

## 摘要

潮間帶位於大氣、陸地與海洋的交接地帶，為陸地、海洋以外的國土中最重要的一部分。潮間帶是位於高潮水與低潮水之間的地帶，孕育了多樣性的特種生物，但可惜的是環境的變遷與人類活動，對這一地帶帶來了最大的衝擊。在潮間帶的測量與調查成果可據以進行國土調查、方域維護、工程施工、資源開發、海岸變遷、環境監控與生態保育之應用基礎，並可依此對地下水超抽、地層下陷、海岸侵蝕、海洋環境保護、海岸管理、全球變遷等衝擊訂制適當的防治方案。

內政部國土測繪中心 委外辦理『96 年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫』，採用光達技術進行潮間帶地形測量應用之評估，利用空載光達搭載數位相機測量潮間帶陸域地形，本案所有飛航掃描獲得雷射點雲涵蓋面積約為北區 306.6 平方公里，南區則約為 117.0 平方公里（均涵蓋海域及陸域部分面積）；而北、南兩區實際陸域範圍面積分別為 131、25 平方公里；建立比例尺 1/2500 之潮間帶地形圖資與數值高程模型共計北區 215 幅及南區 84 幅；並完成『應用空載光達於潮間帶地形測量之標準作業程序』草案、與 1/5000 基本圖接邊分析及漲潮線分析。

關鍵詞：空載光達、數值高程模型、潮間帶

## Abstract

The intertidal zone is the area where air, land, and sea meet. It is usually an important part of the national territory in addition to the dry land and the sea. The intertidal zone is a zone between high tide and low tide where an abundance of marine life thrives. Unfortunately, it's a place where changes to the climate or human activities make their greatest impact. Surveying and investigation over intertidal zone can be a key contribution to the land surveying, territory administration, construction, natural resources exploitation, coastal changes, environment monitoring, and ecological conservation. It can also be used to take proper actions on excessive groundwater withdrawal, local subsidence, coastal erosion, oceanic environmental conservation, coastal management and impaction of global changes.

National Land Surveying and Mapping Center of Ministry of Interior conducts a "Project of the Development of Fundamental Topographic Surveying Technology in the Intertidal Zone, Year 2007". Evaluation of airborne LiDAR technology on the intertidal surveying application was made in this project. With Airborne LiDAR and digital camera on the same flight over two zones in Taiwan, the point clouds cover 306.6 and 117.0 km<sup>2</sup> of northern and southern Taiwan respectively. Finally, 215 sheet and 84 sheet of 1:2500 scale of

Intertidal Zone Topographic Maps were made which actually covered 131 and 25 km<sup>2</sup> of land and intertidal zones in northern and southern Taiwan respectively. A draft for “Standard Operation Procedure for Using Airborne LiDAR on Intertidal Zone Topographic Surveying”, and reports on “Analysis of Boundary Connection on 1:5000 scale Map” and “Analysis of High Tide Line” are also proposed in this project.

Key words : Airborne LiDAR, Digital Elevation Model (DEM), Intertidal zone

## 目 錄

摘要	I
目錄	III
圖目錄	VI
表目錄	XI
第壹章 前言	1
一 背景說明	1
二 測區範圍	2
三 工作項目	6
四 坐標系統	7
五 作業期程	7
六 使用儀器及設備	8
(一) 光達系統	8
(二) 數位相機	10
(三) GPS 衛星定位儀、精密水準儀與全測站電子經緯儀	11
(四) 數值地形模型及數值地形圖產製	11
第貳章 控制測量成果	12
一 控制測量	12
(一) 控制點勘選與設置	12
(二) 平面控制測量	18
(三) 高程控制測量	32
(四) 控制點成果	40
第參章 陸域範圍測量	41
一 陸域工作範圍	41
二 陸域工作項目及內容	42
(一) 飛航規劃與申請	42
(二) 率定飛航	49
(三) 測區光達掃瞄作業需求	

目 錄

(四) 掃瞄資料處理計算	62
(五) 航帶精度分析及平差處理	93
(六) 雷射點雲過濾	111
(七) DEM、DSM 製作	122
(八) 橢球高轉換正高系統	134
(九) 地面實測點檢核	136
(十) 地形圖及正射影像製作	141
第肆章 本案其他作業項目	159
一 教育訓練辦理	159
二 論文文稿	161
三 應用空載光達於潮間帶地形測量之標準作業程序	162
(一)簡介	162
(二)規劃	163
(三)外業	179
(四)內業	180
(五)參考文獻	189
四 作業成果驗收	190
第伍章 檢討與建議	194



目 錄
-----

- 附件一 控制點 GPS 衛星實際觀測時段表
- 附件二 控制點點之記
- 附件三 率定報告書
- 附件四 飛航參數與掃描參數表
- 附件五 論文文稿
- 附件六 應用空載光達於潮間帶地形測量之成果精度研究分析報告
- 附件七 應用空載光達於潮間帶地形測量之標準作業程序
- 附件八 地形圖比較資料
- 附件九 第一期成果報告書審查意見回覆
- 附件十 工作總報告書初稿審查意見回覆

## 圖 目 錄

圖 1-1	北區作業範圍示意圖	3
圖 1-2	南區作業範圍示意圖	5
圖 1-3	Optech ALTM 3070 空載光達系統	8
圖 1-4	Applanix DSS 301 數位相機	10
圖 1-5	ALTM3070 與數位相機	10
圖 1-6	(a) Trimble 4000 系列衛星定位接收儀 (b) Trimble 4700 系列衛星定位接收儀 (c) Zeiss Dini@11 系列電子式精密水準儀 (d) Trimble 5000 全測站雷射測距經緯儀	11
圖 2-1	控制測量作業流程圖	12
圖 2-2	桃竹苗測區控制點分布圖	16
圖 2-3	臺南測區控制點分布圖	17
圖 2-4	外業作業過程相片	18
圖 2-5	GPSurvey2.35 版基線解算流程圖	19
圖 2-6	Turbo-NET 最小約制網平差流程圖	20
圖 2-7	桃竹苗測區衛星定位測量觀測網形圖 A	24
圖 2-7	桃竹苗測區衛星定位測量觀測網形圖 B-桃園地區	25
圖 2-7	桃竹苗測區衛星定位測量觀測網形圖 C-苗栗地區	25
圖 2-8	臺南測區衛星定位測量觀測網形圖	26
圖 2-9	桃竹苗測區已知控制點基線長較差圖	30
圖 2-10	臺南測區已知控制點基線長較差圖	30
圖 2-11	水準測量作業流程圖	33
圖 2-12	桃竹苗測區水準路線圖	34
圖 2-13	臺南測區水準路線圖	35
圖 3-1	陸域作業範圍示意圖	41
圖 3-2	GPS 衛星觀測時段規劃參考圖	42
圖 3-3	飛航規劃流程圖	44
圖 3-4	航線規劃參數	45
圖 3-5	北區飛行航線規劃圖	46

## 圖 目 錄

圖 3-6	北區 A、B、C、D 區飛行航線規劃圖	47
圖 3-7	南區飛行航線規劃圖	48
圖 3-8	南區 E、F 區飛行航線規劃圖	49
圖 3-9	ALTM3070 雷射掃描儀及掃描觀測示意圖	51
圖 3-10	大鵬航空飛機外觀	52
圖 3-11	(a)感測器安裝坐架(b)控制組件(c)接線成果	52
圖 3-12	(a)掃瞄器參考點位置圖(b)掃瞄器外殼 4 個邊角示意圖	53
圖 3-13	ALTM 掃瞄器與 GPS 天線間之相對位置關係	53
圖 3-14	建築物率定場及觀測點位分布位置圖	55
圖 3-15	道路率定場及觀測點位分布位置圖	55
圖 3-16	PITCH 偏差量示意圖	56
圖 3-17	PITCH 率定方式示意圖	56
圖 3-18	ROLL 偏差量示意圖	57
圖 3-19	ROLL 率定方式示意圖	57
圖 3-20	SCALE 率定方式示意圖	57
圖 3-21	LEICA ALS50 率定場及率定結果	58
圖 3-22	率定飛航規劃圖	59
圖 3-23	台中港區率定場實際飛航航跡圖	59
圖 3-24	LEICA ATTUNE 率定參數解算畫面(近空三觀念解算)	60
圖 3-25	飛航導航顯示器及監控畫面	61
圖 3-26	光達資料處理作業流程	62
圖 3-27	Realm Survey3.5.3 軟體	63
圖 3-28	POSPAC 解壓縮示意圖	63
圖 3-29	北區潮間帶雷射點雲航線圖	64
圖 3-29	南區潮間帶雷射點雲航線圖	65
圖 3-31	北區 97.07.03 飛航掃描成果	84
圖 3-32	北區 97.08.03 飛航掃描成果	85
圖 3-33	南區 97.03.11 飛航掃描成果	86

## 圖 目 錄

圖 3-34	南區 97.03.12 飛航掃描成果	87
圖 3-35	南區 97.03.13 上午飛航掃描成果	88
圖 3-36	南區 97.03.13 下午飛航掃描成果	89
圖 3-37	北區規劃與實際掃描軌跡航線圖	90
圖 3-38	北區 A、B、C、D 測區規劃與實際掃描軌跡航線圖	91
圖 3-39	南區規劃與實際掃描軌跡航線圖	92
圖 3-40	南區 E、F 測區規劃與實際掃描軌跡航線圖	92
圖 3-41	(a)雷射點套疊向量圖顯示平面偏移(b)航帶間差異量形成斑駁	94
圖 3-42	Measure Match 之比對原理	94
圖 3-43	三維側視圖(a)含地上物 (b)濾除非地面點成果	96
圖 3-44	平差使用之區塊	97
圖 3-45	平差區塊分佈圖	98
圖 3-46	平差作業流程圖	101
圖 3-47	Measure Match 參數設定	102
圖 3-48	航帶平差計算結果例	102
圖 3-49	北區低潮位航線編號	104
圖 3-50	北區高潮位航線編號	104
圖 3-51	南區低潮位航線編號	108
圖 3-52	南區高潮位航線編號	108
圖 3-53	過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000)	111
圖 3-54	TerraScan 軟體參數設定介面	112
圖 3-55	點雲資料剖面圖實例(圖中紅色表地面點，橙色表非地面點)	113
圖 3-56	人工檢視編修介面	114
圖 3-57	坡度、坡向分析軟體介面	115
圖 3-58	北區與南區坡度分析圖	116
圖 3-59	北區與南區坡向分析圖	119
圖 3-60	DEM、DSM 製作流程	123

## 圖 目 錄

圖 3-61	分區域過濾處理，造成接邊處數據不連續	123
圖 3-62	利用 DEM 生產之高差陰影圖	125
圖 3-63	DEM 雷射點雲圖	126
圖 3-64	DSM 雷射點雲圖	126
圖 3-65	北區 DEM 與 DSM 3D 成果展示圖	127
圖 3-66	南區 DEM 與 DSM 3D 成果展示圖	130
圖 3-67	北區(左圖)與南區(右圖)高潮位線分析圖	133
圖 3-68	台灣大地起伏計算流程圖 (黃金維，2003)	135
圖 3-69	各類地面檢核測點	137
圖 3-70	北區與南區各類地面檢核點分布情形	138
圖 3-71	空中三角平差作業流程圖	142
圖 3-72	空中三角平差作業過程示意圖	143
圖 3-73	立體製圖示意圖	144
圖 3-74	白平衡影像色調調整情形	145
圖 3-75	影像糾正與鑲嵌線編修	146
圖 3-76	圖像輻射調整	146
圖 3-77	鑲嵌正射影像圖色彩調整	147
圖 3-78	本案正射影像成果	148
圖 3-79	本案南區正射鑲嵌圖	149
圖 3-80	本案北區正射鑲嵌圖	150
圖 3-81	房屋界線不明範例	151
圖 3-82	陰影遮蔽段外業調繪補測範例	151
圖 3-83	數值地形測量成果圖例	153
圖 3-84	地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖比較方式	154
圖 3-85	北區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差值比較圖	155
圖 3-86	南區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差值比較圖	156
圖 3-87	北區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差平均值分布圖	157

圖 目 錄

圖 3-88	南區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差平均值分布圖	157
圖 4-1	教育訓練情形	161
圖 4-2	潮間帶示意圖[內政部國土測繪中心]	164
圖 4-3	2007 年淡水站 1-2 月潮位曲線	165
圖 4-4	本案採用潮位站分佈圖[中央氣象局]	166
圖 4-5	大潮、小潮示意圖	168
圖 4-6	潮位站平均潮差	170
圖 4-7	台灣區域潮位站分佈圖	179
圖 4-8	潮間帶範圍圖	180
圖 4-9	(a)涵蓋魚塢與沿海地區之影像、(b)局部放大圖	181
圖 4-10	沿海點雲剖面圖	182
圖 4-11	點雲剖面及影像分析圖	184
圖 4-12	以 1997 年 6 月 23 日台灣沿岸當天高潮發生之時間	188
圖 4-13	第一期控制點驗收情形	190
圖 4-14	第一期控制點驗收情形(續)	191
圖 4-15	地形圖驗收情形	191
圖 4-16	地形圖複驗情形	192
圖 4-17	地形圖複驗情形(續)	192
圖 4-18	地形圖複驗情形(續)	193
圖 4-19	地形圖複驗情形(續)	193

表 目 錄
-------

表 1-1	實際作業期程	7
表 1-2	支援本次計畫之測量儀器設備	8
表 1-3	Optech ALTM 3070 空載光達系統儀器規格	9
表 1-4	ALTM 3070 作業使用軟體說明	9
表 1-5	Trimble Applanix DSS 301 數位相機規格	10
表 1-6	數值地形模型及數值地形圖產製硬體	11
表 1-7	數值地形模型及數值地形圖產製軟體	11
表 2-1	桃竹苗測區控制點一覽表	13
表 2-2	臺南測區控制點一覽表	15
表 2-3	桃竹苗測區最小約制平差後點位誤差橢圓一覽表	21
表 2-4	臺南測區最小約制平差後點位誤差橢圓一覽表	23
表 2-5	桃竹苗測區已知點坐標較差表	27
表 2-6	臺南測區已知點坐標較差表	29
表 2-7	水準測量測段往返閉合差一覽表	36
表 2-8	桃竹苗測區已知水準點檢測成果表（公告高程）	37
表 2-9	臺南測區已知水準點檢測成果表（公告高程）	39
表 3-1	本案 LiDAR 飛航掃描資料獲取時程表	43
表 3-2	潮間帶飛航掃描參數	45
表 3-3	掃描器參考中心及 GPS 的偏心量試算表	54
表 3-4	Boresight Calibration 飛航參數表	60
表 3-5	北區航帶重疊區數據之分析結果	103
表 3-6	北區交叉航帶平差分析結果	103
表 3-7	北區航帶平差分析結果	105
表 3-8	南區航帶重疊區數據之分析結果	107
表 3-9	南區交叉航帶平差分析結果	107
表 3-10	南區低潮位線航帶平差成果	109

表 目 錄
-------

表 3-11	南區高潮位線航帶平差成果	110
表 3-12	潮位預報高程線	133
表 3-13	高潮位線比較結果	133
表 3-14	大地起伏模式與水準環線比較結果表	136
表 3-15	本案地形圖與內政部 1/5000 地形圖比較結果例	158
表 4-1	教育訓練課程表	160
表 4-2	教育訓練簽到表	160
表 4-3	潮位觀測資料	167
表 4-4	朔望最大潮差日出現於農曆月份頻率統計表	169
表 4-5	每月最大潮位日期統計表	169
表 4-6	各潮位站門檻值	171
表 4-7	2007 年台中港農曆每月退潮時刻表-朔 (灰底為該時段分鐘數)	172
表 4-8	2007 年台中港農曆每月退潮時刻表-望 (灰底為該時段分鐘數)	173
表 4-9	淡水農曆每月退潮時刻表-朔	175
表 4-10	淡水農曆每月退潮時刻表-望	176
表 4-11	東港農曆每月退潮時刻表-朔	177
表 4-12	東港農曆每月退潮時刻表-望	178



---

## 第壹章 前言

### 一、背景說明

臺灣位於熱帶與亞熱帶的交界處且四面環海，受到太平洋、歐亞大陸和菲律賓等三個板塊的擠壓，千萬年來複雜的板塊運動造就了臺灣山高坡陡，地形崎嶇和十分多樣化的海岸以及河口地形。因臺灣經濟的快速發展，使得過度開發利用自然資源，加上受颱風、地震不斷威脅，為臺灣地區國土風貌帶來巨大的衝擊。為規劃永續與優質的國土資訊以因應社經環境快速變化與實際需求及有效規劃國土利用，兼顧環保與經濟發展，達到國土永續經營之目標，亟需運用先進測量技術，建立完整國土基本資料，作為國土規劃與管理之重要基礎。

海域、陸域以及海陸交接地帶的潮間帶區域，為國土組成的三大區域。其中潮間帶區域範圍，是受海洋及陸地兩邊的力量共同塑造出來，其區域特殊的地形、地貌與生態環境，在海洋環境或是陸地環境的變遷，便直接或間接的影響潮間帶區域。潮間帶的測量與調查可做國土調查、國土維護、工程施工、資源開發、海岸變遷、環境監控、生態保育之應用基礎，並防制地下水超限利用、地層下陷及海岸侵蝕、保護海洋環境、強化海岸管理。對於潮間帶區域這種地形複雜性高且變動劇烈的特性，則需透過有計畫的測量與調查來進行國土維護與管理。其成果對於海岸經濟開發、縣市行政區域劃分及環保、生態保育、養殖、採礦、海底電纜鋪設、海洋博物館、海岸資源合理利用、海域觀光資源及提昇遊憩品質等整體海岸經濟開發有實質的助益，並同時減緩地理環境急速衝擊。有計畫性逐年辦理潮間帶地形測量實屬迫切需要之工作，因此內政部國土測繪中心（前土地測量局）針對需求依序執行的計畫有「潮間帶地形測繪先導計畫」、「彰、雲地區潮間帶地形測繪計畫」及「潮間帶基本地形測量技術發展計畫」等。

內政部國土測繪中心 辦理『96 年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫』採用光達技術進行高精度潮間帶地形測量應用之評估，此一地形技術發展計畫主要目標為利用空載光達測量潮間帶陸域地形，建立高精度潮間帶地形及建立比例尺 1/2500 之潮間帶地形圖資。

---

## 二、測區範圍

作業範圍分北、南兩區，北區自桃園老街溪口北岸端至彰化大肚溪出海口南岸端（北端需與「96 年度領海及鄰接區海域基本圖測量工作」計畫原規劃測區範圍互相重疊約 100 公尺之範圍，南端需與「潮間帶地形測繪先導計畫」互相重疊約 100 公尺之範圍），南區自臺南將軍漁港至高雄興達港（北端需與 95 年度「潮間帶基本地形測量技術發展計畫」互相重疊約 100 公尺之範圍），西起中央氣象局預報之當月當地相對低潮位線，其作業時間可任擇當地當月所出現 7 次相對低潮位為之，惟需於上開低潮位之潮時的前後各約 2 小時內進行，東至岸線特徵物，岸線特徵物至少需符合下列要求之一（以能與 1/5000 像片基本圖能明確且完整銜接為主）：1、海岸堤防向陸域延伸 100 公尺範圍。2、濱海道路：如省道、縣道或鄉道等公路。3、山稜線、溝渠或宗地界線明顯之處。4、地形、植被有明顯變化之處。作業時應依交通部中央氣象局發布當地潮汐預報漲、退潮時間進行測量。依上述要求作業範圍數化陸域範圍如圖 1-1 及圖 1-2 所示，北南兩區範圍面積分別為 131 平方公里及 25 平方公里。

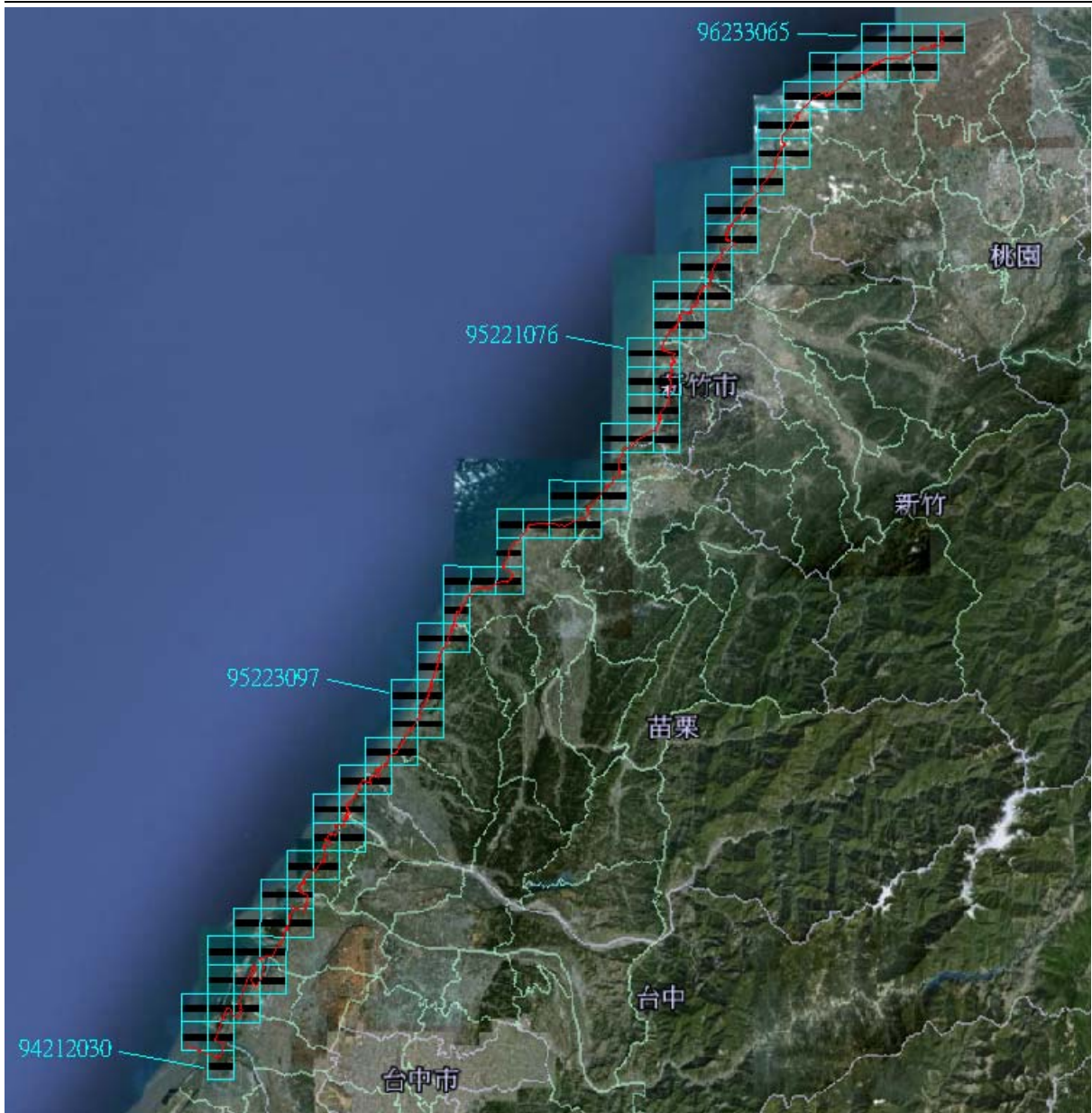


圖 1-1a 北區作業範圍與衛星影像套疊示意圖(Google Earth, 2009)

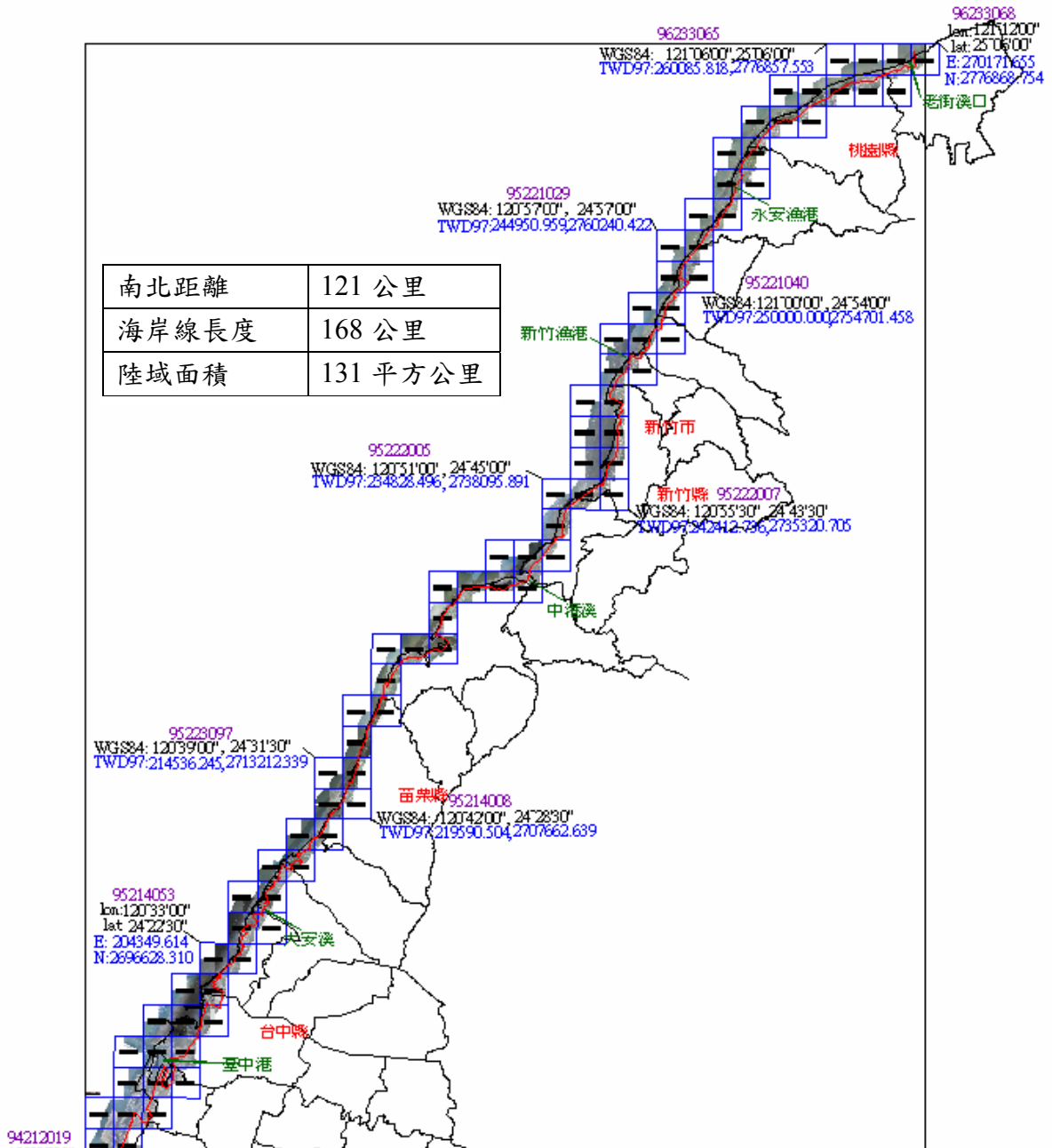


圖 1-1b 北區計畫涵蓋範圍圖



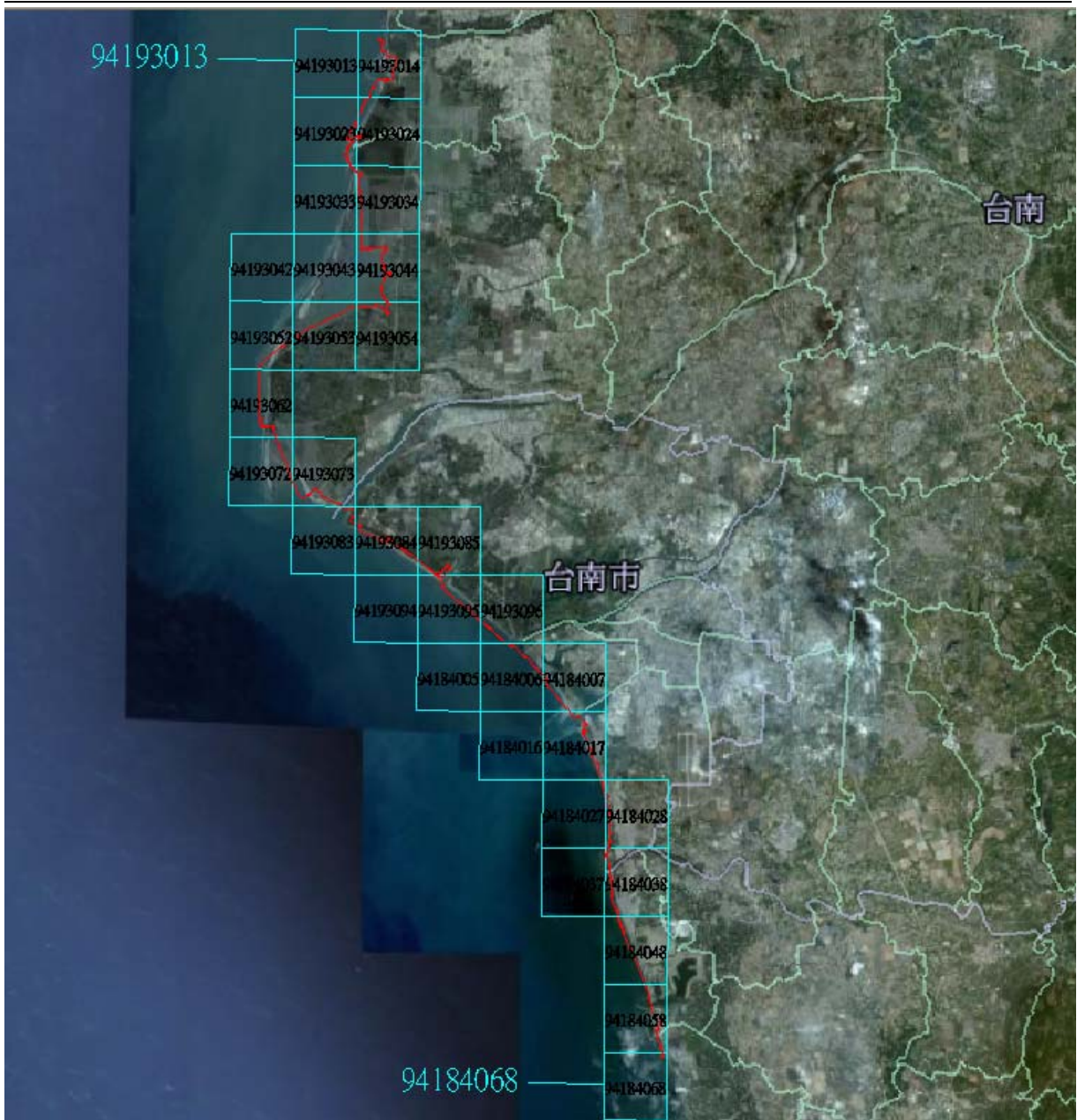


圖 1-2a 南區作業範圍與衛星影像套疊示意圖(Google Earth, 2009)

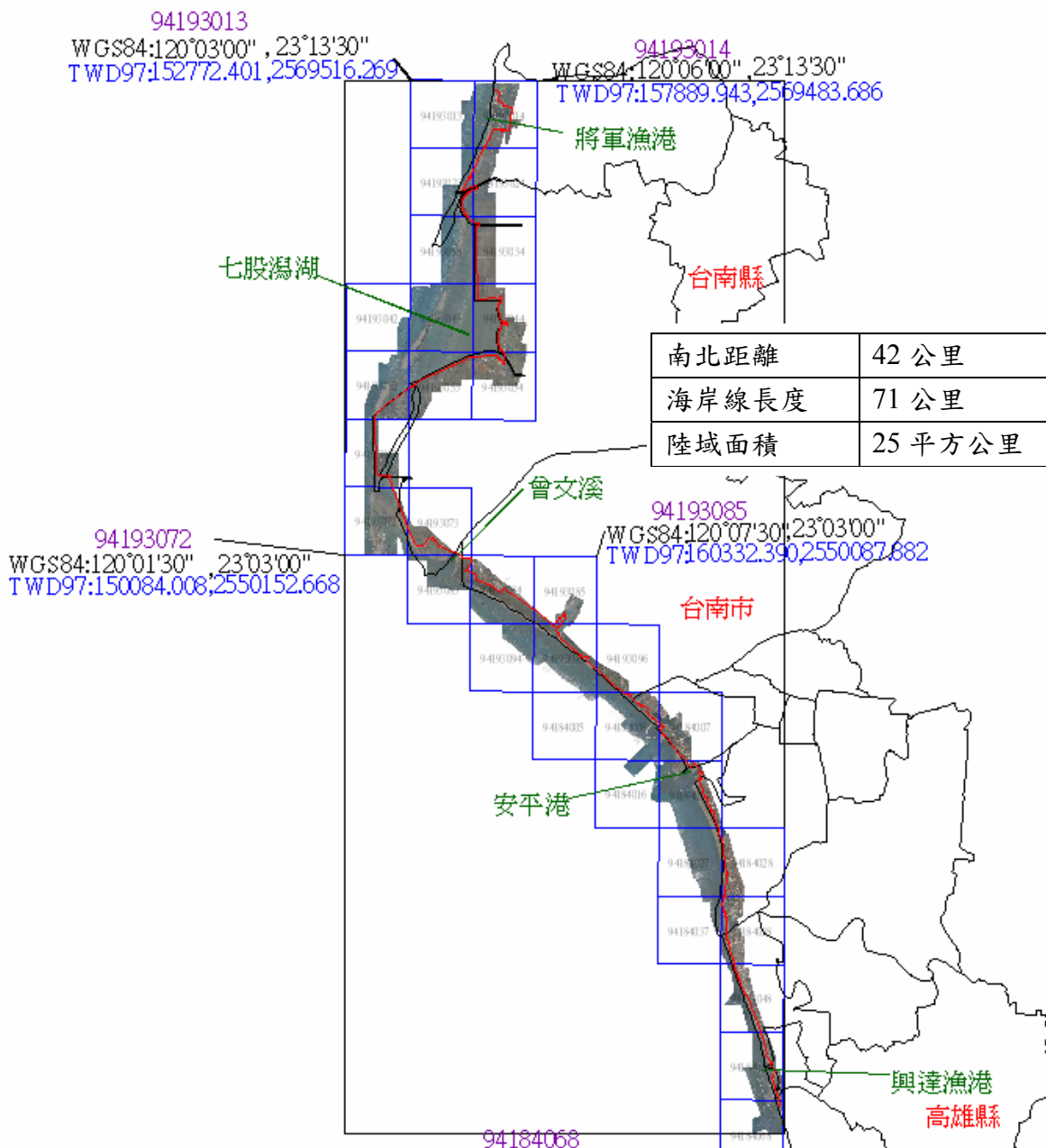


圖 1-2b 南區計畫涵蓋範圍圖

### 三、工作項目

- (一) 地面控制測量工作
- (二) 高程控制測量工作
- (三) 陸域範圍 LiDAR 測量工作(數值表模型、數值高程模型製作)
- (四) 1/2500 地形資料製作工作
- (五) 應用空載光達於潮間帶地形測量成果精度分析
- (六) 應用空載光達於潮間帶地形測量標準作業程序



## 六、使用儀器及設備

為了能使整個工作順利進行，並確保各階段工作品質，因此，如何針對各階段工作內容之特性，提供並使用適當之儀器設備就顯得相當重要。根據此次計畫之工作內容，本公司使用之儀器設備如表 1-2 所示。並針對主要作業所需之軟硬體說明如後。

表 1-2 支援本次計畫之測量儀器設備

工作項目	使用儀器	數量	序號
平面控制測量	Trimble 4000 SSE Trimble 4000 SSI Trimble 4700 Trimble 5700	8套	3616A15421、3619A14690、 3626A16165、4025A28538、 4025A28600、4102A31985、 4102A31987、4103A31986
高程控制測量	Zeiss DiNi@11	2套	103228、103229
陸域光達掃描	空載光達系統Optech ALTM 30/70	1套	04SEN152 04CON149
1/2500 地形圖資	數位相機 Trimble Applanix DSS 301	1套	SN 0048 SN 00038

### (一) 光達系統

空載光達整個系統，包括雷射掃描系統硬體元件、全球定位儀(GPS)與慣性導航儀元件(IMU)及數據處理軟體等之整合構成作業系統。本公司所用空載光達系統是加拿大 Optech 公司生產型號 ALTM3070 之光達系統，如圖 1-3，其規格則如表 1-3。

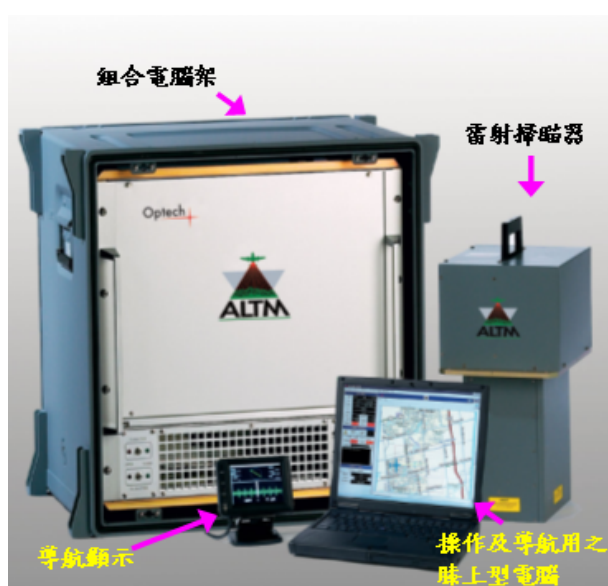


圖 1-3 Optech ALTM 3070 空載光達系統



表 1-3 Optech ALTM 3070 空載光達系統儀器規格

項目	Optech ALTM 3070
掃瞄旋角視域 FOV	0~50 度
雷射脈衝率	70 kHz
雷射波長	1064 nm
掃瞄鏡頻率	0~70Hz, (50 Hz at 40° FOV)
航高限制	200~3000m 離地高
掃瞄形式	Oscillating, Mirror, Z-shaped
高程精度	15cm (1 $\sigma$ , 航高 1,200m) 35cm (1 $\sigma$ , 航高 3,000m)
水平精度	1/2,000 航高
斜距解析度	1 cm
最大掃瞄帶寬	0~0.93 航高
電力	28 VDC, 35Amps
資料儲存媒體	70 GB 抽取式硬碟
環境溫控需求	10~35°C
環境溼度需求	0~95%
GPS 系統	Trimble
定位姿態系統	Applanix POS AV 510

由空載光達系統所得的資料包含如光達測點三維坐標及反射強度、GPS 資料及 IMU 資料，配合處理的軟體從航線規劃到 DEM、DSM 產生的過程涉及相當多軟體作業，茲將其說明如表 1-4：

表 1-4 ALTM 3070 作業使用軟體說明

軟體名稱	用途
ALTM-Nav	1. 作業前航線規劃 (包括背景圖輸入) 2. 作業前費用估算 (依不同掃瞄模式計算費用) 3. 作業中提供飛機、掃瞄航線即時導航及顯示 4. 可同時監視 GPS、IMU、雷射掃瞄及數位相機之即時狀況 5. 各項資料之儲存
Acalib	1. 進行 IMU 之 Pitch (飛機上下方向) 角度率定 2. 進行 IMU 之 Roll (飛機左右方向) 角度率定 3. 進行雷射掃瞄之尺度因子率定、進行雷射掃瞄之地面高程計算率定
POSPac	進行 ALTM GPS 接收儀資料解壓縮
POSGPS	1. 結合 ALTM GPS 接收儀資料及地面 GPS 主站資料 2. 輸入地面 GPS 主站已知坐標 (可同時進行多主站資料載入) 3. GPS 資料解算及顯示 GPS 點位軌跡圖 4. 輸出成果檔供 POSProc 軟體進行後續 IMU 定位計算
POSProc	1. IMU 資料載入及初步設定 2. 結合 GPS 定位資料進行 IMU 定位之最佳化計算 3. 輸出成果檔供 REALM 軟體進行後續光達點計算
REALM	1. 計畫目錄之建立與設定 2. GPS 坐標系統、使用者地圖投影坐標系統之選擇與設定 3. 坐標轉換 4. ALTM 各項系統之設定 (如 IMU 之 Offset 量等) 5. 光達掃瞄資料解壓縮 6. 利用 POSProc 軟體輸出之成果檔進行光達點計算
Terra-Match	航帶平差與航帶間重疊數據特徵點匹配
Terra-Scan	針對 ALTM 計算後之點雲資料，進行後續編輯處理如植被去除等
Terra-Modeler	1. 等高線處理及計算 2. 地面點模型建立，輸出 DEM 與 DSM

## (二) 數位相機

配合光達掃描作業，於飛航載具上同時搭配高解析力數位量測相機模組(Digital Sensor System, DSS 301)，如表 1-5 及圖 1-4、1-5，安裝於 ALTM 光達系統前的相機基座以同時獲取三度空間地形資料及航測影像資料，兩者結合之後可快速獲取正射影像。



圖 1-4 Applanix DSS 301 數位相機

圖 1-5 ALTM3070 與數位相機

表 1-5 Trimble Applanix DSS 301 數位相機規格

### ALTM 4K02 - The Digital Image Collection and Processing Solution

#### Specifications

##### Camera

Array size	4,092 (along flight) x 4,079 (cross flight) pixels
Pixel size	0.009 mm
Premium grade CCD*	Point defects <= 2000 Cluster defects <= 30 Single column Defects <= 10 Dead columns = none Radiometric and geometric profile included
Filter array	Interchangeable color or color-IR
Lens	Zeiss Distagon 55.0 mm, 36° FOV
Exposure control	Automatic: aperture or shutter priority
Shutter	Electronically controlled focal plane
Shutter speed	1/125 - 1/4,000 seconds
Exposure compensation	± 2 EV in 1/3 EV steps
Exposure rate	Maximum 4 seconds**
Housing	Proprietary ruggedized and individually profiled CCD array mount. Ruggedized exoskeleton, capable of <1 pixel geometric accuracy over RTCA/DO-160D shock and vibration
Calibration	Terrestrial and airborne calibration with full report
Modular replaceability	Includes spare exoskeleton, pre-calibrated camera body and lens for instant field servicing

##### Ruggedized Data Recorder

- Integrated with ALTM control rack
- Internal pressurized 80 GB disk
- Removable 80 GB disks (2)
- Mission planning & camera trigger via ALTM-NAV
- QC thumbnail image display on ALTM-NAV

##### Image Performance

Typical at 1,500 m, 120 knots and 1/2,000 exp.

GSD: 0.25 m  
Smear: 15%

Bands	1	2	3
Color Mode, nm	400-500	500-600	600-680
CIR mode, nm	510-600	600-720	720-800

##### Physical

Size	Camera	16 x 18 x 41 cm
	Data recorder	19" rack, 3U height
Weight	Camera	5 kg
	Data recorder	10 kg
Power	Camera/data recorder	28 VDC, 4 A
	Auxiliary power unit	115 VAC
Operating temperature	0 to + 40° C	
Humidity	5 to 90% RH non-condensing	
Altitude	maximum 6,000 m	

##### Processing Software (included)

MissionVue - downloads images from removable drives

ImageVue - develops digital image

- Applies fall-off corrections and color balance
- Formats: TIFF, JPEG, IMG
- Quantization: 8 or 16 bit

POS Cal and POS EO from Applanix Corp.

ImageStation Suite from Z/I Imaging

- ISAT Aerial Triangulation Software
- OrthoPro for image orthorectification and mosaicing
- Geomedia support for OrthoPro



Images: Camera and Data Recorder

### (三)GPS 衛星定位儀、精密水準儀與全測站電子經緯儀

為進行本案各項控制工作之用途，本公司備有定期檢校之衛星定位接收儀、電子式精密水準儀及全測站雷射測距經緯儀供使用。

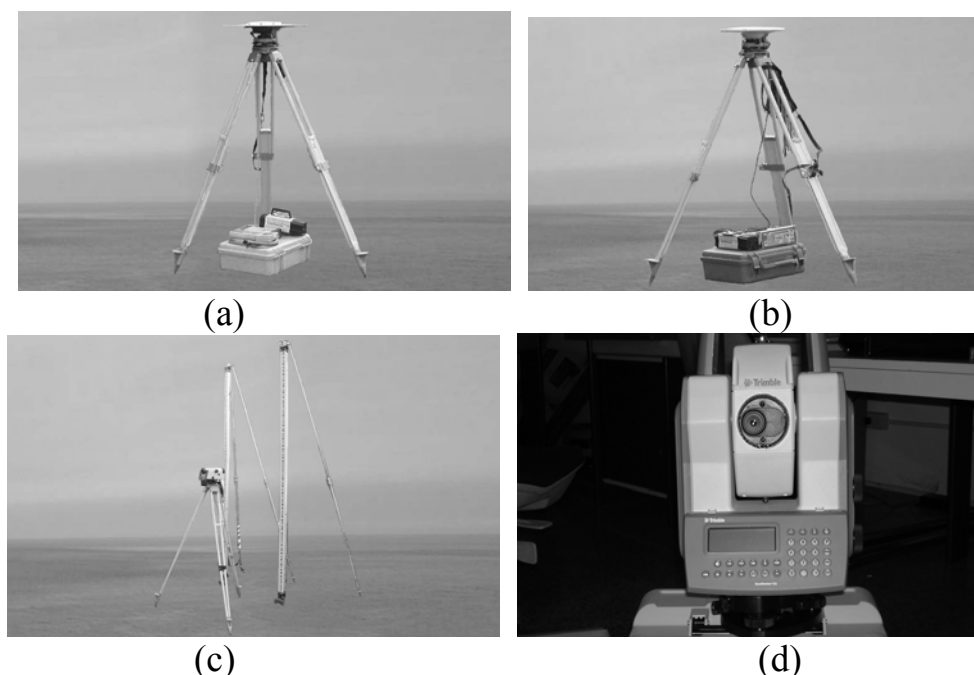


圖 1-6 (a) Trimble 4000 系列衛星定位接收儀 (b) Trimble 4700 系列衛星定位接收儀 (c) Zeiss Dini<sup>®</sup>11 系列電子式精密水準儀 (d) Trimble 5000 全測站雷射測距經緯儀

### (四) 數值地形模型及數值地形圖產製

將光達及水深量測資料利用一系列軟體進行數值地形模型資料產製作業，並利用同步航測影像進行地形圖繪製，相關軟硬體如表 1-6、1-7 所示

表 1-6 數值地形模型及數值地形圖產製硬體

名稱	說明
個人電腦	P4-2.4G 以上，Win2000/XP
工作站	SUN 670、SGI 320
繪圖機	HP DesignJet 5500(60")、HP DesignJet 1050(42")*2、HP DesignJet 750(42")

表 1-7 數值地形模型及數值地形圖產製軟體

名稱	說明
Bently MicroStation	Powerdraft, 95, J, V8*2 光達資料編修
TerraSolid LiDAR Package	TerraScan、TerraMatch、TerraModeler、TerraPhoto 光達資料編修
Leica PRO600	進行地形圖立製作業

## 第貳章 控制測量成果

### 一、控制測量

為配合後續陸域範圍光達測量及 1/2,500 地形圖製作，於施測前期先行進行控制測量作業；控制測量作業包含平面控制測量及高程控制測量，平面控制測量採用衛星定位測量方式施行，高程控制測量採用直接水準測量方式進行。控制測量作業流程如圖 2-1。

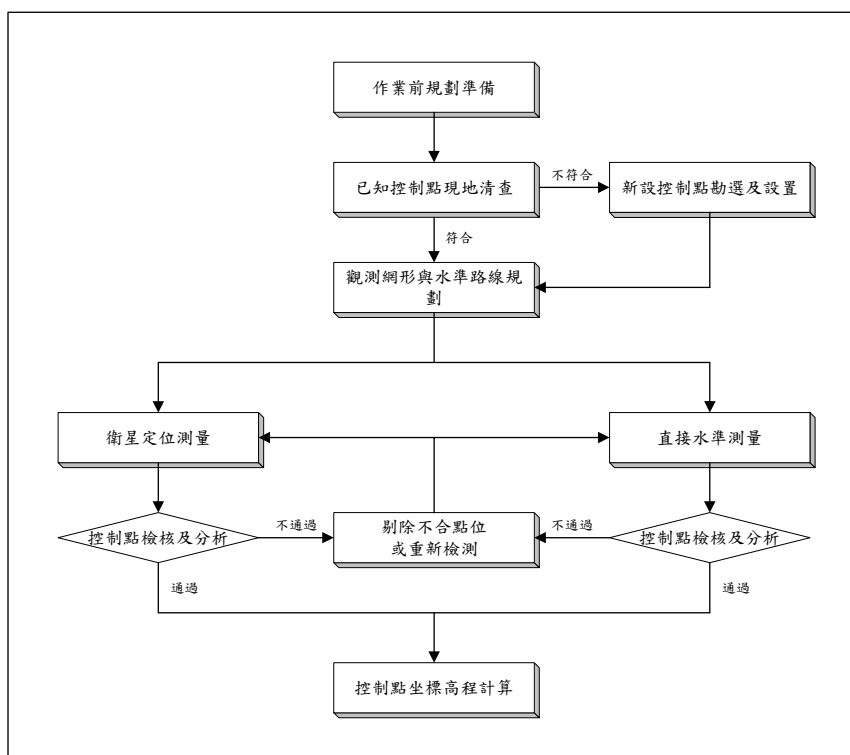


圖 2-1 控制測量作業流程圖

#### (一) 控制點勘選與設置

控制點的勘選與設置原則上已現有控制點為主，沿測區範圍內約每 3 公里布設一個點，本次計畫主要以內政部設立的一等水準點為主（約每 2 公里一個點），除符合「內政部土地測量局辦理基本控制點點位勘選注意事項」（內政部土地測量局,2001,已廢止）及內政部「一等水準測量作業規範」（內政部, 2001）的要求外，部分控制點因後續作為空載雷射掃描及空中攝影的地面 GPS 主站，因此其點位透空度提高其要求標準（建議點位周遭 $0^{\circ}$ 以上均無遮蔽物），若現有點位無法符合前述所需時，則於適當地點另行補設新的控制點。兩個測區控制點列表如表 2-1、表 2-2，分布情形如圖 2-2、圖 2-3。

表 2-1 桃竹苗測區控制點一覽表 (1/2)

序號	點名	點號	等級	設置時間	備註
1	大園	D018	一等水準點	89.06	
2	汐見橋	D019	一等水準點	89.06	
3	保障加油站	D020	一等水準點	89.06	
4	內湖	D021	一等水準點	89.06	
5	觀音工業區	D022	一等水準點	89.06	
6	名興加油站	D023	一等水準點	89.06	
7	觀音中繼站	D024	一等水準點	89.06	
8	塘背	D025	一等水準點	89.06	
9	永觀	D027	一等水準點	89.06	
10	笨子港橋	D028	一等水準點	89.06	
11	深圳橋	D029	一等水準點	89.06	
12	蚵間國小	D030	一等水準點	89.06	
13	後湖	D031	一等水準點	89.06	
14	新豐村	D032	一等水準點	89.06	
15	鳳鼻隧道	D033	一等水準點	95.11	無公告坐標、高程
16	尚義衛生室	D034	一等水準點	89.06	
17	崁子腳	D035	一等水準點	89.06	
18	竹港大橋	D036	一等水準點	89.06	
19	南寮節點	D037	一等水準點	89.06	
20	港北橋	D038	一等水準點	95.11	無公告坐標、高程
21	浸水橋	D039	一等水準點	95.11	無公告坐標、高程
22	北寮	D040	一等水準點	89.06	
23	慶華加油站	D041	一等水準點	89.06	
24	洪水港	D042	一等水準點	89.06	
25	香山節點	X022	一等水準點	89.06	
26	崎頂	D043	一等水準點	95.11	無公告坐標、高程
27	福德宮後	D044	一等水準點	95.11	無公告坐標、高程
28	竹圍仔	D045	一等水準點	89.06	
29	玄寶大橋	D046	一等水準點	89.06	
30	渡船頭	D047	一等水準點	89.06	
31	三角口	D048	一等水準點	89.06	
32	上大山腳	D049	一等水準點	95.11	無公告坐標、高程
33	合興育苗中心	D050	一等水準點	89.06	
34	砂崙湖	D051	一等水準點	89.06	
35	竹厝	D052	一等水準點	89.06	
36	龍港節點	X013	一等水準點	89.06	
37	海尾	D053	一等水準點	89.06	

註：點位順序係由北往南排列。

表 2-1 桃竹苗測區控制點一覽表 (2/2)

序號	點名	點號	等級	設置時間	備註
38	坪仔	D054	一等水準點	89.06	
39	大眾媽	D055	一等水準點	89.06	
40	白沙屯節點	X014	一等水準點	88.12	
41	啟明國小	1066	一等水準點	88.10	
42	通霄精鹽廠	1067	一等水準點	88.12	
43	友愛靈園	1068	一等水準點	88.12	
44	通灣	1069	一等水準點	88.12	
45	中南	1070	一等水準點	88.12	
46	竹仔林	1071	一等水準點	88.12	
47	番子寮橋	1072	一等水準點	88.12	
48	五南社區	1073	一等水準點	88.12	
49	苑裡國小	1074	一等水準點	88.12	
50	龍德家商	1075	一等水準點	88.12	
51	幼獅	1076	一等水準點	88.12	
52	通天路	1077	一等水準點	88.12	
53	大安溪橋	1078	一等水準點	95.11	無公告坐標、高程
54	經國加油站	1079	一等水準點	88.12	
55	大甲運動場	1080	一等水準點	88.12	
56	水汙頭	1081	一等水準點	88.12	
57	大甲溪橋	1082	一等水準點	88.12	
58	甲南節點	X101	一等水準點	88.12	
59	青龍井	G001	一等水準點	88.12	
60	清水農會倉庫	G002	一等水準點	88.12	
61	北堤派出所	G003	一等水準點	88.12	
62	環球大樓	G004	一等水準點	88.12	
63	台中港節點	X105	一等水準點	88.12	
64	下草浦	G005	一等水準點	88.12	
65	南華水泥	G006	一等水準點	88.12	
66	臨港二號橋	G007	一等水準點	88.12	
67	麗水派出所	G008	一等水準點	88.12	
68	全興工業區	G009	一等水準點	88.12	
69	秋茂園	K098	三等控制點	88.03	無公告高程
70	永興村	H079	三等控制點	84.10	無公告高程

註：點位順序係由北往南排列。

表 2-2 臺南測區控制點一覽表

序號	點名	點號	等級	設置時間	備註
1	北門節點	X204	一等水準點	88.12	
2	五佛殿	G073	一等水準點	88.12	
3	將軍國小	G074	一等水準點	88.12	
4	後港派出所	G075	一等水準點	88.12	
5	篤厚橋	G076	一等水準點	88.12	
6	篤加國小	G077	一等水準點	94.12	無公告坐標、高程
7	七股分駐所	G078	一等水準點	88.12	
8	樹農溪橋	G079	一等水準點	88.12	
9	國聖大橋	G080	一等水準點	88.12	
10	國聖大橋副點	A002	河川局斷面樁	97.03	無公告坐標、高程
11	溪埔	G081	一等水準點	88.12	
12	成大水工所	G082	一等水準點	90.02	
13	臺南科技工業區	G083	一等水準點	88.12	
14	安南	G084	一等水準點	88.12	
15	臺南市議會	G086	一等水準點	88.12	
16	臺南節點	X210	一等水準點	88.12	
17	明和公園	G087	一等水準點	89.01	
18	南濱	G089	一等水準點	95.05	無公告坐標、高程
19	灣裡濱海陸橋	G090	一等水準點	89.01	
20	海濱植樹公園	G091	一等水準點	89.01	
21	茄苳濱海公園	G092	一等水準點	89.01	
22	尚禮街公園	G093	一等水準點	89.01	
23	興達港	G094	一等水準點	89.01	
24	湖內節點	X211	一等水準點	89.01	
25	竹滬	G095	一等水準點	89.01	
26	後鄉	G096	一等水準點	89.01	

註：點位順序係由北往南排列。

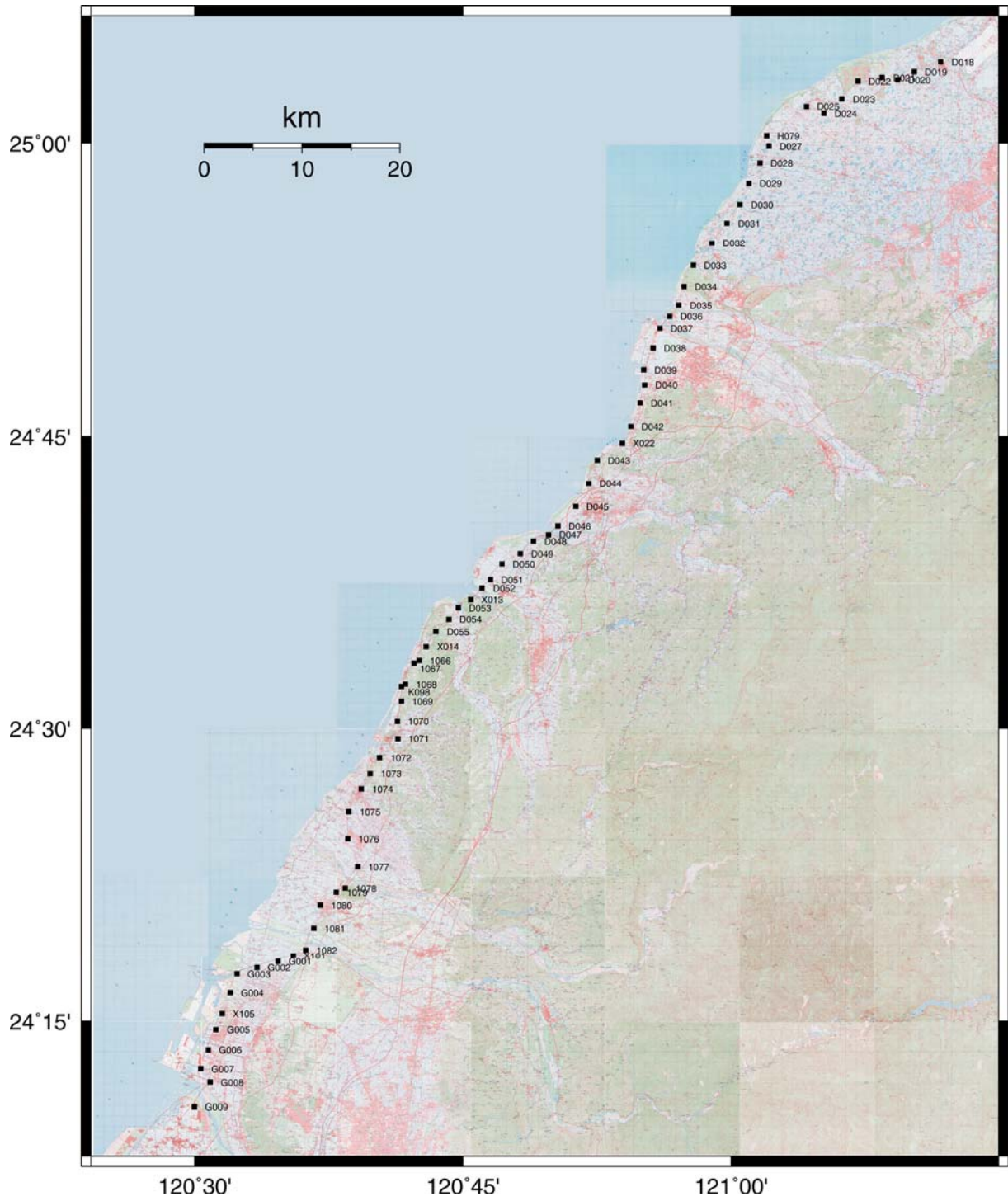


圖 2-2 桃竹苗測區控制點分布圖



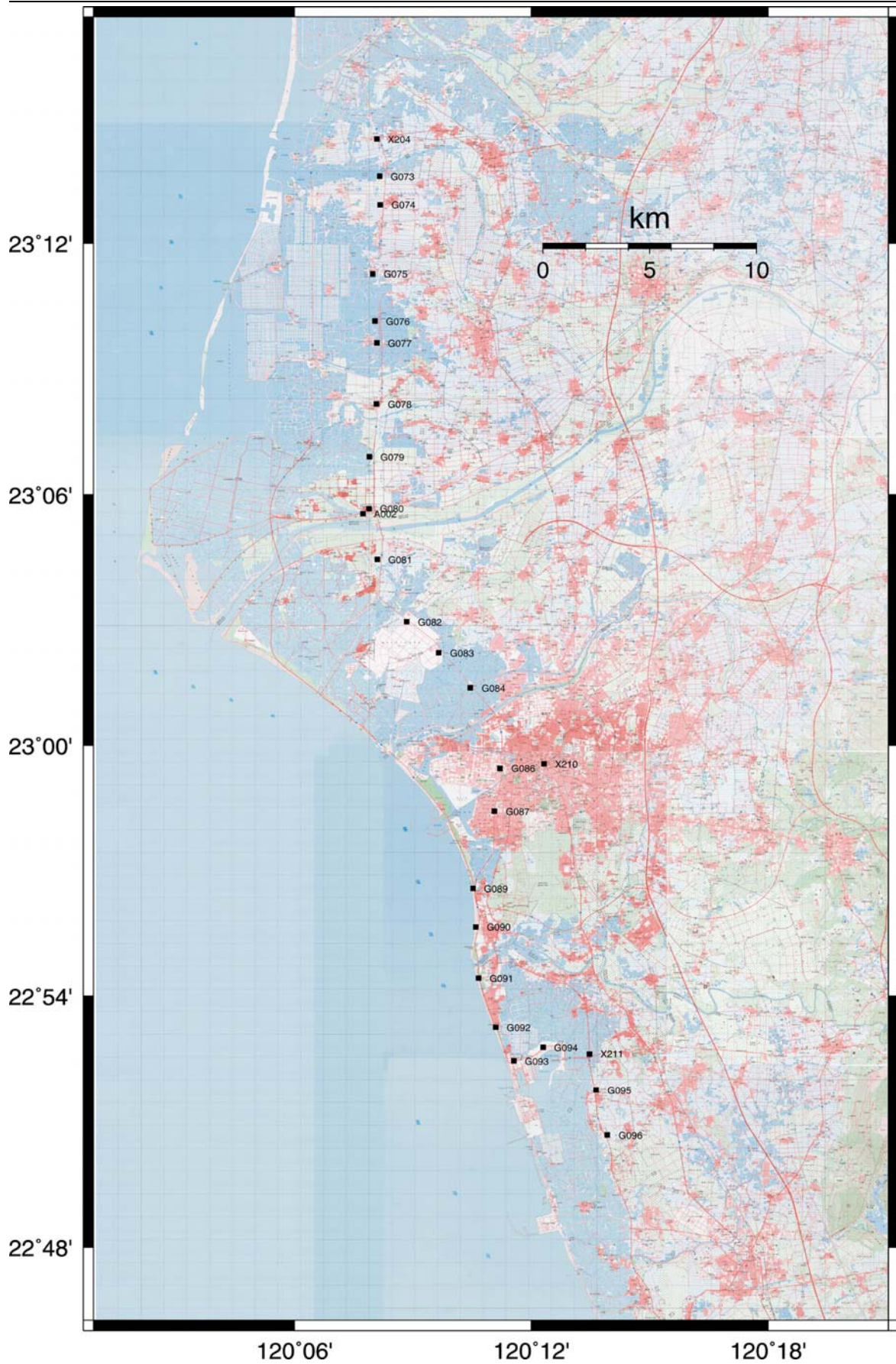


圖 2-3 臺南測區控制點分布圖

## (二) 平面控制測量

### 1. 作業規範：

平面控制測量採用衛星定位測量方法為之，作業規範應遵照「四等控制點衛星測量作業手冊」(內政部國土測繪中心,2008)辦理外，其精度要求如下：

- (1) 最小約制網平差計算：點位誤差橢圓長軸半徑最大不得超過 20mm。
- (2) 檢測所得之基線長度值與原坐標反算所得之相應基線長度進行比較，其較差量應小於 30mm+6ppm。
- (3) 檢測所得之坐標值與原坐標進行比較，各坐標分量較差值不得大於 98mm。

### 2. 外業測量：

- (1) 外業測量中臺南測區因位於內政部國土測繪中心辦理之「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」計畫範圍內，故除新設控制點 A002 以一個時段聯測外，其餘按合約規定引用前述計畫之觀測資料作為計算來源；桃園及苗栗測區因不屬前述計畫範圍內，因此共以 11 個時段進行檢測。
- (2) 外業測量使用 Trimble 5700 進行觀測，其觀測時間 60 分鐘以上，同步觀測時間 45 分鐘以上觀測紀錄速率 5 秒，衛星高度截角 15 度。其中臺南測區於 97 年 3 月 11 日進行觀測，桃竹苗測區於 97 年 5 月 23 日至 5 月 28 日進行觀測，詳細之外業實際觀測時段如附件一，外業作業情形如圖 2-4。



圖 2-4 外業作業過程相片

### 3. 基線計算：

基線計算採用 Trimble GPSurvey V2.35 版軟體，前述使用的儀器中，採用 Trimble5700 可直接讀取原使觀測資料，其計算流程如圖 2-5，相關計算設定參數如下：

- (1) 觀測紀錄速率 5 秒，衛星高度截角 15 度。
- (2) 採用 IGS 快速精密星曆 (igr\*.sp3；<http://igs.cb.jpl.nasa.gov>)。
- (3) 解算的基線必須是  $L_3$  觀測量的固定整數解 (Iono free fixed)。
- (4) 採用 Hopfield 模式來改正對流層遲滯效應。
- (5) 資料篩選臨界值 (Edit 值) 設定為 2.5 (含) 以下。
- (6) 比率檢驗值 (Ratio 值) 最小為 3.0 (含) 以上。

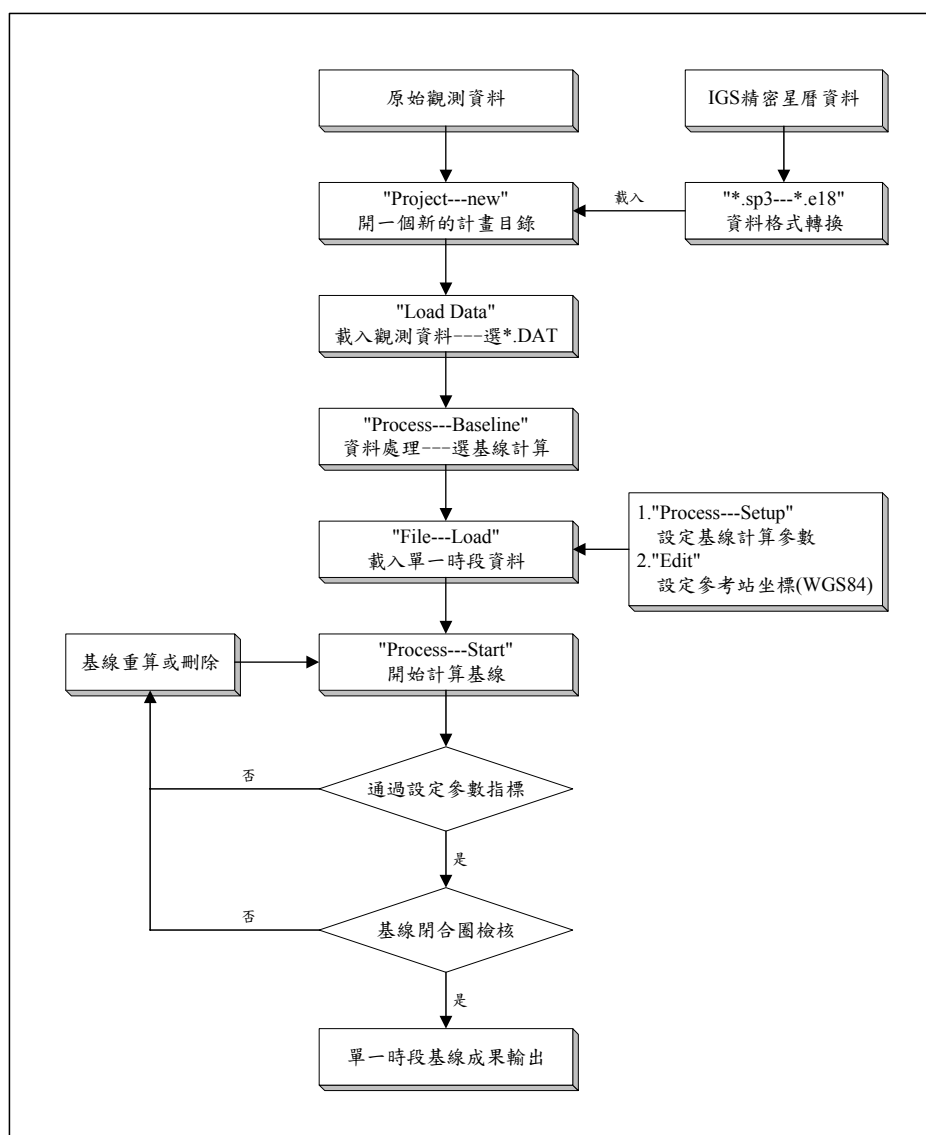


圖 2-5 GPSurvey2.35 版基線解算流程圖

#### 4. 最小約制網平差

最小約制網平差採用 Turbo-NET (圖 2-6)，其先整合所有基線向量及協變方矩陣為單一網系，進行平差計算，並利用統計學上的  $\tau$  測試 ( $\tau$  值即是標準化改正數，其根據改正數除以後驗估計的改正數標準偏差而得) 對個別觀測量分析判斷，基線分量中是否有錯誤存在，是否需重新進行基線向量計算，或是將錯誤的基線向量直接予以剔除。

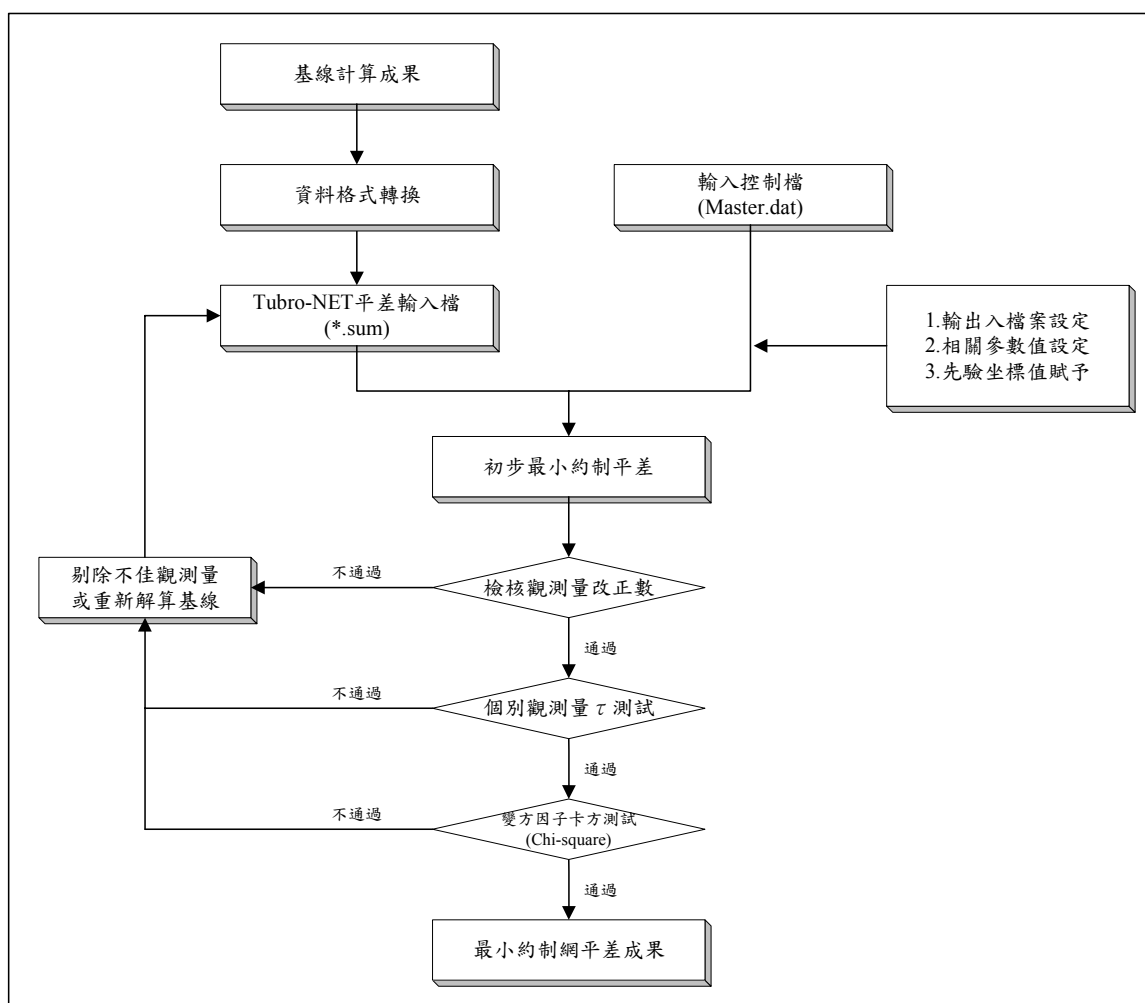


圖 2-6 Turbo-NET 最小約制網平差流程圖

臺南測區於最小約制網平差時加入「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」中於測區附近之觀測量進行計算，桃竹苗測區則直接以外業觀測成果進行平差計算；在前述觀測網的最小約制平差過程中，已無再剔除任何觀測量（基線），顯示基線計算的品質良好。各區平差後之點位誤差橢圓如表 2-3、表 2-4，網形圖如圖 2-7、圖 2-8。

表 2-3 桃竹苗測區最小約制平差後點位誤差橢圓一覽表 (1/2)

序號	點號	誤差橢圓長半軸(m)	誤差橢圓短半軸(m)	長半軸方位角(°)	橢球高標準偏差(m)
1	D018	0.002	0.002	79.21	0.005
2	D019	0.002	0.002	76.94	0.005
3	D020	0.002	0.002	77.29	0.005
4	D021	0.002	0.002	83.76	0.006
5	D022	0.003	0.002	80.25	0.006
6	D023	0.002	0.002	135.36	0.005
7	D024	0.002	0.002	72.33	0.005
8	D025	0.003	0.002	67.62	0.005
9	D027	0.002	0.002	78.84	0.005
10	D028	0.004	0.002	102.11	0.006
11	D029	0.002	0.002	79.10	0.005
12	D030	0.007	0.003	50.36	0.013
13	D031	0.002	0.002	82.09	0.005
14	D032	0.002	0.002	130.92	0.004
15	D033	0.002	0.002	105.32	0.004
16	D034	0.006	0.005	2.90	0.017
17	D035	0.002	0.001	108.43	0.004
18	D036	0.002	0.001	106.46	0.004
19	D037	0.002	0.001	125.92	0.004
20	D038	0.002	0.002	120.18	0.004
21	D039	0.001	0.001	86.38	0.003
22	D040	0.001	0.001	102.52	0.004
23	D041	0.001	0.001	82.44	0.003
24	D042	0.001	0.001	77.66	0.003
25	X022	0.002	0.001	70.76	0.004
26	D043	0.002	0.002	78.44	0.004
27	D044	0.002	0.002	82.25	0.004
28	D045	0.001	0.001	93.04	0.003
29	D046	0.001	0.001	114.71	0.003
30	D047	0.001	0.001	17.77	0.003
31	D048	0.002	0.002	103.18	0.005
32	D049	0.001	0.001	113.52	0.003
33	D050	0.003	0.002	79.70	0.006
34	D051	0.002	0.001	82.07	0.004
35	D052	0.006	0.003	170.66	0.013
36	X013	0.000	0.000	135.00	0.000
37	D053	0.001	0.001	133.57	0.002

表 2-3 桃竹苗測區最小約制平差後點位誤差橢圓一覽表 (2/2)

序號	點號	誤差橢圓長半軸(m)	誤差橢圓短半軸(m)	長半軸方位角(°)	橢球高標準偏差(m)
38	D054	0.001	0.001	140.11	0.002
39	D055	0.001	0.001	147.94	0.002
40	X014	0.001	0.001	148.46	0.002
41	1066	0.001	0.001	146.37	0.003
42	1067	0.001	0.001	51.38	0.004
43	1068	0.001	0.001	168.02	0.003
44	1069	0.001	0.001	117.05	0.003
45	1070	0.001	0.001	56.70	0.004
46	1071	0.002	0.002	49.55	0.005
47	1072	0.002	0.001	57.86	0.004
48	1073	0.002	0.001	55.58	0.005
49	1074	0.007	0.003	110.88	0.011
50	1075	0.001	0.001	60.42	0.004
51	1076	0.002	0.001	57.78	0.004
52	1077	0.002	0.001	61.58	0.004
53	1078	0.003	0.002	70.44	0.006
54	1079	0.004	0.004	27.09	0.008
55	1080	0.008	0.005	76.30	0.014
56	1081	0.003	0.002	76.46	0.006
57	1082	0.002	0.002	84.39	0.005
58	X101	0.002	0.002	83.36	0.005
59	G001	0.002	0.002	83.12	0.005
60	G002	0.002	0.002	83.84	0.005
61	G003	0.003	0.003	75.45	0.008
62	G004	0.005	0.003	87.51	0.010
63	X105	0.004	0.003	69.13	0.009
64	G005	0.004	0.003	69.27	0.009
65	G006	0.004	0.003	69.32	0.009
66	G007	0.004	0.003	69.83	0.009
67	G008	0.004	0.003	69.37	0.010
68	G009	0.005	0.004	73.97	0.010
69	K098	0.002	0.001	114.27	0.020
70	H079	0.003	0.002	32.34	0.015



表 2-4 臺南測區最小約制平差後點位誤差橢圓一覽表

序號	點號	誤差橢圓長半軸(m)	誤差橢圓短半軸(m)	長半軸方位角(°)	橢球高標準偏差(m)
1	X204	0.004	0.003	131.57	0.008
2	G073	0.004	0.003	141.58	0.008
3	G074	0.007	0.004	157.70	0.010
4	G075	0.003	0.002	144.93	0.006
5	G076	0.002	0.002	141.10	0.006
6	G077	0.004	0.003	172.84	0.009
7	G078	0.004	0.003	144.85	0.008
8	G079	0.002	0.002	162.71	0.005
9	G080	0.002	0.002	154.87	0.006
10	A002	0.002	0.002	168.36	0.005
11	G081	0.002	0.002	157.54	0.005
12	G082	0.002	0.002	150.83	0.006
13	G083	0.002	0.002	167.14	0.005
14	G084	0.002	0.002	159.96	0.005
15	G086	0.004	0.003	146.57	0.008
16	X210	0.000	0.000	0.00	0.000
17	G087	0.002	0.002	157.04	0.005
18	G089	0.002	0.002	156.28	0.005
19	G090	0.003	0.002	11.70	0.006
20	G091	0.003	0.002	156.62	0.006
21	G092	0.003	0.002	155.54	0.006
22	G093	0.003	0.002	153.85	0.006
23	G094	0.003	0.002	150.72	0.007
24	X211	0.003	0.002	151.09	0.007
25	G095	0.004	0.004	161.61	0.013
26	G096	0.006	0.004	166.02	0.014

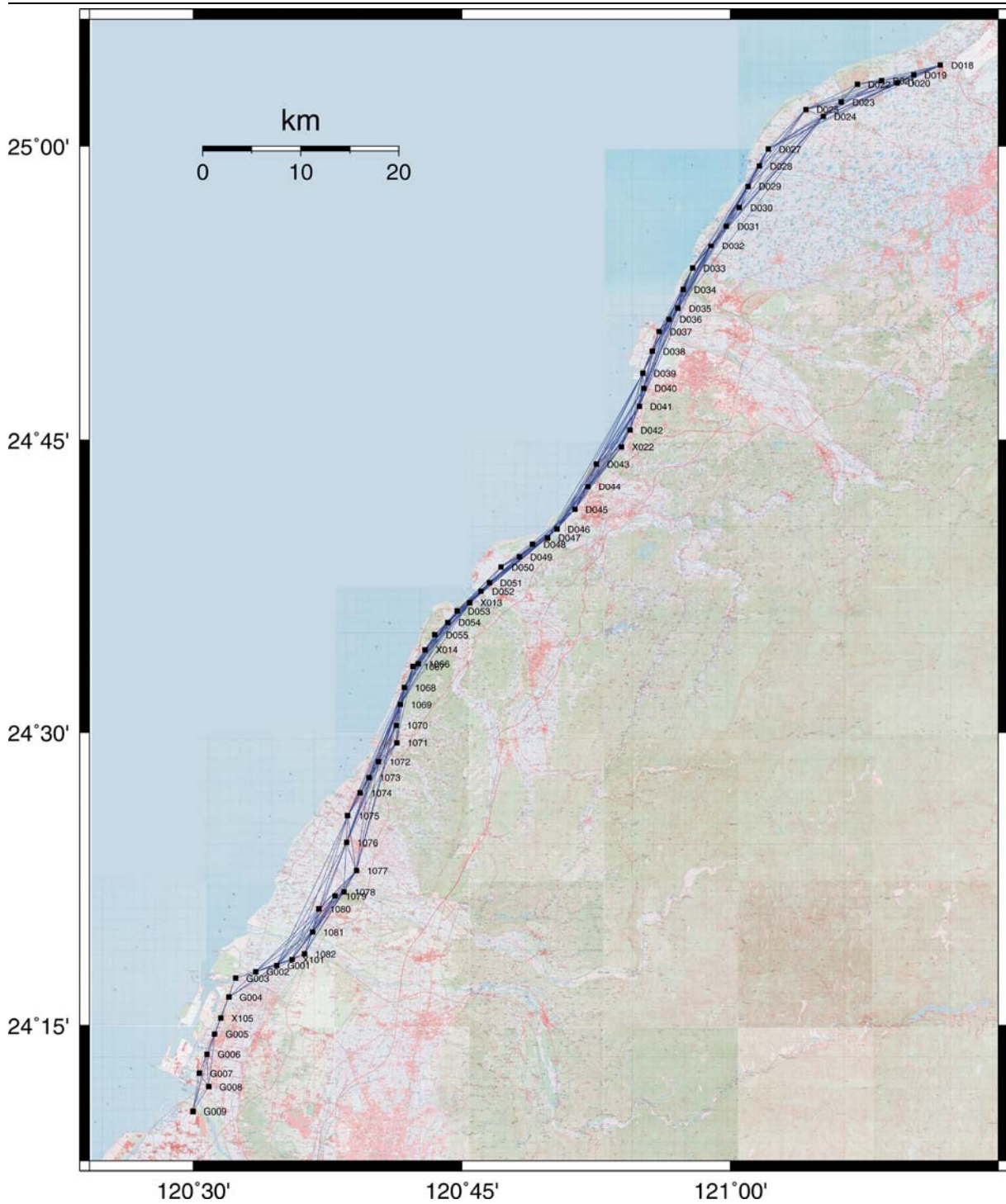


圖 2-7 桃竹苗測區衛星定位測量觀測網形圖 A



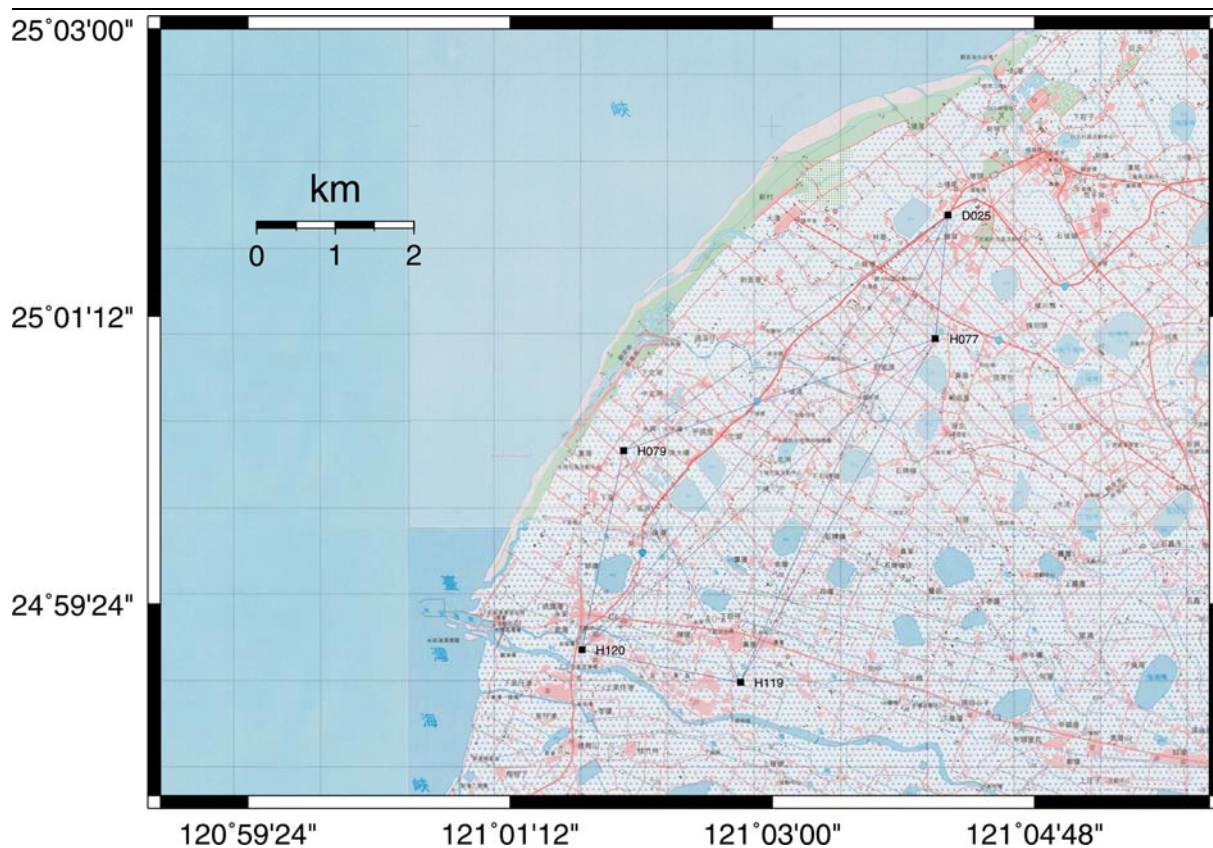


圖 2-7 桃竹苗測區衛星定位測量觀測網形圖 B-桃園地區

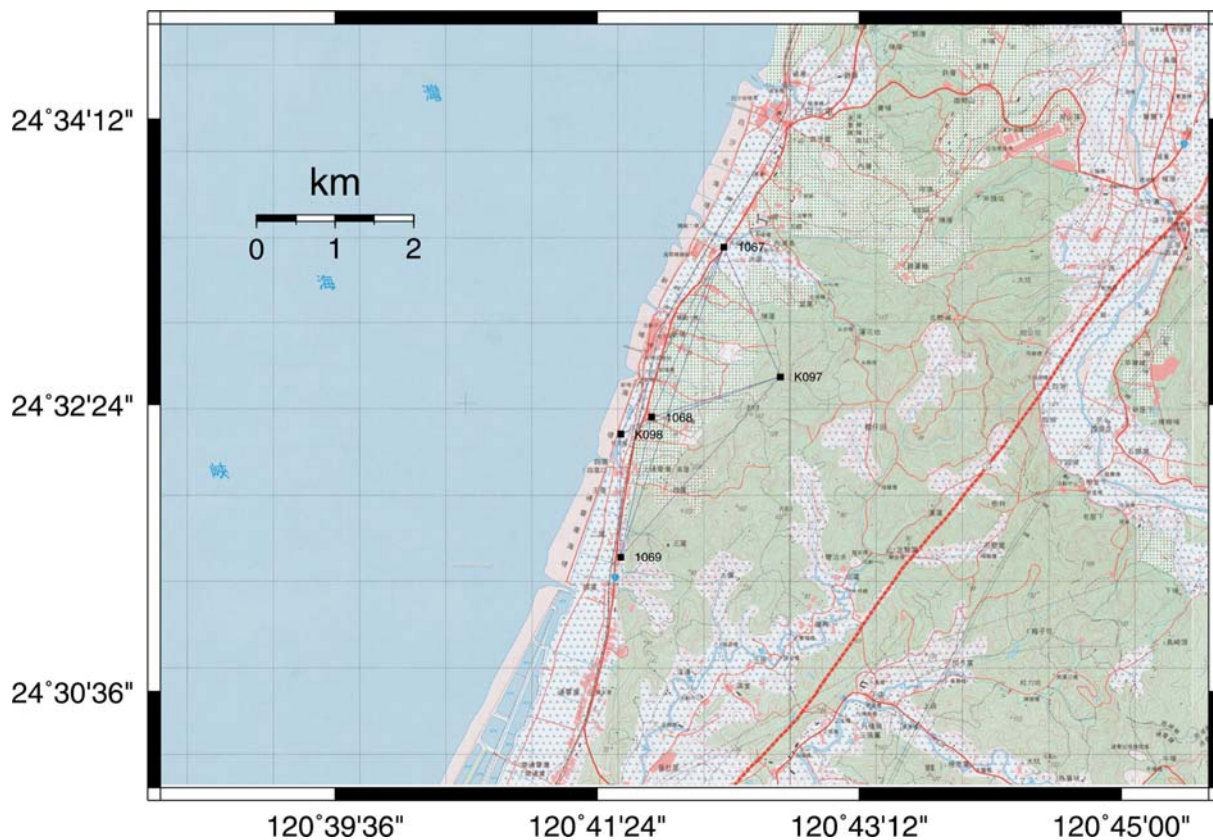


圖 2-7 桃竹苗測區衛星定位測量觀測網形圖 C-苗栗地區



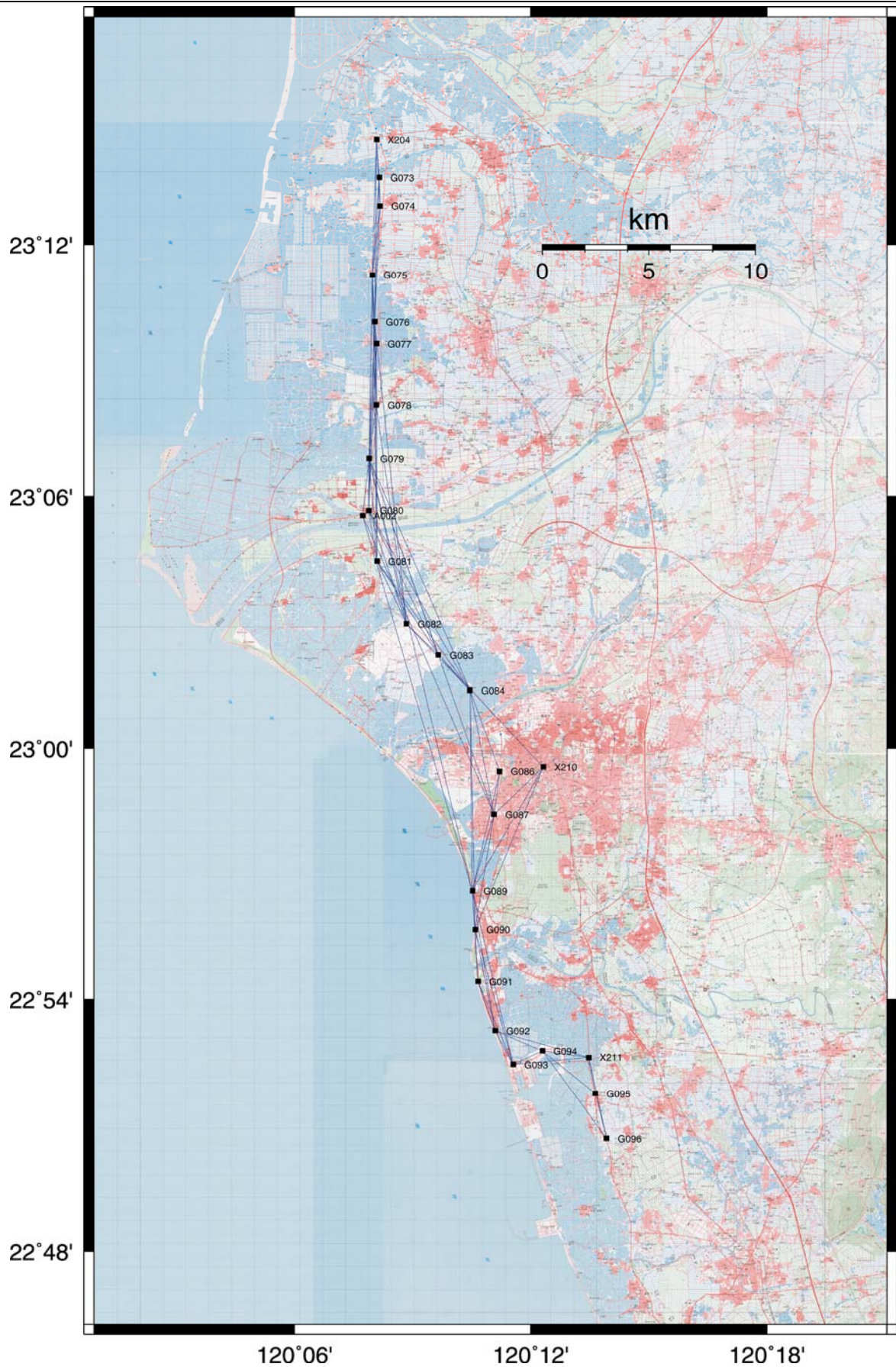


圖 2-8 臺南測區衛星定位測量觀測網形圖

## 5. 已知點檢測

依照前述規範標準對檢測之已知控制點進行檢核，桃竹苗測區已知點坐標檢核成果如表 2-5、基線長較差檢核結果如圖 2-9，臺南測區已知點坐標檢核成果如表 2-6、基線長較差檢核結果如圖 2-10。

表 2-5 桃竹苗測區已知點坐標較差表 (1/2)

序號	點名	點號	等級	縱坐標差(m)	橫坐標差(m)	橢球高差(m)
1	大園	D018	一等水準點	0.017	0.056	-0.145
2	汐見橋	D019	一等水準點	0.005	0.048	-0.113
3	保障加油站	D020	一等水準點	0.003	0.043	-0.141
4	內湖	D021	一等水準點	0.019	0.045	-0.097
5	觀音工業區	D022	一等水準點	0.016	0.052	-0.096
6	名興加油站	D023	一等水準點	0.008	0.050	-0.101
7	觀音中繼站	D024	一等水準點	-0.010	0.042	-0.162
8	塘背	D025	一等水準點	-0.018	0.050	-0.042
9	永觀	D027	一等水準點	0.011	0.075	-0.107
10	笨子港橋	D028	一等水準點	0.019	0.070	-0.068
11	深圳橋	D029	一等水準點	0.010	0.067	-0.098
12	蚵間國小	D030	一等水準點	0.108	0.141	-0.583
13	後湖	D031	一等水準點	0.027	0.058	-0.092
14	新豐村	D032	一等水準點	0.012	0.057	-0.098
15	尚義衛生室	D034	一等水準點	0.005	0.008	-0.024
16	炭子腳	D035	一等水準點	0.005	0.055	-0.097
17	竹港大橋	D036	一等水準點	0.007	0.042	-0.092
18	南寮節點	D037	一等水準點	0.003	0.043	-0.086
19	北寮	D040	一等水準點	-0.004	0.061	-0.034
20	慶華加油站	D041	一等水準點	-0.003	0.048	-0.076
21	洪水港	D042	一等水準點	0.006	0.047	-0.069
22	香山節點	X022	一等水準點	-0.003	0.044	-0.050
23	竹圍仔	D045	一等水準點	0.012	0.024	-0.032
24	玄寶大橋	D046	一等水準點	0.012	-0.005	-0.116
25	渡船頭	D047	一等水準點	0.006	0.002	-0.177
26	三角口	D048	一等水準點	0.008	0.011	-0.029
27	合興育苗中心	D050	一等水準點	-0.035	-0.082	-0.066
28	砂崙湖	D051	一等水準點	-0.010	-0.015	-0.010
29	竹厝	D052	一等水準點	0.014	-0.023	-0.108
30	龍港節點	X013	一等水準點	0.000	0.000	0.000

表 2-5 桃竹苗測區已知點坐標較差表 (2/2)

序號	點名	點號	等級	縱坐標差(m)	橫坐標差(m)	橢球高差(m)
31	海尾	D053	一等水準點	-0.010	0.000	-0.031
32	坪仔	D054	一等水準點	0.001	-0.014	-0.024
33	大眾媽	D055	一等水準點	0.000	-0.011	-0.023
34	白沙屯節點	X014	一等水準點	-0.003	-0.006	-0.054
35	啟明國小	1066	一等水準點	0.012	0.010	-0.034
36	通霄精鹽廠	1067	一等水準點	0.007	-0.034	-0.019
37	友愛靈園	1068	一等水準點	-0.002	-0.002	-0.017
38	通灣	1069	一等水準點	0.007	-0.018	-0.011
39	中南	1070	一等水準點	-0.002	-0.016	0.011
40	竹仔林	1071	一等水準點	-0.004	-0.021	0.003
41	番子寮橋	1072	一等水準點	0.010	0.007	-0.039
42	五南社區	1073	一等水準點	0.009	0.018	-0.062
43	苑裡國小	1074	一等水準點	-0.006	0.018	-0.069
44	龍德家商	1075	一等水準點	-0.009	-0.010	-0.050
45	幼獅	1076	一等水準點	-0.007	-0.006	-0.090
46	通天路	1077	一等水準點	0.000	-0.018	-0.087
47	經國加油站	1079	一等水準點	0.001	-0.009	-0.101
48	大甲運動場	1080	一等水準點	-0.041	-0.113	-0.105
49	水汙頭	1081	一等水準點	-0.007	-0.015	-0.143
50	大甲溪橋	1082	一等水準點	-0.001	-0.024	-0.147
51	甲南節點	X101	一等水準點	-0.003	-0.019	-0.113
52	青龍井	G001	一等水準點	-0.002	-0.014	-0.126
53	清水農會倉庫	G002	一等水準點	-0.006	-0.014	-0.163
54	北堤派出所	G003	一等水準點	-0.017	-0.005	-0.195
55	環球大樓	G004	一等水準點	-0.015	-0.029	-0.171
56	台中港節點	X105	一等水準點	-0.026	-0.012	-0.128
57	下草浦	G005	一等水準點	-0.033	-0.006	-0.180
58	南華水泥	G006	一等水準點	-0.030	-0.008	-0.162
59	臨港二號橋	G007	一等水準點	-0.024	-0.013	-0.187
60	麗水派出所	G008	一等水準點	-0.019	-0.021	-0.188
61	全興工業區	G009	一等水準點	-0.015	-0.026	-0.196

表 2-6 臺南測區已知點坐標較差表

序號	點名	點號	等級	縱坐標差(m)	橫坐標差(m)	橢球高差(m)
1	北門節點	X204	一等水準點	0.008	0.097	-0.116
2	五佛殿	G073	一等水準點	-0.007	0.099	-0.099
3	將軍國小	G074	一等水準點	0.012	0.110	-0.112
4	後港派出所	G075	一等水準點	0.004	0.086	-0.135
5	篤厚橋	G076	一等水準點	-0.004	0.093	-0.088
6	七股分駐所	G078	一等水準點	0.004	0.090	-0.172
7	樹農溪橋	G079	一等水準點	0.002	0.073	-0.074
8	國聖大橋	G080	一等水準點	0.003	0.076	-0.105
9	溪埔	G081	一等水準點	0.009	0.080	-0.081
10	成大水工所	G082	一等水準點	-0.001	0.067	-0.101
11	臺南科技工業區	G083	一等水準點	0.015	0.078	-0.127
12	安南	G084	一等水準點	0.007	0.072	-0.121
13	臺南市議會	G086	一等水準點	-0.004	0.000	-0.008
14	臺南節點	X210	一等水準點	0.000	0.000	0.000
15	明和公園	G087	一等水準點	0.000	-0.002	-0.025
16	灣裡濱海陸橋	G090	一等水準點	-0.026	-0.041	-0.066
17	海濱植樹公園	G091	一等水準點	-0.033	-0.037	-0.051
18	茄苳濱海公園	G092	一等水準點	-0.048	-0.057	-0.036
19	尚禮街公園	G093	一等水準點	-0.064	-0.089	-0.044
20	興達港	G094	一等水準點	-0.047	-0.067	-0.102
21	湖內節點	X211	一等水準點	-0.044	-0.080	-0.077
22	竹滬	G095	一等水準點	-0.049	-0.102	-0.076
23	後鄉	G096	一等水準點	-0.069	-0.123	-0.046

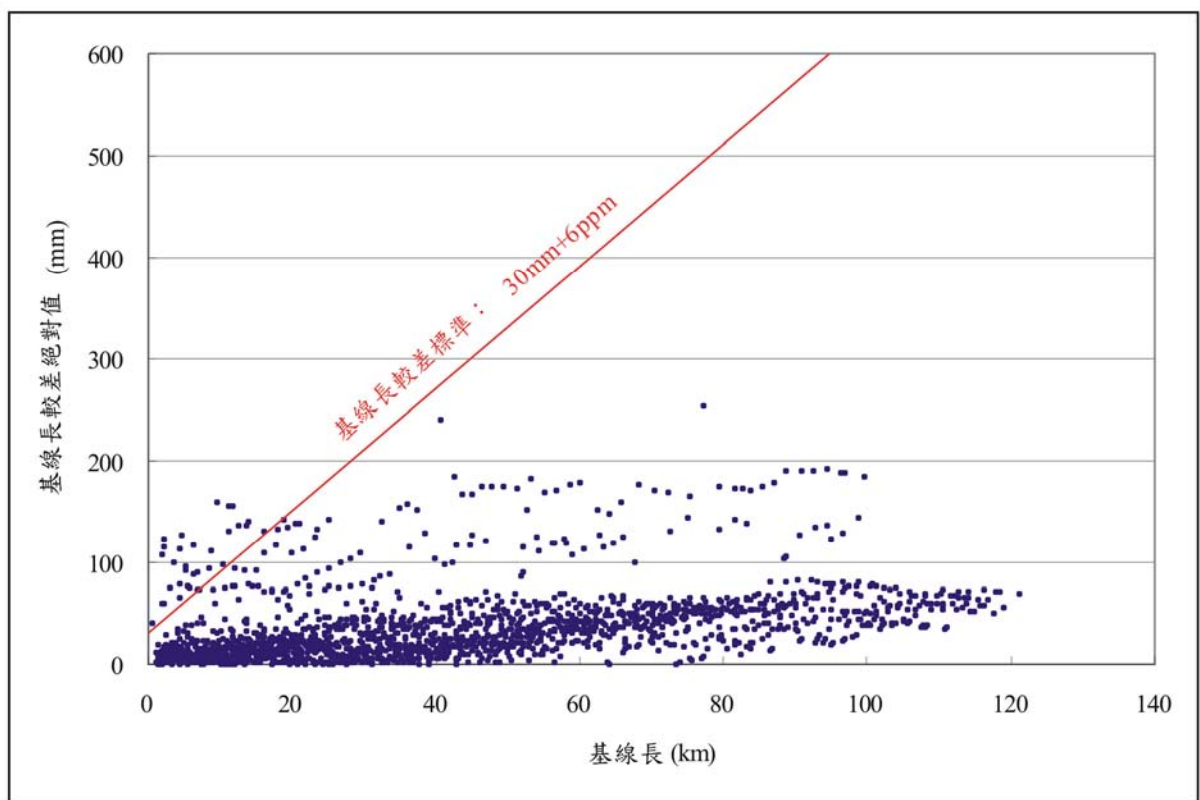


圖 2-9 桃竹苗測區已知控制點基線長較差圖

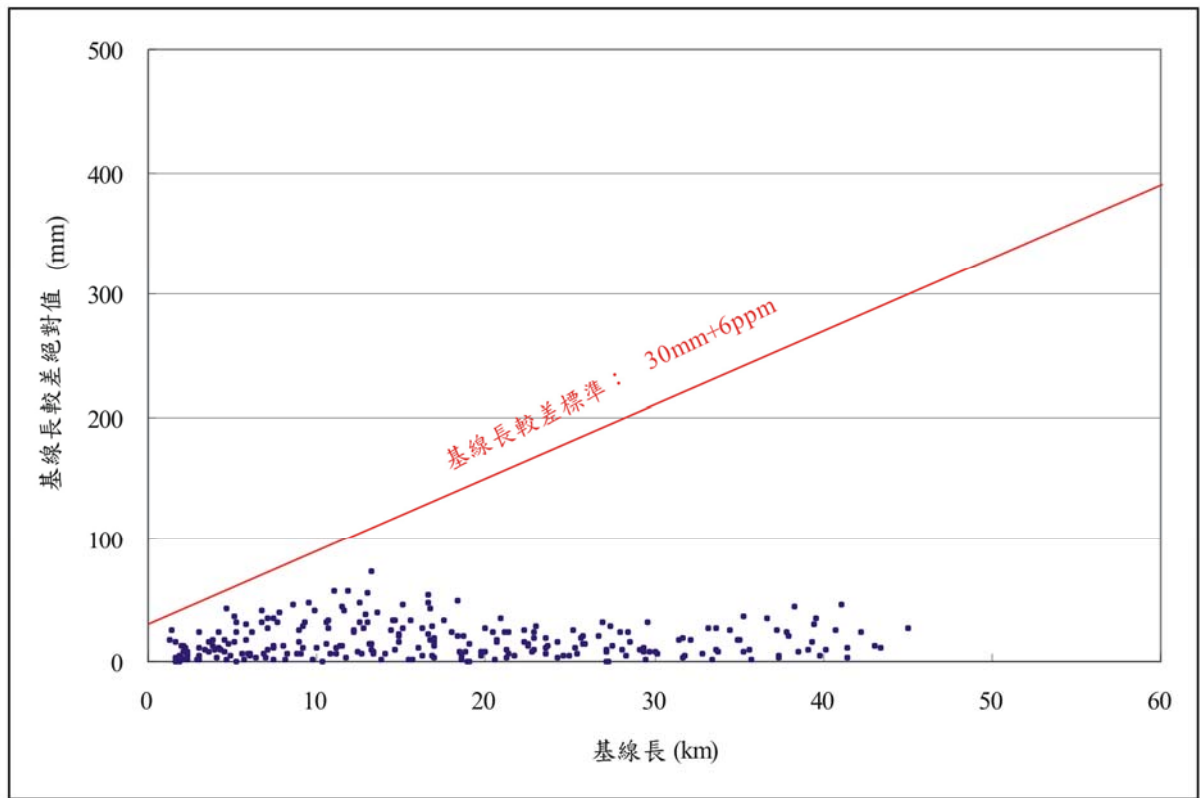


圖 2-10 臺南測區已知控制點基線長較差圖

---

首先以桃竹苗測區來看，參照表 2-5 及圖 2-9 後，可發現已知控制點中 1080、D030 這 2 點未能通過平面坐標檢核外，且檢核其點位基線長較差亦無法達到標準，顯示該 2 點與其他已知點間已有相當差異，因此後續平差時將其視為新點而不予約制。

接著針對臺南測區來進行分析，參照表 2-6 及圖 2-10 的結果，此一測區中的 G073、G074 及 G095、G096 雖未能通平面坐標檢核，但因測區本身為一南北狹長形的測區，檢測坐標與起始約制點位有相當程度的關聯，且其與相鄰點位的基線長檢核均能符合檢測標準，將在後續平差時對其平面坐標仍予以強制套合。

至於橢球高的部分，對於平面坐標不予約制的點位（1080、D030），由於判斷其平面位置已有變動，因此其橢球高檢核是否通過已不具意義，因此對其橢球高將不予約制；而對於其他的已知點來說，參照表 2-5 及表 2-6 中可以發現，有相當多的點位均超過 9.8cm 的標準，但前面已經提到過這可能是因為起始點的影響，在考量無法真正判斷點位的橢球高是否有錯誤的情況下，且為避免影響整體的平差成果（因 GPS 測量主要為測定平面坐標，至於高程部分仍以後續水準測量計算之高程為基準），因此有別於平面坐標採強制附合的方式，對於橢球高部分利用弛約制的方法進行計算，對於已知點的橢球高程賦予其精度為 1cm，以允許平差後已知點位的橢球高程有所變動，以計算新點的橢球高。



### (三) 高程控制測量

#### 1. 作業規範

高程測量採用直接水準測量方式施測，其作業規範依照合約規定如下：

- (1) 儀器採用自動電子水準儀搭配條碼尺自動記錄，儀器最小讀數需在 0.1mm (含) 以下。
- (2) 外業以直接水準測量方式辦理，施測時測段需往返觀測並加讀視距，與前、後視距離均不大於 50 公尺且較差應小於 5 公尺。
- (3) 測量精度每測段往返最大閉合差不得超過  $8\text{mm}\sqrt{K}$  ( $K$  為水準路線之公里數)。
- (4) 閉合水準環線最大閉合差不得超過  $7\text{mm}\sqrt{F}$  ( $F$  閉合水準環線長度公里數)。
- (5) 附合水準路線最大閉合差不得超過  $8\text{mm}\sqrt{L}$  ( $L$  為附合水準路線長度公里數)。
- (6) 最小約制平差成果之標準化改正數應小於 3。

#### 2. 水準測量

水準外業測量採用 Zeiss DiNi<sup>®</sup>12 及 Leica DNA03 各 1 部進行施測，其施測路線自一等水準點施測至新設控制點上，至於一等水準點的檢測工作則依合約規定採用「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」的觀測成果；水準外業測量的步驟如圖 2-11。

對於水準觀測資料處理，於外業測量完成後，必須對觀測資料加以整理、檢查，以確定資料是否合乎規範要求；在此階段中檢查之內容分為二部分：

- (1) 檢查單一測段之觀測資料：內容包括往返閉合差精度、起終點號是否相符等項目，亦利用上述程式自動對單一測段往返觀測資料進行檢查工作，若有不符合情形，會於輸出檔內出現警告訊息。
- (2) 附合水準路線最大閉合差檢查：經檢查所有單一測段之觀測資料，其單一測段往返閉合差皆符合規範要求，最後即可進行附合水準路線閉合差檢查工作，已確保引用檢測之已知水準點能符合所需精度要求。



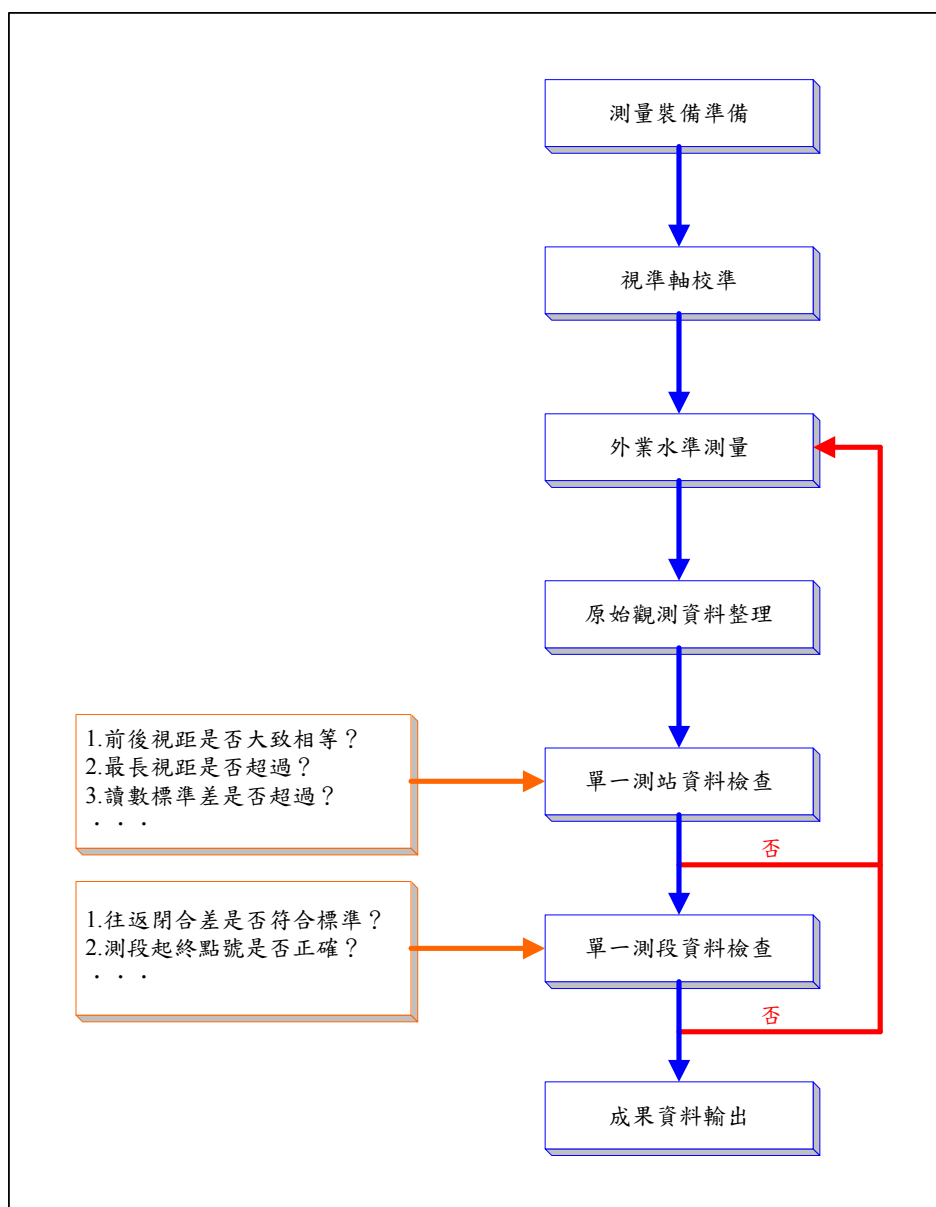


圖 2-11 水準測量作業流程圖

在實際測量過程中，本計畫僅針對配合 LiDAR 測量作業所新引測之控制點進行水準測量，在桃竹苗測區計有 3 個測段（1068-K098、K098-1069 及 D027-H079），臺南測區則有 1 個測段（A002-G080），總計共 4 個測段進行水準測量，其餘均直接引用內政部國土測繪中心辦理之「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」案之測量成果；本次計畫水準路線如圖 2-12、圖 2-13。

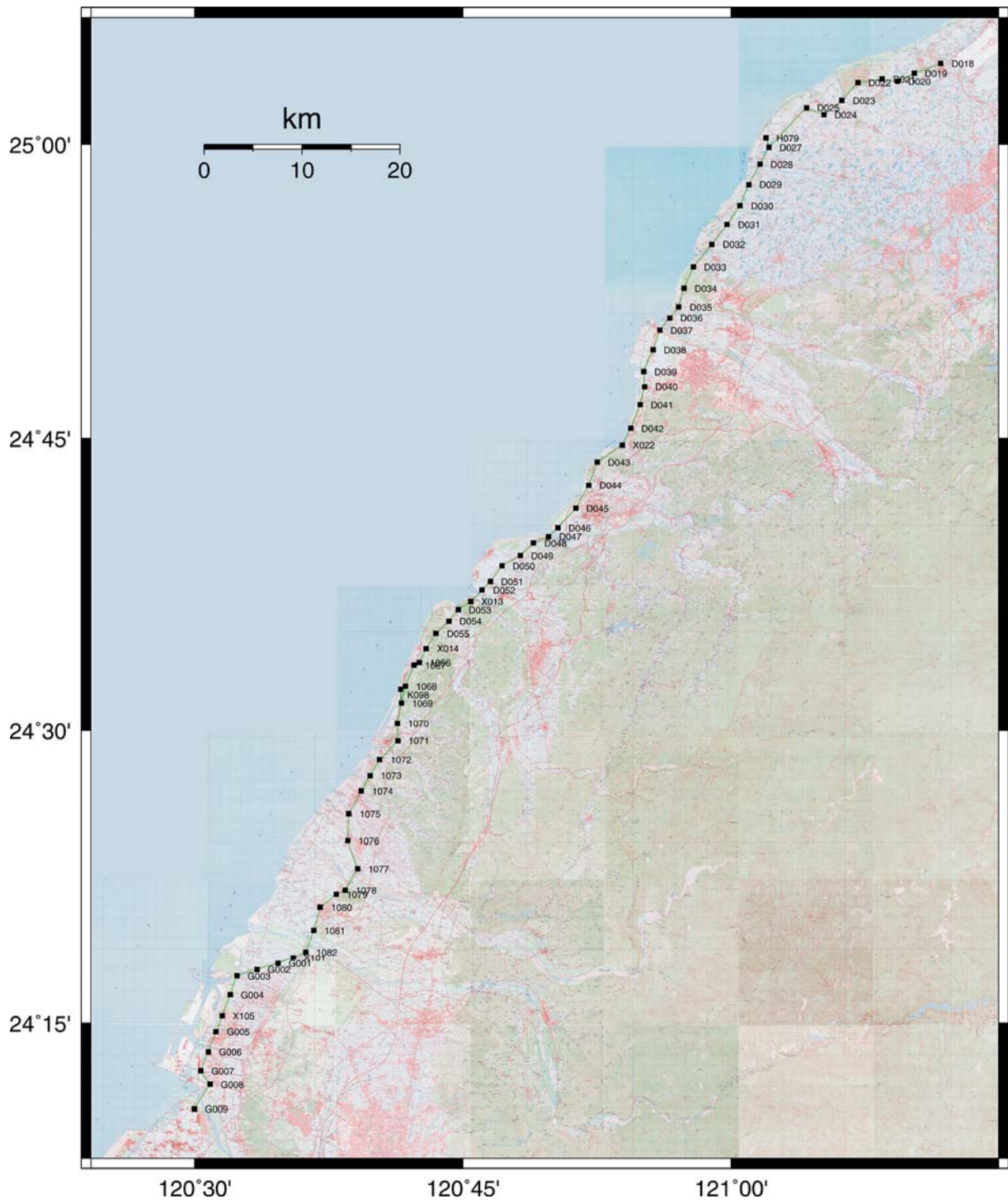


圖 2-12 桃竹苗測區水準路線圖

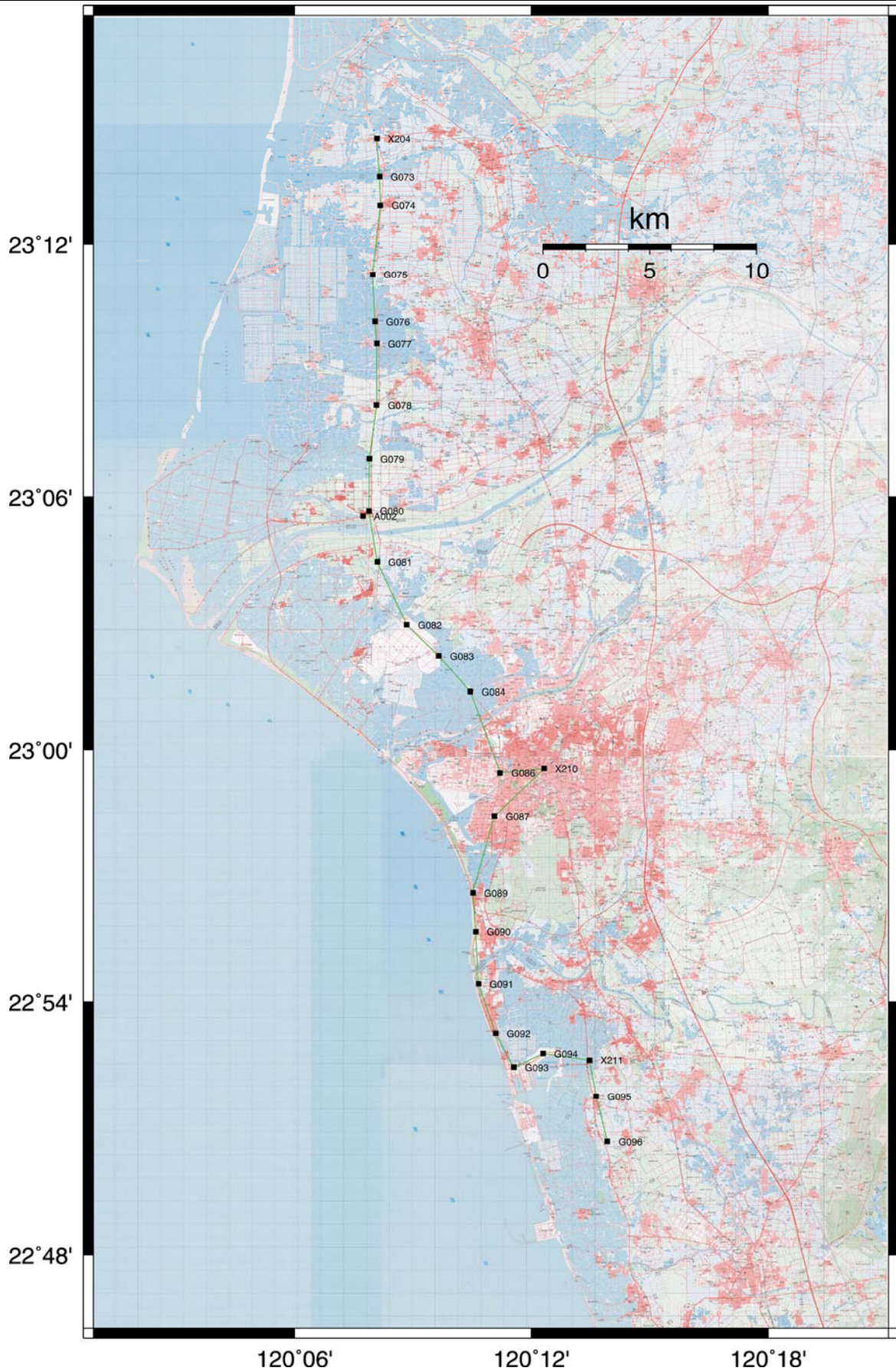


圖 2-13 臺南測區水準路線圖



由於引用自「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」案的測量成果，其觀測結果之測段往返閉合差均需符合「一等水準測量作業規範」規定之  $2.5\text{mm}\sqrt{K}$ ，遠高於本計畫規範要求之  $8\text{mm}\sqrt{K}$ ，因此直接引用並不再進行檢核，而本計畫所施測 4 個測段的成果檢核如表 2-7，則由表 2-7 中可知本次計畫施測的 4 個測段成果均能滿足合約規範之要求。

