

測量技師簽證報告

契約編號或案號：NLSC-97-22

案名：97 年度以空載光達技術建立數值地形模型工作

簽證技師：徐明鎰

技師執業執照號碼：技執字第 002509 號

執業測繪業名稱：亞新國土科技(股)公司

測量專業資格證明書字號：技證字第 001046 號

法令依據：依據國土測繪法第四十一條第二項及經營或受聘於測繪業之測量技師簽證規則等相關規定。

委託者姓名或名稱：內政部國土測繪中心

地址：臺中市南屯區黎明路二段 497 號

委託事項：以空載光達技術建立澎湖縣全縣地區數值地形模型之 DEM 與 DSM 製作及其之精度評估。

簽約日期：97 年 08 月 22 日

受託測繪業名稱：亞新國土科技股份有限公司

地址：臺中市南屯區大業路 241 號 3F 之 1

簽證意見：所有簽證項目均符合合約工作規範說明書之各項要求。

簽證日期：99 年 07 月 01 日

受託測繪業簽章	測量技師簽章
	

摘要

全球氣候變化是本世紀人類所面對的最大威脅和挑戰。尤其是許多臨海大城市，將面臨海平面上升、降雨變化、颱風加劇或是熱浪侵襲等危機，特別是臺灣山坡地土地開發過度且水土保持不良，導致近年來臺灣接連遭受氣候異常所引起之風災、水災或震災等，經濟損失以達數十億計，加上水利防洪系統未能及時因應，河川、渠溝泥沙淤積嚴重，若遇颱風、豪雨等天災影響，常造成水災或發生土石崩塌，更危及人民生命財產安全；有鑒於此，建置高精度高解析度的數值地形模型(Digital Terrain Model，簡稱DTM)以為工程規劃及設計之基礎資料，將是政府施政迫切需要且必要的手段。

本計畫乃延續 93 年度及 95~96 年度同類型科專計畫，於 97 年 8 月 12 日決標予亞新國土科技股份有限公司(以下簡稱本公司)辦理以空載光達技術測繪澎湖縣全縣約計 100 幅(1/5000 圖幅)1 公尺解析度高精度數值地形模型，工期共計 360 日曆天。藉由本計畫之執行，逐步建立全省高精度及高解析度數值地形模型基本資料庫，做為全國各界土地利用、河川整治、水土保持、海岸地形、集水區、山坡地監測，防救災、正射影像糾正、都市規劃、生態旅遊、礦業、林業等方面數值化、資訊化及自動化應用之標準基礎資料來源，以加強國家基礎建設工程作業品質及節省各機關重複建置經費、人力及時間成本，並進一步促進國內相關產業之升級、提升國家競爭力。

本次作業之澎湖地區位於中國大陸與台灣之間的台灣海峽上，是臺灣唯一的島縣，特別於每年 10 月自翌年 1 月間風速都維持在 6m/sec 以上，加上海島氣候、雲量變化大且飛航時間又需依合約要求選擇於當日低潮位前後 2 小時內進行掃描，因此整體飛航掃描作業的時間掌握實屬不易；本公司有鑒於此，加上為減少儀器拆卸作業增加率定成果前後之不穩定性，以及延長有效空照作業時間，特別情商大鵬航空公司直接由高雄港運送航空用油至澎湖馬公機場儲存，免除臺北或臺中至馬公的飛渡時間。另島嶼之間交通問題是一大課題，目前除了吉貝、南海各島(桶盤、虎井、望安、七美)等每天有固定船次外，其餘

島嶼班次非常少(每週一次)且常因海象不佳而有停航的情形，於實地地面 GPS 基站控制測量中，花嶼位於測區最西邊，西嶼坪位於七美東北側，交通到達不易及觀測時間有限且無民宿，因此，本公司重金租用快艇及經驗豐富船東，以最佳路徑及最短時間安全運送人員到達定點進行施測作業，並如期如質完成本合約相關成果。

本計畫成果共完成澎湖縣全縣地區 1 公尺間距之 DEM 及 DSM 成果，以 1/5000 圖幅範圍為依據，共計 100 幅，面積約 158.724 平方公里，並以 VRS-RTK 方式對不同土地覆蓋分區類型之現地實測高程(橢球高)進行 DEM 精度檢核，共檢核 598 點：(1)裸露地檢核 69 點，均方根誤差量為 0.079 公尺；(2)矮植被區檢核 63 點，均方根誤差量為 0.145 公尺；(3)植生地檢核 69 點，均方根誤差量為 0.198 公尺；(4)林地檢核 68 點，均方根誤差量為 0.203 公尺；(5)都會區檢核 68 點，均方根誤差量為 0.090 公尺；(6)濕地檢核 70 點，均方根誤差量為 0.085 公尺；(7)橫斷面檢核 191 點(全長共計 32.15 公里)，均方根誤差量為 0.107 公尺，以上各土地類別檢核成果均能符合「LIDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」規定之高程精度標準(以基本精度加上地形類別及地表植被覆蓋之精度調整參數， $\sigma = a + b + c \cdot t$ ，參數定義詳本報告書第 91 頁)。

目 錄

技師簽證報告.....	i
摘要.....	ii
目錄.....	iv
附件.....	vii
圖目錄.....	viii
表目錄.....	xiii
第壹章 前言.....	1
第一節 計畫概述.....	1
第二節 計畫目標.....	2
第三節 計畫範圍.....	2
第四節 計畫期程及交付成果.....	5
第貳章 飛航計畫.....	8
第一節 規劃作業流程.....	8
第二節 飛航申請.....	9
第三節 航線規劃.....	9
一、航線設計.....	9
二、掃描參數規劃.....	11
第四節 地面控制規劃.....	13
一、地面 GPS 基站規劃.....	13
二、已知點檢測及基站控制測量.....	15
第參章 資料獲取.....	24
第一節 光達系統率定.....	24
一、採用設備及性能概述.....	24
二、率定方式說明.....	25
三、實際飛航率定作業.....	29
第二節 光達資料獲取.....	33
一、執行前準備作業.....	33

二、 飛航掃描資料處理	35
第肆章 資料後處理	63
第一節 航帶重疊數據精度評估方法	63
一、 航帶平差原理	64
二、 航帶平差精度檢核方式---平坦地高程精度分析	66
三、 航帶平差精度檢核方式---重疊區數據分析	66
四、 航帶平差精度檢核方式---交叉飛航重疊區數據分析	68
第二節 航帶重疊數據誤差分析比較	69
第三節 航帶平差飛航數據誤差分析比較	72
第四節 交叉飛航數據誤差分析比較	76
第五節 資料整合成果分析	77
第伍章 DSM/DEM 製作及精度評估	78
第一節 製作程序	78
第二節 DEM 成果橢球高轉正高之化算方式	84
第三節 分類後地面測點與非地面測點數據統計分析	85
一、 有地面點數據之圖幅分析	85
二、 無地面點數據之圖幅分析	85
第四節 DEM 精度評估	91
一、 DEM 精度評估規範	91
二、 DEM 之精度評估內容	92
三、 DEM 精度評估方法	93
四、 DEM 精度評估結果	93
第五節 DEM 正高成果與水準點比較	109
一、 分析範圍	109
二、 分析方法	110
三、 分析結果	113
第六節 DEM 高程與現有 5 公尺網格成果比較	123
一、 分析範圍	123
二、 分析方法	124



三、 分析結果 125

第陸章 工作檢討 138

 一、 飛航天候及起降場地克服 138

 二、 控制測量及交通安全性克服 139

第柒章 結論與建議 140

第捌章 參考文獻 149

附 件

- 附件一 歷次會議意見及回覆
- 附件二 歷次飛航申請書
- 附件三 第一期成果內外業驗收
- 附件四 第二期成果 DEM 精度驗收
- 附件五 DEM 精度評估計算成果表
- 附件六 執行實況相片
- 附件七 教育訓練簽到記錄
- 附件八 合約計畫工作項目及內容
- 附件九 兩種內插方式之 DEM 成果比較

圖目錄

圖 1-1	作業區衛星影像圖	2
圖 1-2	作業區域範圍全圖	3
圖 2-1	整體作業流程圖	8
圖 2-2	澎湖縣全區光達掃描作業航線圖	10
圖 2-3	地面 GPS 基站點位分布圖	11
圖 2-4	控制點分布圖	13
圖 2-5	GPS 基站現場照片 1	14
圖 2-6	GPS 基站現場照片 2	15
圖 2-7	平面控制點分布圖	16
圖 2-8	控制點檢測 GPS 網形圖	17
圖 2-9	水準檢測分布圖	18
圖 2-10	水準檢測現場照片	18
圖 3-1	LEICA ALS50 設備圖	24
圖 3-2	LEICA ALS50 率定場及控制點分布圖	26
圖 3-3	率定飛航 pattern 規劃圖	27
圖 3-4	臺中港區率定場坐落位置圖	28
圖 3-5	LEICA ATTUNE 率定參數解算畫面(似空三觀念解算)	28
圖 3-6	97 年 10 月 09 日飛航軌跡及 GPS 解算成果	30
圖 3-7	97 年 12 月 02 日飛航軌跡及 GPS 解算成果	30
圖 3-8	率定參數解算校正值(以 97.10.09 為例)	31
圖 3-9	率定解算後與地面實測控制點比較精度評估	32
圖 3-10	97 年 08 月 25 日航線圖	36
圖 3-11	97 年 08 月 26 日航線圖	36
圖 3-12	97 年 08 月 27 日航線圖	37
圖 3-13	97 年 09 月 08 日航線圖	37
圖 3-14	97 年 10 月 09 日航線圖(僅率定作業)	38
圖 3-15	97 年 10 月 21 日航線圖	38

圖 3-16	97 年 10 月 23 日航線圖	39
圖 3-17	97 年 11 月 28 日航線圖	39
圖 3-18	97 年 11 月 29 日航線圖	40
圖 3-19	97 年 12 月 02 日上午航線圖	40
圖 3-20	97 年 12 月 02 日下午航線圖(含率定作業).....	41
圖 3-21	97 年 08 月 25 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	47
圖 3-22	97 年 08 月 26 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	48
圖 3-23	97 年 08 月 27 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	48
圖 3-24	97 年 09 月 08 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	49
圖 3-25	97 年 10 月 09 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	49
圖 3-26	97 年 10 月 21 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	50
圖 3-27	97 年 10 月 23 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	50
圖 3-28	97 年 11 月 28 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	51
圖 3-29	97 年 11 月 29 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	51
圖 3-30	97 年 12 月 02 日上午飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	52
圖 3-31	97 年 12 月 02 日下午飛航任務 PDOP 值<4 示意圖	52
圖 3-32	97 年 08 月 25 日 GPS 正反算之差異值<20cm	53
圖 3-33	97 年 08 月 26 日 GPS 正反算之差異值<20cm	54
圖 3-34	97 年 08 月 27 日 GPS 正反算之差異值<20cm	54
圖 3-35	97 年 09 月 08 日 PM GPS 正反算之差異值<20cm	55
圖 3-36	97 年 10 月 09 日 GPS 正反算之差異值<20cm	55
圖 3-37	97 年 10 月 21 日 GPS 正反算之差異值<20cm	56
圖 3-38	97 年 10 月 23 日 GPS 正反算之差異值<20cm	56
圖 3-39	97 年 11 月 28 日 GPS 正反算之差異值<20cm	57
圖 3-40	97 年 11 月 29 日 GPS 正反算之差異值<20cm	57
圖 3-41	97 年 12 月 02 日上午 GPS 正反算之差異值<20cm	58
圖 3-42	97 年 12 月 02 日下午 GPS 正反算之差異值<20cm	58
圖 3-43	ALS50 Post Processor 軟體原始點雲產出示意圖	59
圖 3-44	澎湖測區各航線所有點雲涵蓋圖	60

圖 3-45	航帶重疊比例分析量測示意圖	61
圖 4-1	系統偏移量導致航帶重疊處數據不吻合之情形	63
圖 4-2	系統誤差影響案例	64
圖 4-3	資料後處理流程	67
圖 4-4	推求兩航帶內共軌點的相對高程差示意圖	67
圖 4-5	點雲數據品管流程圖	68
圖 4-6	Measure Match 參數設定	69
圖 4-7	選取航帶平差區域之分布	70
圖 4-8	航帶重疊區數據分析情形(航線 10 與 11)	70
圖 4-9	Measure Match 參數設定	72
圖 4-10	航線 10 與 11 求得之修正參數	72
圖 4-11	航線 10 與 11 修正後之平差結果	73
圖 4-12	各交叉航線分布圖	76
圖 4-13	重疊航帶數據平差前後分析比較結果	77
圖 5-1	過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000)	78
圖 5-2	部分樹未濾除的瑕疵(左)山頭、山脊特徵點過度濾除的錯誤 (右)	79
圖 5-3	高度過濾導致地形紋理特徵粗化之示意圖	79
圖 5-4	山頭未過濾出地面之情形	80
圖 5-5	人工檢視編修介面	81
圖 5-6	濾點作業示意圖	81
圖 5-7	澎湖測區 DEM 成果圖	82
圖 5-8	澎湖測區 DSM 成果圖	83
圖 5-9	橢球高化算正高之流程	84
圖 5-10	無地面點資料之圖幅分布	87
圖 5-11	圖號 93203052 之光達掃描及航拍影像情形	88
圖 5-12	93193002 豬母礁之像片基本圖	89
圖 5-13	圖號 93193002 之光達掃描及航拍影像情形	90
圖 5-14	Output Control Report 功能之參數設定	93

圖 5-15	澎湖測區不同土地分類檢核點分布圖.....	94
圖 5-16	澎湖測區裸露地檢核之較差成果(左)與直方圖(右).....	96
圖 5-17	澎湖測區裸露地檢核現場照片.....	96
圖 5-18	澎湖測區矮植被檢核之較差成果(左)與直方圖(右).....	98
圖 5-19	澎湖測區矮植被檢核現場照片.....	98
圖 5-20	澎湖測區植生地檢核之較差成果(左)與直方圖(右).....	100
圖 5-21	澎湖測區植生地檢核現場照片.....	100
圖 5-22	澎湖測區林地檢核之較差成果(左)與直方圖(右).....	102
圖 5-23	澎湖測區林地檢核現場照片.....	102
圖 5-24	澎湖測區都會區檢核之較差成果(左)與直方圖(右).....	104
圖 5-25	澎湖測區都會區檢核現場照片.....	104
圖 5-26	澎湖測區溼地檢核之較差成果(左)與直方圖(右).....	106
圖 5-27	澎湖測區溼地檢核現場照片.....	106
圖 5-28	澎湖測區橫斷面檢核之較差成果(左)與直方圖(右).....	108
圖 5-29	澎湖測區橫斷面檢核現場照片.....	108
圖 5-30	澎湖地區水準點分布圖.....	109
圖 5-31	水準點位坐落情形.....	112
圖 5-32	Output Control Report 之參數設定.....	113
圖 5-33	Output Control Report 之評估成果.....	114
圖 5-34	有植被覆蓋處之點位附近正射影像圖 1.....	119
圖 5-35	有植被覆蓋處之點位附近正射影像圖 2.....	120
圖 5-36	高低位有落差處之點位附近正射影像圖 1.....	121
圖 5-37	高低位有落差處之點位附近正射影像圖 2.....	122
圖 5-38	澎湖馬公地區抽選比較之圖幅分布(藍色區域).....	123
圖 5-39	澎湖離島地區抽選比較之圖幅分布(藍色區域).....	124
圖 5-40	本案 DEM 與 5 公尺 DEM 比較計算情形.....	124
圖 5-41	圖號 93204095 比較成果.....	126
圖 5-42	圖號 93203061 比較成果.....	127
圖 5-43	圖號 93203074 比較成果.....	128

圖 5-44	圖號 93203078 比較成果	129
圖 5-45	圖號 92191060 比較成果	130
圖 5-46	圖號 92191074 比較成果	131
圖 5-47	圖號 93194091 比較成果	132
圖 5-48	圖號 93194097 比較成果	133
圖 5-49	圖號 92192017 比較成果	134
圖 5-50	澎湖馬公地區高程較差分布情形	135
圖 5-51	望安地區高程較差分布情形	135
圖 5-52	貓嶼地區高程較差分布情形	136
圖 5-53	七美地區高程較差分布情形	136
圖 5-54	西嶼坪地區高程較差分布情形	137
圖 5-55	東吉嶼地區高程較差分布情形	137
圖 7-1	不同土地類別 DEM 精度檢核之均方根誤差量分布情形 ..	141
圖 7-2	貓嶼地區正負值最大高程差處之剖面圖	143
圖 7-3	馬公地區最大高程差處之剖面圖	144
圖 7-4	望安地區最大高程差處之剖面圖	145
圖 7-5	七美地區最大高程差處之剖面圖	146
圖 7-6	西嶼坪地區最大高程差處之剖面圖	147
圖 7-7	東吉嶼地區最大高程差處之剖面圖	148

表目錄

表 1-1	作業區 1/5000 圖幅號及數量統計表.....	4
表 1-2	各階段工作成果交付辦理情形說明.....	5
表 2-1	各架次飛航作業表.....	9
表 2-2	掃描參數設定.....	12
表 2-3	GPS 已知點檢測觀測記錄表.....	15
表 2-4	97 年 10 月 20 日 GPS 後處理解算各基線向量誤差分析表	19
表 2-5	97 年 10 月 22 日 GPS 後處理解算各基線向量誤差分析表	20
表 2-6	最小約制控制點坐標成果比較表.....	21
表 2-7	最小約制已知點精度檢核表.....	22
表 2-8	強制附合平差後新設 GPS 基站坐標值.....	22
表 2-9	水準檢測計算表.....	23
表 2-10	水準檢測成果精度表.....	23
表 3-1	ALS50 性能表.....	25
表 3-2	Boresight Calibration 飛航參數表.....	27
表 3-3	率定場 GPS 基站觀測時段表.....	29
表 3-4	飛航任務前之器材清點表.....	33
表 3-5	標準裝機檢查表.....	34
表 3-6	各飛航架次作業時間及地點.....	35
表 3-7	澎湖測區各航線掃描參數.....	41
表 3-8	各航帶間重疊比例分析表.....	61
表 3-9	各航帶點雲密度分析表.....	62
表 4-1	各航帶重疊區數據之分析結果.....	71
表 4-2	各航帶平差分析結果-1.....	73
表 4-3	各航帶平差分析結果-2.....	74
表 4-4	各航帶平差分析結果-3.....	75
表 4-5	交叉航帶平差分析結果.....	77

表 5-1	澎湖測區分類過濾後 1/5,000 圖幅點雲分類表.....	86
表 5-2	地形類別及其調整參數對照表.....	91
表 5-3	地表植被覆蓋類別及其調整參數對照表.....	91
表 5-4	不同土地覆蓋分區之編碼.....	93
表 5-5	澎湖測區土地分類檢核點數量及圖例參照表.....	94
表 5-6	裸露地之檢核成果統計表.....	95
表 5-7	矮植被之檢核成果統計表.....	97
表 5-8	植生地之檢核成果統計表.....	99
表 5-9	林地之檢核成果統計表.....	101
表 5-10	都會區之檢核成果統計表.....	103
表 5-11	溼地之檢核成果統計表.....	105
表 5-12	橫斷面之檢核成果統計表.....	107
表 5-13	馬公地區之大地起伏值比較結果.....	110
表 5-14	望安與七美地區之大地起伏值比較結果.....	112
表 5-15	各已知水準點位高程與修正前 DEM 高程比較表.....	114
表 5-16	修正後之 DEM 正高成果之比較成果表.....	116
表 5-17	修正後之 DEM 正高成果比較高差大於 30 公分之點位..	118
表 6-1	澎湖測區掃描作業時間統計表.....	138
表 7-1	兩年度之 DEM 精度評估之成果比較.....	142
表 7-2	各區域高程較差成果統計表.....	143

第壹章 前言

第一節 計畫概述

數值地形模型(Digital Terrain Model)簡稱 DTM，是以網格方式將真實地面高度加以呈現，網格上每個點皆對應同一個地理坐標系統，在本計畫通常為 WGS84 或 TWD97 坐標系統；網格大小可視實際需要製作，惟網格越細、越能顯現實際的地表現況。早期國內完整的數值地形模型網格間距為 40 公尺，架構於 TWD67 坐標系統；由於製作年代已久，其精確度及可信度已漸漸無法滿足各界之需求。內政部為避免各需求單位重複投入人力、物力、時間測製所需局部區域內的 DTM，於民國 91 年擬定「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」，經行政院 91 年 10 月 23 日院臺內字第 0910050634 號函核定，由內政部統籌資源測製全臺灣高精度及高解析度之 DTM，提供國家整體建設規劃及各單位使用。內政部爰於民國 93 年引進空載光達(LIDAR)技術開始「辦理 LIDAR 測區之高精度及高解析度數值地形測繪、資料庫建置與應用推廣工作」，並成功掃描建置計 880 幅基本圖範圍之 1 公尺解析度的 DTM 資料庫。

本計畫乃延續 93 年度及 95~96 年度相類型科專計畫，以空載光達技術測繪澎湖縣全縣約計 100 幅 1/5000 圖幅 1 公尺解析度高精度數值地形模型，並藉由本計畫之執行，逐步建立全省高精度及高解析度數值地形模型基本資料庫，做為全國各界土地利用、河川整治、水土保持、海岸地形、集水區、山坡地監測，防救災、正射影像糾正、都市規劃、生態旅遊、礦業及林業等方面數值化、資訊化、自動化應用之標準基礎資料來源，以加強國家基礎建設工程作業品質及節省各機關重複建置經費、人力及時間成本，並進一步促進國內相關產業之升級、提升國家競爭力。

第二節 計畫目標

本計畫之目標為參考內政部研訂之「LIDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」及服務建議徵求書所訂規範，利用空載雷射掃描技術建立澎湖縣全縣(如圖 1-1)共 100 幅 1/5000 圖幅範圍之高精度、高解析度數值地形模型資料庫(1 公尺×1 公尺)。

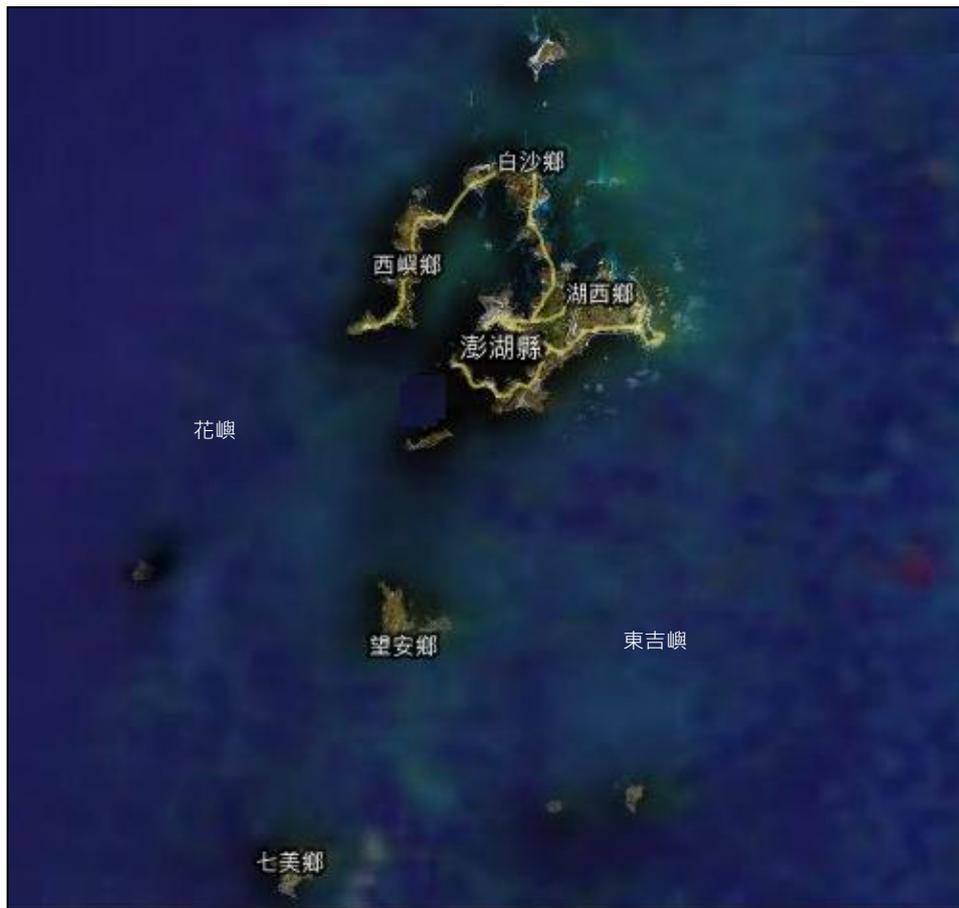


圖 1-1 作業區衛星影像圖

第三節 計畫範圍

計畫範圍為涵蓋澎湖縣全縣地區，以現行 1/5000 像片基本圖分幅為依據，圖幅涵蓋範圍計約 100 幅，面積約 127 平方公里(包含由澎湖地政事務所於 97 年 3 月所登記之中央嶼等 65 座島嶼，面積約 50 平方公里)，辦理範圍圖幅如圖 1-2 及圖號如表 1-1 所示。

表 1-1 作業區 1/5000 圖幅號及數量統計表

縣市	1/5000 圖幅號			數量(幅)
澎湖縣	9320-IV-095	9320-IV-094	9320-IV-085	100
	9320-IV-084	9320-III-095	9320-III-094	
	9320-III-093	9320-III-092	9320-III-091	
	9320-III-089	9320-III-087	9320-III-086	
	9320-III-085	9320-III-084	9320-III-083	
	9320-III-082	9320-III-081	9320-III-079	
	9320-III-078	9320-III-077	9320-III-076	
	9320-III-075	9320-III-074	9320-III-073	
	9320-III-072	9320-III-071	9320-III-067	
	9320-III-066	9320-III-065	9320-III-064	
	9320-III-063	9320-III-062	9320-III-061	
	9320-III-058	9320-III-057	9320-III-056	
	9320-III-055	9320-III-054	9320-III-053	
	9320-III-052	9320-III-051	9320-III-048	
	9320-III-046	9320-III-045	9320-III-044	
	9320-III-043	9320-III-042	9320-III-041	
	9320-III-037	9320-III-036	9320-III-035	
	9320-III-034	9320-III-033	9320-III-032	
	9320-III-031	9320-III-027	9320-III-026	
	9320-III-025	9320-III-024	9320-III-023	
	9320-III-022	9320-III-015	9320-III-014	
	9320-III-013	9320-III-012	9320-III-005	
	9320-III-004	9319-IV-097	9319-IV-096	
	9319-IV-095	9319-IV-091	9319-IV-052	
	9319-IV-051	9319-IV-042	9319-IV-041	
	9319-IV-002	9319-IV-001	9319-III-007	
	9319-III-005	9319-III-002	9319-III-001	
	9220-II-080	9220-II-079	9220-II-070	
	9220-II-069	9220-II-060	9220-II-050	
	9219-II-027	9219-II-018	9219-II-017	
	9219-I-100	9219-I-090	9219-I-074	
	9219-I-069	9219-I-063	9219-I-060	
	9219-I-059	9219-I-050	9219-I-043	
9219-I-033				

97 年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

第四節 計畫期程及交付成果

本案於97年8月12日決標日次日起360個日曆天內需辦理完成各項工作內容如表1-2所示；因飛航申請延遲及飛航掃描成果機密核示於98年3月11日暫停各項作業，至98年11月26日起辦理復工，於各階段需完成之工作及成果交付情形如下表1-2。

表 1-2 各階段工作成果交付辦理情形說明

期別	繳交成果	成果繳交日期	辦理情形
第一期	(一)地面控制測量原始觀測資料1份。	於97年8月12日決標日次日起210個日曆天內(即98年03月10日前)繳交	1.於97年12月03日(97亞國字第0081號)及12月12日(97亞國字第0081號)繳交第一期成果資料與成果報告書。 2.第一期成果內業光達資料查核驗收已於98年01月14日驗收合格，詳如附件三。 3.第一期成果外業控制驗收已於98年01月19~20日驗收合格，詳如附件三。
	(二)空載光達原始資料及相關資料電子檔1份。		
	(三)原始光達率定資料1份。	掃描時間隔週提送	依掃描時間隔週提送。

期別	繳交成果	成果繳交日期	辦理情形
第二期	<p>(一)期中報告 20 份及電子檔 1 份，內容至少應含：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.飛航計畫。 2.空載光達系統率定報告。 3.平面及高程地面控制點分布圖及說明、平差後成果、檢測成果精度報告。 4.掃描成果分析。 5.交叉飛航資料(Cross Flight)誤差分析報告。 6.應用航帶重疊資料進行誤差分析報告。 7.航帶平差及資料整合成果。 8.分類後地面測點與非地面測點數據統計分析。 9.DEM 與 DSM 各項精度評估。 <p>(二)分類後地面測點與非地面測點數據。</p> <p>(三)不規則離散測點純文字檔：資料欄位包括 x,y,z 三維坐標(WGS84 坐標系統)、測點雷射反應值(intensity)。具多重回波數據之雷射掃描需包含 2 個回波測點資料(第 1 及最後回波)。</p> <p>(四)數值覆蓋面模型(DSM)、數值高程模型(DEM)成果(均含橢球高及正高、電子檔及詮釋資料檔)。</p>	<p>於決標次日起 270 個日曆天內(扣除停工天數)為 99 年 01 月 24 日前繳交。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.於 99 年 01 月 06 日(亞國字第 0990002 號)繳交第二期成果資料與期中成果報告書。 2.第二期成果(DEM 成果)驗收已於 99 年 01 月 27 日至 29 日辦理驗收合格，詳如附件四。 3.期中報告書已於 99 年 2 月 24 日審查合格；期中修正報告書於 99 年 3 月 12 日交付，發文字號為亞國字第 0990039 號。

97 年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

期別	繳交成果	成果 繳交日期	辦理情形
第三期	<p>(一)工作總報告書初稿 20 份及電子檔 1 份。</p> <p>(二)數值覆蓋面模型(DSM)、數值高程模型(DEM)成果(依期中報告審查意見修正後之最終成果，均含橢球高及正高、詮釋資料檔)各 2 份。(應燒錄於光碟片或硬碟中)。</p> <p>(三)教育訓練教材電子檔 1 份。</p> <p>(四)LIDAR 資料處理軟體 2 套。需具備下列功能：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.可在 Window XP/2000 下執行。 2.可過濾空載光達掃描資料，並自動化分類原始光達點雲，以萃取地面點及非地面點。 3.可適應各種地形形式及覆蓋的內插技術。 4.可利用點雲金字塔作分級處理。 5.可去除 DTM 資料粗差。 <p>(五)工作總報告書(定稿)5 份及電子檔 1 份(應於 貴中心審查初稿合格後 30 日曆天內繳交)。內容需包含：1.前言；2.作業流程及各項工作之執行成果；3.DSM 及 DEM 之精度評估；4.DEM 與現有成果(指內政部或貴中心於作業區已完成之 DEM 或 DSM 成果)之比較；5.檢討與建議；6.參考文獻；7.歷次會議意見及回覆；8.執行實況相片等。</p>	<p>於決標次日起 360 個日曆天內(扣除停工天數)為 99 年 04 月 24 日前繳交。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.於 99 年 04 月 23 日(亞國字第 0990060 號)繳交 20 份工作總報告書初稿及(一)、(二)、(三)及(四)等項之資料、電子檔及軟體。 2.教育訓練於 99 年 03 月 29 日辦理完成，其教育訓練簽到記錄詳見附件七。 3.於 99 年 07 月 01 日(亞國字第 0990113 號)繳交 5 份工作總報告書(定稿)及電子檔 1 份。

第貳章 飛航計畫

第一節 規劃作業流程

本計畫擬定之整體作業流程(如圖 2-1)為修改自「LIDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」之標準作業流程，主要可分為五個階段，分別為飛航規劃、資料獲取、光達點雲產製、點雲分類與編修及成果繳交。其中新增部份為增加 Torsion 項目(光達點雲產製之軸角率定資料項目)及增加光達掃描時同步進行正射影像的拍攝(點雲分類與編修之輔助資料項目)，以利人工點雲過濾之判釋作業。



圖 2-1 整體作業流程圖

第二節 飛航申請

根據本計畫作業需求及以往的航拍作業經驗顯示，作業區的地形變化及天候狀況為影響作業成本與飛航品質關鍵的因素；於澎湖地區海岸需進行低潮位(根據中央氣象局澎湖潮位站預測資料)掃描作業，因此可作業時間更受局限。

本計畫為符合國土測繪法第五十五條及「航空攝影與遙感探測管理實施規則」相關規定，分別向民航局主管單位及內政部提出航攝計畫書申請許可。各架次飛航任務如表 2-1 所示，其歷次飛航到離站申請書如附件二。

表 2-1 各架次飛航作業表

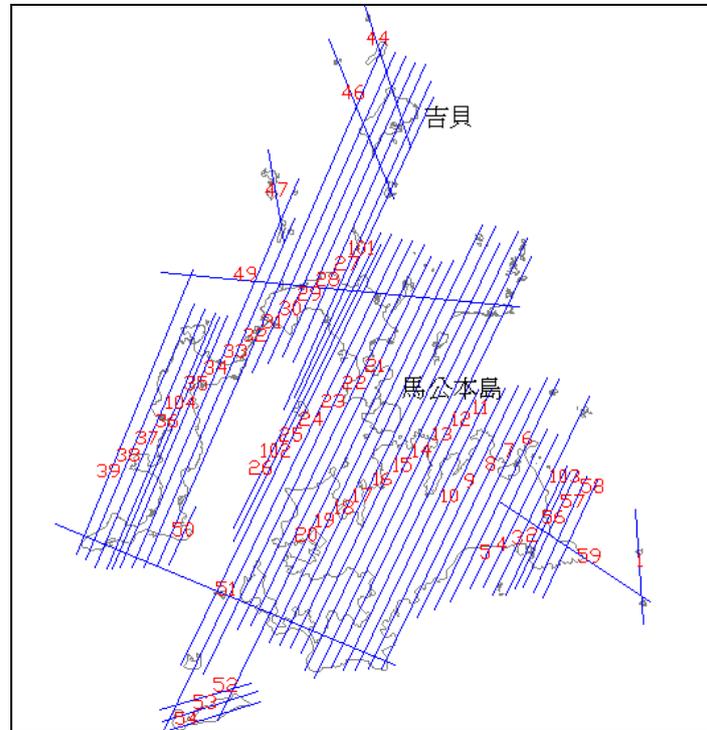
日期	飛航線數	作業地點	飛航時間	起	降
97.08.25	10	馬公、吉貝	10:26~13:33	台中	馬公
97.08.26	15	馬公、吉貝	11:21~15:17	馬公	馬公
97.08.27	28	花嶼、東吉嶼、望安、七美	11:57~16:00	馬公	馬公
97.09.08	22	望安、七美	10:17~14:09	馬公	馬公
97.10.09	8	臺中港率定場	06:57~10:49	松山	台中
97.10.21	4	馬公	07:12~09:12	台中	馬公
97.10.23	23	花嶼、東吉嶼、望安、七美	10:10~14:20	馬公	馬公
97.11.28	2	七美	07:00~10:00	馬公	馬公
97.11.29	7	馬公	14:50~16:46	馬公	馬公
97.12.02 上午	23	馬公	06:52~11:18	馬公	馬公
97.12.02 下午	9	馬公及臺中港率定場	12:44~16:04	馬公	台中

第三節 航線規劃

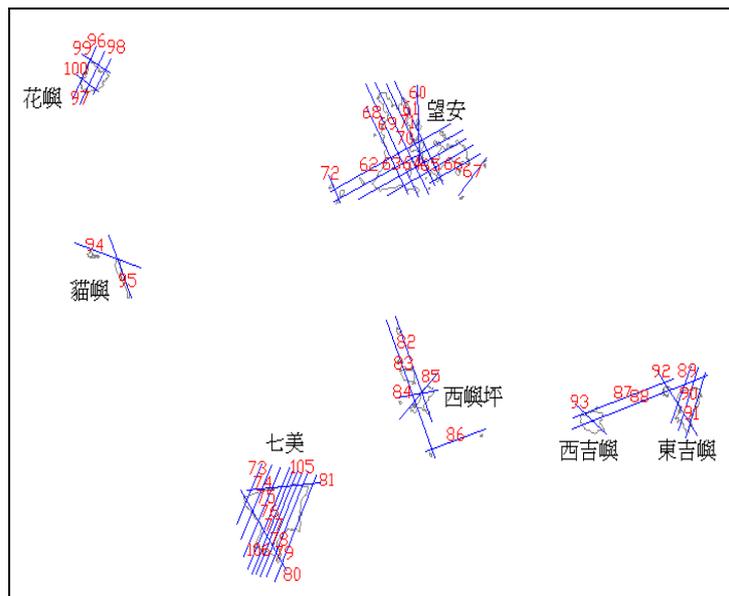
一、航線設計

本案採用之光達儀器設備為 LEICA ALS50 系統，於飛航規劃皆使用 BN-2-1B 定翼機進行飛航任務，共計有航線 99 條(航線編號依序為 1~39、44、46~47、49~54 及 56~106)，其中交叉航線(Cross Line)為 14 條，如圖 2-2 所示；並於測區內規劃 7 個地面 GPS 基站(三個三等點 X057、X020、X048 及四個新設點 AGG4、

AGG5、AGG6、AGG7)，並輔以 CIME，WIAN，HUSI，JIBE 等四個 e-GPS 基站(如圖 2-3)，每次飛行首尾航線採用至少兩個地面 GPS 基站進行動態解算。



(a) 馬公(馬公、吉貝、桶盤嶼、虎井嶼)



(b) 離島(花嶼、貓嶼、東吉嶼、望安、七美)

圖 2-2 澎湖縣全區光達掃描作業航線圖

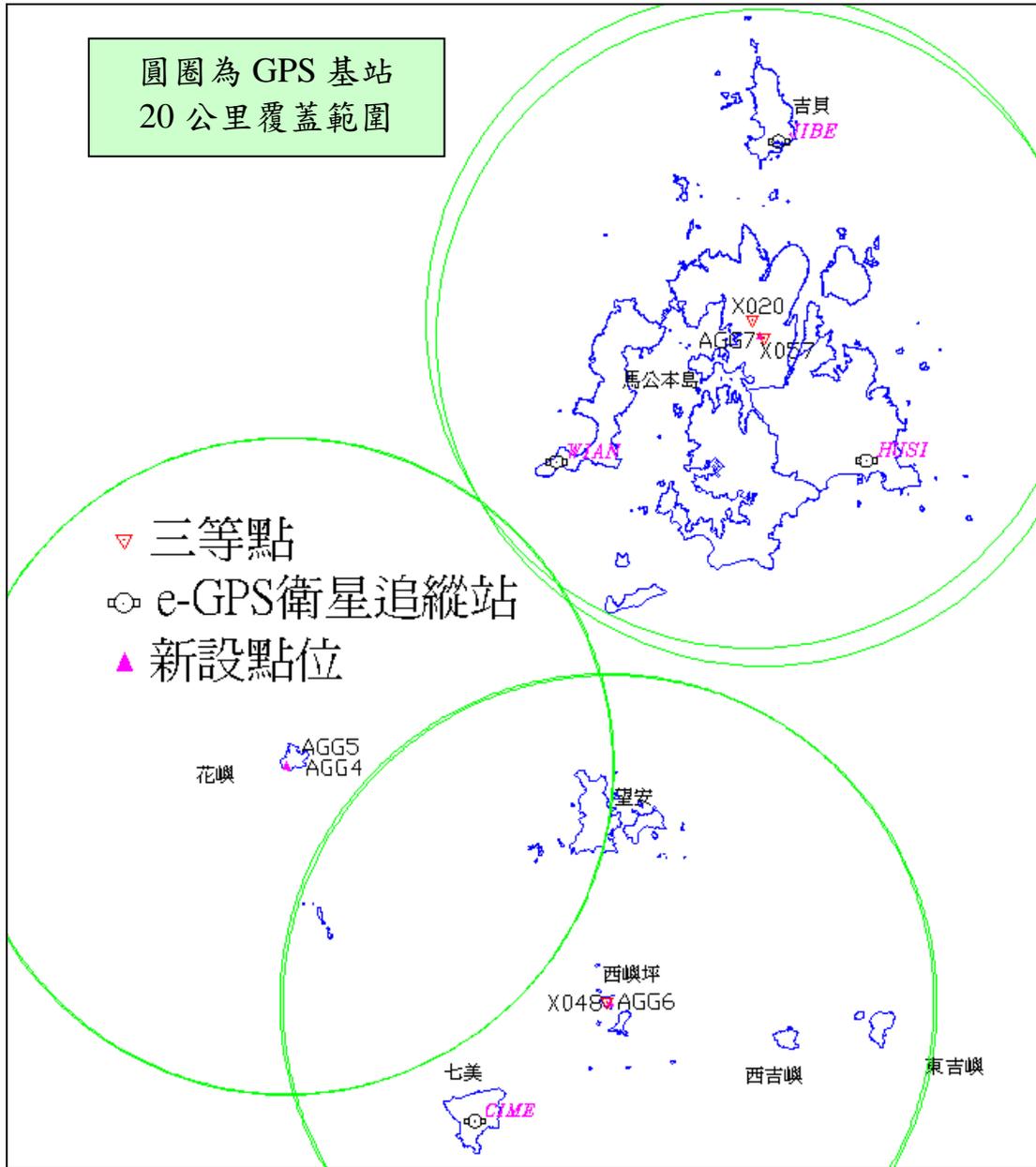


圖 2-3 地面 GPS 基站點位分布圖

二、掃描參數規劃

為符合各航線原始測點之第一回波或最後回波平均密度應高於每平方公尺一點及航帶左右至少需 40% 重疊的規定，本次飛航規劃之飛航高度大部份採用 1350 公尺，FOV 40 度，部份為 1100 公尺，FOV 50 度，少部份外島地區因為天候雲層過低，則採高開口角及低飛行高度(650 公尺)方式完成掃描作業。

雷射脈衝率的設定與反射強度大小有關，其雷射脈衝率的設

定約為 63KHz~83KHZ；而航速、掃描頻率、掃描角度與點雲的分布及密度有較大的關係，為達每平方公尺一個點的要求，並且使點雲平均分布，以 ALS50 MISSION PLANNING 軟體規劃參數如表 2-2，由表中顯示在此三種不同飛航參數作業下，陸域部分平均每平方公尺就會有 1.2 個以上雷射點位；部分外島平均每平方公尺就會有 1.64 個雷射點位，故以此三組參數進行飛航作業可獲得較經濟且符合要求的結果。

表 2-2 掃描參數設定

<u>掃描機設定(Scanner Setup)</u>		馬公		離島
掃描視角 Scan FOV full angle	degrees	40	50	75
最低點平均海水面高度 Terrain Elevation AMSL (minimum in survey area)	meters	0	0	0
最高點平均海水面高度 Terrain Elevation AMSL (maximum in survey area)	meters	70	70	70
與最低地面之離地航高 Nominal Flying Altitude AMSL	meters	1350	1100	650
計畫飛航高度 Nominal Flying height	meters	1350	1100	650
航速 Airspeed	knots	100	100	100
雷射脈衝頻率 Laser pulse rate	Hz	63700	71200	83200
掃描頻率 Laser scan rate	Hz	25	24	24
<u>掃描成果產出(Resulting Scan Pattern)</u>				
最大航帶寬度 Total Swath Width (nominal, at lowest terrain elev'n)	meters	982	1026	997
垂直於飛航方向在視中心的最大掃描間距 Max Cross Track Spacing (occurs @ nadir)	meters	1.23	1.10	0.85
沿飛航方向在掃描線(Z字形)最外圍處之間的最大掃描間距 Max Along Track Spacing (occurs @ FOV edge)	meters	2.06	2.36	2.14
雷射光束直徑大小 Illuminated Footprint Diameter (@ 1.e^2 energy)	meters	0.48	0.4	0.25
平均點雲密度 Point Density (average)	pts/meter^2	1.26	1.21	1.64
平均地面點間距 Area / Point (average)	meters	0.80	0.83	0.61

第四節 地面控制規劃

一、地面 GPS 基站規劃

在 GPS 基站規劃中，於馬公地區規劃三點分別為 X020、X057 及 AGG7，離島地區-花嶼規劃 AGG4 及 AGG5 及西嶼坪為 X048 及 AGG6 等共 7 個點(圖 2-4)，其中 AGG4、AGG5、AGG6 及 AGG7 為本公司新設點位，各基站現場照片如圖 2-5 與圖 2-6 所示。每次飛行時，於掃描區域 20 公里範圍內，至少採用 2 個以上之地面 GPS 基站，以利進行 LIDAR 資料之解算。

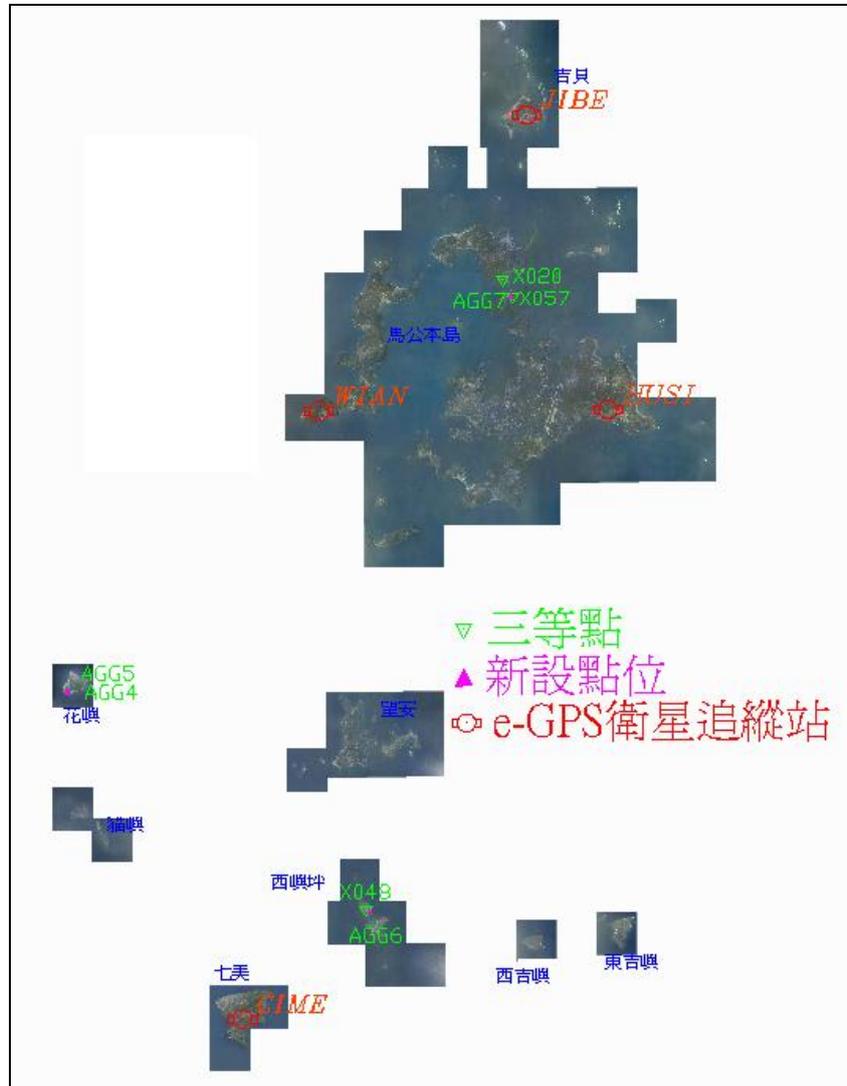


圖 2-4 控制點分布圖



圖 2-5 GPS 基站現場照片 1



圖 2-6 GPS 基站現場照片 2

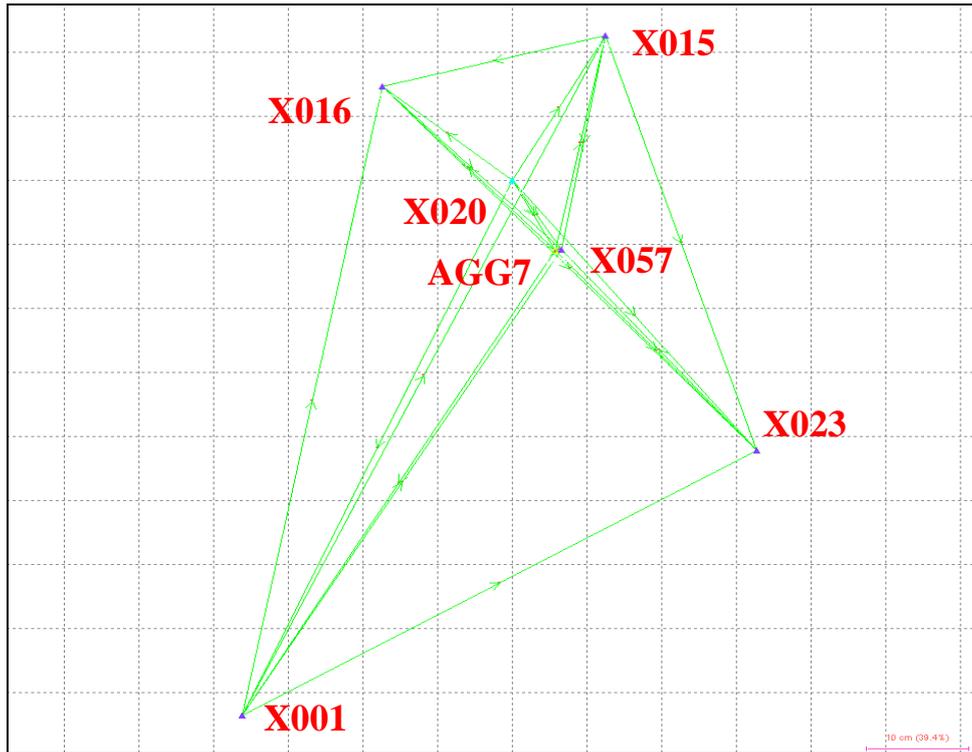
二、已知點檢測及基站控制測量

(一)平面控制

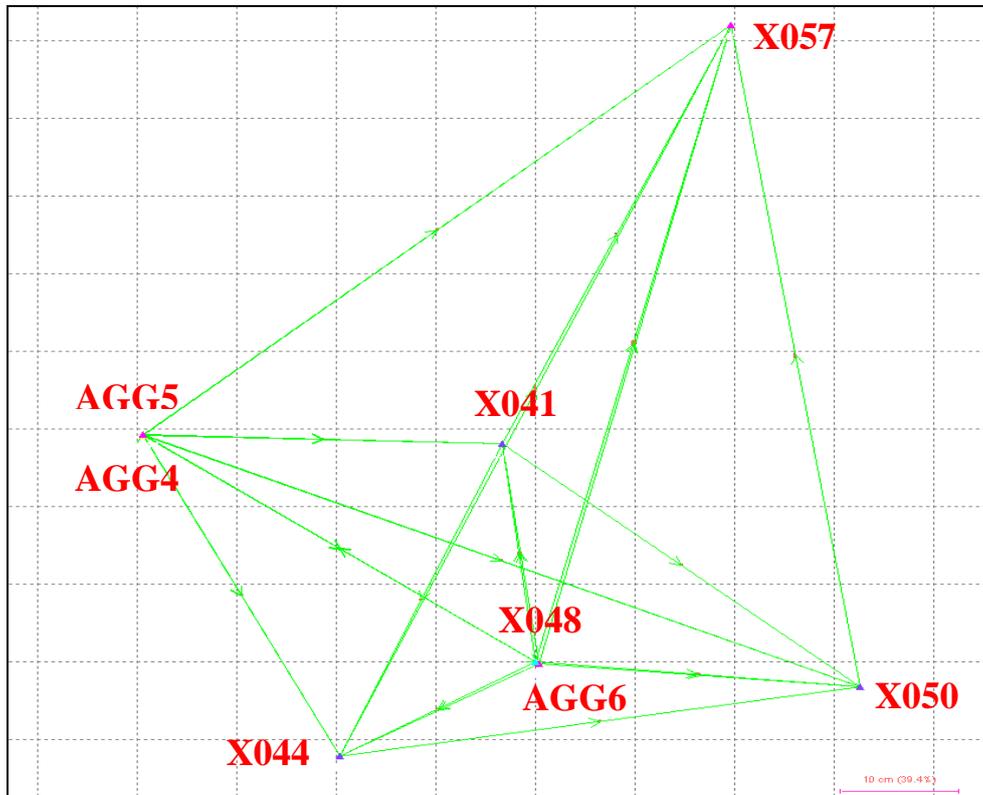
97 年 10 月 20 日於澎湖馬公進行 GPS 已知點檢測作業，規劃 X001、X015、X016、X020 及 X023 等五點三等控制點為已知點，解算本公司新設之點位 AGG7；另於 97 年 10 月 22 日，規劃 X041、X044、X048、X050 及 X057 等五點三等控制點為已知點，解算本公司新設之點位 AGG4、AGG5 及 AGG6，各觀測時段相關資料如表 2-3 及點位分布情形如圖 2-7，其檢測網形如圖 2-8。

表 2-3 GPS 已知點檢測觀測記錄表

日期	點號	天線高 (m)	觀測人員	儀器型號	觀測開始	觀測結束
97.10.20	X016	1.131	余紹華	ASHTECH(1)	01:27:31	03:30:30
97.10.20	X001	0.780	張仁風	ASHTECH(2)	01:30:01	03:51:35
97.10.20	X023	0.563	王昭棟	TOPCON GR-3(A)	01:25:38	03:34:08
97.10.20	X057	0.745	楊福誠	TRIMBLE 5700(322131)圓天線	00:31:56	03:46:51
97.10.20	AGG7	1.237	蔡宗憲	TRIMBLE 5700(358872)圓天線	00:50:12	03:41:13
97.10.20	X015	1.212	陳文欽	TRIMBLE 5700(289119)方天線	01:10:25	03:37:45
97.10.20	X020	1.235	陳豪年	TOPCON GR-3(B)	01:24:38	03:29:54



(a) 97 年 10 月 20 日馬公地區(固定 X020)



(b) 97 年 10 月 22 日離島地區(固定 X048)

