基本地形圖更新維護技術革新之研究

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 103 年 12 月

１０３－３０１０００１００Ｇ０００２

基本地形圖更新維護技術革新之研究

研究人員：

技士 許展祥

技士 林偉祥

技正 黃英婷

技正 林世賢

課長 林昌鑑

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 103 年 12 月

１０３－３０１０００１００Ｇ０００２

MINISTRY OF THE INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

Research on Technological Innovation of Topographic Maps Update Maintenance

By

Hsu, Chan-Hsiang

Lin, Wei-Hsiang

Huang, Ying-Ting

Lin, Shih-Hsien

Lin, Cheng-Jiann

December 31, 2014

目次

目次 I

表次 III

圖次 V

摘　要 1

第一章　緒論 6

第一節 研究緣起與背景 6

第二節 研究動機及目的 10

第二章　研究方法與流程 12

第一節 研究方法 12

第二節 研究流程 14

第三節 預期成果 15

第三章　文獻回顧 16

第一節 基本圖測製發展 16

第二節 控制測量技術發展 20

第三節 空載光達(LiDAR)地形測製技術發展 22

第四節 國土利用調查成果建置 24

第五節 通用版電子地圖測製 27

第四章　理論基礎 30

第一節 VBS-RTK 定位原理 30

第二節 空載光達(LiDAR)測量技術.....36

第三節 多元圖資整合.....39

第五章 流程方法與研究內容.....41

第一節 利用 VBS-RTK 辦理基本圖控制測量.....41

第二節 利用空載光達 DTM 成果轉製基本圖高程資料.....45

第三節 以多元圖資整合方式辦理基本圖地物地類更新.....50

第六章 成果分析.....57

第一節 利用 VBS-RTK 辦理基本圖控制測量.....57

第二節 利用空載光達 DTM 成果轉製基本圖高程資料.....61

第三節 以多元圖資整合方式辦理基本圖地物及地類更新.....68

第四節 精進基本圖更新維護作業流程.....73

第七章 結論與建議.....76

第一節 結論.....76

第二節 建議.....78

參考書目.....79

表次

表 3-1 基本圖最新修測年度統計表 18

表 3-2 通用版電子地圖圖層架構表 27

表 3-3 通用版電子地圖最新測製情形表 29

表 4-1 通用版電子地圖與基本圖圖層比較表 40

表 4-2 基本圖與國土利用調查分類比較表 40

表 5-1 衛星定位靜態測量作業規範 41

表 5-2 高程控制測量作業規範 42

表 5-3 VBS-RTK 作業規範 44

表 5-4 基本圖地類與土地利用分類對照表 53

表 6-1 VBS-RTK 與靜態測量水平分量與垂直分量較差比較表 58

表 6-2 VBS-RTK 正高差與直接水準測量高程差比較 58

表 6-3 平面及高程控制測量經費分析表（單位：元） 59

表 6-4 DEM 精度分析比較表(城區).....63

表 6-5 DEM 精度分析比較表(山區).....64

表 6-6 基本圖等高線及 DTM 產製方式比較表 65

表 6-7 等高線及 DTM 測製時間及成本分析比較表 66

表 6-8 圖資整合特性比較表 68

表 6-9 工時比較表 70

表 6-10 地物及地類更新方法成本比較 71

表 6-11 本研究精進作業流程之經費估算表 74

表 6-12 歷年基本圖更新單價 75

圖次

圖 2-1 研究流程圖 14

圖 3-1 基本圖測製（修測）作業流程圖 17

圖 3-2 基本圖最新修測年及範圍圖(103 年止) 19

圖 3-3 國土保育之地質敏感區調查分析計畫作業範圍 (摘自中央地質調查所)..23

圖 3-4 國土利用調查成果示意圖 24

圖 3-5 國土利用調查成果更新維護作業流程圖 25

圖 3-6 國土利用調查 98 至 103 年各年度辦理範圍圖 25

圖 3-7 通用版電子地圖作業流程圖 28

圖 3-8 通用版電子地圖最新測製範圍圖 29

圖 4-1 VBS-RTK 即時動態定位系統示意圖 30

圖 4-2 VBS-RTK 作業流程圖 31

圖 4-3 六參數轉換示意圖 32

圖 4-4 正高、橢球高及大地起伏之關係示意圖 35

圖 4-5 GPS 水準測量示意圖 35

圖 4-6 空載光達作業示意圖 36

圖 4-7 直接地理定位示意圖 37

圖 4-8 多重反射示意圖 38

圖 5-1 VBS-RTK 技術辦理基本圖控制測量流程圖 43

圖 5-2 基本圖高程資料測製作業流程 45

圖 5-3 基本圖高程資料測製之步驟及其成果 46

圖 5-4 空載光達 DTM 成果轉製基本圖高程資料流程圖 47

圖 5-5 等高線與建物合理性編修 48

圖 5-6 等高線與水系合理性編修 48

圖 5-7 等高線與道路合理性編修 48

圖 5-8 數值法航測立體製圖流程 51

圖 5-9 多元圖資整合流程圖 52

圖 5-10 圖資整併過程示意圖 53

圖 5-11 國土利用調查成果轉為地類參考不合理之態樣 55

圖 5-12 圖檔整併問題示意圖 55

圖 6-1 基本圖控制測量測試區 57

圖 6-2 空載光達 DEM 成果轉製高程資料測試範圍 61

圖 6-3 光達 DEM 轉製基本圖等高線成果 62

圖 6-4 空載光達 DTM 成果之粗差 67

圖 6-5 多元圖資整合測試範圍 69

圖 6-6 國土利用調查成果轉為地類參考不合理之態樣 72

圖 6-7 本研究提出之精進基本圖更新維護作業流程 73

摘　要

關鍵詞：基本圖、VBS-RTK、空載光達、數值地形模型、多元圖資整合

一、研究緣起

基本地形圖為國土資訊系統高度共用之基本底圖，傳統方式是以航測立體製圖搭配圖資屬性赴實地外業調查方式辦理，涵蓋全臺計五千餘幅，圖資全面更新所需花費之經費與時間較多。近年政府財政愈趨困難，不易編列充足之修測經費，進而影響圖資正確之時效性及可用性。為在有限的作業時間與經費之下，提升基本圖更新效率，本研究嘗試結合VBS-RTK、LiDAR 新科技與多元圖資整合概念，針對製圖重點流程發展革新技術，以達到降低測製成本，並提供民眾符合時效性之高精度圖資。

