

# 102 年度發展高光譜與光達 技術結合之應用工作案

## 工作總報告書

計畫主持人：王驥魁 副教授

共同主持人：林志交 測量技師

協同主持人：曾義星 教授

朱宏杰 助理教授

委託單位：內政部

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

中興測量有限公司

中華民國 102 年 11 月 28 日

# 測量技師簽證報告

契約編號或案號：SYC1020117

案名：102 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案

簽證技師：林志交

技師執業執照號碼：技執字第 006988 號

執業測繪業名稱：中興測量有限公司

測量專業資格證明書字號：技證字第 006940 號

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

委託者姓名或名稱：內政部

地址：臺北市中正區徐州路 5 號

委託事項：1. 飛航計畫與工作細部規劃書。

2. 空載高光譜、全波形空載光達、航照影像等資料獲取。

3. 空載高光譜及全波形空載光達資料處理。

4. 數值地表模型(DSM)、數值高程模型(DEM)製作及精度評估。

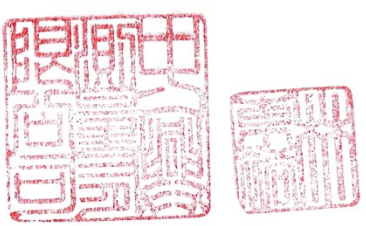

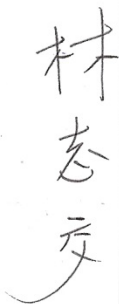
簽約日期：102 年 2 月 18 日

受託測繪業名稱：中興測量有限公司

地址：臺中市西區忠仁街 159 號

簽證意見：所有簽證項目均符合合約工作規範說明書之各項要求。

簽證日期：102 年 11 月 6 日

受託測繪業簽章	測量技師簽章
	 

## 摘要

空載光達具有短時間獲得大量點雲資料的能力，點雲資料包含三維坐標與反射強度值，且隱含著豐富的高程資訊。藉由地面點以及地物點之分類作業，可用於森林區域的 DEM(數值高程模型)製作。蒐集高密度的點雲資料可產出較高精度之 DEM，然而獲取高密度之光達點雲有計畫經費及執行時程之限制，掃瞄作業之設計，亦必須有相對應之規劃。本案研究目的為，探討掃瞄參數對森林區空載光達點雲穿透率之影響與疏化點雲資料密度及內插方法對於微地形辨識及數值地形成果之分析，並結合高光譜與全波形光達之融合影像應用於潛在崩塌與植生的關係之探討。本案應用 ATLM Pegasus 光達系統搭配 Itres CASI-1500 高光譜系統，以曾文水庫上游 21 平方公里之區域為測試區域。資料獲取之規劃，光達點雲密度為每平方公尺 10 點，高光譜影像之地面解析度為 1 公尺，其波段範圍包含 362.8 至 1051.3 nm，光譜解析力 9.6 nm，分 72 個波段紀錄。本案成果顯示，降低飛航高度或雷射脈衝頻率，皆可增加光達對於森林之穿透率，明確而言，航高降低 1,000 m 可以提高約 0.1 之穿透率；當雷射脈衝頻率每減少 100kHz 時，可增加約 0.04 之穿透率。由光達資料疏化測試結果顯示，Kriging 為最適用之內插方法，當資料疏化至 1/8 等級(即點雲密度約 4.7 點/平方公尺)與 1/32 等級(點雲密度 1.1 點/平方公尺)，其 DEM 成果分別可辨識 70% 與 60% 以上之潛在崩塌崩崖。另外，本案於結合高光譜與全波形光達資料之應用成果，融合影像分類整體精度為 73.96%，Kappa 值 0.7，雖然仍有誤判情形，但分類之地物區塊較為完整，後續土地覆蓋分類成果與潛在崩塌崩崖之整合分析顯示，潛在崩塌崩崖上部以竹林居多，下部出現之地物則為森林及草地，其結果與現地植生調查情況為相符合，故本案判釋微地形崩崖之分布位置與竹林分布是具有關聯性。

## Abstract

Airborne laser scanner is capable of acquiring 3D point data, which also includes intensity information, within a short turnaround time for a large area. For a forest area, the DEM (digital surface model) can be obtained by using the 3D point clouds that are classified as ground points after the airborne survey. The more 3D point clouds collected by an airborne survey, the more accurate the DEM should be, as a consequence that more ground points can be obtained. However, the request for high point density data results in high budget and long airtime, both of which are not welcome for a practical project. The purposes of this project are to understand how the settings of the airborne survey affect the LiDAR penetration of the forest, to study how the different point density data, accompanying with different interpolation methods, affect the identification of the micro-geography from the DEM, and to utilize the fused full waveform LiDAR and hyperspectral data for assessing the relation between potential landslides and land cover. An ALTM Pegasus LiDAR system (nominal point density of 10 points/m<sup>2</sup>) and an Itres CASI-1500 hyperspectral system (spectral range 362.8 – 1051.3 nm, with a spectral resolution of 9.6 nm ) were employed to acquire the data for a 21-km<sup>2</sup> area of the upstream of Tseng-Wen Reservoir. Our results showed that the LiDAR penetration increases with either decreasing flying height or decreasing laser repetition rate. Specifically, the LiDAR penetration increase 0.1 whenever the flying height decreases 1000 m; the LiDAR penetration increase 0.04 whenever the laser penetration rate decreases 100kHz. The Kriging interpolation method gave the most satisfactory results for producing DEM from the down-sampled LiDAR point clouds at

different levels. The identification rates of the cliff of the potential landslide are more than 70% and 60% when the LiDAR point clouds are down-sampled to 1/8 (4.7 points/m<sup>2</sup>) and 1/32 (1.1 points/m<sup>2</sup>) levels, respectively. The classification results of the fused full waveform and hyperspectral data achieved an overall accuracy and kappa value 73.96% and 0.7, respectively. Based on the classification result, the up- and down-sides of cliff of the potential landslide are mostly dominated by bamboo and forest and grassland, respectively, which are consistent with field record.

## 目錄

摘要 .....	I
Abstract .....	II
目錄 .....	IV
圖目錄 .....	IX
表目錄 .....	XIX
第 1 章 前言 .....	1
第 2 章 工作項目及進度控管 .....	3
第 3 章 測試區選定與作業計畫 .....	6
3-1 測區選定 .....	6
3-2 飛航計畫 .....	10
3-2.1 飛航掃瞄申請 .....	10
3-2.2 飛航掃瞄儀器 .....	10
3-2.3 航線規劃 .....	11
3-2.4 地面控制點規劃 .....	13
3-2.5 航帶平差 .....	14
3-2.6 檢核點蒐集與作業 .....	16
3-2.7 評估不同航高及掃瞄頻率參數對於光達點雲穿透率之 影響分析 .....	21

3-3	文獻回顧.....	25
3-3.1	光達資料於各種地形內插方法之研究 .....	25
3-3.2	高光譜資料與光達資料於崩塌地區之應用.....	26
3-3.3	空載光達點雲穿透率之研究.....	28
3-4	資料處理.....	29
3-4.1	高光譜影像之大氣校正.....	29
3-4.2	空載光達點雲之輻射校正.....	40
3-5	高光譜及全波形空載光達資料處理與綜合分析.....	42
3-5.1	光達資料於出露地層界線及地質線形（如斷層或褶皺等） 之判釋並於潛在崩塌區進行植生特徵與地形特徵判釋.. .....	42
3-5.2	評估結合高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌 調查機制分析 .....	52
3-5.3	分析不同點雲密度與內插方法對微地形判釋影響 .....	60
第 4 章	資料獲取.....	68
4-1	系統率定.....	68
4-1.1	光達系統率定 .....	68
4-1.2	高光譜儀率定 .....	68
4-2	飛航成果.....	69
4-3	控制測量.....	76

4-3.1	平面控制測量 .....	76
4-3.2	高程控制測量 .....	80
4-4	航帶精度分析及平差處理.....	80
4-4.1	雷射掃瞄誤差來源及精度分析 .....	81
4-4.2	航帶平差模式 .....	85
4-4.3	航帶平差資料整合成果分析 .....	87
4-5	光達資料與高光谱影像精度分析 .....	91
第 5 章	數值地表模型(DSM)、數值高程模型(DEM)製作及精度評估 .....	94
5-1	光達資料處理、分類及成果產製 .....	94
5-1.1	點雲資料處理 .....	94
5-1.2	點雲資料分類後地面測點 與非地面測點數據統計 ....	95
5-1.3	測區回波數據面積與水體吸收之無數據面積統計 .....	97
5-1.4	DEM 及 DSM 成果產製 .....	98
5-2	DEM/DSM 精度評估與分析 .....	100
5-3	空載光達飛航掃瞄參數選擇不同航高及掃瞄頻率參數對於光 達點雲穿透率之影響分析.....	110
5-3.1	比較航高對於穿透率的影響 .....	111
5-3.2	比較雷射脈衝頻率對於穿透率的影響 .....	115
5-3.3	比較不同地物類型對於穿透率的影響 .....	119



5-3.4	穿透率對於光達 DEM 高程精度之比較.....	120
第 6 章	高光譜及全波形空載光達資料處理與綜合分析成果.....	124
6-1	空載光達點雲輻射校正.....	124
6-2	高光譜影像之大氣校正成果.....	125
6-3	光達資料於出露地層界線及地質線形（如斷層或褶皺等）之 判釋並於潛在崩塌區進行植生特徵與地形特徵判釋.....	150
6-3.1	地形特徵判釋.....	150
6-3.2	現地重點查核.....	156
6-3.3	地形特徵判釋修正.....	178
6-3.4	前後期數值地形差異分析.....	179
6-3.5	潛在崩塌植生特徵分析.....	182
6-4	評估結合高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌調查機 制分析.....	185
6-5	不同點雲密度與內插方法對微地形判釋影響.....	196
6-5.1	小面積區域測試點雲密度疏化取樣.....	196
6-5.2	小區域測試內插方法.....	199
6-5.3	小區域測試相同密度等級，不同內插方法之差異比較.. .....	206
6-5.4	全區不同點雲密度與內插方法對微地形辨識影響....	208
6-5.5	不同點雲密度及內插方法之 DEM 精度分析.....	220

第 7 章 結論與建議.....	225
7-1 結論.....	225
7-2 建議.....	227
第 8 章 參考文獻.....	230

---

## 附件

附件一、主要儀器設備簡介

附件二、中興測量有限公司 Optech Pegasus HD400 率定報告書

附件三、中興測量有限公司 ITRES CASI 1500 率定報告書

附件四、中興測量有限公司 Optech Pegasus HD400 及 ITRES CASI 15  
    飛航掃瞄報告書

附件五、歷次審查委員意見及回覆

附件六、微地形崩塌調查機制分析作業

附件七、不同方法內插之 DEM 與疏化程度之地面點檢核精度評估

附件八、本案相關附件與辦理實況相片

附件九、工作計畫成果效益報告書

附件十、科技計畫績效指標

## 圖目錄

圖 3.1 測試區位置圖 .....	6
圖 3.2 研究區域鄰近地質圖 .....	9
圖 3.3 本案收集之高光譜資料波段分布情形 .....	12
圖 3.4 測試區平面控制點分布圖 .....	14
圖 3.5 推求兩航帶內某共軌點的相對高程差示意圖 .....	15
圖 3.6 測區檢核點分佈圖 .....	20
圖 3.7 雷射發射能量最高值與時間的變化差異 .....	22
圖 3.8 以 2m 厚度搜尋完整地面點之示意圖 .....	24
圖 3.9 多重回波點雲與有效地面點雷射示意圖 .....	24
圖 3.10 FLAASH 操作流程圖 .....	33
圖 3.11 遙測影像在複雜地形下的輻射量來源(1.路徑輻射量 2.像元之地 表反射輻射量 3.鄰近輻射量 4.鄰近坡反射輻射量) .....	34
圖 3.12 ATCOR-4 操作流程圖 .....	36
圖 3.13 兩測試區域之位置 .....	37
圖 3.14 DSM 測試之流程圖 .....	37
圖 3.15 經驗式法校正流程 .....	39
圖 3.16 光譜整合流程圖 .....	39
圖 3.17 點雲強度改正流程圖 .....	41

圖 3.18 光達數值地形產製供判釋之陰影圖(左)與坡度圖(右).....	43
圖 3.19 利用光達資料進行地質現象與崩塌植生狀況分析之研究流程	43
圖 3.20 利用光達數值地形判釋地層界線與既有地層比較圖 .....	44
圖 3.21 斷層地形特徵圖(經濟部中央地質調查所).....	45
圖 3.22 光達數值資料顯示之斷層特徵圖(經濟部中央地質調查所) ....	47
圖 3.23 崩塌地形特徵示意圖(資料來源：本案產製之光達資料).....	49
圖 3.24 各級覆蓋度所佔之範圍(修改自 Numata, 1962) .....	51
圖 3.25 高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌調查機制分析流程 構想圖 .....	52
圖 3.26 土地覆蓋類別之光譜曲線比較圖 .....	53
圖 3.27 應用 Feature-level 進行光達影像與光譜影像的融合處理(Mutlu et al., 2008) .....	54
圖 3.28 全波形光達資料前處理：包含振幅平均及資料網格化兩個部分 .....	55
圖 3.29 以統計原理融合不同資料之處理流程 .....	56
圖 3.30 因儀器紀錄特性導致後段訊號出現平值 .....	57
圖 3.31 航帶明暗程度差異過大之特徵波段.....	57
圖 3.32 以微地形判釋成果繪製崩崖上、下部 20 公尺範圍作為整合分析 之研究區域.....	59
圖 3.33 光達點資料內插成網格表面.....	60

圖 3.34 (A) IDW 法內插的表面；(B) IDW 內插後 DEM 輸出圖 .....	62
圖 3.35 Original 半變異元模型圖 .....	64
圖 3.36 (a) Delaunay 外接圓與圓中心；(b)外接圓的好壞 .....	65
圖 3.37 Delaunay 三角形與 Voronoi 圖.....	66
圖 3.38 不同點雲密度與內插方法對微地形判釋之研究流程.....	67
圖 4.1 空載雷射掃瞄資料作業流程.....	70
圖 4.2 軌跡解算作業流程 .....	71
圖 4.3 測試區掃瞄成果點雲涵蓋圖.....	73
圖 4.4 測試區點雲密度計算成果圖.....	74
圖 4.5 測試區平面控制點分布圖 .....	77
圖 4.6 Bernese 軟體計算流程圖.....	78
圖 4.7 (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	82
圖 4.8 Measure Match 之比對原理.....	82
圖 4.9 測區重疊航帶與交叉航帶處之誤差分析 .....	83
圖 4.10 三維側視圖(a)含地上物 (b)濾除非地面點成果 .....	86
圖 4.11 (a)航線重疊區(b)於道路上選擇匹配區塊 .....	87
圖 4.12 測區之航線重疊處平差前後平均誤差差量分析.....	90
圖 4.13 光達與高光譜精度套和檢核點示意圖 .....	91
圖 5.1 Iteration angle 和 Iteration distance 示意圖 (Axelsson, 2000)....	94

圖 5.2 測試區分幅處理示意圖 .....	95
圖 5.3 測區水體圈選與面積統計操作 .....	97
圖 5.4 測試區 DEM 與 DSM 成果圖 .....	98
圖 5.5 檢核點精度評估流程圖 .....	100
圖 5.6 測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位：公尺) ....	102
圖 5.7 測試區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位：公尺).....	107
圖 5.8 組單一航帶掃瞄範圍圖(a)不同飛航高度(b)不同雷射脈衝頻率 .....	110
圖 5.9 不同航高之穿透率結果 .....	113
圖 5.10 不同飛行高度數值分布盒形圖 .....	114
圖 5.11 不同航高穿透率分布次數百分比 .....	115
圖 5.12 不同雷射脈衝頻率之穿透率結果 .....	117
圖 5.13 不同雷射脈衝頻率數值分布盒形圖 .....	118
圖 5.14 不同雷射脈衝頻率之穿透率分布次數百分比 .....	118
圖 5.15 單一航帶範圍內之植被分類圖 .....	119
圖 5.16 不同的航高與土地利用形其穿透率資料分布盒形圖 .....	120
圖 5.17 單一航線內精度檢核點位分布圖 .....	121
圖 5.18 利用地真(eGPS)資料與光達地形(DEM)比較高程誤差( $\Delta h$ )量 .....	121
圖 5.19 不同飛航高度之實際檢核點穿透率 .....	122

圖 5.20 不同穿透率之高程差異量( $\Delta h$ )之分布盒形圖 .....	123
圖 6.1 光達點雲輻射校正之成果展示圖 .....	124
圖 6.2 二氧化碳濃度觀測圖 .....	126
圖 6.3 FLAASH 設定 .....	127
圖 6.4 ATCOR-4 操作介面 .....	129
圖 6.5 地面光譜同步點位置分布圖 .....	130
圖 6.6 經驗式光譜萃取說明圖 .....	132
圖 6.7 經驗式迴歸線展示圖 .....	135
圖 6.8 FLAASH、ATCOR-4 及經驗式之大氣校正結果比較圖 .....	137
圖 6.9 光譜曲線比較圖 .....	139
圖 6.10 兩區域中各 D 值之像元數量統計圖 .....	140
圖 6.11 兩區域中 D 值之變化 .....	141
圖 6.12 區域一之 D 值分布情形 .....	142
圖 6.13 區域二之 D 值分布情形 .....	143
圖 6.14 不同密度等級所產製之 DSM .....	144
圖 6.15 區域一之 B 值分布情形 .....	146
圖 6.16 區域二之 B 值分布情形 .....	147
圖 6.17 剖面位置 .....	148
圖 6.18 為圖 5.13 位置之 x 剖面 .....	148

圖 6.19 匯入 DSM 資訊可校正背光處之陰影 .....	149
圖 6.20 研究區域內地層界線判釋初步成果圖(1/2).....	151
圖 6.21 研究區域內地層界線判釋初步成果圖(2/2).....	151
圖 6.22 斷層地形特徵判釋示意圖 .....	152
圖 6.23 研究區域內地質構造判釋成果圖 .....	153
圖 6.24 崩塌光達數值地形陰影與崩崖判釋成果比較示意圖 .....	154
圖 6.25 現生崩塌與潛在崩塌之崩崖判釋初步成果圖 .....	155
圖 6.26 現地重點查核點位與判釋成果分布圖 .....	156
圖 6.27 地層判釋之現地重點查核成果圖 .....	157
圖 6.28 地層判釋區域鄰近之坡度侵蝕特性圖 .....	158
圖 6.29 茶山斷層北側之河階高低差位置與現況照片 .....	159
圖 6.30 茶山斷層近茶山部落台地之斷層線形判釋結果圖 .....	160
圖 6.31 研究區域內人工構造物破壞點位分布圖 .....	161
圖 6.32 人工構造物破壞點位現地照片 .....	161
圖 6.33 曾文溪河道地層位態變化點位現地照片與判釋成果圖 .....	162
圖 6.34 曾文溪河道出露之背斜構造判釋成果圖 .....	163
圖 6.35 竹子屋部落聯外道路新美背斜軸部判釋成果圖.....	164
圖 6.36 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP1、SP2) .....	166
圖 6.37 點位 SP1 崩塌現況.....	166



圖 6.38 點位 SP2 崩塌現況.....	167
圖 6.39 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP3) .....	167
圖 6.40 點位 SP3 崩塌現況.....	168
圖 6.41 植生調查分布與潛在崩塌崩之崖調查點位(SP4) .....	168
圖 6.42 點位 SP4 潛在崩塌現況.....	169
圖 6.43 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP5、SP6) .....	170
圖 6.44 點位 SP5 潛在崩塌現況.....	170
圖 6.45 點位 SP6 潛在崩塌現況.....	171
圖 6.46 點位 SP7 潛在崩塌現況.....	171
圖 6.47 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP7、SP8、SP9).....	172
圖 6.48 點位 SP8 潛在崩塌現況.....	173
圖 6.49 點位 SP9 潛在崩塌現況.....	173
圖 6.50 植生調查分布與潛在崩塌崩崖調查點位(SP10) .....	174
圖 6.51 點位 SP10 潛在崩塌現況.....	174
圖 6.52 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP11).....	175
圖 6.53 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP12).....	176
圖 6.54 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP13).....	176
圖 6.55 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP14).....	177
圖 6.56 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP15).....	177

圖 6.57 本案前期計畫與本年度光達數值地形變異分析圖.....	179
圖 6.58 道路地形前後期光達點雲比較圖.....	180
圖 6.59 河道地形變異前後期光達點雲比較圖.....	180
圖 6.60 山脊區域地形變異前後期光達點雲比較圖.....	181
圖 6.61 植生調查位置分布圖.....	183
圖 6.62 土地覆蓋類別之全波形光達波形曲線比較圖.....	185
圖 6.63 土地覆蓋類別之全波形光達波形曲線比較圖.....	186
圖 6.64 土地覆蓋類別之光譜成份軸比較圖.....	188
圖 6.65 土地覆蓋類別之波形成份軸比較圖.....	188
圖 6.66 本年度獲取之(a)同步拍攝正射影像，及 (b)融合影像分類成果 .....	191
圖 6.67 各土地覆蓋類別之正射影像及其分類成果比較圖.....	192
圖 6.68 潛在崩塌崩崖上、下部之土地覆蓋類別數量百分比統計圖.	194
圖 6.69 潛在崩塌崩崖(現地調查)上、下部之土地覆蓋類別數量百分比 統計圖.....	195
圖 6.70 點雲疏化取樣小面積區域測試位置圖.....	196
圖 6.71 原始點雲產製的 DEM 及其日照陰影圖、坡向及坡度圖.....	197
圖 6.72 以 IDW 法內插各等級之 DEM 日照陰影圖.....	198
圖 6.73 不同密度之 IDW 高程統計分析.....	200
圖 6.74 不同密度下 IDW 產製 DEM 之日照陰影圖.....	201

圖 6.75 不同密度下 TIN/線性高程之統計分析表 .....	202
圖 6.76 不同密度下 TIN/線性產製 DEM 之日照陰影圖 .....	203
圖 6.77 不同密度下 Kriging 高程之統計分析表 .....	204
圖 6.78 不同密度下 Kriging 產製 DEM 之日照陰影圖 .....	205
圖 6.79 1/32 密度等級各內插法 DEM 與坡度圖 .....	206
圖 6.80 低密度下，各方法 DEM 與原始點雲產製 DEM 比較 .....	207
圖 6.81 低密度下，各方法坡度圖與以原始點雲產製坡度圖差異 .....	207
圖 6.82 對照組之潛在崩塌崩崖 .....	209
圖 6.83 各密度等級 IDW 法內插成果與微地形特徵線辨識成果圖 ...	210
圖 6.84 各密度等級，IDW 法內插成果與陰影圖套疊展示微地形特徵線 .....	211
圖 6.85 IDW 法成果可辨識出之潛在崩塌崩崖長度與個數圖 .....	212
圖 6.86 各密度等級 TIN/線性內插法成果與微地形特徵線辨識成果圖 .....	213
圖 6.87 各密度等級，TIN/線性內插法成果與陰影圖套疊展示微地形特 徵線 .....	214
圖 6.88 TIN/線性內插法成果可辨識出之潛在崩塌崩崖長度與個數圖 .....	215
圖 6.89 點雲疏化後，Kriging 法內插成果與微地形特徵線辨識成果圖 .....	216
圖 6.90 各密度等級，Kriging 法內插成果與陰影圖套疊展示微地形特徵	

線 .....	217
圖 6.91 Kriging 法成果可辨識出之潛在崩塌崩崖長度與個數圖 .....	218
圖 6.92 疏化後潛在崩塌崩崖長度與對照組長度比例圖 .....	220
圖 6.93 疏化後潛在崩塌崩崖個數與對照組個數比例圖 .....	220
圖 6.94 不同點雲密度及內插方法之 DEM 絕對高差盒形圖 .....	221
圖 6.95 IDW 法內插結果與點雲疏化各類土地覆蓋類別平均絕對高差分析 .....	222
圖 6.96 TIN/線性內插結果與點雲疏化各類土地覆蓋類別平均絕對高差分析 .....	223
圖 6.97 Kriging 內插結果與點雲疏化各類土地覆蓋類別平均絕對高差分析 .....	223
圖 6.98 不同密度等級下，三種內插方法平均絕對高差比較 .....	224

## 表目錄

表 2.1 成果繳交項目及日期 .....	3
表 2.2 工作進度甘特圖 .....	5
表 3.1 測區之坐標一覽表 .....	6
表 3.2 地形類別及其調整參數對照表 .....	17
表 3.3 地表植被覆蓋類別及其調整參數對照表 .....	18
表 3.4 土地覆蓋分區 .....	19
表 3.5 空載光達單一航線飛航掃瞄參數 .....	21
表 3.6 各種大氣模型在地表的參數值 .....	32
表 3.7 斷層變位地形常用名詞(經濟部中央地質調查所) .....	46
表 3.8 覆蓋度級數與量化值對照表 .....	51
表 4.1 各飛航架次作業時間及地點 .....	72
表 4.2 基站資訊 .....	72
表 4.3 飛航軌跡解算成果 .....	72
表 4.4 測試區飛航掃瞄成果統計表 .....	75
表 4.5 已知控制點及 GPS 主站一覽表 .....	77
表 4.6 已知控制點檢測成果表 .....	79
表 4.7 GPS 主站坐標一覽表(單位：公尺) .....	79
表 4.8 重疊航線處誤差分析表(粗體航線為交叉航帶) .....	84

表 4.9 測區航線重疊處平差前後差量統計表(粗體航線為交叉航帶) ..	88
表 4.10 Optech 提供 pegasus 之建議精度表.....	92
表 4.11 光達與高光谱影像差量表(單位:公尺) .....	93
表 5.1 分類後地面測點與非地面測點之統計數據 .....	96
表 5.2 無數據面積之統計數據 .....	97
表 5.3 不同光達點雲密度所耗費之作業時間、經費表 .....	99
表 5.4 各類土地覆蓋分區基本精度分析表.....	101
表 5.5 數值精度中央集中趨勢分析表.....	105
表 5.6 數值精度之偏態檢驗表(單位：公尺).....	106
表 5.7 DEM 數值適合度檢驗 .....	109
表 5.8 不同航高與不同雷射脈衝頻率之飛航資料 .....	111
表 5.9 不同航高其穿透率差異之統計.....	112
表 5.10 不同雷射脈衝頻率穿透率差異之統計 .....	116
表 6.1 嘉義氣象站(102 年 7 月 24 日).....	125
表 6.2 本案所選用之演算模型 .....	126
表 6.3 本案所選用之演算模型 .....	128
表 6.4 本案每一航帶之設定參數 .....	128
表 6.5 光谱採樣作業示意圖 .....	131
表 6.6 光谱樣本整合前後示意圖 .....	133

表 6.7 光譜整合範例 .....	133
表 6.8 經驗線改正參數 .....	135
表 6.9 不同密度等級之點雲密度 .....	138
表 6.10 植生與潛在崩塌崩崖現地調查點位資料表 .....	165
表 6.11 崩塌地之崩崖現地查核一覽表 .....	178
表 6.12 潛在崩崖位置之植生類別調查表 .....	182
表 6.13 潛在崩崖上下部植生調查表 .....	184
表 6.14 高光譜影像與全波形光達影像之成份軸解釋率（粗體部分為篩選之成份軸） .....	189
表 6.15 各土地覆蓋類別訓練樣區圈選樣本數 .....	191
表 6.16 融合影像之分類誤差矩陣與分類精度檢核表 .....	193
表 6.17 小區域各等級之平均點雲密度表 .....	199
表 6.18 全區各等級之平均點雲密度表 .....	208
表 6.19 不同疏化等級下，可辨識出潛在崩塌崩崖個數與數化長度表 .....	219

## 第1章 前言

隨科技日益進步，遙測影像空間解析度或光譜解析力的提升，提高了地物描繪與判釋分類的能力，為資源調查與環境監測等相關領域提供一個良好的應用分析材料。空載光達(Airborn LiDAR)為近年遙測領域的一項新技術，可用於大面積之地形測繪作業。高精度與高空間解析力的優勢，更能將其產製成品廣泛用於森林經營、坡地監測、災害模擬，數值地形建模等後端應用研究。空載光達具有短時間獲得大量點雲資料的能力，點雲資料包含三維坐標與反射強度值。光達的雷射光能穿透樹冠層遮蔽到達地表，且隱含著豐富的高程資訊，包含地面點以及地物點，因此可用於森林區域的 DEM(數值高程模型)製作。

目前已知較高密度的點雲資料可產出較高精度之 DEM，然而獲取高密度之光達點雲有計畫經費及執行時程之限制，掃瞄作業之設計，亦必須有相對應之規劃，以得到適用密度下之點雲資料符合經濟效益。因此，本案預期以降低資料量方式使用 LiDAR 數據內插 DEM，瞭解不同資料密度與內插方法對於微地形辨識之影響，以期得到精度良好足以提供後續微地形辨識研究之數值地形模型。

相對應的掃瞄作業規劃，其空載光達設定及飛航參數設計上，許多研究中指出，飛行高度(Flying altitude)的差異(Goodwin *et al.*, 2006; Hopkinson, 2007; Morsdorf *et al.*, 2008; 發展先進空載光達科技與應用工作案，2011)、雷射脈衝頻率之高低(Pulse repetition frequency)(Chasmer *et al.*, 2006; Hopkinson, 2007)、雷射光束發散角(Beam divergence)(Andersen *et al.*, 2006; Hopkinson, 2007)及掃瞄角度之大小(Scan angle) (Morsdorf *et al.*, 2008; 黃清美、史天元，2008)，為主要影響因子。依照上述歸納的影響因子，雷射光束發散角為光達系統之固定參數，不易做調整；掃瞄角度固然有影響，但依目前國內之執行案例而言，此參數常多由業主制訂規範，因而，此二項因子不列入本案討論。又本團隊



於 100 年度內政部「發展先進空載光達科技與應用工作案」成果中，對不同航高僅比較穿透率之差異，並未探討點雲穿透率對微地形判釋及數值地形成果之影響。因此，為獲得良好數值高程地形模型之產製，本案依上述原因，挑選航高及雷射脈衝頻率為研究項目，探討不同航高與不同雷射脈衝頻率對森林覆蓋區域光達資料獲取的影響。

承 100 年度與 101 年度內政部辦理之工作案，其成果已成功應用於崩塌區、森林區以及火山地區之地形判釋，爰此，本案目的除了以高光譜與全波形空載光達資料之結合應用於潛在崩塌區進行植生特徵與地形特徵判釋之外，並期望藉由不同空載光達飛航掃瞄參數對於森林點雲穿透率的探討，瞭解空載光達儀器之特性，更可提供國內業界於執行飛航掃瞄之參考依據，以助於國內在森林覆蓋崩塌區微地形判釋等相關研究之資料建立。

## 第2章 工作項目及進度控管

本案於 102 年 2 月 18 日完成簽約，作業時間為 102 年 2 月 19 日起至 102 年 11 月 30 日止，分三期繳交成果(表 2.1)。依規劃進度，本團隊實際工作進度約完成本案總工作進度之 100%。各項工作及其他工作項目進度如表 2.2，工作完成百分比為：

1. 飛航計畫與工作細部規劃書(完成 100%)
2. 蒐集高光譜技術相關應用研究文獻(完成 100%)
3. 空載高光譜、全波形空載光達、航照影像及多光譜衛星影像等資料獲取(完成 100%)
4. 高光譜與全波形光達融合測試技術之精度評估分析(100%)
5. 數值高程模型與數值地表模型製作及精度評估(100%)
6. 高光譜及全波形空載光達資料處理與綜合分析(100%)

表 2.1 成果繳交項目及日期

期 別	成果繳交項目及份數	成果繳交日期
第一期	一、繳交工作計畫細部規劃書 1 份。 二、並向本部提出申請實施飛航掃瞄公文(副本) 1 份並含下列附件： (一) 實施計畫書 1 份。 (二) 航攝或遙測地區範圍圖 1 式。 (三) 辦理航攝或遙測業務之設備清冊： 1. 航空器之類型及機號。 2. 航攝或遙測儀器與影像或掃瞄資料處理設備之種類、名稱及數量。	於簽約次日起 2 個月內繳交。
第二期	一、期中報告 10 份及電子檔 1 份，內容至少應含： 1. 本案崩塌測試區規劃與執行概況報告。	於 102 年 8 月 31 日前

	<p>2.空載光達系統率定報告分析。</p> <p>3.平面及高程地面控制點分布圖及說明、平差後成果、檢測成果精度報告。</p> <p>二、蒐集高光譜與光達資料處理與應用等相關技術文獻資料 1 冊。</p> <p>三、高光譜及全波形光達飛航掃瞄原始數據各 1 份。</p>	繳交。
第三期	<p>一、工作總報告書初稿 10 份及電子檔 1 份。內容需包含：</p> <p>(一) 中英文摘要及前言。</p> <p>(二) 作業流程及各項工作之執行成果，內容至少應含：</p> <p>1.測試區概述與空載光達系統率定分析。</p> <p>2.平面及高程地面控制點分布圖及說明、平差後成果、檢測成果精度報告。</p> <p>3.交叉飛航數據(Cross Flight)誤差分析報告。</p> <p>4.應用航帶重疊數據進行誤差分析報告。</p> <p>5.航帶平差及資料整合成果。</p> <p>6.分類後地面測點與非地面測點數據統計分析。</p> <p>(三) DSM 及 DEM 之成果分析與精度評估。</p> <p>(四) 高光譜與全波形光達資料融合之精度分析評估。</p> <p>(五) 檢討與建議。</p> <p>(六) 參考文獻。</p> <p>(七) 歷次會議意見及回覆。</p> <p>(八) 本案之相關附件與辦理實況相片。</p> <p>二、分類後地面測點與非地面測點數據 1 份。</p>	於 102 年 11 月 30 日前繳交。經甲方審查工作總報告書初稿後，於甲方發文通知日次日起 14 天內依甲方審查意見修正後繳交。

	<p>三、不規則離散測點純文字檔 1 份：資料欄位包括 x,y,z 三維坐標 (WGS84 坐標系統)、測點雷射反應值(intensity)並建構多種不同土地覆蓋之全波形雷射掃瞄回波數據資料庫</p> <p>四、數值地表模型 (DSM)、數值高程模型 (DEM) 成果 (均含橢球高及正高、詮釋資料檔) 各 1 份。</p> <p>六、高光譜、全波形光達飛航掃瞄處理後之成果數據及航照正射影像各 1 份。</p> <p>七、光達相關技術應用論文文稿至少 2 篇。</p> <p>八、工作總報告書 (定稿) 3 份及電子檔 1 份。</p>	
--	---	--

表 2.2 工作進度甘特圖

期別	時程	工作比重	完成率	完成比重	第一期			第二期					第三期		
					第1月 102.02	第2月 102.03	第3月 102.04	第4月 102.05	第5月 102.06	第6月 102.07	第7月 102.08	第8月 102.09	第9月 102.10	第10月 102.11	
工作計劃書撰寫		10%	100%	10.0%											
飛航申請與儀器整備		2%	100%	2.0%											
期中報告書撰寫		10%	100%	10.0%											
空載高光譜、全波形空載光達、航照影像等資料獲取		15%	100%	15.0%											
相關文獻蒐集並彙整成冊		5%	100%	5.0%											
高光譜與全波形光達融合之精度評估分析		10%	100%	10.0%											
數值高程模型與數值地表模型製作及精度評估		15%	100%	15.0%											
高光譜及全波形空載光達資料處理與綜合分析		20%	100%	20.0%											
投稿相關研究論文至少2篇		3%	100%	3.0%											
工作總報告書		10%	100%	10.0%											

### 第3章 測試區選定與作業計畫

#### 3-1 測區選定

本案規劃飛航掃瞄之測試樣區，為森林覆蓋崩塌測試區，面積約為 21 平方公里，範圍包含共 6 幅之 1/5000 圖幅(圖號:95194076、95194077、95194078、95194086、95194087、95194088)，坐標參照表 3.1，測試區位置圖參考圖 3.1，測試區環境概述如下所述。

表 3.1 測區之坐標一覽表

	左上角坐標(TWD97)	右下角坐標(TWD97)
測試區	(213997.262, 2580123.005)	(217882.075, 2574595.021)

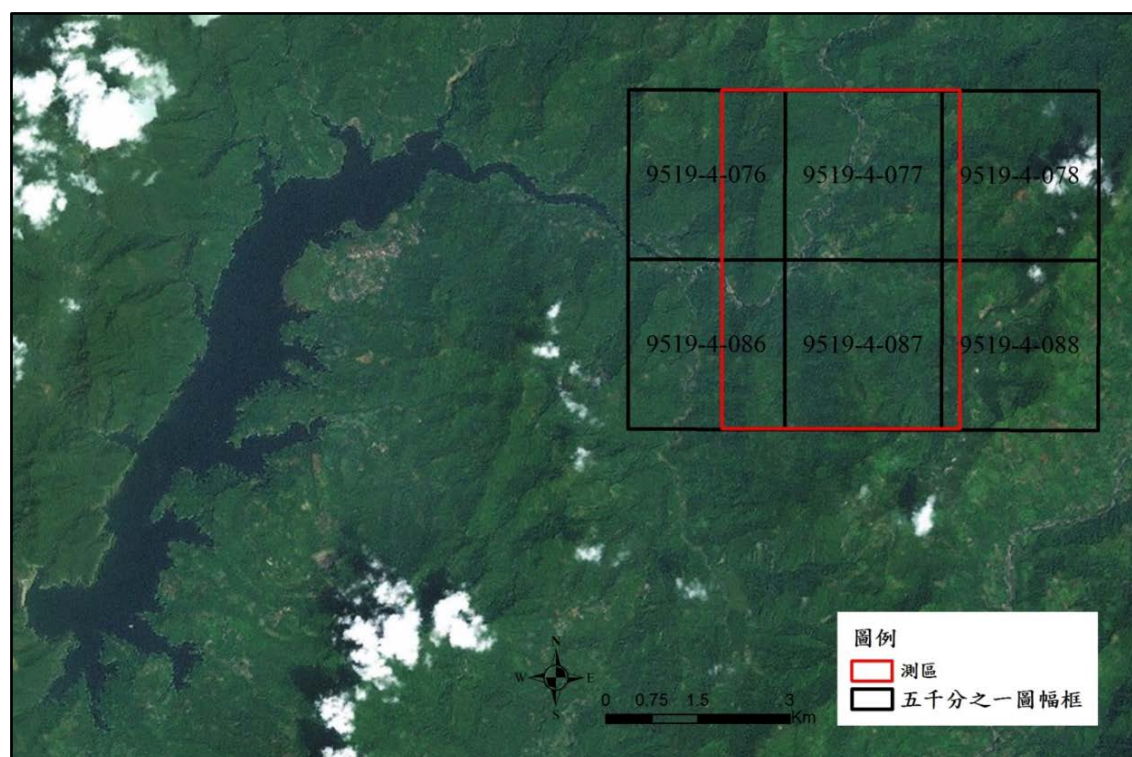


圖 3.1 測試區位置圖

本案選定的測試區位於曾文水庫東北方向，行政區域屬嘉義縣阿里山鄉茶山村，部分包括嘉義縣大埔鄉和平村及高雄市那瑪夏區達卡努瓦。測試區

海拔高度約在 230 至 1100 公尺之間，屬低海拔森林，為亞熱帶氣候常綠闊葉林，在近溪谷環境較為潮濕之處，主要樹種組成以桑科榕樹屬為主，包括菲律賓榕、牛奶榕、榕樹、九丁榕、雀榕、幹花榕及白肉榕；樟科槿楠屬之大葉楠、菲律賓楠等；蕁麻科的咬人狗和大戟科的茄苳；省沽油科的灣山香圓、茜草科的水錦樹、千屈菜科的九芎及杪欏科的筆筒樹、台灣杪欏等樹狀蕨類亦為常見。另一為小稜脊上之櫛木林型，其組成以殼斗科的火燒柯及大葉苦櫛；另亦有茶科的木荷、胡桃科的台灣黃杞及殼斗科的杏葉石櫟等。本區內除天然植被外，亦包含人工種植作物，如檳榔、茶葉及果園等；本區也常見其他桐類、竹類、相思樹等人工林夾雜出現。(嘉義縣阿里山鄉茶山社區農村再生計畫，2013)。

在地質概況方面(圖 3.2)，測試區出露之地層，主要為全新世的階地堆積層和中新世之隘寮腳層、鹽水坑頁、糖恩山砂岩、長枝坑層及紅花子層。其中階地堆積分布於曾文溪沿岸，是聚落主要聚集的地方，高程約 275~475 公尺不等。

隘寮腳層為最年輕的一層，年代為晚期上新世至更新世，岩性主要為薄層頁岩和粉砂岩互層，頁岩中時夾不規則砂岩體之紋層構造為特徵。砂岩含碳質物碎片，偶有波成波痕與水流波痕形成之交錯層理以及水道構造等。本層底部以厚層塊狀砂岩之出露作為與鹽水坑頁岩之分界。鹽水坑頁岩年代為早期上新世，岩性以巨厚、塊狀之頁岩為主，受強烈生物擾動，偶夾黃灰色砂岩或泥質砂岩，常呈透鏡狀向兩端尖滅。砂岩多半具有平行層理，偶有波痕和交錯層理，在地形上多呈低窪河谷或鞍部。

糖恩山砂岩標準地點位於台南市玉井區、楠西區與南化區區界之糖恩山。主要由淡青灰色細粒砂岩所組成，砂岩呈塊狀，長形成陡崖或深谷，砂岩常夾有許多厚層深灰色頁岩與灰色砂質頁岩，全層厚度約為 450 至 500 公尺，在本圖幅中僅出現在西北方一隅。長枝坑層，由張錫齡和鍾振東(1956)所命名。標準地點為嘉義縣後大埔之長枝坑溪，或後堀溪的篙嘴坑。本層以青色或青

灰色細粒砂岩或泥質砂岩與黑色頁岩所形成之帶狀互層為主，涵蓋幾乎整張圖幅範圍，為出露面積最廣泛之地層。紅花子層亦是鍾振東(1962)所命名的地層名稱，標準地層在高雄市甲仙區的紅花子背斜軸部出露。本層主要為灰色、細粒到中粒厚層狀的砂岩，夾有深灰色頁岩和灰色泥質砂岩的互層，全厚約有 1200 公尺，出現在圖幅東南方，其出露面積少於糖恩山砂岩。

在地質構造方面，主要有三條斷層出露，一為東北-西南向之布拉社斷層，另一為獺頭斷層，另一為近南北向貫穿圖幅之茶山斷層，三者皆為逆斷層。布拉社斷層位於茶山村聚落東方約 1200 公尺處，茶山斷層則通過聚落東側，距村落約 50 公尺左右，獺頭斷層同時具橫移斷層特性，斷線之走向與地層幾成直交。在褶皺部分則有新美背斜及茶山向斜出露，新美背斜呈北北東—南南西方向延展，南段則被獺頭斷層截斷。茶山向斜位於茶山斷層及獺頭斷層之間，距新美南方 1~2 公里處，略成南北向展延約 7 公里。

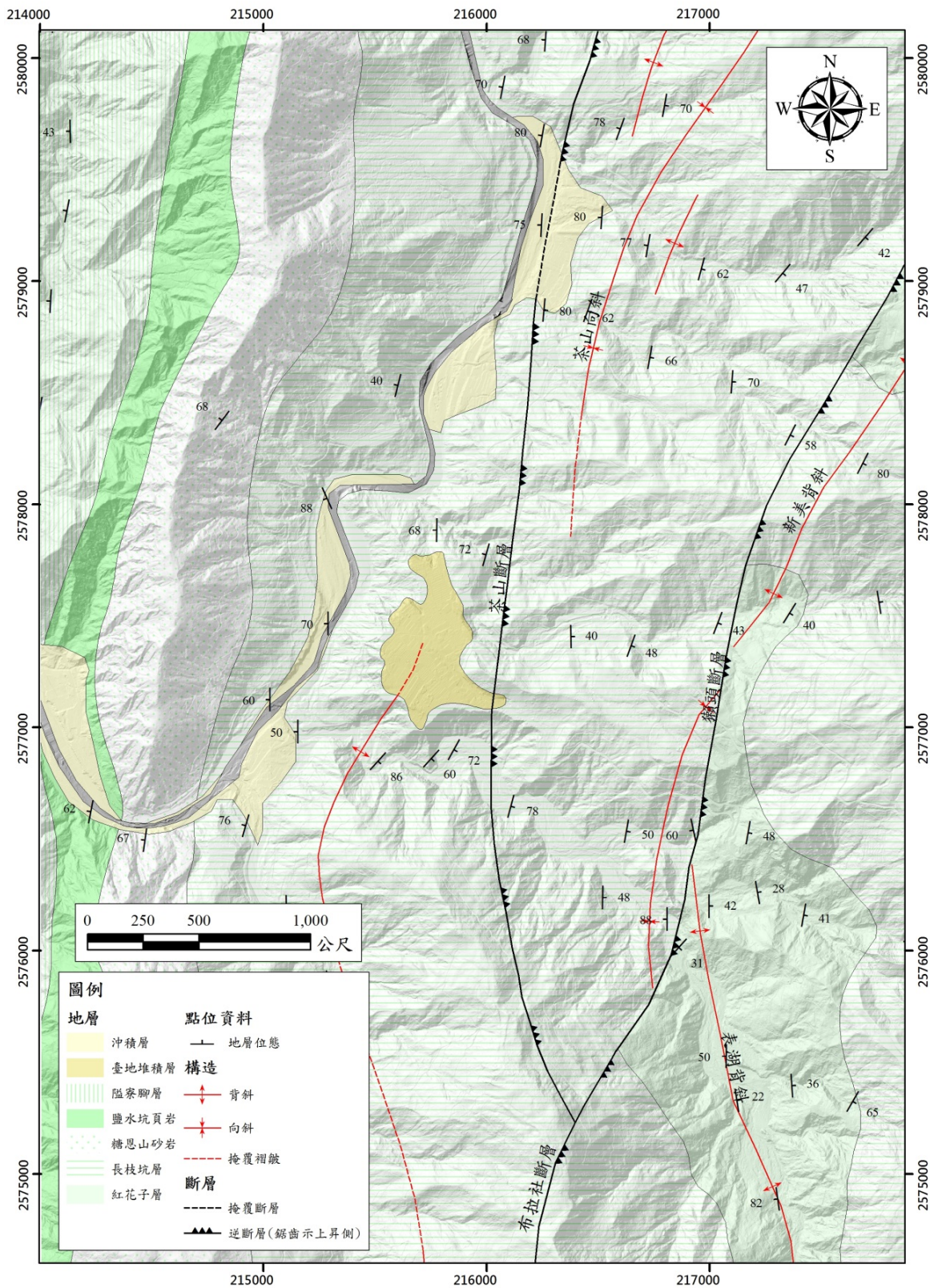


圖 3.2 研究區域鄰近地質圖



## 3-2 飛航計畫

### 3-2.1 飛航掃瞄申請

本團隊依契約規定於本案簽約次日起 1 個月內依「國土測繪法」及「航空攝影與遙感探測管理實施規則」等相關規定，特於飛航掃瞄前向民航局主管單位及內政部提出飛航計畫申請。本團隊於 102 年 2 月 26 日檢送內政部攝航實施計畫書((102)中興測字第 044 號函)，並經內政部 102 年 4 月 2 日台內地字第 1020152251 號函同意。第一次飛航申請時間至六月底，由於高光譜儀器回原廠進行光學率定，無法趕上第一次飛航作業日期，因此再向內政部申請第二次飛航許可。第二次飛航申請於 102 年 4 月 10 號以(102)中興測字第 177 號函送攝航實施計畫書，並經內政部 102 年 6 月 1 日台內地字第 1020020279 號函同意。

### 3-2.2 飛航掃瞄儀器

本案飛航掃瞄使用之光達與高光譜儀器說明如下。主要儀器設備簡介請參照附件一。

#### 1. 光達掃瞄儀器

本案使用之全波形空載光達儀器為 Optech **ALTM Pegasus**，並搭配 Dimac Ultralight + 60MP 進行航拍工作。全波形空載光達系統為整合雷射測距、光學掃瞄、全球定位系統及慣性導航系統等技術，具有快速獲得掃瞄點之瞬時三維坐標及反射強度波形的特性。其原理為利用近紅外光之脈衝雷射進行掃瞄，接收目標物多重反射訊號進行測距，飛行載體則以 DGPS 精密動態定位，並利用 IMU (Inertial Measurement Unit) 獲取姿態參數後，整合光達測距成果計算測點的三維坐標(Ackermann, 1999； Briese and Pfeifer, 2001; Wehr and Lohr, 1999)。全波形光達系統主要包含：「雷射掃瞄組件」以及「定位與定向組件 (Position and Orientation System, POS)」二大部分。其中雷射掃瞄組件之性能

如測距範圍、掃瞄寬度(掃瞄角)、點位密度(掃瞄頻率)等，直接影響施測之能力；定位與定向組件之性能，則是影響測點精度之關鍵。目前一般全波形紀錄器所紀錄之回波強度的取樣頻率( $f$ )為 1GHz(即每秒光達可記錄  $10^9$  次)。ALTM 全波形紀錄器為每個光束記錄 440 個 samples 值，因此回波紀錄(式 3.1)約為 66 公尺。

$$\text{回波長度} = \frac{c}{2f} \times \text{sample} \quad (\text{式 3.1})$$

## 2. 高光譜掃瞄儀

空載高光譜儀主要目的為獲取窄波段連續光譜影像數據。使每一個像元有幾乎連續的光譜數據。本案高光譜儀係採用 Itres CASI-1500，為最廣泛之商用空載光譜儀，具有 288 波段之可記錄波段數及 362.8 至 1051.3 nm 光譜範圍。Itres CASI-1500 屬於推掃式掃瞄儀(Pushbroom)，推掃式是利用線型掃描器理念，將掃瞄成像於光譜儀的狹縫上，再由光譜成像於面型感測器，一維為光譜軸，另一維為空間軸，當飛機飛行時，二維 CCD 元件上的一行影像被重複讀出，進而取得涵蓋相應地面之高光譜影像。

### 3-2.3 航線規劃

本案規定蒐集之空載光達點雲必須符合全數航帶原始點雲回波數累計之平均密度每平方公尺需不低於 10 點及需至少 50% 航帶重疊比例。交叉飛航數據(Cross Line)，作業區域各條航線之頭尾皆須有交叉檢核航線，及各條航線每隔至多 25 公里，應增加垂直各航線之交叉飛航掃瞄。為符合上述要求，本案規劃單條雷射點密度約為每平方公尺 5.2 點，航帶重疊率約為 60%，則每平方公尺平均約可獲取 10 點。以約 1200~2400 公尺之離地高(Above Ground Level, AGL)並以 FOV 角正負  $9^\circ$  進行掃瞄，確保完整獲得地表資訊。另外本案為探討空載光達飛航掃瞄參數不同航高及掃瞄頻率對光達點雲穿透率之影響，規劃以單一航線，測試 5 組不同航高與 5 組不同脈衝頻率對於測區內之森林區

域光達資料獲取進行差異比較。空載高光譜系統掃瞄參數之規定，影像解析度須達 1 公尺解析度，且光譜範圍涵蓋可見光及近紅外波段(400~1000 nm)，頻寬約 10 nm。空載高光譜掃瞄於可獲取最大波段數之規劃中，須根據欲獲取之地面解析力、航高與載具速度等參數決定，因此為滿足本案之需求，空載高光譜影像將以離地高 1800 公尺，FOV 為 40° 之掃瞄參數獲取地面解析度為 1 m 影像，並以頻寬 9.6 nm 平均分配於所收集光譜資料範圍內，其範圍則涵蓋近紫外線波段、可見光波段及近紅外線波段(362.8~1051.3 nm)高光譜資料，共計 72 個波段數(圖 3.3)。測試區之全波形光達資料與高光譜影像掃瞄作業飛航規劃圖則請參照附件四。

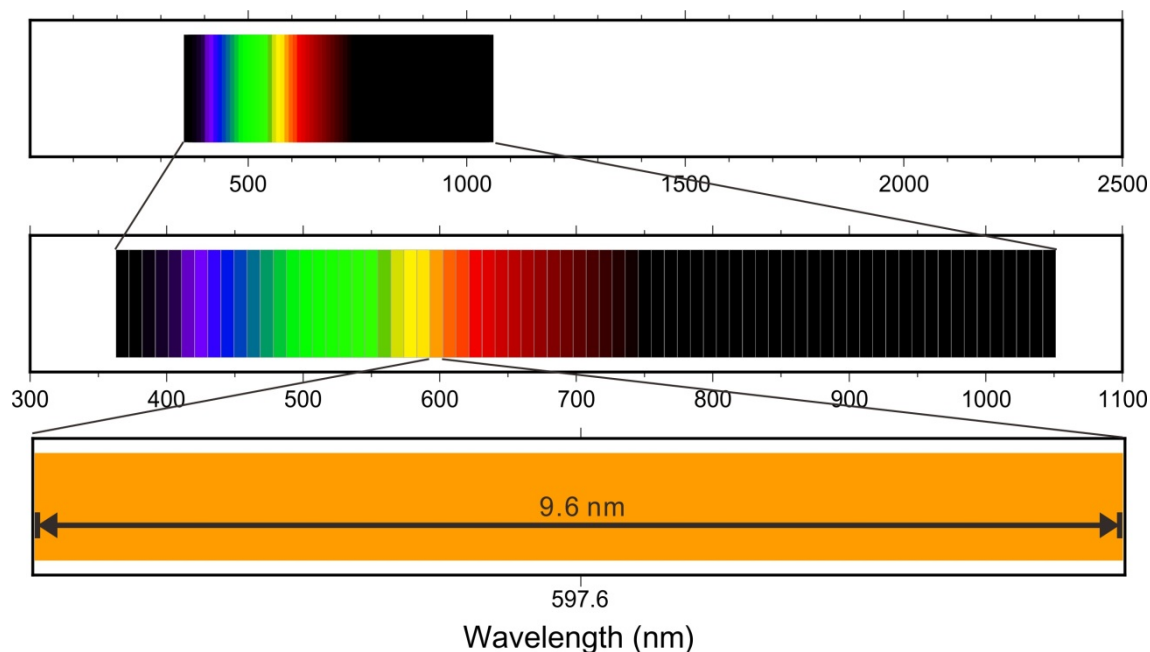


圖 3.3 本案收集之高光譜資料波段分布情形

### 3-2.4 地面控制點規劃

光達(LiDAR)和高精度動態 GPS 差分定位技術已在現今社會中迅速發展，是快速、高效獲得地球空間信息的方法之一。其中 GPS 用於確定 LiDAR 發射參考點的空間位置及航線軌跡，而軌跡的精度也直接影響到地面 LiDAR 點的位置。為了保證航跡的精度和提升可信程度，通常會在地面布設一定密度的 GPS 基準站，採用雙差分模式進行動態基線處理，因而地面站的精度也是影響 LiDAR 測量誤差的原因之一(張義、楊洪等，2011)。

地面控制點於飛航掃瞄前應維持至少有兩個 GPS 基站同步接收 GPS 觀測量，基站與航線範圍應小於 20 公里，其設置處應透空良好且無訊號干擾之虞。本案沿用去年地面控制規劃部分成果，並於今年繼續使用 GS67、GS64 作為測區解算主站，並與已知點檢測同時進行長時間 GPS 測量以確保坐標成果一致性，所有基站及已知點均為固定站，依序為 WULU、GS07、GS42、GS64、GS67。其控制點規劃參見圖 3.4。

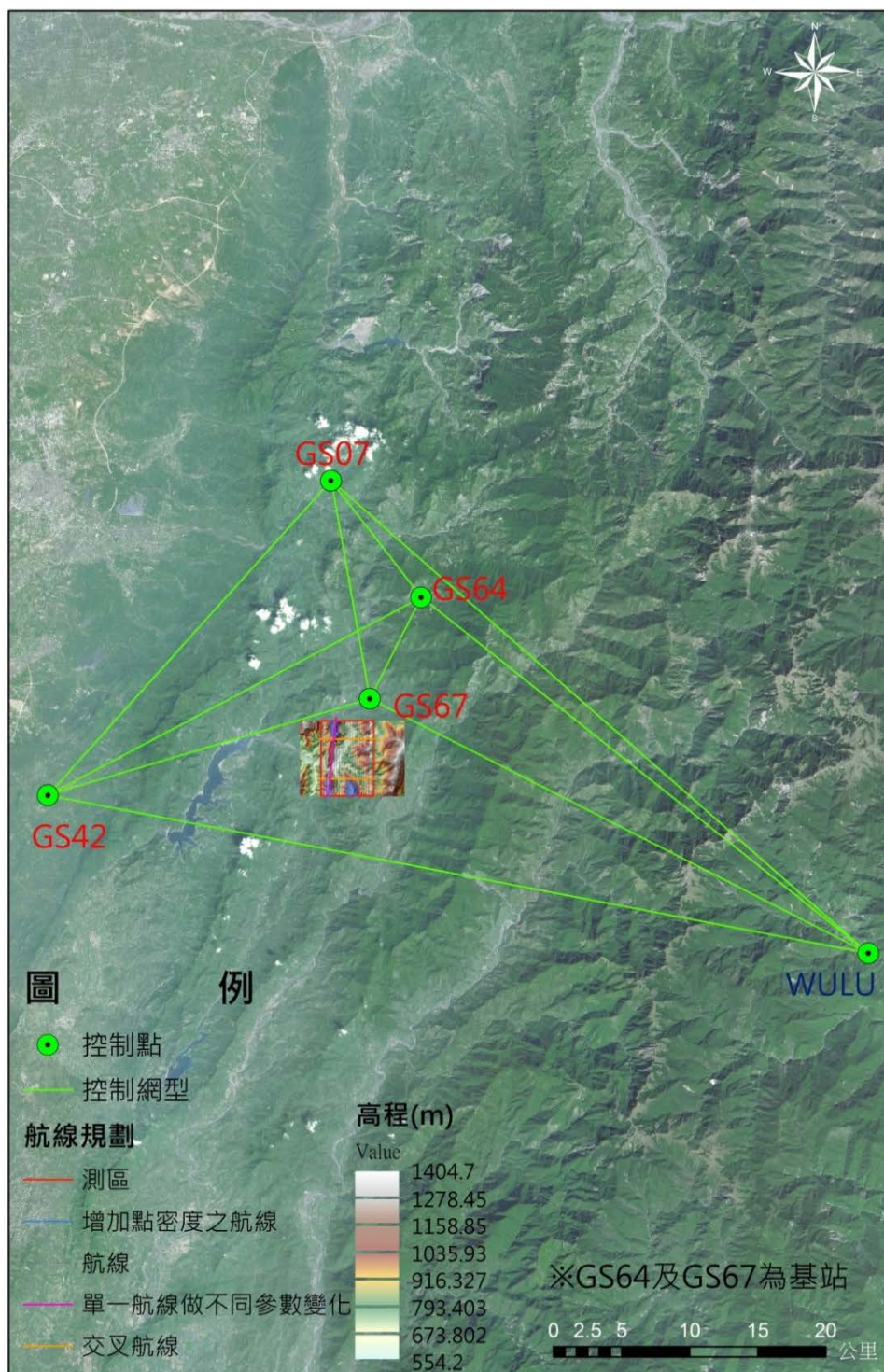


圖 3.4 測試區平面控制點分布圖

### 3-2.5 航帶平差

航帶平差之作業標準乃需應用航帶重疊數據並以航帶平差之成果進行精度分析，以及資料之整合。誤差分析應依據航帶間重疊數據進行誤差分析評

估，提出重疊數據內部精度與誤差分析評估報告。

### 1. 選擇合適之航帶平差模式

可利用如最小二乘法或其他平差模式進行之。解算方式可分為無地面控制點與含地面控制點二部分(只針對  $dz, dr, dp, dh$  計算)。一般含地面控制點適合大區域(數百公里以上)多架次掃瞄時用於不同作業區塊間之約制用，由於本次測區為小區域，所有航線均為短航線(小於 30 公里長)，且後續作業(航帶平差及濾除)均不需考慮不同區塊問題，因此可採以無地面控制點方式加入平差。

### 2. 航線重疊區內部精度分析

- (1) 點雲資料地面點自動與人工分類
- (2) 航帶由地面點所組成之地表模型
- (3) 相鄰航帶之地表模型，計算高程值差異(圖 3.5)

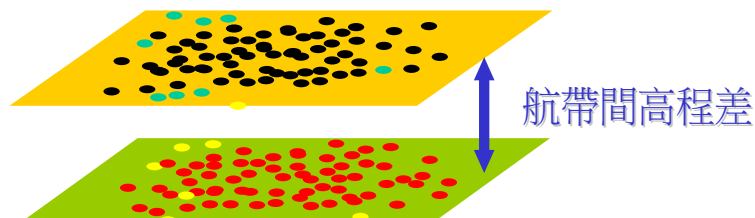


圖 3.5 推求兩航帶內某共軌點的相對高程差示意圖

### 3. 航帶平差解算

- (1) 收斂參數設定，包括地面控制點與航跡檔輸入。
- (2) 解算殘餘系統誤差修正參數，包括  $dz, dr, dp$  與  $dh$  等資料。
- (3) 逐航帶誤差修正參數解算
- (4) 依據修正參數逐航帶修正點雲坐標

### 4. 重新進行內部精度檢核，確保精度在 20 公分以內

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 為 TerraSolid 與瑞典 Digpro AB 公司合作研發軟體，具有雷射掃瞄航帶平差之功用，其核心平差理論與平差結果將於後續航帶平差章節說明，藉由比對航帶重疊區之差量以進行掃瞄時方位參數(Roll、Pitch、Heading 及 dZ 等)之改正藉以求得系統誤差以增加雷射點精度。

### 3-2.6 檢核點蒐集與作業

#### 1. 測量作業方式

- (1) 將主站架設於已知坐標的點位上，透過無線電數據通訊設備，將其所接收到的 GPS 雙頻載波相位觀測量傳送至移動站的筆記型電腦上，再與移動站本身所接收之觀測量聯合，以 On-the-fly(OTF)相位未定值搜尋法快速解算相位未定值，再計算移動站之瞬時坐標。此種測量方法是一種快速的測量方式，不僅作業效率高、產量大，可以省下靜態測量所需的內業計算時間，更重要的是可以達到公分級的精度。
- (2) 在導線點上擺設全測站經緯儀並後視一已知方向，以全測站經緯儀測角、測距方式開始對附近的檢核點，測量其角度、距離並記錄之。將所記錄得的資料利用角度、距離的相對關係，可以反算出各檢核點的坐標。以此類推，直到測區內所有的地物皆已施測完畢並解算出坐標。供後續雷射點雲或 DEM 高程精度檢核使用。
- (3) 採用 e-GPS 定位系統進行 VRS-RTK 即時動態定位，測量出每個檢核點。VRS 基本觀念係以多個 GPS 基準站全天後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進行即時內差處理，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 地位解算後，即可獲得移動站公分級定位精度。

## 2. 檢核點精度評估作業

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

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

式中  $a$  為基本精度；

$b$  為地形類別調整參數；

$c$  為地表植被覆蓋情形調整參數；

$t$  為地表植被平均高度。

本案定義  $a$  為 0.3 公尺。地形類別調整參數  $b$ (單位 m)，如表 3.2。

表 3.2 地形類別及其調整參數對照表

地形類別(編碼)	$b$
平地(P)	0.0
丘陵(H)	0.2
山地(M)	0.5
陡峭山地(C)	1

地表植被覆蓋情形調整參數  $c$ (無單位)，如表 3.3。



表 3.3 地表植被覆蓋類別及其調整參數對照表

植被覆蓋類別	$c$
裸露地	0.0
植生地	0.2
林地	0.3
密林地	0.5

地形類別分為平地、丘陵地、山地、及陡峭山地，其定義如下：

- (1) 平地—地表坡度在 5 度以下的地區。
- (2) 丘陵地—地表坡度在 5 度~15 度之間的地區。
- (3) 山地—地表坡度在 15 度~30 度之間的地區。
- (4) 陡峭山地—地表坡度在 30 度以上的地區。

地表植被覆蓋情形分為裸露地、植生地、林地及密林地等類別：

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

### 3. 依據不同土地覆蓋分區進行檢核

本計畫檢核作業需至少包括不同土地覆蓋類型之土地使用(如裸露地、矮植被、植生地、林地等)，而測試區之地面檢核點合計至少 40 個，並儘可能

均勻分布於各圖幅，各土地覆蓋編碼請參照表 3.4。矮植被之地表植被覆蓋情形調整參數 c 比照密林地。地面檢核點允許在平坦坡度，且避開(離開)地形斷線特徵處 1 m 以上。爾後將應用地面檢核點分析不同土地覆蓋分區之精度評估。

表 3.4 土地覆蓋分區

分類編碼	分類名稱
B	裸露地
L	矮植被
V	植生地
F	林地
D	密林地

#### 4. 橫斷面(cross section)檢核測量

需施行橫互航線的地面檢核剖面，檢核剖面至少有 20 個檢核點，剖面長度總和需超過 15 km。依據橫互航線地面檢核剖面測量數據，進行剖面 LiDAR 數據精度評估報告。剖面檢核測量點允許選擇透空平坦地進行大剖面檢核。本案於測試區內進行 DEM 檢核點的選取，以人車能順利到達以及均勻分布圖幅為原則，挑選檢核點位置。為符合合約內容，測區土地覆蓋類型檢核點至少每種各 15 點。測試區檢核點分佈如圖 3.6。

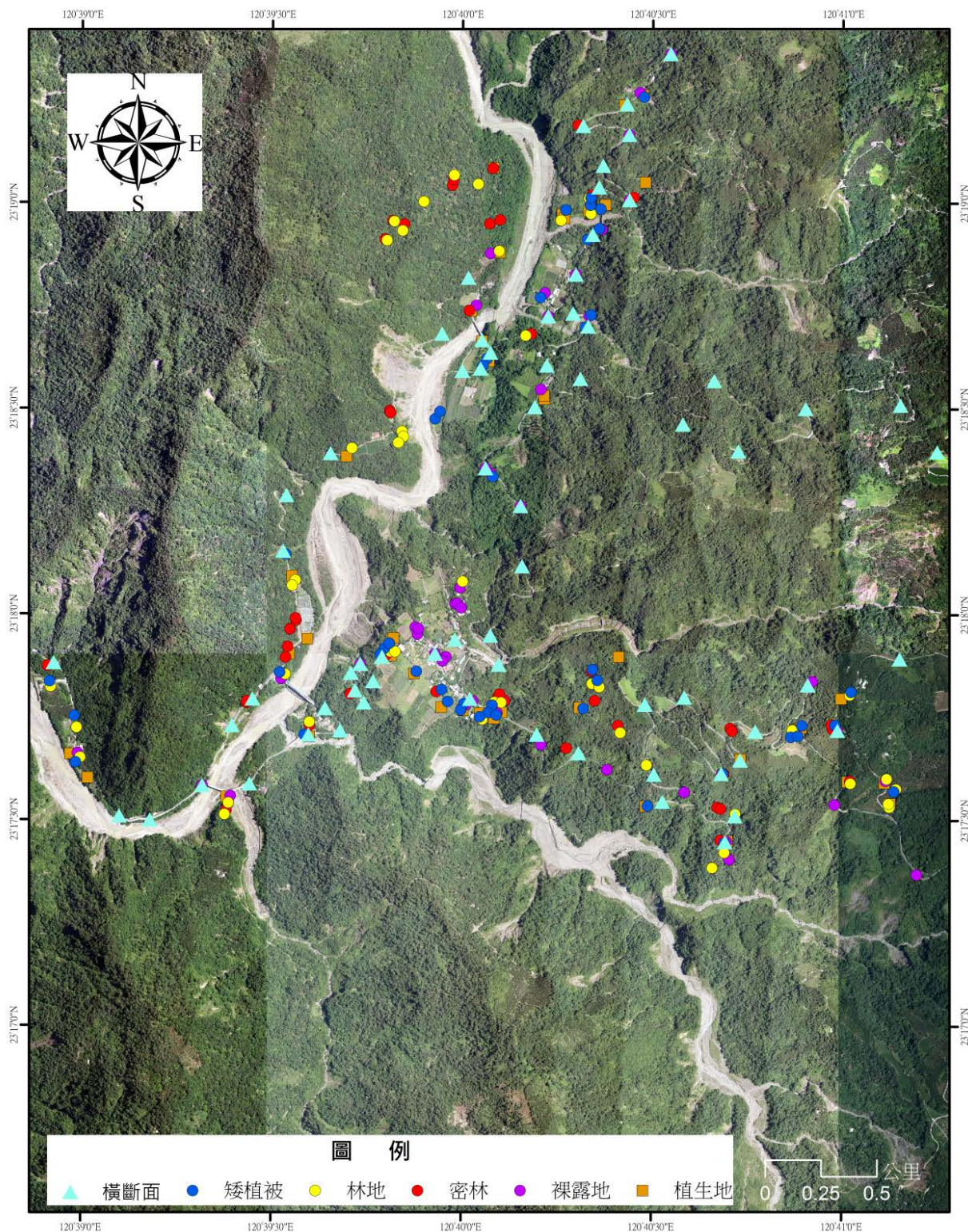


圖 3.6 測區檢核點分佈圖

### 3-2.7 評估不同航高及掃瞄頻率參數對於光達點雲穿透率之影響分析

在空載光達設定及飛航參數的掃瞄作業設計上，根據前人研究指出，飛行高度的差異(Goodwin *et al.*, 2006; Hopkinson, 2007; Morsdorf *et al.*, 2008; 發展先進空載光達科技與應用工作案, 2011)、雷射脈衝頻率之高低(Chasmer *et al.*, 2006; Hopkinson, 2007)、雷射光束發散角(Andersen *et al.*, 2006; Hopkinson, 2007)及掃瞄角度之大小(Morsdorf *et al.*, 2008; 黃清美、史天元, 2008)，為主要影響因子。依照上述歸納的影響因子，雷射光束發散角為光達系統之固定參數，不易做調整；掃瞄角度固然有影響，但依目前國內之執行案例而言，此參數常多由業主制訂規範，因而，此二項因子不列入本案討論。因此，本案就國內目前未探討的航高及脈衝頻率為研究主題，規劃以單一航線，測試 5 組不同航高與 5 組不同脈衝頻率對於測區內之森林區域光達資料獲取的差異進行比較。本案空載光達單一航線飛航掃瞄參數如表 3.5 所示。

表 3.5 空載光達單一航線飛航掃瞄參數

航線編號	掃瞄角度 (deg.)	掃瞄頻率 (Hz)	雷射脈衝頻 率(kHz)	航高(m)	航向(deg.)	航速(Knots)
101	20	40	100	<b>2745</b>	185	100
102	20	40	100	<b>2440</b>	5.8	100
103	20	40	100	<b>2135</b>	185	100
104	20	40	100	<b>1830</b>	5.8	100
105	20	40	100	<b>1525</b>	185	100
106	20	40	<b>100</b>	1403	5.8	100
107	20	40	<b>150</b>	1403	185	100
108	20	40	<b>200</b>	1403	5.8	100
109	20	40	<b>250</b>	1403	185	100
110	20	40	<b>300</b>	1403	5.8	100

### 3-2.7.1 雷射脈衝頻率對於光達雷射光能量的影響

空載光達以快速且大量之雷射光束對地面進行掃瞄，雷射經過大氣長距離耗損與目標物反射後的能量損失，回到感測器時仍需要一定的能量，方能被感測器接受，並記錄其能量。因此光達掃瞄作業規劃，需考慮單發雷射之能量，以確保在森林地區的光達資料，能保有足夠之地面點資訊。

圖 3.7 為光達系統發射多個雷射脈衝之示意圖， $E_{pulse}$  為單發雷射光束之能量，其與雷射最大功率  $P_{T-peak}$  及雷射脈衝時間寬度  $t_{pulse}$ （單一脈衝的經歷時間）之關係可以表示為式 3.2：

$$E_{pulse} = P_{T-peak} \times t_{pulse} \quad (1) \quad (式 3.2)$$

此處假設雷射光為完美方波型式，單發雷射的能量是雷射脈衝時間乘上雷射最大功率，即方波的面積。

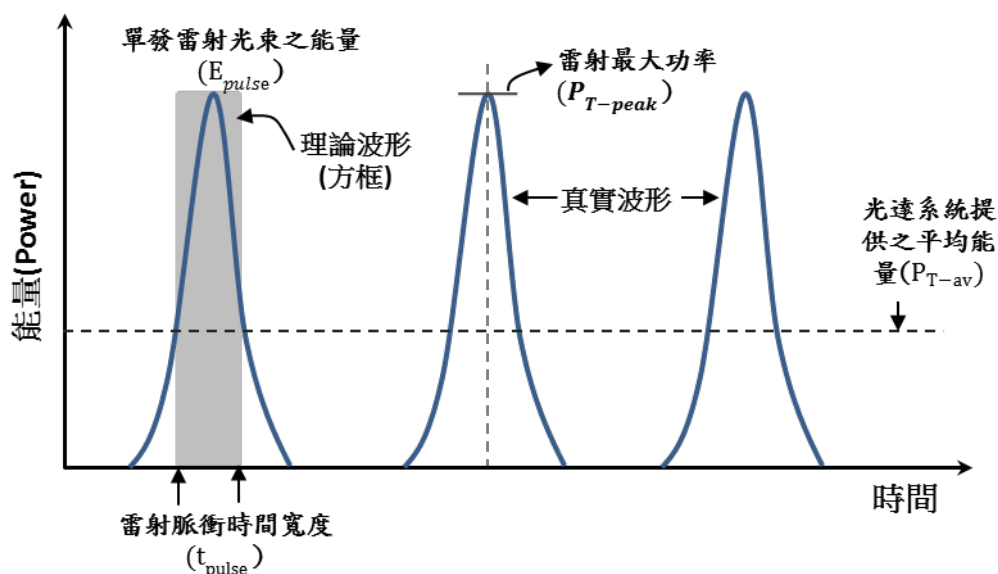


圖 3.7 雷射發射能量最高值與時間的變化差異

光達系統能提供之平均能量為  $P_{T-av}$ ，此為一固定數值，與光達系統使用之雷射光源有關。當雷射光束以  $f_{pulse}$  之發射頻率掃瞄地面，其與  $E_{pulse}$  之關係

為式 3.3：

$$E_{pulse} = \frac{P_{T-av}}{f_{pulse}} \quad (\text{式 3.3})$$

綜合式 3.2 與式 3.3，可得下式式 3.4：

$$P_{T-peak} = \frac{P_{T-av}}{t_{pulse} f_{pulse}} \quad (\text{式 3.4})$$

此式中，因 $P_{T-av}$ 與 $t_{pulse}$ 為光達系統中之不可調整之參數，故可見 $P_{T-peak}$ 與 $f_{pulse}$ 為反比關係。當頻率越高，單發雷射能量將越低(Baltsavias, 1999)。故本計劃將探討不同的雷射脈衝頻率對於光達穿透率的變化。

### 3-2.7.2 航高對於光達雷射光的影響

雷射光從發射到接收，中間經歷過許多能量損耗的過程，其雷射光能量的耗損，如上述公式 3.5 內容所示，當所有參數均為定值時，接收器與地物之距離( $R$ )，當飛航高度越高時，能量的衰減是呈現平方倍的變化，故航高為嚴重的影響光達能量的變化因素(Baltsavias, 1999; Heritage, 2009)。

$$P_r = P_t \frac{D_r^2}{4R^2} \rho \eta_{atm} \eta_{sys} \cos\alpha \quad (\text{式 3.5})$$

$P_r$ 為感測器接收的能量； $P_t$ 為雷射發射能量； $R$ 為目標物到感測器的距離； $D_r$ 為感測器光圈的截面積； $\eta_{atm}$ 為大氣穿透率； $\eta_{sys}$ 光達系統衰減係數； $\rho$ 為接觸物體之反射率； $\alpha$ 雷射光對地物之入射角。

### 3-2.7.3 穿透率計算

由於人工編修的方式，並非所有地面點會被分類到，如下圖 3.8 橘色點為人工分類之地面點，從圖中顯示並非所有的地面點被選取到，故本案以 DEM 為底層搜尋 2 m 厚度之範圍為全部地面點，國外文獻以 1.25 m 為搜尋厚度 (Morsdorf *et al.*, 2006)，但本案測試區處於低海拔森林植被覆蓋較複雜，故以

2 m 為搜尋厚度，綠色點為處理過後的地面點較完整，可以進行穿透率的評估。

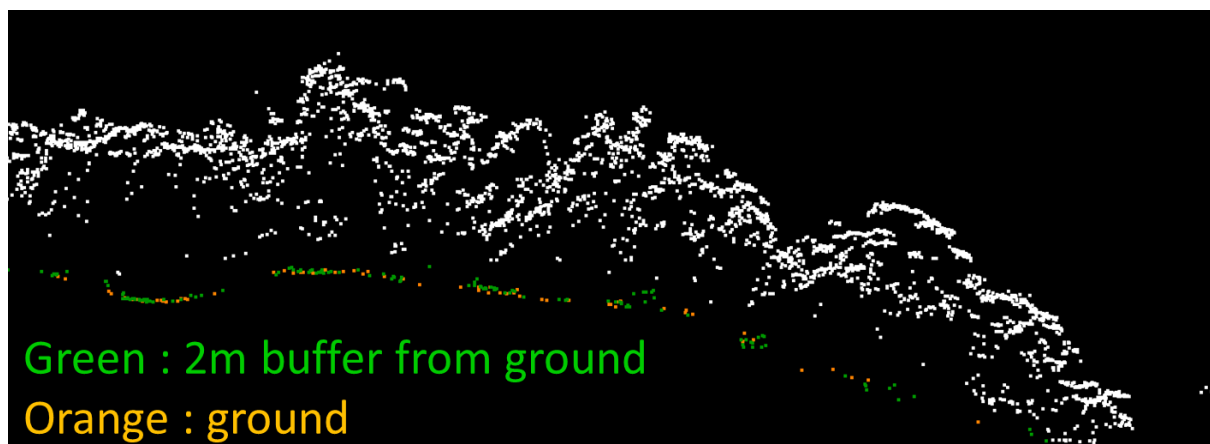


圖 3.8 以 2m 厚度搜尋完整地面點之示意圖

本案取網格  $10 \times 10\text{m}$  大小，統計網格範圍內的雷射發射數量與接觸地面的雷射數量比例，如公式 3.6，因考慮此次研究光達具多重回波的特性，故以雷射數量計算穿透率，而非點雲數量，如圖 3.9。雷射發射數量可由空載光達的記錄檔取得；而地面點雲數量則受到分類判斷規則的影響。當樹冠層愈蓊鬱，雷射不易穿透至地表，則地面點雲數量較少，故穿透率低，反之則越高。

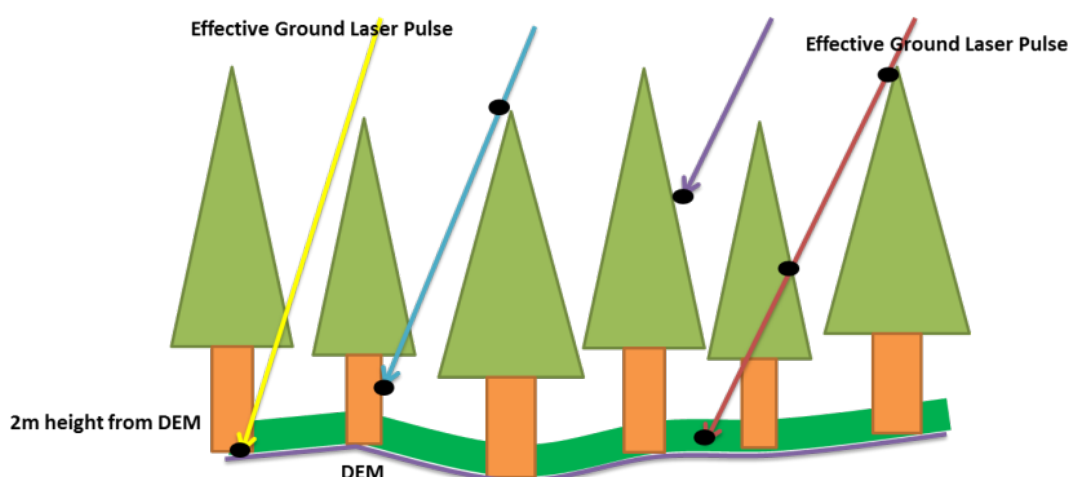


圖 3.9 多重回波點雲與有效地面點雷射示意圖

$$\text{穿透率} = \frac{\text{穿透森林冠層雷射數量}}{\text{森林冠層區之雷射發射數量}} \quad (\text{式 } 3.6)$$

### 3-3 文獻回顧

本案主要針對「光達資料於各種地形內插方法之研究」、「高光譜資料與光達資料於崩塌地區之應用」以及「空載光達點雲穿透率之研究」等三大方向進行文獻回顧，以對應於本案之工作重點。將其各類文獻內容整理分述於以下各小節。

#### 3-3.1 光達資料於各種地形內插方法之研究

由於資料分佈、內插方法等方面的影響，根據不同比例尺與不同空間解析度的 DEM 獲取的地形因子資訊(如坡度、坡向、變異數等函數)，無疑存在著明顯的差異與複雜的不確定性(陳楠，2004)。

一般而言，準確與密集的採樣資料，可以生成更準確的 DEM。影響 DEM 精度的主要因素，包括採樣資料的準確性、密度和分佈、內插方法和 DEM 解析度。光達資料可提供 3D 地形點數據，並具有很高的密度和精度，適當的資料取樣可以顯著降低產製 DEM 的處理時間但仍保有 DEM 的準確性。Guo(2010)的研究中，使用不同的空間內插方法，綜合了高程差、採樣密度及空間解析度三大因素，進行 LiDAR 生成 DEM 的精度評估。結果顯示，採用 Kriging 法所產製的 DEM 精度比其他簡單內插法如 IDW、NN (Nearest Neighbor Interpolation)、TIN 產製之 DEM 結果更令人信賴。特別是在高空間解析度(0.5 m 和 1 m)下，以一般克利金法(Ordinary kriging, OK)產製之 DEM 精度更優於通用克利金法(Universal kriging, UK)之內插結果。

然而，LiDAR 資料蒐集任務並未針對不同區域做採樣密度的調整，以至於部份地形產生過採樣(Oversampling)。為改進生產 DEM 製程效率，實現成



本最優化，減少冗餘數據將更便於管理和運作。Anderson 等人(2005a)，在不同解析度下，比較產製之 DEM，獲得可用的最低密度。結果顯示，採樣密度在高解析度 DEM 比低解析度 DEM 的敏感度大，並論證 LiDAR 數據可以承受大量縮減後，仍保持高精度的高程。

Liu 等人(2007)，將 LiDAR 數據隨機分離成 90% 的訓練數據與 10% 的檢查點，以遞減方式減少數據，並使用 IDW 法內插生成 5 m 的 DEM，結果顯示，如果數據減少到原來 50% 的點密度時，內插產製之 DEM 精度沒有顯著的差異。

目前研究中發現，坡度和植被密度為影響 DEM 精度之因子，較高密度植被會降低地表判釋的機會，也限制了區別樹冠回波的可能性，造成光達有低估樹高的傾向，並且易在密集且灌木區形成愈多的錯誤。Clark(2004)的研究中將離散點雲網格化產生 DSM 與 DEM，並使用高程門檻值，偵測局部地區最高處視為樹木位置，再將周圍高度較低之次樹冠與該相對高點比較，以 IDW 法配合 Kriging 法判斷該次樹冠是否需合併或分離。

根據採樣和內插方法的不同，對空間數據的地形判釋確實會影響產製的品質與精度，如水道與溝槽的深度及沙洲的高度往往高估。在許多情況下，地貌變化幅度與不確定性變化大小相似，且相應的誤差分析成果適用於產製可靠的數值高程模型高差 DODS(Digital elevation models of elevation difference)。在 Heritage(2009)的研究成果顯示，於每個內插組合的誤差分析中，將其所產生一系列的方程式匹配到規則網格檔案，利於產製高品質的 DEM。綜合上述，運用降低資料量，能縮短資料內插運作的計算時間，且可得到與原資料內插產製之 DEM 精度相差無幾的結果。因此，本案預期以降低資料量方式使用 LiDAR 數據內插 DEM，瞭解不同資料密度對於微地形辨識之影響，以期得到精度良好足以提供後續微地形辨識研究之數值地形模型。

### 3-3.2 高光譜資料與光達資料於崩塌地區之應用

利用高精度光達數值地形進行地層判釋方法上，Grebby 等人(2010)，參考現有地質圖，並利用空載光達產製之高精度數值地形進行地形分析(morphometric analysis)與現地查核方式進行賽普勒斯(Cyprus)火山區地層判釋與製圖，將研究區依岩性分為包括沖積層、沉積岩與火成岩等，透過訓練樣區選取進行分類驗證，同時進行各項區之坡度、地表起伏、粗造度等地形因子進行統計分析，研究成果顯示並利用空載光達產製之高精度數值地形可獲致相較於以往地質圖，更精確的製圖結果。Grebby 等人(2011)更進一步結合空載多光譜影像與空載光達強化並提升植生區域之岩性製圖精度，相較於僅使用光譜影像，可提升將近 22.5%的準確率，而此方式可嘗試用於地形陡峭且植生茂密的台灣地區之岩性製圖。岩性的差異可展現於地形上的細微變化。

Wallace 等人(2006)利用空載光達資料產製之數值地形，於加拿大安大略省，隕石撞擊之薩德伯里盆地，進行碎形維度(Fractal Dimension)、坡向(Aspect)、山脊線(Ridgelines)方位角等分析，用以歸納不同地層所展現出之特性，研究中發現地形山脊線呈現出 NE-SW 的趨勢，此方向垂直最高的碎形維度和主要坡向。

Burton 等人(2010)則把地面光達的強度(Intensity)當成遙測影像進行岩體性質分析，以往光達的強度鮮少用於地質調查分析應用上，作者以砂岩與泥岩的岩芯為例，說明光達光束打在兩者後反射的強度反應，有明顯的差異，泥質含量與光達的強度呈負相關，而石英含量則與光達的強度呈正相關。此方法可用於裸露邊坡的岩性與礦物組成判釋與分析。

經濟部中央地質調查所「大台北地區特殊地質災害調查與監測」計畫，於 94 年度起進行大台北地區高精度 LIDAR 數值高程模型之測製並將利用獲取的高精度資料應用於火山地形、構造地形、與水系特性之分析。中央地質調查所(2012)根據現有之 LiDAR 資料庫，進行台灣南部區域的活動斷層調查工作，包含九芎坑、木屐寮、新化、後甲里、左鎮、小崗山、旗山及潮州等九條活動斷層之構造地形分析、線形位置數化，並藉以編修上述九條活動斷

層之條帶地質圖。

高光譜衛星影像資料在地質上的應用主要作為岩性礦物之辨識，而成功應用空載高光譜辨識岩性礦物之成果(Cudahy et al.,2002)，大部分局限於在植生稀疏之裸岩地區，高光譜衛星影像經常與其他資料一起搭配進行分析研究，Davies 等人(2007)結合三種載具影像(vehicles Terra (ASTER, MODIS), Aqua (MODIS) and EO-1 (Hyperion, ALI))進行南極 Erebus 火山與木星衛星之 IO 火山之分析比較。

綜合上述文獻資料顯示，LiDAR 產製之數值地形資料可輔助進行岩性製圖、火山地形、構造地形、活動斷層與水系特性之分析。因此本計畫參考上述文獻之研究方法，以 LiDAR 產製之數值地形資料進行研究區域內之崩塌、地層與地質構造之判釋與調查工作，期能透過本計畫之作業流程，提供現有地質調查之室內判釋與輔助製圖作業參考，並藉此提升人力無法到達區域之地質調查成果精度。除此之外另利用 LiDAR 產製之數值地形結合高光譜影像資料在崩塌地之崩崖區域，進行崩崖位置之植生發育特性分析，以了解崩塌發育歷史與植生變化之關係。

### 3-3.3 空載光達點雲穿透率之研究

空載光達具有短時間獲得大量點雲資料的能力，點雲資料包含三維坐標與反射強度值。光達的雷射光能穿透樹冠層遮蔽到達地表，且隱含著豐富的高程資訊，包含地面點以及地物點，因此可用於森林區域的 DEM（數值高程模型）製作。由於空載光達作業效率高，故測量工作常以光達運用於大面積地形測繪。在植被茂密的森林區域由於交通不便、地勢陡峭等，其測繪工作較都會地區難度高，故以空載光達進行測量作業，實為有效獲得林下地形之方法。

在過去 15-20 年中，許多相關於光達感測器研究中顯示，每個 ALS 都有其獨特的性質，將會影響光達掃描後，獲取的資料不同(Næsset, 2009)，主要

是各儀器設計上的差異，如雷射光的發射與接受方式，不同電子迴路設計，具有不同的特性。(Wagner et al., 2004)。另外進一步研究空載光達的設定與飛行參數等，對於森林區域資料獲取的差異，是許多研究的重點。在研究中指出主要影響因子有，(1)飛行高度的差異，間接影響足跡(footprint)的大小與雷射光能量穿透大氣層的長度，理論上飛行高度越低，所獲得的森林林下點雲資料將越豐富(Goodwin et al., 2006; Hopkinson, 2007; Morsdorf et al., 2008)。(2)雷射脈衝頻率，在有限相同的能量下，單位時間內雷射發射數量越高，單發雷射的能量將越低，低能的雷射容易受到大氣干擾吸收，並不易穿透森林樹冠層，得到有用的地面點資料(Chasmer et al., 2006; Hopkinson, 2007)。(3)雷射光束發散角，指雷射光束傳輸每一個單位距離長度其光束直徑變化的大小，不同 ALS 系統光束發散角將不同，會影響到點雲資料獲取的差異(Andersen et al., 2006; Hopkinson, 2007)。(4)掃描角度，當掃描角度越大時，雷射光接觸地物的面積將增大，不僅影響到單位面積雷射光的能量，也會影響測量上的準確度，故掃描角度越小，對於資料獲取的品質越高(Morsdorf et al., 2008; 黃清美、史天元，2008)。

地面穿透率會受到空載光達飛行高度、雷射發射頻率、雷射光發散角度與掃描角度的影響，而飛行當時的大氣狀況也可能對成果造成差異。研究的結果可以提供未來以空載光達製作森林地區 DEM 的規劃參考，也可以結合該地的地質調查成果，做為判斷日後是否有潛在的崩塌以作為後續研究之用。

### 3-4 資料處理

#### 3-4.1 高光譜影像之大氣校正

高光譜影像自拍攝完成後、影像增揚前對於原始影像所進行之儀器校正、輻射校正(Radiometric Correction)、幾何糾正、大氣校正(Atmospheric Correction)等均可稱為影像前處理。大氣校正之目的乃為消除大氣和光照等因素對地物反射的影響。廣義上為獲得地物反射率、輻射率或者地表溫度等真實物理模

型參數；而狹義上為獲取地物真實反射率數據。用來消除大氣中水蒸氣、氧氣、二氧化碳、甲烷和臭氧等物質對地物反射的影響，消除大氣分子和氣溶膠散射的影響。大多數情況下，大氣校正同時也是反演地物真實反射率的過程。

大氣校正有多種方式可以達成，一般分為以影像為基礎的處理方式 (Image-Based)、輻射傳導模式 (Radiative Transfer Model) 及統計基礎的經驗法則 (Empirical Line) (Paul M. Mather and Magaly Koch, 2009)。輻射轉換模式最常見的有 Atmosphere REMoval (ATREM)、Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) 或 ATCOR-4 (Atmosphere CORrection)。其中 FLAASH 與 ATCOR-4 分別建立在 MODTRAN4 及 MODTRAN5 輻射傳導模式上。而經驗法乃以地面光譜儀進行野外光譜測量實驗，利用建立經驗方程式並反推大氣和光照因素對目標物的反射影響值，以求得貼近真值之反射率。本案根據原廠建議，採用 FLASSH 與 ATCOR-4 的輻射傳導模式以及經驗法則進行大氣輻射校正。並比較三者間的差異，挑選成果最佳者，作為本案後續影像分析與應用。

## 1. FLAASH 校正模組

FLAASH 是由 U.S. Air Force Research Laboratory 和 Spectral Sciences, Inc. 基於 MODTRAN 4 輻射傳輸模式所開發的大氣校正模組，其主要目的為提供準確、快速及友善使用者界面的大氣修正程式。不同波段光譜由地面反射到感應器的過程中，會因大氣條件的不同和觀測角度的差異造成觀測值的偏差，因此考慮大氣狀態、水氣含量等屬性則相對重要。而 FLAASH 根據感應器上每一像元所接受到光譜輻射值 ( $L^*$ ) 和修正值之間的關係建立方程式 (Adler-Golden et al., 1999)，如式 3.7 所示。

$$L^* = A\rho/(1 - \rho_e S) + B\rho_e/(1 - \rho_e S) + L_a^* \quad (\text{式 3.7})$$

其中，

$\rho$ : 像元之地表反射率

$\rho_e$ : 像元和四周區域地表之平均反射率

$S$ : 大氣球面反照率(aerosol spherical albedo)

$L_a^*$ : 大氣反向散射輻射值(radiance backscattered by the atmosphere)

$A$ 、 $B$ : 大氣和幾何環境參數

此外，ENVI 中的 FLAASH 模組其輸入基本資訊包含影像中心坐標、儀器類型、儀器高度、測區海拔和施測時間。在大氣相關資訊部分，則包含大氣模型、反演水氣(water retrieval)含量採用之波段、施測區域大氣氣溶膠模型(aerosol model)、能見度、二氧化碳含量、氣溶膠光學尺度(aerosol scale height)、MODTRAN 散射模型等資訊。這些資訊經由 MODTRAN4 輻射傳輸模型的計算，即可獲得上式中  $A$ 、 $B$ 、 $S$  與  $L_a^*$ 。由於水氣含量的影響對這些數值影響非常強烈，因此在 MODTRAN 4 輻射傳輸模型中則提供了反演水氣含量的功能。若感測器包含 770-870 nm、870-1020 nm 或 1050-1210 nm 之光譜資料，則可

針對該區域、場景之水氣含量提供數值，而不使用內建模型參數。

大氣模型變數包含氣溫、壓力、空氣密度、水汽濃度、臭氧濃度、甲烷濃度、一氧化碳濃度以及一氧化二氮濃度，從海平面至 120 km 間不同高度的變化至於模型的解析度、海平面至 25 km 間視為每 1 km、25~50 km 間為每 2.5 km、50~120 km 間則視為每 5 km。模型包含亞北極地區冬天(SAW)、亞北極地區夏天(SAS)、中緯度冬天(MLW)、中緯度夏天(MLS)、熱帶地區(T)以及美國標準氣候(US)，詳細參數設定則請參考表 3.6。除了依地區而有所不同的上述變數，尚有不隨環境而改變的大氣二維模型，包含二氧化碳濃度、氧濃度、一氧化氮濃度、二氧化硫濃度、二氧化氮濃度、氨濃度、硝酸濃度、氫氧基濃度、氟化氫濃度、氯化氫濃度、溴化氫濃度、碘化氫濃度、次氯酸根濃度、羧基硫濃度、甲醛濃度、次氯酸濃度、氮氣濃度、氰化氫濃度、氯甲烷濃度、過氧化氫濃度、乙炔氣濃度、乙烷濃度、磷化氫濃度共 23 種。

表 3.6 各種大氣模型在地表的參數值

(依據此數值和中央氣象局資料來決定模型選擇)

模型	壓力 (MB)	溫度 (K)	風速 (m/s)	密度 (CM <sup>-3</sup> )	H <sub>2</sub> O (PPMV)	O <sub>3</sub> (PPMV)	N <sub>2</sub> O (PPMV)	CO (PPMV)	CH <sub>4</sub> (PPMV)
T	1.013E+3	299.7	4.1	2.450E+19	2.59E+4	2.87E-2	3.20E-1	1.50E-1	1.70E+0
MLS	1.013E+3	294.2	4.1	2.496E+19	1.88E+4	3.02E-2	3.20E-1	1.50E-1	1.70E+0
MLW	1.018E+3	272.2	10.29	2.711E+19	4.32E+3	2.78E-2	3.20E-1	1.50E-1	1.70E+0
SAS	1.010E+3	287.2	6.69	2.549E+19	1.19E+4	2.41E-2	3.10E-1	1.50E-1	1.70E+0
SAW	1.013E+3	257.2	12.35	2.855E+19	1.41E+3	1.80E-2	3.20E-1	1.50E-1	1.70E+0
US	1.013E+3	288.2	7.2	2.548E+19	7.75E+3	2.66E-2	3.20E-1	1.50E-1	1.70E+0

另外，大氣氣溶膠模型部分，可分為不使用(no)、鄉村(rural)、海洋環境(maritime)、都市(urban)和對流層(tropospheric)，共五種模型。每個模型又分為地表至 2 km 的混合層、2~10 km 的上部對流層、10~30 km 的下平流層以及 30~100 km 的高層大氣。鄉村模型係指不直接受到工業和都市影響的區域，其由 70% 的水溶物質和 30% 的沙塵懸浮微粒所組成。都市模型則由含碳的大氣氣溶膠和鄉村模型所混合而成，比例分別為 20% 和 80%。海洋環境由大量海

鹽顆粒和部分鄉村模型所混合成的區域。對流層模型適用於非常乾淨之區域，或等同於沒有大顆粒懸浮物的鄉村模型。由於 660 nm 與 2100 nm 波段之間特定物體的反射率比值幾乎為定值(Kaufman et al., 1997)，因此 FLAASH 根據此原理提供反演可見度之功能。其操作流程參見圖 3.10。

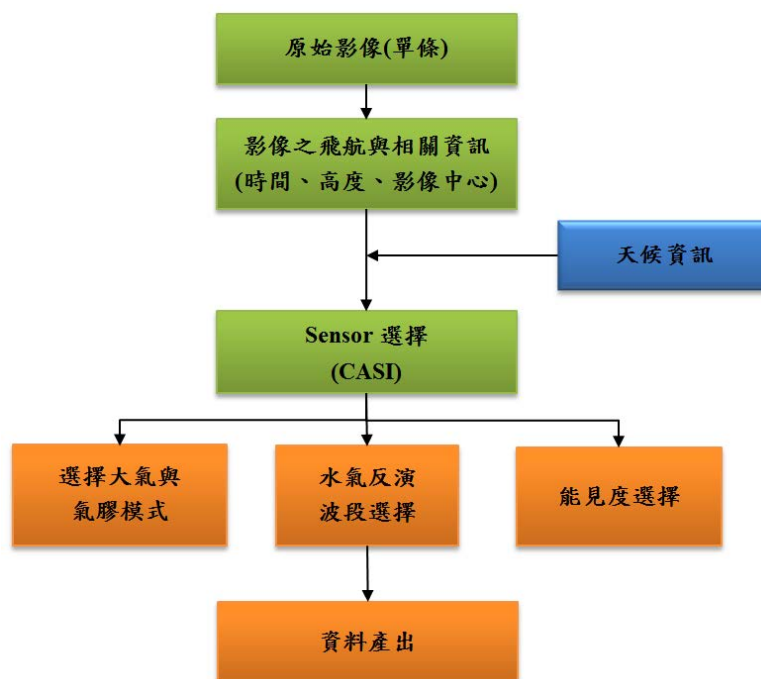


圖 3.10 FLAASH 操作流程圖

## 2. ATCOR-4 校正模組

ATCOR 大氣校正模型是由德國 Wessling 光電研究所提出的一種大氣校正方法，ATCOR-4 為基於 MODTRAN 5 輻射傳導模式所開發的大氣校正模組，此模式適合於寬視野的空載影像(Richter and Schlapfer, 2012)。由於在山區地形起伏導致地形效應的存在，其輻射量在傳輸過程中，會受地形影響而引起變化(圖 3.11)



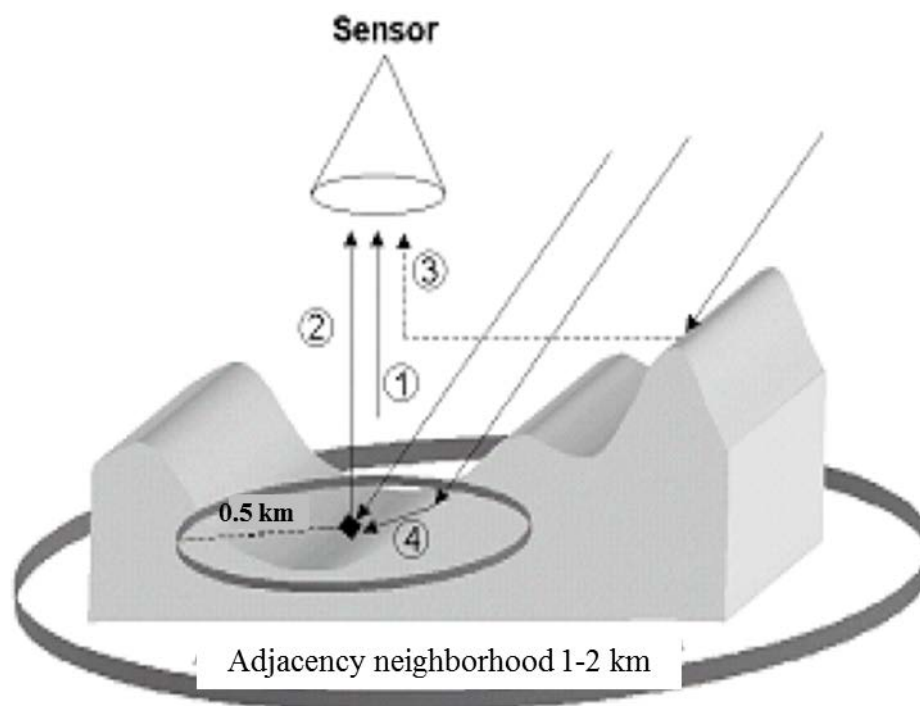


圖 3.11 遙測影像在複雜地形下的輻射量來源(1.路徑輻射量 2.像元之地表反射輻射量 3.鄰近輻射量 4.鄰近坡反射輻射量)

ATCOR-4 主要的演算法為式 3.8 所示，先固定  $\bar{\rho}_{terrain}^{(0)} = 0.1$ ，接下來以  $i = 1, 2, 3, 4$  進行迭代，求出半徑 0.5km 內地表之平均反射率，用以進行地形效應之改正(Richter and Schlapfer, 2012)。

$$\rho_{terrain}^i(x, y) = \frac{\pi [d^2 L(x, y) - L_p(z, \theta_v, \phi)]}{\tau_v(z, \theta_v) [b(x, y) E_s \tau_s(z) \cos \beta(x, y) + E_d^*(x, y, z) + E_t^{(i)}(z, \rho_r) \bar{\rho}_{terrain}^{(i-1)} V_{terrain}(x, y)]}$$

(式 3.8)

其中，

$\rho_{terrain}$ ：像元之地表反射率

$\rho_r$ ：大比例下之地表反射率(在 ATCOR 中，設定為 0.15)

$\bar{\rho}_{terrain}$  : 半徑 0.5km 內地表之平均反射率

$d$  : 太陽至地球之距離(天文單位)

$x, y$  : 影像上的平面坐標

$z$  : 數值高程模型中高程值

$\Theta_v$  : 地表至感測器方向之天頂距

$\phi$  : 地表至感測器方向之方位角

$L$  : 影像上之輻射值

$L_p$  : 路徑輻射量

$\tau_v$  : 地表至感測器路徑上之大氣穿透率

$\tau_s$  : 太陽至地表路徑上之大氣穿透率

$\beta$  : 太陽入輻射相對於地表之入射角

$b$  : 布林值， $b = 0$  表示該像元未經太陽直射， $b = 1$  則表示該像元經太陽直射

$E_s$  : 進入大氣層頂之太陽輻射量

$E_d^*$  : 漫射在斜面上的太陽輻射量

$E_t^{(i)}$  : 源自於鄰近斜坡之入輻射量

$V_{terrain}$  : 地形視圖因子

進行 ATCOR-4 大氣校正時，輸入基本資訊如儀器類型、儀器高度、測區海拔、施測時間、氣溶膠模型及能見度和 FLAASH 相同，兩者主要差異在進行大氣校正的同時，ATCOR-4 可考慮崎嶇地形對輻射量的影響，由匯入之

DEM 或 DSM 資料，可計算出該區域之坡度、坡向、地物陰影及透空度，加入以上資訊進行大氣校正，利用 ATCOR-4 進行大氣校正時，高光譜影像與 DEM 或 DSM 必須是相同的範圍及相同的網格大小，其高程資料皆使用由本案光達點雲資料所產製之 1 m×1 m 平滑後之 DSM。而 ATCOR-4 另一項特色為可自動計算影像中每一網格之可見度、水氣含量，而並非由人工輸入之數值代表整張影像，特點為可以改正山區陰影更加準確地進行大氣校正。本案使用 ATCOR-4 大氣校正過程流程如圖 3.12 所示。

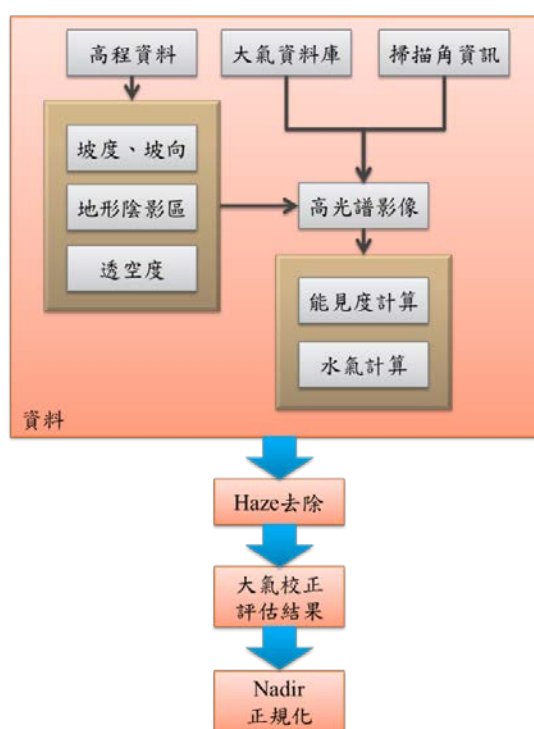


圖 3.12 ATCOR-4 操作流程圖

後續以本案獲取的光達點雲資料，測試不同點雲密度所產製之 DSM 地形資訊對於 ATCOR-4 大氣校正處理之影響。本測試以 1 km×1 km 為範圍，選擇兩區域(圖 3.13)，區域一主要之地形為地勢較低窪之河谷，而區域二為地勢較高之山峰，整體之測試流程如圖 3.14，原始點雲所產製之 DSM 為對照組，而經由不同程度疏化處理之點雲資料為實驗組，分為六種密度等級：1/2、1/8、1/32、1/128、1/512、1/2048，空間內插方法皆採用 Kriging 進行內插。

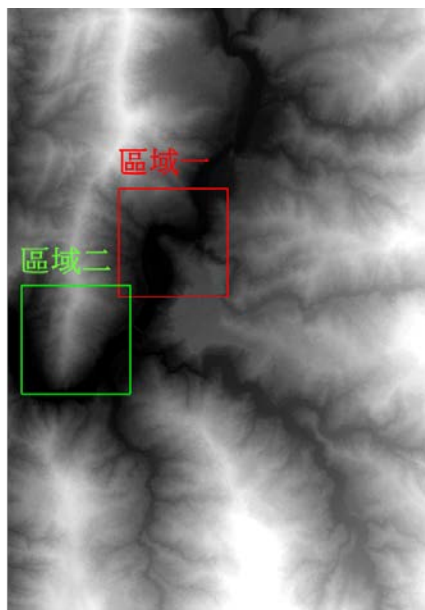


圖 3.13 兩測試區域之位置

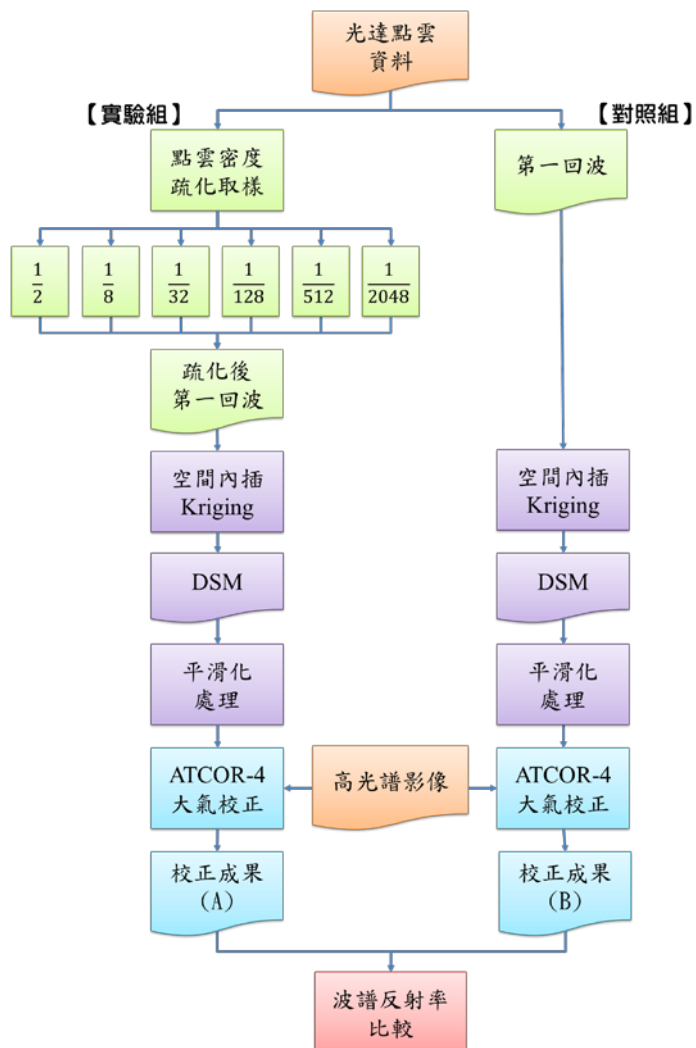


圖 3.14 DSM 測試之流程圖

### 3. 經驗式法

地面光譜採樣反推方法乃是假設圖像 DN 值與反射率之間存在線性關係(式 3.9)：

$$y = ax + b \quad (\text{式 3.9})$$

其中， $y$  為地表反射率； $b$  為偏移量； $x$  為影像 DN 值； $a$  為增益值。

根據此原理即可利用兩個已知點的地面反射光譜值，計算影像上對應像元點的平均 DN 值，最後利用線性迴歸求出增益和偏移值，建立 DN 值與反射率之間的相互關係式，以消除大氣和光照等因素對地物反射的影響值。

以 Spectral Evolution 分析光譜儀器公司所製作之 PSR 手持式野外光譜儀(光譜解析力為 3.2 nm)於執行高光譜資料蒐集時，利用與空載光譜相同之光譜範圍(400~1050 nm)同步進行地面光譜採樣作業。經由事先規劃測區內之光譜採樣位置，做為後續影像進行大氣校正時的地面樣本光譜蒐集。根據現地經驗，地面點篩選條件為(1)面積需空間解析度的 2 倍以上，以避免圈選到混合雜訊的像元。(2)表面需均勻、平整以降低雜訊，若為連續材質的地面更佳。(3)避開差異大的地物光譜干擾或遮蔽。(4)需有反射較強的亮點和較弱的暗點，例如以瀝青鋪面為暗色的代表，水泥鋪面為亮色代表，以利於經驗式建立。(5)地面點需能均勻分布於各航帶。(6)須能安全、容易到達、可再次測量的地點。本案蒐集光譜之作業，係設計一方形樣區(2 m × 2 m)，於樣區內各蒐集四個測點，每個測點小範圍的移動重複測定三筆光譜數據，在長條形測區，則以線性移動方式選定四個測點定位(點與點之間距離 1 m)，亦小範圍的移動重複測定三筆光譜數據，以獲取組內誤差最小的資訊。經驗式大氣校正流程如(圖 3.15)所示，地面光譜儀器設備簡述請參閱附件一。為確認建立經驗式所用的地面點之反射率及輻射參數為組內誤差較小且具有代表性，故利用圖 3.16 的流程，保留符合條件的資訊進行處理。

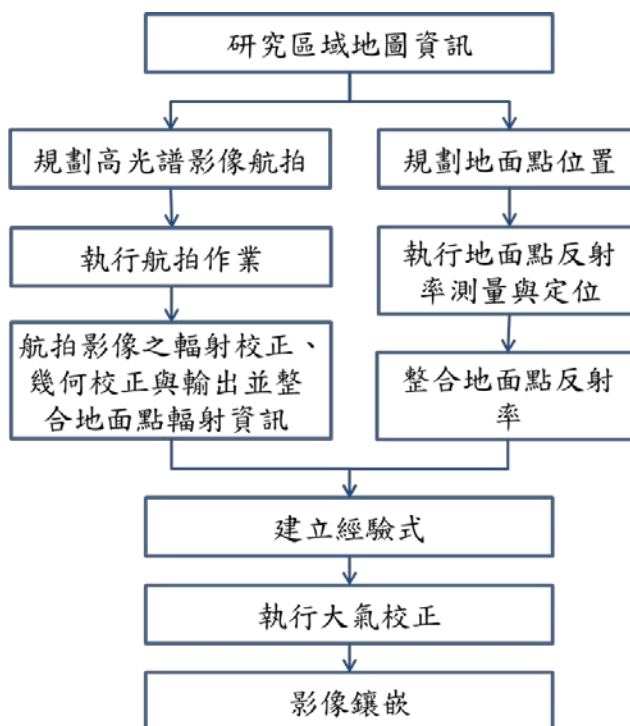


圖 3.15 經驗式法校正流程

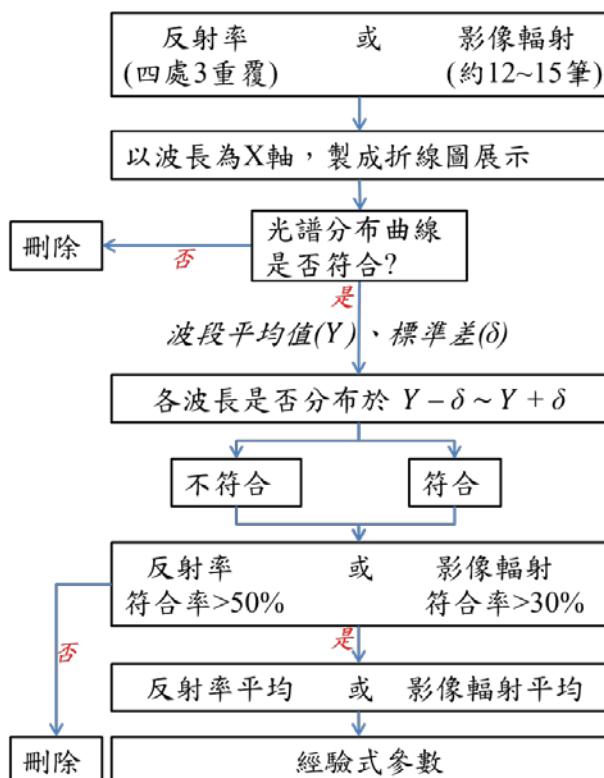


圖 3.16 光譜整合流程圖

### 3-4.2 空載光達點雲之輻射校正

本項工作內容乃根據雷射輻射傳導模式進行改正(式 3.10)：

$$P_r = P_t \frac{D_r^2 \rho}{4R^2} \eta_{sys} \eta_{atm} \cos \alpha, \text{ 其中 } P_r \text{ 為接收之能量} \quad (\text{式 3.10})$$

由公式可知，除地物反射率外，點雲強度值尚與雷射光之能量( $P_t$ )、大氣狀態( $\eta_{atm}$ )、接收器與地物之距離( $R$ )、接收儀之孔徑大小( $D_r$ )、光達系統衰減係數( $\eta_{sys}$ )、雷射光對地物之入射角( $\alpha$ )有關(Höfle and Pfeifer, 2007)，因此，必須對上述因子進行輻射校正，使得反射強度值能夠唯一地反映出地物之反射率差異，以利後續之分類應用與展示。在雷射輻射傳導模式中，由於作業通常是同一台儀器，因此可假設雷射光之能量為穩定(定值)、孔徑大小與光達系統衰減係數皆為定值，而影響大氣狀態因子的變數主要為飛航高度，此乃因若飛航高度差異較大(例如相差幾百公尺)，此時的大氣狀態則會有較大的差異，因此須將大氣因子納入考量，而由於本案所規劃之飛行高度乃設定為相同航高，因此可忽略大氣因子而將其視為定值。綜合上述，最後可得影響強度值的因子即剩下地物之反射率、接收器與地物之距離、雷射光對地物之入射角(式 3.11、式 3.12)：

$$P_r = C \frac{\rho}{R^2} \cos \alpha \quad (\text{式 3.11})$$

其中，

$$C = P_t \frac{D_r^2}{4} \eta_{sys} \eta_{atm} \quad (\text{式 3.12})$$

本案即根據上式對點雲強度值進行改正，其流程圖如下圖 3.17，利用點雲三維資料以及飛行軌跡資料算出點位距離和入射角，求得改正之強度。又經觀察，航線 23、37、38、39 具有系統誤差( $n_{sys}$ )，因此其成果再針對此四條航線進行系統誤差校正，由式 3.10 可知其誤差乃一比例因子，利用此特性即可將此 4 條航線進行改正。

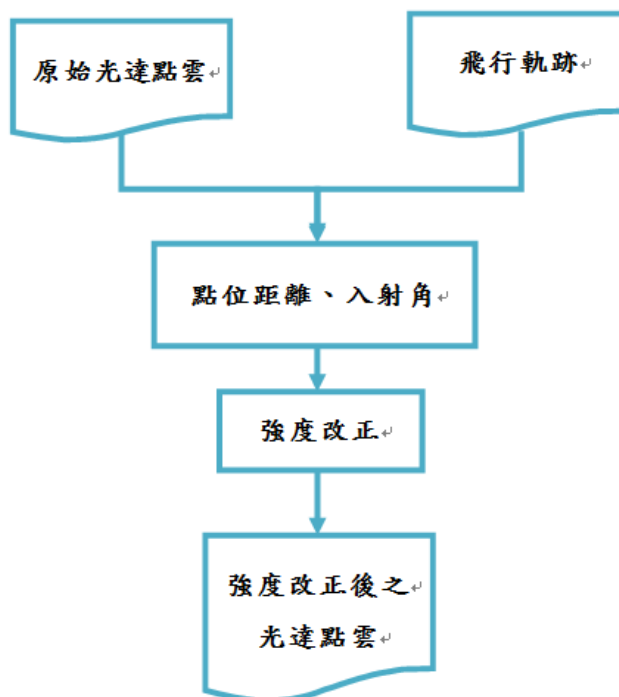


圖 3.17 點雲強度改正流程圖



### 3-5 高光譜及全波形空載光達資料處理與綜合分析

#### 3-5.1 光達資料於出露地層界線及地質線形（如斷層或褶皺等）之判釋並於潛在崩塌區進行植生特徵與地形特徵判釋

本團隊於 100 年度與 101 年度之前期工作案中，已成功應用全波形光達資料進行崩塌區、森林區以及火山地區之地形判釋與應用，尤其在崩塌區的判釋方面，透過 1 公尺解析度之高精度數值地形產製之八方向日照陰影圖 (Hillshade Maps)，可找出傳統航照與衛星影像中無法判釋出具崩塌特徵但未完全崩壞之崩塌地，在森林區，全波形光達有別於傳統光達，能提供更多地面點資訊，可提高 DEM 精度，因此可更清楚展現各類細微地形特徵，同時更精準進行地形特徵範圍界定，提升判釋與應用精度。基於 101 年工作案之經驗與成果，本年度利用既有之判釋經驗，針對地層界線、地質線形（如斷層或褶皺等）與潛在崩塌區進行植生特徵與地形特徵判釋。

微地形(micro-geography)一詞，概念上是地形規模相對較微小的地貌型態，也是最小的地貌形態單元。而本案之微地形特徵，亦具有相對性的概念，其指的是相對於以往航照判釋，採用全波形光達資料所能判釋出地層界線、地質線形與崩塌之更細微的地形起伏及地形特徵。除利用八方向日照陰影圖(圖 3.18、左)外，再納入光達數值地形產製之坡度疊合高程色階圖(圖 3.14、右)為材料，進行出露之地層界線及地質線形分析。坡度疊合高程色階圖可顯示出地形明顯有坡度變化之區域，而此區域常為岩性差異、地層界線、地質構造與崩崖及裂隙等發育之地區，因此綜合八個方向之日照陰影圖與坡度疊合高程色階圖可以提升細微地形判釋之精度。

本案主要利用光達資料進行地層界線、地質線形與崩塌之微地形判釋，其細部作業流程如圖 3.19，內容包括地形特徵判釋、現地查核、地形特徵判釋修正與崩塌植生特徵分析等四個部分。地形特徵判釋主要利用本案產製之光達數值地形資料，產製日照陰影圖與坡度疊合高程色階圖進行地層界線、

地質線形與潛在崩塌地形之判釋。而現地查核則依據各類地形特徵判釋結果，選定現象之露頭點進行查核，崩塌植生特徵，則選定崩崖鄰近之植生特徵進行細部調查，最後綜合上述結果進行地形特徵判釋修正與崩塌植生特徵之分析工作。

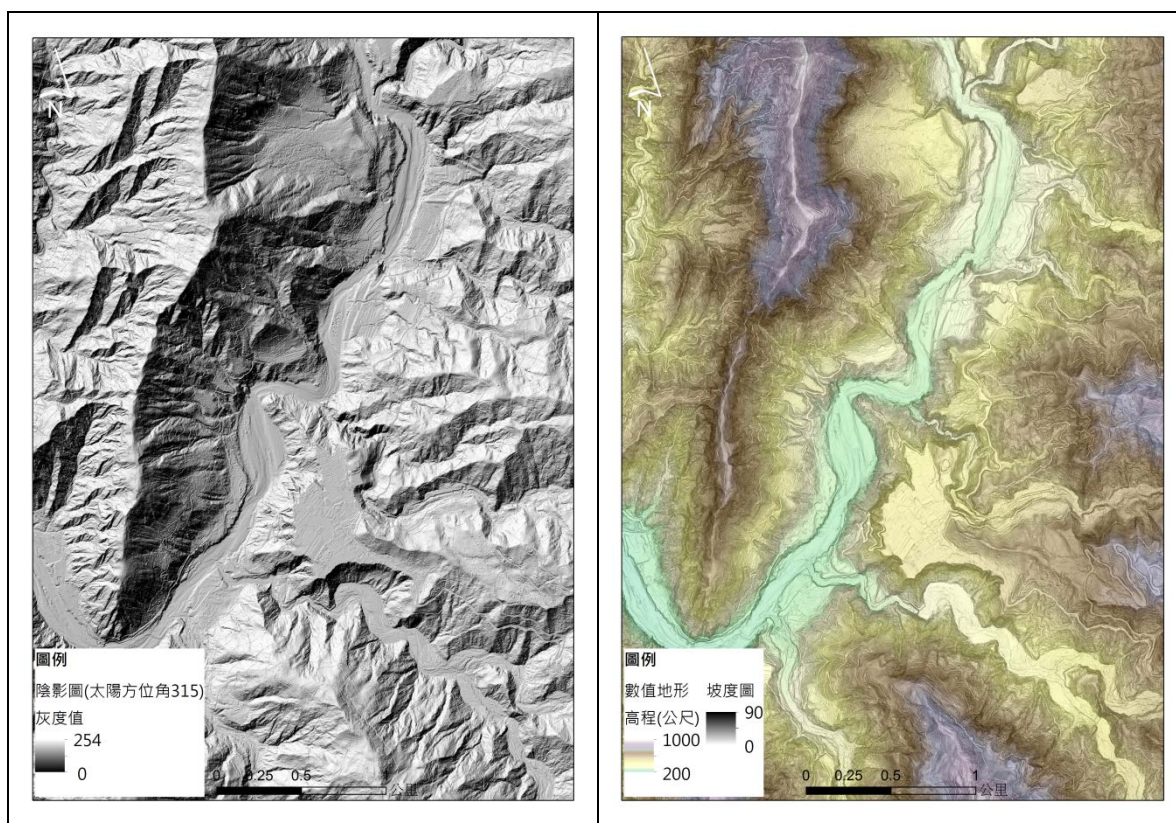


圖 3.18 光達數值地形產製供判釋之陰影圖(左)與坡度圖(右)

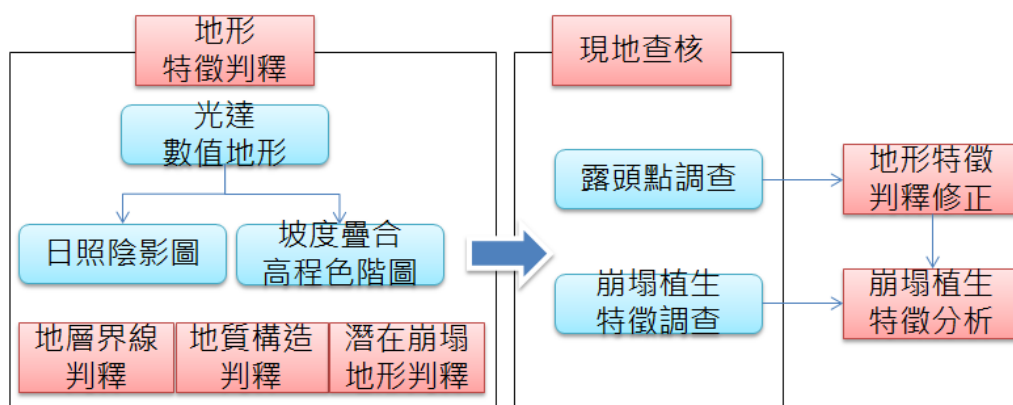


圖 3.19 利用光達資料進行地質現象與崩塌植生狀況分析之研究流程

### 3-5.1.1 地形特徵判釋

#### 1. 地層界線判釋

本計畫之地層指的是岩石地層，主要以岩石性質來作為地層的分類依據，而地層界線則是不同岩石性質間的介面。在地層判釋方法上，Grebby 等人(2010)，參考現有地質圖，並利用高精度光達數值地形進行地形分析(morphometric analysis)與現地查核方式進行賽普勒斯(Cyprus)火山區地層判釋與製圖，研究成果顯示可獲致相較於以往地質圖，更精確的製圖結果。Grebby 等人(2011)更進一步結合空載多光譜影像與空載光達強化並提升植生區域之岩性製圖精度，相較於僅使用光譜影像，可提升將近 22.5%的準確率，而此方式可嘗試用於地形陡峭且植生茂密的台灣地區之岩性製圖。岩性的差異可展現於地形上的細微變化。而以既有五萬分之一比例尺之地質圖為對象，利用本案產製之數值地形，依據各地層之岩性強弱差異，如砂岩與頁岩之抗風化侵蝕能力差異，反映出之地形特徵進行地層界線判釋，再至現地進行露頭尺度查核，以此與目前五萬分之一比例尺地質圖中地層界線進行差異比較，以提供後續利用高精度資料進行地質現象判釋與調查之參考(圖 3.20)。