圖 2-8 控制點檢測 GPS 網形圖

(二) 高程控制

高程控制點部分，選用 BS04->AGG7->X057->X020->BS06 路線進行水準檢測，其控制點分布及現場施測照片如圖 2-9 與圖 2-10。

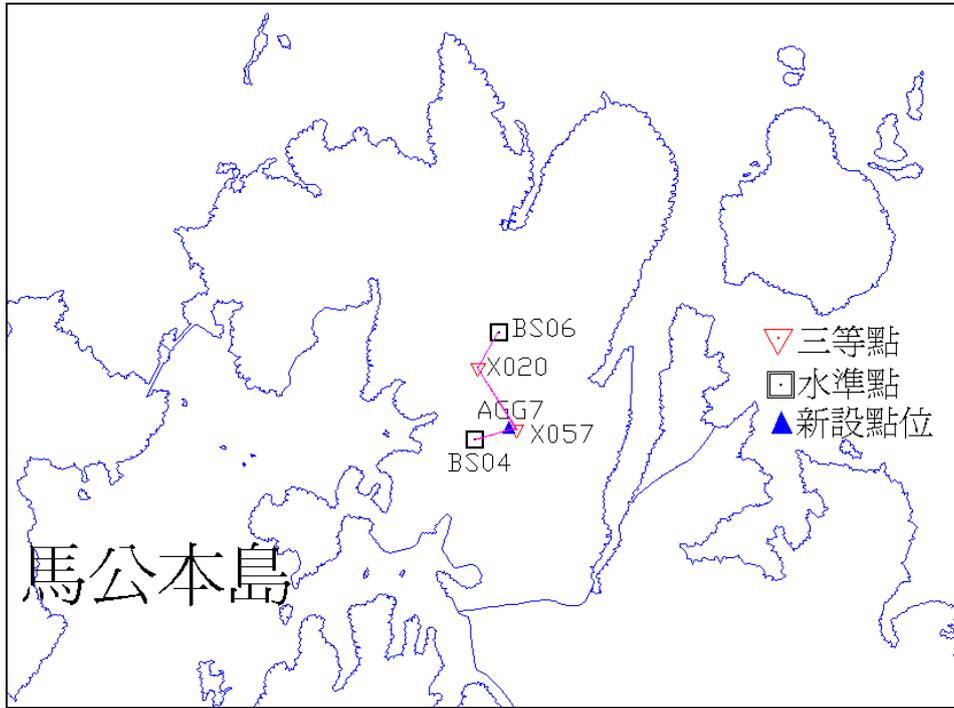


圖 2-9 水準檢測分布圖



圖 2-10 水準檢測現場照片

表 2-5 97 年 10 月 22 日 GPS 後處理解算各基線向量誤差分析表

SESSION NAME	-- RE --	-- RN --	-- RH --	- PPM -	DIST - STD -	
	(m)	(m)	(m)		(km)	(m)
AGG4 to AGG5 (1)	-0.0002	0.0011	-0.0005	\$ 20.392	0.1	0.0003
AGG4 to AGG6 (1)	-0.0033	-0.0011	-0.0035	\$ 0.204	24.5	0.0009
AGG4 to X041 (1)	0.0103	-0.0096	0.0007	\$ 0.785	17.9	0.0013
AGG4 to X044 (1)	0.0001	-0.0027	-0.0027	\$ 0.167	22.6	0.0011
AGG4 to X050 (1)	-0.0101	0.0073	-0.0061	\$ 0.355	39.1	0.0011
AGG4 to X057 (1)	0.0047	0.0009	0.0135	\$ 0.365	39.2	0.0016
AGG5 to AGG6 (1)	-0.0060	0.0013	-0.0067	\$ 0.371	24.5	0.0009
AGG5 to X041 (1)	0.0102	-0.0030	0.0112	\$ 0.865	17.9	0.0008
AGG5 to X044 (1)	0.0002	0.0029	0.0007	0.131	22.7	0.0011
AGG5 to X050 (1)	-0.0112	0.0087	-0.0083	\$ 0.420	39.1	0.0012
AGG5 to X057 (1)	-0.0011	0.0021	0.0023	0.084	39.1	0.0012
AGG6 to X041 (1)	0.0018	0.0019	0.0050	0.398	14.1	0.0036
AGG6 to X044 (1)	0.0112	0.0005	-0.0058	\$ 1.094	11.5	0.0016
AGG6 to X050 (1)	0.0020	0.0005	-0.0298	\$ 1.857	16.1	0.0012
AGG6 to X057 (1)	-0.0587	0.0100	-0.0336	\$ 1.640	41.7	0.0045
X041 to X044 (1)	-0.0102	0.0047	-0.0116	\$ 0.750	21.5	0.0010
X041 to X050 (1)	0.0359	-0.0262	0.0472	\$ 2.750	23.6	0.0009
X041 to X057 (1)	0.0012	0.0028	0.0001	0.107	28.9	0.0014
X044 to X050 (1)	-0.0080	0.0077	-0.0085	\$ 0.532	26.3	0.0011
X044 to X057 (1)	-0.0311	0.0061	-0.0082	\$ 0.649	50.4	0.0059
X048 to AGG4 (1)	-0.0037	-0.0007	-0.0027	\$ 0.191	24.2	0.0009
X048 to AGG5 (1)	0.0001	-0.0020	0.0034	\$ 0.162	24.3	0.0009
X048 to AGG6 (1)	0.0008	0.0007	-0.0017	\$ 9.841	0.2	0.0003
X048 to X041 (1)	0.0084	-0.0054	0.0117	\$ 1.102	14.0	0.0007
X048 to X044 (1)	0.0002	-0.0002	0.0051	\$ 0.447	11.4	0.0009
X048 to X050 (1)	-0.0107	0.0054	-0.0060	\$ 0.824	16.3	0.0007
X048 to X057 (1)	-0.0233	-0.0007	-0.0127	\$ 0.639	41.6	0.0042
X050 to X057 (1)	-0.0373	0.0074	-0.0089	\$ 0.919	42.5	0.0045
RMS	0.0176	0.0068	0.0140			

表 2-6 最小約制控制點坐標成果比較表

點位	公告坐標		平差後坐標		差值	
	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)
97 年 10 月 20 日						
X001	307355.267	2607338.692	307355.279	2607338.699	-0.012	-0.007
X015	312176.938	2617922.032	312176.934	2617922.029	0.004	0.003
X016	309200.207	2617114.357	309200.215	2617114.360	-0.008	-0.003
X020 (固定)	310938.198	2615663.872	310938.198	2615663.872	0.000	0.000
X023	314233.055	2611478.556	314233.053	2611478.555	0.002	0.001
X057	311601.495	2614592.081	311601.501	2614592.083	-0.006	-0.002
97 年 10 月 22 日						
X041	300346.422	2587978.005	300346.434	2587977.988	-0.012	0.017
X044	292319.038	2568075.095	292319.050	2568075.080	-0.012	0.015
X048 (固定)	302017.557	2574121.785	302017.557	2574121.785	0.000	0.000
X050	318217.446	2572593.846	318217.458	2572593.841	-0.012	0.005
X057	311601.495	2614592.081	311601.528	2614592.073	-0.033	0.008

97 年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

表 2-7 最小約制已知點精度檢核表

基線名稱	實測基線長(m)	坐標反算基線長(m)	長度較差(m)	規範標準(m)	合格
X001-->X015	11629.928	11629.944	-0.016	±0.100	☑
X001-->X016	9948.233	9948.238	-0.004	±0.090	☑
X001-->X020	9063.433	9063.444	-0.011	±0.084	☑
X001-->X023	8027.589	8027.605	-0.016	±0.078	☑
X001-->X057	8404.879	8404.886	-0.007	±0.080	☑
X015-->X016	3084.345	3084.358	-0.013	±0.049	☑
X015-->X020	2575.605	2575.609	-0.004	±0.045	☑
X015-->X023	6763.578	6763.579	-0.001	±0.071	☑
X015-->X057	3379.299	3379.306	-0.007	±0.050	☑
X016-->X020	2263.736	2263.740	-0.004	±0.044	☑
X016-->X023	7555.909	7555.912	-0.003	±0.075	☑
X016-->X057	3482.536	3482.536	0.000	±0.051	☑
X020-->X023	5326.626	5326.627	0.000	±0.062	☑
X020-->X057	1260.437	1260.436	0.001	±0.038	☑
X023-->X057	4076.656	4076.659	-0.003	±0.054	☑
X041-->X044	21460.769	21460.772	-0.002	±0.159	☑
X041-->X048	13956.612	13956.630	-0.018	±0.114	☑
X041-->X050	23580.617	23580.624	-0.008	±0.171	☑
X041-->X057	28896.136	28896.119	0.016	±0.203	☑
X044-->X048	11429.072	11429.074	-0.002	±0.099	☑
X044-->X050	26289.670	26289.668	0.002	±0.188	☑
X044-->X057	50355.184	50355.170	0.014	±0.332	☑
X048-->X050	16271.798	16271.785	0.013	±0.128	☑
X048-->X057	41589.622	41589.623	0.000	±0.280	☑
X050-->X057	42516.138	42516.145	-0.006	±0.285	☑

表 2-8 強制附合平差後新設 GPS 基站坐標值

點號	平差後坐標		
	E(m)	N(m)	h(m)
AGG4	282439.521	2588426.654	20.5614
AGG5	282462.991	2588481.160	20.5214
AGG6	302178.493	2573994.638	22.7412
AGG7	311525.142	2614573.750	22.6729

2、高程控制平差成果精度分析

採用 Trimble DINI 電子水平儀完成 BS04->AGG7->

第參章 資料獲取

第一節 光達系統率定

雷射掃描器坐標系與飛機載體坐標系之間，常因安置拆卸或長時間使用的影響，造成之間不同軸之偏差量。因此，在作業過程或每次經過儀器拆裝後皆應適時進行儀器系統率定，以修正各角度偏差量，方可得到正確雷射掃描成果。本計畫於測區作業期間同步進行率定作業，以下為 LEICA ALS50 之系統率定說明。

一、採用設備及性能概述

本案採用之 LIDAR 設備為亞新國土科技公司於 2004 年 10 月引進德國 LEICA 公司最新的空載雷射掃描系統 ALS50(諸元如表 3-1)，本系統整合雙頻衛星定位、慣性導航儀、雷射掃描儀及機上電腦系統、4kx5k 彩色數位量測相機(Rollei AIC)等五部份(如圖 3-1)，以即時同步獲取大量的地形高程點空間資料及 RGB 可見光影像。系統除了有高脈衝率(83khz)、高掃描角度(75 度)、飛行滾轉角度自動補償(Automatic adaptive roll compensation)及最大離地飛行高度(AGL 4000m)等特色外，亦融合精心設計的機載平台及率定程序，以提昇設備整體耐用性、操作方便性及掃描精度。



圖 3-1 LEICA ALS50 設備圖

表 3-1 ALS50 性能表

項目	數據/工作方式
掃描型式	Oscillating, Mirror, Z-shaped
雷射脈衝率	83khz
雷射波長	1064nm
掃描頻率	70Hz
最大掃描角度(FOV)	75 度
操作高度(AGL)	200m~4000m
飛行滾轉角度補償	自動
回波次數	4
GPS/IMU	Novatel(2Hz)/Applanix POS AV 510(200Hz)
ROLLEI AIC 數位相機	4080x5440 pixels, 9µm/pixel 50mm metric lens
掃描儀尺寸/重量	37W*56L*24Hcm/30kg
控制電腦尺寸/重量	48W*52L*64Hcm/64kg
最大工作電力需求	28V/35Amps
設備擁有者	AG&G 亞新國土科技(股)公司

二、率定方式說明

系統之率定校正分為出廠前之 Scanner Correction 及安裝拆卸後首次飛航之 Boresight Calibration，並須配合率定場之地面控制資料以完成系統之率定。

(一)率定場設置

本公司於臺中港港務大樓附近重劃區設立中部率定場，以直接水準測量引測附近一等二級水準點 X105 至測區筆直平坦道路兩側(如圖 3-2)，建立 520 點含正高資料及使用 GPS RTK 建立其橢球高資料，每一點間距約 10 公尺。



圖 3-2 LEICA ALS50 率定場及控制點分布圖

(二) 原廠儀器校正參數獲取

掃描儀在出廠前已先進行率定工作，主要包含掃描中心與 IMU 之偏心量、IMU 之率定、反射鏡旋轉角之率定等，並提供相關參數值，便於後續 Boresight Calibration 及 Raw data 解算使用。

(三) 飛航率定規劃

Boresight Calibration 是以不同之航向、角度與高度之 LIDAR 掃描資料，利用共軛點之 intensity image、laser point 與率定場之真實坐標進行計算 IMU 偏移值；率定時先以表 3-2 之飛航參數(航高 750m/1250m)對率定場進行往返掃描，再以垂直前次飛行之航向同樣進行往返之掃描(如圖 3-3 與圖 3-4)；其中並配合 LEICA Attune 軟體進行地面共軛點的選取與量測分析，求得 Roll、Pitch 及 Heading 偏移角度值(如圖 3-5)。

表 3-2 Boresight Calibration 飛航參數表

<u>掃描機設定(Scanner Setup)</u>		Cross1	Cross2
掃描視角 Scan FOV full angle	degrees	75.00	50.00
最低點平均海水面高度 Terrain Elevation AMSL (minimum in survey area)	meters	20.00	20.00
最高點平均海水面高度 Terrain Elevation AMSL (maximum in survey area)	meters	24.00	24.00
與最低地面之離地航高 Nominal Flying Altitude AMSL	meters	750.00	1250.00
航速 Airspeed	knots	110.00	110.00
雷射脈衝頻率 Laser pulse rate	Hz	80000.00	65000.00
掃描頻率 Laser scan rate	Hz	24.00	24.00
<u>掃描成果產出(Resulting Scan Pattern)</u>			
最大航帶寬度 Total Swath Width (nominal, at lowest terrain elev'n)	meters	1150	1165
平均點雲密度 Point Density (average)	pts/meter ²	1.23	0.99
平均地面點間距 Area / Point (average)	meters	0.81	1.01

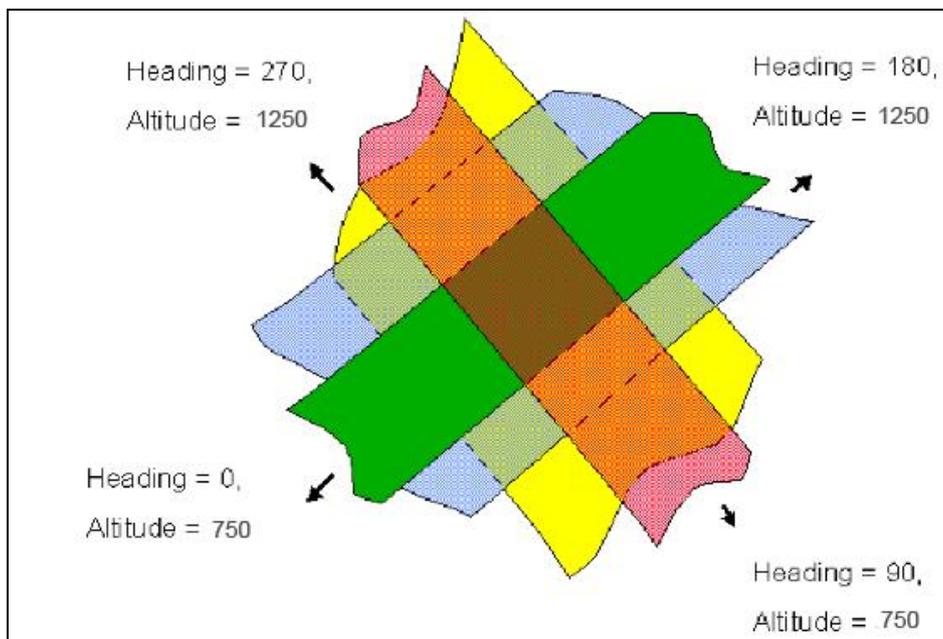


圖 3-3 率定飛航 pattern 規劃圖



圖 3-4 臺中港區率定場坐落位置圖

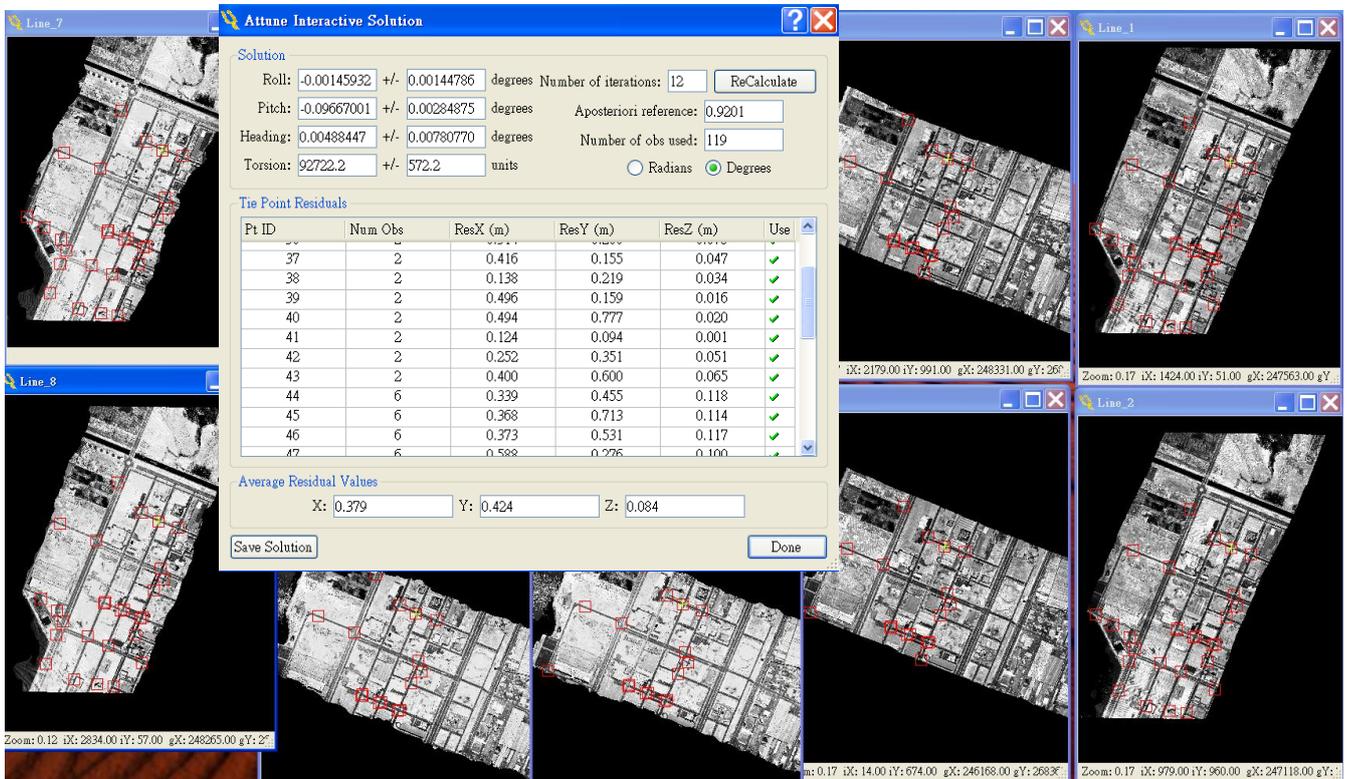


圖 3-5 LEICA ATTUNE 率定參數解算畫面(似空三觀念解算)

97 年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

三、實際飛航率定作業

(一)飛航任務規劃及掃描作業

本計畫在飛航規劃部分，考慮澎湖外島作業時間緊促，在最少拆卸次數下，分別在 97 年 10 月 09 日第一次拆卸前及 12 月 02 日第二次拆卸前於臺中港區率定場執行率定作業，共飛行 750m 及 1250m 航高各四條對向來回航線，以進行掃描儀器率定校正，其系統掃描參數如表 3-2。

(二)GPS 基準站設置及觀測

GPS 基準站選用 24 小時追蹤站 FCU1(逢甲)為本率定場 GPS 基準參考站，並於飛航當天同步觀測接收每秒一筆資料，GPS 觀測時段表如下表 3-3。

表 3-3 率定場 GPS 基站觀測時段表

日期	點號	點名	儀器型號	天線	觀測開始	觀測結束	觀測間隔	天線高(m)
97.10.09	FCU1	逢甲	TRIMBLE	Zephyr Geodetic	00:00	23:59	1sec	0
97.12.02	FCU1	逢甲	TRIMBLE	Zephyr Geodetic	00:00	23:59	1sec	0

(三)GPS/IMU 解算及精度評估

利用飛機動態觀測量(0.5sec/epoch)及 GPS 基站靜態觀測量(1sec/epoch)同步進行空中基線解算，解算軟體採用 Novatel/Waypoint GrafNav 8.1 計算。茲將歷次率定飛航軌跡及 GPS PDOP 值及正反算精度評估計算成果製作如圖 3-6 至圖 3-7，各飛航架次之 GPS PDOP 值 <4 ，GPS 正反算精度評估 <20 公分，均符合合約要求。

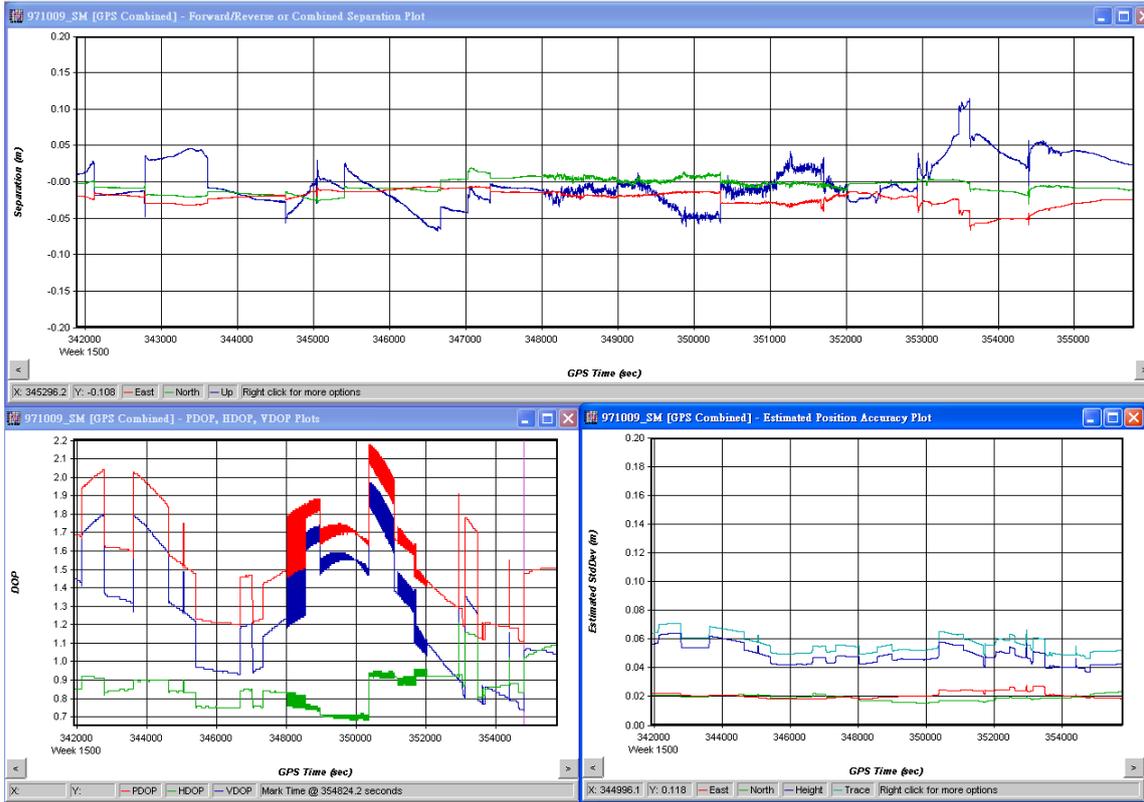


圖 3-6 97 年 10 月 09 日飛航軌跡及 GPS 解算成果

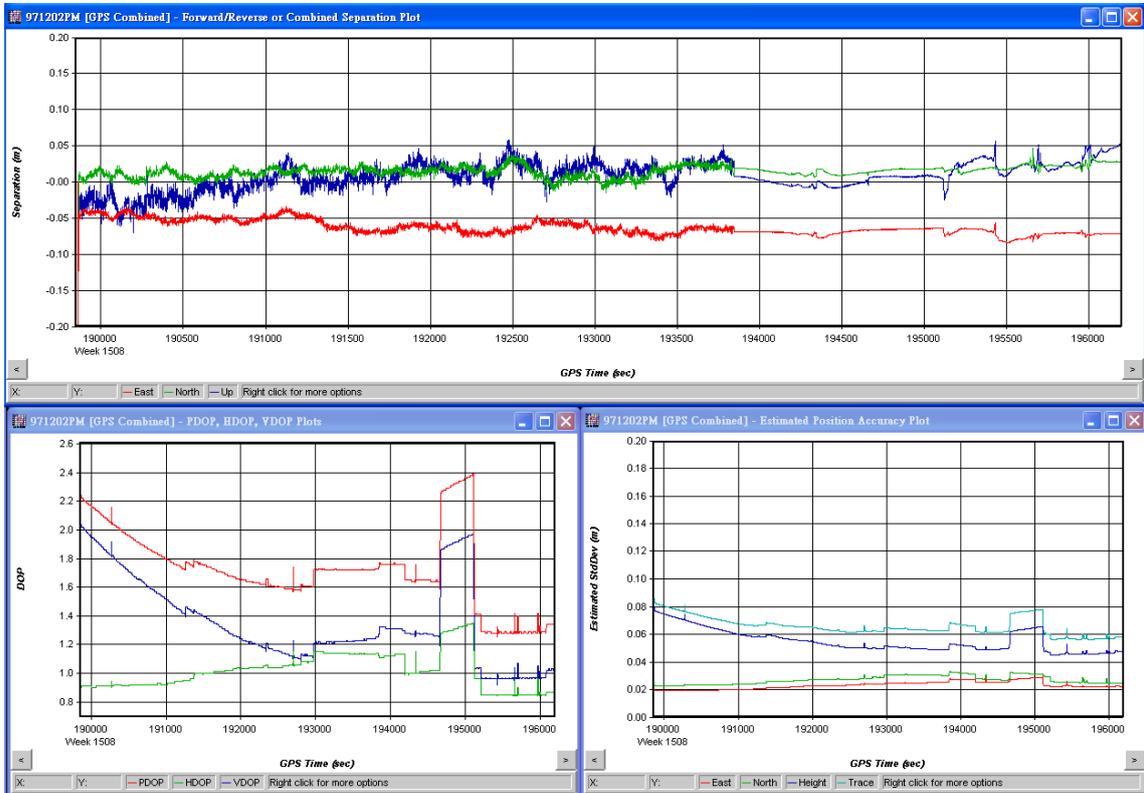


圖 3-7 97 年 12 月 02 日飛航軌跡及 GPS 解算成果

(四)Pospac Pospro 解算求解軌跡檔(sbet)

解算作業時注意事項如下：

- 1、GPS Level arm 輸入，誤差不得大於 10 公分。
- 2、解算後 GPS level arm 誤差值應趨近於 0。
- 3、解算取得 sbet 檔進行後續率定參數解算。

(五)率定參數解算及率定精度評估

利用 LEICA 公司 Attune 1.42b 版最新軟體進行各不同對向來回航線讀取及量測作業，量測時以掃描測區最外緣往軌跡中心量測至少 30 個四重~八重連結點為主，以進行掃描儀器 Roll、Pitch、Heading 及旋轉菱鏡 mirror torsion 值率定參數解算校正值，其率定參數解算校正值如圖 3-8。

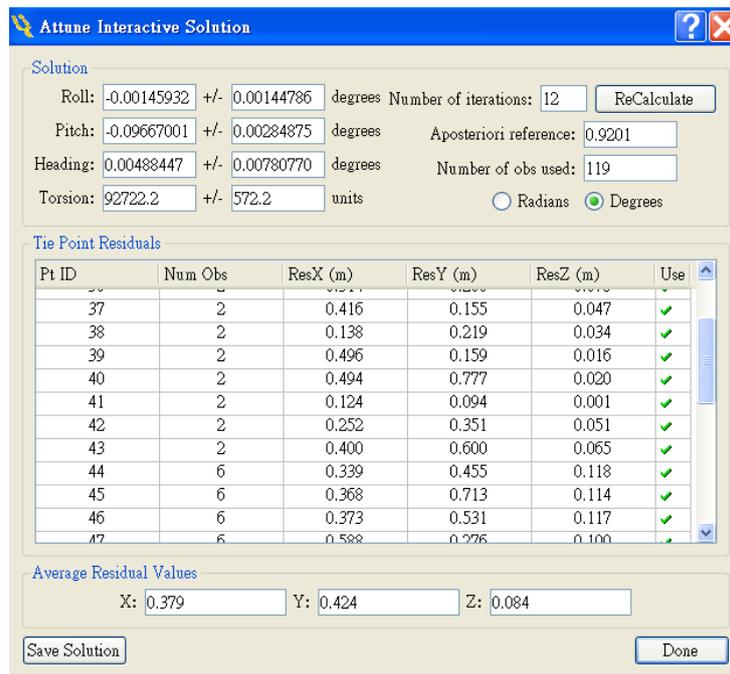


圖 3-8 率定參數解算校正值(以 97.10.09 為例)

利用 520 個已知控制點(如圖 3-2)與雷射掃描點比較後精度評估如圖 3-9。高程精度皆可達到標準偏差(std deviation)小於合約要求 10cm，故可確認率定結果符合預期。

Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input checked="" type="checkbox"/>	348	200693.30	2682236.32	23.404	23.450	+0.046
<input checked="" type="checkbox"/>	349	200697.04	2682245.55	23.382	23.440	+0.058
<input checked="" type="checkbox"/>	350	200700.70	2682254.62	23.378	23.450	+0.072
<input checked="" type="checkbox"/>	351	200704.45	2682263.96	23.388	23.450	+0.062
<input checked="" type="checkbox"/>	352	200707.83	2682272.37	23.351	23.380	+0.029
<input checked="" type="checkbox"/>	353	200711.57	2682281.68	23.329	23.390	+0.061
<input checked="" type="checkbox"/>	354	200715.71	2682291.94	23.318	23.270	-0.048
<input checked="" type="checkbox"/>	355	200719.45	2682301.21	23.303	23.380	+0.077
<input checked="" type="checkbox"/>	356	200722.97	2682310.34	23.344	23.420	+0.076

Average magnitude	0.0253	Average dz	+0.0003
Std deviation	0.0324	Minimum dz	-0.0880
Root mean square	0.0324	Maximum dz	+0.0970

(a) 97 年 10 月 09 日

Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input checked="" type="checkbox"/>	164	200718.36	2682279.41	23.378	23.440	+0.062
<input checked="" type="checkbox"/>	165	200722.09	2682288.68	23.352	23.420	+0.068
<input checked="" type="checkbox"/>	166	200725.82	2682297.90	23.315	23.340	+0.025
<input checked="" type="checkbox"/>	167	200729.48	2682307.22	23.357	23.400	+0.043
<input checked="" type="checkbox"/>	168	200733.27	2682316.44	23.328	23.370	+0.042
<input checked="" type="checkbox"/>	169	200736.98	2682325.59	23.335	23.380	+0.045
<input checked="" type="checkbox"/>	170	200740.74	2682334.98	23.323	23.370	+0.047
<input checked="" type="checkbox"/>	171	200744.46	2682344.23	23.316	23.330	+0.014
<input checked="" type="checkbox"/>	172	200748.13	2682353.50	23.338	23.400	+0.062

Average magnitude	0.0410	Average dz	+0.0252
Std deviation	0.0448	Minimum dz	-0.0960
Root mean square	0.0514	Maximum dz	+0.1380

(b) 97 年 12 月 02 日

圖 3-9 率定解算後與地面實測控制點比較精度評估

第二節 光達資料獲取

一、執行前準備作業

(一)飛航任務前準備工作

- 1、於飛航任務執行前一天再次由中央氣象局網站了解任務執行當天的天候。
- 2、進行清點器材及標準安裝，如下表 3-4 及 3-5 說明。

表 3-4 飛航任務前之器材清點表

名稱	說明	數量	確認
LIDAR 系統	(1)主電源線。	2	
	(2)機架固定螺絲。	6	
	(3)PCMCIA 卡。	1	
	(4)資料硬碟。	1	
	(5)LIDAR 控制電腦。	1	
	(6)航高掃描規劃參數表。	1	
	(7)飛行記錄表。	1	
	(8)LIDAR 主機系統。	1	
	(9)螺絲包。	1	
Rollei 相機	(1)Touch 螢幕。	1	
	(2)Xpc 準系統電腦主機。	1	
	(3)Rollei 相機主機。	1	
	(4)鏡頭(含備份鏡頭)。	2	
	(5)相機電源數據連接線。	2	
	(6)直流轉交流電變壓器(含電源線)。	1	

表 3-5 標準裝機檢查表

項目	名稱	內容	確認
1	檢查機架	雷射鏡頭保護蓋板關閉。	
2	檢查固定螺絲	六隻，需全部鎖緊。	
3	檢查電源	連上機上電源座，確定接線無鬆動。	
4	GPS 訊號線	將飛機上 GPS 訊號線接至 LIDAR 位置。	
5	ALS50 掃描儀	將調制鈕關閉。	
6	PCMCIA 卡檢查	將 PCMCIA 卡定位（與退出鈕）平行。	
7	資料硬碟檢查	將資料硬碟定位且用硬碟上鑰匙，右轉鑰匙鎖緊。	
8	相機檢查	機身固定需 3 顆螺絲以上。	
9	自動光圈	自動光圈器需用厚紙板加螺絲固定。	
10	鏡頭蓋	鏡頭蓋需打開。	
11	相機傳輸線	將 EVENT 線連接在 LIDAR 的 DIO 阜。	
12	LIDAR 控制電腦	* 網路線、電源線及傳輸線需全部插緊。 * 電源線部分需看到電腦右下角有顯示外接電源圖例。 * 傳輸線上 2 顆小螺絲需鎖緊，以防起飛震動過大而接觸不良。	
備註：			
計畫名稱：			
清點人：			

(二) 飛航任務當天準備工作

- 1、聯繫地面主站人員，確認儀器架設及接收正常。
- 2、詢問地面主站人員，確認當地天氣狀況。
- 3、飛航前開機測試確認。

4、執行飛航任務。

5、資料獲取。

當飛機升空後，空載光達資料掃描儀操作人員應依LIDAR儀器標準作業程序操作設備逐條獲取原始光達掃描資料，並逐條航線記錄原始光達掃描相關資料。

(三)安全須知

空載光達雷射掃描在開啟狀態及低空作業是具有危險性的，本公司操作人員依標準安裝及安全操作步驟進行資料獲取前測試及安全性檢查；緊急狀況時先關閉雷射電源，以確保人身安全。

二、飛航掃描資料處理

(一)航線圖展繪

本案分別於 97 年 08 月、09 月、10 月、11 月及 12 月陸續完成飛航掃描任務(如表 3-6)，共計 11 架次，其中於 97 年 12 月 02 日進行上下午兩個時段的掃描作業；依不同測區任務及日期所掃描之航線展繪如圖 3-10 至圖 3-20。

表 3-6 各飛航架次作業時間及地點

日期	飛航線數	作業地點
97.08.25	10	馬公、吉貝
97.08.26	15	馬公、吉貝
97.08.27	28	花嶼、東吉嶼、望安、七美
97.09.08	22	望安、七美
97.10.09	8	臺中港率定場
97.10.21	4	馬公
97.10.23	23	花嶼、東吉嶼、望安、七美
97.11.28	2	七美
97.11.29	7	馬公
97.12.02 上午	23	馬公
97.12.02 下午	9	馬公及臺中港率定場

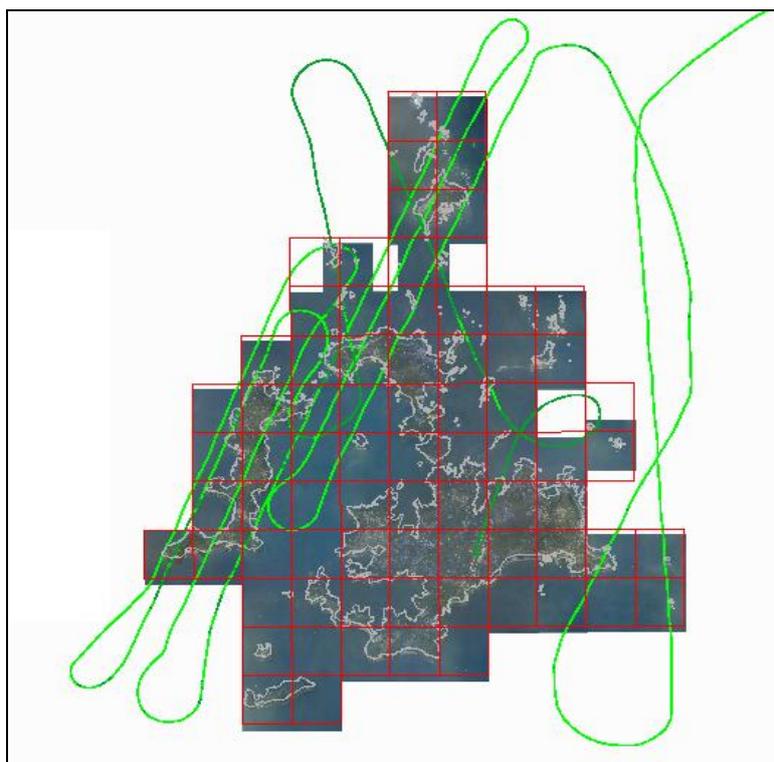


圖 3-10 97年08月25日航線圖

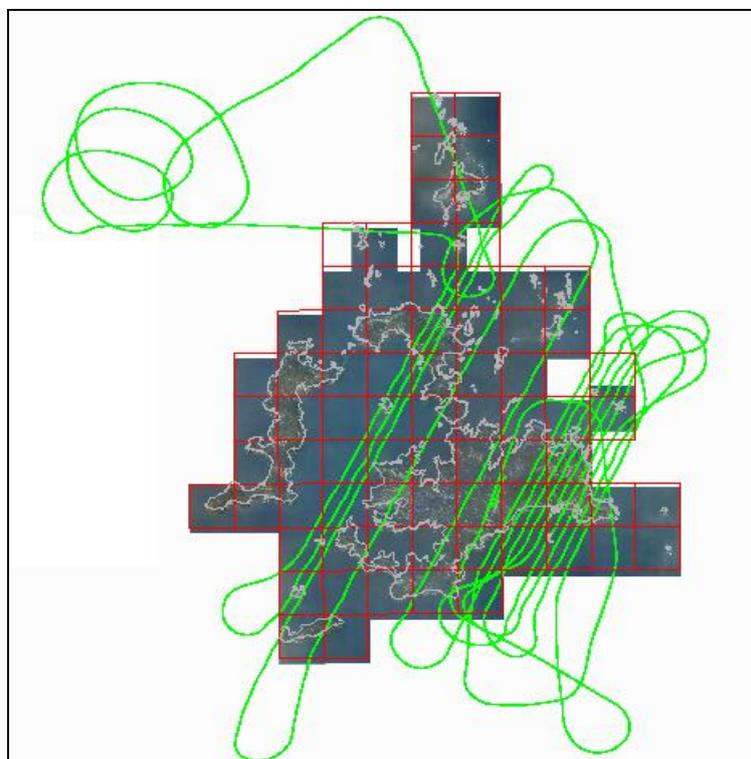


圖 3-11 97年08月26日航線圖

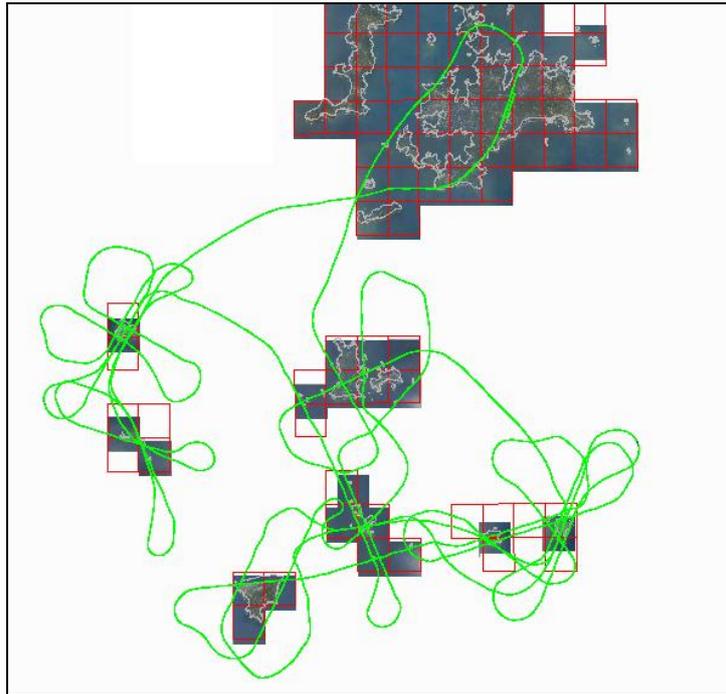


圖 3-12 97年08月27日航線圖

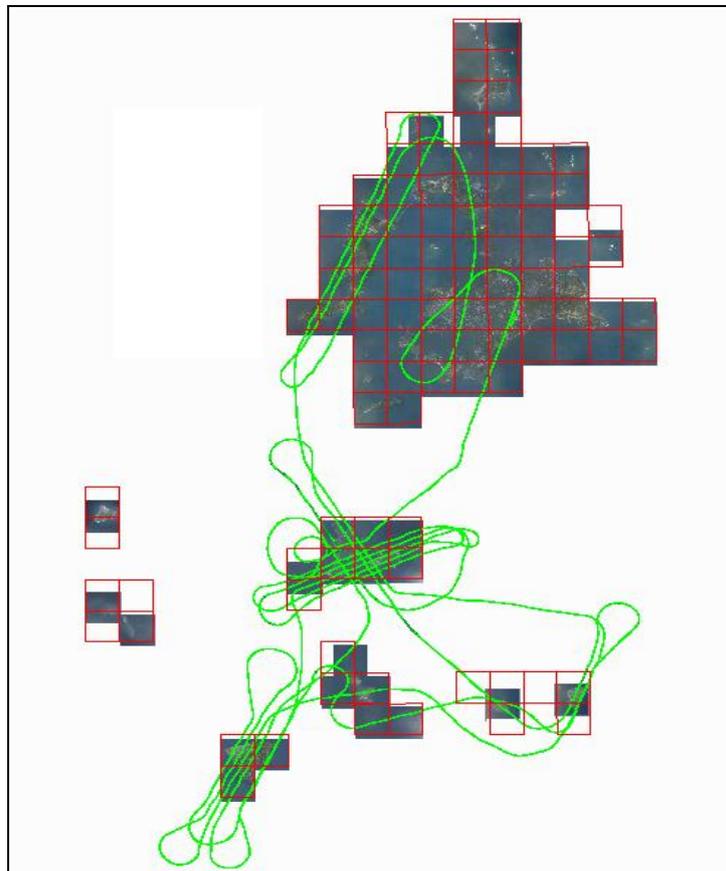


圖 3-13 97年09月08日航線圖

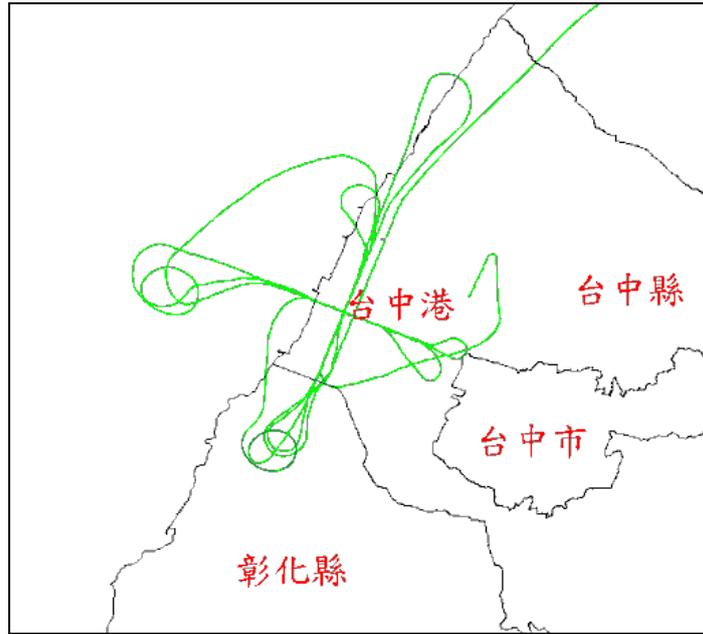


圖 3-14 97年10月09日航線圖(僅率定作業)



圖 3-15 97年10月21日航線圖

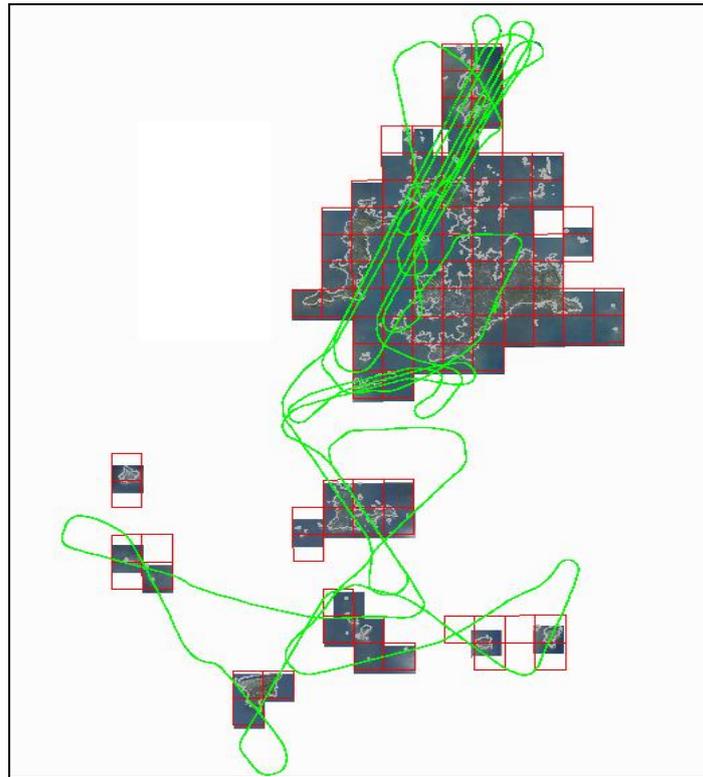


圖 3-16 97年10月23日航線圖

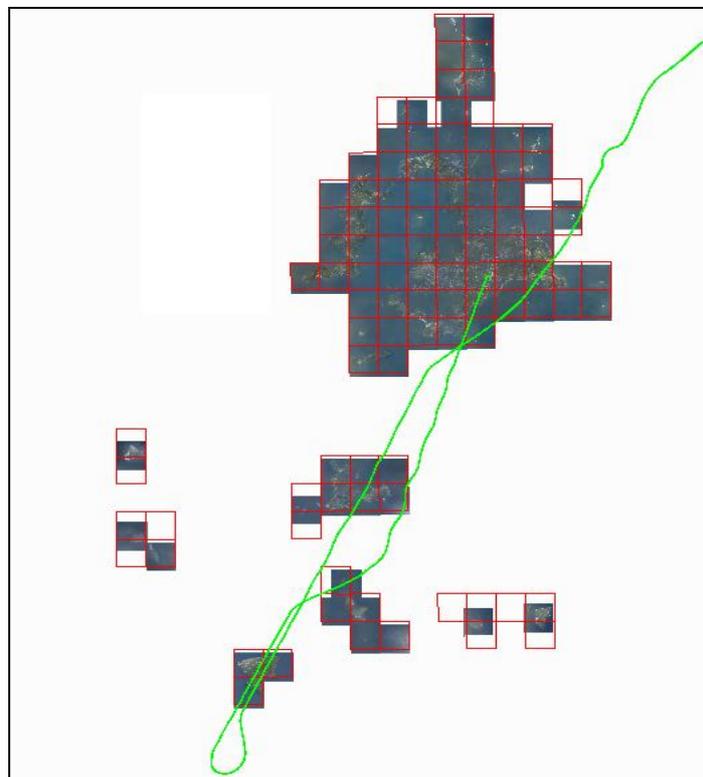


圖 3-17 97年11月28日航線圖

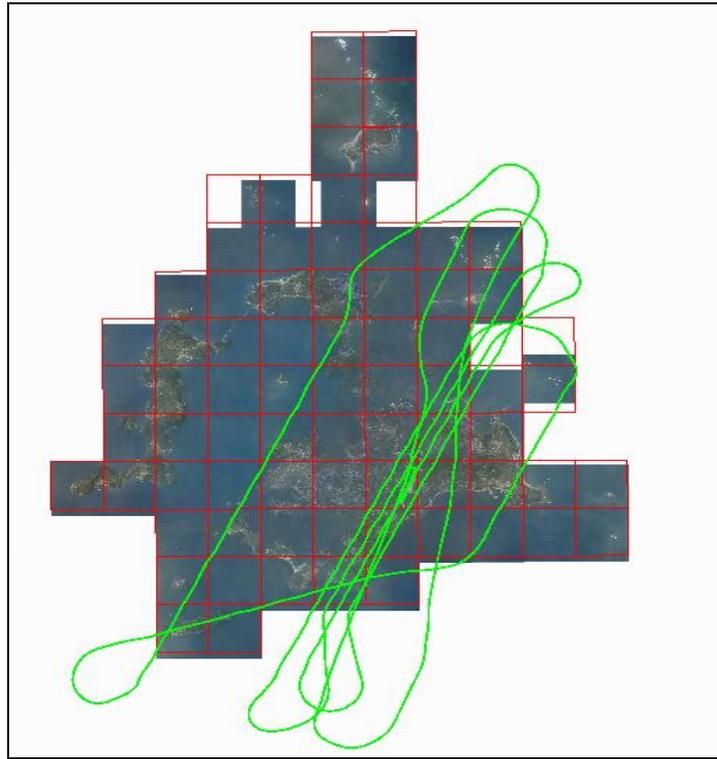


圖 3-18 97年11月29日航線圖

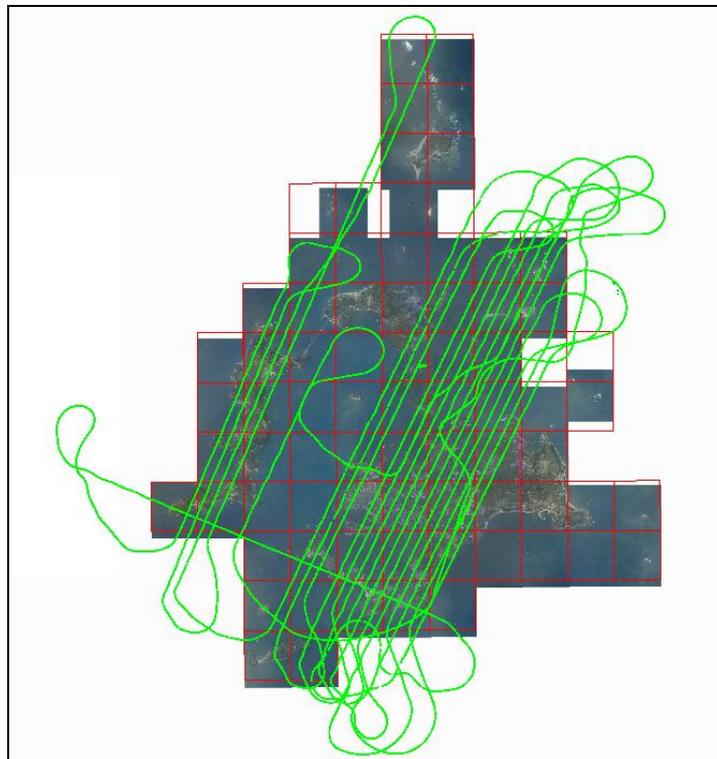


圖 3-19 97年12月02日上午航線圖

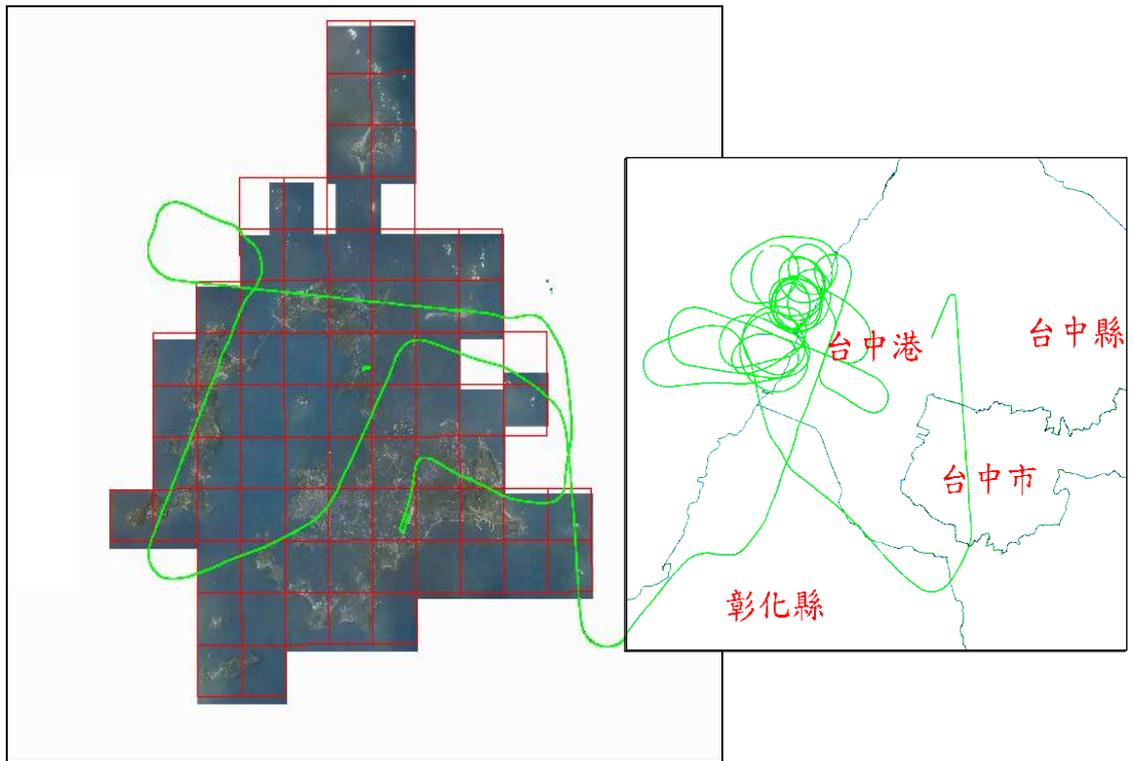


圖 3-20 97 年 12 月 02 日下午航線圖(含率定作業)

(二) 實際飛航參數及掃描參數

各飛航任務每一條航線之日期、航高、航速、航向、掃描角度(FOV)、掃描頻率、雷射脈衝頻率、每條航線計算 GPS 所使用之地面控制點、使用儀器之規格等有關掃描參數與飛航參數如下表 3-7 之說明。

表 3-7 澎湖測區各航線掃描參數

日期	航線編號	掃描角度(deg.)	實際 FOV(deg.)	掃描頻率(Hz)	雷射脈衝頻率(Hz)	航高(m)	航向(deg.)	航速(Knots)	GPS 地面控制點	使用儀器
97.08.25	01	40	39.4	25	63700	1350	3.791	106.7	X057,X020 WIAN,HUSI JIBE,CIME	ALS50
97.08.25	58	40	39.4	25	63700	1350	206.276	117.3		
97.08.25	27	50	49.5	25	71200	1100	27.229	103.8		
97.08.25	30	50	49.5	25	71200	1100	28.702	104.8		

日期	航線編號	掃描角度 (deg.)	實際 FOV (deg.)	掃描頻率 (Hz)	雷射脈衝頻率 (Hz)	航高 (m)	航向 (deg.)	航速 (Knots)	GPS 地面控制點	使用儀器
97.08.25	32	50	49.5	25	71200	1100	203.502	110.9		
97.08.25	35	50	49.5	25	71200	1100	24.476	93.0		
97.08.25	39	50	49.5	25	71200	1100	210.417	96.59		
97.08.25	38	50	49.5	25	71200	1100	21.217	92.5		
97.08.25	47	50	49.5	25	71200	1100	167.741	93.2		
97.08.25	46	50	49.5	25	71200	1100	348.799	94.3		
97.08.26	57	40	39.4	25	63700	1350	202.746	102.8		
97.08.26	20	40	39.4	25	63700	1350	28.402	94.0		
97.08.26	24	40	39.4	25	63700	1350	206.405	102.9		
97.08.26	25	40	39.4	25	63700	1350	25.420	94.8		
97.08.26	26	40	39.4	25	63700	1350	211.548	101.9		
97.08.26	44	40	39.4	25	63700	1350	344.746	100.6		
97.08.26	13	40	39.4	25	63700	1350	22.13	92.9	X057,X020	
97.08.26	07	40	39.4	25	63700	1350	207.339	103.5	WIAN,HUSI	ALS50
97.08.26	04	40	39.4	25	63700	1350	25.201	104.5	JIBE,CIME	
97.08.26	02	40	39.4	25	63700	1350	210.569	102.8		
97.08.26	05	40	39.4	25	63700	1350	20.147	100.9		
97.08.26	03	40	39.4	25	63700	1350	197.3	97.6		
97.08.26	06	40	39.4	25	63700	1350	20.355	98.3		
97.08.26	56	40	39.4	25	63700	1350	212.95	103.9		
97.08.26	08	40	39.4	25	63700	1350	35.5	99.3		
97.08.27	95	40	74.6	24	83200	650	152.9	99.7	X048,AGG6	
97.08.27	94	40	74.6	24	83200	650	290.762	108.3	AGG4,AGG5	
97.08.27	98	40	74.6	24	83200	650	209.5	98.143	CIME,HUSI	
97.08.27	96	40	74.6	24	83200	650	30.924	105.5	WIAN,JIBE	
97.08.27	100	40	74.6	24	83200	650	297.7	103.9		

日期	航線編號	掃描角度 (deg.)	實際 FOV (deg.)	掃描頻率 (Hz)	雷射脈衝頻率 (Hz)	航高 (m)	航向 (deg.)	航速 (Knots)	GPS 地面控制點	使用儀器
97.08.27	99	40	74.6	24	83200	650	112.75	97.7	X048,AGG6 AGG4,AGG5 CIME,HUSI WIAN,JIBE	ALS50
97.08.27	97	40	74.6	24	83200	650	43.565	105.1		
97.08.27	97	40	74.6	24	83200	650	209.97	97.5		
97.08.27	72	40	74.6	24	83200	650	341.897	101.3		
97.08.27	83	40	74.6	24	83200	650	336.53	100.7		
97.08.27	82	40	74.6	24	83200	650	157.38	100.0		
97.08.27	67	40	74.6	24	83200	650	225.1	105.0		
97.08.27	60	40	39.4	25	83200	1350	0.987	107.6		
97.08.27	85	40	39.4	25	83200	1350	50.8	103.5		
97.08.27	79	40	39.4	25	83200	1350	23.5	100.4		
97.08.27	81	40	39.4	25	83200	1350	267.6	105.1		
97.08.27	86	40	39.4	25	63700	1350	256.1	101.4		
97.08.27	87	40	39.4	25	63700	1350	256.0	100.5		
97.08.27	92	40	39.4	25	63700	1350	316.4	111.7		
97.08.27	93	40	39.4	25	63700	1350	129.1	97.1		
97.08.27	88	40	39.4	25	63700	1350	204.2	107.3		
97.08.27	89	40	39.4	25	63700	1350	20.2	105.7		
97.08.27	91	40	39.4	25	63700	1350	85.3	1014		
97.08.27	90	40	39.4	25	63700	1350	28.9	104.6		
97.08.27	84	40	39.4	25	63700	1350	250.6	101.6		
97.08.27	90	40	39.4	25	63700	1350	193.5	93.1		
97.08.27	62	40	39.4	25	63700	1350	94.2	100.9		
97.08.27	68	40	39.4	25	63700	1350	144.8	89.8		
97.09.08	33	75	74.6	24	71200	650	216.686	98.682	X048,X057	ALS50
97.09.08	37	75	74.6	24	71200	650	13.315	99.054	AGG7,AGG6	
97.09.08	61	75	74.6	24	71200	650	329.145	99.415	JIBE,CIME	

