

101 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 101 年 11 月 29 日

測量技師簽證報告

契約編號或案號：SYC1010117

案名：101 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：空載高光譜與全波形光達測繪技術應用於火山區及水庫集水區等 2 個測試區，各區面積至少約 35 平方公里之數值地表模型及數值高程模型（DEM）製作。

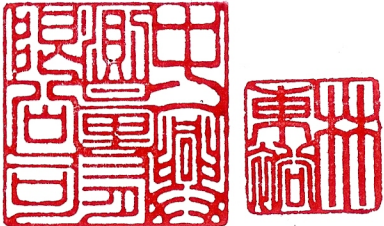

簽約日期：101 年 3 月 27 日

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：101 年 11 月 26 日

受託測繪業簽章	測量技師簽章
	 <p>林志交</p>

摘要

全波形光達可用於獲得高精度之三維地形資訊，與記錄不同地物的光達回波資訊，藉由全波形光達資料的波形重建技術，可反映各種土地利用之波形特性。光譜影像則能提供監測地區之各地物之反射光譜，進行分類。本研究之目的為結合兩種資料之優勢，以高空間且高光譜解析度之影像，進行影像融合，提供另一種土地利用分類之影像資料。研究核心主要以主成分分析與最小噪訊成分轉換，兩種多變量統計之數理運算，作為影像融合技術的基礎。融合影像經由最大概似法之監督式分類法，分析比較高光譜影像與全波形光達之融合影像，相較於原始高光譜影像，於土地利用分類之精度。本研究應用 ATLM Pegasus 光達系統搭配 Itres CASI-1500 高光譜系統，於火山區（大屯火山）與水庫集水區（曾文水庫）進行各 35 平方公里之資料獲取。光達點雲密度達每平方公尺 2 點，高光譜影像地面解析度為 1 公尺，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。高光譜影像與融合影像之分類成果顯示，在水庫集水區 Kappa 值由 0.77 提升至 0.87，整體精度也由 80.95% 提高為 89.05%。分類精度評估表亦顯示融合影像提昇了水體、茶園以及檳榔園的分類正確率，且分類地物的區塊也較為完整。此外，將融合影像應用於火山地區的裸岩分類有良好的分類成效。Kappa 值由 0.67 提升至 0.78，整體精度由 74.4% 提高為 81.9%，雖整體精度提升，但部分地物仍有誤判。由上述分類精度評估可知，結合高光譜與全波形光達不僅能提供高精度與高光譜之資料，以適當的影像計算降低資料維度，亦可提高影像的分類精度。

Abstract

The full waveform LiDAR system acquires the accurate elevation information along with the full waveform return from the land surface. The shape of the full waveform reflects the characteristics of the surface. The spectral signatures of the land surfaces, contained in the hyperspectral image, can be used for classification. In this study, an image with high spatial and spectral resolutions was created from the fusion of the full waveform LiDAR data and the hyperspectral data, which preserved the benefits of the respective data. The image fusion employed two multivariate techniques, i.e., principal component analysis and minimum noise fraction. This image was then used to produce the classification image of land cover/land use by means of the supervised classification technique, the maximum likelihood classifier. The LiDAR data acquired by an ATLM Pegasus LiDAR system had a point density of 2 points/m². The 72-band hyperspectral data acquired by an Itres CASI-1500 hyperspectral system had a pixel resolution of 1 m, covering the spectrum range of 3362.8 – 1051.3 nm, with a spectral resolution of 9.6 nm. The area of 35 km² was acquired for the volcano test site (Tatun Volcano) and the reservoir test site (Tsengwen Reservoir), respectively. The classification results showed that the fused image achieved a better accuracy than the hyperspectral image, where the Kappa increased from 0.77 to 0.87 and the total accuracy increased from 80.95% to 89.05%, for the reservoir test site. Noticeably, the classification accuracy of water, tea farm, and areca farm had great improvements. The classified pixels also showed higher degrees of clumpness than using hyperspectral image alone. While the misclassification is still noticeable, the lithology results of the volcano test site showed that the Kappa increased from 0.67 to 0.78 and the total

accuracy increased from 74.4% to 81.9%. We conclude that an increased classification accuracy can be obtained by fusing the full waveform LiDAR data and the hyperspectral data while cautions should be exercised to reduce the redundant data dimensionality.

目錄

摘要	I
Abstract	II
目錄	IV
圖目錄	VIII
表目錄	XVII
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	13
3-2.1 飛航掃瞄申請	13
3-2.2 飛航掃瞄儀器	13
3-2.3 航線規劃	15
3-2.4 地面控制點規劃	17
3-2.5 航帶平差	19
3-2.6 檢核點蒐集與作業	20
3-3 資料處理與應用分析	24
3-3.1 資料處理	24
3-3.2 高光譜與全波形光達資料融合處理測試	31

3-3.3	火山區測試區	35
3-3.4	水庫集水區測試區	47
第 4 章	資料獲取.....	66
4-1	系統率定	66
4-1.1	光達系統率定	66
4-1.2	高光譜儀率定	66
4-2	飛航成果	67
4-2.1	平面控制測量	74
4-2.2	高程控制測量	79
4-3	航帶精度分析及平差處理	83
4-3.1	雷射掃瞄誤差來源及精度分析	84
4-3.2	航帶平差模式	89
4-3.3	航帶平差資料整合成果分析	92
第 5 章	數值地表模型(DSM)、數值高程模型(DEM)製作及精度評估	97
5-1	光達資料處理、分類及成果產製	97
5-1.1	點雲資料處理	97
5-1.2	點雲資料分類後地面測點與非地面測點數據統計	98
5-1.3	測區回波數據面積與水體吸收之無數據面積統計	101
5-1.4	DEM 及 DSM 成果產製	102

5-2	DEM/DSM 精度評估與分析	105
第 6 章	光達點雲資料、空載高光譜影像及多光譜衛星影像處理與應用分析成果	123
6-1	空載光達點雲輻射校正	123
6-2	高光譜影像之大氣校正成果	124
6-3	高光譜與全波形光達資料融合技術試驗	134
6-3.1	空載光達點雲數據之波形重建	134
6-3.2	影像融合	136
6-3.3	融合成果精度分析評估	139
6-4	火山區測試區之應用成果探討	144
6-4.1	火山測試區多光譜分析	144
6-4.2	火山地形特徵判釋	148
6-4.3	火山地形特徵分析	162
6-4.4	地震斷層地形特徵判釋	168
6-4.5	地震斷層地形特徵分析	170
6-4.6	火山測試區高光譜分析	174
6-4.7	小結	185
6-5	水庫集水區之應用成果探討	187
6-5.1	多時期土地使用類別判釋	187

6-5.2	土地利用型態變遷分析	192
6-5.3	土地覆蓋變遷分析	196
6-5.4	土地覆蓋對水庫水質影響分析	202
6-5.5	非點源污染輸出量推估	208
第 7 章	結論與建議	215
7-1	結論	215
7-2	建議	216

附件

附件一、參考文獻

附件二、主要儀器設備簡介

附件三、中興測量有限公司 Optech Pegasus HD400 率定報告書

附件四、中興測量有限公司 ITRES CASI 1500 率定報告書

附件五、中興測量有限公司 Optech Pegasus HD400 及 ITRES CASI 1500
飛航掃瞄報告書

附件六、歷次會議審查意見及回覆

附件七、本案相關附件與辦理實況相片

圖目錄

圖 3.1 火山區測試區位置圖	7
圖 3.2 火山區測試區立體位置圖 (資料來源: http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/GeoPark/Tatun/photo-Tatun_03.html)	8
圖 3.3 火山區測試區之地質圖(資料來源：經濟部中央地質調查所)....	9
圖 3.4 曾文水庫集水區空間位置及氣象測站分布圖.....	12
圖 3.5 水庫集水區-B 測試區位置圖.....	13
圖 3.6 群鷹翔航空所有普通航空業測繪載具.....	15
圖 3.7 本案收集之高光譜資料波段分布情形.....	16
圖 3.8 火山區測試區控制網形圖	18
圖 3.9 集水區測試區控制網形圖.....	18
圖 3.10 推求兩航帶內某共軛點的相對高程差示意圖.....	19
圖 3.11 兩測試區之檢核點分佈圖	24
圖 3.12 經驗法則校正流程.....	29
圖 3.13 點雲強度改正流程圖.....	30
圖 3.14 以網格式資料呈現平均光達強度值之影像組成示意圖	31
圖 3.15 融合影像之不同處理等級(Pohl and van Genderen, 1998)	32

圖 3.16 以高光譜影像與全波形光達資料進行融合影像之研究流程圖	34
圖 3.17 應用全波形光達資料進行高雄市那瑪夏區達卡努瓦潛在地質 崩塌區判釋成果圖.....	35
圖 3.18 全波形光達與傳統光達之精度數值地形產製之日照陰影圖差 異比較圖(a)坡度圖，(b)傳統光達，(c)全波形光達；日照陰影 圖太陽方位角 315 度，太陽傾角 45 度，影像解析度 0.5 公尺	36
圖 3.19 高精度數值地形疊合坡度產製地形特徵判釋圖.....	37
圖 3.20 火山地形特徵圖.....	38
圖 3.21 斷層地形特徵圖(經濟部中央地質調查所).....	41
圖 3.22 金山斷層與山腳斷層沿線之斷層崖地形特徵圖(註:斷層資料為 地調所五萬分之一台北圖幅資料，斷層崖為本案初步判釋成果)	42
圖 3.23 斷層崖之坡面型態與坡度隨時間變化的概況(Brunori et al., 2012).....	43
圖 3.24 岩石的反射光譜特徵圖(Goetz et al., 1985).....	46
圖 3.25 崩塌地自動判釋流程圖.....	50
圖 3.26 2010 年衛星影像陰影與航空照片對照圖.....	51
圖 3.27 研究區大氣校正後歷年 NDVI 值.....	53
圖 3.28 (a)2001 年；(b)2003 年；(c)2004 年；(d)2005 年；(e)2007 年；	

(f)2008 年；(g)2009 年；(h)2010 年 NDVI 圖	54
圖 3.29 土地使用分類判釋流程圖	56
圖 3.30 2011 年水庫集水區-B 測試區之多光譜影像(左)，及土地使用分類判釋成果(右).....	60
圖 4.1 空載雷射掃瞄資料作業流程.....	67
圖 4.2 點雲解算產製處理流程.....	68
圖 4.3 測試區全波空載光達掃瞄航線圖(儀器：Optech Pegasus HD400)	70
圖 4.4 測試區空載高光譜儀掃瞄航線圖(儀器：ITRES CASI 1500)....	71
圖 4.5 測試區掃瞄成果點雲涵蓋圖	72
圖 4.6 測試區光達掃瞄位置圖	74
圖 4.7 火山區平面控制點分布圖	75
圖 4.8 水庫集水區-B 測試區平面控制點分布圖.....	76
圖 4.9 Bernese 軟體計算流程圖	77
圖 4.10 TSHIA 外業觀測情形	79
圖 4.11 GS67A 外業觀測情形	79
圖 4.12 火山區水準路線圖	80
圖 4.13 水庫集水區-B 測試區水準路線圖.....	81

圖 4.14 直接水準測量作業流程圖.....	82
圖 4.15 (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	85
圖 4.16 Measure Match 之比對原理.....	86
圖 4.17 火山區重疊航帶與交叉航帶處之誤差分析.....	88
圖 4.18 水庫集水區-B 測試區重疊航帶與交叉航帶處之誤差分析	89
圖 4.19 三維側視圖(a)含地上物 (b)濾除非地面點成果	91
圖 4.20 (a)航線重疊區(b)於道路上選擇匹配區塊	92
圖 4.21 火山區之航線重疊處平差前後平均誤差差量分析.....	95
圖 4.22 水庫集水區 B 區之航線重疊處平差前後平均誤差差量分析..	96
圖 5.1 Iteration angle 和 Iteration distance 示意圖 (Axelsson, 2000)....	97
圖 5.2 測試區分幅處理示意圖.....	98
圖 5.3 水庫集水區分幅處理示意圖.....	101
圖 5.4 火山測試區 DEM 成果圖	102
圖 5.5 水庫集水區-B 測試區之 DEM 成果圖.....	103
圖 5.6 測試區 DSM 成果圖	104
圖 5.7 檢核點精度評估流程圖.....	105
圖 5.8 火山區測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位：公尺)	

.....	108
圖 5.9 水庫集水區 B 測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位：公尺)	110
圖 5.10 火山區測試區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位：公尺).....	115
圖 5.11 水庫集水區 B 測試區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位：公尺)	117
圖 5.12 正高檢核點位置圖	122
圖 6.1 光達點雲輻射校正之成果展示圖(以火山測試區為例).....	123
圖 6.2 NOAA 所觀測之近年二氧化碳濃度	125
圖 6.3 地面光譜儀採樣和不同航帶之 FLAASH 大氣校正結果之比較圖 (紅色：地面光譜儀採樣反射率，其餘顏色代表不同航帶)..	126
圖 6.4 影像反射率之累計分布圖(X 軸：反射率，Y 軸：累計百分比。 各顏色分別代表不同波長)	127
圖 6.5 FLAASH 於陰影地區之不同波段反射率分布情形(以水庫集水區 -B 測試區為例)	127
圖 6.6 地面光譜儀同步採樣點之位置分布圖.....	128
圖 6.7 兩測試區之經驗式迴歸線.....	130
圖 6.8 經驗式 (ELC) 與 FLAASH 於植被的結果比較，可以發現 FLAASH 在 500 nm 以下結果為負值或趨近於零。	132
圖 6.9 經驗式 (ELC) 與 FLAASH 在 406.1 nm 反射率的分布統計，反	

射率負值比例超過 40%。	132
圖 6.10 各土地利用類別之全波形資料.....	134
圖 6.11 高光譜影像(左)與光達回波強度(右)之因子陡坡圖	137
圖 6.12 經轉換後之良好(左)與不良(右)成份軸影像範例(以集水區水庫 為例)	139
圖 6.13 2012 年水庫集水區-B 高光譜影像(左)，及其土地使用分類判釋 成果(右).....	141
圖 6.14 2012 年水庫集水區-B 高光譜影像(左)，及融合影像之分類判釋 成果(右).....	142
圖 6.15 火山測試區多光譜影像(左)及分類(右)圖	145
圖 6.16 火山測試區福衛二號多光譜影像之 NDVI 分析成果圖	147
圖 6.17 地調所 94 年之火山地形特徵判釋成果圖.....	149
圖 6.18 本計畫火山地形特徵判釋成果圖.....	150
圖 6.19 磺嘴山西北側多期熔岩流特徵.....	152
圖 6.20 多期熔岩流間明顯有上下交疊關係(1/2).....	153
圖 6.21 崩塌(紅色箭頭處)集中於火山體與線形周圍.....	155
圖 6.22 磺溪河口左岸之古崩塌地.....	156
圖 6.23 大屯火山區地表明顯線形(底圖為 Google Earth 衛星影像) ..	157
圖 6.24 研究區域內線形(紅色箭頭處)地表表徵.....	158

圖 6.25 研究區域內火山地形侵蝕特徵判釋圖(1).....	159
圖 6.26 研究區域內火山地形侵蝕特徵判釋圖(2).....	160
圖 6.27 研究區域內火山地形堆積區特徵判釋圖.....	161
圖 6.28 不同空間尺度之地表粗糙度分析成果圖.....	162
圖 6.29 磺嘴山鄰近地區地形剖面位置圖.....	165
圖 6.30 磺嘴山鄰近地區 A-A'與 B-B'地形剖面圖.....	165
圖 6.31 磺嘴山鄰近地區 C-C'地形剖面圖.....	166
圖 6.32 斷層活動時與活動後之地形剖面示意圖.....	167
圖 6.33 斷層活動時與活動後之地形剖面示意圖.....	168
圖 6.34 斷層位置與水系關係圖.....	169
圖 6.35 金山斷層與山腳斷層沿線 13 處斷層崖與其剖面線位置圖 ..	170
圖 6.36 斷層崖地形剖面圖.....	172
圖 6.37 斷層崖坡度(%)分析成果圖.....	174
圖 6.38 火山測試區選定各類地物樣區之高光譜反射光譜圖	175
圖 6.39 火山測試區高光譜假彩色影像圖.....	176
圖 6.40 火山測試區內之裸岩區域位置圖.....	177
圖 6.41 風化安山岩高光譜影像及現地照片.....	177
圖 6.42 新鮮安山岩高光譜影像及現地照片.....	178

圖 6.43 噴氣孔鄰近岩體高光譜影像及現地照片	178
圖 6.44 噴氣孔鄰近風化岩體高光譜影像及現地照片	178
圖 6.45 火山測試區裸岩反射光譜圖	179
圖 6.46 岩性分類成果圖	180
圖 6.47 高光譜影像於岩性分類之結果圖	181
圖 6.48 融合影像於岩性分類之結果圖	182
圖 6.49 (a) 2001 年原始衛星影像；(b) 2001 年土地使用分類判釋成果； (c) 2004 年原始衛星影像；(d) 2004 年土地使用分類判釋成果	188
圖 6.50 (a) 2007 年原始衛星影像；(b) 2007 年土地使用分類判釋成果； (c) 2010 年原始衛星影像；(d) 2010 年土地使用分類判釋成果	189
圖 6.51 曾文水庫水系中上游崩塌地歷年變動示意圖	191
圖 6.52 歷年崩塌地面積圖	192
圖 6.53 崩塌地面積與 NDVI 趨勢圖	192
圖 6.54 (a) 2001 年影像分類組成；(b)2004 年影像分類組成；(c)2007 年 影像分類組成；(d)2010 年影像分類組成	193
圖 6.55 2001 年、2004 年、2007 年及 2010 年土地使用分類變化圖(崩塌 地之土地使用分類變化請參照圖 6.56)	194
圖 6.56 2001 年、2004 年、2007 年及 2010 年崩塌地與裸露地變化圖	

.....	195
圖 6.57 土地利用類別前後期變動圖.....	195
圖 6.58 森林面積與平均 NDVI 圖.....	197
圖 6.59 裸露地總合面積與平均 NDVI 圖.....	197
圖 6.60 2001 年到 2004 年的森林轉移類型圖.....	199
圖 6.61 2004 年到 2007 年的森林轉移類型圖.....	200
圖 6.62 2007 年到 2010 年的森林轉移類型圖.....	202
圖 6.63 環保署於曾文水庫設立之水質監測站.....	203
圖 6.64 曾文水庫各測站第四季懸浮固體歷年時序圖.....	207
圖 6.65 曾文水庫各測站硝酸鹽氮歷年時序圖.....	208
圖 6.66 曾文水庫集水區-A 測試區非點源污染輸出量.....	209
圖 6.67 高光譜影像(左)與融合影像(右)於各土地利用之分類面積比例	211
圖 6.68 (a) BOD ; (b)SS ; (c)TN ; (d)TP 污染輸出量比較圖.....	213
圖 6.69 融合影像之分類面積計得之污染輸出量佔比.....	214

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 各測區之坐標一覽表.....	6
表 3.2 曾文水庫集水區各雨量測站介紹(TWD97).....	12
表 3.3 地形類別及其調整參數對照表.....	21
表 3.4 地表植被覆蓋類別及其調整參數對照表.....	22
表 3.5 土地覆蓋分區.....	23
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.....	27
表 3.7 火山地形特徵一覽表.....	39
表 3.8 斷層變位地形常用名詞(經濟部中央地質調查所).....	41
表 3.9 多期衛星影像資訊一覽表.....	48
表 3.10 2001 年影像分類精度檢核表.....	58
表 3.11 2004 年影像分類精度檢核表.....	58
表 3.12 2007 年影像分類精度檢核表.....	59
表 3.13 2010 年影像分類精度檢核表.....	60
表 3.14 2011 年水庫集水區-B 測試區之影像分類精度檢核表.....	61

表 3.15 曾文水庫集水區內各種土地利用非點源污染輸出係數(由本計畫自行歸納整理).....	65
表 4.1 各飛航架次作業時間及地點.....	69
表 4.2 基站資訊.....	69
表 4.3 飛航軌跡解算成果.....	69
表 4.4 火山區及水庫集水區飛航掃瞄成果統計表.....	73
表 4.5 已知控制點及 GPS 主站一覽表	75
表 4.6 已知控制點檢測成果表.....	78
表 4.7 GPS 主站坐標一覽表	79
表 4.8 檢測之水準點一覽表.....	80
表 4.9 水準觀測精度一覽表.....	82
表 4.10 已知水準點檢測成果一覽表.....	82
表 4.11 重疊航線處誤差分析表(粗體航線為交叉航帶)-火山區.....	86
表 4.12 重疊航線處誤差分析表(粗體航線為交叉航帶)-水庫集水區 ..	87
表 4.13 航線重疊處平差前後差量統計表(粗體航線為交叉航帶)-火山區.....	93
表 4.14 航線重疊處平差前後差量統計表(粗體航線為交叉航帶)-水庫集水區-B 測試區	94
表 5.1 分類後地面測點與非地面測點之統計數據.....	100

表 5.2 無數據面積之統計數據.....	101
表 5.3 各類土地覆蓋分區基本精度分析表.....	107
表 5.4 數值精度中央集中趨勢分析表.....	112
表 5.5 數值精度之偏態檢驗表(單位：公尺).....	114
表 5.6 DEM 數值適合度檢驗.....	120
表 5.7 DEM 正高系統地面檢核成果.....	121
表 6.1 本案所選用之演算模型.....	125
表 6.2 光譜樣本之明暗鋪面示意圖.....	129
表 6.3 本案兩測試區之經驗線改正參數.....	131
表 6.4 經驗式大氣校正與 FLAASH 大氣校正比較.....	133
表 6.5 利用 MNF 之影像解釋率篩選轉換後的高光譜影像成份軸(粗體 部分即為篩選的成份軸).....	137
表 6.6 水庫集水區-B 測試區之高光譜影像分類精度檢核表.....	140
表 6.7 水庫集水區-B 測試區之高光譜影像分類精度矩陣.....	141
表 6.8 融合後影像之分類精度檢核表.....	143
表 6.9 水庫集水區-B 測試區之融合影像分類精度矩陣.....	144
表 6.10 火山測試區多光譜資料明細表.....	145
表 6.11 監督式分類結果統計表.....	146

表 6.12 研究區內各地層 NDVI 統計表.....	148
表 6.13 地表粗糙度統計表.....	164
表 6.14 研究區之水系分析統計表.....	168
表 6.15 斷層崖之地形特性分析統計表.....	171
表 6.16 火山測試區-高光譜影像分類精度檢核表	183
表 6.17 火山測試區-高光譜影像分類精度矩陣	184
表 6.18 火山測試區-融合後影像之分類精度檢核表	184
表 6.19 火山測試區-融合影像分類精度矩陣	185
表 6.20 各年度崩塌地面積與颱風事件對照表(單位：公頃).....	190
表 6.21 2001 年到 2004 年的森林轉移矩陣表(單位：公頃).....	198
表 6.22 2004 年到 2007 年的森林轉移矩陣表(單位：公頃).....	199
表 6.23 2007 年到 2010 年的森林轉移矩陣表(單位：公頃).....	201
表 6.24 水庫 1~6 測站的水質與 NDVI 相關係數	204
表 6.25 水庫 1~3 測站的水質與 NDVI 相關係數	204
表 6.26 水庫 5~6 測站的水質與 NDVI 相關係數表	205
表 6.27 水庫 4 測站的水質與 NDVI 相關係數表.....	206
表 6.28 各影像分類後面積統計表(單位：公頃).....	210
表 6.29 2011 年多光譜分類面積計算之污染輸出量(公斤/年).....	211

表 6.30 2012 年高光譜影像分類面積計算之污染輸出量(公斤/年)..... 212

表 6.31 以融合影像之分類面積計算污染輸出量(公斤/年)..... 212

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一個良好的應用分析材料。而近年熱門的遙測新技術「空載光達掃瞄系統」乃為繼光譜影像之外，另一獲取地貌資訊的方法。承如 100 年度內政部辦理之全波形(Full waveform)空載光達應用工作一案(案名：發展先進空載光達科技與應用工作案)成果，全波形光達的多重回波資料，不僅有效取得高精度的三維地形測繪成果，透過波形的重建也使光達資料更兼具了協助土地利用分類的資料特性。

相較於多光譜資料的應用與分析，台灣在高光譜資料的處理技術與應用尚有需克服之問題，資料來源也多以衛載居多，故常面臨空間解析與光譜解析難兩全的問題存在。朱健銘與蔡博文(2005)以 EO-1 Hyperion 於山區進行土地利用分類發現，雖然高光譜影像已將影像進行轉換且能分類辨別出光譜相近的土地利用類別，但受限空間解析度不足，在道路或溪流等線型面積較小的地物仍會有誤判的狀況。而根據前人研究顯示，於高光譜資訊易受植被覆蓋影響而不易觀察的岩性分析研究上，若增加光達資料將有助於使岩性的辨識正確率由 65%提高至 87.5%(Grebby et al., 2011)。爰此，本計畫將使用全波形空載光達系統進行掃瞄作業，並利用空載高光譜掃瞄儀規劃、控制光譜資料的空間解析度與光譜分辨率以取得地表的高光譜資料。其研究目的在於能藉由全波形空載光達於空間幾何描述之特性，結合高光譜資料紀錄地表反射資訊的優勢，透過不同類型的資料整合、融合，提升影像資料的使用價值。

此外為能夠瞭解研究成果於應用面之效益狀況，本計畫選定火山地區及水庫集水區兩試驗區進行測試。火山地區應用分析，除延續上

述之 100 年度工作案成果，以多重回波資訊精確展繪火山地形、地震斷層的地形特徵，另著重於探討多光譜與融合後之高光譜影像於裸岩區之岩性與光譜特徵分析成果。水庫集水區之應用則以探討環境影響與水質的相關性為主。期望高光譜資料與光達於立體空間的資料特性能突破光譜資料紀錄地表光譜資訊與空間解析能力的限制，改善地物分類影像的資料品質。

第2章 工作項目及進度控管

本案於 101 年 3 月 27 日完成簽約，作業時間為 101 年 3 月 28 日起至 101 年 11 月 30 日止，分三期繳交成果(表 2.1)。依規劃進度，本案總工作項目(如表 2.2)皆已全數完成。

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 2 個測試區規劃與執行概況報告。 2. 空載光達系統率定報告分析。 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(檢附測量技師簽證)。 4. 多光譜衛星影像資料處理與分析 二、將所蒐集之高光譜與光達技術資料處理與應用等相關技術文獻資料 1 冊。 三、經輻射校正及幾何糾正之 2 個測試區多光譜衛星影像資料 1 式。	於 101 年 9 月 28 日前繳交。

	四、高光譜及全波形光達飛航掃瞄原始數據各 1 份。	
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) 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> <ol style="list-style-type: none"> 1. 測試區概述與空載光達系統率定分析。 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。 3. 交叉飛航數據(Cross Flight)誤差分析報告。 4. 應用航帶重疊數據進行誤差分析報告。 5. 航帶平差及資料整合成果。 6. 分類後地面測點與非地面測點數據統計分析。 <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(應儲存於行動硬碟中)。</p> <p>三、不規則離散測點純文字檔 1 份(應儲存於行動硬碟中)：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利用之全波形雷射掃瞄回波數據資料庫。</p>	<p>於 101 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>

	<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(檢附測量技師簽證)。</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、工作總報告書 (定稿) 10 份及電子檔 1 份(檢附測量技師簽證)。</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 101.04	第2月 101.05	第3月 101.06	第4月 101.07	第5月 101.08	第6月 101.09	第7月 101.10
工作計劃書撰寫		5%	100%	5.0%							
飛航申請與儀器整備		1%	100%	1.0%							
期中報告書撰寫		5%	100%	5.0%							
空載高光譜、全波形空載光達、航照影像等資料獲取		20%	100%	20.0%							
相關文獻蒐集並彙整成冊		1%	100%	1.0%							
光達點雲之地面點與非地面點分類		2%	100%	2.0%							
數值高程模型與數值地表模型製作及精度評估		15%	100%	15.0%							
多光譜衛星影像資料蒐集、處理與分析		15%	100%	15.0%							
高光譜與全波形光達融合測試技術之精度評估分析		15%	100%	15.0%							
高光譜資料與多光譜衛星影像之應用成果比較初步探討		15%	100%	15.0%							
各項成果彙整		1%	100%	1.00%							
工作總報告書		5%	100%	5.0%							

預定總工作進度100%
 實際總工作進度100%

第3章 測試區選定與作業計畫

3-1 測區選定

本案火山區測試區及水庫集水區測試區面積各約為 35 平方公里，坐標參照表 3.1，測試區環境概述如下所述。

表 3.1 各測區之坐標一覽表

測試區	左上角坐標 (TWD97)	右下角坐標 (TWD97)
火山區	(308757.286, 2793010.382)	(313779.617, 2785117.170)
水庫集水區	(214127.268, 2582880.695)	(219127.268, 2575880.695)

1. 火山區測試區

台灣火山的分布可分為北、東、西三大部分。北部火山區主要包括大屯火山群、基隆火山區、觀音山及外海的彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼、基隆嶼和龜山島。東部火山區包括海岸山脈、綠島、蘭嶼和小蘭嶼。西部火山區則為澎湖列島。本計畫選定火山測試區屬於北部火山區之部分範圍，面積約 36 平方公里，為金山地區往陽明山之省道台 2 甲線鄰近 7 幅 1/5000 圖幅範圍 (圖號:97233004、97233005、97233014、97233015、97233024、97233025、97233034)，其中 97233004、97233005、97233014 及 97233034 等 4 幅皆為部分圖幅，如圖 3.1。

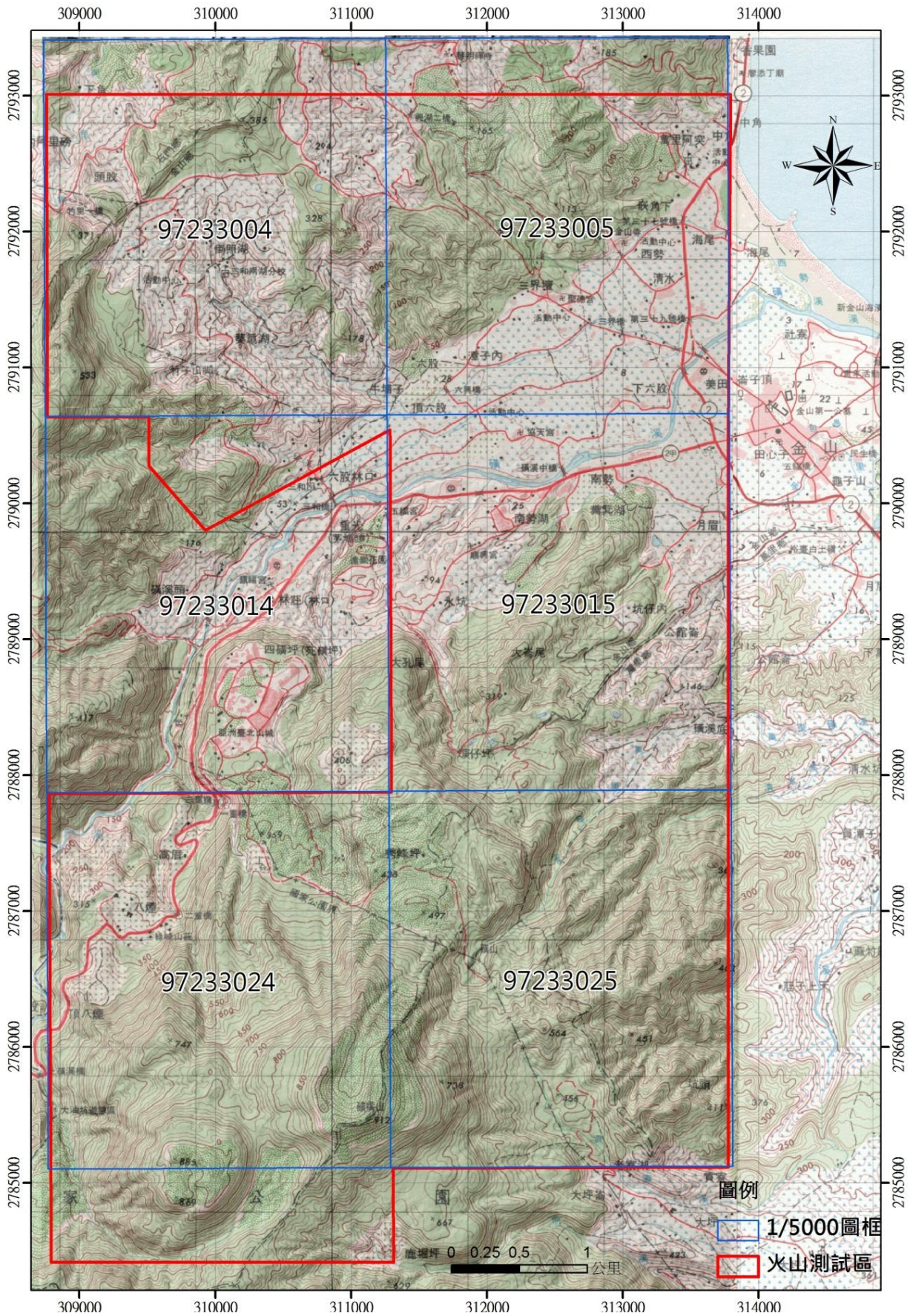


圖 3.1 火山區測試區位置圖

火山測試區位於大屯火山群(圖 3.2)。大屯火山群因 100 萬年前台灣北部停止受到菲律賓海板塊的擠壓，致壓力量頓消失，地殼呈現張裂並產生正斷層，岩漿沿裂隙湧出地表形成火山，持續到十幾萬年前才停止活動。大屯火山噴出的岩漿屬於黏稠性高的安山岩質熔岩，火山屬於錐狀火山之外型，因此區域含括火山岩流、凝灰角礫岩、沉積岩與沖積層等不同地層特性，且具有火山口、火山錐、熔岩流等火山地形。此外，測試區內又有金山斷層(又名新莊斷層)出露，故可進行活動斷層之相關地形特徵判釋。

在地質構造(圖 3.3)方面，測試區出露有山腳斷層及金山斷層，山腳斷層屬於逆移斷層，斷層呈東北走向(市川雄一，1931)。金山斷層為正斷層，由北海岸的金山向西南延伸，經大屯火山群、台北盆地至山子腳西北方塔寮坑，長約 34 公里。王執明等(1978)指出在金山、中角及北投復興崗等處可觀察至新莊斷層的證據；北投與金山之間，由地形上可見略具直線性之峽谷，可能與此斷層有關。

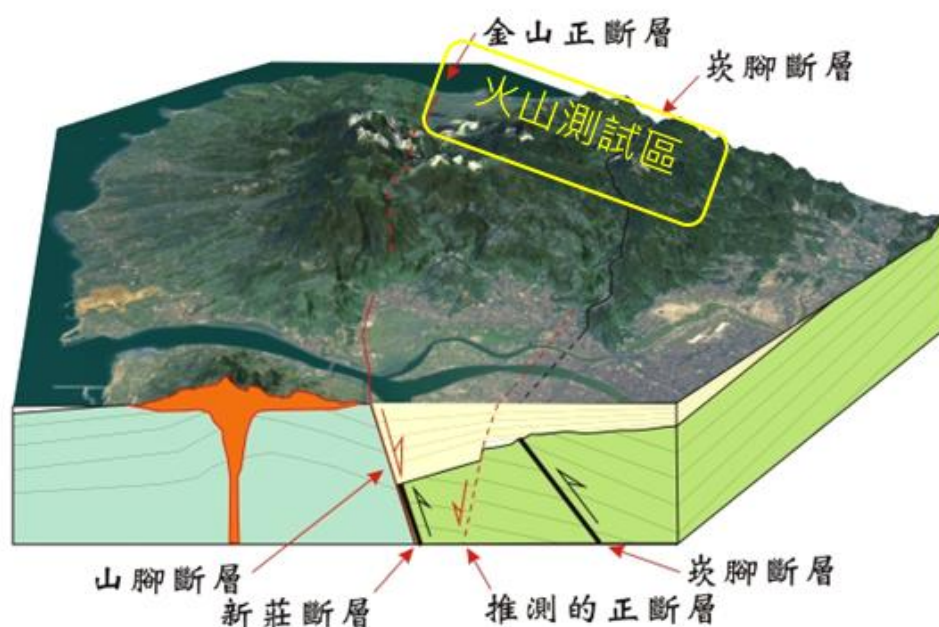


圖 3.2 火山區測試區立體位置圖 (資料來

源:http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/GeoPark/Tatun/photo-Tatun_03.html)

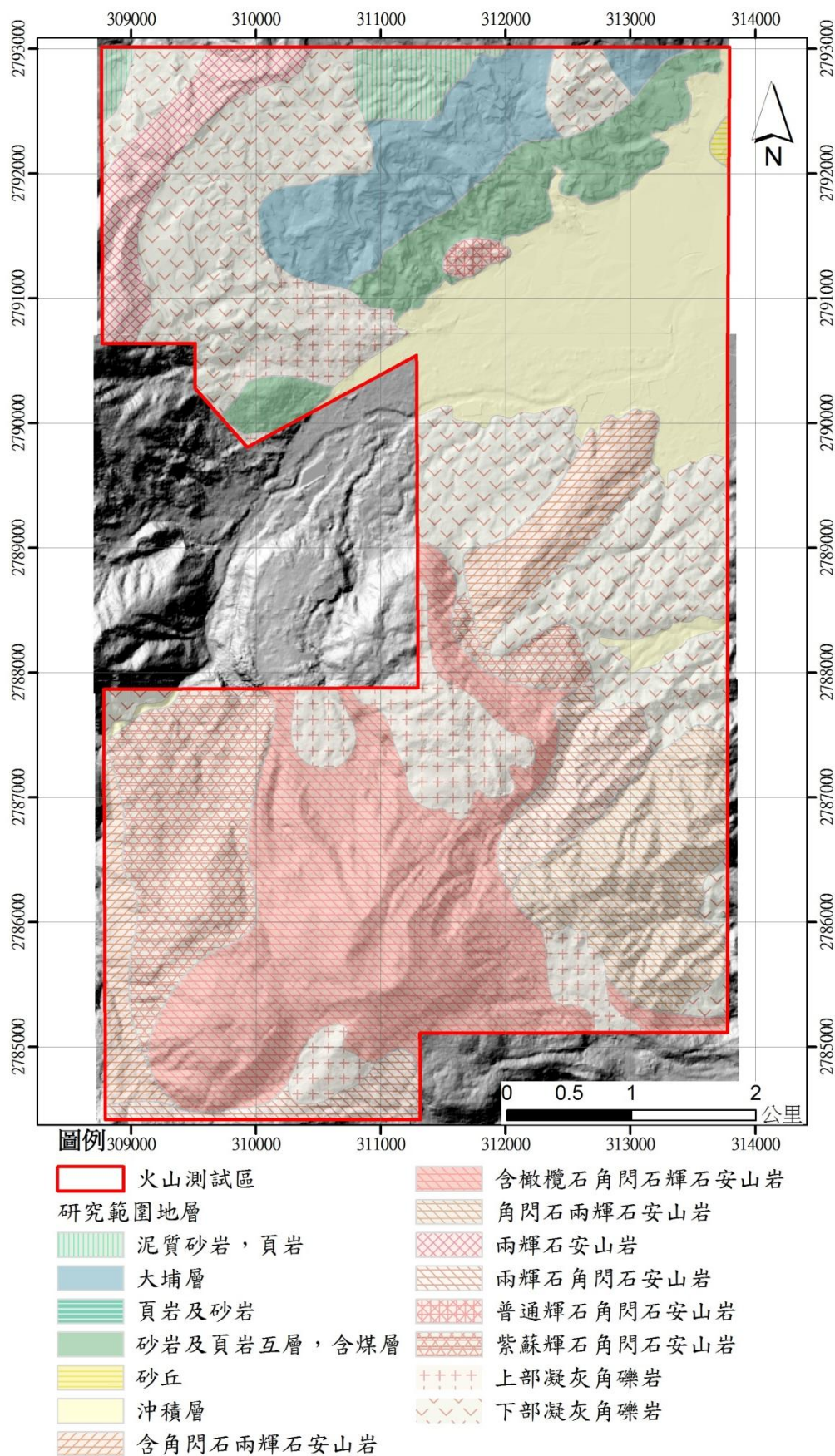


圖 3.3 火山區測試區之地質圖(資料來源：經濟部中央地質調查所)

大屯火山群區域內出露的火山岩包括有，火山熔岩、火山碎屑岩和火山泥流等，其中以火山熔岩出露最多，火山泥流次之。因安山質岩漿黏滯性較高不易流動，累積在火山口附近形成較陡的熔岩台地，如四礮坪、煥子坪、大坪、二坪、石梯嶺、冷水山、小坪頂、底堀和埔子頂等。另一種則是因岩漿的黏滯性太高，不易流出火山口形成火山穹窿，如紗帽山、七股山、大尖後山、面天山等。

火山碎屑岩是火山劇烈爆發後所形成的一種火山岩。大屯火山群分布的火山碎屑岩，主要是由密度高的安山岩質角礫岩所組成，因岩漿穹窿崩塌作用所形成。火山灰落堆積物是火山碎屑物被噴發到空中後，再掉落至地上堆積形成的火山產物。大屯火山群區域內只有在小油坑和擎天崗附近有小規模的火山灰落堆積物分布，由大小不等的火山碎屑顆粒、以顆粒支持的堆積所形成，顯示大屯火山群的爆發能力較弱。火山泥流堆積物是在火山噴發同時或噴發後，疏鬆的火山物質遇到地表水，然後與之混合流動所形成。大屯火山群區域內的火山泥流分布較廣，主要分布於七星山東南麓、礮嘴山北麓、大屯火山西邊和西南邊、竹子山西至北麓等地區。經過地球科學家多年的研究，發現大屯火山在距今 5 千多年前，仍有小規模的噴發；而龜山島最後噴發的年代約在 7 千多年前。因此，這兩處的火山仍屬活火山，不排除未來仍有噴發的可能。大屯火山緊鄰臺灣政經及文化重心的臺北都會區，如有任何風吹草動，將造成嚴重的衝擊。另外，噴氣口的 He 同位素分析結果顯示有 60% 是來自於岩漿的氣體，40% 是來自於大氣中的 He 氣體，這表示大屯火山群底下可能還有岩漿庫存在。綜合科學證據顯示，大屯火山群的火山活動現象確實存在，且活動能量穩定，可能隨特殊事件擺盪，目前尚無法進一步描繪出岩漿庫體的分布範圍。地質調查所於 2010 年 8 月召開國內火山學者專家諮詢會議，會中整合學者共識，根據 1994 年 Szakacs 對火山的分類、噴發年代及活動現象定義，將大屯火山群歸類為「休眠活火山」(dormant active volcano)。因

此大屯火山群之火山分類雖屬於「活火山」，但目前處於休眠火山狀態，短期內不會噴發，但火山地區地殼深處仍有岩漿活動，不排除未來會噴發的可能性。

2. 水庫集水區測試區

曾文水庫於民國 56 年 7 月開始興建，歷經 6 年而於民國 62 年 10 月興建完成，為國家重大經濟建設之一。曾文水庫位於嘉義、台南與高雄三縣之交界處，呈現由東北至西南狹長的走向，大壩則位於嘉義縣大埔鄉曾文溪上游之柳藤潭峽谷，壩型為輾壓式土石壩，滿水位標高 227 公尺，集水區面積 481 平方公里，總蓄水量約 7 億立方公尺，主要供給北港溪以南、二仁溪以北的嘉南地區農業用水，並供給嘉義及台南縣市民生及工業用水，為能充分利用曾文溪之水資源，曾文水庫並與烏山頭水庫相互配合運用，形成串聯系統，主要目標為調節並利用曾文溪水資源，改善與擴充嘉南地區耕地之灌溉，並兼具水力發電、給水、防洪及觀光等效應。

本團隊為執行「水庫水質影響分析」之工作項目，考量河川、水庫之經營管理應以集水區作為基本單位。故以曾文水庫集水區(命名：水庫集水區-A 測試區)作為此項目之研究分析範圍(圖 3.4)。曾文水庫集水區跨越嘉義縣大埔鄉、番路鄉、阿里山鄉及高雄市三民鄉，曾文溪貫穿集水區中央，主、支流總長約 213.1 公里，集水面積約 481 平方公里，集水區內雨量測站共有 9 站，分別為曾文新村、水山、樂野、里佳、表湖、馬頭山、龍美、三角南山以及大棟山，各雨量測站基本介紹如表 3.2 所述。

此外，考量本計畫之執行時程與經費限制，本專案選定水庫集水區測試區(命名：水庫集水區-B 測試區)作為結合空載光達與空載高光達影像兩資料之融合測試地區。曾文溪主流約 56.2 公里，該測區位於

其位曾文溪主流之上游河段(圖 3.5)。測試區範圍包含共 9 幅之 1/5000 圖幅(圖號：95194066、95194067、95194068、95194076、95194077、95194078、95194086、95194087、95194088)，其中 95194066、95194067、95194068、95194076、95194078、95194086、95194087、95194088 等 8 幅皆為部分圖幅。

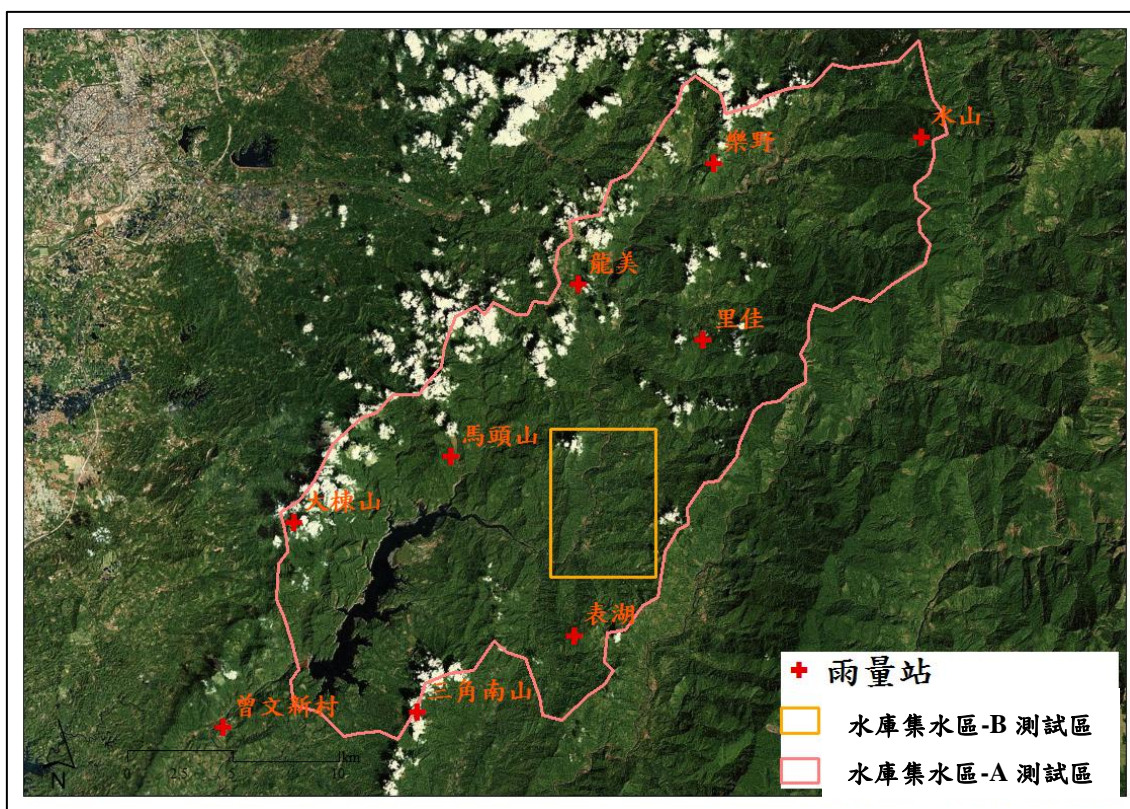


圖 3.4 曾文水庫集水區空間位置及氣象測站分布圖

表 3.2 曾文水庫集水區各雨量測站介紹(TWD97)

站名	X 座標	Y 座標	高程(m)	設站日期	站址
曾文新村	198661	2568818	147	59 年 1 月	台南市楠西區密枝村 70 號
水山	231675	2596636	2450	59 年 1 月	嘉義縣阿里山鄉自忠村水山
樂野	221871	2595420	1850	64 年 1 月	嘉義縣阿里山鄉樂野村(福山)
里佳	221379	2587086	1550	59 年 1 月	嘉義縣阿里山鄉里佳村
表湖	215274	2573134	1100	64 年 1 月	高雄市那瑪夏區民權村表湖
馬頭山	209443	2581578	1020	59 年 1 月	嘉義縣大埔鄉永樂村
龍美	215484	2589714	1200	76 年 3 月	嘉義縣番路鄉公田大山
三角南山	207845	2569524	1086	76 年 3 月	嘉義縣大埔鄉三角南山
大棟山	202019	2578463	1234	76 年 3 月	台南市白河區大棟山

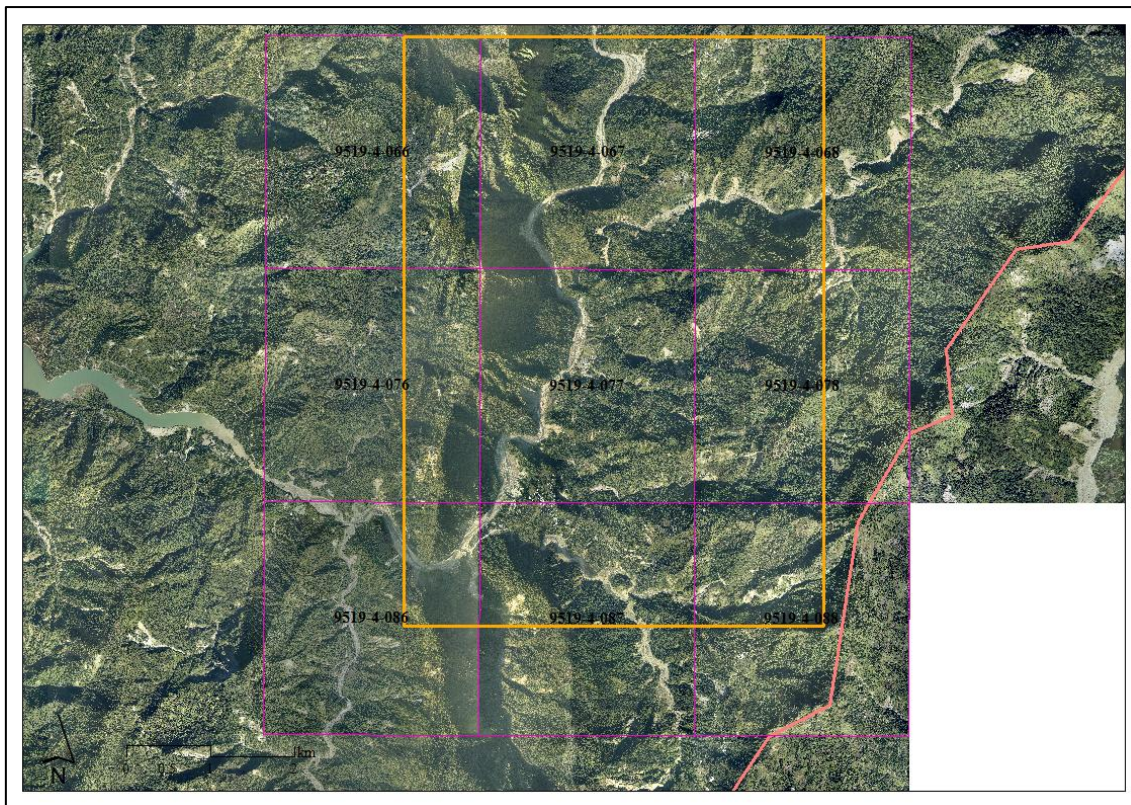


圖 3.5 水庫集水區-B 測試區位置圖

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「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」等相關規定，已於 101 年 4 月 24 日檢附相關文件(申請文號：(101)中興測字第 075 號)向內政部提出申請實施本案飛航掃瞄作業、於 101 年 5 月 30 日補正資料，並於 101 年 7 月 9 日核復通過(核復文號：101 年 7 月 9 日-台內地字第 1010243807 號)。

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二。

1. 光達掃瞄儀器

本案使用之全波形空載光達儀器 Optech **ALTM Pegasus** 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； Briesse 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(Pushbroom)之掃瞄方式為，使得二維 CCD 元件上的一行影像以高光譜分辨率被重複讀出，進而取得涵蓋相應地面之高光譜影像。

3. 航空攝影儀器

本計畫正射影像測製以 GPS+IMU 搭配 Dimac Ultralight + 60MP 隨空載光達掃瞄儀器一同進行拍攝作業。其利用記錄啟動快門時所送出的脈衝信號事件(Event mark)之瞬間，並以 GPS+IMU 搭配地面 GPS 主站，以動態定位方式求得拍攝瞬間的飛機位置坐標，作為數位影像投影中心點外方位參數資料來源。航空攝影採用於 1/25,000 地形圖上進行航線規劃，航線方向東西向或南北向，主要依地形狀況而決定。此外，本團隊租用群鷹翔航空股份有限公司（以下簡稱群鷹翔航空），以其飛航載具(圖 3.6)及裝載之 DIMAC UltraLight 數位式相機拍攝，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。其地面像元間距 (GSD) 需小於 15cm (含) 以下。原則上，航向重疊 (overlap) 為 80%，側向重疊 (sidelap) 則為 30%。各航帶前後應於測區外各多拍一個像對。



圖 3.6 群鷹翔航空所有普通航空業測繪載具

3-2.3 航線規劃

本案規定蒐集之空載光達點雲必須符合各航帶之點雲密度每平米至少 2 點以及需至少 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，掃瞄參數為 2.3 pts/m^2 及相鄰航帶重疊率 50% 以上。雖本案未要求飛航掃瞄角度(FOV)，但依據本團隊執行空載光達掃瞄作業之經驗，最大 FOV 應以 40° 為原則，故本案均以 40° 之 FOV 進行獲取點雲之掃瞄作業。飛航掃瞄之離地高規劃為 1500 m，航高則依儀器之性能、飛行載具及地形等因素加以設計。空載高光譜系統掃瞄參數之規定：影像解析度須達 1 m 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 1500 m，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 3.7)。各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五。

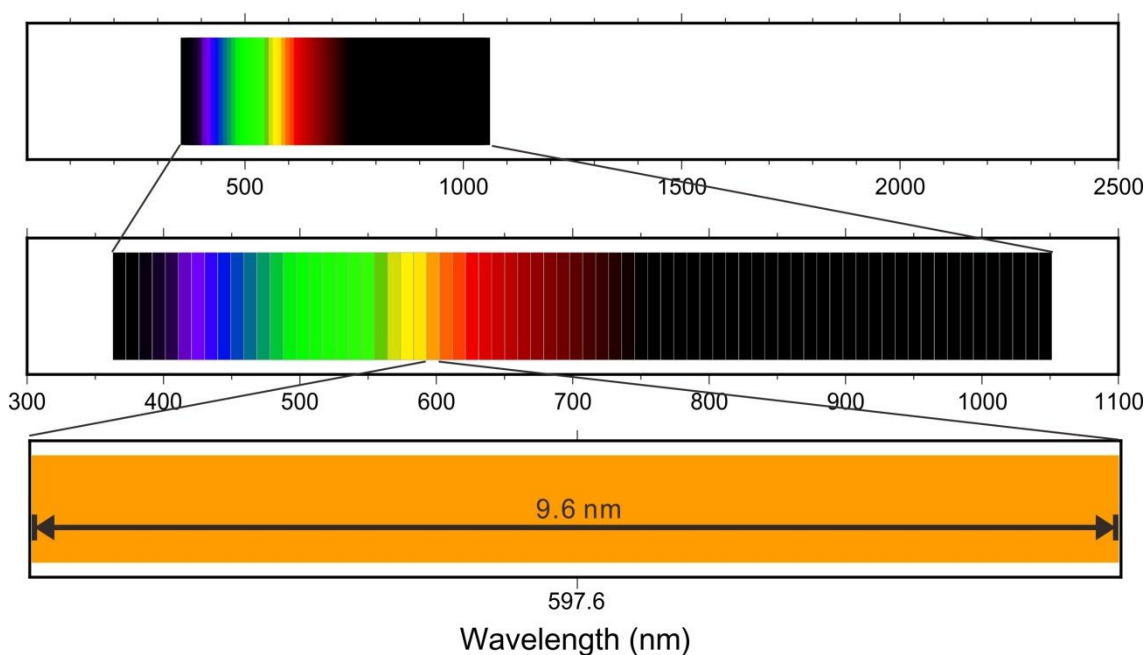


圖 3.7 本案收集之高光譜資料波段分布情形

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。

本計畫採用固定站為基站位置，其中火山區採用內政部的 YMSM 及 TSHI 固定站，集水區則採用地調所的 GS67、GS64 固定站，並採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 YMSM、GS09、SHMN、TSHI、WANL、WULU、GS07、GS42、GS67、GS64。火山測試區已知點為 YMSM、GS09、SHMN、TSHI、WANL，水庫集水區已知點為 WULU、GS07、GS42。並以 WULU、GS07、GS42 三個已知點，確保 GS67、GS64 坐標之正確性。火山測試區直接引用測區主站 YMSM 及 TSHI 公告之 TWD97【2010】坐標，而水庫集水區測試區主站(GS64、GS67)則以約制外圍已知點(也就是 WULU、GS07、GS42 三點)所得之 TWD97【2010】坐標作為基準，其控制網形圖參考圖 3.8 和圖 3.9。

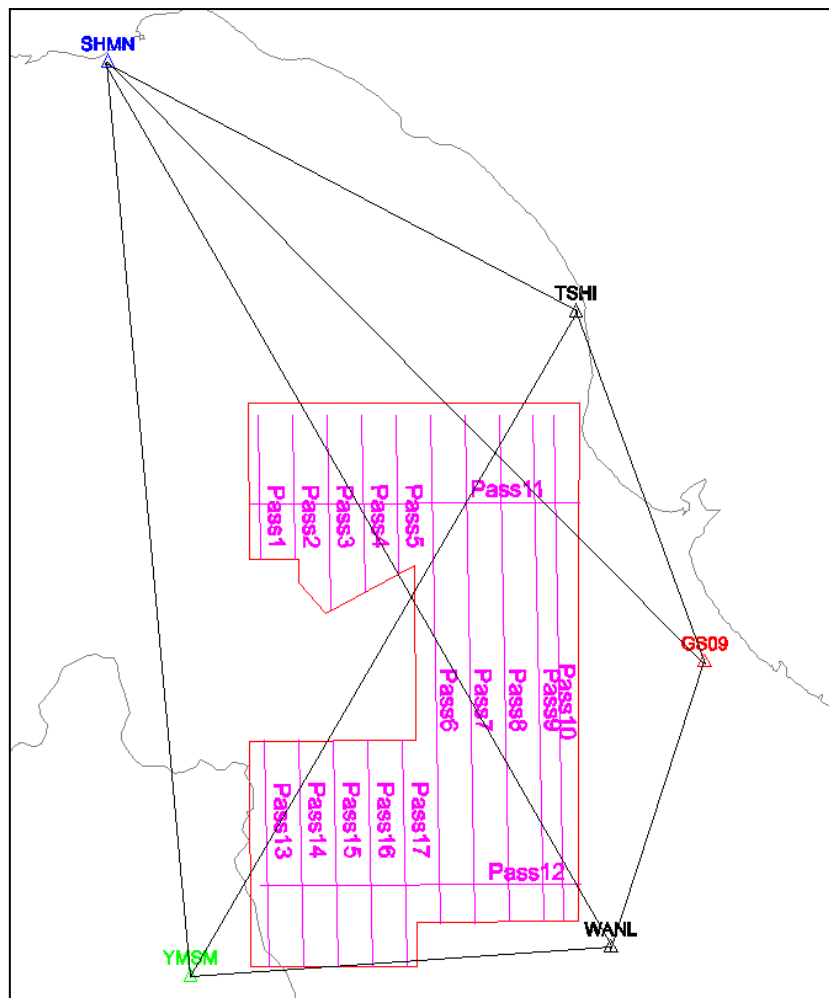


圖 3.8 火山區測試區控制網形圖

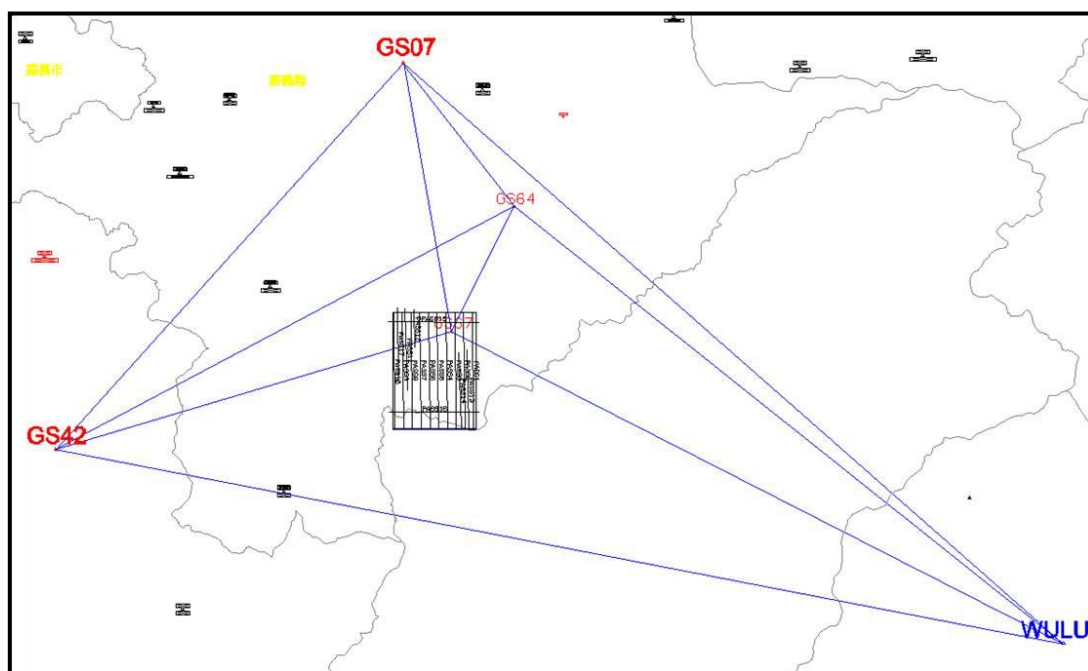


圖 3.9 集水區測試區控制網形圖

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多架次掃瞄時用於不同區塊間之約制用，由於本次測區均為小區域，因此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 3.10)

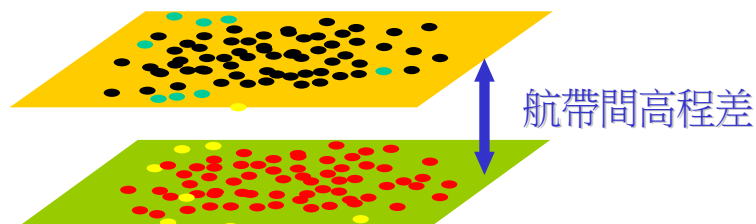


圖 3.10 推求兩航帶內某共軛點的相對高程差示意圖

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值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. 檢核點精度評估標準與作業

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 3.3。

表 3.3 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 3.4。

表 3.4 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

本計畫對於火山測區以及水庫集水區 B 測試區進行檢核作業。檢核作業需至少包括裸露地、矮植被(周圍為高度不超過 1 米之草生地、矮樹群、茶區等)、植生地、林地、濕地等土地覆蓋分區。每種土地覆蓋分區至少需有 30 個地面測量檢核點，並儘可能均勻分布於各圖幅，各土地覆蓋編碼請參照表 3.5。矮植被之地表植被覆蓋情形調整參數 c 比照密林地；濕地地表植被覆蓋情形調整參數 c 比照裸露地。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 3.5 土地覆蓋分區

分類編碼	分類名稱
B	裸露地
L	矮植被
W	溼地
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 18 個檢核點，剖面長度總和需超過 12 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。本案之兩測試區於測試區內進行 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，兩測區土地覆蓋類型檢核點至少每種各 15 點。兩測試區檢核點分佈如圖 3.11(a)、(b)。

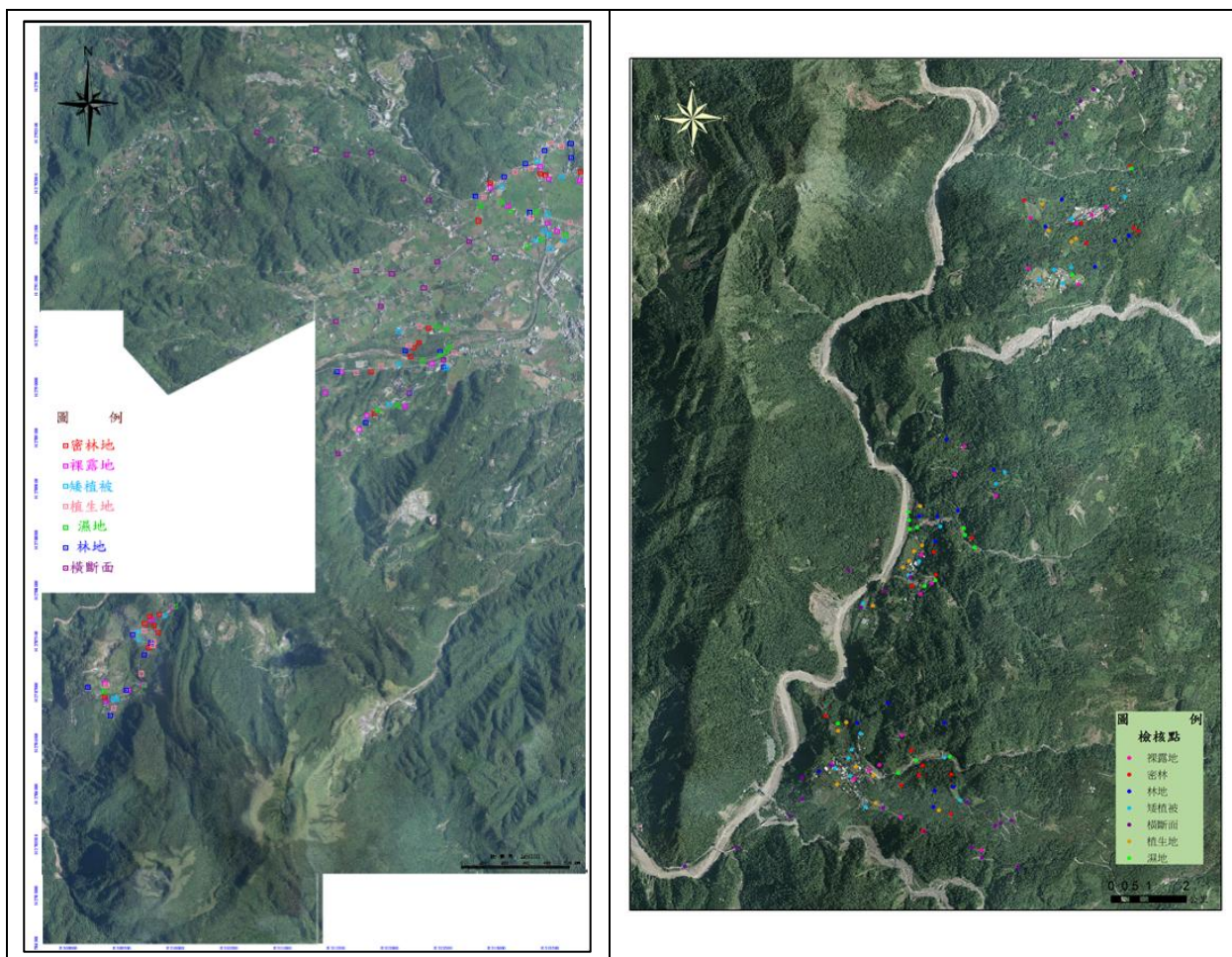


圖 3.11 兩測試區之檢核點分佈圖

3-3 資料處理與應用分析

3-3.1 資料處理

本研究試驗主要以此次飛航掃瞄成果之高光譜影像以及全波形光達資料作為影像融合試驗與應用之研究材料。本小節將針對全波形光達資料之輻射校正以及高光譜影像之大氣校正加以說明。

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。其中，又以大氣校正

最為複雜。光譜穿透大氣層至地表的過程，會受到大氣路徑效應包括大氣分子的吸收、散射等影響，因此，消除大氣和光照等因素對物體反射的影響，並獲取地物真實反射率之數據則為重要，而這段處理過程稱為大氣校正(Atmospheric correction)。

大氣校正一般分為影像相對的處理方式(Image-Based)、大氣輻射傳輸法(Radiative Transfer Model)和以統計為基礎之經驗法則(Empirical Line)(Paul M. Mather and Magaly Koch, 2009)。影像相對校正法，主要是找影像中的暗點(Dark Pixel)進而對整張影像進行相對校正。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。而輻射傳輸模型則是利用電磁波在大氣的輻射傳輸原理所建立，適用範圍較廣。目前常用的大氣輻射傳輸模型，以美國空軍所研發的MODTRAN 為主，以此傳輸模型開發的商用軟體中則有 ATCOR 及 ENVI 的 FLAASH 模組等。本報告評估操作性與軟體取得的方便性後，選擇 ENVI 5.0 的輻射傳輸模型(FLAASH Module)以及經驗法則(Empirical Line)進行大氣輻射校正。

(1)FLAASH 校正模組

FLAASH(Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)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。不同頻率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 3.2 所示。

$$L^* = A\rho/(1-\rho_e S) + B\rho_e/(1-\rho_e S) + L_a^* \quad (\text{式 } 3.2)$$

其中，

ρ : 像元之地表反射率

ρ_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座標、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樹值，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 ⁻³)	H ₂ O (PPMV)	O ₃ (PPMV)	N ₂ O (PPMV)	CO (PPMV)	CH ₄ (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。

(2) 地面光譜儀採樣反推

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 3.3)：

$$y = ax + b \quad (\text{式 3.3})$$

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。

本團隊以 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。例如以瀝青鋪面為暗色的代表，水泥鋪面為亮色代表，做為經驗式迴歸線兩極端值，建立高光譜影像與地面點間的輻射值關係(圖 3.12)。地面光譜儀器設備簡述請參閱附件一。

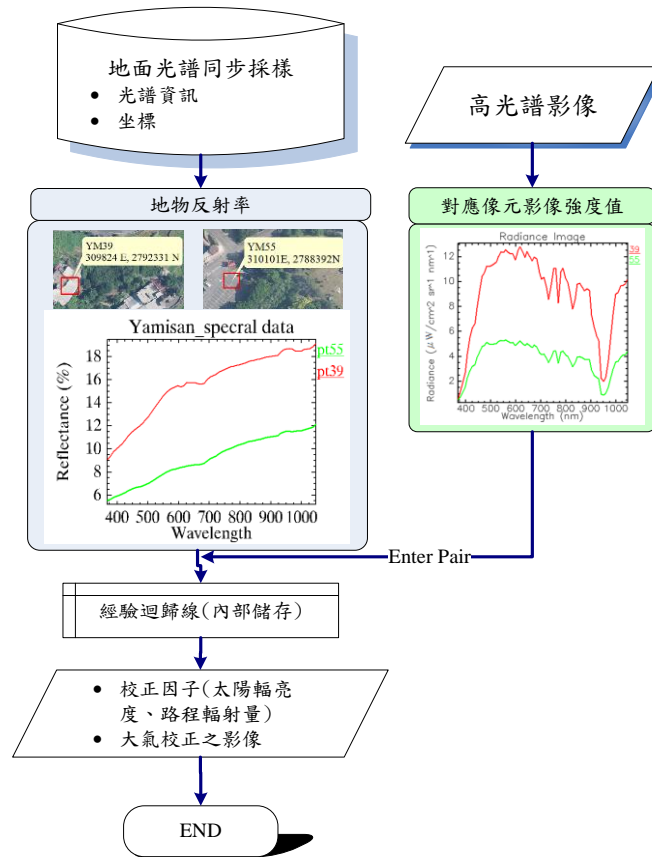


圖 3.12 經驗法則校正流程

2. 全波形光達資料之輻射校正

本項工作內容乃根據雷射輻射傳導模式進行改正(式 3.4)：

$$P_r = P_t \frac{D_r^2 \rho}{4R^2} \eta_{sys} \eta_{atm} \cos \alpha, \text{ 其中 } P_r \text{ 為接收之能量} \quad (\text{式 3.4})$$

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(η_{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(η_{sys})、雷射光對地物之入射角(α)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，對於大氣

狀態，由於本計畫所規畫之飛行高度仍為同一航高，因此可將其視為定值。因此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 3.5、式 3.6)：

$$P_r = C \frac{\rho}{R^2} \cos \alpha \quad (\text{式 3.5})$$

其中，

$$C = P_t \frac{D_r^2}{4} \eta_{\text{sys}} \eta_{\text{atm}} \quad (\text{式 3.6})$$

本計畫即根據上式對點雲強度值進行改正，其流程圖如下圖 3.13，由於改正需點雲之入射角，此入射角乃雷射光與地表面之法向量夾角，因此將點雲之第一回波取出，計算其 DSM，接著針對第一回傳值、DSM 和飛行軌跡求得各點之入射角和測距值，即可利用上式進行強度改正。

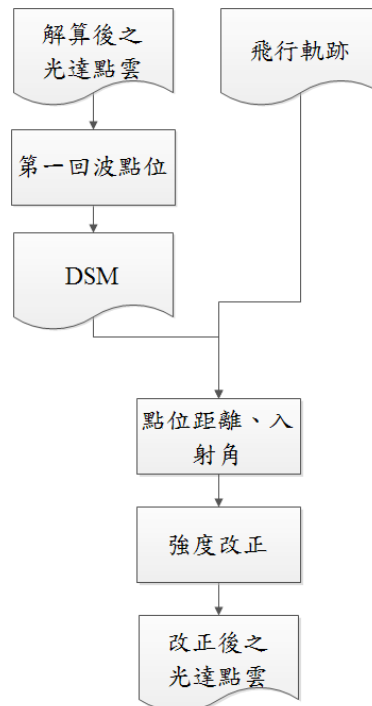


圖 3.13 點雲強度改正流程圖

3-3.2 高光譜與全波形光達資料融合處理測試

兩種不同的資料格式於進入融合試驗階段前，均必須各自經過一些影像後處理，方可予以使用。以下說明空載光達資料與高光譜影像之處理方法，再進一步闡述融合試驗方法。

1. 全波形光達之資料

全波形光達資料具有反映不同地物類型的光達回波強度，因此本研究主要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。全波形光達之波形重建技術於「100 年度發展先進光達空載光達科技與應用工作案」即已有良好成果。波形重建原理為，利用 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 面積進行波形資料之取樣，計算該面積內之平均光達強度值，藉由網格式影像之儲存方式(圖 3.14)，以 256 個維度(0~255)重新展現地物之全波形光達資料的波形資訊。

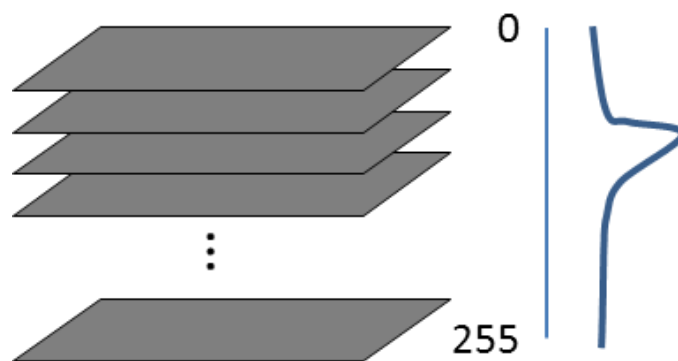


圖 3.14 以網格式資料呈現平均光達強度值之影像組成示意圖

2. 高光譜影像之波段篩選

本計畫之高光譜影像光譜解析力為 72 個波段數。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，本研究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。

3. 資料融合處理

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(圖 3.15)。利用兩種(含)以上之不同影像或資料，透過光譜影像的波段篩選(如：Optimum Index Factor, OIF)、光譜技術，如：HIS(Intensity-Hue-Saturation)或統計原理(如：Principal Component Analysis, PCA、Minimum Noise Fraction Transformation, MNF)，進行數學運算而結合成生成新的影像資料(Pohl and Genderen, 1998; 謝嘉聲及史天元，1994)，亦或稱其為一種影像增揚的方式。

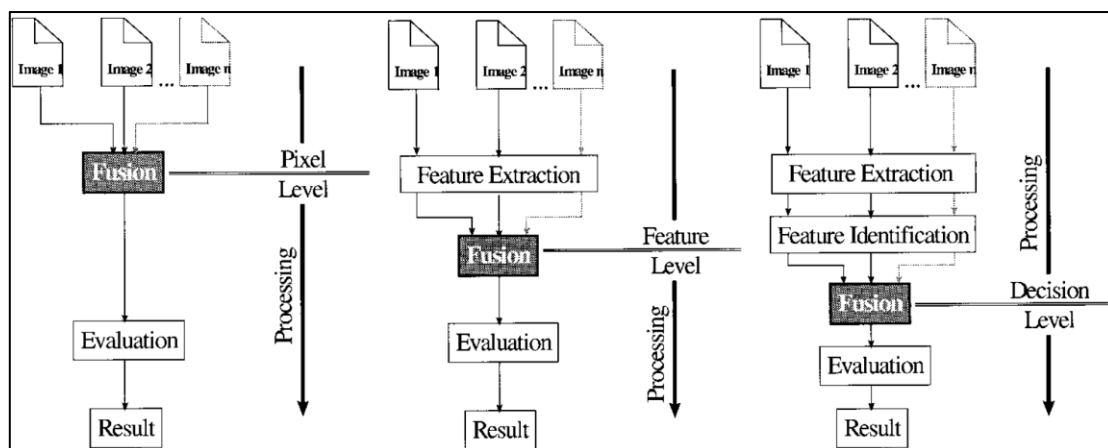


圖 3.15 融合影像之不同處理等級(Pohl and van Genderen, 1998)

由上圖顯示可知，Pixel Level 屬於融合各來源影像以組成一幅全新影像，Feature Level 則需要事先將來源影像的形狀或鄰近初始圖像之特徵(如：點、線、面)進行資訊萃取(Mangolini, 1994)，而 Decision Level 則是利用 Feature Level 所獲得之特徵影像，以決策方式判斷影像上的相同/相異資訊，進而加強融合影像資料之獨特性(Shen, 1990)。

本研究之融合處理將以統計原理作為基礎，透過多變量統計方式

獲取具有代表性且較佳的影像統計特徵。目前常使用於遙測影像的增揚方式包含有主成分分析(PCA)以及最小噪訊成分轉換法(又可稱最小噪訊分離)(MNF)兩種。本研究將分別以 MNF 與 PCA 各別針對高光譜與全波形光達影像進行處理，其選用原因將於後續說明。

主成分分析主要乃透過主成份線性轉換模式(式 3.7)，將 DN 值以正交旋轉方式轉換至能涵蓋最多資訊的成分向量，進而利用特徵值(Eigen value)挑選 k 個特徵向量，以提高資料品質、降低光譜資料的維度。

$$Y = AG \quad (\text{式 3.7})$$

其中，Y 為旋轉後影像；A 為主成份轉換矩陣(principal components transformation matrix)；G 為原始影像。

最小噪訊成分轉換法主要運算架構仍是藉由 PC 旋轉的線性轉換。但有別於 PCA，MNF 將影像分為訊號與雜訊，故原影像的共變異矩陣(covariance matrix)可視為訊號與雜訊共變異矩陣的總合(式 3.8)。

$$\Sigma = \Sigma_S + \Sigma_N \quad (\text{式 3.8})$$

其中， Σ 為原影像之共變異矩陣， Σ_S 為訊號之共變異矩陣， Σ_N 則代表影像雜訊之共變異矩陣。

因此 MNF 之轉換處理分為兩次的成分旋轉。第一次旋轉主要乃是利用自身噪訊的共變異矩陣。以藉此將影像資料解相關(decorrelate)並比例重組，降低轉換後各波段間相關性且具有單位變異(unit variance)的雜訊影像。其次，經由去除單位變異雜訊後，以主成分分析依各成分特徵值大小重新排列成新的影像資料。

MNF 旋轉模式優於 PCA 的主要原因在於其屏除了影像雜訊對統計上的影響，故高光譜影像處理的轉換法，前人也多選擇其方法使用。然而 MNF 於進行噪訊處理時需選擇同質性區域進行雜訊計算，且必須遵守 Σ 與 Σ_N 兩者皆為正定矩陣的條件。由於 ALTM Pegasus 之光達回波僅記錄有效的光達回波資訊而不紀錄雜訊資訊，因此全波形光達資料於第 120 個波段以後之回波強度訊號值幾乎為零。故當選擇光達回波影像的同質性地區時，容易使其運算之正定矩陣無法成立。

基於上述之理由，高光譜資料之影像處理乃選擇 MNF 作為其研究方法，全波形光達影像則選以 PCA 進行影像處理。各轉換後影像以參考成分軸之特徵值比率、波段逐一篩選之方式，挑選過濾各主成份影像，並將各別所挑選出的有利且較佳應用價值之主成分，重新疊合成新的影像，再利用合併後影像進行 PCA 轉換，獲取有利分類的融合影像。研究流程圖如圖 3.16。其融合成果評估則以融合影像與高光譜影像兩種資料之分類成果精度進行其評估與比較。

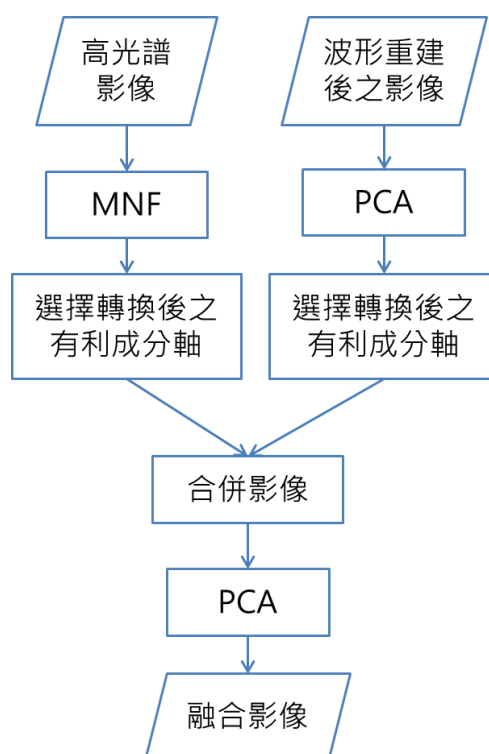


圖 3.16 以高光譜影像與全波形光達資料進行融合影像之研究流程圖

3-3.3 火山區測試區

3-3.3.1 火山相關地形應用分析研究

本團隊於內政部 100 年度之「100 年度發展先進空載光達科技與應用工作案」中，已成功應用全波形光達資料進行地質崩塌區及森林區之判釋與應用，尤其在地質崩塌區的判釋方面，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(圖 3.17)，尤其在密林區，全波形光達有別於傳統光達，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地形特徵，同時更精準進行地形特徵範圍界定(圖 3.18(b)箭頭位置)，提升判釋與應用精度。基礎於上年度經驗與成果，本年度利用相關之判釋經驗針對火山相關之地形應用分析研究。

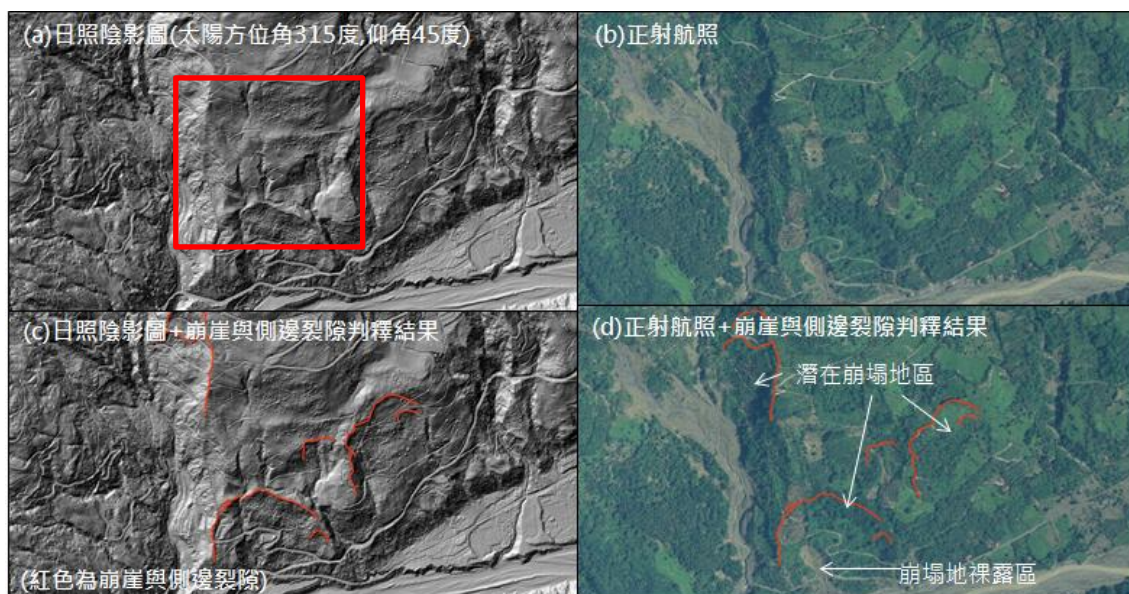


圖 3.17 應用全波形光達資料進行高雄市那瑪夏區達卡努瓦潛在地質崩塌區判釋成果圖

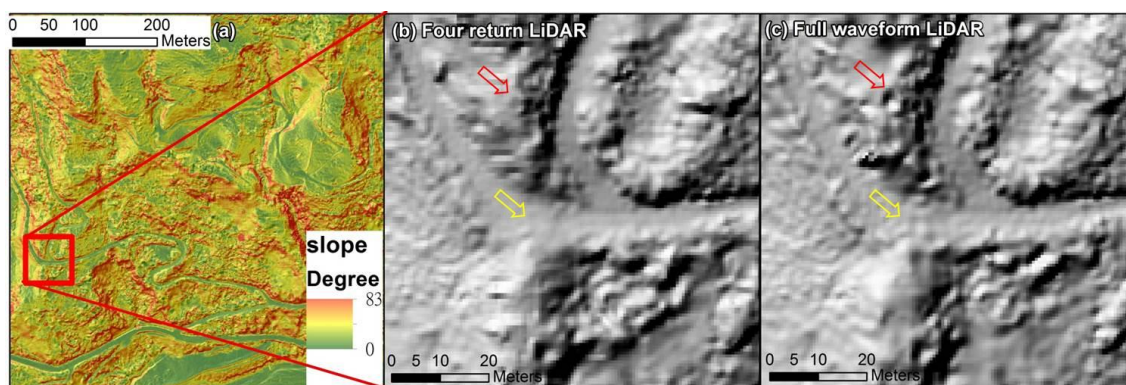


圖 3.18 全波形光達與傳統光達之精度數值地形產製之日照陰影圖差異比較圖(a)坡度圖，(b)傳統光達，(c)全波形光達；日照陰影圖太陽方位角 315 度，太陽傾角 45 度，影像解析度 0.5 公尺

在本測試區相關火山地形的研究方面，地調所於民國 94~96 年間完成「高精度空載雷射掃瞄(LIDAR)地形測製與構造地形分析」計畫，利用 2 m 光達數值地形資料，進行大台北地區火山地形、構造地形的分析研究，發現正斷層系統截切大屯火山群的直接地形證據，並判釋出多達 40 餘座火山。

本計畫基於前人相關研究，嘗試以全波形光達資料，透過專家法的判釋、地形形態分析(Terrain Morphology Analysis)，結合現地重點查核方式，進行細部區位、範圍界定與初步之量化統計，而規劃之火山相關地形應用分析研究包括火山地形、地震斷層地形特徵判釋與分析、現地重點查核兩大部分。

1. 火山地形、地震斷層地形特徵判釋與分析

(1) 火山地形特徵判釋

火山地形、地震斷層地形特徵分析，主要利用本計畫透過全波形光達資料產製 1 m 高精度數值地形資料，利用地理資訊系統空間分析功能進行坡度分析產製坡度圖，再疊合高精度數值地形資料(圖 3.19)，

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)，進行此火山地形、地震斷層的地形特徵描繪與分析。

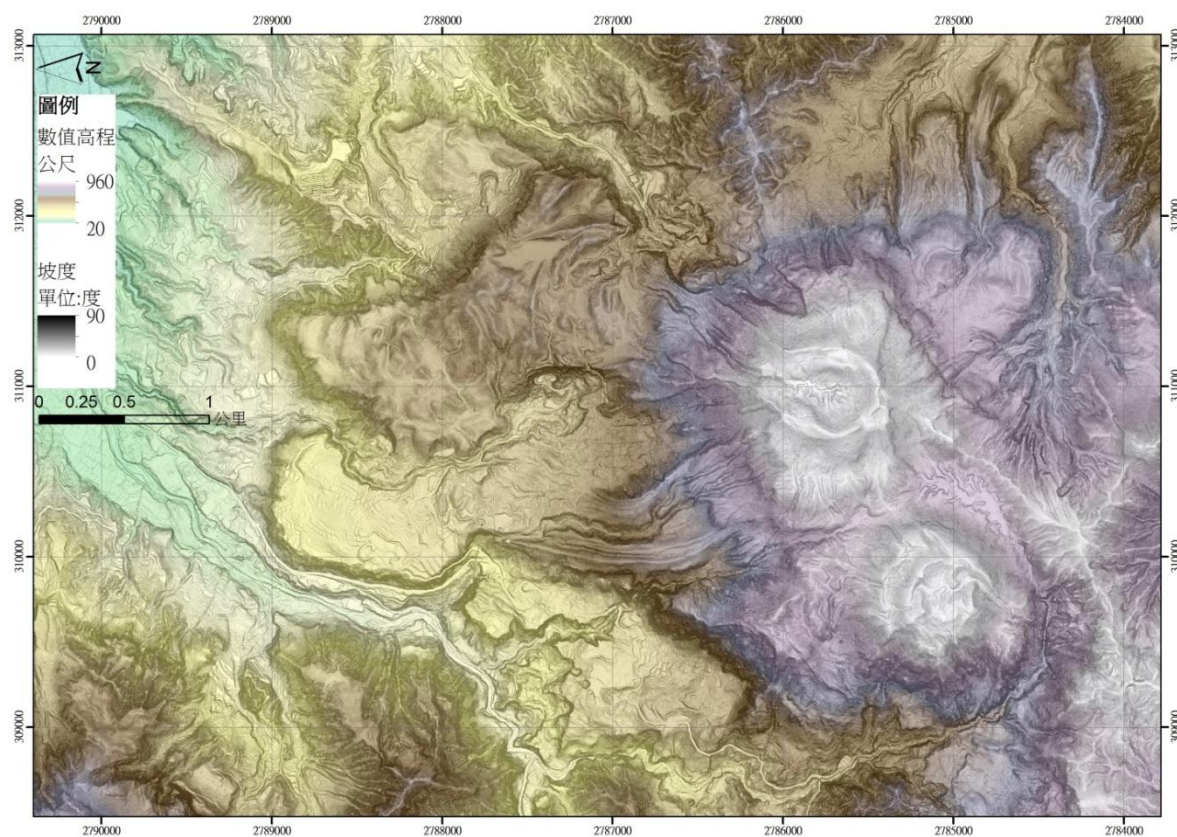


圖 3.19 高精度數值地形疊合坡度產製地形特徵判釋圖

而火山地形地形特徵如圖 3.20，表 3.7，主要包括熔岩流、火山口、火山錐、與放射狀火山河系等特徵。其中火山口可以看出多次噴發的特徵，本研究區域之磺嘴山即具備了火山口地形的特性。

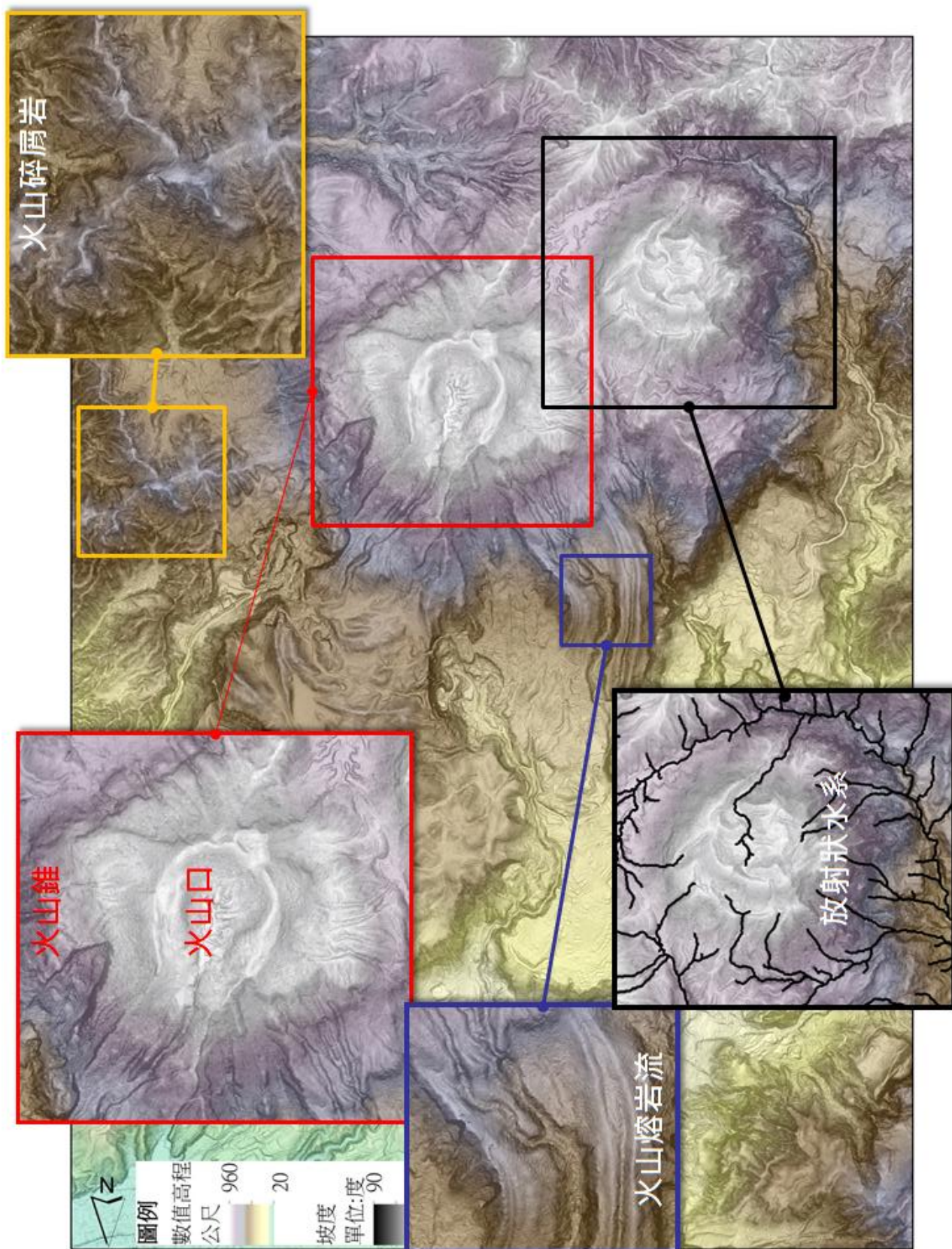


圖 3.20 火山地形特徵圖

表 3.7 火山地形特徵一覽表

火山地形特徵	成因	高精度數值地形特徵
火山口	火山噴發出大量的火山物質，使得底下岩漿室中的岩漿掏空，造成上方的火山頂部產生塌陷，形成火山口。	火山口具同心圓狀之地形落差，通常火山口呈內凹狀況，有時因岩漿噴發或侵蝕會有缺口情形。
火山錐	大量的火山碎塊大都降落在火山口周圍，使得愈接近火山口四周堆積愈厚的火山彈與岩漿，因此形成圓錐狀的火山外型	火山碎屑形成火山錐的坡度通常在 30 以下，斜坡型態呈向上凹的斜面；但黏稠性高的熔岩流形成的火山錐坡度就比較大，火山斜坡型態呈向上凸的斜面；如大屯火山群的火山錐坡度大都在 30-45 之間。
火山熔岩流	火山噴發出熾熱的岩漿冷卻後形成塊狀的火山熔岩。熔融岩漿沿火山斜坡流下形成舌狀外型，大型的熔岩流表面經常呈平台狀地形。	熔岩流動時因冷卻固結，在熔岩的表面經常呈現皺起、流紋狀的流動現象，或於熔岩流前緣產生如圓弧狀、舌狀、指狀等地形特徵。而地形之粗糙度相對火山碎屑岩為低。
火山碎屑流	火山噴發結束後，表層熔岩流受風化、侵蝕後再堆積而成。	地形上火山碎屑流呈帶狀分布，地表呈現凹凸狀起伏之地形，地形粗糙度相對較高。
火山放射狀水系	火山地區就會形成特殊的放射狀河流系統，錐狀火山的河流都發源於火山口的四周，之後朝四方發育形成放射狀與環狀河系。	火山地形產生之水系，於火山錐區域主要由中心往外呈放射狀，而火山錐外之水系則有圍繞或山錐的特性。而在熔岩流地區則會平行熔岩流外型發育。而於火山碎屑流區域則會沿岩體弱面發育。

(修改自 http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/GeoPark/Tatun/photo-Tatun_03.html)

(2) 火山地形特徵分析

利用 LiDAR 資料進行火山地形特徵分析方面，包括地表粗糙度 (roughness) 分析 (Morris et al. 2008)、光達強度 (Lidar intensity) 分析 (Mazzarini et al., 2007; Heggy et al., 2010) 等研究。最近 Alessandro Piscini 等人 (2010)，綜合連續之地形剖面 (cross section)、地表粗糙度與光達強度，分析進行義大利之 Stromboli 火山之地貌分析，最後將該研究區域依據上述特性分為四個地貌單元，研究中認為除了地形剖面、地表粗糙度外，光達強度為一值得期待的研究資料。本研究嘗試以前人研究為基礎加上地形判釋結果，並依據上述方法利用 LiDAR 資料進行火山地形特徵分析，嘗試建立研究區域之不同火山岩性與地形型態之關係。

(3) 地震斷層地形特徵判釋

地震斷層地形特徵方面，主要以活動斷層之地形特徵分析依據，活動構造會造成地面斷裂、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，如表 3.8 所示。

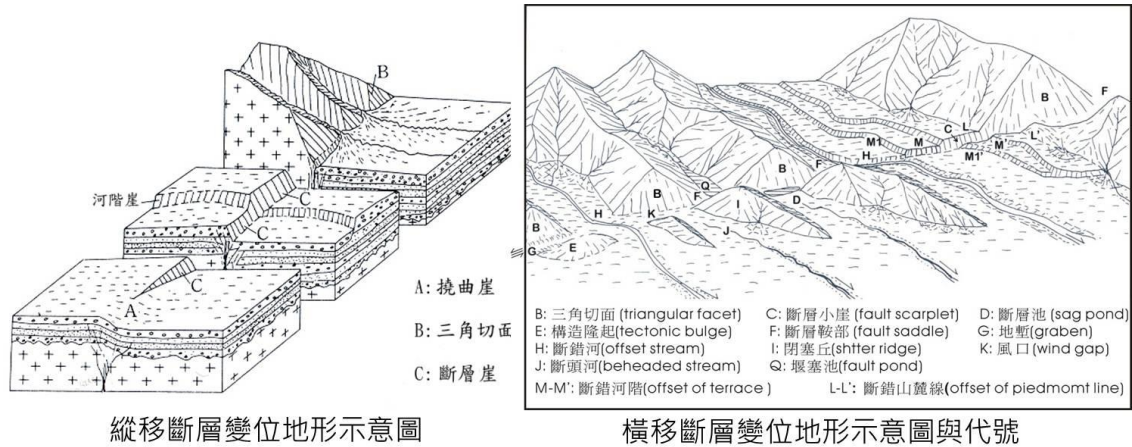


圖 3.21 斷層地形特徵圖(經濟部中央地質調查所)

表 3.8 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)

本計畫範圍內之金山斷層，為地調所公告之第二類存疑性活動斷層。在震斷層地形特徵分析部分，主要集中在金山斷層與山腳斷層沿線之地形特徵分析(圖 3.22)。

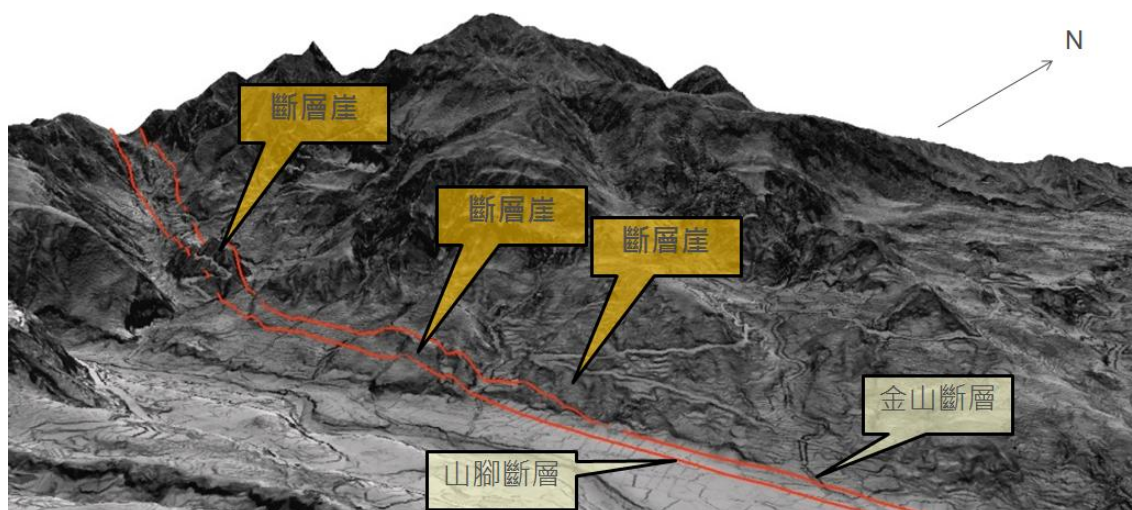


圖 3.22 金山斷層與山腳斷層沿線之斷層崖地形特徵圖(註:斷層資料為地調所五萬分之一台北圖幅資料，斷層崖為本案初步判釋成果)

(4) 地震斷層地形特徵分析

在震斷層地形特徵分析部分，Brunori et al.(2012)曾以 LiDAR 數值地形進行義大利地區活動正斷層之斷層崖(fault scarp)特性分析，透過對斷層崖之高差分析、坡度分析、與坡向分析進行斷層之活動性探討，分析結果(圖 3.23)發現新斷層崖坡度約 40 度，較舊者約 32 度左右，此顯示斷層崖坡度越陡表示斷層崖面越新鮮，同時亦代表其活動性越頻繁。而沿斷層走向所量測之斷層崖之坡度、坡向等資訊並不一致，此則顯示同一斷層不同區域仍存在差異性。

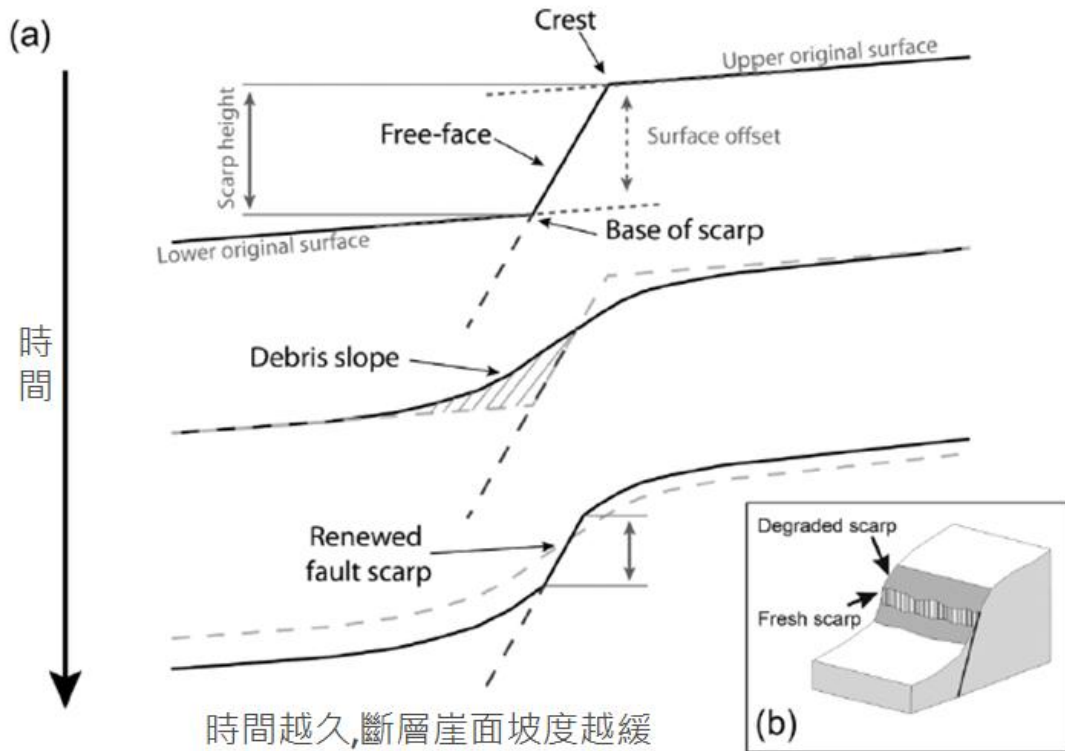


圖 3.23 斷層崖之坡面型態與坡度隨時間變化的概況(Brunori et al., 2012)

依據上述之方法，本研究於完成測試區境內金山斷層與山腳斷層沿線之斷層崖地形特徵判釋後，進行斷層崖之坡度、坡向等地形分析，以瞭解金山斷層與山腳斷層的斷層特性。

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。查核重點在於判釋出的結果是否符合現地的地形特徵，而查核區位主要以交通可及處之火山與地震斷層地形特徵區位為主。調查作業方法及流程說明如下：

(1) 原則

A. 野外調查工作依一般環境地質調查方法進行調查。

- B. 野外調查工作考量交通狀況，以涵蓋各不同地質區、地形區、集水區為原則。

(2) 設備

- A. 將判釋之結果套繪至 1:5,000 地形圖，以供為野外調查底圖。
- B. GPS、傾斜儀(地質羅盤)及高度計等定位及測量工具。
- C. 調查表、各種筆及野外記錄本。
- D. 數位照相機。
- E. 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：

- A. 依調查原則規劃野外調查調查路線，並對調查區之交通路線逐條檢視。
- B. 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，且利用 GPS 將拍照點坐標資訊寫入照片之延伸資訊。
- C. 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。
- D. 調查內容之研判與登錄應詳實。
- E. 野外調查底圖作為草圖紀錄相關資料包括：現場增補或修正深層崩塌範圍、拍照點位置、拍照方位及標的物編號、其他如道路狀況、歷史災害點位描述等。

3-3.3.2 高光譜與多光譜影像之應用比較初步探討

本計畫嘗試以高光譜資料與多光譜衛星影像應用成果進行火山活動、地震斷層初步比較探討，將火山地形、地震斷層地形特徵分析所判釋與圈繪出之地形區內，進行高光譜資料與多光譜衛星影像之光譜

特性擷取與分析比較。

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; Rowan et al., 2004)，大部分局限於在植生稀疏之裸岩地區，而在國內張維恕(2006)利用 Aster 影像結合 Hyperion 分析大肚山紅土範圍與中央山脈裸岩區之岩性分析。而高光譜衛星影像資料在地質的另一個應用則是火山地區之岩性分類、活動監測、噴發物質之監測等研究。