二、研究方法及過程

本研究先蒐集先進航空測量製圖相關技術，並初步探討先進測製技術的發展及多元圖資資源整合運用於基本圖更新的可行性，作為本研究的理論基礎。

續由基本圖測製作業程序分析探討花費時間及成本較多的步驟，再研究引進先進測製技術來解決作業時間及成本的問題。本研究選擇以控制測量、高程資料測製、地物及地類測製等項目辦理測試，進行以VBS-RTK 技術辦理基本圖控制測量、採用空載光達 DTM 成果轉至基本圖高程資料及多元圖資整合運用於基本圖地物及地類更新之實際試作，

最後彙整分析測試成果及實際作業過程發生之問題。針對作業問題研提解決方案，分析效益及可行性。最後，歸納提出最佳的作業方案。

三、重要發現

經過本研究分析檢討後，對於基本地形圖更新維護技術革新有以下幾點重要發現：

(一)利用 VBS-RTK 辦理基本圖控制測量，可改善原本控制測量以衛星靜態定位測量方式，多人多機同步觀測的不便利性，以及平面控制測量及高程控制測量須分開施測的問題。使用 VBS-RTK 方式作業可在兼顧測量精度的條件下，單人單機高機動性的作業模式，可節省外業測量作業時間成本及人力成本。

(二)利用空載光達 DTM 成果轉製基本圖高程資料，因空載光達測製地形高程可獲得高精度成果，用來轉製基本圖作業中僅需粗差修正及人工合理性編修，即可大幅減少傳統作業時程，使產製基本圖之高程資料兼具高精度、美觀性及合理性。

(三)利用多元圖資整合方式辦理基本圖地物及地類更新，研究中發現通用版電子地圖與國土利用調查成果部分圖資內容，用於轉製基本圖地物及地類資料的確可節省作業時間提升作業效率，尤其在城區等發展活躍之處更顯卓著。

四、主要建議事項

根據研究發現，本研究針對基本圖更新維護作業的方法，提出下列

立即可行之具體建議。

□立即可行之建議

使用本研究作業流程辦理基本圖修測工作

主辦機關：內政部

協辦機關：內政部國土測繪中心

本研究結合 VBS-RTK、LiDAR 新科技與多元圖資整合概念，針對製圖重點流程發展革新技術，提出基本圖更新維護精進作業流程，節省基本圖更新成本約達 43%，提升基本圖更新效率，大幅降低更新所需經費。惟臺灣地區目前仍有 3,368 幅基本圖（占臺灣地區總圖幅數 60%）超過 5 年未更新，以目前每年核予框列經費 500 萬元經費，採用本研究精進作業流程僅能更新 160 餘幅，不符合國土測繪法施行細則第九條 5 年應發行新圖之規定，因此，建議後續仍應編列充足之經費，辦理基本圖更新工作，以提供各界符合時效性及可用性之高精度基礎圖資。

建立業務行政流程更新機制

主辦機關：內政部

協辦機關：各級中央與地方政府

中央與地方政府依業務職掌或執行業務（如國土資訊系統）需要產製具有空間特性之最新圖資，這些空間圖資部分具有相關性或同質性，

近年來透過機關間圖資互通共享及整合運用，將基本圖更新機制納入業務行政流程中，以達長期資料動態更新隨時提供最新圖資之目的。本研究利用多元圖資整合方式輔助更新基本圖重要圖層，可降低基本圖更新成本，亦可藉由上開圖資極佳的時效性，提升基本圖之可用性。建議未來基本圖可持續透過建立業務行政流程更新機制，整合各機關單位可用的圖資資源，提供更新使用。

搭配車載移動式測繪系統輔助基本圖外業調繪的工作

主辦機關：內政部國土測繪中心

臺灣地區航空攝影除受地形地勢影響攝影品質外，又受飛行區域與時段管制，不易及時完整獲取；近年來航遙測技術快速精進，結合資訊科技朝向多元感測、自動化蒐集地面資訊作業方法發展，大幅增進圖資測製效能。其中車載移動式測繪系統（測量車）可低成本又可快速重複性地獲取地面空間資料，使得空間資料的蒐集更有效率。基本圖更新作業流程中，除立體測圖、圖檔編修外，外業調繪補測亦是花費大量人力及時間之工作項目，建議未來可研究藉由車載移動式測繪系統技術來加速道路、建物、地標、路名等外業測繪及資料蒐集工作，節省外業調繪所需要的人力及時間。

ABSTRACT

Keywords： Base Map, VBS-RTK, LiDAR, Digital Terrain Model, Data Fusion

Topographic maps are the core map data of National Geographic Information System (NGIS). The base map offers useful information for territorial planning, land conservation, disasters prevention, disasters protection and economic development as well. Topographic map is the most complete fundamental base map, contains major landform, ground features and basic geographic data.

According to the Enforcement Rules of the Surveying and Mapping Act , the topographic maps must be updated every five years. The fact is that but it is difficult to keep maintenance with approved less budget per year. All kinds of governmental decision making need lately updated and correct geographical information as the base. The National Surveying and Mapping Center (NLSC) plays the role to update the map data. Trial of production change with new technology and less cost is necessary to be considered.

Three working processes were added to improve the efficiency of the topographic maps production in this research. Firstly, control points were surveyed with VBS-RTK technology. Secondly, digital terrain model (DTM) and contour product were produced by using LiDAR data. Thirdly, geographical features and attributes were integrated by sharing from other governmental organizations.