表 2-7 水準測量測段往返閉合差一覽表

起點點號	終點點號	往程觀測高差 (m) : A	返程觀測高差 (m) : B	往、返觀測高差之較差 (mm) : A-B	往、返觀測距離之平均 (km) : K	本案規範容許誤差值 $8\text{mm}\sqrt{K}$	是否符合本案規範值： $(A-B)/\sqrt{K} < (8\text{mm}\sqrt{K})$	往、返觀測高差之平均 (m) : $(A+B)/2$
1068	K098	-13.4565	13.4575	1.0	0.6	6.0	是	-13.4570
K098	1069	5.1311	-5.1312	-0.1	1.7	10.3	是	5.1312
D027	H079	-6.1099	6.1105	0.6	1.1	8.5	是	-6.1102
A002	G080	-1.6887	1.6885	-0.2	0.4	5.3	是	-1.6886

註：表中抬頭藍色字體部分，表示該欄位中計算數值或判定標準；其中前 3 段為桃竹苗測區的測段，第 4 段則屬臺南測區。

### 3. 已知水準點檢測成果

經由前述資料檢核後，我們得知原始水準觀測量符合相關精度要求，接著檢核所聯測之一等水準點的公告高程資料，以判斷其精度是否符合合約規定之  $8\text{mm}\sqrt{K}$ ，並作為後續點位高程計算的基礎，其檢測結果如表 2-8、表 2-9。

在表 2-8、表 2-9 中我們可以發現，對於檢測一等水準點的公告高程來說，已有許多點位的精度無法滿足合約規定之  $8\text{mm}\sqrt{K}$  的要求，此一情況在臺南測區的點位更為嚴重，顯示一等水準點的公告高程在經過 6、7 年後，受地層下陷或其它地殼活動的影響，已有相當的變化，此一情形在 95 年度辦理之「潮間帶基本地形測量技術發展計畫」中即以發生，因此配合該案採用的方式及本案引用的資料，對於後續使用的控制點高程成果，直接以「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」案所計算出的一等水準點高程結果為基礎，並計算出剩餘點位的高程成果。

表 2-8 桃竹苗測區已知水準點檢測成果表（公告高程）（1/2）

測段編號	起點點名	終點點名	起、終點公告高程值之高差(mm)：C	往、返觀測高差之平均(mm)：D	公告值與觀測值高差之較差(mm)：C-D	往、返觀測距離之平均(km)：K	本案規範容許誤差值 $8\text{mm}\sqrt{K}$	是否符合本案規範值： $(C-D)/\sqrt{K} < (8\text{mm})/\sqrt{K}$
1	D018	D019	3.9820	3.9737	8.3	2.8	5.0	是
2	D019	D020	20.3680	20.3601	7.9	1.8	6.0	是
3	D020	D021	-4.7640	-4.7663	2.2	1.6	1.7	是
4	D021	D022	-11.6490	-11.6412	-7.8	2.4	5.1	是
5	D022	D023	3.9544	3.9545	-0.1	2.4	0.1	是
6	D023	D024	-0.6973	-0.6951	-2.2	2.6	1.4	是
7	D024	D025	-10.6437	-10.6447	1.0	2.2	0.7	是
8	D025	D027	-4.8090	-4.8149	6.0	5.2	2.6	是
9	D027	D028	-4.3521	-4.3488	-3.3	2.0	2.3	是
10	D028	D029	0.4819	0.4861	-4.2	2.4	2.7	是
11	D029	D030	9.7230	9.7217	1.4	2.2	0.9	是
12	D030	D031	3.9976	3.9953	2.3	2.3	1.5	是
13	D031	D032	-6.0971	-6.0943	-2.9	2.4	1.9	是
14	D032	D034	-3.9927	-3.9865	-6.2	5.4	2.7	是
15	D034	D035	-7.9047	-7.9022	-2.6	2.0	1.8	是
16	D035	D036	-0.9676	-0.9711	3.5	1.4	3.0	是
17	D036	D037	-1.2818	-1.2783	-3.5	1.5	2.9	是
18	D037	D040	0.9132	0.9152	-2.0	5.9	0.8	是
19	D040	D041	-0.3847	-0.3826	-2.0	1.8	1.5	是
20	D041	D042	0.4188	0.4223	-3.5	2.5	2.2	是
21	D042	X022	-0.4651	-0.4594	-5.8	1.9	4.1	是
22	X022	D045	0.0931	0.0957	-2.6	8.1	0.9	是
23	D045	D046	-0.4412	-0.4418	0.6	2.6	0.4	是
24	D046	D047	5.0707	5.0737	-3.0	1.4	2.5	是
25	D047	D048	5.1119	5.1075	4.4	1.7	3.4	是
26	D048	D050	-4.2592	-4.2672	8.1	3.9	4.1	是
27	D050	D051	-4.9852	-4.9770	-8.2	2.0	5.8	是
28	D051	D052	-2.6499	-2.6608	10.9	1.2	10.2	否
29	D052	X013	14.0135	14.0069	6.6	1.6	5.2	是
30	X013	D053	-6.6174	-6.6439	26.5	1.5	21.6	否
31	D053	D054	44.2867	44.3153	-28.6	1.5	23.4	否
32	D054	D055	-1.0992	-1.1010	1.8	1.7	1.3	是
33	D055	X014	-39.6993	-39.7271	27.8	1.8	20.6	否
34	X014	1066	7.1406	7.1778	-37.2	2.0	26.5	否
35	1066	1067	-11.0424	-11.0611	18.7	0.9	19.3	否
36	1067	1068	10.6662	10.6968	-30.6	2.3	20.1	否
37	1068	1069	-8.3165	-8.3201	3.6	1.7	2.7	是
38	1069	1070	3.1290	3.1316	-2.6	2.1	1.8	是
39	1070	1071	-1.0613	-1.0668	5.5	1.9	4.0	是
40	1071	1072	-1.2882	-1.2964	8.2	2.8	4.9	是

註：表中抬頭藍色字體部分，表示該欄位中計算數值或判定標準；表中若該列以紅色字體表示時，則表示該測段未符合檢核標準。

表 2-8 桃竹苗測區已知水準點檢測成果表（公告高程）（2/2）

測段編號	起點點名	終點點名	起、終點公告高程值之高差(mm)：C	往、返觀測高差之平均(mm)：D	公告值與觀測值高差之較差(mm)：C-D	往、返觀測距離之平均(km)：K	本案規範容許誤差值 $8\text{mm}\sqrt{K}$	是否符合本案規範值： $(C-D)/\sqrt{K} < (8\text{mm})/\sqrt{K}$
41	1072	1073	3.4463	3.4633	-17.0	1.9	12.4	否
42	1073	1074	-0.3517	-0.3608	9.1	1.7	7.0	是
43	1074	1075	3.1293	3.1293	-0.1	2.7	0.0	是
44	1075	1076	15.4579	15.4522	5.7	2.9	3.4	是
45	1076	1077	27.9003	27.8965	3.8	3.1	2.2	是
46	1077	1079	-14.6309	-14.6275	-3.4	3.4	1.9	是
47	1079	1080	-8.8907	-8.8904	-0.3	2.1	0.2	是
48	1080	1081	20.9212	20.9196	1.6	2.5	1.0	是
49	1081	1082	3.5014	3.5007	0.7	2.3	0.5	是
50	1082	X101	-20.9820	-20.9817	-0.3	1.5	0.2	是
51	X101	G001	-18.1402	-18.1427	2.6	1.8	1.9	是
52	G001	G002	-18.5982	-18.5973	-0.9	2.1	0.6	是
53	G002	G003	-1.1516	-1.1550	3.5	2.1	2.4	是
54	G003	G004	-0.1958	-0.1980	2.2	1.9	1.6	是
55	G004	X105	-0.1162	-0.1144	-1.8	2.6	1.1	是
56	X105	G005	0.6788	0.6794	-0.6	1.6	0.5	是
57	G005	G006	-0.4980	-0.5084	10.4	2.0	7.3	是
58	G006	G007	1.8085	1.7978	10.7	2.0	7.7	是
59	G007	G008	-0.4383	-0.4347	-3.6	1.8	2.7	是
60	G008	G009	-0.8070	-0.8052	-1.8	2.7	1.1	是

註：表中抬頭藍色字體部分，表示該欄位中計算數值或判定標準；表中若該列以紅色字體表示時，則表示該測段未符合檢核標準。

表 2-9 臺南測區已知水準點檢測成果表 (公告高程)

測段編號	起點點名	終點點名	起、終點公告高程值之高差(mm): C	往、返觀測高差之平均(mm): D	公告值與觀測值高差之較差(mm): C-D	往、返觀測距離之平均(km): K	本案規範容許誤差值 $8\text{mm}\sqrt{K}$	是否符合本案規範值: $(C-D)/\sqrt{K} < (8\text{mm}\sqrt{K})$
1	X204	G073	-0.2827	-0.2192	-63.6	1.9	46.6	否
2	G073	G074	0.7239	0.7194	4.5	1.4	3.9	是
3	G074	G075	-0.4382	-0.4067	-31.5	3.1	17.9	否
4	G075	G076	1.5236	1.5424	-18.8	2.1	12.9	否
5	G076	G078	-0.9700	-0.9778	7.8	3.9	4.0	是
6	G078	G079	0.7029	0.7228	-19.9	2.4	12.9	否
7	G079	G080	2.8944	2.8580	36.4	2.4	23.8	否
8	G080	G081	-2.7561	-2.7929	36.8	2.5	23.2	否
9	G081	G082	0.3154	0.3524	-37.0	3.9	18.8	否
10	G082	G083	1.3630	1.2761	86.9	3.2	49.0	否
11	G083	G084	-0.3846	-0.3704	-14.2	2.1	9.7	否
12	G084	G086	-2.1892	-2.0790	-110.2	4.0	55.1	否
13	G086	X210	10.6327	10.6753	-42.6	2.4	27.4	否
14	X210	G087	-11.1114	-11.1575	46.1	4.5	21.8	否
15	G087	G090	2.6026	2.5927	9.9	5.5	4.2	是
16	G090	G091	-0.1228	-0.1216	-1.2	2.3	0.8	是
17	G091	G092	-0.7558	-0.7529	-2.9	2.3	1.9	是
18	G092	G093	-1.8280	-1.8356	7.7	1.9	5.5	是
19	G093	G094	0.9816	0.9621	19.5	1.5	16.1	否
20	G094	X211	0.5198	0.5284	-8.6	2.6	5.4	是
21	X211	G095	0.2190	0.2535	-34.5	1.7	26.5	否
22	G095	G096	3.1661	3.1796	-13.5	2.1	9.4	否

註：表中抬頭藍色字體部分，表示該欄位中計算數值或判定標準；表中若該列以紅色字體表示時，則表示該測段未符合檢核標準。

#### (四) 控制點成果

經由前述各項計算後，可計算出各控制點的坐標及高程，本次計畫採用的控制點原則上仍以內政部的一等水準點為原則，若檢測無誤時則採用其公告的 TWD97 坐標為其平面坐標，高程則以「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」案檢測的高程為基準，對於本案新設的控制點，或是檢測不合格的點位，則依 GPS 及水準測量成果計算其坐標與高程，總計桃竹苗測區共 70 個控制點，臺南測區共 26 個控制點。表 2-5 與表 2-6 中平面坐標檢測坐標分量較差值大於 98mm 之點位則重新進行平差計算；而表 2-1 與表 2-2 中無公告坐標與高程之點位，則經計算後獲得點位之新坐標與高程。



## 第參章 陸域範圍測量

### 一、陸域工作範圍

空載光達的作業受天候條件之影響較航空攝影測量為小，這個特性對於位處亞熱帶多雲的臺灣，實為重要，相較於航空攝影或衛星遙測影像而言，數據獲取更具彈性與效率。由於空載雷射掃描儀使用GPS、IMU及全面數值化之特色，可快速計算出獲取的資料，這樣的效能對變化快速的潮間帶地區資料獲取有極大助益。本案利用光達技術進行陸域範圍的資料獲取，作業範圍分北、南兩區，北區自桃園老街溪口北岸端至彰化大肚溪出海口南岸端（北端需與「96年度領海及鄰接區海域基本圖測量工作」計畫原規劃測區範圍互相重疊約100公尺之範圍，南端需與「潮間帶地形測繪先導計畫」互相重疊約100公尺之範圍），南區自臺南將軍漁港至高雄興達港（北端需與95年度「潮間帶基本地形測量技術發展計畫」互相重疊約100公尺之範圍），西起中央氣象局預報之當月當地相對低潮位線，其作業時間可任擇當地當月所出現7次相對低潮位為之，惟需於上開低潮位之潮時的前後各約2小時內進行，東至岸線特徵物，岸線特徵物至少需符合下列要求之一（以能與1/5000像片基本圖能明確且完整銜接為主）：1、海岸堤防向陸域延伸100公尺範圍。2、濱海道路：如省道、縣道或鄉道等公路。3、山稜線、溝渠或宗地界線明顯之處。4、地形、植被有明顯變化之處。作業時應依交通部中央氣象局發布當地潮汐預報漲、退潮時間進行測量。依上述要求作業範圍數化區陸域範圍如圖3-1所示，北南兩區範圍面積分別約為131平方公里及25平方公里。

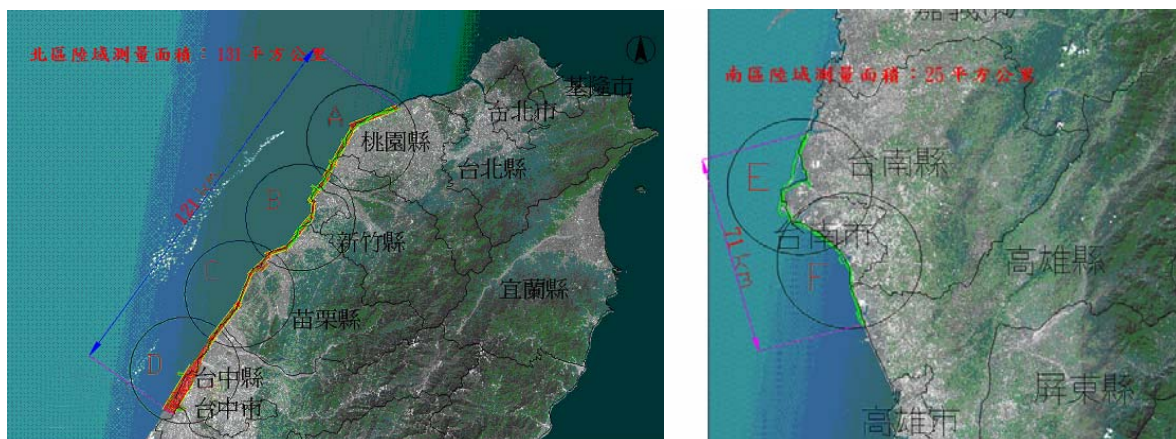


圖 3-1 陸域作業範圍示意圖

## 二、陸域工作項目及內容

### (一) 飛航規劃與申請

空載光達資料獲取前需要有完整的飛航規劃，考慮的內容包括掃描區範圍、實施地形的高度、預定規劃的載具航高、掃描儀掃描角度、每一航線涵蓋地面寬度、航線間的重疊率、交叉航線位置、點雲分布密度及配合潮汐漲退潮資料與航區管制等種種條件，故於實際進行飛航之前，必須規劃詳細的飛航資訊及展繪飛航規劃圖及提出飛航申請，以確定飛航任務之可行性。作業內容如下所敘：

#### 1. GPS 衛星觀測時段規劃

依工作規格需求及上述種種飛航考慮因素外，為使空載光達掃描獲取最佳資料，於作業時間之規劃上亦需考量，影響最大者為 GPS 之觀測時段；為使載具之飛行軌跡能獲得最佳之差分 GPS 資料解算品質，因此必須先針對作業區域上空之衛星幾何分佈情形進行了解，本團隊利用 **Trimble Planning** 軟體，下載最新之衛星廣播星曆，即可事先對衛星之顆數時段表、出沒軌跡圖、幾何精度指標（PDOP 值）與出沒高度圖等資訊規劃最佳之觀測時段。如圖 3-2，為 GPS 衛星觀測時段規劃參考圖，一般最重要為 DOP 值之分佈，需剔除 DOP 大於 3 之時段以進行掃描作業，但本案由於必須搭配潮汐時間，故將 DOP 值之分佈放寬至小於 3.5 下，即可進行施測。

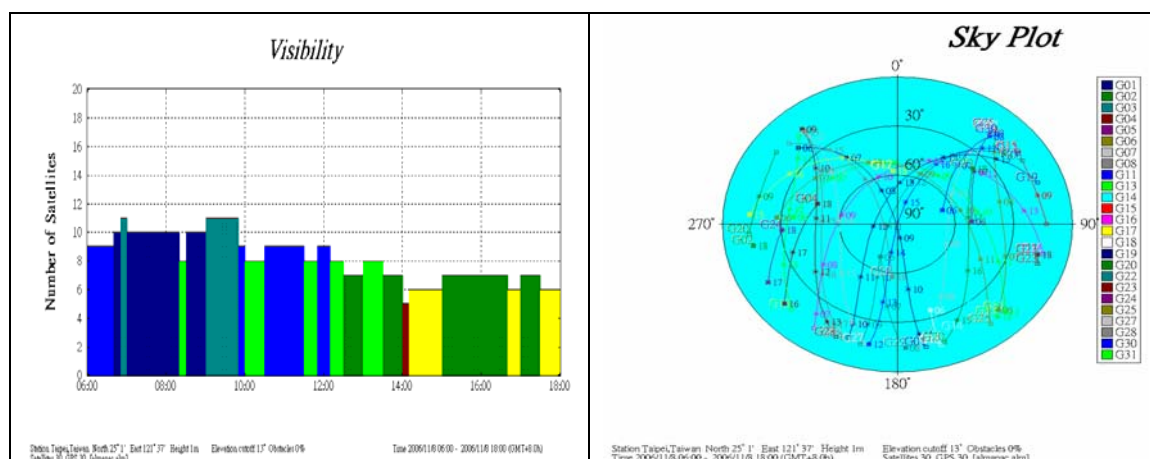


圖 3-2 GPS 衛星觀測時段規劃參考圖(1/2)

(左)GPS 衛星顆數時段表(右)GPS 衛星出沒軌跡圖

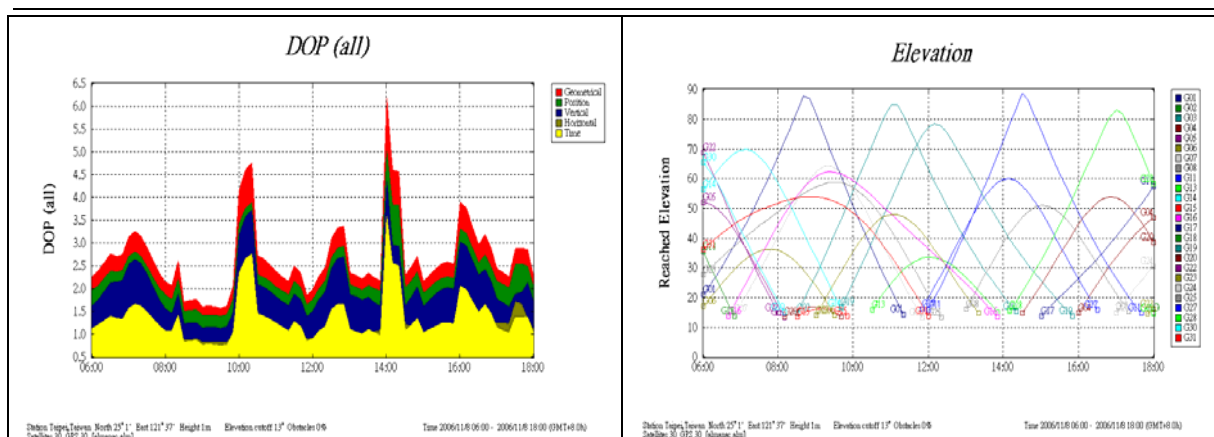


圖 3-2 GPS 衛星觀測時段規劃參考圖(2/2)

(左) GPS 衛星幾何精度指標(PDOP) (右) GPS 衛星出沒高度圖

## 2. 潮汐資料蒐集

本案以光達 (LiDAR) 方法進行施測作業，工作範圍為當地最低潮位線以東之區域，作業時需依交通部中央氣象局發布當地潮汐預報漲、退潮時間進行測量，以儘可能獲取高、低潮位線位置。本公司收集施測地點附近之潮汐預報，以氣象局潮位站預報資料為主，為針對岸線位置進行補測，本公司另規劃一當月最低潮時段，以獲取最大範圍之潮間帶面積，表 3-1 為本案實際飛航掃描資料獲取時潮汐資料及施測狀況。

表 3-1 本案 LiDAR 飛航掃描資料獲取時程表

潮位站	低潮位時間			高潮位時間			備註
	日期	時間	作業執行情形	日期	時間	作業執行情形	
北部作業區	竹圍	4月6日	17:04	飛航掃描	4月6日	10:45	飛航掃描
		4月7日	17:41	飛航掃描	4月7日	11:19	飛航掃描完成
		7月2日	16:02	飛航掃描	-	-	-
		7月3日	16:55	飛航掃描完成	-	-	-
新竹	4月6日	17:21	飛航掃描	4月6日	10:52	飛航掃描	
	4月7日	17:59	飛航掃描完成	4月7日	11:27	飛航掃描完成	
外埔	4月6日	17:20	飛航掃描	4月6日	10:55	飛航掃描	
	4月7日	17:58	飛航掃描	4月7日	11:28	飛航掃描	
	4月8日	18:36	飛航掃描完成	4月8日	12:03	飛航掃描	
	-	-	-	8月3日	12:02	飛航掃描	
台中	4月5日	16:38	飛航掃描	4月8日	12:12	飛航掃描完成	
	4月8日	18:33	飛航掃描完成	-	-	-	
	-	-	-	8月18日	11:47	飛航掃描完成	
南部作業區	日期	時間	作業執行情形	日期	時間	作業執行情形	備註
將軍	3月11日	18:40	飛航掃描完成	3月11日	12:48	飛航掃描	
	-	-	-	3月12日	13:24	飛航掃描	
	-	-	-	3月13日	14:05	飛航掃描完成	

作業時間皆為97年

### 3. 航線設計與飛航參數規劃

圖 3-3 為飛航規劃流程圖，圖 3-4 則為航線規劃參數。規範要求實際飛航時至少應有 2 個 GPS 基站同步接收 GPS 觀測量，基站與飛航範圍應小於 20 公里，因飛航掃描作業時間須符合規範所述之須於高/低潮位之潮時的前後各約 2 小時內進行，因此每日作業時間皆少於 4 小時，所以規劃為六個區域分別執行。分為 A、B、C、D、E、F，每個區域由直徑 35 公里的圓組成，各區域範圍飛航掃描參數如表 3-2 所示。

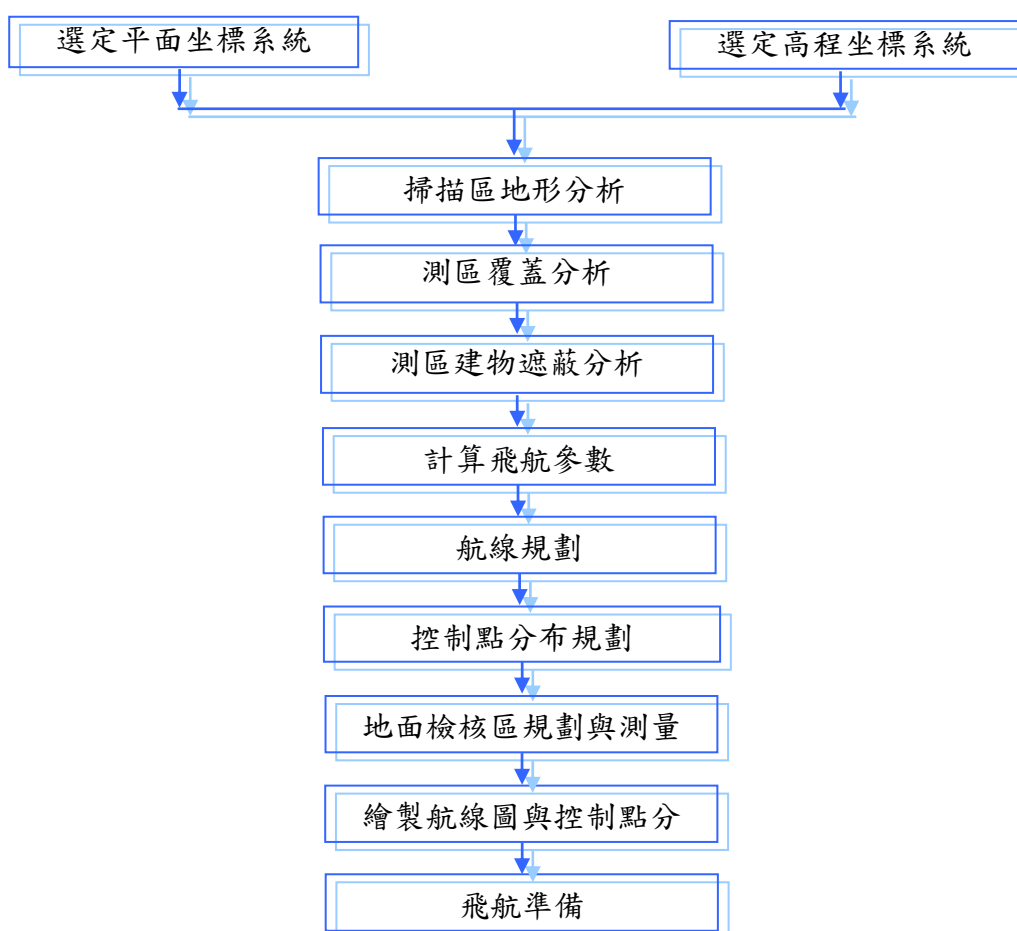


圖 3-3 飛航規劃流程圖



表 3-2 潮間帶飛航掃描參數

飛航區域	航線數	離地高 (m)	航速 (KTS)	掃描角度 (deg.)	雷射脈衝率 (KHz)	掃描頻率 (Hz)	掃描帶寬 (m)	重疊率 (%)
A	11	1000	110	36	71	41	650	40
B	18	1000	110	36	71	41	650	40
C	16	1000	110	36	71	41	650	40
D	11	1000	110	36	71	41	650	40
E	11	1000	110	36	71	41	650	40
F	9	1000	110	36	71	41	650	40
Total	76							

The screenshot displays the 'Plan Fixed Survey Grid' software interface. It features a top navigation bar with 'Add New Area', 'Create Areas from DXF', and 'Remove Area' buttons. Below this is an 'Active Area' section showing 'Area 1 of 1'. The main interface is divided into three columns: 'Flight Profile', 'LIDAR Settings', and 'Camera Settings'. Each column contains several adjustable parameters with numerical values. At the bottom, there is a 'Survey Totals' section with summary statistics and a 'Costs' section with radio buttons for 'Use Swath Area' and 'Use AOI Area', along with 'Cost per Acre', 'Cost per Hour', 'Area Cost', and 'Time Cost' fields. The interface concludes with 'Apply', 'Help', and 'Close' buttons.

Flight Profile		LIDAR Settings		Camera Settings	
Altitude (m AGL)	1000	System PRF (kHz)	71.00	Photo Overlap (%)	75
Pass Heading (deg)	127.97	Scan Freq (Hz)	41	Line Spacing	1
Overlap (%)	40	Scan Angle +/-	18	Line Overlap (%)	41.55
Speed (kts)	110	Scan Offset	0	Pixel Size X (m)	0.164
Turn Time (min)	5	Desired Res (m)	0.72	Pixel Size Y (m)	0.164
Passes	9	Cross Track Res	0.751	Trigger Dist (nmi)	0.09
Pass Spacing (m)	389.9	Down Track Res	0.69	Trigger Time (sec)	2.798
		Swath (m)	649.84		

Survey Totals			
Total Passes	9	Total Length (km)	60.842
Total Frames	365	Total Flight Time	01:13:33
		Swath Area (km <sup>2</sup> )	23.722
		AOI Area (km <sup>2</sup> )	390.573
		Total Laser Time	00:17:55

Costs			
<input type="radio"/> Use Swath Area	Cost per Acre	0	Area Cost
<input checked="" type="radio"/> Use AOI Area	Cost per Hour	0	Time Cost
			\$0
			\$0

圖 3-4 航線規劃參數

各區飛行航線規劃圖如圖 3-5~圖 3-8 所示，圖中之藍色及紅色大圓為各規劃基站 20 公里涵蓋範圍。

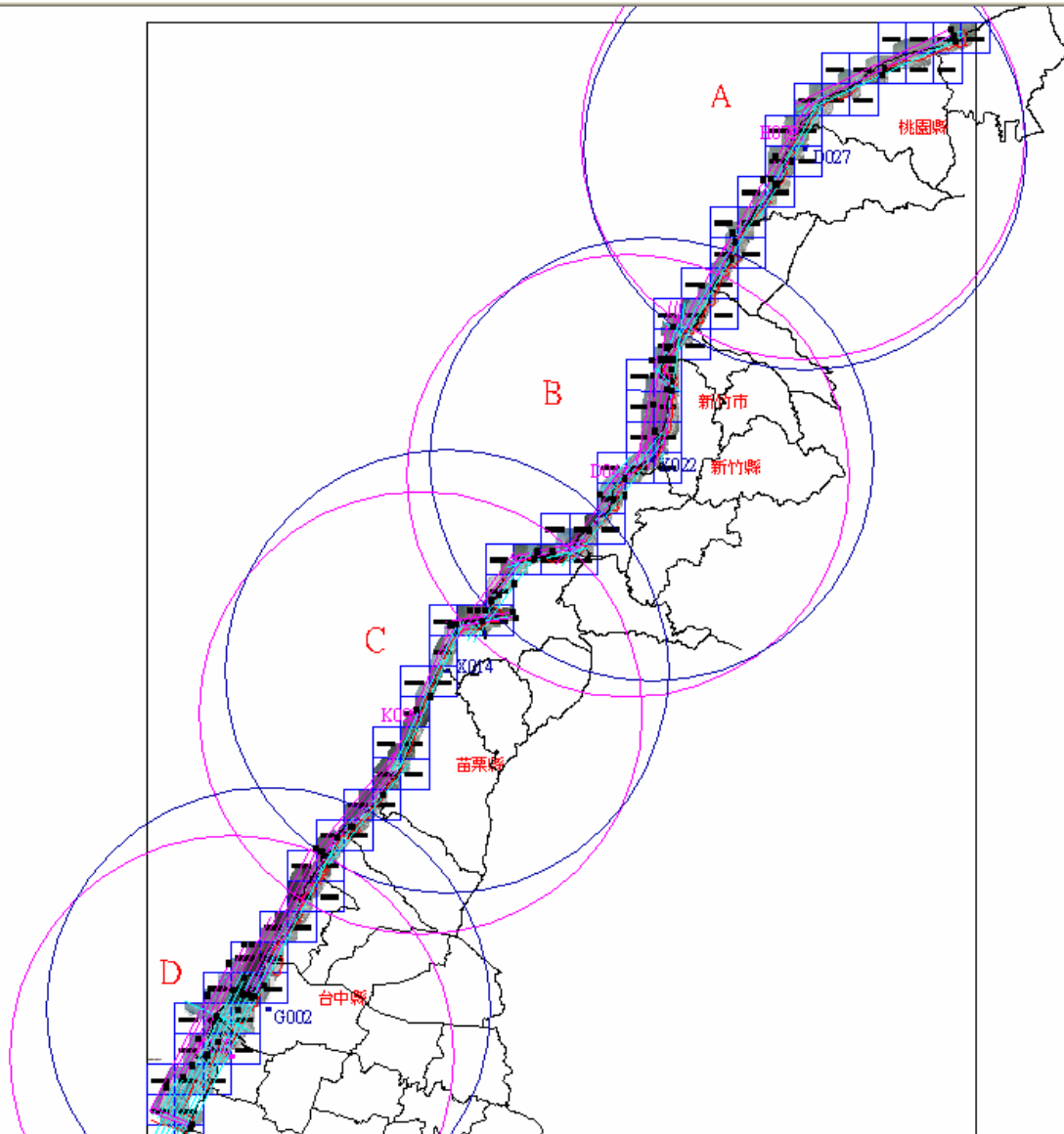


圖 3-5 北區飛行航線規劃圖

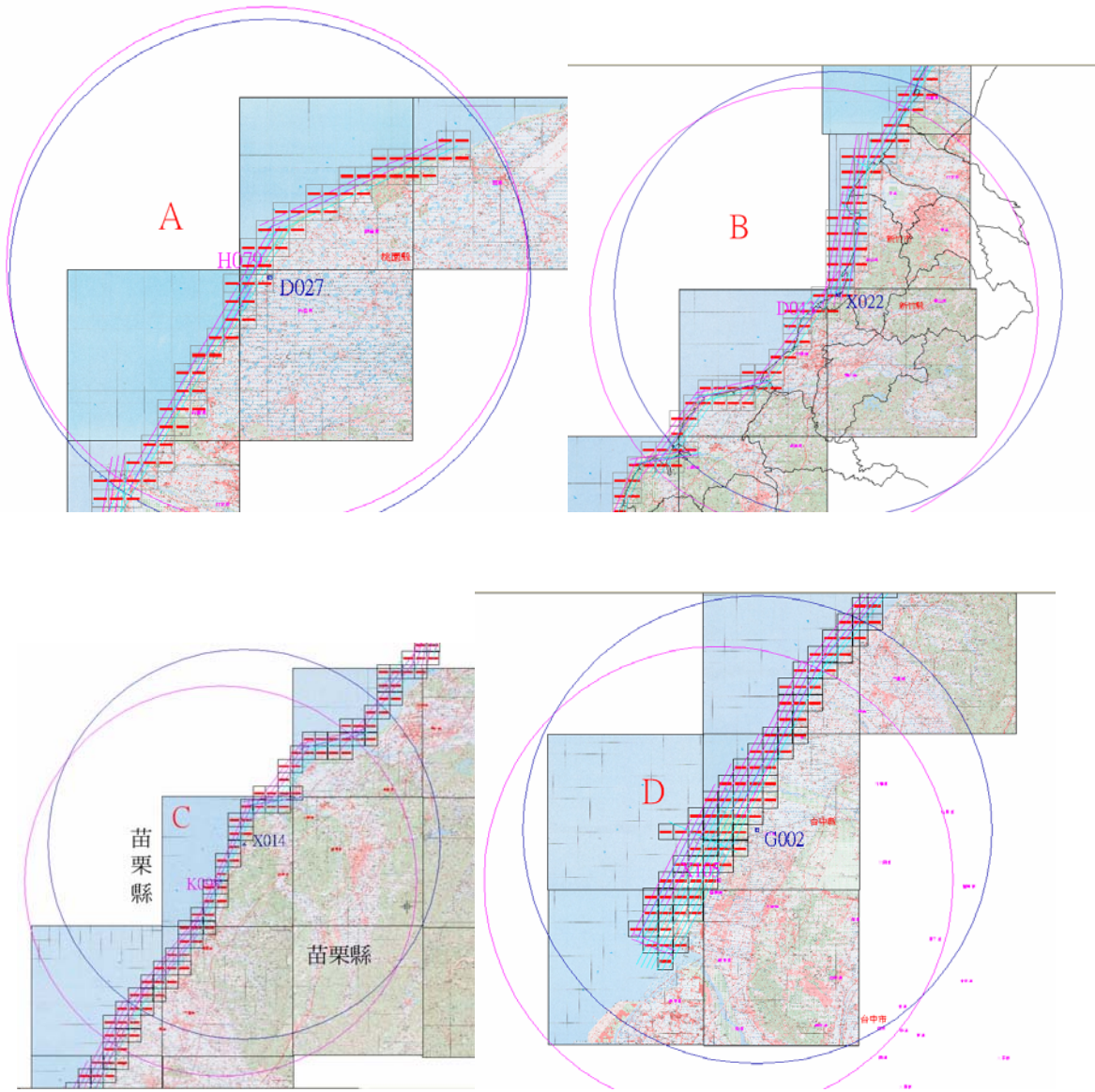


圖 3-6 北區 A、B、C、D 區飛行航線規劃圖

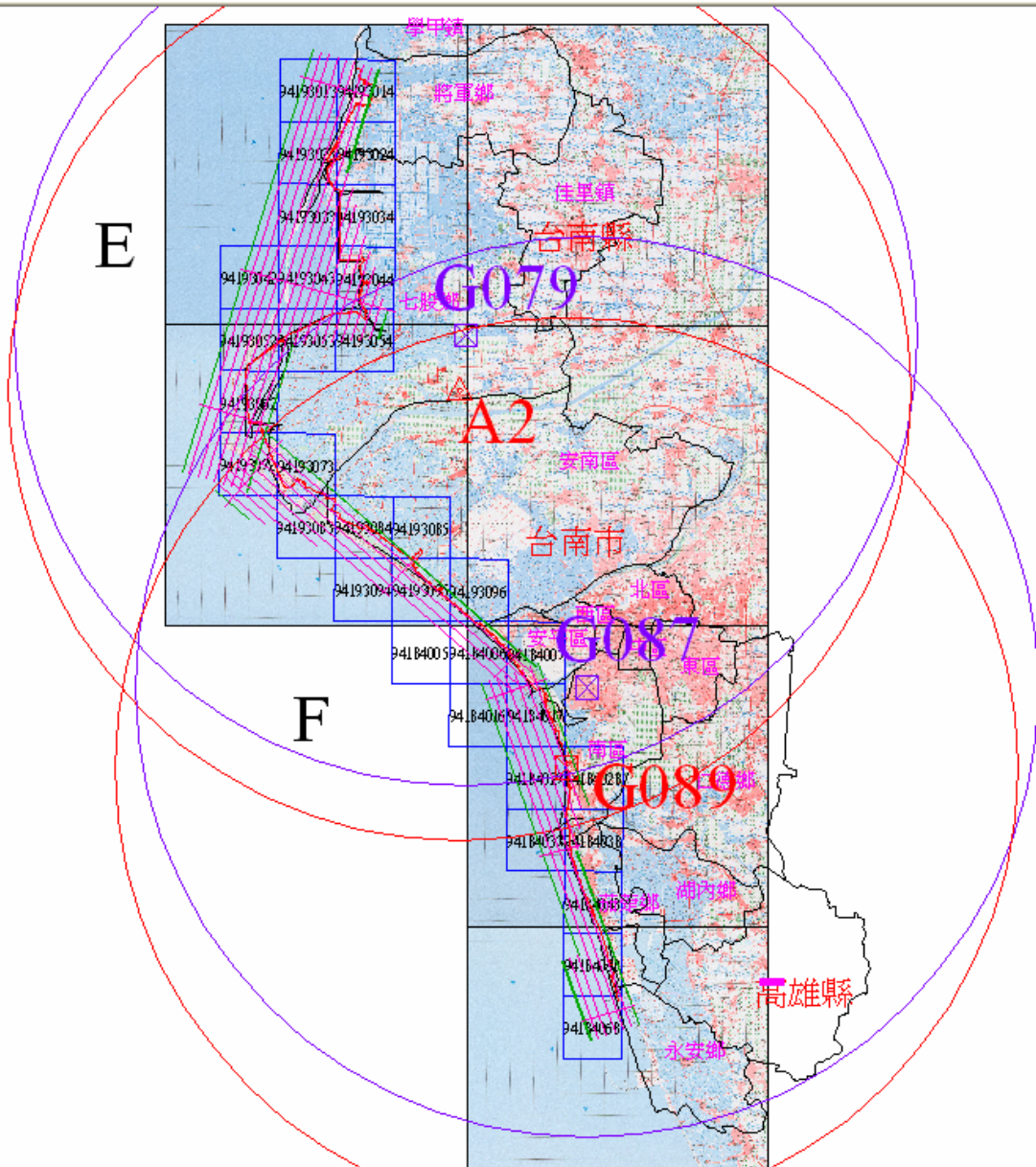


圖 3-7 南區飛行航線規劃圖



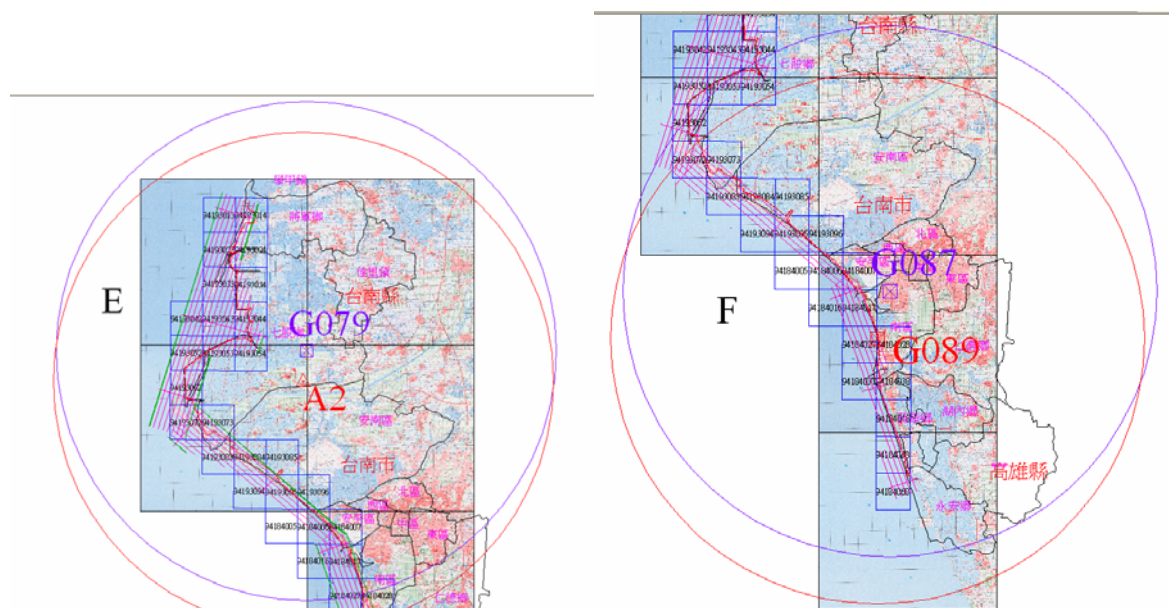


圖 3-8 南區 E、F 區飛行航線規劃圖

#### 4. 飛航申請

依照作業設備裝卸、飛機起降及系統率定之工作需求，配合空載 LiDAR 資料獲取的飛航地點；因此飛航申請包括：

- (1) 台北松山機場、台中清泉崗機場及高雄小港機場，進行掃描設備之裝卸、飛機起降。
- (2) 彰濱率定場為 Optech ALTM 30/70 系統雷射掃描前之儀器率定場所。
- (3) 桃園、新竹、苗栗、台中及臺南潮間帶計畫區上空，實際獲取 LiDAR 點雲資料地點。

依上述資料獲取地點，配合大鵬航空股份有限公司（以下簡稱大鵬航空）飛航作業，由本公司行文向大鵬航空提出，再由大鵬航空向民航局提出申請。

#### (二) 率定飛航

##### 【ALTM 30/70】

##### 1. 空載雷射掃描儀系統描述

完整的空載雷射掃描整體系統，包括雷射掃描系統硬體元件、飛行載台（固定翼飛機或直昇機）、不同載具機具的安裝考量、配

合掃描時同步接收訊號的地面 GPS 接收站、飛航規劃與數據處理軟體等之整合構成作業系統。本次所用之空載雷射掃描儀是加拿大 Optech 公司生產，型號 ALTM 30/70。ALTM 30/70 雷射掃描儀作業的技術規格重點包括：

- (1) 航高限制：與訊號分析處理速度及雷射器發射能量等因素有關，最低 200 公尺，最高 3000 公尺，慣用 500-1500 公尺（離地面高度）。
- (2) 雷射測距解析度：1 cm。
- (3) 雷射回波觀測數目：每個雷射脈衝，紀錄第一回波、第二、第三及最後回波四個回波觀測數。
- (4) 雷射 Intensity 反應強度值：12 bits 輻射量測紀錄。
- (5) 掃描旋角視域(Field of View, FOV)：從 0 度，最大到 50 度(±25 度)，一般作業採±7~±20 度。
- (6) 掃描鏡轉動頻率：每秒掃描線的次數，與掃描速度、掃描旋角視域有關，若以 Z 字型軌跡雙向掃描方式而言，雙向來回掃描算一次，最小約 20 Hz，最高可達 70 Hz。
- (7) 雷射脈衝率：雷射每秒量測的點數為 70 kHz(或 71kHz)。
- (8) 掃描形式：雙向掃描 Z 字型軌跡。
- (9) 雷射光束發散角 (Divergence)：亦稱瞬時 IFOV (Instantaneous Field of View, IFOV)，為發射孔徑與雷射光波長組成的函數，ALTM 30/70 可選擇採兩種光束發散角，0.2 mrad (1/e) 以及 0.7 mrad (1/e)。
- (10) GPS 資料率：1 Hz。
- (11) 掃描帶寬(Swath width)：與掃描旋角視域 FOV、航高限制有關。本儀器最寬掃描帶寬為 0.93×航高。

$$SW = 2 h \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1)$$

式中 SW 帶寬，h 離地表起算航高， $\theta$  掃描旋角視域

- (12) Across-track spacing：垂直飛行方向測點取樣間距，慣用 0.5~2 m。

$$dx_{\text{across}} = 2 SW (f_{\text{sc}}/F) \quad (2)$$

式中  $dx_{\text{across}}$  垂直飛行方向測點取樣間距， $SW$  帶寬， $fsc$  掃鏡轉動頻率（來回雙向算一次）， $F$  雷射脈衝率。

(13) Along-track spacing：飛行方向測點取樣間距，慣用 0.3~1 m。

$$dx_{\text{along}} = v / 2fsc \quad (3)$$

式中  $dx_{\text{along}}$  垂直飛行方向測點取樣間距， $v$  航速， $fsc =$  掃描鏡轉動頻率

(14) 方位參數解算精度：慣用  $0.02^\circ \sim 0.05^\circ$ 。

(15) 雷射波長：地形測量應用之雷射波長一般為 1064 nm。

整個空載雷射掃描系統結合雷射測距、光學掃描、全球定位系統及慣型導航系統等技術，而能快速獲得掃描點三維坐標，其儀器設備與掃描觀測示意如圖 3-9。

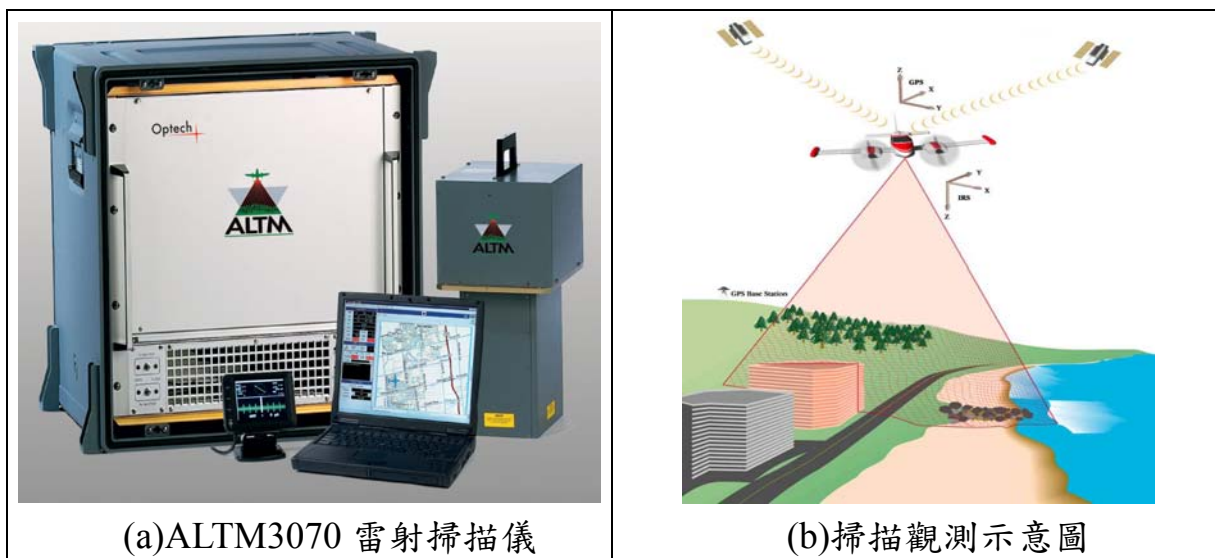


圖 3-9 ALTM3070 雷射掃描儀及掃描觀測示意圖

## 2. 儀器系統安置

本公司使用飛機載具為大鵬航空 BN-2B 定翼機如圖 3-10，作業前需先進行載具之儀器安裝。安裝重點包括掃描儀安置在攝影窗、控制組件安置於機艙座、GPS 天線安裝、電力系統介面等之安裝。



圖 3-10 大鵬航空飛機外觀

Optech ALTM 30/70 雷射掃描儀感測器安裝步驟，首先依據 ALTM 基座的規格安置感測器圖 3-11(a)，「控制組件」裝置後如圖 3-11(b)，將所有接線接上後即算初步完成如圖 3-11(c)。ALTM 30/70 雷射掃描儀電力系統需 28 伏特直流電力，瞬時啟動最大電流 35 安培。配置一轉接頭連結掃描儀到飛機電力系統，電力接合後，地電阻的檢測、電流檢測是重要步驟，確保機具的穩定及飛行安全，方可執行飛航掃描任務。

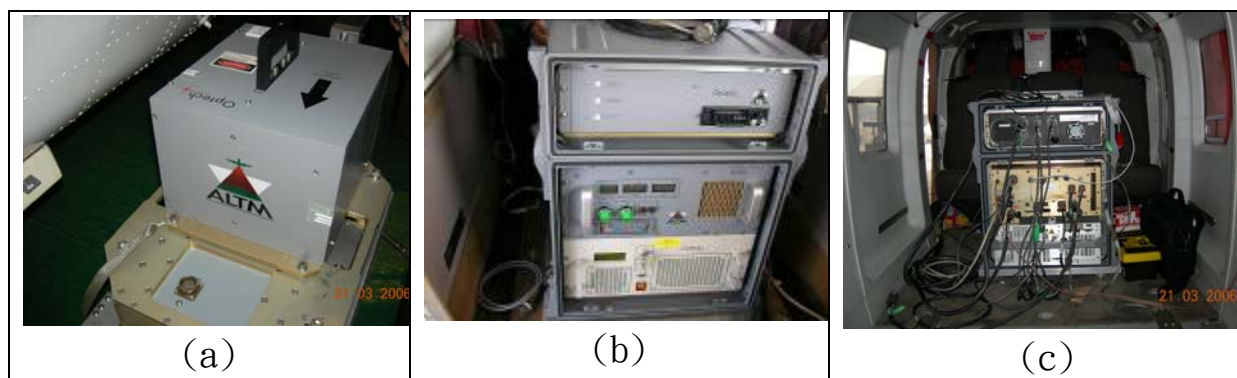


圖 3-11 (a)感測器安裝坐架(b)控制組件(c)接線成果

### 3. 掃描系統率定作業及成果

本光達系統率定分為兩部分，第一部份為感測器與 GPS 天線的偏心量率定 (Lever Arm，即 ALTM 掃描器與 GPS 天線盤相位中心間之偏心常數)，以經緯儀測量來求定。施測方式係以經緯儀分別測得機鼻、機尾、光達系統掃描器之參考位置 (如圖 3-12(a))、GPS 天線相位中心點及光達系統掃描器外殼上之 4 個邊角如圖 3-12(b)所示

(圖中之箭號代表飛行方向)，此 OFFSET 值相對位置關係如圖 3-13；因此，量測機鼻及機尾以獲得 X 軸，並依右手定則決定相對應之 Y 及 Z 軸，藉以計算偏心常數值如表 3-3 所示。

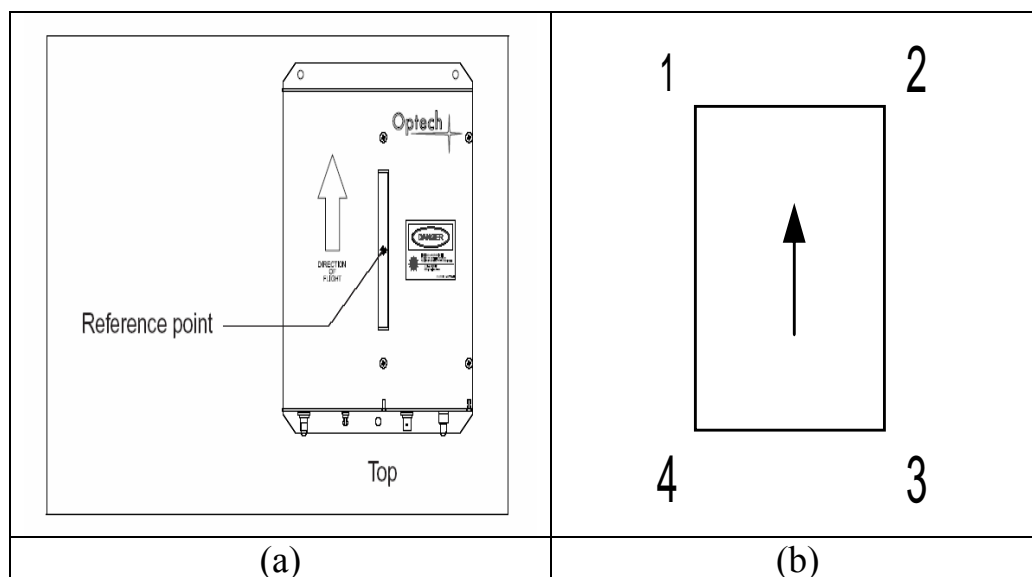


圖 3-12 (a)掃描器參考點位置圖(b)掃描器外殼 4 個邊角示意圖

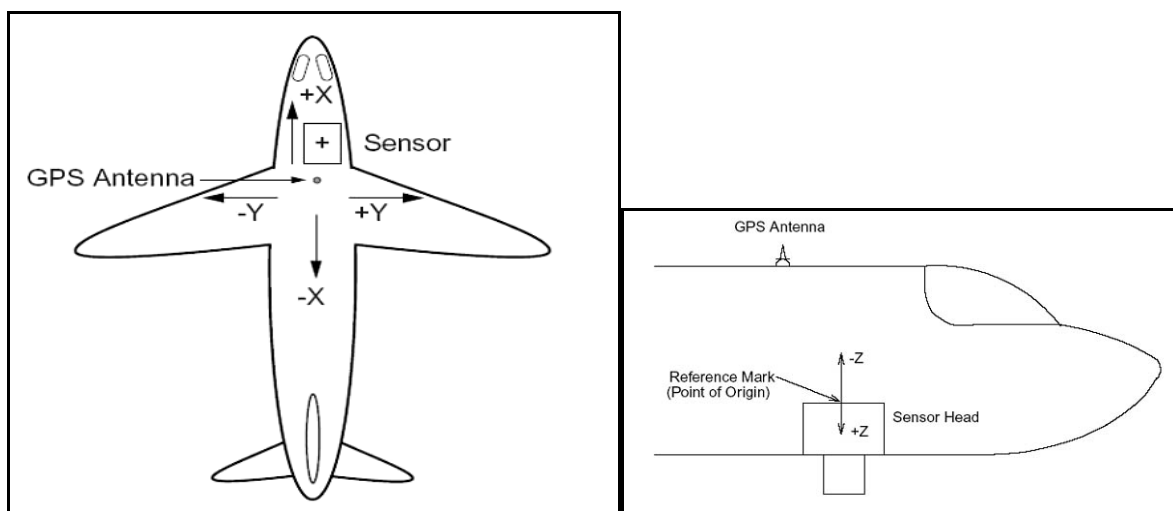


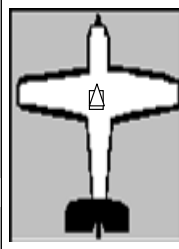
圖 3-13 ALTM 掃描器與 GPS 天線間之相對位置關係

第二部分是雷射掃描器坐標系與機身坐標系之間，常因安置上或時間上的影響，造成不平行之偏差量，需實際以飛行掃描率定場之一系列程序進行作業，藉以求定掃描器與 IMU 及 GPS 的偏心量(即 Mounting Angle Calibration)。利用原廠提供之試算表，將以上量測之各角度及距離資料輸入，即可獲取此偏心量，一般而言，此偏心量之精度應能達至 3 公分左右之精度，參考 P.95 雷射航帶平差的演算法觀測方程式(Burman, 2000)，式中可知此偏心量對掃描點(地面點)



位移影響亦為 3 公分。整個成果之呈現如表 3-3 所示。

表 3-3 掃描器參考中心及 GPS 的偏心率試算表

<b>LEVERARM SURVEY</b>		Aircraft Type : <b>BN2</b>	Call No.: <b>B-68801</b>	Survey Date: <b>6-Mar-08</b>					
		ALTM Type: <b>30/70</b>	Serial No.: <b>04SEN149</b>						
<b>SURVEY ASSUMPTIONS &amp; METHODS:</b>									
1) Aircraft is supported in typical inflight attitude		<p align="center"><b>GPS Antenna &amp; Sensor Head Location</b></p> <p align="center">Drag and drop icons to illustrate antenna position relative to sensor</p>  <p>△ GPS antenna □ Sensor Head</p> <p><b>Comments:</b> Sensor to under of the antenna.</p>							
2) Prizm height is constant for all observables									
3) All observables can be obtained from single occupied site									
4) Zenith angle must be 0 degrees (i.e. horizon is 90 or 270)									
5) Instrument azimuth is set to increase clockwise									
6) Total horizontal travel of 360 degrees (not 400!)									
7) Sensor angle can be recorded from pitch reading when sensor turned on and POS aligned									
<b>GPS ANTENNA PHASE CENTER (m):</b> (righthand rule)	X = <b>0</b>	Y = <b>0</b>	Z = <b>-0.004</b>						
<b>OCCUPIED SITE COORDINATE (m):</b>	X = <b>0</b>	Y = <b>0</b>	Z = <b>0</b>						
		<b>HORIZONTAL ANGLE</b>			<b>VERTICAL ANGLE</b>			<b>SLOPE DISTANCE</b>	
<b>OBSERVABLES</b>	Degrees	Minutes	Seconds	Degrees	Minutes	Seconds	(meters)		
NOSE	0	0	1	0.00	90	43	34	1.58	18.78
TAIL	35	42	51	0.62	88	42	6	1.55	16.687
SENSOR R.P.	14	22	48	0.25	90	46	22	1.58	17.057
GPS ANTENNA	16	28	30	0.29	87	40	11	1.53	16.545
SENSOR CORNER 1	13	49	45	0.24	90	59	54	1.59	16.969
SENSOR CORNER 2	14	1	27	0.24	90	58	19	1.59	17.205
SENSOR CORNER 3	14	55	23	0.26	90	58	45	1.59	17.137
SENSOR CORNER 4	14	44	1	0.26	91	0	22	1.59	16.9
Azimuth of Aircraft Direction :		-61.7475 degrees							
Length of Aircraft (nose to tail) :		11.055 meters							
		<b>Nose to -</b>		<b>X</b>		<b>Y</b>		<b>Sensor Orientation</b>	
		(meters)		(Easting: meters)		(Northing: meters)		(Flight Direction indicated by arrow on sensor head)	
<b>OFFSET TO FLIGHT LINE:</b>									
SENSOR	-61.9446	4.800	-0.017	4.800					
GPS ANTENNA	-58.0315	5.526	0.358	5.515					
SENSOR CORNER 1	-60.3988	4.664	0.110	4.663					
SENSOR CORNER 2	-63.3865	4.663	-0.133	4.661					
SENSOR CORNER 3	-63.2722	4.940	-0.131	4.939					
SENSOR CORNER 4	-60.4456	4.940	0.112	4.939					
<b>OFFSET FROM</b>	<b>X (In Flight)</b>	<b>Y (Cross Flight)</b>	<b>Elevation/Z</b>	<b>Dimension Check</b>	<b>Azimuth</b>	<b>Pitch Angle</b>	<b>Roll Angle</b>		
<b>SENSOR R.P. TO:</b>	(meters)	(meters)	(meters)	(meters)	(degrees)	(degrees)	(degrees clock-wise)		
GPS ANTENNA	<b>-0.715</b>	<b>-0.375</b>	<b>-0.899</b>	(corners)					
SENSOR CORNER 1	0.137	-0.126	0.066	1 - 2 =	0.243				-0.8980
SENSOR CORNER 2	0.139	0.117	0.062	2 - 3 =	0.278	-61.3524	0.7860		
SENSOR CORNER 3	-0.139	0.115	0.063	3 - 4 =	0.244				0.9160
SENSOR CORNER 4	-0.139	-0.129	0.067	4 - 1 =	0.276	-61.2377	0.2266		
based on corner measurements									
<b>SENSOR ANGLE (pitched forward +)</b>	<b>0</b>		degrees	0					
<b>CORRECTED OFFSET</b>	<b>X (In Flight)</b>	<b>Y (Cross Flight)</b>	<b>Elevation/Z</b>						
	(meters)	(meters)	(meters)						
R.P. to GPS:	-0.715	-0.375	-0.899						
Ref to R.P.	-0.051	-0.030	-0.488						
Ref to GPS:	<b>-0.766</b>	<b>-0.405</b>	<b>-1.387</b>						
<b>R.P. to GPS:</b>	<b>-0.766</b>	<b>-0.405</b>	<b>-1.387</b>						

### a. 率定場地之選擇

完整 ALTM 系統之率定需要兩個分別的控制場，分別為率定建築物及控制場。建築物須至少一直且無遮蔽邊大於 80m 長，高度需高於 5m 且屋頂應儘量平坦；須於屋頂邊緣及角落測設控制點，並測量控制點平面坐標，用於率定 Roll 及 Pitch。另一理想之率定控制場需包含大量、已知精確坐標且方格狀排列於一大且平坦之區域之高程控制點（利用直接水準測量方式），至少如跑道般 1000m 長及 20~50m 寬，方格點之分佈趨於 5~10m，用於率定場掃描時之相對及絕對高程雷射點資料。率定建築物及點位分布如圖 3-14。而擇定之道路率定場地及施測後之概略點位分布詳如圖 3-15：



圖 3-14 建築物率定場及觀測點位分布位置圖



圖 3-15 道路率定場及觀測點位分布位置圖

## b. 率定飛行作業程序

### (a) PITCH 值修正:

在雷射掃描坐標系第一軸 ( $X^s$ ) 與載具坐標系第一軸 ( $X^b$ ) 之間的偏差量，也就是兩個坐標系之間第二軸的旋轉角 ( $\alpha_m$ )，便是俯仰安置角，如圖 3-16 所示。

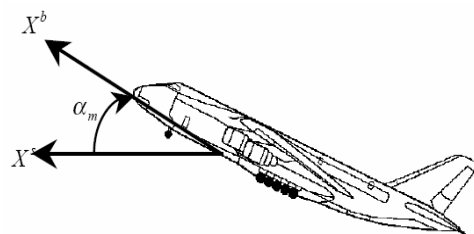


圖 3-16 PITCH 偏差量示意

利用飛行高度為離地高 1200m，ALTM 系統之設定掃描頻率為 71kHz，掃描鏡面之擺動頻率為 0Hz，掃描視角之角度為 0 度。飛行之方式為垂直於率定建築物測定屋線之方向，由於儀器本身之設定值為 0 度、0Hz，故如存在此 PITCH 值，掃得之雷射點之足跡分布圖如圖 3-17 所示。由於雷射點(圖 3-17 中，紅色點處)計算得之高程已相當於屋頂實測得之屋頂平面高程，是故求出平均誤差值  $X$ ，則 PITCH 常數為  $\text{TAN}^{-1}(X/H)$ ，其中  $H$  為飛航高度。利用建物率定場控制點坐標比對雷射點資料，將不符合者(即將相對於率定建築物過於偏右或偏左者矯正回來)重複修正下，直到兩者偏差量降為最小，而達到率定結果。

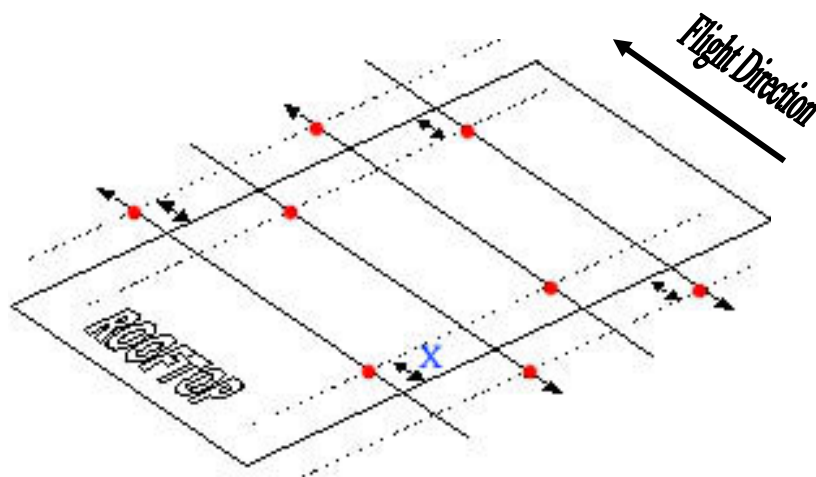


圖 3-17 PITCH 率定方式示意圖

### (b) ROLL 值修正:

所謂的側向傾斜安置角是指雷射掃描坐標系第二軸 ( $Y^s$ ) 與載具坐標系第二軸 ( $Y^b$ ) 之間的偏差量，也就是兩個坐標系之間第一軸的旋轉角，如圖 3-18 所示。



飛行之方式為平行於率定建築物測定屋線之方向，飛行高度為離地高 1200m，ALTM 系統之設定掃描頻率為 71kHz，掃描鏡面之擺動頻率為 20Hz，掃描視角之角度為 25 度（儀器掃描鏡最大擺動量）。

由於儀器本身之設定值為 25 度、20Hz，故如存在此 ROLL 值，掃得之雷射點之足跡分布圖如圖 3-19 所示。由於雷射點(圖 3-19 中，紅色點處)計算得之高程已相當於屋頂實測得之屋頂平面高程，是故求出平均誤差值 X，則 ROLL 常數為  $TAN^{-1}(X/H)$ ，其中 H 為飛航高度。利用 Scan 方式掃描建物率定場，在相對其建物邊緣呈現出偏移的現象，作 ROLL 的修正。

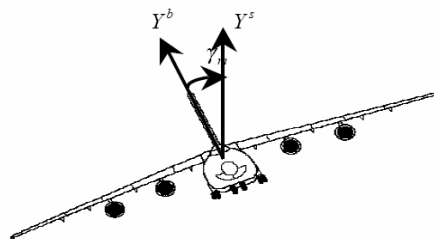


圖 3-18 ROLL 偏差量示意

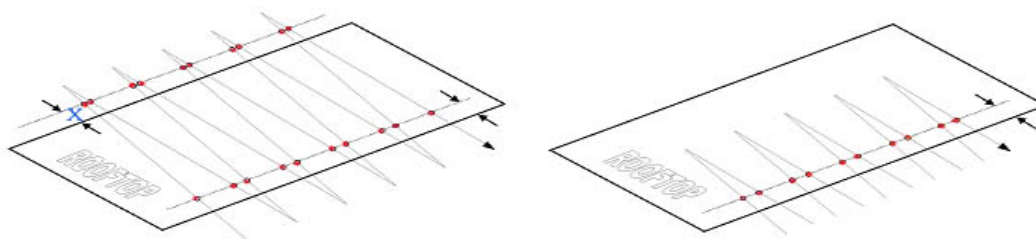


圖 3-19 ROLL 率定方式示意圖

### (c) SCALE 值修正:

將飛行高度設為離地高 1200m，ALTM 系統之設定掃描頻率為 71kHz，掃描鏡面之擺動頻率均為 50Hz，掃描視角均為 25 度。飛行之方式為垂直於率定跑道之方向，故如存在此 SCALE 值，掃得之雷射點之足跡分布圖如圖 3-20 所示。利用道路率定場實測現地之剖面線與掃描獲取之雷射點所構成之剖面線進行比較，以獲得 SCALE 常數值，並以此常數輸入計算改正之。

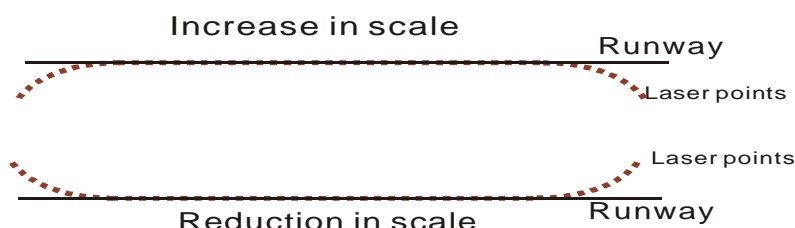


圖 3-20 SCALE 率定方式示意圖

## 【ALS50】

### 1. 率定程序

系統之率定校正分為：出廠前之 Scanner Correction 及安裝後之 Boresight Calibration，並須配合率定場之地面控制資料以完成系統之率定。

#### (1) 率定場地地點

ALS50 使用台中港港務大樓附近重劃區（如圖 3-21）為其率定場，以直接水準測量引測附近一等二級水準點至測區及使用 GPS RTK 建立 254 點含正高及橢球高資料，每一點間距約 10 公尺。

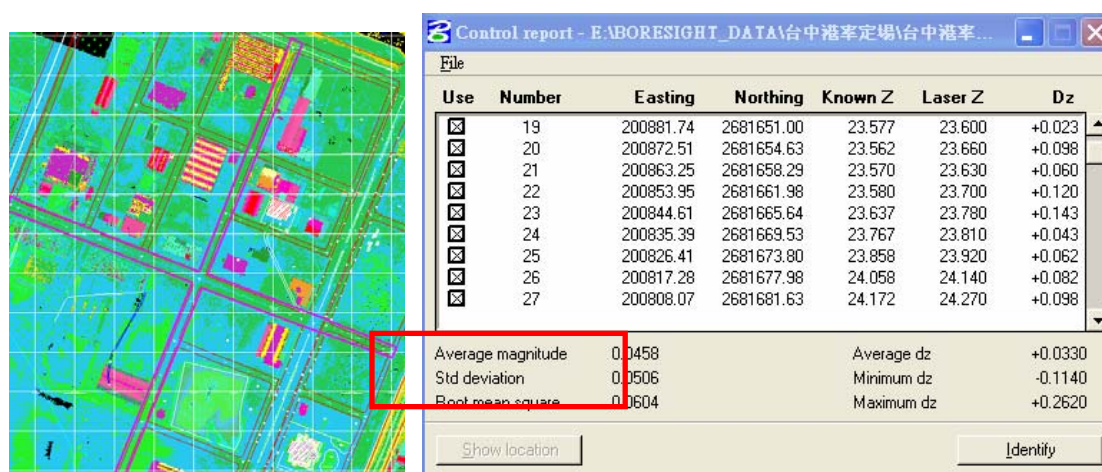


圖 3-21 LEICA ALS50 率定場及率定結果

#### (2) Scanner Correction

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。

#### (3) Boresight Calibration

Boresight Calibration 是以不同之航向、角度與高度之 LIDAR 掃描資料，利用共軌之 intensity image、laser point 與率定場之真實坐標進行計算，以求取 IMU 偏移值之系統誤差值。率定時先以表 3-4 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 3-22 與圖 3-23）；其中並配合地面控制點的選取及各航線最佳共軌點分佈（如圖 3-24）。

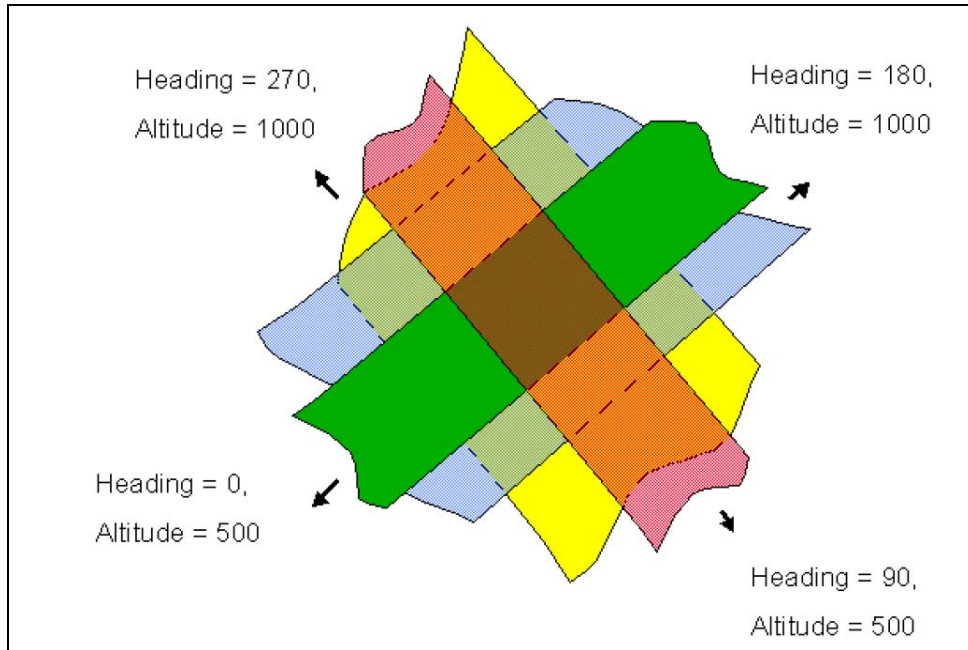


圖 3-22 率定飛航規劃圖

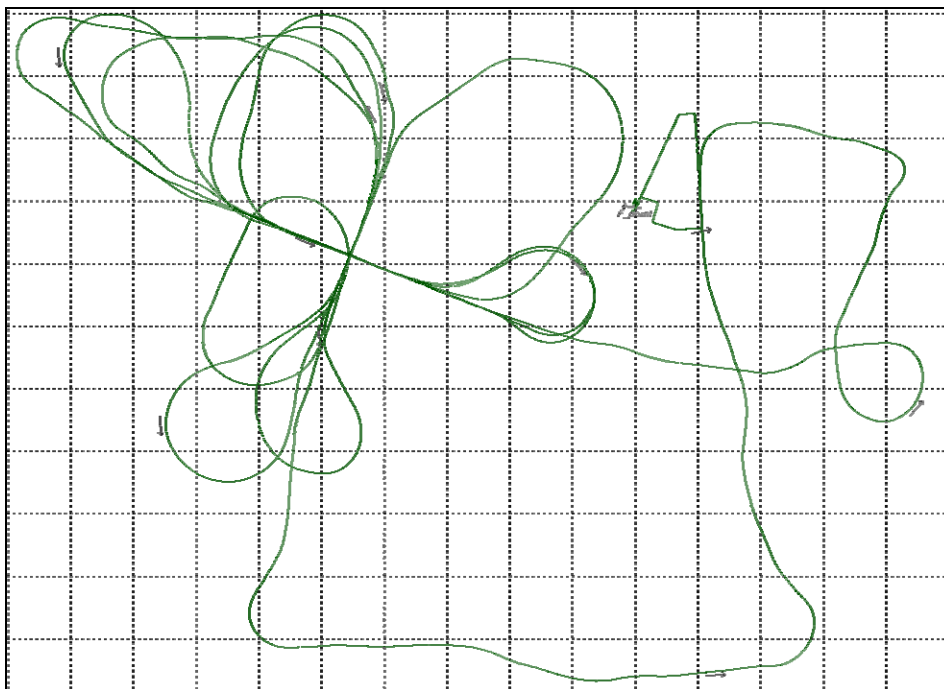


圖 3-23 台中港區率定場實際飛航航跡圖

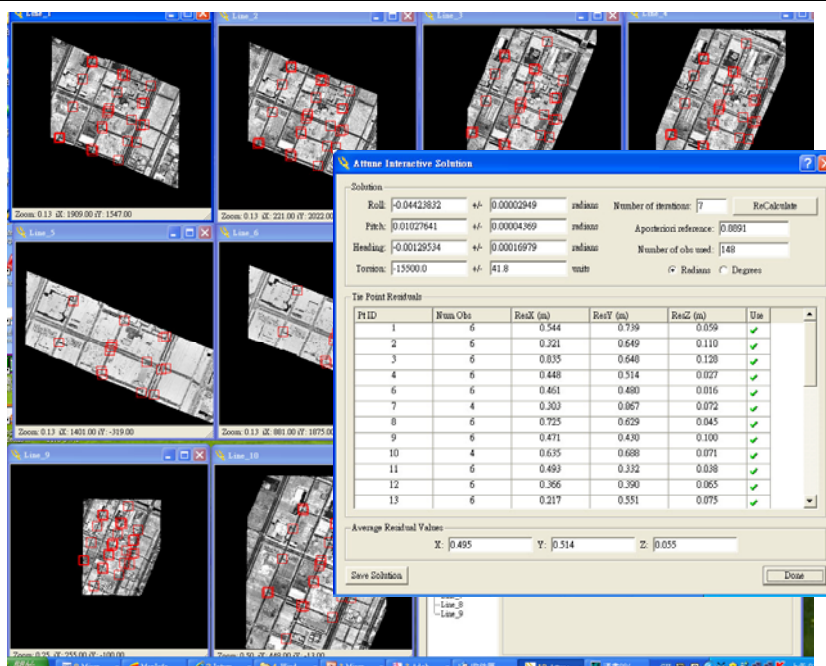


圖 3-24 LEICA ATTUNE 率定參數解算畫面(近空三觀念解算)

表 3-4 Boresight Calibration 飛航參數表

<b>Scanner Setup</b>		<b>Cross1</b>	<b>Cross2</b>
Scan FOV (full angle)	degrees	45.00	45.00
Terrain Elevation AMSL (minimum in survey area)	meters	20.00	20.00
Terrain Elevation AMSL (maximum in survey area)	meters	23.00	23.00
Nominal Flying Height Above Minimum Terrain Elevation	meters	750.00	1250.00
Nominal Flying Altitude AMSL(實際飛航高度)	meters	750.00	1250.00
Airspeed	knots	120.00	120.00
Range/Intensity Mode (1, 2, 3, 4)		4.00	4.00
Max Laser Pulse Rate	Hz	84900.00	66000.00
Laser Pulse Rate Used	Hz	80000.00	66000.00
System Controller Firmware (小於 V2.07, V2.07+)		V2.07+	V2.07+
Laser Power Class (3=3W, 4=4W)	Watts	4.00	4.00
Receiver Aperture Stop (45, 60, 65, 75, LM, ALS50)	degrees	ALS50	ALS50
Scan Rate	Hz	34.00	34.00
Max Scan Rate (ALS40/ALS50, 45-degree/3000 m mirror, gen 1c)	Hz	34.10	34.10
<b>Resulting Scan Pattern</b>			
Total Swath Width (nominal, at lowest terrain elev'n)	meters	621.32	1035.53
Max Cross Track Spacing (occurs @ nadir)	meters	0.87	1.68
Max Along Track Spacing (occurs @ FOV edge)	meters	1.82	1.82
Illuminated Footprint Diameter (@ 1.e^2 energy)	meters	0.28	0.45
<b>Point Density (average)</b>	<b>pts/meter^2</b>	<b>2.09</b>	<b>1.03</b>
Point resolution (average)	meters	0.48	0.97



由於本次作業範圍相當廣，再加上氣候、潮汐漲退潮時間及軍事管制影響，系統率定成果如附件三、率定報告書。

### (三) 測區光達掃描作業需求

#### 1. 地面 GPS 觀測規範

為使 GPS 資料解算時獲致最佳品質，無論是載具上 GPS 接收及地面主站 GPS 接收儀必須採用雙頻儀器，資料率至少為 1Hz。且每條航線至少有二 GPS 主站同步接收 GPS 觀測量，基站與航線範圍小於 20 km。

#### 2. 掃描操作與雷射資料獲取

事前及當日蒐集氣象預報資料、各地航空站氣象資料，提供研判雲層高度與雲量，以決定作業與否，並配合潮汐時間之查詢。

(1) 收集 GPS 衛星 PDOP 時段分佈，分析衛星幾何強度與可接收的衛星數目，以確保作業時段之 PDOP 分佈良好。並剔除 DOP 大於 3.5 之時段。

(2) 飛航導航：提供飛行員液晶顯示面板，如圖 3-25。導航修正航線飛到規劃的航線，操作者於機艙內監控即時飛行狀態系統，包括檢查掃描的軌跡是否在規劃航線上、是否有掃描裂縫，以提供即時決策是否重新掃描，並可同時監控 GPS 資料品質，監控 IMU 資料品質。



圖 3-25 飛航導航顯示器及監控畫面

(3) 操作紀錄：記錄檔名、攝像圖名、記錄飛航參數、記錄時間計時

器操作狀況、確認雷射操作狀態、異常狀態記錄、監視記錄儲存容量等。

(4) 飛航掃描同時，地面 GPS 控制站同步接收 GPS 數據。

#### (四) 掃描資料處理計算

當取得雷射掃描資料後，首先需進行資料的前處理工作。程序包括了資料下載與整理、POS 資料解算、雷射點雲解算、資料檢核與航帶平差等。整個光達資料處理作業流程如圖 3-26。

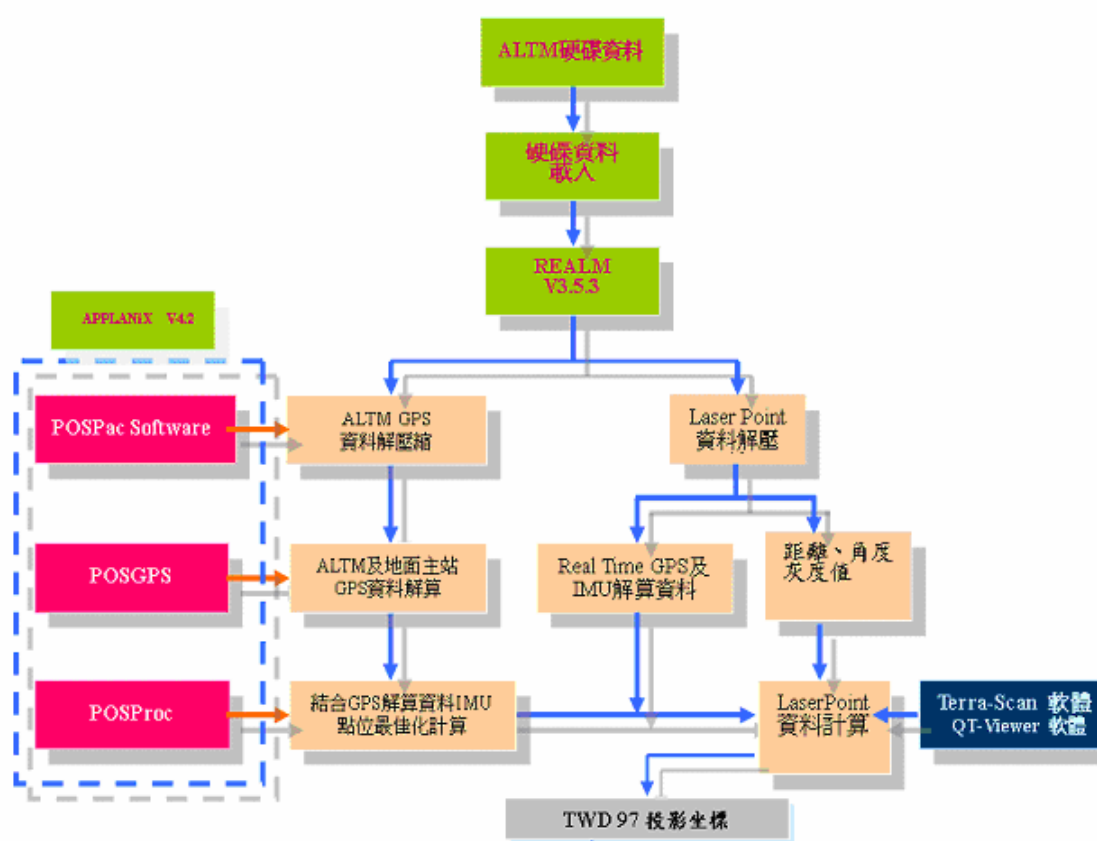


圖 3-26 光達資料處理作業流程

##### 1. 下載光達資料

執行任務時，雷射點雲資料與導航資訊是壓縮於硬碟裡，故處理資料的第一步驟便是將資料解壓縮出來。目前所使用的軟體為 Optech 所提供的 Realm Survey3.5.3 軟體。圖 3-27 為軟體環境示意圖。



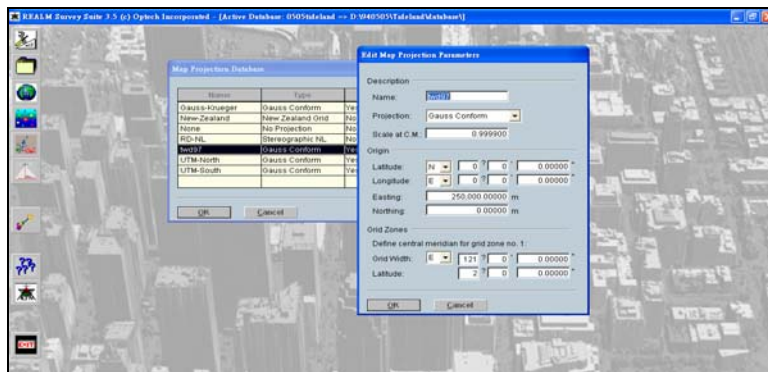


圖 3-27 Realm Survey3.5.3 軟體

## 2. 動態差分 GPS 處理與 POS 數據處理

經過資料解壓縮後，便是進入資料解算階段，下述說明利用 POSGPS 軟體解算動態 GPS 與 POS 數據，經解算後的精度將影響後續雷射點三維坐標的成果值。說明過程如下：

- (1) 利用 POSPAC 對 ALTM 系統的 GPS 資料進行解壓縮（圖 3-28 所示），以利後續軟體計算。所解壓的結果將含解壓縮記錄 (Extract Log)，可用來確認飛行之 GPS 時間、導航過程好壞及資料量是否有縫隙(gaps)等資訊。

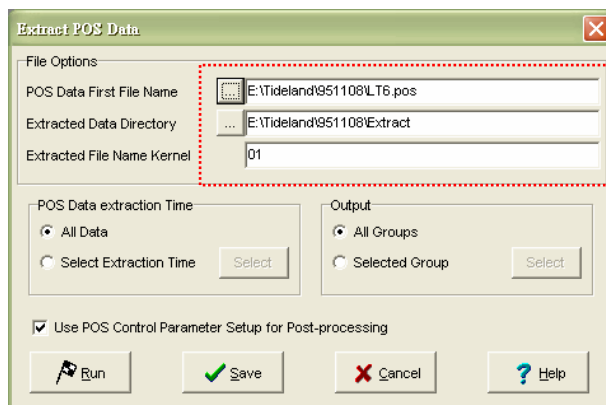


圖 3-28 POSPAC 解壓縮示意圖

- (2) 利用 POSGPS 將地面 GPS 主站資料及 ALTM 系統之 GPS 資料進行結合，過程中需輸入地面 GPS 主站之坐標值，並設定相關參數應用如 C/A Code、L1 相位值及是否利用 L2 載波處理電離層效應後，即可進行解算，並可產生軌跡圖及航行時 PDOP 值分佈圖，所有差分 GPS 之結果將輸出以供 POSPROC 計算與 IMU

結合定位計算之用。

- (3) POSPAC 計算出預估軌跡與 IMU 成果之標準偏差，可評估 GPS 軌跡與 IMU 成果在不同時間上的軌跡精度比較。經由以上成果即可配合 GPS 時間將每一條航線的 PDOP 值及預估的平均標準偏差列出，並配合 GPS 解算時前向解算與後向解算的差異值。經過差分 GPS 計算後，再將 GPS 與 IMU 資料結合，計算出正確的飛航軌跡資訊並可獲得此軌跡之精度成果。

### 3. 雷射點雲計算

REALM 軟體中，可將計算後的軌跡導航資訊帶入，利用掃描角度及雷射測距等資料，分別計算出每一條航帶所掃描的雷射點雲資料。整個北區、南區潮間帶測區雷射點雲航線圖如圖 3-29 及 3-30 所示。

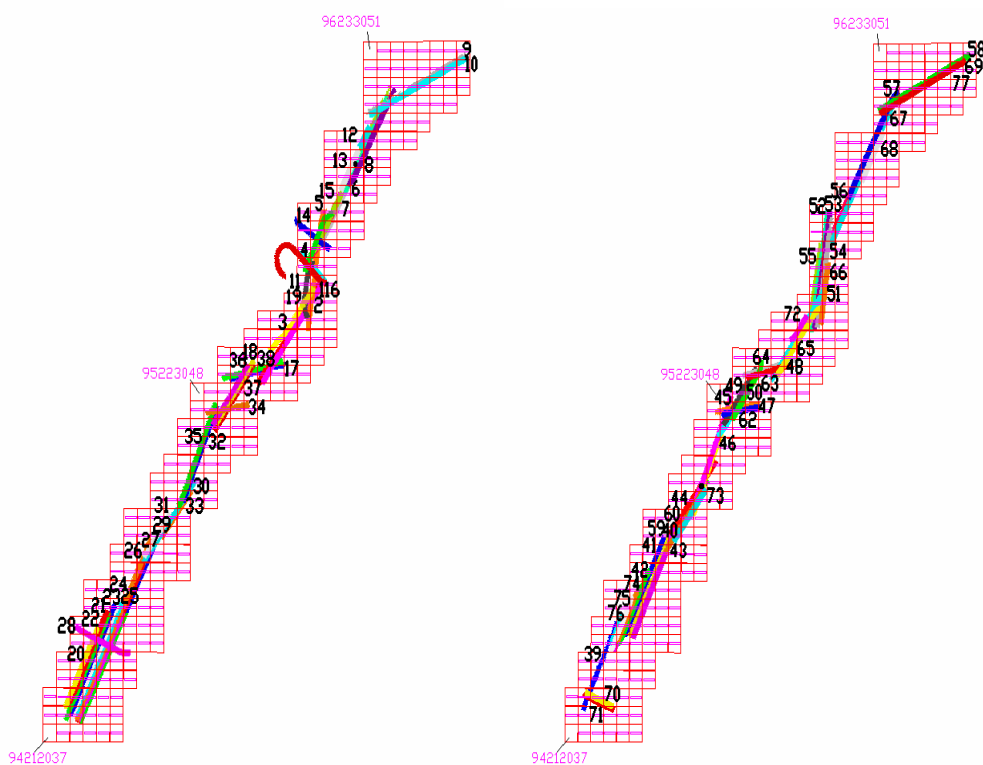


圖 3-29a 北區潮間帶雷射點雲航線圖(左圖為高潮位成果、右圖為低潮位成果)

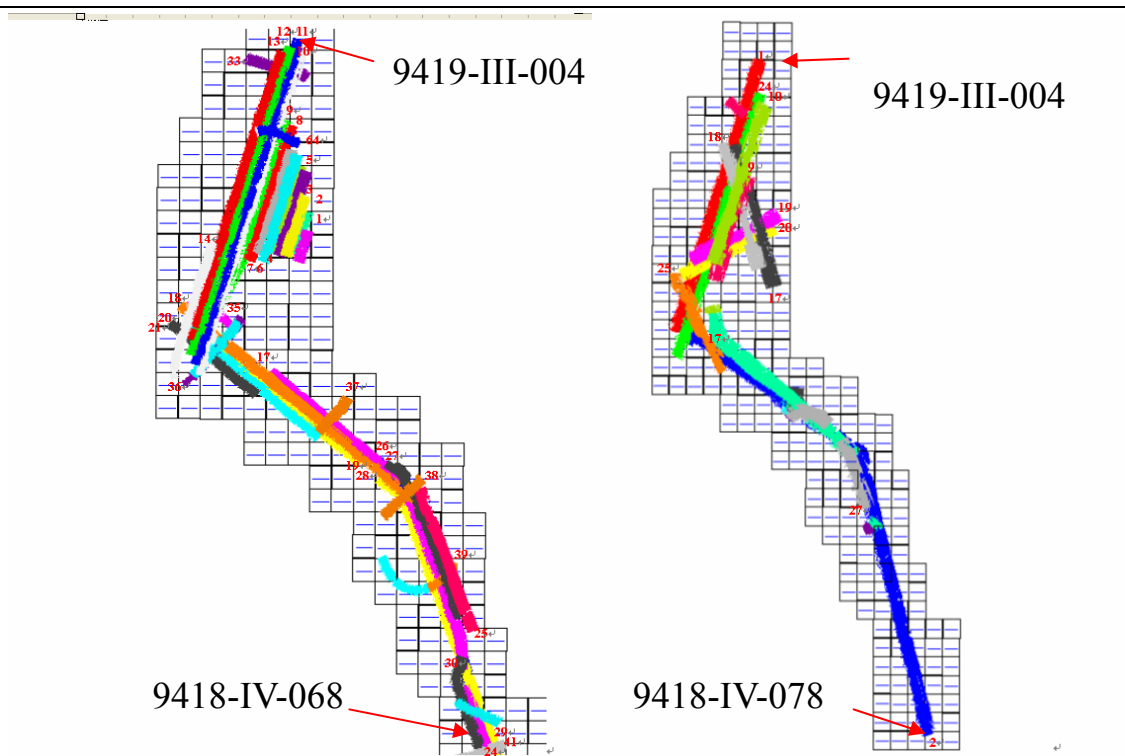


圖 3-30a 南區潮間帶雷射點雲航線圖(左圖為高潮位成果、右圖為低潮位成果)

圖 3-31 至圖 3-32 分別為本案北區 97.07.03 與 97.08.03 實際飛航軌跡圖與 POS 解算成果及飛航實之 PDOP 圖。而圖 3-33 至圖 3-36 分別為本案南區 97.03.11、97.03.12、97.03.13 上午與下午之實際飛航軌跡圖與 POS 解算成果及飛航實之 PDOP 圖。