97年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

日期	航線編號	掃描角度(deg.)	實際FOV(deg.)	掃描頻率(Hz)	雷射脈衝頻率(Hz)	航高(m)	航向(deg.)	航速(Knots)	GPS 地面控制點	使用儀器
97.09.08	91	75	74.6	24	71200	650	31.204	101.959	HUSI,WIAN	
97.09.08	86	75	74.6	24	71200	650	72.589	108.78		
97.09.08	79	75	74.6	24	71200	650	16.656	101.433		
97.09.08	74	75	74.6	24	71200	650	206.463	97.083		
97.09.08	75	75	74.6	24	71200	650	28.673	110.201		
97.09.08	76	75	74.6	24	71200	650	202.235	95.193		
97.09.08	84	75	74.6	24	71200	650	255.32	93.631		
97.09.08	91	75	74.6	24	71200	650	213.458	99.861		
97.09.08	90	75	74.6	24	71200	650	20.549	102.895	X048,X057 AGG7,AGG6 JIBE,CIME HUSI,WIAN	ALS50
97.09.08	71	75	74.6	24	71200	650	155.48	101.548		
97.09.08	69	75	74.6	24	71200	650	321.393	103.526		
97.09.08	63	75	74.6	24	71200	650	64.373	107.081		
97.09.08	66	75	74.6	24	71200	650	244.573	95.463		
97.09.08	62	75	74.6	24	71200	650	63.887	112.616		
97.09.08	65	75	74.6	24	71200	650	235.792	89.331		
97.09.08	64	75	74.6	24	71200	650	75.501	105.933		
97.09.08	79	75	74.6	24	71200	650	36.563	106.199		
97.09.08	77	75	74.6	24	71200	650	210.68	92.977		
97.09.08	68	75	74.6	24	71200	650	158.693	86.981		
97.10.21	01	40	39.4	25	63700	1350	359.22	105.619	AGG7,X057 JIBE,CIME HUSI,WIAN	ALS50
97.10.21	59	40	39.4	25	63700	1350	120.821	106.43		
97.10.21	09	40	39.4	25	63700	1350	31.168	92.107		
97.10.21	37	40	39.4	25	63700	1350	195.81	108.443		
97.10.23	32	40	39.4	25	63700	1350	210.491	106.075	X048,AGG6	ALS50
97.10.23	31	40	39.4	25	63700	1350	24.258	108.204	X057,AGG7	
97.10.23	50	40	39.4	25	63700	1350	26.23	109.487	JIBE,CIME	

97年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

日期	航線編號	掃描角度 (deg.)	實際 FOV (deg.)	掃描頻率 (Hz)	雷射脈衝頻率 (Hz)	航高 (m)	航向 (deg.)	航速 (Knots)	GPS 地面控制點	使用儀器
97.10.23	70	40	39.4	25	63700	1350	332.217	111.977	HUSI,WIAN	
97.10.23	61	40	39.4	25	63700	1350	151.727	104.621		
97.10.23	67	40	39.4	25	63700	1350	44.102	100.135		
97.10.23	86	40	39.4	25	63700	1350	255.44	105.122		
97.10.23	90	40	39.4	25	63700	1350	23.251	103.01		
97.10.23	78	40	39.4	25	63700	1350	24.479	100.525		
97.10.23	80	40	39.4	25	63700	1350	145.832	98.327		
97.10.23	95	40	39.4	25	63700	1350	160.103	104.289		
97.10.23	94	40	39.4	25	63700	1350	288.16	107.391		
97.10.23	61	40	39.4	25	63700	1350	152.98	108.078		
97.10.23	54	40	39.4	25	63700	1350	261.23	106.897		
97.10.23	53	40	39.4	25	63700	1350	74.164	107.282		
97.10.23	52	40	39.4	25	63700	1350	246.149	100.404		
97.10.23	27	40	39.4	25	63700	1350	199.455	102.674		
97.10.23	28	40	39.4	25	63700	1350	26.335	106.364		
97.10.23	29	40	39.4	25	63700	1350	206.878	103.481		
97.10.23	101	40	39.4	25	63700	1350	28.366	106.661		
97.10.23	102	40	39.4	25	63700	1350	203.78	95.203		
97.10.23	47	40	39.4	25	63700	1350	352.458	107.385		
97.10.23	32	40	39.4	25	63700	1350	27.913	109.744		
97.11.28	105	40	39.4	25	63500	1350	22.85	118.188	AGG7,X057	ALS50
97.11.28	106	40	39.4	25	63500	1350	209.551	92.788	JIBE,CIME	
									HUSI,WIAN	
97.11.29	09	40	39.4	25	63200	1350	28.936	111.325	AGG7,X057	ALS50
97.11.29	10	40	39.4	25	63200	1350	208.345	105.475	JIBE,CIME	
97.11.29	11	40	39.4	25	63200	1350	26.981	119.661	HUSI,WIAN	

97年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

日期	航線編號	掃描角度 (deg.)	實際 FOV (deg.)	掃描頻率 (Hz)	雷射脈衝頻率 (Hz)	航高 (m)	航向 (deg.)	航速 (Knots)	GPS 地面控制點	使用儀器
97.11.29	12	40	39.4	25	63200	1350	210.42	107.908		
97.11.29	103	40	39.4	25	63200	1350	16.966	102.228		
97.11.29	53	40	39.4	25	63200	1350	81.584	103.353		
97.11.29	23	40	39.4	25	63200	1350	201.668	101.343		
97.12.02	14	40	39.4	25	63200	1350	24.245	105.068		
97.12.02	15	40	39.4	25	63200	1350	206.992	82.821		
97.12.02	16	40	39.4	25	63200	1350	23.692	111.742		
97.12.02	17	40	39.4	25	63200	1350	205.53	97.649		
97.12.02	18	40	39.4	25	63200	1350	24.186	98.407		
97.12.02	19	40	39.4	25	63200	1350	202.75	86.761		
97.12.02	21	40	39.4	25	63200	1350	40.009	104.456		
97.12.02	22	40	39.4	25	63200	1350	207.559	93.593		
97.12.02	23	40	39.4	25	63200	1350	42.333	114.091		
97.12.02	35	40	39.4	25	63200	1350	211.285	88.786		
97.12.02	33	40	39.4	25	63200	1350	211.285	88.786	X057,AGG7	ALS50
97.12.02	34	40	39.4	25	63200	1350	13.287	123.462	JIBE,CIME	ALS50
97.12.02	36	40	39.4	25	63200	1350	203.853	95.058	HUSI,WIAN	
97.12.02	37	40	39.4	25	63200	1350	26.315	109.578		
97.12.02	51	40	39.4	25	63200	1350	291.67	104.347		
97.12.02	09	40	39.4	25	63200	1350	209.253	98.542		
97.12.02	10	40	39.4	25	63200	1350	25.571	128.734		
97.12.02	11	40	39.4	25	63200	1350	207.489	104.825		
97.12.02	12	40	39.4	25	63200	1350	31.578	107.336		
97.12.02	13	40	39.4	25	63200	1350	200.804	104.25		
97.12.02	14	40	39.4	25	63200	1350	35.882	110.923		
97.12.02	18	40	39.4	25	63200	1350	81.428	125.417		

97年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

日期	航線編號	掃描角度 (deg.)	實際 FOV (deg.)	掃描頻率 (Hz)	雷射脈衝頻率 (Hz)	航高 (m)	航向 (deg.)	航速 (Knots)	GPS 地面控制點	使用儀器
97.12.02	50	40	39.4	25	63200	1350	16.023	119.317		

(三)掃描 GPS 數據 PDOP 圖形分析

各飛航任務完成後，即進行掃描後原始光達資料前處理作業，彙整地面 GPS 固定基站資料及載體 POS (GPS、IMU)資料，利用 POSPAC 軟體進行 POS 解算及精度分析，GPS 數據 PDOP 圖形精度分析如圖 3-21 至圖 3-31 說明，PDOP 值均小於 4。

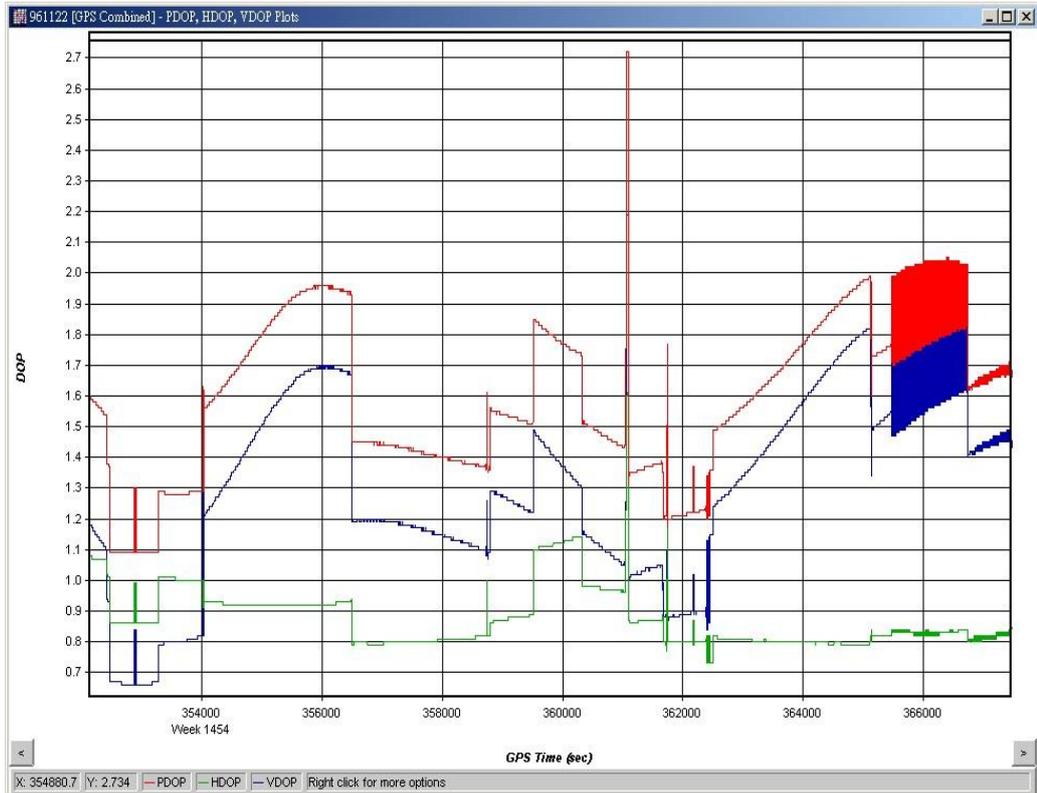


圖 3-21 97 年 08 月 25 日飛航任務 PDOP 值<4 示意圖

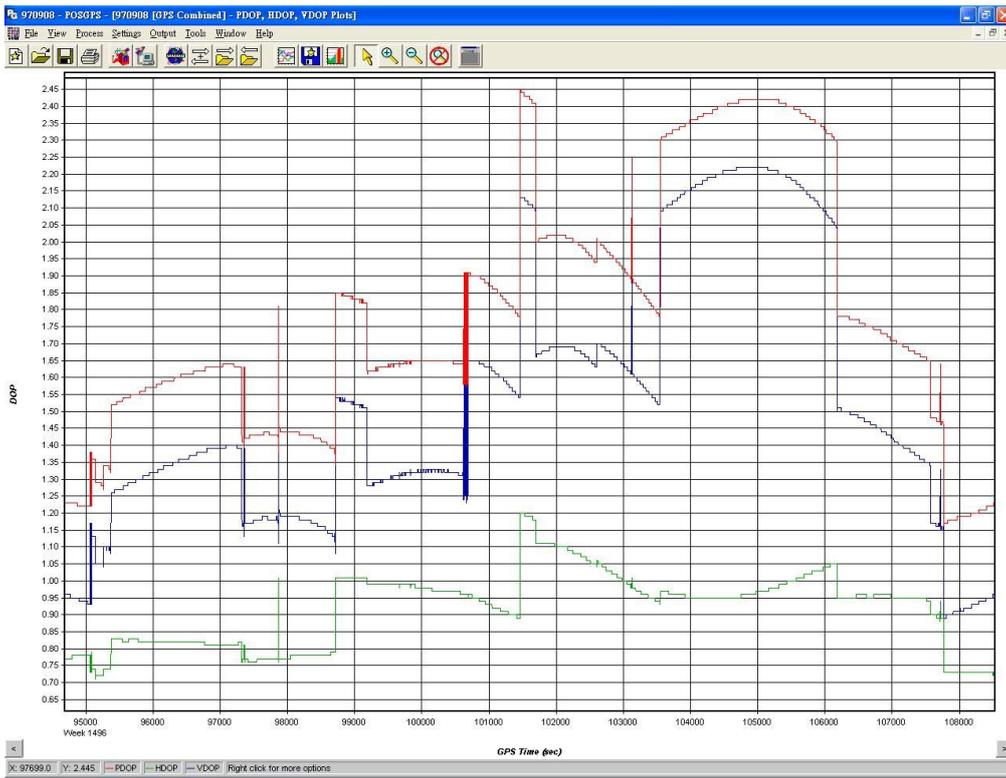


圖 3-24 97 年 09 月 08 日飛航任務 PDOP 值 <4 示意圖

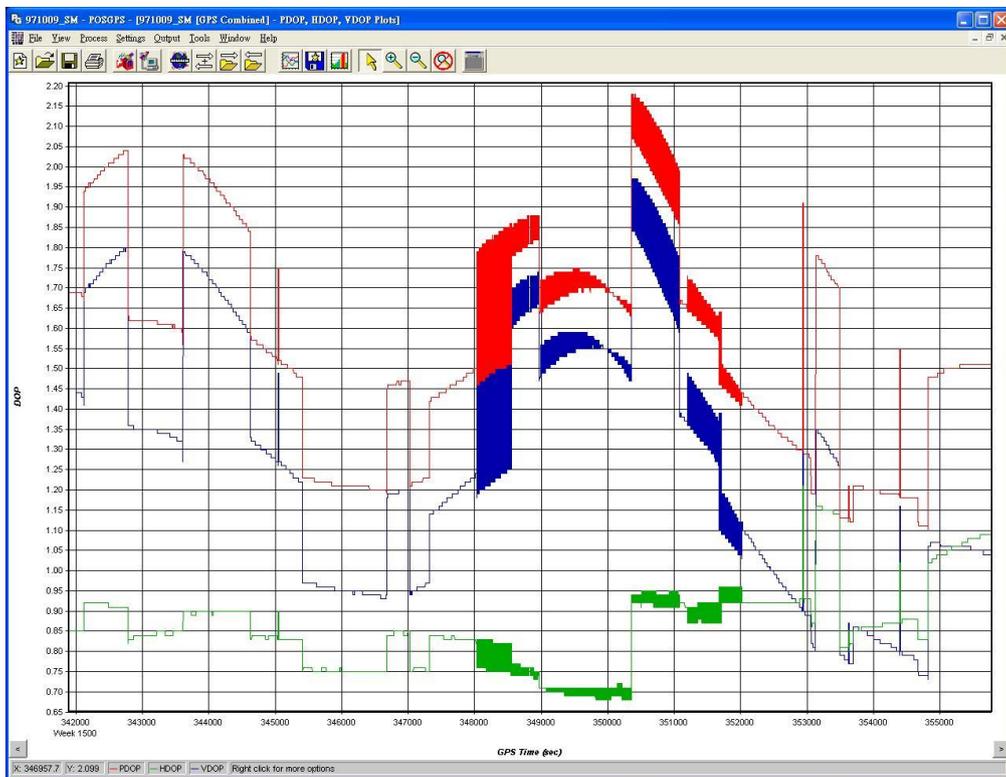


圖 3-25 97 年 10 月 09 日飛航任務 PDOP 值 <4 示意圖

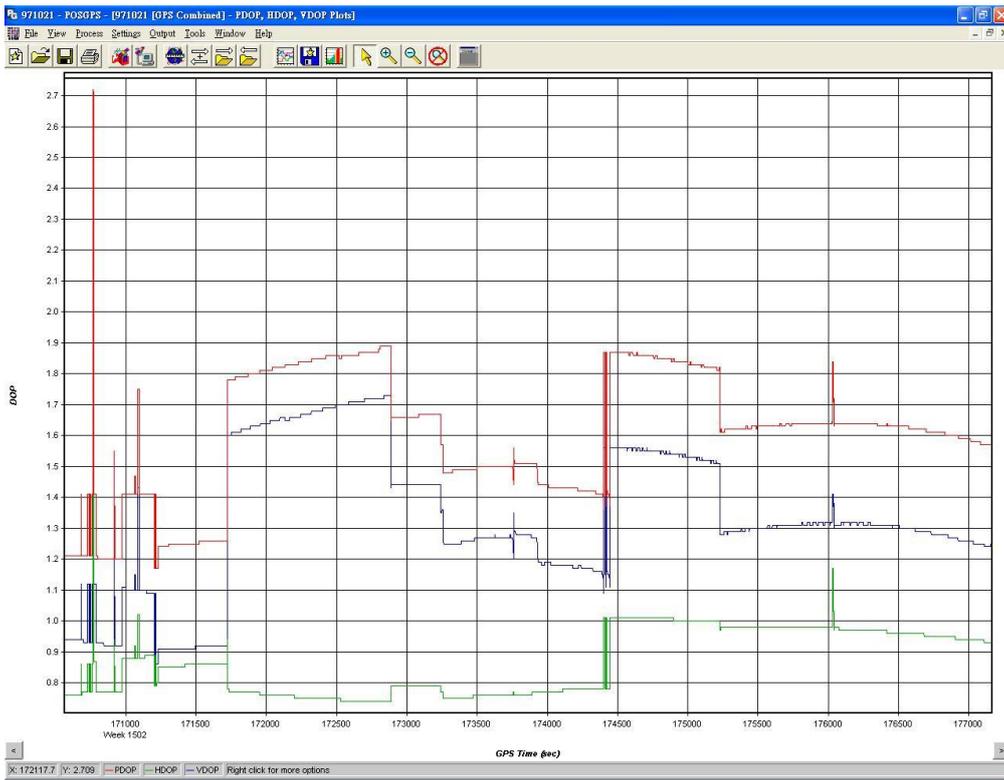


圖 3-26 97 年 10 月 21 日飛航任務 PDOP 值 <4 示意圖

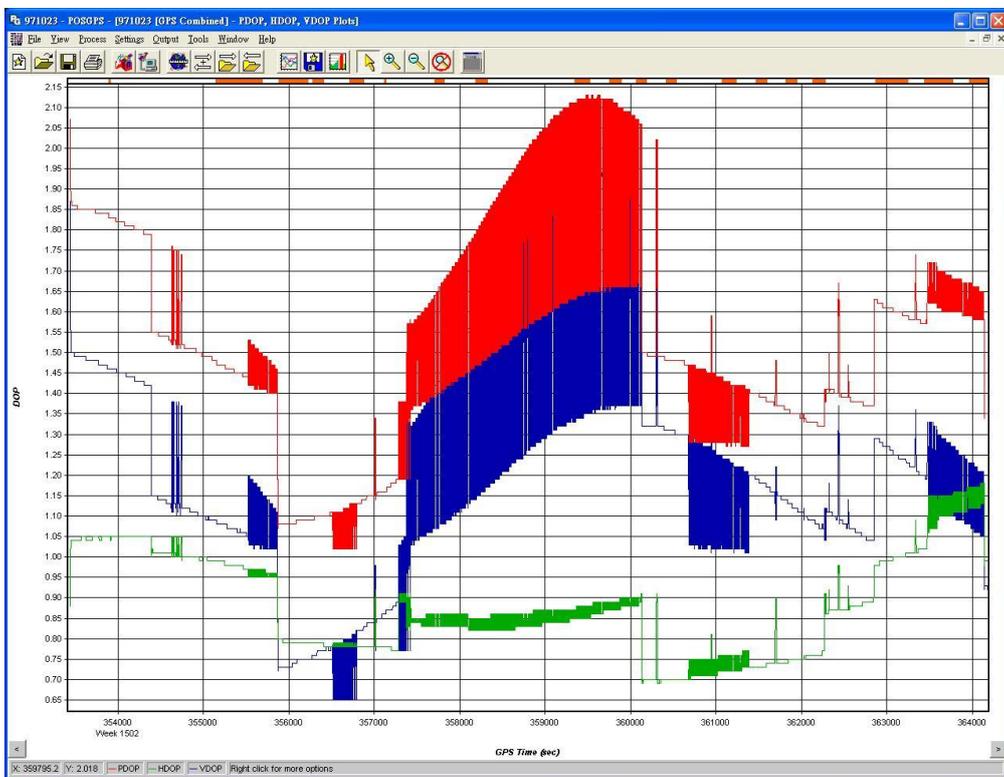


圖 3-27 97 年 10 月 23 日飛航任務 PDOP 值 <4 示意圖

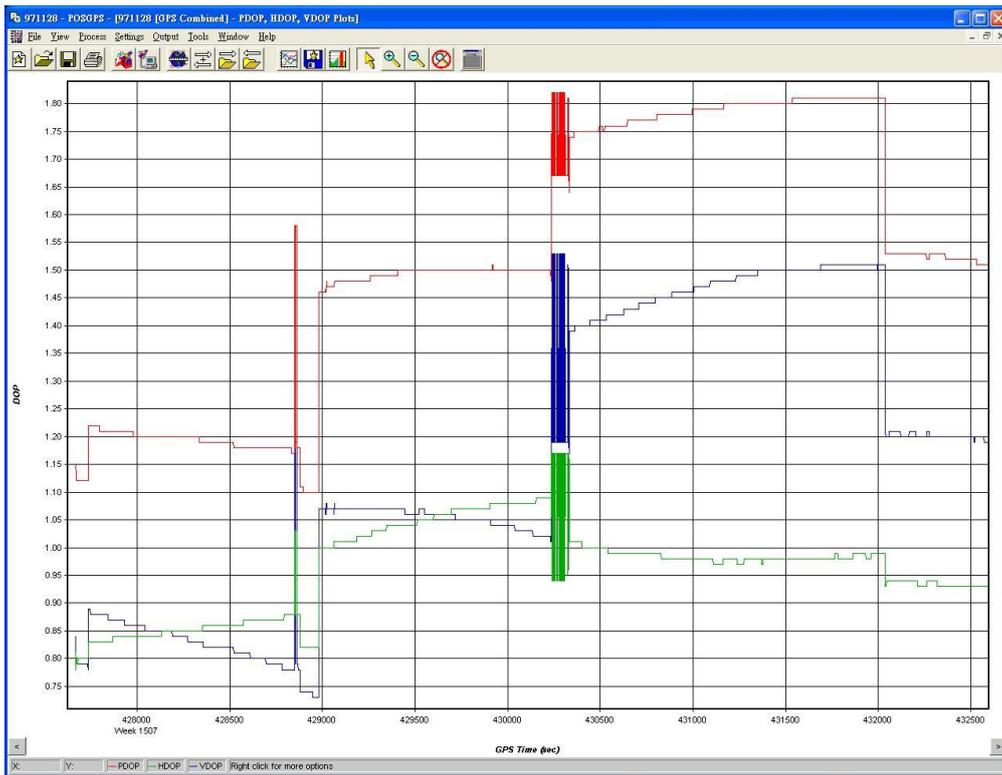


圖 3-28 97 年 11 月 28 日飛航任務 PDOP 值 <4 示意圖

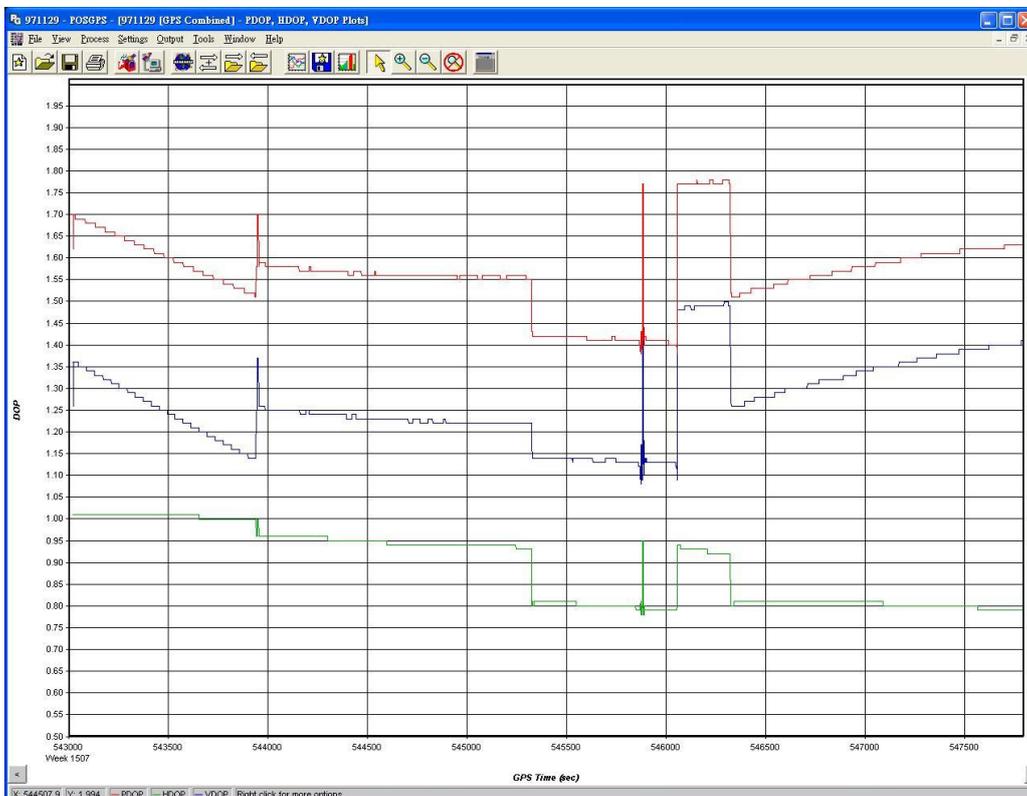


圖 3-29 97 年 11 月 29 日飛航任務 PDOP 值 <4 示意圖

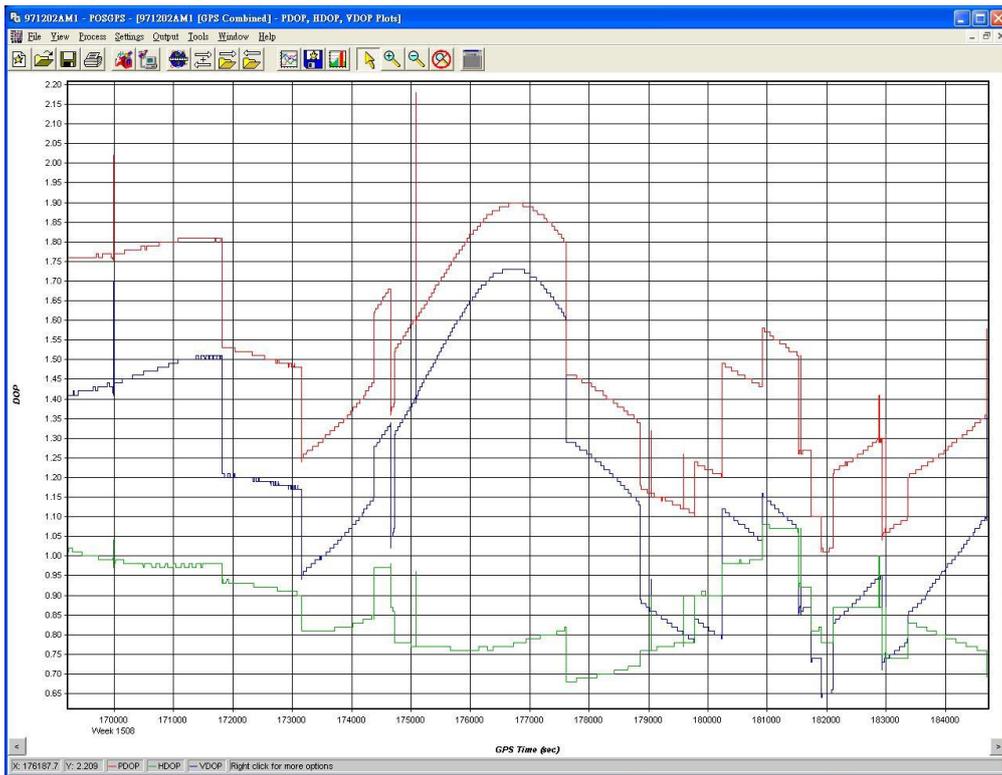


圖 3-30 97 年 12 月 02 日上午飛航任務 PDOP 值 <4 示意圖



圖 3-31 97 年 12 月 02 日下午飛航任務 PDOP 值 <4 示意圖

(四)掃描 GPS 數據正反算精度分析

除了上述 PDOP 精度分析外，需進一步做 GPS 數據正反算精度分析，其正向解與反向解差異應在 20 公分以內，以確保精度品質，各任務 GPS 正向解與反向解差異圖形精度分析如圖 3-32 至圖 3-42 說明，紅色、綠色及藍色線分別代表 X、Y 及 Z 方向的差異量，其中 8 月 25 日及 10 月 21 日於初始正反解的波動變化量大，乃因在載具起飛前約有 20 分鐘待機時間，以進行光達系統設定與 GPS 訊號接收，而導致任務飛行前的正反解精度誤差較大。

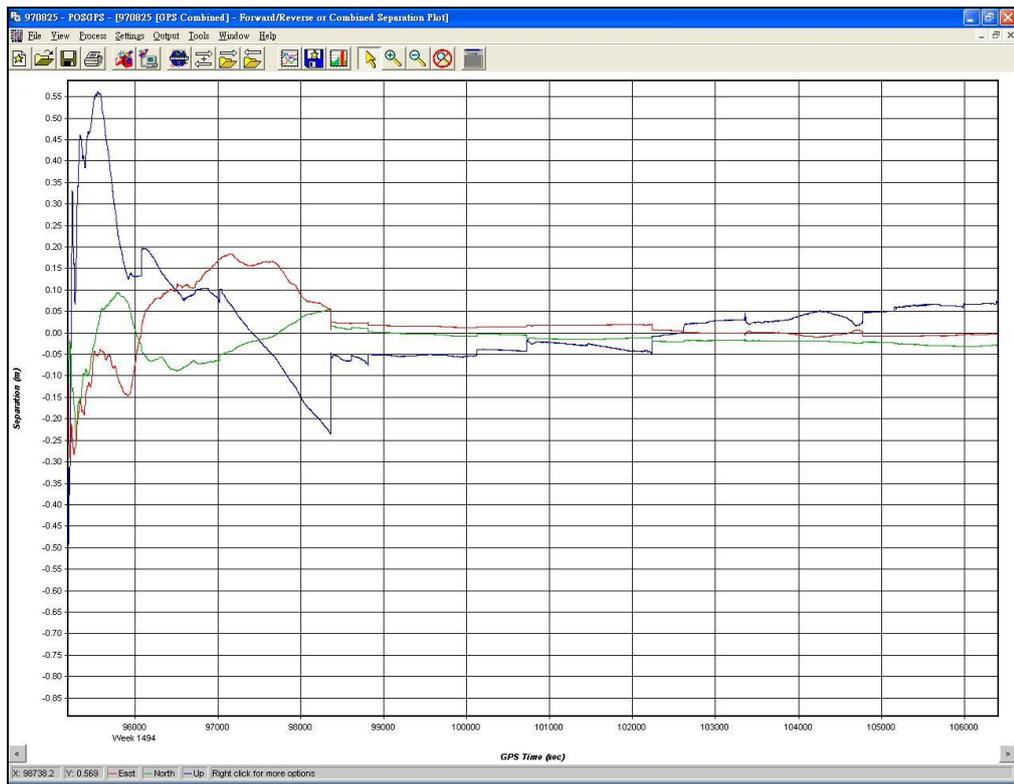


圖 3-32 97 年 08 月 25 日 GPS 正反算之差異值 < 20cm

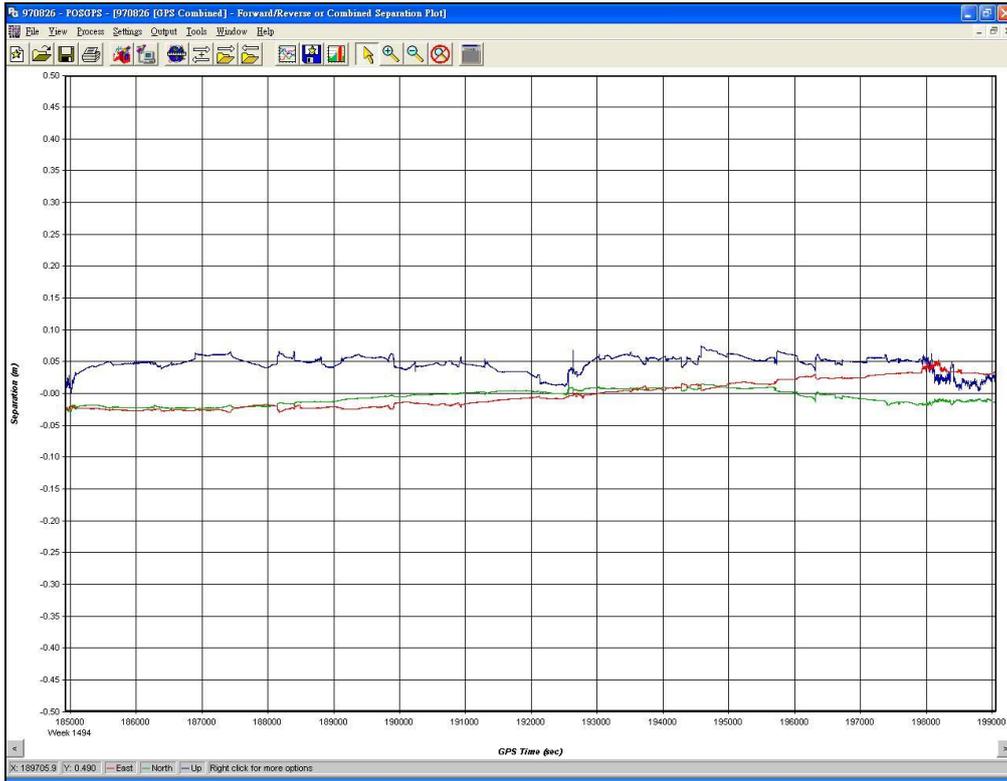


圖 3-33 97年08月26日 GPS 正反算之差異值<20cm



圖 3-34 97年08月27日 GPS 正反算之差異值<20cm

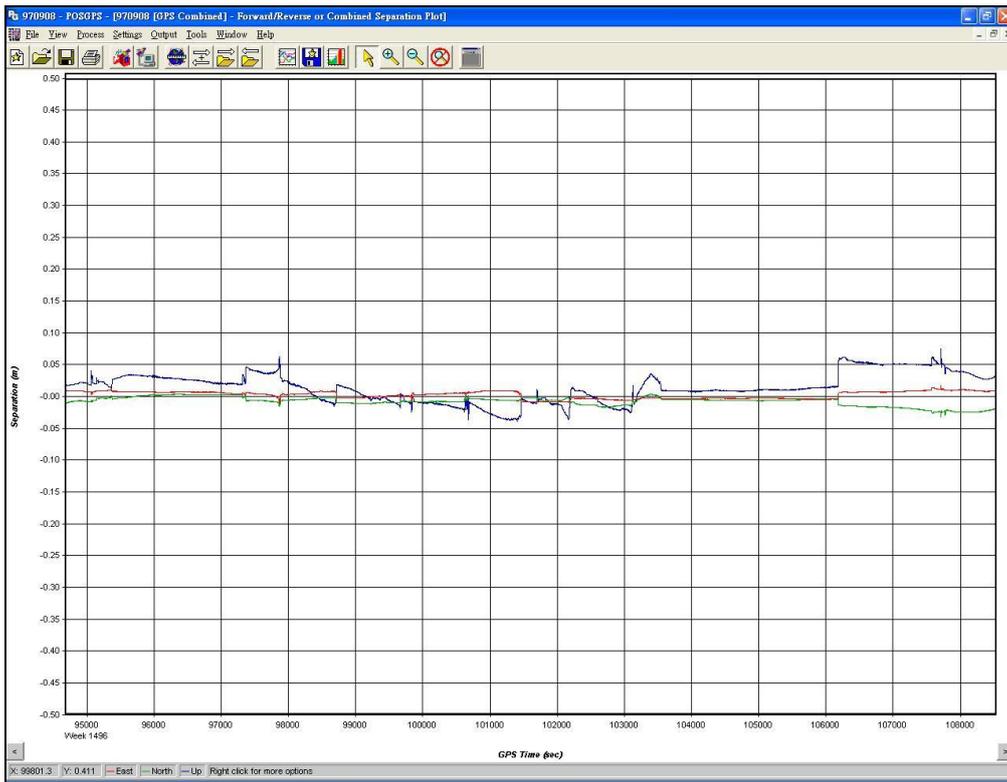


圖 3-35 97 年 09 月 08 日 PM GPS 正反算之差異值 < 20cm

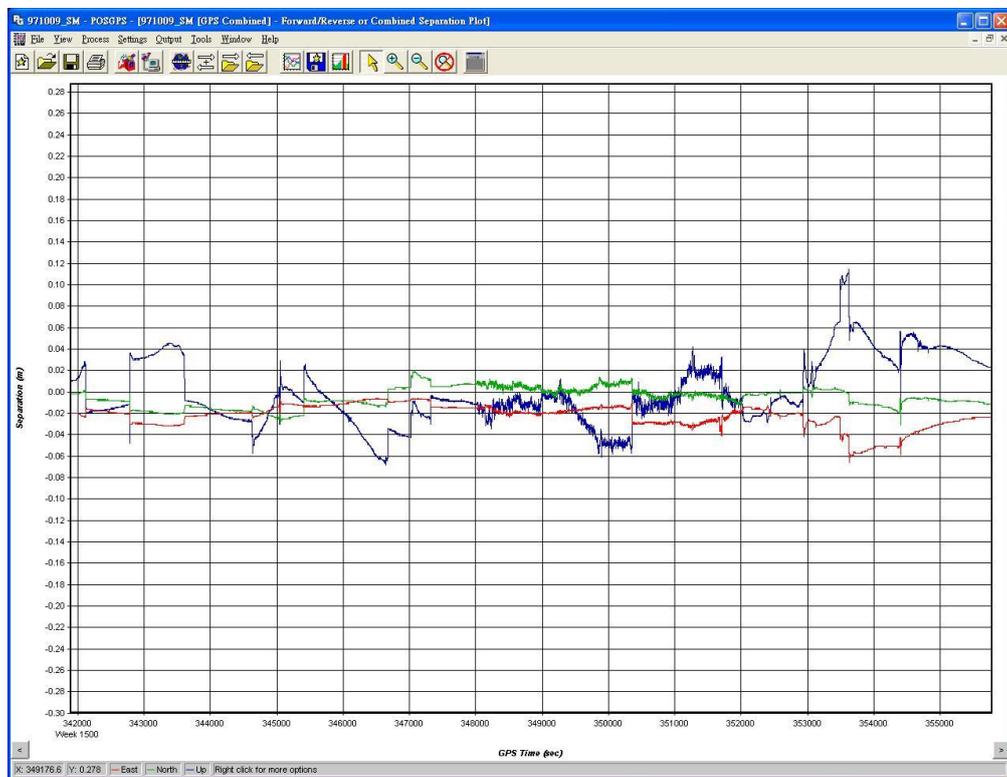


圖 3-36 97 年 10 月 09 日 GPS 正反算之差異值 < 20cm

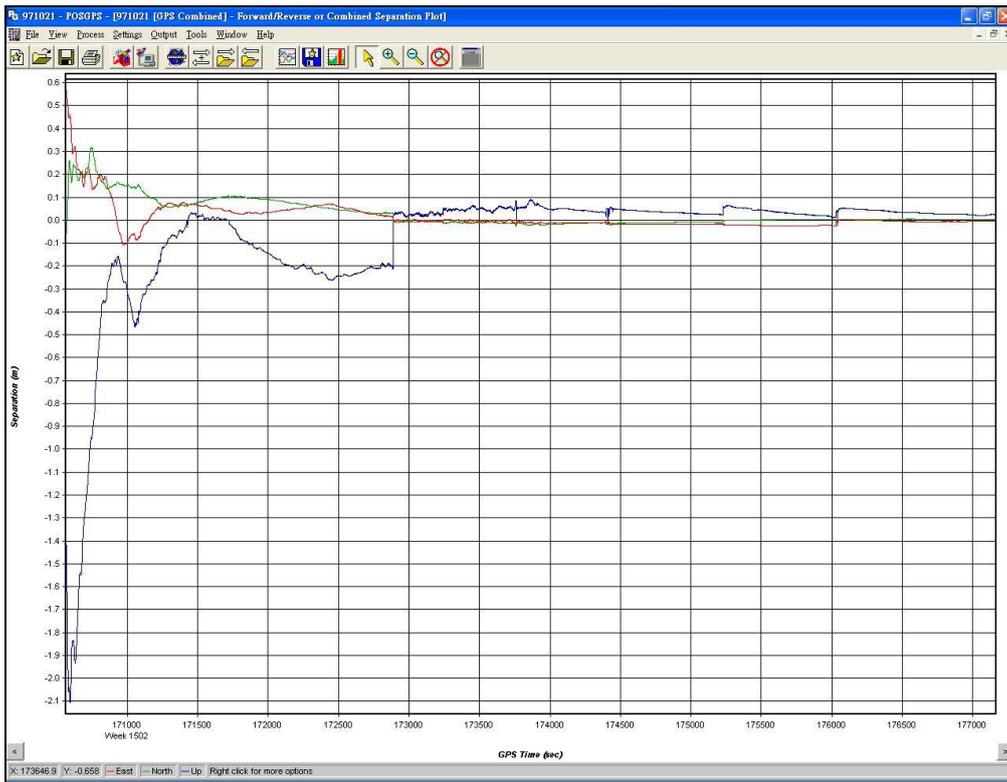


圖 3-37 97 年 10 月 21 日 GPS 正反算之差異值 < 20cm

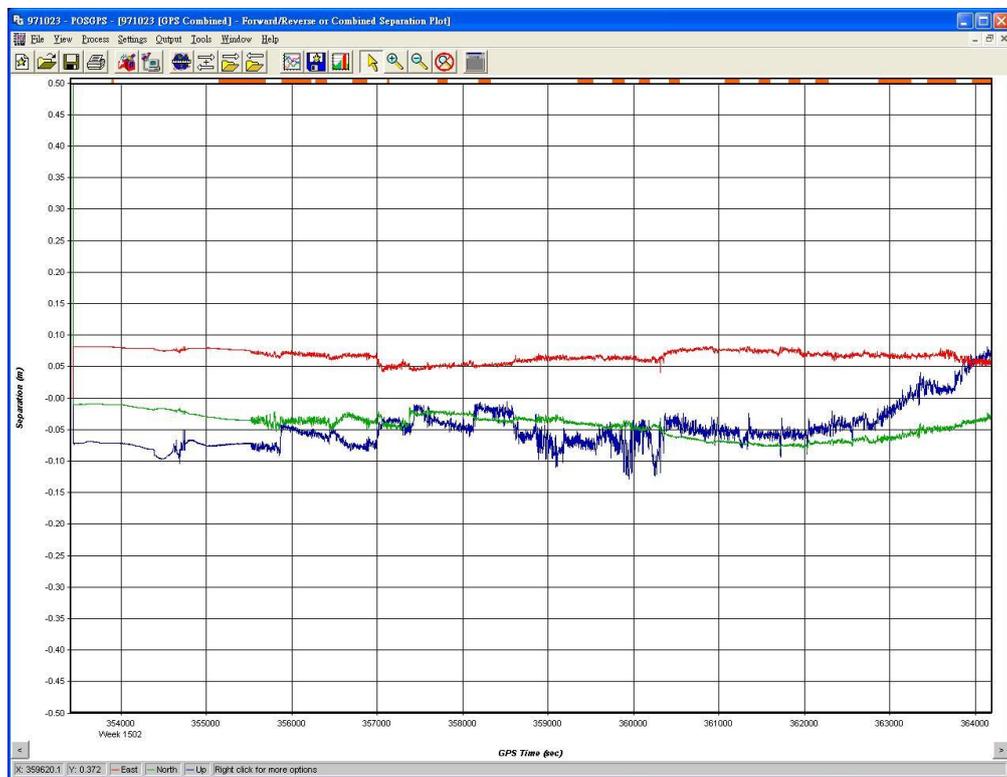


圖 3-38 97 年 10 月 23 日 GPS 正反算之差異值 < 20cm

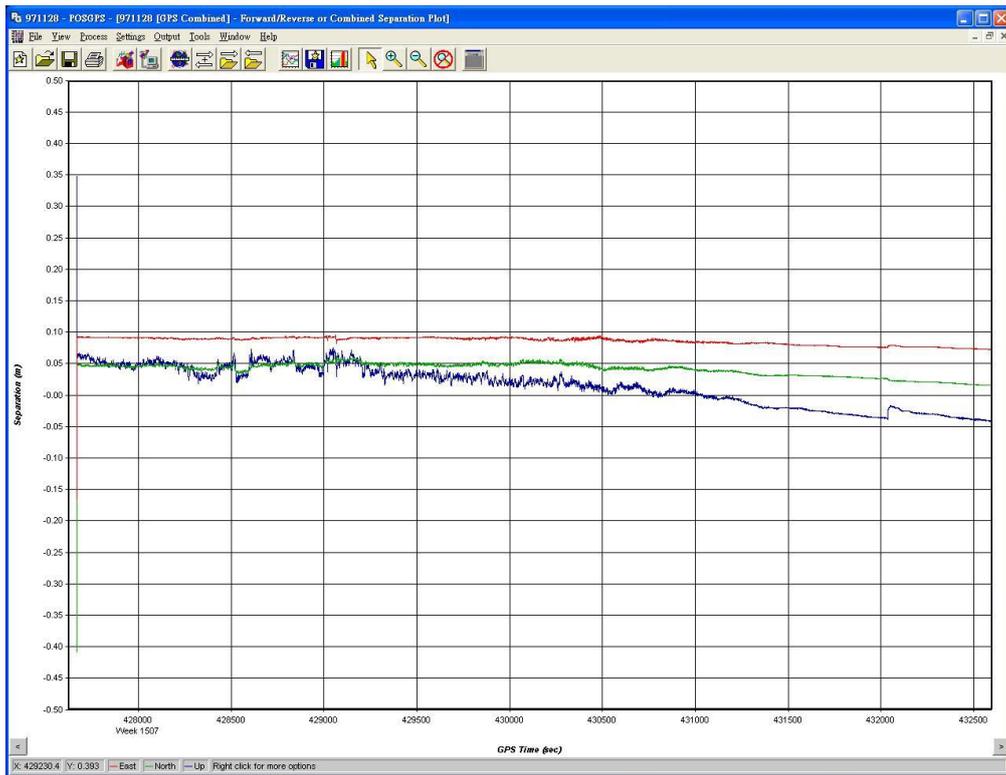


圖 3-39 97 年 11 月 28 日 GPS 正反算之差異值<20cm

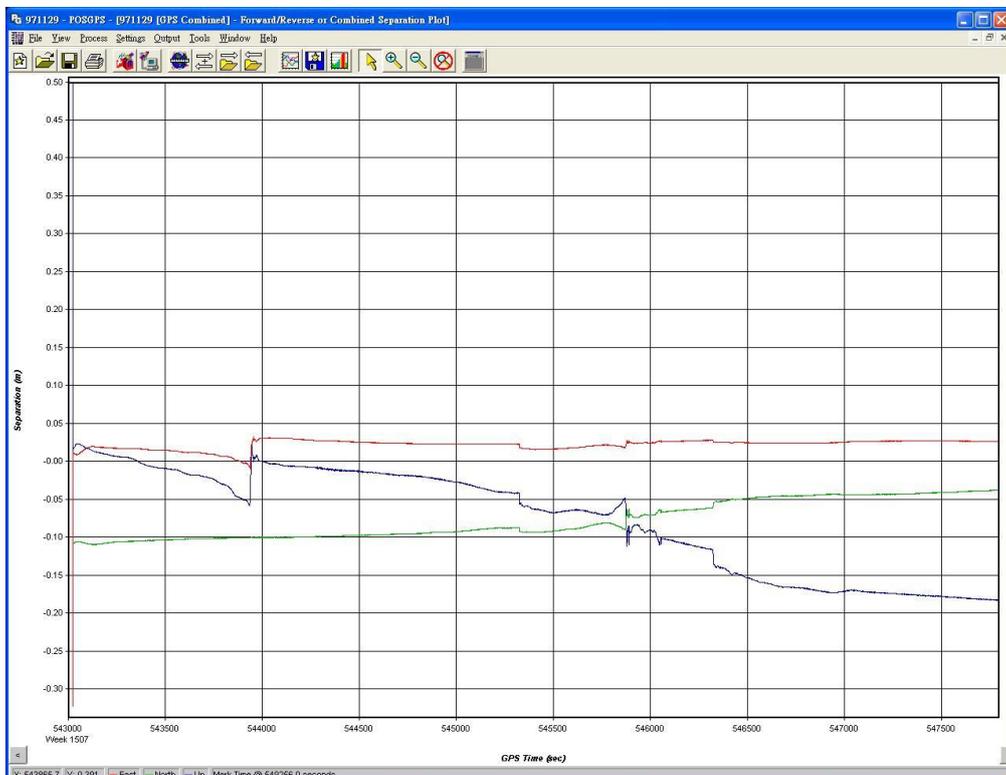


圖 3-40 97 年 11 月 29 日 GPS 正反算之差異值<20cm

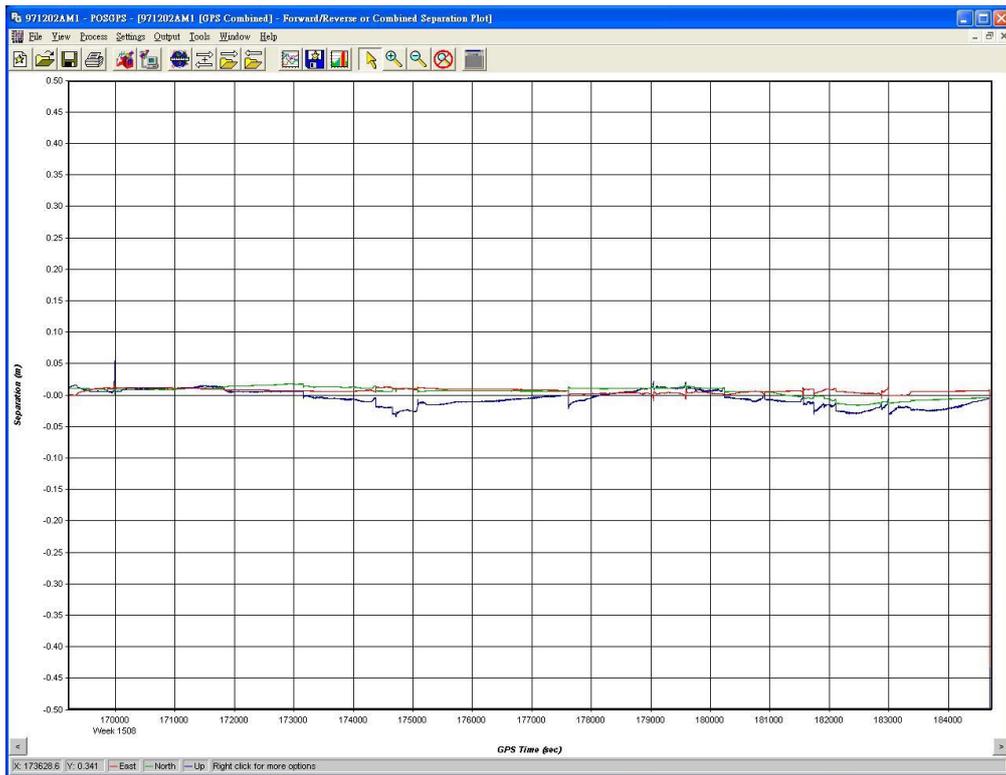


圖 3-41 97 年 12 月 02 日上午 GPS 正反算之差異值 $<20\text{cm}$

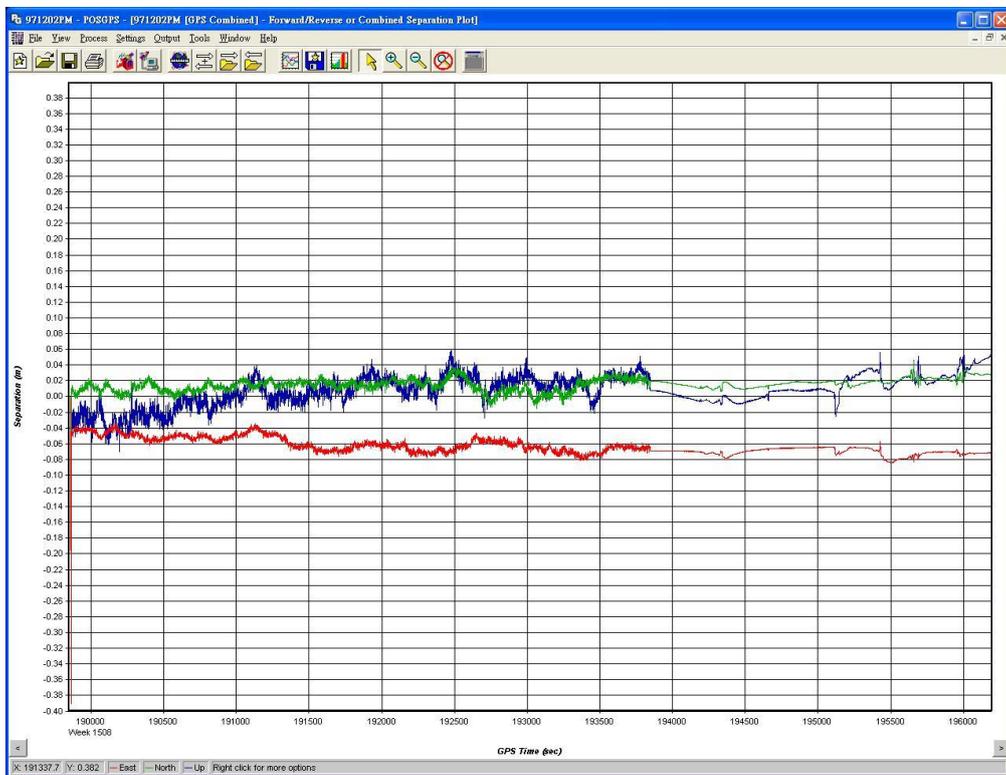


圖 3-42 97 年 12 月 02 日下午 GPS 正反算之差異值 $<20\text{cm}$

(五)掃描數據 LAS 檔解算

經由上述之 GPS 各項精度分析後將載體 IMU 資料內插至 GPS 三維航跡上，求解出 LIDAR 掃描時掃描儀之瞬間位置與姿態資訊 (POS)，一般稱為 Sbet 航跡資料。

結合 LIDAR 之 POS (Sbet)軌跡資料與雷射掃描測距資料 (掃描角與距離)，加入各項系統誤差率定參數、TWD97 坐標投影參數，利用 LEICA ALS Post Processor v2.69 版軟體(如圖 3-43)逐條航線求解產出原始點雲資料(如圖 3-44)。資料格式以國際標準 LIDAR 資料格式(.LAS)儲存，內容包含 E,N,H,I 及 Time Stamp。