This research shows that the improved work procedures used for updating maps is feasible. Each sheet of the resurvey topographic maps saves up to 43% of the price. It really has decreased survey time and personnel expenses as well.

第一章　緒論

第一節　研究緣起與背景

一、緣起

基本地形圖為國土資訊系統高度共用之基本底圖，亦為經濟建設、防救災、國土規劃、國土保育等業務應用與決策所需基礎資料。內容為國土基本狀態之描述包括地貌、地物及基本地理資料。如今測製科技日新月異，如全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System; GNSS)、空載光達(Light Detection and Ranging; LiDAR)、高解析力遙感探測、地理資訊系統(Geographic Information Systems; GIS)等空間測製技術陸續發展成熟。

利用衛星定位測量已是目前成熟且普遍應用的技術，早期利用靜態測量方式需要長時間的觀測以及繁複的後處理，為改善上述缺點發展出不須後處理可即時測得坐標的 RTK(Real-Time Kinematics)測量方式，但是 RTK 方式仍受限於基站的距離限制，為突破此一限制架構於網路傳輸技術上的 VBS-RTK (Virtual Base Station RTK；或稱 Virtual Reference Station RTK, VRS-RTK)技術被提出，改善了傳統 RTK 在中長距離基線觀測的結果，並減少人員與儀器需求之成本(陳坤煜，2010)。

空載光達(LiDAR)技術具有高精度、高解析度、高度自動化且高效率的優勢，為世界各國進行大面積三維地表資料測製的主流與趨勢，目前各機關廣泛應用於國土資源調查、災害調查分析、林業資源調查、高壓電塔與電線維護、水利項目及地質調查等(陳宏仁、謝有忠，2012)。

本中心自 95 年起為提供各項社經建設、國土規劃重要基礎資料，以航遙測影像結合 GIS 技術方式建立全臺完整的土地利用現況調查成果，包含農業、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩、礦鹽及其他等分類；

另自 96 年起為因應臺灣地區各項公共工程、國土規劃、防救災及民生用途等應用對基礎圖資之急迫需求，以航空攝影測量技術建置完整涵蓋全臺灣地區具備全國性、共通性、一致性及定期更新之通用版電子地圖，其內容包含交通、水系、建物、區塊、重要地標、門牌及正射影像等基礎核心圖層。

目前基本圖修測作業係使用行政院農業委員會林務局農林航空測量所（以下簡稱農林航空測量所）最新航拍影像，以航測立體制圖搭配屬性外業調查方式辦理，圖資全面更新須花費龐大經費及較長時間，且近年政府財政愈趨困難，不易編列充足之修測經費，進而影響圖資之時效性及可用性。為在有限的作業時間與經費之下，提升基本圖更新效率，本研究嘗試結合 VBS-RTK、LiDAR 與多元圖資整合技術，針對製圖重點流程發展革新技術，以達到降低測製成本，並提供民眾符合時效性之高精度圖資。

二、背景現況

（一）基本圖未能及時更新無法滿足各界使用需求

我國地形圖比例尺主要分為一千分之一、五千分之一（基本圖）、二萬五千分之一、五萬分之一等，其中一千分之一地形圖因建置成本甚高，目前僅於都會區測製，而基本圖測製範圍涵蓋全國，內容包括地形（高程）、地貌、地物、植被覆蓋等，詳實且完整地描述國土基本狀態，為國家經建發展、國土規劃、防災業務之重要基礎資料。因近年修測經費嚴重不足，未修測圖幅逐年增加，最舊圖幅（89 年修測）迄今已逾 12 年，部分地區與現況差異甚大，除造成圖資無法使用外，並加劇各機關重複編列經費測製所需地形圖，浪費公帑。

（二）VBS-RTK 快速定位節省人力及時間成本

VBS-RTK 是利用多參考基站建立區域性即時系統誤差模式，透過內插產生虛擬基準站，移動站即藉由虛擬基準站進行短基線 RTK 定位之技術(蘇文毅，2013)。VBS-RTK 不但改善傳統 RTK 因採用無線電傳輸方式而有作業距離、範圍的限制；相較於傳統航空測量作業所採用的控制測量方式：於平面控制採用傳統靜態 GPS 測量需要多人多機同步觀測，高程控制採用直接水準測量需要大量人力且長距離徒步辦理，而 VBS-RTK 單人單機即可作業，再搭配高精度大地起伏模型，不但可求得平面坐標亦可同時獲得正高成果，對於控制測量作業是節省人力及時間成本的一種選擇。本中心於 97 年建立基於 VBS-RTK 技術之 e-GPS 系統正式上線供各界使用，並於 103 年加入 GLONASS 資料，提供雙星化服務更名為 e-GNSS 系統，廣泛應用於地政、測量、農林、交通、水利、工務、資源調查、防救災、教學研究等各領域。

（三）空載光達提供高精度、大範圍之地形資訊

空載光達是以飛機為載具利用雷射掃描的方式，量測大量的三維坐標點，以快速獲得地形與地表覆蓋之三維空間資訊。空載光達之組成主要分為兩個系統，分別為「雷射掃描儀」及「直接定位系統」。一般而言在航高 1200 米時，平面精度可達 50 厘米，高程精度可達 15 厘米(財團法人中正農業科技社會公益基金會，2009)。經濟部中央地質調查所(以下簡稱中央地質調查所)因莫拉克風災造成台灣重大災害，為分析風災造成之地表地形與環境地質的變化，自 99 年起至 101 年以空載光達技術取得高解析度數值地形，進行綜整性各項地質敏感區分析，以提供相關單位推動國土保育及重建時使用；前項計畫主要針對莫拉克風災受創區域的

臺灣南部、中部及東部地區，為臺灣地區地形資料之完整性，該所於 102 年起賡續完成臺灣北部地區高解析度數值地形建立。由於空載光達可快速且大範圍的直接獲得高精度地形資訊，目前廣泛應用於坡地災害監測、集水區管理、土地利用、工程建設規劃、都市計畫管理等領域，並作為河海地形、潮間帶、防災、礦業、農業、林業、公共管線等應用之基礎(陳宏仁、謝有忠，2012)。