Heinz and Chang(2001)利用 AVIRIS 影像(有 220 個有效頻譜)中之 158 波段做為實驗影像，採用完全限制最小平方法(Fully Constrained Least Squares, FCLS)，進行美國內華達州北奈伊市的 Lunar Crater Volcano 火山地形之地物分析，而可將此研究區域分為火山渣(Cinder)、乾鹽湖(Playa)、流紋岩(Rhyolite)、植物(Vegetation)、其餘物質(Shade)等五種類型。Alessandro Piscini 等人(2010)結合 EO1-Hyperion 高光譜與 ASTER 多光譜資料對世界第三火山 Teide(西班牙之加那利群島)，以 ENVI 軟體之 Spectral Angle Mapper (SAM) 及 Support Vector Machine (SVM)監督式分類方法進行岩性分類，同時透過現地查核進行驗證。研究結果將研究區分為 18 類，其準確率可達六成以上，除此之外該研究亦發現火山地區因植生與季節效應對於岩體分類有顯著的影響。

在火山的活動監測部分，Davies 等人(2007)利用感知網路技術 (Sensor Web)技術，即時分析 EO-1Hyperion 及 Advanced Land Imager (ALI)資料，以影像分析模式監測火山的噴發跡象變化並驅動監測機制，以快速預警與提早因應對策。

而在火山地區之整合應用分析部分，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(2008)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。而同一地區亦有學者進行地面熱影像與高光譜衛星影像之火山噴發分析研究 (Calkins, 2008)。

綜合上述之文獻分析，高光譜衛星影像在火山地區之應用主要以岩性分類與火山活動監測為主，通常搭配其他的影像資料(諸如:熱影像、多光譜影像)進行分析，而因受限於地表植生與日照影響，也因此提升分類與分析之困難度。

因此，本研究主要以全波形光達進行火山測試區之地形判釋分析，輔以測試區內裸岩地區之高光譜資料與多光譜衛星影像之光譜特徵(圖 3.24)判釋，取得研究區內裸岩區之岩性與光譜特性，再以此資料透過監督式分類法與光譜特徵萃取方法，進行研究區內非裸岩區之火山地形、地震斷層之光譜特徵分析，並進行高光譜資料與多光譜衛星影像之應用成果比較初步探討。

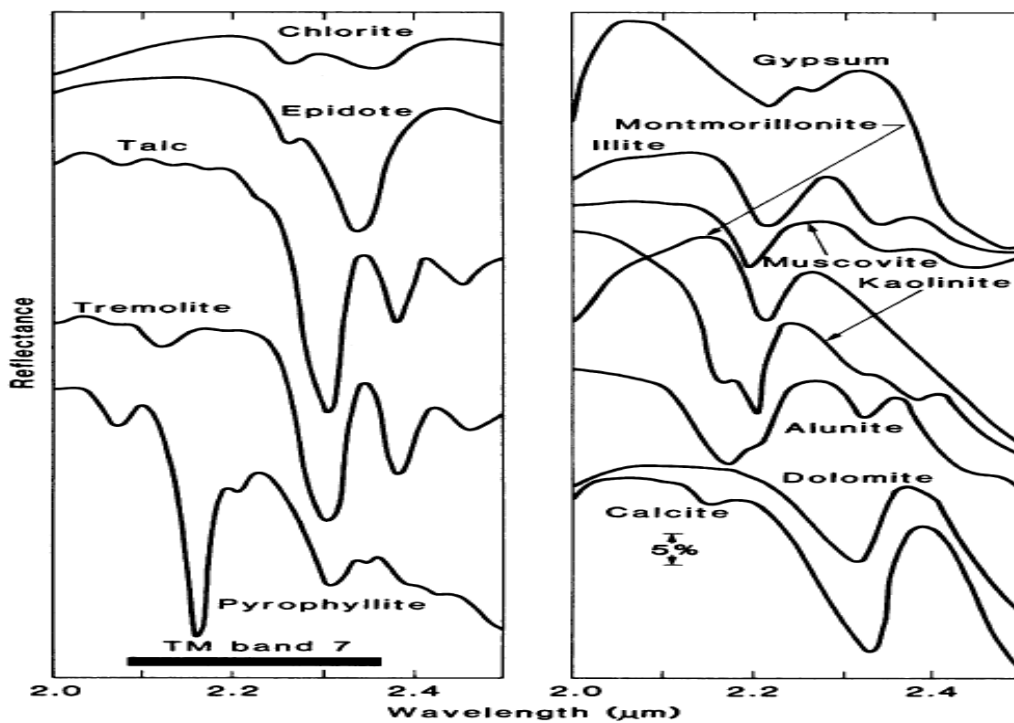


圖 3.24 岩石的反射光譜特徵圖(Goetz et al., 1985)

3-3.4 水庫集水區測試區

本研究項目主要先以多光譜衛星影像進行影像分類後，再進行曾文水庫集水區(水庫集水區-A 測試區)內土地利用變化及土地移轉機率分析探討，藉以了解本地土地使用概況。

為回推 2010 年過去十年間曾文水庫土地使用變化情況，本計畫以蒐集 2001 年至 2010 年之十年期間，重大颱風事件過後，冬季晴朗且影像品質良好之多光譜衛星影像為研究材料，惟 2007 年查無可利用之良好 SPOT 影像。為使每三年為一期，了解 2001 年、2004 年、2007 年及 2010 年間的土地利用變化，因而以 2008/01/05 影像做為 2007 年分析之使用，且為配合後續高光譜影像分類比對，另加購置 2011 年 SPOT-5 衛星影像。因 SPOT-5 空間解析度 10 米之影像資料始自 2002 年 5 月，但 2001 年有重大颱風事件，如桃芝、納莉颱風等，故 2001 年僅可購得同系列 SPOT-4 空間解析度為 20 m 之衛星影像資料。

多光譜衛星影像之資料來源為中央大學太空及遙測研究中心所購得 SPOT 4、SPOT 5 衛星影像(Level 3)。Level 3 影像屬精密幾何改正影像產品，前處理已完成輻射糾正，且使用地面控制點及數值地形模型資料完成幾何糾正與旋轉對齊，相關衛星影像資訊則羅列如表 3.9。由於不同時間拍攝之影像會受許多因素影響，使得每幅影像的輻射強度不一，故將利用 ENVI 軟體之 FLAASH 大氣校正功能，試圖正規化不同時期之輻射強度，降低不同時期之影響。

表 3.9 多期衛星影像資訊一覽表

年度	衛星種類	接收日期	空間解析度(m) (多光譜影像)	入射角	太陽方位角	太陽高度角
2001	SPOT4	2001/10/22	20	-1.600000	155.900000	51.700000
2003	SPOT5	2003/12/30	10	13.397179	160.020840	38.404403
2004	SPOT5	2004/12/29	10	-24.185000	154.524520	37.121448
2005	SPOT5	2005/11/05	10	12.376026	159.469950	48.723946
2007	SPOT5	2008/01/05	10	-10.890670	152.859420	37.519305
2008	SPOT5	2008/11/12	10	-11.047908	154.624410	43.430062
2009	SPOT5	2009/11/01	10	-24.921608	152.429830	47.056431
2010	SPOT5	2010/12/27	10	-18.120818	155.190550	37.297749
2011	SPOT5	2011/11/30	10	-18.124718	156.218980	39.971426

此外，本研究將利用空載光達資料與高光譜影像之融合成果，進行水庫集水區-B 測試區內土地使用類別之判釋作業，並且將其分類成果用以估計 B 測試區境內可能造成之非點源污染輸出量。

3-3.4.1 土地使用類別判釋

依照光譜值的計算和分析過程，常用的衛星影像分類方法為監督式分類 (Supervised Classification) 與非監督式分類 (Unsupervised Classification)；也有透過類神經分類 (Artificial Neural) 或是次像元分類 (Sub-Pixel) 等影像判釋技術達到預定分類之目的的研究 (楊龍士, 2006)。研究上常見的非監督式分類法包含 K-mean 和 IsoData 法，但一般而言，非監督式分類法所得之分類影像成果精度並不理想，但仍可藉由非監督式分類習得預期分類項目之光譜組成，做為未來監督式分類時圈選訓練樣區之參考。

監督式分類法必須以人工的方式選取具代表性的訓練樣區作為分類依據因此需花較多的時間，但其準確度較高；而非監督式分類法尚多，中最具代表性的則為最短距離法 (minimum distance to means classifier) 及最大相似分類法 (maximum likelihood classifier)。本研究利用 ERDAS

IMAGINE 軟體，指定並選擇衛星影像圖之地表覆蓋分類的訓練樣區，監督式分類法會依訓練區之光譜灰度值分佈作為分類基礎，經過離散度分析、以監督式學習如高斯最大相似法進行影像分類，土地使用類別將包含前述五大分類，分別為：林地、裸露地、草地、建地及崩塌地。

由於實務上進行監督式分類時，建地與裸露地易造成相當大呈度的混淆，且此研究區幾經颱風事件重創，有大面積崩塌地之形成，為使崩塌地與裸露地有所區別，本研究在進行監督式分類前，以 NDVI 植生指標，配合坡度資料，以試誤法，逐一檢視各年度選取出的崩塌地資料，並與第二次國土利用調查資料、正射航照影像、當年度全色態高解析度衛星影像資料及其他學者針對曾文水庫集水區崩塌地研究結果等加以對照，最後選定出萃取崩塌地之最佳坡度門檻值為 $Slop > 15^\circ$ 。將分離後之崩塌地區，透過亮值法提取影像資料中的陰影區後，再進行人工圈選訓練樣區進行監督式分類採樣。本研究崩塌地自動判釋流程圖如圖 3.25。

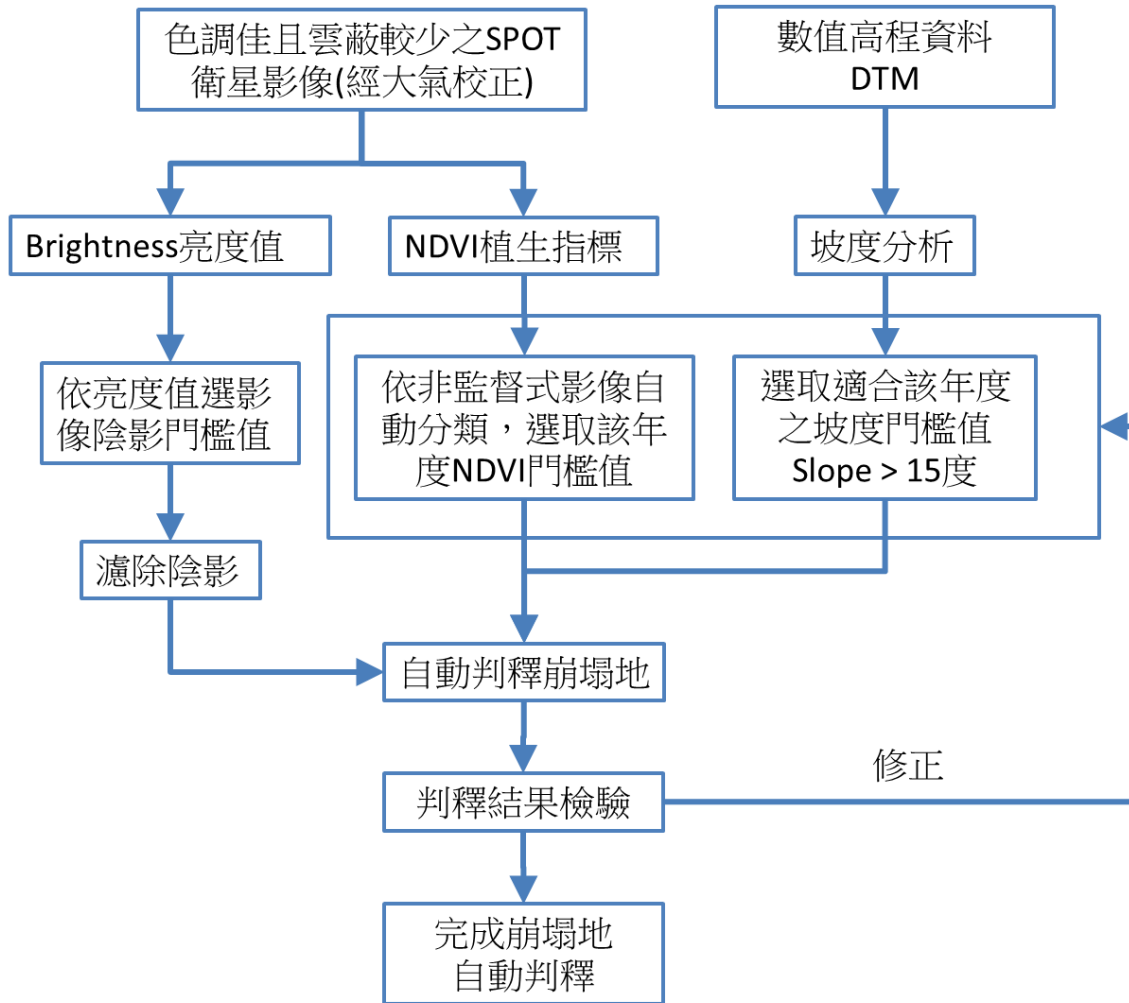


圖 3.25 崩塌地自動判釋流程圖

1. 陰影偵測

高空間解析力的遙攝影像會受地形或太陽角度影響而產生許多陰影，雖本研究在選定分析材料時已有多加注意選擇色調佳且雲蔽較少之 SPOT 衛星影像，但本研究區為集水區範圍，加上 SPOT 系列衛星通過台灣地區上空時間為早上，加上衛星斜拍等原因，在區內因地形所產生的陰影，若在兩期影像中會被偵測為變遷地物。然由於前後期影像陰影區位並不相同，也可能會造成分析上極大之誤差，故應先行加以濾除。

臺灣地區森林多分布於高海拔地區，且衛星影像的山區地形陰影

及雲層所造成之陰影皆在山區。因此最大似然法分類完後，再進行重新歸類(recoding)，將「陰影」歸於「森林」的類別(黃俊偉，2001)。本計畫以由農林航空測量所提供之彩色航照資料做比對，如圖 3.26 所示，陰影區為山脊背陽側，但仍可分辨出山區陰影大部份有植被覆蓋，經計算後，陰影區約佔曾文集水區全區 10%。此陰影區可辨識出為植生的區域佔 95%，僅有少部份為裸露地邊緣，為使集水區內之土地使用分類成果能有良好的後續使用(如：計算土地使用情況造成的非點源污染輸出量)，在分類結果誤差可接受之範圍內，並考量圖面資訊的完整性，故本計畫將陰影區最後歸碼於植生區。

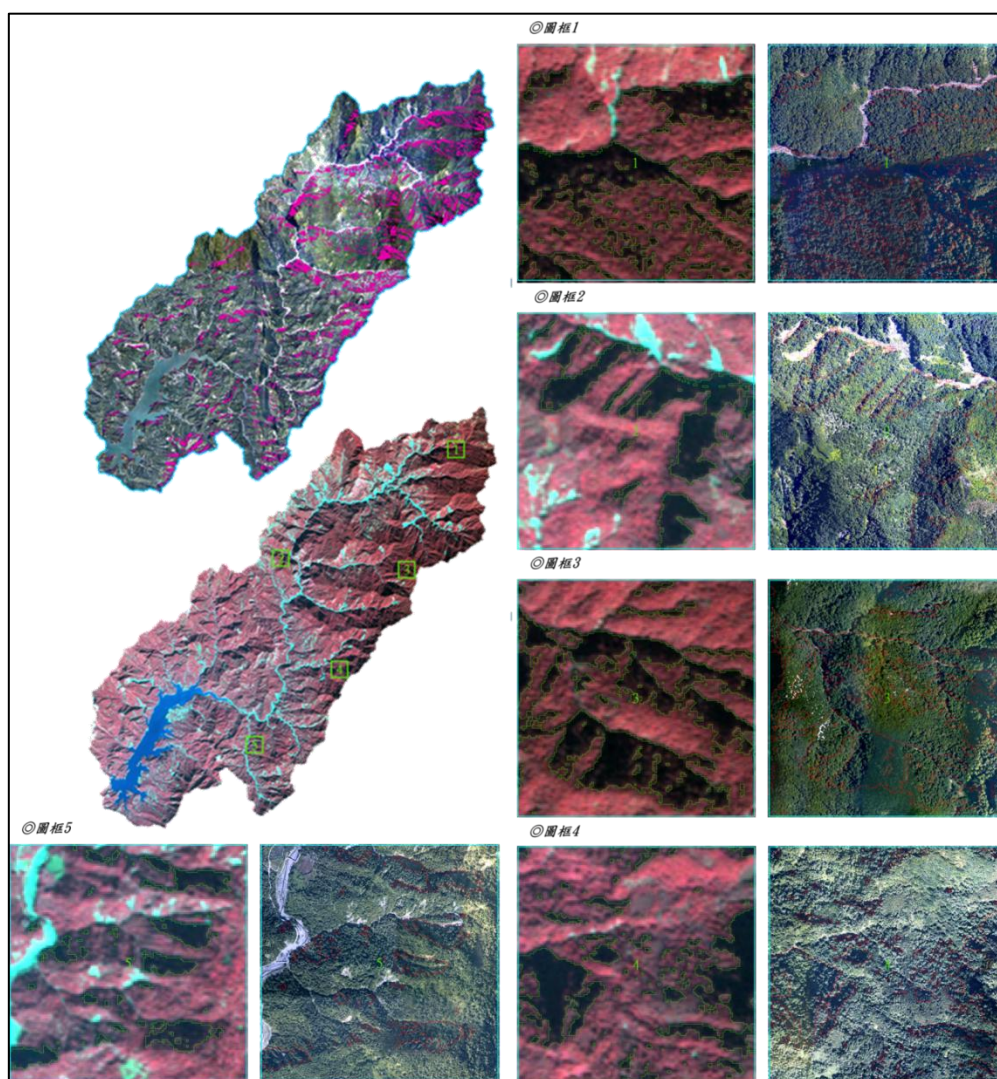


圖 3.26 2010 年衛星影像陰影與航空照片對照圖

為避免陰影較淡的區域，其 NDVI 值可能在植生判釋標準以上，具體方法乃以亮度值法(brightness)進行陰影區域偵測，並將影像分為陰影區域及非陰影區域(式 3.9)，試圖區先去除陰影後，再做後續地物的辨識分析。

$$\text{Brightness} = \frac{\text{RED} + \text{GREEN} + \text{BLUE} + \text{NIR}}{4} \quad (\text{式 3.9})$$

式中：Brightness 為亮度值，RED 為紅光波段，GREEN 為綠光波段，BLUE 為藍光波段，NIR 為近紅光波段。由於陰影與非陰影區域之亮度值會呈現雙峰分布，因此能利用雙峰直方圖分裂法(bimodal histogram splitting method)判斷陰影與非陰影區域之亮度值門檻(Zhou et al., 2009)。本研究之門檻值採用兩波峰間波谷之值，並透過 ArcGIS 10 的 Reclassify 工具進行實際調整；門檻值決定後，將偵測區域之網格資料轉化為向量資料，以製作陰影遮罩(shadow mask)濾除影像陰影區域(謝依達等，2011)。

2. NDVI 常態化差異植生指標差值法

綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，判別植生反射量之多寡，大多學者研究歸納結果，使用可見光與近紅外光之比值或差值，即常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)，適用於監測植生之變化。NDVI 計算方法如式 3.10 所示：

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{R}}{\text{IR} + \text{R}} \quad (\text{式 3.10})$$

其中 NDVI：常態化差異植生指標；IR：近紅外光輻射值；R：紅光輻射值(即可見光部份)，NDVI 之值域介於-1~1 之間，當指數愈大時，代表綠色生物量之增加，NDVI 為綠色植物探勘最常用之指標，土地

覆蓋綠色植物生長愈旺盛，其吸收之紅光愈多，紅外光之反射愈強，故其間差異愈大之原理，以二者波段相差與和的比例而成。

本計畫將利用偵測植被動態變化趨勢之常態化差異植生指標 (NDVI)，分析 2001~2010 年間颱風事件後之多時期遙測影像於地物光譜變化，並計算 NDVI 時序統計量如平均值及標準差等之變化，且針對多時期 NDVI 進行標準化程序，繪圖以瞭解集水區內土地覆蓋整體變化的趨勢，分析歷年颱風災害過後植生指標的時序變化。藉此瞭解本研究區土地覆蓋經歷多場颱風事件包含桃芝、納莉、敏督利與莫拉克等颱風後植被的回復情況。

本研究為使 NDVI 值有良好的計算結果，以 ENVI 軟體之 FLAASH 工具，將原始衛星影像進行大氣校正，校正後的歷年 NDVI 值整理如下圖 3.27，並將各 2001 年至 2010 年各年度 NDVI 圖置於圖 3.28。



圖 3.27 研究區大氣校正後歷年 NDVI 值

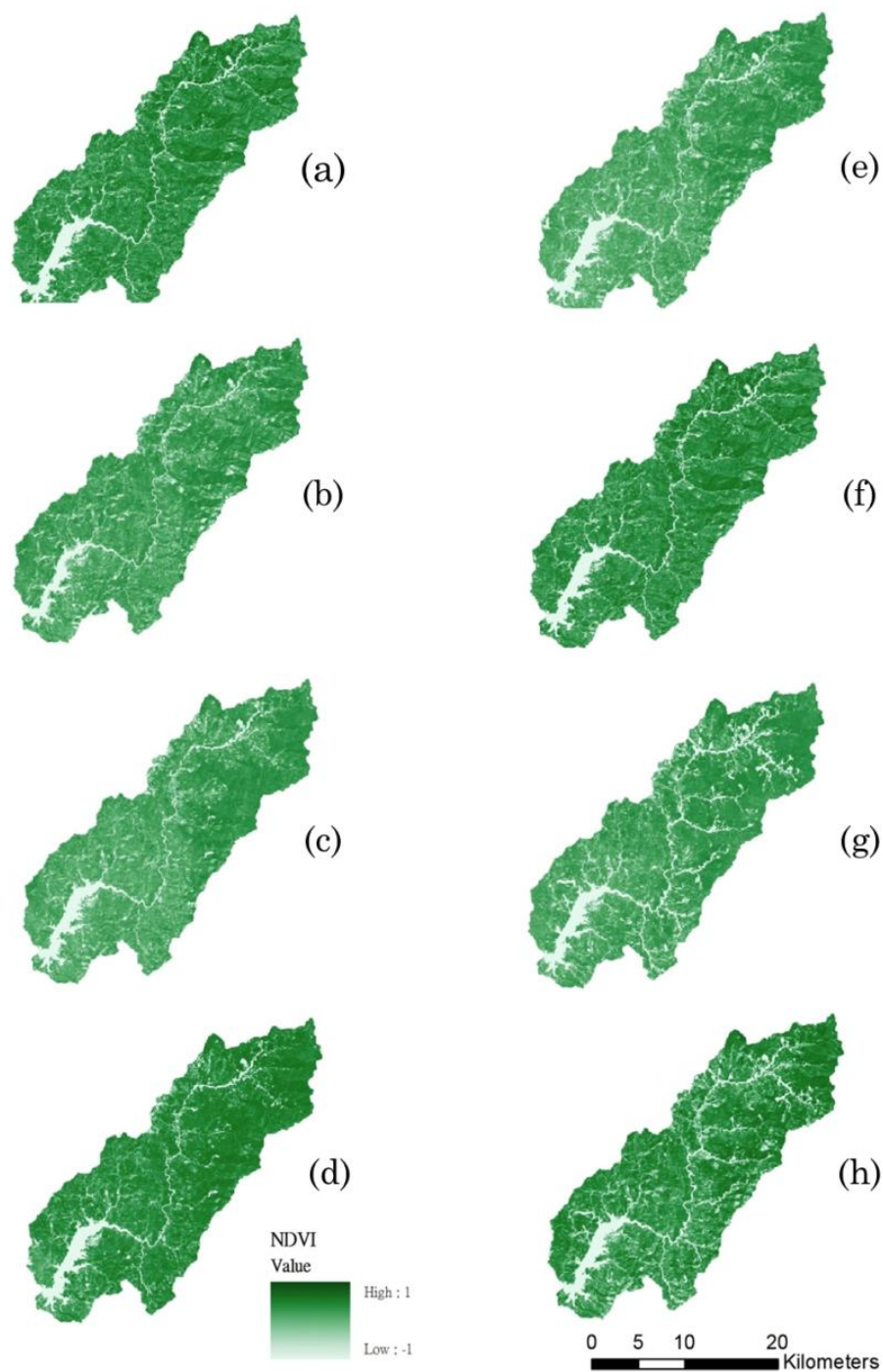


圖 3.28 (a)2001 年；(b)2003 年；(c)2004 年；(d)2005 年；(e)2007 年；
(f)2008 年；(g)2009 年；(h)2010 年 NDVI 圖

3. 崩塌地判釋與去除雲蔽

由於台灣地區土地利用種類繁雜，過去學者研究中雖已有大量使

用衛星影像判釋及土地使用分類等研究，但因衛星影像空間解析度之限制，往往無法得到令人滿意的準確度。又因衛星影像光譜之特性，崩塌地、乾河谷，甚至於建成用地及人工鋪面(如房屋、道路、水泥地等)，因其光譜反射值相似，在分類上極易產生同質異譜或異質同譜等混淆情況發生，因此，初始非監督式分類成果可發現有明顯的錯誤存在。

本研究採用二階段分類法分離崩塌地與裸露地之混淆情形，根據坡度的不同及 NDVI 值的大小，測試選定區別崩塌地與裸露地分離之門檻值。又因本研究區內水系與河道在流域中上游區域因季節因影響，冬季易有乾涸現象，在土地使用分類自動判釋上易造成區別建地及裸露地的混淆，故本研究在分類前將水庫與水系、雲蔽、濾除之陰影及前述二階段自動判釋出之崩塌地先行去除。

4. 衛星影像分類自動判釋

為使裸露地與建地有良好的區分結果，本研究以 DEM 資料轉換為坡度圖後，疊入原本的衛星影像，當成第 5 個波段資訊，再以 ERDAS 軟體針對剩下的影像區域完成監督式分類自動判釋。分類後網格影像與被去除區域回疊後，進行合併分類歸碼及分類精準度評估，詳細執行土地使用分類自動判釋之流程則如圖 3.29。

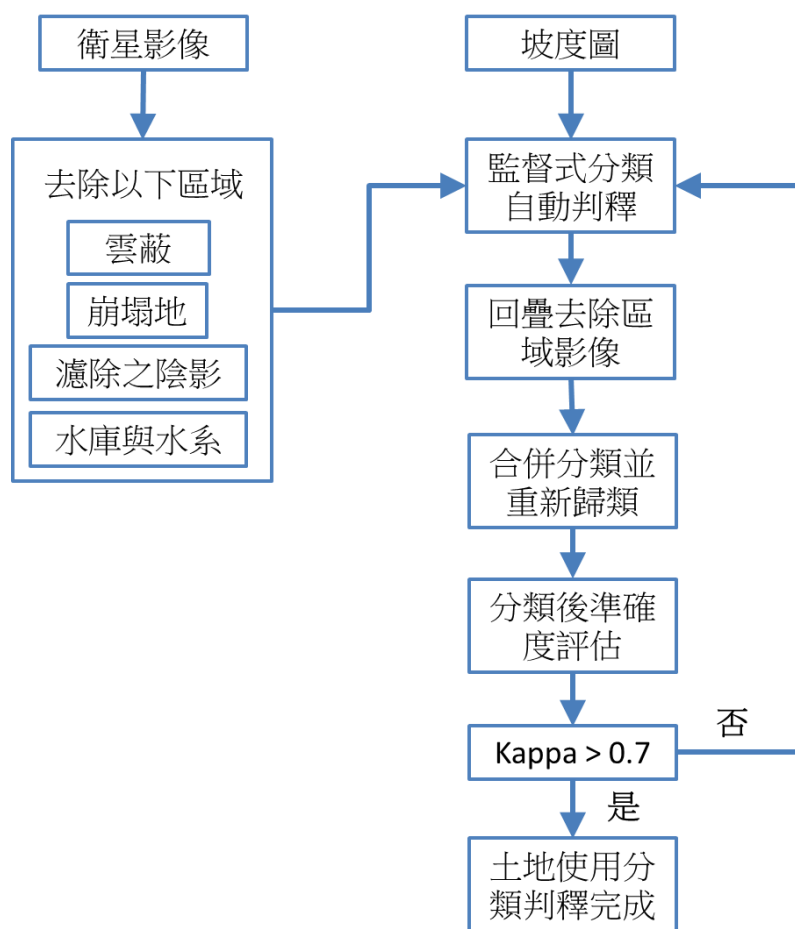


圖 3.29 土地使用分類判釋流程圖

3-3.4.2 分類準確度評估

光譜影像的分類精準度評估(Assessment of Classification Accuracy)，指的是在影像分類完成後，依據所蒐集的地面真實現況參考資料(Reference Data)，評估分類後影像之準確性。一般是透過誤差分析矩陣來表示評估之結果，而誤差分析矩陣所使用的指標有生產者精度(User's Accuracy)、使用者精度(Producer's Accuracy)、整體精度(Overall Accuracy)與 Kappa 統計值四種。

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除以總抽取的檢核點數，所產的百分比；生產者精度(User's Accuracy)，表示地表狀被正確分類的比率；使用者精準度(Producer's

Accuracy)，則表示該次分類中，在分類圖上落在該類別上的檢核點，被正確分類為該類別的比率；Kappa 統計值則為藉由誤差矩陣間的相互運算而產生之統計值，可表現整體影像分類的誤差性，並同時考慮漏誤與誤授因素，為分類成果比隨機分類優良多少的指標。

Kappa 統計值不僅考慮到自動分類與參考資料間的一致性，也可計算出取樣與參考分類的一致性機率。通常 Kappa 值介於 0~1 之間，Kappa 值愈大表示分類的精度愈高，若因地面參考資料較少或是不完整，利用其地面參考資料所產生的誤差矩陣將會造成錯誤引導。建議的 Kappa 值為 0.75 以上(Montserud and Leamans, 1992)至 0.8 (Landis and Koch, 1977)之間時精度為佳，若低於 0.4 則為不好。

經監督式分類處理後，本研究為評估影像分類準確度，採用隨機方式抽取檢核點，並以第二次國土利用調查資料、正射航照影像、當年度全色態高解析度衛星影像及 DEM 資料為正確率評估之參考，套疊數值地形圖後，依據每種分類別產生相同數目，各隨機產生 20 個檢核點，共 100 個檢核點位置，以逐點方式人工判釋該像元點之類別，並與分類結果產生 Kappa 統計值。若 Kappa 值大於 0.75 則此分類可採用，若小於 0.75，需再重新選取訓練樣區。

2001 年的 SPOT 衛星之多光譜衛星影像分類後的精度評估結果如表 3.10，總體精度則達 84.0%，Kappa 值為 0.80，使用者精度以森林為最佳，建地仍有因為誤判情形，導致使用者精度為所有分類中最低，僅有 55.0%，但整體精度與 Kappa 統計均有達到 0.7 以上，解釋分類結果仍佳，可做為後續分析之使用。

表 3.10 2001 年影像分類精度檢核表

分類	地真總數	分類檢核數	正確分類數	生產者精度	使用者精度
森林	22	20	20	90.91%	100.0%
裸露地	22	20	16	72.73%	80.0%
草地	22	20	18	81.82%	90.0%
建地	14	20	11	78.57%	55.0%
崩塌地	20	20	19	95.00%	95.0%
總計	100	100	84		
整體精度：84.0%			Kappa值：0.80		

2004 年分類精度檢核表如下表 3.11，在整體精度及 Kappa 值均與 2001 年的分類檢核成果值相同，其中，建地使用者精度提高為 65.0%，判斷有可能是因為 2001 年使用的為空間解析度 20 公尺之 SPOT-4 衛星影像，2004 年則是使用空間解析度為 10 m 之 SPOT-5 資料，故可知分類精確度上有所提升。

表 3.11 2004 年影像分類精度檢核表

分類	地真總數	分類檢核數	正確分類數	生產者精度	使用者精度
森林	23	20	18	78.26%	90.0%
裸露地	23	20	18	78.26%	90.0%
草地	23	20	17	73.91%	85.0%
建地	13	20	13	100.00%	65.0%
崩塌地	18	20	18	100.00%	90.0%
總計	100	100	84		
整體精度：84.0%			Kappa值：0.80		

2007 年的建地的受到誤漏判的影響，使用者精度仍舊偏低，只有 60.0% (表 3.12)，且裸露地的生產者精度也降低許多，只有 66.7%；反

觀，此年度之森林、草地等植生表現之分類情況均較前一年度佳，且該年度影像分類檢核整體精度為 87.0%，Kappa 值為 0.84，也較前一年提升。

表 3.12 2007 年影像分類精度檢核表

分類	地真總數	分類檢核數	正確分類數	生產者精度	使用者精度
森林	21	20	20	95.24%	100.0%
裸露地	27	20	18	66.67%	90.0%
草地	22	20	19	86.36%	95.0%
建地	12	20	12	100.00%	60.0%
崩塌地	18	20	18	100.00%	90.0%
總計	100	100	87		
整體精度：87.0%			Kappa 值：0.84		

2010 年的影像分類檢核如下表 3.13 中，生產者精度及使用者精度整體較一致，建地的使用者精度也與其他用地類型之精度相差較小，示此年度分類情況較前述 3 期為最佳，其整體精度為 88.0%，Kappa 值為 0.85。由於上述 4 期之多光谱衛星影像分類後的 Kappa 統計值均達到建議標準 0.7，故可做為本研究後續分析使用。

表 3.14 2011 年水庫集水區-B 測試區之影像分類精度檢核表

分類	地真總數	分類檢核數	正確分類數	生產者精度	使用者精度
森林	24	20	19	79.17%	95.0%
裸露地	27	20	19	70.37%	95.0%
草地	17	20	16	94.12%	80.0%
建地	15	20	15	100.00%	75.0%
崩塌地	17	20	17	100.00%	85.0%
總計	100	100	86		
整體精度：86.0%			Kappa 值：0.83		

2011 年水庫集水區-B 測試區之分類成果良好，整體精度達 86.0%，但因分類項目植生僅限「森林」與「草地」，二分法的結果可能讓特殊類型用地失去分類優勢，也因受限多光譜影像空間解析度為 10 m，無法更細微的觀察人為整治的植生，例如茶園、檳榔園、果樹、農作物等。故後續將以此為目標，評估高光譜影像、融合影像(高光譜影像與全波形光達資料)是否有助於分類層級之提升。

3-3.4.3 土地利用變化及土地移轉機率分析

1. 影像變遷偵測

遙測技術提供地球上自然資源、人文資料以及人類活動情況，可供管理單位做資源開發及土地利用政策上之有效依據(陳添水，2003)。遙測資料由空中俯瞰，具有多時期、大面積涵蓋及快速分析優點，並可與累積數十年之舊有影像比對，進而得知遞變過程及根據資料追蹤變遷因素，因此，應用遙測資料於觀測長時間、大面積的土地使用變遷動態，是一項重要的技術。而土地利用可視為滿足人類需要的社會過程，深受環境及社會經濟因素所影響，因此需有效掌握及瞭解土地利用變遷的過程，根據各期影像之土地利用類別判釋結果，進行長期

土地利用變遷分析，計算歷年來各類別土地使用的面積變化情況。目前遙測影像變遷分析採用的方法包含，重疊法(Overlapping)、影像相減法(Image Differencing)、影像比例法(Image ratioing)、分類後比較法(Classification Comparing)、主軸成份分析法(Principal Component Analysis)、常態化差異植生指標比較法(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)共六種(陳錦媽及陳子晴，2006)。

本工作項目將採用分類後比較法。因此方法先將多時期的衛星影像，以 ERDAS 體軟各自進行自動判釋分類，根據地物不同的特性加以適當的歸類，故不受大氣、太陽角度、土壤水份及植物生長狀況之變異影響。再根據這前後時期兩兩影像分類後地物的類別，可找出土地使用類別變遷的型態，以及統計所有土地使用的變遷情況。

2. 土地移轉機率分析

依我國目前國土利用調查分類系統，結合本研究區實際情況，以土地用途、利用方式和地上物覆蓋特徵等因素作為分類依據，利用土地轉移矩陣可具體刻劃研究區域土地利用變化的結構特徵與各用地類型變化的方向。而此方法來源於系統分析中對系統狀態與狀態轉移的定量描述，在各種領域中均常被使用，大多以轉移矩陣的數學形式呈現如式 3.11：

$$S_{ij} = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \dots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \dots & S_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \dots & S_{nn} \end{vmatrix} \quad (\text{式 3.11})$$

式中：S 代表面積；n 代表土地利用分類形態情況類數；i, j 分別代表研究期初與研究期末的土地使用類型。在本研究中，將該矩陣以表格

形式來表示，此表格不但可以反映研究時段內各種土地利用類型的轉移變化情形，還可作為土地利用類型結構分析與變化方向分析的基礎。為了解曾文水庫集水區內土地使用覆蓋對水庫水質影響性分析，本研究將土地使用分類轉移矩陣焦點著重在森林(植生)轉換為其他用地類型的探討上。

3-3.4.4 高光譜影像之土地使用類別判釋

本研究預期可知植生覆蓋情況可能影響水質之變化，但礙於多光譜影像分類成果僅能大方向區分土地使用分類系統第一級類別，如森林使用土地、建築使用土地、水利使用土地等分佈，無從了解本研究利用多光譜影像分類出此區的植生為國土利用調查土地使用分類系統層級式樹狀結構中第二級甚至第三級細分的何種項目。為此，考量本計畫之執行時程與經費限制，本專案選定水庫集水區測試區(命名：水庫集水區-B 測試區)作為結合空載光達與空載高光譜影像兩資料之融合測試地區。試圖運用高光譜影像，提高土地使用分類類別數，區分出植生在土地基本資料庫中的細類名稱，如森林使用土地分類系統表中的第二級分類，將森林使用土地細分為天然林、人工林、苗圃等，甚至分類出農業使用土地中的第三級類別，如果樹、旱作、草生地等，比對多光譜分類結果，進行水庫非點源污染推估計算。

3-3.4.5 水庫集水區非點源污染推估

集水區主要的營養鹽負荷來自暴雨逕流沖刷地表所形成的非點源污染，其污染量取決於降雨強度與土地利用類型等因素，目前非點源污染量推估方法主要包含：(1)簡易法 (simple method)：係以暴雨之平均水質乘上集水區之年逕流量，計算該區域之污染物輸出量；(2)輸出係數法(export coefficient method)：指單位土地面積在單位時間所排出之污染，即某區域各土地利用類型乘上其單位負荷量之總和；(3)平均

降雨量-濃度法：此法係以年平均之降雨量與單位降雨量流出負荷相乘而得之單位時間面積之排出負荷；(4)模式推估法：經由多種數學模式之模擬進行污染量之推估（蔣本基，2003）。為瞭解水庫集水區-A 測試區中各土地使用類型涵蓋面積之大小，並推估 A 測試區內曾文溪流域之非點源污染輸出量。本研究利用地理資訊系統軟體，計算融合後影像於各土地使用分類之面積，利用輸出係數法以土地使用覆蓋面積來推估水庫非點源污染輸出量。並比較以水庫集水區-B 測試區為範圍之高光譜分類結果與多光譜分類結果所計算出非點源污染輸出量的估算概況。

為便於估算非點源污染輸出，國內外研究大部分以單位面積每年輸出污染量來表示(kg/ha-yr)，稱為非點源污染輸出係數。非點源污染輸出係數推求不易，而且國內外文獻值差異大，本研究以國內文獻溫清光及郭振泰(2001)及李志賢(2003)使用之參數，並參考翁儷容(2010)透過單位面積輸出法。前人所估算之石門水庫各子流域區塊的懸浮固體污染潛量(輸出量)研究中，乃將石門水庫蓄水範圍土地利用的建地與人工鋪面視為社區、裸露地與崩塌地視為旱地而進行單位污染承載潛量推估之參數。本計劃綜合上述整理成如下表 3.15，將輸出係數乘以各項土地使用(污染發生源)之分類面積，即可得到各種開發行為之非點源污染輸出量。

表 3.15 曾文水庫集水區內各種土地利用非點源污染輸出係數(由本計畫自行歸納整理)

土地利用	說明	污染輸出係數(kg/ha-yr)			
		BOD ₅	SS	TN	TP
林地	高密度植生	5	85	1.6	0.25
茶園		5.5	3.7	20.2	0.03
檳榔園		48	100.1	14.9	0.32
建地	社區、道路	191	504	15.9	2.77
旱地	裸露地、崩塌地	5.5	60	26	4
草生地	草地	2.7	58.6	0.74	0.2
其他	河流	5		4.5	0.6

註：BOD₅為生化需氧量；SS為懸浮固體；TN為總氮；TP為總磷。

資料來源：

1. 溫清光、郭振泰，「曾文水庫水質調查及改善計劃」，成大環工系，90年。
2. 翁儷容等人，「石門水庫蓄水範圍保護帶劃設之研究」，農業工程學報，99年。
3. 李志賢，「e 決策支援系統(eDSS)在集水區管理之應用」，崑山科大環工系，92年。

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。詳細率定程序、內容以及成果請參照附件三所述。

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。因本案所使用的高光譜儀(Itres CASI-1500)為一年內所新購儀器，於出廠前俾已經過光譜率定且已取得其輻射轉換參數。考量目前國內並無標準光譜率定場，故目前光譜率定方式仍以送回原廠進行實驗室率定，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, Y, Z)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 1450 公尺，地面解析度為 70 公分，光譜率定波段數為 36 個(原廠建議)，左右重疊為 60%。詳細率定程序、內容以及成果請參照附件四所述。

4-2 飛航成果

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。雷射掃瞄資料作業流程如圖 4.1。

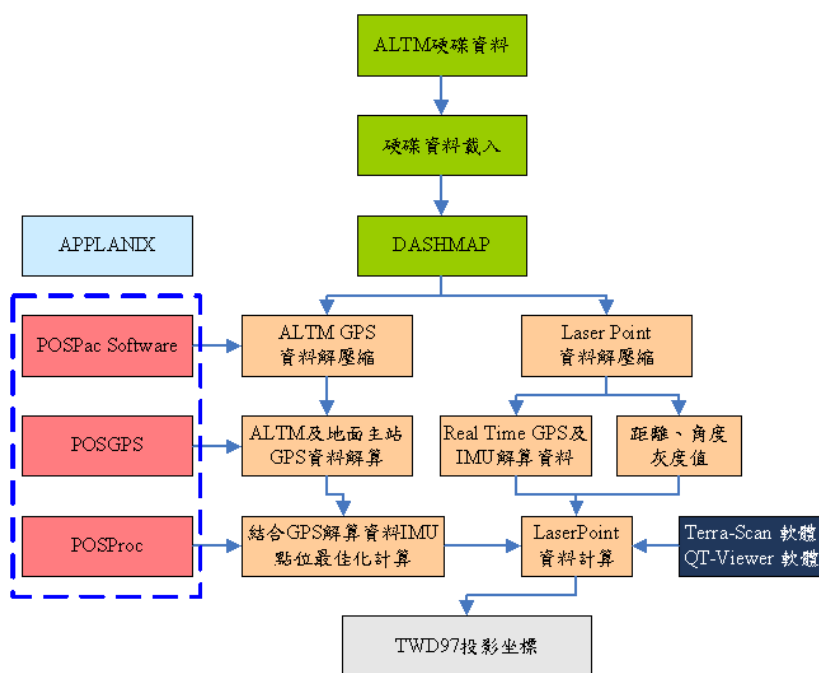


圖 4.1 空載雷射掃瞄資料作業流程

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(.NDF、.IDX 及.DAT 資料)

(5)原始資料依一定命名法則備份存檔。

2. LiDAR 掃瞄中心航跡 POS 解算

彙整地面 GPS 固定基站資料及載體 POS (GPS、IMU)資料，再搭配雷射掃瞄回波測距資料，以進行後續解算，資料後處理圖 4.2。

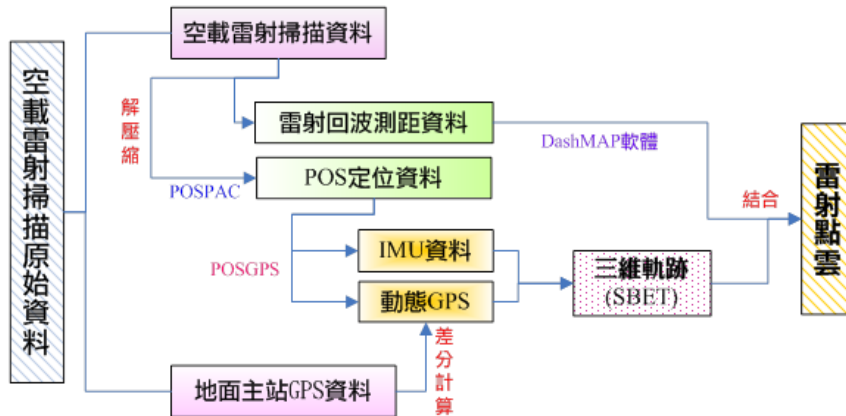


圖 4.2 點雲解算產製處理流程

以 POSGPS 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，其正向解與反向解差異應達一定之標準。

火山地區全波形空載光達與正射影像掃瞄作業於 101 年 8 月 14 日完成飛航掃瞄任務；集水區於 9 月 2 日完成飛航掃瞄任務。高光譜飛航掃瞄部分，火山區於 101 年 9 月 5 日完成飛航掃瞄任務，集水區則為 9 月 13 日完成飛航掃瞄。各架次之作業區域及時間如表 4.1，基站統計資訊如表 4.2，飛航軌跡解算成果統計如表 4.3。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。

透過掃瞄航線展示圖可瞭解各飛航架次之掃瞄航線路徑與完成進

度狀況。由圖 4.3 與圖 4.4 即分別展示各測區之空載光達掃瞄航線、空載高光譜掃瞄航線圖。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、地面控制點及使用儀器說明請參閱附件五。

表 4.1 各飛航架次作業時間及地點

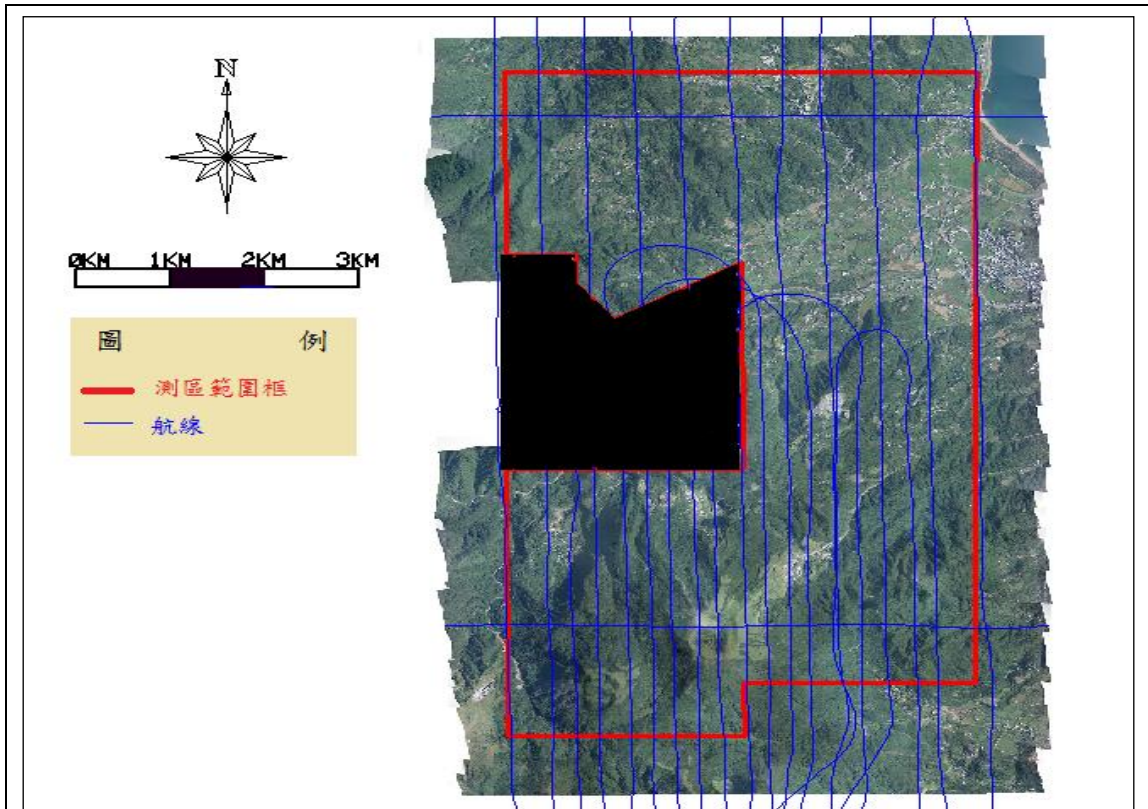
執行日期	飛航線數	作業地點	飛航時間	使用儀器
101/08/14	21	火山區	07：10-09：32	Pegasus+WF
101/09/02	26	集水區	06：45-09：00 09：15-11：03 11：30-12：35	Pegasus+WF
101/09/05	12	火山區	09：32-13：00	CASI
101/09/13	9	集水區	07：36-10：38	CASI

表 4.2 基站資訊

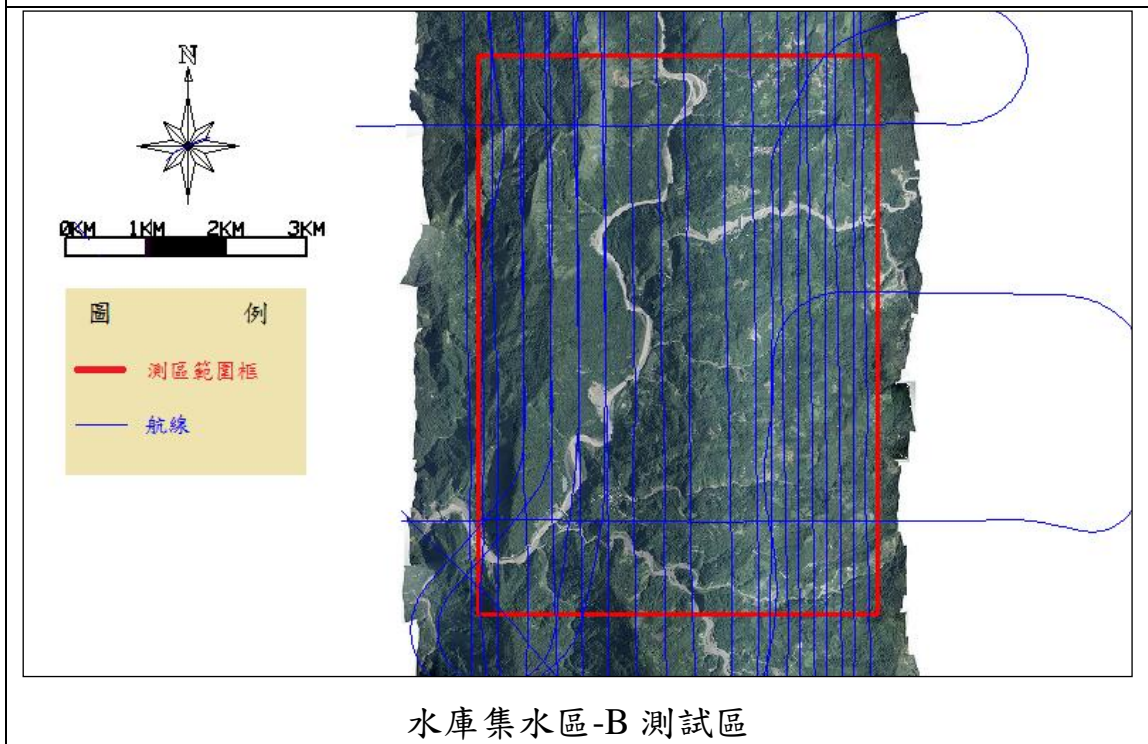
執行日期	執行地點	基站点號	最遠距離(km)	平均距離(km)
101/08/14	火山區	SHMN、YMSM	17.1	11.5
101/09/02	集水區	GS64、GS67	18.2	12.3
101/09/05	火山區	SHMN、YMSM	17.8	11.6
101/09/13	集水區	GS64、GS67	18.7	13.0

表 4.3 飛航軌跡解算成果

執行日期	PDOP(Max./Avg)	飛航軌道平均差異量(m)	位置標準誤差(m)
101/08/14	2.33/1.81	N：0.008	N：0.002
		E：0.007	E：0.002
		H：0.017	H：0.004
101/09/02	3.01/2.32	N：0.007	N：0.003
		E：0.008	E：0.002
		H：0.016	H：0.005
101/09/05	2.28/1.92	N：0.011	N：0.002
		E：0.010	E：0.002
		H：0.014	H：0.004
101/09/13	3.39/2.88	N：0.011	N：0.003
		E：0.012	E：0.004
		H：0.026	H：0.007



火山區



水庫集水區-B 測試區

圖 4.3 測試區全波空載光達掃瞄航線圖(儀器：Optech Pegasus HD400)

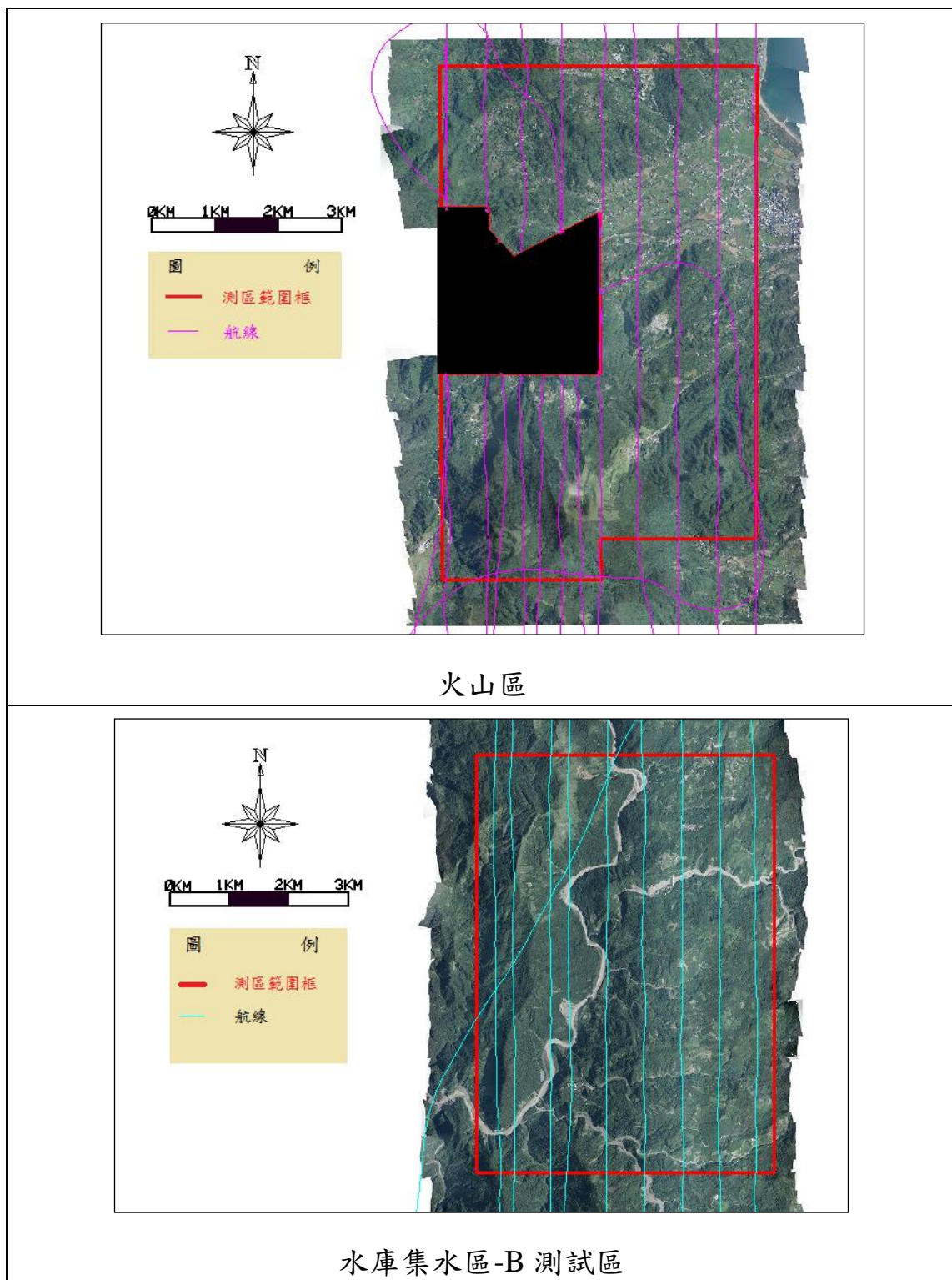


圖 4.4 測試區空載高光譜儀掃瞄航線圖(儀器：ITRES CASI 1500)

各測試區航帶點雲涵蓋示意圖陳列於圖 4.5，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」計算各條航帶之點雲密度後顯示，測區平均點雲密度為 2 pts/m² 以上，符合本案之規格需求。而航帶側向重疊率為 50% 以上，各條航帶重疊狀況可參照圖 4.6。

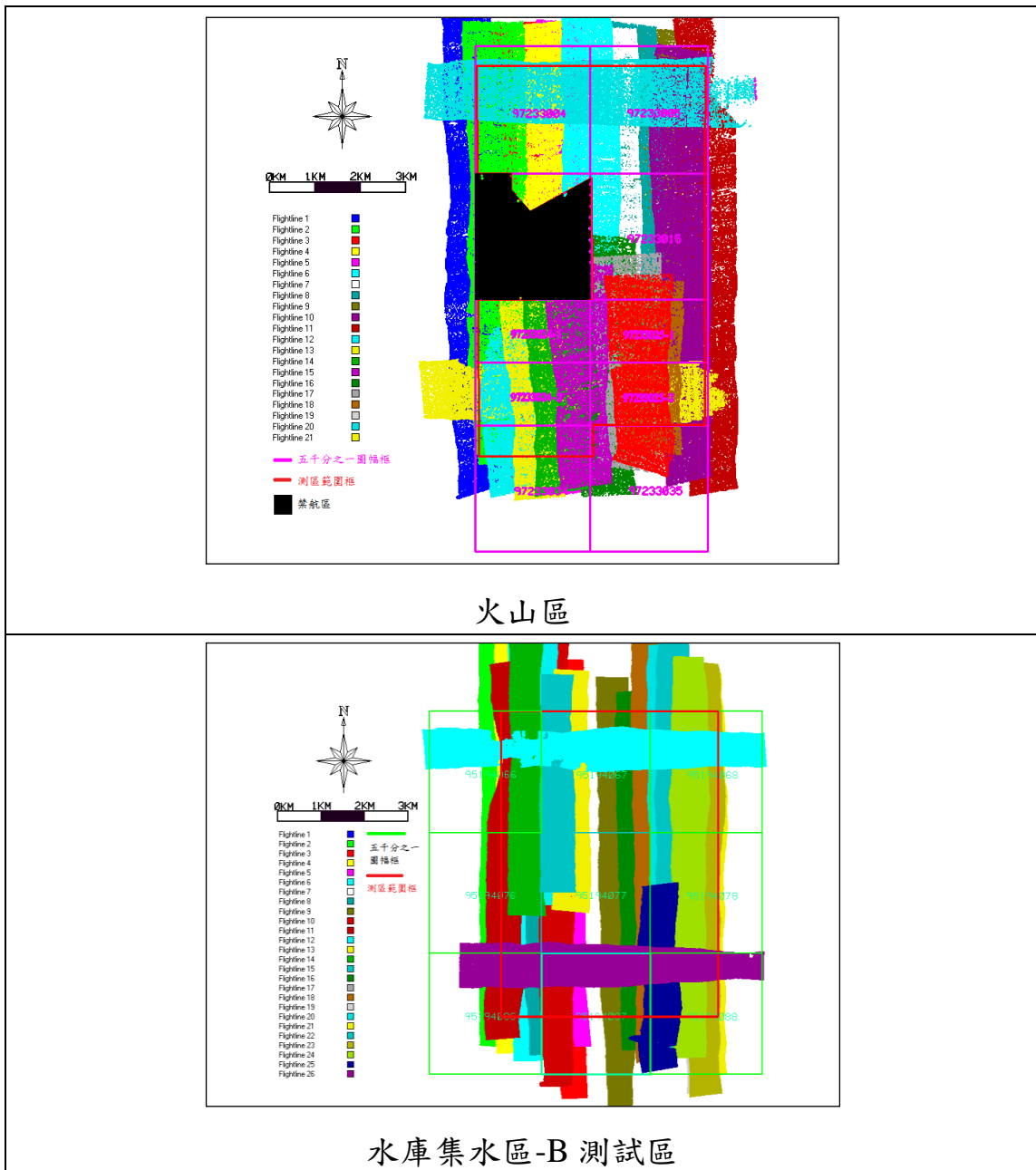


圖 4.5 測試區掃瞄成果點雲涵蓋圖

表 4.4 火山區及水庫集水區飛航掃瞄成果統計表

	火山區		水庫集水區-B 測試區	
	點數	備註	點數	備註
1	38,657,443		27,204,147	
2	39,789,704		27,818,886	
3	47,761,850		30,246,210	
4	14,135,230		29,009,741	
5	40,138,168		28,455,356	
6	45,961,716		25,895,599	
7	36,708,477		32,747,713	
8	31,674,349		30,571,352	
9	47,855,032		31,235,728	
10	19,956,362		30,900,538	
11	37,814,992		26,964,270	
12	24,812,909	交叉航帶	28,728,686	
13	13,522,705	交叉航帶	25,848,203	
14	15,949,203		24,812,262	
15	12,136,965		29,534,115	
16	10,589,247		20,230,300	
17	12,083,108		15,603,304	
18	16,812,683		16,085,637	
19	14,244,414		23,681,993	
20	13,842,317		22,691,756	
21	43,591,344		34,400,512	
22			18,976,895	
23			11,906,079	
24			26,720,663	
25			13,949,802	交叉航帶
26			21,777,787	交叉航帶
總航線數	21		26	
總點數	578,038,218		655,997,534	

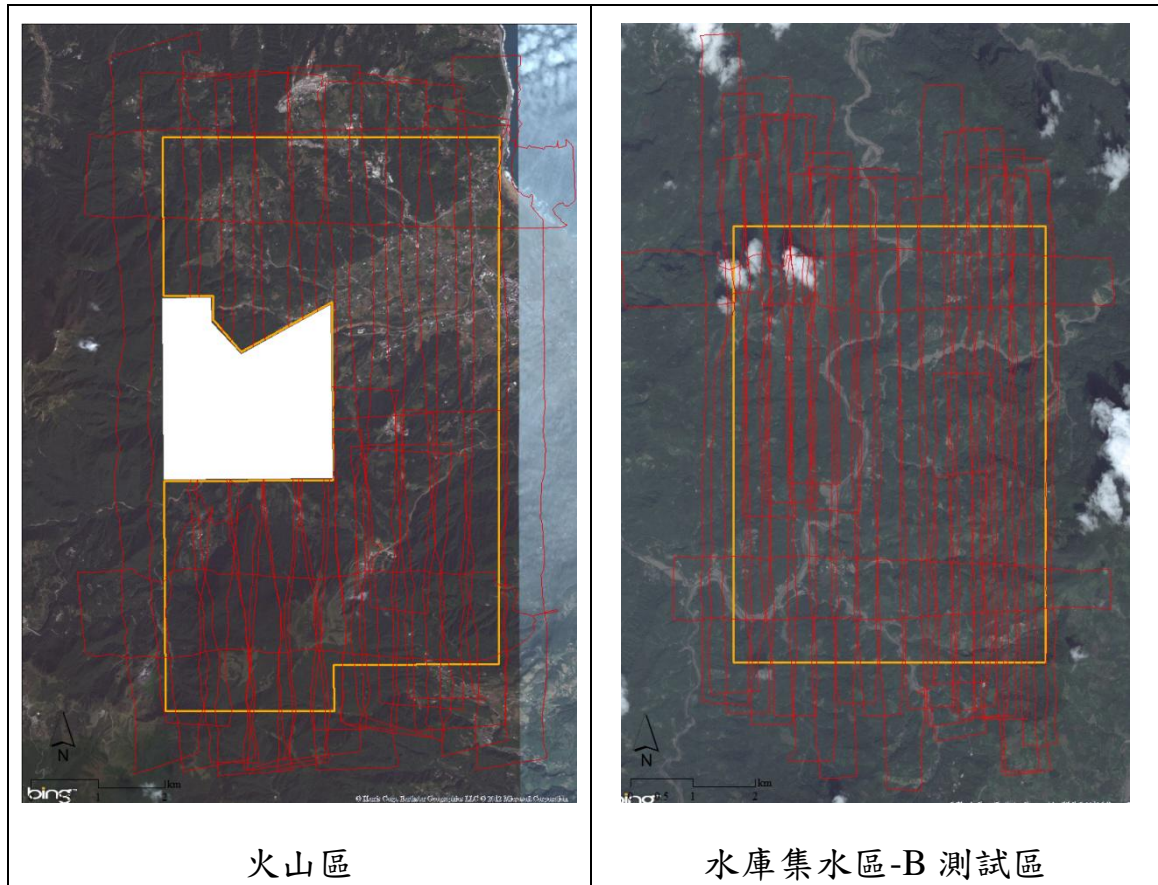


圖 4.6 測試區光達掃瞄位置圖

4-2.1 平面控制測量

為配合測試區 LiDAR 及高光譜飛航作業，本次地面控制主站均為 GPS 連續站，分別在火山區、水庫集水區測試區各選定 2 個 GPS 連續站作為地面主站，另於外圍各選擇 3 個已知控制點一併連測檢核，以確保 GPS 主站坐標之正確性或計算 GPS 主站坐標。各測區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 4.7、圖 4.8。

表 4.5 已知控制點及 GPS 主站一覽表

測區	等級	點名	點號	備註
火山區	衛星追蹤站	陽明山	YMSM	測區主站
	一等衛星控制點	大鵬國小	GS09	
	一等衛星控制點	石門	SHMN	
	一等衛星控制點	金山	TSHI	測區主站
	一等衛星控制點	萬里	WANL	
水庫集水區 -B 測試區	衛星追蹤站	霧鹿	WULU	
	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

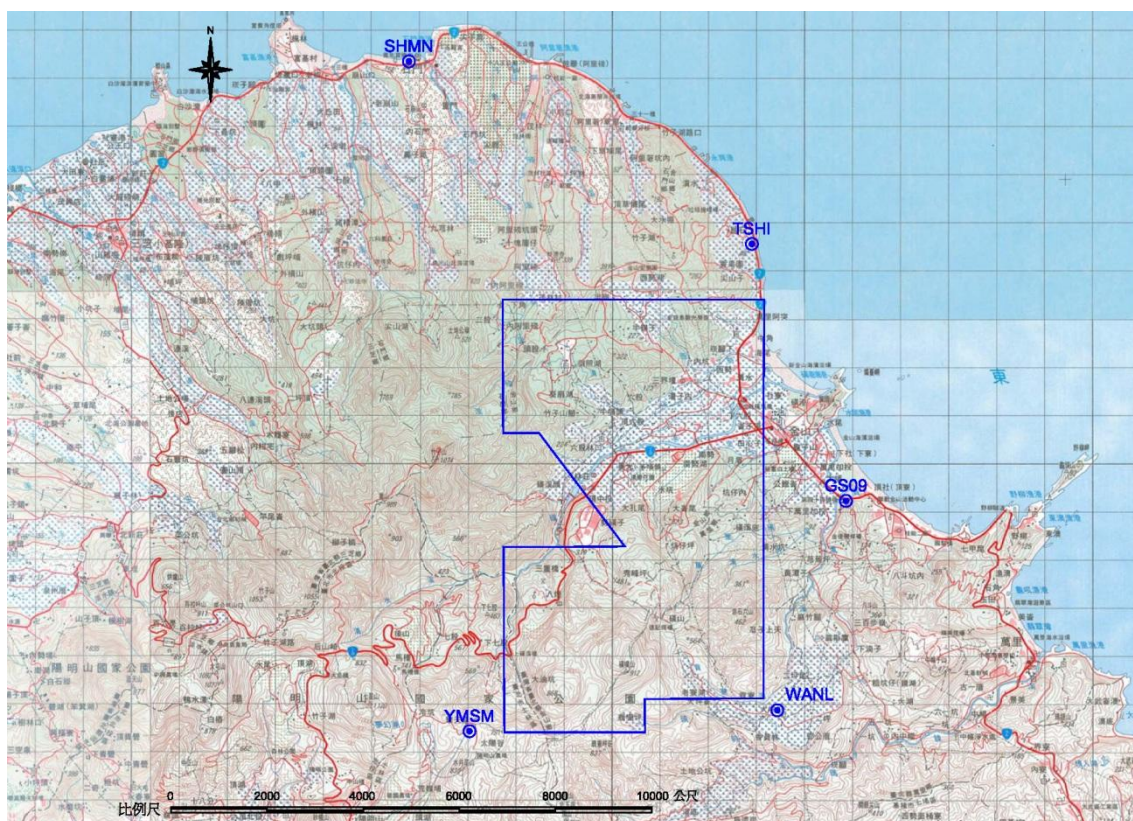


圖 4.7 火山區平面控制點分布圖

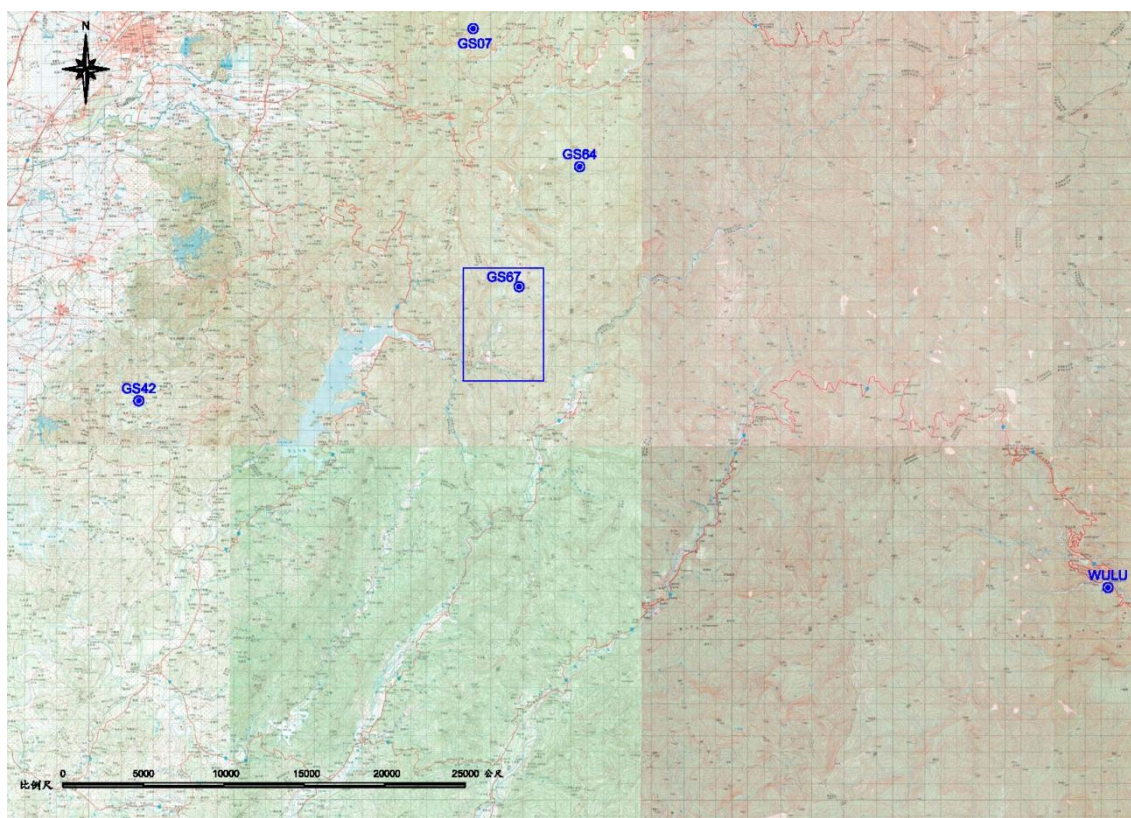


圖 4.8 水庫集水區-B 測試區平面控制點分布圖

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 2012 年 6 月 15 日的資料，利用 Bernese 軟體計算其成果，其計算流程參照圖 4.9，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°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。

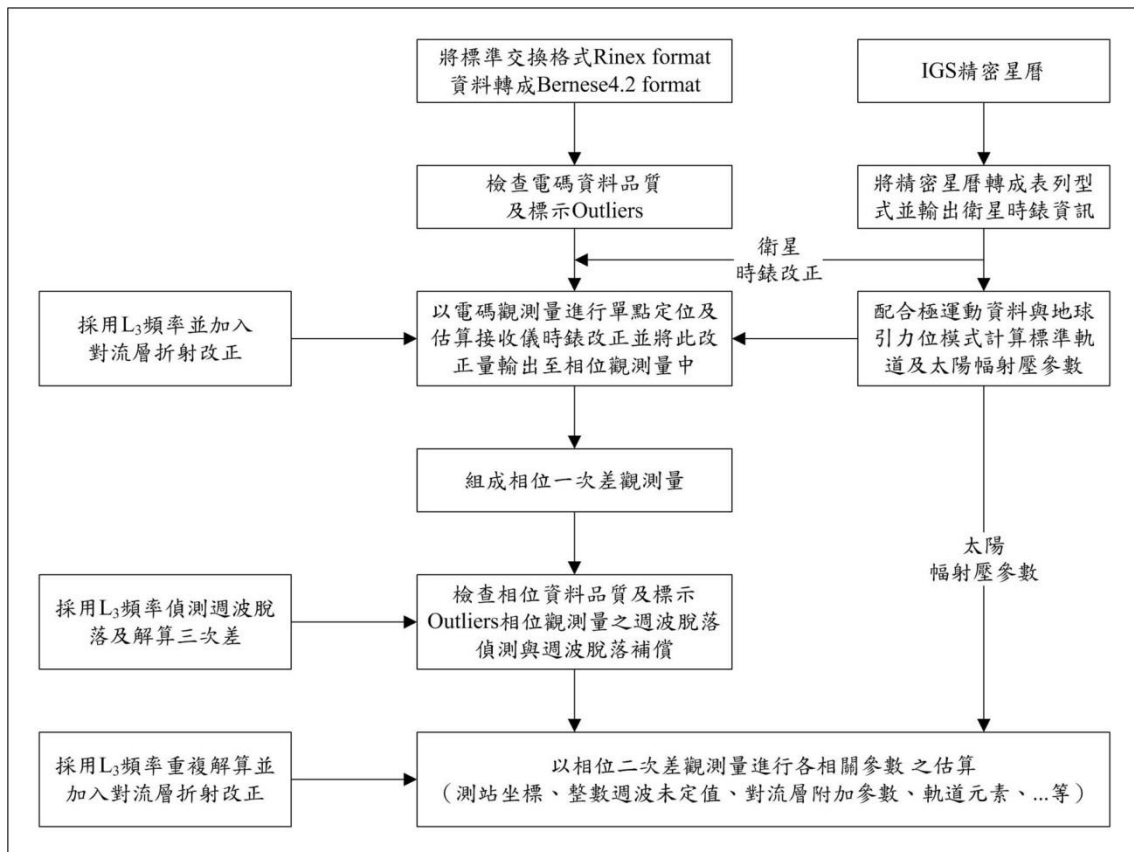


圖 4.9 Bernese 軟體計算流程圖

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 $30mm + 6 \times 10^{-6} L$ (L 為基線長；單位為

mm)。

2. 基線垂直分量差值應小於等於 $75\text{mm} + 15 \times 10^{-6} L$ (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，因此後續於火山區測試區直接引用測區主站 YMSM 及 TSHI 公告之 TWD97【2010】坐標，而水庫集水區測試區主站(GS64、GS67)則以約制外圍已知點所得之 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

測區	基線名稱	實測基線長(m)		成果反算基線長(m)		基線較差(m)		較差合格標準(m)		合格 是否
		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	
火山區	GS09-YMSM	9174.885	753.191	9174.886	753.186	-0.001	0.004	0.085	0.213	是
	GS09-SHMN	12885.145	15.786	12885.137	15.794	0.008	-0.008	0.107	0.268	是
	GS09-TSHI	5688.975	19.475	5688.975	19.486	0.001	-0.011	0.064	0.160	是
	GS09-WANL	4579.104	339.522	4579.106	339.513	-0.002	0.009	0.058	0.144	是
	YMSM-SHMN	13980.531	-737.405	13980.532	-737.392	-0.001	-0.012	0.114	0.285	是
	YMSM-TSHI	11707.052	-733.716	11707.055	-733.700	-0.004	-0.016	0.100	0.251	是
	YMSM-WANL	6414.759	-413.669	6414.755	-413.673	0.004	0.004	0.069	0.171	是
	SHMN-TSHI	8075.924	3.689	8075.916	3.692	0.008	-0.003	0.078	0.196	是
	SHMN-WANL	15510.356	323.736	15510.349	323.719	0.007	0.017	0.123	0.308	是
TSHI-WANL	9707.358	320.047	9707.360	320.027	-0.001	0.020	0.088	0.221	是	
水庫集水區	GS07-GS42	31129.510	-564.766	31129.508	-564.777	0.001	0.012	0.217	0.542	是
	GS07-WULU	52628.358	229.954	52628.394	229.944	-0.036	0.010	0.346	0.865	是
	GS42-WULU	61417.539	794.719	61417.577	794.721	-0.037	-0.002	0.399	0.996	是

表 4.7 GPS 主站坐標一覽表

測區	點號	緯度	經度	橢球高(m)
火山區	YMSM	N 25°09'56.56579"	E 121°34'26.61073"	784.046
	TSHI	N 25°15'24.88755"	E 121°37'57.95677"	50.346
水庫集水區 -B 測試區	GS64	N 23°24'19.77138"	E 120°43'11.64614"	1105.987
	GS67	N 23°20'16.93194"	E 120°40'59.47255"	600.386

4-2.2 高程控制測量

因為本次採用的測區 GPS 主站均為連續站型，故無法以直接水準方式施測，加上測區位於偏遠的山區，施測不易，因此採用的方式分別於兩個測區各選定一 GPS 主站(火山區測試區：TSHI；水庫集水區測試區：GS67)，於 GPS 主站旁選定一可施測直接水準之副點 A，並於副點 A 擺設靜態 6 小時的 GPS 觀測(採用儀器為 Trimble 5700 搭配 Zephyr Geodetic 天線盤)，將短距離的 GPS 橢球高差視為其正高差，以推算 GPS 主站之正高。

兩個測區分別於 2012 年 8 月 31(火山區測試區：TSHIA)及 9 月 1 日(水庫集水區測試區：GS67A)進行 GPS 外業觀測(圖 4.10、圖 4.11)，其觀測結果同樣利用 Bernese 軟體計算，求得 TSHI-TSHIA 橢球高差為 13.173 m，GS67-GS67A 橢球高差為 7.197 m。



圖 4.10 TSHIA 外業觀測情形



圖 4.11 GS67A 外業觀測情形

對各測區副點 A 的正高，其高程採用 TWVD2001 系統，並分別檢測測區附近任 2 個一等水準點(表 4.8)，經檢核無誤後再以直接水準方式引測至測區。各測區水準路線參照圖 4.12、圖 4.13。

表 4.8 檢測之水準點一覽表

測區	等級	點名	點號
火山區	一等水準點	草里	2025
	一等水準點	清水	2026
水庫集水區	一等水準點	水寮	3173
	一等水準點	大埔橋	3174

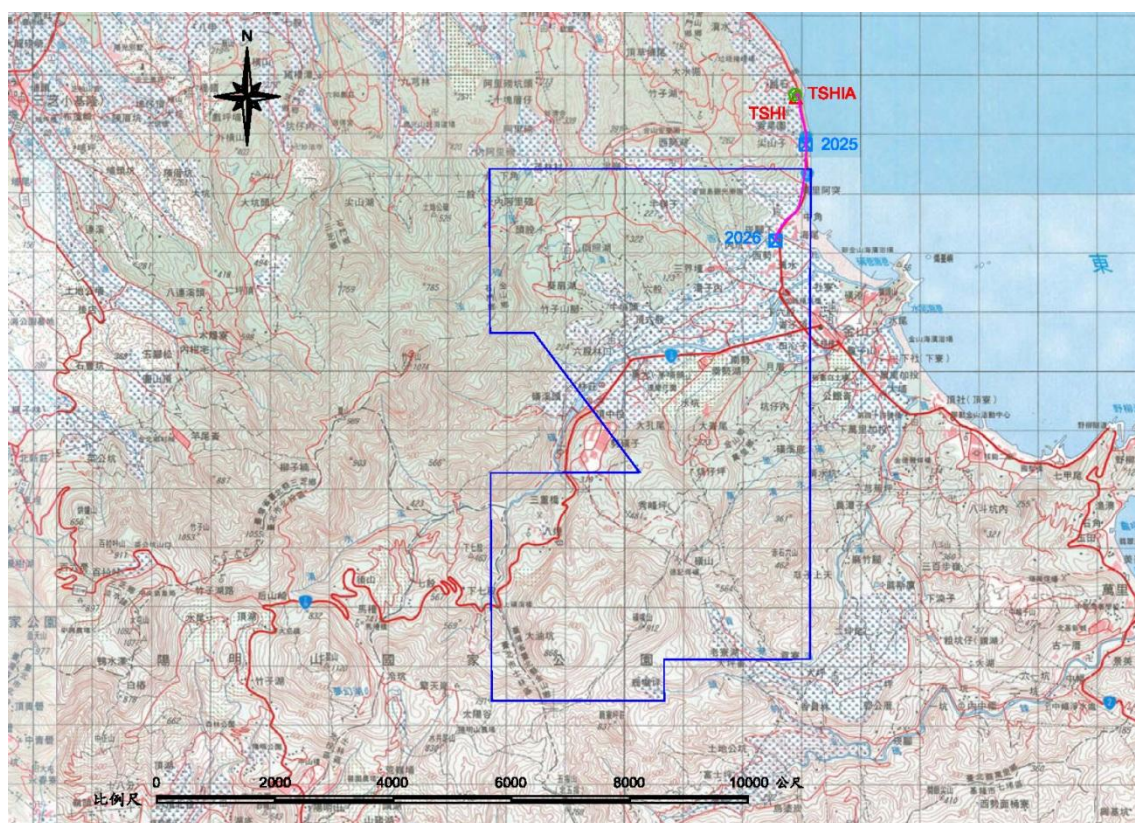


圖 4.12 火山區水準路線圖

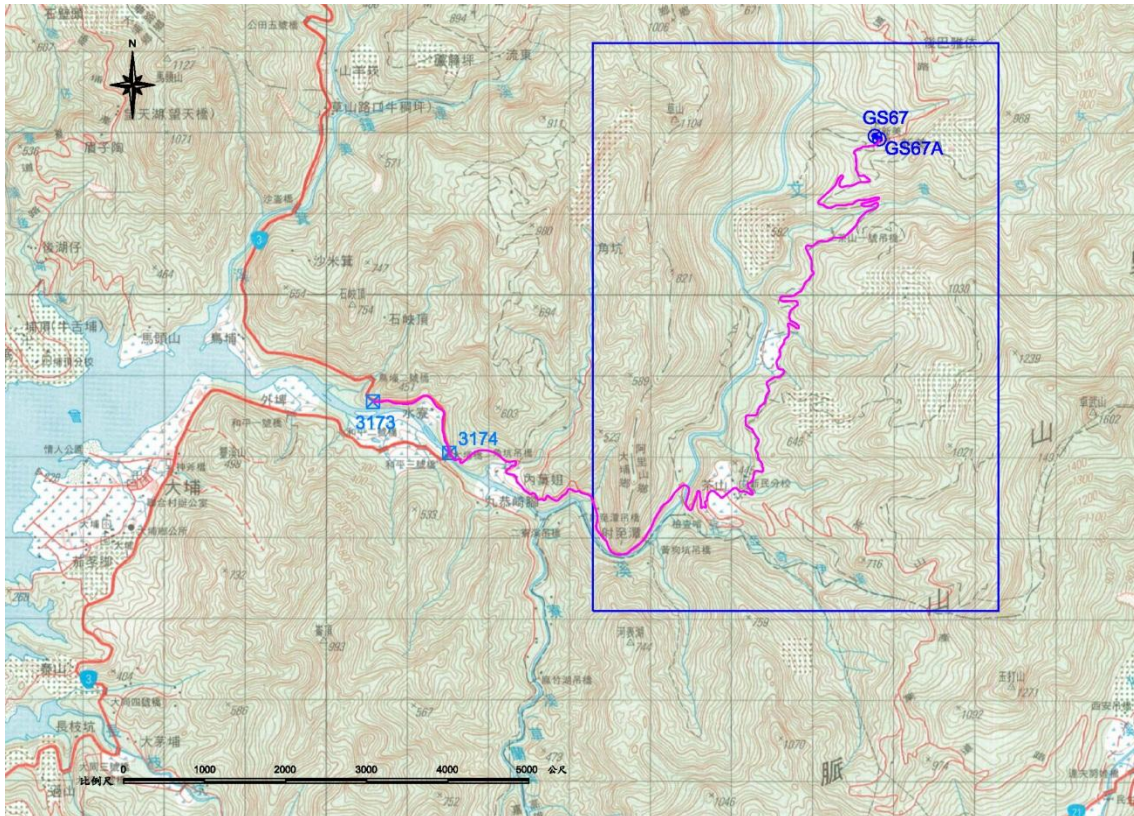


圖 4.13 水庫集水區-B 測試區水準路線圖

直接水準使用 Zeiss Dini[®] 12 電子精密水準儀施測，施測流程參照圖 4.14，採用之規範係依國土測繪法加密控制測量之規範，其測段往返閉合差應小於 $8\text{mm}\sqrt{K}$ (K 為水準路線長度之公里數)，其檢測已知點高程差亦應小於 $8\text{mm}\sqrt{K}$ 。

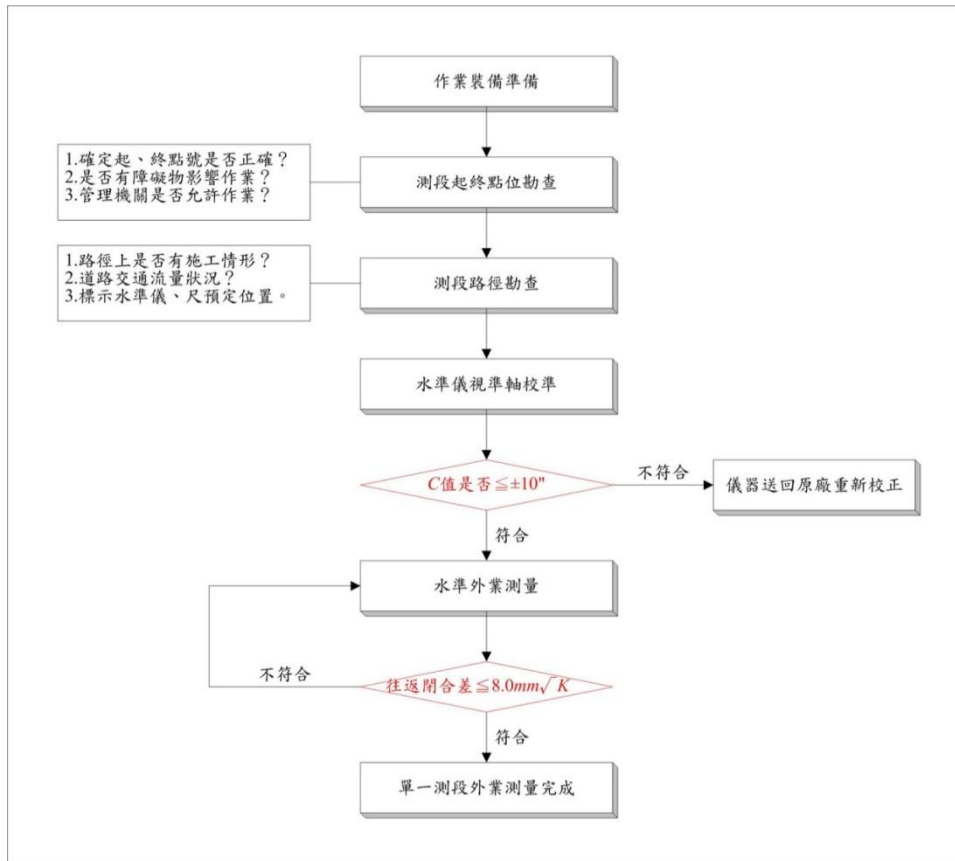


圖 4.14 直接水準測量作業流程圖

水準測量實際作業日期分別為火山區測試區為 2012 年 8 月 31 日，水庫集水區測試區為 9 月 18 日至 21 日，各測段施測成果精度參照表 4.9，已知水準點檢測精度參照表 4.10。

表 4.9 水準觀測精度一覽表

起點點名	終點點名	往程距離 (m)	往程觀測高差 (m)	返程距離 (m)	返程觀測高差 (m)	高差平均值 (m)	距離平均值 (m)	觀測誤差 (mm)	觀測精度 (mm/√K)
2025	2026	1959.26	-1.62848	1959.62	1.62907	-1.62878	1959.44	0.59	0.42
2025	TSHIA	897.38	10.19409	897.98	-10.19050	10.19230	897.68	3.59	3.79
3173	3174	1535.50	-28.01924	1535.86	28.02161	-28.02043	1535.68	2.37	1.91
3174	GS67A	14611.93	303.77424	14645.17	-303.77586	303.77505	14628.55	-1.62	0.42

表 4.10 已知水準點檢測成果一覽表

起點		終點		資料高差 (m)	檢測高差 (m)	較差 (mm)	測段距離 (km)	精度 (mm/√K)
點號	高程值 (m)	點號	高程值 (m)					
2025	6.89534	2026	5.27076	-1.62458	-1.62878	4.20	1.96	3.00
3173	293.16544	3174	265.13692	-28.02852	-28.02043	-8.10	1.54	6.53

最終依照水準測量及前述 GPS 施測結果，可分別推算二測區主站正高分別為火山區測試區 TSHI：30.261 m；水庫集水區測試區 GS67：576.109 m。

4-3 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。

4-3.1 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 4.15(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 4.15(b) 所示。

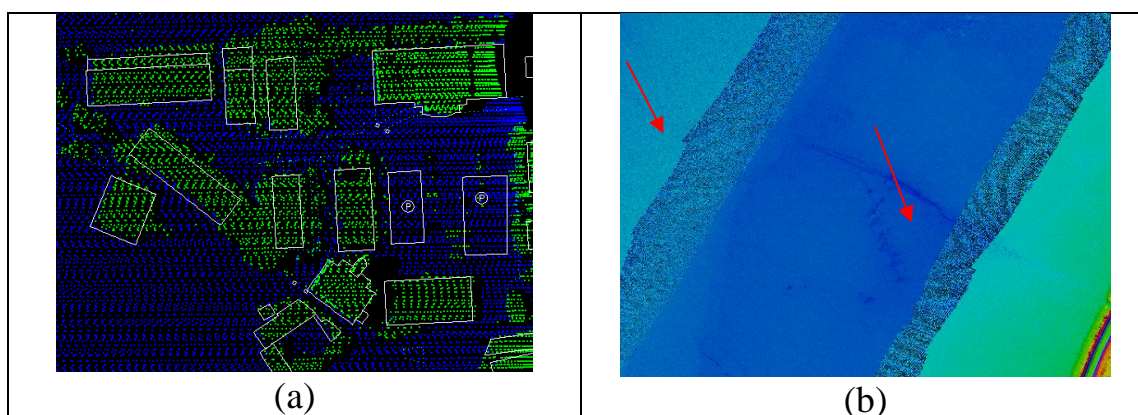


圖 4.15 (a)雷射點套疊向量圖顯示平面偏移(b)航帶間差異量形成斑駁

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的地面控制點比對雷射點資料所表現的地形趨勢面，視其兩者間之差異。

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 4.16 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 4.11、表 4.12 以及圖 4.17~圖 4.18 所示。

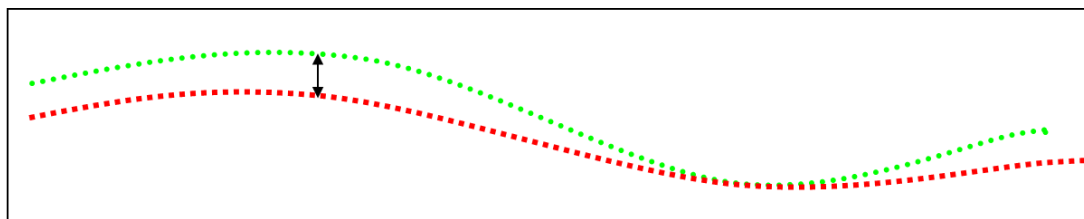


圖 4.16 Measure Match 之比對原理

表 4.11 重疊航線處誤差分析表(粗體航線為交叉航帶)-火山區

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	3513563	0.109	-0.017	12	2773927	0.118	-0.022
2	7249940	0.099	-0.001	13	9409279	0.099	-0.011
3	10080260	0.091	0.016	14	8319641	0.111	0.012
4	12472573	0.090	0.008	15	9870647	0.118	-0.008
5	13827941	0.098	0.001	16	10587644	0.118	0.003
6	15422327	0.099	-0.004	17	8546394	0.115	0.013
7	15247022	0.093	0.001	18	5732710	0.115	-0.017
8	13481981	0.087	0.011	19	6782597	0.110	-0.037
9	14142480	0.087	0.013	20	13025082	0.089	-0.007
10	13750363	0.081	0.006	21	7218697	0.124	-0.020
11	8696043	0.081	-0.005	8R1	6407841	0.114	0.005
最大平均絕對差量(m)						0.124	
最小平均絕對差量(m)						0.081	
整體平均絕對差量(m)						0.102	
平均絕對差量之標準偏差(m)						0.013	

* R1 表示該航線第 2 次飛行

表 4.12 重疊航線處誤差分析表(粗體航線為交叉航帶)-水庫集水區

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	7892940	0.103	0.007	15	5135521	0.116	-0.017
2	14810310	0.101	-0.014	16	3351336	0.104	0.005
3	15371864	0.104	-0.014	17	5481818	0.124	0.004
4	13842222	0.101	0.008	18	5224709	0.127	0.006
5	10088236	0.102	0.005	19	4463954	0.124	0.030
6	5475052	0.104	-0.002	20	5891079	0.104	-0.021
7	4100525	0.091	0.002	21	10268468	0.107	0.006
8	5012939	0.088	-0.003	22	18918790	0.100	0.010
9	6461715	0.089	0.005	23	18450751	0.102	0.023
10	7579681	0.099	0.002	24	14739754	0.100	-0.014
11	6779237	0.110	0.000	25	5736905	0.112	0.001
12	6787547	0.114	-0.001	26	9598560	0.098	-0.011
13	6292949	0.117	-0.010	21R1	8697084	0.111	-0.017
14	5386331	0.113	0.007				
最大平均絕對差量(m)						0.127	
最小平均絕對差量(m)						0.088	
整體平均絕對差量(m)						0.106	
平均絕對差量之標準偏差(m)						0.010	

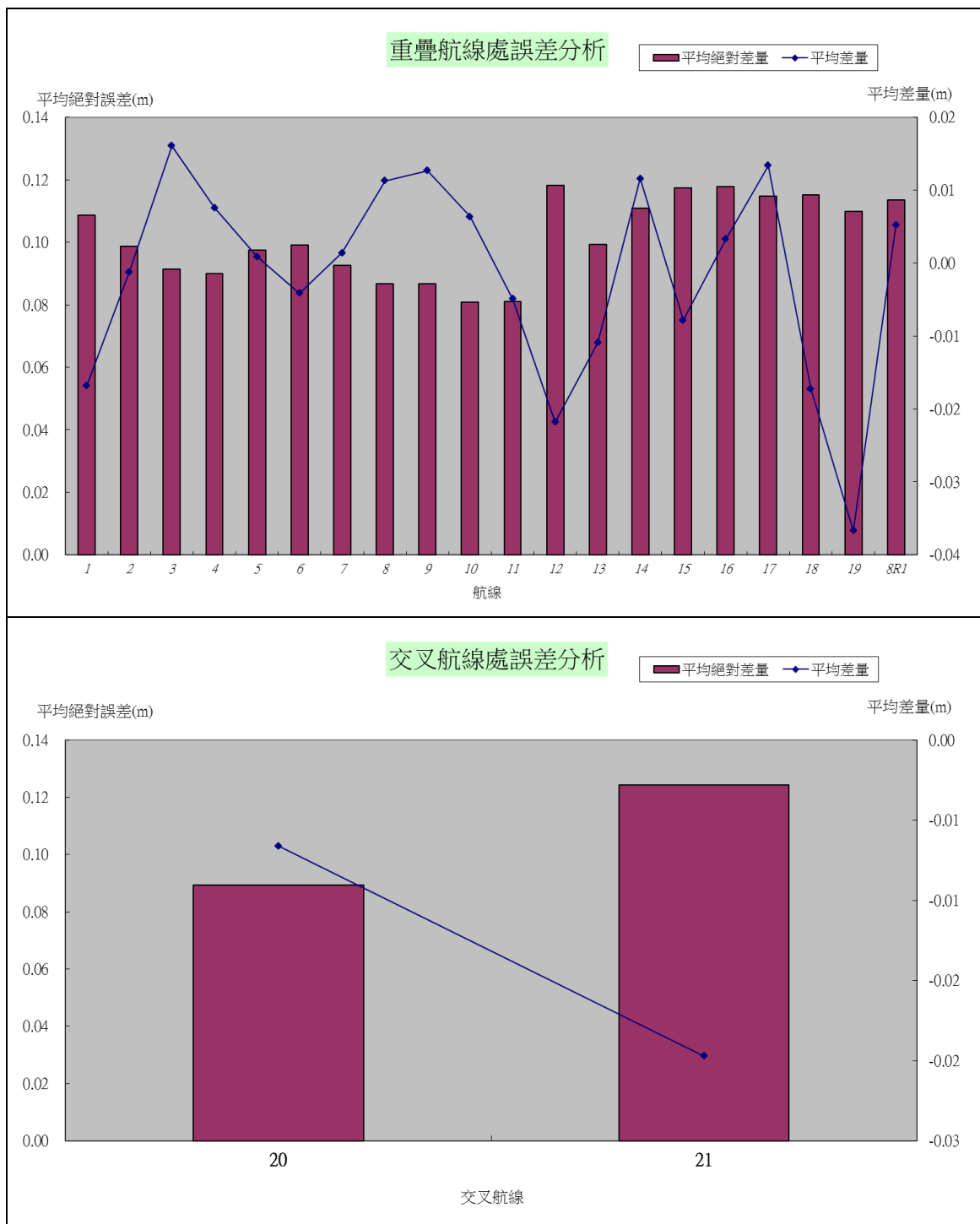


圖 4.17 火山區重疊航帶與交叉航帶處之誤差分析

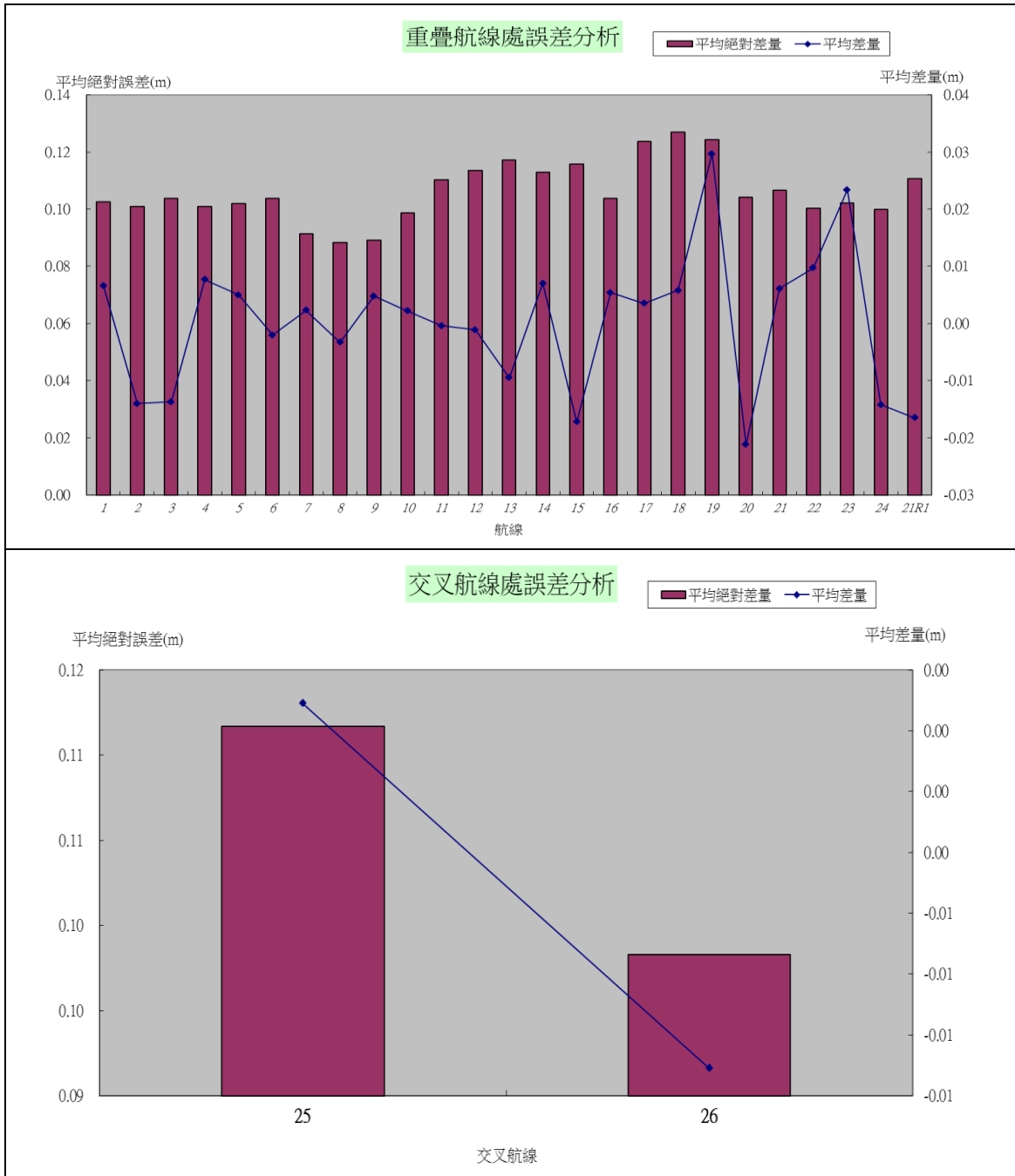


圖 4.18 水庫集水區-B 測試區重疊航帶與交叉航帶處之誤差分析

4-3.2 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 4.19 所示。

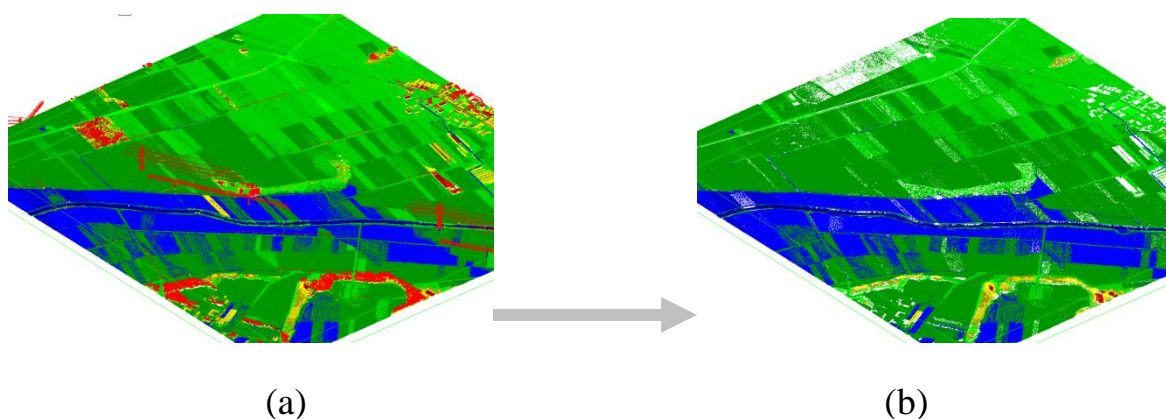


圖 4.19 三維側視圖(a)含地上物 (b)濾除非地面點成果

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，由於各測區各有 20 餘條之多。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平差用觀測點，並以選擇

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)原則均勻選擇匹配區塊之大小及位置。

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 4.20 所示。

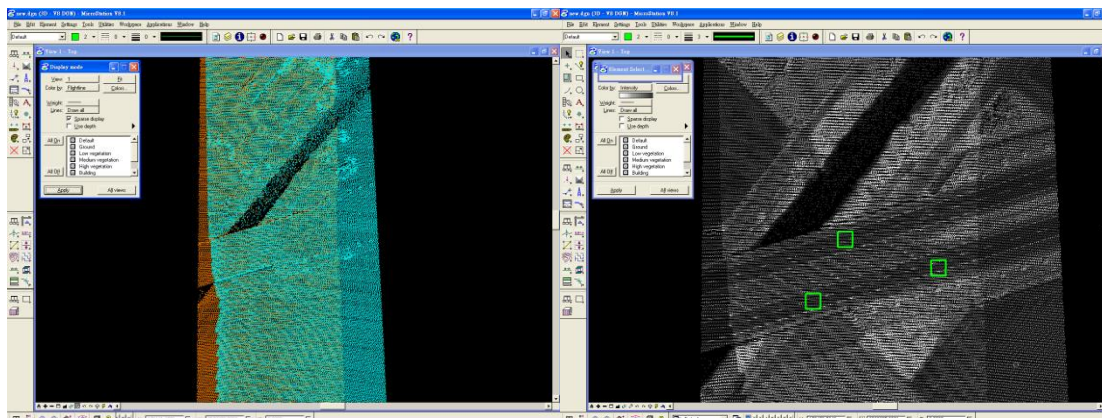


圖 4.20 (a)航線重疊區(b)於道路上選擇匹配區塊

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。

4-3.3 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 4.13、表 4.14 分別表示火山區與水庫集水區航線重疊處平差前後差量表，而兩測試區域平差前後平均對誤差差量分析以及平均誤差比較成果則如圖 4.21、圖 4.22 示之。

表 4.13 航線重疊處平差前後差量統計表(粗體航線為交叉航帶)-火山

區

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	3513563	0.109	-0.017	0.081	-0.011
2	7249940	0.099	-0.001	0.076	-0.003
3	10080260	0.091	0.016	0.069	0.009
4	12472573	0.090	0.008	0.069	0.005
5	13827941	0.098	0.001	0.075	0.007
6	15422327	0.099	-0.004	0.077	0.004
7	15247022	0.093	0.001	0.073	-0.003
8	13481981	0.087	0.011	0.070	-0.003
9	14142480	0.087	0.013	0.068	0.005
10	13750363	0.081	0.006	0.065	0.003
11	8696043	0.081	-0.005	0.066	0.007
12	2773927	0.118	-0.022	0.085	-0.015
13	9409279	0.099	-0.011	0.073	-0.001
14	8319641	0.111	0.012	0.082	-0.003
15	9870647	0.118	-0.008	0.090	-0.002
16	10587644	0.118	0.003	0.084	-0.005
17	8546394	0.115	0.013	0.084	-0.002
18	5732710	0.115	-0.017	0.082	-0.005
19	6782597	0.110	-0.037	0.084	-0.002
20	13025082	0.089	-0.007	0.071	-0.003
21	7218697	0.124	-0.020	0.088	-0.005
8R1	6407841	0.114	0.005	0.085	-0.012
最大平均絕對差量(m)		0.124		0.090	
最小平均絕對差量(m)		0.081		0.065	
平均絕對差量(m)		0.102		0.077	
平均絕對差量之標準偏差(m)		0.013		0.008	
* R1 表示該航線第 2 次飛行					