以下分別為北區高潮位成果、北區低潮位成果、南區高潮位成果及南區低潮位成果放大圖。

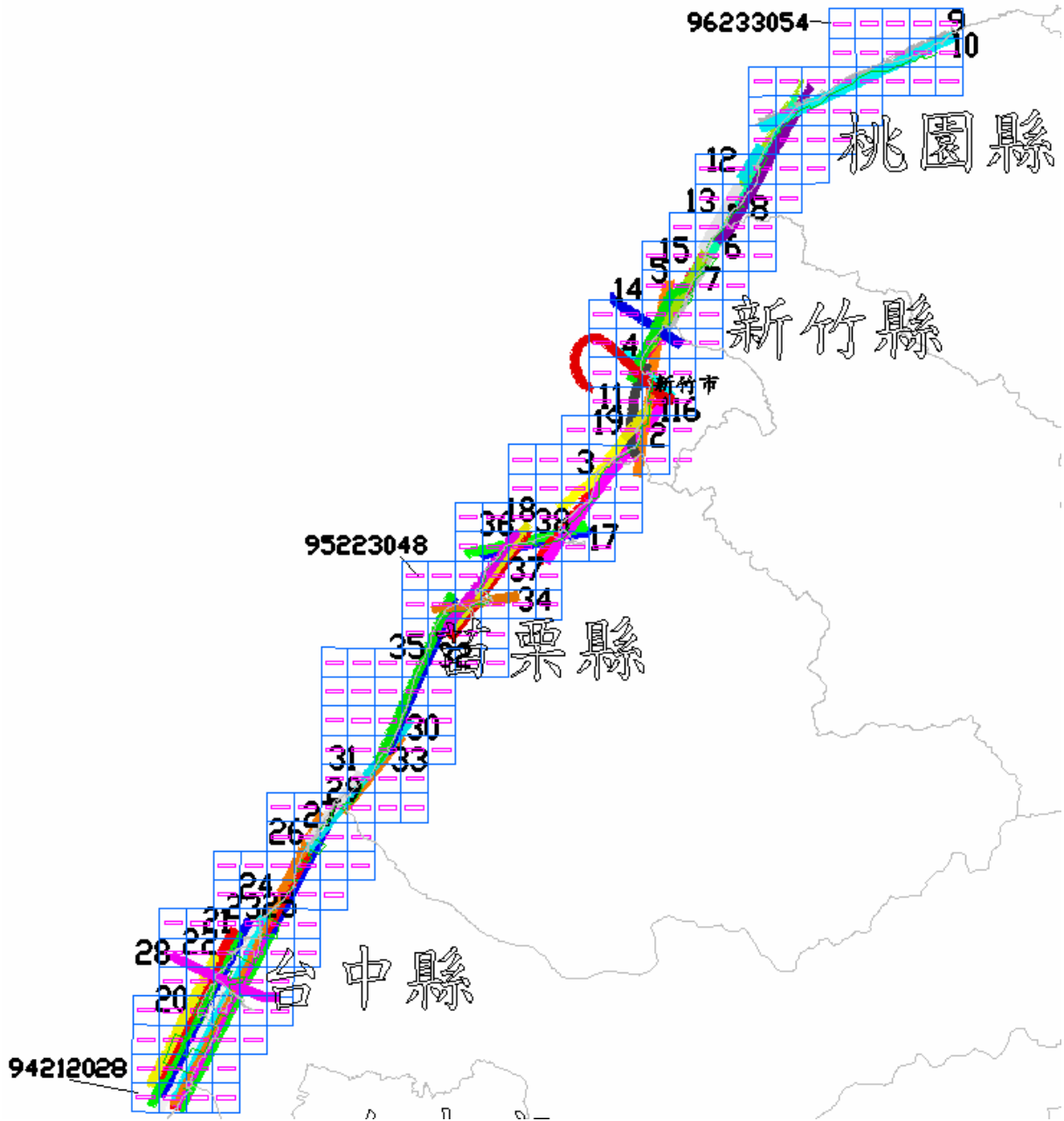


圖 3-29b 北區潮間帶高潮位成果雷射點雲航線圖

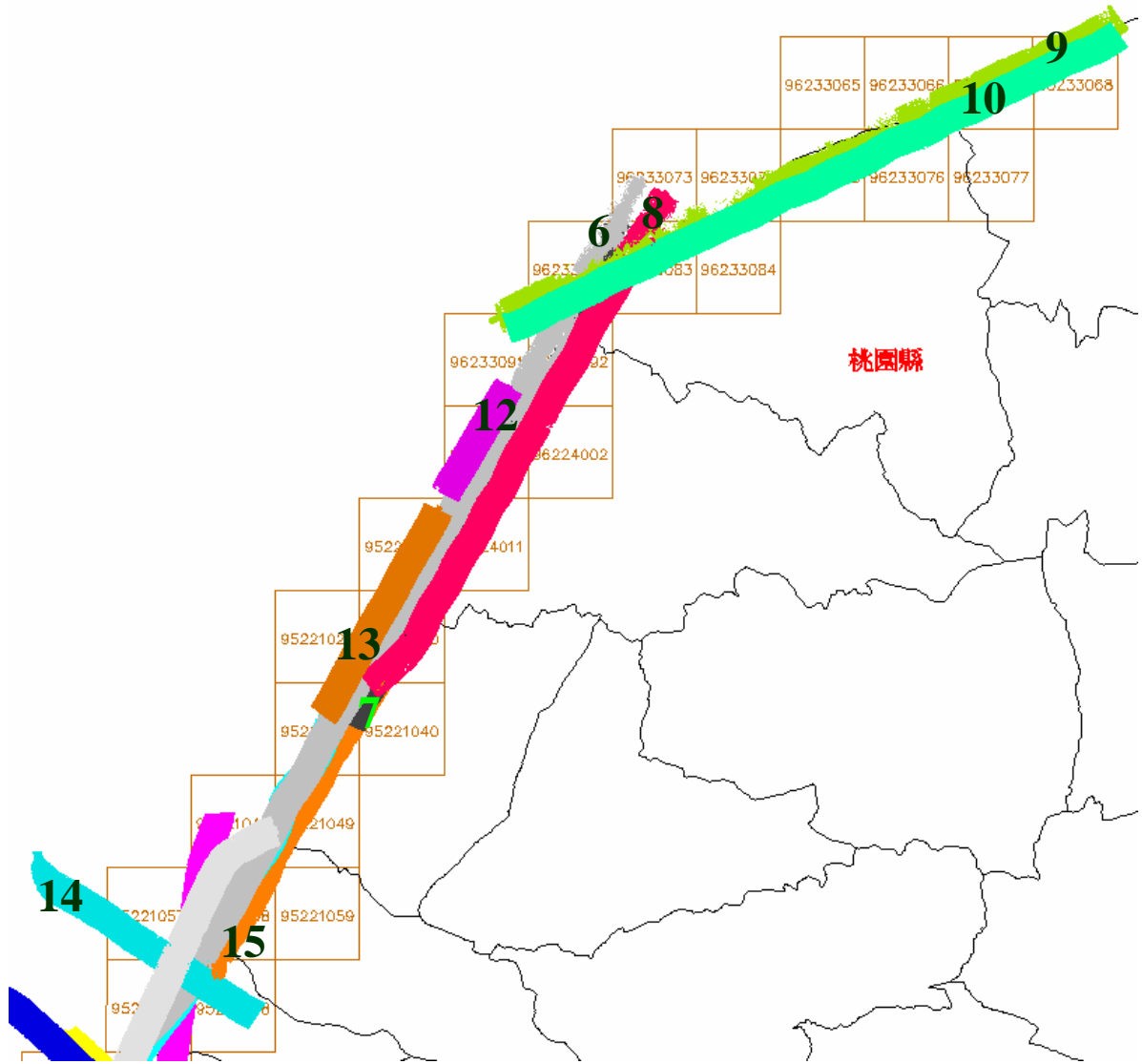


圖 3-29c 北區潮間帶高潮位成果雷射點雲航線圖

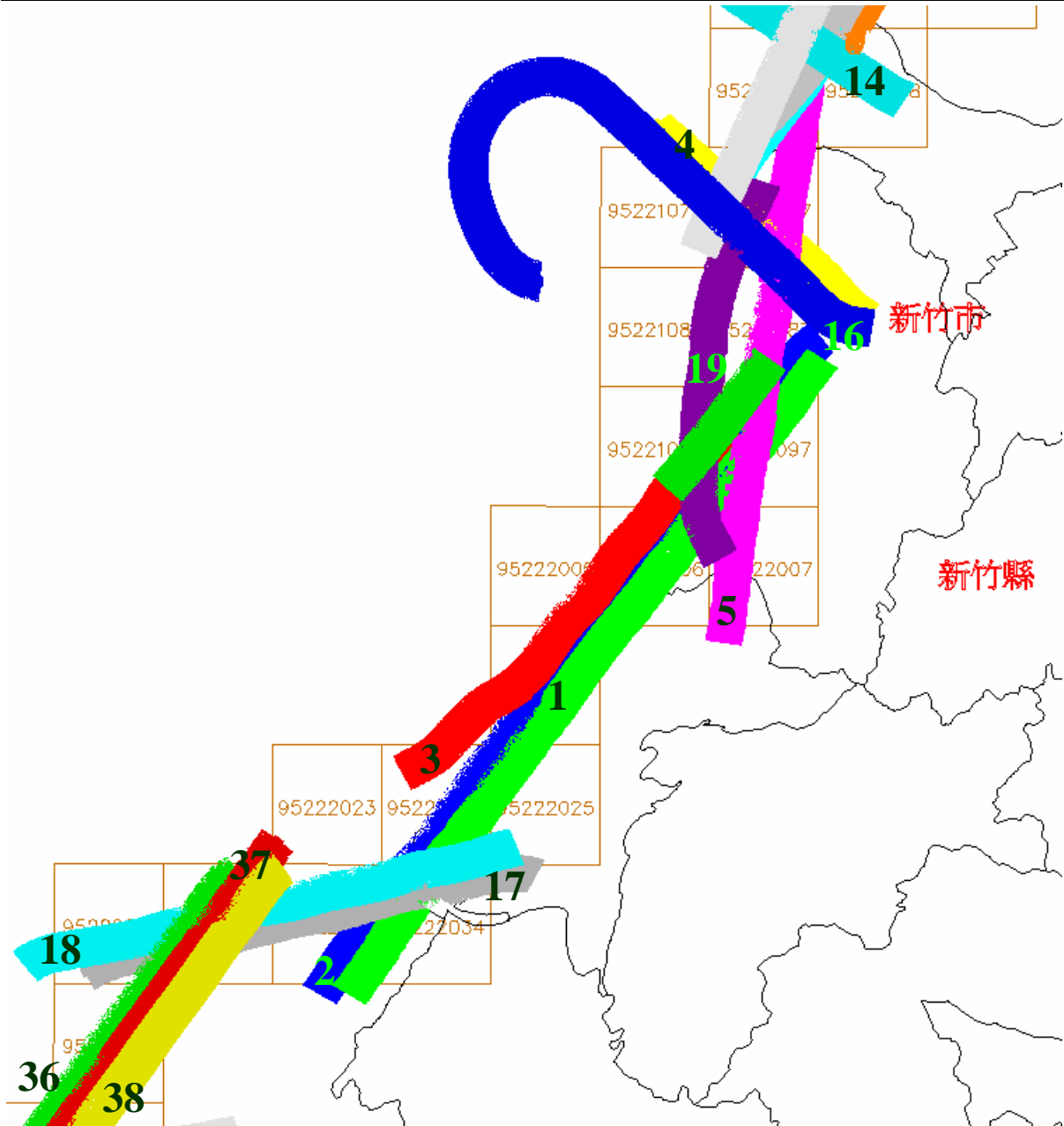


圖 3-29d 北區潮間帶高潮位成果雷射點雲航線圖





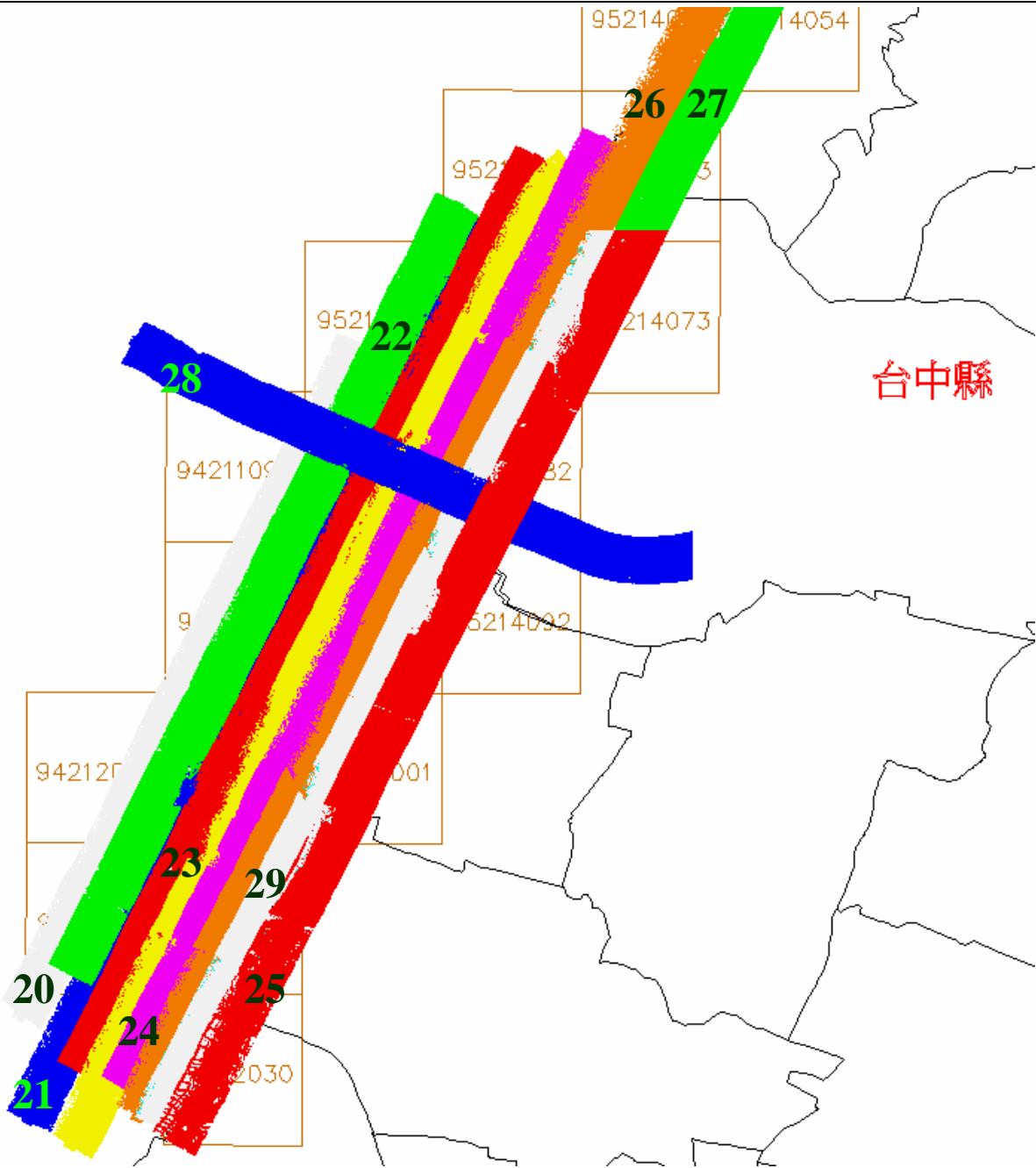


圖 3-29f 北區潮間帶高潮位成果雷射點雲航線圖

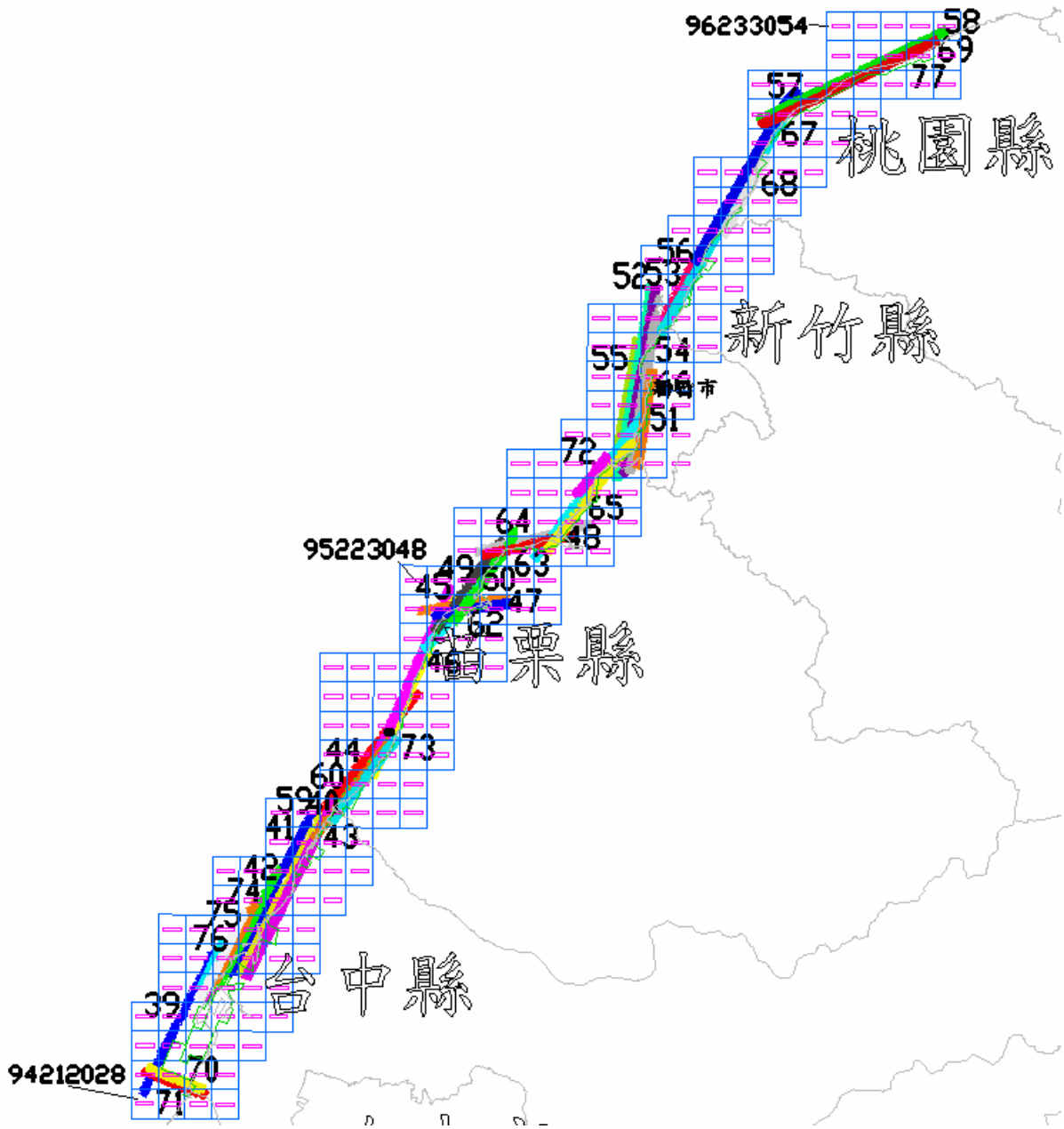


圖 3-29g 北區潮間帶低潮位雷射點雲航線圖

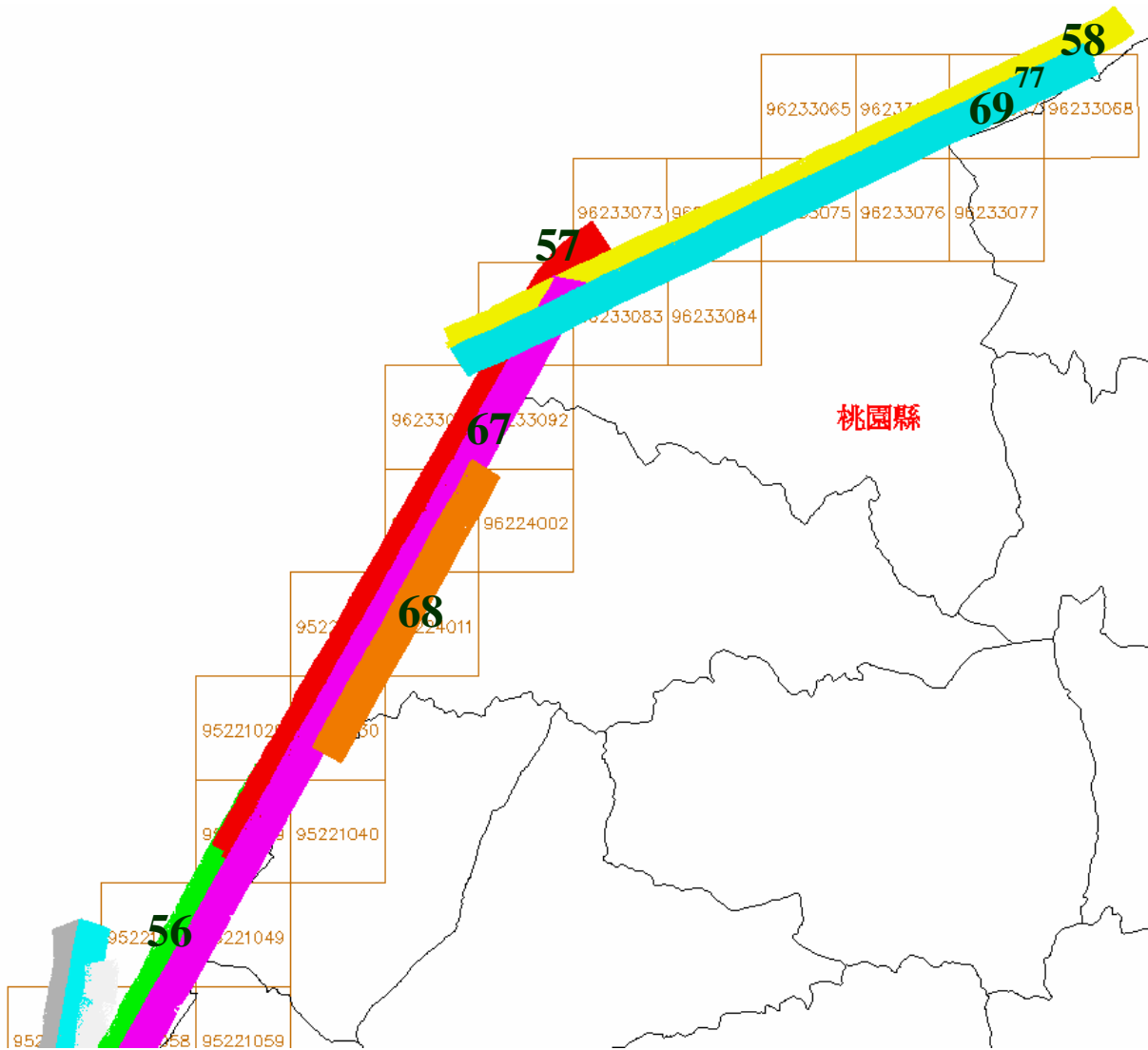


圖 3-29h 北區潮間帶低潮位雷射點雲航線圖

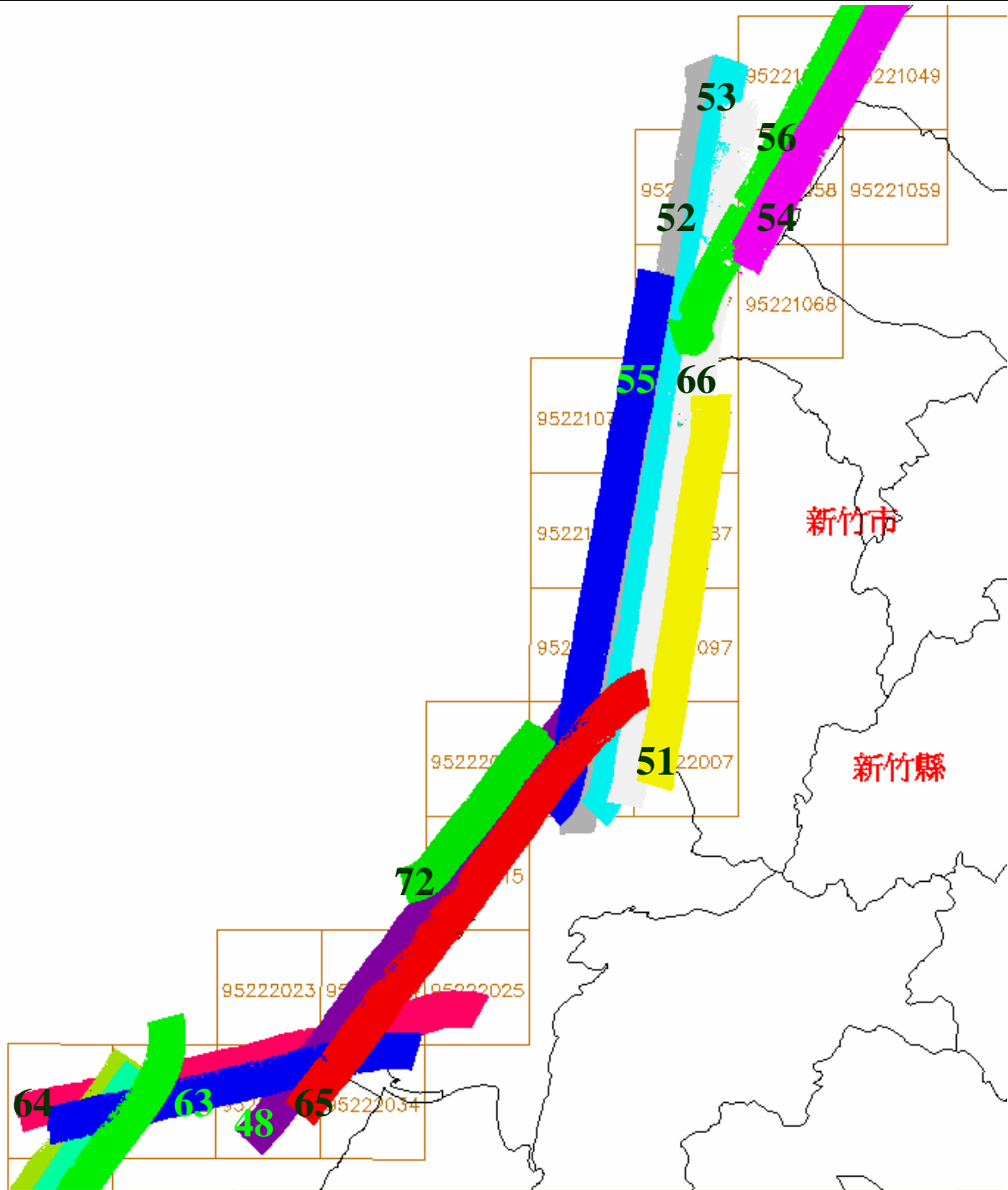


圖 3-29i 北區潮間帶低潮位雷射點雲航線圖

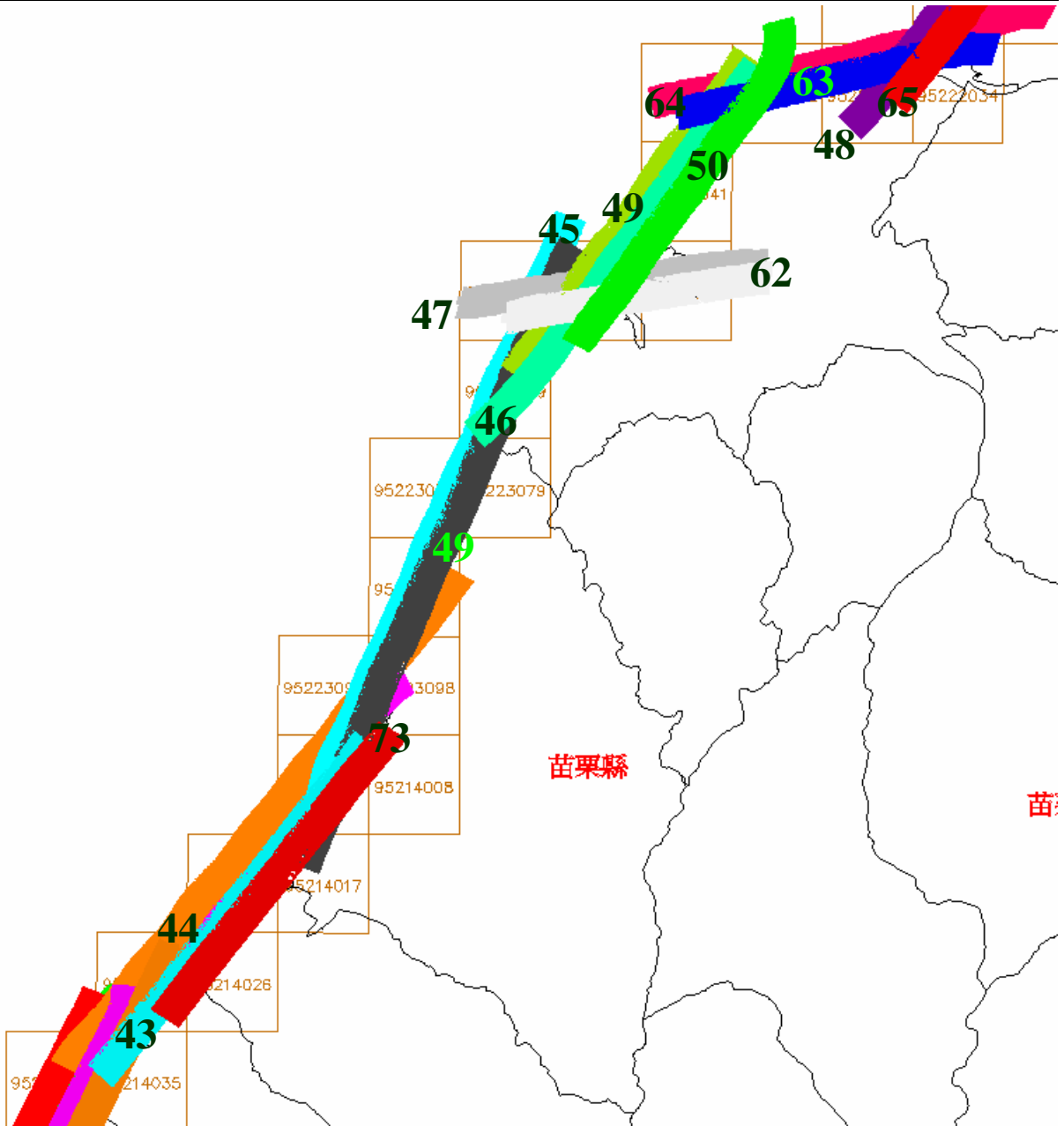


圖 3-29j 北區潮間帶低潮位雷射點雲航線圖



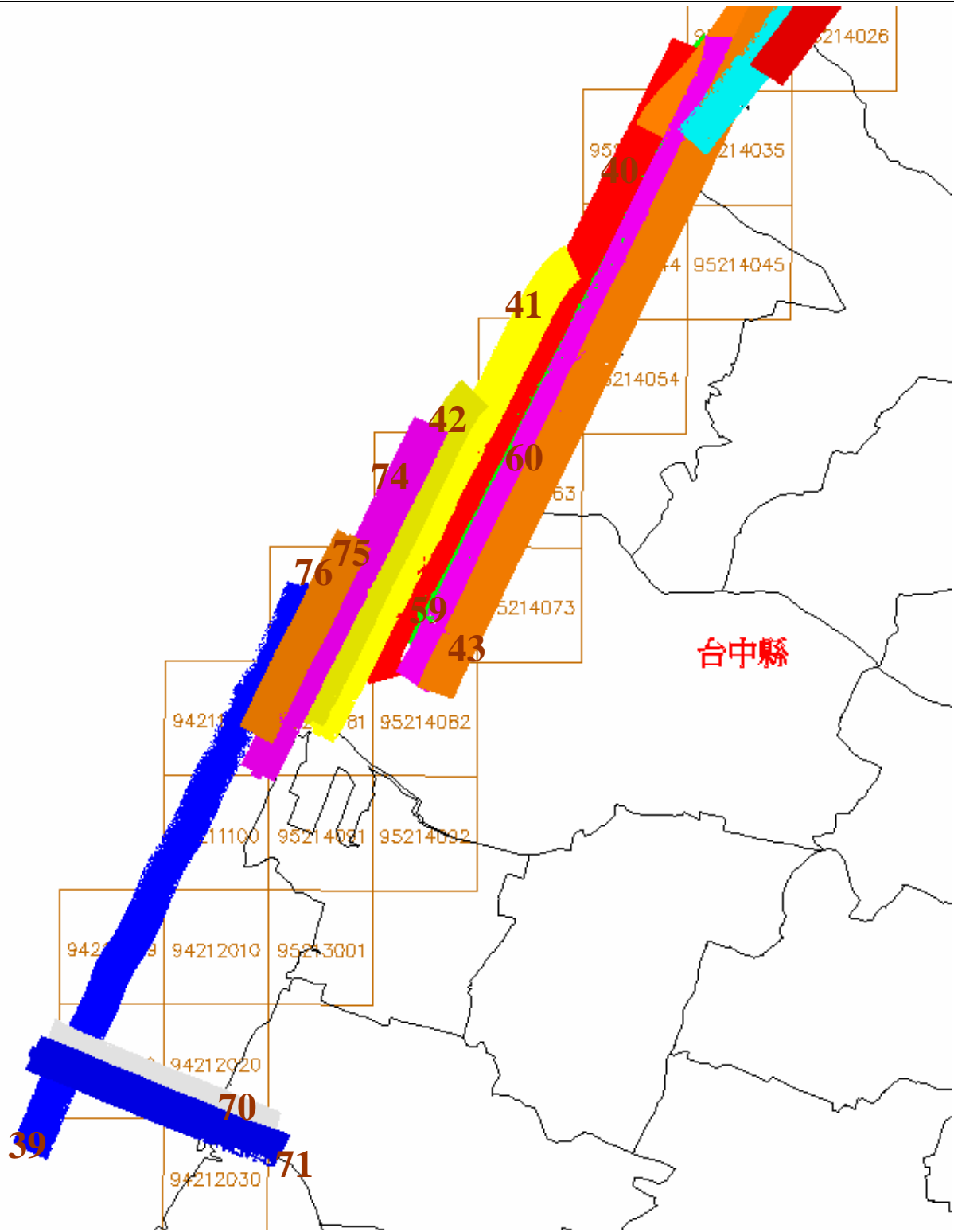


圖 3-29k 北區潮間帶低潮位雷射點雲航線圖

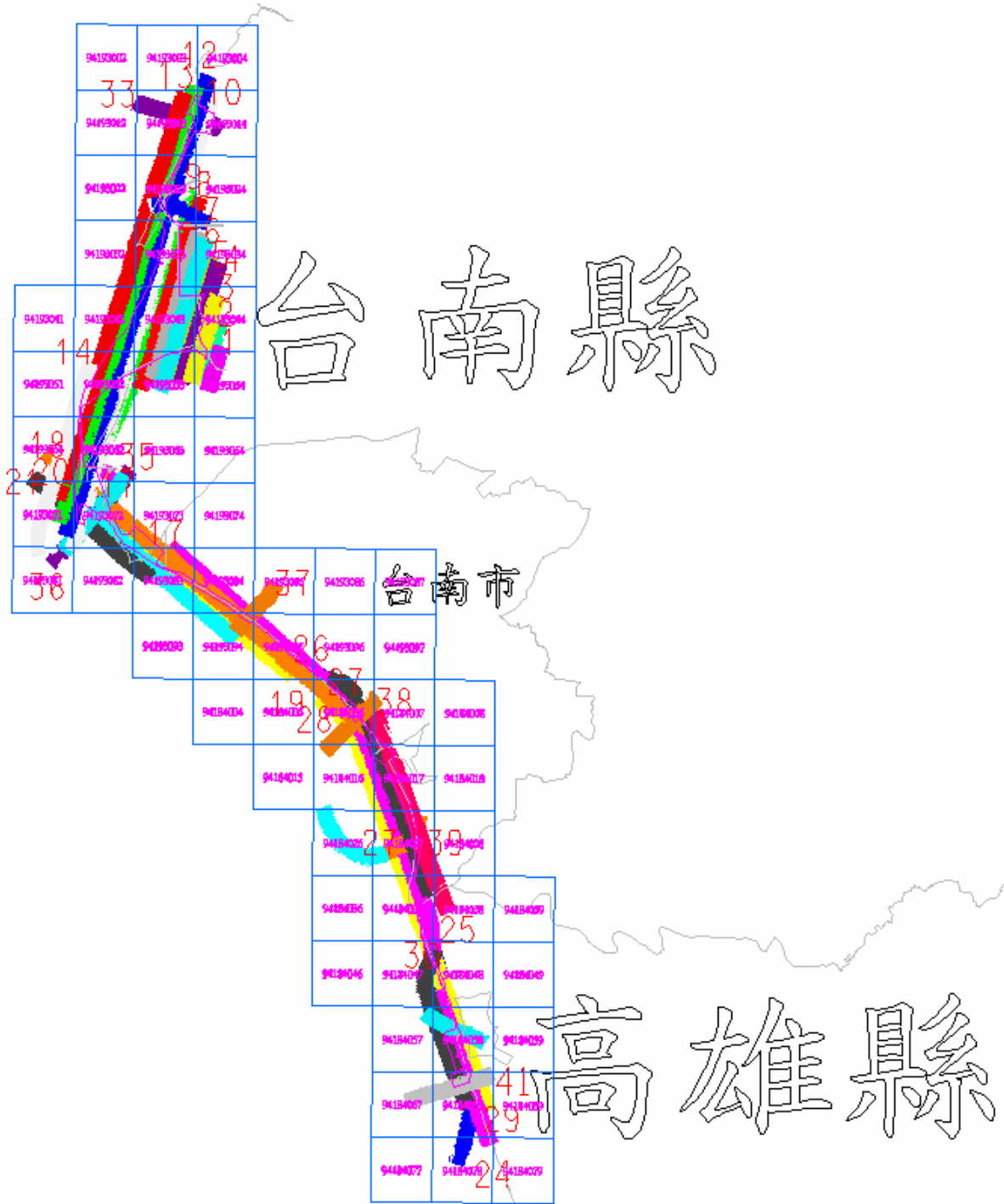


圖 3-30b 南區潮間帶高潮位雷射點雲航線圖

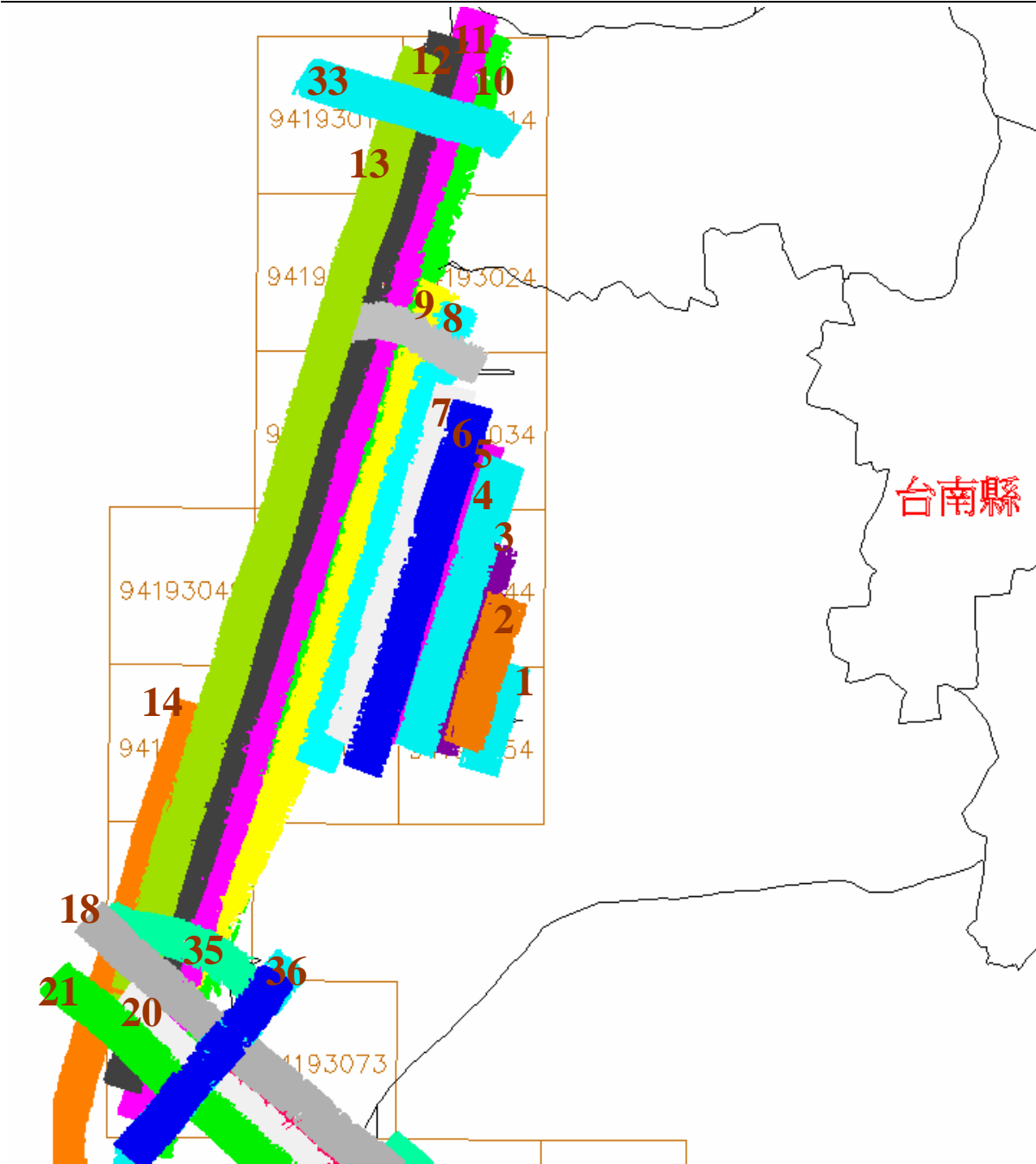


圖 3-30c 南區潮間帶高潮位雷射點雲航線圖

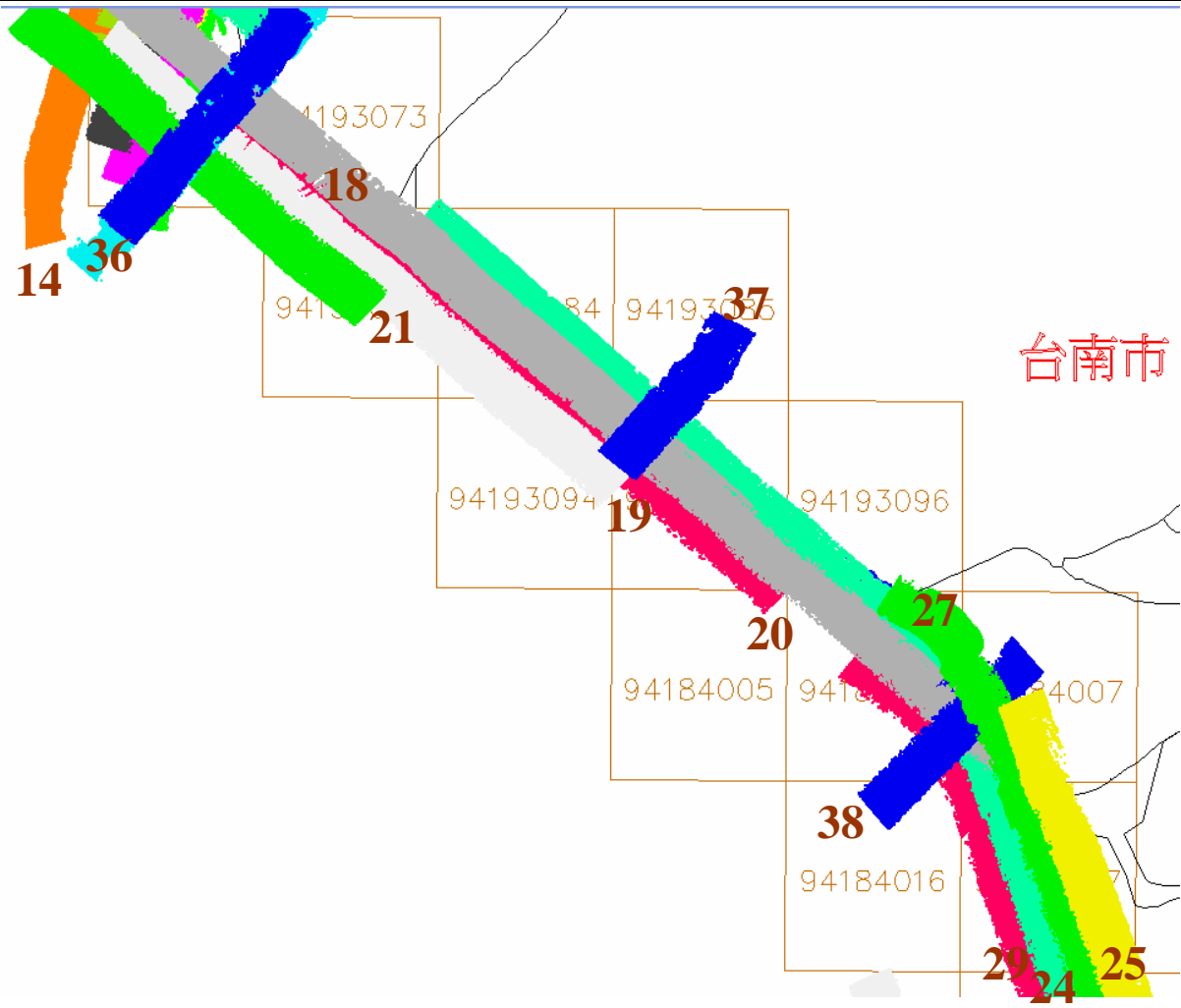


圖 3-30d 南區潮間帶高潮位雷射點雲航線圖

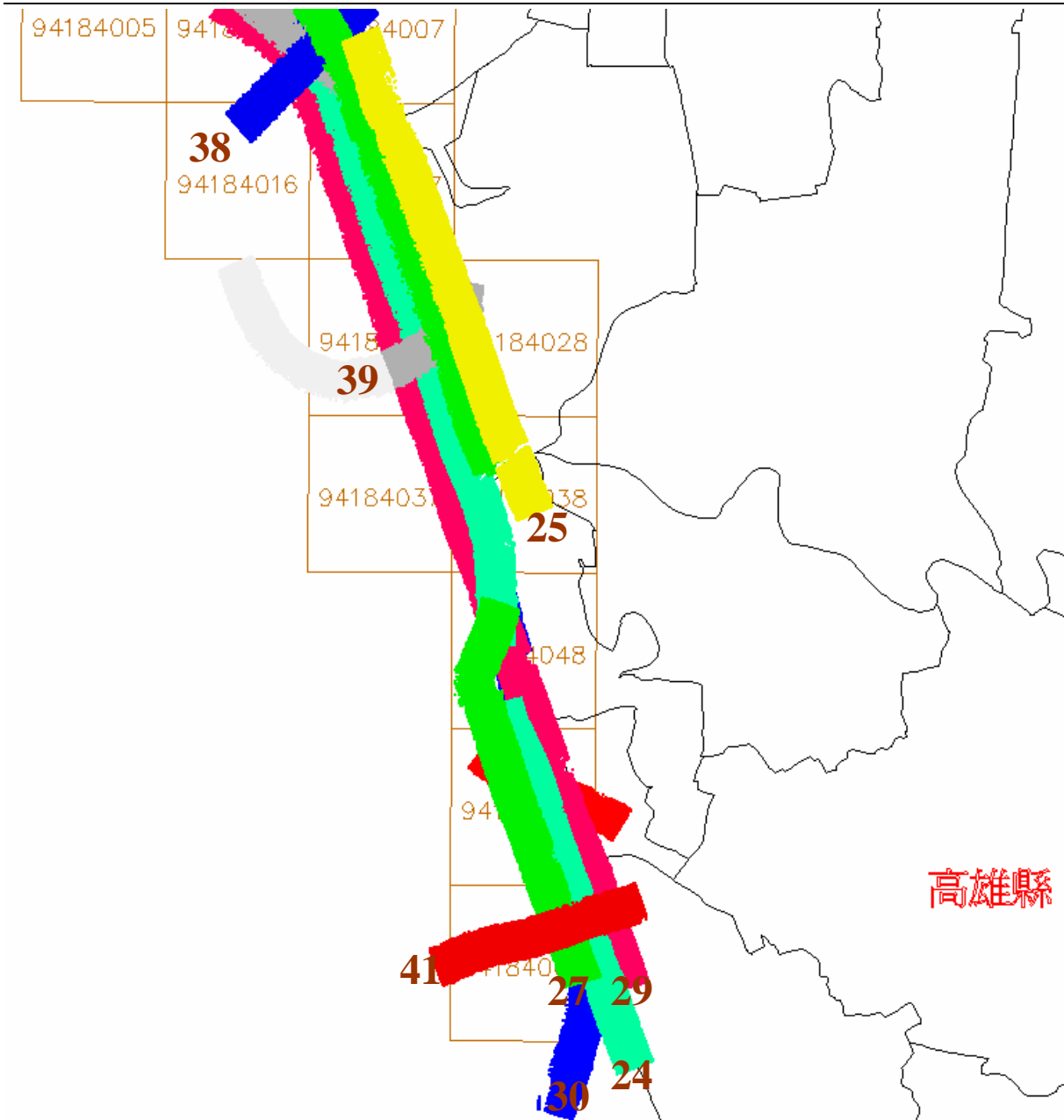


圖 3-30e 南區潮間帶高潮位雷射點雲航線圖

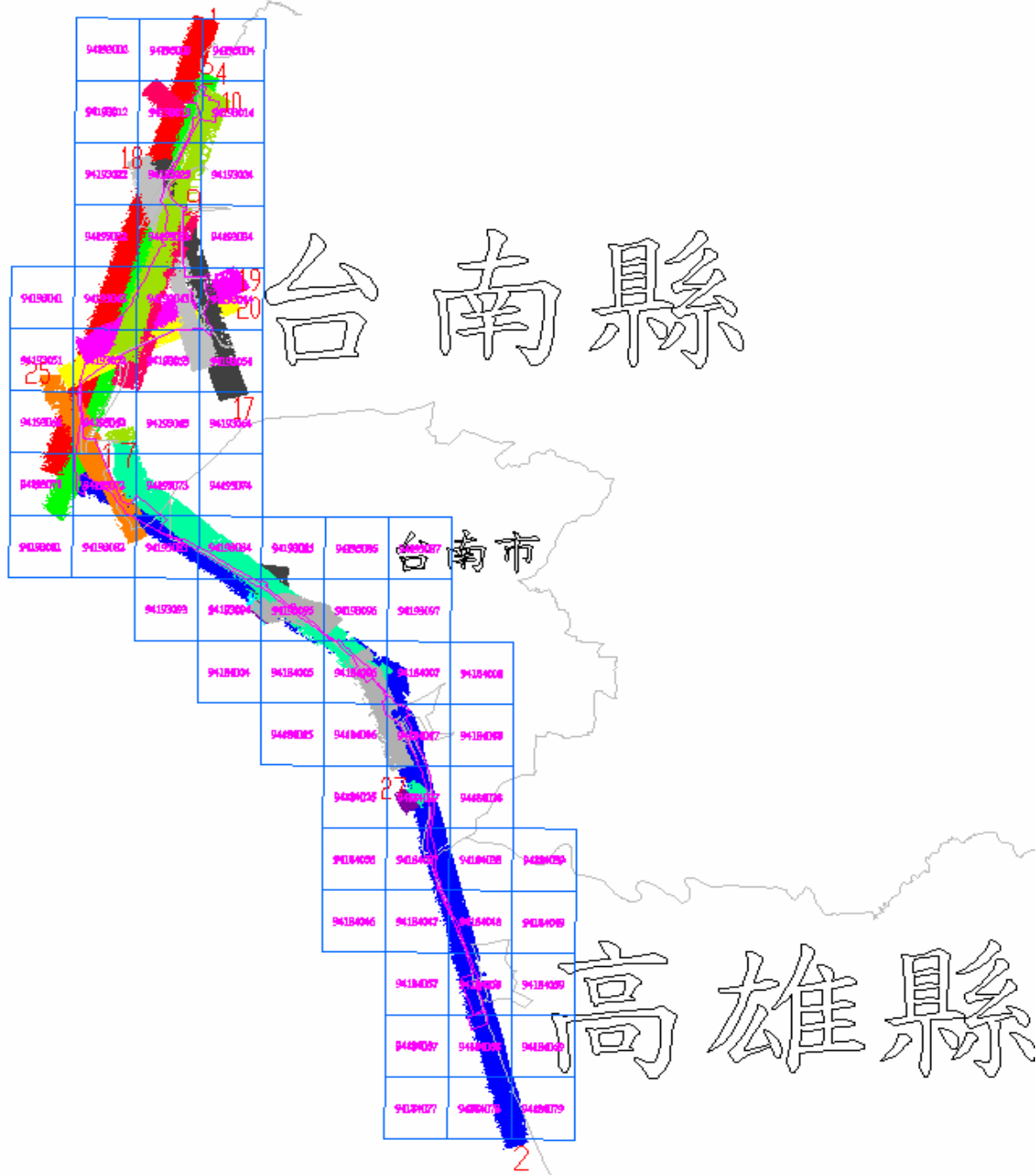


圖 3-30f 南區潮間帶低潮位雷射點雲航線圖



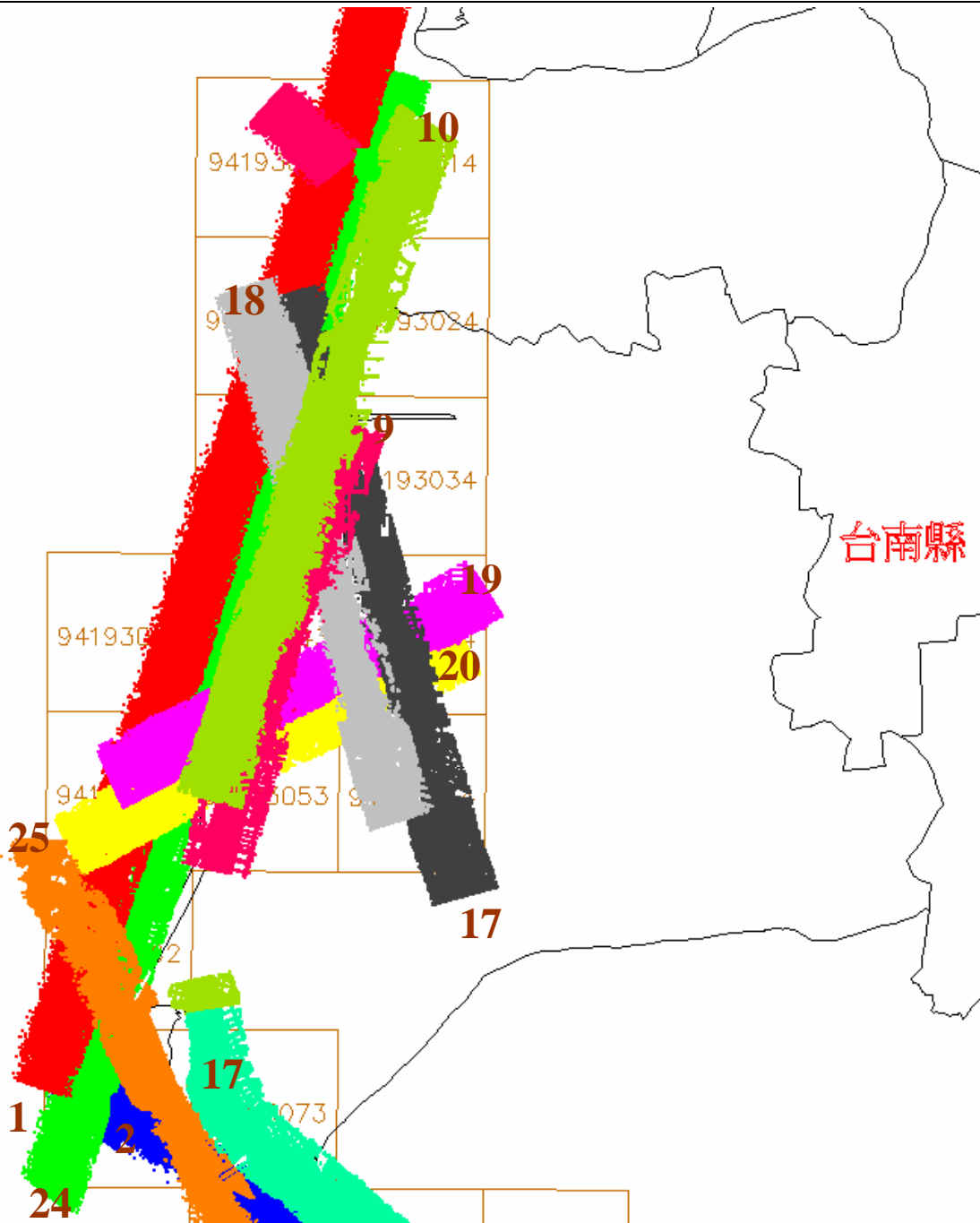


圖 3-30g 南區潮間帶低潮位雷射點雲航線圖

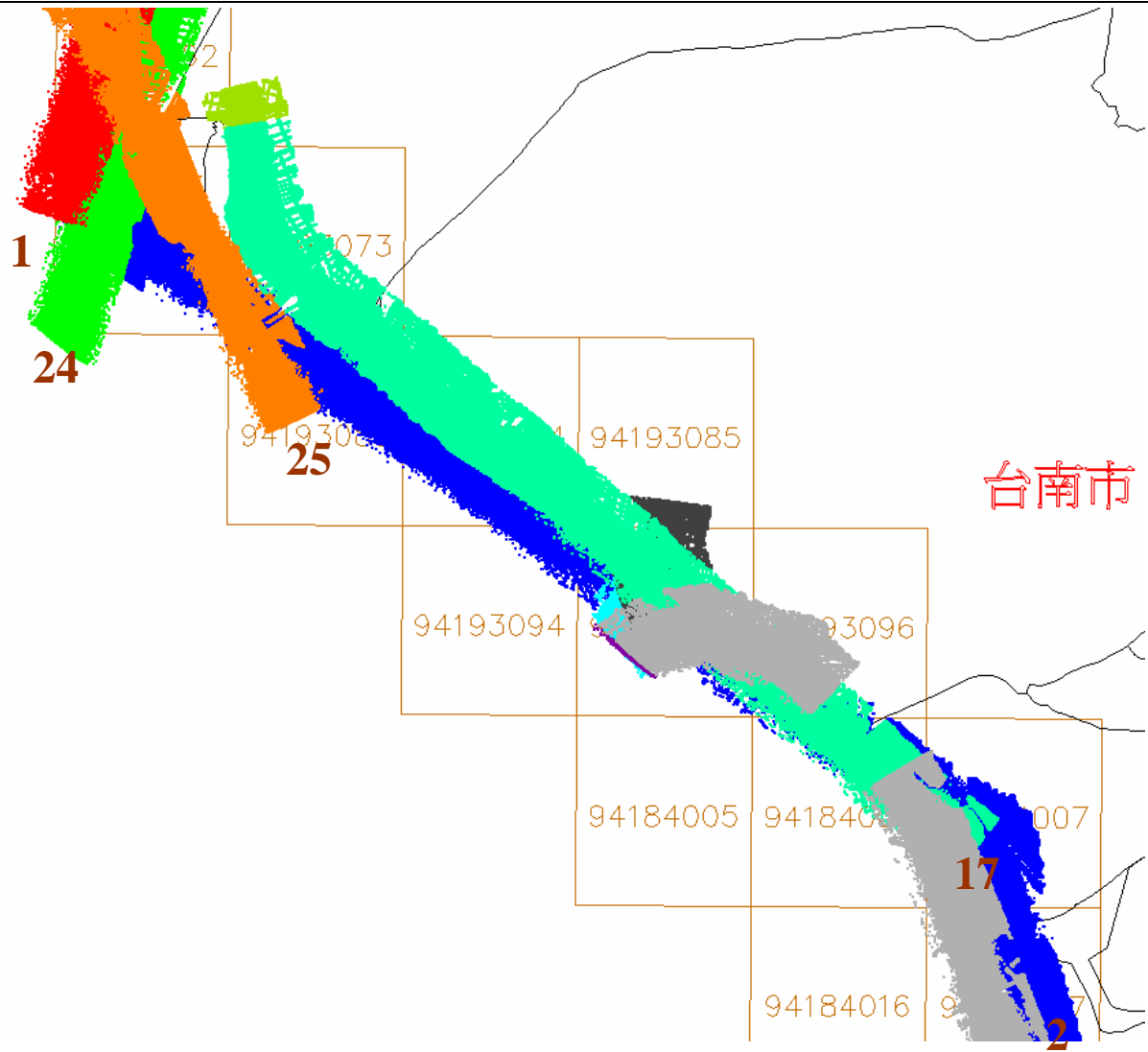


圖 3-30h 南區潮間帶低潮位雷射點雲航線圖 27

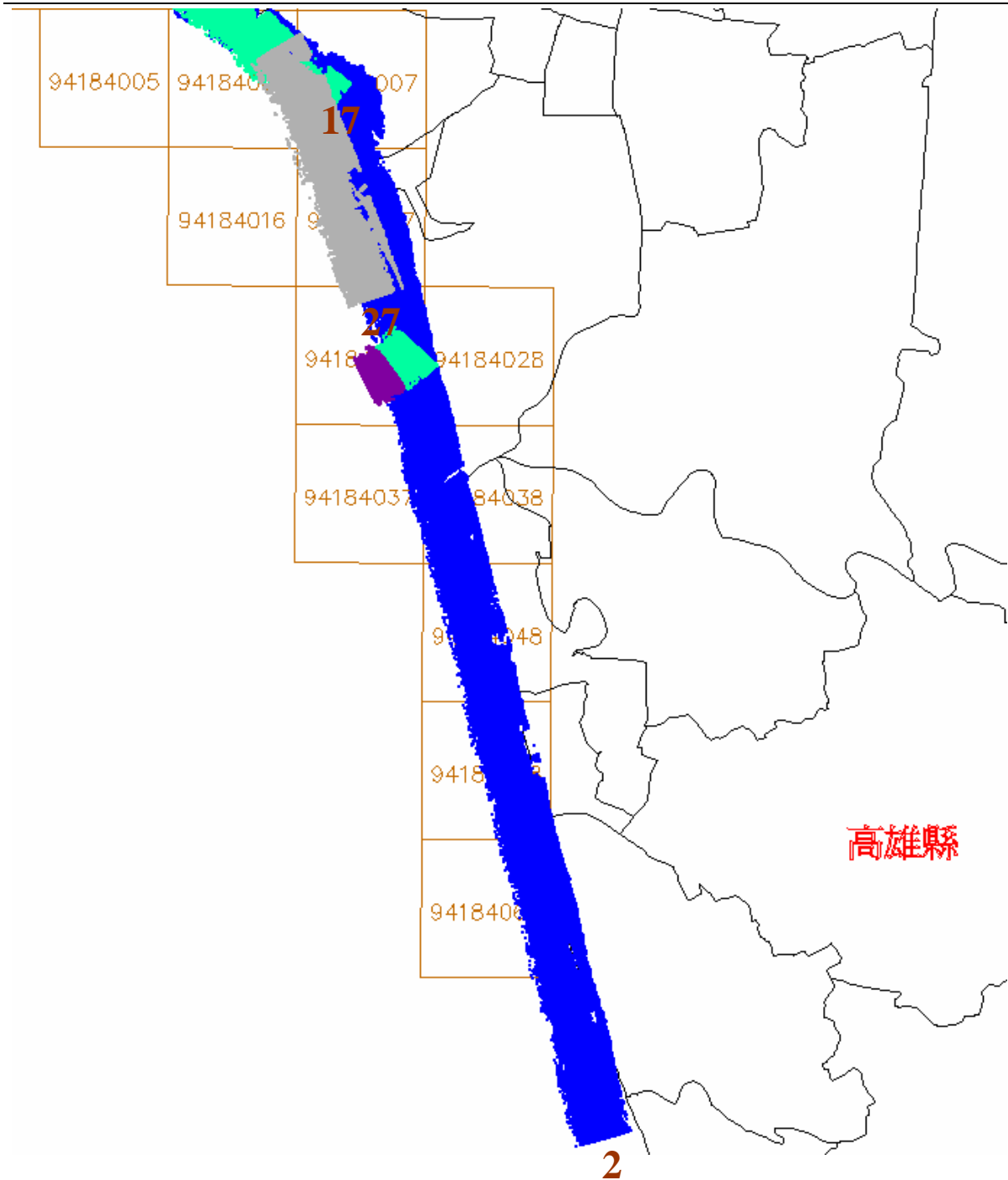


圖 3-30i 南區潮間帶低潮位雷射點雲航線圖

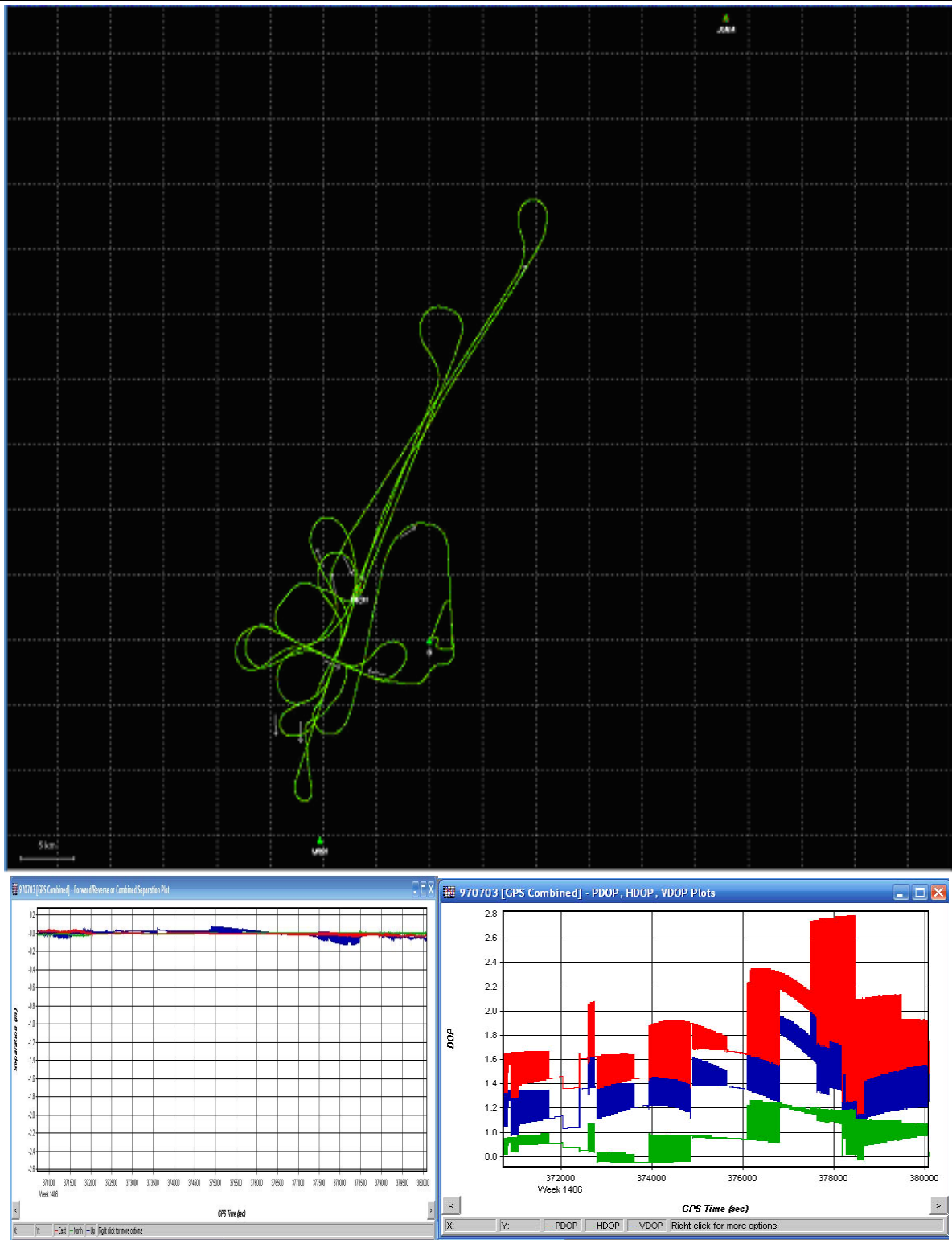


圖 3-31 北區 97.07.03 實際飛航軌跡圖



圖 3-32 北區 97.08.03 實際飛航軌跡圖

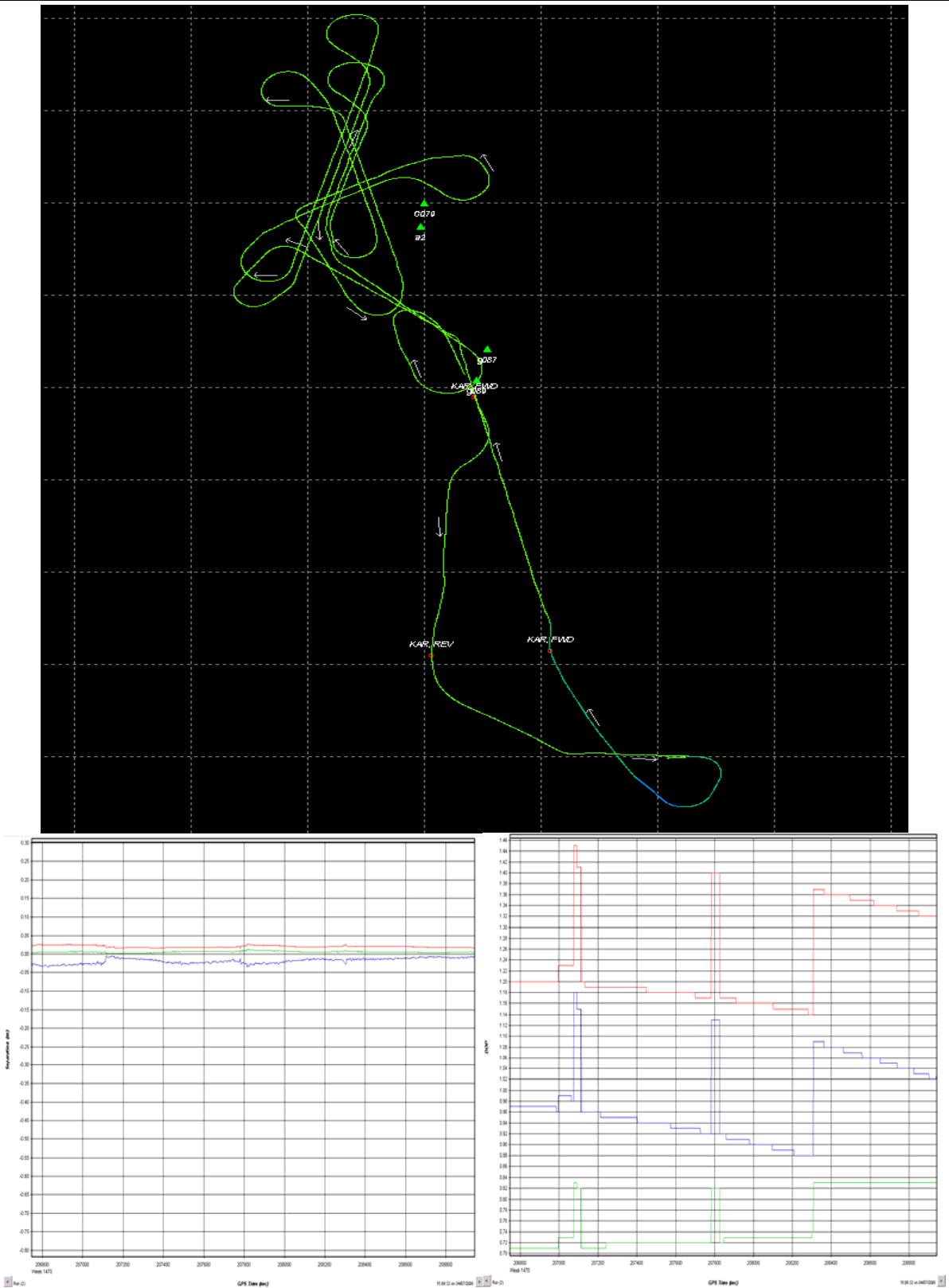


圖 3-33 南區 97.03.11 實際飛航軌跡圖



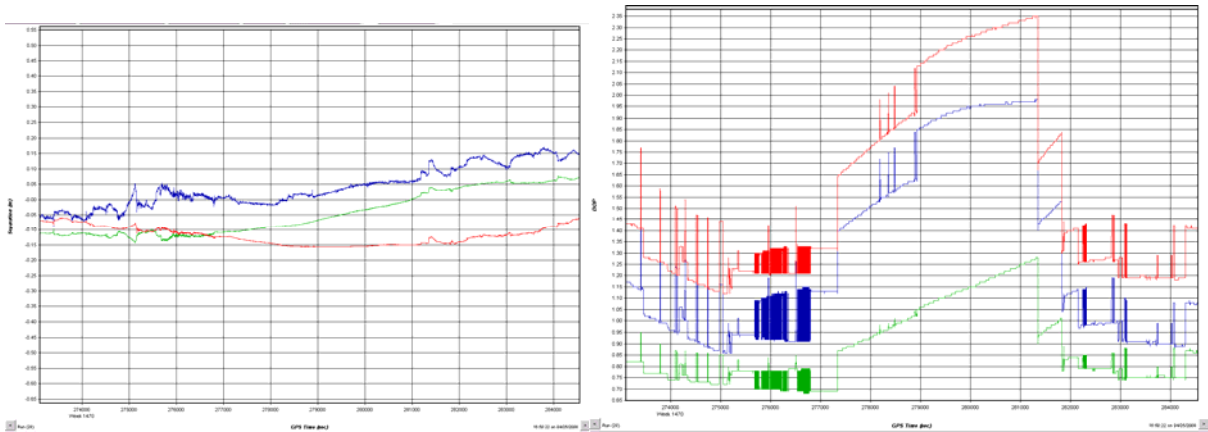
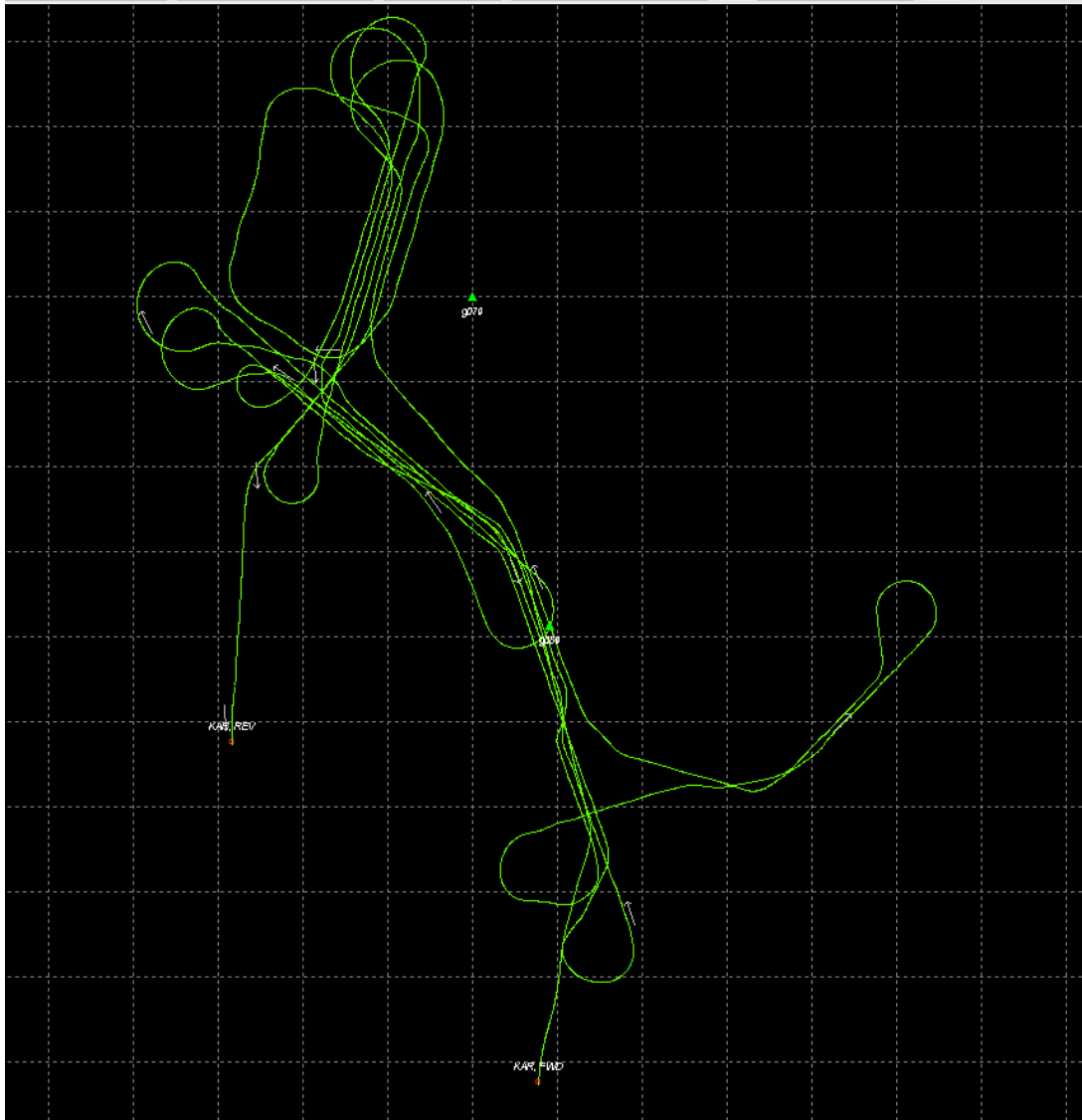


圖 3-34 南區 97.03.12 實際飛航軌跡圖

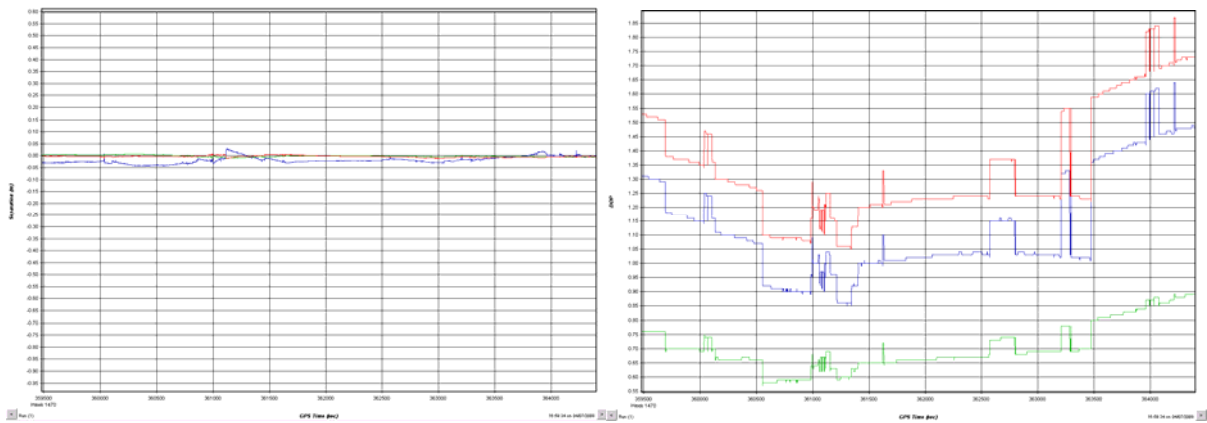
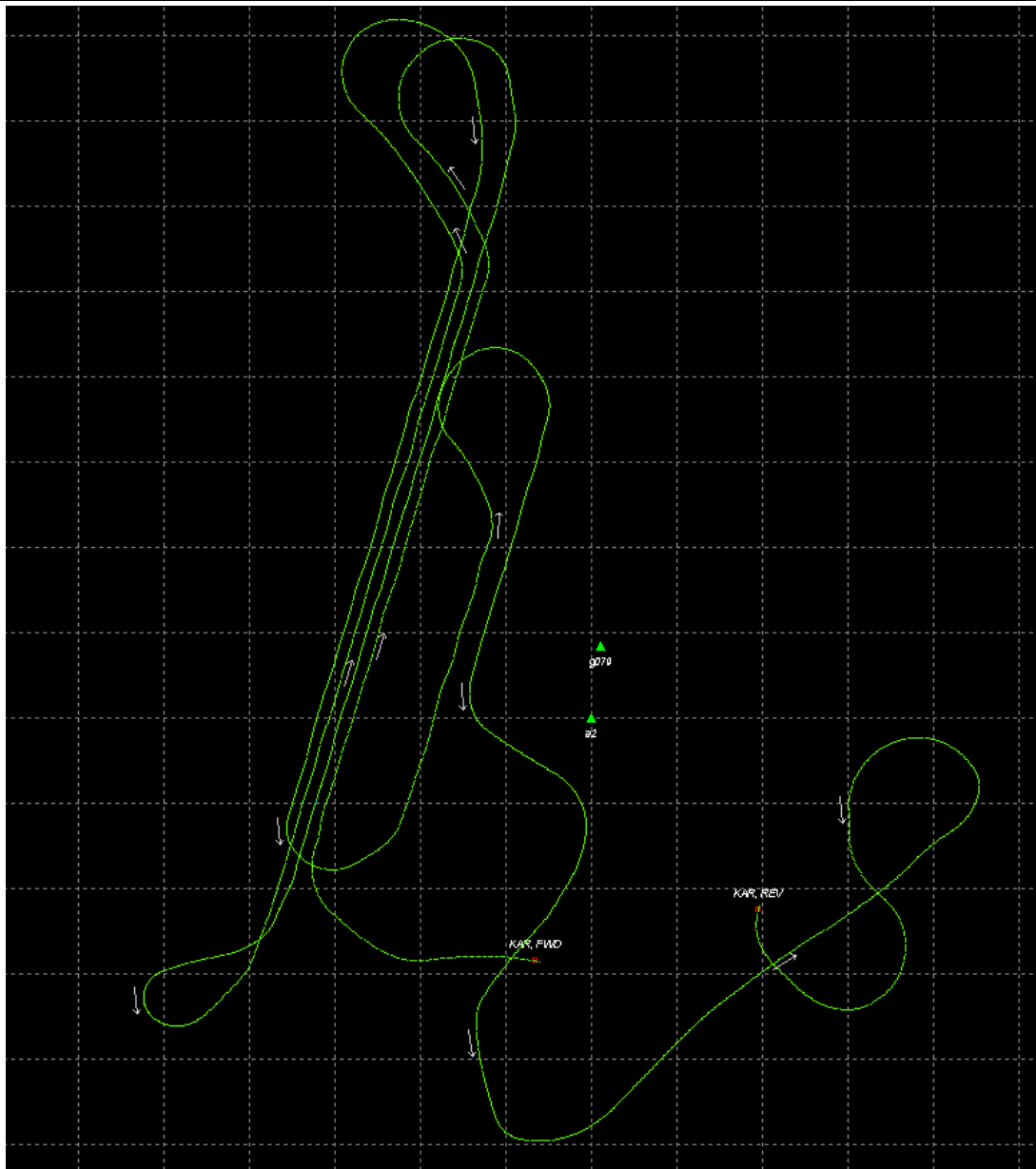


圖 3-35 南區 97.03.13 上午實際飛航軌跡圖

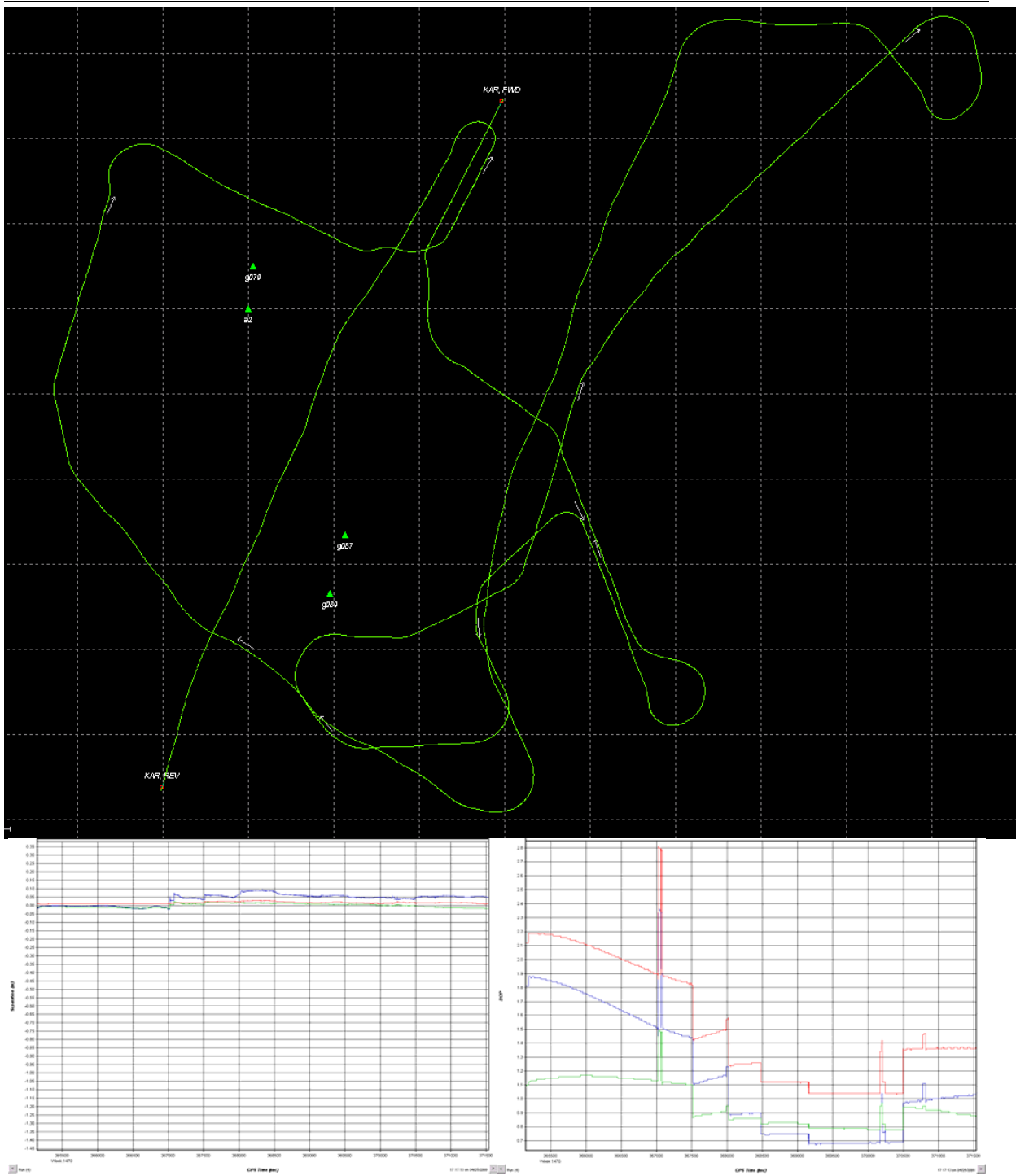


圖 3-36 南區 97.03.13 下午實際飛航軌跡圖

圖 3-37 至圖 3-38 分別為本案北區規劃 A、B、C 及 D 測區實際掃描軌跡航線圖；而圖 3-39 與圖 3-40 則為本案南區實際掃描軌跡航線圖；圖中之紫紅色及藍色圓框各為同色之地面基站 20 公里涵蓋範圍。而作業掃描各架次飛航參數與掃描參數表則列於附件四。

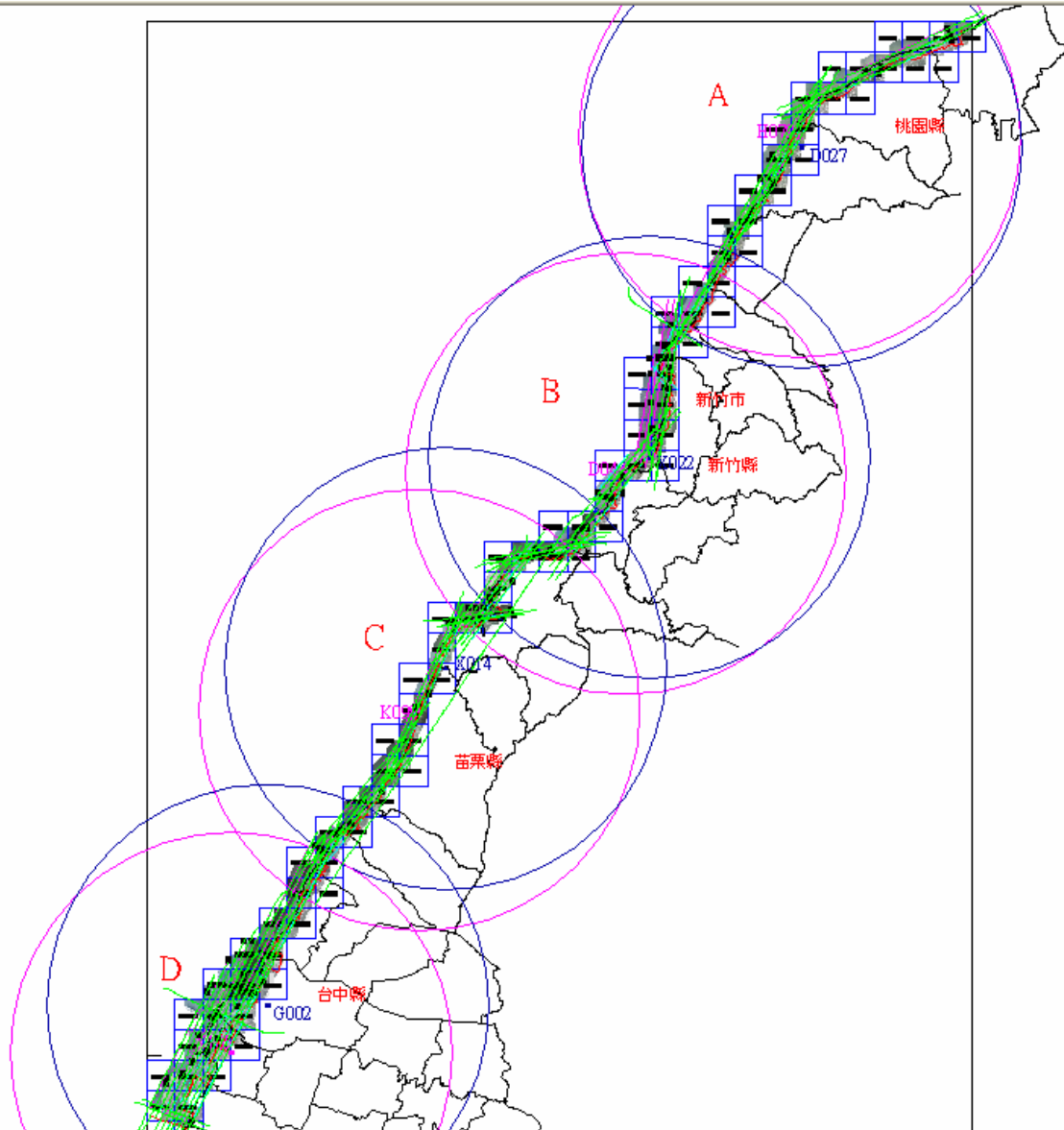


圖 3-37 北區規劃與實際掃描軌跡航線圖

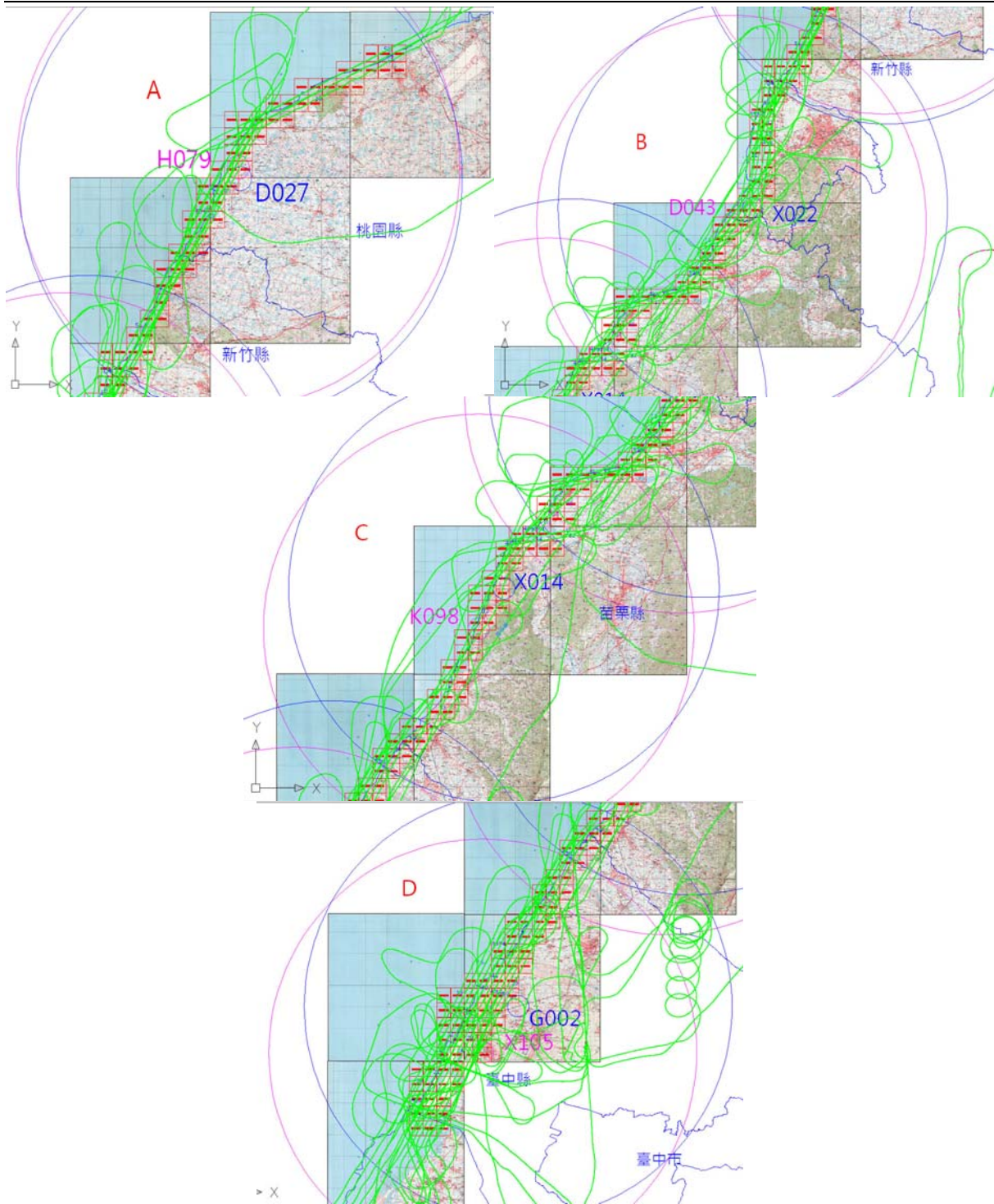


圖 3-38 北區 A、B、C、D 測區規劃與實際掃描軌跡航線圖



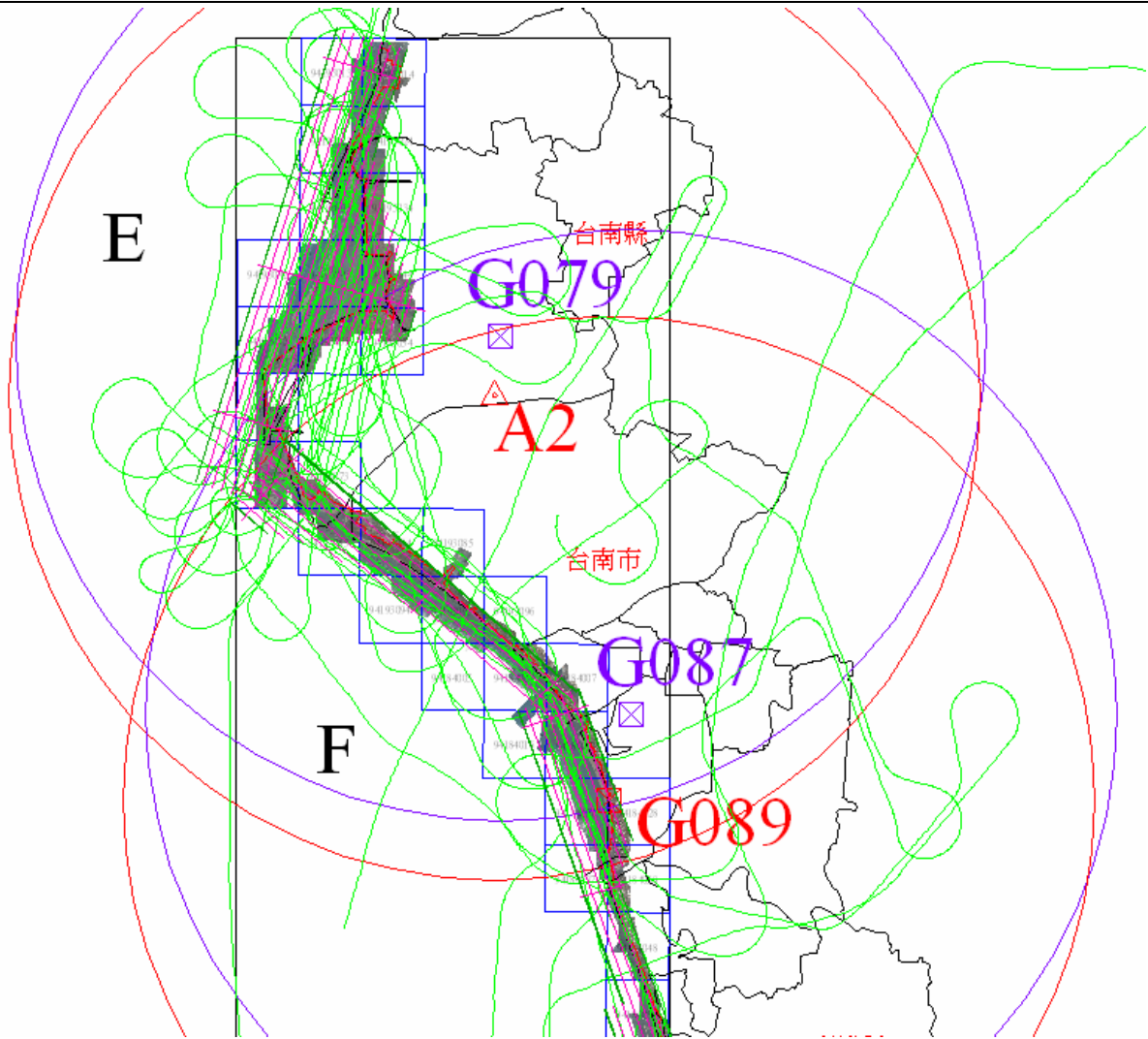


圖 3-39 南區規劃與實際掃描軌跡航線圖

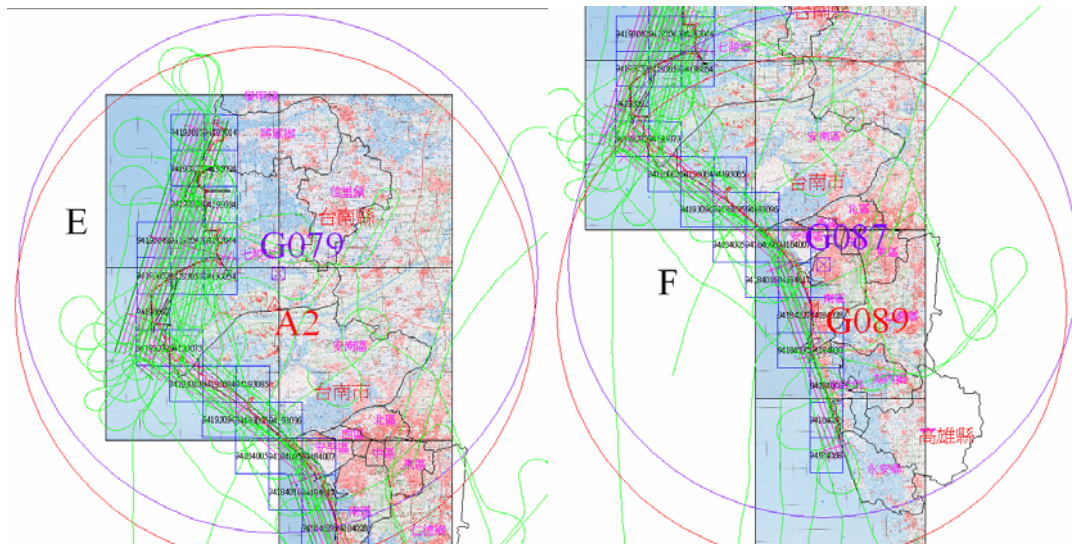


圖 3-40 南區 E、F 測區規劃與實際掃描軌跡航線圖



## (五) 航帶精度分析及平差處理

由於空載雷射掃描儀的架構使用相當多的輔助單元，在將飛航掃描的點位坐標轉換到通用的地面坐標系統過程中涉及多項量測步驟，使得其含有許多誤差來源：GPS、INS、Lever Arm、安置角、掃描鏡曲率以及雷射光束測距誤差等，因此其定位精度將受到各種量測值與設定值的影響。

空載雷射掃描三維資料的獲取實際上就是應用測距、測角(姿態及掃描角)定位，因此雷射掃描光束之空間方位誤差將直接影響雷射點之精度，造成不同航帶在重疊區域同一點之平面坐標和高程有差異。為使得後續數值高程模型能具有高精度之特性，將利用航帶間同一地物之不符值建立之數學模式進行航帶平差，平差之觀測量為同一地物之高程值，通過最小二乘法平差後將可求得航帶間參數模型之參數值，進而改正每條航帶之雷射點坐標。

為獲得高精度之雷射掃描成果，必須儘可能將這些誤差模組化以降低各種誤差的影響，最普遍之方式為利用飛行掃描率定場以求定安置角(感測器與 IMU 之偏心量)、掃描鏡曲率以及雷射光束測距誤差等。然而這樣的檢校忽略了其他如 GPS、INS 等之誤差，且每次率定飛行必定會增加成本，因此，若能將這些誤差以平差模式之數學模型模組化，則將提供更精確及可靠之雷射掃描測點資料(Kilian et al., 1996; Burman, 2000; Vosselman et al., 2001)。

### 1. 雷射掃描誤差來源及精度分析

(1) 雷射掃描誤差來源：空載雷射掃描之誤差來源主要可分為以下四項

- GPS 誤差：GPS 定位誤差。
- 雷射掃描測距誤差：掃描測距誤差、大氣折射誤差、掃描鏡曲率誤差等。
- INS 誤差：陀螺儀漂移誤差、重力模型誤差、大地水準面誤差等。
- 系統整合誤差：動態延遲誤差、GPS 天線設置誤差、安置角誤差、地面參考站位置誤差等。

一般而言，誤差對平面位置之精度影響較大，通常藉由 CAD 圖檔套疊雷射點資料可檢視平面偏移量，如圖 3-41(a)所示。而高

程上之偏移亦可由兩相鄰航帶之斑駁看出其存在差異，如圖 3-41(b) 所示。所以在雷射點雲解算後，需經資料檢核的方式來確定資料的正確性。主要分為內部精度分析與外部精度分析。內部精度分析採用航帶間重疊區之資料，利用彼此高程之差異量來檢視；而外部精度分析則是將已知的地面控制點比對雷射點資料所表現的地形趨勢面，視其兩者間之差異。

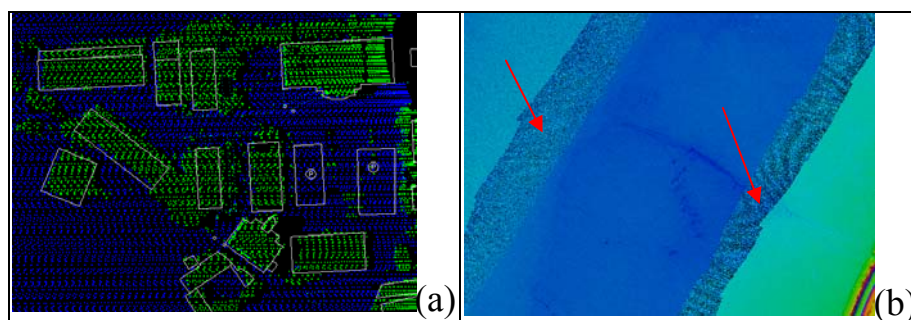


圖 3-41 (a)雷射點套疊向量圖顯示平面偏移(b)航帶間差異量形成斑駁

## (2) 雷射點誤差分析：

- a. **內部精度分析：**內部精度即代表航帶間精度。其利用多條航帶重疊處組成之 TIN 進行高程差異的比對，以獲取航帶間的差異性。本分析目的為獲致航帶間是否存在有未率定之系統誤差以確保資料之精度，並需進行(a)交叉航帶誤差分析(b)重疊航帶誤差分析。實際作業上，為更精確的獲得航線間之精度分析結果，利用 TerraMatch 軟體之 Measure Match 功能進行航線重疊處高程差異比對，其比對原理如圖 3-42 所示，利用航帶 1 地面點組成之三角網格模型與航帶 1 及航帶 2 重疊區塊內之地面點點雲及控制點組成之三角網格模型分別進行比較以獲得航帶 1 與航帶 2 間之差異量。

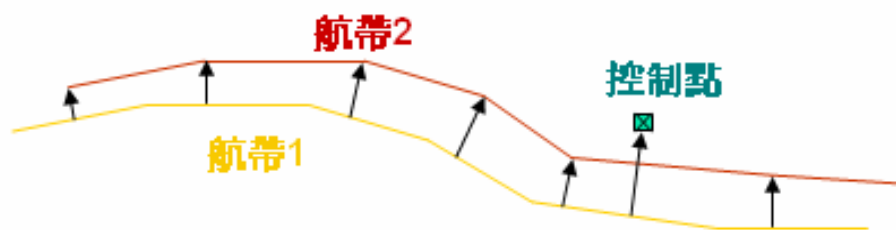


圖 3-42 Measure Match 之比對原理

- b. **外部精度分析作業：**外部精度是將已知的地面控制點比對雷射點資料所表現的地形趨勢面。

## 2. 航帶平差模式

航帶間存在誤差將影響後續應用，上述誤差可經由率定飛行及良好的飛行計畫控管整個雷射掃描之精度，也就是說，大部分的誤差都可以被界定出來加以檢定，然而即使如此，實務經驗上仍無法解決資料存在之誤差量，因此應用航帶平差理論提高資料品質是必要之手段。

空載雷射掃描儀的架構都是由 GPS 及 INS 結合，使掃描的坐標能轉換到通用的地面坐標系統，因此其定位精度將受到各種量測值與設定值的影響，若系統率定不完整，GPS 與 INS 系統誤差會傳播到解算雷射測點三維坐標的精度，為了檢驗並減少系統誤差，本工作採用商業軟體 TerraMatch 進行雷射掃描航帶平差，利用航帶重疊數據連結點的高程進行連結點的量測，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。

實際上計算所得的掃描點坐標之誤差來源可能受到相當多因素之影響，包含系統性及偶然性之誤差，系統性之誤差只能將航帶轉換參數所能描述的誤差量帶入予以糾正，剩餘之誤差量則視為偶然誤差利用最小二乘方式平差之，因此進行航帶平差時須先界定所謂的航帶間幾何轉換參數，才能藉以發展航帶平差之數學模式。

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  $(X \ Y \ Z)^T$ ：雷射測點在 WGS84 地面坐標、 $(X \ Y \ Z)^T_{GPS}$ ：GPS 天線在 WGS84 坐標、 $(x \ y \ z)^T_{antenna}$ ：天線到 INS 平移量、 $(l_x \ l_y \ l_z)^T$ ：雷射定位分量、 $R_{LRF}$ ：從雷射掃描鏡到 INS 轉換參數、 $R_{INS}$ ：INS 獲取姿態角度、 $R_{Mirror}$ ：掃描鏡旋轉矩陣

平差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，應用上由於掃描幾何條件的未知參數之間存在參數高相

關，可加入地面已知控制點作為平移量之約制，另一方面，減少參數量，在隨機模式高相關參數對應組的某一組，選取姿態參數求定，加權值效果如同去掉平移參數線性漂移量的未知數，會有較穩健(Robust)的求解成果。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。

◆ 平差作業流程包括：

- (1)處理雲點資料，重點在濾除非地面點。如圖 3-43(b)為濾除圖 3-41(a)中非地面點後之實際地面點雲圖。

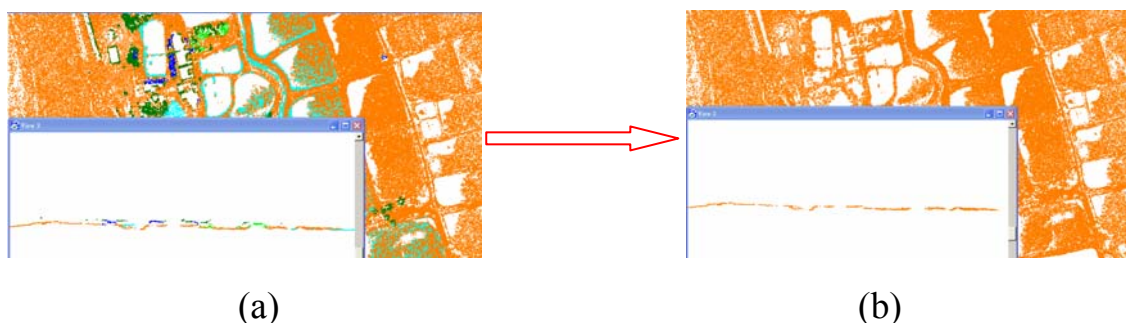


圖 3-43 三維側視圖(a)含地上物 (b)濾除非地面點成果

- (2) TerraScan 軟體進行航帶之間重疊數據特徵點匹配連結點的量測，由於潮間帶整個航帶共有 40 幾條之多(不包查核線)，因此航帶重疊區域之點數達千萬之多，無法將所有重疊測點視為觀測量進行平差處理，因此實務上將選取均勻分佈於航帶間之平差用觀測點，並依據以下原則均勻選擇匹配區塊之大小及位置。

◎避免複雜的地表(如海、密遮蔽區及矮密植被區等)

◎平坦之斜坡面及屋頂面(人工分類)

- (3)將選擇之區塊視為航帶間連結之重疊區塊，利用重疊區塊所有之地面對應點為匹配點如圖 3-44 所示；圖 3-45 為此次航帶平差選用重疊區塊分佈圖。

- (4)以 TerraMatch 軟體之 Find Match 功能決定欲求解之參數進行航帶平差計算與改正。

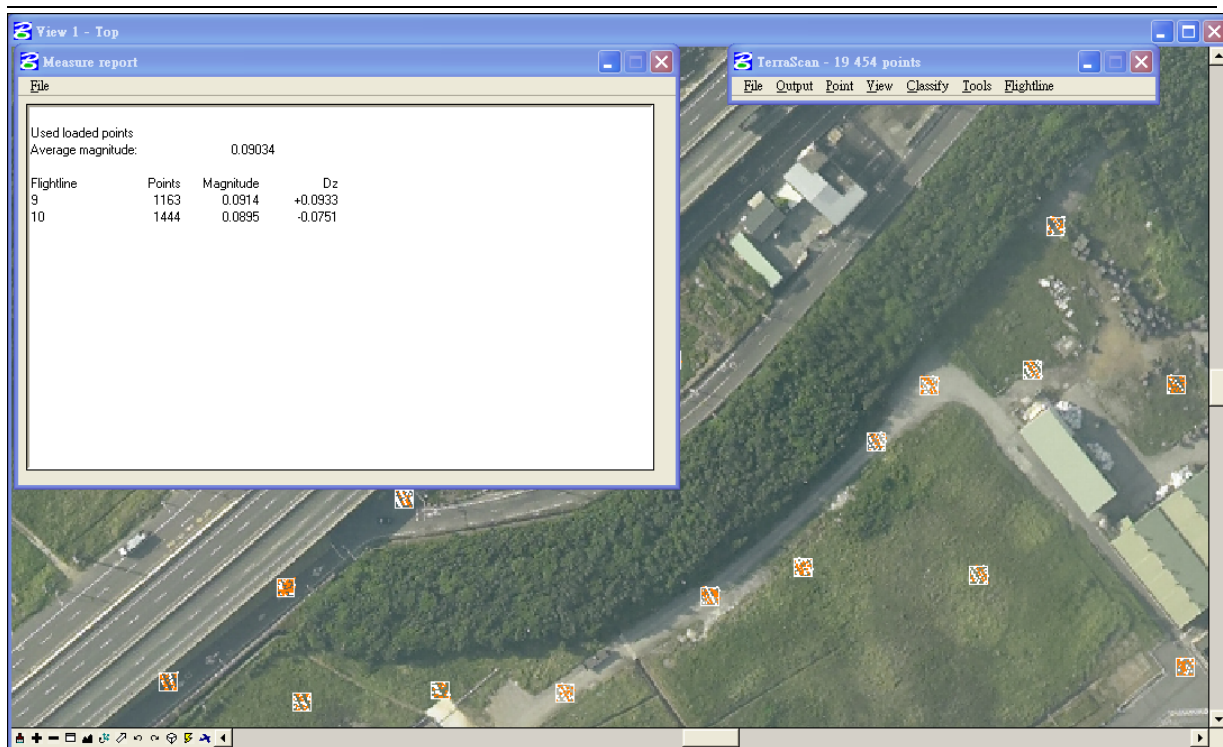


圖 3-44 平差使用之區塊

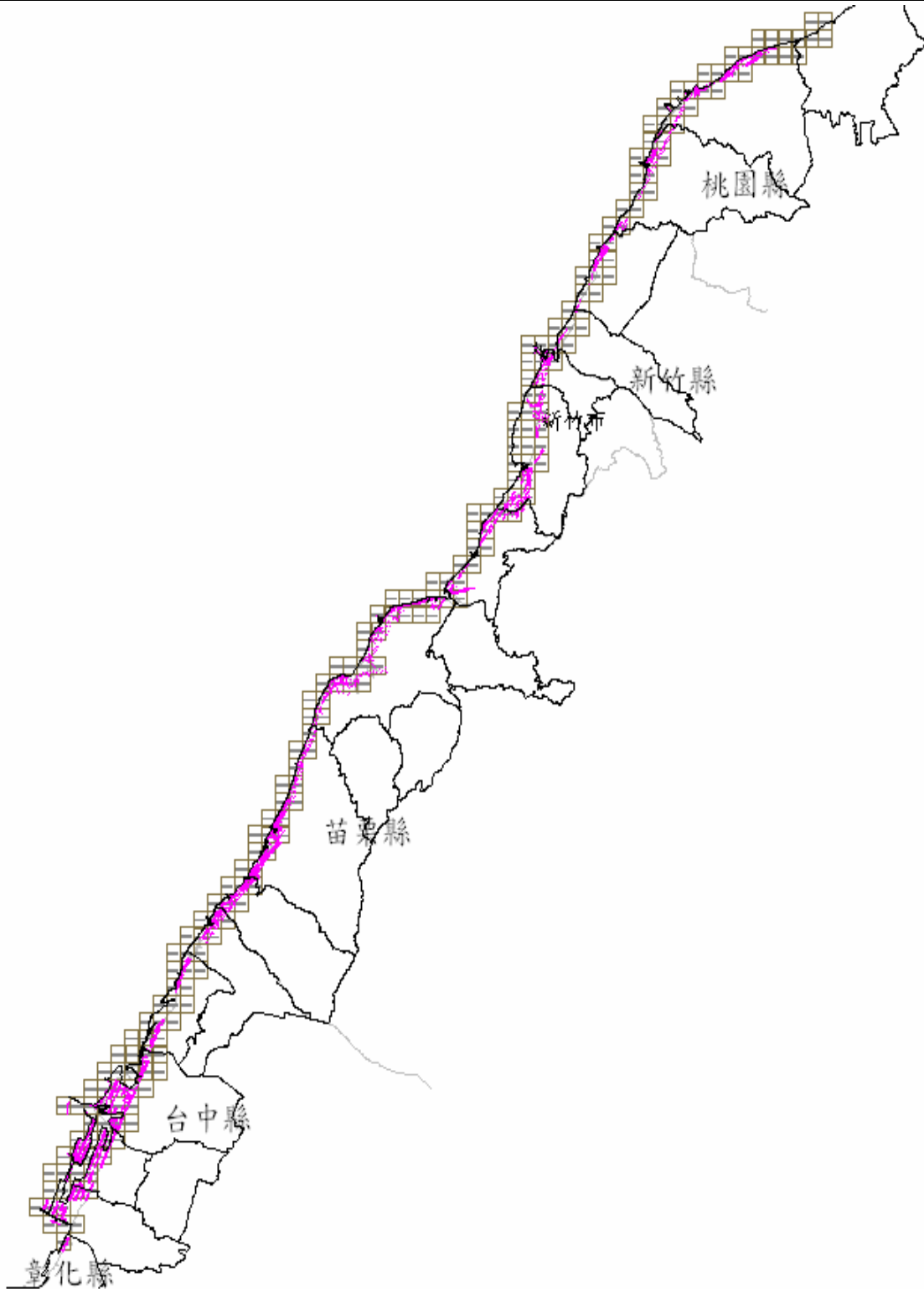


圖 3-45a 北區平差區塊分佈圖(全區)





圖 3-45b 北區平差區塊分佈圖例圖

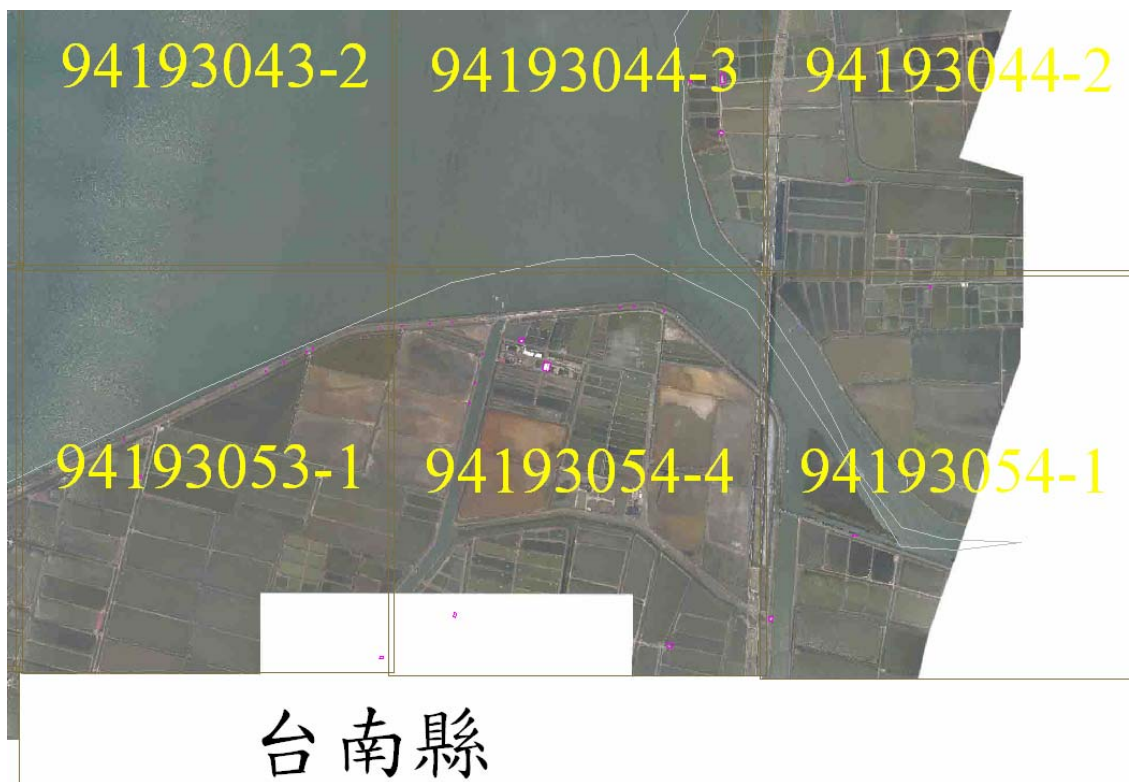


圖 3-45c 南區平差區塊分佈圖例圖

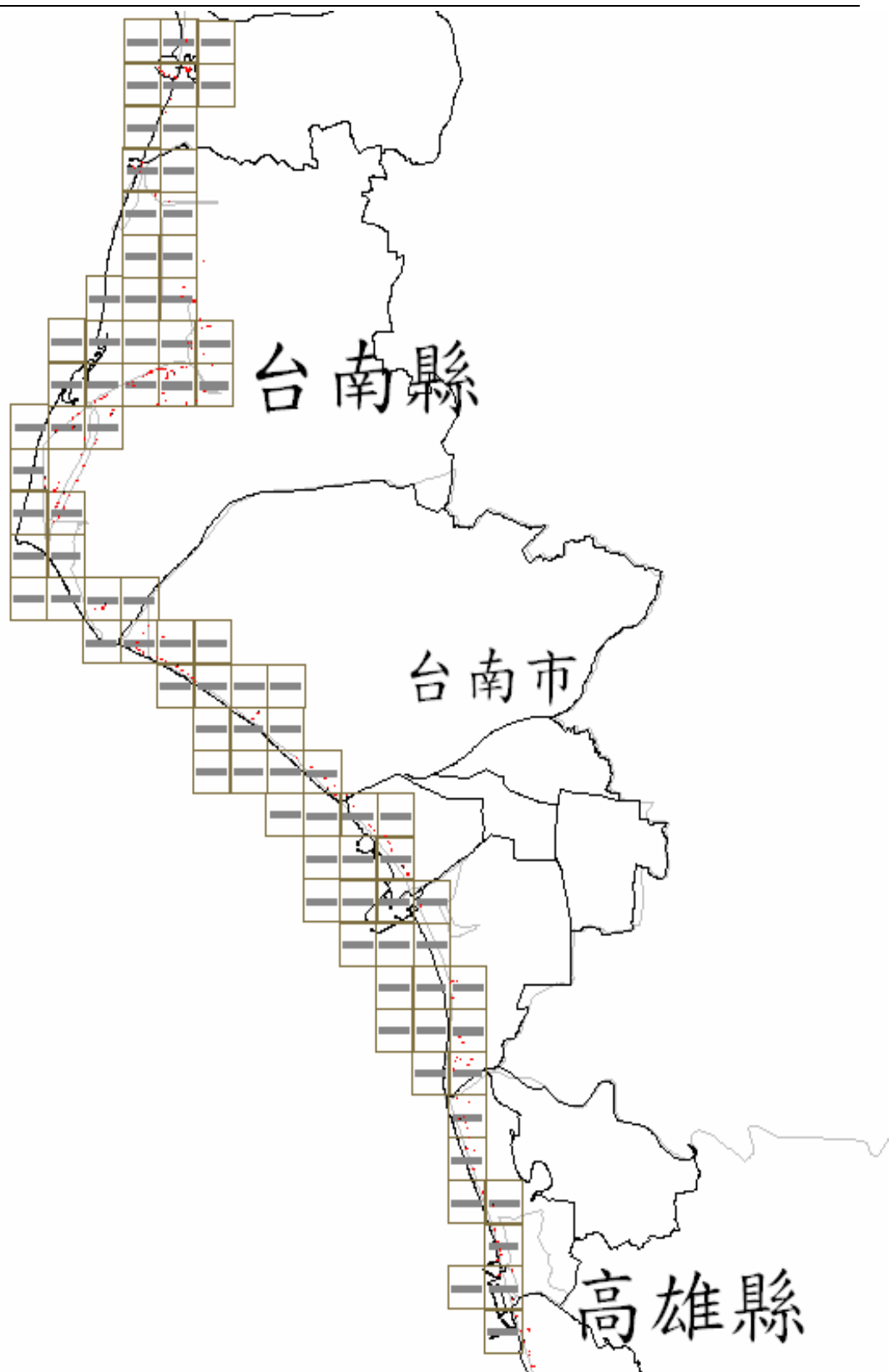


圖 3-45d 南區平差區塊分佈圖(全區)

(5) 航帶平差成果評估。

### 3. 航帶平差及應用軟體

平差作業流程之應用程式為 TerraScan 及 TerraMatch 商用軟體，整個作業的環境是架構在 MicroStation 下，由於平差觀測量必須是針對相同地面或地物在不同航帶之雷射點結果，為確保航帶間具有高程差值為相同地面，因此在進行平差作業前，應用 TerraScan 的雷射點分類能力及互動式分類工具列進行各種地物點之前期分類作業，後利用 TerraMatch 進行相關航帶平差作業。

TerraMatch 軟體作業程序如圖 3-46 所示：

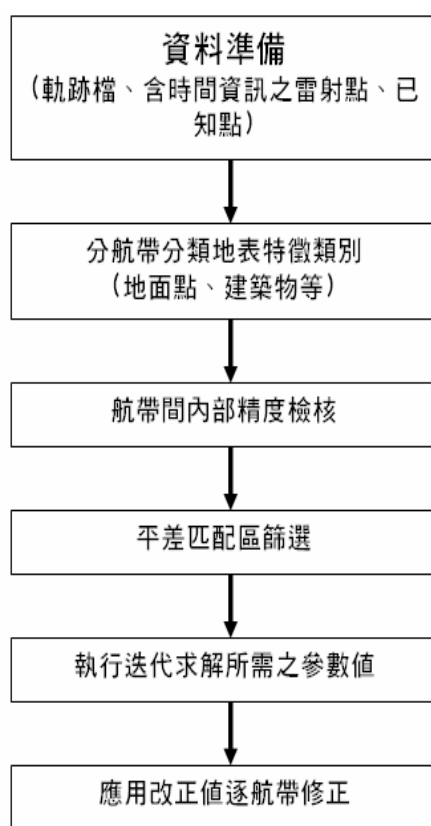


圖 3-46 平差作業流程圖

### 4. 平差作業成果

#### 【北區】

本案北作業區區由桃園老街溪口北岸至彰化大肚溪出海口南岸端，共進行 75 條光達航線掃描(包含 6 條交叉航線)。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、高差約制為 20 公分(圖 3-47)，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 5m×5m 選取範圍進行點雲資料之平均高程計算，如圖 3-44。航帶重疊區數據之分析結果如表 3-5，北區高、低潮位高差平均量分別為 0.078 公尺與 0.079 公尺。

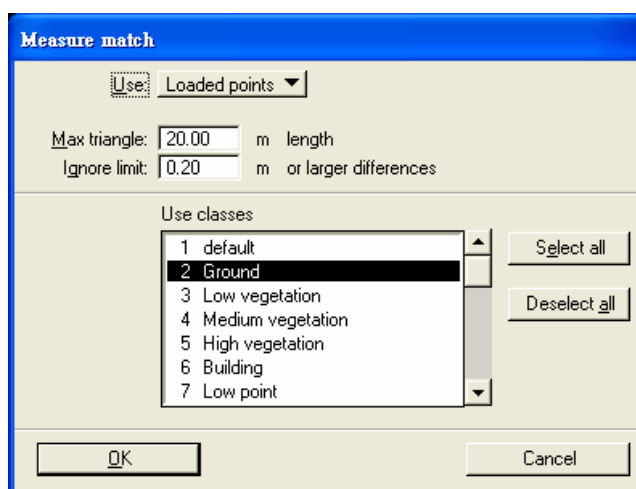


圖 3-47 Measure Match 參數設定

北區作業區中，共進行 6 條交叉航線，於本項作業精度評估採用 TerraMatch 模組之 Measure Match 功能，以進行航帶交叉數據之分析。北區交叉航帶數據之分析結果如表 3-6，其高差平均量為 0.077 公尺。而航帶平差前後平均絕對高差量比較成果如表 3-7 所示；由表中可知，高差平均量由 0.078 公尺降為 0.068 公尺，由於本案作業範圍多為潮間帶作業區域，地勢起伏較為平坦，因此本次航帶平差作業對 LiDAR 高程精度的提升並無顯著改善效果。圖 3-48 為航帶平差計算結果例，其中，average magnitude 為高差平均量，points 為計算點數，magnitude 為絕對高差量，Dz 則為高差，單位均為公尺。

Average magnitude: 0.17149			
Flightline	Points	Magnitude	Dz
209	3888	0.1955	+0.0172
210	4317	0.2239	+0.0487
211	2472	0.1345	+0.0104
205	464	0.3212	+0.0486
203	972	0.0872	+0.0046
204	1172	0.0872	-0.0058
212	1372	0.0887	-0.0158
202	52	0.1703	-0.1067
206	21	0.2250	+0.0889
207	42	0.1031	-0.0160
201	36	0.0599	+0.0292
208	7	0.5266	-0.4309

圖 3-48 航帶平差計算結果例

表 3-5 北區航帶重疊區數據之分析結果

低潮位				高潮位			
高差平均量(m)	0.075			高差平均量(m)	0.077		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
39	105	0.100	-0.064	1	781	0.108	-0.098
40	326	0.050	-0.027	2	6448	0.082	-0.040
41	314	0.055	0.028	3	168	0.100	-0.044
42	1036	0.060	0.041	5	460	0.136	-0.117
43	520	0.071	-0.002	6	825	0.127	-0.127
44	138	0.115	0.092	7	1252	0.108	0.113
45	2041	0.068	-0.004	8	237	0.089	0.056
46	4815	0.067	0.002	9	1163	0.091	0.093
47	229	0.079	-0.036	10	1444	0.090	-0.075
48	400	0.137	0.139	11	138	0.101	0.004
49	1327	0.085	-0.084	12	195	0.063	0.042
50	1400	0.086	-0.048	13	399	0.078	-0.029
51	1074	0.095	0.087	15	493	0.085	0.012
52	761	0.057	-0.048	17	2207	0.090	-0.073
53	654	0.058	-0.011	18	2353	0.080	-0.058
54	651	0.059	0.011	19	696	0.083	0.024
55	734	0.064	0.050	20	417	0.035	-0.017
56	164	0.089	-0.010	21	2216	0.065	-0.054
57	179	0.060	0.001	22	433	0.037	0.017
58	956	0.110	0.113	23	2193	0.064	0.055
59	421	0.062	-0.021	24	6106	0.045	-0.011
60	616	0.066	0.043	25	714	0.100	0.096
61	3605	0.060	0.006	26	501	0.061	0.018
62	957	0.064	0.025	27	1788	0.059	0.027
63	2777	0.081	0.053	29	617	0.063	-0.043
64	1034	0.109	-0.083	30	2228	0.057	0.002
65	2486	0.065	0.018	31	1424	0.072	0.028
66	526	0.132	-0.122	32	3828	0.078	-0.038
67	240	0.066	-0.001	33	3687	0.102	-0.100
68	1264	0.072	-0.024	34	1025	0.064	-0.023
69	3000	0.115	-0.102	35	4485	0.088	0.032
72	129	0.100	0.058	36	1713	0.083	0.039
73	4038	0.059	-0.005	37	784	0.065	0.015
74	1258	0.057	-0.021	38	792	0.065	-0.015
75	797	0.071	-0.011				
76	709	0.064	0.013				
77	487	0.076	0.001				

表 3-6 北區交叉航帶平差分析結果

高差平均量(m)	0.077		
航線編號	計算點數	絕對高差量(m)	高差(m)
4	633	0.070	0.018
14	10459	0.080	-0.001
16	234	0.064	-0.048
28	13644	0.074	0.007
70	488	0.081	-0.071
71	389	0.090	0.089

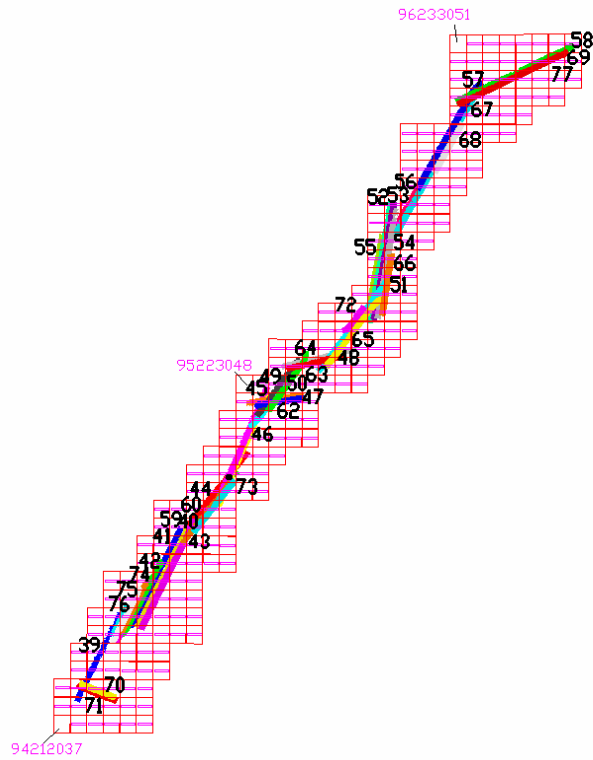


圖 3-49 北區低潮位航線編號

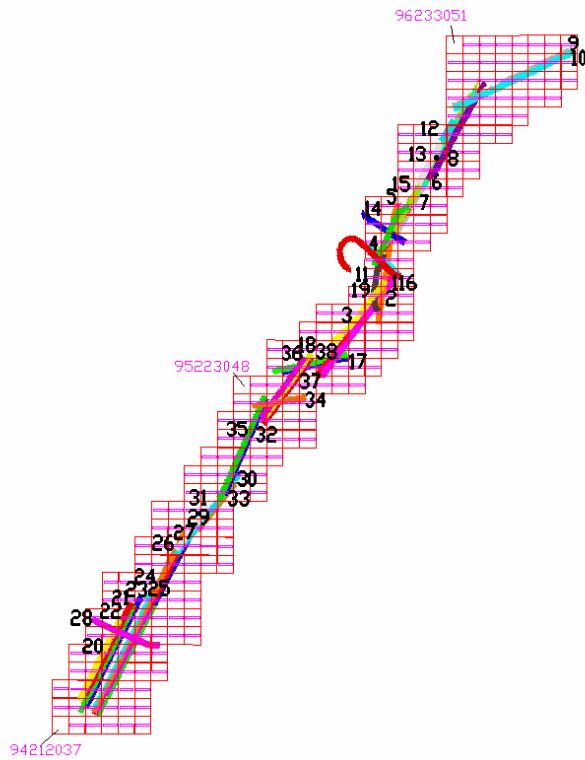


圖 3-50 北區高潮位航線編號



表 3-7 北區航帶平差分析結果

低潮位線						
高差平均量(m)	平差前			平差後		
	0.078			0.068		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
39	105	0.100	-0.064	125	0.093	-0.045
40	326	0.050	-0.027	322	0.040	-0.002
41	314	0.055	0.028	315	0.043	0.002
42	1036	0.060	0.041	1028	0.052	-0.003
43	520	0.071	-0.002	519	0.068	0.009
44	138	0.115	0.092	86	0.109	0.096
45	2041	0.068	-0.004	2065	0.066	-0.004
46	4815	0.067	0.002	4845	0.066	0.002
47	229	0.079	-0.036	226	0.073	-0.025
48	400	0.137	0.139	528	0.117	0.118
49	1327	0.085	-0.084	1219	0.075	0.038
50	1400	0.086	-0.048	1583	0.074	-0.005
51	1074	0.095	0.087	1111	0.068	0.054
52	761	0.057	-0.048	770	0.056	-0.032
53	654	0.058	-0.011	655	0.054	0.011
54	651	0.059	0.011	671	0.051	-0.010
55	734	0.064	0.050	728	0.053	0.034
56	164	0.089	-0.010	157	0.087	-0.044
57	179	0.060	0.001	178	0.058	0.001
58	956	0.110	0.113	546	0.088	-0.010
59	421	0.062	-0.021	422	0.061	-0.006
60	616	0.066	0.043	619	0.057	0.024
61	3605	0.060	0.006	3598	0.059	-0.012
62	957	0.064	0.025	947	0.062	0.025
63	2777	0.081	0.053	2862	0.071	0.021
64	1034	0.109	-0.083	1155	0.064	-0.037
65	2486	0.065	0.018	2463	0.062	0.005
66	526	0.132	-0.122	682	0.085	-0.079
67	240	0.066	-0.001	238	0.066	-0.001
68	1264	0.072	-0.024	1258	0.071	-0.024
69	3000	0.115	-0.102	2864	0.095	-0.079
72	129	0.100	0.058	120	0.083	0.028
73	4038	0.059	-0.005	4033	0.059	0.003
74	1258	0.057	-0.021	1249	0.057	-0.019
75	797	0.071	-0.011	783	0.067	0.013
76	709	0.064	0.013	699	0.062	-0.014
77	487	0.076	0.001	488	0.075	0.002

高潮位線						
高差平均量(m)	平差前			平差後		
	0.079			0.068		
	航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	點數	絕對高差量(m)
1	781	0.108	-0.098	812	0.088	-0.077
2	6448	0.082	-0.040	6465	0.080	-0.036
3	168	0.100	-0.044	168	0.080	-0.020
5	460	0.136	-0.117	465	0.107	-0.090
6	825	0.127	-0.127	854	0.092	0.036
7	1252	0.108	0.113	809	0.096	-0.066
8	237	0.089	0.056	240	0.086	0.048
9	1163	0.091	0.093	1102	0.094	0.027
10	1444	0.090	-0.075	1402	0.086	0.093
11	138	0.101	0.004	146	0.009	0.020
12	195	0.063	0.042	1402	0.086	-0.073
13	399	0.078	-0.029	401	0.073	-0.011
15	493	0.085	0.012	504	0.082	0.023
17	2207	0.090	-0.073	2221	0.085	-0.050
18	2353	0.080	-0.058	2591	0.072	-0.023
19	696	0.083	0.024	691	0.083	0.025
20	417	0.035	-0.017	419	0.032	0.006
21	2216	0.065	-0.054	2204	0.049	-0.023
22	433	0.037	0.017	437	0.034	-0.006
23	2193	0.064	0.055	2177	0.050	0.023
24	6106	0.045	-0.011	6099	0.045	-0.010
25	714	0.100	0.096	756	0.054	0.037
26	501	0.061	0.018	500	0.060	0.005
27	1788	0.059	0.027	1793	0.059	0.026
29	617	0.063	-0.043	619	0.056	-0.024
30	2228	0.057	0.002	2221	0.056	-0.007
31	1424	0.072	0.028	1437	0.071	0.025
32	3828	0.078	-0.038	3933	0.067	0.013
33	3687	0.102	-0.100	4443	0.089	0.082
34	1025	0.064	-0.023	1019	0.063	-0.023
35	4485	0.088	0.032	4873	0.070	-0.010
36	1713	0.083	0.039	1985	0.072	0.004
37	784	0.065	0.015	790	0.052	0.014
38	792	0.065	-0.015	826	0.053	-0.013

## 【南區】

南區航帶重疊區數據之分析結果如表 3-8，高、低潮位高差平均量分別為 0.179 公尺與 0.197 公尺；南區作業區中，共進行 9 條交叉航線，交叉航帶數據之分析結果如表 3-9，其高差平均量為 0.152 公尺。

表 3-8 南區航帶重疊區數據之分析結果

低潮位				高潮位			
高差平均量(m)	0.197			高差平均量(m)	0.179		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
24	4673	0.198	-0.006	24	111	0.130	-0.031
1	4812	0.174	0.004	21	70	0.104	0.006
2	2523	0.228	-0.001	20	14362	0.140	0.062
20	697	0.174	0.027	17	11057	0.173	0.052
19	804	0.250	0.183	19	2000	0.205	0.051
25	964	0.293	-0.226	30	3789	0.203	0.042
17	1425	0.150	0.014	18	4627	0.209	-0.165
18	80	0.146	0.036	29	3622	0.127	0.033
9	67	0.121	-0.030	10	556	0.104	0.070
10	98	0.139	-0.014	11	601	0.102	0.063
17	48	0.097	0.004	12	3189	0.254	0.220
27	29	0.196	0.045	13	3424	0.318	-0.053
				14	1185	0.173	-0.073
				8	34	0.142	0.142
				9	218	0.116	0.106
				28	86	0.097	0.042
				7	109	0.066	-0.040
				5	174	0.159	0.154
				6	152	0.084	-0.028
				27	71	0.119	-0.015
				26	351	0.085	0.008
				4	153	0.132	-0.016
				3	188	0.176	0.162
				2	81	0.148	0.053
				1	22	0.117	0.117

表 3-9 南區交叉航帶平差分析結果

高差平均量(m)	0.152		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
41	76	0.071	-0.015
36	101	0.097	0.088
38	70	0.115	0.011
33	25	0.161	0.161
64	38	0.064	0.037
37	7381	0.232	0.145
39	782	0.104	-0.010
35	9291	0.126	0.043
34	6832	0.110	0.011