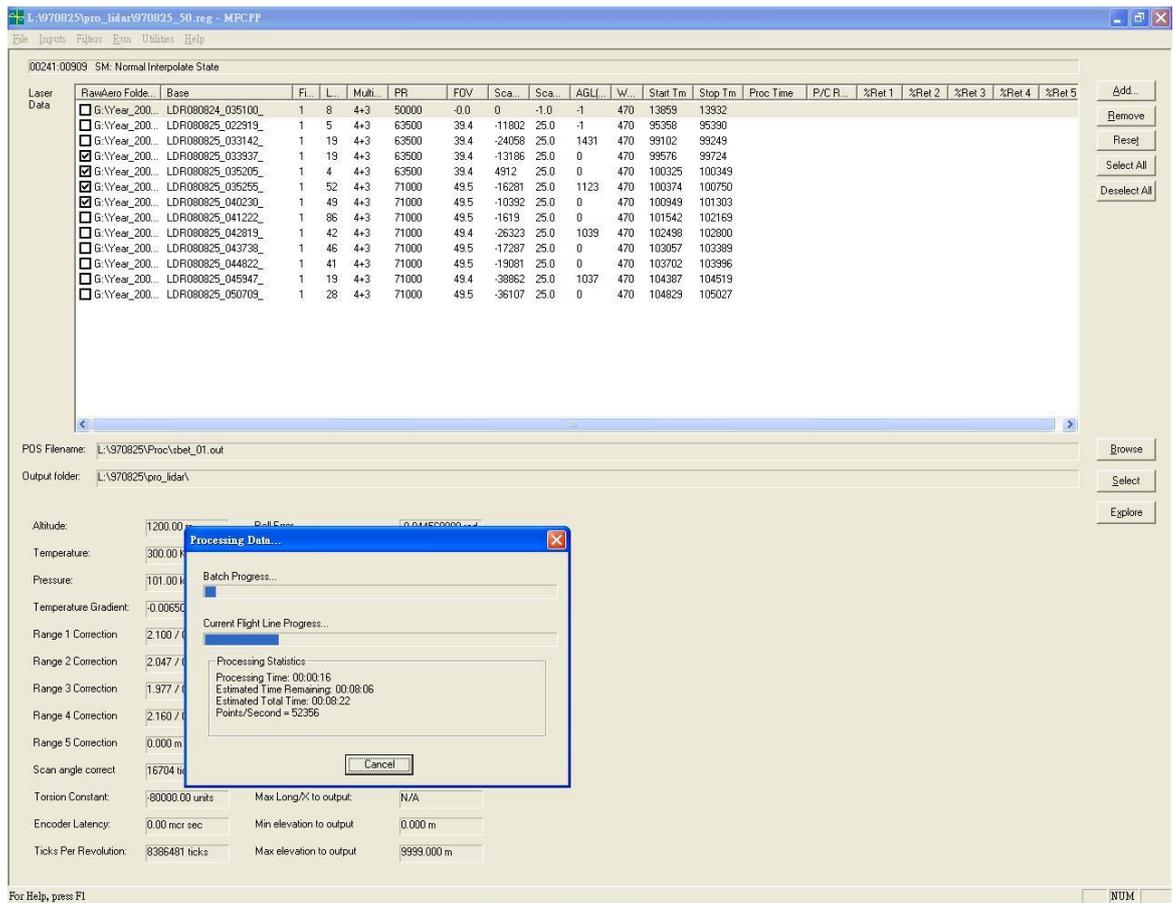


圖 3-43 ALS50 Post Processor 軟體原始點雲產出示意圖

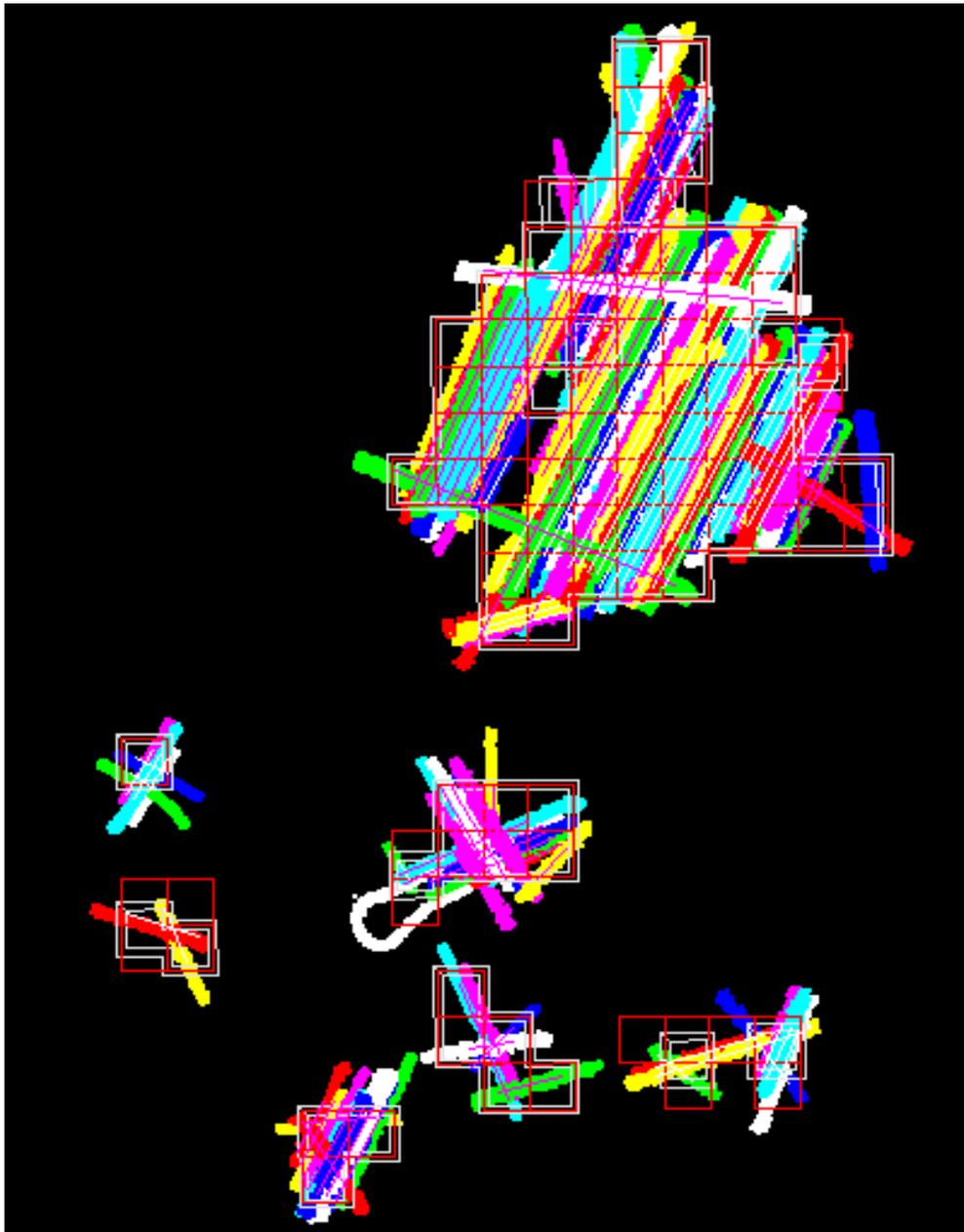


圖 3-44 澎湖測區各航線所有點雲涵蓋圖

(六)航帶重疊比分析

LIDAR 飛航掃描成果之初步檢核作業，首先針對航帶間重疊比例進行分析作業，將重疊航線依上中下三部分量取其航帶寬度與重疊帶寬(如圖 3-45)，以計算航線間重疊比例，各航線間重疊比計算表列如表 3-8(合約規範各航線間重疊率均應大於 40%)。

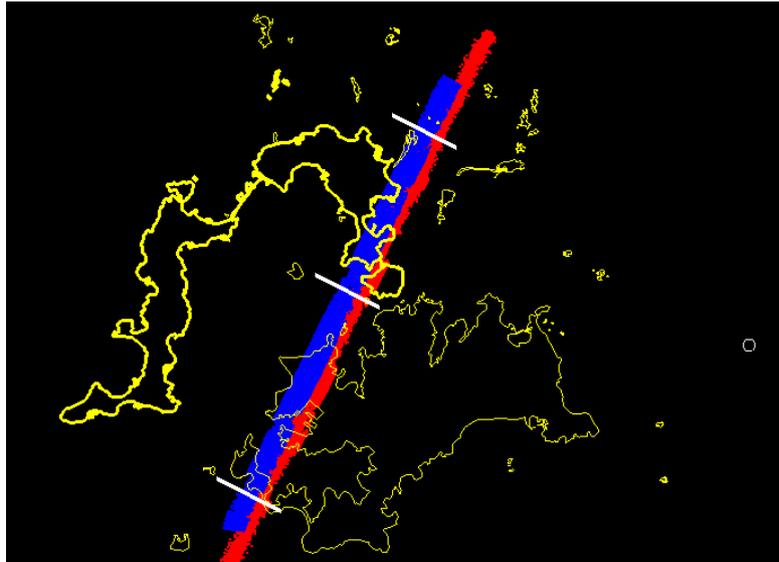


圖 3-45 航帶重疊比例分析量測示意圖

表 3-8 各航帶間重疊比例分析表

航線編號		平均寬度(m)	平均重疊寬度(m)	重疊率%	航帶線號		平均寬度(m)	平均重疊寬度(m)	重疊率%
58	57	976	450	46.11	31	32	898	378	42.09
57	56	952	401	42.12	50	32	935	391	41.82
56	103	954	686	71.91	32	33	792	353	44.57
103	2	942	630	66.88	33	34	938	432	46.06
2	3	940	382	40.64	34	35	955	397	41.57
3	4	939	411	43.77	35	104	953	605	63.48
4	5	937	383	40.88	104	36	932	694	74.46
5	6	940	445	47.34	36	37	941	432	45.91
6	7	943	409	43.37	37	38	747	347	46.45
7	8	944	412	43.64	38	39	825	356	43.15
8	9	942	434	46.07	52	53	929	405	43.60
9	10	948	411	43.35	53	54	923	444	48.10
10	11	947	391	41.29	62	63	927	401	43.26
11	12	954	412	43.19	63	64	729	326	44.72
12	13	950	457	48.11	64	65	749	408	54.47
13	14	955	410	42.93	65	66	755	333	44.11
14	15	957	418	43.68	68	69	843	361	42.82
15	16	960	409	42.60	69	70	912	369	40.46
16	17	958	422	44.05	70	71	932	386	41.42
17	18	925	429	46.38	71	61	914	420	45.95
18	19	950	415	43.68	73	74	788	346	43.91
19	20	923	393	42.58	74	75	896	373	41.63
20	21	953	405	42.50	75	76	914	421	46.06
21	22	953	416	43.65	76	106	922	683	74.08
22	23	955	412	43.14	106	77	904	583	64.49
23	24	950	412	43.37	77	105	914	624	68.27
24	25	934	441	47.22	105	78	939	620	66.03
25	102	937	650	69.37	78	79	807	390	48.33
102	26	935	665	71.12	82	83	666	391	58.71
26	101	935	627	67.06	87	88	729	418	57.34
101	27	937	675	72.04	89	90	904	399	44.14
27	28	934	412	44.11	90	91	754	413	54.77
28	29	946	439	46.41	96	97	807	414	51.30
29	30	957	413	43.16	97	98	796	423	53.14
30	31	952	460	48.32	平均重疊率(%)		49.37		

(七)各航帶點雲密度分析

各航帶點雲密度計算方式係利用各航帶掃描面積 A 及該面積內所包含之第一回波雷射點數 N，將 N 除以 A 即求得該航帶點雲密度。各掃描航線之點雲密度計算如表 3-9 所示，整體掃描航線之點雲密度均符合合約要求應大於 1 點/平方公尺。

表 3-9 各航帶點雲密度分析表

航線編號	雷射點數	航帶面積 (m ²)	點雲密度 (pt/m ²)	備註	航線編號	雷射點數	航帶面積 (m ²)	點雲密度 (pt/m ²)	備註
1	54674	50032	1.09		58	685711	627296	1.09	
2	2619630	1930496	1.36		59	5415667	4413216	1.23	
3	3514362	2858208	1.23		60	8222367	533184	1.54	
4	4406313	3440832	1.28		61	1479263	1273552	1.16	
5	5131698	4000032	1.28		62	2906057	2055664	1.41	
6	5128814	4201600	1.22		63	3211675	2287120	1.40	
7	5861521	4310064	1.36		64	3591686	2671824	1.34	
8	7566635	5529680	1.37		65	2579040	1553008	1.66	
9	8175347	6484480	1.26		66	470005	268272	1.75	
10	10358069	8962400	1.16		67	34526	25648	1.35	
11	10676972	9501712	1.12		68	2540333	1782288	1.43	
12	9573291	9033760	1.06		69	3646169	2631296	1.39	
13	10581294	8106080	1.31		70	3610147	2942960	1.23	
14	11814073	10986064	1.08		71	3500479	2357216	1.49	
15	11135457	10252480	1.09		72	56620	45824	1.24	
16	7631235	6178000	1.24		73	455503	335616	1.36	
17	7496435	5362288	1.40		74	1442224	980992	1.47	
18	6539300	5064144	1.29		75	2434722	1669024	1.46	
19	5967362	4510240	1.32		76	3957213	2563232	1.54	
20	7855214	5980896	1.31		77	4847226	3105024	1.56	
21	7377832	6029040	1.22		78	3035444	2531616	1.20	
22	7022812	5654608	1.24		79	1048548	699808	1.50	
23	5306406	4435360	1.20		80	2006213	1539744	1.30	
24	4846725	3514256	1.38		81	3019397	2059280	1.47	
25	4281489	3210240	1.33		82	1054985	709024	1.49	
26	3338629	2639040	1.27		83	762882	409968	1.86	
27	2715983	2060816	1.32		84	770747	537584	1.43	
28	3059843	2652432	1.15		85	700369	517120	1.35	
29	3367130	2664112	1.26		86	14709	9600	1.53	
30	5220744	4169952	1.25		87	1234174	780576	1.58	
31	2809641	2362368	1.19		88	1697882	1304144	1.30	
32	3839794	3028128	1.27		89	856178	657872	1.30	
33	7258080	4644832	1.56		90	1732061	1360144	1.27	
34	6822094	5846400	1.17		91	1016052	706288	1.44	
35	7707320	5973648	1.29		92	935726	836272	1.12	
36	7414788	5483056	1.35		93	841335	815296	1.03	
37	6261948	4726608	1.32		94	408611	253568	1.61	
38	4493127	3075776	1.46		95	292759	163600	1.79	
39	702594	321488	2.19		96	1067114	584976	1.82	
44	2034111	1724480	1.18		97	1783413	1101456	1.62	
46	948613	738448	1.28		98	1023385	655696	1.56	
47	651134	378560	1.72		99	1048422	661136	1.59	
49	4781469	4189536	1.14		100	738864	493760	1.50	
50	663018	480848	1.38		101	2425688	1999888	1.21	
51	5072576	4805408	1.06		102	3383317	2773728	1.22	
52	1228727	798512	1.54		104	6202912	5525792	1.12	
53	3860038	2111120	1.83		103	1982035	1658976	1.19	
54	1568634	1101488	1.42		105	3152896	3006672	1.05	
56	1997934	1526640	1.31		106	2967641	2306624	1.29	
57	1604167	1175248	1.36		平均點雲密度(pt/m ²)		1.36		

第肆章 資料後處理

第一節 航帶重疊數據精度評估方法

空載雷射掃描儀若系統率定不完整，GPS 與 IMU 系統誤差會傳播到解算後雷射測點三維坐標的精度，為了檢驗並減少系統誤差，本工作採用 Terrasolid 之 TerraMatch 模組進行雷射掃描航帶平差，利用航帶重疊數據連結點的高程與 Intensity 值進行連結點的量測，以評估重疊航帶的內部精度不符值，並進一步改正系統誤差。

系統誤差型態可藉由剖面圖檢視航帶重疊處數據的不吻合及系統偏移量如圖 4-1；或是藉由航帶剖面與已知的地面高程比較如圖 4-2(圖上綠色平滑曲線為地面已知高程面，紅色鋸齒線為雷射測點剖面，顯示著隨 FOV 角度越大，兩者差值越大)。

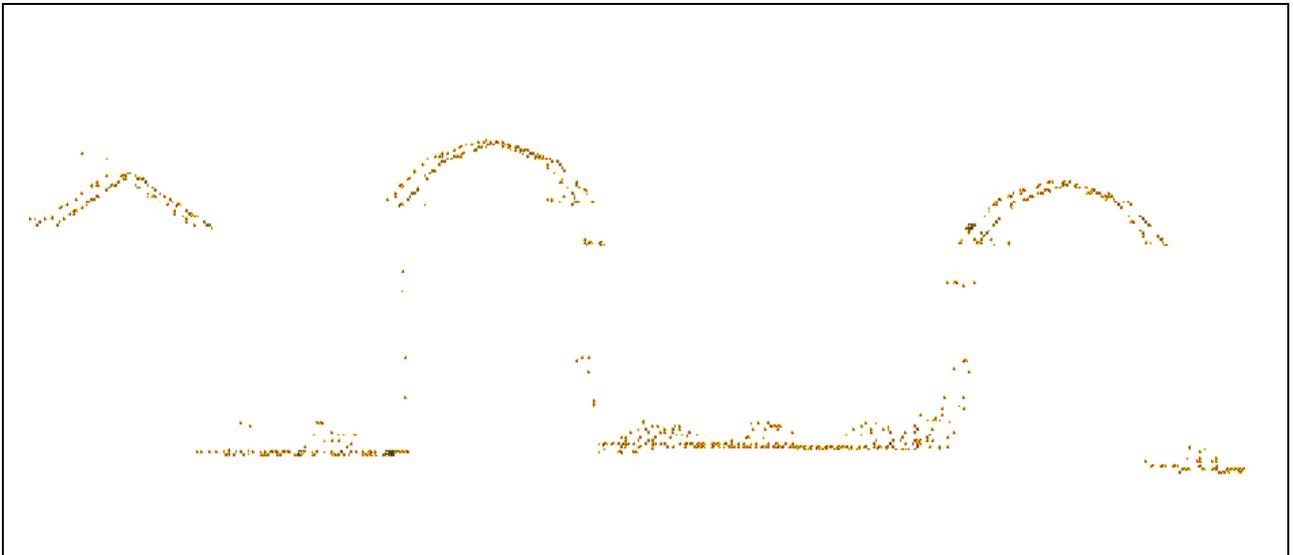


圖 4-1 系統偏移量導致航帶重疊處數據不吻合之情形

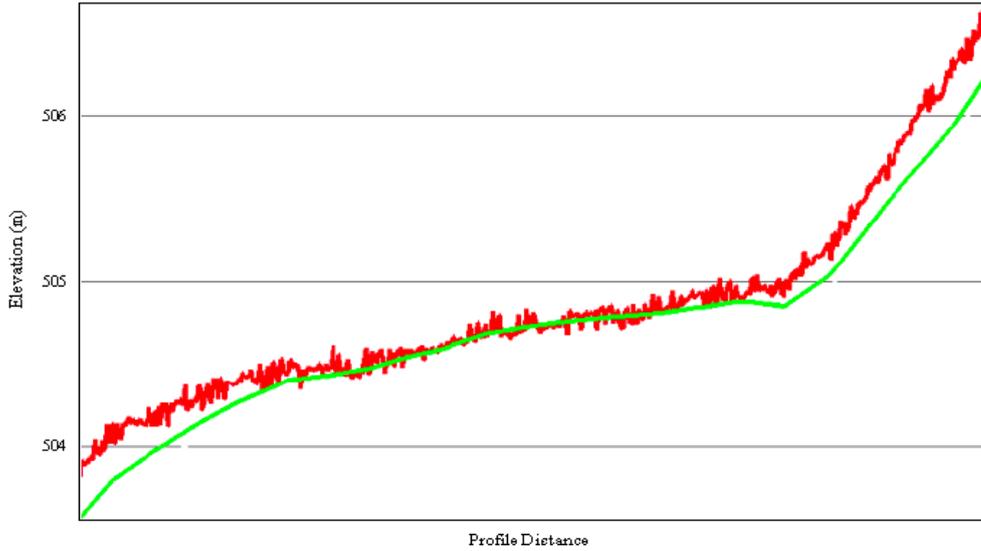


圖 4-2 系統誤差影響案例

一、航帶平差原理

TerraMatch 雷射航帶平差的演算法可參考 Burman(2000)，觀測方程式如下：

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{GPS}(t) - R_{INS}(t) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{antenna} + R_{INS}(t) \cdot R_{LRF} \cdot R_{Mirror} \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{pmatrix}$$

式中

$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$ 為雷射測點在 WGS84 地面坐標系

$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{GPS}$ 為 GPS 天線在 WGS84 坐標系

$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{antenna}$ 為天線到 INS(Inertial Navigation System) 平移量

$\begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{pmatrix}$ 為雷射定位分量

R_{LRF} 為從雷射掃描頭到 INS 轉換參數

R_{INS} 為 INS 獲取姿態角度

R_{Mirror} 為掃描鏡旋轉矩陣

在平差過程中，未知數包括平移參數、旋轉參數、平移參數線性漂移量、旋轉參數線性漂移量，由於掃描幾何條件—未知參數之間存在參數高相關，若再加入地面已知控制點可對平移量進行約制的手段；另一方面，若減少參數量，則在隨機模式高相關參數對應組中，選取姿態參數求定，其加權值效果以去掉平移參數線性漂移量的未知數，會有較穩健的求解成果。在未知參輸入先驗精度，則依 Roll、Pitch、Heading 之角度先驗標準差分別為 0.005 度、0.005 度、0.008 度(LN-200 IMU 之儀器精度)，長度相關向量為 0.05 公尺。

航帶平差輸入資料包括(1)時間序列的航跡三維坐標，(2)時間序列的點雲三維坐標，(3)地面已知點三維坐標。

平差作業流程包括：

1. 處理雲點資料，過濾參數的選擇，重點在濾除植被點。
2. 航帶之間重疊數據選取特徵點匹配區。
3. 航帶平差計算與改正。
4. 航帶平差成果評估。

利用航帶重疊數據，進行航帶平差與平差成果評估，可獲得航帶之間的內部精度，並可進行系統性誤差的改正。

二、航帶平差精度檢核方式---平坦地高程精度分析

航帶平差後，於第二階段採用之航帶重疊數據分析依 Latypov(2002)提出；選取平坦面積高程進行比對法，目的是為進行獨立檢查航帶平差後的成果，方法如下：

1.計算重疊航帶小面積(10公尺×10公尺)內，各航帶之測點高程平均值 h_s 與高程標準偏差 σ_s 。

2.計算重疊航帶數據，左右航帶各個小面積高程平均值比較：

$$\delta h = \hat{h}^{(2)} - \hat{h}^{(1)}$$

由 σ_s 評估地形平坦度(Flatness)，篩選平坦區域($\sigma_s < 0.10$ 公尺)，計算左右航帶同一小面積內高程平均值的差值，分析統計量。

三、航帶平差精度檢核方式---重疊區數據分析

點雲三維坐標計算後，經投影計算到 TWD97 投影坐標系統，經過航帶平差分析模型變形的參數是否顯著，並進一步檢核航帶重疊區間是否有明顯的系統誤差，流程如圖 4-3。若航帶重疊區間的系統誤差高於設定的標準，則應查明原因並予以改正或者重新收集數據。

檢核點計算方法選擇區域應滿足以下條件：

- 1.局部平坦區域且其坡度應小於 10 度。
- 2.掃描點均勻覆蓋此區域。
- 3.無其他局部覆蓋物區域。

以航帶內某一 5 公尺×5 公尺範圍內的點雲平均高程為比較值，亦即若要比較兩航帶內某共軛點的相對高程差，則應以某一平面點位為中心，分別挖取 5 公尺×5 公尺範圍內的點雲資料計算其平均高程(如圖 4-4)，以計算其高程差，同時檢核範圍內點雲高程之標準偏差，避免使用標準偏差大於 0.5 公尺的區域。若只有少數點偏離平均高程太遠，可嘗試將這些點摒除在計算點群外，避免影響檢核結果，流程如圖 4-5。

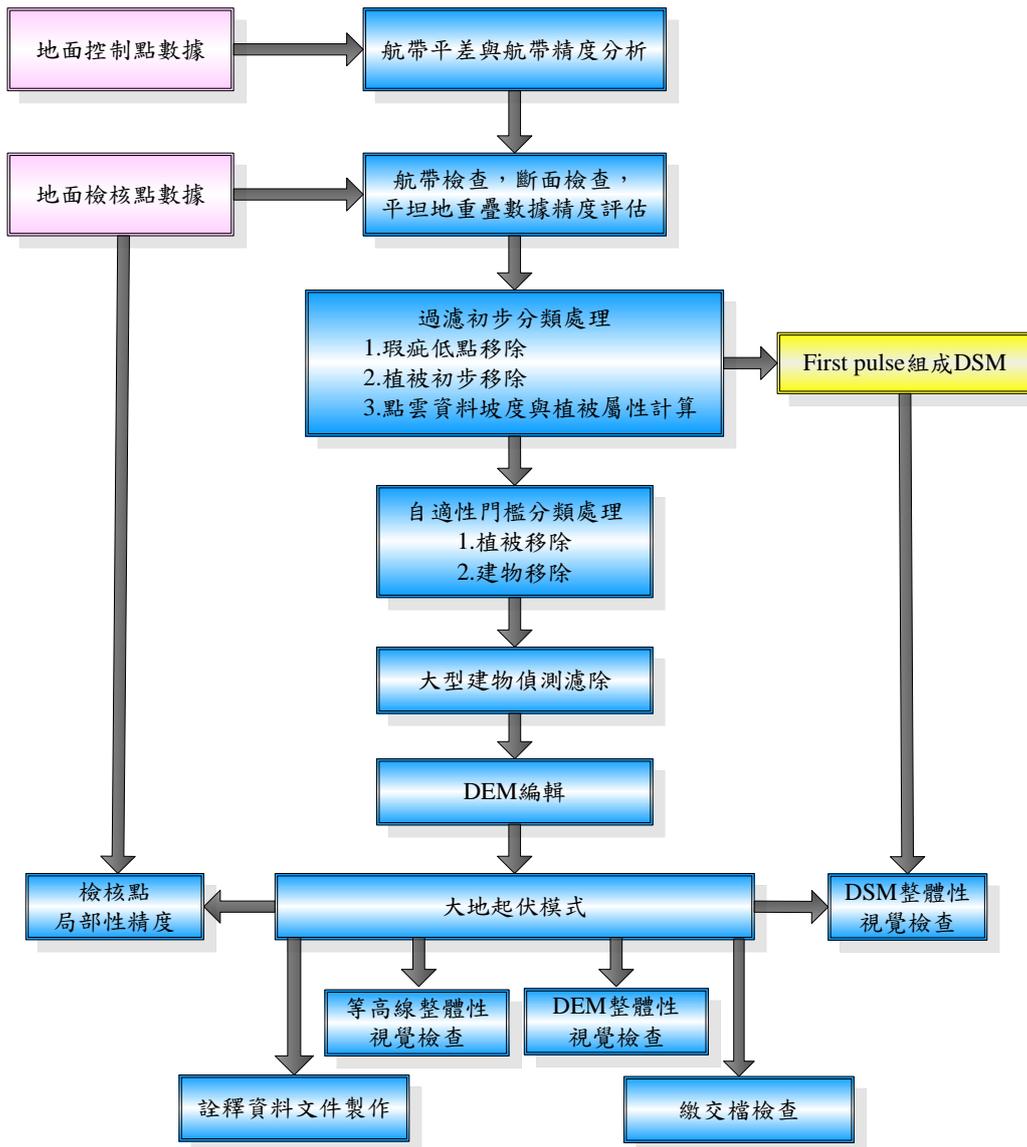


圖 4-3 資料後處理流程

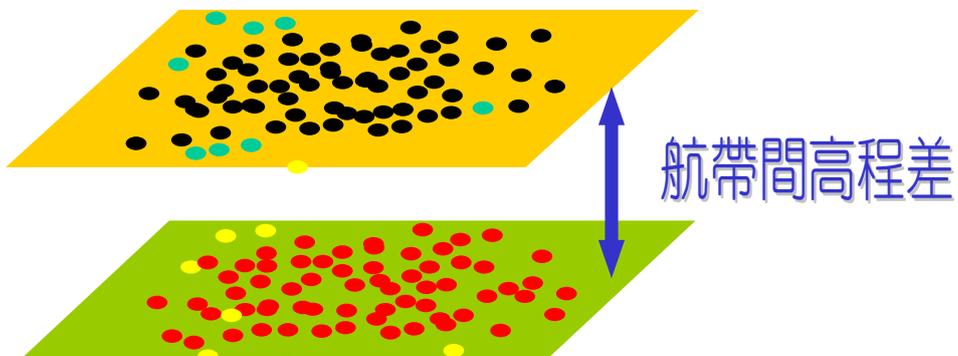


圖 4-4 推求兩航帶內共軛點的相對高程差示意圖

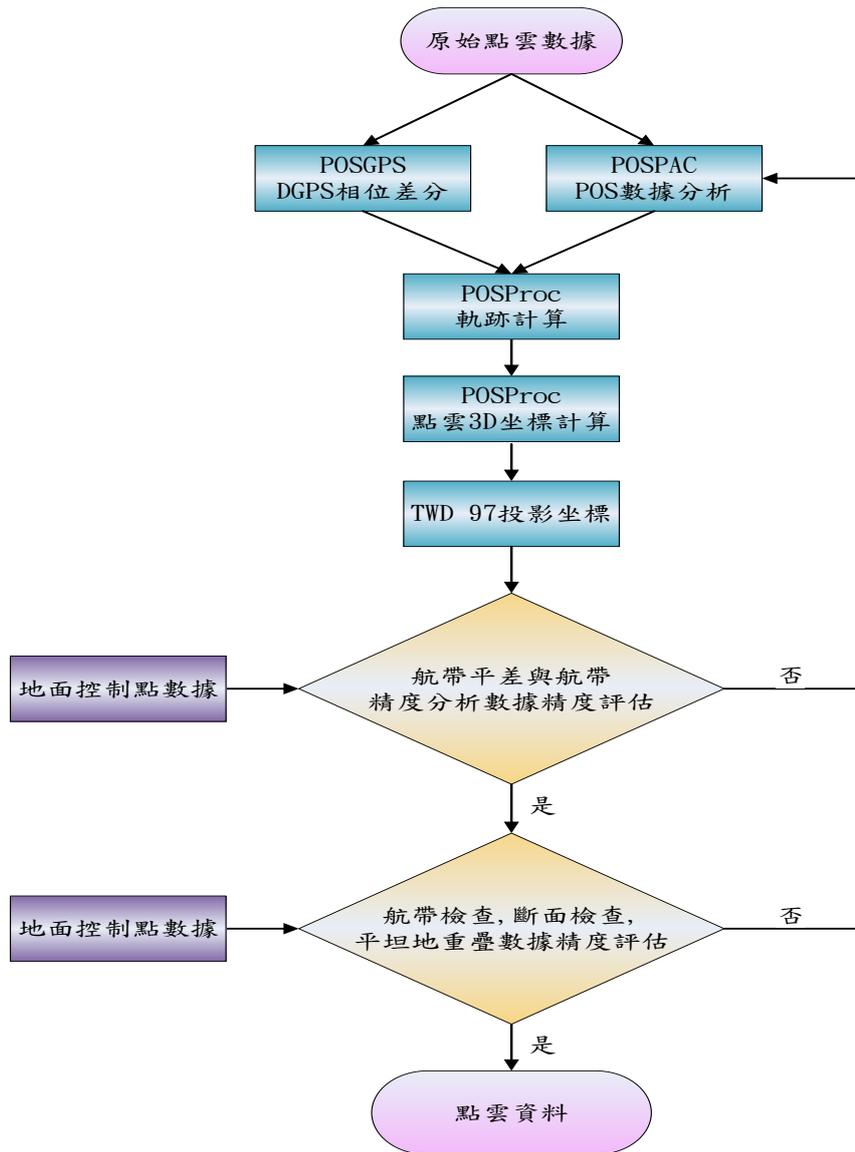


圖 4-5 點雲數據品質管流程圖

四、航帶平差精度檢核方式---交叉飛航重疊區數據分析

同理，分別以上述方式進行交叉飛航航帶與其他重疊航帶重疊處篩選平坦區域，分析每個平坦地小面積內進行重疊航帶高程的比對及統計分析。航帶重疊區皆需經檢核，經檢核通過後才能進行數據的整合，並進行後續地面點及非地面點之點雲過濾工作。

第二節 航帶重疊數據誤差分析比較

本案之作業區共進行 99 條航線(包含 14 條交叉航線)，於本作業精度評估採用 TerraMatch 模組之 Measure Match 功能，其設定最大搜尋範圍為 20 公尺、高程差約制為 20 公分(圖 4-6)，以進行航帶重疊區數據之分析，於航帶重疊區域內之平坦處且坡度小於 10 度，以 5 公尺×5 公尺選取範圍進行點雲資料之平均高程計算，圖 4-7 為全區選取航帶平差區域之分布，圖 4-8 為航帶重疊區數據分析情形。在航帶重疊區數據之分析結果中，各名詞定義如下：

- 「計算點數(Points)」為航帶間共軛區塊進行平差作業的總點數；
- 「絕對高程差量(Magnitude)」為該航帶計算總點數之絕對高程差平均值；
- 「平均高程差(Dz)」為該航帶計算總點數之高程差平均值；
- 「各航帶平均絕對高程差量(Average magnitude)」為各航帶之絕對高程差量的平均值；
- 「各航帶平均高程差(Average Dz)」為各航帶之平均高程差的平均值。

本測區航帶重疊區數據之分析結果如表 4-1，其平均絕對高程差量約為 0.047 公尺。

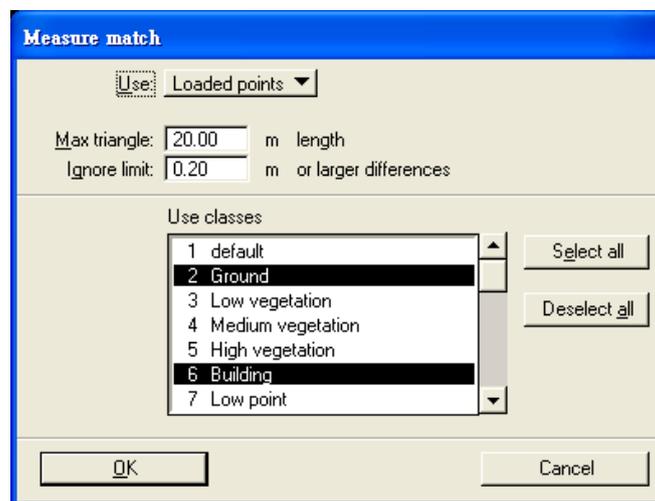


圖 4-6 Measure Match 參數設定

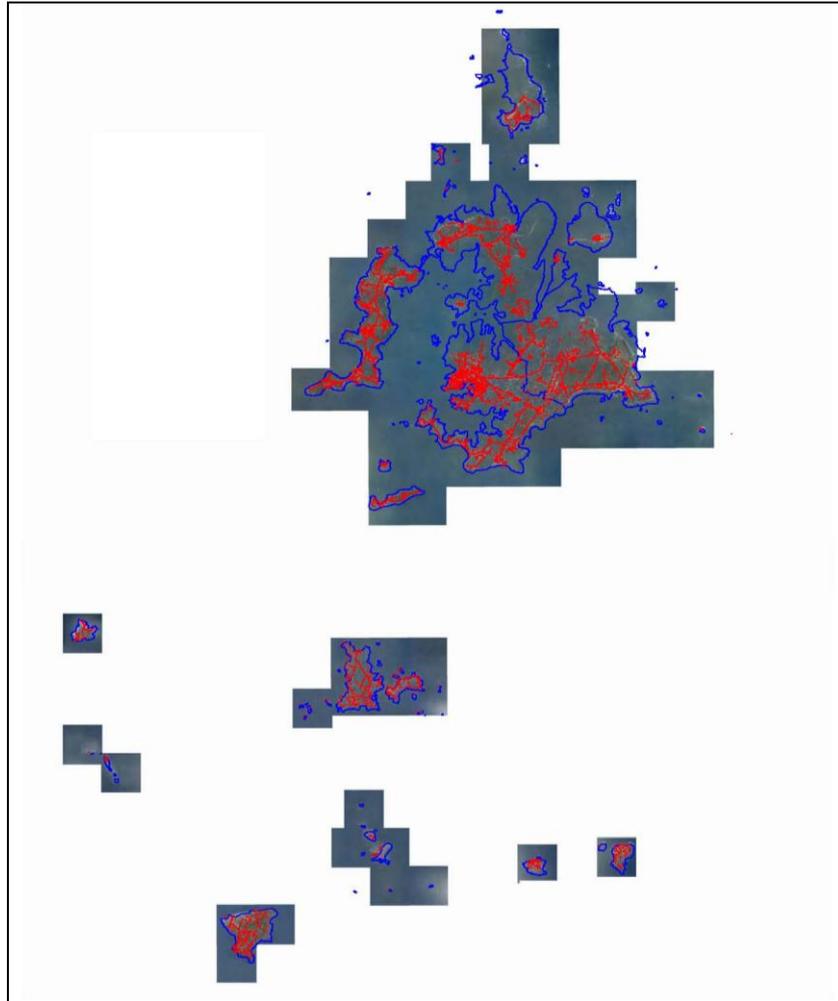


圖 4-7 選取航帶平差區域之分布

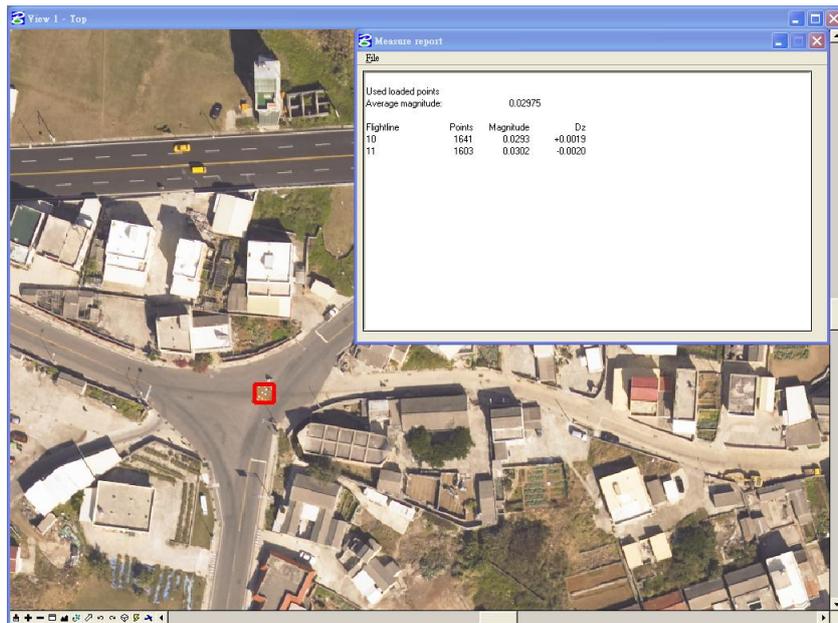


圖 4-8 航帶重疊區數據分析情形(航線 10 與 11)

表 4-1 各航帶重疊區數據之分析結果

平差前							
各航帶平均絕對高程差量(m)				0.047			
航線	計算點數	平均絕對高程差量(m)	平均高程差(m)	航線	計算點數	平均絕對高程差量(m)	平均高程差(m)
1	300	0.0740	0.0217	58	723	0.0429	-0.0114
2	218	0.0322	-0.0109	59	136	0.0772	-0.0480
3	296	0.0301	0.0068	60	77	0.0546	-0.0280
4	1005	0.0314	0.0027	61	83	0.0447	0.0260
5	1174	0.0313	-0.0023	62	1917	0.0659	-0.0261
6	1021	0.0464	-0.0168	63	79	0.0855	-0.0392
7	1534	0.0228	0.0010	64	415	0.0333	0.0069
8	731	0.0256	0.0080	65	123	0.0430	-0.0153
9	510	0.0266	0.0085	66	95	0.0416	0.0198
10	1641	0.0293	0.0019	67	555	0.0929	0.0036
11	1603	0.0302	-0.0020	68	78	0.0352	0.0141
12	566	0.0291	0.0032	69	74	0.0370	-0.0149
13	1331	0.0283	-0.0016	70	146	0.0400	0.0069
14	1943	0.0325	-0.0130	71	912	0.0869	0.0405
15	2089	0.0350	-0.0077	72	127	0.0969	-0.0279
16	1462	0.0357	-0.0073	73	40	0.0520	0.0416
17	1221	0.0333	0.0087	74	84	0.0321	-0.0198
18	2146	0.0342	-0.0003	75	236	0.0292	0.0070
19	2566	0.0286	0.0002	76	264	0.0359	-0.0062
20	1812	0.0267	-0.0003	77	135	0.0443	0.0254
21	5750	0.0324	-0.0032	78	162	0.0552	-0.0146
22	2048	0.0372	-0.0167	79	46	0.0589	0.0515
23	1624	0.0432	0.0210	80	209	0.0456	0.0279
24	1497	0.0341	-0.0053	81	26	0.0277	0.027
25	1370	0.0329	0.0058	82	613	0.0735	-0.0428
26	89	0.0417	-0.0389	83	374	0.0896	-0.0399
27	88	0.0626	0.0393	84	298	0.0755	0.02265
28	2512	0.0332	-0.0053	85	133	0.0780	-0.0517
29	1692	0.0335	0.0074	86	55	0.0976	0.0317
30	1412	0.0352	-0.0089	87	91	0.0835	0.0540
31	1248	0.0415	0.0168	88	239	0.0334	-0.0319
32	619	0.0326	-0.0166	89	563	0.0425	0.0172
33	365	0.0296	0.0282	90	201	0.0360	0.0047
34	543	0.0667	-0.0414	91	59	0.0362	-0.0077
35	710	0.0338	0.0250	92	60	0.0305	0.0076
36	1782	0.0337	-0.0096	93	1317	0.0831	0.0682
37	590	0.0400	-0.0090	94	955	0.0619	0.0225
38	871	0.0378	0.0061	95	81	0.0622	-0.0391
39	164	0.0289	0.0086	96	1003	0.0591	0.0304
44	428	0.0309	-0.0175	97	1967	0.0598	-0.0011
46	115	0.0608	-0.0554	98	994	0.0637	0.0139
47	112	0.0632	0.0463	99	1447	0.0681	-0.0211
49	444	0.0454	0.0266	100	1575	0.0707	-0.0088
50	139	0.0682	0.0651	101	433	0.0308	0.0001
51	147	0.0412	0.0015	102	2706	0.0356	-0.0106
52	785	0.0592	0.0292	103	630	0.0306	0.0060
53	607	0.0469	0.0190	104	1443	0.0368	-0.0123
54	774	0.0431	-0.0149	105	549	0.0948	0.0713
56	52	0.0255	-0.0232	106	490	0.0808	-0.0799
57	353	0.0428	0.0234	-----	-----	-----	-----

第三節 航帶平差飛航數據誤差分析比較

航帶平差飛航數據誤差分析係採用 TerraMatch 模組之 Find Match 功能(圖 4-9)，求得兩航帶間的修正參數(圖 4-10)，其參數包含 Z、Heading、Roll 及 Pitch，再將修正參數修正至各航帶(圖 4-11)，以進行點雲資料之平均高程計算。各航帶重疊區數據平差前後之分析結果如表 4-2 至表 4-5，平差前之平均絕對高程差量約為 0.047 公尺，平差後之平均絕對高程差量約為 0.043 公尺。

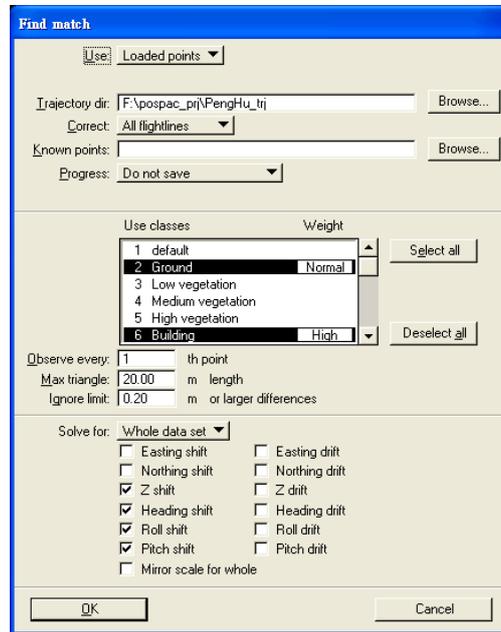


圖 4-9 Measure Match 參數設定

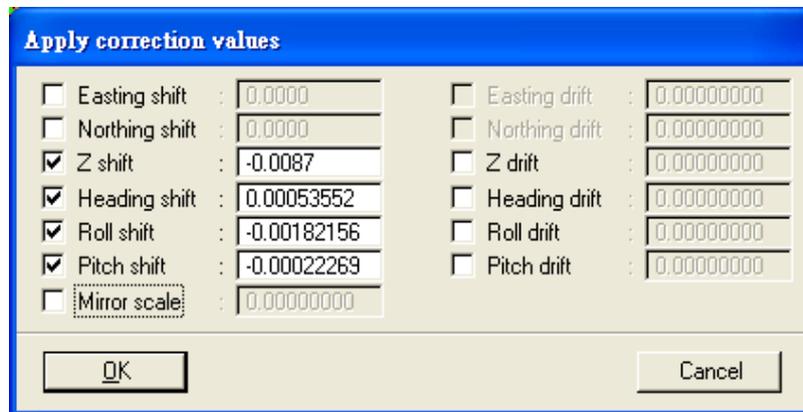


圖 4-10 航線 10 與 11 求得之修正參數

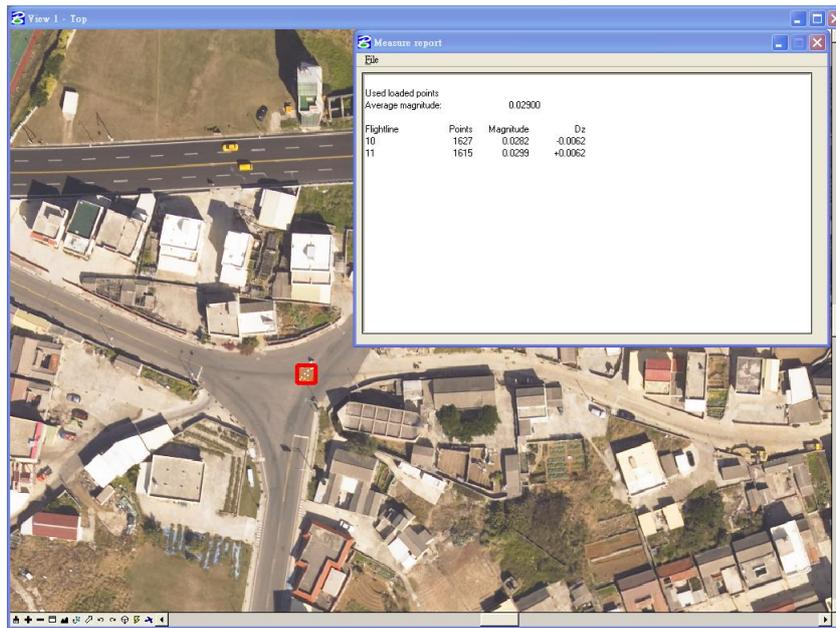


圖 4-11 航線 10 與 11 修正後之平差結果

表 4-2 各航帶平差分析結果-1

平差前				平差後			
各航帶平均絕對高差量(m)		0.047		各航帶平均絕對高差量(m)		0.043	
各航帶平均高差(m)		0.001		各航帶平均高差(m)		-0.001	
航線	計算點數	平均絕對高差量(m)	平均高差(m)	航線	計算點數	平均絕對高差量(m)	平均高差(m)
1	300	0.0740	0.0217	1	307	0.0711	0.0132
2	218	0.0322	-0.0109	2	218	0.0316	-0.0074
3	296	0.0301	0.0068	3	297	0.0281	-0.0046
4	1005	0.0314	0.0027	4	1005	0.0306	0.0034
5	1174	0.0313	-0.0023	5	1174	0.0306	-0.0029
6	1021	0.0464	-0.0168	6	1027	0.0405	0.0026
7	1534	0.0228	0.0010	7	1532	0.0226	-0.0005
8	731	0.0256	0.0080	8	727	0.0249	-0.0020
9	510	0.0266	0.0085	9	513	0.0259	0.0006
10	1641	0.0293	0.0019	10	1627	0.0282	-0.0062
11	1603	0.0302	-0.0020	11	1615	0.0299	0.0062
12	566	0.0291	0.0032	12	566	0.0269	-0.0052
13	1331	0.0283	-0.0016	13	1332	0.0277	0.0026
14	1943	0.0325	-0.0130	14	1941	0.0324	-0.0128
15	2089	0.0350	-0.0077	15	2086	0.0345	-0.0080
16	1462	0.0357	-0.0073	16	1469	0.0331	-0.0052
17	1221	0.0333	0.0087	17	1229	0.0299	0.0062
18	2146	0.0342	-0.0003	18	2131	0.0327	0.0004
19	2566	0.0286	0.0002	19	2568	0.0277	-0.0027
20	1812	0.0267	-0.0003	20	1812	0.0262	0.0038
21	5750	0.0324	-0.0032	21	5763	0.0314	-0.0067
22	2048	0.0372	-0.0167	22	2059	0.0354	-0.0115

表 4-3 各航帶平差分析結果-2

航線	計算點數	平均絕對高差量(m)	平均高差(m)	航線	計算點數	平均絕對高差量(m)	平均高差(m)
23	1624	0.0432	0.0210	23	1623	0.0404	0.0146
24	1497	0.0341	-0.0053	24	1500	0.0329	-0.0081
25	1370	0.0329	0.0058	25	1374	0.0322	0.0088
26	89	0.0417	-0.0389	26	87	0.0375	-0.0150
27	88	0.0626	0.0393	27	89	0.0530	0.0147
28	2512	0.0332	-0.0053	28	2505	0.0313	-0.0082
29	1692	0.0335	0.0074	29	1690	0.0332	0.0065
30	1412	0.0352	-0.0089	30	1415	0.0352	-0.0078
31	1248	0.0415	0.0168	31	1250	0.0414	0.0165
32	619	0.0326	-0.0166	32	613	0.0297	-0.0073
33	365	0.0296	0.0282	33	365	0.0288	0.0123
34	543	0.0667	-0.0414	34	548	0.0507	-0.0100
35	710	0.0338	0.0250	35	713	0.0323	0.0132
36	1782	0.0337	-0.0096	36	1780	0.0335	-0.0094
37	590	0.0400	-0.0090	37	595	0.0387	-0.0057
38	871	0.0378	0.0061	38	870	0.0367	0.0039
39	164	0.0289	0.0086	39	164	0.0289	0.0086
44	428	0.0309	-0.0175	44	427	0.0307	-0.0174
46	115	0.0608	-0.0554	46	111	0.0600	-0.0506
47	112	0.0632	0.0463	47	114	0.0598	0.0317
49	444	0.0454	0.0266	49	442	0.0421	0.016
50	139	0.0682	0.0651	50	134	0.0638	0.0450
51	147	0.0412	0.0015	51	145	0.0399	0.0003
52	785	0.0592	0.0292	52	790	0.0505	0.0353
53	607	0.0469	0.0190	53	603	0.0440	-0.0016
54	774	0.0431	-0.0149	54	773	0.0395	0.0013
56	52	0.0255	-0.0232	56	53	0.0246	-0.0106
57	353	0.0428	0.0234	57	353	0.0428	0.0004
58	723	0.0429	-0.0114	58	722	0.0405	0.0001
59	136	0.0772	-0.0480	59	144	0.0691	-0.0281
60	77	0.0546	-0.0280	60	77	0.0516	-0.0207
61	83	0.0447	0.0260	61	83	0.0427	0.0192
62	1917	0.0659	-0.0261	62	1906	0.0633	-0.0257
63	79	0.0855	-0.0392	63	87	0.0655	-0.0094
64	415	0.0333	0.0069	64	410	0.0321	0.0052
65	123	0.0430	-0.0153	65	121	0.0409	-0.0096
66	95	0.0416	0.0198	66	96	0.0411	0.0120
67	555	0.0929	0.0036	67	561	0.0921	0.0036
68	78	0.0352	0.0141	68	77	0.0319	0.0037
69	74	0.0370	-0.0149	69	75	0.0365	-0.0038
70	146	0.0400	0.0069	70	142	0.0380	-0.0007
71	912	0.0869	0.0405	71	918	0.0692	-0.0076
72	127	0.0969	-0.0279	72	156	0.0759	-0.0059
73	40	0.0520	0.0416	73	41	0.0478	0.0236
74	84	0.0321	-0.0198	74	87	0.0282	-0.0111
75	236	0.0292	0.0070	75	239	0.0271	-0.0030
76	264	0.0359	-0.0062	76	266	0.0279	0.0027
77	135	0.0443	0.0254	77	134	0.0416	-0.0155
78	162	0.0552	-0.0146	78	166	0.0436	0.0005
79	46	0.0589	0.0515	79	48	0.0559	-0.0017
80	209	0.0456	0.0279	80	209	0.0452	0.0233

表 4-4 各航帶平差分析結果-3

航線	計算點數	平均絕對高差量(m)	平均高差(m)	航線	計算點數	平均絕對高差量(m)	平均高差(m)
81	26	0.0277	0.027	81	26	0.0271	-0.0172
82	613	0.0735	-0.0428	82	616	0.0719	-0.0413
83	374	0.0896	-0.0399	83	421	0.0670	0.0035
84	298	0.0755	0.02265	84	297	0.0742	0.0222
85	133	0.0780	-0.0517	85	237	0.0699	-0.0126
86	55	0.0976	0.0317	86	29	0.0860	-0.0049
87	91	0.0835	0.0540	87	90	0.0586	0.0090
88	239	0.0334	-0.0319	88	239	0.0282	-0.0094
89	563	0.0425	0.0172	89	556	0.0370	0.0013
90	201	0.0360	0.0047	90	207	0.0332	0.0087
91	59	0.0362	-0.0077	91	61	0.0306	0.0007
92	60	0.0305	0.0076	92	60	0.0238	-0.0007
93	1317	0.0831	0.0682	93	1635	0.0667	0.0572
94	955	0.0619	0.0225	94	951	0.0618	0.0234
95	81	0.0622	-0.0391	95	83	0.0616	-0.0327
96	1003	0.0591	0.0304	96	991	0.0560	-0.0058
97	1967	0.0598	-0.0011	97	1972	0.0556	0.0154
98	994	0.0637	0.0139	98	992	0.0621	-0.0020
99	1447	0.0681	-0.0211	99	1459	0.0550	0.0039
100	1575	0.0707	-0.0088	100	1574	0.0613	0.0001
101	433	0.0308	0.0001	101	431	0.0302	0.0003
102	2706	0.0356	-0.0106	102	1338	0.0291	-0.0121
103	630	0.0306	0.0060	103	627	0.0295	0.0011
104	1443	0.0368	-0.0123	104	1444	0.0359	-0.0065
105	549	0.0948	0.0713	105	496	0.0821	0.0489
106	490	0.0808	-0.0799	106	473	0.0700	-0.0513

第四節 交叉飛航數據誤差分析比較

在本案測區中，共進行 14 條交叉航線檢核測區掃描成果如圖 4-12。精度評估採用 TerraMatch 模組之 Measure Match 功能，以進行航帶交叉數據之分析，其分析結果如表 4-5，平差後之平均絕對高程差量為 0.051 公尺，平均高程差為 0.004 公尺。