表 4.14 航線重疊處平差前後差量統計表(粗體航線為交叉航帶)-水庫

集水區-B 測試區

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	7892940	0.103	0.007	0.079	0.005
2	14810310	0.101	-0.014	0.078	-0.012
3	15371864	0.104	-0.014	0.079	-0.009
4	13842222	0.101	0.008	0.077	0.004
5	10088236	0.102	0.005	0.078	0.001
6	5475052	0.104	-0.002	0.078	-0.003
7	4100525	0.091	0.002	0.071	0.002
8	5012939	0.088	-0.003	0.069	-0.004
9	6461715	0.089	0.005	0.069	0.004
10	7579681	0.099	0.002	0.074	0.001
11	6779237	0.110	0.000	0.080	0.002
12	6787547	0.114	-0.001	0.083	-0.001
13	6292949	0.117	-0.010	0.086	-0.009
14	5386331	0.113	0.007	0.083	0.004
15	5135521	0.116	-0.017	0.083	-0.009
16	3351336	0.104	0.005	0.077	0.005
17	5481818	0.124	0.004	0.089	0.002
18	5224709	0.127	0.006	0.091	0.005
19	4463954	0.124	0.030	0.089	0.020
20	5891079	0.104	-0.021	0.078	-0.017
21	10268468	0.107	0.006	0.081	0.003
22	18918790	0.100	0.010	0.077	0.007
23	18450751	0.102	0.023	0.078	0.016
24	14739754	0.100	-0.014	0.077	-0.008
25	5736905	0.112	0.001	0.082	0.003
26	9598560	0.098	-0.011	0.076	-0.004
21R1	8697084	0.111	-0.017	0.083	-0.009
最大平均絕對差量(m)			0.127		0.091
最小平均絕對差量(m)			0.088		0.069
平均絕對差量(m)			0.106		0.079
平均絕對差量之標準偏差(m)			0.010		0.006
* R1 表示該航線第 2 次飛行					

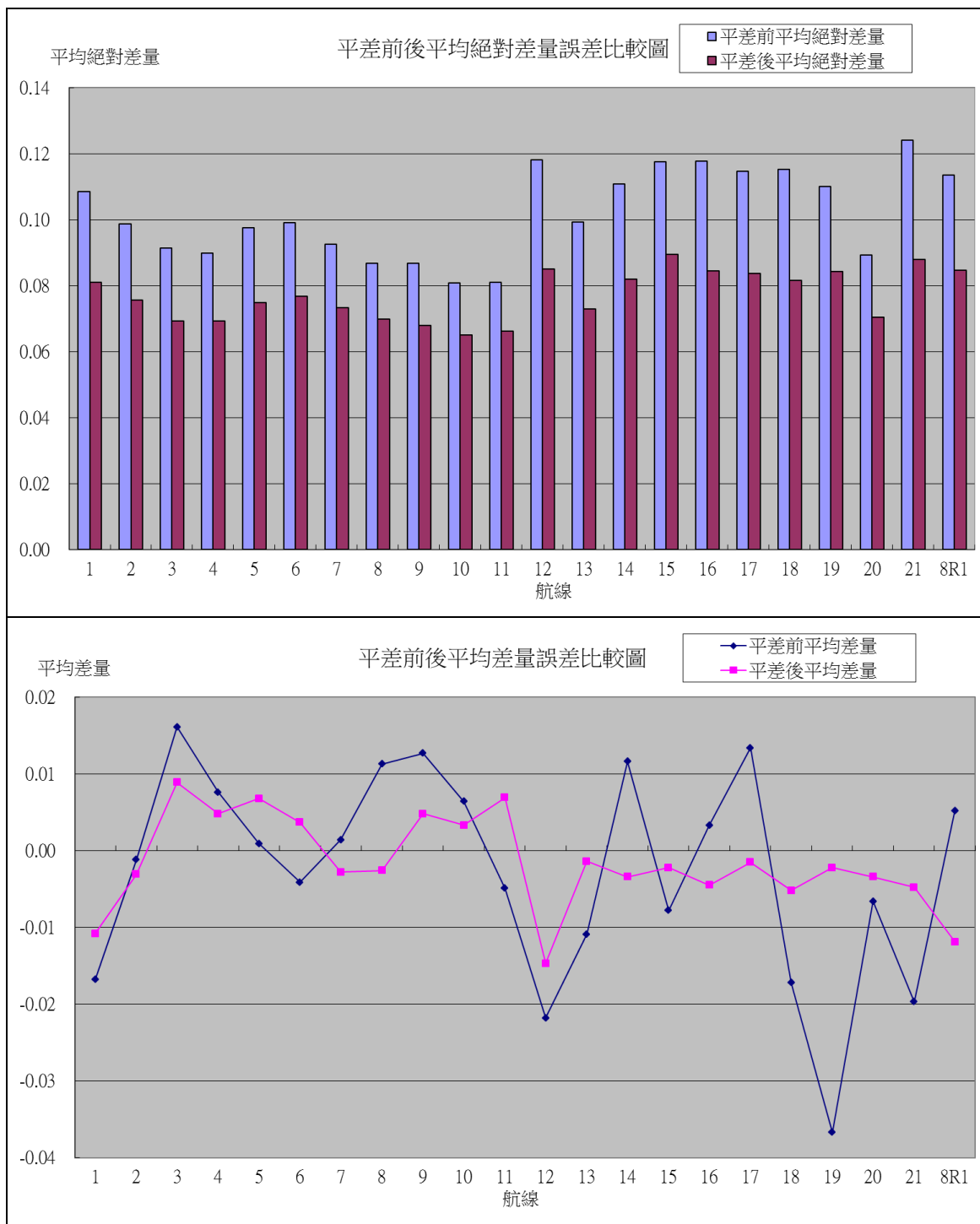


圖 4.21 火山區之航線重疊處平差前後平均誤差差量分析

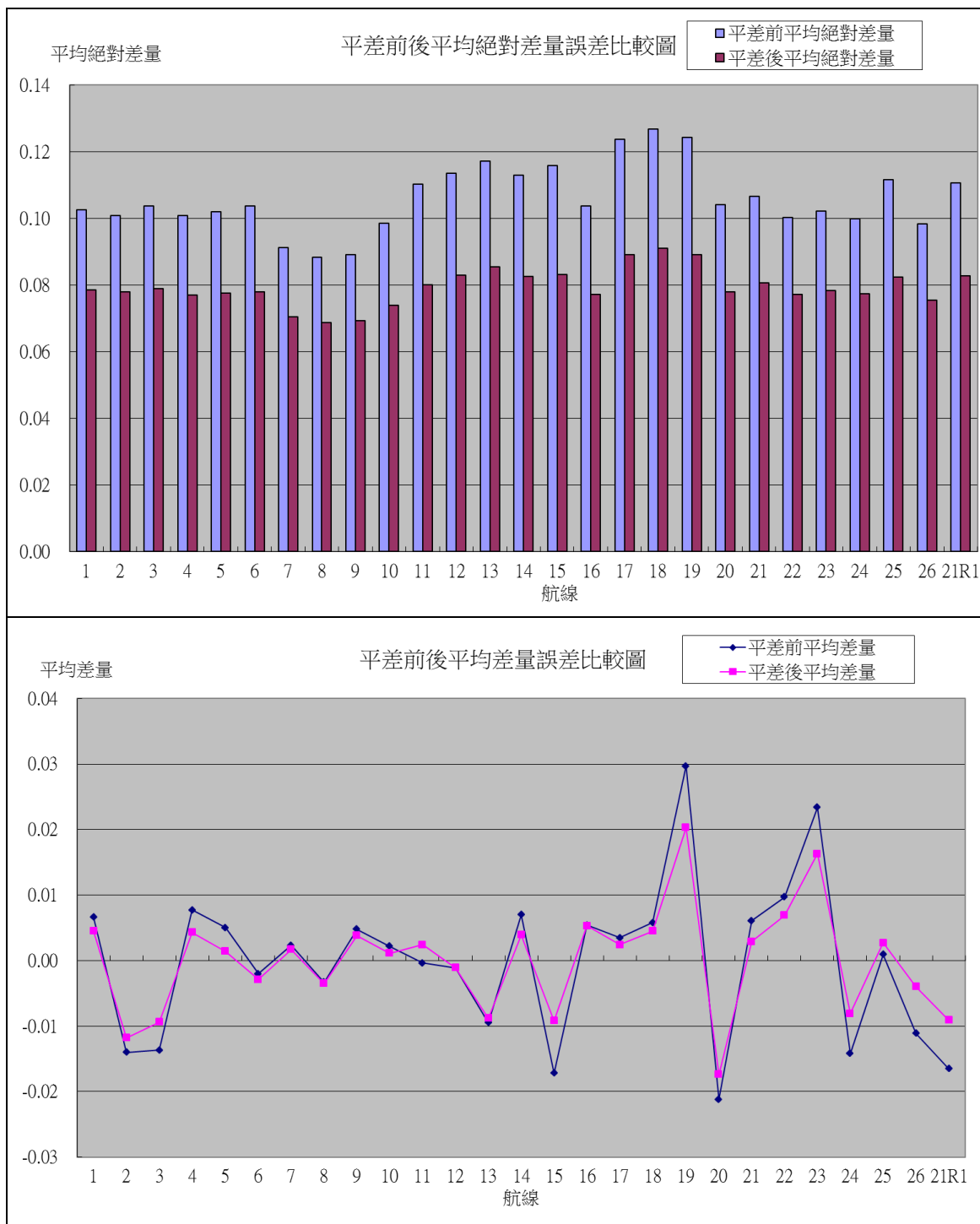


圖 4.22 水庫集水區 B 區之航線重疊處平差前後平均誤差差量分析

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 掃描之數據(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)。

本計畫中自動過濾工具，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)。

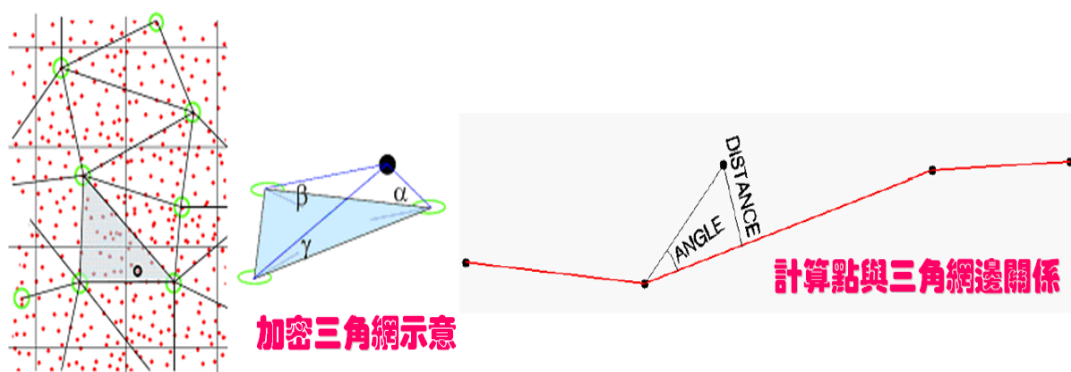


圖 5.1 Iteration angle 和 Iteration distance 示意圖 (Axelsson, 2000)

通過航帶平差後，將火山測區和集水區測區之點雲資料，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。另外，以 1/5000 圖幅做為基本圖幅，火山測區涵蓋 8 幅；集水區測區涵蓋 12 幅，分幅狀況如圖 5.2，使用軟體 TerraScan 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。

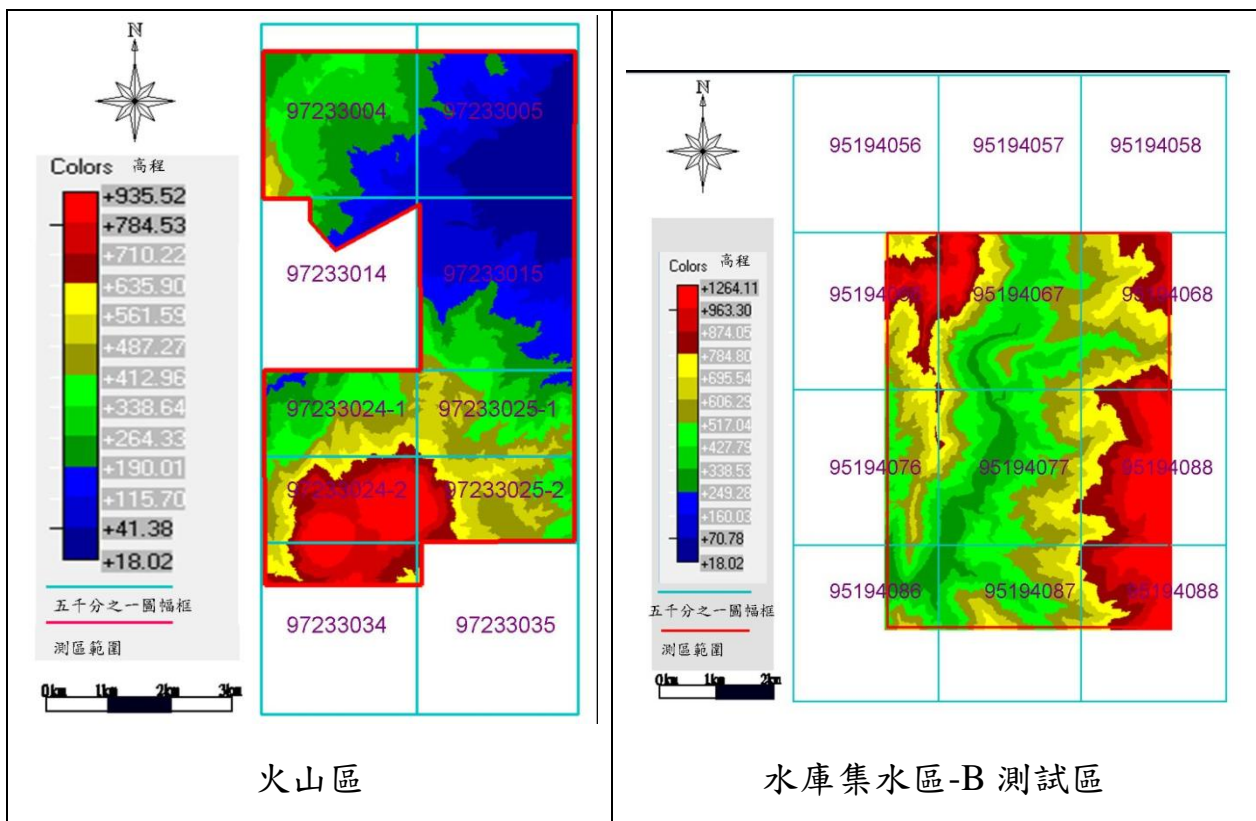


圖 5.2 測試區分幅處理示意圖

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。火山測區及水庫集水區 B 區之各圖幅之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 點雲密度(pts/m ²)	地面點數 密度(pts/m ²)	非地面點數
火山區	97233004	55,732,434 7.019	5,438,600 0.924	50,293,834
	97233005	47,258,635 6.330	3,889,960 0.647	43,368,675
	97233014	8,009,314 6.244	692,930 0.752	7,316,384
	97233015	62,445,026 6.873	3,785,773 0.548	58,659,253
	97233024	94,641,650 9.7635	8,020,097 2.319	86,621,553
	97233025	105,899,298 10.253	2,960,314 0.412	102,938,984
	97233034	23,195,488 9.138	1,409,155 0.844	21,786,333
	97233035	31,397,106 5.941	1,607,243 0.450	29,789,863
水庫集 水區 B 測試區	95194066	46,563,195 10.681	1,258,443 0.470	45,304,752
	95194067	83,579,616 7.797	8,308,051 1.181	75,271,565
	95194068	63,318,582 9.490	2,488,694 0.563	60,829,888
	95194076	39,422,139 8.949	2,470,865 0.933	36,951,274
	95194077	72,568,353 6.797	6,252,198 0.899	66,316,155
	95194078	71,614,924 10.596	2,753,103 0.630	68,861,821
	95194086	16,349,386 7.518	1,763,803 1.238	14,585,583
	95194087	35,676,050 6.570	3,919,258 1.068	31,756,792
	95194088	42,813,403 12.188	1,732,911 0.737	41,080,492

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)。

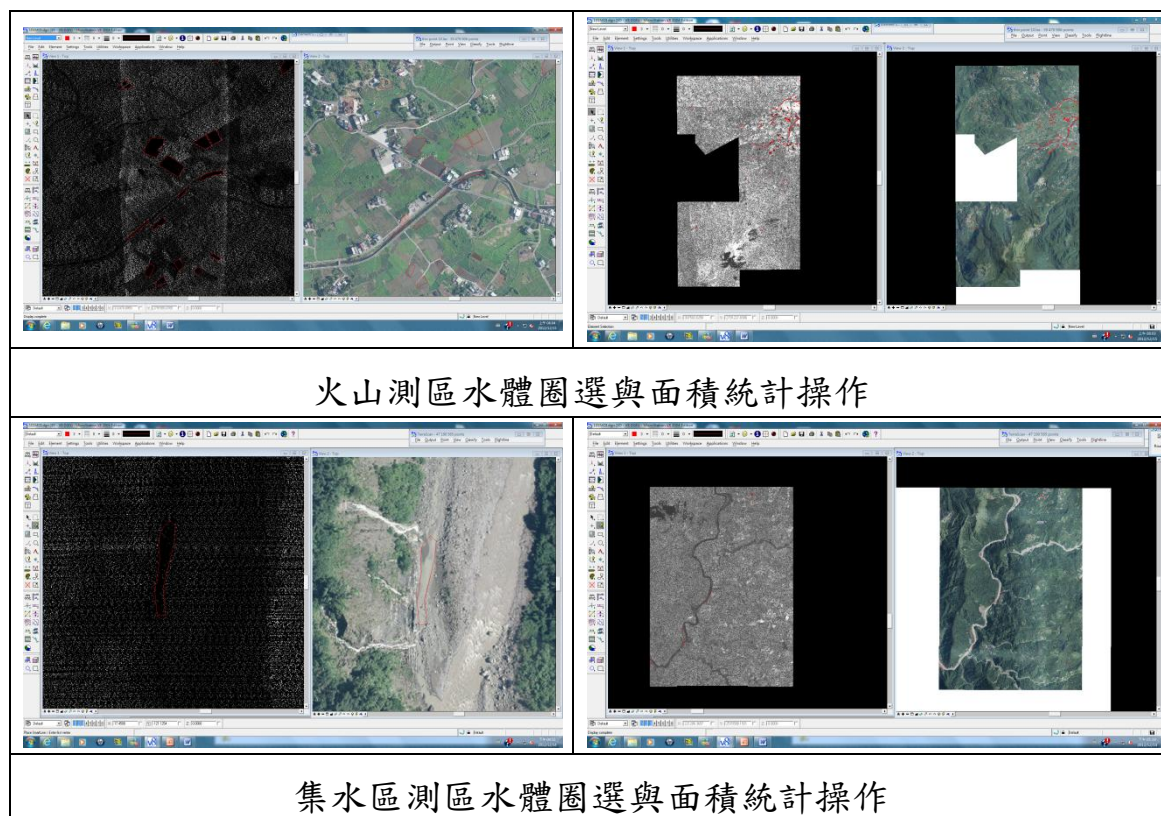


圖 5.3 水庫集水區分幅處理示意圖

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 ²)	雲遮蔽 面積(m ²)	水體吸收之無數據面積(m ²) 百分比(%)
火山區	35260463.194	0	145656.867 0.41%
水庫集水區	35000165.500	0	8682.568 0.025%

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 及圖 5.5，DSM 成果則展示於圖 5.6。

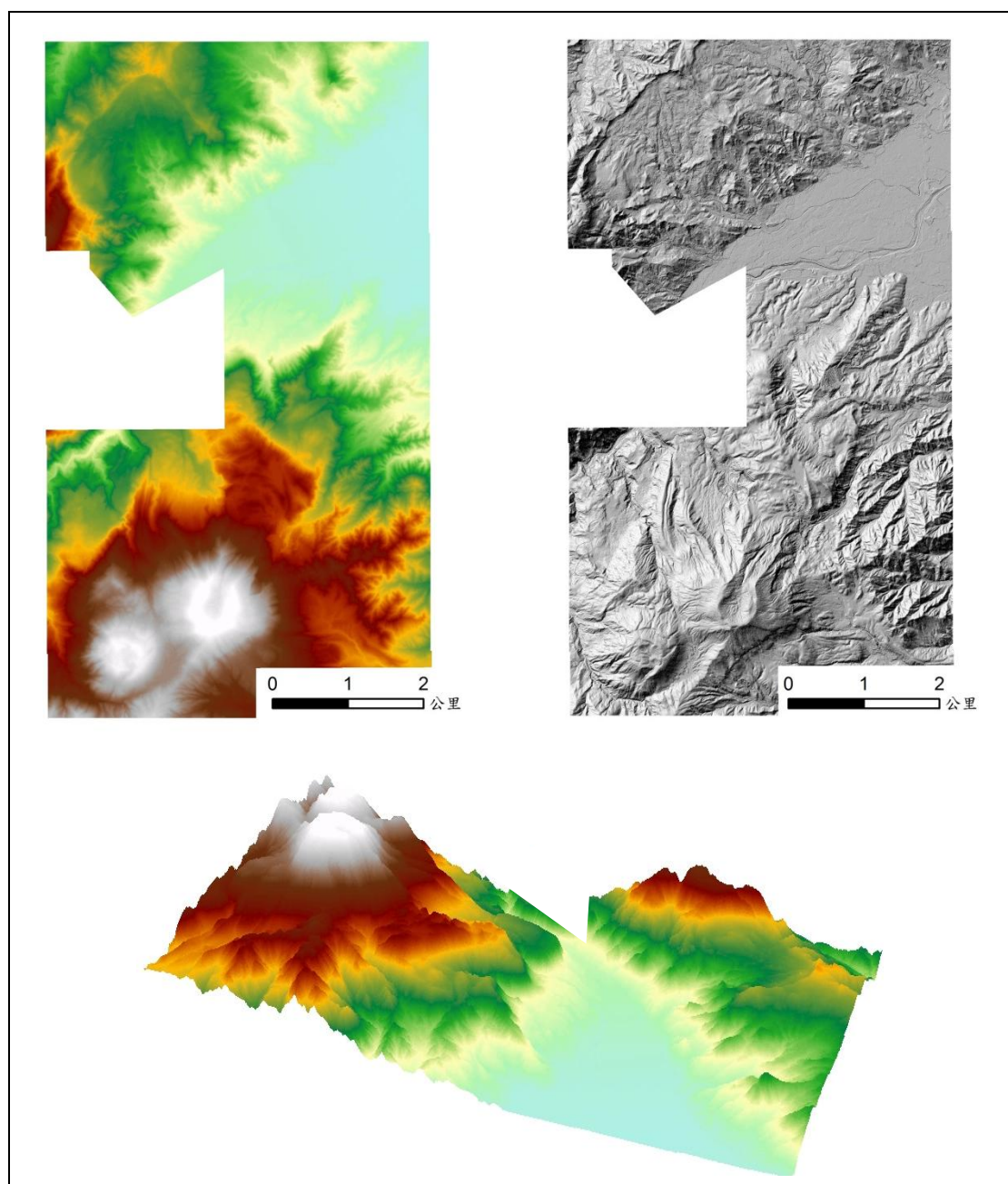


圖 5.4 火山測試區 DEM 成果圖

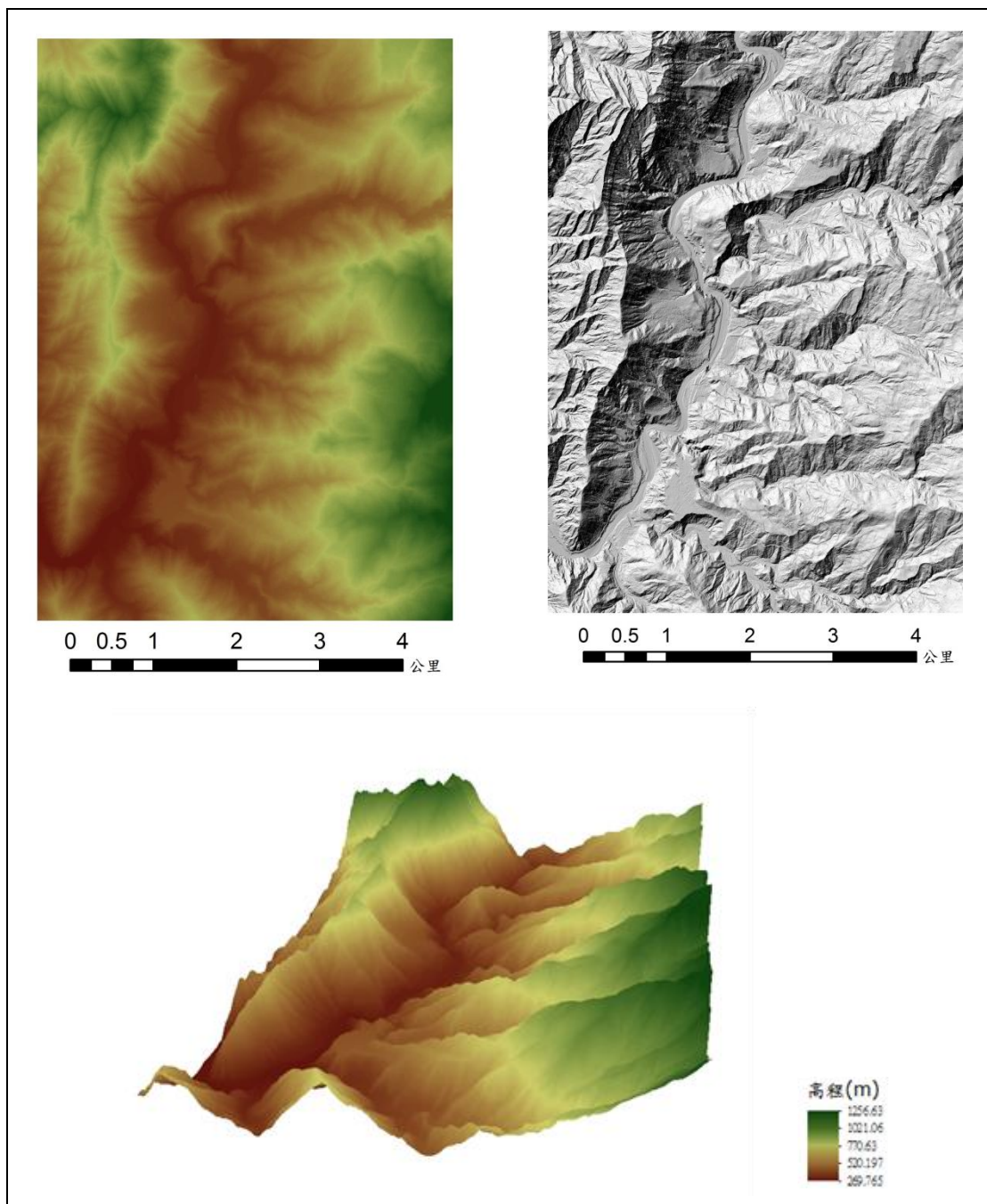
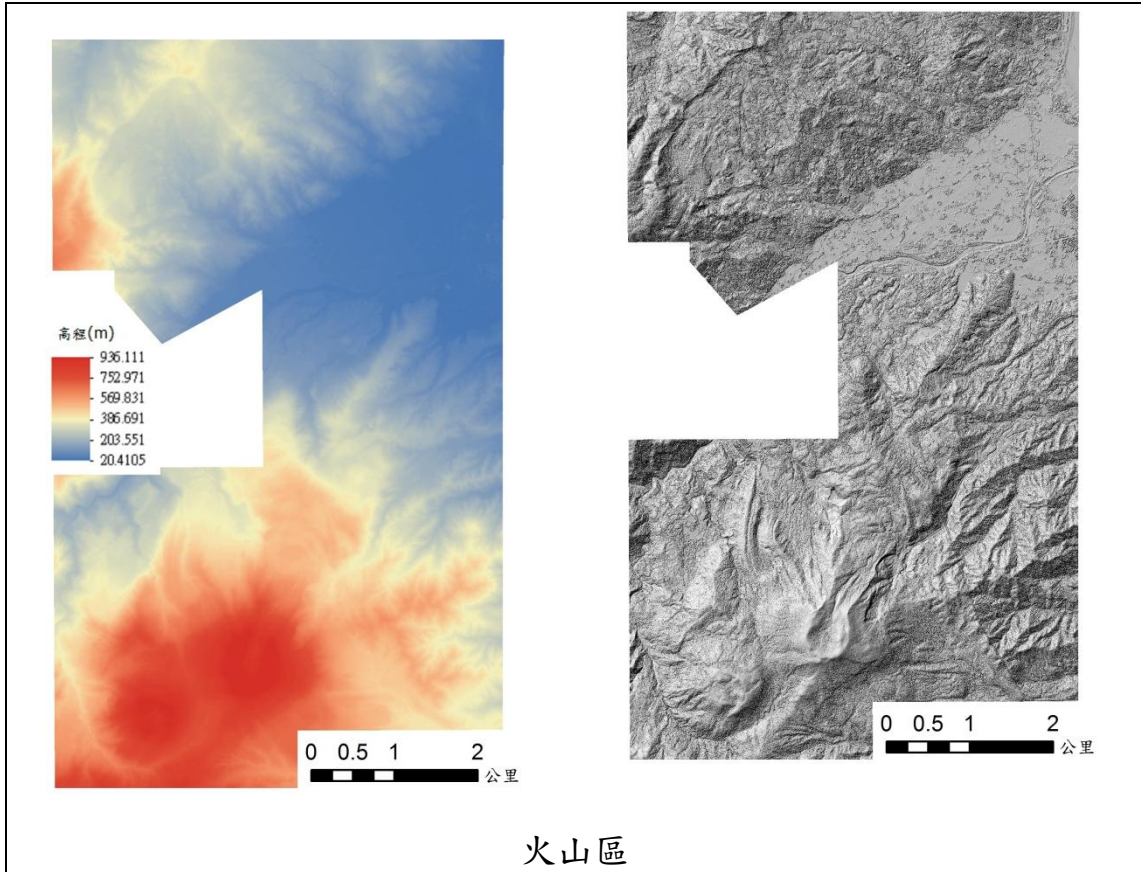
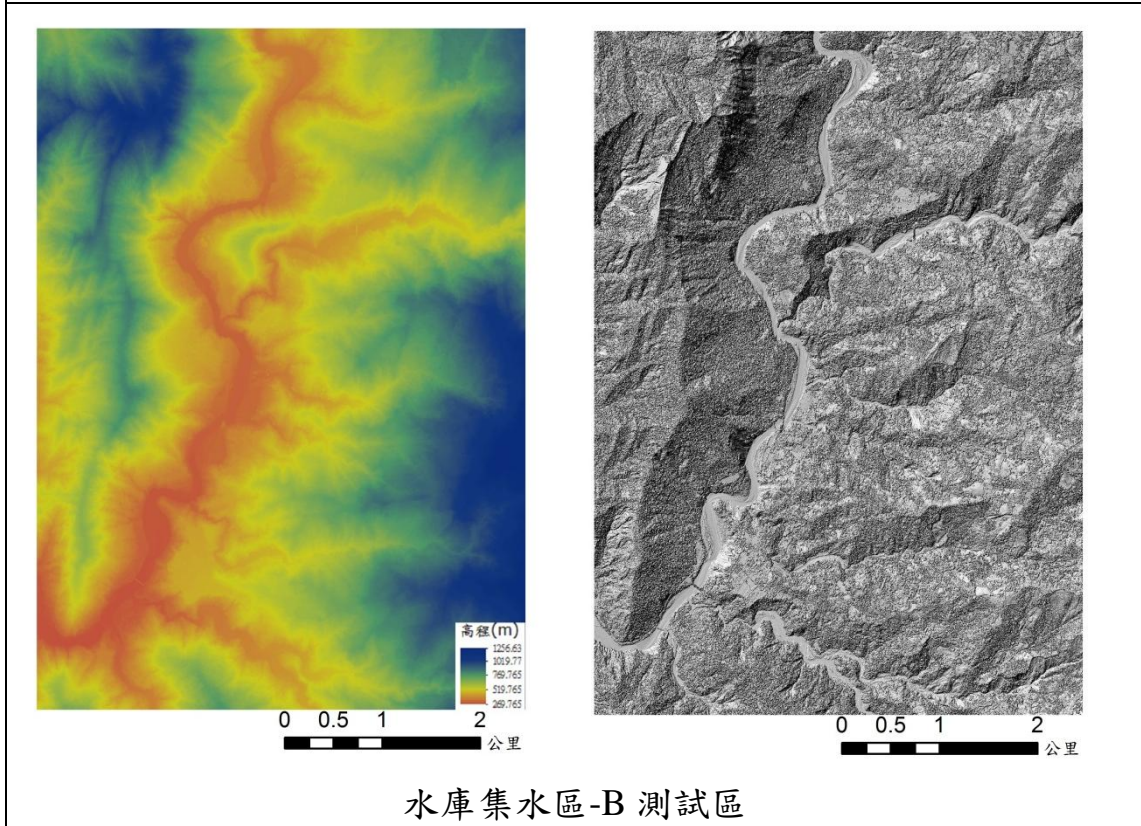


圖 5.5 水庫集水區-B 測試區之 DEM 成果圖



火山區



水庫集水區-B 測試區

圖 5.6 測試區 DSM 成果圖

5-2 DEM/DSM 精度評估與分析

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 5.7。

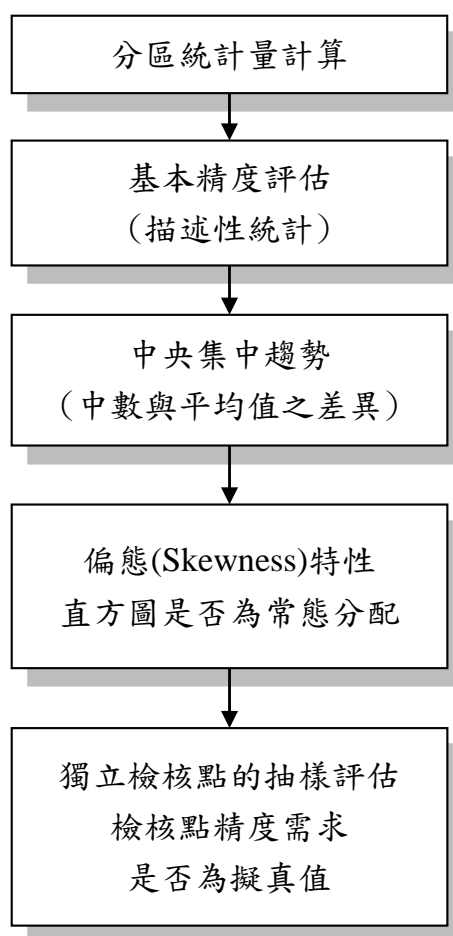


圖 5.7 檢核點精度評估流程图

1. 基本精度分析

此精度規範是透過外業人員蒐集回來之檢核點資料，透過 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」分別指所有用以計算點中高差量最小與最大值；「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 5.3。

表 5.3 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
火山測試區							
裸露地	20	-0.095	0.097	0.022	-0.263	0.069	0.116
矮植被	19	0.002	0.061	0.161	-0.101	0.076	0.074
植生地	19	0.019	0.092	0.283	-0.200	0.130	0.128
林地	18	-0.083	0.124	0.210	-0.326	0.148	0.166
密林	18	-0.008	0.117	0.435	-0.240	0.160	0.156
濕地	18	-0.055	0.075	0.128	-0.223	0.080	0.095
橫斷面	19	-0.072	0.075	0.128	-0.152	0.050	0.087
水庫集水區測試區							
裸露地	19	0.047	0.084	0.124	-0.157	0.080	0.091
矮植被	19	0.126	0.126	0.369	0.043	0.091	0.154
植生地	18	0.135	0.168	0.369	-0.247	0.152	0.200
林地	19	0.075	0.093	0.272	-0.100	0.089	0.114
密林	19	0.093	0.135	0.422	-0.159	0.156	0.178
濕地	15	0.115	0.123	0.195	-0.061	0.217	0.135
橫斷面	28	0.060	0.083	0.176	-0.177	0.074	0.094

透過圖 5.8 及圖 5.9 可知，兩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。以火山測試區之裸露地為例，其精度規範區間為藍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。

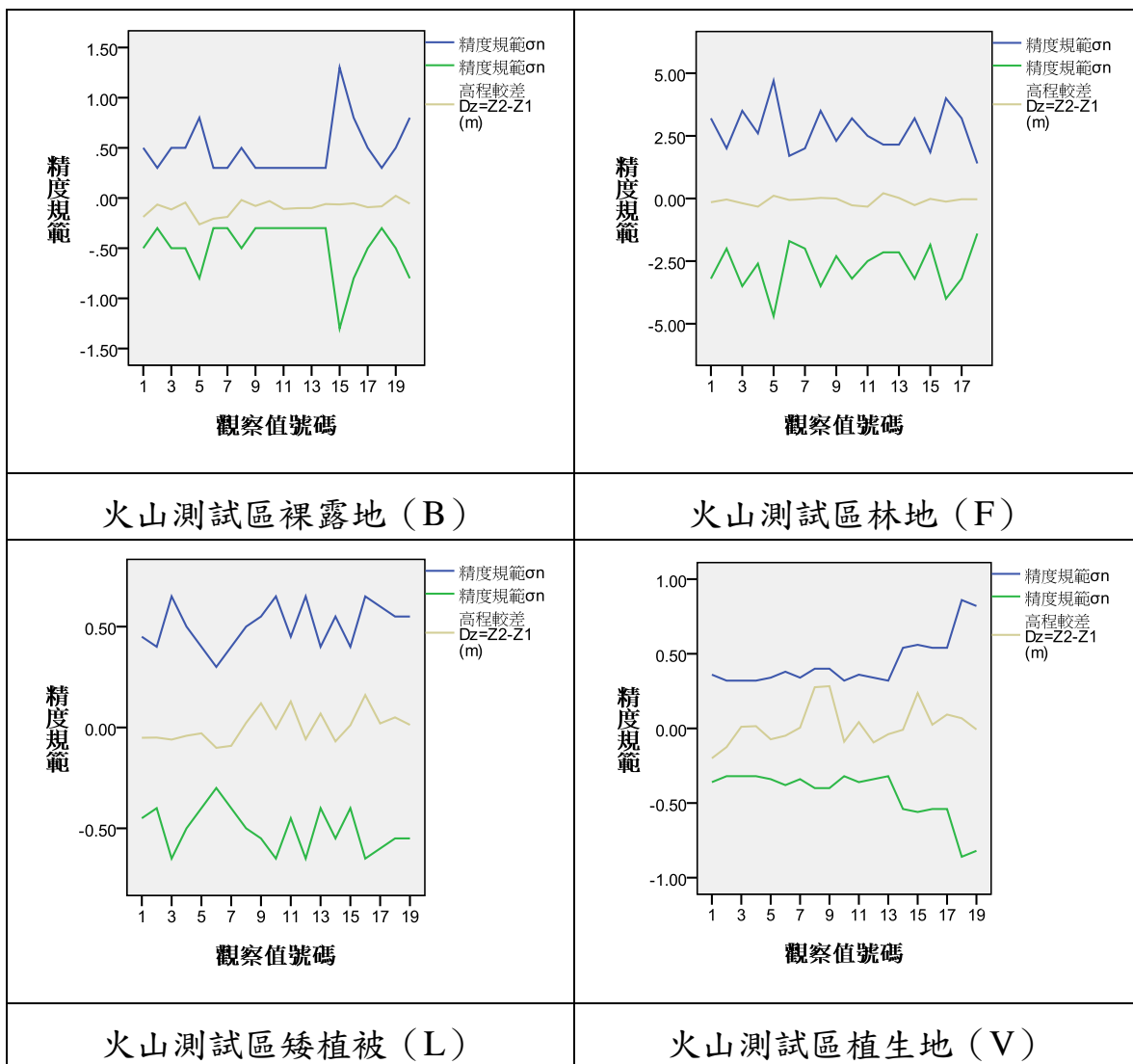


圖 5.8 火山區測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位:公尺)

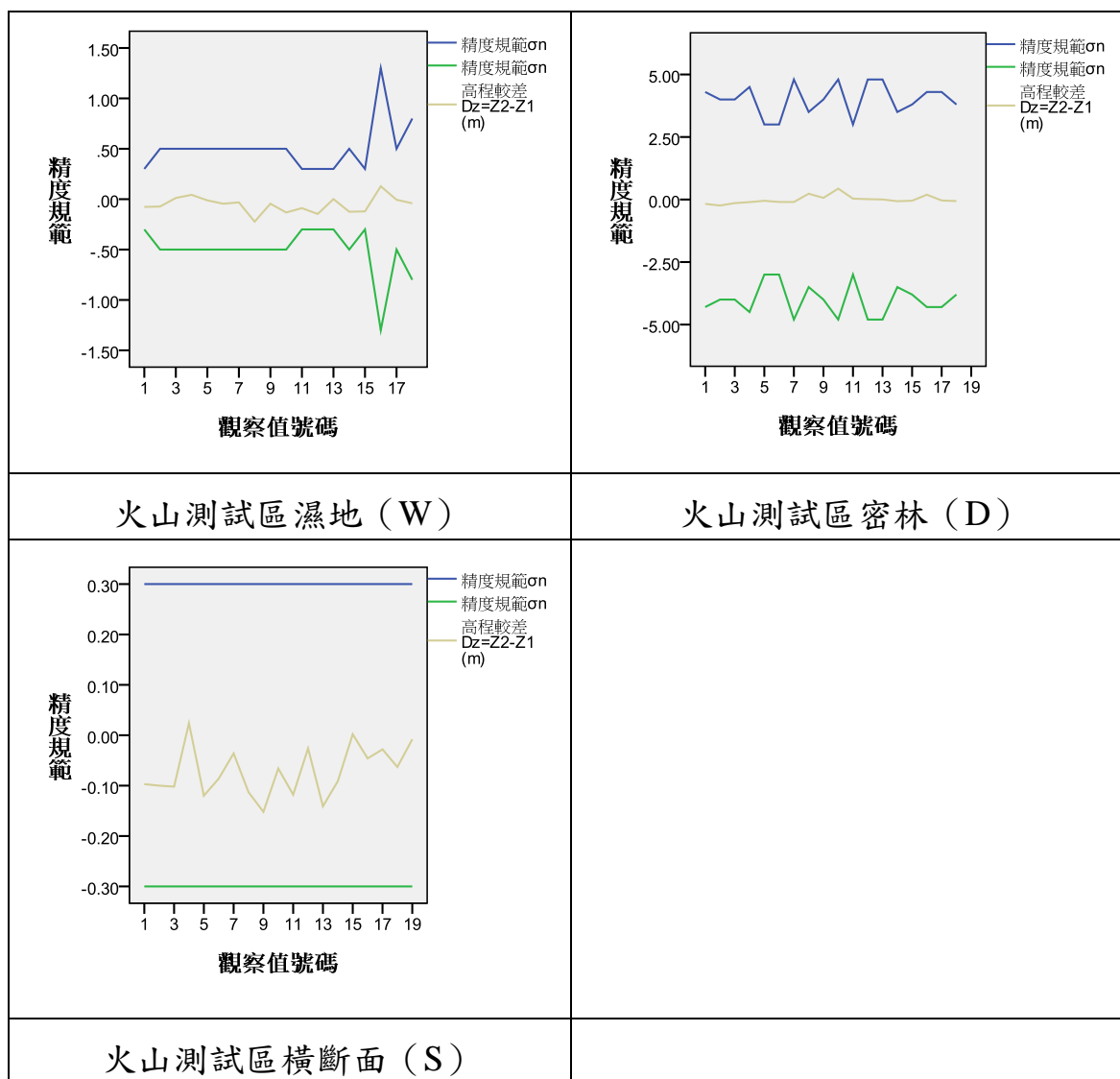


圖 5.8 火山區測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位:公尺)

(續)

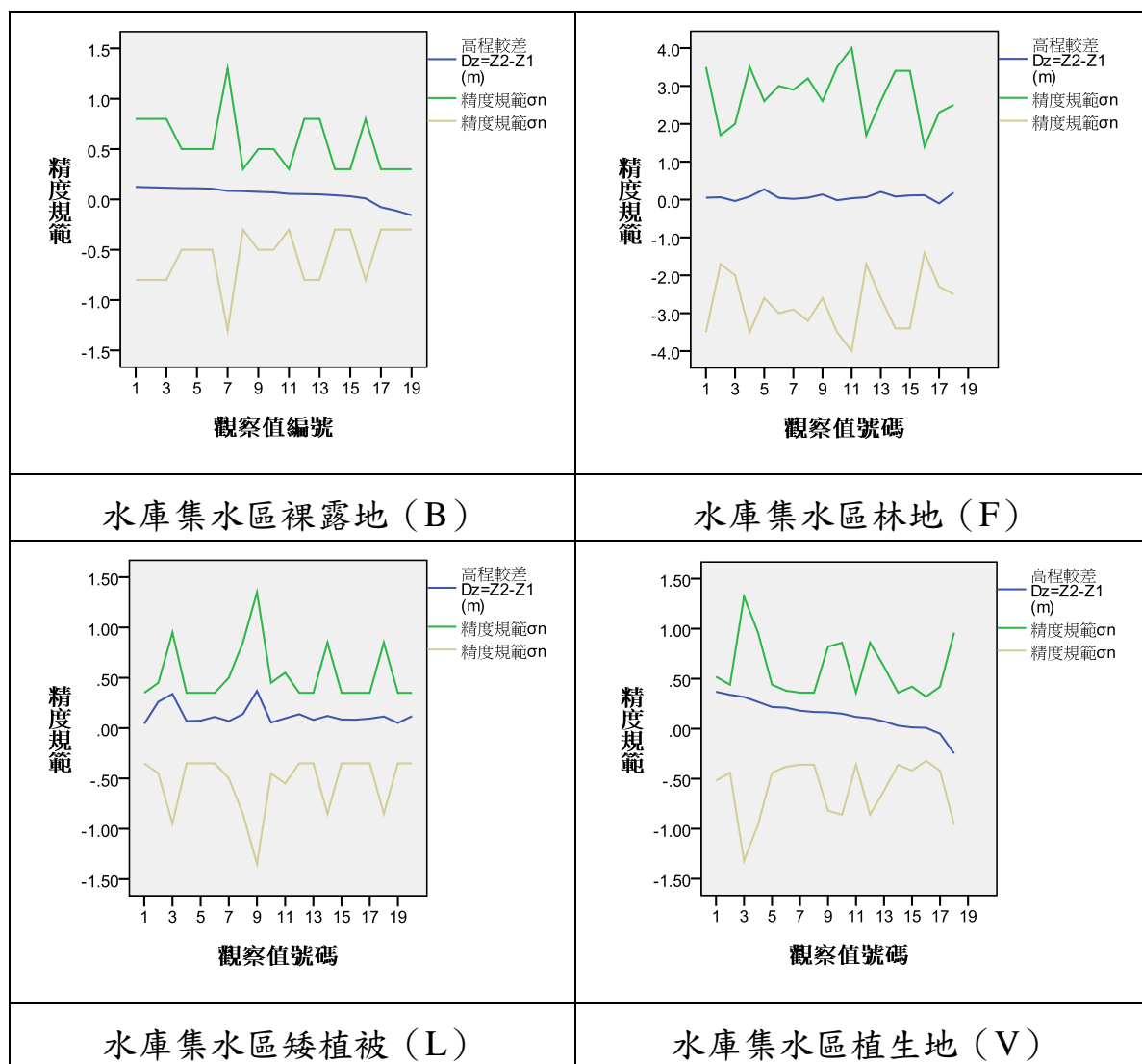


圖 5.9 水庫集水區 B 測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位：公尺)

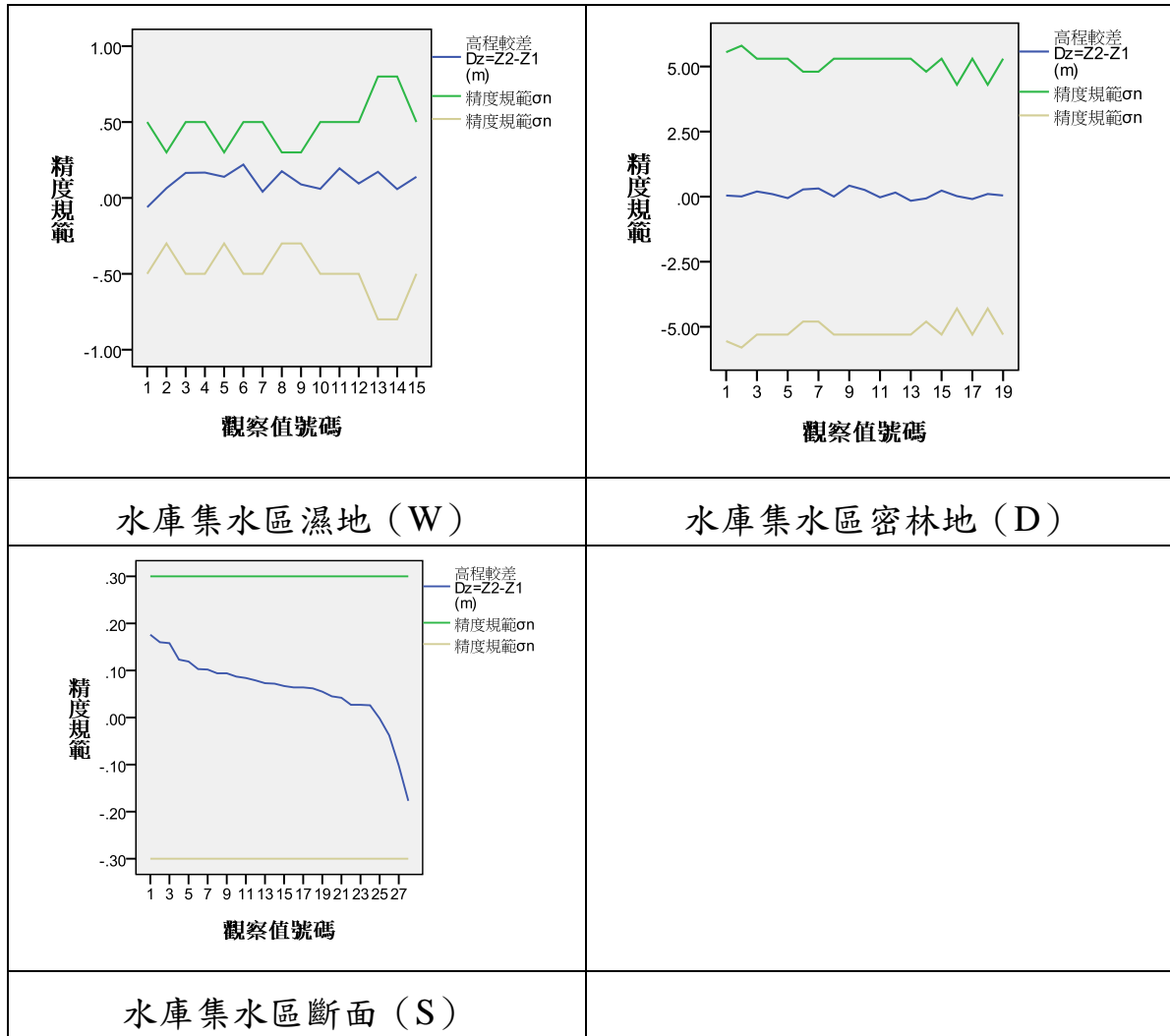


圖 5.9 水庫集水區 B 測試區之各土地覆蓋類型之精度成果示意圖(單位：公尺)(續)

2. 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 5.4 之數值中央集中趨勢表分析，了解兩測區之各種土地覆蓋的高差值，其算數平均值與中位數皆不相等，且各種土地覆蓋區

之檢核點數未達 30(樣本數小於 30)，因此代表被檢驗的數值可能存在系統性誤差問題(因為樣本數不足，一般建議樣本 ≥ 30 時，樣本平均數會趨近於常態分配)(蕭文龍，2009)。但平均數容易受其樣本大小及樣本偏離極端值的影響，要了解是否受到樣本資料偏離值的影響將在下部分採用內政部規範之偏態(Skewness)進行檢驗。

表 5.4 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)
火山測試區			
裸露地	-0.095	-0.081	-0.014
矮植被	0.002	-0.006	0.008
植生地	0.019	0.005	0.014
林地	-0.083	-0.036	-0.047
密林	-0.008	-0.050	0.042
濕地	-0.055	-0.045	-0.010
橫斷面	-0.072	-0.086	0.014
水庫集水區測試區			
裸露地	0.047	0.070	-0.023
矮植被	0.126	0.096	0.030
植生地	0.135	0.157	-0.022
林地	0.075	0.063	0.012
密林	0.093	0.045	0.048
濕地	0.115	0.139	-0.024
橫斷面	0.060	0.070	-0.010

3. 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。

本兩測區之偏態檢驗各由 7 種不同的土地覆蓋區域組成，其高程數值之偏態如表 5.5 結果顯示，結果發現火山區之密林地以及集水區之裸露地、矮植被和橫斷面出現較大偏態現象，由誤差直方圖(圖 5.10 及圖 5.11)中了解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，後續將透過假設檢定，以了解檢驗值與被檢定值之間的關係。

表 5.5 數值精度之偏態檢驗表(單位：公尺)

土地覆蓋類型	偏態 (skewness)
火山測試區	
裸露地	-0.904
林地	-0.143
矮植被	0.715
植生地	0.805
濕地	0.126
密林	1.397
橫斷面	0.298
水庫集水區測試區	
裸露地	-1.498
林地	0.332
矮植被	1.896
植生地	-0.695
濕地	-0.786
密林	0.446
橫斷面	-1.440

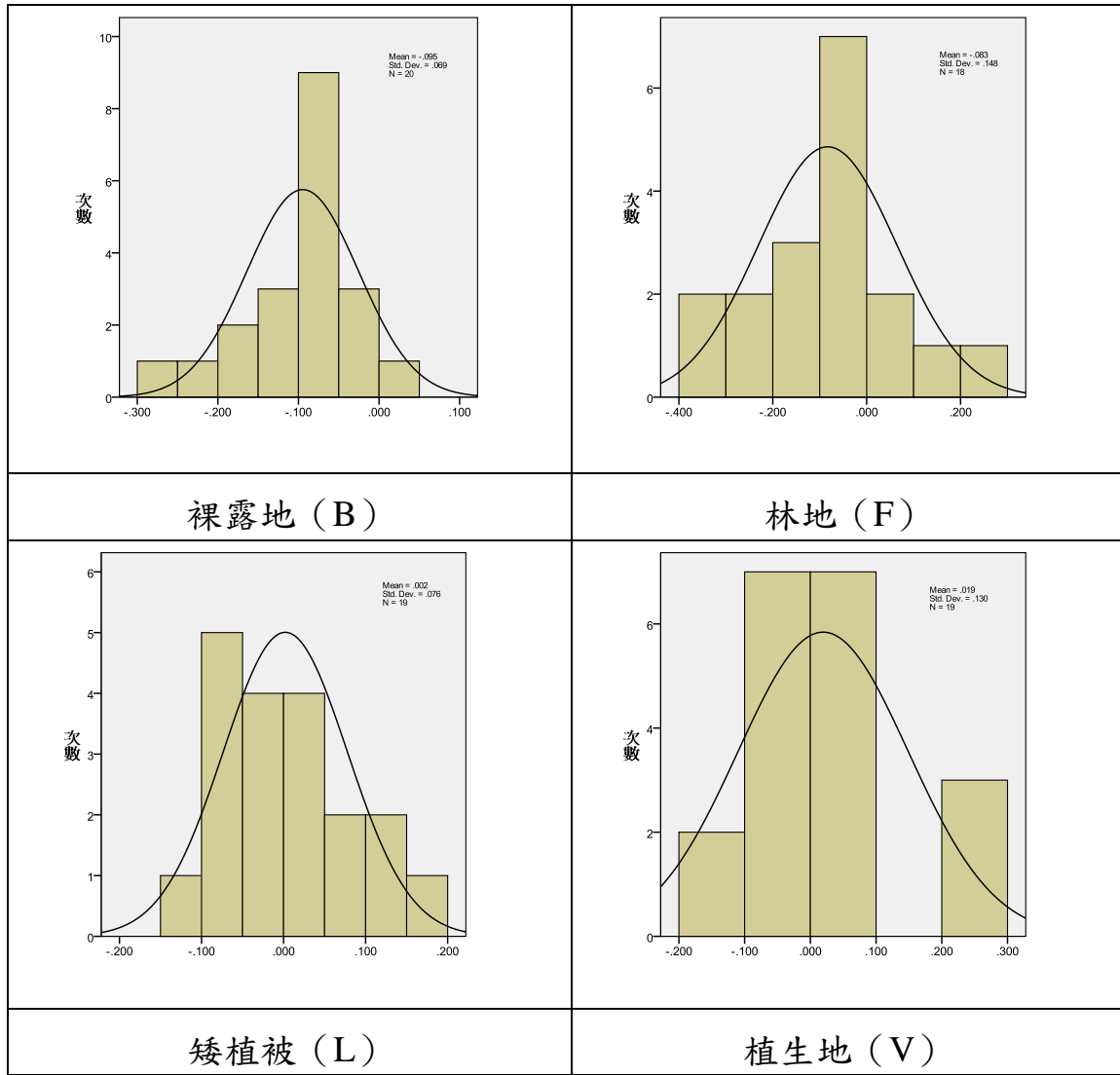


圖 5.10 火山區測試區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位：公尺)

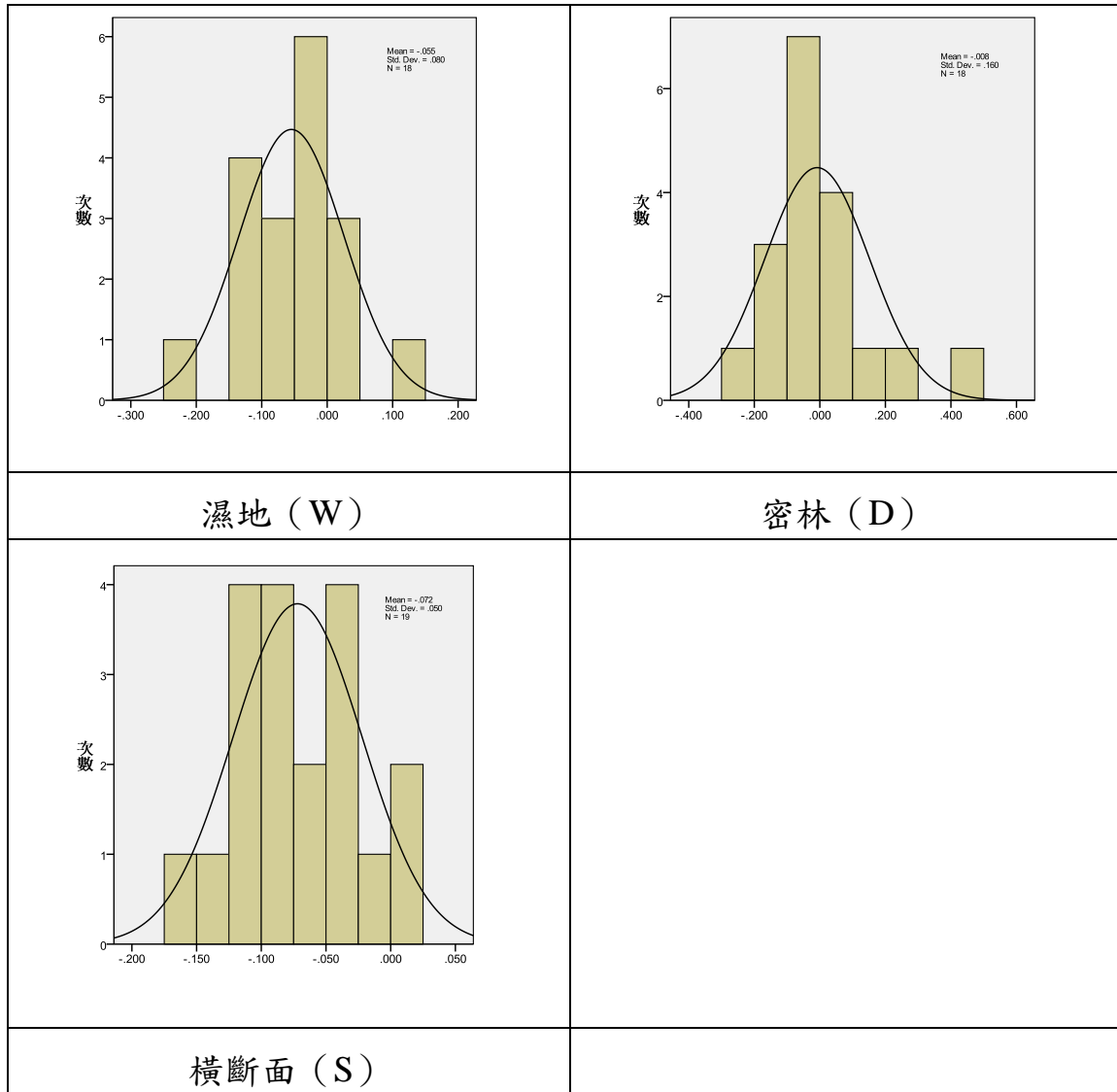


圖 5.10 火山區測試區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位：公尺)(續)

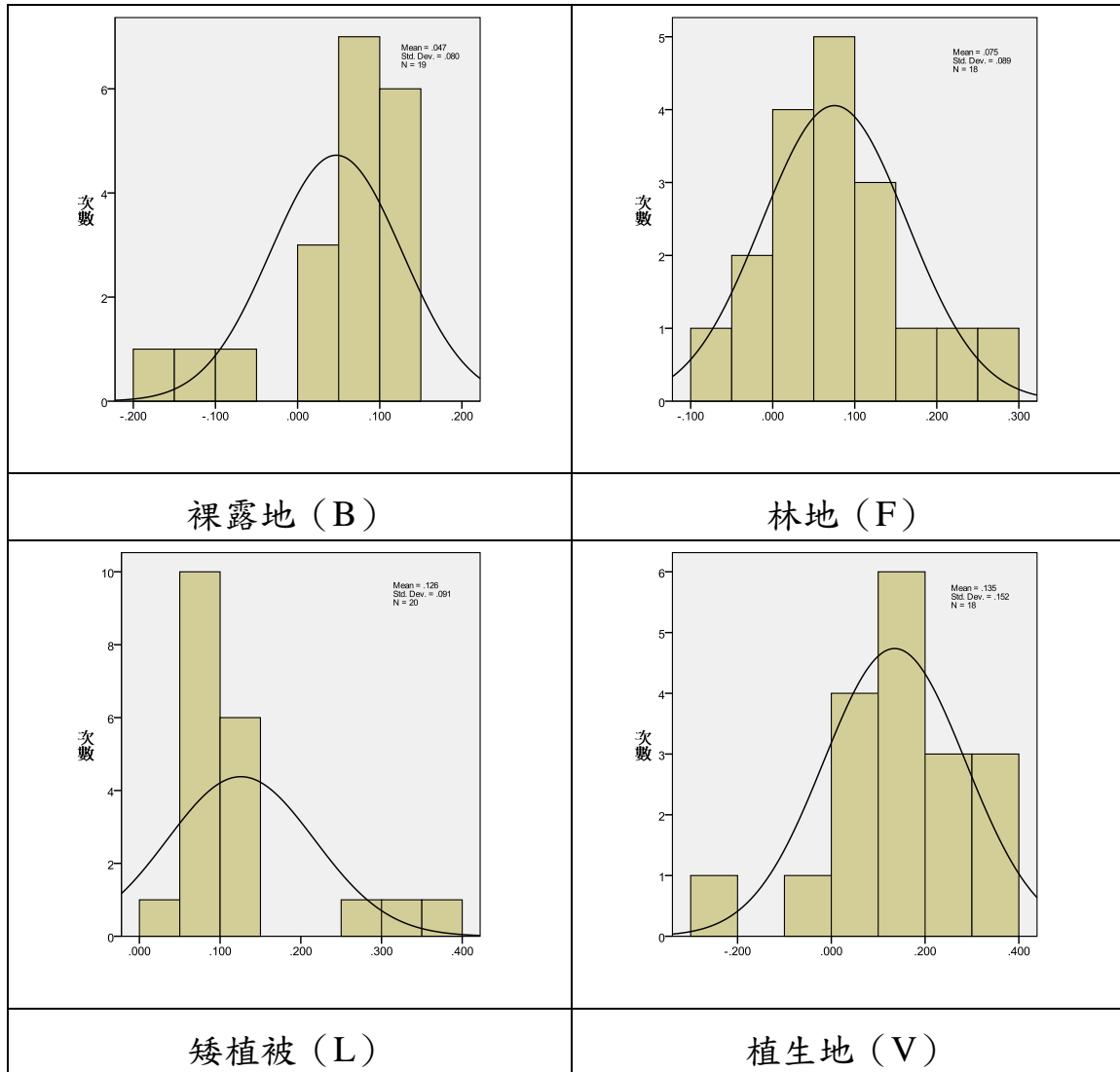


圖 5.11 水庫集水區 B 測試區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位：公尺)

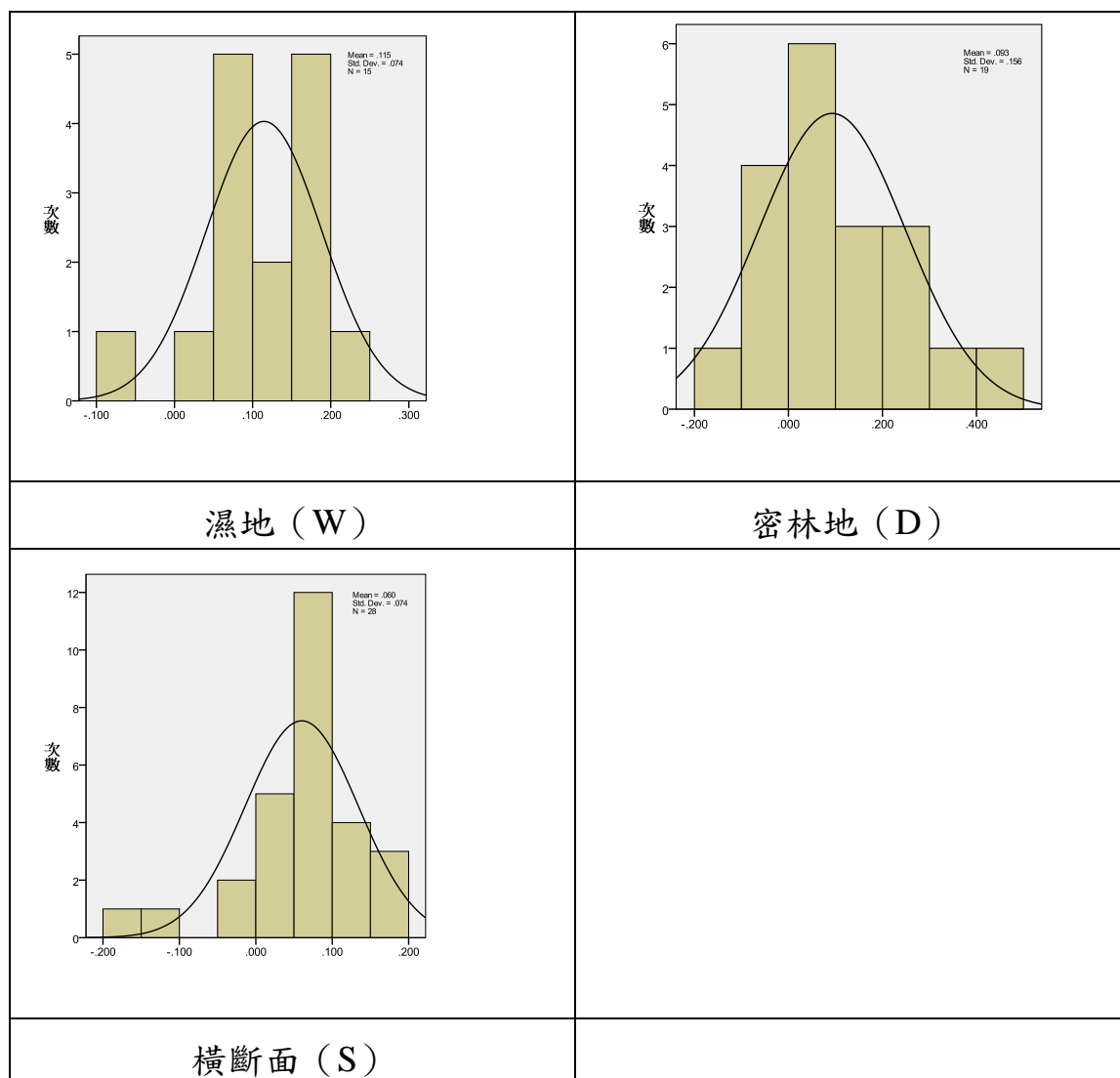


圖 5.11 水庫集水區 B 測試區之各土地覆蓋類型之直方圖(單位：公尺)(續)

4. 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 σ 為規範值， α 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 σ_c (若無理論值，則只得用估值)及被檢定值規範的中誤差 σ ，依誤差傳播計算差值標準偏差的理論值 σ_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：

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

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

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(σ_D^2)沒有太大顯著性差異。

根據卡方檢定結果(表 5.6)，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 5.6 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
火山測試區				
裸露地	0.00480411	0.3803	10.11701315	接受 H_0
林地	0.02183788	0.4664	8.67176033	接受 H_0
矮植被	0.00573465	0.3955	9.39045513	接受 H_0
植生地	0.01415867	1.2058	9.39045513	接受 H_0
濕地	0.00645459	0.4187	8.67176033	接受 H_0
密林	0.02570289	1.0469	8.67176033	接受 H_0
橫斷面	0.00250316	0.4871	9.39045513	接受 H_0
水集水區測試區				
裸露地	0.00643588	0.3580	9.39045513	接受 H_0
林地	0.00783998	0.2402	8.67176033	接受 H_0
矮植被	0.00830127	1.7794	10.11701315	接受 H_0
植生地	0.02298100	3.6256	8.67176033	接受 H_0
濕地	0.00551083	2.6059	6.57063146	接受 H_0
密林	0.02437416	2.5449	9.39045513	接受 H_0
橫斷面	0.00549139	1.4952	16.15139610	接受 H_0

5. 正高點地面檢核情形

採用測區內已知水準點做為 DEM 成果正高系統(TWVD2001)檢核

點，由於測區較小及災後點位損壞因素，計火山測區內共有 3 個點，集水區測區 1 個。根據正高點地面檢核成果可知(如表 5.7)，火山測區其平均高差和平均絕對高差為 0.151，檢核點中最大高差為 0.179，最小高差為 0.113；其次集水區測試區檢核點平均高差為 0.000。由於兩測區之正高地面檢核點過少(樣本數不足)，因此對於兩測區不做後續統計分析。通常 LiDAR 數值地型模型產出的部份，都是以橢球高為基準，因此本作業之比較只是在檢查大地起伏之誤差加上 DEM 之誤差，而 DEM 實際誤差精度已由上節分析所獲取。

另外，由於火山區的平均高差為 15 公分，亦可能跟此水準點埋設方式有關而導致差量存在。正高檢核點位置圖如圖 5.12。

表 5.7 DEM 正高系統地面檢核成果

測試區	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)
火山區	3	0.151	0.151	0.179	0.113
水庫集水區 -B 測試區	1	0.000			

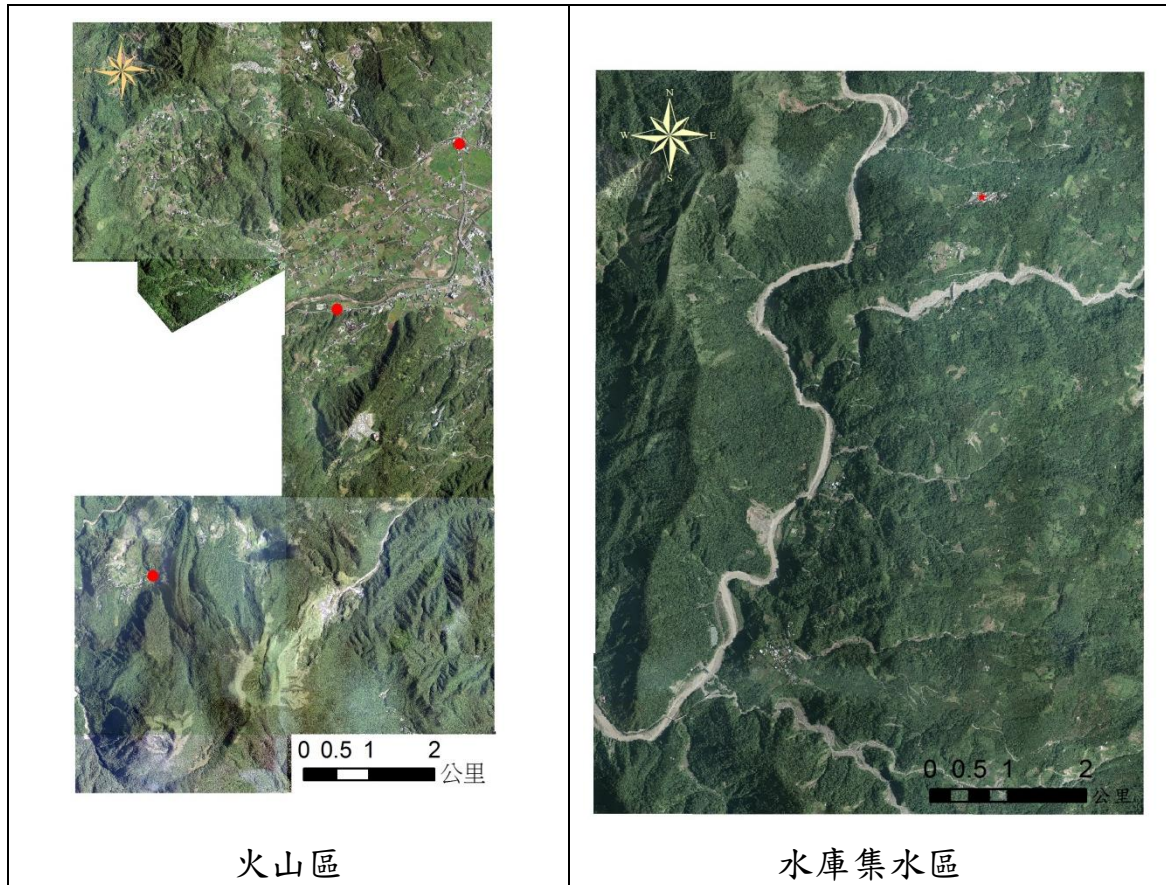


圖 5.12 正高檢核點位置圖

第6章 光達點雲資料、空載高光譜影像及多光譜衛星影像處理與應用分析成果

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，本研究延續上年度之研究方式於經由輻射校正後之數值再進行正規化，將其值域落於 $[0, 255]$ 之區間，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。以火山區測試區為例，點雲強度改正結果如圖 6.1 所列，依據各測試區的正射影像所對應之改正前後影像即可瞭解測試區境內其各地物的改正差異性。

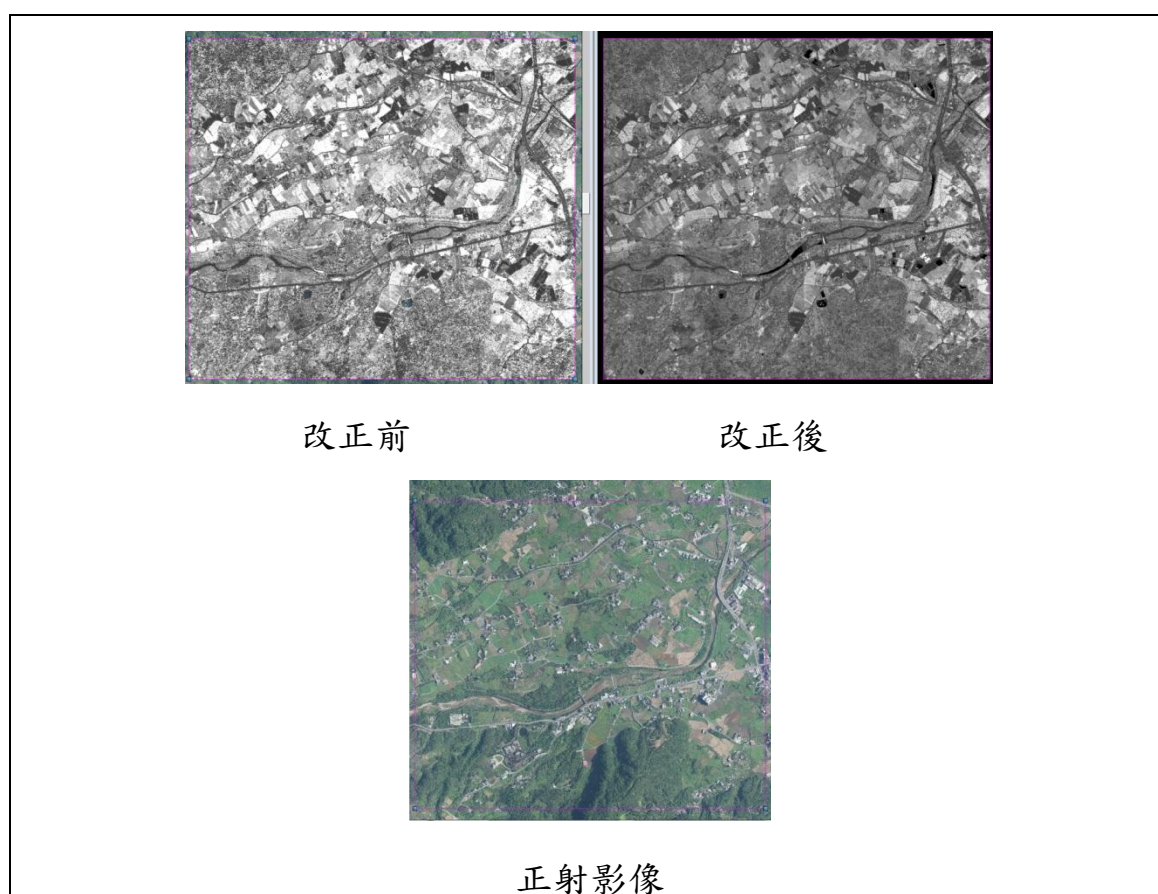


圖 6.1 光達點雲輻射校正之成果展示圖(以火山測試區為例)

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

本計畫之兩個測試區各別航帶經幾何校正後，依據飛航時間和坐標給予相對應的時間、飛航高度、場景座標。本案所選用模型參照表 6.1 所列，其模型的選擇則依據中央氣象局於一百零一年九月五日之基隆氣象站資料，自 10 時至下午 2 時逐時觀測之氣溫分別為 31.7°C、32.3°C、32.8°C、32.5°C、32.0°C，風速分別為 3.3 m/s、4.1 m/s、4.1 m/s、4.4 m/s、5.2 m/s，風向分別為東、東南、東南東、東南、南南東；竹子湖氣象站的氣溫自 10 時到下午 2 時逐時的觀測氣溫分別為 27.9°C、29.1°C、29.3°C、29.3°C、29.1°C，風速分別為 1.0 m/s、1.2 m/s、2.0 m/s、2.0 m/s、1.6 m/s，風向分別為東、南、南南西、南南西、南南西。一百零一年九月十三日嘉義氣象站之資料，自 10 時至下午 2 時逐時觀測，氣溫分別為 30.6°C、31.2°C、31.9°C、31.7°C、31.5°C，風速分別為 3.4 m/s、3.8 m/s、3.8 m/s、4.4 m/s、4.7 m/s，風向分別為北、北、北、北、北北西，因此分別選用 T(熱帶地區)和 MLS(中緯度夏天)為大氣模型。此外，考量到當時火山區測試區風向為東風，因此大氣凝膠的選擇為海洋環境，而水庫集水區則為鄉村。

能見度方面乃參考飛航情報，一百零一年九月五日施測當天松山機場的情報為 METAR RCSS 050200Z 08007KT 030V110 9999 FEW025 30/24 Q1008 NOSIG RMK A2979=，一百零一年九月十三日嘉義空軍基地的情報為 METAR RCKU 130530Z 29007KT 9999 FEW014 BKN025 33/26 Q1006 NOSIG RMK A2972=，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，故設為 40 km 良好。而水氣反演方面，採用對水氣反應較靈敏的 940 nm。二氧化碳濃度則根據 NOAA 在夏威夷的 Mauna Loa 觀測站觀測之 390

ppm (C. D. Keeling et al., 2001)(圖 6.2), 根據手冊建議額外增加 20 ppm, 設為 410 ppm。

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 適用於汙染嚴重的地區。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, 因此本研究採用 Scaled DISORT 散射模型。

表 6.1 本案所選用之演算模型

測試區	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
火山區	T	海洋環境	40 km	940 nm	410 ppm	Scaled DISORT
水庫集水區	MLS	鄉村	40 km			

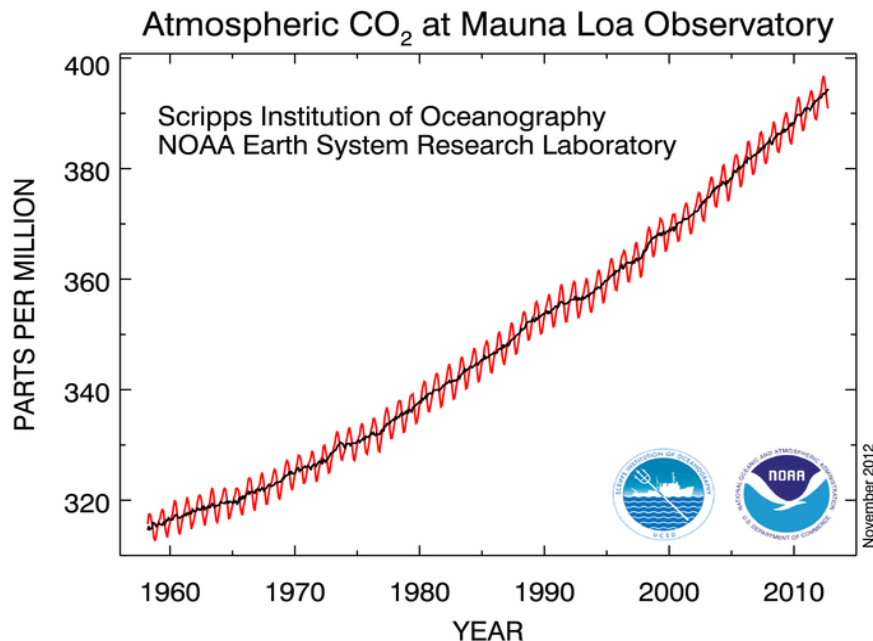


圖 6.2 NOAA 所觀測之近年二氧化碳濃度

依據本研究所選定模型，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。將上述所得到之飛航與高程資訊，匯輸入至 FLAASH 模組，結果顯示，FLAASH 根據本研究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。藉由地面光譜儀之採樣資料，即可對 FLAASH 大氣校正成果進行初步評估。圖 6.3 中紅色 Ground 為地面光譜儀採樣反射率；綠色 Image1、藍色 Image2 和橘色 Image3 為不同航帶 FLAASH 大氣校正之結果，可以發現在波長 700 nm 以下，反射率的差異隨波長的降低而增大。

此外，藉由對整張影像反射率的分布情形進行統計，來評估影像其它區域校正的成果。如圖 6.4 為影像反射率之累計分布，橫坐標為反射率，縱坐標為累計百分比，其中紅色為 406.1 nm，綠色為 415.7 nm，藍色為 425.3 nm，橘色為 434.9 nm，大氣校正反射率之累計分布於 406.1 ~ 434.9 nm 反射率，顯示反射率小於 5% 的影像佔總影像面積 99% 以上，且反射率出現負值。此外在圖 6.5 中，於陰影地區亦出現反射率仍為負值的同樣問題。

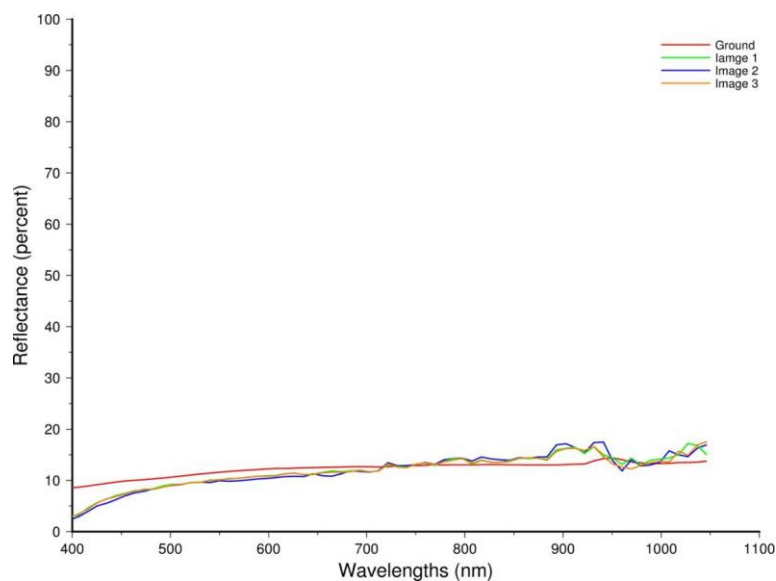


圖 6.3 地面光譜儀採樣和不同航帶之 FLAASH 大氣校正結果之比較圖
(紅色：地面光譜儀採樣反射率，其餘顏色代表不同航帶)

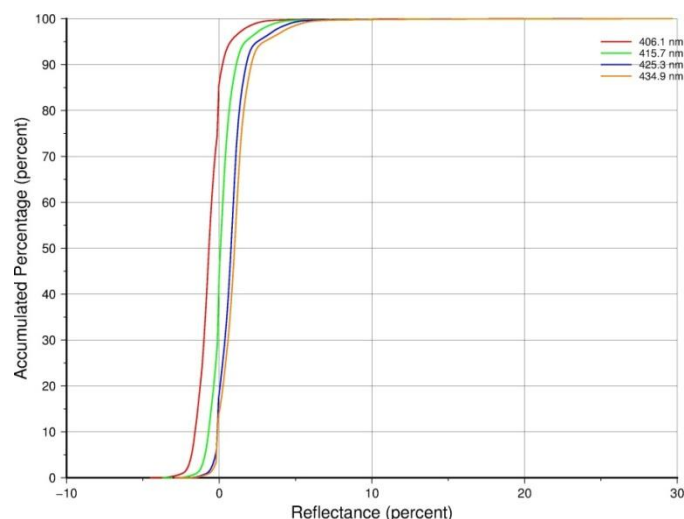


圖 6.4 影像反射率之累計分布圖(X 軸：反射率，Y 軸：累計百分比。
各顏色分別代表不同波長)

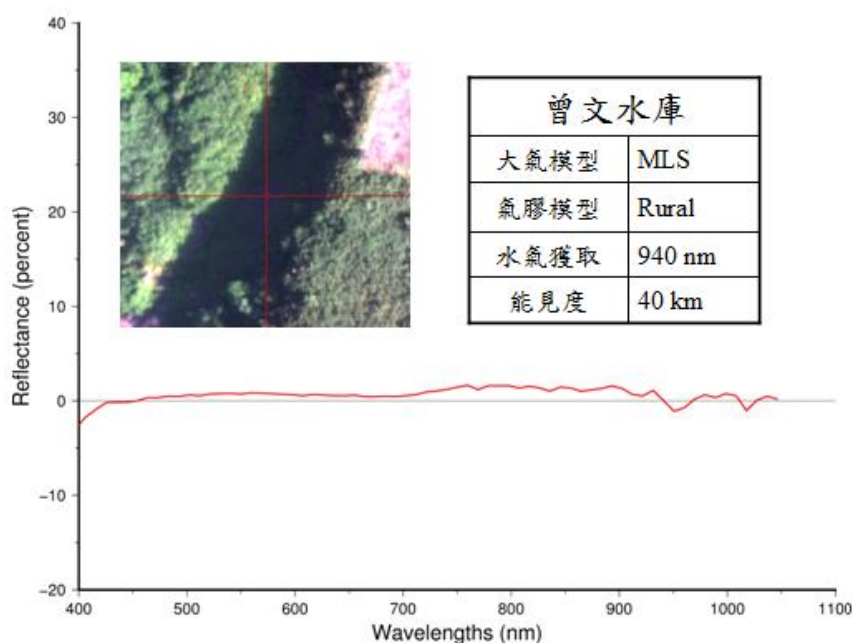


圖 6.5 FLAASH 於陰影地區之不同波段反射率分布情形(以水庫集水區
-B 測試區為例)

雖然藉由水氣反演之功能能減少水氣含量模型差異所造成的誤差，但受限 FLAASH 大氣模型和氣膠模型種類有限，導致大氣校正成果出現許多不合理數值，且無法很好的對應地面光譜儀結果。因此，再次利用經驗線法則進行兩測試區之大氣校正，以比較兩種方法之校正成

效。

2. 利用經驗線法則進行大氣校正

根據同步採樣之原則，進行光譜採樣時，各航帶需盡量分配地面連結點，並考量飛航同步的時間限制與實際採樣路程的方便性，故於同步點之規劃，南北兩測區同步點位置分布如圖 6.6 所示。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、遮蔽等情況，最後保留火山測試區共 15 處同步點、水庫集水區-B 測試區共 13 處同步點。

南北測區光譜同步點分佈圖

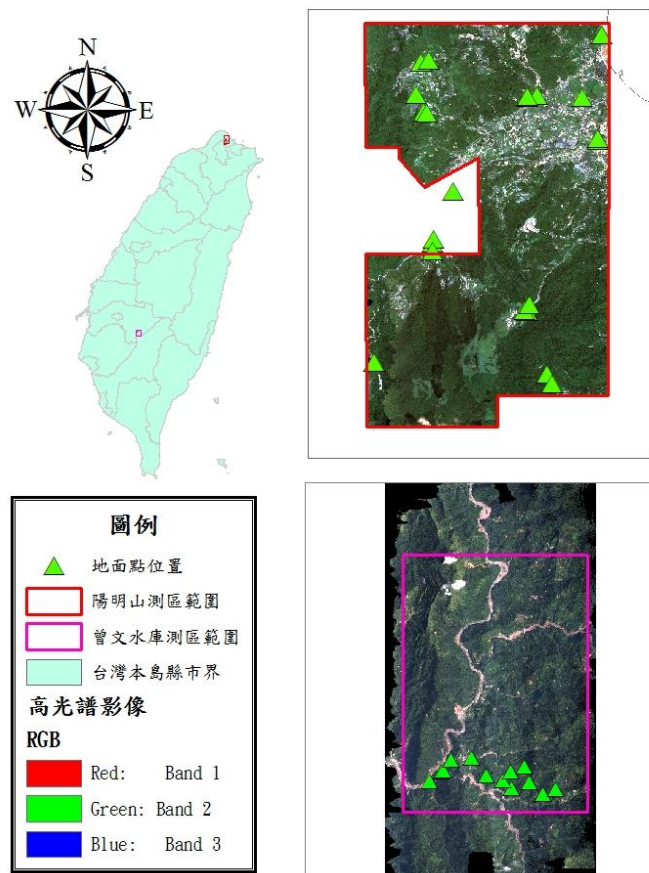


圖 6.6 地面光譜儀同步採樣點之位置分佈圖

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。實際採樣情況則舉例於表 6.2 說明。

表 6.2 光譜樣本之明暗鋪面示意圖

	火山區測試區	水庫集水區-B測試區
瀝青鋪面		
水泥鋪面		

根據式 3.3，經驗式迴歸線由地表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，因此在兩測試區中，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，可先將較離散的點移除，保留迴歸線適用的點位，但為了避免僅使用低反射率鋪面進行迴歸造成外差的情況，即使高反射率鋪面點數量較少仍有保留之必要，如圖 6.7 之點位 S13。因此透過圖 6.7 可瞭解，迴歸線之右上頂端的點位為(如

YM05、YM47、S13 等)為實際情況較明亮、反射率較高之地物，而迴歸線之左圖下末端(如 YM07、S10、S12 等)方為較暗、反射率較低的地物。透過上述挑選地面點之方法，建立兩測區之經驗式迴歸線。

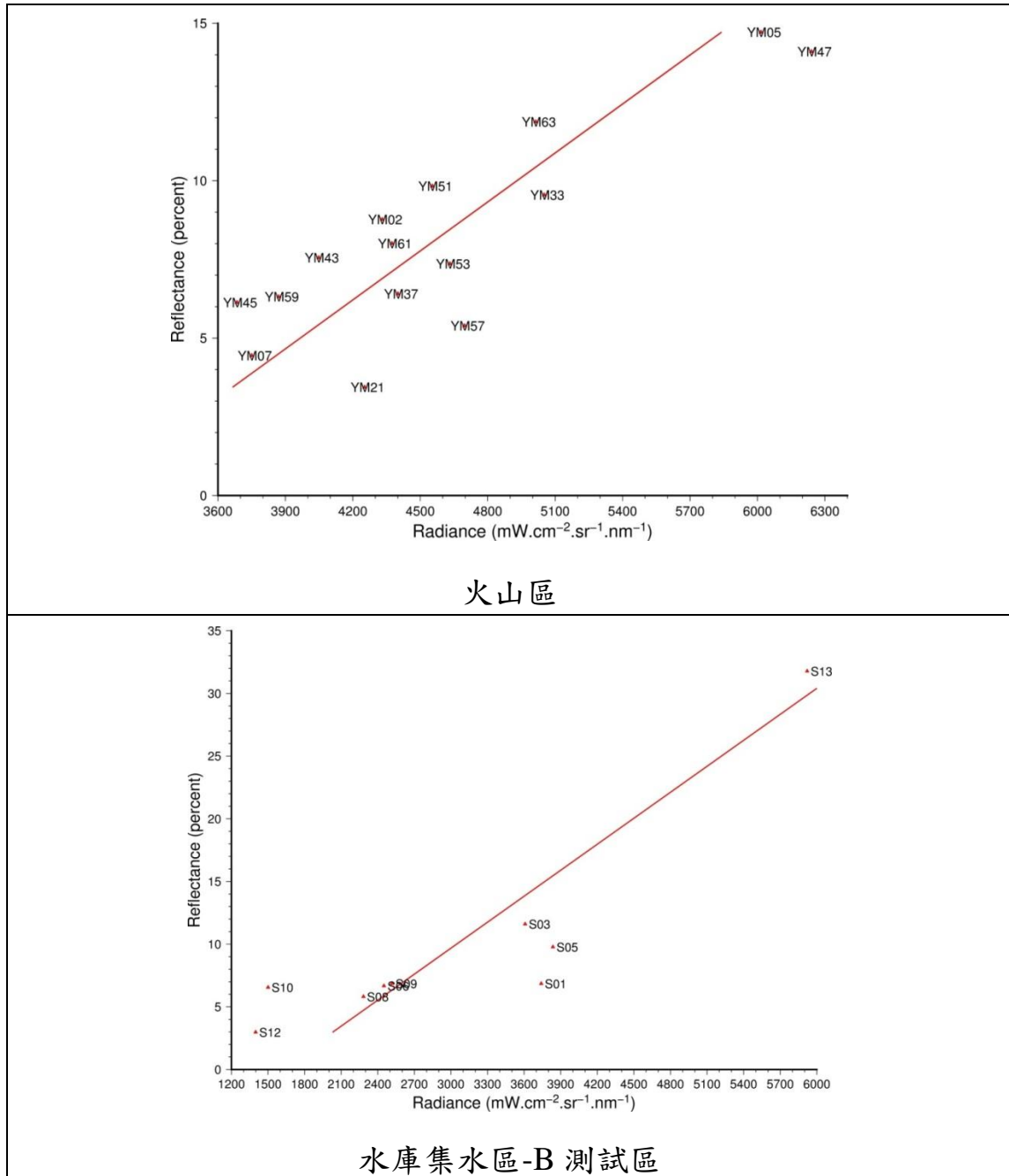


圖 6.7 兩測試區之經驗式迴歸線

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。表 6.3

將以 463.7 nm、549.9 nm、635.8 nm 以及 864.65 nm 四個波段之經驗線改正參數作為改正範例說明。

表 6.3 本案兩測試區之經驗線改正參數

測試區	波段	線性轉換方程式	R ²
火山區	波段11 (463.7nm, rows 245-248)	0.0031 X+(-6.7807)	0.7611
	波段20 (549.9nm, rows 209-212)	0.0032X+ (-6.6824)	0.7934
	波段29 (635.8nm, rows 173-176)	0.0033X+ (-6.0024)	0.7769
	波段53 (864.6nm, rows 77-80)	0.0052X+ (-7.588)	0.8202
水庫 集水區	波段11 (463.7nm, rows 245-248)	0.005883X+ (-7.07)	0.7419
	波段20 (549.9nm, rows 209-212)	0.005506X+ (-6.02)	0.7961
	波段29 (635.8nm, rows 173-176)	0.005676X+ (-4.33)	0.8099
	波段53 (864.6nm, rows 77-80)	0.00665X+ (5.88)	0.8487

兩測區本報告所建立之經驗式大氣校正反算關係係以，瀝青鋪面為暗色的代表、水泥鋪面為亮色的代表。由上表之改正參數成果可知，經驗線 R² 均為 0.7 以上。

3. FLAASH 與經驗式之大氣校正成果比較

兩測區各進行了 FLAASH 與經驗式之大氣校正，以植被作為比較對象，兩者均在 550 nm 及 700 nm 均有反射率增加的趨勢。根據圖 6.8 經驗式(ELC)與 FLAASH 於植被的結果比較，可以發現 FLAASH 在 500 nm 以下結果為負值或趨近於零。

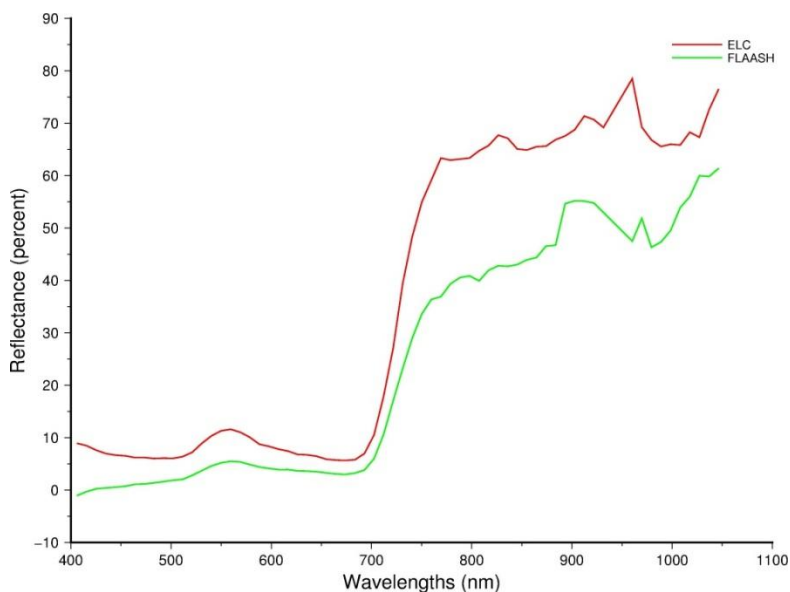


圖 6.8 經驗式 (ELC) 與 FLAASH 於植被的結果比較，可以發現 FLAASH 在 500 nm 以下結果為負值或趨近於零。

若針對整張影像進行統計(圖 6.9)，在 406.1 nm 反射率為負值者超過 40%。因此在本案中採用經驗式進行大氣校正。

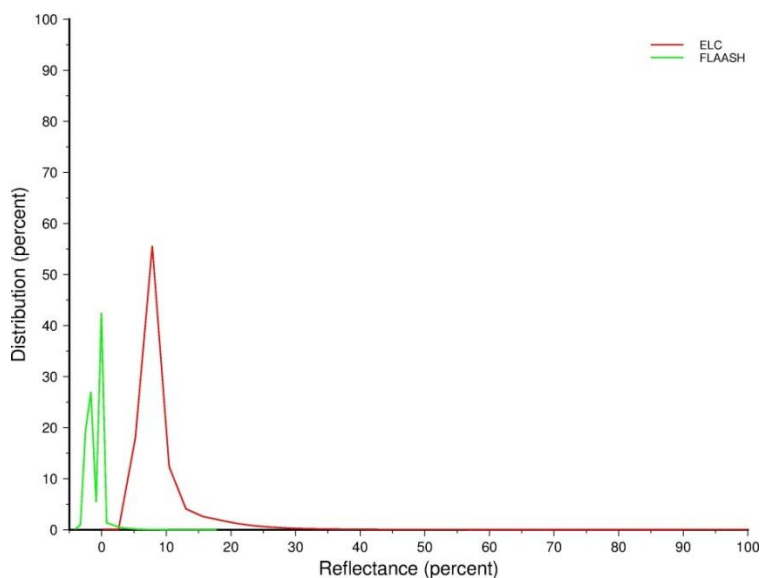


圖 6.9 經驗式 (ELC) 與 FLAASH 在 406.1 nm 反射率的分布統計，反射率負值比例超過 40%。

經驗式大氣校正原理為將影像 DN 值對應到地面反射率，其成果和地面採樣點位的規劃有直接的關聯，雖本案迴歸線 R 均在 0.72 以上，

但在圖 6.7、圖 6.8 仍可發現有部分採樣點偏離迴歸線。因此在樣本點選取上，未來需應可事先規劃一組標準野外光譜採樣的流程，在採樣的過程中，也要盡量排除與降低可能影響目的物反射率之因素(例如：天光忽明忽暗、週遭遮蔽物等)。另外，除了低反射率和高反射率的鋪面進行線性迴歸外，或許更可將植物做為採樣時考慮的樣本，以提高經驗式迴歸時的可靠度。

而 FLAASH 大氣校正原理為輻射傳輸模型，其成果直接和大氣模型及和輻射傳輸的長度有關，由於不平坦表面亦會影響到反射時的輻照度，因此在複雜地形區域，地形亦扮演一個很重要關鍵影響因子的角色。在本案中，儀器離地高為 1500 m，然而地形起伏可由集水區沙力基溪河谷 300 m 至其分水嶺之 1000 m，700 m 的輻射傳輸路徑長度差異可達儀器離地高之 50%，此外還需加上坡度問題。本研究在進行 FLAASH 大氣校正過程中，由於模組之限制，導致這些需考慮之參數無法匯入模組(此為研究限制)，案執行過程中認為由於 FLAASH 均未考慮這些因素的影響，因此致使出現不合理如負值的數據，關於此影響因素，未來將嘗試使用不同軟體繼續進行大氣校正，以比較不同之結果，並將此意見回饋與 ENVI 原廠，期望能得到國外原廠之解決辦法。最後並整理經驗式大氣校正與 FLAASH 大氣校正的之主要差異，呈列於表 6.4。

表 6.4 經驗式大氣校正與 FLAASH 大氣校正比較

	經驗線法則	FLAASH 大氣校正模型
大氣校正模型之原理	線性迴歸	輻射傳輸模型
大氣資訊	不需要	由大氣條件選擇模型
飛航資訊	不需要	時間、地點
地面採樣	須事前規劃	不需要

6-3 高光譜與全波形光達資料融合技術試驗

6-3.1 空載光達點雲數據之波形重建

本研究以空載光達之波形資料以 1 m×1 m 面積進行取樣，計算該面積內之平均光達強度值，藉由網格式資料呈現不同地物的波形資訊，並根據各測區覆蓋之土地利用類別，瞭解其波形反應的特性。本研究參考國土利用分類圖、以及本次拍攝之正射影像、高光譜影像圈選測試區境內之土地使用類別。其類別項目分別為水體、森林、茶園、草地、裸露地、建地、檳榔、稻作、旱作以及廢耕地，並亦選擇火山測區現地調查之岩性位置，各類別均為 30 個樣本。圖 6.10 所展繪之成果為各地物樣本之地物影像與光達回波波形圖的平均值與標準差。

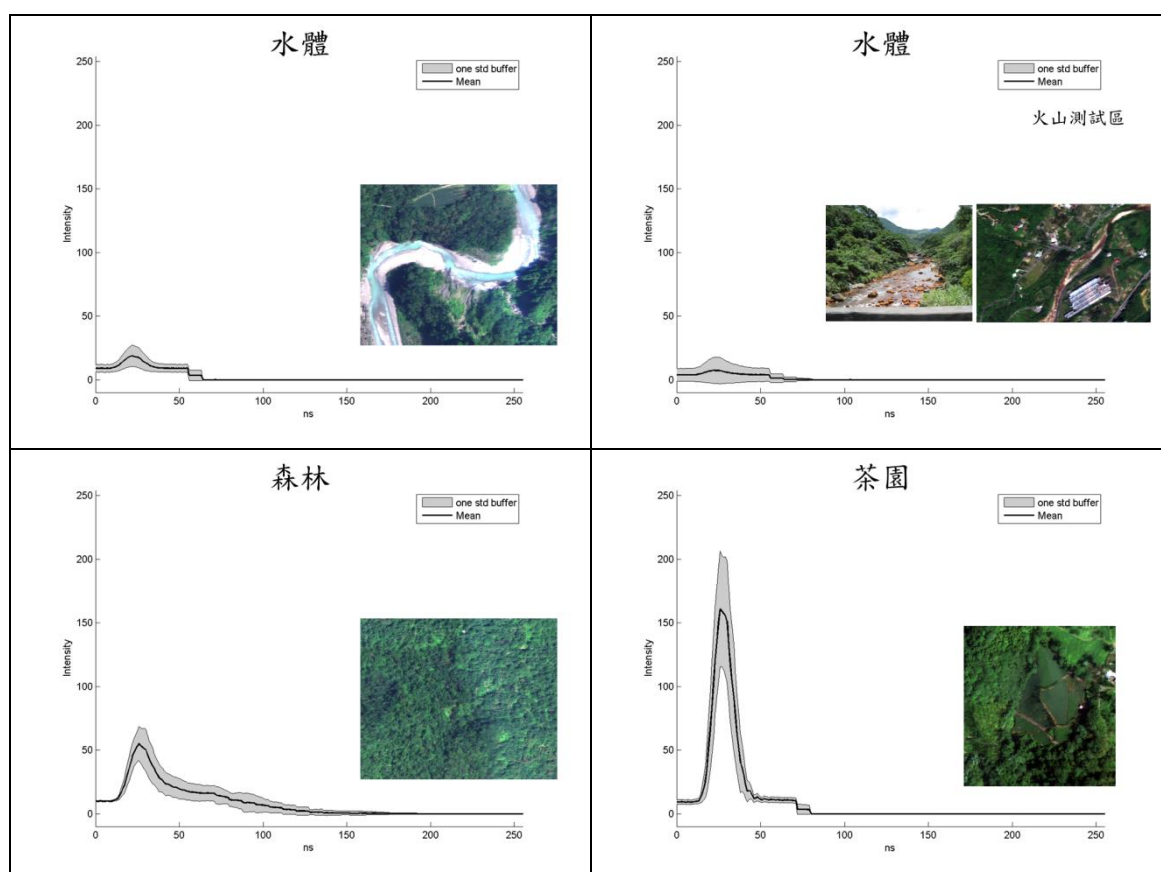


圖 6.10 各土地利用類別之全波形資料

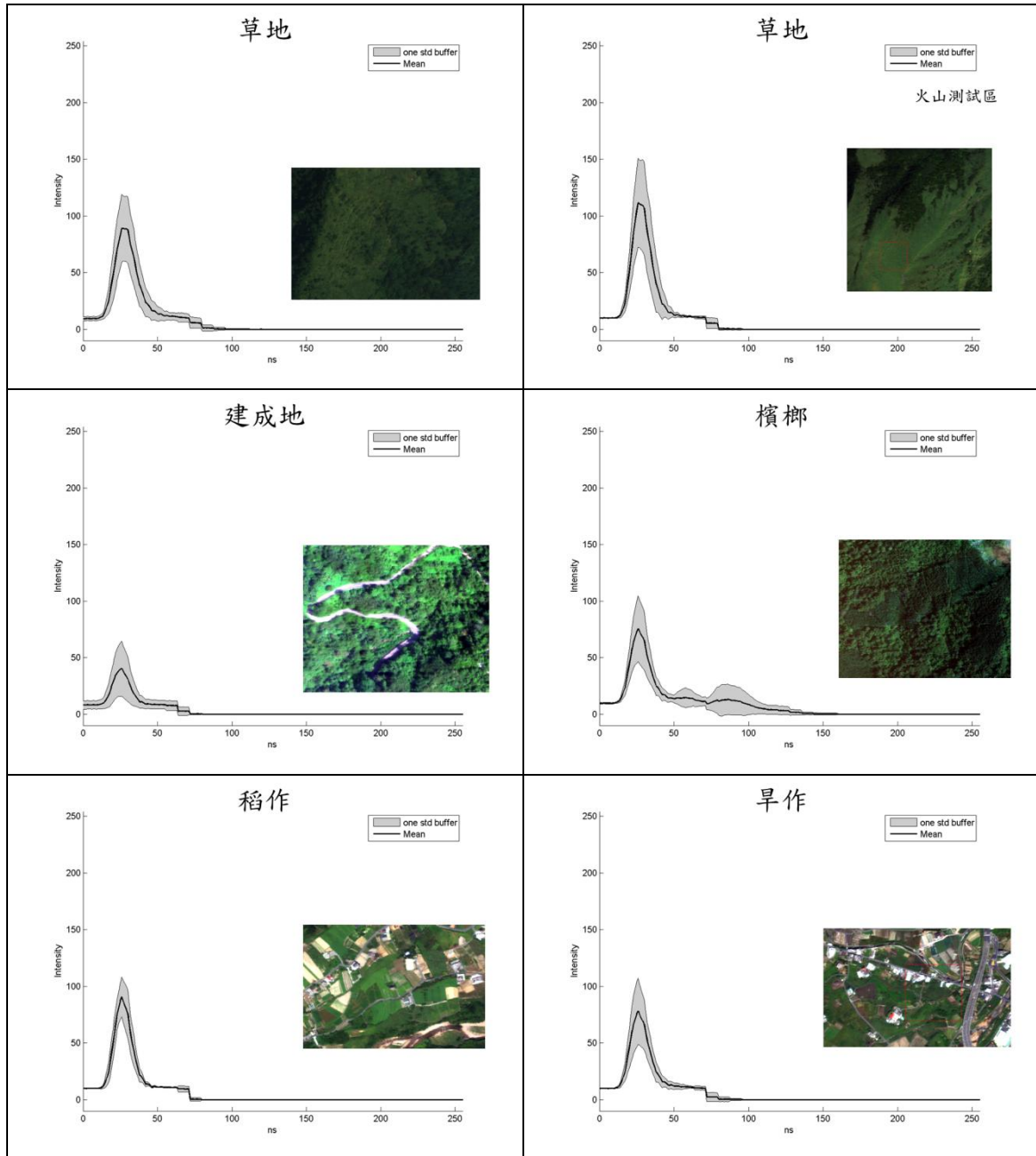


圖 6.10 各土地利用類別之全波形資料(續)