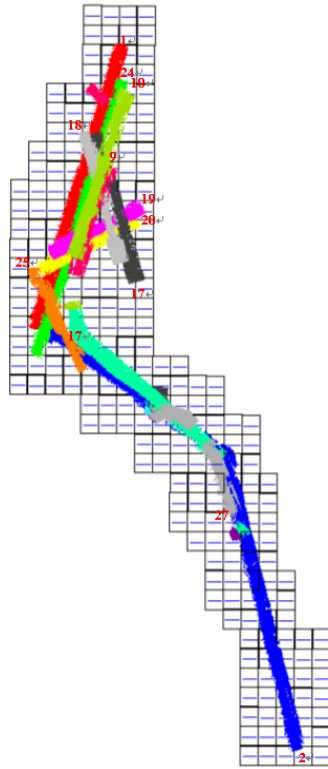


圖 3-51 南區低潮位航線編號

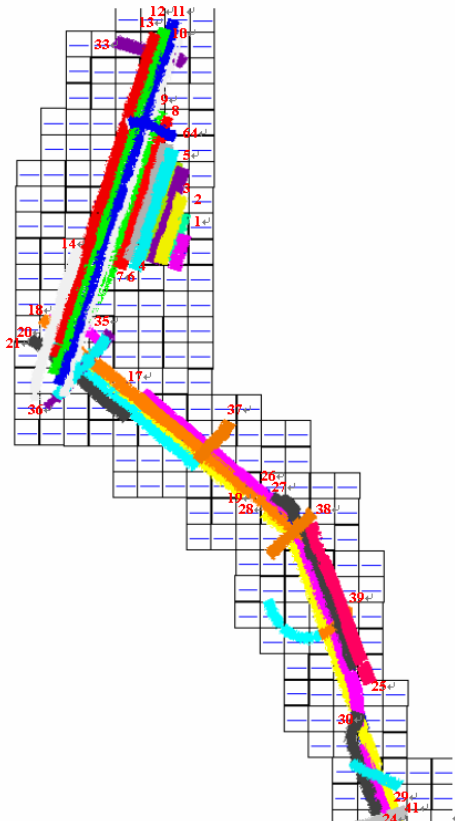


圖 3-52 南區高潮位航線編號

表 3-10 南區低潮位線航帶平差成果

低潮位線						
	平差前			平差後		
高差平均量(m)	0.197			0.171		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
24	4673	0.198	-0.006	3888	0.196	0.017
1	4812	0.174	0.004	4317	0.224	0.049
2	2523	0.228	-0.001	2472	0.135	0.010
20	697	0.174	0.027	464	0.321	0.049
19	804	0.250	0.183	972	0.087	0.005
25	964	0.293	-0.226	1172	0.087	-0.006
17	1425	0.150	0.014	1372	0.089	-0.016
18	80	0.146	0.036	52	0.170	-0.107
9	67	0.121	-0.030	21	0.225	0.089
10	98	0.139	-0.014	42	0.103	-0.016
17	48	0.097	0.004	36	0.060	0.029
27	29	0.196	0.045	7	0.527	-0.431

表 3-10 為低潮位線航帶平差成果，表 3-11 則為高潮位線航帶平差成果。由表 3-10 中可知在低潮位線部份，航帶平差前後之高差平均量變化不大(0.197 公尺變為 0.171 公尺)，表 3-11 知航帶平差前後有 4.0 公分之差異(0.170 公尺變為 0.130 公尺)；低潮位線部份平差前後變化不大之原因可能是該處均為含水量較高之潮間帶地區，導致高差量變化不大。

表 3-11 南區高潮位線航帶平差成果

高潮位線						
高差平均量(m)	平差前			平差後		
	0.170			0.130		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
41	76	0.071	-0.015	62	0.040	-0.027
36	101	0.097	0.088	87	0.044	0.012
38	70	0.115	0.011	67	0.094	-0.014
24	111	0.130	-0.031	88	0.061	-0.008
33	25	0.161	0.161	18	0.065	0.056
64	38	0.064	0.037	38	0.026	-0.004
21	70	0.104	0.006	82	0.102	0.007
37	7381	0.232	0.145	6947	0.216	0.042
20	14362	0.140	0.062	13996	0.102	-0.003
39	782	0.104	-0.010	758	0.082	0.035
17	11057	0.173	0.052	10589	0.130	-0.007
35	9291	0.126	0.043	8764	0.125	-0.014
19	2000	0.205	0.051	1967	0.219	-0.006
30	3789	0.203	0.042	3343	0.171	-0.051
18	4627	0.209	-0.165	4430	0.160	-0.014
29	3622	0.127	0.033	7284	0.090	-0.047
34	6832	0.110	0.011	4658	0.070	-0.007
10	556	0.104	0.070	443	0.269	0.229
11	601	0.102	0.063	451	0.273	-0.253
12	3189	0.254	0.220	3143	0.143	0.009
13	3424	0.318	-0.053	3137	0.105	0.012
14	1185	0.173	-0.073	3206	0.120	0.004
8	34	0.142	0.142	23	0.083	0.018
9	218	0.116	0.106	171	0.128	0.085
28	86	0.097	0.042	66	0.147	0.067
7	109	0.066	-0.040	69	0.121	0.050
5	174	0.159	0.154	92	0.114	-0.039
6	152	0.084	-0.028	97	0.123	-0.069
27	71	0.119	-0.015	60	0.118	-0.078
26	351	0.085	0.008	272	0.226	-0.210
4	153	0.132	-0.016	79	0.097	-0.025
3	188	0.176	0.162	101	0.160	0.041
2	81	0.148	0.053	53	0.187	-0.037
1	22	0.117	0.117	15	0.255	-0.255



## (六) 雷射點雲過濾

LiDAR 掃描所得到的不規則密布於地表的離散點，稱為點雲。點雲資料包含了地表點及地物點，製作數值地表模型可利用第一個回波雷射點內插產生規則網格；至於數值高程模型的製作，則須進行過濾處理，將點雲分類成地面點(Ground)與非地面點(Non-ground)，而後利用地面點內插產生 DEM。然而自動過濾並不能保證過濾的結果完全正確，因此須輔以人工檢視編修以確保最終 DEM 的成果品質。

### 1. 自動過濾

本計畫使用商業軟體 TerraScan 對點雲資料進行過濾，該軟體分類地面點的演算法由 Axelsson (2000) 提出，其引用不規則三角網(Triangular Irregular Networks, TIN)來表示地表面，先依據區域內建物可能的最大平面範圍，由局部的低點組成初始的不規則三角網(TIN)，再循序從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或點到三個角點的向量與平面的夾角來判斷(如圖 3-53)，可預先設定門檻值當成判斷的標準。

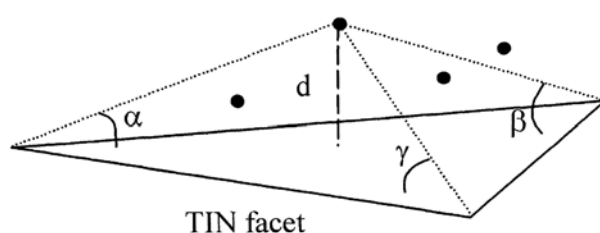


圖 3-53 過濾演算法示意圖(Axelsson, 2000)

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： $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ )、迭代角度(Iteration angle)、迭代距離(Iteration distance： $d$ )，軟體設定參數介面如圖 3-54 所示。本案之 Max building size 設定為 20 公尺，Terrain angle 設定為 88 度，Iteration angle 設定 6 度，Iteration distance 設定為 1.5 公尺。

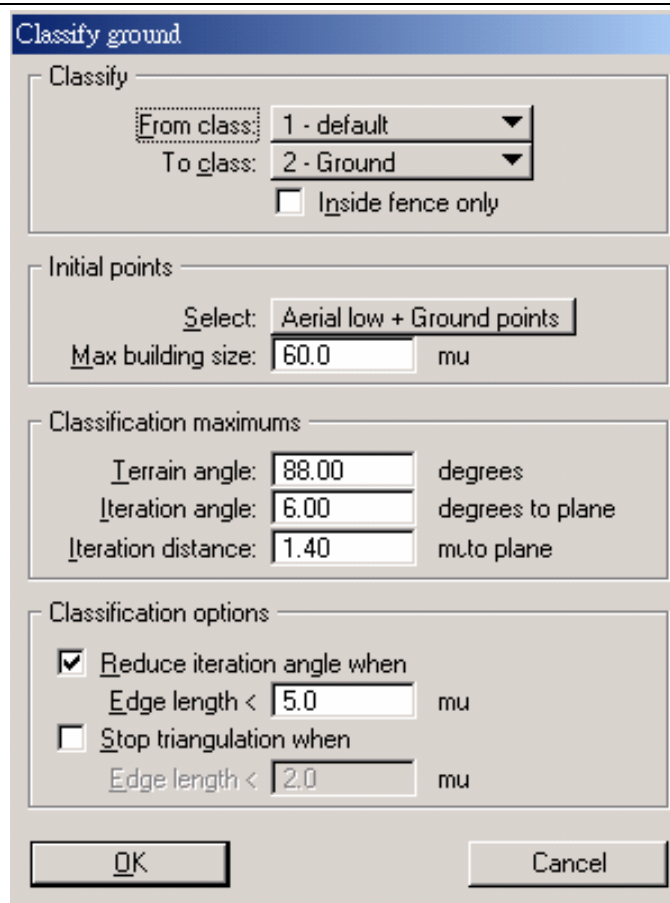
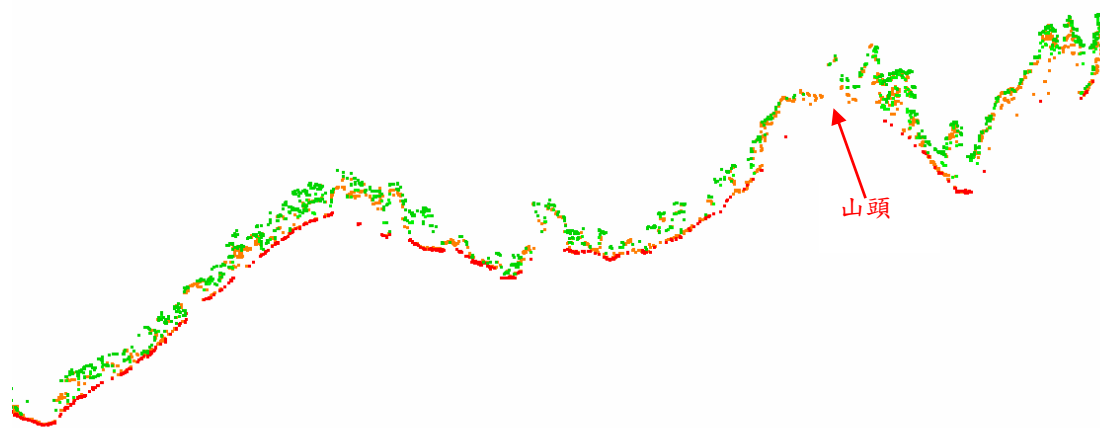


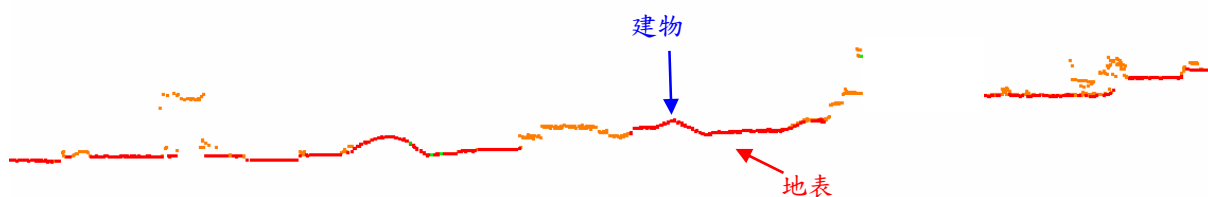
圖 3-54 TerraScan 軟體參數設定介面

## 2. 人工檢視編修

自動過濾並非保證結果完全正確，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。如圖 3-55(a)為山區點雲資料的縱剖面，圖中可看出紅色箭頭所指區域屬較突出的山頭，該處自動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 3-55(b)藍色箭頭所指建物區域，由於該處和周圍地表（紅色箭頭）高度相當，自動過濾後程式誤判為地面點。所以由上述可知，自動過濾後仍須進行人工編修。



(a)



(b)

圖 3-55 點雲資料剖面圖實例(圖中紅色表地面點，橙色表非地面點)

人工編修作業利用 TerraSolid 系列軟體進行，編修介面如圖 3-56。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。如上述圖 3-55(b)藍色箭頭所指建物區域對應圖 3-56 之正射像片(藍色箭頭所指區域)，因此可清楚了解該處地形、地物，輔助人工編修判讀。將自動分類後的點雲資料展示於螢幕上，並配合點雲之三維表面模型，針對判斷為不合理的地方，

再參考周圍地形或影像進行編輯修正。由於如地表突出、人工結構等之特定物，難以明確定義屬於地面點或地表高程點；故以網格化解析力的兩倍為定義基準，大於解析力兩倍者屬地面點，如高速公路、堤防、防波堤、突出地表岩石…等。不合理地面點的修正，則利用點位編修功能，以雙螢幕之操作方式，交互觀察正射影像與點雲剖面圖，將不合理或不符合定義的點位依不同之地表覆蓋給予不同自動過濾參數之再次分類及編修、刪除或進行編輯以確保點位分類之正確性，如圖 3.56 所示。

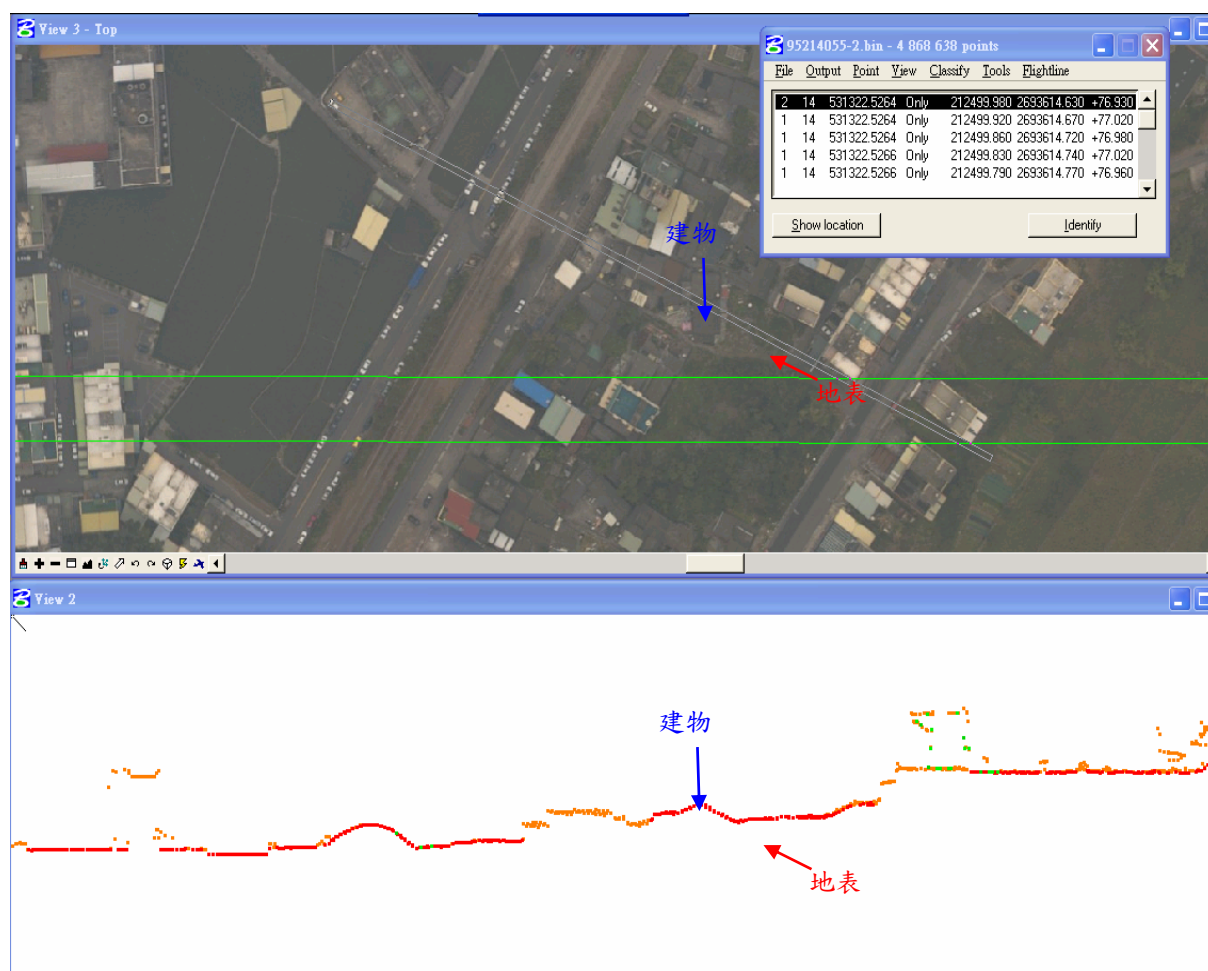


圖 3-56 人工檢視編修介面

人工編修成果紀錄於空載 LiDAR 產製 DEM、DSM 紀錄表。

### 3. 坡度坡向分析

坡度、坡向分析使用美國 Golden Software 公司出產的 surfer 軟體其中的 Grid Calculus 功能，如下圖所示；其中，” Terrain Aspect” 即為產生坡向分析網格圖，而” Terrain Slope” 則產生坡度分析網格圖。

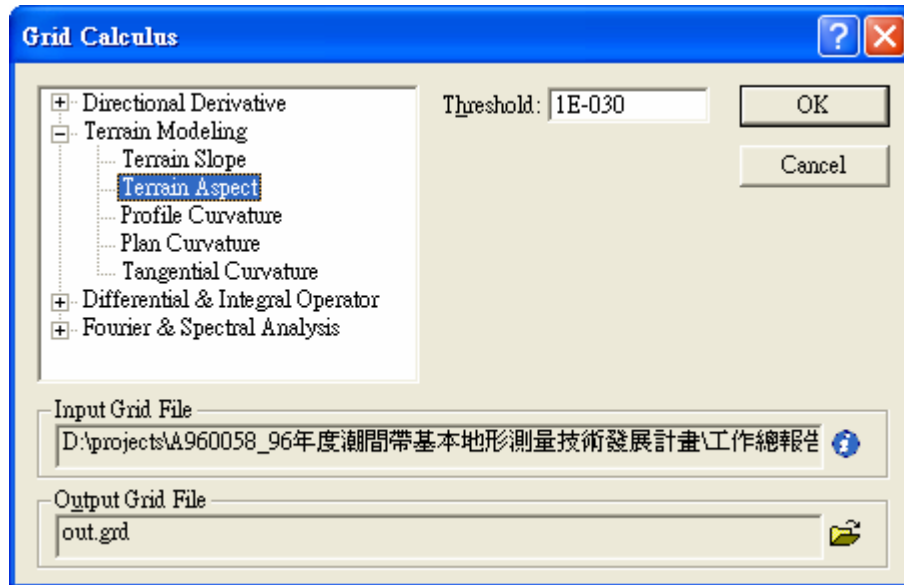


圖 3-57 坡度、坡向分析軟體介面

圖 3-58 為北區與南區坡度分析圖，由圖中可知北區坡度介於 0 度至 10 度間，而南區坡度則介於 0 度至 4.8 度間；圖 3-59 則為北區與南區坡向分析圖，坡向為 0 度至 360 度。

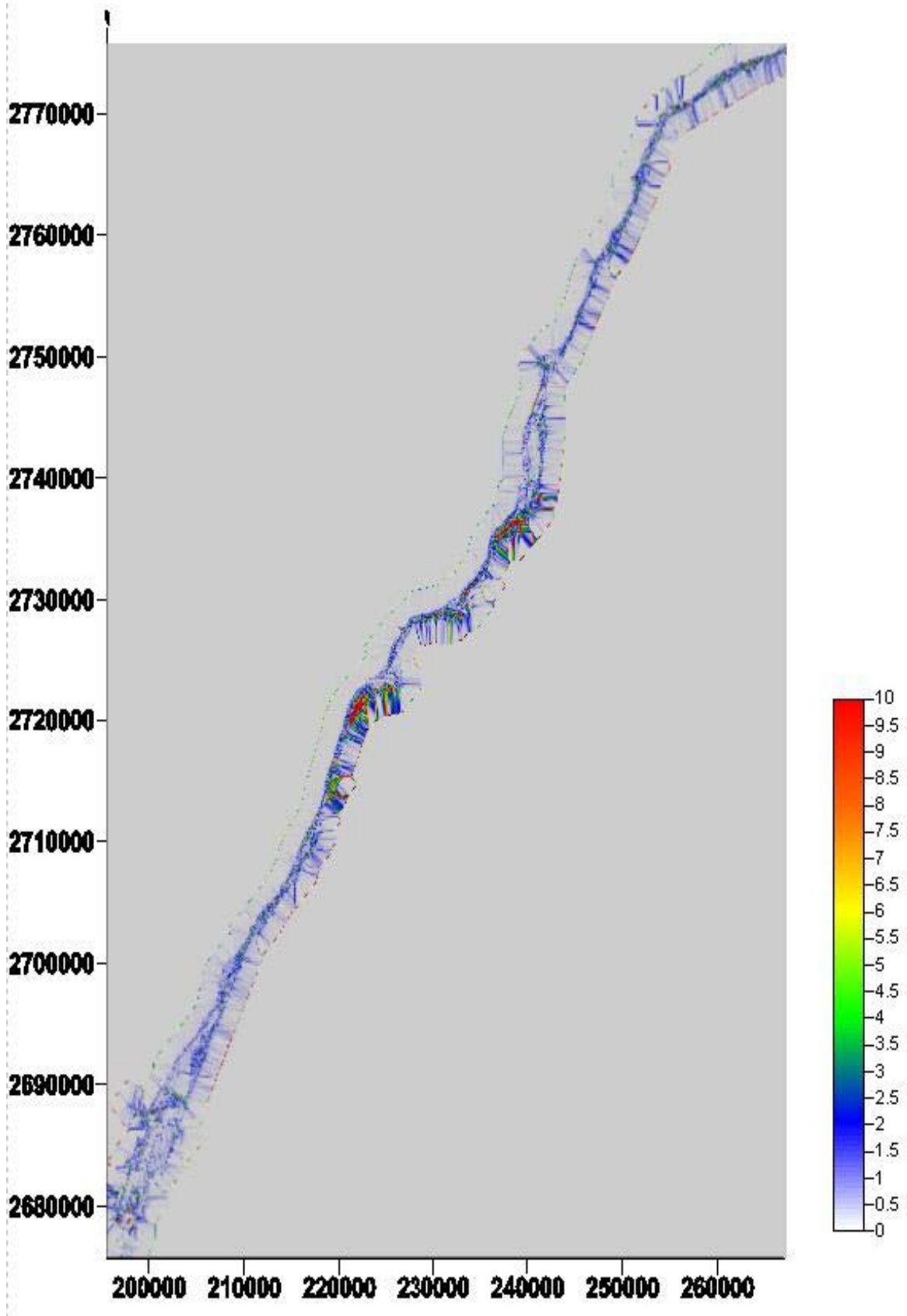


圖 3-58a 北區坡度分析圖(全區)

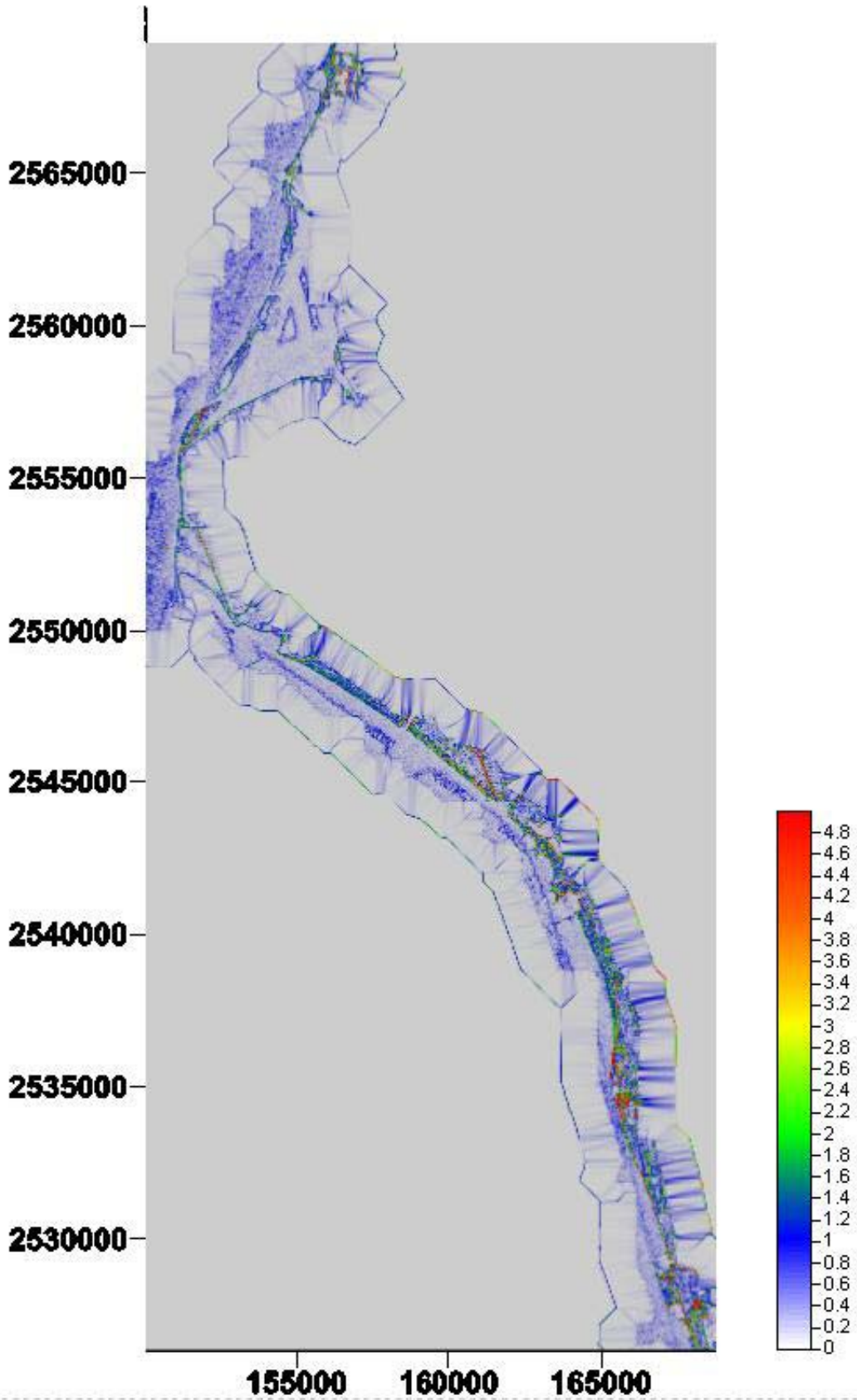


圖 3-58b 南區坡度分析圖(全區)



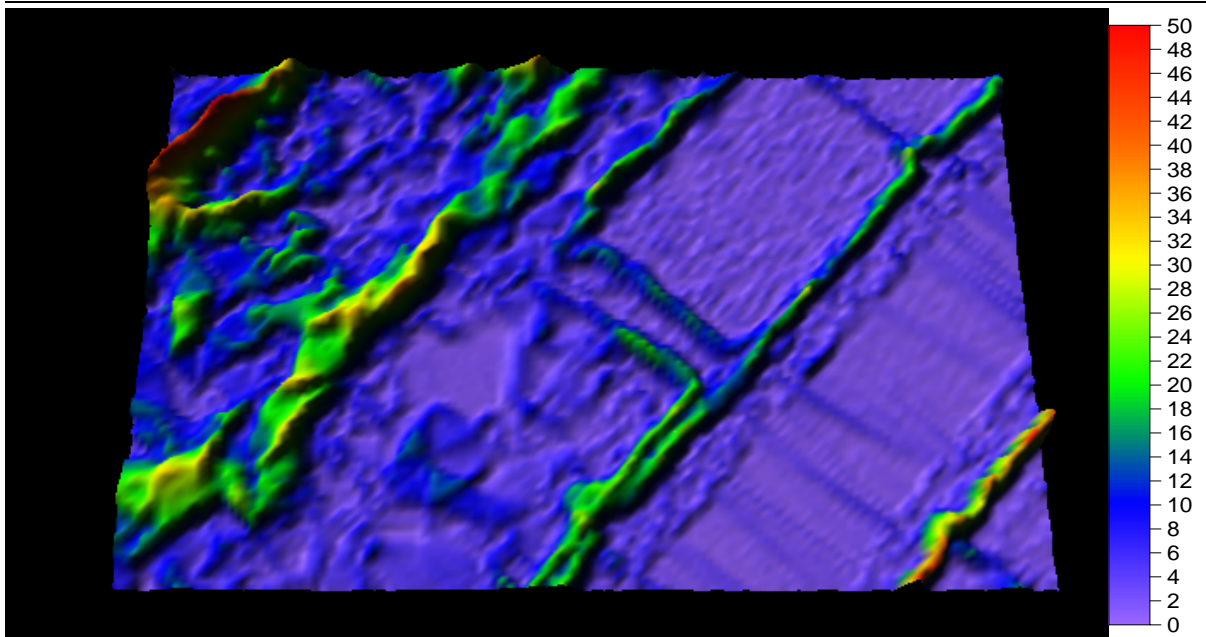


圖 3-58c 北區坡度分析圖(例圖)

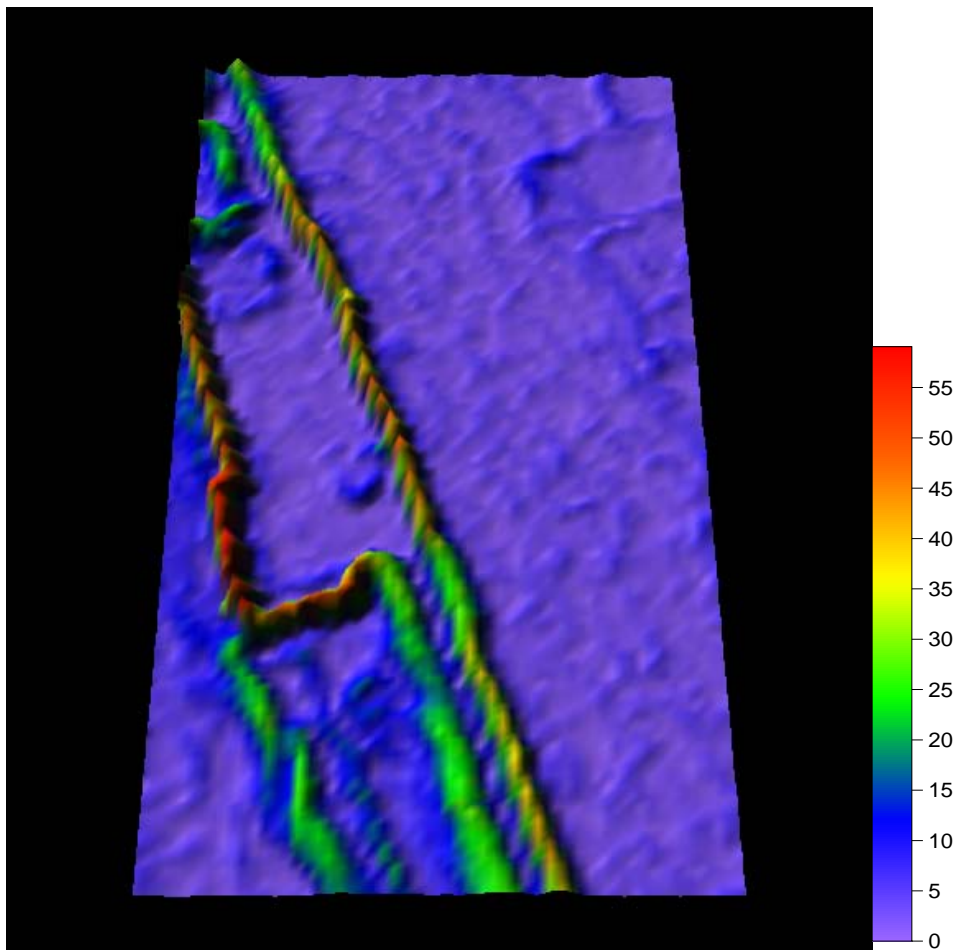


圖 3-58d 南區坡度分析圖(例圖)

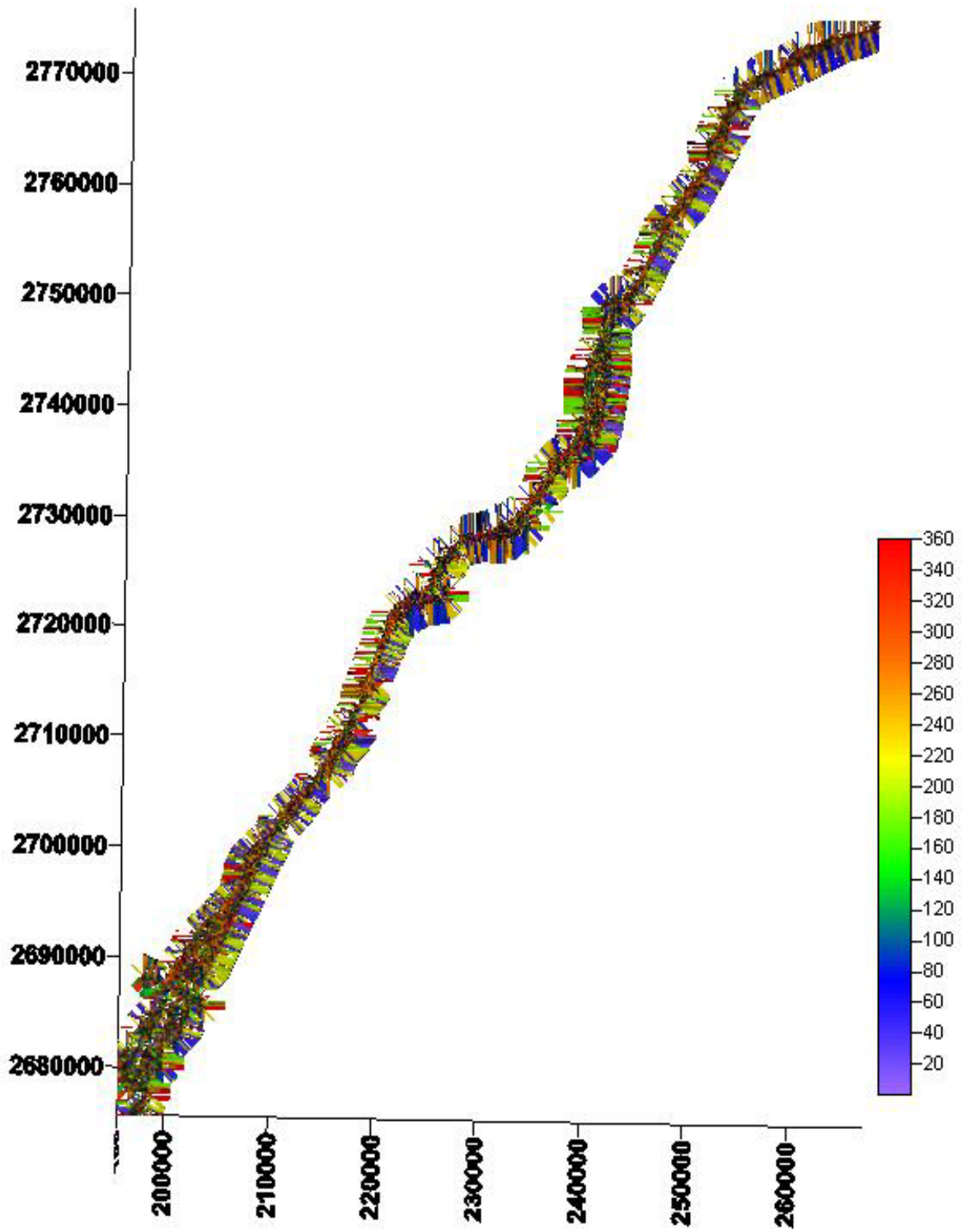


圖 3-59a 北區坡向分析圖(全區)

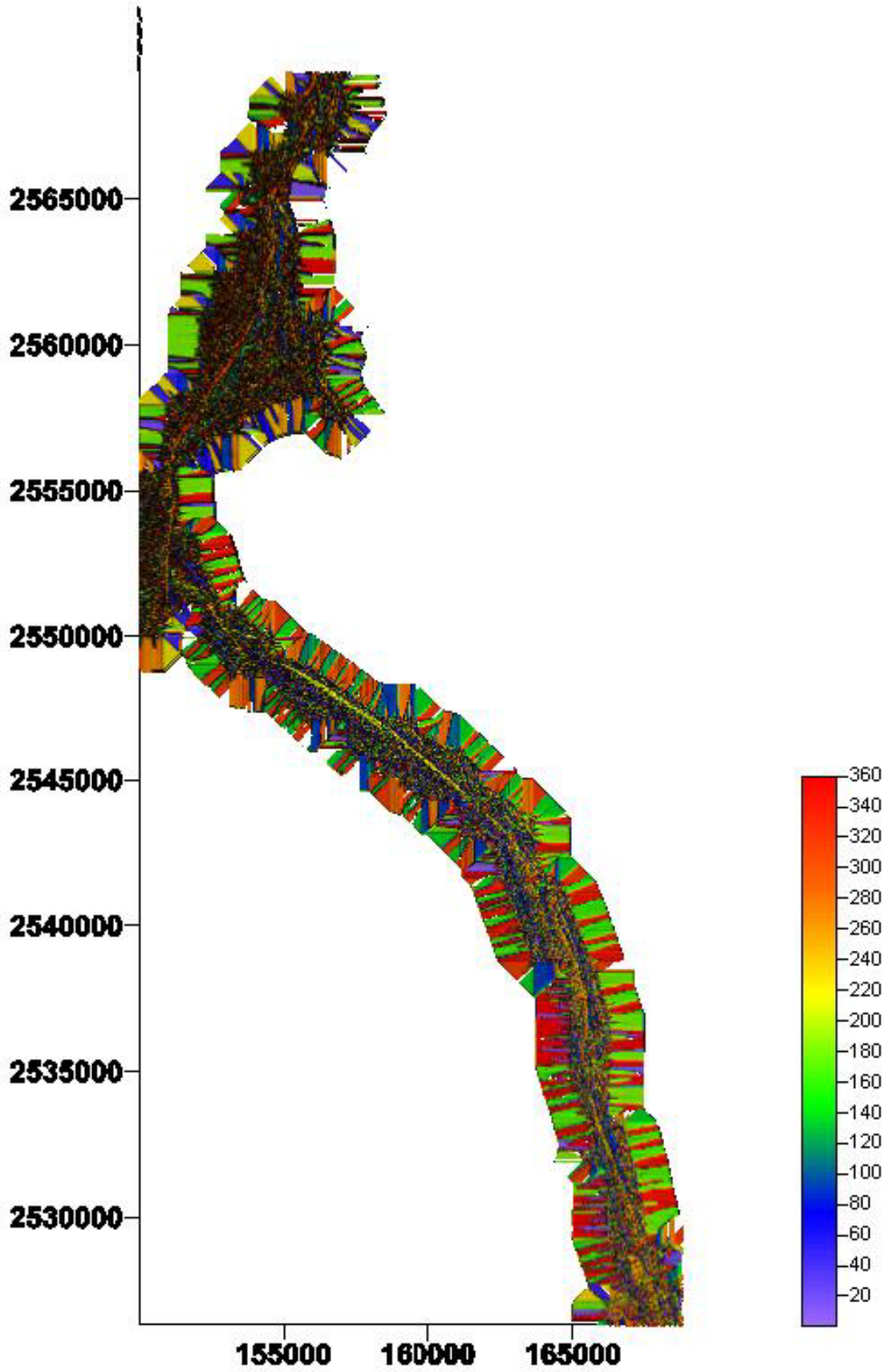


圖 3-59b 南區坡向分析圖(全區)



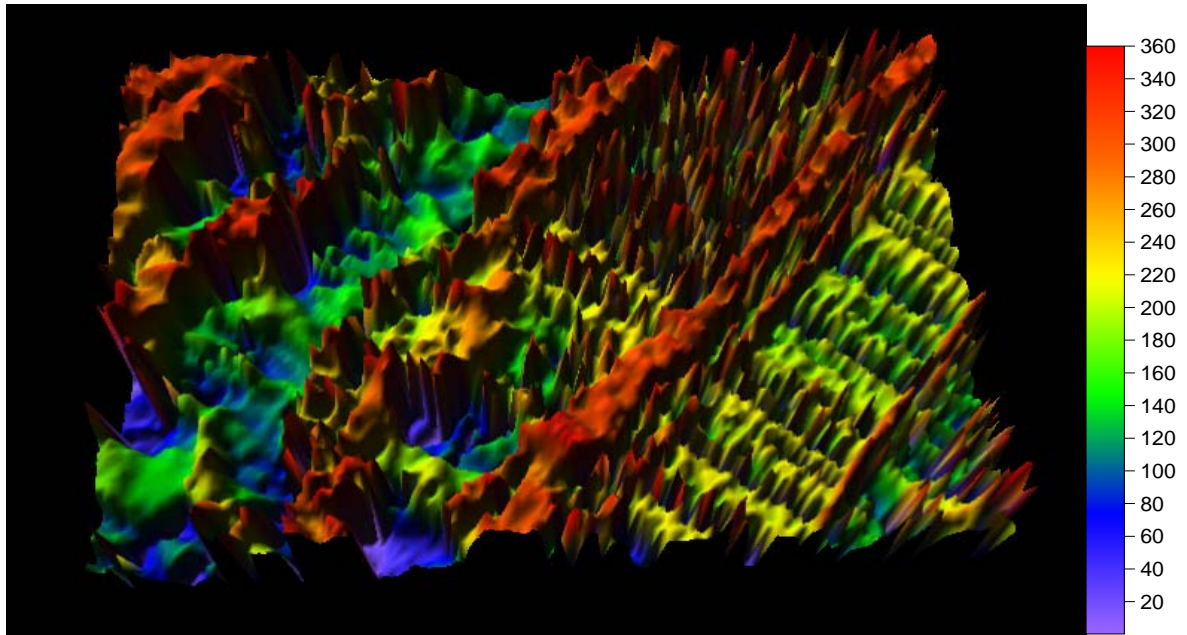


圖 3-59c 北區坡向分析圖(例圖)

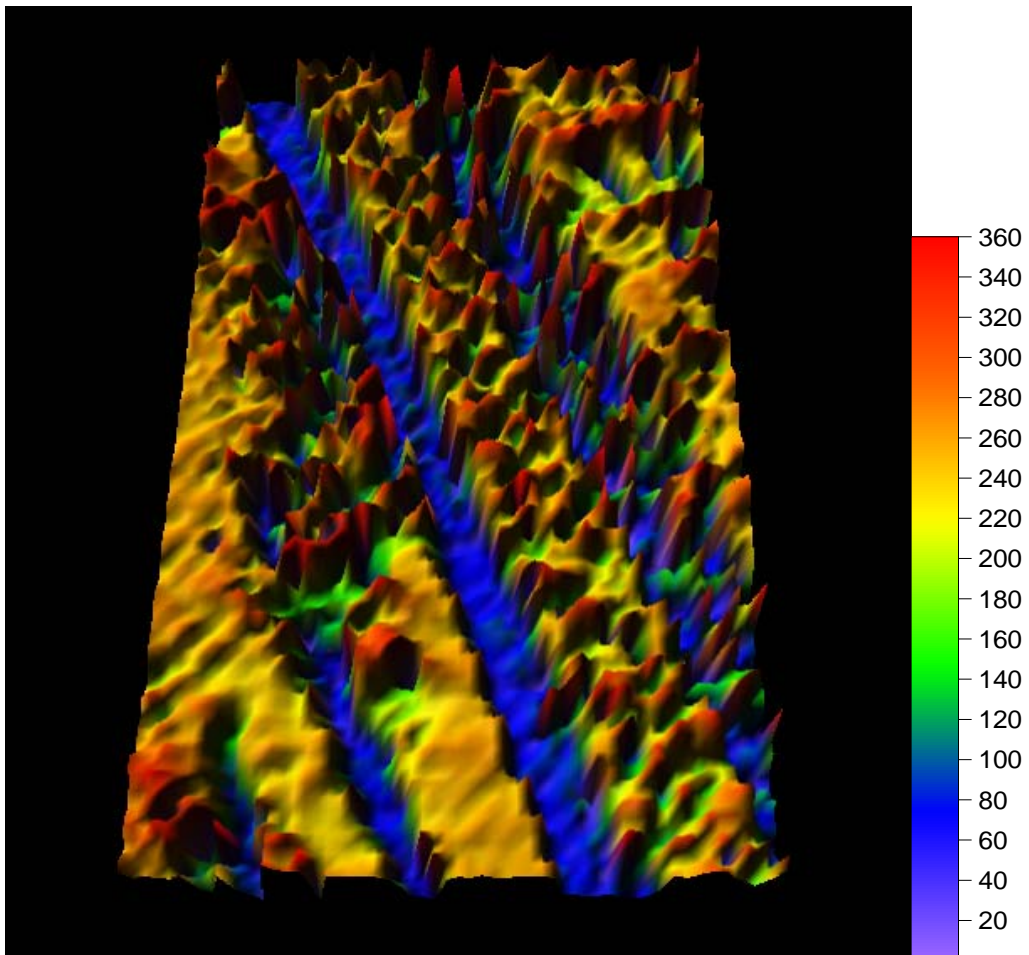


圖 3-59d 南區坡向分析圖(例圖)

## (七) DEM、DSM 製作

在自動化過濾檢查步驟中，已經利用程式查覺大型建物、植被過濾瑕疵等檢核，接下來即可進行 DEM 編輯與檢查，及過程主要採視覺製圖人工檢視分析的方法，圖 3-60 為 DEM 與 DSM 之製作流程圖，執行步驟包括：

### 【整體性視覺分析檢查】

- a. 線性 TIN 組成 DEM。
- b. 繪製等高線，檢查圖幅接邊等高線，檢查牛眼式小圈圈(多源於過濾未乾淨，局部地形突起特徵)。且都會區常因為雷射多路徑折射，造成極端的低點，也會形成牛眼式小圈圈。
- c. 繪製地形日照暈渲圖，檢查過濾未乾淨區域，檢查大型建物未過濾者，檢查圖幅接邊，檢查分區處理是否有不能接邊之錯誤(如圖 3-61)。
- d. 編輯原始測點，過濾後直到通過檢查。

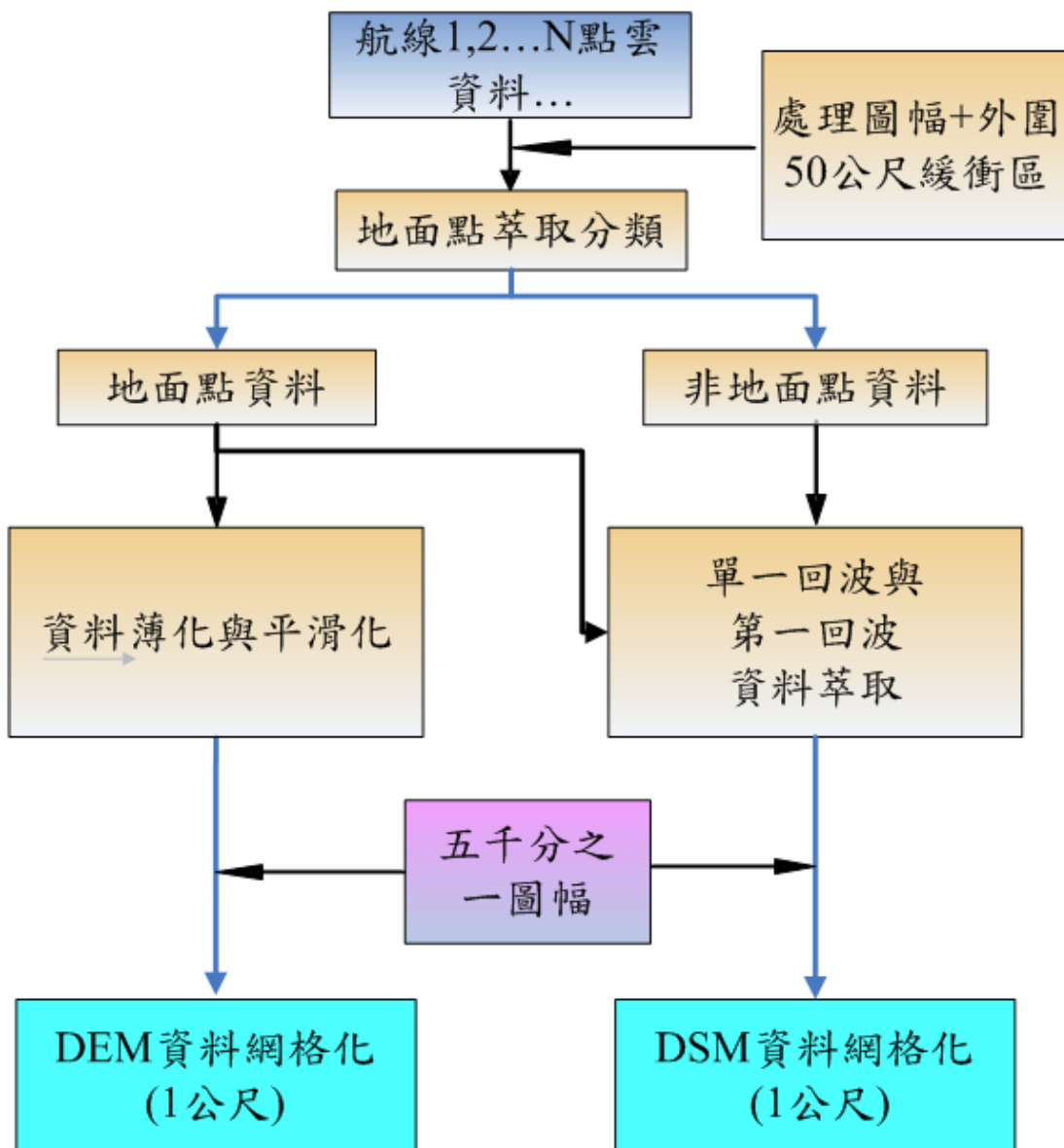


圖 3-60 DEM、DSM 製作流程

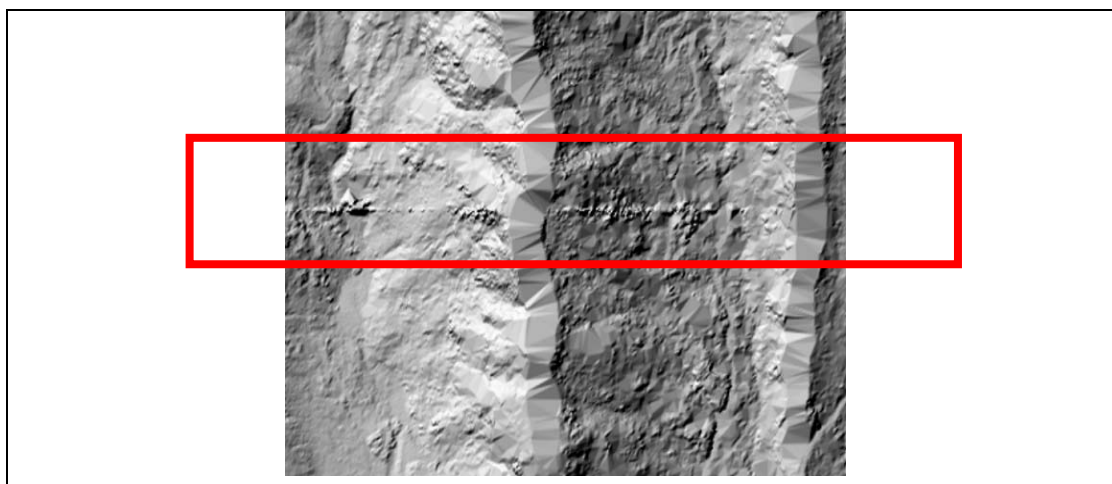


圖 3-61 分區域過濾處理，造成接邊處數據不連續

## 1. 局部性高程檢查統計

- a. 應用地面檢核點，評估 DEM、DSM 精度。分析誤差直方圖、誤差統計量等。
- b. 應用地面檢核點，大斷面測量數據，評估 DEM、DSM 精度。

### 【DSM/DEM 內容】：

- a. 網格間距：整數一公尺網格。
- b. 數據以公尺為單位，精度保留小數點後三位。
- c. 雷射掃描如因水體原因沒有水體面高程數據是可接受，規則網格 DEM 及 DSM 在水體面無高程數據者，可用識別碼識別「無數據」，並說明於詮釋資料。
- d. 分幅：以現行五千分之一像片基本圖之圖幅為分幅之依據，實際涵蓋範圍應較基本圖略大，以能包括四個圖隅點並向外擴大到一公尺整倍數網格點之矩形為準，各圖幅間得重疊。
- e. DEM 內插：本計畫 DEM 網格間距一公尺，非常精細，採用線性 TIN 組成後再內插成網格。
- f. DSM 內插：數據採用第一回波為主，內插 DSM，亦與 DEM 相同採用線性 TIN 組成後再內插成網格。
- g. DEM/DSM 接邊處理：後處理分析過程無論過濾、內插等，數據分割分區處理時，圖幅分幅外圍重疊處的重疊量要大於參數的搜尋半徑，確保分幅處理有重疊處，且跨圖幅重疊處的處理成果完全一致，再進行分幅切割接邊，可確保接邊吻合成為無縫的 DEM 數據。

過濾後將地面點輸出，進行內插處理可生產 DEM。圖 3-62 為利用 DEM 產生之高差陰影圖，藉由高差陰影圖可以檢視 DEM 成果。圖 3-63、圖 3-64 為 DEM 及 DSM 之雷射點雲圖。



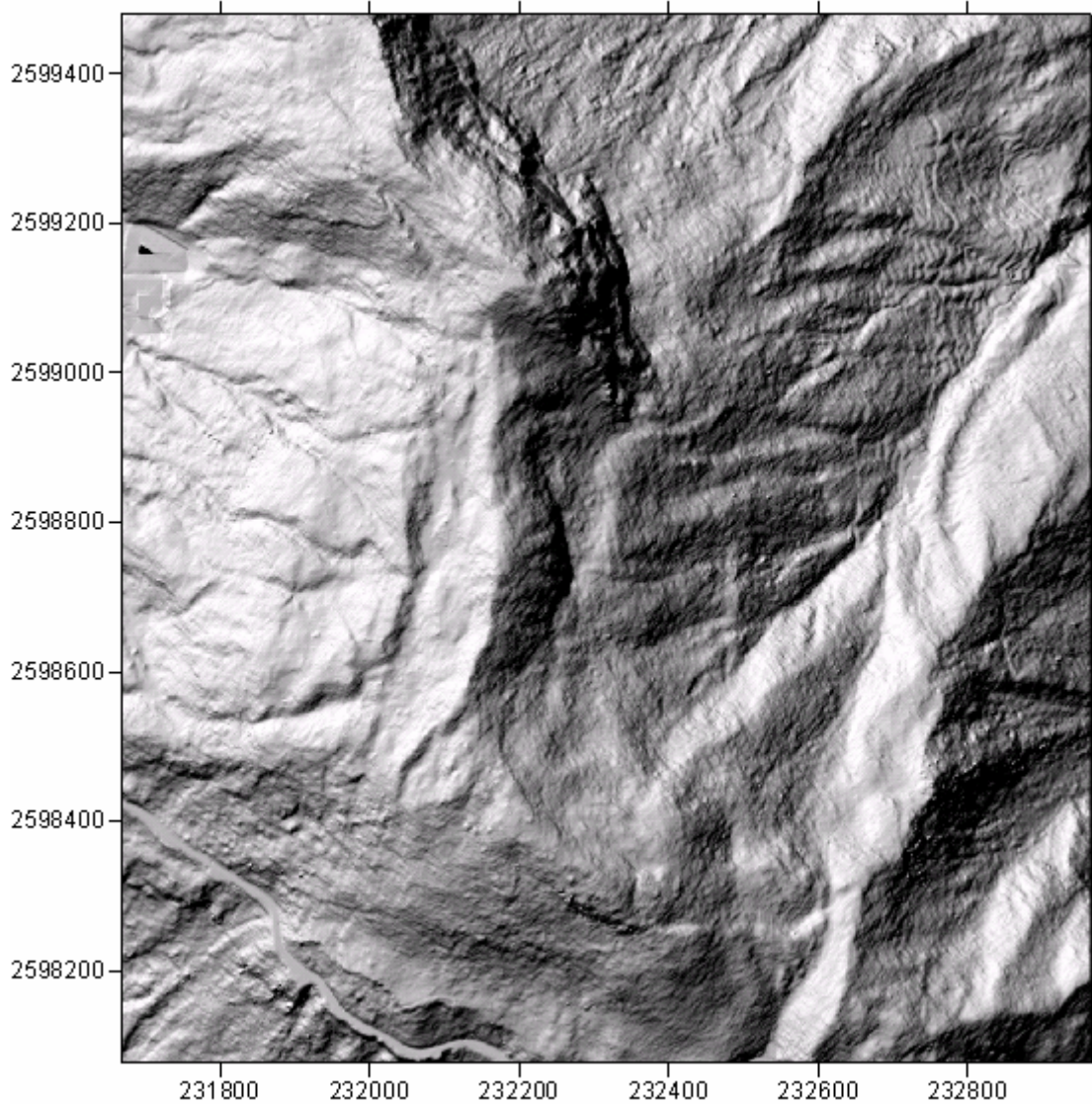


圖 3-62 利用 DEM 生產之高差陰影圖

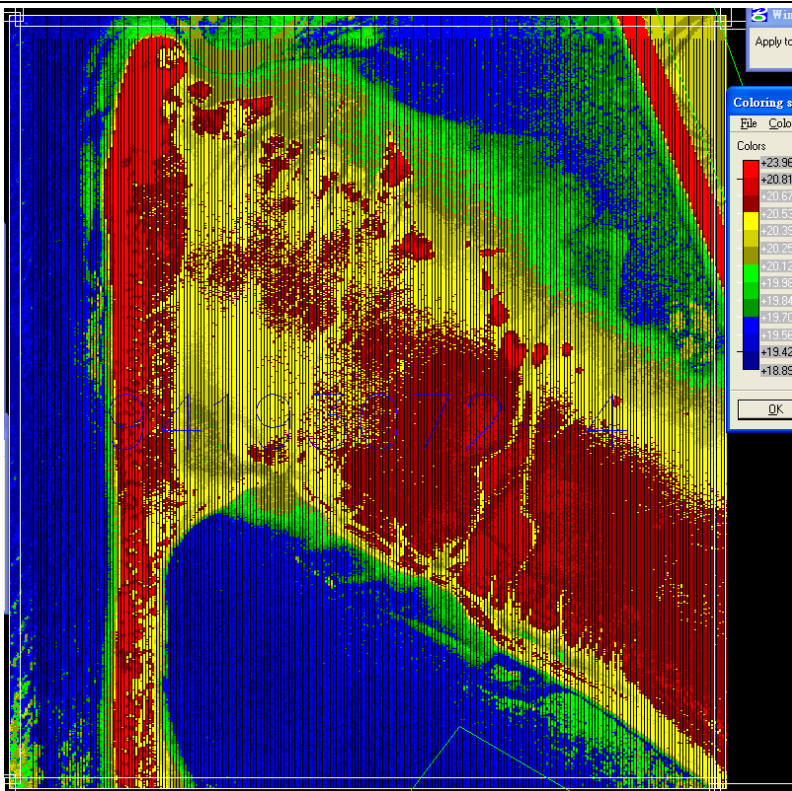


圖 3-63 DEM 雷射點雲圖

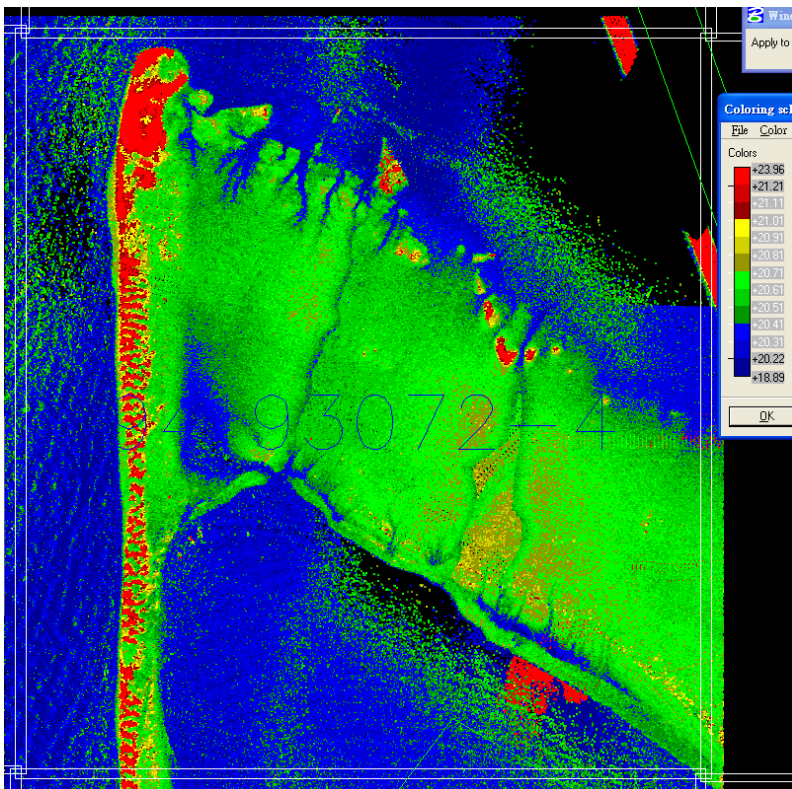


圖 3-64 DSM 雷射點雲圖

## 2. DEM、DSM 3D 成果展示

圖 3-65 為北區 DEM 與 DSM 3D 成果展示圖，圖 3-66 則為南區 DEM 與 DSM 3D 成果展示圖。

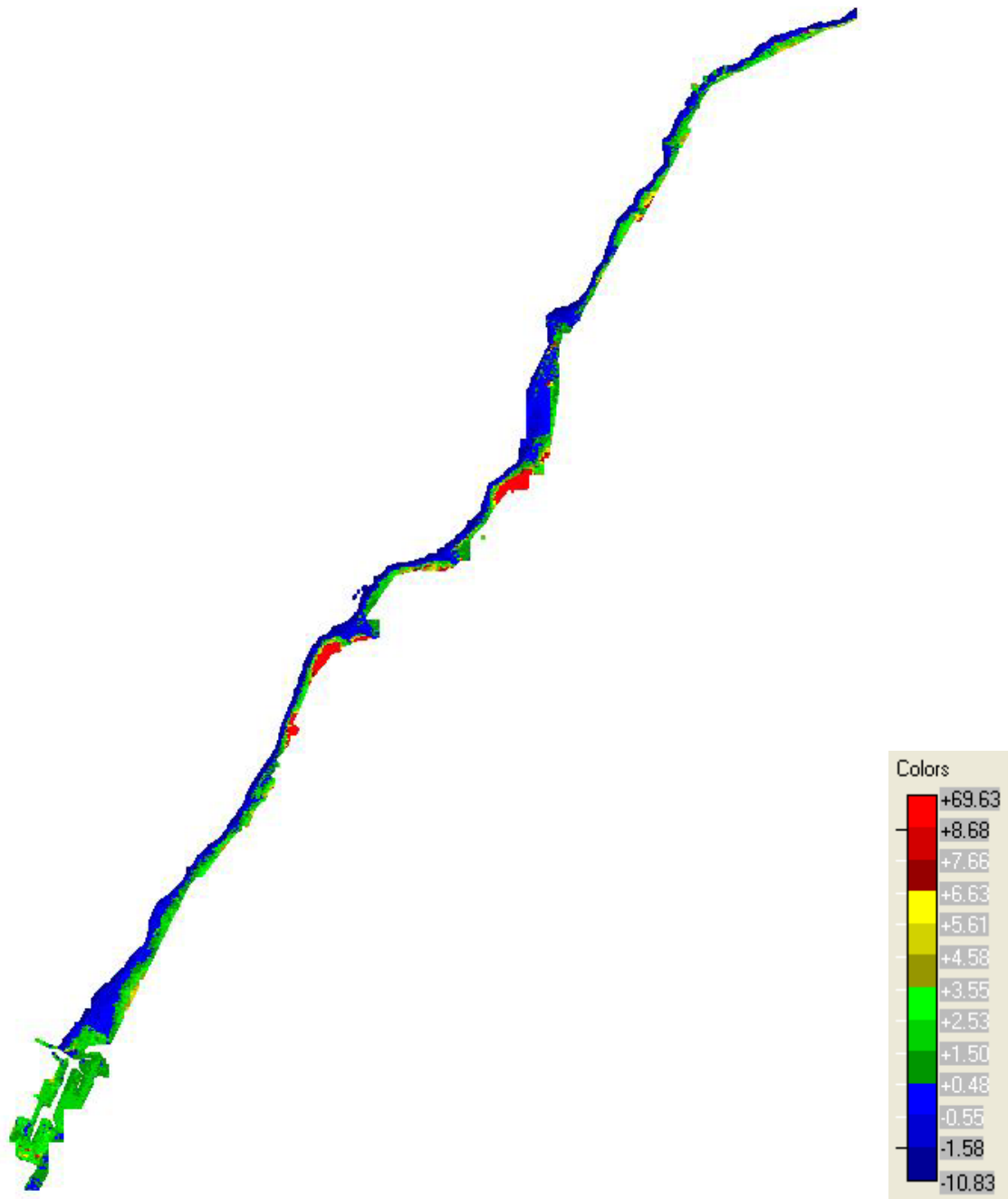


圖 3-65a 北區 DEM 3D 成果展示圖(全區)

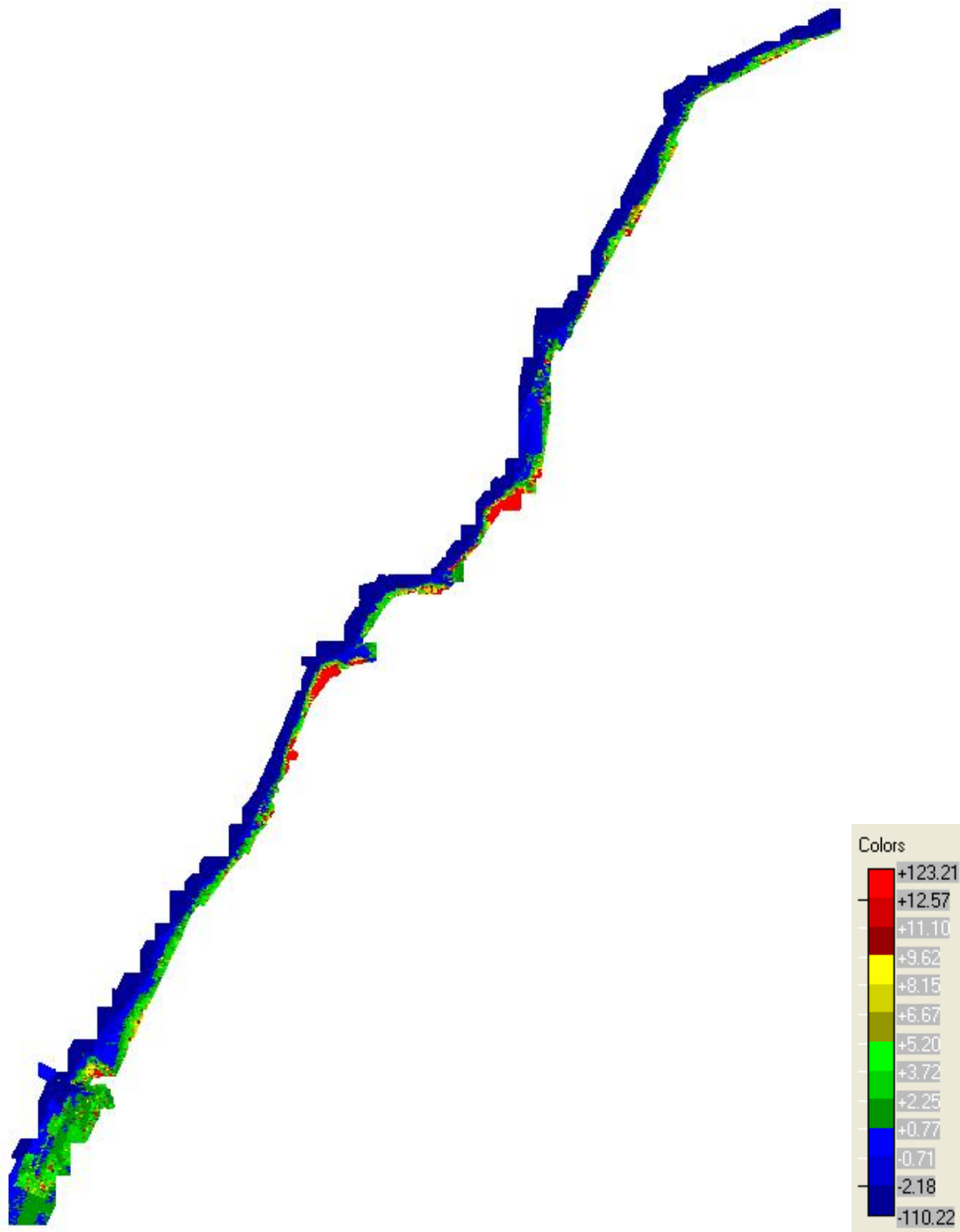


圖 3-65b 北區 DSM 3D 成果展示圖(全區)



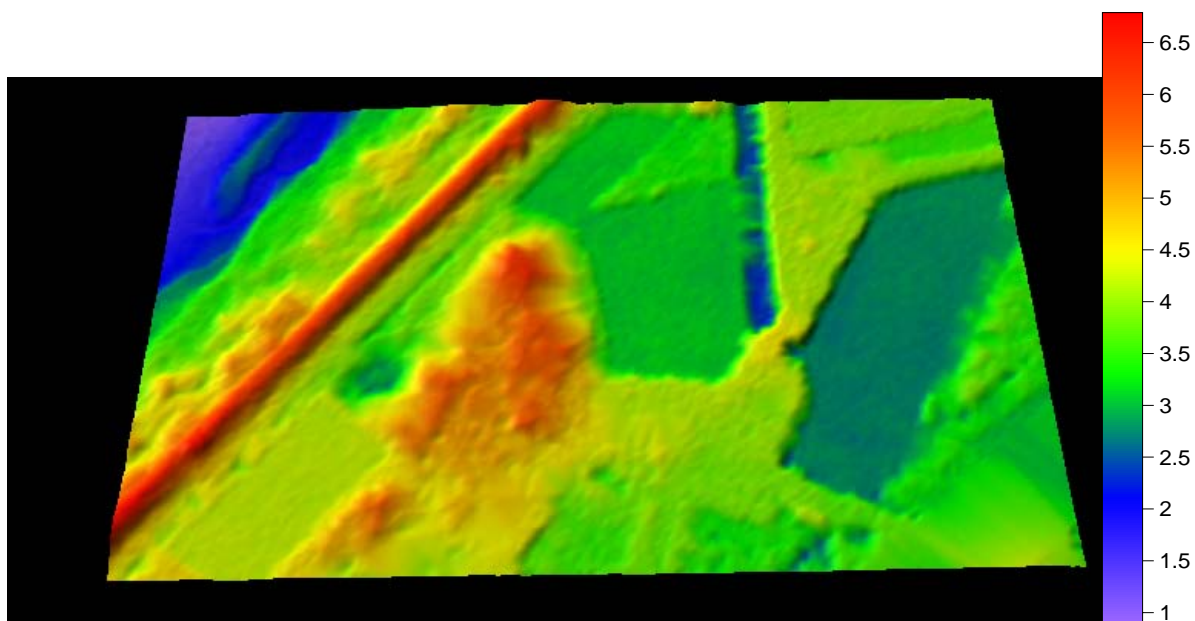


圖 3-65c 北區 DEM 3D 成果展示圖(單一圖幅)

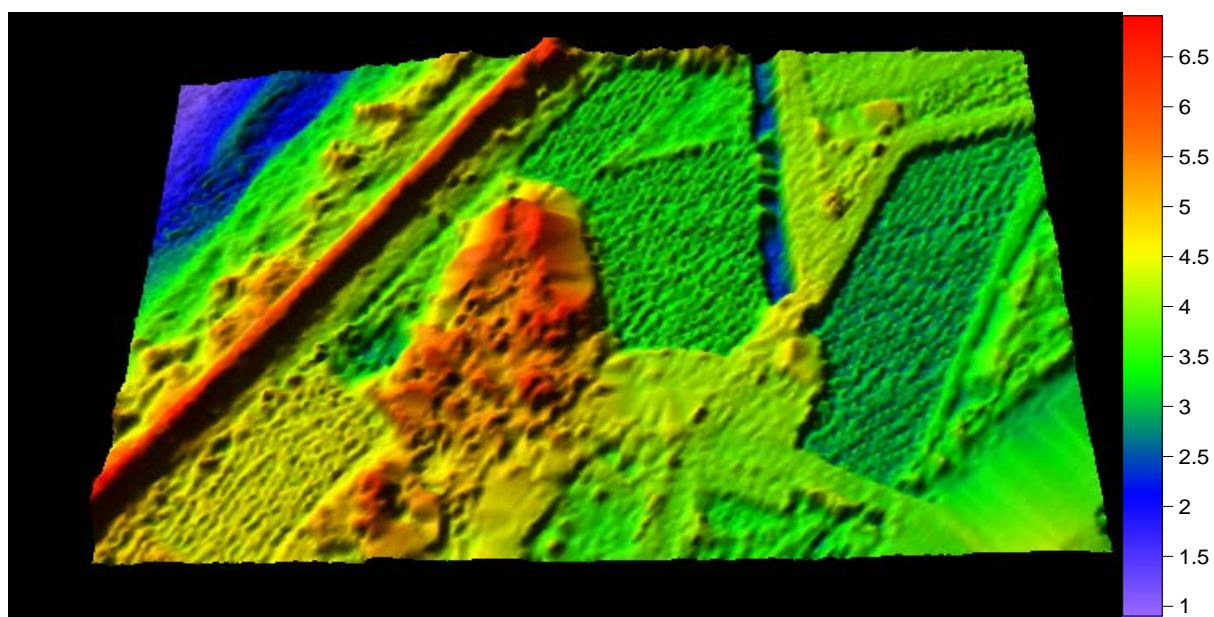


圖 3-65d 北區 DSM 3D 成果展示圖(單一圖幅)

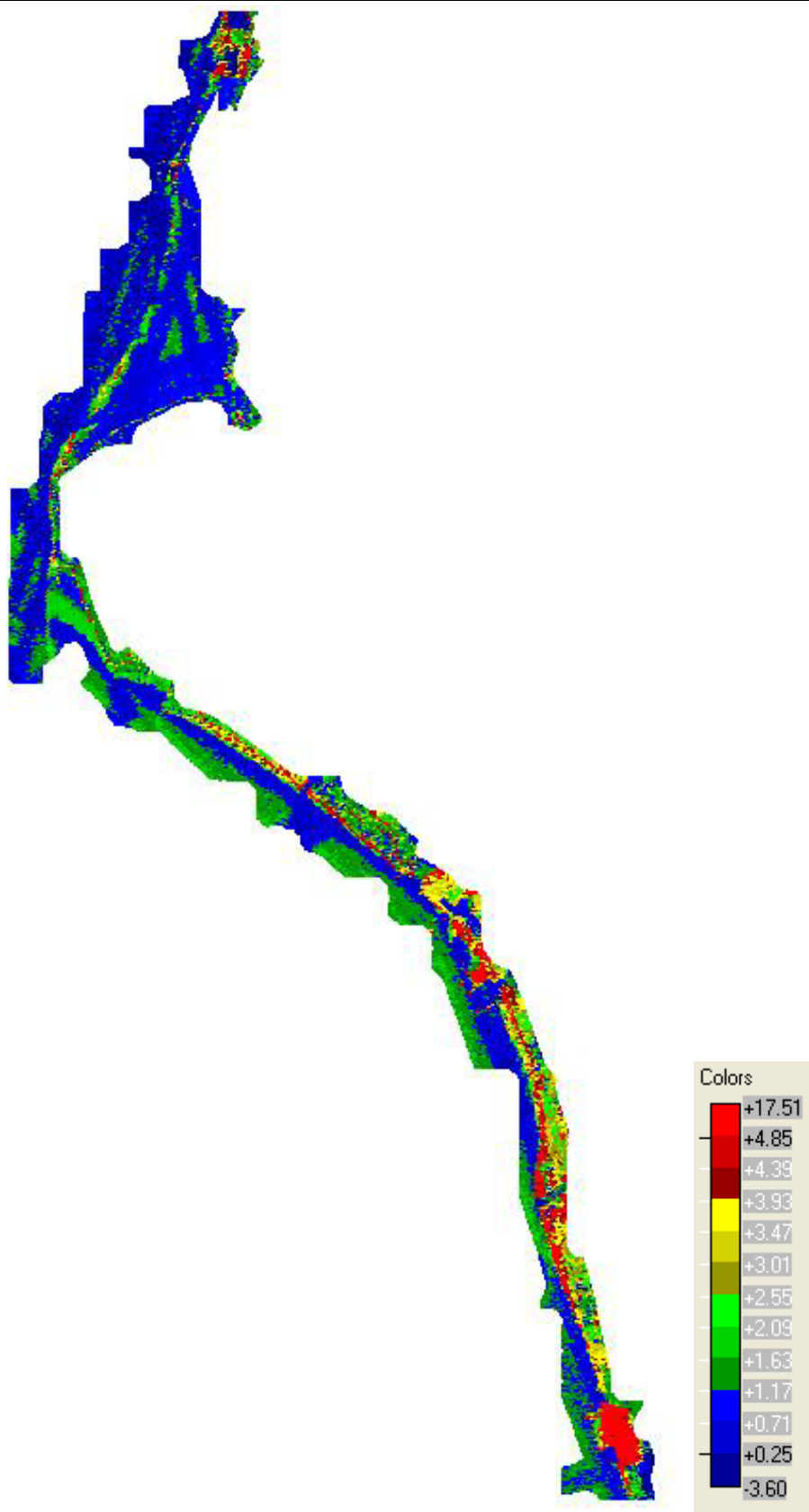


圖 3-66a 南區 DEM 3D 成果展示圖(全區)

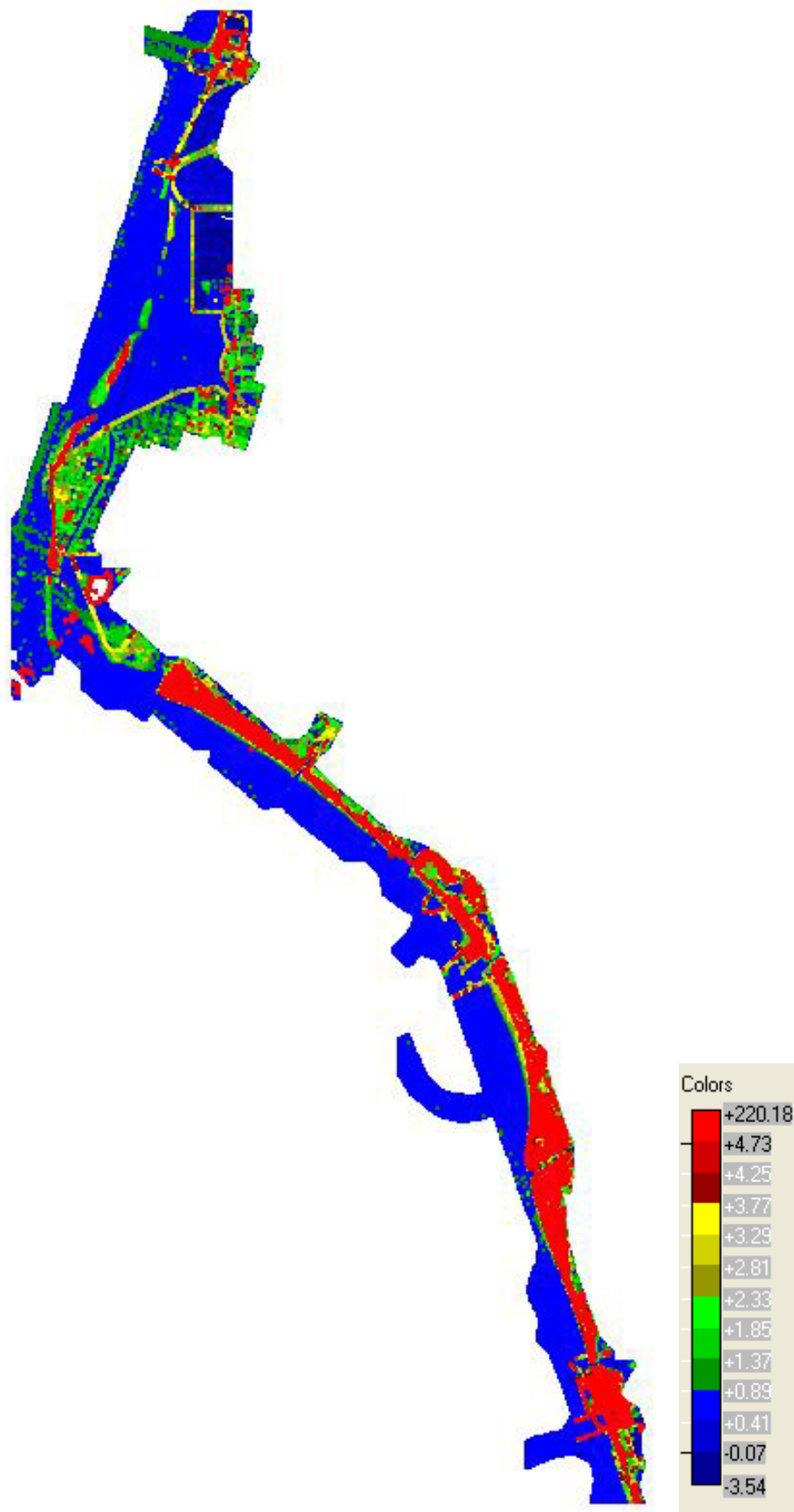


圖 3-66b 南區 DSM 3D 成果展示圖(全區)



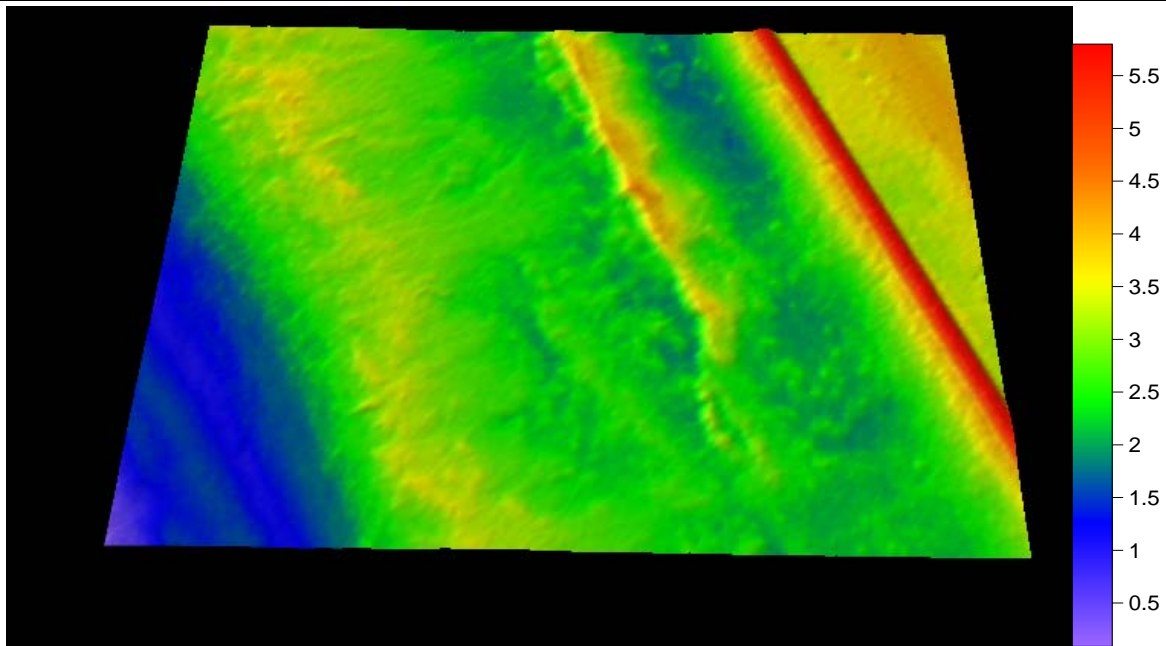


圖 3-66c 南區 DEM 3D 成果展示圖(單一圖幅)

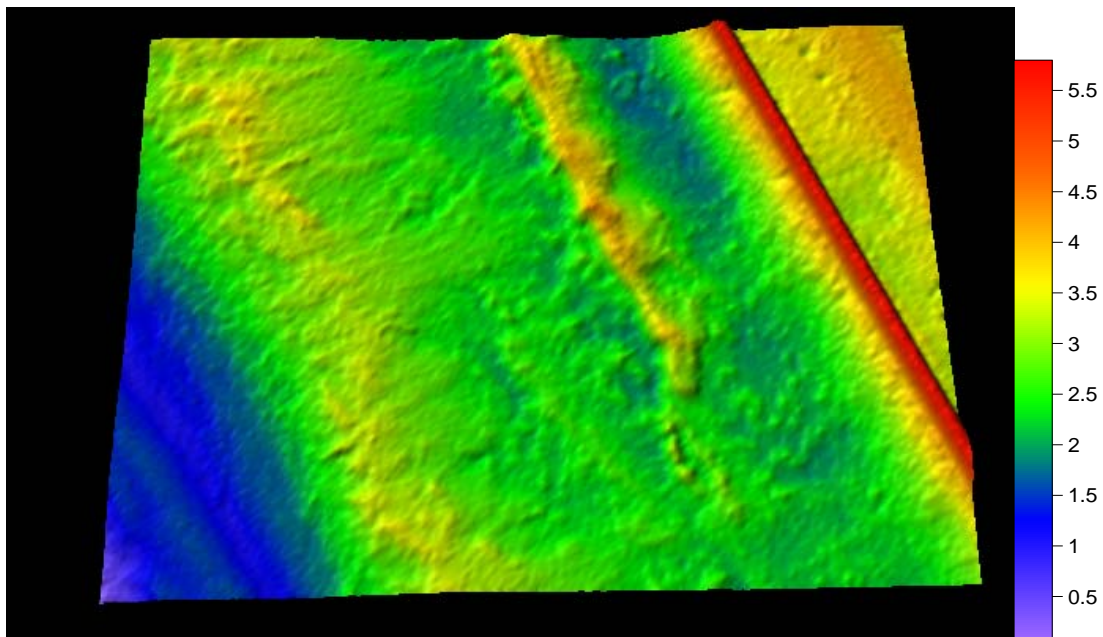


圖 3-66d 南區 DSM 3D 成果展示圖(單一圖幅)

### 3. 高潮位線分析

圖 3-67 為北區(左圖)與南區(右圖)高潮位線分析圖，分析方法利用潮位預報高程線分析其位置與正射影像數化得之高潮位線於 DEM 產製的等高線間之差異量(圖中紅色線為正射影像數化高潮位線，黃色線為紅色線在 DEM 產製的等高線間變化範圍)。表 3-12 為氣象局潮位預報高程線，表 3-13

為高潮位線比較結果，結果顯示其差異量(氣象局預報潮位線與正射影像數化高潮位線於 DEM 產製的等高線)間變化差異量約在 40 公分至 1 公尺間，此差異量應是潮汐變化的差異量。

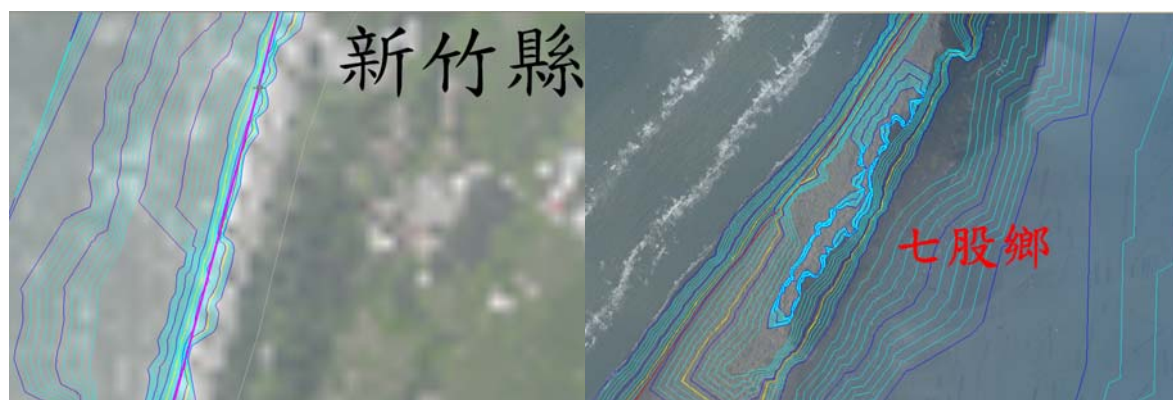


圖 3-67 北區(左圖)與南區(右圖)高潮位線分析圖

表 3-12 潮位預報高程線

地區	飛航日期		與基隆平均海 水面差值	預報潮位	高潮位線	比較等高 線高程
桃園	97.04.07	97.08.18	25.6	163	188.6	189
新竹	97.04.06	97.08.18	6.9	223	229.9	230
苗栗	97.04.06	97.08.03	0	240	240	240
台中	97.04.08		11.7	238	249.7	250
將軍	97.03.12	97.03.13	31.7	67	98.7	99
安平	97.03.12	97.03.13	32.8	39	71.8	72
永安	97.03.12	97.03.13	29.7	37	66.7	67
						單位:cm

表 3-13 高潮位線比較結果

地區	比較等高 線高程	高潮位線坐落 於等高線間距	75%高潮位線坐 落於等高線
將軍	99	60~150	70~110
安平	72	40~130	50~110
桃園	189	100~300	190~270
新竹	230	90~260	150~210
苗栗	240	90~290	150~230
台中	250	120~280	150~200

單位:cm

## (八) 橢球高轉換正高系統

在進行橢球高與正高之轉換時，則使用自內政部取得之 2005 大地起伏模型，此模型係由交通大學黃金維老師使用最小二乘配置法 (Moritz, 1980) 以經平差後之重力及測高資料計算得大地起伏 (黃金維, 2003)。計算之步驟為去除-回復法，此法中所需之大地起伏之長波長及短波長部分(剩餘地形效應 RTM effect)，將分別以 EGM96 360 階及 DTM 求得。首先計算殘餘重力異常及水準面梯度(由測高資料計算而得)：

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{EGM96} - g_{RTM}$$

$$e_{res} = e - e_{EGM96} - e_{RTM}$$

再以最小二乘配置法計算殘餘大地起伏

$$N_{res} = \begin{pmatrix} C_{N\Delta g} & C_{ne} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{\Delta g} + D_{\Delta g} & C_{\Delta ge} \\ C_{e\Delta g} & C_e + D_e \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta g_{res} \\ e_{res} \end{pmatrix}$$

其中  $\Delta g$ ， $\Delta g_{EGM96}$ ， $\Delta g_{RTM}$  分別為觀測重力異常，EGM96 (360 階) 計算得之重力異常，地形效應求得之重力異常。 $e_{EGM96}$ ， $e_{RTM}$  則為相對應之水準面梯度。 $D_{\Delta g}$  及  $D_e$  分別為  $C_{\Delta g}$  與  $C_e$  之雜訊， $C_{N\Delta g}$ ， $C_{ne}$ ， $C_{\Delta g}$ ， $C_{\Delta ge}$ ， $C_e$  分別為大地起伏-重力異常，大地起伏-梯度，重力異常-重力異常，重力異常-梯度，梯度-梯度之間的協變方矩陣。最後應得之大地起伏為：

$$N = N_{res} + N_{EGM96} + N_{RTM}$$

其中  $N_{EGM96}$  為 EGM96 (360 階) 計算得之長波長大地起伏， $N_{RTM}$  為由 DTM 計算得之短波長大地起伏 (即地形效應之大地起伏)， $N_{res}$  則為由測高資料計算得之中波長大地起伏。再將解析度較低之長波長大地起伏、中波長大地起伏與短波長大地起伏以最小二乘配置重新取樣，再內插為 3" \* 3" 網格之大地起伏模型。整個計算流程如圖 3-68。

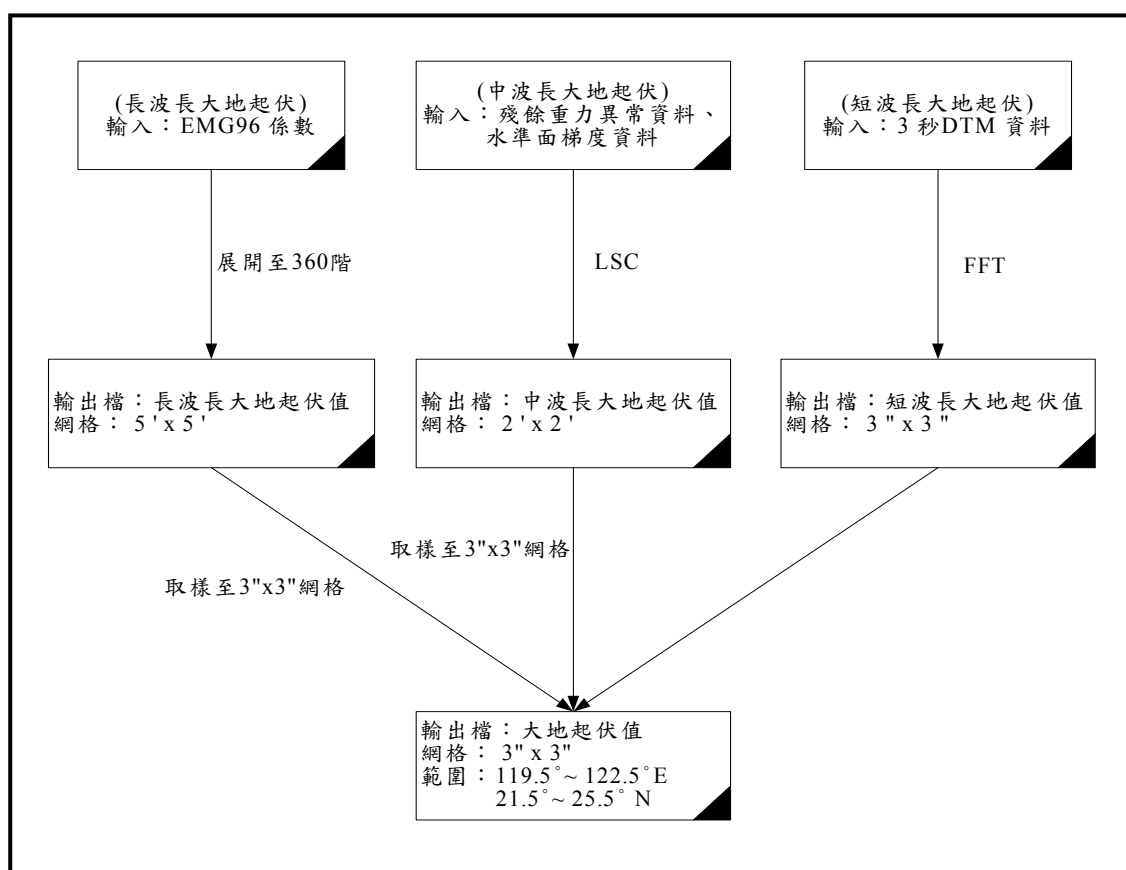


圖 3-68 台灣大地起伏計算流程圖 (黃金維, 2003)

本次使用之橢球高轉換正高係利用 geoidint 程式將所需轉換之點位以單點方式內插大地起伏模式轉換成正高，因此大地起伏模式精度即為橢球高轉換正高系統之精度。而此次使用之大地起伏的精度，利用本公司辦理內政部「九十一年度一等水準點上實施衛星定位測量工作」期間，與內政部國土測繪中心共同進行 38 點對空通視良好的一等一級水準點 24 小時的 GPS 觀測並利用 Bernese 4.2 軟體處理解算，加上其毫米等級的水準正高精度，故這 38 個點具有高精度的大地起伏值，非常適合用於檢核大地起伏精度。此 38 個檢核點分為四段路線，依序分佈於台灣北部、東部、中部、南部四處，依序為第一段為北部濱海路線，分佈在台北縣北部，由埤息社區沿台 2 線由台北縣往西至宜蘭縣橋板湖；第二段為台 9 線花東路段，分佈在花蓮縣，由吉安新站開始，沿台 9 線往南至富里節點；第三段為中橫路段，分佈在南投縣、花蓮縣，由草屯節點開始，沿台 14 線、台 8 線往西至

大禹嶺節點；第四段為南橫路段，分佈在台南縣市、高雄縣，由台南節點開始，沿台 20 線往西至高雄縣。在比較時，將各測試路線上各點位之實測大地起伏值與內插至重力大地起伏模型所得的值相減，可得到兩者之差值，藉由分析此差值的統計結果，即可得此大地起伏模式之精度如下表所示，表中單位均為公尺。

表 3-14 大地起伏模式與水準環線比較結果表

水準環線	最大值	最小值	中值	標準偏差
北部	-0.035	-0.194	-0.103	0.048
東部	-0.251	-0.444	-0.351	0.057
中部	-0.214	-0.635	-0.377	0.160
南部	-0.271	-0.515	-0.374	0.070
全區	-0.035	-0.635	-0.305	0.147

(內政部”臺灣地區大地水準面模式更新計算及教育推廣案”工作報告書，2007)

### (九) 地面實測點檢核

地面實測點檢核作業以 VRS 或 RTK 搭配經緯儀測量進行檢核作業，於測區內依土地覆蓋情形分為裸露地 (B)、矮植被 (L) (周圍為高度不超過 1 公尺之草生地、矮樹群、茶區等)、植生地 (V)、林地 (F) 及沙地 (S) 等 5 種類別，再依各類別內之地形類別分為平坦地 (P)、丘陵地 (H)、山地 (M) 與陡峭山地 (C) 進行檢核，並進行橫斷面 (PS) 檢核測量，圖 3-69 為各類地面檢核測點檢測情形。每種土地覆蓋分區每 20 幅 2500 圖幅分幅至少有 10 個地面測量檢核點。地面檢核點允許在平坦坡度，且避開(離開)地形斷線特徵處 5 公尺以上；而另須施行約略平行岸線及垂直岸線之地面檢核剖面，4 條檢核剖面均至少 20 個檢核點，檢核點間距需大於 20 公尺。





(B) 裸露地

(L) 矮植被



(V) 植生地

(F) 林地



(S) 溼地

(PS) 橫斷面

圖 3-69 各類地面檢核測點

圖 3-70 類地面檢核點分布情形，其中裸露地為黃色點、矮植被為綠色點、植生地為青色點、林地為藍色點、沙地為紫紅色點，而橫斷面檢核點則為青藍色點。



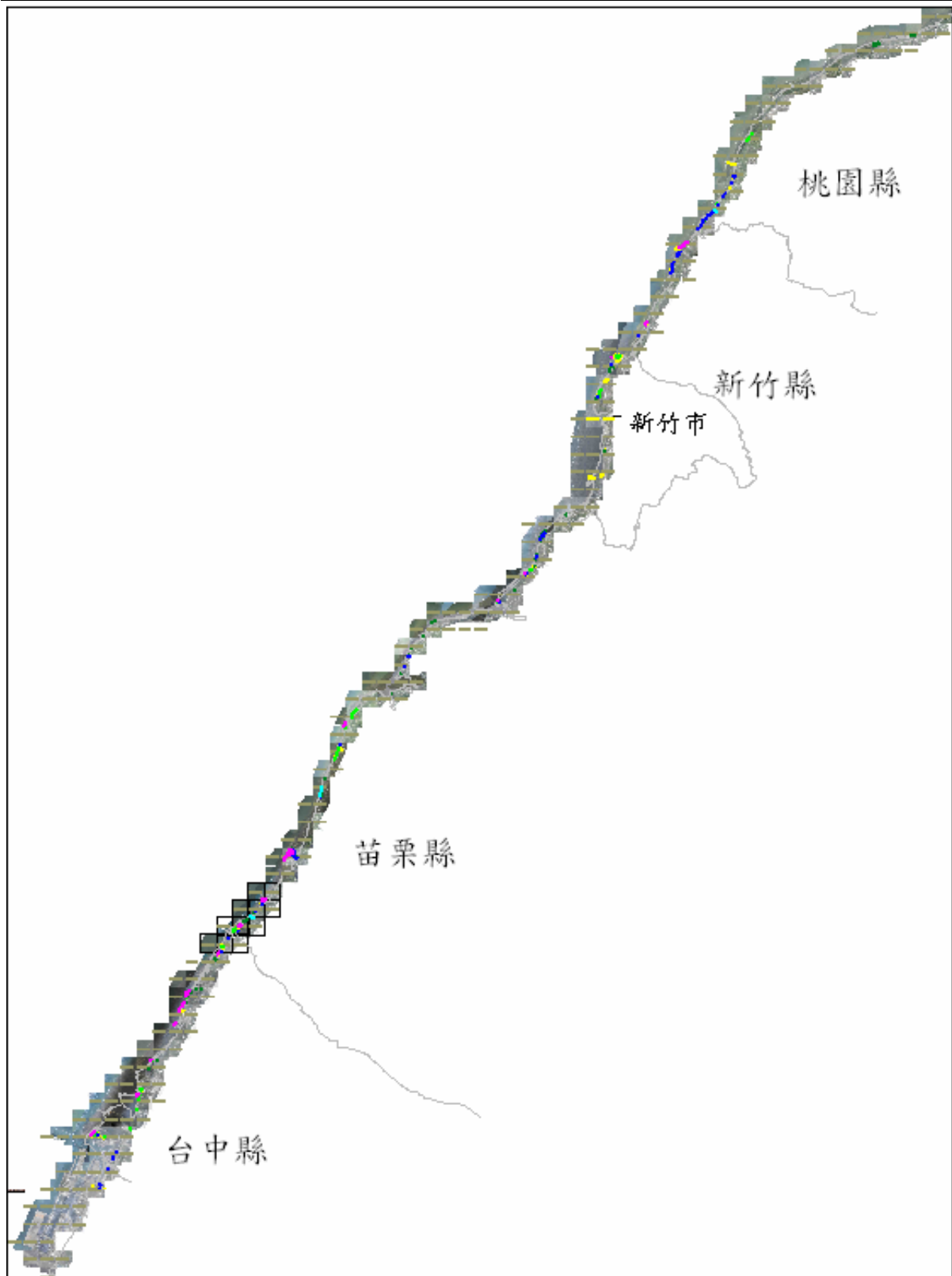


圖 3-70a 北區各類地面檢核點分布情形(全區)



圖 3-70b 北區各類地面檢核點分布情形例圖

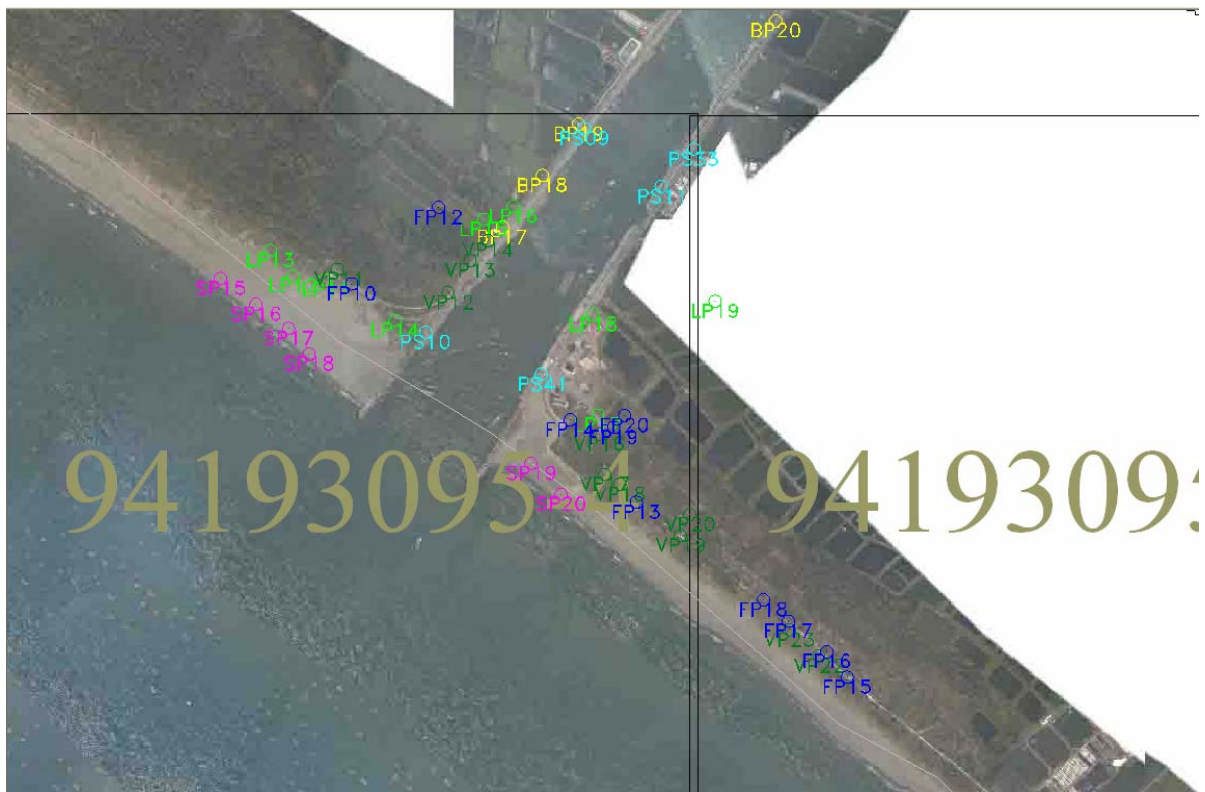


圖 3-70c 南區各類地面檢核點分布情形例圖

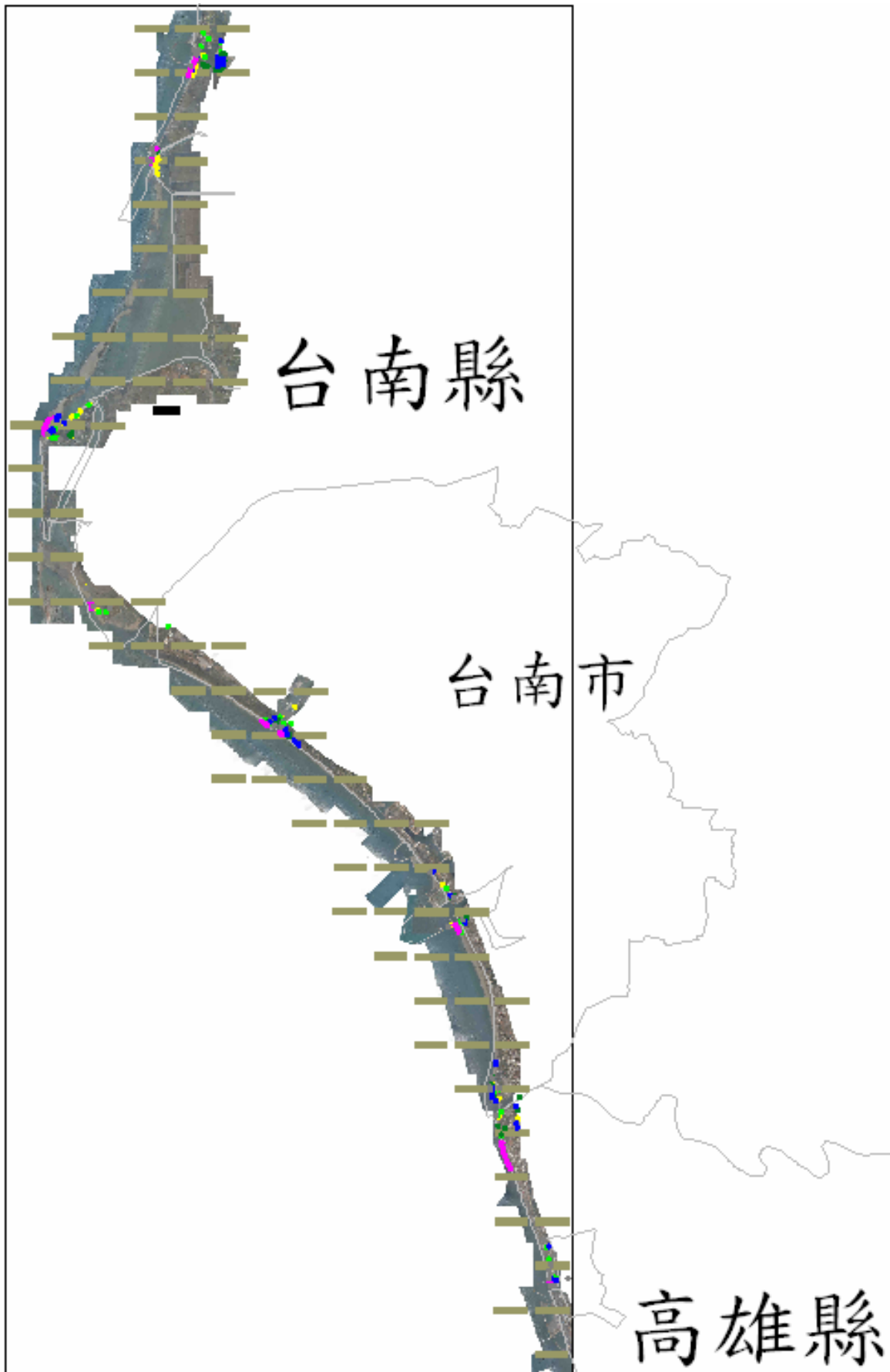


圖 3-70d 南區各類地面檢核點分布情形(全區)

地面檢核比較結果另附錄於附件 6、應用空載光達於潮間帶地形測量之成果精度研究分析報告內。

## (十) 地形圖及正射影像製作

### 1. 空中三角平差計算

- (1) 利用 IMU 高精度定位（每秒可記錄 200 筆姿態資料）性質，配合地面站 GPS，可以精確算出載具空中的軌跡位置，因為照片拍攝時間與 GPS 時間同步，因此可以算出每張相片精確的外方位參數值，利用此值為近似值進行自動空三平差計算。
- (2) 影像處理時，層次須 8bit（含）以上之變化，以充分表現影像之層次，提供更多之地形內容；內方位、連接點之坐標重複量測中誤差應小於  $\pm 8 \mu\text{m}$ 。
- (3) 影像進行特徵點匹配為自動化，將一張影像分成九宮格，一格設定四個匹配點，即每一張像片共有 36 個連接點，每一個像對應有十二個連接點為原則。連接點之編號應依航線、像片及九個標準位置之順序編號，每一連接點僅有一編號，不得同號，亦不得有多號之情形。空中三角平差偵錯後，每一格匹配點位至少留存一點。
- (4) 當匹配完成後，其過程中會先去除匹配不佳之特徵點，以及算出每張影像因連結點(Tie Point 與 Pass Point)匹配不均勻的狀況下，所對應的網形不足區(Weak Area)。對於網形不足區的處理方式是將之刪除，而其所衍生出之匹配點分布不均勻的狀況，再以人工匹配特徵點的方式來對特徵點分布不均勻的地方進行人工選點，如此每個網形不足區加入一至二個特徵點。
- (5) 特徵點匹配後，進行空三平差計算，空中三角測量平差採用自率光束法計算，最小約制平差後所得觀測中誤差，其平面中誤差不得超過  $10\mu\text{m}$ ，高程中誤差不得超過  $20\mu\text{m}$ 。強制附合至地面控制點後中誤差之增加量，應不超過前述 30%，否則應重新檢核地面控制點之正確性。平差計算完成後可根據各種統計報表，新增或刪除匹配點來進行平差，最後進行加密控制點，平差後可以看出每一點的 X、Y、Z 方向向量殘差值；反覆進行上述偵錯程序，直至所有點的殘差值都在要

求精度範圍內，最後輸出所有影像之 E.O 值，整個空中三角平差作業流程圖如圖 3-71，圖 3-72 則為空中三角平差作業過程示意圖。

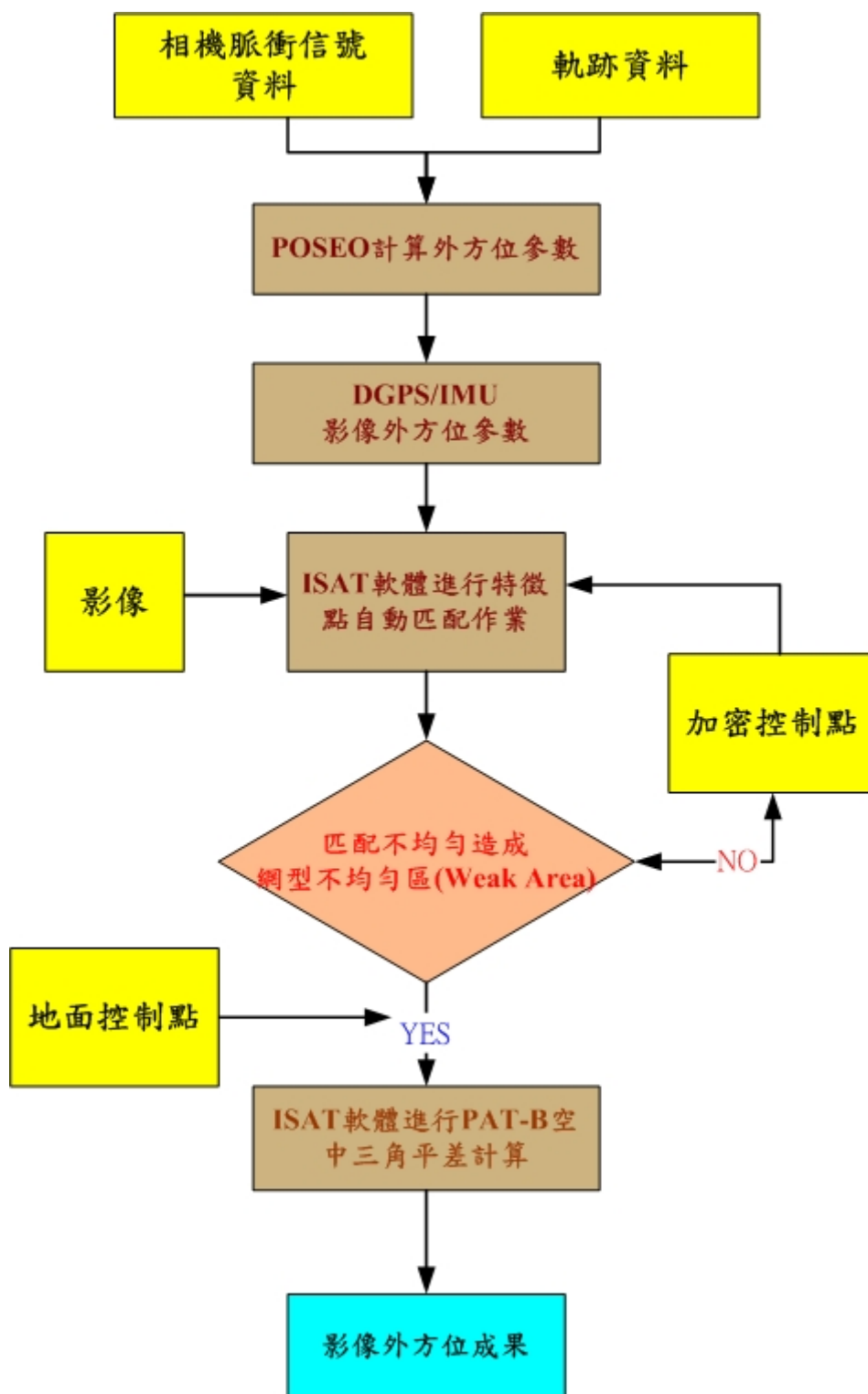


圖 3-71 空中三角平差作業流程圖



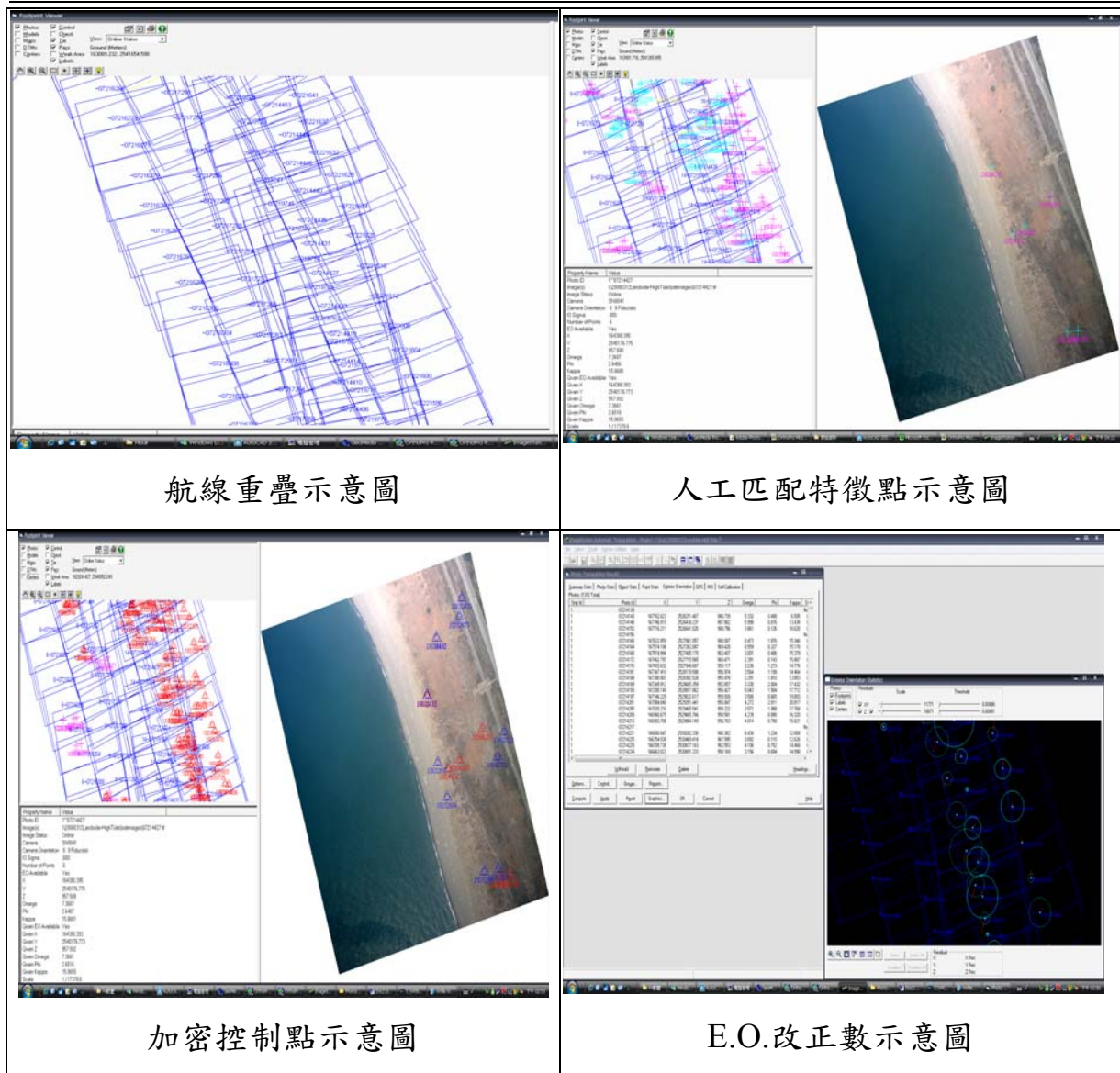


圖 3-72 空中三角平差作業過程示意圖

## 2. 數值立體製圖

立體測圖一般規定：

- (1) 數值立體測圖應在數值立體測圖儀或數值影像工作站內進行，測圖前應先將各地物、地類、地貌予以分類編碼，並依其性質分層施測。
- (2) 地物、地類、地貌之分層分類編碼及圖式以內政部頒佈之有關基本地形圖資料庫地形資料分類編碼、圖式規格表規定辦理。
- (3) 為保證高程精度，立體測圖應採用重疊區域至少為 60% 以上之立體像對。(最大重疊不得超過 70%) 量測內方位框標、連接點及控制點時，應將各點之縱橫視差消除盡淨，內方位框標的改正數應小於  $\pm 10 \mu m$ ，