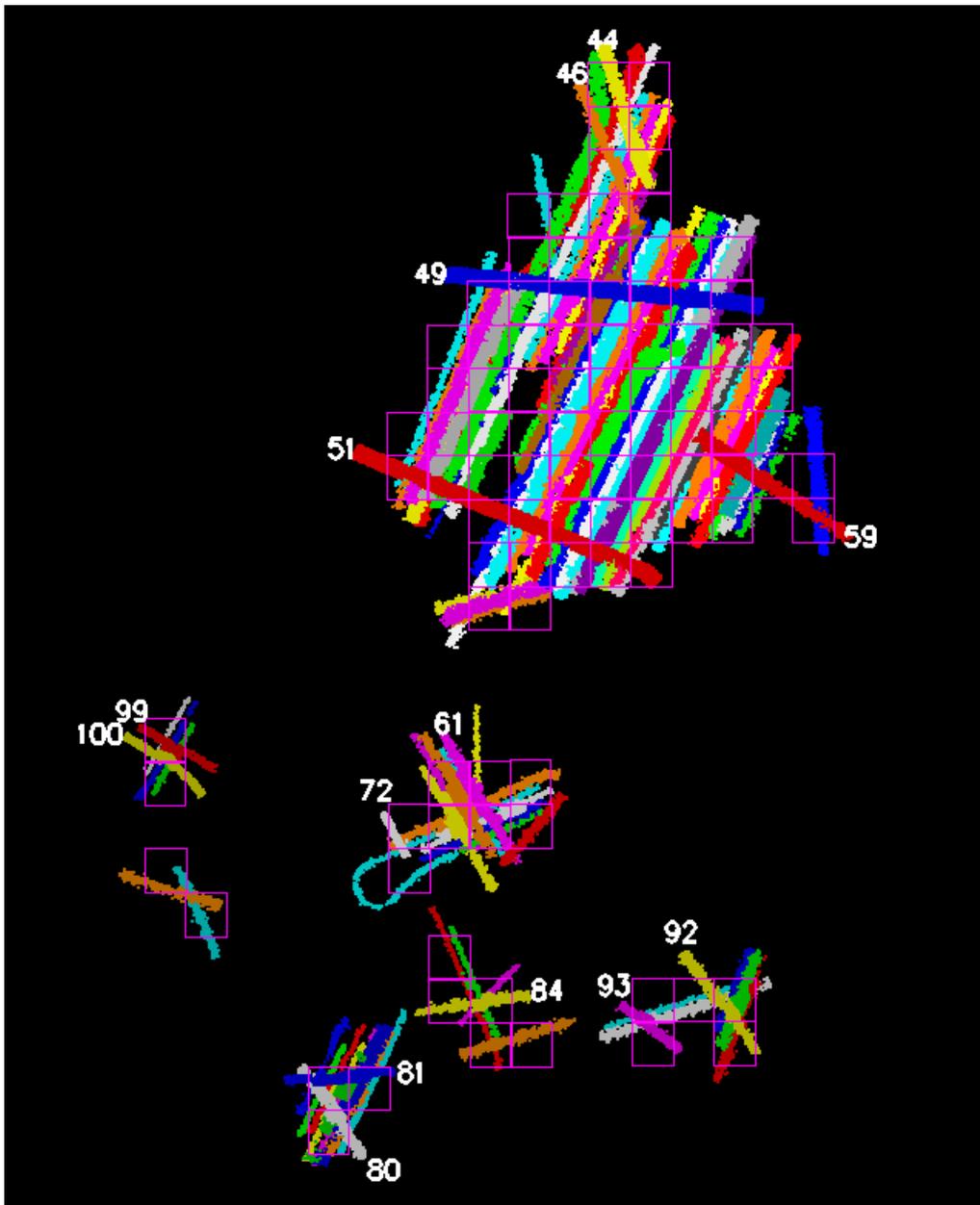


圖 4-12 各交叉航線分布圖

表 4-5 交叉航帶平差分析結果

平差前				平差後			
各航帶平均絕對高程差量(m)		0.055		各航帶平均絕對高程差量(m)		0.051	
各航帶平均高程差(m)		0.004		各航帶平均高程差(m)		0.004	
航線	計算點數	平均絕對高程差量(m)	高程差(m)	航線	計算點數	平均絕對高程差量(m)	高程差(m)
44	1457	0.0298	0.0021	44	1460	0.0297	0.0021
46	964	0.0382	-0.0097	46	963	0.0381	-0.0029
49	2667	0.0391	0.0014	49	2658	0.0386	0.0013
51	4511	0.0409	0.0033	51	4499	0.0407	0.0042
59	1287	0.0479	0.0008	59	1027	0.0472	-0.0015
61	2059	0.0664	-0.0046	61	2045	0.0654	-0.0042
72	3914	0.0749	-0.0130	72	3897	0.0733	-0.0129
80	677	0.0513	0.0039	80	678	0.0510	-0.0007
81	972	0.0529	0.0150	81	977	0.0493	0.0056
84	936	0.06745	0.0227	84	935	0.05725	0.0178
92	3993	0.0422	-0.0081	92	4014	0.0383	-0.0091
93	1317	0.0831	0.0682	93	1635	0.0667	0.0572
99	1447	0.0681	-0.0211	99	1459	0.0550	0.0039
100	1575	0.0707	-0.0088	100	1574	0.0613	0.0001

第五節 資料整合成果分析

航帶重疊數據平差前後之比較如圖 4-13，航帶平差前後之平均絕對高程差量自 0.047 公尺修正至 0.043 公尺，其與交叉航帶平差前後之平均絕對高程差量並無顯著差異。

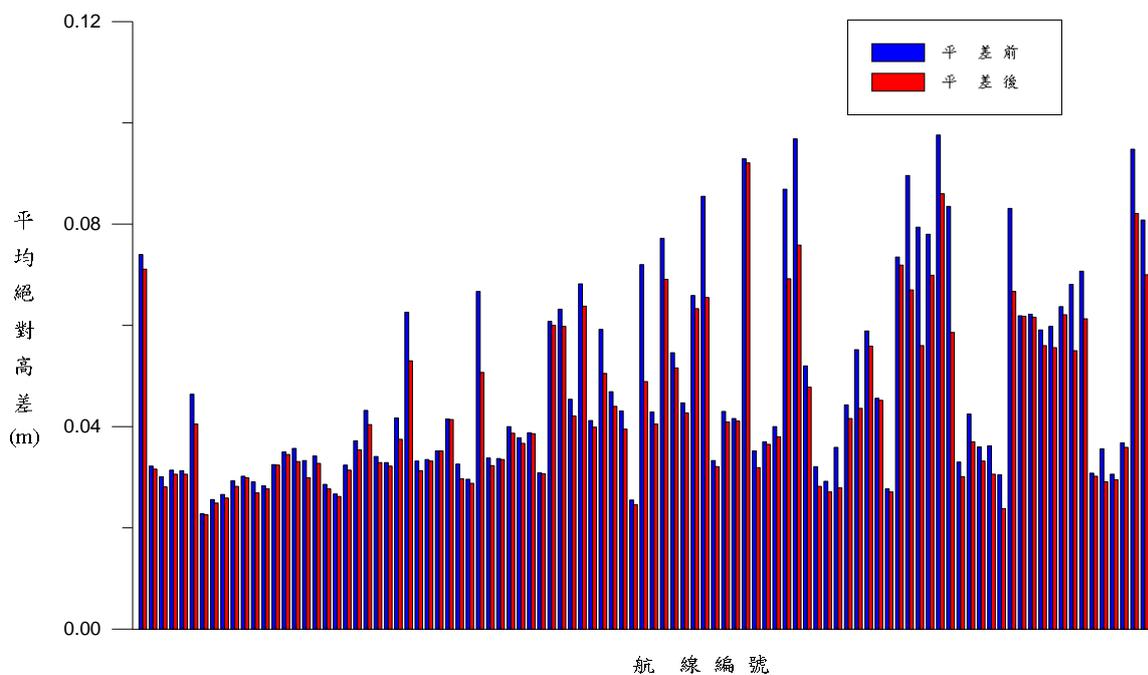


圖 4-13 重疊航帶數據平差前後分析比較結果

第五章 DSM/DEM 製作及精度評估

第一節 製作程序

原始光達數據(All points)，為一群不規則離散測點，製作 DSM 可採用第一個回波反射數據組成 DSM 規則網格，至於數值高程模型(DEM)的製作，則需執行濾除與分類的步驟，將測點分類成地面點(Ground)與非地面測點(Non-ground)。

本案使用商業軟體 TerraScan 對點雲資料進行過濾，該軟體分類地面點的演算法是由 Axelsson(2000)提出之由曲面近似法，以漸進方式尋求地表點構成地表面，引用不規則三角網(Triangular Irregular Networks, TIN)來表示地表面，先在 50~100 公尺的網格內挑選較確定的地表點為形成最初的 TIN 之種子點，然後循序在所形成的三角網內尋求可能的地表點將三角網細化，稱為 Adaptive TIN Surfaces。在三角網內判斷掃描點是否為地表點的方法，是利用點到三角平面的距離(d)或點到三個角點的向量與平面的夾角(α 、 β 、 γ)來判斷，在門檻參數值以內者，視為地面點逐次加密至無新地面點為止，如圖 5-1 所示。

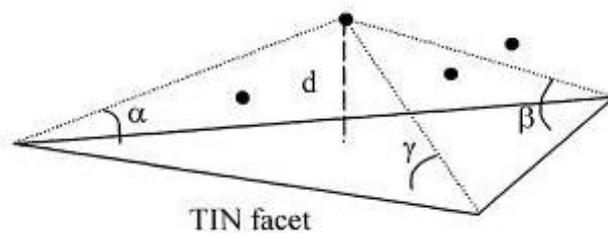


圖 5-1 過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000)

門檻參數的設定須視地形、地物的情況設定，主要參數包括最大建物大小參數(Max building size)、地表角度(Terrain angle)、迭代角度(Iteration angle)及迭代距離(Iteration distance)。

TerraScan 門檻參數設定的重點，搜尋建物之最大範圍值設定越小(Max building size)，濃密的植被覆蓋會形成地面測點稀疏，而有大

空洞沒有地面點，當空洞大於搜尋範圍，植被點會視為地面(如山頭的效果)則濾除不乾淨(圖 5-2 左方案例)；反之搜尋範圍越大，山頭山脊等地形特徵會被像房子一般被濾除(圖 5-2 右方案例)，如圖中山頭山脊地面測點被誤判濾除，地形山脊如同被刀切掉一般。圖 5-3 是展示門檻值加大，採過度濾除的手段，植被濾除量大，相應的地形細節、山脊、小路、流水侵蝕溝等地形紋理都粗化濾掉不見。Raber 等(2002)，Vosselman(2000)，提出過濾處理會隨著地形坡度要變換門檻值，以及要隨著植被的特徵變換門檻值，達到參數自適性調整。

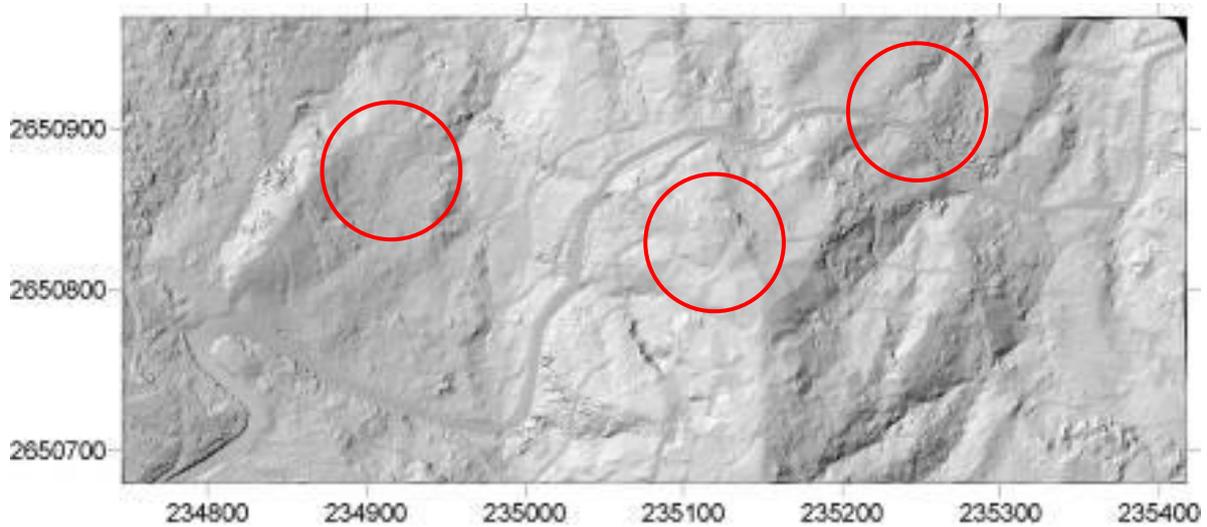


圖 5-2 部分樹未濾除的瑕疵(左)山頭、山脊特徵點過度濾除的錯誤(右)

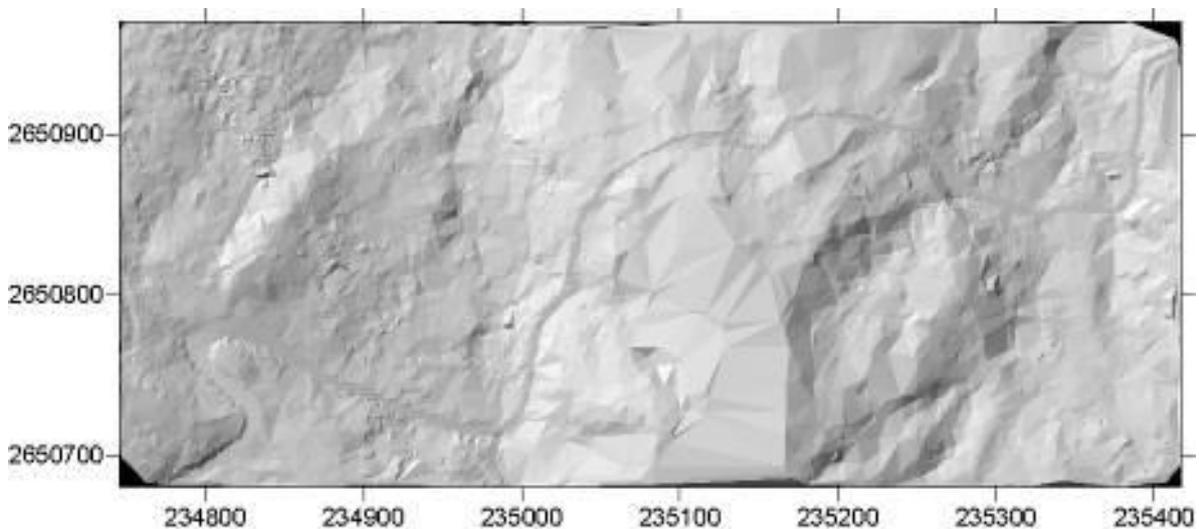


圖 5-3 高度過濾導致地形紋理特徵粗化之示意圖

光達點雲過濾作業若單純採自動化處理，仍無法百分百分類地面、植被及其他非地面點，而在某些地形、地物較複雜的區域仍須輔以人工檢視編修方能正確判別地物。圖 5-4 (a)為山區點雲資料的縱剖面，圖中可看出箭頭所指區域屬較突出的山頭，該處過濾分類後並無地面點，內插產生 DEM 後則會將該處的地形過度平滑(圖 5-4 (b))，因此自動化過濾後(約 1~2 個工作天)，仍須進行人工編修作業最後確認。人工編修作業利用 TerraSolid 系列軟體進行，編修介面如圖 5-4 與圖 5-5，由原始雷射掃描配合正射像片，可清楚辨別地類，藉由剖面圖進行比對，針對有誤的過濾結果進行編修，將點位歸類至正確的類別。應用上如平原洪氾易淹區範例圖 5-5(b)所指建物區域對應圖 5-5 (c)之正射像片(箭頭所指區域)，由此對照可清楚瞭解該處地形、地物，以輔助人工編修判讀。本案之人工過濾處理效率，依作業區植被覆蓋程度及人員經驗不同而異，於平坦地之處理，以 1 個工作天約可完成 2 幅五千分之一；於植被覆蓋地區之處理，1 個工作天約可完成 1 幅五千分之一。

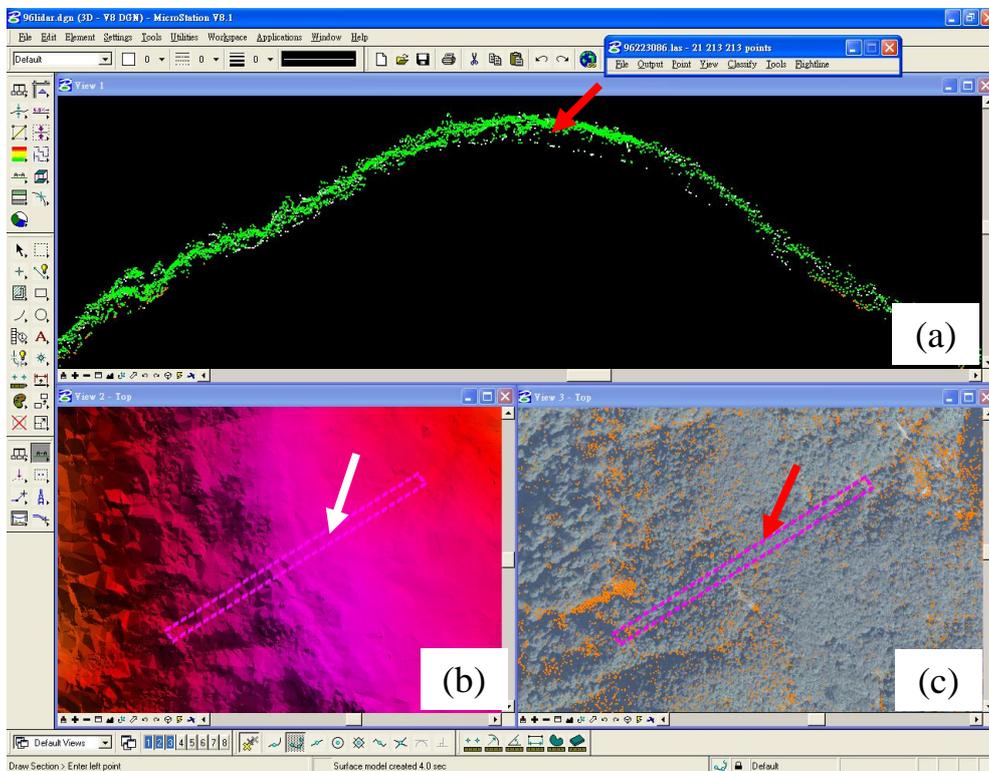


圖 5-4 山頭未過濾出地面之情形

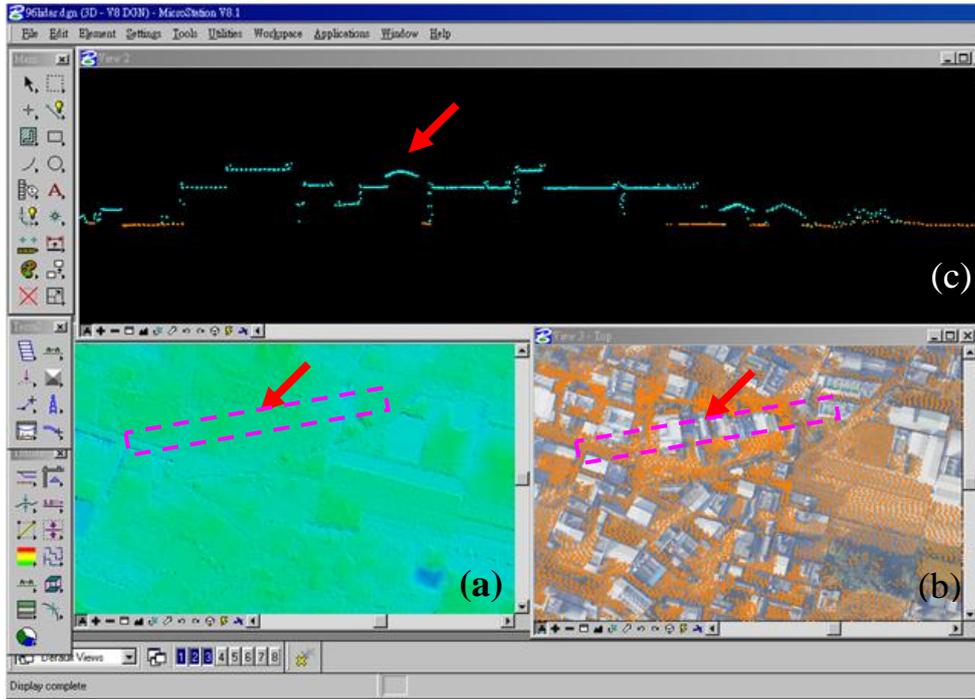


圖 5-5 人工檢視編修介面

本公司於計畫測區所有進行光達飛航掃描作業之同時，皆同步進行數位影像之拍攝，並將每個影像外方位參數及光達 DSM 數據製成單片正射影像(GSD 為 25 公分)再拼接為 1/5000 圖幅，以輔助人工濾點作業(如圖 5-6)，以濾除光達 TYPE I ERROR 及 TYPE II ERROR 後可獲得全區光達數值高程模型如圖 5-7 DEM 及圖 5-8 DSM 成果。

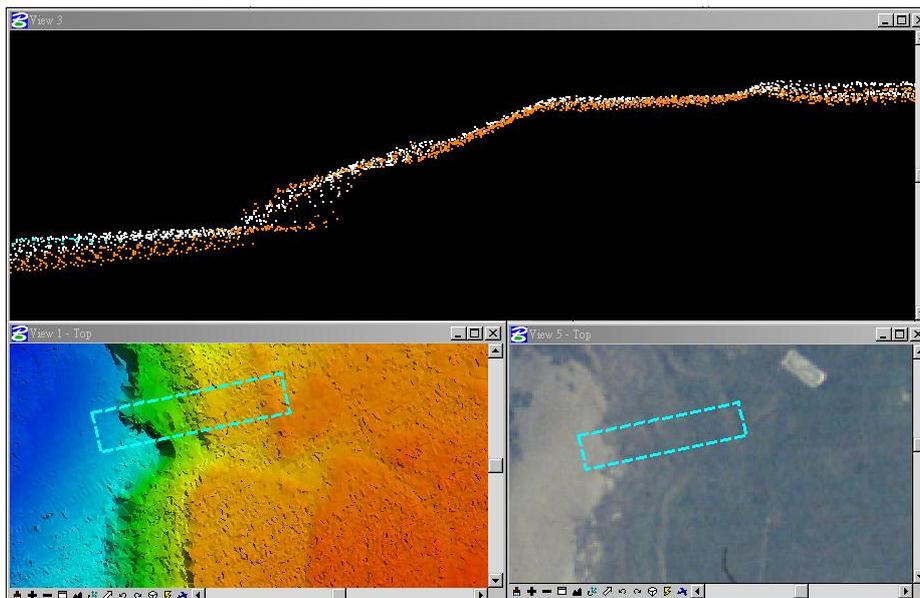


圖 5-6 濾點作業示意圖

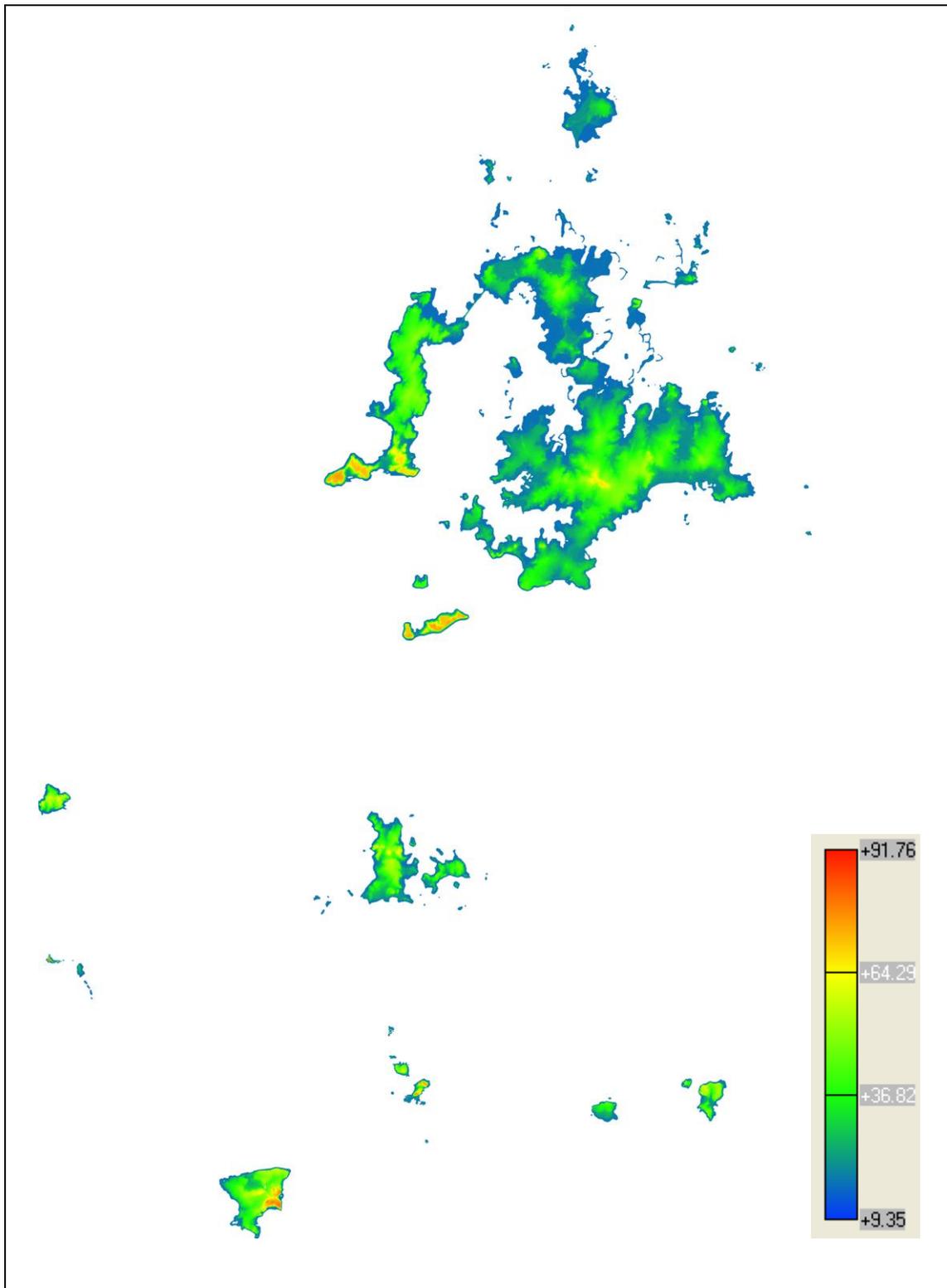


圖 5-7 澎湖測區 DEM 成果圖

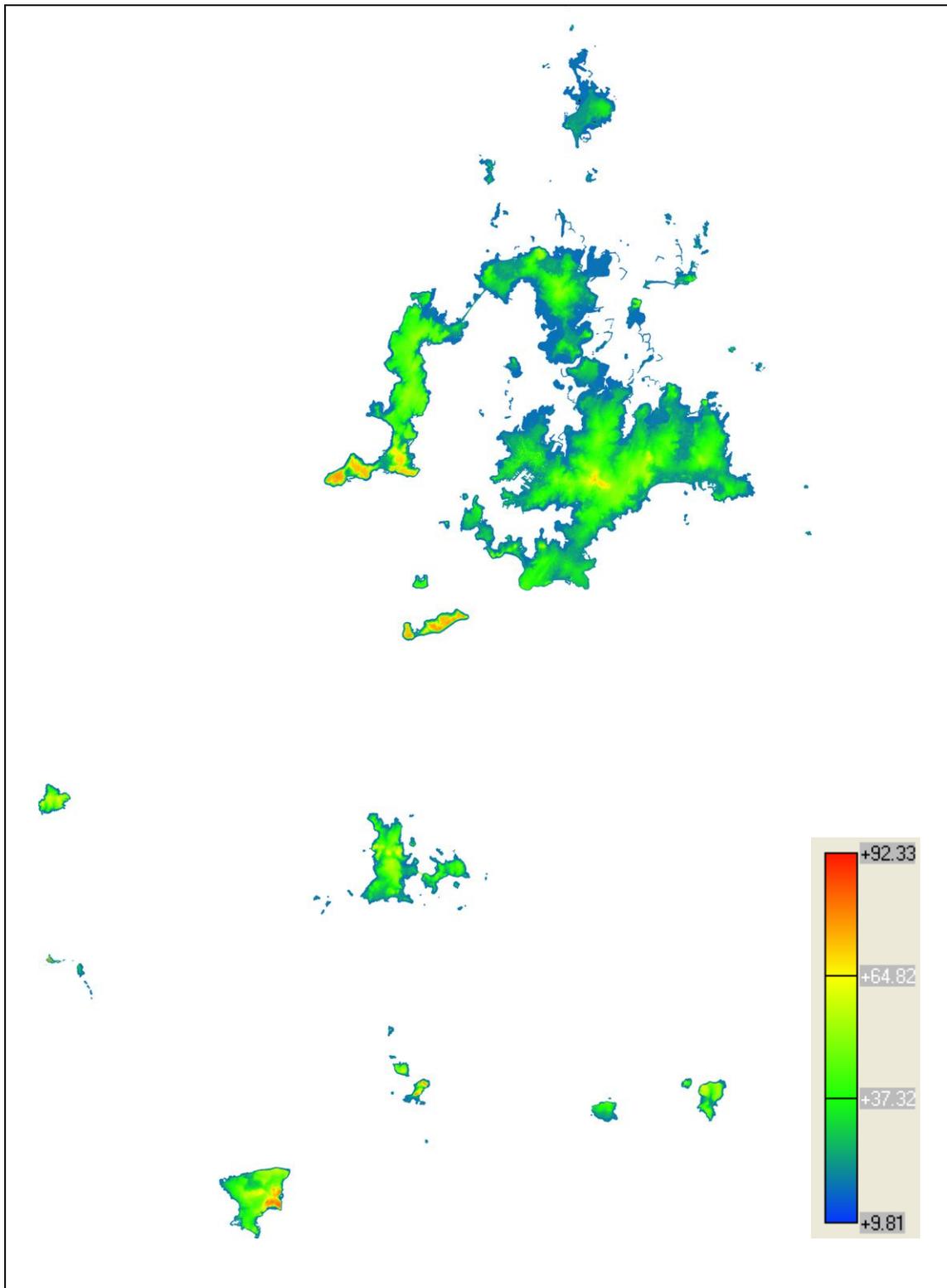


圖 5-8 澎湖測區 DSM 成果圖

第二節 DEM 成果橢球高轉正高之化算方式

利用空載光達進行掃描作業時，乃以全球定位系統(Global Positioning System, GPS)作為定位工具，所得點雲的參考坐標系統為 WGS84 系統，再將其投影至 TWD 97 坐標系統，其高程係以橢球面起算之橢球高(Ellipsoid Height, h)，但一般民生用途所需的高程資料是以大地水準面起算之正高(Orthometric Height, H)。因此，本案在橢球高系統之數值高程模型化算正高系統之流程如圖 5-9，採用內政部 2009 之台灣大地起伏模式(Geoid Model)求得大地起伏值(Geoid Undulation, N)，將其坐標由 TWD97 坐標系轉換經緯度後，透過大地起伏模式取得大地起伏值，再將橢球高扣除大地起伏值而化算為正高系統。



圖 5-9 橢球高化算正高之流程

第三節 分類後地面測點與非地面測點數據統計分析

一、有地面點數據之圖幅分析

光達掃描之原始點雲資料經由率定及平差作業程序後，再由自動化分類方式過濾，以及人工方式介入編輯點雲資料，故可將飛航掃描範圍內所有點雲資料區分為地面點及非地面點兩大類，其中地面點分類可做為後續 DEM 內插製作之依據；而非地面點則包含人工建物、植被、局部低點與雲點等。

於分類過濾後，各 1/5000 圖幅所包含之雷射點雲數統計表如表 5-1，總陸域涵蓋面積為 158.724 平方公里。因澎湖地區係為島嶼地區，故計算原始點雲密度係以陸域區域內所有紀錄之點雲(排除空中之點雲)除以陸域之面積；地面點雲密度係為地面點點數除以陸域之面積，其中圖號 93203052 及 93193002 內因無地面點存在(圖 5-10)，故其原始點雲密度及地面點雲密度皆為 0(點/m²)。

二、無地面點數據之圖幅分析

在圖號 93203052 中，經檢視基本圖圖幅分布後，確定並無此圖幅之圖名(圖 5-10 左上)，其掃描結果與鑲嵌後正射影像可知並無陸域存在如圖 5-11 所示，再由及貴中心提供之「澎湖群島島嶼數量委託清查計畫案報告書」中，確定此圖幅內並無任島嶼存在；另圖號 93193002(豬母礁)由像片基本圖中可知其坐落位置(如圖 5-12)與本案所規劃位置一致，其掃描航線編號為第 86 條，經由三架次之掃描日期分別為 97 年 08 月 27 日、09 月 08 日及 10 月 23 日，掃描的時間均符合中央氣象局發布當日低潮位時刻前後 2 小時，依同步掃描之正射影像與點雲資料觀之，其島嶼為海水所覆沒，如圖 5-13 所示。

表 5-1 澎湖測區分類過濾後 1/5,000 圖幅點雲分類表

圖號	陸域 總點數 (點)	陸域 地面點數 (點)	陸域 涵蓋面積 (m ²)	原始 點雲密度 (點/m ²)	地面 點雲密度 (點/m ²)	圖號	陸域 總點數 (點)	陸域 地面點數 (點)	陸域 涵蓋面積 (m ²)	原始 點雲密度 (點/m ²)	地面 點雲密度 (點/m ²)
92191033	2374488	1286940	1542128	1.540	0.835	93203036	1005283	361609	459664	2.187	0.787
92191043	71888	23834	33408	2.152	0.713	93203037	1011639	574853	547264	1.849	1.050
92191050	9008480	2923666	3296176	2.733	0.887	93203041	22563497	3725516	5272352	4.280	0.707
92191059	311381	62269	107280	2.903	0.580	93203042	2560549	764784	996992	2.568	0.767
92191060	19557484	3108726	3509632	5.573	0.886	93203043	797105	202492	225616	3.533	0.898
92191063	169857	107088	108720	1.562	0.985	93203044	13897297	4099755	5959600	2.332	0.688
92191069	38287	6908	9056	4.228	0.763	93203045	2324361	702724	923616	2.517	0.761
92191074	607934	297055	204608	2.971	1.452	93203046	919709	329126	464368	1.981	0.709
92191090	120461	79605	67568	1.783	1.178	93203048	74842	34582	59600	1.256	0.580
92191100	807187	273394	258272	3.125	1.059	93203051	15779416	2802083	3806336	4.146	0.736
92192017	16328983	2676903	3711312	4.400	0.721	93203052	0	0	0	0	0
92192018	12221722	2013341	2443984	5.001	0.824	93203053	1931404	500997	595040	3.246	0.842
92192027	5024886	719096	942272	5.333	0.763	93203054	7918343	1651474	2249728	3.520	0.734
92202050	3610621	516095	808176	4.468	0.639	93203055	10962014	2983739	3912016	2.802	0.763
92202060	7449943	970677	1537552	4.845	0.631	93203056	3882894	1068595	1452512	2.673	0.736
92202069	322813	57294	62688	5.150	0.914	93203057	906755	308588	423872	2.139	0.728
92202070	9544070	1418350	2303824	4.143	0.616	93203058	88527	40253	77056	1.149	0.522
92202079	6107128	1231846	1341792	4.551	0.918	93203061	7916957	1118867	1950944	4.058	0.574
92202080	9004388	1531038	2023744	4.449	0.757	93203062	43548	19692	25856	1.684	0.762
93193001	47263	26836	10672	4.429	2.515	93203063	9112675	2726333	3699152	2.463	0.737
93193002	0	0	0	0	0	93203064	10597839	2823600	3898256	2.719	0.724
93193005	1394388	482440	456400	3.055	1.057	93203065	16276008	3909447	6102448	2.667	0.641
93193007	1253471	177518	161296	7.771	1.101	93203066	20723903	4605290	6573760	3.153	0.701
93194001	6259162	1641183	1708592	3.663	0.961	93203067	15574955	4204282	5836528	2.669	0.720
93194002	2232186	646619	555600	4.018	1.164	93203071	3768790	462330	747712	5.040	0.618
93194041	2702808	514098	439696	6.147	1.169	93203072	921722	250532	358176	2.573	0.699
93194042	230342	104706	80288	2.869	1.304	93203073	13571536	2871137	4159056	3.263	0.690
93194051	11025872	1934170	1976256	5.579	0.979	93203074	17395606	4376665	6441952	2.700	0.679
93194052	2375723	764309	852640	2.786	0.896	93203075	20377982	4863901	6901488	2.953	0.705
93194091	4614985	2045226	866352	5.327	2.361	93203076	13746639	3170124	4480064	3.068	0.708
93194095	2263844	688478	632288	3.580	1.089	93203077	15436179	3358412	4330320	3.565	0.776
93194096	140659	41831	34832	4.038	1.201	93203078	4164257	1030864	1467072	2.838	0.703
93194097	11117429	1979702	1804816	6.160	1.097	93203079	29382	11321	23600	1.245	0.480
93203004	2872766	1198011	1609024	1.785	0.745	93203081	200140	68499	89072	2.247	0.769
93203005	2518895	1251462	1640816	1.535	0.763	93203082	3497142	1561132	2162512	1.617	0.722
93203012	703190	368592	443328	1.586	0.831	93203083	5712769	1325264	1831760	3.119	0.723
93203013	124952	64271	56368	2.217	1.140	93203084	13318087	3029490	4418128	3.014	0.686
93203014	92731	13917	17120	5.417	0.813	93203085	6569745	1649526	2431616	2.702	0.678
93203015	356087	132571	126208	2.821	1.050	93203086	197538	48165	66768	2.959	0.721
93203022	163020	56878	48192	3.383	1.180	93203087	60696	17302	33808	1.795	0.512
93203023	2205466	624924	590464	3.735	1.058	93203089	51039	18490	29872	1.709	0.619
93203024	3226847	1008804	973168	3.316	1.037	93203091	439112	260494	401600	1.093	0.649
93203025	411496	151355	231584	1.777	0.654	93203092	10009	2081	3744	2.673	0.556
93203026	176682	96641	114352	1.545	0.845	93203093	5911997	1178885	1795008	3.294	0.657
93203027	976551	296171	312736	3.123	0.947	93203094	12012410	2715816	3490784	3.441	0.778
93203031	2976796	636140	821040	3.626	0.775	93203095	529491	157920	221168	2.394	0.714
93203032	5316611	934250	1249648	4.254	0.748	93204084	259188	121721	83280	3.112	1.462
93203033	17752104	3189604	4680800	3.793	0.681	93204085	17869	6398	4928	3.626	1.298
93203034	22736255	4354605	6589872	3.450	0.661	93204094	2846382	1522100	1123424	2.534	1.355
93203035	3680552	1509774	1773168	2.076	0.851	93204095	1960598	983908	944704	2.075	1.041
備註	總陸域涵蓋面積為158724000平方公尺=158.724平方公里										

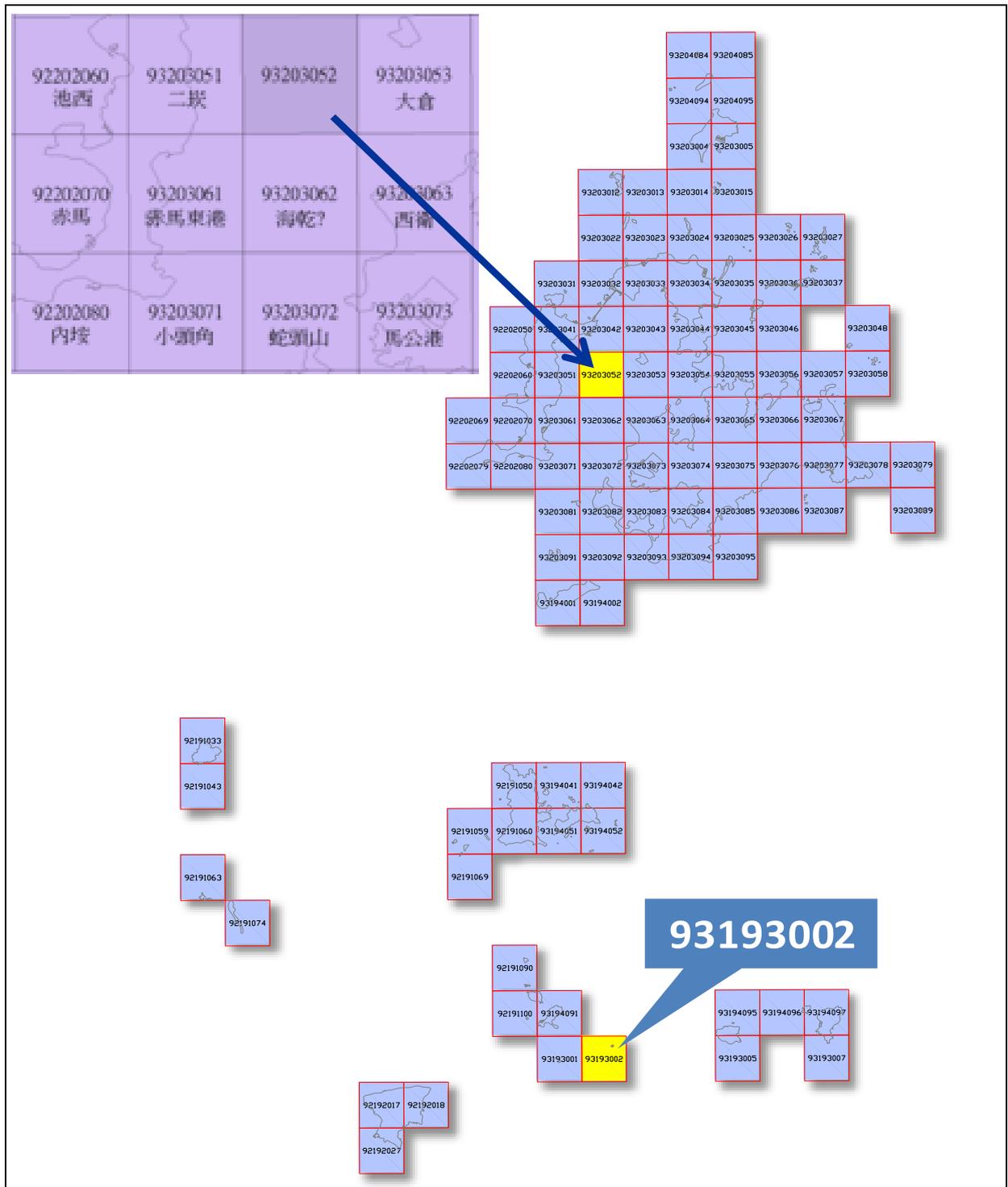


圖 5-10 無地面點資料之圖幅分布

日期/2008	潮位時間	潮別	潮高(m)	飛機開關車時間	航線編號
8/25(一) 農曆:07/25	11:30	乾潮	-1.037	10:26 13:33	27 · 30 · 32
8/26(二) 農曆:07/26	12:52	乾潮	-1.057	11:21 15:17	25 · 26
9/09(一) 農曆:08/09	11:25	乾潮	-0.857	10:17 14:09	33
10/23(四) 農曆:09/25	12:24	乾潮	-0.957	10:10 14:20	101 · 102
備註	潮位資料來源：中央氣象局				

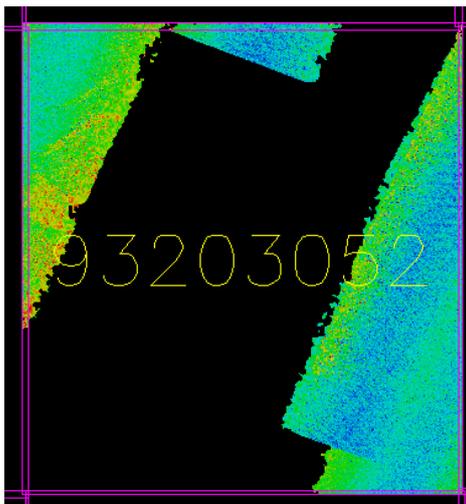
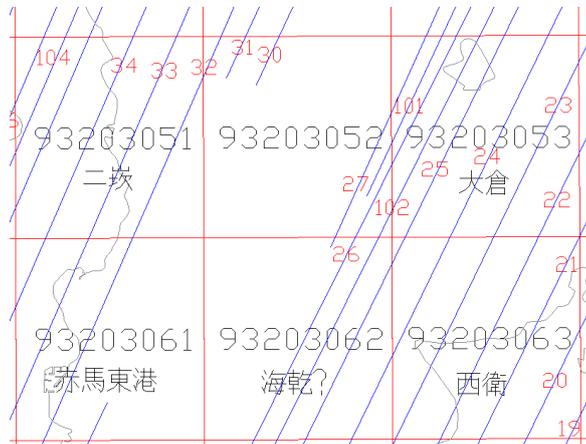


圖 5-11 圖號 93203052 之光達掃描及航拍影像情形

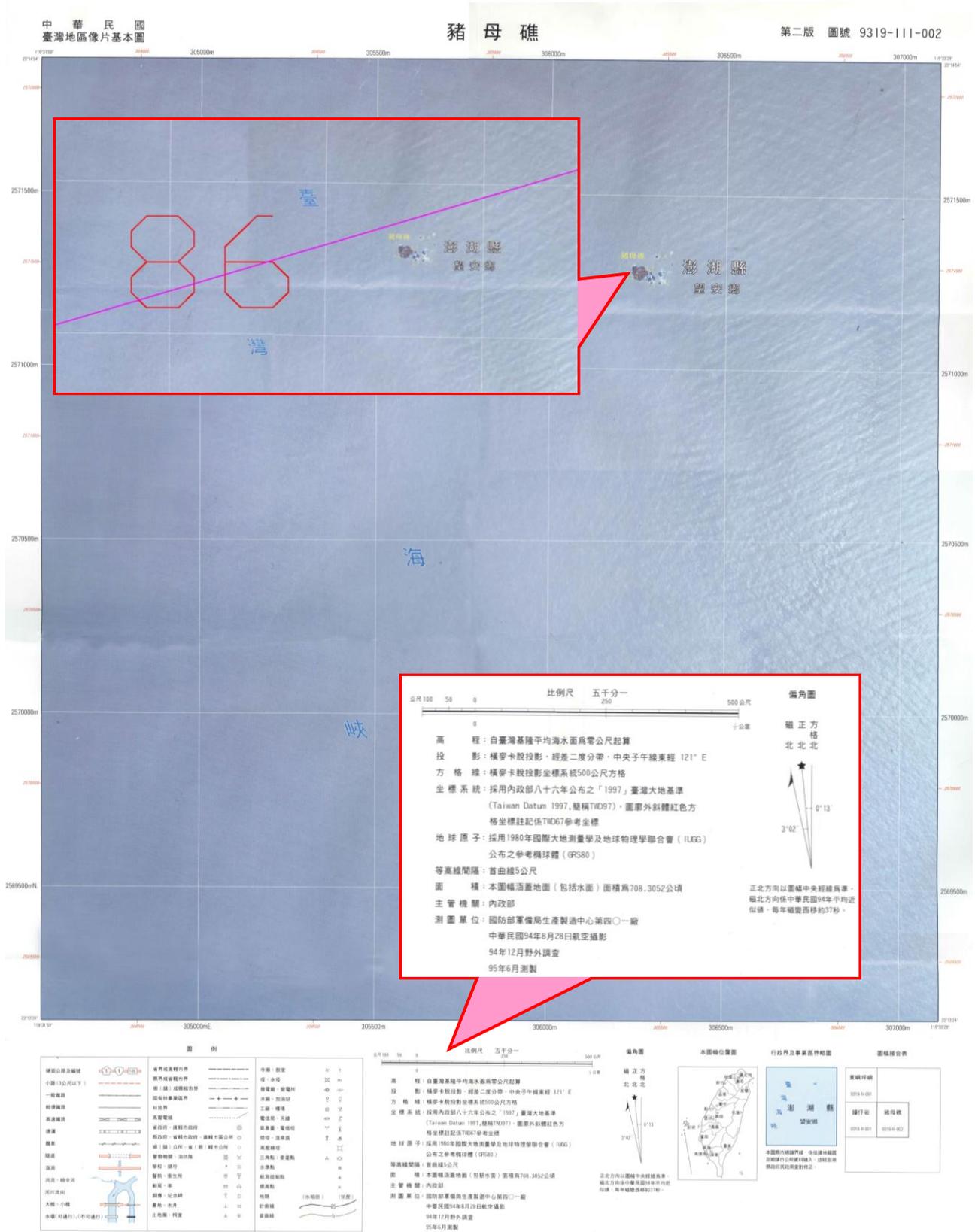


圖 5-12 93193002 豬母礁之像片基本圖

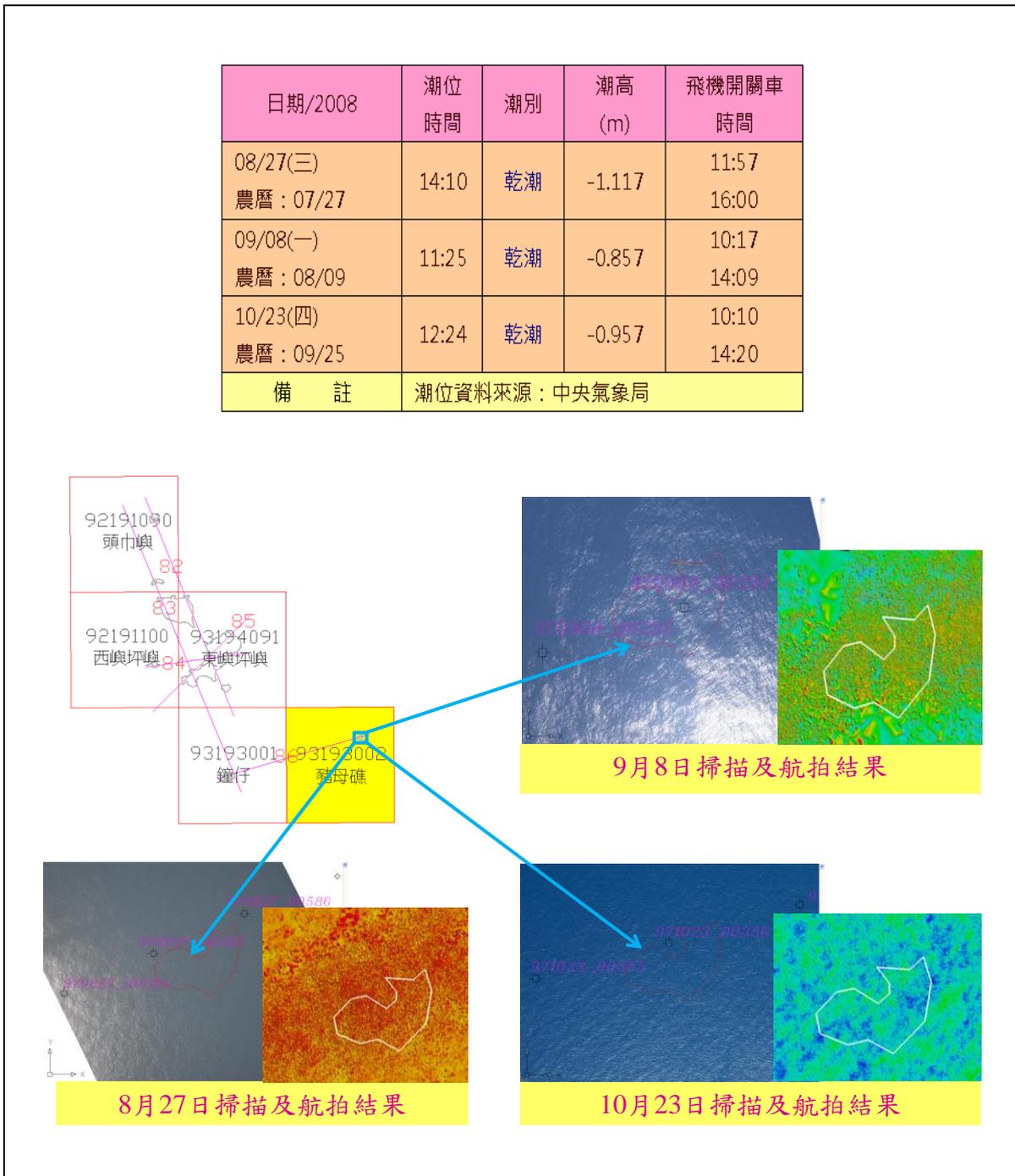


圖 5-13 圖號 93193002 之光達掃描及航拍影像情形

第四節 DEM 精度評估

一、DEM 精度評估規範

DEM 之品質依地形類別及地表植被覆蓋情形而定，高程精度標準以基本精度加上地形類別及地表植被覆蓋情形之精度調整參數而得，計算公式如下：

$$\sigma = a + b + c \cdot t$$

式中 a 為基本精度；

b 為地形類別調整參數；

c 為地表植被覆蓋情形調整參數；

t 為地表植被平均高度。

本案定義 a 為 0.3 公尺。

地形類別調整參數 b (單位 m)，如表 5-2。

表 5-2 地形類別及其調整參數對照表

地形類別	編碼	b
平地(地表坡度在 2°以下)	P	0.0
丘陵(地表坡度在 2°~6°)	H	0.3
山地(地表坡度在 6°~25°)	M	1.0
陡峭山地(地表坡度在 25°以上)	C	2.0

地表植被覆蓋情形調整參數 c (無單位)，如表 5-3。

表 5-3 地表植被覆蓋類別及其調整參數對照表

植被覆蓋類別	c
裸露地	0.00
植生地	0.10
林地	0.20
密林地	0.30

地形類別分為平地、丘陵地、山地、及陡峭山地，其定義如下：

(一)平地—地表坡度在 2°以下的地區。

(二)丘陵地—地表坡度在 $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 之間的地區。

(三)山地—地表坡度在 $6^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之間的地區。

(四)陡峭山地—地表坡度在 25° 以上的地區。

地表植被覆蓋情形分為裸露地、植生地、林地及密林地等類別：

- 1、裸露地—以任一點為中心，半徑在 10 個網格間距的範圍內其受植被覆蓋之面積少於 25% 者，則該範圍內視為裸露地。
- 2、植生地—以任一點為中心，半徑在 10 個網格間距的範圍內其受植被覆蓋之面積介於 25%~50% 者，則該範圍內視為植生地。
- 3、林地—以任一點為中心，半徑在 10 個網格間距的範圍內其受樹木覆蓋之面積介於 50%~75% 者，則該範圍內視為林地。
- 4、密林地—以任一點為中心，半徑在 10 個網格間距的範圍內其受植被覆蓋之面積大於 75%，且範圍內樹冠平均高度達 DEM 或 DSM 規範中誤差之 4 倍以上者，則視為密林地。

二、DEM 之精度評估內容

(一)不同土地覆蓋分區

依遮蔽物分區選出代表性的地面測量檢核區域，檢核作業需至少有 6 個土地覆蓋分區(為方便統計與紀錄分別給予每一個分區一個編碼，如表 5-4)；每種土地覆蓋分區至少要有 60 個地面測量檢核點，且應盡可能均勻分布於各圖幅。矮植被之地表植被覆蓋情形調整參數 c 比照植生地；都會區及濕地之地表植被覆蓋情形調整參數 c 比照裸露地。

表 5-4 不同土地覆蓋分區之編碼

分類編碼	分類名稱
B	裸露地
L	矮植被
V	植生地
F	林地
U	都會區
W	溼地

(二)橫斷面(cross section)檢核測量

需施行橫互航線的地面檢核剖面，檢核剖面至少 60 個檢核點，剖面長度總合需超過 30 公里。依據橫互航線地面檢核剖面測量數據，進行剖面 LIDAR 數據精度評估報告。

三、DEM 精度評估方法

於澎湖測區，因地勢較為平坦且中華電信手機訊號接收佳，故以 e-GPS 方式進行地面檢核點外業測量作業。在外業檢核點量測期間，同步施測本測區內檢測合格之已知三等點位，進行區域坐標轉換完成後，再與過濾完成之不規則雷射點雲資料中屬於地面點(Ground point)資料經由組三角不規則網內插產製之 1 公尺間距之 DEM 網格點與實測點位進行 DEM 精度分析。

DEM 精度分析採用 Terrasolid 公司之 Terrascan 軟體內 Output Control Report 之功能(搜尋半徑範圍為 10 公尺，最大坡度為 30 度，Z tolerance 為 1 公尺，如圖 5-14)，將 DEM 資料以內插方式求得外業檢核點位置之高程，將其與外業檢核點之實測高程進行比較分析。



圖 5-14 Output Control Report 功能之參數設定

四、DEM 精度評估結果

於吉貝、馬公、望安及七美地區之各土地分類檢核點統計數

量及分布情形如表 5-5 與圖 5-15。

表 5-5 澎湖測區土地分類檢核點數量及圖例參照表

土地分類(編碼)	數量	圖例形式
裸露地(B)	69	■
矮植被(L)	63	■
植生地(V)	69	■
林地(F)	68	■
都會區(U)	68	■
溼地(W)	70	■
橫斷面(PS)	191	■