（四）多元圖資整合運用

於 100 年建置完成臺灣地區（含離島）通用版電子地圖，其內容為最基礎且經常使用的地理資訊，包含道路、鐵路、水系、行政界、區塊、建物、重要地標、控制點、門牌及正射影像等，目前更新週期為 2 年；另本中心 98 年完成第 2 次國土利用調查，其分類系統整體為層級式樹狀結構，共分為 3 級 103 類，包含：農業、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩、礦鹽及其他等使用類別，目前更新週期為 5 年，105 年以後，原辦理至 3 級分類改為辦理至 2 級分類，更新週期提升為 2 年。上開圖資係以航空攝影及遙感探測方式測製，部分作業方法及流程與基本圖相同，且部分圖層內容與基本圖高度相關具備共通性，更新頻率亦較基本圖高出許多。如能以整合圖資方式運用於基本圖修測，對於提升基本圖更新效率極具潛力。

第二節　研究動機及目的

一、研究動機

本中心分析現行基本地形圖資更新作業流程中，需耗費大量人力與時間之項目，規劃結合前述先進測製技術及圖資資源整合運用，即利用本中心建構的 e-GNSS 系統、中央地質調查所空載光達產製之數值地形模型、通用版電子地圖及國土利用調查成果，研究如何精進基本地形圖更新維護技術，期望能降低基本圖更新所需人力、時間與經費，加速基本圖修測。

二、研究目的

本研究目的為探討如何應用 VBS-RTK 技術、空載光達產製之數值地形模型(Digital Terrain Model; DTM)成果、通用版電子地圖及國土利用調查成果，針對基本圖測製作業中，控制測量、高程資料測製、地物及地類測製等三項作業流程，研擬、測試及分析其作業流程及成本效益等，藉以精進基本圖修測技術，提升圖資更新效率。主要研究目的如下：

（一）利用 VBS-RTK 技術提升基本圖控制測量效能

為減少基本圖控制測量部分所需的龐大人力與時間需求，使用 VBS-RTK 技術可單人單機的高彈性作業模式，改善傳統使用衛星靜態測量與直接水準測量的人力密集作業模式。

（二）利用空載光達 DTM 成果轉製基本圖高程資料

本研究項目的目的是結合空載光達產製之 DTM 成果轉製為基本圖之獨立標高點、等高線及 DTM 等，研究最佳轉製作業方法，除達到節省基本圖高程測製作業人力、時間之目標，亦期望提高高程測製精度。

（三）利用多元圖資整合方式辦理地物及地類測製

本研究項目的目的是運用現有具高度相關與部分共通性圖層及更新頻率較高的圖資(通用版電子地圖、國土利用調查成果)，輔助更新基本圖重要圖層，除降低基本圖更新成本，亦可藉由上開圖資極佳的時效性，提升基本圖之可用性。

第二章　研究方法與流程

第一節　研究方法

一、資料蒐集

將蒐集先進航空測量製圖相關技術之發展，如：VBS-RTK、空載光達(LiDAR)等發展與應用，並蒐集分析與基本圖高度相關之通用版電子地圖及國土利用調查成果圖資內容及測製規範，先初步探討先進測製技術的發展及多元圖資資源整合運用於基本圖更新的可行性，作為本研究的理論基礎。

二、辦理測試作業

本研究依基本圖製圖作業程序，由控制測量、高程資料測製、地物及地類測製等項目，進行 VBS-RTK 辦理基本圖控制測量、空載光達 DTM 成果轉至基本圖高程資料及多元圖資整合運用於基本圖更新之實際試作，蒐集分析試作成果及實際試作過程發生之問題。並配合基本圖修測計畫作業範圍挑選臺中市、南投縣、高雄市、桃園縣等地區中，具城區、郊區及山區等地形特性之資料進行試辦，以獲得客觀及普遍性的測試結果。