每一立體模型之量測平面位置中誤差應在 $\pm 10\mu\text{m}$  內、高程中誤差應在 $\pm 15\mu\text{m}$  內。

- (4) 立體測圖時，先量測地物，然後獨立高程點。對地物量測時，先骨幹線狀地物如道路、河流、街道，然後其附屬設施如房屋、地類等。
- (5) 地物共同界線以實測或複製方式產生，惟其共同界線位置必需一致。
- (6) 立體測圖人員如遇有像片判定不易，須請外業調繪補測時，則將其範圍或地點註記並請外業人員加以補測。

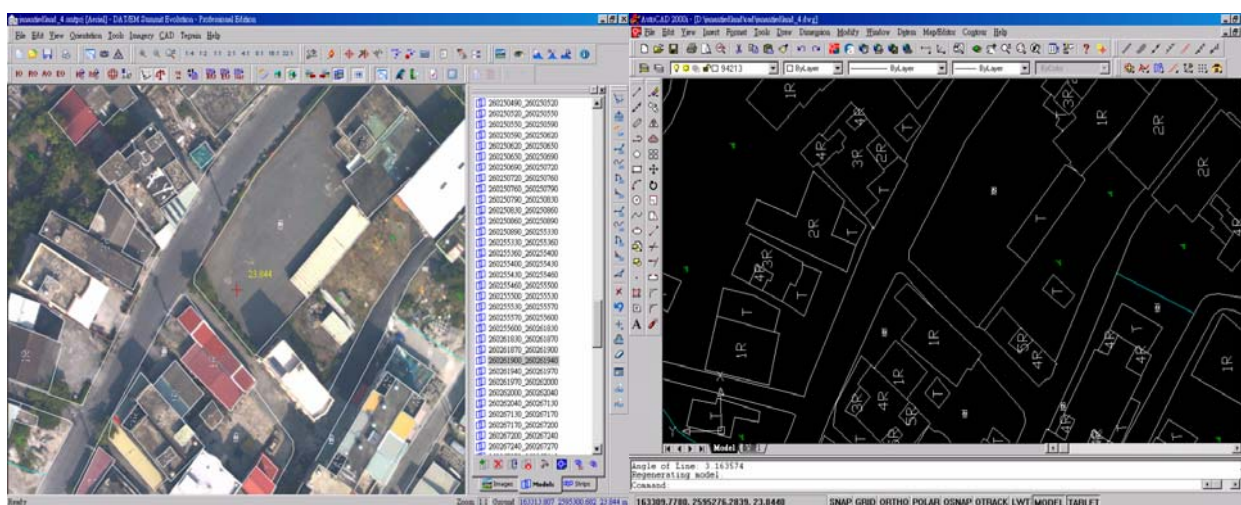


圖 3-73 立體製圖示意圖

### 3.正射影像糾正與製作

#### (1)影像處理

原始影像為一黑白影像，利用相機相關參數將原始影像轉出成可見光影像，若以單一相片先進行測試，第一次轉出並不進行白平衡調整，故原始影像資料轉出會有色差的現象，如圖 3-74 示。所以需進行白平衡調整色調問題。

若影像轉出有色差現象，便進行白平衡調整，其步驟如下：選出影像中灰色處，如公路等地方，若影像偏紅，其 R 值一定偏高，而其他兩者為正常。將此處的像素坐標 X,Y 紀錄下來，利用 DSS IMAGE VIEW 軟體白平衡修正功能，再次進行影像轉出且進行白平衡。重複以上步驟，以本身經驗以及白平衡資訊來確定是否符合所需求之影像品質。影像調整時由於

陽光照射方向或其他因素影響並不能將所有影像一次調至最佳狀態，所以需將影像全部展出，並盡可能以航線做區分，不同航線進行不同的調整，如此方可得到最佳結果。

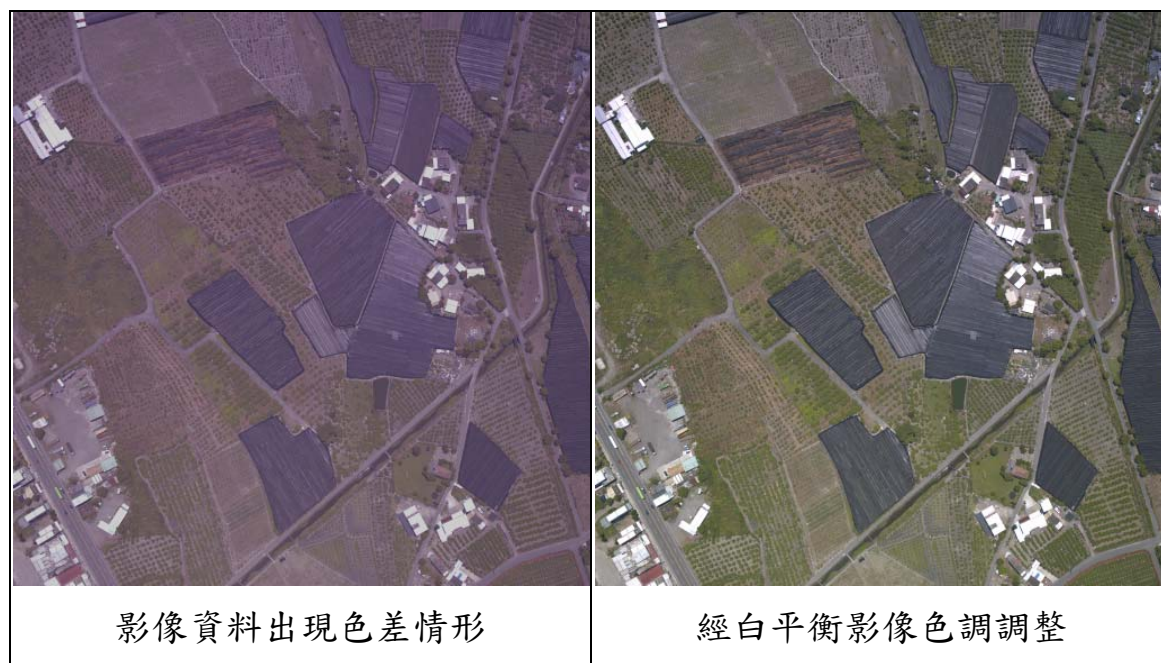


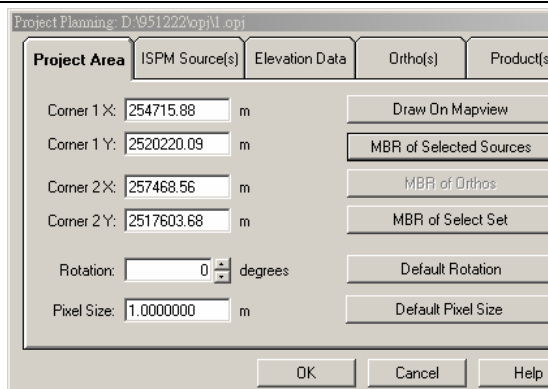
圖 3-74 白平衡影像色調調整情形

## (2)彩色無縫鑲嵌正射影像圖製作

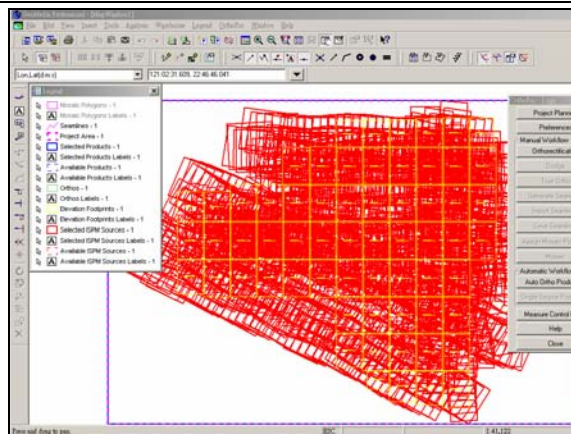
依照前述先將所拍攝影像先進行色澤處理後，並獲得所有影像的外方位參數與 DEM 資料後，便可針對所拍攝的影像作方位糾正，並使影像賦予絕對的幾何坐標資訊；製作過程中應注意之細節說明如下：

A.匯入 DEM 以進行鑲嵌作業(mosaic)，不得採用單模作業作為成果，以維持每個正射影像像元(pixel)坐標位置之精確，示意圖如圖 3-75

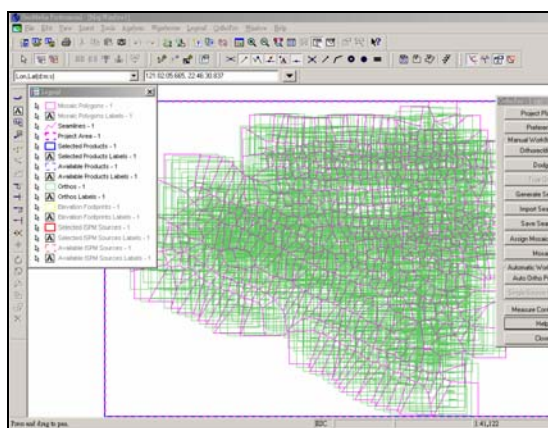




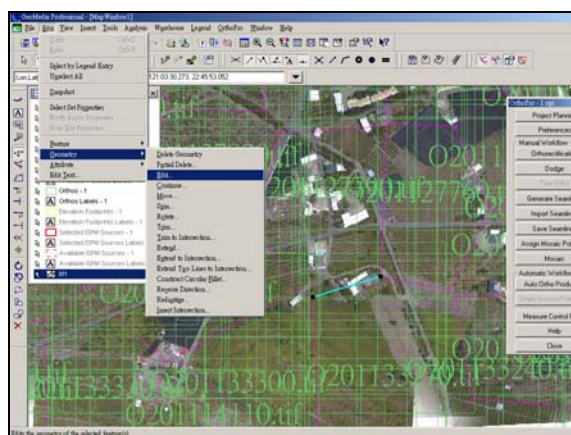
輸入數值地形模型資料



正射影像糾正示意圖



產生鑲嵌線



根據地物狀況進行鑲嵌線編修

圖 3-75 影像糾正與鑲嵌線編修

B.在鑲嵌前應先確定參與的圖像間沒有明顯的差異，以免形成輻射差異導致的接痕，整個圖像輻射調整示意圖如圖 3-76。

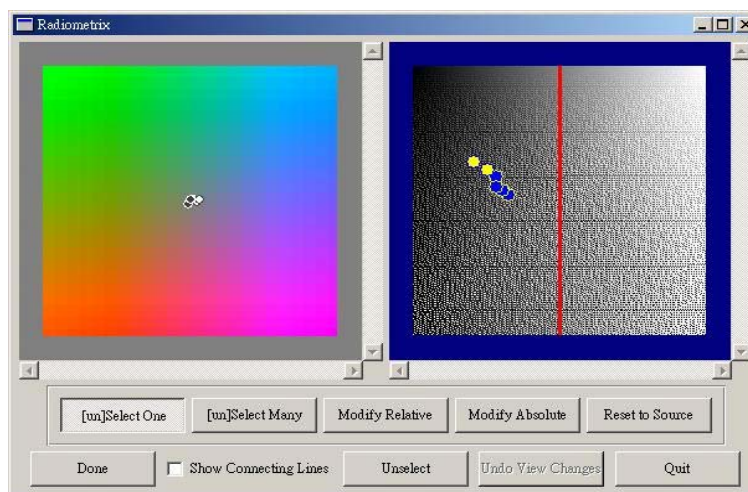


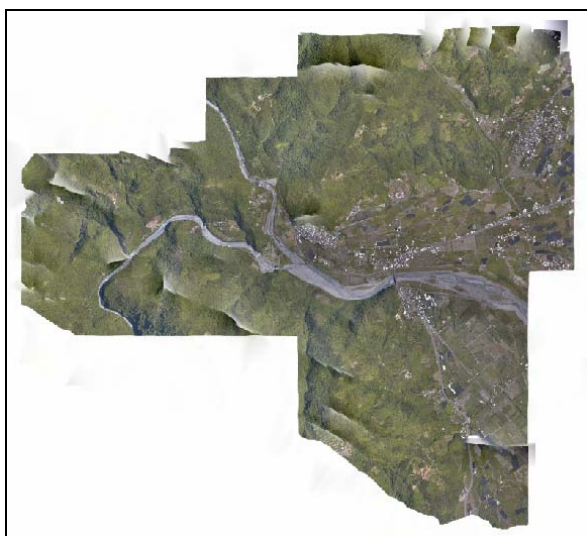
圖 3-76 圖像輻射調整

註：上圖中一圓球代表一張圖像，左半部為色調統計值的二維分佈，右半

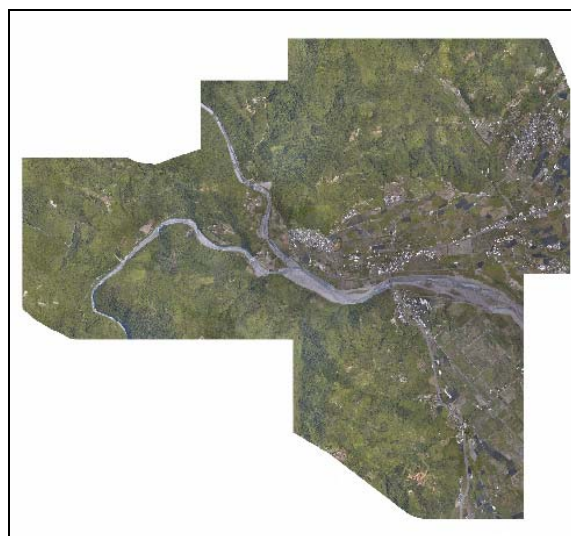
部為亮度(左亮右暗)、對比(上弱下強)之二維分佈圖。由左半部可見：各球分佈十分集中且該批圖像在色調方面沒有巨大的差異。由右半部可見：約略有二張圖像差異較大，讓其遠離群體中心，可使其較為居中。

C.需注意色彩飽和度全區一致，圖 3-77。

D.在進行單幅正射影像圖裁切時，必須注意圖幅範圍大小，適當調整影像像元(pixel)，以符合單張圖幅邊緣像元之完整性，達到無縫鑲嵌正射影像圖之目標。



全區鑲嵌正射影像圖（編修前）



全區鑲嵌正射影像圖（編修後）

圖 3-77 鑲嵌正射影像圖色彩調整

### (3)製作需求

A.利用數值航測影像工作站或同等精度之航測儀器，配合數值地形模型資料作為正射糾正之高程控制資料，將中心投影之航空像片，糾正成正射投影，消除像片上投影誤差，製作數位正射影像資料檔，記錄在光碟等電腦磁性媒體。

B.正射影像糾正使用之數值地形模型資料，係包含地面覆蓋物之地面高程，其網格間距應在地面一公尺以內。

C.數位正射影像以彩色影像表示為原則。

D.數位正射影像資料檔以 TIFF 格式儲存，並與地形圖檔相配合，以每幅圖一個檔案為原則。

E.正射影像之地面解析度分別為 10 公分、50 公分、1 公尺。

圖 3-78 為本案正射影像成果，圖 3-79 則為本案南區正射鑲嵌圖，圖 3-80 為本案北區正射鑲嵌圖。

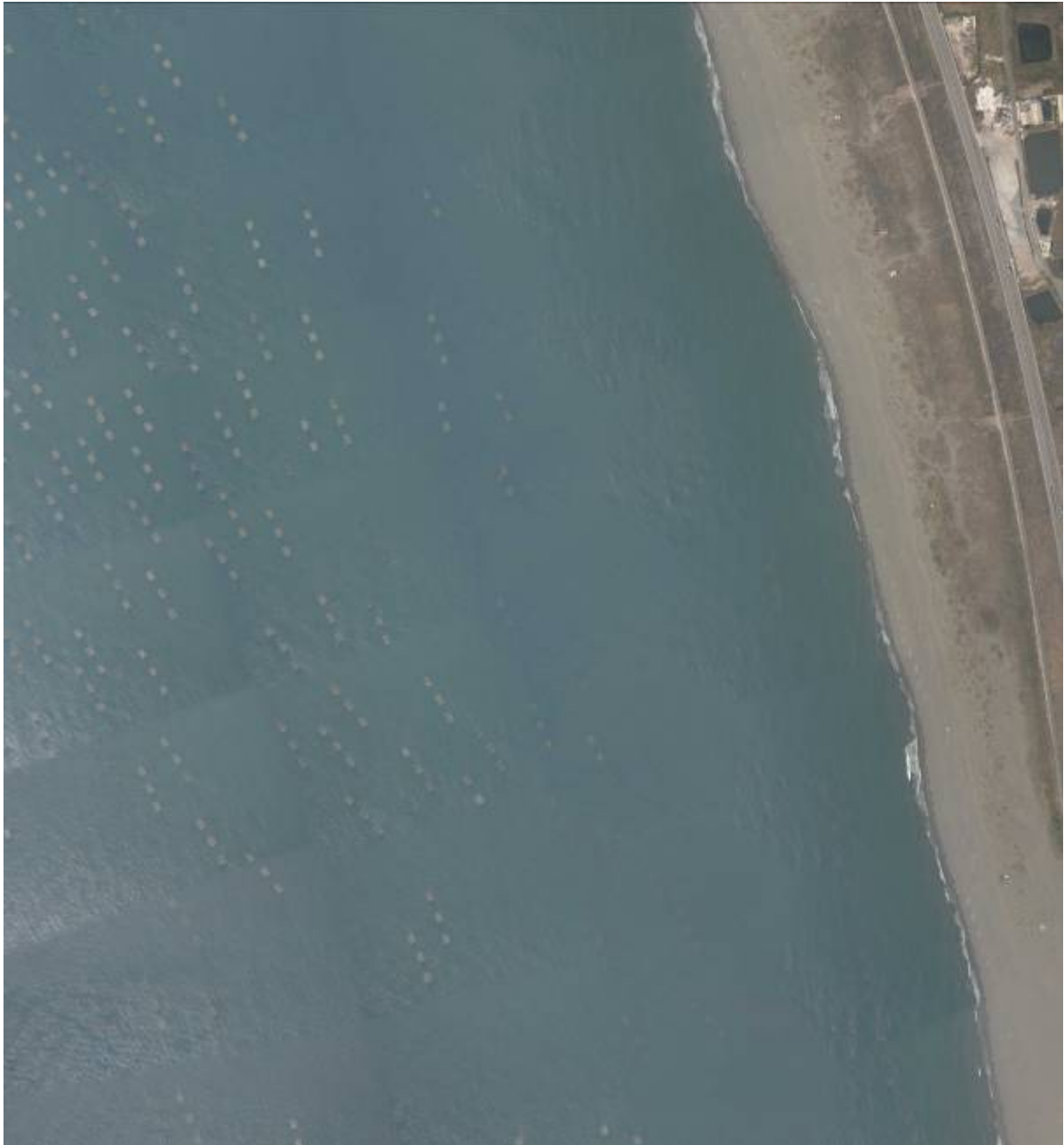


圖 3-78 本案正射影像成果

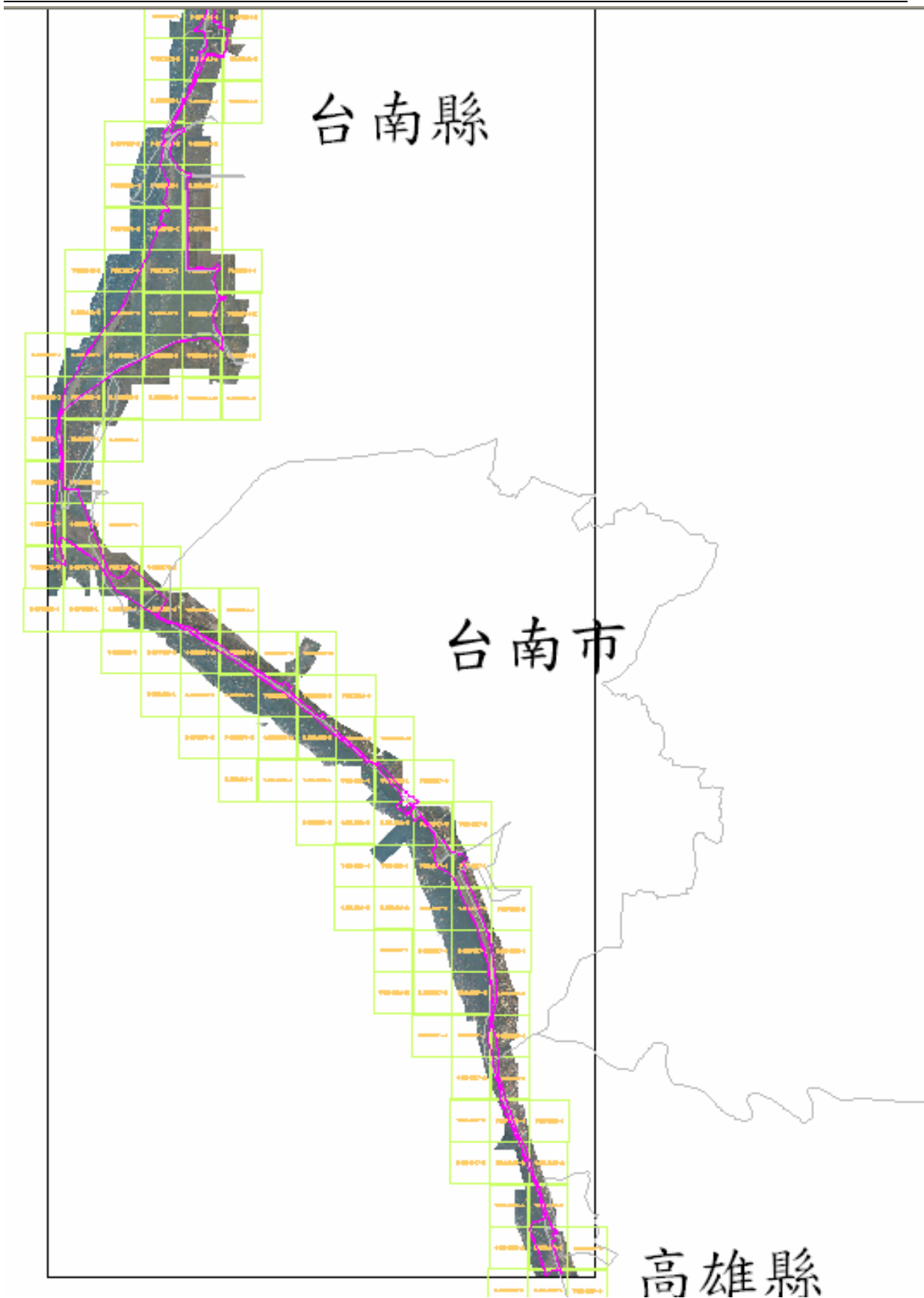


圖 3-79 本案南區正射鑲嵌圖





圖 3-80 本案北區正射鑲嵌圖

#### 4. 調繪補測原則及施行

- (1) 調繪補測作業前應先與甲方確認調繪內容，並向調繪人員講習。
- (2) 將立體製圖稿圖攜至實地調查地名、地類、高壓電桿（塔）、房屋構造類別與層數、行政界線及立體測圖無法辨認或遺漏之地物，如鐵絲網、圍牆及涵管等，均須實地調繪加以補充之。
- (3) 調繪各種副記號及指示記號。（如路、街、巷道、河流、湖泊、水圳、港灣、水庫、機關、學校、教堂、寺廟、重大地標及公共場所．．．等均需標示名稱。）

- (4) 補充獨立高程點。
- (5) 如因施工及天然災害，而致攝影後地形變動時，須補測地物、地貌（以繳交成果時為準）。
- (6) 像片上因雲層或陰影遮蓋部份，或室內立體測圖不詳及未能消除投影誤差之地區，均須根據相關地物或控制點於實地補測。
- (7) 調繪補測完整之稿圖送回編圖站編製數值圖。

調繪補測目的在於配合立體製圖成果完成地形圖測繪工作，並針對各項立體影像上無法判識及獲取之資訊進行紀錄，並提供內業地形圖繪製編修人員註記於成果圖上及修正原地形圖稿圖上因無法判識或因自影像獲取後實地已改變之現況，確保地形圖之正確性及完整性。調繪範例如圖 3-81 至圖 3-82 所示。

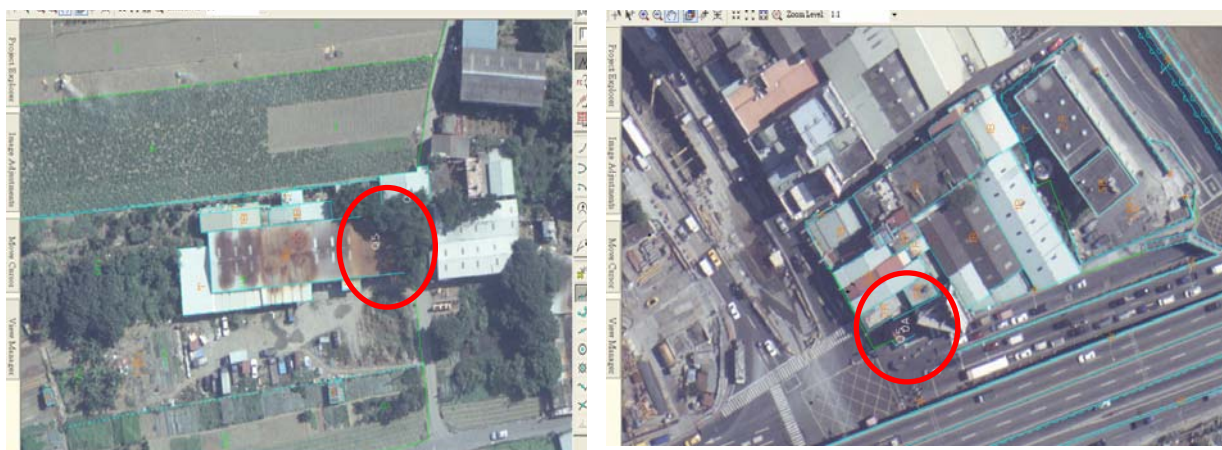


圖 3-81 房屋界線不明範例 圖 3-82 陰影遮蔽段外業調繪補測範例

## 5. 數值地形圖製作

數值地形圖圖面整飾及編圖一般原則如下，具體成果如圖 3-83 所示：

- (1) 依立體測圖所得之向量、編碼資料及 DTM 所得之等高線輸出至編圖站，再依地物、地類、地貌等屬性加以分類分層編輯，並以電腦繪圖儀繪製稿圖，攜至實地加以調繪。
- (2) 稿圖調繪補測完成後，送回編圖站依據調繪補測結果，按規定分幅編輯、整飾，做最後之編輯及圖面整飾（含地面控制點、圖廓、方格線、方格線坐標、圖號、比例尺、中英文地名、行政界線、圖幅

- 接合表等) 整理成數值地形圖。
- (3) 對於相鄰圖幅需要接邊，注意線狀物體、等高線、道路到達地、方格線註記、居住地名稱、河流流向及其他地物等，應彼此配合一致。相鄰圖幅間之等高線及地物必須銜接、吻合。
- (4) 圖面編輯應注意基地線、建物及其他現況資料應分層建置，並建置關連資料庫，其他注意事項：
- A 建築物之編輯：
- (A) 房屋構造、高度及層數
  - (B) 本市轄區內連棟建物之切割（如連棟透天厝亦需逐戶切開）
  - (C) 臨時房屋範圍
  - (D) 凸出物之取捨
  - (E) 房屋與道路的關係是否符合實際情況
- B 道路寬度應標示，路寬變化時，應分別標示清楚。
- C 等高線過房屋、道路、水田、河流、山峰、山脊、山溝．．．．等必須加以編輯。
- D 路、街、巷道、河流、湖泊、水圳、港灣、水庫、機關、學校、教堂、寺廟、重大建物地標及公共場所．．．等應標示中文名稱。
- E 注意地類界之閉合性。
- F 注意等高線之平滑性。
- G 所有註記應避開地物、中心樁、方里線等，其它線畫不得通過註記及圖式。
- H 註記位置及排列之選擇以不影響製圖品質與用圖者閱讀之便利為原則。
- I 行政區域界線含縣、市、鄉鎮、村里界。
- (5) 數值地形圖之製作應不得違反中央已訂頒實施之「基本地形圖資料庫地形資料分類編碼表」、「圖式規格表」、「專有名詞定義」、「標準交換格式」、及「數值像片基本圖測製規範」。
- (6) 圖名、圖號及圖面設計格式以現有二千五百分之一基本地形圖為參考版本。

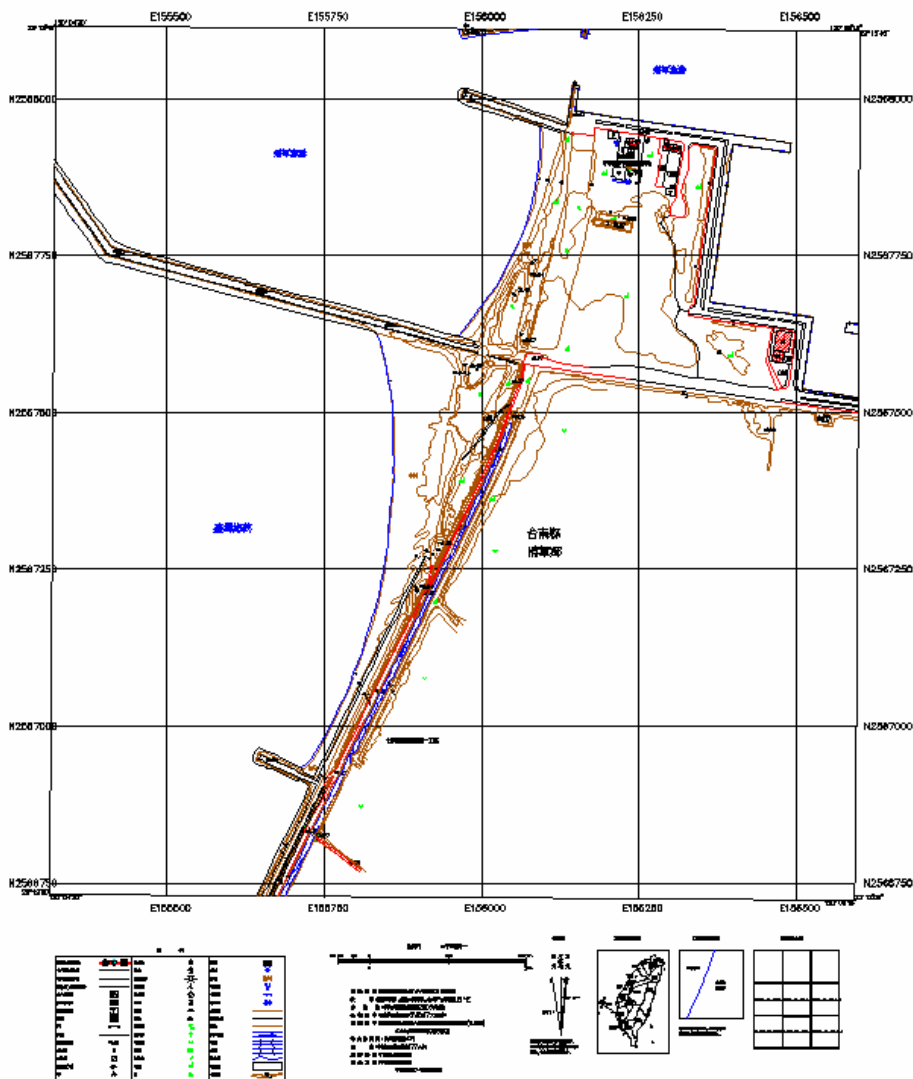


圖 3-83 數值地形測量成果圖例

## 6. 地形圖與 1/5000 圖幅接邊分析

為了解本案地形圖成果與內政部現有 1/5000 地形圖圖資之接邊套和情形差異量大小，本公司擬定之比較辦法係將兩種圖資套疊在同一張圖內，如圖 3-84，紅色線為 1/5000 地形圖，黑色線為本案地形圖成果，以比較兩種圖資中的明顯道路邊界來決定其差異量。實際計算比較乃以 autocad 分別選取兩種圖資之疊合道路界線，以計算 1/2500 道路邊界線圖元方圓 100 公尺搜尋範圍內量測與 1/5000 地形圖道路邊界線圖元之距離為其差異量計算方式。比較結果例如表 3-15 所示，所有比較成果如附件九所示。

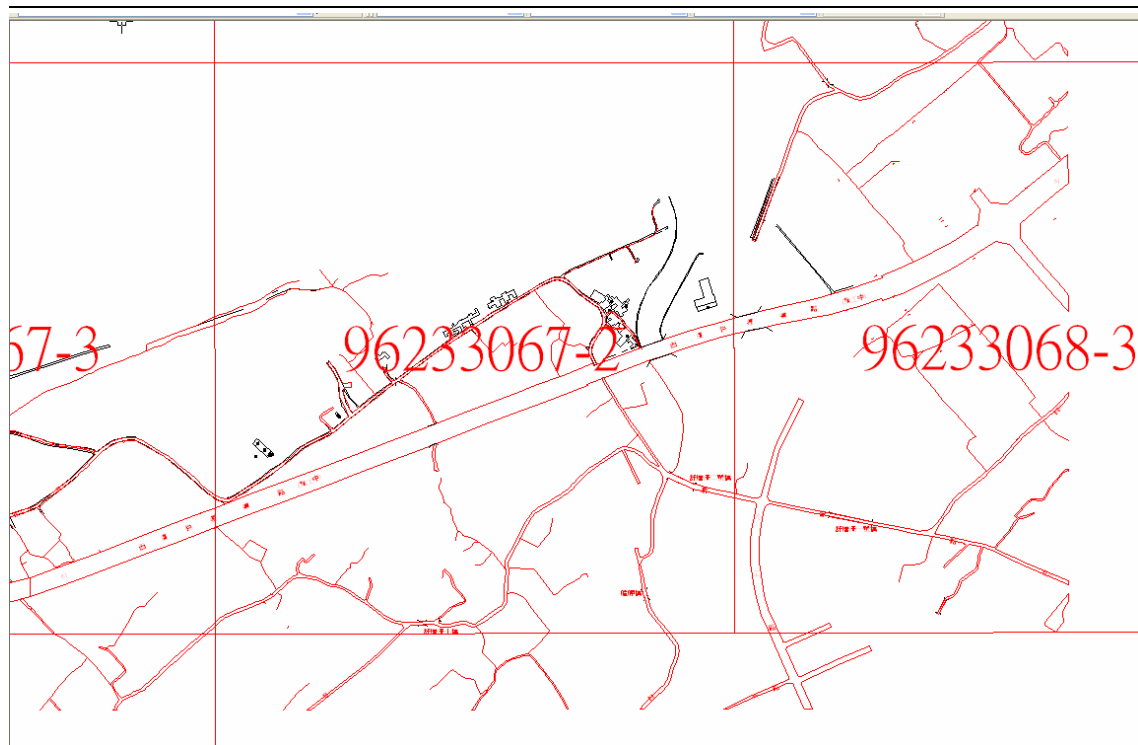


圖 3-84 地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖比較方式

綜合本次比較結果，本案北區地形圖與內政部 1/5000 地形圖共比較了 1594 點，距離差平均值為 0.75 公尺，單一圖幅內最大距離差平均值為 3.94 公尺（如圖 3-85 所示，顯示其為路型變化之誤差影響），單一圖幅內最小距離差平均值為 0.10 公尺；而南區地形圖與內政部 1/5000 地形圖共比較了 399 點，距離差平均值為 0.78 公尺，單一圖幅內最大距離差平均值為 2.15 公尺（如圖 3-86 所示，顯示其亦為路型變化‘轉彎處’之誤差影響），單一圖幅內最小距離差平均值為 0.13 公尺。圖 3-87 與圖 3-88 分別為北區與南區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差平均值分布圖，其中序號編排方式係以 1/2500 地形圖圖號由東而西、由南而北方式排序。

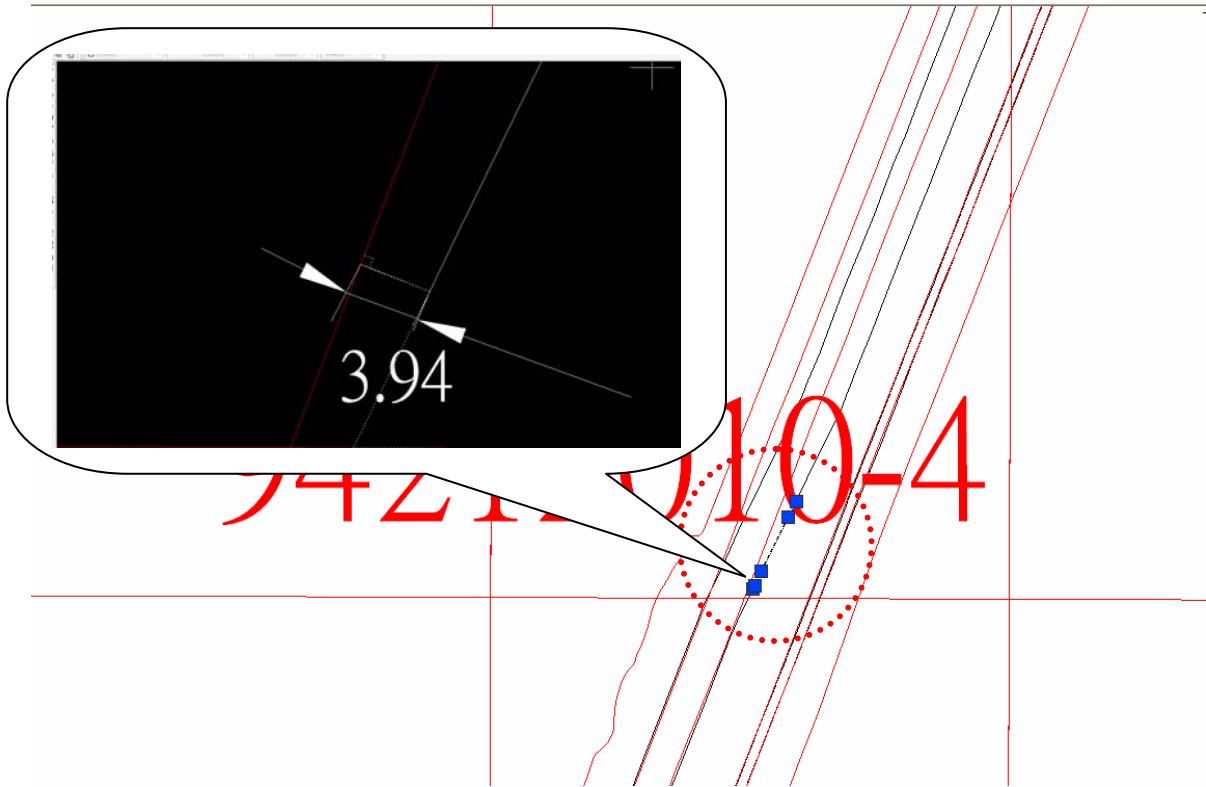


圖 3-85a 北區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差值比較圖

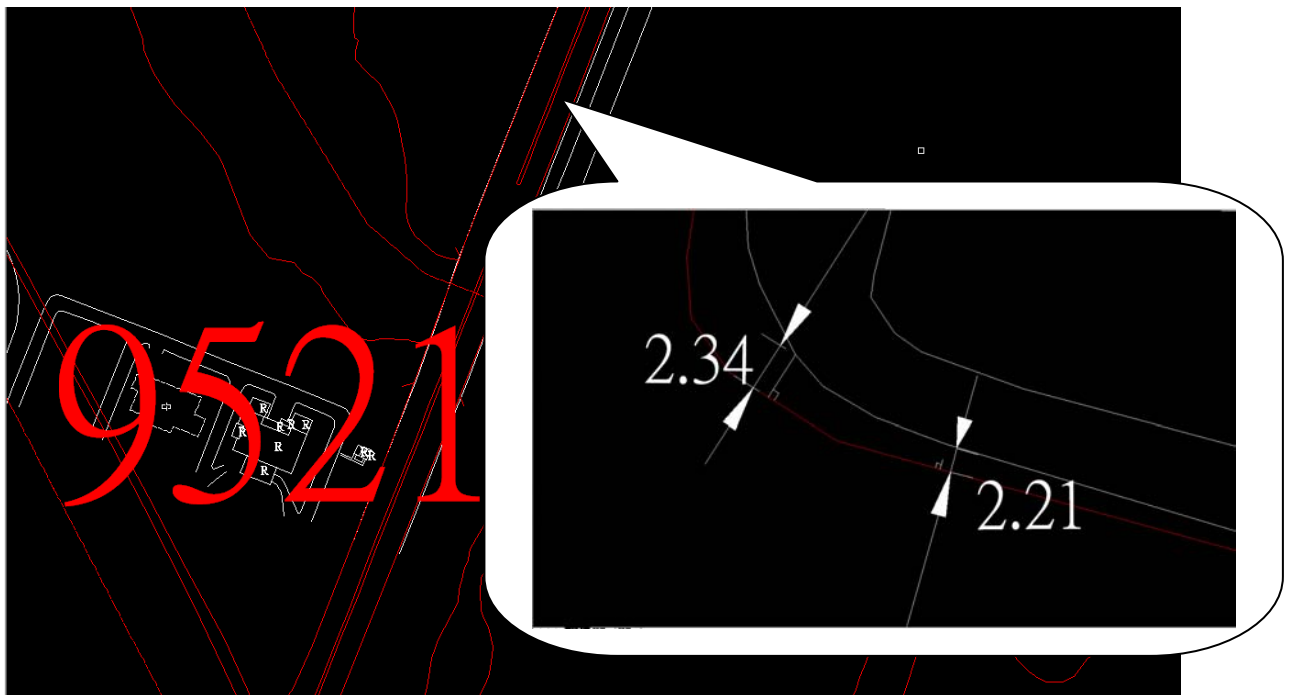


圖 3-85b 北區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差值比較圖



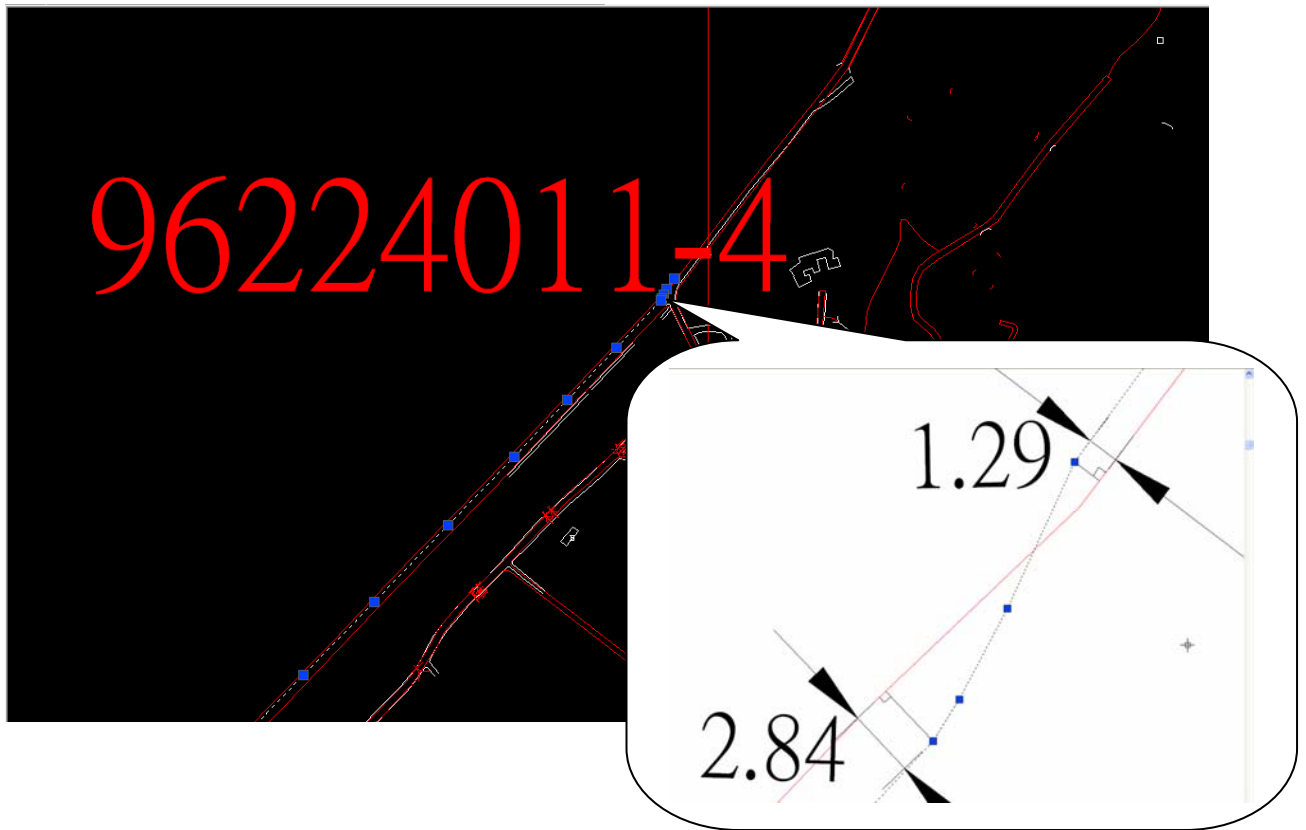


圖 3-85c 北區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差值比較圖

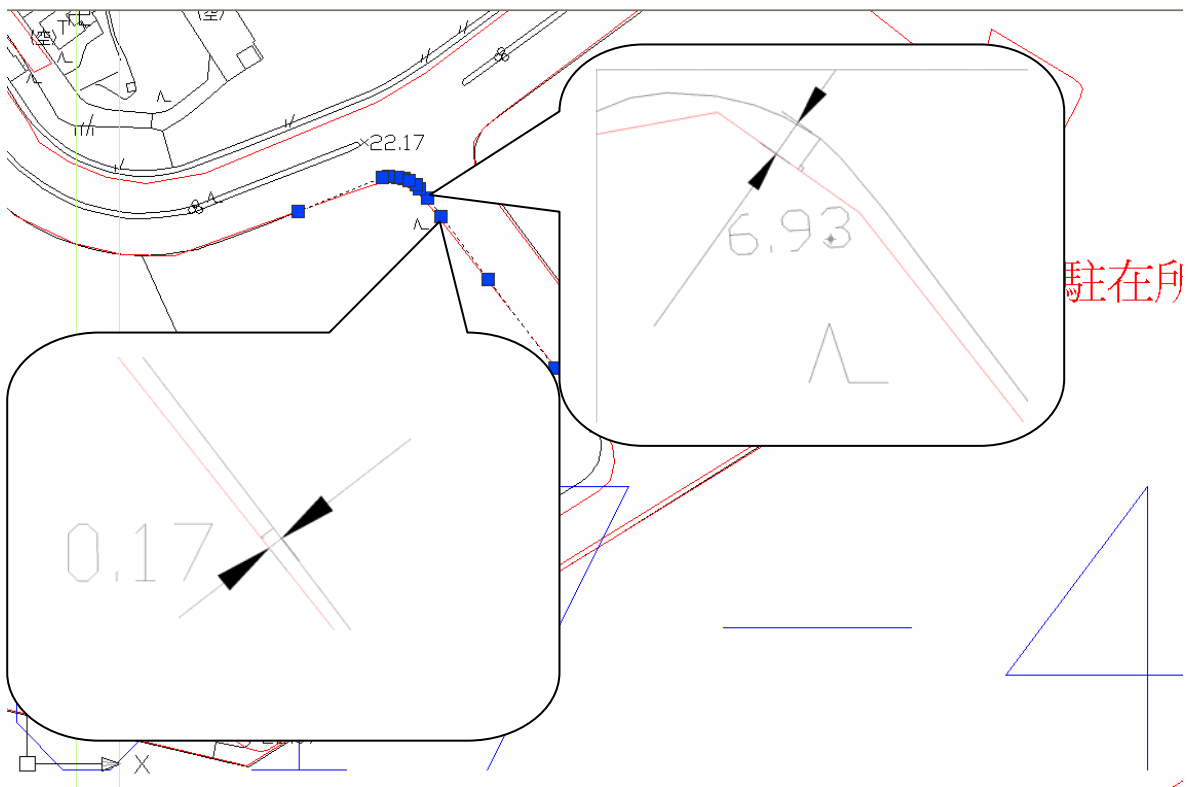


圖 3-86 南區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差值比較圖

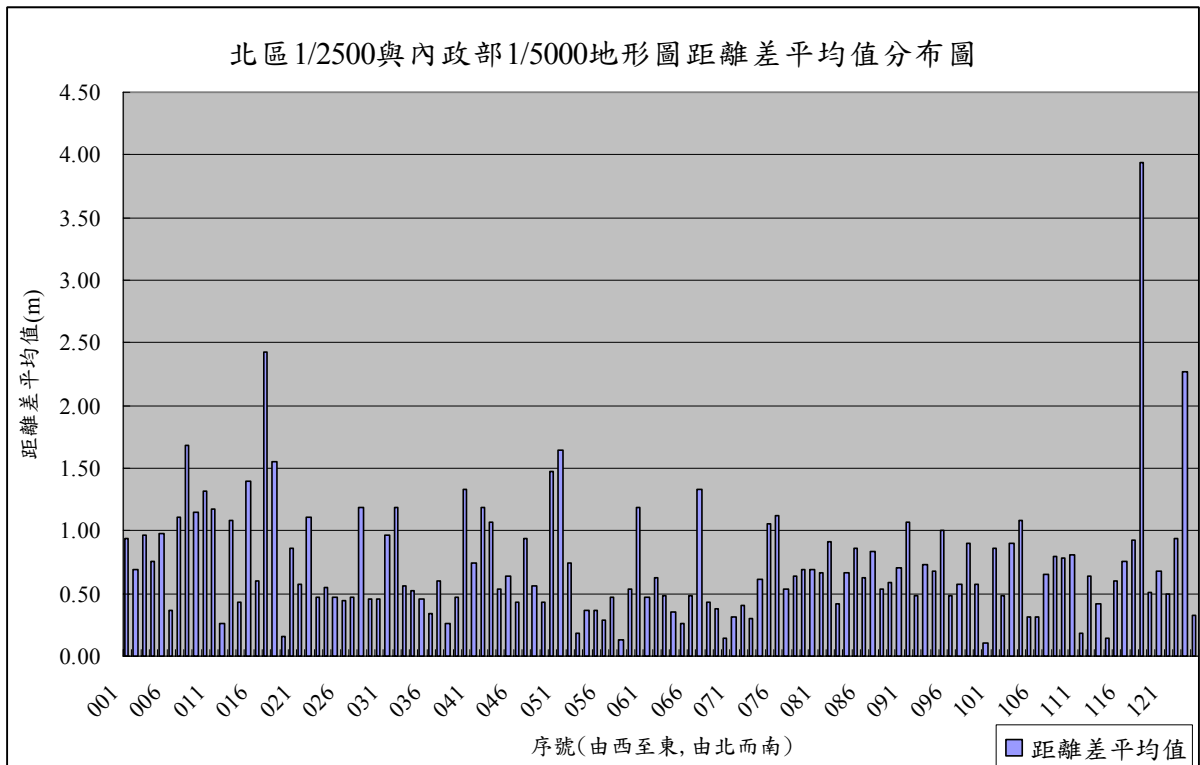


圖 3-87 北區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差平均值分布圖

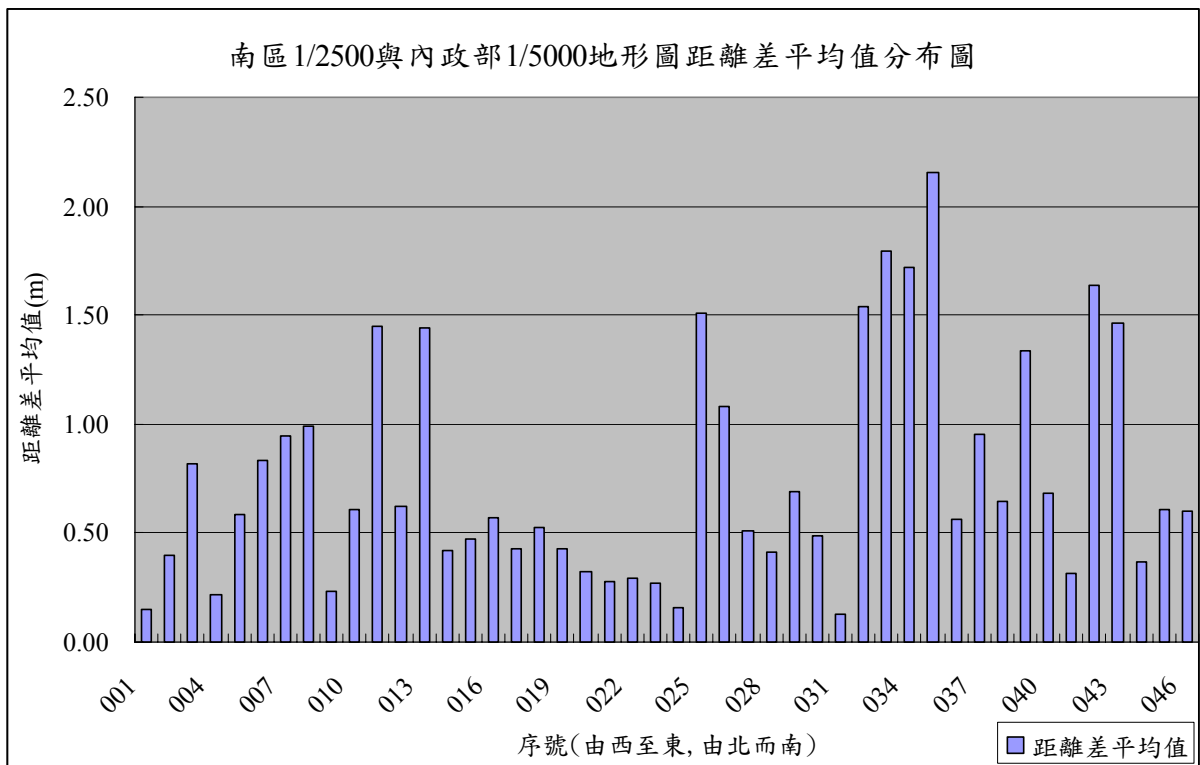


圖 3-88 南區地形圖成果與內政部 1/5000 地形圖距離差平均值分布圖

表 3-15 本案地形圖與內政部 1/5000 地形圖比較結果例

序號	圖號	比較點數	距離差平均值(m)	備註
001	96233067-1	0	0.00	
002	96233068-4	0	0.00	
003	96233066-3	0	0.00	
004	96233066-2	0	0.00	
005	96233067-3	12	0.94	
006	96233067-2	3	0.69	
007	96233068-3	5	0.97	
008	96233074-1	0	0.00	
009	96233075-4	0	0.00	
010	96233075-1	6	0.76	
011	96233076-4	18	0.97	
012	96233076-1	7	0.37	
013	96233077-4	0	0.00	
014	96233074-3	0	0.00	
015	96233074-2	13	1.11	
016	96233075-3	14	1.68	
017	96233082-1	0	0.00	
018	96233083-4	0	0.00	
019	96233083-1	0	0.00	
020	96233084-4	19	1.15	
021	96233082-3	0	0.00	
022	96233082-2	5	1.32	
023	96233083-3	0	0.00	
024	96233092-4	7	1.17	
025	96233092-1	1	0.26	
026	96233091-2	20	1.08	
027	96233092-3	23	0.44	
028	96224001-4	0	0.00	
029	96224001-1	23	1.40	
030	96224002-4	0	0.00	
031	96224001-2	26	0.59	
032	96224011-4	12	2.43	
033	96224011-1	15	1.56	
034	95221020-2	1	0.15	
035	96224011-3	8	0.86	

## 第肆章 本案其他作業項目

### 一、教育訓練辦理

本案中教育訓練之辦理於 97 年 5 月 30 日假本公司舉行，整個教育訓練之課程表如表 4-1。教育訓練內容在 LiDAR 原理介紹部份，除針對本公司使用之加拿大 Optech 公司生產，型號 ALTM 30/70 空載雷射掃描儀作業能力與作業方式作進一步介紹，該型儀器技術規格外，並搭配介紹空載雷射掃描系統結合雷射測距、光學掃描、全球定位系統及慣型導航系統等技術，而能快速獲得掃描點三維坐標之原理，以促進學員對空載雷射掃描之認識。在飛航計畫與資料前處理部份，則針對本案之計劃作業區之飛航規劃方法與過程做一詳盡之介紹，期使受訓學員對今後 LiDAR 飛航掃描案中所需要之飛航規劃與要求有更清楚之認知。而光達資料後處理技術則介紹 ALTM 3070 雷射掃描系統取得資料後進行資料處理階段，利用 POSGPS 軟體解算動態 GPS 與 POS 數據，經由解算的精度將影響後續雷射點三維坐標的成果值，並介紹如 C/A Code、L1 相位值及是否利用 L2 載波處理電離層效應等相關參數設定，並顯示軌跡圖及檢視航行時 PDOP 值，最後輸出成果供 POSPROC 計算 IMU 定位計算。原始 LiDAR 數據(All points)，掃描是不規則離散測點，製作 DSM 可採用第一個回波反射數據組成 DSM 規則網格，LiDAR 數值高程模型 DEM 的製作，則需處理濾除與分類的步驟，將測點分類成地面點(Ground)與非地面測點(Non-ground)，藉由循序性之作業方法使受訓學員了解整個 LiDAR 飛航掃描後製作業之流程與方法，期使學員在今後相關案件之精度、作業方式與時程之掌控，能有更深一層之認識。表 4-2 為當日辦理教育訓練時之簽到表；圖 4-1 為教育訓練情形。

表 4-1 教育訓練課程表

## 教育訓練課程表

時間	課程	講師
0910~1000	光達測量與處理技術介紹	徐明鎰 測量技師
1010~1100	地面控制規劃、系統整合	徐明鎰 測量技師
1110~1200	地面控制規劃、系統整合 (續)	徐明鎰 測量技師
1330~1420	光達資料後處理技術－雷射點解算 (包含航帶平差)	高玉惠 工程師
1430~1520	點雲資料分類及人工編修	王弘基 工程師 趙秀敏 組長
1530~1620	數值地表模型 (DSM)、數值高程模 型 (DEM) 製作	王偉群 工程師 趙秀敏 組長

表 4-2 教育訓練簽到表

潮間帶基本地形測量技術發展計畫 97.05.30							
編號	單位	職稱	姓名	上午簽到	下午簽到	備註	
1	企劃課	測量員	湯美華	湯美華	湯美華	<input type="checkbox"/> 素	
2	控制測量課	測量員	楊枝安	楊枝安	楊枝安	<input type="checkbox"/> 素	
3	地形及海洋課	測量員	鄒慶敏			<input type="checkbox"/> 素	
4	地形及海洋課	測量員	陳鴻智	陳鴻智	陳鴻智	<input type="checkbox"/> 素	
5	地形及海洋課	測量員	謝東發	謝東發	謝東發	<input type="checkbox"/> 素	
6	地形及海洋課	測量員	游政恭			<input type="checkbox"/> 素	
7	測繪資訊課	測量員	湯凱佩	湯凱佩	湯凱佩	<input type="checkbox"/> 素	
	地形及海洋課	測量員	李佩珊	李佩珊	李佩珊		



圖 4-1 教育訓練情形

## 二、論文文稿內容

本次論文題目為『空載光達應用於潮間帶之觀測時間選擇及水域點雲適用性分析』，其大致內容如下：

有鑑於空載光達應用於潮間帶地形模型生產之趨勢，國內應用空載光達生產數值地形模型之相關計畫應具有合適的製作規範，使資料產製及品管作業上有標準可循。本研究依照九十四年內政部「LIDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」所制訂之規範為主，於前置作業內加入潮汐變化資料，判斷可觀測的時間窗口，並在資料處理加入潮間帶水域點雲判斷。

臺灣海岸的潮汐變化具有一定規則，觀測潮間帶地形需掌握潮汐變化週期，以便掃描時可取得完整潮間帶地形。影響潮汐的因素繁多，主要的原因為月球與太陽的引力所致，另外海底地形、深度及鄰近大陸地形對潮汐的變化也會影響。計畫中選擇臺灣西部沿岸十一個潮位站，分析各站整年



度潮位資料，考慮影響潮汐因子觀察每月潮汐起伏變化規律性，並找出當月低潮時間區段，推測適合掃描的時間窗口，作為空載掃描時間的參考依據。

空載光達其脈衝雷射波長大多在近紅外光範圍，遇水體會被吸收，但水中有其他可為光達反射分子存在，因此仍然可得到一定比例的水域點雲。潮間帶介於水陸交界處，水面容易受風或其他外來原因影響而產生波動，無法維持靜止狀態，因此必須對此模糊地帶點雲進行處理與分析，剔除不正確的點雲，判斷正確的海岸邊界。

### 三、應用空載光達於潮間帶地形測量之標準作業程序

#### (一)簡介

##### 1.前言

國土包括海域、陸域以及海陸交接地帶的潮間帶區域，其中陸、海域地理資訊測製皆以大範圍且有計畫性地執行，潮間帶區域因為傳統測量技術的限制，海測船隻等載具不容易測到淺水地區，陸測無法在濕軟的退潮地區觀測，致測量作業實施困難，只有少數機關因特殊業務需要而進行小區域測製，歷來此區域間地形資料欠缺，造成國土圖資不完整。

建立潮間帶基本地形資料，對於海岸經濟開發、縣市行政區域劃分及環保、生態保育、養殖、採礦、海底電纜鋪設、海洋博物館、海岸資源合理利用、海域觀光資源及提昇遊憩品質等整體海岸經營開發有實質的助益，並同時兼顧減緩地理環境急速衝擊。

有鑑於空載光達應用於潮間帶地形模型生產之趨勢，國內應用空載光達生產數值地形模型之相關計畫應具有合適的製作規範，使資料產製及品管作業上有標準可循。依照九十四年內政部「LIDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」所制訂之規範為主，於前置作業內加入潮汐變化資料，判斷可觀測的時間窗口，並於內業資料處理在加入潮間帶水域點雲。

##### 2.文獻回顧

空載光達(Light Detection And Ranging, LiDAR)又稱空載雷射掃瞄

(Airborne Laser Scanning, ALS), 源自 1970 及 1980 年代美國太空總署(NASA) 的研發。之後, 因應全球定位系統(Global Positioning System, GPS)及慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)的發展, 使得精確地及時定位定姿態付諸實現。經由德國 Stuttgart 大學於 1988 至 1993 年期間將雷射掃瞄技術與及時定位定姿態系統結合, 而形成空載光達(Ackermann, 1999)。之後, 空載光達發展相當快速, 約從 1995 年開始商業化, 目前已有十多家廠商製作空載光達, 可選擇型號更超過 30 種(Baltsavias, 1999b)。

空載光達測深系統利用脈衝雷射光束(Plus Laser Beam)及掃描鏡進行水域掃描, 在約 200-500 公尺的航高下可應用於水質清澈之近岸或湖水之水深(Guenther, 1989; Estep, 1993; Wozencraft and Irish, 2000); 然而海陸交界地形, 水體與陸地界線的確定, Xhardé et al(2006)以空載光達針對海岸懸崖地形進行掃描; Woolard et al.(2003)結合多種系統, 包含 Laser Airborne Depth Sounder (LADS)、SHOALS、Airborne Laser Terrain Mapper (ALTM), 萃取海岸地形製作 DEM; 徐偉城(2005)、蕭國鑫等(2008)已空載光達掃描急速地形變動的沙洲地型, 部份區域以人工輔助辨識水陸判釋。

## (二)規劃

### 1.陸域測量範圍界之必要性與定義

海域、陸域以及海陸交接地帶的潮間帶區域, 為國土組成的三大區域。其中潮間帶區域範圍, 是受海洋及陸地兩邊的力量共同塑造出來, 其區域特殊的地形、地貌與生態環境, 在海洋環境或是陸地環境的變遷, 便直接或間接的影響潮間帶區域。潮間帶的測量與調查可做國土調查、國土維護、工程施工、資源開發、海岸變遷、環境監控、生態保育之應用基礎, 並防制地下水超限利用、地層下陷及海岸侵蝕、保護海洋環境、強化海岸管理。對於潮間帶區域這種地形複雜性高且變動劇烈的特性, 則需透過有計畫的測量與調查來進行國土維護與管理。其成果對於海岸經濟開發、縣市行政區域劃分及環保、生態保育、養殖、採礦、海底電纜鋪設、海洋博物館、海岸資源合理利用、海域觀光資源及提昇遊憩品質等整體海岸經濟開發有實質的助益, 並同時減緩地理環境急速衝擊。

潮間帶是指地球上海陸交界的地帶, 一般是指高低潮線間的海域。圖 4-2 為潮間帶示意圖, 由於海水具有週期性升降變化, 每日會有一至二次的

漲退潮，高潮線至低潮線間的區域範圍即為所謂的潮間帶。為涵蓋完整潮間帶區域，在此以「海岸法草案」第四條所定義之「濱海陸地」為本，但採平均低潮線為海陸界線。因此，定義潮間帶區域為：以平均低潮線至最近之山稜線，或至地形、植被有顯著變化之處，或至濱海主要公路、行政區界、溝渠、宗地界線明確之處為界。

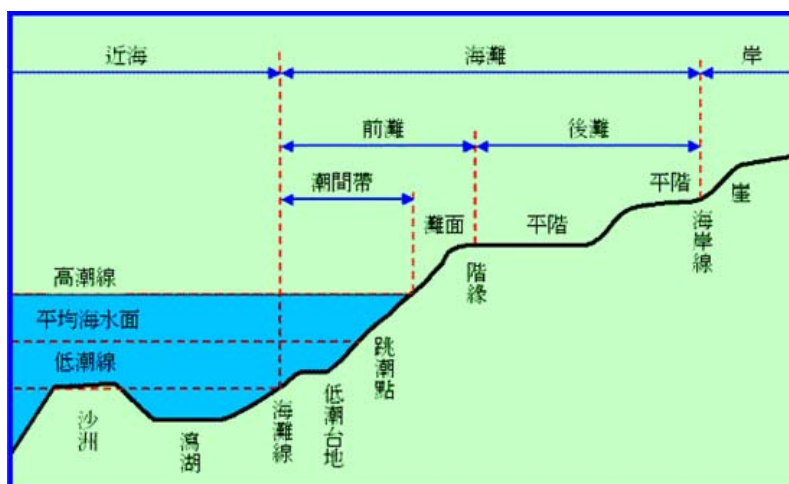


圖 4-2 潮間帶示意圖[內政部國土測繪中心]

## 2. 光達系統掃瞄參數標準

- 掃瞄精度：飛航掃瞄規劃時應根據 DEM 成果之解析度，決定掃瞄之原始點雲密度，以 1 公尺網格解析度之 DEM 為例，原始點雲密度應達 1 點/平方公尺，再根據：應用需求、測區地形、載具性能與掃描器特性設計飛航參數，包含：航線、航高、航速、FOV、潮位、重疊率等項目。(pp.11)
- 航線規劃與航帶重疊範圍：為提供後續航帶平差足夠的連結點，左右航帶重疊需達於 20%，若為若為單航帶即可覆蓋的狹長測區，應採來回飛行形成重複航帶。

## 3. 作業時間之定義

台灣海岸的潮汐變化具有一定規律，如圖 4-3 所示，觀測潮間帶地形需掌握潮汐變化週期，以便掃瞄時可取得完整潮間帶地形。影響潮汐的因素繁多，主要的原因為月球與太陽的引力所致，另外海底地形、深度及鄰近大陸地形對潮汐的變化也會影響。計畫中選擇台灣西部沿岸十一個潮位站，分析各站整年度潮位資料，考慮影響潮汐因子觀察每月潮汐起伏變化

規律性，並找出當月低潮時間區段，推測適合掃瞄的時間窗口，作為空載光達掃瞄時間的參考依據。

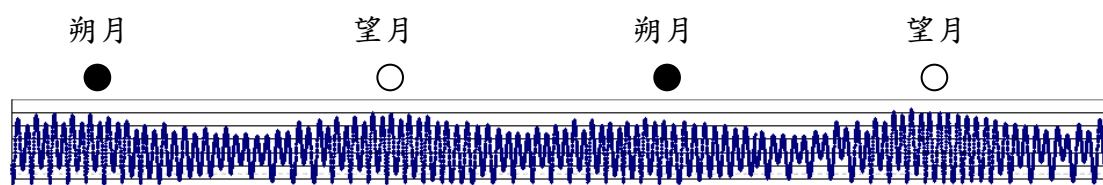


圖 4-3 2007 年淡水站 1-2 月潮位曲線

潮汐的發生是因為天體間的萬有引力所造成，主要的影響來自月球，其次為太陽。萬有引力大小乃是與天體的質量成正比，與兩者距離二次方成反比，月球對地球的萬有引力大約是太陽的 2.2 倍。至於其餘行星及恆星對地球的萬有引力則小很多。整個地球表面各處引潮力作用的結果，使地球海水面形成一個對稱的潮汐橢圓。如以只有月球存在為例來說明「滿潮」現象，因地球一天自轉一周，在地表某地一天中，當月亮在正上空或在地球背面時都是滿潮時(實際情況是滿潮時與月亮在正上空有一延遲時間)；而當月亮在升或降時則是海水位較低時。「大潮」、「小潮」則因月球、太陽及地球之相對位置而造成。在農曆朔或望時，月球、太陽及地球在一直線上，月球及太陽在地球同側或兩側，由於月球及太陽的引潮力同時相加結果，發生一個月中兩次最大的滿潮即為「大潮」(實際情形是延遲至朔或望後兩天)。在農曆的上下弦時，則是一個月中最小的滿潮即為「小潮」。真正發生的潮汐現象，除了地球、月球的自轉與公轉週期因素外，還要考慮其他所有天體各種天文上的長短週期變化，以及當地海岸、海底地形、海流等因素來決定。

選擇由南至北均勻分佈於台灣西部海岸的潮位站，各潮位站分佈圖如圖 4-4 所示，觀測機構、經緯度、位置、儀器形式、基準面相對如表 4-3 所列。

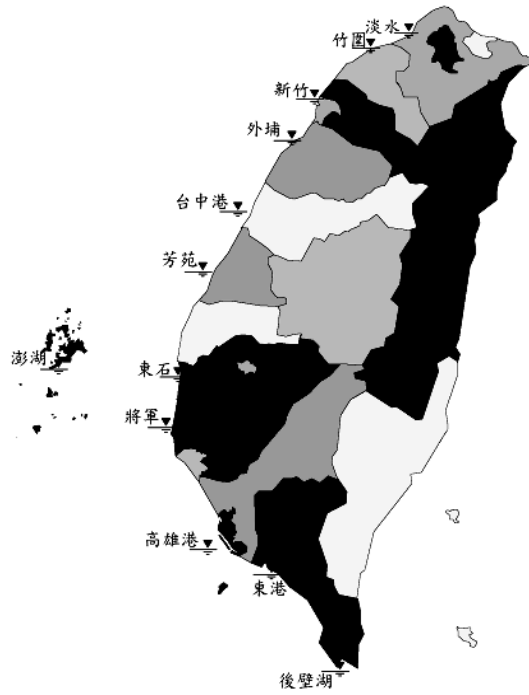


圖 4-4 本案採用潮位站分佈圖[中央氣象局]

表 4-3 潮位觀測資料

潮位站名	觀測機構	經緯度	位置	儀器型式		基準面相對 KP
淡水 Danshuei	中央氣象局	25°10'38"N	台北縣 淡水鎮	Druck	壓力式	+0.000cm
		121°25'00"E	淡水河油車口			
竹圍 Jhuwei	中央氣象局	25°07'12"N	桃園縣 大園鄉	Druck PTX1830	壓力式	+0.000cm
		121°14'07"E	桃園竹圍漁港			
新竹 Hsinchu	中央氣象局	24°51'01"N	新竹市 北區	Druck PTX1830	壓力式	+0.000cm
		120°54'44"E	新竹南寮漁港			
外埔 Waipu	中央氣象局	24°39'05"N	苗栗縣 後龍鎮	Druck PTX1830	壓力式	-239.600cm
		120°46'18"E	海埔里外埔漁港			
台中港 Taichung Port	內政部	24°17'16"N	台中縣 梧棲鎮	Aquatrak	音波式	+0.000cm
		120°31'59"E	台中港 4 號碼頭			
芳苑 Fangyuan	水利署	23°54'53"N	彰化縣 芳苑鄉	Aquatrak	音波式	+0.000cm
		120°17'50"E	新街村西邊堤防外潮間帶內			
東石 Dongshih	中央氣象局	23°26'39"N	嘉義縣 東石鄉	Druck	壓力式	+0.000cm
		120°08'27"E	嘉義東石漁港			
將軍 Jiangjyun	中央氣象局	23°12'38"N	台南縣 將軍鄉	Aquatrak 4100 series	超音波式	+0.000cm
		120°04'39"E	台南將軍漁港			
高雄 Kaohsiung	高雄港務局	22°36'52"N	高雄市	Aquatrak	音波式	-87.000cm
		120°17'18"E	高雄港 10 號碼頭			
東港 Donggang	中央氣象局	22°27'50"N	屏東縣 東港鎮	Aquatrak	音波式	+0.000cm
		120°26'15"E	東港漁港			
後壁湖 Houbihu	中央氣象局	21°56'50"N	屏東縣 恆春鎮	Lundahl DCU-11	超音波式	+0.000cm
		120°44'14"E	屏東後壁湖漁港			



潮間帶地區的潮汐差異甚大，為了不被海潮影響獲取完整潮間帶的地形，因此必須找出最低潮汐的日期與時間，在此時段中進行掃描可以觀測最大範圍的潮間帶地形。

任一高潮與相鄰低潮之海水位差稱為潮差，潮差有週期性，會由小變大，再由大變小，週期約為 14.77 日。潮差相對最大時稱為大潮，相對最小時稱為小潮。大潮是指每月朔、望時刻，地球、月亮、太陽成一直線，月球與太陽引潮力同時相加結果得潮差較其他時間為大稱之。小潮是指陰曆每月上，下弦月時刻，太陽、地球與月亮成直角，潮差較其他時間為小稱之，如圖 4-5 簡圖所示。

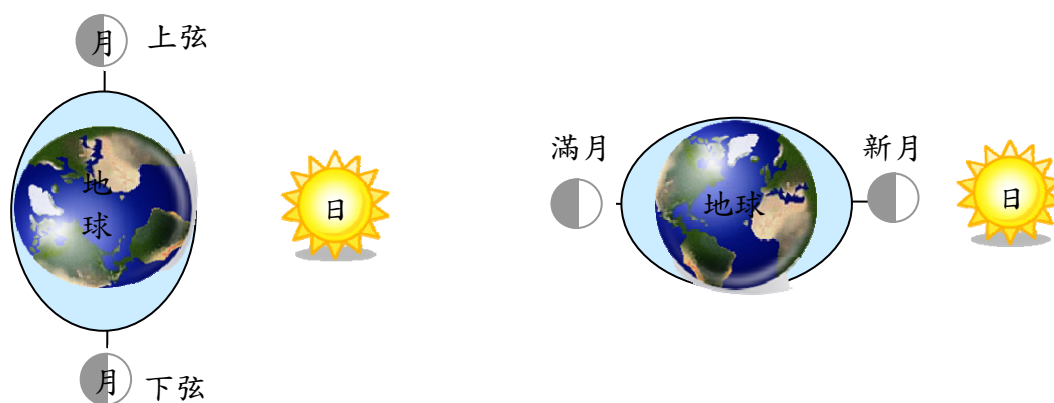


圖 4-5 大潮、小潮示意圖

潮汐週期與農曆日期高度相關，每一農曆月中有兩次滿潮與乾潮，此時的潮差亦為最大，針對 2007 年全年潮汐資料的顯示，每逢乾潮時各潮位站出現最大潮差的時間區域有兩類，分別為農曆朔望之際，其一出現於農曆月底月初(上個月 29-5)，其二出現於農曆月中 (14-20)。表 4-4 統計每月最大潮位落於農曆日期 29-5、14-20 的頻率以及所佔比例，結果顯示在這兩區間日期內進行掃描可以獲取完整最低潮位的潮間帶地形，為最佳的觀測時段。

表 4-4 朔望最大潮差日出現於農曆月份頻率統計表

農曆日期	淡水	竹圍	新竹	外埔	台中港	芳苑	東石	將軍	高雄	東港	後壁湖
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
29	2	1	1	0	0	0	0	2	3	2	1
30	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
1	3	3	5	4	3	4	1	1	0	0	3
2	3	2	1	2	4	5	5	3	4	5	2
3	2	5	3	3	3	0	2	1	1	0	0
4	2	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1
5	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	2
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	1	0	1	0	2	0	0	1	1
15	1	1	1	2	0	1	1	1	2	0	1
16	1	2	0	0	2	0	2	2	1	3	1
17	3	4	4	4	3	2	0	0	3	2	2
18	1	1	2	1	3	3	3	2	1	2	2
19	5	1	2	3	3	2	1	2	3	1	1
20	0	2	1	0	0	2	2	3	0	0	1
21	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0

表 4-5 每月最大潮位日期統計表

	淡水	竹圍	新竹	外埔	台中港	芳苑	東石	將軍	高雄	東港	後壁湖
區塊內個數	24	24	22	20	23	19	22	20	20	18	18
總個數	24	24	22	20	23	19	22	23	22	22	21
%	100	100	100	100	100	100	100	87	90.9	81.8	85.714

每日的最高潮與相鄰低潮之海水位差稱為潮差。每逢朔望前後會出現每月的「最大潮差」與「次潮差」，整理統計各潮位站 2007 整年度「最大潮差」、「次潮差」的潮位資料，計算出各站的平均最大潮差與平均次潮差及其標準偏差列於圖 4-6，以全年的最低潮位加上 20% 的平均最大潮差值作為判斷的門檻值  $T$ ，如公式(1)，各潮位站門檻值如表 4-6 所示。

$$T = W_{Low} + 0.2 \times W_{Ave} + W_{KP} \quad (1)$$

$W_{Low}$ ：該潮位站的最低潮位

$W_{Ave}$ ：該潮位站的年度最大潮差平均值

$W_{KP}$ ：基準面相對 KP

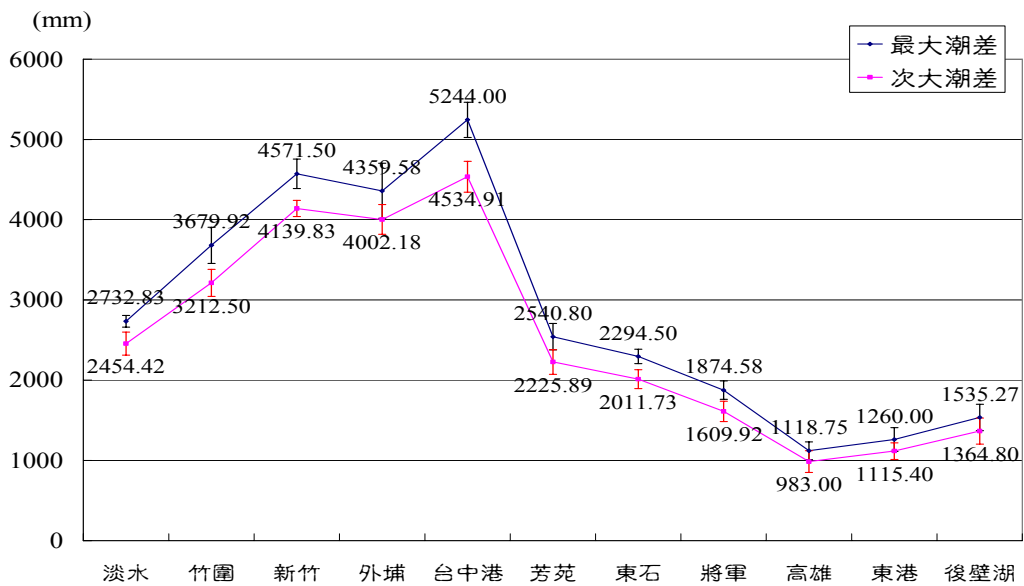


圖 4-6 潮位站平均潮差

表 4-6 各潮位站門檻值

	最低潮位	最大潮差	基準面相對 KP	門檻值(T)
淡水	-684.0	2732.0	0.0	-137.6
竹圍	-2269.0	3679.9	0.0	-1534.0
新竹	-2240.0	4571.5	0.0	-1325.7
外埔	601.0	4359.6	-2396.0	-924.1
台中港	-3020.0	5244.0	0.0	-1971.2
芳苑	-25.0	2540.8	0.0	484.2
東石	-1208.0	2294.5	0.0	-749.1
將軍	-980.0	1874.6	0.0	-605.1
高雄	-150.0	1118.8	-870.0	-796.3
東港	-429.0	1260.0	0.0	-177.0
後壁湖	-624.0	1535.3	0.0	-315.9

單位：mm

以台中港為例，在上述兩類日期時段中將最低潮汐的時段統計，以低於海平面以下 1.97 公尺為門檻時，可以列出在這兩類日期時段內，每日潮位低於海平面以下 1.97 公尺，到漲潮高於海平面以下 1.97 公尺的時間段，從表 4-6 發現大約有 2 小時到 3 小時左右的時間段會低於 1.97 公尺以下，這表示在這兩類日期時段中，最低潮時間段約有 2~3 小時適合掃描，另外在年底年初(約冬季時期)的退潮時間段較長，可達 3 小時，而在年中(約夏季時期)的時間段較短，僅約 2 小時左右，顯示為冬季適合掃描的時間較夏季長；另外從時間段來看，可以發現在冬季時期大約都是在早上凌晨的時間內合適，而在夏季期間大多在下午傍晚的時間合適。

表 4-7 2007 年台中港農曆每月退潮時刻表-朔 (灰底為該時段分鐘數)

日 月	(上個月)29		(上個月)30		1		2		3		4		5	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
12	2:48-4:42		2:54-6:00		3:30-6:36		4:06-7:30		4:42-8:06		5:30-8:42	19:00-19:54	6:18-9:24	19:24-21:06
	144		186		186		204		204		192	54	186	102
1	2:30-5:36		3:30-6:18		4:00-7:06	17:24-17:48	4:30-7:42	17:30-19:12	5:12-8:18	18:06-20:18	6:12-8:42	18:36-21:06	7:18-8:48	19:30-21:42
	186		168		186	24	192	102	186	132	150	150	90	132
2	3:00-5:48	16:06-17:24			3:42-6:36	16:24-18:36	4:24-7:00	16:42-19:30	5:12-7:36	17:12-20:12	6:18-7:54	18:06-20:54	18:54-21:36	
	168	78			174	132	156	168	144	180	96	168	162	
3	3:00-5:00	15:24-17:18			3:48-5:30	15:42-18:18	4:36-6:18	16:12-19:12	5:24-6:36	16:36-20:06		17:36-20:54		18:42-21:30
	120	114			102	156	102	180	72	210		198		168
4		14:42-17:12		15:12-18:12		16:54-19:06		16:42-20:06		17:24-20:42		18:30-21:06		19:48-21:36
		150		180		132		204		198		156		108
5		15:00-17:54				15:48-18:48		16:30-19:36		17:24-20:18		18:24-20:54		19:36-21:12
		174				180		186		174		150		96
6		15:00-17:36				15:54-18:30		16:24-19:30		17:18-20:06		18:06-20:42		19:00-21:00
		156				156		186		168		156		120
7		15:24-17:24		16:00-18:06		16:30-18:48		18:00-19:24		17:54-19:48		19:00-19:42		
		120		126		138		84		114		42		
8		16:00-17:30				16:30-18:06		17:24-18:18						
		90				96		54						
9		15:30-16:54	4:06-4:54	16:06-17:18	4:06-5:54	16:48-17:36	4:24-6:24		4:48-6:54		5:12-7:24		5:42-7:54	
		84	48	72	108	48	120		126		132		132	
10	3:48-3:54				4:18-6:36				5:24-7:42		6:06-8:12			
	6				138				138		126			

表 4-8 2007 年台中港農曆每月退潮時刻表-望 (灰底為該時段分鐘數)

日 月	14		15		16		17		18		19		20	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
12	3:00-6:18		3:36-7:00		4:12-7:30		5:06-8:00		5:42-8:24		6:30-8:36		7:30-8:42	
	198		204		198		174		162		126		72	
1	4:00-6:12		4:36-6:42		5:18-6:42		5:30-7:42	17:54-19:36	6:00-7:48	18:18-20:00		19:06-20:06		19:36-20:54
	132		126		84		132	102	108	102		60		78
2				17:6-17:42	5:00-6:06	16:48-18:42	5:18-6:42	17:00-19:18		17:36-19:54		18:12-20:30		18:48-20:48
				36	66	114	84	138		138		138		120
3				16:18-17:30		16:30-18:24		16:54-19:00		17:30-19:36		18:06-20:00		18:54-20:12
				72		114		126		126		114		78
4		16:06-16:54		16:12-17:48		16:48-18:24		17:18-19:06		17:54-19:42		18:30-20:18		19:30-20:48
		48		96		96		108		108		108		78
5				15:54-17:42		16:18-18:30		16:48-19:12		17:24-19:54		18:06-20:36		18:54-21:12
				108		132		144		150		150		138
6				15:48-16:54		16:06-18:06		16:36-18:54		17:06-19:36		17:48-20:06		18:42-20:36
				66		120		138		150		138		114
7		15:12-16:30		15:30-17:42		16:0-18:36		16:36-19:06	5:42-6:36	17:24-19:36	6:06-7:30	18:24-20:00	6:42-8:18	
		78		132		156		150	54	132	84	96	96	
8		14:48-16:00		15:00-17:06	4:18-4:24	15:30-17:54	4:18-5:48	16:18-18:24	4:30-6:48	17:06-18:48	5:06-7:36	18:18-19:00	5:36-8:18	
		72		126	6	144	90	126	138	102	150	42	162	
9		14:42-16:06	2:54-4:42	15:24-16:54	3:12-5:42	16:18-17:18	3:36-6:42	17:12-17:48	4:18-7:30		5:12-8:06		6:00-9:00	
		84	108	90	150	60	186	36	192		174		180	
10	2:00-4:36		2:30-5:42		3:12-6:30		3:54-7:24		4:36-8:18		5:36-8:54		6:36-9:18	
	156		192		198		210		222		198		162	



另外再以兩個潮位站為例：淡水(北)與東港(南)；可以從淡水的資料中找出適合的時間大約有 3 小時上下，甚至有至 4 小時之久；而東港而言，亦有 2-3 小時的時間段適合，不過並非每月都有適合的日期時間，但是兩者與台中港有相同情況，皆在冬季時期在早上凌晨的時間段較為合適，而夏季時期大多是下午傍晚較為合適。

從上述日期段與時間段的資料分析中，可挑選農曆 29 號~次月 5 號、14 號~20 號兩日期時段較佳，另外加上當天最低潮的前後時間約 3 小時，此時間段進行掃描為較佳時間；中央氣象局結合過去三年潮位資料，計算出每日最低潮汐時間的預報，因此可以將兩種資料結合使用，確定施測區域後，參考圖 4-7 全台潮位站分佈圖，找出最鄰近之潮位站，依照中央氣象局所提供之預報選擇該潮位站最低潮位的時刻，加上研究顯示，前後各延伸相加約 3 小時的時間段最為掃描的較佳時間即可判斷較佳的掃描時間。

歸納以上以幾點，可得知適合進行雷射掃描、拍攝的時間如下：

1. 施測日期為朔望之際，於農曆 29 日~次月 5 日、14 日~20 日兩時間段；
2. 參考圖 4-7 全台潮位站分佈圖，找出最鄰近之潮位站，依照中央氣象局所提供之預報選擇該潮位站最低潮位的時刻；
3. 以當日最低潮位前後 1.5 小時內，共 3 個小時為施測時間；
4. 日照充足時段。

表 4-9 淡水農曆每月退潮時刻表-朔

日 月	(上個月)29		(上個月)30		1		2		3		4		5	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
12	1:36-6:0		2:0-6:54		2:36-7:36		3:18-8:18	17:42-19:00	4:06-8:54	17:54-20:12	4:42-9:36	18:18-21:06	9:10-10:12	18:48-22:18
	264		294		300		300	78	288	138	294	168	60	210
1	1:42-7:00	16:30-17:24	3:24-7:48		3:24-7:48	17:00-19:00	3:54-8:36	17:00-20:24	4:42-9:12	17:30-21:12	5:36-9:39	18:06-22:00	6:36-9:54	18:36-22:54
	318	54	264		264	120	282	204	270	222	243	66	198	258
2	2:24-6:54	15:30-18:36			3:12-7:24	16:00-19:12	4:06-7:42	16:18-20:12	4:42-8:30	16:36-21:00	5:48-8:42	17:30-21:42	7:00-8:54	18:12-22:30
	270	186			252	192	216	234	228	264	174	252	114	258
3	2:30-5:42	14:54-18:0			3:18-6:12	15:18-18:54	4:30-6:42	19:00-19:54	5:00-7:36	20:00-20:54	6:00-7:00	20:00-21:42		21:00-22:12
	192	186			174	216	132	54	150	54	60	102		72
4	2:36-4:42	14:12-17:54	3:42-5:12	14:42-18:00	4:48-5:36	15:18-19:42		16:00-20:36		16:54-21:24		17:42-22:00		18:54-22:36
	126	222	90	198	48	264		276		270		258		222
5		14:30-18:30				15:18-19:24		16:00-20:12		16:54-20:54		17:48-21:30		18:48-22:00
		240				246		252		240		222		192
6		15:18-18:18				16:06-19:12		16:36-20:12		17:18-20:54		18:00-21:30		19:00-21:54
		180				186		216		216		210		174
7		15:30-18:18		16:12-19:00		16:54-19:42		17:00-20:06		18:18-20:30		19:12-20:48		
		168		168		168		186		132		96		
8		16:18-18:30				17:06-18:48		17:42-19:06			7:06-7:30			
		132				102		84			24			
9							7:00-7:24		8:00-8:06		8:00-8:42		6:00-9:18	
							24		6		42		198	
10	3:18-5:48		3:48-6:36				4:18-7:54		7:00-8:18		5:24-8:36		6:06-7:48	
	150		168				216		78		192		108	

表 4-10 淡水農曆每月退潮時刻表-望

日 月	14		15		16		17		18		19		20	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
12	1:54-7:24	16:18-18:18	2:54-8:00	16:36-19:18	3:18-8:06	17: 0-20: 0	4:06-9:00	17:48-20: 6	4:54-9:24	18: 0-20:54	5:30- 9:42	18:42-21:18	6:24- 9:54	19: 6-22: 0
	330	120	306	162	288	180	294	138	270	174	252	156	210	174
1	3:12- 7: 6	16:48-18: 6	3:48- 7:30	16:48-19: 0	4:42- 7:24	17:48-18:42	4:54- 8:30	17: 0-20:54	5: 6- 9:12	17:30-21:18	6:18- 8:48	18:12-21:30	7:12- 9: 6	18:36-22:12
	234	78	222	132	162	54	216	234	246	228	150	198	114	216
2	3:30- 6: 0	16:48-17: 0	4:18- 6:18	16:12-18:48	4:24- 7:12	16: 6-19:54	4:36- 8: 0	16:18-20:36	5:30- 8: 6	17: 0-21: 0	6:24- 8:12	17:30-21:30		18: 0-21:54
	150	12	120	156	168	228	204	258	156	240	108	240		234
3	3:24- 5:18	15: 6-18: 6	4:12- 5:24	15:18-18:30	5: 0- 5:42	15:36-19:18	5:18- 6:18	15:54-19:48		16:24-20:18		17: 6-20:48		17:54-21:12
	114	180	72	192	42	222	60	234		234		222		198
4		15: 0-18: 6		15:24-18:54		16: 0-19:18		16:36-19:48		17:12-20:30		17:48-21:12		18:42-21:42
		186		210		198		192		198		204		180
5		14:48-17:42		15:12-18:36		15:42-19:24		16:24-20: 6		16:54-20:42		17:42-21:24		18:24-22: 0
		174		204		222		222		228		222		216
6		16: 0-16:48		16:12-18: 6		16:24-19: 0		16:54-19:42		17: 6-20:30		17:54-21: 0		18:42-21:18
		48		114		156		168		204		186		156
7		15:48-17:48		15:54-18:48		16:30-19:24		17: 6-20: 0	6:30- 7:12	18: 0-20:24	6:42- 8:18	18:54-20:36	7: 0- 9:12	20:12-20:30
		120		174		174		174	42	144	96	102	132	18
8						18: 0-18: 6	4:54- 6:30	16:42-19:12	4:54- 7:36	17:36-19:30	5:18- 8:24	18:24-20: 6	5:48- 9:18	
						6	96	150	162	114	186	102	210	
9	3: 6- 4:54	14:54-17:30	3: 6- 5:54	15:42-18: 6	3:30- 6:36	16:42-18:18	3:54- 7:36	17:36-18:54	4:24- 8:18		5: 6- 9: 6		5:54-10:12	
	108	156	168	144	186	96	222	78	234		240		258	
10	2: 6- 5:48	15:48-17:12	2:36-6:42	16:54-17:36	3:12-7:30	3:48-8:24	5:24- 8: 6		5:48-9:42		5:48-9:18		6:36-10:30	
	222	84	246	42	258	276	162		234		210		210	

表 4-11 東港農曆每月退潮時刻表-朔

日 月	29		30		1		2		3		4		5	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
12	0:30- 3:18		0:42- 4:18		1:12- 4:48		1:42- 5:48		2:36- 5:54		3:36- 6: 0		4:48- 5:42	
	168		216		216		246		198		144		36	
1			1:30- 3:30		1:24- 4:30		2:18- 4:18							
			120		186		120							
2														
3							14: 0-15:42		14:42-17:18		16: 6-18:42		17:30-19:54	
							102		156		156		144	
4				13: 0-15: 6	13:24-16:54		14:24-18: 0		15:18-18:54		17: 6-19:12			
				126	210		216		216		108			
5		13:18-16: 0			13:42-17:42		14:36-18:30		15:42-18:30		17: 0-19: 0			
		162			234		234		168		120			
6		13:30-15:24			14:18-16:12		14:36-17: 6		15:36-18: 0		16:36-16:42			
		114			108		150		144		12			
7														
8														
9														
10														

表 4-12 東港農曆每月退潮時刻表-望

日 月	14		15		16		17		18		19		20	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
11														
12	0:12- 6:0		1: 0- 5:30		2: 0- 5:12		3: 6- 4:36							
	348		270		192		90							
1														
2							15:48-15:48							
							12							
3			13:54-15:36		14: 6-17: 6		14:42-17:48		15:24-17:18		16:24-17:36			
			102		168		174		114		72			
4														
5				14:18-15: 6		14:12-16:48		14:48-17:18		15:48-17:18				
				48		150		150		90				
6														
7														
8														
9							1:18- 2:54		2:12- 4:12		3:18- 5:18		4:36- 6:36	
							96		114		120		120	
10			0:54- 2: 6		1:30- 3:36		2: 6- 4:30							
			72		120		138							

### (三)外業

#### 1.率定與參數設定

- 率定時機：應針對所使用之空載光達系統進行儀器率定，若前次率定時間為 3 個月前，或系統曾經過拆卸，則應重新率定。若緊急作業，可於系統未經拆卸的條件下，在 2 個星期內補做率定作業。率定參數依照內政部「LIDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」pp.11-13 規範。
- PDOP 值：依照內政部「LIDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」pp.12 規範，選擇 PDOP 小於 4，且衛星數量大於 5 顆之時段作業，觀測時應以至少 2Hz 之接收頻率加以紀錄。

#### 2.潮位站的設立

現今台灣區域分佈圖如圖 4-7 所示，台灣西部已設置 14 個潮位，由北至南依序為石門、淡水、大園、新竹、苗栗、梧棲、王功、台西、東石、將軍、安平、高雄、東港、南灣等，除了東港到南灣之間的區域以外，施測地點距離最接近的潮位站都在 20 公里以內，執行光達掃瞄前先至最鄰近的潮位站，取得適合掃瞄的時間與日期。

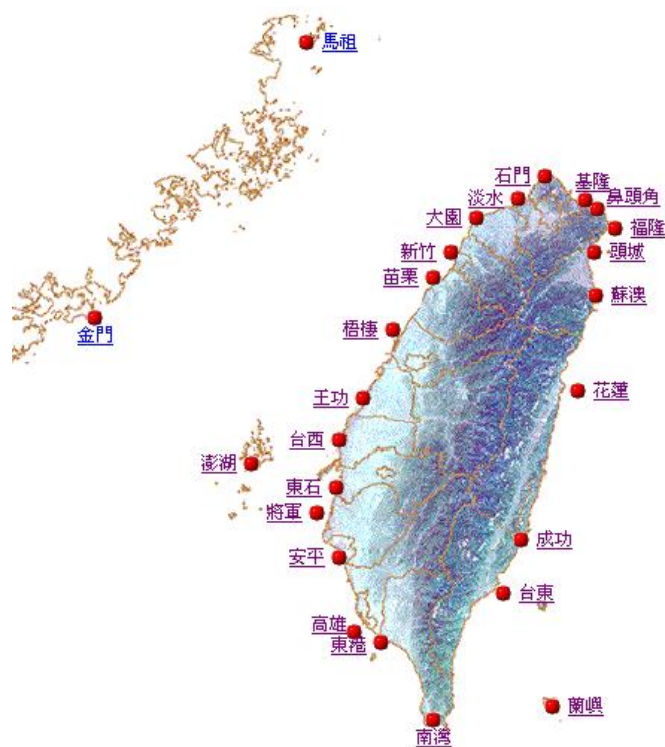


圖 4-7 台灣區域潮位站分佈圖



#### (四)內業

##### 1.水陸交界線之定義

空載光達其脈衝雷射波長大多在近紅外光範圍，遇水體會被吸收，但水中有其他可為光達反射分子存在，因此仍然可得到一定比例的水域點雲。潮間帶介於水陸交界處，水面容易受風或其他外來原因影響而產生波動，無法維持靜止狀態，因此必須對此模糊地帶點雲進行處理與分析，剔除不正確的點雲，判斷正確的海岸邊界。然而，由於潮間帶位多半為鬆軟之沙土、海水與沙土顏色近似、海浪的波動，若單純只用影像判斷可能導致判讀不易。

##### (1)海域點雲分佈範圍

測試區域為台南縣北門鄉沿海一帶，圖 4-8 為實際光達掃瞄範圍，(a)圖以不同的顏色代表著不同的掃瞄航帶，而(b)圖為以正射影像為底圖，計算 5m×5m 網格範圍內點雲數量，製作成的密度分佈圖點。由於飛航路線的規劃所致，潮間帶區域每網格內的點雲數至少都在 100 點以上，而魚塢區域由於水面的吸收或鏡面反射的緣故，部分魚塢區域甚至無點雲資料。

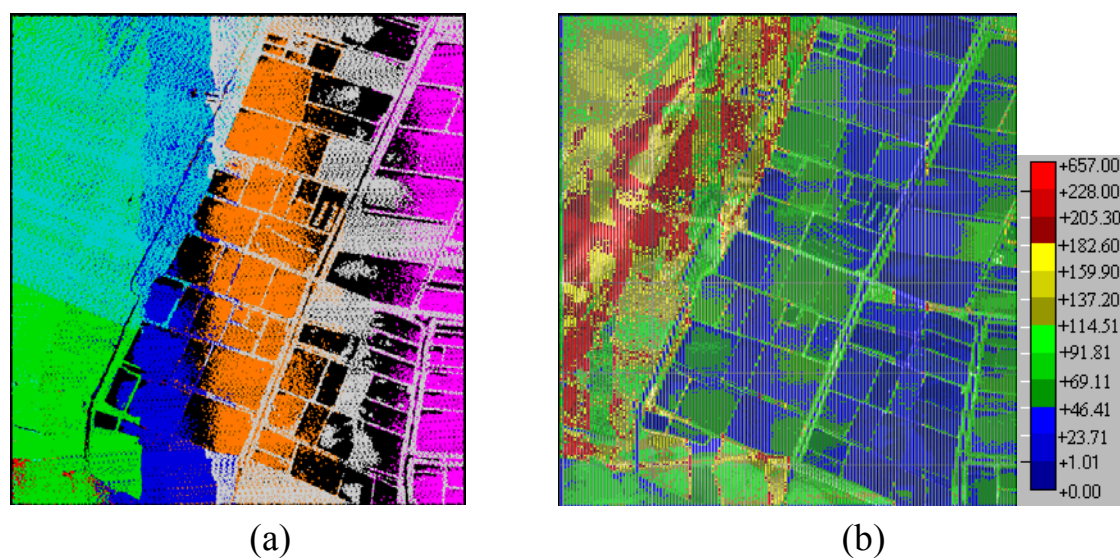


圖 4-8 潮間帶範圍圖

為了瞭解潮間帶區域的點雲是否適合作為製作 DEM 之用，必須先判斷是否能分辨為何處為潮間帶區域；圖 4-9(a)顯示範圍內包含兩大類資料，除了左上沿海區域以外，右側為大範圍的魚塢區域，故擷取圖幅左上方沿海區域進行分析，以人眼判斷影像上陸地、海域的分

界線，淺藍色線以東判定為陸地區域，深藍線以西判定為海域區域，介於兩者之間的範圍即為潮間帶區域。

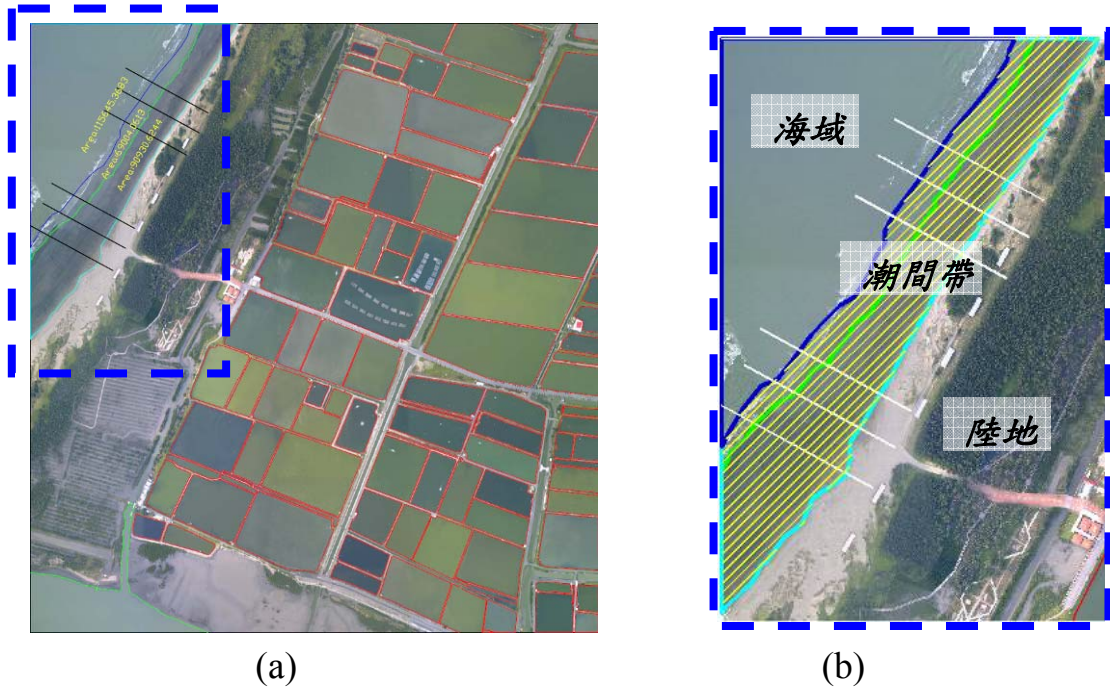


圖 4-9 (a)涵蓋魚塢與沿海地區之影像、(b)局部放大圖

劃分出潮間帶區域後，接著使用光達資料判斷實際水線位置，方法如下：選擇由北至南近似垂直海岸線，長度 100 公尺、寬 1 公尺的矩形範圍共六條，位置如圖 4-9(b)6 條白色矩形所示，萃取出每個矩形內的點雲後投影至 XZ 平面，可以清楚的看出高程方向的分佈情形。圖 4-10(a)-(f)為矩形依序由北至南排列，上方影像圖中可看到每個矩形內又分成「水域」、「水陸交界」及「陸域」三類區域，下方則為投影後的點雲分佈圖，橫軸為 X 軸、縱軸為 Z 軸。

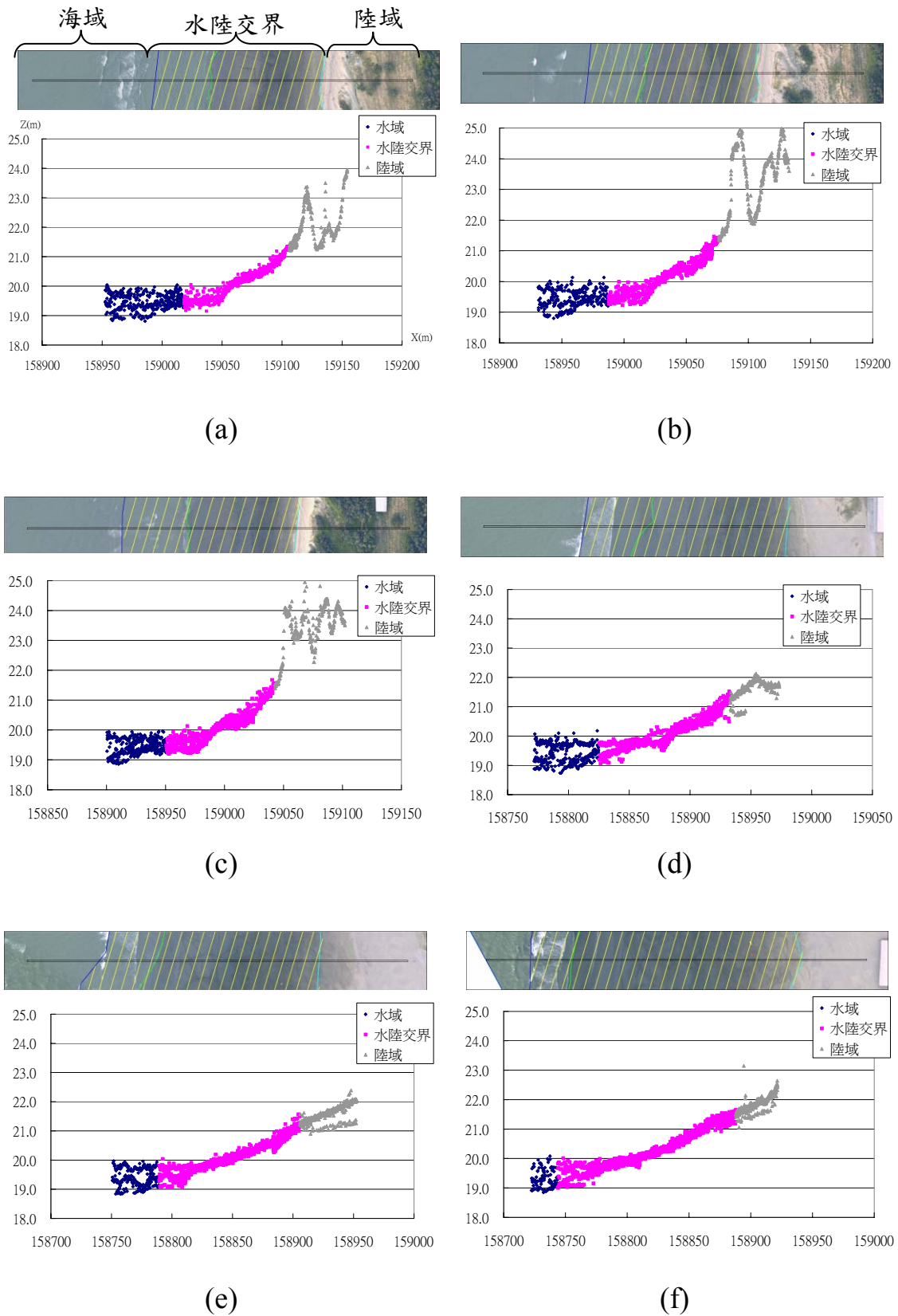


圖 4-10 沿海點雲剖面圖

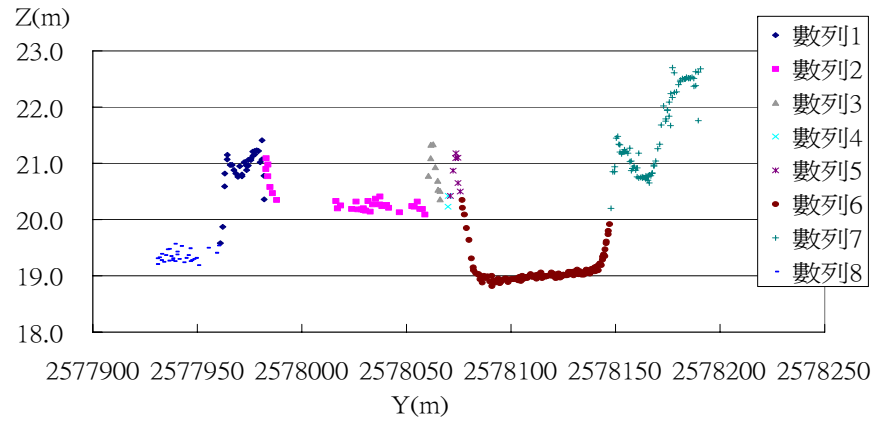
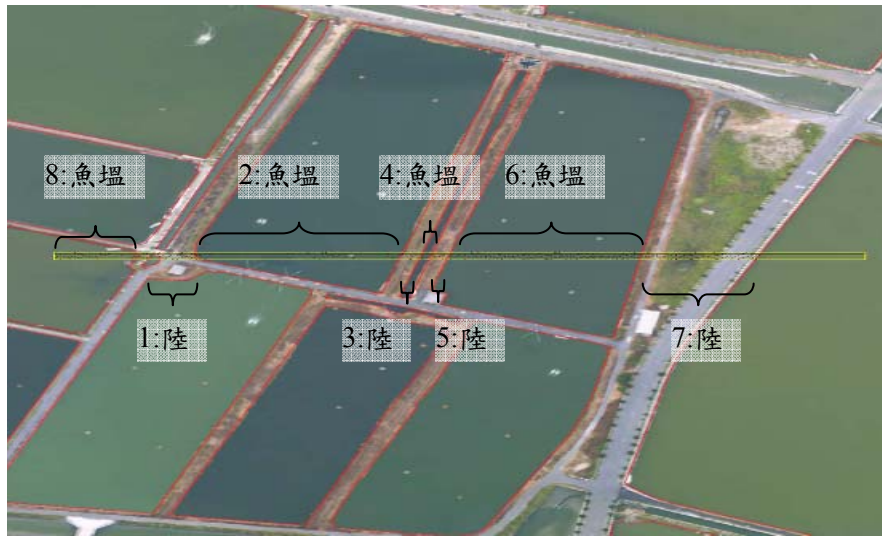
相對於圖 4-10(d)-(f)陸域點雲平緩變化，(a)-(c)由於涵蓋防風林，因此高程呈現劇烈起伏變化；另外水體的多重反射及水面持續波動變化，且多條航帶掃瞄出的高程不一致所導致，水域區域點雲高程呈現約有 1 公尺範圍的落差，而陸域的點雲高程分佈較為一致；潮間帶區域介於海陸之間，愈往西呈現如水域點雲高程分佈性質，愈往東靠近陸地則趨於一致；另外，水域區域點雲於最高位置連線較類似於水平面，在水域的地方可以發現於最高的高程位置連線較類似於水平面，而陸域因為地形的關係會有起伏或比水域較高的坡度現象，而潮間帶地區，靠近水域的地方最高點高程與水域較為一致性的水平，反之靠近陸域的地方高程較高且漸緩上升，因此以這樣的特性與現象，可以區分出海陸的交界約略位於何處，有效的區分海陸交線。

## (2) 漁塭點雲分佈

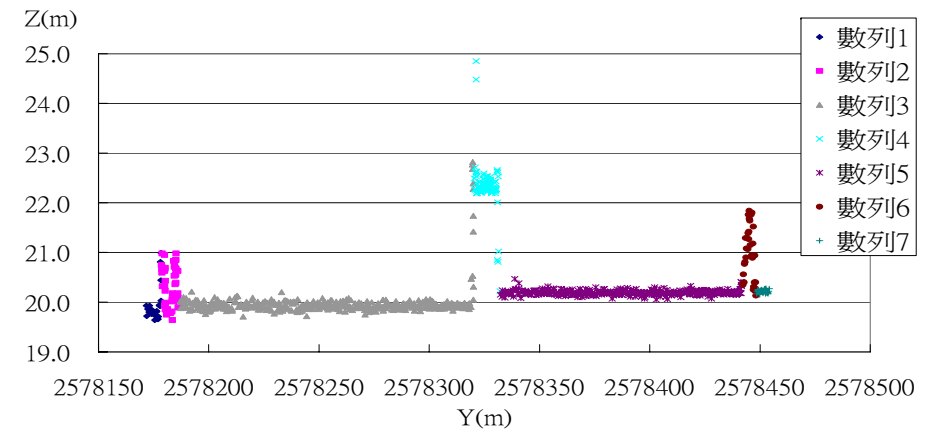
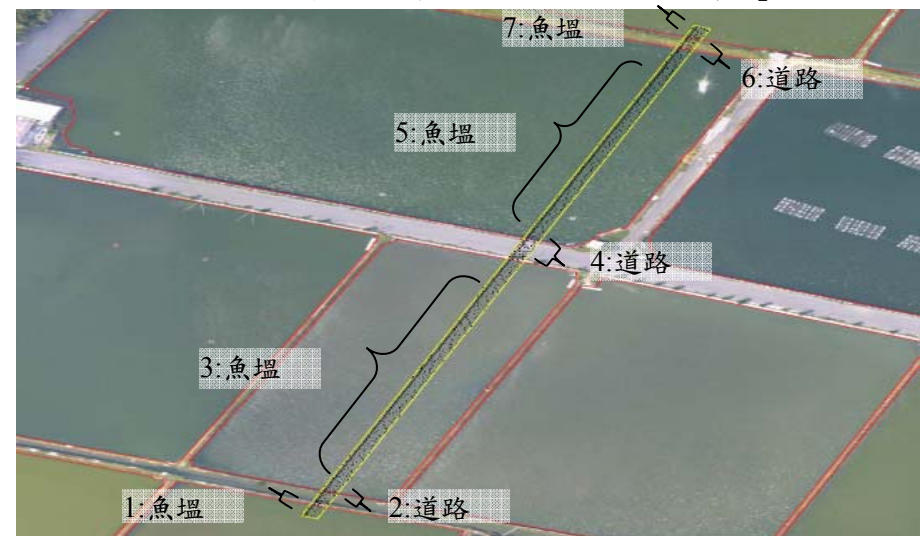
除了分析沿海潮間帶地區外，魚塭亦是相當重要的一環，由於台灣西部沿岸養殖業興盛，魚塭範圍在沿海地區佔據廣大的面積，以本次測區而言魚塭區域佔總面積將近 50%。本節以點雲的高程分佈與人工判別魚塭與陸地的差異。

以人工於影像上判斷出魚塭大致輪廓位置，於魚塭區域內擷取 7 個寬度 5 公尺的矩形範圍，由於矩形內包含多個魚塭與陸地地形重複交錯，且每一矩形內複雜度並不相同，故先人工判斷每區段的地形依序標記於影像上，萃取矩形內的點雲投影至 YZ 平面後與影像進行比對判別魚塭與陸地的點雲高程資料的相異處。圖 4-11(a)-(g) 7 個矩形之影像及其點雲側視圖。



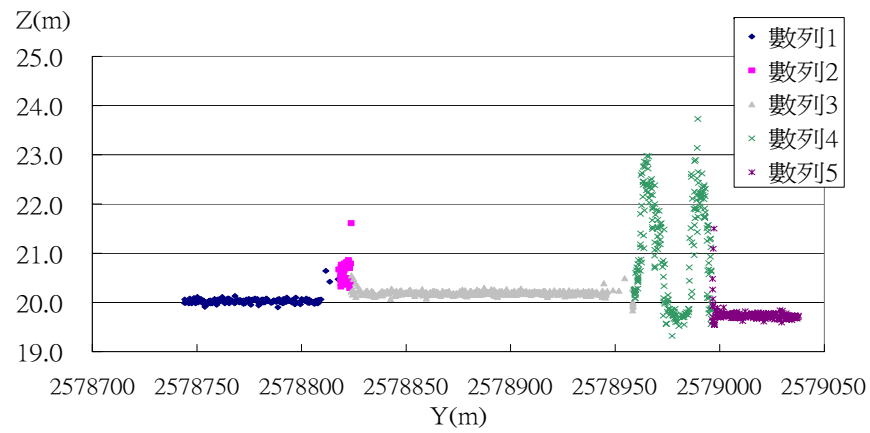
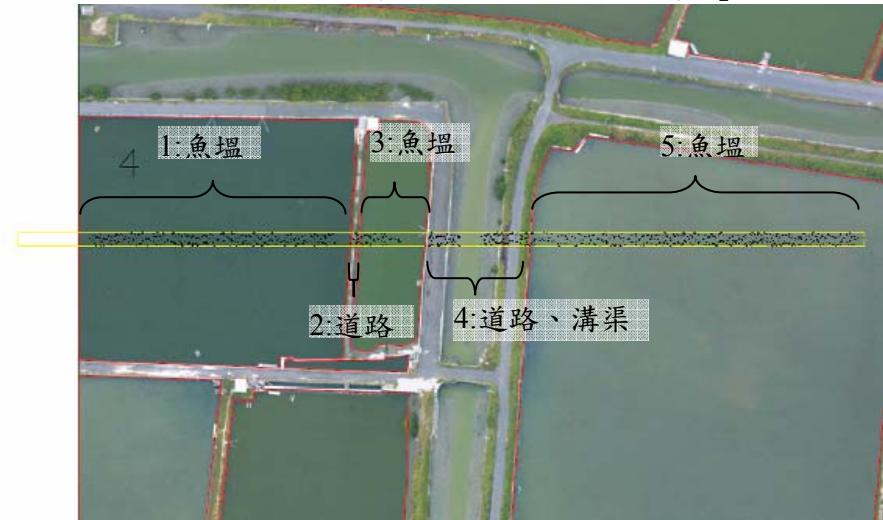
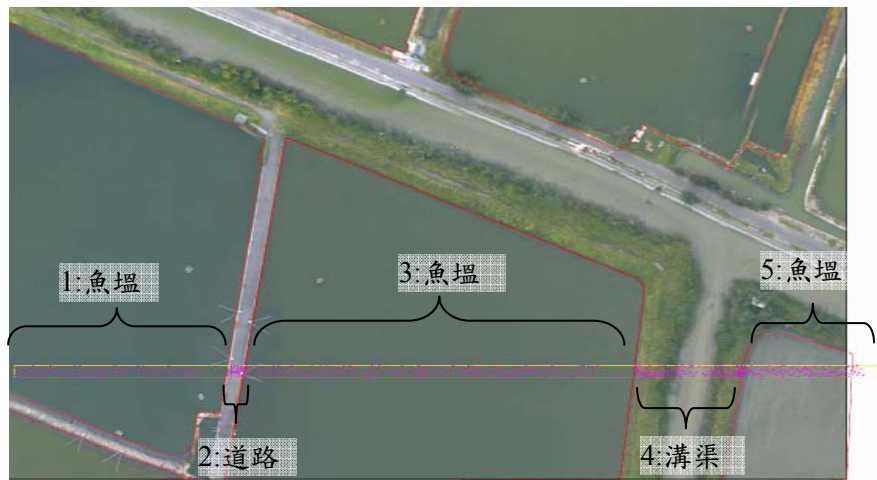


(a)

