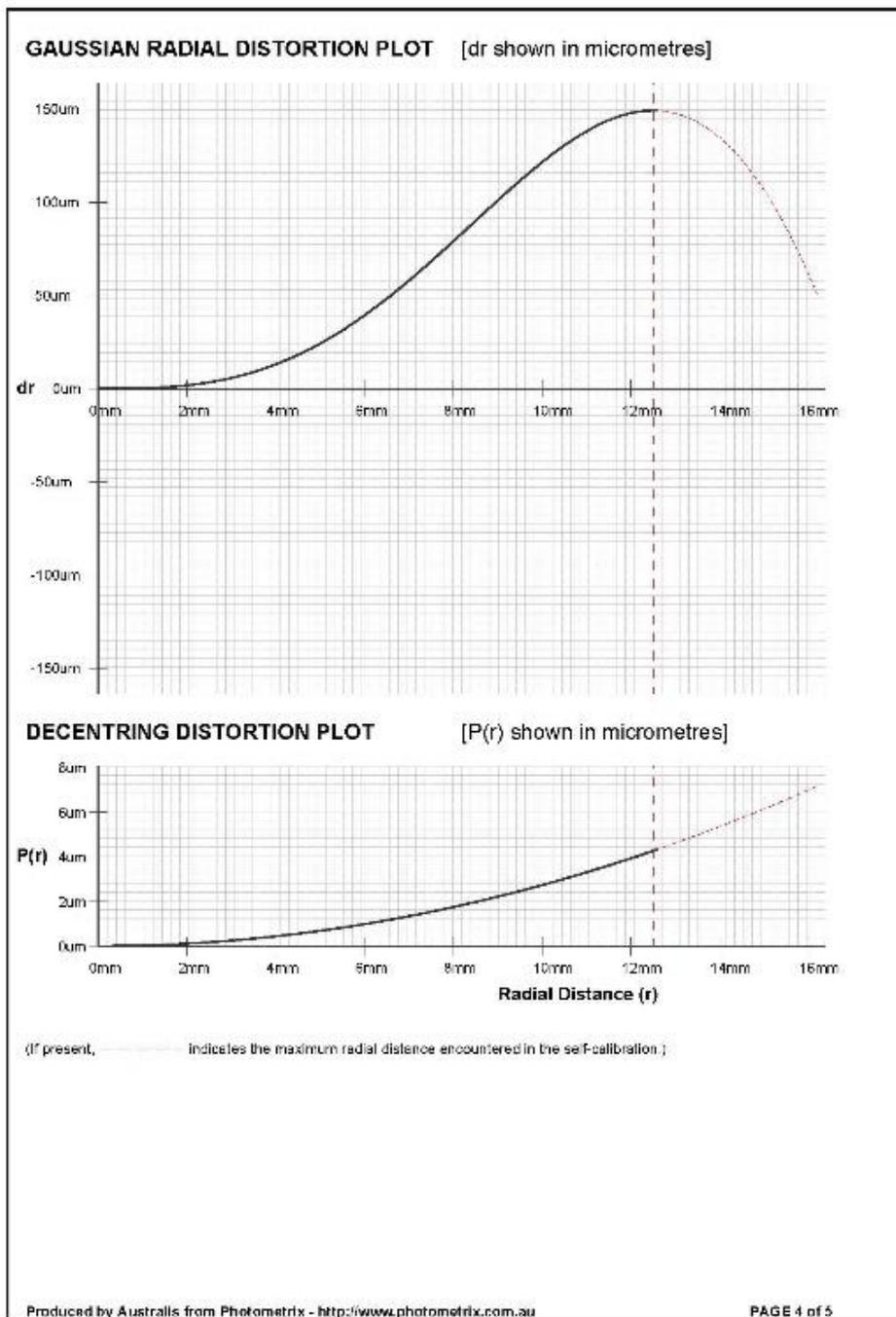
$$K2 = -1.09176\text{e-}006$$

$$K3 = 1.17753\text{e-}009$$

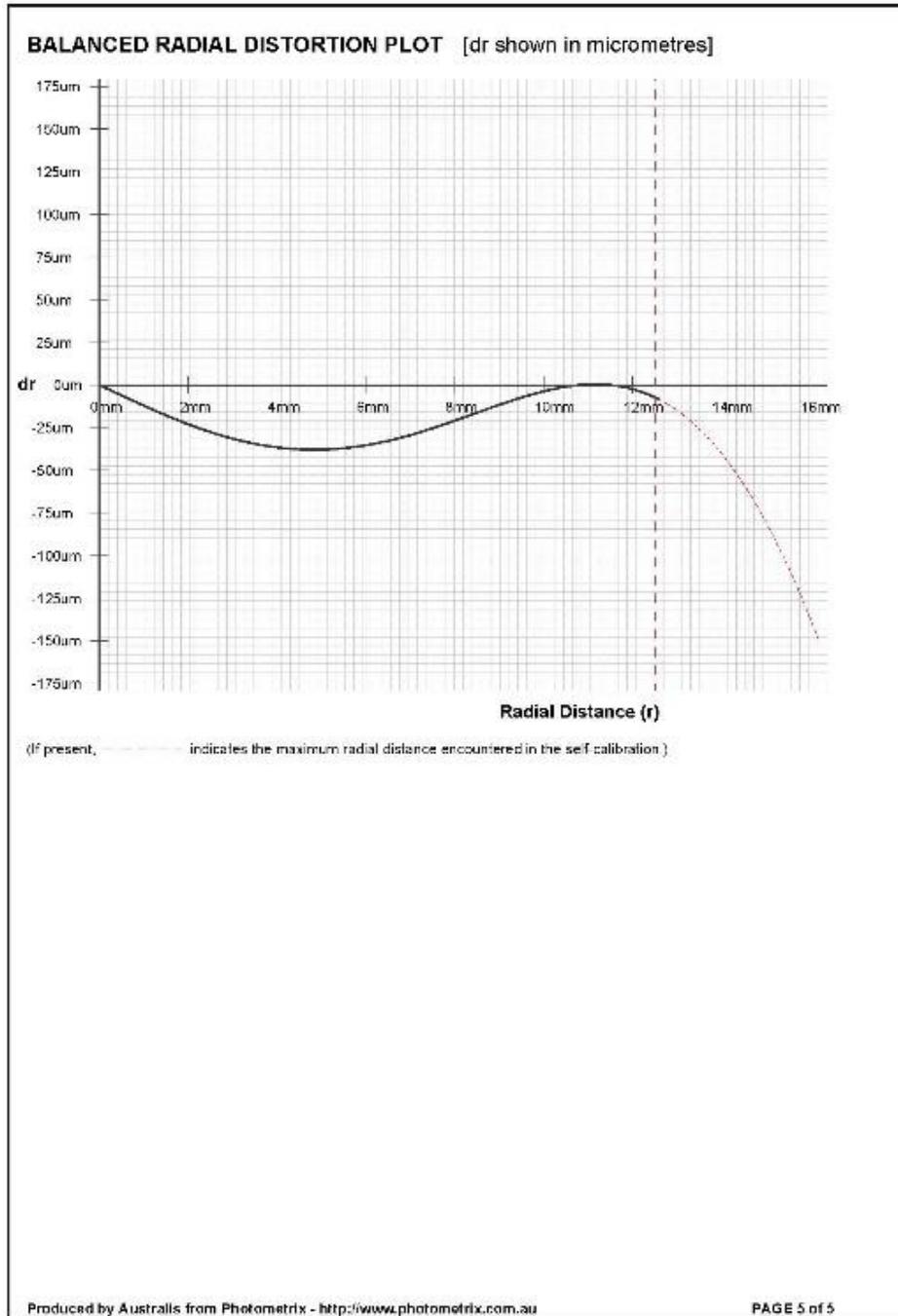
r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
1.00	-12.1
2.00	-23.0
3.00	-31.5
4.00	-36.6
5.00	-38.0
6.00	-35.4
7.00	-29.4
8.00	-21.0
9.00	-11.7
10.00	-3.8
11.00	0.3
12.00	-2.4
13.00	-14.8
14.00	-39.9
15.00	-80.0
16.00	-136.6

Distortion profile is 'balanced' ( $dr = 0.0$ ) about a radial distance of  $r = 11.5\text{mm}$

# CAMERA CALIBRATION REPORT



# CAMERA CALIBRATION REPORT



## 附錄五 投稿論文摘要

整合 UAS 傾斜攝影與 MMS 地面近景三維影像模型製圖應用

劉正倫<sup>1</sup>、羅正方<sup>2</sup>、李良輝<sup>3</sup>、林昌鑑<sup>4</sup>、施錦揮<sup>5</sup>、張瑞隆<sup>6</sup>、林奕翔<sup>7</sup>、蔡孟倫<sup>8</sup>、張庭榮<sup>9</sup>