三、成果驗證與分析

綜合彙整測試成果，進行相關探討分析與精度驗證，並針對作業問題研提解決方案，分析效益及可行性。最後，並歸納提出最佳的作業方案。

四、撰寫研究報告

依內政部自行研究案報告書製作標準格式，辦理本研究報告書撰寫製作。

第二節　研究流程

研究流程主要分為資料蒐集、辦理測試作業、成果驗證與分析及撰寫研究報告書等四個部分（如圖 2-1）。

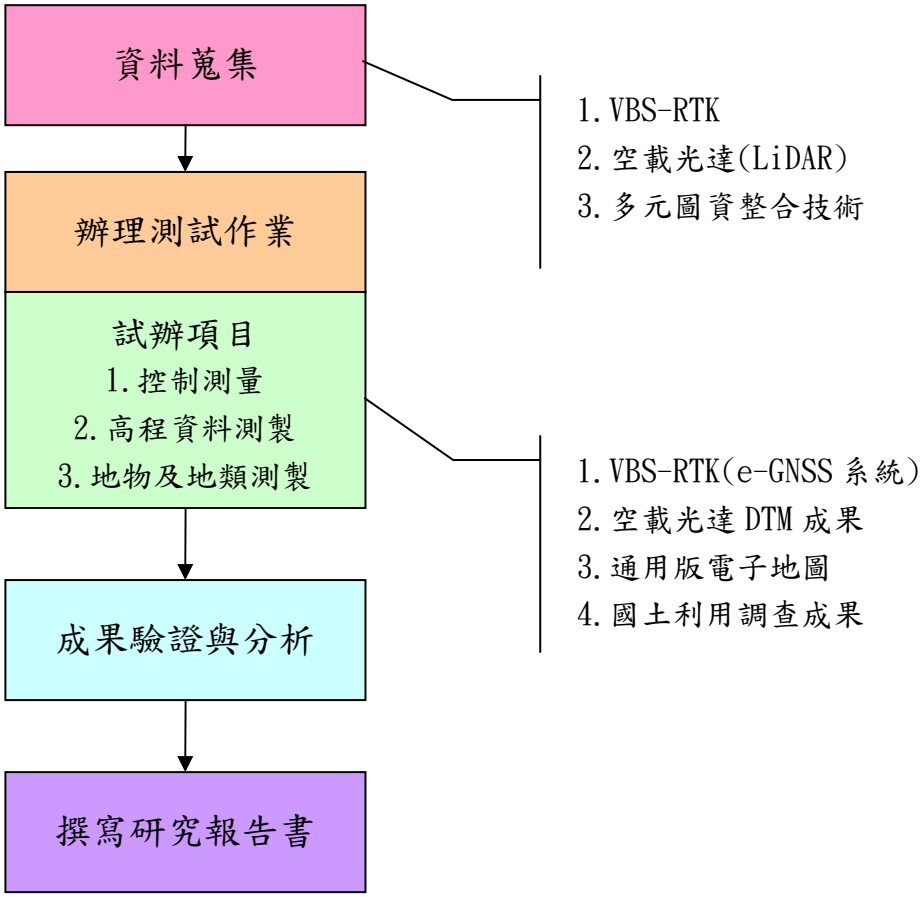


圖 2-1 研究流程圖

第三節　預期成果

本研究預期成果如下：

一、 對於無既有資源可供整合地區，採用傳統航空攝影測量方式時，可利用 VBS-RTK 技術辦理基本圖控制測量，減少所需成本。

二、 針對可取得空載光達技術生產之數值地形模型(DTM)之作業地區，可利用編修方式轉製為基本圖獨立標高點、等高線成果及 DTM，除節省人工測製地形的作業時間，並提升基本圖高程精度。

三、 運用多元圖資整合技術，結合既有之通用版電子地圖及國土利用調查成果，節省地物及地類測製作業時間及成本，除加速基本圖更新作業，並提升基本圖品質。

第三章　文獻回顧

第一節　基本圖測製發展

基本圖係國家之基本地圖，通常以一種比例尺適當描繪有主要地物、地貌及地理資料，能供多目標使用之基本地形圖。世界各先進國家，多有測製其國家之基本圖。各國基本圖之比例尺視其國土面積之大小及經濟發展情形而稍有不同，例如美國疆域廣大，其基本圖之比例尺為二萬四千分之一，其他疆域較小而經濟高度發展之國家，如英、法、德、瑞士、日本等，其基本圖之比例尺為五千分之一至一萬分之一。

我國自 65 年至 71 年辦理「臺灣地區基本圖測製計畫」，由內政部主辦，國防部聯合勤務總司令部測量署製圖廠（現改制為國防部軍備局生產製造中心第 401 廠)及臺灣省政府農林廳林務局農林航空測量所(現改制為行政院農業委員會林務局農林航空測量所）協辦，所測製之臺灣地區基本圖比例尺，於海拔一千米以下之平地及丘陵地區為五千分之一，一千米以上之高山地區則為一萬分之一。

臺灣地區基本圖測製之方式係採用航空攝影測量方式，運用正射投影像片製圖方法，將航攝相機拍攝的中心投影像片糾正為正射投影像片，此一正射投影像片即可作為平面地圖之底圖使用，在像片上加繪等高線及各種註記後即成為像片地形圖。像片圖能顯示地上全部地物，形態逼真，容易閱讀，且較線畫圖測製迅速，人力經費可節省甚多，成圖精度則與線畫圖一致。故各國採用像片圖作為基本圖者日益增多，測圖成果廣受各界用圖人員歡迎。

為確保基本圖圖資與實地現況相符，內政部定期辦理修測，分別於 72 年至 76 年、77 年至 82 年辦理 2 次修測，依序修測高雄、屏東、嘉義、臺南、苗栗、臺中、雲林、桃園、新竹、臺北、宜蘭等地區每年修側約

400 幅。84 年試辦以數值法航空攝影測量方式修測基本圖，經以臺中市地區試驗辦理，確認技術可行，且成圖精度甚佳，自 86 年起全面以數值法航空攝影測量方式辦理，測圖比例尺統一為五千分之一，並於 95 年完成臺灣地區數值基本圖修測，96 年以後仍持續辦理基本圖修測工作，目前基本圖測製(修測)作業流程圖如圖 3-1。