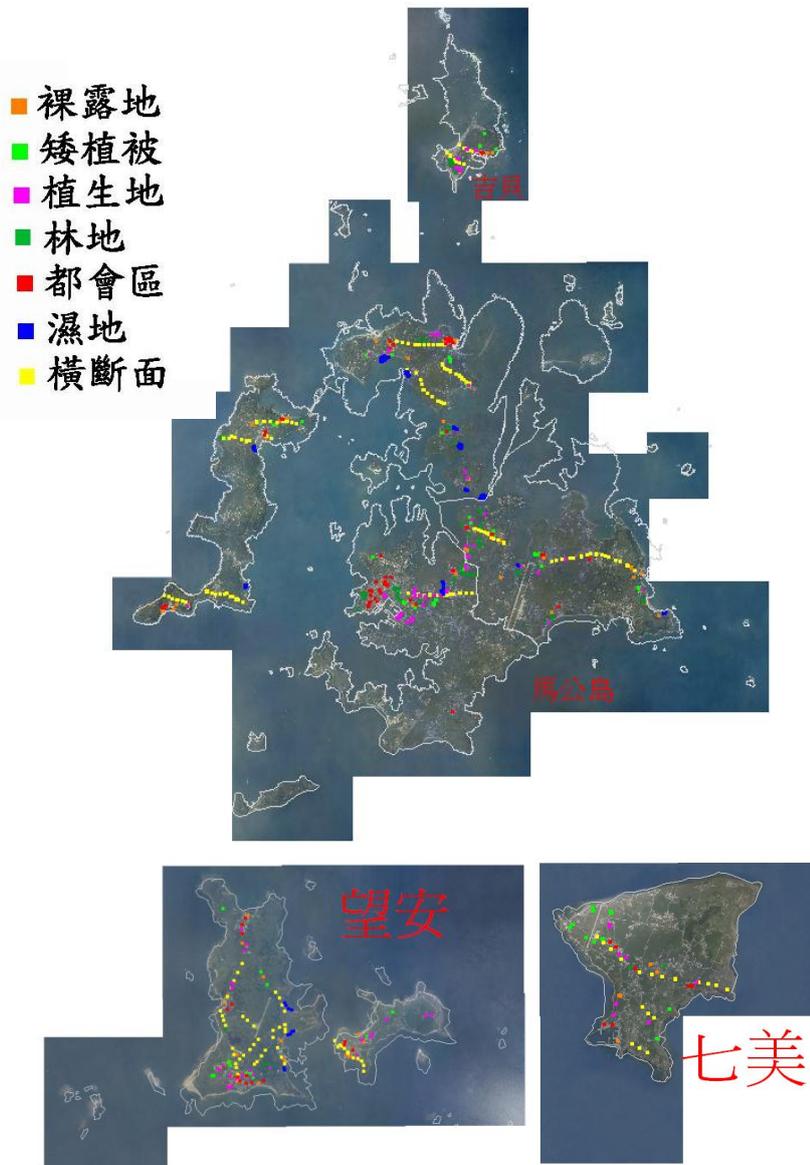


圖 5-15 澎湖測區不同土地分類檢核點分布圖

(一) 裸露地檢核結果

裸露地測區應施測至少 60 點，共檢核施測 69 個檢核點，經計算後其平均絕對高差為 0.064 公尺，平均高差為 0.022 公尺，最大高差為 0.217 公尺，最小高差為 -0.099 公尺，檢核點計算成果統計表如表 5-6，因地面檢核點所在地處空曠且衛星訊號接收良好，各點位之高程較差量均可符合規範要求之 0.30 公尺內如圖 5-16，其現場檢核點位照片如圖 5-17，詳細各檢核點計算式列表成果如附件五。

表 5-6 裸露地之檢核成果統計表

澎湖測區	
檢核點數	69
高程較差介小於 1 倍 高程精度範圍的點數	69
高程較差介於 1 倍~2 倍 高程精度範圍的點數	0
平均高差(m)	0.022
最小高差(m)	-0.099
最大高差(m)	0.217
平均絕對高差(m)	0.064
均方根誤差量(m)	0.079
備 註	

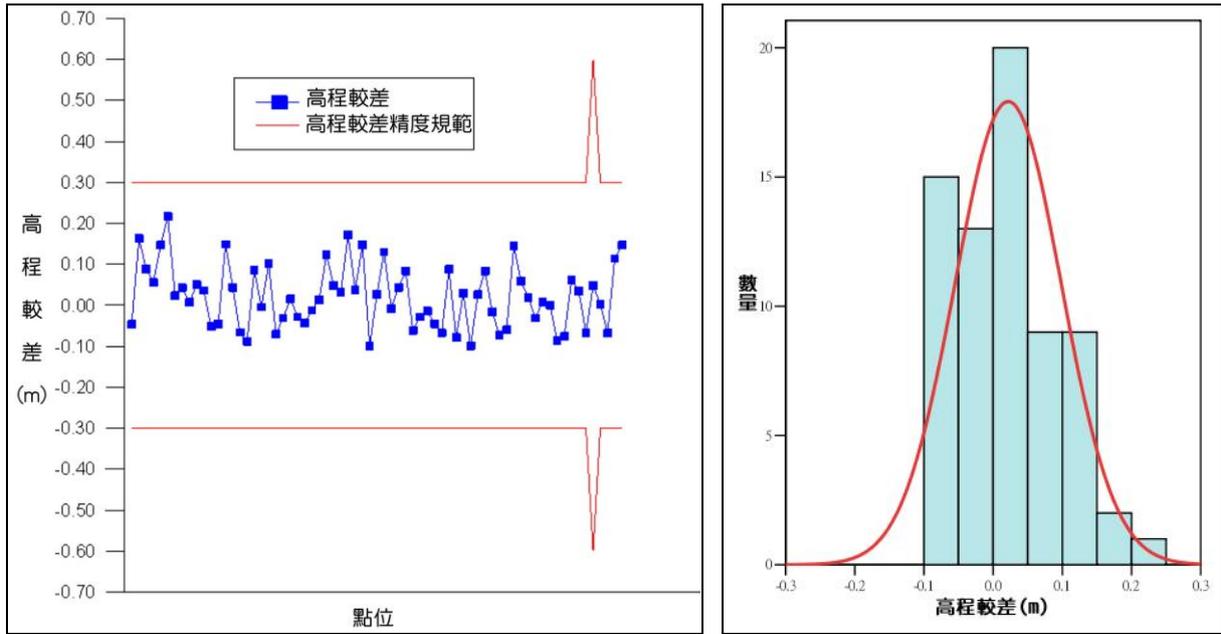


圖 5-16 澎湖測區裸露地檢核之較差成果(左)與直方圖(右)



圖 5-17 澎湖測區裸露地檢核現場照片

(二)矮植被檢核結果

矮植被測區檢核點應施測至少 60 點，共檢核施測 63 個檢核點，經計算後其平均絕對高差為 0.122 公尺，平均高差為 0.111 公尺，最大高差為 0.288 公尺，最小高差為-0.072 公尺，其檢核計算成果統計表如表 5-7，各點位之較差量均可符合規範要求之 0.30 公尺內(圖 5-18)。依雷射點掃描成果觀之，部分點位的高差較大，乃因部份檢核點植被茂密，導致 LIDAR 未能完全穿透量測至地面點，而僅獲得植被上緣之點位高度，故所實測與 LIDAR 成果所得之點位高程較差較大，其現場檢核點位照片如圖 5-19，詳細各檢核點計算式列表成果如附件五。

表 5-7 矮植被之檢核成果統計表

澎湖測區	
檢核點數	63
高程較差介小於 1 倍 高程精度範圍的點數	63
高程較差介於 1 倍~2 倍 高程精度範圍的點數	0
平均高差(m)	0.111
最小高差(m)	-0.072
最大高差(m)	0.288
平均絕對高差(m)	0.122
均方根誤差量(m)	0.145
備 註	

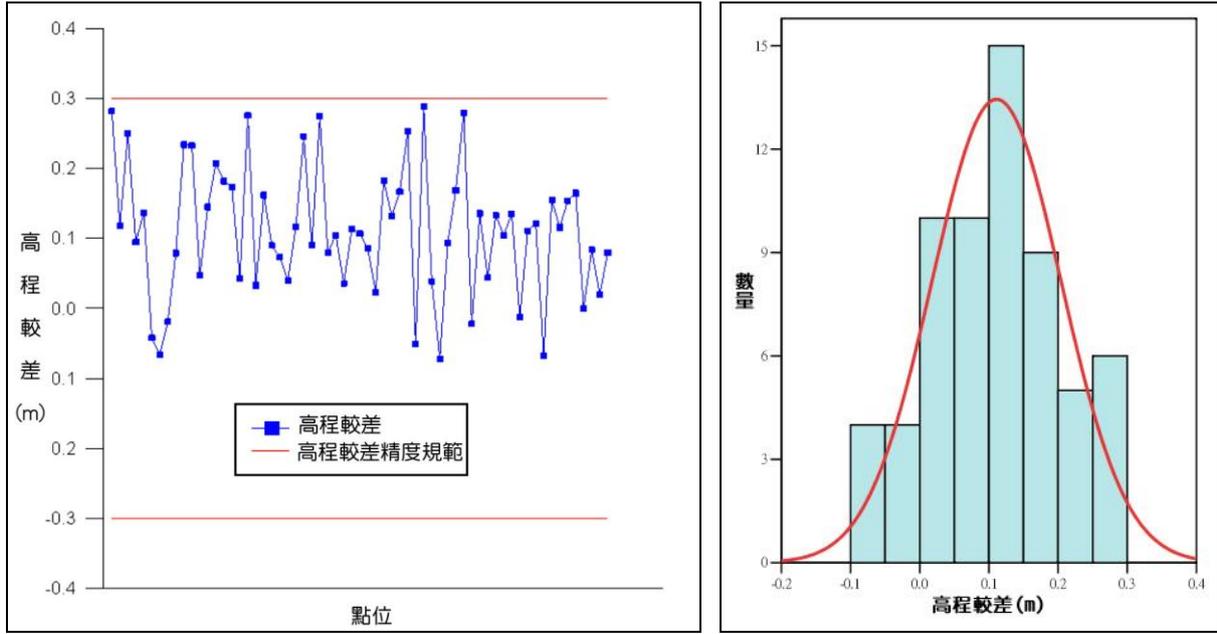


圖 5-18 澎湖測區矮植被檢核之較差成果(左)與直方圖(右)

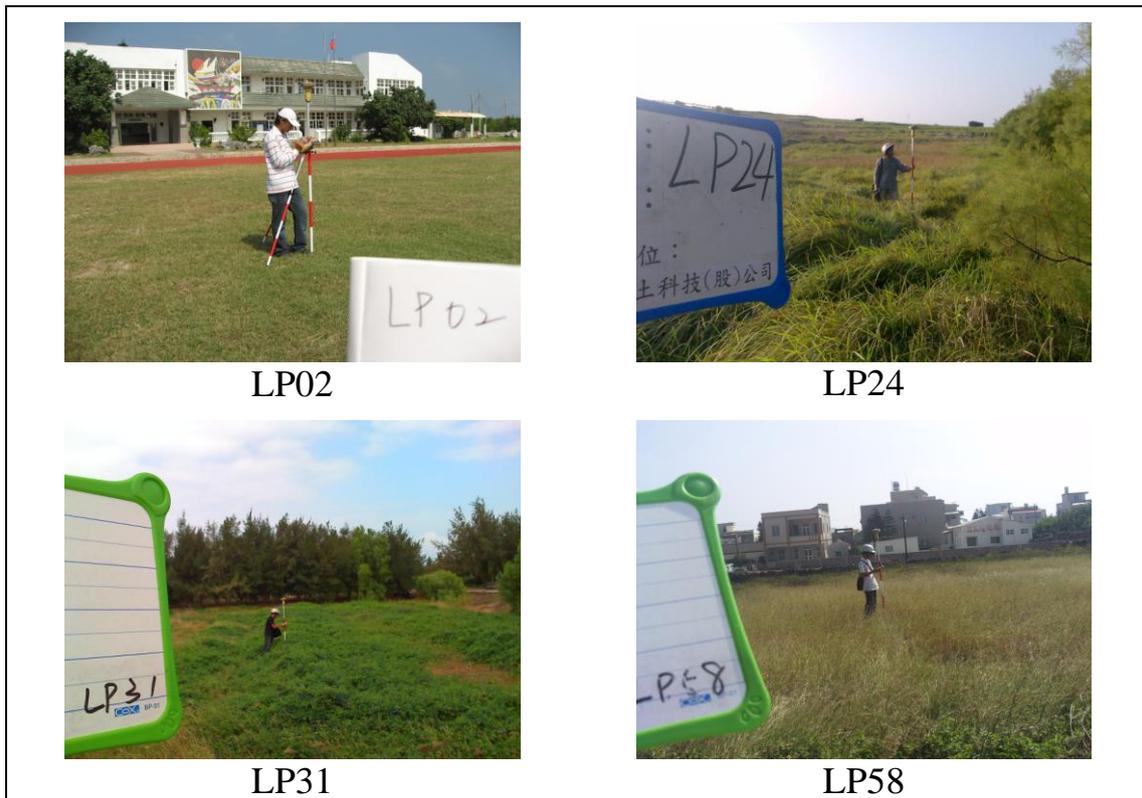


圖 5-19 澎湖測區矮植被檢核現場照片

(三)植生地檢核結果

在植生地測區應施測至少 60 點，共檢核施測 69 個檢核點，經計算後其平均絕對高差為 0.160 公尺，平均高差為 0.159 公尺，最大高差為 0.410 公尺，最小高差為-0.016 公尺，其檢核計算成果統計表如表 5-8 與圖 5-20，各點位高程精度標準均可符合規範—以基本精度加上地形類別及地表植被覆蓋情形之精度調整參數。依雷射點掃描成果觀之，部分點位的高差較大，乃因其植被茂密及地表起伏變化較大所致，其現場檢核點位照片如圖 5-21，詳細各檢核點計算式列表成果如附件五。

表 5-8 植生地之檢核成果統計表

澎湖測區	
檢核點數	69
高程較差介小於 1 倍 高程精度範圍的點數	69
高程較差介於 1 倍~2 倍 高程精度範圍的點數	0
平均高差(m)	0.159
最小高差(m)	-0.016
最大高差(m)	0.410
平均絕對高差(m)	0.160
均方根誤差量(m)	0.198
備 註	

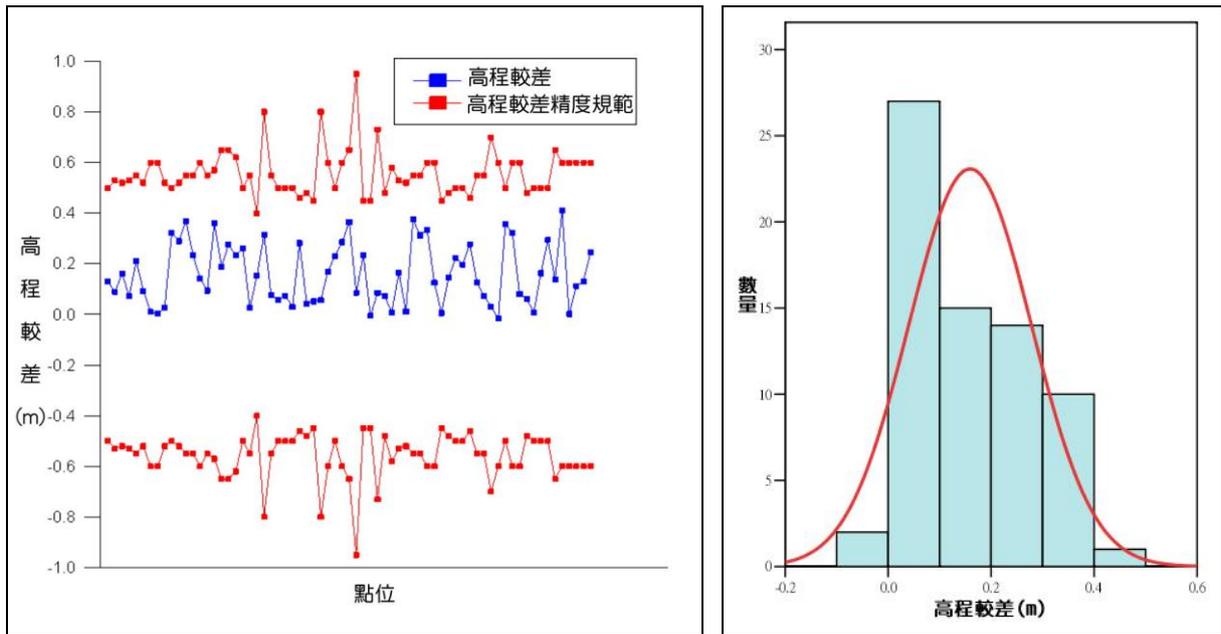


圖 5-20 澎湖測區植生地檢核之較差成果(左)與直方圖(右)



VP29



VP19



VP51



VP71

圖 5-21 澎湖測區植生地檢核現場照片

(四)林地檢核結果

在林地測區應施測至少 60 點，共檢核施測 68 個檢核點，經計算後其平均絕對高差為 0.153 公尺，平均高差為 0.127 公尺，最大高差為 0.516 公尺，最小高差為-0.157 公尺，其檢核計算成果統計表如表 5-9，各點位之較差量均可符合規範要求(圖 5-22)。其現場檢核點位照片如圖 5-23，詳細各檢核點計算式列表成果如附件五。

表 5-9 林地之檢核成果統計表

澎湖測區	
檢核點數	68
高程較差介小於 1 倍 高程精度範圍的點數	68
高程較差介於 1 倍~2 倍 高程精度範圍的點數	0
平均高差(m)	0.127
最小高差(m)	-0.157
最大高差(m)	0.516
平均絕對高差(m)	0.153
均方根誤差量(m)	0.203
備 註	

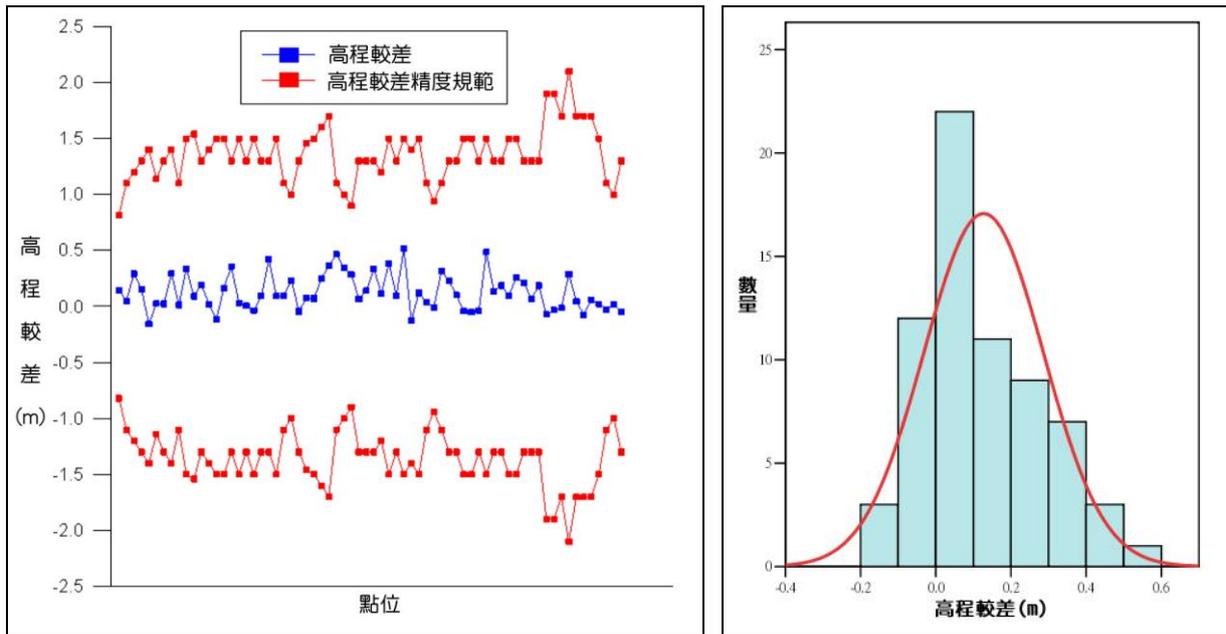


圖 5-22 澎湖測區林地檢核之較差成果(左)與直方圖(右)

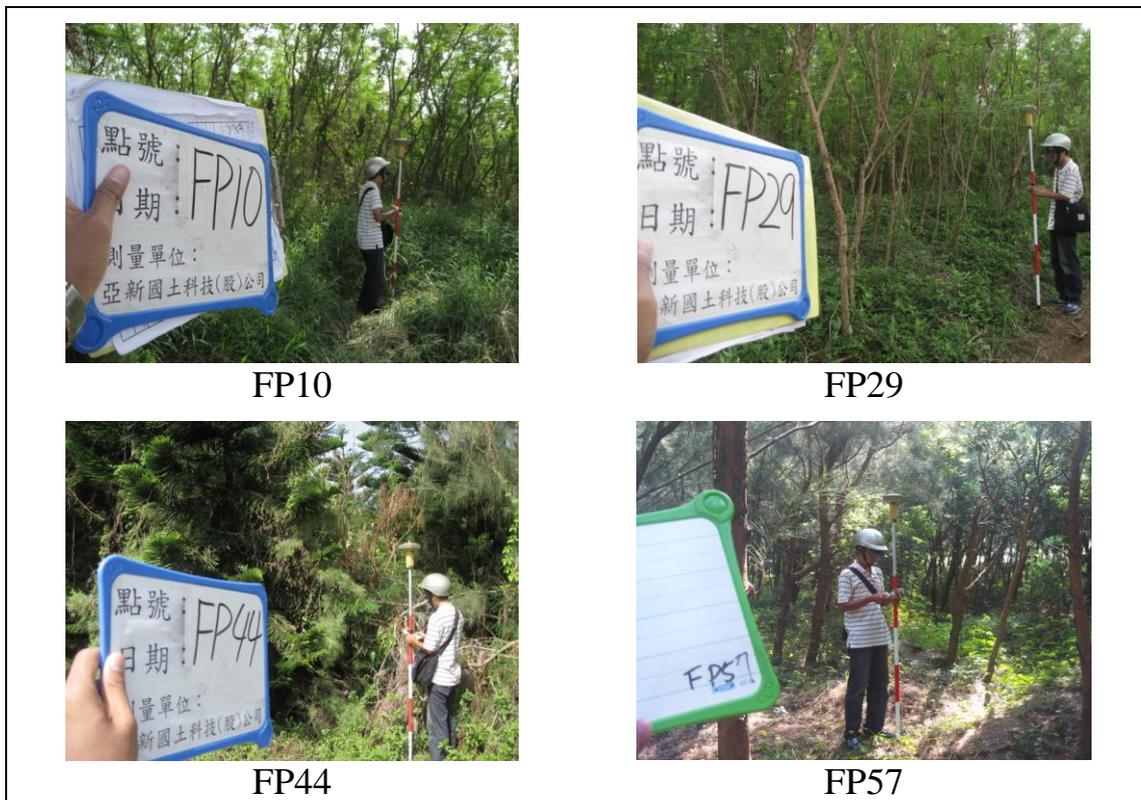


圖 5-23 澎湖測區林地檢核現場照片

97 年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

(五)都會區檢核結果

都會區測區應施測至少 60 點，共檢核施測 68 個檢核點，經計算後其平均絕對高差為 0.072 公尺，平均高差為 0.040 公尺，最大高差為 0.235 公尺，最小高差為-0.110 公尺，其檢核計算成果統計表如表 5-10 及圖 5-24，各點位之較差量均可符合規範要求之精度，現場檢核點位照片如圖 5-25，詳細各檢核點計算式列表成果如附件五。

表 5-10 都會區之檢核成果統計表

澎湖測區	
檢核點數	68
高程較差介小於 1 倍 高程精度範圍的點數	68
高程較差介於 1 倍~2 倍 高程精度範圍的點數	0
平均高差(m)	0.040
最小高差(m)	-0.110
最大高差(m)	0.235
平均絕對高差(m)	0.072
均方根誤差量(m)	0.090
備 註	

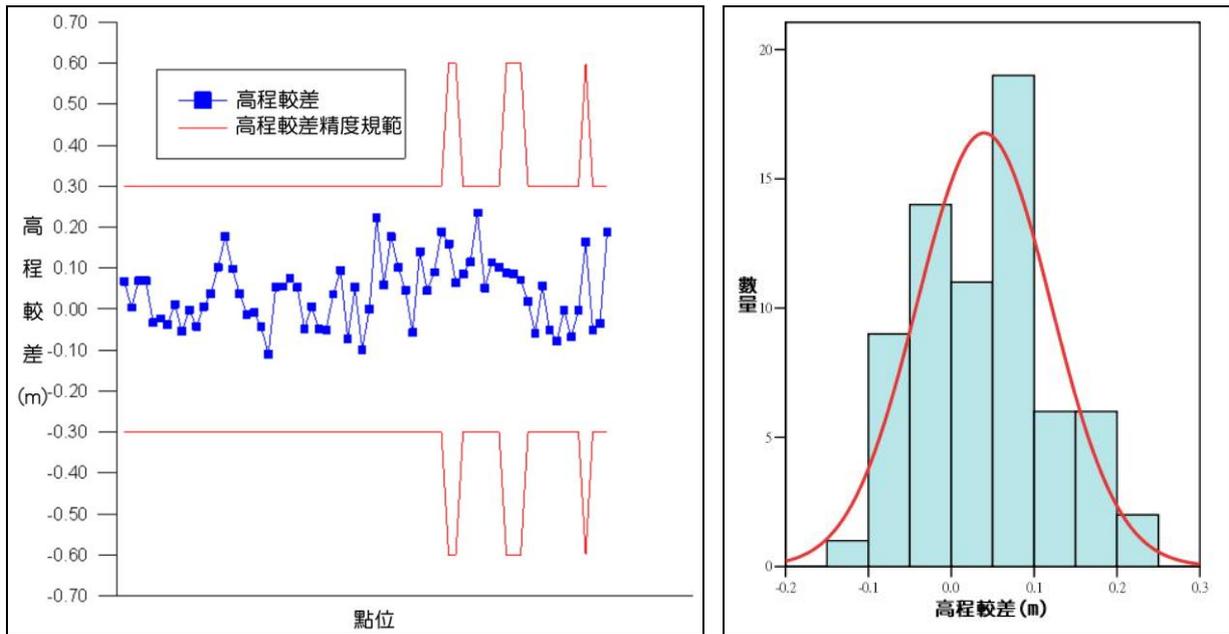


圖 5-24 澎湖測區都會區檢核之較差成果(左)與直方圖(右)

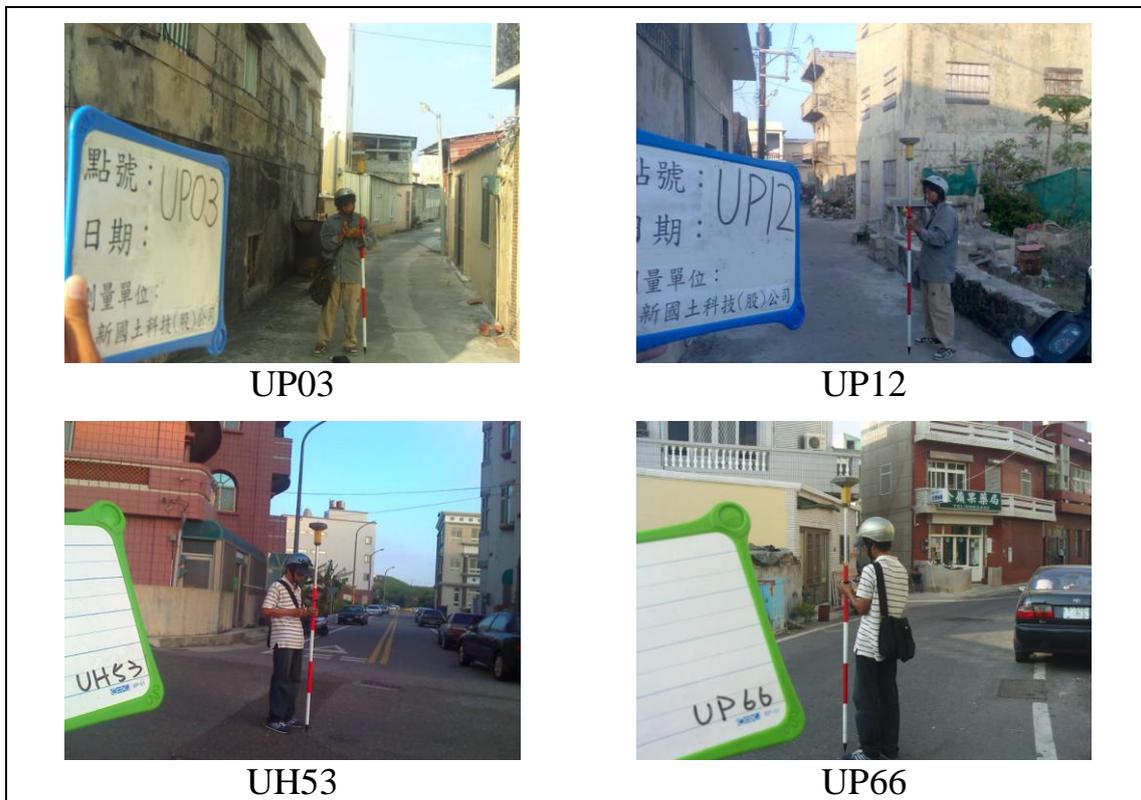


圖 5-25 澎湖測區都會區檢核現場照片

(六) 溼地檢核結果

在溼地測區應施測至少 60 點，共檢核施測 70 個檢核點，經計算後其平均絕對高差為 0.067 公尺，平均高差為 0.040 公尺，最大高差為 0.187 公尺，最小高差為 -0.120 公尺，其檢核計算成果統計表如表 5-11，各點位之較差量均可符合規範要求(圖 5-26)。此類地面檢核點高差易受潮汐漲退(沙岸)及沿岸地表起伏所影響，LIDAR 掃描時間為 97 年 08 月至 97 年 12 月，現地實測檢核點時間為 10 月下旬，由兩者高程差比較結果可知，掃描前後期間溼地的高程變化小，其現場檢核點位照片如圖 5-27，詳細各檢核點計算式列表成果如附件五。

表 5-11 溼地之檢核成果統計表

澎湖測區	
檢核點數	70
高程較差介小於 1 倍 高程精度範圍的點數	70
高程較差介於 1 倍~2 倍 高程精度範圍的點數	0
平均高差(m)	0.040
最小高差(m)	-0.120
最大高差(m)	0.187
平均絕對高差(m)	0.067
均方根誤差量(m)	0.085
備 註	

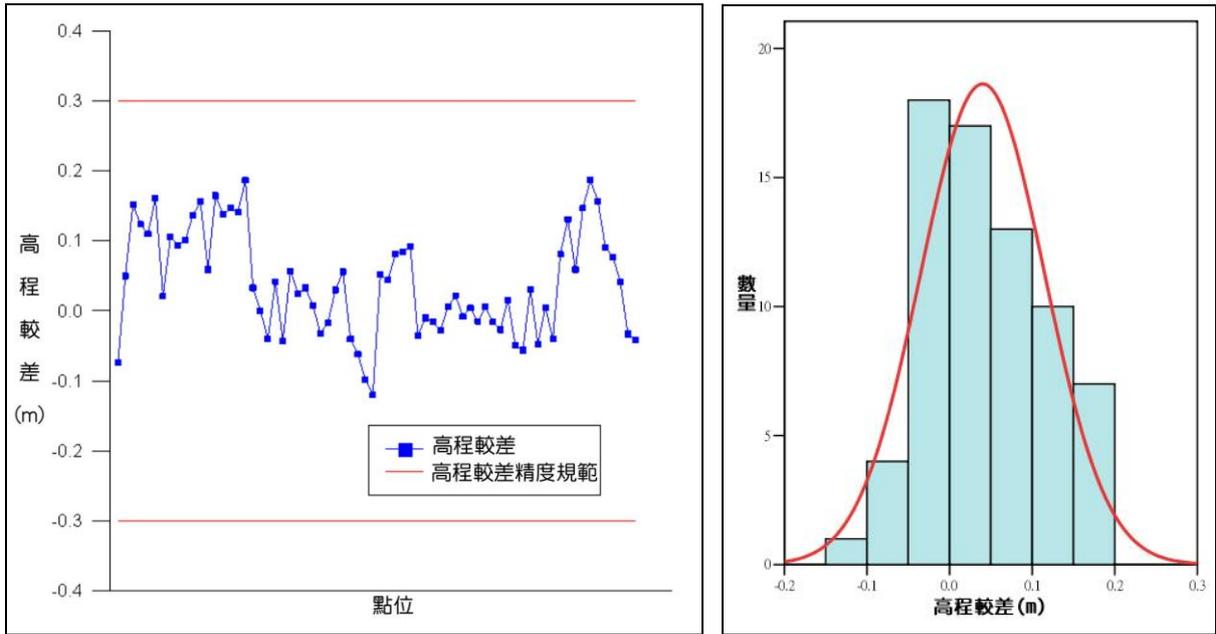


圖 5-26 澎湖測區溼地檢核之較差成果(左)與直方圖(右)

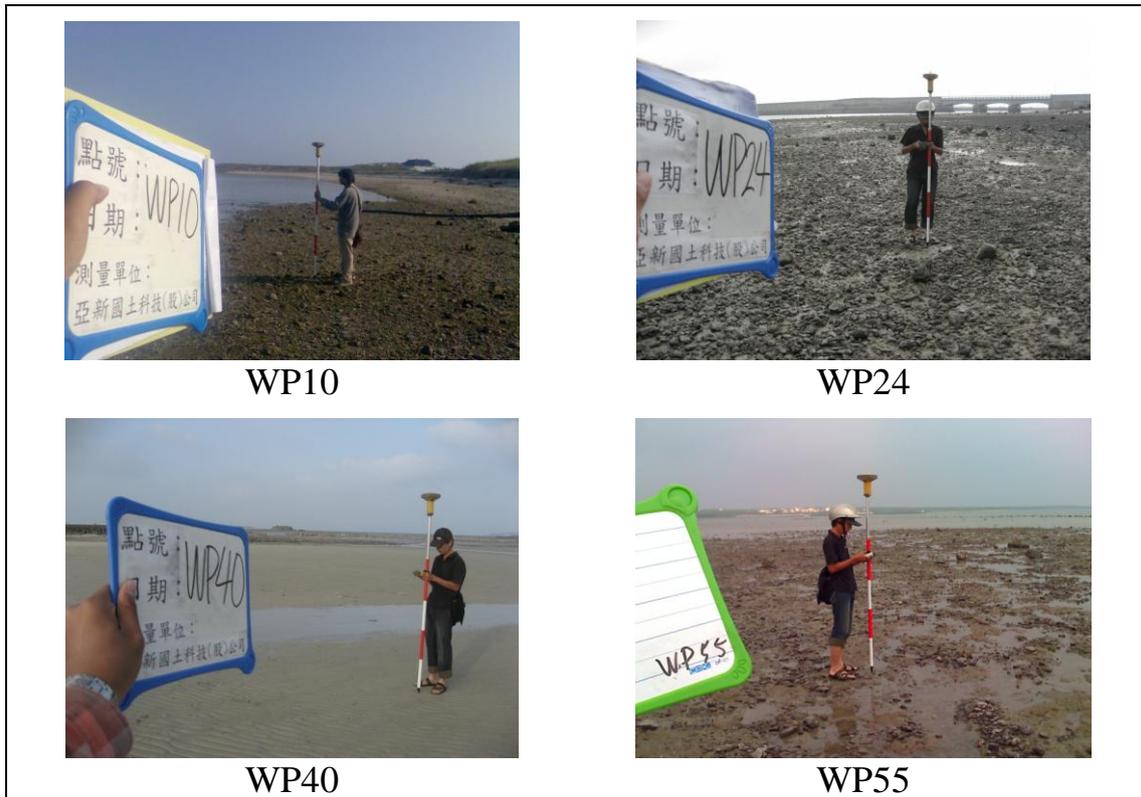


圖 5-27 澎湖測區溼地檢核現場照片

(七)橫斷面檢核結果

橫斷面測區應施測至少 60 點及剖面長度 30 公里以上，共檢核施測 16 條橫斷面，共 191 個檢核點，剖面全長歐為 32.15 公里，經計算後其平均絕對高差為 0.092 公尺，平均高差為 0.043 公尺，最大高差為 0.226 公尺，最小高差為-0.190 公尺，其檢核計算成果統計表如表 5-12，各點位之較差量均可符合規範要求(圖 5-28)，現場檢核點位照片如圖 5-29，詳細各檢核點計算式列表成果如附件五。

表 5-12 橫斷面之檢核成果統計表

澎湖測區	
檢核點數	191
高程較差介小於 1 倍 高程精度範圍的點數	191
高程較差介於 1 倍~2 倍 高程精度範圍的點數	0
平均高差(m)	0.043
最小高差(m)	-0.190
最大高差(m)	0.226
平均絕對高差(m)	0.092
均方根誤差量(m)	0.107
備 註	

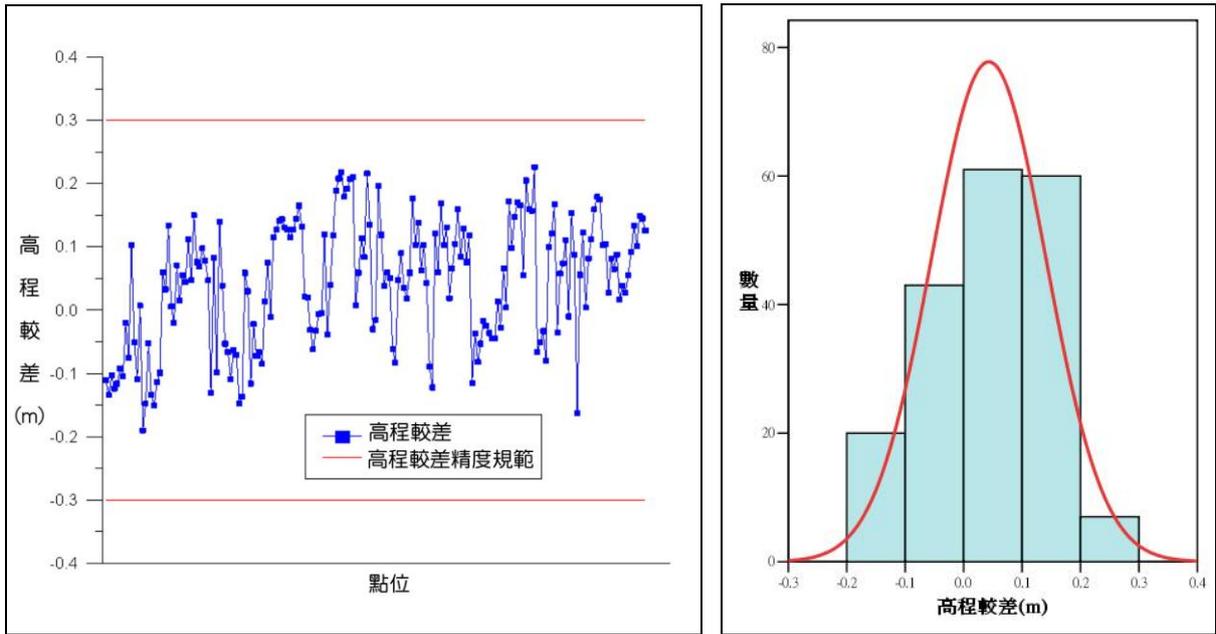


圖 5-28 澎湖測區橫斷面檢核之較差成果(左)與直方圖(右)

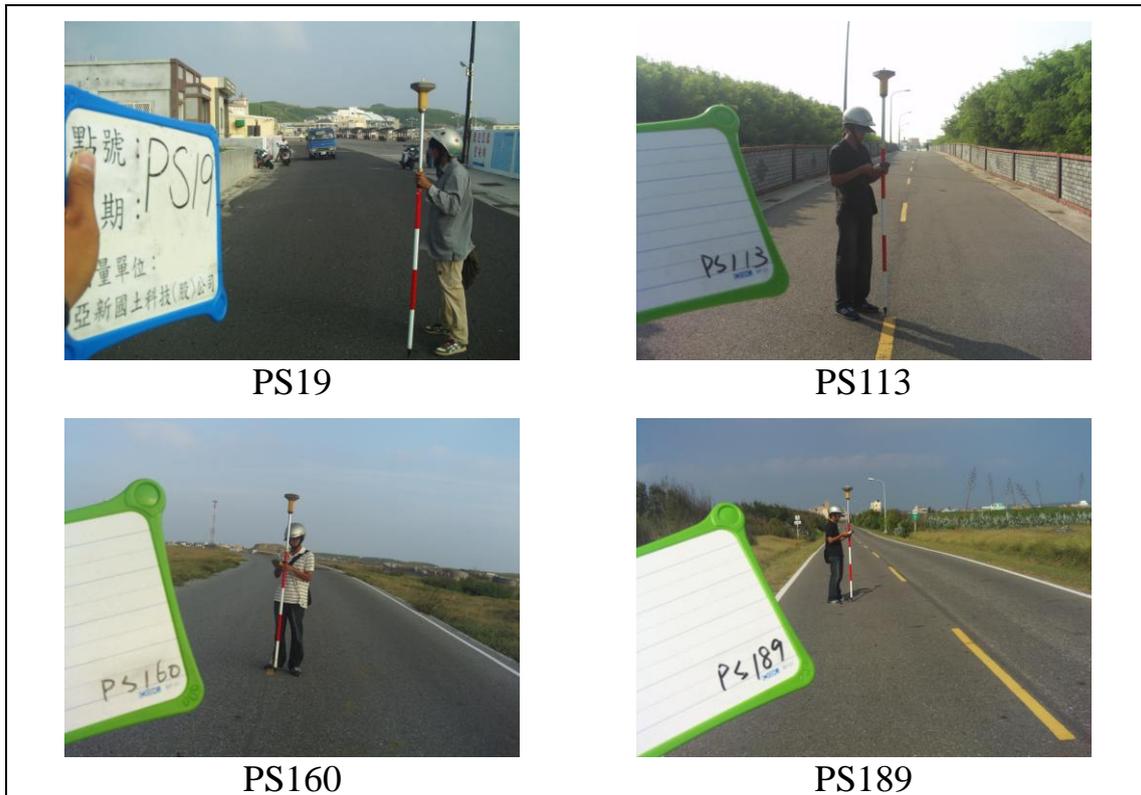
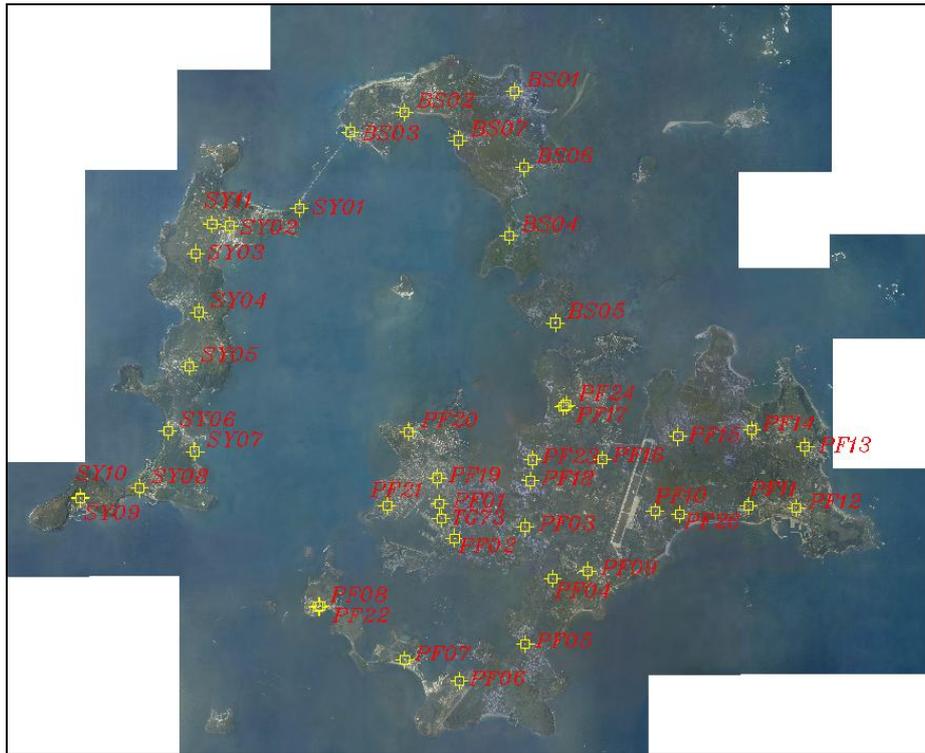


圖 5-29 澎湖測區橫斷面檢核現場照片

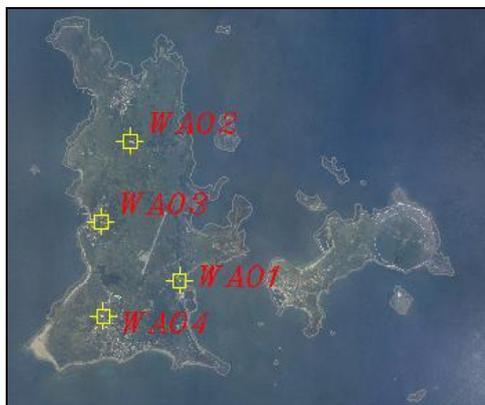
第五節 DEM 正高成果與水準點比較

一、分析範圍

由於 貴中心只提供澎湖馬公、望安及七美三個地區之水準測量之正高及橢球高成果共計 54 點資料，因此以下比較範圍將只針對這三區進行比較分析，其各點位分布情形如圖 5-30，坐標成果如表 5-13 至表 5-14。



(a)澎湖馬公地區



(b)望安地區



(c)七美地區

圖 5-30 澎湖地區水準點分布圖

二、分析方法

(一)分析內政部大地起伏模式與水準點大地起伏值差異

利用 貴中心提供之水準點位橢球高及正高兩種成果，將其各別進行計算可得各點位之大地起伏值(N 值)與本案採用內政部 2009 之台灣大地起伏模式以水準點之坐標值內插計算之大地起伏值，兩者所得結果可列表如表 5-13 至表 5-14，由這些表中數據可知，兩者間之大地起伏值存在系統誤差。在澎湖馬公地區之大地起伏值較差平均值為-0.117 公尺；望安地區之大地起伏值較差平均值為-0.024 公尺；七美地區之大地起伏值較差平均值為-0.267 公尺。因此，進行後續水準點地面高程比較時，本公司特意將 DEM 正高成果分為經內政部大地起伏模式化算而得及經修正大地起伏系統平均差值後之兩種不同正高成果進行分析比較。

表 5-13 馬公地區之大地起伏值比較結果

點號	N(m)	E(m)	橢球高(m)	正高(m)	水準點大地起伏計算值(m)	內政部大地起伏內插值(m)	大地起伏值較差(m)	備註
馬公地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)								
BS01	2618383.362	311032.598	34.364	15.613	18.751	18.650	-0.101	大地起伏值較差之平均值為-0.117m
BS02	2617810.783	308017.450	24.480	5.826	18.654	18.560	-0.094	
BS03	2617269.246	306535.888	26.135	7.516	18.619	18.520	-0.099	
BS04	2614407.354	310882.677	24.088	5.257	18.831	18.710	-0.121	
BS05	2612014.820	312156.479	20.925	2.004	18.921	18.790	-0.131	
BS06	2616286.450	311299.959	20.226	1.420	18.806	18.690	-0.116	
BS07	2617034.040	309490.662	22.416	3.695	18.721	18.640	-0.081	
PF01	2607029.751	308975.743	20.824	1.924	18.900	18.790	-0.110	
PF02	2606088.812	309397.952	34.904	15.977	18.927	18.830	-0.097	
PF03	2606391.086	311331.924	43.575	24.589	18.986	18.870	-0.116	
PF04	2604969.392	312078.200	38.356	19.332	19.024	18.910	-0.114	
PF05	2603178.424	311336.346	23.311	4.303	19.008	18.910	-0.098	
PF06	2602165.606	309530.937	37.841	18.873	18.968	18.870	-0.098	
PF07	2602742.519	308032.024	29.446	10.517	18.929	18.810	-0.119	

點號	N(m)	E(m)	橢球高(m)	正高(m)	水準點大地起伏計算值(m)	內政部大地起伏內插值(m)	大地起伏值較差(m)	備註
馬公地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)								
PF08	2604204.404	305653.950	25.760	6.938	18.822	18.700	-0.122	
PF09	2605185.617	313043.275	41.779	22.705	19.074	18.930	-0.144	
PF10	2606828.966	314890.853	44.111	25.017	19.094	18.980	-0.114	
PF11	2606977.640	317454.571	23.868	4.701	19.167	19.040	-0.127	
PF12	2606916.655	318762.317	24.416	5.204	19.212	19.090	-0.122	
PF13	2608597.478	319002.102	37.216	18.033	19.183	19.070	-0.113	
PF14	2609060.696	317540.006	21.784	2.643	19.141	19.010	-0.131	
PF15	2608884.861	315520.942	27.984	8.909	19.075	18.960	-0.115	
PF16	2608255.630	313445.966	28.899	9.871	19.028	18.910	-0.118	
PF17	2609705.528	312386.015	36.039	17.050	18.989	18.840	-0.149	
PF18	2607662.911	311470.670	39.001	20.023	18.978	18.860	-0.118	
PF19	2607745.968	308927.064	29.351	10.471	18.880	18.770	-0.110	
PF20	2609020.428	308139.837	22.132	3.303	18.829	18.700	-0.129	
PF21	2606984.029	307547.563	27.383	8.529	18.854	18.720	-0.134	
PF22	2604210.344	305710.010	26.050	7.230	18.820	18.700	-0.120	
PF23	2608242.046	311531.790	24.067	5.069	18.998	18.850	-0.148	
PF24	2609749.709	312450.208	37.750	18.745	19.005	18.840	-0.165	
PF26	2606749.319	315570.277	32.060	12.930	19.130	19.000	-0.130	
SY01	2615159.155	305135.652	25.729	7.138	18.591	18.500	-0.091	
SY02	2614683.847	303229.349	44.519	25.983	18.536	18.430	-0.106	
SY03	2613926.193	302301.083	45.430	26.922	18.508	18.410	-0.098	
SY04	2612304.513	302381.388	43.440	24.878	18.562	18.440	-0.122	
SY05	2610810.889	302123.045	47.413	28.846	18.567	18.460	-0.107	
SY06	2609035.416	301537.456	43.447	24.862	18.585	18.480	-0.105	
SY07	2608472.882	302279.669	21.221	2.587	18.634	18.500	-0.134	
SY08	2607463.751	300759.741	23.651	5.057	18.594	18.470	-0.124	
SY09	2607197.068	299141.101	34.447	15.910	18.537	18.410	-0.127	
SY10	2607189.903	299137.629	34.704	16.162	18.542	18.410	-0.132	
SY11	2614727.576	302749.921	47.356	28.841	18.515	18.410	-0.105	
TG73	2606623.701	309028.536	20.745	1.839	18.906	18.800	-0.106	

97年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

表 5-14 望安與七美地區之大地起伏值比較結果

點號	N(m)	E(m)	橢球高(m)	正高(m)	水準點大地起伏計算值(m)	內政部大地起伏內插值(m)	大地起伏值較差(m)	備註
望安地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)								
WA01	2584724.157	301844.248	21.943	2.953	18.990	18.950	-0.040	大地起伏值較差之平均值為-0.024m
WA02	2586660.688	301163.885	40.921	22.002	18.919	18.900	-0.019	
WA03	2585540.095	300766.112	26.417	7.492	18.925	18.910	-0.015	
WA04	2584230.712	300792.687	29.556	10.606	18.950	18.930	-0.020	
七美地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)								
CM01	2566282.753	293083.786	32.428	13.330	19.098	18.820	-0.278	大地起伏值較差之平均值為-0.267m
CM02	2565339.283	293936.021	44.371	25.267	19.104	18.840	-0.264	
CM03	2567133.859	294337.970	47.482	28.367	19.115	18.860	-0.255	
CM04	2568632.869	295693.038	58.778	39.617	19.161	18.890	-0.271	
CM05	2567951.902	293863.762	28.228	9.128	19.100	18.840	-0.260	
CM06	2567482.625	293110.564	44.251	25.159	19.092	18.820	-0.272	

97 年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

(二)兩種不同 DEM 正高成果與水準點地面高成果比較

首先比較前先檢視所有水準點坐落情形，本案水準點可分為地面埋設(點位與地面高差約 8 公分)及樁位埋設(樁位與地面高差約 20 公分)等二種情形如圖 5-31 所示，作業前先行將水準點位高程化算至地面高後才進行後續比較(如表 5-15 至表 5-16)。



圖 5-31 水準點位坐落情形

這兩種正高成果(修正前及修正後)皆採用內插法進行高程之比較，內插法係利用 Terrascan 內 Output Control Report 之功能(搜尋半徑範圍為 2 公尺，最大坡度為 10 度，Z tolerance 為 1 公尺如圖 5-32 所示)，將 DEM 正高成果資料以內插方式求得水準點位處之高程，以進行兩者間之高程比較分析。

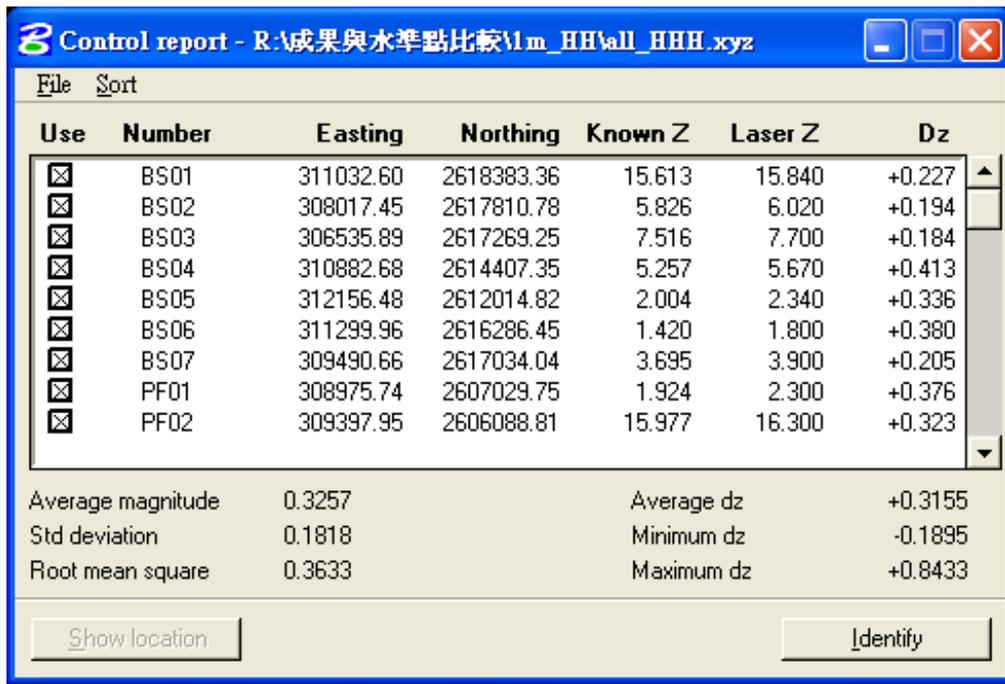


圖 5-32 Output Control Report 之參數設定

三、分析結果

(一)修正前 DEM 成果比較分析

採用內政部大地起伏模式化算後之 DEM 正高成果與水準點進行內插比較，經 Terrascan 之 Output Control Report 評估結果如下圖 5-33，其平均絕對高差為 0.3257 公尺，平均高差為 0.3155 公尺，最大高差為 0.8433 公尺，最小高差為 -0.1895 公尺，各點位比較成果如表 5-15，其中有 37 個點位高程較差值在 ± 30 公分之內，高程較差平均值於馬公地區為 26.5 公分，於望安地區為 11.2 公分，七美地區為 38.5 公分，另有 17 個點位高程較差值在 ± 30 公分以上。



Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input checked="" type="checkbox"/>	BS01	311032.60	2618383.36	15.613	15.840	+0.227
<input checked="" type="checkbox"/>	BS02	308017.45	2617810.78	5.826	6.020	+0.194
<input checked="" type="checkbox"/>	BS03	306535.89	2617269.25	7.516	7.700	+0.184
<input checked="" type="checkbox"/>	BS04	310882.68	2614407.35	5.257	5.670	+0.413
<input checked="" type="checkbox"/>	BS05	312156.48	2612014.82	2.004	2.340	+0.336
<input checked="" type="checkbox"/>	BS06	311299.96	2616286.45	1.420	1.800	+0.380
<input checked="" type="checkbox"/>	BS07	309490.66	2617034.04	3.695	3.900	+0.205
<input checked="" type="checkbox"/>	PF01	308975.74	2607029.75	1.924	2.300	+0.376
<input checked="" type="checkbox"/>	PF02	309397.95	2606088.81	15.977	16.300	+0.323

Average magnitude	0.3257	Average dz	+0.3155
Std deviation	0.1818	Minimum dz	-0.1895
Root mean square	0.3633	Maximum dz	+0.8433