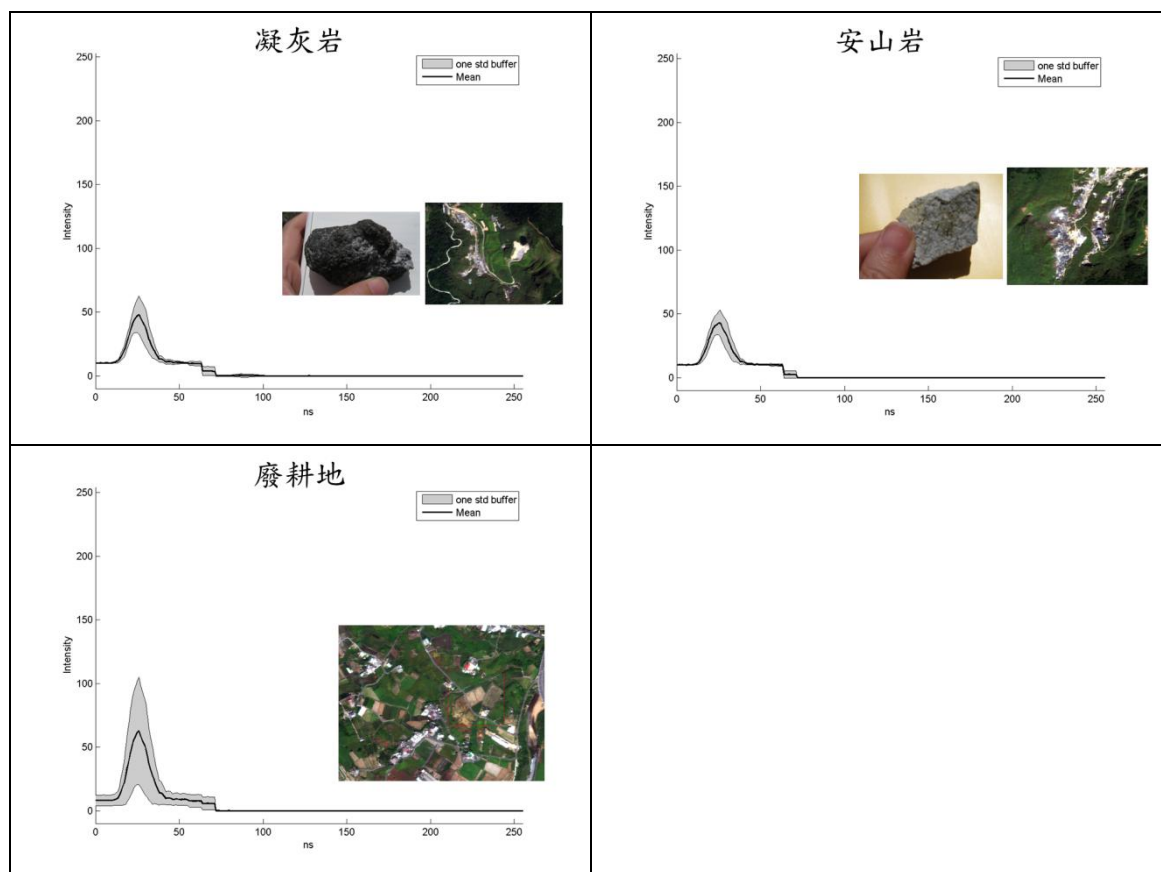


圖 6.10 各土地利用類別之全波形資料(續)

6-3.2 影像融合

將高光譜影像與光達回波影像分別進行 MNF 與 PCA 轉換運算，所計算之影像因子負荷量可用以解釋各成分間之權重值，並獲得各成分軸的特徵值(Eigenvalue)(圖 6.11)。除了針對特徵值篩選自相關度高的成份軸，利用影像解釋率(Contribution) (表 6.5)也可作為篩選的條件之一，因此本研究即以影像解釋作為首要篩選原則。然而，為避免遺漏其他低特徵值但成份軸影像良好的影像(圖 6.12)，因此各自再針對高光譜影像與光達回波影像以逐一過濾方式挑選較佳的主成份軸。經篩選後，水庫集水區與火山區之高光譜影像係保留了 8 個及 7 個成份軸，影像解釋率(Contribution)各約為 95.7%及 93.6%，而光達回波影像則均保留 7 個成份軸，解釋率約為 96.1%與 97.0%。

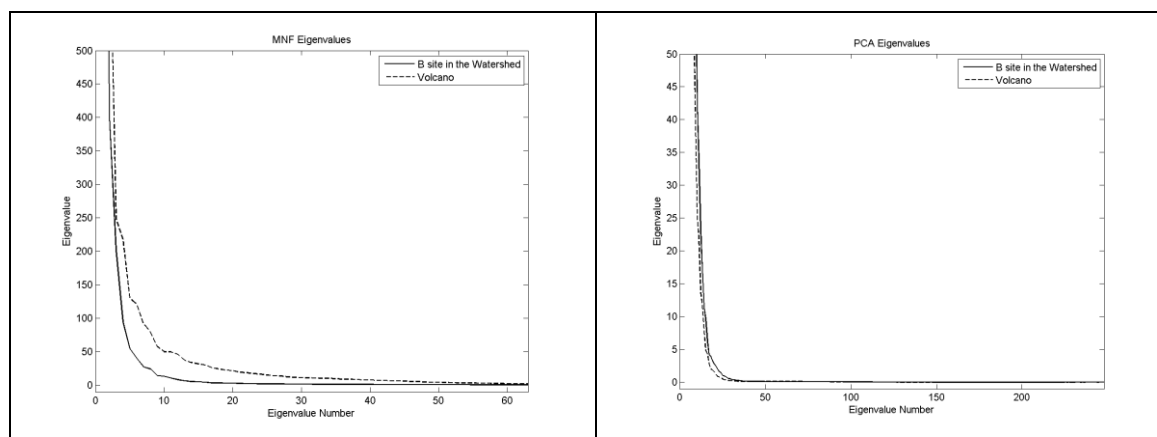


圖 6.11 高光譜影像(左)與光達回波強度(右)之因子陡坡圖

表 6.5 利用 MNF 之影像解釋率篩選轉換後的高光譜影像成份軸(粗體部分即為篩選的成份軸)

watershed(B site)-Hyperspectra image(MNF)				Volcano-Hyperspectra image(MNF)			
PC	Eigen value	Contribution	Cumulative Contribution	PC	Eigen value	Contribution	Cumulative Contribution
1	2752.210	73.784	73.78	1	14323.502	85.626	85.63
2	401.658	10.768	84.55	2	743.381	4.444	90.07
3	202.055	5.417	89.97	3	249.073	1.489	91.56
4	94.497	2.533	92.50	4	217.559	1.301	92.86
5	54.806	1.469	93.97	5	129.863	0.776	93.64
6	40.292	1.080	95.05	6	120.915	0.723	94.36
7	27.240	0.730	95.78	7	91.981	0.550	94.91
8	24.331	0.652	96.43	8	79.705	0.476	95.39
9	14.281	0.383	96.82	9	57.542	0.344	95.73
10	13.461	0.361	97.18	10	50.039	0.299	96.03
11	10.694	0.287	97.46	11	49.887	0.298	96.33
12	8.196	0.220	97.68	12	46.012	0.275	96.60
13	6.467	0.173	97.86	13	37.303	0.223	96.82
14	5.403	0.145	98.00	14	33.853	0.202	97.03
15	5.207	0.140	98.14	15	31.792	0.190	97.22
16	4.404	0.118	98.26	16	30.114	0.180	97.40
17	3.541	0.095	98.36	17	26.018	0.156	97.55
18	3.279	0.088	98.44	18	24.105	0.144	97.70
19	3.167	0.085	98.53	19	22.472	0.134	97.83
Contribution of the select PC axes			95.65	Contribution of the select PC axes			93.64

表 6.5 利用 PCA 之影像解釋率篩選轉換後的光達回波強度影像成份軸
(粗體部分即為篩選的成份軸)

watershed(B site)-Lidar(PCA)				Volcano-Lidar(PCA)			
PC	Eigen value	Contribution	Cumulative Contribution	PC	Eigen value	Contribution	Cumulative Contribution
1	12028.768	70.225	70.22	1	9133.365	66.905	66.91
2	1921.094	11.216	81.44	2	2326.178	17.040	83.95
3	1464.217	8.548	89.99	3	1082.035	7.926	91.87
4	722.770	4.220	94.21	4	478.043	3.502	95.37
5	316.700	1.849	96.06	5	218.203	1.598	96.97
6	206.545	1.206	97.26	6	127.755	0.936	97.91
7	138.554	0.809	98.07	7	78.543	0.575	98.48
8	84.731	0.495	98.57	8	56.692	0.415	98.90
9	65.397	0.382	98.95	9	39.240	0.287	99.19
10	42.242	0.247	99.20	10	24.849	0.182	99.37
11	33.879	0.198	99.40	11	22.069	0.162	99.53
12	23.289	0.136	99.53	12	13.661	0.100	99.63
13	17.322	0.101	99.63	13	11.770	0.086	99.72
14	11.401	0.067	99.70	14	7.766	0.057	99.77
15	9.762	0.057	99.75	15	4.962	0.036	99.81
16	6.199	0.036	99.79	16	4.282	0.031	99.84
17	4.199	0.025	99.81	17	2.809	0.021	99.86
18	3.903	0.023	99.84	18	2.014	0.015	99.88
19	3.320	0.019	99.86	19	1.812	0.013	99.89
20	2.792	0.016	99.87	20	1.586	0.012	99.90
21	2.406	0.014	99.89	21	1.161	0.009	99.91
22	1.925	0.011	99.90	22	0.853	0.006	99.92
23	1.598	0.009	99.90	23	0.803	0.006	99.92
24	1.384	0.008	99.92	24	0.647	0.005	99.93
25	1.041	0.006	99.92	25	0.481	0.004	99.93
Contribution of the select PC axes			96.09	Contribution of the select PC axes			97.01

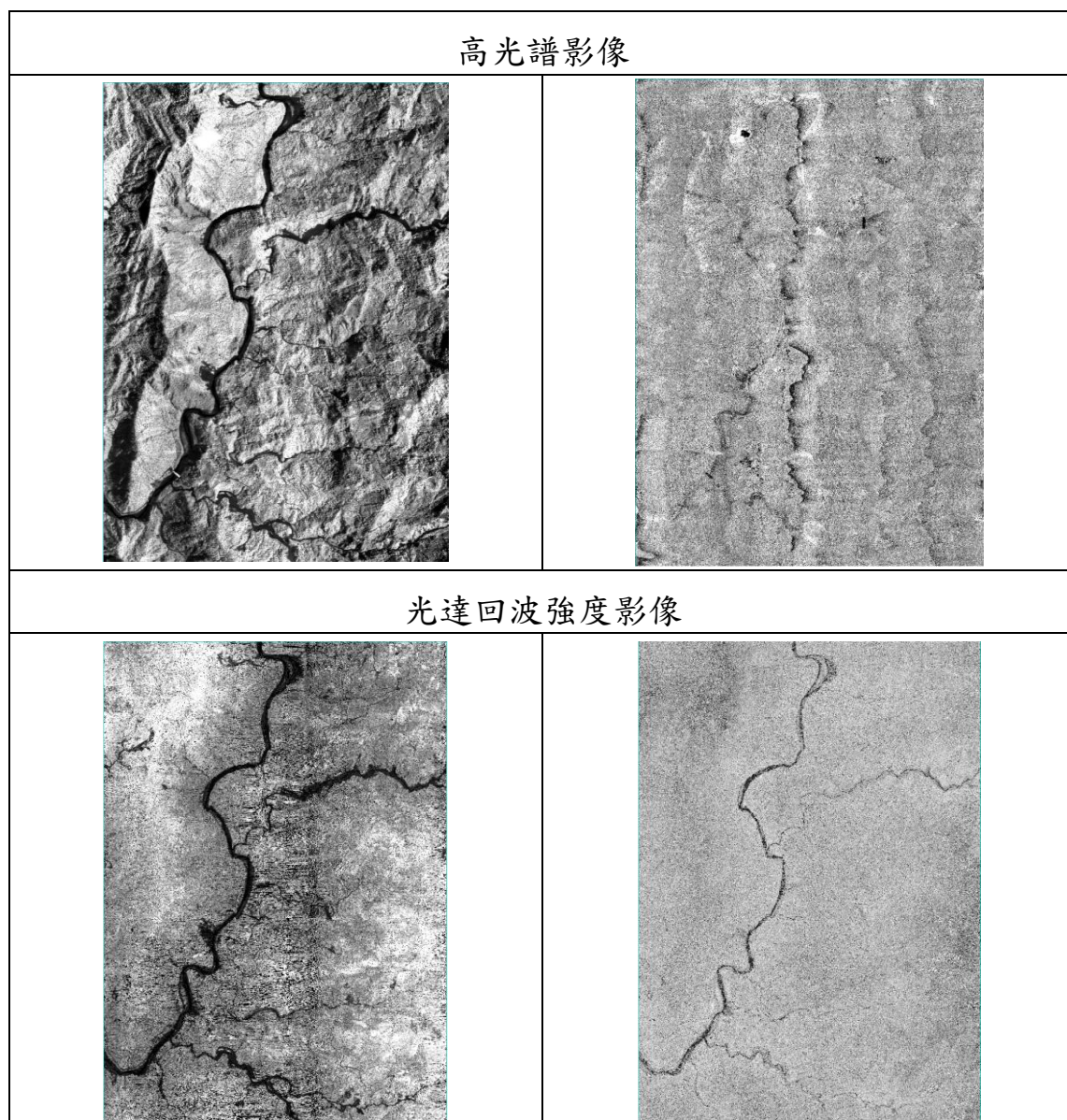


圖 6.12 經轉換後之良好(左)與不良(右)成份軸影像範例(以集水區水庫為例)

透過上述的篩選結果即各別可獲得兩個測試區的重組後影像，故再將其以 PCA 進行轉換後，則完成高光譜影像與全波形光達資料之融合影像。

6-3.3 融合成果精度分析評估

高光譜影像與全波形光達資料進行融合影像之評估方法，首先分別對高光譜影像與融合影像以相同訓練樣區進行監督式分類判釋，並

由正射影像選擇相同檢核點以評估分類影像之準確性。本計畫主要以水庫集水區-B 測試區為分析對象，參考非點源污染輸出係數表所需之土地利用類別(森林、茶園、草地、裸露地、建地、檳榔園、水體)，並包含雲體與陰影共九類進行判釋。

1. 高光譜影像判釋與分類精度

高光譜影像經監督式分類處理後，依據每種分類別(排除雲體及陰影)，以七大分類各隨機產生 60 個地真檢核點，以逐點方式人工判釋該像元點之類別，共 420 個檢核點位置，並與分類結果產生 Kappa 統計值，其各類分類精度檢核如表 6.6，分類成果圖如圖 6.13。

表 6.6 水庫集水區-B 測試區之高光譜影像分類精度檢核表

分類	地真總數	分類檢核數	正確分類數	生產者精度	使用者精度
水體	60	40	39	65.00%	97.50%
森林	60	94	58	96.67%	60.42%
茶園	60	43	42	70.00%	97.67%
草地	60	57	54	90.00%	96.43%
裸露地	60	91	57	95.00%	63.33%
建地	60	48	44	73.33%	91.67%
檳榔園	60	47	46	76.67%	97.87%
總計	420	420	340		
整體精度：80.95%				Kappa 值：0.77	

將較於高光譜影像，多光譜影像之空間與光譜解析力則較低，使得植生地區無法確切地區分森林與人為栽種的茶園及檳榔，因而採用較多光譜波段數之高光譜影像執行土地使用類別判釋。而由本研究之成果亦顯示，高光譜確實能夠提升地物之分類項目。雖然高光譜影像有利於提升土地分類的分類層級，但由精度矩陣表(表 6.7)也發現高光

譜分類成果中，裸露地與建地仍有被互相誤判的情況。

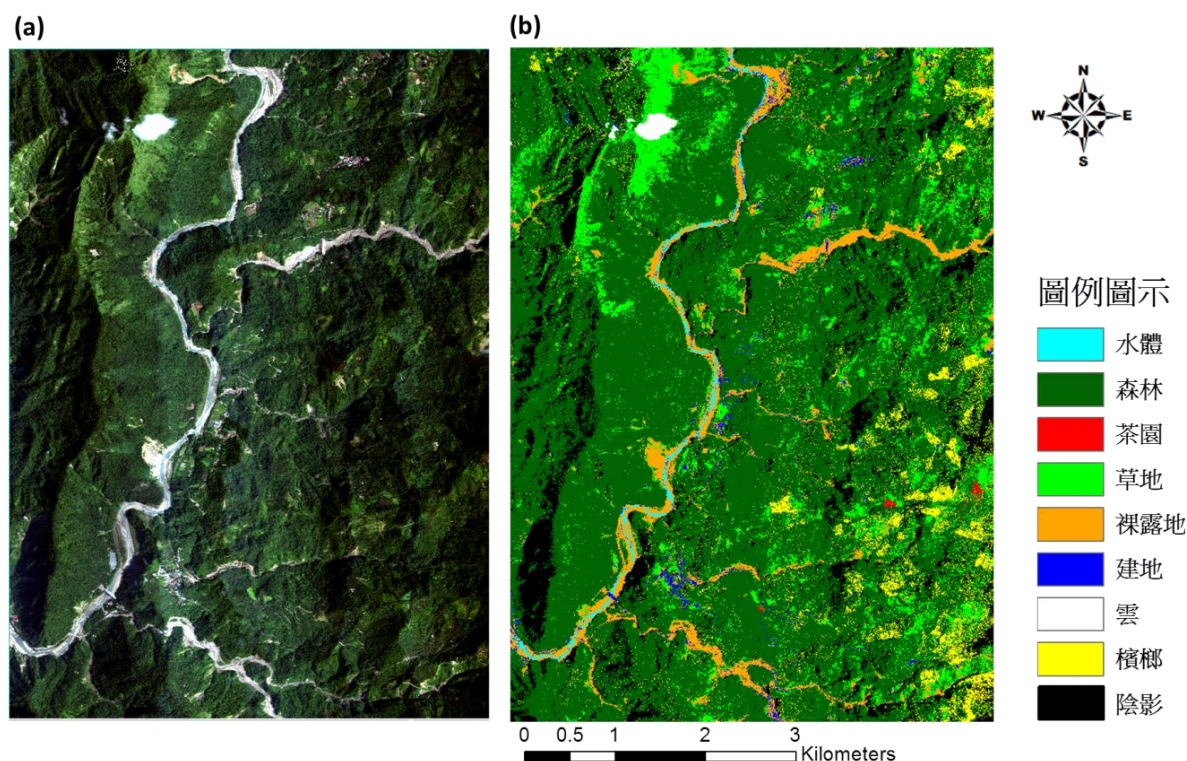


圖 6.13 2012 年水庫集水區-B 高光譜影像(左)，及其土地使用分類判釋成果(右)

表 6.7 水庫集水區-B 測試區之高光譜影像分類精度矩陣

		參考資料(地面真實資料)							
		水體	森林	茶園	草地	裸露地	建地	檳榔園	總計
分類 成果	水體	39	0	0	0	1	0	0	40
	森林	0	58	18	5	1	0	14	96
	茶園	0	0	42	1	0	0	0	43
	草地	0	2	0	54	0	0	0	56
	裸露地	17	0	0	0	57	16	0	90
	建地	3	0	0	0	1	44	0	48
	檳榔園	1	0	0	0	0	0	46	47
	總計	60	60	60	60	60	60	60	420

針對檢核分類錯誤的地區對照正射影像後發現，錯誤地區多為其他地物的分類交界邊緣，如茶園與森林之交界處、行水區與河岸兩側之淺灘。因此，若與多光譜影像相比，高光譜影像是較有利於土地利用的分類。

2. 融合影像判釋與分類精度

經由上述已證實高光譜影像在不考慮降維度之前提下，可提供更多光譜資訊協助土地利用的分類。然而在縮減影像維度之後，是否能仍保有高光譜影像與光達資料的資料優勢則是以下評估分析所需要瞭解的。圖 6.14 為融合影像以監督式分類的分類成果，精度檢核成果如表 6.8。

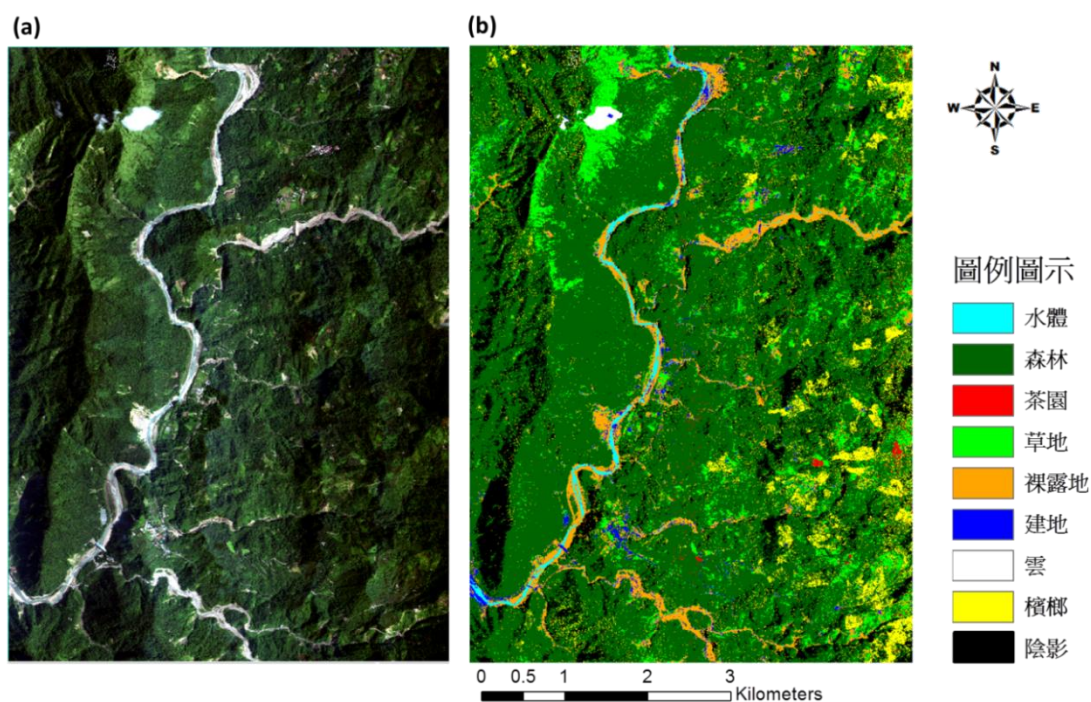


圖 6.14 2012 年水庫集水區-B 高光譜影像(左)，及融合影像之分類判釋成果(右)

目視分類後影像並將其與高光譜分類成果相比發現，曾文溪上游的行水地區與兩旁的裸露地已可明顯的被劃分，原本高光譜分類影像

中未出現的小面積茶園也能夠被判釋到正確的地物類別，檳榔用地也趨於區塊化。由精度評估表也能顯示出水體、茶園以及檳榔園的分類正確率有大幅的提升。融合影像的分類整體精度也提高了 9%，Kappa 值也由 0.77 提升至 0.87。

表 6.8 融合後影像之分類精度檢核表

分類	地真總數	分類檢核數	正確分類數	生產者精度	使用者精度
水體	60	53	52	86.67%	98.11%
森林	60	76	58	96.67%	76.32%
茶園	60	52	51	85.00%	98.08%
草地	60	55	54	90.00%	98.18%
裸露地	60	74	55	91.67%	73.33%
建地	60	52	48	80.00%	92.31%
檳榔園	60	58	56	93.33%	98.25%
總計	420	420	374		
整體精度：89.05%			Kappa 值：0.87		

透過精度矩陣表(表 6.9)顯示，水體誤判的狀況已有減少，而建地與裸露地雖仍有混淆的狀況情形，但相較而言仍已有所改善。植生方面，無論是高光譜影像或融合影像的分類成果，森林與草地依然維持高判釋精度。此外，茶園與檳榔園的分類數也有所提高，比較高光譜分類轉移矩陣後發現，茶園與檳榔園皆由原本的森林地區被分類出來。

表 6.9 水庫集水區-B 測試區之融合影像分類精度矩陣

		參考資料(地面真實資料)							
		水體	森林	茶園	草地	裸露地	建地	檳榔園	總計
分類 成果	水體	52	0	0	0	1	0	0	53
	森林	0	58	9	5	0	0	4	76
	茶園	0	1	51	0	0	0	0	52
	草地	0	1	0	54	0	0	0	55
	裸露地	7	0	0	0	55	12	0	74
	建地	0	0	0	0	4	48	0	52
	檳榔園	1	0	0	1	0	0	56	58
	總計	60	60	60	60	60	60	60	420

綜合上述的分類精度比較可知，應用高光譜影像與光達資料進行融合，其融合影像對於土地利用的分類乃有其優勢與助益之處。

6-4 火山區測試區之應用成果探討

火山區測試區之應用成果探討共分為六部份，分別為火山測試區多光譜分析、火山地形特徵判釋、火山地形分析、地震斷層地形特徵判釋、地震斷層地形分析與現地查核，茲將各項探討結果分述於各小節。火山測試區多光譜分析

6-4.1 火山測試區多光譜分析

本計畫已購得本年度 3 月 30 日拍攝之火山測試區福衛二號多光譜影像(圖 6.15, 左)，其資料明細詳列如表 6.10。

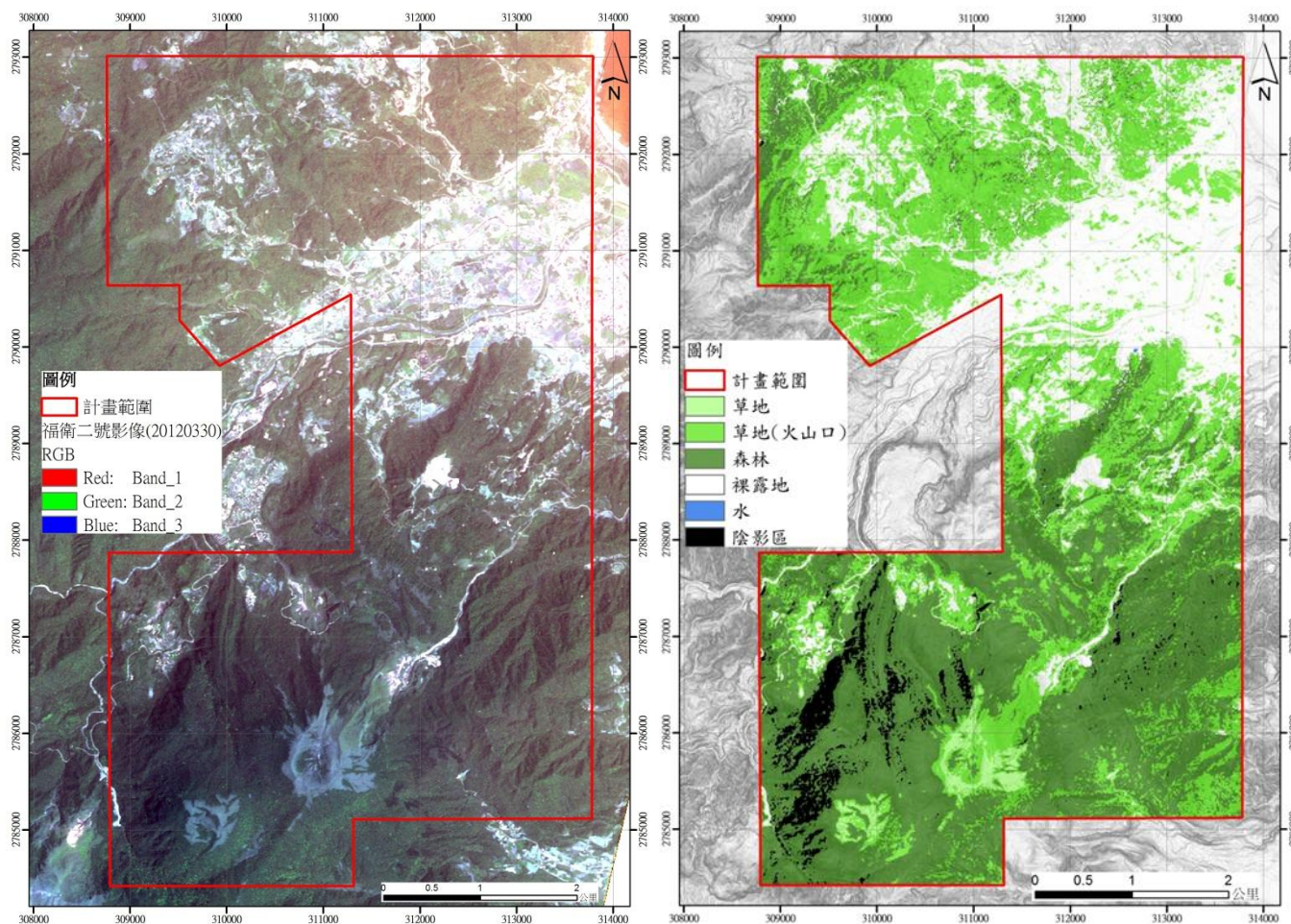


圖 6.15 火山測試區多光譜影像(左)及分類(右)圖

表 6.10 火山測試區多光譜資料明細表

影像編號	FS2_R1M_20120330_585327		
衛星別	福衛二號多光譜影像	影像日期	2012/03/30
左上角坐標	308400, 2793500	右下角坐標	314000, 2784000
解析度	8 公尺	波段數	4
Incidence Angle	1.279354	Orientation	9.983494
Azimuth	122.314273	Elevation	53.707684
View Angle Along Track	0.231	View Angle Across Track	-1.100006

本計畫將上述影像依據式 3.2 建立亮度值，並濾除陰影區後，利用監督式分類方法，將影像分為裸露地、草地、草地(火山口)、森林、水與陰影區共六類(圖 6.15，右)，經由分類結果顯示(表 6.11)火山試驗區

之裸露地(含人工建物，崩塌，河床堆積)共佔 20.49%，草地(含火山口)共佔 37.90%，而森林則佔 38.93%。

表 6.11 監督式分類結果統計表

分類	面積(m ²)	百分比(%)
草地(火山口)	2,096,832	5.953
草地	11,250,816	31.942
森林	13,712,768	38.932
裸露地	7,216,384	20.488
水	1,408	0.004
陰影區	944,512	2.682
合計	35,222,720	

本計畫另分析火山測試區福衛二號多光譜影像的 NDVI 分析，其結果如圖 6.16。若依據地層進行 NDVI 統計(表 6.12)，則可發現火山岩流之 NDVI 平均值達 0.1 為最高，其次為凝灰角礫岩 NDVI 平均值達 0.057，而最低為沖積層(NDVI 平均值為-0.15)及砂丘(NDVI 平均值為-0.632)。整體而言，火成岩(火山岩流、凝灰角礫岩)的 NDVI 平均值皆比沉積岩來得高。

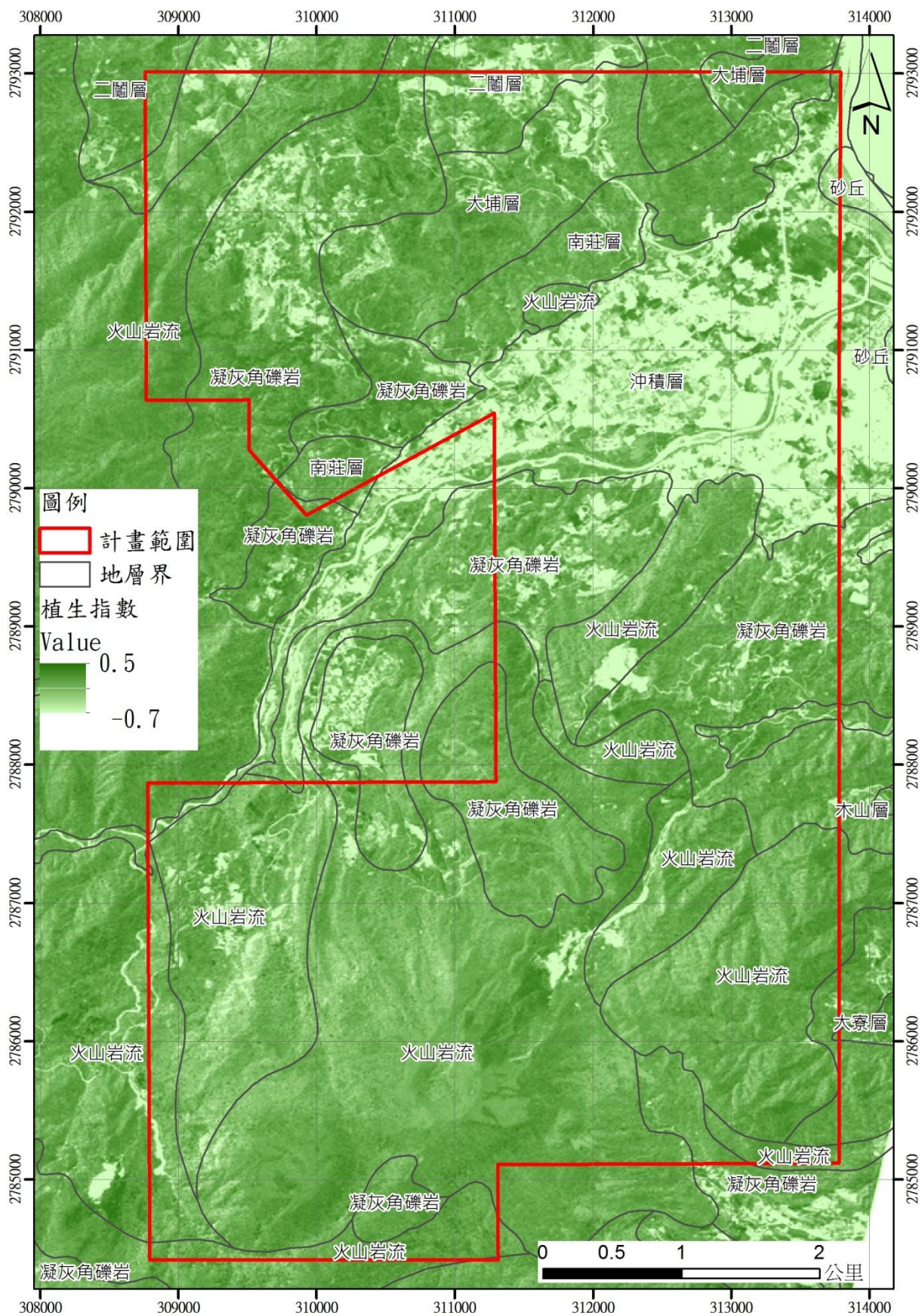


圖 6.16 火山測試區福衛二號多光譜影像之 NDVI 分析成果圖

表 6.12 研究區內各地層 NDVI 統計表

地層	面積(m ²)	NDVI 平均值
火山岩流	15,935,500	0.100
凝灰角礫岩	9,521,380	0.057
大埔層砂岩	2,108,650	0.039
二鬮層砂岩	553,332	0.005
大寮層砂頁互層	2,623	-0.019
南莊層砂岩	1,801,400	-0.133
沖積層	4,888,300	-0.151
砂丘	44,981	-0.632

6-4.2 火山地形特徵判釋

火山地形特徵判釋工作，主要利用光達數值地形進行研究區域內之火山口、火山錐、熔岩流等地形特徵判釋，因地調所已於民國 94~96 年間完成「高精度空載雷射掃瞄(LiDAR)地形測製與構造地形分析」計畫，有相當多研究成果可供比較(圖 6.17)。本計畫完成本年度測製之全波形 LiDAR 數值地形之火山地形特徵判釋，結果大致與地調所 94 年之火山地形特徵判釋成果接近。判釋結果顯示(圖 6.18)，研究區域內共有 2 處火山錐地形，位於區域南側。在火山熔岩流部分則有舌狀熔岩流、平行脊熔岩流以及指狀熔岩流等特徵，此外亦可觀察出崩塌及地表線型，細部判釋成果說明如后說明。

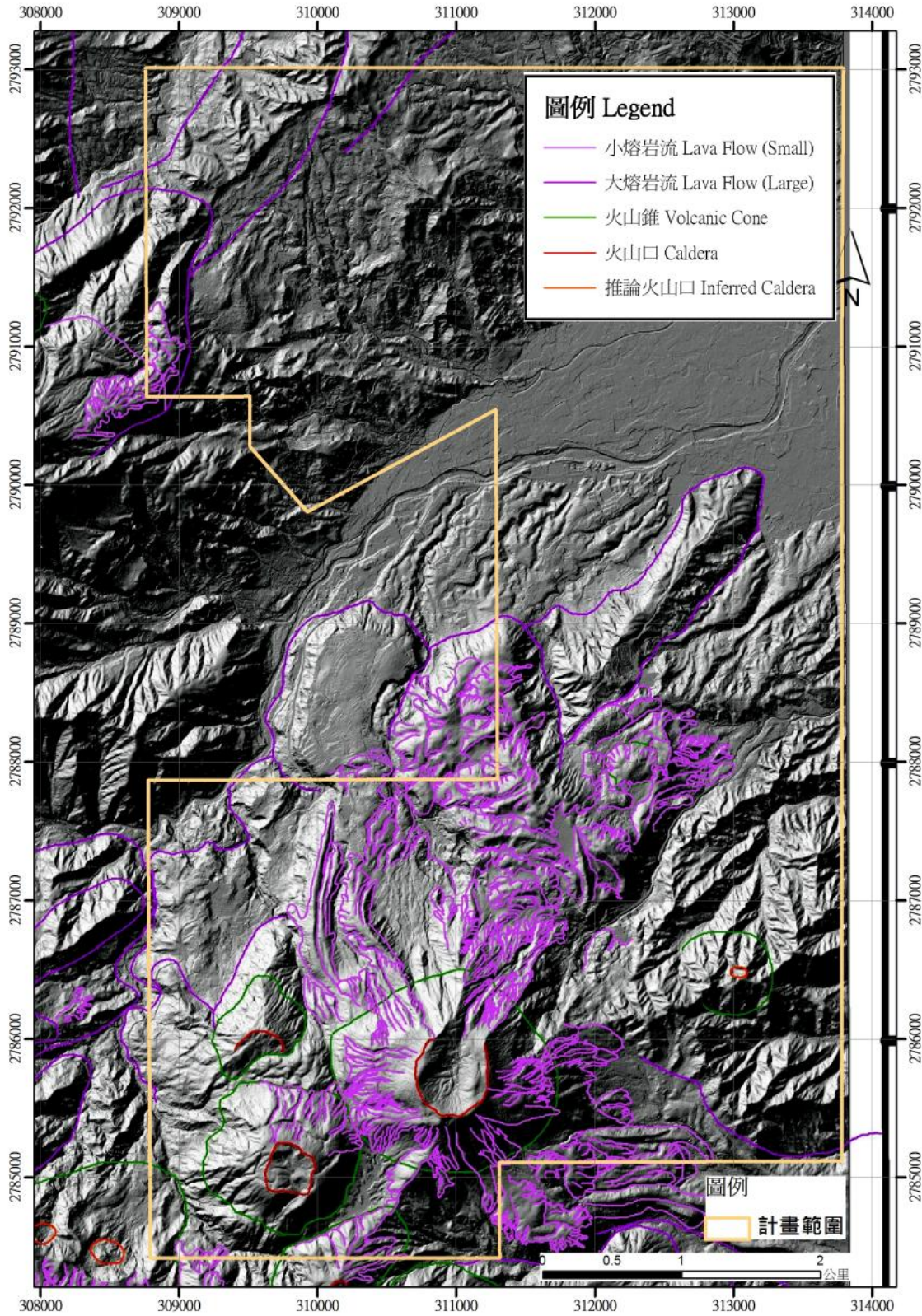


圖 6.17 地調所 94 年之火山地形特徵判釋成果圖

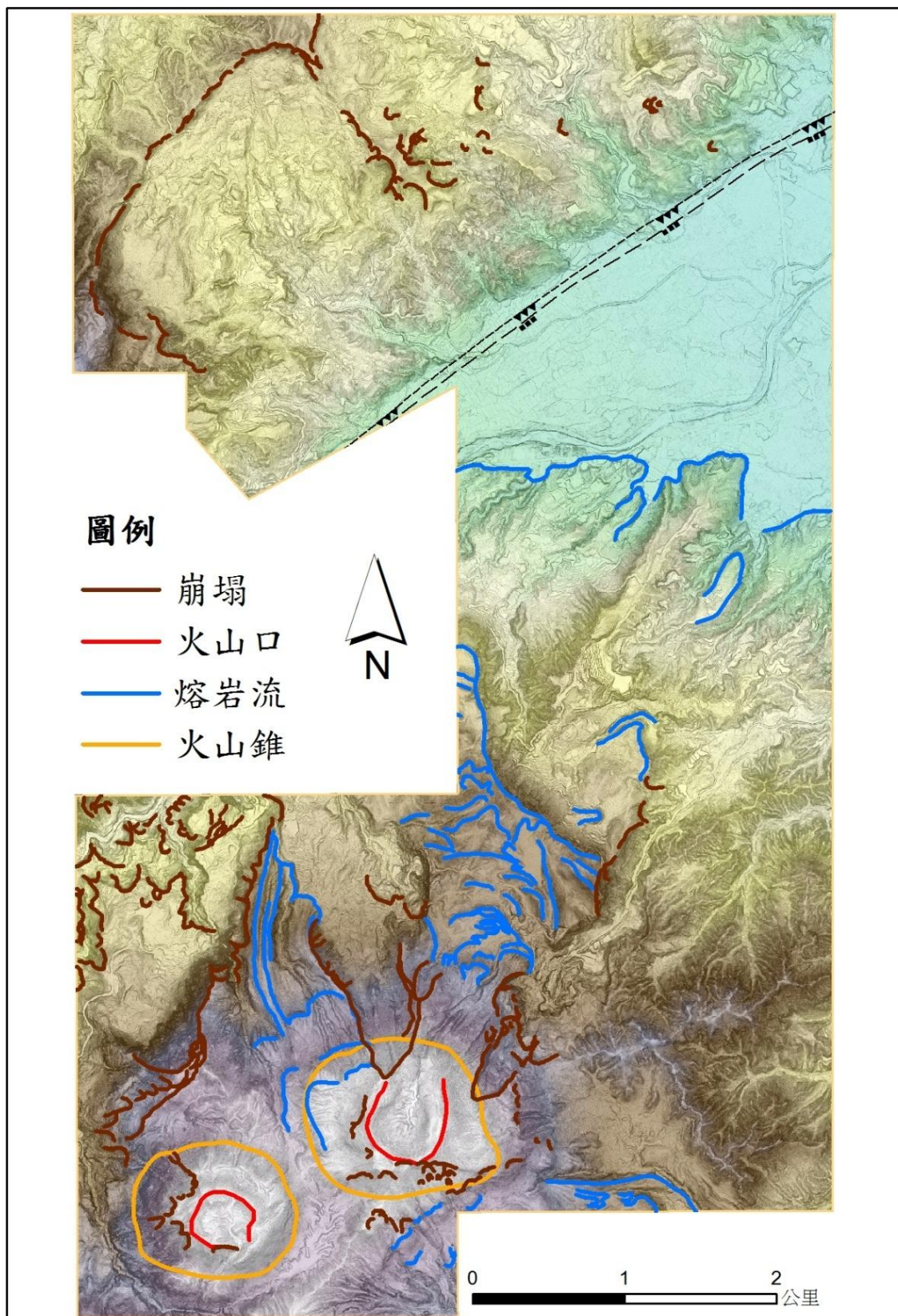


圖 6.18 本計畫火山地形特徵判釋成果圖

1. 熔岩流地形判釋

研究區域中之熔岩流地形判釋，陳文山等（2007）曾用 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 數值模擬地形判釋出多種地形熔岩流相關地形，主要分為大型與小型熔岩流。大型熔岩流主要為高黏滯性岩漿自火山口流出到較平緩的地形時，其頂面呈現低角度平板狀，角度多小於 10° ，邊緣為略向外凸之弧狀外形。小型熔岩流為組成大型熔岩流的主要因子，主要可分成三種：(1)長條狀熔岩流(ridge-shaped lava)：當岩漿方自火山口流出，相對的溫度較高，且黏滯性較低，火山口周圍地形坡度亦較高陡，容易形成多道平行且長條狀的熔岩流；(2)分叉狀圓弧形熔岩流(arc-shaped lava)：若岩漿已自火山口流出一段時間，相對的溫度逐漸降低，黏滯性即開始升高，流經的地形對比方流出時多較低緩，因此前端多會岔成多道的圓弧狀熔岩流；(3)指狀熔岩流(finger-shaped lava)：若岩漿一開始為低黏滯性，其流動距離較遠，且厚度與邊緣較為低平，前端有時會分叉成數道平行如同手指外形的小型熔岩流。

在本研究區域範圍內，可以明顯判釋出大型舌狀熔岩流、長條狀熔岩流以及分叉狀圓弧形熔岩流(圖 6.19~圖 6.20)大型舌狀熔岩流主要分布於磺嘴山西北側長條狀熔岩流主要分布於磺嘴山周圍，於磺嘴山與冬瓜山之間向北流之熔岩流最為明顯，其餘可能為水系發育造成之平行狀地形；分叉狀圓弧形熔岩流多位於大型舌狀熔岩流的平台上，最明顯為磺嘴山北側平台上區域(圖 6.20)。從光達所產製之高精度數值地形可明顯判釋出多期熔岩流交疊現象，這可間接證明研究區域範圍內火山有多期噴發，且其火山地形尚未全被營力作用所拭除，目前可以判釋出有三期(暫各稱 A、B、D)熔岩流交疊，A 期為規模較大之熔岩流，由於表面已遭營力侵蝕，保留較少火山地形特徵，B 期為大型舌狀熔岩流，而 D 期則為長條狀熔岩流。若無構造活動與其他因素影響，從疊置定律可簡單判別出熔岩流地先後順序，由於 A 位於各期熔

岩流最下層，為最早一期熔岩流，接著可從圖 2.6~2.7 明顯觀察出，D 位於 B 之下，因此可以判別出 A 最早生成，接下來依序為 D → B。

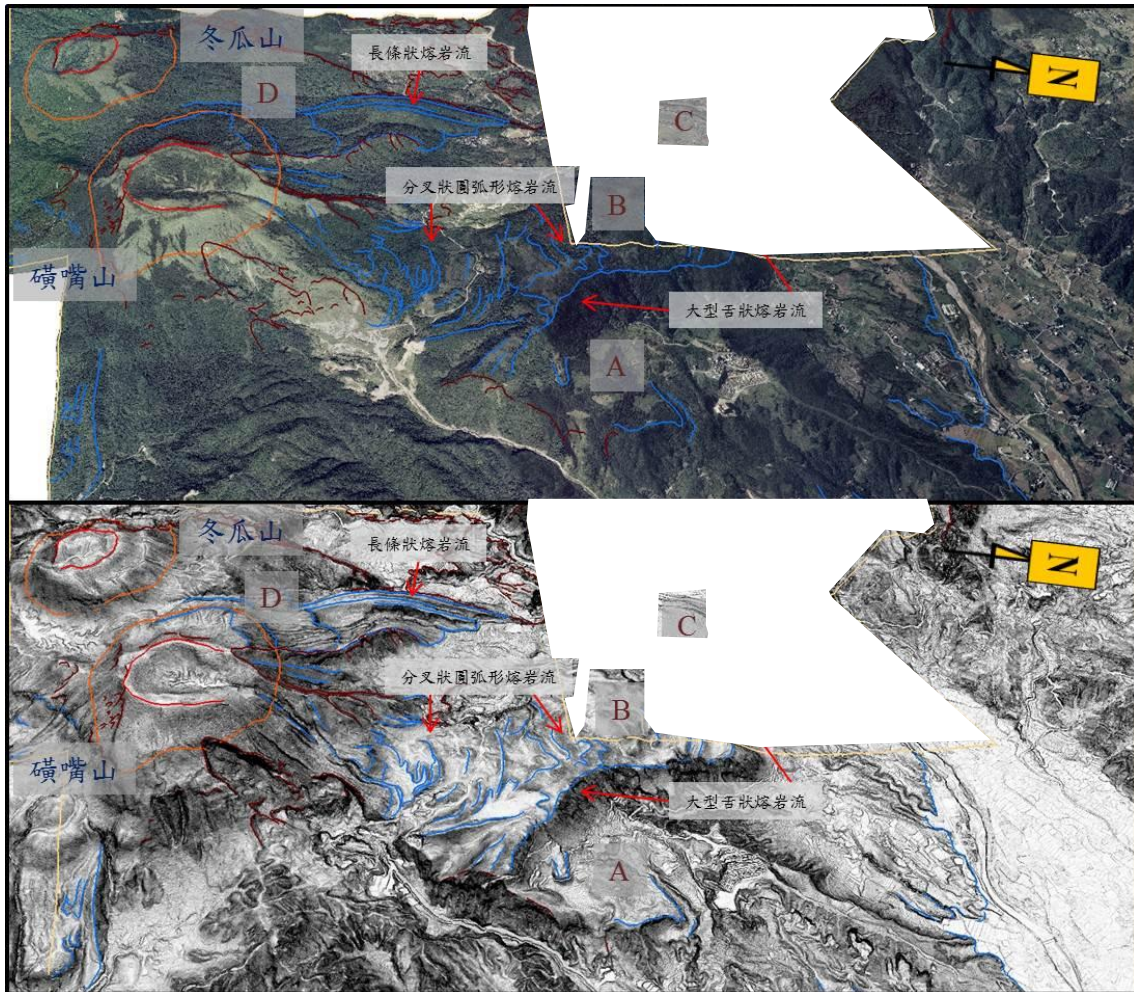


圖 6.19 橫嘴山西北側多期熔岩流特徵

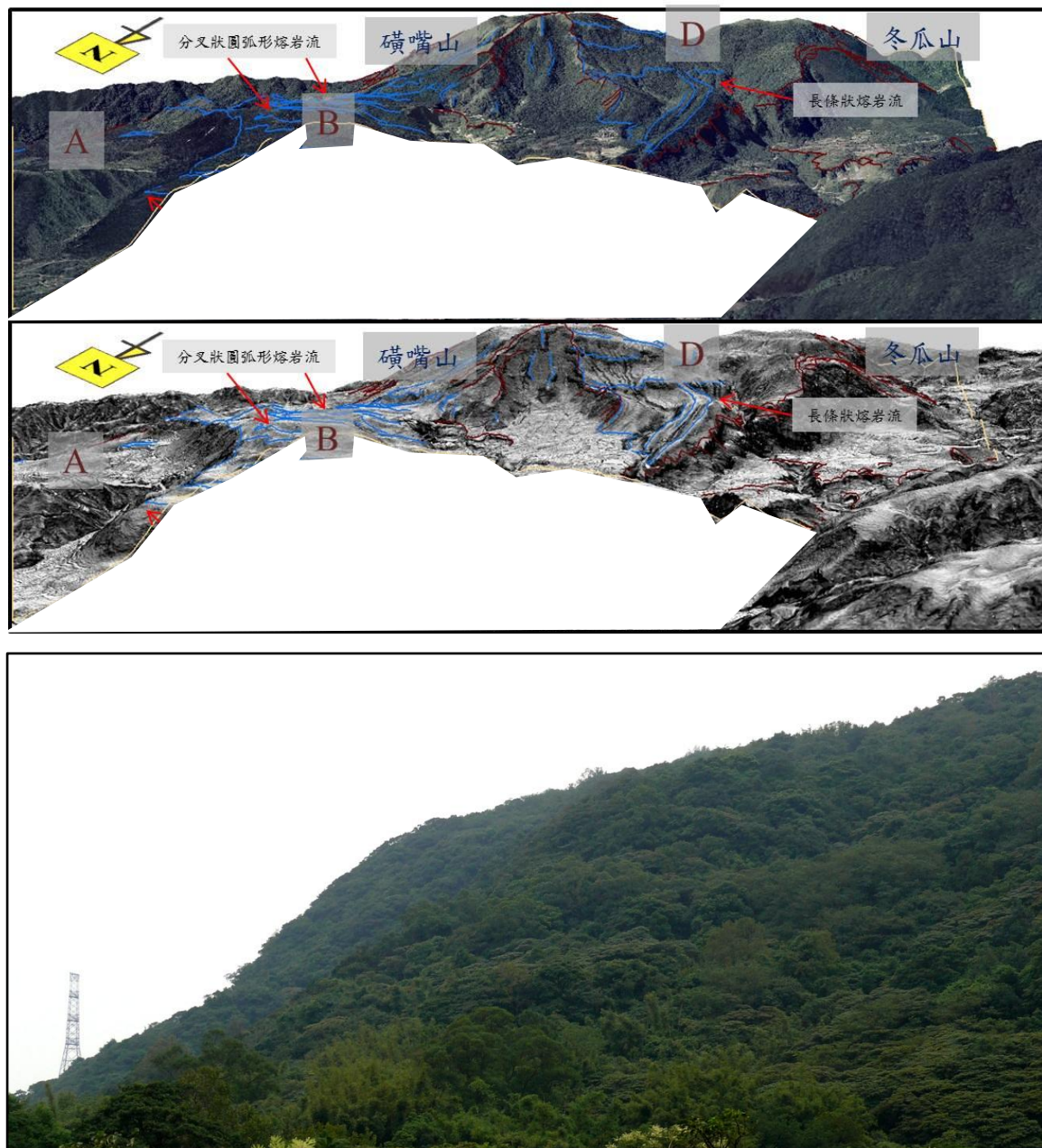


圖 6.20 多期熔岩流間明顯有上下交疊關係(1/2)

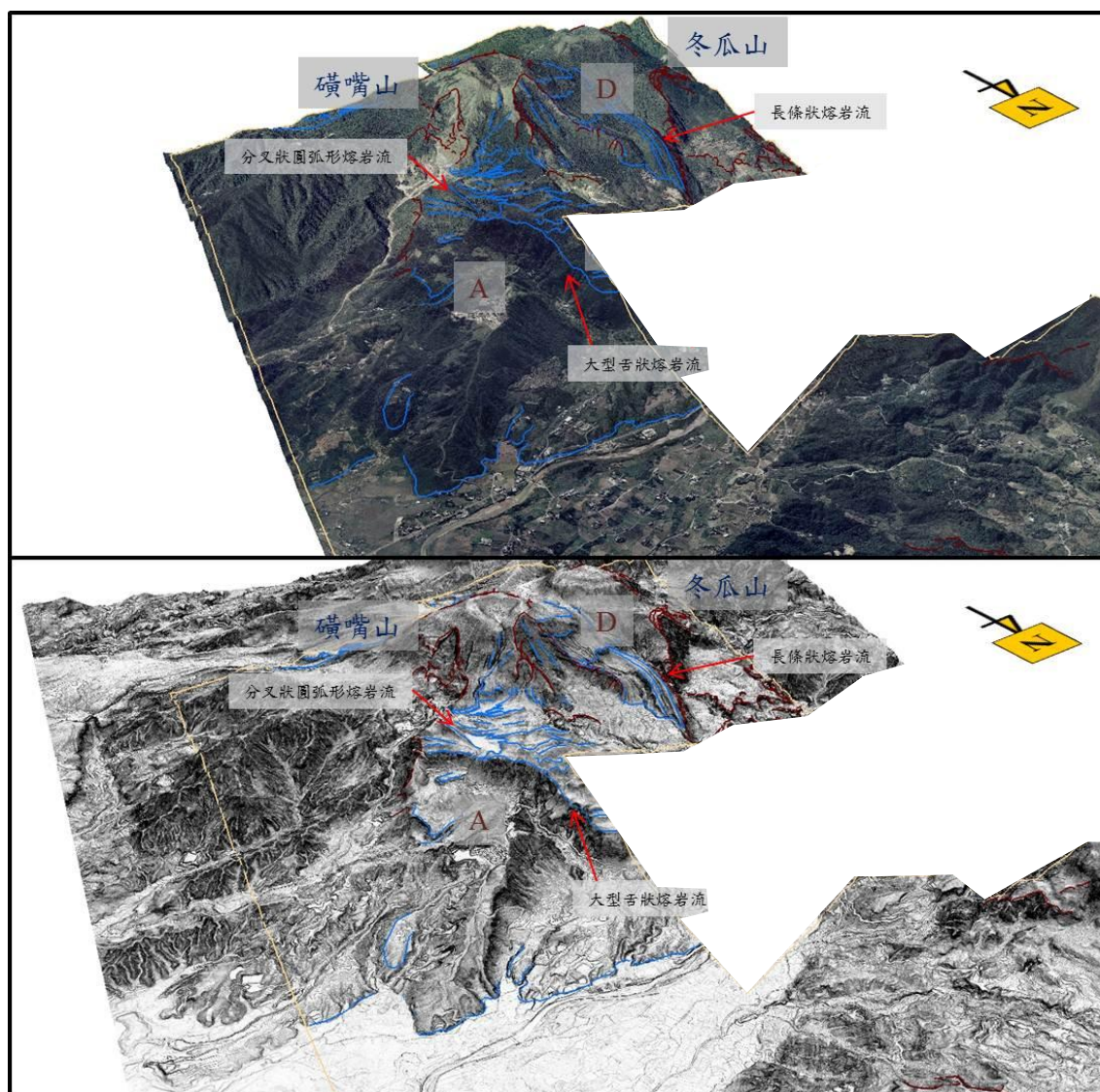


圖 6.20 多期熔岩流間明顯有上下交疊關係(1/2)

2. 崩塌判釋

本區域內崩塌主要發生於磺溪兩側山坡，主因為長年河岸侵蝕所造成，另外則分布於火山錐周圍，由於先前火山噴發時造成較陡峭之地形，如磺嘴山南北側以及冬瓜山西側，除了後天水系發育向源侵蝕外，先天陡峭的火山地形亦為崩塌發生主因。此外，於研究區域曾因構造活動活躍，有可能因斷層活動造成之地表線形，線形兩側為崩塌易發生區，以磺嘴山西側線形旁崩塌最為明顯(圖 6.21)。

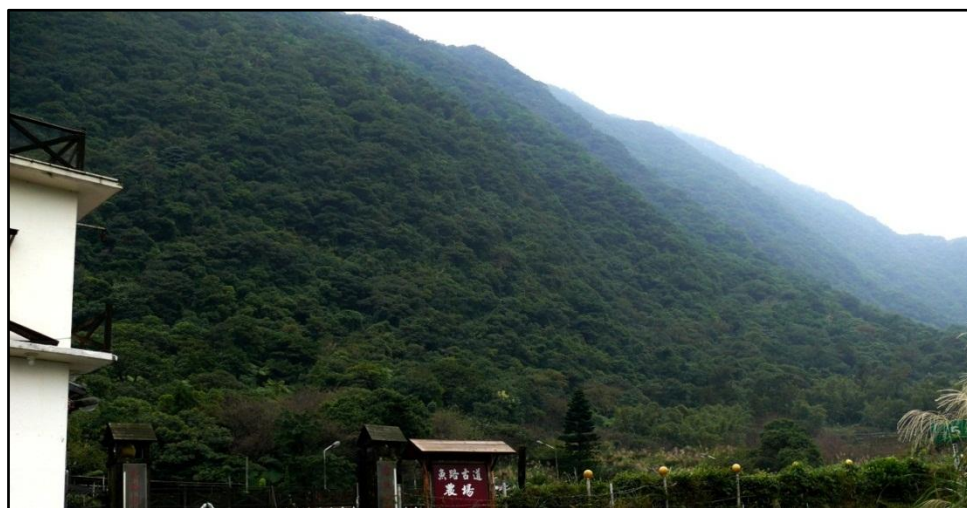
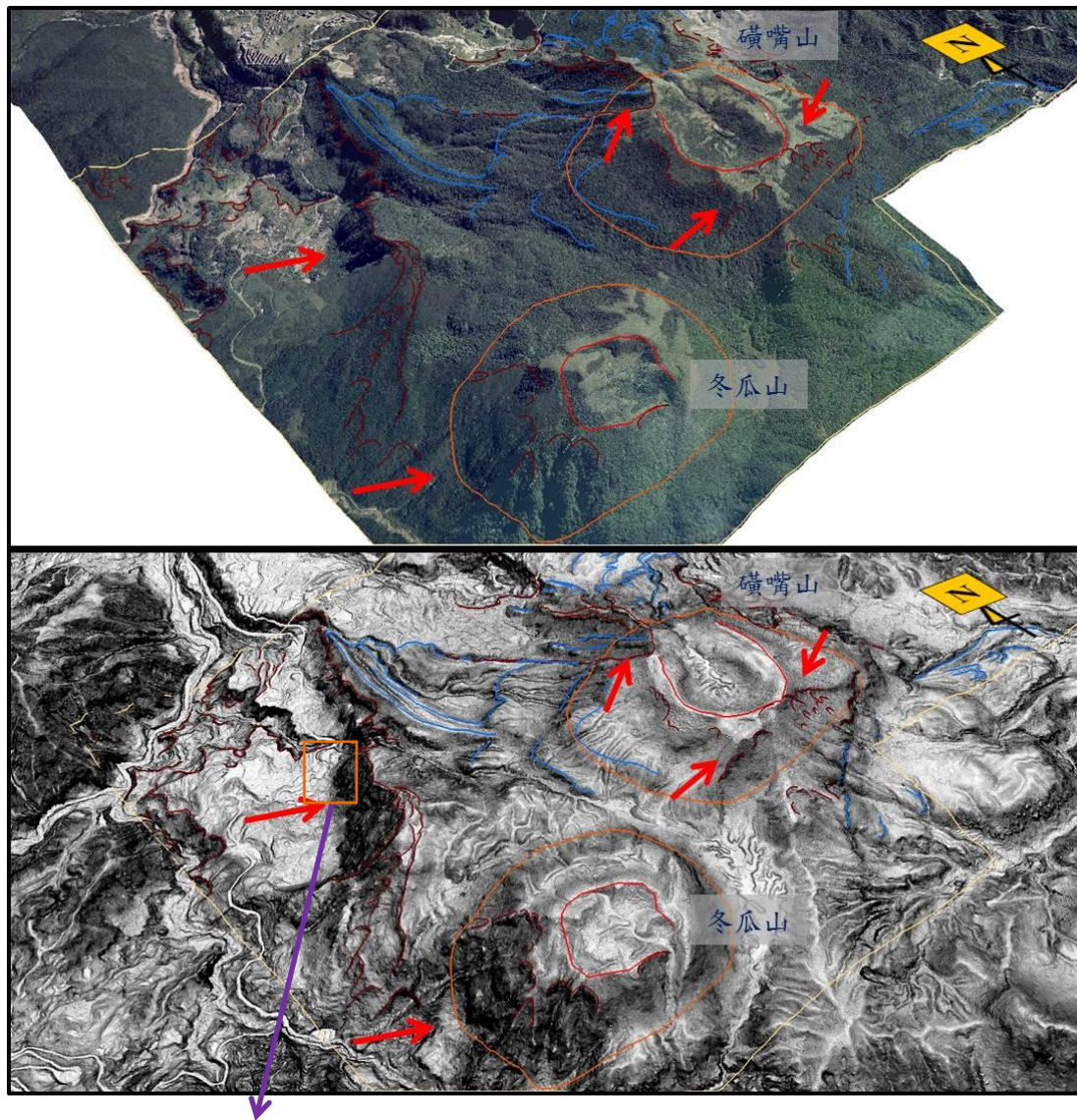


圖 6.21 崩塌(紅色箭頭處)集中於火山體與線形周圍

而位於近磺溪河口左岸之崩塌為古崩塌地(圖 6.22)，可能因岩性差

異侵蝕所造成，現地勘查發現周遭已無保留明顯線形或地表證據，因此需進一步做查證。

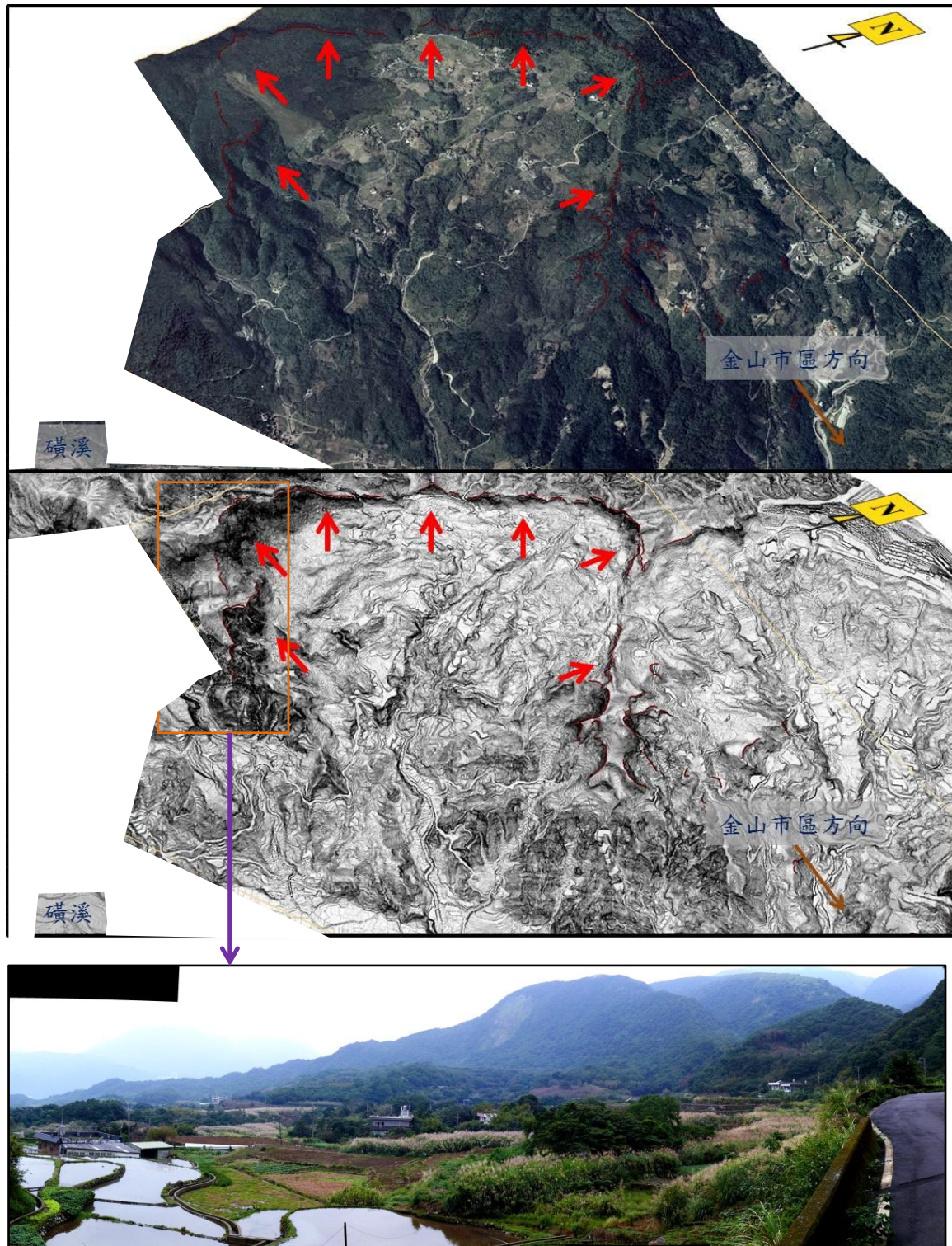


圖 6.22 磺溪河口左岸之古崩塌地

3. 線形判釋

陽明山地區因地質圖繪製與相關斷層研究(Song et. al., 2000；黃鑑水, 1988；李錫提, 2003)，已有發現數條地表線形，多半與地質構造息息相關，研究區域範圍內最主要為金山斷層與山腳斷層。金山斷層為逆衝斷層，發生當時台灣北部大地應力仍處聚合形態，隨著應力形態漸漸改變為拉張形態，開始出現一系列正斷層陷落與火成活動，山腳斷層與大屯火山群隨之生成。研究區域內線形多為山腳斷層之分支斷層所造成，或者與其斷層作用相關而生成。於小油坑、馬槽與大油坑各有一條東北西南走向，向西北傾沒之構造線形通過(圖 6.23)，因這些構造線形造為後火山活動後發育。

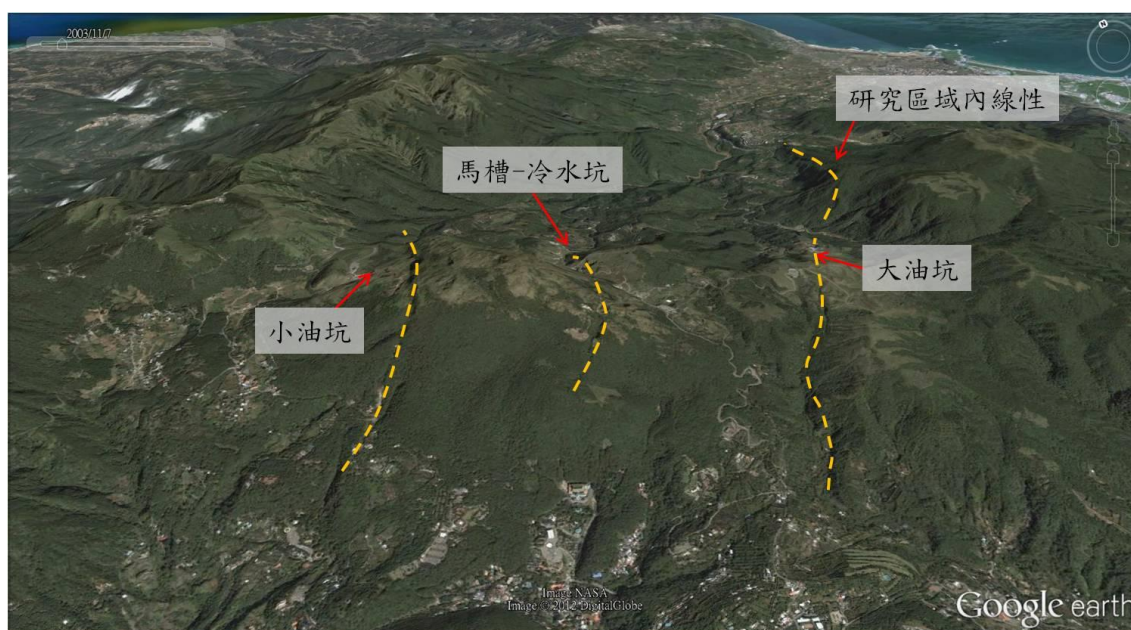


圖 6.23 大屯火山區地表明顯線形(底圖為 Google Earth 衛星影像)

研究區域內亦有一條大致上同位態的明顯線形通過磺嘴山西北側，本線形往南大致上可與通過大油坑的構造線形相連接，其截切過磺嘴山西北方一期熔岩流，地表出露之落差最大可達 270 公尺(圖 6.24)。

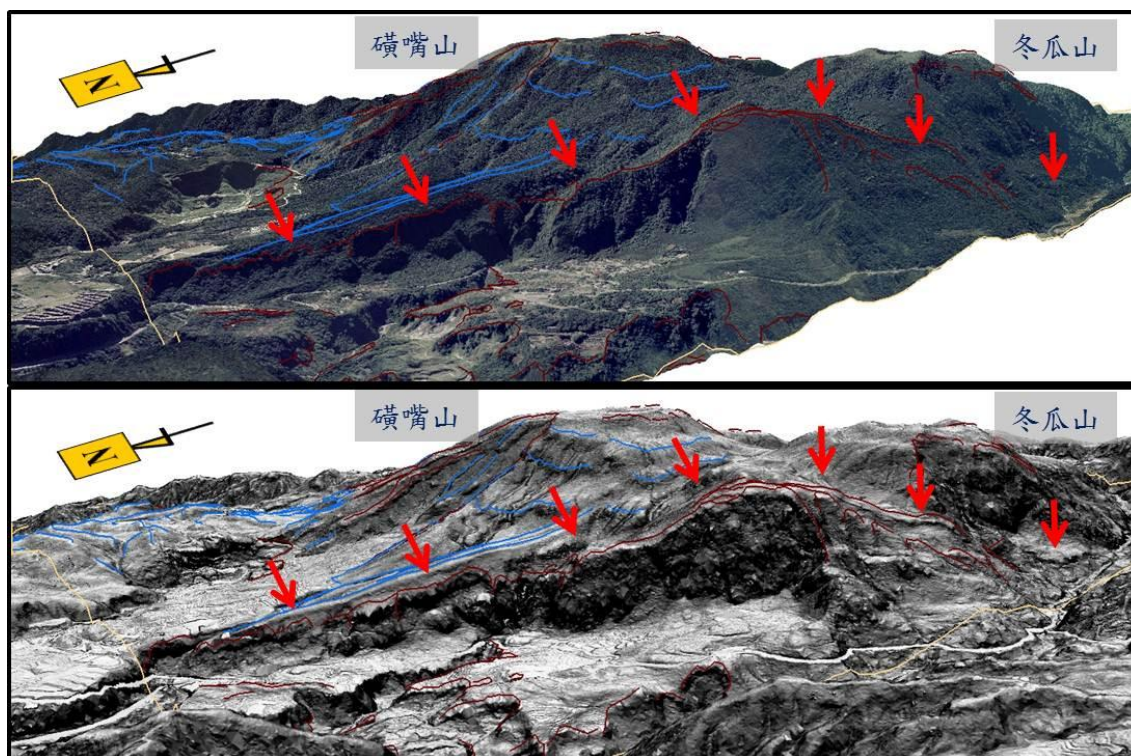


圖 6.24 研究區域內線形(紅色箭頭處)地表表徵

4. 侵蝕特徵判釋

侵蝕作用與水系發育息息相關，在不同岩性與氣候特徵皆會以不同形態呈現，在火山地區因岩性堅硬，在其他作用影響下，於溪流源頭或地勢較高陡處，多以向源侵蝕為主而呈現平行狀水系；溪流已流至較低平處或受氣候因素影響強烈，易從平行狀發展成其他形狀，常見的有樹枝狀水系(圖 6.25)；單純以單一火山而言，溪流易以火山口為中心，形成放射狀或環狀水系。這些以水系造成之侵蝕作用，依發育規模與作用時間長短，漸漸的會把表層的地形剝蝕殆盡，於多為表層地形的火山地區更是明顯(圖 6.26)。

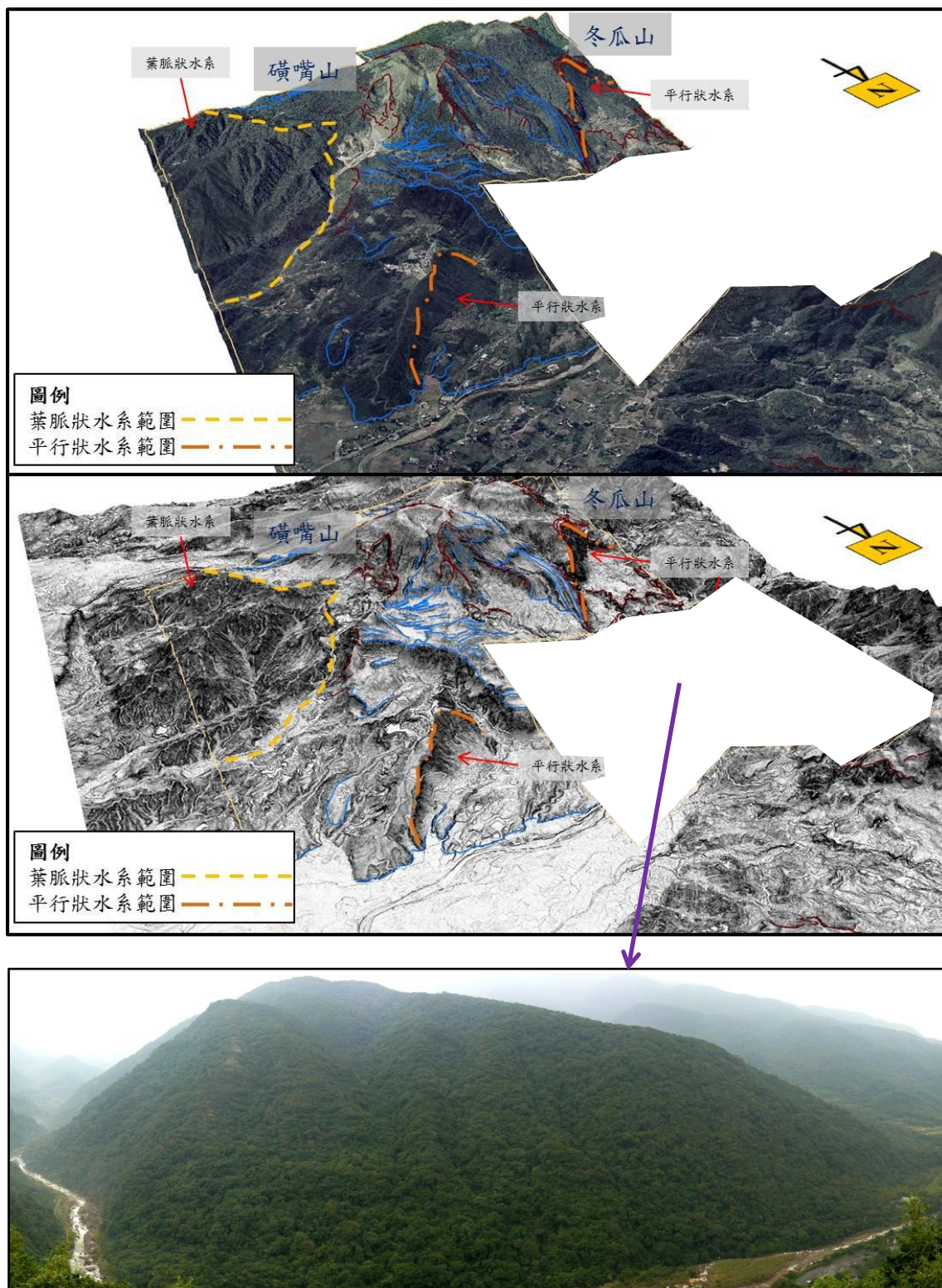


圖 6.25 研究區域內火山地形侵蝕特徵判釋圖(1)

研究區域東方有發育良好之樹枝狀水系，位置約為萬里區大坪地區附近，其年雨量約 6,000 ~ 8,000 公厘，但乾季雨量平均僅 300 ~ 500

公厘，乾濕季雨量差距甚大，表層風化作用會特別明顯，再加上地勢相對於礮嘴山周遭較為低緩，極易發展成樹枝狀水系。

研究區域內之較大規模之崩塌面，因岩性與地勢高陡相互影響多發育平行狀水系，於礮嘴山西方線形造成之崩塌面最為顯著；而若以礮嘴山與冬瓜山為中心，周圍水系即以放射狀呈現。

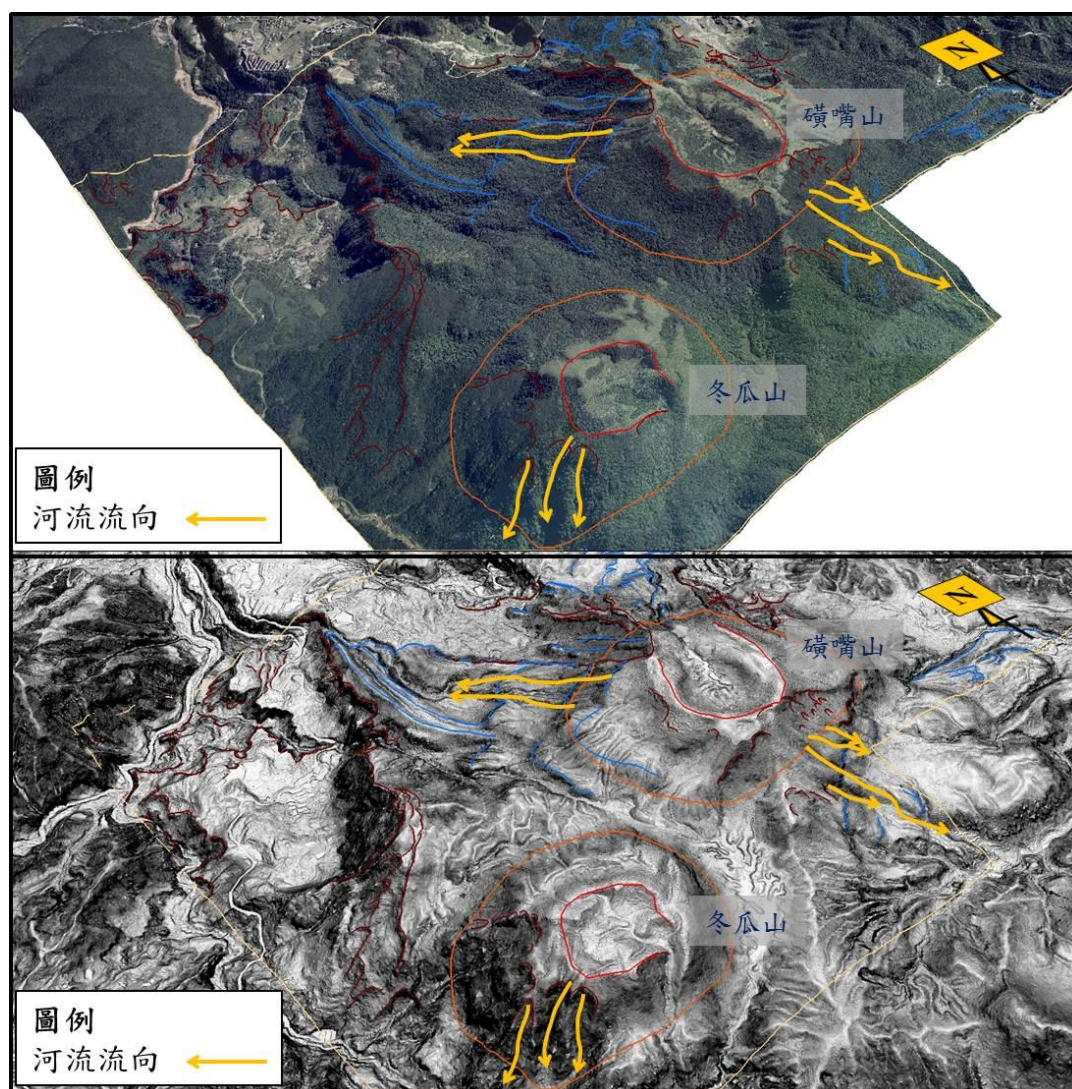


圖 6.26 研究區域內火山地形侵蝕特徵判釋圖(2)

5. 堆積特徵判釋

山區常見的堆積特稱有幾種，河口沖積扇、崖錐與崩塌等堆積作

用，而研究區域內能明顯判釋出的為崖錐與崩塌堆積，河口沖積扇可能因人為開發與構造持續使地層下陷而不明顯，但於零星水系尾端仍可約略觀察出扇狀地地形。不論是扇狀地、崖錐與崩塌堆積，皆有相類似的特徵，即為坡面有明顯轉折、等高線易呈現上凹下凸以及堆積區容易形成扇狀外形。崩塌地若發育較久，崩塌堆積層已搬運殆盡，坡面已有河系發育，坡趾處會略有扇狀地地形發育，如礮嘴山北側崩塌(圖 6.27)；但若崩塌剛發育坡面仍陡峭，或近期剛發育的崩塌，則會有如圖 2.15 的特徵。坡面陡峭易以落石方式崩落，易在坡面趾部形成崖錐堆積，如礮嘴山西北側線形旁崩塌；而崩塌剛發育不久或表層鬆散風化層仍厚實之崩塌，如冬瓜山西側崩塌，崩塌堆積層仍大量存在崩塌下方。

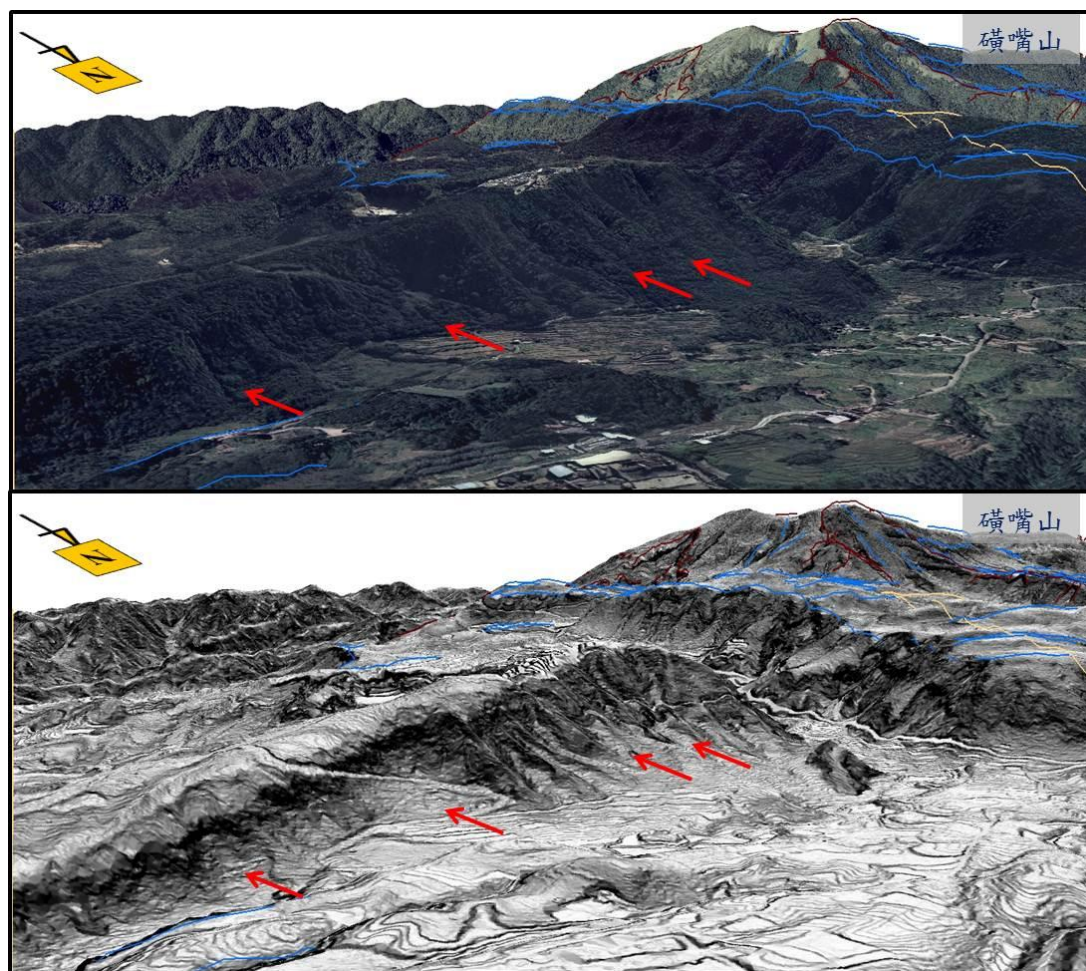
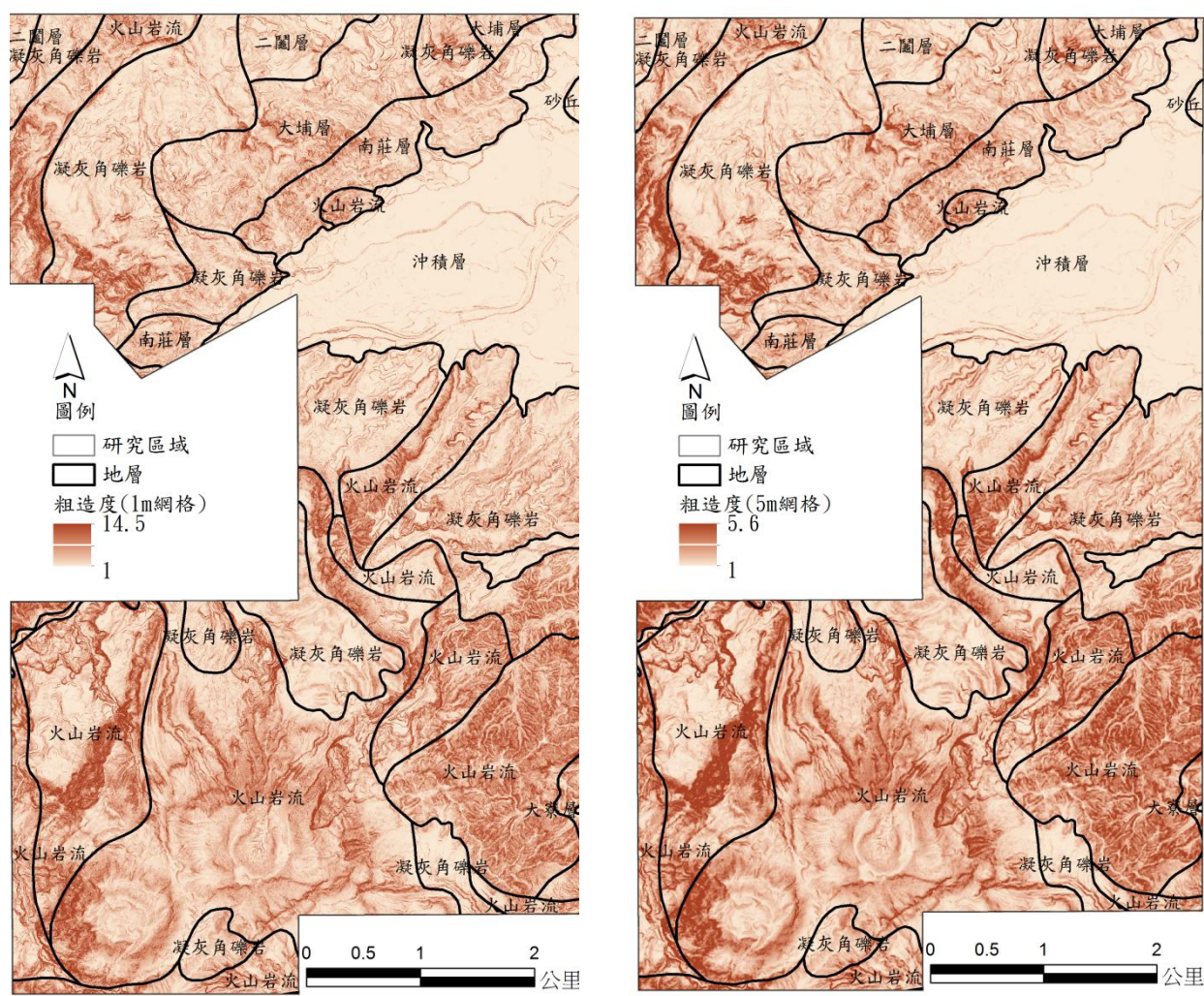


圖 6.27 研究區域內火山地形堆積區特徵判釋圖

6-4.3 火山地形特徵分析

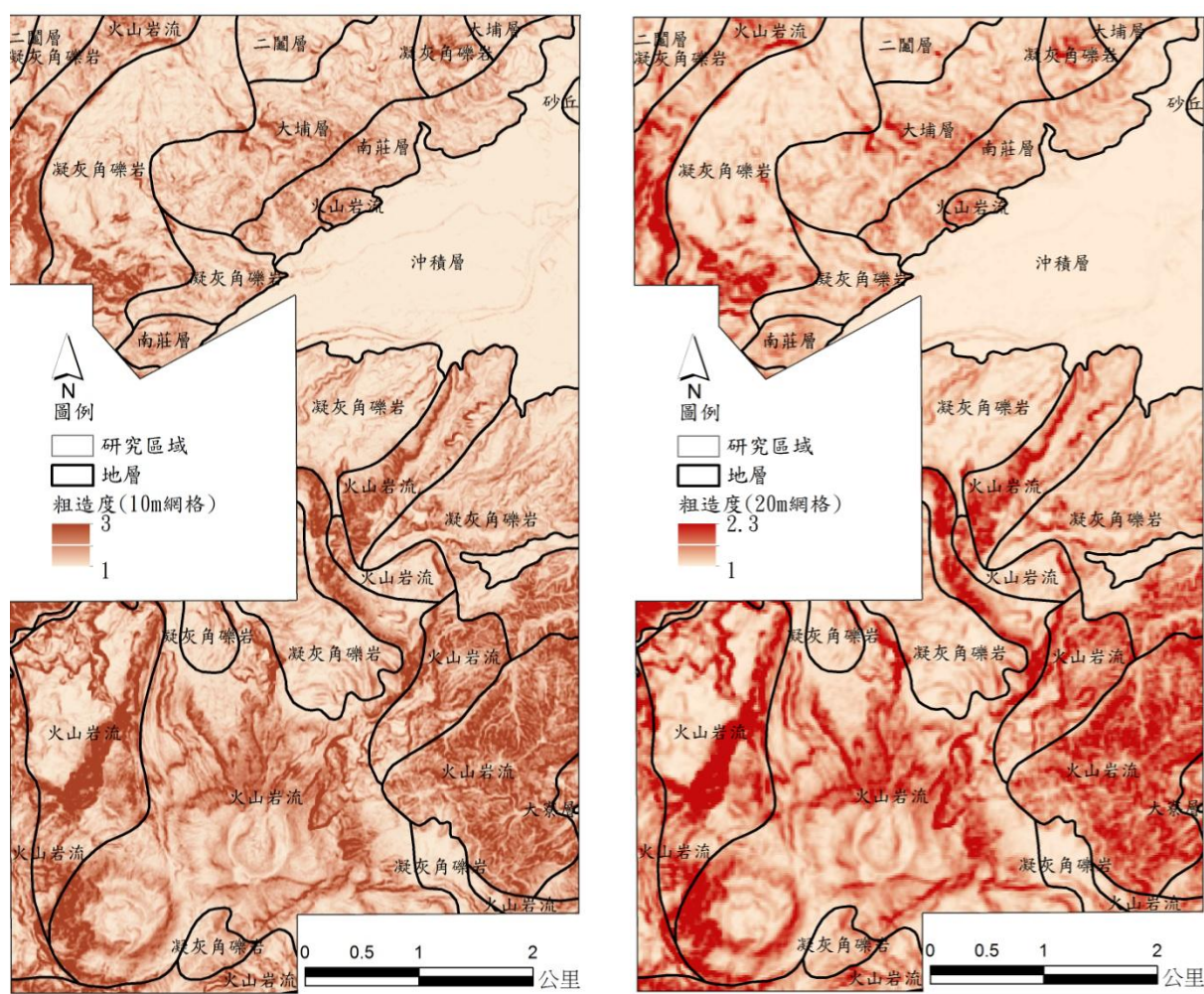
在利用 LiDAR 資料進行火山地形特徵分析方面，將本計畫產製之 1 公尺網格 LiDAR 數值高程模型進行 5 公尺，10 公尺與 20 公尺重新取樣，再採用 Morris et al. (2008) 地表粗糙度(roughness)分析方法，將各種解析度之數值數值高程模型以均方根高程(Root Mean Square height:RMSH)進行粗糙度計算，其結果如圖 6.28，計算結果發現，隨著網格解析度降低，地表粗糙度有降低的趨勢。



粗糙度(1公尺網格)

粗糙度(5公尺網格)

圖 6.28 不同空間尺度之地表粗糙度分析成果圖



粗糙度(10 公尺網格)

粗糙度(20 公尺網格)

圖 6.28 不同空間尺度之地表粗糙度分析成果圖(續)

若進行火山地區岩性與地表粗糙度的關係分析(表 6.13),就單一岩性而言,網格解析度降低,地表粗糙度亦有降低的趨勢。而在各岩性之地表粗糙度統計結果顯示,火山岩流之地表粗糙度為最高,沖積層為最低。從統計表中亦可以發現凝灰角礫岩之地表粗糙度較火山岩流為低。

表 6.13 地表粗糙度統計表

岩性	面積(ha)	粗糙度 (2 m 網格)	粗糙度 (5 m 網格)	粗糙度 (10 m 網格)	粗糙度 (20 m 網格)
沖積層	489.7	1.022	1.014	1.009	1.006
砂丘	4.4	1.024	1.019	1.015	1.010
二鬮層	60.1	1.075	1.057	1.046	1.037
凝灰角礫岩	958.5	1.112	1.095	1.084	1.071
大埔層	211.2	1.114	1.094	1.082	1.069
南莊層	180.2	1.115	1.098	1.087	1.074
大寮層	0.2	1.154	1.128	1.123	1.116
火山岩流	1617.5	1.205	1.182	1.169	1.152

註:粗糙度值採均方根高程(Root Mean Square height:RMSH)計算

本研究另針對火山測試區進行 LiDAR 數值高程模型地形剖面分析，以了解火山地形之特性，初步以磺嘴山鄰近地區之三條地形剖面進行分析(圖 6.29)，結果顯示(圖 6.30)於 A-A'剖面中，磺嘴山與東南側之火山口皆有明顯之火山口與火山錐地形。於 B-B'剖面中，磺嘴山東側之火山口地形並不完整。而依據火山錐的坡度分析，約在 42%~50%左右，此結果比 Fornaciai 等人(2010)於義大利之 Alessandro 火山研究為小。

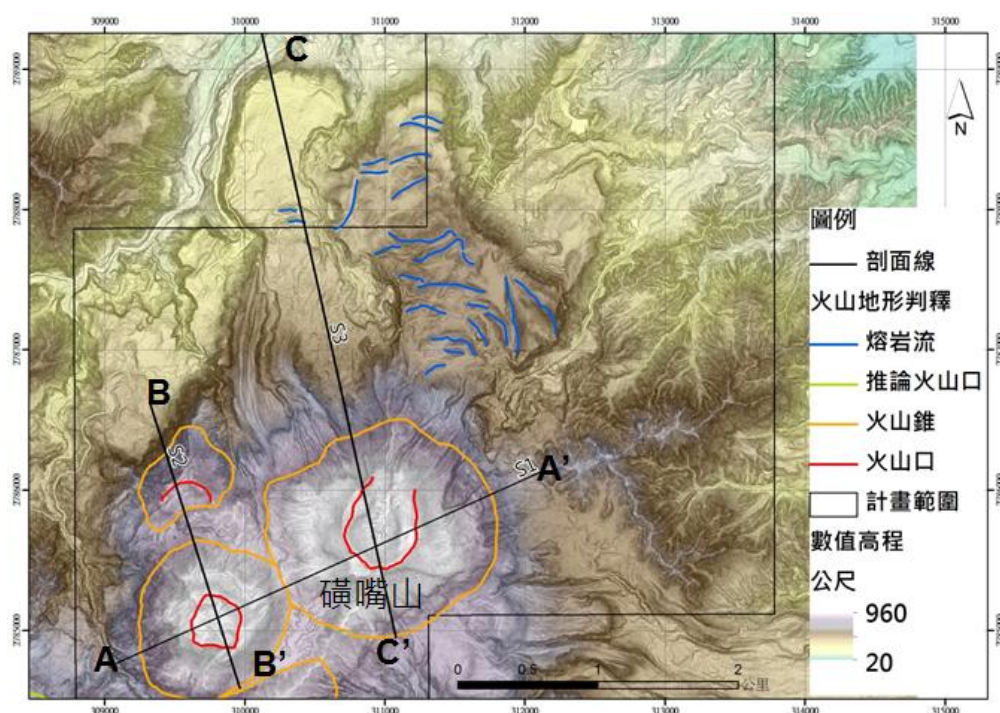


圖 6.29 磺嘴山鄰近地區地形剖面位置圖

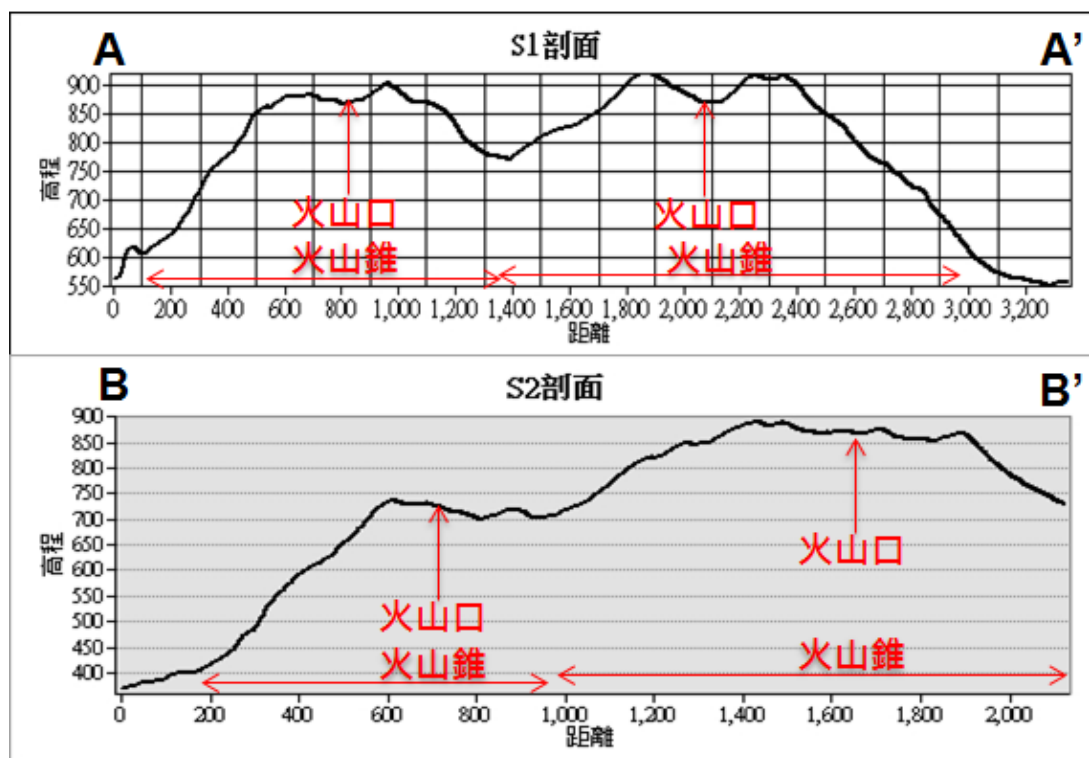


圖 6.30 磺嘴山鄰近地區 A-A'與 B-B'地形剖面圖

而在 C-C'剖面的分析結果方面，若將本計畫之地質圖疊合於地形圖中進行剖面分析，則顯示岩性亦影響地形坡度的變化(圖 6.31)，大致而言安山岩的坡度值較凝灰岩為高，但亦有例外的地方，由該圖之深藍色虛線圓圈處安山岩的坡度值較凝灰岩為低，此處顯示地層界線與地形明顯變化處並不一致。

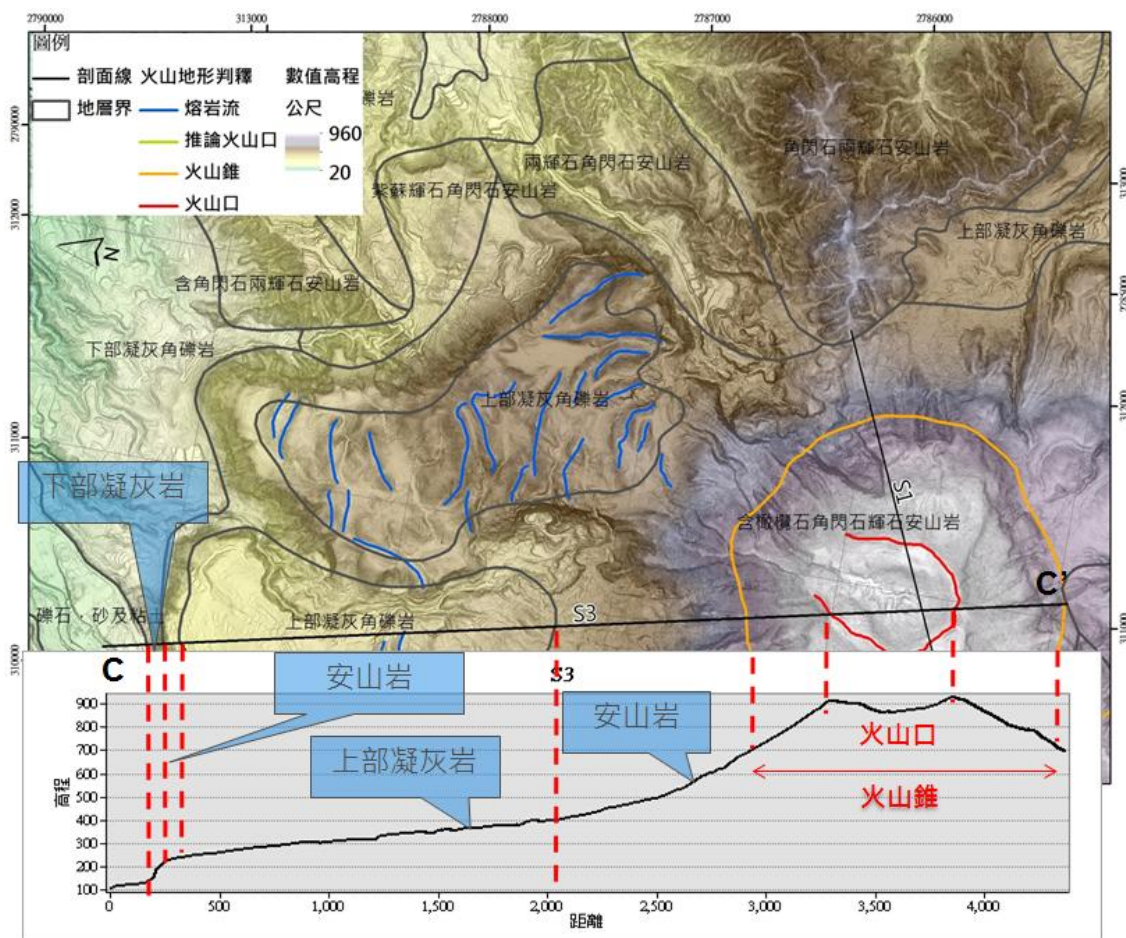


圖 6.31 磺嘴山鄰近地區 C-C'地形剖面圖

在本研究區之水系分析部分，以 1 公尺之數值地形以 ArcGIS 軟體之 ArcHydro 模組，設定網格門檻值為 2500 平方公尺，進行水系製作 (圖 6.32)，從水系的發育特性進行觀察可以發現磺嘴山與其西南側火山口之水系呈放射狀發育，此區部分水系則受火山口之陷落地形所控制，而在火山岩流區域則因受熔岩流流向控制，呈現羽狀水系。其餘地區則約略呈樹枝狀水系發育。