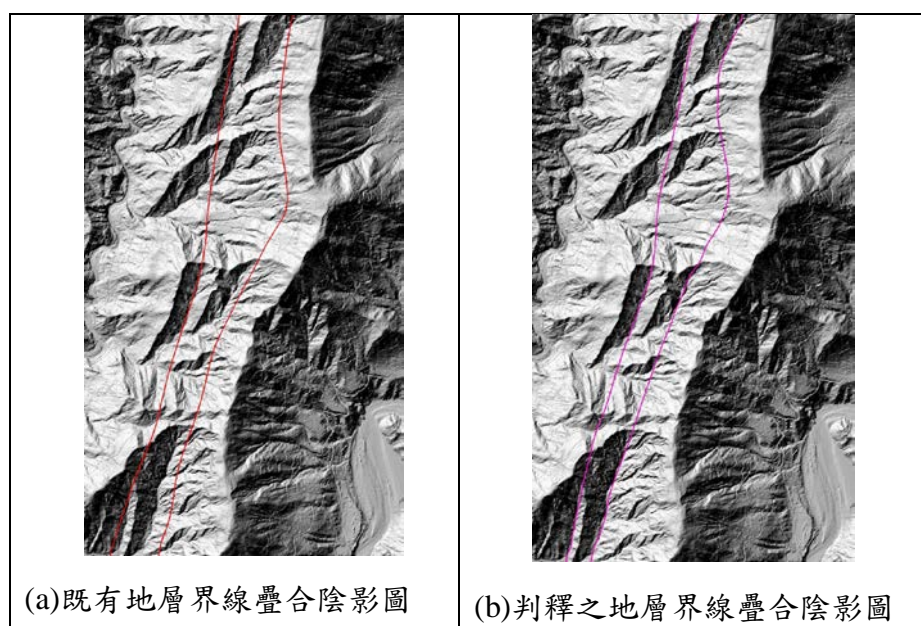


圖 3.20 利用光達數值地形判釋地層界線與既有地層比較圖

## 2. 地質線形特徵判釋

線形特徵是地表形狀中最為常見的形狀特徵，其中包括了山脈、河道、斷層以及褶皺，而地質線形主要以斷層及褶皺為主，由於地層的受力造成地層斷裂(斷層)或褶曲(褶皺)，進而反映出於山脈或水系的分佈。而本案則利用光達數值地形進行地質線形判釋，其細部方法說明如下：

斷層的活動多會左右地形的發展，因此地形的特徵常作為判斷斷層存在與否、斷層經過位置的重要參考指標(地調所，1998)。斷層會造成地面斷裂、錯移(offset)或撓曲，常在第四紀地形面上留下線形、崖、窪地、隆起、斷錯等異於常態的地形特徵(圖 3.21)。日本活斷層研究會(1980, 1992)將斷層作用形成的地形稱為斷層變位地形，分為線狀構造(Lineament)、構造崖(Tectonic Scarp)、構造窪地(Tectonic Depression)、構造隆起(Tectonic Bulge)、水平斷錯地形(Laterally offset Landforms)、褶曲地形(Fold Landforms)六大類，各大類之下又細分為 2 至 7 個小分類不等。

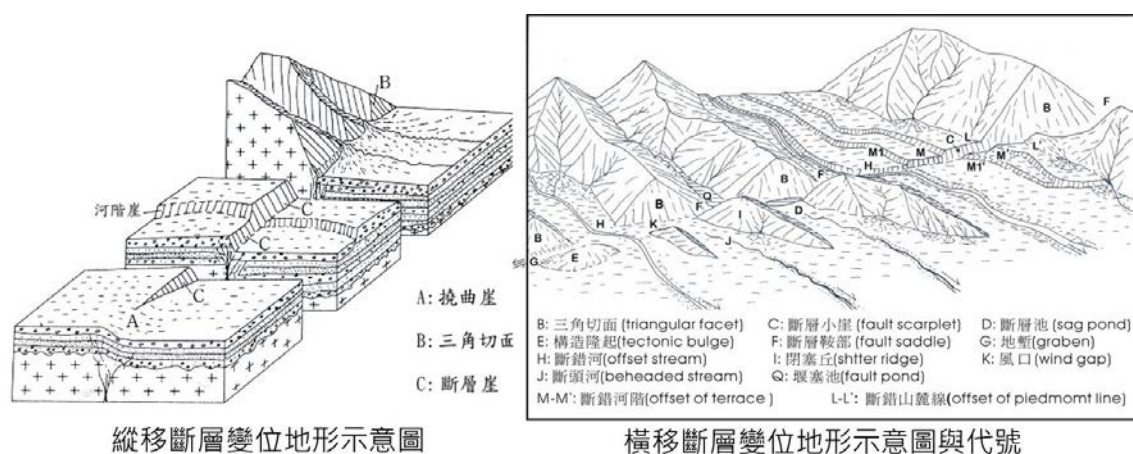


圖 3.21 斷層地形特徵圖(經濟部中央地質調查所)

在利用光達數值地形進行斷層判釋調查之相關研究上，中央地質調查所根據現有之 LiDAR 資料庫，進行台灣南部區域的活動斷層調查工作，包含九芎坑、木屐寮、新化、後甲里、左鎮、小崗山、旗山及潮州等九條活動斷層

之構造地形分析、線形位置數化，並藉以編修上述九條活動斷層之條帶地質圖。在國外亦有許多學者(Hunter et al., 2011)已證實光達數值地形進行活動斷層之判釋與調查可以獲致良好之成果。然而透過構造崖等斷層鄰近地形特徵判釋(Harding and Berghoff, 2000) 亦可利用於非活動斷層的判釋上。本案利用斷層造成之構造崖、構造窪地、構造隆起、水平斷錯地形、褶曲地形等地形特徵(如下表 3.7、圖 3.22)進行判釋。

表 3.7 斷層變位地形常用名詞(經濟部中央地質調查所)

大分類	小分類
線狀構造(線形) (lineament)	
構造崖 (tectonic scarp)	斷層崖(fault scarp)、撓曲崖(flexure scarp)、斷層小崖(fault scarplet)、反斜崖(reverse scarplet, range-facing scarplet, back-facing scarplet)、三角切面(triangular facet)
構造窪地 (tectonic depression)	斷層谷(fault valley)、地塹(graben)、裂谷(rift valley)、斷層溝(fault trench)、斷層池(fault sag)、斷層鞍部(fault saddle)、斷層角盆地(fault-angle basin)
構造隆起 (tectonic bulge)	地壘(horst)、斷塊脊(fault slice ridge)、壓力脊(pressure ridge)、小丘(mound)、斷塊山(fault-block mountain)及傾動地塊山(tilt-block mountain)
水平斷錯地形 (laterally offset landforms)	斷錯河(offset stream)、斷錯河階(offset of river terrace)、斷錯山麓線(offset of piedmont line)、斷錯山腳(offset spur)、閉塞丘(shutter ridge)
褶曲地形 (Fold Landforms)	褶皺(Fold)、單斜地形(cuesta landscape)

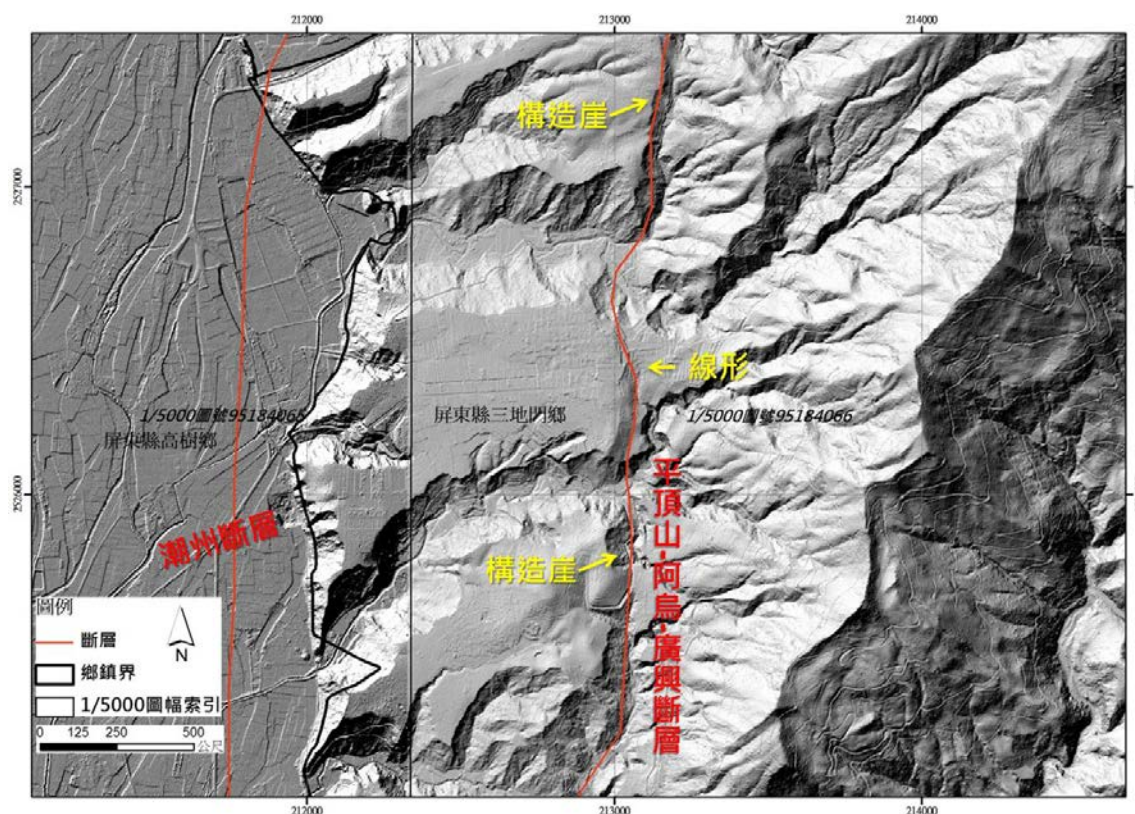


圖 3.22 光達數值資料顯示之斷層特徵圖(經濟部中央地質調查所)

而本案之判釋步驟條列如下：

- a. 利用 ArcGIS 地理資訊系統將光達數值地形 DEM 資料，產製坡度圖與日照陰影圖。
- b. 透過具備現地地質調查與影像及光達數值地形判釋經驗之地質專業人員，輔以地調所地質圖、正射航照、多光譜與高光譜衛星影像，利用專家判釋法(Expert Knowledge)，進行斷層地形特徵判釋與圈繪。
- c. 利用地理資訊系統軟體繪製垂直斷層線之地形剖面圖，藉以判釋斷層崖之地形曲率變化區位，以為斷層範圍界定之參考。
- d. 綜合上述之判釋結果，製作現地調查底圖，攜至現地進行查核。

### 3. 潛在崩塌地形判釋

本案之潛在崩塌指具有崩塌地形特徵，但崩塌體尚存留在坡面未全部滑落的崩塌。利用光達數值地形產製之日照陰影圖及坡度圖進行崩塌特徵判釋。

其目的為找出已具備崩塌發生特徵，但崩塌體未完全滑落之崩塌地，此潛在崩崖常因植生覆蓋而不易於航照上進行判釋，因此本計畫藉由高精度數值地形的資料，進行崩崖、側邊裂隙等崩塌地形特徵判釋，藉此界定出實際崩塌影響及發育的範圍，以供後續土地利用、災害調查、危險度評估及整治規劃之參考。

判釋方法主要以地理資訊系統空間分析功能，將高精度數值地形資料轉為八方向之日照陰影圖，配合正射航照影像進行冠部、崩崖與裂隙等潛在崩塌細微地形特徵判釋(圖 3.23)並圈繪出潛在崩塌區域，各項崩塌細微地形特徵說明如下：

- a. 冠部：深層滑動位置之最上緣，有張力裂隙發育。
- b. 崩崖：為呈馬蹄狀之崖坡，新滑落崖之坡面色調光亮，崖坡上緣冠部有同心圓弧形張力裂隙，崩崖下方有窪地或水池形成。
- c. 多重山稜：深層滑動發育過程中，冠部張力裂隙侵蝕作用持續，造成地形凹陷，而裂隙兩側較高之地形則形成多重山稜特徵。
- d. 坡頂緩斜面：坡頂緩斜面發育於坡頂於不同崩崖間之地形特徵，通常此處之地形坡度較為平緩。
- e. 滑動體：外觀呈畚箕狀凹陷地形，植生林相改變與周圍林相不協調情況。如其為草生地或竹林地，或是被開墾為梯田狀水旱田，而與周圍多年植生林相有所差異，滑動體上段呈現下陷地形，中段呈緩坡狀，下段則呈隆起地形。
- f. 側邊裂隙：側翼裂隙(雙溝同源之水系特徵)：山崩體的兩側為山崩體與圍岩產生剪切破壞的地帶，岩土嚴重破碎，容易被侵蝕，久而久之就發育成兩條蝕溝，其源頭處逐漸朝主崩崖的部分包抄，故稱之雙溝同源。
- g. 坡趾隆起：趾部為河岸攻擊坡，由於坡趾部因山崩擠壓，突出河道致使河道變窄或轉彎。

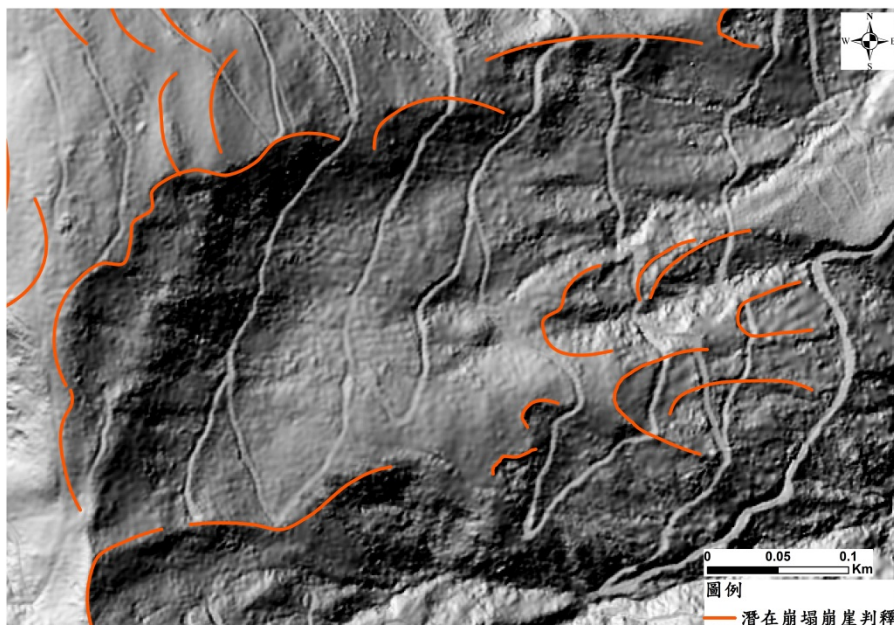


圖 3.23 崩塌地形特徵示意圖(資料來源：本案產製之光達資料)

### 3-5.1.2 現地重點查核

前項工作分析完成後，則現地進行分析結果之查核。查核重點在於判釋的結果是否符合現地的地形特徵，而查核區位主要以人員可及處之地形特徵為主。調查作業方法說明如下：

#### 1. 原則

野外調查工作以涵蓋各不同地形特徵區位為原則。

#### 2. 設備

- (1) 將判釋之結果套繪至 1:5,000 地形陰影圖，以供為野外調查底圖。
- (2) GPS、傾斜儀(地質羅盤)及高度計等定位及測量工具。
- (3) 調查表、各種筆及野外記錄本。
- (4) 數位照相機。
- (5) 個人安全工具裝備及其他。

#### 3. 作業方式



野外調查的作業內容包含下列各項：

- (1) 依調查原則規劃野外調查調查路線。
- (2) 現場每一處調查點依據屬性表內容詳細量測、紀錄並拍攝現場露頭照片，利用 GPS 將拍照點坐標資訊寫入照片之延伸資訊。
- (3) 於調查底圖中修正或增補判釋特徵之範圍位置，攜回室內修正。
- (4) 調查內容之研判與登錄應詳實。
- (5) 野外調查底圖作為草圖紀錄相關資料包括：現場增補或修正判釋範圍、拍照點位置、拍照方位及標的物編號、其他如道路狀況等。

### 3-5.1.3 地形特徵判釋修正

地形特徵判釋結果，須依據現地重點查核結果進行調整與修正，並提供微地形崩塌調查機制分析作業流程之參考。而地形特徵判釋結果需進行修正之內容包括以下幾個部分：

- (1) 判釋的地形特徵類型有誤。
- (2) 判釋的地形特徵位置不正確。
- (3) 判釋的地形特徵範圍與現況不一致。
- (4) 判釋的地形特徵於現地並無發現。

而針對現地查核以外區域之判釋結果，依據修正結果結合地形資料與修正後之判釋準則進行修正與調整。

### 3-5.1.4 潛在崩塌植生特徵判釋

本項目主要目的為調查現地測區內森林地區潛在崩塌崩崖的植生類別分布情形，依據本案以高精度數值地形判釋潛在崩塌之成果，挑選人員可到達之潛在崩塌崩崖處進行植生類別調查，由於人工種植的植生類型如茶園、檳榔、果園與農田可直接由影像上判釋得知，而森林地區樹種繁多無法直接由影像上判釋植生的差異，因此選擇以森林地區的潛在崩塌崩崖進行植生調查，調查方法以沿著崩崖線段可到之範圍，分別記錄崩崖上部及下部兩側 3 公尺

範圍內，胸高直徑(DBH)大於 5 公分的木本植物，計算木本植物的優勢度，計算公式如下：

$$\text{木本優勢度} = \frac{\text{樣區內某植物胸高斷面積}}{\text{樣區內所有植物胸高斷面積總和}} \times 100\%$$

並評估現地地被植物覆蓋之情形，其覆蓋度估算可分為 6 級，每級以簡化之數值表示其大小(表 3.8)，各級所佔之範圍，可以圖 3.24 為示範。

表 3.8 覆蓋度級數與量化值對照表

級數	範圍
+	<1%
1	1-5%
1	6-25%
2	26-50%
3	51-75%
4	76-100%

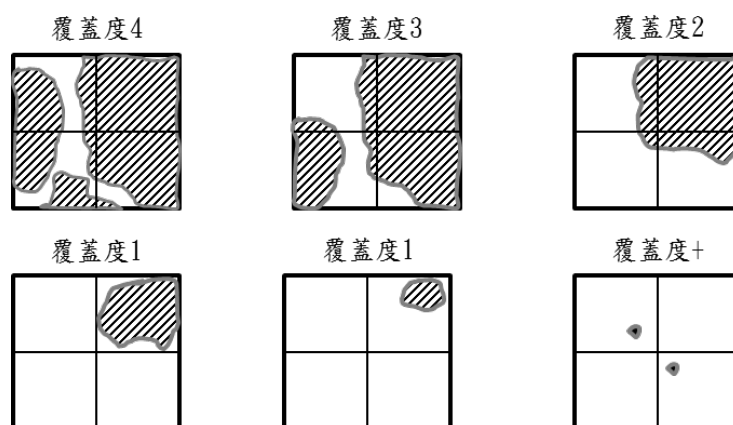


圖 3.24 各級覆蓋度所佔之範圍(修改自 Numata, 1962)

此項調查結果用來判釋潛在崩塌崩崖上下部之優勢樹種、地被覆蓋情形是否有差異。

### 3-5.2 評估結合高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌調查機制分析

本項目主要為建立高光譜及全波形光達資料於微地形崩塌調查調查機制分析作業流程，目的為應用高光譜及全波形光達資料透過兩者資料結合之優勢，可輔助人員在不易到達之處，進行潛在崩塌地形及植生特徵判釋，以供後續崩塌相關研究之參考。規劃之流程如圖 3.25，分別為影像融合、微地形特徵判釋、現地查核與整合分析四部分，而後續將各部分之細節透過各項細部工作方法予以流程標準化後，建立整合應用機制與作業方法文件，提供後續相關研究之參考。

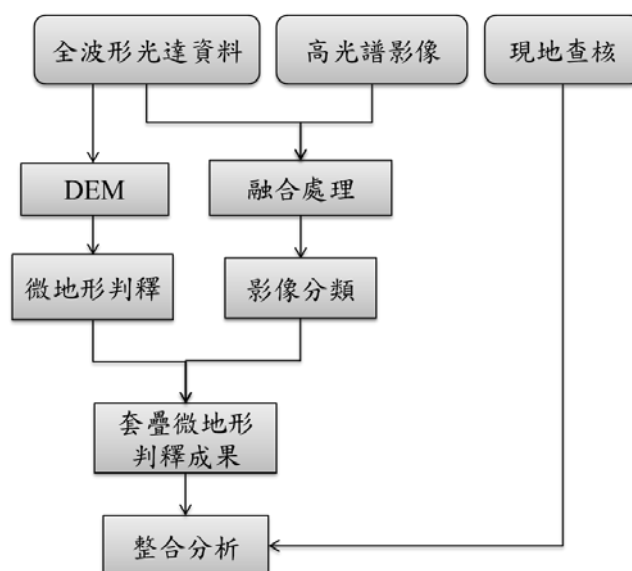


圖 3.25 高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌調查機制分析流程構想圖

#### 3-5.2.1 高光譜與全波形光達資料融合處理

物體反射的能力可由光譜反射率表示。當物體的反射曲線不同，在遙測影像上即可顯示不同的色調與灰度，而光譜頻寬大小則決定了影像對光譜的描述能力。因此以高光譜影像提供影像分類使用者較高的分類影像精度是常見的使用方式(Borengasser et al., 2008)。近年來使用的全波形光達資料除了能夠增加光達點雲密度的數量，所記錄的一維連續多峰波形更代表雷射光束自接觸樹頂後持續穿透直至接觸地面的波形資料。對於森林生態環境與影像分

類等亦有實質的幫助(Joshua et al., 2009; Vepakomma et al., 2008; Udayalakshmi et al., 2008; Reitberger et al., 2008; Giovann et al., 2012; Dalponte et al., 2008)，故全波形光達可視為描述垂直地物的資訊來源。為輔助人員瞭解測試區之地物種類，本案依據 101 年度「發展高光譜與光達技術結合之應用工作案」成果，利用高光譜與全波形光達資料之融合技術進行測試區內土地覆蓋類別之判釋作業。地物判釋類別以多次測試區探勘成果所歸納出之土地覆蓋類別為主，分別包含森林、竹林、茶園、檳榔、果園、農作地、草生地、裸露地、建地（包含建物與道路）及水體等 10 類。由光譜曲線(圖 3.26)可知各種欲分類之植物的光譜曲線分布十分相近，也因此本案以地物的表面光譜資訊以及光達的垂直資訊作為整合概念，期望融合高光譜與全波形光達資料有利於提高影像的分類精度。

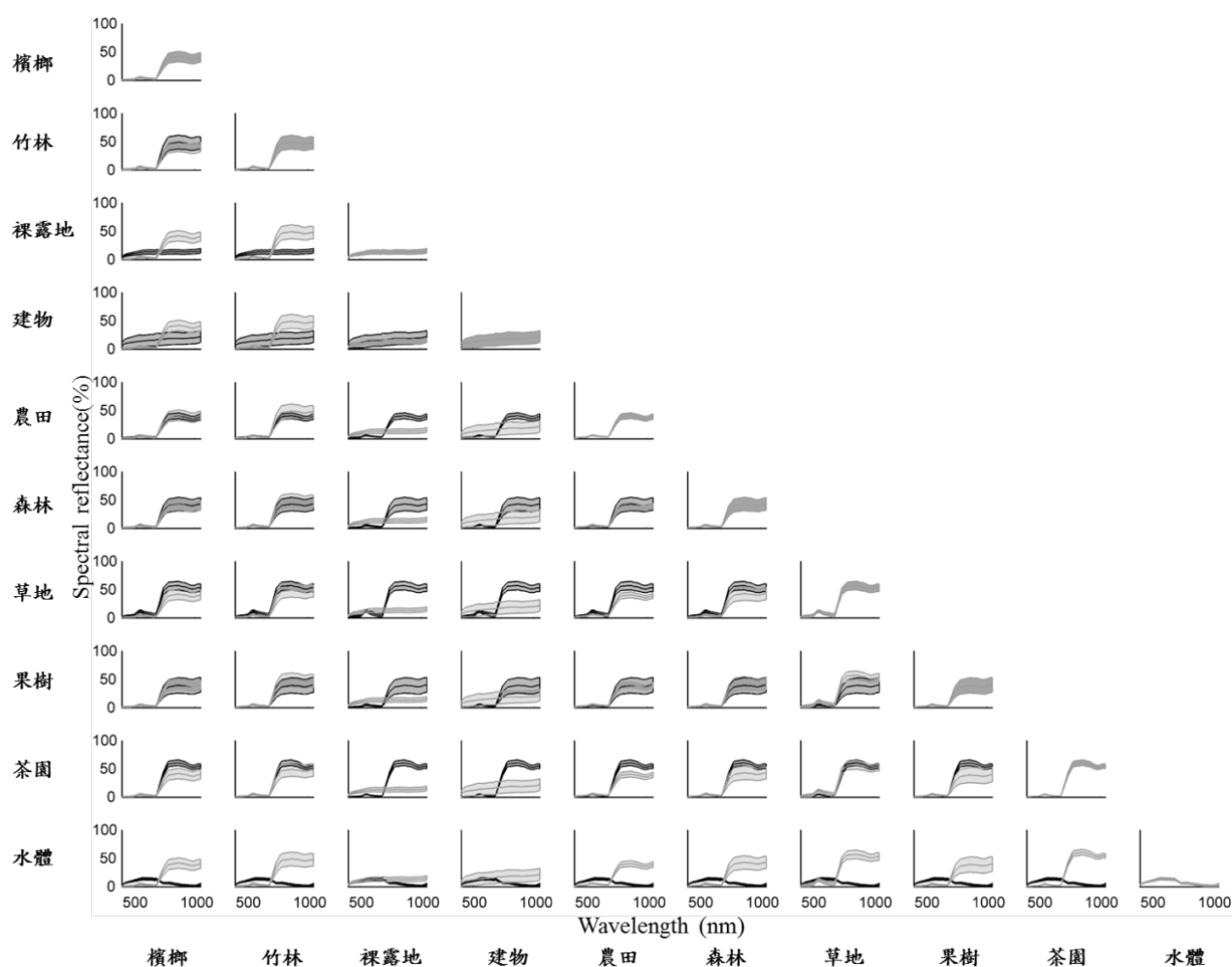


圖 3.26 土地覆蓋類別之光譜曲線比較圖

一般而言，融合影像的處理方式多為 Feature-level(圖 3.27)，其主要是先將光達資料進行產品加值，如數值高程模型、數值地表模型或是森林樹冠模型等 (Mutlu et al., 2008)，因此往往簡化了光達的數據而使其數據資料粗糙化。故本研究係以 Pixel-level 進行融合處理，期望保留各資料之優點，突顯全波形光達的潛力。

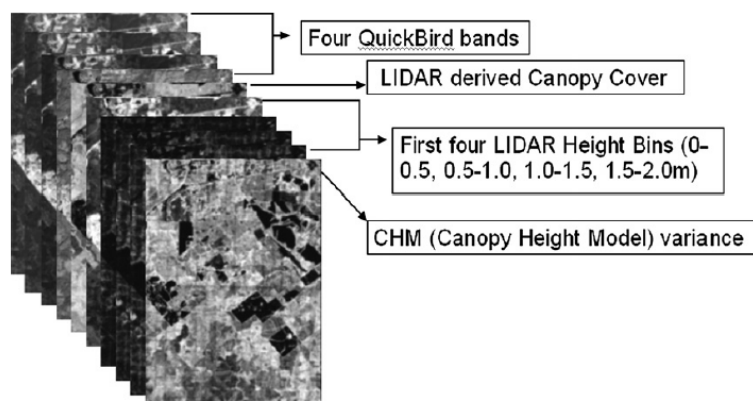


圖 3.27 應用 Feature-level 進行光達影像與光譜影像的融合處理(Mutlu et al., 2008)

## 1. 資料前處理

### (1) 全波形光達資料前處理

全波形光達資料之前處理方式為利用不同地物類型之波形參數（振幅 (Amplitude)、波長寬 (Pulse width) 以及距離 (Range)）訊號具差異性之原理。原始離散之全波形光達資料以 1 nanoseconds(ns) 間隔記錄 256ns 長度的光達資料，當處理為網格式全波形光達資料(用於融合分類)時，本案改以 2ns 紀錄間隔。在網格化計算中，本案計算通過 1 平方公尺面積之光達平均振幅值，其假設各雷射光束為垂直入射至地面，然而實際之雷射光束各有不同之入射角。因此以 2ns 間隔生產網格式全波形光達資料可有效消除此項假設所造成的資料震盪效應(其樣態顯現如雜訊)。故資料具有  $128(=256/2)$  個維度(圖 3.28)。

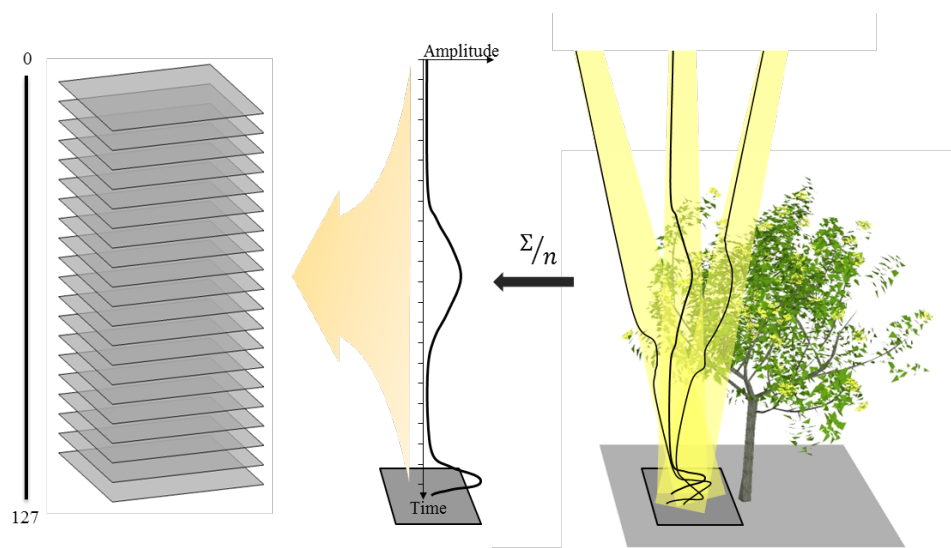


圖 3.28 全波形光達資料前處理：包含振幅平均及資料網格化兩個部分

## (2) 高光譜資料前處理

初始高光譜影像係屬於輻射強度影像，影像透過大氣校正 (Atmospheric correction) 可使影像之光譜資訊更趨近地表光譜反射數值。本次使用之高光譜影像係以 ATCOR-4 糾正後影像進行後續的資料處理。由於大氣校正成果並非有絕對性的良好成果，為減少高光譜影像之影像雜訊或受水氣影響過大的波段對於後續融合與應用分析之影響，故本階段之處理為剔除雜訊與受水氣影響之波段 (368.8 nm - 387.9 nm；903.3 nm - 979.6 nm)，以確保後續多變量統計成果之正確性及其分類精度。

## 2. 融合處理

融合處理流程如圖 3.29 所示。融合影像處理係以統計原理作為基礎，透過多變量統計獲取具有代表性且較佳的影像。本研究選用之轉換模型為 Minimum Noise Fraction (MNF) Transformation (Green et al., 1988)。由 MNF 之理論計算乃是將原始影像的共變異矩陣 (covariance matrix) 視為訊號與雜訊共變異矩陣的總合。

$$\Sigma = \Sigma_S + \Sigma_N$$

其中， $\Sigma$  為原影像之共變異矩陣， $\Sigma_S$  為訊號之共變異矩陣， $\Sigma_N$  則代表影像雜訊之共變異矩陣。因此，MNF 係計算各波段之變異數的噪訊比率 (Signal to Noise Ratio, SNR) 使訊號影像與雜訊影像加以分離，故即可以訊號影像進行資料的正交轉換 (Principal Component Analysis, PCA)，提高影像成分特徵的資料品質。光譜轉換公式如下所列：

$$Y = AG$$

Y 為旋轉後之主軸影像；A 為原始影像共變異矩陣之特徵向量；G 為原始影像。

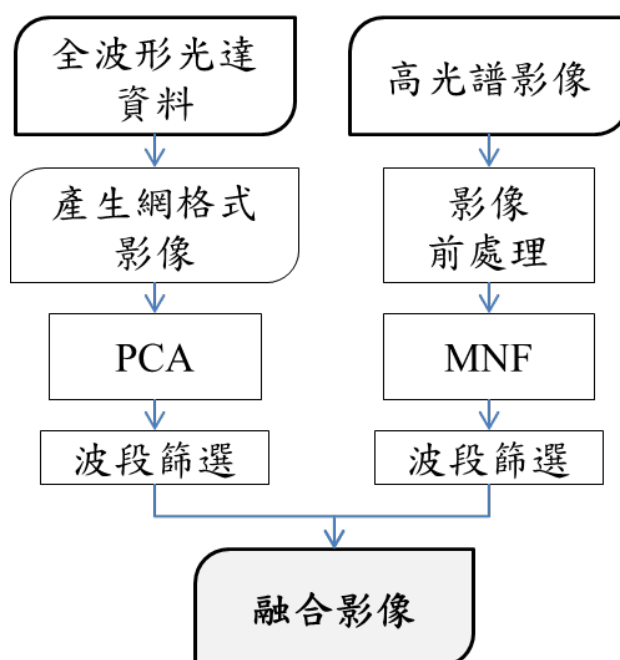


圖 3.29 以統計原理融合不同資料之處理流程

然而由於 ALTM Pegasus HD 400 儀器的資料紀錄特性，使得光達後面波段資料為平坦訊號（圖 3.30），導致光達資料在 MNF 進行噪訊處理時無法滿足原始影像（ $\Sigma$ ）與訊號影像（ $\Sigma_N$ ）均為正定矩陣的要求。爰此，高光譜影像轉置方式係選擇 MNF，全波形光達影像則選以 PCA 進行影像處理。各轉換後影像將重新疊合成新的影像。

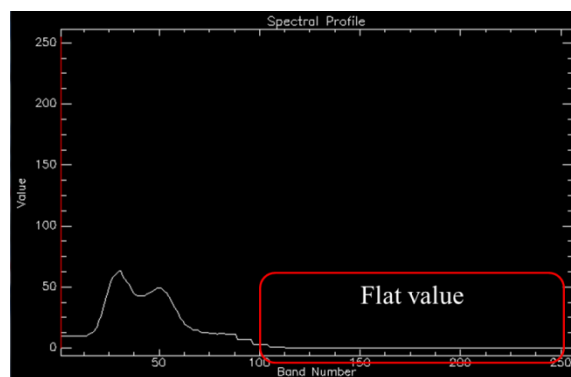


圖 3.30 因儀器紀錄特性導致後段訊號出現平值

而影像疊合之波段處理除了透過成分軸 (Component) 的特徵值 (Eigen value) 計算出各成份軸影像之變方 (Variance) 佔總影像之變方和比率 (即解釋率) 外, 透過逐一挑選特徵波段, 以藉此消除因日照、感測器等因素導致影像明暗差異過大的航帶 (圖 3.31)。

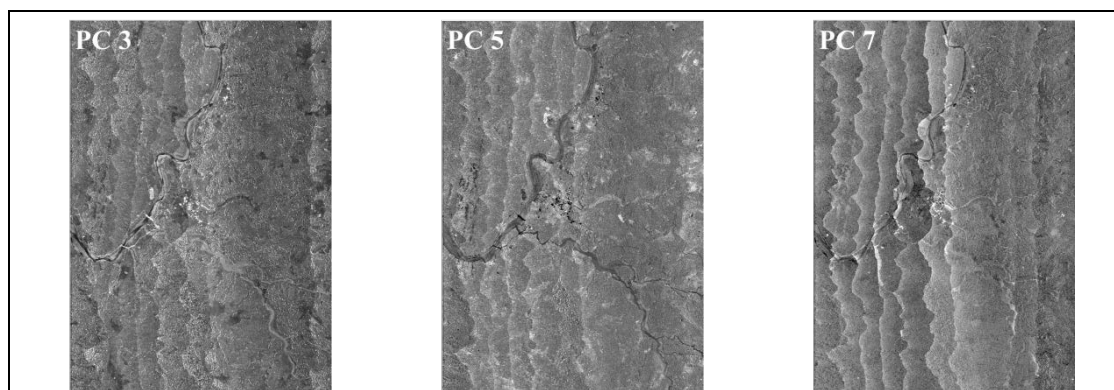


圖 3.31 航帶明暗程度差異過大之特徵波段

### 3-5.2.2 影像分類

為瞭解微地形之潛在崩塌區的地物類別, 本案除了選擇道路可及處之潛在崩塌崩崖進行現地調查外, 亦應用高光譜影像與全波形光達資料之融合影像進行土地覆蓋類別之判釋作業。土地覆蓋物判釋類別乃整合多次現地調查之成果而決定, 其包含森林、竹子、茶園、檳榔、果樹、草地、農作地、建地、裸露地以及水體共十類。影像分類係以人工圈選訓練樣區之方式對各土地覆蓋物進行訓練, 並且以監督式分類之高斯最大概似法進行 (Gaussian maximum likelihood classification) 分類, 爾後利用第二次國土利用調查資料及正



射航照影像作為地真資料來源，以藉此評估其分類成果之準確性。

影像分類準確性評估 (Assessment of Classification Accuracy) 乃依據 95% 的信心水準以及容許誤差於兩個標準差範圍，計算最小檢核點取樣數量 (Richards, 2013)。

$$n = \frac{4P(1 - P)}{e^2}$$

其中， $n$  為取樣數量； $P$  為信心水準； $e$  為容許誤差。由於為符合小於 12 個分類項目，其每一類別的最小抽樣數量應至少為 50 個。故本案先以隨機方式選取 256 個點，若類別不足 50 個檢核點者再針對其類別增加至最小門檻數量，故檢核點數量共計為 622 個。並根據地真資料確認各檢核點位置之地物所屬類別，透過建立地面真實之參考檢核點資料，計算影像分類之誤差矩陣 (Error matrix)。誤差矩陣使用之指標包含使用者精度 (User's accuracy)、生產者精度 (Producer's accuracy)、整體精度 (Overall accuracy) 以及 Kappa 統計值共計四種。

整體精度 (Overall Accuracy) 代表分類後正確的土地覆蓋類別之檢核點數與總抽取的檢核點數之比率。使用者精度 (User's accuracy) 為分類後之各個土地覆蓋類別，對應至檢核點資料之正確比率，具有誤授 (Commission) 之概念。而生產者精度 (Producer's accuracy) 則是指檢核點資料可正確被分類之精度，亦有漏授 (Omission) 之意涵，即表示已知類別被遺漏而歸類到其他類別。而同時考慮漏授與誤授之因素，則可藉由 Kappa 統計值顯示影像分類的誤差性以及取樣與參考分類的一致性機率。Kappa 值範圍介於 0 到 1 之間，愈趨近 1 表示分類精度愈高，Kappa 值須高於 0.7 才算為優良的分類結果 (Janssen and Vanderwel, 1994)，若低於 0.4 則顯示分類精度不佳 (Landis and Koch, 1977)。為確保分類成果的精度品質，本案乃設定 0.7 為是否需重新選取訓練樣區之門檻值。

### 3-5.2.3 整合分析

應用前述高光譜與光達資料之融合影像分類成果與微地形判釋成果，兩者資料進行整合，利用 GIS 的套疊功能，可由套疊成果得知微地形所分布在何種土地覆蓋類型，爾後利用本案判釋之微地形(潛在崩塌崩崖)線段取 20 個，與 9 個現地植生調查之潛在崩塌崩崖，以崩崖上部及下部各外擴 20 m 的範圍切出土地覆蓋分類成果，其取樣示意圖如圖 3.32，最後統計崩崖上部及下部各佔土地覆蓋類別之數量百分比。統計成果分別與現地植生調查資料進行比對，歸納本案所判釋的微地形特徵與土地覆蓋類型之趨勢，以此評估微地形崩塌調查機制之可行性。

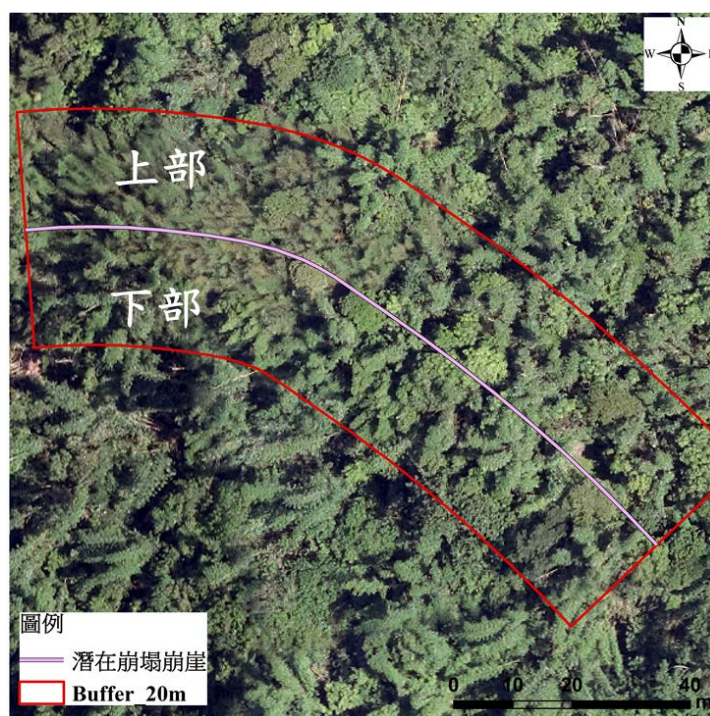


圖 3.32 以微地形判釋成果繪製崩崖上、下部 20 公尺範圍作為整合分析之研究區域

### 3-5.3 分析不同點雲密度與內插方法對微地形判釋影響

數值地形模型，泛指以數值化(digital)的方式來展現空間地形起伏變化的狀況。常見資料格式可分為以下三種：(1)以規則網格( Regular Grid ) 方式呈現，其資料的精細度主要由測量的網格大小距離決定；(2)數值等高線(Digital Contours)，紀錄等高線之高度資料；(3)不規則三角網 TIN，此格式根據有限個離散點，以每三個最鄰近點連成一個局部平面，再根據每個平面方程式計算三角網高程值。一般生產之數值高程資料通常都以使用規則網格的資料格式，在每個網格中紀錄(X,Y,H)，包含 XY 坐標和地形高程屬性。因此，本案為使後續產製之 DEM 資料便於使用，將內插後所有地形資料均轉成規則網格資料格式儲存。

但隨著光達硬體設備的蓬勃發展，可蒐集數據密度及精度越來越高，數據量也就與日俱增，然而，LiDAR 資料蒐集任務並未針對不同區域做採樣密度的調整，以至於部份地形產生過採樣(Oversampling)觀測，在提高了準確度的同時卻也增加了系統運算的負荷，因而降低了後續處理的效率。此外，更重要的是基於經濟成本之考量，以最適的點雲密度來產製符合需求的 DEM。本案利用空載光達點雲進行地面點與非地面點過濾後，經分級疏化選點後，以不同密度的光達地面點資料，配合不同內插法製作 DEM(參考圖 3.33)，並加入坡度圖、坡向圖及日照陰影圖來比對判釋可能的微地形特徵線。最後再與專家判識結果進行比對後，並進行現場調查，驗證其可靠性。

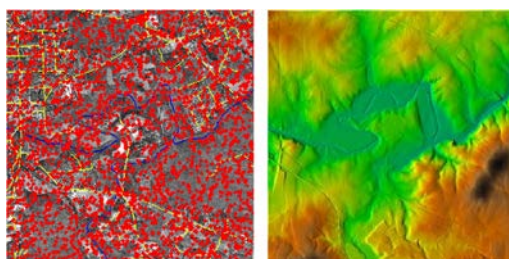


圖 3.33 光達點資料內插成網格表面

(圖片來源 <http://www.cs.swarthmore.edu/~adanner/lidar.php>)

### 3-5.3.1 點雲密度疏化取樣

DEM 產製之處理，大致可分為點雲處理之回波分類、點雲過濾及輸出地面點三個步驟。目前已知較高密度的點雲資料可產出較高精度之 DEM，但受限人力及飛航架次，需在有限經費內提供合理的航帶規劃執行空載光達掃瞄，以得到適用密度下之點雲資料。為符合經濟效益，本案期以產出最適 DEM 來辨別微地形特徵線，故針對疏化後的不同點雲密度之高程值進行內插產製 1 m × 1 m 的 DEM。依照雷射發射順序，等距間隔取樣資料，模擬當 LiDAR 發射的雷射筆數相對減少的狀態下，取得對照地形表現應有之點雲資料，期望兼顧數據疏化與 DEM 精度，得到符合實用性高的 DEM 結果。

因此，利用本案獲取的光達點雲資料，依不同點雲取樣密度分為五級，以疏化取樣方式選取原始 LiDAR 掃瞄之數據(All points)之 1/2、1/4、1/8、1/16 及 1/32 的等比級數降低原始資料之點雲密度，再進行點雲過濾，將資料分為地面點與非地面點後，使用不同內插法，期望內插後資料能達到採樣密度與 DEM 精度之平衡最佳解。

### 3-5.3.2 內插方法

貫穿 DEM 的生產、質量控制、精度評估和分析應用等各個環節的核心問題即是「內插」。由於受限空間數據空間依賴性(Relevance of geography)與空間異質性(Spatial heterogeneity)等本質特徵的影響，使得傳統的數理統計方法無法有效地解決空間樣本點的選取，抑或是空間估值和兩組以上空間數據的關係等問題。因而，空間統計分析發展出以具有空間分布特點的區域化變量理論為基礎的一門新學科。(劉湘南，2008)。

DEM 內插就是根據若干相鄰參考點的高程，求出待定點上的高程值，換言之，基於原始地形起伏變化的連續光滑性，鄰近的數據點間有很大的相關性。根據空間內插方法的假設條件和數學內涵，可以將內插方法分為七大類：幾何方法、統計方法、空間統計方法、函數方法、隨機模擬方法、物理模型

模擬和綜合方法(李新, 2000)。因內插方法眾多, 且考量實用性, 本案僅針對本案 LiDAR 採用之內插方法概述如下列:

## 1. IDW 反距離權重法

反距離權重法的基本原理是假設平面上分布一系列離散點, 已知任一網格點的位置坐標和屬性值, 根據周圍離散點的屬性值, 通過距離加權內插求待測點的屬性值。它假設屬性值是在局部鄰域內中所有資料點的距離加權平均值, 可以進行精確的或者圓滑的方式內插(資料來源 <http://www.gis.tw/>)。由於點在空間具有連續性, 從而表現出與該點距離越近的點相關性越強。引入權的定義, 使越接近該點的樣本點貢獻系數越大。IDW 內插公式如下(式 3.13):

$$Z(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i (d_i)^{-p}}{\sum_{i=1}^n (d_i)^{-p}} \quad (\text{式 3.13})$$

其中  $Z(X, Y)$  為  $(X, Y)$  處內插點的估計值;  $n$  為參與計算的實測樣本點數,  $d_i$  為  $i$  點與內插點之間的距離;  $Z_i$  是第  $i$  個已知點的數值;  $p$  為距離的冪值;  $p$  值將顯著影響內插之結果。圖 3.34 為 IDW 法內插示意圖。

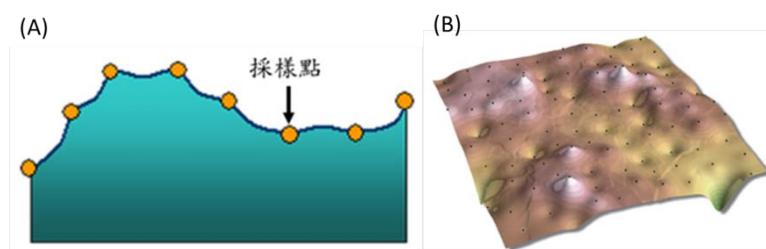


圖 3.34 (A) IDW 法內插的表面; (B) IDW 內插後 DEM 輸出圖

(圖片來源: (A)改繪自 <http://crocdoc.ifas.ufl.edu/publications/posters/edensurfacingdaily/>、  
(B)<http://webapps.fundp.ac.be/geotp/SIG/interpolating.pdf>)

## 2. Kriging 克利金法

對於任何一種內插方法, 都無法要求計算的平均樣品估計值與它的實際

值完全符合，偏差是不可避免的。然而，實作中常要求內插方法滿足(1)所有估計塊段的實際值與其估計值之間的偏差平均數為 0；(2)塊段估計樣品與實際樣品之間的單個偏差應該盡可能小，因此，最合理的估計方法便是提供一個無偏估計且估計方差最小的估計值。

Kriging 內插法是對有限區域內的變化量進行無偏估計的一種方法，此方法建立在半變異函數理論分析基礎上。此方法不但考慮了待預測點與鄰近樣點數據的空間距離關係，也考慮了各參與預測的樣點之間的位置關係，利用各樣點數據的空間分布結構特徵，可更有效地避免系統誤差的出現。

一般克利金法(Ordinary Kriging)假設偏移值是不存在的，著重在空間相關要素，衡量所選已知點之間空間相關程度的度量是半變異數(semi-variance)，公式如下(式 3.14)：

$$r(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (\text{式 3.14})$$

$h$  是樣本點間的距離， $n$  是被  $h$  分出的成對樣本數， $z$  值是屬性值， $x_i$  為位於  $x$  處之位置。如果在點與點之間有存在著空間相依性，距離較近的點，它們的值會比距離較遠的點的值接近。在具有空間相關性時  $r(h)$  會隨著  $h$  的增加而增加。在不同距離的半變異數算出後，就可以繪製出半變異元圖(semi-variogram)， $y$  軸代表  $r(h)$ ， $x$  軸代表  $h$ ，半變異元圖(圖 3.35)可分成三部分：(1)碎塊效應(nugget)，是在距離為 0 時的半變異數，代表空間雜訊。(2)範圍(range)，是空間相關的部分，它顯示半變異數隨著距離增加，超過範圍之的半變異數，將是持平的狀態。(3)基值(sill)，達到持平狀態的  $r(h)$  值。

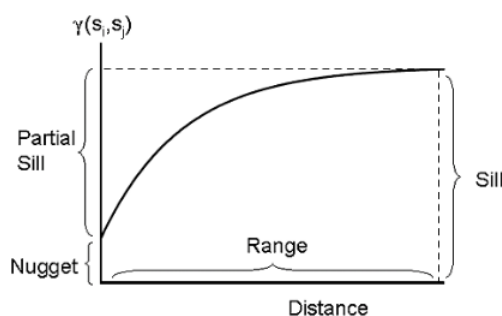


圖 3.35 Original 半變異元模型圖

(圖片來源 <http://www.gis.tw/>)

半變異元圖將半變異數與距離聯合起來，它可單獨用來度量空間的相關性。但在克利金法中是用來做為內插器，半變異元圖必須與數學函數或模型擬合(fit)，如高斯(gaussian)、線性(linear)、球面(spherical)、圓形(circular)和指數(exponential)模型，擬合過後的半變異元圖便可用估算任何給定距離的半變異數。一般克利金法在空間內插中直接使用擬合過後的半變異元圖去估算某點的  $z$  值，公式如下(式 3.15)：

$$Z_0 = \sum_{i=1}^s Z_x W_x \quad (\text{式 3.15})$$

$Z_0$  是估計值， $Z_x$  為已知點的值， $W_x$  為與每個已知點的關係權重， $s$  是用來估算的已知點數量。而權重則可以從一組的聯立方程式中求解得到。在克利金法中用的權重不只有未知點和已知點之間的半方差，而且包括已知點之間的半變異數。這與反距離權重法不同，後者只有用已知點和估算點的權重。

### 3. TIN / 線性內插 (Triangulated with Linear Interpolation)

本案利用 TIN / 線性內插來得到 DEM。原始資料點的連結方法是定義所有三角形的邊都不能與另外的三角形相交，其結果構成了一張由三角形拼接起來的覆蓋網格範圍的網。每個三角形定義了一個覆蓋該三角形內網格節點

的面(如圖 3.36)，且給定三角形內的全部節點都要受到該三角形的表面的限制，因此，若三角網法在網格範圍內非均勻分配資料，地圖上稀疏的區域將會形成截然不同的三角面。一般 TIN 所記錄之單元三角形，是由三個頂點內插出該平面上任意點之高程，利用三個點座標可求出該三角形平面方程式，其公式如下(式 3.16)：

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

$$\begin{cases} A = y_1(z_2 - z_3) + y_2(z_3 - z_1) + y_3(z_1 - z_2) \\ B = z_1(x_2 - x_3) + z_2(x_3 - x_1) + z_3(x_1 - x_2) \\ C = x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2) \\ D = -Ax_1 - By_1 - Cz_1 \end{cases} \quad (\text{式 3.16})$$

其中，A、B、C、D 是由三個頂點座標 $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 及 $(x_3, y_3, z_3)$ 所決定，則平面上任意點高程值(z)則可表示如公式 3.17：

$$z = f(x, y) = -\frac{A}{C}x - \frac{B}{C}y - \frac{D}{C} \quad (\text{式 3.17})$$

TIN 模型的優點為它能以不同層次的分辨率來描述地形表面，相較於網格(Grid)模型，TIN 可依地形複雜程度網形有所不同，在崎嶇的地形取樣較密，在平坦的地形取樣較疏。若光達點的分布是位於山脊、水系或山坡折線等地形起伏的重要地點，或是地形為大量特徵如構造線、斷裂線時，則 TIN 模型可顧及這些特徵且能更精確的表達地面型態。

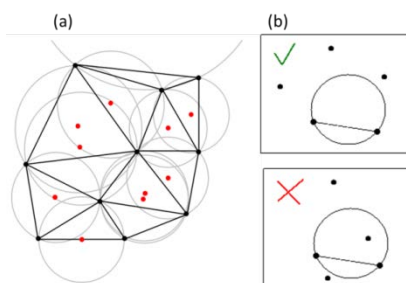


圖 3.36 (a) Delaunay 外接圓與圓中心；(b)外接圓的好壞

(圖片來源：<http://indefiniteseven.wordpress.com/tag/delaunay-triangulation/>)



此外，若僅以距離為基礎進行選點和定義權重，忽略參考點坐標或其所在坐標系統的微小變化，將使得 DEM 表面出現不連續。因而，Voronoi 圖對於離散數據點之間的空間相鄰性描述，便提供了較優的數據結構表達。簡言之，Voronoi 圖是控制點任意四點不共圓，由 Delaunay 三角形與 Voronoi 圖的對偶關係中(如圖 3.37)可了解，Voronoi 圖具有以下特性：(1)任意一個內點到該凸多邊形的控制點的距離都小於該點到其他任何控制點的距離；(2)每個 Voronoi 區域內僅含一個離散點數據；(3)位於 Voronoi 區域邊上的點到其兩邊的離散點距離相等。本案利用點雲資料組成 TIN 結構後，運用線性內插法轉換成規則正方網格(GRID)資料模型之 DEM。

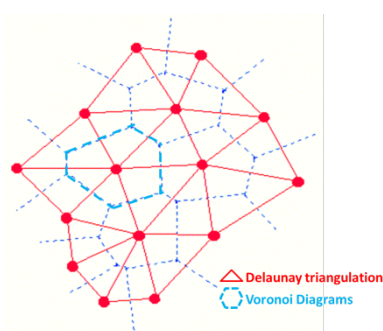


圖 3.37 Delaunay 三角形與 Voronoi 圖

(改繪自 <http://www.unc.edu/~ivaismann/delaunay/tessell.htm>)

本案依上述三種常見之不同空間內插方法，如：IDW、Kriging 及 TIN 資料結構分別依點雲密度等級不同，內插產製 DEM 數據。再將產製完成之 DEM 製做相關地形因子分析圖(即坡度圖、坡向圖和日照陰影圖)，提供輔助判釋微地形特徵線。最後再將完整點雲內插後 DEM 之微地形特徵線與本案降低點雲密度後產製 DEM 辨識出之微地形特徵線數化，比較兩者數化後的特徵線長度符合程度，並配合現地調查與檢核做最終的確認，預期了解疏化點雲取樣對微地形辨識之影響。本案執行流程圖 3.38 如下：

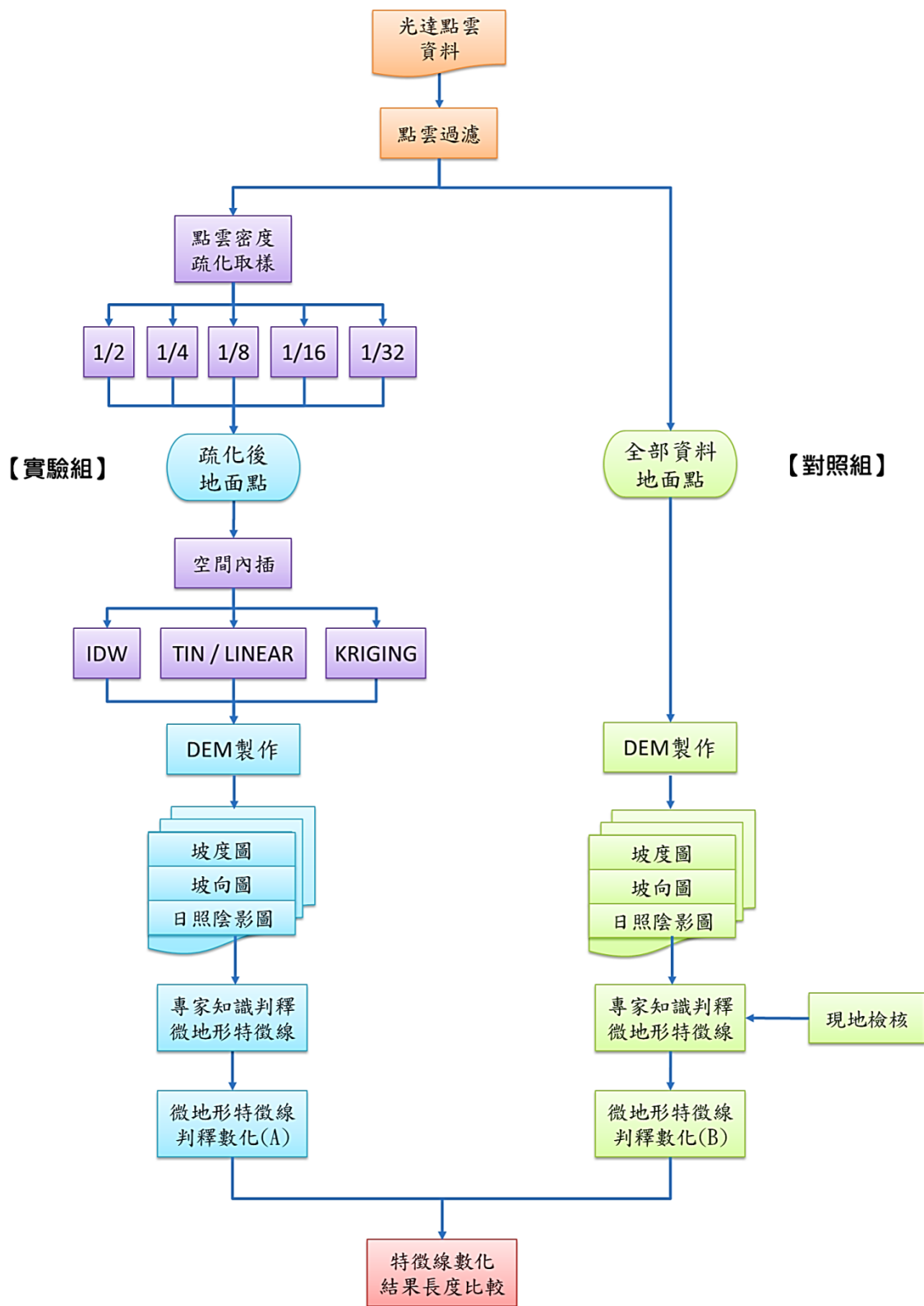


圖 3.38 不同點雲密度與內插方法對微地形判釋之研究流程

## 第4章 資料獲取

### 4-1 系統率定

#### 4-1.1 光達系統率定

光達系統率定目的為求解組成空載光達系統之雷射掃瞄儀、GPS 與 INS(或合稱 POS)裝設於載具上的相對位置參數，提供資料解算時改正每個掃瞄點的三維坐標。因此，為確保光達掃瞄儀器之幾何精度，於飛航掃瞄作業前均應進行光達系統之率定作業，並製作率定報告書，內容包含率定方法、率定參數，率定結果及成果精度說明等相關資料。

本團隊依據「LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)」之光達系統率定作業標準及原廠建議之率定規格，以彰濱工業區作為率定場地點，率定作業之航線設計共計 8 條航線，包含 4 個不同航向及 2 個不同航高，其中包含兩條航線作為確認飛行(verification)作為成果驗證。ALTM Pegasus 系統於 102 年 05 月 27 日以群鷹翔航空(型號 BN-2B)載具執行率定計畫來修正偏差量，以確保雷射點雲的精確度。此率定報告，乃參照加拿大原廠 Optech 公司建議與規定參考而記錄詳細率定程序、內容以及成果請參照附件二所述。

此外本文內容中之坐標系統皆為 TWD97 敘述方式將以代碼呈現，其代碼分別為 E(投影轉換後方向為東的坐標)、N(投影轉換後方向為北的坐標)、H(正高)、h(橢球高)、 $\Delta N$ (大地起伏)、 $\Delta H$ (正高高程差)、 $\Delta h$ (橢球高程差)。

#### 4-1.2 高光譜儀率定

高光譜儀之率定作業可分為光譜率定與幾何精度檢定兩種。光譜率定目的為，校正儀器因受時間與環境條件所產生光譜波長的量測誤差。本案於 102 年 5 月 24 日已由原廠完成光譜率定，並以原廠提供之輻射轉換參數為主。幾何精度校正為求解高光譜儀內方位參數(焦距與像主點)以及計算儀器裝機後

位置差量( $X_L, Y_L, Z_L$ )<sup>1</sup>與方向差量(Roll, Pitch, Heading)之幾何偏移量。

本案高光譜儀幾何率定方式以及率定場地乃依照原廠建議進行作業。率定場挑選原則以地形平坦區域為主，故本團隊以臺中市市區作為率定場地，率定作業之航線設計為南北向 5 條航線及東西向 2 條航線，其中飛航高度為 1200 公尺，地面解析度為 60 公分，光譜率定波段數為 36 個(原廠建議)，航帶重疊為 40%。詳細率定程序、內容以及成果請參照附件三所述。

## 4-2 飛航成果

本案之飛航時間為 102 年 7 月 23 日至 102 年 7 月 25 日，7 月 23 日執行光達作業掃瞄，因礙於雲層關係僅完成部分航線掃瞄。7 月 24 日為高光譜掃瞄架次，高光譜掃瞄完後，補掃瞄剩餘之航線。7 月 25 日為最後單一航線不同掃瞄參數之飛行架次，並於當日完成所有飛航作業。

空載 LiDAR 資料前處理作業包括原始資料整理備份、飛航掃瞄航跡 POS 解算及 LiDAR 原始點雲產出，前處理作業流程如圖 4.1。

---

此 L 指儀器與載具之 level arm(sensor 之間的變異量)，後續率定報告亦為同樣說明。

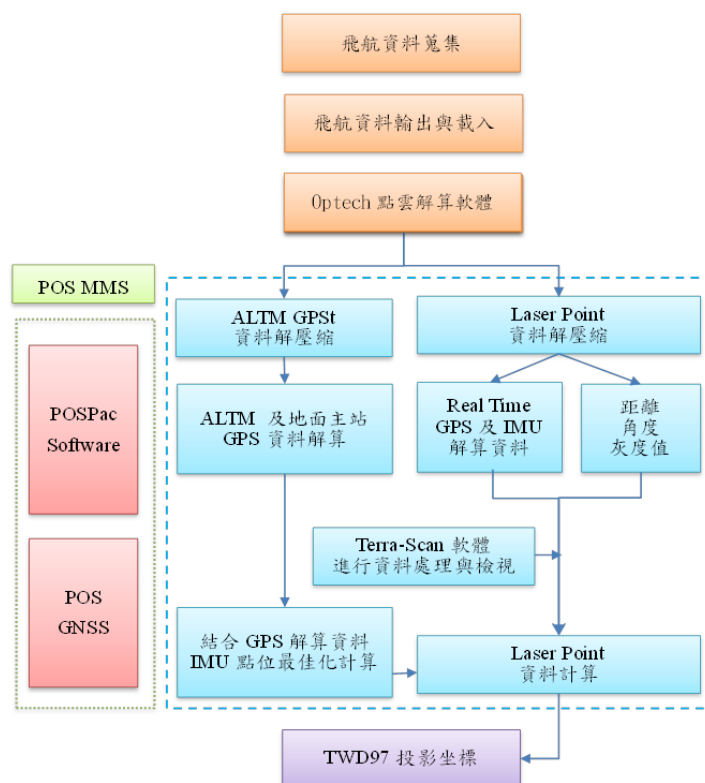


圖 4.1 空載雷射掃瞄資料作業流程

## 1. 資料整理備份

- (1) 蒐集彙整地面 GPS 固定基站資料。
- (2) 下載 LiDAR 載體動態 GPS 與 IMU 資料。
- (3) 下載 LiDAR 掃瞄原始資料，並依航線日期分類。
- (4) 下載 LiDAR 掃瞄全波型原始資料(檔案格式為.NDF、.IDX 及.DAT)
- (5) 原始資料依一定命名法則備份存檔。

## 2. LiDAR 掃瞄航跡 POS 解算

彙整地面 GPS 固定基站資料及以進行差分定位載體 POS (動態 GPS 及 IMU)資料，再搭配雷射回波測距資料，以進行軌跡解算，資料處理流程如圖 4.2。

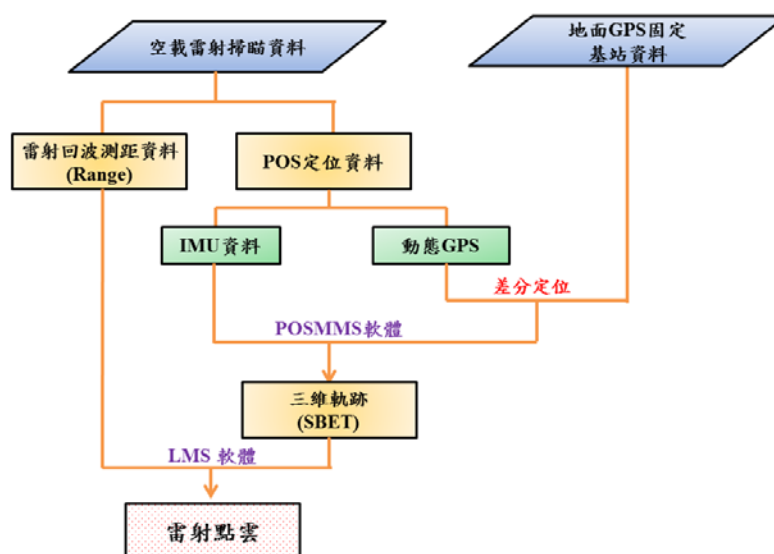


圖 4.2 軌跡解算作業流程

以 POSMMS 軟體將地面 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，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，以動態差分原理求解 LiDAR 掃瞄儀航跡之精確三維坐標。最終將載體 IMU 記錄資料與所解算的 GPS 坐標結合於三維航跡上，求解出 LiDAR 掃瞄時掃瞄儀之瞬間三維位置與姿態資訊 (POS)，一般稱為 Sbet (Smoothed best estimate of trajectory) 飛航軌跡資料。

本案於 102 年 7 月 23 日至 7 月 25 日共計 3 天，完成飛航掃瞄作業，各架次之作業時間如表 4.1 所示。表 4.2 與表 4.3 為本次測區之基站資訊與飛航軌跡解算成果，可知其基站與飛行測區之最遠距離與平均距離皆在 20 km 內，符合基站與飛行測區需在 20 km 之規範要求。解算後之光達點雲資料，將產出符合 ASPRS 公布之光達資料規格，並分別儲存成 LAS 1.2 與 LAS 1.3 格式。

表 4.1 各飛航架次作業時間及地點

執行日期	飛航執行時間	使用基站	航線數	主要執行使用儀器
2013/07/23	07:55:26~11:09:46	GS64 GS67	18	Pegasus+WF
2013/07/24	08:43:21~11:47:56	GS64 GS67	39	CASI +Pegasus+WF
2013/07/25	07:17:30~10:23:27	GS64 GS67	10	Pegasus+WF

表 4.2 基站資訊

執行日期	基站點號	最大距離(km)	平均距離(km)
2013/07/23	GS64、GS67	12.659	5.655
2013/07/24	GS64、GS67	12.346	5.840
2013/07/25	GS64、GS67	14.757	6.583

表 4.3 飛航軌跡解算成果

執行日期	方向	軌跡差異最大值	軌跡平均差異量 (m)	軌跡標準誤差 (m)
2013/07/23	N	0.010	0.007	±0.007
	E	0.011	0.007	±0.007
	h	0.028	0.018	±0.018
2013/07/24	N	0.008	0.005	±0.005
	E	0.009	0.007	±0.007
	h	0.028	0.016	±0.016
2013/07/25	N	0.009	0.007	±0.007
	E	0.009	0.006	±0.006
	h	0.024	0.018	±0.018

7 月 23 日至 7 月 25 日掃瞄航線圖以及每條航線之日期、掃瞄角度、掃瞄頻率、雷射脈衝頻率、航高、航速、航向、地面基站參數及使用儀器說明請參閱附件四。

測試區航帶點雲涵蓋示意圖陳列於圖 4.3，圖中顯示為不同顏色所展繪之不同航帶分布狀況。因此，由航帶位置圖成果可知，初始點雲成果於各條航

帶上皆均勻分布。各條航帶之光達點數統計結果如表 4.4 所示。每條航線原始點雲產出後須逐條檢驗資料品質，包括點雲密度、不合理點雲以及重疊區點雲高程之內部經度檢核等。經由本團隊於 100 年度自行開發之「光達測繪品質檢驗工具程式」以  $100 \times 100$  平方公尺為範圍，統計每平方公尺之平均點雲密度，並將平均密度分為大於  $30/\text{m}^2$  (綠色)，介於  $10 \sim 30$  點/ $\text{m}^2$  (桃紅色)、小於  $10$  點/ $\text{m}^2$  (淺藍色) 區塊，點雲密度計算成果如圖 4.4 所示。檢查結果測試區平均點雲密度為  $10 \text{ pts}/\text{m}^2$  以上，符合本案之規格需求，而航帶側向重疊率為 50% 以上。

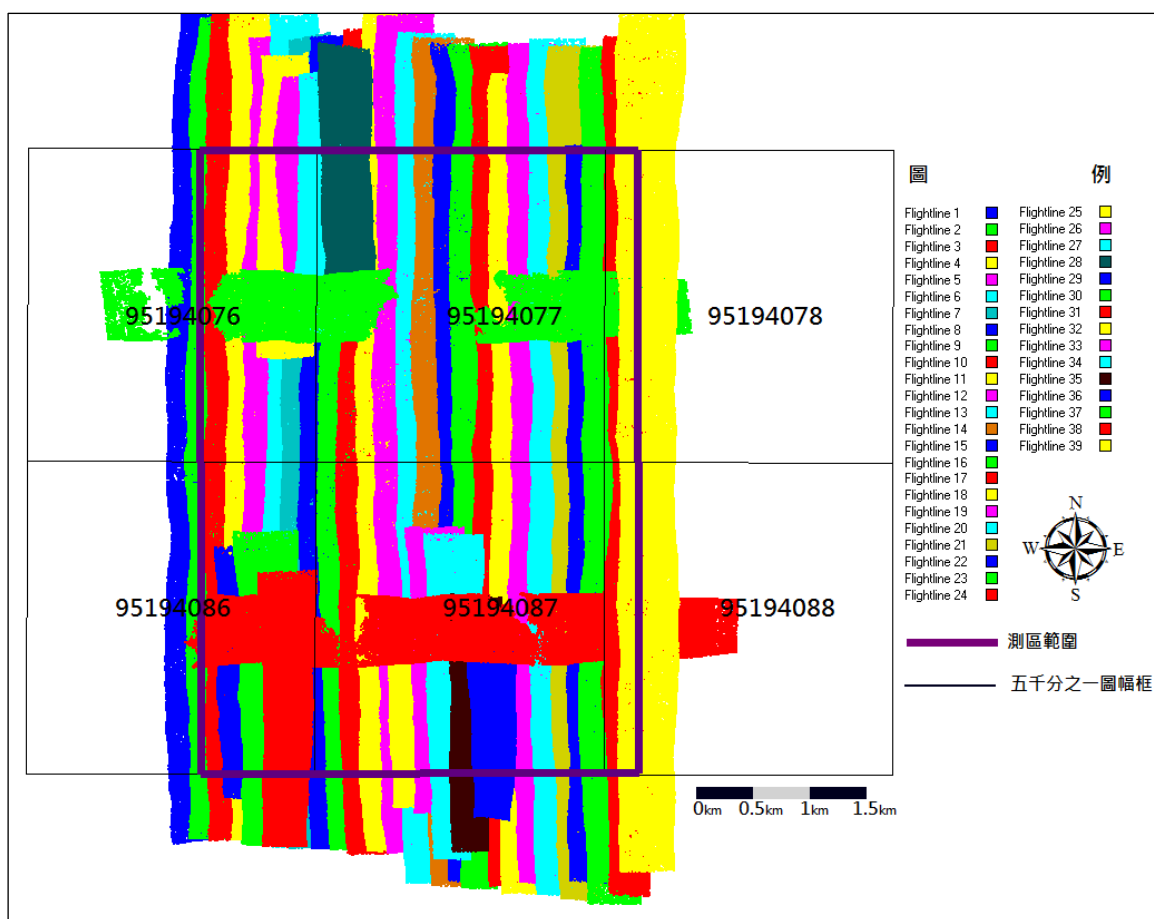


圖 4.3 測試區掃描成果點雲涵蓋圖



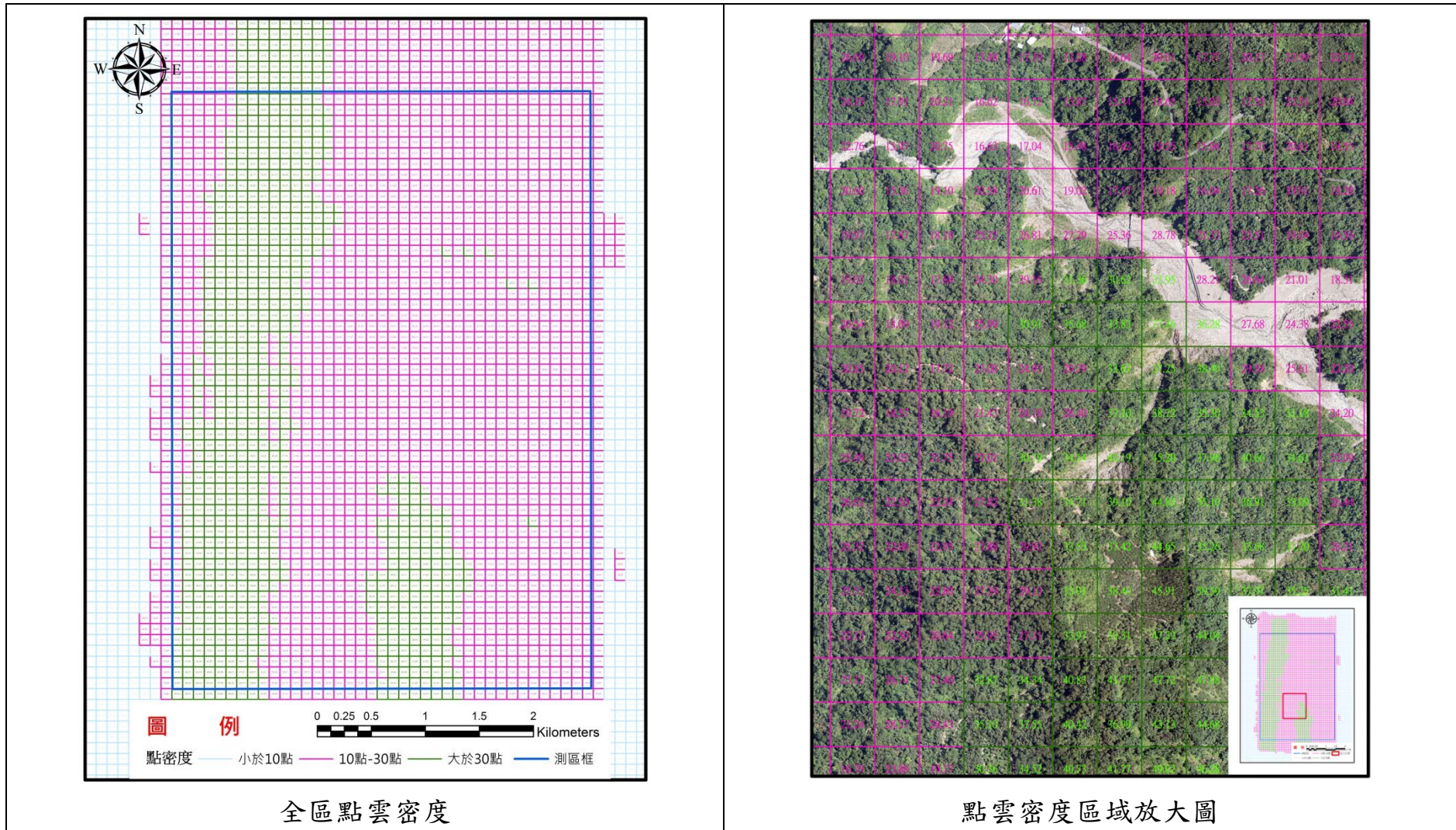


圖 4.4 測試區點雲密度計算成果圖

表 4.4 測試區飛航掃瞄成果統計表

航帶	點數	點雲 密度	重疊航帶		平均重疊 寬度(m)	重疊率 (%)	備註
1	19,904,381	6.17	1	2	318.06	63.86%	
2	22,218,540	6.81	2	3	350.31	71.06%	
3	20,604,455	6.43	3	4	273.87	56.93%	
4	23,733,700	6.55	4	5	310.07	65.64%	
5	21,445,817	7.11	5	6	304.92	63.56%	
6	23,654,550	7.47	6	7	323.98	67.81%	
7	19,452,930	6.61	7	8	279.43	58.10%	
8	22,861,615	7.09	8	9	340.78	68.71%	
9	20,533,316	6.70	9	10	345.13	67.31%	
10	21,912,982	6.69	10	11	319.56	62.47%	
11	22,122,528	6.74	11	12	341.17	69.93%	
12	22,993,173	7.00	12	13	288.43	60.80%	
13	23,797,092	7.50	13	14	307.60	66.36%	
14	21,837,578	6.82	14	15	278.52	60.74%	
15	27,657,530	8.87	15	16	309.73	68.27%	
16	22,772,204	7.16	16	17	249.92	55.95%	
17	29,492,087	9.46	17	18	306.02	67.93%	
18	24,254,429	7.67	18	19	307.32	67.26%	
19	29,074,643	9.05	19	20	268.12	59.59%	
20	23,587,408	7.04	20	21	268.58	61.05%	
21	26,905,584	8.39	21	22	291.17	68.03%	
22	19,733,355	7.32	22	23	299.70	62.95%	
23	26,120,464	6.73	23	24	312.38	67.41%	
24	23,047,997	7.66	24	39	296.26	65.87%	
25	8,399,485	7.40					補重疊航線
26	5,329,658	6.77					補重疊航線
27	7,191,840	7.19					補重疊航線
28	7,317,346	7.76					補重疊航線
29	6,226,655	6.20					補重疊航線
30	8,380,460	6.96					補重疊航線
31	6,945,148	7.02					補重疊航線

測區	點數	點雲 密度	重疊航帶		平均重疊 寬度(m)	重疊率 (%)	備註
32	4,128,737	7.85					補重疊航線
33	7,728,012	7.57					補重疊航線
34	8,177,702	7.41					補重疊航線
35	7,125,558	8.47					補重疊航線
36	5,337,285	8.59					補重疊航線
37	9,483,520	5.01					Cross_line
38	12,883,426	5.53					Cross_line
39	21,725,462	5.81	39	24			
總點數	686,098,652						

### 4-3 控制測量

#### 4-3.1 平面控制測量

為配合 LiDAR 飛航作業，地面控制點於飛航掃瞄前應維持至少有兩個 GPS 基站同步接收 GPS 觀測量，基站與航線範圍應小於 20 公里，其設置處應透空良好且無訊號干擾之虞。

本案採用經濟部中央地質調查所 GS64 及 GS67 等 2 個 GPS 連續觀測站資料作為測區主站，另於外圍選定 3 個已知控制點(WULU、GS07、GS42)一併連測檢核，以計算 GPS 主站坐標及確保主站坐標之正確性，此五個測站皆為每秒 1 筆的 24 小時連續觀測資料。使用之已知控制點及 GPS 主站詳列於表 4.5，其分布情形參照圖 4.5。

表 4.5 已知控制點及 GPS 主站一覽表

測區	設立單位	等級	點名	點號	備註
測試區	交通部中央氣象局	衛星追蹤站	霧鹿	WULU	
	經濟部中央地質調查所	一等衛星控制點	培英國小	GS07	
		一等衛星控制點	東原國中	GS42	
		GPS 連續站	里佳國小	GS64	測區主站
		GPS 連續站	新美國小	GS67	測區主站

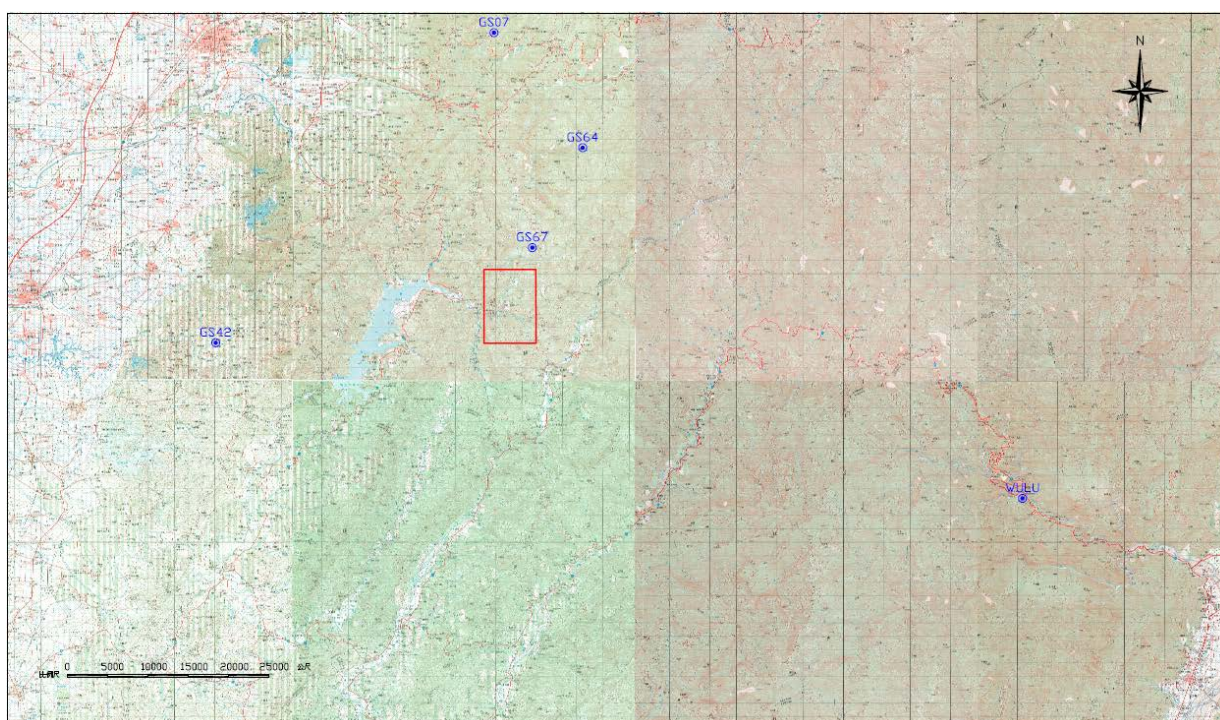


圖 4.5 測試區平面控制點分布圖

使用之坐標系統採內政部公告之一九九七坐標系統之 2010 年成果(簡稱：TWD97【2010】)，檢測方式為同時申請 2013 年 4 月 21 日的資料，利用 Bernese 軟體計算其成果，其計算流程參照圖 4.6，相關參數設定如下：

1. 極運動改正：採用 IERS(International Earth Rotation Service)公布值(C04\_\*\*\*\*.erp；\*\*\*\*表西元年)，將 UTC 與 UT1 之差值加以修正之，並將坐標值由瞬間之極坐標系修正至 J2000 平均極(CIO)坐標系上。
2. 引力位模式：採用 GEM-T3(8×8)，其中； $C_{21} = -0.17 \times 10^{-9}$ ， $S_{21} = 1.19 \times 10^{-9}$ ，

$GM = 398600.4415 \text{ km}^3 / \text{s}^2$ ，日、月引力及地球固體潮(solidearthtide)也加以考慮。

3. 對流層折射改正：採用 Hopfield 模式(Hopfield, 1971)，以海平面標準氣象資料，溫度 $18^\circ\text{C}$ ，相對溼度 50%，大氣壓力 1013.25mbar，推求各測站的對流層改正起始值，並引用大氣資料進行對流層折射影響量的改正參數。以各測站每 2 小時增加 1 個參數之方式，加以吸收殘留的對流層折射誤差。
4. 計算時採用仰角 10 度以上的觀測資料，此乃為避免在低仰角觀測時伴隨的較大雜訊(noise and multipath)所造成之影響。
5. 整數週波未定值求解過程，乃先利用實數解求得一精確之坐標(或利用以前計算過之坐標值)，然後採用 QIF(Quasi Ionosphere-Free)方法，求得  $L_1$  和  $L_2$  的整數週波未定值，再組成無電離層(ionosphere free)效應觀測量  $L_3$ ，並將解得  $L_1$  和  $L_2$  的整數週波未定值代入無電離層效應之觀測方程式中，開始求解其餘各未知參數。

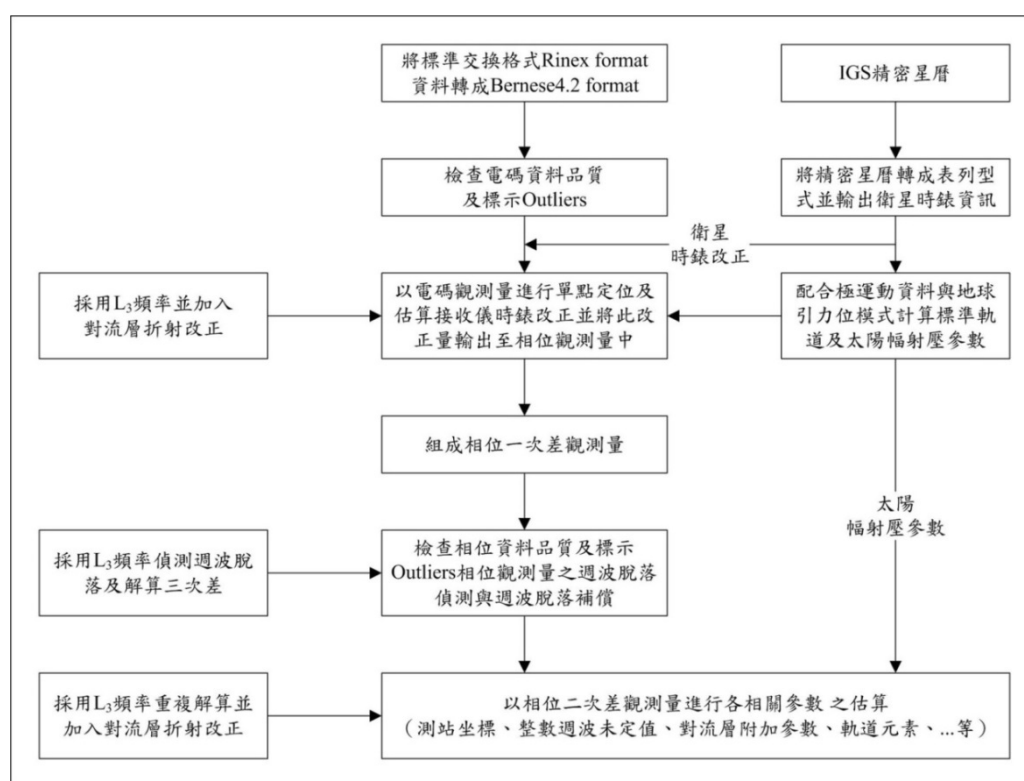


圖 4.6 Bernese 軟體計算流程圖

接著檢核計算後之成果其坐標是否符合國土測繪法加密控制測量之精度，其與公告之 TWD97【2010】坐標反算之成果應符合以下要求：

1. 基線水平分量差值應小於等於  $30\text{mm} + 6 \times 10^{-6}L$  (L 為基線長；單位為 mm)。
2. 基線垂直分量差值應小於等於  $75\text{mm} + 15 \times 10^{-6}L$  (L 為基線長；單位為 mm)。

實際檢測結果如表 4.6，其精度均能符合規範之要求，因此後續於測試區主站(GS64、GS67)直接引用已知之 TWD97【2010】坐標作為基準，各測區 GPS 主站坐標參照表 4.7。

表 4.6 已知控制點檢測成果表

序號	起始測站	結束測站	實測基線長		成果反算基線長		基線較差		較差合格標準		合格 ☑
			水平分量	垂直分量	水平分量	垂直分量	水平分量	垂直分量	水平分量	垂直分量	
1	GS07	GS42	31129.510	-564.791	31129.508	-564.777	0.002	-0.014	0.217	0.542	☑
2	GS07	GS64	10848.760	407.679	10848.774	407.689	-0.014	-0.010	0.095	0.238	☑
3	GS07	GS67	16302.372	-97.931	16302.376	-97.912	-0.003	-0.019	0.128	0.320	☑
4	GS07	WULU	52628.345	229.950	52628.394	229.944	-0.049	0.006	0.346	0.865	☑
5	GS42	GS64	31063.397	972.470	31063.414	972.466	-0.017	0.004	0.217	0.541	☑
6	GS42	GS67	24710.286	466.860	24710.306	466.865	-0.020	-0.006	0.178	0.446	☑
7	GS42	WULU	61417.526	794.741	61417.577	794.721	-0.051	0.020	0.399	0.996	☑
8	GS64	GS67	8359.928	-505.611	8359.927	-505.601	0.001	-0.010	0.080	0.201	☑
9	GS64	WULU	42028.661	-177.729	42028.693	-177.745	-0.032	0.016	0.282	0.706	☑
10	GS67	WULU	41149.295	327.882	41149.327	327.856	-0.032	0.026	0.277	0.692	☑

表 4.7 GPS 主站坐標一覽表(單位：公尺)

點號	公告坐標			實測坐標			較差		
	E	N	h	E	N	h	E	N	h
WULU	2563026.722	254246.418	928.242	2563026.724	254246.418	928.242	-0.002	0.000	0.000
GS07	2597800.530	214742.873	698.298	2597800.513	214742.922	698.292	0.017	-0.049	0.006
GS42	2574644.725	193937.706	133.521	2574644.706	193937.754	133.501	0.019	-0.048	0.020
GS64	2589213.402	221372.890	1105.987	2589213.386	221372.917	1105.971	0.016	-0.027	0.016
GS67	2581751.201	217604.079	600.386	2581751.183	217604.106	600.361	0.018	-0.027	0.025

### 4-3.2 高程控制測量

本案沿用「101 年度高光譜與光達技術結合之應用工作」案之高程控制測量成果，依照前述 GPS 施測檢核成果，其垂直分量的較差，合乎加密控制點規範，因此測試區內主站 GS67 正高為 576.109 公尺。

### 4-4 航帶精度分析及平差處理

由於雷射掃瞄(Laser Scanning)為一門相當新的地形量測技術，其原理主要利用高精度的 GPS 及 INS 進行三維坐標之解算，與傳統的航空攝影測量相較而言，雷射掃瞄不需大量的地面控制網以進行方位求定(空中三角)，施測時只須於測區範圍擺設二個地面 GPS 觀測站，原則上，飛航掃瞄時地面觀測站不應超過掃瞄區 20 km。由於雷射掃瞄較不受氣候狀況限制且可於晚上施測(但無法進行地面攝影)，加上航帶與航帶間不需太多重疊，因此在效率上能比傳統測量更高(Baltsavias, 1999; 史天元等, 2002)。然而空載雷射掃瞄儀的架構使用相當多的輔助單元，在將掃瞄的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，使得其含有許有誤差來源：GPS、INS、Lever Arm、安置角、掃瞄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。

空載雷射掃瞄三維資料的獲取實際上就是應用測距、測角(姿態及掃瞄角)定位，因此雷射掃瞄光束之空間方位誤差(Orientation Error)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(Discrepancy)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。

#### 4-4.1 雷射掃瞄誤差來源及精度分析

##### 1. 空載雷射掃瞄資料處理

ALTM 系統需利用 Optech 公司的 Dashmap 軟體進行雷射點資料解算得三維坐標值。此三維坐標之雷射點雲即可進行後續應用處理。ALTM 利用多回波(Multiple Echoes)的觀測值，可同時測得地表及地表上方之覆蓋物，所得掃瞄點將分布於覆蓋物頂層及地表間，原始雷射測點數據為不規則離散測點，製作數值地表模型(DSM)時可採用第一個回波反射數據組成 DSM 規則網格，至於數值高程模型(DEM)的製作，則採用最後的回波值，然而此回波值不一定是地表測點，需處理濾除與分類的步驟，將測點分類成地面點與非地面測點。本公司目前使用商業軟體 TerraScan 處理雷射測點數據的濾除與分類，並輔以後處理與品管之工具，進行檢核與視覺製圖檢視等品管流程。然而就高精度的 DEM 等製作而言，若是兩航帶間存在有不符值將影響其成果，為使全區之成果一致必須利用航帶平差方式進行修正。

##### 2. 雷射點誤差分析

空載雷射掃瞄之誤差來源主要可分為四項：

- (1) GPS 誤差—GPS 定位誤差。
- (2) 雷射掃瞄測距誤差—掃瞄測距誤差、大氣折射誤差、掃瞄鏡曲率誤差等。
- (3) INS 誤差—陀螺儀漂移誤差、重力模型誤差、大地水準面誤差等。
- (4) 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，實際評估之誤差值在平面誤差多大於 50 cm~1 m，高程誤差也達 20 cm(Baltsavias, 1999)，通常藉由 CAD 圖檔套疊雷射點資料可檢視平面偏移量，如圖 4.7(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 4.7(b)所示。

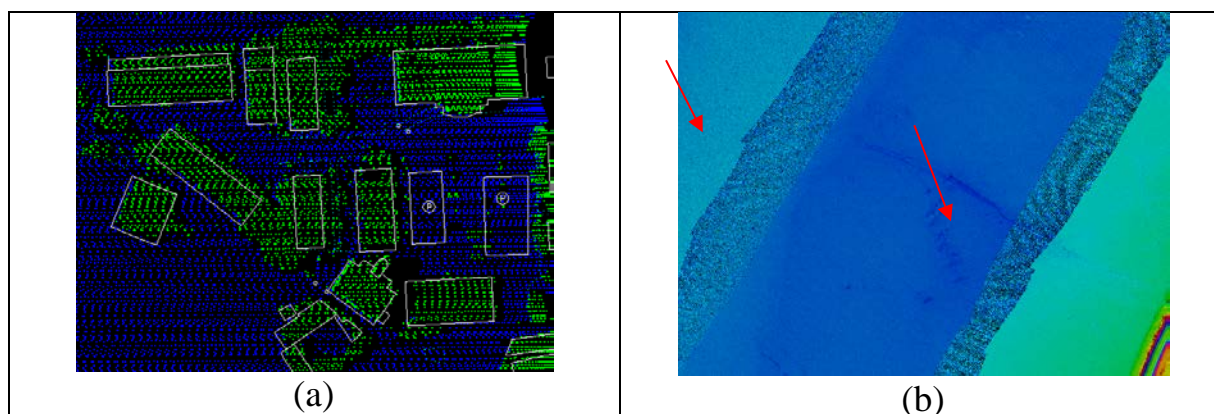


圖 4.7 (a)雷射點套疊向量圖顯示平面偏移(b)航帶間差異量形成斑駁

因此在雷射點雲解算後，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之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。

**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**重疊航帶誤差分析與交叉航帶誤差分析**。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 4.8 所示，利用航線點雲在重疊處與另一條航線中最近點作搜尋，比對兩者的差異量。本案測區之成果如表 4.8 以及圖 4.9 所示。

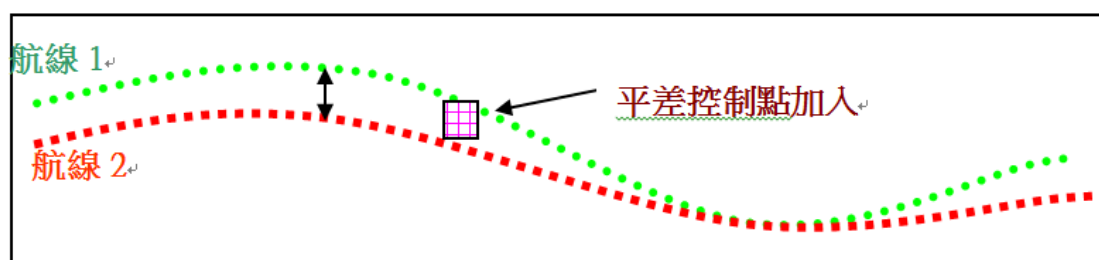


圖 4.8 Measure Match 之比對原理



圖 4.9 測區重疊航帶與交叉航帶處之誤差分析

表 4.8 重疊航線處誤差分析表(粗體航線為交叉航帶)

航線	點數	平均絕對 差量 (m)	平均差量 (m)	航線	點數	平均絕對差 量 (m)	平均差量 (m)
1	5210900	0.075	-0.019	26	8651396	0.079	-0.020
2	9368468	0.077	-0.016	27	8264355	0.081	-0.008
3	12996751	0.076	-0.015	28	3037785	0.091	0.010
4	18962701	0.072	-0.011	29	8997387	0.072	-0.007
5	21285295	0.071	-0.010	30	12515883	0.067	-0.012
6	21821031	0.072	-0.012	31	8209299	0.068	-0.007
7	18762967	0.072	-0.009	32	2211	0.099	0.010
8	15536304	0.071	-0.015	33	8993361	0.082	-0.003
9	11844358	0.071	-0.015	34	10113018	0.090	0.009
10	11840500	0.066	-0.011	35	6425389	0.098	-0.029
11	10426604	0.062	-0.005	36	3454720	0.099	0.010
12	8115316	0.057	-0.009	37	3769182	0.086	-0.008
13	4587007	0.053	-0.011	38	12254618	0.096	0.003
14	2121799	0.058	0.007	39	10940617	0.088	-0.012
15	315172	0.056	0.016	101	41025873	0.089	0.013
16	16202610	0.083	-0.009	102	40650998	0.089	0.004
17	12239255	0.088	0.015	103	40999666	0.086	0.011
18	13246704	0.083	0.003	104	42054394	0.084	0.007
19	12168601	0.079	-0.001	105	37299465	0.082	0.008
20	13960107	0.081	0.007	106	36295201	0.080	0.002
21	13091722	0.082	-0.005	107	35401462	0.080	0.008
22	12373339	0.086	0.018	108	37069380	0.078	0.008
23	18832788	0.083	-0.010	109	26738322	0.080	0.004
24	12639601	0.080	0.006	110	18402125	0.077	0.012
25	8442961	0.081	-0.024				
最大平均絕對差量(m)							0.099
最小平均絕對差量(m)							0.053
整體平均絕對差量(m)							0.079
平均絕對差量之標準偏差(m)							0.011

#### 4-4.2 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瞄之精度，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。

空載雷射掃瞄儀的架構都是由 GPS 及 INS 結合，使掃瞄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 進行雷射掃瞄航帶平差，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(TerraSolid, 2010)。

實際上計算所得的掃瞄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(式 4.1)。

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

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{GPS} (t) - R_{INS}(t) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{antenna} + R_{INS}(t) \cdot R_{LRF} \cdot R_{Mirror} \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{pmatrix} \quad (\text{式 4.1})$$

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

$R_{LRF}$ ：從雷射掃瞄鏡到 INS 轉換參數

$R_{INS}$ ：INS 獲取姿態角度

$R_{Mirror}$ ：掃瞄鏡旋轉矩陣

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，應用上由於掃瞄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；另一方面為減少未知參數量，在隨機模式高相關參數對應組的某一組，優先選取姿態參數求定，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。未知參數需要輸入先驗精度，如角度量先驗標準差依 Heading、Roll、Pitch 依序為 0.008 度、0.005 度、0.005 度(本儀器使用慣性導航儀 LN200 之理論精度)，長度相關向量 0.01m。航帶平差輸入資料包括：**(1)時間序列的航跡三維坐標**，**(2)時間序列的點雲三維坐標**。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(林志交，2004)。

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 4.10 所示。

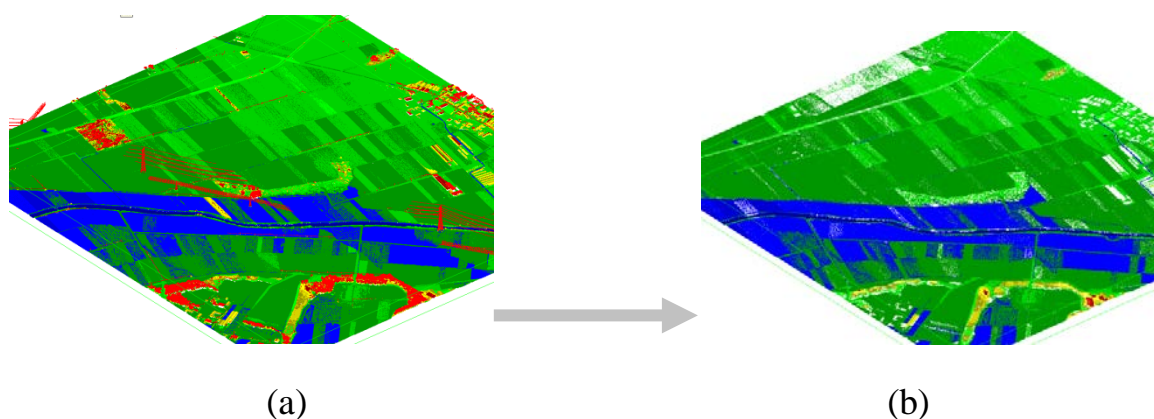


圖 4.10 三維側視圖(a)含地上物 (b)濾除非地面點成果

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

於測區各有 49 條之多。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觀測點，原則以選擇均勻的匹配區塊之大小及位置，並選擇平坦之斜坡面，避免選擇複雜的地表(如水稻田、河溝及水池等)

3. 將選擇之區塊視為航帶間連結之重疊區塊(Tie Surface)，利用重疊區塊所有之地面對應點為匹配點如圖 4.11 所示。

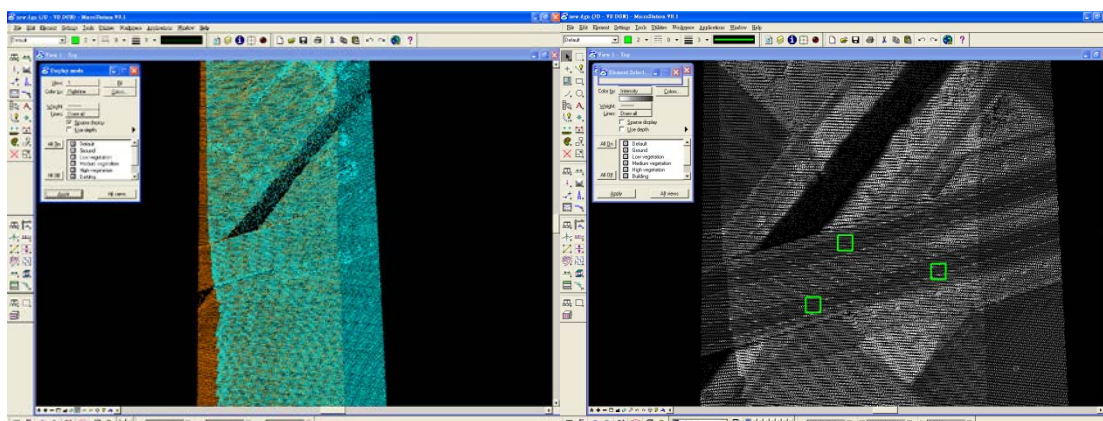


圖 4.11 (a)航線重疊區(b)於道路上選擇匹配區塊

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。
5. 航帶平差成果評估。

#### 4-4.3 航帶平差資料整合成果分析

由重疊處誤差分析結果可知原始測點之精度已符合雷射掃瞄測高精度，然可知若不消除航帶間之尚存偏移量，則製作 DEM 時在重疊區將產生混淆。因此利用航帶平差以獲得更準確及可靠之成果。表 4.9 為航線重疊處平差前後差量表，以下圖 4.12 為本案航帶平差前後之成果評估。

表 4.9 測區航線重疊處平差前後差量統計表(粗體航線為交叉航帶)

航線	點數	平差前 (單位:m)		平差後 (單位:m)	
		平均絕對差量	平均差量	平均絕對差量	平均差量
1	5210900	0.075	-0.019	0.072	-0.004
2	9368468	0.077	-0.016	0.075	0.000
3	12996751	0.076	-0.015	0.075	0.000
4	18962701	0.072	-0.011	0.071	0.004
5	21285295	0.071	-0.010	0.071	0.005
6	21821031	0.072	-0.012	0.071	0.003
7	18762967	0.072	-0.009	0.071	0.006
8	15536304	0.071	-0.015	0.069	0.000
9	11844358	0.071	-0.015	0.069	-0.001
10	11840500	0.066	-0.011	0.065	0.002
11	10426604	0.062	-0.005	0.062	0.003
12	8115316	0.057	-0.009	0.060	0.000
13	4587007	0.053	-0.011	0.061	0.004
14	2121799	0.058	0.007	0.063	-0.002
15	315172	0.056	0.016	0.065	-0.004
16	16202610	0.083	-0.009	0.066	-0.007
17	12239255	0.088	0.015	0.070	0.012
18	13246704	0.083	0.003	0.066	0.002
19	12168601	0.079	-0.001	0.064	-0.002
20	13960107	0.081	0.007	0.065	0.005
21	13091722	0.082	-0.005	0.066	-0.004
22	12373339	0.086	0.018	0.069	0.013
23	18832788	0.083	-0.010	0.067	-0.007
24	12639601	0.080	0.006	0.065	0.003
25	8442961	0.081	-0.024	0.079	-0.011
26	8651396	0.079	-0.020	0.078	-0.006
27	8264355	0.081	-0.008	0.081	0.005
28	3037785	0.091	0.010	0.092	0.022
29	8997387	0.072	-0.007	0.073	0.009
30	12515883	0.067	-0.012	0.067	0.004
31	8209299	0.068	-0.007	0.068	0.009
32	2211	0.099	0.010	0.075	0.032
33	8993361	0.082	-0.003	0.066	-0.002

航線	點數	平差前 (單位:m)		平差後 (單位:m)	
		平均絕對差量	平均差量	平均絕對差量	平均差量
34	10113018	0.090	0.009	0.072	0.006
35	6425389	0.098	-0.029	0.077	-0.021
36	3454720	0.099	0.010	0.078	0.007
<b>37</b>	<b>3769182</b>	<b>0.086</b>	<b>-0.008</b>	<b>0.079</b>	<b>-0.002</b>
<b>38</b>	<b>12254618</b>	<b>0.096</b>	<b>0.003</b>	<b>0.076</b>	<b>0.003</b>
39	10940617	0.088	-0.012	0.070	-0.008
101	41025873	0.089	0.013	0.089	-0.011
102	40650998	0.089	0.004	0.087	-0.014
103	40999666	0.086	0.011	0.082	-0.009
104	42054394	0.084	0.007	0.082	-0.001
105	37299465	0.082	0.008	0.079	0.001
106	36295201	0.080	0.002	0.078	0.000
107	35401462	0.080	0.008	0.078	0.008
108	37069380	0.078	0.008	0.075	0.002
109	26738322	0.080	0.004	0.079	0.009
110	18402125	0.077	0.012	0.075	0.006
<b>最大平均絕對差量(m)</b>		<b>0.099</b>		<b>0.092</b>	
<b>最小平均絕對差量(m)</b>		<b>0.053</b>		<b>0.060</b>	
<b>平均絕對差量(m)</b>		<b>0.079</b>		<b>0.072</b>	
<b>平均絕對差量之標準偏差(m)</b>		<b>0.011</b>		<b>0.007</b>	



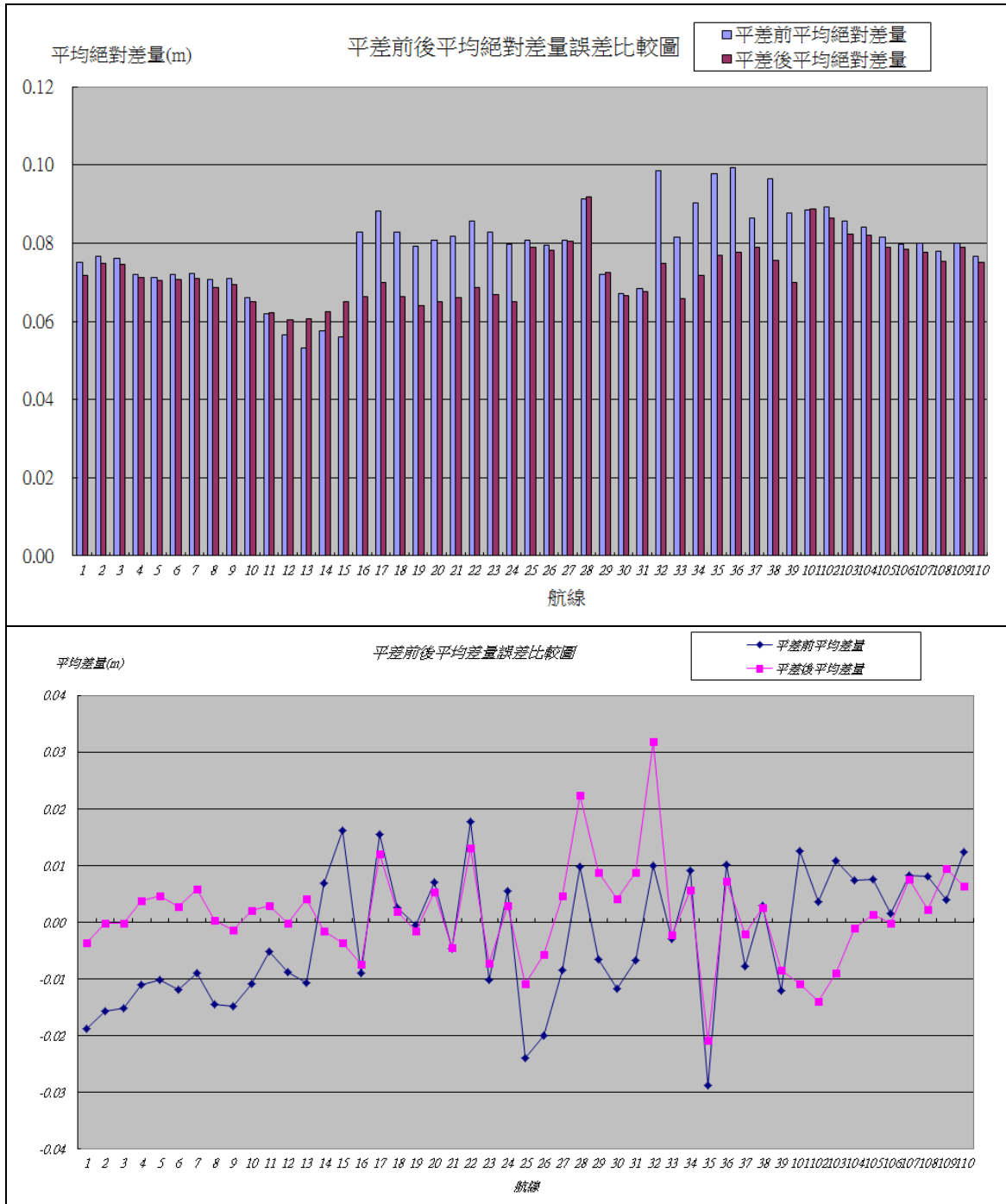


圖 4.12 測區之航線重疊處平差前後平均誤差差量分析

#### 4-5 光達資料與高光譜影像精度分析

由於光達與影像資料取得的時間與範圍有所差異，兩者空間坐標可能存在些微的系統誤差，若要整合此兩種資料加以應用，必需將其資料轉換至相同坐標系統與基準上(林耿帆等，2011)。在此種基準上，光達資料與空載高光譜影像將經由相同坐標空間建立兩者的關係，以利後續兩種資料之融合。

在此種幾何空間之轉換與不同資料套疊應用的精度檢驗上，本研究使用真實外業地面控制點以比對兩種資料之幾何精度。本研究於測區外業人員易到達之位置，與兩種地物或標示之交界進行量測(如圖 4.13)，以得到檢核點之坐標。並使用此外業檢核坐標於光達資料和高光谱影像之位置比對，檢查其差量。



圖 4.13 光達與高光譜精度套和檢核點示意圖

由於過往在光達精度檢驗上，一般以高程資訊做為檢核標準，但由於此次需同時考量高光譜影像，而影像通常又以平面精度作為檢核方式，因此需考慮光達點雲之平面精度。Mass(2001)應用最小二乘共軛點匹配法於不規則三角網結構，並以空載光達成果點雲中的高程資訊

及強度資訊作為輸入觀測量，分別計算高程及平面方向的偏移量。成果顯示高程偏移量約 10~15 公分，其平均標準偏差小於 1 公分，而平面精度之偏移量約高於 40 公分，其平均標準偏差約為 10 公分。但光達點雲之資料獲取方式來自不同儀器，以本研究為例，根據 Optech 提供儀器之資料獲取精度規格為表 4.10。根據建議本研究區之飛航高度約為 1800 公尺，其平面精度約為 32 公分。此外，史天元(2006)以萃取完成的建物點雲及邊緣線形資料分別與 1/1000 線繪圖以視覺疊合方式及誤差距離量測統計方式評估其平面方向偏移情形。統計成果顯示，空載光達成果 E 向及 N 向的平面偏移量介於 0.211 公尺~0.795 公尺之間，該量級約為三倍高程誤差，顯示其空載光達平面皆具有一定誤差量。

表 4.10 Optech 提供 pegasus 之建議精度表

高程精度	15 公分 ( $1\sigma$ ，航高1200公尺)
	25 公分 ( $1\sigma$ ，航高3250公尺)
平面精度(水平精度)	1/5,500 航高

過往研究主要使用衛星影像，而高解析與高精度之衛星影像，例如：QuickBird、WorldView-1 及 GeoEye-1 分別為 23、6.5 及 2.5 公尺 (DigitalGlobe, 2008; GeoEye, 2009)。而 WorldView-1 及 GeoEye-1 宣稱無地面控制的情況下，可以達到小於 10 公尺的誤差。顯示這些衛星影像有別於以往的高誤差量，將其誤差縮減至百公尺以下等級。而空載高或多光譜影像空間解析力約為 3~10 公尺，一般優於衛星影像之精度。CASI 高光譜影像進行幾何校正時，主要依據其軌跡及 GPS 時間進行改正，其改正方法如同附件三率定報告中圖 5 位置及姿態同步圖所述，使用精確的 GPS 時間及軌跡資訊，能有效的將空載高光譜影像進行幾

何改正。而透過外業檢核點與實際影像之位置的距離差量，結果如表 4.11，高光譜影像之幾何精度約在 2 像元(pixel)以內，而光達之精度介於 30-55 公分。顯示其兩者精度都在合理範圍內，因此在後續融合與應用分析上，應不構成影響。

表 4.11 光達與高光譜影像差量表(單位:公尺)

編號	外業檢核 坐標(E)	外業檢核 坐標(N)	高光譜影像 坐標(E)	高光譜影像 坐標(N)	高光譜影像 差量(E)	高光譜影像 差量(N)
1	216270.544	2578942.735	216268	2578943	2.544	-0.265
2	216238.408	2578472.803	216236	2578470	2.408	2.803
3	215891.086	2577580.377	215891	2577581	0.086	-0.623
4	215898.225	2577560.861	215898	2577562	0.225	-1.139
5	215862.958	2577313.351	215861	2577314	1.958	-0.649
6	215803.224	2577198.764	215802	2577200	1.224	-1.236
7	215805.399	2577196.469	215804	2577197	1.399	-0.531
8	215171.482	2576985.692	215173	2576986	-1.518	-0.308
9	215177.190	2576980.683	215179	2576981	-1.810	-0.317
編號	外業檢核 坐標(E)	外業檢核坐標 (N)	光達坐標 (E)	光達坐標 (N)	光達差量 (E)	光達差量 (N)
1	216270.544	2578942.735	216271.093	2578942.902	-0.549	-0.167
2	216238.408	2578472.803	216238.876	2578472.559	-0.468	0.244
3	215891.086	2577580.377	215890.834	2577580.169	0.252	0.208
4	215898.225	2577560.861	215898.557	2577561.161	-0.332	-0.300
5	215862.958	2577313.351	215863.278	2577313.742	-0.320	-0.391
6	215803.224	2577198.764	215803.614	2577198.962	-0.390	-0.198
7	215805.399	2577196.469	215805.651	2577196.763	-0.252	-0.294
8	215171.482	2576985.692	215171.720	2576986.029	-0.238	-0.337
9	215177.19	2576980.683	215176.664	2576981.275	0.527	-0.445

## 第5章 數值地表模型(DSM)、數值高程模型(DEM)製作 及精度評估

### 5-1 光達資料處理、分類及成果產製

#### 5-1.1 點雲資料處理

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

本案中自動過濾工具，採用商用軟體 TerraScan 工具模組，TerraScan 處理點雲過濾的程式，是採用 Axelsson(2000)之演算法，其基本原理，是先選擇區域內的低點為種子點，資料結構採用 TIN 模型，組成「起始地面」，然後逐點判斷，判斷候選測點，位置落入種子點構成的 TIN 三角面內，計算候選測點與三角面的垂直距離(iteration distance)以及離最近三角面頂點的夾角(iteration angle)，當垂直距離小者，表示候選測點離「起始地面」貼近，當垂直距離小於臨界值以內者視為地面點 (iteration angle 判斷亦同理)，逐次將候選測點判斷成地面點或地物點，漸進更新加密新的「起始地面」，直到所有點判斷完成(如圖 5.1)。

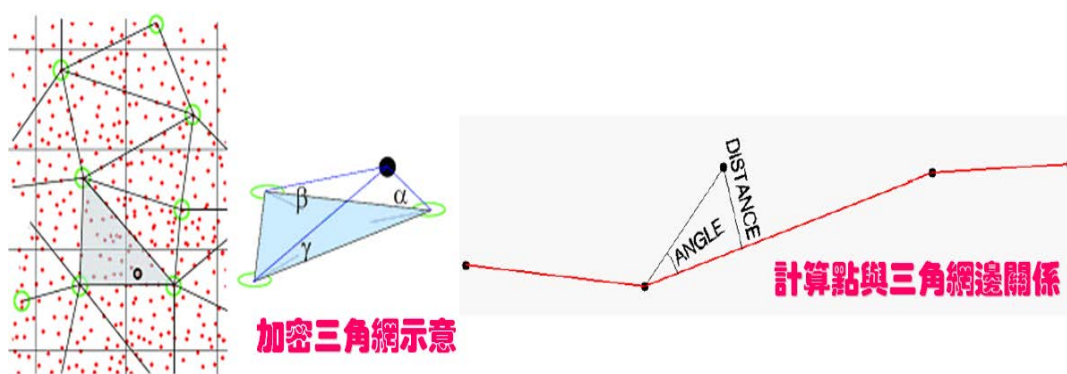


圖 5.1 Iteration angle 和 Iteration distance 示意圖 (Axelsson, 2000)

通過航帶平差後，將測區之點雲資料，利用 TerraScan 軟體進行各種不同類別之點雲資料分類，再利用分類後之資料進行過濾與整合，分別產出僅含地表面及地形面之非地面測點與地面測點的點雲資料。以 1/5000 圖幅做為基本圖幅，測區共涵蓋 6 幅(圖 5.2)，並進行點雲資料過濾，該軟體分類地面點的演算法引用不規則三角網(Triangular Irregular Networks, TIN)來表示地表面，過濾處理會隨著地形坡度要變換門檻值，以及要隨著植被的特徵變換門檻值，達到參數自適性調整。最後進行人工編修，並將光達點雲成果儲存為 LAS 格式。

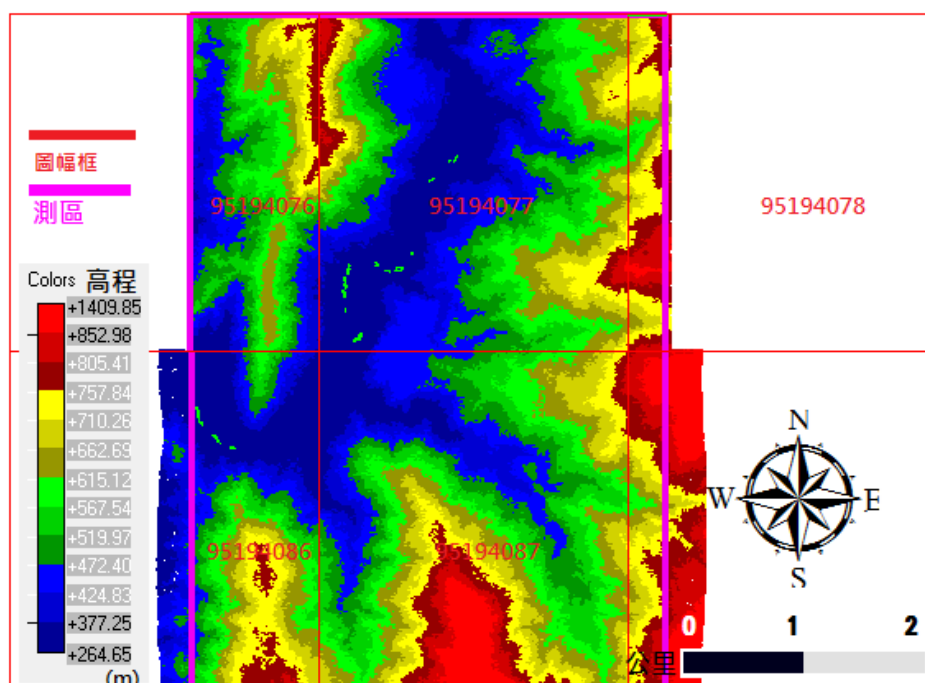


圖 5.2 測試區分幅處理示意圖

### 5-1.2 點雲資料分類後地面測點 與非地面測點數據統計

地面點是後續產製 DEM 的重要依據，因此統計地面點和非地面點資訊，可以計算地面點密度，以了解後續產製 DEM 之成果精度，針對兩測區點雲資料地面點過濾完成後，以 1/5000 基本圖框為依據，對兩測區測區範圍內之各圖幅進行地面點與非地面點點數、點雲密度進行

統計，以提供後續 DEM 產製之精度參考。測區之各圖幅分類後測點統計數據如表 5.1。

藉由計算地面點密度可瞭解空載光達之穿透率，而透過穿透率的變化則可間接知道雷射入射角或地表覆蓋型態與植被高度的關係，此外亦可以供產製 DEM 的精度參考。實際 DEM 的精度成果評估則 5-2 節所述。一般來說，若穿透率越好則 DEM 之成果則有越高精度。因此，若想得到較佳穿透率，除了參酌地面點密度幫助調整作業之視角(FOV, Field of View)，也可觀察地表覆蓋與穿透率的關係，並藉由增加穿透率不佳地區之航線，以提高可穿透之地面點數，使 DEM 成果精度提升。

表 5.1 分類後地面測點與非地面測點之統計數據

測試區	5 千分之一圖幅號	總點數	地面點數	非地面點數
		點雲密度 (pts/m <sup>2</sup> )	密度(pts/m <sup>2</sup> )	
測區	95194076	117,358,109	6,222,429	111,135,680
		40.045	2.103	
	95194077	241,572,651	20,304,907	221,267,744
		36.77	3.09	
	95194078	30,543,680	3,493,793	27,049,887
		34.30	3.92	
	95194086	130,345,540	5,968,136	124,377,404
		44.062	2.017	
	95194087	290,092,080	34,498,163	255,593,917
		44.15	5.25	
	95194088	43,382,594	4,269,077	39,113,517
		48.72	4.79	

### 5-1.3 測區回波數據面積與水體吸收之無數據面積統計

使用 TerraScan 軟體進行測區內回波數據面積與水體吸收之無數據面積統計(圖 5.3)。水體吸收部份，除了檢驗原本點雲資料，後續一併與正射影像進行比對，確保無點雲地區乃受水體吸收所致，統計結果顯示所佔面積均小於總面積之 1%(表 5.2)。

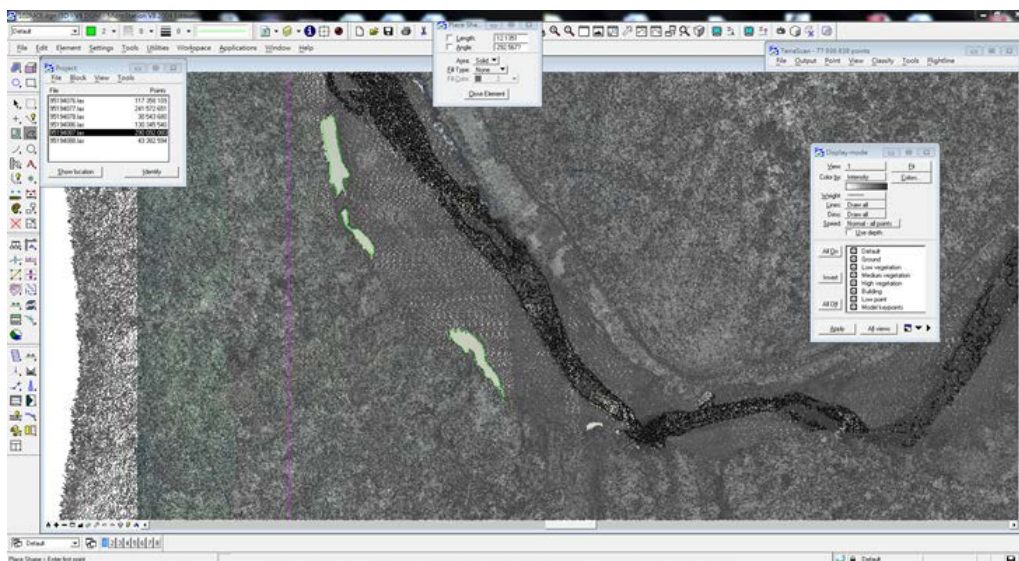


圖 5.3 測區水體圈選與面積統計操作

表 5.2 無數據面積之統計數據

測試區	測區回波數據 面積(m <sup>2</sup> )	雲遮蔽 面積(m <sup>2</sup> )	水體吸收之無數據面積(m <sup>2</sup> ) 百分比(%)
研究區	24,172,651	0	7349.016 0.030%