圖 5-33 Output Control Report 之評估成果

表 5-15 各已知水準點位高程與修正前 DEM 高程比較表

點號	E(m)	N(m)	水準 高程 (m)	水準高程 換算至 地面 (m)	DEM 成果 正高高程 (m)	正高 較差 (m)	備註
馬公地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)							
BS01	311032.598	2618383.362	15.613	15.693	15.840	0.147	平均較差 值 0.265m
BS02	308017.450	2617810.783	5.826	5.906	6.020	0.114	
BS03	306535.888	2617269.246	7.516	7.596	7.700	0.104	
BS04	310882.677	2614407.354	5.257	5.337	5.670	0.333	
BS05	312156.479	2612014.820	2.004	2.084	2.340	0.256	
BS06	311299.959	2616286.450	1.420	1.500	1.800	0.300	
BS07	309490.662	2617034.040	3.695	3.775	3.900	0.125	
PF01	308975.743	2607029.751	1.924	2.004	2.300	0.296	
PF02	309397.952	2606088.812	15.977	16.057	16.300	0.243	
PF03	311331.924	2606391.086	24.589	24.669	24.800	0.131	
PF04	312078.200	2604969.392	19.332	19.412	19.700	0.288	
PF05	311336.346	2603178.424	4.303	4.383	4.940	0.557	
PF06	309530.937	2602165.606	18.873	18.953	19.410	0.457	
PF07	308032.024	2602742.519	10.517	10.597	11.250	0.653	
PF08	305653.950	2604204.404	6.938	7.018	7.300	0.282	

點號	E(m)	N(m)	水準 高程 (m)	水準高程 換算至 地面 (m)	DEM 成果 正高高程 (m)	正高 較差 (m)	備註
PF09	313043.275	2605185.617	22.705	22.785	23.120	0.335	
PF10	314890.853	2606828.966	25.017	25.097	25.300	0.203	
PF11	317454.571	2606977.640	4.701	4.781	5.000	0.219	
PF12	318762.317	2606916.655	5.204	5.284	5.600	0.316	
PF13	319002.102	2608597.478	18.033	18.113	18.400	0.287	
PF14	317540.006	2609060.696	2.643	2.723	3.000	0.277	
PF15	315520.942	2608884.861	8.909	8.989	9.100	0.111	
PF16	313445.966	2608255.630	9.871	9.951	10.270	0.319	
PF17	312386.015	2609705.528	17.050	17.130	17.340	0.210	
PF18	311470.670	2607662.911	20.023	20.103	20.360	0.257	
PF19	308927.064	2607745.968	10.471	10.551	10.790	0.239	
PF20	308139.837	2609020.428	3.303	3.383	3.640	0.257	
PF21	307547.563	2606984.029	8.529	8.609	8.840	0.231	
PF22	305710.010	2604210.344	7.230	7.030	7.600	0.570	樁
PF23	311531.790	2608242.046	5.069	4.869	4.880	0.011	樁
PF24	312450.208	2609749.709	18.745	18.545	18.660	0.115	樁
PF26	315570.277	2606749.319	12.930	12.730	13.000	0.270	樁
SY01	305135.652	2615159.155	7.138	7.218	7.440	0.222	
SY02	303229.349	2614683.847	25.983	26.063	26.090	0.027	
SY03	302301.083	2613926.193	26.922	27.002	27.120	0.118	
SY04	302381.388	2612304.513	24.878	24.958	25.100	0.142	
SY05	302123.045	2610810.889	28.846	28.926	29.080	0.154	
SY06	301537.456	2609035.416	24.862	24.942	25.250	0.308	
SY07	302279.669	2608472.882	2.587	2.667	2.900	0.233	
SY08	300759.741	2607463.751	5.057	5.137	5.450	0.313	
SY09	299141.101	2607197.068	15.910	15.990	16.570	0.580	
SY10	299137.629	2607189.903	16.162	15.962	16.360	0.398	樁
SY11	302749.921	2614727.576	28.841	28.641	29.140	0.499	樁
TG73	309028.536	2606623.701	1.839	1.919	2.050	0.131	
望安地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)							
WA01	301844.248	2584724.157	2.953	3.033	3.090	0.057	平均較差 值 0.112m
WA02	301163.885	2586660.688	22.002	22.082	22.090	0.008	
WA03	300766.112	2585540.095	7.492	7.572	7.610	0.038	
WA04	300792.687	2584230.712	10.606	10.686	11.030	0.344	

點號	E(m)	N(m)	水準 高程 (m)	水準高程 換算至 地面 (m)	DEM 成果 正高高程 (m)	正高 較差 (m)	備註
七美地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)							
CM01	293083.786	2566282.753	13.330	13.410	13.530	0.120	平均較差 值 0.385m
CM02	293936.021	2565339.283	25.267	25.347	26.110	0.763	
CM03	294337.970	2567133.859	28.367	28.447	28.690	0.243	
CM04	295693.038	2568632.869	39.617	39.697	40.200	0.503	
CM05	293863.762	2567951.902	9.128	9.208	9.730	0.522	
CM06	293110.564	2567482.625	25.159	25.239	25.400	0.161	

(二)修正後之 DEM 正高成果比較

由於 貴中心只提供馬公、望安及七美等三個地區水準點資料，因此，原 DEM 正高成果經由這三個地區之大地起伏差值，依各自區域取平均進行正高高程修正後與水準點比較如表 5-16，其中有 46 個點位高程較差值在±30 公分之內，且修正後之高程較差平均值於馬公地區為 14.8 公分，於望安地區為 8.8 公分，七美地區為 11.8 公分，其中有 8 個點位高程較差值在±30 公分以上，為了解這些高程較差大於±30 公分之點位狀況，將其分類為有植被覆蓋處及高低位有落差處分析如表 5-17，依類別分析說明如下：

表 5-16 修正後之 DEM 正高成果之比較成果表

點號	E(m)	N(m)	水準 高程 (m)	水準高程 換算至 地面 (m)	DEM 成果 修正後正 高高程(m)	正高 較差 (m)	備註
馬公地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)							
BS01	311032.598	2618383.362	15.613	15.693	15.723	0.030	平均值 0.148m
BS02	308017.450	2617810.783	5.826	5.906	5.903	-0.003	
BS03	306535.888	2617269.246	7.516	7.596	7.583	-0.013	
BS04	310882.677	2614407.354	5.257	5.337	5.553	0.216	
BS05	312156.479	2612014.820	2.004	2.084	2.223	0.139	
BS06	311299.959	2616286.450	1.420	1.500	1.683	0.183	
BS07	309490.662	2617034.040	3.695	3.775	3.783	0.008	

點號	E(m)	N(m)	水準 高程 (m)	水準高程 換算至 地面 (m)	DEM 成果 修正後正 高高程(m)	正高 較差 (m)	備註
PF01	308975.743	2607029.751	1.924	2.004	2.183	0.179	
PF02	309397.952	2606088.812	15.977	16.057	16.183	0.126	
PF03	311331.924	2606391.086	24.589	24.669	24.683	0.014	
PF04	312078.200	2604969.392	19.332	19.412	19.583	0.171	
PF05	311336.346	2603178.424	4.303	4.383	4.823	0.440	
PF06	309530.937	2602165.606	18.873	18.953	19.293	0.340	
PF07	308032.024	2602742.519	10.517	10.597	11.133	0.536	
PF08	305653.950	2604204.404	6.938	7.018	7.183	0.165	
PF09	313043.275	2605185.617	22.705	22.785	23.003	0.218	
PF10	314890.853	2606828.966	25.017	25.097	25.183	0.086	
PF11	317454.571	2606977.640	4.701	4.781	4.883	0.102	
PF12	318762.317	2606916.655	5.204	5.284	5.483	0.199	
PF13	319002.102	2608597.478	18.033	18.113	18.283	0.170	
PF14	317540.006	2609060.696	2.643	2.723	2.883	0.160	
PF15	315520.942	2608884.861	8.909	8.989	8.983	-0.006	
PF16	313445.966	2608255.630	9.871	9.951	10.153	0.202	
PF17	312386.015	2609705.528	17.050	17.130	17.223	0.093	
PF18	311470.670	2607662.911	20.023	20.103	20.243	0.140	
PF19	308927.064	2607745.968	10.471	10.551	10.673	0.122	
PF20	308139.837	2609020.428	3.303	3.383	3.523	0.140	
PF21	307547.563	2606984.029	8.529	8.609	8.723	0.114	
PF22	305710.010	2604210.344	7.230	7.030	7.483	0.453	
PF23	311531.790	2608242.046	5.069	4.869	4.763	-0.106	
PF24	312450.208	2609749.709	18.745	18.545	18.543	-0.002	
PF26	315570.277	2606749.319	12.930	12.730	12.883	0.153	
SY01	305135.652	2615159.155	7.138	7.218	7.323	0.105	
SY02	303229.349	2614683.847	25.983	26.063	25.973	-0.090	
SY03	302301.083	2613926.193	26.922	27.002	27.003	0.001	
SY04	302381.388	2612304.513	24.878	24.958	24.983	0.025	
SY05	302123.045	2610810.889	28.846	28.926	28.963	0.037	
SY06	301537.456	2609035.416	24.862	24.942	25.133	0.191	
SY07	302279.669	2608472.882	2.587	2.667	2.783	0.116	
SY08	300759.741	2607463.751	5.057	5.137	5.333	0.196	
SY09	299141.101	2607197.068	15.910	15.990	16.453	0.463	

97 年度以空載光達技術建立數值地形模型工作總報告書(定稿)

點號	E(m)	N(m)	水準 高程 (m)	水準高程 換算至 地面 (m)	DEM 成果 修正後正 高高程(m)	正高 較差 (m)	備註
SY10	299137.629	2607189.903	16.162	15.962	16.243	0.281	
SY11	302749.921	2614727.576	28.841	28.641	29.023	0.382	
TG73	309028.536	2606623.701	1.839	1.919	1.933	0.014	
望安地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)							
WA01	301844.248	2584724.157	2.953	3.033	3.066	0.033	平均值 0.088m
WA02	301163.885	2586660.688	22.002	22.082	22.066	-0.016	
WA03	300766.112	2585540.095	7.492	7.572	7.586	0.014	
WA04	300792.687	2584230.712	10.606	10.686	11.006	0.320	
七美地區(水準點位之坐標與高程尚未公告)							
CM01	293083.786	2566282.753	13.330	13.410	13.263	-0.147	平均值 0.118m
CM02	293936.021	2565339.283	25.267	25.347	25.843	0.496	
CM03	294337.970	2567133.859	28.367	28.447	28.423	-0.024	
CM04	295693.038	2568632.869	39.617	39.697	39.933	0.236	
CM05	293863.762	2567951.902	9.128	9.208	9.463	0.255	
CM06	293110.564	2567482.625	25.159	25.239	25.133	-0.106	

表 5-17 修正後之 DEM 正高成果比較高差大於 30 公分之點位

類型	點號	水準高程 換算至 地面 (m)	內插法				備註
			修正前 DEM 成果 高程 (m)	與水準高 程較差 (m)	修正後 DEM 成果 高程 (m)	與水準高 程較差 (m)	
有植 被覆 蓋處	PF05	4.383	4.940	0.557	4.823	0.440	引用修正大 地起伏系統 差後 DEM 成果有明顯 改善，但仍 然超出 30cm 誤差界值
	PF22	7.030	7.600	0.570	7.483	0.453	
	SY11	28.641	29.140	0.499	29.023	0.382	
	WA04	10.686	11.030	0.344	11.006	0.320	
高低 位有 落差 處	PF06	18.953	19.410	0.457	19.293	0.340	
	PF07	10.597	11.250	0.653	11.133	0.536	
	SY09	15.990	16.570	0.580	16.453	0.463	
	CM02	25.347	26.110	0.763	25.843	0.496	

1、有植被覆蓋處

此類別之點位主要分布於植被覆蓋處，共計有 4 點，其點位附近正射影像如圖 5-34 及圖 5-35。



圖 5-34 有植被覆蓋處之點位附近正射影像圖 1

2、高低位有落差處

此類別之點位主要分布於地形變化處，共計有 4 點，其現場點位照片如圖 5-36 及圖 5-37。



圖 5-36 高低位有落差處之點位附近正射影像圖 1



圖 5-37 高低位有落差處之點位附近正射影像圖 2

第六節 DEM 高程與現有 5 公尺網格成果比較

一、分析範圍

為進行本案產製 1 公尺網格的 DEM 成果與目前內政部最新 5 公尺網格的 DEM 成果(共 87 幅,原始資料生產日期為 96 年)之差異比較分析,資料分析取用範圍以自貴中心取得之內政部 DEM 成果圖幅數中抽選 10%(約為 9 幅圖),抽選圖幅原則上均勻分布於澎湖測區,其圖幅分布如圖 5-38 與圖 5-39 所示。

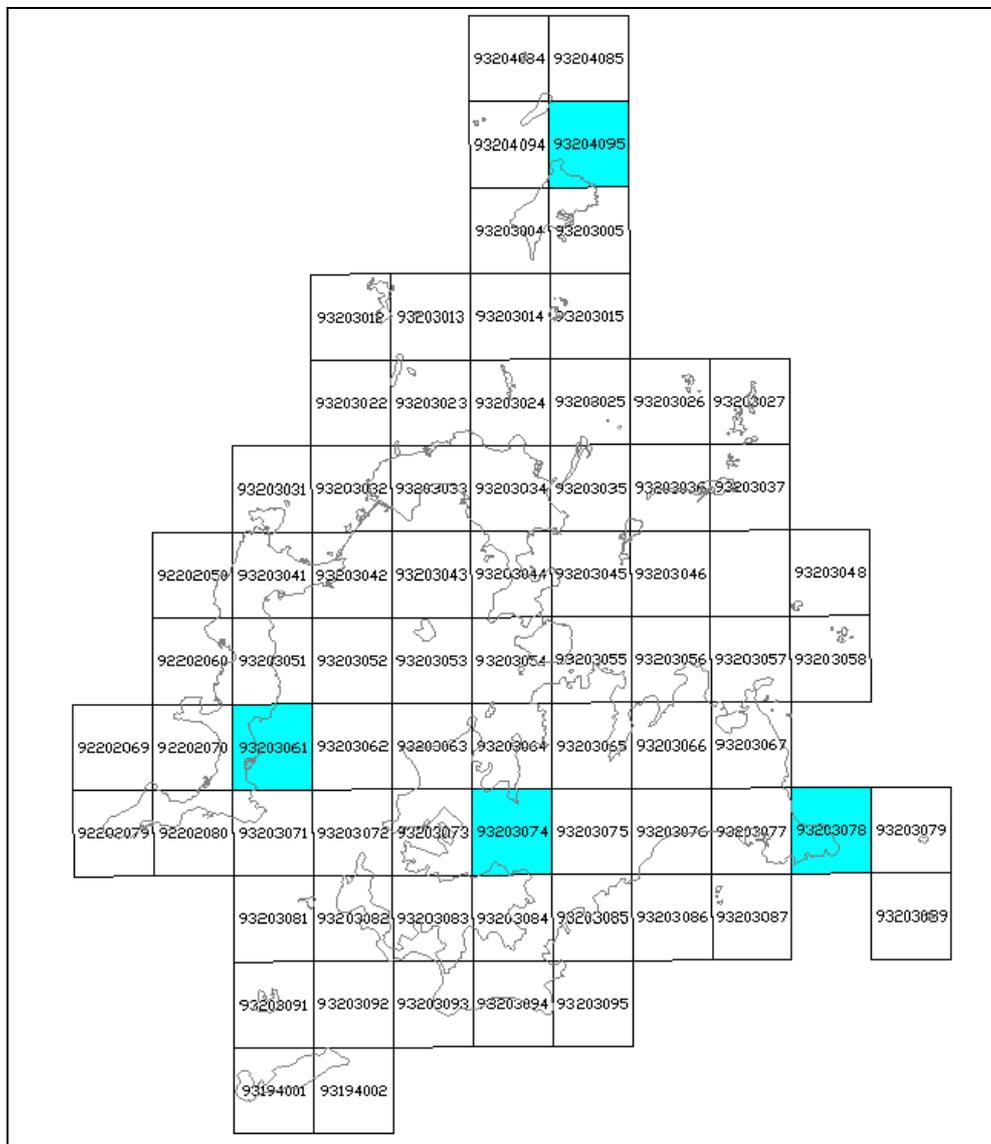


圖 5-38 澎湖馬公地區抽選比較之圖幅分布(藍色區域)

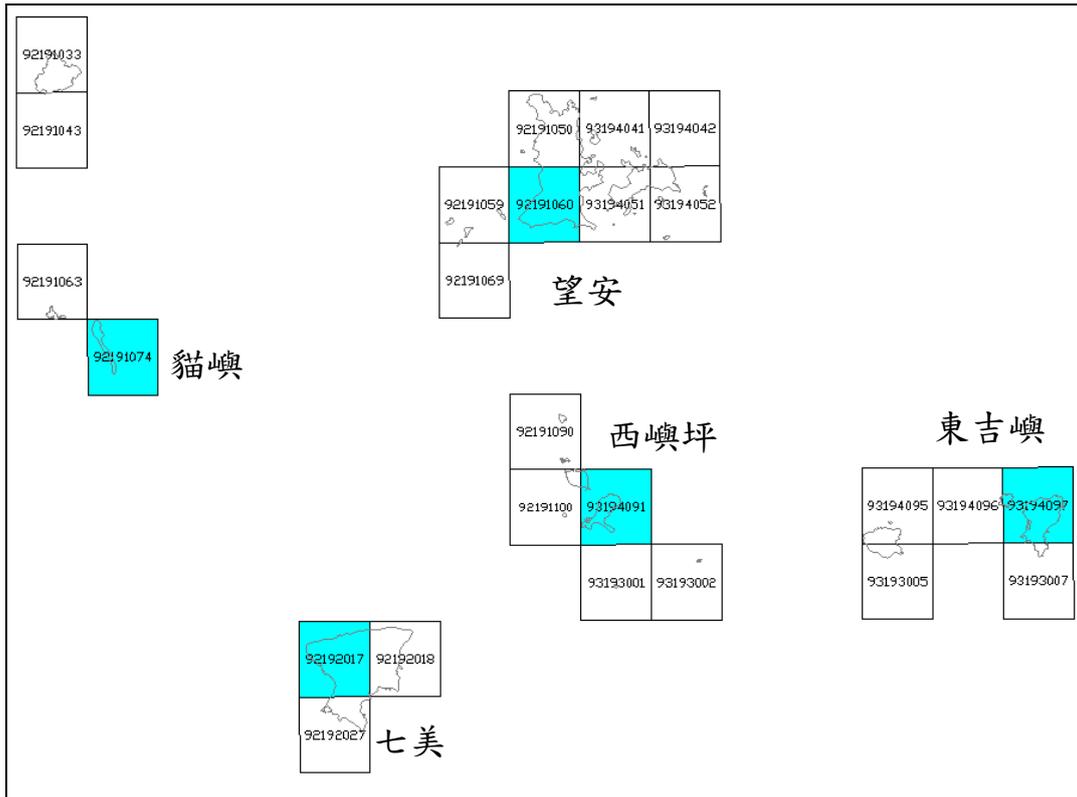


圖 5-39 澎湖離島地區抽選比較之圖幅分布(藍色區域)

二、分析方法

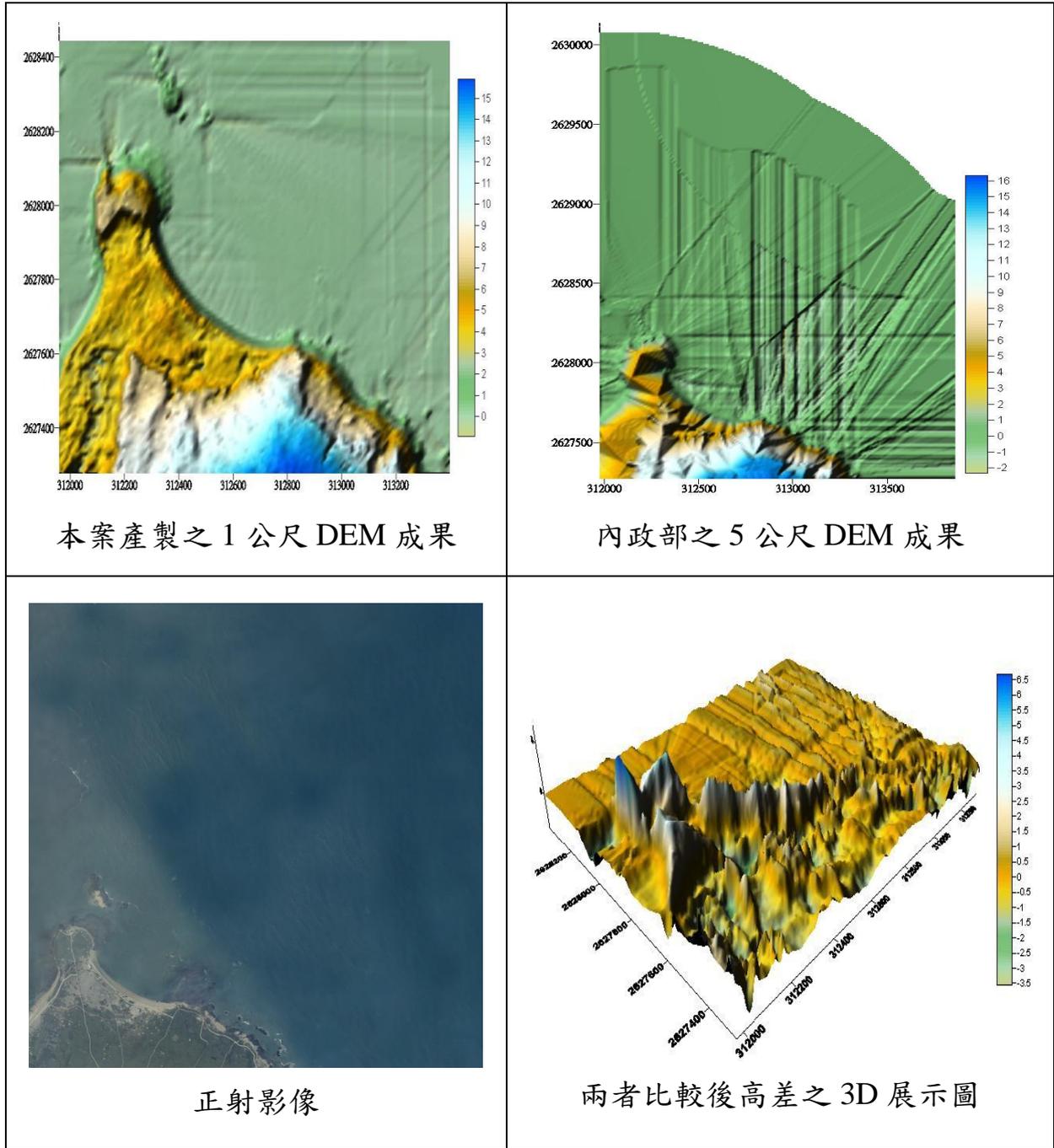
將本計畫 1 公尺間距 DEM 與內政部 5 公尺之 DEM 成果，以同點對位進行高程比較，其比較結果之示意如圖 5-40。

Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input checked="" type="checkbox"/>	1	300170.00	2583430.00	0.100	0.800	+0.700
<input checked="" type="checkbox"/>	2	300175.00	2583430.00	0.200	0.600	+0.400
<input checked="" type="checkbox"/>	3	300180.00	2583430.00	0.100	0.500	+0.400
<input checked="" type="checkbox"/>	4	300165.00	2583435.00	0.100	0.200	+0.100
<input checked="" type="checkbox"/>	5	300170.00	2583435.00	0.300	0.400	+0.100
<input checked="" type="checkbox"/>	6	300175.00	2583435.00	0.400	0.300	-0.100
<input checked="" type="checkbox"/>	7	300180.00	2583435.00	0.300	0.300	+0.000
<input checked="" type="checkbox"/>	8	300185.00	2583435.00	0.100	0.500	+0.400
<input checked="" type="checkbox"/>	9	300165.00	2583440.00	0.200	0.300	+0.100
Average magnitude		0.9731		Average dz		-0.2404
Std deviation		1.2266		Minimum dz		-7.3000
Root mean square		1.2499		Maximum dz		+7.5000

圖 5-40 本案 DEM 與 5 公尺 DEM 比較計算情形

三、分析結果

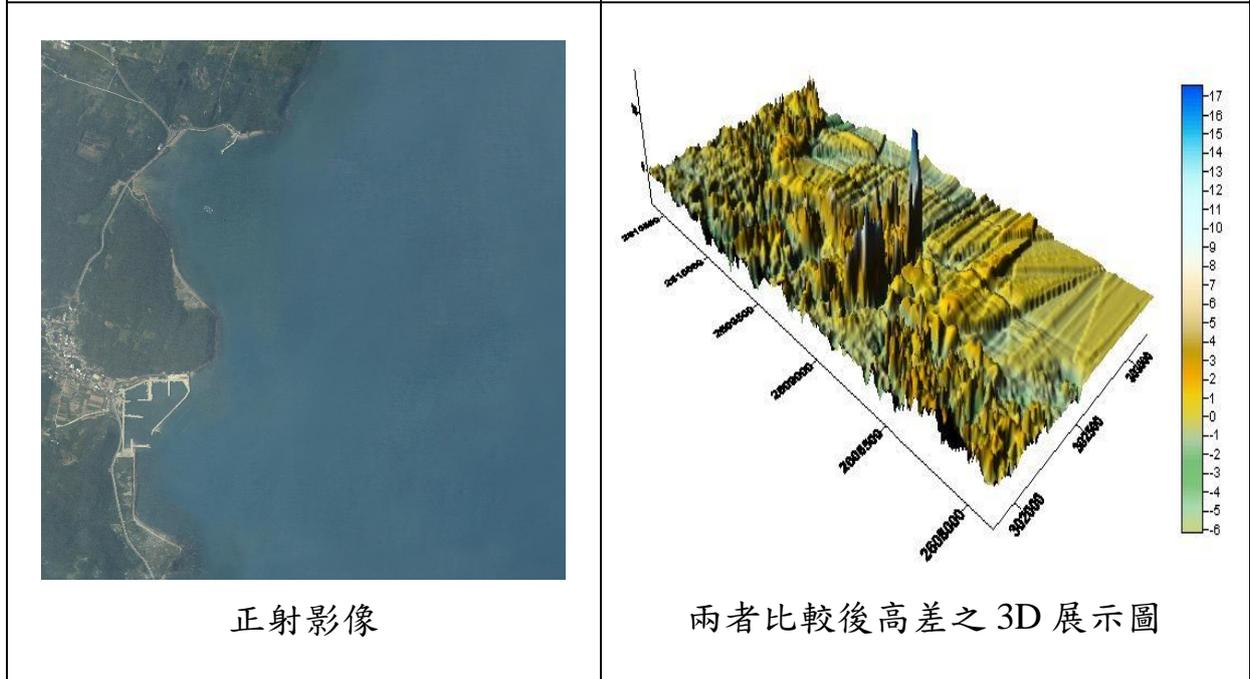
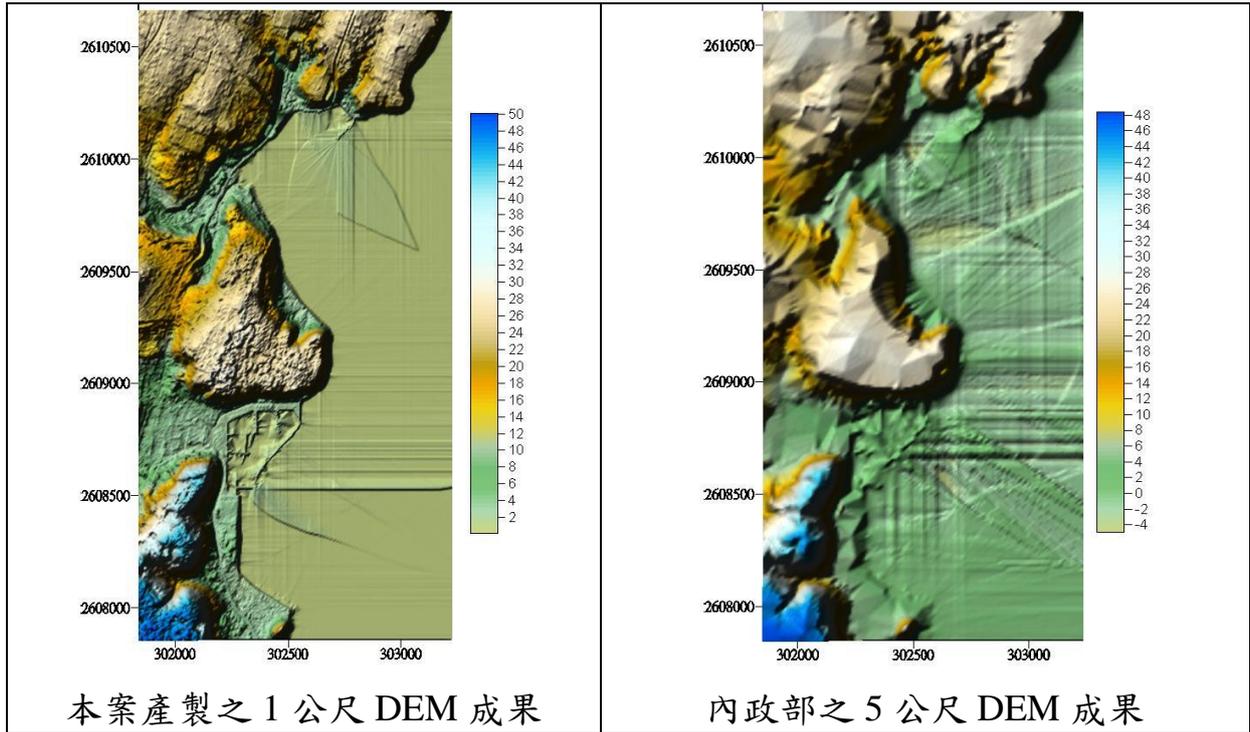
經同點對位計算兩者之高程差後，圖號 93204095 之均方根誤差量為 1.340 公尺；圖號 93203061 之均方根誤差量為 1.867 公尺；圖號 93203074 之均方根誤差量為 1.278 公尺；圖號 93203078 之均方根誤差量為 1.059 公尺；圖號 92191060 之均方根誤差量為 1.250 公尺；圖號 92191074 之均方根誤差量為 1.577 公尺；圖號 93194091 之均方根誤差量為 3.889 公尺；圖號 93194097 之均方根誤差量為 1.485 公尺；圖號 92192017 之均方根誤差量為 1.440 公尺，其各圖幅比較結果之情形，如圖 5-41 至圖 5-49 所示；另將抽驗圖幅區分為澎湖馬公、望安、貓嶼、七美、西嶼坪及東吉嶼，各區域比較之高程較差統計情形如圖 5-50 至圖 5-55。



成果分析統計表

平均絕對高差(m)	0.993	平均高差(m)	0.008
正值最大高差(m)	6.700	負值最大高差(m)	4.100
均方根誤差量(m)	1.340		

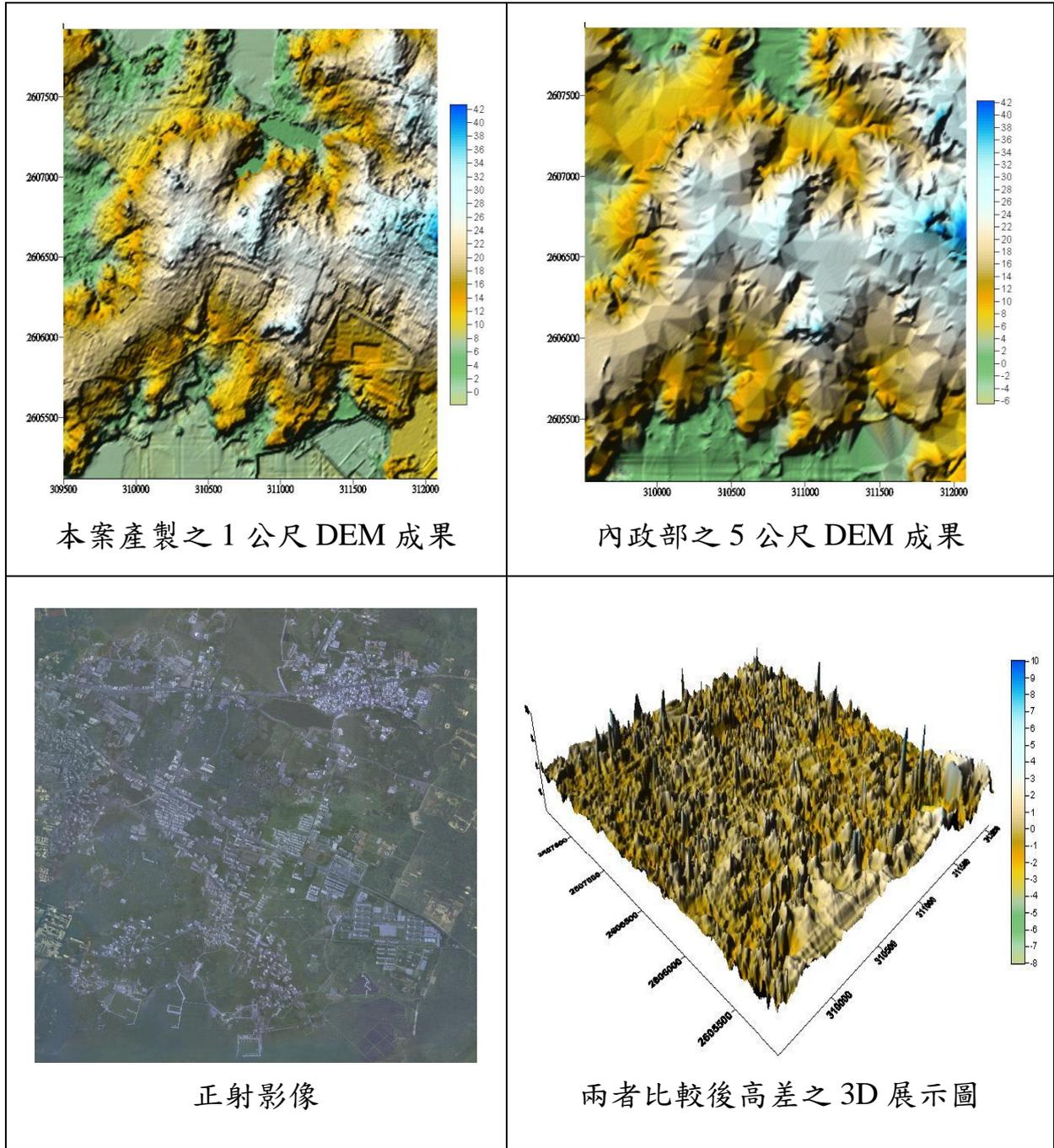
圖 5- 41 圖號 93204095 比較成果



成果分析統計表

平均絕對高差(m)	1.298	平均高差(m)	-0.158
正值最大高差(m)	17.900	負值最大高差(m)	6.700
均方根誤差量(m)	1.867		

圖 5- 42 圖號 93203061 比較成果



本案產製之 1 公尺 DEM 成果

內政部之 5 公尺 DEM 成果

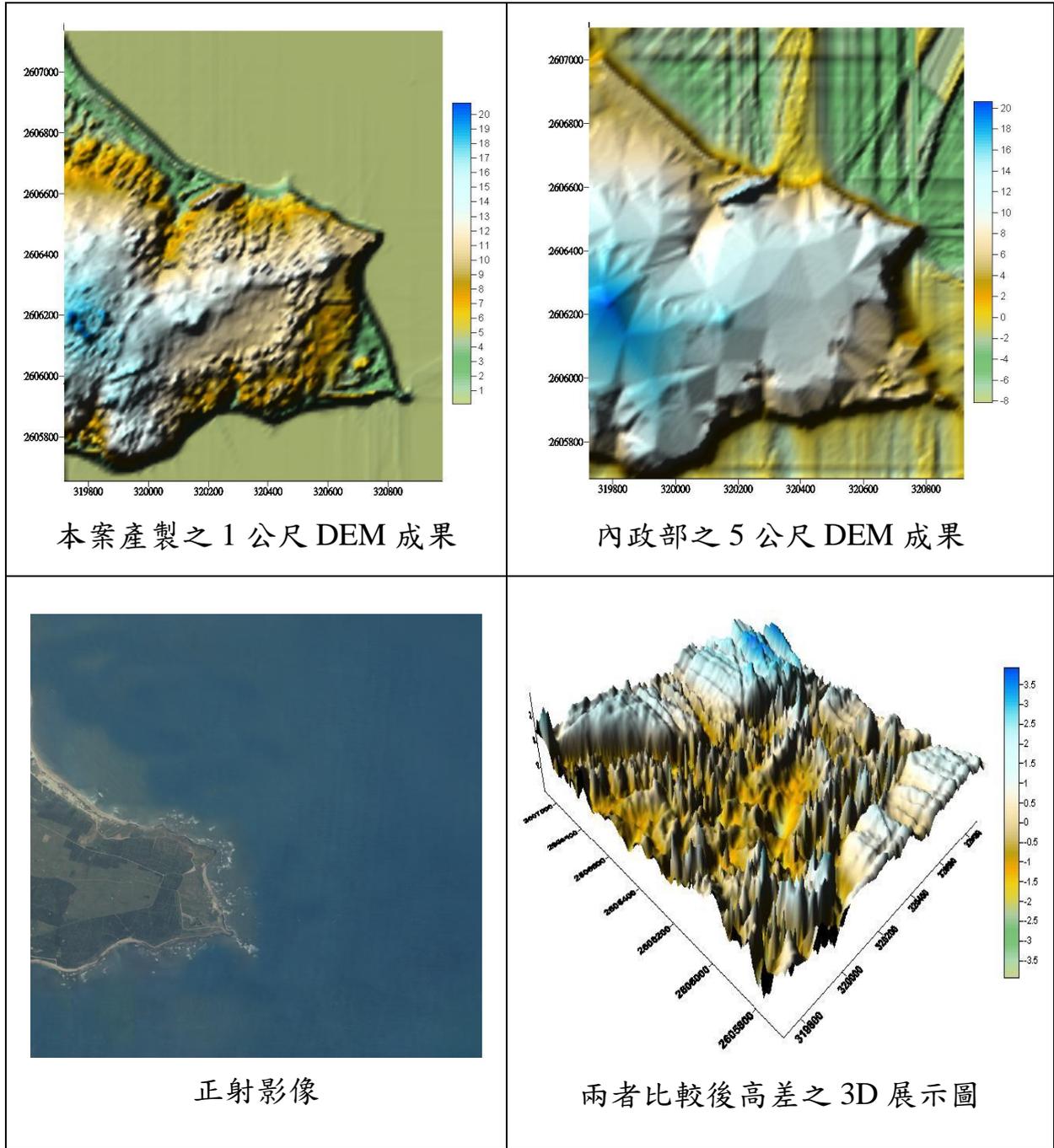
正射影像

兩者比較後高差之 3D 展示圖

成果分析統計表

平均絕對高差(m)	0.954	平均高差(m)	-0.608
正值最大高差(m)	10.000	負值最大高差(m)	9.400
均方根誤差量(m)	1.278		

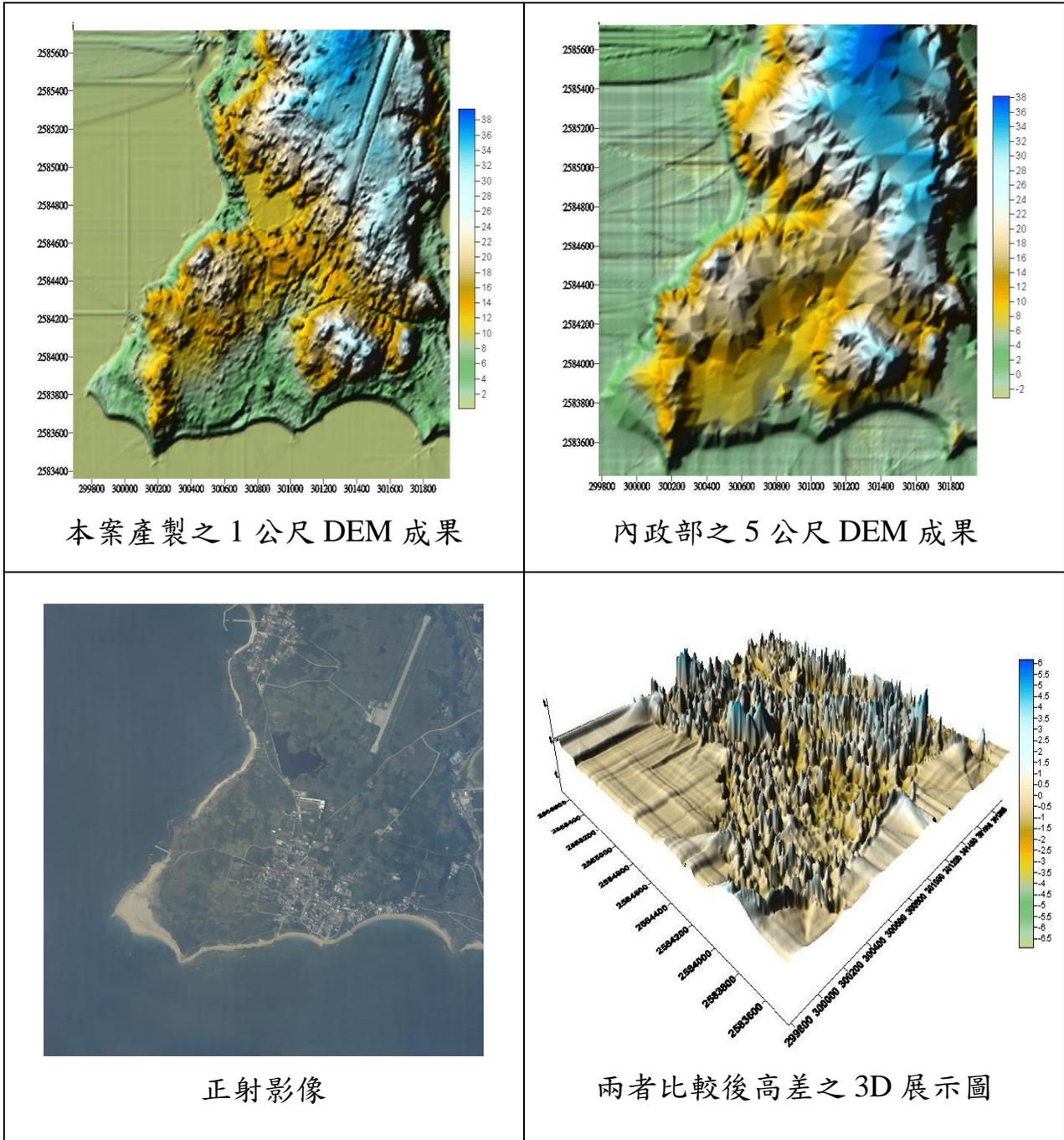
圖 5- 43 圖號 93203074 比較成果



成果分析統計表

平均絕對高差(m)	0.879	平均高差(m)	-0.581
正值最大高差(m)	3.500	負值最大高差(m)	4.500
均方根誤差量(m)	1.059		

圖 5- 44 圖號 93203078 比較成果



成果分析統計表			
平均絕對高差(m)	0.973	平均高差(m)	-0.240
正值最大高差(m)	7.500	負值最大高差(m)	7.300
均方根誤差量(m)	1.250		

圖 5- 45 圖號 92191060 比較成果

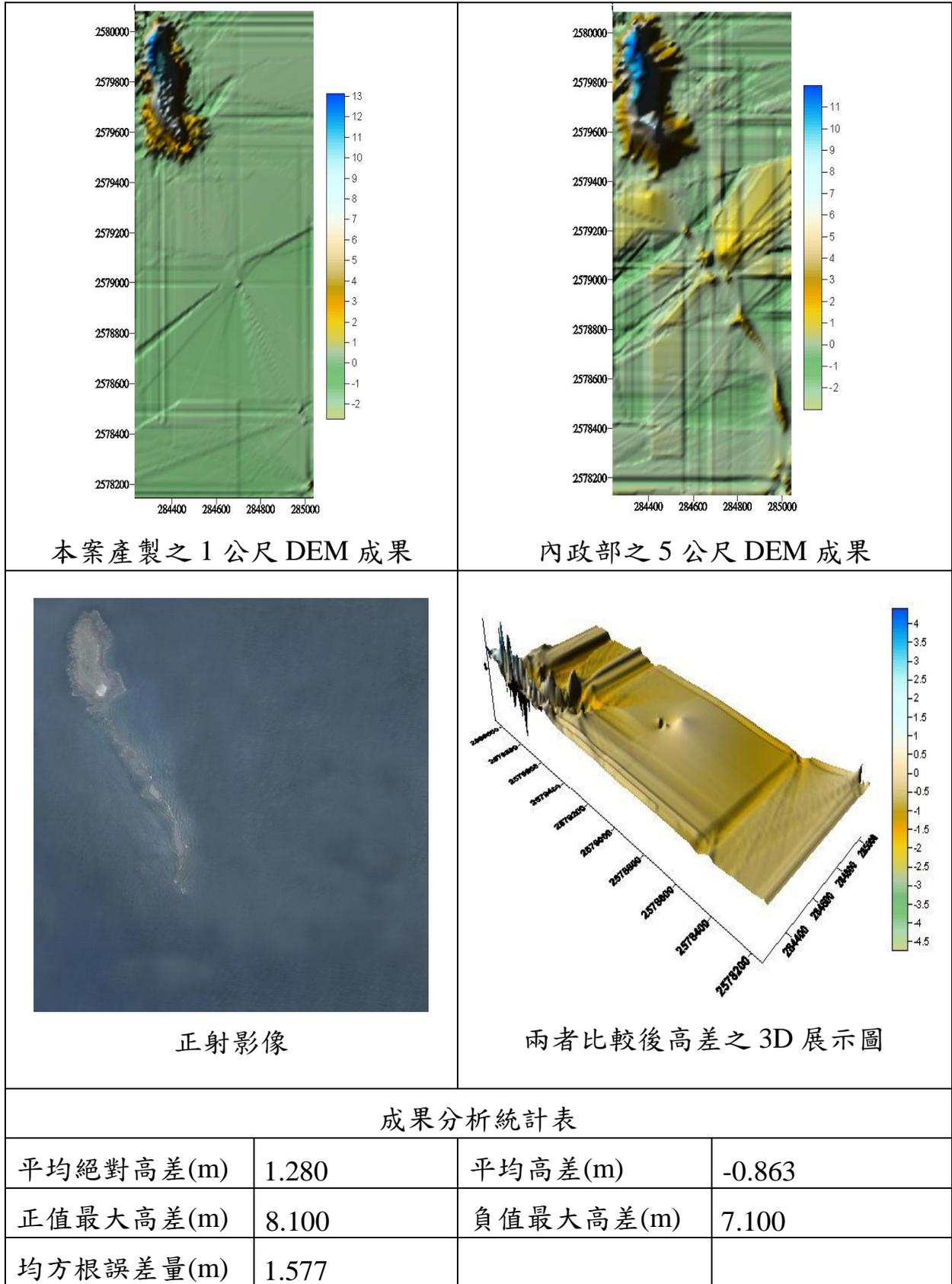


圖 5-46 圖號 92191074 比較成果

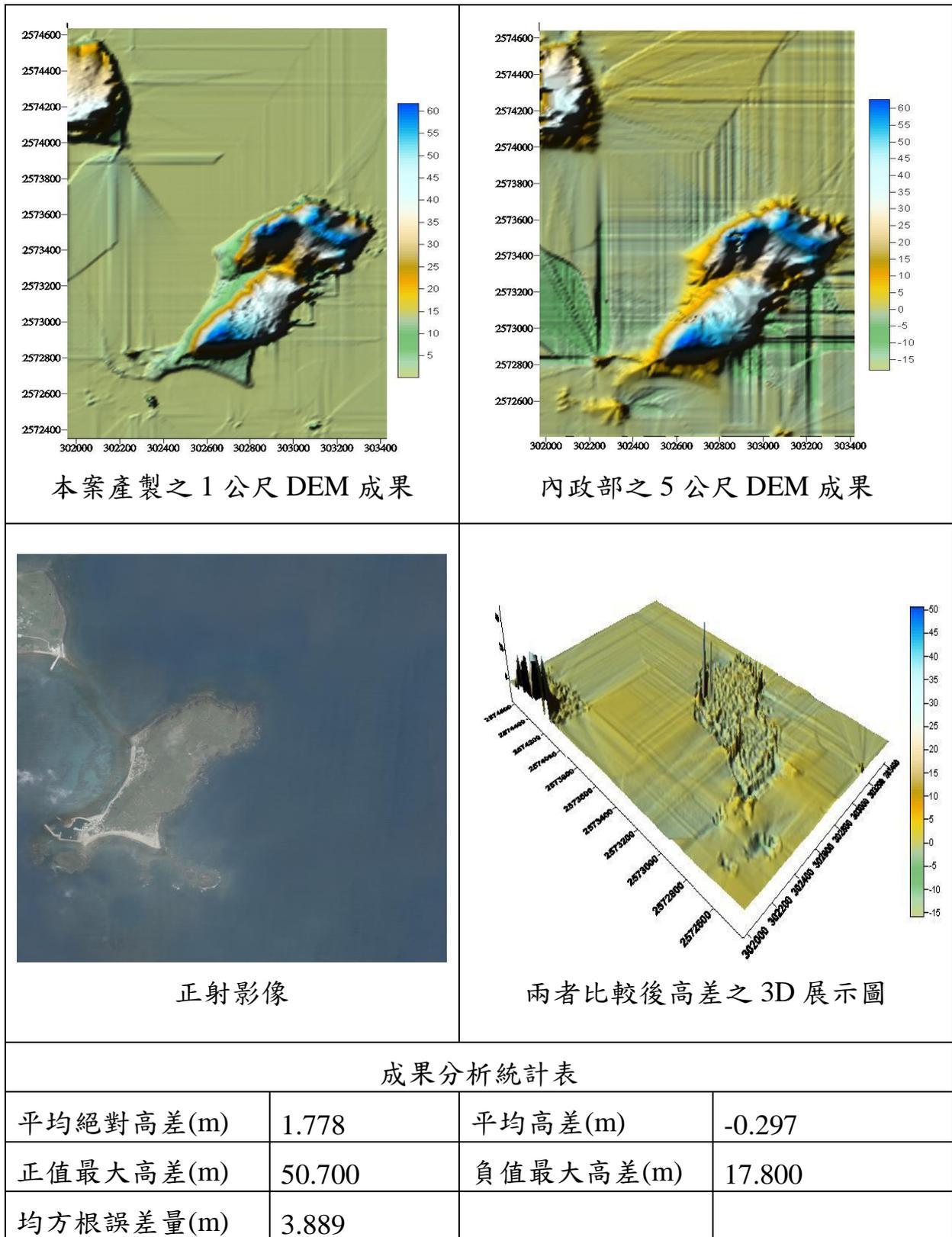
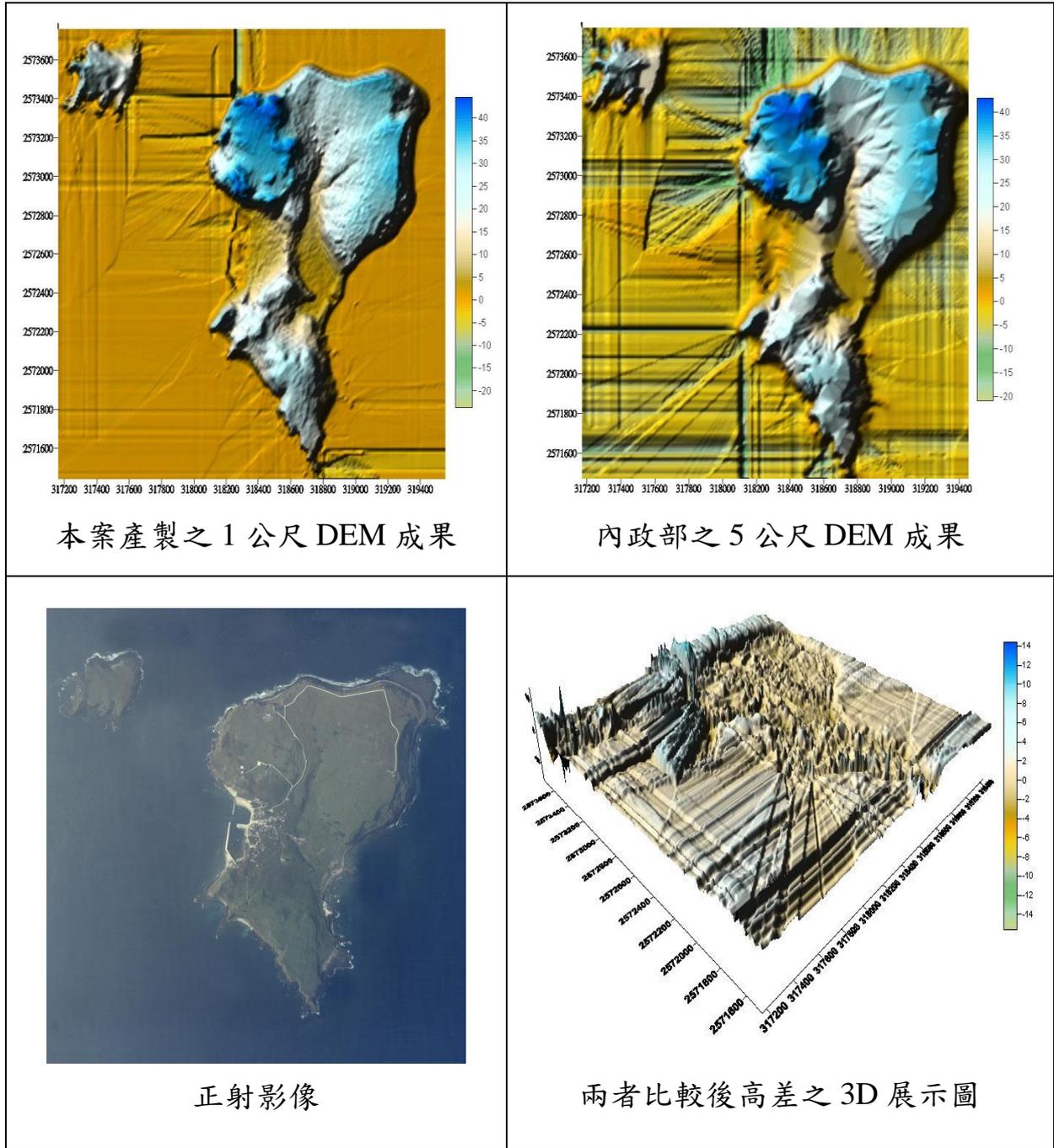