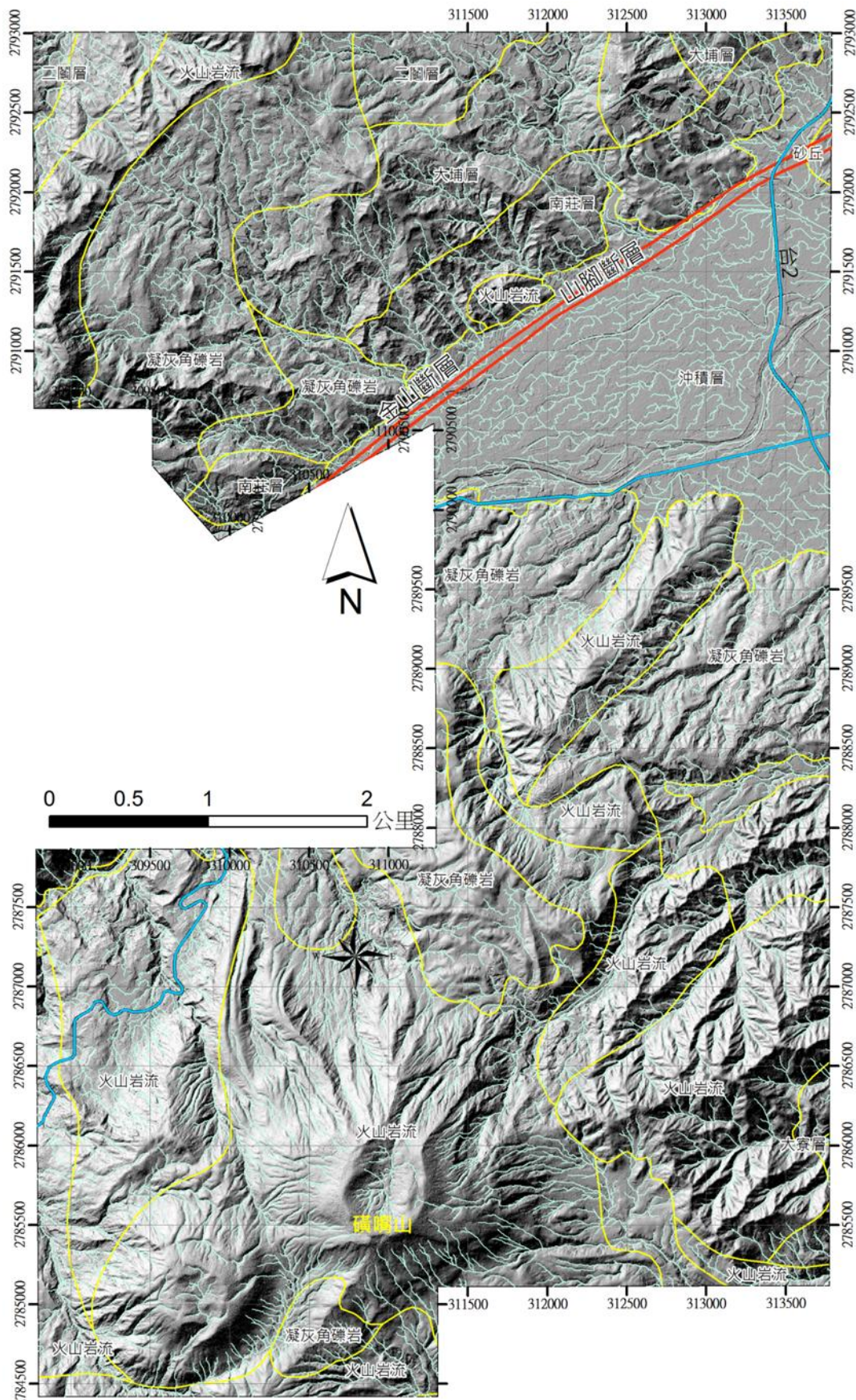


圖 6.32 斷層活動時與活動後之地形剖面示意圖

若以各地層內單位面積之水系長度進行水系密度統計(表 6.14)可以發現，水系密度由高至低依序為沖積層、二鬮層、大埔層、凝灰角礫岩、火山岩流及南莊層。而凝灰角礫岩、火山岩流的水系發育密度則相當接近，整體而言(除南莊層外)沉積岩之水系發育密度皆比火成岩為高，顯示沉積岩相較於火成岩更有利於水系的發育。

表 6.14 研究區之水系分析統計表

地層名稱	L 水系總長度 (公尺)	D 地層出露面積 (平方公尺)	密度 (L/D)
南莊層	27,782.1	1,801,915.4	0.0154
火山岩流	260,808.9	16,175,131.6	0.0161
凝灰角礫岩	161,534.9	9,585,559.9	0.0169
大埔層	38,407.0	2,112,775.1	0.0182
二鬮層	11,123.2	601,237.8	0.0185
沖積層	109,536.5	4,897,305.5	0.0224

6-4.4 地震斷層地形特徵判釋

由於金山斷層與山腳斷層於近期內並無活動，推測於上一次之斷層活動當後產生之斷層面(圖 6.33a)可能因為後續斷層面的侵蝕及沉積作用，而改變原來的地形與地貌，使得原先之斷層面後退為斷層崖(圖 6.33b)，同時斷層崖面的坡度會隨著時間增加而有變緩的趨勢，直到下一次斷層活動再次發生時再度變陡。

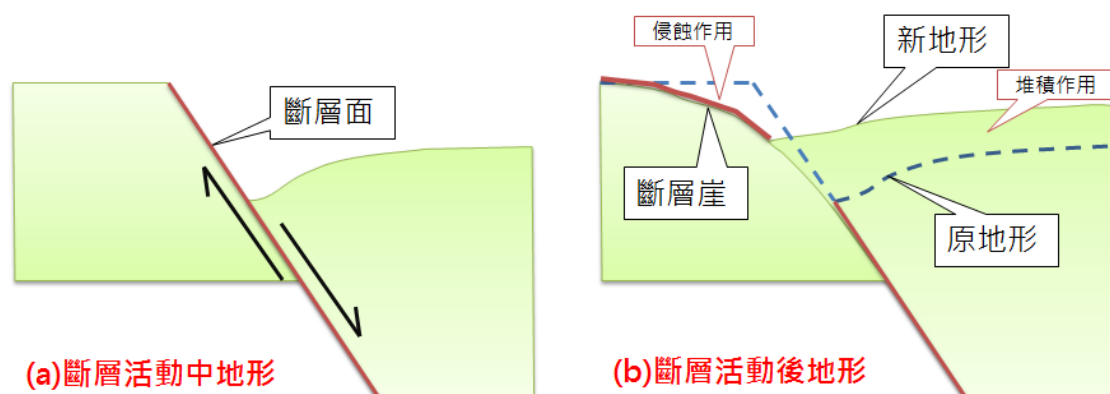


圖 6.33 斷層活動時與活動後之地形剖面示意圖

再者由於地表營力(風化、侵蝕、搬運與堆積)，原先的斷層線形從本計畫之光達數值地形判釋無法找到斷層出露的地形特徵，而斷層沿線之水系亦無被截切造成斷錯河、斷錯河階的現象(圖 6.34)，此亦顯示本研究區域內金山斷層與山腳斷層於近期內並無活動的跡象。因此本研究針對斷層活動後產生斷層面受營力作後力之斷層崖進行地形特徵判釋。判釋結果顯示，沿著金山斷層與山腳斷層沿線共判釋出 13 處斷層崖，由北向西南依序進行編號 F01 至 F13(圖 6.35)，其詳細之地形分析與討論如下節所述。

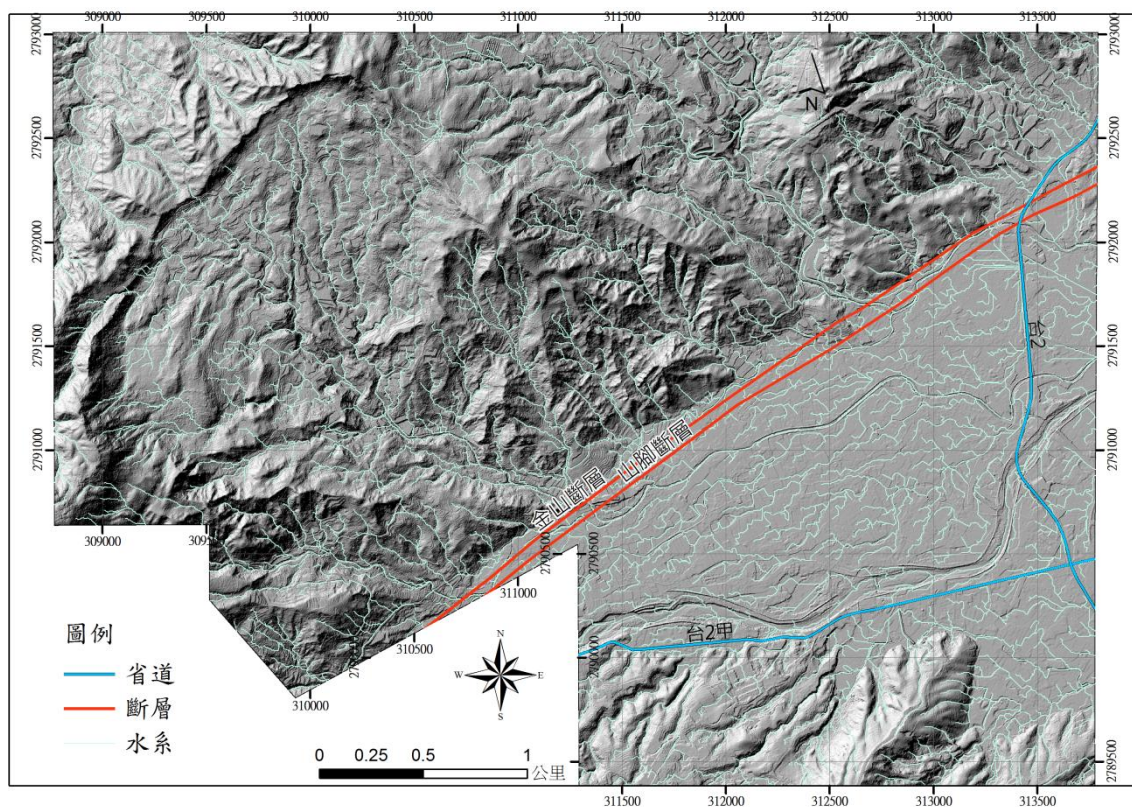


圖 6.34 斷層位置與水系關係圖

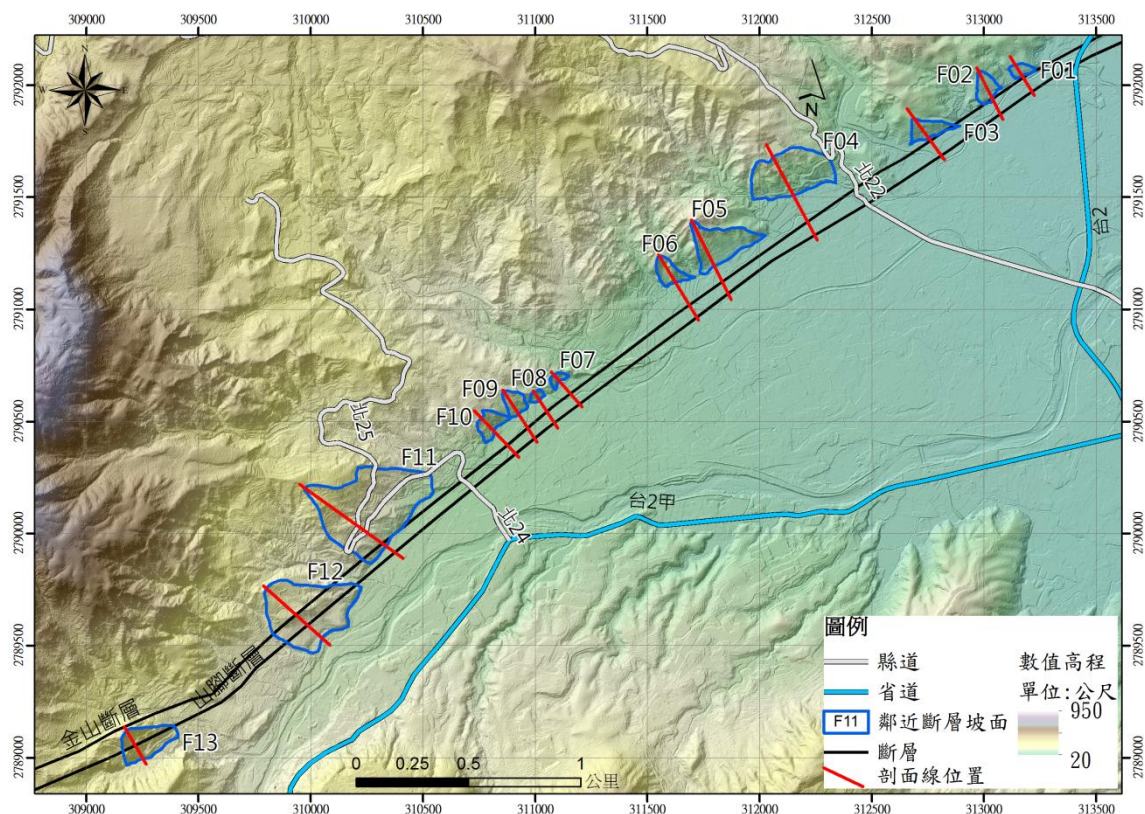


圖 6.35 金山斷層與山腳斷層沿線 13 處斷層崖與其剖面線位置圖

6-4.5 地震斷層地形特徵分析

本研究將 13 處判釋出之斷層崖進行一垂直斷層走向之地形剖面繪製，剖面線位置如圖 6.35，藉以分析剖面之坡度特性。在斷層崖之地形特性分析上共進行坡趾高程、坡頂高程、水平距離、剖面線坡度(%)、斷層崖面坡度(%)、距斷層距離與地層特性之記錄與分析(表 6.15)。

表 6.15 斷層崖之地形特性分析統計表

斷層崖 編號	坡趾 高程	坡頂高程	水平距離	剖面線 坡度(%)	斷層崖面 坡度(%)	距斷層距離	地層
F01	30	44.5	56	25.9	19.9	10.0	南莊層
F02	29.4	64.1	135	25.7	16.8	0.0	南莊層
F03	30.9	71	103	38.9	23.7	15.0	南莊層
F04	39.2	103.7	193	33.4	23.2	134.0	南莊層
F05	40.8	135.6	222	42.7	24.7	80.0	火山岩流
F06	46.9	104.9	134	43.3	28.7	121.0	火山岩流
F07	64	86.9	32.5	70.5	33.1	78.9	凝灰角礫岩
F08	60.5	85.7	44.9	56.1	32.0	61.0	凝灰角礫岩
F09	63.5	118.4	120.6	45.5	26.2	75.3	凝灰角礫岩
F10	67.8	108.1	81.6	49.4	29.5	85.4	凝灰角礫岩
F11	83.5	231.2	441.6	33.4	24.2	0.0	南莊層
F12	100.1	197.7	333.8	29.2	20.3	0.0	凝灰角礫岩
F13	179.6	267.9	143	61.7	35.3	0.0	凝灰角礫岩

初步之斷層崖坡度分析結果顯示，除了 F13 外，依斷層崖坡度百分比之空間分布特性，可將 12 個斷層崖面分為 4 組，第一組為 F01、F02，其坡度小於 20%，第二組為 F03~F06，其坡度介 23%~29% 之間，第三組為 F07~F10，其坡度介於 26%~33% 之間，第四組為 F11、F12，其坡度介 20%~24% 之間(圖 6.36)。

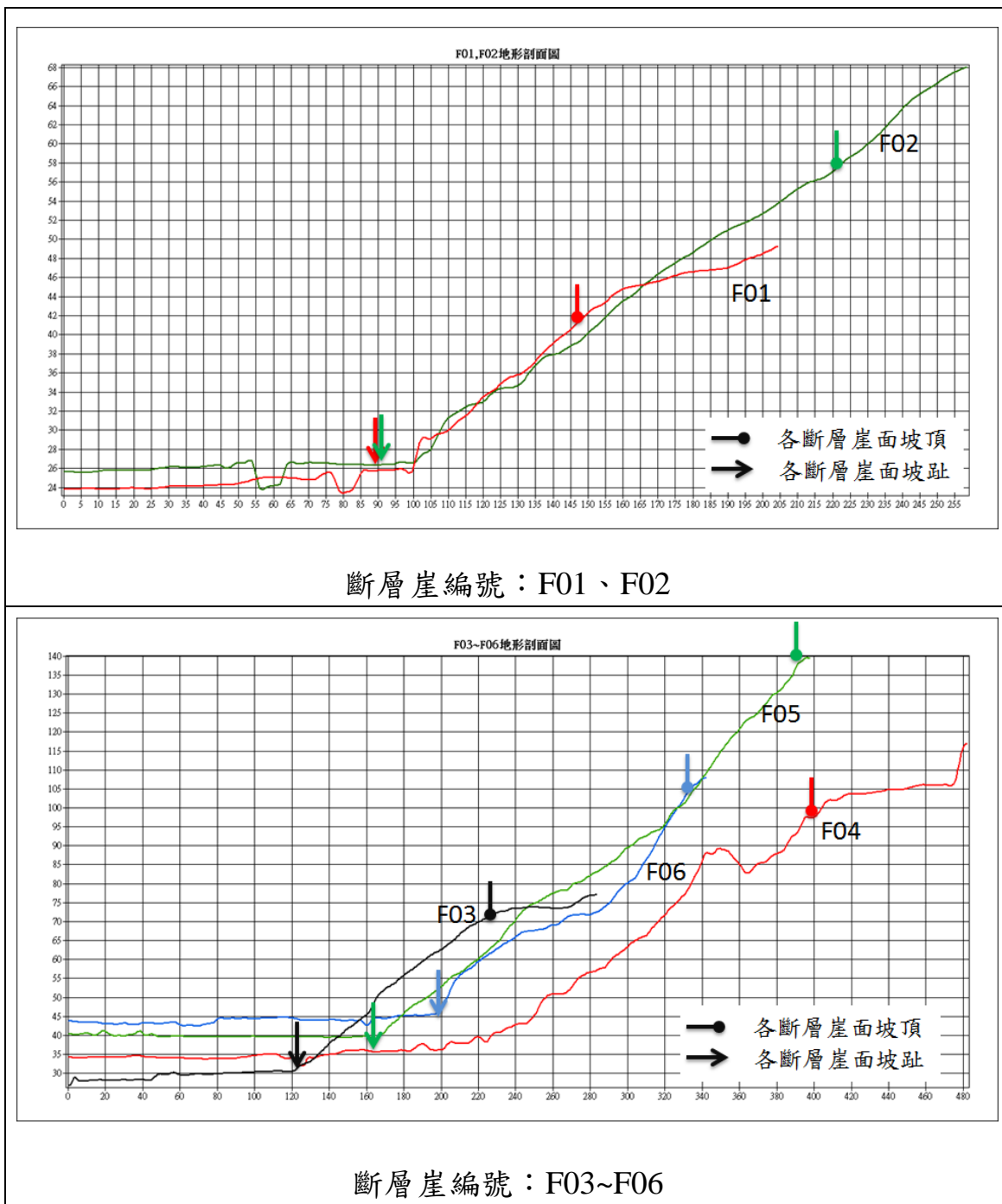
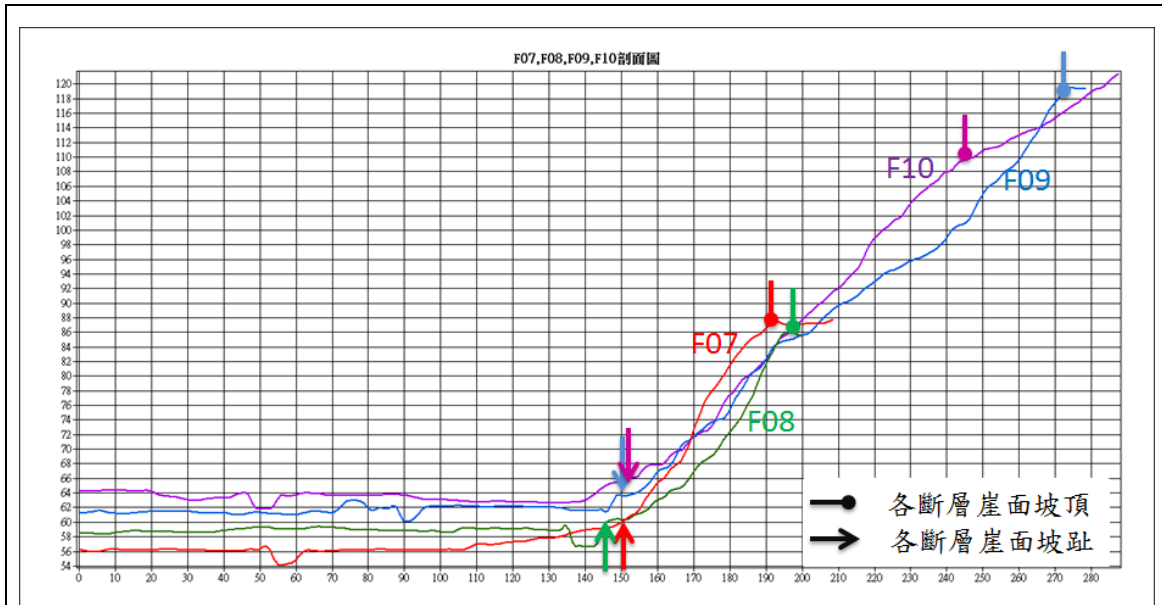
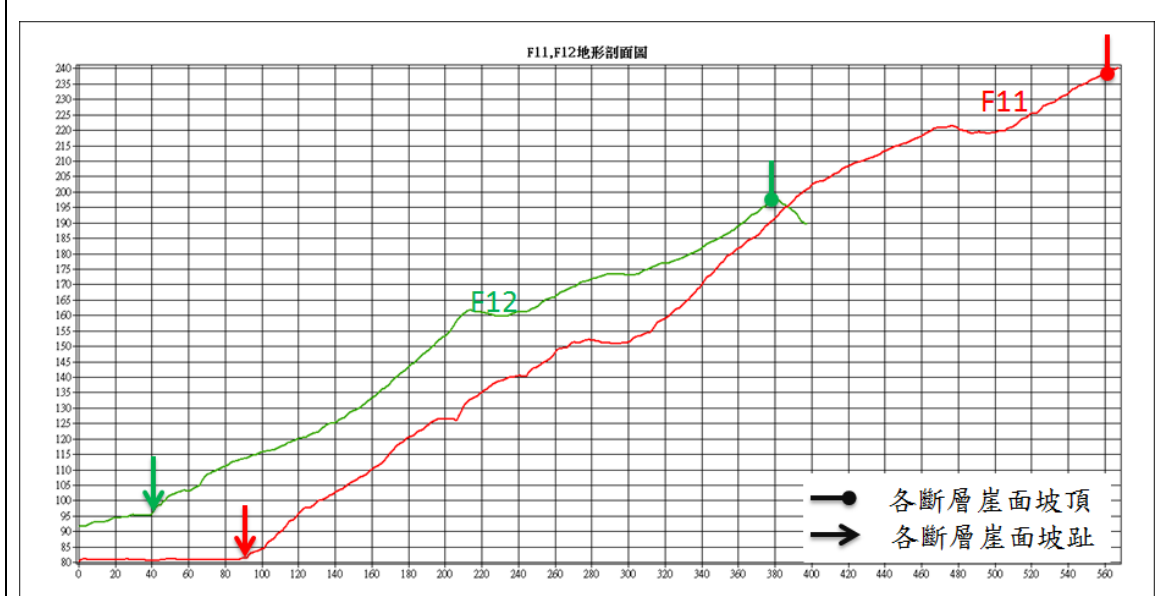


圖 6.36 斷層崖地形剖面圖



斷層崖編號：F07~F10



斷層崖編號：F11、F12

圖 6.36 斷層崖地形剖面圖(續)

而就斷層崖坡度百分比與剖面線坡度百分比之空間分布特性而言，有東北、西南較緩逐漸沿斷層線向中間變陡的趨勢(圖 6.37)。同時分析結果亦發現剖面線與坡度與斷層崖坡度，似乎與距斷層距離無相關性(表 6.15)，而在與岩性相關性的分析方面，平均而言，斷層崖坡度百分比與剖面線坡度百分比之平均值由高而低皆依序為凝灰角礫岩、火山

岩流、南莊層，此顯示岩性對於各個斷層崖在相同之地表營力(風化、侵蝕、搬運與堆積)與山腳斷層活動作用下，有不同之坡度差異。

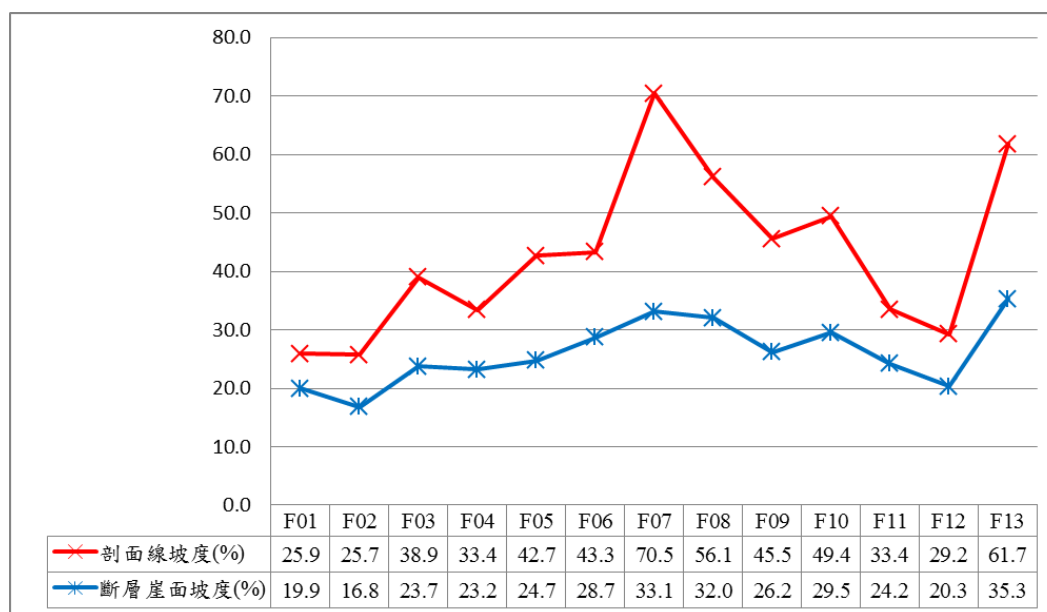


圖 6.37 斷層崖坡度(%)分析成果圖

6-4.6 火山測試區高光譜分析

1. 火山測試區高光譜特徵分析

經現地調查確認地物型態並比對高光譜特徵後，列出本區域之水體、人工建物、裸露地、草地與森林之高光譜特徵分析，以為後續裸岩之光譜特性分析與分類之依據。在水體部分(圖 6.38, 1)，377.2 nm 頻段有對高之反射峰值，而於 1036.9 nm 頻段則有吸收峰值。在人工建物及裸露地部分(圖 6.38, 2、3)，隨者波長變長，反射值有逐漸增加的趨勢，而在 673.9 nm 頻段，其反射值相較於草地與森林則有較大之反射峰值。

在草地與森林部分，則有相近之高光譜特徵(圖 6.38, 4、5)，在波長大於 673.9 nm 的頻段有相對高反射峰值，而於 500 nm 與 660 nm 兩處則有吸收峰值，雖草地與森林兩者趨勢一致，但整體而言草地之反

射值高於森林一倍以上。

經由上述之初步分析，本計畫選定 1036.9 nm 頻段為紅光波段、673.9 nm 頻段為綠光波段、377.2 nm 頻段為藍光波段，以假彩色方式進行呈現以為後續火山裸岩之高光譜分析(圖 6.39)。

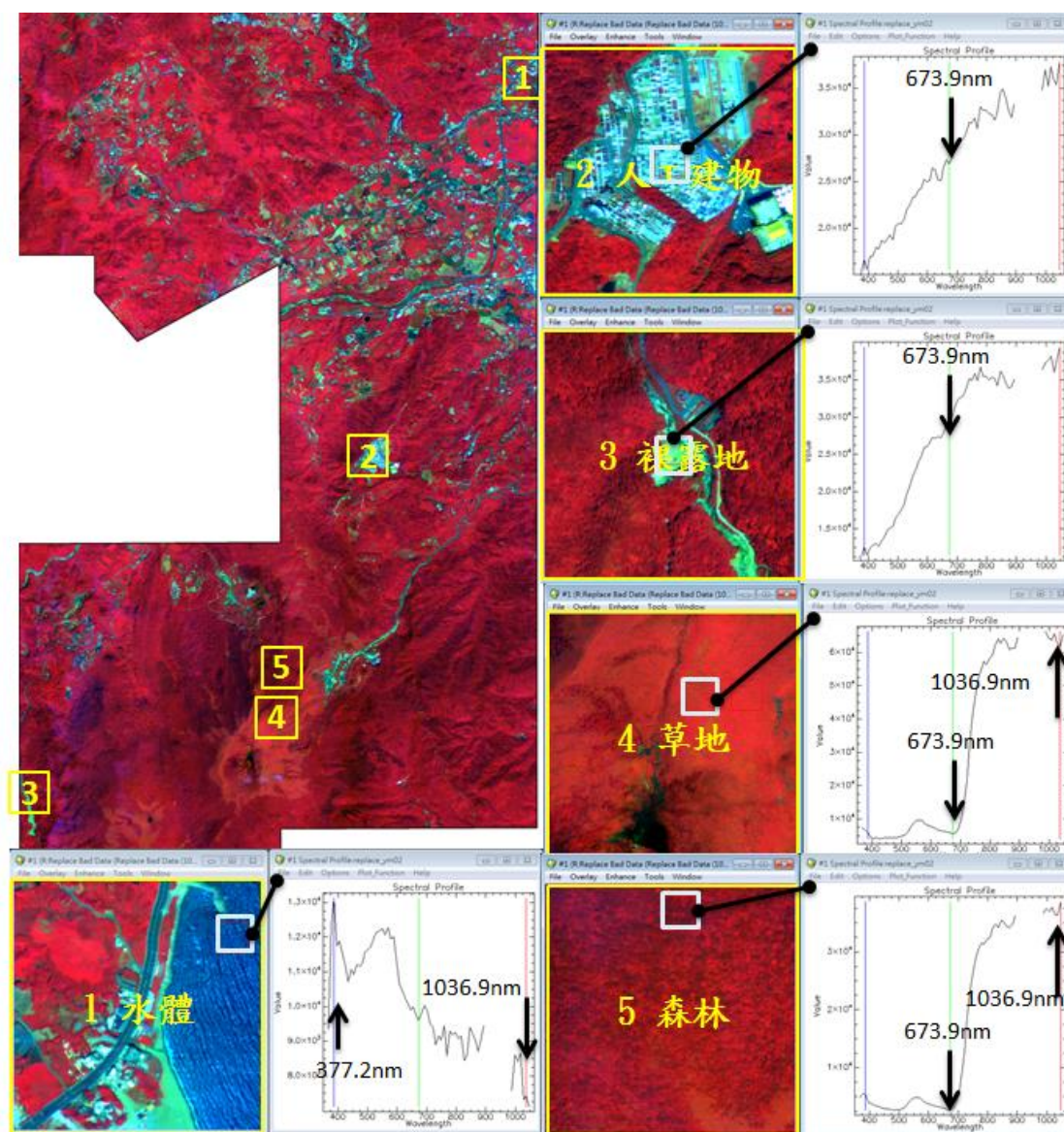


圖 6.38 火山測試區選定各類地物樣區之高光譜反射光譜圖

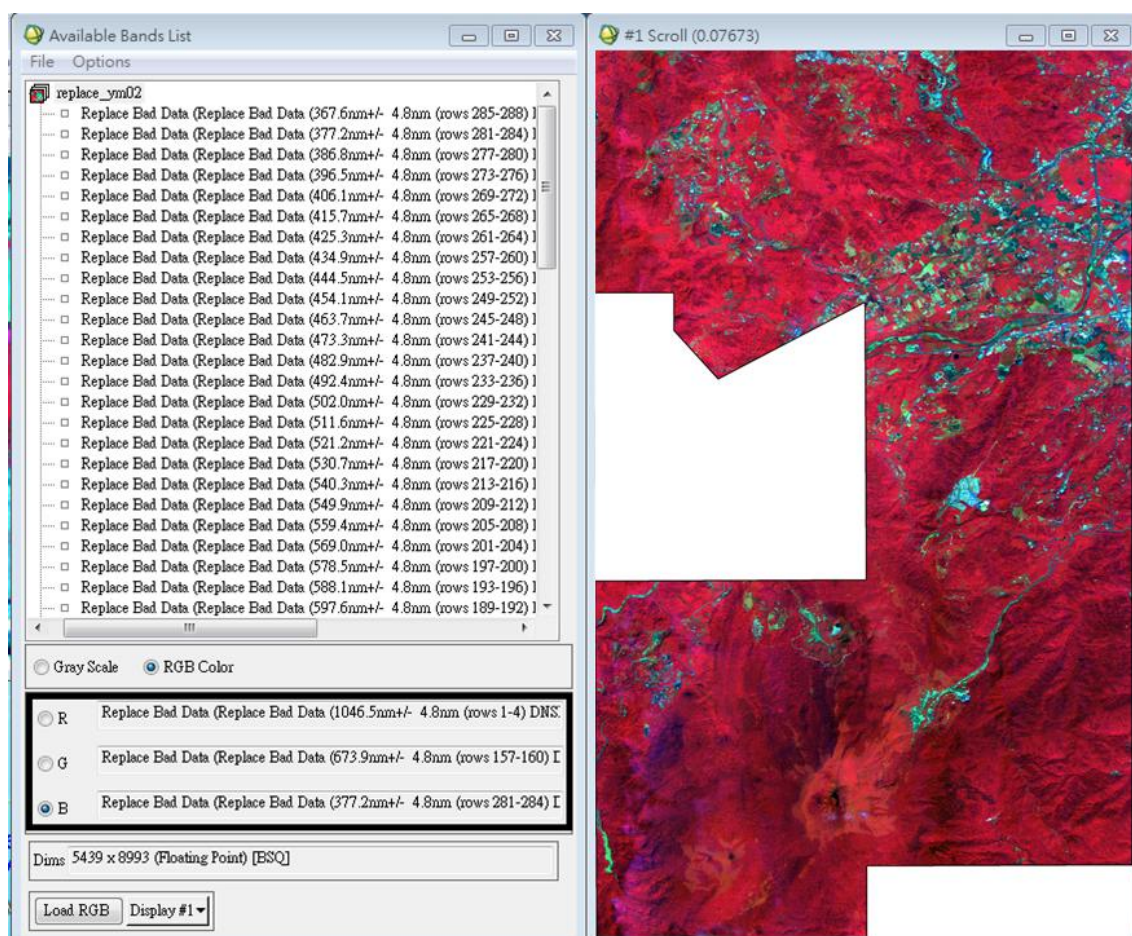


圖 6.39 火山測試區高光譜假彩色影像圖

2. 裸岩高光譜特徵分析

本研究選定火山測試區內之裸岩區域進行高光譜特徵分析，共選出四處現地可供判別之裸岩區域(圖 6.40)，分別為風化安山岩(圖 6.41)、新鮮安山岩(圖 6.42)、火山噴氣孔鄰近岩體與噴氣孔鄰近風化岩體(圖 6.43、圖 6.44)。

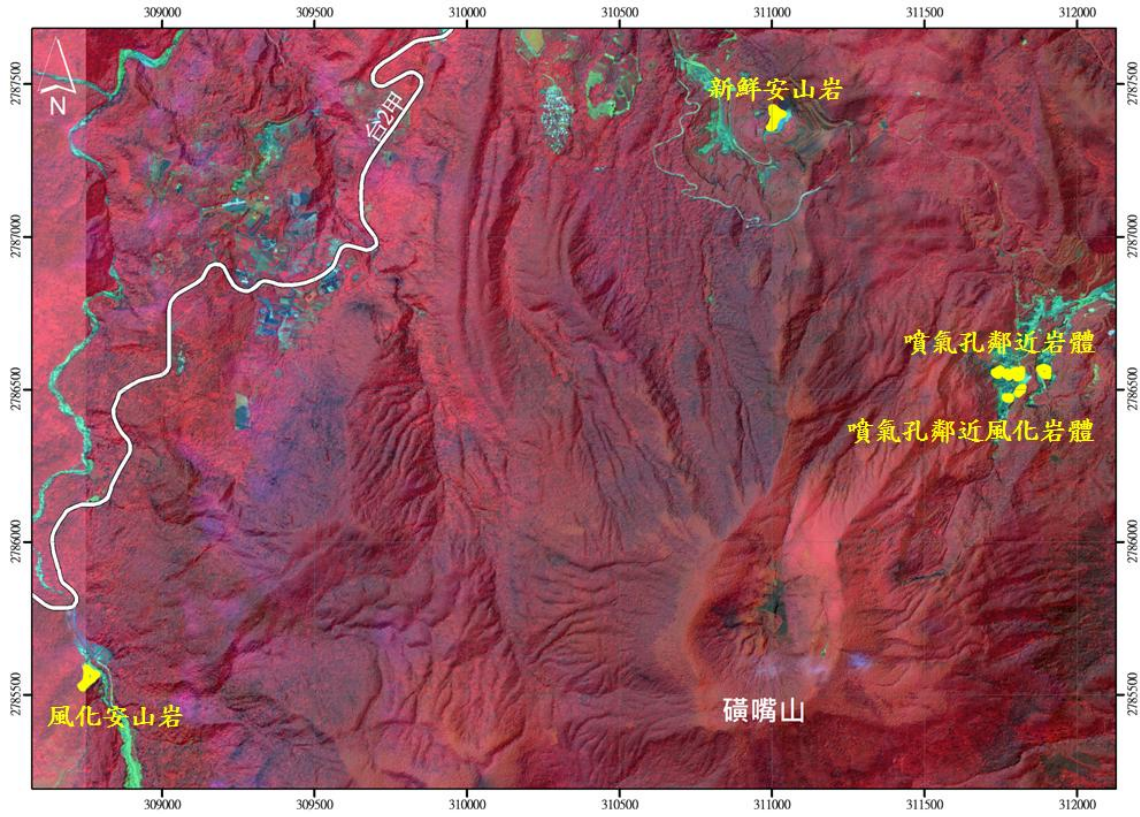


圖 6.40 火山測試區內之裸岩區域位置圖

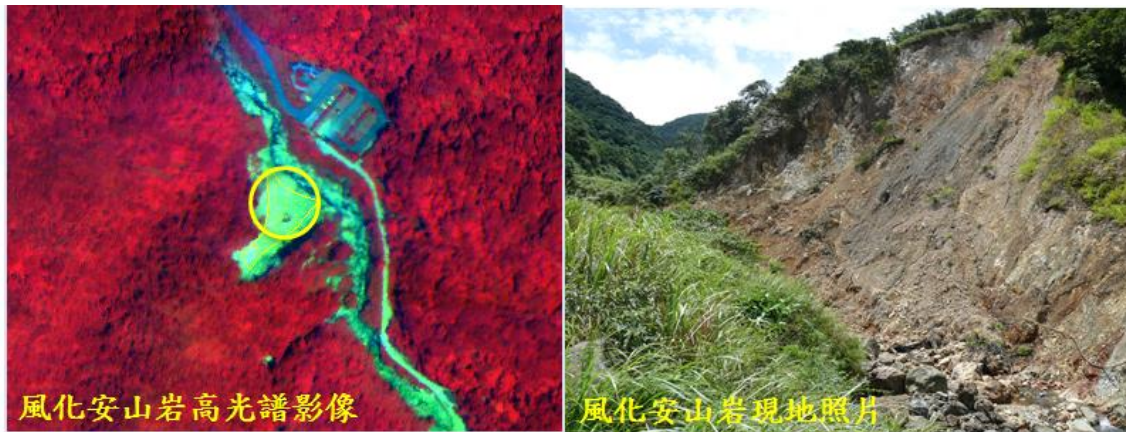


圖 6.41 風化安山岩高光譜影像及現地照片



圖 6.42 新鮮安山岩高光譜影像及現地照片

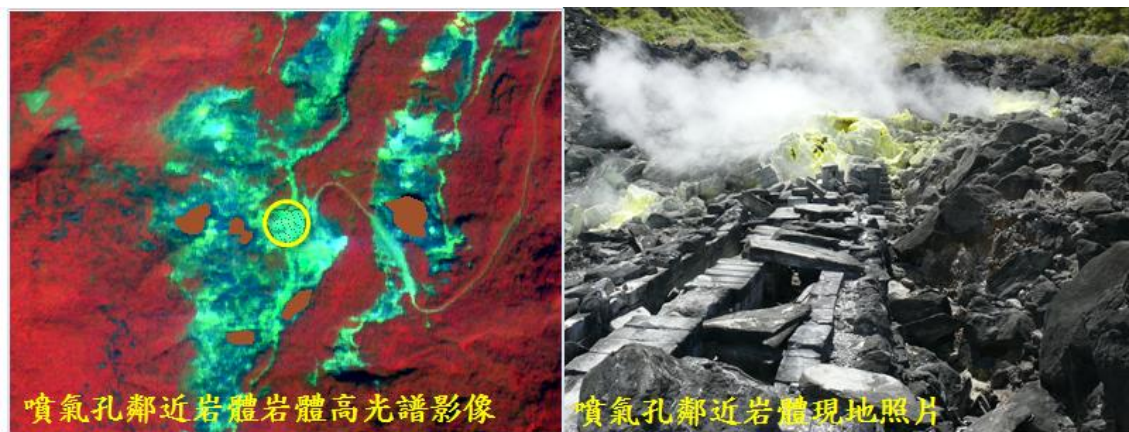


圖 6.43 噴氣孔鄰近岩體高光譜影像及現地照片

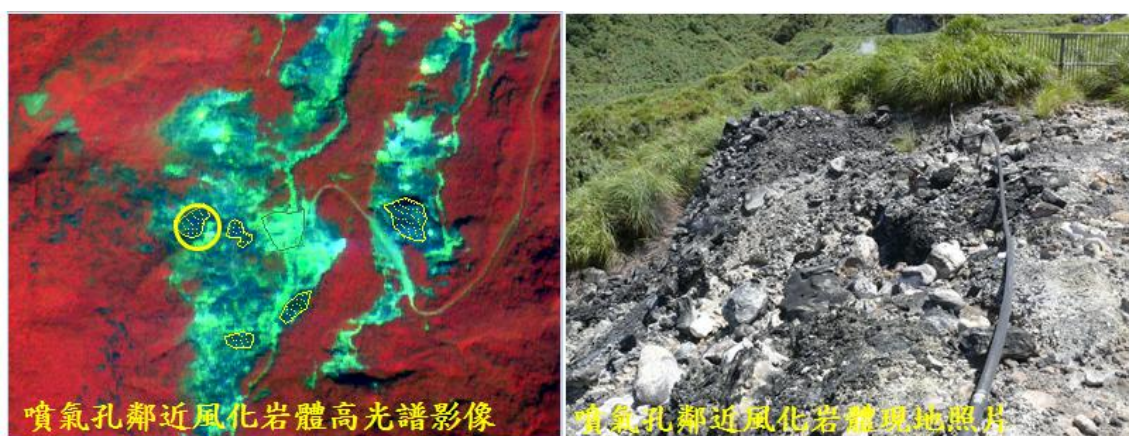


圖 6.44 噴氣孔鄰近風化岩體高光譜影像及現地照片

火山測試區裸岩反射光譜之分析結果顯示(圖 6.45)，風化安山岩、

新鮮安山岩與噴氣孔鄰近岩體有相近之光譜反映特性，而噴氣孔鄰近風化岩體相對於其他岩體而言，有相對較低之吸收峰值。

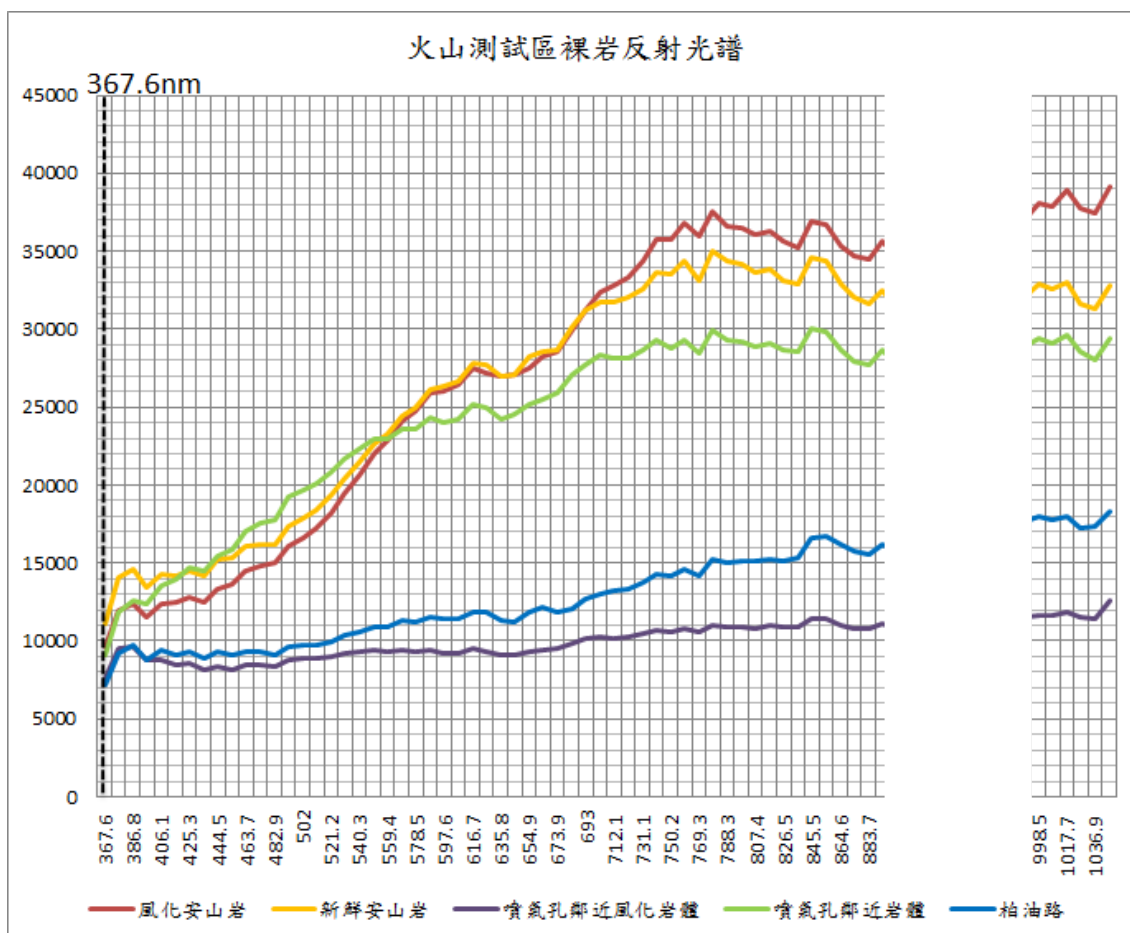


圖 6.45 火山測試區裸岩反射光譜圖

而本研究嘗試利用上述光譜特性進行火山測試區之裸岩分類，結果不進理想，以磺山地熱區為例(圖 6.46)，噴氣口風化岩體因現地顏色呈黑色，與柏油路面在光譜之反射特徵相近，因此易產生混淆，而風化安山岩、新鮮安山岩與噴氣孔鄰近岩體亦有無法區隔的現象，此可能因有相近之光譜反映特性，無法進行鑑別所致。另一可能原因則為 ITRES CASI 1500 高光譜儀收錄之高光譜波長範圍(362.8nm~1051.3nm)裸岩特性相近，無法進行區隔與分類。

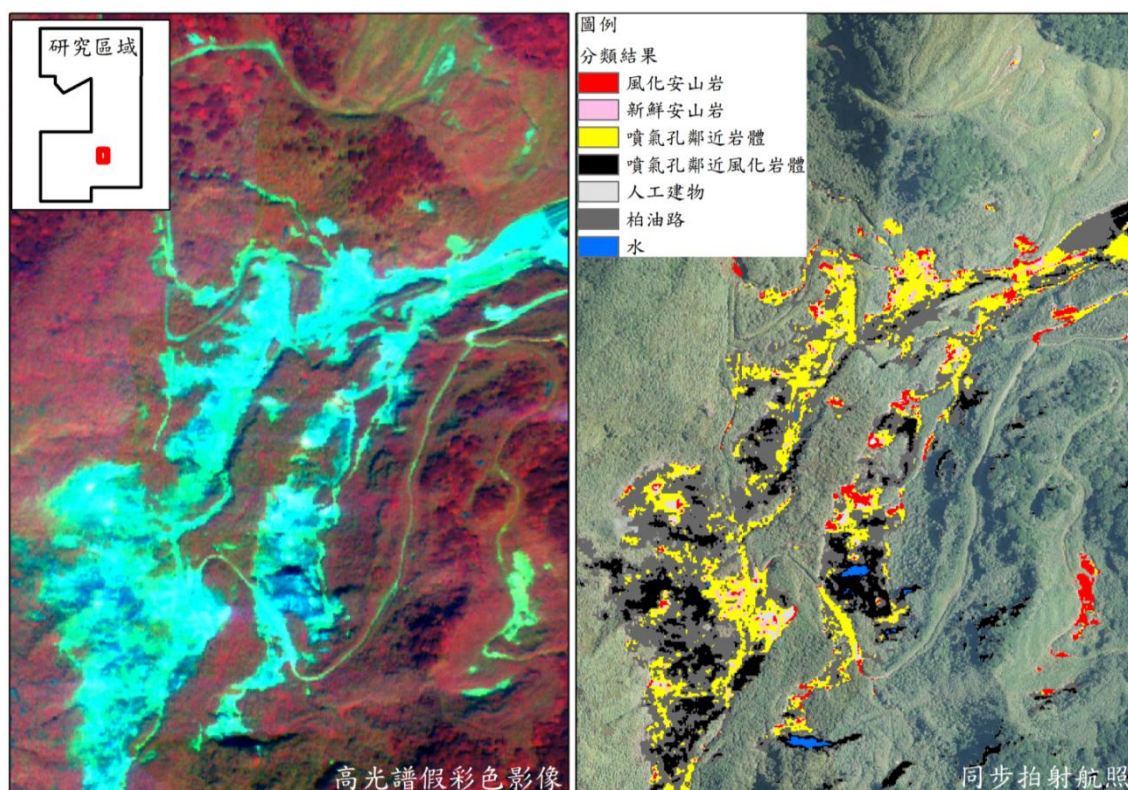


圖 6.46 岩性分類成果圖

3. 融合影像於火山區測試區之應用

為瞭解融合影像對於岩性之分類應用是否有所幫助，本研究以礮山地熱區附近 1,000 m×1,000 m 之範圍以監督式分類進行影像分類，並選擇安山岩、火山噴氣孔鄰近岩體、柏油路、人工建物、草地與森林為訓練樣區，並將其分類結果與高光譜影像之分類成果圖(圖 6.47)進行比較。由初步分類成果(圖 6.48)顯示，除可明顯將森林與草地做區分外，亦可進行安山岩與火山噴氣孔鄰近岩體之區隔。如圖 6.48 之柏油路、人工建物、安山岩、火山噴氣孔鄰近岩體之分類較果明顯優於單純高光譜影像之分類。但部分區域仍有誤判情形，例如圖中白色圓圈處為人工建物卻誤判為安山岩，而圖中紫色圓圈處為火山噴氣孔鄰近岩體卻誤判為柏油路。若以整體而言，利用融合影像進行之分類成效乃優於僅使用高光譜資料之分類成果。

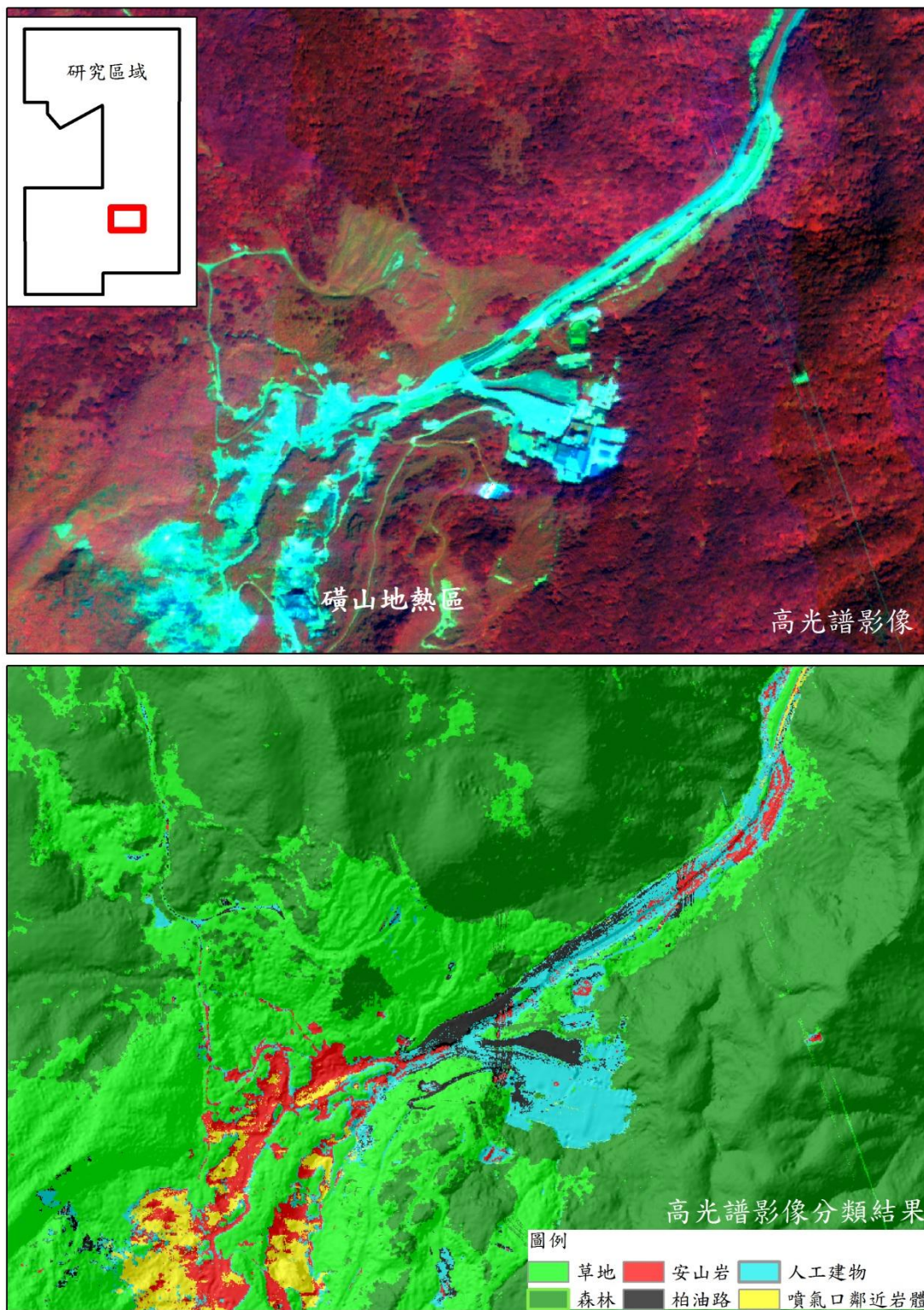


圖 6.47 高光譜影像於岩性分類之結果圖

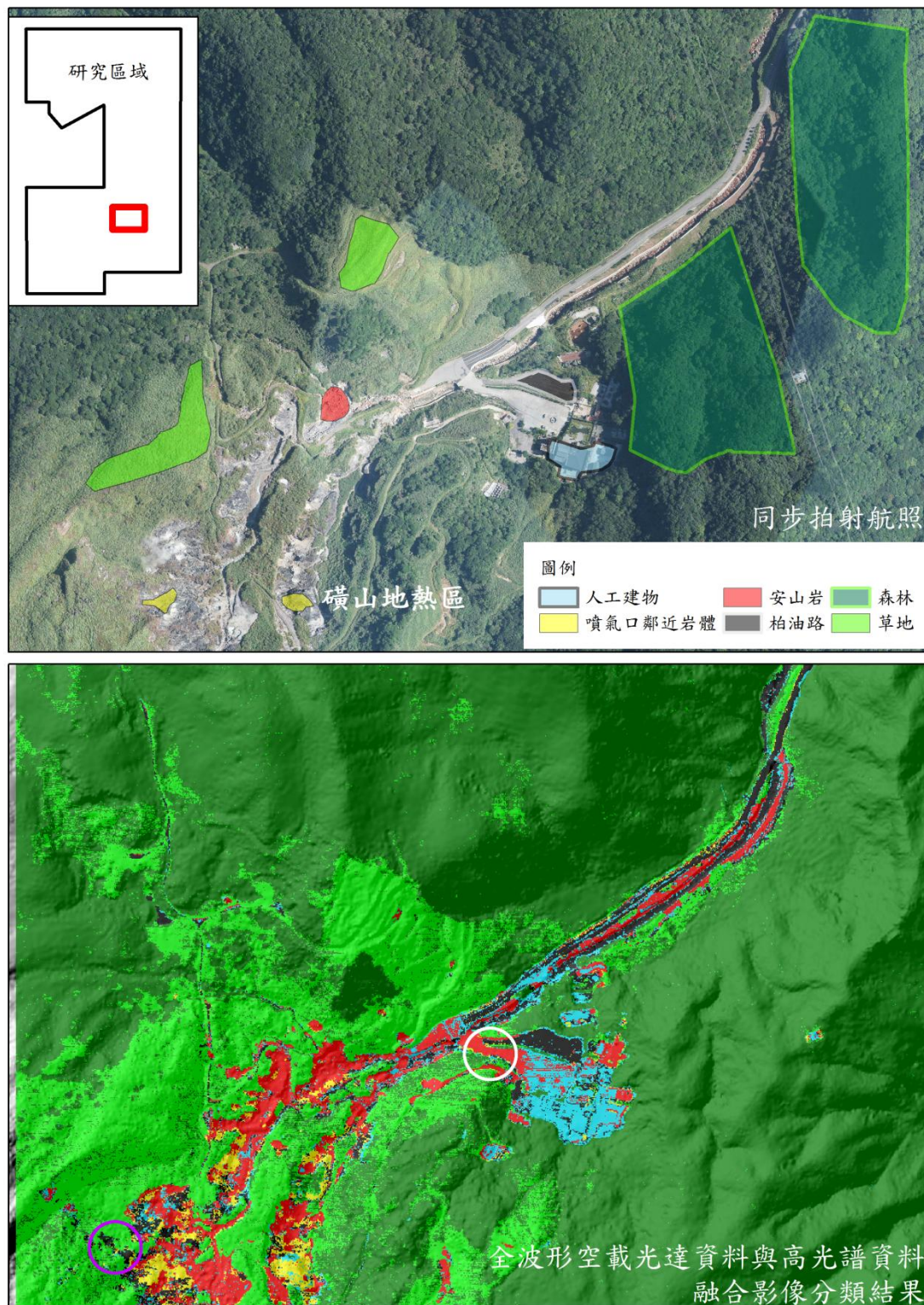


圖 6.48 融合影像於岩性分類之結果圖

4. 高光譜影像判釋與分類精度

火山測試區高光譜影像經監督式分類處理後，依據安山岩、火山噴氣孔鄰近岩體、柏油路、人工建物、草地與森林進行分類，並透過 60 個地真檢核點，以逐點方式進行人工判釋該像元點之類別，共 360 個檢核點位置，並與分類結果產生 Kappa 統計值，其各類分類精度檢核表 6.16。

表 6.16 火山測試區-高光譜影像分類精度檢核表

分類	地真總數	分類檢核數	正確分類數	生產者精度	使用者精度
草地	60	50	46	76.67%	92.00%
森林	60	75	59	98.33%	78.67%
安山岩	60	61	42	70.00%	68.85%
噴氣口鄰近岩體	60	56	44	73.33%	78.57%
柏油路	60	56	37	61.67%	66.07%
人工建物	60	62	40	66.67%	64.52%
總計	360	360	268		
整體精度：74.4%			Kappa 值：0.69		

由結果顯示高光譜影像整體之分類精度為 74.4%，Kappa 值為 0.69，其中在森林有較佳之分類結果，而最差為柏油路與人工建物之分類，由精度矩陣表(表 6.17)發現高光譜分類成果中，噴氣口鄰近岩體與柏油路有被互相誤判的情況，安山岩與人工建物亦有被互相誤判的情況。

表 6.17 火山測試區-高光譜影像分類精度矩陣

		參考資料(地面真實資料)						
		草地	森林	安山岩	噴氣口鄰近岩體	柏油路	人工建物	總計
分類成果	草地	46	1	3	0	0	0	50
	森林	14	59	2	0	0	0	75
	安山岩	0	0	42	3	3	13	61
	噴氣口鄰近岩體	0	0	0	44	10	2	56
	柏油路	0	0	7	7	37	5	56
	人工建物	0	0	6	6	10	40	62
	總計	60	60	60	60	60	60	360

5. 融合影像判釋與分類精度

利用前節之融合影像判釋與分類精度檢核成果如表 6.18。由結果顯示高光譜影像整體之分類精度為 81.9%，Kappa 值為 0.78，融合影像的分類整體精度也提高了 7.5%，Kappa 值也由 0.69 提升至 0.78，此結果明顯優於高光譜影像分類結果，火山測試區中利用融合影像進行分類，在森林、草地與噴氣口鄰近岩體皆有較佳之分類結果，而最差為安山岩之分類。

表 6.18 火山測試區-融合後影像之分類精度檢核表

分類	地真總數	分類檢核數	正確分類數	生產者精度	使用者精度
草地	60	61	59	98.33%	96.72%
森林	60	61	60	100.00%	98.36%
安山岩	60	28	25	41.67%	89.29%
噴氣口鄰近岩體	60	61	59	98.33%	96.72%
柏油路	60	61	46	76.67%	75.41%
人工建物	60	88	46	76.67%	52.27%
總計	360	360	295		
整體精度：81.9%			Kappa 值：0.78		

透過精度矩陣表(表 6.19)顯示，柏油路與噴氣口鄰近岩體雖皆無誤判情形，但柏油路與人工建物仍有相互誤判的情形，從分類精度矩陣中亦發現安山岩誤判為人工建物的比例增加。植生方面，無論是高光譜影像或融合影像的分類成果，森林與草地依然維持高判釋精度。利用融合影像進行分類，雖顯示整體分類整體精度提高，但部分仍會有誤判的情形。

表 6.19 火山測試區-融合影像分類精度矩陣

		參考資料(地面真實資料)						
		草地	森林	安山岩	噴氣口鄰近岩體	柏油路	人工建物	總計
分類 成果	草地	59	0	2	0	0	0	61
	森林	1	60	0	0	0	0	61
	安山岩	0	0	25	1	2	0	28
	噴氣口鄰近岩體	0	0	0	59	0	2	61
	柏油路	0	0	3	0	46	12	61
	人工建物	0	0	30	0	12	46	88
	總計	60	60	60	60	60	60	360

6-4.7 小結

依據地層進行 NDVI 統計，火山岩流之 NDVI 平均值達 0.1 為最高，其次為凝灰角礫岩，最低為沖積層及砂丘。整體而言，火成岩(火山岩流、凝灰角礫岩)的 NDVI 平均值皆比沉積岩來得高。火山地形特徵判釋結果顯示，研究區域內共有 2 處火山錐地形，位於區域南側。在火山熔岩流部分則有舌狀熔岩流、平行脊熔岩流以及指狀熔岩流等特徵。大型舌狀熔岩流主要分布於磺嘴山西北側長條狀熔岩流主要分布於磺嘴山周圍，其餘可能為水系發育造成之平行狀地形；分叉狀圓弧形熔岩流多位於大型舌狀熔岩流的平台上，最明顯為磺嘴山北側平台上區域。

本區域內崩塌主要發生於磺溪兩側山坡，主因為長年河岸侵蝕所造成，另外則分布於火山錐周圍，由於先前火山噴發時造成較陡峭之地形。在線形判釋方面，研究區域內線形多為山腳斷層之分支斷層所造成，或者與其斷層作用相關而生成。於小油坑、馬槽與大油坑各有一條東北西南走向，向西北傾沒之構造線形通過，因這些構造線形造成該處後火山活動顯現於地表。

若進行火山地區岩性與地表粗糙度的關係分析，就單一岩性而言，網格解析度降低，地表粗糙度亦有降低的趨勢。而在各岩性之地表粗糙度統計結果顯示，火山岩流之地表粗糙度為最高，沖積層為最低。從統計表中亦可以發現凝灰角礫岩之地表粗糙度較火山岩流為低。

若以各地層內單位面積之水系長度進行水系密度統計，整體而言(除南莊層外)沉積岩之水系發育密度皆比火成岩為高，顯示沉積岩相較於火成岩更有利於水系的發育。

在地震斷層地形特徵判釋成果部份，本研究針對斷層活動後產生斷層面受營力作後力之斷層崖進行地形特徵判釋。判釋結果顯示，沿著金山斷層與山腳斷層沿線共判釋出 13 處斷層崖，就斷層崖坡度百分比與剖面線坡度百分比之空間分布特性而言，有東北、西南較緩逐漸沿斷層線向中間變陡的趨勢，而在與岩性相關性的分析方面，斷層崖坡度百分比與剖面線坡度百分比之平均值由高而低皆依序為凝灰角礫岩、火山岩流、南莊層，此顯示岩性對於各個斷層崖在相同之地表營力(風化、侵蝕、搬運與堆積)與山腳斷層活動作用下，有不同之坡度差異。

在火山測試區高光譜特徵分析成果部份本研究選定火山測試區內之裸岩區域進行高光譜特徵分析，共選出四處現地可供判別之裸岩區域，分別為風化安山岩、新鮮安山岩、火山噴氣孔鄰近岩體與噴氣孔

鄰近風化岩體分析，結果顯示各裸岩區於 950.6 nm 頻段有最高之反射峰值，而於 367.6 nm 頻段則有吸收峰值。整體而言，風化安山岩、新鮮安山岩與噴氣孔鄰近岩體有相近之光譜反映特性，而噴氣孔鄰近風化岩體相對於其他岩體而言，有相對較低之吸收峰值。而本研究嘗試利用上述光譜特性進行火山測試區之裸岩分類，結果不盡理想，可能因有相近之光譜反映特性，故無法有效進行鑑別。但利用全波形空載光達資料與高光譜資料融合資料進行裸岩之分類則比單純使用高光譜資料具有較佳分類效果。

6-5 水庫集水區之應用成果探討

針對高光譜影像與多光譜衛星影像之分類判釋結果，本研究將進行分類成果之套疊分析，瞭解不同資料對於土地使用覆蓋情況。此外，為探討比較高光譜資料與多光譜衛星影像分別應用於集水區環境影響水質分析之成效。本研究以多時期多光譜影像為分析材料，分析曾文水庫集水區(水庫集水區-A 測試區)之土地使用/土地覆蓋對於水庫水質的影響，成果如下：

6-5.1 多時期土地使用類別判釋

以每三年為一期，收集 2001~2010 年間水庫集水區-A 測試區之多光譜衛星影像，利用正射影像圖、2011 年曾文溪集水區土地分類數化圖(資料來源：水土保持局)以及國土利用調查資料作為地真資料，進行 A 測試區之土地使用類別判釋。

因本研究區每年度在分類前先去除了水庫及水系資料時均為固定區域，故最後分類計算時不再將此項列出，而雲蔽、陰影經與航照資料及國土利用調查資料等確認過後，其產生之地區多為高密度植生區域，為使圖面資料具完整性，於是本研究將此二項併入森林計算，最後將

重新歸類及編碼後的地表分類以不同顏色表示如下圖 6.49、圖 6.50，共分為(1)森林、(2)裸露地、(3)草地、(4)建地及(5)崩塌地。

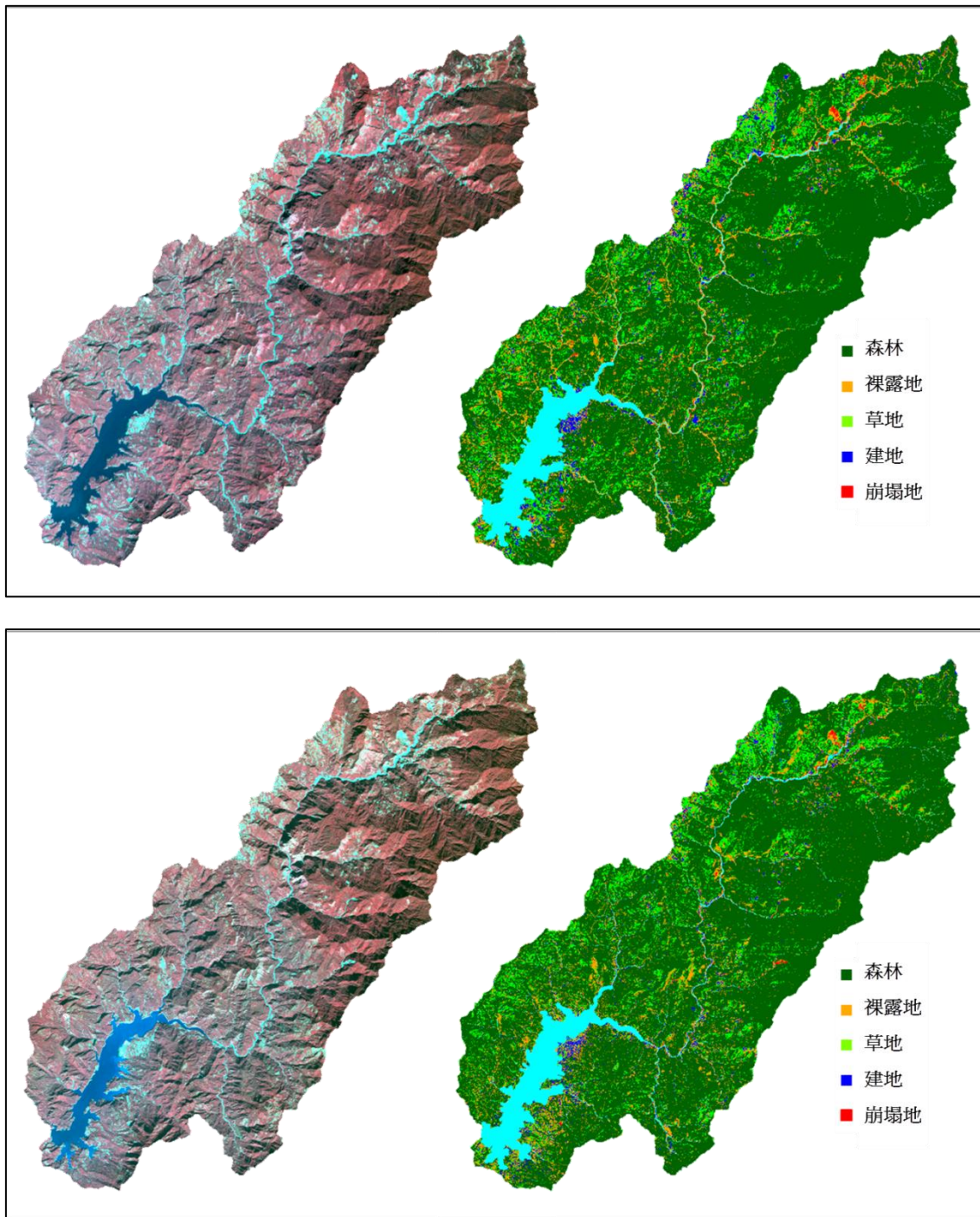


圖 6.49 (a) 2001 年原始衛星影像；(b) 2001 年土地使用分類判釋成果；
(c) 2004 年原始衛星影像；(d) 2004 年土地使用分類判釋成果

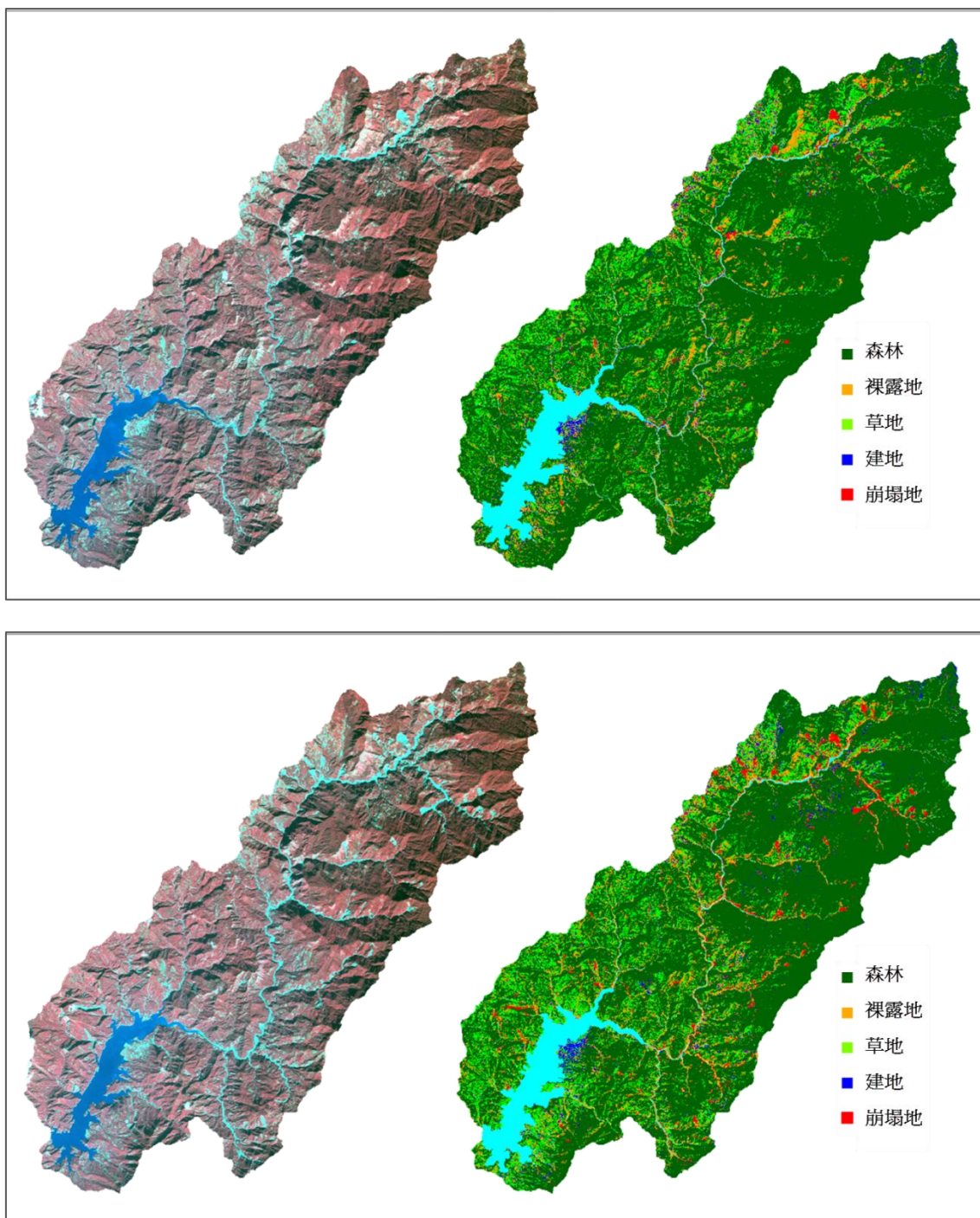


圖 6.50 (a) 2007 年原始衛星影像；(b) 2007 年土地使用分類判釋成果；
(c) 2010 年原始衛星影像；(d) 2010 年土地使用分類判釋成果

1. 崩塌地分類自動判釋成果

因本研究區僅有少數雲蔽現象，在 NDVI 值選取崩塌地同時，以對照航空射影照片的方式去除有雲遮的地方。經前述二階段方法提取

出之崩塌地面積整理成如下表 6.20

表 6.20 各年度崩塌地面積與颱風事件對照表(單位：公頃)

年度	2001	2003	2004	2005	2007	2008	2009	2010
本研究計算面積	189	131	171	298	432	464	1708	1150
參考文獻資料面積	156.2	162.7	194.4	201.8	297.6	332.5	1732.2	1302.2
颱風事件	桃芝 納莉	杜鵑	艾利 敏督利	海棠 泰利	柯羅莎	卡玫基	莫拉克	凡那比

參考文獻來源：經濟部水利署南區水資源局 [曾文水庫集水區保育實施計畫(檢討修訂)]，財團法人成大研究發展基金會

本研究計算出水庫集水區-A 測試區之歷年崩塌地面積與過去參考文獻相比，每年度均有微幅差距，推測可能因取得之影像時間、種類及空間解析度之不同，或是依照選取崩塌地之方法不同而有所差異，因而換算出之面積有差距，但整體趨勢而言，其變化上升幅度則屬相近。

由於本區域為曾文水庫集水區，全區植生較茂密，崩塌地最高年份比例僅佔全區不到 3%，故在此僅以崩塌地變動較高區域(曾文水庫集水區水系上游)做為示意，崩塌地以橘黃色呈示如圖 6.51，可發現 2001 年至 2008 年間的崩塌地並無太大的新增或減少，直至 2009 年崩塌地卻有明顯的驟增。

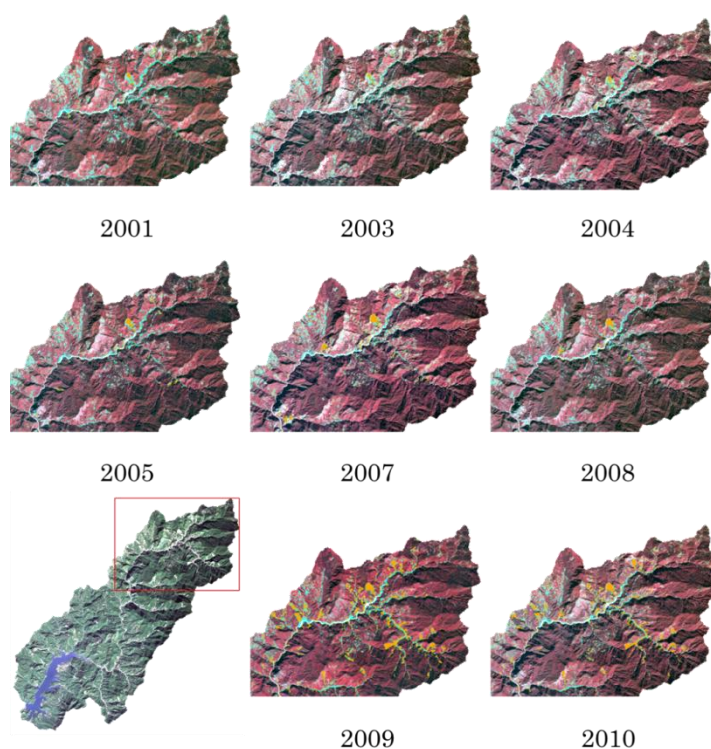


圖 6.51 曾文水庫水系中上游崩塌地歷年變動示意圖

比對颱風事件後發現，2009 年的莫拉克(MORAKOT)颱風在本研究區的最大累積雨量為 700 mm，對當地所造成的風水災害不容小覷。受颱風及西南氣流影響，中南部、東部多處地區降下刷新歷史紀錄的雨量，引發嚴重水患，造成臺南、高雄、屏東及臺東等縣重大災情，鐵、公路多處路基流失造成交通中斷，多處地區發生嚴重土石流災害(交通部中央氣象局觀測資料)。推敲原因，可能因颱風夾帶豪雨沖刷，造成坡度較高之水土保持流失，使植被等有大面積的崩落，查看全區 NDVI 值與崩塌地的對照圖 6.52 與圖 6.53，從崩塌地面積與 NDVI 線性關係圖中可得知，崩塌地的多寡會影響全區的 NDVI 平均值，且兩者存在線性負相關趨勢。

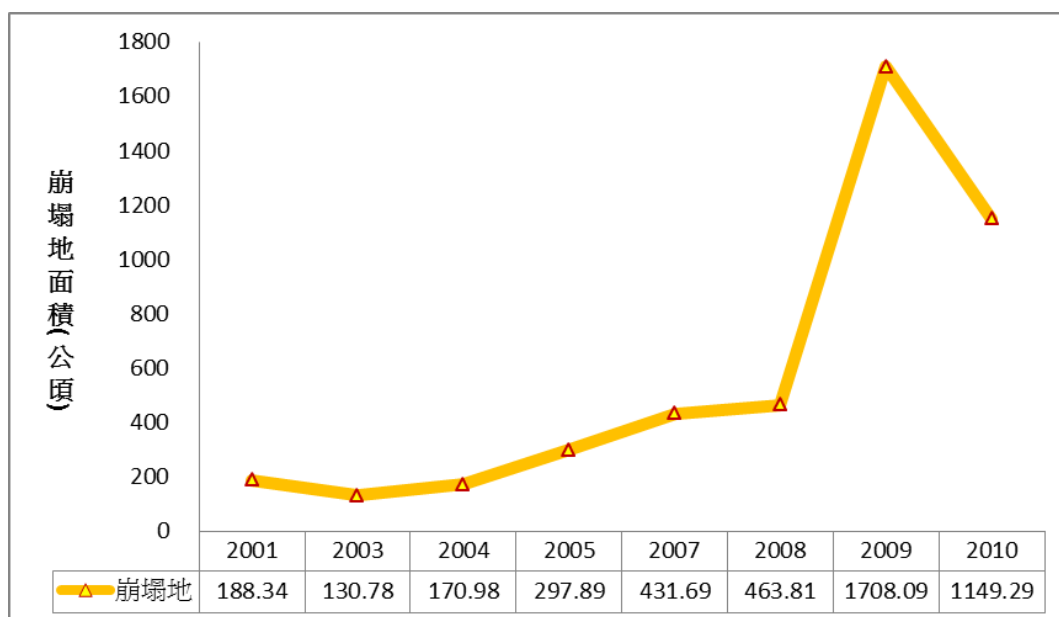


圖 6.52 歷年崩塌地面積圖

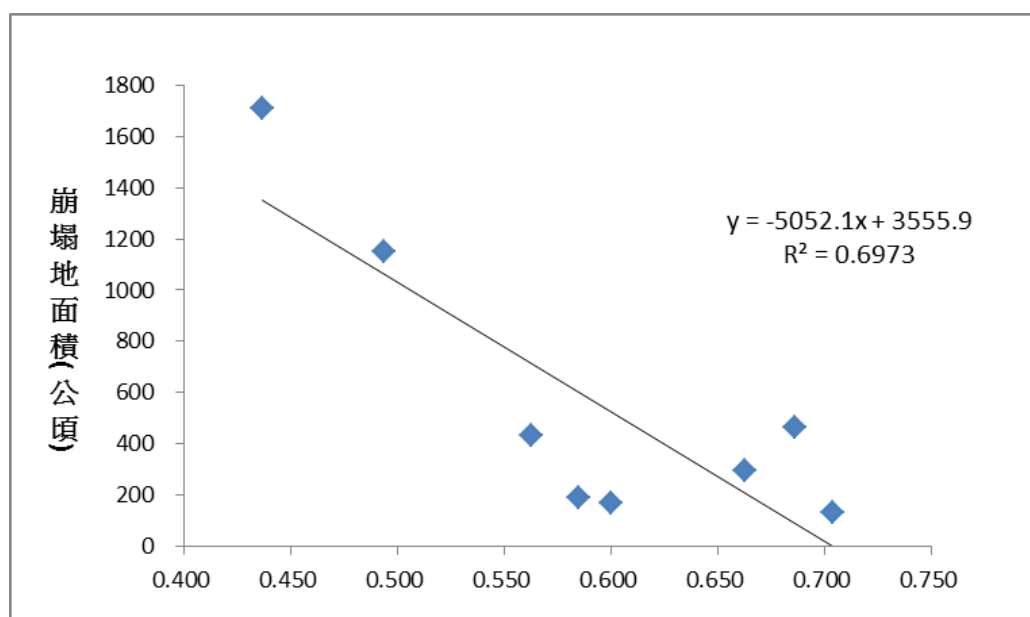


圖 6.53 崩塌地面積與 NDVI 趨勢圖

6-5.2 土地利用型態變遷分析

2001 年、2004 年、2007 年及 2010 年的分類組成圖如下圖 6.54，本研究區曾文水庫集文區的森林面積約佔全區 70.0% 以上，但有逐年遞減的情況，2004 年時森林面積接近全區的八成，至 2010 年時，僅剩約七成，顯示此區的森林植生正在大量的減少；建成用地的部份則是持

衡的狀態，因建成用地要轉換為其他用地的邊際成本較高，故除了原有的建地拆遷之外，不易被做為其他用地使用，但因本研究採用自動分類辨識，分類結果可能受原始衛星影像空間解析度、光譜解析度等因素，造成誤漏判情況，使得建地有極小幅度的面積波動。草地部份則有 1.0~2.0% 的微幅成長，可能是因為森林面積減少及崩塌地、裸露地增加時，植生回復隨季節變化有消長的情形。

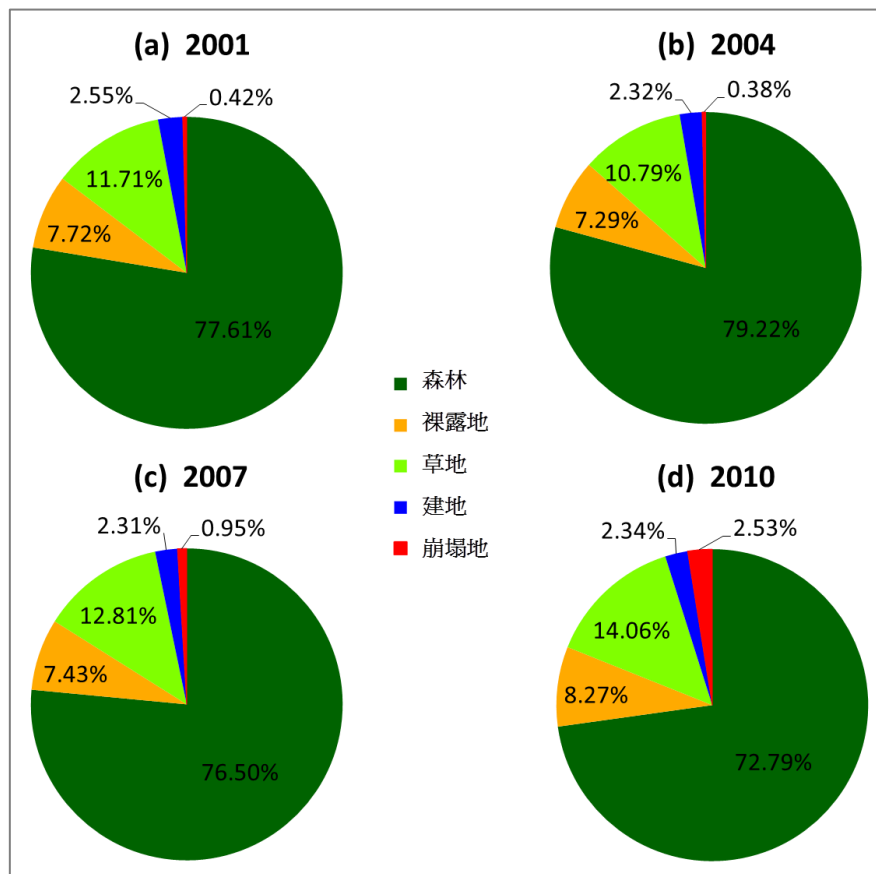


圖 6.54 (a) 2001 年影像分類組成；(b)2004 年影像分類組成；(c)2007 年影像分類組成；(d)2010 年影像分類組成

觀看各期土地使用分類變化圖，如圖 6.55，也可發現森林面積有大量減少的情況，本研究區四年度森林面積最高與最低相差了 2916.66 公頃，約為台北大安森林公園的 100 倍(大安森林公園面積 26 公頃)，如此大面積的水土保持流失，恐造成生物多樣性、生態與文化的失衡；裸露地與建地的變動則不明顯，僅裸露地在 2010 年時，受 2009 年的

莫拉克颱風所帶來的風水災害有急劇增加的情勢；草地與森林的變動則為反向趨勢。

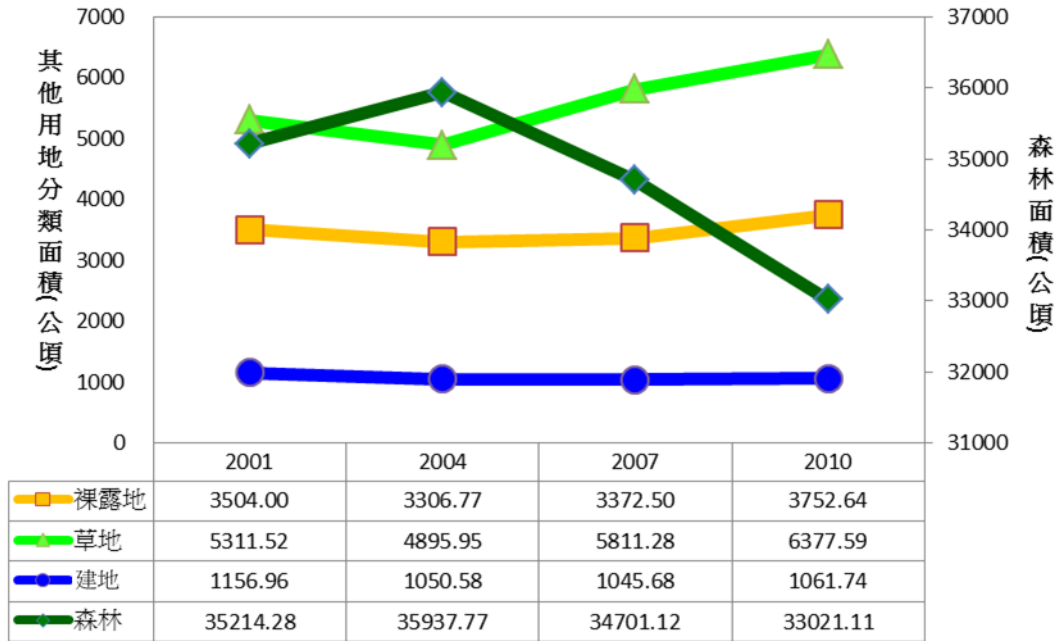


圖 6.55 2001 年、2004 年、2007 年及 2010 年土地使用分類變化圖(崩塌地之土地使用分類變化請參照圖 6.56)

在此，特別提出探討的為崩塌地與裸露地部份，由圖 6.56 中可看出，此二種分類用地面積的增長趨勢相似。由於崩塌地與裸露地的光譜反射特性屬同質同譜，在本研究中為分離坡度較大的裸露地視為崩塌地，先前已依本研究擬定之崩塌地自動判釋流程製圖，但仍有部份裸露地未被正確判斷為崩塌地，或是在河道邊緣的崩塌地因坡度較小而被判定為裸露地。在此，因兩者增減呈度相似，若合併計算為同一種類地也可看出曾文集水區的歷年裸露地變化情況。為更了解本研究區土地利用類別前後期變動情況與比例，可參閱圖 6.57。由圖可知，雖然森林變動的最大幅度僅有 3.70%，但本研究區有 45,362 公頃，換算下來的變動面積仍相當可觀，與其他分類用地比較後可發現，森林的變動的速度約為其他用地類型的 2~5 倍，且以 2007 年-2010 年的變

動幅度最大，顯示此區間內應有影響植生變化的重大事件發生。由中央氣象局颱風歷史統計資料顯示，2007~2010 年內的重大颱風事件有 2007 年的柯羅莎颱風，當地最大累積時雨量為 350 mm；2008 年的卡玫基颱風，當地最大累積時雨量為 300 mm；2009 年的莫拉克颱風，當地最大累積時雨量為 700 mm；2010 年的凡那比颱風，當地最大累積時雨量為 250 mm。

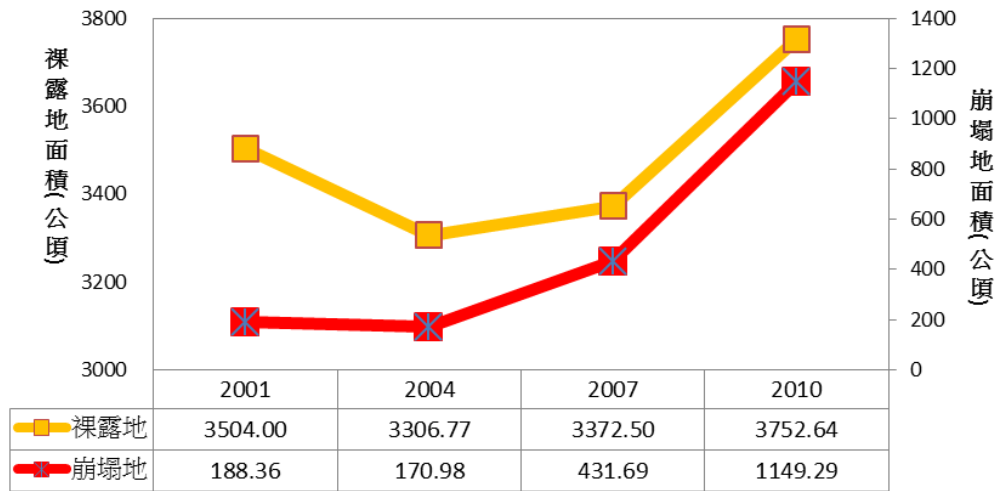


圖 6.56 2001 年、2004 年、2007 年及 2010 年崩塌地與裸露地變化圖

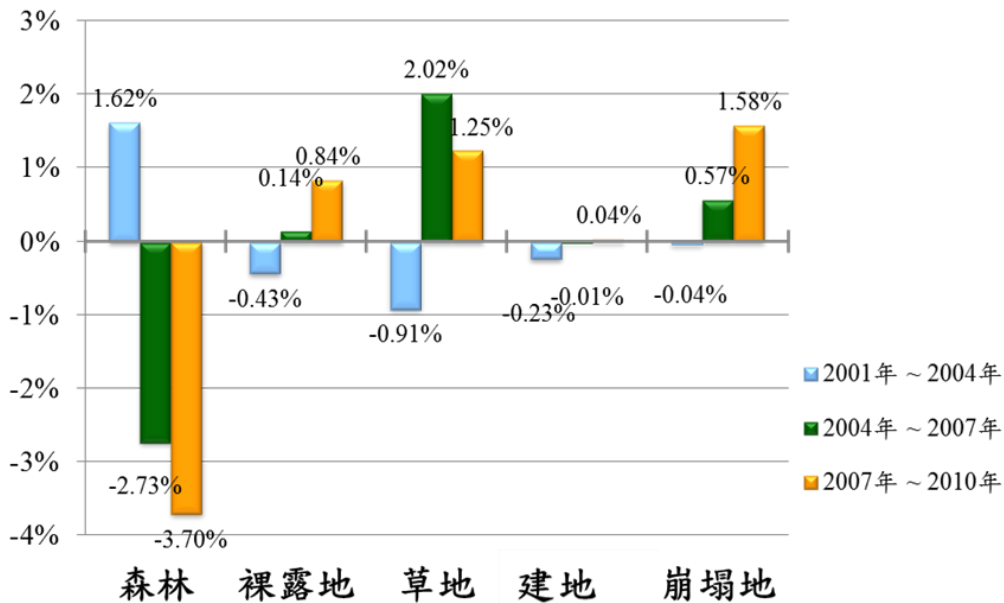


圖 6.57 土地利用類別前後期變動圖

6-5.3 土地覆蓋變遷分析

根據中央氣象局統計，每年平均有 3.5 個颱風侵台，每年從 7 月至 10 月，颱風帶來大量的雨量重創台灣集水區，造成崩塌、土石流等災情(Lin et al., 2008)，以及颱風自然干擾許多森林生態系統(Lee et al., 2008a; Lee et al., 2008b)。颱風干擾的前後，NDVI 影像會有顯著差異(Lin et al., 2009; Chu et al., 2009)，此差異可以代表景觀格局的變化，包括植被被干擾破壞和土體滑動改變植物覆蓋的土地，以致於土地裸露，NDVI 在不同颱風事件後的變化情況(Lin et al., 2009)。

台灣地區重要災害如，2010 年之凡那比颱風、2009 年之莫拉克颱風、2008 年之卡玫基與辛樂克颱風、2007 年之柯羅莎颱風、2004 年之敏都利與艾利颱風、以及 2001 年之桃芝與納莉颱風等，均為曾文水庫集水區帶來了豐沛雨量，但也間接造成曾文水庫集水區周遭傳出重大之災情。大雨沖刷集水區內的土壤，會對土地覆蓋(植被)受到大型的干擾，且挾帶流入水庫的泥砂量，也可能造成水庫水質的變動。

NDVI 指數乃利用衛星不同波段探測數據計算而成。其能反應植物生長狀況的指數，植物葉面在可見光紅光波段有很強的吸收特性，在近紅外波段有很強的反射特性，以 NDVI 指數有助於回推植被覆蓋狀態。本研究區以多光譜影像可分類出植被有森林與草地，為探討植被與 NDVI 之關係，將森林與草地面積合併為總植生面積，顯示如下圖

6.58



圖 6.58 植生面積與平均 NDVI 圖

由於 NDVI 與植生面積(包含森林與草地)息息相關，且如圖 6.59 中可看出，裸露地面積及崩塌地面積的總合與平均 NDVI 圖，兩者的關係為負相關趨勢，因此可推斷，當植生面積減少時，可能多轉換為裸露地或崩塌地為之。

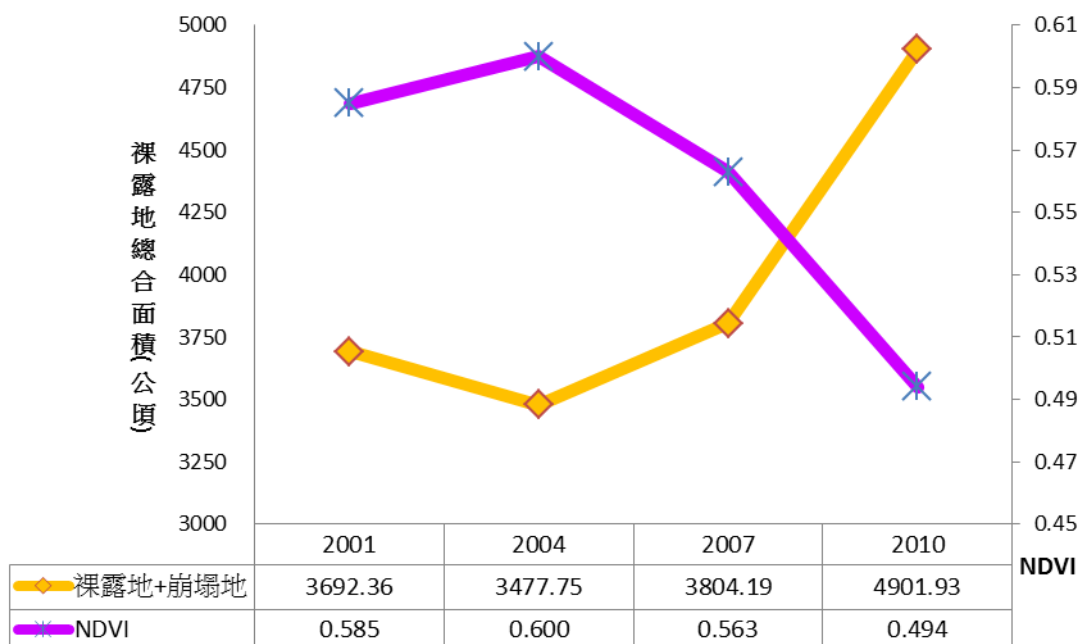


圖 6.59 裸露地總合面積與平均 NDVI 圖

具體轉換內容可由前後期年度之轉換矩陣表及土地使用類別轉換圖可得知。以表 6.21 為例，本研究區曾文水庫集水區內自 2001 年至 2004 年的森林地轉出率為 90.10%；變動率較高的為森林轉換為草地，有近 5% 的轉出率；裸露地也有 4% 的轉出率；相較之下，變化較不明顯的則為崩塌地及建地。因研究範圍較大，森林佔本研究區七成以上，且植生變動與先前 NDVI 存在高度相關，故在此本研究著重於森林轉換為裸露地及草地之分析。

表 6.21 2001 年到 2004 年的森林轉移矩陣表(單位：公頃)

	2004 年					
	森林	裸露地	草地	建地	崩塌地	總合
2001_森	31650.89	1404.86	1751.54	295.16	25.06	35127.51
轉出率	90.10%	4.00%	4.99%	0.84%	0.07%	

由下圖 6.60 可看出，曾文水庫集水區內自 2001 年至 2004 年的森林轉換為裸露地的部份大多沿著集水區內的水系流域生成，表示本研究區內的水系河道可能因兩旁的植生崩落而使得河道兩側乾涸之裸露情況增加。由於森林轉換為草地的比例較森林轉換為其他用地類型的比例較高，且分佈位置也環繞著水系支流，推測此四年間，森林植生崩落後之裸露地有草地（低密度植生）陸續回復的情形。

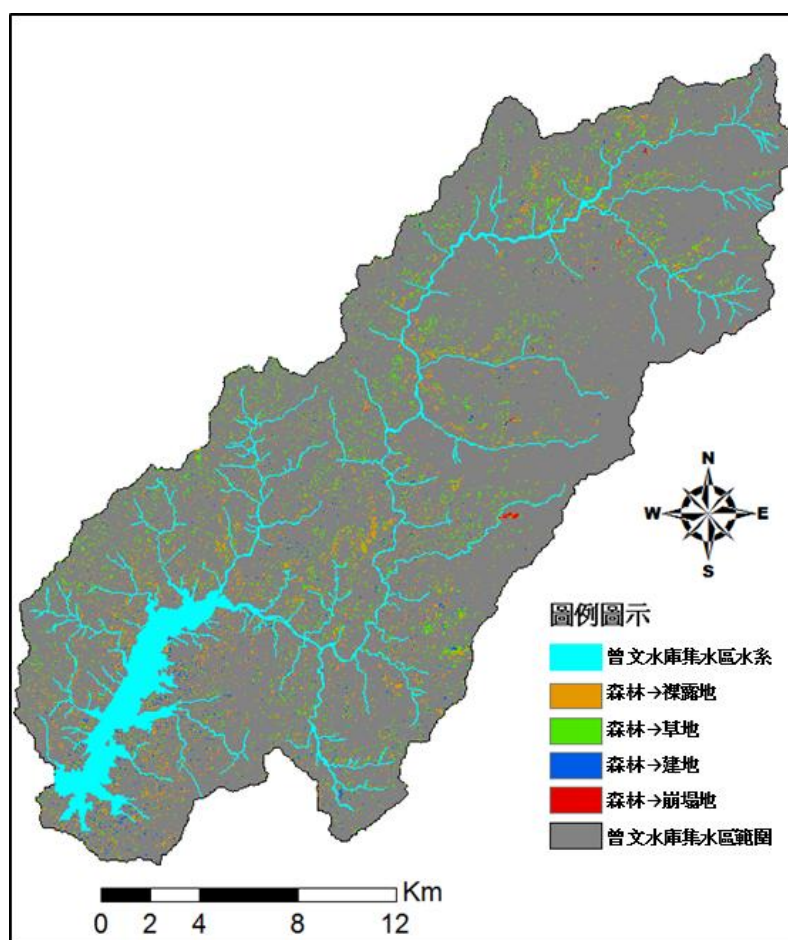


圖 6.60 2001 年到 2004 年的森林轉移類型圖

由下表 6.22 中可看出，自 2004 年至 2007 年的森林用地轉換為其他用地類型的情況。此二時期仍維持有 90.10% 的森林面積；森林轉換為裸露地的情況較前一期的比較減少 1.63%；森林轉換為草地則上升了 1.68%；森林轉換為建地的情況也較前一期下降些許；森林轉換為崩塌地的情況也有微幅的上升。

表 6.22 2004 年到 2007 年的森林轉移矩陣表(單位：公頃)

	2007 年					總合
	森林	裸露地	草地	建地	崩塌地	
2004_森	32378.41	851.95	2395.61	218.11	93.65	35937.73
轉出率	90.10%	2.37%	6.67%	0.61%	0.26%	

森林轉換為草地的分佈情況與上期相同，仍為沿著河道水系支流產生，且有往水庫中下游散佈的趨勢。由於本研究以每三年為一間隔，且研究區域面積過大，雖無法細分討探各分類用地面積之消長情況，僅能以最終變動結果為估計，仍可看出此間隔間各分類用地的轉換方向。觀看圖 6.61 中也可了解，此時期的森林轉換為崩塌地的情況較前一時期的散佈位置有擴張的情勢，顯示此地區崩塌地的成長有明顯的上升。