### 5-1.4 DEM 及 DSM 成果產製

經由過濾後之點雲成果，透過分幅、分類編輯處理後，藉由記錄的高程資料，依實際需求產製 1 m×1 m 整數網格之 DEM 及 DSM，DEM 採用 SCOP++ 軟體內之適應性推估法進行 1 m 數值高程模型內插，並以 TERRASCAN 軟體產製 DSM，兩測試區之 DEM 成果如圖 5.4。

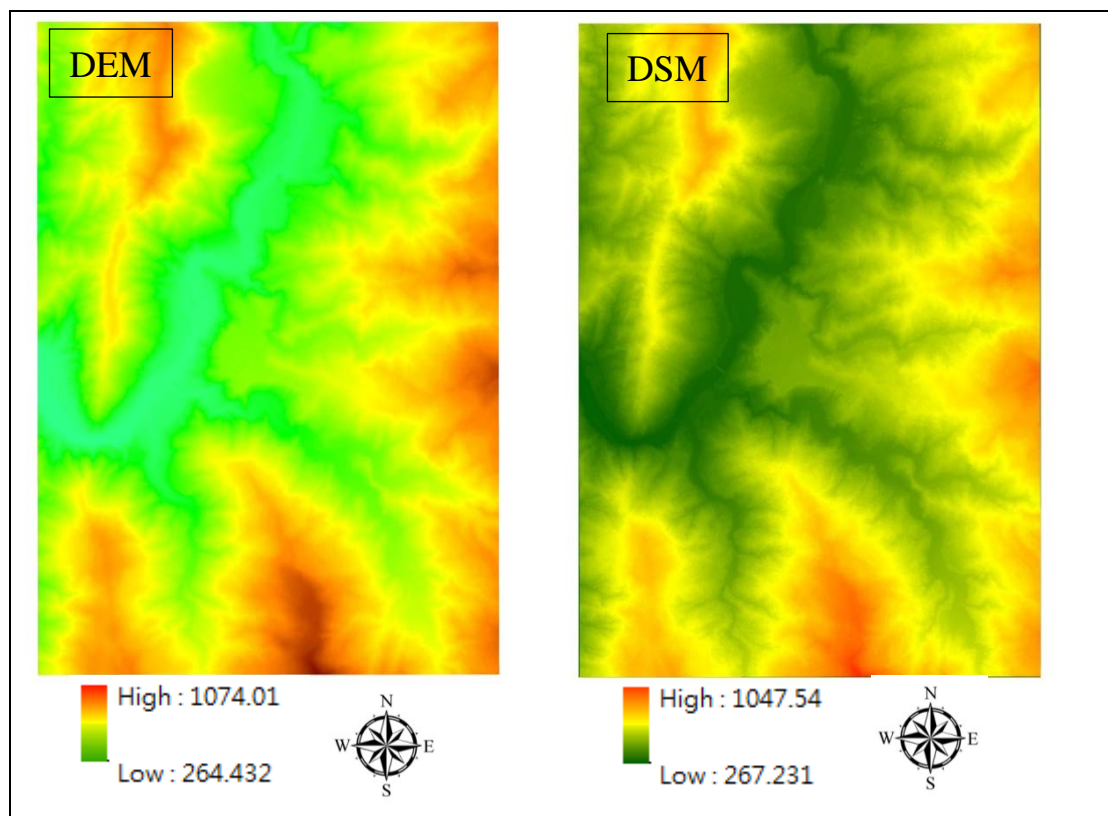


圖 5.4 測試區 DEM 與 DSM 成果圖

另外，為了解不同光達點雲密度所耗費之作業時間、經費與 DEM 成果精度之關係，適逢本案兩年度各針對曾文水庫上游集水區各進行 35 平方公里(2 點/平方公尺)及 21 平方公里(10 點/平方公尺)的光達施測，其經費說明與資料處理之經費可參見下表 5.3。為獲取高密度及高穿透率的點雲成果以產製高精度之 DEM，以每平方公尺點雲考量，10 點與 2 點之金額耗費就有所不同，想得到較高精度之 DEM 必須付出較多人力與金錢。

表 5.3 不同光達點雲密度所耗費之作業時間、經費表

作業項目		經費(元)		時間(人天)	
		2 點/平方公尺	10 點/平方公尺	2 點/平方公尺	10 點/平方公尺
規格/密度		2 點/平方公尺	10 點/平方公尺	2 點/平方公尺	10 點/平方公尺
測區面積(km <sup>2</sup> )		35	25	35	25
航線規劃	總價	20,000	20,000	1	1
	單價(1/km <sup>2</sup> )	571	800		
全波形掃瞄施測資料獲取					
測區資料 獲取費用	總價	320,000	640,000	1	2
	單價(1/km <sup>2</sup> )	9,143	25,600		
飛航人事費	總價	10,000	20,000	1	2
	單價(1/km <sup>2</sup> )	286	800		
全波形雷射掃瞄點雲資料處理					
GPS+IMU+點雲計算		12,000	12,000	2	2
航帶平差	總價	40,000	60,000	4	6
	單價(1/km <sup>2</sup> )	1,143	2,400		
點雲過濾	總價	122,500	87,500	6	4
	單價(1/km <sup>2</sup> )	3,500	3,500		
DEM,DSM 製作	總價	35,000	25,000	2	2
	單價(1/km <sup>2</sup> )	1,000	1,000		
總計	總價	559,500	864,500	17	19
	單價(1/km <sup>2</sup> )	15,986	34,580		
總計作業時間(1/km <sup>2</sup> )				0.5	0.8
備註: 費用及時間計算皆未列入控制測量、率定作業、地面人員及專案管理等。					

## 5-2 DEM/DSM 精度評估與分析

### 1. 檢核點精度評估標準與作業

在 DEM 資料精度評估中，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（草案）」進行檢核點精度評估。為了解高程較差數值資料的基本特性，一般常用描述性統計作其基本資料分析和初步統計解算，其基本運算包含：誤差的平均值、最大值、最小值及均方根誤差(Root mean squared error)意即標準誤差(Standard error)、Skewness(偏態)等項目，並佐以檢核點的精度規範圖以及誤差的直方圖，以顯示檢核點初步的精度規範評估以及後續各誤差量級之分布。最後對其獨立檢核高程和成果高程進行抽樣評估，檢查整體 DEM/DSM 的精度，檢核流程如圖 5.5。

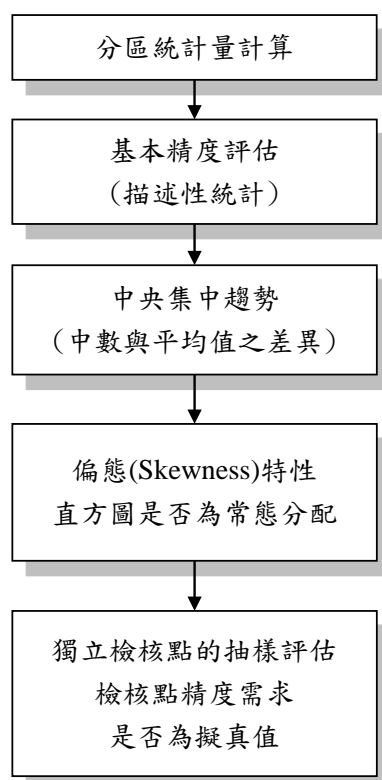


圖 5.5 檢核點精度評估流程圖

## 2. 基本精度分析

此分析資料為外業人員蒐集回來之地面檢核點資料，藉由 TerraScan 內之「Output Control Report」功能，利用檢核點附近之三個最鄰近地面網格點內插其高程後與此檢核點之高程比較而得出其較差值。輸出資訊有「平均高差」為所有用以計算點之高差量平均值；「最大、最小高差」分別指所有計算的點位中高差量之最小與最大值；「平均絕對高差」為用以計算點高差絕對值的平均值；「均方根誤差量」為所有高差量平方平均值之均方根。

透過了解檢核點的最大高差、最小高差以及均方根誤差，可以知道資料其離散程度及準確度。此種初步檢驗考慮到每個樣本在統計上都具有代表性外，其基本精度評估之描述性統計值如表 5.4。

表 5.4 各類土地覆蓋分區基本精度分析表

土地覆蓋類型	檢核點數	平均高差(m)	平均絕對高差(m)	最大高差(m)	最小高差(m)	標準偏差	均方根誤差
裸露地	42	-0.051	0.064	0.098	-0.170	0.056	0.076
矮植被	42	0.003	0.059	0.173	-0.136	0.075	0.074
植生地	40	0.003	0.067	0.169	-0.161	0.084	0.083
林地	38	-0.041	0.086	0.226	-0.216	0.095	0.103
密林	42	-0.051	0.079	0.210	-0.177	0.081	0.095
橫斷面	66	-0.070	0.072	0.030	-0.189	0.050	0.086

註:數值皆取到小數點以下 3 位，第 4 位以四捨五入計算

透過圖 5.6 可知，測試區不同土地覆蓋類型之高程較差都符合不同類型之精度規範。以裸露地為例，其精度規範區間為紅色折線以及綠色折線間，其裸露地之高程較差經過折線圖顯示可清楚知道正好落在精度規範之間，而其它不同土地覆蓋類型亦皆在精度規範內。

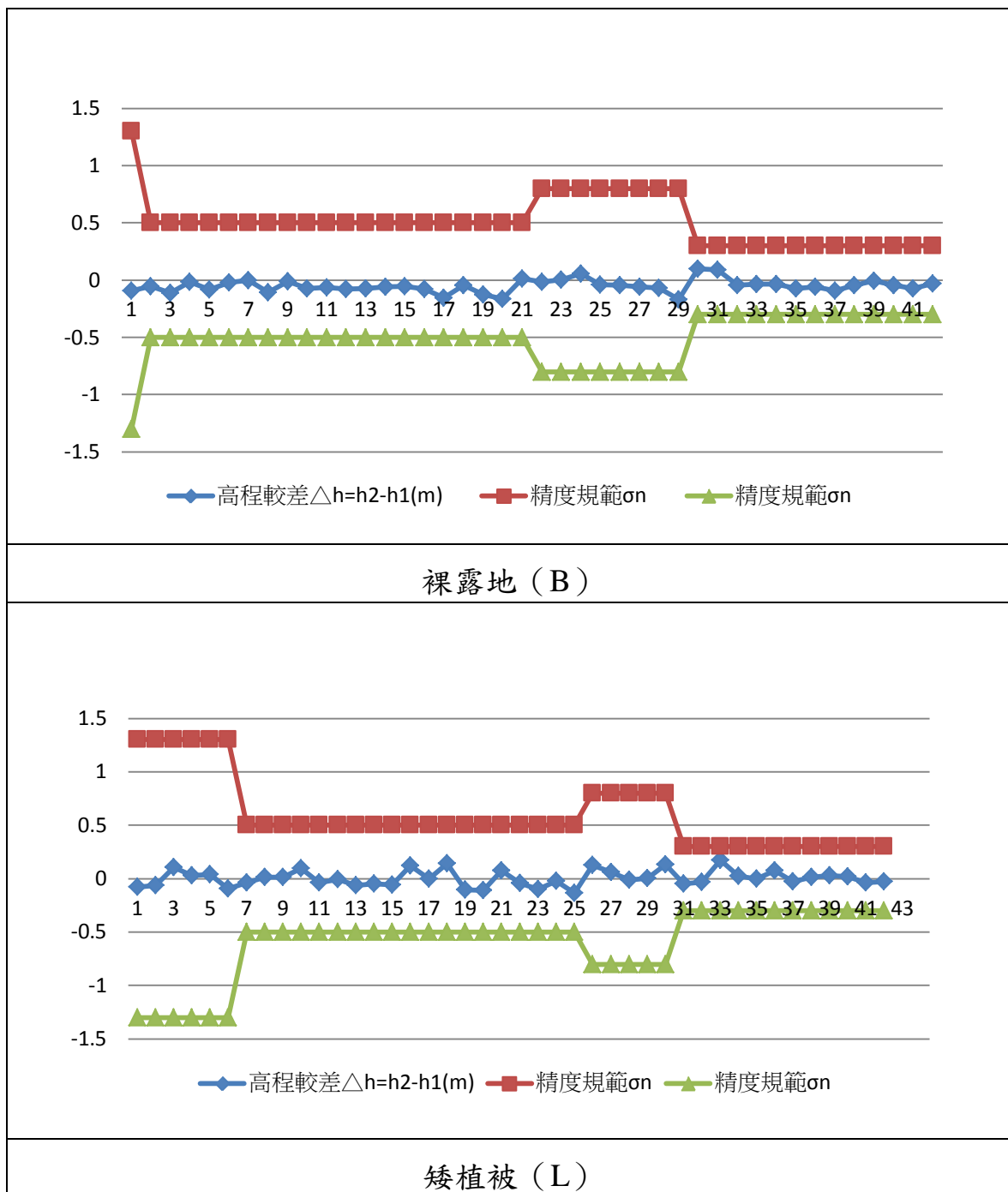


圖 5.6 測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位：公尺)

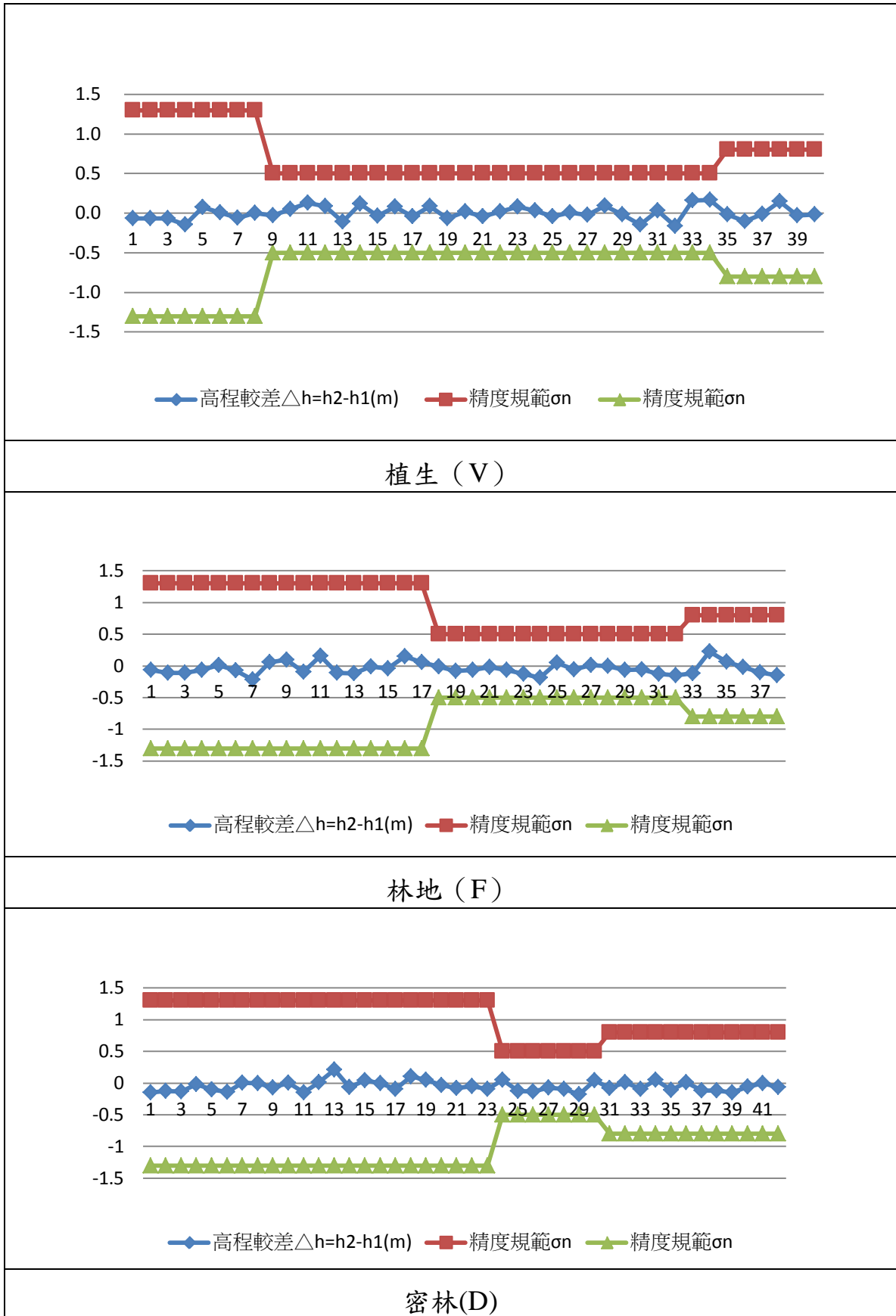


圖 5.6 測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位：公尺)(續)

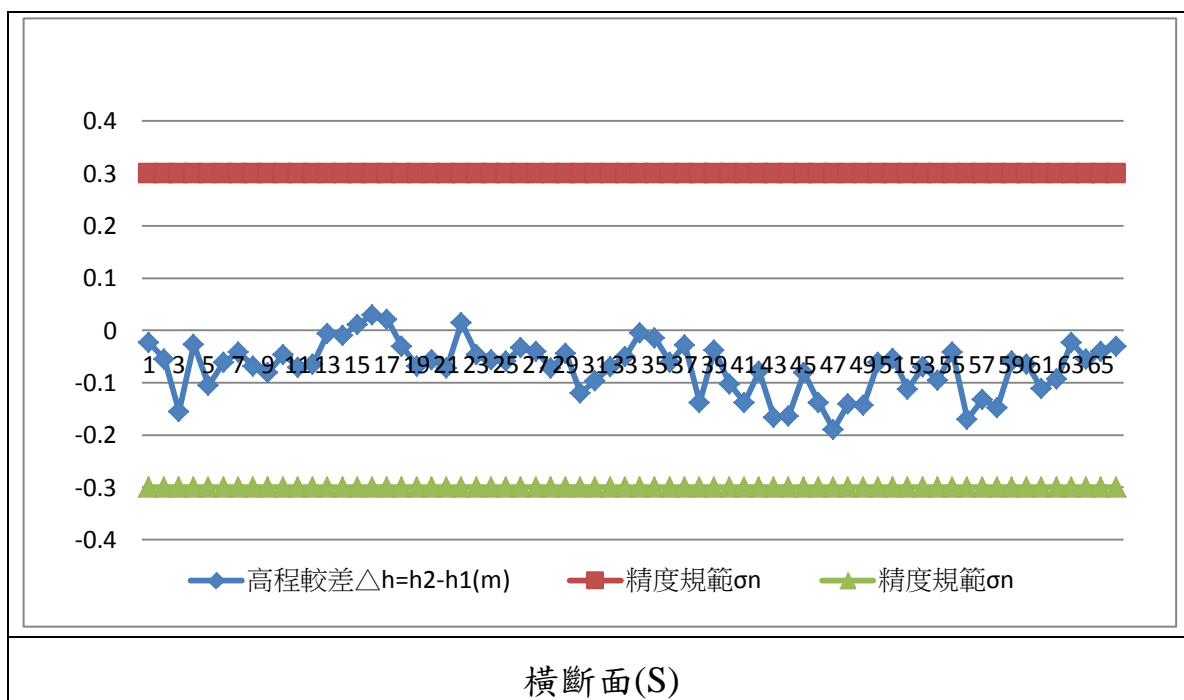


圖 5.6 測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位：公尺)(續)

### 3. 數值精度中央集中趨勢分析(Central Tendency)

集中趨勢顯示一組資料中某種特性共同趨勢之量數，因其可反映資料觀測值之集中位置，故又稱位置量數(location measure)。集中趨勢所反映的是一組資料中各種資料所具有的共同趨勢。在無誤差之下，資料會呈現對稱的常態分布(即平均值等於中位數，樣本分佈偏度為零)，故通常可採用平均數、中位數作為衡量指標。而依據高程較差的平均數和中位數之誤差大小可發現，算數平均數大者，則可能存在系統性誤差。根據表 1.7 之數值中央集中趨勢表分析，了解測區之各種土地覆蓋的高差值，其算數平均值與中位數雖不相等，但其差量非常小，裸露地、矮植被與橫斷面之差量甚至為毫米(mm)等級，以統計意涵而言，雖然中央集中趨勢在於初步檢驗是否可能存在系統性誤差問題。但表 5.5 之成果內誤差皆在 2 公分內，以實務之經驗，此點雲之成果誤差量已為高精度，為求更進一步了解其資料結構與分佈，將再採用內政部規範之偏態(Skewness)進行檢驗。

表 5.5 數值精度中央集中趨勢分析表

土地覆蓋類型	平均值(M1) (m)	中位數(M2) (m)	誤差大小(M1-M2) (m)
裸露地	-0.051	-0.056	0.005
矮植被	0.003	-0.005	0.008
植生地	0.003	-0.011	0.014
林地	-0.041	-0.062	0.021
密林	-0.051	-0.070	0.019
橫斷面	-0.07	-0.061	-0.009

註:數值皆取到小數點以下 3 位，第 4 位以四捨五入計算

#### 4. 數值精度之偏態(Skewness)檢驗

在使用一組資料分析與統計前，應對資料特性有充分足夠瞭解，以確認數據資料能滿足基本假定，才能確保統計的推論正確性，當假定不成立時（資料的偏態異於常態時），將會致使參數估計之標準偏差（standard error）與顯著性檢定（t-value）將會造成偏誤，嚴重時會導致估計結果的顯著性檢驗失敗（Hu & Bentler, 1995; West, Finch, & Curran, 1995）。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（草案）」中，所要檢查之偏態重點為測量誤差是否導致在直方圖上出現嚴重的雙峰圖形。一般而言，偏態係數的值是介於「-1」與「1」間(Hildebrand, 1986)，若超過此偏態係數代表該樣本資料分配可能出現較大的偏態現象。

本案區域之偏態檢驗各由 6 種不同的土地覆蓋區域組成，其高程



數值之偏態如表 5.6，結果發現研究區內皆未出現較大偏態現象，由了解各種土地覆蓋類型的誤差直方圖(圖 5.7)中並未發現有雙峰圖形出現，可知此部分結果亦符合內政部草案所要求之合理檢驗範圍內。最後為了解檢定值本身中誤差與被檢定值中誤差相較為何，將透過假設檢定，以了解檢驗值與被檢驗值之間的關係。

表 5.6 數值精度之偏態檢驗表(單位：公尺)

土地覆蓋類型	偏態 (skewness)
裸露地	0.410
矮植被	0.430
植生地	0.164
林地	0.791
密林	0.883
橫斷面	-0.405

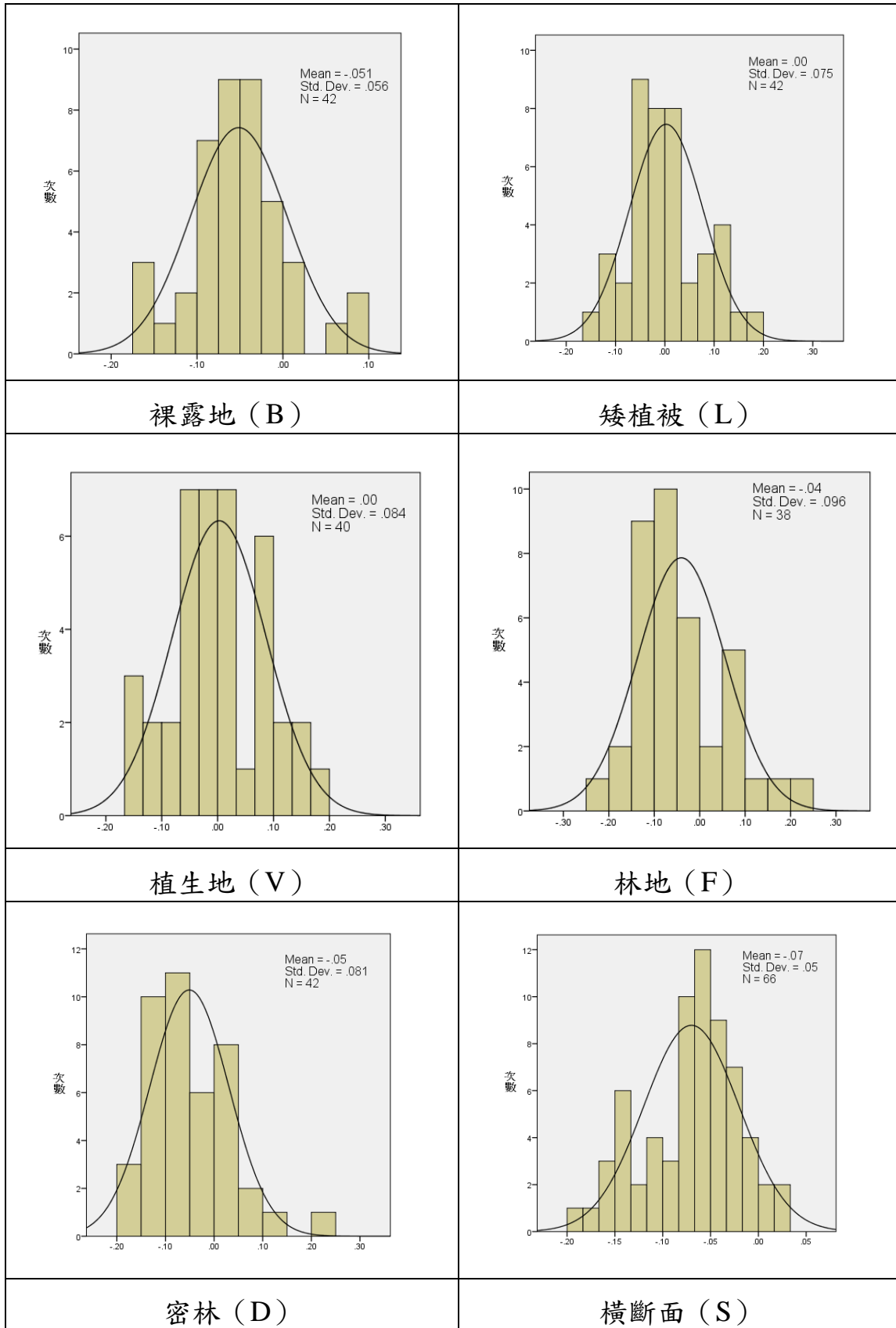


圖 5.7 測試區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位：公尺)

## 5. 檢驗值與被檢驗值假設檢定

除了敘述性統計的呈現，類別變項的資料可進一步使用卡方檢驗 (chi-square test) 來進行推論統計檢定，其檢驗原理在於檢驗樣本觀察次數(或百分比)與理論母群體的次數(或百分比)之間是否有顯著的差異。而卡方檢驗又可針對不同群體或不同變項其分配、兩變項關聯性、同質性等關係，進行不同方法之檢驗(邱浩政，2008)。本研究在此使用規範內之卡方分配進行假設檢定，以了解檢驗值與被檢驗值之間的關係。

本測試區 DEM 精度評估，對其測區內每種土地覆蓋施測內容之檢核高程和成果高程進行卡方分配的檢定，以了解其成果的數值是否可視為擬真值。為了解檢定值本身中誤差與被檢定值中誤差相較，是否可為擬真值，其檢定方式實為複雜；但有其變通的近似檢定方式，檢定方式如下，其中  $\sigma$  為規範值， $\alpha$  為檢定的顯著水準。

此計算由檢定值與被檢定值的差值計算差值變方(式 5.1)的估值

$$S_D^2 = \frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n-1} \quad (\text{式 5.1})$$

由檢定值中誤差  $\sigma_c$  (若無理論值，則只得用估值)及被檢定值規範的中誤差  $\sigma$ ，依誤差傳播計算差值標準偏差的理論值  $\sigma_D$ (式 5.2)

$$\sigma_D^2 = \sigma_c^2 + \sigma^2 \quad (\text{式 5.2})$$

則可對下列運算式(式 5.3)進行檢定。

$$\frac{(n-1)S_D^2}{\sigma_D^2} < \chi_{n-1, \alpha}^2 \quad (\text{式 5.3})$$

基於上述數學運算式，目的是為了對差值的標準偏差進行檢定，

對於檢定值(檢定值檢定值與被檢定值的差值計算之差值變方的估值)與被檢定值(差值標準偏差理論值)之研究假設如下：

$$H_0: S_D^2 \leq \sigma_D^2$$

$$H_1: S_D^2 > \sigma_D^2$$

經由(式 5.4)進行最後檢驗，其結果如上式表示  $\frac{(n-1)S_D^2}{\sigma_D^2} \leq \chi_{n-1, \alpha}^2$ ，則代表接受  $H_0$ ，也就是檢定值與被檢定值的差值計算之差值變方的估值( $S_D^2$ )與其理論值( $\sigma_D^2$ )沒有太大顯著性差異。

根據卡方檢定結果(表 5.7)，可發現各種土地覆蓋類型之檢核高程本身的誤差以及檢定值中的誤差相較，皆為接受  $H_0$ ，代表本測區的不同土地覆蓋類型之 DEM 具有良好的精度。

表 5.7 DEM 數值適合度檢驗

土地覆蓋類型	$S_D^2$	$\frac{(n-1)S_D^2}{\sigma_D^2}$	$\chi_{n-1, \alpha}^2$	檢驗
裸露地	0.00318	0.48762	27.32555	接受 $H_0$
矮植被	0.00561	0.64404	27.32555	接受 $H_0$
植生地	0.00700	0.54607	25.69539	接受 $H_0$
林地	0.00929	0.41458	24.07494	接受 $H_0$
密林	0.00663	0.25778	27.32555	接受 $H_0$
橫斷面	0.00250	1.75444	47.44958	接受 $H_0$

### 5-3 空載光達飛航掃瞄參數選擇不同航高及掃瞄頻率參數對於光達點雲穿透率之影響分析

本案總共獲得 10 組單一航帶空載光達資料，航線編號 101 至 105 規劃不同飛航高度(1525 至 2745 m)，航線編號 106 至 110 之航高為 1403 m，分別規劃不同脈衝掃瞄頻率 100 至 300kHz 雷射脈衝頻率，掃瞄範圍如圖 5.8，詳細的飛航資料如表 5.8。

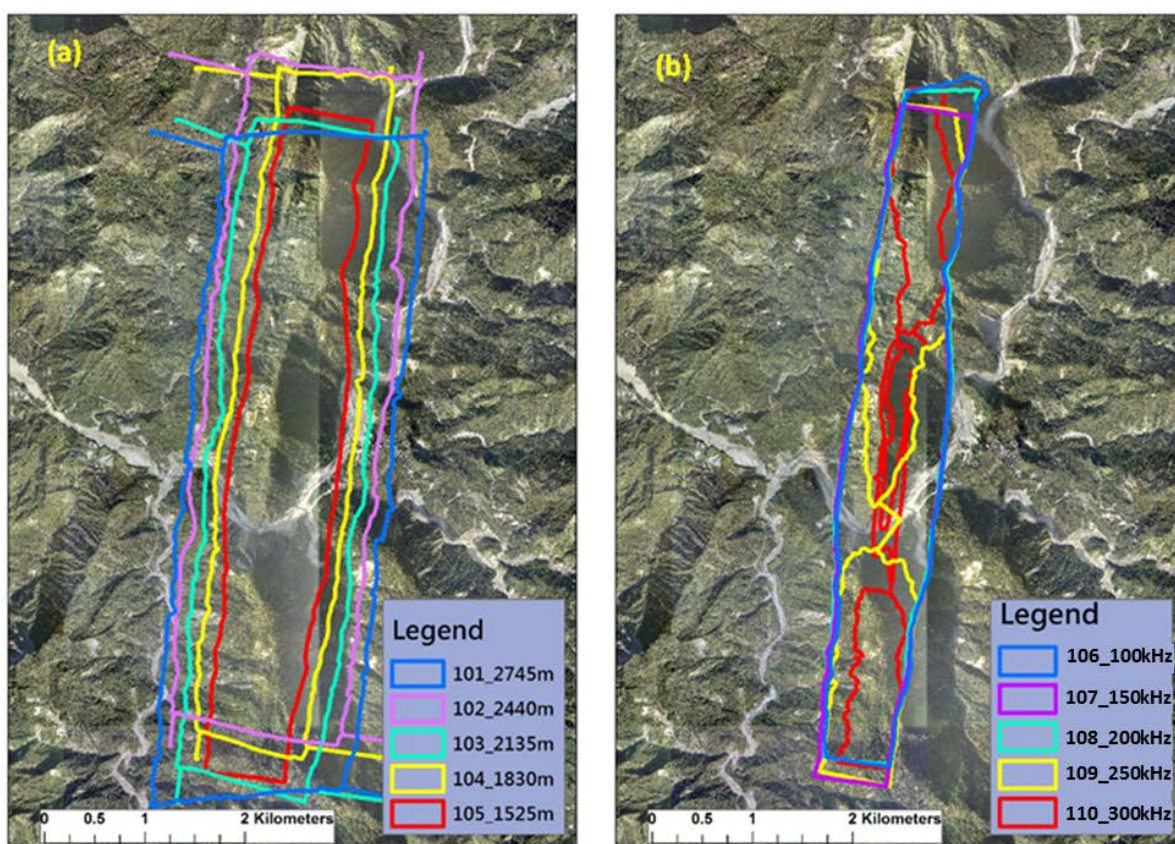


圖 5.8 組單一航帶掃瞄範圍圖(a)不同飛航高度(b)不同雷射脈衝頻率

表 5.8 不同航高與不同雷射脈衝頻率之飛航資料

航線編號	掃瞄角度 (deg.)	掃瞄頻率 (Hz)	雷射脈衝頻 率(kHz)	航高(m)	航向(deg.)	航速(Knots)
101	20	40	100	<b>2745</b>	185	100
102	20	40	100	<b>2440</b>	5.8	100
103	20	40	100	<b>2135</b>	185	100
104	20	40	100	<b>1830</b>	5.8	100
105	20	40	100	<b>1525</b>	185	100
106	20	40	<b>100</b>	1403	5.8	100
107	20	40	<b>150</b>	1403	185	100
108	20	40	<b>200</b>	1403	5.8	100
109	20	40	<b>250</b>	1403	185	100
110	20	40	<b>300</b>	1403	5.8	100

### 5-3.1 比較航高對於穿透率的影響

本案測試 5 種不同的飛行高度對於穿透率的影響，各航線間大約相差 300 m 的飛行高度，計算 10×10 m 網格大小的穿透率，5 個單一航帶間互相重疊的區域約 5.1 km<sup>2</sup>，比較區域內的穿透率差異，總共有 50,708 個網格數量。

如下表 5.9，由於穿透率為 1 的區域，多為建物與空曠地，對於穿透率的探討並無意義，所以不在統計的成果中，在航線編號 101 時為最高航高的 2745 m，平均的穿透率為 0.299，標準差為 0.260，當在最低航高的 105 航線編號時，平均穿透率為 0.416，標準差為 0.260，表示較低的飛行高度可以提高雷射光之穿透率。

表 5.9 不同航高其穿透率差異之統計

航線 編號	飛航高 度(m)	點雲密度 (pts/m)	點雲密度 標準差	穿透率 最大值	穿透率 最小值	平均穿 透率	穿透率 標準差
101	2745	1.35	0.69	0.996	0	0.299	0.260
102	2440	1.92	1.13	0.994	0	0.316	0.260
103	2135	2.26	1.43	0.995	0	0.363	0.269
104	1830	2.81	1.30	0.997	0	0.389	0.262
105	1525	3.80	1.67	0.997	0	0.416	0.260
Cellsize=10×10m ; n=50,708							

如圖 5.9 所示，紅色為穿透率較高，綠色區域為穿透率較低的區域，森林區域在降低航高後，有明顯的增加穿透率，從 2745 m 降低到 1525 m 的飛行高度，紅色或黃色高穿透率的區域有明顯增加，於森林區要獲得較高的穿透率，降低飛行高度是一個有效的方式。

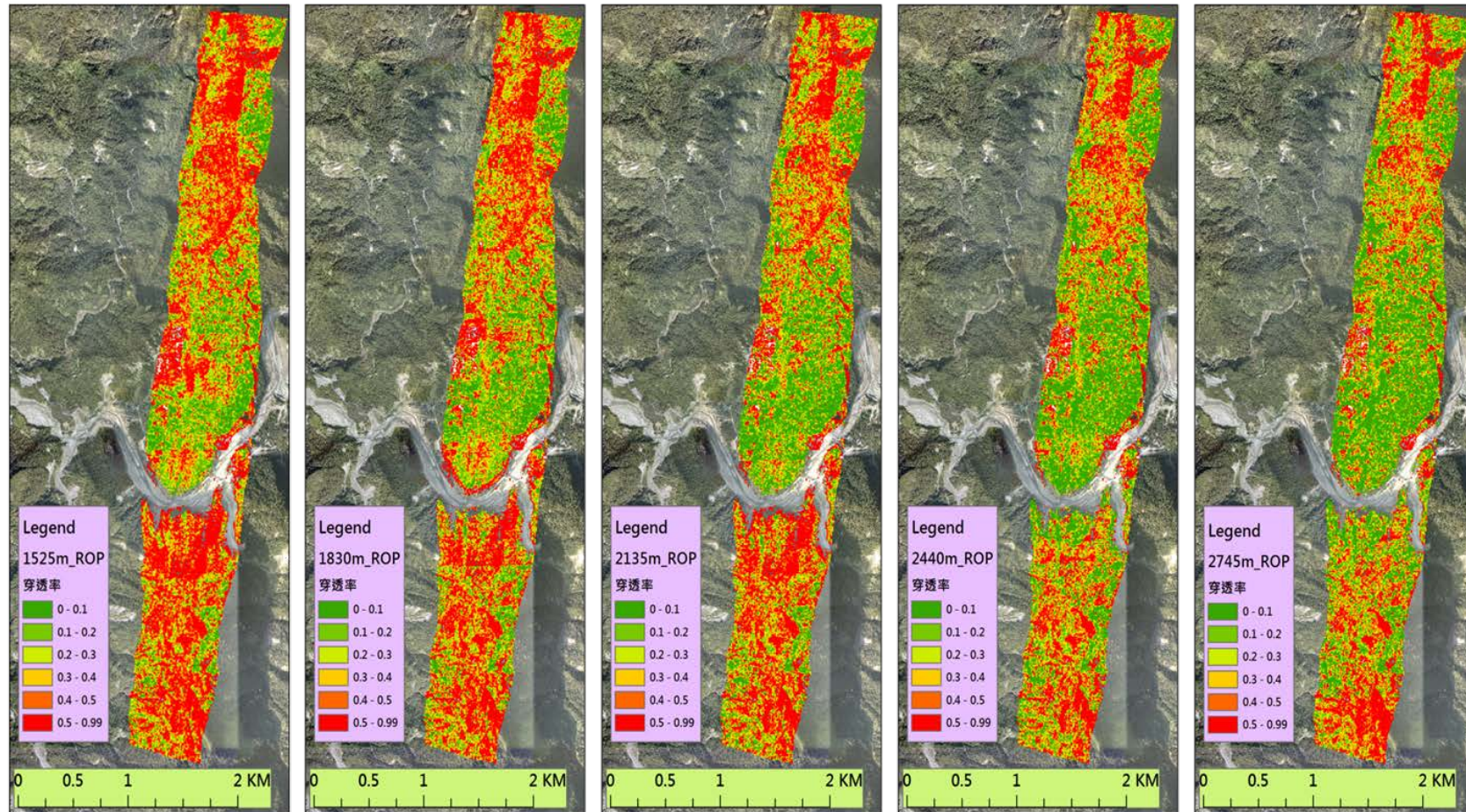


圖 5.9 不同航高之穿透率結果



本案以盒形圖表示一組資料的最大值、最小值、中位數、下四分位數及上四分位數，從圖 5.10 顯示，當飛行高度越高時，資料的分布在較低的穿透率，當飛行高度降低時有明顯提高穿透率的值，表示如欲求得較高的森林穿透率，可以降低航高來達成。

由不同航高的穿透率統計結果顯示，在航高為 1525 m 時，平均穿透率為 0.416，當隨著航高增加時，平均穿透率有明顯下降的趨勢，故本案為瞭解航高與穿透率的變化，利用線性迴歸探討航高對穿透率的影響。當航高增加時，樣區內平均穿透率明顯減少，而資料之分布呈現線性迴歸的趨勢，表示該 5 組不同航高資料影響著穿透率，並且從線性迴歸方程式中得知，當每增加 1000 m 航高時，平均穿透率減少約 0.1。

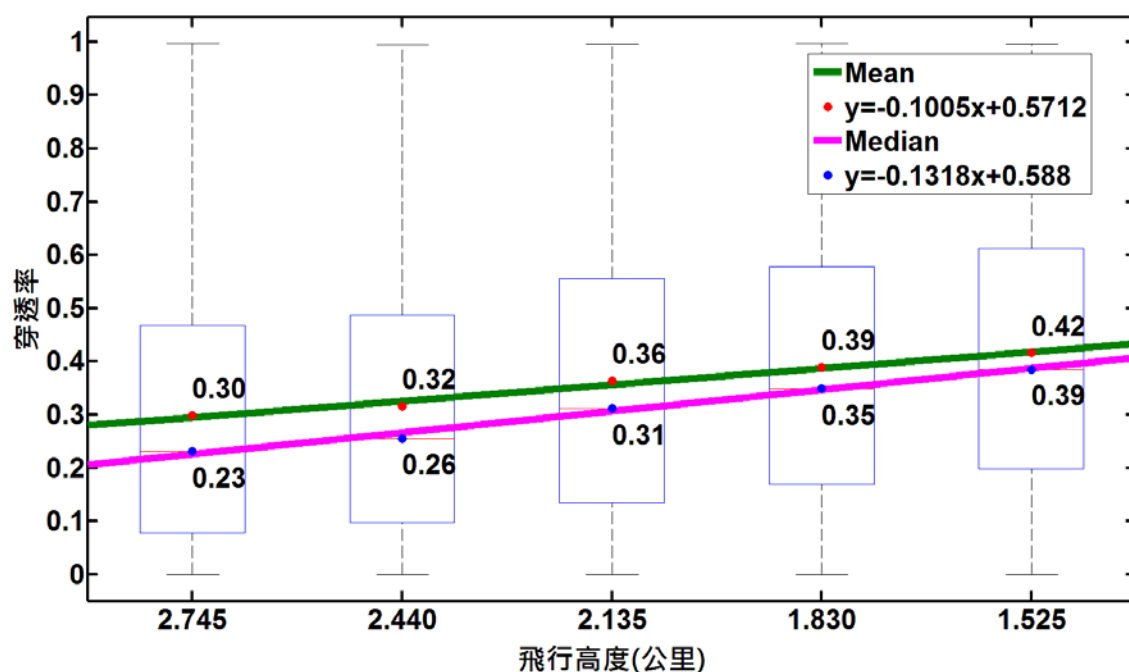


圖 5.10 不同飛行高度數值分布盒形圖

如下圖 5.11，圖上紅線為飛行高度 2745 m 穿透率與次數分布百分比，而低航高為粉紅色 1525 m 飛行高度的穿透率與次數分布百分比，從結果顯示 2745 m 航高穿透率分布偏低，在穿透率在大於 0.2 時，1525 m 飛行高度的穿透率，均高於其餘 4 個航線的穿透率，表示如欲得到較多的地面點，降低航高有其必要性。

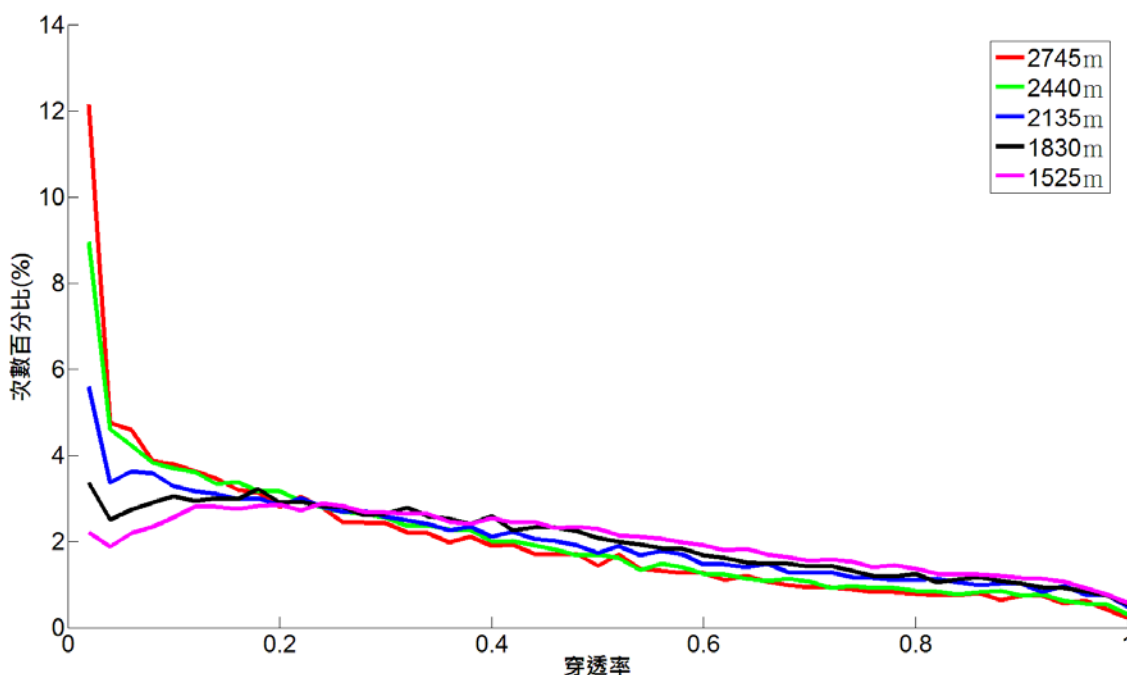


圖 5.11 不同航高穿透率分布次數百分比

### 5-3.2 比較雷射脈衝頻率對於穿透率的影響

本案規劃另一 5 組單一航線，主要是針對不同的雷射脈衝頻率測試穿透率的差異，雷射脈衝頻率愈高時，受限於儀器雷射發射與接收時需間隔一段待雷射光反射回感應器，當雷射脈衝頻率過高時，發射的雷射尚未回到感測器，隨即發射雷射光，會造感測器誤判雷射的行走距離，會有許多錯誤點雲產生。

在本案規劃航線 109 與 110，其雷射脈衝頻率分別為 250kHz 與 300kHz，由於脈衝頻率高於飛航高度限制，產生較多的雜訊點，需進

行點雲慮除，110 航線過濾錯誤點後，只剩餘小部分的航帶重疊區域可以進行比較，故本案不就 110 航線 300kHz 之資料進行比較。另外 4 組不同雷射脈衝頻率的航帶中，總共有 3.6 km<sup>2</sup> 重疊面積，計算 10×10 m 網格數共有 35,618 個。不同雷射脈衝頻率穿透率差異之統計結果如下表 5.10 所示，在航線編號 106，脈衝頻率為 100kHz，平均穿透率為 0.437，標準差為 0.235，而在航線編號 109，脈衝頻率為 250kHz，平均穿透率為 0.381，標準差為 0.239，單就統計資料有明顯的差異，平均穿透率差約 0.056，但從趨勢而言 4 組航線在提高雷射脈衝頻率時，平均穿透率有明顯遞減的趨勢。

表 5.10 不同雷射脈衝頻率穿透率差異之統計

航線編號	雷射脈衝頻率 (kHz)	點雲密度 (pts/m)	點雲密度標準差	穿透率最大值	穿透率最小值	平均穿透率	穿透率標準差
106	100	6.49	2.41	0.997	0	0.437	0.235
107	150	9.41	3.78	0.997	0	0.401	0.239
108	200	11.20	4.61	0.998	0	0.391	0.237
109	250	14.55	5.42	0.999	0	0.381	0.239
Cellsize=10×10m ; n=35,618							

由下圖 5.12，雷射脈衝頻率在 100kHz 與 200kHz 可以看出明顯的差異，相較於 100kHz，200kHz 的資料有較少的高穿透率(紅色或黃色區域)，表示雷射脈衝頻率會影響到穿透率的大小。

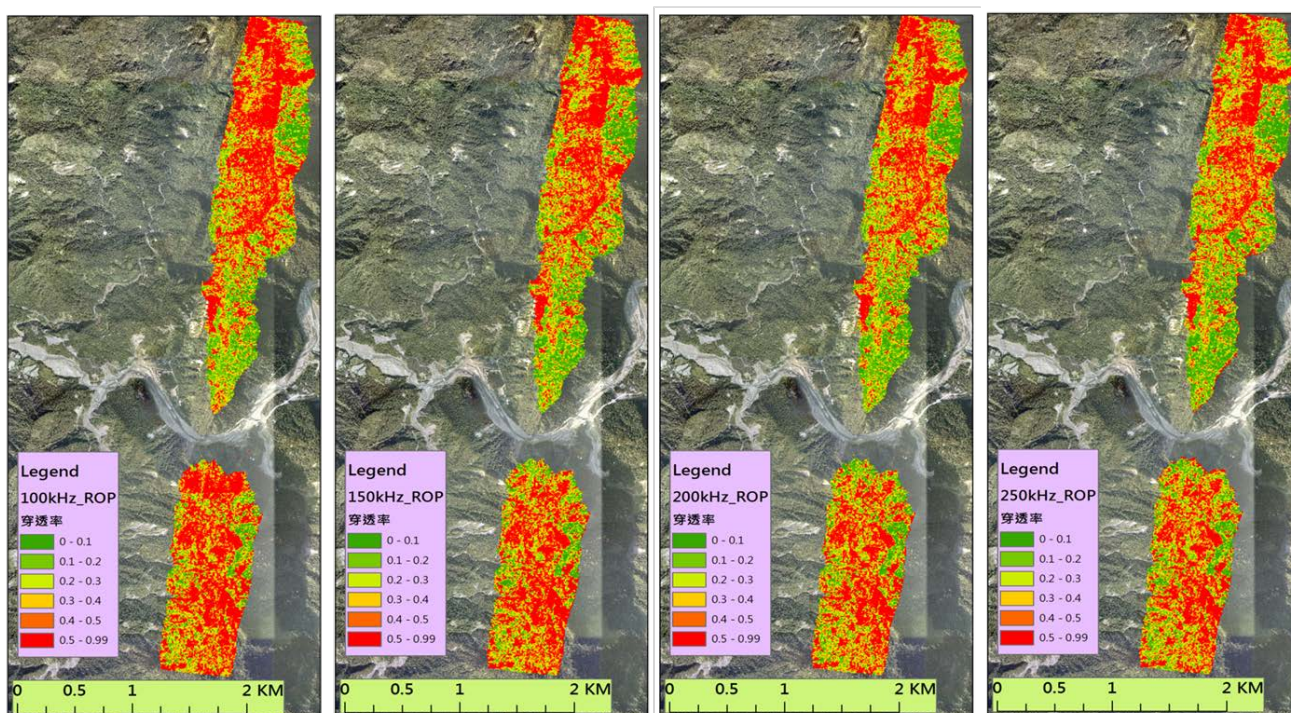


圖 5.12 不同雷射脈衝頻率之穿透率結果

由下圖 5.13 統計資料顯示，穿透率資料分布呈現下降的趨勢，即雷射脈衝頻率愈高時光達的穿透率就愈低，其原因推測為當雷射光發射的次數越高時，單發雷射的能量將越低，故如欲得到較高穿透率的光達資料，降低雷射脈衝頻率為重要的參數之一。

在本案中測試 4 個不同雷射脈衝頻率的參數，分別為 100、150、200 與 250kHz，本案的空載光達掃描儀為 Optech HD400，其最高的雷射脈衝頻率為 400kHz。本案利用各雷射脈衝頻率的平均穿透率統計其線性回歸方程式，斜率為-0.0004，當每增加 100kHz 時，穿透率會減少約 0.04，因此增加雷射脈衝頻率亦會使穿透率下降，但相較於航高對穿透率的影響，雷射脈衝頻率影響平均穿透率的程度較小。故在航線規劃時如果同時提高航高與雷射脈衝頻率，將會使穿透率在累積某程度上的減少。

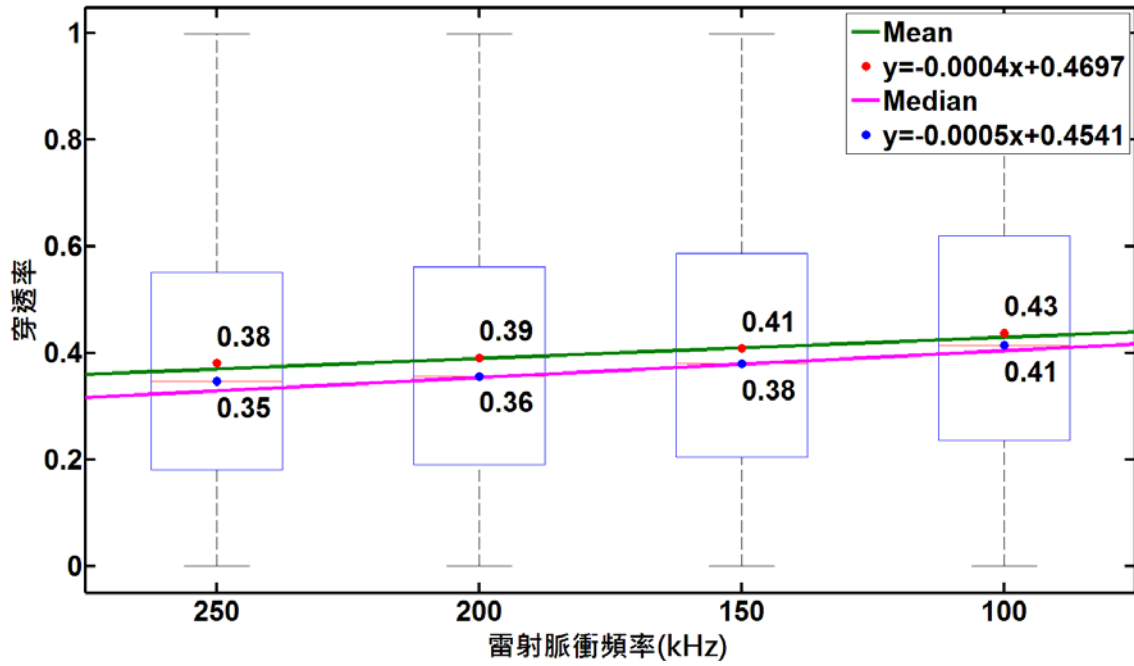


圖 5.13 不同雷射脈衝頻率數值分布盒形圖

經由不同雷射脈衝頻率之穿透率分布次數百分比之統計結果(如下圖 5.14)，紅色曲線為 100kHz 的脈衝頻率，而黑色曲線為 250kHz 的脈衝頻率，高脈衝頻率的黑色曲線，在低穿透率部分數值高於其他兩組資料，並呈現一個雷射脈衝頻率越低，穿透率越高的情形。

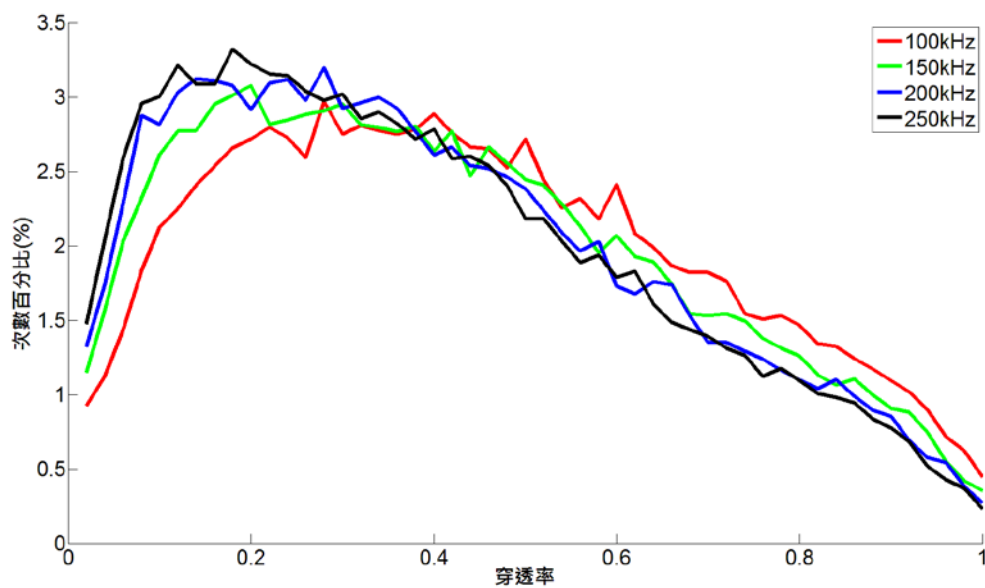


圖 5.14 不同雷射脈衝頻率之穿透率分布次數百分比

### 5-3.3 比較不同地物類型對於穿透率的影響

本案單一航線不同航高範圍內，總共有建地、裸露地、河床地、檳榔園、竹林和森林，由於建地、裸露地和河床地屬於高穿透率的區域，因此不將此區域進行探討，本案將該區域分成檳榔園、竹林和森林，其分類圖如圖 5.15。

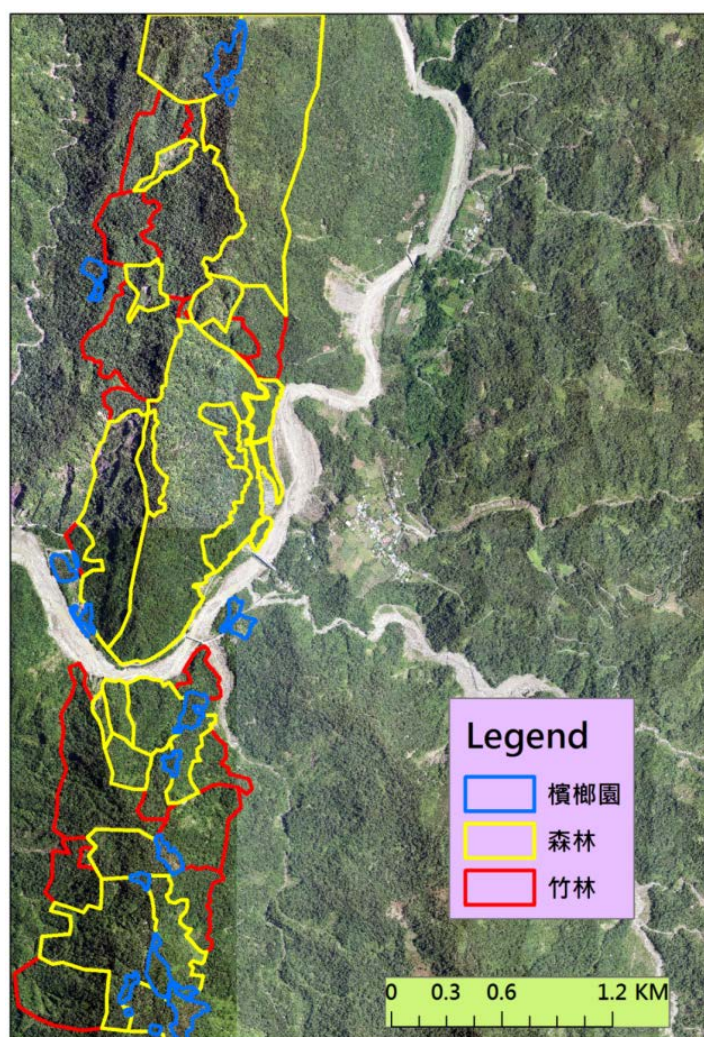


圖 5.15 單一航帶範圍內之植被分類圖

不同的航高與地物類型穿透率資料分布結果如圖 5.16，從圖上顯示，在相同航高下不同地物分類有其穿透率的差異，分別比較竹子、森林與檳榔園的穿透率，其中以森林穿透最低，穿透率分布在 0.15~0.5

左右，其次為竹子的穿透率，數值分布界於 0.2~0.5 左右，穿透率最好的為檳榔園，數值介於 0.6~0.9 左右，屬於較高的穿透率的地物。

在不同航高相同的地物類型，如森林區域隨著航高增加穿透率有減少的趨勢，並且差異的幅度相較於竹子與檳榔高，表示在降低航高可以增加森林穿透率是有效的方法之一。

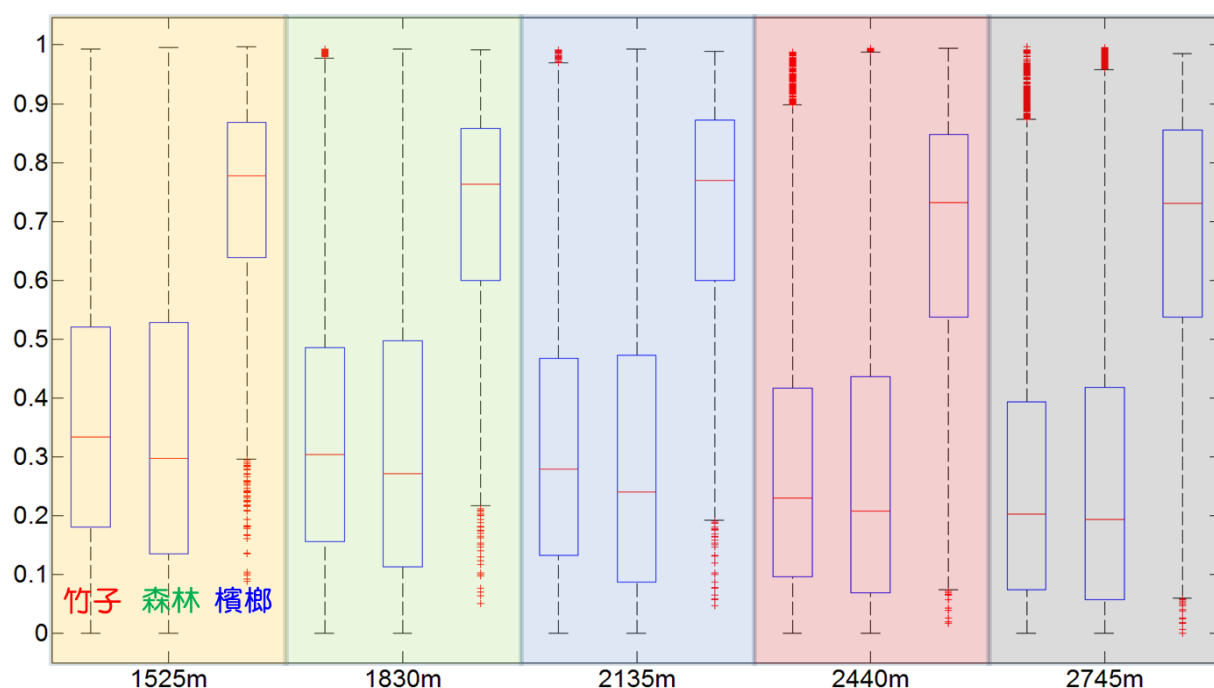


圖 5.16 不同的航高與土地利用形其穿透率資料分布盒形圖

### 5-3.4 穿透率對於光達 DEM 高程精度之比較

比對實際地面點與 DEM 高程差異進行驗證，在 101~105 航線範圍內總共有 38 個精度檢核之點位如圖 5.17 所示，但由於各航線範圍大小不同，最大範圍為 101 航帶，總共有 38 個精度檢核點，而航線 105 為最小範圍，共有 14 個精度檢核點。由於規劃的單一航線測試區位於山麓，森林地形崎嶇，故只能挑選方便到達的區域進行測量。

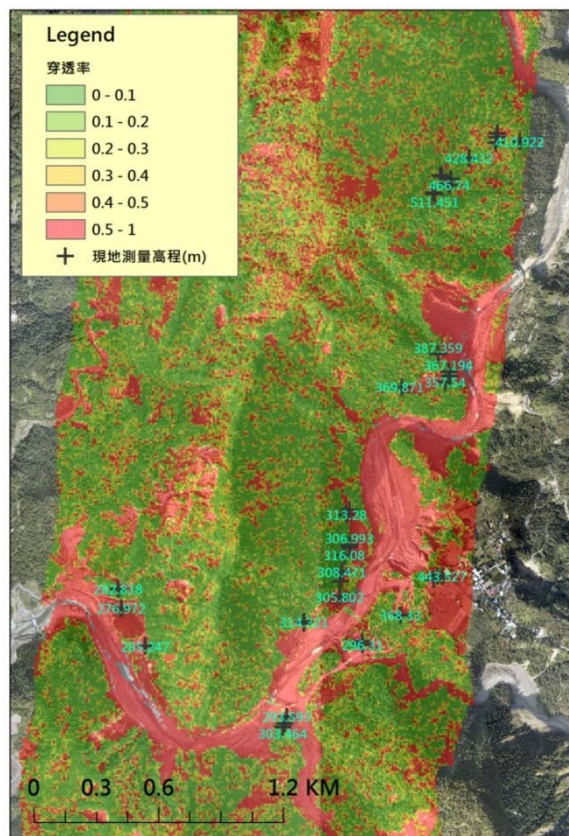


圖 5.17 單一航線內精度檢核點位分布圖

利用實際檢核點資料與光達地形(DEM)比較高程誤差( $\Delta h$ )量，其示意圖如下圖 5.18 所示，當雷射光未穿透到達地面時，時常會將樹冠層下方誤判為地面點，或是地面有較高的雜草覆蓋，均會導致 DEM 的誤差， $\Delta h$  為對應的坐標其檢核點(eGPS)高程減去光達 DEM 的高程差。

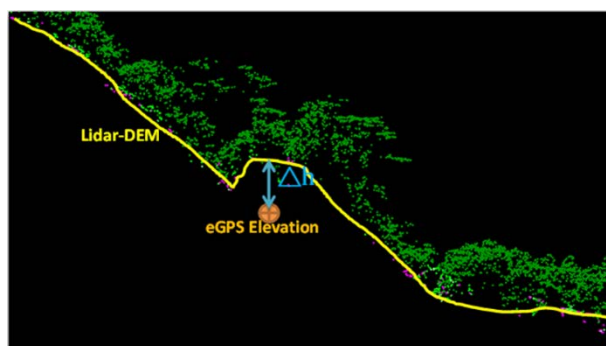


圖 5.18 利用地真(eGPS)資料與光達地形(DEM)比較高程誤差( $\Delta h$ )量



本案統計不同飛航高度實際檢核點與穿透率之關係，其界定穿透到地面視為地面點之門檻值分別設為 20 cm、30 cm 及 40 cm，即表示  $\Delta h$  在 20 cm 以下者視為有穿透，結果如下圖 5.19 所示，因航高造成之不同掃瞄帶寬，使得檢核點數在各航高條件下，最多為 38 個，最少為 14 個檢核點，由於在航高 1525 m 檢核點數量較不足，因此不易展現明顯趨勢，但從另外其他 4 組航高亦可看出當飛航高度降低時，穿透率有顯現提升。由於實際檢核點的點位大都分布在森林較外圍，故此測試成果穿透率會較高。

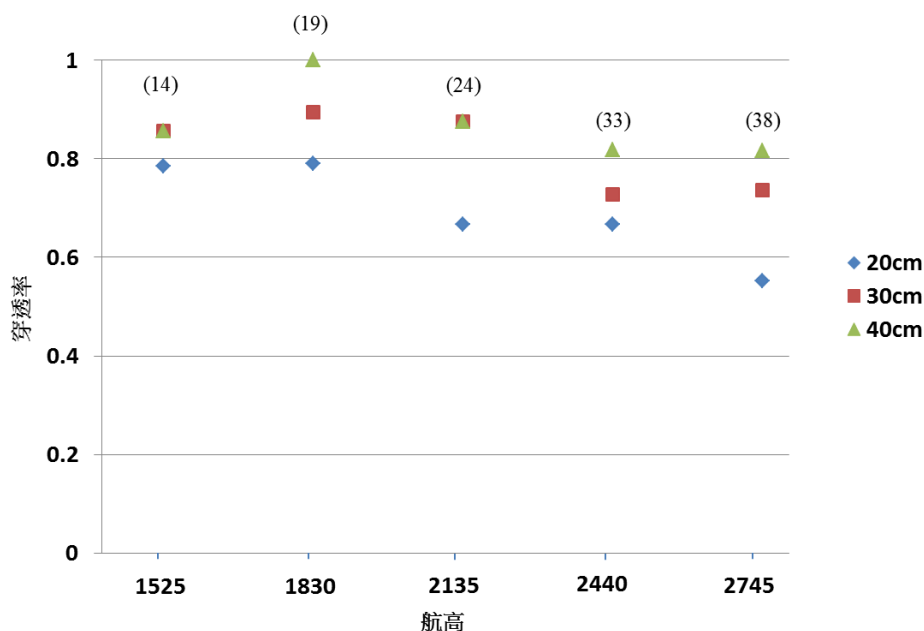


圖 5.19 不同飛航高度之實際檢核點穿透率

本案另統計不同穿透率與  $\Delta h$  差異之變化，穿透率組距為 0.25，其結果如圖 5.20(紅色數字為檢核點個數)，測試區域總共有 101~105 航線，航高從 2745 m 到 1525 m，航線間航高差異約為 300 m，展現各航高資料中不同穿透率之 25 分位數、50 分位數(中位數)、75 分位數，以顯現同一航高不同穿透率對於 DEM 精度之影響。測試成果中，三個較高航高(2745m、2440m、2135m)之地面檢核點較為充足。在 2745 m 飛行高度時穿透率為 0 至 0.25 的 eGPS 點位共 13 個，在該區域裡  $\Delta h$  的分布

從 0.1 到 1.6 m，相較於高穿透率的 $\Delta h$  值高，表示穿透率越高， $\Delta h$  的誤差將減少。

空載光達為成熟的測量儀器，儀器高程誤差小，由於雷射光的穿透特性，森林穿透率較低，會造成 DEM 真值與光達 DEM 的誤差，台灣約有 59% 的森林區域，正確的 DEM 資料可以提供許多防災、水利與生態領域的學者研究，故獲取正確的 DEM 必須考慮到飛航參數等影響因子。

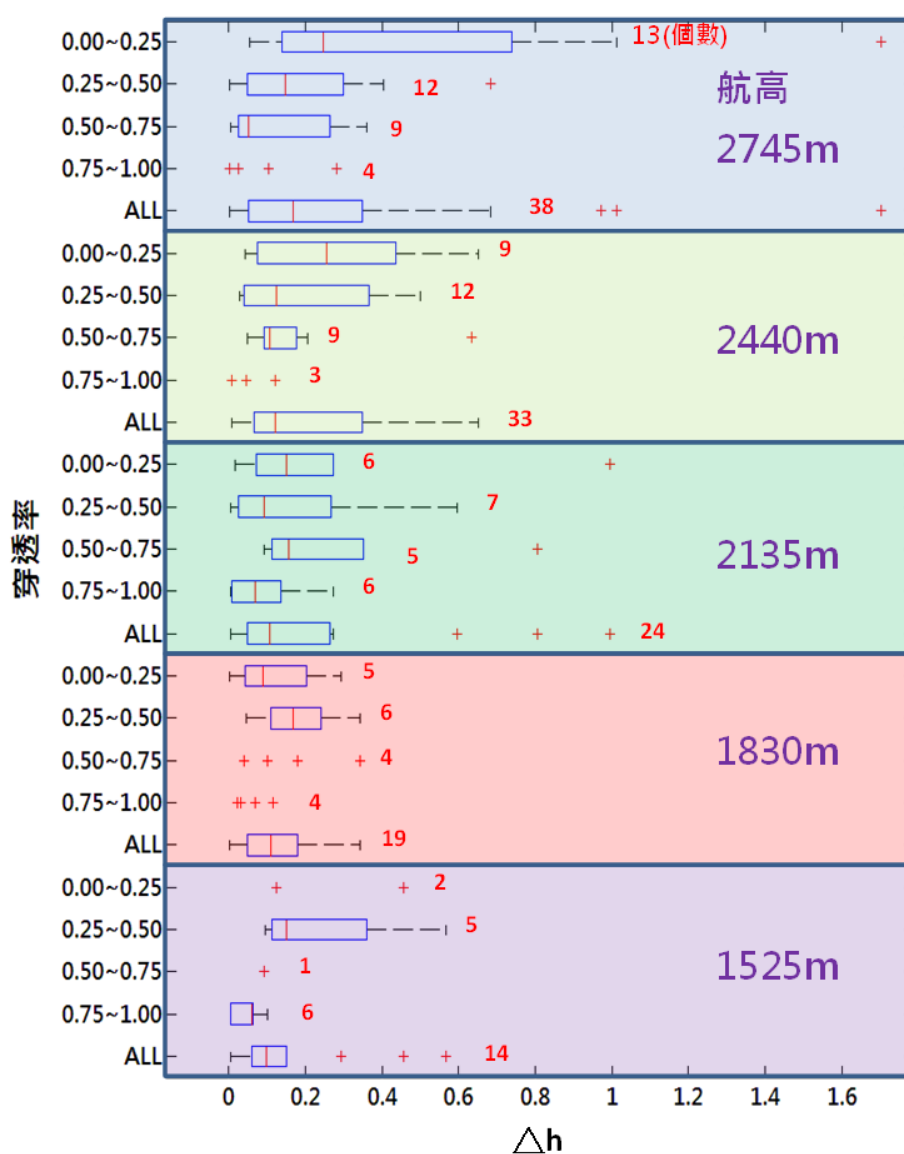


圖 5.20 不同穿透率之高程差異量( $\Delta h$ )之分布盒形圖

## 第6章 高光譜及全波形空載光達資料處理與綜合分析

### 成果

#### 6-1 空載光達點雲輻射校正

光達點雲輻射校正「100 年度發展先進空載光達科技與應用工作案」時即有良好之成果，本案延續上年度之研究方式於經由輻射校正後之數值，此數值即為大氣、雷射光入射角、接收器與距離等三項影響因子所修正後之光達強度值。而在假定其餘參數皆為穩定之狀態下，改正後強度( $P_r'$ )即可視為代表地物反射率的量化參數。測試區點雲強度改正結果如圖 6.1 所列，依據測試區的改正前後影像即可瞭解測試區境內改正差異性。

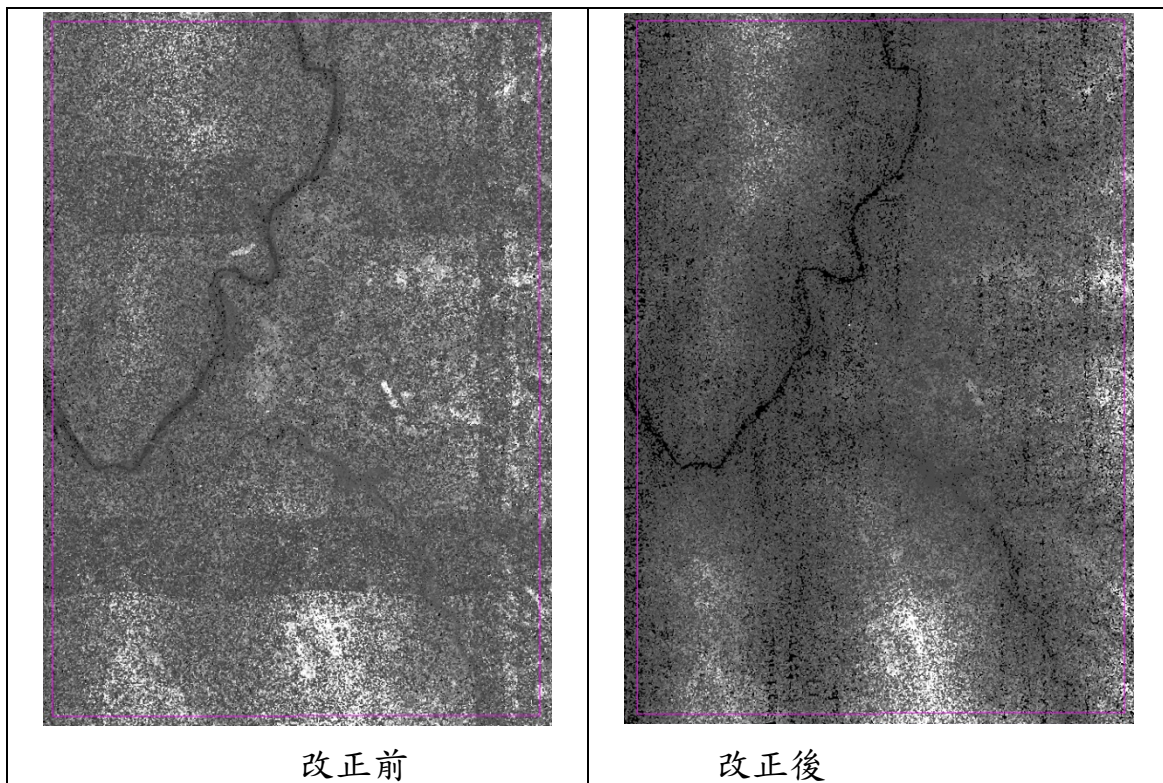


圖 6.1 光達點雲輻射校正之成果展示圖

## 6-2 高光譜影像之大氣校正成果

### 1. 利用 FLAASH 模組進行大氣校正

本案之研究區內各航帶經幾何校正後，依據飛航時間和坐標給予相對應之飛行時間、飛航高度、場景坐標。並參考中央氣象局於一百零二年七月二十四日之嘉義氣象站資料，其資料如表 6.1。自早上 9 時到中午 11 時，氣溫介於 30°C-33°C，風向分別為靜風、南、西南，風速分別為 0.1 m/s、2.3 m/s、3 m/s。能見度方面乃參考飛航情報，一百零二年七月二十四日施測當天台中機場的情報，其能見度欄位均為 9999，代表良好，雲量雲種 FEW，分別表示在 25000 呎和 14000 呎有 1 至 2 份雲，故在能見度設定部分，以 40 km 為設定參數。

表 6.1 嘉義氣象站(102 年 7 月 24 日)

觀測時間	溫度(°C)	風速 (m/s)	風向 (16 方位)	觀測時間	溫度(°C)	風速 (m/s)	風向 (16 方位)
01:00	25.6	0	靜風	13:00	34	4	西南
02:00	25.3	1.7	東北東	14:00	33.5	4.4	西
03:00	25.2	1.3	東北東	15:00	33	7.5	西南西
04:00	24.8	1.6	東北東	16:00	30.3	1.9	西南西
05:00	24.6	0.6	東北	17:00	25.5	3.4	西北
06:00	25	1.1	東北東	18:00	26.1	2.7	東南東
07:00	27.1	1	東北東	19:00	25.9	0.4	西北
08:00	29.2	1.3	東北	20:00	26.2	0.9	東南東
09:00	30.7	0.1	靜風	21:00	25.7	3	南
10:00	32.1	2.3	南	22:00	25.5	1.2	東南
11:00	32.8	3	西南	23:00	25.6	1.3	東北東
12:00	33.6	4.6	西南西	24:00:00	25.9	1.3	東北東
13:00	34	4	西南				

二氧化碳濃度則根據 NOAA 在夏威夷的 Mauna Loa 觀測站觀測約 394 ppm(圖 6.2)，根據手冊建議額外增加 20 ppm，設為 414 ppm。

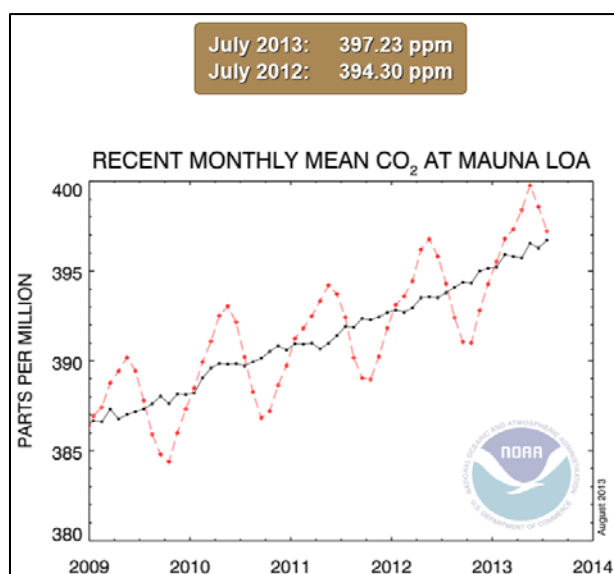


圖 6.2 二氧化碳濃度觀測圖

此外 FLAASH 中，最重要之另一項設定，為氣膠模式選取，綜合上述之天候及風速與雲量資訊，加上去年研究之參考，此次在大氣模型中選用 Tropical(熱帶地區)，氣膠膜型則選 rural(鄉村)。而水氣反演方面，採用對水氣反應較靈敏的 940 nm。此外，FLAASH 提供三種散射模型，分別為 Isaacs、DISORT 和 Scaled DISORT。根據使用者手冊，Isaacs 處理速度較快，然而可能存在過度取樣的問題，而 DISORT 適用於污染嚴重的地區。相對處理速度為 Isaacs(2):DISORT(2):DISORT(4):DISORT(8):DISORT(16) = 1: 22: 24: 30: 60，其中括弧內的數字代表模擬散射的方向數，而 Scaled DISORT 處理速度接近 Isaacs，且散射的方向數對其處理速度影響甚微，因此本案採用 Scaled DISORT 散射模型。本案所選用模型參照表 6.2 所列。

表 6.2 本案所選用之演算模型

大氣模型	氣膠模型	能見度	水氣反演	二氧化碳濃度	散射模型
Tro	鄉村	40 km	940 nm	414 ppm	Scaled DISORT

依據本案所選定模型，配合每條航帶之 GPS 時間、經緯度、飛航高度以及由 LiDAR 所得到之平均地面高程資訊，即可進行 FLAASH 大氣校正，其對應之參數設定如圖 6.3 FLAASH 參數設定可知(以單條航帶為例)。將上述所得到之飛航與高程資訊，輸入至 FLAASH 模組，FLAASH 根據本案所選定之模型給予不同波段之對應修正值，最後輸出反射率之影像。

FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters

Input Radiance Image C:\FLAASH\FLAA\013805\_4.bil

Output Reflectance File C:\FLAASH\02.bil

Output Directory for FLAASH Files C:\FLAASH\FLAA\

Rootname for FLAASH Files

Scene Center Location DD <-> DMS Sensor Type CASI Flight Date Jul 24 2013

Lat 23.29844856 Sensor Altitude (km) 1.83

Lon 120.65473175 Ground Elevation (km) 0.3 Flight Time GMT (HH:MM:SS) 01 : 38 : 40

Pixel Size (m) 1.000

Atmospheric Model Tropical Aerosol Model Rural Spectral Polishing Yes

Water Retrieval Yes

Aerosol Retrieval None Width (number of bands) 9

Water Absorption Feature 940 nm Initial Visibility (km) 40.00 Wavelength Recalibration No

Apply Cancel Help Hyperspectral Settings... Advanced Settings... Save... Restore...

圖 6.3 FLAASH 設定

最後，藉由地面光譜儀採樣之地真資料，對 FLAASH 大氣校正成果進行評估。地真資料則依當時外業人員於現地採樣之水泥與柏油路和高光譜影像之結果進行對比。

## 2. 利用 ATCOR-4 進行大氣校正

本案之研究區內各航帶經幾何校正後，在 ATCOR-4 模組中，演算模型設定之參數如下表 6.3，輸入基本資訊如儀器類型、儀器高度、測區海拔、施測時間、氣溶膠模型及能見度和上述之 FLAASH 設定參數相同，氣溶膠模型選擇 rural(鄉村)，在能見度設定部分亦以 40 km 為設定參數，而在 ATCOR-4 模組中會重新針對每一網格做計算，而水氣反演方面，則是採用原廠所建議的 820 nm。再依據每一航帶之飛航時間和坐標給予相對應之太陽天頂距和太陽方位角，資料如下表 6.4。

表 6.3 本案所選用之演算模型

氣溶膠模型	能見度	水氣反演
鄉村	40 km	820 nm

表 6.4 本案每一航帶之設定參數

航帶編號	GMT 時間	航向	航高	太陽天頂距 Solar Zenith	太陽方位角 Solar Azimuth
2	01:29:15	360°	1500 m	36.0°	87.9°
4	01:38:40	360°	1500 m	33.9°	88.8°
6	01:48:56	360°	1500 m	31.5°	89.7°
8	01:59:07	360°	1500 m	29.2°	90.8°
10	02:09:01	360°	1500 m	26.9°	91.9°
12	02:19:00	360°	1500 m	24.6°	93.0°
14	01:24:21	180°	1500 m	37.1°	87.5°
16	01:34:01	180°	1500 m	34.9°	88.4°
18	01:43:56	180°	1500 m	32.7°	89.3°
20	01:53:41	180°	1500 m	30.4°	90.2°
22	02:04:58	180°	1500 m	27.8°	91.4°
24	02:14:05	180°	1500 m	25.7°	92.4°

依據本案所選定模型，配合每條航帶之參數設定，以及匯入之 DSM 資料，計算出該區域之坡度、坡向、地物陰影及透空度，加入以上資訊，即可進行 ATCOR-4 大氣校正，ATCOR-4 操作介面如圖 6.4 所示。

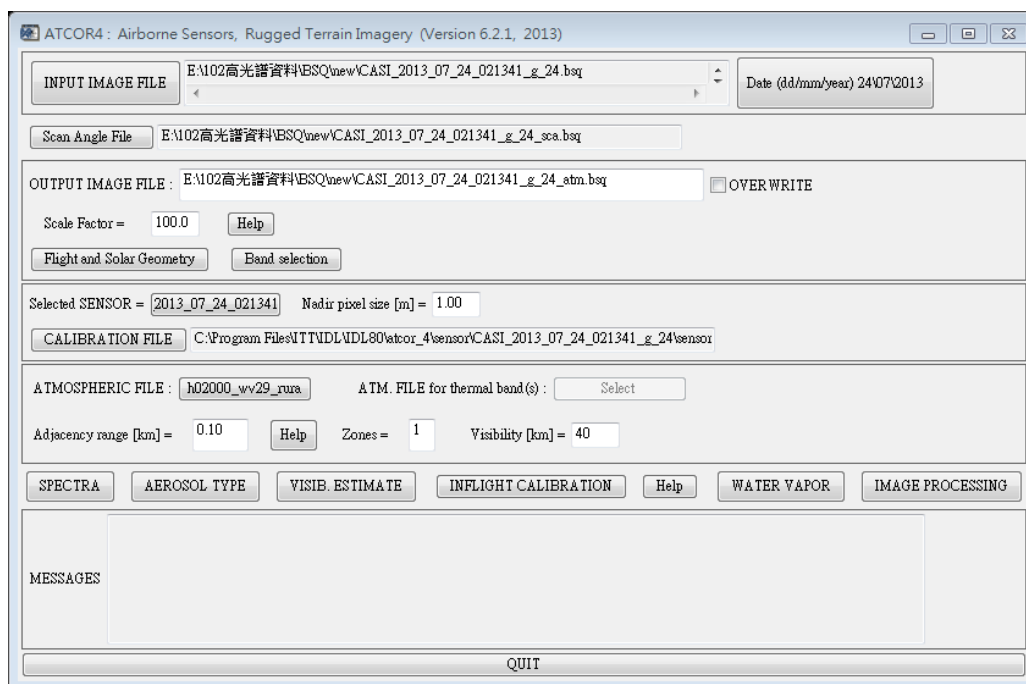


圖 6.4 ATCOR-4 操作介面

藉由地面光譜儀採樣之地真資料水泥與柏油路，與 ATCOR-4 大氣校正成果進行比較。

### 3. 利用經驗線法則進行大氣校正

根據同步採樣之原則，進行地面於 2013/7/24 光譜航拍採樣時，各航帶需盡量均勻分配地面連結點，並考量飛航同步的時間限制與實際採樣路程的方便性，測區之地面同步點位置分布如圖 6.5 所示，地面點的量測時間為 7/23 和 7/24 兩天。本案之影像拍攝航線規劃為南北方向，因此，地面點多安排於測區內道路可達之處，以完成光譜採樣作業。同步點採樣完畢後，經前處理(剔除不良樣本)，例如採樣位置透空條件差、影像無法辨識、遮蔽、面積太小的資訊，最後保留 14 處同步點。



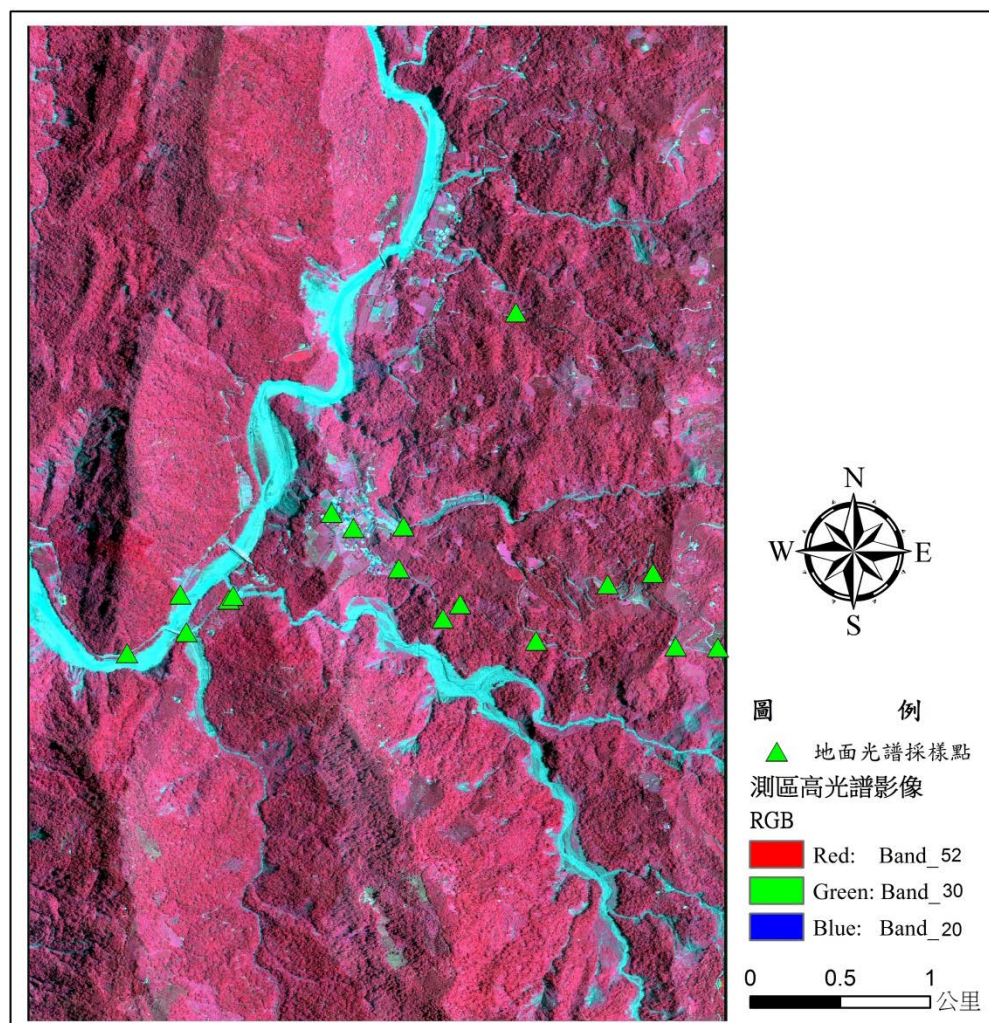


圖 6.5 地面光譜同步點位置分布圖

地面同步採樣安排於測區內道路可達之處，以柏油路和水泥地為主，光譜採樣作業如表 6.5 所示，利用腳架和水平儀降低人為操作誤差，並累積其他地物資訊，地面光譜儀器採樣之樣本，其材質需為均勻且平坦的鋪面，無水氣、反射材質物體或玻璃帷幕等環境緊鄰，方以排除能量反射之干擾、繞射等因素。

表 6.5 光譜採樣作業示意圖

	利用腳架、水平儀使感測器與地物水平	量測地物中央位置降低周邊干擾
瀝青鋪面		
	量測反射率較強的水泥路面	累積可能干擾地物的光譜資訊，如雙黃線
其他鋪面		

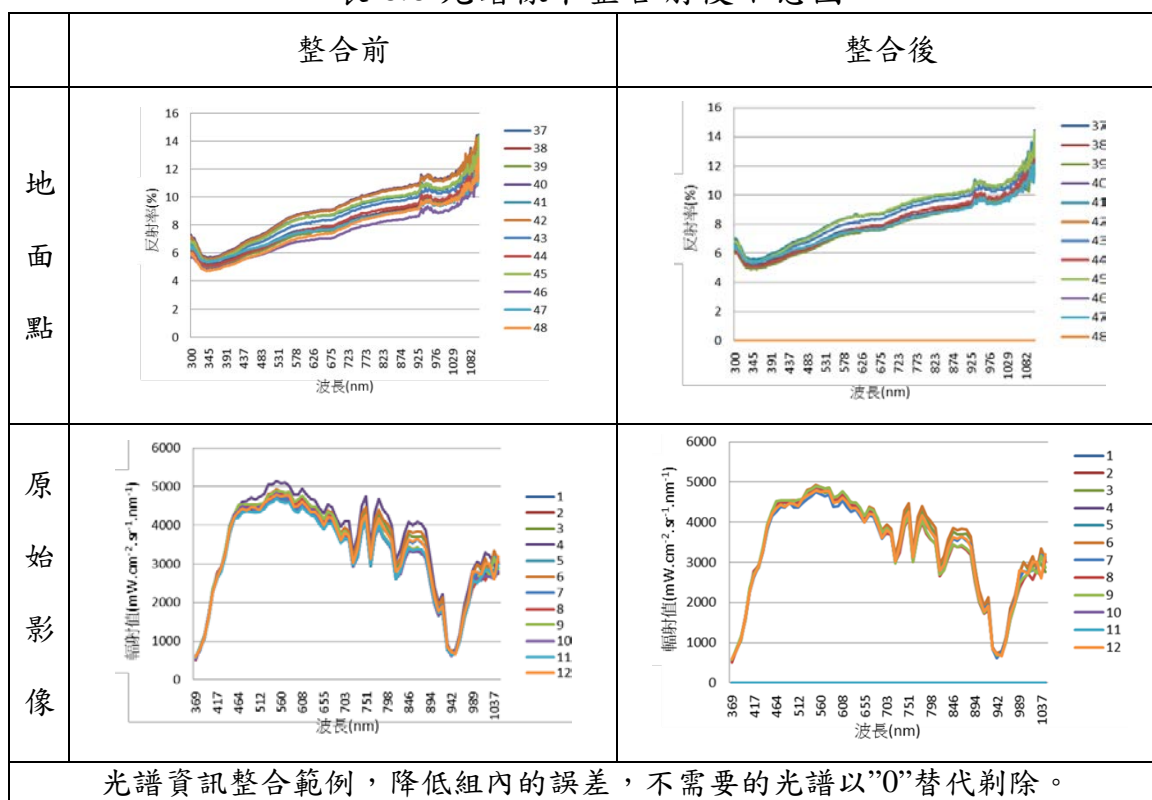
經驗式為實際的地面點與航拍影像中展示的地面點之光譜間的關係所建立。地面點的光譜量測地面距離約 50 cm，其向下攫取測量物的範圍約 5 cm × 5 cm，可以直接挑選測量單一、不受外物干擾的光譜，但影像的空間解析度為 1 m × 1m，像元可能有其他地物存在、或是地面狀態不均勻問題，例如砂礫、地面龜裂、矮小植生等，為降低影像像元點間的差異，研究會在地面點區萃取較多的像元(約地面點的 4~5 倍)，如圖 6.6 所示，圖中四點紅色為地面控制點位置，由於現地調查的照片顯示調查位置為道路的中間，故攫取位置會移到道路中間位置，另一方面為了降低同組內光譜誤差，研究萃取較多的像元(黃色)，以進行光譜整合處理，獲取較穩定的光譜特性。



圖 6.6 經驗式光譜萃取說明圖

不論是地面點實際的反射率資訊或影像內地面的輻射資訊，研究皆用該組資訊的平均值和正負一個標準差為條件，逐一檢測每個測點每個波段是否符合條件，並累積數量，計算符合率，研究經過測試，地面點需有 50% 以上的波譜資訊符合條件方保留，而影像的輻射值則以 30% 為依據，以避免過多資料被刪除而無代表性，其整合前後如表 6.6 所示。表 6.7 即針對地面點整合資訊，該地面點有 12 筆測量值，而光譜儀有 512 個波段資料，由符合率  $>50\%$  判定，刪除測點編號 40、42、46 和 48 的數據，再利用其他筆資料平均作為該地面點的反射率測值。

表 6.6 光譜樣本整合前後示意圖



光譜資訊整合範例，降低組內的誤差，不需要的光譜以”0”替代剔除。

表 6.7 光譜整合範例

測點編號	光譜數	符合數量	符合率	是否保留
37	512	507	99.0	O
38	512	509	99.4	O
39	512	467	91.2	O
40	512	1	0.2	X
41	512	333	65.0	O
42	512	12	2.3	X
43	512	512	100.0	O
44	512	512	100.0	O
45	512	503	98.2	O
46	512	10	2.0	X
47	512	507	99.0	O
48	512	246	48.0	X

地面點反射率有 512 筆而高光譜影像只有 72 波段，故根據高光譜影像的波長資訊，以內插法方式(式 6.1)求出對應波長的反射率，式中 y 為預知的反射值，y1 與 y2 分別為 y 前後筆的反射率，x 為已知波

長， $x_1$  與  $x_2$  分別為  $x$  前後筆的波長。將地面點之影像輻射值與實測反射率一一對應，利用線性回歸，產出經驗方程式。將獲取的參數輸入 ENVI 軟體中，以輸出其資訊。

$$y = [(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)] (x - x_1) + y_1 \quad (\text{式 } 6.1)$$

反射率和相對應的影像 DN 值求得，且以瀝青鋪面為低反射率的代表，水泥鋪面為高反射率的代表，然而受限於測區道路分布及地形起伏因素，高反射率鋪面較難獲取，因此在實際量測的地面點中，會出現低反射率鋪面數量大於高反射率鋪面數量的情況發生。初步建立的經驗迴歸線，本案先利用各地面點多次測量之平均值與正負一個標準差的方式，分別統計每筆測值符合該範圍的百分比(至少 50% 須符合)，刪除掉該地面點中部分光譜資訊較離散的測值，使地面點本身內部誤差降低，從影像中所萃取出來的光譜亦作相同的處理，之後依據高光譜影像的波段的範圍，將地面的影像與反射率資訊一一匹配，以建立經驗式迴歸線。根據光譜採樣反推影像 DN 值與反射率間的線性關係進行大氣校正，藉由此線性關係找出適合進行迴歸校正的光譜反射數值，圖 6.7 則為展示 464 nm、550 nm、636 nm 以及 865 nm 四個波段分別代表藍光、綠光、紅光和近紅外光之經驗線改正範例，表 6.8 則陳列 72 個波段經驗式的參數和決定係數( $R^2$ )，932~961nm 此波長為水氣吸收之位置，故迴歸成果之  $R^2$  值較低。由表 6.8 之改正參數成果可知，400~920nm 之間經驗式的  $R^2$  均為 0.9 以上。

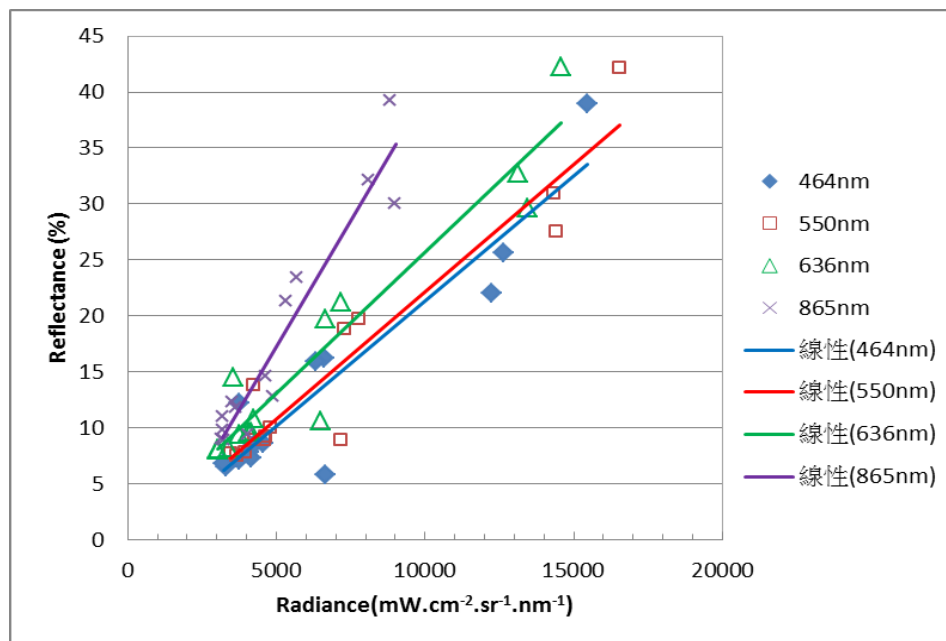


圖 6.7 經驗式迴歸線展示圖

表 6.8 經驗線改正參數

波段序	波長 (nm)	線性轉換方程式		R <sup>2</sup>	波段序	波長 (nm)	線性轉換方程式		R <sup>2</sup>
		斜率	截距				斜率	截距	
波段 01	369	0.028758	-7.4003	0.7800	波段 37	713	0.003978	-3.8938	0.9427
波段 02	378	0.020160	-8.1963	0.8717	波段 38	722	0.005201	-5.1845	0.9343
波段 03	388	0.013730	-7.0106	0.9071	波段 39	732	0.005006	-6.1527	0.9390
波段 04	398	0.008898	-6.1121	0.9261	波段 40	741	0.004265	-6.3525	0.9458
波段 05	407	0.005720	-4.9459	0.9354	波段 41	751	0.004107	-6.5458	0.9489
波段 06	417	0.004609	-4.3434	0.9445	波段 42	760	0.005548	-7.3465	0.9377
波段 07	426	0.004188	-3.8830	0.9455	波段 43	770	0.004851	-7.8420	0.9452
波段 08	436	0.003739	-3.8699	0.9489	波段 44	779	0.004361	-7.2742	0.9484
波段 09	445	0.003155	-3.5886	0.9517	波段 45	789	0.004641	-7.5132	0.9454
波段 10	455	0.002817	-3.2282	0.9498	波段 46	798	0.004884	-7.6852	0.9446
波段 11	464	0.002715	-3.0828	0.9505	波段 47	808	0.005088	-7.5667	0.9419
波段 12	474	0.002677	-3.0083	0.9523	波段 48	817	0.006693	-8.4433	0.9284
波段 13	483	0.002665	-2.8356	0.9512	波段 49	827	0.006442	-8.4310	0.9333
波段 14	493	0.002724	-2.9638	0.9524	波段 50	837	0.005791	-8.2672	0.9411
波段 15	503	0.002758	-2.9371	0.9514	波段 51	846	0.005261	-7.8120	0.9457
波段 16	512	0.002788	-2.9264	0.9506	波段 52	856	0.005500	-8.2620	0.9483

波段序	波長 (nm)	線性轉換方程式		R <sup>2</sup>	波段序	波長 (nm)	線性轉換方程式		R <sup>2</sup>
		斜率	截距				斜率	截距	
波段 17	522	0.002850	-3.0241	0.9510	波段 53	865	0.005480	-8.0921	0.9496
波段 18	531	0.002781	-3.0718	0.9514	波段 54	875	0.005511	-7.8192	0.9471
波段 19	541	0.002798	-3.0704	0.9489	波段 55	884	0.005699	-7.6395	0.9487
波段 20	550	0.002794	-3.0818	0.9483	波段 56	894	0.006744	-7.3139	0.9335
波段 21	560	0.002841	-3.0428	0.9482	波段 57	903	0.009088	-8.4136	0.9174
波段 22	569	0.002883	-2.8911	0.9455	波段 58	913	0.010723	-8.8011	0.9114
波段 23	579	0.002898	-2.8476	0.9443	波段 59	922	0.009819	-7.7897	0.9126
波段 24	589	0.003020	-2.6760	0.9420	波段 60	932	0.021143	-9.3297	0.7836
波段 25	598	0.003046	-2.6803	0.9421	波段 61	942	0.032713	-13.2424	0.6803
波段 26	608	0.002970	-2.5685	0.9427	波段 62	951	0.030987	-12.6735	0.7138
波段 27	617	0.003035	-2.4945	0.9427	波段 63	961	0.022154	-11.4354	0.8191
波段 28	627	0.003135	-2.5156	0.9426	波段 64	970	0.012141	-8.6807	0.9045
波段 29	636	0.003173	-2.5453	0.9416	波段 65	980	0.010425	-8.6434	0.9214
波段 30	646	0.003257	-2.4361	0.9404	波段 66	989	0.008035	-7.9748	0.9378
波段 31	655	0.003400	-2.4905	0.9416	波段 67	999	0.007515	-7.9145	0.9410
波段 32	665	0.003298	-2.6041	0.9413	波段 68	1008	0.007616	-8.1223	0.9403
波段 33	674	0.003333	-2.6199	0.9402	波段 69	1018	0.007740	-8.8556	0.9295
波段 34	684	0.003519	-2.6544	0.9413	波段 70	1027	0.008112	-9.9089	0.9214
波段 35	693	0.003904	-3.0667	0.9407	波段 71	1037	0.008275	-10.5156	0.9095
波段 36	703	0.003920	-3.5542	0.9420	波段 72	1046	0.008556	-11.7395	0.8773

#### 4. FLAASH、ATCOR-4 與經驗式之大氣校正成果比較

本案進行 FLAASH、ATCOR-4 與經驗式之大氣校正，並選取現地量測之光譜曲線以水泥地及柏油路兩者地物作為比較，其結果為下圖 6.8。

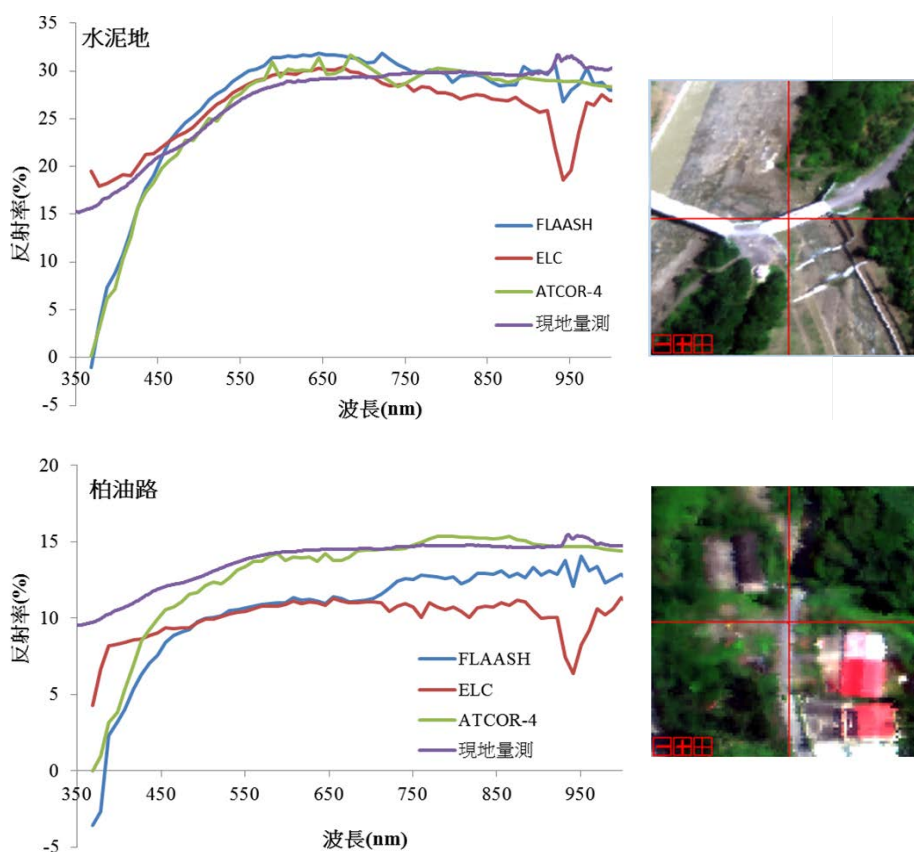


圖 6.8 FLAASH、ATCOR-4 及經驗式之大氣校正結果比較圖

可發現 ATCOR-4、FLAASH 與經驗式的反射率，在水泥地皆與地面光譜儀量測之光譜資料相近，除經驗式之結果在 920~950 nm 有明顯不符。而在柏油路則是 ATCOR-4 校正的成果與現地光譜的反射率較為一致，FLAASH 與經驗式的反射率則有偏低的情況，且經驗式在 920~950 nm 與現地光譜曲線仍差異甚大，主要原因為此波長為水氣吸收之位置。

從結果也可發現 FLAASH 校正後之影像，在 400 nm 以下仍為負值，與去年 FLAASH 成果有相同之問題(內政部, 2012)，其顯示 FLAASH 在高光譜影像校正上，400-450 nm 藍光波段呈現負值。陳建珍(2011)等人針對 ALI(advanced land imager)影像進行 FLAASH 大氣校正，其結果發現，影像亦存在負值，統計其反射率為負值的部分，可發現主要出現在影像山區陰影處，此外又以藍光波段為最多。顯示 FLAASH 進



行影像大氣校正時，有可能出現負值。根據陳建珍(2011)等提出此種情形可能有以下三個原因：(1)FLAASH 模式的校正誤差，在精度上要求可能不是很高(其為模式的方程式計算結果所造成)。(2)地形陰影處輻射強吸收所造成，這部分可透過大氣校正模式加入地形校正之考量。(3)FLAASH 模組中設置的氣溶膠類型，不能完全模擬影像成像時的實際大氣條件。FLAASH 大氣校正模式，是一種快速且便利的校正方法，以往一直被使用在衛星影像大氣校正處理上，本案為空載高光譜之大氣校正處理，考量到飛行高度以及空載之環境變因(例如：雲量、飛行時的太陽入射角等)，以及飛行時為單條航帶掃瞄與衛星影像一次為一幅的空間解析度有所不同，因此使用 FLAASH 模組進行空載影像之大氣校正時，可能無法像其他大氣校正模組考量較多細微因子，才使得校正結果有其負值。

綜合以上三種大氣校正方法之結果，整體來看是以 ATCOR-4 有較佳的成果，因此以 ATCOR-4 校正之影像作為本案後續分析應用。

#### 5. 測試不同點雲密度之 DSM 對 ATCOR-4 大氣校正處理之影響

由於本案所獲取的空載光達點雲密度，為高密度之資料需付出較高之經費，為了測試適當之點雲密度其 DSM 地形資訊對 ATCOR-4 大氣校正處理之影響，本試驗以區域一主要之地形為地勢較低窪之河谷與區域二為地勢較高之山峰，分別以 1 km×1 km 作為研究分析範圍，其點雲密度疏化結果如下表 6.9。

表 6.9 不同密度等級之點雲密度

點雲密度(點/m <sup>2</sup> )							
等級	原始點雲	1/2	1/8	1/32	1/128	1/512	1/2048
區域一	18.58	9.29	2.32	0.58	0.15	0.04	0.01
區域二	19.13	9.56	2.39	0.60	0.15	0.04	0.01

而根據先前的經驗，若直接匯入 DSM 進行大氣校正，會導致校正成果包含相當多空值，原因為地勢過於崎嶇，故下一步將不同點雲密度所產製之 DSM 做平滑化處理，接著即可匯入 ATCOR-4 進行高光譜影像之大氣校正。另外，這兩區亦測試不輸入 DSM 進行大氣校正之影響，此時之大氣校正假設地表為平坦之平面。

將大氣校正結果和現地量測之光譜曲線進行比較(圖 6.9)，比較的地物分別為柏油路以及水泥地，可以發現使用原始點雲產製之 DSM 的大氣校正與未匯入 DSM 之成果相當相近，兩者皆非常接近現地光譜量測的數據，而使用經疏化後點雲所產製之 DSM 做大氣校正，會導致反射率的數值稍微有所改變。

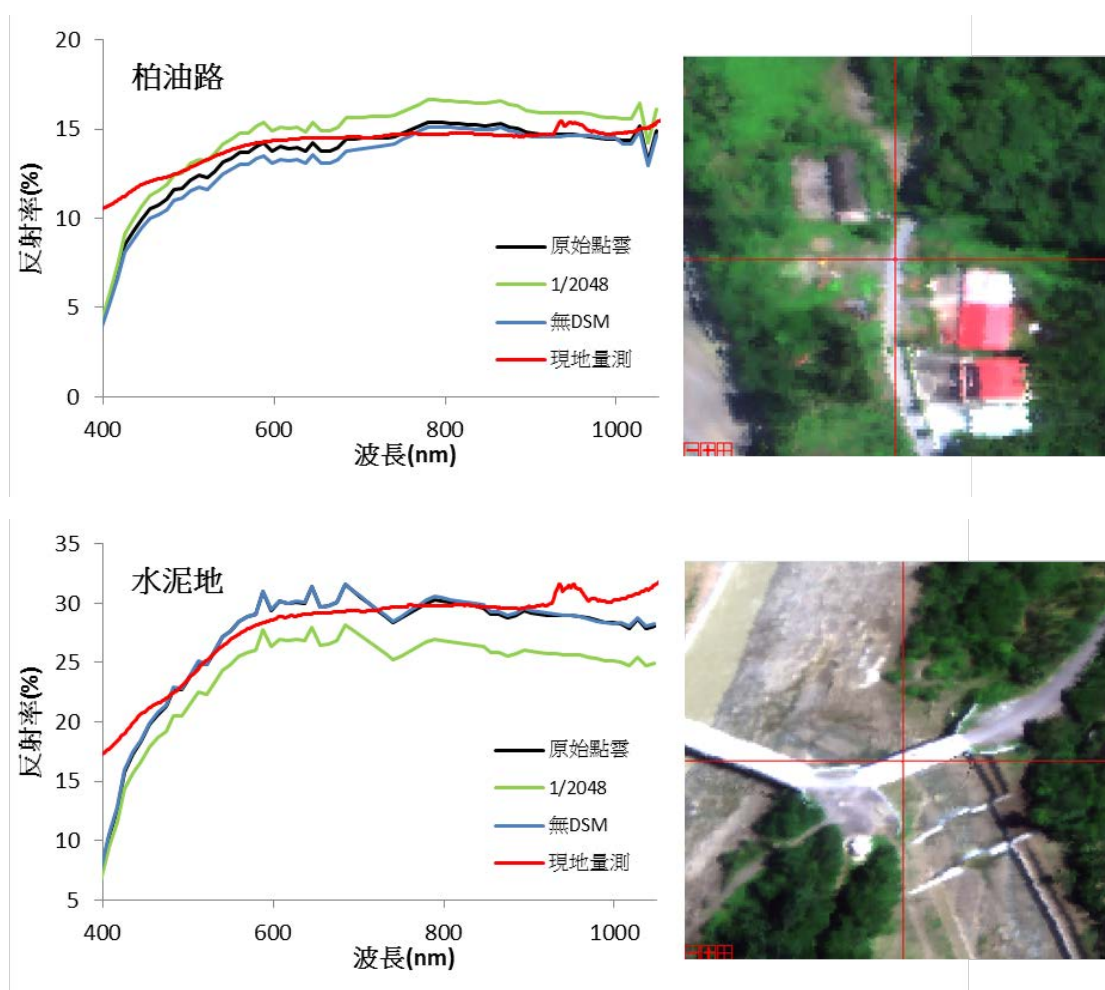


圖 6.9 光譜曲線比較圖

而上述的光譜曲線比較僅有兩種地物，因此接下來以使用原始點雲產製之 DSM 作為大氣校正之成果對照組，與其他實驗組之校正成果(匯入疏化之 DSM 及無匯入 DSM)進一步比較，比較方式為計算實驗組及對照組每一像元中，其各波段上反射率之差值絕對值之平均，如公式 6.2 所示：

$$D = \sum_{i=1}^{72} \frac{|image1(\lambda_i) - image2(\lambda_i)|}{72} \quad (\text{式 6.2})$$

其中，

*image1*：對照組校正成果之反射率

*image2*：實驗組校正成果之反射率

$\lambda$ ：波長

將計算結果 D 值做數量統計(圖 6.10)，由各 D 值之像元數量統計圖可得知在同一密度等級下，地勢較平坦之區域一(實線)其 D 值相對於區域二(虛線)較小，且同一區域中，較大之 D 值數量會隨著點雲密度下降而增加。而無匯入 DSM(黑線)進行大氣校正，其 D 值整體來說偏高。

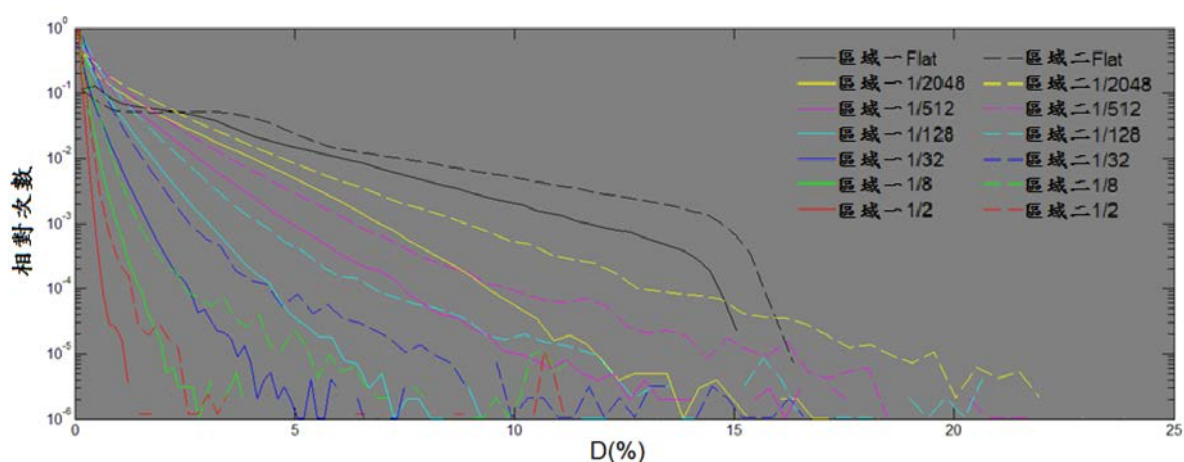


圖 6.10 兩區域中各 D 值之像元數量統計圖

接著觀察兩區域中第 10 分位數、第 50 分位數以及第 90 分位數(圖 6.11)，可發現隨著點雲密度的降低，D 值會逐漸上升，而當進行大氣校正時未匯入 DSM 會導致平均 D 值急劇上升。由圖 6.11 亦可得知在同一密度等級下，較地勢較平坦之區域一，其 D 值相對於區域二而言較小。

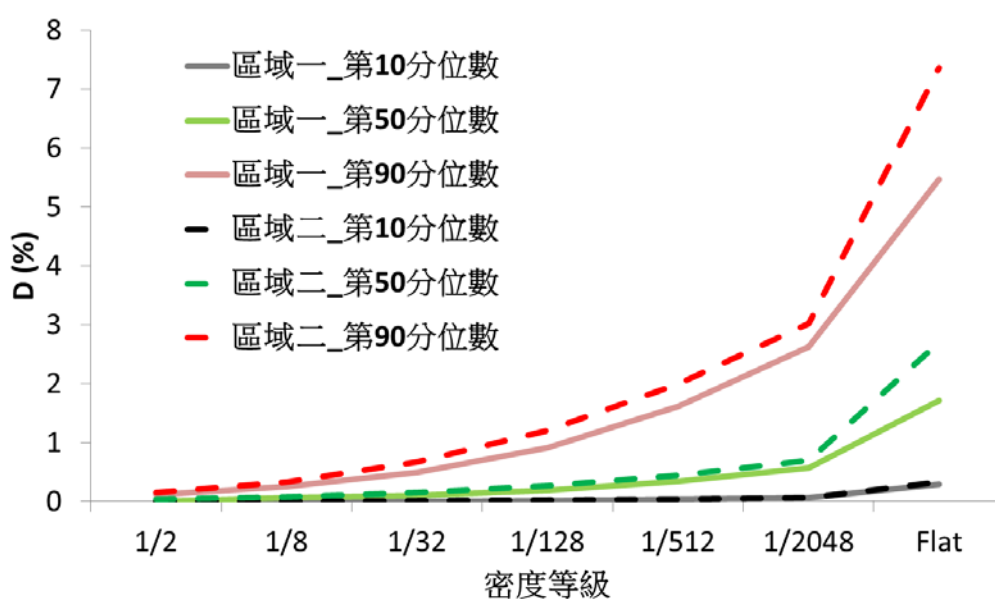


圖 6.11 兩區域中 D 值之變化

而從圖 6.9 之光譜曲線比較圖中，使用原始點雲產製之 DSM 進行大氣校正與未匯入 DSM 之成果看似相當相近，但由圖 6.10 及圖 6.11 卻發現其平均 D 值相當的大，表示整體而言，有無輸入 DSM 之校正成果有顯著性的差異，因此藉由圖 6.12 及圖 6.13 可觀察兩區域 D 值之分布情形，D 值為 0% 用藍色表示，而高於 5% 則用紅色表示。

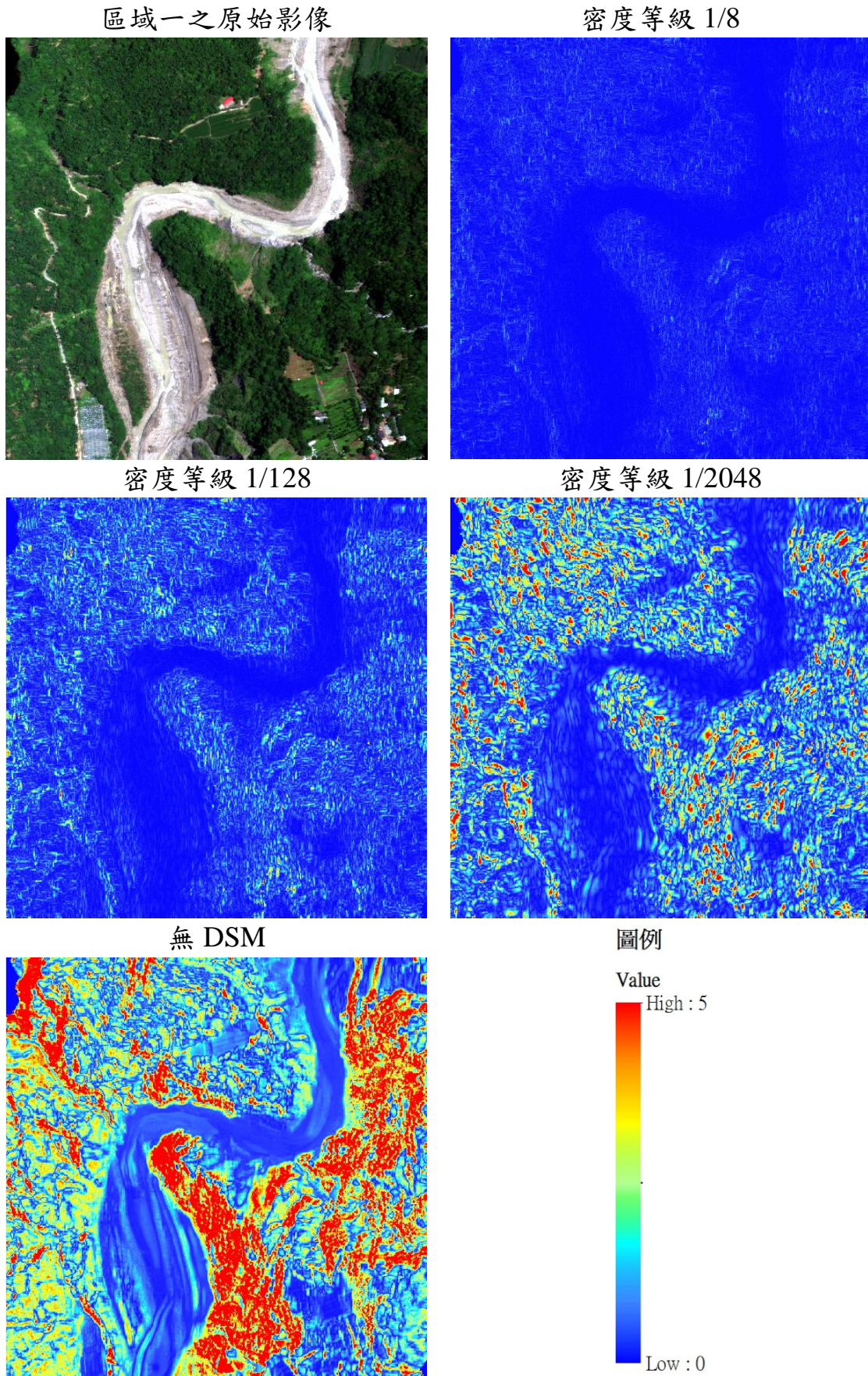


圖 6.12 區域一之 D 值分布情形

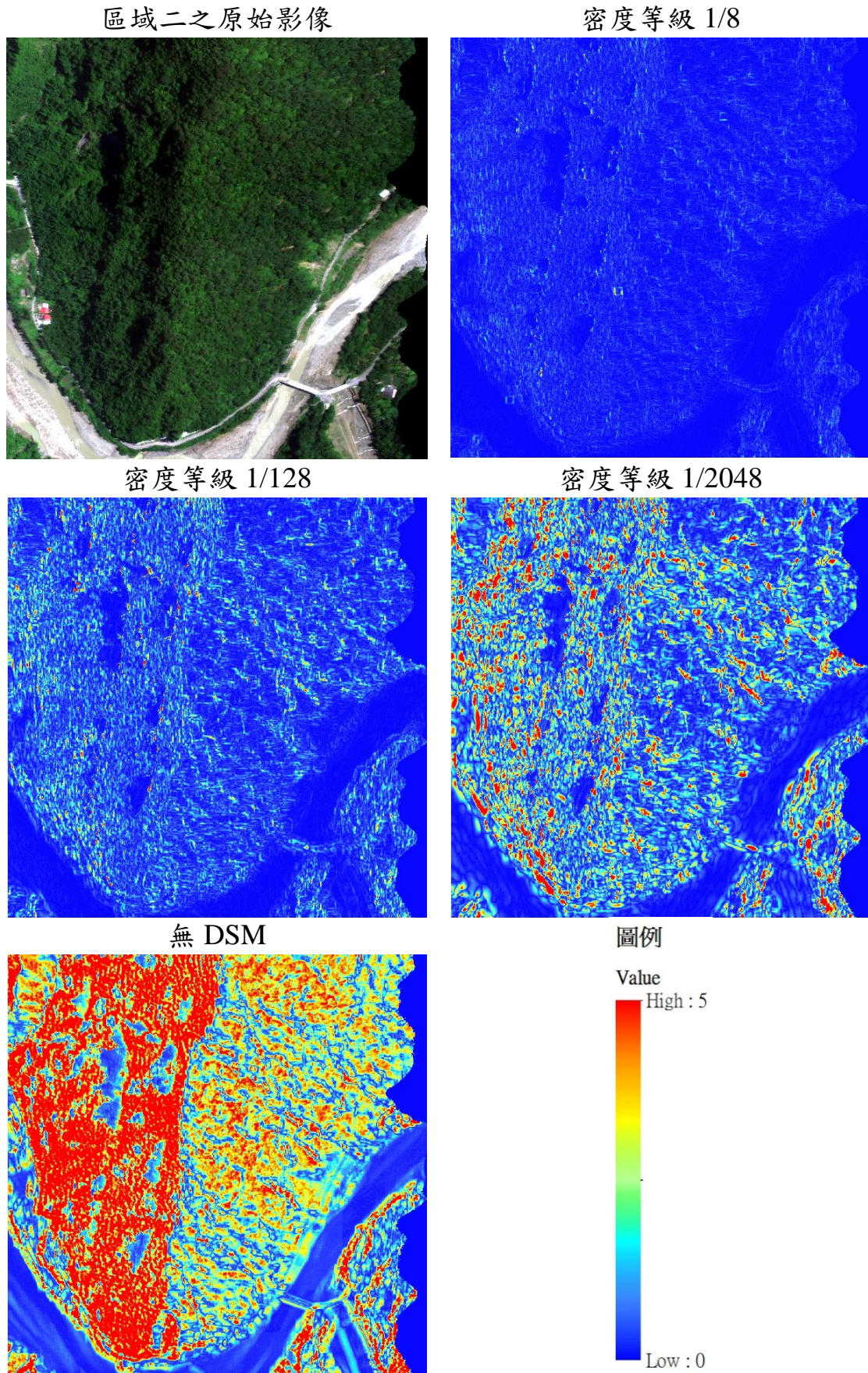


圖 6.13 區域二之 D 值分布情形

仔細觀察圖 6.13 之右下方，有一座橫跨河流的橋，比較密度等級 1/2048 及無 DSM 之成果，可以發現到密度等級 1/2048 之成果其有部分橋被標示為紅色，而無 DSM 之成果其整座橋之 D 值皆十分一致。觀察 DSM 即可了解其原因，如圖 6.14，在密度等級為 1/128 時，其 DSM 仍可清楚看到橋之特徵，而在密度等級 1/2048 時，其 DSM 中之橋則不完整，原因為點雲密度過於稀疏，導致產製出的 DSM 出現錯誤，進而使大氣校正成果出現不穩定的情況。此即是圖 6.9 之光譜曲線比較圖中，未匯入 DSM 之成果比密度等級 1/2048 之成果，較近似於對照組之原因。