### 摘要

傾斜影像從 2000 年徠卡相機推出 ADS40 開始發展，早期因解算較為複雜因此較少人使用，近幾年多視立體視覺三維建模技術(Structure from Motion, SfM)取代了傳統空中三角的解算，傳統攝影測量以方程式解算未知數時必須有足夠的初始近似條件才能求得穩定解，為了能夠更穩定飛行，飛行傾角以不超過 5 度為原則，才能確保尺度及旋轉的不變性，使影像品質良好。而在多視立體視覺發展後，改善了尺度及旋轉的不便性，也讓無人載具拍攝的限制降低，更使傾斜攝影開始逐漸被研究。本研究針對傾斜攝影使用旋翼型 UAS 搭載本團隊自行開發設計的多相機系統酬載雲台搭載 3 部相機進行傾斜攝影與環繞式拍攝，測試多相機雲台進行傾斜影像三維建模的流程，並整合 MMS 地面近景拍攝方式補足 UAS 無法拍攝側邊資訊不足處。本研究測試區域包含臺中歌劇院與臺中向上郵局，初步成果顯示整合 UAS 傾斜攝影與 MMS 地面近景可成功建置三維模型，但仍有部分現場環境干擾問題與拍攝限制，將於後續進行內容討論與提出建議。

關鍵詞：傾斜攝影、三維建模技術、多相機組合、近景攝影

## 附錄六 公共意外險投保保單

104.10.01 我國金融監督管理委員會 104.07.02 金管保字第 10403523530 號函核定		消費者應詳閱各種銷售文件內容，如要詳細了解其他相關資訊，請洽本公司業務員、各服務據點，以保障您的權益。 地址：台北市建國北路二段15號 電話：(02)2507-5335 免付費電話：0800-789-999 申訴專線：0800-005-588 網址：http://www.skinsurance.com.tw
正本	公共意外責任保險	
保單號碼： 1307 第 05AHP0000594 號本單係 1307 第 04AHP0000659 號續保		
要保人： 經緯航太科技股份有限公司		
要保人地址： 臺南市東區東門路3段253號12樓		
被保險人： 經緯航太科技股份有限公司		統一編號：27285850
通訊地址： 臺南市東區東門路3段253號12樓		
保險期間： 自民國 105 年 04 月 25 日 00 時起至民國 105 年 12 月 31 日 24 時止		
經營業務種類： 105年度發展無人飛行載具系統測繪作業採購案(兩台空拍機)		
經營業務處所： 台灣全區		
承 保 範 圍	保 險 金 額	
每一個人身體傷亡：	NT\$2,000,000*	
每一意外事故傷亡：	NT\$10,000,000*	
每一意外事故財損：	NT\$2,000,000*	
保險期間內最高賠償責任：	NT\$50,000,000*	
每一意外事故自負額：每一事故 NT\$2,000		
總保險費：NT\$14,000*		
附加或特約條款：911.Y2K.H34.AHP.		
被保險人注意事項：		
一、本保險單所訂載事項，如有變更，被保險人應立即		
		①本收據非經收款人簽章不生效力。 ②應將保費如以票據交付，請將本公司抬頭並副據。 ③所交票據如未能兌現時，本公司得解除契約。 ④公司免付費電話：0800-005-588
保險費收據 公共意外責任保險		收 據 副 本
中華民國 105 年 04 月 25 日 保單號碼：130705AHP0000594 要保人：經緯航太科技股份有限公司 被保險人：經緯航太科技股份有限公司	保險期間：105 年 04 月 25 日 0 時起 105 年 12 月 31 日 24 時止 保 險 費：NTD14,000	
繳款方式： <input type="checkbox"/> 現金 <input type="checkbox"/> 支票 <input type="checkbox"/> 其它	收 款 人：  年 月 日 時 00A9800918	

## 附錄七 正射影像成果精度檢查紀錄

## 臺中市太平區（坪林森林公園）

3-3 影像品質檢查表（連續地物合理性）

檢查項目	連續地物合理性		檢查日期	105.06.20	
檢查人員	施錦揮				
序號	地物坐標位置		錯誤說明	複檢情形	複檢合格 (Y/N)
	E	N			
1	222,866.52	2,671,418.50	影像地物扭曲變形		
2	222,323.67	2,671,486.57	影像地物扭曲變形		
累計缺失數	2		判定結果	合格	
備註	1.檢查地物糾正是否完整（鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移）。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本區本項目應全面檢查，如檢查之缺失數超過5處，則本區為不合格。				