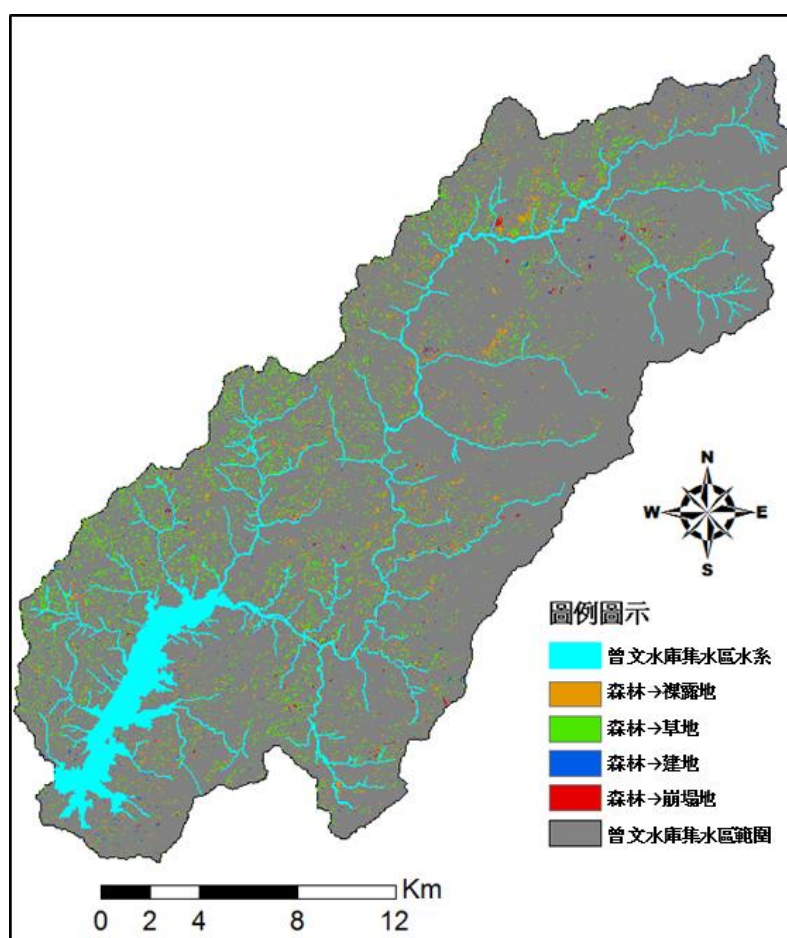


圖 6.61 2004 年到 2007 年的森林轉移類型圖

自 2007 年 2010 年，森林轉換為草地的比例情況與上二期相似，但由表 6.23 中卻可以明顯看出，此時段內的森林轉換為草地的分佈集中在水庫的四周與曾文水庫集水區水系的中下游；森林的轉出率較上述二期的轉出率下降約 2.7%；森林轉換為崩塌地的情況較前述二期的

轉換比例大幅提升約 1.3%；森林轉換為裸露地的情況也較前述二期提升約 1.0%。顯示此時段內森林被大量的轉換為其他用地的情況提升，且以草地及崩塌地為首要。

表 6.23 2007 年到 2010 年的森林轉移矩陣表(單位：公頃)

	2010 年					
	森林	裸露地	草地	建地	崩塌地	總合
2007_森	30333.63	1137.47	2393.21	315.51	521.15	34700.97
轉出率	87.41%	3.28%	6.90%	0.91%	1.50%	

上述三期，分別都有森林轉換為建地的機率，但在常理上森林被做為建成用地的可能較小，且受限水庫保護區之管理條例影響，研判在本計畫內，各期森林轉為建成用地的可能是因各年裸露地誤判為建地之原因而累積錯誤所造成。且 2010 年建地部份因分類精度僅 70%，明顯較其他用地分類精度低，並確實有裸露地誤判為建地的情形。

觀察圖 6.62 之 2007 年到 2010 年的森林轉移類型圖的分佈可更明了森林轉換為其他用地類型的分佈情形。較明顯的除了先前已有表述之森林轉換為草地的分佈情勢外，另一森林轉換為崩塌地的情況也十分顯著。且此時段內森林轉換為崩塌地的分佈情況大多沿著曾文水庫集水區內的河道水系，分佈範圍極廣，涵蓋全區水庫水系，代表此時段內應有重大事件導致各類土地使用覆蓋的變遷情況驟增。

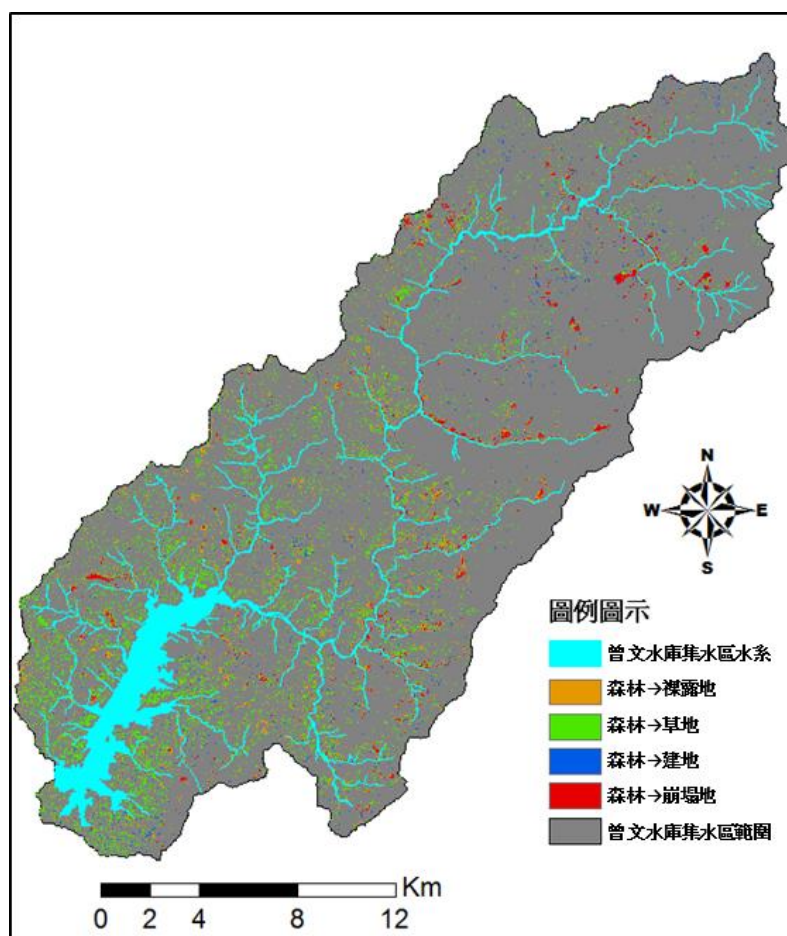


圖 6.62 2007 年到 2010 年的森林轉移類型圖

6-5.4 土地覆蓋對水庫水質影響分析

近年來水庫之優養化的問題引起政府相關單位的注意，投注經費及建設於改善水庫庫區水質及集水區生態環境。水庫集水區的活動如林地農墾、農藥肥料施用、水土保持、水庫上游社區污水排放、遊樂區興建及畜牧等都會影響到下游水庫庫區內水質及環境。為維護水庫水質免遭污染，管理單位必須長期監測水庫水質變化，才能有效確保水資源的永續利用。本研究將彙整 2001~2010 年曾文水庫 10 年期及六個採樣點的水質因子包括：溶氧(DO)、化學需氧量(COD)、濁度(NTU)、懸浮固體(SS)、硝酸鹽($\text{NO}_3\text{-N}$)等六項，作為本研究水質因子指標，進行水庫水質時間序列的分析。並將分別依曾文水庫六個採樣點，如圖 6.63，以每年度之水質因子採樣平均值及第四季水質採樣值，分析歷年

土地利用/覆蓋對水庫水質之關係，如土地利用類別面積與水質因子的關聯性或是植生指標與水質因子的相關性等，以及考量不同時間尺度的土地利用與土地覆蓋對水庫水質之影響。

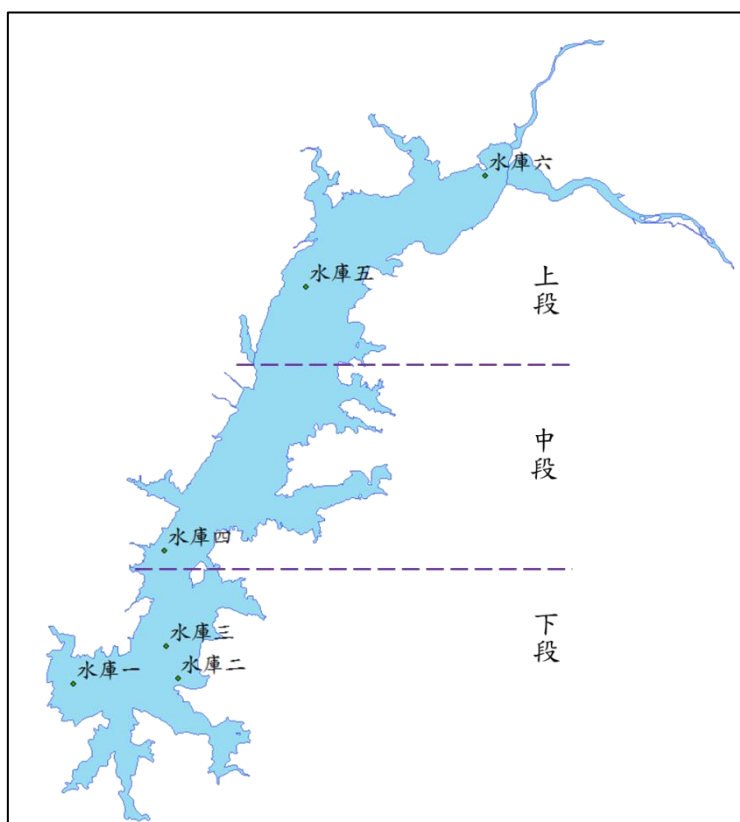


圖 6.63 環保署於曾文水庫設立之水質監測站

目前水庫採樣一年以一季一測為主，除有特定事件需求外才會再加測，故一年會有四季的水庫測站採樣資料，加總六個測站各季的資料後平均則為當年度的水庫 1~6 測站水質項目平均值，由下表 6.24 中可知 NDVI 值與水庫 1~6 測站水質項目平均值的相關係數。由於先前表述 NDVI 值與植生地覆蓋狀態呈正比，與裸露地消長成反比，故本研究推論，NDVI 值應與濁度及懸浮固體為反比(負相關)。但在表中，水庫 1~6 的濁度及懸浮固體第四季水質檢測值與 NDVI 並無明顯的中高度負相關，且此二項之全年平均值與 NDVI 值甚至呈現正相關，明顯與先前表述之推論並不相符。

表 6.24 水庫 1~6 測站的水質與 NDVI 相關係數

水庫 1~6	溶氧量	化學需氧量	濁度	懸浮固體	總磷	硝酸鹽氮
相關係數 (全年)	-0.504	0.323	0.489	0.289	0.499	0.650
相關係數 (第四季)	-0.072	0.294	-0.003	-0.252	0.441	0.511

由測站位置圖得知，水庫 1~3 的位置位於水庫的下游，且此三點的位置較相近，其所測得的各項水質檢測項目值也應差異較小。因此，本研究為探究濁度與懸浮固體之全年平均值與 NDVI 呈現正相關之原因，以水庫 1~3 的平均及第四季水質項目檢測值再次與 NDVI 做相關分析，如表 6.25。由表中可看出，水庫 1~3 的懸浮固體全年平均及第四季平均值與 NDVI 的相關係數分別為-0.577 及-0.621，顯示懸浮固體與 NDVI 存在著高度的負相關，與先前表述之推論符合。可能是因為雨水或其他逕流途徑會將裸露地的泥土灰塵夾帶至曾文水庫，且依水庫內水體擾動的結果，導致懸浮固體大多沉澱於水庫的下游出水口端。因此，依懸浮固體的水質檢測值的變動來判斷當地上游的土地覆蓋情況是否有大幅度的變遷的是合理的。

表 6.25 水庫 1~3 測站的水質與 NDVI 相關係數

水庫 1~3	溶氧量	化學需氧量	濁度	懸浮固體	總磷	硝酸鹽氮
相關係數 (全年)	-0.498	0.277	0.086	-0.577	0.313	0.687
相關係數 (第四季)	-0.060	0.604	-0.384	-0.621	0.364	0.529

已知水庫 1~3 測站的水質平均值與 NDVI 存在合理相關，為推敲水庫 1~6 測站濁度及懸浮固體第四季水質檢測值之全年平均值與

NDVI 值與先前表述之推論不相符之原因，本研究將水庫 5~6 測站水質檢測項目全年平均值與第四季檢測質再與 NDVI 做相關分析，得到結果如下表 6.26。

表 6.26 水庫 5~6 測站的水質與 NDVI 相關係數表

水庫 5~6	溶氧量	化學需氧量	濁度	懸浮固體	總磷	硝酸鹽氮
相關係數 (全年)	-0.490	0.384	0.664	0.641	0.706	0.553
相關係數 (第四季)	-0.202	-0.224	0.257	0.390	0.479	0.459

由曾文水庫中懸浮固體的時間序列差異圖(圖 6.64)中顯示，水庫 5~6 測站的懸浮固體及濁度之第四季檢測值與 NDVI 相關係數為正相關，且全年平均值與 NDVI 呈現中高度的正相關。且由圖可看出水庫五與水庫六的第四季懸浮固體檢測值明顯較其他水庫測站值波動大，可能原因為，水庫六為曾文水庫最上游入水口處，在河川水系流入水庫時，挾帶的懸浮固體微粒可能受採樣日期前一兩天的雨量影響，使得水質採樣情況變異較大，距離較近的水庫五受時間差的影響，雖變動趨緩，但與其他測站相比，檢測值歷年振盪的情況仍較明顯，造成水庫五與水庫六測站的懸浮固體及濁度檢測平均值與其他測站趨勢不同，因而影響水庫 1~6 測站全年平均值與 NDVI 的相關分析結果。

本研究另將位於水庫中段之水庫 4 測站各項水質檢測值與 NDVI 做相關分析的結果如下表 6.27，所得到的各項水質全年平均值與 NDVI 相關趨勢和水庫 1~3 加總的全年平均值與 NDVI 相關趨勢相同，但相關性稍為偏低，僅有硝酸鹽氮仍維持在中度相關。

表 6.27 水庫 4 測站的水質與 NDVI 相關係數表

水庫 4	溶氧量	化學需氧量	濁度	懸浮固體	總磷	硝酸鹽氮
相關係數 (全年)	-0.483	0.152	0.171	-0.173	0.316	0.581
相關係數 (第四季)	0.077	-0.004	0.046	-0.059	0.288	0.456

上述各水庫測站的水質與 NDVI 相關係數表中各結果並不顯著，查明資料正確，且使用的統計程序條件也符合，結果與檢定的關係並不顯著，可能是因本計畫採用樣本數過小。基於成本考量，本研究 10 年間僅有 8 個年度的 NDVI 值，與每年度水質採樣(1 季 1 次)的時間點頻率無法一致，未來考量可以再增加長時間的觀測以達符合最小樣本數，以分析相關性的顯著結果。

再次檢視曾文水庫中懸浮固體的時間序列差異圖發現，此十年間水庫懸浮固體均有微幅振盪，且在近四年的曾文水庫二採樣測點有明顯的劇烈波動。如此可推測當期採樣時，曾文水庫二的採樣測點可能受某種因素之影響。因此，未來應多關注此採樣測點附近之環境變化情況。因此，上述分析之水庫水質時序變化，可瞭解曾文水庫多個採樣點共同的時間變化趨勢。

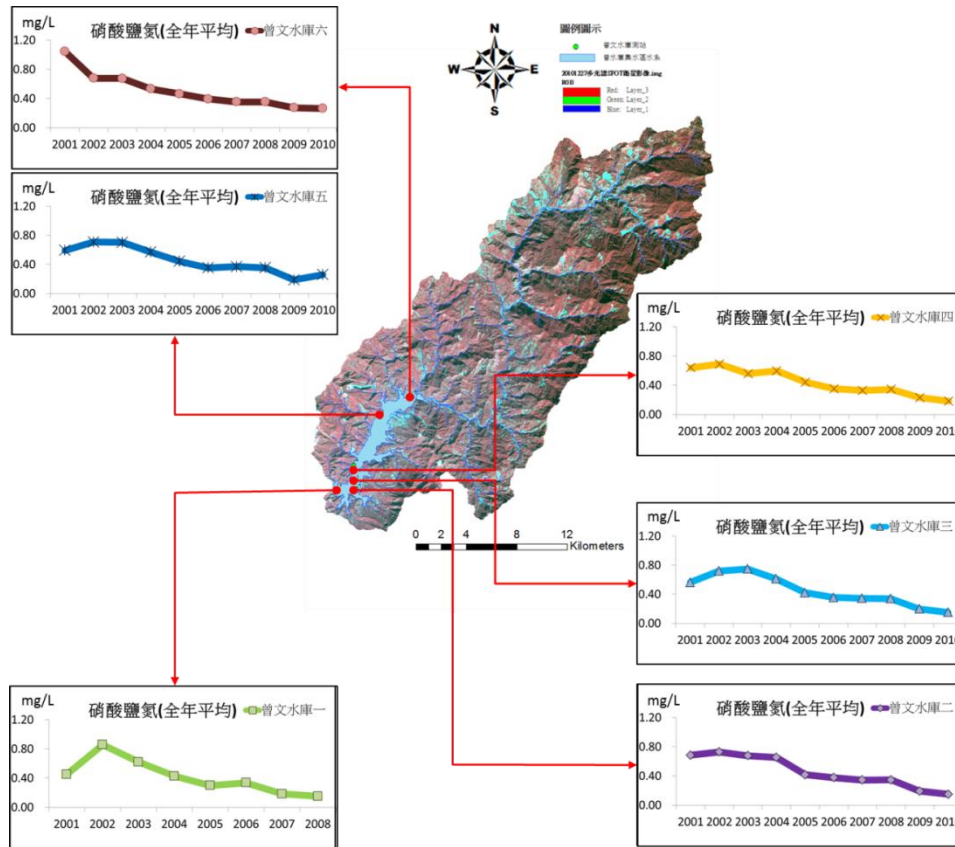


圖 6.65 曾文水庫各測站硝酸鹽氮歷年時序圖

一般而言，硝酸鹽的來源可能是農業化肥、生活污水、化糞池污水等含氮物質(陳文福，2008)，有關單位應多注意常年的硝酸鹽氮累計觀察值，以了解當地是否有因上述含氮物質等污染情況發生。飲水中所含硝酸鹽濃度高時($\text{NO}_3^- > 45\text{mg/L}$)，可能造成孕婦流產、藍嬰症(Methemoglobin)及癌症。因此，我國環保署訂定飲用水及飲用水水源之標準硝酸鹽氮濃度應小於 10 mg/L ，而歷年來曾文水庫內測得之全年平均硝酸鹽氮濃度均在 1 mg/L 以內，實屬水質環境十分良好之情況。

6-5.5 非點源污染輸出量推估

1. 曾文水庫集水區-A 測試區

本研究以多光譜分類面積所計算出生化需氧量(BOD5)、懸浮固體(SS)、總氮(TN)和總磷(TP)的非點源污染輸出量分析成果如圖 6.66 所示。

由初步成果可知曾文水庫集水區於此 2001~2010 年間，其生化需氧量(BOD5)、總氮(TN)、總磷(TP) 和懸浮固體(SS)污染輸出量在境內呈穩定持衡狀態，變動不大。故本研究將與應用高光譜分類後面積所計算出之非點源污染輸出量與多光譜影像分類後面積所計算出之污染輸出量做比較，以了解各種土地使用分類產生之污染輸出量所佔比例。

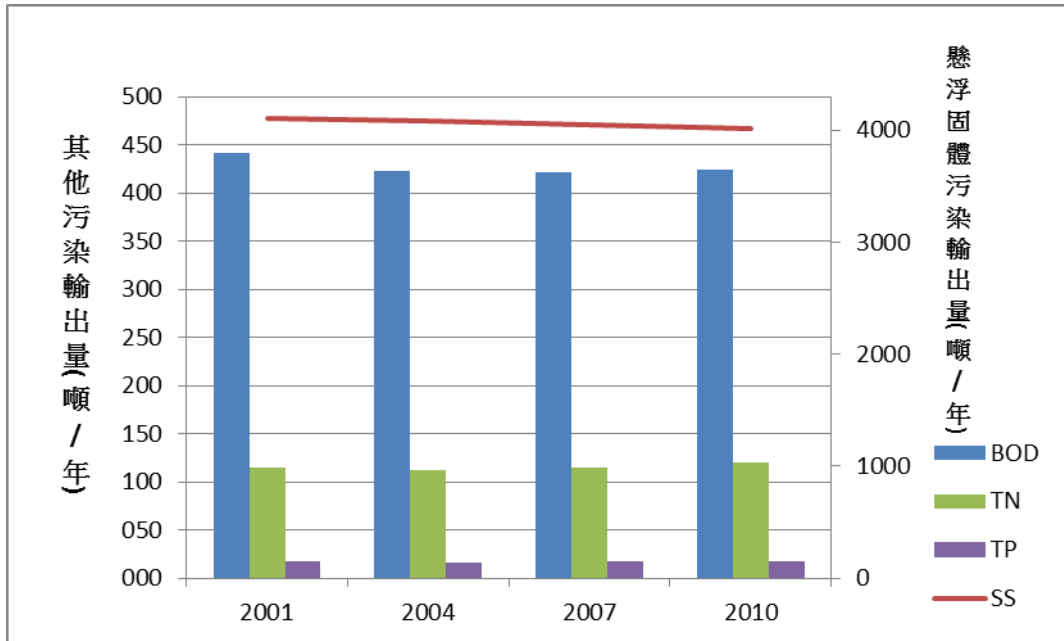


圖 6.66 曾文水庫集水區-A 測試區非點源污染輸出量

2. 曾文水庫集水區-B 測試區

本研究以高光譜與融合影像加以進行非點源污染推估之應用分析。首先，經與 2012 年航拍正射影像比對後，確認雲體遮蔽處為草地，陰影分佈區多為植生(約九成)，故在計算非點源污染輸出量時，將陰影併入森林類項，將雲體歸類為草地，最後計算七大項之面積。為使圖面分類區塊維持一定完整性，提升分類後土地利用主題圖之可用性，針對各分類結果中產生一些面積很小的圖斑，透過聚類統計(Clump)計算，以鄰近網格 3 x 3 之運算處理分類圖像中缺少空間連續性的情況，來減少同樣分類中出現空洞或是未滿最小製圖單元所需像元數，以提升主題圖的利用效益。以上之圖資資訊與 2011 年多光譜分類成果圖之各分

類面積成果將列於下表 6.28。為了後續推估非點源污染輸出量之便，先將各分類面積以公頃為單位。經統計後之總面積約為 3,500 公頃。

表 6.28 各影像分類後面積統計表(單位：公頃)

影像(年份) 分類	多光譜(2011)	高光譜影像 (2012)	融合後影像 (2012)
河流	37.96	18.99	27.28
林地	2546.54	2842.28	2818.61
茶園	-	3.16	7.83
草地	716.51	303.02	255.04
裸露地	177.60	170.50	196.59
建地	21.39	31.99	38.22
檳榔園	-	130.06	156.43
總合	3500.00	3500.00	3500.00

由高光譜影像與融合後影像之分類後面積佔比情況(圖 6.67)所示，雖然林地還是佔了本研究區的絕大部份；在河流與裸露地的分類成果中有微幅的提高 1~2%；茶園所佔面積在此區域內的比約在 1% 以下，但仍可由分類後成果了解茶園分佈區域的判釋精度有提升。由分類後精度評估表可知，高光譜結合光達資料的分類成果優於高光譜資料的分類成果，因多光譜影像分類項目與高光譜分類項目不同，在此不再贅述多光譜分類面積與高光譜分類面積的比較。本計畫在此區內將重點放於分類出面積所計算之非點源污染輸出量列於後節，以得知土地利用分類項目與分類面積的差異對非點源污染輸出量之影響。

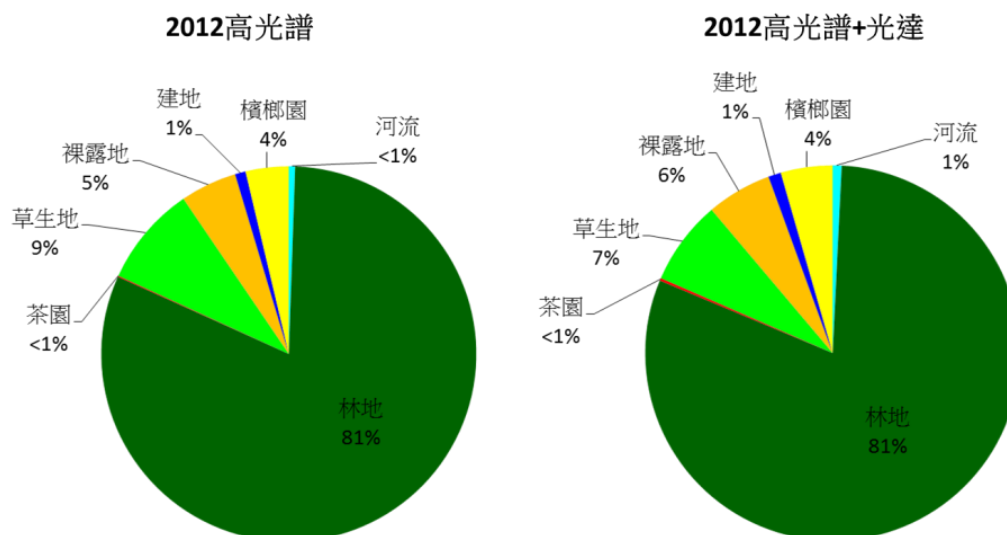


圖 6.67 高光譜影像(左)與融合影像(右)於各土地利用之分類面積比例

針對本計畫所計算出曾文水庫集水區-B 測試區之 2012 年高光譜分類面積、2012 年高光譜結合光達影像分類面積及 2011 年多光譜影像分類面積，分別計算出此測試區內非點源污染輸出量整理如表 6.29、表 6.30 以及表 6.31。

表 6.29 2011 年多光譜分類面積計算之污染輸出量(公斤/年)

土地利用	BOD ₅	SS	TN	TP
河流	189.80	0.00	170.82	22.78
林地	12732.70	216455.90	4074.46	636.64
茶園	0.00	0.00	0.00	0.00
草生地	1934.58	41987.49	530.22	143.30
旱地	976.80	10656.00	4617.60	710.40
建地	4085.49	10780.56	340.10	59.25
檳榔園	0.00	0.00	0.00	0.00
總計	19919.37	279879.95	9733.20	1572.36

表 6.30 2012 年高光譜影像分類面積計算之污染輸出量(公斤/年)

土地利用	BOD ₅	SS	TN	TP
河流	94.93	0.00	85.44	11.39
林地	14211.42	241594.11	4547.65	710.57
茶園	17.40	11.70	63.90	0.09
草生地	818.14	17756.77	224.23	60.60
旱地	937.76	10230.13	4433.05	682.01
建地	6110.15	16123.11	508.65	88.61
檳榔園	6242.76	13018.76	1937.86	41.62
總計	28432.56	298734.57	11800.79	1594.90

表 6.31 以融合影像之分類面積計算污染輸出量(公斤/年)

土地利用	BOD ₅	SS	TN	TP
河流	136.41	0.00	122.77	16.37
林地	14093.03	239581.51	4509.77	704.65
茶園	43.07	28.97	158.18	0.23
草生地	688.62	14945.51	188.73	51.01
旱地	1081.23	11795.19	5111.25	786.35
建地	7300.84	19265.05	607.77	105.88
檳榔園	7508.52	15658.38	2330.77	50.06
總計	30851.71	301274.61	13029.24	1714.55

為方便比較此三張影像分類後面積所計算出之非點源污染輸出量差異，本計畫以下圖 6.68 表示，因各項污染輸出量總量範圍差異大，故在此單獨以各項污染輸出量製圖，Y 軸間距以各污染輸出量範圍自動匹配。此區域由高光譜影像分類後面積所計算出之非點源污染輸出量均較多光譜影像分類後面積所計算出之非點源污染輸出量高，且差

距幅度大，又高光譜可細分出更多類項土地使用類別，在此可推論，隨著茶園及檳榔園的增加，會造成更多的非點源污染輸出量增加。

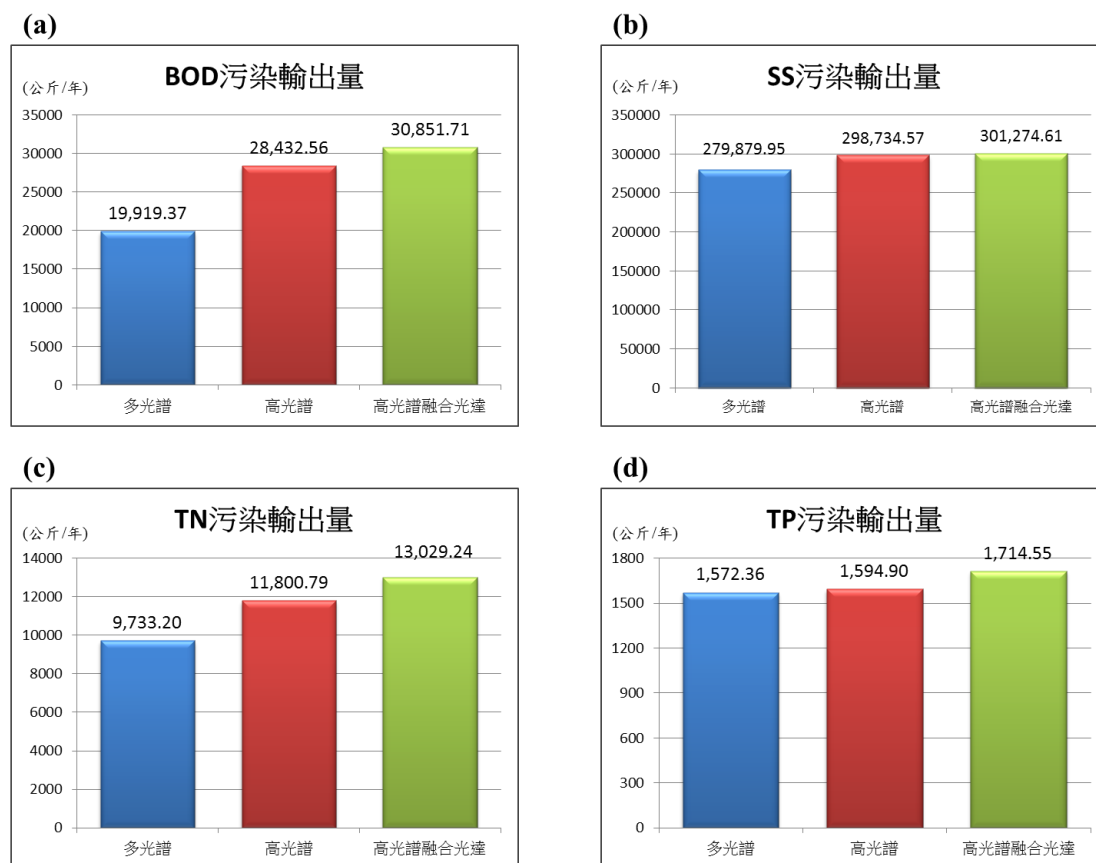


圖 6.68 (a) BOD；(b)SS；(c)TN；(d)TP 污染輸出量比較圖

以高光譜影像分類成果及高光譜結合光達影像分類成果計算出非點源污染量雖差距不大，但仍可得知，較低精準度的分類成果，可能造成非點源污染輸出量的低估。且隨著茶園及檳榔園的判釋成果面積提高，在總磷(TP)的非點源污染輸出量上會有明顯增加。本計畫以高光譜融合光達後影像分類結果計算出污染輸量佔比置於下圖 6.69，在曾文水庫集水區測試區-B 中，檳榔園面積雖僅佔約 4.5%，但其污染係數較其他項目高，所以總氮(TN)的非點源污染輸出量約佔約 18%。

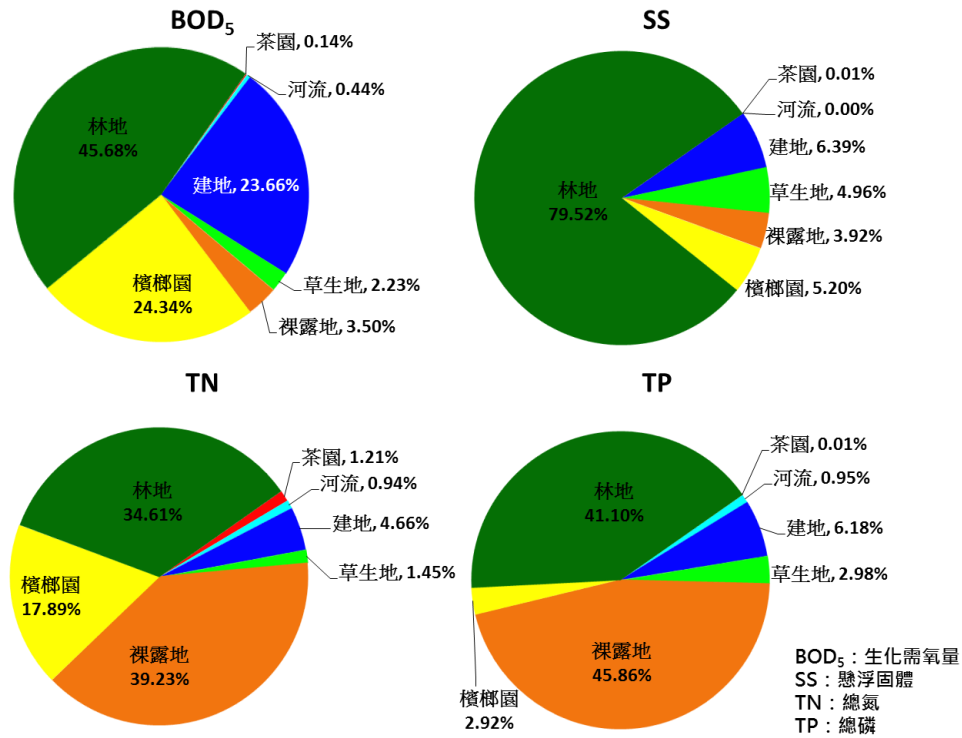


圖 6.69 融合影像之分類面積計得之污染輸出量佔比

前人文獻中均提及茶園與檳榔園之土地利用方式，對溪水中氮氮與總磷的含量有重大影響，又水庫非點源污染負荷中最重要的人為污染來源為農業施肥行為，其土地施肥中的氮和磷是造成農業用地非點源污染的主要來源，藉由高光譜影像可判釋出農業用地的種類(如茶園及檳榔園)，隨著茶園及檳榔園的判釋成果面積提高，在生化需氧量(BOD₅)及總磷(TP)的非點源污染輸出量計算上會有明顯增加。

第7章 結論與建議

7-1 結論

1. 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。本案所使用 FLASSH 模組進行大氣校正，但之校正結果發現，由於該模組之的大氣環境參數設定並不彈性且無法匯入其它如地形條件之參數並不夠周嚴，故校正成果成效並不比經驗線法則成果良好，關於這點也以反饋原廠，希望能得到解決辦法。而由經驗線法則的校正成果則顯示，地面光譜的採樣取樣點選取、採樣點分布以及是否與各條航帶同步進行觀測也是大氣校正過程中必須注意的地方，而在明亮與黑暗的目標點選取也是一大重點，因此未來如需使用經驗式作為大氣校正，需先建立一套採樣標準流程，而在目的物的選取也必須謹慎選取高反射和低反射之目的物。因此，未來除了想辦法修正 FLAASH 以及經驗式之缺失外，另外可建議並參考其它以其他方式或大氣校正模組進行不同測試，以期得到不同之結果。
2. 應用高光譜影像與光達影像進行融合影像技術測試成果顯示，融合影像無論對於水庫集水測試區的土地利用分類，或是火山測試區的裸岩岩體判釋皆優於高光譜影像的分類成果。透過適當的影像轉換方式亦能夠在降低維度的情形下，仍然保有兩種資料特性的地物資訊，故結合兩種不同資料的融合影像技術是有其發展性。
3. 光達應用於於火山地形、地震斷層地形特徵判釋與分析方面，可明顯判釋出火山口、火山錐與熔岩流地形，而在地震斷層地形特徵判釋上，可判釋出伴隨斷層之線形特徵，但原有斷層活動之斷層面，因近期之風化與沉積活動退化為斷層崖，因此僅能間接進行斷層崖判釋與坡度分析。此外，在高光譜分析上，在本研究區域嘗試進行

裸露岩體之分類，但由於高光譜頻段範圍無法分辨裸岩與人工構造物的差異，因此分類較果不佳。但若再進行高光譜與光達融合影像之分類，結果顯示則較單純使用高光譜之分類效果為佳，此顯示高光譜與光達技術結合可提升岩體之分類準確度。

4. 以每三年為一期之衛星影像分類結果可看出 2001 年至 2010 年間的崩塌地與裸露地有明顯的增加；森林植生大量的減少；草地有小幅的增加；建成用地的部份則是持衡的狀態。藉由觀測 NDVI 的變化情形，可了解歷年來曾文集水區的植被消長回復的情況。本研究分析歷年土地利用覆蓋對水庫水質之關係，發現水庫水質檢測站的位置會影響採樣的結果，靠近水庫入水口端位置之採樣點的檢驗值可能受採樣日期前幾日天候影響，使得懸浮固體與濁度檢測值有些微的擾動；靠近水庫出水口端位置採樣點的水質檢測項目值則差異較小。無論是以水庫水質檢測全年平均值或第四季水質檢測值中均可發現，硝酸鹽氮與 NDVI 呈現中高度相關趨勢。利用非點源污染輸出係數表，以多光譜分類成果之各土地利用類型面積推求四年度之水庫集水區-A 測試區的非點源污染輸出量差異並不大，但在比較以水庫集水區-B 測試區為範圍之高光譜分類結果後，得知非點源污染輸出量的估算概況與土地使用分類項目有著密切的關係，且愈精準的土地使用分類項目與分類精度，所推估的非點源污染輸出量將愈貼近現實。

7-2 建議

1. 本案於高光譜與全波形光達之資料蒐集範圍涵蓋火山區與水庫集水區，地理環境條件包含火山、斷層、崩塌、森林以及水庫集水區，其均為國內地質、森林以及水質等相關研究學者所重視之研究議題。由於空載全波形光達資料與高光譜資料蒐集不易，若考量學術之時效性與未來技術應用的發展性，建議內政部於本案結案後，可將此

- 次蒐集成果提供給各學術單位使用，以提升我國於空載高光譜影像與全波形光達資料處理與應用之能力。
2. 目前多數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。
 3. 本案所使用之 FLAASH 大氣校正參數似乎並不適用於台灣地區，且亦未考量校正地區之地形因子。因此，建議後續可以其他大氣校正模組進行高光譜之影像大氣校正，期能提升影像品質，促進地物分類成果。
 4. 由於融合技術之處理方式可分為，像元(Pixel)、特徵(Feature)以及決策(Decision)，三種處理階層，且每一種影像融合的處理方式均為一大學問，因此建議可持續針對融合影像之處理技術進行鑽研，以瞭解最適用於台灣地區應用的融合處理方式。
 5. 本案之高光譜影像與全波形光達之融合技術測試成果顯示，高光譜影像有助於提升土地分類的分類層級。而全波形光達的多重回波資料除能有效取得高精度的三維地形，透過波形重建能使光達資料兼具協助高光譜影像於易混淆地區之土地利用分類的資料特性，故兩種資料的結合確實能夠有效增加影像的地物分類能力。因此，建議未來可以防災應用、溪流生態或森林環境監測等相關議題進行資料之應用，如：利用全波形光達資料的高精度 DEM，與高光譜影像的光譜解析力優勢，發展林下地區之崩塌微地形偵測技術；以高斯波形模型，從全波形空載光達粹取更高精度的點雲資料，達到水面流態分類，應用於河川生態棲地之分類；利用全波形空載光達，產生多點雲回訊，配合高光譜影像，應用於小花蔓澤蘭的分佈監測工作。

附件一、參考文獻

- 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。
- 王執明、鄭穎敏、王源 (1978) 台北盆地之地質及沈積物研究。台灣礦業，第 30 卷，第 4 期，第 350-380 頁。
- 史天元、彭森祥、徐偉城 (2002) 應用空載雷射掃描儀進行地震災區變形研究。農委會 91-農科-5.1.1-林-R1(8)計畫報告，共 13 頁。
- 市川雄一 (1931) 台北圖幅說明書。台灣總督府殖產局，第 583 號，共 29 頁。
- 朱健銘、蔡博文 (2005) 以 EO-1 Hyperion 高光譜影像進行山區土地利用分類之研究。台灣地理資訊學會研討會。
- 李志賢 (2003) e 決策支援系統(eDSS)在集水區管理之應用。行政院國家科學委員會專題研究計畫。
- 李錫堤 (1999) 台北盆地第四紀地層及物性之研究(III)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，共 156 頁。
- 林志交、張坤樹、鄭鼎耀 (2004) 雷射掃描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。
- 邱皓政 (2008) 量化研究與統計分析(基礎版):SPSS 中文視窗版資料分析範例解析。台北：五南出版社。
- 翁儷容、許盈松、張嘉玲 (2010) 石門水庫蓄水範圍保護帶劃設之研究。農業工程學報，56(2): 44-56。

- 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。
- 張維恕 (2006) 應用衛星遙測影像進行大肚台地紅土範圍界定與中央山脈裸岩區之岩性分析。成功大學地球科學系碩博士班學位論文。
- 陳文山、楊志成、楊小青、劉進金、詹瑜璋、謝凱旋、謝有忠(2007) 從 LiDAR 的 2 公尺×2 公尺數值模擬地形分析大屯火山群的火山地形。經濟部中央地質調查所彙刊，第 20 號，101-128 頁。
- 陳文福、呂學論 (2008) 濁水溪與屏東平原地下水之硝酸鹽污染。農業非點源污染研討會論文集。
- 陳添水 (2003) 應用遙測於濁水溪口海岸地區土地覆蓋變遷分析。特有生物研究 5(2): 61-72。
- 陳錦媽、陳子晴 (2006) 水庫保護帶土地利用變遷分析之研究。水土保持學報 38(3): 399-418。
- 黃俊偉 (2001) 大範圍地區土地使用分類之研究。國立中央大學碩士論文。
- 黃鑑水 (1988) 五萬分之一台灣地質圖及說明書—台北幅。經濟部中央地質調查所出版，46 頁。
- 楊龍士、雷祖強、周天穎 (2006) 遙感探測理論與分析實務。台北，文魁資訊。
- 溫清光、郭振泰 (2001) 曾文水庫水質調查及改善計劃。成功大學環境工程系。
- 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/>)。

- 經濟部水利署南區水資源局 (2011) 曾文水庫集水區保育實施計畫(檢討修訂)，財團法人成大研究發展基金會。
- 蔣本基 (2003) 整合式流域管理及總量管制。永續臺灣簡訊 5(2)：43-64。
- 蕭文龍 (2009) 多變量分析 SPSS+LISREL，台北市：基峰資訊，P1-16。
- 謝依達、鐘玉龍、廖晟淞 (2011) 以變遷偵測技術探討高解析力數值航攝影像於森林火災自動製圖之應用。航測及遙測學刊 16(1)：11-22。
- 謝嘉聲、史天元 (1994) 數據整合方法應用於 SPOT 衛星影像之分析研究。航測及遙測學刊 3(3)：19。
- 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.
- Alessandro, P., A. Stefania and P. David (2010) Spectral analysis of ASTER and HYPERION data for geological classification of Volcano Teide, International Science and Remote Sensing Symposium.
- Axelsson, G. and E. Gunnlaugsson (convenors) (2000): Long-term Monitoring of High- and Lowenthalpy Fields under Exploitation, International Geothermal Association, World Geothermal Congress 2000 Short Course, Kokonoe, Kyushu District, Japan, May 2000,

P.226.

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.

Brunori, C. A., R. Civico, F. R. Cinti and G. Ventura (2012):
Characterization of active fault scarps from LiDAR data: a case study from Central Apennines (Italy). International Journal of Geographical Information Science.

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.

Calkins, J., C. Oppenheimer and P. R. Kyle, (2008) Ground-based thermal imaging of lava lakes at Erebus volcano, Antarctica, Journal of Volcanology and Geothermal Research, doi: 10.1016/j.jvolgeores.

Chu, H. J., Y. P. Lin, Y. L. Huang, and Y. C. Wang (2009) Detecting the Land-cover Changes Induced by Large-physical Disturbances using Landscape Metrics, Spatial Sampling, Simulation and Spatial Analysis. Sensors 9 : 6670-6700.

Cudahy, T.J. ,Rodger, A.P. ,Barry, P.S. ,Mason, P. ,Quigley, M. ,Folkman, M.,Pearlman, J. (2002) Assessment of the stability of the Hyperion SWIR module for hyperspectral mineral mapping using multi-date images from Mount Fitton, Australia, IEEE.

Davies A. G., J. Calkins, L. Scharenbroich, R. G. Vaughan, R. Wright, P. Kyle, R. Castaño, S. Chien and D. Tran (2008) Multi-instrument 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(2008): 20.
- Davies A., R. Wright, P. Kyle, R. Castaño, S. Chien, D. Tran, S. Chadde, L. Mandrake, D. Mandl and S. Frye (2007) A Science Model-Driven Autonomous Volcano Sensor Web. NASA SCIENCE TECHNOLOGY CONFERENCE 2007.
- Goetz, A.F.H, G. Vane, J.E. Solomon, and B.N. Rock. (1985) Imaging spectrometry for earth remote sensing, *Science*, 228, 1147-1153.
- 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.
- Heggy E., M. Sedze, F. Bretar, S. Jacquemoud, P. A. Rosen, K. Wada and T. Staudacher (2010): Coupling polarimetric l-band insar and airborne lidar to characterize the geomorphological deformations in the piton de la fournaise volcano. IGARSS 2010
- Heinz, D. and Chang, C.-I. (2001) Fully constrained least squares linear mixture analysis for material quantification in hyperspectral imagery, *IEEE. Geosciences, Remote Sensing.* , 39(3), pp. 529-545.
- Hildebrand, D. K. (1986) *Statistical thinking for behavioral scientists.* Boston: Duxbury.
- 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.

- Hu, L. and P. M. Bentler (1995) Evaluating Model Fit. In: Structural Equation Modeling Concepts Issues and Applications, Hoyle, R.H. (Ed.). Sage, Thousand Oaks, CA, pp: 76-99.
- Kaufman, Y. J., A. E. Wald, L. A. Remer, B.-C. Gao, R.-R. Li, and L. Flynn (1997) The MODIS 2.1- μm Channel-Correlation with Visible Reflectance for Use in Remote Sensing of Aerosol. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 35: 1286-1298.
- Landis, J. R. and G. G. Koch (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 33 : 159-174.
- Lee, C. T., C. C. Huang, J. F. Lee, K. L. Pan, M. L. Lin, and J. J. Dong (2008a) Statistical Approach to Earthquake-Induced Landslide Susceptibility. Engineering Geology 100: (1-2), 43-58.
- Lee, C. T., C. C. Huang, J. F. Lee, K. L. Pan, M. L. Lin, and J. J. Dong (2008b) Statistical approach to storm event-induced landslide susceptibility. Natural Hazard and Earth System Sciences, (accepted).
- Lin, W. T., W. C. Chou, C. Y. Lin, P. H. Huang, and J. S. Tsai (2008) WinBasin: Using improved algorithms and the GIS technique for automated watershed modeling analysis from digital elevation models. International Journal of Geographical Information Science 21(1): 47-69.
- Lin, Y. P., H. J. Chu, C. L. Wang, H. H. Yu, and Y. C. Wang (2009) Remote Sensing Data with the Conditional Latin Hypercube Sampling and Geostatistical Approach to Delineate Landscape Changes Induced by Large Chronological Physical Disturbances. Sensors 9(1): 148-174.
- Mangolini, M. (1994) Apport de la fusion d'images satellitaires

multicapteurs au niveau pixel en télédétection et photo-interprétation. Dissertation published at the University of Nice-Sophia Antipolis, France, 15 November.

- Mazzarini F., M. T. Pareschi, M. Favalli, I. Isola, S. Tarquini and E. Boschi (2007) Lava flows identification and aging by means of lidar intensity : Mount Etna case. *Journal of Geophysical Research*.
- Montserud, R. A., and R. Leamans (1992) Comparing global vegetation maps with the kappa statistic. *Ecological Modelling* 62 : 275-293.
- Morris, A. R., F. S. Anderson, P. J. Mougini-Mark, A. F. C. Haldemann, B. A. Brooks, and J. Foster (2008) Roughness of Hawaiian volcanic terrains, *J. Geophys. Res.*, 113, E12007, doi:10.1029/2008JE003079.
- Paul M, M. and M. Koch (2009) Computer Processing of Remotely-Sensed Images.
- 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.
- Rowan L. C., C. J. Simpson and J. C. Mars (2004) Hyperspectral analysis of the ultramafic complex and adjacent lithologies at Mordor, NT, Australia. *Remote Sensing of Environment* 91(2004): 13.
- Shen, S. S. (1990) Summary of types of data fusion methods utilized in workshop papers. *Multisource Data Integration in Remote Sensing. Proceedings of Workshop, Maryland, U.S.A. 14-15 June 1990, NASA Conference Publication 3099: 145-149.*
- Song, S. R., S. Tsao, and H. J. Lo (2000) Characteristics of the Tatun Volcanic eruptions, north Taiwan: implications for a cauldron formation and volcanic evolution: *J. Geol. Soc. China*, 43, 361-378.

TerraSolid,2010,(<http://www.terrasolid.fi/>)

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

West, S. G., J. F. Finch, and P. J. Curran (1995) Structural equation models with non-normal variables: Problems and Remedies. In R.H. Hoyle (ed.) Structural Equation Modeling: Concepts, Issues and Applications. Sage Publications; Thousand Oaks CA.

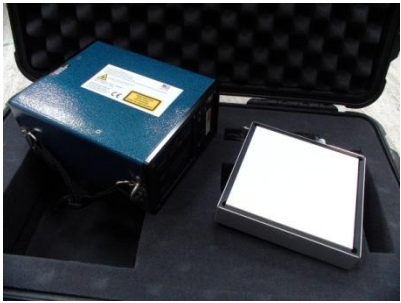



Zhou, W., G. L. Huang, A. Troy, and M. L. Cadenasso (2009) Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study. Remote Sensing of Environment 113 : 1769-1777.

附件二

主要儀器設備簡介

設備名稱	介紹說明
 <p>Rollei AIC Pro P45+ (SN:200903115)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • CCD-chip:49.1*36.9 mm • 像幅大小：7216 × 5412 Pixels • 像素大小：0.0068 mm • 鏡頭：Zeiss Distagon 74.0 mm, 38 FOV • 快門速度：30~1/1,000 秒 • 溫度：-10℃~50℃ • 作業用途：航空攝影
 <p>OptechALTM3070 (SN:04SEN152/04CON149)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 掃瞄旋角視域 FOV：0~50 度 • 脈衝率 PRF：33~70 kHz • 掃瞄鏡頻率:0~70 Hz, (50 Hz at 40° FOV) • 掃瞄形式：Oscillating, Mirror, Z-shaped • 高程精度：15 cm (1σ,航高 1,200m) 35 cm (1σ,航高 3,000m) • 水平精度：1/2,000 航高 • 斜距解析度：1 cm • 最大掃瞄帶寬：0~0.93 航高 • GPS：Trimble • Position Orientation System：Applanix POS 510 • 作業用途：獲取高精度密佈於地表之三維點位
 <p>Optech ALTM Pegasus (SN:10SEN241/10ON274)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 掃瞄旋角視域 FOV：0~60 度 • 脈衝率 PRF：100~400 kHz • 掃瞄鏡頻率:0~140 Hz • 掃瞄形式：Oscillating, Mirror, Z-shaped • 高程精度：15 cm (1σ,航高 1,200m) 25 cm (1σ,航高 32500m) • 水平精度：1/5,500 航高 • 斜距解析度：1 cm • 最大掃瞄帶寬：0~0.93 航高 • GPS：Trimble • Position Orientation System：Applanix POS 510 • 作業用途：獲取高精度密佈於地表之三維點位

設備名稱	介紹說明
 <p>Dimac Ultralight + 60MP (SN:EH021611)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • CCD-chip:53.9*40.4mm • 像幅大小：8984 × 6732 Pixels • 像素大小：0.006mm • 鏡頭：Zeiss Distagon 55.0mm, 38 FOV • 快門速度：1/125~1/500 秒 • 溫度：-10℃~50℃ • 作業用途：航空攝影
 <p>Waveform Digitizer (SN:10DIG021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Amplitude resolution:8bits • 取樣間隔：1ns • 最大紀錄頻率：125 kHz • 可記錄回波長度：440 ns
 <p>ITRES CASI1500 (SN:2528)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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：<3.5 nm • 光譜抽樣間隔：2.4 nm • 孔徑：f/3.5 • 輻射精度：470~900 nm，絕對值±2% <470 或>900 nm，絕對值±5% • 電源支持：28VDC 13.5 A • 溫度範圍：0~35 度 • 重量：25 kg

設備名稱	介紹說明
 <p>PSR 手持光譜儀 (Spectral Evolution PSR-1100) (SN:116E4401)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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
 <p>Trimble 5700 (搭配 Zephyr Geodetic 天線盤)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 雙頻雙 P 電碼 • L2 全波長 • 大地型 GPS 天線盤 • 水平精度±5mm+0.5ppm • 垂直精度±5mm+1.0ppm • 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)
 <p>Zeiss DiNi®11 /12 (搭配 Nedo LD13/LD12 鋼水準尺)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1 公里往返水準觀測標準偏差 0.3 mm • 觀測距離: 1.5 m~100 m • 記憶裝置: PC Card • 平均量測時間: 3 秒 • 電池容量可供使用 3 天 • 溫度: -20°C~+50°C • 重量: 3.5 kg • 自動量測與自動記錄裝置 • 多種水準觀測模式 • 作業用途: 水準測量 (含控制點檢測)
 <p>Trimble 601MR</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 測距精度 2 mm + 2 ppm • 測角精度 1" • 測距距離 1500 m(單稜鏡) • 儀器控制面板可撰寫程式 • 作業用途: 導線測量、調繪補測、樁位聯測

附件三

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

目錄

目錄.....	1
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.....	4
3.1 率定場地地點與規格.....	4
3.2 率定參數與作業.....	5
3-3 精度評估.....	13
四、率定成果與報告.....	15
4.1 飛航成果.....	15
4.2 GPS 成果.....	16
4.3 率定修正值成果.....	17
4.4 雷射點至共軛面精度分析.....	18
4.5 高程精度成果.....	19
4.6 最後率定參數.....	21
五、儀器介紹.....	22
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

一、介紹

雷射掃瞄儀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儀的安置角。在每一次迭代過程中依序分別針對俯仰角(Pitch)、航偏角(Heading)和側向傾斜角(Roll)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求解率定值，以完成率定作業。

Optech Pegasus系統於**101年07月028日**以德安航空**B-68809(型號BK-117)**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、飛行載臺（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，其規格如表 2-1 所列。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。

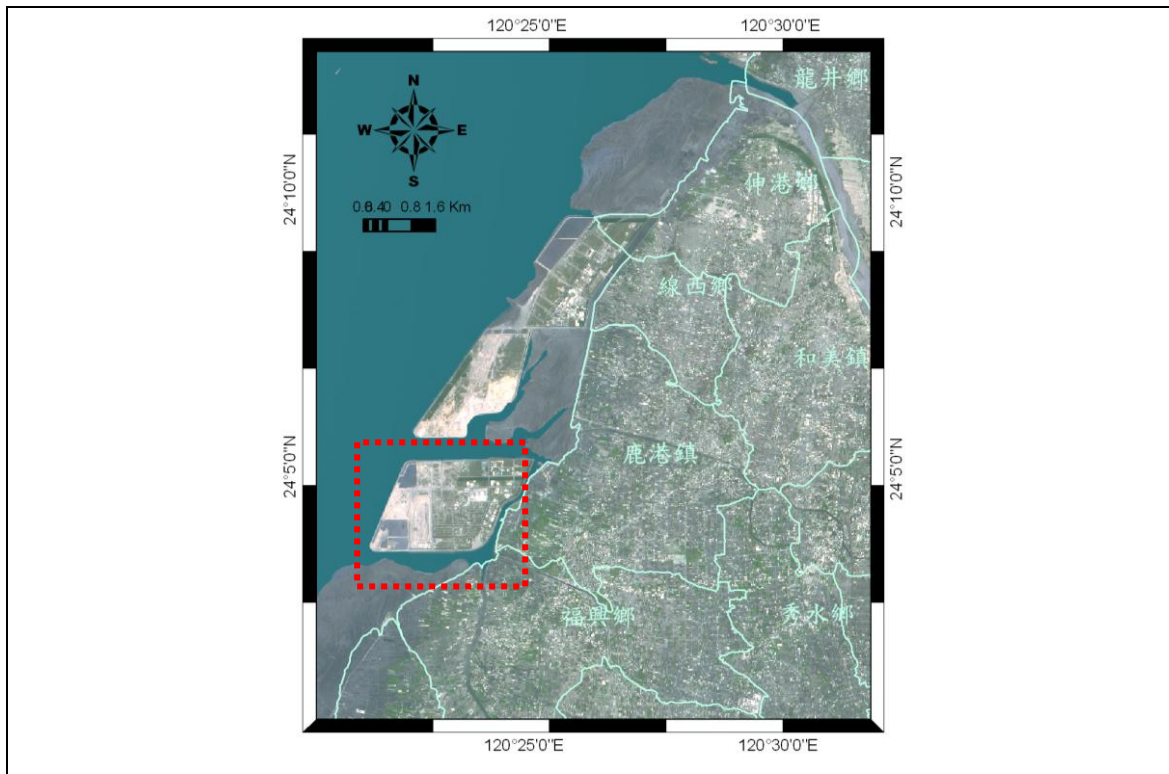
表 2-1 空載雷射掃瞄儀儀器規格

	<p>Optech ALTM Pegasus(SN:10CON241/10SEN274)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 掃瞄旋角視域 FOV：0~60 度 · 脈衝率 PRF：100~400kHz · 掃瞄鏡頻率:0~140Hz · 掃瞄形式：Oscillating, Mirror, Z-shaped · 高程精度：15cm (1σ, 航高 1,200m) 25cm (1σ, 航高 32500m) · 水平精度：1/5,500 航高 · 斜距解析度：1 cm · 最大掃瞄帶寬：0~0.93 航高 · GPS：Trimble · Position Orientation System：Applanix POS 510 · 作業用途：獲取高精度密佈於地表之三維點位
--	--

三、率定場設置介紹

3.1 率定場地點與規格

利用於完整 ALTM 系統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，方格點之分佈趨於 5~10m，用於率定全掃描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：其應包含有建物等易於萃取屋頂面及線段之人工建物，率定場的地形應盡量平坦，如圖 3-2 所示。



(a) 彰濱工業區率定場位置圖



(b) 跑道率定場

圖 3-1 率定場位置與現況示意圖

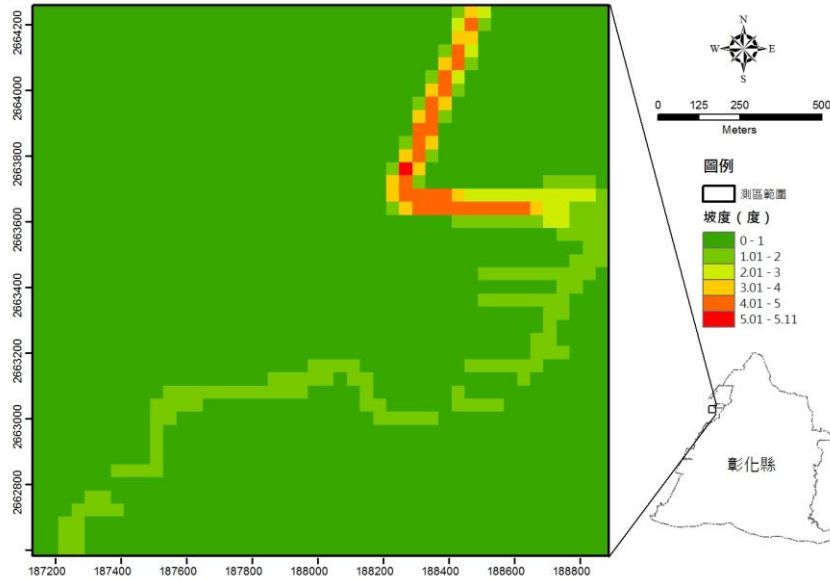


圖 3-2 率定場位置坡度圖

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（如圖 3-3）。第二部分是實際以飛行掃描率定場，以求定感測器與 IMU 及 GPS 的偏心率。



圖 3-3 經緯儀量測感測器與 GPS 天線的偏心率率定圖

為獲取穩定及可靠之 LiDAR 掃描成果，首先須求得 ALTM Pegasus 雷射掃描儀之儀器偏心率常數（即 ALTM 掃描器與 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（掃描鏡轉動角度之誤差，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 3-4 a) 之偏心常數。

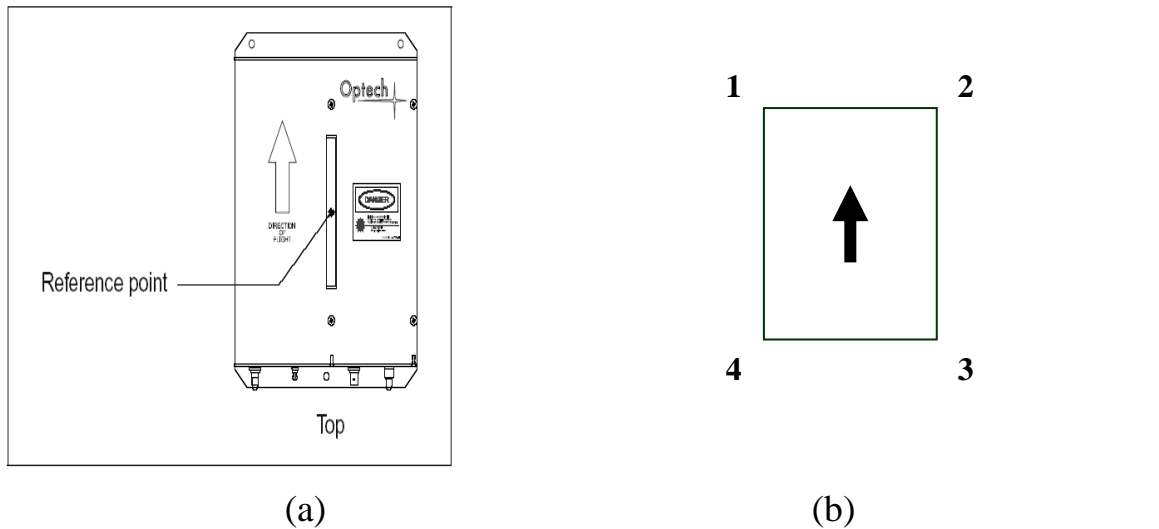


圖 3-4 ALTM 系統之雷射掃瞄感應箱上(a)參考位置(b)4 個邊角示意圖

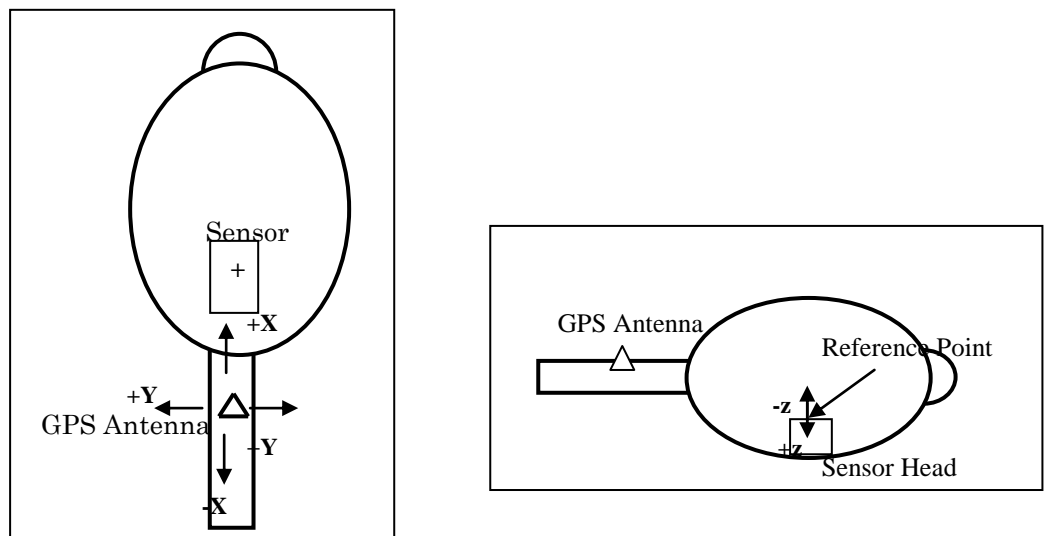


圖 3-5 ALTM 掃瞄器與 GPS 天線間之相對位置關係

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-

4b), 此 OFFSET 值係為相對位置關係(如圖 3-5); 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

SENSOR / ANTENNA SURVEYING		Aircraft Type : BK-117	Call No.: C-FFRY	Survey Date: 2012.1.10
		ALTM Type: pegasus	Serial No.:	

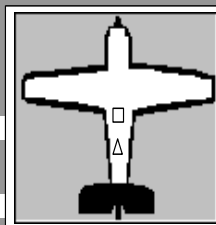
SURVEY ASSUMPTIONS & METHODS:

- 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 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 Location
Drag and drop icons to illustrate antenna position relative to sensor




△ GPS antenna
□ Sensor Head

OBSERVABLES	HORIZONTAL ANGLE			VERTICAL ANGLE			SLOPE DISTANCE	
	Degrees	Minutes	Seconds	Degrees	Minutes	Seconds	(meters)	
NOSE	0	0	0	0.00	95	43	2	1.7 11.163
TAIL	305	10	17	5.33	96	17	57	1.7 10.124
SENSOR R.P.	332	16	16	5.80	89	16	35	1.6 9.372
GPS ANTENNA	323	14	2	5.64	82	27	49	1.4 9.414
SENSOR CORNER 1	333	25	48	5.82	89	9	40	1.6 9.608
SENSOR CORNER 2	333	43	0	5.82	89	12	3	1.6 9.179
SENSOR CORNER 3	331	2	57	5.78	89	22	3	1.6 9.143
SENSOR CORNER 4	330	52	46	5.77	89	19	19	1.6 9.572

Azimuth of Aircraft Direction : 57.1513 degrees
Length of Aircraft (nose to tail) : 9.791 meters

OFFSET TO FLIGHT LINE:	Nose to -		X	Y
	(meters)	(meters)		
SENSOR	57.1779	5.189	0.002	5.189
GPS ANTENNA	56.9743	6.663	-0.021	6.663
SENSOR CORNER 1	59.6595	4.979	0.218	4.974
SENSOR CORNER 2	54.6939	4.980	-0.214	4.976
SENSOR CORNER 3	54.9240	5.408	-0.210	5.403
SENSOR CORNER 4	59.4792	5.407	0.220	5.403

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



OFFSET FROM	X (In Flight)	Y (Cross Flight)	Elevation/Z	Dimension Check	Azimuth	Pitch Angle	Roll Angle
SENSOR R.P. TO:	(meters)	(meters)	(meters)	(meters)	(degrees)	(degrees)	(degrees clock-w ise)
GPS ANTENNA	-1.474	0.023	-1.112	(corners)			
SENSOR CORNER 1	0.214	-0.215	-0.022	1 - 2 =			1.6787
SENSOR CORNER 2	0.213	0.216	-0.010	2 - 3 =	57.6035	-1.6924	
SENSOR CORNER 3	-0.215	0.213	0.017	3 - 4 =			-1.6454
SENSOR CORNER 4	-0.214	-0.217	0.005	4 - 1 =	57.3828	3.6595	

based on corner measurements

SENSOR ANGLE (pitched forward +) 0 degrees

CORRECTED OFFSET	X (In Flight)	Y (Cross Flight)	Elevation/Z
	(meters)	(meters)	(meters)
R.P. to GPS:	-1.474	0.023	-1.112
User to R.P.:	-0.007	0.041	-0.460
User to GPS:	-1.481	0.064	-1.572

User is IMU

➤ 率定飛行作業程序：

利用 Optech 發展最新 LMS2.1 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 3-6 所示。

表 3-2 率定場航線設計表

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	跑道率定場 1、2	1200	100	±25	32	4
2	跑道率定場 9~12	800	150	±25	32	4
3	確認飛行 7、8	1600	100	±25	32	2

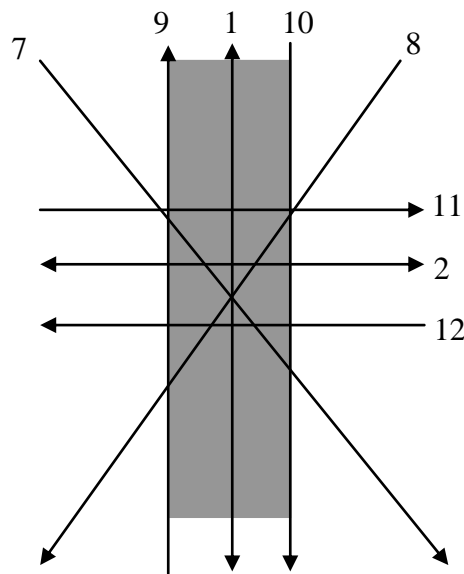


圖 3-6 率定場航線設計圖

b. 軟體參數設定：

利用LMS2.1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3-7所示。

Average point density	<input type="text" value="1.0"/>	points/m ²
Smallest detectable plane size	<input type="text" value="9.0"/>	m ²
Minimum number of plane points	<input type="text" value="16"/>	
Surface roughness	<input type="text" value="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 3-7 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3-8所示。

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

圖 3-8 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3-9所示。

Maximum search radius	<input type="text" value="100.0"/>	m
Maximum line separation	<input type="text" value="1.0"/>	m
Maximum azimuth difference	<input type="text" value="1.0"/>	deg
Minimum roof line length	<input type="text" value="1.0"/>	m

圖 3-9 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3-10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 3-10 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3-11所示。

Decode Range File	Maximum fitting error at tie plane	0.15	m
Laser Point Computation	Minimum number of points on tie plane	20	
Planar Surface Extraction	Maximum number of points on tie plane	10000	
Roof Line Extraction	Max. relative deviation of number of points	19.999999999999996	%
Roof Line Comparison	Decimation of tie plane points, use	every point	
Tie Plane Determination	Total number of points for self-calibration	1500000	
Tie Plane Selection			
LAS File Output			
ASCII File Output			
User Command			

圖 3-11 Tie Plane Selection 參數設定

c. 率定修正值解算:

利用LMS2.1軟體將1010728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。

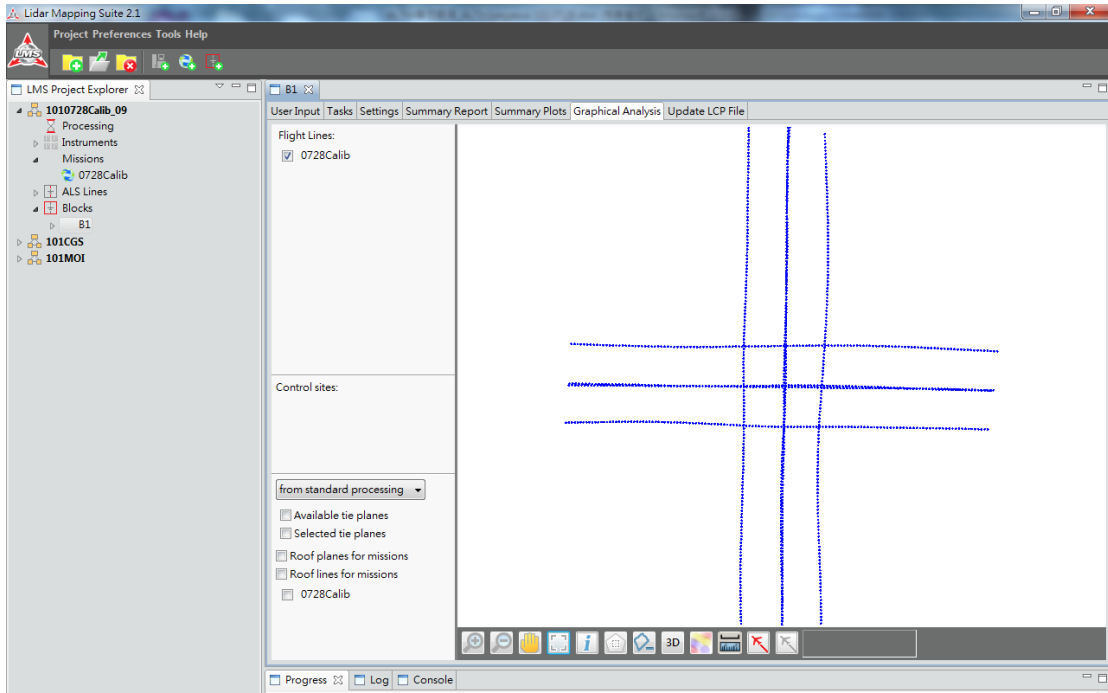


圖3-12 率定航線分布圖

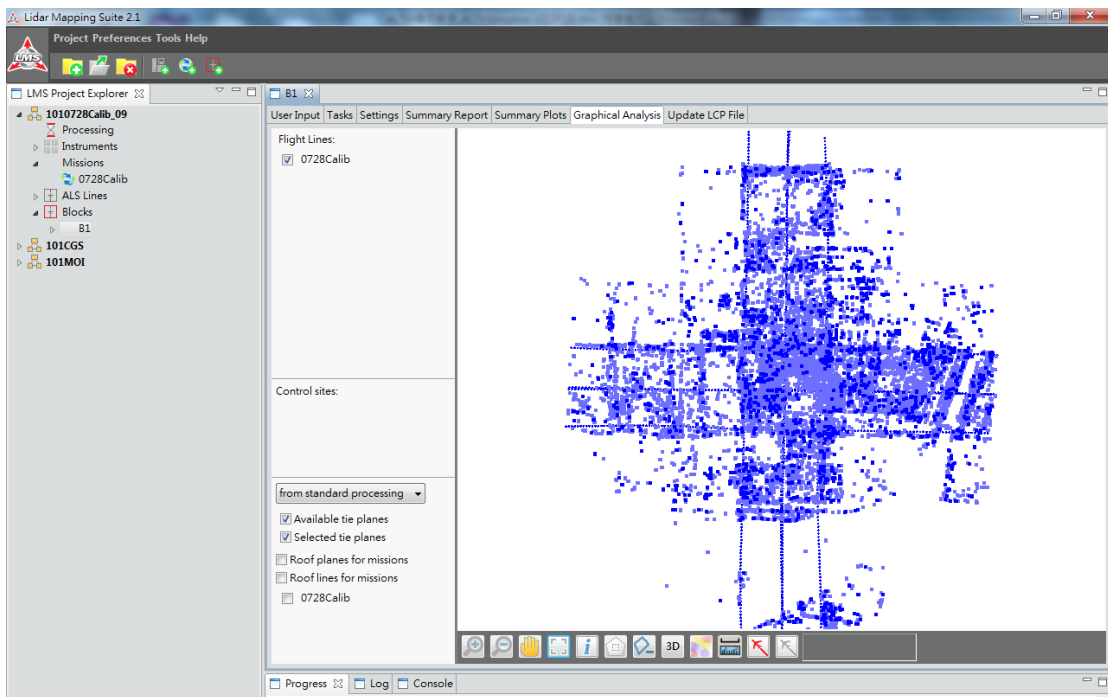


圖 3-13 率定前萃取平面分布圖(淺藍:所有萃取平面；深藍:平差用平面)

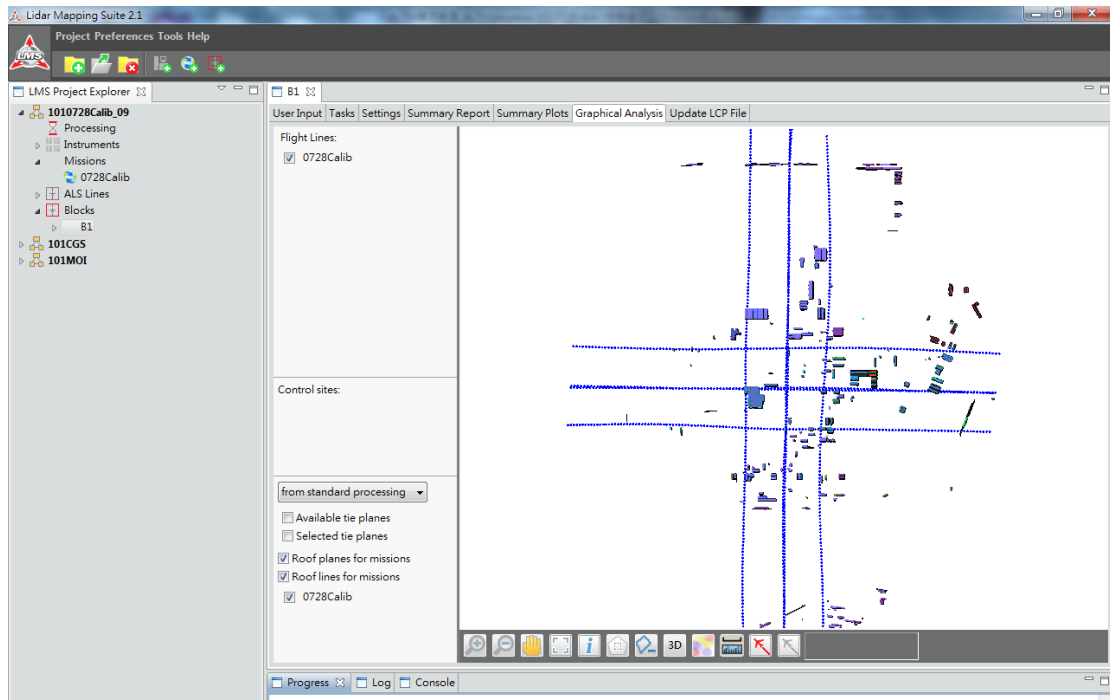


圖 3-14 率定前萃取之屋脊面交角線段分布圖

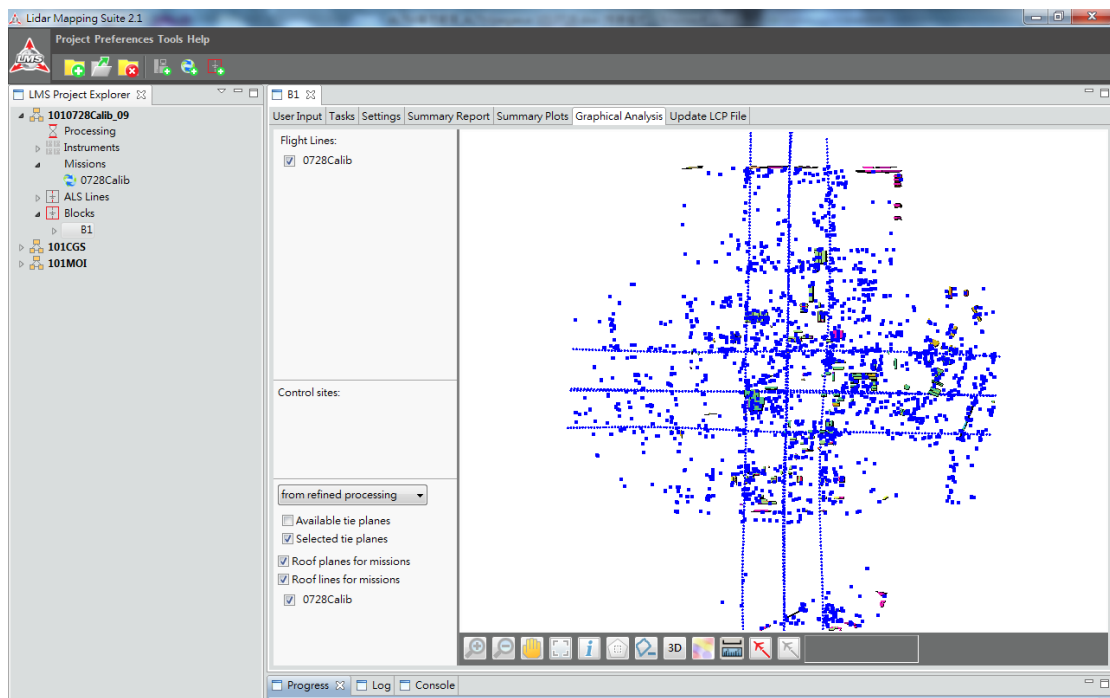


圖 3-15 率定後萃取平面及屋脊面交角線段分布圖

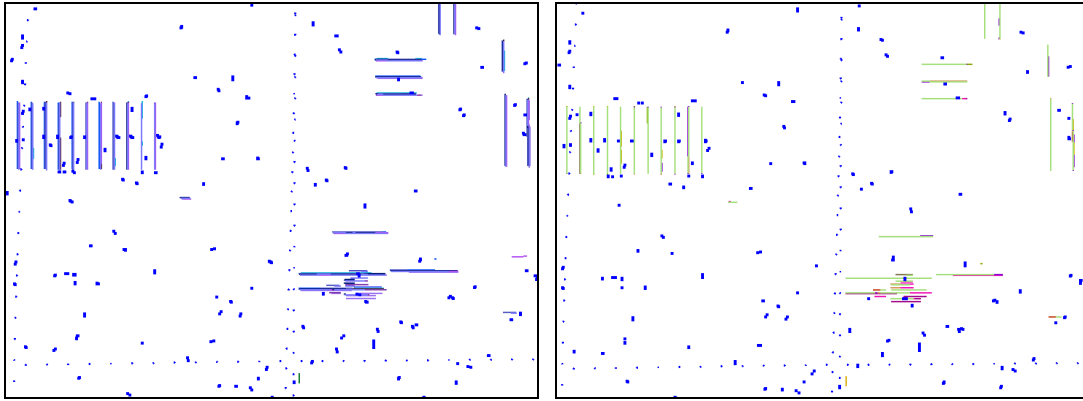


圖 3-16 率定前後屋脊面交角線段圖(左)率定前(右)率定後

d. Elevation值修正:

飛行高度設為離地高 1200 公尺，ALTM 系統之設定掃瞄頻率為 150KHz，掃瞄鏡面之擺動頻率為 30Hz，掃瞄視角為 25 度。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)。

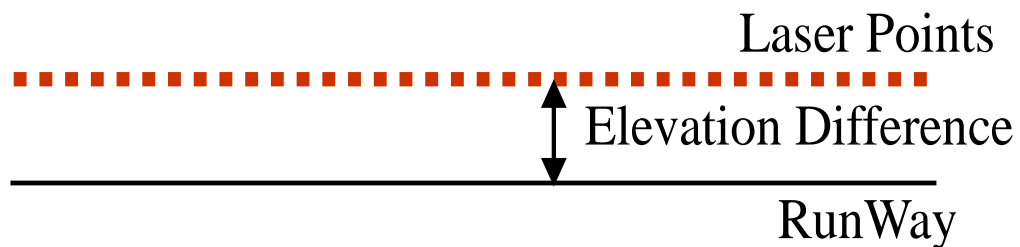


圖 3-17 雷射點之足跡分布圖

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、率定成果與報告

4.1 飛航成果

本次飛航作業時間為 101 年 7 月 28 日 09:00~10:00，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 2 個 GPS 基站同步接收 GPS 觀測量，分別針對率定場進行各航線之掃瞄飛行，其中 8 條航線為本次率定作業飛航，包含 4 個方向及兩個航高，另 2 條航線作為確認飛航(verification)，詳如附件 C-4，其飛航軌跡如圖 4-1，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。

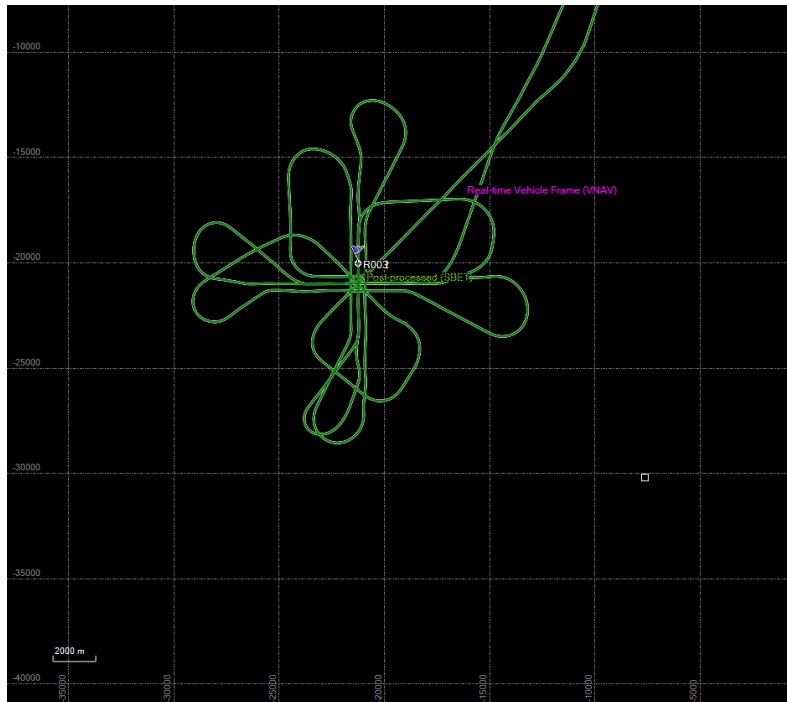


圖 4-1 飛航軌跡與基站示意圖

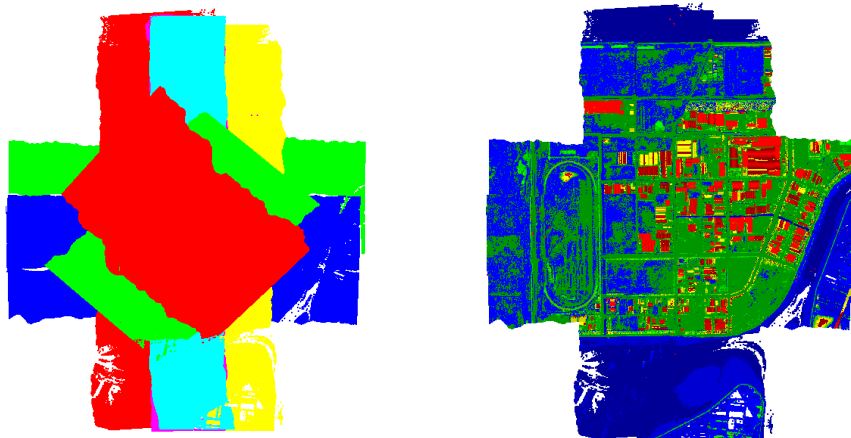


圖 4-2 率定掃瞄成果圖(左)航線上彩(右)高程上彩

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，基站與航線範圍應小於 20 公里。並選擇 PDOP 小於 4，且衛星數量大於 6 顆之時段作業，觀測時應以至少 2Hz 之接收頻率加以記錄。如圖 4-3，其基站資訊如表 4-1、表 4-2 與附錄 C 所示：

表 4-1 GPS 基站資訊

Monument Description:					
GPS Receiver Type: Trimble 5700			Epoch Interval: 2 Hz		
Antenna Type: Trimble			Elevation Mask: 0 degrees		
Observation Type: Static					
Station1:					
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

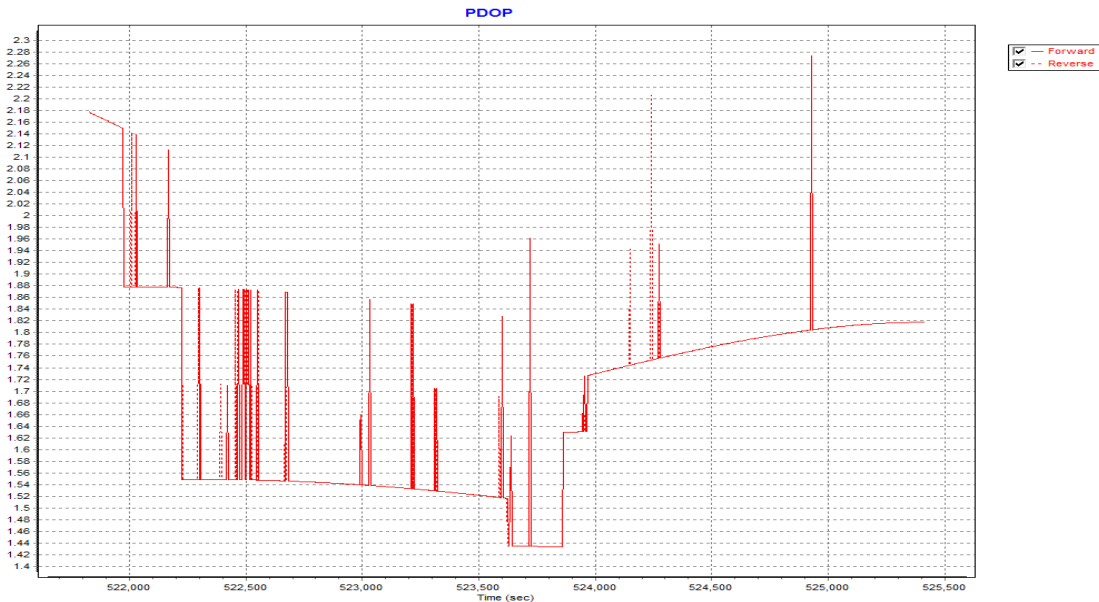


圖 4-3 PDOP 值

為確保航跡品質，掃瞄任務執行時，地面以 2 個以上之基站進行 GPS 同步觀測，進行解算時應分別計算 2 個基站與正反向共 4 條軌道值，檢核其差值是否過大(通常應在 20 公分以內)，若差值過大則應重新檢查 GPS 及 IMU 之資料並重算 POS 之成果。並獲取航跡定位精度之成果，如圖 4-4 所示。

表 4-2 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
1010728	2.4	11	1.21	2.2	10	Yes*	no	yes	0.01	0.02	0.03

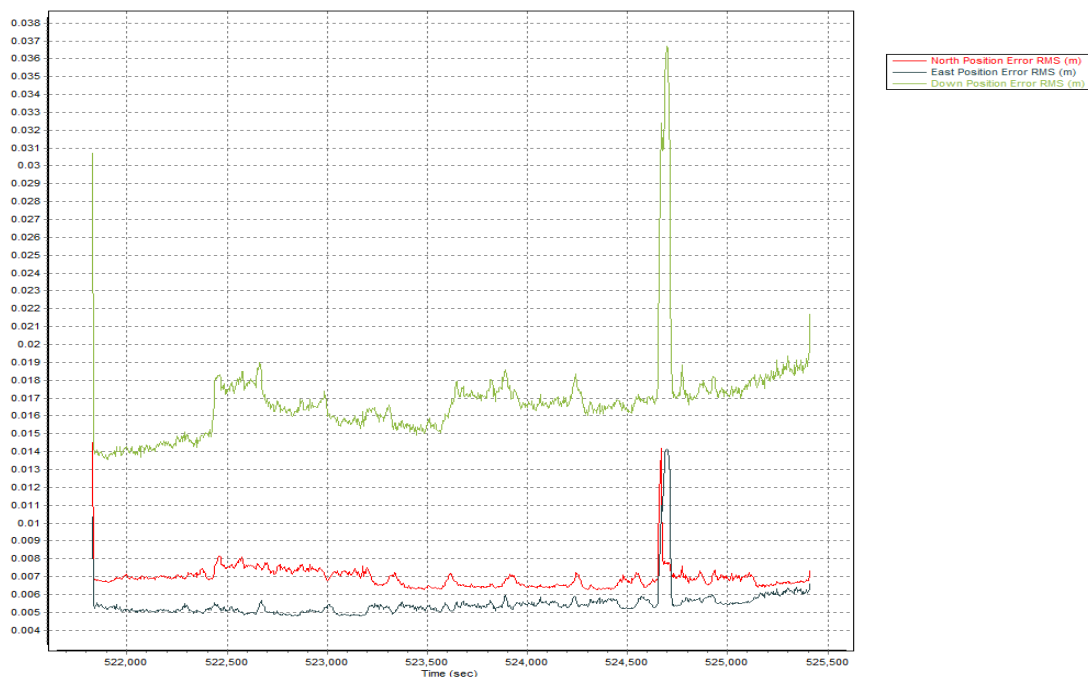


圖 4-4 Position Error RMS 值成果圖

4.3 率定修正值成果

利用 LMS2.1 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 [-]	1.0001689	+	-0.000336			
		Channel 1		Channel 2		
Boresight Correcti		Current LCP File		From Self-Calibrat		
Boresight angle Ex [de]	0.0	+	0.075736	0.0	+	0.032656
Boresight angle Ey [de]	0.0	+	0.049576	0.0	+	0.033254
Boresight angle Ez [de]	0.0	+	-0.010130	0.0	+	-0.007781

圖 4-5 LMS2.1 率定修正值成果圖

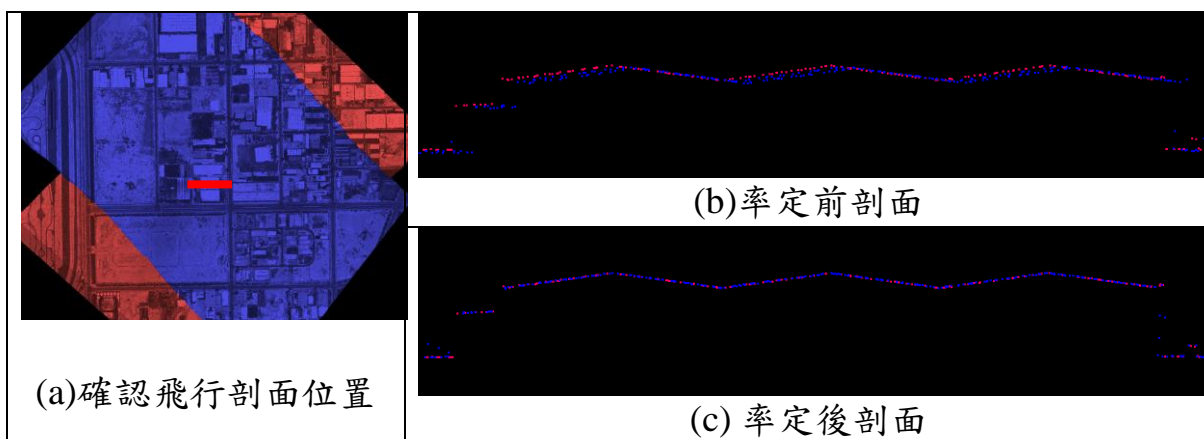


圖 4-5 確認飛行航線之率定前後剖面圖

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。

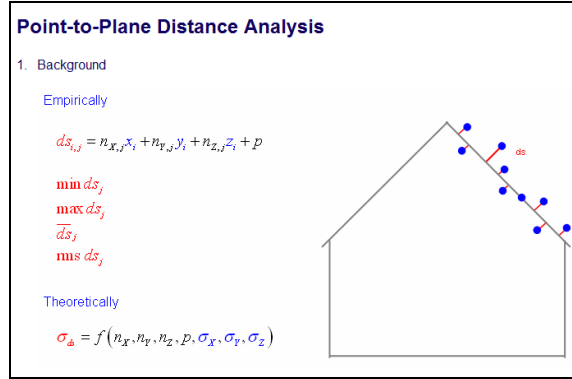


圖 4-7 雷射點至萃取面的距離分析示意圖

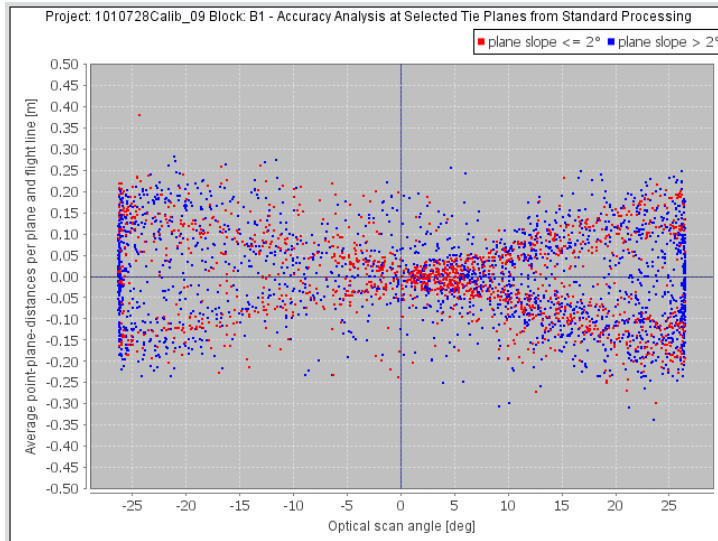


圖 4-8 率定前雷射點至萃取面的距離統計分布圖

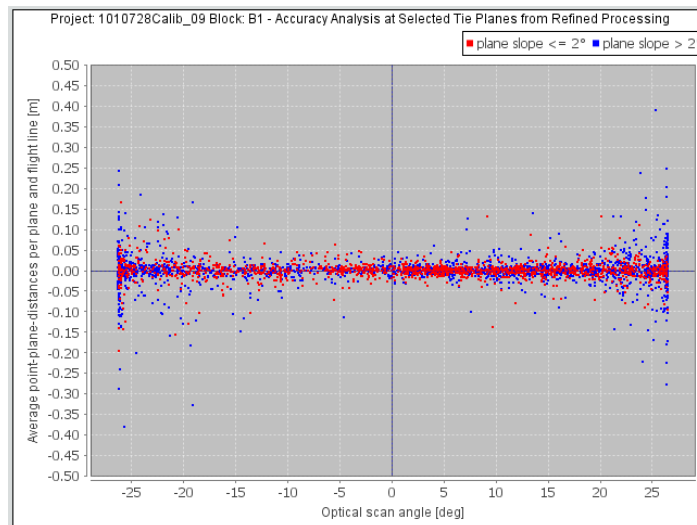


圖 4-9 率定後雷射點至萃取面的距離統計分布圖

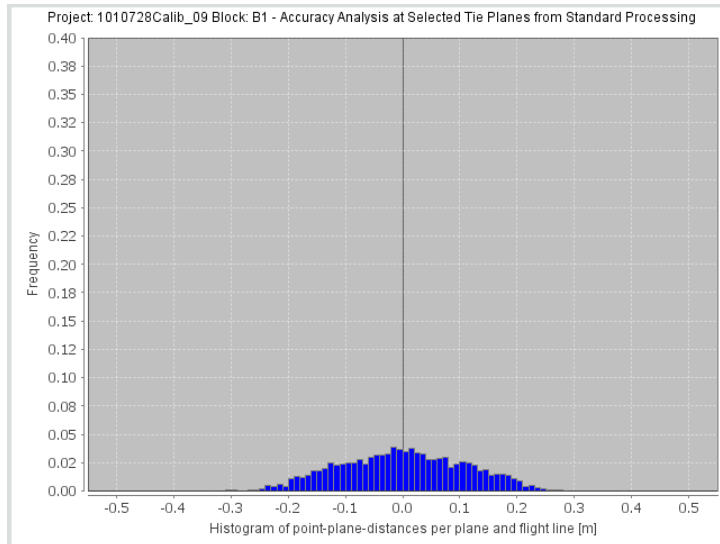


圖 4-10 率定前雷射點至萃取面的距離統計直方圖

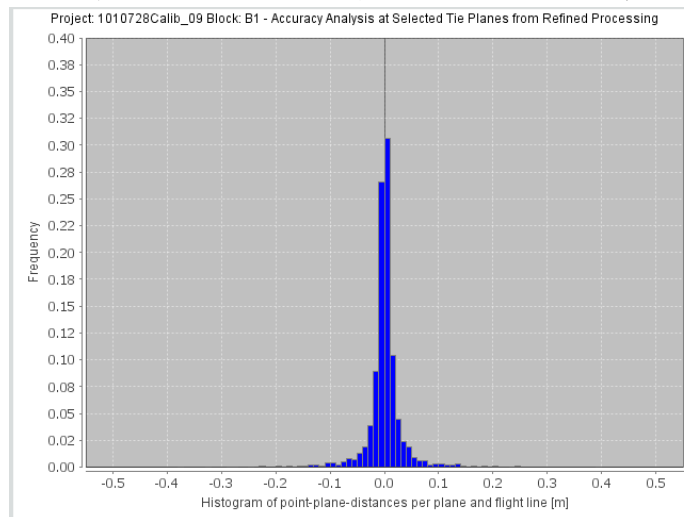


圖 4-11 率定後雷射點至萃取面的距離統計直方圖

4.5 高程精度成果

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 11 公分，均方根差為 4 公分，平均差量為 0.7 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 4-3 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	11cm	4cm	0.7cm

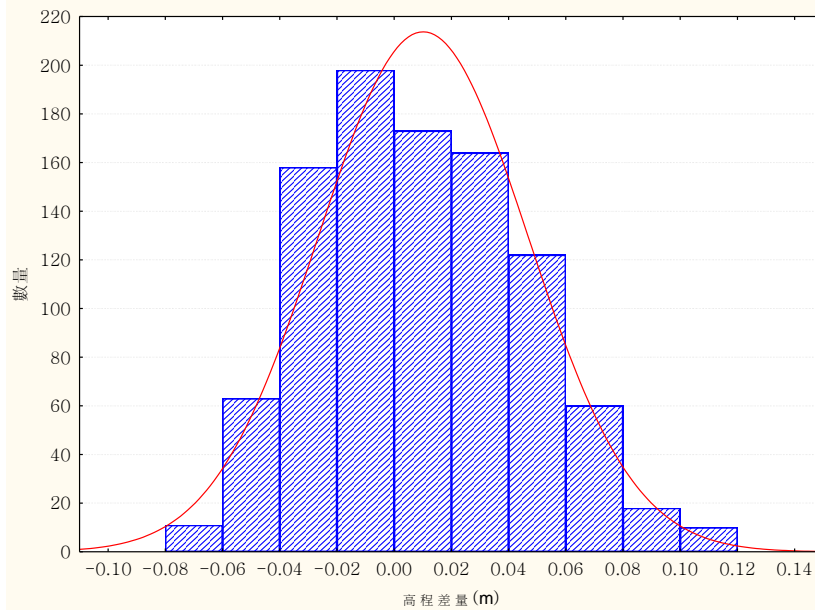


圖 4-12 率定飛行成果之高程分析統計直方圖

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 12 公分，均方根差為 5 公分，平均差量為 0.4 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 4-4 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	12cm	5cm	0.4cm

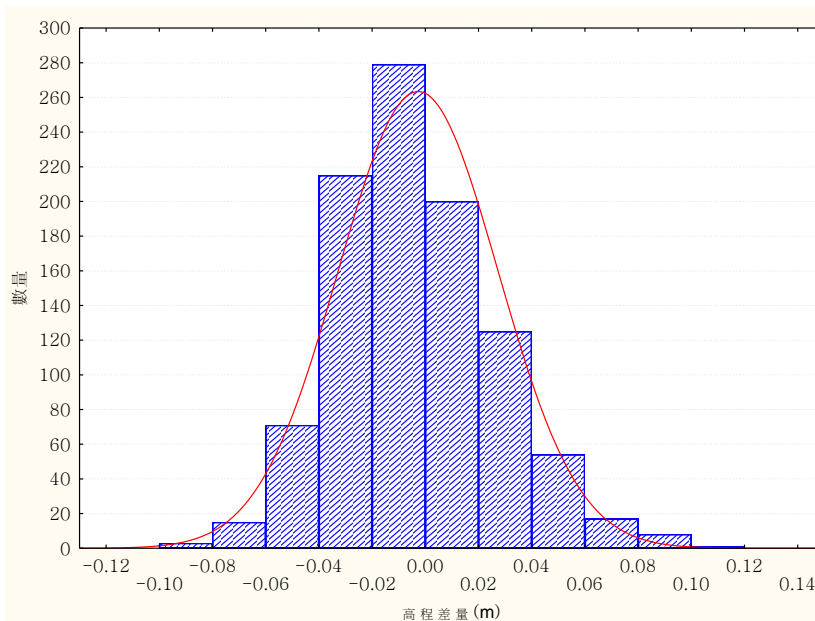


圖 4-13 確認飛行成果之高程分析統計直方圖

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，下表為率定後的新的參數：

表 4-5 率定成果參數表

Parameter	Final Field Calibration Values
<i>Elevation Block Adjustment</i>	0.00
<i>Cross-flight Scanner</i>	
Offset (degrees)	0
Scale (no units)	0.9998329
Lag (seconds) –	0
<i>Channel1 IMU Corrections</i>	
Pitch (degrees)	0.07573551
Roll (degrees)	0.049575645
Heading (degrees)	-0.0101302
<i>Channel2 IMU Corrections</i>	
Pitch (degrees)	0.032655578
Roll (degrees)	0.033253748
Heading (degrees)	-0.00778066

五、儀器介紹

儀器設備名稱	說明
	<p>Optech ALTM Pegasus (SN:10CON241/10SEN274)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 掃瞄旋角視域 FOV：0~60 度 · 脈衝率 PRF：100~400kHz · 掃瞄鏡頻率:0~140Hz · 掃瞄形式：Oscillating, Mirror, Z-shaped · 高程精度：15cm (1σ,航高 1,200m) 25cm (1σ,航高 32500m) · 水平精度：1/5,500 航高 · 斜距解析度：1 cm · 最大掃瞄帶寬：0~0.93 航高 · GPS：Trimble · Position Orientation System：Applanix POS 510 · 作業用途：獲取高精度密佈於地表之三維點位
	<p>POS/AV510 系統</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>Trimble 4000SSI / 4700 / 5700</p> <ul style="list-style-type: none"> · 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）

附錄 A Lever Arm 數據

- 下列參數是由 OPTECH 公司內部所量測結果：

Reference to IMU Lever Arm (PosAV)	
X	-0.671 m
Y	-0.001 m
Z	-0.088 m

Reference to Sensor Reference Point	
X	-0.007 m
Y	0.041 m
Z	-0.460 m

Reference to Camera Focal Point	
X	0.219 m
Y	-0.092 m
Z	0.201 m

- 下列參數是由本公司外部所量測結果：

Sensor Reference Point to GPS Antenna	
X	-1.481 m
Y	0.064 m
Z	-1.572 m

附錄 B 率定參數

1. 率定參數檔：

[Calibration]
UseLeftDroopCorrection=15.000000
UseRightDroopCorrection=10.000000
[ScannerPolynomialCoefficients1]
DegreeOfPoly=2
a0=0.0000000000000000
a1=0.9998000000000000
a2=0.0000329000000000
a3=0.0000000000000000
a4=0.0000000000000000

[AtmosphericFilter1]
WindowSizePoints=15
ThresholdMeters=50.000000
FilterType=0

[S1Scanner]
TimeLag=0.00001520
LagScale=0.000000
LagOffset=0.000000

meteoCorrMethod=2
Temperature=15.000000
Pressure=1013.100000

[S1C1Scanner]
RangeScale=1.000000
RangeOffset=0.000000
IntensityScale=1.000000
IntensityOffset=0.000000
IntensityGain=0.000000

[S1C1RangeOffset50KHz]
FirstPulseRange=-6.941720
SecondPulseRange=-6.941720
ThirdPulseRange=-6.941720
LastPulseRange=-6.941720

[S1C1RangeOffset75KHz]
FirstPulseRange=-6.933980
SecondPulseRange=-6.933980
ThirdPulseRange=-6.933980
LastPulseRange=-6.933980

[S1C1RangeOffset100KHz]
FirstPulseRange=-6.929430
SecondPulseRange=-6.929430
ThirdPulseRange=-6.929430
LastPulseRange=-6.929430

[S1C1RangeOffset125KHz]
FirstPulseRange=-6.927000
SecondPulseRange=-6.927000
ThirdPulseRange=-6.927000
LastPulseRange=-6.927000

[S1C1RangeOffset150KHz]
FirstPulseRange=-6.925340
SecondPulseRange=-6.925340
ThirdPulseRange=-6.925340
LastPulseRange=-6.925340

[S1C1RangeOffset175KHz]
FirstPulseRange=-6.924810
SecondPulseRange=-6.924810
ThirdPulseRange=-6.924810
LastPulseRange=-6.924810

[S1C1RangeOffset200KHz]
FirstPulseRange=-6.919500
SecondPulseRange=-6.919500
ThirdPulseRange=-6.919500
LastPulseRange=-6.919500

[S1C1IMU]
IMURoll=0.075736
IMUPitch=0.049576

IMUHeading=-0.010130
 UserToImuDx=0.000000
 UserToImuDy=0.000000
 UserToImuDz=0.000000
 UserToRefDx=0.000000
 UserToRefDy=0.000000
 UserToRefDz=0.000000

[S1C1OpticalModel]
 BEAM0_PITCH=0.708444
 BEAM0_YAW=-2.298300
 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