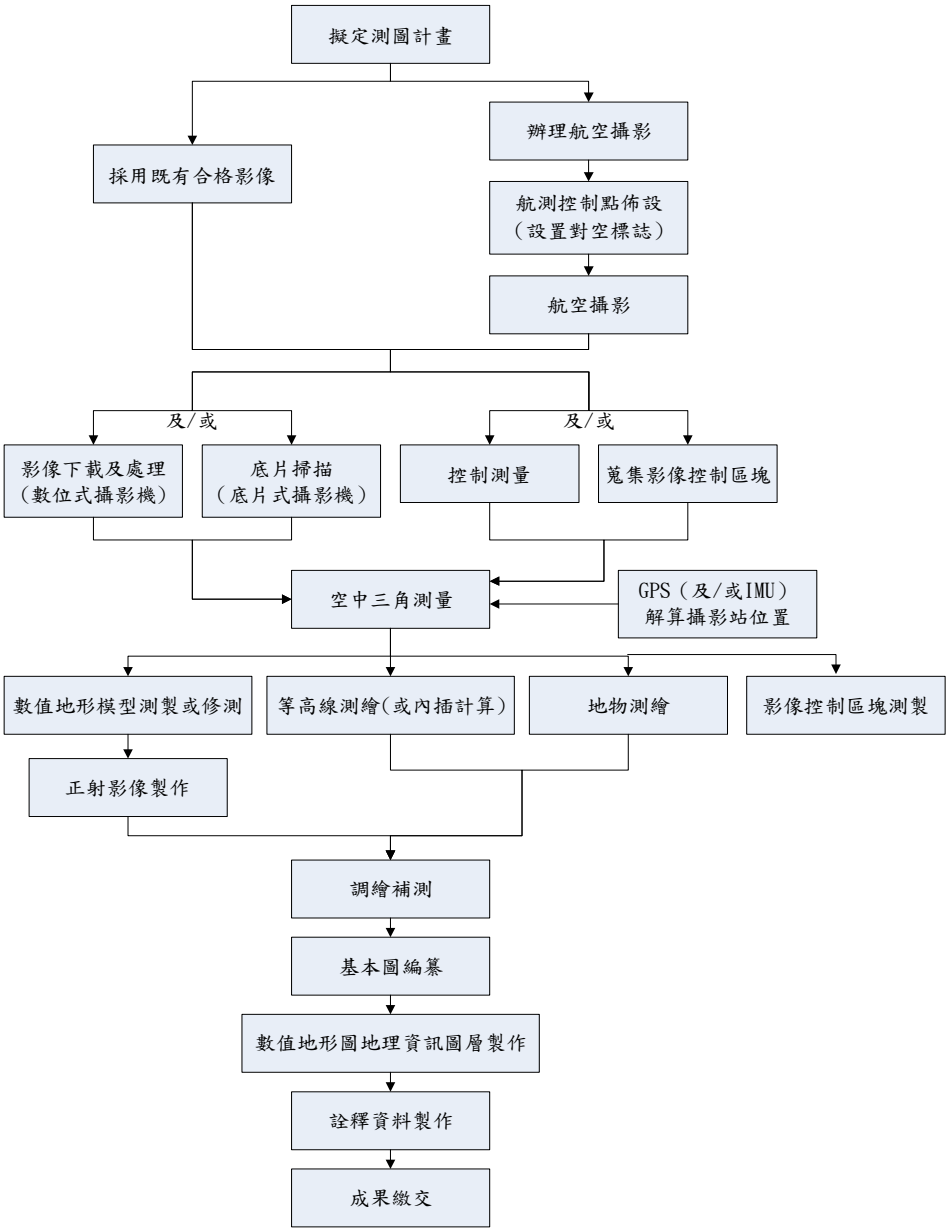


圖 3-1 基本圖測製（修測）作業流程圖

截至 103 年止臺灣地區基本圖最新修測辦理情形如表 3-1，最新修測年度及範圍如圖 3-2。

表 3-1 基本圖最新修測年度統計表

年度	圖幅數	辦理地區	備註
89	**181**	花蓮縣、臺東縣等	
90	**28**	臺東縣（外島）	
92	**446**	新北市、桃園縣、新竹市、新竹縣、苗栗縣、臺中市等	
93	**1,502**	基隆市、臺北市、新北市、桃園縣、新竹縣市、苗栗縣、臺中市、南投縣、宜蘭縣、花蓮縣等	
	89	澎湖縣	
94	**372**	南投縣、花蓮縣等	
95	**209**	高雄市、花蓮縣、臺東縣等	
97	**221**	雲林縣、嘉義縣等	
98	**320**	臺中市、彰化縣、雲林縣、高雄市、高雄市、屏東縣等	
99	**125**	屏東縣、臺東縣、花蓮縣等	
	830	雲林縣、嘉義縣、臺南市、高雄市、屏東縣、臺東縣等	莫拉克風災基本圖修測
100	**726**	南投縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南市、高雄市、屏東縣等	莫拉克風災基本圖修測
101	**131**	花蓮縣	
102	**196**	臺中市	
103	**143**	南投縣、臺中市	
合計	**5,519**		