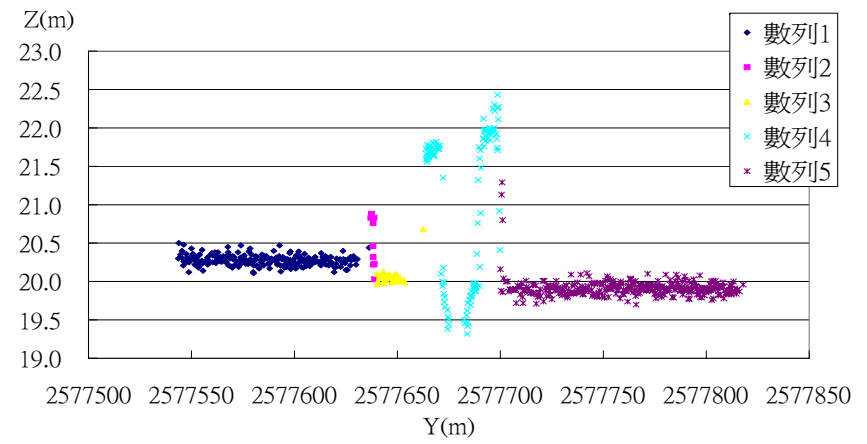


(b)

圖 4-11 點雲剖面及影像分析圖



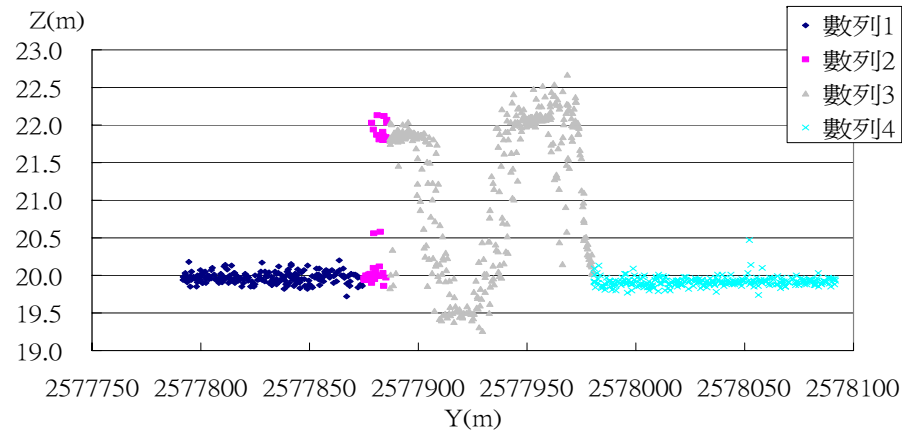
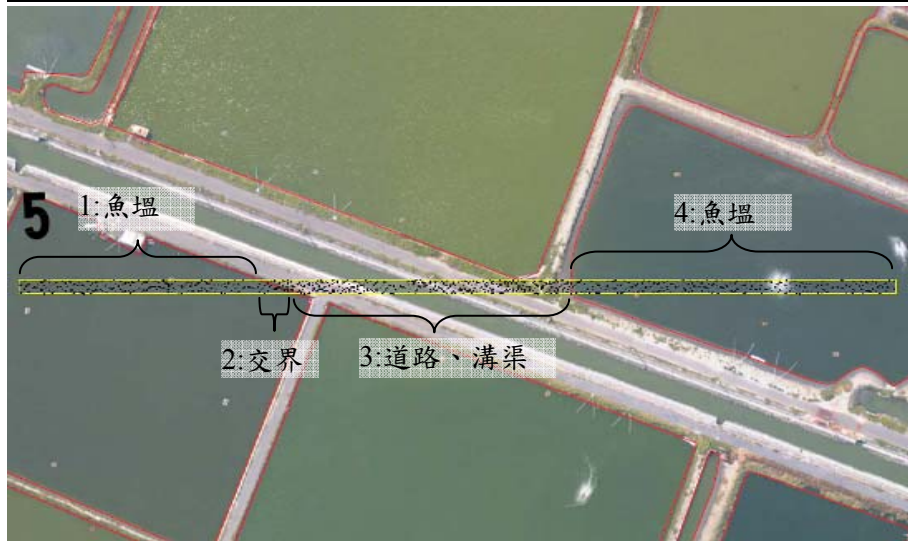
(c)



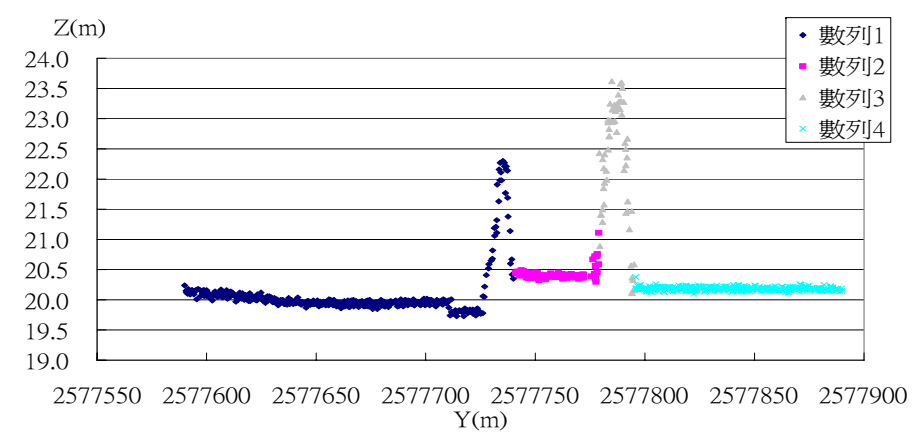
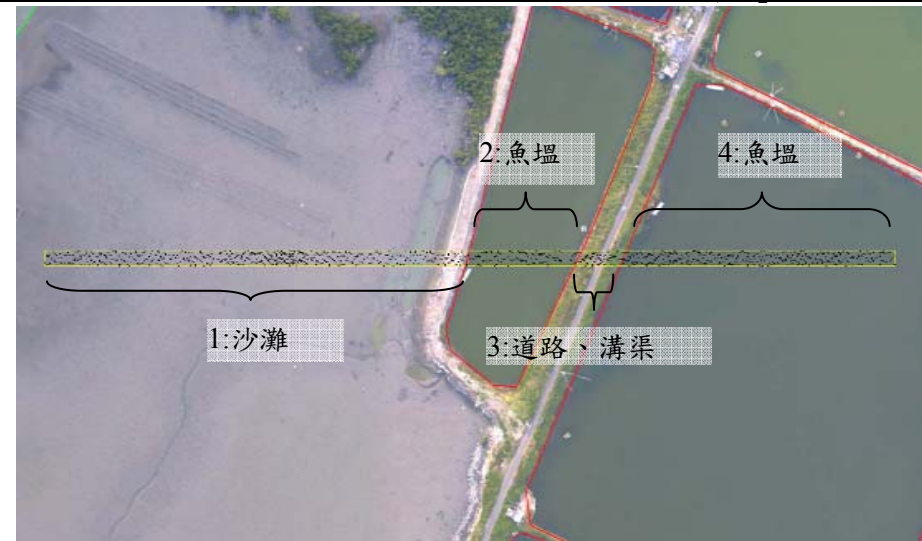
(d)

圖 4-11 點雲剖面及影像分析圖



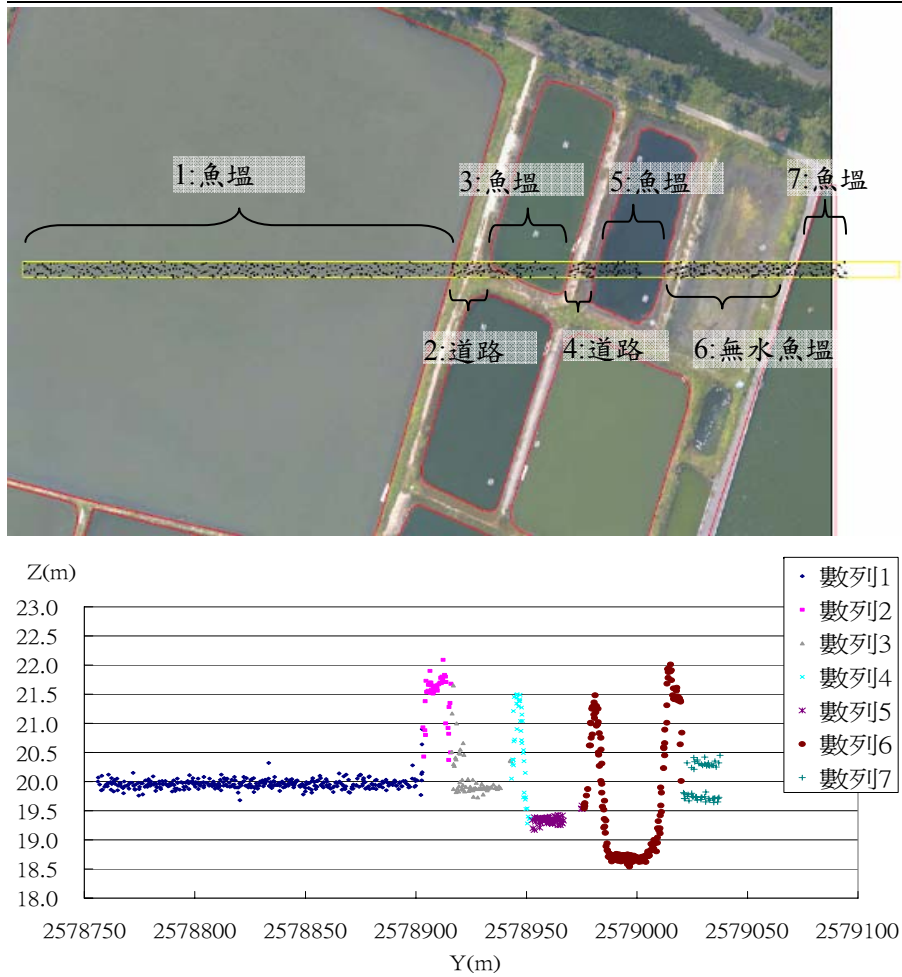


(e)



(f)

圖 4-11 點雲剖面及影像分析圖



(g)

圖 4-11 點雲剖面及影像分析圖

魚塢的掃描情況可以由上圖看出，在魚塢間或魚塢與溝渠間的道路或田埂的點雲高程較高，而魚塢與溝渠都相對的較低，另外魚塢雖然是水體，但是沒有類似海平面高程不一致的反射現象，同一區域內不同航帶的魚塢點雲高程差異並不大，是因為魚塢內並沒有劇烈波浪海水起伏，且該區域內的點雲密度較低，因此高程分佈不大，因此魚塢區域邊界線無明顯高程起伏，可直接由影像辨識邊界線，將魚塢內部的點雲濾除，而欲獲取實際魚塢底部的地形則有待更進一步研究。

## 2. 不同潮高資料整合

台灣地形四周環海海岸線遼闊，以西海岸而言，施測範圍未必恰巧落於潮位站，適合掃描的時間也不完全相同，然而受到台灣地形的影響，每日海潮的起落具有一定的規律，圖 4-12 為 1997 年 6 月 23 日台灣高潮發生的時間，以台灣東側蘇澳頭城一帶最早發生，接著分為往南北兩側擴散，最後在彰化員林一帶匯集，由於匯集南北兩側的海流，相較於其他潮位站，此處的潮位為最大。

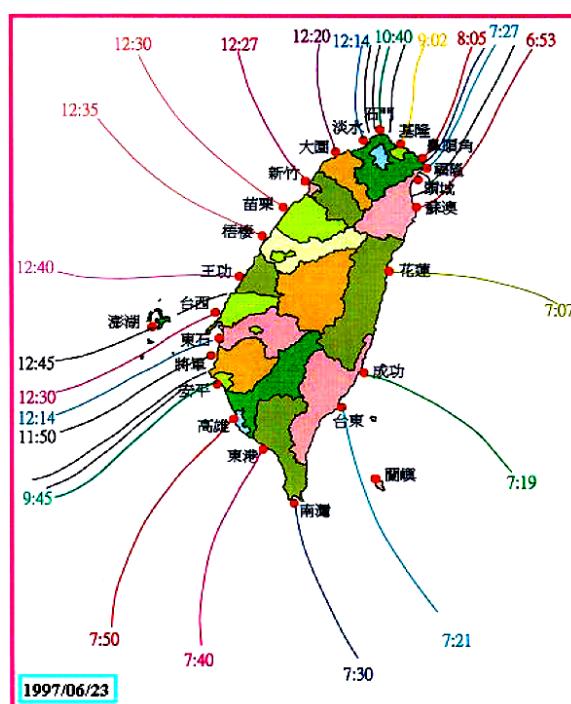


圖 4-12 以 1997 年 6 月 23 日台灣沿岸當天高潮發生之時間

因此，實際的潮位估算可參考最鄰近的潮位站，按照該站的潮位作為測區潮位起伏參考。

### (五)參考文獻

- 徐偉城、陳大科、劉進金、史天元、王成機、陳思仁，2005，”以空載光達建立外傘頂洲數值高程模型”，第二十四屆測量學術及應用研討會。
- 蕭國鑫、劉進金、陳大科、徐偉城、何心瑜，2008，”多時影像與空載光達資料應用於地形變遷研究~以外傘頂沙洲為例”，航測及遙測學刊，第十二卷，第四期，419-429頁。
- Estep, L., 1993. A review of airborne lidar hydrographic (ALH) systems, *The Hydrographic Journal*, No. 67, January, pp.25-42.
- Guenther, G.C., 1989. Airborne laser hydrography to chart shallow coastal waters, *Sea Technology*, March, Vol. 30, No. 3, pp.55-59.
- Xhardé, R., Long, B.F. and Forbes, D.L. 2006. Accuracy and limitations of airborne LiDAR surveys in coastal environments. *Proceedings, International Geoscience and Remote Sensing Symposium and 27th Canadian Symposium on Remote Sensing*, Denver, 4 p.
- Woolard, J.W., Aslaksen, M., LT Longenecker, J., Ryerson, A, 2003, "Shoreline Mapping from Airborne LIDAR in Shilshole Bay, Washington." National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS), U.S.Hydrographic Conference, 2003.
- Wozencraft, J. M. and Irish, J.L. 2000. "Airborne lidar surveys and regional sediment management", *Proceedings, 2000 EARSeL: Lidar Remote Sensing of Land and Sea, EARSeL, Dresden, Germany.*

#### 四、作業成果驗收

本案主要作業成果在完成空載光達飛航掃描作業、DEM 及 DSM 製作、1/2500 地形圖圖資及正射影像鑲嵌圖製作。而驗收作業進行則包括了控制點外業實測驗收（如圖 4-13 與圖 4-14）；地形圖驗收部分則進行了 1 次驗收及複驗，圖 4-15 為 97 年 12 月 3 日至台南安平港驗收情形，圖 4-16 至圖 4-19 則為 98 年 3 月 4 日至 6 日複驗情形。



圖 4-13 第一期控制點驗收情形

在品質管控方面，除要求作業人員確實填寫自我檢核表外，並由各作業組組長負責資料審查，最後再由本案負責測量技師抽驗作業成果。1/2500 地形圖部分，主要檢視圖面之獨立高程點分布密度、文字註記是否合宜美觀等，並針對調繪、接邊、人工編修、詮釋資料是否有不合理或遺漏等地方進行檢查；而 DEM 部分，針對地形趨勢檢查是否有明顯不合理處及詮釋資料內容是否有不合理或遺漏等問題進行檢核。





圖 4-14 第一期控制點驗收情形(續)



圖 4-15 地形圖驗收情形





圖 4-16 地形圖複驗情形



圖 4-17 地形圖複驗情形(續)



圖 4-18 地形圖複驗情形(續)



圖 4-19 地形圖複驗情形(續)



## 第五章 檢討與建議

- 一、空載光達飛航掃描受限於潮位時間、氣候與載具等因素。如以作業成本考量，定翼機為民間單位使用空載光達進行飛航作業掃描的首選載具，評估任務作業執行時亦以定翼機為估量標準，尤其在地形變化起伏不大的潮間帶區域作業時，以定翼機執行空載光達任務足可圓滿完成所有作業；但定翼機的可作業時間為(06:00 至 19:00)，潮位時間又因受限於每月 7 次潮位出現時間並非都在定翼機飛航可作業時間內，因此實際作業時，如只以定翼機進行飛航掃描作業，在有限潮位時間下，容易造成作業延誤情形發生。在作業延誤的情形下，為有效運用有限的潮位時間進行空載光達飛航掃描作業，建議可以旋翼機為任務載具，在欲使用為載具之旋翼機已完成所有改裝並已經過民航局認可的前提下，旋翼機並不如定翼機般需受機場開放時間(06:00 至 19:00)影響，在目視可視狀況下即可自外場停機坪起飛進行作業，如此即可增加可作業時間，並儘快完成已延誤之飛航掃描作業。
- 二、天候因素亦為影響本案作業期程之一。雖然空載光達在有霾或靄的天候下亦可進行飛航掃描作業，但如作業需考量地面點雲密度時，則在多靄及多霾的天候下，尤其在潮間帶區域，該地區之沙地因受海潮影響，多為含水量極高之沙地，以空載光達掃描該地區所獲得之點數即已較一般地面之點數為少，如又因霾及靄的影響，空中點(air points)點數增多，地面點點數減少，則易造成地面點點雲密度不足的情形發生。因此，建議於作業前，先行蒐集作業區域年度氣候資訊，以作為作業期程預估之依據。
- 三、本次以 VRS-RTK 方式驗證以空載 LiDAR 掃描潮間帶地形測製成果，共施測了 826 個點，其中，矮植被區與植生地皆因植被影響與沙地則因潮汐變化產生誤差量較大情形，其餘點位均能符合本案合約要求，顯示以空載 LiDAR 掃描潮間帶地形成果的可靠度極佳。而 VRS-RTK 作業方式亦可提供後續以空載光達飛航掃描作業，快速且獲取大量地面檢核點之選擇方式。

- 
- 四、因世界上地區地物種類繁複，致外業調繪人員對各種地物認知不同，因此，將調繪成果送至內業編修時，便易因認知不同產生圖資處理方式差異情形發生，除應於實際外業調繪前對所有調繪人員進行講習外，並應對於航測立體製圖無法明確界定地上物時，建議均請外業調繪人員以數位相機拍攝現場相片並註記之，以利釐清編修。
- 五、海陸交界之潮間帶之水體區域點雲明顯不適用於反演地形，且潮間帶多半為鬆軟之沙土、海水與沙土顏色近似，又有海水波浪之影響，水陸交界並非固定，因此相當不容易判斷點雲是落在水體或陸地區域。實際過濾時應檢視點雲高程變化的特性與現象，才能區分出水陸交界線，有效選取適用的點雲。且沿岸魚塢有相當多水體覆蓋區域，此區域點雲分佈於水面，不適合應用於反演地形資料。因此需藉由影像辨識邊水陸界線，將魚塢水體區域的點雲濾除。
- 六、潮間帶地區的潮汐差異甚大，為了不被海潮影響獲取完整潮間帶的地形，以掃描最大範圍的潮間帶地形。而農曆每月最大潮位落於農曆日期 29 日~次月 5 日、14 日~20 日的頻率以及所佔比例，因此在這兩區間日期內進行掃描可以獲取完整最低潮位的潮間帶地形，為最佳的觀測時段。另外加上當天最低潮的前後時間約 3 小時，此時間段進行掃描為較佳時間；適合進行雷射掃描、拍攝的時間如下：
1. 施測日期為朔望之際，於農曆 29 日~次月 5 日、14 日~20 日兩時間段。
  2. 依據全台潮位站分佈圖，找出最鄰近之潮位站，依照中央氣象局所提供之預報選擇該潮位站最低潮位的時刻。
  3. 以當日最低潮位前後 1.5 小時內，共 3 個小時為施測時間。
  4. 日照充足時段。

## 附件一 控制點 GPS 衛星實際觀測時段表

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970311A	日期	97.03.11	觀測時間	08:00~11:00	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		G087	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.642	
2		G089	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.629	
3		A002	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.474	
4		G079	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.603	
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970523A	日期	97.05.23	觀測時間	00:50~03:20	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		G008	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.373	
2		G009	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.697	
3		G005	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.660	
4		G006	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.670	
5		G007	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.784	
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						



96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970523B	日期	97.05.23	觀測時間	04:00~06:00	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		G003	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.607	
2		G004	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.485	
3		G005	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.547	
4		G006	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.786	
5		X105	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.691	
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970523C	日期	97.05.23	觀測時間	06:10~08:40	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		G003	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.546	
2		G004	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.613	
3		G001	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.582	
4		X101	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.695	
5		G002	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.805	
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970526A	日期	97.05.26	觀測時間	01:00~03:40	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		G002	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.613	
2		G001	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.459	
3		1082	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.705	
4		X101	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.750	
5		1080	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.798	
6		1081	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.652	
7		1077	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.598	
8		1076	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.572	
9		1075	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.545	
10		1078	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.638	
11		1079	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.890	
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970526B	日期	97.05.26	觀測時間	04:30~06:20	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		1077	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.564	
2		1076	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.478	
3		1074	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.837	
4		1075	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.683	
5		1073	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.711	
6		1072	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.665	
7		1067	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.600	
8		1068	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.746	
9		1069	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.585	
10		1071	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.759	
11		1070	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.748	
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970526C	日期	97.05.26	觀測時間	07:00~09:00	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		1068	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.612	
2		1069	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.702	
3		1066	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.843	
4		1067	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.798	
5		D055	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.538	
6		X014	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.672	
7		D052	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.510	
8		X013	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.441	
9		D054	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.708	
10		D053	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.781	
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970527A	日期	97.05.27	觀測時間	01:20~03:40	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		D046	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.678	
2		D045	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.596	
3		D048	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.478	
4		D047	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.815	
5		D054	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.784	
6		D049	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.519	
7		X013	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.541	
8		D051	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.688	
9		D050	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.582	
10		D053	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.836	
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970527B	日期	97.05.27	觀測時間	04:30~06:30	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		D039	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.667	
2		D040	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.479	
3		D042	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.570	
4		D041	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.632	
5		D047	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.790	
6		D043	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.450	
7		D045	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.687	
8		D044	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.779	
9		X022	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.431	
10		D046	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.784	
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970527C	日期	97.05.27	觀測時間	07:20~09:20	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		D032	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.630	
2		D033	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.680	
3		D034	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.204	
4		D035	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.661	
5		D041	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.693	
6		D036	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.268	
7		D038	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.544	
8		D039	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.645	
9		D037	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.359	
10		D040	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.654	
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

時段	970528A	日期	97.05.28	觀測時間	01:00~02:50	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		D027	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.487	
2		D023	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.755	
3		D018	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.731	
4		D021	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.649	
5		D025	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.506	
6		D020	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.647	
7		D022	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.718	
8		D024	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.431	
9		D019	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.802	
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫GPS衛星實際觀測時段表

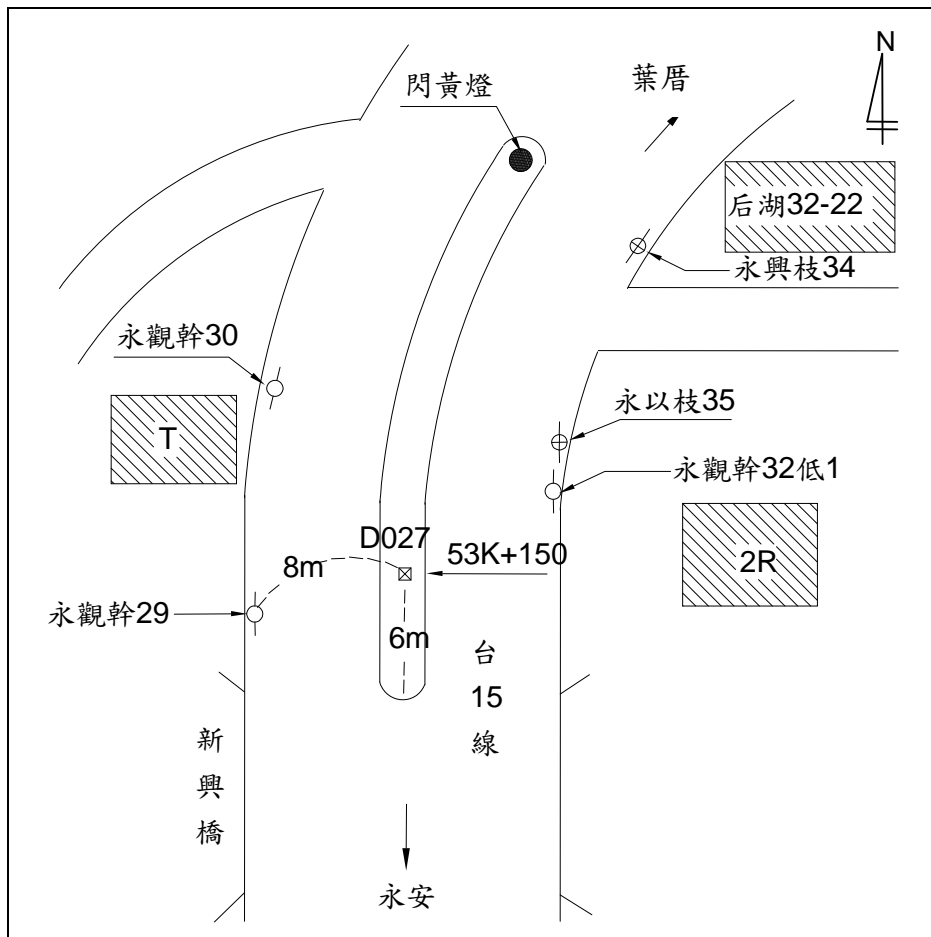
時段	970528B	日期	97.05.28	觀測時間	03:30~05:30	
組別	點名	點號	接收儀型式	天線盤型式	斜距(m)	垂距(m)
1		D033	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.688	
2		D035	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.558	
3		D030	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.594	
4		D025	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.656	
5		D027	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.743	
6		D032	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.396	
7		D028	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.640	
8		D029	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.587	
9		D031	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.421	
10		D024	Trimble 5700	Zephyr Geodetic	1.780	
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

## 附件二 控制點點之記



附件二、控制點點之記

點名：	永觀	點號：	D027	標石號碼：	D027
點位種類：	一等水準點	點位來源：	一等水準點	標石種類：	鋼標
所在地：	桃園縣				

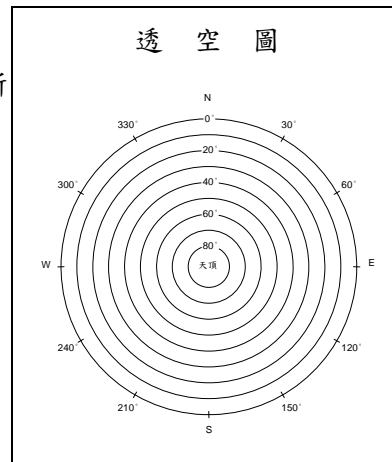


點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

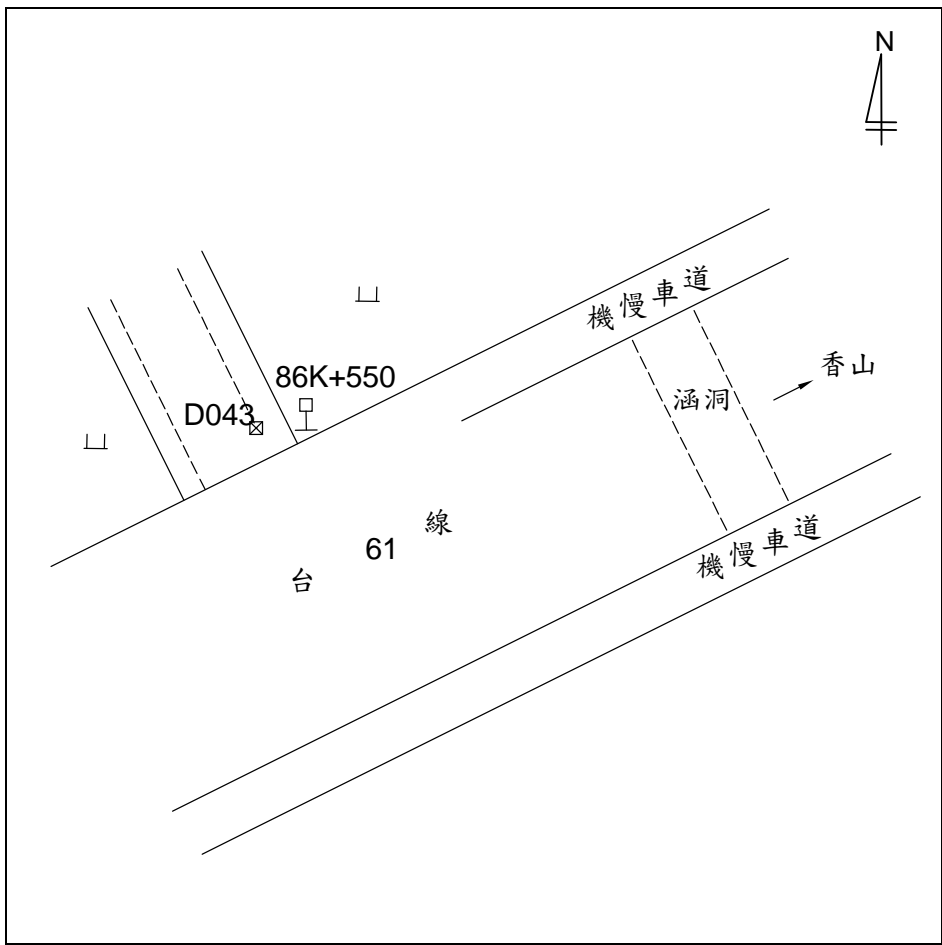
車行：	出發地點	大潭國小	耗費時間	5	分鐘
	下車地點	新興橋	耗費里程	3.5	公里

步行：耗費時間 0.5 分鐘

說明：由大潭國小行駛台15線往永安方向，行約3.5公里至新興橋前下車，點位於其對面路中安全島上。



點名：	崎頂前	點號：	D043	標石號碼：	D043
點位種類：	一等水準點	點位來源：	一等水準點	標石種類：	鋼標
所在地：	苗栗縣竹南鎮				



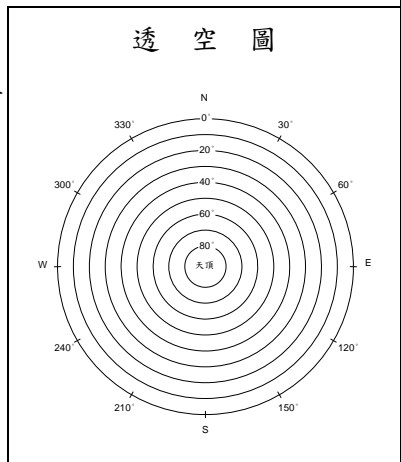
點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

車行： 出發地點 港南國小 耗費時間 13 分鐘

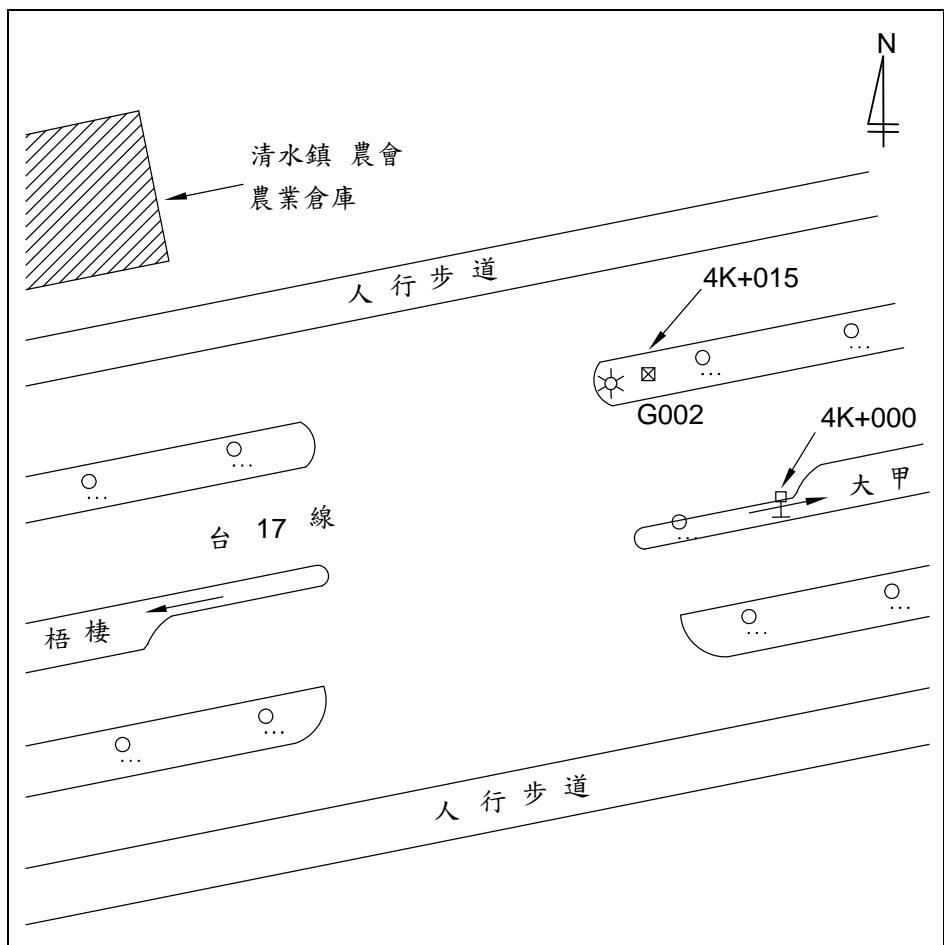
下車地點 點位旁 耗費里程 9.5 公里

步行： 耗費時間 0 分鐘

說明： 由港南國小往竹南方向行駛台 61 線行約 9.5 公里至 86K+550 處，可見點位在右側土路旁。



點名：	清水農會倉庫	點號：	G002	標石號碼：	G002
點位種類：	一等水準點	點位來源：	一等水準點	標石種類：	鋼標
所在地：	台中縣清水鎮				



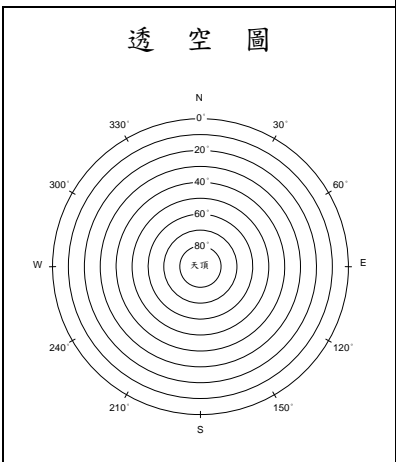
點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

車行： 出發地點 大甲 耗費時間 15 分鐘

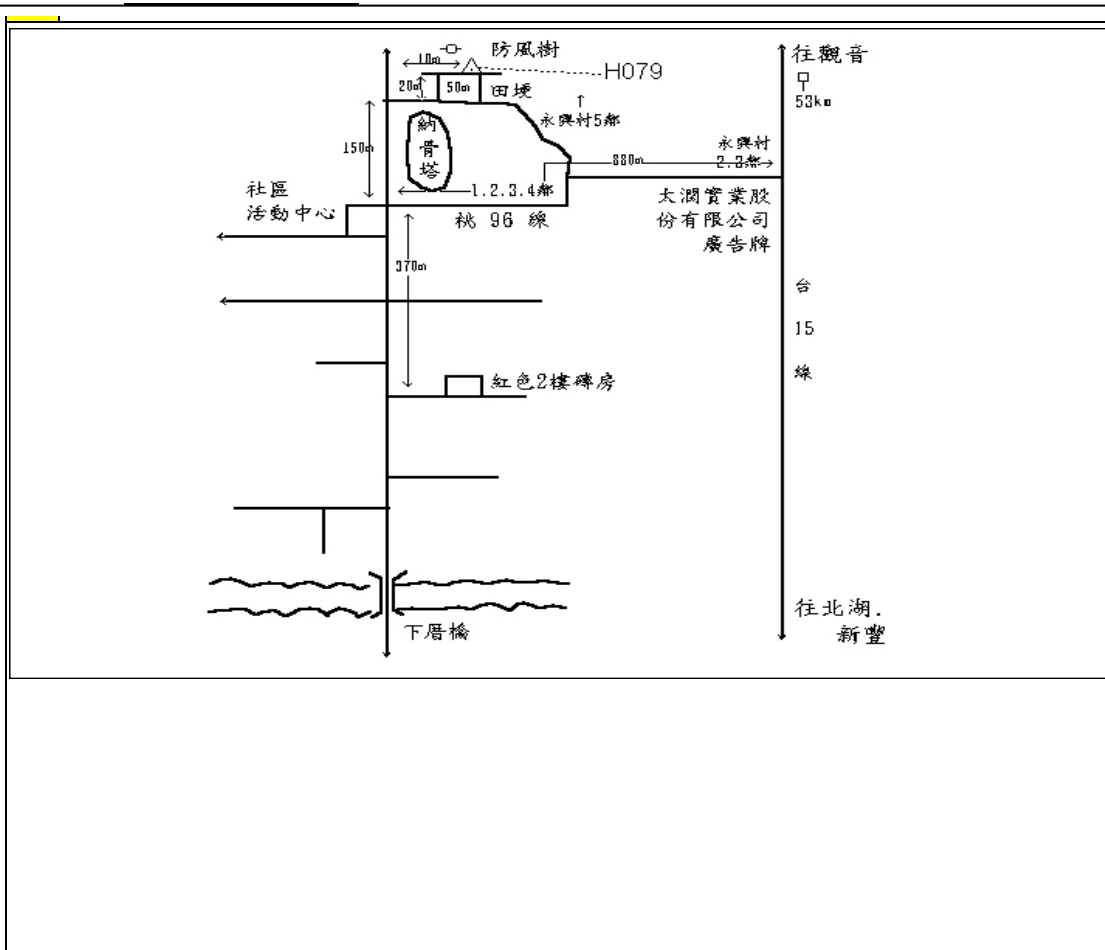
下車地點 點位旁 耗費里程 12 公里

步行： 耗費時間 0 分鐘

說明： 由大甲往梧棲行駛台 17 線至 4K+015 處下車，點即位於分隔島內。



點名：永興村 點號：H079 標石號碼：H079  
 點位種類：三等控制點 點位來源：三等控制點 標石種類：鋼標  
 所在地：桃園縣觀音鄉



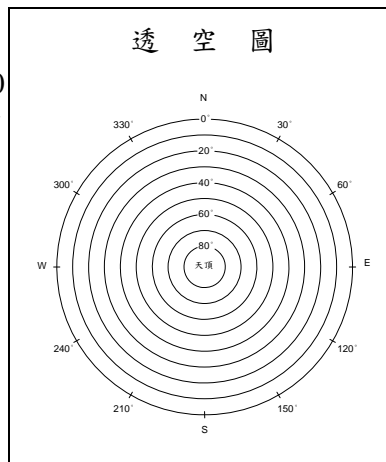
點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

車行： 出發地點 觀音 耗費時間 15 分鐘

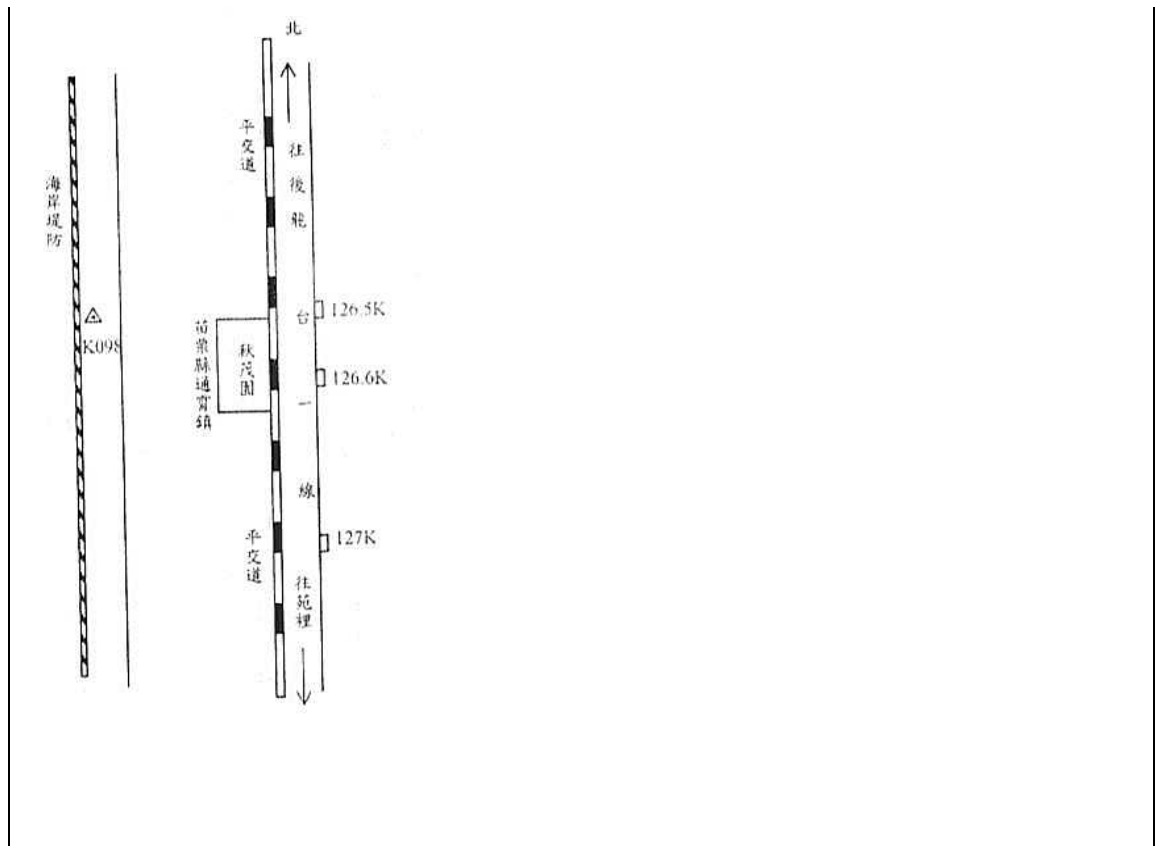
下車地點 點位旁 耗費里程 2.5 公里

步行： 耗費時間 0 分鐘

說明：由觀音往北湖、永安港方向行駛台 15 線行進至 52K+700 處，右轉永興村 2、3 鄰，再右轉至永興村社區活動中心，右轉直行約 150M 之防風林旁。



點名：	秋茂園	點號：	K098	標石號碼：	K098
點位種類：	三等控制點	點位來源：	三等控制點	標石種類：	鋼標
所在地：	台中縣通宵鎮				

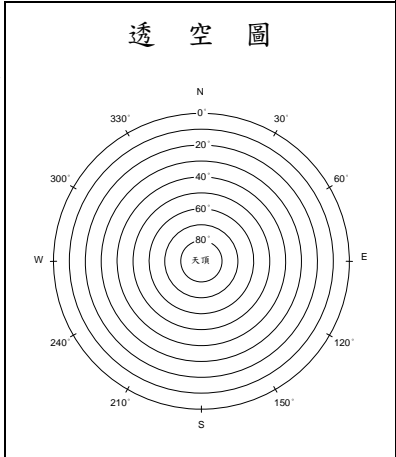


點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

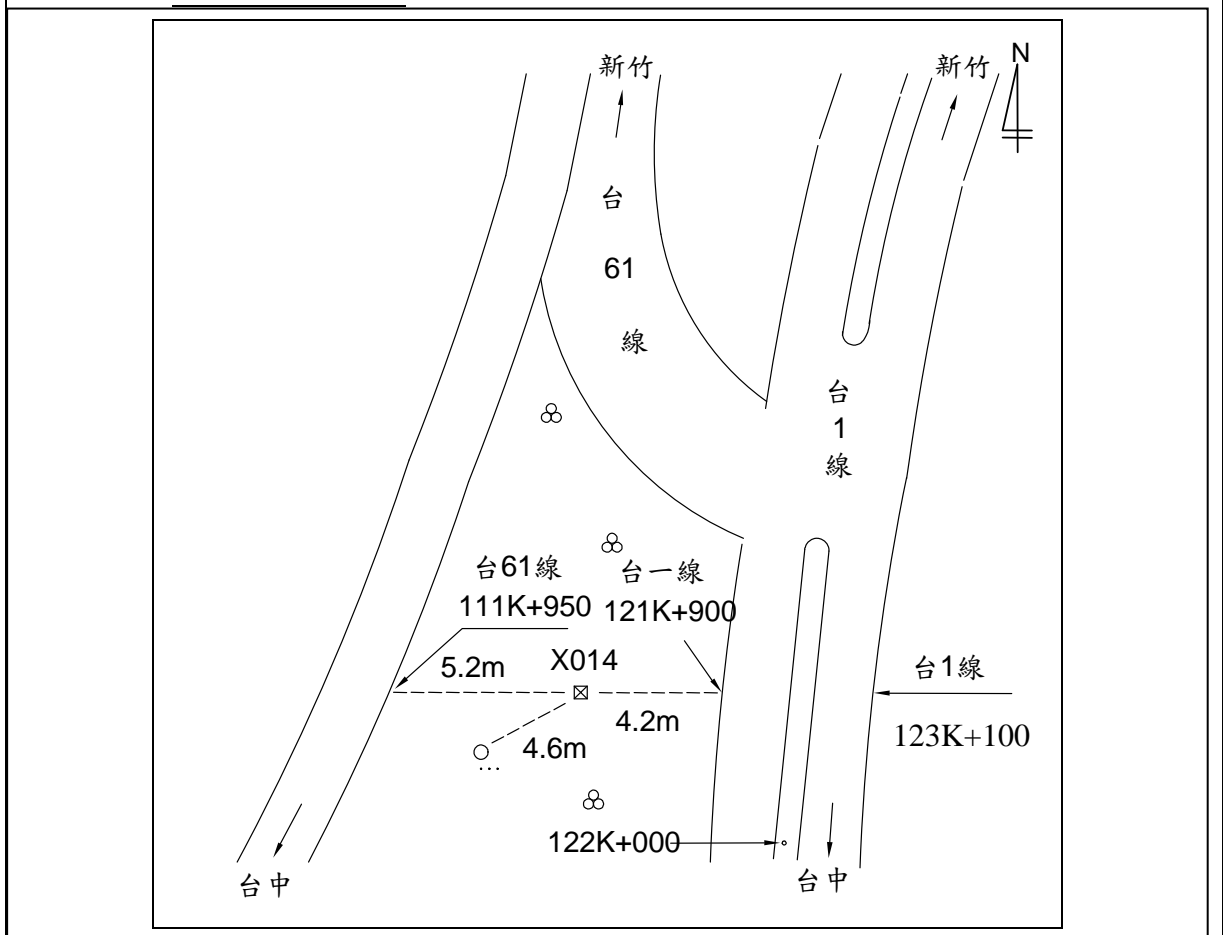
車行：	出發地點	通宵	耗費時間	5	分鐘
	下車地點	點位旁	耗費里程	5	公里

步行：耗費時間 2 分鐘

說明：由通宵往後龍行駛至台一線 126.6K 秋茂園，點位位於秋茂園後門堤防上。



點名：	白沙屯節點	點號：	X014	標石號碼：	X014
點位種類：	一等水準點	點位來源：	一等水準點	標石種類：	鋼標
所在地：	苗栗縣				



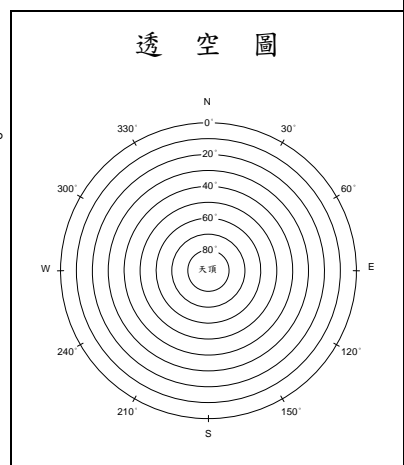
點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

車行： 出發地點 台 1 線 122K 處 耗費時間 1 分鐘

下車地點 121K+900 耗費里程 0.1 公里

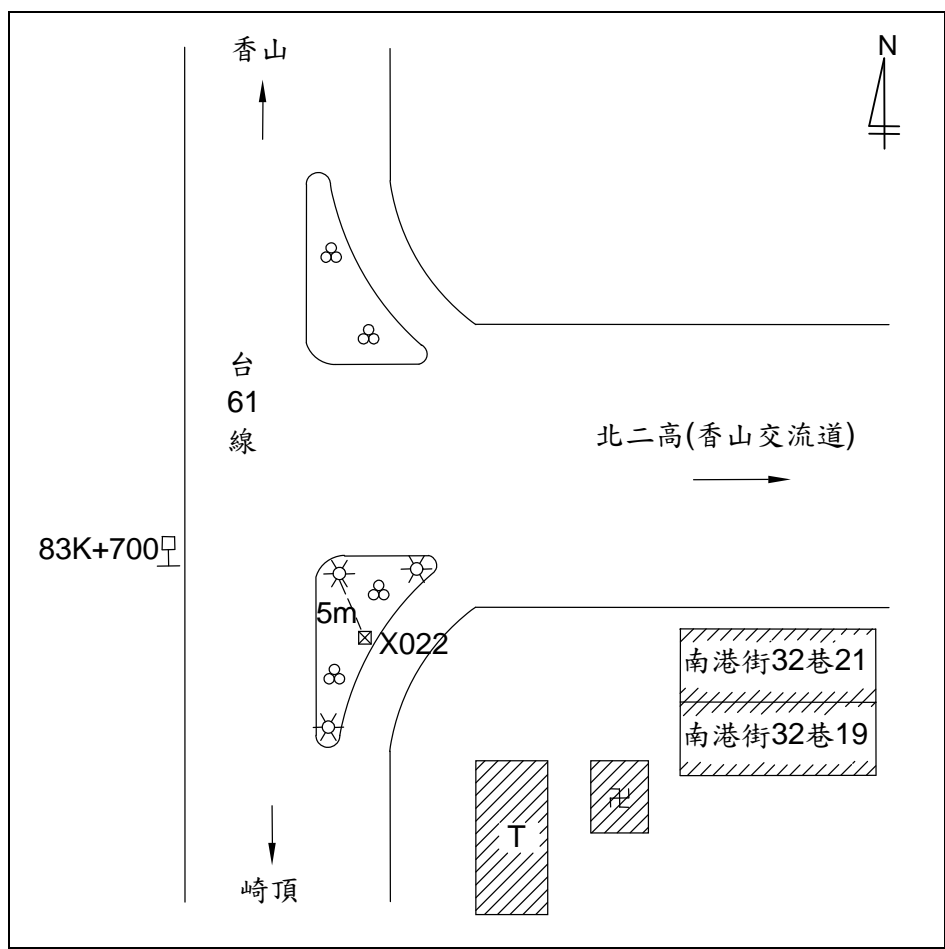
步行： 耗費時間 0.5 分鐘

說明： 由通霄行駛台 1 線往西湖方向至與台 61 號道路交接處右側停車，點位於左側安全島內台一線(121k+900 處)。





點名：	香山節點	點號：	X022	標石號碼：	X022
點位種類：	一等水準點	點位來源：	一等水準點	標石種類：	鋼標
所在地：	新竹市香山區				



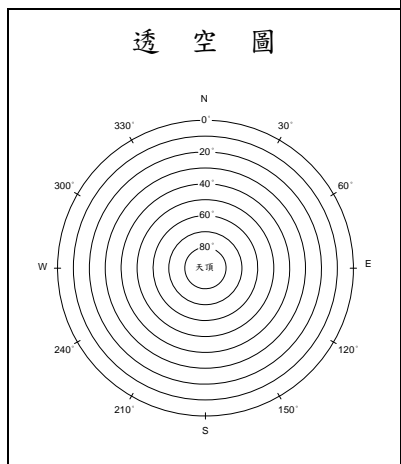
點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

車行： 出發地點 台 61 線 83K 處 耗費時間 1.5 分鐘

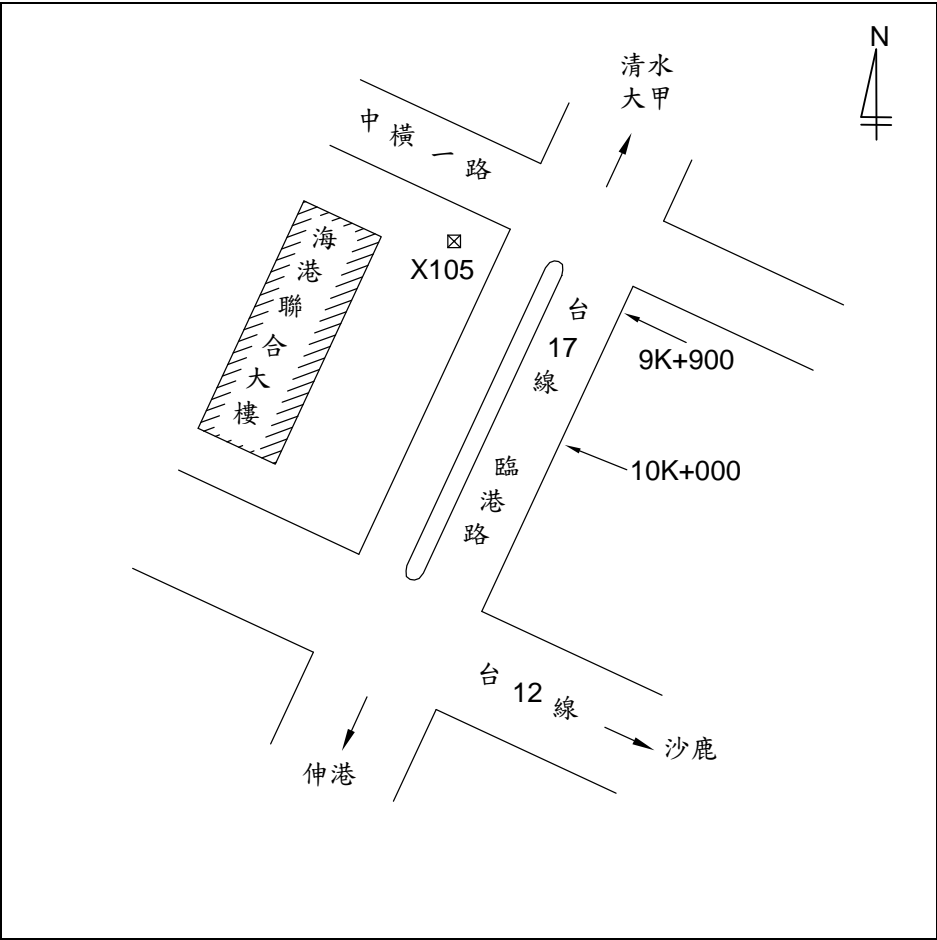
下車地點 台 61 線 83K+700 耗費里程 0.7 公里

步行： 耗費時間 0.5 分鐘

說明： 由台 61 線 83K 處往崎頂方向行約 700 公尺，遇一路口停車，點位於路口對面之右邊安全島上。



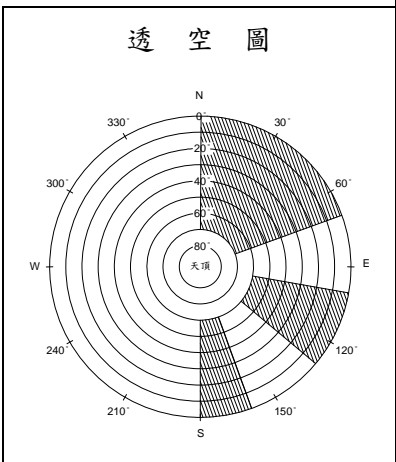
點名：	台中港節點	點號：	X105	標石號碼：	X105
點位種類：	一等水準點	點位來源：	一等水準點	標石種類：	鋼標
所在地：	台中縣梧棲鎮				



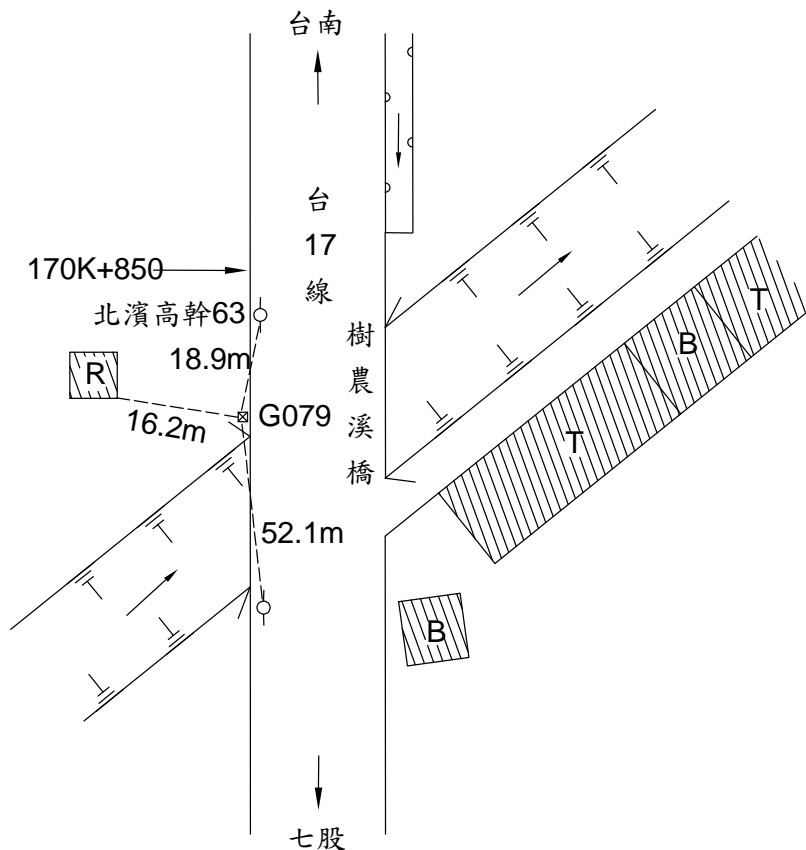
點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

車行：	出發地點	清水	耗費時間	12	分鐘
	下車地點	點位旁	耗費里程	10.4	公里
步行：	耗費時間	0	分鐘		

說明：由清水沿台17線往伸港方向行至指標9K+900處可見海港聯合大樓，點位即位於臨海路與中橫一路交角處。



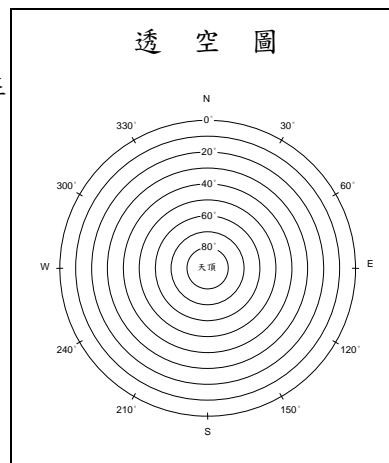
點名：	樹農溪橋	點號：	G079	標石號碼：	G079
點位種類：	一等水準點	點位來源：	一等水準點	標石種類：	鋼標
所在地：	台南縣七股鄉				



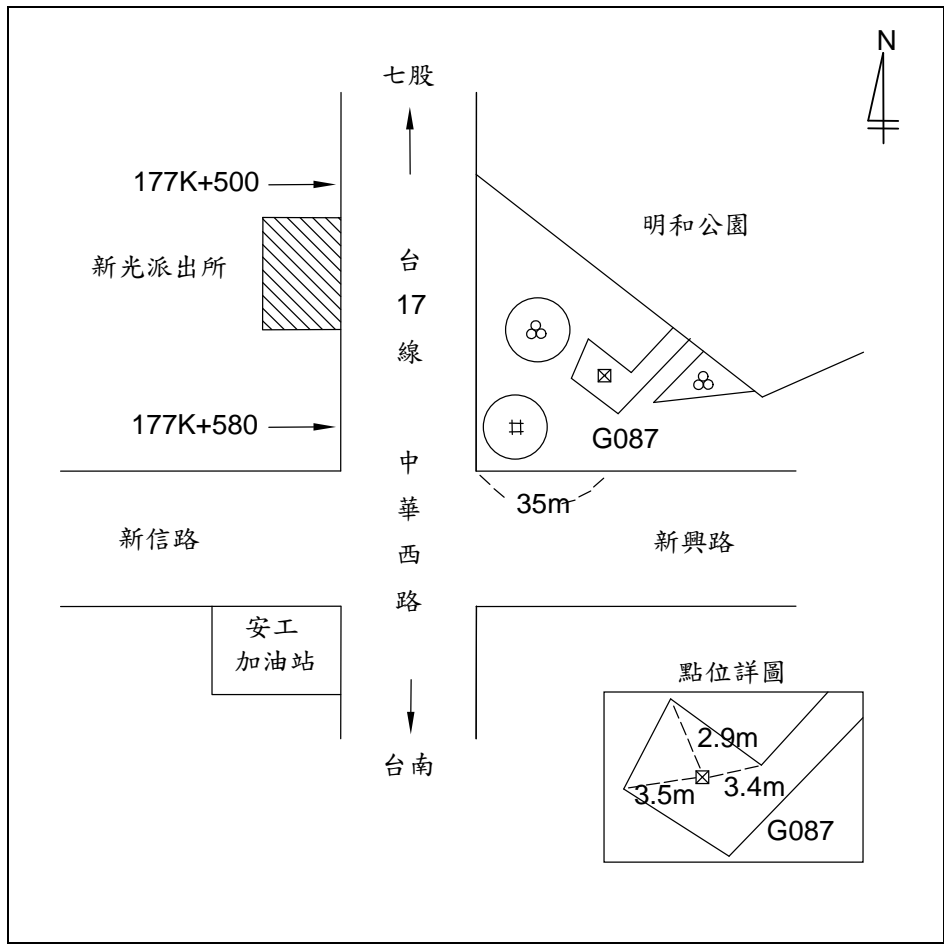
點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

車行：	出發地點	七股	耗費時間	20	分鐘
	下車地點	樹農溪橋	耗費里程	8	公里
步行：	耗費時間	0	分鐘		

說明：由七股往台南方向行駛台 17 線至樹農溪橋，點位即在左側橋墩，里程 170K+850 處。



點名：	明和公園	點號：	G087	標石號碼：	G087
點位種類：	一等水準點	點位來源：	一等水準點	標石種類：	鋼標
所在地：	台南市南區				

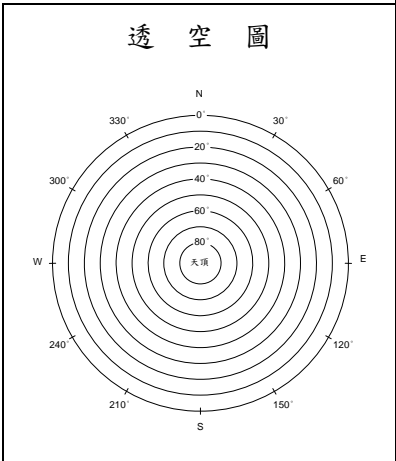


點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

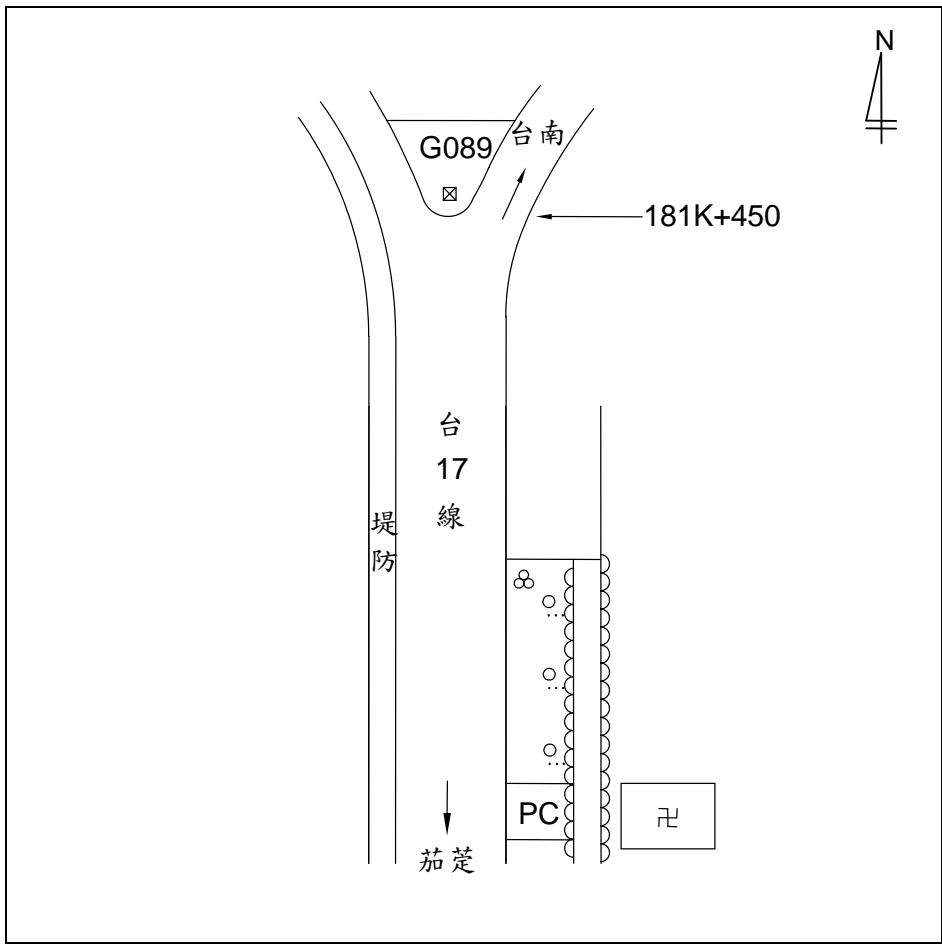
車行：	出發地點	台南市區	耗費時間	15	分鐘
	下車地點	明和公園	耗費里程	8	公里

步行：耗費時間 1 分鐘

說明：由台南往高雄方向行駛台 17 線至指標 177K+580 處，見左側有一明和公園。(中華西路與新興路口).點即位於左側公園之花圃內。



點名： <u>南濱</u>	點號： <u>G089</u>	標石號碼： <u>G089</u>
點位種類： <u>一等水準點</u>	點位來源： <u>一等水準點</u>	標石種類： <u>鋼標</u>
所在地： <u>台南市南區</u>		

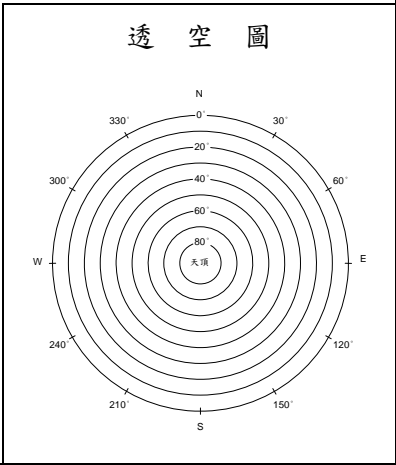


點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

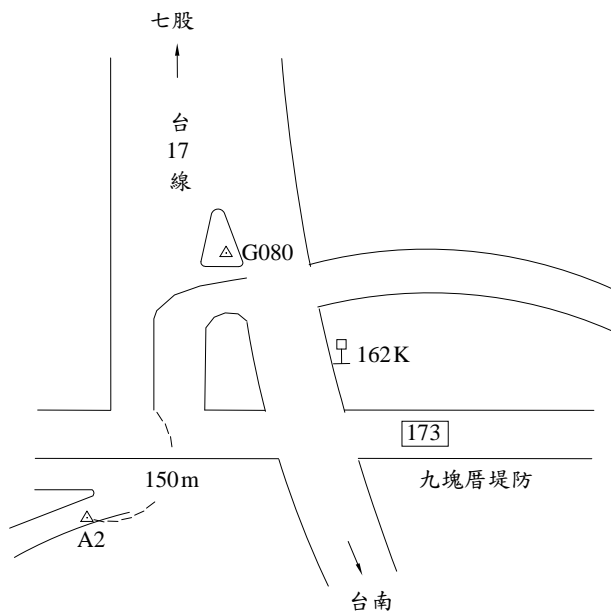
車行： 出發地點 茄萣 耗費時間 6 分鐘  
 下車地點 點位旁 耗費里程 4 公里

步行： 耗費時間 0 分鐘

說明： 由茄萣沿台17線往台南市方向行至指標181K+450處停車，即可見點位於左側槽化島內。



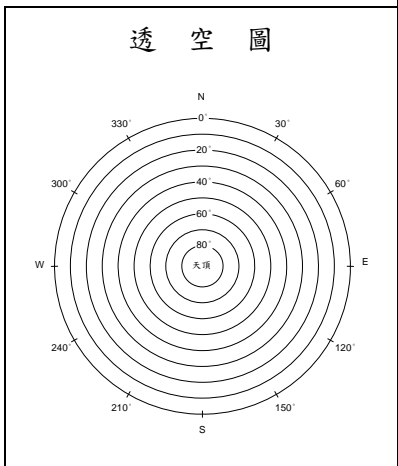
點名：	南濱	點號：	A2	標石號碼：	
點位種類：	河川局斷面樁	點位來源：	斷面樁	標石種類：	花崗石
所在地：	七股				



點位說明：(如須申請出入管制區之許可文件，請註明許可單位及聯繫方法)

車行：	出發地點	七股	耗費時間	5	分鐘
	下車地點	點位旁	耗費里程	12	公里
步行：	耗費時間	0	分鐘		

說明：由七股往台南方向行駛至 161K+900 處，直行至九塊厝堤防右轉行約 150 公尺即見點位位於堤防上左側。





## 附件三 率定報告書

## 一、前言

空載雷射掃描技術又稱光達（Light Detection And Ranging，簡稱 LiDAR）是以航空器做為雷射掃描儀的載台，結合雷射掃描系統、掃描儀、GPS及慣性量測系統(IMU, Inertial Measurement Unit)，掃描測繪地表三維坐標，使地形高程測量作業迅速、經濟且準確。目前商業化的技術，在平坦無植被覆蓋理想的測區，通用15公分測高精度為典型成果。然而，任何高精度測量儀器均無法避免系統誤差的產生，因此如何避免或降低空載光達系統誤差量的產生便須進行完善的率定作業，以獲得系統最佳精度與成果。

空載光達系統率定主要因雷射掃描器坐標系與機身坐標系之間，常因安置上或時間上的影響，造成不平行之偏差量，適時的修正偏差量方可得到較正確的結果。本案以空載光達技術掃描潮間帶地區基本地形測量，共應用了兩套光達系統儀器：Optech ALTM 30/70與Leica ALS 50兩套系統，作業期間，為獲取高精度空載光達成果品質及合約要求，分別進行系統率定作業。

## 二、ALTM 30/70 系統率定作業

ALTM 30/70系統率定作業於97年03月16日以大鵬航空BN2(一號)固定翼執行率定計畫來修正偏差量，以確保雷射點雲的精確度，以下針對本次率定計畫中的相關過程與統計結果，作詳盡的紀錄與說明。

### 1. GPS 成果

將處理 GPS 過程結果與相關資料表列於下所示：

表 2-1 GPS 處理成果

Flight	Average Baseline Length (km)	Maximum Baseline Length (km)	Avg. PDOP	Max. PDOP	Processing Mask Angle (degrees)	Ambiguities Fixed both directions	GPS Jamming	L2 used for Ion. Correction	Average Standard Deviations (m)		
									X	Y	Z
0316	6	19	1.1	2.4	0	Yes*	no	yes	0.01	0.01	0.04

表 2-2 GPS 基站資訊

Monument Description:						
GPS Receiver Type: Trimble 4000ssi				Epoch Interval: 1 Hz		
Antenna Type: Trimble				Elevation Mask: 10 degrees		
Observation Type: Static						
<b>Station1:</b>						
R003	N	24	4	35.50462	E	120 23 34.19405 h 22.943
R002	N	24	4	35.51666	E	120 23 34.87590 h 22.954

## 2. 水平精度成果

利用 PITCH、ROLL 值變化量達收斂理論精度(參考廠商提供 IMU 精度)約為  $0.004^\circ$  範圍內時，即代表完成率定的，故下方針對 PITCH、ROLL 變化作統計與列表，且將新的率定值結果針對真實地面座標作水平上的分析。成果顯示：收斂精度皆已符合  $0.004^\circ$  內。

表 2-3 率定過程中 PITCH 值變化表(單位：度)

率定計算次數	1	2	3(FINAL)
<b>PITCH</b>	-0.0660	-0.0606	<b>-0.0608</b>

表 2-4 率定過程中 ROLL 值變化表(單位：度)

率定計算次數	1	2(FINAL)
<b>ROLL</b>	0.0206	<b>0.0209</b>

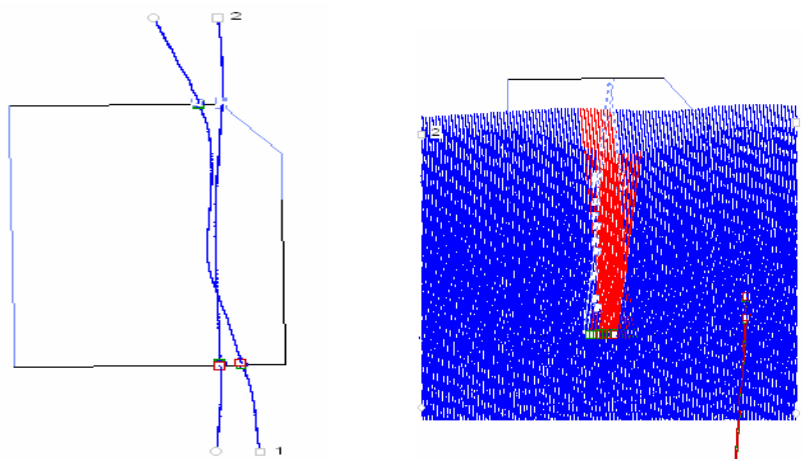


圖 2-1 (a) Profile 式掃描建築物示意圖 (b) Scan 式掃描建築物示意圖

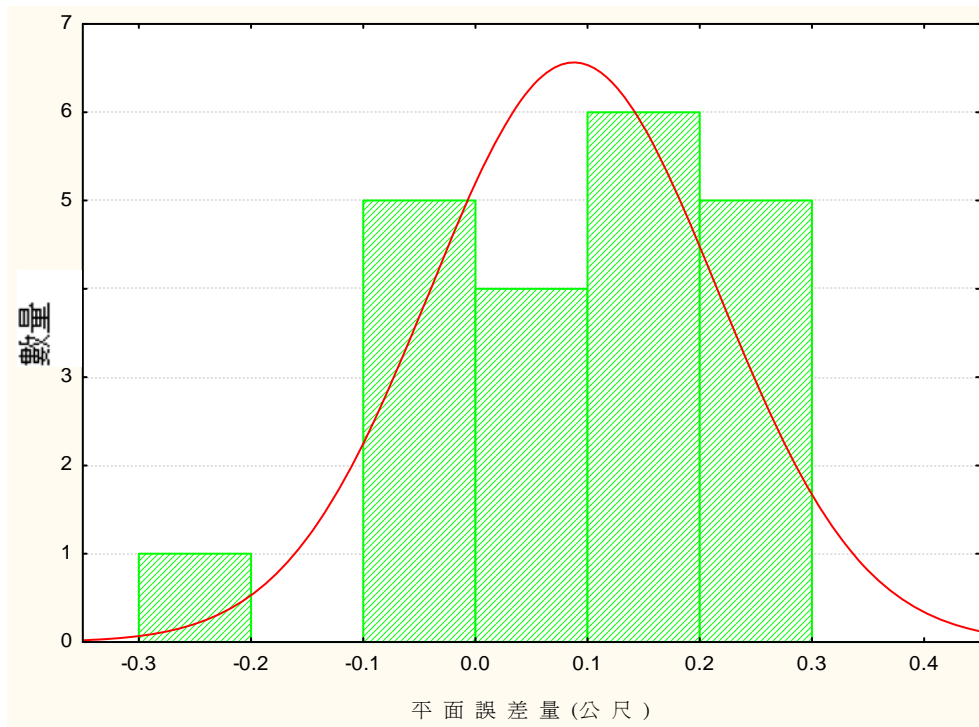


圖 2-2 雷射點比對馬路之平面精度分析表

### 3. 高程精度成果

將率定後的 PITCH、ROLL 新值算出新的成果，比對一條平坦和堅硬的地表(如：馬路)。下列為其統計成果：

表 2-5 高程分析統計表

統計量	最大差異量	最小差異量	平均差異量
雷射點雲比對馬路成果	0.09m	0m	0.01m

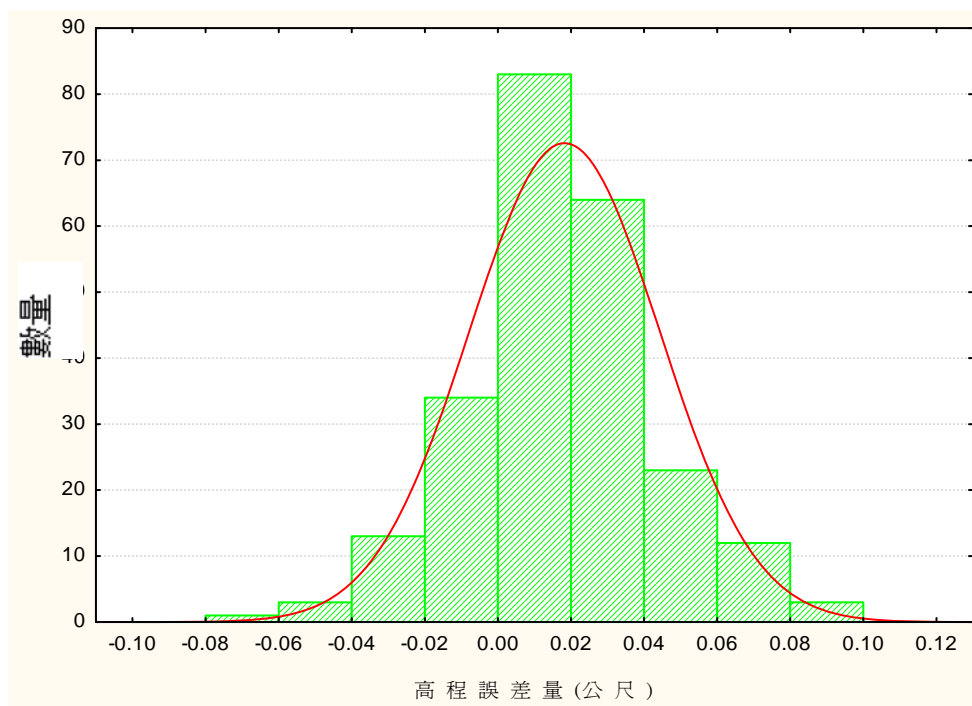


圖 2-3 雷射點比對馬路之高程精度分析表

#### 4.最後率定參數

利用上述的處理程序，計算出新的一組率定參數，將偏差量修正完成，下表為率定後的新的參數：

表 2-6 率定成果參數表

Parameter	Final Field Calibration Values
<b><i>TIM</i></b>	
Pulse Offset (meters)	<b>- 2.55</b>
<b><i>Elevation Block Adjustment</i></b>	
	<b>0.00</b>
<b><i>Cross-flight Scanner</i></b>	
Offset (degrees)	<b>- 0.0124</b>
Scale (no units)	<b>1.0008</b>
Lag (seconds) –	<b>0.000010</b>
<b><i>IMU Corrections</i></b>	
Pitch (degrees)	<b>- 0.066</b>
Roll (degrees)	<b>0.1095</b>
Heading (degrees)	<b>0.250</b>

附錄 A、附錄 B 及附錄 C 分別為率定過程使用檔案。

### 三、ALS 50 系統率定作業

#### 1. 作業內容

##### (1) 飛航規劃及光達掃描

本計畫在飛航規劃部分，分別在 97 年 4 月 8 日、7 月 3 日、8 月 3 日及 8 月 18 日於台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。

##### (2) GPS 基準站設置及觀測

GPS 基準站選用內政部一等一、二級水準點 X105 及 G002 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 觀測時段表如表 3-1。

表 3-1 GPS 基站觀測時段表

日期	點號	儀器型號	天線	觀測開始	觀測結束	觀測間隔	天線高(m)
97.04.08	X105	ASHTECH Z-X	GEODETIC IV	14:09	18:21	1sec	1.275
	G002	ASHTECH Z-X	GEODETIC IV	16:05	18:22	1sec	1.479
97.07.03	X105	ASHTECH Z-X	GEODETIC IV	17:13	18:10	1sec	1.301
	G002	ASHTECH Z-X	GEODETIC IV	17:08	18:17	1sec	1.489
97.08.03	X105	ASHTECH Z-X	GEODETIC IV	09:36	13:50	1sec	1.266
	G002	ASHTECH Z-X	GEODETIC IV	09:35	13:39	1sec	1.483
97.08.18	X105	ASHTECH Z-X	GEODETIC IV	08:05	12:15	1sec	1.332
	G002	ASHTECH Z-X	GEODETIC IV	08:04	12:12	1sec	1.507

##### (3) GPS/IMU 解算及精度評估

利用飛機動態觀測量(0.5sec/epoch)及 GPS 基準靜態觀測量(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 計算成果如圖 3-1 至圖 3-4，其中 GPS PDOP 值小於 4，GPS 正反算精度評估小於 20CM，符合合約要求。



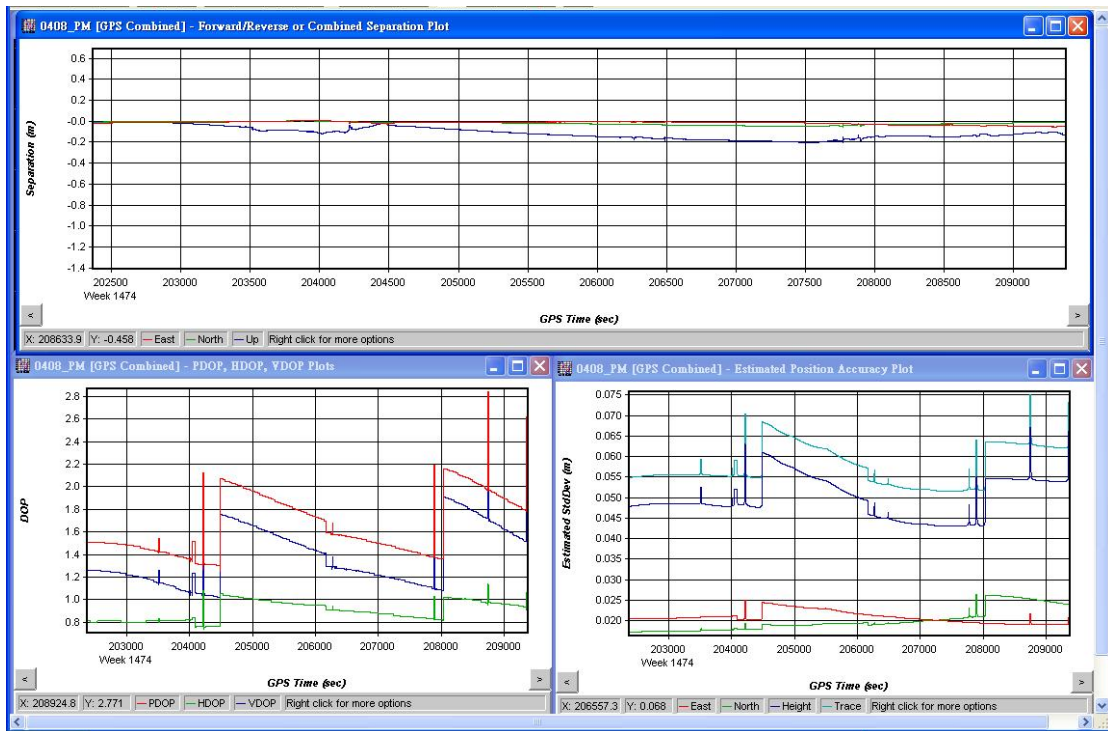
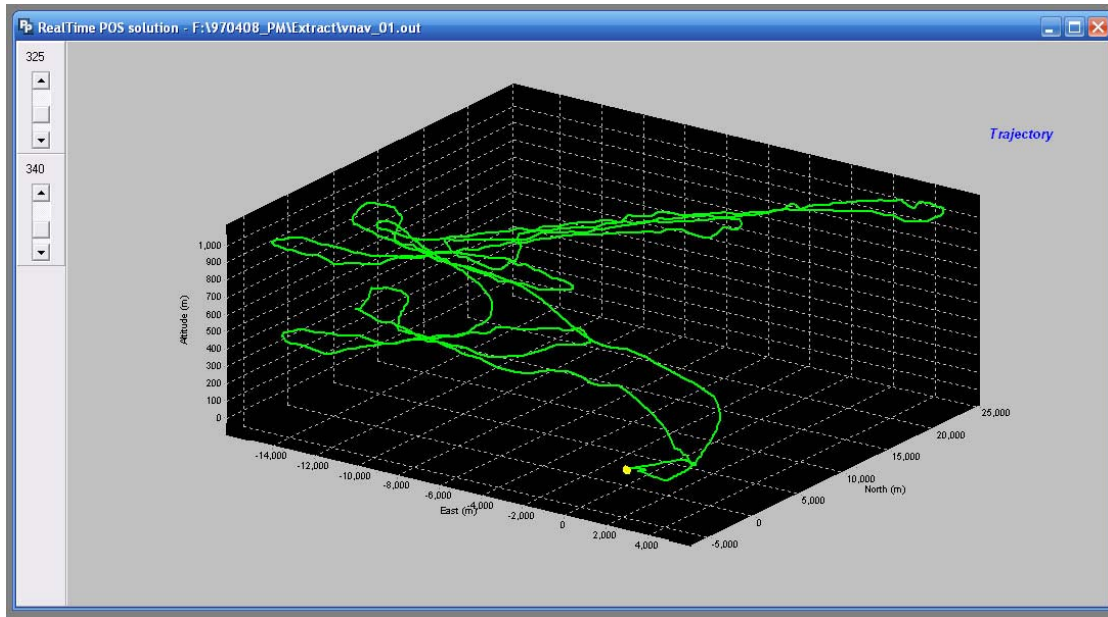


圖 3- 1 97 年 4 月 8 日 飛航軌跡及 GPS 解算成果

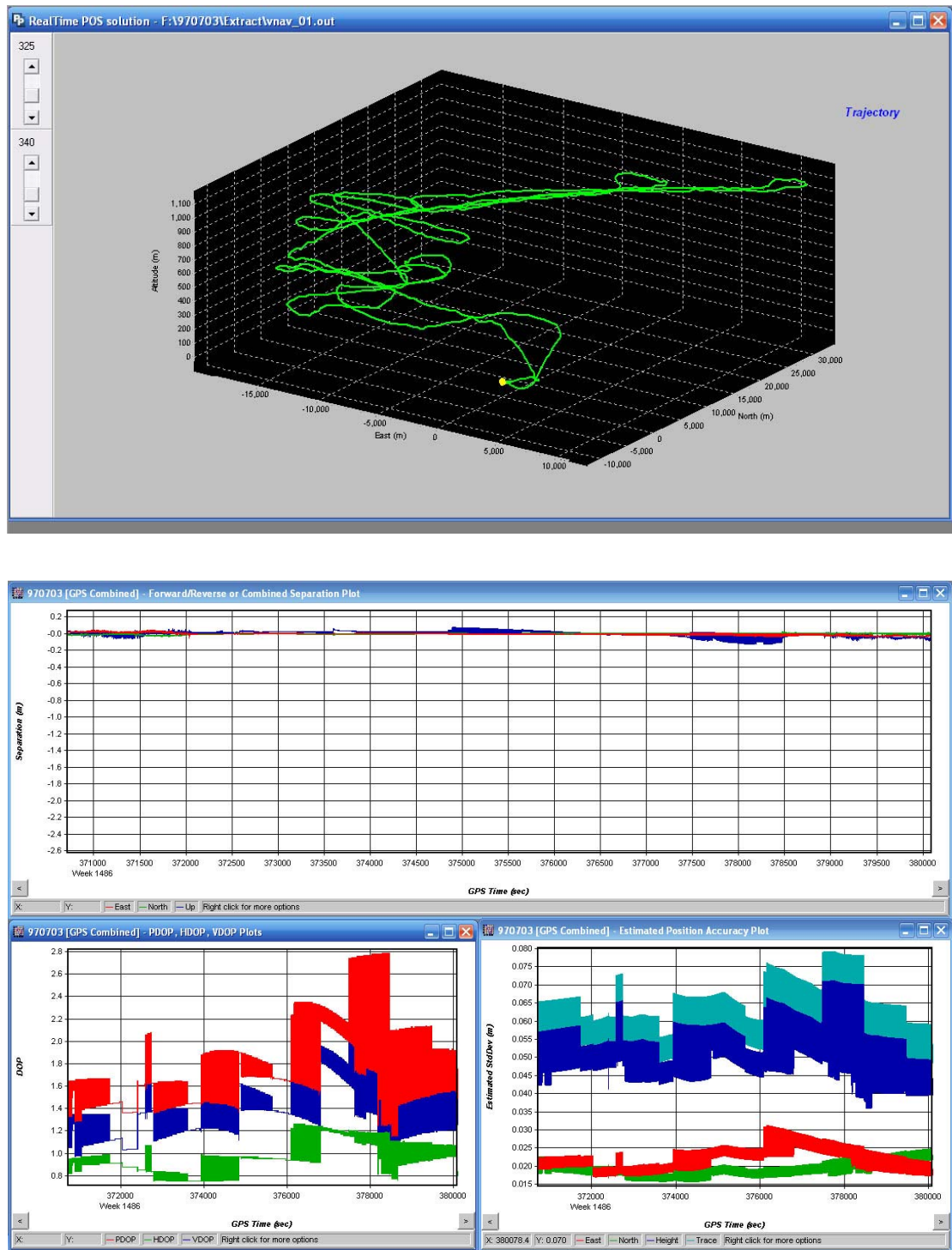


圖 3-2 97 年 7 月 3 日 飛航軌跡及 GPS 解算成果

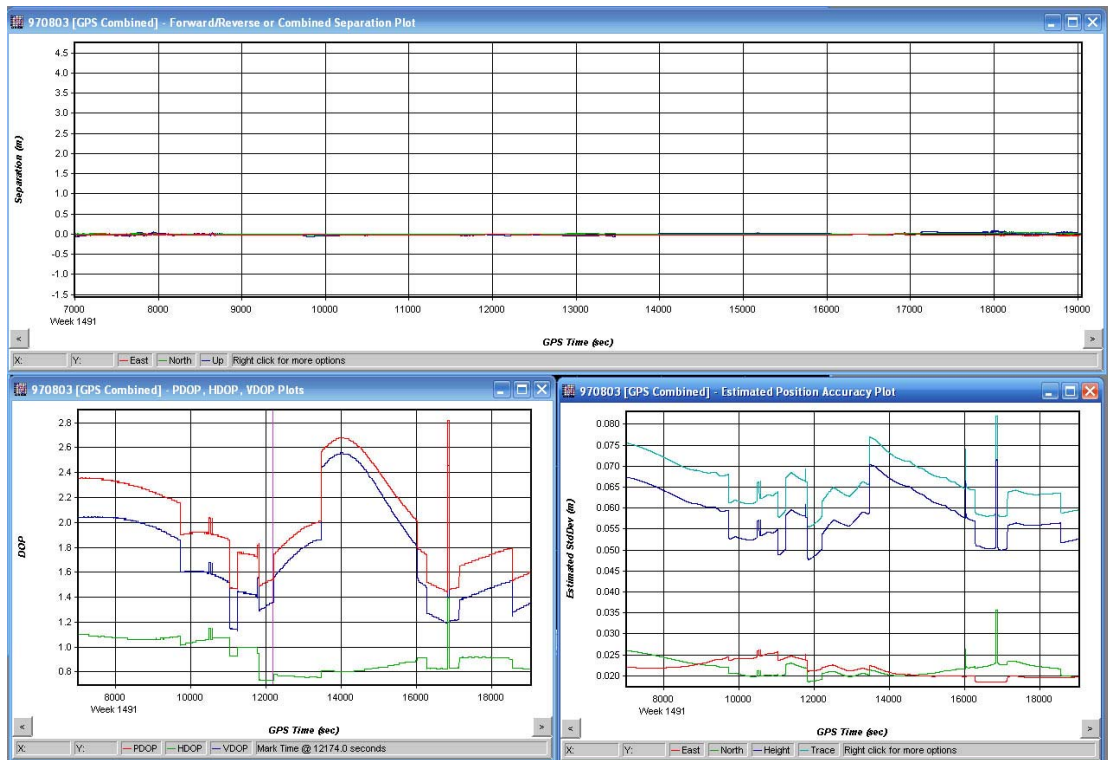
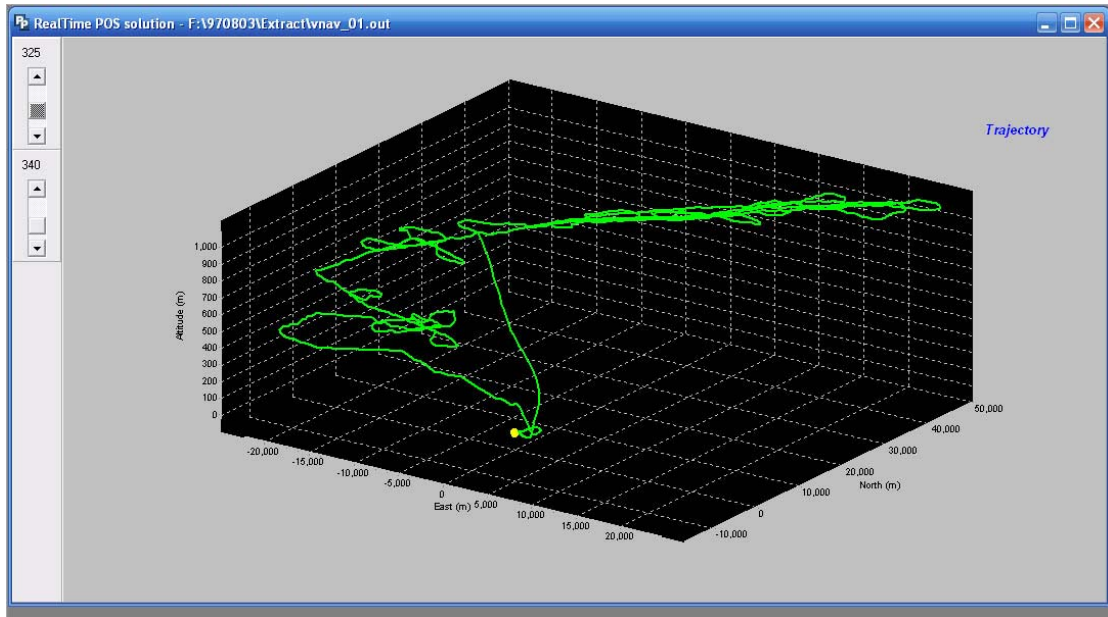


圖 3-3 97 年 8 月 3 日飛航軌跡及 GPS 解算成果

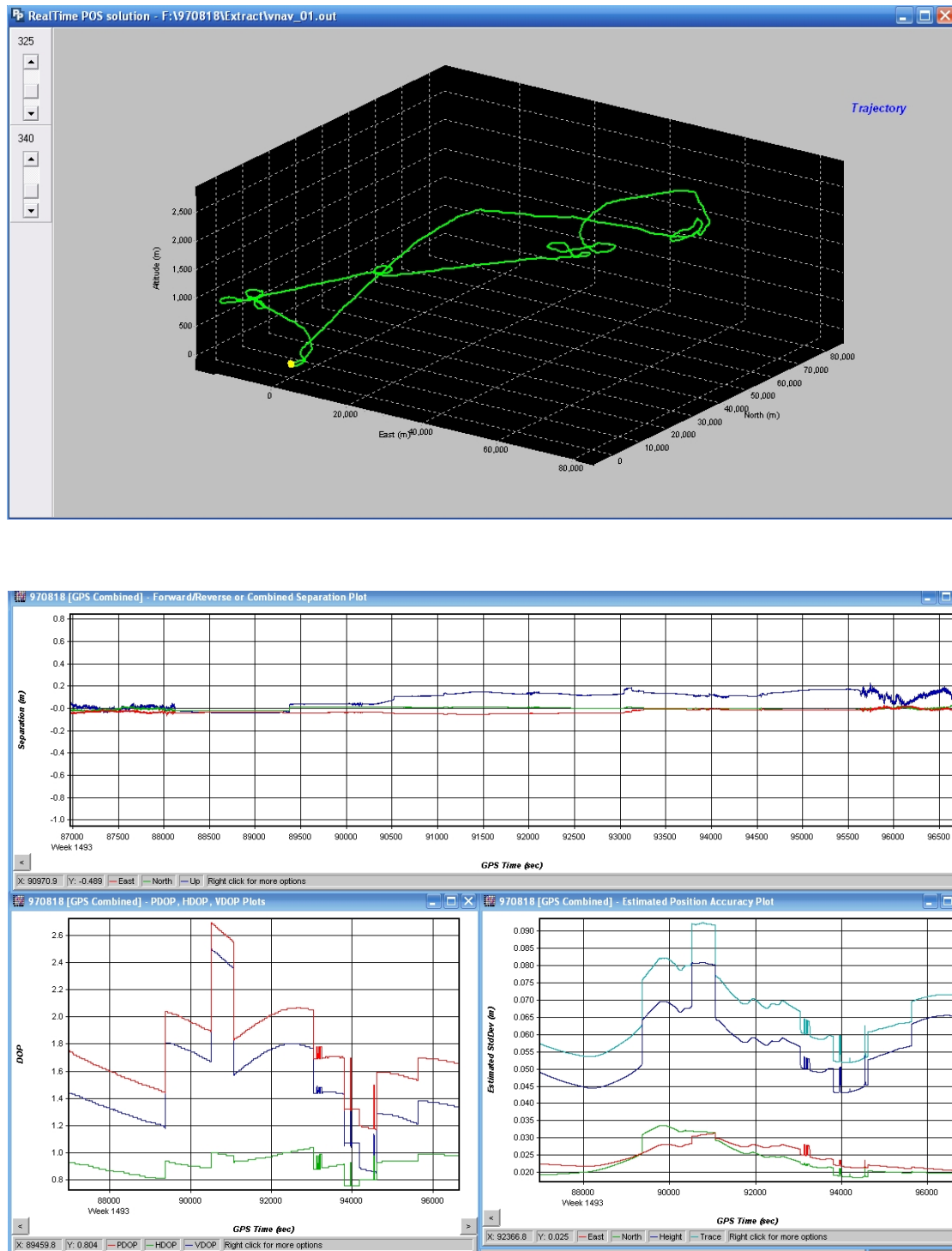


圖 3-4 97 年 8 月 18 日 飛航軌跡及 GPS 解算成果

## (4) 率定參數解算(空三解算概念)

利用 Attune 軟體進行各不同對向來回航線，以進行掃描儀器率定參數解算校正值，各架次率定參數解算校正值如下圖 3-5 至圖 3-8。率定參數解算報表如附件。

Attune Interactive Solution

Solution

Roll: -0.04429784 +/- 0.00002877 radians Number of iterations: 22 ReCalculate

Pitch: 0.00994785 +/- 0.00003376 radians Aposteriori reference: 1.0482

Heading: -0.00266634 +/- 0.00019581 radians Number of obs used: 185

Torsion: 23688.6 +/- 0.0 units  Radians  Degrees

Tie Point Residuals

Pt ID	Num Obs	ResX (m)	ResY (m)	ResZ (m)	Use
1	7	0.475	0.695	0.099	✓
2	7	0.427	0.337	0.068	✓
3	6	0.448	0.450	0.047	✓
4	8	0.511	0.679	0.081	✓
5	5	0.536	0.479	0.079	✓
6	7	0.553	0.376	0.069	✓
7	4	0.270	0.729	0.038	✓
8	8	0.421	0.741	0.058	✓
9	4	0.350	0.187	0.067	✓
10	4	0.587	0.548	0.041	✓
11	4	0.427	0.481	0.024	✓
12	8	0.556	0.420	0.059	✓

Average Residual Values

X: 0.507 Y: 0.573 Z: 0.059

Save Solution Done

圖 3-5 97 年 4 月 8 日率定參數解算校正值

Attune Interactive Solution

Solution

Roll: -0.04432961 +/- 0.00002402 radians Number of iterations: 17 ReCalculate

Pitch: 0.00985189 +/- 0.00002819 radians Aposteriori reference: 1.0740

Heading: -0.00122167 +/- 0.00015411 radians Number of obs used: 236

Torsion: 23688.6 +/- 0.0 units  Radians  Degrees

Tie Point Residuals

Pt ID	Num Obs	ResX (m)	ResY (m)	ResZ (m)	Use
1	8	0.832	0.747	0.059	✓
2	8	0.522	0.356	0.049	✓
3	6	0.512	0.424	0.035	✓
4	8	0.749	0.788	0.045	✓
5	8	0.564	0.371	0.090	✓
6	6	0.526	0.506	0.091	✓
7	4	0.581	0.671	0.055	✓
8	5	0.777	0.333	0.068	✓
9	6	0.833	0.544	0.083	✓
10	4	0.497	0.130	0.042	✓
11	8	0.607	0.426	0.090	✓
12	8	0.442	0.440	0.055	✓

Average Residual Values

X: 0.607 Y: 0.472 Z: 0.069

Save Solution Done

圖 3-6 97 年 7 月 3 日率定參數解算校正值

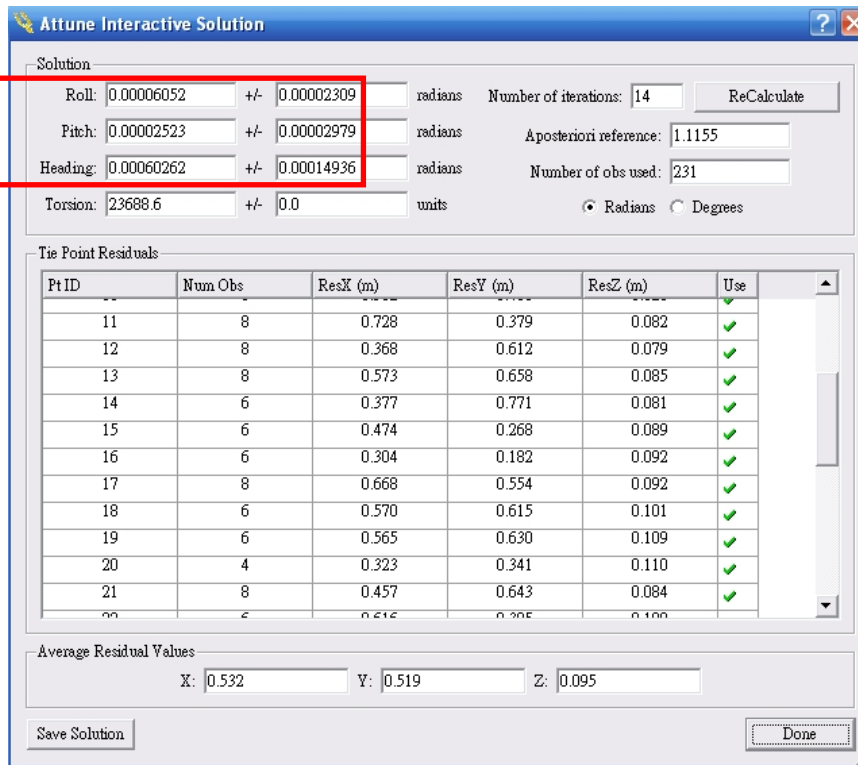


圖 3-7 97 年 8 月 3 日率定參數解算校正值

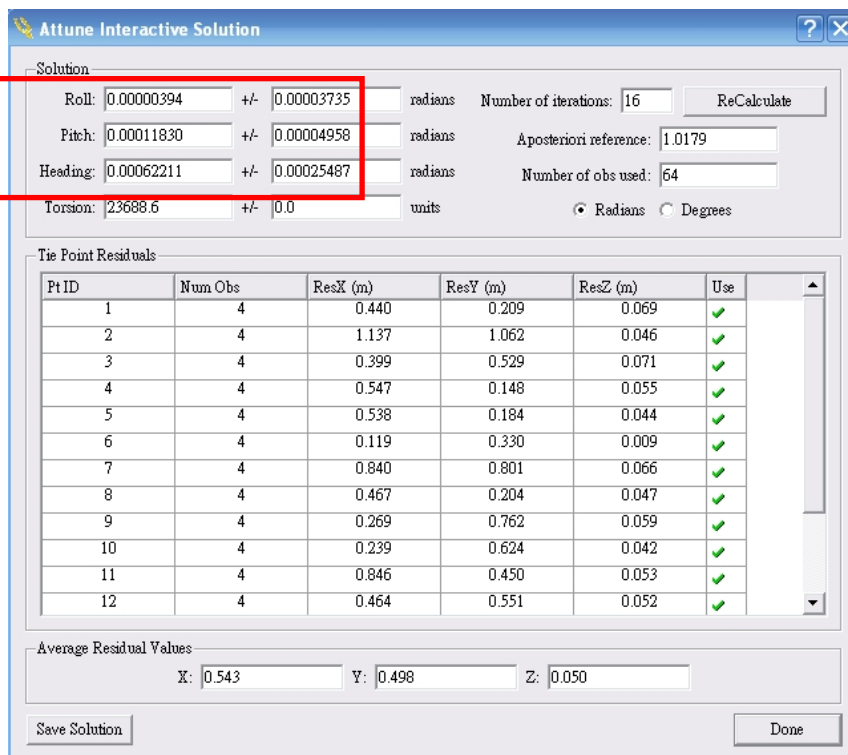


圖 3-8 97 年 8 月 18 日率定參數解算校正值



## 2. 率定精度評估

### (1) 率定場地地面檢核點施測

於地面施測 520 個 GPS RTK 地面檢核點，正高高程引測自 X105，達到平面優於 5cm，高程符合  $7\text{mm}\sqrt{k}$  標準。

### (2) 重解所有航線 las 檔並與地面已知 520 個控制點做比較

比較後精度評估如圖 3-9 至 3-12。高程精度可達到標準偏差小於合約要求 10cm。應可確認本次率定結果符合預期。

Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input type="checkbox"/>	1	201042.45	2681572.92	23.151	-	outside
<input type="checkbox"/>	2	201034.47	2681578.78	23.374	-	outside
<input type="checkbox"/>	3	201026.43	2681584.81	23.589	-	outside
<input type="checkbox"/>	4	201018.45	2681590.76	23.792	-	outside
<input type="checkbox"/>	5	201010.20	2681596.50	23.949	-	outside
<input type="checkbox"/>	6	201001.98	2681602.14	23.933	-	outside
<input type="checkbox"/>	7	200993.27	2681607.00	23.757	-	outside
<input type="checkbox"/>	8	200984.01	2681610.66	23.669	-	outside
<input type="checkbox"/>	9	200974.63	2681614.36	23.632	-	outside

Average magnitude	0.0514	Average dz	-0.0478
<b>Std deviation</b>	<b>0.037</b>	Minimum dz	-0.1970
Root mean square	0.0608	Maximum dz	+0.0820

圖 3-9 97 年 4 月 8 日率定解算後與地面實測控制點比較精度評估

Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input type="checkbox"/>	1	201042.45	2681572.92	23.151	-	outside
<input type="checkbox"/>	2	201034.47	2681578.78	23.374	-	outside
<input type="checkbox"/>	3	201026.43	2681584.81	23.589	-	outside
<input type="checkbox"/>	4	201018.45	2681590.76	23.792	-	outside
<input type="checkbox"/>	5	201010.20	2681596.50	23.949	-	outside
<input type="checkbox"/>	6	201001.98	2681602.14	23.933	-	outside
<input type="checkbox"/>	7	200993.27	2681607.00	23.757	-	outside
<input type="checkbox"/>	8	200984.01	2681610.66	23.669	-	outside
<input type="checkbox"/>	9	200974.63	2681614.36	23.632	-	outside

Average magnitude	0.0417	Average dz	-0.0341
<b>Std deviation</b>	<b>0.0425</b>	Minimum dz	-0.1600
Root mean square	0.0544	Maximum dz	+0.1130

圖 3-10 97 年 7 月 3 日率定解算後與地面實測控制點比較精度評估



Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input checked="" type="checkbox"/>	1	201042.45	2681572.92	23.151	23.050	-0.101
<input checked="" type="checkbox"/>	2	201034.47	2681578.78	23.374	23.310	-0.064
<input checked="" type="checkbox"/>	3	201026.43	2681584.81	23.589	23.520	-0.069
<input checked="" type="checkbox"/>	4	201018.45	2681590.76	23.792	23.770	-0.022
<input checked="" type="checkbox"/>	5	201010.20	2681596.50	23.949	23.880	-0.069
<input checked="" type="checkbox"/>	6	201001.98	2681602.14	23.933	23.890	-0.043
<input checked="" type="checkbox"/>	7	200993.27	2681607.00	23.757	23.680	-0.077
<input checked="" type="checkbox"/>	8	200984.01	2681610.66	23.669	23.610	-0.059
<input checked="" type="checkbox"/>	9	200974.63	2681614.36	23.632	23.540	-0.092

Average magnitude	0.1219	Average dz	-0.1218
<b>Std deviation</b>	<b>0.0465</b>	Minimum dz	-0.2540
Root mean square	0.1304	Maximum dz	+0.0130

圖 3-11 97 年 8 月 3 日率定解算後與地面實測控制點比較精度評估

Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input checked="" type="checkbox"/>	1	201042.45	2681572.92	23.151	22.970	-0.181
<input checked="" type="checkbox"/>	2	201034.47	2681578.78	23.374	23.310	-0.064
<input checked="" type="checkbox"/>	3	201026.43	2681584.81	23.589	23.530	-0.059
<input checked="" type="checkbox"/>	4	201018.45	2681590.76	23.792	23.760	-0.032
<input checked="" type="checkbox"/>	5	201010.20	2681596.50	23.949	23.910	-0.039
<input checked="" type="checkbox"/>	6	201001.98	2681602.14	23.933	23.880	-0.053
<input checked="" type="checkbox"/>	7	200993.27	2681607.00	23.757	23.680	-0.077
<input checked="" type="checkbox"/>	8	200984.01	2681610.66	23.669	23.620	-0.049
<input checked="" type="checkbox"/>	9	200974.63	2681614.36	23.632	23.540	-0.092

Average magnitude	0.1465	Average dz	-0.1464
<b>Std deviation</b>	<b>0.0500</b>	Minimum dz	-0.3150
Root mean square	0.1547	Maximum dz	+0.0420

圖 3-12 97 年 8 月 18 日率定解算後與地面實測控制點比較精度評估

附錄 D 為 ALS 50 各次率定解算報表

## 附錄 A

下列參數是由 OPTECH 公司內部所量測結果：

Reference (scanner mirror) to IMU Misalignment (PosAV)	
X	0.000 °
Y	- 0.045 °
Z	0.000 °

Reference to IMU Lever Arm (PosAV)	
X	- 0.090 m
Y	- 0.008 m
Z	- 0.096 m

Reference to Reference Point (top of sensor handle)	
X	- 0.051 m
Y	- 0.030 m
Z	- 0.488 m

下列數據利用經緯儀所量測結果：

Reference Point (ALTM) to GPS Antenna	
X	- 0.715 m
Y	-0.375 m
Z	- 0.899 m

Reference to GPS Antenna (PosAV)	
X	-0.766 m
Y	-0.405 m
Z	-1.387 m

## 附錄 B

### 1. 率定參數檔：

AltmSerialNo= 04SEN152;  
ImuType= LN200A1;  
ImuRate= 200;  
ScannerScale= 1.0008;  
ScannerOffset= -0.0124;  
FirstPulseRange= -2.55;  
SecondPulseRange= -2.55;  
ThirdPulseRange= -2.55;  
LastPulseRange= -2.55;  
IMURoll= 0.1095;  
IMUPitch= -0.066;  
IMUHeading= 0.250;  
UserToImuEx= 0.000;  
UserToImuEy= -0.045;  
UserToImuEz= 0.000;  
UserToImuDx= -0.090;  
UserToImuDy= -0.008;  
UserToImuDz= -0.096;  
UserToRefDx= -0.051;  
UserToRefDy= -0.030;  
UserToRefDz= -0.488;  
TimeLag= 0.000010;  
IntensityGainFor3070= 20;

### 2. 硬體參數：

IntensityK= 20.0  
LastPulseConstant= 260092  
ScannerCounts= 4096  
ScannerMaxAngle= 40  
SkippedLaserSecs= 0  
TimestampIncrement= 10  
Tim1NomClockFreqOs= 0.0  
Tim1ClockFreqTempDep= 0.0  
Tim2NomClockFreqOs= 0.0  
Tim2ClockFreqTempDep= 0.0

### 3. 強度表

#### 70 KHz

0 1 -0.34  
2 2 -0.27  
3 3 -0.24  
4 4 -0.20  
5 5 -0.17

6 6 -0.15  
7 8 -0.13  
9 11 -0.12  
12 13 -0.11  
14 19 -0.10  
20 21 -0.08  
22 31 -0.07  
32 36 -0.06  
37 44 -0.05  
45 57 -0.04  
58 72 -0.03  
73 86 -0.00  
87 102 -0.01  
103 121 0.00  
122 136 0.00  
137 170 -0.01  
171 179 -0.03  
180 182 -0.04  
200 279 -0.06  
280 339 -0.05  
340 399 -0.04  
400 499 -0.03  
500 639 -0.02  
640 719 -0.01  
720 919 0.00  
920 1059 0.01  
1060 1259 0.02  
1260 1459 0.03  
1460 1699 0.04  
1700 1939 0.05  
1940 2159 0.06  
2160 2379 0.07  
2380 2619 0.08  
2620 2799 0.09  
2800 2959 0.10  
2960 3199 0.11  
3200 3459 0.12  
3460 3839 0.13  
3840 4079 0.14  
4080 4599 0.15  
4600 4939 0.16  
4940 5100 0.17

50KHz

0 1 -0.21  
2 3 -0.17  
4 4 -0.16  
5 5 -0.15

---

6 7 -0.14  
8 9 -0.13  
10 12 -0.12  
13 14 -0.11  
15 20 -0.10  
21 24 -0.09  
25 37 -0.06  
38 42 -0.05  
43 54 -0.04  
55 67 -0.02  
68 86 -0.01  
87 102 0  
103 120 -0.05  
121 151 -0.08  
152 176 -0.10  
177 359 -0.09  
360 459 -0.08  
460 619 -0.07  
620 779 -0.06  
780 959 -0.05  
960 1139 -0.04  
1140 1359 -0.03  
1360 1639 -0.02  
1640 1899 -0.01  
1900 2159 0.08  
2160 2399 0.09  
2400 2639 0.10  
2640 2899 0.11  
2900 3179 0.12  
3180 3439 0.13  
3440 3779 0.14  
3780 4479 0.15  
4480 4999 0.16  
5000 5100 0.17

33 KHz

0 1 -0.05  
2 2 -0.04  
3 3 -0.02  
4 4 -0.01  
5 5 -0.01  
6 7 0  
8 8 0.01  
9 14 0.02  
15 18 0.03  
19 23 0.04  
24 28 0.06  
29 38 0.07  
39 50 0.07

51 67 0.08  
68 84 0.09  
85 95 0.10  
96 126 0.05  
127 153 0.01  
154 200 0.02  
220 299 0.03  
300 419 0.04  
420 539 0.05  
540 679 0.06  
680 859 0.07  
860 1099 0.08  
1100 1319 0.09  
1320 1639 0.1  
1640 1919 0.11  
1920 2179 0.12  
2180 2399 0.13  
2400 2659 0.14  
2660 3039 0.15  
3040 3459 0.16  
3460 3939 0.17  
3940 4399 0.18  
4400 5100 0.19

## 附錄 C

### 處理採用的地圖投影系統：

由於計算時需利用地圖投影資訊，而 TWD97 為適合台灣的座標系統，此處將其參數表述如下圖：

**Edit Map Projection Parameters**

Description

Name:

Projection:

Scale at C.M.:

Origin

Latitude:   °  '  "

Longitude:   °  '  "

Easting:  m

Northing:  m

Grid Zones

Define central meridian for grid zone no. 1:

Longitude:   °  '  "

Grid width:  °  '  "

圖 C-1：REALM 軟體下使用的投影參數畫面圖



## 附錄 D

### 97 年 4 月 8 日率定參數解算報表

#### PROJECT SETTINGS

Input file: D:/Lidar/calibration/970408pm-a\_config.txt

Output file: D:/Lidar/calibration/output\_970408pm-a\_20080710113014.txt

Tie point file: D:/Lidar/calibration/970408pm-a\_tiePts.txt

UTM Zone: 51

Scanner values:

Reaction Inertia: 0.00041400 kg m<sup>2</sup>

Atmosphere model:

Low Pressure: 101.000 kPa

Low Temp. : 300.000 K

Low Alt. : 200.000 m

Temp. Grad. : -0.006500 K / m

Initial scanner correction parameters:

Roll: 0.000000 rad

Pitch: 0.000000 rad

Heading: 0.000000 rad

Latency: 0.00 microsecs

Torsion: 23688.0 Nm/rad

Observations:

Use observation weighting: Yes

StdX: 0.50 StdY: 0.50 StdZ: 0.10

Use Correlation of Z to XY: No

Least Squares criteria:

Maximum number of iterations: 50

Angular convergence criteria: 1.0000e-008

Files:

File ID: 1, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_083511\_ATN.LAS

File ID: 2, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_084015\_ATN.LAS

File ID: 3, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_084630\_ATN.LAS

File ID: 4, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_085141\_ATN.LAS

File ID: 5, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_092746\_ATN.LAS

File ID: 6, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_093320\_ATN.LAS

File ID: 7, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_093840\_ATN.LAS

File ID: 8, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_094337\_ATN.LAS

Reading tie point file.