3-4 影像品質檢查表（平面位置精度）

檢查項目	平面位置精度		檢查日期	105.06.20	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖（上機）坐標		較差
	E	N	E	N	
1	222,389.14	2,671,620.28	222,389.79	2,671,620.41	0.66
2	222,325.71	2,671,664.86	222,325.97	2,671,665.12	0.37
3	222,877.97	2,671,563.41	222,878.83	2,671,563.66	0.89
4	222,811.64	2,671,571.82	222,812.77	2,671,572.05	1.15
5	222,243.02	2,671,472.49	222,243.18	2,671,473.60	1.13
應抽點數	5		較差均方根	0.89	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少5點。 2.抽查點位置量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於1.25公尺。				

## 南投縣草屯鎮（投 17 線拓寬工程）

3-3 影像品質檢查表（連續地物合理性）

檢查項目	連續地物合理性		檢查日期	105.08.18	
檢查人員	施錦揮				
序號	地物坐標位置		錯誤說明	複檢情形	複檢合格 (Y/N)
	E	N			
1	225,289.22	2,649,004.19	地物扭曲變形		
2	225,367.54	2,648,660.66	地物扭曲變形		
累計缺失數	2		判定結果	合格	
備註	1.檢查地物糾正是否完整（鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移）。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本區本項目應全面檢查，如檢查之缺失數超過5處，則本區為不合格。				

3-4 影像品質檢查表（平面位置精度）

檢查項目	平面位置精度		檢查日期	105.08.18	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖（上機）坐標		較差
	E	N	E	N	
1	225,746.71	2,648,021.06	225,746.29	2,648,020.42	0.77
2	223,470.87	2,651,263.44	223,471.71	2,651,264.08	1.06
3	224,271.20	2,650,079.70	224,269.79	2,650,079.23	1.48
4	225,093.35	2,649,318.30	225,092.30	2,649,319.35	1.49
5	223,946.07	2,650,271.03	223,946.07	2,650,270.32	0.71
應抽點數	5		較差均方根	1.10	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少5點。 2.抽查點位量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於1.25公尺。				

## 彰化縣田中鎮（高鐵彰化站大社路與台 76 聯絡道）

3-3 影像品質檢查表（連續地物合理性）

檢查項目	連續地物合理性		檢查日期	105.09.29	
檢查人員	施錦揮				
序號	地物坐標位置		錯誤說明	複檢情形	複檢合格 (Y/N)
	E	N			
1	206812.39	2641176.95	地物扭曲變形		
2	205805.77	2640532.63	地物扭曲變形		
3	206548.09	2640946.55	地物扭曲變形		
累計缺失數	3		判定結果	合格	
備註	1.檢查地物糾正是否完整（鐵、公路、橋樑及對地圖判讀有重要意義的基礎建設是否含有高差位移）。 2.影像地物、地貌是否扭曲變形。 3.影像接邊是否連續無縫。 4.本區本項目應全面檢查，如檢查之缺失數超過5處，則本區為不合格。				

3-4 影像品質檢查表（平面位置精度）

檢查項目	平面位置精度		檢查日期	105.09.30	
檢查人員	施錦揮				
序號	正射影像坐標		地形圖（上機）坐標		較差
	E	N	E	N	
1	206,615.99	2,640,855.17	206,616.12	2,640,855.57	0.42
2	206,998.18	2,641,067.82	206,998.42	2,641,067.00	0.86
3	207,119.84	2,641,599.96	207,120.45	2,641,599.51	0.77
4	206,991.01	2,641,441.66	206,991.27	2,641,441.15	0.57
5	207,113.98	2,640,842.76	207,114.96	2,640,841.78	1.39
應抽點數	5		較差均方根	0.87	
實抽點數	5		判定結果	合格	
備註	1.重複量測平面無高差之地物點，每區抽查至少5點。 2.抽查點位置量測之平面位置與原平面位置較差之均方根值不大於1.25公尺。				



內政部國土測繪中心

地址：臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓

網址：[www.nlsc.gov.tw](http://www.nlsc.gov.tw)

總機：(04) 22522966

傳真：(04) 22592533