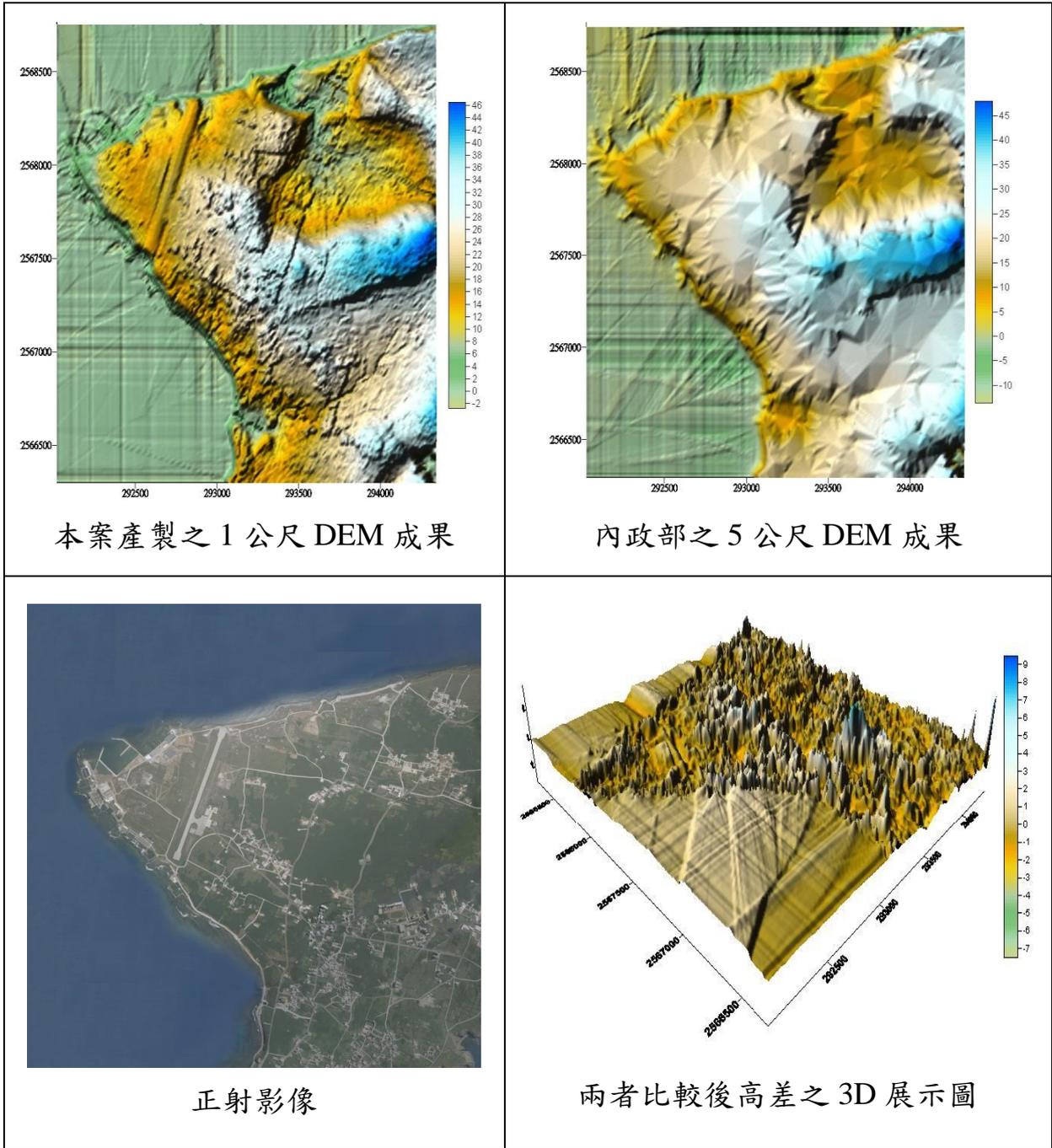
圖 5-47 圖號 93194091 比較成果



成果分析統計表

平均絕對高差(m)	1.018	平均高差(m)	-0.366
正值最大高差(m)	16.100	負值最大高差(m)	18.600
均方根誤差量(m)	1.485		

圖 5- 48 圖號 93194097 比較成果



成果分析統計表

平均絕對高差(m)	1.121	平均高差(m)	-0.513
正值最大高差(m)	25.700	負值最大高差(m)	10.780
均方根誤差量(m)	1.440		

圖 5- 49 圖號 92192017 比較成果

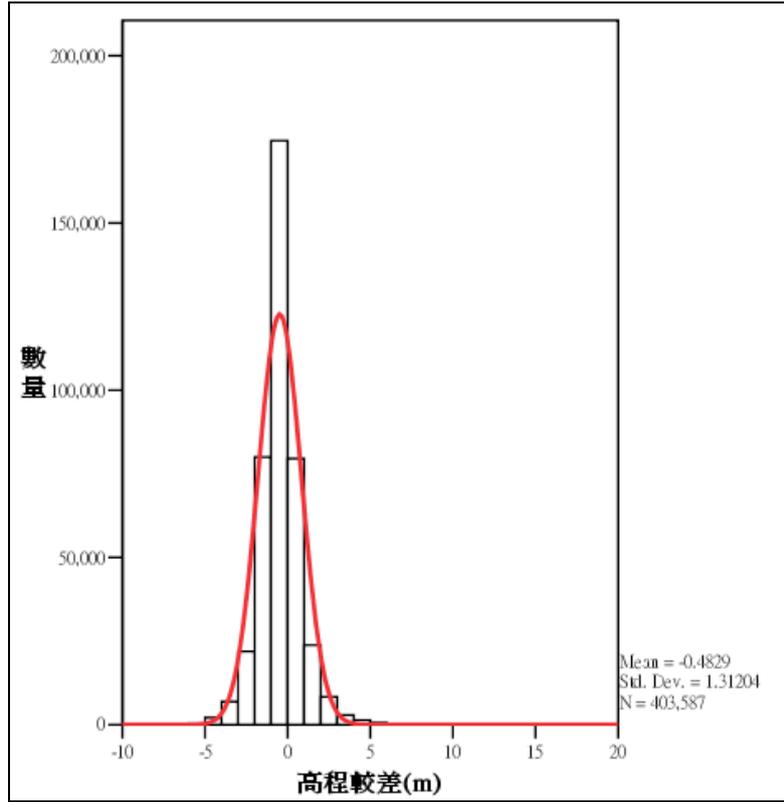


圖 5-50 澎湖馬公地區高程較差分布情形

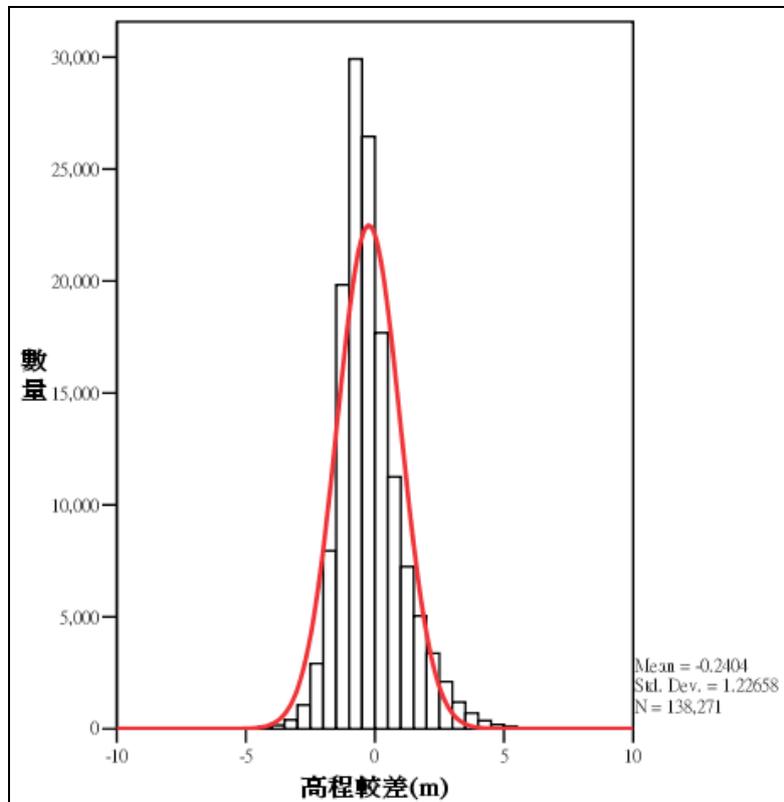


圖 5-51 望安地區高程較差分布情形

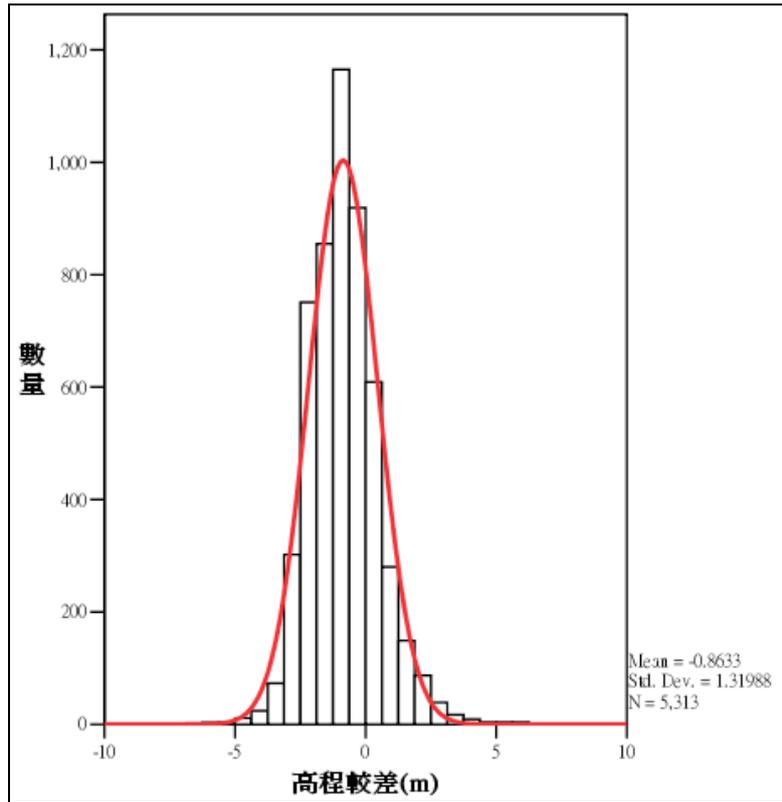


圖 5- 52 貓嶼地區高程較差分布情形

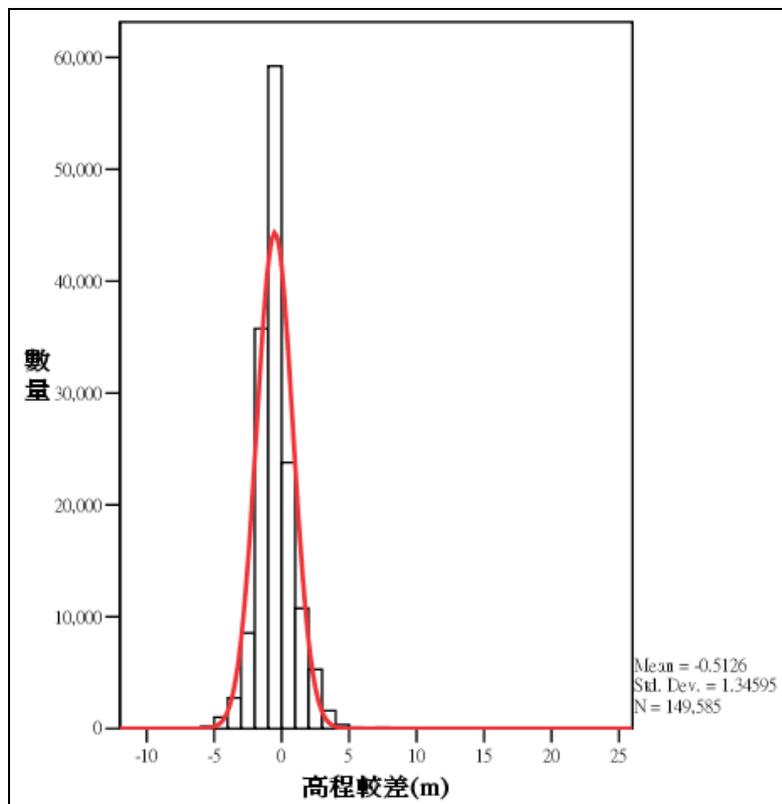


圖 5- 53 七美地區高程較差分布情形

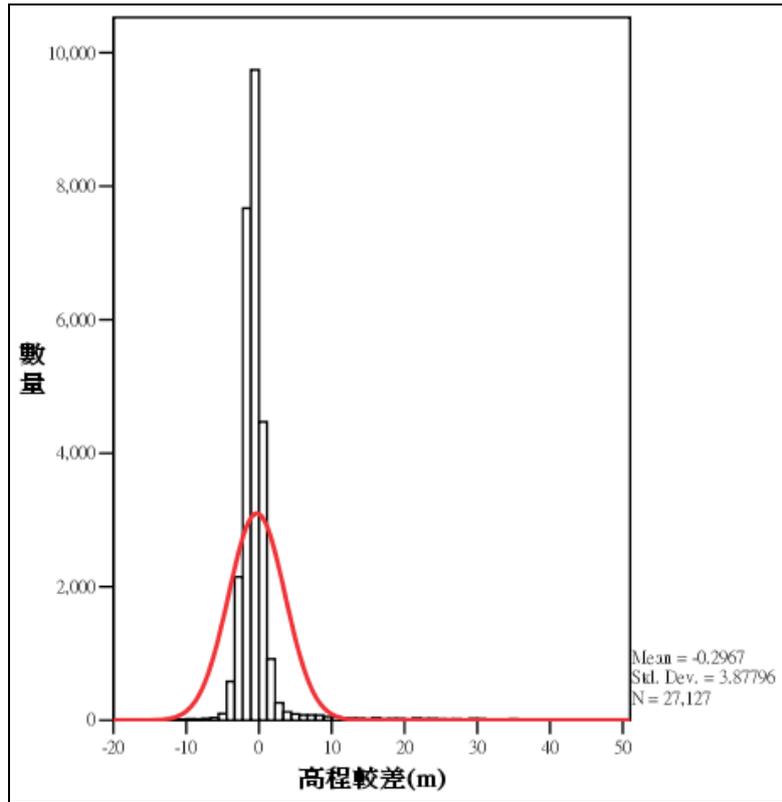


圖 5- 54 西嶼坪地區高程較差分布情形

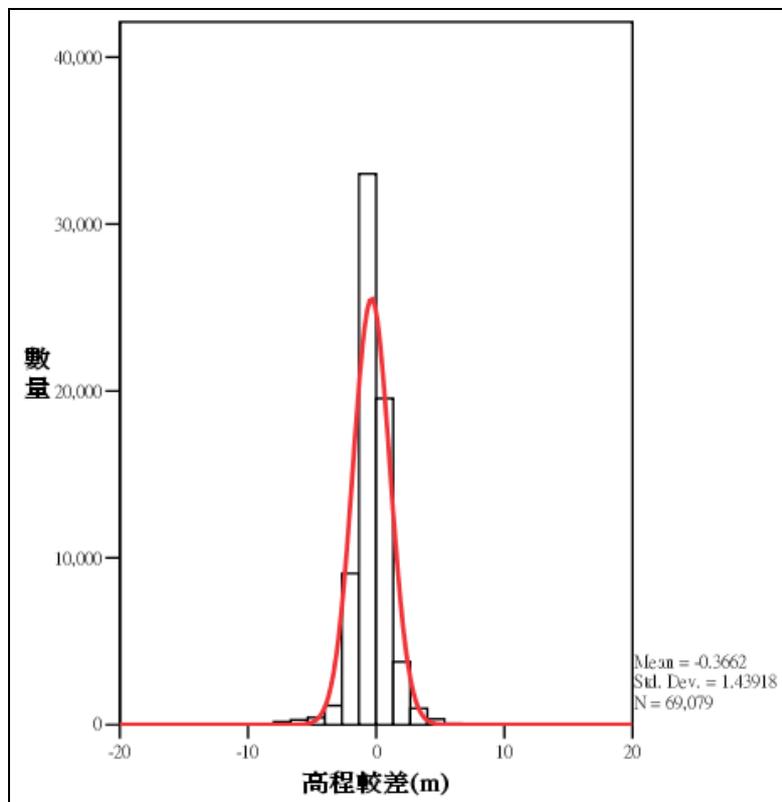


圖 5- 55 東吉嶼地區高程較差分布情形

第陸章 工作檢討

一、飛航天候及起降場地克服

澎湖地區之強勁季風，特別於每年 10 月自翌年 1 月風速都維持在 6m/sec 以上，加上海島氣候，雲量變化大，飛航時間又需依合約要求選擇於低潮位前後 2 小時內進行掃描，因此整體飛航掃描作業的時間掌握實屬不易；本公司有鑑於此，加上為減少儀器拆卸作業增加率定成果前後之不穩定性，以及當地天候與潮位有效空照作業時間延長，特情商大鵬航空公司直接由高雄港運送航空用油至澎湖馬公機場儲存，再於飛航期間進駐馬公機場，儘量免去臺北或臺中至馬公的飛渡時間及天候掌握之不確定性。事實證明本公司之判斷至為正確，由 8 月份開始空照至 12 月初共八架次全部 100 幅基本圖幅測繪及二架次率定場掃描作業共費 39 小時 42 分鐘如表 6-1，比預估時程節省 30%。

表 6-1 澎湖測區掃描作業時間統計表

日期	飛航線數	作業地點	飛航時間(h:m)		起	降
97.08.25	10	馬公、吉貝	10:26~13:33	3:07	台中	馬公
97.08.26	15	馬公、吉貝	11:21~15:17	3:56	馬公	馬公
97.08.27	28	花嶼、東吉嶼、望安、七美	11:57~16:00	4:03	馬公	馬公
97.09.08	22	望安、七美	10:17~14:09	3:52	馬公	馬公
97.10.09	8	台中港率定場	06:57~10:49	3:52	松山	台中
97.10.21	4	馬公	07:12~09:12	3:00	台中	馬公
97.10.23	23	花嶼、東吉嶼、望安、七美	10:10~14:20	4:10	馬公	馬公
97.11.28	2	七美	07:00~10:00	3:00	馬公	馬公
97.11.29	7	馬公	14:50~16:46	2:56	馬公	馬公
97.12.02 上午	23	馬公	06:52~11:18	4:26	馬公	馬公
97.12.02 下午	9	台中港率定場	12:44~16:04	3:20	馬公	台中
合 計				39:42		

二、控制測量及交通安全性克服

澎湖屬於群島分布地形，島嶼之間交通問題是一大課題，目前除了吉貝、南海各島(桶盤、虎井、望安、七美)等每天有固定船次外，其餘島嶼班次非常少(每週一次)且常因海象不佳而有停航的情形，在實地地面控制測量，馬公、花嶼及西嶼坪各二個 GPS 基地站架設觀測及 DEM 精度檢核施測作業時，有船班停留時間、低潮位時間及配合飛航之基地站 20KM 範圍設置的限制。尤其 GPS 基站中花嶼位於測區最西邊，西嶼坪位於七美東北側，交通到達不易，觀測時間有限且無民宿。因此，為克服此問題，採取以下解決方案是本次作業重要成功關鍵：

- (1)飛機需配合地面基站之架設時間，優先完成外島之掃描作業。
- (2)重金租用快艇及經驗豐富船東，以最短時間及平順安全運送為原則，在海象佳天候下，依最佳路徑輪替運送人員到達定點並於所定觀測時程表安全接送回望安島。

第七章 結論與建議

本案作業總計完成澎湖縣全區計 100 幅原始光達點雲資料收集及 1 公尺間距數值高程模型 DEM 與數值地表模型 DSM 之製作、產製之 DEM 各項精度評估、教育訓練(6 小時)及 LIDAR 資料處理軟體 2 套交付。綜合本案之作業，提出以下幾點結論及建議事項：

- 一、澎湖地區航帶重疊區數據平差結果表 4-2 至表 4-4 顯示，於平差前之平均絕對高差量約為 0.047 公尺，平差後之平均絕對高差量約為 0.043 公尺；在交叉航帶數據之分析結果表 4-5 顯示，於平差前之平均絕對高差量約為 0.055 公尺，平差後之平均絕對高差量約為 0.051 公尺。由上述平差前後數據可知，重疊區數據與交叉航帶之平差前後之平均絕對高差量並無明顯改善，表示光達系統率定成果良好，並無顯著的系統誤差存在。
- 二、本案地面實地檢核是以 VRS-RTK 方式先行施測已知三等點進行坐標轉換後再進行各類型地表覆蓋物之地物點橢球高高程實測，經過本案作業之比較(如表 5-6 至表 5-12)，其與 LIDAR 飛航掃描之光達點雲橢球高高程頗為吻合，因此可證明以此方式作為地面實地檢核實為可行方案之一。
- 三、地面實地檢核共檢核了 598 點，其中裸露地共施測 69 個檢核點，均方根誤差量為 0.079 公尺；矮植被共施測 63 個檢核點，均方根誤差量為 0.145 公尺；植生地共施測 69 個檢核點，均方根誤差量為 0.198 公尺；林地共施測 68 個檢核點，均方根誤差量為 0.203 公尺；都會區共施測 68 個檢核點，均方根誤差量為 0.090 公尺；溼地共施測 70 個檢核點，均方根誤差量為 0.085 公尺；橫斷面施測 16 條斷面線，共 191 個檢核點，總長度約為 32.15 公里，均方根誤差量為 0.107 公尺(如下圖 7-1)，以上各土地類別檢核成果均能符合合約要求。

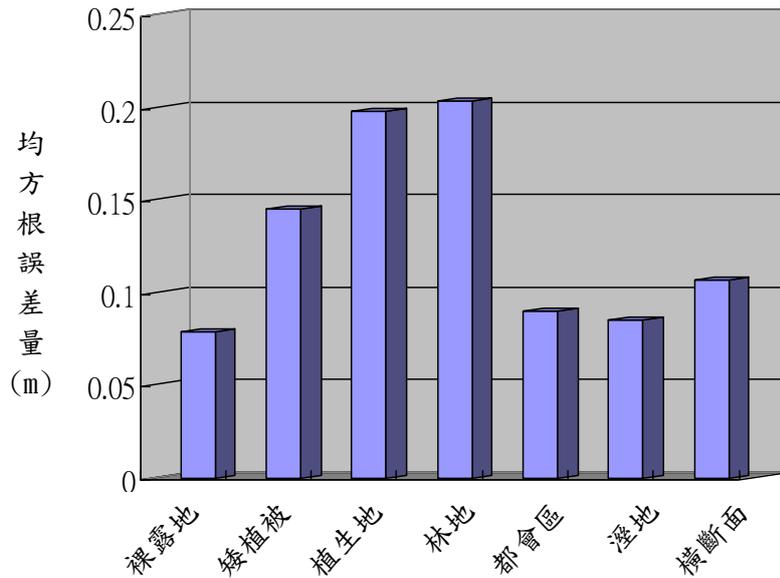


圖 7-1 不同土地類別 DEM 精度檢核之均方根誤差量分布情形

四、於 DEM 精度評估所採用精度計算公式 $\sigma = a + b + c \cdot t$ (式中 a 為基本精度 0.3 公尺； b 為地形類別調整參數； c 為地表植被覆蓋情形調整參數； t 為地表植被平均高度) 之計算結果顯示如圖 5-16、圖 5-18、圖 5-20、圖 5-22、圖 5-24、圖 5-26 及圖 5-28，以無植被覆蓋區如裸露地、都會區及溼地等與實測 DEM 高程平均絕對高差值約為 6 公分~9 公分均符合合約定義之規範精度 0.3 公尺(無坡度情況或坡度很小)，以有植被覆蓋區如矮植被、植生地、林地及密林地等與實測 DEM 高程平均絕對高差值約為 12 公分~16 公分均符合合約定義之規範精度(考慮坡度及植生情況)；由以上數據顯示上列精度規範似乎過於寬鬆，但由檢核之數據樣本數及測區地形變化不大 (-2 公尺~70 公尺)，並無法確立 a 、 b 、 c 值應有之建議數據，因此本公司建議維持本案合約規範之參數設定。

表 7-1 兩年度之 DEM 精度評估之成果比較

年度 土地分類	檢核點數 (個)	均方根誤差 (m)	平均絕對高差 (m)
裸露地	69	0.079	0.064
矮植被	63	0.145	0.122
植生地	69	0.198	0.160
林地	68	0.203	0.153
都會區	68	0.090	0.072
溼地	70	0.085	0.067
橫斷面	191	0.107	0.092
合計	598	---	---

五、由已知水準點(共 54 點)之大地起伏值與本案經由內政部之大地起伏模式化算比較結果表 5-13 至表 5-14 中，可知兩者間存在有定量系統誤差值。因此，在進行與水準點地面高程比較時，將此系統誤差量修正前及修正後兩種 DEM 正高成果，分別與已知水準點地面高程進行差異比較分析。經由比較後發現，修正後之 DEM 正高成果較差平均值有顯著改善，且高差大於±30 公分以上者由 17 點降為 8 點，而這 8 個點之誤差原因皆為點位位置不佳(如圖 5-34 至圖 5-37)，應排除在比較之列，綜合而論，以修正後之 DEM 成果較佳。因此，建議馬公、望安及七美地區之 DEM 正高成果應引用修正大地起伏系統誤差後之成果為要，其它島嶼因缺相關資料佐證，建議不予修正。

六、由抽選比較之 9 幅圖的 1 公尺間距 DEM 成果與內政部既有 5 公尺 DEM 成果高程同點對位高程較差圖觀之(如圖 5-41 至圖 5-49)，可明顯知道 1 公尺 DEM 成果呈現的地形起伏較為細緻且真實，5 公尺 DEM 成果較為粗糙。依各區域之圖幅高差成果統計表如表 7-2，由表中比較成果可知每個選取之樣區都有部份點位超過 3 倍中誤差，甚至超過 20 倍之大錯情形(非常態分布誤差)如圖

7-2 至圖 7-7，究其原因可能為當時 DEM 製作之過程內插取樣有錯誤所致。

表 7-2 各區域高程較差成果統計表

高差結果 \ 地區	馬公	望安	七美	西嶼坪	東吉嶼	貓嶼
數量	403587	138271	149585	27127	69079	5313
平均值(m)	-0.483	-0.240	-0.513	-0.297	-0.366	-0.863
標準偏差(m)	1.312	1.227	1.346	3.878	1.439	1.320
正值最大高差值(m)	17.900	7.500	25.700	50.700	16.100	8.100
負值最大高差值(m)	-9.400	-7.300	-10.780	-17.800	-18.600	-7.100
備註						

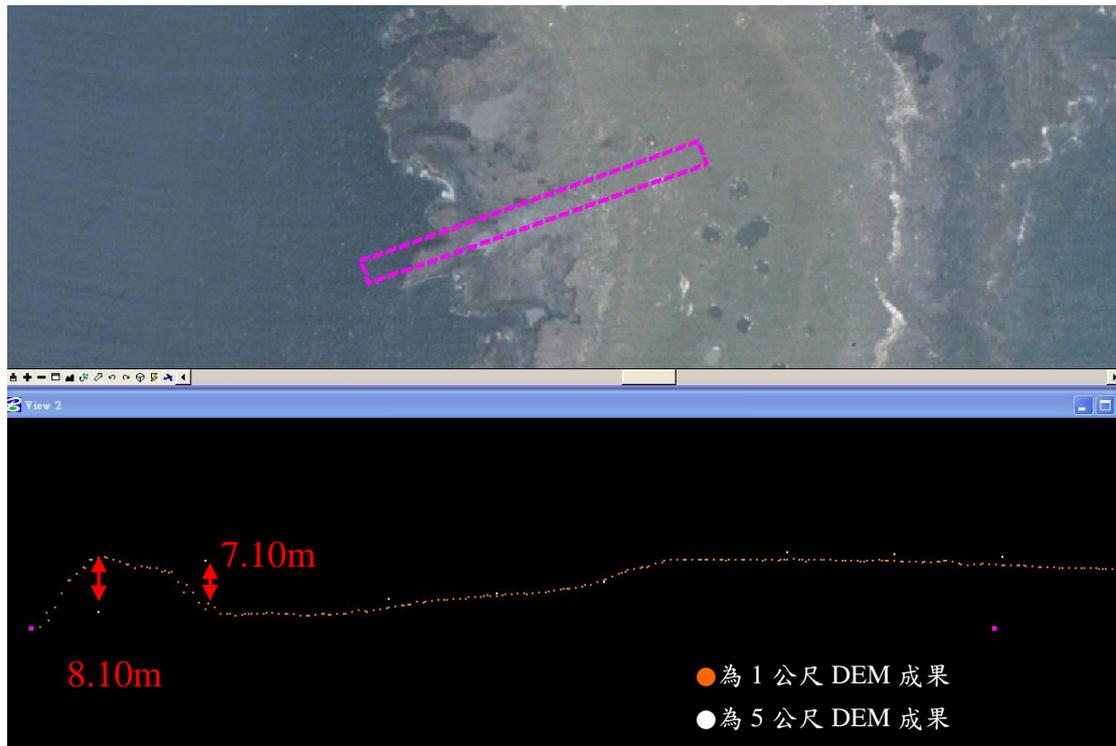
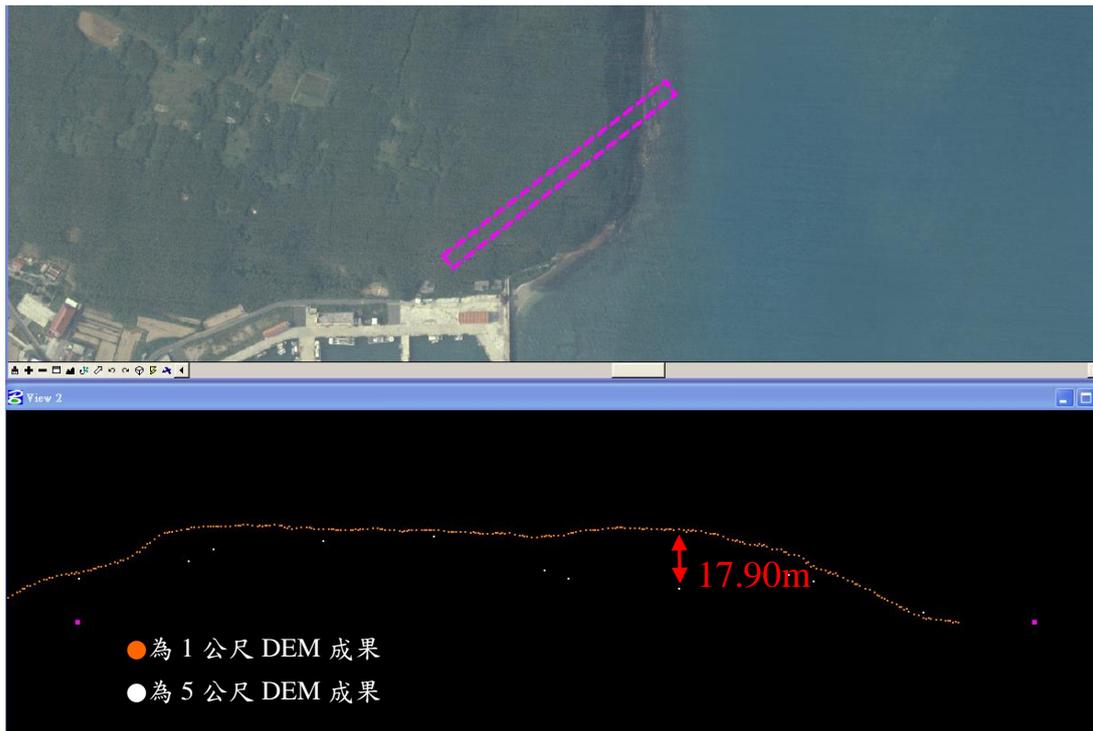
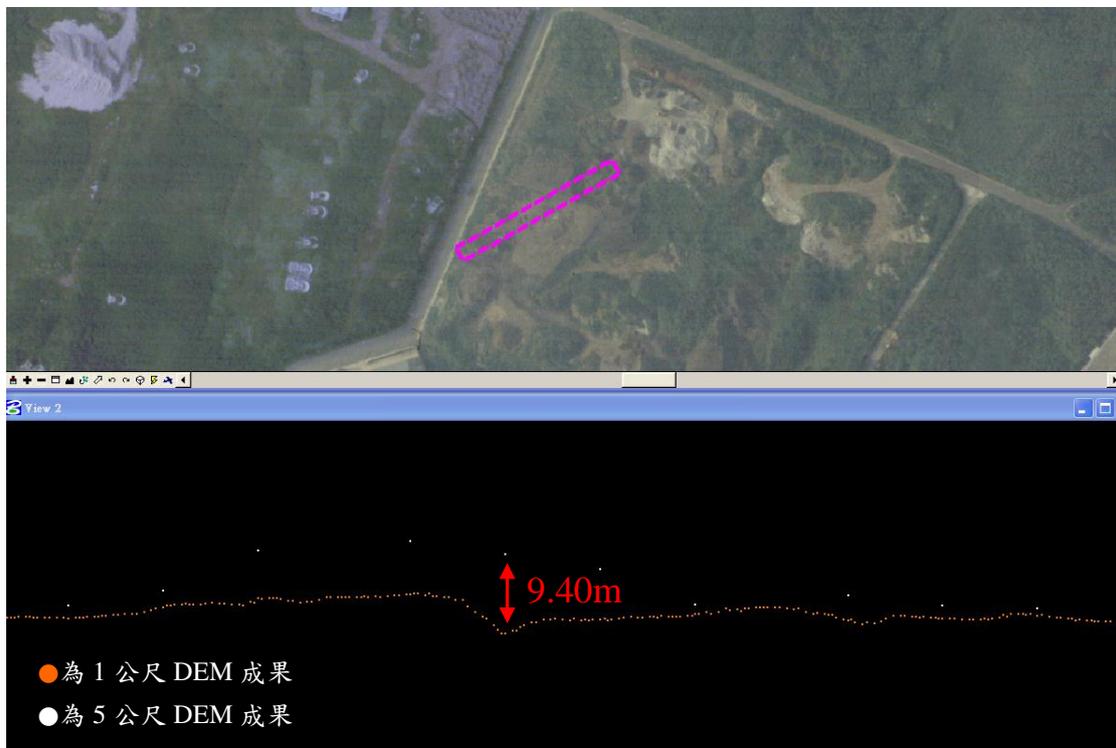


圖 7-2 貓嶼地區正負值最大高程差處之剖面圖

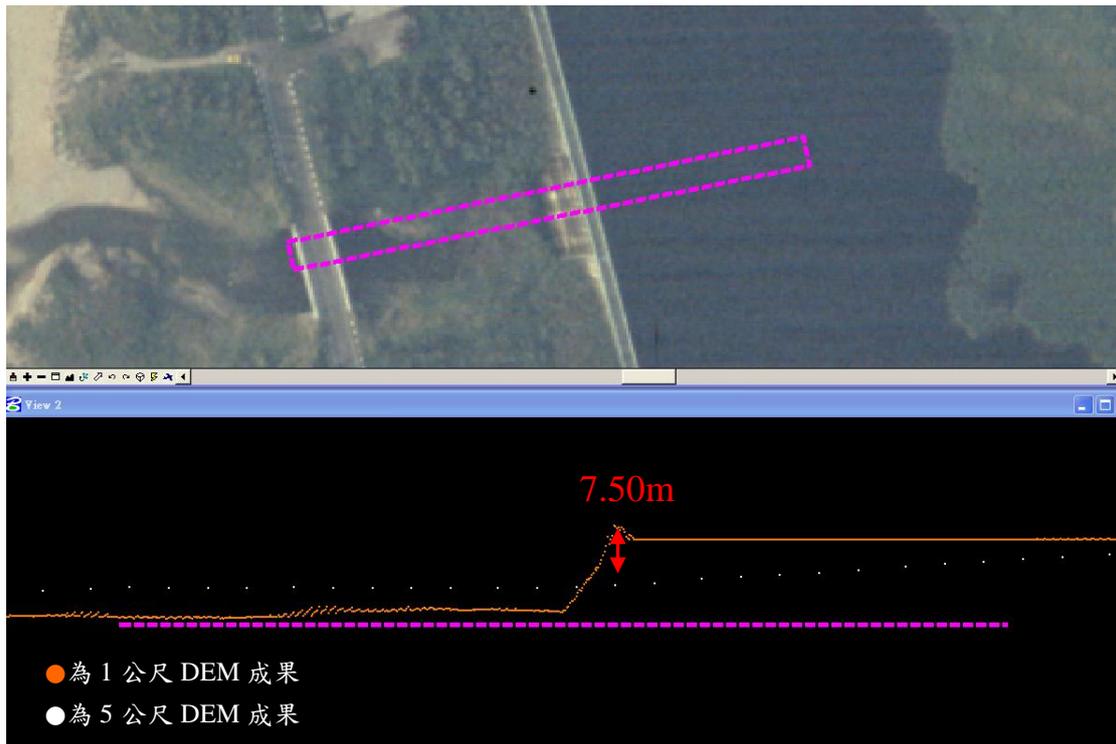


(a)正值最大高程差處

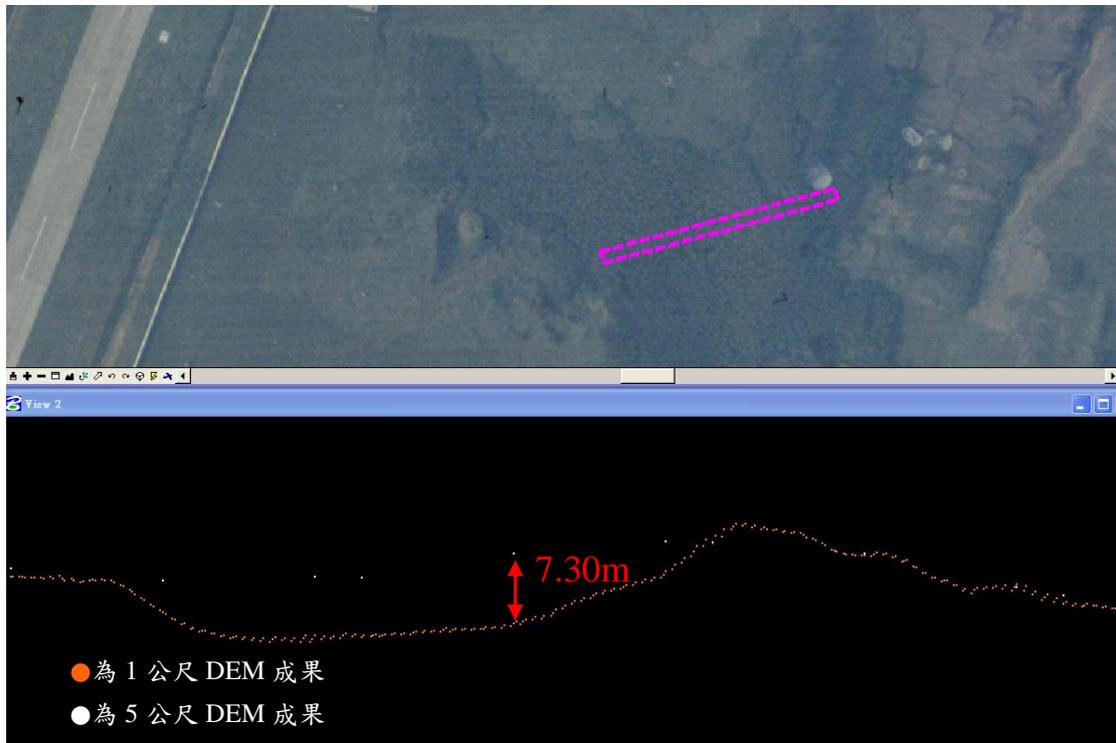


(b)負值最大高程差處

圖 7-3 馬公地區最大高程差處之剖面圖

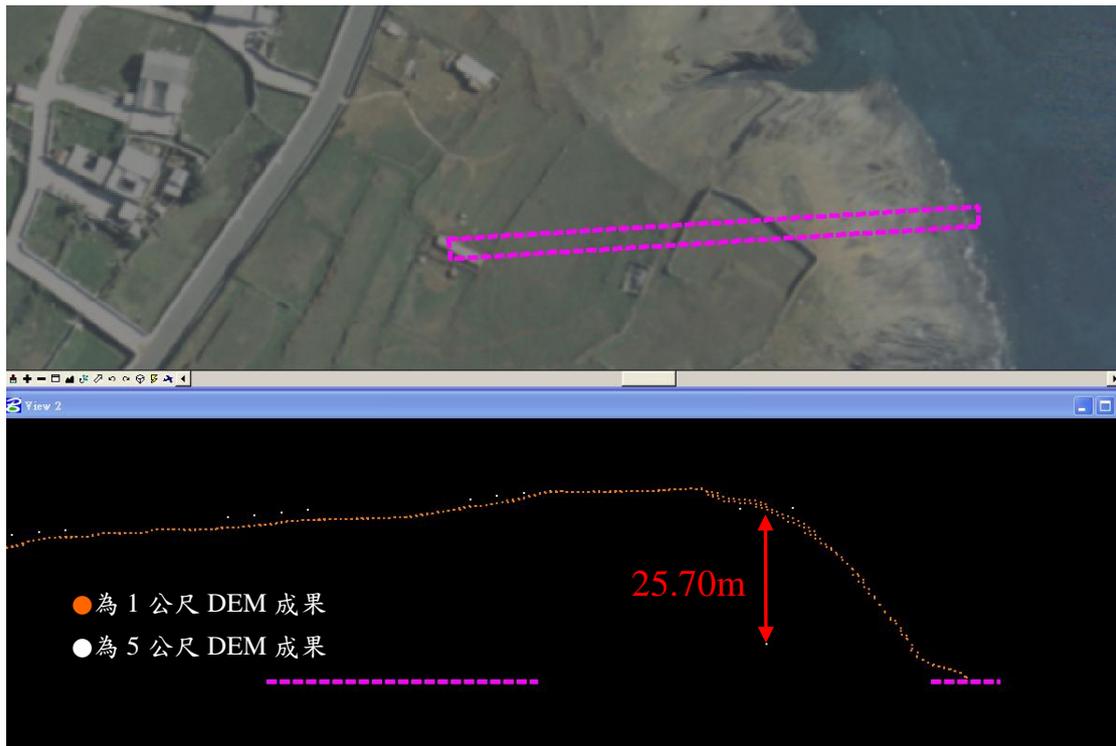


(a)正值最大高程差處

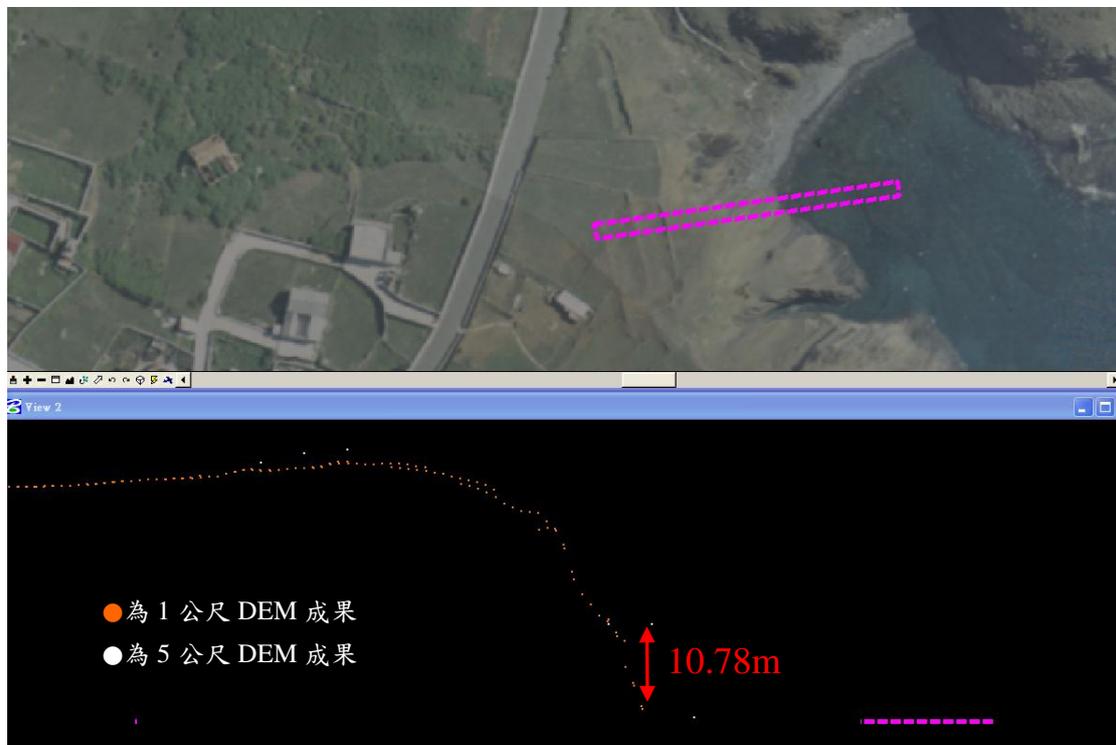


(b)負值最大高程差處

圖 7-4 望安地區最大高程差處之剖面圖

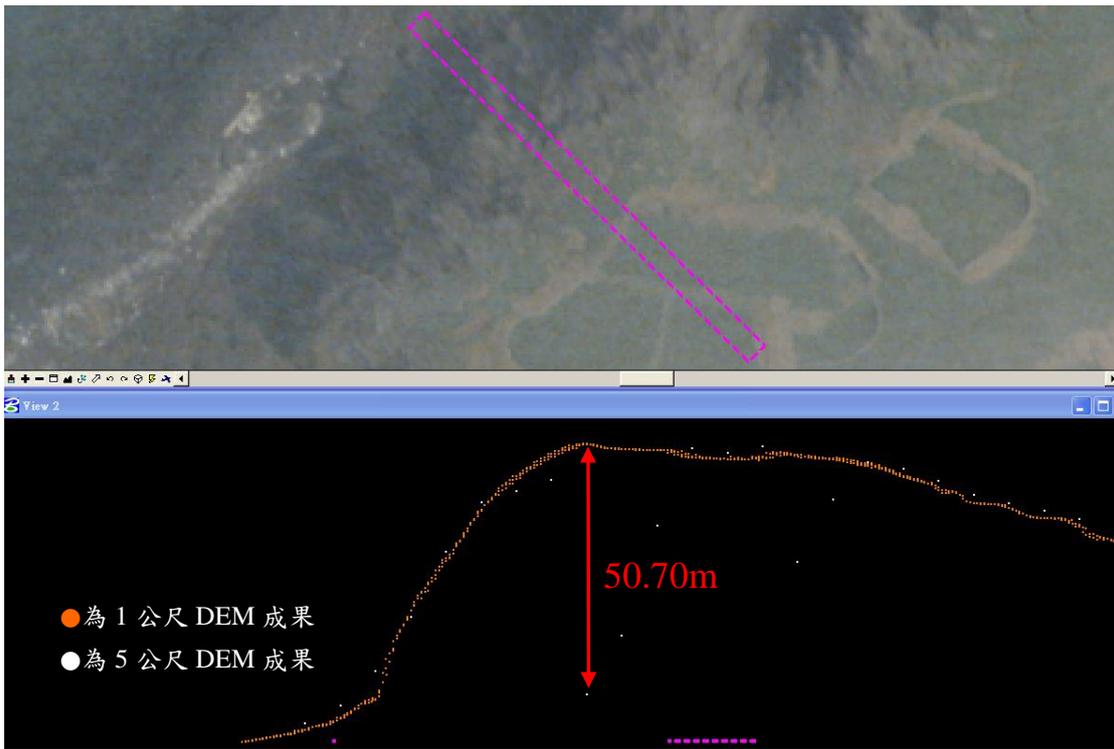


(a)正值最大高程差處

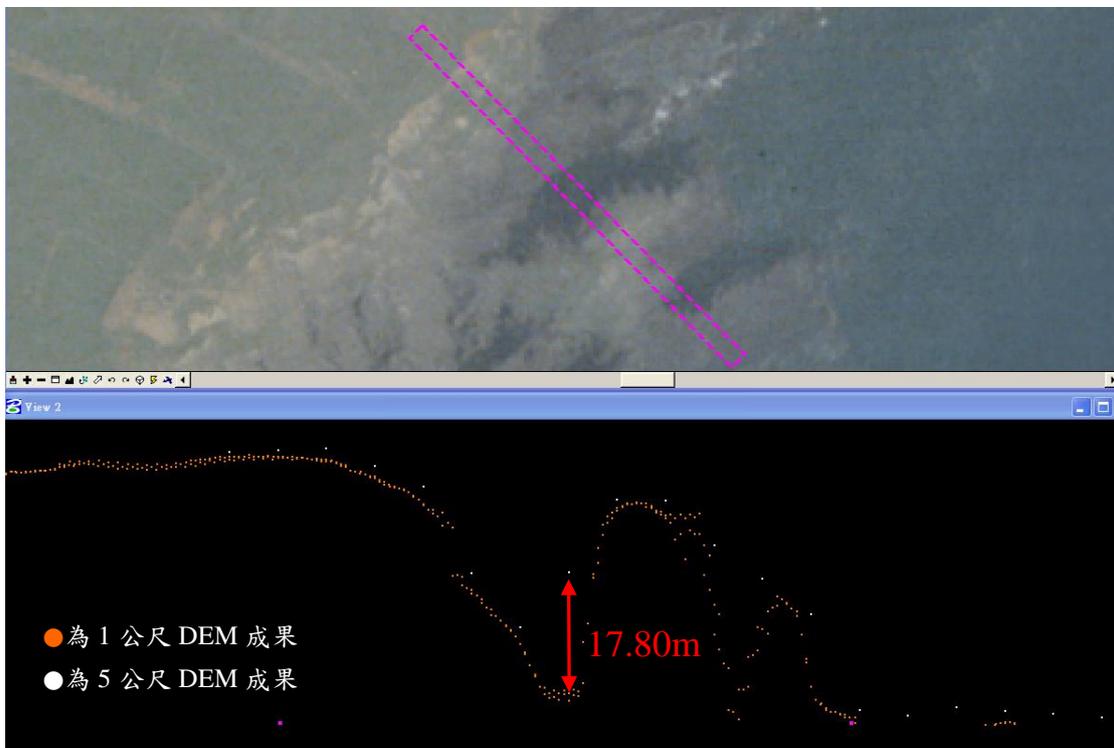


(b)負值最大高程差處

圖 7-5 七美地區最大高程差處之剖面圖

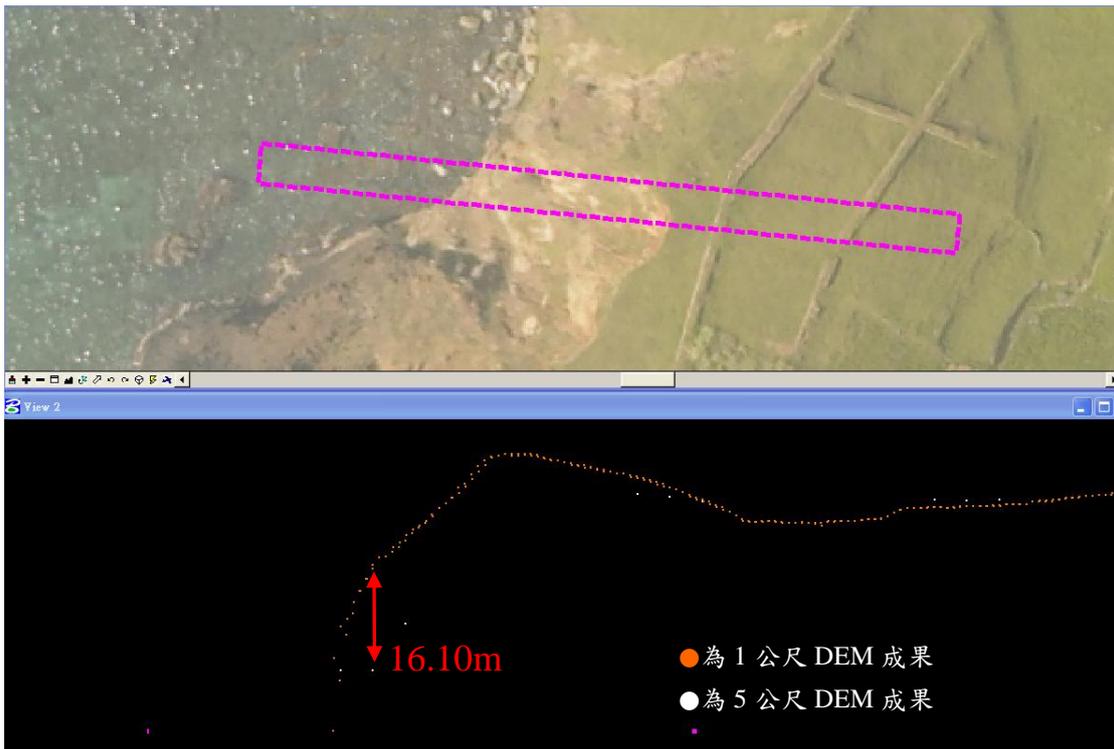


(a)正值最大高程差處

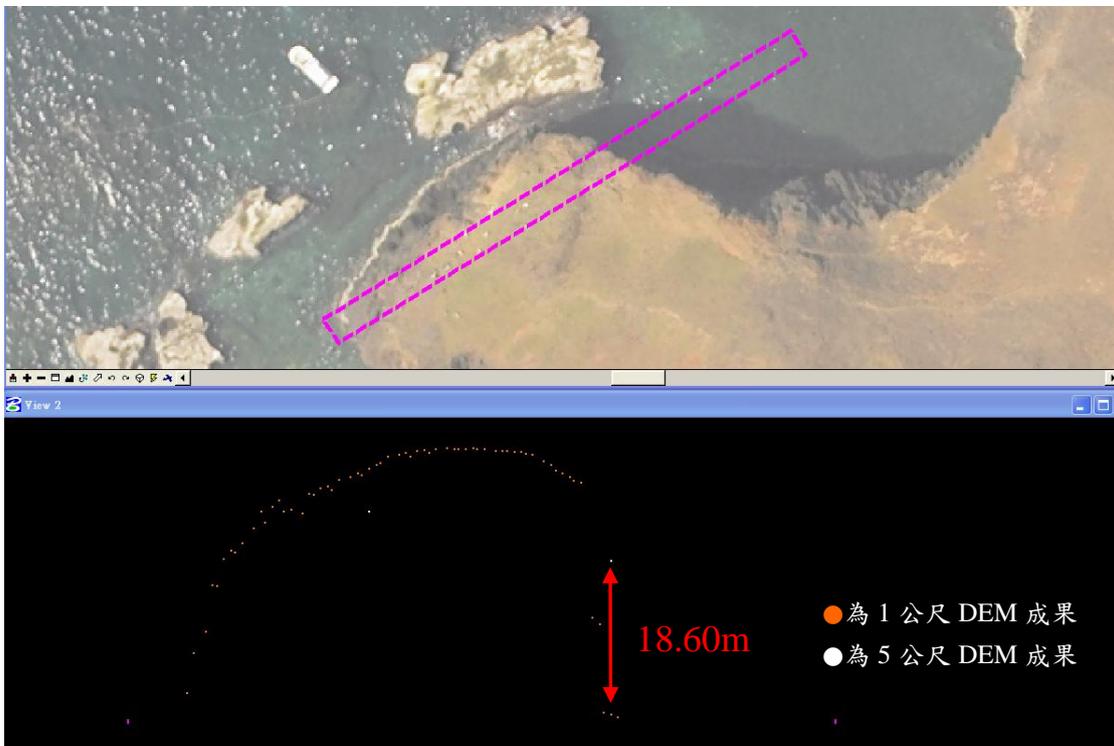


(b)負值最大高程差處

圖 7-6 西嶼坪地區最大高程差處之剖面圖



(a)正值最大高程差處



(b)負值最大高程差處

圖 7-7 東吉嶼地區最大高程差處之剖面圖

第捌章 參考文獻

1. 內政部，2005，「應用空載光達生產數值地形模型之製作規範及標準作業程序」。
2. 內政部國土測繪中心、中興測量有限公司，2007。「以空載光達技術辦理河川及洪氾易淹地區及中高海拔山區數值地形測製與研究」工作總報告書。
3. 內政部國土測繪中心、亞新國土科技股份有限公司、中興測量有限公司，2008。「97 年度以空載光達技術建立數值地形模型工作」工作總報告書。
4. 史天元、彭焱祥，2002，九二一地震災區空載雷射掃描作業成果初步報告，第二十一屆測量學術研討會，論文編號 A135。
5. 史天元、彭焱祥、徐偉成，2002，應用空載雷射掃描儀進行地震災區變形研究，農委會 91-農科-5.1.1-林-R1(8)計畫報告，共 13 頁。
6. 史天元、曾義星、劉榮寬，2003，空載雷射掃描與航空測量數據高程精度比較之研究，第二十二屆測量學術研討會，195~204。
7. 何心瑜，2006，空載光達作業流程及品質管理之研究，交通大學土木工程學系碩士論文。
8. 陳大科、蕭國鑫、石佳惠、王成機，2005，空載光達資料航帶平差之精度探討，第二十四屆測量學術及應用研討會，123~131。
9. 徐明鎰、江俊泓、陳文欽，2005，LEICA ALS50 空中雷射地形掃描系統與高解析力數位相機整合率定精度探討，第二十四屆測量學術研討會，59~66。
10. 曾義星，2006，空載光達點雲資料的性質與品質驗證，空載光達科技應用論壇。
11. 黃清美、何心瑜、史天元，2006。空載光達點雲密度探討指標，內政部「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」成果發表及相關應用研討會，137-145。

12. Ayman Habib, 2006, Integration of Photogrammetric and LIDAR data for Quality Assurance and Quality Control Purposes , Digital Photogrammetry Research Group.
13. Applanix corp. , 2004, POSpac/PosGPS/POSAV/PosEO/POSCal User Manual.
14. Terrasolid, 2008, Terramatch, Terrascan, Terramodel training material.
15. Axelsson, P., 2000, “DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models”, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIII (Pt. B4/1), pp.110– 117.
16. BALTSAVIAS, E., 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54(1):83–94.
17. Burman H., 2002: “Laser strip adjustment for data calibration and verification”, Int. Archives of Photogr. and Remote Sensing (IAPRS) Vol. 34 (3), A-67-72, Graz, Austria.
18. Davenport, I.J., R.B Bradbury, G.Q. Anderson, G.R. Hayman, J.R. Kerbs, D.C.Mason, J.D.Wilson, and N.J.Veck, 2000. Improving bird pollution models using airborne remote sensing, International Journal of Remote Sensing, 21:2705-2717.
19. Latypov, D., 2002. Estimating relative lidar accuracy information from overlapping flight lines. ISPRS JPRS, 56, 236-245.
20. Leica Geosystems GIS & Mapping GmbH , 2004 , ALS50 User Guide 700U036003 Rev.B.
21. Moritz, H., 1980, Advanced Physical Geodesy, Herbert Wichmann, Karlsruhe, 500pages.

22. Raber, G.T., J.R. Jensen, S.R. Schill, and K. Schuckman, 2002. Creation of digital terrain models using an adaptive lidar vegetation point removal process, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(12):1307–1315.
23. Rollei GmbH, 2005, Rollei Aerial Industrial Camera User Manual.
24. Vosselman, G., 2000, Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, part B3, Amsterdam, The Netherland, 935-942.
25. <http://www.usgs.gov/>
26. <http://www.lidar.org.tw/>