Tie Point File contents:

1	1	247303.500	2683248.000	2	247289.750	2683186.500	3		
247273.000		2683224.250	4	247337.750	2683210.000	6	247359.750		
2683208.000		7	247304.000	2683271.750	8	247286.750	2683163.250		
2	1	247420.750	2683165.750	2	247407.000	2683105.000	3		
247390.750		2683142.500	4	247454.250	2683125.500	6	247476.750		
2683127.000		7	247424.500	2683187.750	8	247401.500	2683082.250		
3	1	247748.750	2683063.750	2	247735.250	2683002.000	5		
247697.250		2683045.250	6	247805.250	2683022.250	7	247741.250		
2683085.000		8	247729.500	2682981.500					
4	1	247699.250	2683083.250	2	247686.000	2683022.750	3		
247671.250		2683059.500	4	247733.750	2683041.500	5	247649.750		
2683063.750		6	247757.000	2683041.000	7	247694.250	2683105.000		8
		247680.000	2683000.500						
5	1	247160.250	2683307.250	2	247146.750	2683245.250	6		
247215.500		2683268.000	7	247159.750	2683330.750	8	247139.250		
2683223.500									
6	1	247371.500	2683011.000	2	247357.500	2682950.250	3		
247342.500		2682987.000	4	247406.000	2682970.750	6	247428.500		
2682970.500		7	247373.500	2683033.000	8	247352.500	2682927.000		
7	1	247916.500	2682995.750	2	247902.250	2682933.250	7		
247905.500		2683013.750	8	247894.500	2682912.750				
8	1	247521.250	2683312.000	2	247509.250	2683251.000	3		
247493.250		2683288.750	4	247556.750	2683272.250	5	247471.500		
2683295.000		6	247578.250	2683267.250	7	247524.250	2683334.500		8
		247504.500	2683228.750						
9	1	246676.500	2683532.500	2	246664.750	2683470.750	7		
246670.000		2683555.500	8	246655.500	2683450.000				
10	1	246933.750	2683420.000	2	246921.750	2683356.750	7		
246926.000		2683441.500	8	246913.250	2683336.250				
11	1	245844.000	2684118.000	2	243635.000	2684987.000	3		
247893.000		2683613.000	4	247958.250	2683598.250	5	247871.000		
2683610.750		6	247979.750	2683591.000	7	245883.000	2684341.000		8
		244932.000	2684457.000						
12	1	247763.000	2683247.000	2	247750.250	2683185.500	3		
247734.250		2683223.250	4	247796.500	2683205.750	5	247712.500		
2683228.750		6	247820.250	2683202.750	7	247756.500	2683268.000		8
		247745.000	2683163.000						

14	1	247870.250	2683324.250	5	247817.750	2683305.500	6	
247925.750		2683280.750	7	247861.500	2683345.750	8	247850.750	
2683243.000								
15	1	247687.500	2682896.500	2	247675.500	2682837.000	6	
247746.000		2682853.250	7	247681.750	2682917.750	8	247667.750	
2682814.500								
16	1	247206.250	2683031.000	2	247191.500	2682970.250	3	
247175.500		2683007.250	4	247238.750	2682992.250	6	247263.250	
2682990.000		7	247205.000	2683055.500	8	247187.750	2682947.250	
17	1	248036.500	2683274.000	7	248021.250	2683293.250	8	
248013.500		2683192.250						
20	1	248623.625	2682663.125	2	248620.750	2682596.750	7	
248627.750		2682685.000	8	248604.000	2682579.750			
21	1	246548.500	2683460.250	2	246535.000	2683400.250	7	
246544.000		2683483.250	8	246527.250	2683377.750			
23	1	247980.000	2682943.750	2	247964.750	2682883.500	7	
247968.250		2682963.250	8	247956.750	2682862.750			
24	1	247846.500	2682832.250	2	247833.250	2682771.000	7	
247835.250		2682852.000	8	247824.500	2682748.750			
28	1	247515.250	2683262.250	2	247501.750	2683201.000	3	
247486.000		2683239.500	4	247550.000	2683223.500	5	247464.250	
2683245.250		6	247571.750	2683218.500	7	247516.750	2683284.750	8
		247496.750	2683179.500					
29	1	248309.750	2682805.500	2	248296.500	2682742.750	7	
248307.000		2682828.000	8	248287.500	2682723.250			
31	1	247613.500	2682927.500	2	247600.500	2682866.750	3	
247584.750		2682902.750	4	247649.000	2682885.000	6	247671.500	
2682884.000		7	247614.750	2682949.250	8	247595.250	2682845.250	
37	1	245844.000	2684118.000	2	243635.000	2684987.000	3	
246819.500		2682114.250	4	246883.000	2682092.750	5	246797.750	
2682113.750		6	246903.250	2682079.000	7	245883.000	2684341.000	8
		244932.000	2684457.000					
38	1	248139.000	2682861.000	2	248123.750	2682798.750	7	
248129.250		2682881.500	8	248117.750	2682778.250			
13	3	247783.000	2683366.500	4	247847.000	2683349.250	5	
247760.750		2683368.750	6	247870.000	2683348.500	7	247805.250	
2683410.500		8	247795.500	2683306.750				
18	3	247118.750	2682856.750	4	247182.750	2682841.500	5	
247095.500		2682854.750	6	247204.500	2682834.500	7	247143.500	
2682906.000		8	247129.750	2682797.750				
19	3	247147.250	2682523.250	4	247211.000	2682504.500	5	
247124.500		2682521.250	6	247232.500	2682501.000			

22	3	247497.250	2683801.500	4	247563.000	2683787.750	5
247474.250		2683801.250	6	247584.250	2683781.500		
25	3	247262.750	2682796.750	4	247326.250	2682782.000	5
247239.500		2682795.250	6	247348.500	2682774.750		
26	3	247390.750	2683547.250	4	247456.500	2683530.250	5
247368.000		2683550.000	6	247477.250	2683529.750		
27	3	247549.500	2683481.750	4	247613.000	2683463.250	5
247527.500		2683484.750	6	247636.250	2683462.750		
32	3	247642.750	2683742.750	4	247707.500	2683728.500	5
247619.000		2683740.250	6	247728.250	2683721.500		
34	3	247281.750	2682465.750	4	247345.750	2682448.750	5
247259.500		2682464.000	6	247366.000	2682442.250		
35	3	246977.250	2682561.250	4	247040.250	2682542.000	5
246954.250		2682559.500	6	247060.500	2682537.250		
36	3	246658.500	2682165.750	4	246719.250	2682143.500	5
246635.000		2682165.250	6	246741.000	2682131.250		
39	3	247045.750	2682264.000	4	247110.250	2682244.500	5
247024.500		2682264.250	6	247128.750	2682232.750		
40	3	246859.250	2682643.750	4	246923.500	2682624.500	5
246835.750		2682640.750	6	246943.500	2682618.500		

Reading Master Debug files and extracted common ground points in TerraScan File.

Using Attune data file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_083511\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_084015\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_084630\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_085141\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_092746\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_093320\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_093840\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/lidar/calibration/970408PM/LDR080408\_094337\_ATN.LAS

Finished extracting data.

Reduced Tie Points (LSR):

1	1	-302.672	126.592	2	-315.319	64.880	3	-
332.733	102.312	4	-267.764	89.223	6	-245.740	87.616	
	7	-302.596	150.338	8	-317.904	41.590		
2	1	-184.021	46.475	2	-196.681	-14.487	3	-
213.590	22.704	4	-149.822	6.844	6	-127.361	8.744	
	7	-180.665	68.530	8	-201.773	-37.322		
3	1	145.618	-49.627	2	133.226	-111.584	5	
94.476	-69.034	6	202.828	-90.098	7	137.744	-28.522	
	8	127.844	-132.175					
4	1	95.798	-31.019	2	83.633	-91.722	3	
68.236	-55.255	4	131.023	-72.132	5	46.672	-51.390	

	6	154.270	-72.218	7	90.413	-9.370	8	
78.032		-114.067						
5	1	-446.900	183.258	2	-459.288	121.051	6	-
390.980	145.013	7	-447.818	206.736	8	-466.397	99.179	
6	1	-230.487	-109.068	2	-243.398	-170.035	3	-
259.044	-133.571	4	-195.289	-148.682	6	-172.797	-148.531	
	7	-228.880	-87.044	8	-247.981	-193.361		
7	1	314.489	-114.602	2	301.360	-177.322	7	
303.174	-96.808	8	293.979	-197.949				
8	1	-86.181	194.437	2	-97.087	133.255	3	-
113.751	170.700	4	-49.992	155.340	5	-135.601	176.559	
	6	-28.414	150.726	7	-83.583	216.978	8	-
101.438	110.933							
9	1	-934.399	399.767	2	-945.042	337.841	7	-
941.305	422.639	8	-953.917	316.938				
10	1	-675.285	291.911	2	-686.152	228.482	7	-
683.414	313.262	8	-694.282	207.842				
11	3	280.005	501.895	4	345.484	488.318	5	
258.057	499.255	6	367.102	481.455				
12	1	156.597	133.778	2	144.949	72.084	3	
128.285	109.529	4	190.814	93.147	5	106.449	114.638	
	6	214.604	90.572	7	149.726	154.651	8	
140.102	49.503							
14	1	262.413	212.897	5	210.274	193.221	6	
318.658	170.410	7	253.284	234.230	8	244.370	131.343	
15	1	87.381	-217.877	2	76.447	-277.559	6	
146.620	-260.063	7	81.255	-196.741	8	69.102	-300.185	
16	1	-396.003	-92.022	2	-409.665	-153.002	3	-
426.315	-116.307	4	-362.831	-130.172	6	-338.304	-131.985	
	7	-397.689	-67.558	8	-413.003	-176.057		
17	1	429.469	165.636	7	413.884	184.604	8	
407.936	83.520							
20	1	1027.158	-434.453	2	1025.468	-500.844	7	
1030.891	-412.516	8	1009.029	-518.133				
21	1	-1061.041	325.276	2	-1073.466	265.069	7	-
1065.948	348.183	8	-1080.811	242.443				
23	1	378.881	-165.443	2	364.712	-225.932	7	
366.790	-146.162	8	357.086	-246.813				
24	1	247.439	-279.260	2	235.288	-340.714	7	
235.843	-259.721	8	226.939	-363.108				
28	1	-91.291	144.607	2	-103.693	83.149	3	-
120.120	121.348	4	-55.870	106.496	5	-141.961	126.707	

	6	-34.042	101.887	7	-90.193	167.121	8	-
108.307	61.572							
29	1	710.916	-297.745	2	698.791	-360.697	7	
707.766	-275.306	8	690.143	-380.347				
31	1	12.869	-188.212	2	0.958	-249.161	3	-
15.425	-213.460	4	49.106	-230.057	6	71.612	-230.656	
	7	13.730	-166.451	8	-3.907	-270.743		
38	1	539.269	-245.316	2	525.136	-307.804	7	
529.159	-225.001	8	519.505	-328.400				
13	3	174.456	253.569	4	238.730	237.470	5	
152.178	255.422	6	261.731	237.130	7	195.911	297.943	
	8	188.014	194.074					
18	3	-480.353	-267.736	4	-416.116	-281.838	5	-
503.555	-270.149	6	-394.253	-288.446	7	-456.492	-218.072	
	8	-468.309	-326.509					
19	3	-445.928	-600.547	4	-381.879	-618.152	5	-
468.630	-602.951	6	-360.329	-621.267				
22	3	-118.889	683.244	4	-52.929	670.672	5	-
141.872	682.584	6	-31.579	664.804				
25	3	-335.362	-325.139	4	-271.634	-338.750	5	-
358.573	-327.052	6	-249.267	-345.599				
26	3	-220.801	427.234	4	-154.784	411.414	5	-
243.588	429.577	6	-134.036	411.284				
27	3	-60.970	364.598	4	2.825	347.239	5	-
83.012	367.204	6	26.071	347.153				
32	3	27.579	627.118	4	92.548	614.029	5	
3.887	624.196	6	113.412	607.402				
34	3	-310.477	-655.620	4	-246.210	-671.472	5	-
332.684	-657.765	6	-225.855	-677.608				
35	3	-616.513	-565.596	4	-553.204	-583.712	5	-
639.469	-567.755	6	-532.880	-588.099				
36	4	-866.931	-987.710	5	-951.525	-967.476	6	-
844.974	-999.566							
39	3	-542.756	-861.463	4	-477.944	-879.804	5	-
563.999	-861.592	6	-459.245	-891.218				
40	4	-671.358	-503.336	5	-759.353	-488.660	6	-
651.262	-508.977							

-----  
Tie point RMS values for iter 0 (ID, Num Obs, X, Y, Z):

1	7	28.320	33.706	3.935
2	7	28.280	32.962	1.137
3	6	32.238	35.414	9.138
4	8	32.129	31.054	9.375

5	5	26.859	39.327	4.883
6	7	28.527	33.109	6.658
7	4	7.901	42.005	1.278
8	8	31.980	31.563	4.813
Average		29.377	28.500	6.213

Determining Boresight Angles.

Initial parameter estimates (roll, pitch, heading, torsion)

0.00000000

0.00000000

0.00000000

23688.60000000

Converged after 22 iterations.

Aposteriori value: 1.0482 npoints: 185

x soln (deg), Roll, Pitch, Heading:

parameter	std dev
-2.53807910	0.00164868
0.56997006	0.00193441
-0.15277027	0.01121904

x soln (rad), Roll, Pitch, Heading:

parameter	std dev
-0.04429784	0.00002877
0.00994785	0.00003376
-0.00266634	0.00019581

Torsion (fixed): 23688.600

Correlation Matrix (roll, pitch, heading):

1.000	0.036	0.283
0.036	1.000	0.134
0.283	0.134	1.000

Tie point RMS values (ID, Num Obs, X, Y, Z):

1	7	0.475	0.695	0.099
2	7	0.427	0.337	0.068
3	6	0.448	0.450	0.047
4	8	0.511	0.679	0.081
5	5	0.536	0.479	0.079
6	7	0.553	0.376	0.069
7	4	0.270	0.729	0.038
8	8	0.421	0.741	0.058
9	4	0.350	0.187	0.067
10	4	0.587	0.548	0.041
11	4	0.427	0.481	0.024
12	8	0.556	0.420	0.059
14	5	0.566	0.818	0.039
15	5	0.649	0.774	0.059



16	7	0.731	0.812	0.074
17	3	0.157	0.889	0.003
20	4	0.568	0.236	0.082
21	4	0.516	0.426	0.067
23	4	0.603	0.791	0.049
24	4	0.651	0.649	0.025
28	8	0.708	0.517	0.041
29	4	1.051	0.281	0.062
31	7	0.339	0.785	0.034
38	4	0.563	0.424	0.052
13	6	0.593	0.782	0.056
18	6	0.617	0.997	0.089
19	4	0.122	0.112	0.077
22	4	0.370	0.276	0.065
25	4	0.458	0.322	0.061
26	4	0.733	0.374	0.085
27	4	0.427	0.515	0.092
32	4	0.400	0.846	0.071
34	4	0.472	0.946	0.018
35	4	0.601	0.610	0.086
36	3	0.309	0.555	0.094
39	4	0.503	0.293	0.059
40	3	0.484	1.051	0.015
Average		0.507	0.573	0.059

Done.

### 97 年 7 月 3 日率定參數解算報表

#### PROJECT SETTINGS

Input file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/970703pm\_config.txt

Output file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/output\_970703pm\_20080715145647.txt

Tie point file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/970703pm\_tiePts.txt

UTM Zone: 51

Scanner values:

Reaction Inertia: 0.00041400 kg m<sup>2</sup>

Atmosphere model:

Low Pressure: 101.000 kPa

Low Temp. : 300.000 K

Low Alt. : 200.000 m

Temp. Grad. : -0.006500 K / m

Initial scanner correction parameters:

Roll: 0.000000 rad

Pitch: 0.000000 rad

Heading: 0.000000 rad

Latency: 0.00 microsecs

Torsion: 23688.0 Nm/rad

Observations:

Use observation weighting: Yes

StdX: 0.50 StdY: 0.50 StdZ: 0.10

Use Correlation of Z to XY: No

Least Squares criteria:

Maximum number of iterations: 50

Angular convergence criteria: 1.0000e-008

Files:

File ID: 1, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_072224\_ATN.LAS

File ID: 2, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_084932\_ATN.LAS

File ID: 3, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_085850\_ATN.LAS

File ID: 4, FOV: 45.3 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_090439\_ATN.LAS

File ID: 5, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_082508\_ATN.LAS

File ID: 6, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_083113\_ATN.LAS

File ID: 7, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_083747\_ATN.LAS

File ID: 8, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_084304\_ATN.LAS

Reading tie point file.

Tie Point File contents:

1	1	247432.000	2683155.250	2	247421.000	2683089.250	3
		247461.250	2683114.000	4	247397.500	2683130.250	5
		2683131.500	6	247485.250	2683106.750	7	247415.000
							2683068.000
							247435.250
							2683176.750
2	1	247304.250	2683261.500	2	247291.000	2683197.000	3
		247333.500	2683222.500	4	247268.250	2683237.250	5
		2683238.250	6	247356.500	2683215.000	7	247285.500
							2683174.750
							247310.000
							2683282.750
4	1	247379.750	2683037.750	2	247367.000	2682973.000	3
		247408.750	2682997.000	4	247343.750	2683011.250	5
		2683013.750	6	247431.000	2682987.750	7	247360.750
							2682950.500
							247381.750
							2683059.500
5	1	247616.250	2682904.500	2	247604.500	2682839.750	3
		247644.250	2682862.750	4	247580.000	2682878.500	5
		2682878.750	6	247666.500	2682854.000	7	247597.750
							2682817.500
							247618.000
							2682927.750

8	1	247851.500	2682832.750	2	247839.500	2682767.500	6
247902.500		2682780.500	7	247833.500	2682744.000	8	247854.000
2682853.750							
10	1	247921.250	2682994.750	2	247909.250	2682929.500	7
247903.750		2682906.750	8	247926.250	2683016.250		
11	1	247651.750	2683088.750	2	247640.750	2683023.500	3
247680.250		2683047.750	4	247615.750	2683063.000	5	247593.000
2683063.500	6	247702.750	2683039.250	7	247633.500	2683002.000	8
		247653.250	2683111.500				
12	1	247510.250	2683266.500	2	247498.500	2683202.250	3
247538.250		2683228.000	4	247474.000	2683243.000	5	247451.000
2683243.750	6	247561.250	2683219.500	7	247491.500	2683180.500	8
		247512.250	2683290.000				
13	1	247517.000	2683344.500	2	247505.750	2683278.750	3
247546.000		2683304.750	4	247481.750	2683319.000	5	247458.250
2683321.000	6	247568.750	2683295.000	7	247498.750	2683257.250	8
		247520.250	2683366.000				
14	1	247527.750	2683311.500	2	247517.000	2683246.500	3
247556.250		2683272.000	4	247492.000	2683286.500	5	247467.500
2683287.250	6	247580.000	2683263.250	7	247509.750	2683224.000	8
		247530.250	2683333.500				
19	1	247161.750	2683307.500	2	247148.750	2683243.750	4
247127.250		2683283.250	5	247104.250	2683284.250	6	247215.500
2683261.250	7	247144.250	2683221.500	8	247167.250	2683329.500	
21	1	246914.250	2683436.750	2	246899.500	2683373.000	7
246896.000		2683349.750	8	246914.750	2683459.250		
22	1	247880.250	2683339.750	2	247870.250	2683273.000	5
247820.750		2683314.750	6	247931.750	2683289.750	7	247864.250
2683251.750	8	247887.000	2683360.750				
23	1	247768.000	2683248.000	2	247756.750	2683182.250	3
247796.500		2683207.250	4	247731.750	2683221.500	5	247708.750
2683222.750	6	247820.000	2683198.000	7	247750.750	2683160.500	8
		247772.750	2683269.750				
24	1	246963.000	2683356.500	2	246950.000	2683291.750	5
246905.500		2683333.250	6	247018.000	2683313.500	7	246944.000
2683269.750	8	246965.500	2683378.500				
26	1	246670.000	2683538.000	2	246657.250	2683473.000	7
246650.500		2683451.250	8	246672.000	2683560.500		
27	1	248033.500	2683259.750	2	248023.500	2683193.750	7
248016.500		2683171.500	8	248038.000	2683281.000		
28	1	247437.500	2683193.750	2	247425.250	2683129.000	3
247466.500		2683154.000	4	247402.500	2683169.000	5	247379.000

2683171.250	6	247489.500	2683147.000	7	247419.250	2683106.750	8
247440.500		2683216.250					
29	1	247295.250	2683220.000	2	247282.750	2683155.500	3
247324.500		2683180.750	4	247259.750	2683194.500	5	247236.000
2683197.000	6	247347.500	2683173.000	7	247276.000	2683133.000	8
247300.000		2683241.000					
31	1	247527.000	2683260.250	2	247515.500	2683194.750	3
247555.500		2683220.750	4	247490.250	2683235.750	5	247468.500
2683237.250	6	247578.500	2683212.750	7	247508.250	2683173.250	8
247528.750		2683282.750					
33	1	247150.500	2683278.500	2	247136.000	2683215.250	5
247092.000		2683257.250	6	247203.500	2683233.750	7	247130.750
2683192.250	8	247155.250	2683301.000				
35	1	248137.750	2682872.500	2	248124.500	2682808.750	7
248120.500		2682785.250	8	248148.750	2682893.250		
36	1	248001.000	2682923.750	2	247990.000	2682857.500	7
247983.750		2682835.250	8	248004.750	2682945.000		
37	1	247795.500	2683039.750	2	247782.500	2682974.500	5
247735.000		2683013.500	6	247845.750	2682989.500	7	247778.000
2682951.000	8	247799.750	2683061.250				
38	1	247694.500	2682896.500	2	247681.250	2682832.000	3
246528.000		2684606.000	4	246465.000	2685418.000	5	247634.500
2682869.750	6	247745.250	2682845.750	7	247676.000	2682809.750	8
247697.500		2682918.750					
39	1	247875.250	2683326.250	2	247864.000	2683258.750	5
247815.500		2683299.500	6	247925.750	2683275.250	7	247858.250
2683237.000	8	247882.250	2683346.250				
3	3	247181.250	2682856.000	4	247116.750	2682869.750	5
247094.250		2682871.000	6	247203.500	2682845.500	7	247132.750
2682807.750	8	247156.500	2682916.750				
6	3	247306.000	2682773.750	4	247241.750	2682787.500	5
247218.750		2682788.750	6	247328.750	2682764.000	7	247256.250
2682727.500	8	247279.750	2682836.250				
7	3	247208.250	2682523.000	4	247144.250	2682536.000	5
247121.750		2682536.750	6	247231.500	2682513.500		
9	3	247038.000	2682902.500	4	246974.000	2682916.500	5
246950.000		2682917.500	6	247061.250	2682894.000	7	246989.000
2682855.500	8	247010.250	2682964.250				
15	3	247599.250	2683471.250	4	247535.000	2683486.250	5
247511.250		2683487.250	6	247622.250	2683462.500	7	247553.250
2683423.000	8	247573.750	2683532.500				
16	3	247707.250	2683729.500	4	247642.250	2683741.000	5
247619.250		2683743.000	6	247729.500	2683719.000		

17	3	247441.750	2683531.000	4	247376.750	2683543.000	5
247352.750		2683543.500	6	247463.500	2683519.500	7	247394.250
2683480.000		8	247418.000	2683587.500			
18	3	247847.750	2683352.000	4	247784.000	2683367.250	5
247760.000		2683366.750	6	247869.500	2683342.750	7	247801.250
2683303.250		8	247824.500	2683413.250			
20	3	247567.750	2682682.500	4	247503.000	2682696.500	5
247479.750		2682697.750	6	247590.250	2682670.750	7	247519.000
2682636.000		8	247537.500	2682746.250			
25	3	247324.000	2682429.000	4	247259.000	2682441.750	5
247236.750		2682441.250	6	247346.750	2682420.500		
32	3	247252.250	2682625.750	4	247188.500	2682640.250	5
247165.250		2682639.750	6	247275.000	2682616.250		
34	3	247322.750	2682794.750	4	247258.250	2682809.000	5
247235.500		2682810.500	6	247345.750	2682783.750	7	247274.750
2682748.750		8	247296.500	2682857.750			
40	3	247952.750	2683626.250	4	247888.500	2683639.500	5
247865.750		2683640.000	6	247974.250	2683614.250		

Reading Master Debug files and extracted common ground points in TerraScan File.

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_072224\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_084932\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_085850\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_090439\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_082508\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_083113\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_083747\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970703pm/temp/LDR080703\_084304\_ATN.LAS

Finished extracting data.

Reduced Tie Points (LSR):

1	1	-106.596	-27.231	2	-116.414	-93.391	3	-
76.627	-67.938	4	-140.632	-52.832	5	-162.892	-51.979	
	6	-52.511	-74.756	7	-122.032	-114.737	8	-
103.731	-5.685							
2	1	-236.170	76.685	2	-248.264	11.984	3	-
206.241	38.227	4	-271.719	51.807	5	-294.724	52.396	
	6	-183.120	31.141	7	-253.364	-10.352	8	-
230.802	98.026							
4	1	-156.724	-145.598	2	-168.314	-210.541	3	-
127.014	-185.810	4	-192.233	-172.725	5	-214.515	-170.623	
	6	-104.611	-194.658	7	-174.160	-233.140	8	-
155.113	-123.824							
5	1	82.021	-274.562	2	71.432	-339.487	3	
110.750	-315.792	4	46.254	-301.194	5	23.762	-301.345	

	6	133.144	-324.141	7	65.082	-361.845	8	
83.356		-251.294						
8	1	318.422	-342.082	2	307.592	-407.511	6	
370.327	-393.397	7	302.014	-431.106	8	320.547	-321.049	
10	1	385.249	-178.927	2	374.418	-244.356	7	
369.326	-267.191	8	389.863	-157.350				
11	1	114.220	-89.780	2	104.388	-155.190	3	
143.435	-130.250	4	78.698	-116.157	5	55.951	-116.063	
	6	166.074	-138.344	7	97.525	-176.808	8	
115.313		-67.015						
12	1	-30.371	85.353	2	-40.970	20.928	3	-
1.700	47.373	4	-66.183	61.220	5	-89.183	61.559	
	6	21.439	39.287	7	-47.578	-0.935	8	-
28.791		108.876						
13	1	-25.015	163.431	2	-35.087	97.516	3	
4.678	124.219	4	-59.791	137.316	5	-83.314	138.897	
	6	27.589	114.880	7	-41.700	75.903	8	-
22.149		184.977						
14	1	-13.682	130.640	2	-23.268	65.484	3	
15.506	91.669	4	-48.967	105.017	5	-73.468	105.330	
	6	39.399	83.347	7	-30.113	42.867	8	-
11.576		152.673						
19	1	-379.412	120.121	2	-391.269	56.174	4	-
413.462	95.269	5	-436.468	95.859	6	-324.867	74.853	
	7	-395.370	33.856	8	-374.307	142.207		
21	1	-629.081	244.890	2	-642.686	180.912	7	-
645.770	157.612	8	-628.982	267.387				
22	1	338.124	165.156	2	329.318	98.264	5	
279.101	139.109	6	390.488	116.101	7	323.700	76.918	
	8	344.497	186.265					
23	1	227.569	71.456	2	217.497	5.541	3	
256.780	31.235	4	191.811	44.324	5	168.801	45.163	
	6	280.433	22.409	7	211.887	-16.305	8	
231.929		93.279						
24	1	-578.927	165.552	2	-590.766	100.606	5	-
635.984	141.291	6	-523.189	123.555	7	-596.371	78.511	
	8	-576.820	187.585					
26	1	-875.001	341.732	2	-886.586	276.540	7	-
892.944	254.682	8	-873.404	364.255				
27	1	492.717	87.930	2	483.897	21.787	7	
477.297	-0.575	8	496.836	109.249				
28	1	-101.785	11.346	2	-112.875	-53.587	3	-
72.093	-27.866	4	-136.325	-14.014	5	-159.853	-12.184	

	6	-48.980	-34.452	7	-118.475	-75.932	8	-
99.188	33.887							
29	1	-244.426	35.047	2	-255.770	-29.641	3	-
214.492	-3.661	4	-279.452	8.928	5	-303.234	11.004	
	6	-191.366	-10.996	7	-262.115	-52.249	8	-
240.052	56.120							
31	1	-13.519	79.405	2	-23.845	13.735	3	
15.670	40.434	4	-49.812	54.263	5	-71.577	55.375	
	6	38.800	32.848	7	-30.708	-7.882	8	-
12.171	101.924							
33	1	-390.139	90.936	2	-403.504	27.462	5	-
448.230	68.655	6	-336.370	47.155	7	-408.342	4.381	
	8	-385.793	113.508					
35	1	603.810	-297.254	2	591.703	-361.206	7	
588.124	-384.764	8	614.434	-276.319				
36	1	466.220	-248.468	2	456.407	-314.878	7	
450.557	-337.228	8	469.590	-227.163				
37	1	258.765	-136.192	2	246.934	-201.638	5	
198.765	-163.505	6	309.884	-185.520	7	242.856	-225.206	
	8	262.630	-114.628					
38	1	160.372	-281.164	2	148.278	-345.866	5	
100.881	-308.968	6	211.999	-330.983	7	143.427	-368.197	
	8	162.974	-258.872					
39	1	333.367	151.575	2	323.325	83.910	5	
274.125	123.774	6	384.749	101.502	7	317.966	62.069	
	8	340.007	171.689					
3	3	-351.878	-330.786	4	-416.588	-318.193	5	-
439.099	-317.345	6	-329.453	-340.884	7	-399.493	-379.875	
	8	-377.696	-270.510					
6	3	-225.731	-410.769	4	-290.191	-398.171	5	-
313.200	-397.332	6	-202.819	-420.108	7	-274.630	-457.882	
	8	-253.079	-348.770					
7	3	-318.960	-663.124	4	-383.157	-651.271	5	-
405.658	-650.922	6	-295.554	-672.205				
9	3	-495.878	-286.863	4	-560.094	-274.012	5	-
584.099	-273.440	6	-472.489	-294.944	7	-544.016	-334.712	
	8	-524.712	-225.641					
15	3	54.932	291.578	4	-9.550	305.425	5	-
33.305	306.001	6	78.076	283.242	7	9.817	242.534	
	8	28.355	352.341					
16	3	158.272	551.612	4	93.102	561.948	5	
70.079	563.537	6	180.697	541.515				



17	3	-103.547	348.488	4	-168.726	359.324	5	-
192.722	359.396	6	-81.604	337.382	7	-150.112	296.669	
	8	-128.291	404.536					
18	3	305.423	176.821	4	241.435	190.926	5	
217.457	189.998	6	327.327	167.963	7	259.816	127.268	
	8	281.095	237.624					
20	3	37.503	-497.307	4	-27.461	-484.466	5	-
50.721	-483.631	6	60.200	-508.650	7	-10.392	-544.651	
	8	6.134	-434.129					
25	3	-201.599	-755.012	4	-266.790	-743.425	5	-
289.019	-744.321	6	-178.710	-763.102				
32	3	-276.815	-559.646	4	-340.788	-546.290	5	-
364.017	-547.204	6	-253.908	-568.736				
34	3	-209.364	-389.482	4	-274.083	-376.389	5	-
296.847	-375.295	6	-186.180	-400.066	7	-256.519	-436.313	
	8	-236.721	-326.983					
40	3	405.480	452.794	4	341.027	464.890	5	
318.280	464.985	6	427.182	441.184				

-----  
Tie point RMS values for iter 0 (ID, Num Obs, X, Y, Z):

1	8	32.359	32.663	1.358
2	8	33.017	32.209	4.649
4	8	32.486	32.586	5.256
5	8	32.214	32.891	10.758
8	5	24.255	41.084	11.845
10	4	9.012	45.065	0.833
11	8	32.367	32.726	7.584
12	8	32.486	32.547	3.293

Average      31.402    32.576    7.311

Determining Boresight Angles.

Initial parameter estimates (roll, pitch, heading, torsion)

0.00000000

0.00000000

0.00000000

23688.60000000

Converged after 17 iterations.

Aposteriori value: 1.0740 npoints: 236

x soln (deg), Roll, Pitch, Heading:

parameter	std dev
-2.53989978	0.00137611
0.56447190	0.00161533
-0.06999671	0.00882958

x soln (rad), Roll, Pitch, Heading:

---

parameter	std dev
-0.04432961	0.00002402
0.00985189	0.00002819
-0.00122167	0.00015411

Torsion (fixed): 23688.600

Correlation Matrix (roll, pitch, heading):

1.000	0.029	0.320
0.029	1.000	0.057
0.320	0.057	1.000

Tie point RMS values (ID, Num Obs, X, Y, Z):

1	8	0.832	0.747	0.059
2	8	0.522	0.356	0.049
4	8	0.749	0.788	0.045
5	8	0.564	0.371	0.090
8	5	0.777	0.333	0.068
10	4	0.497	0.130	0.042
11	8	0.607	0.426	0.090
12	8	0.442	0.440	0.055
13	8	0.601	0.673	0.066
14	8	0.649	0.237	0.064
19	7	0.575	0.795	0.058
21	4	0.896	0.364	0.032
22	6	0.752	0.403	0.047
23	8	0.594	0.283	0.079
24	6	0.516	0.409	0.073
26	4	0.295	0.166	0.049
27	4	0.539	0.150	0.041
28	8	0.645	0.644	0.081
29	8	0.765	0.685	0.045
31	8	0.645	0.524	0.066
33	6	0.811	0.614	0.067
35	4	0.655	0.398	0.052
36	4	0.316	0.307	0.072
37	6	0.634	0.288	0.090
38	6	0.589	0.413	0.082
39	6	0.334	0.568	0.083
3	6	0.512	0.424	0.035
6	6	0.526	0.506	0.091
7	4	0.581	0.671	0.055
9	6	0.833	0.544	0.083
15	6	0.839	0.515	0.096
16	4	0.273	0.569	0.095
17	6	0.838	0.693	0.064

---

18	6	0.764	0.528	0.097
20	6	0.887	0.436	0.095
25	4	0.403	0.467	0.088
32	4	0.334	0.401	0.092
34	6	0.551	0.633	0.075
40	4	0.515	0.505	0.079
Average		0.607	0.472	0.069

Done.

### 97 年 8 月 3 日率定參數解算報表

#### PROJECT SETTINGS

Input file: D:/Lidar/calibration/970803/970803\_config.txt

Output file: D:/Lidar/calibration/970803/output\_970803\_20080819183102.txt

Tie point file: D:/Lidar/calibration/970803/970803\_tiePts.txt

UTM Zone: 51

Scanner values:

Reaction Inertia: 0.00041400 kg m<sup>2</sup>

Atmosphere model:

Low Pressure: 101.000 kPa

Low Temp. : 300.000 K

Low Alt. : 200.000 m

Temp. Grad. : -0.006500 K / m

Initial scanner correction parameters:

Roll: 0.000000 rad

Pitch: 0.000000 rad

Heading: 0.000000 rad

Latency: 0.00 microsecs

Torsion: 23688.0 Nm/rad

Observations:

Use observation weighting: Yes

StdX: 0.50 StdY: 0.50 StdZ: 0.10

Use Correlation of Z to XY: No

Least Squares criteria:

Maximum number of iterations: 50

Angular convergence criteria: 1.0000e-008

Files:

File ID: 1, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_035911\_ATN.LAS

File ID: 2, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_040423\_ATN.LAS

File ID: 3, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_040854\_ATN.LAS

File ID: 4, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_041331\_ATN.LAS

File ID: 5, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_042529\_ATN.LAS

File ID: 6, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_043008\_ATN.LAS

File ID: 7, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_043459\_ATN.LAS

File ID: 8, FOV: 45.2 deg Scan Rate: 34.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_044142\_ATN.LAS

Reading tie point file.

Tie Point File contents:

3	1	246961.500	2683323.750	2	246962.500	2683323.250	3	
246961.000		2683324.000	4	246959.750	2683322.750	5	246962.000	
2683323.250	6	246960.250	2683323.250					
4	1	247148.000	2683247.250	2	247149.250	2683246.250	3	
247148.000		2683246.250	4	247147.500	2683245.750	5	247149.250	
2683246.250	6	247147.250	2683246.500	7	247148.000	2683246.250		8
		247148.500	2683246.250					
5	1	247288.750	2683221.250	2	247288.000	2683221.500	3	
247288.500		2683222.250	4	247287.750	2683221.750	5	247288.000	
2683222.000	6	247288.500	2683222.000	7	247289.250	2683222.000		8
		247288.500	2683222.500					
6	1	247435.000	2683161.750	2	247433.750	2683161.500	3	
247433.750		2683161.750	4	247433.500	2683161.250	5	247433.750	
2683160.250	6	247434.250	2683161.750	7	247433.750	2683161.000		8
		247433.500	2683159.500					
7	1	247648.000	2683055.000	2	247648.750	2683055.750	3	
247648.750		2683056.250	4	247649.000	2683056.500	5	247647.750	
2683057.000	6	247648.250	2683056.000	7	247648.500	2683057.500		8
		247648.000	2683056.500					
8	1	247668.250	2683048.750	2	247667.750	2683049.500	3	
247667.250		2683049.500	4	247668.750	2683048.750	5	247667.500	
2683049.500	6	247668.000	2683049.500	7	247668.250	2683049.000		8
		247668.250	2683049.000					
9	1	247858.750	2682977.000	2	247859.000	2682979.500	3	
247860.250		2682978.250	4	247858.750	2682979.000	5	247859.750	
2682978.250	6	247859.250	2682978.750					
10	1	247879.250	2683307.500	2	247878.250	2683306.500	3	
247879.250		2683307.500	4	247879.500	2683307.250	5	247878.750	
2683307.750	6	247878.250	2683307.000	7	246258.000	2684455.000		8
		246582.000	2685276.000					

11	1	247766.500	2683215.000	2	247765.750	2683214.750	3	
247764.250		2683214.250	4	247764.500	2683215.000	5	247765.250	
2683215.000	6	247764.750	2683215.000	7	247765.750	2683215.000	8	
		247766.250	2683215.750					
12	1	247589.250	2683252.000	2	247588.500	2683253.000	3	
247589.500		2683252.250	4	247588.750	2683252.500	5	247589.750	
2683252.500	6	247589.000	2683253.250	7	247589.250	2683253.000	8	
		247589.250	2683251.250					
13	1	247505.750	2683233.750	2	247505.500	2683234.000	3	
247506.250		2683234.750	4	247507.250	2683233.250	5	247506.000	
2683235.250	6	247506.000	2683234.000	7	247506.000	2683234.500	8	
		247507.000	2683235.250					
14	1	247574.500	2683455.250	2	247575.250	2683457.000	3	
247574.750		2683457.500	4	247574.500	2683457.000	7	247574.500	
2683457.750	8	247575.500	2683456.500					
15	1	247421.250	2683537.500	2	247422.500	2683537.500	3	
247422.250		2683537.750	4	247421.250	2683537.250	7	247422.000	
2683538.000	8	247421.750	2683537.250					
16	1	247292.250	2683590.500	2	247292.750	2683590.250	3	
247292.250		2683590.750	4	247291.750	2683590.750	7	247292.000	
2683590.750	8	247292.250	2683590.250					
17	1	247373.500	2682976.750	2	247374.000	2682977.000	3	
247374.000		2682978.500	4	247373.750	2682977.500	5	247373.000	
2682977.500	6	247374.500	2682977.250	7	247374.750	2682978.250	8	
		247375.000	2682977.250					
18	1	247294.750	2682788.500	2	247294.750	2682789.250	3	
247294.000		2682790.500	4	247294.750	2682789.250	7	247295.250	
2682789.000	8	247295.500	2682789.000					
19	1	247151.000	2682848.500	2	247151.000	2682848.750	3	
247150.500		2682847.750	4	247149.750	2682848.250	7	247150.000	
2682847.250	8	247150.000	2682847.000					
20	1	247008.750	2682550.750	2	247007.750	2682550.750	3	
245382.000		2684430.000	4	246202.000	2684056.000	5	245530.000	
2684173.000	6	245768.000	2684147.000	7	247008.250	2682551.000	8	
		247008.250	2682551.500					
21	1	247608.000	2682889.000	2	247608.500	2682890.750	3	
247608.500		2682890.250	4	247608.500	2682889.000	5	247609.750	
2682890.750	6	247608.750	2682890.250	7	247608.750	2682890.000	8	
		247608.750	2682890.750					
22	1	247535.500	2682689.250	2	247535.500	2682689.250	3	
247535.500		2682690.000	4	247537.250	2682689.250	7	247535.750	
2682689.750	8	247535.250	2682689.000					

23	1	247671.000	2682616.500	2	247671.500	2682618.250	3	
		247673.250	2682616.000	4	247672.250	2682616.500		
24	1	247230.500	2682637.750	2	247230.500	2682636.500	7	
		247232.000	2682638.750	8	247231.750	2682637.250		
25	1	247168.250	2682486.250	2	247167.250	2682486.500	7	
		247167.750	2682486.000	8	247168.750	2682487.500		
26	1	247159.250	2683274.750	2	247158.500	2683274.500	3	
		247158.750	2683275.500	4	247158.750	2683275.750	5	247159.000
		2683275.500	6	247158.250	2683275.750	7	247159.000	2683275.750
		247159.000	2683275.000					8
27	1	247514.250	2683312.000	2	247514.000	2683311.750	3	
		247513.250	2683312.500	4	247511.750	2683312.000	5	247514.250
		2683311.750	6	247514.250	2683312.500	7	247513.750	2683311.500
		247513.500	2683311.500					8
28	1	247362.500	2683434.500	2	247363.000	2683434.750	3	
		247364.000	2683434.500	4	247363.000	2683433.750	5	247363.750
		2683434.250	6	247362.500	2683434.500	7	247363.750	2683435.250
		247363.250	2683434.750					8
29	1	247430.750	2683517.000	2	247430.750	2683516.000	3	
		247430.500	2683517.500	4	247429.000	2683516.750	7	247431.250
		2683516.500	8	247431.500	2683517.000			
30	1	247291.750	2683187.500	2	247292.250	2683187.500	3	
		247292.250	2683187.250	4	247292.000	2683187.250	5	247292.250
		2683186.750	6	247291.750	2683186.750	7	247293.000	2683187.250
		247292.750	2683187.500					8
31	1	247380.500	2682991.750	2	247380.250	2682991.750	3	
		247380.250	2682992.500	4	247380.250	2682993.000	5	247381.500
		2682992.000	6	247380.750	2682993.250	7	247380.750	2682992.750
		247380.500	2682992.500					8
32	1	247274.750	2682780.750	2	247274.000	2682780.500	3	
		247276.000	2682778.500	4	247274.750	2682779.500	7	247272.750
		2682780.250	8	247273.750	2682780.750			
33	1	247509.250	2683300.250	2	247509.500	2683300.250	3	
		247510.000	2683302.000	4	247508.750	2683300.750	5	247509.250
		2683301.000	6	247509.500	2683300.750	7	247510.000	2683301.750
		247510.000	2683300.750					8
34	1	247873.000	2683293.250	2	247872.000	2683293.000	3	
		247871.750	2683292.250	4	247872.750	2683292.250	5	247870.750
		2683292.000	6	247871.000	2683292.250	7	246258.000	2684455.000
		246582.000	2685276.000					8
35	1	247129.250	2682840.250	2	247128.250	2682839.250	3	
		247128.750	2682839.750	7	247128.750	2682839.750	8	247129.000
		2682839.500						

36	1	247530.000	2682675.250	2	247529.750	2682673.750	3
247529.500		2682674.500	4	247530.000	2682674.250	7	247529.750
2682675.000	8	247529.750	2682675.500				
37	1	247035.000	2682573.250	2	247034.500	2682572.500	7
247035.750		2682572.750	8	247035.250	2682572.250		

Reading Master Debug files and extracted common ground points in TerraScan File.

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_035911\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_040423\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_040854\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_041331\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_042529\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_043008\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_043459\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970803/LDR080803\_044142\_ATN.LAS

Finished extracting data.

Reduced Tie Points (LSR):

3	1	-459.100	250.074	2	-458.092	249.592	3	-
459.604	250.315	4	-460.831	249.044	5	-458.592	249.583	
	6	-460.341	249.552					
4	1	-271.338	176.941	2	-270.071	175.964	3	-
271.320	175.941	4	-271.811	175.433	5	-270.071	175.964	
	6	-272.074	176.178	7	-271.320	175.941	8	-
270.821	175.950							
5	1	-130.201	153.464	2	-130.955	153.700	3	-
130.469	154.459	4	-131.210	153.946	5	-130.964	154.200	
	6	-130.465	154.209	7	-129.715	154.222	8	-
130.473	154.709							
6	1	17.030	96.603	2	15.785	96.331	3	
15.781	96.581	4	15.540	96.077	5	15.807	95.082	
	6	16.280	96.590	7	15.794	95.832	8	
15.571	94.328							
7	1	231.817	-6.292	2	232.554	-5.529	3	
232.545	-5.029	4	232.790	-4.775	5	231.532	-4.297	
	6	232.049	-5.288	7	232.272	-3.784	8	
231.791	-4.792							
8	1	252.168	-12.177	2	251.655	-11.437	3	
251.155	-11.445	4	252.668	-12.168	5	251.405	-11.441	
	6	251.905	-11.432	7	252.163	-11.927	8	
252.163	-11.927							
9	1	443.844	-80.493	2	444.049	-77.990	3	
445.321	-79.217	4	443.808	-78.494	5	444.821	-79.226	
	6	444.312	-78.735					



10	1	458.441	250.194	2	457.459	249.177	3
458.441	250.194	4	458.695	249.949	5	457.937	250.435
	6	457.450	249.677				
11	1	347.401	155.734	2	346.656	155.471	3
345.166	154.944	4	345.402	155.699	5	346.152	155.712
	6	345.652	155.703	7	346.651	155.721	8
347.138	156.479						
12	1	169.587	189.554	2	168.820	190.540	3
169.833	189.809	4	169.079	190.045	5	170.078	190.063
	6	169.315	190.799	7	169.570	190.554	8
169.601	188.805						
13	1	86.458	169.826	2	86.204	170.071	3
86.940	170.834	4	87.966	169.353	5	86.681	171.329
	6	86.703	170.080	7	86.694	170.580	8
87.681	171.347						
14	1	151.222	392.431	2	151.940	394.194	3
151.432	394.684	4	151.191	394.180	7	151.177	394.930
	8	152.199	393.698				
15	1	-3.411	471.904	2	-2.162	471.927	3
2.416	472.172	4	-3.407	471.654	7	-2.671	472.417
	8	-2.907	471.663				
16	1	-133.286	522.576	2	-132.782	522.335	3
133.291	522.825	4	-133.790	522.816	7	-133.541	522.821
	8	-133.282	522.326				
17	1	-41.139	-89.392	2	-40.644	-89.134	3
40.670	-87.634	4	-40.902	-88.638	5	-41.652	-88.652
	6	-40.148	-88.875	7	-39.916	-87.871	8
39.649	-88.866						
18	1	-116.491	-278.944	2	-116.504	-278.194	3
117.276	-276.958	4	-116.504	-278.194	7	-116.000	-278.435
	8	-115.750	-278.431				
19	1	-261.232	-221.539	2	-261.236	-221.289	3
261.718	-222.297	4	-262.477	-221.811	7	-262.209	-222.806
	8	-262.205	-223.056				
20	1	-398.097	-521.662	2	-399.097	-521.680	7
398.601	-521.421	8	-398.610	-520.921			
21	1	194.798	-172.915	2	195.267	-171.157	3
195.275	-171.656	4	195.298	-172.906	5	196.516	-171.134
	6	195.525	-171.652	7	195.530	-171.902	8
195.516	-171.152						
22	1	125.898	-373.849	2	125.898	-373.849	3
125.884	-373.099	4	127.647	-373.817	7	126.139	-373.344
	8	125.652	-374.103				

23	1	262.621	-444.144	2	263.089	-442.386	3	
264.879		-444.604	4	263.870		-444.122		
24	1	-178.019	-430.757	2	-177.996	-432.006	7	-
176.537		-429.731	8	-176.760		-431.234		
25	1	-237.535	-583.284	2	-238.539	-583.052	7	-
238.030		-583.543	8	-237.057		-582.026		
26	1	-260.585	204.626	2	-261.330	204.363	3	-
261.098		205.367	4	-261.102	205.617	5	-260.848	205.371
	6	-261.602	205.608	7	-260.852	205.621	8	-
260.839		204.872						
27	1	93.558	248.185	2	93.313	247.930	3	
92.550		248.667	4	91.060	248.140	5	93.563	247.935
	6	93.549	248.684	7	93.068	247.676	8	
92.818		247.672						
28	1	-60.293	367.913	2	-59.798	368.172	3	-
58.794		367.940	4	-59.780	367.172	5	-59.039	367.685
	6	-60.293	367.913	7	-59.057	368.685	8	-
59.548		368.176						
29	1	6.449	451.585	2	6.467	450.585	3	
6.190		452.080	4	4.704	451.304	7	6.958	451.094
	8	7.199	451.598					
30	1	-126.601	119.786	2	-126.102	119.795	3	-
126.097		119.545	4	-126.347	119.540	5	-126.088	119.045
	6	-126.588	119.036	7	-125.348	119.558	8	-
125.602		119.804						
31	1	-34.410	-74.276	2	-34.660	-74.280	3	-
34.673		-73.531	4	-34.682	-73.031	5	-33.415	-74.008
	6	-34.187	-72.772	7	-34.178	-73.272	8	-
34.423		-73.526						
32	1	-136.342	-287.046	2	-137.087	-287.309	3	-
135.052		-289.272	4	-136.319	-288.295	7	-138.332	-287.581
	8	-137.341	-287.064					
33	1	88.771	236.352	2	89.020	236.356	3	
89.489		238.114	4	88.262	236.843	5	88.757	237.102
	6	89.012	236.856	7	89.493	237.865	8	
89.511		236.865						
34	1	452.448	235.840	2	451.453	235.573	3	
451.217		234.819	4	452.216	234.837	5	450.222	234.551
	6	450.467	234.805					
35	1	-282.823	-230.172	2	-283.805	-231.189	3	-
283.314		-230.680	7	-283.314	-230.680	8	-283.059	-230.926

36	1	120.650	-387.939	2	120.427	-389.443	3
120.164	-388.698	4	120.668	-388.939	7	120.405	-388.193
	8	120.396	-387.694				
37	1	-372.263	-498.706	2	-372.749	-499.465	7
371.504	-499.192	8	-371.995	-499.701			-

-----  
Tie point RMS values for iter 0 (ID, Num Obs, X, Y, Z):

3	6	0.954	0.402	0.094
4	8	0.693	0.391	0.087
5	8	0.431	0.380	0.112
6	8	0.464	0.774	0.105
7	8	0.405	0.706	0.086
8	8	0.476	0.338	0.094
9	6	0.539	0.800	0.119
10	6	0.482	0.427	0.122

Average        0.539    0.521    0.095

Determining Boresight Angles.

Initial parameter estimates (roll, pitch, heading, torsion)

0.00000000

0.00000000

0.00000000

23688.60000000

Converged after 14 iterations.

Aposteriori value: 1.1155 npoints: 231

x soln (deg), Roll, Pitch, Heading:

parameter	std dev
0.00346754	0.00132291
0.00144579	0.00170678
0.03452743	0.00855790

x soln (rad), Roll, Pitch, Heading:

parameter	std dev
0.00006052	0.00002309
0.00002523	0.00002979
0.00060262	0.00014936

Torsion (fixed): 23688.600

Correlation Matrix (roll, pitch, heading):

1.000	0.009	0.277
0.009	1.000	-0.006
0.277	-0.006	1.000

Tie point RMS values (ID, Num Obs, X, Y, Z):

3	6	0.975	0.436	0.094
4	8	0.694	0.444	0.087
5	8	0.434	0.363	0.113

6	8	0.455	0.776	0.106
7	8	0.428	0.708	0.087
8	8	0.486	0.350	0.095
9	6	0.534	0.814	0.119
10	6	0.502	0.480	0.120
11	8	0.728	0.379	0.082
12	8	0.368	0.612	0.079
13	8	0.573	0.658	0.085
14	6	0.377	0.771	0.081
15	6	0.474	0.268	0.089
16	6	0.304	0.182	0.092
17	8	0.668	0.554	0.092
18	6	0.570	0.615	0.101
19	6	0.565	0.630	0.109
20	4	0.323	0.341	0.110
21	8	0.457	0.643	0.084
22	6	0.616	0.385	0.108
23	4	0.750	0.746	0.072
24	4	0.698	0.815	0.062
25	4	0.525	0.590	0.106
26	8	0.272	0.424	0.119
27	8	0.779	0.374	0.093
28	8	0.528	0.446	0.077
29	6	0.707	0.460	0.091
30	8	0.408	0.334	0.087
31	8	0.372	0.548	0.091
32	6	0.898	0.801	0.086
33	8	0.404	0.572	0.100
34	6	0.762	0.355	0.111
35	5	0.326	0.353	0.102
36	6	0.245	0.571	0.099
37	4	0.421	0.375	0.106

Average        0.532     0.519     0.095

Done.

### 97 年 8 月 18 日率定參數解算報表

#### PROJECT SETTINGS

Input file: D:/Lidar/calibration/970818/970818\_config.txt

Output file: D:/Lidar/calibration/970818/output\_970818\_20080820105042.txt

Tie point file: D:/Lidar/calibration/970818/970818\_tiePts.txt

UTM Zone: 51

Scanner values:

Reaction Inertia: 0.00041400 kg m<sup>2</sup>

Atmosphere model:

Low Pressure: 101.000 kPa

Low Temp. : 300.000 K

Low Alt. : 200.000 m

Temp. Grad. : -0.006500 K / m

Initial scanner correction parameters:

Roll: 0.000000 rad

Pitch: 0.000000 rad

Heading: 0.000000 rad

Latency: 0.00 microseconds

Torsion: 23688.0 Nm/rad

Observations:

Use observation weighting: Yes

StdX: 0.50 StdY: 0.50 StdZ: 0.10

Use Correlation of Z to XY: No

Least Squares criteria:

Maximum number of iterations: 50

Angular convergence criteria: 1.0000e-008

Files:

File ID: 1, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970818/LDR080818\_021213\_ATN.LAS

File ID: 2, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970818/LDR080818\_021751\_ATN.LAS

File ID: 3, FOV: 44.4 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970818/LDR080818\_022213\_ATN.LAS

File ID: 4, FOV: 44.3 deg Scan Rate: 20.0 Hz, Elevation Offset: 0.000

Debug file: D:/Lidar/calibration/970818/LDR080818\_022658\_ATN.LAS

Reading tie point file.

Tie Point File contents:

1	1	247791.750	2683007.250	2	247791.375	2683006.875	3
247792.500		2683006.875	4	247792.125	2683006.875		
2	1	247736.250	2683056.375	2	247737.375	2683059.375	3
247737.375		2683057.125	4	247739.250	2683056.750		
3	1	247648.125	2683056.000	2	247647.375	2683055.250	3
247648.500		2683056.375	4	247647.750	2683056.000		
4	1	247435.875	2683127.625	2	247437.375	2683127.625	3
247436.250		2683127.250	4	247436.625	2683127.625		
5	1	247506.375	2683235.625	2	247506.375	2683236.000	3
247505.250		2683236.000	4	247506.375	2683235.625		
6	1	247513.500	2683311.750	2	247513.875	2683312.875	3
247513.875		2683312.125	4	247513.500	2683312.125		
7	1	247580.250	2683472.250	2	247581.000	2683470.750	3
247582.500		2683470.375	4	247580.625	2683471.500		

8	1	247423.125	2683537.500	2	247422.000	2683537.500	3
247422.375		2683537.875	4	247422.000	2683537.500		
9	1	247290.938	2683589.813	2	247290.563	2683589.438	3
247290.750		2683591.313	4	247290.938	2683591.313		
10	1	247133.438	2683255.125	2	247134.188	2683255.875	3
247133.813		2683255.688	4	247133.625	2683254.375		
11	1	247003.875	2682908.625	2	247005.750	2682908.625	3
247006.688		2682907.688	4	247005.375	2682909.000		
12	1	247134.375	2682853.875	2	247134.938	2682855.563	3
247135.688		2682854.250	4	247135.875	2682854.250		
13	1	247289.625	2682773.250	2	247288.688	2682773.438	3
247288.125		2682773.438	4	247287.750	2682773.813		
14	1	247536.188	2682689.438	2	247535.438	2682689.438	3
247537.125		2682689.625	4	247535.438	2682690.188		
15	1	247303.688	2683213.688	2	247303.125	2683214.813	3
247304.813		2683215.750	4	247302.938	2683216.125		
16	1	247374.188	2682978.563	2	247373.625	2682977.063	3
247373.813		2682977.438	4	247374.000	2682977.250		

Reading Master Debug files and extracted common ground points in TerraScan File.

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970818/LDR080818\_021213\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970818/LDR080818\_021751\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970818/LDR080818\_022213\_ATN.LAS

Using Attune data file: D:/Lidar/calibration/970818/LDR080818\_022658\_ATN.LAS

Finished extracting data.

Reduced Tie Points (LSR):

1	1	374.873	-115.209	2	374.505	-115.590	3
375.630	-115.570	4	375.255	-115.577			
2	1	318.528	-67.100	2	319.599	-64.081	3
319.639	-66.330	4	321.520	-66.671			
3	1	230.457	-69.045	2	229.721	-69.808	3
230.825	-68.664	4	230.082	-69.052			
4	1	17.046	-1.243	2	18.545	-1.216	3
17.427	-1.611	4	17.795	-1.229			
5	1	85.582	107.956	2	85.575	108.330	3
84.451	108.310	4	85.582	107.956			
6	1	91.346	184.166	2	91.701	185.297	3
91.714	184.548	4	91.339	184.541			
7	1	155.198	345.769	2	155.975	344.283	3
157.481	343.935	4	155.587	345.026			
8	1	-3.005	408.182	2	-4.129	408.162	3
3.761	408.544	4	-4.129	408.162			
9	1	-136.052	458.110	2	-136.421	457.729	3
136.267	459.606	4	-136.079	459.609			

10	1	-287.500	120.797	2	-286.764	121.560	3	-
287.135	121.366	4	-287.300	120.050				
11	1	-410.816	-227.824	2	-408.942	-227.791	3	-
407.987	-228.710	4	-409.323	-227.423				
12	1	-279.411	-280.218	2	-278.878	-278.521	3	-
278.105	-279.820	4	-277.918	-279.817				
13	1	-122.808	-358.032	2	-123.748	-357.861	3	-
124.311	-357.871	4	-124.692	-357.503				
14	1	125.115	-437.404	2	124.365	-437.417	3	
126.048	-437.200	4	124.352	-436.668				
15	1	-116.604	82.417	2	-117.187	83.532	3	-
115.516	84.498	4	-117.397	84.839				
16	1	-41.951	-151.323	2	-42.487	-152.833	3	-
42.306	-152.454	4	-42.115	-152.639				

-----  
Tie point RMS values for iter 0 (ID, Num Obs, X, Y, Z):

1	4	0.415	0.142	0.068
2	4	1.069	1.173	0.053
3	4	0.418	0.406	0.074
4	4	0.556	0.163	0.054
5	4	0.476	0.194	0.041
6	4	0.192	0.409	0.011
7	4	0.863	0.718	0.059
8	4	0.458	0.165	0.046

Average            0.552    0.496    0.051

Determining Boresight Angles.

Initial parameter estimates (roll, pitch, heading, torsion)

0.00000000

0.00000000

0.00000000

23688.60000000

Converged after 16 iterations.

Aposteriori value: 1.0179 npoints: 64

x soln (deg), Roll, Pitch, Heading:

parameter	std dev
0.00022603	0.00214027
0.00677828	0.00284090
0.03564417	0.01460281

x soln (rad), Roll, Pitch, Heading:

parameter	std dev
0.00000394	0.00003735
0.00011830	0.00004958
0.00062211	0.00025487



Torsion (fixed): 23688.600

Correlation Matrix (roll, pitch, heading):

1.000 0.012 0.202

0.012 1.000 -0.023

0.202 -0.023 1.000

Tie point RMS values (ID, Num Obs, X, Y, Z):

1 4 0.440 0.209 0.069

2 4 1.137 1.062 0.046

3 4 0.399 0.529 0.071

4 4 0.547 0.148 0.055

5 4 0.538 0.184 0.044

6 4 0.119 0.330 0.009

7 4 0.840 0.801 0.066

8 4 0.467 0.204 0.047

9 4 0.269 0.762 0.059

10 4 0.239 0.624 0.042

11 4 0.846 0.450 0.053

12 4 0.464 0.551 0.052

13 4 0.824 0.193 0.051

14 4 0.623 0.393 0.041

15 4 0.648 0.873 0.054

16 4 0.289 0.656 0.038

Average 0.543 0.498 0.050

Done.

## 附件四 飛航參數與掃描參數表

## 【北區飛航參數與掃描參數表：時間皆為 GPS 時間】

97年4月5日(低潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
07:17:29	07:23:22	194	40	1256	16.892	1.12	67000	25	40	12582576	G002 X105	台中	林志交	ALS50
07:30:17	07:35:55	194	39	1251.1	14.743	1.07	67000	25	40	10810096	G002 X105	台中	林志交	ALS50
09:27:03	09:33:19	194	42	1240.2	217.639	1.48	67000	25	40	9722192	G002 X105	台中	林志交	ALS50

97年4月6日(高潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
01:08:50	01:22:46	194	17	1220.7	258.011	2.38	67000	25	40	7453760	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
01:28:24	01:32:24	194	18	1243.2	64.992	2.28	67000	25	40	7631872	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
01:36:14	01:42:02	194	1	1234	207.449	2.18	67000	25	40	14853216	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
01:47:08	01:50:43	194	3	1221.6	42.287	2.01	67000	25	40	6068528	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
01:56:27	02:02:11	194	2	1230.2	209.051	1.76	67000	25	40	14876496	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
02:09:17	02:15:10	194	5	1208.3	187.411	1.72	67000	25	40	15073792	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
02:20:22	02:22:40	194	4	1239.6	325.198	1.61	67000	25	40	5445824	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
02:26:59	02:27:09	194	11	1209.4	146.465	1.37	67000	25	40	7278320	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
02:27:14	02:39:03	194	6	1229.6	193.295	1.27	67000	25	40	8168944	H079 D027 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
02:45:42	02:51:04	194	7	1236.7	26.891	1.19	67000	25	40	13780768	H079 D027 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50

97年4月6日(低潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
07:59:31	08:04:30	194	43	1244.5	218.27	1.27	67000	25	40	10798608	K098 X014 G002	苗栗、台中	王偉群	ALS50
08:08:17	08:14:15	194	44	1240.2	34.731	1.32	67000	25	40	13740656	K098 X014	苗栗、台中	王偉群	ALS50
08:19:53	08:25:54	194	46	1245	195.375	1.6	67000	25	40	14402976	K098 X014	苗栗、台中	王偉群	ALS50
08:31:00	08:36:48	194	45	1239.2	19.683	1.6	67000	25	40	15104752	K098 X014	苗栗、台中	王偉群	ALS50
08:43:33	08:46:20	194	47	1241.5	278.573	1.51	67000	25	40	7172240	K098 X014	苗栗、台中	王偉群	ALS50
08:52:15	08:56:59	194	50	1242.4	31.091	1.41	67000	25	40	10624864	K098 X014	苗栗、台中	王偉群	ALS50
09:00:26	09:03:57	194	49	1231.3	215.652	1.36	67000	25	40	8535248	K098 X014	苗栗、台中	王偉群	ALS50
09:11:17	09:14:58	194	48	1226.2	261.458	2.21	67000	25	40	7638816	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
09:21:19	09:26:11	194	51	1220.2	223.441	1.97	67000	25	40	14705952	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50

97年4月7日(高潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
02:40:20	02:46:52	194	6	1970.1	206.544	1.19	50300	22	26	18903216	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
02:54:13	03:04:26	194	7	1957.8	36.884	1.26	50300	22	26	24335104	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
03:09:03	03:14:15	194	6	1985.9	202.586	1.28	50300	22	26	8168944	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
03:21:52	03:27:16	194	8	1979	27.538	1.66	50300	22	26	12740464	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
03:31:53	03:38:13	194	9	1975.1	244.629	1.79	50300	22	26	11212944	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
03:43:46	03:49:52	194	10	1981.1	53.688	1.9	50300	22	26	15246608	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50

## 97年4月7日(低潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
08:22:49	08:28:03	194	58	1992.1	57.382	1.61	50300	22	26	14788272	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
08:36:42	08:40:38	194	56	1240	36.323	1.54	67000	25	40	8696688	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
08:45:45	08:49:55	194	55	1245.6	12.829	1.44	66800	25	40	10436064	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
08:53:24	08:58:38	194	52	1236.2	192.927	1.37	66800	25	40	13911232	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
09:04:26	09:10:29	194	53	1215.7	13.049	1.31	66800	25	40	14897200	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
09:14:23	09:19:32	194	54	1218.1	175.759	2.02	66800	25	40	13039952	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
09:28:06	09:33:18	194	51	1240.3	37.408	1.54	66800	25	40	14705952	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50

## 97年4月8日(高潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
04:08:58	04:18:27	194	29	1224.1	207.08	1.9	66800	25	40	26267360	G002 X105 K098	台中、苗栗	林志交	ALS50
04:23:27	04:34:54	194	27	1239.8	26.295	1.77	66800	25	40	25306272	G002 X105 K098	台中、苗栗	林志交	ALS50
04:45:23	04:54:42	194	26	1248.1	198.681	1.21	66800	25	40	24204336	G002 X105 K098	台中、苗栗	林志交	ALS50
05:01:02	05:07:35	194	25	1229.9	27	1.13	66800	25	40	15837200	G002 X105	台中、苗栗	林志交	ALS50
05:11:45	05:17:43	194	24	1243.6	210.812	1.16	66800	25	40	15690960	G002 X105	台中、苗栗	林志交	ALS50
05:22:07	05:28:42	194	23	1243	31.512	1.51	66800	25	40	14957136	G002 X105	台中、苗栗	林志交	ALS50
05:33:30	05:39:07	194	21	1244.7	201.739	1.55	66800	25	40	14647424	G002 X105	台中、苗栗	林志交	ALS50
05:43:59	05:49:30	194	22	1242.6	24.513	1.53	66800	25	40	12979392	G002 X105	台中、苗栗	林志交	ALS50
05:57:29	06:01:37	194	20	1242.1	214.754	1.82	66800	25	40	10969568	G002 X105	台中、苗栗	林志交	ALS50
06:07:25	06:10:05	194	28	1237	310.684	1.75	66800	25	40	7450752	G002 X105	台中、苗栗	林志交	ALS50

## 97年4月8日(低潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
09:03:47	09:08:26	194	40	1242	207.84	2.19	66800	25	40	12582576	G002 X105 K098	台中、苗栗	林志交	ALS50
09:13:05	09:19:11	194	41	1211.8	23.867	1.97	66800	25	40	13426128	G002 X105 K098	台中、苗栗	林志交	ALS50
09:23:08	09:49:19	194	42	1227.5	207.169	1.55	66800	25	40	9722192	G002 X105	台中、苗栗	林志交	ALS50

## 97年7月2日(低潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
6:27:18	6:29:13	194	71	1246.6	295.376	1.79	66500	25	40	5350896	X105 G002	台中、苗栗	王偉群	ALS50
6:39:28	6:41:21	194	70	1253.5	107.015	1.48	66500	25	40	4980432	X105 G002	台中、苗栗	王偉群	ALS50
6:47:26	6:49:43	194	74	1252.9	206.847	1.47	66500	25	40	6817728	X105 G002	台中、苗栗	王偉群	ALS50
6:54:40	6:56:28	194	76	1256.8	30.625	1.44	66500	25	40	4218272	X105 G002	台中、苗栗	王偉群	ALS50
7:02:00	7:04:58	194	75	1241.4	206.273	1.32	66500	25	40	7375824	X105 G002	台中、苗栗	王偉群	ALS50
7:15:17	7:17:39	194	62	1230.8	265.031	1.78	66500	25	40	3170000	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
7:23:58	7:27:11	194	64	1234.8	214.524	1.83	66500	25	40	7686672	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
7:32:51	7:35:38	194	63	1243.7	265.083	1.59	66500	25	40	5617440	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
7:41:20	7:45:28	194	65	1252.8	216.05	1.65	66500	25	40	5127056	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
7:49:34	7:51:21	194	72	1229.4	40.671	1.67	66500	25	40	3393040	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
7:56:43	7:59:36	194	66	1234.3	188.893	1.64	66500	25	40	8381072	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
8:06:29	8:14:16	194	67	2001.1	203.721	1.54	50300	22	26	21009616	H079 D027 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
8:18:59	8:21:52	194	68	1980.6	31.468	1.8	50000	22	26	7439040	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
8:20:12	8:33:04	194	57	1966	203.997	1.75	50000	22	26	14800064	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
8:40:57	8:46:59	194	58	1963.6	252.459	1.24	50000	22	26	14788272	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
8:51:32	8:57:34	194	69	1978.8	64.188	1.28	50000	22	26	14705248	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
9:01:00	9:02:02	194	77	1964	52.976	1.87	50300	22	26	4666992	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
9:11:48	9:25:15	194	檢核線	1259	34.997	1.35	66500	25	40	37664814	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50

97年7月3日(低潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
7:41:42	7:47:12	194	59	1244.8	211.463	1.66	66500	25	40	13757504	X105 G002 K098	台中、苗栗	王偉群	ALS50
7:51:19	7:57:19	194	60	1265.1	26.217	1.64	66500	25	40	16221152	X105 G002 K098	台中、苗栗	王偉群	ALS50
8:04:07	8:07:55	194	61	1272.4	222.16	1.32	66500	25	40	9474416	K098 X014 G002	台中、苗栗	王偉群	ALS50
8:13:21	8:16:30	194	73	1257.1	33.744	1.8	66500	25	40	8435360	K098 X014	台中、苗栗	王偉群	ALS50

97年8月3日(高潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
2:39:15	2:41:53	194	33	1269.2	215.888	1.83	66500	25	40	7375712	K098 X014 G002	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
2:45:37	2:50:46	194	30	1266.4	39.992	1.88	66500	25	40	12230800	K098 X014 G002	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
2:54:09	2:56:42	194	31	1269.7	217.142	1.51	66500	25	40	6164544	K098 X014 G002	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
3:02:08	3:07:16	194	32	1278.1	197.769	1.25	66500	25	40	12713824	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
3:10:35	3:16:08	194	35	1242.3	25.709	1.31	66500	25	40	13134784	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
3:21:43	3:25:36	194	38	1249.2	214.934	1.34	66500	25	40	10444976	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
3:29:22	3:33:15	194	37	1250.1	37.237	1.57	66500	25	40	9982992	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
3:36:37	3:40:09	194	36	1258.5	214.025	1.55	66500	25	40	8939472	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
3:43:29	3:46:07	194	34	1256.5	76.222	1.89	66500	25	40	6307792	K098 X014	新竹、苗栗	王偉群	ALS50

97年8月18日(高潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
01:50:36	01:51:45	194	12	1992.3	33.838	1.64	50000	22	26	321379	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
01:52:38	01:54:13	194	13	1999.4	29.148	1.66	50000	22	26	6121520	H079 D027	新竹、桃園	王偉群	ALS50
01:57:56	02:00:03	194	14	1324.2	305.537	1.71	67000	25	40	6640896	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
02:03:37	02:06:37	194	15	1281.5	29.156	1.77	67000	25	40	8809552	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
02:10:40	02:12:29	194	16	1271.8	321.404	1.83	67000	25	40	13287840	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50
02:15:49	02:17:05	194	19	1252.3	37.014	1.86	67000	25	40	3154576	D043 X022	新竹、苗栗	王偉群	ALS50

## 【南區飛航參數與掃描參數表：時間皆為GPS時間】

97年3月11日(低潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
08:37:28	08:39:38	201.8	24	1623	345.8	1.4	70	30	40	29971637	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
08:44:23	08:56:54	201.8	24	1617	345.8	1.4	70	30	40	24054928	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
09:01:14	09:08:39	201.8	1	1623	16.85	1.3	70	30	40	21893616	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
09:14:13	09:20:47	201.8	2	1616	196.84	1.3	70	30	40	8603400	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
09:25:30	09:27:58	201.8	20	1614	62.94	1.4	70	30	40	8473515	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
09:34:43	09:37:11	201.8	19	1614	242.94	1.5	70	30	40	8281094	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
09:37:41	09:40:25	201.8	25	1599	153.63	1.5	70	30	40	2807444	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
09:45:42	09:49:16	201.8	17	1625	343.71	1.5	70	30	40	13065869	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
09:55:32	09:58:40	201.8	18	1619	163.71	1.8	70	30	40	10611501	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
10:02:22	10:05:16	201.8	9	1619	16.85	1.8	70	30	40	9782031	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
10:11:16	10:15:17	201.8	10	1627	196.85	1.8	70	30	40	16019942	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
10:16:18	10:21:53	201.8	17	1601	130.65	1.8	70	30	40	18128001	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
10:27:58	10:29:07	201.8	27	1628	160.12	1.6	70	30	40	615033	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
10:29:30	10:34:31	201.8	27	1617	160.12	1.5	70	30	40	12021382	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70

97年3月12日(高潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
03:55:01	04:06:59	201.8	24	951	345.8	1.8	70	39	40	9272135	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
04:10:16	04:14:45	201.8	9	983	16.85	1.5	70	39	40	10541882	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:21:41	04:24:38	201.8	8、25	992	196.86	1.3	70	39	40	6512200	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:26:11	04:30:02	201.8	19	953	130.65	1.3	70	39	40	9348248	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
04:30:24	04:36:40	201.8	28	968	160.13	1.5	70	39	40	5549115	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
04:42:47	04:45:00	201.8	29	957	340.13	1.5	70	39	40	8622174	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:45:15	04:48:52	201.8	27	958	340.12	1.5	70	39	40	15483080	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:49:04	04:52:22	201.8	17	982	310.65	1.5	70	39	40	2990763	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:53:21	04:54:26	201.8	35	961	286.55	1.5	70	39	40	7428977	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
05:01:46	05:08:01	201.8	18	962	130.65	1.5	70	39	40	8179778	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
05:13:34	05:16:49	201.8	20	963	310.65	2.1	70	39	40	5684426	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
05:22:49	05:25:09	201.8	21	958	130.63	2.2	70	39	40	13952015	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
05:27:48	05:31:14	201.8	26	968	160.12	2.2	70	39	40	6612161	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
05:31:57	05:34:23	201.8	30	963	160.13	2.4	70	39	40	11149163	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
05:38:57	05:40:11	201.8	41	963	72.47	2.4	70	39	40	2344127	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
06:16:30	06:17:34	201.8	2	957	196.86	1.8	70	39	40	6525565	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
06:26:37	06:27:54	201.8	33	972	105.56	1.4	70	39	40	3833232	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
06:30:10	06:32:06	201.8	4	956	196.86	1.4	70	39	40	1829492	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
06:33:34	06:35:27	201.8	36、5	959	219.86	1.4	70	39	40	10650442	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
06:41:09	06:43:20	201.8	7	944	16.86	1.3	70	39	40	4375987	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
06:51:06	06:53:30	201.8	6	948	196.86	1.4	70	39	40	7284465	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70

97年3月13日(高潮位)

雷射開始時間	雷射結束時間	航速(km/h)	航線編號	離地高(m)	進入角度	DOP	雷射脈衝率	掃描頻率	掃描角(度)	掃描面積(m <sup>2</sup> )	GPS主站	地點	作業人員	儀器
03:53:56	04:00:14	201.8	10	927	16.85	1.8	70	39	40	15737945	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:07:00	04:14:07	201.8	11	947	196.85	1.5	70	39	40	14999617	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:20:11	04:26:40	201.8	12	948	16.85	1.4	70	39	40	13829303	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:34:30	04:40:46	201.8	13	937	196.85	1.5	70	39	40	12445857	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:44:41	04:45:58	201.8	3	960	16.86	1.5	70	39	40	2556378	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:52:31	04:53:14	201.8	1	948	196.86	1.5	70	39	40	1325114	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
04:56:42	04:57:40	201.8	37	950	222.22	1.5	70	39	40	4381302	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
05:01:15	05:02:23	201.8	38	951	44.16	2	70	39	40	1734245	A2 G079	台南	林志交	ALTM 30/70
06:45:16	06:48:06	201.8	14	888	16.85	1.4	70	39	40	5468209	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70
06:55:54	06:58:45	201.8	64	828	27.11	1.7	70	40	40	1312537	G087 G089	台南	林志交	ALTM 30/70

## 附件五 論文文稿



---

附件五、論文文稿

## 應用空載光達於潮間帶地形觀測之作業時間選擇 及水域點雲適用性分析

曾義星<sup>1</sup> 鄭鼎耀<sup>2</sup> 李佩珊<sup>3</sup>

### 摘要

應用空載光達於潮間帶地形觀測作業，將面臨水體覆蓋部分陸域而產生不正確點雲之實務問題。為了盡可能減少水域之影響，本文分析潮位資料，探討如何選擇最低潮位日期及時段，並分析水域點雲分佈情形，探討如何判斷水陸交界線，以選取陸域點雲數值高程模型(DEM)，期能建立應用空載光達觀測潮間帶地形之合適的作業程序。經分析，適合空載光達作業的日期分別為農曆朔望之際，在這兩段日期時段中，最低潮時間段約有 2~3 小時適合掃描，但冬季適合掃描的時間較夏季長。海陸交界之潮間帶之水體區域點雲明顯不適用於反演地形，應加以濾除。但需檢視點雲高程變化的特性與現象，才能區分出水陸交界線，有效選取適用的點雲。另外，沿岸魚塢有相當多水體覆蓋區域，此研究分析顯示此區域點雲分佈於水面，不適合應用於反演地形資料。因此實務上需藉由影像辨識邊水陸界線，將魚塢水體區域的點雲濾除。

關鍵詞：空載光達、數值高程模型、潮間帶

### Abstract

The use of airborne LiDAR for coastlands will facing a practical problem of delivering incorrect point cloud that generated due to water areas. The incorrect point cloud may result in a generation of incorrect DEM. This paper presents a study of tidal data and LiDAR data of water areas to find a solution of this problem. The study reveals that a 2~3 days period of the first or the fifteenth day of the lunar month is the best dates of data collection. There are about 2~3 low-tide hours in each day of these periods good for data collection. This study also suggests that point cloud of water areas should be excluded from DEM generation. Digital images and LiDAR data should be combined to determine the water boundaries for removing improper point cloud.

Key words : Airborne LiDAR, Digital Elevation Model (DEM), Coastland

---

<sup>1</sup> 國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

<sup>2</sup> 中興測量公司

<sup>3</sup> 內政部國土測繪中心 測量員

## 一、前言

臺灣四周環海，海域範圍國土面積廣大，其中近岸（含潮間帶）為民生活動最頻繁且地形變動最為劇烈區域。建立潮間帶基本地形資料，對於海岸經濟開發、縣市行政區域劃分及環保、生態保育、養殖、採礦、海底電纜鋪設、海洋博物館、海岸資源合理利用、海域觀光資源及提昇遊憩品質等整體海岸經營開發有實質的助益，並同時兼顧減緩地理環境急速衝擊。

潮間帶區域因為傳統測量技術的限制，海測船隻等載具不容易測到淺水地區，陸測無法在濕軟的退潮地區觀測，致測量作業實施困難，只有少數機關因特殊業務需要而進行小區域測製，歷來此區域間地形資料欠缺，造成國土圖資不完整。

應用空載光達(Light Detection And Ranging, LiDAR) 於數值地形模型生產已逐漸普及(Baltsavias, 1999b)，應用空載透水光達(Bathymetric LiDAR)觀測水質清澈之近岸或湖水之水底地形也是可行技術(Guenther, 1989; Estep, 1993; Wozencraft and Irish, 2000)。Woolard et al.(2003)認為若要完整觀測潮間帶區域之海陸交界地形，必須結合這兩種光達系統。而若單純應用空載光達，必須確定水陸交界線，只取陸域點雲反演地形(徐偉城，2005；Xhardé et al., 2006；蕭國鑫等，2008)。

本文針對應用空載光達於潮間帶地形觀測作業，探討其實務問題。為了盡可能以空載光達掃瞄得完整潮間帶地形，掃瞄作業時間必須選擇最低潮位日期及時段，並分析潮間帶水域點雲之適用性。因此，本文重點是如何選擇最低潮位日期及時段，以及如何判斷水陸交界線，以選取陸域點雲數值高程模型(DEM)，期能建立應用空載光達觀測潮間帶地形之合適的作業程序。

## 二、潮汐週期

潮汐的發生是因為天體間的萬有引力所造成，主要的影響來自月球，其次為太陽。整個地球表面各處引潮力作用的結果，使地球海水面形成一個對稱的潮汐橢圓。「大潮」、「小潮」則因月球、太陽及地球之相對位置而造成。在農曆朔或望時，月球、太陽及地球在一直線上，月球及太陽在地球同側或兩側，由於月球及太陽的引潮力同時相加結果，發生一個月中兩次最大的滿潮即為「大潮」(實際情形是延遲至朔或望後兩天)。在農曆的上下弦時，則是一個月中最小的滿潮即為「小潮」。真正發生的潮汐現象，除了地球、月球的自轉與公轉週期因素外，還要考慮其他所有天體各種天文上的長短週期變化，以及當地海岸、海底地形、海流等因素來決定。台灣海岸的潮汐變化具有一定規律，觀測潮間帶地形需掌握潮汐變化週期，以便掃瞄時可取得完整潮間帶地形。影響潮汐的因素繁多，主要的原因為月球與太陽的引力所致，另外海底地形、深度及鄰近大陸地形對潮汐的變化也會影響。

任一地區之高潮與近期之低潮之海水位差稱為潮差，潮差有週期性，會由小變大，再由大變小，週期約為 14.77 日[中央氣象局，2007]。潮差相對最大時稱為大潮，相對最小時稱為小潮。大潮發生的時間是陰曆每月朔、望時刻，亦即地球、月亮、及太陽接近成一直線時（圖 1(a)），月球與太陽引潮力同時相加結果使得潮差較其他時間為大。小潮發生的時間是陰曆每月上、下弦月時刻，亦即太陽、地球與月亮接近成直角時（圖 1(b)），潮差較其他時間為小。

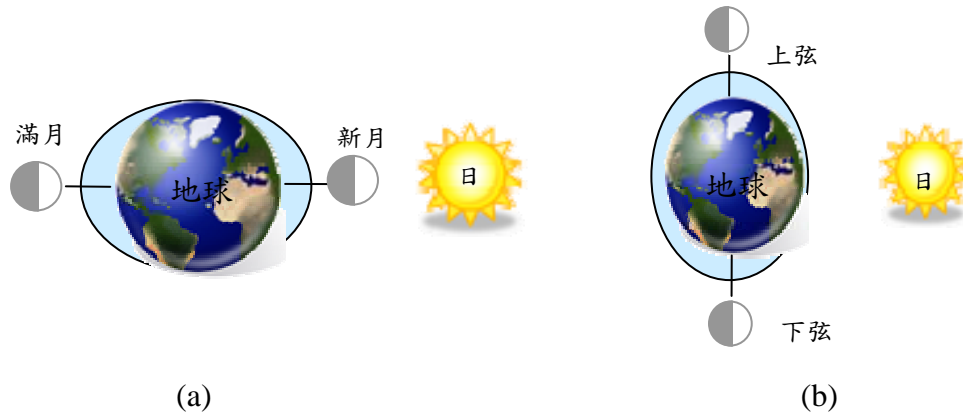


圖 1、地球、月亮、及太陽之關係位置形成潮差之(a)大潮及(b)小潮之示意圖[中央氣象局，2007]

### 三、空載光達掃瞄合適時段分析

選擇由共 11 個由南至北均勻分佈於台灣西部海岸的潮位站，各潮位站分佈圖如圖 2 所示。

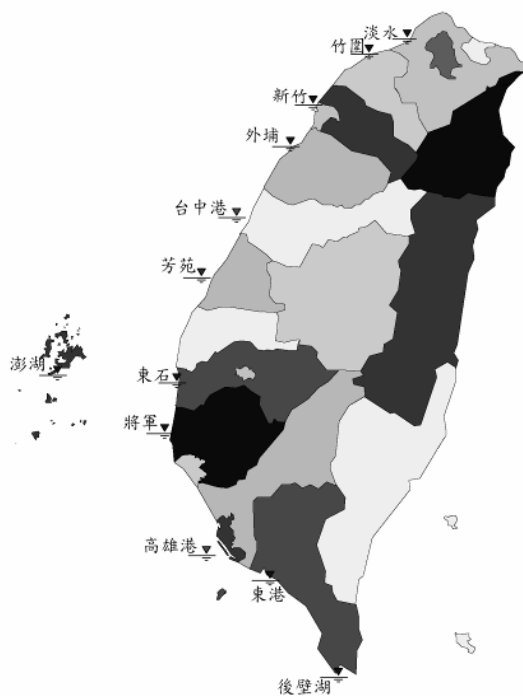


圖 2、潮位站分佈圖

分析 2007 年全年潮汐資料顯示，潮汐週期與農曆日期高度相關，每一農曆月中有兩次滿潮與乾潮，每逢乾潮時各潮位站間出現最大潮差的時間區域有兩類，分別為農曆朔望之際，其一出現於農曆月底月初(上個月 29~5)，其二出現於農曆月中(14~20)。表 1 為每月最大潮位日期統計表，每月最大潮位落於農曆日期 29-5、14-20 的次數以及所佔的比例，顯示在這兩區間日期內進行掃描可以獲取完整最低潮位的潮間帶地形，為最佳的觀測時段。

表 1、每月最大潮位日期統計表

	淡水	竹圍	新竹	外埔	台中港	芳苑	東石	將軍	高雄	東港	後壁湖
時區內個數	24	24	22	20	23	19	22	20	20	18	18
總個數	24	24	22	20	23	19	22	23	22	22	21
%	100	100	100	100	100	100	100	87	90.9	81.8	85.714

每逢朔望前後會出現每月的「最大潮差」與「次潮差」，整理統計各潮位站 2007 整年度「最大潮差」、「次潮差」的潮位資料，計算出各站的平均最大潮差與平均次潮差及其標準偏差列於圖 3，以全年的最低潮位加上 20%的平均最大潮差值作為判斷的門檻值 T，如公式(2-1)，各潮位站門檻值如表 2 所示。

$$T = W_{Low} + 0.2 \times W_{Ave} + W_{KP} \quad (1)$$

$W_{Low}$ ：該潮位站的最低潮位

$W_{Ave}$ ：該潮位站的年度最大潮差平均值

$W_{KP}$ ：基準面相對 KP



圖 3、潮位站平均潮差

表 2、各潮位站門檻值

	最低潮位	最大潮差	基準面相對KP	門檻值(T)
淡水	-684.0	2732.0	0.0	-137.6
竹圍	-2269.0	3679.9	0.0	-1533.0
新竹	-2240.0	4571.5	0.0	-1325.7
外埔	601.0	4359.6	-2396.0	-923.1
台中港	-3020.0	5244.0	0.0	-1971.2
芳苑	-25.0	2540.8	0.0	483.2
東石	-1208.0	2294.5	0.0	-749.1
將軍	-980.0	1874.6	0.0	-605.1
高雄	-150.0	1118.8	-870.0	-796.3
東港	-429.0	1260.0	0.0	-177.0
後壁湖	-623.0	1535.3	0.0	-315.9

單位：mm

以台中港為例，在上述兩類日期時段中將最低潮汐的時段統計，以低於海平面以下 1.97 公尺為門檻時，可以列出在這兩類日期時段內，每日潮位低於海平面以下 1.97 公尺，到漲潮高於海平面以下 1.97 公尺的時間段，從表 3、表 4 發現大約有 2 小時到 3 小時左右的時間段會低於 1.97 公尺以下，這表示在這兩類日期時段中，最低潮時間段約有 2~3 小時適合掃描，另外在年底年初(約冬季時期)的退潮時間段較長，可達 3 小時，而在年中(約夏季時期)的時間段較短，僅約 2 小時左右，顯示為冬季適合掃描的時間較夏季長；另外從時間段來看，可以發現在冬季時期大約都是在早上凌晨的時間內合適，而在夏季期間大多在下午傍晚的時間合適。

另外再以兩個潮位站為例：淡水(北)與東港(南)；可以從淡水的資料中找出適合的時間大約有 3 小時上下，甚至有至 4 小時之久；而東港而言，亦有 2~3 小時的時間段適合，不過並非每月都有適合的日期時間，但是兩者與台中港有相同情況，皆在冬季時期在早上凌晨的時間段較為合適，而夏季時期大多是下午傍晚較為合適。

表 3、2007 年台中港每月退潮時刻表 (灰底為該時段分鐘數)

農曆	(上個月)29		(上個月)30		1		2		3		4		5	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
12	2:48-4:42		2:54-6:00		3:30-6:36		4:06-7:30		4:42-8:06		5:30-8:42	19:00-19:54	6:18-9:24	19:24-21:06
	144		186		186		204		204		192	54	186	102
1	2:30-5:36		3:30-6:18		4:00-7:06	17:24-17:48	4:30-7:42	17:30-19:12	5:12-8:18	18:06-20:18	6:12-8:42	18:36-21:06	7:18-8:48	19:30-21:42
	186		168		186	24	192	102	186	132	150	150	90	132
2	3:00-5:48	16:06-17:24			3:42-6:36	16:24-18:36	4:24-7:00	16:42-19:30	5:12-7:36	17:12-20:12	6:18-7:54	18:06-20:54	18:54-21:36	
	168	78			174	132	156	168	144	180	96	168	162	
3	3:00-5:00	15:24-17:18			3:48-5:30	15:42-18:18	4:36-6:18	16:12-19:12	5:24-6:36	16:36-20:06		17:36-20:54		18:42-21:30
	120	114			102	156	102	180	72	210		198		168
4		14:42-17:12		15:12-18:12		16:54-19:06		16:42-20:06		17:24-20:42		18:30-21:06		19:48-21:36
		150		180		132		204		198		156		108
5		15:00-17:54				15:48-18:48		16:30-19:36		17:24-20:18		18:24-20:54		19:36-21:12
		174				180		186		174		150		96
6		15:00-17:36				15:54-18:30		16:24-19:30		17:18-20:06		18:06-20:42		19:00-21:00
		156				156		186		168		156		120
7		15:24-17:24		16:00-18:06		16:30-18:48		18:00-19:24		17:54-19:48		19:00-19:42		
		120		126		138		84		114		42		
8		16:00-17:30				16:30-18:06		17:24-18:18						
		90				96		54						
9		15:30-16:54	4:06-4:54	16:06-17:18	4:06-5:54	16:48-17:36	4:24-6:24		4:48-6:54		5:12-7:24		5:42-7:54	
		84	48	72	108	48	120		126		132		132	
10	3:48-3:54				4:18-6:36				5:24-7:42		6:06-8:12			
	6				138				138		126			

表 4、2007 年台中港每月退潮時刻表 (灰底為該時段分鐘數)

農曆	14		15		16		17		18		19		20	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
12	3:00-6:18		3:36-7:00		4:12-7:30		5:06-8:00		5:42-8:24		6:30-8:36		7:30-8:42	
	198		204		198		174		162		126		72	
1	4:00-6:12		4:36-6:42		5:18-6:42		5:30-7:42	17:54-19:36	6:00-7:48	18:18-20:00		19:06-20:06		19:36-20:54
	132		126		84		132	102	108	102		60		78
2				17:6-17:42	5:00-6:06	16:48-18:42	5:18-6:42	17:00-19:18		17:36-19:54		18:12-20:30		18:48-20:48
				36	66	114	84	138		138		138		120
3				16:18-17:30		16:30-18:24		16:54-19:00		17:30-19:36		18:06-20:00		18:54-20:12
				72		114		126		126		114		78
4		16:06-16:54		16:12-17:48		16:48-18:24		17:18-19:06		17:54-19:42		18:30-20:18		19:30-20:48
		48		96		96		108		108		108		78
5				15:54-17:42		16:18-18:30		16:48-19:12		17:24-19:54		18:06-20:36		18:54-21:12
				108		132		144		150		150		138
6				15:48-16:54		16:06-18:06		16:36-18:54		17:06-19:36		17:48-20:06		18:42-20:36
				66		120		138		150		138		114
7		15:12-16:30		15:30-17:42		16:0-18:36		16:36-19:06	5:42-6:36	17:24-19:36	6:06-7:30	18:24-20:00	6:42-8:18	
		78		132		156		150	54	132	84	96	96	
8		14:48-16:00		15:00-17:06	4:18-4:24	15:30-17:54	4:18-5:48	16:18-18:24	4:30-6:48	17:06-18:48	5:06-7:36	18:18-19:00	5:36-8:18	
		72		126	6	144	90	126	138	102	150	42	162	
9		14:42-16:06	2:54-4:42	15:24-16:54	3:12-5:42	16:18-17:18	3:36-6:42	17:12-17:48	4:18-7:30		5:12-8:06		6:00-9:00	
		84	108	90	150	60	186	36	192		174		180	
10	2:00-4:36		2:30-5:42		3:12-6:30		3:54-7:24		4:36-8:18		5:36-8:54		6:36-9:18	
	156		192		198		210		222		198		162	



## 四、水域點雲適用性分析

空載光達其脈衝雷射波長大多在近紅外光範圍，水體對近紅外光吸收性強，但水底地表或水中物質仍可能反射近紅外光，因此仍然可得到一定比例的水域點雲。只是這些點雲可能分佈於水底地表、水面上或介於水面與水底之間。在實務上，應深入探討這些點雲是否適用於反演地形資料，若不適合則應該如何濾除這些點雲，才能正確應用空載光達於潮間帶之地形測量。

### 4.1 沿海點雲分佈範圍

測試區域為台南縣北門鄉沿海一帶，圖 4 為實際光達掃瞄範圍，(a)圖以不同顏色的點雲代表著不同的掃瞄航帶，而(b)圖為點雲密度分佈圖，以 5m×5m 網格計算範圍內點雲數量及密度。由於飛航路線的規劃所致，潮間帶區域每網格內的點雲數至少都在 100 點以上，而魚塢區域由於水面的吸收或鏡面反射的緣故，部分魚塢區域甚至無點雲資料。

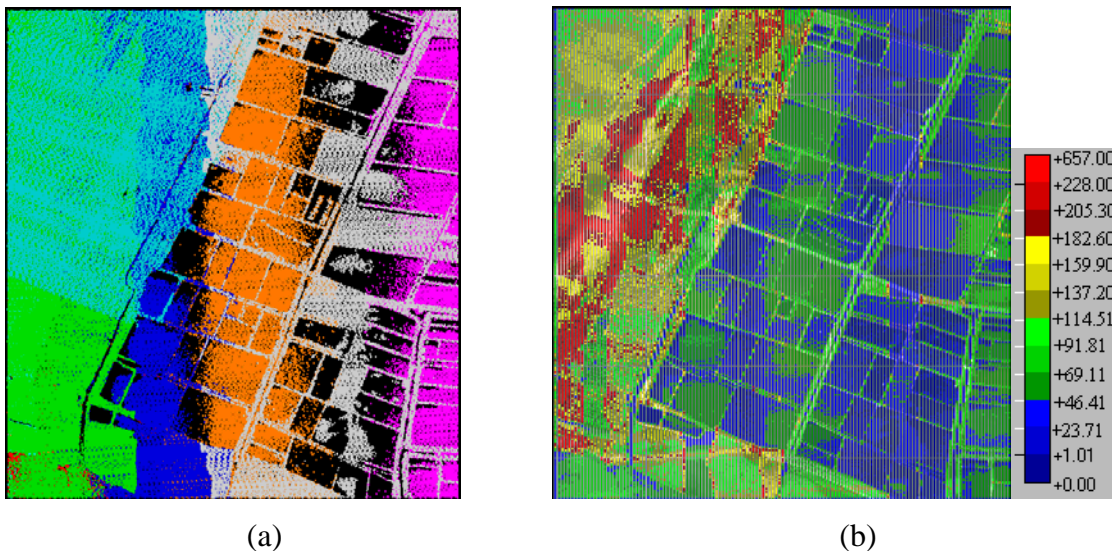
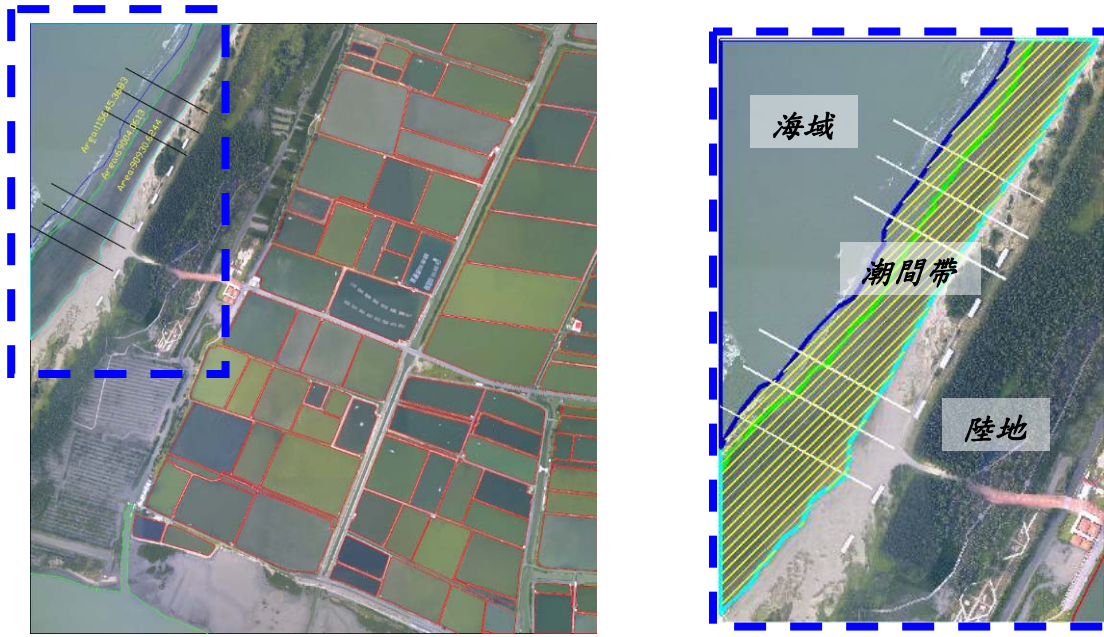


圖 4、測試區域之(a)點雲分佈及(b)點雲分佈密度圖。

為了瞭解潮間帶區域的點雲是否適合作為製作 DEM 之用，必須先判斷是否能分辨為何處為潮間帶區域；圖 5(a)為測試區正射影像，左上角為濱海區域，放大後如圖 5(b)。先以人工判斷影像上陸地、海域的分界線，淺藍色線以東判定為陸地區域，深藍線以西判定為海域區域，介於兩者之間的範圍即為潮間帶區域。此處點雲介於水陸交界處，此處多半為鬆軟之沙土、海水與沙土顏色近似，且有海水波浪之影響，水陸交界並非固定，因此相當不容易判斷點雲是落在水體或陸地區域，需進一步分析點雲之剖面圖，才能釐清點雲之適用性。



(a) (b)  
圖 5、(a)試驗區正射影像、(b)潮間帶局部放大圖

劃分出潮間帶區域後，接著使用光達資料判斷實際水線位置，方法如下：選擇由北至南近似垂直海岸線，長度 100 公尺、寬 1 公尺的矩形範圍共 6 條，概略位置如圖 5 中之 6 條白色矩形所示，萃取出每個矩形內的點雲投影至 XZ 平面，可以看出高程方向的分佈情形。圖 6 (a)-(f)為矩形依序由北至南排列，而上方影像圖中可看到每個矩形內又分成「水域」、「水陸交界」及「陸域」三類區域，下方則為投影後的點雲分佈圖，橫軸為 X 軸、縱軸為 Z 軸。

圖 6 (a)-(c)為北邊 3 條剖面之點雲高程分佈圖，剖面東側涵蓋防風林，因此高程呈現劇烈起伏變化；相對於圖 6(d)-(f) 之南邊 3 條剖面之點雲高程分佈圖，點雲高程變化則較為平緩。綜觀這 6 條剖面之點雲高程變化，可歸納出下列現象：

- 水體區域點雲高程呈現約有 1 公尺範圍的落差，而陸域的點雲高程分佈則較為一致；
- 潮間帶區域間，愈往西呈現如水域點雲高程分佈性質，而愈往東靠近陸地則趨於一致，且靠近水域的地方最高點高程與水域較為一致性的水平，反之靠近陸域的地方高程較高且漸緩上升；
- 水體區域點雲於最高位置連線較類似於水平面，而陸域因為地形的關係會有起伏或比水域較高的坡度現象；

水體區域點雲明顯不適用於反演地形，應加以濾除，而潮間帶區域則需檢視點雲高程變化的特性與現象，才能區分水陸交界線，有效選取適用的點雲。

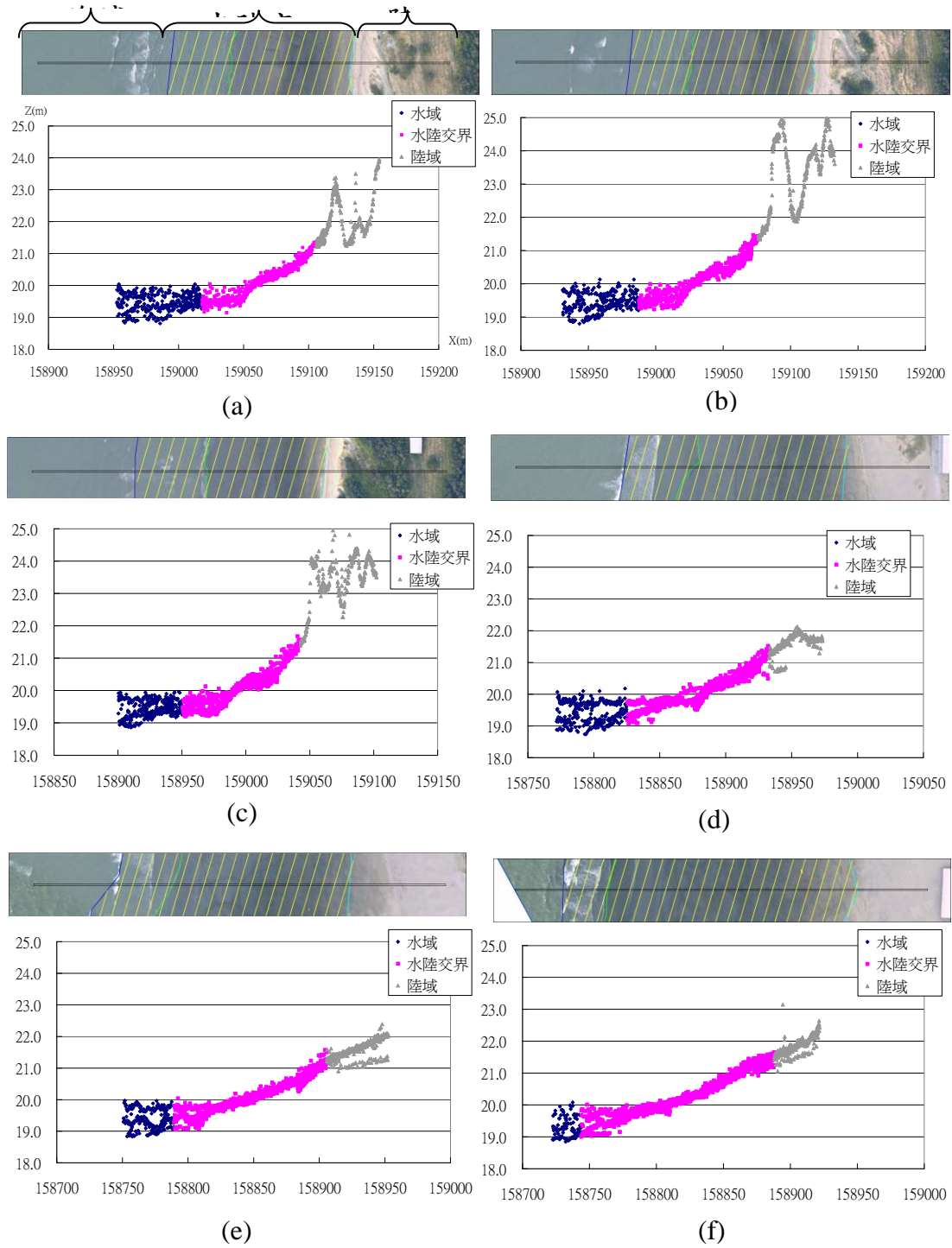


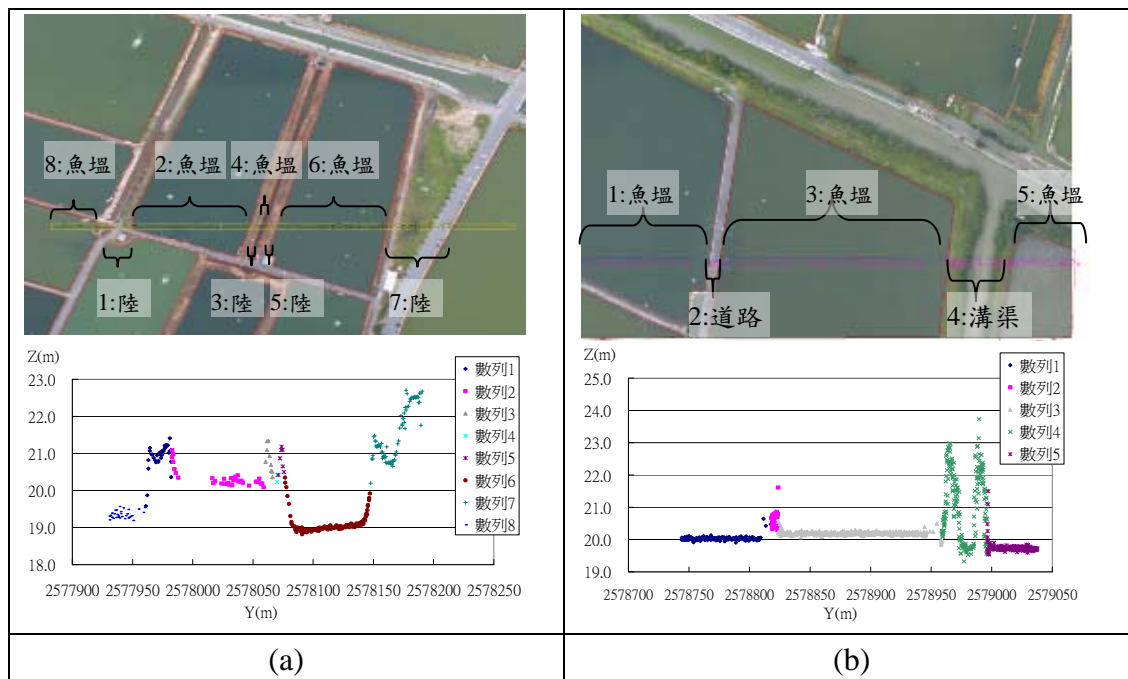
圖 6、對應於圖 5(b)之 6 條剖面之點雲高程分佈圖，(a)-(f)為依序由北至南排列之剖面。



## 4.2 漁塭點雲分佈

除了分析沿海潮間帶地區外，魚塭亦是相當重要的一環，由於台灣西部沿岸養殖業興盛，魚塭範圍在沿海地區佔據廣大的面積，以本次測區而言魚塭區域佔總面積將近 50%。本節以點雲的高程分佈與人工判別魚塭與陸地的差異。

於影像上以人工判斷出魚塭大致輪廓位置，於魚塭區域內擷取 7 個寬度 5 公尺的矩形範圍，由於矩形內包含多個魚塭與陸地地形重複交錯，且每一矩形內複雜度並不相同，故先人工判斷每區段的地形依序標記於影像上，萃取矩形內的點雲投影至 YZ 平面後與影像進行比對判別魚塭與陸地的點雲高程資料的相異處。圖 7 為其中四個矩形之影像及其點雲側視圖。



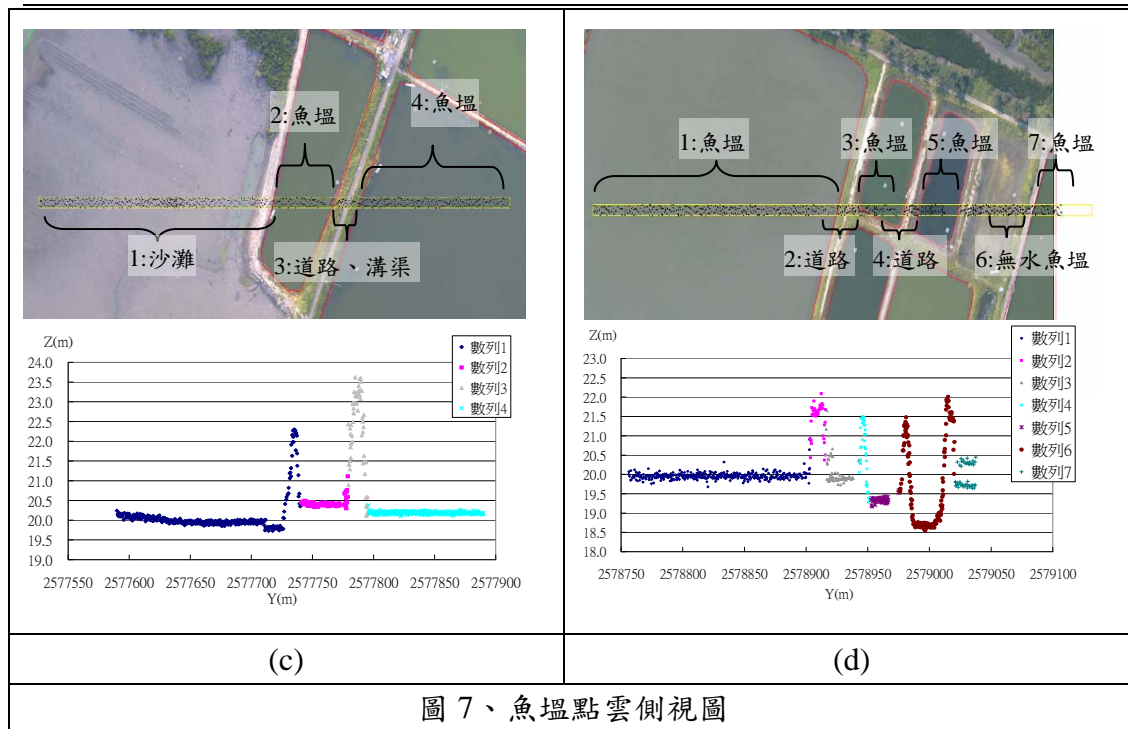


圖 7、魚塭點雲側視圖

魚塭的掃描情況可以由上圖看出，在魚塭間或魚塭與溝渠間的道路或田埂的點雲高程較高，而魚塭與溝渠都相對的較低，另外魚塭雖然是水體，但是沒有類似海平面高程不一致的反射現象，同一區域內不同航帶的魚塭點雲高程差異並不大，是因為魚塭內並沒有劇烈波浪海水起伏，且該區域內的點雲密度較低，高程變化不大。魚塭水體區域點雲高程接近水平分佈，且其分佈平面高度高於乾涸之魚塭，應可確認這些點雲是分佈於水面，應該不適合應用於反演地形資料，因此可直接由影像辨識邊界線，將魚塭水體區域的點雲濾除。

## 五、結論

臺灣地形四周環海，海岸線的地形資訊相當的重要，運用空載光達可以快速的獲取海岸線的 DEM 資料，配合潮汐的週期特性，在最低潮進行空載光達掃描便能取得最完整的海岸線地形。經分析，適合空載光達作業的日期分別為農曆朔望之際，其一出現於農曆月底月初(29~5 日)，其二出現於農曆月中(14~20 日)。在這兩段日期時段中，最低潮時間段約有 2~3 小時適合掃描，在年底年初(約冬季時期)的退潮時間段較長，可達 3 小時，而在年中(約夏季時期)的時間段較短，僅約 2 小時左右，顯示為冬季適合掃描的時間較夏季長。

海陸交界之潮間帶之水體區域點雲明顯不適用於反演地形，應加以濾除。而潮間帶多半為鬆軟之沙土、海水與沙土顏色近似，且有海水波浪之影響，水陸交界並非固定，因此相當不容易判斷點雲是落在水體或陸地區域。需檢視點雲高程變化的特性與現象，才能區分出水陸交界線，有效選取適用的點雲。另外，沿岸魚塭有相當多水體覆蓋區域，此研究分析顯示此區域點雲分佈於水面，不適合應用於反演地形資料。因此實務上需藉

---

由影像辨識邊水陸界線，將魚塭水體區域的點雲濾除。

### 參考文獻

- 中央氣象局，2007，中央氣象局全球資訊網<http://www.cwb.gov.tw/>，2007 年查閱。
- 內政部，2005，” LIDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序（草案）” ，共 132 頁。
- 徐偉城、陳大科、劉進金、史天元、王成機、陳思仁，2005，”以空載光達建立外傘頂洲數值高程模型”， 第二十四屆測量學術及應用研討會。
- 蕭國鑫、劉進金、陳大科、徐偉城、何心瑜，2008，” 多時影像與空載光達資料應用於地形變遷研究~以外傘頂沙洲為例” ，航測及遙測學刊，第十二卷，第四期，419-429 頁。
- Estep, L., 1993. A review of airborne lidar hydrographic (ALH) systems, The Hydrographic Journal, No. 67, January, pp.25-42.
- Guenther, G.C., 1989. Airborne laser hydrography to chart shallow coastal waters, Sea Technology, March, Vol. 30, No. 3, pp.55-59.
- Xhardé, R., Long, B.F. and Forbes, D.L. 2006. Accuracy and limitations of airborne LiDAR surveys in coastal environments. Proceedings, International Geoscience and Remote Sensing Symposium and 27th Canadian Symposium on Remote Sensing, Denver, 4 p.
- Woolard, J.W., Aslaksen, M., LT Longenecker, J., Ryerson, A, 2003, "Shoreline Mapping from Airborne LIDAR in Shilshole Bay, Washington." National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS), U.S.Hydrographic Conference, 2003.
- Wozencraft, J. M. and Irish, J.L. 2000. "Airborne lidar surveys and regional sediment management", Proceedings, 2000 EARSeL: Lidar Remote Sensing of Land and Sea, EARSeL, Dresden, Germany.