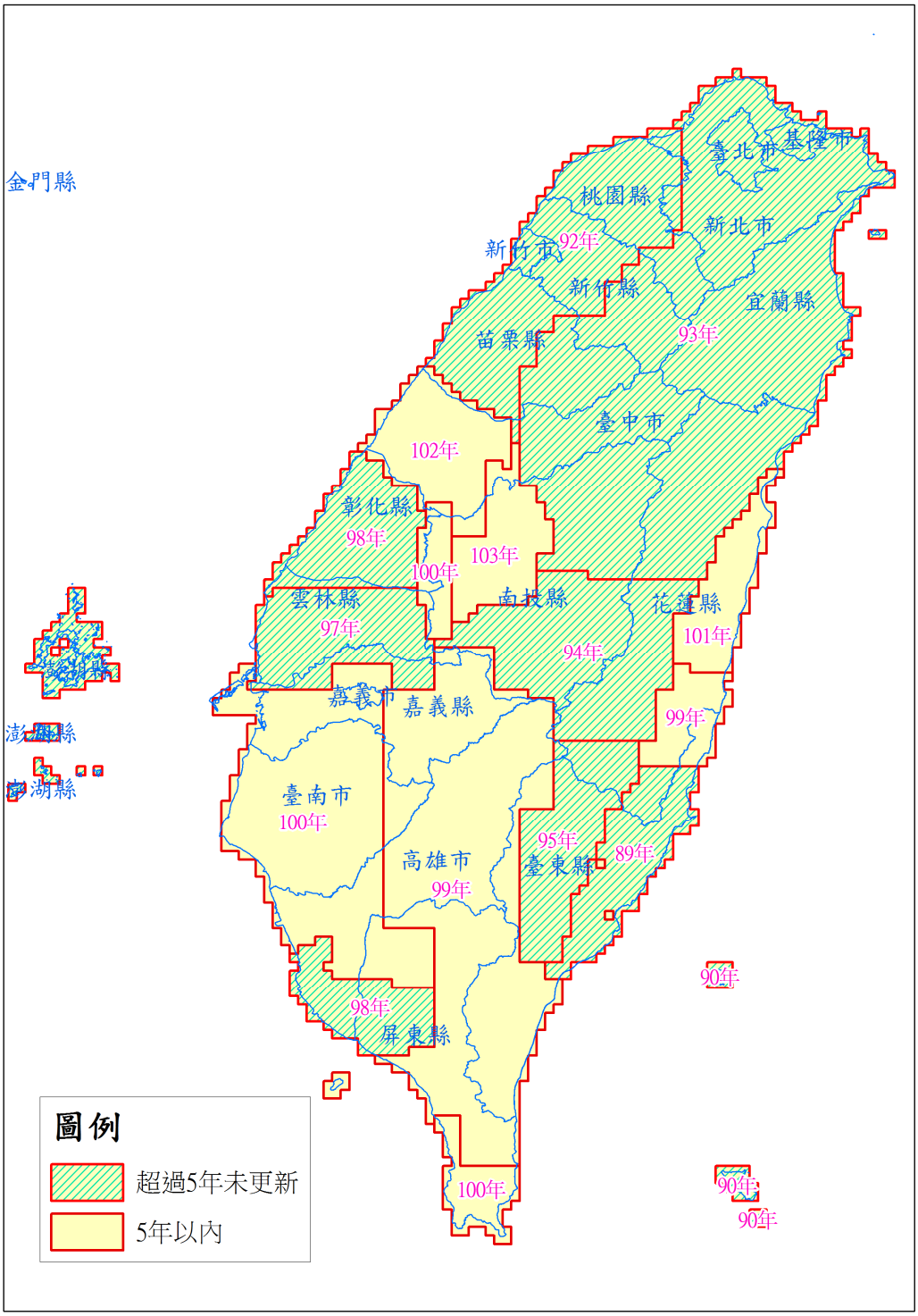


圖 3-2 基本圖最新修測年及範圍圖(103 年止)

第二節　控制測量技術發展

早期控制測量是採用三角三邊測量方式辦理，在 GNSS 技術出現後，其高精度及便利性的優勢已逐漸取代三角三邊測量方式，成為辦理控制測量最常使用之方法。

依據國土測繪法之規定應用測量應依基本控制測量及加密控制測量成果辦理。為符合基本測量實施規則規範的量測精度，通常採用 GNSS 方式辦理一等控制點連續觀測時間最少為 6 小時，二等、三等控制點最少 3 小時；辦理加密控制測量則最少 1 小時。以直接水準測量辦理一等、二等控制點之精度規範分別為 2.5 毫米$\sqrt{F}$及 5 毫米$\sqrt{F}$(F 為水準環線長度之公里數)；加密控制測量之精度規範為 8 毫米$\sqrt{F}$。

另依據內政部「建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊」—「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」的規範說明，航空測量控制點平面控制測量量測方法及成果精度應符合基本測量實施規則的加密控制測量相關規定，高程控制測量於平地則採直接水準為原則，山區得採用間接高程測量或 GNSS 測量。

相較於五千分之一基本圖，一千分之一地形圖的作業範圍較小且測製精度較高(平面精度 30 厘米)，所以採用較高標準的加密控制測量規範尚屬合理。但是，五千分之一比例尺基本圖測製作業，其單一作業區範圍廣大且測製精度較為低(平面精度 1.25 米)，若仍依加密控制測量規範辦理，則徒耗多餘時間及成本。

近年來有諸多研究測試 VBS-RTK 技術辦理控制測量的精度分析，證實，VBS-RTK 可達到厘米級的精度是確定的。可是兩種作業所需求的時間與成本卻是天壤之別，因此越來越多的測量作業在符合測製精度的要求下，會選擇節省時間與成本的 VBS-RTK 定位技術。

VBS-RTK 定位技術的基本觀念是由多個 GNSS 基準站全天候連續

地接收衛星資料，並經由網路或其它通訊設備與控制及計算中心連接，彙整計算產生區域改正參數資料庫，藉以計算出任一移動站附近之虛擬基準站的相關資料(王敏雄等，2006)。本中心自 93 年起以 VBS-RTK 技術規劃建置全國之 e-GNSS 衛星定位基準網，並於 95 年建置完成，98 年正式啟用，其定位精度及效能深獲各界肯定(http://www.egnss.nlsc.gov.tw)。

VBS-RTK 技術應用相關研究顯示，應用於加密控制測量及圖根點測量，均可獲得高效率、高精度、高品質即時又可靠之控制點，距離較差約在 3.5 厘米之內，中誤差為 1.5 厘米，(劉榮增，2011)(陳坤煜，2010)；以網路 RTK 量測地形正高，經研究採用修正面法的精度較高，且沒有精度隨差分距離下降的問題，並足以因應製圖需求(蘇文毅，2013)。

第三節　空載光達(LiDAR)地形測製技術發展

光達是利用光波進行偵測與距離量測之系統，主要目標是用來量測物體三維空間坐標的一種新穎測量工具。光達雷射掃描具有多重反射回波特性，可同時獲取地面及其覆蓋物(建物、植被、電力線等)之精確三維坐標，提供地形精確測製與三維建模使用(陳宏仁、謝有忠，2012)。

空載光達量測系統主要構成有兩個系統，一個是光達掃描系統，另一個是直接地理定位系統，結合兩者才能獲得掃描點為的三維坐標成果。而其主要誤差來源也在這兩項系統設備上，因此空載光達的技術發展主要朝向這兩的方向，第一如何改進掃描設備的掃描頻率極限及資料獲取的穩定度，已取得更精細、更精確的成果；第二是如何改善直接地理定位的準確度，有了精準的相對成果還必須將成果準確的放在絕對坐標系統上，因此發展直接地理定位技術也是未來空載光達技術發展的重點之一。

既然空載光達具有高精度、高解析度、高自動化及高效率的優勢，可直接獲得大範圍三維地表資訊，自然被廣泛應用於國土資源調查、災害調查、林業資源調查、三維城市建模、水利資源分析、水土保持調查等領域。尤其自莫拉克風災重創臺灣之後，對於防救災作業廣泛的應用，如中央地質調查所自 99 年至 101 年執行「國土保育之地質敏感區調查分析計畫」，運用空載光達技術及數位航攝像機取得受災區域高精度的數值地形模型，並規劃自 102 年至 104 年延續上述作業計畫，建立完整臺灣地區空載光達產製之數值地形模型成果。99 年至 101 年及 102 至 104 年工作區域如圖 3-3。