觀察圖 6.12 及圖 6.13 可以得知在地勢較平坦之處，其 D 值較小，如河流及農地之 D 值幾乎接近於 0%，而地勢非平坦之處，其 D 值則較高。而就整體 D 值之分布而言，有匯入 DSM 之成果其 D 值分布較無特定之趨勢，而無匯入 DSM 之成果其 D 值則有特定之趨勢，皆是背陽面之 D 值大於向陽面，且導致背陽面域其 D 值相當大，幾乎皆高於 5% 以上。

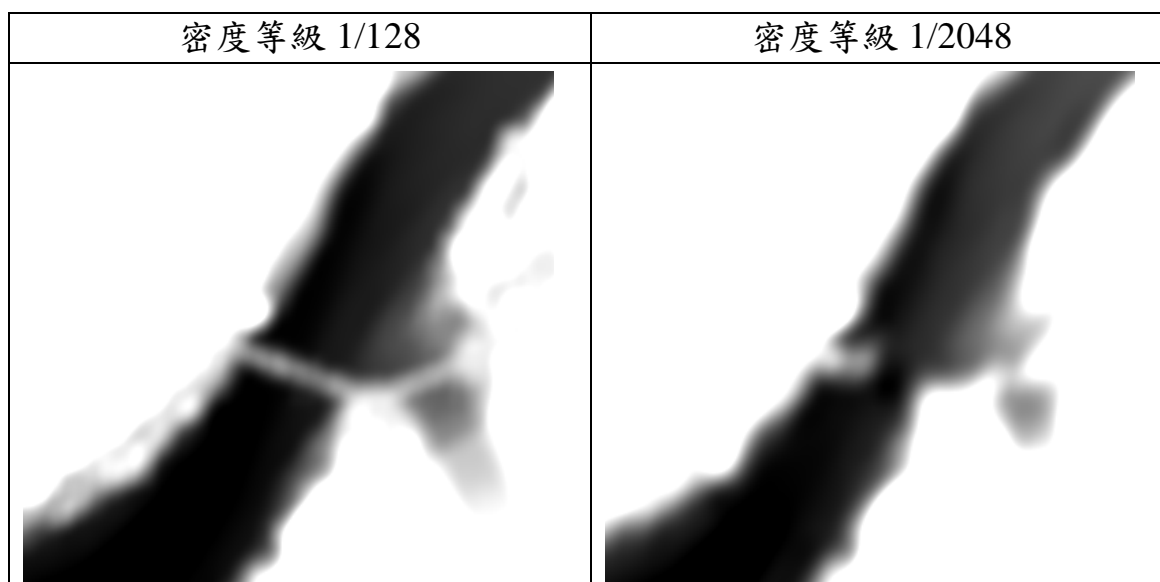


圖 6.14 不同密度等級所產製之 DSM

而上述之 D 值為單一像元中整體光譜曲線差異之評估，無法得知各個波段上之差異量，因此藉由公式(6.3)來計算每個波段上差異量之百分比平均(B)。將波段分為四區，分別為藍光波段、綠光波段、紅光波段以及紅外光波段。

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{|image1(\lambda_i) - image2(\lambda_i)|}{image1(\lambda_i)} \times 100\% \quad (\text{式 } 6.3)$$

其中，

*image1*：對照組校正成果之反射率

*image2*：實驗組校正成果之反射率

$\lambda$ ：波長

計算結果如圖 6.15 及圖 6.16，藍色表示 B 介於 0-7%、洋藍色表示 B 介於 7-14%、綠色表示 B 介於 14-21%、黃色表示 B 介於 21-28%、紅色則表示 B 大於 28% 以上。亦顯示出地勢較平坦之處，其 B 值較小，如河流及農地；而地勢非平坦之處，其 B 值則較高。未匯入 DSM 之成果皆是背陽面之 B 值大於向陽面，尤其是紅外光波段上最為明顯。整體而言，無論是向陽面或是背陽面，相較於其他波段，紅外光波段之 B 值較大許多。



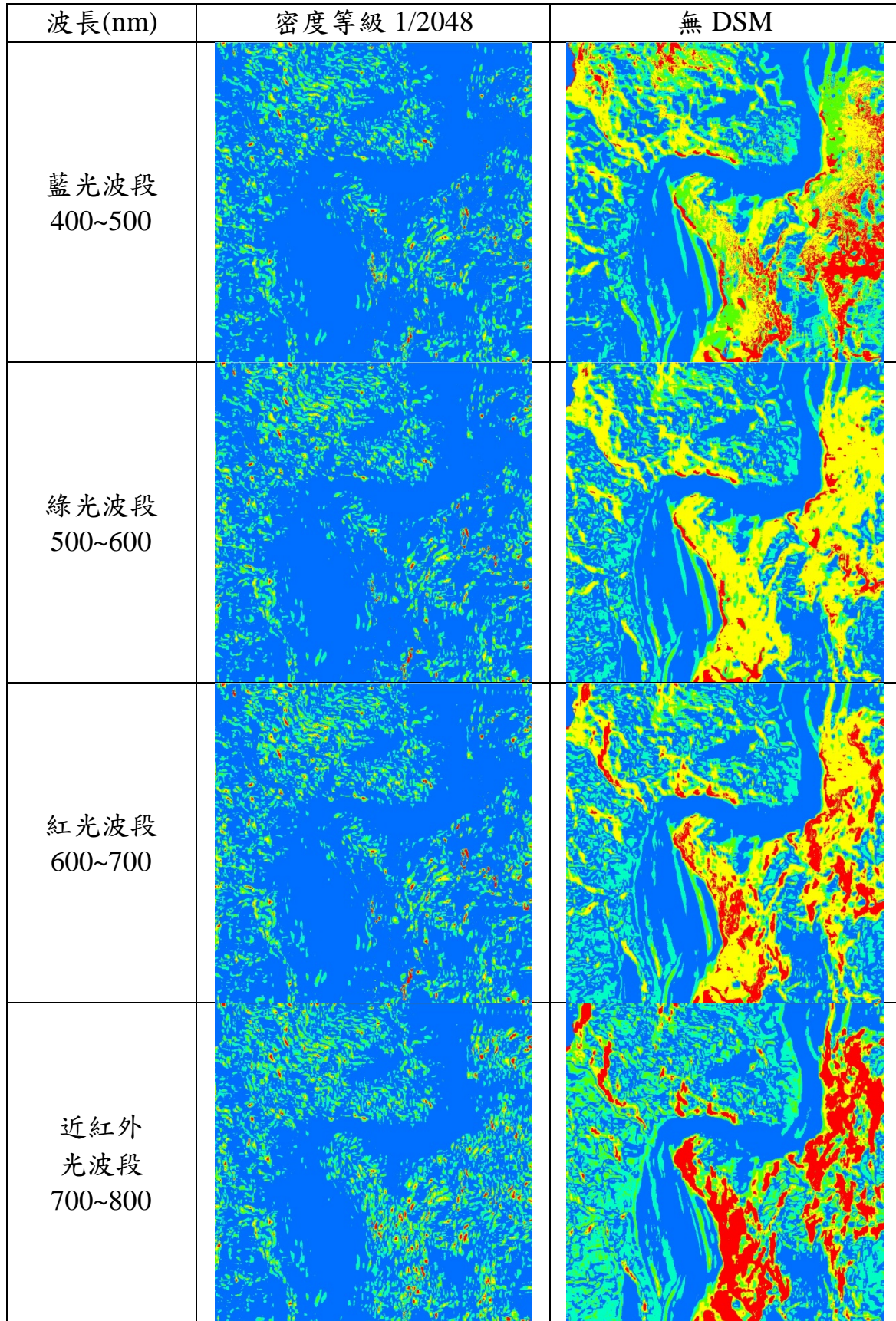


圖 6.15 區域一之 B 值分布情形

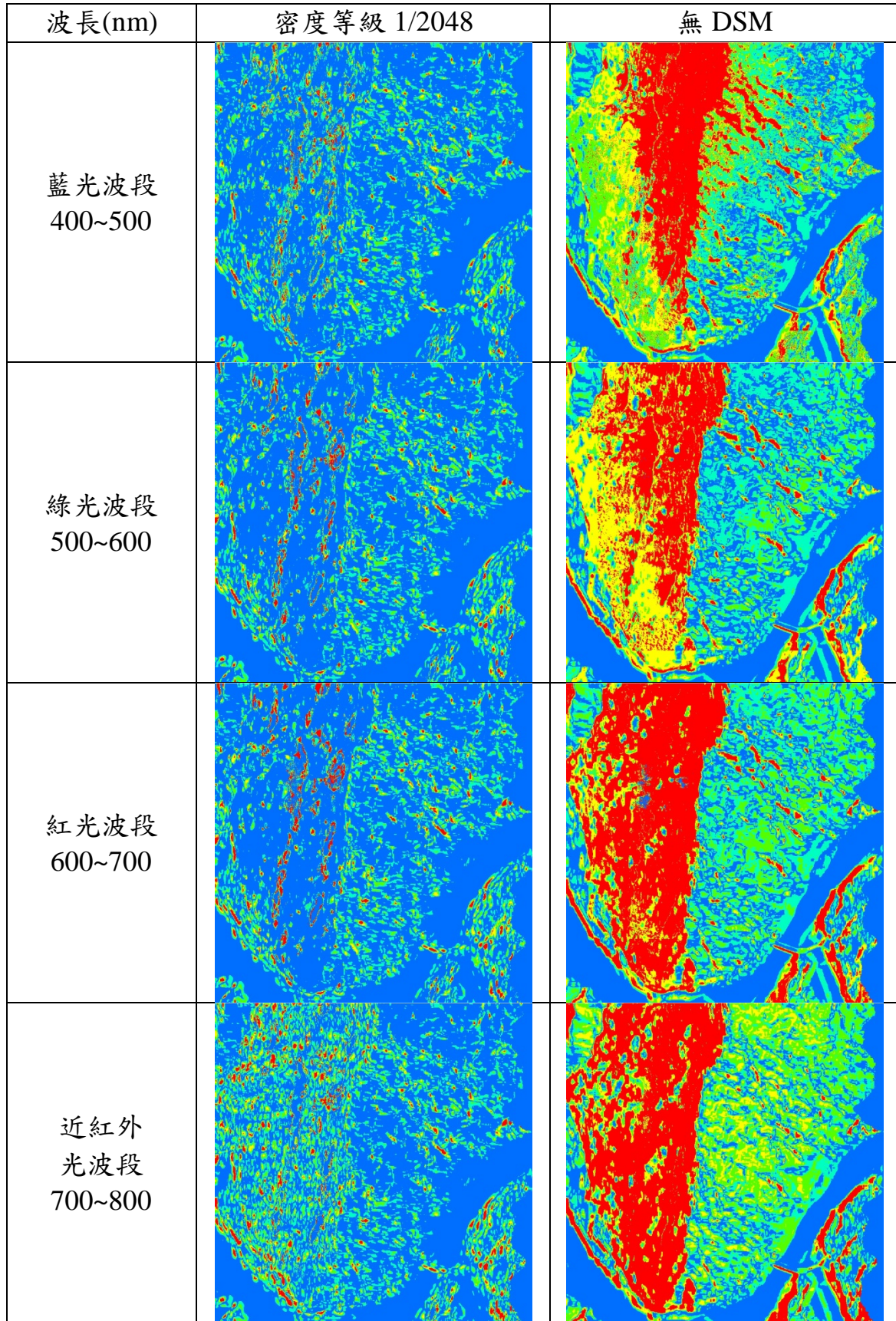


圖 6.16 區域二之 B 值分布情形

接下來探討為何未匯入 DSM 進行大氣校正會導致背陽區域之差異非常大，如圖 6.17 之綠色點所標示之位置，觀察該位置之原始影像(圖 6.18 上)、未匯入 DSM 之大氣校正(圖 6.18 中)以及匯入 DSM 之大氣校正(圖 6.18 下)，可以發現原始影像在坡度變化之處(圖 6.18 黃框)感測器所接收到的輻射值不同，而未匯入 DSM 之大氣校正成果亦在坡度變化之處反射率亦不同，在匯入 DSM 之大氣校正成果可校正因地形變化所導致接收到的輻射值不同問題，校正成果如圖 6.19 所示。

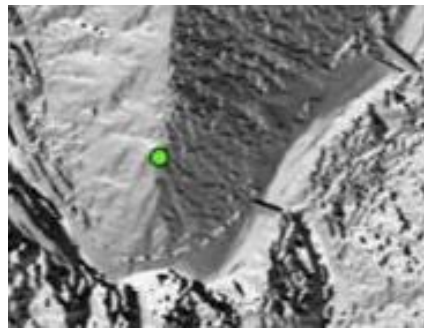


圖 6.17 剖面位置

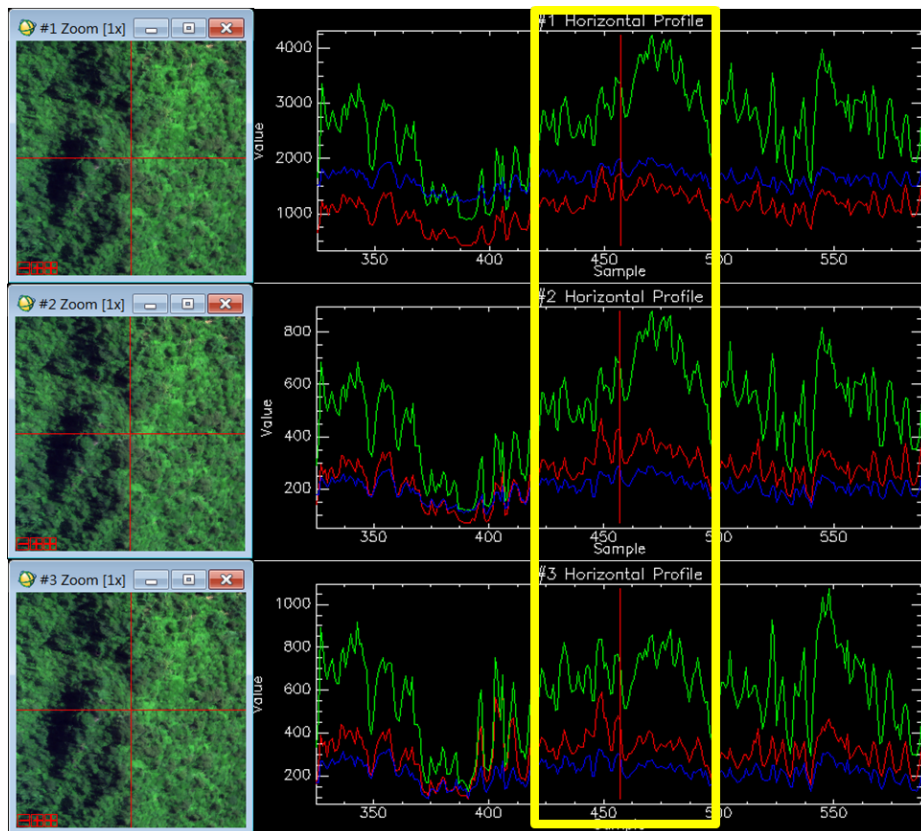


圖 6.18 為圖 5.13 位置之 x 剖面

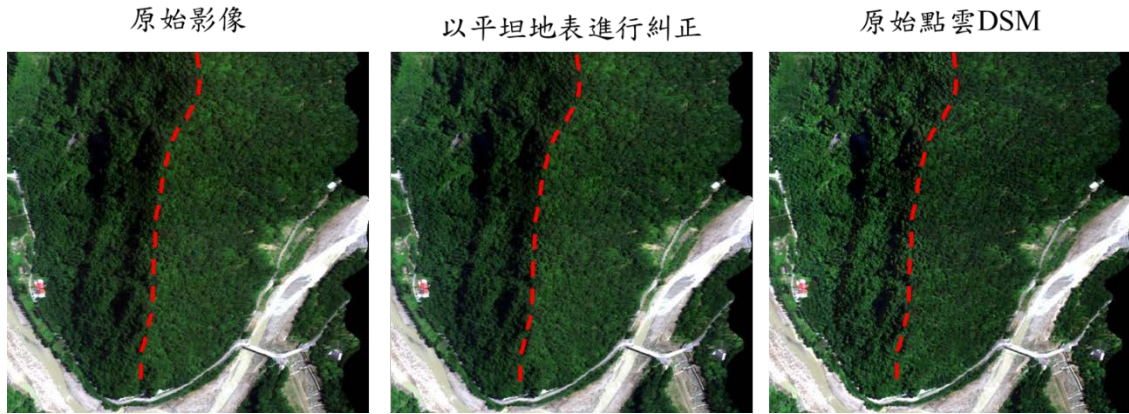


圖 6.19 匯入 DSM 資訊可校正背光處之陰影

綜合以上討論，匯入 DSM 資訊能校正因地形變化所導致接收到的輻射值不同之問題，且在實驗組中密度等級 1/128 之成果和對照組之成果十分相近(圖 6.12 及圖 6.13)，其點雲密度只有 0.15 點/m<sup>2</sup>，由此可以大氣校正所需之 DSM 要求不高，但仍需注意若點雲密度過稀疏，可能導致產製之 DSM 有錯誤，使大氣校正成果不穩定，產生出誤差極大的誤差，根據本案測試結果，點雲密度至少要 0.15 點/m<sup>2</sup> 以上，才能得到較穩定的大氣校正成果。

### 6-3 光達資料於出露地層界線及地質線形（如斷層或褶皺等）之判釋 並於潛在崩塌區進行植生特徵與地形特徵判釋

本項成果探討共分為四個部分，分為別地形特徵判釋、現地查核、地形特徵判釋修正與崩塌植生特徵分析，將各項成果分述於以下各小節。

#### 6-3.1 地形特徵判釋

##### 1. 地層判釋

本案利用高精度數值地形進行判釋，輔以地形曲率及岩性差異反映出不同之地表侵蝕地形特性等資訊進行地層界線之判釋，判釋成果以研究區域之西北方地層-糖恩山砂岩層、鹽水坑頁岩層以及隘寮腳層之界線較為顯著，如圖 6.20~圖 6.21 所示，圖面西北方判釋之地層界線主要分隔三個地層，由東到西分別為糖恩山砂岩層、鹽水坑頁岩層以及隘寮腳層，綜合樣區地質概況與地層特徵可發現，糖恩山砂岩層以塊狀砂岩為主，為較堅硬，抗外營力較強之岩層，因此在地形地貌表現上較高突。鹽水坑頁岩與隘寮腳層皆以細顆粒材料為主，如頁岩、泥岩以及粉砂岩，因此相對於糖恩山砂岩而言，地形地貌的表現上會較為低矮凹陷。此一現象明顯表現在未經地質構造干擾的測區西北地區。而就侵蝕特性而言，糖恩山砂岩地形較為高陡，坡面侵蝕特形呈平整狀，起伏不明顯，水系發育亦不顯著。而在鹽水坑頁岩與隘寮腳層區域，地形較為平緩，坡面侵蝕特形呈鋸齒狀，水系發育密度較高，從圖 6.21 亦可發現，鹽水坑頁岩與隘寮腳層中出露較堅硬之砂岩，於地形顯現出較高突的特性，地層約略呈北北東-南南西走向。

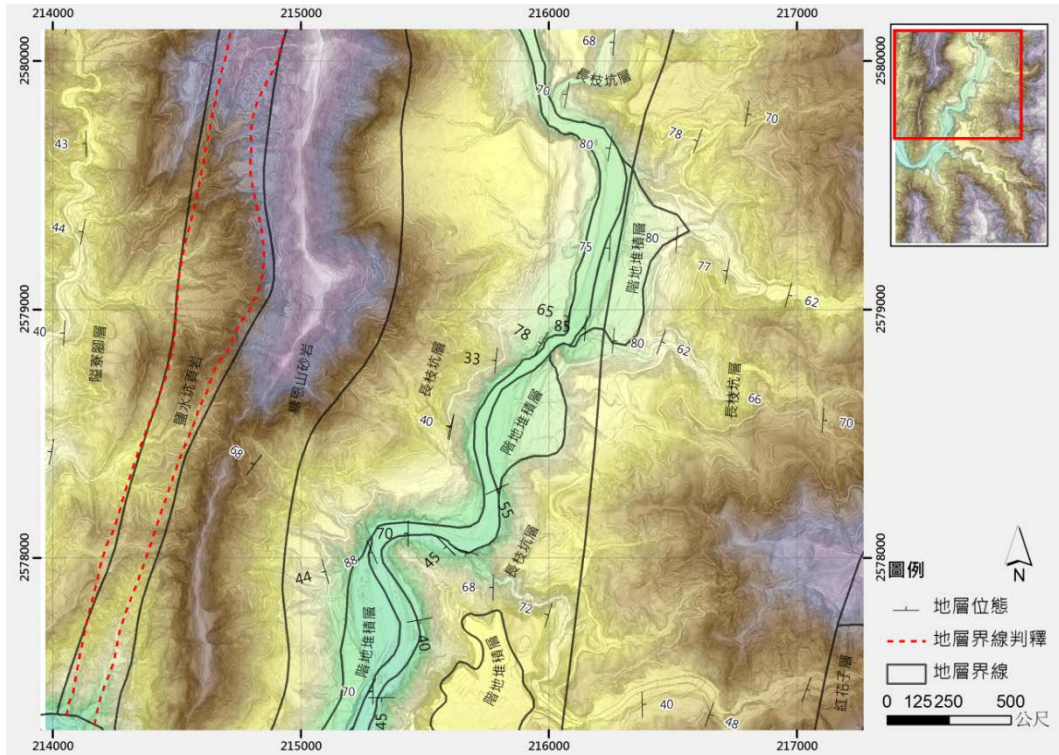


圖 6.20 研究區域內地層界線判釋初步成果圖(1/2)

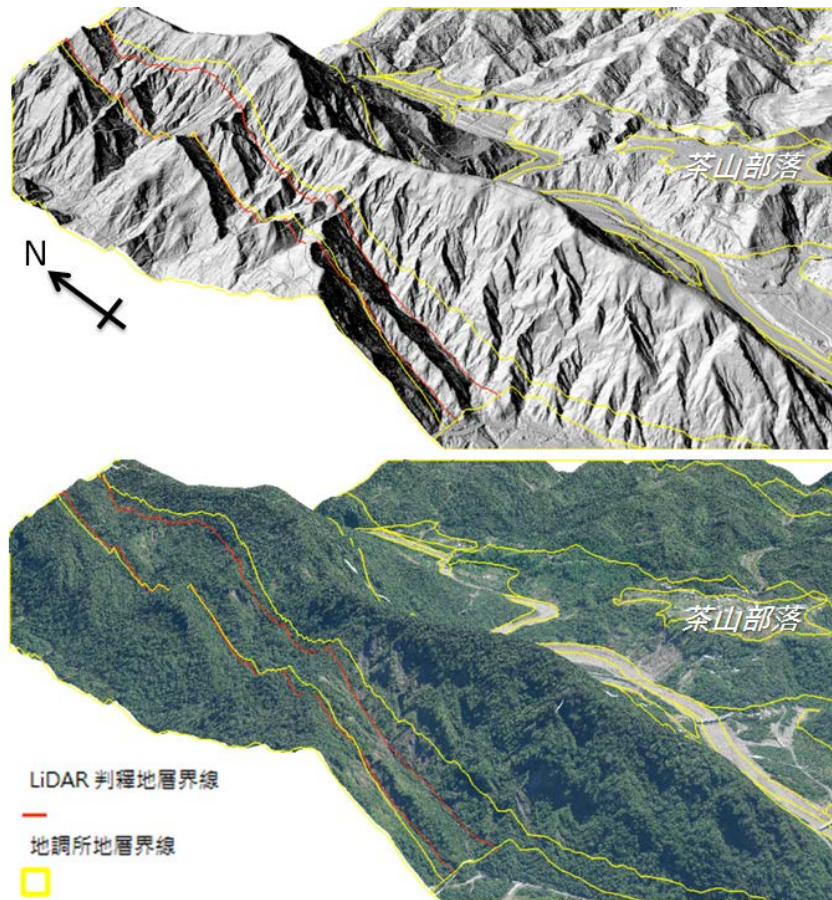


圖 6.21 研究區域內地層界線判釋初步成果圖(2/2)

## 2. 地質線形特徵判釋

本案針對研究區域內主要出露之斷層、褶皺等地質構造線形，參考既有地質圖資料進行判釋與比對，針對地質構造線形兩側之地形變化顯著區域，依據岩性與弱面反映出之地形特徵，與地質資料進行比對分析與數化圈繪(圖 6.22)，再至現地進行露頭尺度查核、確認與修正判釋結果。

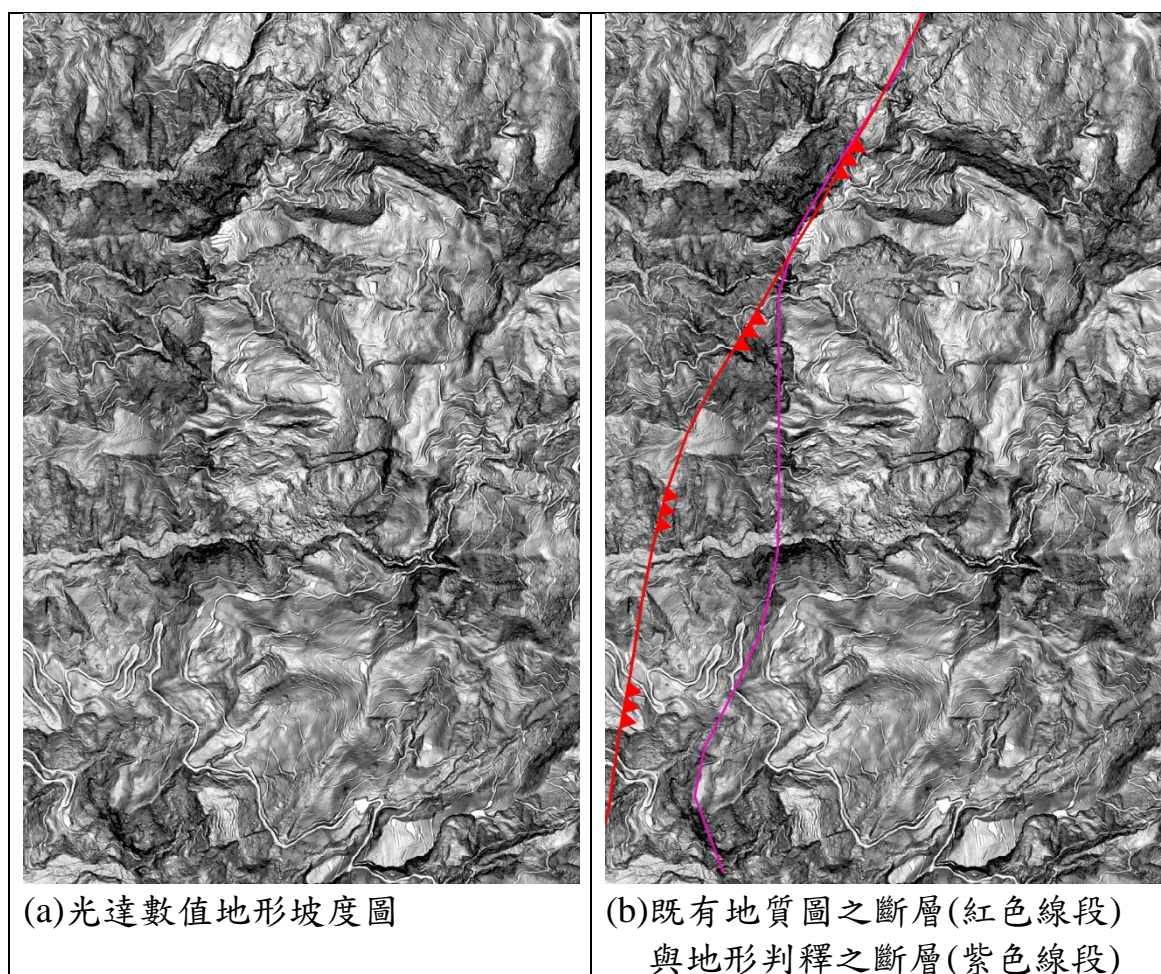


圖 6.22 斷層地形特徵判釋示意圖

本案判釋成果如圖 6.23 所示，測區範圍內地質構造由東至西主要為新美背斜、獺頭斷層、茶山向斜、茶山斷層以及布拉社斷層，經由光達高精度數值地形判釋，共有四個區域，具備明顯之線形與地形特徵(圖 6.23 編號 1~4)。其中有兩處編號 1、2 區域為茶山斷層的線形特

徵，編號 3 區域具備褶皺特徵，而編號 4 區域位於新美背斜軸部位置，但具順向坡地形特徵。而上述區域之細部特徵與現地查核結果如下節所述。

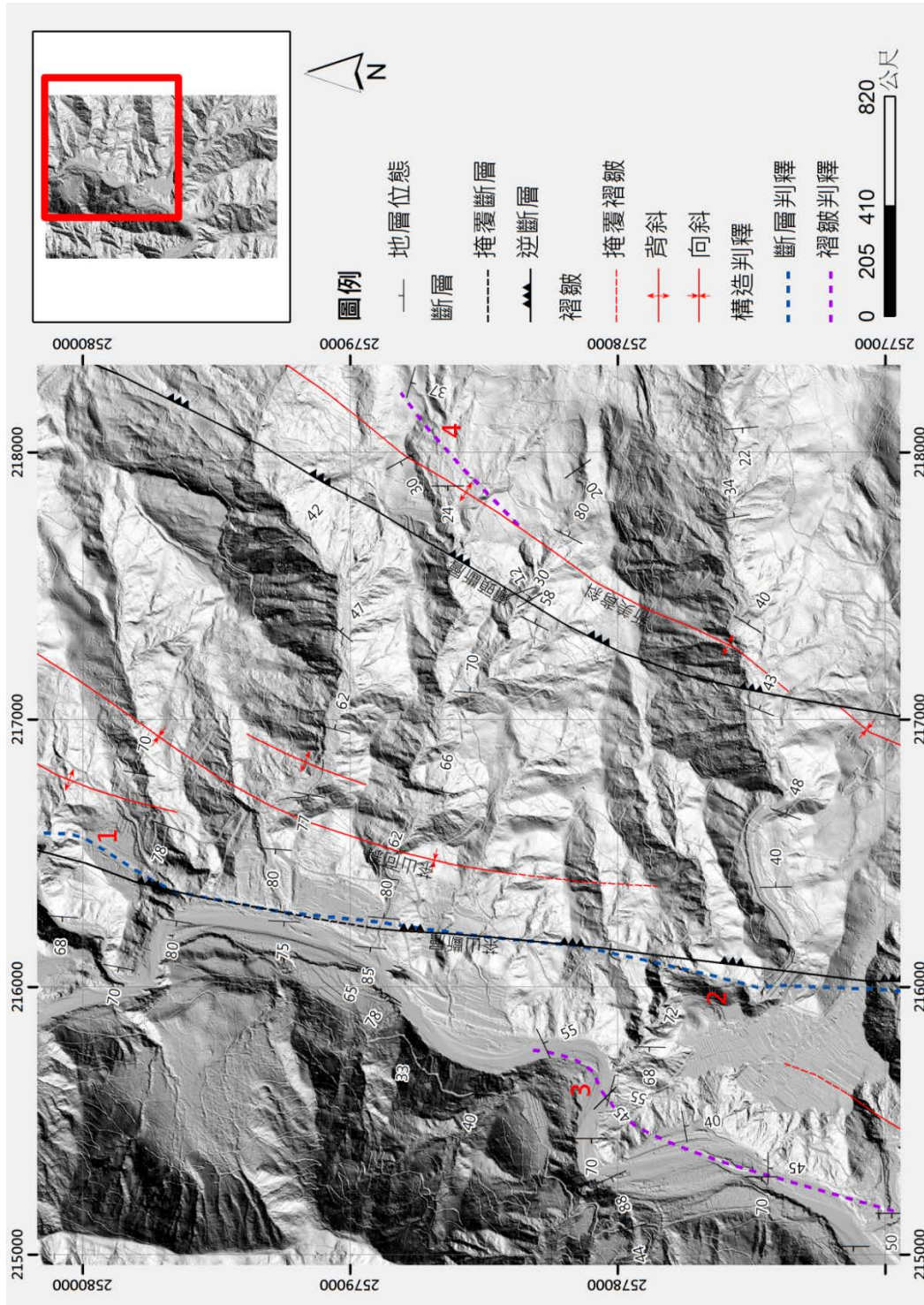


圖 6.23 研究區域內地質構造判釋成果圖



### 3. 潛在崩塌地形判釋

崩崖的判釋為本案主要關注項目之一，為了解潛在崩塌區之植生特徵，與後續高光譜與光達融合資料之植生分類進行比較，本項目利用莫拉克颱風事件災後正射航照、及本案產製之光達數值地形與同步拍攝正射航照為材料，針對崩塌之崩崖特徵進行全區域判釋工作，以為後續各項植生調查與分析工作之基礎，而判釋成果示意圖如下圖 6.24：

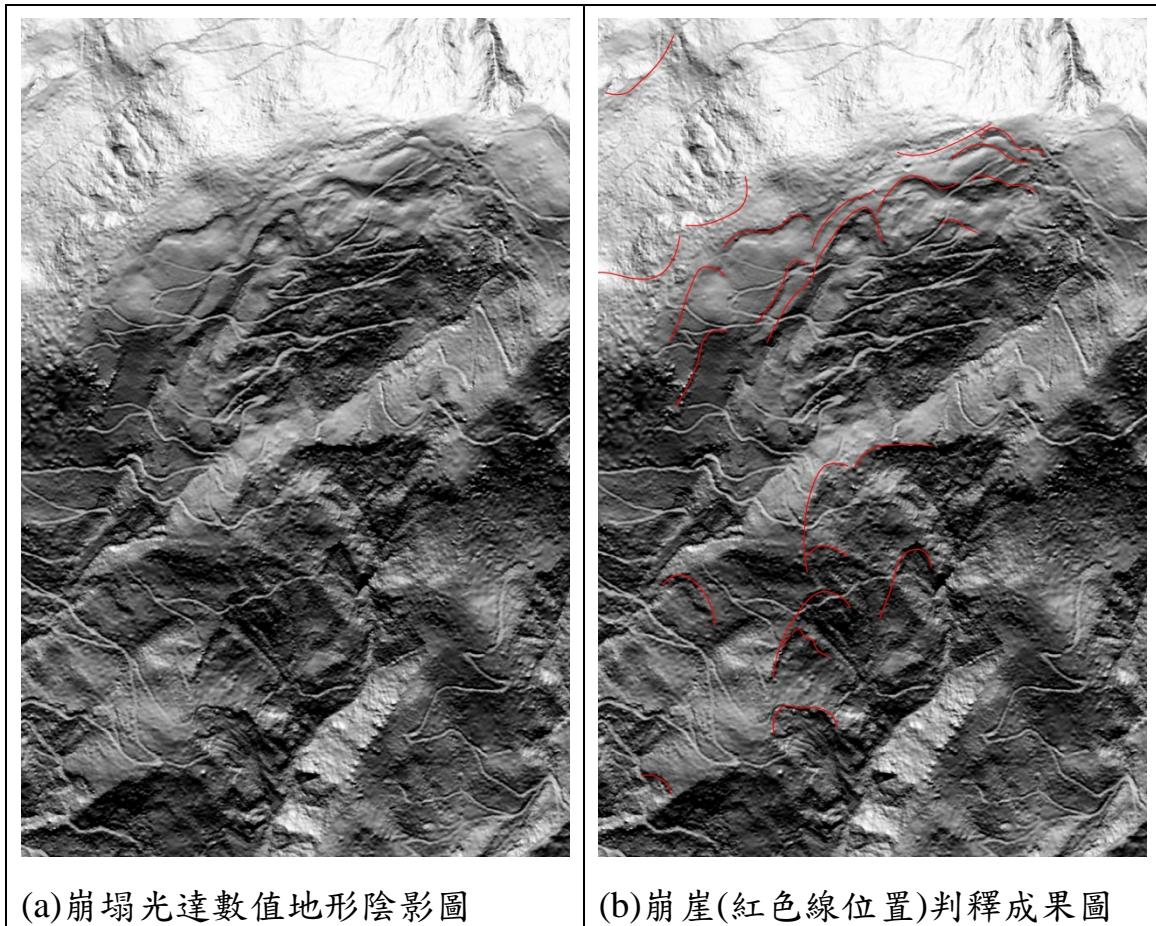


圖 6.24 崩塌光達數值地形陰影與崩崖判釋成果比較示意圖

本案判釋成果如圖 6.25 所示，莫拉克颱風事件之崩塌共有 245 個，其總面積約為 35.82 公頃；判釋成果其潛在崩塌之崩崖及現生崩塌之崩崖(含莫拉克颱風事件)共 564 個。現生崩塌主要分布於溪溝與河川旁陡

坡，主要因溪溝或河川側蝕邊坡淘刷坡腳造成崩塌發生；其次為山腰或鄰近稜線之邊坡，因溪溝或向源侵蝕誘發崩塌發生。判釋出之崩崖則主要分布於山頂及山腰稜線附近，顯示本區之崩塌多已發育至坡面上半部。

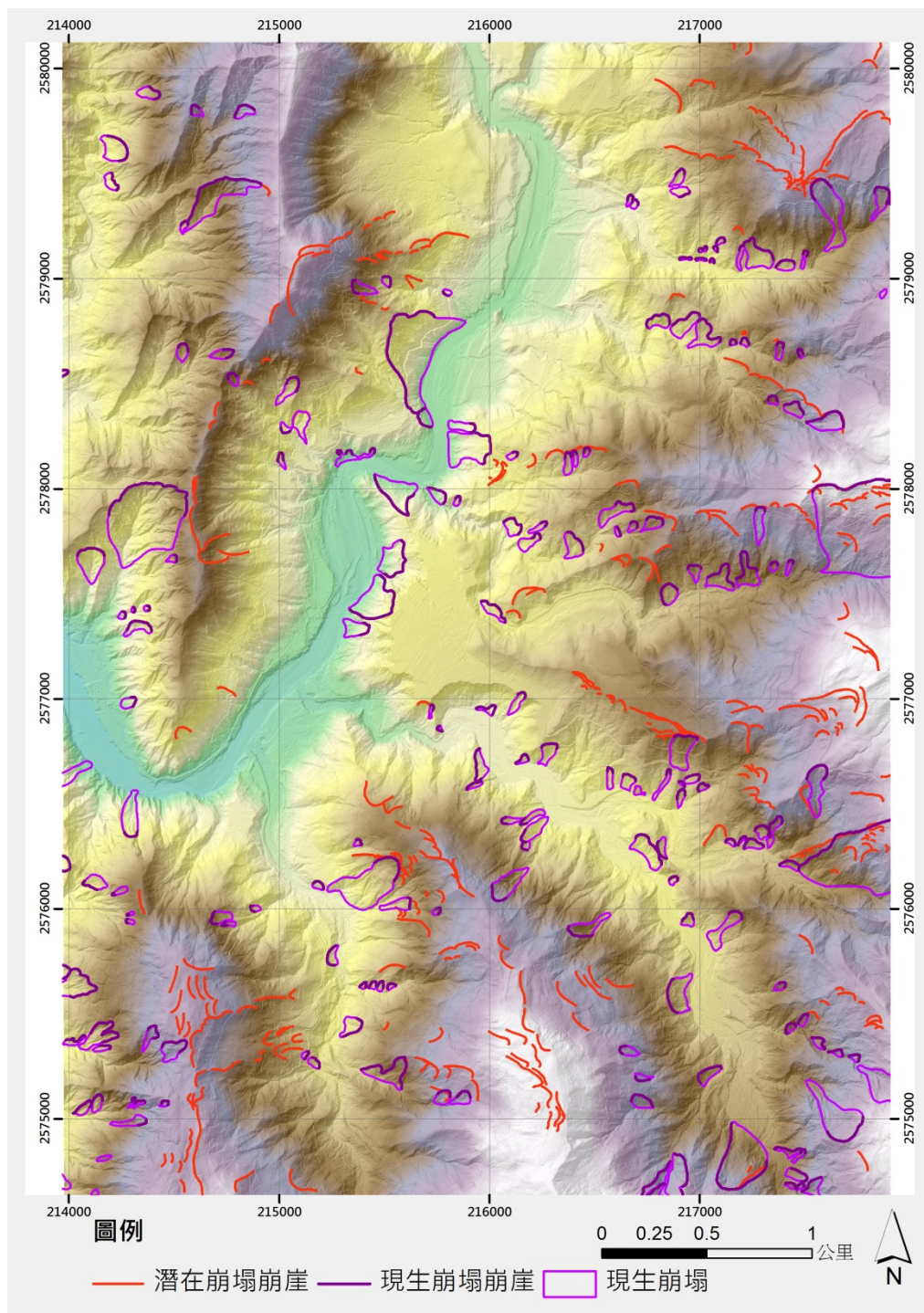


圖 6.25 現生崩塌與潛在崩塌之崩崖判釋初步成果圖

### 6-3.2 現地重點查核

本案共完成 46 處現地重點查核（如下圖 6.26），其中 31 處為地質查核與 15 處為潛在崩崖之查核，茲將目前查核結果整理如下：

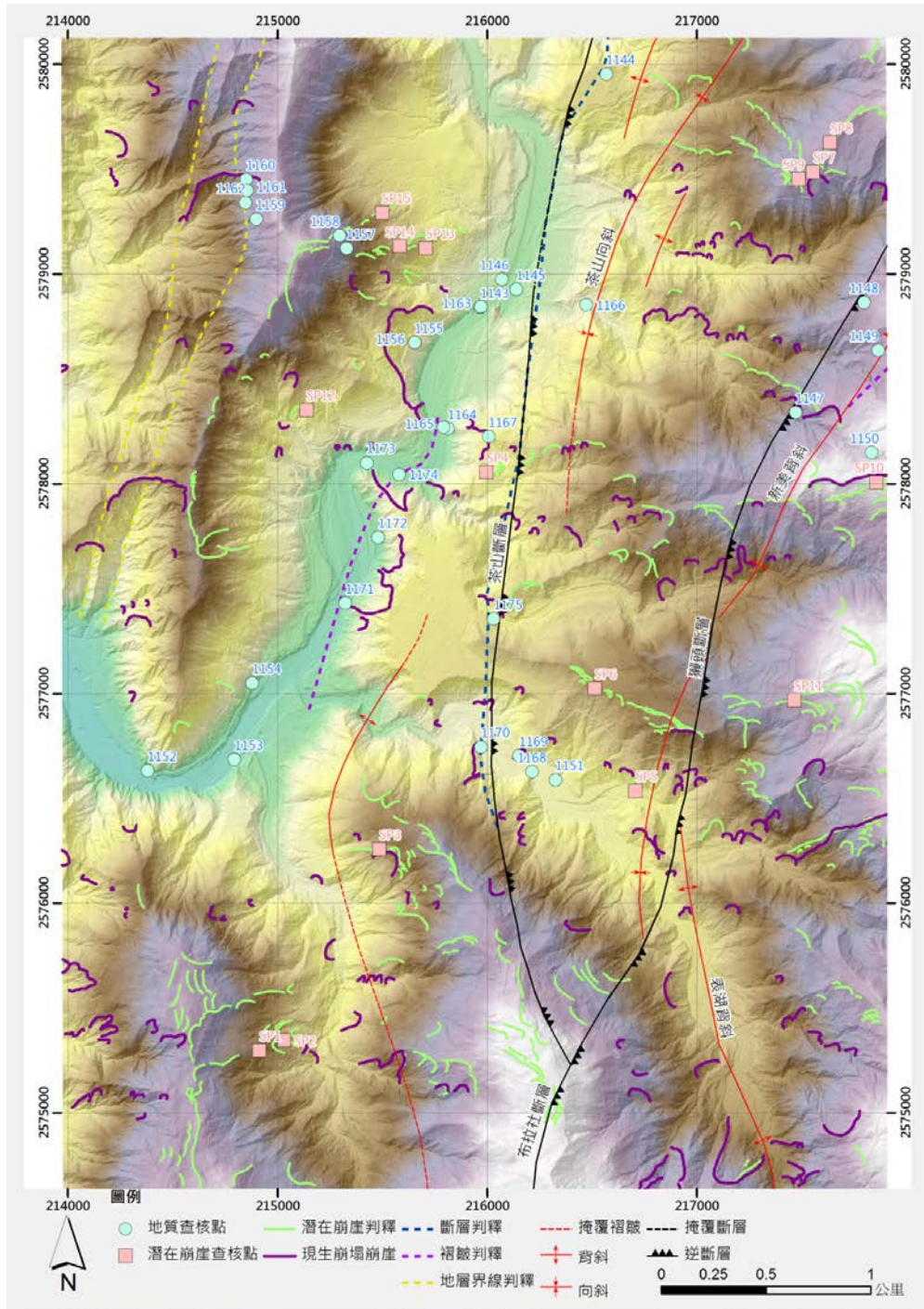


圖 6.26 現地重點查核點位與判釋成果分布圖

### 6-3.2.1 地層判釋現地重點查核

地層判釋之現地重點查核點(圖 6.27、編號 1159~1162)，位於研究區西北側之糖恩山砂岩層與鹽水坑頁岩層交界處，經線現地查核結果顯示，查核點編號 1159 之岩性為砂岩，而往西至查核點編號 1162 處已轉為頁岩為主之地層，而本案判釋之糖恩山砂岩層與鹽水坑頁岩層交界處西側之裸露地亦呈現頁岩為主的裸露坡面。

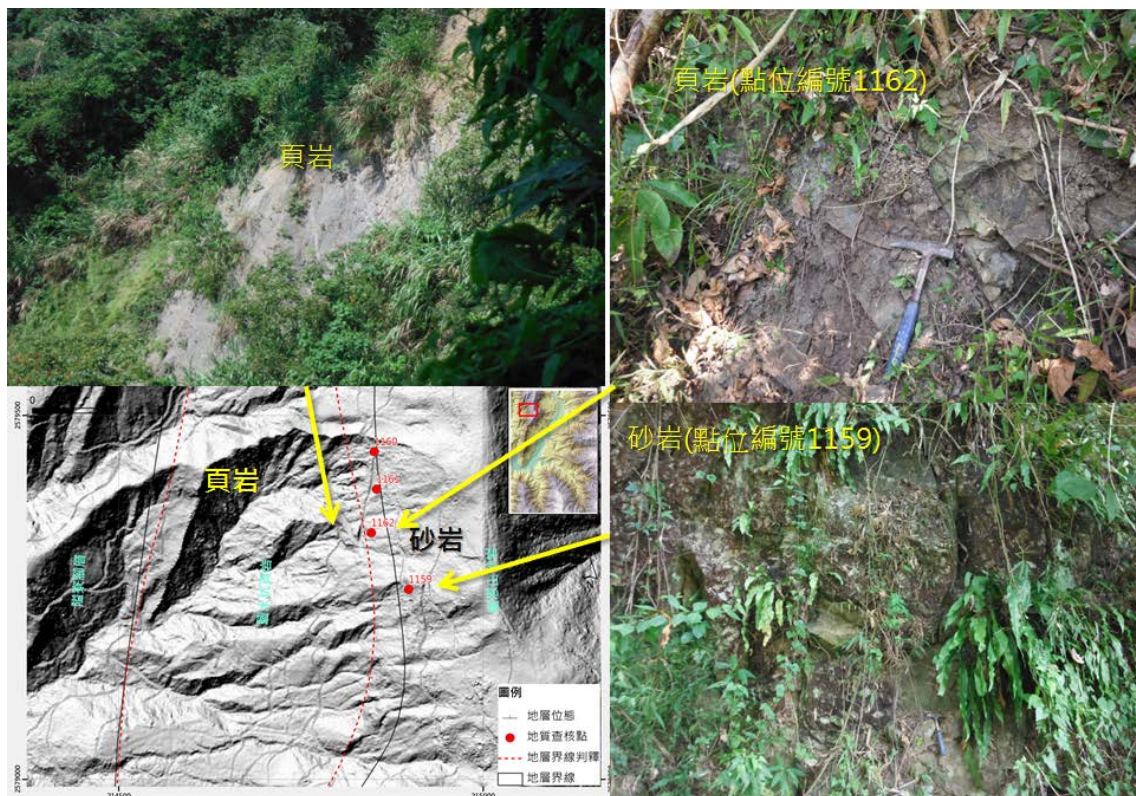


圖 6.27 地層判釋之現地重點查核成果圖

而從光達數值地形產製之坡度圖(下圖 6.28)亦顯示，在判釋的地層界線東側(糖恩山砂岩層)，其坡度相較於西側(鹽水坑頁岩層)為平緩，且地形較為平整，坡面較少蝕溝發育。而在現有地質資料標註之層界東西兩側，則較無差異現象。此顯示，此顯示本區之地層界線仍有再次確認的必要性。

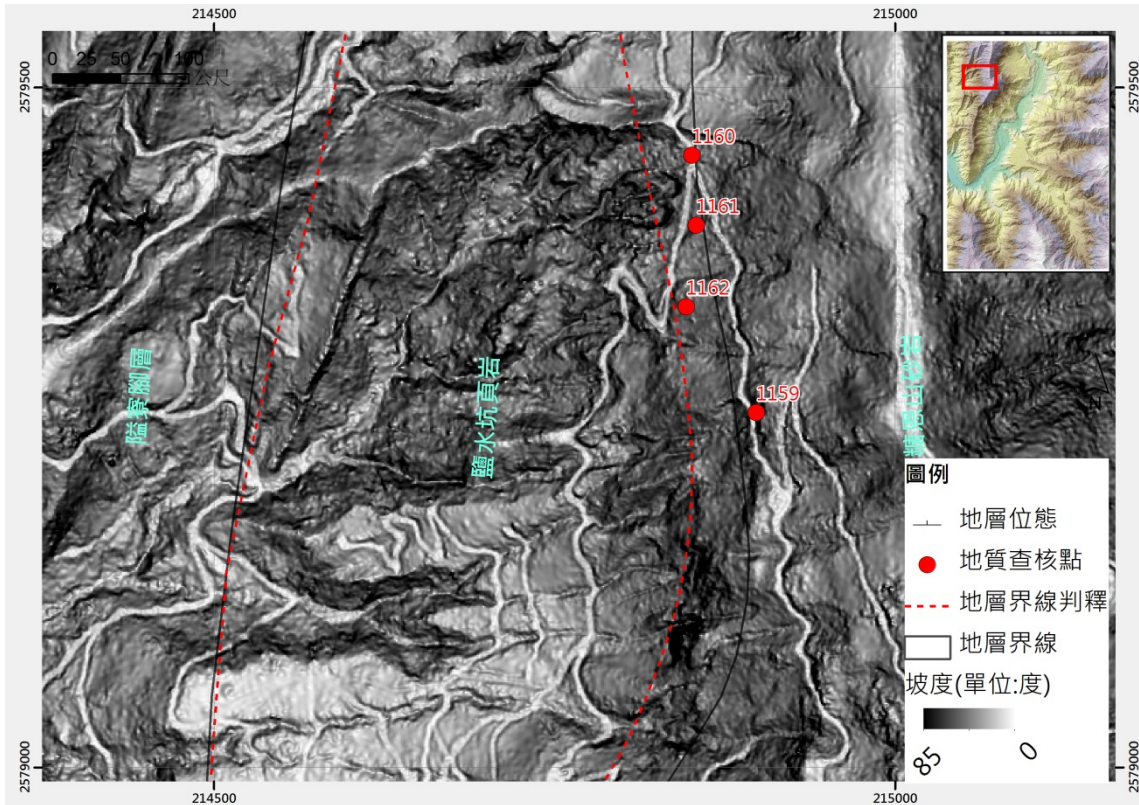


圖 6.28 地層判釋區域鄰近之坡度侵蝕特性圖

### 6-3.2.2 地質構造線形判釋現地重點查核

在地質構造線形判釋現地重點查核部分，於 16 處現地地質查核點位中，共有四處具備地質構造現形特徵，茲分述如下：

#### 1. 茶山斷層北側之河階高低差(編號 1144)

本處位於研究區域內茶山斷層沿線最北側之河階台地區域(圖 6.29)，地質資料現顯示茶山斷層經過該河階台地之西緣。而於高精度數值地形則顯示河階台地中間，位置有一線形特徵，現形成北北東-南南西走向，線形之東側較西側為高，而經現地勘查確認此地形高低之差。而形成地形高低差的原因可能是由於斷層活動導致，另亦有可能是由於高低位河階地形所致，而實際之成因尚待透過地物或鑽探方式進行確認。



圖 6.29 茶山斷層北側之河階高低差位置與現況照片

## 2. 茶山斷層近茶山部落台地之人工構造物破壞(編號 1175)

茶山斷層近茶山部落台地之斷層線形判釋結果，主要沿著南-北向之水系發育(下圖 6.30)，而經現地查核顯示，茶山部落台地北側聯外道路判釋出斷層位置鄰近多處道路與人工構造物有破壞現象，其點位分布主要鄰近地調所之斷層線與本案判釋斷層線形間(圖 6.31~6.32)。從此位置之光達數值地形並無法清楚看出斷層錯動現象，初步判定人工構造物破壞可能由於斷層鄰近地層破碎造成人工構造物基礎不穩固，受外力後產生破壞。此說明斷層兩側岩性若不具差異侵蝕性，則不易重地形資料加以判釋，僅能從人工構造物進行研判。

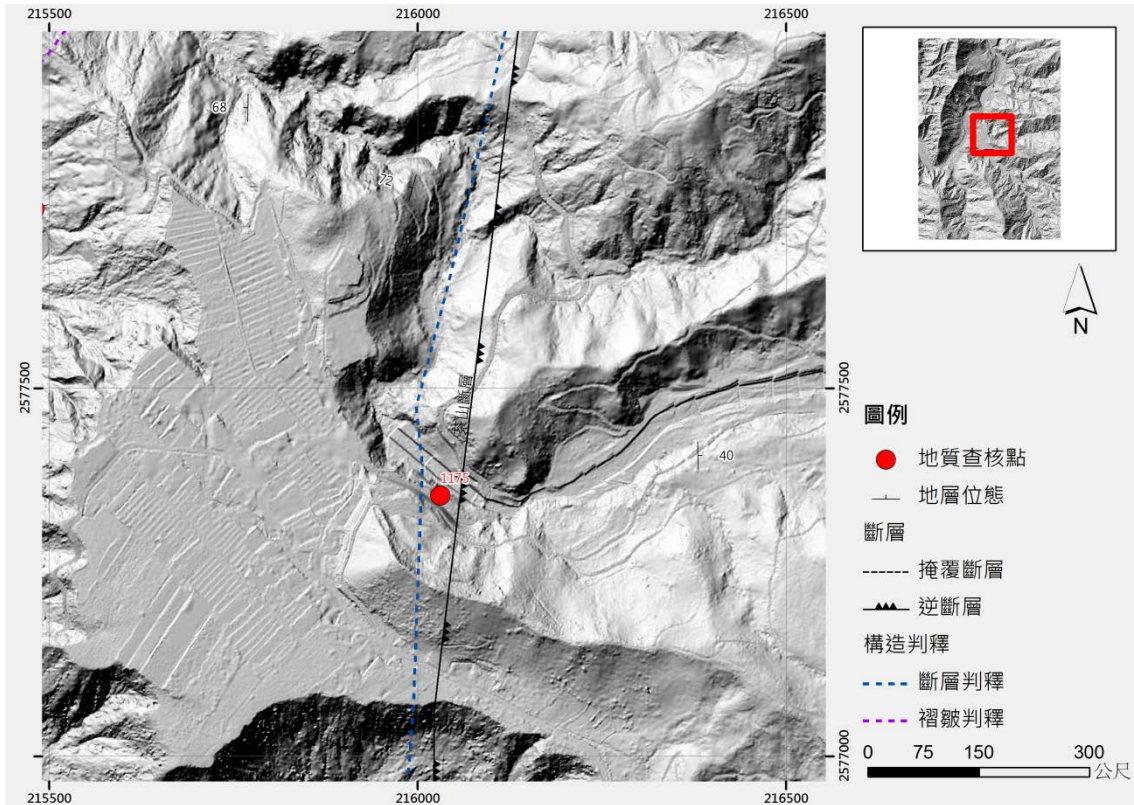


圖 6.30 茶山斷層近茶山部落台地之斷層線形判釋結果圖

依據斷層判釋之現地查核結果顯示，高精度數值地形應用於斷層判釋，與斷層地形受侵蝕風化的程度有關，侵蝕風化的程度越大或活動的年代越久遠，其所展現出的地形特徵越不明顯，尤其是在斷層兩側岩性相近或層間斷層，往往無地形上明顯特徵，僅能從人工構造物的破壞情形間接進行斷層的現地輔助判釋。而本區域之茶山斷層以、布拉社斷層及獺頭斷層(部分)皆為層間斷層，斷層兩側之岩性差異小，不易顯現出斷層鄰近現象之地形特徵，此亦增加判釋的困難度。

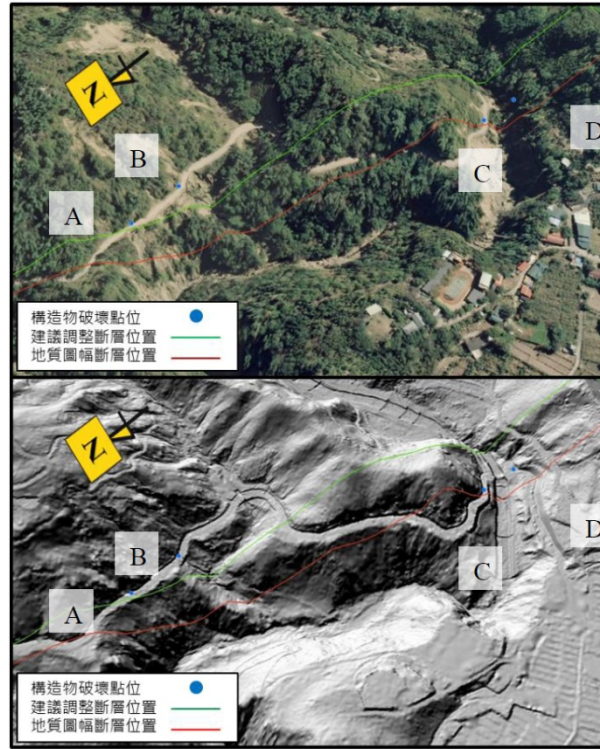


圖 6.31 研究區域內人工構造物破壞點位分布圖

<p>A：擋土牆有橫向破裂約 15 公分。</p>	<p>B：擋土牆有縱向破裂約 10-30 公分。</p>
<p>C：擋土牆有縱向破裂約 20-30 公分。</p>	<p>D：擋土牆坍塌現已修復。</p>

圖 6.32 人工構造物破壞點位現地照片



### 3. 曾文溪河道地層位態變化(編號 1171~1174)

曾文溪河道地層位態變化區域位於茶山部落河階台地之西北側，從光達數值地形陰影圖中，可判釋出曾文溪河道範圍內由於堅硬砂岩抗水流侵蝕能力強而產生突出河道的地形特徵，經現地調查，本區河道東側之地層約為  $N75W^0/55^0S$ ，而西側之地層位態為  $N-S/70^0$  左右(下圖 6.33)，而本區之河道呈現”N”字形水流特徵，主要亦受地層位態所控制。

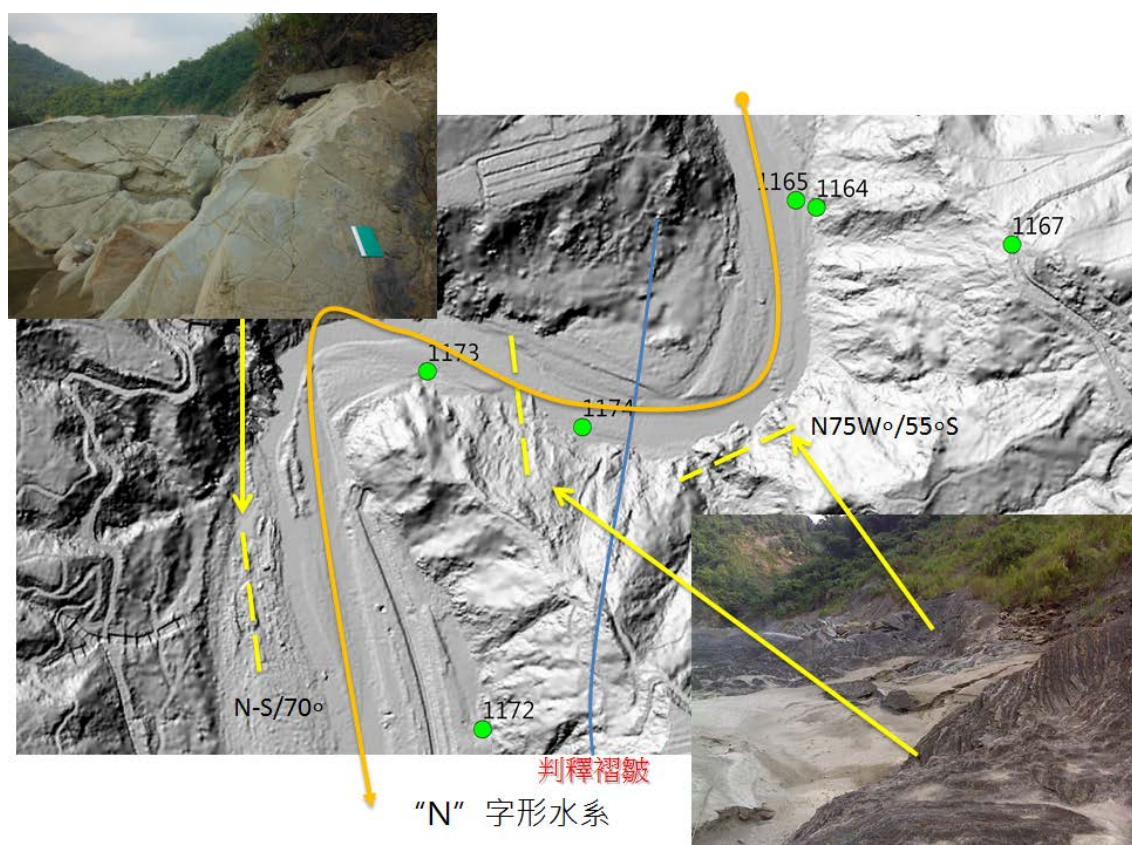


圖 6.33 曾文溪河道地層位態變化點位現地照片與判釋成果圖

由上述之判釋與現地查核結果，依據現地地層之連續性與位態之空間變化，初步判定本區存在一北北東-南南西走且向南傾沒之背斜構造，而依據地層位態進行判釋之背斜軸出露位置如下圖 6.34，背斜軸東翼地層傾向東南，西翼地層則傾向西南。此結果顯示光達數值地形

資料確實可應用於地質構造之判釋，唯其需具有抗侵蝕差異大之岩性出露區域，較易進行現象之判釋。

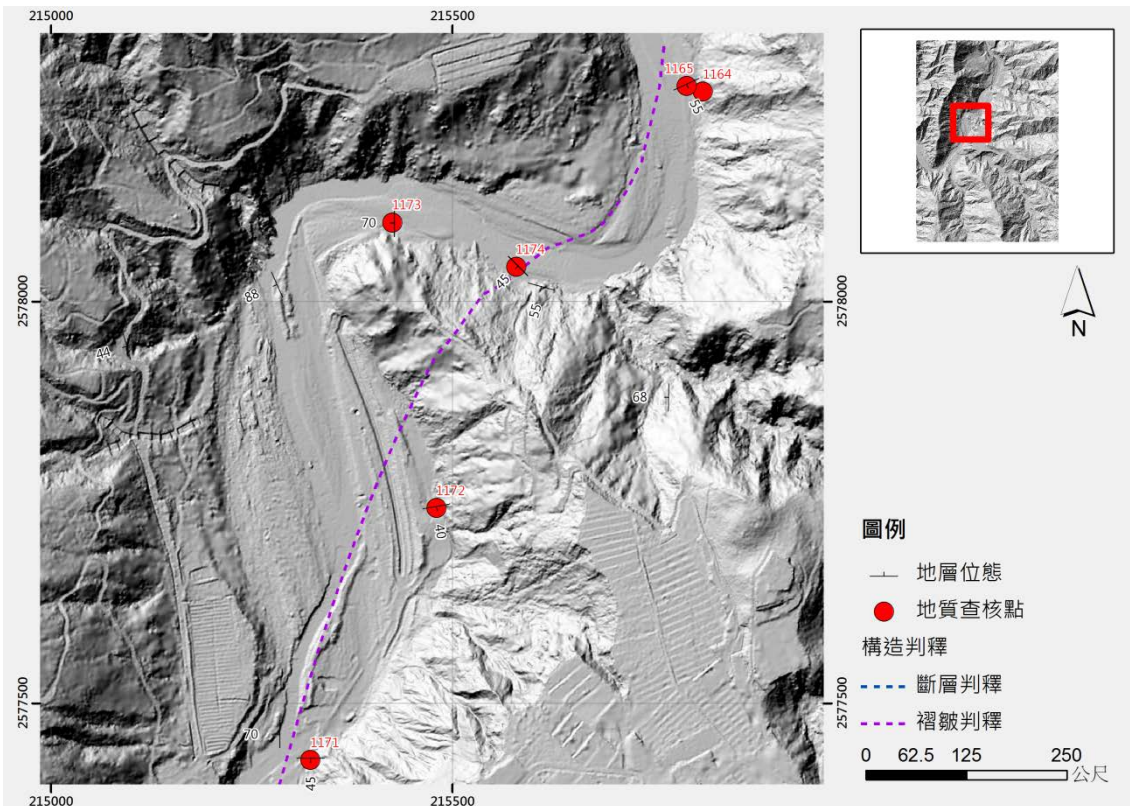


圖 6.34 曾文溪河道出露之背斜構造判釋成果圖

#### 4. 竹子屋部落聯外道路新美背斜軸部之順向坡地形(編號 1148)

從光達數值地形判釋出研究區域西側之新美背斜軸部位置，於竹子屋部落聯外道路上出露有順向坡地形特徵(如下圖 6.35)，經現地調查亦確認順向坡地形，地層位態為  $N5E^0/24^0W$ 。此顯示現有之新美背斜軸部位於順向坡上，此結果與背斜軸兩側地層傾向相反的特性不一致，因此本案建議可參考鄰近地層位態狀況，初步依據現有地層位態資料判釋出褶皺軸部，結合現地勘查方式在進行軸部位置確認。

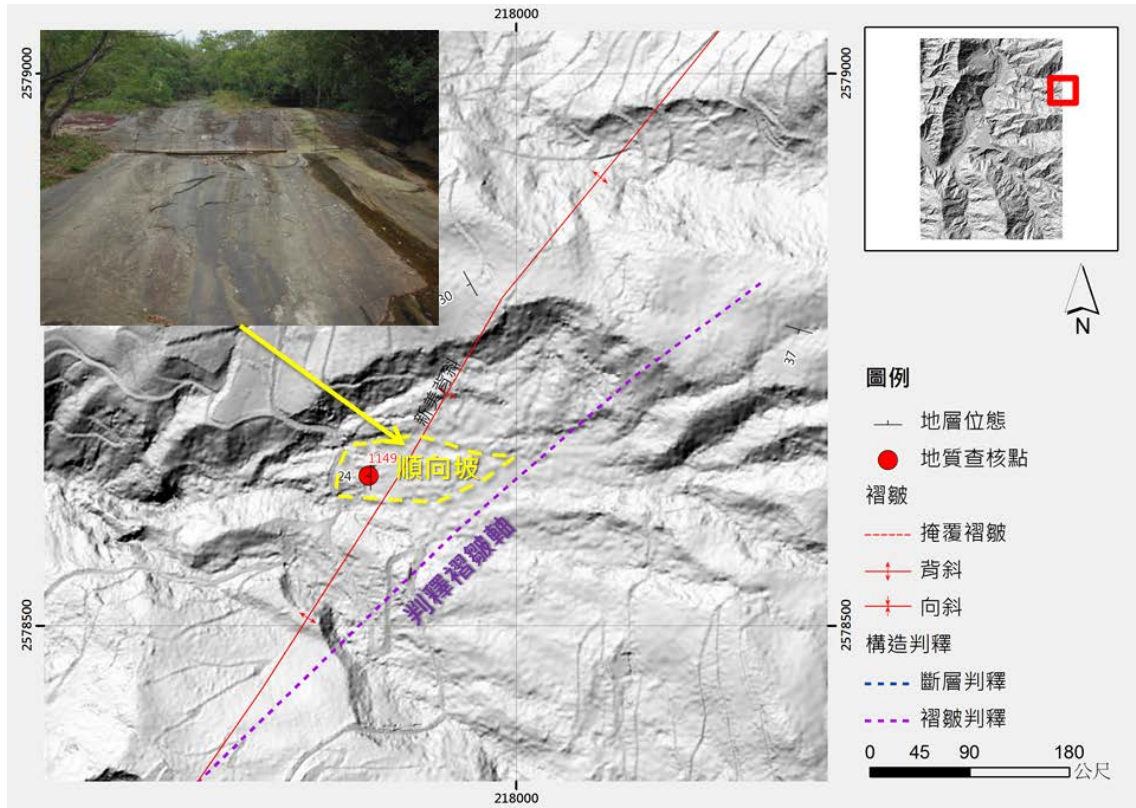


圖 6.35 竹子屋部落聯外道路新美背斜軸部判釋成果圖

### 6-3.2.3 崩塌崩崖判釋現地重點查核

本案完成崩塌崩崖判釋後，以人員可及之處為現地調查地區期望建立植生與潛在崩塌崩崖之關聯性。經整理後列出 15 處較具代表性的調查點位做說明，其資料列於表 6.10，位置分布呈現於圖 6.26。由表 6.10 的統計資料顯示本案產出之光達高精度數值地形可判釋出崩崖落差 50 公分以上之崩塌地，而依據現地調查資料顯示，崩崖落差量約在 150 公分以內之崩崖面坡度變化較為陡急，而崩崖落差量平均大於 150 公分以上之崩崖面坡度變化較為和緩，而此結果可能與崩崖之發育時間有關。以下為各點位調查現況細部說明：

表 6.10 植生與潛在崩塌崩崖現地調查點位資料表

編號	坐標(TWD97)		崩崖落差 (單位:公分)	崩崖面坡度 變化狀態	植生類型
	E	N			
SP1	214913	2575295	50~80	陡急	森林
SP2	215030	2575343	30~50	陡急	森林
SP3	215485	2576256	100~120	陡急	森林
SP4	215997	2578053	150~200	和緩	森林
SP5	216707	2576535	>200	和緩	森林
SP6	216513	2577023	100~150	和緩	竹林
SP7	217555	2579486	15~150	陡急	果園
SP8	217637	2579626	500~800	和緩	茶園
SP9	217487	2579452	500~800	和緩	竹林
SP10	217858	2578005	80~100	陡急	檳榔
SP11	217465	2576966	80~100	陡急	竹林
SP12	215138	2578350	>200	陡急	森林
SP13	215707	2579121	150~200	陡急	森林
SP14	215582	2579132	150~200	陡急	森林
SP15	215498	2579292	>200	陡急	森林

## 1. 點位 SP1

本點位之崩塌體已有植生復育，非崩塌區有大量植被覆蓋，可於現地觀察出崩崖上下部地形有明顯落差，其崩崖落差約 50~80 公分左右(圖 6.36、圖 6.37)。

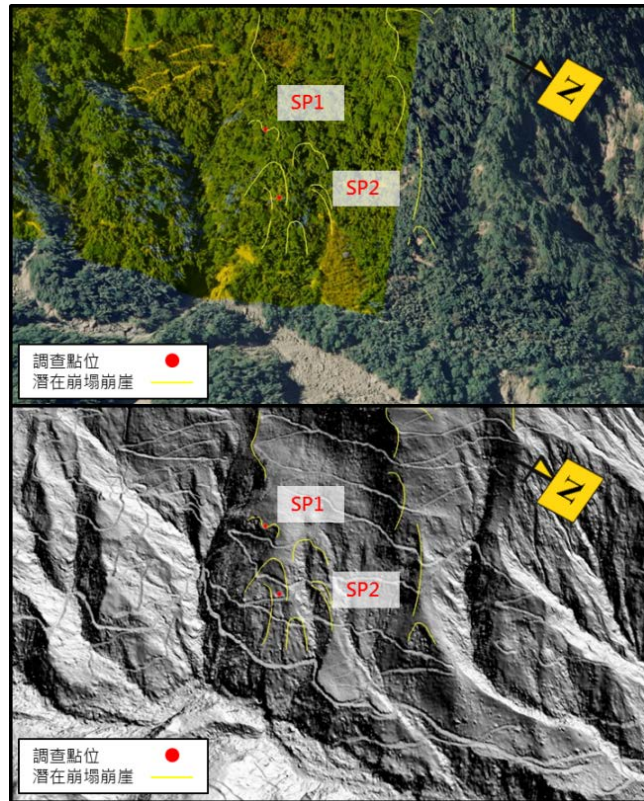


圖 6.36 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP1、SP2)



圖 6.37 點位 SP1 崩塌現況

## 2. 點位 SP2

本點位地表有明顯潛移現象以及崩塌側邊之崩崖發育，表層風化層有流失現象，可清楚觀察出崩崖落差約 30-50 公分(圖 6.38)。



圖 6.38 點位 SP2 崩塌現況

## 3. 點位 SP3

本點位(圖 6.39)地表有明顯崩崖發育，表層風化層有流失現象，可清楚觀察出至少有兩階崩崖，每一階崩崖落差約為 100-120 公分(圖 6.40)。

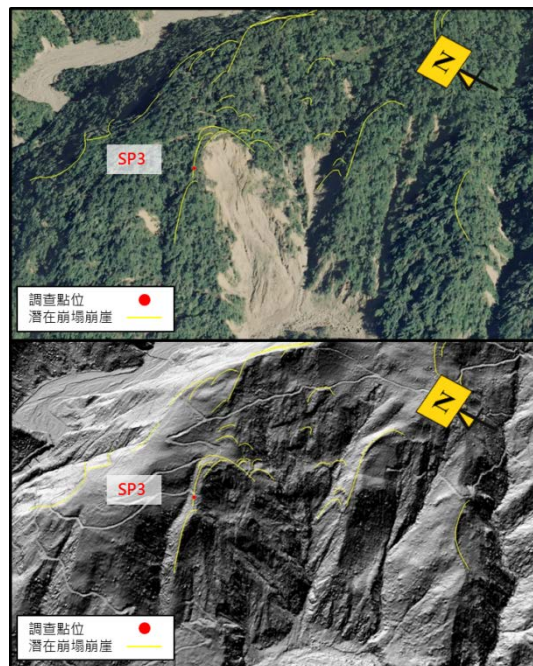


圖 6.39 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP3)



圖 6.40 點位 SP3 崩塌現況

#### 4. 點位 SP4

本點位位於溪溝旁邊坡(圖 6.41)，因溪溝下蝕導致側邊邊坡滑動，觀察出崩崖落差約 150~200 公分，由現地研判崩崖上下邊坡之植生發育良好，顯示崩崖發育相對較為久遠(圖 6.42)。

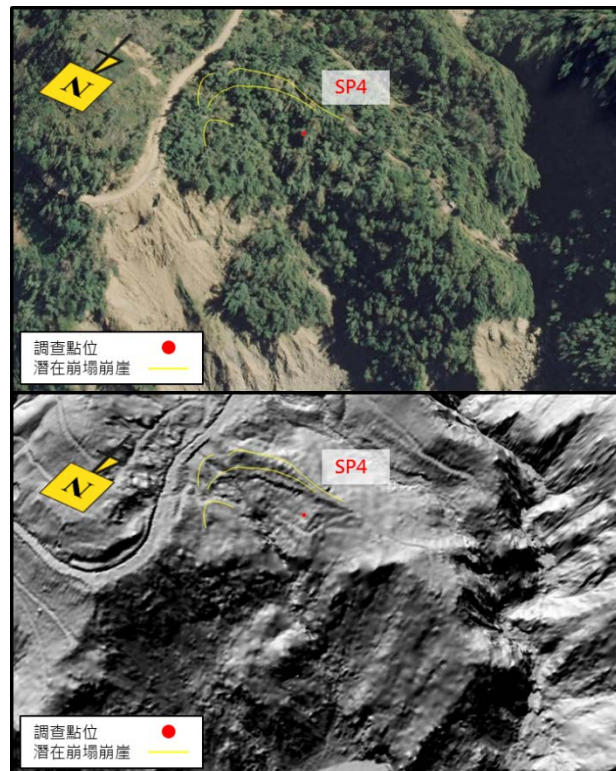


圖 6.41 植生調查分布與潛在崩塌崩之崖調查點位(SP4)



圖 6.42 點位 SP4 潛在崩塌現況

## 5. 點位 SP5

本點位位於河岸攻擊側邊坡(圖 6.43)，崩塌滑動面已至岩盤，岩層走向為北偏東 14 度，向東傾約為 70 度，崩塌滑動體大部分被溪流水帶走，只部分殘留在坡趾，現場觀察側邊崩崖落差超過 200 公分，崩塌面因陡峭、又為岩坡，只有崩塌上方與底部有植生生長(圖 6.44)。



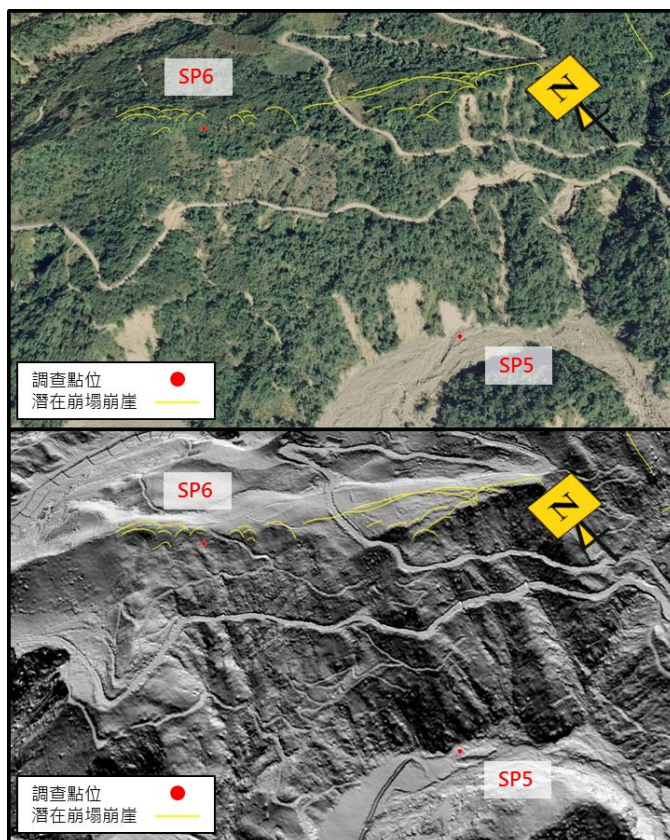


圖 6.43 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP5、SP6)

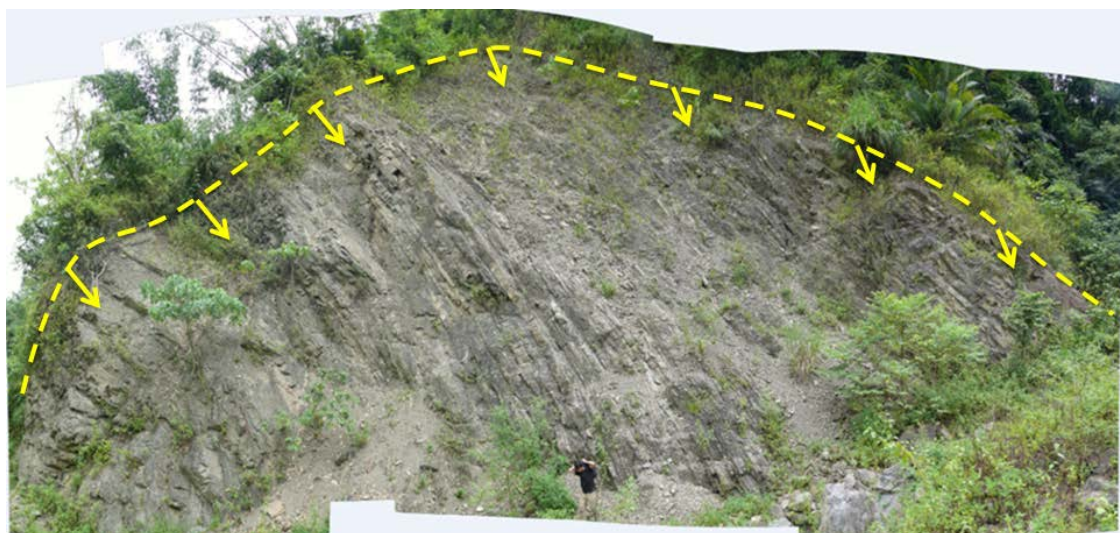


圖 6.44 點位 SP5 潛在崩塌現況

## 6. 點位 SP6

本點位位於邊坡接近稜線位置(圖 6.43)，有明顯之崩崖發育，觀察崩崖上下落差約 100~150 公分，崩崖上、下邊坡植生差異不明顯，皆為竹林為主，屬剛產生崩崖情形(圖 6.45)。



圖 6.45 點位 SP6 潛在崩塌現況

## 7. 點位 SP7

本點位位於主要溪流左岸邊坡頂端，發育有大量且明顯張力裂隙，植生類型為果樹，主要崩崖落差可達 1.5 公尺，其餘裂隙多介於 5-10 公分(圖 6.46)，鄰近有一連串相連動之現生崩塌與潛在崩塌(圖 6.47)。



圖 6.46 點位 SP7 潛在崩塌現況

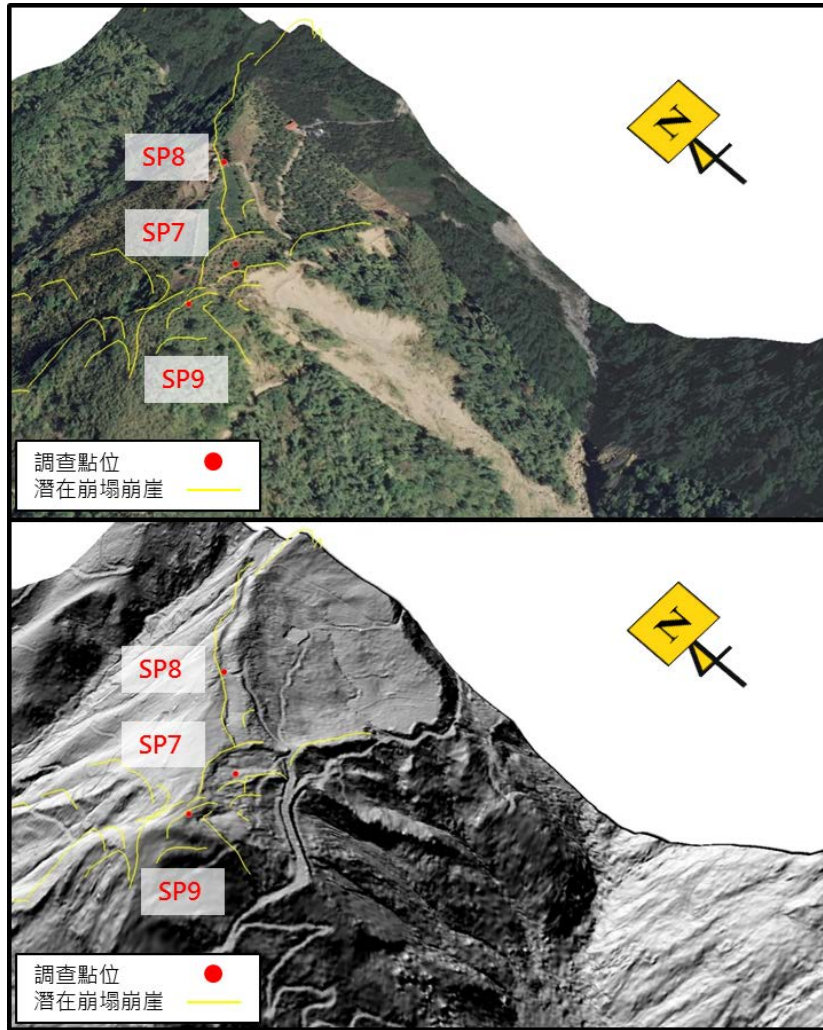


圖 6.47 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP7、SP8、SP9)

## 8. 點位 SP8

本點位為已滑動過之潛在大規模崩塌，現已無滑動跡象。由於規模較大，其崩移距離也較長，粗估崩崖落差約約 5~8 公尺(圖 6.48)。

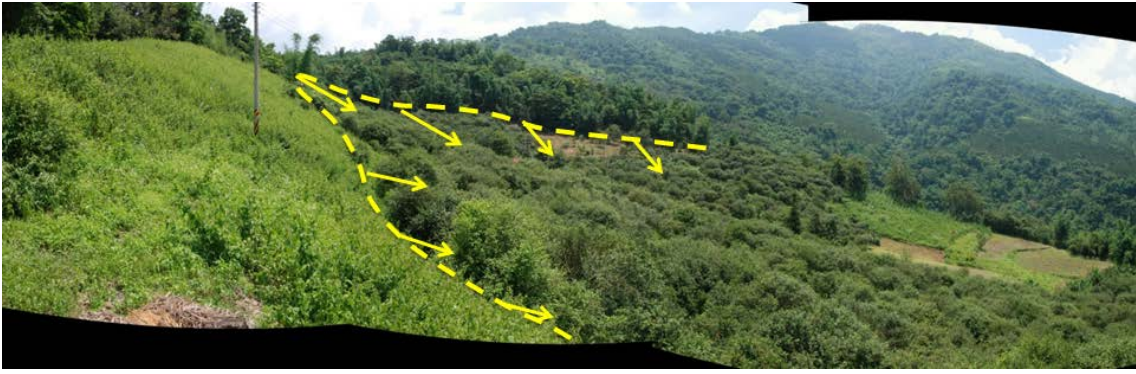


圖 6.48 點位 SP8 潛在崩塌現況

### 9. 點位 SP9

本點位位於竹林內，為已滑動之潛在大規模崩塌頂部崩崖，可明顯觀察出崩崖地形特徵，為其地形坡度急遽變化處，初步崩崖估計落差約有 5~8 公尺(圖 6.49)。



圖 6.49 點位 SP9 潛在崩塌現況

### 10. 點位 SP10

本點位為已滑動之大規模崩塌(圖 6.50)，但坡面上仍有大量土石有再次滑動可能，本大規模崩塌滑移量大，約大於 15-20 公尺，而坡面上尚未滑動之土石塊體，其崩崖落差高達 0.8-1 公尺的規模，主要集中在

0.4-0.5 公尺，崩塌現況如圖 6.51。

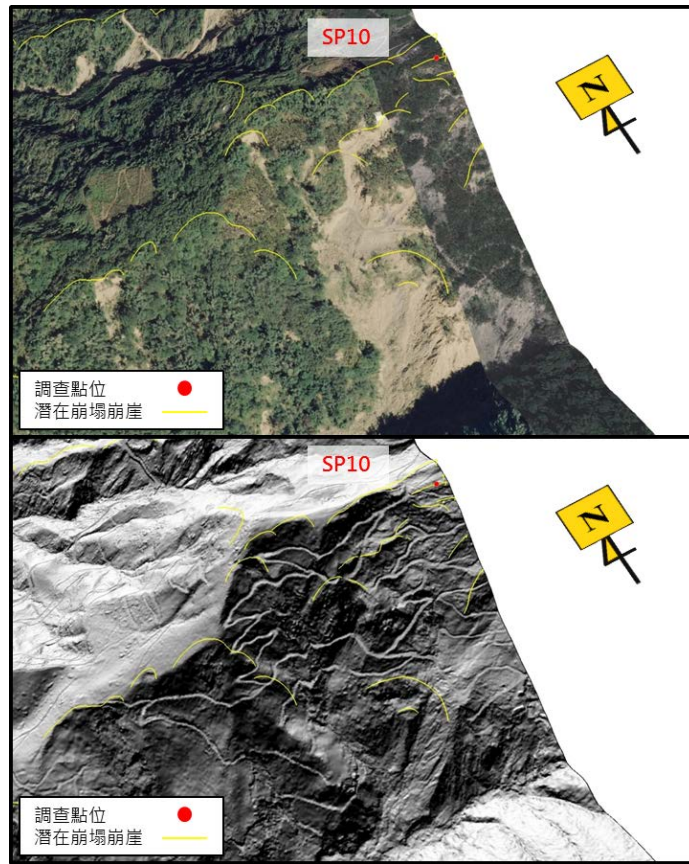


圖 6.50 植生調查分布與潛在崩塌崩崖調查點位(SP10)



圖 6.51 點位 SP10 潛在崩塌現況

## 11. 點位 SP11

本點位位於凹谷邊界，此凹谷主要因兩條蝕溝向下與向源侵蝕影響，導致凹谷坡面上風化土層有向下潛移之現象，點位附近無明顯張力裂隙，僅可以觀察出崩崖頂部之地形落差，落差約 0.8-1 公尺(圖 6.52)。

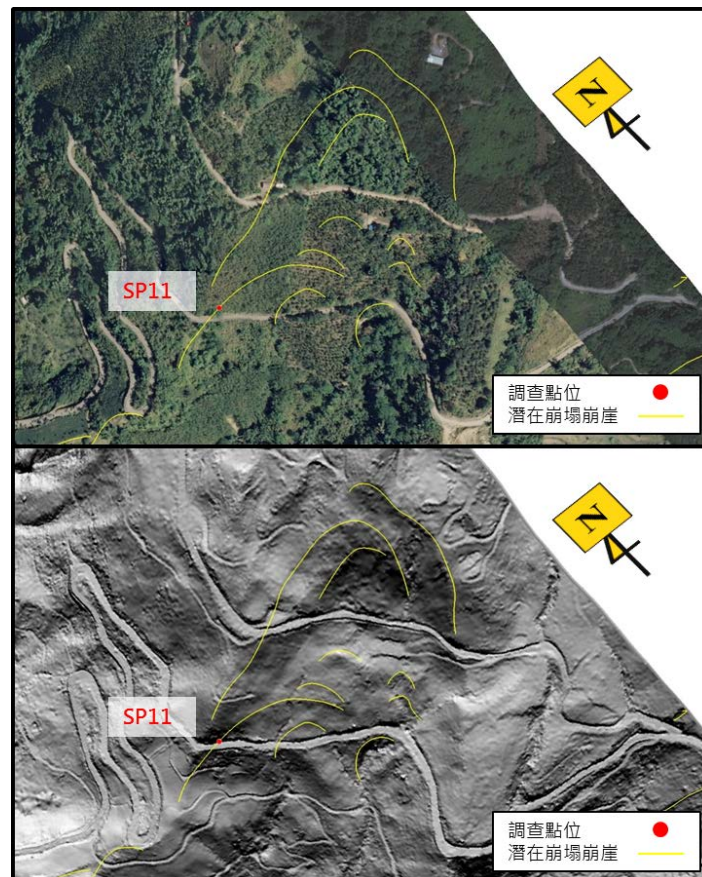


圖 6.52 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP11)

## 12. 點位 SP12

本點位位於曾文溪西側之美寮部落聯絡道上方邊坡，坡面下方邊坡於莫拉克颱風後有新生之崩塌發育，此區為崩塌之主崩崖，調查點位附近有一明顯落差，落差高度約為 2 公尺(圖 6.53)。現場調查發現此區域已有植生復育情形。



圖 6.53 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP12)

### 13. 點位 SP13

本點位之崩塌崖面上部為長枝坑層砂岩出露，崩塌崖面下部為崩積層。此區為崩塌之主崩崖，約略呈東-西走向，有明顯落差，落差高度大於 2 公尺以上(圖 6.54)。現場調查發現此區域為一舊崩塌，已有植生發育。



圖 6.54 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP13)

### 14. 點位 SP14

本點位位於曾文溪西側之農路下方邊坡，為一舊崩崖地形，為崩塌之主崩崖，落差高度大於 2 公尺 (圖 6.55)。崩崖上部為草地，地勢較為平坦，而崩崖下部則為竹林，地勢相對較為陡急。



圖 6.55 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP14)

#### 15. 點位 SP15

本點位位於曾文溪西側之農路下方邊坡，地形上屬於舊崩崖地形，為崩塌之主崩崖區域，主崩崖之落差高度約為 2 公尺 (圖 6.56)。崩崖上部為草地，地勢較為平坦，而崩崖下部則為雜木林，樹木有傾斜及彎曲的現象，其地勢較為陡急。



圖 6.56 植生調查分布與潛在崩塌之崩崖調查點位(SP15)



### 6-3.3 地形特徵判釋修正

地形特徵判釋結果，須依據現地重點查核結果進行調整與修正，並提供微地形崩塌調查機制分析作業流程之參考。針對現地查核以外區域之判釋結果，依據修正結果結合地形資料與修正後之判釋準則進行結果修正與調整。經崩塌地之崩崖現地查核結果顯示如表 6.11 所示，所有現地查核之崩崖，其地形特徵類型、位置皆符合判釋結果，而在地形特徵範圍部分則有較小規模之崩崖範圍與判釋結果有差異（崩塌編號 SP2、SP6），此顯示小規模之崩崖雖可透過影像進行區位判釋，但其延伸性與規模尚須至現場進行確認。

而崩塌編號 SP13~ SP15 的崩崖就發育時間而言，現地查核結果具備早期崩塌的特性，崩崖坡度相對於現生之崩塌，有明顯較緩的現象。

表 6.11 崩塌地之崩崖現地查核一覽表

編號	地形特徵類型 是否正確	地形特徵位置 是否正確	地形特徵範圍與 現況是否一致	地形特徵於現地有 無發現
SP1	正確	正確	一致	有發現
SP2	正確	正確	不一致	有發現
SP3	正確	正確	一致	有發現
SP4	正確	正確	一致	有發現
SP5	正確	正確	一致	有發現
SP6	正確	正確	不一致	有發現
SP7	正確	正確	一致	有發現
SP8	正確	正確	一致	有發現
SP9	正確	正確	一致	有發現
SP10	正確	正確	一致	有發現
SP11	正確	正確	一致	有發現
SP12	正確	正確	一致	有發現
SP13	正確	正確	一致	有發現
SP14	正確	正確	一致	有發現
SP15	正確	正確	一致	有發現

### 6-3.4 前後期數值地形差異分析

將本案前期計畫與本年度之光達數值地形進行變異分析(後期減前期)結果如下圖 6.57，地形變異主要集中在-3 公尺~8 公尺。以黑色框區域內為例，由前後期 DEM 及點雲資料在地形無變化之處，可看出道路地形一致(圖 6.58)。地形易變化的區域主要在河道區域，由圖 6.59 可明顯看出河道沖刷，高程落差有 5.6 公尺，而其他地區經由現地勘查，主要為工程施作整地造成之地形變異。

從地形進行變異分析亦發現，有部分堆積現象位於山脊區域(圖 6.60)之不合理現象，經前後期光達點雲比對之比對作業，發現此區域 101 年之點雲密度較低與光達穿透率低故地面點較少，造成地表數值地形不合理所致，此區域兩期 DEM 高程差為 6.2 公尺。因此也顯示點雲密度與光達穿透率為決定 DEM 品質之關鍵因素。

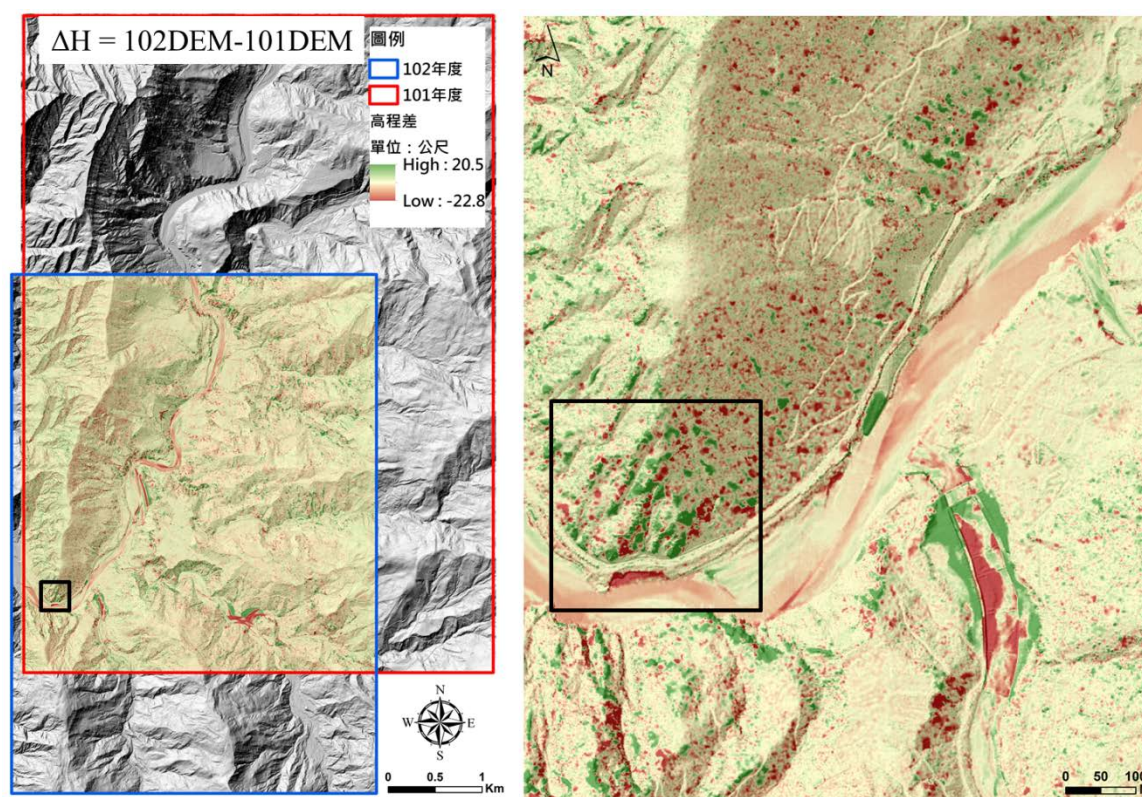


圖 6.57 本案前期計畫與本年度光達數值地形變異分析圖

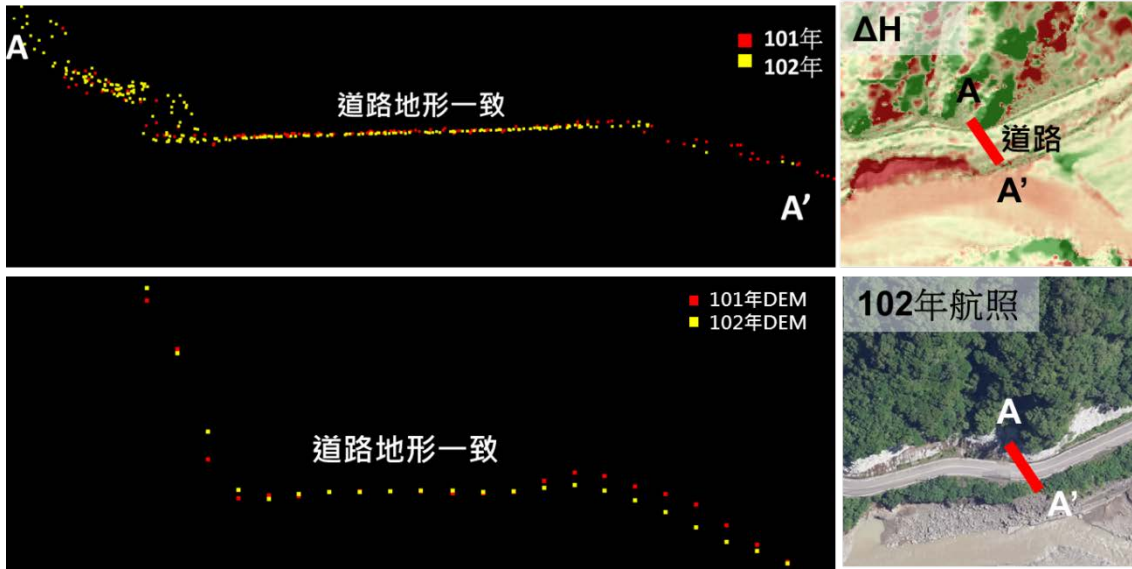


圖 6.58 道路地形前後期光達點雲比較圖

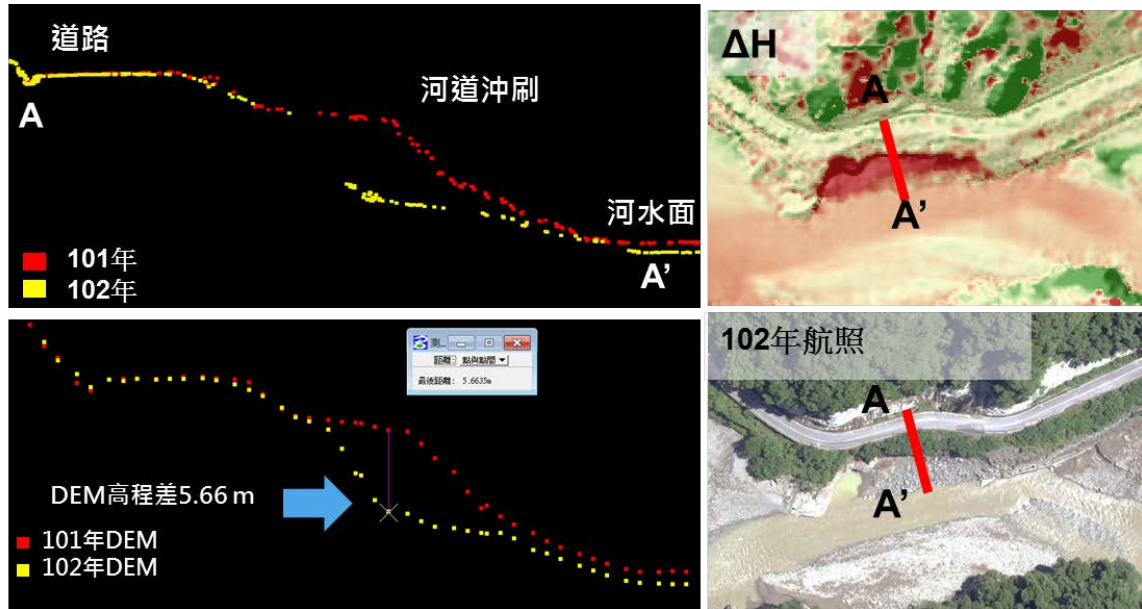


圖 6.59 河道地形變異前後期光達點雲比較圖

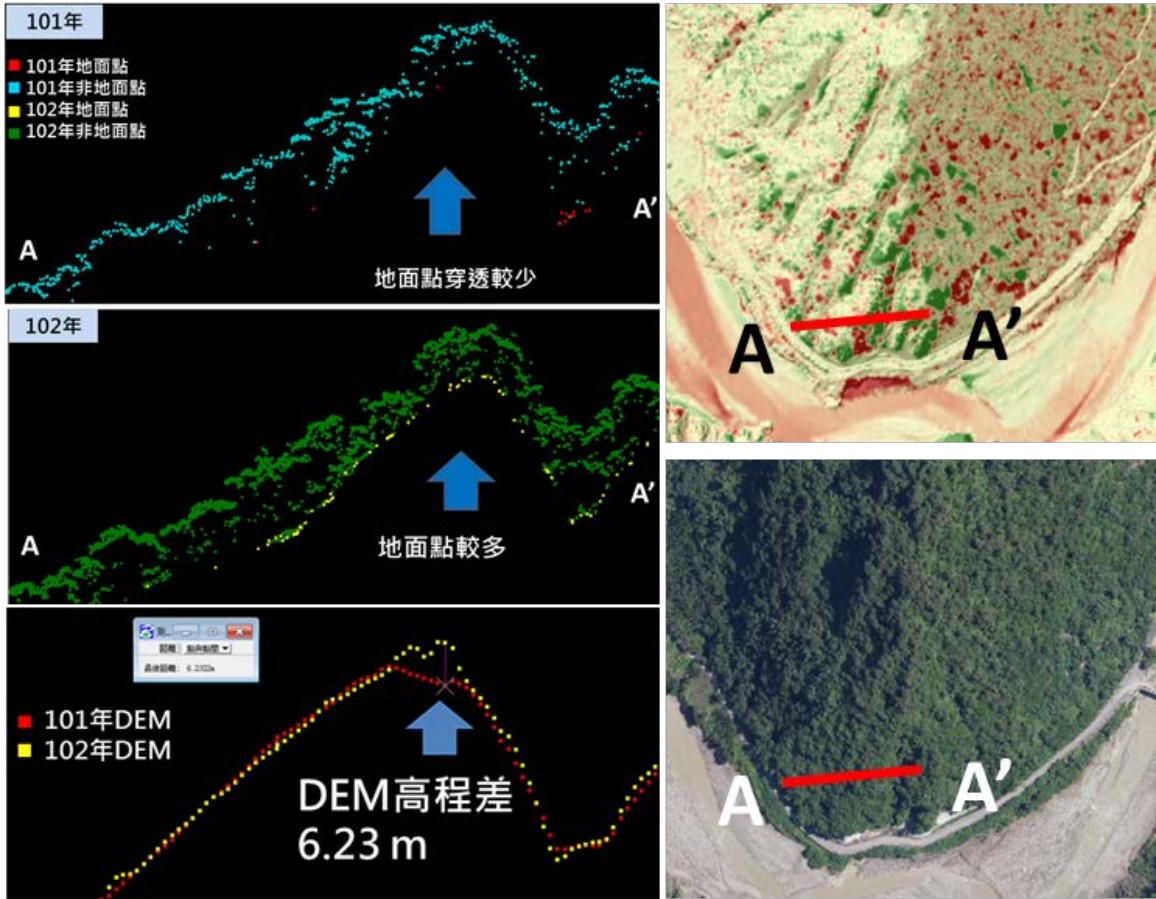


圖 6.60 山脊區域地形變異前後期光達點雲比較圖

### 6-3.5 潛在崩塌植生特徵分析

本案挑選人員可及之潛在崩崖處先進行現地植生類別調查。調查成果共紀錄 15 處潛在崩崖位置之植生類別，如表 6.12 所示，分布位置如圖 6.61 所示。

表 6.12 潛在崩崖位置之植生類別調查表

編號	坐標(TWD97)		植生類型
	E	N	
SP1	214913	2575295	森林
SP2	215030	2575343	森林
SP3	215485	2576256	森林
SP4	215997	2578053	森林
SP5	216707	2576535	森林
SP6	216513	2577023	竹林
SP7	217555	2579486	果園
SP8	217637	2579626	茶園
SP9	217487	2579452	竹林
SP10	217858	2578005	檳榔
SP11	217465	2576966	竹林
SP12	215138	2578350	森林
SP13	215707	2579121	森林
SP14	215582	2579132	森林
SP15	215498	2579292	森林

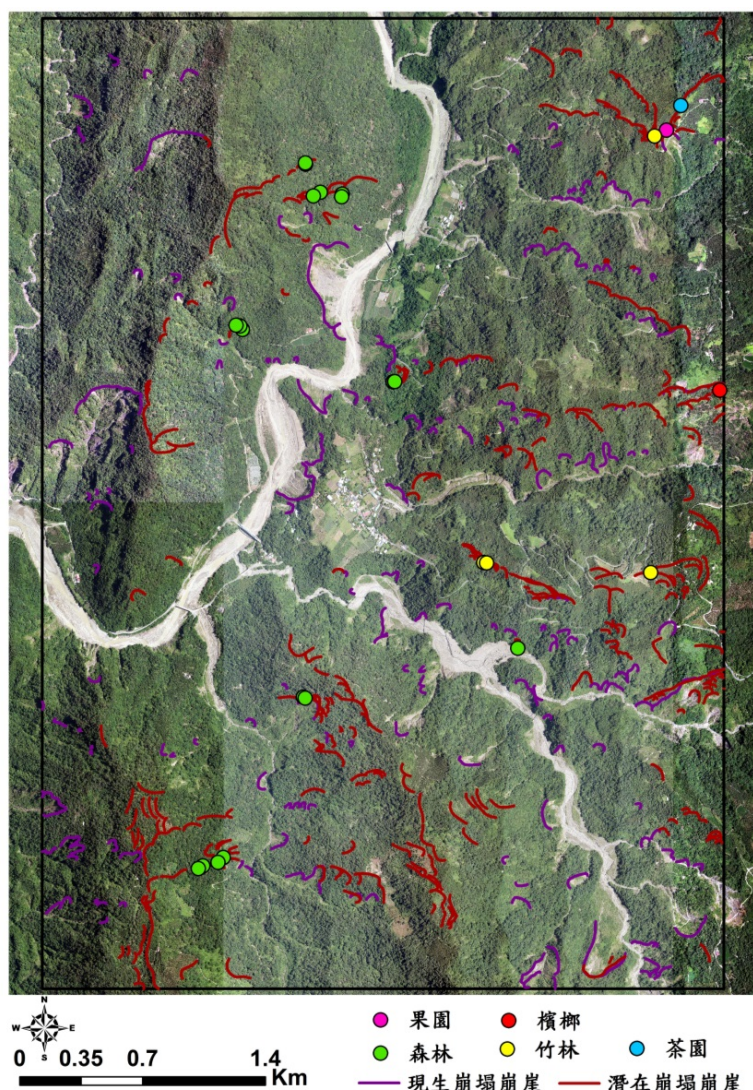


圖 6.61 植生調查位置分布圖

森林地區植生調查結果如表 6.13，為判釋崩崖上下部之優勢樹種及地被覆蓋情形。由結果可發現，崩崖上、下部的優勢樹種有所不同，地被覆蓋植物亦有明顯差異，崩崖上部以演替中期的樹種如江某、相思樹、克蘭樹、小花鼠刺、香楠等為主，低矮地被植物為少量的蕨類及藤類，由於地被植物交互重疊生長，因此在評估覆蓋度時，物種與物種間其比率總和會大於 100%。於現場調查可發現，崩崖上部樹種森林鬱閉較為良好，且麻竹多分布在崩崖上部，因而地被覆蓋度較低；崩崖下部森林較為開闊，鬱閉低，多為演替初期的陽性樹種，地被覆蓋度高多為小花蔓澤蘭及香澤蘭。

表 6.13 潛在崩崖上下部植生調查表

樣區 編號	植生 類型	崩崖上部		崩崖下部	
		優勢樹種	地被覆蓋度 (%)	優勢樹種	地被覆蓋度(%)
SP1	森林	江某、相思樹	麻竹 50% 蕨類 10%	山黃麻、白匏子	小花蔓澤蘭 80% 香澤蘭 70%
SP2	森林	白匏子、咬人 狗	麻竹 50% 蕨類 10% 竹葉草 5%	江某、水錦樹	麻竹 50% 小花蔓澤蘭 40%
SP3	森林	相思樹、白匏 子	麻竹 50% 蕨類 15% 酸藤 10%	羅氏鹽膚木、 台灣光臘樹、 山黃麻	香澤蘭 60% 小花蔓澤蘭 15% 酸藤 20%
SP4	森林	台灣朴樹	麻竹 30% 山棕 15% 葛藤 40% 蕨類 20%	咬人狗、血桐	香澤蘭 30% 五節芒 15% 小花蔓澤蘭 20% 蕨類 20%
SP5	森林	血桐、白匏子	麻竹 20%、山 棕 5%、五節芒 10%	山黃麻	美洲含羞草 30% 大花咸豐草 20%
SP12	森林	山黃麻、血 桐、大葉楠	香澤蘭 50%、 大花咸豐草 30%	山黃麻、血桐	香澤蘭 90% 大花 咸豐草 30% 葛藤 20% 美洲含羞草 10%
SP13	森林	克蘭樹、香 楠、無患子	華茜草 30%、 蕨類 40%、猿 尾藤 20%	白匏子、血桐	竹葉草 50%、猿尾 藤 30%、小花蔓澤 蘭 10%、弓果黍 30%
SP14	森林	小花鼠刺	麻竹 50%、蕨 類 10%	龍眼	麻竹 40%、香澤蘭 40% 地膽草 40%
SP15	森林	千年桐	蕨類 15%、龍 眼 10%	杜英	兩耳草 20%、小花 蔓澤蘭 15%、杜若 15%

## 6-4 評估結合高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌調查機制分析

本項目主要為建立高光譜及全波形光達資料於微地形崩塌調查調查機制分析作業流程與作業方法研擬，建立整合應用機制與作業方法文件，提供後續相關研究之參考，詳細微地形崩塌調查作業程序文件如附件六。

### 6-4.1.1 高光譜與全波形光達資料融合處理

藉由計算 1 平方公尺面積內所有波形資料的平均值，可產生具有描述地物波形資料的網格式影像。根據不同土地覆蓋類別可經由圖 6.62 顯示其波形曲線的差異狀況，其中灰色區域代表該地物之平均振幅數值介於正負一個標準差值。

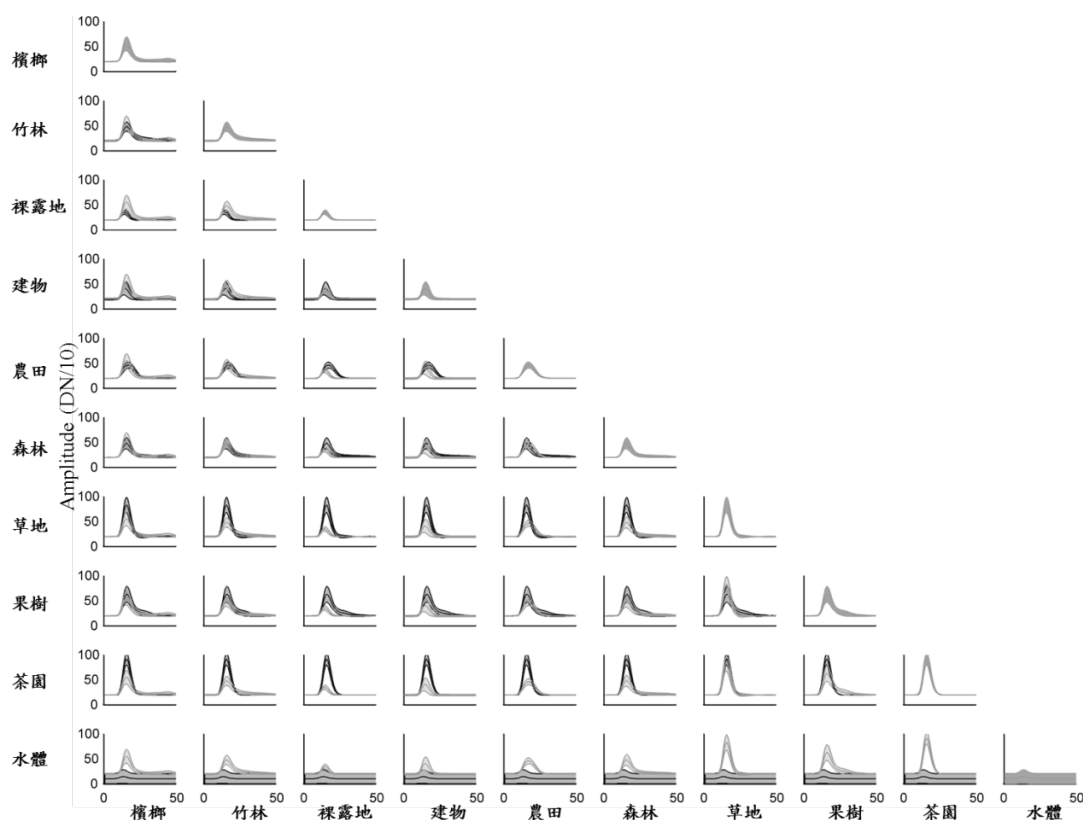


圖 6.62 土地覆蓋類別之全波形光達波形曲線比較圖



振幅值為雷射光束經照射目標物後，其感測器所接收到的反射強度。因此透過振幅能有助於瞭解不同地物的差異程度。本研究測試區內最大振幅之土地覆蓋類別為茶園，次之為草地，其餘植物類別則普遍相似。波形寬度 (Pulse width) 部分，由於雷射光束通過植物株時，因接觸點數多且分布範圍較廣，使其波形寬度因而拉長，故亦能有利於分辨植物與非植物之區域 (Wagner et al., 2008)。本次研究測試區的植物波形曲線多符合該研究之結果且呈現右側時多為震盪的狀態(震盪情形則依據植物類別而有所差異)，惟僅茶園的波形曲線較為完整。推測由於茶樹的枝葉濃密，而使雷射光束不易穿透至地面所致。進一步比較森林與果樹兩個類別於光譜及全波形光達之波形曲線狀況(如圖 6.63)。雖然兩種地物的光譜曲線相似度極高，但由於森林的波形曲線多呈現雙峰且波形寬延伸較長，而果樹雙峰情形較少且波形寬也較集中且第二個波峰數值 (Peak) 皆不超過 40，因此可知兩者地物於全波形光達的波形曲線乃呈現不同的波形趨勢。基於上述之成果本研究則以該全波形光達影像資料用於後續融合的影像處理。

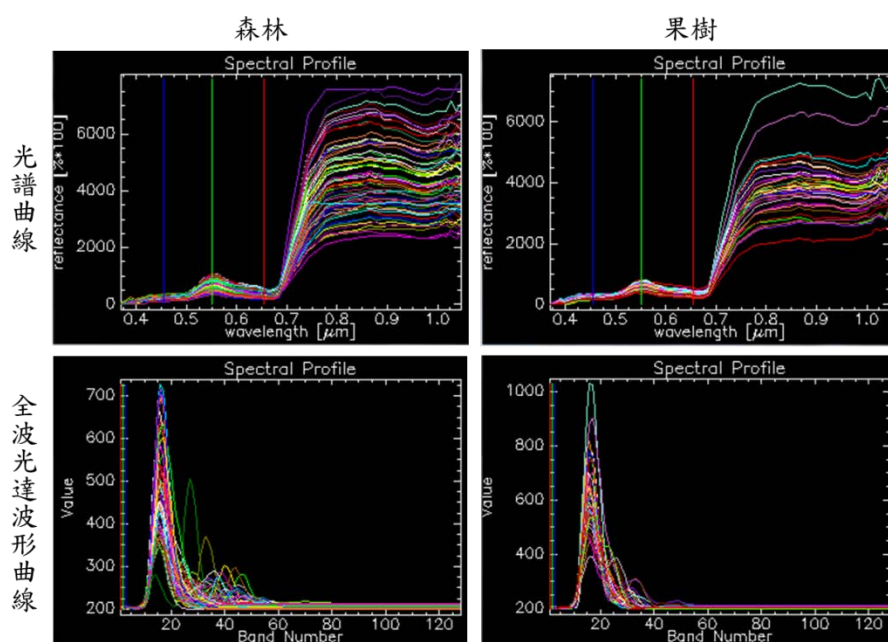


圖 6.63 土地覆蓋類別之全波形光達波形曲線比較圖

高光譜影像與全波形光達影像分別以 MNF 與 PCA 進行影像轉置，並各求得轉置後的影像資料以及各成份軸的影像解釋率 (Contribution)。

圖 6.64 與圖 6.65 為不同土地覆蓋類型於高光譜影像以及全波形光達影像之比較圖。多數土地覆蓋類別於旋轉後之第一成份軸與第二成份軸即可被分離，然而無論是高光譜影像或是全波形光達影像，其資料在各個土地覆蓋類別乃存在一定的變異量，因此部份土地覆蓋類別（如：不同植生之間或是非植生之間）仍然有可能產生錯誤分離的問題。但就整體結果而言，旋轉後之影像資料的確能有效分離部份原本較難區分的土地覆蓋物。

透過上述的比較圖可發現，轉置後的影像係以前幾個成份軸影像較能夠表示土地覆蓋類別之間的分離狀況，而經由表 6.14 所列舉之影像成份軸特徵值及其解釋率亦能輔助說明影像轉置過後的成果。高光譜與全波形光達之轉置影像，其特徵值大於 1 之成份軸分別為前 11 個成份軸以及前 6 個成份軸，顯示了這些成份軸均具有一定的影像成份解釋能力。