[S1C1Intensity]
 IntensityTable50Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH1_100kHz.txt
 IntensityTable75Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH1_150kHz.txt
 IntensityTable100Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH1_200kHz.txt
 IntensityTable125Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH1_250kHz.txt
 IntensityTable150Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH1_300kHz.txt
 IntensityTable175Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH1_350kHz.txt
 IntensityTable200Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH1_400kHz.txt

[S1C2Scanner]
 RangeScale=1.000000
 RangeOffset=0.000000
 IntensityScale=1.000000
 IntensityOffset=0.000000
 IntensityGain=0.000000

[S1C2RangeOffset50KHz]
 FirstPulseRange=-7.798200
 SecondPulseRange=-7.798200
 ThirdPulseRange=-7.798200
 LastPulseRange=-7.798200
 [S1C2RangeOffset75KHz]
 FirstPulseRange=-7.816390
 SecondPulseRange=-7.816390
 ThirdPulseRange=-7.816390
 LastPulseRange=-7.816390
 [S1C2RangeOffset100KHz]
 FirstPulseRange=-7.821480
 SecondPulseRange=-7.821480
 ThirdPulseRange=-7.821480
 LastPulseRange=-7.821480
 [S1C2RangeOffset125KHz]
 FirstPulseRange=-7.823240
 SecondPulseRange=-7.823240
 ThirdPulseRange=-7.823240
 LastPulseRange=-7.823240
 [S1C2RangeOffset150KHz]
 FirstPulseRange=-7.817880
 SecondPulseRange=-7.817880
 ThirdPulseRange=-7.817880
 LastPulseRange=-7.817880
 [S1C2RangeOffset175KHz]
 FirstPulseRange=-7.832930
 SecondPulseRange=-7.832930
 ThirdPulseRange=-7.832930
 LastPulseRange=-7.832930
 [S1C2RangeOffset200KHz]
 FirstPulseRange=-7.826010
 SecondPulseRange=-7.826010
 ThirdPulseRange=-7.826010
 LastPulseRange=-7.826010

[S1C2IMU]
IMURoll=0.032656

IMUPitch=0.033254
IMUHeading=-0.007781
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

[S1C2Intensity]
IntensityTable50Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH2_100kHz.txt
IntensityTable75Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH2_150kHz.txt
IntensityTable100Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH2_200kHz.txt
IntensityTable125Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH2_250kHz.txt
IntensityTable150Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH2_300kHz.txt
IntensityTable175Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH2_350kHz.txt
IntensityTable200Khz=E:\56123\110117b\hardware_cfg\CH2_400kHz.txt

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：

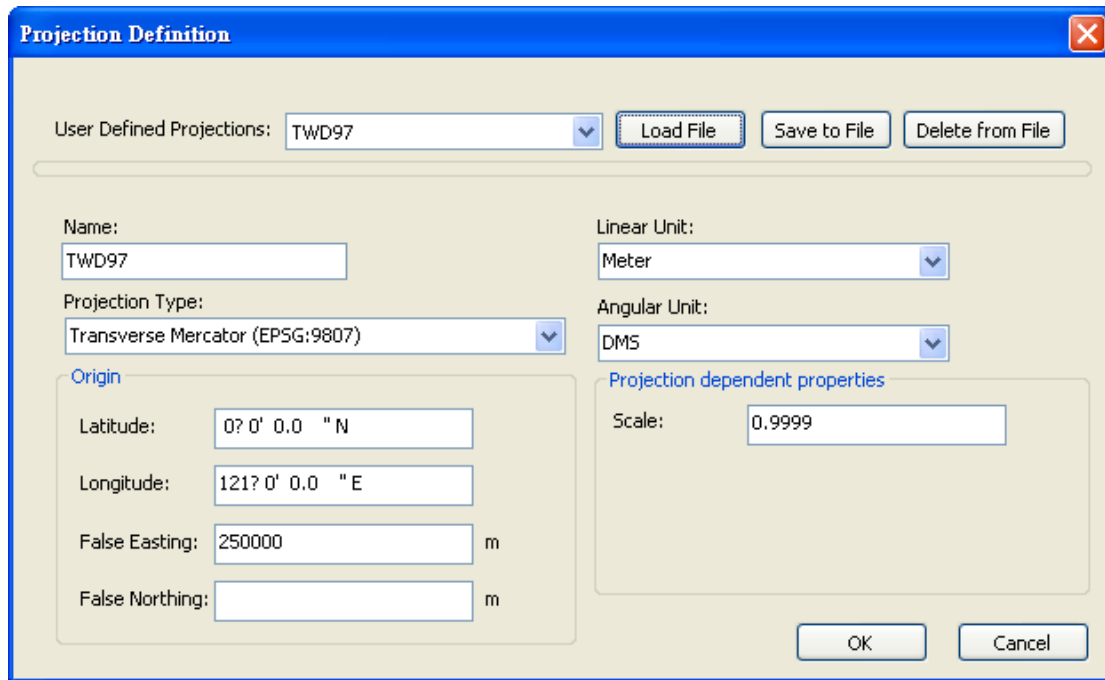


圖 C-1：DashMap 軟體下使用的投影參數畫面圖

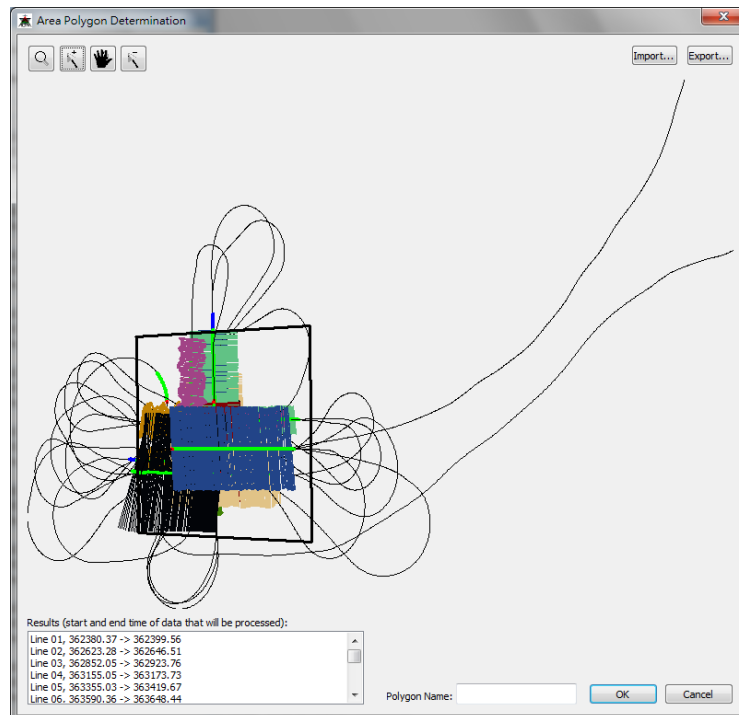


圖 C-2：DashMap 軟體解算畫面圖

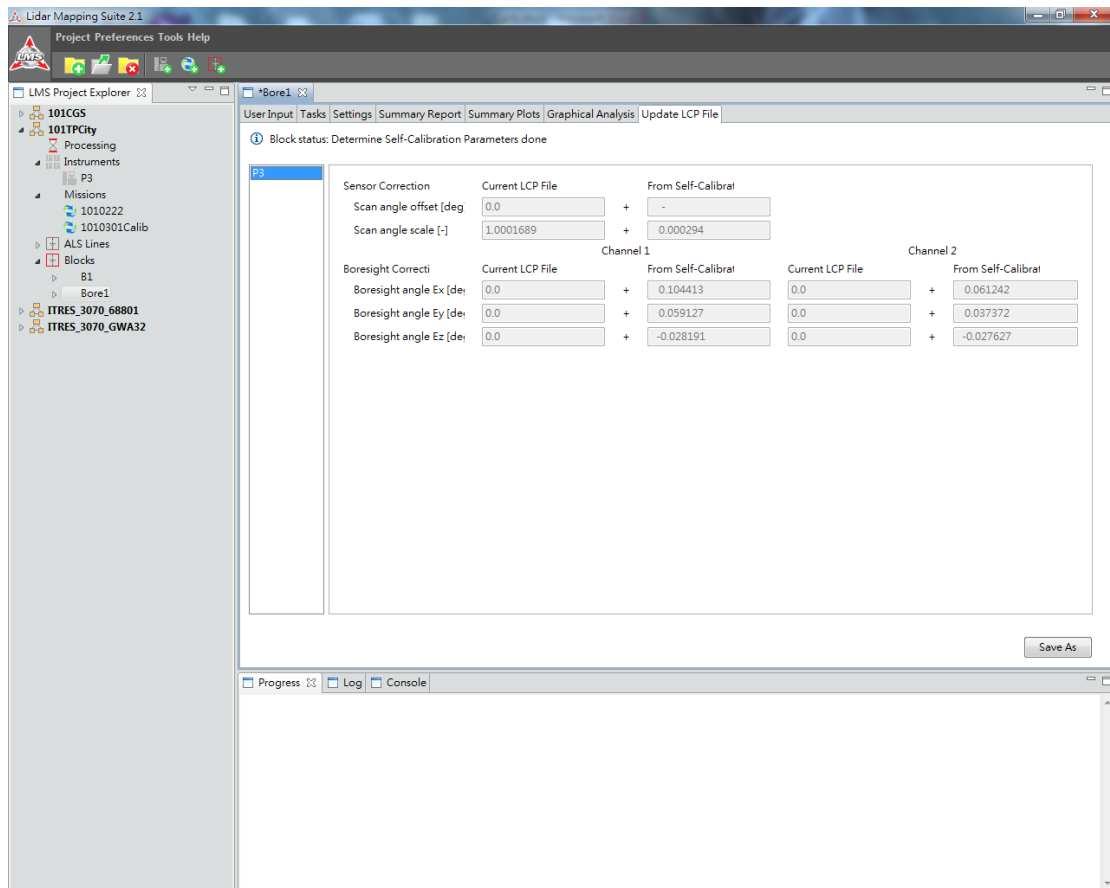


圖 C-3：LMS 軟體率定參數畫面圖

STRIP#	NUMBER	START TIME (UTM TIME)	END TIME (GPS TIME)	ALT(M)	LASER FREQ (KHZ)	SCANNER FREQ	SCANNER RANGE	COMMENT
1	8	520769.50	520800.47	1600	100	32	-25<-> +25	CHECK FLIGHT
2	7	521563.69	521610.44	1600	100	32	-25<-> +25	CHECK FLIGHT
3	11	522118.74	522264.47	1200	100	32	-25<-> +25	CALIBRATION
4	12	522466.24	522539.47	1200	100	32	-25<-> +25	CALIBRATION
5	10	522764.45	522866.47	1200	100	32	-25<-> +25	CALIBRATION
6	9	523072.23	523192.47	1200	100	32	-25<-> +25	CALIBRATION
7	1	523388.30	523499.46	800	150	32	-25<-> +25	CALIBRATION
8	1	523657.74	523798.47	800	150	32	-25<-> +25	CALIBRATION
9	2	524000.78	524135.49	800	150	32	-25<-> +25	CALIBRATION
10	2	524336.21	524436.50	800	150	32	-25<-> +25	CALIBRATION

圖 C-4：飛行掃描參數成果

附件四

**中興測量有限公司 ITRES CASI 1500
率定報告書**

101 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案-率定報告

一、前言

近年來航遙測領域中，僅含空間解析及少數波段的光學影像在應用及分析上不足夠分辨複雜、蘊含豐富光譜資訊的變遷環境，因此，將真實空間中各點的光譜資訊，結合影像解析力，更能了解整體的資訊及相互關係。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(380nm~1050nm)的影像，即為高光譜影像。由相機感測器獲取的原始檔經轉換後具有光譜能量描述值，始為絕對輻射影像，需重建幾何方位以供後續應用及分析。

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。

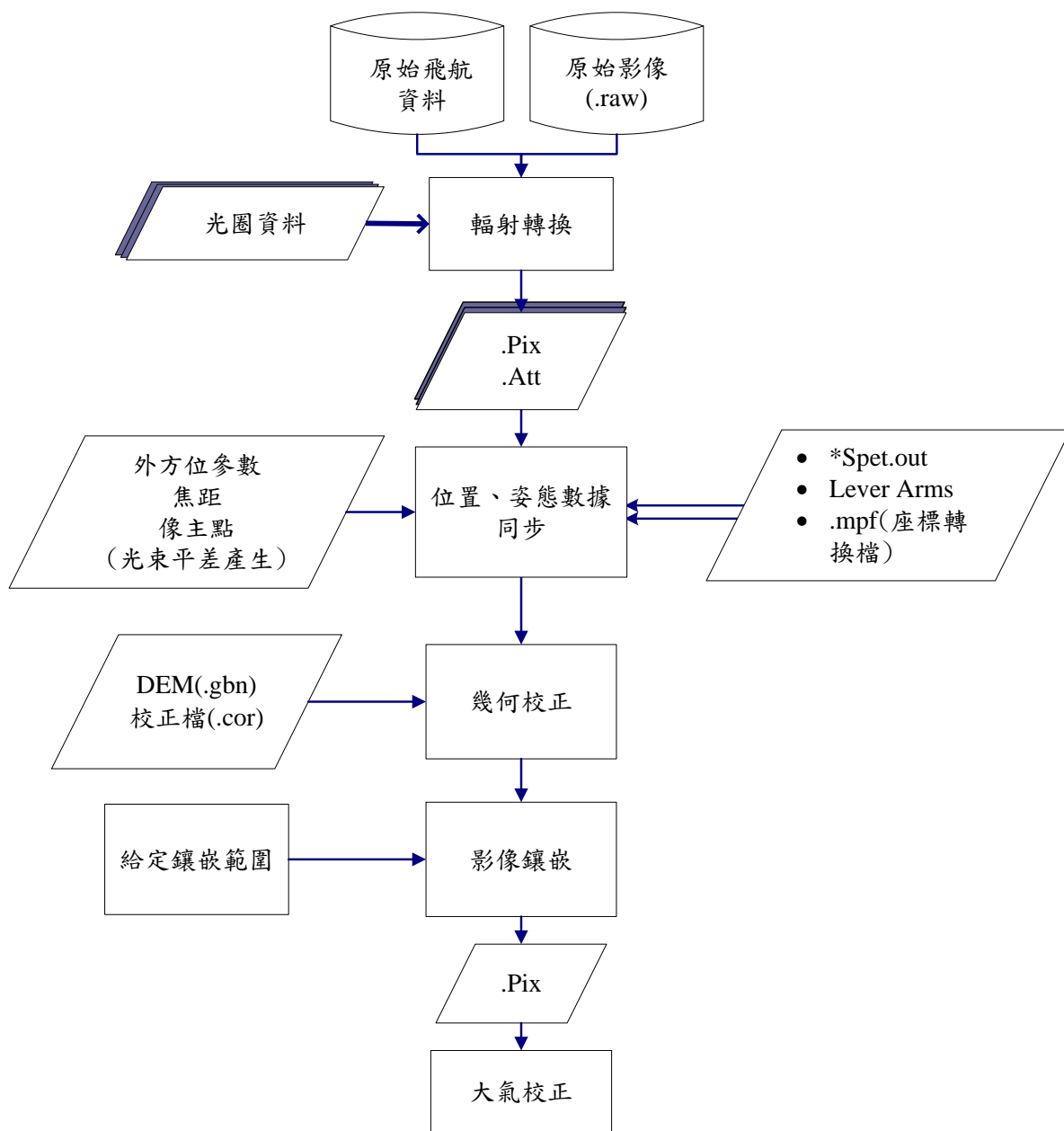


圖 1 高光譜影像資料處理流程

二、 率定範圍

高光譜影像率定場為台中市區，率定場大小為 2km×1km，飛航日期為 101 年 9 月 12 日，時間為中午，其中飛航高度為 800 公尺，地面解析度 70 公分。本次率定一共有 7 條航帶，其中南北向 5 條、東西向 2 條，航高約 800 公尺，航帶重疊率約 40%，掃描波段數為 36，其航帶分布範圍如圖 2。

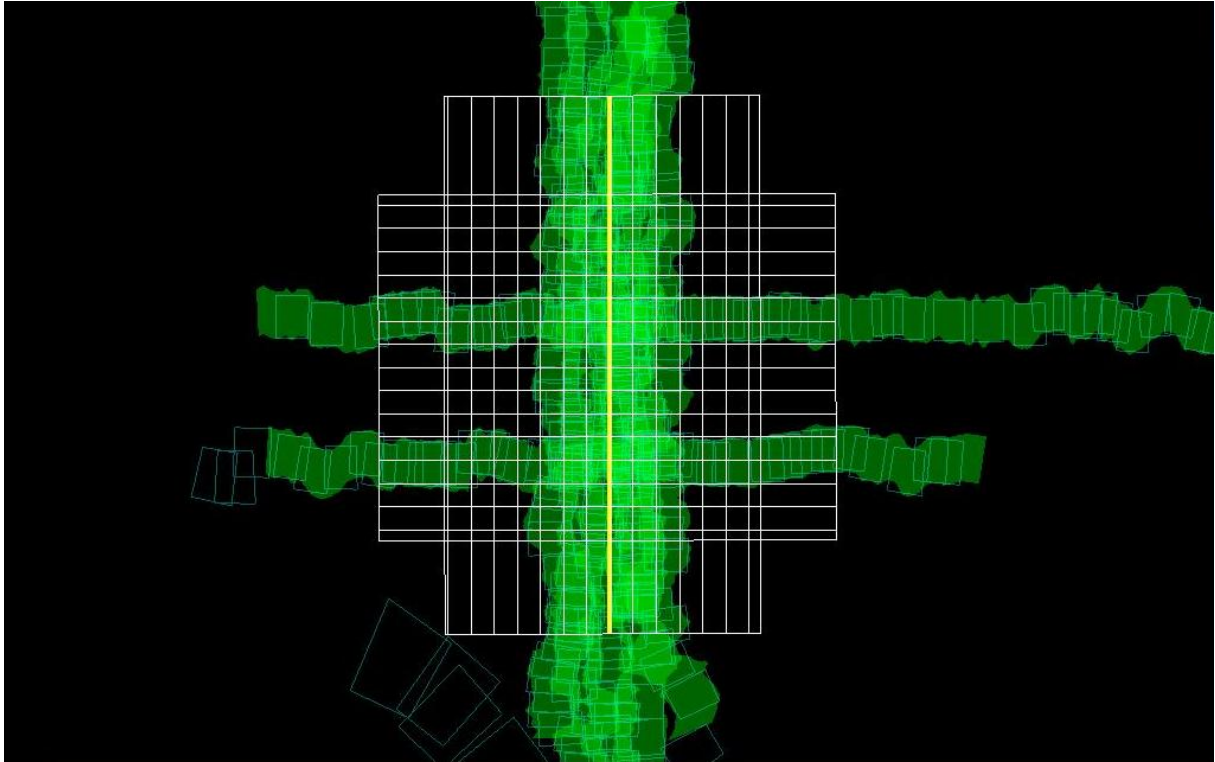


圖 2 航帶分布圖

三、 輻射轉換

輻射轉換方面(圖 3)，則取及下載原始航帶資料數位值(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 軟體(RadCor.exe)進行輻射轉換，進行輻射轉換後可得到 PIX 檔案(Radiance 值)以及 ATT 檔案。PIX 為 PCI 格式的影像檔，ATT 檔案即為 CASI-1500 的飛航資料，其使用的時間記錄為 CASI-1500 的內部時間

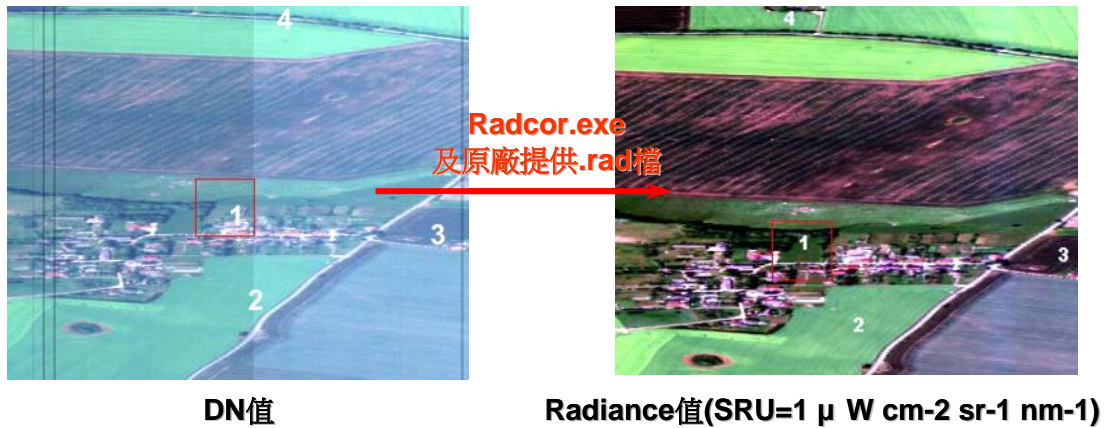


圖 3 輻射轉換示意圖

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。

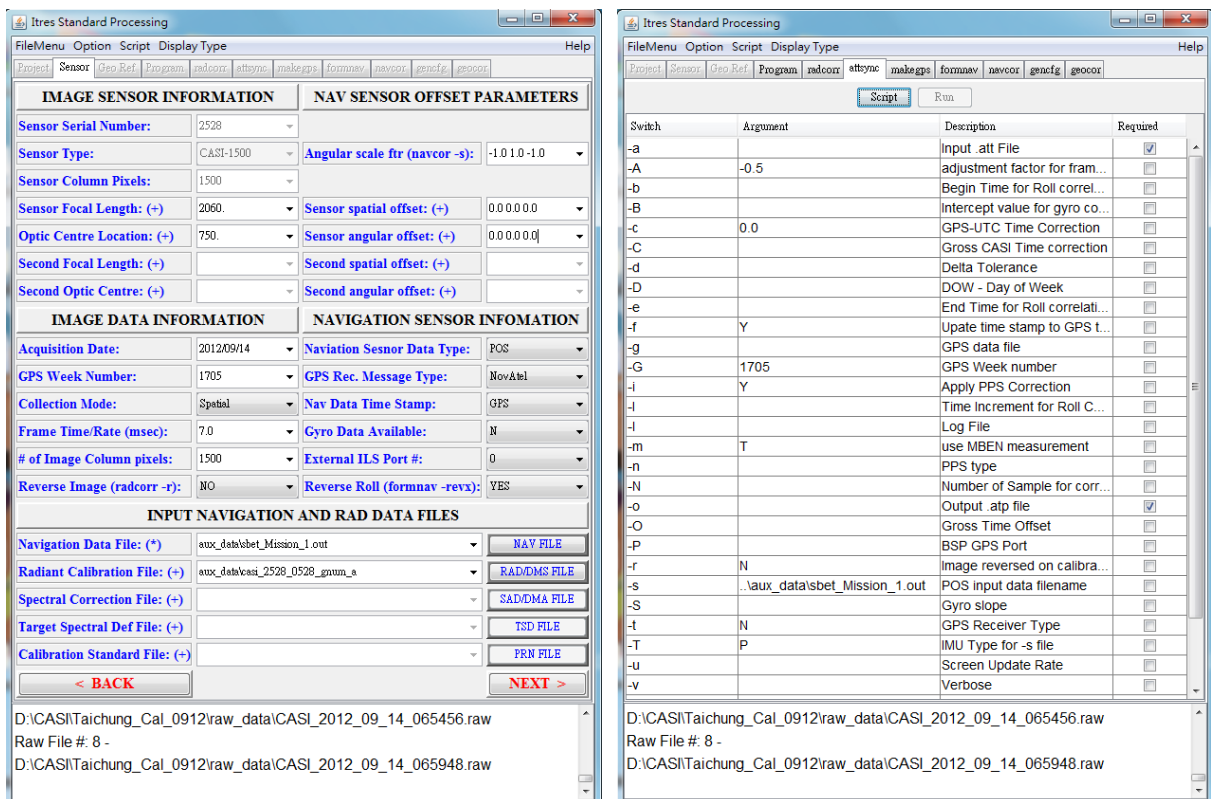


圖4 GUI介面給定初始值

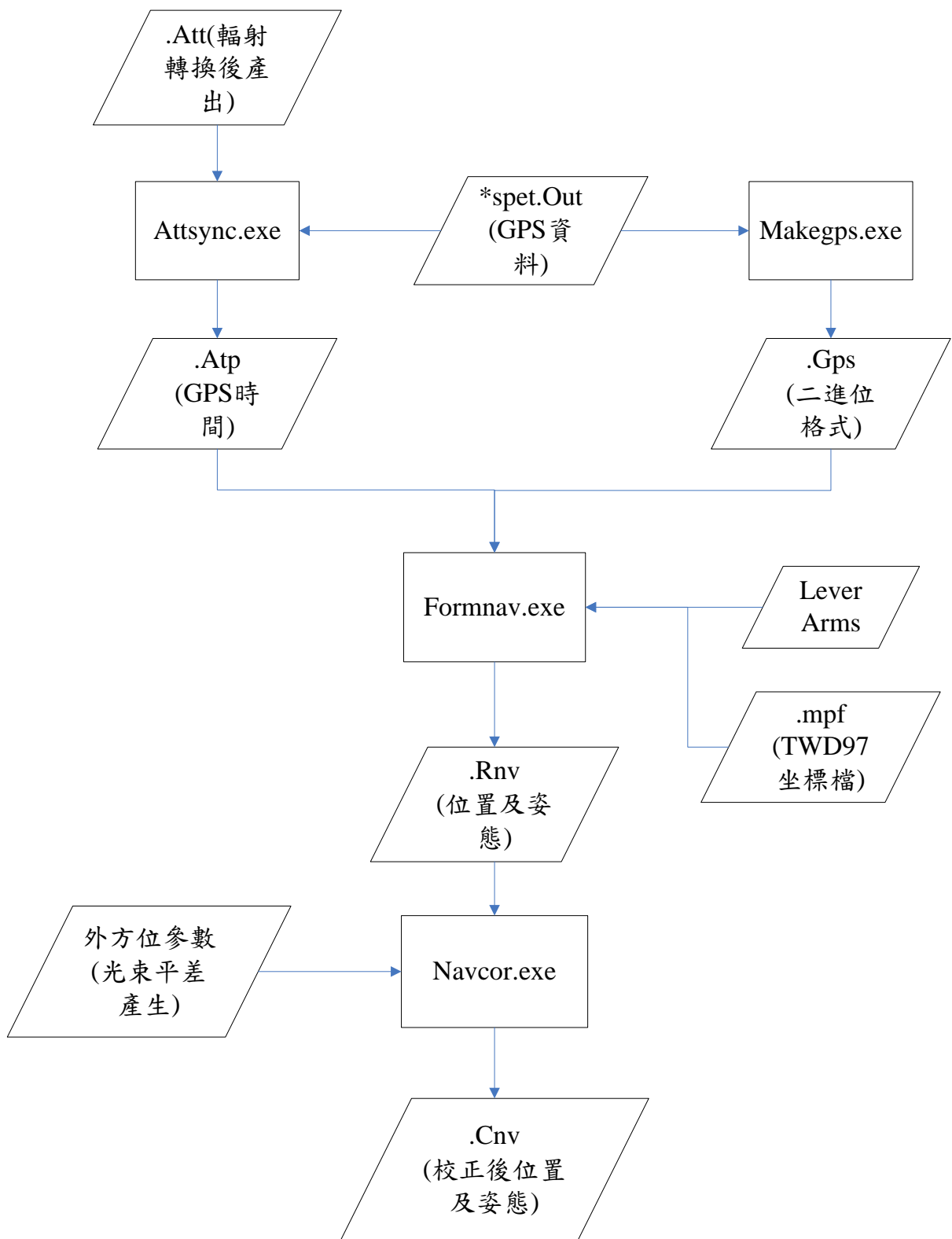


圖5 位置及姿態數據同步流程圖

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、Y、Z)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25個地面控制點，並挑選39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。

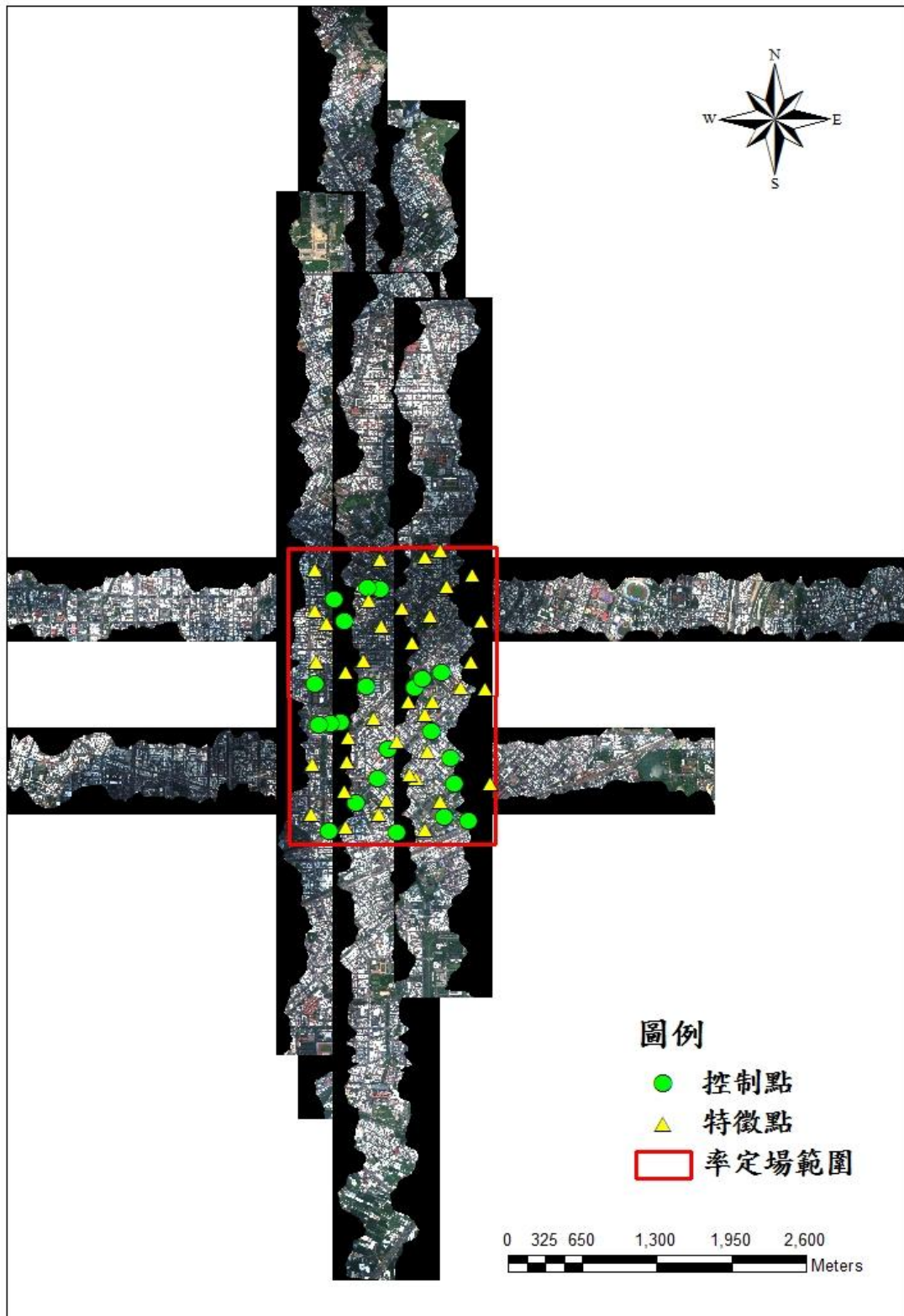


圖6 率定場控制點及特徵點分布

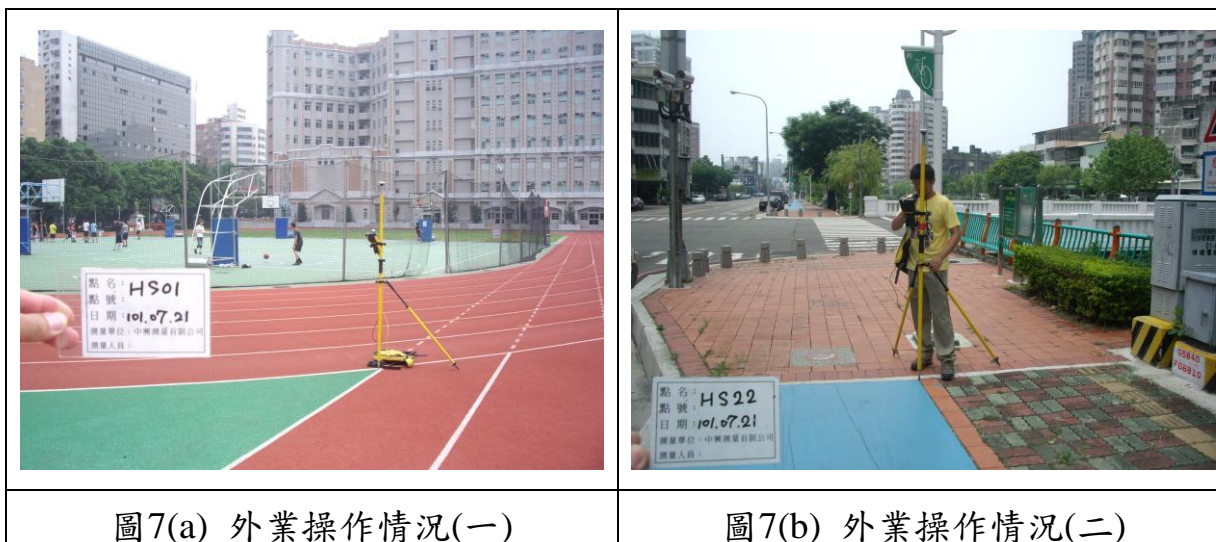


圖7(a) 外業操作情況(一)

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_2012_09_14_062233.pix (strip: NOSTRIP, No. 1, Index 186)

ID	TYPE CHANNEL	--- X --- (m)	--- Y --- (m)	--- Z --- (m)	--- rx --- (pix)	--- ry --- (pix)	Parallax (m)
01	GCP NAD	216540.947	2670983.558	95.584	1.893	-2.096	
02	GCP NAD	216539.902	2670968.818	96.352	3.038*	-1.345	
06	GCP NAD	216297.594	2670439.786	89.817	1.222	-0.255	
09	GCP NAD	216220.687	2671820.718	100.845	2.552	0.979	
10	GCP NAD	216171.828	2671850.300	103.223	2.250	0.957	
11	GCP NAD	216236.411	2671838.452	100.999	3.584*	0.413	
12	GCP NAD	216118.772	2671844.718	102.782	3.489*	1.908	
18	GCP NAD	216110.415	2670981.526	94.107	2.495	-0.690	
22	GCP NAD	216216.055	2670176.906	87.301	-0.088	-0.134	
25	GCP NAD	216374.985	2669706.287	84.889	2.306	1.599	
TP01	PAS NAD	216421.203	2671671.499	119.043	3.923*	-0.320	
TP03	PAS NAD	216250.368	2671510.204	115.756	0.196	0.320	
TP12	PAS NAD	216479.763	2670849.261	110.775	4.688*	0.821	
TP13	PAS NAD	216178.317	2670707.162	104.617	-0.030	-0.518	
TP15	PAS NAD	216375.112	2670506.085	106.651	4.644*	-0.089	
TP17	PAS NAD	216622.573	2669727.432	100.532	0.345	-1.349	
TP20	PAS NAD	216545.534	2670178.254	93.207	-1.339	0.346	
TP23	PAS NAD	216514.362	2671369.489	91.308	0.467	-4.188*	
TP24	PAS NAD	216291.640	2669989.621	94.969	-1.224	-0.616	
TP33	PAS NAD	216238.491	2672091.726	108.551	-0.007	0.036	
TP36	PAS NAD	216492.496	2670214.190	109.714	1.851	-2.067	
RMS					2.474	1.385	0.000

圖8 誤差判斷顯示

2. 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。

```

TP36          216492.486  2670214.089   110.151      0.154  O:( 3)
TP25          215660.894  2671642.311   114.329      0.113  O:( 2)
TP38          216136.001  2671736.343   111.337      0.058  O:( 2)
TP09          215635.182  2670308.566   100.022      0.173  O:( 2)

```

```

*****
BLOCKWISE CALIBRATION PARAMETERS
*****
F:  -2090.595      (adjusted)      (index: 0)
KY:  0.999972
XP:  750.560      YP:  0.000

```

```

=====
PHOTO: CASI_2012_09_14_062627.pix (strip: NOSTRIP, No. 1, Index 64)

```

ID	TYPE CHANNEL	--- X --- (m)	--- Y --- (m)	--- Z --- (m)	-- rx -- (pix)	-- ry -- (pix)	Parallax (m)
03	GCP NAD	215888.208	2670669.853	93.565	1.150	0.495	
04	GCP NAD	215798.302	2670659.328	92.357	0.433	-0.106	

圖9 率定作業計算出之內方位參數(焦距及像主點)

3. 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，如圖10所示。

```

*****
PHOTO POSITION AND ORIENTATION PARAMETERS
*****
PHOTO_ID          -- X --   -- Y --   -- Z --   OMEGA   PHI     KAPPA
                  (m)      (m)      (m)      (deg)   (deg)   (deg)
CASI_2012_09_14_062627.pix  0.333   -0.054   -0.211   0.7721  0.2631  0.6479
CASI_2012_09_14_063140.pix  0.332   -0.054   -0.211   0.7722  0.2629  0.6479
CASI_2012_09_14_064106.pix  0.330   -0.054   -0.211   0.7722  0.2628  0.6479
CASI_2012_09_14_064603.pix  0.328   -0.054   -0.211   0.7722  0.2626  0.6479
CASI_2012_09_14_065050.pix  0.327   -0.054   -0.211   0.7722  0.2624  0.6479
CASI_2012_09_14_065456.pix  0.326   -0.054   -0.211   0.7722  0.2623  0.6478
CASI_2012_09_14_065948.pix  0.326   -0.054   -0.211   0.7722  0.2623  0.6478
AVG ORI PARA          0.329   -0.054   -0.211   0.772   0.263   0.648

```

圖10 率定作業計算出之幾何偏移參數

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)		
	-2090.595			750.560		
幾何偏移參數	X(m)	Y(m)	Z(m)	ω (deg)	ϕ (deg)	κ (deg)
	0.329	-0.054	-0.211	0.772	0.263	0.648

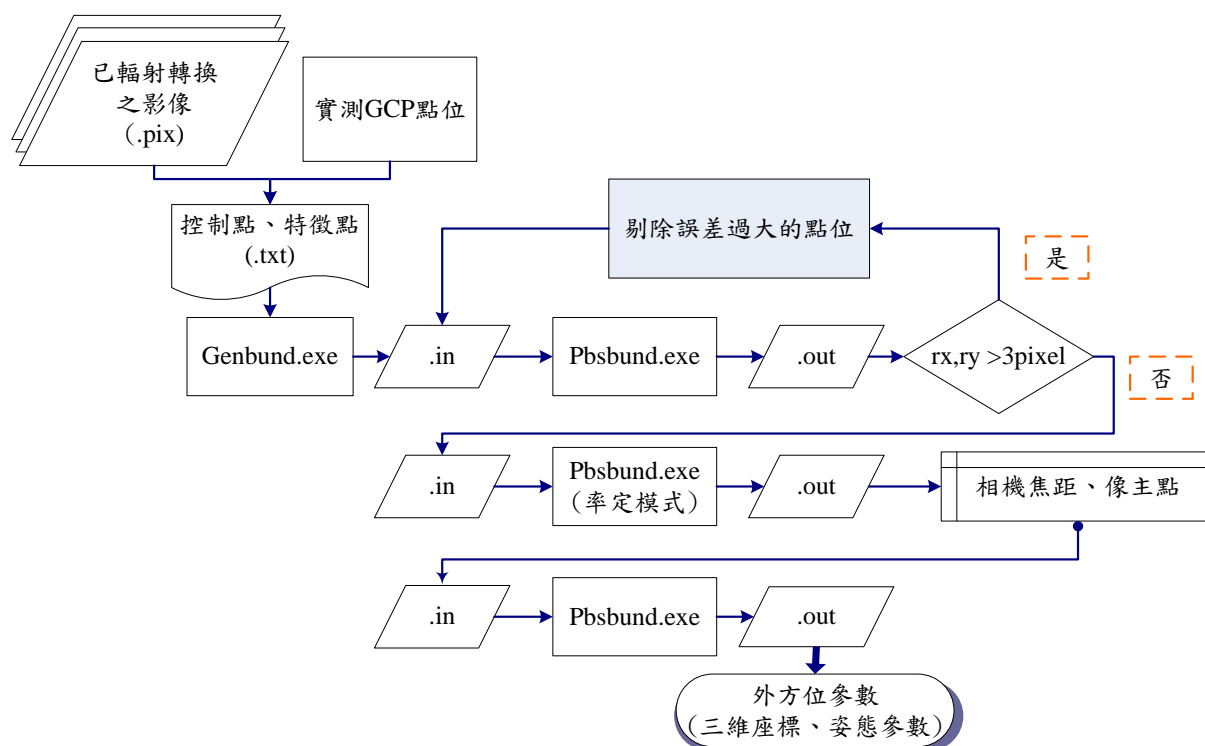


圖 11 光束平差流程圖

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為校正前後之影像，圖13為校正後7條航帶於率定場分布範圍。

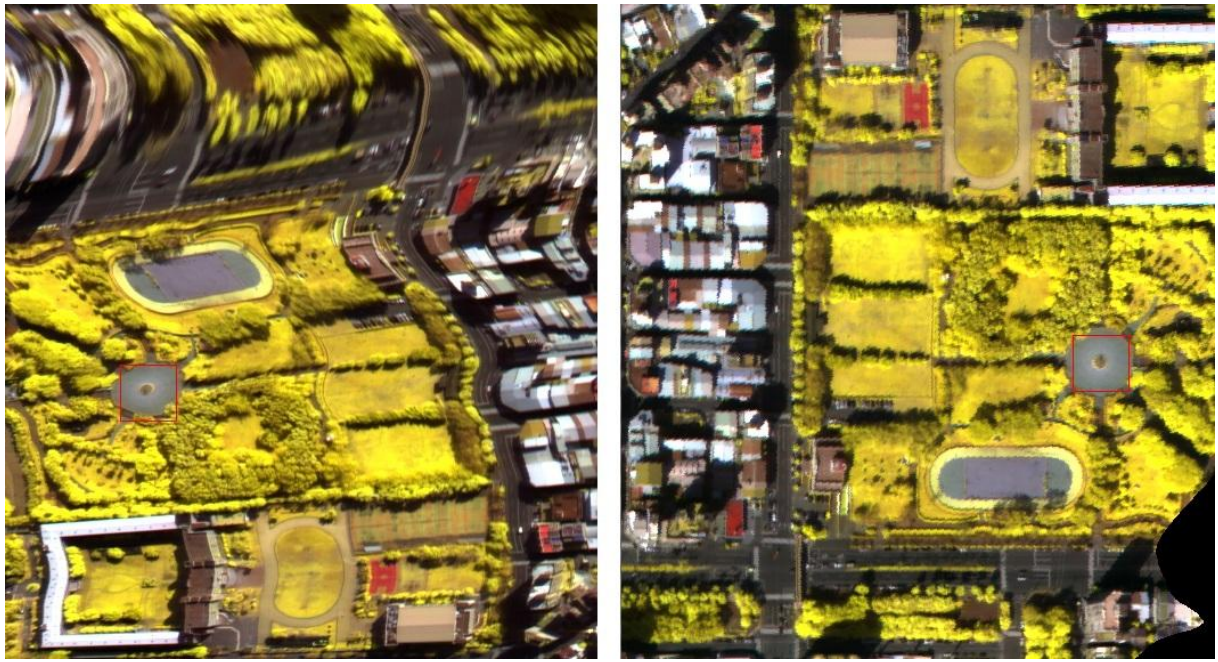


圖 12 幾何校正前(左圖)、後(右圖)影像

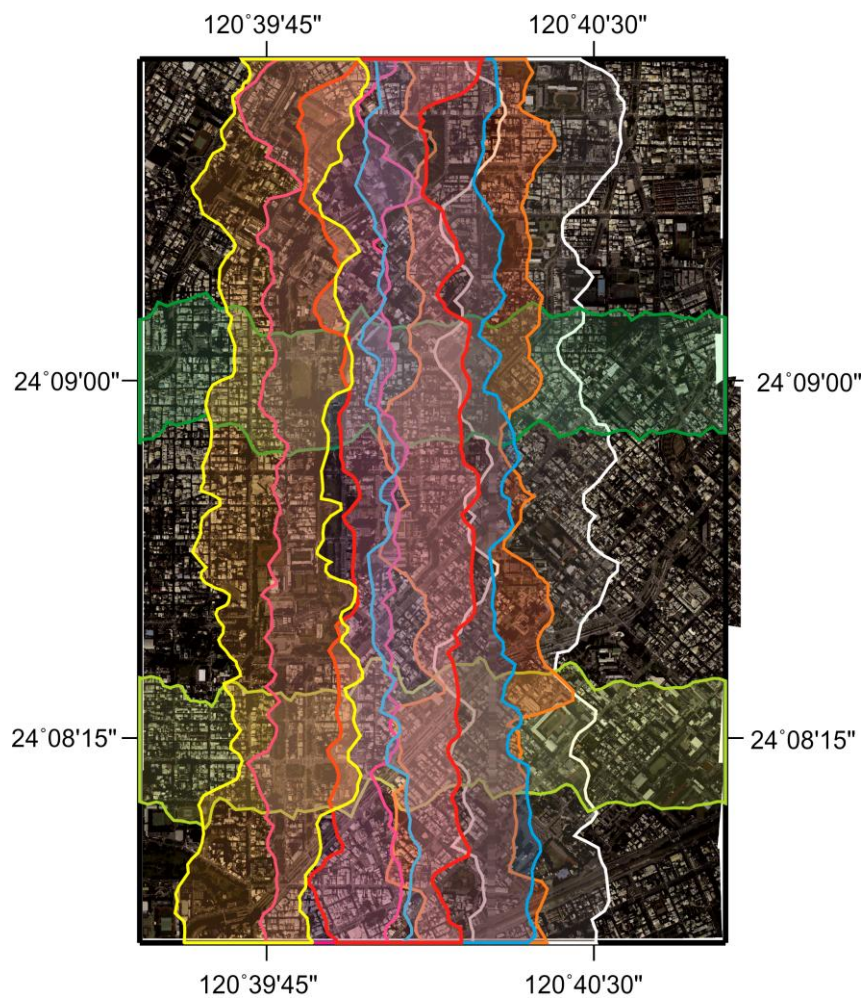


圖 13 幾何校正後航帶分布範圍

附件五

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

101 年度發展光高譜與光達技術 結合之應用工作案

中興測量飛航掃瞄報告

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、飛航成果.....	6
(一) 資料整理備份：.....	6
(二) LiDAR 掃瞄中心航跡 POS 解算：.....	6
(三) 原始點雲及全波形資料產出與檢核.....	20
參、正射影像.....	22
(一) 作業區域航拍工作.....	22
(二) 航拍影像處理.....	24
(三) 空中三角測量.....	24
(四) 彩色無縫鑲嵌正射影像圖製作.....	26

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	空載雷射掃瞄資料作業流程	6
圖 2-2	點雲解算產製處理流程	7
圖 2-3	8 月 14 日火山地區 PDOP 值成果圖	9
圖 2-4	8 月 14 日火山地區 GPS 飛航軌跡成果解算圖	9
圖 2-5	8 月 14 日火山地區 POS 軌跡圖	10
圖 2-6	9 月 2 日集水區 PDOP 值成果圖	10
圖 2-7	9 月 2 日集水區 GPS 飛航軌跡成果解算圖	11
圖 2-8	9 月 2 日集水區 POS 軌跡圖	11
圖 2-9	9 月 5 日火山區 PDOP 值成果圖	12
圖 2-10	9 月 5 日火山區 GPS 飛航軌跡成果解算圖	12
圖 2-11	9 月 5 日火山區 POS 軌跡圖	13
圖 2-12	9 月 13 日火山區 PDOP 值成果圖	13
圖 2-13	9 月 13 日集水區 GPS 飛航軌跡成果解算圖	14
圖 2-14	9 月 13 日集水區 POS 軌跡圖	14
圖 2-15	火山區掃瞄航線圖(Pegasus).....	15
圖 2-16	集水區掃瞄航線圖(Pegasus).....	15
圖 2-17	火山區掃瞄航線圖(CASI1500)	16
圖 2-18	集水區掃瞄航線圖(CASI1500)	16
圖 2-19	火山區空載光達掃瞄成果點雲涵蓋圖	20
圖 2-20	集水區空載光達掃瞄成果點雲涵蓋圖	21
圖 3-1	火山區空載光達正射影像展點圖	23
圖 3-2	集水區空載光達正射影像展點圖	23
圖 3-3	影像色調調整情形	24
圖 3-4	火山區特徵點匹配示意圖	25
圖 3-5	集水區特徵點匹配示意圖	26
圖 3-6	火山區鑲嵌作業圖	27
圖 3-7	集水區鑲嵌作業圖	28
圖 3-8	初步正射影像(左為火山區，右為集水區).....	28

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	3
表 2-1	各飛航架次作業時間及地點	8
表 2-2	基站資訊	8
表 2-3	飛航軌跡解算成果	8
表 2-4	火山區之各條航線掃瞄參數表(Pegasus).....	17
表 2-5	集水區之各條航線掃瞄參數表(Pegasus).....	18
表 2-6	高光譜之各條航線掃瞄參數表(CASI1500)	19

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「101 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。

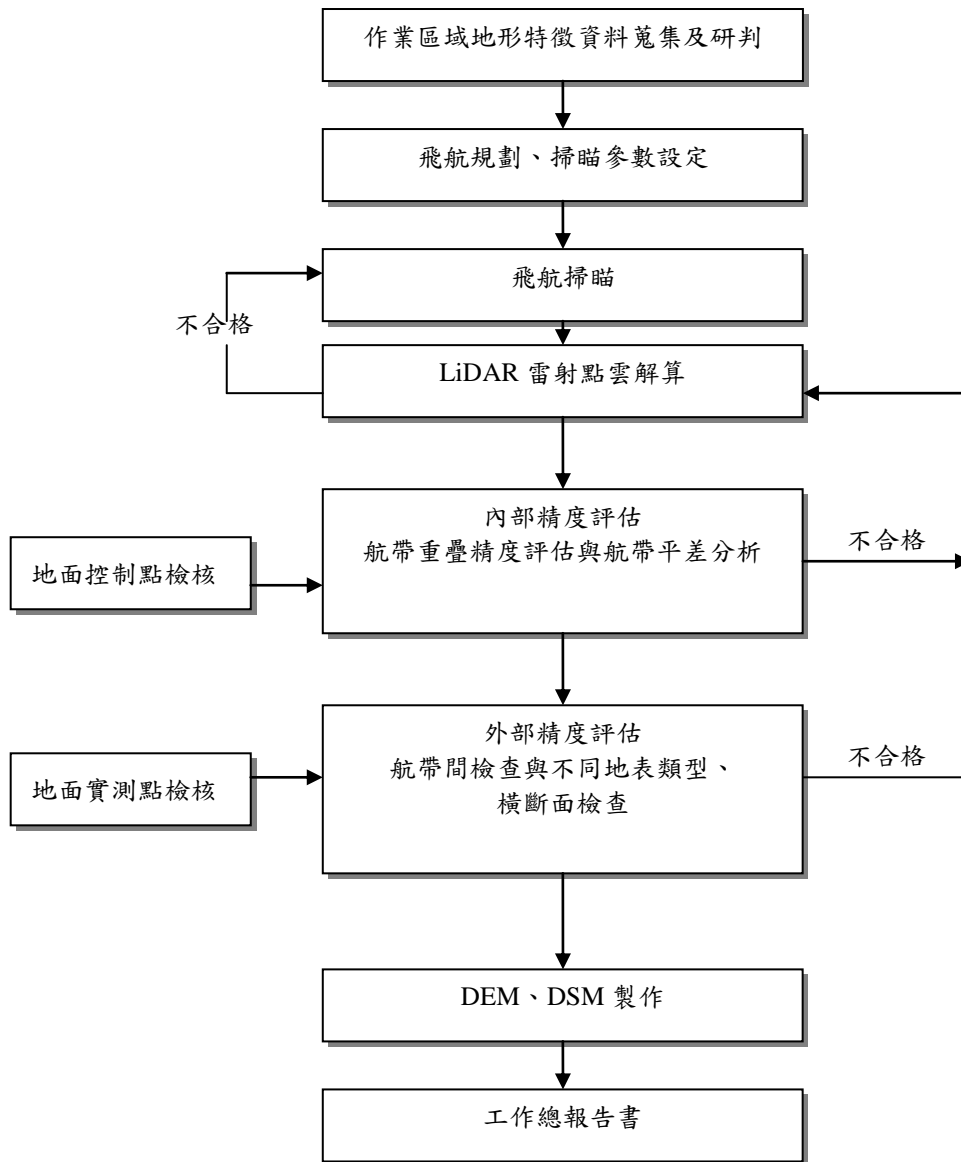


圖 1-1 作業執行流程

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 101 年 4 月 24 日檢送內政部攝航實施計畫書((101)中興測字第 075 號函)，經由 101 年 5 月 30 號補正內政部攝航實施計畫書((101)中興測字第 099 號函)，並經內政部 101 年 7 月 9 日台內地字第 1010243807 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(部分地區禁止飛航掃瞄)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，需依據規範要求，如雷射點雲密度、航帶重疊比例等，進行設定與計算，重點包括：

1. 航高限制：與訊號分析處理速度及雷射器發射能量等因素有關，最低 200 公尺，最高 3000 公尺，慣用 500-1500 公尺（離地面高度）。
2. 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 (± 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。

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

式中 SW 帶寬，h 離地表起算航高， θ 掃描旋角視域

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} 為掃描鏡轉動頻率（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} 垂直飛行方向測點取樣間距，v 航速，f_{sc} 為掃描鏡轉動頻率。

各測區飛航規劃參數表結果如表 1-1 和表 1-2 所述，航線規劃部分則如圖 1-2 所示：

表 1-1 Pegasus 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(m)	航速(KTS)	掃描角度(deg.)	雷射脈衝率(KHz)	掃描頻率(Hz)	掃描帶寬(m)	重疊帶寬(%)	點雲密度(點/米)
火山區												
1-9	9	2300	1800	1500	1700	100	±20	100	40	1091.91	50	2.3
10-11	2	2300	1800	1500	2000	100	±20	100	40	1091.91	50	2.3
12	1	2300	1800	1500	1700	100	±20	100	40	1091.91	50	2.3
13	1	2300	1800	1500	2200	100	±20	100	40	1091.91	50	2.3
14-21	8	2300	1800	1500	2200	100	±20	100	40	1091.91	50	2.3
Total	21	總公里數:101.52				總飛行時間:2 小時 22 分(不包含起飛落地與飛渡測區)						
集水區												
1-9	9	1220	250	1800	2100	100	±12	100	22	765	52	2.4
10-20	11	1220	250	1800	2300	100	±12	100	22	765	52	2.4
21-24	4	1220	250	1800	2300	100	±12	100	22	765	52	2.4
25-26 (cross line)	2	1220	250	1800	2300	100	±12	100	22	765	52	2.4
Total	26	總公里數: 148.775				總飛行時間:6 小時 15 分(不包含起飛落地與飛渡測區)						

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(m)	航速(KTS)	掃描角度(deg.)	波段數	掃描線速率 IT (ms)	掃描帶寬(m)	重疊帶寬(overlap)
火山區											
1-9	9	910	0	1800	1800	100	±20	72	12	1310.29	50%
10-12	3	910	0	1800	2300	100	±20	72	12	1310.29	50%
Total	12	總公里數:88.72			總飛行時間:1 小時 24 分(不包含起飛落地與飛渡測區)						
集水區											
1, 3-5	4	1220	250	1800	2100	100	±20	72	12	1310.29	50%
2, 6-9	5	1220	250	1800	2300	100	±20	72	12	1310.29	50%
Total	9	總公里數:57.35			總飛行時間:1 小時 10 分(不包含起飛落地與飛渡測區)						

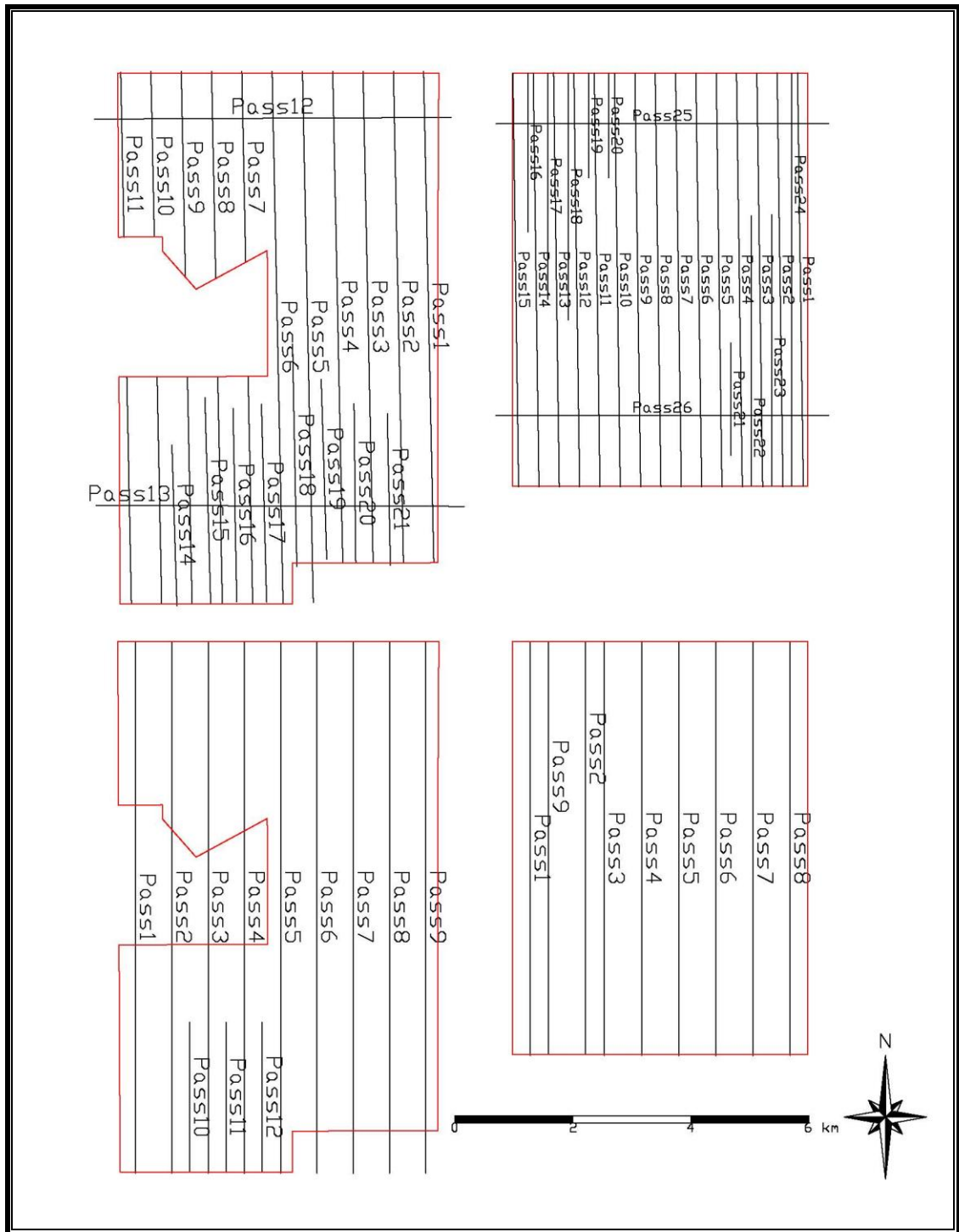


圖 1-2 航線規劃圖

(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。

本計畫均採用已架設之固定站為基站位置，其中火山區採用內政部的 YMSM 及氣象局的 TSHI 為基站，而集水區採用地調所的 GS67、GS64 為基站，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 YMSM、GS09、SHMN、TSHI、WANL、WULU、GS07、GS42、GS67、GS64。

貳、飛航成果

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。雷射掃瞄資料作業流程如圖 2-1。

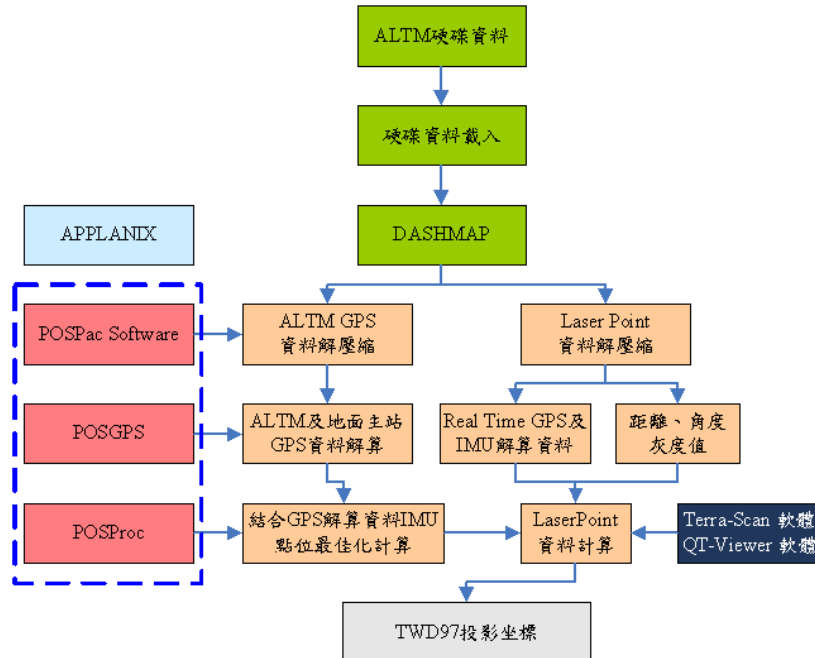


圖 2-1 空載雷射掃瞄資料作業流程

(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 掃描全波型原始資料(.NDF、.IDX 及 .DAT 資料)
- (5) 原始資料依一定命名法則備份存檔。

(二) LiDAR 掃瞄中心航跡 POS 解算：

- (1) 彙整地面 GPS 固定基站資料及載體 POS (GPS、IMU)資料，再搭配雷射掃瞄回波測距資料，以進行後續解算，資料後處理如圖 2-2。

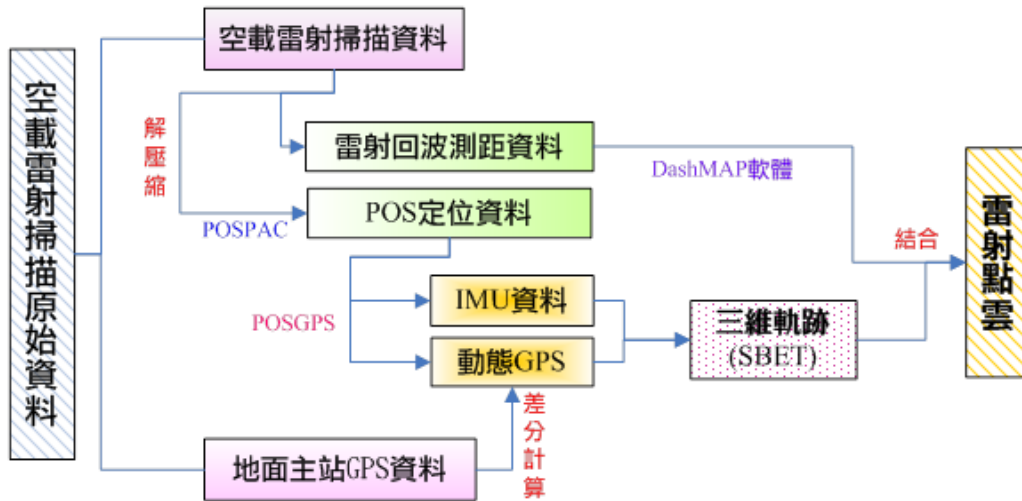


圖 2-2 點雲解算產製處理流程

以 POSGPS 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，其正向解與反向解差異應達一定之標準

火山地區全波型和 LiDAR 掃瞄於 101 年 8 月 14 日完成飛航掃瞄任務；集水區於 9 月 2 日完成飛航掃瞄任務；高光譜飛航掃瞄部分，火山區於 101 年 9 月 5 日完成飛航掃瞄任務，集水區於 9 月 12 日進行高光譜影像的飛航掃瞄任務，由於 12 日之部分掃瞄航線雲量過多，因此於 13 日再次進行作業，其資料以 13 日飛航掃瞄為主。各架次之作業區域及時間如表 2-1，基站統計資訊如表 2-2 表 2-1，飛航軌跡解算成果統計如表 2-3；本次飛航掃瞄資料獲取過程中每日飛航之軌跡及 GPS 解算成果如圖 2-1 至圖 2-14，顯示此 GPS 解算時的 DOP 值狀況，而飛航軌道差異圖可表現 GPS 訊號在時間上的精度，一般而言，在 20 公分內為允許值。

表 2-1 各飛航架次作業時間及地點

日期	飛航線數	作業地點	飛航時間	使用儀器
1010814	21	火山區	07：10-09：32	Pegasus+WF
1010902	26	集水區	06：45-09：00 09：15-11：03 11：30-12:35	Pegasus+WF
1010905	12	火山區	09：32-13：00	CASI
1010913	9	集水區	07：36-10：38	CASI

表 2-2 基站資訊

執行日期	執行地點	基站點號	最遠距離(km)	平均距離(km)
1010814	火山區	SHMN、YMSM	17.1	11.5
1010902	集水區	GS64、GS67	18.2	12.3
1010905	火山區	SHMN、YMSM	17.8	11.6
1010913	集水區	GS64、GS67	18.7	13.0

表 2-3 飛航軌跡解算成果

日期	PDOP(Max./Avg)	飛航軌道平均差異量(m)	位置標準誤差(m)
1010814	2.33/1.81	N：0.008	N：0.002
		E：0.007	E：0.002
		H：0.017	H：0.004
1010902	3.01/2.32	N：0.007	N：0.003
		E：0.008	E：0.002
		H：0.016	H：0.005
1010905	2.28/1.92	N：0.011	N：0.002
		E：0.010	E：0.002
		H：0.014	H：0.004
1010913	3.39/2.88	N：0.011	N：0.003
		E：0.012	E：0.004
		H：0.026	H：0.007

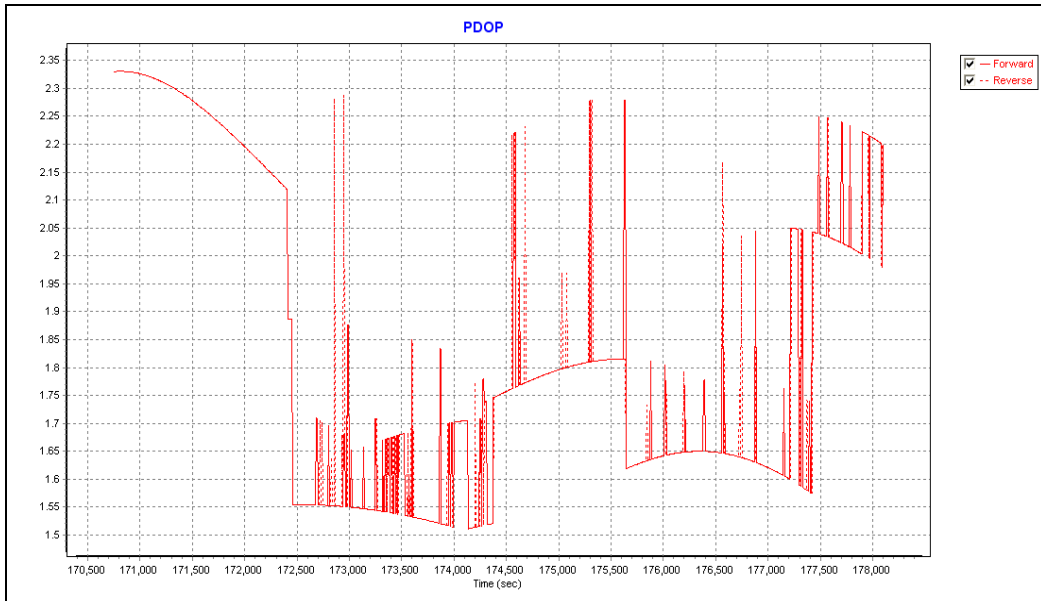


圖 2-3 8 月 14 日火山地區 PDOP 值成果圖

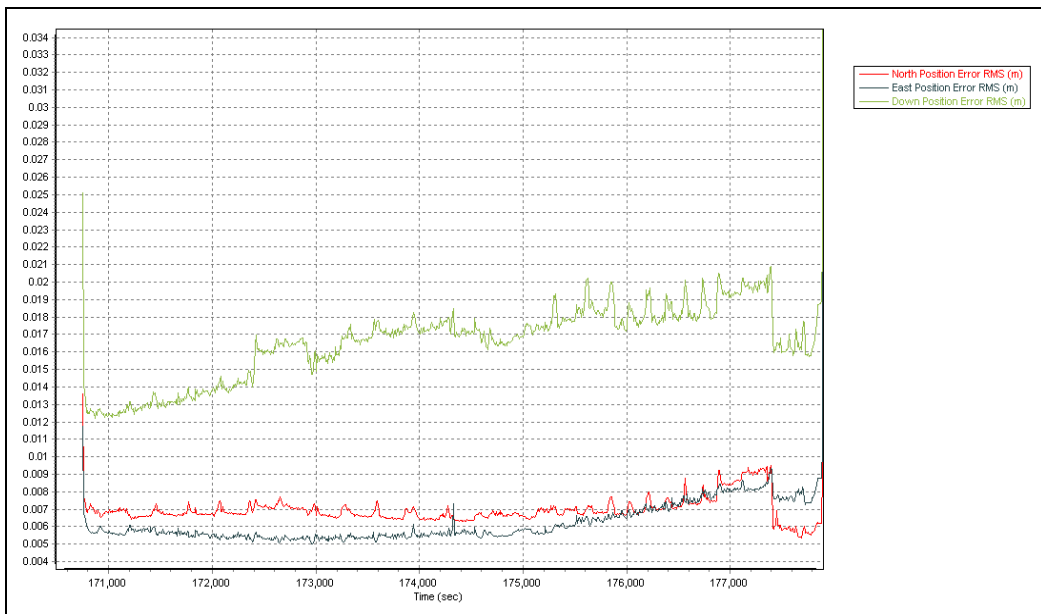


圖 2-4 8 月 14 日火山地區 GPS 飛航軌跡成果解算圖

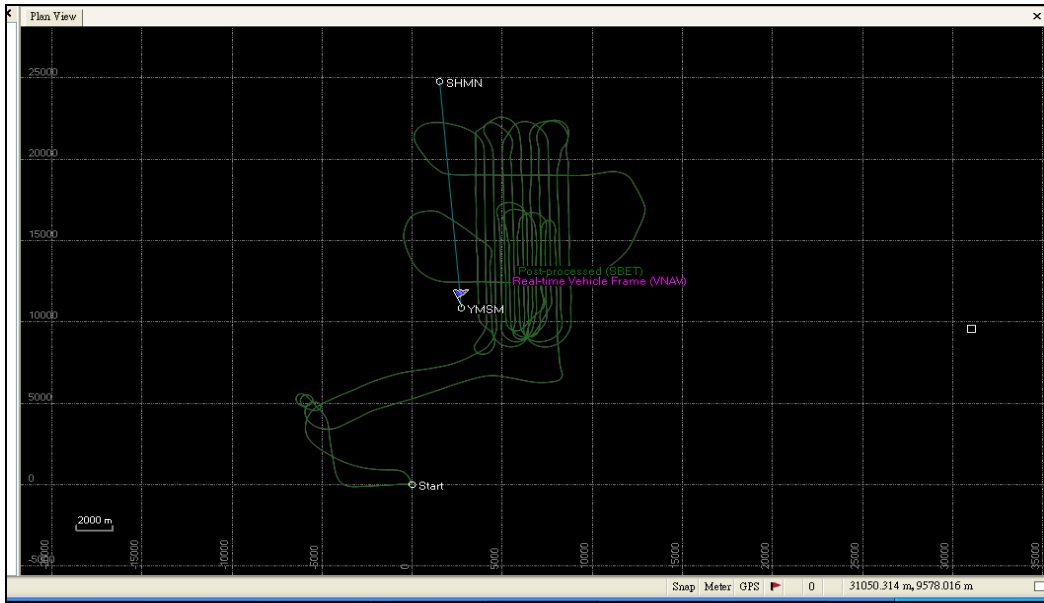


圖 2-5 8 月 14 日火山地區 POS 軌跡圖

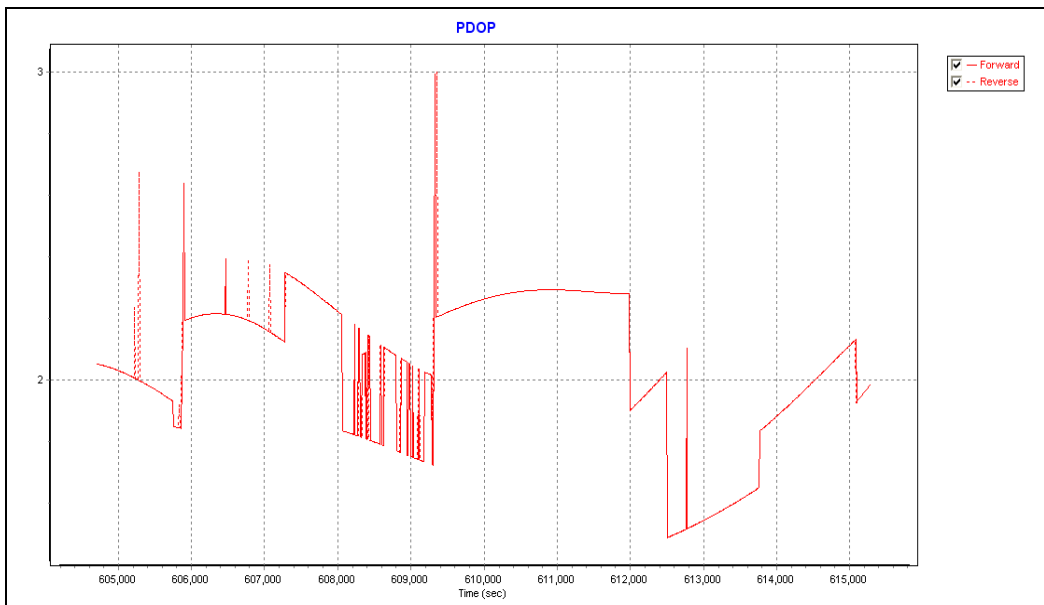


圖 2-6 9 月 2 日集水區 PDOP 值成果圖

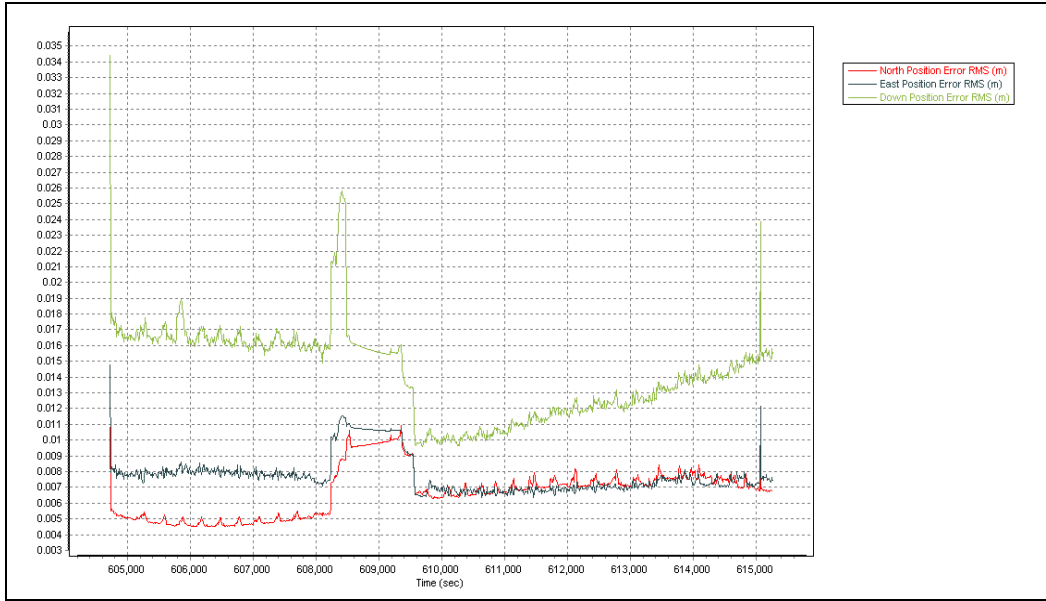


圖 2-7 9 月 2 日集水區 GPS 飛航軌跡成果解算圖

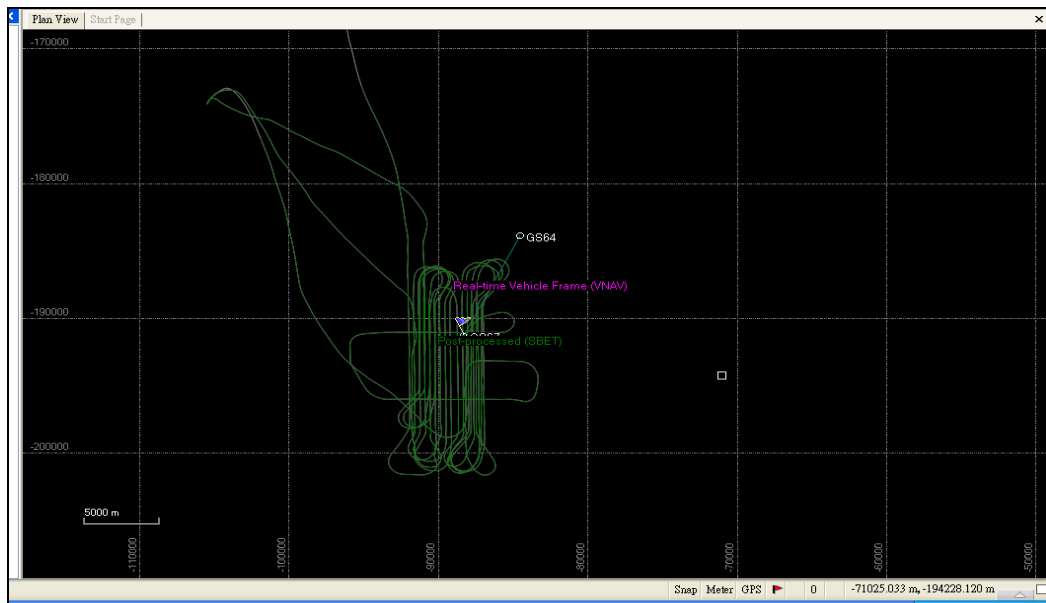


圖 2-8 9 月 2 日集水區 POS 軌跡圖

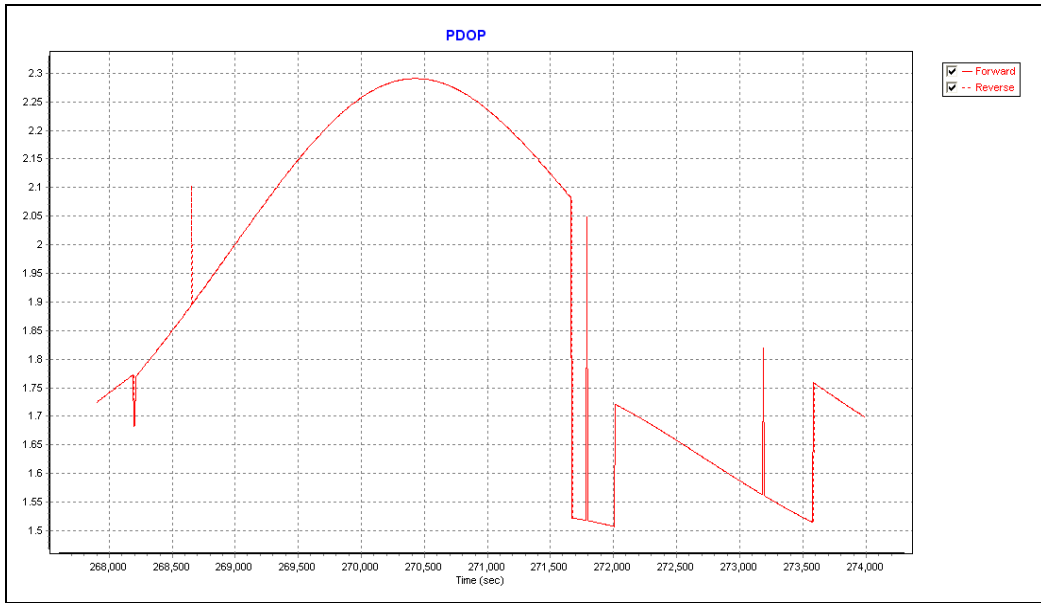


圖 2-9 9月5日火山區 PDOP 值成果圖

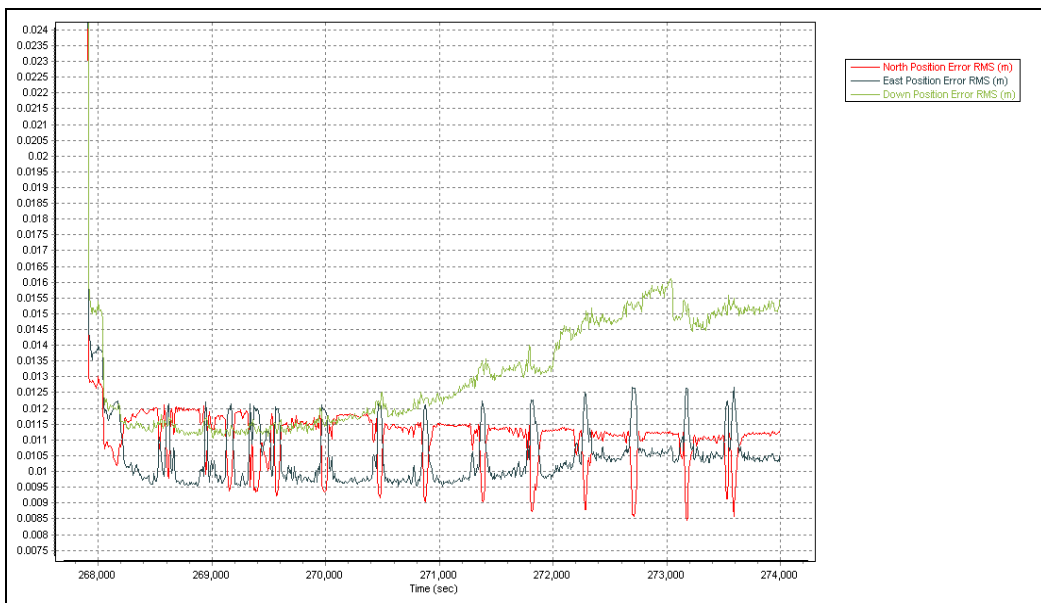


圖 2-10 9月5日火山區 GPS 飛航軌跡成果解算圖

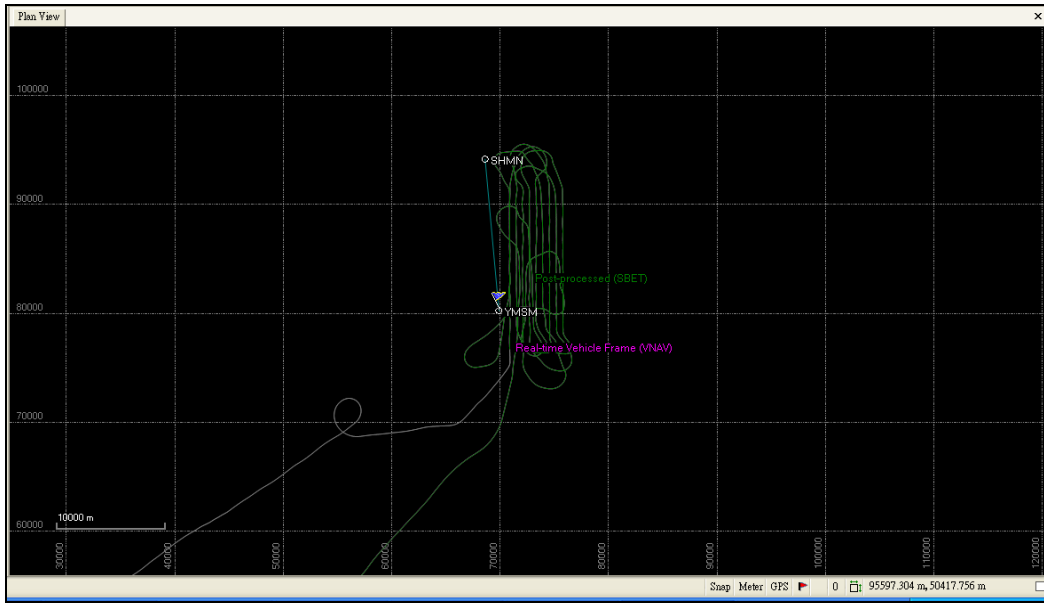


圖 2-11 9 月 5 日火山區 POS 軌跡圖

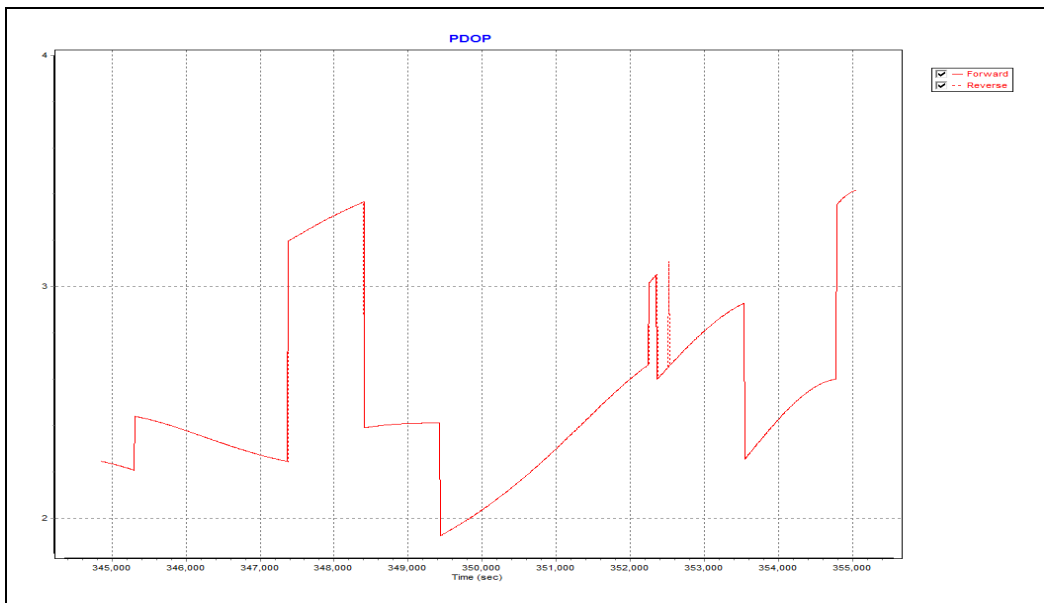


圖 2-12 9 月 13 日火山區 PDOP 值成果圖

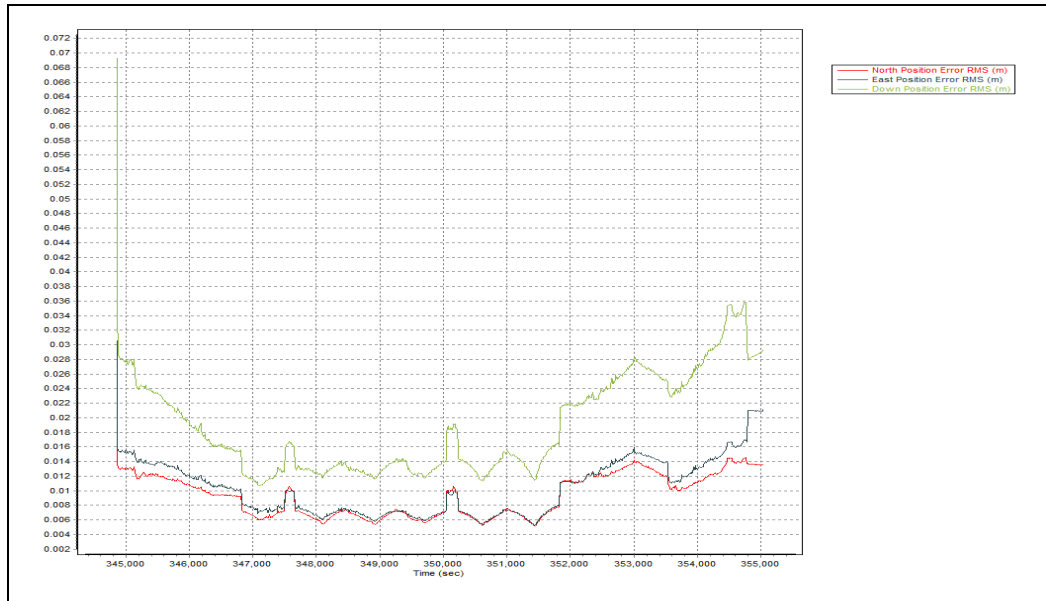


圖 2-13 9月13日集水區 GPS 飛航軌跡成果解算圖

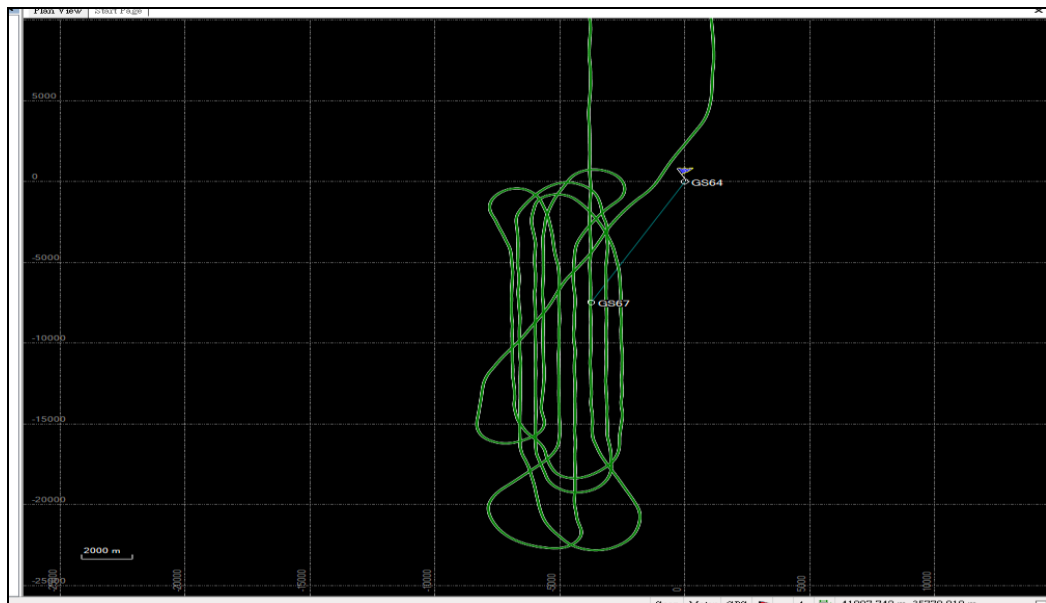


圖 2-14 9月13日集水區 POS 軌跡圖

依不同測區任務及日期掃瞄之航線圖(如圖 2-15 至圖 2-18)，透過掃瞄航線圖可以知道本次飛航之航線路徑已及完成度，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 2-4 到表 2-6。

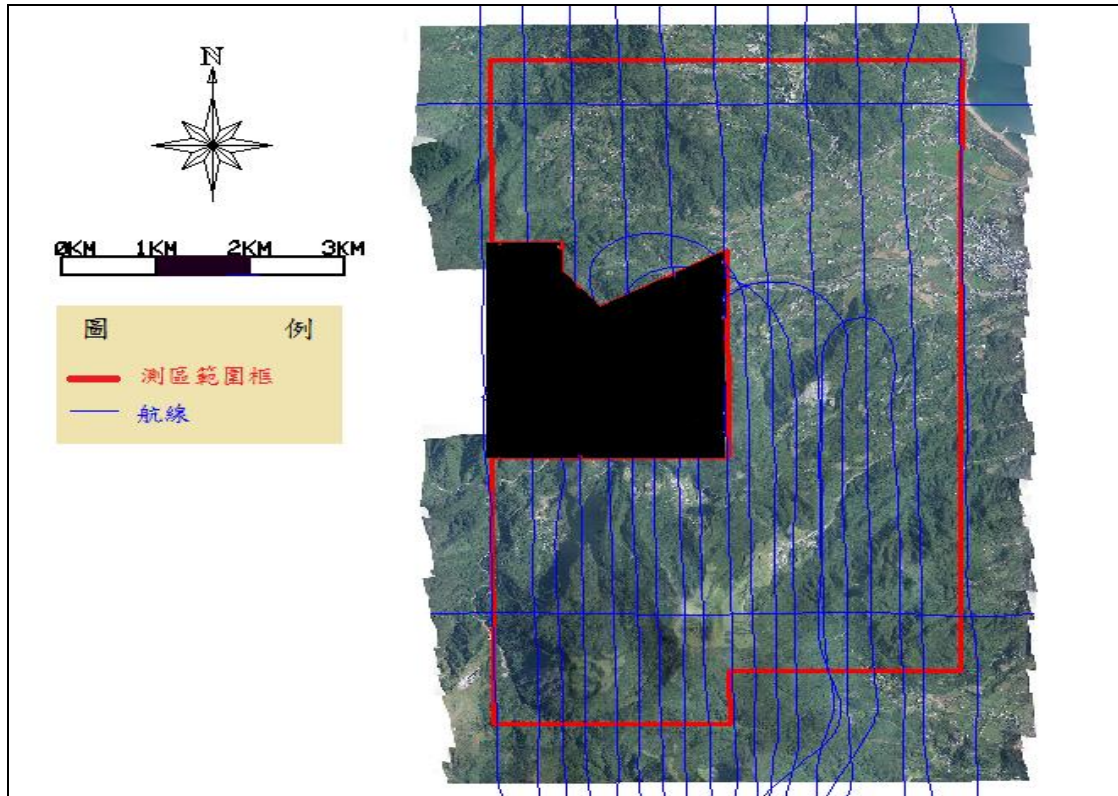


圖 2-15 火山區掃瞄航線圖(Pegasus)

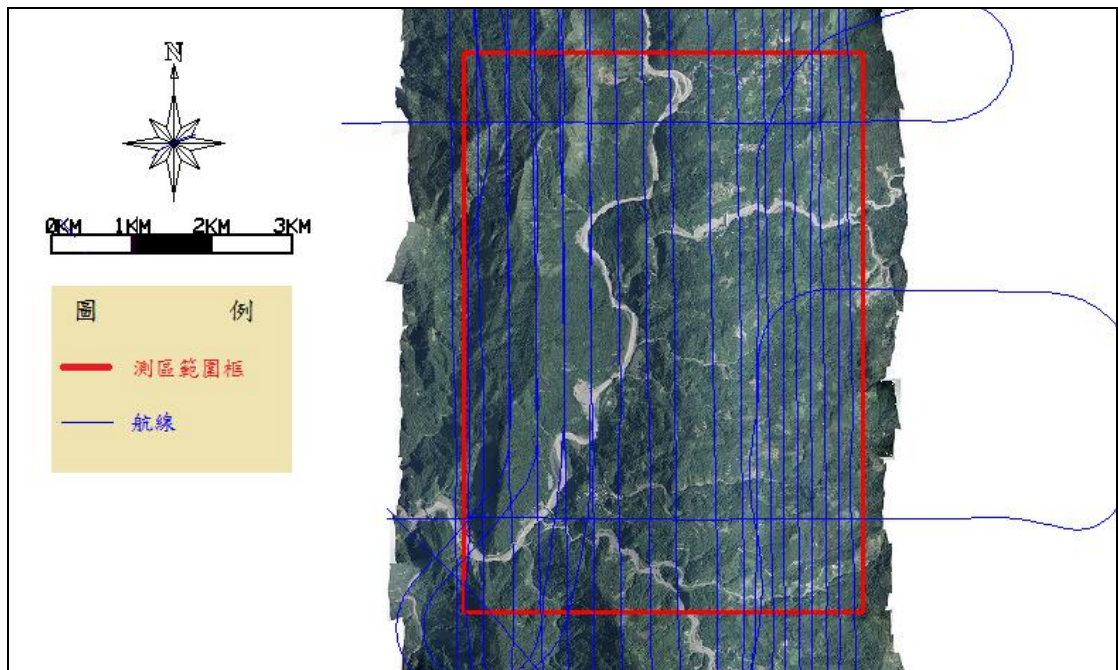


圖 2-16 集水區掃瞄航線圖(Pegasus)

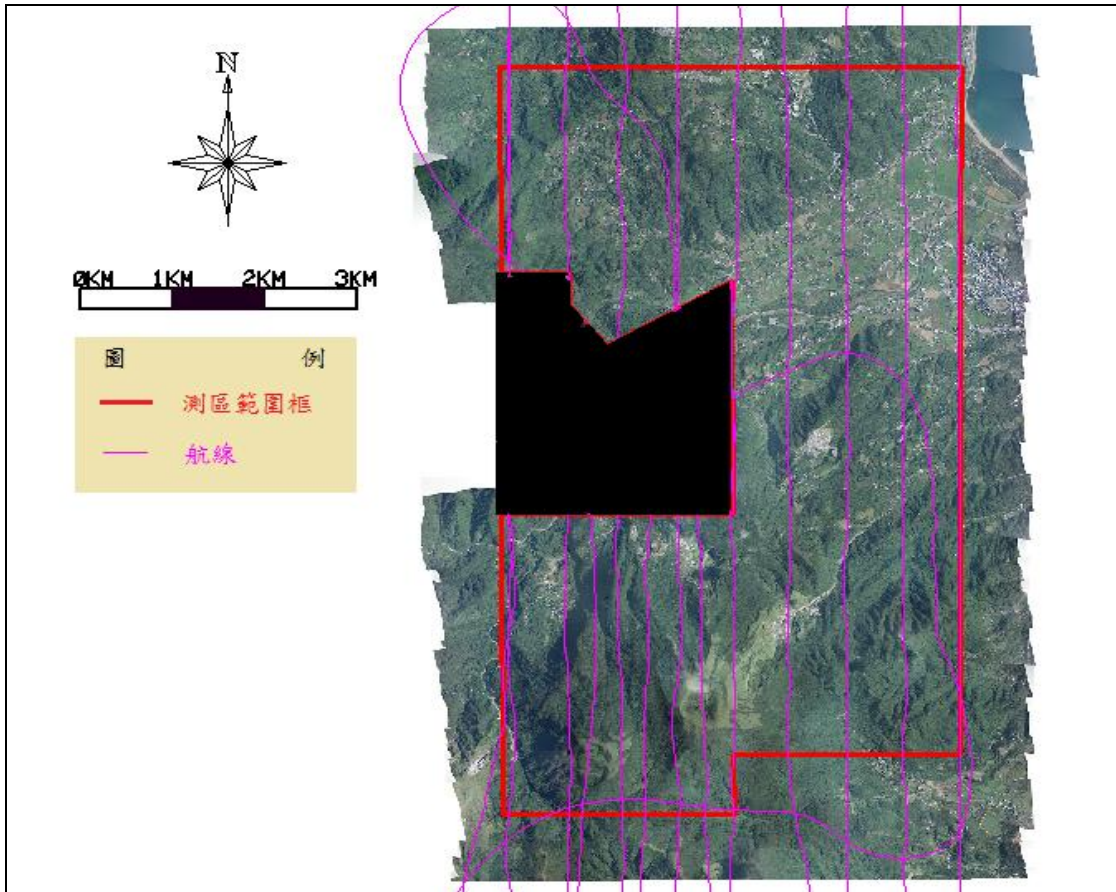


圖 2-17 火山區掃瞄航線圖(CASI1500)

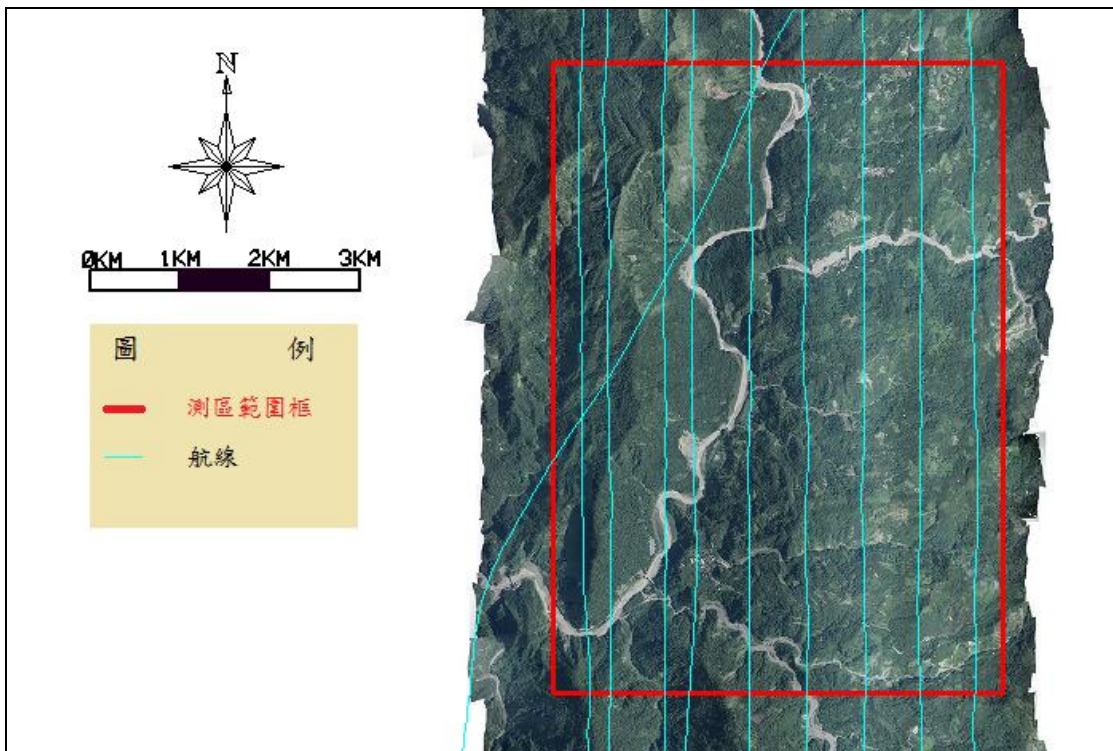


圖 2-18 集水區掃瞄航線圖(CASI1500)

表 2-4 火山區之各條航線掃瞄參數表(Pegasus)

日期	航線編號	掃瞄角度 (deg.)	實際 FOV(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
0814	1	±20	±20	40	100	1702	178	108	內政部 YMSM 氣象局 TSHI	Pegasus+WF
0814	2	±20	±20	40	100	1707	360	102		Pegasus+WF
0814	3	±20	±20	40	100	1714	179	105		Pegasus+WF
0814	4	±20	±20	40	100	1697	357	107		Pegasus+WF
0814	5	±20	±20	40	100	1700	179	99		Pegasus+WF
0814	6	±20	±20	40	100	1703	356	103		Pegasus+WF
0814	7	±20	±20	40	100	1701	180	105		Pegasus+WF
0814	8	±20	±20	40	100	1703	357	101		Pegasus+WF
0814	9	±20	±20	40	100	1699	182	104		Pegasus+WF
0814	10	±20	±20	40	100	1998	89	100		Pegasus+WF
0814	11	±20	±20	40	100	2001	271	102		Pegasus+WF
0814	12	±20	±20	40	100	1721	182	98		Pegasus+WF
0814	13	±20	±20	40	100	2210	5	97		Pegasus+WF
0814	14	±20	±20	40	100	2209	179	96		Pegasus+WF
0814	15	±20	±20	40	100	2218	360	105		Pegasus+WF
0814	16	±20	±20	40	100	2211	177	97		Pegasus+WF
0814	17	±20	±20	40	100	2205	360	98		Pegasus+WF
0814	18	±20	±20	40	100	2212	181	102		Pegasus+WF
0814	19	±20	±20	40	100	2207	3	105		Pegasus+WF
0814	20	±20	±20	40	100	2204	179	102		Pegasus+WF
0814	21	±20	±20	40	100	2213	360	99		Pegasus+WF

表 2-5 集水區之各條航線掃瞄參數表(Pegasus)

日期	航線編號	掃瞄角度 (deg.)	實際 FOV(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
0902	1	±12	±12	22	100	2102	355	104	地調所 GS64 GS67	Pegasus+WF
0902	2	±12	±12	22	100	2116	357	93		Pegasus+WF
0902	3	±12	±12	22	100	2095	2	97		Pegasus+WF
0902	4	±12	±12	22	100	2093	177	98		Pegasus+WF
0902	5	±12	±12	22	100	2105	180	100		Pegasus+WF
0902	6	±12	±12	22	100	2122	179	97		Pegasus+WF
0902	7	±12	±12	22	100	2113	360	99		Pegasus+WF
0902	8	±12	±12	22	100	2108	3	95		Pegasus+WF
0902	9	±12	±12	22	100	2107	358	103		Pegasus+WF
0902	10	±12	±12	22	100	2100	360	102		Pegasus+WF
0902	11	±12	±12	22	100	2102	180	105		Pegasus+WF
0902	12	±12	±12	22	100	2101	179	96		Pegasus+WF
0902	13	±12	±12	22	100	2106	180	98		Pegasus+WF
0902	14	±12	±12	22	100	2102	180	105		Pegasus+WF
0902	15	±12	±12	22	100	2104	179	98		Pegasus+WF
0902	16	±12	±12	22	100	2098	360	99		Pegasus+WF
0902	17	±12	±12	22	100	2101	179	104		Pegasus+WF
0902	18	±12	±12	22	100	2100	181	105		Pegasus+WF
0902	19	±12	±12	22	100	2103	353	105		Pegasus+WF
0902	20	±12	±12	22	100	2100	2	97		Pegasus+WF
0902	21	±12	±12	22	100	2102	179	103		Pegasus+WF
0902	22	±12	±12	22	100	2109	177	99		Pegasus+WF
0902	23	±12	±12	22	100	2093	179	98		Pegasus+WF
0902	24	±12	±12	22	100	2105	358	97		Pegasus+WF
0902	25	±12	±12	22	100	2106	90	99		Pegasus+WF
0902	26	±12	±12	22	100	2111	271	102		Pegasus+WF

表 2-6 高光譜之各條航線掃瞄參數表(CASI1500)

日期	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	備註
火山區(大屯火山)									
0905	L01	72	12	1822	182	98	內政部 YMSM 氣象局 TSHI	CASI1500	
0905	L01	72	12	1805	357	98		CASI1500	
0905	L02	72	12	1816	2	101		CASI1500	
0905	L03	72	12	1802	1	97		CASI1500	
0905	L04	72	12	1791	360	99		CASI1500	
0905	L05	72	12	1819	360	99		CASI1500	
0905	L06	72	12	1823	181	103		CASI1500	
0905	L07	72	12	1818	183	100		CASI1500	
0905	L08	72	12	1804	182	99		CASI1500	
0905	L09	72	12	1796	360	97		CASI1500	
0905	L10	72	12	2286	360	100		CASI1500	
0905	L11	72	12	2301	355	99		CASI1500	
0905	L12	72	12	2314	177	101	CASI1500		
集水區(曾文水庫)									
0913	L01	72	12	2097	359	99	地調所 GS64 GS67	CASI1500	
0913	L02	72	12	2301	179	93		CASI1500	
0913	L03	72	12	2109	180	95		CASI1500	
0913	L04	72	12	2102	181	102		CASI1500	
0913	L05	72	12	2094	3	97		CASI1500	
0913	L06	72	12	2100	181	95		CASI1500	
0913	L07	72	12	2102	178	105		CASI1500	
0913	L08	72	12	2297	185	100		CASI1500	
0913	L09	72	12	2306	355	99		CASI1500	