附件六 「應用空載光達於潮間帶地形測量  
之成果精度研究分析報告」



## 附件六、「應用空載光達於潮間帶地形測量之成果精度研究分析報告」

### 一、前言：

空載雷射掃描技術又稱光達 (Light Detection And Ranging, 簡稱 LiDAR) 是以航空器做為雷射掃描儀的載台, 結合雷射掃描系統、掃描儀、GPS 及慣性量測系統(IMU, Inertial Measurement Unit), 掃描測繪地表三維坐標, 使地形高程測量作業迅速、經濟且準確。國外對空載雷射掃描技術應用已推廣至各項工作, 如地表地形測繪、礦業開發、森林監測、海岸線監控、災害測量、環境景觀回復等多目標應用 (Davenport, 2000; St-Onge and Achaichia, 2001; Utkin et al, 2002); 而國內除內政部積極推動空載雷射掃描應用外, 另有農委會 90-91 年度計畫, 委由國立交通大學於九二一災區等地區掃描數據進行分析, 並提供學術單位進行相關研究 (史天元等, 2002; 邵怡誠等, 2003; 陳良建等, 2003); 水利署 95 年度辦理外傘頂洲地形變遷研究 (水利署, 2006); 中央地質調查所於 94 年度起辦理「大臺北地區特殊地質災害調查與監測—高精度空載雷射掃描(LiDAR) 地形測製與構造地形分析」等大型空載雷射掃描地形建置研究案。

應用空載光達產製 DEM, 其誤差來源可包括幾個類別群組的誤差源, 包括 LiDAR 儀器系統群組的誤差源、飛機載台特性、數據處理方法所引入的誤差源、測區地形坡度與植被覆蓋等環境條件所引起測高精度的差異性。相應於這些誤差源, 光達測量品質的重點, 包括儀器系統率定, 降低儀器系統群組的誤差源, 藉由飛航參數的設計, 獲取較高精度的數據。檢討數據處理作業流程以改進數據分析的品質, 最後以獨立的檢核數據檢核驗證 DEM 品質。

### 二、本案使用軟體及功能簡介：

雷射點與實測點比較則利用芬蘭 Terrasolid 公司出品之 Terrascan 內之「Output Control Report」功能, 利用已知點附近之三個最鄰近網格點內插其高程後與已知控制點之高程比較而得出其較差值; 其中 Known points 為所有欲比較之已知點檔案, Class 為欲比較之點位所在之層, Max triangle 為已知點附近之搜尋半徑 10 公尺, Max slope 為用以計算比較高差之最大地形坡度 30 度, Z tolerance 則為計算時使地形坡度不超過最大坡度時之正常雷射點高差 1.0 公尺。

### 三、空載光達系統率定成果：

空載光達系統率定主要因雷射掃瞄器坐標系與機身坐標系之間，常因安置上或時間上的影響，造成不平行之偏差量，適時的修正偏差量方可得到較正確的結果。本案以空載光達技術掃描潮間帶地區基本地形測量，為獲取高精度空載光達成果品質及合約要求，需進行系統率定作業。

空載雷射掃描整體系統包括雷射掃描系統硬體元件、飛行載台（固定翼飛機或直昇機）、GPS 與 IMU 元件及數據處理軟體等整合構成作業系統。本公司主要使用空載雷射掃描儀為加拿大 Optech 公司生產型號 ALTM 3070 雷射掃描儀。雷射掃描系統結合雷射測距、光學掃瞄、GPS 及 IMU 等技術，能快速獲得掃描點三維坐標及反射強度。空載雷射掃描作業在飛行前應進行詳細的飛行計畫安排，包括飛行航線、航帶重疊度、飛行高度等之規劃及確定，此外須針對目的需求設計掃描參數，掃描後之數據需進行後續資料處理及相關應用，目前大多以生產數值高程模型為主要目的。

#### 【水平精度成果】

利用 PITCH、ROLL 值變化量達收斂理論精度(參考廠商提供 IMU 精度)約為  $0.004^\circ$  範圍內時，即代表完成率定的，故下方針對 PITCH、ROLL 變化作統計與列表，且將新的率定值結果針對真實地面座標作水平上的分析。成果顯示：收斂精度皆已符合  $0.004^\circ$  內。

表 1 率定過程中 PITCH 值變化表(單位：度)

率定計算次數	1	2	3(FINAL)
PITCH	-0.0660	-0.0606	<b>-0.0608</b>

表 2 率定過程中 ROLL 值變化表(單位：度)

率定計算次數	1	2(FINAL)
ROLL	0.0206	<b>0.0209</b>

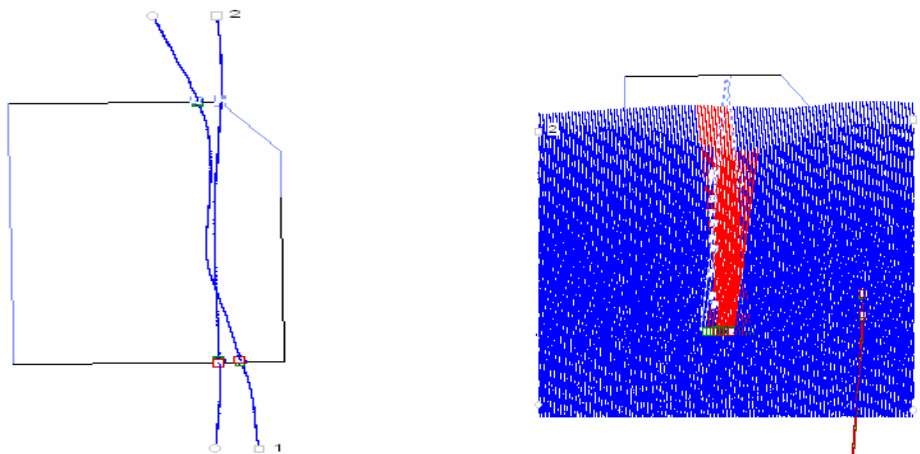


圖 1 (a) Profile 式掃描建築物示意圖 (b) Scan 式掃描建築物示意圖

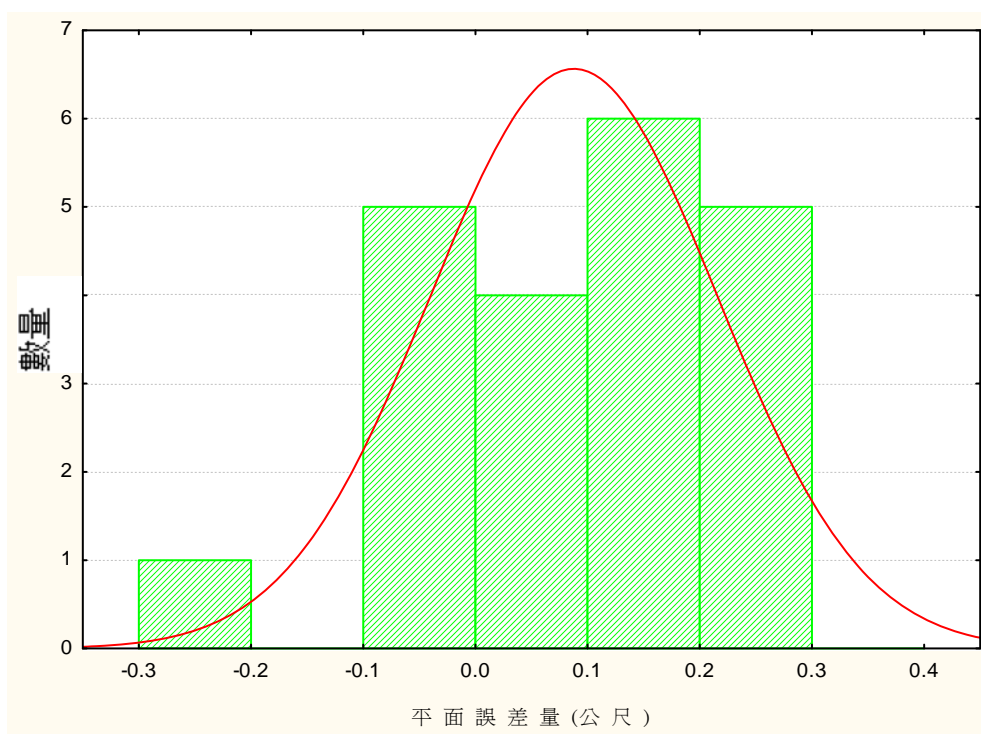


圖 2 雷射點比對馬路之平面精度分析表

### 【高程精度成果】

將率定後的 PITCH、ROLL 新值算出新的成果，比對一條平坦和堅硬的地表(如：馬路)。下列為其統計成果：

表 3 高程分析統計表

統計量	最大差異量	最小差異量	平均差異量
雷射點雲比對馬路成果	0.09m	0m	0.01m

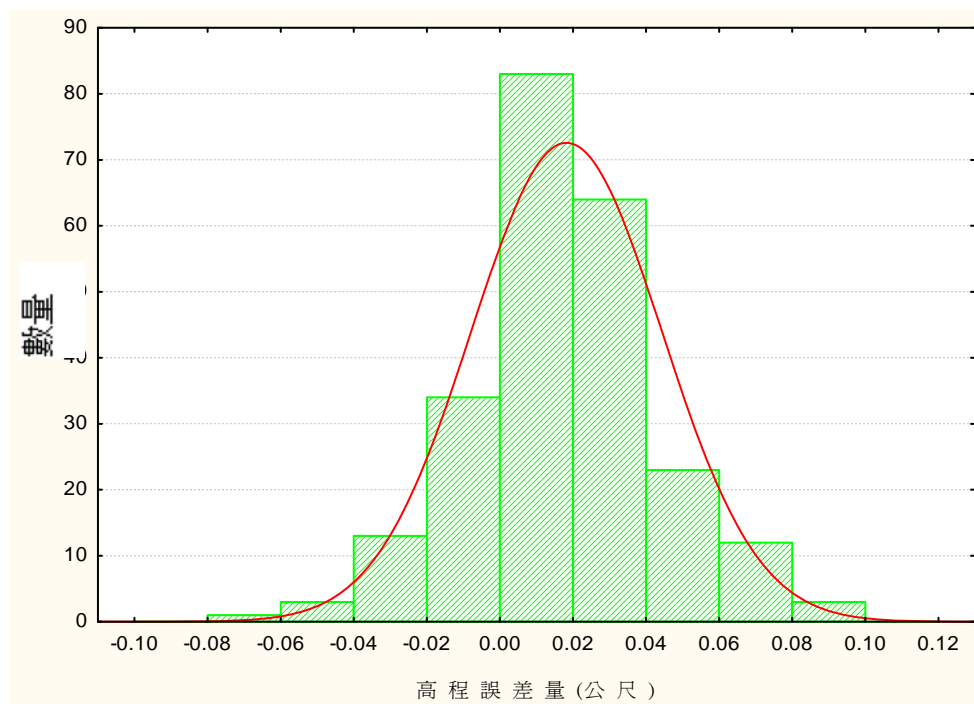


圖 3 雷射點比對馬路之高程精度分析表

#### 四、點雲內部精度檢核：

內部精度即代表航帶間精度。先以人工視覺檢核航帶間重疊情形，如圖 4 所示。復利用多條航帶重疊處組成之 TIN 進行高程差異的比對，以獲取航帶間的差異性。本分析目的為獲致航帶間是否存在有未率定之系統誤差以確保資料之精度，並需進行(a)交叉航帶誤差分析(b)重疊航帶誤差分析。

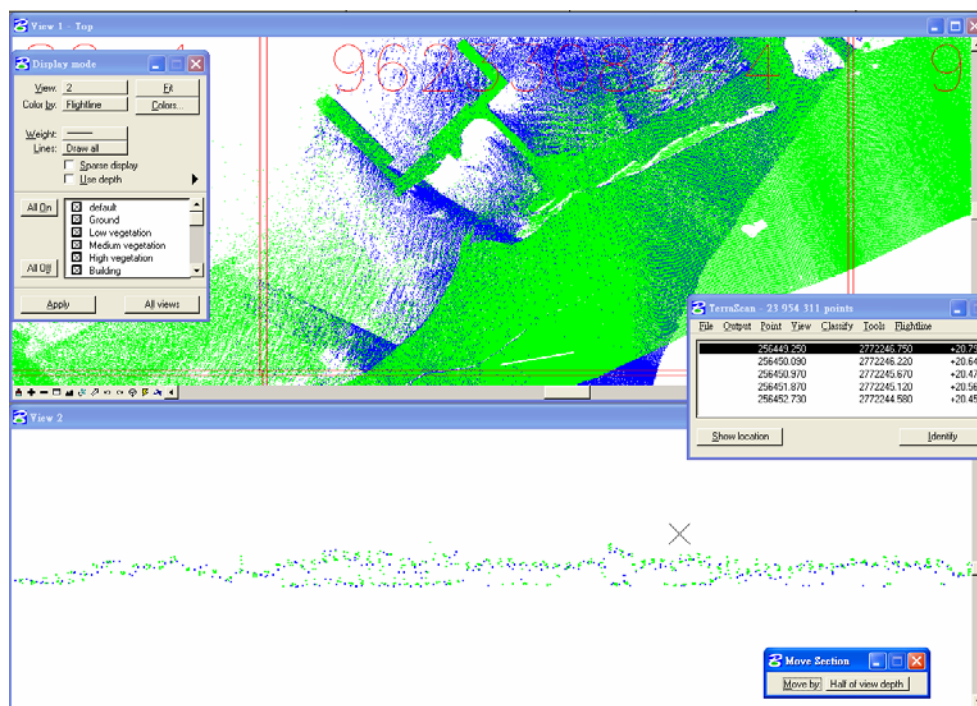


圖 4 人工視覺檢核航帶間重疊情形

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、高差約制為 20 公分(圖 5)，以進行航帶重疊區及交叉航帶誤差分析。

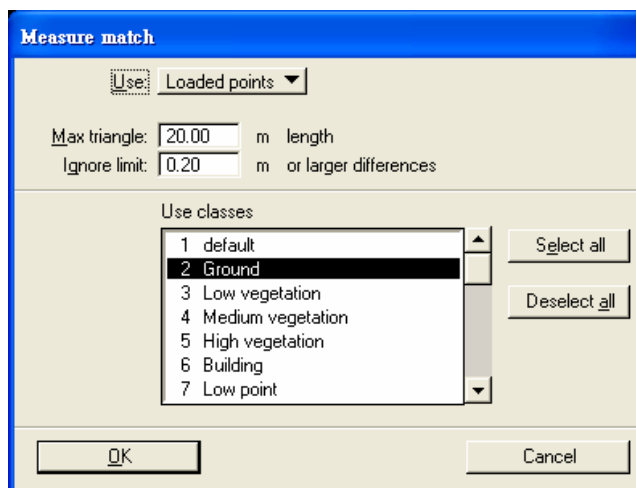


圖 5 Measure Match 參數設定

航帶重疊區數據之分析結果如表 4，北區高、低潮位高差平均量分別為 0.078 公尺與 0.079 公尺。北區交叉航帶數據之分析結果如表 5，其高差平均量為 0.077 公尺。

表 4 北區航帶重疊區數據之分析結果

低潮位				高潮位			
高差平均量(m)	0.075			高差平均量(m)	0.077		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
39	105	0.100	-0.064	1	781	0.108	-0.098
40	326	0.050	-0.027	2	6448	0.082	-0.040
41	314	0.055	0.028	3	168	0.100	-0.044
42	1036	0.060	0.041	5	460	0.136	-0.117
43	520	0.071	-0.002	6	825	0.127	-0.127
44	138	0.115	0.092	7	1252	0.108	0.113
45	2041	0.068	-0.004	8	237	0.089	0.056
46	4815	0.067	0.002	9	1163	0.091	0.093
47	229	0.079	-0.036	10	1444	0.090	-0.075
48	400	0.137	0.139	11	138	0.101	0.004
49	1327	0.085	-0.084	12	195	0.063	0.042
50	1400	0.086	-0.048	13	399	0.078	-0.029
51	1074	0.095	0.087	15	493	0.085	0.012
52	761	0.057	-0.048	17	2207	0.090	-0.073
53	654	0.058	-0.011	18	2353	0.080	-0.058
54	651	0.059	0.011	19	696	0.083	0.024
55	734	0.064	0.050	20	417	0.035	-0.017
56	164	0.089	-0.010	21	2216	0.065	-0.054
57	179	0.060	0.001	22	433	0.037	0.017
58	956	0.110	0.113	23	2193	0.064	0.055
59	421	0.062	-0.021	24	6106	0.045	-0.011
60	616	0.066	0.043	25	714	0.100	0.096
61	3605	0.060	0.006	26	501	0.061	0.018
62	957	0.064	0.025	27	1788	0.059	0.027
63	2777	0.081	0.053	29	617	0.063	-0.043
64	1034	0.109	-0.083	30	2228	0.057	0.002
65	2486	0.065	0.018	31	1424	0.072	0.028
66	526	0.132	-0.122	32	3828	0.078	-0.038
67	240	0.066	-0.001	33	3687	0.102	-0.100
68	1264	0.072	-0.024	34	1025	0.064	-0.023
69	3000	0.115	-0.102	35	4485	0.088	0.032
72	129	0.100	0.058	36	1713	0.083	0.039
73	4038	0.059	-0.005	37	784	0.065	0.015
74	1258	0.057	-0.021	38	792	0.065	-0.015
75	797	0.071	-0.011				
76	709	0.064	0.013				
77	487	0.076	0.001				

表 5 北區交叉航帶平差分析結果

高差平均量(m)	0.077		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
4	633	0.070	0.018
14	10459	0.080	-0.001
16	234	0.064	-0.048
28	13644	0.074	0.007
70	488	0.081	-0.071
71	389	0.090	0.089

南區航帶重疊區數據之分析結果如表 6，高、低潮位高差平均量分別為 0.159 公尺與 0.126 公尺；南區作業區中，共進行 9 條交叉航線，交叉航帶數據之分析結果如表 7，其高差平均量為 0.117 公尺。

表 6 南區航帶重疊區數據之分析結果

低潮位				高潮位			
高差平均量(m)	0.197			高差平均量(m)	0.179		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
24	4673	0.198	-0.006	24	111	0.130	-0.031
1	4812	0.174	0.004	21	70	0.104	0.006
2	2523	0.228	-0.001	20	14362	0.140	0.062
20	697	0.174	0.027	17	11057	0.173	0.052
19	804	0.250	0.183	19	2000	0.205	0.051
25	964	0.293	-0.226	30	3789	0.203	0.042
17	1425	0.150	0.014	18	4627	0.209	-0.165
18	80	0.146	0.036	29	3622	0.127	0.033
9	67	0.121	-0.030	10	556	0.104	0.070
10	98	0.139	-0.014	11	601	0.102	0.063
17	48	0.097	0.004	12	3189	0.254	0.220
27	29	0.196	0.045	13	3424	0.318	-0.053
				14	1185	0.173	-0.073
				8	34	0.142	0.142
				9	218	0.116	0.106
				28	86	0.097	0.042
				7	109	0.066	-0.040
				5	174	0.159	0.154
				6	152	0.084	-0.028
				27	71	0.119	-0.015
				26	351	0.085	0.008
				4	153	0.132	-0.016
				3	188	0.176	0.162
				2	81	0.148	0.053
				1	22	0.117	0.117

表 7 南區交叉航帶平差分析結果

高差平均量(m)	0.152		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
41	76	0.071	-0.015
36	101	0.097	0.088
38	70	0.115	0.011
33	25	0.161	0.161
64	38	0.064	0.037
37	7381	0.232	0.145
39	782	0.104	-0.010
35	9291	0.126	0.043
34	6832	0.110	0.011

#### 五、航帶平差成果評估：

以 TerraMatch 軟體之 Find Match 功能決定欲求解之參數進行航帶平差



計算與改正，以 5m×5m 選取範圍(圖 6 為 5m×5m 區塊分佈情形)進行點雲資料之平均高程計算，以儀器精度為其平差收斂條件。再加上採用 TerraMatch 模組之 Measure Magnitude 功能，檢視航帶平差前後成果。

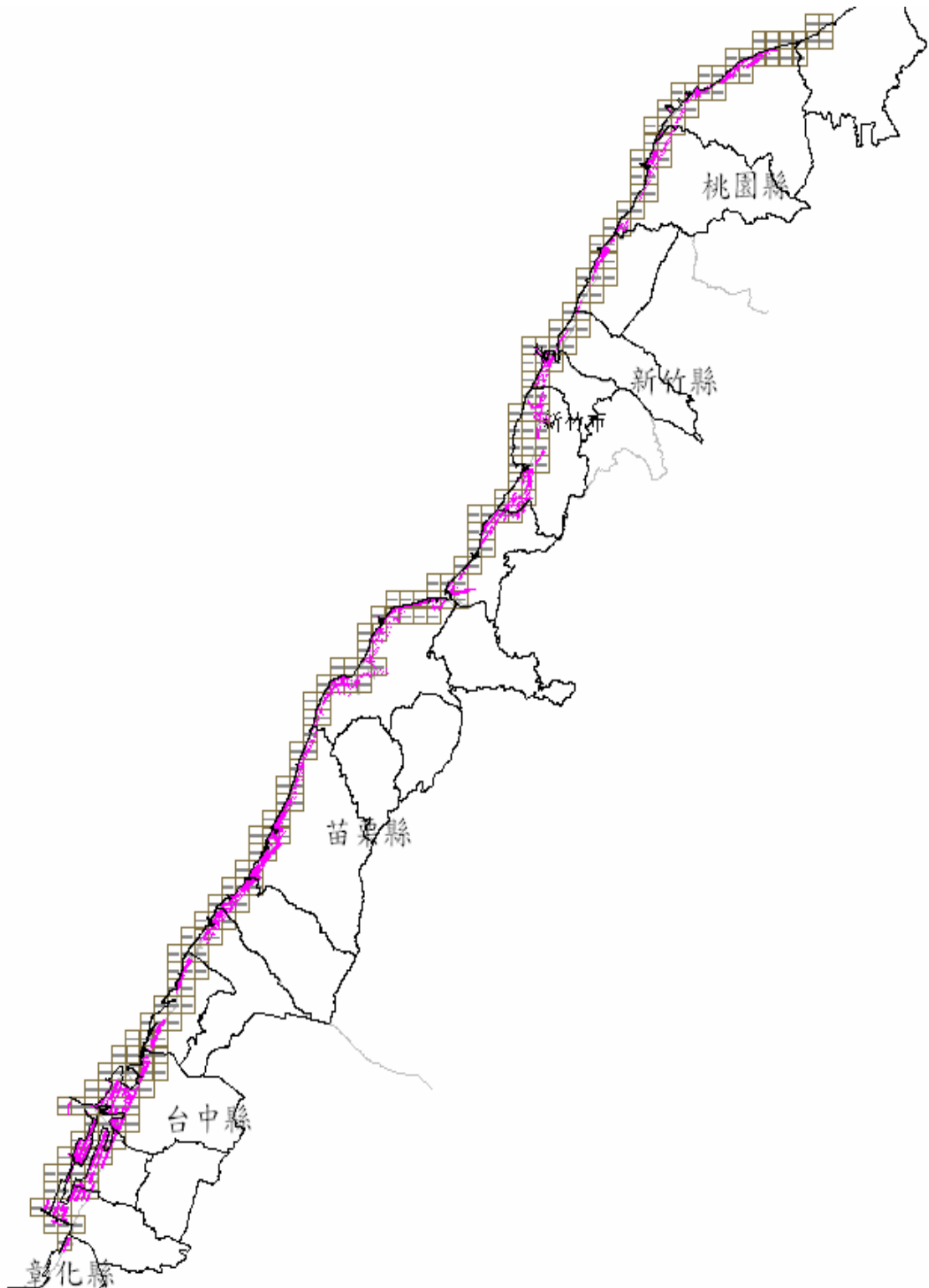


圖 6a 北區平差區塊分佈圖(全區)



圖 6b 北區平差區塊分佈圖例圖

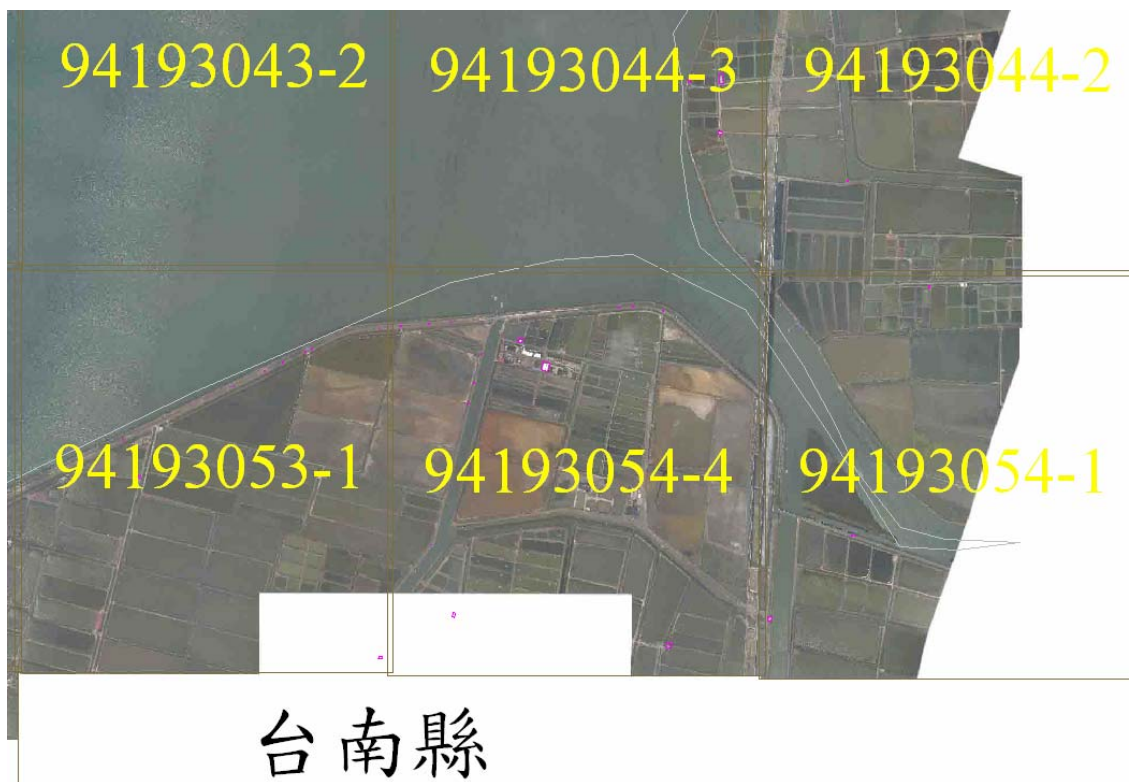


圖 6c 南區平差區塊分佈圖例圖

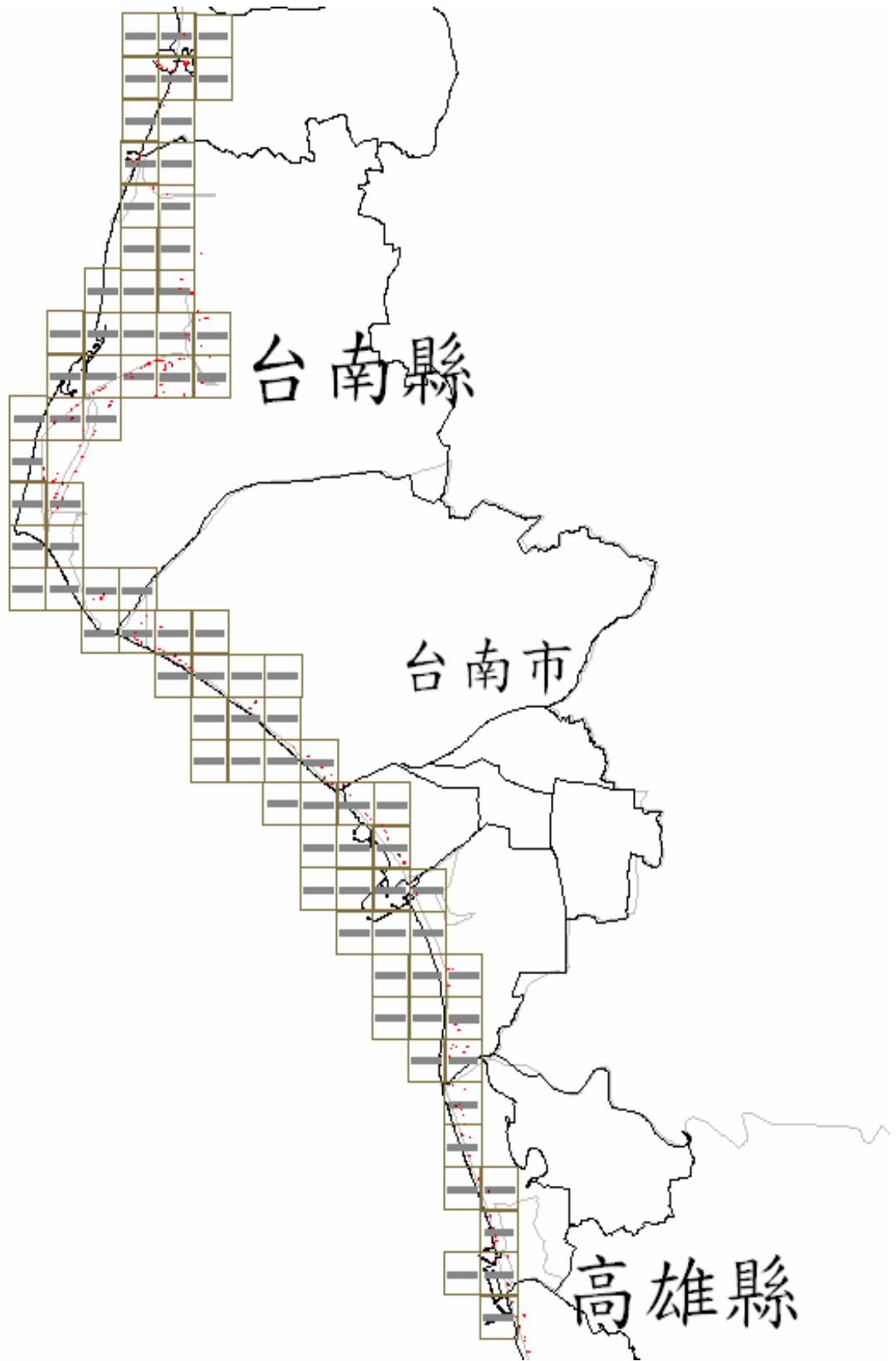


圖 6d 南區平差區塊分佈圖(全區)

而北區航帶平差前後平均絕對高差量比較成果如表 8 所示；由表中可知，高差平均量由 0.078 公尺降為 0.068 公尺，由於本案作業範圍多為潮間帶作業區域，地勢起伏較為平坦，因此本次航帶平差作業對 LiDAR 高程精度的提升並無顯著改善效果。圖 7 為航帶平差計算結果例，其中，average magnitude 為高差平均量，points 為計算點數，magnitude 為絕對高差量，Dz 則為高差，單位均為公尺。

Average magnitude:		0.17149	
Flightline	Points	Magnitude	Dz
209	3888	0.1955	+0.0172
210	4317	0.2239	+0.0487
211	2472	0.1345	+0.0104
205	464	0.3212	+0.0486
203	972	0.0872	+0.0046
204	1172	0.0872	-0.0058
212	1372	0.0887	-0.0158
202	52	0.1703	-0.1067
206	21	0.2250	+0.0889
207	42	0.1031	-0.0160
201	36	0.0599	+0.0292
208	7	0.5266	-0.4309

圖 7 航帶平差計算結果例

表 8 北區航帶平差分析結果

低潮位線						
高差平均量(m)	平差前			平差後		
	0.078			0.068		
	航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	點數	絕對高差量(m)
39	105	0.100	-0.064	125	0.093	-0.045
40	326	0.050	-0.027	322	0.040	-0.002
41	314	0.055	0.028	315	0.043	0.002
42	1036	0.060	0.041	1028	0.052	-0.003
43	520	0.071	-0.002	519	0.068	0.009
44	138	0.115	0.092	86	0.109	0.096
45	2041	0.068	-0.004	2065	0.066	-0.004
46	4815	0.067	0.002	4845	0.066	0.002
47	229	0.079	-0.036	226	0.073	-0.025
48	400	0.137	0.139	528	0.117	0.118
49	1327	0.085	-0.084	1219	0.075	0.038
50	1400	0.086	-0.048	1583	0.074	-0.005
51	1074	0.095	0.087	1111	0.068	0.054
52	761	0.057	-0.048	770	0.056	-0.032
53	654	0.058	-0.011	655	0.054	0.011
54	651	0.059	0.011	671	0.051	-0.010
55	734	0.064	0.050	728	0.053	0.034
56	164	0.089	-0.010	157	0.087	-0.044
57	179	0.060	0.001	178	0.058	0.001
58	956	0.110	0.113	546	0.088	-0.010
59	421	0.062	-0.021	422	0.061	-0.006
60	616	0.066	0.043	619	0.057	0.024
61	3605	0.060	0.006	3598	0.059	-0.012
62	957	0.064	0.025	947	0.062	0.025
63	2777	0.081	0.053	2862	0.071	0.021
64	1034	0.109	-0.083	1155	0.064	-0.037
65	2486	0.065	0.018	2463	0.062	0.005
66	526	0.132	-0.122	682	0.085	-0.079
67	240	0.066	-0.001	238	0.066	-0.001
68	1264	0.072	-0.024	1258	0.071	-0.024
69	3000	0.115	-0.102	2864	0.095	-0.079
72	129	0.100	0.058	120	0.083	0.028
73	4038	0.059	-0.005	4033	0.059	0.003
74	1258	0.057	-0.021	1249	0.057	-0.019
75	797	0.071	-0.011	783	0.067	0.013
76	709	0.064	0.013	699	0.062	-0.014
77	487	0.076	0.001	488	0.075	0.002

高潮位線						
	平差前			平差後		
高差平均量(m)	0.079			0.068		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
1	781	0.108	-0.098	812	0.088	-0.077
2	6448	0.082	-0.040	6465	0.080	-0.036
3	168	0.100	-0.044	168	0.080	-0.020
5	460	0.136	-0.117	465	0.107	-0.090
6	825	0.127	-0.127	854	0.092	0.036
7	1252	0.108	0.113	809	0.096	-0.066
8	237	0.089	0.056	240	0.086	0.048
9	1163	0.091	0.093	1102	0.094	0.027
10	1444	0.090	-0.075	1402	0.086	0.093
11	138	0.101	0.004	146	0.009	0.020
12	195	0.063	0.042	1402	0.086	-0.073
13	399	0.078	-0.029	401	0.073	-0.011
15	493	0.085	0.012	504	0.082	0.023
17	2207	0.090	-0.073	2221	0.085	-0.050
18	2353	0.080	-0.058	2591	0.072	-0.023
19	696	0.083	0.024	691	0.083	0.025
20	417	0.035	-0.017	419	0.032	0.006
21	2216	0.065	-0.054	2204	0.049	-0.023
22	433	0.037	0.017	437	0.034	-0.006
23	2193	0.064	0.055	2177	0.050	0.023
24	6106	0.045	-0.011	6099	0.045	-0.010
25	714	0.100	0.096	756	0.054	0.037
26	501	0.061	0.018	500	0.060	0.005
27	1788	0.059	0.027	1793	0.059	0.026
29	617	0.063	-0.043	619	0.056	-0.024
30	2228	0.057	0.002	2221	0.056	-0.007
31	1424	0.072	0.028	1437	0.071	0.025
32	3828	0.078	-0.038	3933	0.067	0.013
33	3687	0.102	-0.100	4443	0.089	0.082
34	1025	0.064	-0.023	1019	0.063	-0.023
35	4485	0.088	0.032	4873	0.070	-0.010
36	1713	0.083	0.039	1985	0.072	0.004
37	784	0.065	0.015	790	0.052	0.014
38	792	0.065	-0.015	826	0.053	-0.013

表 9 為低潮位線航帶平差成果，表 10 則為高潮位線航帶平差成果。由表 9 中可知在低潮位線部份，航帶平差前後之高差平均量變化不大(0.197 公尺變為 0.171 公尺)，表 10 知航帶平差前後有 4.0 公分之差異(0.170 公尺變為 0.130 公尺)；低潮位線部份平差前後變化不大之原因可能是該處均為含水量較高之潮間帶地區，導致高差量變化不大。

表 9 南區低潮位線航帶平差成果

低潮位線						
	平差前			平差後		
高差平均量(m)	0.197			0.171		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
24	4673	0.198	-0.006	3888	0.196	0.017
1	4812	0.174	0.004	4317	0.224	0.049
2	2523	0.228	-0.001	2472	0.135	0.010
20	697	0.174	0.027	464	0.321	0.049
19	804	0.250	0.183	972	0.087	0.005
25	964	0.293	-0.226	1172	0.087	-0.006
17	1425	0.150	0.014	1372	0.089	-0.016
18	80	0.146	0.036	52	0.170	-0.107
9	67	0.121	-0.030	21	0.225	0.089
10	98	0.139	-0.014	42	0.103	-0.016
17	48	0.097	0.004	36	0.060	0.029
27	29	0.196	0.045	7	0.527	-0.431



表 10 南區高潮位線航帶平差成果

高潮位線						
高差平均量(m)	平差前			平差後		
	0.170			0.130		
航線編號	點數	絕對高差量(m)	高差(m)	點數	絕對高差量(m)	高差(m)
41	76	0.071	-0.015	62	0.040	-0.027
36	101	0.097	0.088	87	0.044	0.012
38	70	0.115	0.011	67	0.094	-0.014
24	111	0.130	-0.031	88	0.061	-0.008
33	25	0.161	0.161	18	0.065	0.056
64	38	0.064	0.037	38	0.026	-0.004
21	70	0.104	0.006	82	0.102	0.007
37	7381	0.232	0.145	6947	0.216	0.042
20	14362	0.140	0.062	13996	0.102	-0.003
39	782	0.104	-0.010	758	0.082	0.035
17	11057	0.173	0.052	10589	0.130	-0.007
35	9291	0.126	0.043	8764	0.125	-0.014
19	2000	0.205	0.051	1967	0.219	-0.006
30	3789	0.203	0.042	3343	0.171	-0.051
18	4627	0.209	-0.165	4430	0.160	-0.014
29	3622	0.127	0.033	7284	0.090	-0.047
34	6832	0.110	0.011	4658	0.070	-0.007
10	556	0.104	0.070	443	0.269	0.229
11	601	0.102	0.063	451	0.273	-0.253
12	3189	0.254	0.220	3143	0.143	0.009
13	3424	0.318	-0.053	3137	0.105	0.012
14	1185	0.173	-0.073	3206	0.120	0.004
8	34	0.142	0.142	23	0.083	0.018
9	218	0.116	0.106	171	0.128	0.085
28	86	0.097	0.042	66	0.147	0.067
7	109	0.066	-0.040	69	0.121	0.050
5	174	0.159	0.154	92	0.114	-0.039
6	152	0.084	-0.028	97	0.123	-0.069
27	71	0.119	-0.015	60	0.118	-0.078
26	351	0.085	0.008	272	0.226	-0.210
4	153	0.132	-0.016	79	0.097	-0.025
3	188	0.176	0.162	101	0.160	0.041
2	81	0.148	0.053	53	0.187	-0.037
1	22	0.117	0.117	15	0.255	-0.255

六、點雲強度值分析：依據測區不同地形地物類別，利用正射影像(如圖 8)，選取特殊點，如建物、植被、水泥道路、柏油道路等，統計分析其點雲反射強度值。



建物選取情形(圖中紅色框線)



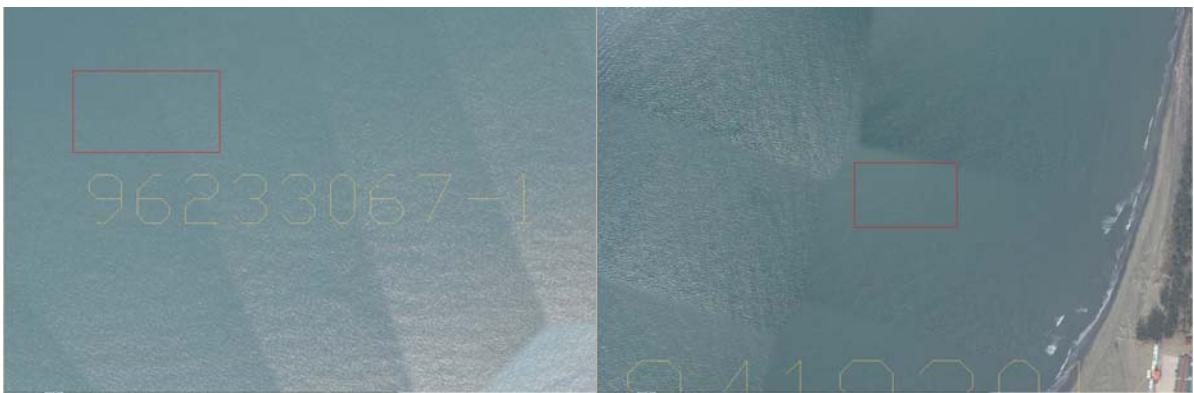
植被區選取情形(圖中紅色框線)



水泥道路選取情形(圖中紅色框線)



柏油道路選取情形(圖中紅色框線)

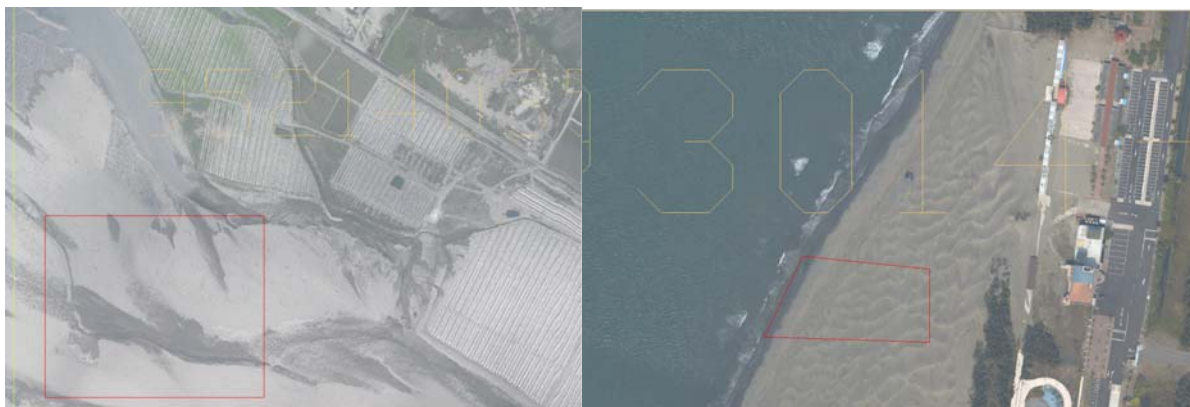


水體選取情形(圖中紅色框線)



田地選取情形(圖中紅色框線)





泥沙地選取情形(圖中紅色框線)

圖 8 點雲強度分析圈選圖例

分區	北區	南區	北區	南區	北區	南區	北區	南區
類別	裸露地		水泥路面		水體		沙地	
點數	6631	32533	17349	18451	30752	21535	442889	30198
最小值	0	0.1	0	0.2	0	0.1	0.8	0.1
25%值小於	8.4	2.4	15.6	1.4	2.4	0.3	13	0.9
中值	10.1	6	23.3	3.2	4.5	0.7	17	2.4
75%值小於	12.8	7.8	24.4	4.2	7.4	1.2	19.6	2.7
最大值	25.5	17.4	25.5	8.1	25.5	24	25.5	5.1
類別	植生地		柏油路面		田地			
點數	2111	35659	7448	19756	2395	17487		
最小值	0	0.1	0.9	0.1	6.1	0.1		
25%值小於	9.6	0.6	2	0.4	13.6	1.1		
中值	16.2	1.4	2.6	0.5	16.2	2		
75%值小於	20.7	2.5	3.9	1.2	18.1	3.4		
最大值	25.5	10	25.5	6.6	25.2	10.4		

表 11 點雲強度分析結果

點雲強度分析結果如表 11 所示，由表中可知在各種地類分類中，北區 75% 點雲強度值分布較廣(3.9~24.4)，而南區 75% 點雲強度值較集中(1.2~7.8)；但 LiDAR 記錄之點雲強度值均為相對量，並無一致的指標性存在。

#### 七、點雲外部精度檢核：

DEM 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(單位 m)為地表植被平均高度。

本案定義 a 為 0.3 公尺。B(單位 m)、c(無單位)如下表 12：

表 12 地形類別及其調整參數對照表

地形類別(編碼)	b	植被覆蓋類別	c
平地(P):地表坡度在 2°以下	0.0	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	0.00
丘陵(H):地表坡度在 2°~6°之間	0.3	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	0.10
山地(M):地表坡度在 6°~25°之間	1.0	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	0.20
陡峭山地(C):地表坡度在 25°以上	2.0	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	0.30

針對本案測區內不同土地覆蓋分區進行檢核，其檢核內容說明如下：

#### 【陸域土地覆蓋精度分析】

評估不同土地覆蓋分區精度，每 20 幅分幅（不含高潮位線測量之圖幅）需進行 1 幅檢核，土地覆蓋分區至少需有(1)裸露地、(2)矮植被（周圍高度不超過 1 公尺之植被）、(3)植生地、(4)林地、(5)沙地，另需針對本案作業區域特殊之地形辦理其他分類之檢核，各分類別之編碼如表 13。每種土地覆蓋分區至少有 10 個地面測量檢核點。地面檢核點允許在平坦坡度，且避開（離開）地形斷線特徵處 5 公尺以上。

表 13 陸域土地覆蓋分區編碼表

分類編碼	分類名稱
B	裸露地
L	矮植被
V	植生地
F	林地
S	沙地

## 【陸域剖面檢核精度分析】

須施行約略平行岸線及垂直岸線之地面檢核剖面，4 條檢核剖面均至少 20 個檢核點，檢核點間距需大於 20 公尺。剖面檢核測量點允許選擇透空平坦地進行大剖面檢核，其檢核點編碼以 PS 表示。

地面實測點檢核作業以 VRS 進行地面檢核點之實測作業，VRS-RTK 基本觀念係以多個 GPS 基準站全天候連續地接收衛星資料，透過網際網路或其它通訊設備傳輸至控制及計算中心後，將各基準站觀測資料加以處理，建立區域性系統誤差模型。施測時於移動站附近虛擬一個基準站(一般採用移動站單點定位坐標)，並就區域性系統誤差模型進行即時內插處理，組成虛擬基準站觀測資料。虛擬基準站觀測數據與移動站觀測資料進行「超短基線」RTK 定位解算後，即可獲得移動站公分級定位精度；其平面精度控制於  $10\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ ，高程控制部分  $25\text{mm} \pm 5\text{ppm}$ ，以上精度符合內政部一等衛星控制點操作規範。



(B) 裸露地

(L) 矮植被



(V) 植生地

(F) 林地



(S) 溼地

(PS) 橫斷面

圖 9 各類地面檢核測點

圖 10 各類地面檢核點分布情形，其中裸露地為黃色點、矮植被為綠色點、植生地為青色點、林地為藍色點、沙地為紫紅色點，而橫斷面檢核點則為青藍色點。



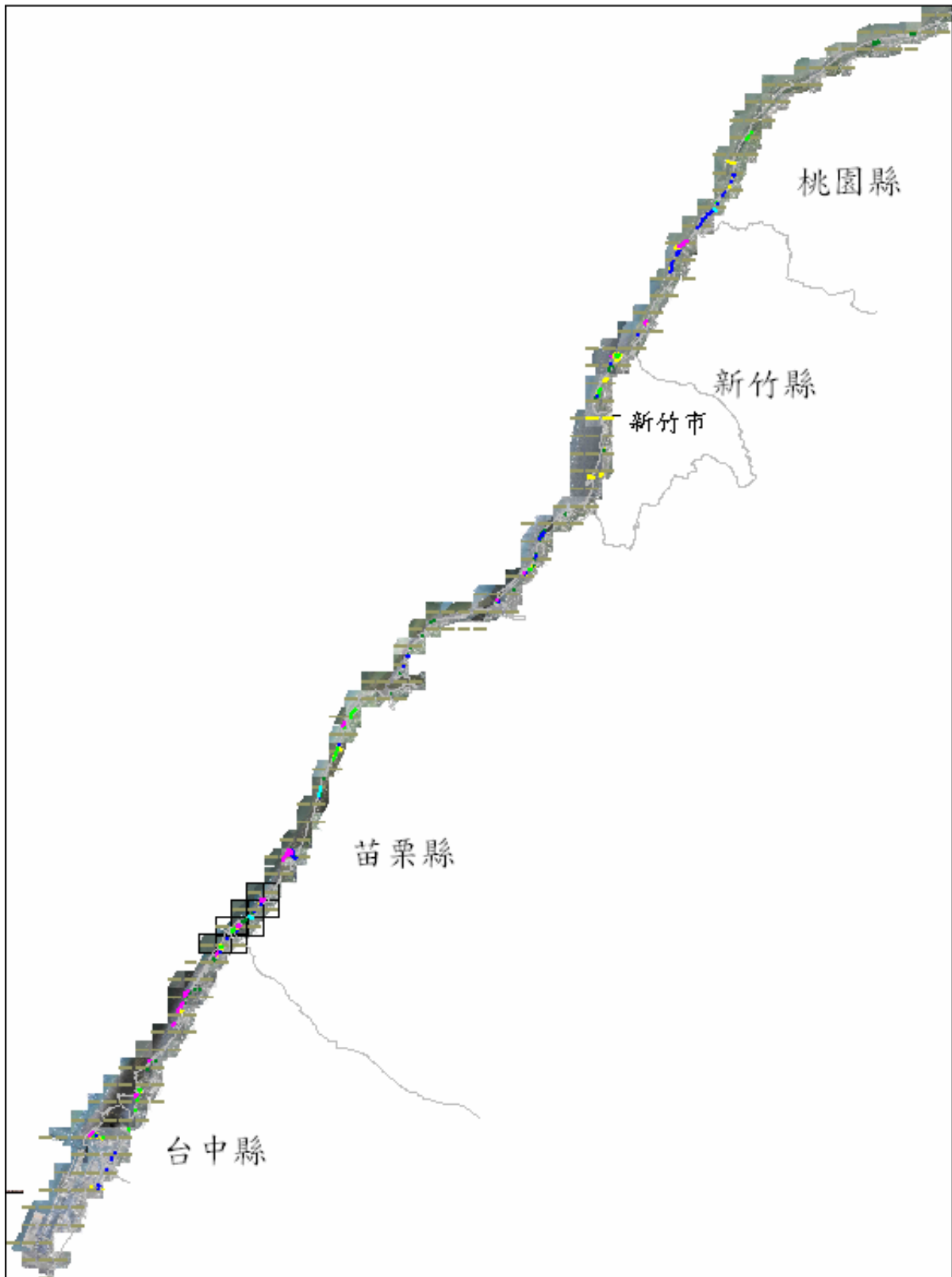


圖 10a 北區各類地面檢核點分布情形(全區)



圖 10b 北區各類地面檢核點分布情形例圖

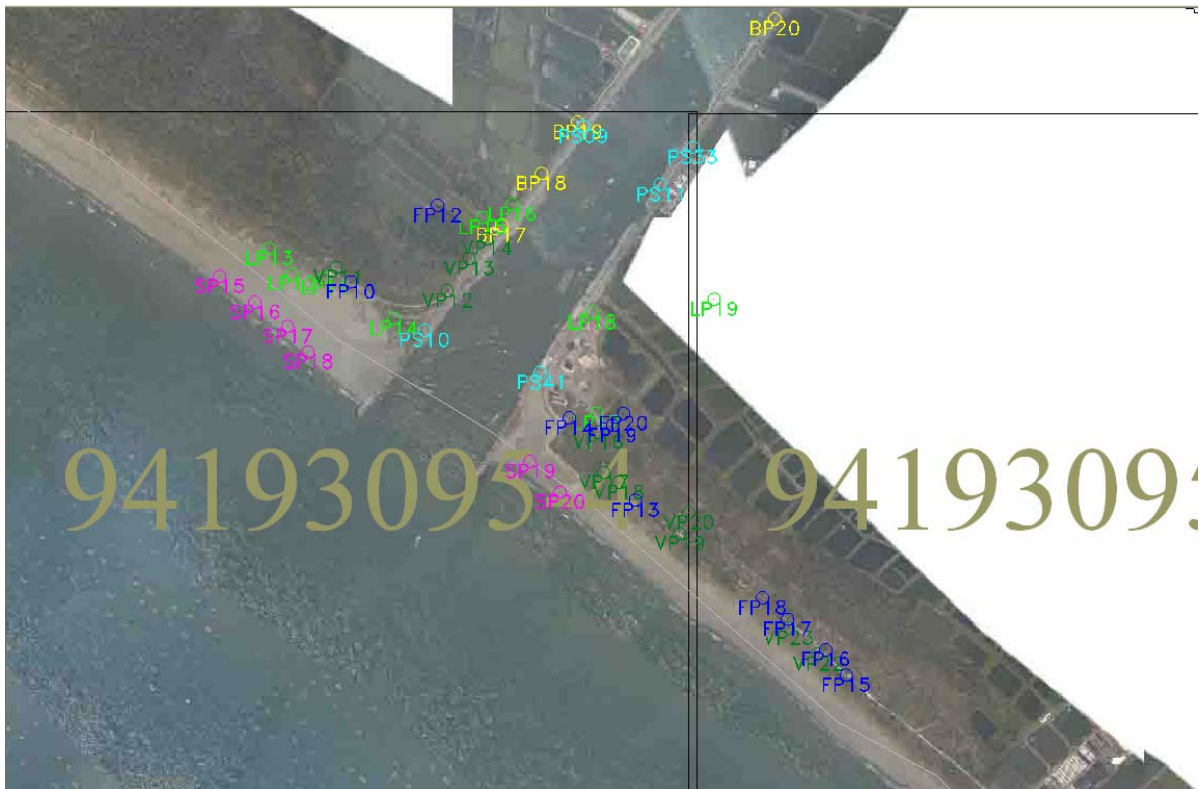


圖 10c 南區各類地面檢核點分布情形例圖

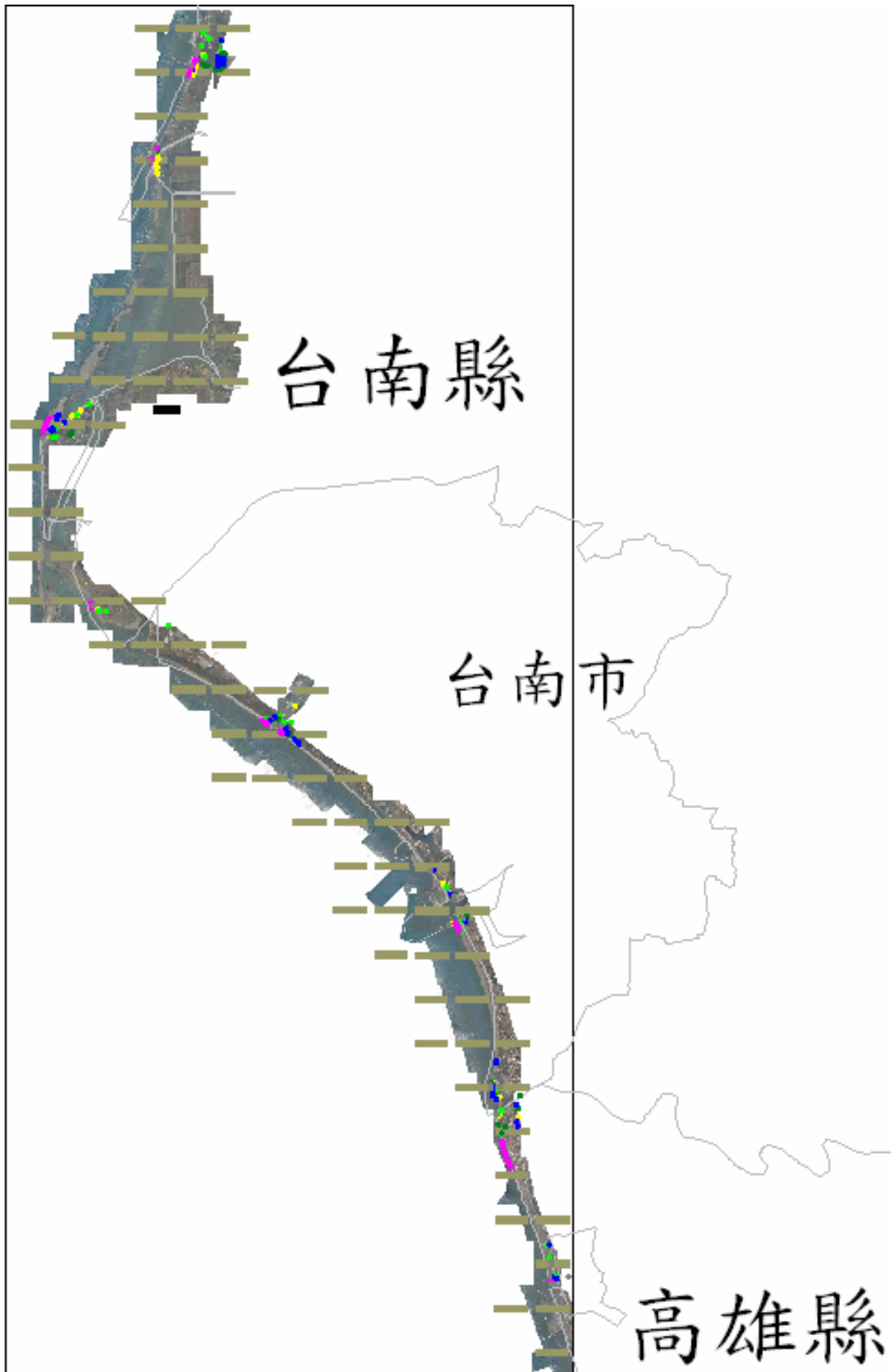


圖 10d 南區各類地面檢核點分布情形(全區)

地面檢核比較結果如下：

### 「裸露地」

北區之裸露地檢核點共施測 117 個檢核點，其平均絕對高差為 0.081 公尺，平均高差為 -0.022 公尺，最大高差為 0.202 公尺，最小高差為 -0.194 公尺；南區之裸露地檢核點共施測 41 個檢核點，其平均絕對高差為 0.170 公尺，平均高差為 0.174 公尺，最大高差為 0.283 公尺，最小高差為 0.081 公尺，實測檢核成果統計表如表 14。由圖 11 可知各檢核點較差量均可符合規範要求。

表 12 北區(上表)與南區(下表)裸露地之檢核成果統計表

裸露地實測點結果	
檢核點數	117
平均高差(m)	-0.022
最小高差(m)	-0.194
最大高差(m)	0.202
平均絕對高差(m)	0.081
均方根誤差(m)	0.094
標準偏差(m)	0.092

南區	
取樣點數	41
平均高差(m)	0.174
最小高差(m)	0.081
最大高差(m)	0.283
平均絕對高差(m)	0.170
均方根誤差量(m)	0.180
標準偏差(m)	0.047

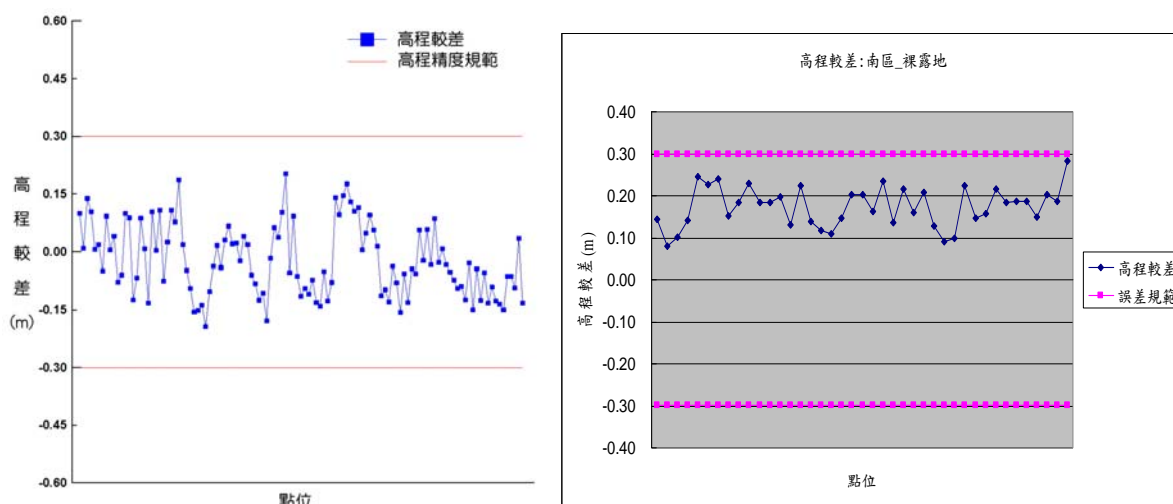


圖 11 北區(左圖)與南區(右圖)裸露地檢核之較差成果

### 「矮植被」

北區之矮植被檢核點共施測 103 個檢核點，其平均絕對高差為 0.112 公尺，平均高差為 0.033 公尺，最大高差為 0.401 公尺，最小高差為 -0.171 公尺；南區之矮植被檢核點共施測 42 個檢核點，其平均絕對高差為 0.295 公尺，平均高差為 0.295 公尺，最大高差為 0.399 公尺，最小高差為 0.134 公尺，實測檢核成果統計表如表 15。由圖 12 顯示部分檢核點較差量較大，其分別為 LP123 高程較差量為 0.401 公尺、LP141 高程較差量為 0.397 公尺、LP142 高程較差量為 0.314 公尺、LP143 高程較差量為 0.302 公尺與 LP160 高程較差量為 0.361 公尺，根據雷射點掃描成果觀之，LiDAR 無法穿透茂密之植生地區域以獲得地面點，僅能獲得植被上緣之點位高度，因此所獲得之點位高程較差較大，其現場檢核點位照片如圖 13。

表 13 北區(上表)與南區(下表)矮植被之檢核成果統計表

矮植被實測點結果	
檢核點數	103
平均高差(m)	0.033
最小高差(m)	-0.171
最大高差(m)	0.401
平均絕對高差(m)	0.112
均方根誤差(m)	0.139
標準偏差(m)	0.136

南區	
取樣點數	42
平均高差(m)	0.295
最小高差(m)	0.134
最大高差(m)	0.399
平均絕對高差(m)	0.295
均方根誤差量(m)	0.303
標準偏差(m)	0.072

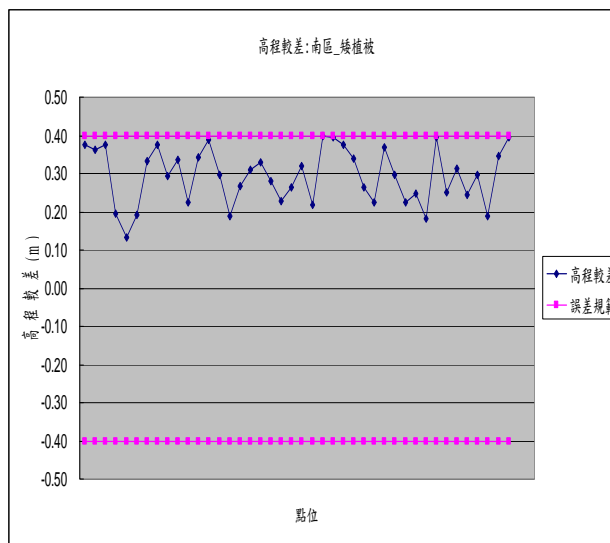
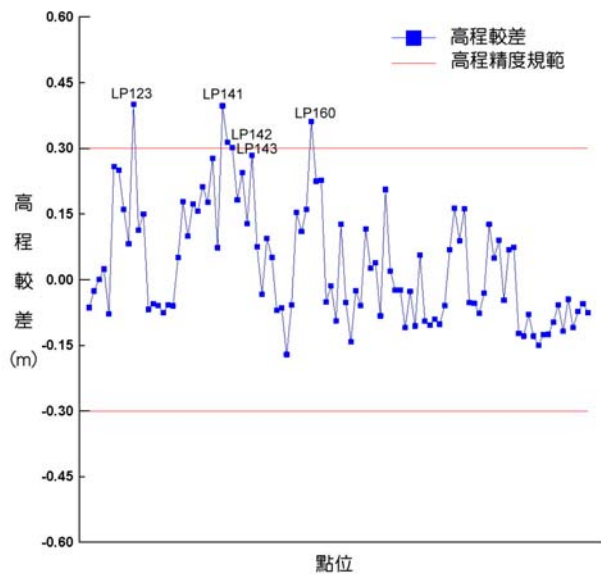
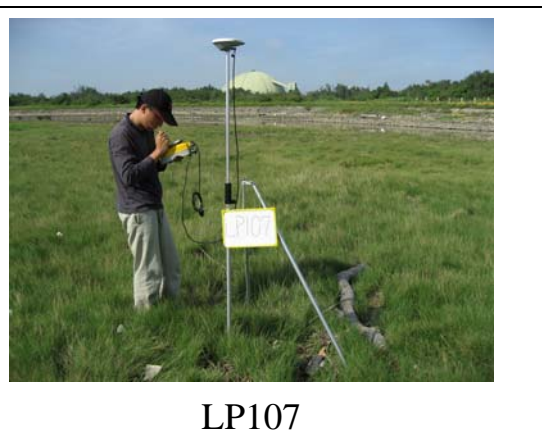
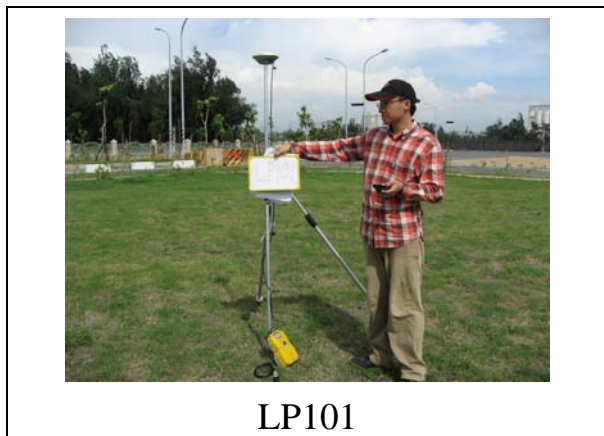


圖 12 北區(左圖)與南區(右圖)矮植被檢核之較差成果





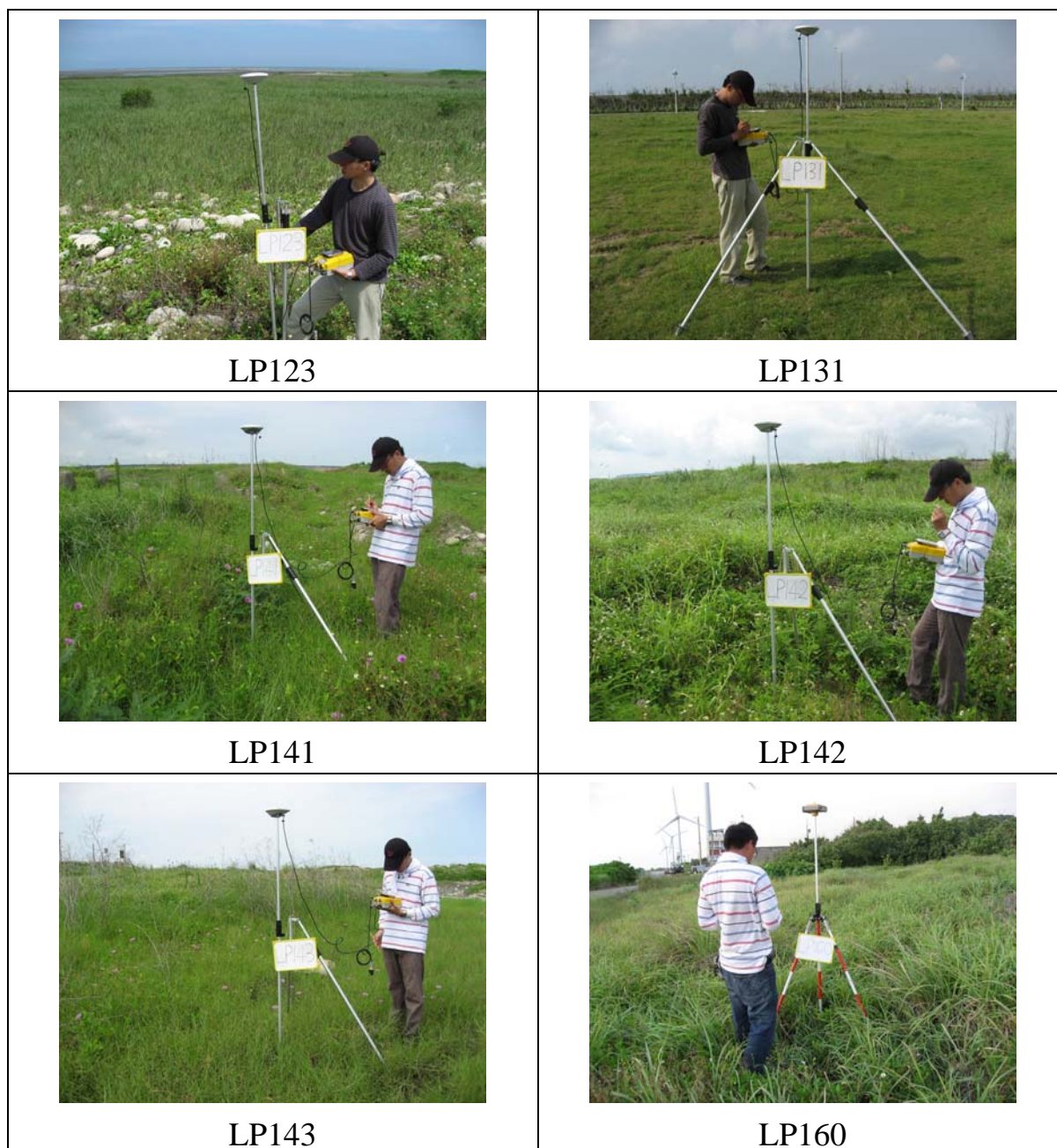


圖 13 矮植被檢核現場照片

### 「植生地」

北區之植生地檢核點共施測 100 個檢核點，其平均絕對高差為 0.170 公尺，平均高差為 0.061 公尺，最大高差為 0.771 公尺，最小高差為 -0.243 公尺；南區之植生地檢核點共施測 43 個檢核點，其平均絕對高差為 0.252 公尺，平均高差為 0.253 公尺，最大高差為 0.373 公尺，最小高差為 0.009 公尺，實測檢核成果統計表如表 16。由圖 14 顯示部分檢核點較差量較大，其分別為 VP107 高程較差量為 0.771 公尺、VP110 高程較差量為 0.679



公尺、VP114 高程較差量為 0.514 公尺、VP117 高程較差量為 0.566 公尺、VP126 高程較差量為 0.596 公尺與 VP170 高程較差量為 0.426 公尺，根據雷射點掃描成果觀之，LiDAR 無法穿透茂密之植生地區域以獲得地面點，僅能獲得植被上緣之點位高度，因此所獲得之點位高程較差較大；另 VP170 位於新植作物區，其因現場環境改變，而導致檢核點與光達掃描產生前後落差，現場檢核點位照片如圖 15。

表 14 北區(上表)與南區(下表)植生地之檢核成果統計表

植生地實測點結果	
檢核點數	100
平均高差(m)	0.061
最小高差(m)	-0.243
最大高差(m)	0.771
平均絕對高差(m)	0.170
均方根誤差(m)	0.232
標準偏差(m)	0.225

南區	
取樣點數	43
平均高差(m)	0.253
最小高差(m)	0.009
最大高差(m)	0.373
平均絕對高差(m)	0.252
均方根誤差量(m)	0.263
標準偏差(m)	0.073

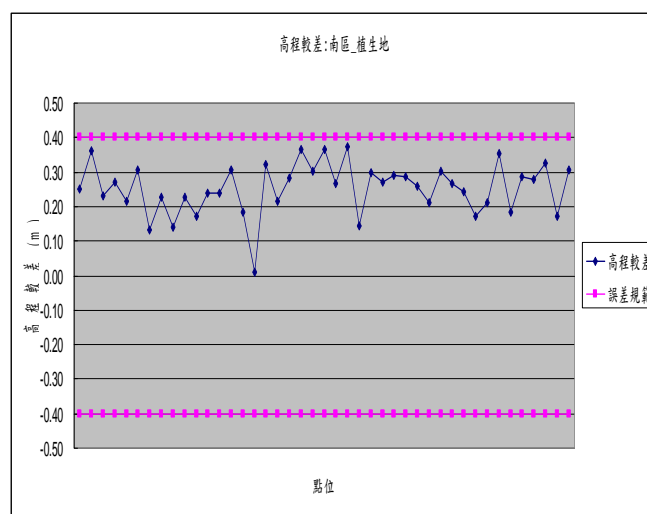
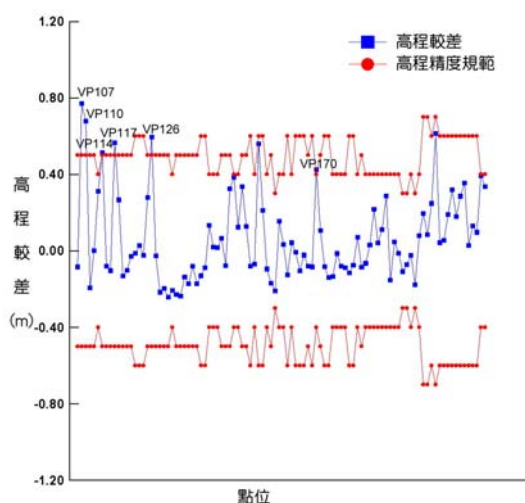


圖 14 北區(左圖)與南區(右圖)植生地檢核之較差成果



圖 15 植生地檢核現場照片

## 「林地」

北區之林地檢核點共施測 100 個檢核點，其平均絕對高差為 0.161 公尺，平均高差為-0.076 公尺，最大高差為 0.912 公尺，最小高差為-0.933 公尺；南區之林地檢核點共施測 46 個檢核點，其平均絕對高差為 0.264 公尺，平均高差為 0.251 公尺，最大高差為 0.471 公尺，最小高差為-0.410 公尺，實測檢核成果統計表如表 17。

表 17 北區(上表)與南區(下表)林地之檢核成果統計表

林地實測點結果	
檢核點數	100
平均高差(m)	-0.076
最小高差(m)	-0.933
最大高差(m)	0.912
平均絕對高差(m)	0.161
均方根誤差(m)	0.232
標準偏差(m)	0.220

南區	
取樣點數	46
平均高差(m)	0.251
最小高差(m)	-0.410
最大高差(m)	0.471
平均絕對高差(m)	0.264
均方根誤差量(m)	0.285
標準偏差(m)	0.136

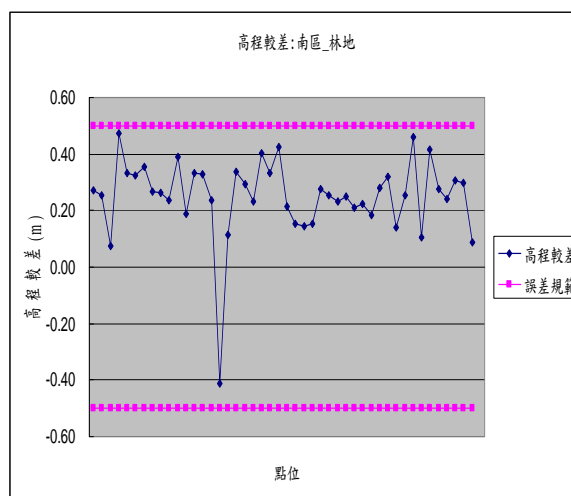
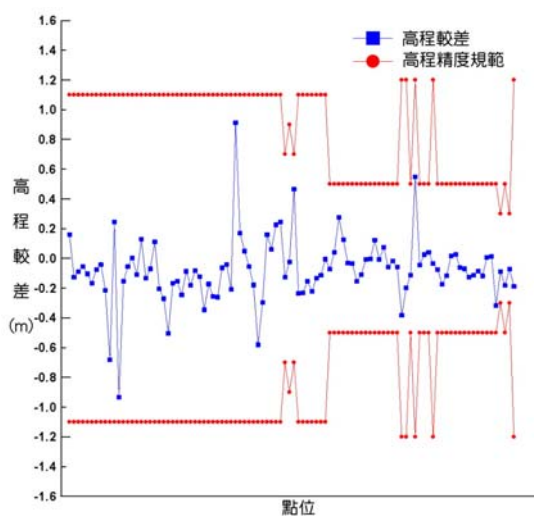


圖 16 北區(左圖)與南區(右圖)林地檢核之較差成果

## 「沙地」

北區之沙地檢核點共施測 103 個檢核點，其平均絕對高差為 0.126 公尺，平均高差為 0.032 公尺，最大高差為 0.312 公尺，最小高差為-0.292 公尺；南區之沙地檢核點共施測 50 個檢核點，其平均絕對高差為 0.183 公尺，平均高差為 0.204 公尺，最大高差為 0.396 公尺，最小高差為-0.102 公尺，實測檢核成果統計表如表 18。由圖 17 顯示高程較差量較大之點位為 SP183(較差為 0.310 公尺)，其位置位於潮間帶地區，光達飛航掃描日期為 97.4.6，而地面實測時間為 97 年 6 月底，此期間之海水漲退潮已經過約 2 個月時間，因此此差異量可能為期間潮汐影響，使泥沙量變化所致，現場檢核點位照片如圖 18。

表 18 北區(上表)與南區(下表)沙地之檢核成果統計表

沙地實測點結果	
檢核點數	103
平均高差(m)	0.032
最小高差(m)	-0.292
最大高差(m)	0.312
平均絕對高差(m)	0.126
均方根誤差(m)	0.154
標準偏差(m)	0.151

沙地	
取樣點數	50
平均高差(m)	0.204
最小高差(m)	-0.102
最大高差(m)	0.396
平均絕對高差(m)	0.183
均方根誤差量(m)	0.229
標準偏差(m)	0.105



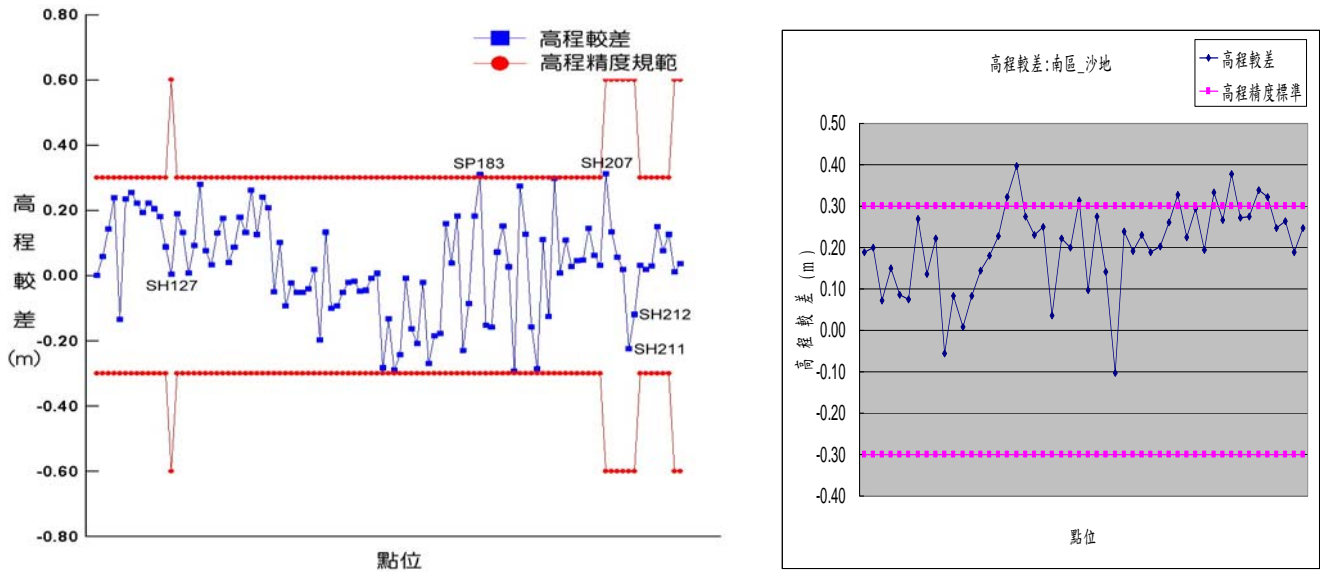


圖 17 北區(左圖)與南區(右圖)沙地檢核之較差成果

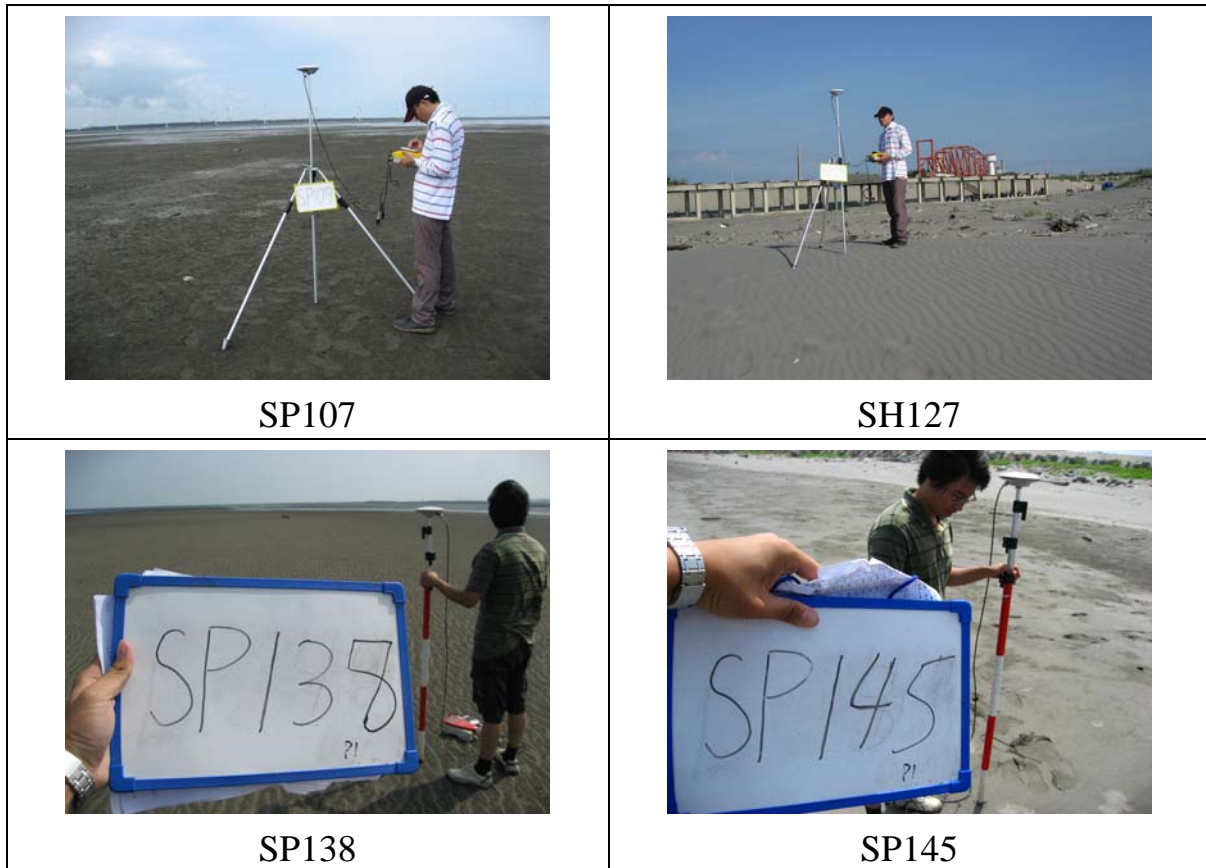




圖 18 沙地檢核現場照片

### 「剖面」

北區之剖面檢核點共施測 41 個檢核點，其平均絕對高差為 0.050 公尺，平均高差為-0.013 公尺，最大高差為 0.124 公尺，最小高差為-0.095 公尺；南區之剖面檢核點共施測 40 個檢核點，其平均絕對高差為 0.179 公尺，平均高差為 0.128 公尺，最大高差為 0.293 公尺，最小高差為-0.224 公尺，實測檢核成果統計表如表 19。由圖 19 顯示各檢核點較差量均可符合規範要求。

表 19 北區(上表)與南區(下表)剖面之檢核成果統計表

橫斷面實測點結果	
檢核點數	41
平均高差(m)	-0.013
最小高差(m)	-0.095
最大高差(m)	0.124
平均絕對高差(m)	0.050
均方根誤差(m)	0.057
標準偏差(m)	0.056

南區	
取樣點數	40
平均高差(m)	0.128
最小高差(m)	-0.224
最大高差(m)	0.293
平均絕對高差(m)	0.179
均方根誤差量(m)	0.193
標準偏差(m)	0.144

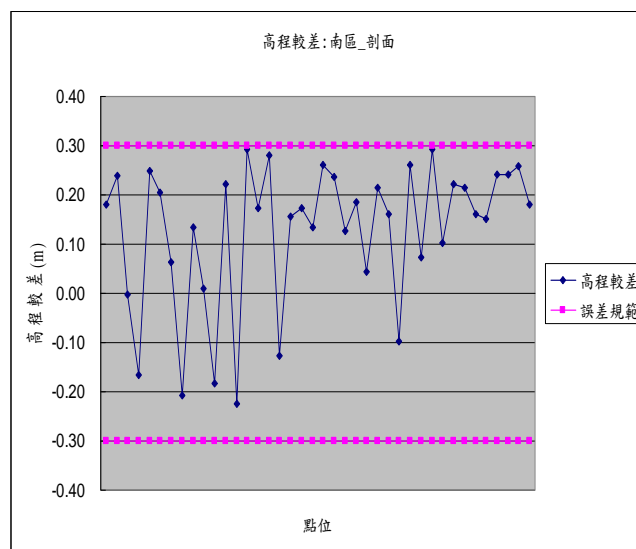
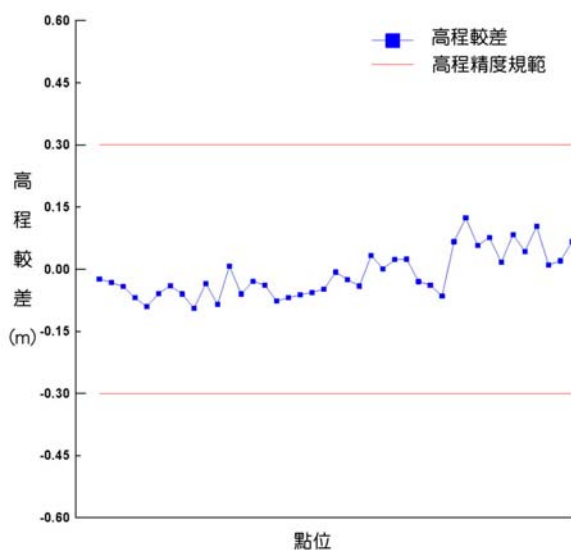


圖 19 北區(左圖)與南區(右圖)剖面檢核之較差成果



雷射點與實測點比較係利用芬蘭 Terrasolid 公司出品之 Terrascan 內之「Output Control Report」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 20，將 DEM 資料以內插方式求得外業檢核點之雷射點高程，將其與外業檢核點之實測高程進行比較分析。



圖 20 Output Control Report 功能之參數設定

## 八、結論

本次以 VRS-RTK 方式驗證以空載 LiDAR 掃描潮間帶地形測製成果，共施測了 826 個點，其中，矮植被區與植生地皆因植被影響與沙地則因潮汐變化產生誤差量較大情形，其餘點位均能符合本案合約要求，顯示以空載 LiDAR 掃描潮間帶地形成果的可靠度極佳。

附件七 「應用空載光達於潮間帶地形測量  
之標準作業程序」綱要

# 應用空載光達於潮間帶地形測量之標 準作業程序(草案)

內政部 國土測繪中心

中華民國九十七年六月

# 1. 簡介

## 1.1 目的

國土包括海域、陸域以及海陸交接地帶的潮間帶區域，其中陸、海域地理資訊測製皆以大範圍且有計畫性地執行，潮間帶區域因為傳統測量技術的限制，海測船隻等載具不容易測到淺水地區，陸測無法在濕軟的退潮地區觀測，致測量作業實施困難，只有少數機關因特殊業務需要而進行小區域測製，歷來此區域間地形資料欠缺，造成國土圖資不完整。因此，有必要建立潮間帶基本地形資料。

有鑑於新一代測繪技術空載光達 (Airborne LiDAR) 應用於數值地形模型生產之趨勢，相當適合於潮間帶區域之基本地形之觀測，特制訂本製作規範及標準作業程序，使得國內應用空載光達生產潮間帶區域之數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 之相關計畫，具有合適的製作規範，在資料產製及品管作業上亦具有標準可循。

由於內政部已制訂「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 (草案)」，本案屬潮間帶特殊地形之應用案例，故以該草案為本，考量潮間帶之特殊地形因素及需求，藉由以往實作經驗及分析比較往年資料，訂定『應用空載光達於潮間帶地形測量之標準作業程序』。本案所訂定之 DEM 標準是以「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」中之等級三 (Level 3B) DEM 產品等級制訂。

## 1.2 適用範疇

潮間帶是指地球上海陸交界的地帶，一般泛指高低潮線間的區域。為涵蓋完整潮間帶區域，本作業程序以「海岸法草案」第四條所定義之「濱海陸地」為本，但採平均低潮線為海陸界線。因此，定義潮間帶區域為：以平均低潮線至最近之山稜線，或至地形、植被有顯著變化之處，或至濱海主要公路、行政區界、溝渠、宗地界線明確之處為界。未來應用單位可依據此基本定義，規劃合適的潮間帶測區，執行潮間帶基本地形資料觀測作業。

本作業標準適用於潮間帶之陸域部分之數值高程模型製作，觀測時間必須為低潮位時間段，使得測量範圍能完整涵蓋潮間帶。

## 2. 觀測作業標準程序

觀測作業之標準作業流程如圖 1，以下依序說明各作業項目之作業準則。

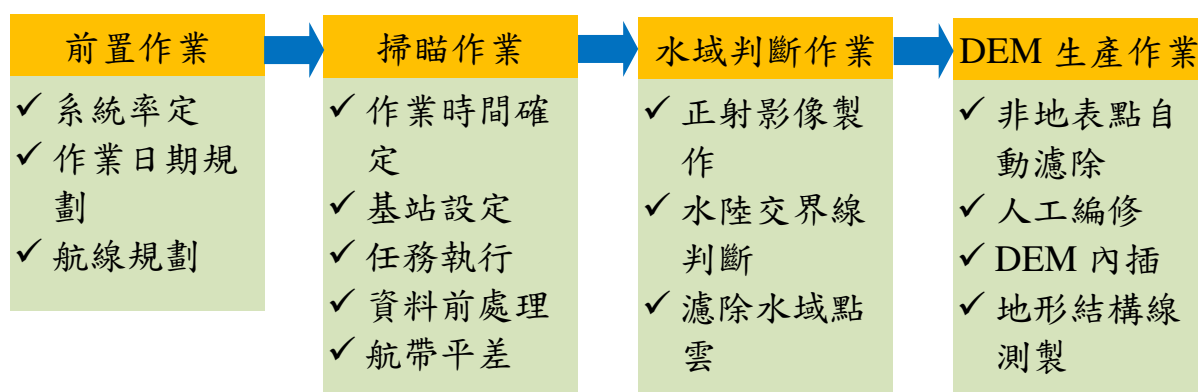


圖 1 觀測作業之標準作業流程圖

### 2.1 前置作業

#### ■ 系統率定作業

應針對所使用之空載光達系統進行儀器率定，若前次率定時間為 3 個月前，或系統曾經過拆卸，則應重新率定。若緊急作業，可於系統未經拆卸的條件下，在 2 個星期內補做率定作業。系統率定作業程序依照內政部「LIDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」第 3.2 節（第 11 至 13 頁）規範進行。

#### ■ 作業日期規劃

觀測時間必須配合潮汐變化週期，以便掃瞄時可取得完整潮間帶地形。考慮每月潮汐起伏變化規律性，並找出當月低潮時間區段，推測適合掃瞄的時間窗口，作為空載光達掃瞄時間的參考依據。經分析年度之潮汐週期變化，施測日期應為農曆月份朔望之際，於農曆每月 29 至隔月 5 日及 14 至 20 日兩個觀測期間。

## ■ 航線規劃

依據儀器規格規劃航高、航速及飛行之航線。

## 2.2 空載光達掃瞄作業

### ■ 掃瞄作業標準

掃瞄作業必須參照內政部「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(草案)」之標準作業程序第 3.1、3.3、及 3.4 節(第 11 至 17 頁)進行。

### ■ 作業時間

空載光達掃瞄作業時間必須同時滿足最低潮汐條件及適合空載光達施測之條件，因此，空載光達掃瞄作業時間必須同時符合下列條件：

1. 施測日期為農曆月份朔望之際，於農曆每月 29 日至隔月 5 日及 14 至 20 日兩個觀測期間；
2. 參考圖 2 全台潮位站分佈圖，找出最鄰近之潮位站，依照中央氣象局所提供之年度潮位預報，查出該潮位站於上述期間每日之最低潮位的時刻；
3. 以當日最低潮位前後 1.5 小時內，共 3 個小時為可用的施測時間；
4. 需為白天、無雲霧遮蔽且日照充足之時段；
5. GPS 之 PDOP 應小於 4，且衛星數量大於 5 顆之時段。

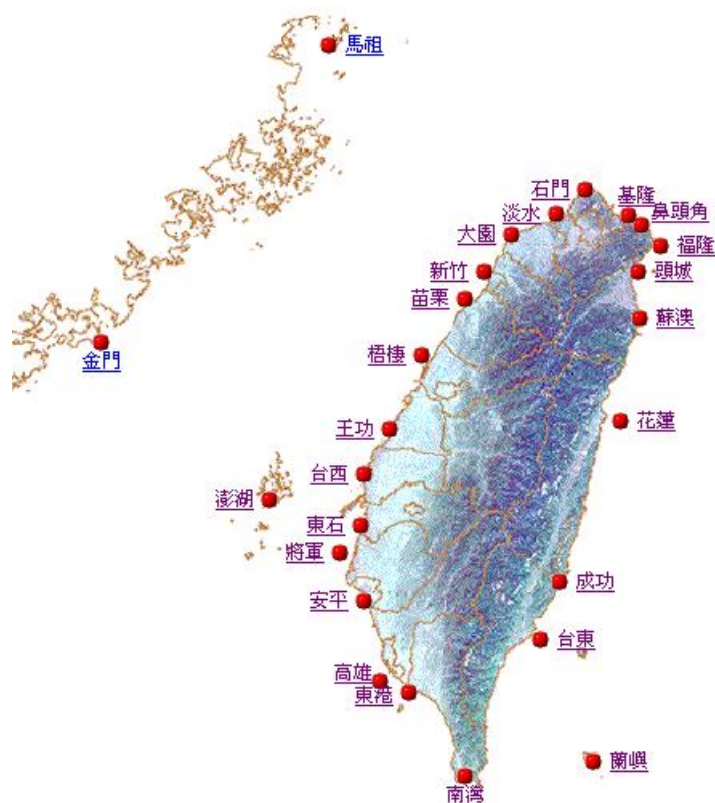


圖 2 台灣區域潮位站分佈圖

#### ■ 基站設定

飛航掃瞄時應同時有 2 個 GPS 基站同步接收 GPS 觀測量，基站的位置應於距離掃瞄區域中心 20 公里範圍內，基站之透空度須佳（仰角 10 度以上無遮蔽），並於作業前或後觀測此基站之 TWD97 平面坐標及高程。

#### ■ 空照影像

必須同時獲取多光譜空照影像（含可見光及近紅外光波段影像），影像之地面取樣距離（Ground Sampling Distance, GSD）應小於 15 公分，影像像幅寬度須大於光達航帶寬度且完全涵蓋光達航帶，影像前後重疊應達 60%，獲取得的影像需糾正成正射影像，以供後續水陸交界線之判讀作業使用。

#### ■ 掃瞄平均密度

各航帶點雲平均分佈密度應達 1 點/平方公尺，掃瞄航高應低於 1500 公尺，掃瞄視場角（Field of View, FOV）應小於 45°。



## ■ 航線規劃與航帶重疊範圍

為提供後續航帶平差足夠的連結點，左右航帶重疊需大於 20%，若為單航帶即可覆蓋的狹長測區，應採來回飛行形成重複航帶。

## ■ 航帶平差

需進行航帶平差作業，並提供平差報表以供檢核。

## ■ 掃瞄精度

掃瞄點之平面坐標之觀測中誤差應小於 0.5 公尺，高程坐標之觀測中誤差應小於 0.2 公尺。

## 2.3 水陸交界線之判斷作業

空載光達其脈衝雷射波長大多在近紅外光範圍，遇水體會被吸收，但水中有其他可為光達反射分子存在，因此仍然可得到一定比例的水域點雲，如圖 3 示範資料顯示許多點雲資料落在水域。這些點雲多為水面點，不能用來推估 DEM，必須濾除。潮間帶介於水陸交界處，水面容易受風或其他外來原因影響而產生波動，無法維持靜止狀態，因此必須對此模糊地帶點雲進行處理與分析，剔除不正確的點雲，判斷正確的海岸邊界。

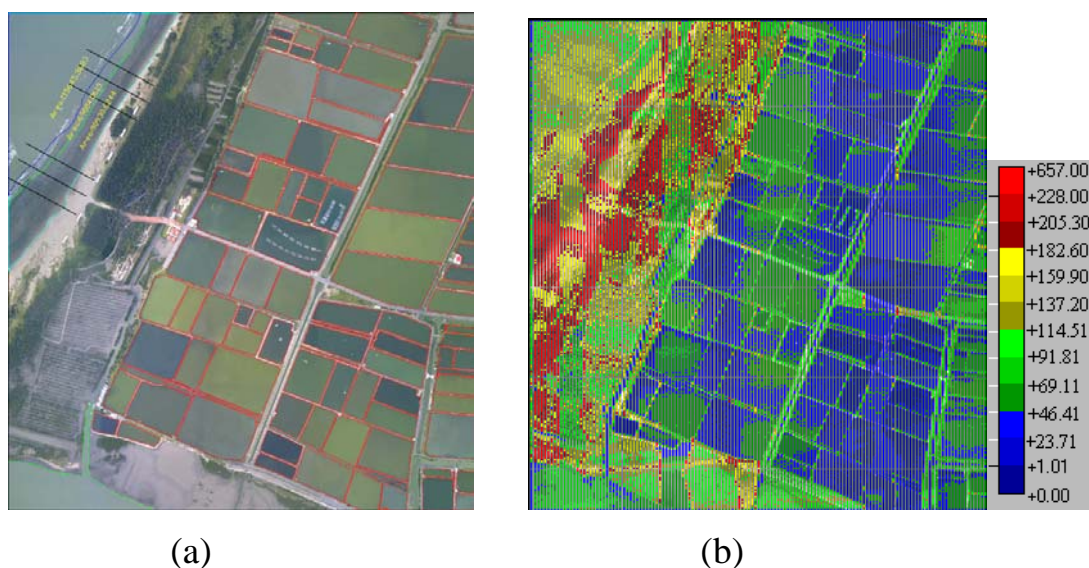


圖 3 潮間帶(a)示範正射影像及(b)示範光達點雲密度分佈圖點（以 5m×5m 網格範圍內點雲數量計算之）

## ■ 正射影像製作

空照影像需先解算其外方位參數，可使用直接定位定方位系統 (Positioning and Orientation System, POS) 或標準空中三角測量作業實施之。接著以同時間觀測得的光達數據所生產的 DEM，進行影像正射糾正，並拼接成圖幅以供水陸交界線判斷作業使用。

## ■ 水陸交界線判斷

需使用所製作的正射多光譜影像，以人工判斷並繪製出水陸交界線，此交界封閉之水域範圍內的點雲應事先濾除。判斷時可採用自然色彩影像，必要時可利用影像紅外光波段來輔助判斷水陸交界。潮間帶介於水陸交界處，水面容易受風或其他外來原因影響而產生波動，且光達點雲遇水體會被吸收，因此在判讀上較為困難，如圖 4 顯示沙灘上之水陸交界線，因多半為鬆軟之沙土、海水與沙土顏色近似，加上海浪的波動，相當不易判讀。因此，需針對參與此作業之判讀員，給予適當的判讀訓練。

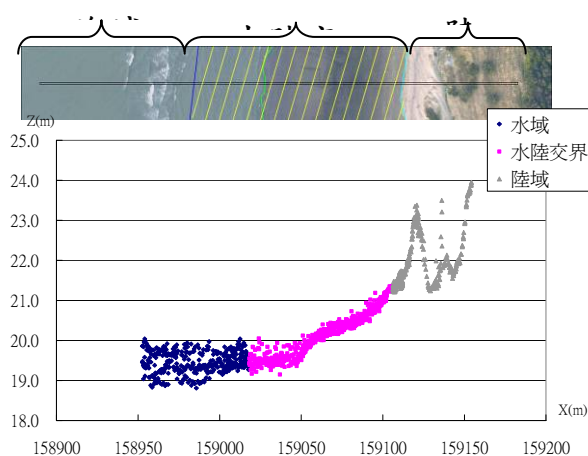


圖 4 水陸交界線及光達資料剖面點雲分佈關係圖

## 2.4 DEM生產作業

DEM 生產作業必須參照內政部「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 (草案)」第 3.6 至 3.8 節 (第 17 至 18 頁) 進行。

## ■ 點雲地表點與非地表點分類作業

先依據 2.3 節所得之水陸交界線濾除水域點雲，再以軟體自動濾除地表建構物及植生，然後進行人工編輯。

## ■ DEM 內插及結構線測繪

將過濾後剩餘的地表點雲內插為等間距網格之DEM，網格間距尺寸需依作業單位之需求設定。特殊構造物如堤防或防波堤等設施，應測繪其結構線。

# 3. 成果檢核作業程序

本節所述之資料檢核係指委託單位（甲方）委託之監審單位（丙方），檢核生產單位（乙方）的作業過程之資料及成果是否符合規範之品質標準。依據「LIDAR測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」進行成果之檢核。

成果檢核乃針對最終產品DEM進行精度檢驗，採外業量測或其他能提供獨立觀測數據方式的抽樣檢驗。將待檢區依內政部「LIDAR測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序」，按照地形坡度及植被覆蓋加以分類，以潮間帶而言，多屬於平地區域，每 10 平方公里之DEM抽樣一點為原則。檢定之精度標準乃依基本精度(Fundamental Accuracy) 標準。而後依據不同地形類別及地表植被覆蓋情形，調整精度標準。高程精度與平面精度分開考慮，原則上以高程精度為主。

## ■ 高程精度標準

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。

以下依空載光達生產的 DEM 產品等級訂定上述各參數之數值。

- A. 高程基本精度  $a$  (單位 m) : 0.2
- B. 地形類別調整參數  $b$  (單位 m) : 0.0
- C. 地表植被覆蓋情形調整參數  $c$  (無單位) :
  - C-1 裸露地 : 0.0
  - C-2 植生地 : 0.2

#### ■ 平面精度標準

空載光達點位的平面誤差主要為系統性誤差，因此平面精度的標準是以基本的雷射量測精度加上可能的系統誤差而得。以下依空載光達生產的 DEM 產品等級訂定平面精度應小於 0.5 公尺。

#### ■ 檢驗報告

檢驗報告格式可自訂，但應註明檢核點之位置，土地覆蓋類別、坡度，並應包含計算後之：誤差平均值、最大值、最小值、標準差及均方根誤差等項目。另外應繪製誤差數量分布直方圖，以顯示各誤差量級之分布。

#### ■ 詮釋資料

產品詮釋資料應依內政部公告之規範製作，本規範不另行規定。

## 附件八 地形圖比較資料

## 『96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫』工作總報告書

序號	圖號	比較點數	距離差平均值(m)	備註
001	96233067-1	0	0.00	
002	96233068-4	0	0.00	
003	96233066-3	0	0.00	
004	96233066-2	0	0.00	
005	96233067-3	12	0.94	
006	96233067-2	3	0.69	
007	96233068-3	5	0.97	
008	96233074-1	0	0.00	
009	96233075-4	0	0.00	
010	96233075-1	6	0.76	
011	96233076-4	18	0.97	
012	96233076-1	7	0.37	
013	96233077-4	0	0.00	
014	96233074-3	0	0.00	
015	96233074-2	13	1.11	
016	96233075-3	14	1.68	
017	96233082-1	0	0.00	
018	96233083-4	0	0.00	
019	96233083-1	0	0.00	
020	96233084-4	19	1.15	
021	96233082-3	0	0.00	
022	96233082-2	5	1.32	
023	96233083-3	0	0.00	
024	96233092-4	7	1.17	
025	96233092-1	1	0.26	
026	96233091-2	20	1.08	
027	96233092-3	23	0.44	
028	96224001-4	0	0.00	
029	96224001-1	23	1.40	
030	96224002-4	0	0.00	
031	96224001-2	26	0.59	
032	96224011-4	12	2.43	
033	96224011-1	15	1.56	
034	95221020-2	1	0.15	
035	96224011-3	8	0.86	
036	95221030-4	0	0.00	
037	95221030-1	7	0.57	
038	95221029-2	8	1.11	
039	95221030-3	14	0.47	
040	95221039-1	2	0.55	
041	95221040-4	0	0.00	
042	95221039-2	2	0.47	
043	95221040-3	0	0.00	

## 『96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫』工作總報告書

序號	圖號	比較點數	距離差平均值(m)	備註
044	95221049-4	7	0.44	
045	95221049-1	13	0.47	
046	95221048-2	0	0.00	
047	95221049-3	3	1.19	
048	95221058-1	19	0.45	
049	95221059-4	14	0.46	
050	95221057-2	33	0.97	
051	95221058-3	29	1.19	
052	95221058-2	14	0.56	
053	95221067-1	19	0.52	
054	95221068-4	11	0.46	
055	95221067-3	20	0.34	
056	95221067-2	3	0.60	
057	95221077-4	2	0.27	
058	95221077-1	0	0.00	
059	95221077-3	4	0.47	
060	95221077-2	20	1.33	
061	95221087-4	0	0.00	
062	95221087-1	10	0.75	
063	95221087-2	12	1.19	
064	95221097-4	19	1.07	
065	95221097-1	0	0.00	
066	95221097-3	12	0.54	
067	95222006-4	0	0.00	
068	95222006-1	0	0.00	
069	95222007-4	0	0.00	
070	95222005-2	10	0.64	
071	95222006-3	5	0.43	
072	95222006-2	0	0.00	
073	95222015-4	0	0.00	
074	95222015-1	12	0.94	
075	95222015-3	2	0.56	
076	95222015-2	4	0.43	
077	95222024-1	33	1.48	
078	95222025-4	5	1.65	
079	95222024-3	9	0.75	
080	95222024-2	6	0.18	
081	95222032-4	0	0.00	
082	95222032-1	6	0.37	
083	95222033-4	62	0.36	
084	95222033-1	14	0.29	
085	95222034-4	8	0.47	
086	95222034-1	4	0.12	



## 『96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫』工作總報告書

序號	圖號	比較點數	距離差平均值(m)	備註
087	95222031-2	4	0.54	
088	95222032-3	17	1.19	
089	95222032-2	0	0.00	
090	95222033-3	6	0.47	
091	95222033-2	3	0.63	
092	95222041-4	0	0.00	
093	95222041-1	23	0.49	
094	95222041-3	12	0.36	
095	95222051-4	7	0.26	
096	95222051-1	0	0.00	
097	95223059-2	0	0.00	
098	95223060-3	2	0.49	
099	95223060-2	14	1.34	
100	95222051-3	15	0.43	
101	95222051-2	0	0.00	
102	95223069-4	0	0.00	
103	95223069-1	18	0.38	
104	95223069-3	19	0.14	
105	95223069-2	21	0.32	
106	95223079-4	6	0.41	
107	95223078-2	5	0.30	
108	95223079-3	8	0.61	
109	95223088-1	11	1.06	
110	95223088-2	17	1.12	
111	95223098-4	30	0.54	
112	95223098-1	27	0.64	
113	95223097-2	22	0.70	
114	95223098-3	12	0.69	
115	95214007-1	0	0.00	
116	95214008-4	7	0.67	
117	95214007-3	0	0.00	
118	95214007-2	12	0.91	
119	95214016-1	0	0.00	
120	95214017-4	0	0.00	
121	95214016-3	0	0.00	
122	95214016-2	22	0.41	
123	95214017-3	7	0.67	
124	95214025-1	9	0.86	
125	95214026-4	8	0.62	
126	95214026-1	15	0.84	
127	95214025-3	0	0.00	
128	95214025-2	23	0.53	
129	95214026-3	12	0.59	

## 『96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫』工作總報告書

序號	圖號	比較點數	距離差平均值(m)	備註
130	95214035-4	6	0.70	
131	95214035-1	10	1.07	
132	95214034-2	0	0.00	
133	95214035-3	6	0.49	
134	95214044-4	0	0.00	
135	95214044-1	56	0.74	
136	95214045-4	8	0.68	
137	95214044-3	13	1.01	
138	95214044-2	9	0.49	
139	95214054-4	29	0.57	
140	95214054-1	0	0.00	
141	95214053-2	15	0.90	
142	95214054-3	29	0.57	
143	95214063-4	4	0.10	
144	95214063-1	23	0.86	
145	95214063-3	26	0.48	
146	95214063-2	54	0.90	
147	95214071-1	0	0.00	
148	95214072-4	0	0.00	
149	95214072-1	0	0.00	
150	95214073-4	36	1.08	
151	95214073-1	0	0.00	
152	95214071-2	0	0.00	
153	95214072-3	17	0.32	
154	95214072-2	17	0.32	
155	95214073-3	24	0.65	
156	94211090-4	0	0.00	
157	94211090-1	0	0.00	
158	95214081-4	5	0.80	
159	95214081-1	8	0.79	
160	95214082-4	1	0.81	
161	95214082-1	4	0.18	
162	95214081-3	14	0.65	
163	95214081-2	8	0.42	
164	95214082-3	1	0.14	
165	95214082-2	10	0.60	
166	94211100-1	0	0.00	
167	95214091-4	0	0.00	
168	95214091-1	1	0.76	
169	95214092-4	5	0.92	
170	94211100-3	0	0.00	
171	94211100-2	0	0.00	
172	95214091-3	0	0.00	

## 『96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫』工作總報告書

序號	圖號	比較點數	距離差平均值(m)	備註
173	95214091-2	0	0.00	
174	94212009-1	0	0.00	
175	94212010-4	1	3.94	
176	94212010-1	5	0.51	
177	95213001-4	3	0.68	
178	94212009-2	0	0.00	
179	94212010-3	4	0.50	
180	94212010-2	5	0.94	
181	95213001-3	4	2.27	
182	94212019-4	0	0.00	
183	94212019-1	0	0.00	
184	94212020-4	0	0.00	
185	94212019-2	0	0.00	
186	94212020-3	0	0.00	
187	94212020-2	4	0.33	
188	94212030-4	0	0.00	

## 『96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫』工作總報告書

序號	圖號	比較點數	距離差平均值(m)	備註
001	94193013-1	0	0.00	
002	94193014-4	6	0.15	
003	94193014-1	0	0.00	
004	94193013-2	0	0.00	
005	94193014-3	8	0.40	
006	94193014-2	0	0.00	
007	94193023-1	6	0.81	
008	94193024-4	7	0.22	
009	94193023-2	11	0.58	
010	94193024-3	0	0.00	
011	94193033-1	20	0.84	
012	94193034-4	9	0.94	
013	94193033-2	0	0.00	
014	94193034-3	20	0.99	
015	94193043-4	0	0.00	
016	94193043-1	0	0.00	
017	94193044-4	7	0.23	
018	94193044-1	0	0.00	
019	94193042-2	0	0.00	
020	94193043-3	0	0.00	
021	94193044-3	0	0.00	
022	94193044-2	0	0.00	
023	94193052-1	0	0.00	
024	94193053-4	7	0.61	
025	94193053-1	11	1.45	
026	94193054-4	5	0.62	
027	94193054-1	0	0.00	
028	94193052-3	7	1.44	
029	94193052-2	4	0.42	
030	94193053-3	7	0.48	
031	94193062-4	1	0.57	
032	94193062-1	0	0.00	
033	94193062-3	15	0.43	
034	94193062-2	4	0.53	
035	94193072-4	0	0.00	
036	94193072-1	5	0.43	
037	94193072-3	0	0.00	
038	94193072-2	8	0.32	
039	94193073-3	19	0.28	
040	94193073-2	0	0.00	
041	94193083-4	0	0.00	
042	94193083-1	17	0.29	
043	94193084-4	9	0.27	

## 『96年度潮間帶基本地形測量技術發展計畫』工作總報告書

序號	圖號	比較點數	距離差平均值(m)	備註
044	94193084-3	5	0.16	
045	94193084-2	23	1.51	
046	94193085-3	11	1.08	
047	94193085-2	0	0.00	蚵架
048	94193094-1	0	0.00	
049	94193095-4	13	0.51	
050	94193095-1	18	0.41	
051	94193094-2	0	0.00	蚵架
052	94193095-3	0	0.00	蚵架
053	94193095-2	4	0.69	
054	94193096-3	9	0.49	
055	94184005-1	0	0.00	蚵架
056	94184006-4	8	0.13	
057	94184006-1	0	0.00	
058	94184007-4	0	0.00	
059	94184006-3	7	1.54	蚵架
060	94184006-2	0	0.00	
061	94184007-3	6	1.79	
062	94184016-4	0	0.00	蚵架
063	94184016-1	0	0.00	蚵架
064	94184017-4	9	1.72	
065	94184017-1	13	2.15	
066	94184016-2	0	0.00	
067	94184017-3	0	0.00	
068	94184017-2	6	0.56	
069	94184027-4	0	0.00	蚵架
070	94184027-1	4	0.95	
071	94184028-4	7	0.65	
072	94184027-3	0	0.00	
073	94184027-2	0	0.00	
074	94184028-3	9	1.33	
075	94184037-1	0	0.00	
076	94184038-4	8	0.69	
077	94184038-3	8	0.32	
078	94184048-4	5	1.64	
079	94184048-3	3	1.47	
080	94184048-2	5	0.37	
081	94184058-1	2	0.60	
082	94184058-3	0	0.00	僅一條線(消波塊)
083	94184058-2	3	0.60	
084	94184068-1	0	0.00	
085	94184069-4	0	0.00	

## 附件九 第一期成果報告書審查意見回覆

## 附件九、第一期成果報告書審查意見回覆

修正建議	修正情形
附件 2 點之記，請修正為一致格式，另經外業查核發現部分有誤，請清查案內使用之點位略圖，修正為現場狀況	已修正於附件 2。
K098、H079 兩點均為地面基站，惟控制點分佈及控制測量網形均未納入，請查明並修正	已修正於網型圖內，P9、P17、P18。
新設點，北區為三等點，南區為水利署點位，建議修正為非新設點，因均未佈設樁位	已修正於表 2-11 與表 2-12。
P56、57 請增加航線編號，並且應能與 p75-77 及附件 4 互相對照	已修正於 P56-P57 與附件 4。
低、高潮位飛的總成果	以 A3 展示於 P58~P61。
P64~66，地面基站所包含之 20 公里範圍，請針對不同地面基站用不同顏色，20 公里半徑圓與地面基站顏色請一致	已修正於 P69~P71。
北區飛航掃描紀錄位於附件 4、南區位於 P75-77，北及南區之表格內容欄位不同，且均不符合合約書規定	飛航掃描紀錄統一系列於附件四。
雷射軌跡圖，北區未展示，南區展示於 p75-77，為均請加入縣市界線或 5000 圖框以資辨別。	修正於 P57-P62。
P78-79 針對航帶平差請詳述計算原則及方法，另表格內欄位有關點數、絕對高差量、高差之名詞定義，請在說明及考量。	修正於 P76 及 P78。
航帶平差，有關內容北區 p73-74、南區 p78-79，兩區內容呈現及欄位均不一致，且南區未針對重疊區數據及交叉航帶平差結果進行分析，北區未分別針對低、高潮位進行航帶平差結果呈現	修正於 P79-P86。
附件三率定結果請加強說明	已修正於附件三。
「應用空載光達於潮間帶地形測量之成果精度研究分析報告」，應參照合約書規定，至少所列項目均應列出，並說明，所繳內容太過簡略	已修正於附件七。
「應用空載光達於潮間帶地形測量之標準作業程序」，應參照合約書規定，至少所列項目均應列出，並說明，所繳內容太過簡略	已修正於附件八。



第 13 頁最小約制網平差部分，建議增加說明錯誤基線剔除的比率。	平差中並無剔除任何基線，並於報告中 P.13 中加註說明。
第 19 頁已知點檢測部分，建議增加說明有無已知點之基線精度大於 30mm+6ppm，另檢測結果 G073、G074、G095、G096 未通過坐標檢核，文中提及於後續平差仍予強制套合，建議增加說明該點位與鄰近已知點位基線之相對精度成果。	有關已知點精度檢核說明已詳述如報告中 P.23、P.24、P.25。
第 33、34、35 頁之坐標成果中高程分量請補充說明該坐標為幾何高還是正高，如為幾何高，表 2-5 應加入幾何高坐標分量之較差值。	坐標成果之高程已於 P.33 說明為水準測量之正高；另坐標較差表中已依修正建議增加橢球高之較差值（表 2-5、表 2-6）
報告書中未敘明 K098 及 H079 點位為何？但表 2-7 中有列出。	已列入表 2-1 中，為三等控制點作為後續地面主站使用。
報告書第 22 頁之文字敘述應區分採用本中心「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」及中興測量有限公司自行加密測量之觀測資料，以資區別。	已於報告中 P.26、P.29 中說明。
報告書中表 2-7 及 2-8 大部分點位測段資料皆採用本中心「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」之觀測資料，該資料既已符合 2.5mm 的標準，當然會符合 8mm 之標準。	已於報告貳、(三) 高程控制測量中修正說明
報告書中第 32 頁水準網平差並未將平差結果列出，又台南地區係屬沉陷區，倘僅將該區資料單獨進行網形平差，恐有失本案採用「95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作」之觀測資料的用意。經查此地區平差結果與 95 年度該案初步成果比較，高程值有數公分之較差。	已依修正建議計算並於報告 P.29 中說明。
本報告水準測量所採用之精度為 8mm，所有數據請不要表示至 mm 以下 2 位。	已依修正建議辦理。
五：30 人次，本案僅舉辦 5 人次	已修正於附件五。

附件十 工作總報告書初稿審查意見回覆

## 附件十、工作總報告書初稿審查意見回覆

委員	委員意見	修正情形
蔡簡任技正鴻勳	一、P39 表 3-1 請增加年度資訊，南部作業區並顯示掃描完成日期。	已修正於 P.43。
	二、報告書內文項次，請檢視並依公文格式修正。(如 p114)	已全面檢視修正。(如 P.152)
	三、作業進度請依實際情形修正 (p4 表 1-1)。	已修正於 P.7 表 1-1。
林委員志清	一、P5、11 有關引用本中心規範，若規範已重新頒定，改用內政部國土測繪中心，若規範已廢除或定案，仍用內政部土地測量局。	已修正於 P.12、18。
	二、附件 7 標準作業程序，請增加流程圖。	已加入流程圖於附件 7-3。
	三、附件 7-4 圖 2 臺灣西岸共列 13 潮位站，對於後續空載光達飛航使用是否有執行上之困難，請評估說明。	只要依測區中心位置選擇最近的潮位站即可，應無執行上之困難。
蔡委員季欣	一、內政部土地測量局請改為內政部國土測繪中心。	已全面檢視修正。
	二、圖 3-34~3-38 表示基站 20 公里範圍之圓圈，請增加相關說明。	已補充說明於 P.90~P.92 圖 3-37~3-40。
	三、圖 3-40~3-41、p105 圖 3-68，僅以圖說明原理及流程不夠清楚，請增加說明。	已補充說明於 P.94 圖 3-42、P.96 圖 3-43 及 P.142、P.143 圖 3-71 及 72。
	四、圖 3-62~63，請以更立體(如改變視角)的方式呈現 3D。	已修正於 P.127~P.132 圖 3-65~66。
	五、建議將簡報時提及之相關結論加入結論與建議章節內容。	已補充說明於 P.194 第伍章 檢討與建議。

委員	委員意見	修正情形
楊委員枝安	一、表 1-1 實際累計進度為 96%，應修為 100%，另工作支項過細，如 8-1 摘要撰寫，建議可刪除。	已修正進度為 100%於 P.7 表 1-1。
	二、表 2-1 共 70 點、表 2-3 共 68 點，點數不一致情形請再確認。	已修正 P.21 表 2-3 為 70 點。
	三、附件 1 標題請增加”控制點”。	已修正。
	四、附件 3-24 小於請勿用”<”表示。	已修正於附件 3-12。
	五、p100 僅描述大地起伏原理，請就橢球高轉換為正高系統之精度提出分析。	已補充說明於 P.135。
傅委員秉綱	一、P63 與 p61 或 62 圖重複，請查明修正。	已修正刪除重複圖。
	二、請將過程中上機及實地查核照片、相關經驗、品質控管及檢核方式等說明加入工作總報告書。	已補充說明於 P.190 四 作業成果驗收中。
	三、遭遇困難小節內增加工作執行上實際遭遇困難。	已補充說明於 P.194 第五章 檢討與建議。
	四、請將本案內文中/英文摘要及中/英文關鍵詞置於報告內，俾方便提供各界參考查詢。	已加入中/英文摘要。
湯委員美華	一、P24 提及 1080、D030 未能通過平面坐標檢核，請說明檢核標準。	依照合約規定：檢測所得之坐標值與原坐標進行比較，各坐標分量較差值不得大於 98mm。
	二、飛航掃描參數僅列出規劃值，請增加實際值。	實際作業飛航掃描參數列於附件四。
	三、率定飛航除 ALTM30/70，應增加 ALS50 的描述，率定飛航之相關描述，請以實際作業進行描述。	系統率訂作業述於 P.49~61，實際率定飛航作業情形詳列於附件三、率定報告書。
	四、圖 3-15 與附件 3 中圖 2-6 不一致，請以實際作業載具說明。	已以實際載具說明於 P.53 圖 3-13。

委員	委員意見	修正情形
謝委員東發	一、技師簽證之計畫名稱、委託事項，請依計畫名稱修正；另簽證日期是否應以成果完成日期較合適。	已修正。
	二、以本案偏心量 3 公分為例，說明掃瞄器與 IMU 與 GPS 的偏心量 (Mounting Angle Calibration) 對掃描點位 (地面點) 移影響。(P.49)	因此偏心量對雷射點計算僅為一平移量，因此偏心量 3 公分對掃描點 (地面點) 位移影響亦為 3 公分。(P.53)
	三、本案航帶重疊區數據分析的計算點數代表意義，另北區與南區計算點數差異過大情形 (表 3-4~3-11)，請補充說明。	初稿內所附北區為 5m 區塊分析數據，南區為以較大區塊平差分析數據；已修正更新南區使用與北區相同之 5m 區塊分析成果表，結果點數相近。(P.107~P.110)
	四、本案控制點坐標許多重算或新算 (表 2-10~2-11)，應屬檢測時成果超過規範，惟報告書未敘明 (表 2-3~2-6)。	已補充說明於 P.40。
	五、圖 3-5~圖 3-10，建議加註紅圈所代表意義。	已補充說明於 P.46~P.49 圖 3-5~圖 3-8。
	六、本案光達於 97 年 3 月 11-13 日進行本案工作，惟 97 年 3 月 16 日才辦理率定作業 (附件 3)，請說明程序是否有瑕疵，及對該成果品質是否會有影響。	本案光達掃描作業於 97 年 3 月 11-13 日進行，並於 97 年 3 月 16 日進行率定作業，期間並未對光達系統進行拆裝作業，亦不會影響成果品質。
	七、其他建議修正部分： (一) 報告書提及「河川及洪氾溢淹區、中高海拔山區…」與本案無關，請檢視修正。(P.88-89、101) (二) P.63 未編頁碼及頁首位移。 (三) 圖 3-28~3-33 似為航跡圖，非飛航掃描成果。(P.64-69) (四) 表 3-7 第 5 欄內容疑為誤植。(P.84)	(一) 已修正刪除多餘文字。(P.111、P.112、P.136) (二) 已刪除重複圖片。 (三) 已修正於 P.84~P.89 圖 3-31~3-36。 (四) 已修正更新於 P.107 表 3-8。

委員	委員意見	修正情形
李委員佩珊	一、 本案涵蓋面積請以實際涵蓋範圍精確計算，如 p2~3、37、129。	已修正實際涵蓋範圍於 P.3~7、41，原 P.129 內容已刪除。
	二、 P34~36 有關控制點坐標應水準點已重新公告，請將縱橫坐標於報告中刪除，另外提供本中心。	已修正於 P.40。
	三、 本案測區較大，p77 圖 3-43、p92、p98、p103 請思索如何清楚呈現表達資訊。	已加強圖示表達方式。(P.98~100 圖 3-45、P.116~121 圖 3-58、59、P.127~132 圖 3-65、66 及 P.138~140 圖 3-70)
	四、 P90 請增加本案人工編修空載光達點雲資料作業原則。	已補充說明於 P.113。
	五、 P91 請增加坡度坡向分析採用軟體，使用功能、參數，及關鍵畫面相關說明。	已補充說明於 P.115。
	六、 P116 請將 1/2500 與 1/5000 距離差值相對大者圖幅套疊情形畫面摘錄於報告，並將差值分佈以統計圖顯現。	已補充說明於 P.155~P.157。
	七、 第肆章結論與建議，請以本案作業過程及經驗，足資提供其他機關辦理相同工作參考運用者納入。	已補充說明於 P.194 第伍章檢討與建議。
	八、 附件 4 表格內雷射開始時間請註明時間系統。	時間系統為 GPS 時間，已註明於附件 4-1。
	九、 附件 5-1 請補正英文摘要、中英文關鍵詞及英文標題。	已補充說明於附件 5-1。
	十、 附件 5-10 參考文獻格式請修正。	已修正於附件 5-13。
	十一、附件 6-2 水平精度請提出依據及成果通過原因。	已補充說明於附件 6-2。
	十二、附件 6-14 田地內圖片似為養殖池，請查明修正。	已修正取樣點及圖片於附件 6-14。

委員	委員意見	修正情形
李委員佩珊	十三、附件 7 標準作業程序請參照合約書規定撰寫，除一體適用之項目維持放置於附件 7，其他參考性的內容(如國內外相關文獻資料回顧)請放置於工作總告書本文內，又合約書項目係參考內政部標準作業程序(草案)者請敘明於文內。	已修正於 P.162。