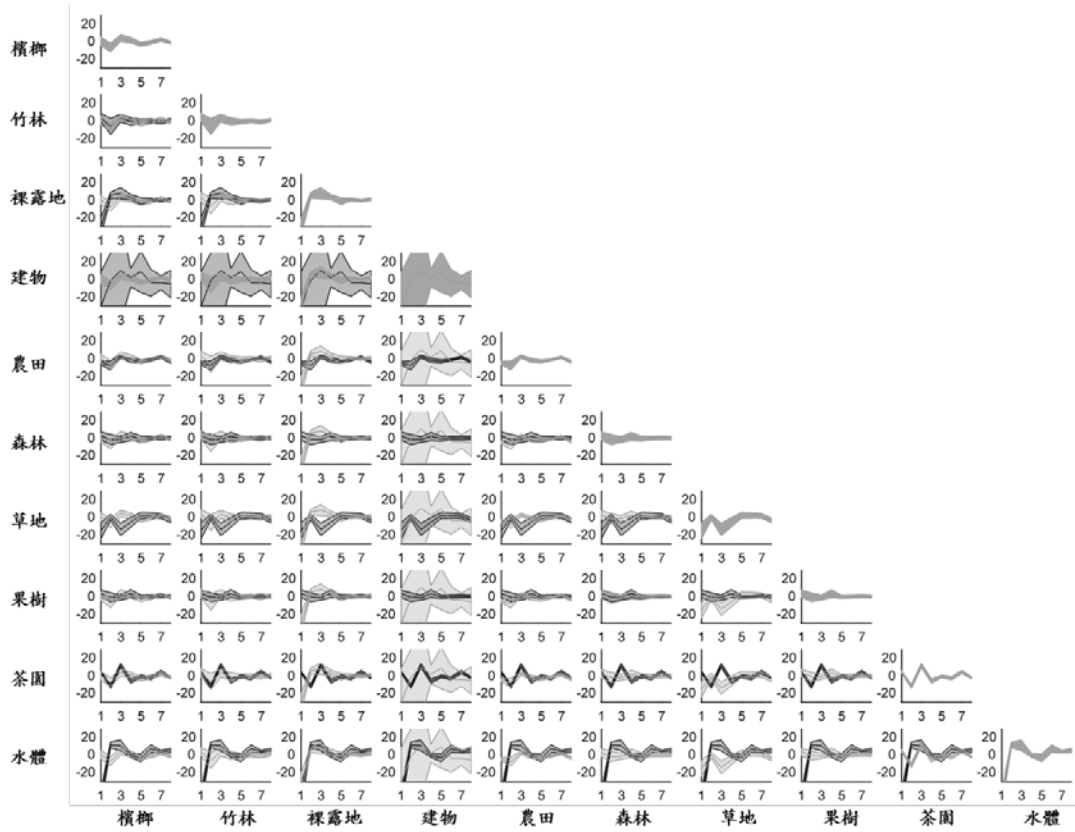


圖 6.64 土地覆蓋類別之光譜成份軸比較圖

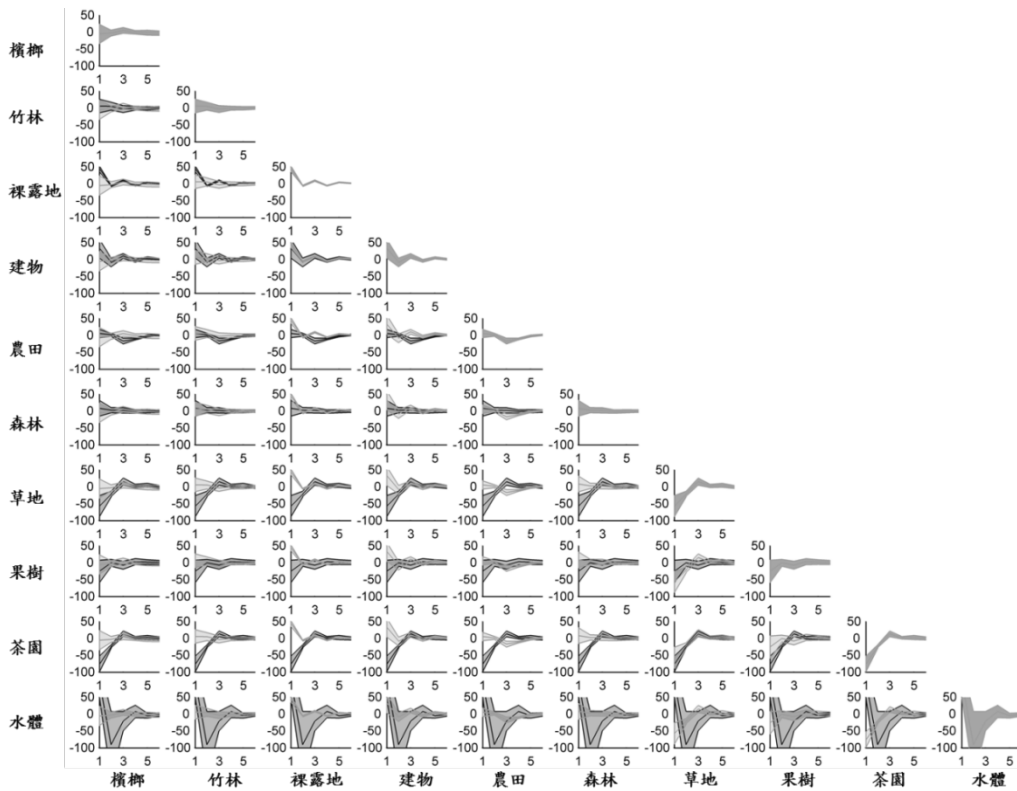


圖 6.65 土地覆蓋類別之波形成份軸比較圖

表 6.14 高光譜影像與全波形光達影像之成份軸解釋率（粗體部分為篩選之成份軸）

Component	Hyperspectra image (MNF)			Full waveform Lidar image (PCA)		
	Eigen value	Contribution (%)	Sum (%)	Eigen value	Contribution (%)	Sum (%)
1	<b>129.51</b>	<b>28.92</b>	<b>28.92</b>	<b>106100.20</b>	<b>66.48</b>	<b>66.48</b>
2	<b>67.37</b>	<b>15.04</b>	<b>43.96</b>	<b>26606.86</b>	<b>16.67</b>	<b>83.15</b>
3	60.44	13.49	57.45	<b>12775.75</b>	<b>8.00</b>	<b>91.15</b>
4	<b>34.76</b>	<b>7.76</b>	<b>65.21</b>	<b>4926.71</b>	<b>3.09</b>	<b>94.24</b>
5	21.51	4.80	70.02	<b>3697.20</b>	<b>2.32</b>	<b>96.56</b>
6	<b>15.61</b>	<b>3.49</b>	<b>73.50</b>	<b>2060.94</b>	<b>1.29</b>	<b>97.85</b>
7	13.01	2.90	76.41	1312.19	0.82	98.67
8	<b>11.40</b>	<b>2.55</b>	<b>78.95</b>	730.49	0.46	99.13
9	<b>6.36</b>	<b>1.42</b>	<b>80.37</b>	464.74	0.29	99.42
10	<b>5.68</b>	<b>1.27</b>	<b>81.64</b>	266.84	0.17	99.59
11	<b>4.55</b>	<b>1.02</b>	<b>82.65</b>	185.05	0.12	99.70
12	3.95	0.88	83.54	119.10	0.07	99.78
13	3.41	0.76	84.30	98.31	0.06	99.84
Contribution of the select component axes			<b>61.45</b>			<b>97.85</b>

為消除影像明暗差異過大的航帶所導致出現錯誤的高特徵值影像，必須於疊合影像之前挑選過濾各個特徵波段，以篩選出較佳的成份軸影像。表 6.14 中之粗體字部分為兩張影像所各自挑選的特徵波段。高光譜影像保留了 8 個成份軸 (Component 1, 2, 4, 6, and 8 - 11)，其影像解釋率為 61.45%；而全波形光達影像為保留 6 個成份軸 (Component 1-6)，影像解釋率則為 97.85%。故依據上述之篩選結果即疊合成一張具有 14 個波段資訊的融合影像。

### 6-4.1.2 影像分類成果精度分析評估

將融合影像依據各個土地覆蓋類別（森林、竹子、茶園、草地、農作地、果園、裸露地、建地、檳榔園、水體）加以圈選訓練樣區，並以監督式分類之最大概似法進行影像分類。各類訓練樣區樣本數如下表 6.15 所示。分類成果如圖 6.66 所示，其中圖 6.66a 為今年度同步拍攝之正射影像，圖 6.66b 則為以融合影像進行分類之成果。由分類成果顯示，水體與河道兩旁的裸露地分類情形良好，聚落位置亦能由分類圖中顯而易見。本次分類中，由於並未特別將道路的訓練樣區歸為單項的訓練類別而是直接歸屬於建地，也因此導致建地的訓練樣區資料變異較大致使其與裸露地發生混雜分類的情形。而植物類別方面可發現，茶園、農作地、草地以及檳榔的分類影像均有與現地相符合的區塊狀成果。然森林、果樹、竹子以及檳榔因地物特性仍有相似之處，故分類成果亦存在相互混淆的狀況。各個土地覆蓋類別分類狀況及其對應之正射影像則如圖 6.67 所示。

表 6.15 各土地覆蓋類別訓練樣區圈選樣本數

土地覆蓋類別	訓練樣區樣本數(pixels)
森林	4100
竹子	2210
茶園	200
草地	779
農作地	1580
果園	775
裸露地	766
建地	4000
檳榔園	1437
水體	1000

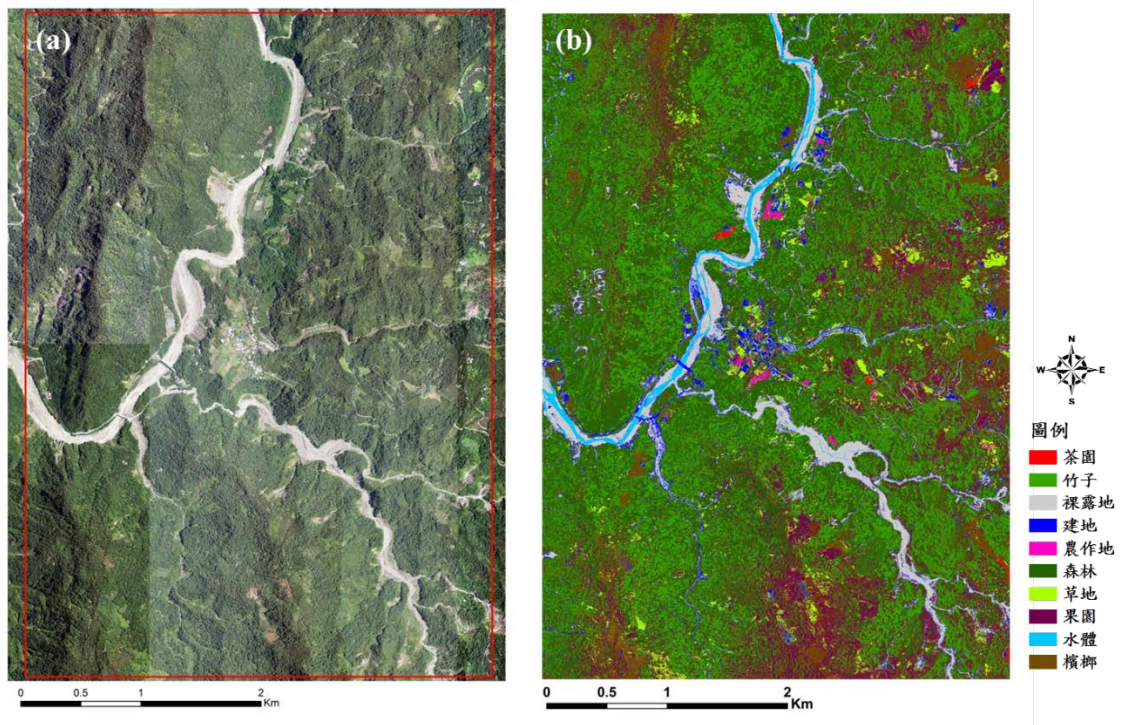


圖 6.66 本年度獲取之(a)同步拍攝正射影像，及 (b)融合影像分類成果

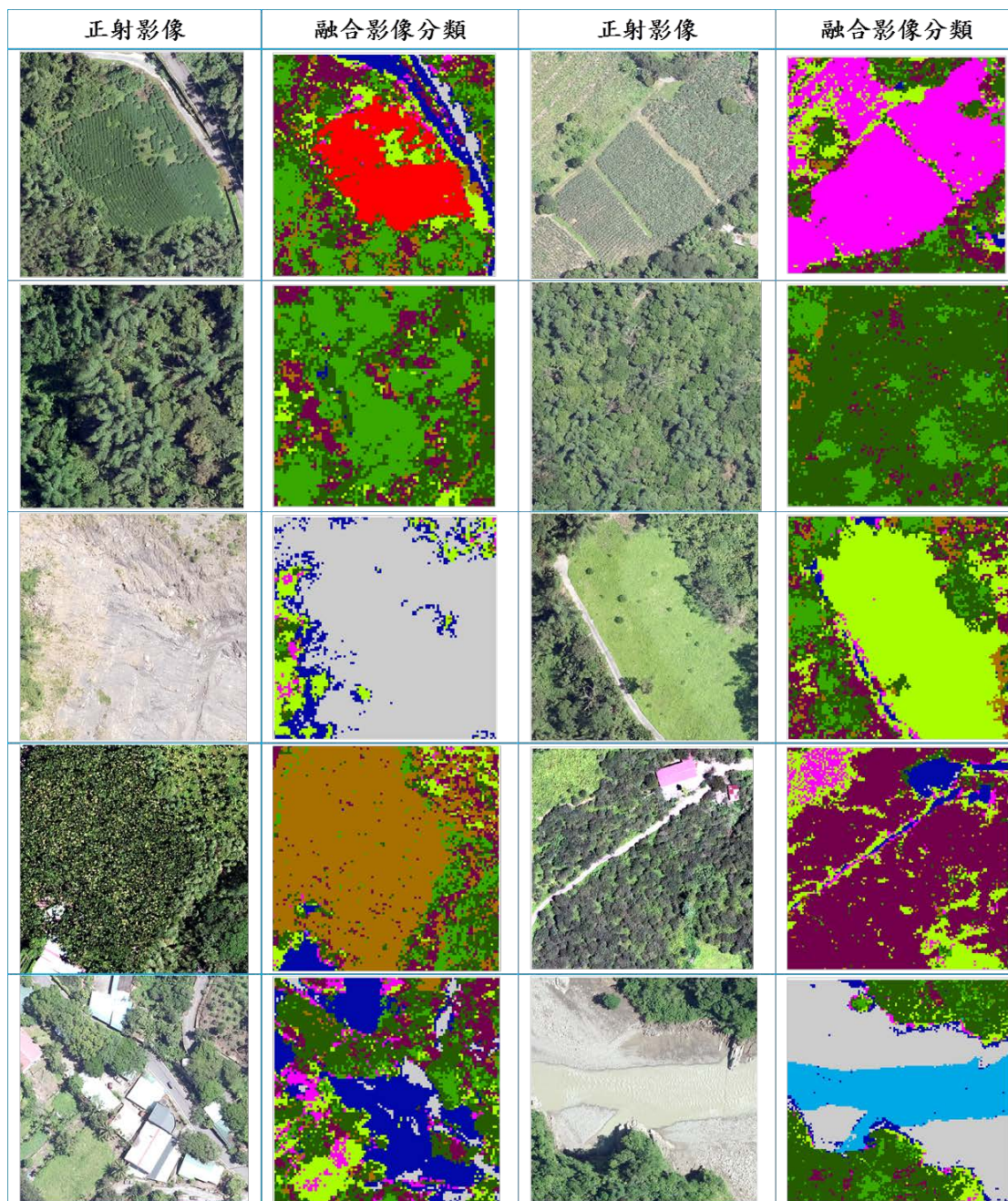


圖 6.67 各土地覆蓋類別之正射影像及其分類成果比較圖

影像分類判釋成果乃透過地真檢核點來評估分類準確性。本案先以隨機方式選取 256 個點，若類別不足 50 個檢核點者再針對其類別增加至最小門檻數量(50 個)，故檢核點數量共計為 622 個，以人工判釋逐像元點之類別並計算影像分類之誤差矩陣。如表 6.16 所示，影像分類之整體精度為 83.3%。各土地覆蓋類別之使用者精度與生產者精度均以森林為最低，顯示森林容易將地真為檳榔、裸露地、草地以及果園

歸為森林類別，而真正為森林的區域則容易被錯分為檳榔、竹子、建物、以及果園。因此除森林類型外，本次影像分類成果的誤授機率可控制於 25.8% 以下，而漏授機率則可控制在 13.3%。由 Kappa 之數值 (Kappa=0.7) 亦能說明本次分類成果係屬於可接受之範圍，故後續將以依此分類後之影像輔助微地形潛在崩塌特徵之整合分析作業。

表 6.16 融合影像之分類誤差矩陣與分類精度檢核表

		地 真 資 料											
		檳榔	竹子	裸露地	建地	農作地	森林	草地	果園	茶園	水體	總計	使用者 精度(%)
分 類 成 果	檳榔	52	6	0	1	5	8	1	3	2	0	78	66.67
	竹子	0	54	0	0	0	12	0	2	0	0	68	79.41
	裸露地	0	0	50	12	0	0	0	0	0	9	71	70.42
	建地	0	0	13	47	0	1	1	0	0	4	66	71.21
	農作地	0	0	0	0	31	0	1	0	0	0	32	96.88
	森林	7	10	2	0	3	50	7	8	0	0	87	57.47
	草地	1	0	0	1	7	0	53	5	2	0	69	76.81
	果園	6	2	1	0	4	8	4	42	3	0	70	60
	茶園	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	43	100
	水體	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	38	100
	總計	66	72	66	61	50	79	67	60	50	51	622	
	生產者 精度(%)	78.79	75	75.76	77.05	62	63.29	79.1	70	86	74.51		
		整體精度：73.96% Kappa值：0.70											

### 6-4.1.3 整合分析

由本案微地形特徵判釋成果顯示，測區內潛在崩塌崩崖共 336 個，此次整合分析為觀察植生類型與微地形特徵之關聯性，故挑選崩崖線段長度較明顯者 20 個，以及 9 個現地植生調查之潛在崩崖以進行比較，各別繪製崩崖上、下部 20 公尺範圍並套疊影像分類成果作為整合分析之研究區域，進一步統計崩崖上、下部佔各土地覆蓋類別之數量百分比。



統計 20 個潛在崩塌崩崖之結果(如圖 6.68)，可發現崩崖上部主要的地物覆蓋以竹子居多，而崩崖下部則是森林居多，且可發現草地數量有稍高於崩崖上部，與 9 個現地調查潛在崩塌崩崖之結果(如圖 6.69)相互比對，亦可發現判釋的潛在崩塌崩崖與現地調查之潛在崩崖，兩者的崩崖上、下部具有相同趨勢，皆為上部是竹子居多，下部有較多的森林，此現象與本案至現場調查植生類別之情況是符合的，崩崖上部竹子覆蓋率高，下部之植生以陽性樹種居多，地被草本植物如香澤蘭、小花蔓澤蘭、竹葉草、大花咸豐草在崩崖下部覆蓋率較高。由此兩項的比對分析亦可證明融合影像的分類成果可輔助微地形潛在崩塌崩崖植生特徵之判釋。

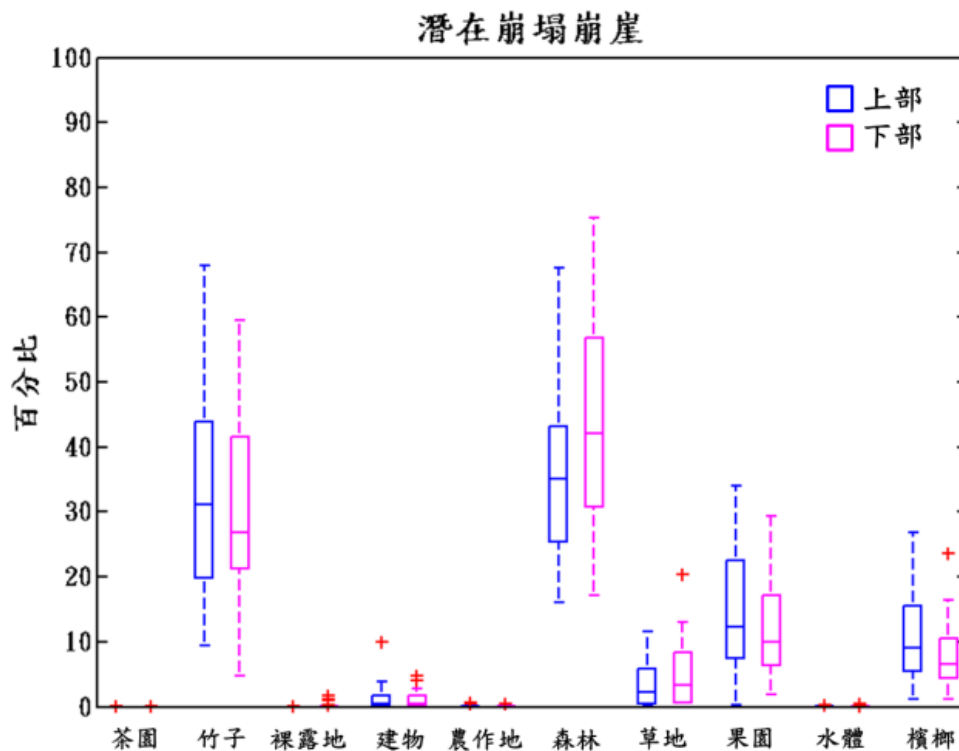


圖 6.68 潛在崩塌崩崖上、下部之土地覆蓋類別數量百分比統計圖

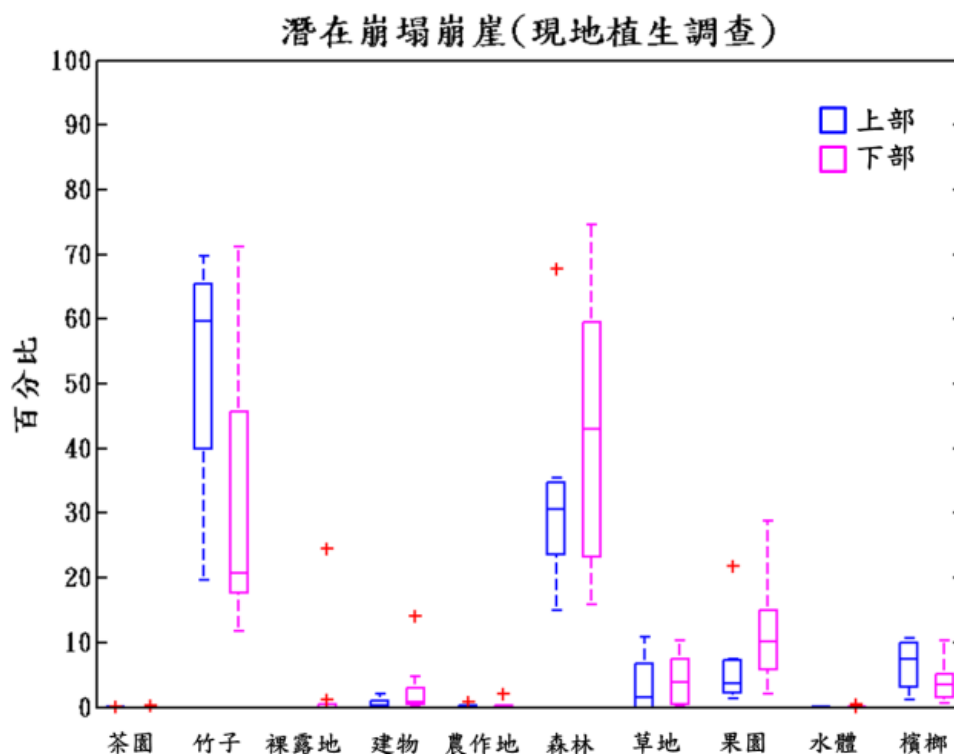


圖 6.69 潛在崩塌崩崖(現地調查)上、下部之土地覆蓋類別數量百分比統計圖

由整合分析之結果，竹子多分布於崩崖上部，經數次的現地植生調查，本測區內竹子的種類大致有四種，包含麻竹、桂竹、蔴竹及少量的綠竹，其中麻竹與蔴竹同屬地下莖合軸叢生，桂竹地下莖屬於橫走側出單桿散生。林信輝(2011)針對桂竹及蔴竹生育特性說明桂竹根系密且淺，因地震或重量因素造成桂竹根系層產生張力裂縫，容易受雨水加速侵蝕作用，蔴竹林則因為各叢間距缺乏地被植物之覆蓋，易受逕流侵蝕產生沖蝕溝，並指出如長期缺乏管理之竹林，易因為林分過密造成生產力降低，地下莖生長停滯，迫使土壤剪應力增加或抗剪強度降低，造成竹林地發生地滑及崩塌。本測區為低海拔山區竹子分布數量多，由分析成果顯示本案所判釋微地形崩崖之分布位置與竹林分布是具有關聯性，以此可作為輔助微地形崩塌調查，尤其是在人員不易到達的地方。

## 6-5 不同點雲密度與內插方法對微地形判釋影響

由於光達點雲資料分佈、內插方法等方面的影響，DEM 獲取的地形因子訊息(如坡度、坡向、變異數等函數)，無疑存在著明顯的差異及不確定性(陳楠，2004)。一般而言，越密集的採樣資料可以生成更準確的 DEM，但影響 DEM 精度的其他因素，包括取樣資料的準確性、資料分佈、內插方法等。

### 6-5.1 小面積區域測試點雲密度疏化取樣

本案以 1 km× 1 km 為範圍(圖 6.70)，分析不同點雲密度與內插方法對於微地形如崩崖判釋影響，原始全部點雲資料內插 DEM 後，再進行地形因子空間分析包含日照陰影圖、坡向及坡度圖如圖 6.71 所示。

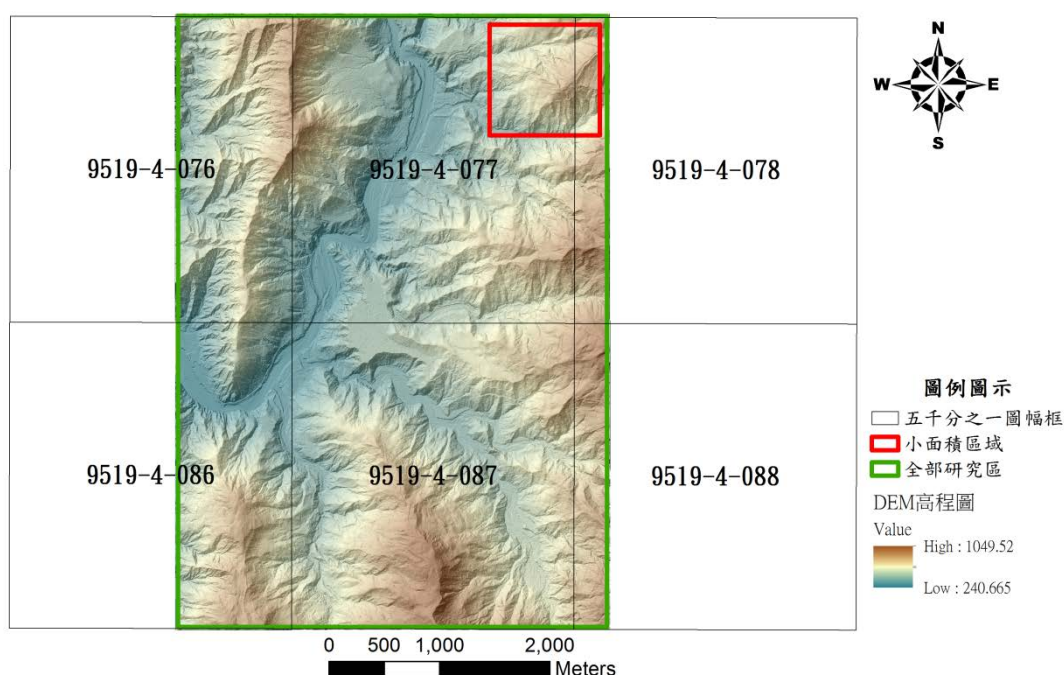


圖 6.70 點雲疏化取樣小面積區域測試位置圖

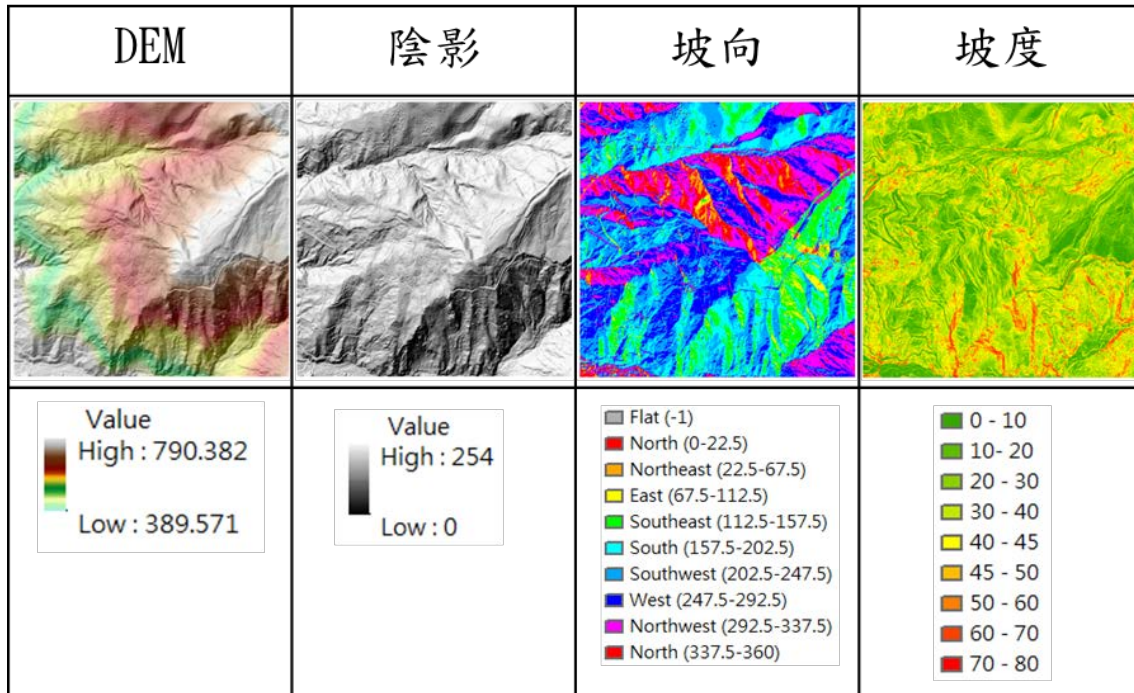


圖 6.71 原始點雲產製的 DEM 及其日照陰影圖、坡向及坡度圖

首先，以本案 LiDAR 掃瞄之數據(All points)之 1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64、1/128、1/256 的點雲密度取樣資料，製作日照陰影圖，經圖 6.72 可知，當密度等級始低於 1/32 時，因點雲資料密度不足，IDW 法內插結果容易於資料點上產生小圓丘，且密度等級愈低，內插結果陰影圖的圓丘情況愈嚴重，在地形起伏較大的地方(如圖面右下方背光面)，內插 DEM 結果與真實地表差距亦擴大。故本案後續將利用 TIN/線性內插法及 Kriging 內插法，以 1/32 密度等級做為生成 DEM 疏化密度等級之底限。

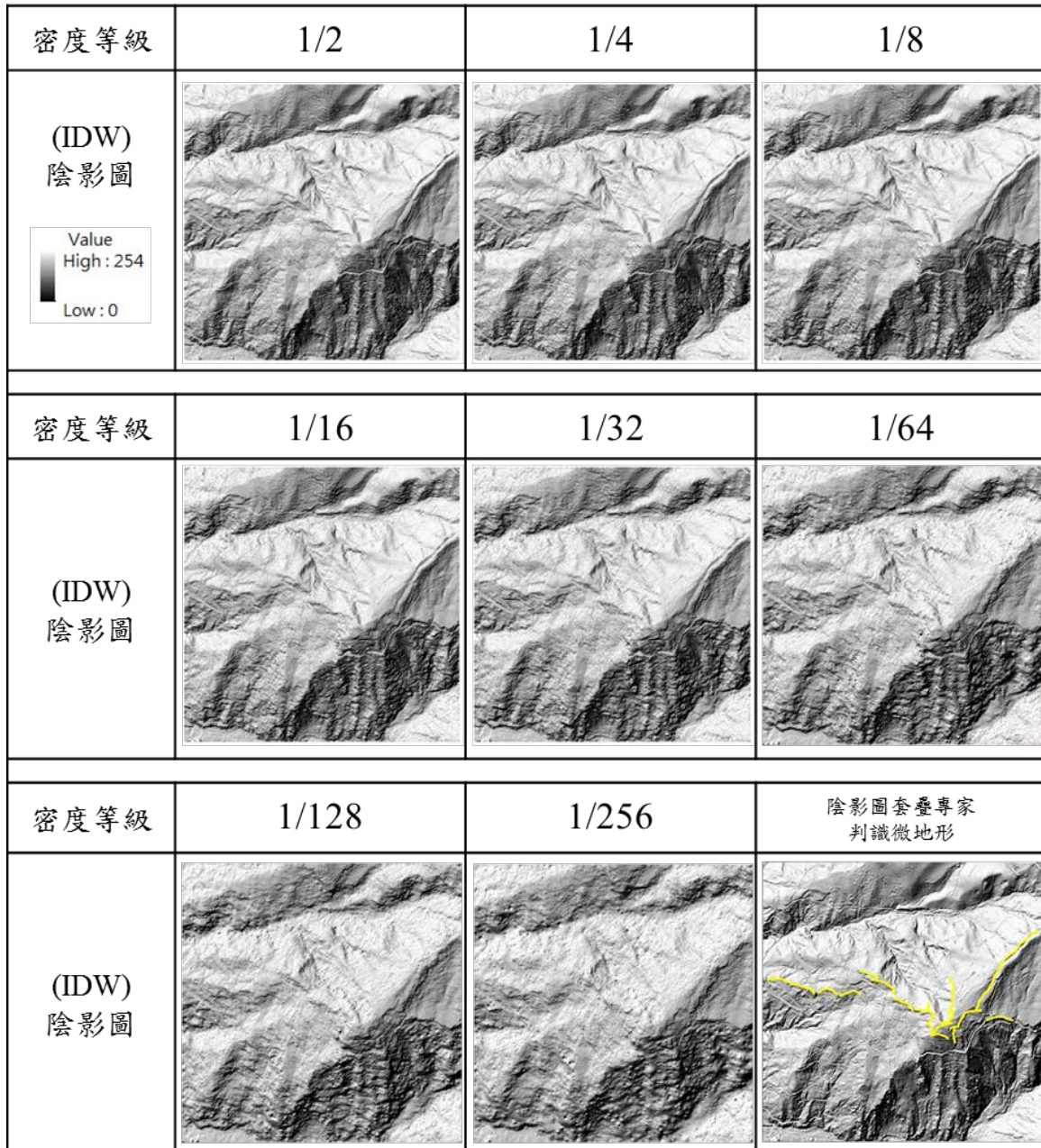


圖 6.72 以 IDW 法內插各等級之 DEM 日照陰影圖

本案之光達點雲資料，依不同點雲取樣密度分為 5 級，以疏化取樣方式選取原始 LiDAR 掃瞄之數據之 1/2、1/4、1/8、1/16 及 1/32 的等比級數降低原始資料之點雲密度，再進行點雲過濾，將資料分為地面點與非地面點。隨後分別利用不同內插模型工具，進行數值高程模型內插。本案將小區域各密度等級之平均點雲密度計算整理成下表 6.17，以探討 LiDAR 點雲密度對於微地形特徵線判釋之影響，以測試區(1 km × 1 km)範圍內所有點雲資料進行整體平均密度計算，其中疏化後的資料量最小密度接近每平方公尺 1 點。

表 6.17 小區域各等級之平均點雲密度表

密度 等級	原始	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
點雲密度(點/m <sup>2</sup> ) 地面點+非地面點	27.58	13.79	6.89	3.45	1.72	0.86

## 6-5.2 小區域測試內插方法

### 1. IDW 反距離權重法

本案利用取樣方式取得五個等級的資料，並選擇分類後地面點資料，利用 IDW 演算法內插，產製 1 m × 1m 網格之 DEM 平均高程及相關資訊羅列下圖。經圖 6.73 可知，刪減點雲密度為原始 1/2 時，利用 IDW 法內插 DEM 之平均高程取至小數點後三位，其差異隨著刪減資料的密度而呈現下降的趨勢。IDW 法各等級內插結果與全部點雲內插結果比較，平均高程差最大為 0.031 公尺，最大高程差相差 4.32 公尺，最小高程差相差 0.579 公尺。

由本案發現，密度刪減取至 1/2 時的內插 DEM 結果與原始產製之 DEM 並無明顯差別，此結果呼應 Liu 等人(2007)，當數據減少到原來 50% 的點密度時，以 IDW 法內插產製之 DEM 精度沒有顯著的差異。

由此可知，本案使用 IDW 法內插 DEM 產製成果符合期待，且刪減至 1/32 密度等級的資料內插結果，其平均高程相差甚小，並未因為資料量降低，而造成 DEM 內插結果產生過大錯誤情況。

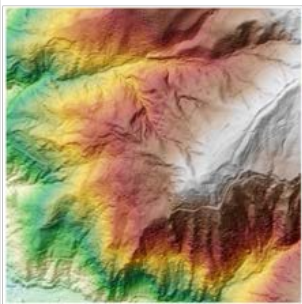
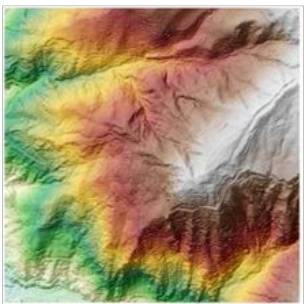
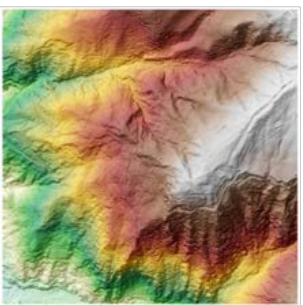

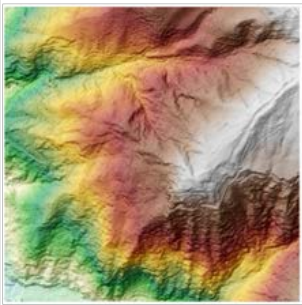
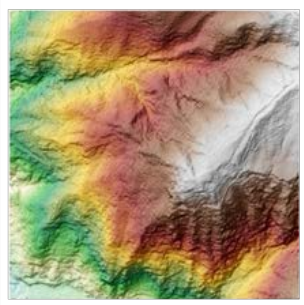
密度等級	1/2	1/4	1/8
IDW 內插DEM			
平均高程 (m)	599.756	599.748	599.737
最大高程 (m)	789.909	789.569	789.435
最小高程 (m)	390.067	390.065	390.149
Std. (m)	86.467	86.469	86.471
密度等級	1/16	1/32	圖例圖示 
IDW 內插DEM			
平均高程 (m)	599.725	599.733	
最大高程 (m)	787.875	786.062	
最小高程 (m)	390.148	390.120	
Std. (m)	86.471	86.458	

圖 6.73 不同密度之 IDW 高程統計分析

為了清楚看出高程的差異，本案另以 IDW 法內插產製各密度等級 DEM，將其製成日照陰影圖(Hillshade Map)。日照陰影圖為模擬太陽光照射地形所引起的明暗對比，再對地形圖進行渲染，使之看起來具有

立體效果的一種方式。本案將光線方位角(Azimuth)設為  $315^\circ$ ，仰角(Altitude)設為  $45^\circ$ ，透過設置光源的位置和計算與相鄰像元相關的每個像元的亮值，可得出模擬亮度，進而繪出地形之  $1\text{m} \times 1\text{m}$  之陰影圖展示，如圖 6.74 所示。

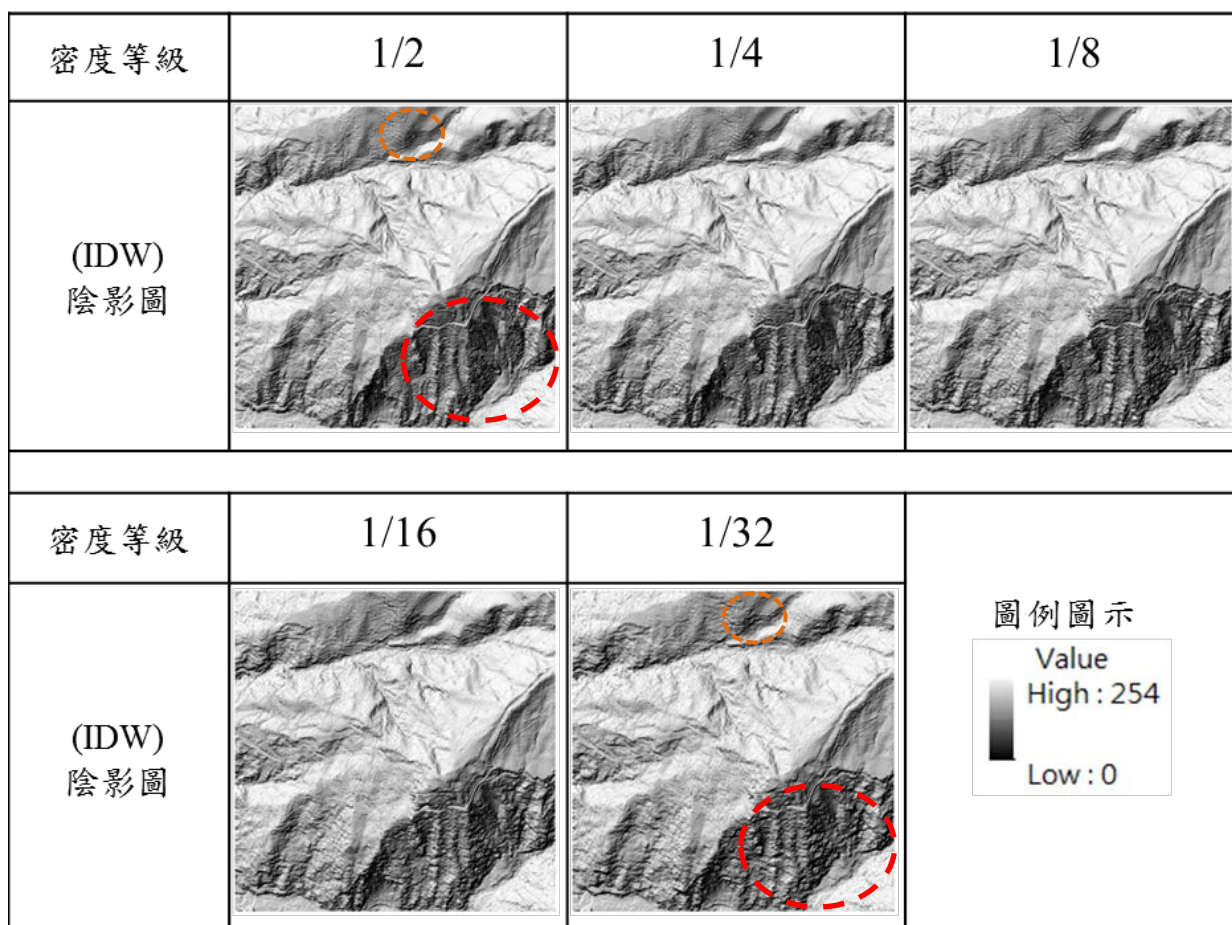


圖 6.74 不同密度下 IDW 產製 DEM 之日照陰影圖

由 IDW 內插法產製之 DEM 日照陰影圖中可看出，隨著刪減等級降低，1/32 密度等級陰影圖在背光面(如圖 6.74 紅框處與橘框處)產生明顯的褶皺，其他向光面也有些許褶皺的發生，此內插結果所產生的陰影褶皺情況不符合連續平滑的地表狀態，未來可能干擾微地形特徵線的辨識。由於本案以 IDW 法內插 DEM 之平均高程相差甚微，若僅由 IDW 法內插出 DEM 網格資料並無法明確辨別內插品質的良莠，透過日照陰影圖確認 DEM 內插結果亦可作為另一種檢視方法。



## 2. TIN / 線性內插

本案利用疏化取樣方式取得 5 個密度等級的資料，過濾地面點後生成 TIN 數據，再將 TIN 數據轉換成網格資料，以利後續產製 DEM 數值統計及地形因子等圖層。疏化過後的各等級 TIN/線性內插產製 DEM 之相關資訊羅列於下圖 6.75。TIN/線性法各等級內插結果與全部點雲內插結果比較，平均高程差最大為 0.054 公尺，最大高程差相差 4.455 公尺，最小高程差相差 0.579 公尺，且可看出平均高程隨密度等級降低而微幅下降。

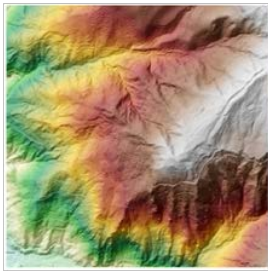
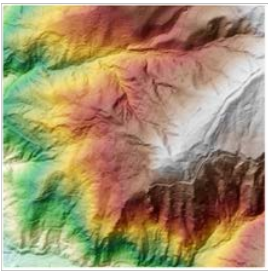
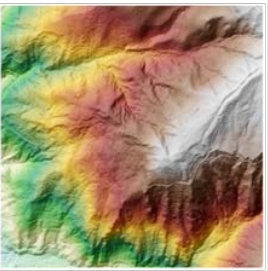
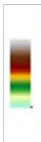
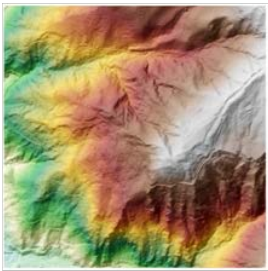
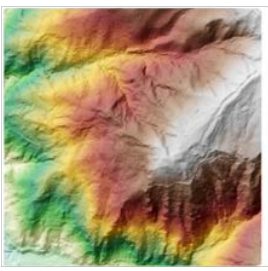
密度等級	1/2	1/4	1/8
TIN 內插DEM			
平均高程 (m)	599.828	599.822	599.816
最大高程 (m)	788.324	789.907	789.183
最小高程 (m)	390.146	390.137	390.137
Std. (m)	86.373	86.373	86.369
密度等級	1/16	1/32	圖例圖示 Value High : 790.382  Low : 389.571
TIN 內插DEM			
平均高程 (m)	599.806	599.795	
最大高程 (m)	789.032	785.927	
Std. (m)	86.373	86.356	

圖 6.75 不同密度下 TIN/線性高程之統計分析表

本案將各密度等級組成 TIN 數據並轉為  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的 DEM 網格資料後，由圖 6.75 得知，TIN/線性內插隨著密度等級的降低，地形起伏較大的區域仍維持較密的三角網，但平緩地形會變得更平滑。以前述相同光線方位角及仰角，繪出地形之  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  之日照陰影圖展示如下圖 6.76。可發現在地形起伏較大的地方，特別是山脊線與山谷處的地方，隨著密度等級的降低，TIN 結構用以描述地形的三角網密度將降低，而產生有較大面積的三角網表面，因而無法確切反映其地表起伏狀態。查看 TIN/線性內插為網格 DEM 後的陰影圖，位於背光面(如圖 6.76 紅框處與橘框處)起伏較大之地形，TIN/線性內插結果三角網密度降低程度較向光面明顯。

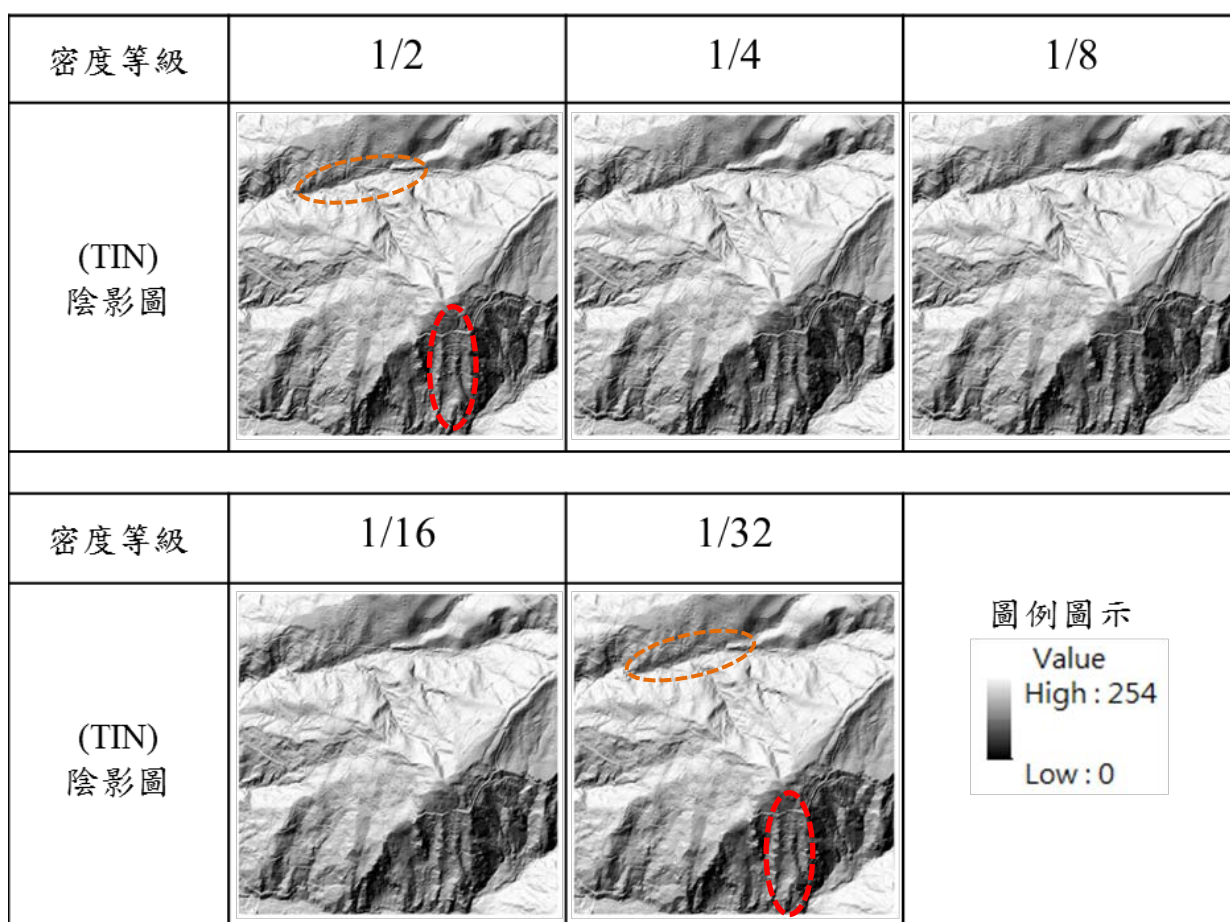


圖 6.76 不同密度下 TIN/線性產製 DEM 之日照陰影圖

### 3. Kriging 克利金法

Kriging 法優點在於考慮點與點之間的空間關係及整體的空間分佈，但在進行空間推估時，其模式計算複雜需要極長的運作時間。本案選擇一般克立金法(Ordinary Kriging)，假設數據變化為常態分佈，選用高斯模型，將原始光達點內插成 1 m 間隔的規則網格，其內插擬合成果如下圖 6.77。

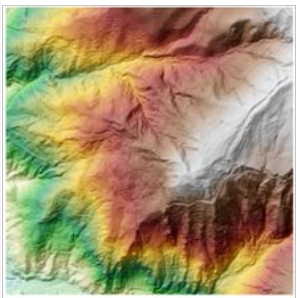
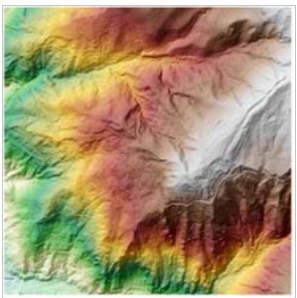
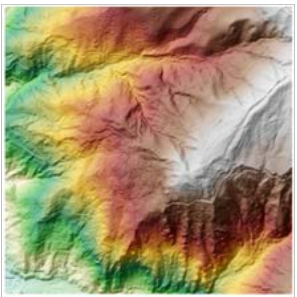

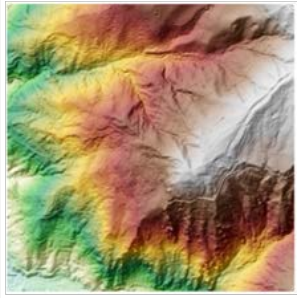
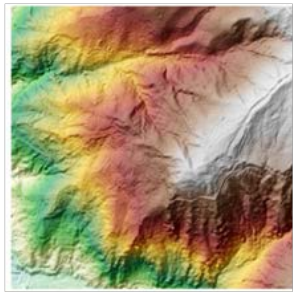
密度等級	1/2	1/4	1/8
Kriging 內插DEM			
平均高程 (m)	599.773	599.770	599.769
最大高程 (m)	790.292	790.279	790.282
最小高程 (m)	389.854	390.020	389.762
Std. (m)	86.460	86.461	86.464
密度等級	1/16	1/32	圖例圖示 
Kriging 內插DEM			
平均高程 (m)	599.764	599.761	
最大高程 (m)	790.314	787.926	
Std. (m)	86.474	86.470	

圖 6.77 不同密度下 Kriging 高程之統計分析表

Kriging 法為空間統計上一項重要的方法，普遍應用於空間結構分析與空間分佈的推估，但在計算權重的過程較為複雜。需先由已知點的數值來分析資料間數值大小差異和空間分佈關係，由產生的半變異元(Semivariogram)作為內插法適用性的判釋依據，再依移動視窗法或平均法來計算每個網格數值。以 Kriging 法內插出的 DEM，各密度等級間最大平均高程差為 0.009 公尺，為本案三種內插方法中，各密度等級內插 DEM 成果中平均高程差距最小的內插方法，且此方法各等級內插結果與全部點雲內插結果比較，平均高程差最大為 0.013 公尺。若刪減點雲資料密度等級後，使用此方法可內插出相似高精度 DEM，則減量冗餘數據將可提高 DEM 的製程效率，並達到微地形辨識的需求。

本案繪製 1m × 1m 之日照陰影圖展示如下圖 6.78。隨著密度等級的刪減，部份地區(特別是高低起伏較大的區域)內插後 DEM 日照陰影圖呈現表面粗糙，結果顯示隨著資料密度降低，以 Kriging 法執行內插的結果亦趨模糊。

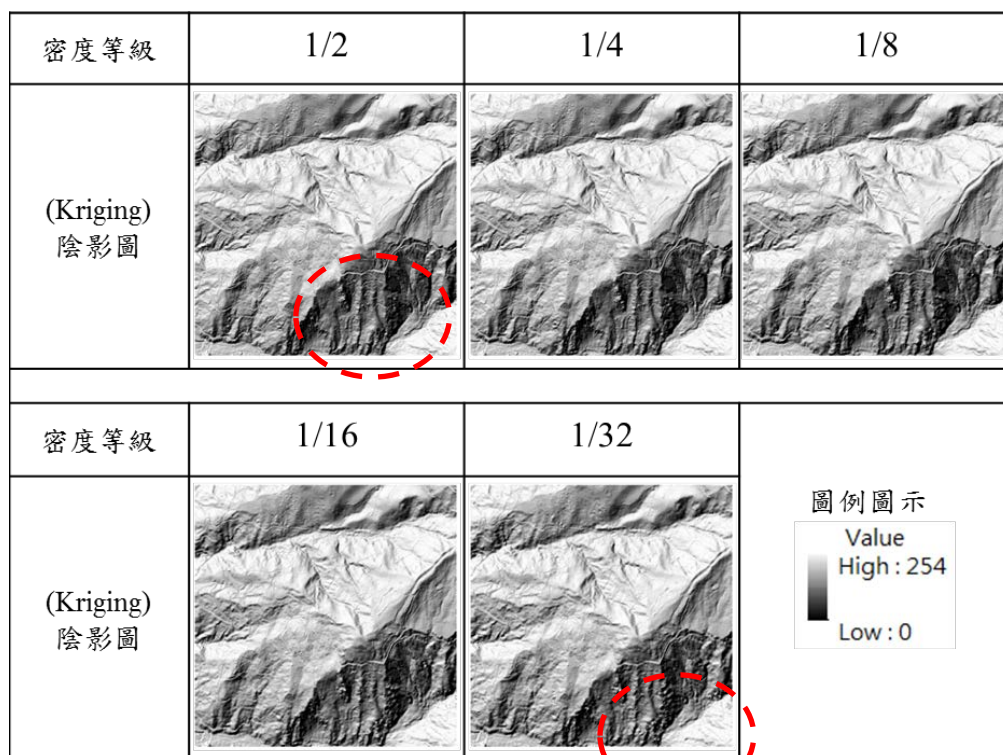


圖 6.78 不同密度下 Kriging 產製 DEM 之日照陰影圖

### 6-5.3 小區域測試相同密度等級，不同內插方法之差異比較

不同內插方法會造成高程與坡度的差異，舉例而言，本案發現，以疏化密度等級最低的 1/32 做為前述三種內插方法的差異比較時，見圖 6.79，可看出由 IDW 內插方法得到的 DEM 數據有明顯的褶皺情況，且褶皺間距坡度差約為  $40^\circ$ ，一般而言，地形起伏產生的褶皺間距太密集，通常岩石受到壓力推擠，才會產生傾斜或波浪狀的彎曲，故此處的密集褶皺結果可能為 IDW 法內插結果的誤差；TIN/線性方法內插之 DEM 則在山脊與山谷地區則有十分銳利的表現；Kriging 方法在整體而言，地形起伏變動劇烈處的內插情況較另二方法佳，使用在微地形判釋時，也能提供較大的助益。

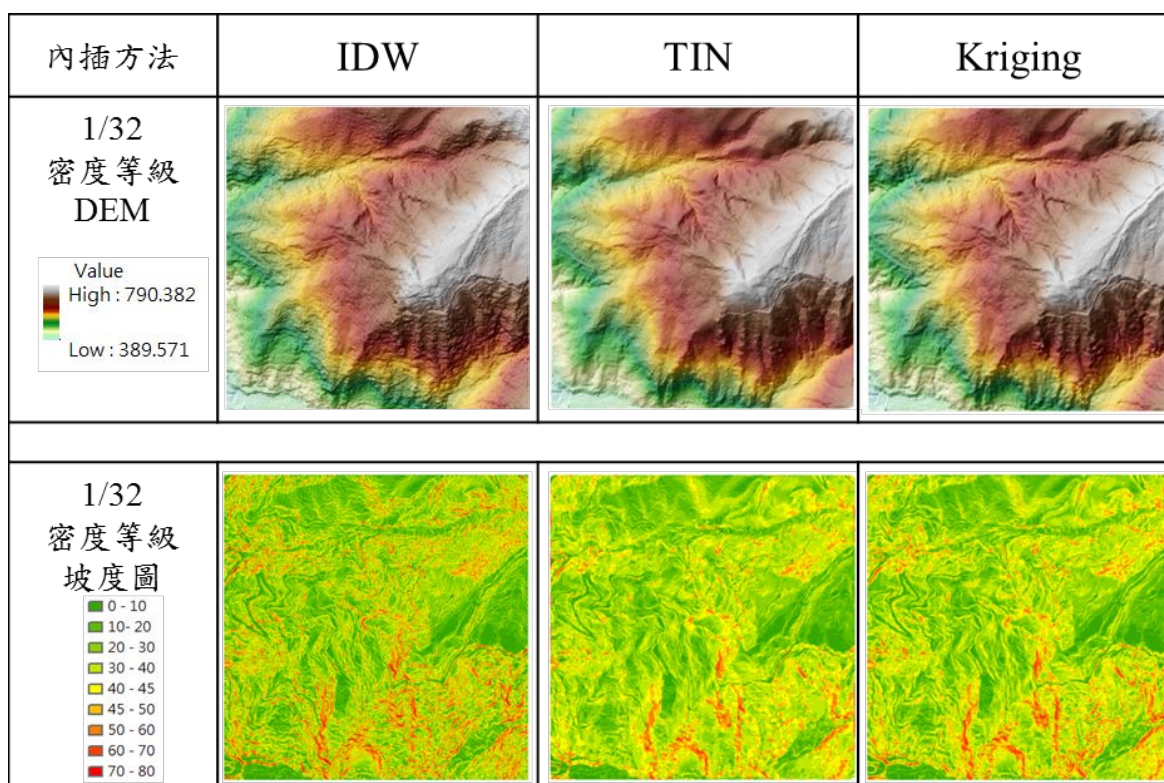


圖 6.79 1/32 密度等級各內插法 DEM 與坡度圖

本案比較三種方法內插 DEM 結果與原始點雲內插結果的差異如下圖 6.80，三種內插方法 DEM 結果均在山脊與山谷處產生較大差異，

尤其又以背光面地形起伏變動較劇烈的位置差異較大。各結果與原始點雲內插結果相差最大有 50.62 公尺，在向光面的差異較小，甚至無明顯差別。

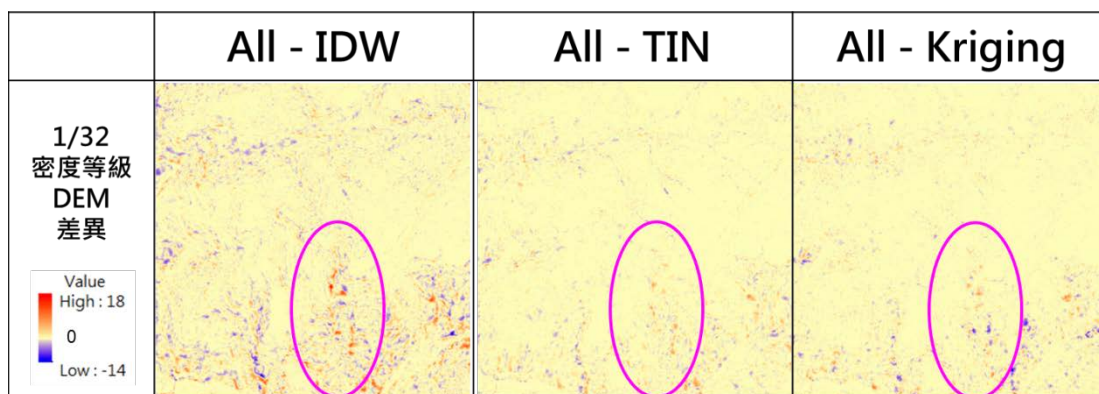


圖 6.80 低密度下，各方法 DEM 與原始點雲產製 DEM 比較

上述三種內插方法產製之 DEM 與原始點雲內插 DEM 結果相比，以 IDW 法生成之 DEM 結果相距最大。本案另以下圖 6.81 比較三種方法內插後與原始點雲內插 DEM 之坡度圖的差異。由於 IDW 內插法生成 DEM 時褶皺情形較多，故在產製坡度圖時造成與原始點雲內插結果差距幅度較另二者相比來得劇烈，最大坡度差距約為  $87^\circ$ 。TIN/線性與 Kriging 法產生歧異的位置為山脊與山谷，尤其是在背光面位置處。

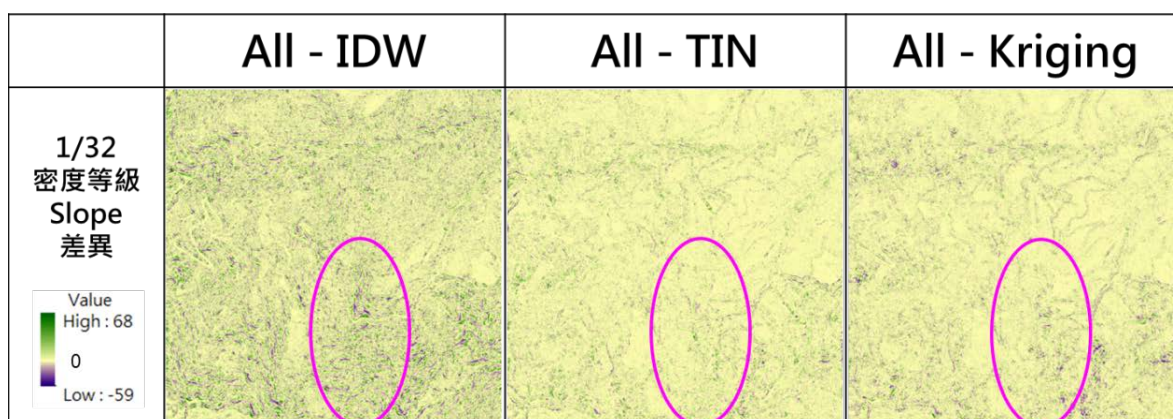


圖 6.81 低密度下，各方法坡度圖與以原始點雲產製坡度圖差異

本案期許降低點雲密度後仍可產製適用判釋微地形特徵線之 DEM，測試結果，當資料數量多時，DEM 與相關地形因子不會因方法不同而有大的差異存在，但刪減密度等級至 1/64 時(圖 6.72)，以 IDW 法內插 DEM 時，雖仍有小部份微地形特徵線可被辨識出，但大部份的微地形特徵線位置界線已模糊，不易界定，且 1/64 密度等級資料生成 DEM 時會產生圓點，已不敷使用。三種內插法細微比較上，以 IDW 內插方法得到的 DEM 數據在坡度變化劇烈處容易具有明顯的褶皺情況；TIN/線性方法內插之 DEM 則在山脊與山谷地區則有十分銳利的表現；Kriging 方法在整體而言，山脊與山谷內插情況較另二方法佳。測試結果，同等級密度下，各內插方法產製之 DEM 陰影圖，在向光面無顯著差異，在背光面地形起伏轉折處的歧異較大，以 Kriging 法內插 DEM 結果較適合用來判釋微地形特徵線。

#### 6-5.4 全區不同點雲密度與內插方法對微地形辨識影響

本案將全區各密度等級之平均點雲密度計算整理成表 6.18，原始全部點雲密度為每平方公尺 37.6 點，各等級之點雲密度依疏化點雲數量之等比級數下降，而有相同下降之趨勢，其中本案採用疏化後的資料量最小密度仍維持至少每平方公尺有 1 點以上。

表 6.18 全區各等級之平均點雲密度表

等級 密度	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
點雲密度(點/m <sup>2</sup> ) 地面點+非地面點	18.81	9.41	4.70	2.35	1.18
點雲密度(點/m <sup>2</sup> ) 地面點	1.74	0.87	0.44	0.22	0.11

為了瞭解疏化點雲取樣及內插方法對微地形辨識之影響，本案將完整點雲內插後 DEM 之微地形特徵線與降低點雲密度後產製 DEM 所辨識出之微地形特徵線數化，比較兩者特徵線數化後的長度。針對不

同密度等級與各內插方法產出本測試區全區之 DEM，配合日照陰影圖、坡度圖及坡向圖，逐一圈繪辨識微地形特徵線，比較完整點雲辨識成果與疏化點雲辨識結果，計算圈繪成果之潛在崩塌崩崖個數。最後探討本案各密度等級與各內插方法產出之 DEM 精度，評估適用於辨識微地形特徵線之最佳內插方法與最低限制點雲密度。由對照組專家辨識之微地形特徵線成果如圖 6.82 所示，統計潛在崩塌崩崖個數有 336 個，其總長度為 32457.7 公尺。

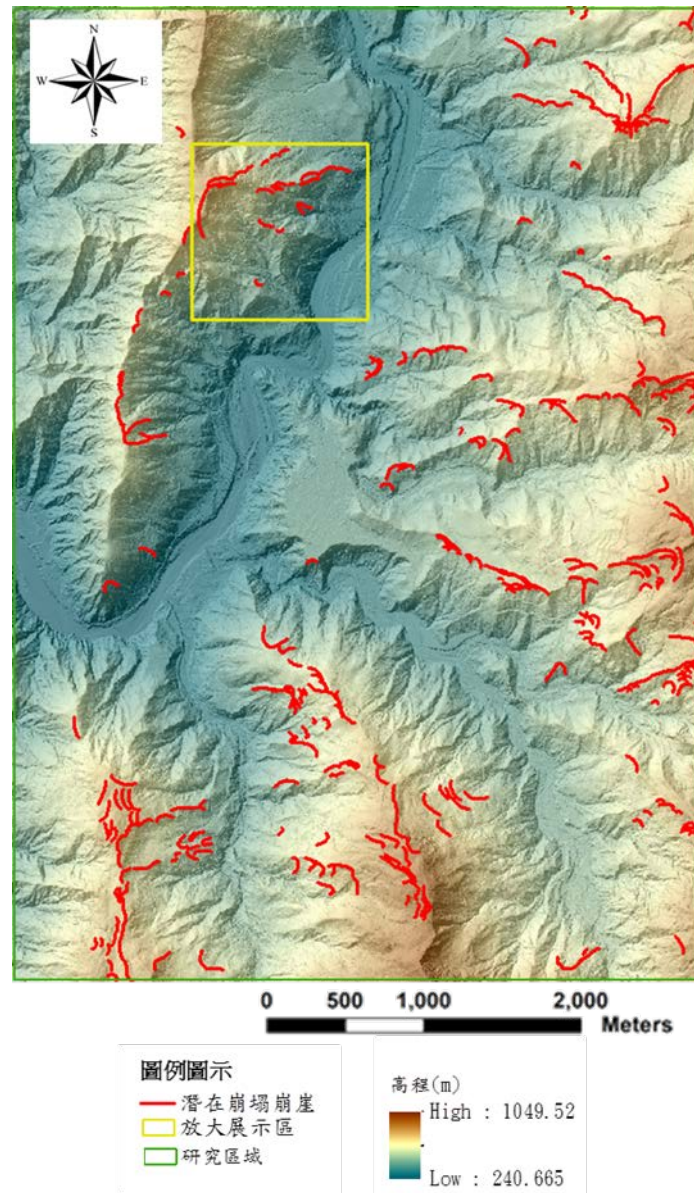


圖 6.82 對照組之潛在崩塌崩崖



### 6-5.4.1 各內插方法對微地形特徵線辨識之影響

#### 1. IDW 反距離權重法

本研究利用疏化後五個等級的資料，利用 IDW 演算法內插產製 1 m $\times$ 1 m 網格之 DEM 辨識潛在崩塌崩崖之微地形特徵線，套疊結果如圖 6.83。

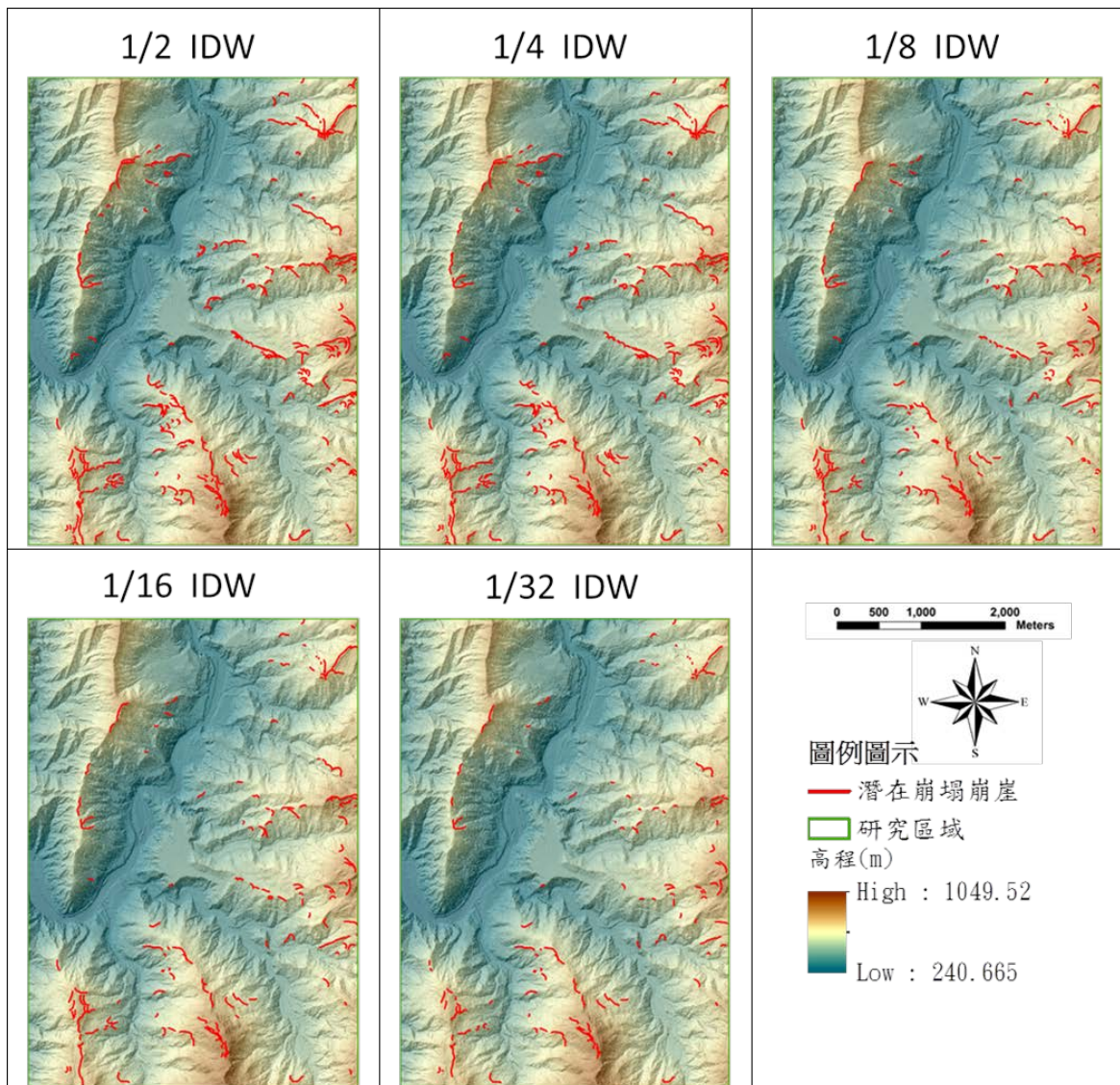


圖 6.83 各密度等級 IDW 法內插成果與微地形特徵線辨識成果圖

由圖 6.84 可發現隨著點雲疏化等級的降低, IDW 法內插產製 DEM 時的皺褶情況增加, 疏化密度至 1/8 等級時已嚴重干擾微地形特徵線的辨識作業, 導致潛在崩塌崩崖之微地形特徵線辨識成果急劇下降。

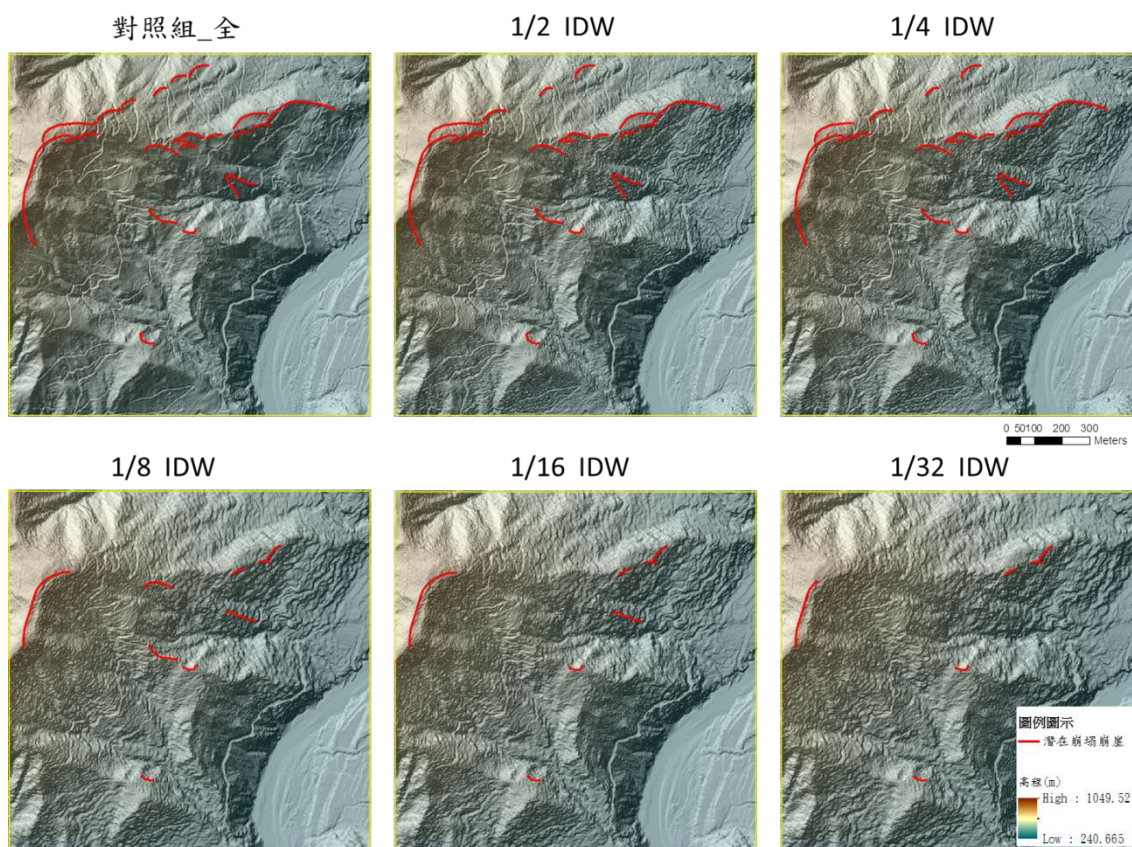


圖 6.84 各密度等級, IDW 法內插成果與陰影圖套疊展示微地形特徵線

本案將各疏化等級的 IDW 法內插結果, 以可辨識出潛在崩塌崩崖之微地形特徵線個數及長度整理成如圖 6.85。結果發現, 潛在崩塌崩崖依疏化密度等級降低而被辨識出微地形特徵線長度也隨之降低。又本案研究中發現, 在疏化等級 1/8 時, 潛在崩塌崩崖會有明顯的降低, 能被辨識出的長度約 19245 公尺, 只剩約 60% 可被辨識, 此結果顯示, 以 IDW 法內插之結果, 在疏化等級為 1/8 時, 已無法順利辨識出潛在崩塌崩崖的位置與長度。

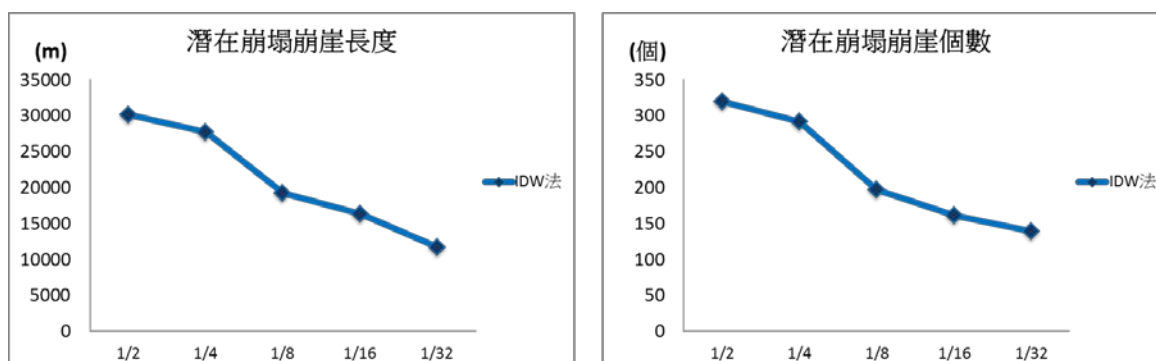


圖 6.85 IDW 法成果可辨識出之潛在崩塌崩崖長度與個數圖

另外，於潛在崩塌崩崖的微地形特徵線辨識中可看出，崩崖線的個數與長度比例呈現正向相關，由清查圖面資料發現，微地形特徵線的辨識結果，在疏化等級降低時，以 IDW 法內插後的日照陰影圖及坡度圖，將不易辨識出較短的崩崖線段，且在疏化等級 1/32 時，連同稍長線段之崩崖也會因內插結果模糊而無法被辨識。

## 2. TIN/線性內插法

本案利用疏化取樣方式取得 5 個密度等級的資料，過濾地面點後生成 TIN 數據，再將 TIN 數據轉換成網格資料，以線性內插法內插產製 1 m×1 m 網格之 DEM，並依此配合空間地形分析因子圖等辨識潛在崩塌崩崖之微地形特徵線，套疊結果如圖 6.86。

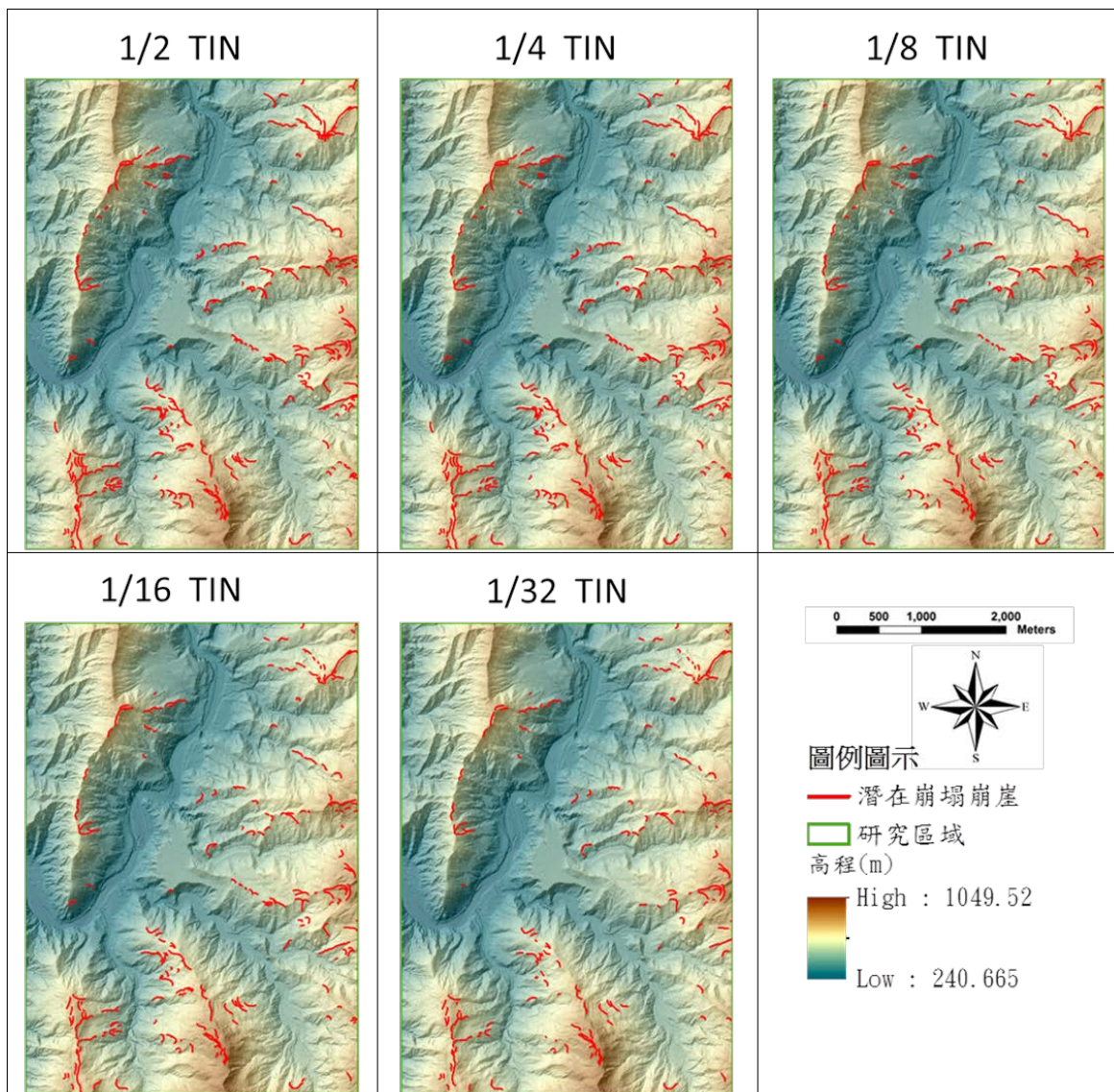


圖 6.86 各密度等級 TIN/線性內插法成果與微地形特徵線辨識成果圖

本案將各密度等級組成 TIN 數據並轉為 1 m×1 m 的 DEM 網格資料後，由圖 6.87 得知，TIN/線性內插法隨著密度等級的降低，套疊前述光線方位角 315 度及太陽仰角 45 度之日照陰影圖，可發現在地形起伏較大的地方，特別是山脊線與山谷處的地方，TIN/線性內插結果之三角網密度降低程度較向光面明顯。

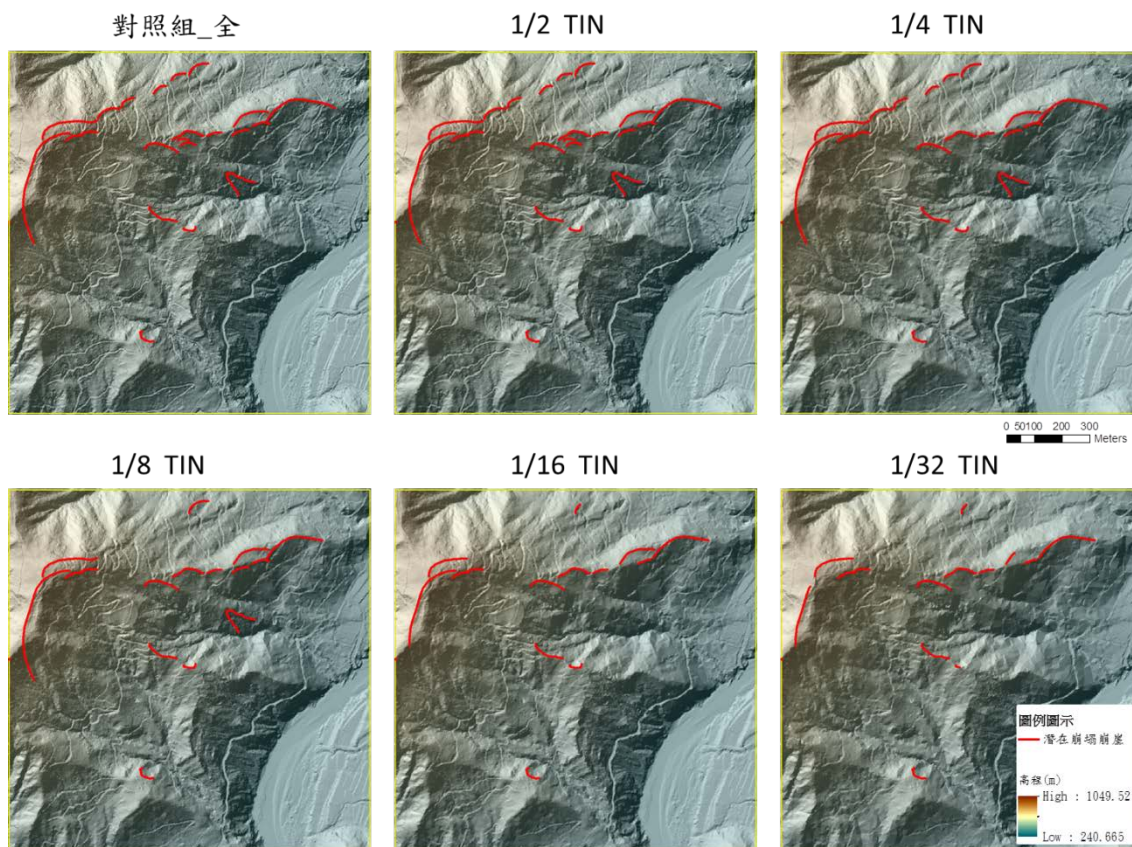


圖 6.87 各密度等級，TIN/線性內插法成果與陰影圖套疊展示微地形特徵線

本案測試結果發現，1/16 疏化密度等級以下之 TIN/線性內插結果，因微地形特徵線處之三角網組成呈現大面積三角網，無法確切反映其地表起伏狀態。除了原本屬於大範圍且長度較長之崩崖線仍可被正確辨識出，其餘較小線段，隨著疏化密度等級降低，能被辨識出微地形特徵線的所在位置與長度隨之減少。

潛在崩塌崩崖部份，依疏化度等級降低，能被辨識出的微地形特徵線長度及個數，與原始相較有循序下降之情勢，達 1/16 密度等級時，能被辨識出的長度約為 21902 公尺，只剩約 70% 可被辨識。1/16 與 1/32 密度等級之潛在崩塌崩崖能被辨識出的個數比例較長度比例來得稍高，是因為有許多較長且完整的崩崖線段，受 TIN/線性內插法產製 DEM 結果影響，已被分割為許多細小的各別線段，因此造成辨識個數遞減幅

度較小，如圖 6.88 所示。

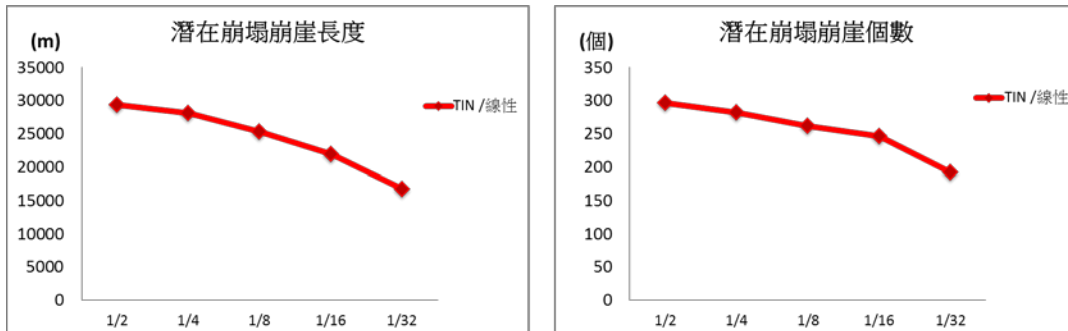


圖 6.88 TIN/線性內插法成果可辨識出之潛在崩塌崩崖長度與個數圖

### 1. Kriging 法

本案選擇一般克立金法(Ordinary Kriging)，假設數據變化為常態分佈，選用高斯模型，將疏化後點雲，依不同密度等級內插成 1 m 間隔的規則網格資料，其內插 DEM 與微地形辨釋套疊成果如圖 6.89。

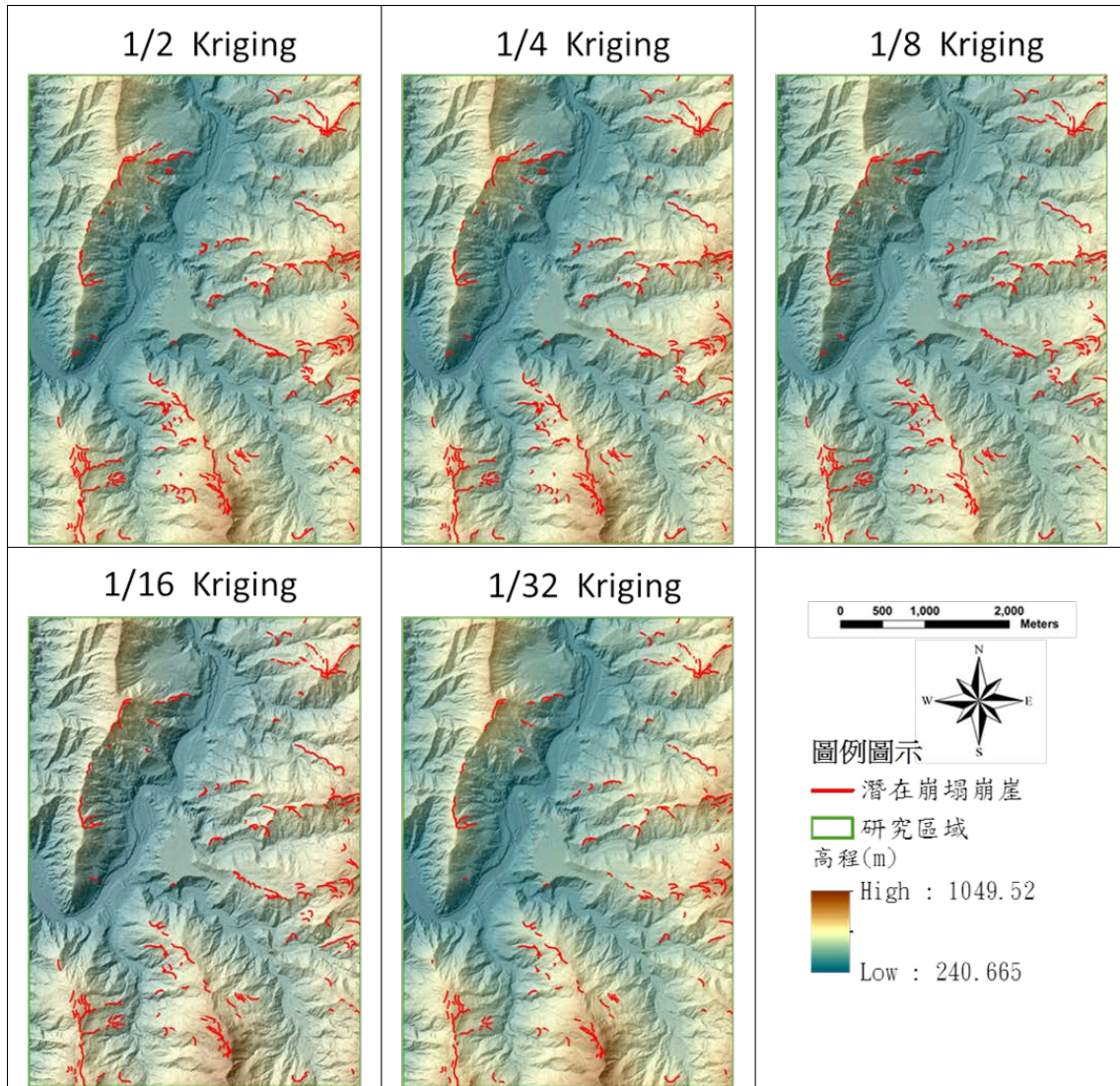


圖 6.89 點雲疏化後，Kriging 法內插成果與微地形特徵線辨識成果圖

本案在小區域測試結果中發現，在各密度等級下，以 Kriging 法內插產製 DEM 結果的平均高程差距最小。故本案試以全區刪減點雲資料密度等級後，使用 Kriging 方法內插出 DEM，進行微地形特徵線的辨識，如圖 6.90，隨疏化密度降低，DEM 內插結果在部份地區會有模糊化的情況，因而影響微地形特徵線的辨識界定，但大致上長度較長之微地形特徵線，辨識時仍維持良好的表現，但仍有似前二述方法內插結果，會被分割為多個部份的線段情形。此結果表明，利用 Kriging 法內插產製 DEM 最能達到微地形特徵線辨識之需求。

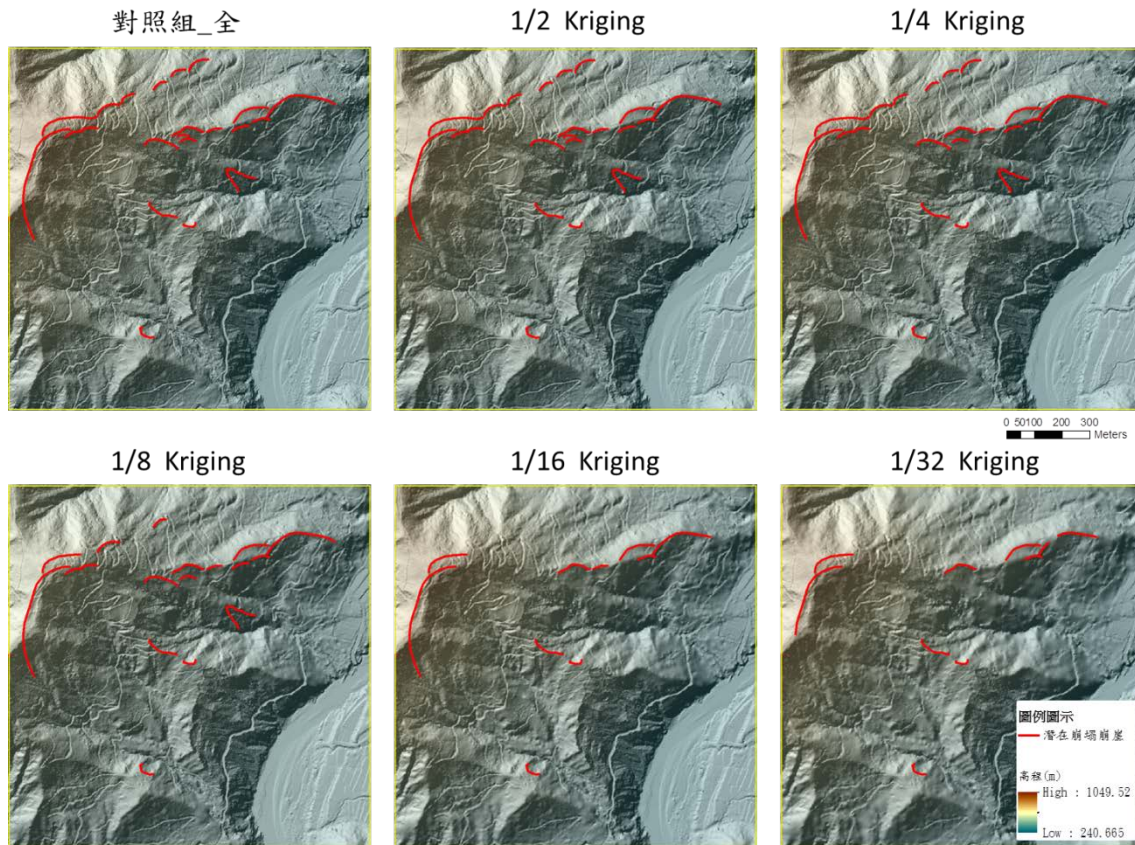


圖 6.90 各密度等級，Kriging 法內插成果與陰影圖套疊展示微地形特徵線

本案使用 Kriging 法內插結果辨識微地形特徵線的成果(如圖 6.91)中發現，能被辨識出之潛在崩塌崩崖長度與個數比例相似，依密度等級降低而有依序下降的情勢；在 1/4 疏化等級以下，能被辨識出之潛在崩塌崩崖個數比例較潛在崩塌崩崖長度比例稍高，理由仍是因為使用內插後 DEM 精度降低，造成辨識上，會有許多原先完整且崩塌範圍較大之微地形特徵線被分割成許多較細小線段的情況。

另外，本案研究發現，潛在崩塌崩崖辨識成果，以 Kriging 法內插結果可辨識出長度與個數，為三種內插法方中，辨識結果符合度最高的一個。



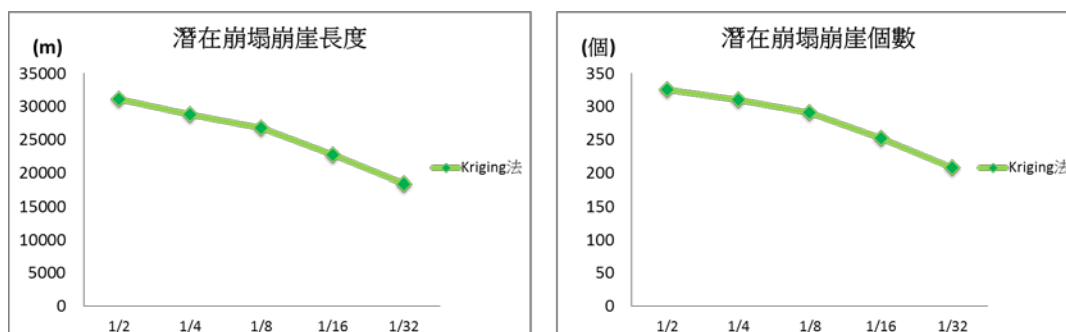


圖 6.91 Kriging 法成果可辨識出之潛在崩塌崩崖長度與個數圖

#### 6-5.4.2 不同點雲密度與方法對微地形特徵線辨識之影響

本案將不同點雲密度下，各方法內插結果所能辨識出潛在崩塌崩崖之個數與長度羅列於表 6.19。在 1/2 等級密度中，IDW 法和 TIN 方法的 DEM 內插結果，能辨識出的潛在崩塌崩崖個數相當，差異甚小；但在 1/4 密度等級後 TIN 方法能辨識出的潛在崩塌崩崖個數較 IDW 少。疏化至 1/32 密度等級時，本案使用的三種內插法產製之 DEM，能被辨識出的潛在崩塌崩崖個數，只剩下易被辨識出的微地形特徵線，也代表疏化過低的密度等級，無論用何種方法產製 DEM，其成果均不適用於做後續研究之使用。

表 6.19 不同疏化等級下，可辨識出潛在崩塌崩崖個數與數化長度表

密度 內插 方法	1/2密度等級		1/4密度等級		1/8密度等級		1/16密度等級		1/32密度等級	
	長度(m)	個數	長度(m)	個數	長度(m)	個數	長度(m)	個數	長度(m)	個數
<b>IDW</b>	30099.9	319	27705.5	291	19245.5	197	16291.5	161	11626.2	139
<b>TIN/線性</b>	29352.1	296	28047.1	282	25304.2	261	21902.2	246	16733.9	192
<b>Kriging</b>	31027.9	325	28714.7	310	26693.1	290	22693.2	252	18339.4	207

由表 6.19 觀察可辨識出之潛在崩塌崩崖個數與數化長度時，在 1/2 等級時，Kriging 法和 TIN/線性方法的 DEM 內插結果，能辨識出的崩崖個數相差無幾；又在 1/4 密度等級時，TIN/線性方法能辨識出的崩崖個數較 IDW 少；但至 1/8 密度等級時，IDW 法能被辨別出的個數急劇下降；至 1/32 密度等級時，可看到以 IDW 法及 TIN/線性內插後 DEM 結果，能辨識出的崩崖個數較接近。

並藉由圖 6.92 中可看出不同疏化密度等級下，各內插方法之 DEM 能被辨識出的微地形特徵線長度均隨著疏化密度等級的下降而遞減。Kriging 法及 TIN/線性方法內插之各等級 DEM 辨識微地形特徵線結果遞減幅度相似；IDW 法內插之 DEM，在疏化等級至 1/8 時已失真，造成崩崖線辨識上產生困難，也因為無法匹配相同位置之線段，使得總長度與其他二方法之落差較大。本研究另將可辨識出個數與對照組原始辨識個數繪製成如圖 6.93，可辨識出崩崖個數於疏化至 1/8 密度等級時，IDW 法之辨識結果有大幅度降至 60% 以下。

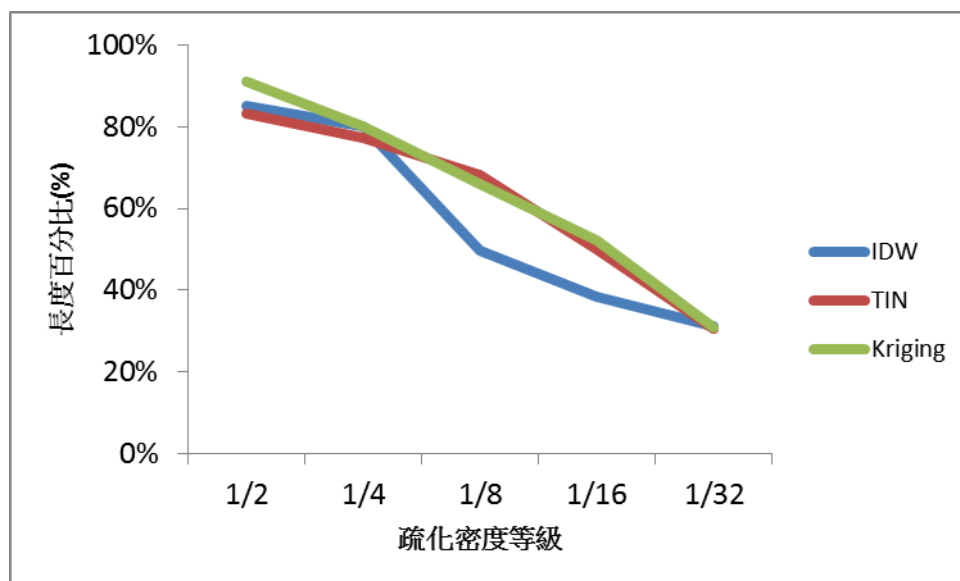


圖 6.92 疏化後潛在崩塌崩崖長度與對照組長度比例圖

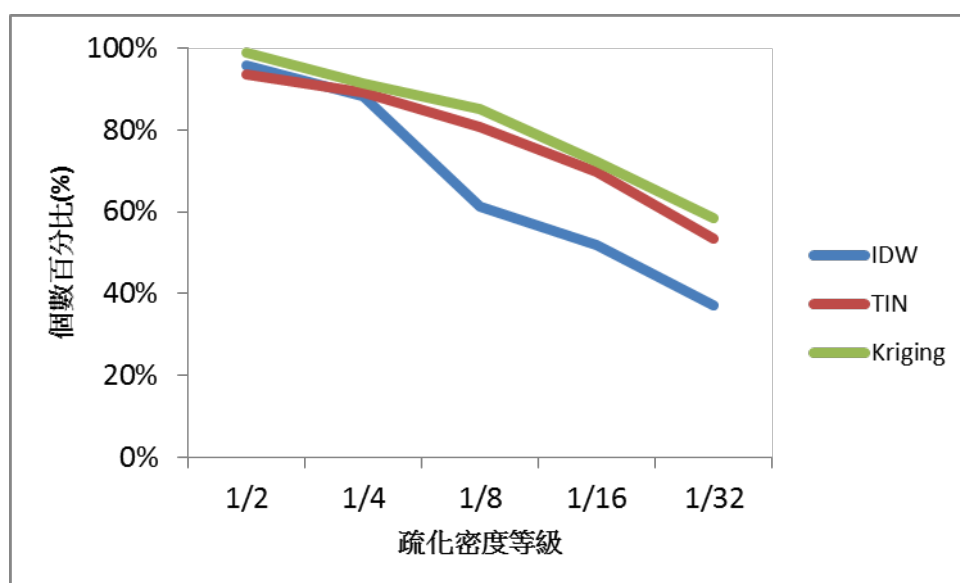


圖 6.93 疏化後潛在崩塌崩崖個數與對照組個數比例圖

### 6-5.5 不同點雲密度及內插方法之 DEM 精度分析

此分析資料為外業人員蒐集之地面檢核點資料，利用檢核點附近之最鄰近地面網格點內插其高程後與此檢核點之高程比較進行精度分析其「平均高差」為所有用以計算點之高差量平均值；「最大、最小高差」分別指所有計算的點位中高差量之最小與最大值；「平均絕對

高差」為用以計算點高差絕對值的平均值；「均方根誤差量」為所有高差量平方平均值之均方根。透過了解檢核點的最大高差、最小高差以及均方根誤差，可以知道資料其離散程度及準確度。此種初步檢驗考慮到每個樣本在統計上都具有代表性外，其不同方法內插之 DEM 與疏化程度之地面點檢核基本精度評估置於附件七。

為了解各種土地覆蓋類別在不同密度等級下各檢核點之絕對高差分佈情況，本案將各分類 DEM 精度檢核情形製成盒形圖如圖 6.94，由圖中可了解各分類檢核點位置之不同內插方法內插結果與外業人員蒐集之地面檢核點資料差異情況。概括而言，Kriging 法與 TIN/線性內插法之裸露地的精度檢核情況，絕對高差約在 0.2 公尺以下，但以 IDW 法的內插結果則有少數檢核點之絕對高差大於 0.2 公尺。另外，植生部份，無論是密林、林地、植生地或矮植被等分類項目，不同點雲密度下均以 Kriging 法內插結果之精度檢核情況較優異。而所有分類項目中，在密林的精度檢核情況較其他分類項目稍差，又以 IDW 法所檢核之情況最差，其檢核點絕對高差超過 0.5 公尺的數量較其他二內插方法多。

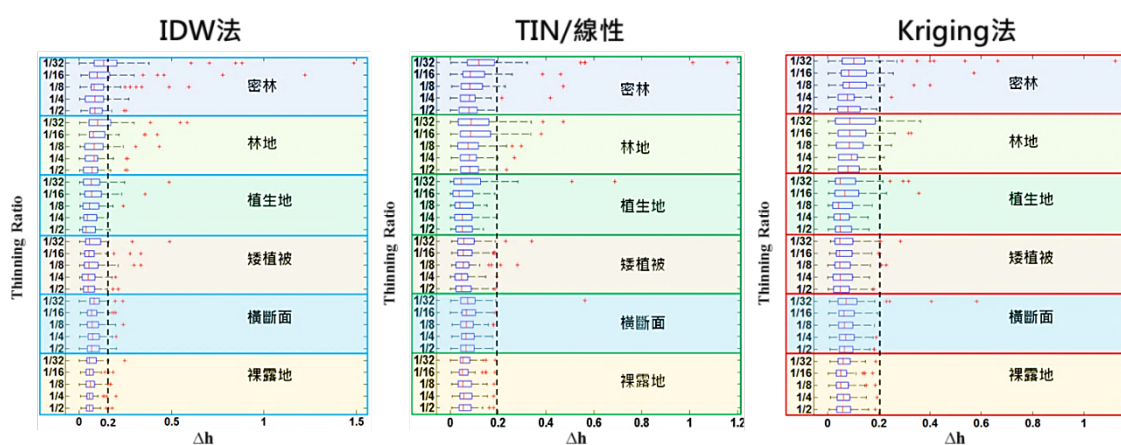


圖 6.94 不同點雲密度及內插方法之 DEM 絕對高差盒形圖

## 1. IDW 法

各密度等級之 IDW 法內插 DEM 結果，其平均絕對高差之結果如圖 6.95，可發現當點雲疏化程度達 1/32 時，與其平均絕對高差與點雲疏化 1/2 時，具有一定程度的差量。當疏化密度等級降低時，各種土地使用類別之平均絕對高差也會增加，而最大高差與最小高差也會隨之變化，顯示其誤差量增大。

在點雲疏化至 1/32 密度等級時，裸露地、矮植被、植生地和橫斷面這四大類，還能確保其檢核成果精度符合檢驗規範；但林地在此密度等級時，部分檢核點雖然仍在精度規範內，但已在精度規範之下界邊緣，另外，密林區之精度 1/16 密度等級時就出現部分檢核點不符合精度規範，顯示其精度不如點雲疏化 1/2 與 1/4。

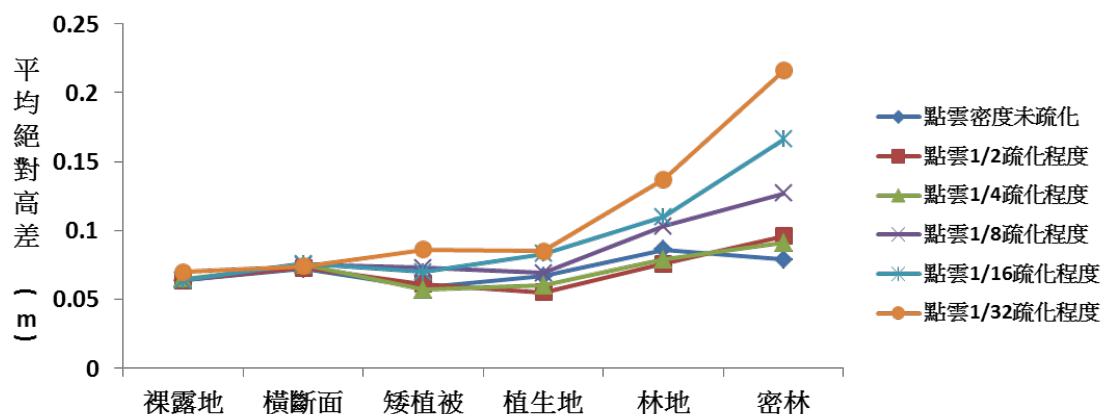


圖 6.95 IDW 法內插結果與點雲疏化各類土地覆蓋類別平均絕對高差分析

## 2. TIN/線性內插法

各密度等級之 TIN/線性法內插 DEM 結果，其平均絕對高差之結果如圖 6.96，當疏化密度等級降低時，各種土地使用類別之平均絕對高差會增加，整體看來，疏化程度造成的精度檢核下降情形，與 IDW

法內插結果的精度檢核情況變動幅度相似。TIN/線性法內插 DEM 結果檢核中，植生地平均絕對高差在 1/2、1/4 及 1/16 密度等級時接近 0，僅在 1/32 疏化密度時，有一筆植生地檢核資料超出精度規範，其餘類型檢核成果精度均符合檢驗規範。

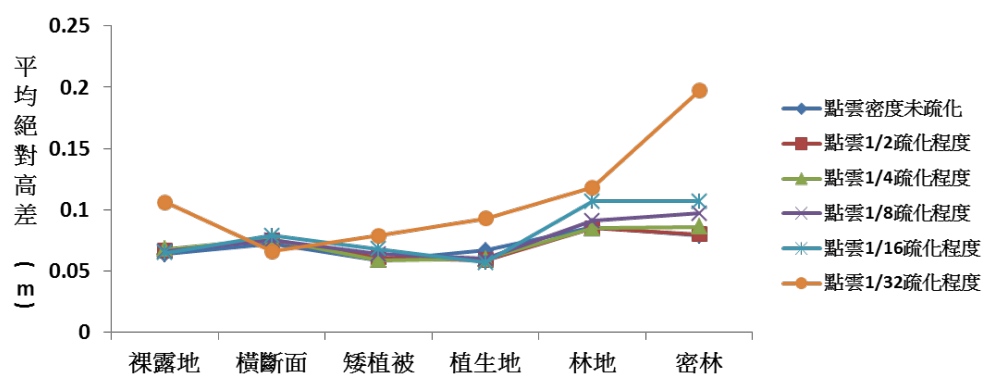


圖 6.96 TIN/線性內插結果與點雲疏化各類土地覆蓋類別平均絕對高差分析

### 3. Kriging 法

疏化後各密度等級之 Kriging 法內插 DEM 結果的平均絕對高差結果如圖 6.97，各種土地覆蓋類別在不同密度等級下，以矮植被及草生地的平均絕對高差檢核成果較相近，且大致上各土地覆蓋類型的檢核成果精度均符合檢驗規範。

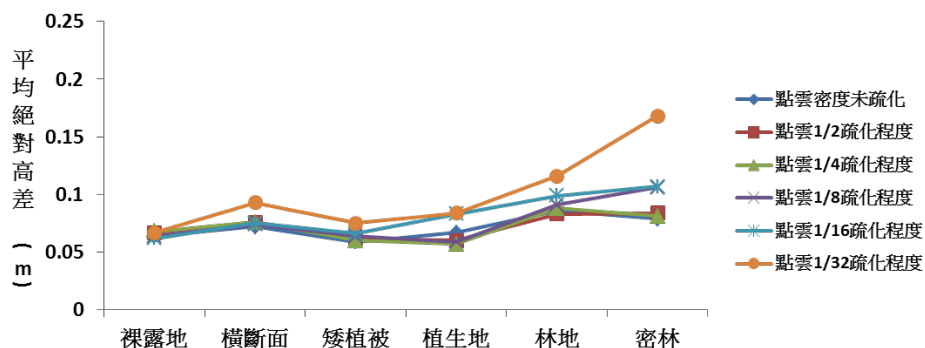


圖 6.97 Kriging 內插結果與點雲疏化各類土地覆蓋類別平均絕對高差分析

本案為了解不同密度等級下各種內插方法的平均絕對高程差異，以上述檢核精度做為依據，分別將各密度等級之平均絕對高差彙整成圖 6.98。結果顯示，在 1/2 密度等級下，本案採用的三種內插方法產製之 DEM，於各個土地覆蓋類別的平均絕對高程差精度檢核情況較一致。隨著密度等級的下降，各類別的平均絕對高程差精度檢核情形則有變動趨大的情勢。由上述可得知，點雲疏化程度與 DEM 之精度呈現反比，當點雲疏化程度越高(密度等級低)時，其精度(平均絕對高差)會隨著疏化程度而遞減，在 1/32 密度等級下，Kriging 的精度分析總體表現較其他兩種方法佳。

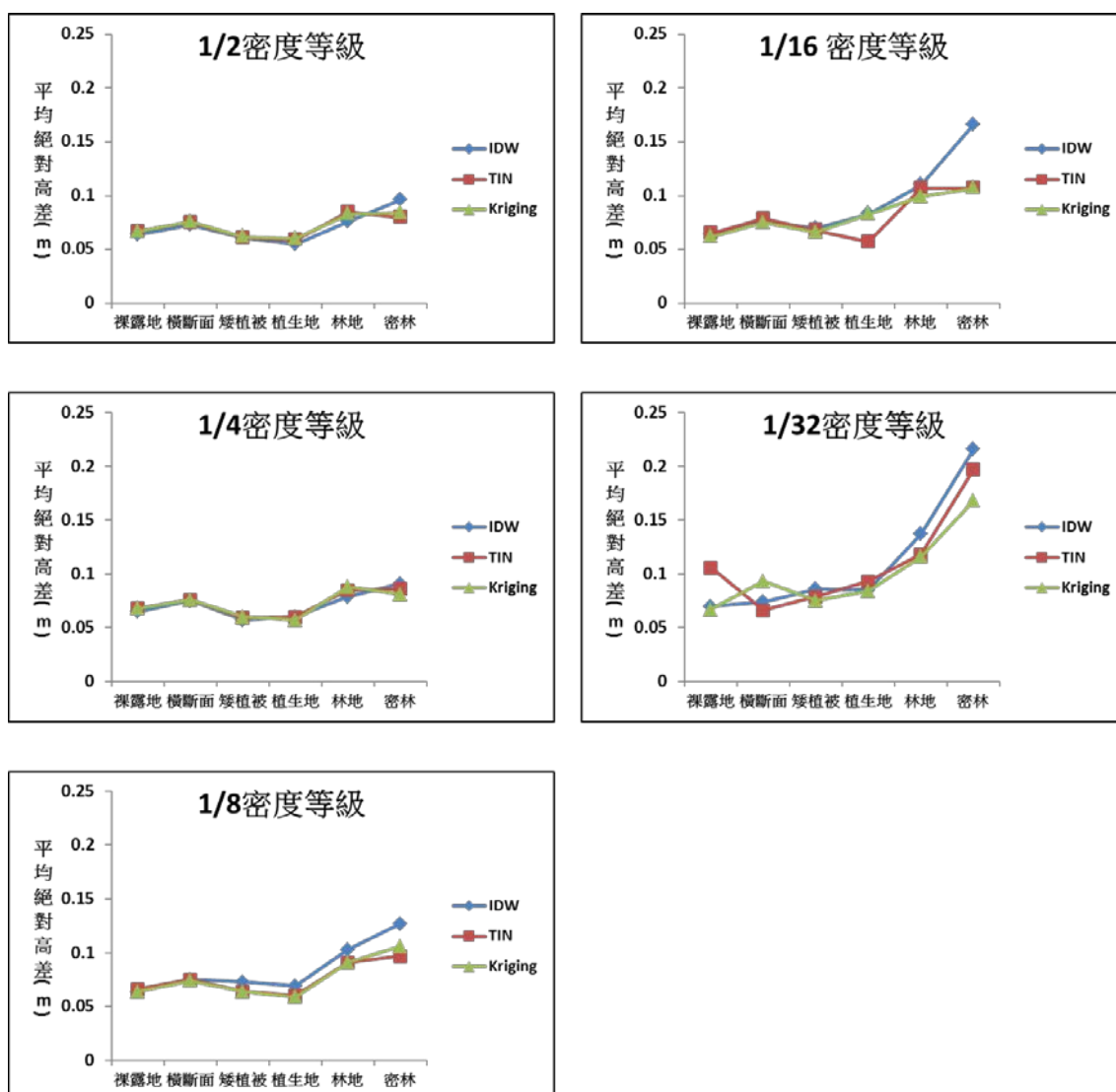


圖 6.98 不同密度等級下，三種內插方法平均絕對高差比較

## 第7章 結論與建議

### 7-1 結論

1. 為獲取地物真實反射率之數據，移除遙測資料中因大氣散射和吸收所產生的大氣效應，是影像處理的一大課題。本案選用 FLAASH 模組、ATCOR-4 模組及經驗線法則等三種大氣校正方法與地面光譜資料進行比較，由結果發現 FLAASH 大氣校正模式相對於 ATCOR-4 及經驗線法，是一種操作簡單且快速的校正方法，但校正後之影像在 400 nm 以下的反射率仍有產生負值之問題，由於 FLAASH 無法匯入其他地形條件參數，才使得校正成果不佳。；而在 ATCOR-4 校正模組其特點可匯入 DSM 或 DEM 地形資料進行大氣校正，針對 ATCOR-4 加入不同 DSM 資訊進行測試之結果顯示，確實能改善因地形變化所導致接收到的輻射值不同之問題，且校正成果與現地量測之光譜資料相近。
2. 利用本案產製之光達資料判釋出露之地層界線及地質線形，與潛在崩塌區植生特徵與地形特徵。依據結果顯示，高精度數值地形應用於斷層判釋，與斷層地形受侵蝕風化的程度有關，侵蝕風化的程度越大或活動的年代越久遠，其所展現出的地形特徵越不明顯，尤其是在斷層兩側岩性相近或層間斷層，往往無地形上明顯特徵，僅能從人工構造物的破壞情形間接進行斷層的現地輔助判釋。而本案亦透過高精度數值地形判釋出褶皺位置，尤其是在抗侵蝕差異大之岩性出露區域，較易進行現象之判釋。地層界線之判釋成果以研究區域之西北方地層-糖恩山砂岩層、鹽水坑頁岩層以及隘寮腳層之界線較為顯著，因此，本案建議可將部分界線移至地形起伏明顯處、曲率變化處或地表侵蝕地形特性差異處，此方式可更精確修正人力無法到達之地層邊界。在崩塌地之崩崖判釋部分，經 15 處之現地查核結果顯示本案產出之光達高精度數值地形可判釋出崩崖落差 50



- 公分以上之崩塌地，而依據現地調查資料顯示，崩崖落差量約在 150 公分以內之崩崖面坡度變化較為陡急，而崩崖落差量平均大於 150 公分以上之崩崖面坡度變化較為和緩，而此結果可能與崩崖之發育時間有關。
3. 結合高光譜及全波形光達資料於微地形崩塌調查調查機制分析，其成果顯示，高光譜與全波形光達資料分別以 MNF 與 PCA 旋轉後之影像資料能有效分離原本較難區分的土地覆蓋物，因此融合影像分類後之成果能輔助微地形潛在崩塌植生特徵之判釋，由整合分析成果顯示，判釋之潛在崩塌崩崖多分布於森林與竹林區，且由土地覆蓋分類統計結果，崩崖上部多為竹子所覆蓋，崩崖下部出現之地物則為森林及草地，其結果與現地植生調查情況是相符合，顯示本案所判釋微地形崩崖之分布位置與竹林分布是具有關聯性，以此可作為輔助微地形崩塌調查。
  4. 本案使用疏化點雲密度及利用不同內插方法仍可產製適用判釋微地形特徵線(潛在崩塌崩崖)之 DEM，本案測試結果中發現，在不同點雲密度下，依疏化度等級降低，能被辨識出的微地形特徵線長度及個數，隨著密度下降而依序下降。以可被辨識出 50% 之崩崖長度為基準，本案適用辨識微地形特徵線之疏化底限為 1/8 等級(即點雲密度每平方公尺約 4.7 點)。因為在不同內插方法中，IDW 法內插之結果，在疏化等級至 1/8 時，僅可辨識出 50%~60% 崩塌崩崖；TIN 與 Kriging 法內插結果，則可辨識出 70% 以上崩崖線，其中又以 Kriging 法內插結果為三種內插法中辨識結果符合度最高。在不同方法與各密度等級內插後 DEM 精度檢核分析中，當疏化密度等級降低時，各種土地使用類別之平均絕對高差也會增加，顯示其誤差量增大。在本案測試最低疏化密度(點雲密度每平方公尺約 1.1 點)下，Kriging 法內插 DEM 結果的精度分析總體表現較其他兩種方法出色。綜合上述，若需產製適用辨識微地形特徵線之 DEM，宜採

用點雲密度每平方公尺 4 點以上，並以 Kriging 法內插為佳。

5. 本案探討影響穿透率的兩個重要的飛航參數為「飛行高度」與「雷射脈衝頻率」，從結果顯示當航高降低時穿透率會增加，由於森林區域穿透率不高，當穿透率增加 0.1 時地面點雲數量將倍數增加。另外雷射脈衝頻率對於穿透率的影響，當雷射脈衝頻率越高時穿透的情形不如低脈衝頻率的資料，由雷射脈衝頻率與平均穿透率統計顯示，當每增加 100kHz 時，穿透率會減少約 0.04，故減少雷射脈衝頻率可以提升穿透率。不同的地物會影響穿透率，從結果顯示森林的穿透率最低，其次是竹林，最高穿透率為檳榔，故在航線規劃時除了地形為考慮因子外，必須要將地物類型列入考慮，當測區均為森林時，飛航參數必須考慮到航高與雷射脈衝頻率，主要是為提升森林的穿透率，由於兩的參數是獨立的變項，故在飛行安全許可下，盡量降低飛行高度，如無法過低飛行時，可以考慮降低雷射脈衝頻率來達成提高森林穿透率的目標。穿透率越高 DEM 的誤差就越小，本案經實際地面檢核點與 DEM 高程差異驗證結果顯示，在穿透率低的地方，誤差高達 1.6 m，表示不是點雲數量高就可以獲取誤差較小的 DEM，大面積森林區域無從測量其正確的 DEM 資料，只有利用影響穿透率的因子來改善，如降低飛行高度與降低雷射脈衝頻率來達成。

## 7-2 建議

1. 延續去年度工作案，本案測試區約有一半範圍與去年測區重疊，因此共有兩期空載全波形光達資料與空載高光譜影像之蒐集，光達數值地形確實可應用於森林崩塌之地形特徵判釋與定性之分析，同時根據實際現地查核結果顯示，地形特徵若超過 50 公分以上，專業人員即可判釋出來。此資料可有效提升後續地形特徵之定量分析準確度。

2. 本案地形特徵判釋結果，在後續實用及推廣應用上，可提供土砂災害相關研究對於崩塌區位分析之參考，同時亦可提供後續土地利用與開發之在細部調查依據。而本案完成之微地形崩塌調查機制分析作業則可提供使用光達資料進行崩塌判釋之參考。建議後續之研究方向可利用本研究區域不同時期之光達數值地形，進行地形變異分析，了解不同時期之地形差異與土砂變化情形，以供後續防災對策研擬之參考。降雨為山區災害之主要誘因，而山區道路坡面水系發育與排水狀況，往往為道路破壞的關鍵，而透過高精度數值地形之水系分析，及其不同時期之變異分析，可了解坡面因降雨導致道路崩壞之潛在路段與機制，除可建立分析作業流程，另可供防災單位參考。
3. 目前國內學術單位仍仰賴多光譜影像與衛載高光譜影像作為遙測相關研究之資料來源，也易受限於影像的空間解析能力或光譜取樣不足而無法提升遙測影像的利用性。由本案執行之經驗顯示，空載高光譜影像能夠同時提供高空間與光譜的解析力，因此建議後續學術研究者可持續發展與應用的被動式遙測技術。
4. 本案所使用之 ATCOR-4 大氣校正模組其特點可匯入校正地區之地形因子，並且能改善地形效應造成輻射值不同之問題。因此，建議後續可以此大氣校正模組進行高光譜之影像大氣校正，提升影像品質，促進地物分類成果。融合影像之分類成效良好，建議未來持續以此發展，廣泛測試各種分類法，期能融入國土基本資料蒐集調查之工作中，應可有效減少人力花費。
5. 由於本案利用光達資料疏化後五個等級的資料，利用不同演算法內插產製  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  網格之 DEM，來分別辨識微地形特徵線，探討之地面解析度均在同尺度下。未來能探討不同地面解析度下，疏化至何種等級之點雲密度，實已足夠提供微地形特徵線之辨識，或針對其中一種土地使用分類做為檢核依據，可探討該分類檢核情況是否

會受疏化後點雲密度及內插產製不同解析度網格之影響，便於日後應用。未來光達產製之 DEM 可以針對水文地形因子或開闊度等參數進行量化分析，並建構 3D 模型加以展示，或者能考量序列模式，深入探討點雲密度對 DEM 結果產生的不確定性等分析，或是運用空載光達具有高密度測點與可分離植生多回波訊號之特性，分析點雲空間分布的疏密程度與土地使用覆蓋之關聯性。

6. 本案穿透率的計算主要是為釐清影響森林穿透率的因子，並得知程度上的差異，飛行高度會影響平均穿透率的大小，在飛航規劃時，常常會依照工作效率或時間來提高飛航高度，但會直接影響到地面點的數量，有多數的雷射光因穿透大氣距離變長使其能量衰減，將無法穿透森林冠層到達地面，穿透率較差的森林區域會造成 DEM 較大差異量，主要是因為樹高的影響，點雲均分布在樹冠層，無其地面點資料，或穿透能力不夠，僅穿透到樹冠層一半或底下，亦會造成 DEM 的誤差。降低航高雖然會增加的飛航的次數，但所獲得的 DEM 資料正確率較高，高正確率的光達資料，才能進一步應於各領域中。本年度計畫主要是掃瞄後的計算與探討，但由於在真正執行飛航計畫時，無法先行掃瞄並計算穿透率，本案成果顯示，不同樹種具有不同之穿透率，故建議未來應探討獲取高精度 DEM 之航線規劃，應用衛星影像推估植物指標參數(如葉面積指數 LAI)作為基本資料之可行性。

## 第8章 參考文獻

- 中央地質調查所 (2012) 近斷層高精度地形資料之判釋與分析。(2/4) 計畫成果報告，215 頁。
- 日本活斷層研究會 (1980) 日本的活斷層—分布圖と資料，東京，東京大學出版會，363 頁。
- 日本活斷層研究會 (1992) 日本の活断層—分布図と資料，活断層研究会編，東京大学出版会，73 頁。
- 史天元(2006)，由空載光達點雲數據擷取線形特徵研究(I)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 史天元、彭森祥、徐偉城 (2002) 應用空載雷射掃瞄儀進行地震災區變形研究。農委會 91-農科-5.1.1-林-R1(8)計畫報告，共 13 頁。
- 李新、程國棟、盧玲 (2000) 地球科學研究，15(3);260。
- 林志交、張坤樹、鄭鼎耀 (2004) 雷射掃瞄資料於潮間帶地形及城市區航帶平差之初探，第六屆 GPS 衛星科技研討會，台南國立成功大學。
- 林耿帆、邱彥瑋、張智昌、徐百輝(2011)，以物件導向結合影像與光達點雲資料之地物分類，2011 年台灣地理資訊學會學術研討會。
- 張義、楊洪、楊衛、王淵 (2011) Lidar 地面 GPS 機站聯測方法與精度分析，技術與市場，18(10)，P15-17。
- 陳建珍、何超、岳彩榮(2011)基於 FLAASH 模塊的高級陸地成像儀圖像的大氣校正，浙江農林大學學報 28(4)：590-596。
- 陳楠、林宗堅、李成名、朱紅春、徐增讓、湯國安 (2004) 基於信息論的不同比例尺 DEM 地形信息比較分析。遙感信息 第 5-8 頁。

- 黃清美、史天元 (2008) 雷射入射角與空載光達穿透率關係探討。航測及遙測學刊 13(1): 67-73。
- 經濟部中央地質調查所 (2000) 經濟部中央地質調查所施政計畫報告-活動斷層調查報告-六甲斷層。
- 經濟部中央地質調查所(2012)台灣活斷層觀測系統及便民查詢系統，(<http://fault.moeacgs.gov.tw/TaiwanFaults/>)。
- 嘉義縣阿里山鄉茶山社區發展協會 (2013) 嘉義縣阿里山鄉茶山社區農村再生計畫，第 28-29 頁。
- 劉湘南、黃方、理平 (2008) GIS 空間分析原理與方法(第二版)，北京：科學出版社。
- Ackermann, F., (1999) Airborne laser scanning present status and future expectations. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54 (1): 64- 67.
- Adler-Golden, S. M., M. W. Matthew, L. S. Bernstein, R. Y. Levine, A. Berk, S. C. Richtsmeier, P. K. Acharya, G. P. Anderson, G. Felde, J. Gardner, M. Hoke, L. S. Jeong, B. Pukall, A. Ratkowski, and H. H. Burke (1999) Atmospheric Correction for Short-wave Spectral Imagery Based on MODTRAN4. SPIE Proceedings on Imaging Spectrometry 3753: 61-69.
- Andersen, H. E., Reutebuch, S. E., & McGaughey, R. J. (2006) A rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne lidar and conventional field methods. Canadian Journal of Forest Research, 32, 355-366.
- Anderson, E. S., J. A. Thompson and R. E. Austin (2005a) LiDAR density and linear interpolator effects on elevation estimates. International Journal of Remote Sensing, 26(18): 3889-3900.