(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 DASHMap 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，其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、不合理點位，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 2-19 和圖 2-20。

經由圖 2-19 和 2-20 可了解初始點雲成果在每條航帶上均勻分布，而每條顏色代表其不同航帶，結果顯示每條航帶皆包含了飛航掃瞄成果之點雲。

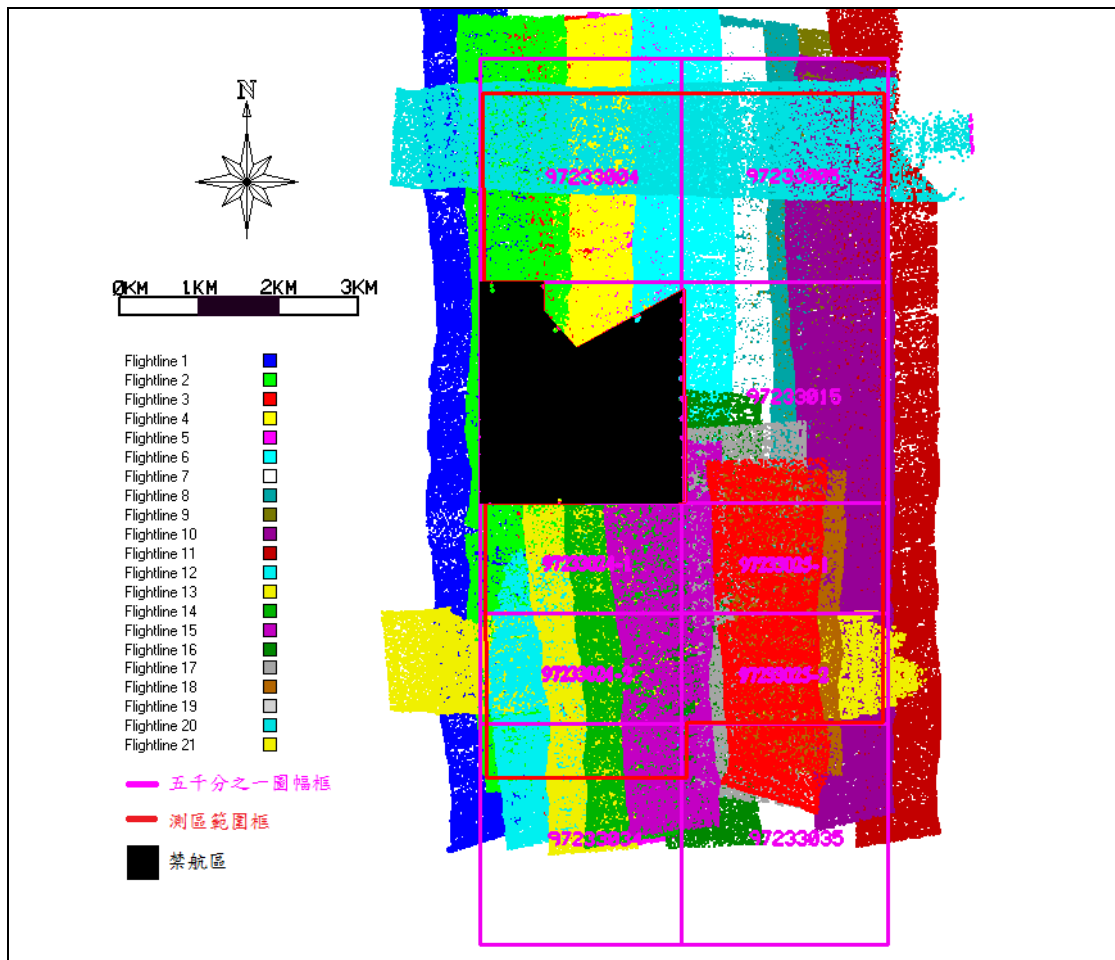


圖 2-19 火山區空載光達掃瞄成果點雲涵蓋圖

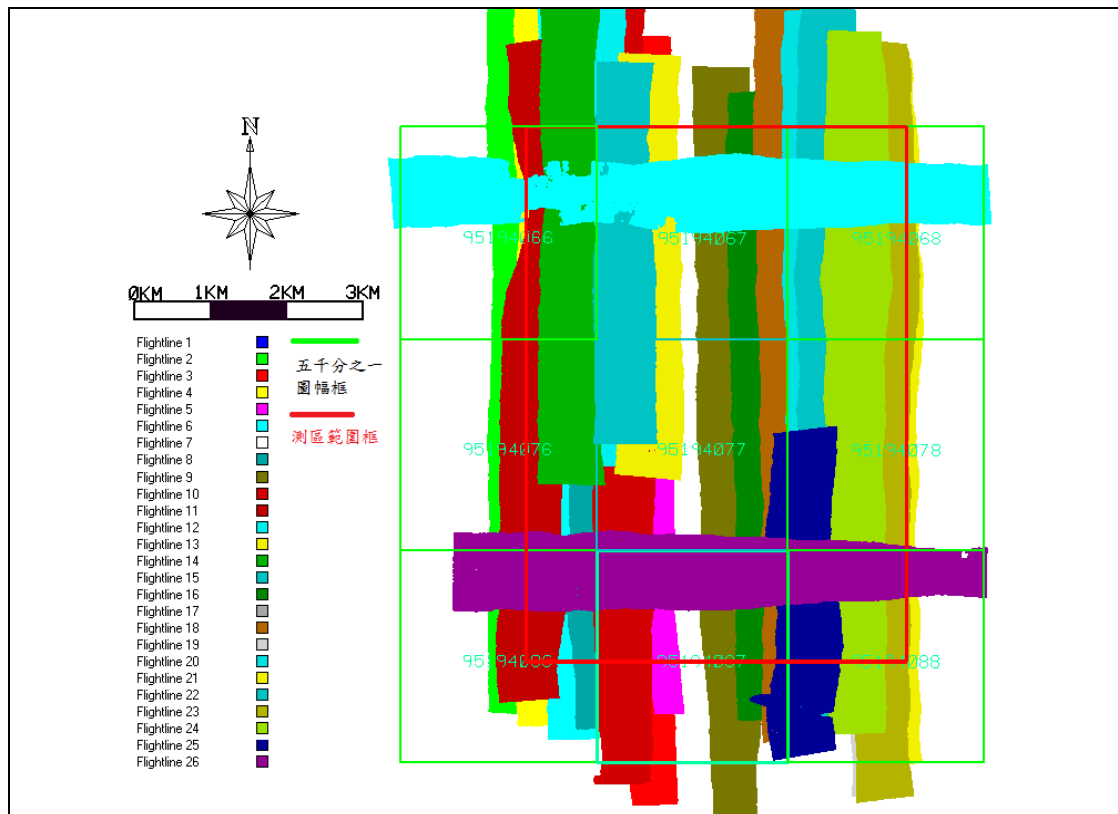


圖 2-20 集水區空載光達掃瞄成果點雲涵蓋圖

參、正射影像

(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，軌跡示意圖請參照圖 3-2。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。

經由圖 3-1 和圖 3-2 可清楚了解，本次飛航之航空攝影部分，各相片分佈在測區的具體位置，圖中測區範圍內之小點，即代表每張相片所在地方，透過正射影像展點圖可以快速的釐清和知道正射影像的散佈範圍，結果顯示正射影像皆完整的分佈在本次測區的範圍內。

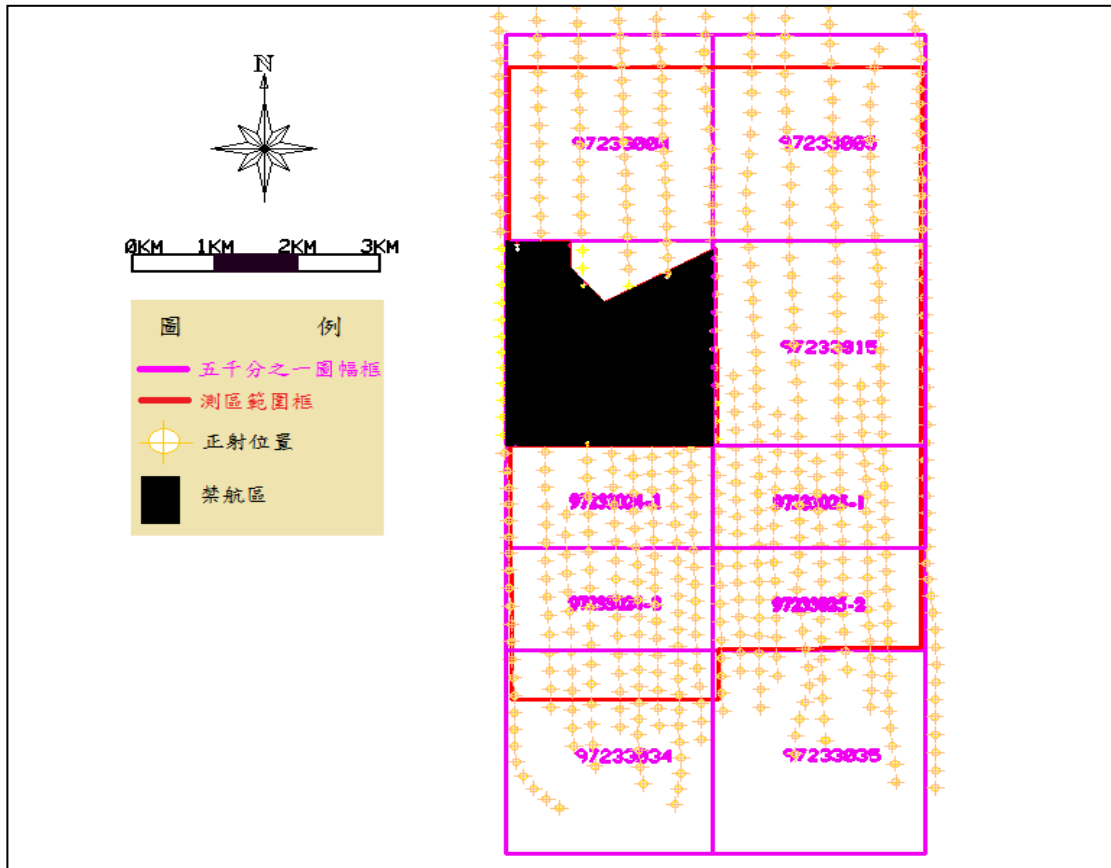


圖 3-1 火山區空載光達正射影像展點圖

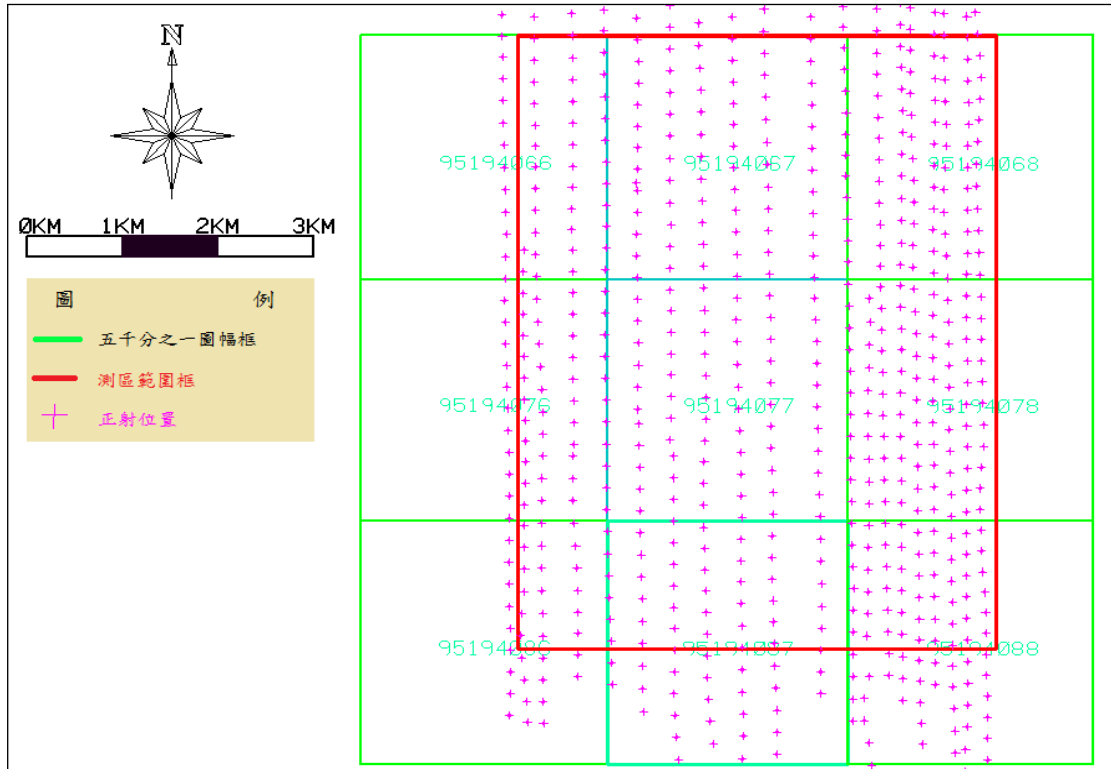


圖 3-2 集水區空載光達正射影像展點圖

(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 3-3。

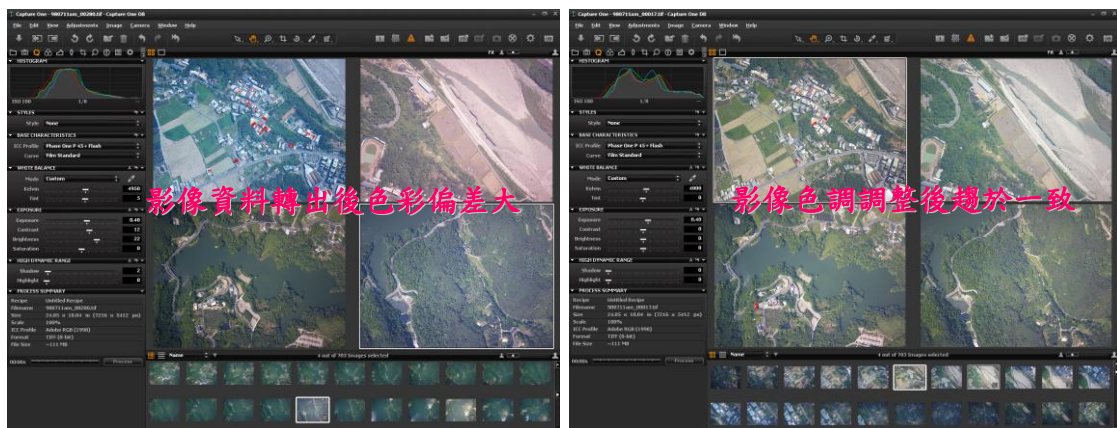


圖 3-3 影像色調調整情形

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，利用此技術可減少布標的作業，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 3-4 和圖 3-5。

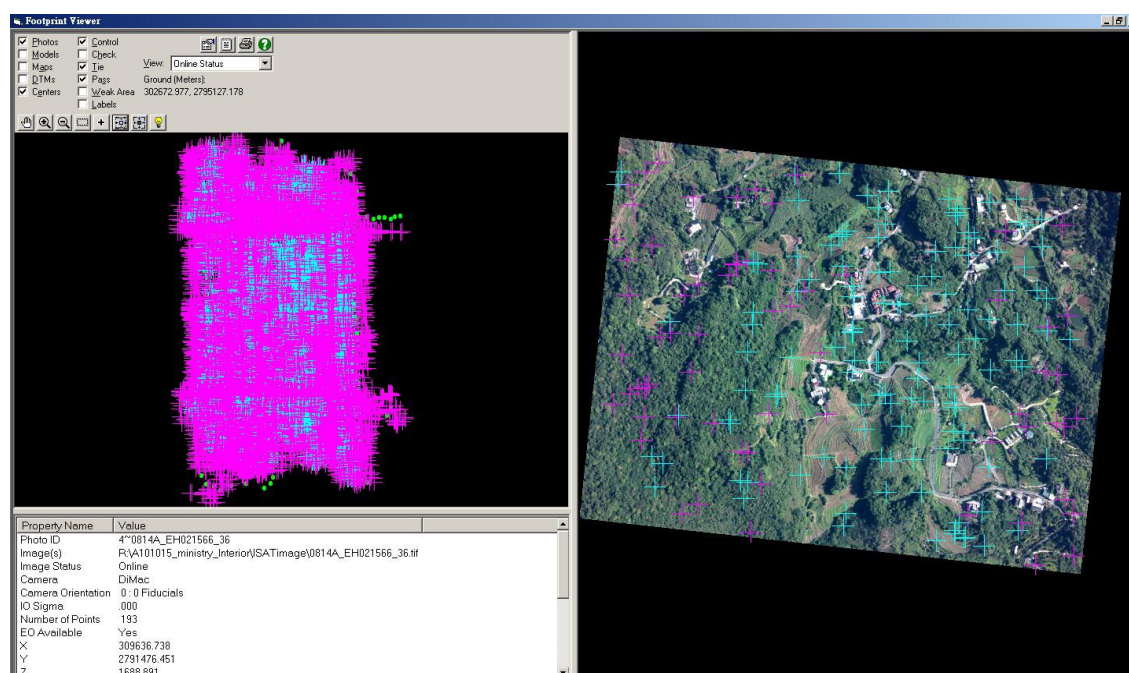


圖 3-4 火山區特徵點匹配示意圖

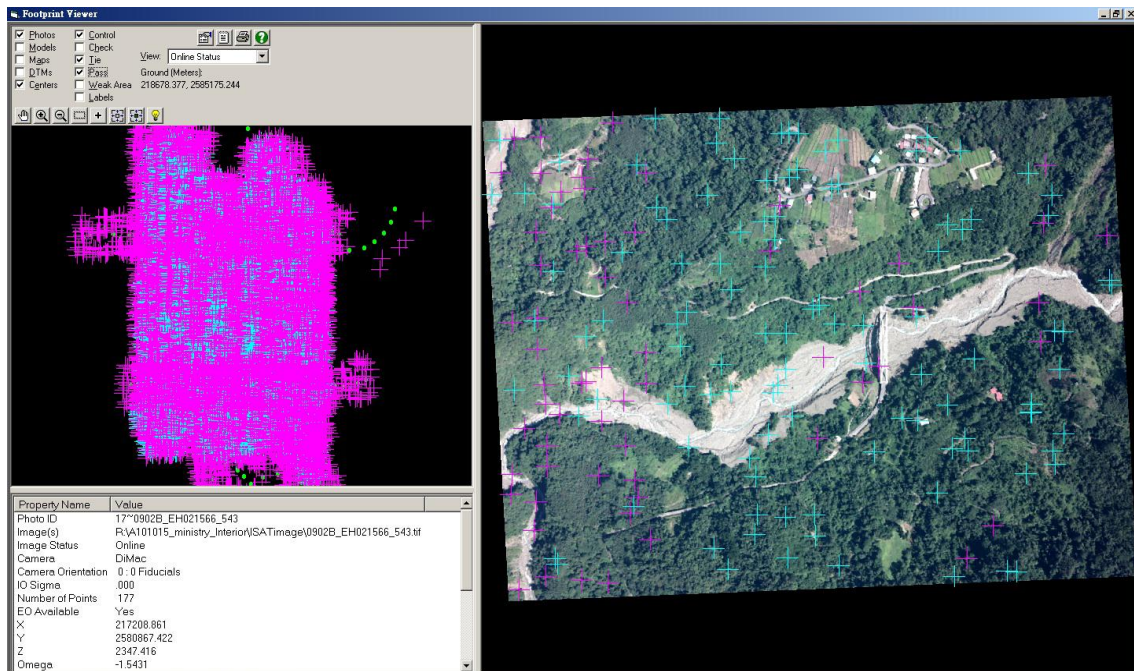


圖 3-5 集水區特徵點匹配示意圖

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，鑲嵌作業圖如圖 3-6 和圖 3-7。
- (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，鑲嵌作業之操作介面和方式如圖 3-6 和圖 3-7。
- (6) 針對上述步驟，最後顯示本計畫兩測區之正射影像成果，目前展示為初步影像成果如圖 3-8。

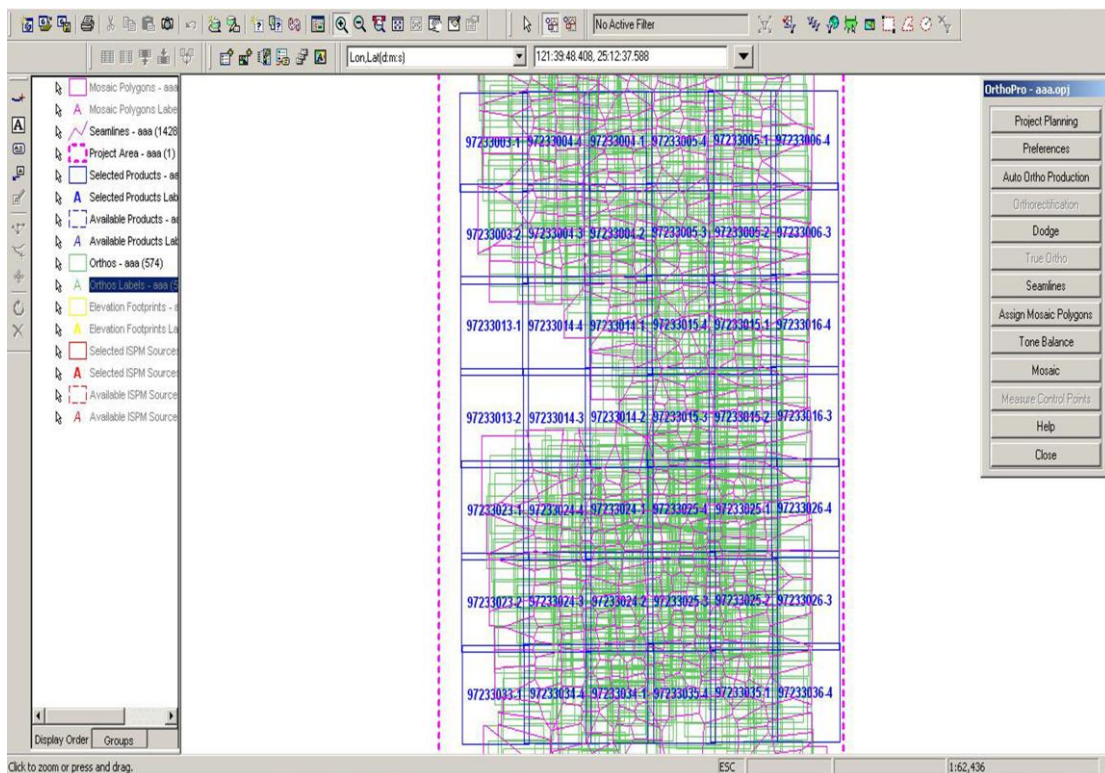


圖 3-6 火山區鑲嵌作業圖

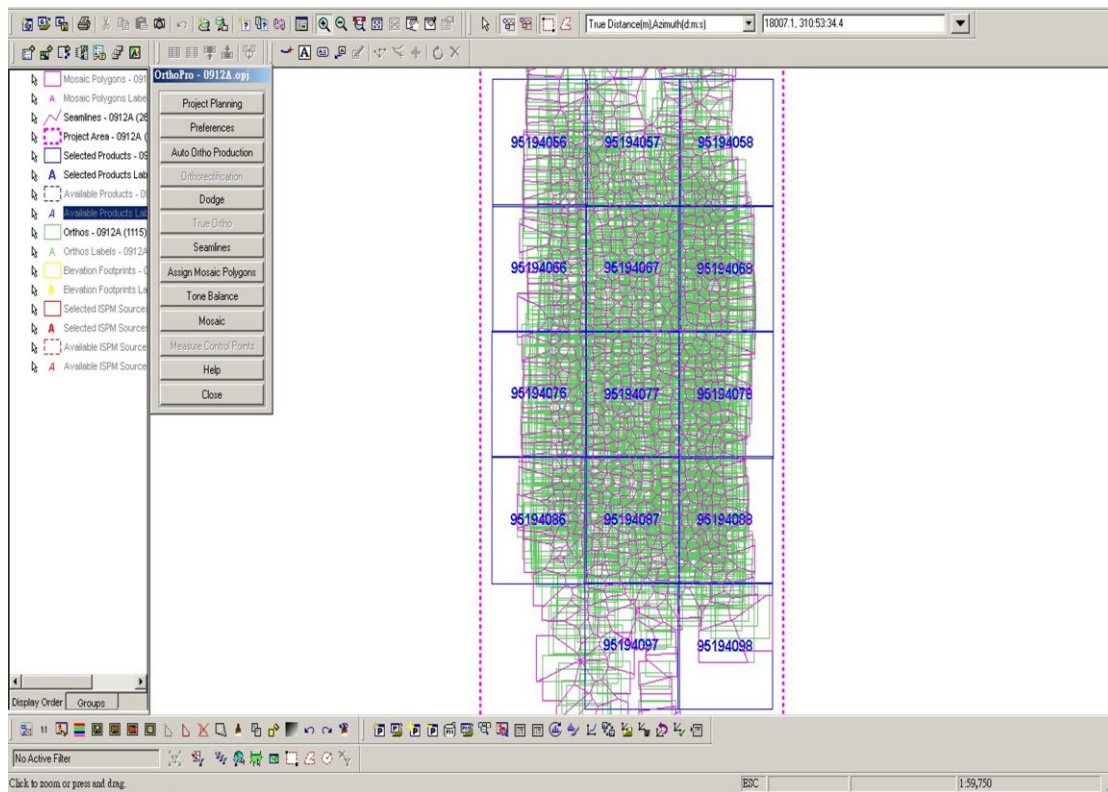


圖 3-7 集水區鑲嵌作業圖



圖 3-8 初步正射影像(左為火山區，右為集水區)

附件六

歷次會議審查意見及回覆

許委員樹坤：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.			本計畫的工作是否僅在資料蒐集？報告書在資料分析的部分著墨較少。	本計畫除了資料蒐集之外，亦包含將空載光達與高光譜兩種類型資料進行融合處理與應用分析。本計畫將測試結合以上兩種資料的優點，希提升地物分類的能力，後續工作將進行分類準確的評估分析並進行火山區與水庫集水區後續之環境分析等相關應用探討。
2.			本案的進度管控圖中，部分工作內容呈現不甚清楚，請補充修正。	感謝指教，已修正。
3.	48		報告書第 48 頁圖 41 之斷層特徵圖範例，潮州斷層在光達資料顯示的特徵並不明顯，請說明其意義或修正。	該斷層特徵圖範例主要為展現平頂山-阿烏-廣興斷層的地形特徵，已將圖中潮州斷層刪除。

林委員昭遠：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.			本計畫以應用角度來看，高光譜與光達資料結合後，主要可提升哪方面的應用？	高光譜與光達資料結合後，希提升地物分類效果。
2.			於火山地區之斷層處，因地層破碎植物通常生長茂密，使斷層地形特徵線恐難由光達資料中判別，而如結合高光譜資料時能獲得改善？	斷層處常伴隨諸如線形、崖、窪地、隆起、斷錯等異於常態的地形特徵，而這些特徵可由光達產製之 DEM 進行判釋，倘因植生茂密導致地面點不足時，預計輔以高光譜資料在斷層帶的不同植生狀況，以其光譜特徵輔

				助判釋分析。
3.			本計畫於水庫集水區 A 測區(大範圍)及 B 測區(主流域上游)分別採用多光譜與高光譜資料進行水質影響,如遇影響水質之重大影響事件(如颱風),其將破壞植生指標(NDVI)穩定,如僅採單一時期之高光譜資料分析時,其時間序列不足時,如何評估水質?	本研究在水庫集水區 A 測區(大範圍)試圖了解植生指標(NDVI)的變化是否與長期水質趨勢有關。故採用之多光譜資料的時間點為避開水質尖峰影響因子(如颱風)於適當時機蒐集多光譜影像及高光譜影像資料。因礙於經費因素,高光譜資料僅採單一時期資料做為分析材料,而在 B 測區(主流域上游)亦以高光譜資料得到更細緻之土地利用分類,配合單位負荷法推估非點源污染負荷量,以用於評估水質情況。

吳委員水吉：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.			本計畫中有關高光譜資料與光達資料之融合研究為一重要方向,如何實現融合技術與融合後可做哪方面應用?請補充說明。	本計畫擬以全波形光達之波長、振幅、脈衝寬度等光達資訊與高光譜影像作為融合測試元素,將光達資訊與高光譜影像以主軸分析(PCA)進行資料融合。以高光譜之光譜解析能力結合光達資料之地物幾何描述優勢,以提升高光譜資料分辨地物的能力。
2.	2		報告書第 2 頁圖 1 流程圖中,多光譜及高光譜分類處理中,以分類之相關係數 $kappa < 0.7$ 來評估分類精度,其處理流程不甚妥適,請查明並修正。	流程圖中不妥處已予以修正。

3.			光達與高光譜是否同時進行飛航掃瞄？其掃瞄範圍（FOV）及空間解析度（IFOV）是否一致？決定的原則為何？	本計畫光達與高光譜為同步進行飛航掃瞄。掃瞄範圍及空間解析度，除須符合合約中幾何精度及光譜解析度外，將針對適於火山及水庫集水區，考慮其光譜特性及地形因素，選擇不同飛航參數，以符合高光譜及空載光達兩項作業之需求。
4.			本案所購買多時期的 SPOT-4 及 SPOT-5 多光譜影像，其部分影像入射角過大，需注意是否影響後續分析精度。	本案自國立中央大學太空遙測中心購買之 SPOT 多光譜影像皆為其高階（Level-3）正規之產品，經過嚴密的幾何與輻射校正，並經方位旋轉對齊，對於部分入射角較大之影像，將於後續應用時，注意其精度上之差異。
5.			於高光譜資料分析除採用以像元為基礎的處理方式外，是否也會測試其他處理方法？	目前高光譜與光達資料融合技術尚於測試階段，倘後續技術成熟與工作時程許可下，有機會嘗試其他融合方式。
6.			多時期之多光譜影像整合時，應進行光譜標準化程序。	感謝指教。本研究已針對多時期 NDVI 進行標準化程序。
7.			多時期之多光譜影像整合時，應進行光譜標準化程序。	感謝指教。本研究已針對多時期 NDVI 進行標準化程序。

夏委員榮生：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.			於不同的測區火山及水庫集水區，是否按不同研究目的來挑選飛航參數？	針對不同測區將依其特徵光譜特性及地形因素選擇不同飛航參數，同時適用於高光

				譜及空載光達作業需求。以本案為例，由於須符合空間及光譜解析度，故各選擇不同的離地高度及光達脈衝率進行作業。
2.			本案於執行高光譜掃瞄前是否需進行光譜率定及掃瞄前幾何精度檢定。	執行高光譜作業前將進行率定作業，以確認儀器幾何精度並獲得率定參數，至於光譜率定則由原廠於出場時，完成校正並提共其校正資料檔。
3.			本計畫航線規劃是以幾何解析度或是光譜解析度為主要考量目的。	以同時符合本案合約所要求的 1 公尺之幾何解析度與 10 nm 的光譜分辨率為主要考量原則。
4.			水質狀況並非像地質現象經年累月不易改變，以蒐集歷年之多光譜資料與本案所蒐集最新的高光譜資料進行比對是否妥適？	本研究觀測十年期的水質監測資料與多光譜分類成果，了解長期水質與土地使用的變化趨勢，預期以高光譜資料探究上游更細類別之土地使用情況。

李委員彥弘：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.			報告書中有關地面控制測量規劃不夠清楚，請於期中報告時增加補充說明。	將依委員意見於期中報告書中補充說明。
2.	53		本案各項工作所採用的高程系統是否均相同？按空載光達係採用橢球高系統，惟於報告書 P53 檢核數值地形模型成果時將其轉換至正高系統，因涉及不同高程系統間之轉換，其轉換精度是否符合本案精度要求，請於期	將依委員意見於期中報告書中補充說明。

			中及期末成果詳予說明。	
3.	8	8	報告書第 8 頁中，光達回波取樣頻率為 1GHz，其意義為何？請補充說明。	該段文句旨描述全波形紀錄器所紀錄的雷射光束回訊情形。1GHz 為頻率表示之方式，其代表每秒光達可記錄 10^9 次，亦可以 1 ns 表示其取樣的時間間隔。
4.	16-17		報告書第 16 及 17 頁中，2 個測試區之控制點網形規劃圖中，2 個主站位置規劃不甚理想，其選擇是否有特殊考量？請補充說明。	主站位置選擇以主站之透空度為優先考量，目前所選擇之部分主站已可確定其具良好透空度，另有部分則須於現地踏勘時確定，若遇透空度不佳時，將改由其他透空度良好之主站或考量已有之固定站替代。
5.			請將簡報資料中有關空載高光譜率定作業內容納入報告書中。	關於內部輻射校正採原廠實驗室數據進行，而大氣校正採 FLAASH 方法及現地地面光譜反推。
6.		11-12	本案空載光達率定作業，於報告書中航線設計為 4 個不同航向及 3 個不同航高（與簡報中飛航參數表格內容相符）；但簡報書面資料卻為 4 個方向及 2 個航高，究竟何者正確？請予釐清。	空載光達率定作業分為率定飛航及確認飛航兩項作業。率定飛行以 4 個方向及 2 個航高共八條航線作為資料解算航線。另規劃兩條航線作為確認飛行航線。已補充修正於報告書中。
7.			報告書中有關資料精度檢核內容編排不甚明確，建議於期末報告時將資料檢核精度評估方式分為內部精度及外部精度兩種。	將依委員意見於期末報告書中，將資料檢核精度評估方式分為內部精度及外部精度兩種。

許委員樹坤：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.	22	27	報告書第 22 頁圖 2.13 所繪之金山斷層、山腳斷層似乎是同一個，圖上顯示 2 個斷層位置是否為初步成果？請於期末報告時加以釐清。	圖 2.13 中之金山斷層與山腳斷層為中央地質調查所之地質圖資料，非本計畫之判釋結果。期末報告時將疊合判釋結果並進行分析討論。
2.	71	74	有關本案之火山測試區地表粗糙度分析出不同岩石種類是否是理想狀況下的結果？於真實世界中外在影響因子可能干擾粗糙度，諸如岩石的環境及風化程度，期中報告書中之結果是否為實際分析結果？	期中報告書中之地表粗糙度分析結果為實際分析結果，本研究認為在相同地形與氣候條件下，不同之岩石種類可能有不同之風化與侵蝕特性，因此可能反應不同之地表粗糙度，因此嘗試分析地調所地質圖中不同岩性範圍內之地表粗糙度是否有差異性，以釐清相關性。
3.			有關光達解析度為 1 公尺、空照影像解析度為 50 公分係指資料內差後解析度亦或是原始解析度？	依據本案之飛航規劃，光達點密度規劃為 2.3pts/m ² ，經內插後可獲得 1 m×1 m 之 DEM 網格資料。航照影像之原始影像解析度為 20 cm，然因地形因素，並非測區所有地區均可有 20 cm 之影像解析度，故依據合約要求統一內插成 50 cm 正射影像。

吳委員水吉：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.	65	68	本案多光譜影像之陰影區皆歸類到森林區，是否因此降低地表分	為避免降低多光譜影像之地表分類精度，本案已濾除陰

			類精度？本案高光譜之資料位元數應超過 8-bits，其光譜解析度較高未來是否能用於陰影區之土地覆蓋分類改善？	影地區且重新分類，並計算各分類之面積及其比例，已於報告書中修正說明。另有關陰影區之資訊獲取方面，由於本案高光譜之資料位元為 14-bits，因此在後續分類工作，可嘗試對陰影區的土地分類進行處理。
2.	33	38	報告書中有關水庫集水區的水系及水庫水體於分類前先將其濾除，其是採何種方式？請補充說明。	本研究水系及水庫資料來源為交通部運輸研究所下載之向量式資料，利用 GIS 軟體與衛星影像套疊分析後，進行空間運算濾除。
3.	36	41	本案之地物分類使用 SPOT 影像，其分類的精度請於期末報告中補充說明。	分類精度檢核評估已附於期中報告書，表 3.6~表 3.9。
4.	11	16	本案高光譜之 FOV 及 Swath 各有多大？一般來說飛機在不同航帶其光譜差異都會滿大的而且航帶中央比兩旁亮的效應，如何去作輻射校正？請於期末報告中詳細說明。	本案飛航掃瞄規劃高光譜之 FOV 為 40 度(左右各 20 度)，Swath 則約為 1377 m。機載光譜儀於不同航帶之掃瞄影像，其光譜值皆有所差異。本案針對輻射校正之處理方式係以原廠建議與提供之軟體進行輻射校正。詳細說明將於期末報告補充。
5.	11	16	本案採用之高光譜波段如何選擇？其原因為何？請於期末報告中詳細說明。	由於高光譜掃瞄作業之離地高為 1500 m、FOV 設定為 40 度，為滿足獲取地面解析度為 1 m 之影像，在考量各項條件之下，高光譜波段以紀錄 72 個波段為最佳。此部分於期初報告時已說明，將於期末報告增列補充。

饒委員瑞鈞：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.	10	14	本案之目的及高光譜與全波形光達技術結合請於報告書中補充說明。另高光譜對臺灣來說是新引進的儀器，亦請於報告中補充介紹。	已修正，於報告書補充說明。
2.	99	103	本案後續成果是否有量化的指標？例如改善岩性及水質的分析成果。	有關水質分析之後續成果，本案將以多光譜及高光譜影像分類成果，計算非點源污染輸出量比較，以作為量化指標。火山地區之岩性分析方面，本案則將嘗試以地形粗造度、光達強度與裸露區之高光譜值等分析，建立岩性分類之指標與依據。
3.	101	105	本案所引用的參考文獻請補充於報告書中。	已修正，並增列於報告書第七章。
4.			報告書中部分的圖所代表的意義不明且圖說文字不易瞭解，請修正。	已修正。

李委員彥弘：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.			本案工作項目繁多，為增加可讀性，有關報告書章節之編排及標號的格式，請於期末報告書撰寫時改善。	將於期末報告撰寫時對此加以改善。
2.	11		本案光達點雲分布的密度規格為每平方公尺應高於2點，如何確認？其自我檢核之機制及標準為何？是否可確保後續能通過驗收？	本案光達飛航掃瞄點密度檢測係延續使用本團隊於100年度「發展先進空載光達科技與應用工作案」所開發之光達測繪品質檢驗工具程式

				與其研擬「空載光達測製數值地形模型標準作業規範(草案)」進行自我檢核，以確保點雲密度符合合約規範。
3.	41	46	本案水庫集水區目前土地利用分5類是否有進一步探討其妥適性？且其中有3類對應於報告書中表 2.10 之其他類別，似無法明確的區分不同類別之污染輸出係數的影響，文獻上是否有更精確的對照表可以參照，請補充說明。	<p>本案水庫集水區之土地利用分類項目，乃配合後續非點源污染輸出量計算時，其對應地物類別進行分類。就目前所蒐集之文獻內容中，並無特別針對「裸露地」、「崩塌地」及「草生地」提供污染輸出係數。</p> <p>由於輸出係數表中仍有地物無法僅利用多光譜影像分類而得，如：茶園、檳榔園、果園等，故本研究後續將嘗試以高光譜影像細分更多土地利用類別，以利參照非點源污染輸出係數表所分類之項目，計算各種土地利用非點源污染輸出量。</p>
4.	40	45	報告書第 40 頁提及利用「單位負荷法」以土地使用覆蓋面積來推估水庫非點源污染負荷量，請補充其與各種土地利用類別之非點源污染「總負荷量」之關係，請加強說明其意義，俾利瞭解兩者之關係。	已於報告書中修正詞句，將「單位負荷法」改為「輸出係數法」。並於報告中針對「輸出係數法」詳述解釋。
5.	49		報告書中有些圖缺乏說明請補充，另請修正圖 3.7 及圖 3.8 之說明文字，俾利瞭解其意義。	已於報告書中修訂。
6.	12	17	報告書中火山測試區基線有 10 條，而水庫集水區僅有 3 條，請說明其原因為何？	火山測試區 5 個點均為已知點，故檢核之全組合基線為 10 條，水庫集水區僅 3 個已

				知點 (GS64、GS67 非已知點), 故檢核之全組合基線僅 3 條。
--	--	--	--	--------------------------------------

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.	101	105	請於報告書中羅列本案所蒐集的高光譜相關文獻目錄，俾利後續其他單位未來進一步研究之參考。	已更列於報告書第六章。
2.	65	68	有關本案火山測試區火成岩的 NDVI 比沈積岩之分析結果來得高，是否尚有其他影響因素。	目前僅分析不同岩性之 NDVI，尚未進行其他因子之比較，後續將進行相關影響因子之探討。
3.			建議高光譜技術應用於未來防災計畫可朝以下幾個方向規劃，首先是應用光達資料分析地表粗糙度、其次是林下微地形判識分析再來是變異點之偵測。	感謝指教，將會斟酌納入未來計畫之中。

本部地政司：

1.	101	3	有關本案各項工作項目之進度控管表，請編排於報告書適當位置。	已更列於報告書第二章。
2.		3	請補充本案合約工作項目及目前已完成之各項工作項目清單，俾利掌握各項工作辦理情形。	已更列於報告書第二章。
3.	6,26	10,30	第 6 頁及第 26 頁之圖 2.3 與圖 2.15 的圖說不清晰，請修正。	已修正。
4.	29	34	第 29 頁：圖 2.16 崩塌地自動判識流程圖中，處理步驟—選取適合該年度之坡度門檻值 $\text{slope} > x$ ，其門檻值係採何種方式	本研究乃是將影像進行分類測試，以選取崩塌地判釋之最佳坡度門檻值，並比對航照影像，最後將坡度門檻值

			來決定？	定為 Slope>15°
5.	51	54	第 51 頁：圖 3.10 水庫區掃瞄成果點雲涵蓋圖中，左邊航帶是否為資料遺漏或是點雲之航帶顏色採白色與背景顏色混淆，請查明修正。	已修正。
6.	75	78	第 75 頁：本文第 2 行「初步以地調所民國 94 之資料與最多光譜影像...」，建議修正成「初步以地調所民國 94 年之資料與高光譜影像...」。	已修正。
7.	89	92	第 89 頁：表 4.7 中「轉出率」與同頁本文第一行之「維持率」是否指同一件事情？請查明修正。	已修正。

夏委員榮生：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.	1		於前言中提及高光譜資訊易受植被覆蓋影響岩性分析，若增加光達資料將有助於岩性辨識的正確率由 65%提高至 87.5%，惟本研究之報告書內容並未與其呼應，另本案之結論部分亦無相關量化數據呈現。	謝謝委員意見，以增列岩性分類精度評估表於內文。
2.	46	47	本案採用多期衛星影像部分，為何採用 2001 年多光譜衛星影像其空間為 20 米與其他年份解析度皆為 10 米不同？另為何不採用同解析度之 SPOT5 衛星影像？請補充說明。	2001 年尚無 SPOT-5 空間解析度 10 米之影像，僅可購得同系列 SPOT-4 之空間解析度 20 米之影像，相關說明已於內文補充說明。
3.	46,57	48	多期衛星影像部分表 3.9 並未含括 2007 年（表 3.12）之衛星影像，請查明修正。	2007 年無適用影像，故採用 2008 年年初影像為此年度資料。已於內文補充說明，並修正表 3.9，新增年度欄位。
4.	59, 136	55	本案於測試區之多光譜影像分類精度檢核表（表 3.14）的分類項目與高光譜影像分類精度矩陣表（表 6.6）的種類不同，其是否隱含兩者於分類之精度不同之意義？請補充說明。	台灣因高山上游水系帶寬較窄，且本案多光譜影像空間解析度僅 10 米，因而對水體偵測較差，無法順利區分。故在影像分類前先將水系範圍去除，再進行土地使用分

				類。另高光譜對水體的偵測提高，且可區別植生種類，因此在高光譜影像分類時，增加了水體、茶園及檳榔三大類別。
5.	64	66	高光譜儀器之光譜校正說明不甚清楚，請修正文字。	高光譜儀器之光譜校正所需的輻射轉換參數乃由 Itres 原廠提供。
6.	86	88	水庫集水區之重疊航線誤差分析表 (4.12) 中平均差量有誤植情形，請查明修正。	已修正。
7.	97,98	98	建議加強火山測試區示意圖 (圖 5.2) 及水庫集水區示意圖 (圖 5.3) 之高程表現並使圖號更清晰辨識。	已於內文更新兩測試區之示意圖。
8.	99	99	測試區分類後地面點與非地面點之統計數據 (表 5.1)，有關地面點數之密度所代表意義為何？請補充說明。	區分地面點與非地面點之密度主要為瞭解空載光達於該測區林下的穿透率狀況。
9.	118	120	火山測試區與水庫集水區之正高點地面檢核點數差異明顯，請補充說明其原因。另本案光達測製 DEM 成果經大地起伏轉換成正高成果存在之 15 公分之系統差，請補充未來如使用該成果時，應如何修正其影響量？	由於檢核點的數量較少，故此高程差量並不可斷定為系統差，或可增加檢核點進行檢查，然空載光達成果為架構於橢球高系統下，本案以橢球高系統檢核 DEM 之高程精度均符合規範，而正高

				<p>成果係採用內政部大地起伏模式轉換而得，故可直接利用於正高成果應用，因此本項正高成果完全取決於內政部大地起伏精度，此大地起伏成果非本案作業內容，因此，若有更高精度大地起伏可使用將可以轉換光達正高成果供應用。</p>
10.	127	129	<p>有關高光譜儀於水庫集水區 B 測試區之大氣校正採用經驗式回歸（圖 6.8），圖右上角採樣點 S13 似乎為偏離值，請補充說明為何需特別保留？</p>	<p>為避免僅使用低反射率進行迴歸，即使高反射率較少仍有保留之必要，S13 點位為實際情況較明亮、反射率較高之地物故予以保留。</p>
11.	135	140	<p>報告書第 135 頁中，高光譜影像判識與分類精度提及「…多光譜影像空間尺度及影像解析力不足，使得植生地區無法區分森林與人為栽種的茶園及檳榔。…高光譜影像乃優於多光譜分類成果」之敘述，並未清楚表達多光譜與高光譜儀於地表監督式分類能力差異之關鍵因素，請修正。</p>	<p>已修正並補充說明文字敘述。</p>
12.		16	<p>有關本案收集之高光譜資料具有 72 個波段數，請將波段分布</p>	<p>已修正增加 72 個波段光譜分布情形。</p>

			情形請以圖形表示。	
13.			本案合約除了高光譜資料與光達資料融合處理分析外，是否有進一步要求將地形因素納入高光譜之大氣改正因素？	地形因素確實影響大氣校正成果之優劣。然因本案所選用之 FLAASH 模組並未有匯入地形資訊之參數選項，且經驗線法則亦無須使用地形資訊進行改正，因此，未來將以可納入地形資訊之其他軟體進行高光譜之大氣校正處理。
14.	207	217	建議請補充本案之後續明確研究方向，俾利未來國內相關單位辦理後續相關研究之參考。	已修正並補充說明文字敘述。

林委員昭遠：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.			本案採用全波形光達測製 DEM 之一般精度可達多少？又採 DSM 扣除 DEM 作為樹高的誤差大約是多少？	一般實際精度仍須以整個測區測量完成後，透過 DEM 精度檢查才能得知完整精度。而一般裸露地可達 15 公分，植被精度可如本案 DEM 檢核結果得知。 另外，DSM 一般精度，也可視為 15 公分。而樹高誤差可由 DSM-DEM 依檢核 DEM 之誤差傳播理論得知。

2.	135		<p>有關多光譜影像資料進行土地利用分類之類別與應用高光譜資料分類類別不同之原因為何？於應用上能否把分類類別統一？</p>	<p>多光譜受限光譜數量及空間解析度，無法明確地區分植生種類，因此本計畫採用融合高光譜影像及光達資料，期以細分土地利用分類項目。應用上，針對本計畫案，參考非點源污染輸出係數表所需之土地利用類別進行判釋。</p>
3.	63		<p>曾文水庫集水區內各種土地利用之非點源污染輸出係數(表 3.15)中之懸浮固體(SS)與總氮(TN)於建成地之係數，似違反一般認知，請補充說明其隱含之物理意義。</p>	<p>本研究參考之文獻依其實驗參數，對於建地之給定係數均相無幾。一般而言，針對裸露地的係數估算多為研究單一事件實驗，致使 SS 產生較大的變異情況，可能不符一般認知。但礙於並無針對本研究區詳盡非點源污染係數可參照，若後續有針對曾文水庫計算之水質非點源污染輸出係數，可以再做逐一計算。</p>
4.	129		<p>全波形空載光達點雲數據於各種土地利用分類類別之波形重建與本案土地利用分類項目不一致，請修正或補充說明之。</p>	<p>全波形空載光達點雲數據於各種土地利用分類類別之波形重建主要為履行合約內要求之工作項目，故所建立的土地利用分類類別會多於應</p>

				用分析時實際可分類的土地利用項目。
5.	183	190	各年度崩塌地面積與颱風事件對照表（表 6.15）中，本研究所計算之 2007 年崩塌面積與參考文獻之崩塌面積，於崩塌變化趨勢有明顯不同，請查明修正或補充說明原因。	誤植處已修正。
6.	190, 191	197	有關土地覆蓋變遷分析中，僅選擇性分析森林面積與平均 NDVI 變化情形（圖 6.59）卻忽略草生地面積增加對於 NDVI 之影響，然於裸露地總和面積與平均 NDVI 圖變化情形（圖 6.61）將裸露地與崩塌地合併分析不同，請說明其原因及所代表之物理意義。	已合併森林及草生地面積為總植生面積，與 NDVI 變化情形比較。
7.	194	201	有關 2007 年至 2010 年森林用地轉成建成地約達 315 公頃（表 6.18）之可能相當低，請查明或補充說明其原因。	研判可能森林轉為建地是因 2010 年裸露地誤判為建成地之原因所造成。相關說明補正於報告書內。
8.	197	204	於水庫集水區 1-6 測站的水質與 NDVI 相關係數（表 6.19）中，各項水質分析因子之相關係數並不具顯著性差異，因此表中數據高低並無太大意義。	由於樣本數過少，無法計算出水質因子與 NDVI 之顯著性，相關說明補正於報告書內。

9.	201	210	<p>本案採用水庫集水區之不同土地利用分類之面積計算污染輸出量，惟應注意土地利用類別所在之區位對水庫水質因子亦有重大決定因素，於實際應用時需注意的技巧相當多。</p>	<p>土地利用類別之區位的確對水庫水質有影響，但本研究著重敘述高光譜融合光達影像的分類及高光譜分類成果所計算出污染量之比較，愈詳細的分類項目所計算出之非點源污染輸出量將愈貼近現實。建議後續研究針對此進一步分析。</p>
10.			<p>地質崩塌區並非僅發生於地形稜線之裸露地，例如八八風災之林班地崩塌區域係位於地質破碎，因該區植物茂盛覆蓋良好，惟於河道的向源侵蝕且泥沙補充不足致整個坡面崩塌，因地形斷線之破碎帶長年不易改變，其為一種能量釋放的形式，需輔以地表上的植物生長情形來劃分崩塌區位，否則可能造成誤解。</p>	<p>謝謝委員意見，於研究過程中亦初步發現崩塌區與非崩塌區之植生狀況有差異的現象，此提供高光譜(植生分類)與全波形光達(地形特徵判釋)資料融合測試的可能，而後續年度計畫亦將重點放在如何透過高光譜與全波形光達資料進行崩塌區之地形特徵與植生特徵之綜合分析研究。</p>

李委員彥弘：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.		101	<p>本案工作項目有關統計光達飛航掃描範圍之回波數據面積與受雲霧遮蔽或水體吸收之無數</p>	<p>已增列於本文中。</p>

			據面積於報告書中並未說明及分析請補充。另請團隊再次檢查本案合約各工作項目成果說明是否已於報告書中呈現。	
2.	83	83~96	有關光達飛航掃瞄航帶點雲重疊精度之內部精度、外部精度分析、又交叉航線檢核之精度分析，請再詳細補充說明。	已完整說明以列於內文。針對分析原理及統計數據圖表均有完整說明。
3.	5	5	本案各項工作實際進度(表 2.2)僅標示至 9 月底，請查明修正，另本次簡報有更新部分請於報告書中同步修正。	已修正。
4.	136, 139		比較高光譜影像分類成果(表 6.6)與融合影像分類成果(表 6.8)，其中有部分分類成果數值變動不大，甚至裸露地高光譜分類成果更優於融合影像，其所代表之意義為何？是否增加光達資料對判識成果並無助益？	由於分類檢核點為隨機取樣之資料，且兩分類精度評估表的分類成果差異極小，且差異並無顯著性，因此不具統計之意義。高光譜影像分類成果雖不差，但仍有部份分類用地被誤判情形。雖然在融合影像中裸露地被分類正確數減少，但整體分類準確度提升。
5.	159	162	地表粗糙度統計表(表 6.12)中，其粗糙度與數值地形(DEM)網格解析度(2m~20m)的關係所代表之意義為何？又粗糙度	謝謝委員意見，表 6.12 粗糙度與數值地形(DEM)網格解析度(2m~20m)的關係為不同解析度之數值地形資料

			如何定義亦請補充說明。	進行地表粗糙度分析之結果，而地表粗糙度之定義補充說明於內文。
6.	118	122	<p>P118，正高點地面檢核情形，利用 4 個已知點（火山區有 3 個點，水庫集水區僅有 1 個點）之正高成果與光達成果經大地起伏轉換正高成果比較，即認為存在有 15CM 之系統誤差，其取樣是否足夠？又火山區依該 3 個檢核點所計算之標準偏差與均方根誤差是否有意義（表 5.6）？另請補充標準偏差與均方根誤差之計算公式。</p>	<p>已修正於 P.125。增加分布圖並去除部分較不具統計意義之數值。</p> <p>另外，原先之標準偏差採用公式為</p> $S_D = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n-1}}$ <p>D_i 為高程較差(正高點之高程-空載光達掃瞄點雲之正高高程)；均方根使用公式為</p> $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i)^2}{n}}$
7.			有關期中報告委員審查意見中，需於期末報告書提出補充說明的部分，請團隊併同本次委員審查意見，補充於期末修正報告書中。	期中報告委員之審查意見須補於工作總報告書之內容均已增列補充於報告書內文。

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.			報告書第一章前言部分之頁首文字為「期中報告」，應為誤植	已修正。

			請修正。	
2.	48	51	有關陰影偵測部分，雲所造成之陰影以陰影遮罩濾除陰影時，對於地表不同使用分類邊界造成之混淆情形，本案陰影區土地利用分類如何處理。	關於本案陰影區土地利用分類處理，已說明於報告書本文。
3.	175	179	火山測試區的安山岩與柏油路面之光譜反射特徵相近，請補充說明圖 6.46 之裸岩反射光譜圖，另有關使用融合光達資料之影像時可區隔兩者，期待有更詳細的說明。	謝謝提供意見，已增加柏油路面之光譜反射特徵於圖中。而兩者之細部說明亦已增加說明於文中。
4.	128	126	有關高光譜於波長於 500nm 以下使用 FLAASH 進行大氣修正，得到負值或趨近於零與以往使用經驗不同，未來可進一步進行探討其原因。	由於在進行 FLAASH 校正時，FLAASH 並無法考慮到許細部問題，例如地形高低起伏太大等，再加上高光譜儀器的兩旁容易受到干擾，因此在 500 nm 以下部分容易得到負值。
5.			本工作案已提列災害防救應用科技方案，建議內政部能將本案相關成果整理成資料叢集 (Data set) 或是將其包裝 (package) 處理，將來如能於應科方案平台提供給國內相關研究單位，也許能以不同分析方法處理獲得不	如本案相關成果未來將於應科方案平台呈現，本團隊將予以適當協助。

			同的結果。	
--	--	--	-------	--

本部地政司：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1.			建議本案增加中英文摘要。	已增加於報告書內。
2.			報告書中部分表格漏標示單位，請詳細檢視，並修正。	已修正。
3.			報告書內容所提及之參考文獻請補充於報告書本文的最後。	已修正。
4.	40	41	第40頁表3.8之斷層變位地形似有遺漏摺曲地形，請查明修正。	已修正。
5.	123		第123頁有關大氣校正成果出現許多不合理數值，且無法很好對應地面光譜儀結果是否有解決方案或後續年度處理大氣校正之建議？	不合理數值原指 FLAASH 大氣校正成果。因此本次大氣校正，採用經驗式做為大氣校正結果，但本次不合理之原因可做為未來操作之經驗借鑒。目前正嘗試其它軟體之校正方式，以供後續年度進行不同方式之比對，以期得到更佳結果。
6.	143	148	第143頁倒數第2行…此外「內」亦可觀察出崩塌及地表線型，其中「內」為贅字，請刪除。	已修正。
7.	167, 168	172, 173	第167頁及168頁之圖6.37之第2及第3個圖之斷層崖編號，應將分隔符號「、」修正為「~」。	已修正。

8.	209	217	<p>第 209 頁倒數第 3 行…利用全波形光達資料的「高 DEM 精度」…，建議修正為…利用全波形光達資料的「高精度 DEM」…。</p>	<p>已修正。</p>
----	-----	-----	---	-------------

附件七

本案相關附件與辦理實況相片

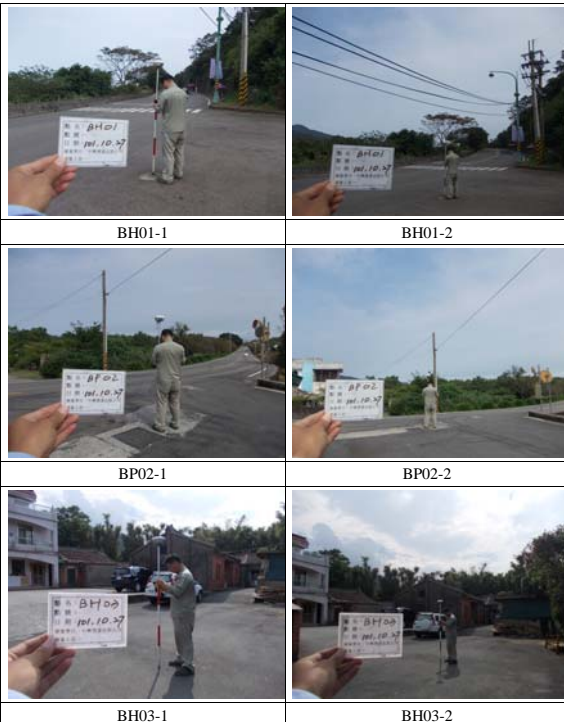
裝機畫面



高光谱和光速工作内部讨论



檢核點部分
火山測區 (valcano)
裸露地(B)





BP07-1



BP07-2



BH08-1



BH08-2



BP09-1



BP09-2



BP10-1



BP10-2



BP11-1



BP11-2



BP12-1



BP12-2



BP13-1



BP13-2



BP14-1



BP14-2



BC15-1



BC15-2



BM16-1



BM16-2



BH17-1



BH17-2



BP18-1



BP18-2



BH19-1



BH19-2



BM20-1



BM20-2

林地(F)



FH01-1



FH01-2



FM02-1



FM02-2



FH03-1



FH03-2



FH04-1



FH04-2



FM05-1



FM05-2



FH07-1



FH07-2



FH08-1



FH08-2



FM09-1



FM09-2



FH10-1



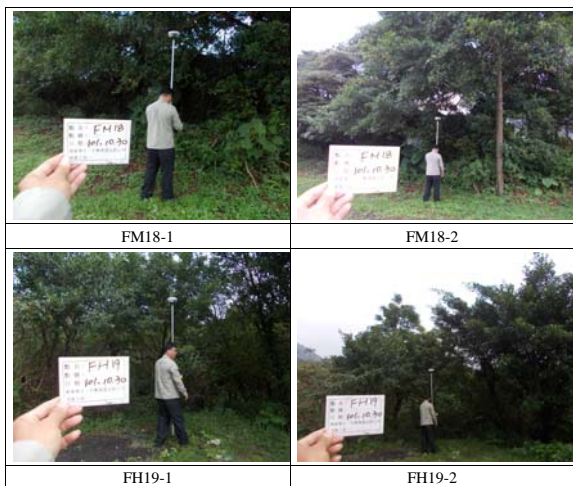
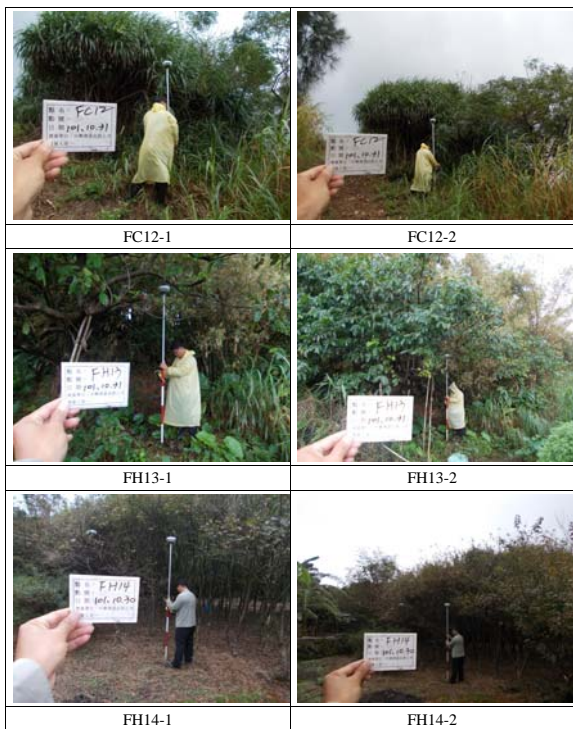
FH10-2



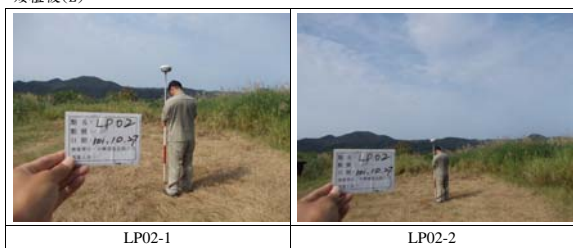
FH11-1



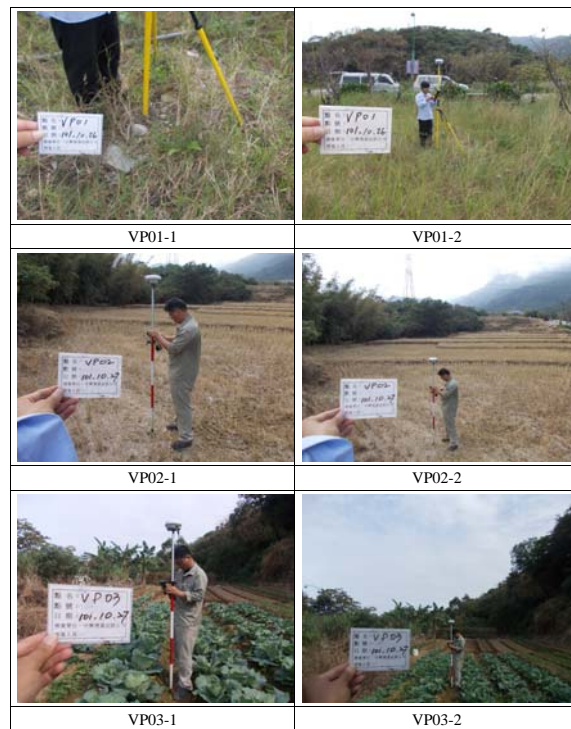
FH11-2



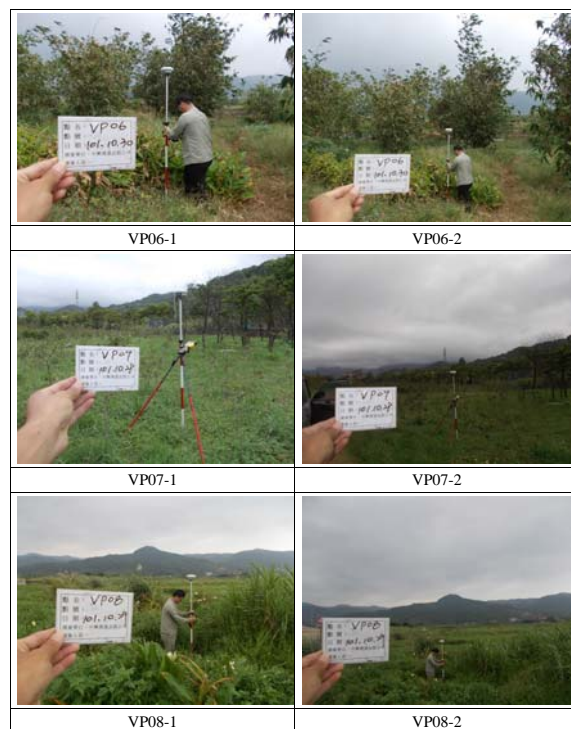
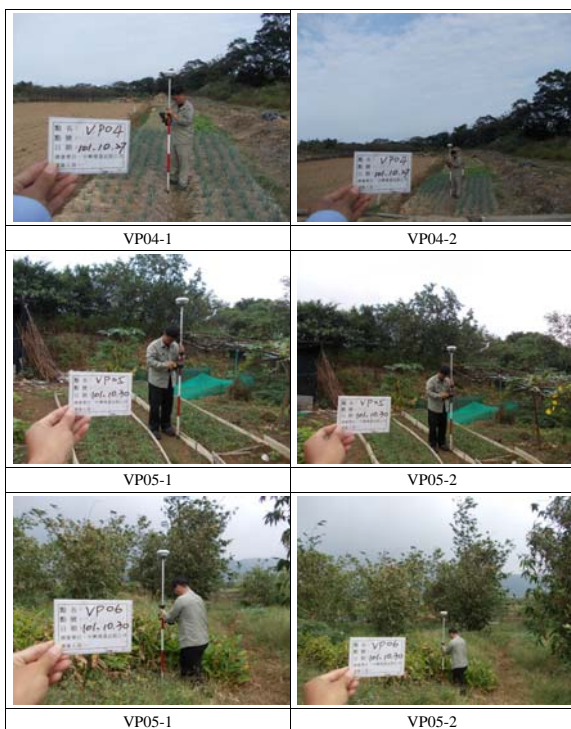
矮植被(L)

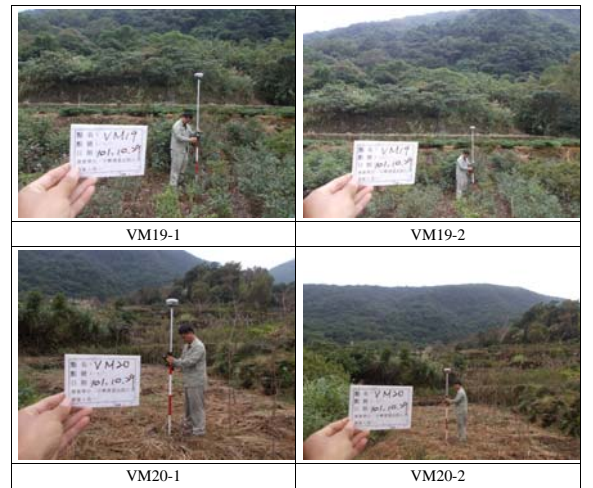
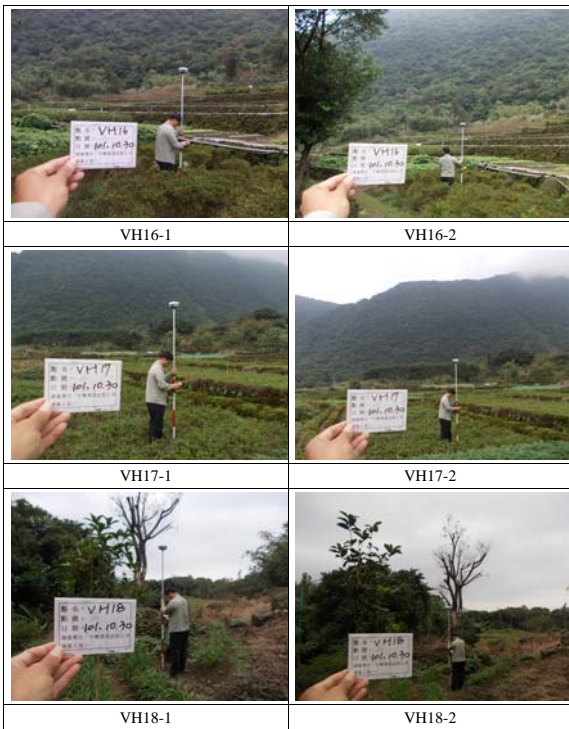






植生地(V)





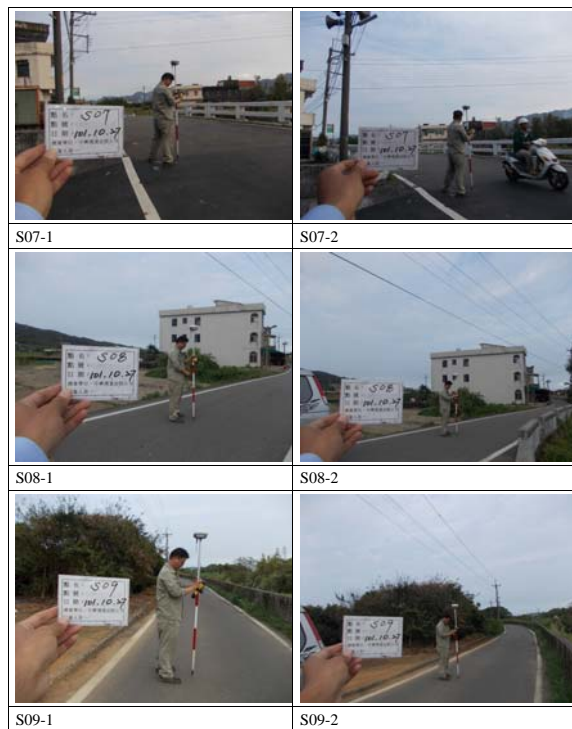
濕地(W)







横断面(S)





S10-1

S10-2



S11-1

S11-2



S12-1

S12-2



S13-1

S13-2



S15-1

S15-2



S16-1

S16-2



S17-1

S17-2



S18-1

S18-2



S19-1

S19-2



S20-1

S20-2



S21-1

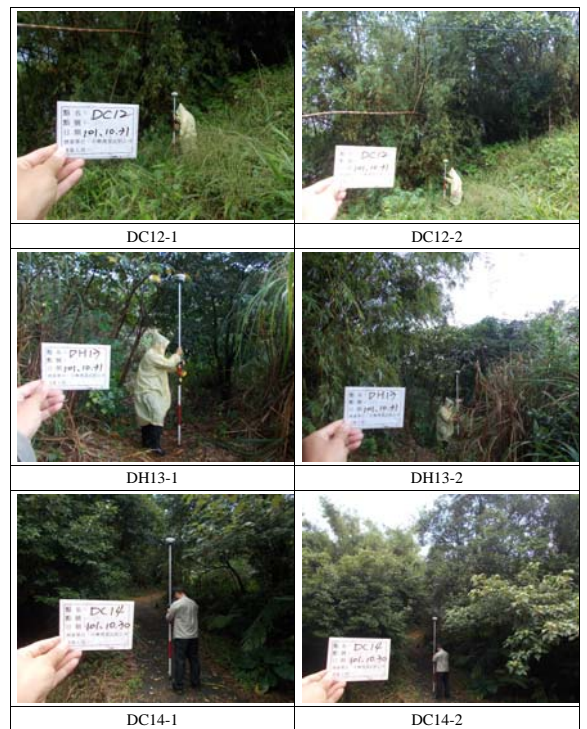
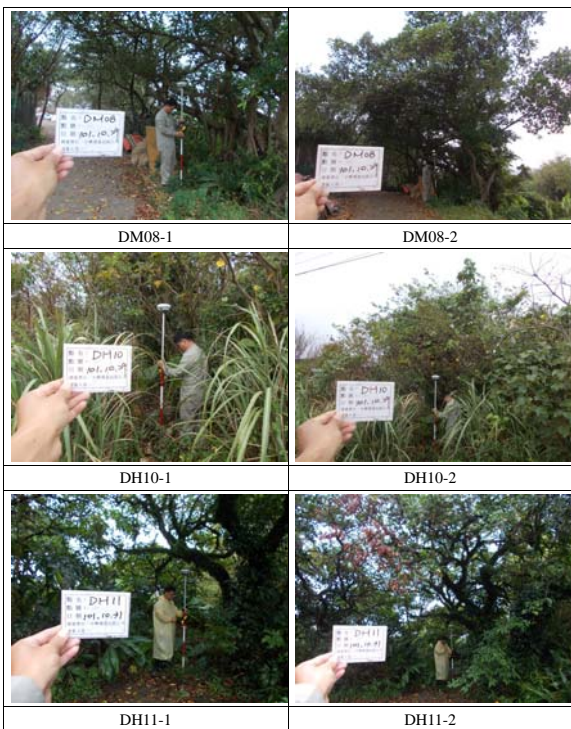
S21-2



S22-1

S22-2

密林(D)





集水測區(watershed)
裸露地(B)





BH07-1



BH07-2



BM08-1



BM08-2



BP09-1



BP09-2



BM10-1



BM10-2



BP11-1



BP11-2



BC12-1



BC12-2



BP14-1



BP14-2



BM15-1



BM15-2



BM16-1



BM16-2



BM17-1



BM17-2



BP18-1



BP18-2



BM19-1



BM19-2



BH20-1



BH20-2

林地(F)



FM02-1



FM02-2



FM03-1



FM03-2



FH04-1



FH04-2



FM05-1



FM05-2



FH06-1



FH06-2



FP08-1



FP08-2



FH09-1



FH09-2



FM10-1



FM10-2



FM11-1



FM11-2



FM12-1



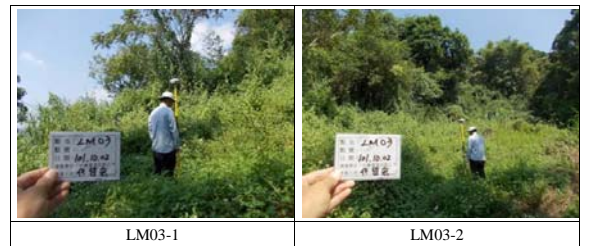
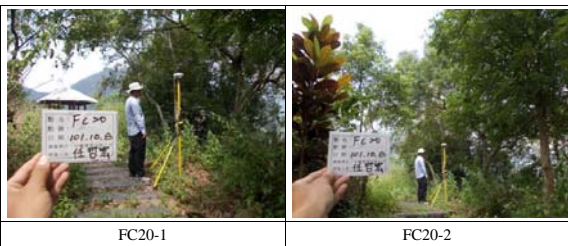
FM12-2



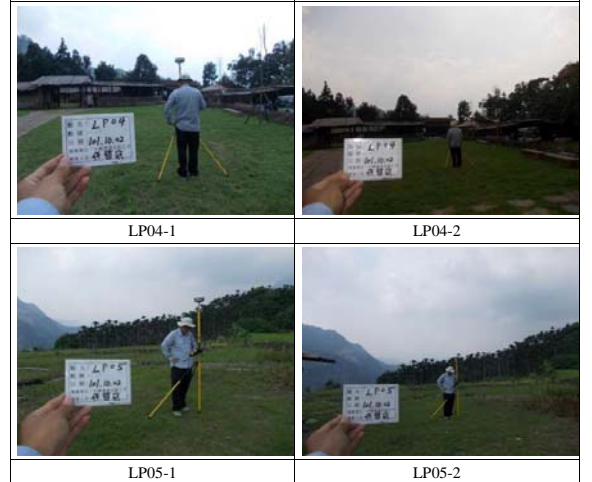
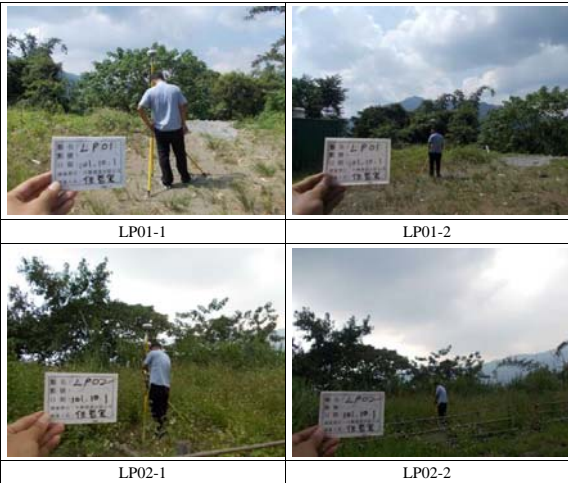
FC13-1

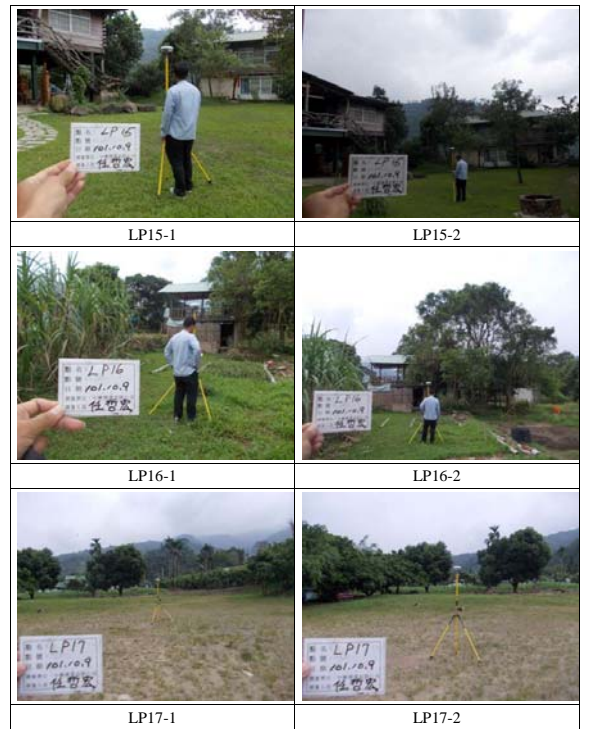


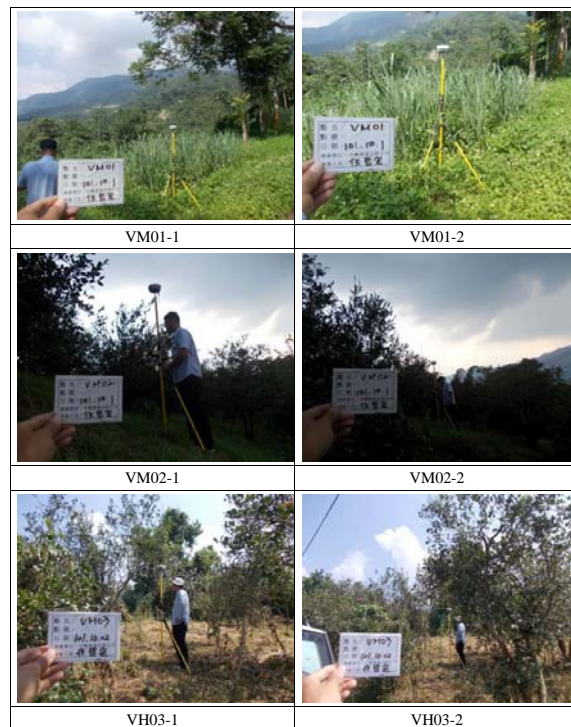
FC13-2



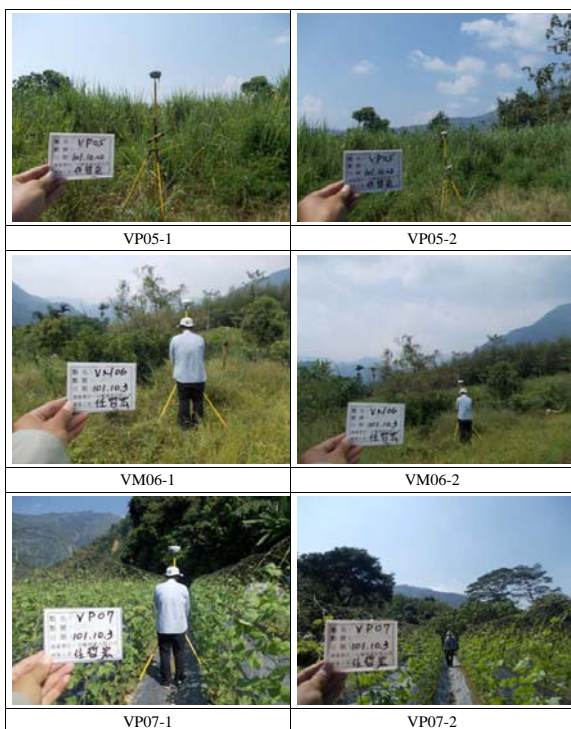
矮植被(L)

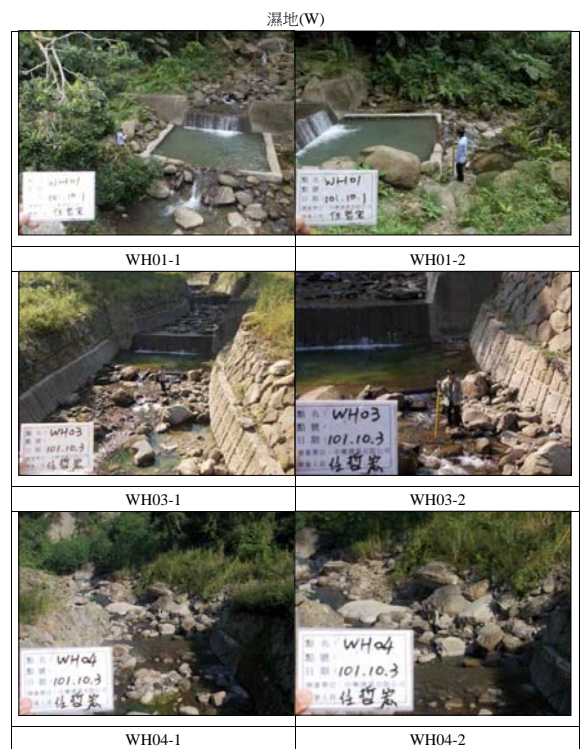






植生地(V)







WH07-1



WH07-2



WH08-1



WH08-2



WH12-1



WH12-2



WH13-1



WH13-2



WH14-1



WH14-2



WH15-1



WH15-2



WH16-1



WH16-2



WH17-1



WH17-2



WH20-1



WH20-2



WM18-1



WM18-2



WM19-1



WM19-2



WP02-1



WP02-2



橫断面(S)





S07-1

S07-2



S08-1

S08-2



S09-1

S09-2



S10-1

S10-2



S11-1

S11-2



S12-1

S12-2



S13-1

S13-2



S14-1

S14-2



S15-1

S15-2



S16-1

S16-2



S17-1

S17-2



S18-1

S18-2



S19-1

S19-2



S20-1

S20-2



S21-1

S21-2



S22-1

S22-2



S23-1

S23-2



S24-1

S24-2



S25-1

S25-2



S26-1

S26-2



S27-1

S27-2



S28-1

S28-2



S29-1

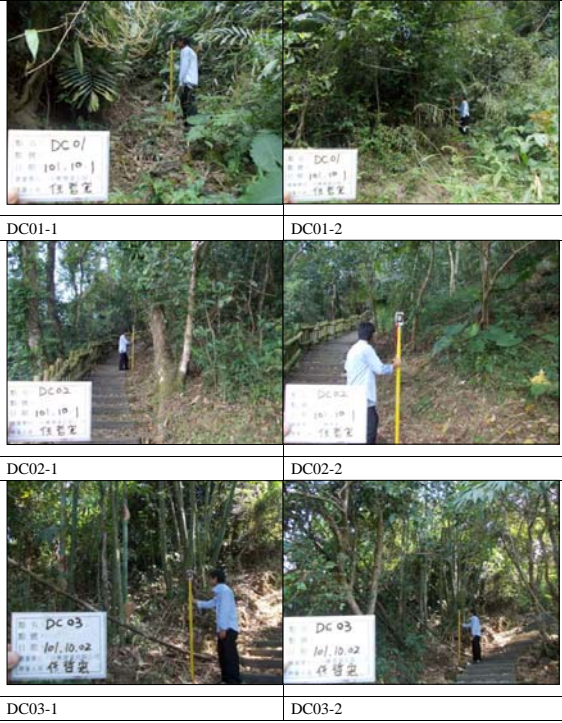
S29-2



S30-1

S30-2

密林(D)





火山區
裸露地

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範σ n	精度規範σ n
BH01	311199.551	2789982.935	63.899	63.711	-0.188	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BP02	311543.078	2790035.244	56.467	56.402	-0.065	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BH03	311392.667	2789832.341	83.313	83.199	-0.114	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BH04	312382.296	2790116.296	43.395	43.35	-0.045	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BM05	311781.728	2789605.02	95.931	95.668	-0.263	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8
BP06	311707.739	2789464.665	111.415	111.209	-0.206	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BP07	312135.215	2789700.933	77.464	77.276	-0.188	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BH08	313400.68	2792049.283	26.234	26.214	-0.02	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BP09	312930.417	2791841.309	28.054	27.975	-0.079	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BP10	313480.541	2791935.248	25.337	25.307	-0.03	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BP11	313556.579	2791416.04	23.233	23.124	-0.109	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BP12	313465.701	2791493.791	24.429	24.328	-0.101	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BP13	313100.05	2791660.705	26.518	26.418	-0.1	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BP14	313768.815	2791916.616	23.084	23.024	-0.06	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BC15	309972.036	2787715.901	246.287	246.223	-0.064	裸露地	陡峭山 地	0.3	1	0	0	1.3	-1.3
BM16	309773.833	2787602.607	262.275	262.222	-0.053	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8
BH17	309343.145	2786790.952	340.808	340.716	-0.092	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BP18	309333.065	2786981.51	325.289	325.206	-0.083	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BH19	309553.512	2786905.812	321.47	321.492	0.022	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BM20	309692.06	2786959.727	316.297	316.241	-0.056	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8

林地

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範σ n	精度規範σ n
FH01	311497.391	2790036.73	54.514	54.365	-0.149	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	9	3.2	-3.2
FM02	311769.857	2789541.385	103.597	103.557	-0.04	林地	山地	0.3	0.5	0.3	4	2	-2
FH03	312468.413	2790236.436	37.883	37.694	-0.189	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	10	3.5	-3.5
FH04	312139.585	2790244.74	41.876	41.551	-0.325	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	7	2.6	-2.6
FM05	312495.326	2790082.798	37.303	37.412	0.109	林地	山地	0.3	0.5	0.3	13	4.7	-4.7
FH07	313688.281	2792141.186	24.96	24.901	-0.059	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	4	1.7	-1.7
FH08	313258.234	2792085.388	25.769	25.74	-0.029	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	5	2	-2
FM09	313061.18	2791949.15	25.82	25.844	0.024	林地	山地	0.3	0.5	0.3	9	3.5	-3.5

FH10	313298.824	2791600.19	24.554	24.551	-0.003	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	6	2.3	-2.3
FH11	312797.176	2791759.539	29.829	29.557	-0.272	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	9	3.2	-3.2
FC12	313682.333	2792279.396	28.953	28.627	-0.326	林地	陡峻山地	0.3	1	0.3	4	2.5	-2.5
FH13	313439.573	2792209.994	25.661	25.871	0.21	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	5.5	2.15	-2.15
FH14	309594.489	2787448.05	278.87	278.892	0.022	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	5.5	2.15	-2.15
FM15	309758.093	2787372.485	288.065	287.799	-0.266	林地	山地	0.3	0.5	0.3	8	3.2	-3.2
FM16	309698.62	2787249.086	293.612	293.597	-0.015	林地	山地	0.3	0.5	0.3	3.5	1.85	-1.85
FC17	309379.995	2786652.204	355.322	355.197	-0.125	林地	陡峻山地	0.3	1	0.3	9	4	-4
FM18	309178.366	2786930.477	344.813	344.783	-0.03	林地	山地	0.3	0.5	0.3	8	3.2	-3.2
FH19	309535.546	2786908.428	320.97	320.939	-0.031	林地	丘陵	0.3	0.2	0.3	3	1.4	-1.4

矮植被

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 α n	精度規範 σ n
LP02	312074.971	2790115.974	45.423	45.372	-0.051	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.3	0.45	-0.45
LP03	311982.826	2789715.471	84.308	84.258	-0.05	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.2	0.4	-0.4
LH04	312187.901	2789820.559	73.682	73.622	-0.06	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5	0.3	0.65	-0.65
LP05	312072.604	2790434.828	43.109	43.068	-0.041	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.4	0.5	-0.5
LP06	312527.815	2790072.44	36.493	36.464	-0.029	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.2	0.4	-0.4
LP07	313363.427	2791327.143	25.611	25.51	-0.101	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0	0.3	-0.3
LP08	313622.508	2791325.68	24.898	24.807	-0.091	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.2	0.4	-0.4
LP09	313467.009	2791586.669	24.513	24.536	0.023	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.4	0.5	-0.5
LP10	313597.088	2791952.761	22.465	22.585	0.12	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.5	0.55	-0.55
LH11	313372.645	2792097.452	26.351	26.345	-0.006	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5	0.3	0.65	-0.65
LP12	313041.088	2791851.184	25.688	25.817	0.129	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.3	0.45	-0.45
LH13	313478.544	2791381.142	25.33	25.272	-0.058	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5	0.3	0.65	-0.65
LP14	313441.16	2791425.621	23.994	24.063	0.069	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.2	0.4	-0.4
LH15	313485.365	2791243.831	27.27	27.201	-0.069	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5	0.1	0.55	-0.55
LP16	309893.79	2787636.891	255.989	256	0.011	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.2	0.4	-0.4
LH17	309650.896	2787401.503	280.526	280.687	0.161	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5	0.3	0.65	-0.65
LH18	309637.684	2787476.612	275.582	275.602	0.02	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5	0.2	0.6	-0.6
LH19	309414.187	2786822.088	332.07	332.12	0.05	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5	0.1	0.55	-0.55
LH20	309447.043	2786815.011	331.718	331.731	0.013	矮植被	丘陵	0.3	0.2	0.5	0.1	0.55	-0.55

濕地

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 α n	精度規範 σ n
WP01	311877.71	2789658.084	88.859	88.782	-0.077	濕地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
WH02	312066.484	2789701.711	70.825	70.752	-0.073	濕地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WH03	312553.448	2790281.473	34.897	34.909	0.012	濕地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WH04	312518.041	2790237.429	34.772	34.815	0.043	濕地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WH05	312464.994	2790190.721	34.428	34.416	-0.012	濕地	平地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WH07	312297.074	2790141.527	34.539	34.494	-0.045	濕地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WH08	313118.365	2791604.255	25.844	25.812	-0.032	濕地	平地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WH09	313637.793	2791388.884	22.835	22.612	-0.223	濕地	平地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WH10	313405.874	2791337.339	24.079	24.034	-0.045	濕地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WH11	313280.645	2791263.633	24.847	24.715	-0.132	濕地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WP12	313358.908	2791605.689	24.029	23.94	-0.089	濕地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
WP14	313040.863	2791708.055	26.248	26.101	-0.147	濕地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
WP15	312840.787	2791660.086	27.623	27.624	0.001	濕地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
WH16	312430.842	2790485.456	37.566	37.441	-0.125	濕地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WP17	312527.48	2790449.803	37.432	37.311	-0.121	濕地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
WC18	309992.604	2787728.999	246.864	246.992	0.128	濕地	陡峻山地	0.3	1	0	0	1.3	-1.3
WH19	309325.044	2786889.715	327.109	327.103	-0.006	濕地	丘陵	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
WM20	309698.452	2786952.269	316.346	316.305	-0.041	濕地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8

植生地

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 α n	精度規範 σ n
VP01	311912.363	2790088.796	47.112	46.912	-0.2	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.3	0.36	-0.36
VP02	311157.739	2789977.13	61.47	61.345	-0.125	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.1	0.32	-0.32
VP03	311681.518	2790028.224	50.018	50.029	0.011	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.1	0.32	-0.32
VP04	312171.629	2790291.32	40.99	41.005	0.015	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.1	0.32	-0.32
VP05	312591.294	2790225.096	37.513	37.44	-0.073	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.2	0.34	-0.34
VP06	312275.079	2790486.023	39.596	39.547	-0.049	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.4	0.38	-0.38
VP07	312874.817	2791750.509	27.951	27.956	0.005	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.2	0.34	-0.34
VP08	313680.542	2791505.997	22.49	22.766	0.276	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.5	0.4	-0.4
VP09	313502.074	2792285.967	27.093	27.376	0.283	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.5	0.4	-0.4
VP10	313160.49	2791999.352	25.328	25.239	-0.089	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.1	0.32	-0.32
VP11	313308.543	2792035.286	23.821	23.863	0.042	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.3	0.36	-0.36
VP13	313311.626	2791558.077	24.569	24.475	-0.094	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.2	0.34	-0.34
VP14	313594.01	2792248.074	23.287	23.248	-0.039	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.1	0.32	-0.32
VH15	309776.868	2787342.022	286.75	286.741	-0.009	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2	0.2	0.54	-0.54
VH16	309409.146	2786722.47	343.861	344.098	0.237	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2	0.3	0.56	-0.56
VH17	309347.298	2786948.934	323.836	323.861	0.025	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2	0.2	0.54	-0.54
VH18	309669.604	2787067.227	310.637	310.73	0.093	植生地	丘陵	0.3	0.2	0.2	0.2	0.54	-0.54
VM19	309791.722	2787384.105	285.525	285.593	0.068	植生地	山地	0.3	0.5	0.2	0.3	0.86	-0.86
VM20	309703.477	2787487.024	269.856	269.849	-0.007	植生地	山地	0.3	0.5	0.2	0.1	0.82	-0.82

密林

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範 α n	精度規範 σ n
DC01	311847.885	2789629.54	91.957	91.783	-0.174	密林地	陡峻山地	0.3	1	0.5	6	4.3	-4.3
DH02	312184.323	2790185.5	42.814	42.574	-0.24	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	7	4	-4
DH03	312264.04	2790318.726	40.211	40.068	-0.143	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	7	4	-4
DH04	312215.66	2790269.233	41.909	41.806	-0.103	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	8	4.5	-4.5
DH06	312357.719	2790459.797	39.299	39.248	-0.051	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	5	3	-3
DH07	313448.171	2791971.289	25.179	25.082	-0.097	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	5	3	-3
DM08	313777.772	2792004.889	25.916	25.817	-0.099	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	8	4.8	-4.8
DH10	313399.468	2791979.798	25.038	25.269	0.231	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	6	3.5	-3.5
DH11	312826.175	2791519.573	28.057	28.123	0.066	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	7	4	-4
DC12	312928.158	2791897.42	33.724	34.159	0.435	密林地	陡峻山地	0.3	1	0.5	7	4.8	-4.8
DH13	311815.148	2790036.324	48.38	48.415	0.035	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	5	3	-3
DC14	309755.646	2787628.302	269.375	269.389	0.014	密林地	陡峻山地	0.3	1	0.5	7	4.8	-4.8
DC15	309792.304	2787538.915	274.383	274.385	0.002	密林地	陡峻山地	0.3	1	0.5	7	4.8	-4.8
DH16	309338.003	2786835.23	336.906	336.838	-0.068	密林地	丘陵	0.3	0.2	0.5	6	3.5	-3.5
DM17	309740.758	2787318.74	289.546	289.497	-0.049	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	6	3.8	-3.8
DC18	309829.157	2787471.916	281.549	281.741	0.192	密林地	陡峻山地	0.3	1	0.5	6	4.3	-4.3
DC19	309706.767	2787561.634	265.673	265.635	-0.038	密林地	陡峻山地	0.3	1	0.5	6	4.3	-4.3
DC20	309842.852	2787650.691	257.444	257.383	-0.061	密林地	陡峻山地	0.3	1	0.5	5	3.8	-3.8

S12	311904.368	2790675.89	44.487	44.421	-0.066	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S13	312310.374	2790860.037	36.767	36.649	-0.118	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S15	312976.479	2791158.975	28.086	28.06	-0.026	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S16	312351.234	2791723.726	56.262	56.121	-0.141	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S17	312117.619	2791935.876	108.713	108.622	-0.091	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S18	311814.442	2792189.885	149.253	149.255	0.002	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S19	311585.244	2792171.753	197.528	197.482	-0.046	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S20	311297.714	2792222.476	232.112	232.084	-0.028	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S21	310884.613	2792311.278	284.862	284.799	-0.063	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S22	310754.518	2792387.241	290.418	290.41	-0.008	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3

集水區
裸露地

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範σ _n	精度規範σ _n
BM10	216956.29	2579514.508	516.982	517.106	0.124	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8
BM17	216212.316	2577019.527	480.482	480.602	0.12	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8
BM08	216637.247	2579676.005	424.075	424.191	0.116	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8
BH07	216711.904	2579895.106	471.025	471.137	0.112	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BH05	217206.075	2581281.351	545.49	545.601	0.111	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BP09	216455.832	2579834.38	352.691	352.797	0.106	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BC12	216366.624	2578751.281	370.347	370.432	0.085	裸露地	陡峭山地	0.3	1	0	0	1.3	-1.3
BP04	217596.563	2581153.631	580.402	580.484	0.082	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BH06	217222.431	2581672.962	588.744	588.819	0.075	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BH20	216224.221	2577655.221	439.712	439.782	0.07	裸露地	丘陵地	0.3	0.2	0	0	0.5	-0.5
BP14	215679.17	2577427.771	444.314	444.369	0.055	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BM19	216049.389	2577423.191	451.716	451.769	0.053	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8
BM15	216839.319	2576760.382	569.598	569.648	0.05	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8
BP01	217697.989	2581697.73	602.128	602.169	0.041	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BP18	215854.492	2577314.71	453.977	454.008	0.031	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BM16	215967.088	2577380.945	448.378	448.388	-0.011	裸露地	山地	0.3	0.5	0	0	0.8	-0.8
BP02	217810.63	2581756.044	605.583	605.506	-0.077	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BP11	216374.426	2579053.98	329.201	329.089	-0.112	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
BP03	217581.89	2581627.704	603.339	603.182	-0.157	裸露地	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3

林地

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範σ _n	精度規範σ _n
FM02	217723.824	2581291.578	617.74	617.79	0.05	林地	山地	0.3	0.5	0.3	9	3.5	-3.5
FM03	217879.191	2581493.483	695.772	695.834	0.062	林地	山地	0.3	0.5	0.3	3	1.7	-1.7
FH04	217988.611	2581535.657	707.882	707.644	-0.038	林地	丘陵地	0.3	0.2	0.3	5	2	-2
FM05	217338.883	2581605.569	596.091	596.172	0.081	林地	山地	0.3	0.5	0.3	9	3.5	-3.5
FH06	217466.593	2581814.875	558.969	559.241	0.272	林地	丘陵地	0.3	0.2	0.3	7	2.6	-2.6
FP08	216499.166	2579350.843	347.646	347.693	0.047	林地	平地	0.3	0	0.3	9	3	-3
FH09	216359.203	2579355.064	328.999	329.016	0.019	林地	丘陵地	0.3	0.2	0.3	8	2.9	-2.9
FM10	216659.112	2579397.603	387.661	387.71	0.049	林地	山地	0.3	0.5	0.3	8	3.2	-3.2
FM11	216936.414	2579716.939	535.699	535.835	0.136	林地	山地	0.3	0.5	0.3	6	2.6	-2.6
FM12	216573.009	2579951.413	474.904	474.887	-0.017	林地	山地	0.3	0.5	0.3	9	3.5	-3.5
FC13	216483.887	2579158.577	359.152	359.187	0.035	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	9	4	-4
FH14	215580.17	2577373.101	442.818	442.881	0.063	林地	丘陵地	0.3	0.2	0.3	4	1.7	-1.7
FM15	216625.768	2577251.148	566.321	566.526	0.205	林地	山地	0.3	0.5	0.3	6	2.6	-2.6
FC16	216468.88	2577096.006	562.236	562.317	0.081	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	7	3.4	-3.4
FC17	216480.083	2577221.98	536.119	536.229	0.11	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	7	3.4	-3.4
FH18	216115.37	2577901.878	442.798	442.914	0.116	林地	丘陵地	0.3	0.2	0.3	3	1.4	-1.4
FM19	216553.705	2577751.027	521.577	521.477	-0.1	林地	山地	0.3	0.5	0.3	5	2.3	-2.3
FC20	215877.911	2577749.071	464.116	464.3	0.184	林地	陡峭山地	0.3	1	0.3	4	2.5	-2.5

矮植被

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範σ _n	精度規範σ _n
LP01	217957.155	2581837.044	614.564	614.607	0.043	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35
LP02	217407.895	2581268.916	585.854	586.116	0.262	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.3	0.45	-0.45
LM03	217542.375	2581287.626	595.156	595.495	0.339	矮植被	山地	0.3	0.5	0.5	0.3	0.95	-0.95
LP04	217473.828	2581165.019	573.055	573.125	0.07	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35
LP05	217290.793	2581189.766	560.724	560.798	0.074	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35
LP06	217544.163	2581667.813	588.78	588.891	0.111	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35
LP07	216522.646	2579273.979	353.891	353.96	0.069	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.4	0.5	-0.5
LM08	216954.057	2579607.232	550.526	550.665	0.139	矮植被	山地	0.3	0.5	0.5	0.1	0.85	-0.85
LC09	217023.98	2579696.797	570.498	570.867	0.369	矮植被	陡峭山地	0.3	1	0.5	0.1	1.35	-1.35
LP10	216358.33	2579004.132	328.259	328.314	0.055	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.3	0.45	-0.45
LH11	216273.911	2578895.846	329.011	329.108	0.097	矮植被	丘陵地	0.3	0.2	0.5	0.1	0.55	-0.55

LP12	215924.622	2578677.51	318.6	318.738	0.138	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35
LP13	215706.546	2577398.76	445.964	446.045	0.081	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35
LM14	216674.84	2577149.294	578.613	578.734	0.121	矮植被	山地	0.3	0.5	0.5	0.1	0.85	-0.85
LP15	215939.415	2577097.436	467.129	467.214	0.085	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35
LP16	215808.687	2577474.834	444.244	444.327	0.083	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35
LP17	215821.985	2577337.136	450.86	450.954	0.094	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35
LM18	216554.07	2577480.509	477.29	477.405	0.115	矮植被	山地	0.3	0.5	0.5	0.1	0.85	-0.85
LP19	215834.605	2577541.061	442.345	442.396	0.051	矮植被	平地	0.3	0	0.5	0.1	0.35	-0.35

植生地

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範σ _n	精度規範σ _n
VH03	217541.418	2581488.502	653.243	653.612	0.369	植生地	丘陵地	0.3	0.2	0.2	0.1	0.52	-0.52
VP09	216319.327	2579083.7	325.306	325.645	0.339	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.7	0.44	-0.44
VC14	216511.144	2577069.865	562.845	563.162	0.317	植生地	陡峭山地	0.3	1	0.2	0.1	1.32	-1.32
VM02	217364.069	2581572.845	607.15	607.418	0.268	植生地	山地	0.3	0.5	0.2	0.8	0.96	-0.96
VP05	217576.946	2581512.142	657.89	658.107	0.217	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.7	0.44	-0.44
VP07	216367.832	2579432.708	331.54	331.75	0.21	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.4	0.38	-0.38
VP20	215793.343	2577753.543	430.554	430.734	0.18	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.3	0.36	-0.36
VP18	215867.474	2577408.847	448.347	448.514	0.167	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.3	0.36	-0.36
VM12	215998.332	2578659.864	325.802	325.966	0.164	植生地	山地	0.3	0.5	0.2	0.1	0.82	-0.82
VM06	217315.888	2581779.231	553.142	553.292	0.15	植生地	山地	0.3	0.5	0.2	0.3	0.86	-0.86
VP16	215728.951	2577687.732	432.526	432.644	0.118	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.3	0.36	-0.36
VM13	215720.794	2577271.295	451.532	451.636	0.104	植生地	山地	0.3	0.5	0.2	0.3	0.86	-0.86
VH17	216020.451	2577126.406	468.256	468.329	0.073	植生地	丘陵地	0.3	0.2	0.2	0.6	0.62	-0.62
VP19	216001.579	2577340.742	465.161	465.191	0.03	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.3	0.36	-0.36
VP11	216280.054	2579007.719	324.532	324.545	0.013	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.6	0.42	-0.42
VP08	216381.829	2579127.675	328.411	328.42	-0.009	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.1	0.32	-0.32
VP10	216233.355	2578957.562	323.38	323.33	-0.05	植生地	平地	0.3	0	0.2	0.6	0.42	-0.42
VM01	217864.328	25818											

DC12	216082.788	2578774.852	338.566	338.539	-0.027	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	8	5.3	-5.3
DC13	216604.101	2577042.303	567.282	567.438	0.156	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	8	5.3	-5.3
DC14	216386.757	2576911.054	505.813	505.654	-0.159	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	8	5.3	-5.3
DM15	216386.057	2577419.015	469.639	469.571	-0.068	密林地	山地	0.3	0.5	0.5	8	4.8	-4.8
DC16	216606.053	2577348.228	516.136	516.367	0.231	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	8	5.3	-5.3
DC17	216358.494	2577339.427	480.902	480.921	0.019	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	6	4.3	-4.3
DC18	216219.294	2577266.94	467.146	467.053	-0.093	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	8	5.3	-5.3
DC19	216297.36	2577534.833	497.59	497.692	0.102	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	6	4.3	-4.3
DC20	215631.69	2577802.482	407.135	407.18	0.045	密林地	陡峭山地	0.3	1	0.5	8	5.3	-5.3

S11	215806.637	2578935.71	349.581	349.579	-0.002	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S09	217388.488	2582254.354	521.343	521.305	-0.038	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S06	217548.936	2582454.132	587.782	587.68	-0.102	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S05	217612.302	2582580.405	600.61	600.433	-0.177	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3

断面

點位	檢核 E 坐標 (m)	檢核 N 坐標(m)	檢核高程 Z1(m)	成果高程 Z2(m)	高程較差 Dz=Z2-Z1(m)	植被覆蓋	地形類別	a	b	c	t	精度規範σ _n	精度規範σ _n
S21	217129.416	2576631.657	548.061	548.237	0.176	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S17	216994.453	2576969.993	642.157	642.317	0.16	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S29	214941.149	2576781.215	292.497	292.655	0.158	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S22	216847.376	2576701.98	531.998	532.121	0.123	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S18	216949.805	2576953.304	618.641	618.76	0.119	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S16	217075.403	2576991.369	668.54	668.643	0.103	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S01	218026.252	2582797.029	673.438	673.54	0.102	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S24	216078.142	2577090.863	470.196	470.29	0.094	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S02	217927.026	2582886.133	660.171	660.265	0.094	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S07	217498.078	2582319.357	568.07	568.157	0.087	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S27	215449.912	2577322.744	384.551	384.635	0.084	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S15	216290.115	2578879.941	329.424	329.503	0.079	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S19	216727.969	2577132.664	594.741	594.814	0.073	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S23	216402.679	2576903.356	499.163	499.235	0.072	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S08	217445.994	2582408.109	555.87	555.937	0.067	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S26	215451.99	2577159.392	411.68	411.744	0.064	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S04	217715.424	2582672.325	613.085	613.149	0.064	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S20	216764.897	2576781.509	576.096	576.158	0.062	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S25	215673.283	2577416.219	444.328	444.383	0.055	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S30	214538.377	2576636.551	287.727	287.772	0.045	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S28	215356.227	2577023.287	310.813	310.855	0.042	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S10	217249.4	2582459.692	495.282	495.309	0.027	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S14	216087.79	2578775.879	338.731	338.758	0.027	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3
S13	215906.227	2578645.56	319.782	319.808	0.026	橫斷面	平地	0.3	0	0	0	0.3	-0.3