- Borengasser, M., W. S. Hungate and R. Watkins (2008) *Hyperspectral Remote Sensing Principles and Applications*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Briese, C., and N. Pfeifer (2001) Airborne laser scanning and derivation of digital terrain models. In: Gruen, A. and Kahmen, H., Editors, *Optical 3D Measurement Techniques V*, Technical University, Vienna, Austria, pp80-87.
- Burman, H. (2000) Adjustment of laser scanner data for correction of orientation errors. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam. CDROM.
- Baltsavias, E. P. (1999) Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources, *Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, (54)2-3, 164-198.
- Burton, D and D. B. Dunlap (2010) Lidar intensity as a remote sensor of rock properties. *Journal of Sedimentary Research* 81(5): 339-347.
- Chasmer, L., Hopkinson, C., Smith, B., & Treitz, P. (2006) Examining the influence of changing laser pulse repetition frequencies on conifer forest canopy returns. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72, 1359-1367.
- Clark, M.L., D.B. Clark, and D.A. Roberts (2004) Small-footprint lidar estimation of sub-canopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape. *Remote Sensing of Environment*, 91: 68-89.
- Cudahy, T., J. Rodger, A. P. Barry, P. S. Mason, P. Quigley, M. Folkman, M and J. Pearlman (2002) Assessment of the stability of the Hyperion SWIR module for hyperspectral mineral mapping using multi-date images from Mount Fitton, Australia, *IEEE*.

- Dalponte, M., L. Bruzzone, and D. Gianelle (2008) Fusion of hyperspectral and LIDAR remote sensing data for classification of complex forest areas, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(5): 1416-1427.
- Davies, G., J. Calkins, L. Scharenbroich, R. G. Vaughan, R. Wright, P. Kyle, R. Castaño, S. Chien, and D. Tran. (2007) MultiInstrument Remote and In Situ Observations of the Erebus Volcano (Antarctica) Lava Lake in 2005: a Comparison with the Pele Lava Lake on the Jovian Moon Io. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177: 705-724.
- Giovanni Forzieri, Gabriele Moser and Filippo Catani (2012) Assessment of hyperspectral MIVIS sensor capability for heterogeneous landscape classification, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 74:175-184.
- Goodwin, N. R., Coops, N. C., & Culvenor, D. S. (2006) Assessment of forest structure with airborne LiDAR and the effects of platform altitude. *Remote Sensing of Environment*, 103, 140-152.
- Grebby, S., D. Cunningham, J. Naden, and K. Tansey (2010) Lithological mapping of the Troodos ophiolite, Cyprus, using airborne LiDAR topographic data. *Remote Sensing of Environment* 114(4): 713-724.
- Grebby, S., J. Naden, D. Cunningham, and K. Tansey (2011) Integrating airborne multispectral imagery and airborne LiDAR data for enhanced lithological mapping in vegetated terrain. *Remote Sensing of Environment* 115: 214-226.
- Guo, Q.H., W. K. Li, H. Yu and O. Alvarez (2010) Effects of topographic variability and lidar sampling density on several DEM interpolation



methods. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 76(6): 701-712.

Harding, D. J. and G. S. Berghoff (2000). "Fault scarp detection beneath dense vegetation cover: Airborne Lidar mapping of the Seattle fault zone." Bainbridge Island, Washington State, unpublished paper.

Heritage, G. L., Andrew, R., and Large., G. (2009) *Laser scanning for the environmental sciences*, Blackwell, London, UK, 30-31.

Heritage, G. L., D. J. Milan, A. R. G. Large and I. C. Fuller (2009) Influence of survey strategy and interpolation model on DEM quality. *Geomorphology* 112: 334-344.

Höfle, B. and N. Pfeifer (2007) Correction of laser scanning intensity data: Data and model-driven approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62(6): 415-433.

Hopfield, H. S. (1971) Tropospheric effect on electromagnetically measured range: Prediction from surface weather data. In *Radio Science* 6(3):357 -367.

Hopkinson, C. (2007) The influence of flying altitude, beam divergence, and pulse repetition frequency on laser pulse return intensity and canopy frequency distribution. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 33, 312-324.

Hopkinson, C., and Chasmer, L. (2009) Testing lidar models of fractional cover across multiple forest ecozones. *Remote Sensing of Environment*, 113, 275-288.

Joshua R. Ben-Arie, Geoffrey J. Hay, Ryan P. Powers, Guillermo Castilla, Benoît St-Onge(2009) Development of a pit filling algorithm for LiDAR canopy height models, *Computers & Geosciences*, 35:

1940-1949.

- Kaufman, Y. J., A. E. Wald, L. A. Remer, B.-C. Gao, R.-R. Li, and L. Flynn (1997) The MODIS 2.1- $\mu\text{m}$  Channel-Correlation with Visible Reflectance for Use in Remote Sensing of Aerosol. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 35: 1286-1298.
- Liu, X., Z. Zhang, J. Peterson and S. Chandra (2007) The effect of LiDAR data density on DEM accuracy. In: MODSIM07: International Congress on Modelling and Simulation: Land, Water and Environmental Management: Integrated Systems for Sustainability, 10-13 Dec 2007, Christchurch, New Zealand.
- Mass H.-G., (2001) On the use of pulse reflectance data for laserscanner stripadjustment”, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.XXXIV, Part 3/W4, pp. 53-56.
- Morsdorf, F., Frey, O., Meier, E., Itten, K. I., & Allgöwer, B. (2008) Assessment of the influence of flying altitude and scan angle on biophysical vegetation products derived from airborne laser scanning. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 1387–1406.
- Morsdorf, F., Kotz, B., Meier, E., Itten, K. I., & Allgower, B. (2006) Estimation of LAI and fractional cover from small footprint airborne laser scanning data based on gap fraction. *Remote Sensing of Environment*, 104(1), 50-61.
- Mutlu, M., S. C. Popescu, and K. Zhao (2008) Sensitivity analysis of fire behavior modeling with LIDAR-derived surface fuel maps, *Forest Ecology and Management* 256: 289-294.
- Næsset E. (2009) Effects of different sensors, flying altitudes, and pulse repetition frequencies on forest canopy metrics and biophysical stand

properties derived from small-footprint airborne laser data. *Remote Sensing of Environment*, 113, 148-159.

Paul M, M. and M. Koch (2009) *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*.

REITBERGER J., P. KRZYSZEK, and U. STILLA (2008) Analysis of full waveform LIDAR data for the classification of deciduous and coniferous trees, *International Journal of Remote Sensing*, 29(5): 1407-1431.

Richards John A., (2013) *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer.

Udayalakshmi Vepakomma, Benoit St-Onge, Daniel Kneeshaw (2008) Spatially explicit characterization of boreal forest gap dynamics using multi-temporal lidar data, *Remote Sensing of Environment*, 112: 2326-2340.

Vepakomma, U., B. St-Onge, and D. Kneeshaw (2008) Spatially explicit characterization of boreal forest gap dynamics using multi-temporal lidar data. *Remote Sensing of Environment* 112: 2326-40.

Wagner, W., M. Hollaus, C. Briese and V. Ducic (2008) 3D vegetation mapping using smallfootprint full-waveform airborne laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 29(5):1433-1452.

Wagner, W., Ullrich, A., Melzer, T., Briese, C., & Kraus, K. (2004) From single pulse to fullwaveform airborne laser scanners: Potential and practical challenges. *Proc. of ISPRS XXth Congress, Vol XXXV, part B/3, July 12–23, 2004, Istanbul, Turkey* (pp. 201-206).

Wallace, J., B. Morris, and P. Howarth (2006) Identifying structural trend with fractal dimension and topography. *Geology* 34(11): 901-904.

Wehr, A. and Lohr, U.(1999) Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, 68-82.

DigitalGlobe,(2008)World View-1 Spacecraft Datasheet

URL:[http://www.digitalglobe.com/digitalglobe2/file.php/516/WorldView-1\\_Datasheet\\_web.pdf](http://www.digitalglobe.com/digitalglobe2/file.php/516/WorldView-1_Datasheet_web.pdf).

GeoEye, 2009. GeoEye-1 Fact Sheet URL:

<http://launch.geoeye.com/launchsite/>

# 附件一

## 主要儀器設備簡介

設備名稱	介紹說明
 <p data-bbox="319 750 678 840"><b>Optech ALTM Pegasus (SN:10SEN241/10ON274)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 掃瞄旋角視域 FOV：0~60 度</li> <li>• 脈衝率 PRF：100~400 kHz</li> <li>• 掃瞄鏡頻率:0~140 Hz</li> <li>• 掃瞄形式：Oscillating, Mirror, Z-shaped</li> <li>• 高程精度：15 cm (1<math>\sigma</math>,航高 1,200m) 25 cm (1<math>\sigma</math>,航高 32500m)</li> <li>• 水平精度：1/5,500 航高</li> <li>• 斜距解析度：1 cm</li> <li>• 最大掃瞄帶寬：0~0.93 航高</li> <li>• GPS：Trimble</li> <li>• Position Orientation System：Applanix POS 510</li> <li>• 作業用途：獲取高精度密佈於地表之三維點位</li> </ul>
 <p data-bbox="215 1243 790 1288"><b>Dimac Ultralight + 60MP (SN:EH021611)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CCD-chip:53.9*40.4mm</li> <li>• 像幅大小：8984 × 6732 Pixels</li> <li>• 像素大小：0.006mm</li> <li>• 鏡頭：Zeiss Distagon 55.0mm, 38 FOV</li> <li>• 快門速度：1/125~1/500 秒</li> <li>• 溫度：-10°C~50°C</li> <li>• 作業用途：航空攝影</li> </ul>
 <p data-bbox="247 1612 750 1657"><b>Waveform Digitizer (SN:10DIG021)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplitude resolution:12bits</li> <li>• 取樣間隔：1ns</li> <li>• 最大紀錄頻率：125 kHz</li> <li>• 可記錄回波長度：440 ns</li> </ul>



**ITRES CASI1500 (SN:2528)**

- 視野 (橫向): 40 度
- 空間抽樣: 1500 像元
- 光譜抽樣: 288 波段
- 光譜範圍: 308~1050 nm
- 光譜分辨率: <math><3.5\text{ nm}</math>
- 光譜抽樣間隔: 2.4 nm
- 孔徑: f/3.5
- 輻射精度: 470~900 nm, 絕對值 $\pm 2\%$   
<math><470\text{ 或}>900\text{ nm}</math>, 絕對值 $\pm 5\%$
- 電源支持: 28VDC 13.5 A
- 溫度範圍: 0~35 度
- 重量: 25 kg



**PSR 手持光譜儀 (Spectral Evolution  
PSR-1100) (SN:116E4401)**

- 視野 (橫向): 4 度
- 光譜範圍: 320~1100nm
- 光譜分辨率: 3.2nm
- 光譜抽樣間隔: 1.5nm
- 重量: 1.4kg



**Trimble 5700 (搭配 Zephyr Geodetic 天線盤)**

- 雙頻雙 P 電碼
- L2 全波長
- 大地型 GPS 天線盤
- 水平精度 $\pm 5\text{mm}+0.5\text{ppm}$
- 垂直精度 $\pm 5\text{mm}+1.0\text{ppm}$
- 可同時接收衛星顆數 9~12 顆
- 作業用途: GPS 測量 (含控制點檢測)

## 附件二

**中興測量有限公司 Optech Pegasus HD400  
率定報告書**



# 目錄

一、介紹.....	2
二、空載雷射掃瞄儀系統描述.....	3
三、率定場設置介紹.....	5
3-1 率定場地地點與規格.....	5
3-2 率定參數與作業.....	8
3-3 精度評估.....	16
四、率定與確認飛行成果分析.....	17
4-1 飛行飛航成果.....	17
4-2 GPS 成果.....	18
4.3 率定修正值成果.....	20
4.4 雷射點至共軛面精度分析.....	21
4.5 精度成果.....	23
4.6 最後率定參數.....	25
五、儀器介紹.....	26
附錄 A Lever Arm 數據.....	I
附錄 B 率定參數.....	II
附錄 C 軟體計算畫面.....	V
附錄 D 率定與確定飛行解算過程成果.....	VII
附錄 E GPS 檢校說明資料.....	X

## 一、介紹

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。

Thiel 和 Wehr (1999) 中提出，以重覆漸進的方式來求解雷射掃瞄器的安置角。在每一次迭代過程中依序分別針對俯仰角、航偏角和側向傾斜角進行率定，並且每求得一個角度，即需重新計算所有點位資料，再以新的資料進行下一次的計算。當三個角度的改正值都收斂到可接受的範圍內時，即代表完成率定的工作，然隨著雷射掃瞄技術的進步，目前多家儀器廠商已可利用類似航測共軛點、線及面的方式，直接利用不同掃瞄航帶之共軛特徵物間的不符值進行率定計算(Optech,2012；Riegl,2012)。本計畫採用 Optech 之 Pegasus 儀器在原廠建議下，以 Optech LMS2.1 軟體利用上述方式進行實際飛行及一次求解需率定值，以完成率定作業。

**ALTM Pegasus 系統於 102 年 05 月 27 日以群鷹翔航空(型號 69896) 載具執行率定計畫來修正偏差量，以確保雷射點雲的精確度。此率定報告，乃參照加拿大原廠 Optech 公司建議與規定參考而記錄，相關執行過程與統計結果，如后紀錄與說明。**

## 二、空載雷射掃瞄儀系統描述

空載雷射掃瞄整體系統包括雷射掃瞄系統硬體元件、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。本公司所用空載雷射掃瞄儀為加拿大 Optech 公司生產型號 ALTM Pegasus 雷射掃瞄儀。雷射掃瞄系統結合雷射測距、光學掃瞄、GPS 及 IMU 等技術，能快速獲得掃瞄點三維坐標及反射強度。

本次計畫所採用的 ALTM pegasus 所搭配之導航系統為 POS/AV510 系統並且 IMU 為 LN200 IMU 型號之規格(圖 2-1)。POS/AV510 系統誤差精度 ROLL、PITCH (RMS)精度  $0.005^{\circ}$ ；Heading (RMS)精度  $0.008^{\circ}$ (詳如表 2-2)。



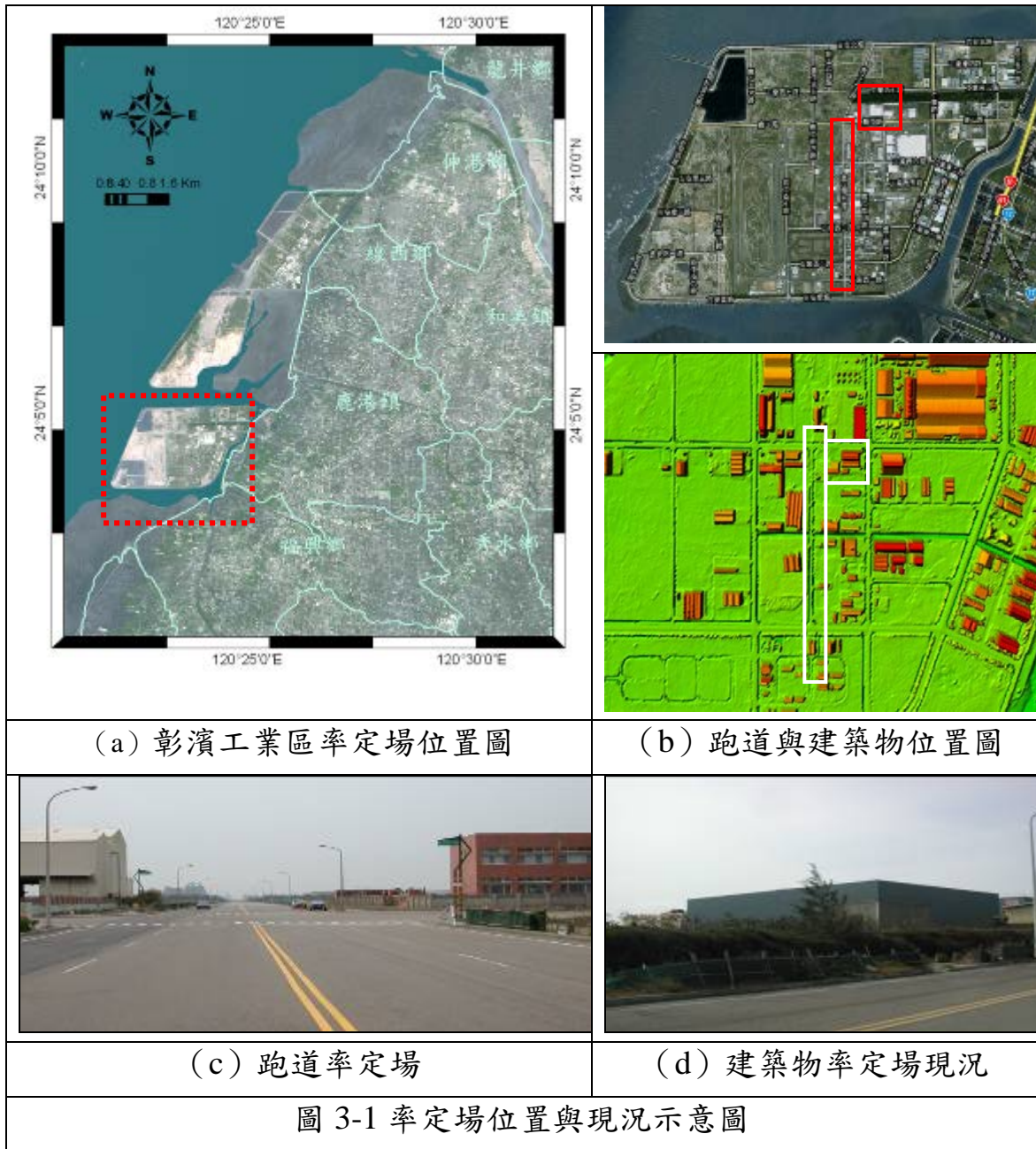
表 2-2 POS/AV 系統誤差精度表 (POS AV 510 V5  
Specifications,2003)

<b>Parameter Accuracy(RMS)</b>	<b>POS/AV210</b>	<b>POS/AV310</b>	<b>POS/AV410</b>	<b>POS/AV510</b>
Position(m)	0.05-0.30	0.05-0.30	0.05-0.30	0.05-0.30
Velocity(m)	0.010	0.010	0.005	0.005
Roll&Pitch(deg)	0.040	0.013	0.008	0.005
Heading(deg)	0.080	0.035	0.015	0.008

### 三、率定場設置介紹

#### 3-1 率定場地地點與規格

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，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，至少如**跑道**般 1000m 長及 20~50m 寬，方格點之分布趨於 5~10m，用於率定全掃瞄時之相對及絕對高程雷射點資料。此次擇定之率定場地位於彰濱工業區內，面積為 6.6 平方公里，詳如圖 3-1：



平原地區的彰濱工業區具有容易辨識之大型建物(平頂、斜頂)及道路標線等明顯特徵外，且率定場內之地表坡度平緩小於 10 度且極少植被覆蓋，為小於 10%之覆蓋率（圖 3-3 植被覆蓋圖），如圖 3-2，故此位置為符合本儀器率定之作業地區。

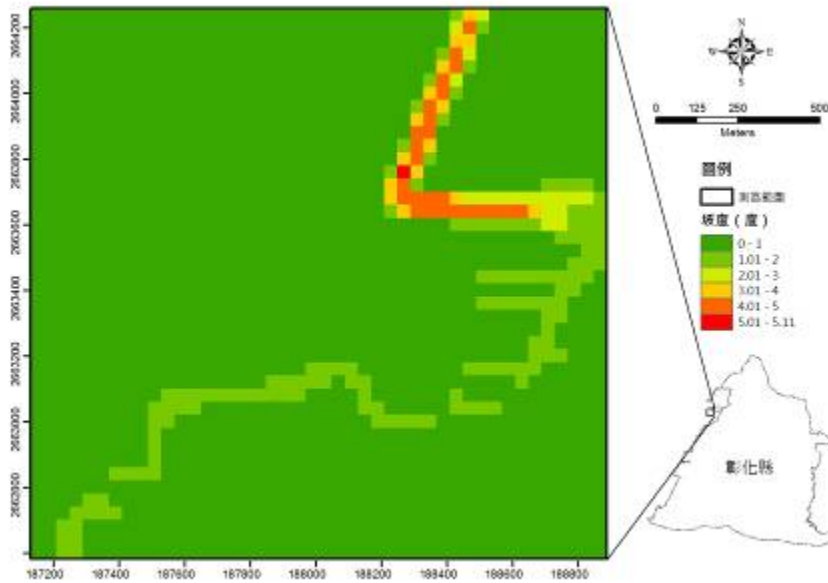


圖 3-2 率定場坡度圖

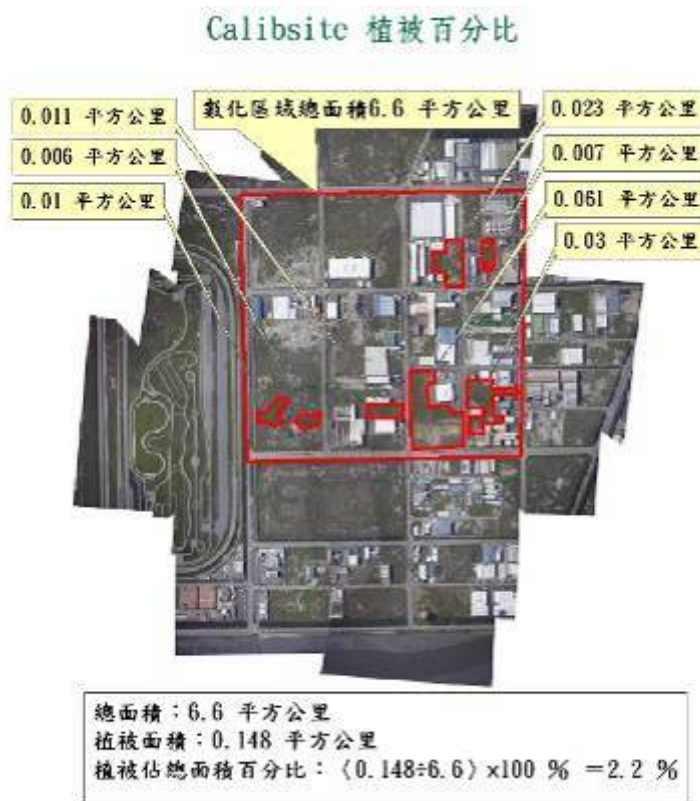


圖 3-3 率定場植被分布圖

率定場基站為 R002 與 R003 兩站，為透空度良好且符合距航線距離 20 公里內，透過長時間聯測算出其坐標。其分布圖如圖 3-4。



圖 3-4 率定 GPS 基站位置圖

### 3-2 率定參數與作業

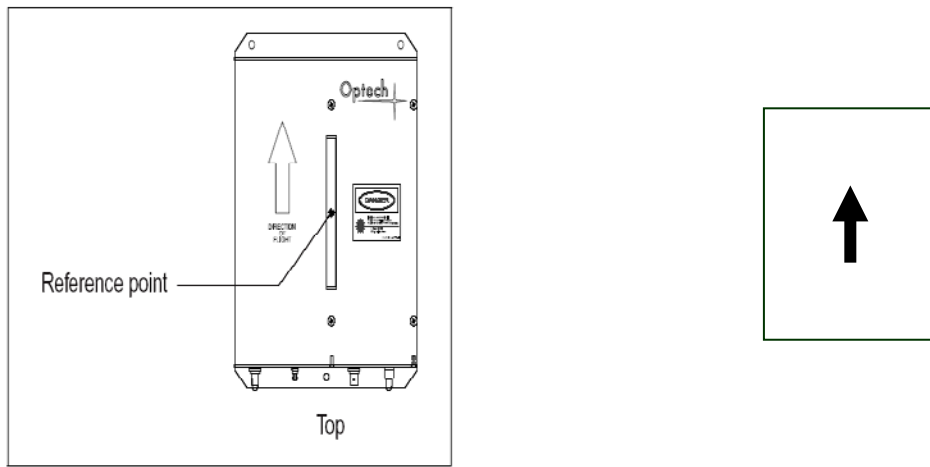
感測器率定分為兩部分，第一部份乃感測器與 GPS 天線的偏心率率定，以經緯儀測量而求定。第二部分是實際以飛行掃瞄率定場，以求定感測器與 IMU 及 GPS 的偏心率。

為獲取穩定及可靠之 LiDAR 掃瞄成果，首先須求得 ALTM Gemini 雷射掃瞄儀之儀器偏心率常數（即 ALTM 掃瞄器與 GPS 天線間之偏心率常數）及飛機姿態角（IMU 紀錄之 PITCH、ROLL 及 HEADING）與儀器本身之 OFFSET（掃瞄鏡轉動角度之誤差，亦即儀器紀錄之掃瞄鏡角度與實際獲得之資料有角度誤差存在）、SCALE（掃瞄獲得之雷射點資料與實際地面獲得之資料間有比例問題存在）與 ELEVATION（掃瞄獲得之雷射點資料與實際地面獲得之資料間有固定高程差之問題存在）之率定常數。

1. 儀器偏心率常數之求得：



此處所指之偏心常數係介於 GPS 接收天線之中心與 ALTM 系統之雷射掃瞄感應箱上參考位置（如圖 3-6 a）之偏心常數。



(a) (b)  
圖 3-5 ALTM 系統之雷射掃瞄感應箱上  
(a)參考位置(b)4 個邊角示意圖

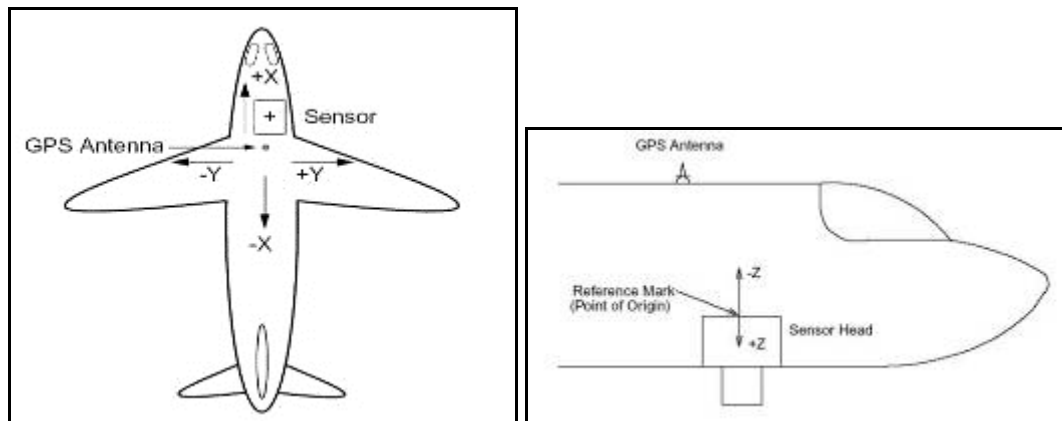


圖 3-6 ALTM 掃瞄器與 GPS 天線間之相對位置關係

施測方式係以經緯儀分別測得機鼻、機尾、雷射掃瞄感應頭之參考位置、GPS 天線中心點及雷射掃瞄感應箱上之 4 個邊角(如圖 3-6b)，此 OFFSET 值係為相對位置關係(如圖 3-6)；因此，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 3-1）。

表 3-1 偏心常數值計算表例

<b>SENSOR / ANTENNA SURVEYING</b>	Aircraft Type : PA-31	Call No.: C-FFRY	Survey Date 06-04-2013
	ALTM Type: Pegasus	Serial No.:	

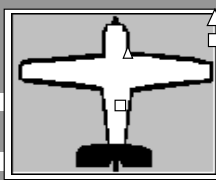
**SURVEY ASSUMPTIONS & METHODS:**

- 1) Prism height is constant
- 2) All observables can be obtained from single occupied site
- 3) Zenith angle must be 0 degrees (i.e. horizon is 90 or 270)
- 4) Instrument azimuth is set to increase clockwise
- 5) R.P. to GPS leverarm is corrected for sensor orientation prior to adding internal leverarms

**GPS Antenna & Sensor Head Location**  
Drag and drop icons to illustrate antenna position relative to sensor

**GPS ANTENNA PHASE CENTER (m):** X = 0 Y = 0 Z = -0.004  
*(righthand rule)*

**OCCUPIED SITE COORDINATE (m):** X = 0 Y = 0 Z = 0



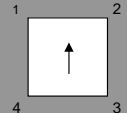
GPS antenna  
Sensor Head

OBSERVABLES	HORIZONTAL ANGLE			VERTICAL ANGLE			SLOPE DISTANCE (meters)		
	Degrees	Minutes	Seconds	Degrees	Minutes	Seconds			
NOSE	261	1	7	4.56	93	18	17	1.6	20.862
TAIL	293	8	19	5.12	94	8	14	1.6	17.021
SENSOR R.P.	272	44	56	4.76	90	32	8	1.6	18.520
GPS ANTENNA	269	11	22	4.70	88	2	26	1.5	19.408
SENSOR CORNER 1	271	55	58	4.75	90	31	59	1.6	18.405
SENSOR CORNER 2	272	27	40	4.76	90	31	24	1.6	18.797
SENSOR CORNER 3	273	34	58	4.77	90	30	38	1.6	18.634
SENSOR CORNER 4	244	25	25	4.27	90	31	30	1.6	18.247

Azimuth of Aircraft Direction : 26.5637 degrees  
Length of Aircraft (nose to tail) : 11.094 meters

OFFSET TO FLIGHT LINE:	Nose to -		X (Easting: meters)	Y (Northing: meters)
	(meters)	(meters)		
SENSOR	26.6123	4.630	0.004	4.630
GPS ANTENNA	21.5758	3.201	-0.278	3.189
SENSOR CORNER 1	29.3592	4.443	0.217	4.437
SENSOR CORNER 2	23.8358	4.437	-0.211	4.432
SENSOR CORNER 3	24.0979	4.837	-0.208	4.833
SENSOR CORNER 4	-41.6466	6.190	-5.748	2.298

**Sensor Orientation**  
(Flight Direction indicated by arrow on sensor head)



OFFSET FROM SENSOR R.P. TO:	X (In Flight) (meters)	Y (Cross Flight) (meters)	Elevation/Z (meters)	Dimension Check (meters)	Azimuth (degrees)	Pitch Angle (degrees)	Roll Angle (degrees clock-wise)
GPS ANTENNA	1.441	0.282	-0.833	(corners)			
SENSOR CORNER 1	0.193	-0.213	-0.002	1 - 2 =	0.428		0.0613
SENSOR CORNER 2	0.198	0.215	-0.001	2 - 3 =	0.401	26.9998	-0.0654
SENSOR CORNER 3	-0.203	0.212	-0.007	3 - 4 =	9.291		0.0071
SENSOR CORNER 4	2.332	5.752	-0.006	4 - 1 =	8.715	-12.8306	-0.0265

based on corner measurements

**SENSOR ANGLE (pitched forward +)** 0 degrees

CORRECTED OFFSET	X (In Flight) (meters)	Y (Cross Flight) (meters)	Elevation/Z (meters)
R.P. to GPS:	1.441	0.282	-0.833
User to R.P.	-0.007	0.041	-0.460
User to GPS:	1.434	0.323	-1.293

User to IMU

➤ 率定飛行作業程序：

利用 Optech 發展最新 LMS2.3 版之點雲解算軟體，其具有率定系統參數之功能，其可全自動一次解算所有率定參數(ROLL、PITCH、HEADING 及 SCALE)。並可提供成果統計圖表供檢視成果，說明如下：

a. 率定場航線設計

依據原廠及規範需求，設計航線如表 3-2 及圖 3-7 所示。

表 3-2 率定場航線設計表(轉錄自原廠航線規劃表)

項目	飛航目標	離地高 (m)	雷射脈衝率(KHz)	掃瞄角度(deg.)	掃瞄頻率(Hz)	航線數
1	跑道平行方向	800	100	±20	30	2
2	跑道垂直方向	800	100	±20	30	2
3	跑道平行方向	1200	100	±20	30	2
4	跑道垂直方向	1200	100	±20	30	2

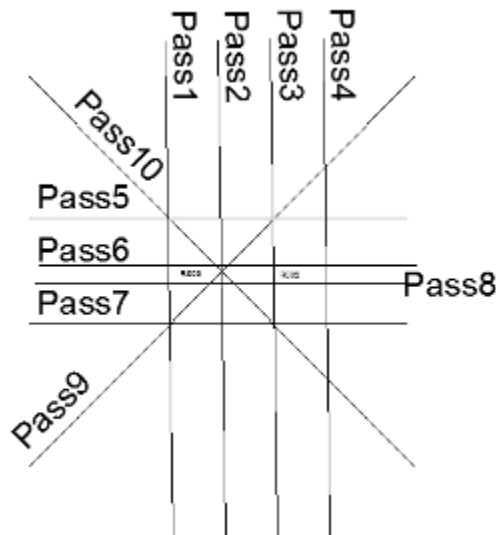


圖 3-7 率定場航線設計圖

## b. 軟體參數設定:

利用LMS2.3軟體功能，可萃取不同航線的平面、屋脊面及屋脊面交角之屋頂線段等，並利用最小二乘法進行整體平差解算出所需的率定修正值。以下說明各航線自動萃取特徵物的參數設定值：

### 1. 共軛面萃取(Planer Surface Extraction)

對不同航線的雷射點進行平面的萃取，萃取參數如圖3-8所示。

Average point density	1.0	points/m <sup>2</sup>	
Smallest detectable plane size	9.0	m <sup>2</sup>	
Minimum number of plane points	16		
Surface roughness	0.032	m	
Filter by	From	To	
<input checked="" type="checkbox"/> Number of returns	1	1	
<input type="checkbox"/> Scan angle	-19.500 deg	19.500 deg	
<input type="checkbox"/> Swath angle	-10.000 deg	10.000 deg	

圖 3-8 Planer Surface Extraction 參數設定

### 2. 屋脊面交角線段萃取(Roof Line Extraction)

對不同航線的雷射點進行屋脊面交角線段的萃取，萃取參數如圖3-9所示。

Average point density	1.0	points/m <sup>2</sup>
Minimum roof slope	10.0	deg
Maximum roof slope	60.0	deg
Max. azimuth difference between roof planes	3.0	deg
Max. slope difference between roof planes	3.0	deg
Max. distance between roof plane centers	100.0	m
Shortest acceptable roof line length	1.0	m

圖 3-9 Roof Line Extraction 參數設定

### 3. 屋脊面交角線段比對(Roof Line Comparison)

對不同航線萃取的屋脊面交角線段進行比對，比對準則參數如圖3-10所示。

Maximum search radius	100.0	m
Maximum line separation	1.0	m
Maximum azimuth difference	1.0	deg
Minimum roof line length	1.0	m

圖 3-10 Roof Line Comparison 參數設定

#### 4. 搜尋比對之共軛面(Tie Plane Determination)

對不同航線的萃取平面進行比對前的搜尋，搜尋參數如圖3-11所示。

Tile size	200			m
Max. search radius	4.0			m
Filter by	From	To		
<input type="checkbox"/> Number of plane p...	12	10000		
<input type="checkbox"/> Plane azimuth	0.000 deg	360.000 deg		
<input type="checkbox"/> Plane fitting error	0.000 m	0.250 m		
<input type="checkbox"/> Plane slope	0.000 deg	90.000 deg		

圖 3-11 Tie Plane Determination 參數設定

#### 5. 比對共軛面選擇(Tie Plane Selection)

對不同航線的萃取平面進行比對篩選以帶入平差作業，篩選參數如圖3-12所示。

<ul style="list-style-type: none"> <li>Decode Range file</li> <li>Laser Point Computation</li> <li>Planar Surface Extraction</li> <li>Roof Line Extraction</li> <li>Roof Line Comparison</li> <li>Tie Plane Determination</li> <li><b>Tie Plane Selection</b></li> <li>LAS File Output</li> <li>ASCII File Output</li> <li>User Command</li> </ul>	Maximum fitting error at tie plane	0.15	m
	Minimum number of points on tie plane	20	
	Maximum number of points on tie plane	10000	
	Max. relative deviation of number of points	19.999999999999996	%
	Decimation of tie plane points, use	every point	
	Total number of points for self-calibration	1500000	

圖 3-12 Tie Plane Selection 參數設定

#### c. 率定修正值解算:

利用LMS2.3軟體將1020527資料航線(共8條)帶入計算，如圖3-12。並設定好所有參數即可自動計算率定修正值，圖3-13~3-15為萃取的特徵物及比對示意圖。圖3-16則為所有航線重疊處之率定前後屋脊面交角線段放大圖。

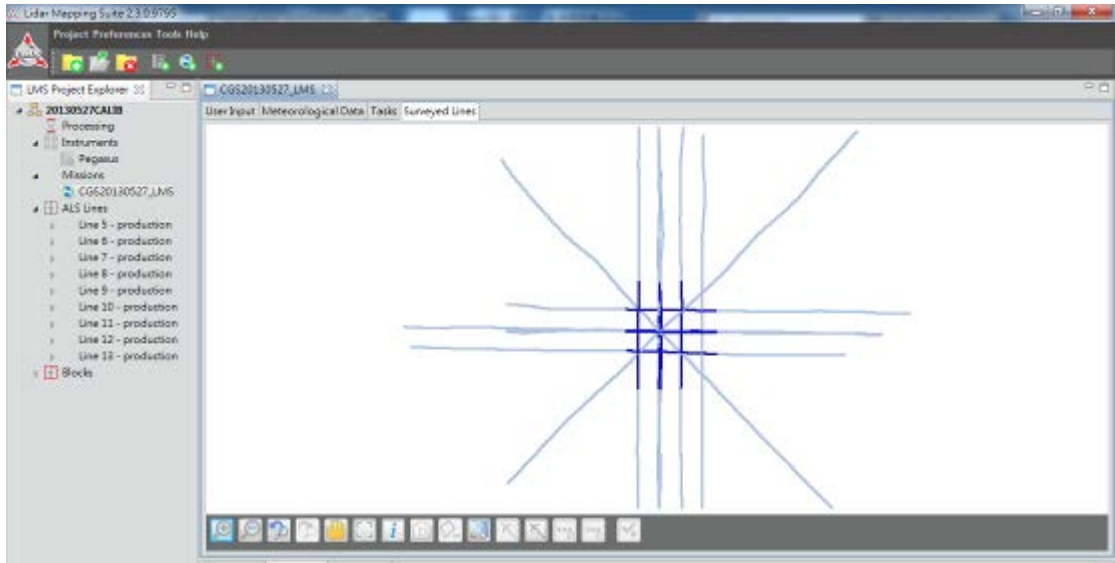


圖3-13 率定航線分布圖

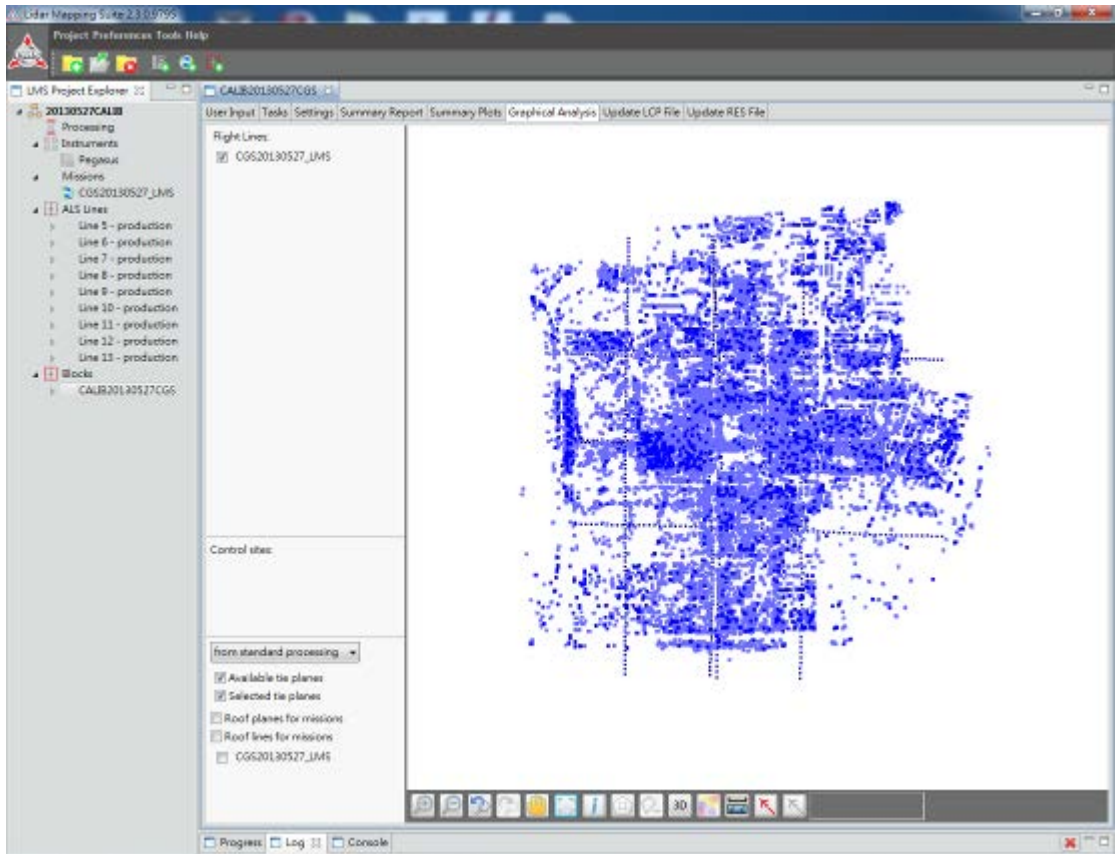


圖 3-14 率定前萃取平面分布圖(淺藍:所有萃取平面；深藍:平差用平面)

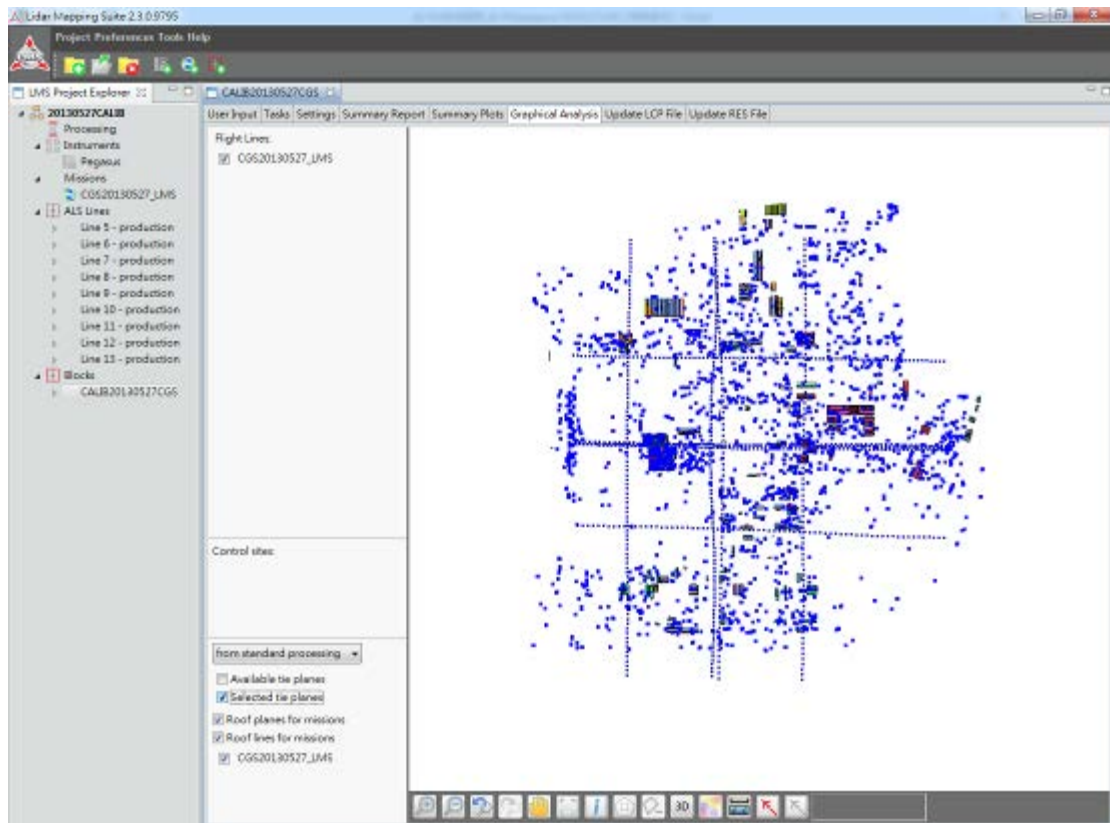


圖 3-15 率定前萃取之屋脊面交角線段分布圖

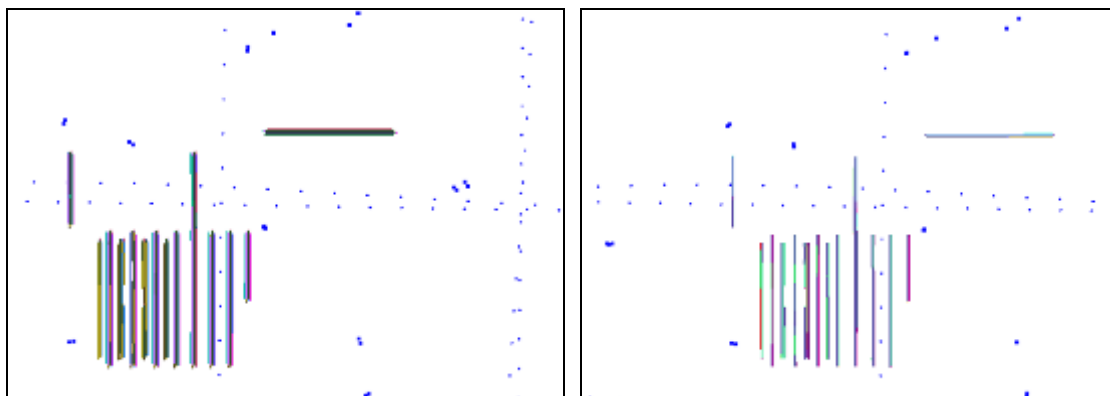


圖 3-16 率定前後屋脊面交角線段圖(左)率定前(右)率定後

#### d. Elevation值修正:

飛行之方式為垂直於率定跑道之方向，利用馬路實測高程坐標與雷射點雲做比對而修正之(圖 3-17)。

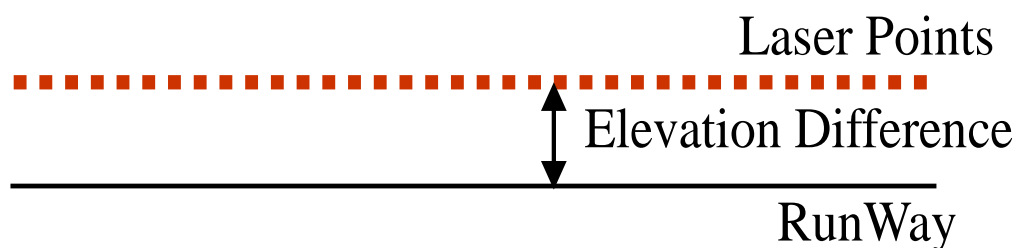


圖 3-17 雷射點之足跡分布圖

本率定規劃依照加拿大原廠 Optech 所提供之航線規劃表(表 3-2) 進行飛航規劃)以作業掃瞄，已符合兩個航高與四個航向的規定。並以原廠提供之軟體 ACALIB 軟體進行率定參數計算，如附錄 C

### 3-3 精度評估

#### 3.3.1 GPS 精度評估

獲取好的雷射點雲資料，首先必須接收到的 GPS 資料是有良好品質的。大致而言，影響 GPS 資料的因子諸如下列所示：

1. 每次接收的衛星數至少 6 顆以上。
2. 衛星的幾何分佈需是良好的（如： $PDOP < 4$ ）。
3. 地面站與飛機飛行軌道距離不能超過 20 公里。

而上述幾個因子中，若有一個或更多的因子不符合條件時，便會影響所接收的 GPS 精度，繼而影響到 ALTM 拍攝的結果。

#### 3.3.2 高程精度

雷射點雲的高程精度，是將率定後的成果，比對一條平坦和堅硬的地表(如：馬路)，將雷射點分布軌跡比對此對馬路，作高程精度分析。求得之率定參數解算確認飛行之點雲資料，確認不同航帶間之點雲無明顯偏移後，並再次與地面實測點比較，其高程坐標差值亦應小於 10 公分。



## 四、率定與確認飛行成果分析

### 4-1 飛行飛航成果

本次飛航作業時間為 102 年 05 月 27 日下午 13 點 30 分至 15 點 30 分，利用 R002 與 R003 兩基站同步接收 GPS 資料，率定飛航於起飛及降落階段，皆維持 15 分鐘以上穩定接收 GPS 訊號，維持每條航線至少應有二個 GPS 基站同步接收 GPS 觀測量，分別針對建築物及道路率定場進行各航線之掃瞄飛行，此架次前 8 條航線為本次率定作業飛航，另最後 2 條航線作為確定飛航，合計共 10 條航線。詳如表 4-1，其飛航軌跡如圖 4-1，且掃瞄成果如圖 4-2。本成果比對測量真值作為精度統計，詳如 4-3 節。

表 4-1 本次率定與確認飛航參數表

參數區域	航線號碼	作業日期	航高(m)	航向(deg.)	掃瞄角度(deg.)	雷射脈衝率(KHz)	PDOP	備註
率定場	1	102.05.27	800	360	35.0	100	2.3	率定作業
率定場	2	102.05.27	800	0	35.0	100	2.1	率定作業
率定場	3	102.05.27	800	360	35.0	100	2.3	率定作業
率定場	4	102.05.27	800	0	35.0	100	2.3	率定作業
率定場	5	102.05.27	1200	360	35.0	100	2.1	率定作業
率定場	6	102.05.27	1200	0	35.0	100	2.2	率定作業
率定場	7	102.05.27	1200	360	35.0	100	2.1	率定作業
率定場	8	102.05.27	1200	0	35.0	100	2.2	率定作業
率定場	9	102.05.27	1200	270	35.0	100	2.1	確認飛行
率定場	10	102.05.27	1200	270	35.0	100	2.0	確認飛行

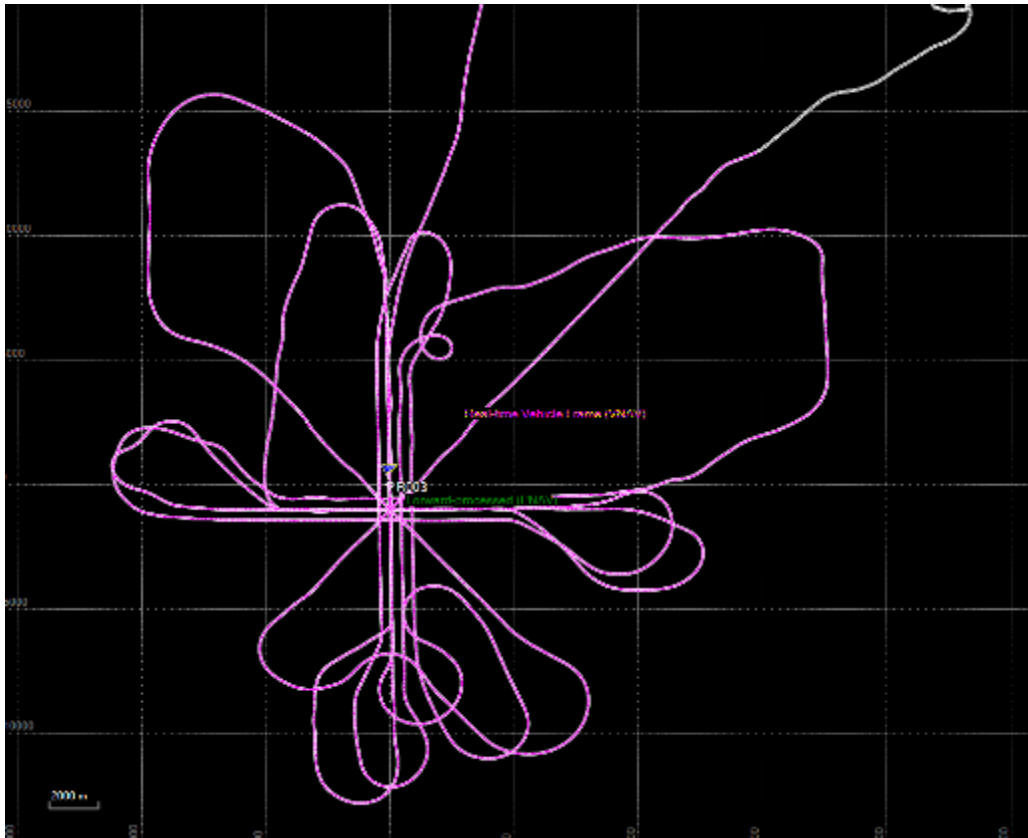


圖 4-1 率定與確認之飛航軌跡與基站示意圖

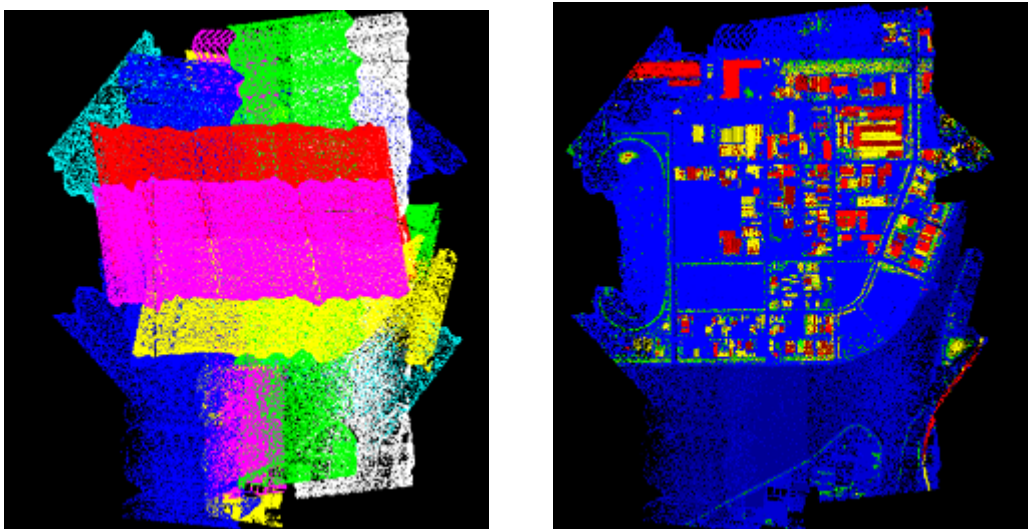


圖 4-2 率定掃瞄成果圖(左)航線上彩(右)高程上彩

## 4-2 GPS 成果

本次地面基站為 R002 與 R003，其設置處應透空良好且無訊號干擾之虞，基站與航線範圍小於 20 公里。並確保 PDOP 值小於 3 如圖 4-3，其基站資訊如表 4-2、表 4-3 與附錄 D、附錄 E 所示：

表 4-2 率定與確定飛航 GPS 基站資訊

Monument Description:	
GPS Receiver Type: Trimble 5700 (s/n: 0220338788、0220348499)	Epoch Interval: 2 Hz Elevation Mask: 10 degrees Observation Type: Static
Antenna Type: Trimble	
<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

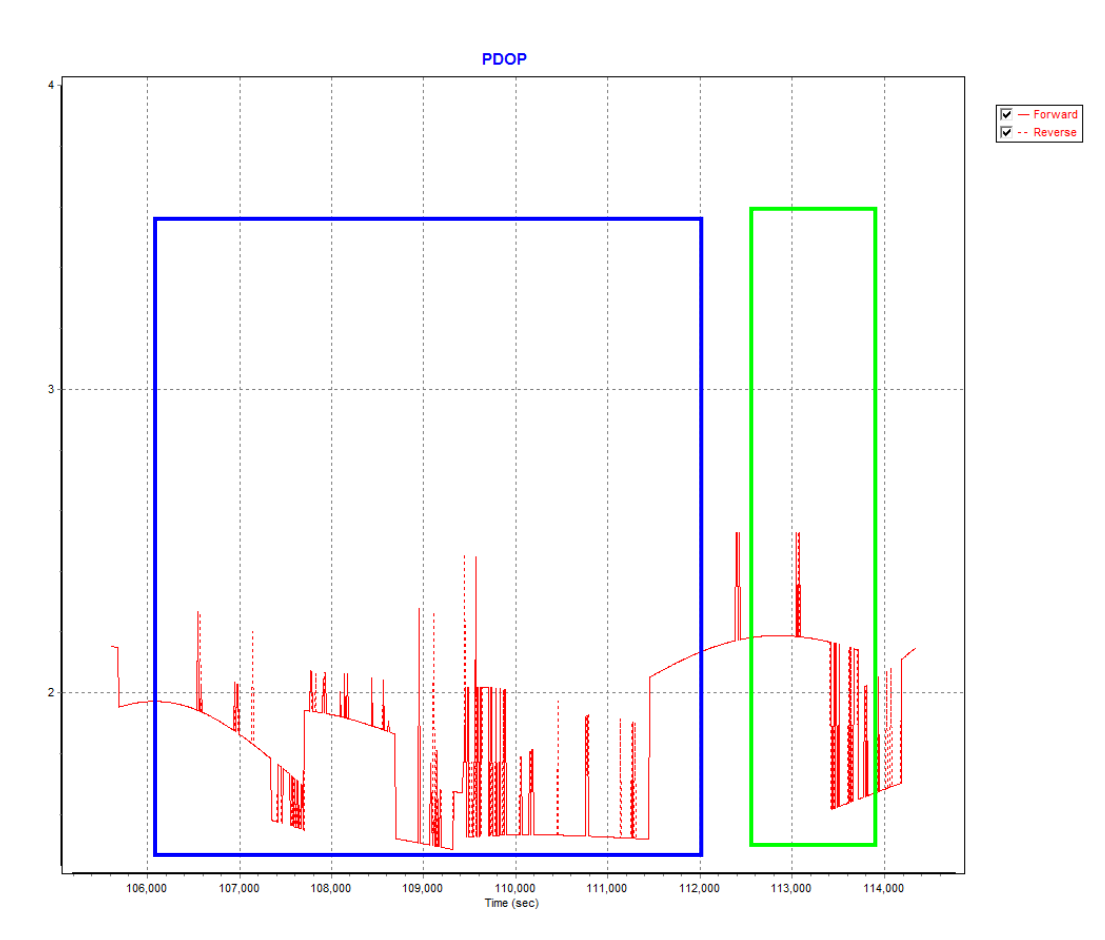


圖 4-3 率定與確認之飛航 PDOP 值  
(藍色框為率定；綠色為確認飛行)

為確保航跡品質，掃瞄任務執行時，地面以二個以上之基站進行 GPS 同步觀測，進行 POSPAC 解算時應分別計算二個基站與正反向共四條軌道值，檢核其差值是否過大(通常應在 20 公分以內)如圖 4-4，若差值過大則應重新檢查 GPS 及 IMU 之資料並重算 POS 之成果。

表 4-3 率定飛航 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
1020527	8.1	106	1.8	2.5	10	Yes*	no	yes	0.01	0.01	0.04

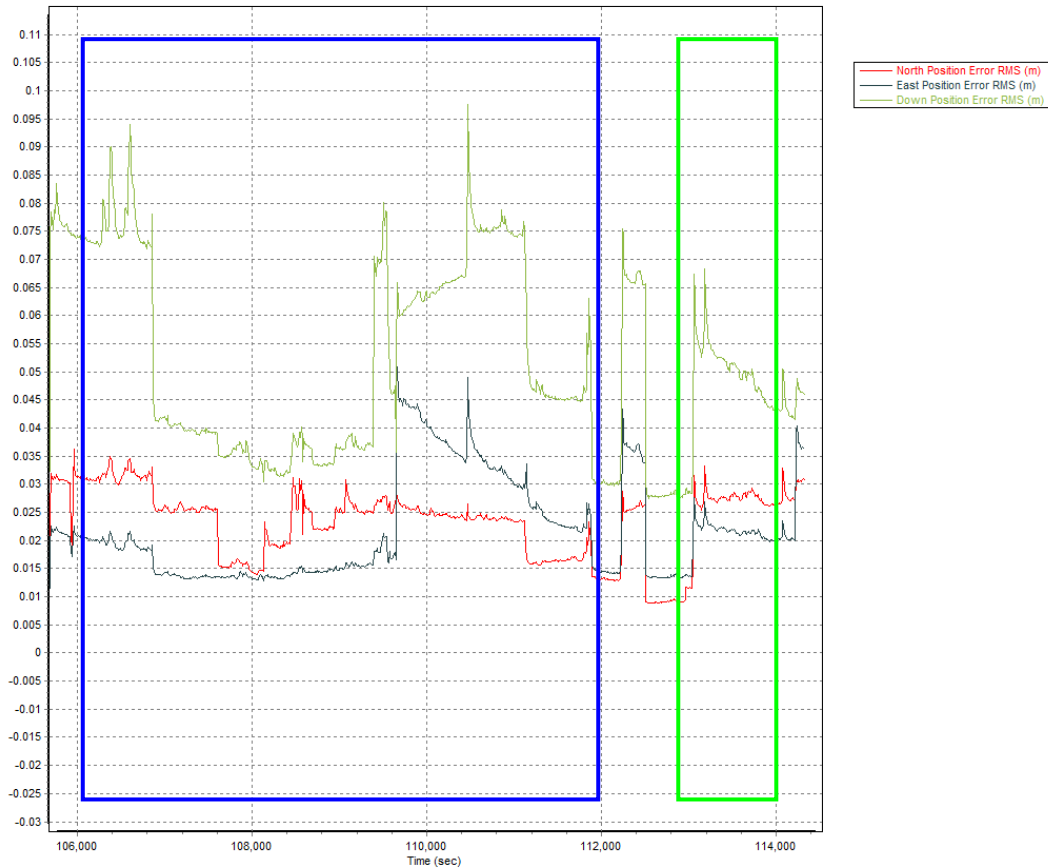


圖 4-4 飛航 Combined Separation 值成果圖  
(藍色框為率定；綠色為確認飛行)

### 4-3 率定修正值成果

利用 LMS2.3 直接計算出之率定參數修正值如圖 4-5 所示，其點雲剖面於確認飛行航線之率定前後如圖 4-6。

Sensor Correction		Current LCP File	From Self-Calibrat		
Scan angle offset [deg]		0.0	+	-	
Scan angle scale [-]		0.99815977	+	0.000417	
Boresight Correcti		Current LCP File	From Self-Calibrat	Current LCP File	From Self-Calibrat
		Channel 1		Channel 2	
Boresight angle Ex [de]		0.037021883	+	0.014712	-0.006647773
Boresight angle Ey [de]		0.034958266	+	-0.012413	0.019805223
Boresight angle Ez [de]		-0.040507127	+	-0.018556	-0.04093892
			+	-0.013253	

圖 4-5 LMS2.3 率定修正值成果圖

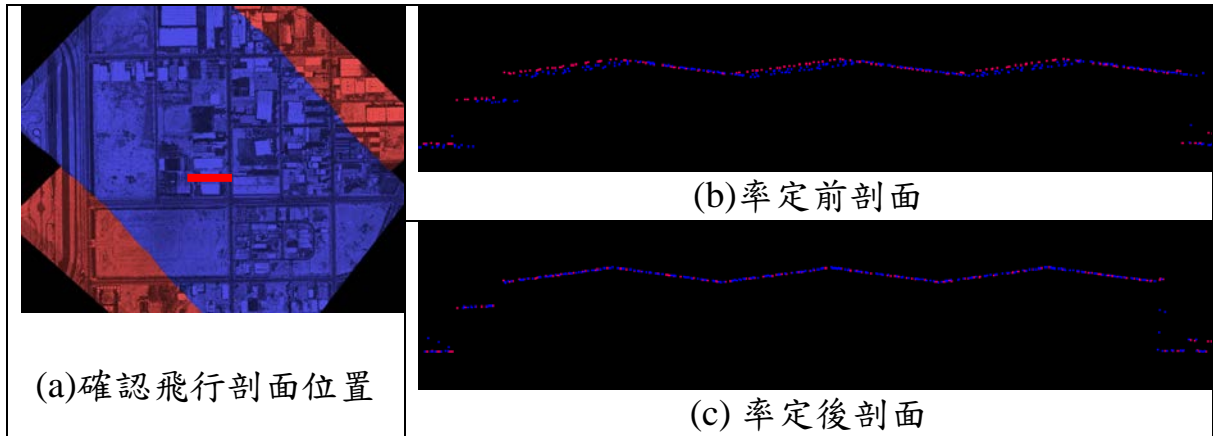


圖 4-6 確認飛行航線之率定前後剖面圖

#### 4-4 雷射點至共軛面精度分析

利用雷射點至萃取面的距離可分析點雲的精度，若儀器存在率定不完全的誤差，則將顯示在點至面的距離量上，如圖 4-7 所示，而率定前後的雷射點至共軛面的分析成果如圖 4-8~4-11 所示。

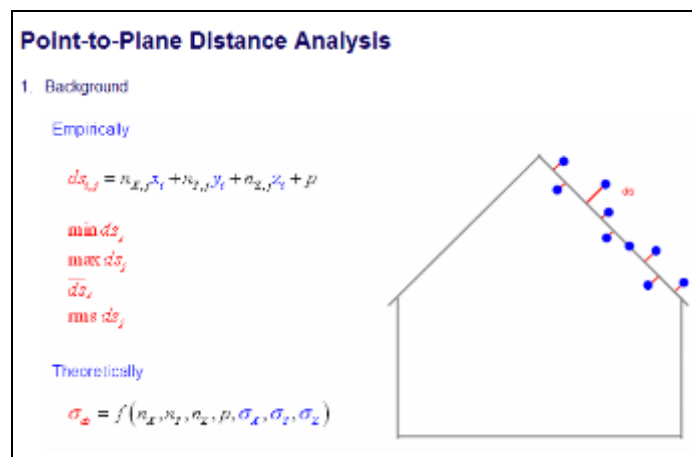


圖 4-7 雷射點至萃取面的距離分析示意圖

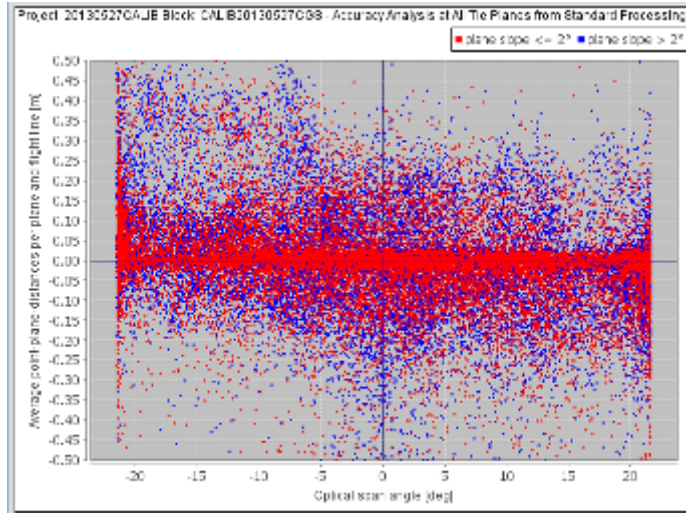


圖 4-8 率定前雷射點至萃取面的距離統計分布圖

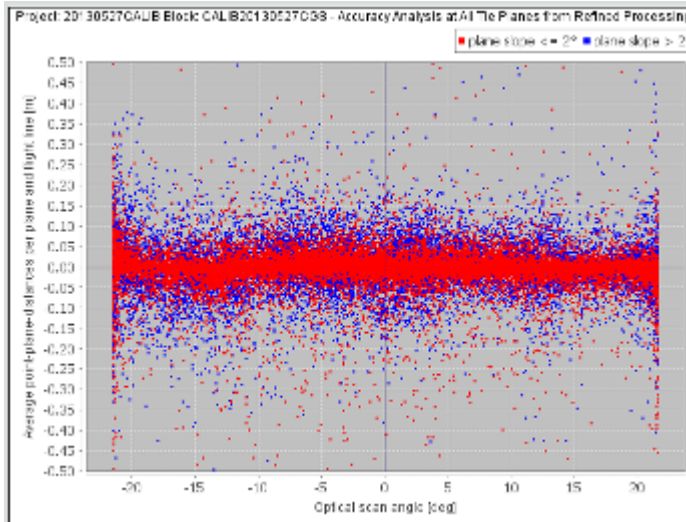


圖 4-9 率定後雷射點至萃取面的距離統計分布圖

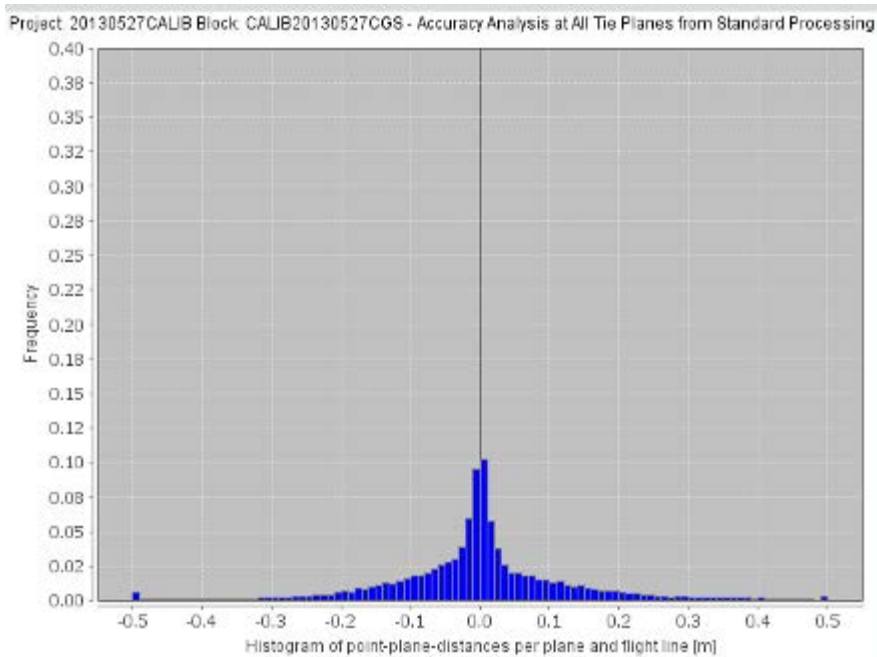


圖 4-10 率定前雷射點至萃取面的距離統計直方圖

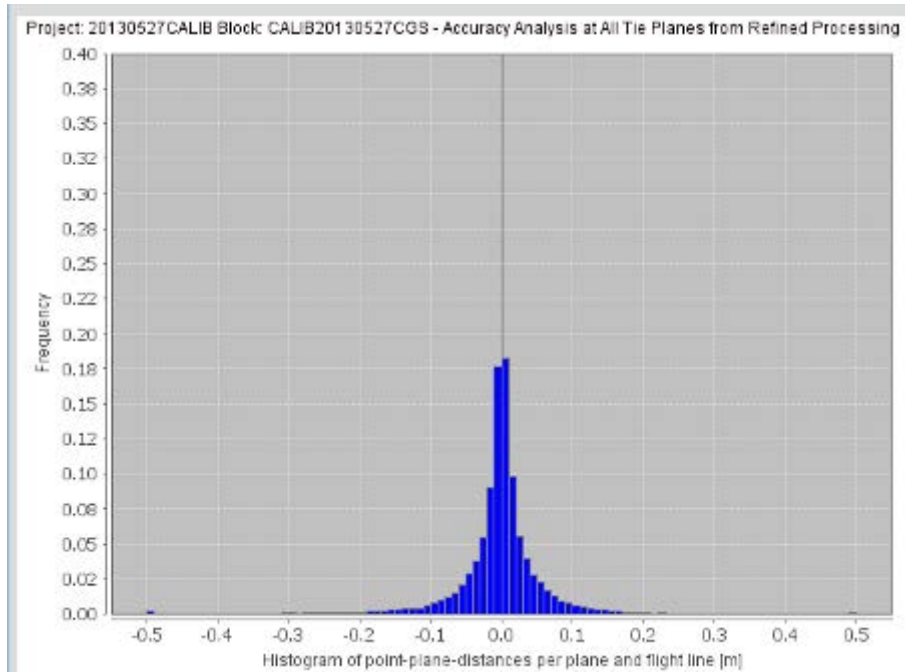


圖 4-11 率定後雷射點至萃取面的距離統計直方圖

#### 4-5 精度成果

將率定後新值算出新的成果，比對一條平坦和堅硬的地表(如：馬路)。高程精度受於 GPS 軌跡精度的影響，若高程誤差量大於 10 公分精度，方需針對測距距離進行修正。本次率定後雷射點成果與實測點比對後，最大高程差為 9.5 公分，均方根差為 3.9 公分，平均差量為 1.0 公分，符合依原廠建議與合約規範，故不針對測距進行高程率定的作業。詳如下列統計成果所示：

表 4-4 率定飛行成果之高程分析統計表

統計量	最大高程差	均方根高差	平均高差
雷射點雲比對馬路成果	9.5cm	3.9cm	1.0cm

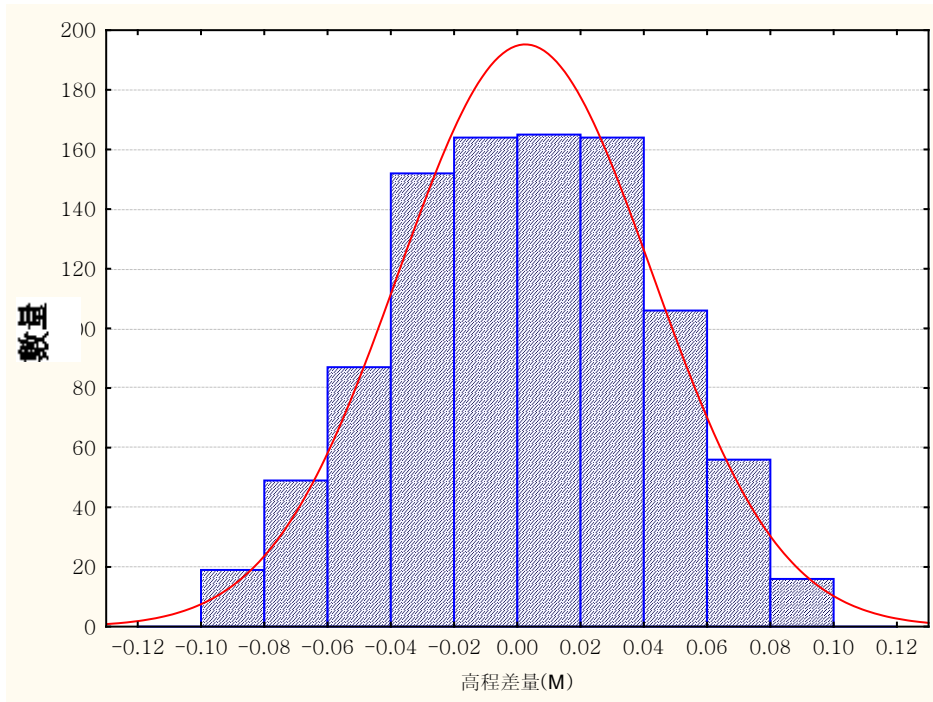


圖 4-12 率定飛行成果之高程分析統計直方圖

本次率定後之確認飛行雷射點成果與實測點比對後，最大高程差為 9.9 公分，均方根差為 2.9 公分，平均差量為 0 公分，符合依原廠建議與合約規範。詳如下列統計成果所示：

表 4-5 確認飛行成果之高程分析統計表

統計量	最大高程差	均方根高差	平均高差
雷射點雲比對馬路成果	9.9cm	2.9cm	0cm

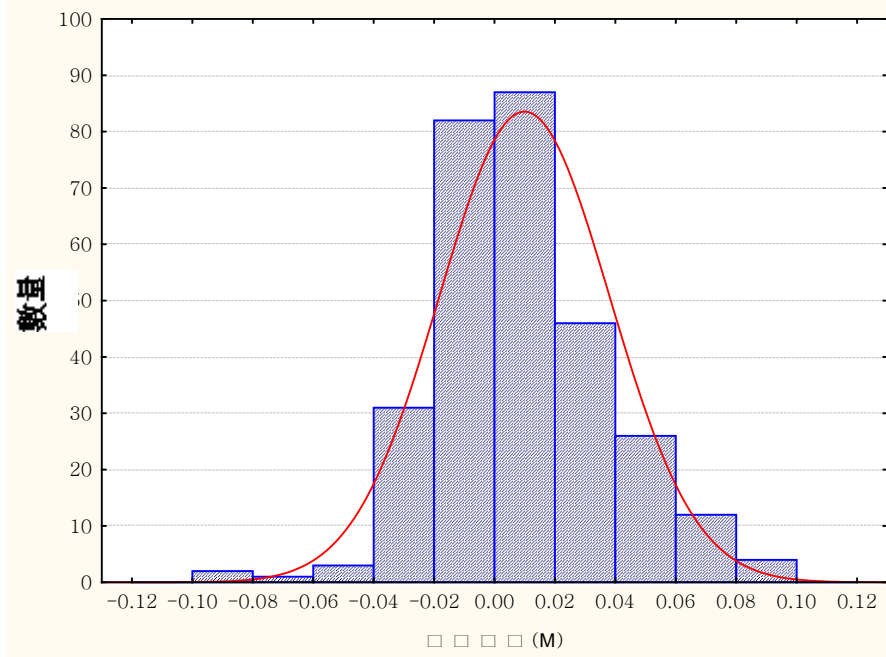


圖 4-13 確認飛行成果之高程分析統計直方圖



空載光達平面精度約為 40 公分且系統。將率定參數帶入確認飛行之航線，並將確認航線掃得之雷射點之足跡與實際屋頂實測得之屋頂平面高程做比對，其平面差量為小於 40 公分(圖 4-13)，故合乎規範要求。

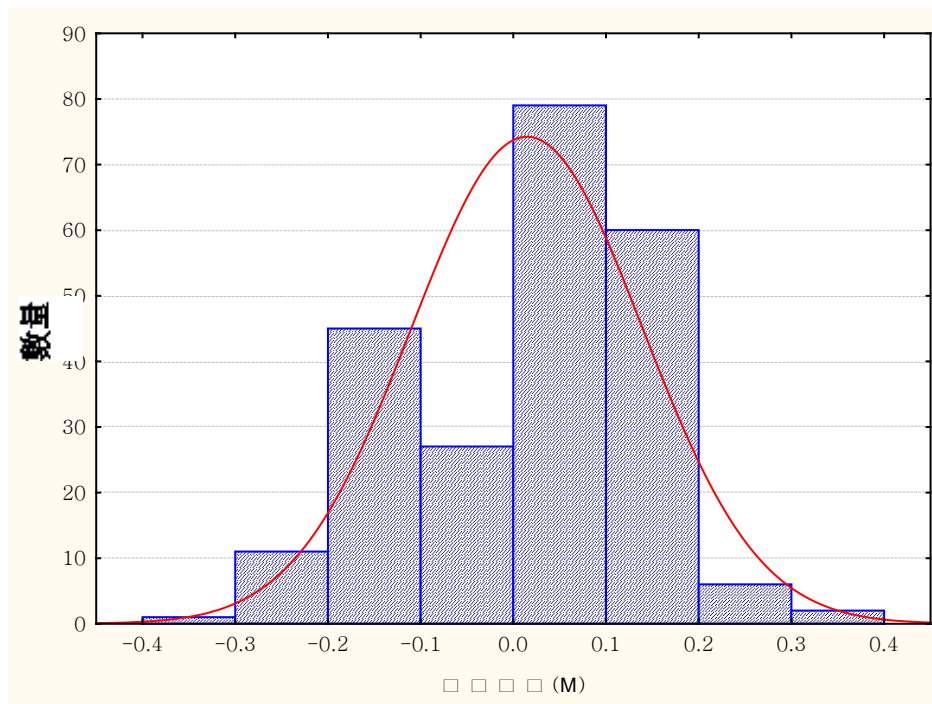


圖 4-14 平面精度分析表

#### 4-6 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，如附錄 B。

## 五、儀器介紹

儀器設備名稱	說明
	<p><b>Optech ALTM Pegasus (SN:10CON241/10SEN274)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 掃瞄旋角視域 FOV：0~60 度</li> <li>· 脈衝率 PRF：100~400kHz</li> <li>· 掃瞄鏡頻率:0~140Hz</li> <li>· 掃瞄形式：Oscillating, Mirror, Z-shaped</li> <li>· 高程精度：15cm (1<math>\sigma</math>,航高 1,200m) 25cm (1<math>\sigma</math>,航高 32500m)</li> <li>· 水平精度：1/5,500 航高</li> <li>· 斜距解析度：1 cm</li> <li>· 最大掃瞄帶寬：0~0.93 航高</li> <li>· GPS：Trimble</li> <li>· Position Orientation System：Applanix POS 510</li> <li>· 作業用途：獲取高精度密佈於地表之三維點位</li> </ul>
	<p><b>POS/AV510 系統</b></p> <p>IMU 為 LN200</p> <p>ROLL、Pitch (RMS) 精度 0.005°；Heading (RMS) 精度 0.008°</p>
<p>GPS 衛星定位儀</p> 	<p><b>Trimble 4000SSI / 4700 / 5700</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 雙頻雙 P 電碼</li> <li>· L2 全波長</li> <li>· 大地型 GPS 天線盤</li> <li>· 水平精度<math>\pm 5\text{mm} + 0.5\text{ppm}</math></li> <li>· 垂直精度<math>\pm 5\text{mm} + 1.0\text{ppm}</math></li> <li>· 可同時接收衛星顆數 9~12 顆</li> <li>· 作業用途：GPS 測量（含控制點檢測）</li> </ul>

## 附錄 A Lever Arm 數據

下列參數是由 OPTECH 公司內部所量測結果：

Reference (scanner mirror) to IMU Misalignment	
$X_L$	0.000 °
$Y_L$	0.000 °
$Z_L$	0.000 °

Reference to IMU Lever Arm (PosAV)	
$X_L$	-0.167m
$Y_L$	-0.002 m
$Z_L$	0.088 m

Reference to IMU Mounting angle	
$X_L$	0.000 °
$Y_L$	0.000 °
$Z_L$	0.000 °

下列參數是由本公司外部所量測結果：

Sensor Reference Point to GPS Antenna	
$X_L$	1.438 m
$Y_L$	0.324 m
$Z_L$	-1.290 m

## 附錄 B 率定參數

### 1. 率定參數檔：

[Calibration]

UseLeftDroopCorrection = 15.000000

UseRightDroopCorrection = 15.000000

[ScannerPolynomialCoefficients]

DegreeOfPoly = 5

a0 = 0.0000000000000000

a1 = 1.0268819400000000

a2 = 0.0000308868090000

a3 = 0.0000055855919000

a4 = -0.0000001131680000

a5 = 0.0000000060000000

[AtmosphericFilter1]

WindowSizePoints = 15

ThresholdMeters = 50.000000

FilterType = 0

[DigitizerCal]

RangeOffset = 0

[DualLag]

positiveLag = 0.00001520

negativeLag = 0.00001520

[S1C1Scanner]

RangeScale = 1.000000

RangeOffset = 0.000000

IntensityScale = 1.000000

IntensityOffset = 0.000000

IntensityGain = 0.000000

[S1C1RangeOffset50KHz]

FirstPulseRange = -6.864956

SecondPulseRange = -6.864956

ThirdPulseRange = -6.864956

LastPulseRange = -6.864956

[S1C1RangeOffset75KHz]

FirstPulseRange = -6.78894

SecondPulseRange = -6.78894

ThirdPulseRange = -6.78894

LastPulseRange = -6.78894

[S1C1RangeOffset100KHz]

FirstPulseRange = -6.802308

SecondPulseRange = -6.802308

ThirdPulseRange = -6.802308

LastPulseRange = -6.802308

[S1C1RangeOffset125KHz]

FirstPulseRange = -6.817134

SecondPulseRange = -6.817134

ThirdPulseRange = -6.817134

LastPulseRange = -6.817134

[S1C1RangeOffset150KHz]

FirstPulseRange = -6.825332

SecondPulseRange = -6.825332

ThirdPulseRange = -6.825332

LastPulseRange = -6.825332

[S1C1RangeOffset175KHz]

FirstPulseRange = -6.815542

SecondPulseRange = -6.815542

ThirdPulseRange = -6.815542

LastPulseRange = -6.815542

[S1C1RangeOffset200KHz]

FirstPulseRange = -6.814962

SecondPulseRange = -6.814962

ThirdPulseRange = -6.814962  
LastPulseRange = -6.814962

[S1C1IMU]

IMURoll = 0.039400  
IMUPitch = 0.053000  
IMUHeading = 0.000000  
UserToImuDx = 0.000000  
UserToImuDy = 0.000000  
UserToImuDz = 0.000000  
UserToRefDx = 0.000000  
UserToRefDy = 0.000000  
UserToRefDz = 0.000000

[S1C1OpticalModel]

BEAM0\_PITCH = 0.708750  
BEAM0\_YAW = -2.300300  
MIRROR\_PITCH = 0.000000  
WINDOW\_PITCH = 0.000000  
WINDOW\_YAW = 0.000000  
X0 = -0.019120  
Y0 = 0.103940  
Z0 = 0.041630

[S1C1MeteoCrystalPolyCoeff]

CrystalFreq = 100.000000  
CrystalResolution = 40.000000  
DegreeOfPoly = -1

[S1C2Scanner]

RangeScale = 1.000000  
RangeOffset = 0.000000  
IntensityScale = 1.000000  
IntensityOffset = 0.000000  
IntensityGain = 0.000000

[S1C2RangeOffset50KHz]

FirstPulseRange = -7.690432  
SecondPulseRange = -7.690432  
ThirdPulseRange = -7.690432  
LastPulseRange = -7.690432

[S1C2RangeOffset75KHz]

FirstPulseRange = -7.62751  
SecondPulseRange = -7.62751  
ThirdPulseRange = -7.62751  
LastPulseRange = -7.62751

[S1C2RangeOffset100KHz]

FirstPulseRange = -7.679114  
SecondPulseRange = -7.679114  
ThirdPulseRange = -7.679114  
LastPulseRange = -7.679114

[S1C2RangeOffset125KHz]

FirstPulseRange = -7.675948  
SecondPulseRange = -7.675948  
ThirdPulseRange = -7.675948  
LastPulseRange = -7.675948

[S1C2RangeOffset150KHz]

FirstPulseRange = -7.653631  
SecondPulseRange = -7.653631  
ThirdPulseRange = -7.653631  
LastPulseRange = -7.653631

[S1C2RangeOffset175KHz]

FirstPulseRange = -7.685541  
SecondPulseRange = -7.685541  
ThirdPulseRange = -7.685541  
LastPulseRange = -7.685541

[S1C2RangeOffset200KHz]

FirstPulseRange = -7.673971  
SecondPulseRange = -7.673971

ThirdPulseRange = -7.673971  
LastPulseRange = -7.673971

[S1C2IMU]

IMURoll = 0.039400  
IMUPitch = 0.053000  
IMUHeading = 0.000000  
UserToImuDx = 0.000000  
UserToImuDy = 0.000000  
UserToImuDz = 0.000000  
UserToRefDx = 0.000000  
UserToRefDy = 0.000000  
UserToRefDz = 0.000000

[S1C2OpticalModel]

BEAM0\_PITCH = 0.000000  
BEAM0\_YAW = 0.000000  
MIRROR\_PITCH = 0.000000  
WINDOW\_PITCH = 0.000000  
WINDOW\_YAW = 0.000000  
X0 = -0.019120  
Y0 = 0.125790  
Z0 = 0.047890

[S1C2MeteoCrystalPolyCoeff]

CrystalFreq = 100.000000  
CrystalResolution = 40.000000  
DegreeOfPoly = -1

[CameraNo1]

NOM\_FOCAL\_LENGTH = 8.000000  
PIXEL\_SIZE = 4.400000  
IMAGE\_HEIGHT = 1236.000000  
IMAGE\_WIDTH = 1624.000000  
IMAGE\_DEPTH = 8.000000  
IMAGE\_SIZE = 2007264.000000  
Focal\_Length = 8.183615  
Radial\_Distortion\_K1 = 0.001569  
Radial\_Distortion\_K2 = -0.000016  
Radial\_Distortion\_K3 = 0.000000  
Camera\_Boresight\_Roll = 0.000000  
Camera\_Boresight\_Pitch = -90.000000  
Camera\_Boresight\_Heading = 0.000000  
Camera\_Trig\_Delay = 45.000000  
Camera\_Lever\_Armx = 0.222470  
Camera\_Lever\_Army = -0.087480  
Camera\_Lever\_Armz = 0.142040  
Principal\_Point\_Offsetx = 794.391769  
Principal\_Point\_Offsety = 626.974662

[CameraNo2]

NOM\_FOCAL\_LENGTH = 17.000000  
PIXEL\_SIZE = 7.400000  
IMAGE\_HEIGHT = 1080.000000  
IMAGE\_WIDTH = 1920.000000  
IMAGE\_DEPTH = 8.000000  
IMAGE\_SIZE = 2073600.000000  
Focal\_Length = 17.320000  
Radial\_Distortion\_K1 = 0.167000  
Radial\_Distortion\_K2 = 2.100000  
Radial\_Distortion\_K3 = 0.900000  
Camera\_Boresight\_Roll = 0.020000  
Camera\_Boresight\_Pitch = 0.000900  
Camera\_Boresight\_Heading = 0.100000  
Camera\_Trig\_Delay = 45.000000  
Camera\_Lever\_Armx = 0.200000  
Camera\_Lever\_Army = 0.340000  
Camera\_Lever\_Armz = 0.700000  
Principal\_Point\_Offsetx = 0.000340  
Principal\_Point\_Offsety = 0.000023

## 附錄 C 軟體計算畫面

### 1. 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 為適合台灣的坐標系統，此處將其參數表述如下圖：

Projection Definition

User Defined Projections: TWD97 [Load File] [Save to File] [Delete from File]

Name: TWD97

Projection Type: Transverse Mercator (EPSG:9807)

Linear Unit: Meter

Angular Unit: DMS

Origin

Latitude: 0° 0' 0.0 " N

Longitude: 121° 0' 0.0 " E

False Easting: 250000 m

False Northing: m

Projection dependent properties

Scale: 0.9999

[OK] [Cancel]

圖 C-1：DashMap 軟體下使用的投影參數畫面圖

### 2. 率定軟體解算圖

LMS Mapping Suite 2.3.0.9795

Project Preferences Tools Help

LMS Project Explorer

20130527CALIB

Processing

Instruments

Pegasus

Missions

CGS20130527\_LMS

ALS Lines

Line 5 - production

Line 6 - production

Line 7 - production

Line 8 - production

Line 9 - production

Line 10 - production

Line 11 - production

Line 12 - production

Line 13 - production

Blocks

CAUB20130527CGS

User Input Tasks Settings Summary Report Summary Plots Graphical Analysis Update LCP File Update RES File

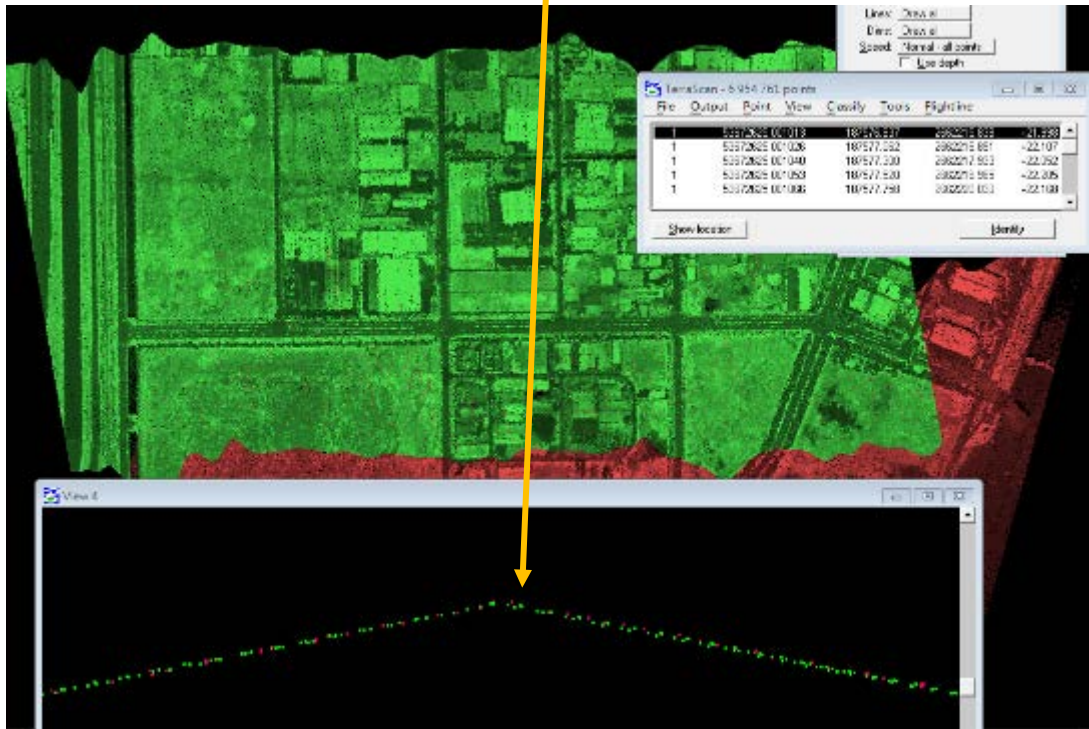
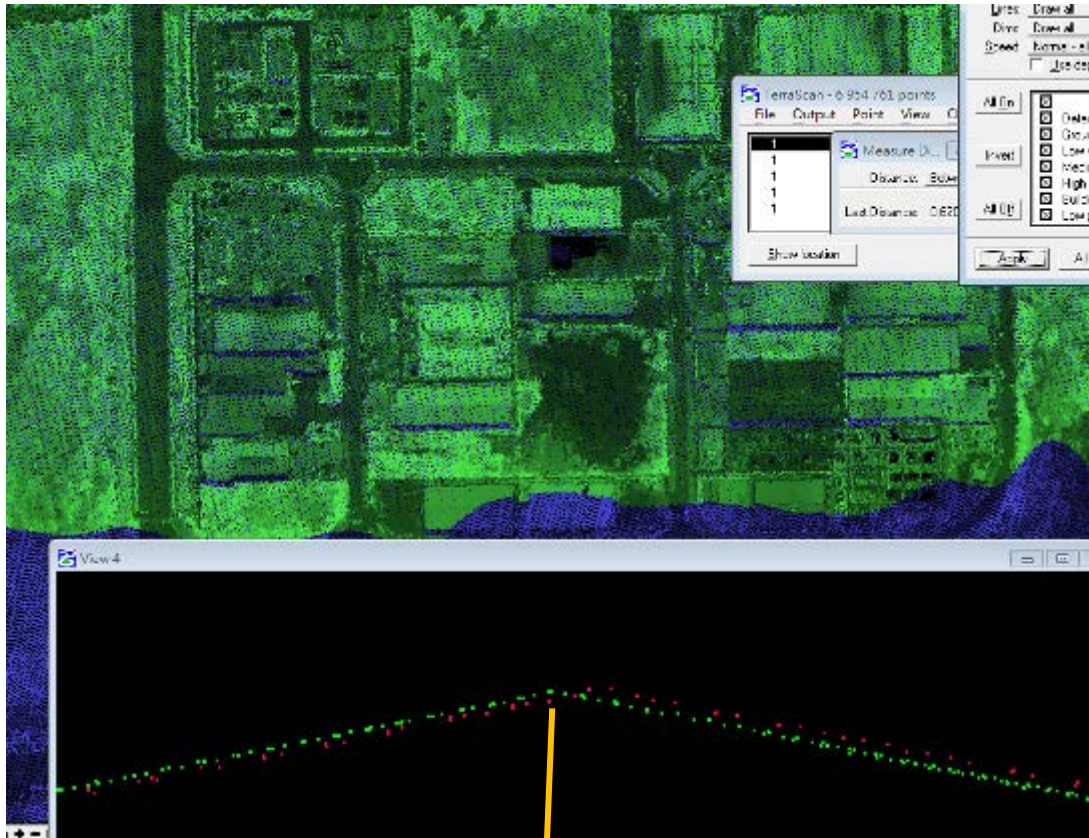
Block status: Tie Plane Determination done, Tie Plane Selection done, Determine Self-Calibration Parameters done

Project Information

Project ID: 20130527CALIB

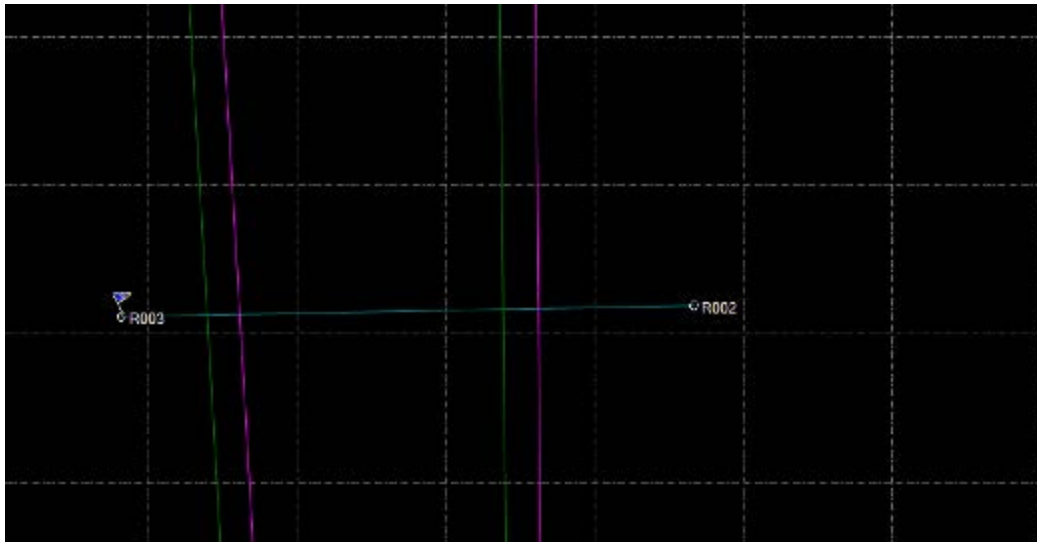
Block ID: CALIB20130527098

Line	Ch	Survey	Mission	Instrument	Tied
10005	C1	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10005	C2	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10006	C1	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10006	C2	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10007	C1	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10007	C2	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10008	C1	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10008	C2	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10009	C1	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10009	C2	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10010	C1	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10010	C2	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10011	C1	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10011	C2	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10012	C1	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10012	C2	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10013	C1	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes
10013	C2	1	CGS20130527_LMS	Pegasus	yes

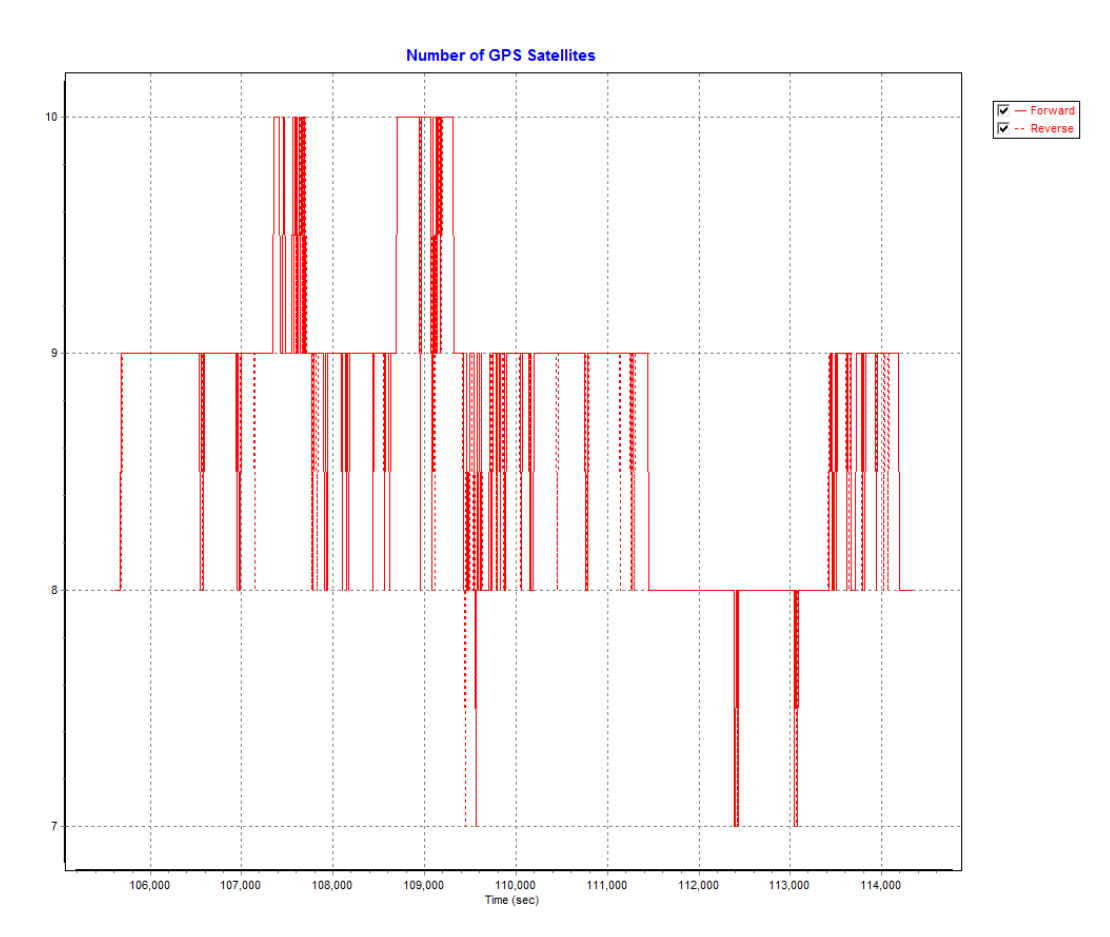




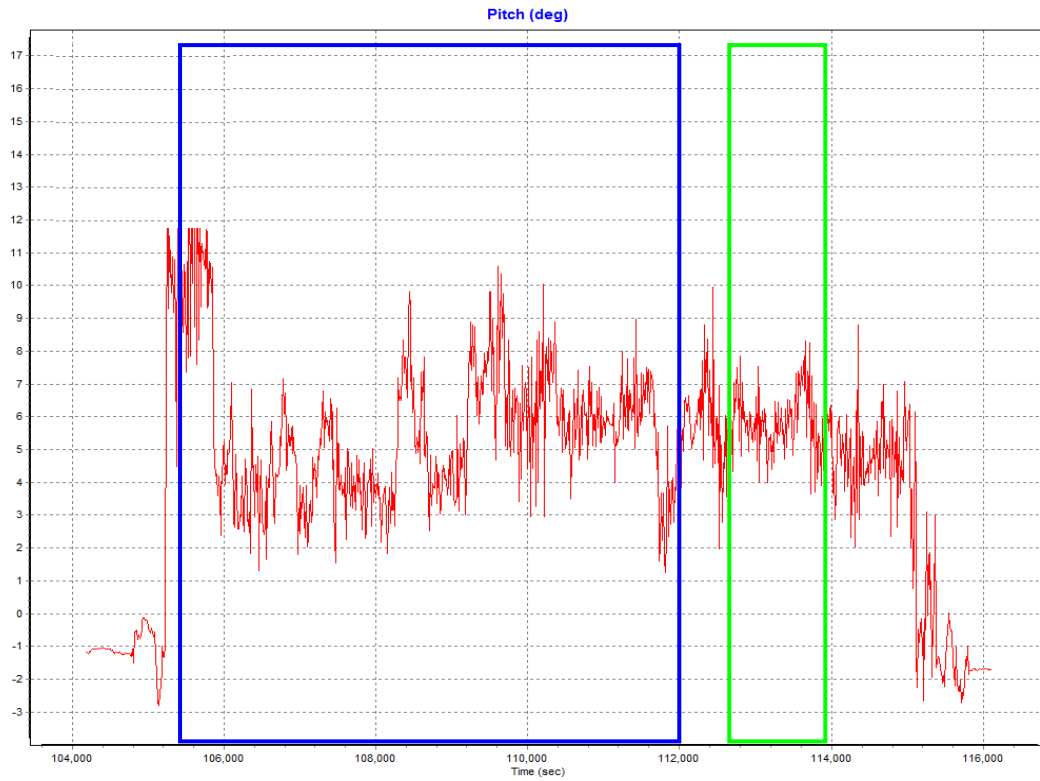
## 附錄 D 率定與確定飛行解算過程成果



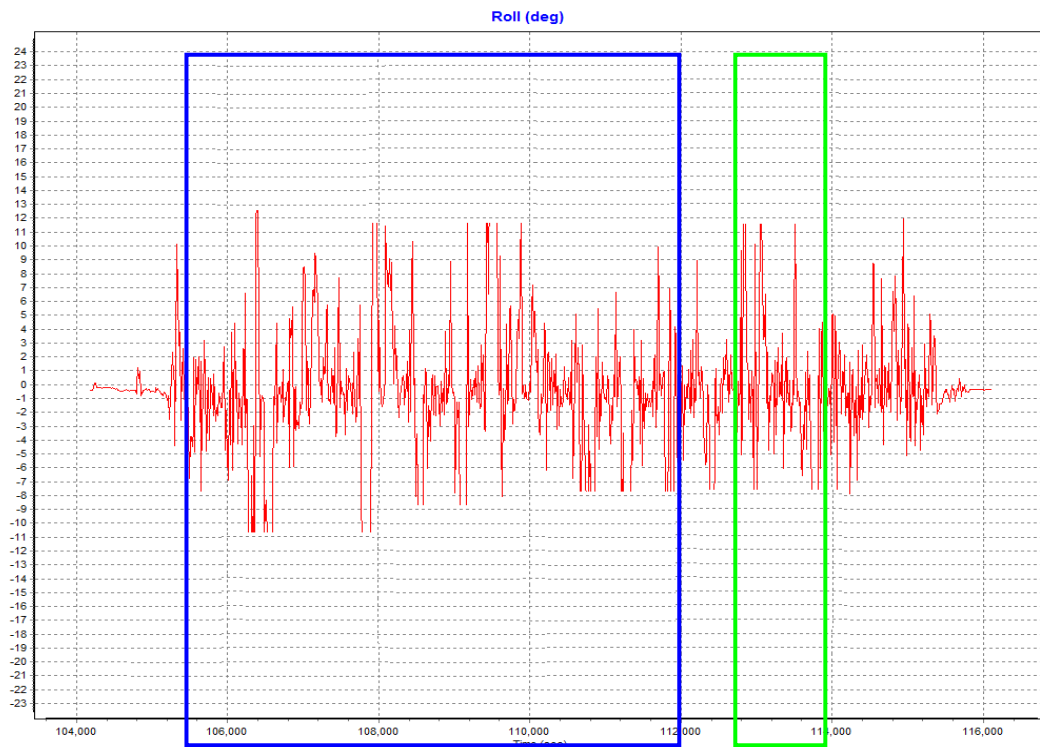
率定飛航軌跡與基站(R002,R003)放大示意圖



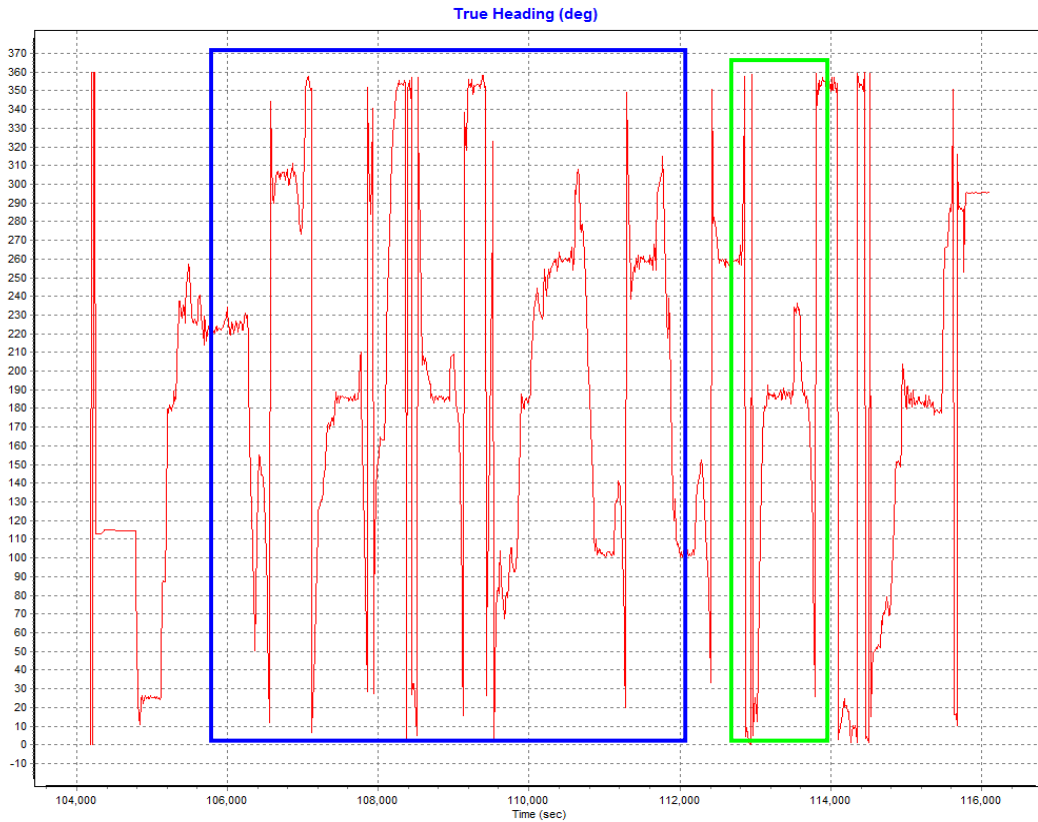
率定飛航衛星顆數示意圖



率定飛航航線掃瞄姿態顛簸(pitch)傾角  
(藍色框為率定；綠色為確認飛行)



率定飛航航線掃瞄姿態滾動(roll)傾角  
(藍色框為率定；綠色為確認飛行)



率定飛航航線掃瞄姿態偏航(Heading)角  
(藍色框為率定；綠色為確認飛行)

```

111387.225 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.107
111388.306 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.108
111396.867 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.109
11279.183 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.110
113211.784 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.111
113870.246 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.112
11424.866 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.113
114582.807 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.114
115036.208 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.115
115519.809 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.116
116004.481 : Opening file: E:\POSGPS\2013\Pegasus\20130527_Calibration\POG\POG\1020527a.117
116139.333 : End of logged data file

```

GROUP	Number	Rejected	First Time	Last Time	Extracted
1	897682	0	104179.839	116139.318	X
2	11951	0	106179.201	116139.159	X
3	11454	0	104179.802	116133.301	X
4	2890781	0	104179.804	116139.338	X
5	854	0	106241.809	116131.266	X
7	11454	0	104180.000	116133.000	
99	2890	0	106186.002	116129.401	
101	11953	0	106180.002	116132.401	
10001	115326	0	104179.802	116133.301	X
20101	11951	0	106180.000	116139.000	X
20102	11954	0	104180.000	116133.000	X

MESSAGE	Number	Rejected	First Time	Last Time	Extracted
1	1195	0	104187.002	116127.401	X
5	1195	0	106187.002	116127.401	X
6	1195	0	106187.002	116127.401	X
7	3390	0	104187.002	116127.401	X
11	1195	0	106187.002	116127.401	X
101	2390	0	106187.002	116127.401	X
104	3390	0	104187.002	116127.401	X
107	1195	0	106187.002	116127.401	X
110	1195	0	104187.002	116127.401	X

```

Termination status: Normal
Execution time : 3-12
Extraction completed.

```

確定飛航訊號穩定

## 附錄 E GPS 檢校說明資料

# 校正報告



報告日期：101年04月18日

報告編號：D120126A

儀器名稱：衛星定位儀

廠 牌：Trimble

型 號：S700

序 號：0220338788

顧客名稱：中興測量有限公司

顧客地址：臺中市區公民里忠仁街一五九號一至五樓

上項儀器經本實驗室校正，結果如內文。

本報告合封面/裡及 4 頁內文，分離使用無效。



報告簽署人

國家度量衡標準實驗室主任

### 國家度量衡標準實驗室

經濟部標準檢驗局委託財團法人工業技術研究院辦理

## 校正報告使用說明

1. 國家度量衡標準實驗室執行校正所產生之校正結果詳列於本報告內。  
本報告之校正結果僅對報告內提及之送校件有效。
2. 除特別聲明外，報告內數值係在本實驗室環境下執行校正所得的結果。爾後使用該送校件時，其準確度與精密度將因使用時之環境狀況與使用頻率等因素而有所不同。
3. 為確保送校件之準確度，請依使用者自訂之校正週期，按時送校。
4. 本報告之結果業經本實驗室之相關研究室主任審核確認。
5. 本報告未得到本實驗室書面同意，不得任意摘錄複製使用，但全文複製除外。
6. 本報告所述與國際度量衡委員會(CIPM)制定之全球相互認可協定(MRA)的附錄 C 登錄之能力內容一致。依據全球相互認可協定，所有參與機構就登載於附錄 C 的量測參數、範圍及量測不確定度相互承認校正與量測報告的有效性。(詳見 <http://www.bipm.org>)。

國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路 2 段 321 號

# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：D120126A

儀器名稱：衛星定位儀  
廠 牌：Trimble  
型 號：5700  
序 號：0220338788

環境溫度： $(20.5 \pm 4.9) ^\circ\text{C}$   
相對濕度： $(82 \pm 15) \%$   
環境壓力： $(1004 \pm 2) \text{hPa}$

## 校正結果與說明

### I. 校正結果

#### 1. 超短距離靜態相對定位

基點 NML3 相對 TNML 坐標差 分量及併距	參考值 [m] $R_1$	量測值 [m] $A$	器差 [mm] $A-R_1$	擴充 不確定度 [mm]	2 倍 儀器規格 [mm]
$\Delta X_1$	25.2090	25.2088	-0.2	2.0	11
$\Delta Y_1$	-9.6599	-9.6605	-0.6		
$\Delta Z_1$	30.2036	30.2070	3.4		
$D_1$	40.5101	40.5126	2.5		

#### 2. 中距離靜態相對定位

基點 NML3 相對 TWTF 坐標差 分量及併距	參考值 [m] $R_2$	量測值 [m] $B$	器差 [mm] $B-R_2$	擴充 不確定度 [mm]	2 倍 儀器規格 [mm]
$\Delta X_2$	11673.5031	11673.5215	18	14	60
$\Delta Y_2$	15344.9522	15344.9364	-16		
$\Delta Z_2$	-15660.2510	-15660.2706	-20		
$D_2$	24839.1162	24839.1275	11		

- 註：1. 在超短距離 GPS 定位校正場(如圖所示)基點 NML3 設置接收機 Trimble / 5700 衛星定位儀 (S/N: 0220338788) 及 TRM41249.00 天線 (S/N: 60008129)。
2. 天線方向指標朝北，觀測時間為 GPS 時 2012 年 3 月 6 日 06:30 ~ 14:30，每 15 秒記錄一量資料，接收仰角 15 度以上的 GPS 衛星訊號。
3. 儀器規格，基線  $\text{rms} = 5\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \times D$ ， $D$  表示測線距離。
4. 在 95% 信賴水平下，一般器差建議值在  $\pm [(\text{儀器規格})^2 + (\text{擴充不確定度})^2]^{1/2}$  區間內。
5. 測量測結果(器差)之位數必須與擴充不確定度之位數一致，故中距離靜態相對定位之量測結果修正至整數。

### II. 校正說明

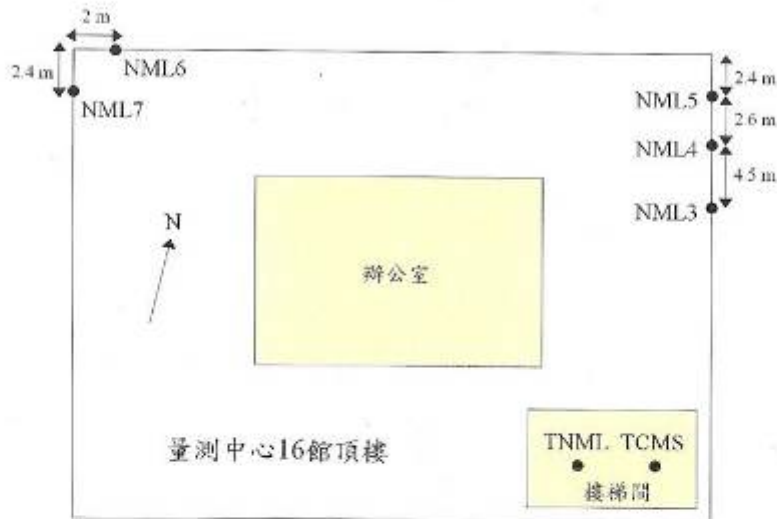
#### 1. 校正日期與地點

本校正作業係於 2012 年 3 月 6 日於超短基線 GPS 定位校正場執行，校正場如圖所示，符號件設置在校正基點 NML3。

# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：D120126A



超短基線 GPS 定位校正場示意圖

## 2. 校正方法

2.1 本校正實施係依據 GPS 靜態及動態定位校正系統校正程序<sup>1</sup>。

2.2 超短距離及中距離靜態相對定位參考值  $R_1$  及  $R_2$ ，係利用高精度衛星定位儀配合環型 (Choke Ring) 天線盤，整置在校正基點 NML3 上，每 15 秒記錄一筆資料，同步接收仰角 15 度以上的 GPS 衛星訊號，實施長時間觀測 24 小時。觀測資料經研究軟體 Bernese 5.0 進行後級處理，分別求得參考值<sup>2</sup>。其計算流程如下：

2.2.1 將同時段之原始觀測資料轉換為 RINEX (Receiver Independent Exchange Format) 標準交換格式，再將之轉換成 Bernese 資料格式。

2.2.2 將 IGS 精密星曆 (Precise Ephemeris) 轉換成表列格式 (Tabular Orbit)，再組成 Bernese 格式之標準軌道，以作為後級處理之用。

2.2.3 進行電碼資料之檢查 (Code Check)，剔除錯誤之觀測量，並將離群 (Outlier) 的資料標示 (Mark) 起來。

2.2.4 利用電碼觀測量配合對流層折射改正模式進行單點定位 (Single Point Positioning)，以最小二乘法疊代計算測站之概略坐標及接收儀時錶改正量。

# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：D120126A

2.2.5 組成一次差相位觀測量 (Single Difference)，亦即將所有測站依最短基線之原則，組成線性獨立的一次差觀測量。

2.2.6 進一步利用三次差成果進行週波脫落 (Cycle Slip) 之偵測與補償。

2.2.7 以此觀測量組成二次差，進行各項參數之預估及基線求解。

2.3 超短距離靜態相對定位，待校件定位坐標係以固定站 TNML 為主站 ( $X = -2982779.2361$  m,  $Y = 4966662.5825$  m,  $Z = 2658805.6798$  m，係由國家度量衡標準實驗室設置維護)，並採用 Bernese 5.0 研究軟體進行基線解算。待校件天線盤位置，天線方向指標朝北，求得量測值  $A$ ；再將量測值  $A$  與參考值  $R_1$  相減得器差。

而斜距  $D_1$  與三軸坐標差分量  $\Delta X_1$ 、 $\Delta Y_1$ 、 $\Delta Z_1$  之關係式如下：

$$D_1 = (\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2 + \Delta Z_1^2)^{1/2}$$

在 Bernese 軟體中，有關參數設定說明如下：

- \*坐標系統：ITRF2005
- \*求解頻率：L1&L2
- \*整數週波未定值求解法：QIF
- \*對流層改正：Saastamoinen
- \*軌道型式：IGS 精密星曆

2.4 中距離靜態相對定位，待校件定位坐標係以固定站 TWTF 為主站 ( $X = -2994428.2803$  m,  $Y = 4951309.2038$  m,  $Z = 2674496.8043$  m，係由國家時間與頻率標準實驗室設置維護)，並採用 Bernese 5.0 研究軟體進行基線解算。待校件天線盤位置，天線方向指標朝北，求得量測值  $B$ ；再將量測值  $B$  與參考值  $R_2$  相減得器差。

而斜距  $D_2$  與三軸坐標差分量  $\Delta X_2$ 、 $\Delta Y_2$ 、 $\Delta Z_2$  之關係式如下：

$$D_2 = (\Delta X_2^2 + \Delta Y_2^2 + \Delta Z_2^2)^{1/2}$$

在 Bernese 軟體中，有關參數設定說明如下：

- \*坐標系統：ITRF2005
- \*求解頻率：L3
- \*整數週波未定值求解法：QIF
- \*對流層改正：Saastamoinen
- \*軌道型式：IGS 精密星曆



# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：D120126A

## 3. 校正用標準件

本次校正所使用之標準頻率源為 Datum 8040A 鈷原子鐘，序號為 0213005334，本標準件追溯國家時間與頻率標準實驗室，追溯編號為 FTC-2011-04-17，追溯日期為 2011 年 5 月 17 日，校正週期為 3 年。

## 4. 擴充不確定度

4.1 擴充不確定度係依據 GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告<sup>3</sup>進行評估。

4.2 擴充不確定度係組合標準不確定度與涵蓋因子 ( $k=2.79$ ) 之乘積，相對應約為 95% 之信賴水準<sup>4</sup>。

## III. 參考資料

1. GPS 靜態及動態定位校正系統校正程序，07-3-91-0086，五版，工研院量測技術發展中心，2009 年。
2. Bernese 研究軟體應用及基線解算精度研究，07-3-90-0073，初版，工研院量測技術發展中心，2001 年。
3. GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告，07-3-91-0043，四版，工研院量測技術發展中心，2009 年。
4. Geometric Geocentric Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques, Version 5.0, FGCC, 1988.

# 校正報告



報告日期：101年04月18日

報告編號：D120127A

儀器名稱：衛星定位儀

廠 牌：Trimble

型 號：5700

序 號：0220348499

顧客名稱：中興測量有限公司

顧客地址：臺中市西區公民里忠仁街一五九號一至五樓

上項儀器經本實驗室校正，結果如內文。

本報告含封面/裡及 4 頁內文，分離使用無效。



報告簽署人

國家度量衡標準實驗室主任

## 國家度量衡標準實驗室

經濟部標準檢驗局委託財團法人工業技術研究院辦理

## 校正報告使用說明

1. 國家度量衡標準實驗室執行校正所產生之校正結果詳列於本報告內。  
本報告之校正結果僅對報告內提及之送校件有效。
2. 除特別聲明外，報告內數值係在本實驗室環境下執行校正所得的結果。爾後使用該送校件時，其準確度與精密度將因使用時之環境狀況與使用頻率等因素而有所不同。
3. 為確保送校件之準確度，請依使用者自訂之校正週期，按時送校。
4. 本報告之結果業經本實驗室之相關研究室主任審核確認。
5. 本報告未得到本實驗室書面同意，不得任意摘錄複製使用，但全文複製除外。
6. 本報告所述與國際度量衡委員會(CIPM)制定之全球相互認可協定(MRA)的附錄 C 登錄之能力內容一致。依據全球相互認可協定，所有參與機構就登載於附錄 C 的量測參數、範圍及量測不確定度相互承認校正與量測報告的有效性。(詳見 <http://www.bipm.org>)。

國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路 2 段 321 號

# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：D120127A

儀器名稱：衛星定位儀

環境溫度：(14.0 ± 0.4) °C

廠牌：Trimble

相對濕度：(96 ± 3) %

型號：5700

環境壓力：(1010 ± 1) hPa

序號：0220348499

## 校正結果與說明

### I. 校正結果

#### 1. 超短距離靜態相對定位

基點 NML6 相對 TNML 坐標差 分量及斜距	參考值 [m] $R_1$	量測值 [m] $A$	器差 [mm] $A-R_1$	擴充 不確定度 [mm]	2 倍 儀器規格 [mm]
$\Delta X_1$	49.8692	49.8678	-1.4	2.0	11
$\Delta Y_1$	10.1086	10.1047	-3.9		
$\Delta Z_1$	20.7522	20.7525	0.3		
$D_1$	54.9525	54.9506	-1.9		

#### 2. 中距離靜態相對定位

基點 NML6 相對 TWTF 坐標差 分量及斜距	參考值 [m] $R_2$	量測值 [m] $B$	器差 [mm] $B-R_2$	擴充 不確定度 [mm]	2 倍 儀器規格 [mm]
$\Delta X_2$	11698.1624	11698.1793	17	14	60
$\Delta Y_2$	15364.7112	15364.7059	-5		
$\Delta Z_2$	-15669.7025	-15669.7188	-16		
$D_2$	24868.8748	24868.8897	15		

註：1. 在超短基線 GPS 定位校正場（如圖所示）基點 NML6 暨待校件 Trimble / 5700 衛星定位儀（S/N：0220348499）及 TRM41249.00 天線（S/N：60008135）。

2. 天線方向指標朝北，觀測時間為 GPS 時 2012 年 2 月 29 日 07:00 ~ 15:00，每 15 秒記錄一筆資料，接收仰角 15 度以上的 GPS 衛星訊號。

3. 儀器規格，基線 rms:  $5\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \times D$ ， $D$  表示測線距離。

4. 在 95% 信賴水準下，一般測量建議應在  $\pm [2 \times (\text{儀器規格})^2 + (\text{擴充不確定度})^2]^{0.5}$  區間內。

5. 測量結果（百畝）之位數必須與擴充不確定度之位數一致，依中距離靜態相對定位之器差結果修正整數。

### II. 校正說明

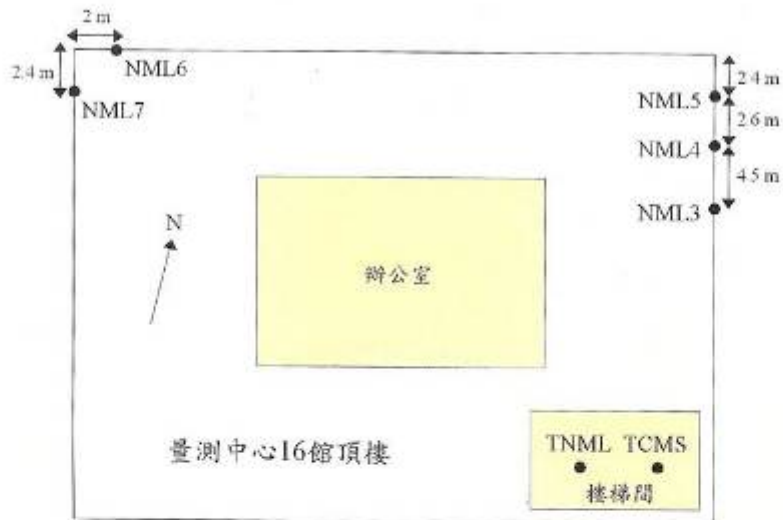
#### 1. 校正日期與地點

本校作業係於 2012 年 2 月 29 日於超短基線 GPS 定位校正場執行，校正場如圖所示，待校件整置在校正基點 NML6。

# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：D120127A



超短基線 GPS 定位校正場示意圖

## 2. 校正方法

2.1 本校正實施係依據 GPS 靜態及動態定位校正系統校正程序<sup>1</sup>。

2.2 超短距離及中距離靜態相對定位參考值  $R_1$  及  $R_2$ ，係利用高精度衛星定位儀配合環型 (Choke Ring) 天線盤，整置在校正基點 NML6 上，每 15 秒記錄一筆資料，同步接收仰角 15 度以上的 GPS 衛星訊號，實施長時間觀測 24 小時。觀測資料經研究軟體 Bernese 5.0 進行後級處理，分別求得參考值<sup>2</sup>。其計算流程如下：

2.2.1 將同時段之原始觀測資料轉換為 RINEX (Receiver Independent Exchange Format) 標準交換格式，再將之轉換成 Bernese 資料格式。

2.2.2 將 IGS 精密星曆 (Precise Ephemeris) 轉換成表列格式 (Tabular Orbit)，再組成 Bernese 格式之標準軌道，以作為後級處理之用。

2.2.3 進行電碼資料之檢查 (Code Check)，剔除錯誤之觀測量，並將離群 (Outlier) 的資料標示 (Mark) 起來。

2.2.4 利用電碼觀測量配合對流層折射改正模式進行單點定位 (Single Point Positioning)，以最小二乘法疊代計算測站之概略坐標及接收儀時錶改正量。

# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：D120127A

2.2.5 組成一次差相位觀測量 (Single Difference)，亦即將所有測站依最短基線之原則，組成線性獨立的一次差觀測量。

2.2.6 進一步利用三次差成果進行週波脫落 (Cycle Slip) 之偵測與補償。

2.2.7 以此觀測量組成二次差，進行各項參數之預估及基線求解。

2.3 超短距離靜態相對定位，待校件定位坐標係以固定站 TNML 為主站 ( $X = -2982779.2361$  m,  $Y = 4966662.5825$  m,  $Z = 2658805.6798$  m，係由國家度量衡標準實驗室設置維護)，並採用 Bernese 5.0 研究軟體進行基線解算。待校件天線盤位置，天線方向指標朝北，求得量測值  $A$ ；再將量測值  $A$  與參考值  $R_1$  相減得器差。

而斜距  $D_1$  與三軸坐標差分量  $\Delta X_1$ 、 $\Delta Y_1$ 、 $\Delta Z_1$  之關係式如下：

$$D_1 = \left( \Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2 + \Delta Z_1^2 \right)^{1/2}$$

在 Bernese 軟體中，有關參數設定說明如下：

- \*坐標系統：ITRF2005
- \*求解頻率：L1&L2
- \*整數週波未定值求解法：QIF
- \*對流層改正：Saastamoinen
- \*軌道型式：IGS 精密星曆

2.4 中距離靜態相對定位，待校件定位坐標係以固定站 TWTF 為主站 ( $X = -2994428.2803$  m,  $Y = 4951309.2038$  m,  $Z = 2674496.8043$  m，係由國家時間與頻率標準實驗室設置維護)，並採用 Bernese 5.0 研究軟體進行基線解算。待校件天線盤位置，天線方向指標朝北，求得量測值  $B$ ；再將量測值  $B$  與參考值  $R_2$  相減得器差。

而斜距  $D_2$  與三軸坐標差分量  $\Delta X_2$ 、 $\Delta Y_2$ 、 $\Delta Z_2$  之關係式如下：

$$D_2 = \left( \Delta X_2^2 + \Delta Y_2^2 + \Delta Z_2^2 \right)^{1/2}$$

在 Bernese 軟體中，有關參數設定說明如下：

- \*坐標系統：ITRF2005
- \*求解頻率：L3
- \*整數週波未定值求解法：QIF
- \*對流層改正：Saastamoinen
- \*軌道型式：IGS 精密星曆

# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：D120127A

## 3. 校正用標準件

本次校正所使用之標準頻率源為 Datum 8040A 銣原子鐘，序號為 0213005334，本標準件追溯國家時間與頻率標準實驗室，追溯編號為 FTC-2011-04-17，追溯日期為 2011 年 5 月 17 日，校正週期為 3 年。

## 4. 擴充不確定度

4.1 擴充不確定度係依據 GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告<sup>3</sup>進行評估。

4.2 擴充不確定度係組合標準不確定度與涵蓋因子 ( $k=2.79$ ) 之乘積，相對應約為 95% 之信賴水準<sup>4</sup>。

## III. 參考資料

1. GPS 靜態及動態定位校正系統校正程序，07-3-91-0086，五版，工研院量測技術發展中心，2009 年。
2. Bernese 研究軟體應用及基線解算精度研究，07-3-90-0073，初版，工研院量測技術發展中心，2001 年
3. GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告，07-3-91-0043，四版，工研院量測技術發展中心，2009 年。
4. Geometric Geocentric Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques, Version 5.0, FGCC, 1988.

## 附件三

**中興測量有限公司 ITRES CASI 1500  
率定報告書**



# 高光譜影像率定報告

## 一、前言

成像光譜儀技術發展至今已具有二十幾年的歷史，其中高光譜影像的成像原理可說明如下。一般而言輻射來源都是太陽，太陽輻射線經過大氣層後與地表產生交互作用，有些被吸收，有些被反射，被反射的輻射線再經過一次大氣層的影響後到達遙測衛星的感測器中。當輻射線經過目鏡後，必須經由分光鏡把它分成不同的光譜波段，跟牛頓利用三稜鏡把可見光分解成彩色光帶的原理類似，因此每一個像元都可以形成一連續的光譜曲線(徐百輝，2007)。高辨識率、高空間解析力的影像，不僅可分辨不同物質的視覺外觀特性，更能從其物理的光譜特徵，了解其成分、結構特性，此種結合光譜學及影像空間解析力，光譜涵蓋較廣範圍的影像，即為高光譜影像。

利用航遙測影像對興趣的區域進行整合分析前，需建立像片空間與三維物空間的關聯性，此關聯性可由像-物空間轉換的坐標系統求得，像-物空間的坐標系統建立後，可進一步確定像-物空間中所有點位間的對應關係，即可得到攝影後的相關資訊並加以利用。

以數位量測相機進行攝影測量領域的分析應用，首先須有精確的幾何率定參數，才能有精度較高的測量成果，因此，需進行率定以獲得相機內方位元素。透過相機率定，將影像量測坐標轉換到以相機內部幾何定義的像空間坐標，建立像物空間對應點的幾何約制關係。

此率定報告中，先以率定場資料進行自率光束法反算相機率定參數，經已知且均勻布設的物空間量測點(亦稱地面控制點)，以確定三維空間坐標系；藉多張影像重疊範圍選取航帶連結點，配合光束法平差，可同時求解內外方位參數及物空間坐標。光束法平差有兩個目的，其一為求得所有像點之地面坐標，求得三維坐標值可計算地面控制點與航帶連結點之殘差，以便做為是否移除影像特徵點的依據。其二為在光束法中，航帶連結點可配合數值高程模型進行高程控制，以產製後續正射化鑲嵌影像，提供後續空間資訊上的應用及分析。圖一為完整之影像資料處理流程圖，並詳述於後續文章中。

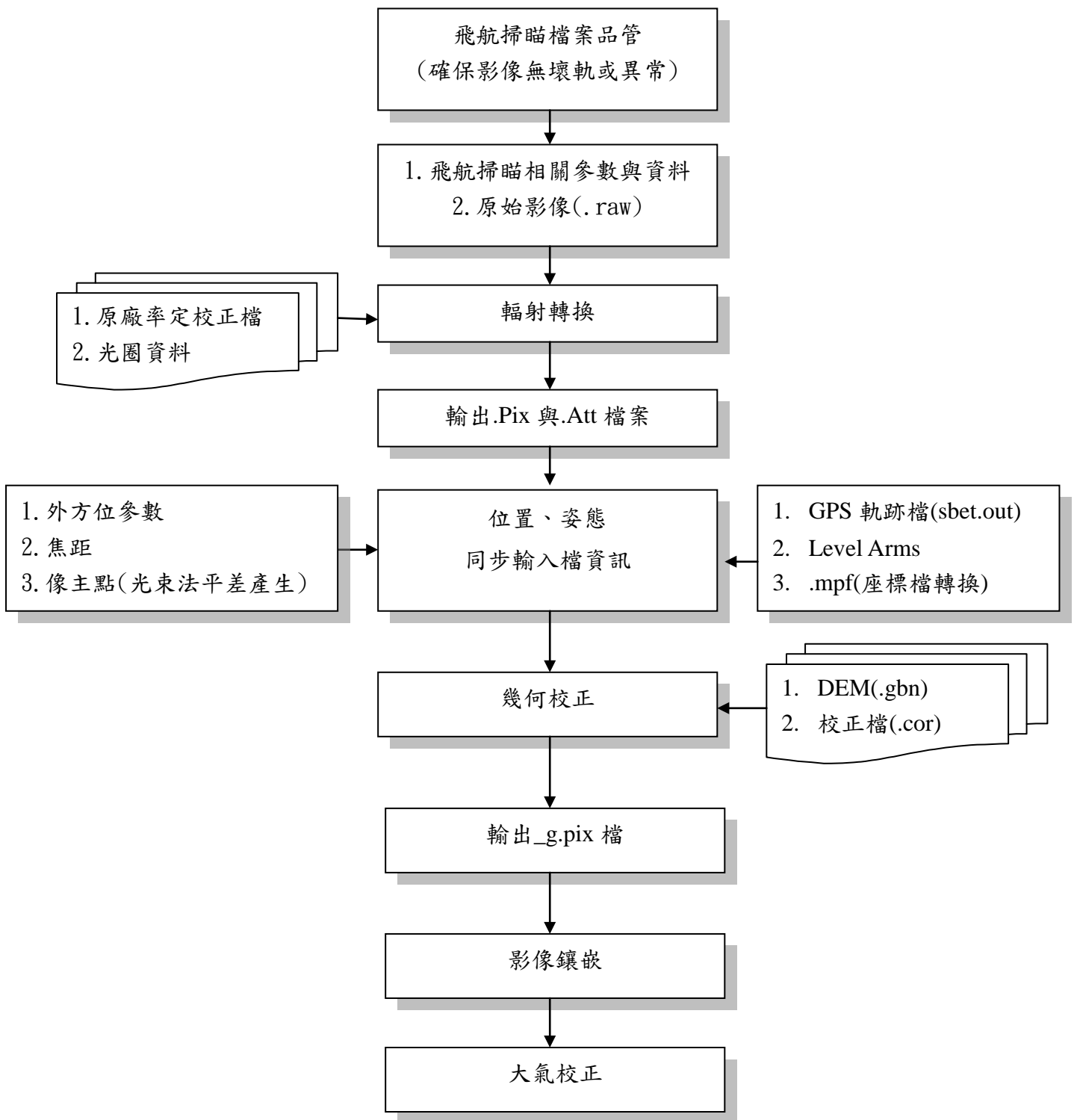


圖1 高光譜影像資料處理流程

## 二、 率定範圍

本研究之高光譜影像率定場為台中市區，率定場面積大小為 2km×1km，飛航日期為 102 年 7 月 2 日，中午 11 點開始進行飛航掃瞄作業，其中飛航高度與地面解析度分別為 1200 公尺和 60 公分，一共 7 條航帶，南北向 5 條、東西向 2 條，航帶重疊率約 40%，掃描波段數為 36，其航帶分布範圍如圖 2。

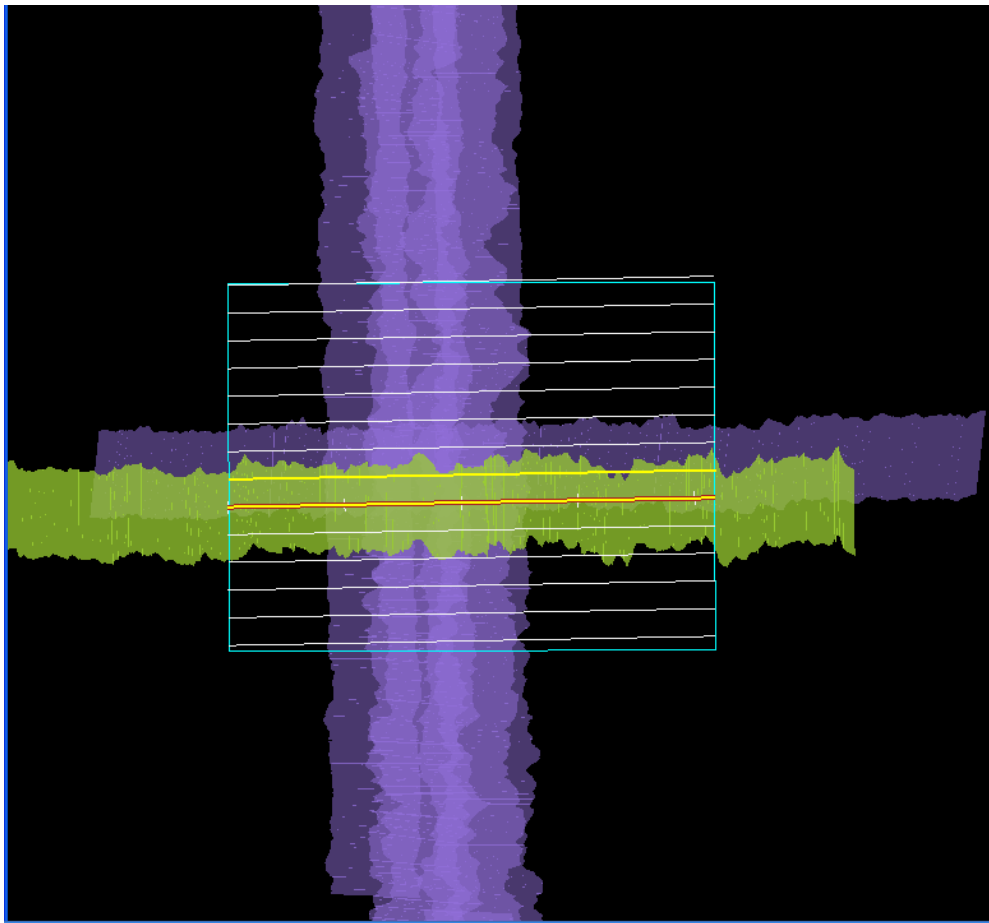


圖 2 航帶分布圖

## 三、 輻射轉換

高光譜影像輻射轉換模式為下載原始航帶資料(DN 值，Digital Number Value)後，配合原廠根據本儀器(SN:2528)之率定檔案，其中輻射轉換檔案(依據飛航時之光圈大小)乃利用 ITRES 原廠軟體中的 RadCor.exe 進行輻射轉換，輻射轉換後可得到.pix 檔案(Radiance 值)以及.Att 檔案。這部分的 pix

檔案為 PCI 格式的影像檔，而 Att 檔為 CASI-1500 的飛航資料，其使用的時間記錄為儀器內部紀錄的時間。此外，本儀器根據原廠建議，進行每年一次之光學率定，本次光學率定已於 2013 年 5-6 月完成，其率定相關檔案如附件。

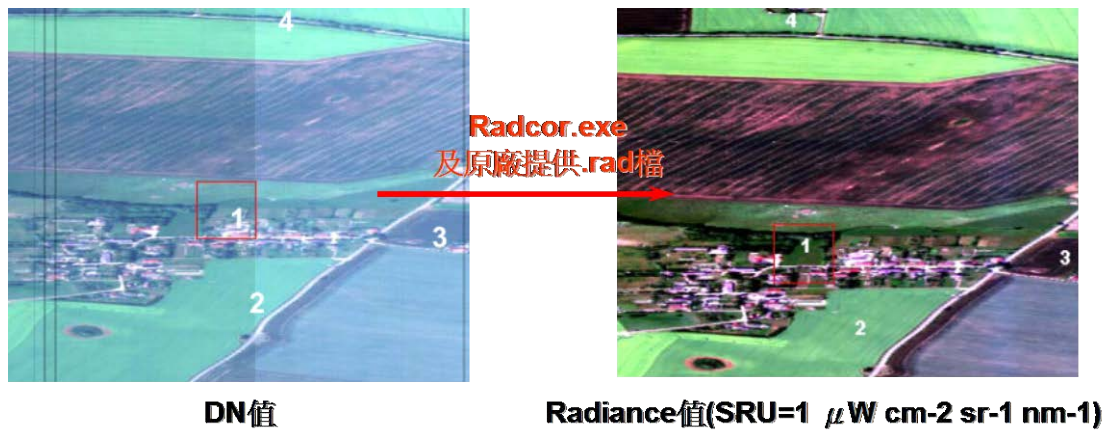


圖 3 輻射轉換示意圖

#### 四、位置、姿態數據同步

位置、姿態同步處理的部分即根據ITRES軟體進行，一共可以分為4個步驟即同步姿態資料、轉換GPS資料、結合位置及姿態資料以及調整航行資料，於ITRES軟體GUI介面需先給定部份初始值如圖4所示，圖5即為位置及姿態數據同步流程圖。

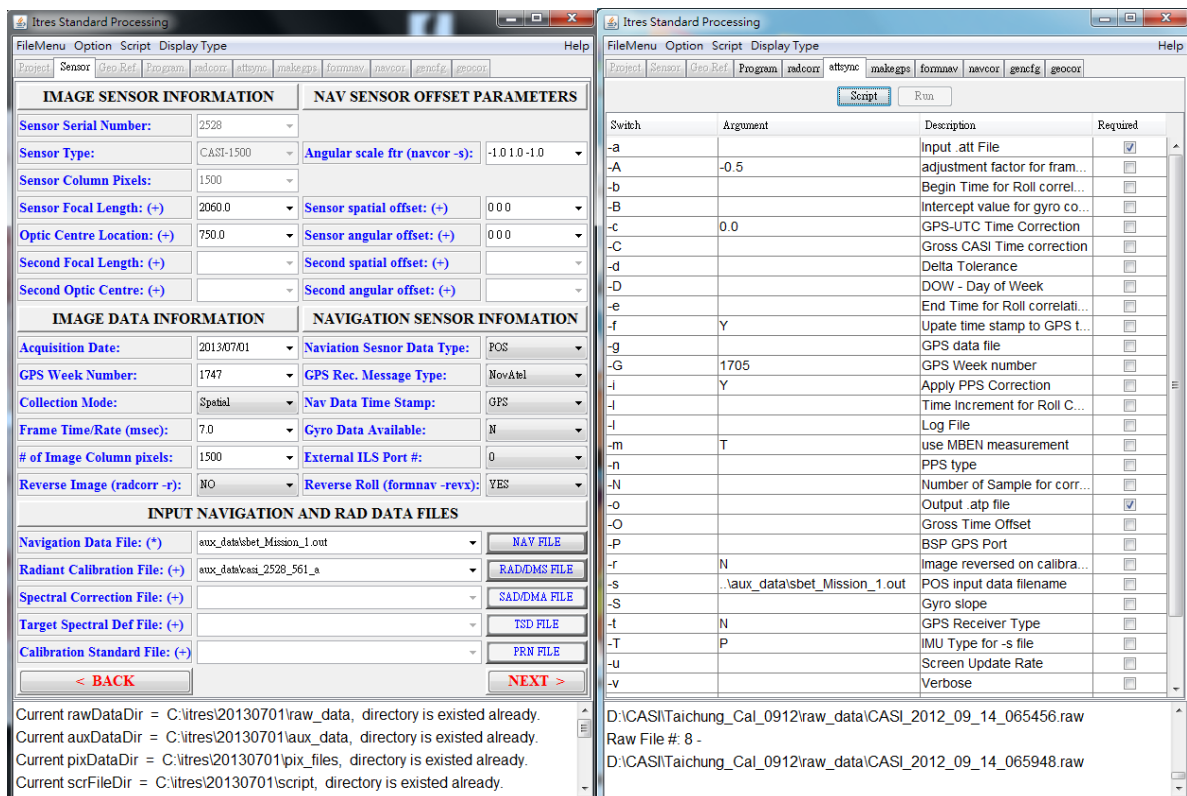


圖4 GUI介面給定初始值

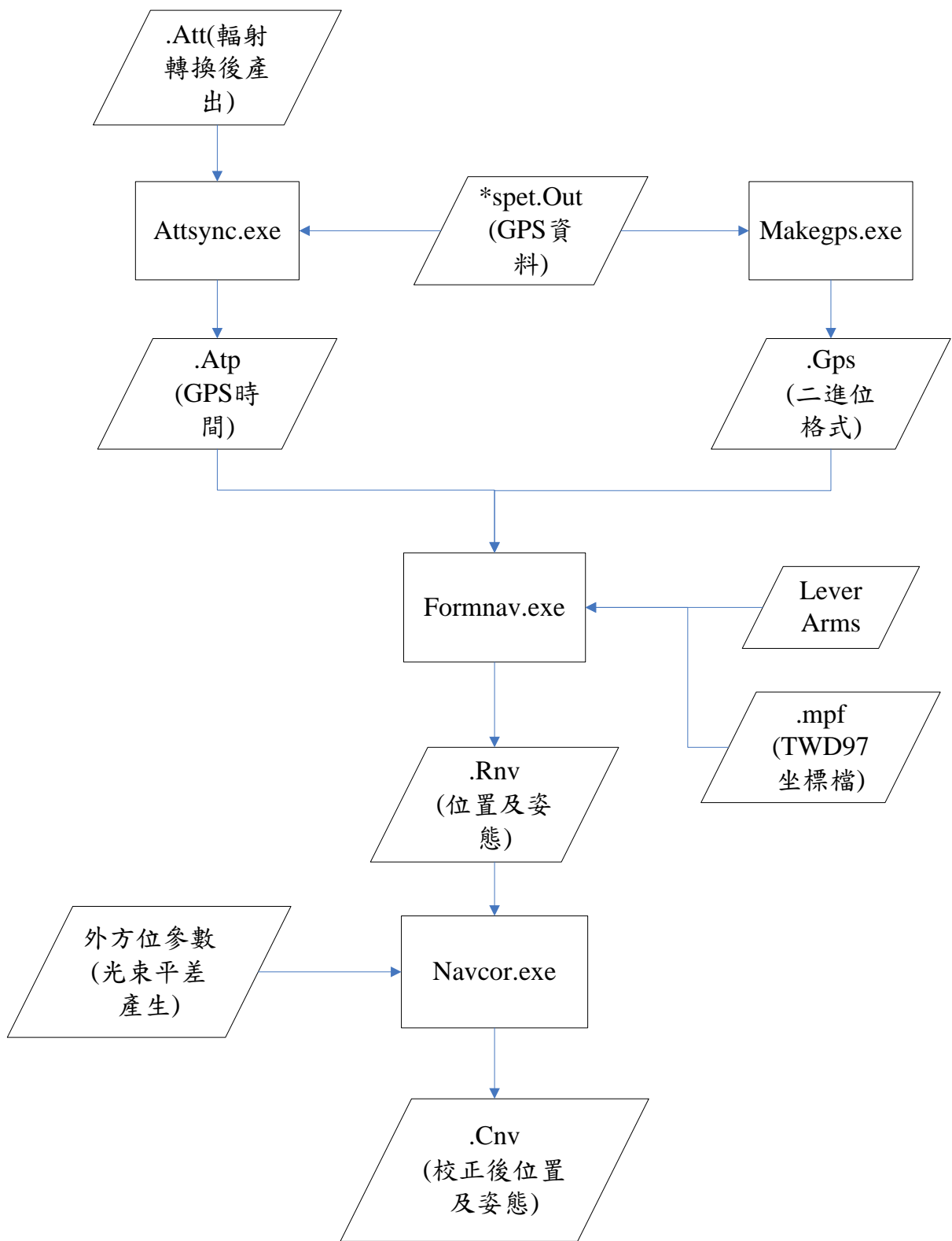


圖5 位置及姿態數據同步流程圖

1. 同步姿態資料，利用ITRES軟體產生一批次檔案(Attsync)，執行此批次檔案即將輻射校正中所產出之ATT檔案轉換成ATP檔案，ATP檔案的格式與ATT檔案格式相同，其目的是將CASI-1500時間轉換成GPS時間。
2. 轉換GPS資料，利用ITRES軟體產生一批次檔案(Makegps)，執行此批次檔即將GPS檔案轉換成標準二進位檔案格式(.gps)，並且將GPS位置轉換至WGS84系統。
3. 結合位置及姿態資料，加入LEVER ARMS資料並利用ITRES軟體產生一批次檔案(Formnav)，在此批次檔案中須將坐標系統改為TWD97系統以符合需求，執行此批次檔後則根據ATP檔的姿態資料以及GPS資料產生一RNV檔，RNV檔資料則結合了位置及姿態。
4. 調整航行資料，此步驟須加入由光束法平差產生的六個幾合偏移參數，利用ITRES軟體產生一批次檔案(Navcor)，執行此批次檔即將原始檔案(RNV)轉換成一校正過後之檔案(CNV)。光束法平差部份將於下一章節詳述之。

## 五、 光束法平差

光束法平差的目的為找出相機的幾合偏移量以及計算出CASI-1500的幾合參數(焦距以及像主點)。幾合偏移量為六個參數，分別為三個位置差量( $X_L, Y_L, Z_L$ )及三個方向差量(Roll、Pitch、Heading)。

而在進行光束法平差之前，須先找出各航帶之控制點(GCPs)及特徵點(Tie-points)的影像坐標，點選控制點及特徵點可利用軟體ENVI進行點選，並匯整成一文字檔，之後將此文字檔(.txt)利用ITRES軟體(Genbund)進行轉檔轉成\*.in檔，在\*.in檔中需給定實測控制點坐標位置以及原廠給定之校正檔，之後則利用此\*.in檔進行光束法平差率定。而在進行率定前需先給定焦距及像主點之初始值，其初始值分別為-2060(pixel)以及750(pixel)。

本次率定場約2km×1km，一共布設27個地面控制點，並挑選23個特徵點進行平差作業，其各個控制點、特徵點以及外業作情況如圖6及圖7。

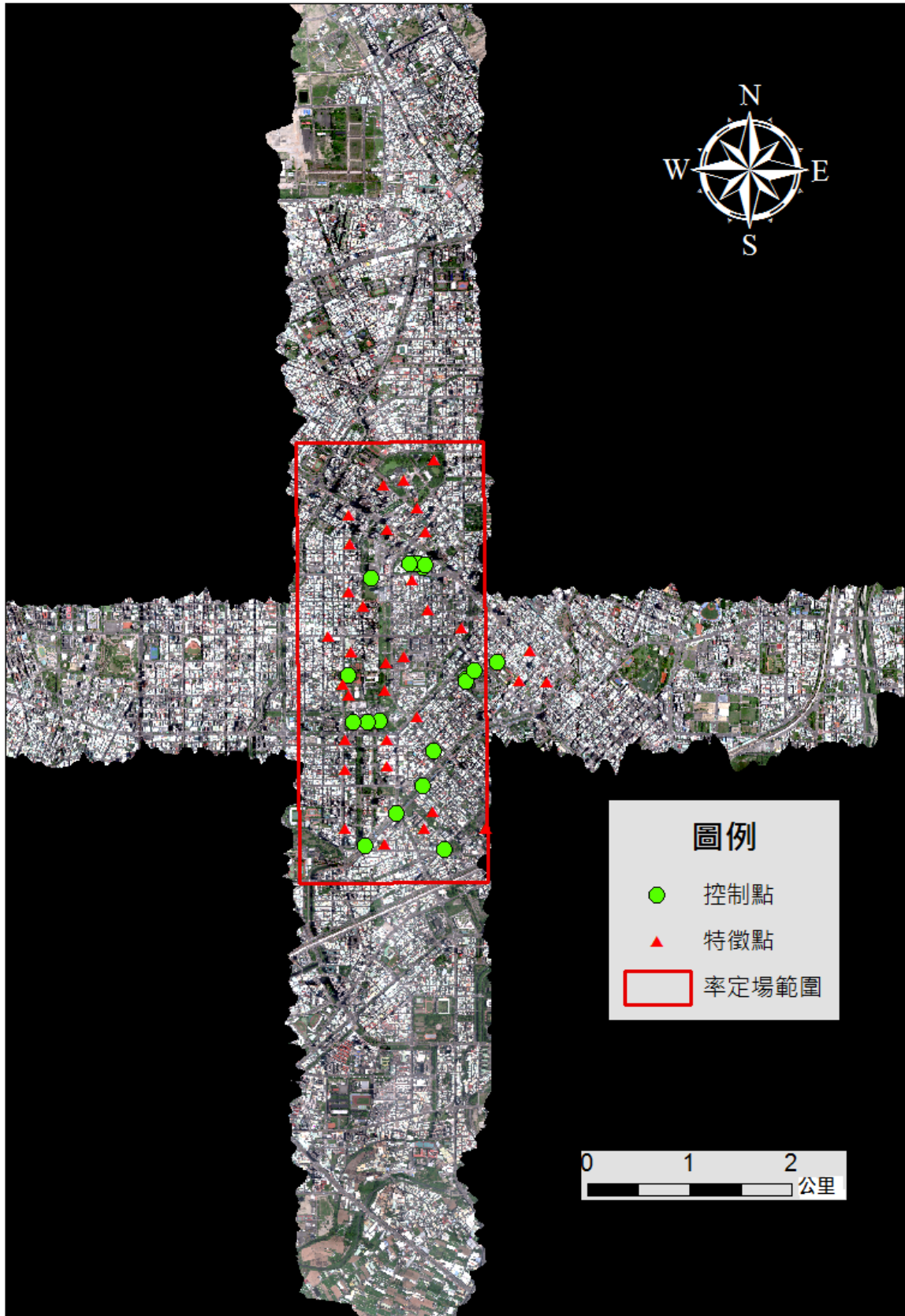


圖6 率定場控制點及特徵點分布





圖7(a) 外業操作情況(一)



圖7(b) 外業操作情況(二)

利用ITRES軟體進行光束法平差，可分為三個步驟：

1. 使用ITRES軟體(PBSbund)將上述所產生之\*.in檔使用正常模式產製出一\*.out檔，在\*.out檔中可判斷各控制點及特徵點精度之誤差，若出現誤差太大的點，則將\*.in檔中之誤差大的點去掉並重新執行正常模式，反覆執行直到誤差都位於許可範圍內即可，在誤差判斷中，一般以偏離三個像元為基準，大於三個像元則將此點去除。如圖8所示，若偏離像元數大於三，則於\*.out檔中會以\*號表示。

PHOTO: CASI\_2013\_07\_01\_014939.pix (strip: NOSTRIP, No. 3, Index 24)

ID	TYPE	CHANNEL	--- X --- (m)	--- Y --- (m)	--- Z --- (m)	-- rx -- (pix)	-- ry -- (pix)	Parallax (m)	
03	GCP	NAD	215888.311	2670669.112	97.464	0.376	0.743		
04	GCP	NAD	215799.184	2670657.967	94.649	1.237	-0.661		
05	GCP	NAD	215698.677	2670652.736	93.636	-1.089	-1.020		
12	GCP	NAD	216119.804	2671843.869	107.936	-3.181*	1.562		
13	GCP	NAD	215832.917	2671739.787	103.137	-1.989	1.447		
14	GCP	NAD	215920.747	2671558.420	100.468	-0.676	0.580		
17	GCP	NAD	215657.983	2671011.374	95.083	0.935	1.254		
24	GCP	NAD	215788.039	2669726.697	83.649	1.985	1.209		
TP04	PAS	NAD	215768.925	2671529.559	118.616	-0.545	0.824		
TP05	PAS	NAD	215681.250	2671192.701	120.842	-1.571	1.424		
TP06	PAS	NAD	215932.397	2669750.482	112.721	-1.563	-1.626		
TP07	PAS	NAD	215919.017	2670064.101	111.659	-0.711	-0.870		
TP09	PAS	NAD	215633.520	2670309.082	108.399	0.383	-0.291		
TP10	PAS	NAD	215949.600	2670532.220	119.079	0.216	0.288		
TP102	PAS	NAD	215919.137	2672438.297	145.128	-0.054	-0.104		
TP103	PAS	NAD	215947.763	2672104.651	135.105	-0.060	-0.072		
TP104	PAS	NAD	215705.310	2672428.547	134.392	-0.253	0.577		
TP11	PAS	NAD	215940.568	2670329.776	127.262	-3.178*	-3.594*		
TP21	PAS	NAD	215937.209	2671109.507	111.295	-0.509	0.246		
TP25	PAS	NAD	215661.744	2671641.908	120.296	-0.992	1.227		
TP34	PAS	NAD	215662.724	2672006.119	126.764	1.069	-1.247		
						-----	-----	-----	
						RMS	1.392	1.246	0.000

圖8 誤差判斷顯示

- 將第一個步驟修正完之\*.in檔案另存並選擇率訂模式進行第二次的輸出，輸出產生一\*.out檔，此\*.out檔內即可計算出內方位參數(焦距及像主點)如圖9，使用此內方位參數即可進行第三步驟。

```

*****
BLOCKWISE CALIBRATION PARAMETERS
*****
F:   -2088.465      (adjusted)      (index: 0)
KY:   0.999979
XP:   744.118      YP:   0.000
    
```

圖9 率定作業計算出之內方位參數(焦距及像主點)

- 將步驟二計算出之內方位參數於\*.in檔案中將初始值進行改正，此時檔案為最後一次輸入檔，再利用ITRES軟體選擇正常模式進行輸出，最後計算出第三階段之\*.out檔，此時便可由此檔案得到相機之六個幾何偏移參數，此率定值可用於拆機前之所有高光譜任務軌跡中，以便直接獲取高光譜真正像主點之位置及姿態，如
- 本次率訂計算出之內方位參數以及六個幾何偏移參數如表1，圖11為光束法平差流程圖。

表1 本次率定所使用之內方位參數及幾何偏移參數

內方位 參數	焦距(pixel)			像主點(pixel)		
	-2088.465			744.118		
幾何偏 移參數	X <sub>L</sub> (m)	Y <sub>L</sub> (m)	Z <sub>L</sub> (m)	ω (deg)	φ (deg)	κ (deg)
	0.057	-0.038	-0.099	0.234	-0.018	0.352

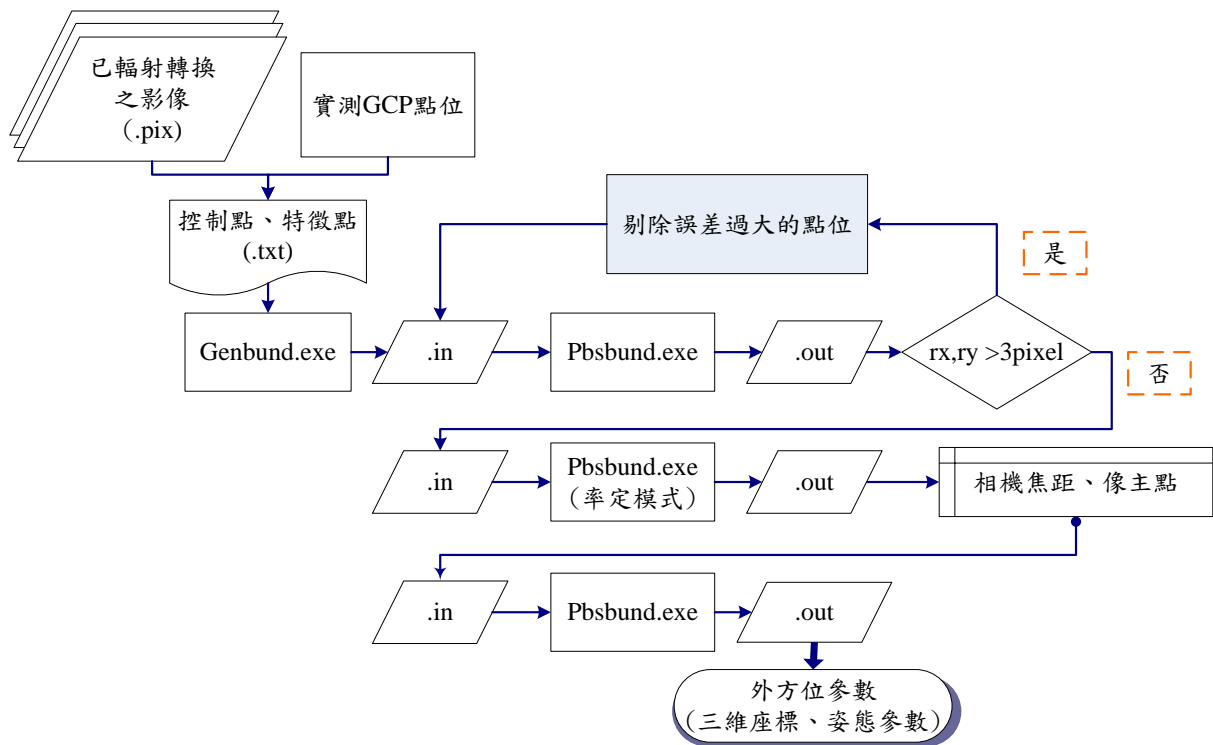


圖 11 光束平差流程圖

## 六、幾何校正

將上述率定參數，結合數值地形模型(DEM)即可給予真實地表高程進行幾何校正，利用ITRES軟體產生一批次檔案(Geocor)，執行此批次檔，計算時會加入先前所產出之位置及姿態資料(CNV檔案)進行校正，最後產製出之PIX檔案即具有絕對坐標之幾何校正影像，圖12和圖13為校正前後之影像，可知校正後之影像不在扭曲變形。

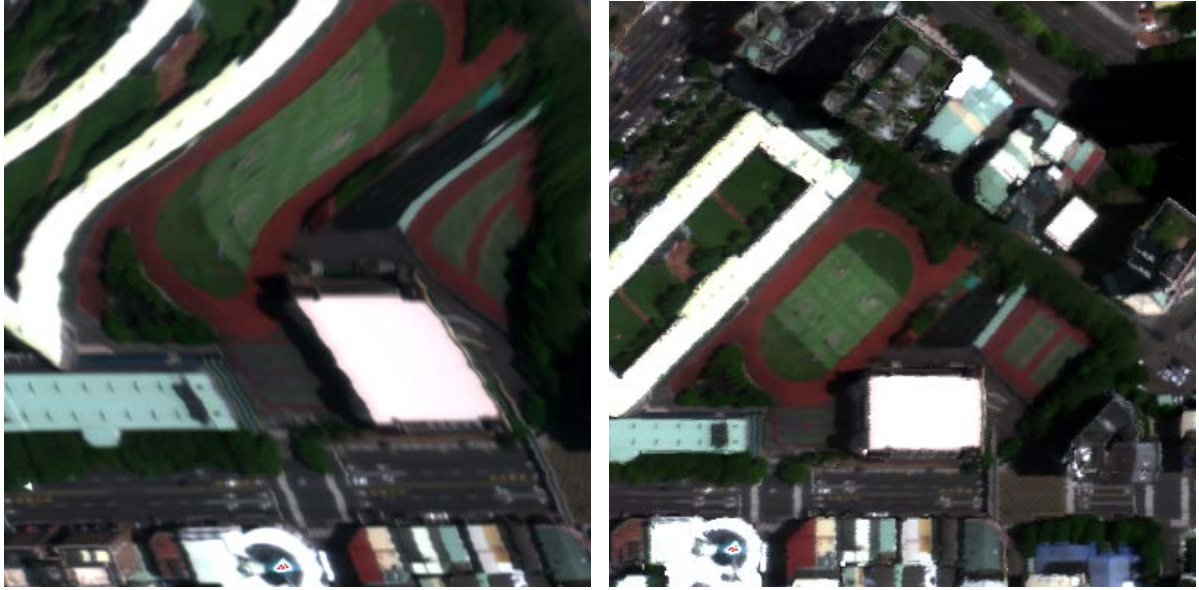


圖 12 幾何校正前(左圖)、後(右圖)影像

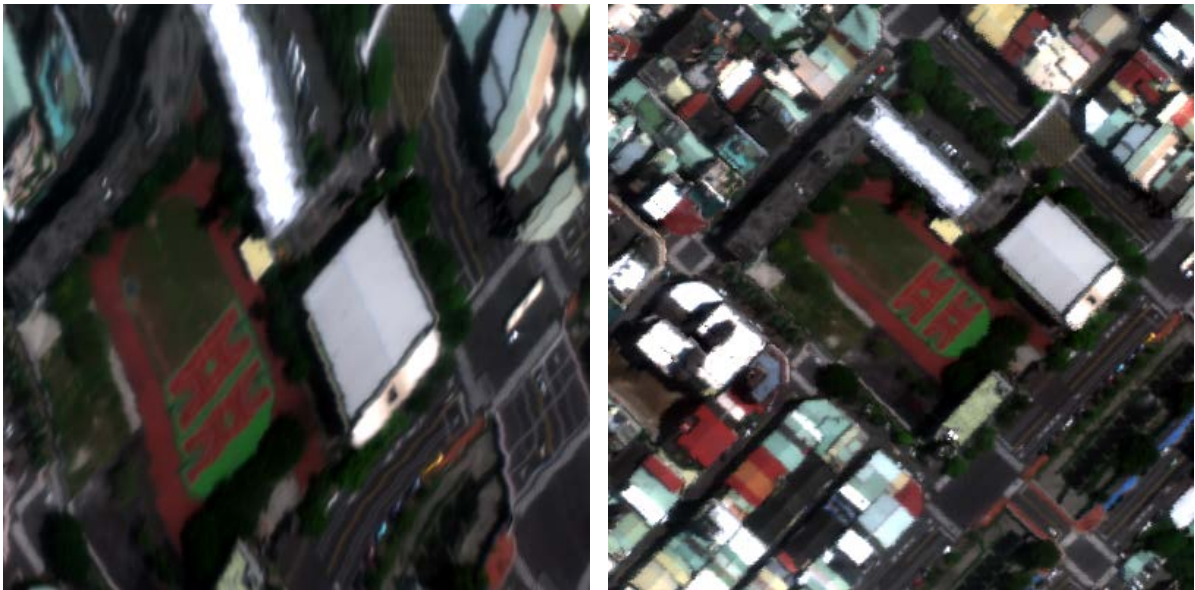


圖 13 幾何校正前(左圖)、後(右圖)影像

附件:光學率定報告證明



**CASI-1500 Instrument Certification #561**

**Date:** May 24, 2013  
**Serial number:** 2528  
**Customer:** Chung Hsing Surveying Co. Ltd.  
159 Chung-jen Street, West District  
Taichung 403 Taiwan R.O.C.

- 1. Spectral Range: 364 - 1051 nm
- 2. g-coefficients: g0 = 1049.9829  
g1 = -2.3857840  
g2 = 1.3576877e-005  
g3 = -5.0429075e-008
- 3. Gain: 77.68 e-/DN Left  
80.71 e-/DN Right
- 4. Noise Floor: 114.79 e- Left  
123.65 e- Right
- 5. Peak Sensitivity: 2036 DN/SRU-s-pixel @ 849.6 nm  
3058 DN/SRU-s-pixel @ 649.3 nm  
2140 DN/SRU-s-pixel @ 451.2 nm
- 6. CCD Temperature: 293 °K
- 7. Dark current generation rate:

Region	Left Side	Right Side
IR	0.34	0.37
Red	0.54	0.55
Blue	0.53	0.55

(DN/ms/pixel)

- 8. Spectrograph Alignment: axis: alignment:  
Spatial ±0.05 spectral pixels across  
1500 spatial pixels  
Spectral ±0.33 spatial pixels across  
288 spectral pixels

- 9. Image Pixels: 1500
- 10. Tracable Light Standard: Labsphere LR-20-M-C-M-ITRES # 77139- Lamp 2

**Calibrated By:** BS  
**Verified By:** JS

**Date:** May 24 2013  
**Date:** May 24<sup>th</sup> 2013

參考文獻：

徐百輝(2007) 大地的辨識密碼—高光譜影像，科學發展，416：13

## 附件四

**中興測量有限公司 Optech Pegasus HD400  
及 ITRES CASI 1500 飛航掃瞄報告書**

## 目 錄

壹、	作業規範及工作執行進展.....	1
一、	作業規範與流程.....	1
二、	飛航計畫.....	2
(一)	飛航申請.....	2
(二)	航線規劃.....	2
(三)	GPS 基站規劃.....	5
貳、	控制測量.....	6
一、	平面控制測量.....	6
二、	高程控制測量.....	10
參、	飛航成果.....	11
一、	資料整理備份：.....	13
二、	飛航掃瞄航跡 POS 解算：.....	13
三、	原始點雲及全波形資料產出與檢核.....	26
肆、	航拍影像處理.....	27
一、	作業區域航拍工作.....	27
二、	航拍影像處理.....	27
三、	空中三角測量.....	28
四、	彩色無縫鑲嵌正射影像圖製作.....	29



## 圖目錄

圖 1-1	作業執行流程 .....	1
圖 1-2	航線規劃圖 .....	4
圖 2-1	本案測試區平面控制點分布圖 .....	6
圖 2-2	本案測試區平面控制網型圖 .....	7
圖 2-3	Bernese 軟體計算流程圖 .....	9
圖 3-1	空載雷射掃瞄資料處理作業流程 .....	11
圖 3-2	軌跡解算作業流程 .....	12
圖 3-4	7 月 23 日接收衛星顆數圖 .....	15
圖 3-5	7 月 23 日 PDOP 值成果圖 .....	15
圖 3-6	7 月 23 日飛航軌跡成果精度圖 .....	16
圖 3-8	7 月 24 日接收衛星顆數圖 .....	16
圖 3-9	7 月 24 日 PDOP 值成果圖 .....	17
圖 3-10	7 月 24 日飛航軌跡成果精度圖 .....	17
圖 3-12	7 月 25 日接收衛星顆數圖 .....	18
圖 3-13	7 月 25 日 PDOP 值成果圖 .....	18
圖 3-14	7 月 25 日飛航軌跡成果精度圖 .....	19
圖 3-15	7 月 23-24 日掃瞄航線圖 .....	20
圖 3-17	7 月 25 日掃瞄航線圖 .....	21
圖 3-18	光達掃瞄成果點雲涵蓋圖 .....	26
圖 4-1	影像色調調整情形 .....	28
圖 4-2	集水區特徵點匹配示意圖 .....	29

## 表目錄

表 1-1	Pegasus 飛航規劃參數表 .....	3
表 1-2	CASI1500 飛航規劃參數表 .....	4
表 2-1	已知控制點及 GPS 主站一覽表 .....	6
表 2-2	GPS 主站坐標一覽表(單位：公尺) .....	10
表 2-3	GPS 主站坐標一覽表(單位：公尺) .....	10
表 3-1	各飛航架次作業時間及地點 .....	12
表 3-2	基站資訊 .....	13
表 3-3	飛航軌跡解算成果 .....	14
表 3-4	光達各條航線掃瞄參數表 .....	22
表 3-4	光達各條航線掃瞄參數表 .....	23
表 3-5	高光譜各條航線掃瞄參數表 .....	24
表 3-6	單一航線掃瞄參數表 .....	25

# 壹、作業規範及工作執行進展

## 一、作業規範與流程

本團隊為完成「102 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案」，依據作業規範及作業內容研訂相關作業流程，如圖 1-1 所示，期中報告內容為說明前四項執行狀況；茲分別說明如後。

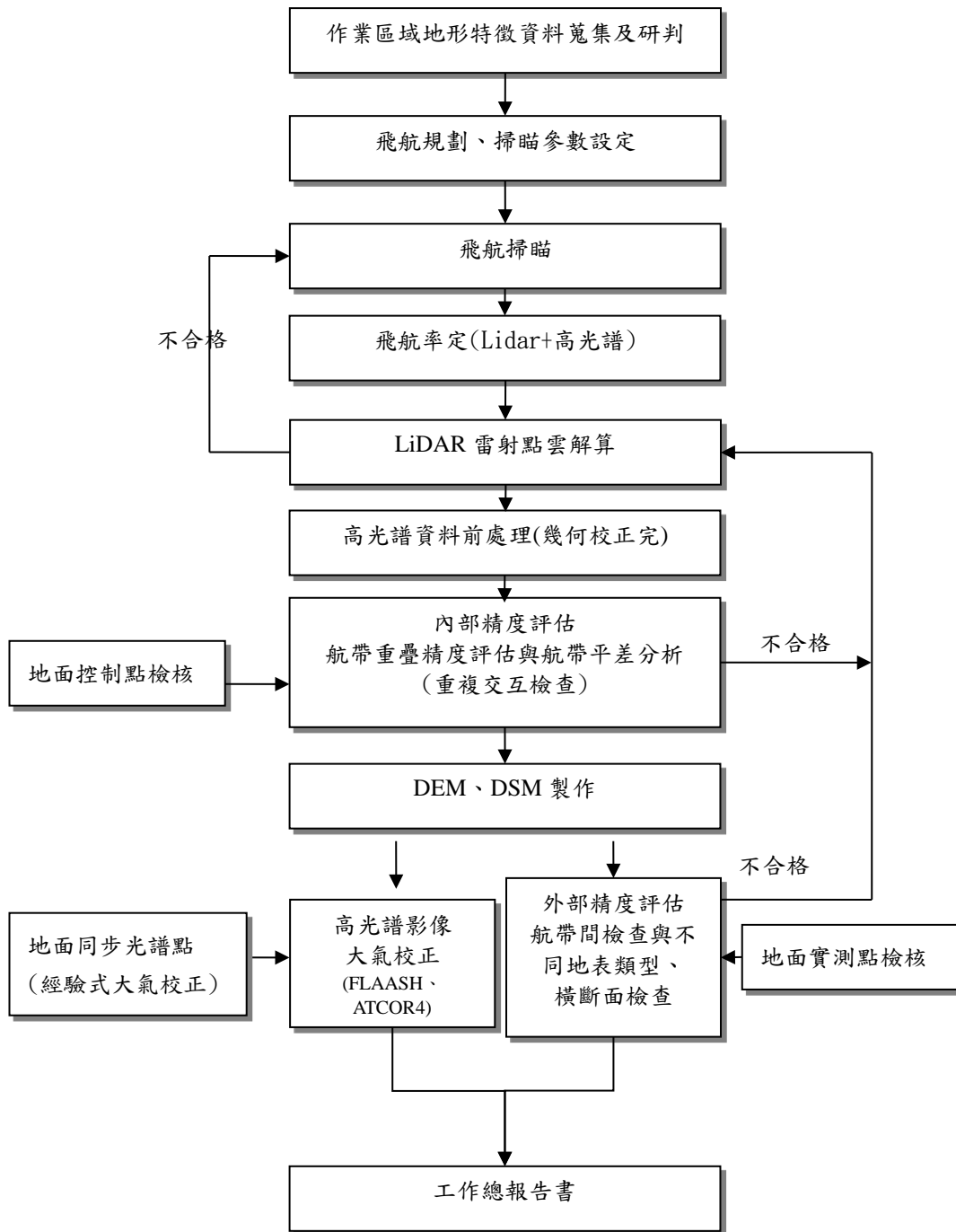


圖 1-1 作業執行流程

## 二、飛航計畫

### (一) 飛航申請

本計畫為符合內政部「航空攝影與遙感探測管理實施規則」相關規定，特於飛航掃瞄前向民航局主管單位及內政部提出飛航計畫申請。本團隊於 102 年 2 月 26 日檢送內政部攝航實施計畫書((102)中興測字第 044 號函)，並經內政部 102 年 4 月 2 日台內地字第 1020152251 號函同意。第一次飛航申請時間至六月底，由於高光譜儀器回原廠進行光學率定，無法趕上第一次飛航作業日期，因此再補行第二次飛航申請。第二次飛航申請經由 102 年 4 月 10 號補行內政部攝航實施計畫書((102)中興測字第 177 號函)，並經內政部 102 年 6 月 1 日台內地字第 1020020279 號函同意。俟本案航空測量攝影或遙感探測之飛航許可後，配合天候及測試區之環境狀況，辦理本案飛航掃瞄作業。

### (二) 航線規劃

本案飛航規劃以涵蓋整個測區之最大蒐集面積為原則，本計畫採用 ALTM Pegasus 雷射掃瞄儀以及 ITRES CASI1500 進行高光譜作業，而在進行飛航規劃時，除需依據規範要求，並搭配今年研究案需求，如雷射點雲密度、航帶重疊比例等，進行設定與計算，主要重點包括以下：

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. 載具飛行速度：依據選用載具而定，一般為 216km/hr。
3. 雷射回波觀測數目：每個雷射脈衝，記錄第一回波、第二、第三及最後回波四個回波觀測數。
4. 掃瞄旋角視域 (Field of View, FOV)：從 0 度，最大到 50 度 ( $\pm 25$  度)，一般作業採  $\pm 7 \sim \pm 20$  度。
5. 掃瞄鏡轉動頻率：每秒掃瞄線的次數，與掃瞄速度、掃瞄旋角視域有關，若以 Z 字型軌跡雙向掃瞄方式而言，雙向來回掃瞄算一次，最小約 50 Hz，最高達 200 Hz
6. 雷射脈衝率：雷射每秒量測的點數，本儀器 150 kHz。
7. GPS 資料率：1 Hz 數據量最常使用。
8. 掃瞄帶寬 (Swath width)：與掃瞄旋角視域 FOV、航高限制有關。

本儀器最寬掃瞄帶寬為  $0.93 \times$  航高。

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

式中 SW 帶寬，h 離地表起算航高， $\theta$  掃瞄旋角視域

9. Across-track spacing：垂直飛行方向測點取樣間距，本案設定為小於 1 m。

$$dx_{cross} = 2SW(f_{sc} / F) \quad (2-2)$$

式中  $dx_{cross}$  垂直飛行方向測點取樣間距，SW 帶寬， $f_{sc}$  為掃瞄鏡轉動頻率（來回雙向算一次），F 為雷射脈衝率。

10. Along-track spacing：飛行方向測點取樣間距，本案設定為小於 1m。

$$dx_{along} = v / 2f_{sc} \quad (2-3)$$

式中  $dx_{along}$  飛行方向測點取樣間距，v 航速， $f_{sc}$  為掃瞄鏡轉動頻率。

把握以上原則，本測區今年之航線規畫如表 1-1 及表 1-2，以天氣良好為最基本考量，進行飛航掃瞄任務，並以約 1200-2400 公尺之離地高(Above Ground Level, AGL) 並以 FOV 角正負 9 度進行掃描，確保完整獲得地表資訊。此外根據今年研究案之需求，規劃雷射點密度約為每平方公尺 5.2 點，航帶重疊率約為 60%，則每平方公尺平均約可獲取 10 點。航線規劃參照圖 1-2。

根據圖 1-2 中可知黃色線為不同變化之單一航線，意在對照表 1-1 中單一航線參數，此航線主要在測試不同航高與不同 pulse rate 對於穿透率之影響，不同航高與不同 pulse rate 對穿透率之影響說明可參見報告書內文。

表 1-1 Pegasus 飛航規劃參數表

飛航區域	航線數	最高(m)	最低(m)	離地高(m)	航高(m)	航速(KTS)	掃瞄角度(deg.)	雷射脈衝率(KHz)	掃描頻率(Hz)	掃描帶寬(m)	重疊帶寬(%)	點雲密度(點/米)
<b>測試區全區</b>												
A	34	930	250	1500	1800	100	±9	150	40	475.15	60	5.2
B	3	1000	530	1500	2100	100	±9	150	40	475.15	60	5.2
Cross	2	930	250	1500	2200	100	±9	150	40	475.15	60	5.2
Total	39	總公里數：162 km				A 為測區高光譜與光達作業掃瞄;B 為測區最右邊地勢較高的 3 條航線						
<b>單一航線</b>												
不同航高	1	930	250	2400	2700	100	±20	100	40	1747.06		0.7
	1	930	250	2100	2400	100	±20	100	40	1528.67		0.9
	1	930	250	1800	2100	100	±20	100	40	1310.29		1.0
	1	930	250	1500	1800	100	±20	100	40	1091.91		1.2

	1	930	250	1200	1500	100	±20	100	40	873.53		1.5
不同 Pulse rate	1	930	250	1200	1500	100	±20	100	40	873.53		1.5
	1	930	250	1200	1500	100	±20	150	40	873.53		2.2
	1	930	250	1200	1500	100	±20	200	40	873.53		3.0
	1	930	250	1200	1500	100	±20	250	40	873.53		4.4
	1	930	250	1200	1500	100	±20	300	40	873.53		6.5
	Total	10	總公里數：50km			總飛行時數：約計 7 小時						

表 1-2 CASI1500 飛航規劃參數表

航線 編號	航線 數	最高 (m)	最低 (m)	離地 高 (m)	航高 (KTS)	航速 (KTS)	掃 瞄 角 度 (deg.)	波 段 數	掃 瞄 線 速 率 IT (ms)	掃 描 帶 寬(m)	重 疊 帶 寬 (overlap)	
2-24 (雙數)	12	900	250	1800	1800	100	±20	72	9	850M	40%	
Total	12	總公里數:178			總飛行時間：2 小時 10 分(不包含起飛落地與飛渡測區)							

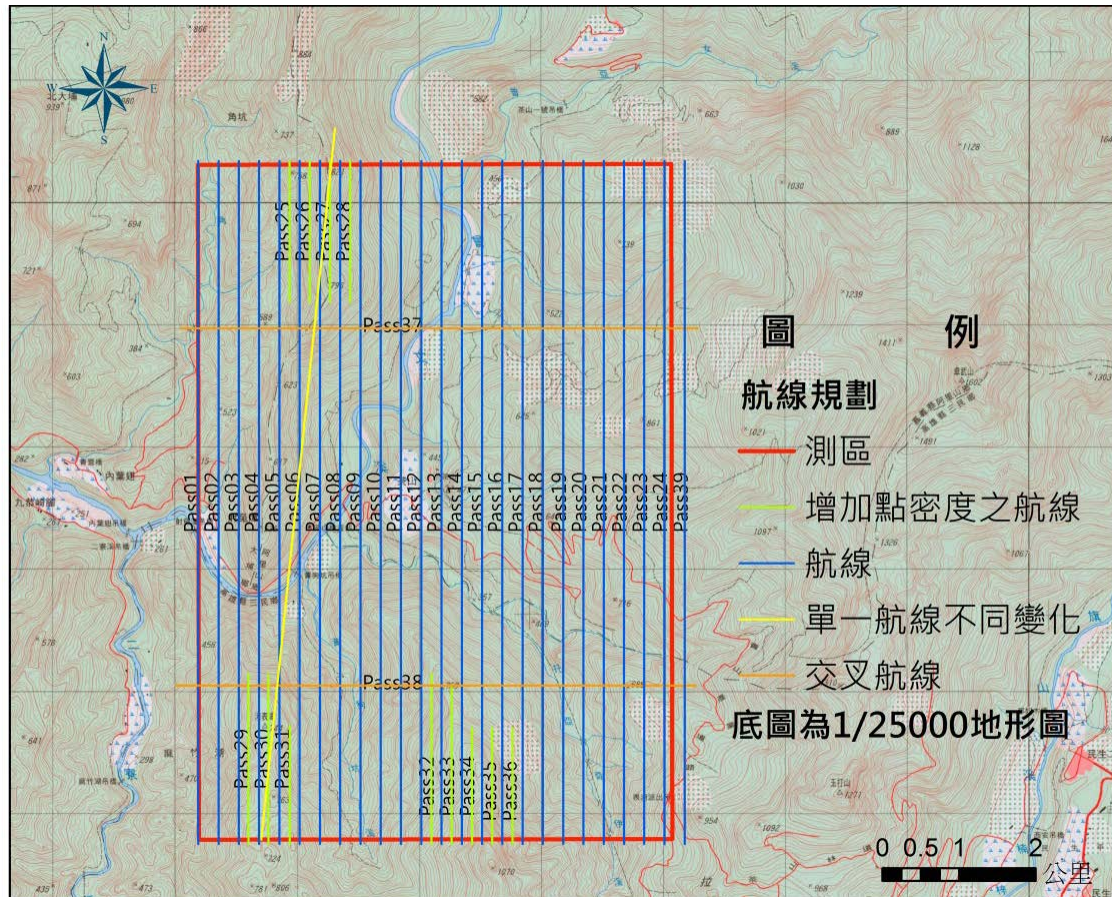


圖 1-2 航線規劃圖

### (三) GPS 基站規劃

地面控制點於飛航掃瞄時應維持每條航線至少有 2 個 GPS 基站同步接收 GPS 觀測量，基站與航線範圍應小於 20 公里。其設置處應透空良好並避開車輛、電塔與基地台等干擾位置，且接收訊號有多路徑反射效應亦應避免並同時製作完整之測量紀錄。

交叉飛航數據(Cross Line)作業區域各條航線之頭尾皆須有交叉檢核航線及各條航線每隔至多 25 公里，應增加垂直各航線之交叉飛航掃瞄。

本計畫沿用去年地面控制規畫部分成果，並於今年繼續使用 GS67、GS64 作為測區解算主站，並與已知點檢測同時進行長時間 GPS 測量以確保坐標成果一致性，所有基站及已知點均為固定站，依序為 WULU、GS07、GS42、GS64、GS67。

## 貳、控制測量

### 一、平面控制測量

為配合 LiDAR 飛航作業，地面控制點於飛航掃瞄前應維持至少有兩個 GPS 基站同步接收 GPS 觀測量，基站與航線範圍應小於 20 公里，其設置處應透空良好且無訊號干擾之虞。

工作案採用經濟部中央地質調查所 GS64 及 GS67 等 2 個 GPS 連續觀測站資料作為測區主站，另於外圍選定 3 個已知控制點(WULU、GS07、GS42)一併連測檢核，以計算 GPS 主站坐標及確保主站坐標之正確性，此五個測站皆為每秒 1 筆的 24 小時連續觀測資料。使用之已知控制點及 GPS 主站詳列於表 2-1，其分布情形參照圖 2-1。此外，其控制網型圖如 2-2。

表 2-1 已知控制點及 GPS 主站一覽表

測區	設立單位	等級	點名	點號	備註
水庫集水區測試區	交通部中央氣象局	衛星追蹤站	霧鹿	WULU	
		一等衛星控制點	培英國小	GS07	
	經濟部中央地質調查所	一等衛星控制點	東原國中	GS42	
		GPS 連續站	里佳國小	GS64	測區主站
		GPS 連續站	新美國小	GS67	測區主站

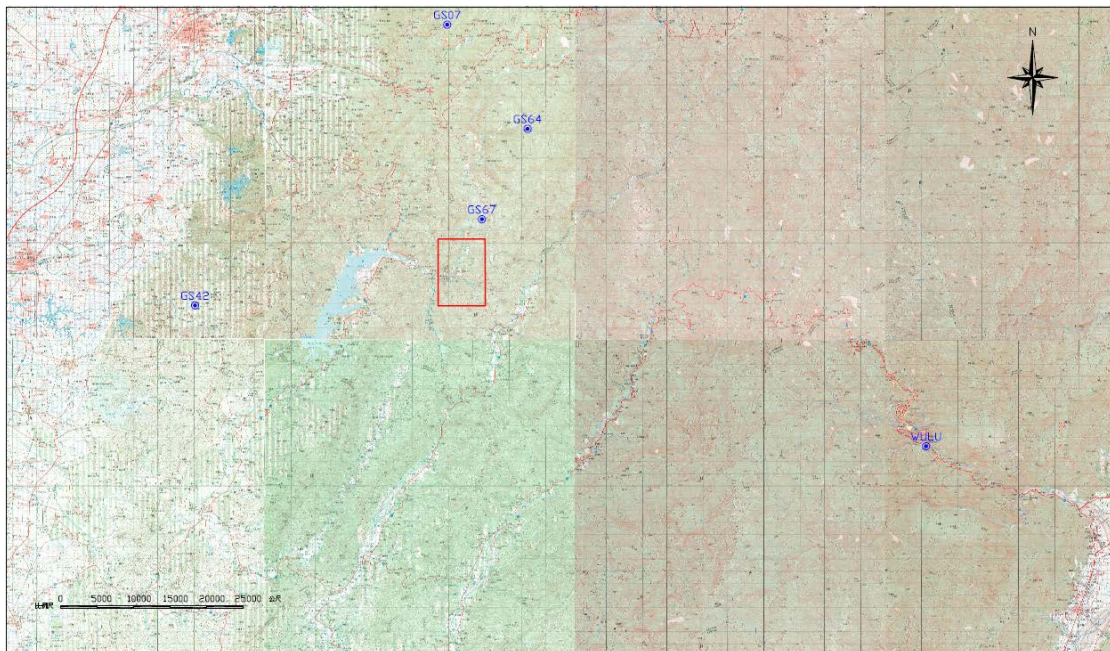


圖 2-1 本案測試區平面控制點分布圖

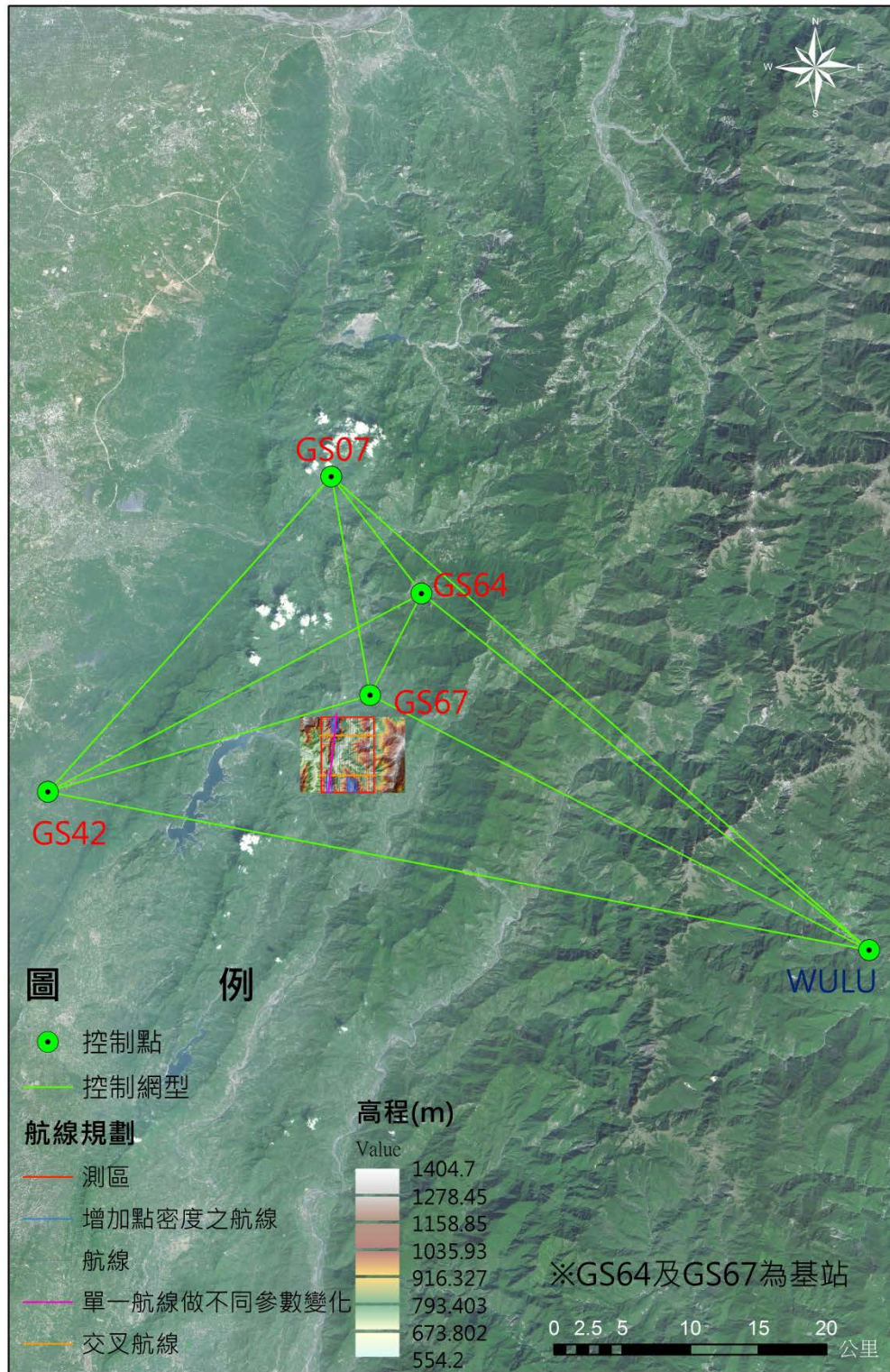


圖 2-2 本案測試區平面控制網型圖

本研究使用之坐標系統採內政部公告之一九九七坐標系統之 2010 年成果 (簡稱：TWD97【2010】)，檢測方式為同時申請 2013 年 4 月 21 日的資料，利用 Bernese 軟體計算其成果，其計算流程參照圖 2-3，相關參數設定如下：



- (1) 極運動改正：採用 IERS (International Earth Rotation Service) 公布值 (C04\_\*\*\*\*.erp; \*\*\*\*表西元年)，將 UTC 與 UT1 之差值加以修正之，並將坐標值由瞬間之極坐標系修正至 J2000 平均極 (CIO) 坐標系上。
- (2) 引力位模式：採用 GEM-T3(8x8)，其中； $C_{21} = -0.17 \times 10^{-9}$ ， $S_{21} = 1.19 \times 10^{-9}$ ， $GM = 398600.4415 \text{ km}^3 / \text{s}^2$ ，日、月引力及地球固體潮 (solidearthtide) 也加以考慮。
- (3) 對流層折射改正：採用 Hopfield 模式 (Hopfield, 1971)，以海平面標準氣象資料，溫度  $18^\circ\text{C}$ ，相對溼度 50%，大氣壓力 1013.25mbar，推求各測站的對流層改正起始值，並引用大氣資料進行對流層折射影響量的改正參數。以各測站每 2 小時增加 1 個參數之方式，加以吸收殘留的對流層折射誤差。
- (4) 計算時採用仰角 10 度以上的觀測資料，此乃為避免在低仰角觀測時伴隨的較大雜訊 (noise and multipath) 所造成之影響。
- (5) 整數週波未定值求解過程，乃先利用實數解求得一精確之坐標 (或利用以前計算過之坐標值)，然後採用 QIF (Quasi Ionosphere-Free) 方法，求得  $L_1$  和  $L_2$  的整數週波未定值，再組成無電離層 (ionosphere free) 效應觀測量  $L_3$ ，並將解得  $L_1$  和  $L_2$  的整數週波未定值代入無電離層效應之觀測方程式中，開始求解其餘各未知參數。

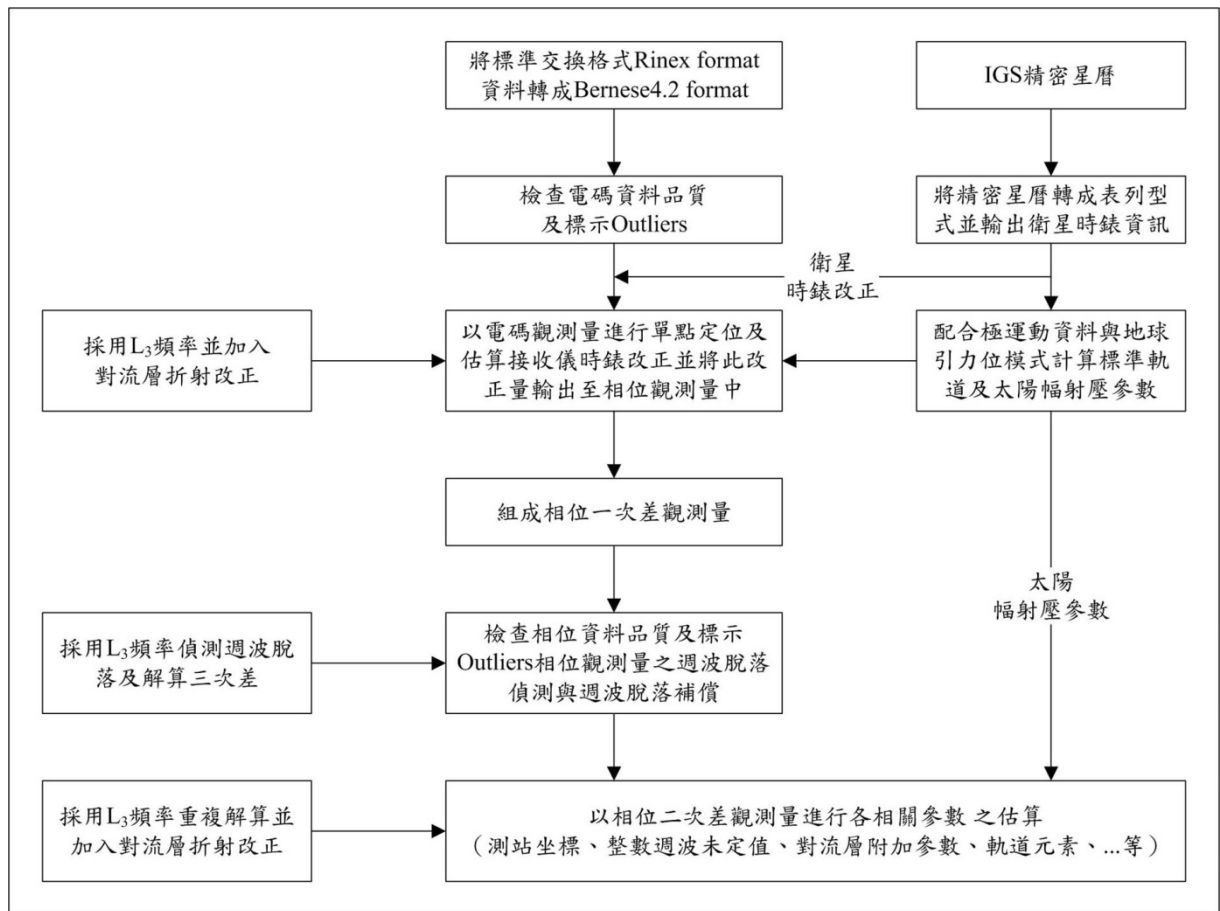


圖 2-3 Bernese 軟體計算流程圖

計算成果如表 2-2 所示，接著檢核計算後之成果其坐標是否符合國土測繪法加密控制測量之精度，其與公告之 TWD97【2010】坐標反算之成果應符合以下要求：

- (1) 基線水平分量差值應小於等於  $30mm + 6 \times 10^{-6}L$  (L 為基線長；單位為 mm)。
- (2) 基線垂直分量差值應小於等於  $75mm + 15 \times 10^{-6}L$  (L 為基線長；單位為 mm)。

實際檢測結果如表 2-3，其精度均能符合規範之要求，因此後續於測試區主站(GS64、GS67)直接引用已知之 TWD97【2010】坐標作為基準。

表 2-2 GPS 主站坐標一覽表(單位：公尺)

點號	公告坐標			實測坐標			較差		
	E	N	H	E	N	H	E	N	H
WULU	2563026.722	254246.418	928.242	2563026.724	254246.418	928.242	-0.002	0.000	0.000
GS07	2597800.530	214742.873	698.298	2597800.513	214742.922	698.292	0.017	-0.049	0.006
GS42	2574644.725	193937.706	133.521	2574644.706	193937.754	133.501	0.019	-0.048	0.020
GS64	2589213.402	221372.890	1105.987	2589213.386	221372.917	1105.971	0.016	-0.027	0.016
GS67	2581751.201	217604.079	600.386	2581751.183	217604.106	600.361	0.018	-0.027	0.025

表 2-3 GPS 主站坐標一覽表(單位：公尺)

序號	起始測站	結束測站	實測基線長		成果反算基線長		基線較差		較差合格標準		合格 <input checked="" type="checkbox"/>
			水平分量	垂直分量	水平分量	垂直分量	水平分量	垂直分量	水平分量	垂直分量	
1	GS07	GS42	31129.510	-564.791	31129.508	-564.777	0.002	-0.014	0.217	0.542	<input checked="" type="checkbox"/>
2	GS07	GS64	10848.760	407.679	10848.774	407.689	-0.014	-0.010	0.095	0.238	<input checked="" type="checkbox"/>
3	GS07	GS67	16302.372	-97.931	16302.376	-97.912	-0.003	-0.019	0.128	0.320	<input checked="" type="checkbox"/>
4	GS07	WULU	52628.345	229.950	52628.394	229.944	-0.049	0.006	0.346	0.865	<input checked="" type="checkbox"/>
5	GS42	GS64	31063.397	972.470	31063.414	972.466	-0.017	0.004	0.217	0.541	<input checked="" type="checkbox"/>
6	GS42	GS67	24710.286	466.860	24710.306	466.865	-0.020	-0.006	0.178	0.446	<input checked="" type="checkbox"/>
7	GS42	WULU	61417.526	794.741	61417.577	794.721	-0.051	0.020	0.399	0.996	<input checked="" type="checkbox"/>
8	GS64	GS67	8359.928	-505.611	8359.927	-505.601	0.001	-0.010	0.080	0.201	<input checked="" type="checkbox"/>
9	GS64	WULU	42028.661	-177.729	42028.693	-177.745	-0.032	0.016	0.282	0.706	<input checked="" type="checkbox"/>
10	GS67	WULU	41149.295	327.882	41149.327	327.856	-0.032	0.026	0.277	0.692	<input checked="" type="checkbox"/>

## 二、高程控制測量

本案於去年度「101 年度高光譜與光達技術結合之應用工作案」一案已完成高程控制測量，且依照前述 GPS 施測檢核成果，其垂直分量的較差在合格標準內，合乎規範，因此測試區內主站 GS67 正高為 76.109m (2012，內政部)。

### 參、 飛航成果

本案之飛航時間為 7 月 23 日至 7 月 25 日，7 月 23 日執行光達作業掃瞄，但礙於掃瞄時某些航線開始起雲，因此只能先針對無雲之航線進行掃瞄。7 月 24 日為高光譜掃瞄架次，高光譜掃瞄完後，補行 7 月 23 日剩餘之航線。7 月 25 日為最後單一航線不同掃瞄參數之飛行架次，並於 25 日完成所有飛航作業。

空載 LiDAR 資料前處理作業包括原始資料整理備份、飛航掃瞄航跡 POS 解算及 LiDAR 原始點雲產出，此三部分掃瞄資料處理作業流程如圖 3-1。

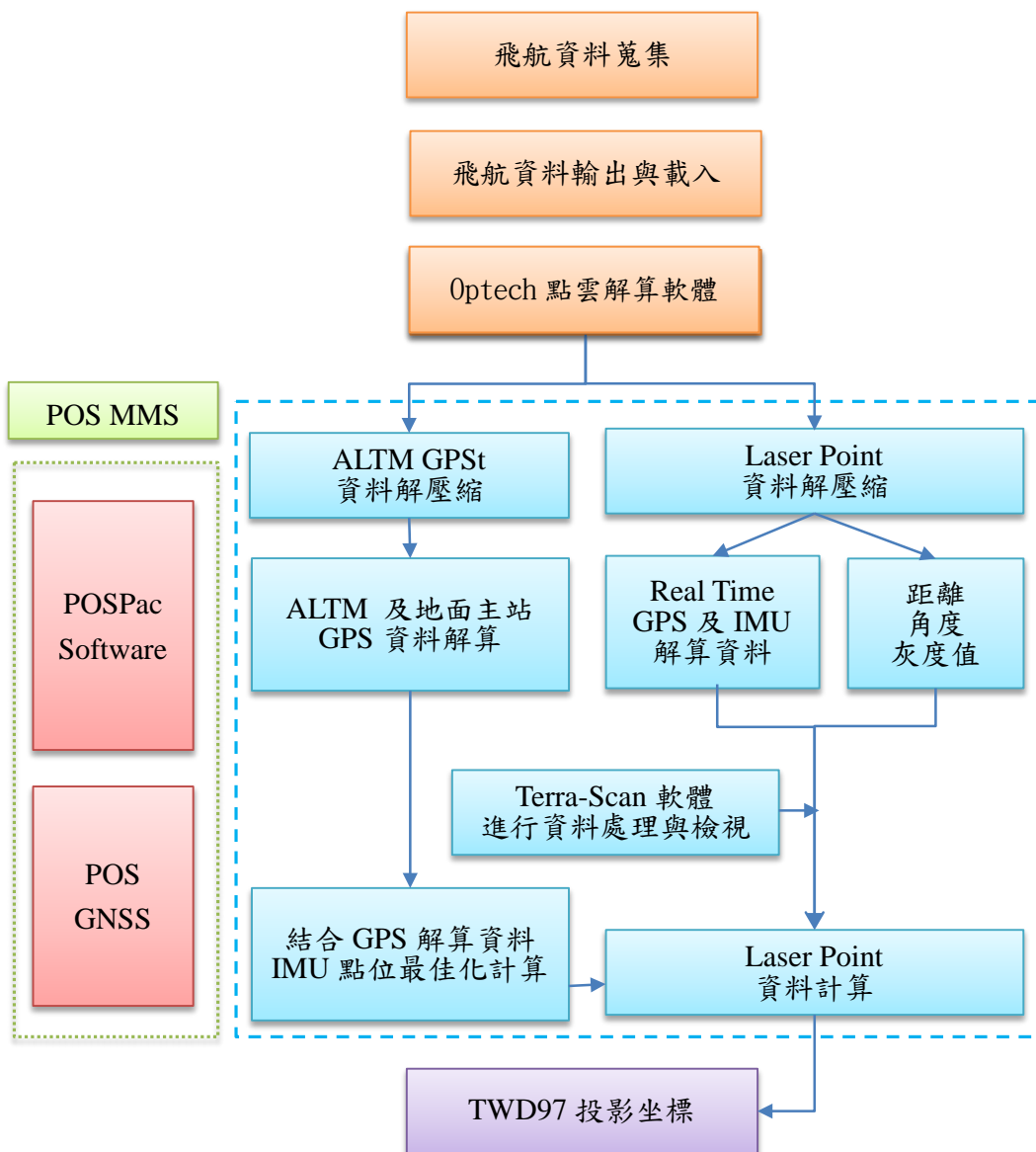


圖 3-1 空載雷射掃瞄資料處理作業流程

飛航任務掃瞄前，需先將航線規劃資料輸入導航系統中，飛行員前置至作業完備，升空後將依照規劃路徑飛行。飛機升空後，操作人員依 LiDAR 及高光譜儀器標準作業程序操作設備逐條獲取原始光達掃瞄及光譜資料，並逐條記錄航線原始相關資料。本次飛航掃瞄作業時間於 102 年 7 月 23 日至 7 月 25 日共計三天，各架次之作業時間如表 3-1 所示。

表 3-1 各飛航架次作業時間及地點

作業日期	飛航執行時間	使用基站	航線數	主要執行使用儀器
20130723	07:55:26~11:09:46	GS64 GS67	18	Pegasus+WF
20130724	08:43:21~11:47:56	GS64 GS67	39	CASI +Pegasus+WF
20130725	07:17:30~10:23:27	GS64 GS67	10	Pegasus+WF

根據上述空載 LiDAR 資料處理作業可知分為資料整理備份、飛航掃瞄航跡 POS 解算及原始點雲及全波形資料產出與檢核等三個部分，其中軌跡解算過程又可以流程圖 3-2 所示。

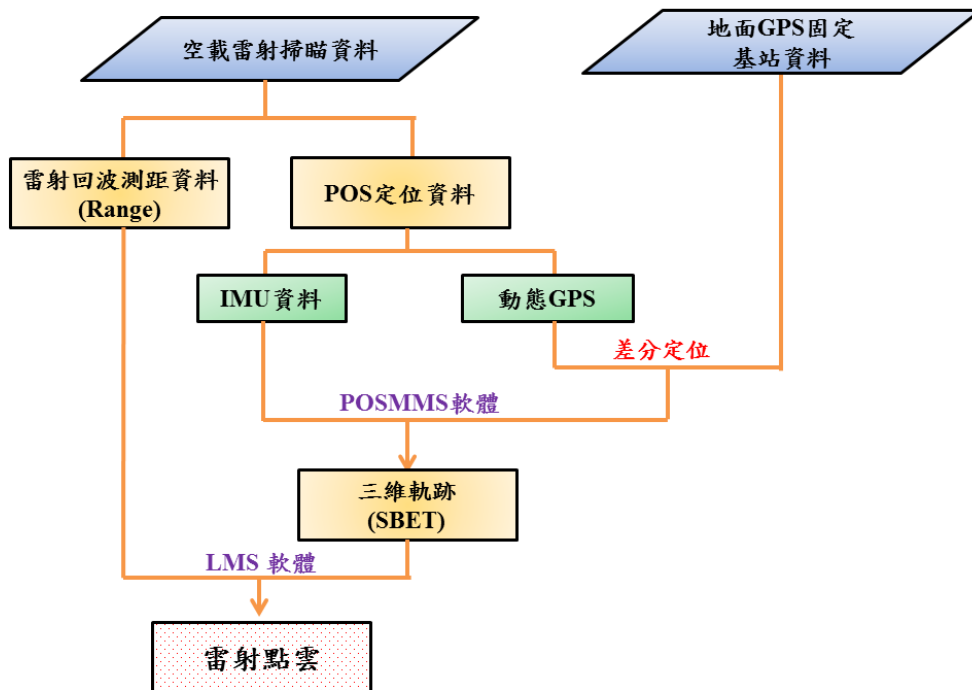


圖 3-2 軌跡解算作業流程

空載 LiDAR 資料處理作業過程又可分為以下步驟進行詳述：

#### 一、資料整理備份：

- (1) 蒐集彙整地面 GPS 固定基站資料。
- (2) 下載 LiDAR 載體動態 GPS 與 IMU 資料。
- (3) 下載 LiDAR 掃瞄原始資料，並依航線日期分類。
- (4) 下載 LiDAR 掃瞄全波型原始資料(檔案格式為.NDF、.IDX 及.DAT)
- (5) 原始資料依一定命名法則備份存檔。

#### 二、飛航掃瞄航跡 POS 解算：

- (1) 彙整地面 GPS 固定基站資料以進行差分定位，且基線長度不得大於 20 公里，再加上載體 POS (動態 GPS 及 IMU)資料，方能進行軌跡解算。
- (2) 以 POSMMS 軟體將地面 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，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，以動態差分原理求解 LiDAR 掃瞄儀航跡之精確三維坐標。
- (3) 最終將載體 IMU 記錄資料與所解算的 GPS 坐標結合於三維航跡上，求解出 LiDAR 掃瞄時掃瞄儀之瞬間三維位置與姿態資訊 (POS)，一般稱為 Sbet (Smoothed best estimate of trajectory)飛航軌跡資料。

表 3-2 與表 3-3 為本次測試區之基站資訊與飛航軌跡解算成果，可知其基站與飛行測區之最遠距離與平均距離皆在 20 km 內，符合基站與飛行測區需在 20 km 之規範要求。

表 3-2 基站資訊

日期	基站点號	最大距離(km)	平均距離(km)
20130723	GS64、GS67	12.659	5.655
20130724	GS64、GS67	12.346	5.840
20130725	GS64、GS67	14.757	6.583

表 3-3 飛航軌跡解算成果

時間	方向	軌跡差異最大值 PDOP(Max)	軌跡平均差異量 (m)	軌跡標準誤差 (m)
1020723	N	0.010	0.007	±0.007
	E	0.011	0.007	±0.007
	H	0.028	0.018	±0.018
1020724	N	0.008	0.005	±0.005
	E	0.009	0.007	±0.007
	H	0.028	0.016	±0.016
1020725	N	0.009	0.007	±0.007
	E	0.009	0.006	±0.006
	H	0.024	0.018	±0.018

圖 3-3 至圖 3-14 分別為 7 月 23 日至 7 月 25 日各天飛航接收衛星顆數、PDOP 值成果圖及飛航軌跡成果精度圖。由圖表可知，接收衛星顆數都在 6 顆以上，PDOP 值大多小於 3，顯示本計畫所有飛航軌道差異量皆符合規範。

依不同日期之掃瞄任務航線圖(如圖 3-15 至圖 3-17)可以知道本次飛航之航線路徑以及完成度，本計畫皆完成原本飛航之規劃。其每條航線之日期、掃瞄角度、掃瞄頻率、雷射脈衝頻率、航高、航速、航向、地面基站參數表如表 3-4 至表 3-6。

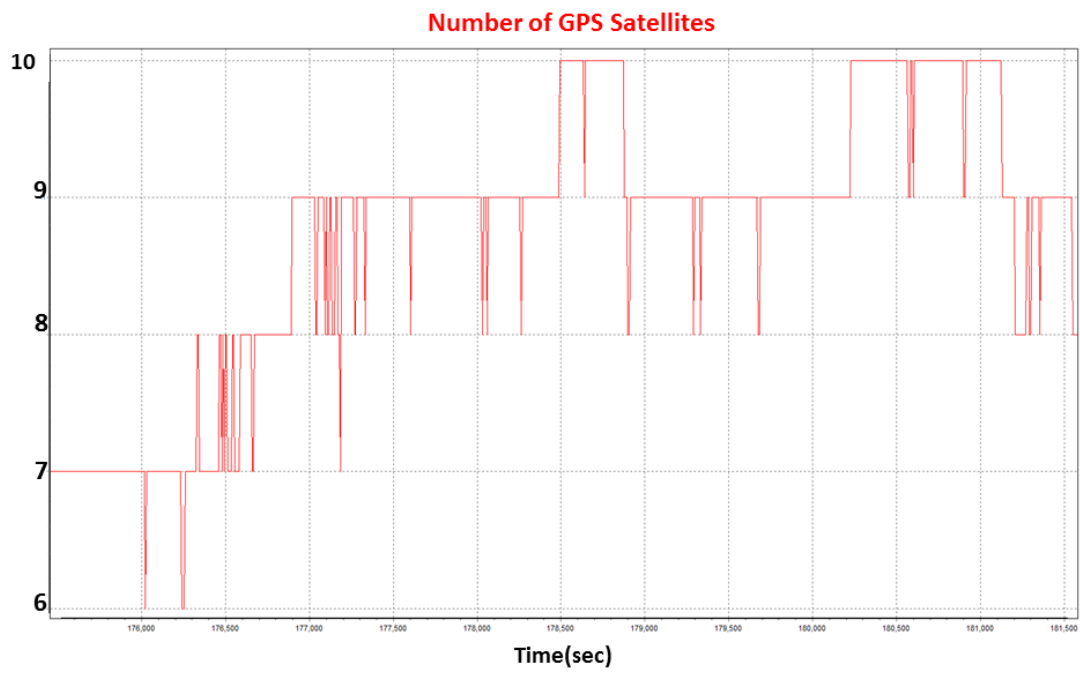


圖 3-3 7月23日接收衛星顆數圖

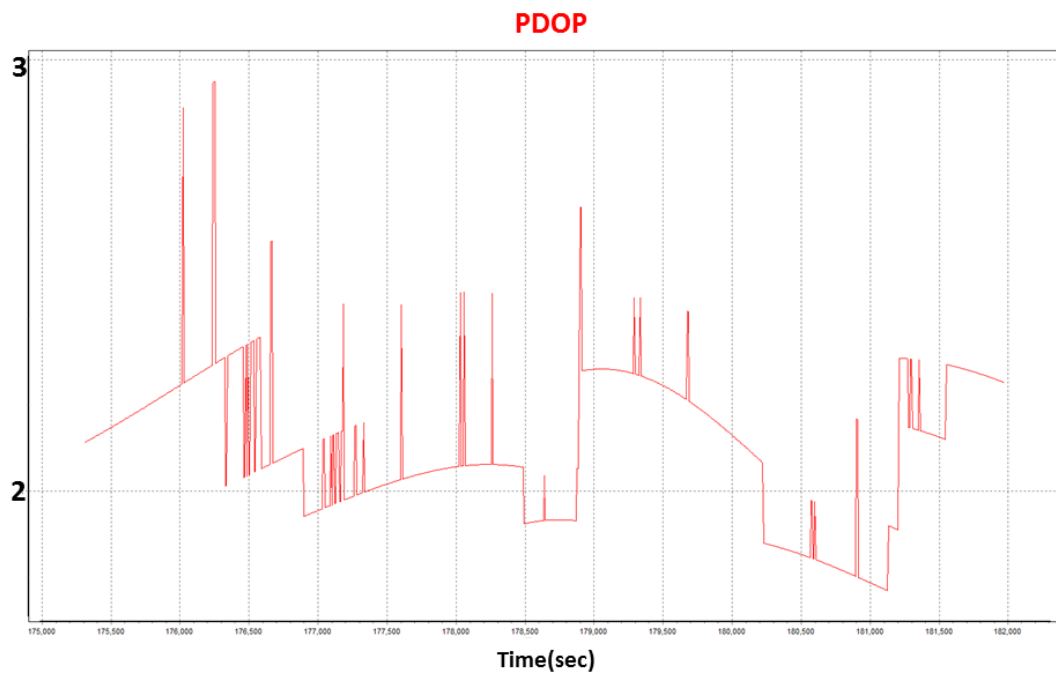


圖 3-4 7月23日 PDOP 值成果圖



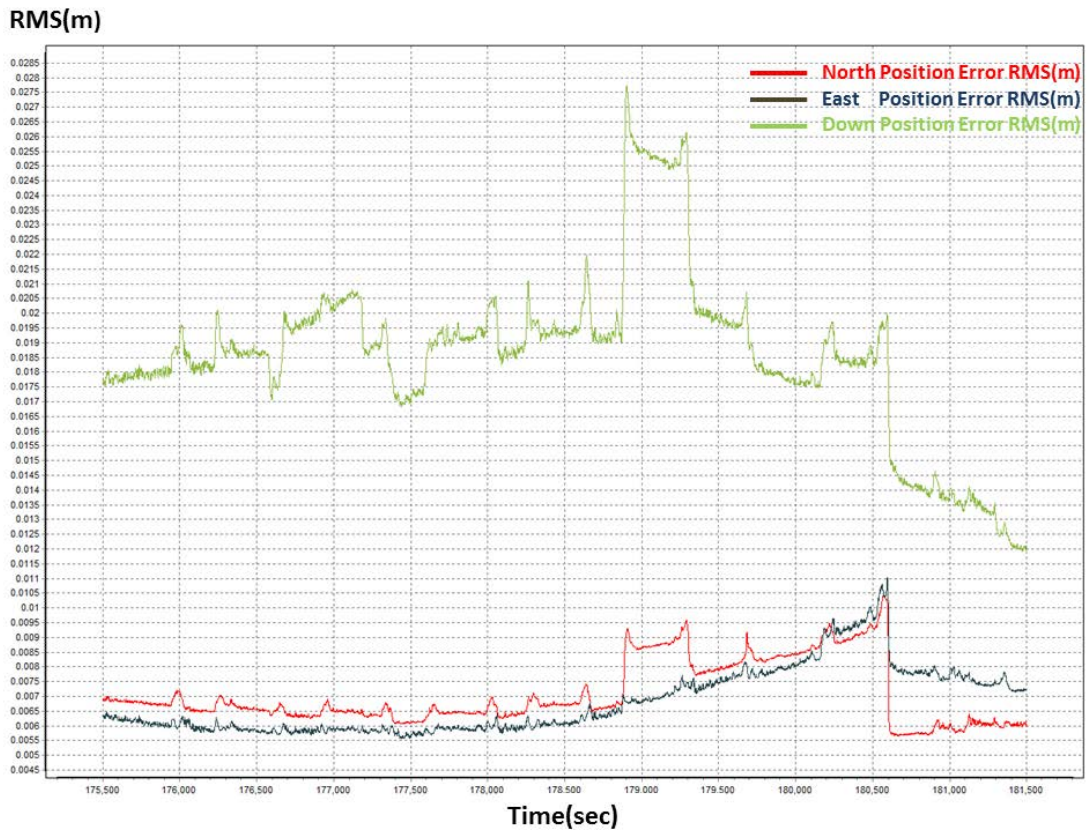


圖 3-5 7 月 23 日飛航軌跡成果精度圖

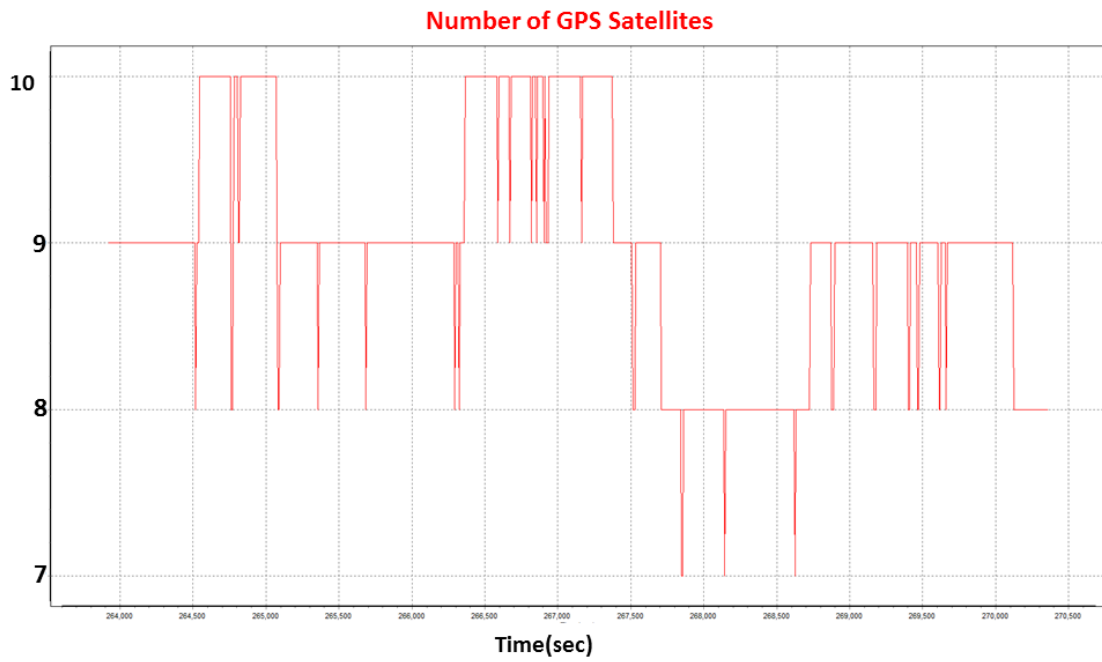


圖 3-6 7 月 24 日接收衛星顆數圖

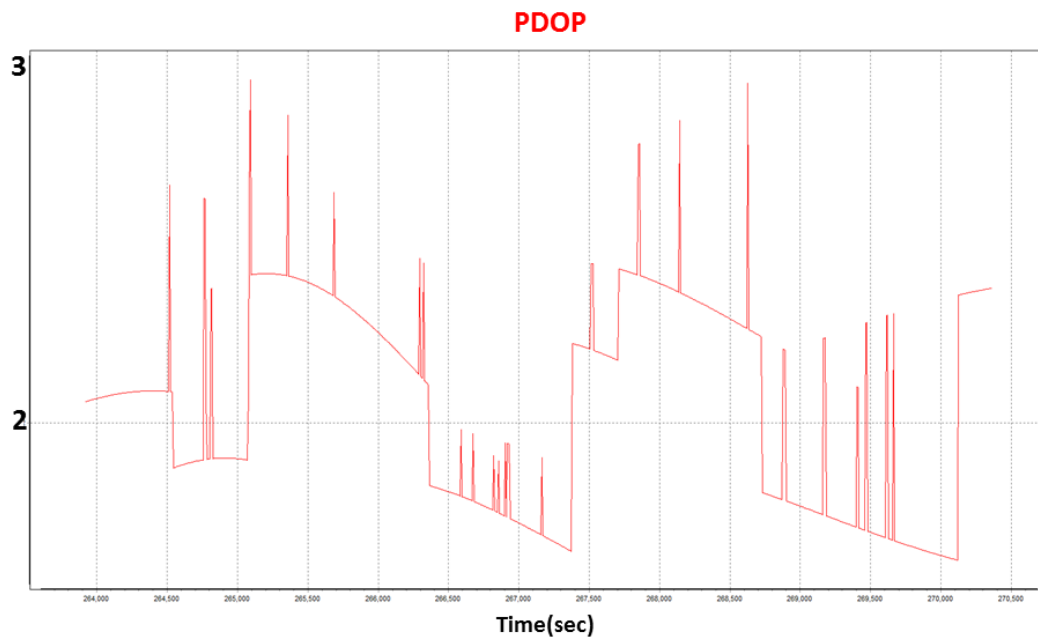


圖 3-7 7月24日 PDOP 值成果圖

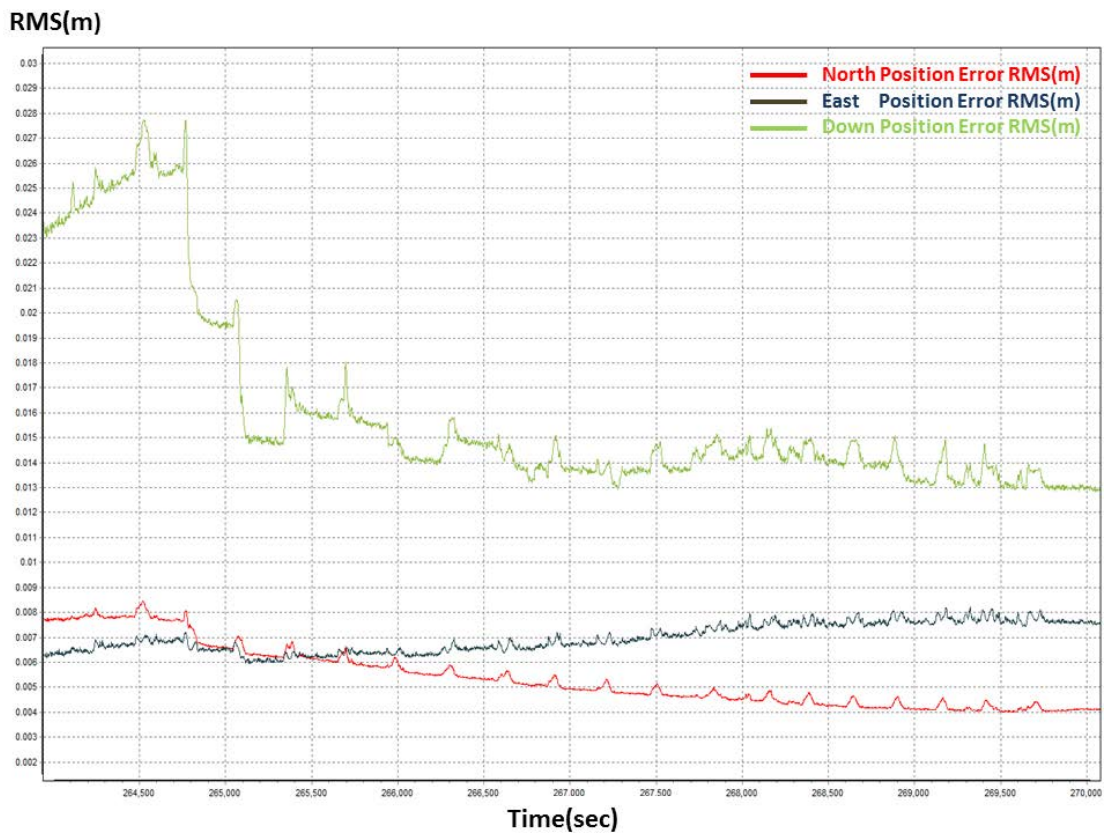


圖 3-8 7月24日飛航軌跡成果精度圖

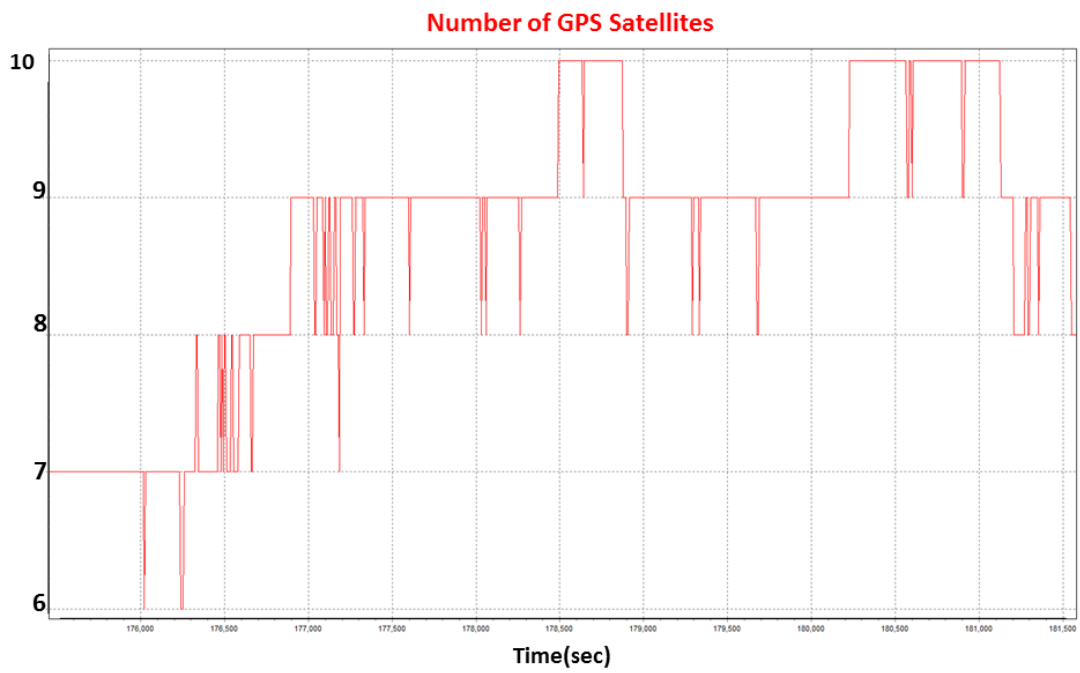


圖 3-9 7月25日接收衛星顆數圖

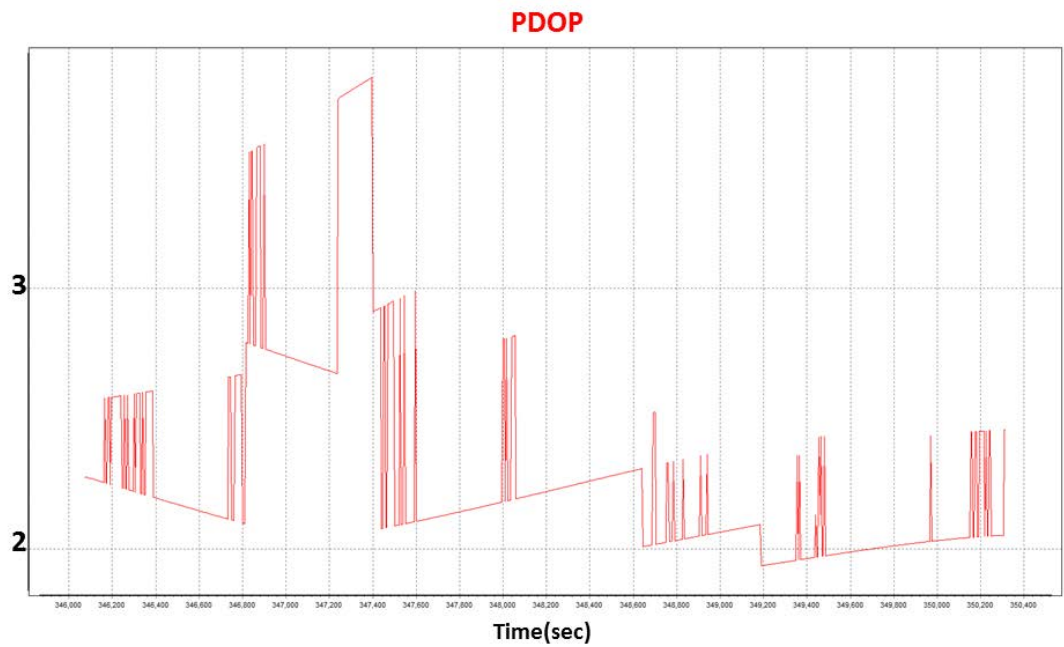


圖 3-10 7月25日PDOP值成果圖

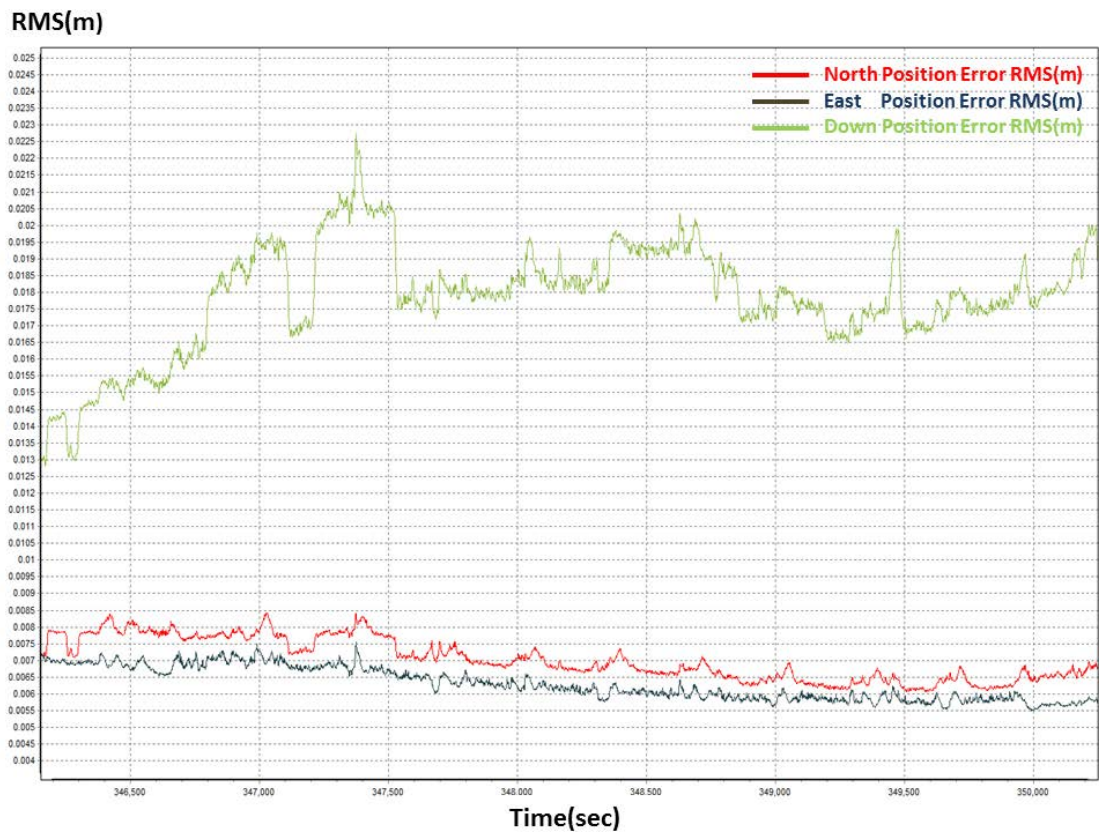


圖 3-11 7 月 25 日 飛航軌跡成果精度圖

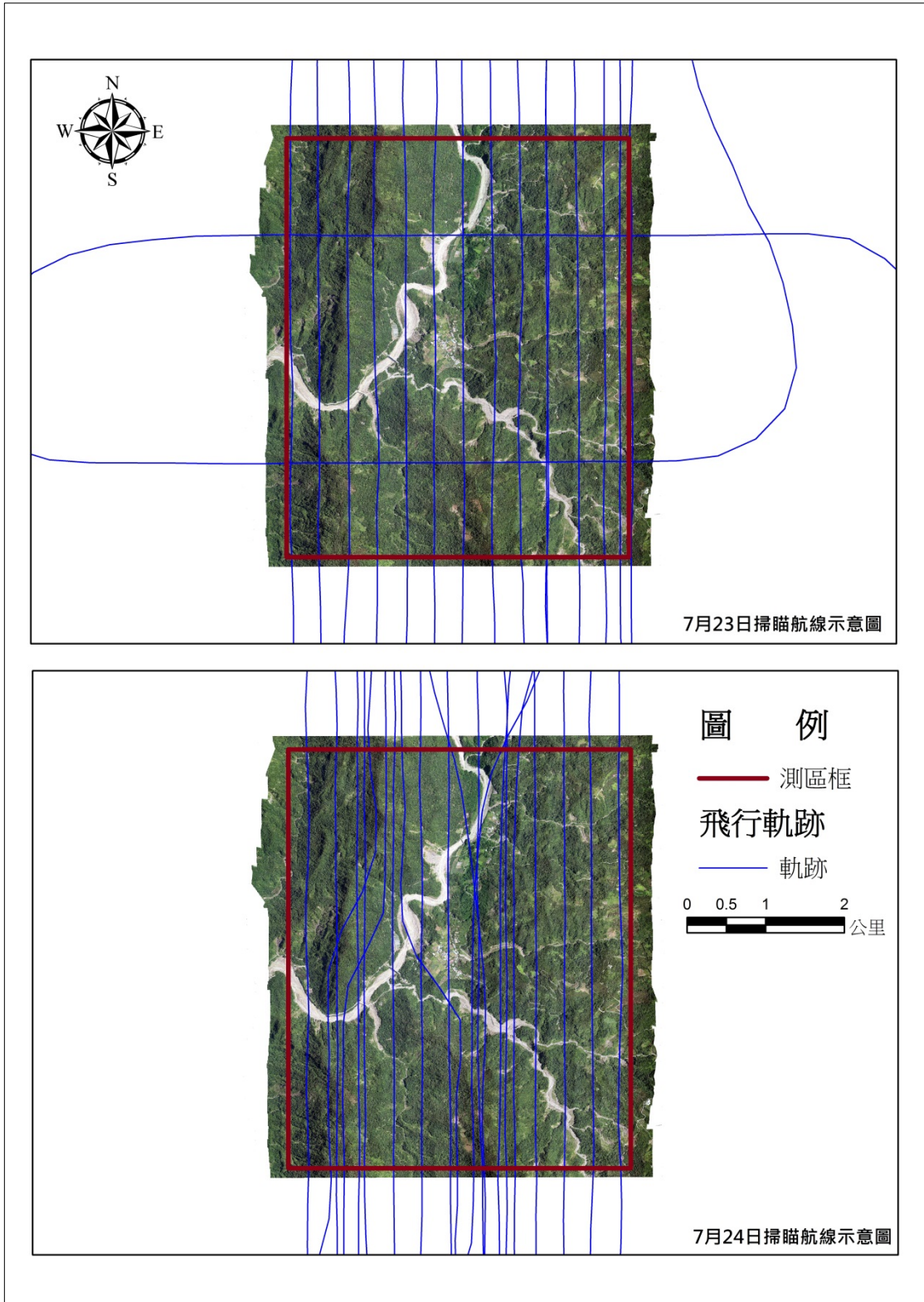


圖 3-12 7 月 23-24 日掃瞄航線圖

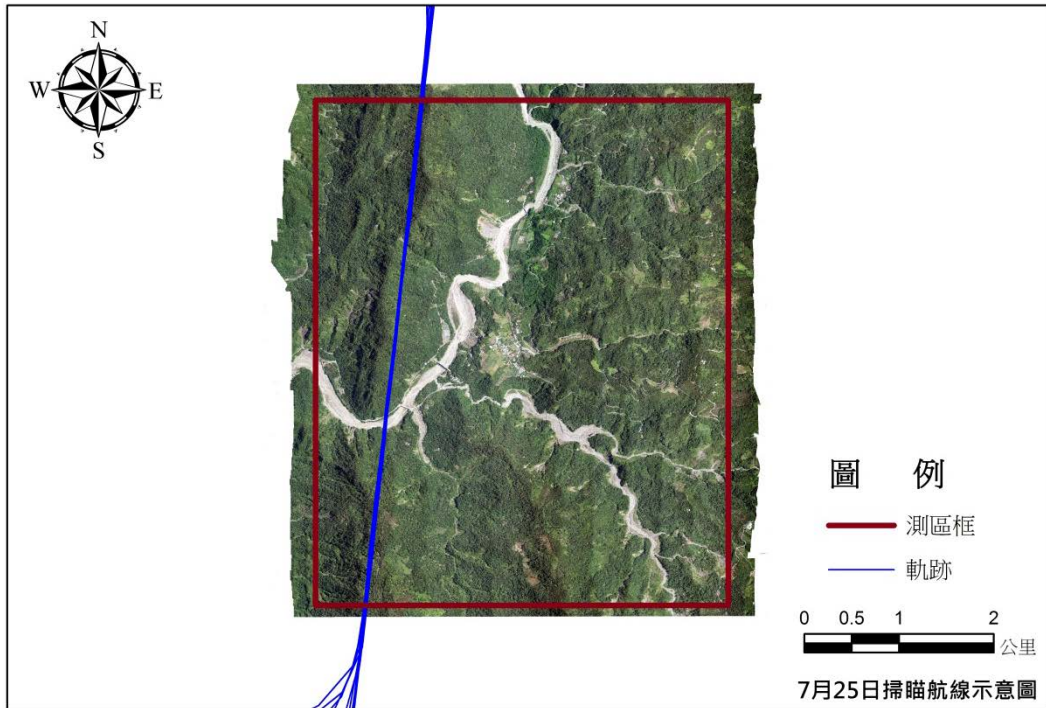


圖 3-13 7 月 25 日掃瞄航線圖

表 3-4 光達各條航線掃瞄參數表

航線編號	掃瞄角度 (deg.)	掃瞄頻率 (Hz)	雷射脈衝頻率(Hz)	航高(m)	航向(deg.)	航速(Knots)	GPS 地面基站	使用儀器	日期
1	9	40	150	1830	360	100	GS64/GS67	Pegasus+WF	7月23日
2	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
3	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月23日
4	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
5	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月23日
6	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
7	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月23日
8	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
9	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月23日
10	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
11	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月23日
12	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
13	9	40	150	1830	179.9	100		Pegasus+WF	7月23日
14	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
15	9	40	150	1830	179.9	100		Pegasus+WF	7月23日
16	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
17	9	40	150	1830	179.9	100		Pegasus+WF	7月23日
18	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
19	9	40	150	1830	179.9	100		Pegasus+WF	7月23日
20	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
21	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月23日
22	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
23	9	40	150	2135	180	100		Pegasus+WF	7月23日
24	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日

表 3-5 光達各條航線掃瞄參數表

航線編號	掃瞄角度 (deg.)	掃瞄頻率 (Hz)	雷射脈衝 頻率(Hz)	航高(m)	航向(deg.)	航速(Knots)	GPS 地面基站	使用儀器	日期
25	9	40	150	1830	360	100	GS64/GS67	Pegasus+WF	7月24日
26	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
27	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
28	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
29	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
30	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
31	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
32	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
33	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
34	9	40	150	1830	360	100		Pegasus+WF	7月24日
35	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
36	9	40	150	1830	180	100		Pegasus+WF	7月24日
37	9	40	150	2135	270	100		Pegasus+WF	7月23日
38	9	40	150	2135	90	100		Pegasus+WF	7月23日
39	9	40	150	2135	360	100		Pegasus+WF	7月23日



表 3-6 高光譜各條航線掃瞄參數表

航線編號	波段數	掃瞄線速率 IT(ms)	航高(m)	航向(deg.)	航速(Knots)	GPS 地面基站	使用儀器	日期
2	72	19	1830	360	100	GS64/GS67	CASI1500	7月24日
4	72	18	1830	360	100		CASI1500	7月24日
6	72	20	1830	360	100		CASI1500	7月24日
8	72	19	1830	360	100		CASI1500	7月24日
10	72	20	1830	360	100		CASI1500	7月24日
12	72	17	1830	360	100		CASI1500	7月24日
14	72	17	1830	180	100		CASI1500	7月24日
16	72	19	1830	180	100		CASI1500	7月24日
18	72	20	1830	180	100		CASI1500	7月24日
20	72	21	1830	180	100		CASI1500	7月24日
22	72	20	1830	180	100		CASI1500	7月24日
24	72	19	1830	180	100		CASI1500	7月24日

表 3-7 單一航線掃瞄參數表

航線編號	掃瞄角度 (deg.)	掃瞄頻率 (Hz)	雷射脈衝 頻率(Hz)	航高(m)	航向(deg.)	航速(Knots)	GPS 地面基站	使用儀器	日期
101	20	40	100	2745	185	100	GS64/GS67	Pegasus+WF	7月25日
102	20	40	100	2440	5.8	100		Pegasus+WF	7月25日
103	20	40	100	2135	185	100		Pegasus+WF	7月25日
104	20	40	100	1830	5.8	100		Pegasus+WF	7月25日
105	20	40	100	1525	185	100		Pegasus+WF	7月25日
106	20	40	100	1403	5.8	100		Pegasus+WF	7月25日
107	20	40	150	1403	185	100		Pegasus+WF	7月25日
108	20	40	200	1403	5.8	100		Pegasus+WF	7月25日
109	20	40	250	1403	185	100		Pegasus+WF	7月25日
110	20	40	300	1403	5.8	100		Pegasus+WF	7月25日

### 三、原始點雲及全波形資料產出與檢核

基於 LiDAR 掃瞄中心航跡 POS 解算，可以產出原始點雲以及全波形資料，其檢核步驟如下：

1. 結合 LiDAR 之 POS Sbet 軌跡資料與光達測距資料(掃描角與距離)於 Opetch LMS 軟體中，配合計算後的軌跡資訊輸入，加入各項系統誤差率定參數，座標投影參數，逐條航線求解原始點雲資料(LAS1.2)及全波形資料(LAS1.3 及.WDF WaveFrom 檔)。原始雷射點雲成果，可用不同型態來表示。
2. 每條航線原始點雲產出後，須逐條檢驗資料品質，包括點雲密度、不合理點為，以及重疊區點雲高程內部精度檢核等，初步點雲產出成果如圖 3-18。

經由圖 3-18 可了解光達所有航線之初始點雲成果，可知點雲在每條航帶上均勻分布，而每條顏色代表其不同航帶，顯示每條航帶皆包含了飛航掃瞄成果之點雲。

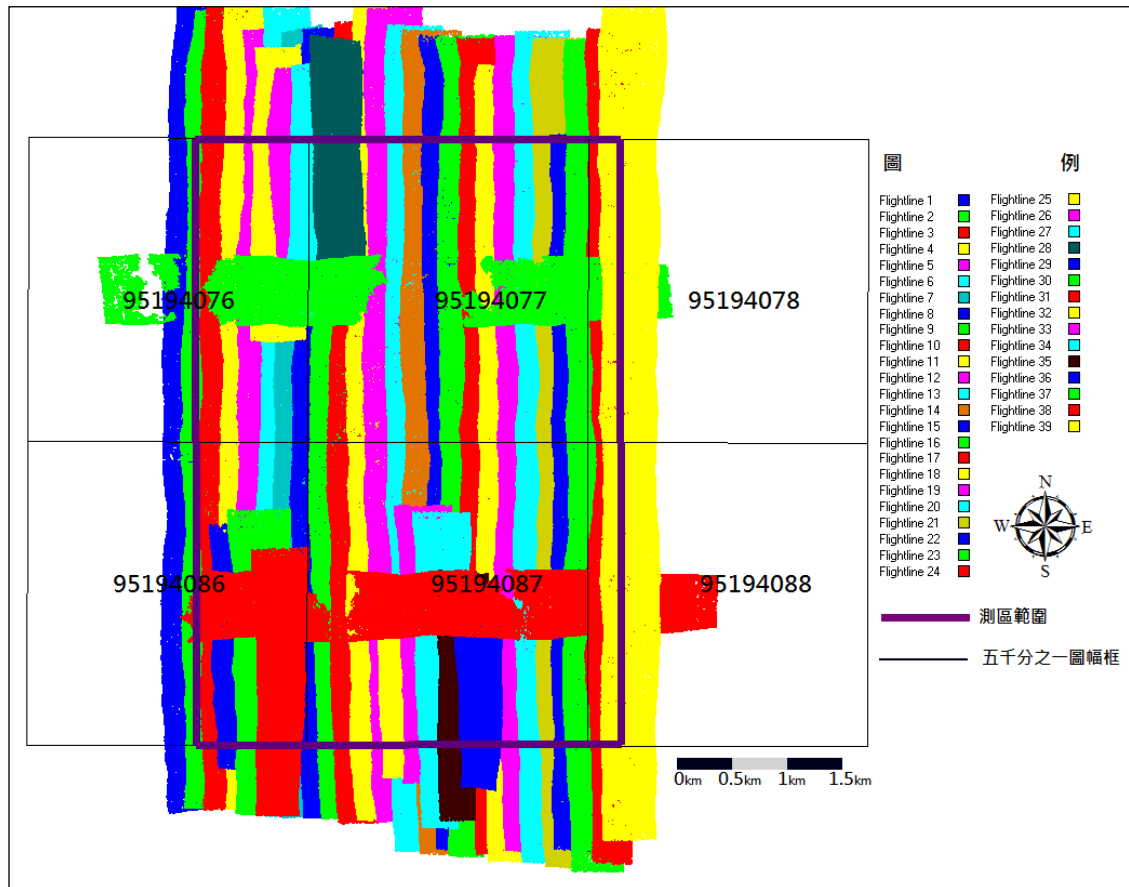


圖 3-14 光達掃瞄成果點雲涵蓋圖

## 肆、 航拍影像處理

### 一、作業區域航拍工作

本次計畫將採用空載光達掃瞄作業搭配數位像機同時拍攝，以高效率作業進行拍攝進度，產製地形資料以協助後續運用與製作，針對本次攝影之作業規範需求及前述針對各作業區域特性所規劃之飛航航線，進行航空攝影工作。

按所規劃的飛航航線進行作業區域航拍工作，本研究採用 **DiMAC** 型數位像機，其設備藉由 GPS\IMU 的輔助，因此操控人員可直接於飛機上了解當時飛航情形，包括蒐集之資料品質及影像重疊率等資訊，若遇突發狀況時，可於當時決定補救措施，此外為了能於每次掃瞄時獲得最大的掃瞄面積，因此於規劃航拍與 LiDAR 掃瞄時間上將參考中央氣象局的當日預報資料，儘可能利用最佳天候進行掃瞄。本計畫合計拍攝 2063 張影像，將於後續進行處理：

依據有關航空攝影之作業規範需求及前述針對各作業區域特性所規劃之飛航航線，進行航空攝影工作。

1. 於 1/25000 地形圖或其他可供辨識之圖資上設計航線，航線設計將參考氣候情形地形狀況而斟酌決定。
2. 航空攝影應於天氣晴朗，能見度佳實施為原則。
3. 航攝像片航向重疊(overlap)大於(含)60%，側向重疊(sidelap)大於(含)30%。
4. 航空器：航空攝影使用之飛機應符合航空攝影之要求。
5. 像機：採專用數位像機進行航空攝影機。
6. 航空攝影後，應測繪涵蓋圖，表示相片之重疊情形及各相片所在測區位置。

### 二、航拍影像處理

原始影像為一黑白影像 (Digital Back)，透過 PHASE ONE 公司發展之 CaptureOne 軟體可進行影像轉檔、影像增揚、色調調整，繼而轉出成可見光影像。在不同天氣狀況下拍攝之影像，常有色調不一致的現象，例如：影像色調偏差大，透過下述方式先行將影像色調一致化後，於後續正射影像處理：

- (1) 白平衡處理：選出影像中灰色處，如公路等地方，若影像偏藍，其 B 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 CaptureOne 軟體將 RGB 值重新平衡計算，再進行影像轉出且進行影像色調修正。

- (2) 亮度與對比度設定，針對同區中多張影像以人工去修正參數，達最佳化。
- (3) 飽和度與色彩調和：透過單張調色出最佳化成果後，批次以此參數修正於其他個張影像，整體呈現均勻色調成果。
- (4) 若色調差異過大，再使用軟體中其他色調參數修正之，如圖 4-1。

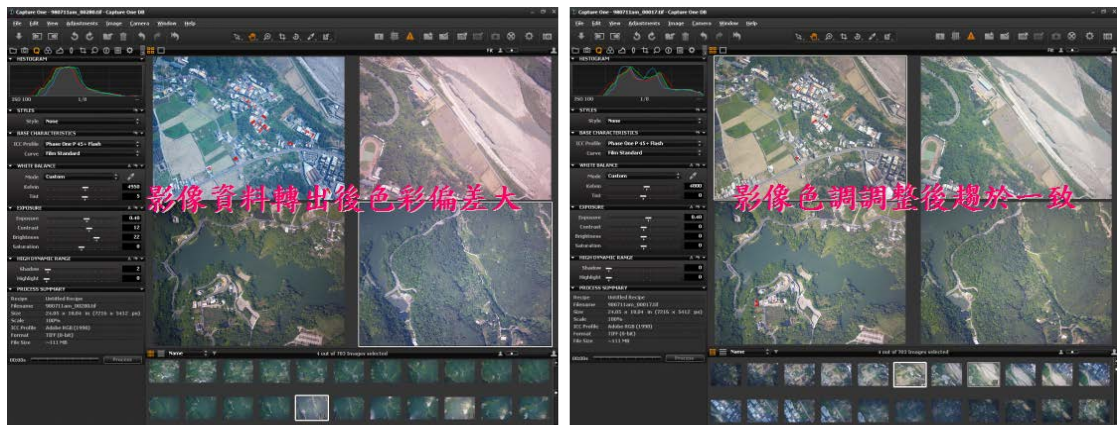


圖 4-1 影像色調調整情形

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。

### 三、空中三角測量

以 GPS 與 IMU，搭配數位量測像機，利用記錄啟動快門時所送出的脈衝信號事件(Event mark)之瞬間，並分別利用 GPS 求得拍攝瞬間的飛機位置坐標及 IMU 資料求得拍攝瞬間的姿態參數，此可作為數位影像投影中心點外方位參數資料來源，配合裝機後之安置角(BoreSight Angles)率定以去除攝影中心與 IMU 之系統性角度偏差，如此利用 GPS/IMU 資料可直接求得影像外方位元素。

傳統作業中進行空中三角測量，必須依規範大量布設地面航標點，利用此技術可減少佈標的作業，並可獲得一定精度的水準。必要時以此精確之影像外方位為初始值進行空中三角測量作業，可加速及應用航標為檢核點進行成果精度評估，並據以獲得良好及可靠之空三成果以進行後續立體製圖作業。

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，如此應當可符合實際之要求。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即可，測區之初步匹配示意如圖 4-2。

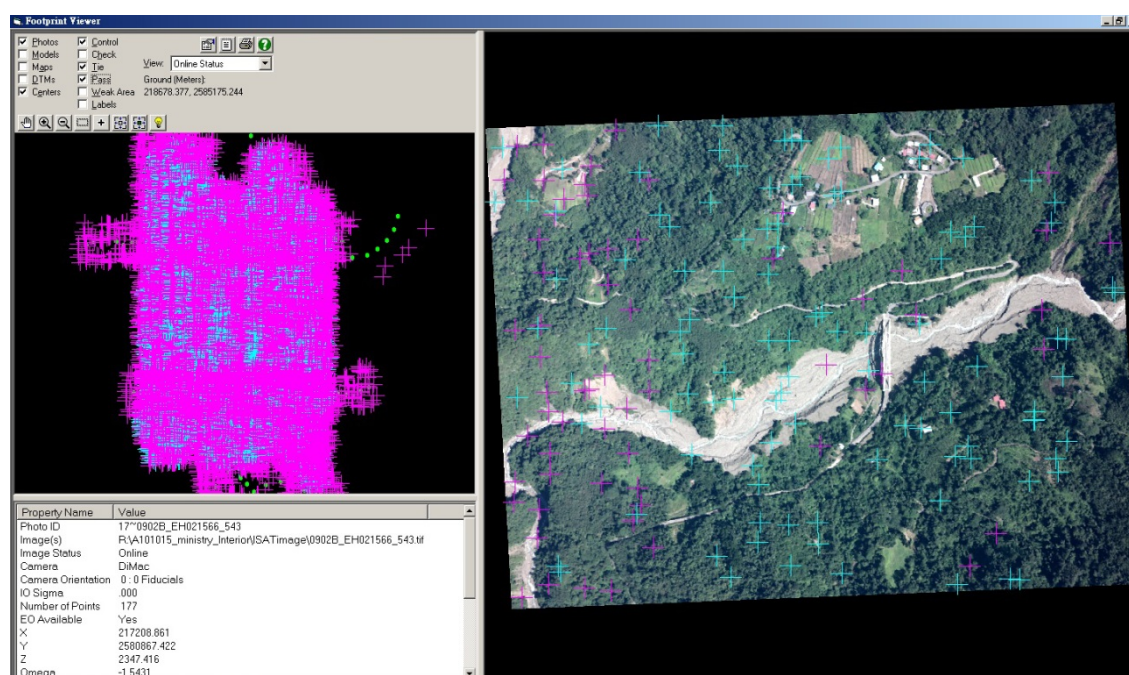


圖 4-2 集水區特徵點匹配示意圖

特徵點匹配後進行空三平差計算，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，最後加入加密控制點，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。

#### 四、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：

- (1) 需進行全區網格式 DEM 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。數值高程模型(DEM)：為

不含地表植被及人工建物之高程模型，是正射影像製作之依據，本案將採用本案 LiDAR 作業所產製之 DEM 成果作為製作之依據。

- (2) 由於數值高程資料錯誤會造成糾正成果有異常現象，如扭曲或錯移現象，故需經檢查修正之。
- (3) 在鑲嵌前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。
- (4) 需注意色彩飽和度全區一致。
- (5) 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。其無縫鑲嵌主要目的在於維持最後影像輸出時得正射影像品質和完整展示。

## 附件五

歷次審查委員意見及回覆



許委員樹坤:

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1	60		有關雷射穿透率的計算，穿透雷射點數為何不採用全部雷射點雲發射量扣除雷射回波點雲數量？	空載光達的雷射穿透率可以單位面積內雷射光發射數量與接觸地面之雷射數量之比例為表示。
2	106	110	期中報告書中有部分斷層線的判釋位置與中央地質調查所的成果圖位置差異量不小，其論述之依據為何？	謝謝委員意見，本案之斷層線的判識，主要依據光達數值地形資料進行斷層崖地形特徵與地形曲率變化判釋，後續尚待現地斷層調查進行確認。
3	108	112	判釋崩塌地的面積除了使用地形變化的因子外，是否還有其他的判斷因子？	謝謝委員意見，報告書中之崩塌地的面積為已完全崩塌之區域，主要為航照影像判釋結果，並無使用其他判斷因子。
4	109	113	潛在崩塌地形判釋初步成果圖中，潛在崩塌崩崖位置幾乎都落在地形稜線位置，似乎不太合理，請於後續成果檢核時確認。	謝謝委員意見，本案判釋出潛在崩塌之主崩崖位置，初步經 11 處現地查核後，確認皆具備崩崖特徵。而後續將持續加強判釋成果之圖面檢核與現地查核確認。

張委員智安：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
	37	42	本案使用 PCA 及 MNF 進行全波形空載光達與高多光譜影像融合處理，如只為進行土地分類研究，為何不將該兩類資料視為各自獨立波段？	光譜資訊為影像分類的重要資訊。光達強度值代表雷射光束穿透路徑中的地物反射值，其垂直資訊能區別出樹型的不同。因此本案主要以兩種資料所分別代表的地物表面光譜資訊以及光達的垂直資訊，取其各自優點進行融合處理。相關說明已於期中報告中補充。
		28	本案所蒐集之相關文獻資料，建議將高光譜與光達相關技術發展情形，於報告書中適當的呈現。	已補充於修正之期中報告。
	150	154	有關脈衝率 PRF 與掃瞄頻率 Scan rate，前者單位為 HZ，而後者單位為 KHZ，兩者單位相差千倍，惟報告書第 150 頁中掃瞄頻率有混淆的情形，請予以釐清。	感謝委員指正，Pulse Repetition Frequency (PRF) 已修正為 KHz 單位，Scan Rate 已修正為 Hz 單位。
			有關穿透率研究部分，建議可僅針對森林區進行研究即可，無需將裸露地及河谷區域等區域等納入考量。	謝謝委員建議。本案後續僅針對森林區進行穿透率研究，成果將於期末報告呈現。
	154	158	請將本案目前之結論及未來工作規劃說明適度的整理於報告書第六章。	已補充於修正之期中報告書中。

林委員昭遠：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			本年度工作應著重於光達資料與高光譜資料之融合技術作整合應用，過去國際上相關文獻所發展合適部分之技術應直接加入本案的應用端進行研究。	謝謝委員意見，後續將補充於期末報告書。
2			如國外已成熟之技術部分，建議本案可直接納入應用，且建議於資料分析時可分階段處理不同空間及時間之	謝謝委員意見。光達處理技術在國內外已達成熟可直接納入應用，而

			不同解析度資料，先找出 hot spot 區後再進一步作更細緻的調查或研究。	高光譜影像處理技術尚在發展階段，因此本案在技術上仍須進行測試。本案資料分析，在空間解析度上，以光達資料產製 1m 高精度數值地形，可判釋出的潛在崩塌地形特徵，並藉由現地重點查核進行細部地形特徵與植生特徵調查。由於本案時程及經費限制，因此在時間解析度目前只有一期資料。
3	45	52	地表現況的變異情況會隨人為或自然因素而改變，因此地表的光譜應有動態變動情形，請說明本案後續進行土地分類原則是土地覆蓋抑或是土地利用？	本案之土地分類原則是土地覆蓋 (Land cover)。
4		47~49	報告書中未詳細說明本案採用之斷層判釋方法，請適度補充說明。	謝謝委員意見，已於報告內文補充斷層判釋方法。

吳委員水吉：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1		47	本案報告中引述有關斷層線判釋方法之文獻較少，請增加說明。	謝謝委員意見，已於報告內文補充斷層判釋之相關文獻。
2		32	請補充說明光達之穿透率與光達掃描的帶寬 (SWATH) 之關係。	根據黃清美與史天元 (2008) 已探討雷射入射角對穿透率的影響為，其研究結果顯示，當雷射入射角越小時，穿透率越高，反之亦然。因此光達雷射入射角不納入本案之研究項目。
3			光達雷射點雲到達地面點之密度多寡攸關測製經費，請於期末報告中補充幾種不同光達點雲密度所耗費之	關於點雲之資料產製與相關費用和時程，將於期末報告內文進行相關

			作業時間、經費與 DEM 成果精度比較。	分析比較。
4			於森林區欲瞭解真實穿透率的方法可挑選幾個森林區的小區域，進行實際地形面與光達反射回波所建構之地形面的高程差異驗證。	由於規劃的單一航線測區主要位於山麓，密林區為人員均不易到達之處，故較難以進行地面實測以作為穿透率之比較，因此為盡量增加地面點實際比對，後續本團隊將於進行 DEM 地面點檢核時，挑一小處較易到達之地區，進行密林下之量測作業。
5			本案將全波形光達與高光譜資料融合以降低光譜資料的維度，以便於土地分類，惟於資料融合前應先比較其光譜資料相關性。	感謝指正，本案於資料融合前已針對各土地覆蓋類型之光譜曲線進行比較，比較結果將補列於期末報告。
6			大氣輻射校正對航照影像之品質相當重要，本案的高光譜影像經 ATCOR-4 大氣校正，其所呈現成果似乎並無大幅改善地形因素對光譜資訊之影響，後續可進一步研究，以改善輻射校正品質。	由於航照影像缺少紅外線波段因此無法進行輻射校正處理。本案將針對高光譜影像之大氣校正持續進行測試。

夏委員榮生：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1	55	63	報告書圖 3.23 研究流程中，請增加說明不同點雲密度與內插方法對微地形判釋影響及如何進行點雲取樣密度分級？另請補充說明流程圖中有關特徵線數化結果長度符合度與微地形之關係。	本案點雲取樣密度分級是依雷射發射順序，等距間隔取樣資料，模擬當 LiDAR 發射的雷射筆數相對減少的狀態，相關補述於期中報告內。 基於經濟考量，為了瞭解疏化點雲取樣對微地形辨識之影響，於是本

				案將完整點雲內插後 DEM 之微地形特徵線與本案降低點雲密度後產製 DEM 所辨識出之微地形特徵線數化，比較兩者特徵線數化後的長度。
2	55	63	報告書圖 3.23 中右側處理流程中有專家知識評估處理，惟左側處理流程中並未有專家知識評估處理，請說明該流程設計差異之原因。	圖 3.23 為不同點雲密度與內插方法對微地形判釋影響之研究流程圖，比較點雲疏化後(實驗組)及原始點雲(對照組)產製的 DEM 對微地形特徵線判釋之影響，實驗組及對照組均有專家知識評估過程，已針對此流程圖進行修正。

徐委員百輝：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			本案為發展高光譜與光達技術結合應用工作，惟截至目前為止，尚未呈現較好的結合應用的成果，資料融合僅用於土地分類使用較為可惜，由於兩者資料同步蒐集，因此光譜資訊進入感測器之入射角相近，建議後續於進行 ATCOR-4 大氣校正處理時可嘗試加入 DSM 地形資訊，期望後續能發揮 2 種不同感測器優點，進行結合應用以獲得較好的資料品質與分析結果。	感謝委員建議，本案後續在大氣校正處理將加入 DSM 資訊進行測試。
2			有關不同光達點雲密度可產製不同解析度 DEM 的精度分析是一個重要的議題，在符合使用者精度需求下如能降低 DEM (解析度) 資料量，可使後續 DEM 資料處理複雜度與處理時間降低許多。	感謝委員指教。本研究目的在探討當解析度固定下，點雲密度對產製 DEM 地形的影響。並期望能得到符合 1m 解析度使用之最適點雲密度，以達到高經濟效益。

3			<p>採不同 DEM 內插方法，其所造成後續地形分析的精度影響，更為使用者所於實際運用資料所關注的問題。</p>	<p>感謝委員指教。本案亦將嘗試進行初步探討不同 DEM 內插方法對後續地形的精度分析。</p>
4			<p>根據以往的經驗，使用經過大氣校正或未經大氣校正之高光譜資料，對於土地分類差異量不大，惟為進行高光譜資料之地面點位光譜調查，有需要使用經大氣校正之高光譜資料。</p>	<p>感謝委員指教。本案高光譜影像經由大氣校正後可與地面點位光譜資料進行比較，以利後續資料分析。</p>
5			<p>報告書中水氣的波長校正於 FLAASH 及 ATCOR-4 模式使用不同波長之原因為何？是否為原廠建議，請於報告中補充說明校正成果與使用之儀器特性。</p>	<p>由於本案使用的 CASI-1500 高光譜儀之光譜範圍為 362~1051 nm，儀器本身無紅外光波段，因此在進行 FLAASH 與 ATCOR-4 大氣校正時，原廠建議水氣反演可採用 800-900 nm 的波段，FLAASH 能挑選水氣反演之波段分別為 820、940、1135nm，本案測試的成果發現波段 940 較符合地真資料之波形，故在 FLAASH 中選擇 940 nm 作為水氣反演的波段。在 ATCOR-4 則是採用原廠建議之 820 nm。</p>

本部地政司:

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			本案為延續 101 年發展高光譜與光達技術結合工作，請將去年及今年所發展之技術成果說明彙整於期末報告書中，俾利讀者對該項技術發展有較完整瞭解。	遵照辦理。
2	63	69	報告書第 63 頁：圖 4.1 之作業流程「LMS」處理，建議修改為「Optech 點雲解算軟體」，以資明確。	已修正於報告書。
3			報告書之附件四第 3 頁：Along-track spacing 之公式 (2-3) 文字有重疊情形，另第 4 頁圖 1-2 航線規劃圖之圖例中「單一航線不同變化」係指何種掃瞄參數？請修正並補充說明。	此處並非為文字重疊，主要在於說明一般航向與交叉航向的計算方法，其餘已於附件報告書中修訂。
4			報告書之附件四，圖 3-3 至圖 3-14 中部分縱軸單位有缺漏，並請適度放大圖例說明文字；另請將圖 3-15 與圖 3-16 並列於同一頁，以方便比較；另底圖說明文字建議修正為「底圖為○○年 SPOT 衛星影像」。	已修正於報告書。
5			本案依契約規定需辦理光達 DEM 精度評估分析，請挑選交通便利之森林覆蓋區辦理 DEM 精度檢核，以瞭解光達資料於森林區穿透率情形，並於期末報告書中提出說明。	由於規劃的單一航線測區主要位於山麓，密林區為人員均不易到達之處，故較難以進行地面實測以作為穿透率之比較，因此為盡量增加地面點實際比對，後續本團隊將於進行 DEM 地面點檢核時，挑一小處較易到達之地區，進行密林下之量測作業。

徐委員百輝：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1	42	22~23	報告書第 42 頁 (式 3.4) 有關 LiDAR 雷射能量各項掃瞄參數之關係是否可進一步說明雷射脈衝頻率與單發雷射能量之關係?	在式 3.4 中, 因平均能量( $P_{T-av}$ )與雷射脈衝時間寬度( $t_{pulse}$ )為光達系統中不可調整之參數, 故可見 $P_{T-peak}$ 與 $f_{pulse}$ 為反比關係。當頻率越高, 單發雷射能量將越低。
2	44	23~25	不同航高造成穿透率之差異, 然而點雲密度亦因航高而有所不同, 點雲密度與穿透率間是否存在相關性? 另穿透率之計算 (式 3-5) 之穿透點與冠層區之點如何辨識?	在各參數相同之情況, 航高與點雲密度為二相依之因子, 亦即航高越高, 點雲密度越低; 航高越低, 點雲密度越高。然本案之測試乃是以物理性條件(航高)為控制因子, 依此條件而改變之資料特性(點雲密度、穿透率), 則可視為應變因子。固然測試資料展現點雲密度與穿透率之相關性, 但其二者非為物理性之因果關係。 穿透點是指依據演算法與人工判釋過後之地面點為主, 不考慮半穿透之點雲, 本案利用 DEM buffer 2 m 的方式達成選取完整地面點, 剩餘之點雲為冠層點或其他地物點。
3	71	54~55	全波形光達資料光譜所細分出 128 個資訊如何定義?	原始離散之全波形光達資料以 1ns 時間間隔記錄 256ns 長度的光達資料, 當處理為網格式全波形光達資料(用於融合分類)時, 本案改以 2ns 紀錄間隔。本案計算通過 1 平方公尺面積之光達平均振幅值, 其假設各雷射光束為垂直入射至地面, 然而實際之雷射光束各有不同之入射角。以 2ns 時間間隔生產網格式全波形光達資料可有效消除此項假設所造成的資料震盪效應(其樣態顯現如雜訊)。故資料具有 $128(=256/2)$ 個維度。



4			全波形光達資料或高光譜資料經過轉換後是否利用類別分離度進行分析？若僅使用單一種資料，其結果為何？	本案之光達資料或高光譜資料轉換後，無進行類別分離度分析，主要以目視逐一挑選特徵波段。由於101年已針對高光譜及融合高光譜與光達影像進行分類精度比較，以融合影像之成果較佳，故本年度採融合影像進行分類。
5	209	190~192	地表類別之分類訓練樣本數為多少？檢核僅使用30個是否足夠？	已增加檢核點並於報告書補充說明。
6	133	115,229	報告書第133頁，穿透率與DEM之正確性之驗證並無完整描述且DEM正確與演算法亦有關係，另第141頁所歸納的數據無法顯現出此結論，請補充說明。	原報告書第133頁之穿透率與DEM之正確性之驗證其DEM差異量達10~20m，此為推估之數據，已完成修正，並移至補充建議說明如7-2。
7			全波形與高光譜資料融合之優點與兩者個別之差異為何？	單就光譜而言，由於植物的光譜曲線分布十分相近，而全波形光達資料所記錄連續多峰波形資料，可視為描述垂直地物的資訊來源，因此本案以地物的表面光譜資訊以及光達的垂直資訊作為整合概念，有利於提高影像分類精度。
8	52	33~35	ATCOR-4的演算法為何？	已於報告書補充說明。
9	109	92	本案使用ITRES CASI原廠軟體在進行幾何改正的時候，是否有加入地面控制點？其改正方法可否簡約納入報告書第109頁？	已於報告書補充說明。

許委員樹坤：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1	61	44	報告書提及地層界線之名詞，請說明如何定義。	報告書提及的地層指的是岩石地層，主要以岩石性質來作為地層的分類依據，而地層界線則是不同岩石性質間的介面。
2			臺灣大學喬凌雲教授使用的 multi-scale 內差方式可參考使用。	感謝委員建議。後續計畫倘有內差需求時將進一步研究，確認其適用於大量光達點雲資料之適用性及是否能兼顧運算效能。
3			雷射掃瞄頻率降低 50 KHZ，穿透率可提高，但波長變長，其解析度亦隨之降低，請說明如何取捨？	本報告撰寫疏失，造成委員誤解。報告內文所指之雷射掃瞄頻率為雷射光每秒發射的數量，另本案使用之光達系統之雷射光波長為 1064nm 為恆定值，故改變掃描頻率並不影響雷射光波長。

林委員昭遠：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			潛在崩塌崩崖之定義及量化判識依據宜清楚說明，潛在崩塌崩崖上部以竹林居多，下部以森林及草地為主，其物理意義為何宜有說明。	潛在崩塌指具有崩塌地形特徵，但崩塌體尚存留在坡面未全部滑落的狀態，而本研究利用光達數值地形產製之日照陰影圖及坡度圖進行崩塌特徵判釋，判釋方法詳如報告書之附件六微地形崩塌調查機制分析作業。從現有的 15 個植生調查點發現崩塌崩崖植生是具有差異，下部森林較為開闊，鬱閉較低，多為演替初期的陽性樹種，而上部多為演替中期樹種與竹子居多，與融合影像判釋成果有相同趨勢，因此對人員不易到達之崩崖可輔助植生判釋，並由整合成果，可歸納出本案崩崖位在竹林居多。
2		228	本案所判識的地形特	本案所判識的地形特徵，在實用及推

			徵與土地覆蓋類型趨勢極具學術價值，在實用及推廣應用上宜有進一步說明。	廣應用上補充建議說明如 7-2。
3			本案潛在崩崖劃分很細，對於後續用途的界定為何？	本計畫光達數值地形應用之主要針對崩塌之地形特徵進行判釋，並局部進行現地查核，期望利用相較於以往更精細地形資料，提升判釋的精度與崩塌範圍之界定。在後續用途可提供土砂災害相關研究對於崩塌區位分析之參考，同時亦可提供後續土地利用與開發之在細部調查依據。因無多時期資料，故無法針對崩塌發育階段與崩塌發生時機(時間)進行探討。
4	176	158~161	本案斷層之現地調查部分，地質上的錯動調查似僅有局部的，應該有連續的現象，請補充說明。	斷層之現地調查之茶山斷層近茶山部落台地之人工構造物破壞部分，非為地質構造上的錯動，初步判定是斷層鄰近地層破碎造成人工構造物基礎不穩固，受外力後產生之破壞，此部分已進行文字修正。再者於此調查位置之人工構造物破壞部分僅出現於斷層出露附近之局部區域，其餘斷層經過區域並無明顯破壞現象。
5			竹林地區地層錯動，僅是預測潛在危險地區，其準確度尚無驗證，其意義為何？	竹林地區錯動為崩塌特徵之判釋與現地確認，並未進行崩塌滑動之潛勢分析，因此尚須後續進行變位監測方能驗證。

夏委員榮生：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1	89.96	72.79	建議報告書中之坐標系統之各軸方向能以常用之方法表示之，尤其是 X、Y、Z，E、N、H 及 $\Delta H$ 與 $\Delta h$ 之分別。	已修正。
2	141	121~123	報告書中第 141 頁	感謝委員意見。因航高造成之不同掃

			(圖 5-27) 中各航高相同穿透率之檢核點不同數目，對其比較結果是否會有影響。	瞄帶寬，使得檢核點數在各航高條件下，最多為 38 個，最少為 14 個 eGPS 測量點位，分配於各穿透率條件下之個數則更少。此數量差異，的確會影響統計之推論。因此本案以盒形圖(圖 5.20)方式，展現各航高資料中不同穿透率之 25 分位數、50 分位數(中位數)、75 分位數，以顯現同一航高不同穿透率對於 DEM 精度之影響。測試成果中，三個較高航高(2745m、2440m、2135m)之地面檢核點較為充足，顯現穿透率越高，絕對高差越小。另以圖 5.19 展現出不同飛航高度實際檢核點與穿透率之關係，顯現其飛航高度降低時，穿透率越高。
3	167	149	報告書中第 167 頁對於大氣校正所需之 DSM 需求不高，但仍需注意點雲過於稀疏，使大氣校正成果不穩定，可否給予一量化建議值。	已於報告書補充說明。
4			報告上有錯漏字，建議再給予仔細審閱，以維持報告之品質。	已修正。

國家災害防救科技中心：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			現行災後防救資料大多使用多用多光譜影像，如果將多光譜影像與光達技術結合，其表現是否可達到一定的水準以俾利應用？	以結合應用而言，光達也可與多光譜結合運用，但無法顯示如同與高光譜結合之特點。主要在於高光譜可多達至上百個波段，但多光譜之光譜波寬與波段數量未能像高光譜細膩且數量多，因此地物之光譜特徵在多光譜中將無法被明顯的辨識出來，正是為何多光譜與光達結合無法達到高光

				<p>譜與光達結合之應用成果。在應用或監測研究上，可按既定方式使用成本較低之多光譜進行連續時間動態的監測，無論在地貌變化或防災應用上都可較為快速地得到初步資訊，針對特定災害地區之辨識與監測需求，建議未來可進行高光譜與光達結合應用，不失為節省成本與提高辨識精度與準確性之方式。</p>
--	--	--	--	---

王委員成機：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1		227	本案之成果希望能多一些可應用面之敘述。	文字敘述已增列於報告書建議之章節。
2	140	121~122	數值地形成果之高程值敘述上建議用 $\Delta h$ ，避免與 $\Delta Z$ 混用。	已修正。
3	82	65	本案使用內差的三種方法，是否於前面增加使用之重要公式及扼要說明。	已於報告書內容補述關於 TIN/LINEAR 內插方法之運算公式與說明。

本部地政司：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			報告書第 P75 頁，於影像分類重新選取訓練區之門檻值 Kappa 選 0.7，是否有測試其他的數值（如 0.75），Kappa 些微調整對分類結果是否明顯差異？	「Kappa 統計值」與「整體精度」為展現影像分類成果之指標，二者雖具有不同之統計理論基礎，然為高度相關。故將分類成果 kappa 提高，則整體精度亦會上升，但無法預估分類精度提升之幅度。
2	116	99	報告書第 116 頁中不同光達點雲密度所耗費之作業時間與經費	已修正。

			<p>表(表 5.3)左邊 2 欄位名稱請以適當名稱表示，另於點雲密度不同之作業條件下辦理「點雲過濾」及「DEM、DSM 製作」兩項工作所耗費之經費請以單位面積表示。</p>	
3			<p>報告書結論部分有關點雲密度疏化評估地形特徵線，以 Kriging 法內插結果較好，於疏化至 1/8 仍有 7 成以上之辨識率，其是否可進一步推估出兼顧經濟及品質之光達掃瞄點雲密度規格建議？</p>	<p>以本案為例，已歸納微地形特徵線在 DEM 1m × 1m 網格下，可供辨釋需求之點雲密度，若未來有更多案例來統整，理應可進一步得出兼顧經濟及品質之光達掃瞄點雲密度規格。但由於光達點雲密度針對不同研究案需求及使用目的，有太多參數如航帶的重疊率，點雲過濾、人工編修地面點等，又有 DEM 網格大小與使用需求精度等，應以各計畫要求為標準，因此目前無法僅依點雲密度給予制式化限定。</p>

## 附件六

微地形崩塌調查機制分析作業

## 結合高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌調查機制分析作業

本作業項目主要為建立高光譜及全波形光達資料於微地形崩塌調查調查機制分析作業流程與作業方法研擬，將各部分之細節透過各項細部工作方法予以流程標準化後，建立整合應用機制與作業方法文件，提供後續相關研究之參考。

### 壹、作業依據

本作業主要依據 102 年度內政部「102 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案」(案號：SYC1020117) 計畫案，擬定之作業分析方法。

### 貳、作業目標

本作業目標如下：

- 一、完成高光譜及全波形光達資料於微地形崩塌調查調查機制分析作業流程與作業方法。
- 二、提供後續崩塌相關分析、判釋、調查與研究參考。

### 參、名詞定義

#### 一、高光譜

所謂高光譜，是指有高的光譜解析力，通常具有數十個至數百個波段數量，可獲取可見光、近紅外光及中紅外光範圍的連續光譜影像數據，並記錄不同地物的完整光譜曲線。遙測影像空間解析度或光譜解析力的提升，提高了地物描繪與判釋分類的能力，是資源調查與環境監測等相關領域一個良好的應用分析材料。

#### 二、全波形空載光達系統

全波形空載光達系統為整合雷射測距、光學掃瞄、全球定位系統及慣性導航系統等技術，具有快速獲得掃瞄點之瞬時三維坐標及反射



強度波形的特性。其原理為利用近紅外光之脈衝雷射進行掃瞄，接收目標物多重反射訊號進行測距，飛行載體則以 DGPS 精密動態定位，並利用 IMU (Inertial Measurement Unit) 獲取姿態參數後，整合光達測距成果計算測點的三維坐標。

### 三、微地形

微地形(micro-geography)一詞，概念上是地形規模相對較微小的地貌型態，也是最小的地貌形態單元。而本作業之微地形特徵，亦具有相對性的概念，其指的是相對於以往航照判釋，採用全波形光達資料所能判釋出地層界線、地質線形與崩塌之更細微的地形起伏及地形特徵。

### 四、崩塌

崩塌（崩落、垮塌或塌方）是較陡斜坡上的岩土體在重力作用下突然脫離母體崩落、滾動、堆積在坡腳的地質現象。產生在土體中者稱土崩，產生在岩體中者稱岩崩。規模巨大、涉及到山體者稱山崩。大小不等、零亂無序的岩塊（土塊）呈錐狀堆積在坡腳的堆積物，稱崩積物。

### 肆、作業限制

本作業所使用之圖資瀏覽、分析與判釋工具為 ESRI 公司 ArcGIS 地理資訊系統軟體，輔以空間分析模組（Spatial Analyst）進行之。使用者另可自行選用免費軟體(如:QGIS: <http://www.qgis.org/>)，唯各地理資訊系統之操作方法不在本作業進行細部步驟說明，使用者需具備地理資訊操作、分析與各類圖資基本判釋能力。

### 伍、作業流程

初步規劃之構想流程，分別為融合影像分析、全波形光達分析、現地查核與整合分析四部分(圖 1)，而後續將各部分之細節透過各項細部工作方法予以流程標準化後，並建立整合應用機制與作業方法文件，以提供相關研究之

參考。而整合應用機制與作業方法文件之章節規劃如下：

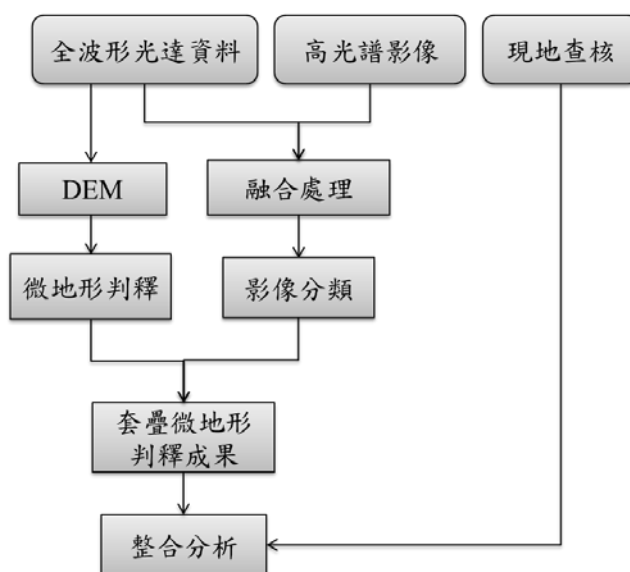


圖 1 高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌調查作業流程圖

## 陸、作業方法

### 一、融合影像分析作業方法

#### (一)資料前處理

##### 1. 高光譜影像

高光譜影像自拍攝完成後、影像增揚前對於原始影像所進行之儀器校正、輻射校正(Radiometric Correction)、幾何糾正、大氣校正(Atmospheric Correction)等均可稱為影像前處理，經由大氣校正處理，可反演地物真實反射率。高光譜影像具有數十至數百個波段數，藉由高的光譜分辨率以取得地表的反射資訊，可分類辨別出光譜相近的土地利用類別。由於大氣校正之成果並非有絕對性的良好成果，為減少高光譜影像之影像雜訊或受水氣影響過大的波段對於後續融合與應用分析之影響，可逐一篩選高光譜影像經大氣校正後之各波段影像，並且剔除影像的不良波段(Bad band)，以確保後續多變量統計成果之正確性。

## 2. 全波形光達資料

自飛行作業之後，空載 LiDAR 資料前處理作業包括原始資料整理備份、飛航掃瞄航跡 POS 解算並產出 LiDAR 原始點雲及全波形資料(LAS1.3)，流程如圖 11。由於全波形光達資料具有反映不同地物類型的光達回波強度，因此可利用光達的回波強度(Intensity)資訊作為影像融合處理的使用材料之一。全波形光達資料之前處理方式為，利用對不同地物類型之振幅 (Amplitude) 訊號差異性進行 1 平方公尺內之波形資料取樣，計算該面積內之平均振幅數值，爾後再儲存為網格式資料，以 n 個維度重新展現地物之全波形光達資料的波形資訊。

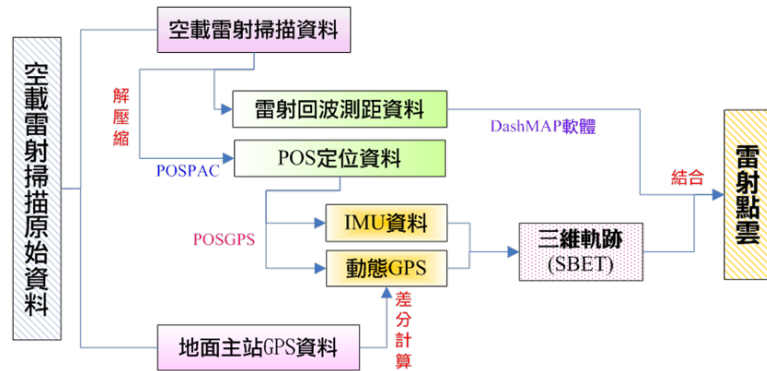


圖 11 點雲解算產製處理流程

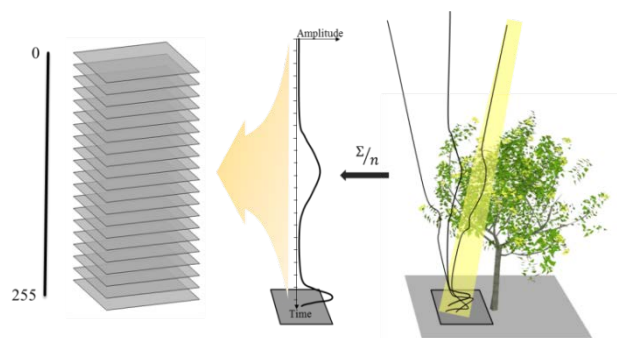


圖 2 全波形光達資料之前處理包含振幅平均與影像網格式兩種

## (二)資料融合

Pohl and Genderen (1998)於「融合」一詞之解釋為，可依據其運算資料來源與運算式之作用階段，其分為像元(Pixel)、特徵(Feature)以及決策(Decision)三種不同的處理層級。一般而言，融合影像的處理方式多為 Feature-level，其主要是先將光達資料進行產品加值，如數值高程模型、數值地表模型或是森林樹冠模型等(Mutlu et al., 2008)，因此往往簡化了光達的數據而使其數據資料粗糙化。故本作業係以 Pixel-level 進行融合處理，期望保留各資料之優點，突顯全波形光達的潛力。融合處理流程如圖 3 所示。融合影像處理係以統計原理作為基礎，透過多變量統計獲取具有代表性且較佳的影像。本作業選用之轉換模型為 Minimum Noise Fraction (MNF) Transformation (Green et al., 1988)。由 MNF 之理論計算乃是將原始影像的共變異矩陣 (covariance matrix) 視為訊號與雜訊共變異矩陣的總合，

$$\Sigma = \Sigma_S + \Sigma_N$$

其中， $\Sigma$  為原影像之共變異矩陣， $\Sigma_S$  為訊號之共變異矩陣， $\Sigma_N$  則代表影像雜訊之共變異矩陣。因此，MNF 係計算各波段之變異數的噪訊比率 (Signal to Noise Ratio, SNR) 使訊號影像與雜訊影像加以分離，故即可以訊號影像進行資料的正交轉換 (Principal Component Analysis, PCA)，提高影像成分特徵的資料品質。光譜轉換公式如下所列：

$$Y = AG$$

Y 為旋轉後之主軸影像；A 為原始影像共變異矩陣之特徵向量；G 為原始影像。

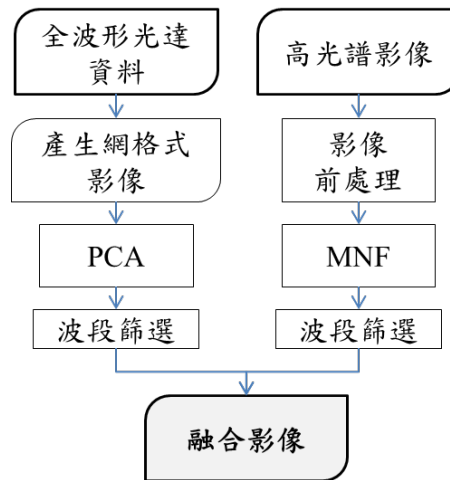


圖 3 以統計原理融合不同資料之處理流程

然而由於 ALTM Pegasus HD 400 儀器的資料紀錄特性，使得光達後面波段資料為平坦訊號（圖 4），導致光達資料在 MNF 進行噪訊處理時無法滿足原始影像（ $\Sigma$ ）與訊號影像（ $\Sigma_N$ ）均為正定矩陣的要求。爰此，高光譜影像轉置方式係選擇 MNF，全波形光達影像則選以 PCA 進行影像處理。各轉換後影像將重新疊合成新的影像。

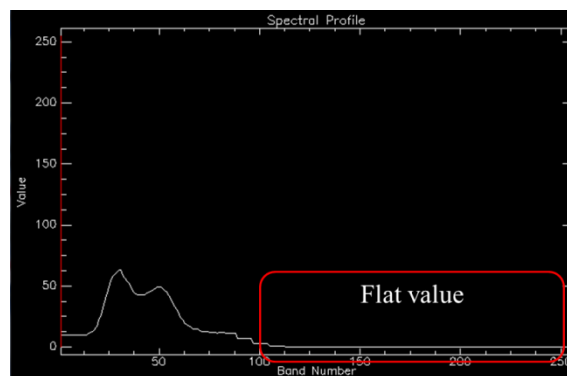


圖 4 因儀器紀錄特性導致後段訊號出現平值

而影像疊合之波段處理除了透過成分軸（Component）的特徵值（Eigen value）計算出各成份軸影像之變方（Variance）佔總影像之變方和比率（即解釋率）外，透過逐一挑選特徵波段，以藉此消除因日照、感測器等因素導致影像明暗差異過大的航帶。

### (三)影像分類

土地覆蓋物判釋類別，可視使用者研究之目的規劃欲分類的類別進行分類。影像分類係以人工圈選訓練樣區之方式對各土地覆蓋物進行訓練，並且以監督式分類之高斯最大概似法進行(Gaussian maximum likelihood classification)分類，爾後利用第二次國土利用調查資料及正射航照影像作為地真資料來源，以藉此評估其分類成果之準確性。

影像分類準確性評估 (Assessment of Classification Accuracy) 乃採隨機方式產生 300 個檢核點，並根據地真資料確認各檢核點位置之地物所屬類別，透過建立地面真實之參考檢核點資料，計算影像分類之誤差矩陣 (Error matrix)。誤差矩陣使用之指標包含使用者精度 (User's accuracy)、生產者精度 (Producer's accuracy)、整體精度 (Overall accuracy) 以及 Kappa 統計值共計四種。

整體精度(Overall Accuracy) 代表分類後正確的土地覆蓋類別之檢核點數與總抽取的檢核點數之比率。使用者精度 (User's accuracy) 為分類後之各個土地覆蓋類別，對應至檢核點資料之正確比率，具有誤授 (Commission) 之概念。而生產者精度(Producer's accuracy)則表示檢核點資料被正確分類之比率因此亦表示漏授 (Omission) 之意涵。而同時考慮漏授與誤授之因素，則可藉由 Kappa 統計值顯示影像分類的誤差性以及取樣與參考分類的一致性機率。Kappa 值愈趨近 1 表示分類精度愈高，一般可接受之 Kappa 值約為 0.75 - 0.8 (Montserud and Leamans, 1992; Landis and Koch, 1977)，若低於 0.4 則顯示分類精度不佳。為確保分類成果的精度品質，本作業乃設定 0.7 為是否需重新選取訓練樣區之門檻值。

## 二、微地形崩塌判釋作業方法

### 1. 判釋材料蒐集與產製

本作業所需材料主要為光達數值高程模型(DEM)資料、同步拍攝之正射航照(圖 5, a)與利用地理資訊系統空間分析，將光達數值高程模型轉換之日照陰影圖(圖 5, b)及坡度圖(圖 5, c)，透過上述圖資之疊合分析(圖 5, d)，再由具崩塌調查判釋與經驗之人員進行判釋與數化。

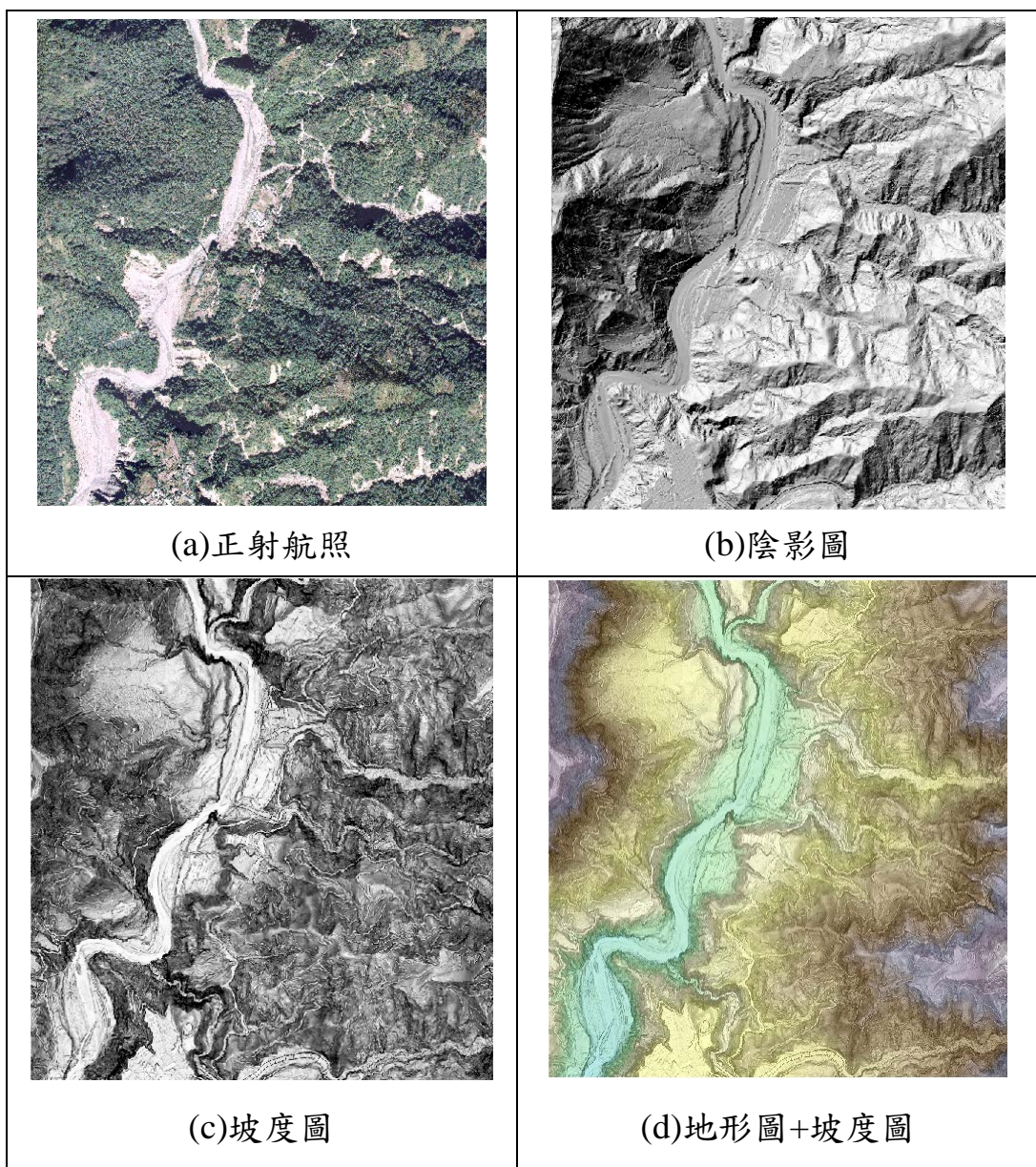


圖 5 微地形崩塌作業判釋材料

## 2. 崩塌地形特徵

崩塌之地形特徵包括冠部、崩崖與裂隙等(圖 6)，茲說明如下：

- (1)冠部：崩塌位置之最上緣，有張力裂隙發育。
- (2)崩崖：為呈馬蹄狀之崖坡，新滑落崖之坡面色調光亮，崖坡上緣冠部有同心圓弧形張力裂隙，崩崖下方有窪地或水池形成。
- (3)多重山稜：崩塌發育過程中，冠部張力裂隙侵蝕作用持續，造成地形凹陷，而裂隙兩側較高之地形則形成多重山稜特徵。
- (4)坡頂緩斜面：坡頂緩斜面發育於坡頂於不同崩崖間之地形特徵，通常此處之地形坡度較為平緩。
- (5)滑動體：外觀呈畚箕狀凹陷地形，植生林相改變與周圍林相不協調情況。如其為草生地或竹林地，或是被開墾為梯田狀水旱田，而與周圍多年植生林相有所差異，滑動體上段呈現下陷地形，中段呈緩坡狀，下段則呈隆起地形。
- (6)側邊裂隙：側翼裂隙(雙溝同源之水系特徵)：山崩體的兩側為山崩體與圍岩產生剪切破壞的地帶，岩土嚴重破碎，容易被侵蝕，久而久之就發育成兩條蝕溝，其源頭處逐漸朝主崩崖的部分包抄，故稱之雙溝同源。
- (7)坡趾隆起：趾部為河岸攻擊坡，由於坡趾部因山崩擠壓，突出河道致使河道變窄或轉彎。



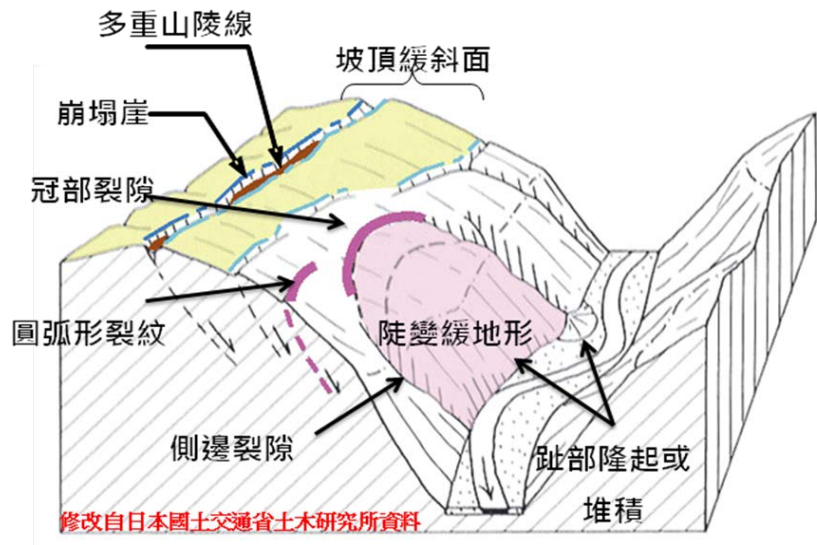


圖 6 崩塌地形特徵示意圖(修改自日本國土交通省土木研究所)

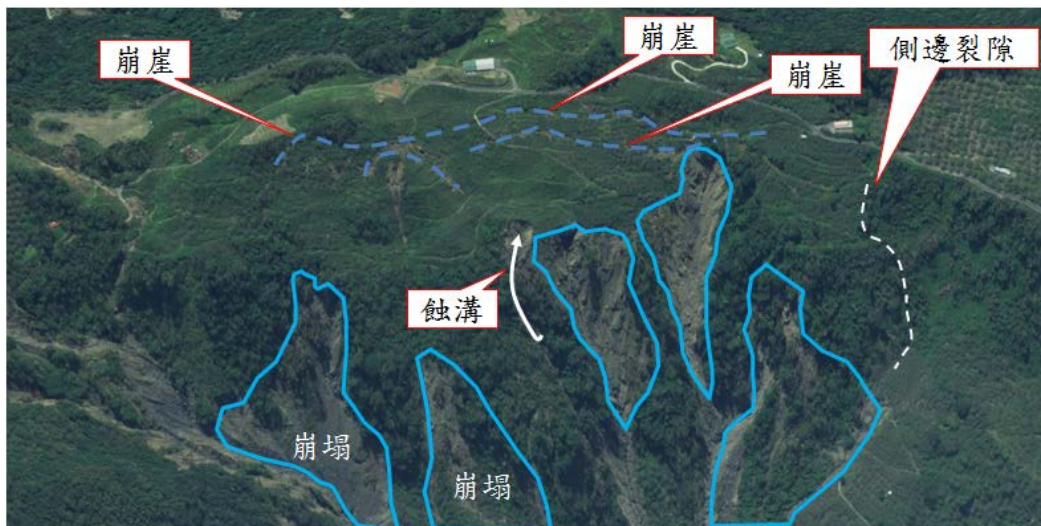


圖 7 崩塌微地形特徵航照判釋範例

### 3. 崩塌地形特徵判釋

- (1) 航照 (若無航照則採用衛星影像) 判釋(圖 7)：主要判釋是否有近期崩塌或早期崩塌之裸露地發育，於航照上會出現地表裸露無植生的現象，若有則代表該區域已產生崩塌，若無裸露地之崩塌發育則進行下一步驟之微地形判釋。於地理資訊系統中加入正射航照、DEM、日照陰影、坡度圖層。利用地理資訊系統將數值高程模型轉為等高線疊加於正射航照上，輔助判釋。

(2)地形判釋：主要是判釋是否具上節所述之崩塌微地形特徵，利用地理資訊系統進行圈繪與數化(圖 8)。

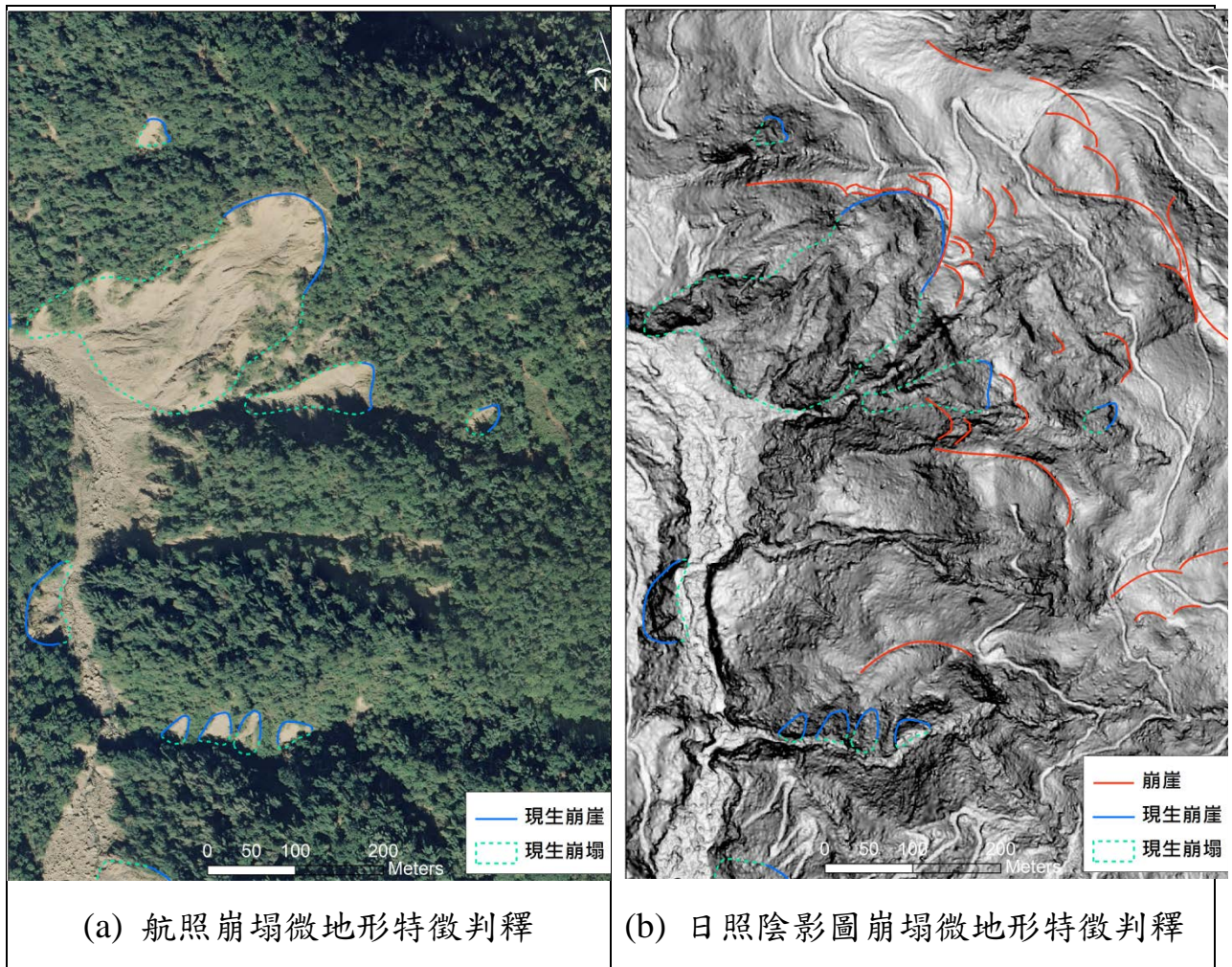


圖 8 利用航照與日照陰影圖進行崩塌微地形特徵判釋範例

### 三、 現地查核作業方法

現地調查主要目的為確認崩塌判釋之正確性。其主要之調查步驟包括調查工作底圖製作、崩塌地形特徵調查、崩塌不利因子調查，茲將各項目之調查內容與做法說明如下：

#### 1. 調查工作底圖製作



將步驟三之崩塌類型判釋結果套疊地質圖、環境地質圖、道路圖、水系圖等資料，利用地理資訊系統軟體，以 1:5000 輸出 A1 尺寸調查工作底圖，備齊 GPS、數位相機、地質羅盤、測量工具等裝備進行調查。

## 2. 崩塌地形特徵調查

崩塌地形特徵調查主要進行：

- (1) 崩塌滑動徵兆確認：崩塌地形特徵包括冠部、崩崖、多重山稜、坡頂緩斜面、滑動體、側邊裂隙、坡趾隆起等特徵，依據表 1 之特徵進行現場研判，若具上述特徵則代表有滑動徵兆。
- (2) 滑動範圍確認：將上述之崩塌特徵之位置標註於工作底上進行崩塌判釋範圍之修正，依據崩崖、側邊列隙、趾部位置等界定出崩崖面、滑動體、崩積層以及滑動範圍等界線，並進行滑動面位置粗估。

表 1 崩塌微地形特徵現地範例照片及說明

地形特徵	範例照片	特徵說明
冠部	 <p>A photograph showing a paved road curving through a wooded area. A red line is drawn along the ridge of the road, labeled '山脊線' (ridge line). A yellow dashed line follows a crack in the road surface, labeled '冠部張力裂隙' (ridge tension crack).</p>	冠部常發育於山脊線附近，若冠部張力裂隙落差不大則不易進行觀察，範例照片為冠部張力裂隙切過柏油路情形。
崩崖	 <p>A photograph of a steep, vegetated slope. A red dashed line traces a path across the slope, indicating a landslide surface. Labels include '灌木植物' (shrub vegetation) at the top, '崩崖' (collapse cliff) along the dashed line, '陡坡裸露' (steep slope exposure) on the slope, and '崩塌土體' (collapse soil mass) and '草本植物' (herbaceous plants) at the bottom.</p>	崩崖發育於冠部下方，因滑動距離長而沿滑動面產生崩崖現象，崩崖於野外常呈現陡坡裸露的情形，同時崩崖上、下植生常不一致，上方常為灌木，而下方崩塌土體則常為草本植物。

地形特徵	範例照片	特徵說明
多重山稜		<p>多重山稜線主要由崩崖之裂隙持續受侵蝕或蝕溝發育，而形成兩側較高的地形，此常為舊有滑動面的特徵，代表早期已有滑動的跡象。</p>
滑動體		<p>滑動體通常呈塊體狀，由冠部位置沿崩崖重力向下滑落。</p>
側邊裂隙		<p>崩塌側邊裂隙通常不易於野外觀察，其主要特徵為一不規則溝狀地形，裂隙上方為未滑動區，通常地勢較下方滑動體為高，且常有灌木生長，而下方滑動體則呈現裸露或植生彎曲的情形。</p>
坡趾隆起		<p>崩塌址部常因隆起而擠壓道路及人工構造物，此為崩塌地形特徵中重要之指標之一。</p>

### 3. 崩塌不利因子調查：

現地觀察之不利因子包括弱面方位與發生密度、河道側蝕與下切狀況、地下水與湧水狀況、道路與人為開發截切坡面等，而以上各因子之範例照片如表 2。

- (1) 調查內容：崩塌地與鄰近地區進行現地細部調查，包含交通、地質、山崩特性等，其中地質調查重點為岩盤之岩性與地質構造，包括未崩塌區之岩性與位態、崩塌區出露之岩性與位態、通過崩塌地之地質構造線位置與性質、弱面位態與密度之量測、地下水滲漏與岩體浸染狀況等等。
- (2) 調查方法：本手冊採用表 2 之崩塌現場調查表進行崩塌地質狀況調查與記錄。本表需詳實記錄以供後續崩塌潛勢評估之參考。

表 2 崩塌之不利因子現地範例照片及說明

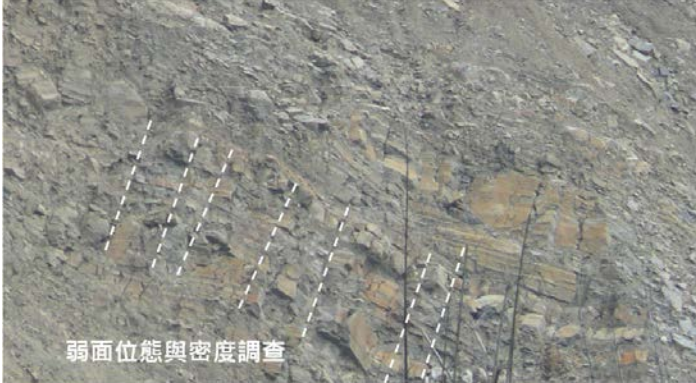



不利因子	範例照片	說明
弱面方位與發生密度		<p>使用地質羅盤進行弱面方位之紀錄，並量測單位長度內弱面發育之數量。</p>
河道側蝕與下切狀況		<p>於河道攻擊側位置進行觀察，是否坡面有崩塌現象。</p>
地下水與湧水狀況		<p>地下水與湧水狀況常發生於不透水層與上方透水層交界處，出露地坡面後則以蝕溝方式發育進一步刷深坡面造成不穩定，此為崩塌重要之不利因子，常因有湧水而導致大規模滑動</p>
道路與人為開發截切坡面		<p>坡面常因道路截切而產生自由端出露，造成上方邊坡不穩定，而產生滑動。</p>

表 2-3 崩塌調查表

圖號	山崩發生日期		航照判釋日期		記錄者:			
	誘發山崩事件名稱		野外查核日期		記錄者:			
圖名	圖層識別碼		調查點編號					
航照編號	航照拍攝時間		山崩中心點坐標		X _____ Y _____ (TWD97)			
交通可達	<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否	防治工程	<input type="checkbox"/> A.有 <input type="checkbox"/> B.無	防治工程現況	<input type="checkbox"/> A.損壞 <input type="checkbox"/> B.良好			
保全對象	<input type="checkbox"/> A.道路 <input type="checkbox"/> B.橋樑 建物( <input type="checkbox"/> C1.<5棟 <input type="checkbox"/> C2.5-10棟 <input type="checkbox"/> C3.>10棟) <input type="checkbox"/> D.其他 <input type="checkbox"/> E.無			照片編號				
				照片拍攝位置	坐標: X _____ Y _____ (TWD97) 方位: _____ (0-360度)			
岩性組合 (1.主要岩性 2.次要岩性)	<input type="checkbox"/> A1.礫岩 <input type="checkbox"/> A2.砂岩 <input type="checkbox"/> A3.粉砂岩 <input type="checkbox"/> A4.頁岩 <input type="checkbox"/> A5.泥岩 <input type="checkbox"/> A6.石灰岩 <input type="checkbox"/> A7.凝灰質砂岩 <input type="checkbox"/> A8.其他 _____ 單層厚度: (1.主要岩性2.次要岩性) <input type="checkbox"/> 極厚層 (Massive, >2 m) <input type="checkbox"/> 很厚層 (Very Thick, 2.0 m-0.6 m) <input type="checkbox"/> 厚層 (Thick, 0.6-0.2 m) <input type="checkbox"/> 薄層 (Thin, 20-6 cm) <input type="checkbox"/> 極薄層 (Very Thin, 6-2 cm) <input type="checkbox"/> 紋層 (Laminated, 2-0.6 cm) <input type="checkbox"/> 薄紋層 (Thinly Laminated, <0.6 cm)							
	變質岩 <input type="checkbox"/> B1.硬頁岩 <input type="checkbox"/> B2.板岩 <input type="checkbox"/> B3.千枚岩 <input type="checkbox"/> B4.片岩 <input type="checkbox"/> B5.片麻岩 <input type="checkbox"/> B6.石英岩 <input type="checkbox"/> B7.變質砂岩 <input type="checkbox"/> B8.大理岩(含白雲岩) <input type="checkbox"/> B9.其他 _____							
	火成岩 <input type="checkbox"/> C1.安山岩 <input type="checkbox"/> C2.玄武岩 <input type="checkbox"/> C3.火山角礫岩(集塊岩) <input type="checkbox"/> C4.凝灰岩 <input type="checkbox"/> C5.其他 _____							
	崩散或未固結材料 <input type="checkbox"/> D1.崩積層 <input type="checkbox"/> D2.礫石層 <input type="checkbox"/> D3.砂層 <input type="checkbox"/> D4.紅土層 <input type="checkbox"/> D5.紅土礫石層 <input type="checkbox"/> D6.火山岩屑							
構造特性	層面位態	層面 N /	劈理、片理位態	劈理、片理 N /				
	節理特性	位態	節理組1: N /	平均間距	節理組1: m	開口	節理組1: cm	節理組1: <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無
		節理組2: N /	節理組2: m		節理組2: cm		節理組2: <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	
		節理組3: N /	節理組3: m		節理組3: cm		節理組3: <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	
斷層構造	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 名稱: _____、類型: <input type="checkbox"/> 正 <input type="checkbox"/> 逆 <input type="checkbox"/> 橫移、斷層面位態: N /、斷層帶寬度: _____ m 觀測方式: <input type="checkbox"/> 現地量測 <input type="checkbox"/> 地質圖研判							
褶皺構造	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 名稱: _____、類型: <input type="checkbox"/> 背斜 <input type="checkbox"/> 向斜 軸面位態: N / 觀測方式: <input type="checkbox"/> 現地量測 <input type="checkbox"/> 地質圖研判							
山崩材料	<input type="checkbox"/> A.新鮮岩塊 <input type="checkbox"/> B.風化土石 <input type="checkbox"/> C.礫石(紅土礫石) <input type="checkbox"/> D.崩積土石 <input type="checkbox"/> E.礦渣堆積 <input type="checkbox"/> F.填土 <input type="checkbox"/> G.其他 (可複選)							
活動性	<input type="checkbox"/> A.新崩塌地 <input type="checkbox"/> B.舊崩塌地再活動( <input type="checkbox"/> B1.擴大 <input type="checkbox"/> B2.部分 <input type="checkbox"/> B3.同範圍) <input type="checkbox"/> C.舊崩塌地							
土地利用	<input type="checkbox"/> A.農墾地 <input type="checkbox"/> B.裸露地 <input type="checkbox"/> C.林地 <input type="checkbox"/> D.竹林 <input type="checkbox"/> E.草生地 <input type="checkbox"/> F.建地 <input type="checkbox"/> G.道路 <input type="checkbox"/> H.其他 _____ (可複選)							
崩塌地植生狀況	<input type="checkbox"/> A.裸露 <input type="checkbox"/> B.稀疏 <input type="checkbox"/> C.茂密 <input type="checkbox"/> D.完全覆蓋							
發生區位置	<input type="checkbox"/> A.坡頂 <input type="checkbox"/> B.坡腹 <input type="checkbox"/> C.坡趾 <input type="checkbox"/> D.全坡面							
發生區地形	<input type="checkbox"/> A.凸谷形 <input type="checkbox"/> B.凸直形 <input type="checkbox"/> C.凸脊形 <input type="checkbox"/> D.直谷形 <input type="checkbox"/> E.平直形 <input type="checkbox"/> F.直脊形 <input type="checkbox"/> G.凹谷形 <input type="checkbox"/> H.凹直形 <input type="checkbox"/> I.凹脊形							
邊坡型態	<input type="checkbox"/> A.順向坡 <input type="checkbox"/> B.逆向坡 <input type="checkbox"/> C.斜交坡 <input type="checkbox"/> D.正交坡 <input type="checkbox"/> E.階地崖 <input type="checkbox"/> F.其他							
邊坡坡向	<input type="checkbox"/> A.東 <input type="checkbox"/> B.東南 <input type="checkbox"/> C.南 <input type="checkbox"/> D.西南 <input type="checkbox"/> E.西 <input type="checkbox"/> F.西北 <input type="checkbox"/> G.北 <input type="checkbox"/> H.東北							
規模大小	野外調查量測	平均長度: _____ m; 平均寬度: _____ m; 平均厚度: _____ m,						
	圖面數化	面積	_____ m <sup>2</sup>	崩塌量	_____ m <sup>3</sup>			
地形坡度	<input type="checkbox"/> A.緩 (0-20度) <input type="checkbox"/> B.陡 (21-40度) <input type="checkbox"/> C.極陡 (41-60度) <input type="checkbox"/> D.崖 (61度以上)							
地下水狀況	<input type="checkbox"/> A.乾 <input type="checkbox"/> B.溼 <input type="checkbox"/> C.滲水 <input type="checkbox"/> D.湧水							
地面水匯集	<input type="checkbox"/> Y.有 <input type="checkbox"/> N.無	河岸侵蝕		<input type="checkbox"/> Y.有 <input type="checkbox"/> N.無	趾部人為開挖 <input type="checkbox"/> Y.有 <input type="checkbox"/> N.無			
山崩趾部特徵	趾部有無造成堰塞湖 <input type="checkbox"/> Y.有 <input type="checkbox"/> N.無		趾部突出河道 <input type="checkbox"/> Y.有 <input type="checkbox"/> N.無					
滑動型態	<input type="checkbox"/> A.平面型(含楔型) <input type="checkbox"/> B.圓弧型 <input type="checkbox"/> C.複合型							
	主崩崖特徵	崖高: _____ m	崖寬: _____ m	崖面新鮮	<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否			
		冠部有張裂縫	<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否		主崩崖下方有窪地或水池	<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否		
	平面型(含楔型)滑動體特徵	坡面位態	N /	坡頂殘留岩塊	<input type="checkbox"/> Y.有 <input type="checkbox"/> N.無	坡面崩積岩塊	<input type="checkbox"/> Y.有 <input type="checkbox"/> N.無	
不連續面1位態		N /	不連續面1種類	<input type="checkbox"/> A.層面 <input type="checkbox"/> B.節理面 <input type="checkbox"/> C.劈理、片理面				
不連續面2位態		N /	不連續面2種類	<input type="checkbox"/> A.層面 <input type="checkbox"/> B.節理面 <input type="checkbox"/> C.劈理、片理面				
圓弧型滑動體特徵	坡趾坡度是否大於或等於不連續面(或交線)傾角				<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否			
	外觀呈凹陷地形		<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否		上段呈下陷地形	<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否		
	中段呈緩坡狀		<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否		下段呈隆起地形	<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否		
其他描述	崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源	<input type="checkbox"/> Y.是 <input type="checkbox"/> N.否		

#### 四、 整合分析作業方法

應用高光譜與光達資料之融合影像分類成果與光達數值地形之微地形判釋成果，兩者資料進行整合，利用 ArcGIS 進行套疊分析，可由套疊成果得知微地形所分布在何種土地覆蓋類型，再利用微地形判釋成果繪製崩崖上、下部 20 公尺範圍作為整合分析之研究區域，取樣示意圖如圖 9 所示。接著進行崩崖上部及下部各佔土地覆蓋類別之數量百分比統計。統計成果分別與現地植生調查資料進行比對，最後歸納所判釋的微地形特徵與土地覆蓋類型之趨勢，以此評估微地形崩塌調查機制之可行性。

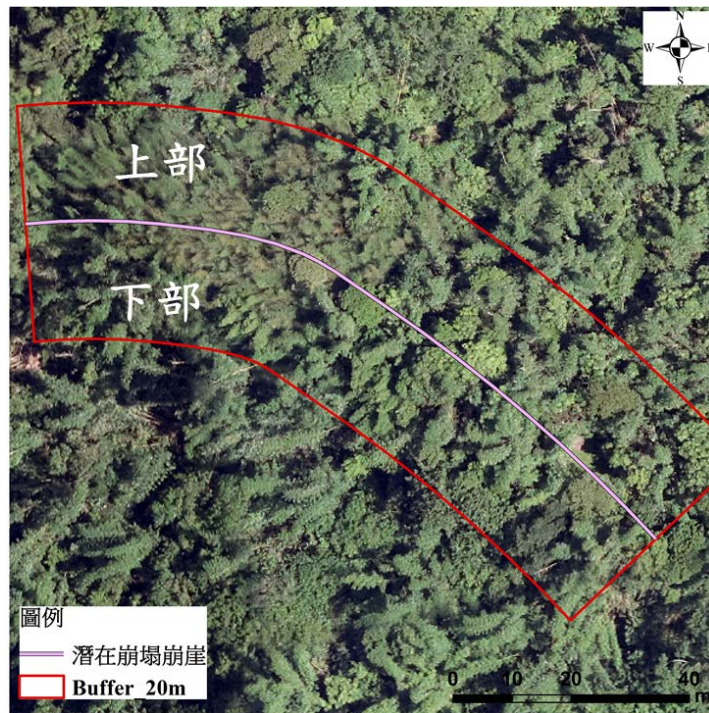


圖 9 以微地形判釋成果繪製崩崖上、下部 20 公尺範圍作為整合分析之研究區域



## 參考文獻

1. Lee, Chyi-Tyi, Fei, L.Y., Lee, J.F., Lin, M.L., Dong, J.J., Chang, J.W. (2008) Event-based Landslide Susceptibility Analysis - an Example from the Tachia Creek Drainage Basin, Central Taiwan, Proceedings of 2008 Geology and Slope Hazard of Drainage Basin Conference, Taipei, 1-1~1-21.
2. POHL C. and J. L. V. GENDEREN (1998) Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing* 19(5): 32.
3. Montserud, R. A., and R. Leamans (1992) Comparing global vegetation maps with the kappa statistic. *Ecological Modelling* 62 : 275-293.
4. Landis, J. R. and G. G. Koch (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33 : 159-174.
5. 經濟部中央地質調查所，2003~2006，都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置。
6. 經濟部中央地質調查所，2005，山崩潛感分析研究。
7. 經濟部中央地質調查所，2007~2010，都會區周緣坡地山崩潛勢評估計畫。
8. 謝文棟、林慶偉，2011，證據權重法與模糊邏輯在山崩潛感分析之研究與比較：以荖濃溪為例。

## 附件七

不同方法內插之 DEM 與疏化程度之地面點  
檢核精度評估

一、IDW 與點雲疏化各類土地覆蓋分區基本精度分析表

土地覆蓋類型	檢核 點數	平均 高差(m)	平均 絕對 高差(m)	最大 高差(m)	最小 高差(m)	標準 偏差	均方根誤差
<b>點雲 1/2 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.052	0.064	0.097	-0.178	0.053	0.074
矮植被	42	0.003	0.061	0.209	-0.135	0.079	0.061
植生地	40	-0.004	0.055	0.147	-0.167	0.072	0.071
林地	38	-0.036	0.076	0.249	-0.258	0.09	0.096
密林	42	-0.048	0.096	0.252	-0.243	0.101	0.111
橫斷面	66	-0.071	0.073	0.038	-0.201	0.048	0.085
<b>點雲 1/4 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.053	0.065	0.1	-0.199	0.056	0.077
矮植被	42	0.002	0.057	0.196	-0.117	0.076	0.075
植生地	40	-0.004	0.06	0.153	-0.153	0.075	0.074
林地	38	-0.032	0.079	0.262	-0.254	0.094	0.098
密林	42	-0.052	0.091	0.237	-0.267	0.098	0.11
橫斷面	66	-0.074	0.075	0.028	-0.198	0.047	0.087
<b>點雲 1/8 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.051	0.064	0.098	-0.17	0.056	0.076
矮植被	42	0.016	0.073	0.332	0.016	0.103	0.103
植生地	40	0.006	0.069	0.237	-0.16	0.089	0.089
林地	38	-0.035	0.103	0.304	-0.433	0.134	0.136
密林	42	-0.083	0.127	0.246	-0.592	0.156	0.175
橫斷面	66	-0.075	0.075	0.008	-0.237	0.049	0.089
<b>點雲 1/16 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.052	0.064	0.095	-0.181	0.055	0.075
矮植被	42	0.006	0.07	0.276	0.333	0.098	0.097
植生地	40	0.009	0.083	0.356	-0.229	0.114	0.112
林地	38	-0.042	0.11	0.351	-0.42	0.14	0.145
密林	42	-0.094	0.166	0.776	-1.222	0.26	0.274
橫斷面	66	-0.073	0.076	0.039	-0.197	0.046	0.088

土地覆蓋類型	檢核 點數	平均 高差(m)	平均 絕對 高差(m)	最大 高差(m)	最小 高差(m)	標準 偏差	均方根誤差
<b>點雲 1/32 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.059	0.07	0.103	-0.245	0.064	0.086
矮植被	42	0.005	0.086	0.286	-0.489	0.122	0.12
植生地	40	0.022	0.085	0.486	-0.178	0.123	0.123
林地	38	-0.047	0.137	0.281	-0.584	0.187	0.19
密林	42	-0.121	0.216	0.846	-1.485	0.34	0.357
橫斷面	66	-0.07	0.074	0.047	-0.241	0.054	0.088

註:數值皆取到小數點以下 3 位, 第 4 位以四捨五入計算

## 二、TIN 與點雲疏化各類土地覆蓋分區基本精度分析表

土地覆蓋類型	檢核 點數	平均 高差(m)	平均 絕對 高差(m)	最大 高差(m)	最小 高差(m)	標準 偏差	均方根誤差
<b>點雲 1/2 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.055	0.067	0.102	-0.182	0.055	0.077
矮植被	42	0.005	0.061	0.188	-0.117	0.08	0.079
植生地	40	0	0.059	0.139	-0.109	0.071	0.071
林地	38	-0.04	0.085	0.198	-0.235	0.096	0.103
密林	42	-0.048	0.08	0.156	-0.196	0.082	0.095
橫斷面	66	-0.073	0.075	0.042	-0.178	0.047	0.087
<b>點雲 1/4 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.056	0.068	0.103	-0.181	0.056	0.079
矮植被	42	0.003	0.059	0.195	-0.114	0.076	0.075
植生地	40	-0.006	0.06	0.139	-0.194	0.075	0.075
林地	38	-0.03	0.085	0.199	-0.269	0.101	0.104
密林	42	-0.059	0.086	0.17	-0.419	0.096	0.111
橫斷面	66	-0.074	0.076	0.043	-0.178	0.046	0.087

土地覆蓋類型	檢核 點數	平均 高差(m)	平均 絕對 高差(m)	最大 高差(m)	最小 高差(m)	標準 偏差	均方根誤差
<b>點雲 1/8 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.055	0.066	0.1	-0.183	0.055	0.077
矮植被	42	0.011	0.064	0.28	-0.116	0.086	0.086
植生地	40	0	0.06	0.155	-0.155	0.078	0.077
林地	38	-0.034	0.091	0.259	-0.298	0.115	0.118
密林	42	-0.07	0.097	0.135	-0.472	0.105	0.125
橫斷面	66	-0.073	0.075	0.042	-0.182	0.046	0.086
<b>點雲 1/16 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.053	0.065	0.103	-0.187	0.055	0.076
矮植被	42	0	0.068	0.189	-0.186	0.087	0.085
植生地	40	0.001	0.057	0.178	-0.187	0.079	0.078
林地	38	-0.022	0.107	0.38	-0.337	0.14	0.14
密林	42	-0.072	0.107	0.143	-0.462	0.121	0.139
橫斷面	66	-0.077	0.079	0.038	-0.191	0.048	0.09
<b>點雲 1/32 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.054	0.066	0.104	-0.188	0.056	0.077
矮植被	42	-0.008	0.079	0.189	-0.341	0.107	0.106
植生地	40	-0.006	0.093	0.688	-0.509	0.165	0.163
林地	38	-0.034	0.118	0.387	-0.472	0.16	0.161
密林	42	-0.119	0.197	0.565	-1.156	0.29	0.311
橫斷面	66	-0.104	0.106	0.04	-1.497	0.19	0.216

註:數值皆取到小數點以下 3 位, 第 4 位以四捨五入計算

三、Kriging 與點雲疏化各類土地覆蓋分區基本精度分析表

土地覆蓋類型	檢核 點數	平均 高差(m)	平均 絕對 高差(m)	最大 高差(m)	最小 高差(m)	標準 偏差	均方根誤 差
<b>點雲 1/2 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.055	0.067	0.093	-0.186	0.056	0.078
矮植被	42	0.005	0.062	0.181	-0.117	0.08	0.079
植生地	40	0	0.06	0.162	-0.112	0.074	0.073
林地	38	-0.039	0.083	0.198	-0.21	0.094	0.101
密林	42	-0.046	0.084	0.158	-0.191	0.088	0.098
橫斷面	66	-0.074	0.076	0.035	-0.183	0.047	0.087
<b>點雲 1/4 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.057	0.068	0.106	-0.192	0.056	0.079
矮植被	42	0.004	0.06	0.163	-0.105	0.077	0.076
植生地	40	-0.008	0.057	0.158	-0.142	0.069	0.069
林地	38	-0.035	0.088	0.189	-0.221	0.097	0.102
密林	42	-0.049	0.081	0.141	-0.248	0.085	0.097
橫斷面	66	-0.074	0.076	0.044	-0.189	0.047	0.088
<b>點雲 1/8 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.054	0.064	0.101	-0.185	0.054	0.076
矮植被	42	0.011	0.064	0.227	-0.105	0.083	0.082
植生地	40	-0.002	0.059	0.174	-0.134	0.077	0.076
林地	38	-0.038	0.091	0.2	-0.249	0.108	0.113
密林	42	-0.07	0.106	0.22	-0.399	0.116	0.134
橫斷面	66	-0.072	0.074	0.042	-0.182	0.047	0.086
<b>點雲 1/16 疏化程度</b>							
裸露地	42	-0.051	0.062	0.101	-0.175	0.054	0.074
矮植被	42	0.001	0.066	0.204	-0.136	0.084	0.083
植生地	40	0.009	0.083	0.356	-0.229	0.114	0.112
林地	38	-0.032	0.099	0.326	-0.315	0.124	0.127
密林	42	-0.07	0.107	0.177	-0.572	0.127	0.144
橫斷面	66	-0.07	0.075	0.061	-0.194	0.053	0.088

土地覆蓋類型	檢核 點數	平均 高差(m)	平均 絕對 高差(m)	最大 高差(m)	最小 高差(m)	標準 偏差	均方根誤 差
點雲 1/32 疏化程度							
裸露地	42	-0.051	0.067	0.103	-0.187	0.061	0.079
矮植被	42	-0.005	0.075	0.206	-0.284	0.097	0.096
植生地	40	-0.011	0.084	0.295	-0.315	0.118	0.117
林地	38	-0.013	0.116	0.363	-0.33	0.154	0.153
密林	42	-0.109	0.168	0.399	-1.122	0.245	0.265
橫斷面	66	-0.08	0.093	0.242	-0.581	0.101	0.128

註:數值皆取到小數點以下 3 位, 第 4 位以四捨五入計算

## 附件八

本案相關附件與辦理實況相片



B(裸露地)



# D(密林)



# F(林地)



L(矮植被)



V(植生地)



S(横断面)



## B(裸露地)

點位	檢核 E 坐標(m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 h1(m)	成果高程 h2(m)	高程較差 $\Delta h=h2-h1(m)$	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 $\sigma_n$	精度規範 $\sigma_n$	合格
BC37	216521.556	2579457.804	368.803	368.71	-0.093	裸露地	陸嶺山地	0.3	1	0	0	1.3	-1.3	0
BH04	215785.188	2577366.263	449.526	449.47	-0.056	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH07	216554.903	2576845.837	510.133	510.02	-0.113	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH08	217091.081	2576521.585	541.286	541.27	-0.016	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH10	216901.453	2576744.916	564.573	564.49	-0.083	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH14	217802.968	2576793.964	809.049	809.03	-0.019	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH22	215546.683	2577351.717	442.28	442.28	0	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH28	215875.125	2577590.172	450.605	450.5	-0.105	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH29	215885.241	2577592.506	450.56	450.55	-0.01	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH30	215901.451	2577573.042	450.706	450.63	-0.076	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH32	215970.233	2578929.172	322.054	321.99	-0.064	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH33	216293.511	2578879.862	329.4	329.32	-0.08	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH38	216705.713	2579882.606	471.292	471.22	-0.072	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH39	216843.715	2580055.932	463.879	463.82	-0.059	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH40	216476.394	2578880.873	353.626	353.57	-0.056	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH41	216260.163	2578551.653	397.331	397.25	-0.081	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH42	216657.095	2579693.039	426.004	425.85	-0.154	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH43	216011.683	2578198.237	434.194	434.15	-0.044	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH44	216037.983	2578173.084	435.928	435.8	-0.128	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH45	216168.466	2578028.497	438.005	437.84	-0.165	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH06	217574.922	2576687.392	771.239	771.25	0.011	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BM11	217070.364	2576827.437	631.308	631.29	-0.018	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM12	217475.212	2577239.954	739.347	739.35	0.003	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM13	217942.338	2576373.332	804.764	804.82	0.056	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM15	217587.28	2577021.121	816.891	816.85	-0.041	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM23	215952.904	2577154.057	463.413	463.37	-0.043	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM24	216038.257	2577108.175	468.141	468.08	-0.061	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM25	216062.469	2577101.424	469.381	469.31	-0.071	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM36	216417.31	2579066.809	337.28	337.11	-0.17	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BP01	215706.315	2577454.09	442.732	442.83	0.098	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP02	215711.157	2577478.881	441.401	441.49	0.089	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP05	215923.847	2577139.134	464.575	464.53	-0.045	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP07	216258.517	2576958.424	484.905	484.87	-0.035	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP09	217102.636	2576441.997	548.114	548.08	-0.034	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP16	215450.238	2577320.124	384.712	384.64	-0.072	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP18	214867.272	2576730.546	292.7	292.64	-0.06	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP19	214740.963	2576777.447	292.601	292.51	-0.091	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP20	214181.967	2576923.504	283.995	283.95	-0.045	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP21	215095.342	2577255.741	306.076	306.07	-0.006	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP26	215818.618	2577333.929	450.916	450.87	-0.046	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP27	215897.86	2577662.585	460.036	459.96	-0.076	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP31	216035.208	2579161.646	330.38	330.35	-0.03	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0

## D(密林)

點位	檢核 E 坐標(m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 h1(m)	成果高程 h2(m)	高程較差 $\Delta h=h2-h1(m)$	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 $\sigma_n$	精度規範 $\sigma_n$	合格
BC37	216521.556	2579457.804	368.803	368.71	-0.093	裸露地	陡峭山地	0.3	1	0	0	1.3	-1.3	0
DC01	216395.082	2576964.264	518.329	518.18	-0.149	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC02	216372.476	2576942.606	515.629	515.5	-0.129	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC03	217062.822	2576529.073	531.061	530.93	-0.131	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC04	217049.596	2576676.519	563.37	563.35	-0.02	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC05	217064.218	2576669.899	556.076	555.97	-0.106	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC06	216486.723	2577288.189	530.831	530.69	-0.141	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC07	216500.231	2577154.545	547.305	547.31	0.005	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC10	217565.982	2577026.911	812.512	812.51	-0.002	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC11	217560.931	2577046.354	809.884	809.81	-0.074	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC13	217643.95	2576793.653	774.075	774.08	0.005	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC14	217107.967	2577030.538	685.282	685.13	-0.152	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC15	217115.953	2577018.008	685.829	685.84	0.011	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC16	215404.528	2577187.685	368.33	368.54	0.21	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC18	214847.825	2576665.876	299.845	299.78	-0.065	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DM20	214939.82	2577148.689	313.421	313.46	0.039	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC21	214941.163	2577155.418	314.321	314.32	-0.001	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC25	215162.271	2577517.039	305.034	304.94	-0.094	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC12	215159.335	2577527.295	306.993	307.1	0.107	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC28	216096.397	2577155.888	488.939	488.99	0.051	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC29	216067.741	2577172.526	494.963	494.93	-0.033	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC30	216074.008	2577184.713	502.217	502.14	-0.077	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC40	215562.508	2579226.922	513.138	513.09	-0.048	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DC44	216676.568	2579412.587	391.638	391.54	-0.098	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	0	1.3	-1.3	0
DH17	215222.289	2577045.298	296.31	296.36	0.05	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	0	0.5	-0.5	0
DH26	215565.553	2577361.212	442.875	442.75	-0.125	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	0	0.5	-0.5	0
DH27	215790.619	2577197.052	458.093	457.96	-0.133	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	0	0.5	-0.5	0
DH36	215864.241	2579468.182	423.184	423.11	-0.074	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	0	0.5	-0.5	0
DH37	215869.585	2579494.306	423.972	423.88	-0.092	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	0	0.5	-0.5	0
DH42	216216.694	2578800.986	335.217	335.04	-0.177	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	0	0.5	-0.5	0
DH43	216488.179	2579423.604	349.547	349.59	0.043	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	0	0.5	-0.5	0
DM08	216603.859	2577043.747	567.41	567.33	-0.08	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM09	217079.016	2576825.961	631.871	631.88	0.009	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM19	214047.186	2577315.28	282.818	282.72	-0.098	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM22	215114.609	2577351.579	307.431	307.48	0.049	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM23	215124.499	2577399.95	308.471	308.36	-0.111	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM24	215134.848	2577478.131	316.08	316.09	0.01	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM31	215586.48	2578448.537	387.359	387.24	-0.119	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM33	216077.701	2579311.967	343.93	343.81	-0.12	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM35	216045.985	2579543.784	377.882	377.73	-0.152	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM38	215648.806	2579294.104	462.509	462.45	-0.059	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0



## D(密林)

點位	檢核 E 坐標(m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 h1(m)	成果高程 h2(m)	高程較差 $\Delta h=h2-h1(m)$	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 $\sigma_n$	精度規範 $\sigma_n$	合格
DM39	215597.185	2579310.268	483.336	483.33	-0.006	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
DM41	215939.383	2578906.008	323.574	323.51	-0.064	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	0	0.8	-0.8	0
BH04	215785.188	2577366.263	449.526	449.47	-0.056	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH07	216554.903	2576845.837	510.133	510.02	-0.113	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH08	217091.081	2576521.585	541.286	541.27	-0.016	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH10	216901.453	2576744.916	564.573	564.49	-0.083	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH14	217802.968	2576793.964	809.049	809.03	-0.019	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH22	215546.683	2577351.717	442.28	442.28	0	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH28	215875.125	2577590.172	450.605	450.5	-0.105	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH29	215885.241	2577592.506	450.56	450.55	-0.01	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH30	215901.451	2577573.042	450.706	450.63	-0.076	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH32	215970.233	2578929.172	322.054	321.99	-0.064	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH33	216293.511	2578879.862	329.4	329.32	-0.08	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH38	216705.713	2579882.606	471.292	471.22	-0.072	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH39	216843.715	2580055.932	463.879	463.82	-0.059	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH40	216476.394	2578880.873	353.626	353.57	-0.056	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH41	216260.163	2578551.653	397.331	397.25	-0.081	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH42	216657.095	2579693.039	426.004	425.85	-0.154	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH43	216011.683	2578198.237	434.194	434.15	-0.044	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH44	216037.983	2578173.084	435.928	435.8	-0.128	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH45	216168.466	2578028.497	438.005	437.84	-0.165	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BH06	217574.922	2576687.392	771.239	771.25	0.011	裸露地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5	0
BM11	217070.364	2576827.437	631.308	631.29	-0.018	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM12	217475.212	2577239.954	739.347	739.35	0.003	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM13	217942.338	2576373.332	804.764	804.82	0.056	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM15	217587.28	2577021.121	816.891	816.85	-0.041	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM23	215952.904	2577154.057	463.413	463.37	-0.043	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM24	216038.257	2577108.175	468.141	468.08	-0.061	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM25	216062.469	2577101.424	469.381	469.31	-0.071	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BM36	216417.31	2579066.809	337.28	337.11	-0.17	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8	0
BP01	215706.315	2577454.09	442.732	442.83	0.098	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP02	215711.157	2577478.881	441.401	441.49	0.089	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP05	215923.847	2577139.134	464.575	464.53	-0.045	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP07	216258.517	2576958.424	484.905	484.87	-0.035	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP09	217102.636	2576441.997	548.114	548.08	-0.034	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP16	215450.238	2577320.124	384.712	384.64	-0.072	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP18	214867.272	2576730.546	292.7	292.64	-0.06	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP19	214740.963	2576777.447	292.601	292.51	-0.091	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP20	214181.967	2576923.504	283.995	283.95	-0.045	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP21	215095.342	2577255.741	306.076	306.07	-0.006	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP26	215818.618	2577333.929	450.916	450.87	-0.046	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP27	215897.86	2577662.585	460.036	459.96	-0.076	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0
BP31	216035.208	2579161.646	330.38	330.35	-0.03	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3	0

## F(林地)

點位	檢核 E 坐標(m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 h1(m)	成果高程 h2(m)	高程較差 $\Delta h=h2-h1$ (m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 $\sigma_n$	精度規範 $\sigma_n$	合格
FC02	216348.747	2576900.757	511.422	511.36	-0.062	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC03	217026.073	2576404.973	512.263	512.15	-0.113	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC05	216732.319	2576866.071	583.492	583.38	-0.112	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC06	216488.381	2577231.851	538.868	538.8	-0.068	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC07	216521.045	2577216.818	546.81	546.82	0.01	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC12	217820.108	2576675.744	794.631	794.56	-0.071	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC13	217816.936	2576691.292	801.386	801.17	-0.216	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC14	217646.17	2576782.76	777.772	777.83	0.058	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC15	217386.197	2577021.856	728.394	728.49	0.096	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC18	214840.255	2576648.103	303.464	303.37	-0.094	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC29	216080.687	2577147.631	484.564	484.72	0.156	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC32	215636.792	2578363.931	367.194	367.08	-0.114	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC33	215642.684	2578340.562	362.818	362.7	-0.118	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC34	215621.075	2578313.473	357.54	357.53	-0.01	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC38	215641.242	2579264.356	466.74	466.7	-0.04	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC39	215603.461	2579306.427	482.333	482.48	0.147	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FC40	215570.82	2579221.37	511.451	511.51	0.059	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	0	1.3	-1.3	0
FH09	217849.963	2576756.899	815.039	815.03	-0.009	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH20	214178.455	2577038.248	285.247	285.17	-0.077	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH21	214061.594	2577221.565	276.972	276.91	-0.062	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH22	215113.327	2577276.428	305.802	305.78	-0.022	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH23	215159.106	2577697.094	310.508	310.44	-0.068	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH25	215584.528	2577376.798	442.948	442.82	-0.128	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH26	215605.342	2577376.564	443.527	443.34	-0.187	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH27	215996.431	2577072.042	469.377	469.43	0.053	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH30	215908.552	2577690.505	456.475	456.42	-0.055	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH31	215412.793	2578289.289	369.871	369.88	0.009	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH36	215872.724	2579513.38	424.485	424.48	-0.005	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH41	216072.989	2579172.595	330.156	330.09	-0.066	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH42	216191.806	2578793.343	336.794	336.74	-0.054	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH43	216350.253	2579309.759	326.324	326.2	-0.124	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FH44	216483.895	2579340.328	346.09	345.94	-0.15	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	0	0.5	-0.5	0
FM04	217080.197	2576473.06	544.497	544.38	-0.117	林地	山地	0.3	0.5	0.3	0	0.8	-0.8	0
FM08	216615.15	2577011.519	570.864	571.09	0.226	林地	山地	0.3	0.5	0.3	0	0.8	-0.8	0
FM17	214857.891	2576699.047	293.593	293.66	0.067	林地	山地	0.3	0.5	0.3	0	0.8	-0.8	0
FM24	215144.587	2577673.991	313.28	313.26	-0.02	林地	山地	0.3	0.5	0.3	0	0.8	-0.8	0
FM35	215980.051	2579473.08	410.922	410.82	-0.102	林地	山地	0.3	0.5	0.3	0	0.8	-0.8	0
FM37	215735.743	2579394.595	428.432	428.28	-0.152	林地	山地	0.3	0.5	0.3	0	0.8	-0.8	0

## L(矮植被)

點位	檢核 E 坐標(m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 h1(m)	成果高程 h2(m)	高程較差 $\Delta h=h2-h1(m)$	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 $\sigma_n$	精度規範 $\sigma_n$	合格
LC06	216584.02	2577340.227	511.28	511.2	-0.08	矮植被	陡峭山地	0.3	1	0.5		1.3	-1.3	0
LC08	216511.892	2577246.416	542.644	542.58	-0.064	矮植被	陡峭山地	0.3	1	0.5		1.3	-1.3	0
LC12	217649.439	2577192.614	830.854	830.96	0.106	矮植被	陡峭山地	0.3	1	0.5		1.3	-1.3	0
LC14	217378.932	2576991.342	727.15	727.18	0.03	矮植被	陡峭山地	0.3	1	0.5		1.3	-1.3	0
LC15	217409.676	2576995.591	737.148	737.19	0.042	矮植被	陡峭山地	0.3	1	0.5		1.3	-1.3	0
LC30	216040.476	2577135.499	471.864	471.77	-0.094	矮植被	陡峭山地	0.3	1	0.5		1.3	-1.3	0
LH05	216736.888	2576682.563	530.065	530.03	-0.035	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH10	217840.586	2576745.935	813.655	813.67	0.015	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH11	217577.121	2577044.298	818.375	818.39	0.015	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH18	214172.835	2576881.718	281.385	281.48	0.095	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH20	214057.562	2577245.283	276.37	276.33	-0.04	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH22	215555.925	2577390.572	443.418	443.41	-0.008	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH23	215579.767	2577413.387	443.362	443.3	-0.062	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH24	215700.728	2577287.315	451.286	451.24	-0.046	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH25	215814.254	2577205.896	458.356	458.3	-0.056	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH26	215841.315	2577152.422	461.868	461.99	0.122	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH27	216022.034	2577101.864	468.252	468.25	-0.002	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH34	216018.388	2578690.128	329.318	329.46	0.142	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH37	216469.411	2579223.334	350.454	350.35	-0.104	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH38	216522.471	2579272.995	353.97	353.86	-0.11	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH40	216482.386	2579377.772	345.784	345.86	0.076	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH42	216723.638	2579862.16	473.673	473.63	-0.043	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH43	216484.66	2578885.652	354.031	353.93	-0.101	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH44	216459.103	2578831.397	353.15	353.13	-0.02	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LH45	216044.305	2578160.494	435.906	435.77	-0.136	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5		0.5	-0.5	0
LM21	215115.852	2577814.747	325.473	325.6	0.127	矮植被	山地	0.3	0.5	0.5		0.8	-0.8	0
LM28	215984.353	2577083.727	468.47	468.53	0.06	矮植被	山地	0.3	0.5	0.5		0.8	-0.8	0
LM29	216059.025	2577091.425	469.772	469.76	-0.012	矮植被	山地	0.3	0.5	0.5		0.8	-0.8	0
LM33	216000.446	2578659.816	326.147	326.15	0.003	矮植被	山地	0.3	0.5	0.5		0.8	-0.8	0
LM40	216485.01	2579410.983	348.779	348.91	0.131	矮植被	山地	0.3	0.5	0.5		0.8	-0.8	0
LP01	215914.611	2577143.557	463.99	463.94	-0.05	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP02	215899.909	2577114.447	465.682	465.65	-0.032	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP03	217081.362	2576517.893	541.607	541.78	0.173	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP04	217075.116	2576826.914	631.658	631.68	0.022	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP16	215540.401	2577362.645	442.541	442.54	-0.001	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP17	215197.439	2577005.718	298.775	298.85	0.075	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP19	214168.043	2577091.055	284.547	284.52	-0.027	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP21	215088.497	2577285.106	307.167	307.18	0.013	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP31	215786.034	2578419.953	305.79	305.82	0.03	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP32	215807.817	2578452.697	306.27	306.29	0.02	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP35	216258.283	2578963.527	323.676	323.64	-0.036	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0
LP41	216527.798	2579360.811	355.818	355.79	-0.028	矮植被	平地	0.3	0	0.5		0.3	-0.3	0

V 植生地

點位	檢核 E 坐標(m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 h1(m)	成果高程 h2(m)	高程較差 $\Delta h=h2-h1(m)$	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 $\sigma_n$	精度規範 $\sigma_n$	合格
VC06	217013.16	2576446.265	519.629	519.56	-0.069	植生地	陡峭山地	0.3	1	0.2		1.3	-1.3	O
VC08	216431.38	2577124.03	556.697	556.63	-0.067	植生地	陡峭山地	0.3	1	0.2		1.3	-1.3	O
VC12	217632.488	2576790.846	770.464	770.4	-0.064	植生地	陡峭山地	0.3	1	0.2		1.3	-1.3	O
VC14	217408.229	2577025.083	739.013	738.87	-0.143	植生地	陡峭山地	0.3	1	0.2		1.3	-1.3	O
VC15	217397.318	2577022.817	733.808	733.88	0.072	植生地	陡峭山地	0.3	1	0.2		1.3	-1.3	O
VC18	215220.943	2576996.082	298.432	298.44	0.008	植生地	陡峭山地	0.3	1	0.2		1.3	-1.3	O
VC19	214848.383	2576726.651	291.541	291.48	-0.061	植生地	陡峭山地	0.3	1	0.2		1.3	-1.3	O
VC45	216275.668	2578508.152	404.44	404.44	0.000	植生地	陡峭山地	0.3	1	0.2		1.3	-1.3	O
VH03	217079.423	2576825.682	631.94	631.91	-0.030	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH04	217153.288	2576891.878	677.787	677.84	0.053	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH05	216728.482	2576681.335	529.988	530.12	0.132	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH09	217798.015	2576784.513	808.955	809.04	0.085	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH10	217605.034	2577162.536	825.308	825.2	-0.108	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH20	214148.233	2576919.904	281.215	281.33	0.115	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH21	214227.623	2576812.384	281.136	281.1	-0.036	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH22	215131.067	2577366.391	306.262	306.34	0.078	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH23	215212.872	2577434.556	301.432	301.39	-0.042	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH24	215144.254	2577716.546	313.571	313.66	0.089	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH25	215598.484	2577436.652	441.094	441.03	-0.064	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH26	215986.188	2577100.23	468.078	468.1	0.022	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH27	215690.587	2577277.428	451.392	451.35	-0.042	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH28	215813.073	2577126.649	462.49	462.51	0.020	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH29	216049.44	2577076.607	470.777	470.86	0.083	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH30	216083.448	2577102.951	470.24	470.27	0.030	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH31	215388.595	2578252.383	368.901	368.86	-0.041	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH33	216077.12	2579165.695	329.384	329.39	0.006	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH34	215948.193	2578903.135	322.053	322.03	-0.023	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH35	215996.784	2578768.81	317.806	317.9	0.094	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH36	216027.482	2578678.159	329.405	329.39	-0.015	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH37	216356.644	2579336.665	328.063	327.92	-0.143	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH39	216474.552	2579352.819	344.321	344.35	0.029	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH40	216549.938	2579379.431	358.031	357.87	-0.161	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH42	216637.122	2579826.356	463.269	463.43	0.161	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VH43	216720.226	2579871.581	473.501	473.67	0.169	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2		0.5	-0.5	O
VM38	216365.895	2579319.832	328.017	328	-0.017	植生地	山地	0.3	0.5	0.2		0.8	-0.8	O
VM41	216729.205	2579479.942	410.454	410.35	-0.104	植生地	山地	0.3	0.5	0.2		0.8	-0.8	O
VM44	216273.991	2578523.436	401.928	401.92	-0.008	植生地	山地	0.3	0.5	0.2		0.8	-0.8	O
VP01	215909.387	2577113.185	465.87	466.02	0.150	植生地	山地	0.3	0.5	0.2		0.8	-0.8	O
VP16	215577.715	2577375.816	442.591	442.56	-0.031	植生地	山地	0.3	0.5	0.2		0.8	-0.8	O
VP17	215588.613	2577359.152	443.678	443.66	-0.018	植生地	山地	0.3	0.5	0.2		0.8	-0.8	O

S 橫斷面

點位	檢核 E 坐標(m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 h1(m)	成果高程 h2(m)	高程較差 $\Delta h=h2-h1(m)$	植被覆蓋	a	c	t	精度規範 $\sigma_n$	精度規範 $\sigma_n$	合格
PS01	215717.234	2577412.042	444.983	444.96	-0.023	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS02	215785.188	2577366.267	449.525	449.47	-0.055	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS03	215941.839	2577163.562	462.775	462.62	-0.155	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS04	216240.479	2577002.72	482.526	482.5	-0.026	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS05	216428.371	2576920.157	499.845	499.74	-0.105	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS06	216804.416	2576702.146	530.811	530.75	-0.061	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS07	217084.391	2576520.188	541.551	541.51	-0.041	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS08	217128.276	2576636.996	548.458	548.39	-0.068	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS09	216765.311	2576823.008	578.85	578.77	-0.08	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS10	216725.763	2577137.239	595.086	595.04	-0.046	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS11	217067.582	2576826.678	631.111	631.04	-0.071	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS12	216902.062	2577169.291	653.845	653.78	-0.065	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS13	217152.589	2576887.091	678.056	678.05	-0.006	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS14	217220.751	2577016.714	692.53	692.52	-0.01	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS15	217455.904	2577224.386	737.529	737.54	0.011	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS16	217588.789	2577020.143	816.66	816.69	0.03	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS17	217867.743	2577340.245	820.069	820.09	0.021	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS18	215547.828	2577352.483	442.29	442.26	-0.03	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS19	215507.848	2577243.485	431.398	431.33	-0.068	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS20	215465.878	2577147.649	414.986	414.93	-0.056	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS21	215450.234	2577320.122	384.712	384.64	-0.072	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS22	215426.364	2577202.046	368.935	368.95	0.015	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS23	215408.215	2577280.843	355.166	355.12	-0.046	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS24	215291.542	2577122.175	327.236	327.18	-0.056	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS25	215360.229	2577022.887	311.079	311.02	-0.059	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS26	215217.649	2577003.993	298.683	298.65	-0.033	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS27	214953.047	2576784.694	292.6	292.56	-0.04	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS28	214740.96	2576777.45	292.582	292.51	-0.072	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS29	214506.433	2576622.783	287.544	287.5	-0.044	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS30	214369.176	2576641.409	285.61	285.49	-0.12	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS31	214075.839	2577329.229	286.246	286.15	-0.096	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS32	214875.268	2577046.288	309.909	309.84	-0.069	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS33	214967.055	2577165.806	311.15	311.1	-0.05	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS34	215105.506	2577827.91	327.124	327.12	-0.004	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS35	215120.289	2578078.096	356.354	356.34	-0.014	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS36	215317.256	2578266.263	366.111	366.05	-0.061	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS37	215817.583	2578801.721	361.918	361.89	-0.028	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS39	215996.367	2578772.922	317.848	317.71	-0.138	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS40	215907.75	2578635.629	320.047	320.01	-0.037	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS41	215989.562	2578645.141	325.513	325.41	-0.103	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS42	216034.211	2578716.183	332.808	332.67	-0.138	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS43	216293.478	2578879.82	329.398	329.32	-0.078	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )

PS44	216417.306	2579066.807	337.276	337.11	-0.166	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS45	216492.589	2579244.624	352.004	351.84	-0.164	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS46	216521.564	2579457.801	368.79	368.71	-0.08	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS47	216657.99	2579400.636	387.678	387.54	-0.138	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS48	216540.069	2579555.039	407.999	407.81	-0.189	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS50	216450.456	2579733.477	445.38	445.24	-0.14	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS51	216647.479	2579830.095	464.063	463.92	-0.143	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS52	216843.716	2580055.932	463.881	463.82	-0.061	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS53	216404.689	2578891.906	352.973	352.92	-0.053	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS54	216471.955	2578833.838	354.172	354.06	-0.112	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS55	216286.568	2578658.998	390.569	390.5	-0.069	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS56	216233.264	2578473.119	399.295	399.2	-0.095	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS57	216011.682	2578198.246	434.191	434.15	-0.041	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS58	216168.464	2578028.498	438.01	437.84	-0.17	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS59	216174.944	2577758.566	437.932	437.8	-0.132	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS60	216032.949	2577447.566	454.498	454.35	-0.148	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS61	216070.11	2577317.159	441.928	441.87	-0.058	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS62	215874.152	2577429.554	448.164	448.1	-0.064	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS63	216437.665	2578598.787	441.251	441.14	-0.111	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS64	217037.289	2578589.025	524.173	524.08	-0.093	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS65	216896.702	2578394.14	557.233	557.21	-0.023	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS66	217144.814	2578273.739	605.425	605.37	-0.055	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS67	217447.302	2578463.354	660.11	660.07	-0.04	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )
PS68	217871.983	2578478.268	754.06	754.03	-0.03	橫斷面	0.3	0	0	0.3	-0.3	( )

## 附件九

### 工作計畫成果效益報告書

# 政府科技計畫成果效益報告

計畫名稱：

102 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案

---

---

( 群組 ) ( 領域 )

主管機關： 內政部

執行單位： 財團法人成大研究發展基金會

中興測量有限公司





## 二、計畫架構(含樹狀圖)：

本計畫工作項目如下表。

項目	工作內容
1. 飛航計畫與工作細部規劃書	包括森林覆蓋崩塌測試區的選定,航線規劃及地面控制測量規劃等
2. 蒐集相關文獻	蒐集高光譜資料與光達資料於崩塌地區之應用、空載光達點雲穿透率之研究以及光達資料於各種地形內插方法之研究等相關應用研究文獻
3. 空載高光譜影像、全波形光達等資料獲取	獲取測試區全波形空載光達與空載高光譜影像之測試資料
4. 高光譜與全波形光達融合測試精度評估分析	以高光譜影像及全波形光達資料進行兩種資料之融合處理,將其成果進行地物分類及精度評估分析。
5. 數值地表模型 (DSM)、數值高程模型 (DEM) 製作及精度評估	產製測試區之 DEM 與 DSM 及精度評估、不同航高及掃瞄頻率參數對於光達點雲穿透率之影響分析。
6. 高光譜及全波形空載光達資料處理與綜合分析	應用光達資料進行地層界線、地質線形及潛在崩塌區植生與地形特徵判釋分析,並分析高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌調查機制,測試不同點雲密度與內插方法對微地形判釋影響分析。
7. 投稿相關研究論文文稿	投稿相關研究論文文稿 2 篇
8. 進度報告及工作總報告	研擬工作進度報告及工作總報告

期別 時程	第一期		第二期					第三期		
	第1月 102.02	第2月 102.03	第3月 102.04	第4月 102.05	第5月 102.06	第6月 102.07	第7月 102.08	第8月 102.09	第9月 102.10	第10月 102.11
工作計劃書撰寫	—————									
飛航申請與儀器整備	———									
期中報告書撰寫	—————									
空載高光譜、全波形空載光達、航照影像等資料獲取	—————									
相關文獻蒐集並彙整成冊	—————									
高光譜與全波形光達融合測試技術之精度評估分析	—————									
數值高程模型與數值地表模型製作及精度評估	—————									
高光譜及全波形空載光達資料處理與綜合分析	—————									
投稿相關研究論文至少2篇	—————									
工作總報告書	—————									

### 三、計畫主要內容

1. 利用光達資料進行出露之地層界線及地質線形(如斷層或褶皺等)判釋，並於潛在崩塌區進行植生特徵與地形特徵判釋。
2. 評估結合高光譜及全波形光達資料應用於微地形崩塌調查機制分析。
3. 分析不同點雲密度與內插方法對微地形判釋之影響。
4. 空載光達飛航掃瞄參數選擇不同航高及掃瞄頻率參數對於光達點雲穿透率之影響分析。

註：請依原計畫書上所列計畫目的、架構、主要內容填寫

### 參、計畫經費與人力執行情形

#### 一、計畫經費執行情形：(可以下列表格表達)

##### (一) 計畫結構與經費

細部計畫		研究計畫		主持人	執行機關	備註
名稱	經費	名稱	經費			
102 年度 發展高光 譜與光達 技術結合 之應用工 作案	6500 千元			王驥魁	財團法人 成大研究 發展基金 會、中興 測量有限 公司	

## (二)經資門經費表

會計科目	項目	預算數 / (執行數)			備註	
		主管機關預算 (委託、補助)	自籌款	合計		
				金額(元)		占總經費%
一、經常支出						
	1.人事費	1,625,000	0	1,625,000	25.0	
	2.業務費	3,317,000	0	3,317,000	51.03	
	3.差旅費	195,000	0	195,000	3.0	
	4.管理費	517,484	0	517,484	7.96	
	5.營業稅	309,524	0	309,524	4.76	
	小計					
二、資本支出						
	小計					
合計	5,964,008					
	91.75					

或僅以人事費、業務費(研究設備費、材料與雜費)管理費分類

經費項目		主管機關預算 (委託、補助)	自籌款	合計		備註
				金額	%	
人事費		<u>1,625,000</u>	<u>0</u>	1,625,000	25.0	
業務費	研究設備費	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	
	材料與雜費	<u>3,512,000</u>	<u>0</u>	<u>3,512,000</u>	<u>54.03</u>	
管理費		<u>517,484</u>	<u>0</u>	<u>517,484</u>	<u>7.96</u>	

與原計畫規劃差異說明：

## (三)計畫人力

計畫名稱	執行情形	總人力 (人年)	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
	原訂	28	5	0	20	3
	實際	36	5	0	28	3
	差異	8	0	0	8	0

## (四) 主要人力投入情形(副研究員級以上)

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
			學歷	專長
王驥魁	計畫主持人	計畫掌控及協調	學歷	博士
			經歷	國立成功大學測量及空間資訊學系副教授
			專長	遙感探測、透水光達、海洋水色、空間統計
林志交	共同主持人	協助計畫主持人推動各專業組之作業	學歷	成功大學測量工程研究所(年資9年)
			經歷	中興測量有限公司專案經理兼測量技師
			專長	航空測量、遙感探測、專案管理
曾義星	協同主持人	協助計畫主持人推動進度及協調工作	學歷	博士
			經歷	國立成功大學測量及空間資訊學系教授
			專長	航空測量、遙感探測、數位攝影測量
朱宏杰	協同主持人	點雲密度與內插方法處理	學歷	博士
			經歷	國立成功大學測量及空間資訊學系助理教授
			專長	地理資訊應用、水資源管理與規劃、環境資源管理
黃敏郎	研究人員	地形特徵判釋	學歷	博士候選人
			經歷	國立成功大學防災中心組長
			專長	地質構造、地理資訊系統、遙測影像判釋、地質敏感區調查

與原計畫規劃差異說明：

## 肆、計畫已獲得之主要成果與重大突破(含量化成果 output)

1. 請就本計畫涉及之(1)學術成就(2)技術創新(3)經濟效益(4)社會影響(5)其他效益方面說明重要之成果及重大之突破，以文字方式分列說明。
  - (1)學術成就：由本案所蒐集之不同航高與不同雷射脈衝頻率全波形空載光達資料，對於森林點雲穿透率的探討，可瞭解空載光達儀器之特性，並可提供國內業界於執行飛航掃瞄之參考依據，以助於國內在森林覆蓋崩塌區微地形判釋等相關研究之資料建立。
  - (2)經濟效益：本案分析不同點雲密度，期望得到適度密度下之點雲資料提供良好之數值地形模型，以符合經濟效益。
2. 請依本計畫(涉及)設定之成果項目以量化績效指標方式及佐證資料格式填寫主要之量化成果(如學術成就代表性重要論文、技術移轉經費/項數、技術創新項數、技術服務項數、重大專利及項數、著作權項數等項目，含量化與質化部分)。

## 伍、主要成就及成果之價值與貢獻度 (outcome)

請依前述重要成果及重大突破說明在學術成就上價值與貢獻度如：

### 一、學術成就(科技基礎研究)(權重\_\_%)

量化成果評述：

(一) 本計畫共計產出學術論文 3 篇，組成研究團隊 1 個，詳細資料時下列：

研討會論文：

1. 洪子敏、吳坤真、王驥魁 (2013) 初探地形效應對於高光譜影像大氣校正之影響。測量及空間資訊研討會。
2. Tzu-Min Hong, Kun-Jen Wu, Chi-Kuei Wang(2013)The effect of topographic factor in atmospheric correction for hyperspectral data. ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, ACRS.

3. Kuei-Chia Chen , Chun-Yu Liu, Chi-Kuei Wang, Hone-Jay Chu, Guo-Hao Huang(2013)Data Fusion of Airborne Hyperspectral and Full Waveform LiDAR Data for Land Cover Classification. ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, ACRS.

研究團隊：發展高光譜資料與光達技術結合之應用（成功大學、中興測量有限公司、聚禾顧問公司）

研究團隊培育博碩士生共計 4 名(含 2 名碩士生與 2 名博士生)，以及 1 名博士後研究員。形成教材，融入於成大測量及空間資訊系之遙感探測課程。

質化成果評述：

(一) 本計畫之論文產出成果良好，國內外期刊及研討會論文之發表有效展示本計畫之研究成果，並促進國內外技術之交流。

(二) 深化國內之全波形空載光達技術，實用化全波形空載光達資料處理，提昇資料處理能力，可執行測繪案等級之大量資料。

## 二、 技術創新(科技整合創新)(權重\_\_%)

量化成果評述：

(一)建置高光譜影像與全波形光達系統之整合系統，可於飛行時，同時蒐集二類遙測資料，提昇資料蒐集效率。

(二)建置全波形光達資料處理流程，可實用於完整的測繪案之資料，並以與高光譜影像融合之方式，提昇高光譜影像之分類精度，增加全波形空載光達資料之應用價值。

質化成果評述：

扶植國內業界對於新技術開發及應用之能力，提昇光譜與光達資料之蒐集能力。

## 三、 經濟效益(產業經濟發展)(權重\_\_%)



本計畫培育 1 個跨學界與產業界合作團隊。

#### 四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重\_\_\_%)

(一)產出曾文水庫上游森林覆蓋崩塌測試區地形判釋 21 平方公里。

(二)建立曾文水庫上游森林覆蓋崩塌測試區數值地表模型、數值高程模型製作，共計 21 平方公里。

(三)因計畫之推動而新聘相關人員。

#### 五、其它效益(科技政策管理及其它)(權重\_\_\_%)

(一)更新國內部分之數值地形模型資料庫，並蒐集高解析度高光譜影像，可提供未來跨領域之分享。

(二)本成果之經驗可協助擬定作業規範與作業標準。

註：請填寫計畫起始年累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度。

### 陸、與相關計畫之配合

一、本計畫對於森林、檳榔、茶園、竹子等作物之分類成果，可提供農林經營規劃使用。

二、本計畫藉由對不同空載光達飛航掃瞄參數對於點雲穿透率之影響，可提供國內於執行飛航掃瞄時之參考依據。

三、本計畫對於地質界線、地質線形、地形特徵崩塌崩崖判釋分析，可提供地質調查與防災規劃之參考。

### 柒、後續工作構想之重點

依據本案微地形之判釋成果顯示，光達數值地形確實可應用於地質與崩塌之地形特徵判釋與定性之分析，同時根據實際現地查核結果顯示，地形特徵若超過 50 公分以上，專業人員即可判釋出來。未來期望結合以全波形光達、高光譜技術偵測林下微地形並發展智慧化微地形繪製方法，以加快微地形判釋時間，提供防災應用。

光達點雲穿透率主要影響是否能產製良好數值地形模型，故對於穿透率之研究有其必要性，未來可建立空載光達資料與衛星遙測影像估測之葉面積指數關係式，並應用光達

穿透率建立葉面積指數之相關性，以探討森林對於穿透率之影響。

## 捌、 檢討與展望

遙測影像的大氣校正一直是影像處理的一大課題，由於空載高光譜影像之航帶掃瞄範圍有限，雖然影像蒐集時段相同，但各條航帶影像的太陽輻射量仍會有些許不同。因此可嘗試其他方式或大氣校正模組進行不同測試，以期得到不同之成果。此外，融合影像之分類未來可嘗試不同分類方法，以提升分類精度，在本案高密度光達資料之數值地形模型可明顯辨識林下之產業道路，未來在應用上可針對山區道路坡面與排水狀況，可了解坡面因降雨導致道路崩壞之潛在路段與機制，除可建立分析作業流程，另可供防災單位參考。

填表人：\_\_\_\_\_ 聯絡電話：\_\_\_\_\_ 傳真電話：\_\_\_\_\_

E-mail：\_\_\_\_\_

主管簽名：\_\_\_\_\_

## 附件十

### 科技計畫績效指標

# 績效指標(實際成果)

請選擇合適綱要計畫評估之項目填寫初級產出、效益及重大突破(填寫說明如表格內容，未使用之指標及填寫說明文字請刪除)

屬性	績效指標	原訂值	初級產出量化值	效益說明	重大突破
學術成就(科技基礎研究)	A 論文	發表國內研討會論文 1 篇 發表國外研討會論文 2 篇	發表國內外研討會論文共 3 篇	為國內外產、官、學各界所引用參考	
	B 研究團隊養成	財團法人成大研究發展基金會、成功大學	財團法人成大研究發展基金會、成功大學	結合相關領域之學者、專家共同進行研發	
	C 博碩士培育	參與計畫執行之碩士研究生及博士研究生 5 人以上	參與計畫執行之碩士研究生及博士研究生 5 人以上	提升國內培養先進航遙測專業相關人才之能量	產值(薪資)
	D 研究報告	產出 1 份工作總報告	數量 1	為國內產、官、學各界所引用參考	
	E 辦理學術活動				
	F 形成教材	研發經驗及成果製作成為大學部及研究所課程教材；並為教育訓練課程教材	研發經驗及成果製作成為大學部及研究所課程教材；並為教育訓練課程教材	提升學員於處理全波形空載光達資料與空載高光譜資料之技術能力	
	其他				
技術創新(科技整合創新)	G 專利				
	H 技術報告				
	I 技術活動				
	J 技術移轉				
	S 技術服務				
	其他				

經濟效益 (產業經濟發展)	L 促成廠商或產業團體投資	促進國內測量公司投入全波形空載光達與空載高光譜相關技術投資	促進國內測量公司投入全波形空載光達與空載高光譜相關技術投資	為促進國內全波形空載光達及高光譜影像技術之發展並推廣運用於各航遙測相關領域中	
	M 創新產業或模式建立				
	N 協助提升我國產業全球地位或產業競爭力	空載高光譜影像資料與全波形空載光達之結合應用	空載高光譜影像資料與全波形空載光達之結合應用	增進我國空載高光譜影像與全波形空載光達資料之應用與產製能力。	
	O 共通/檢測技術服務				
	T 促成與學界或產業團體合作研究	供給產製成果，符合學術應用面需求之研究合作。	供給產製成果，符合學術應用面需求之研究合作。	促進產界之新技術成果產製能力與工程顧問公司、學界等資料應用端之合作研究。	
	U 促成智財權資金融通				
	其他				
社會影響	民生社會發展	P 創業育成			
		Q 資訊服務			
		R 增加就業	3 人	3 人	相關調查計畫需增聘專業技術人員，增加就業。
		W 提升公共服務			
		X 提高人民或業者收入			
		其他			
	環境安全永續	O 共通/檢測技術服務			
		V 提高能源利用率			
		Z 調查成果			

		其他			提供地質、崩塌等災害分析與防治基礎資料，提升防災所需基本資訊。		
非研究類成就	人才培育	1. 學程、教材設計，知識平台建立					
		2. 培育人才情形，含人數及內容					
		3. 研討會(學術活動)					
		4. 人才出路(就業去向)					
		5. 證照及競賽獲獎					
		6. 其他					
非研究類成就	法規制度	7. 先進國制度蒐集及研析					
		8. 法規制度訂定，模式或資料庫建構等。					
		9. 法規草案確定					
		10. 主管部會之認可或通過					
		11. 法規被採用或參考情形					
		12. 其他					
	國際合作	13. 人員互動					
		14. 學術活動互動(研討會、專題討論…等)					
		15. 計畫合作研究					
		16. 簽訂協議					

		17. 合作智財申請				
		18. 其他				
	推動輔導	19. 輔導/推廣目標達成率				
		20. 輔導/推廣對象滿意度				
		21. 輔導/推廣對象相對投入				
		22. 其他				
技 科	K 規範/標準制訂					
其他 政策管理及其 科技	Y 資料庫					
	XY 性別平等促進					
	AA 決策依據					
	其他					