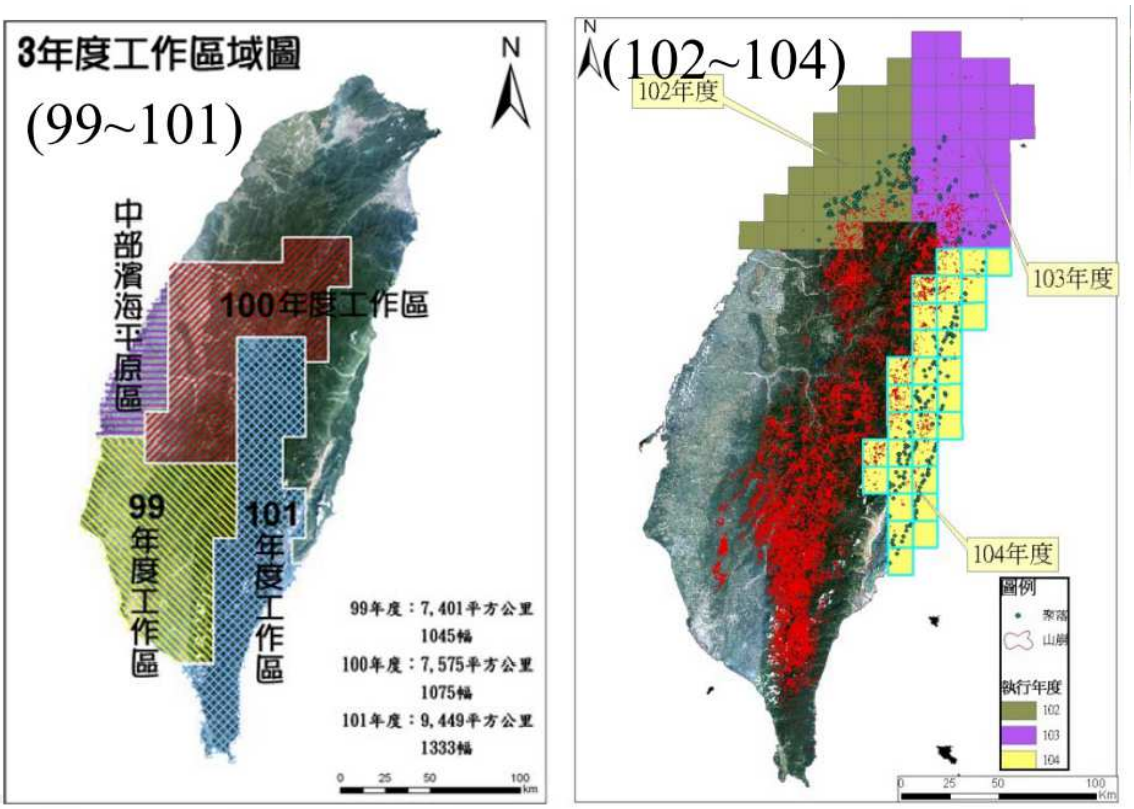
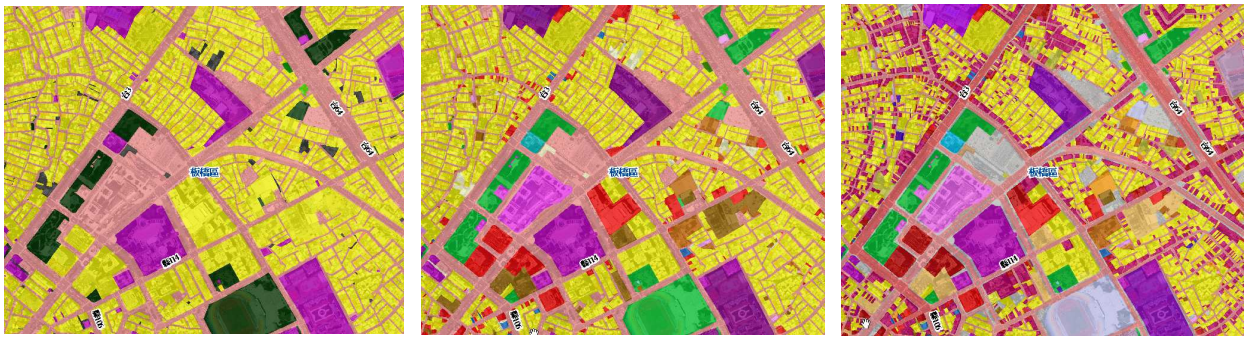


圖 3-3 國土保育之地質敏感區調查分析計畫作業範圍

(摘自中央地質調查所)

第四節　國土利用調查成果建置

為因應各界對於土地現況調查資料殷切需求，內政部 94 年重新研討土地使用分類系統內容，並於行政院經濟建設委員會「國家地理資訊系統建置及推動十年計畫」項下研訂「國土利用調查計畫」，交由本中心自 95 至 97 年，辦理第 2 次全國性土地使用現況調查，藉由航遙測影像技術、搭配 GIS 圖資及外業調查方式，以幾何空間概念詳實記錄土地使用現況，涵蓋農業、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩、礦鹽及其他等 9 大類、41 中類、103 小類分類調查成果，全案於 98 年 8 月全部建置完成，為兼具使用者需求及更新維護成本，由本中心自 98 年起持續辦理至第 3 級成果更新作業，並提供各界相關業務應用。國土利用調查各級成果示意圖如圖 3-4、國土利用調查成果作業流程圖如圖 3-5、各年度辦理範圍圖如圖 3-6。



(a)第 1 級分類成果　(b)第 2 級分類成果　(c)第 3 級分類成果

圖 3-4 國土利用調查成果示意圖

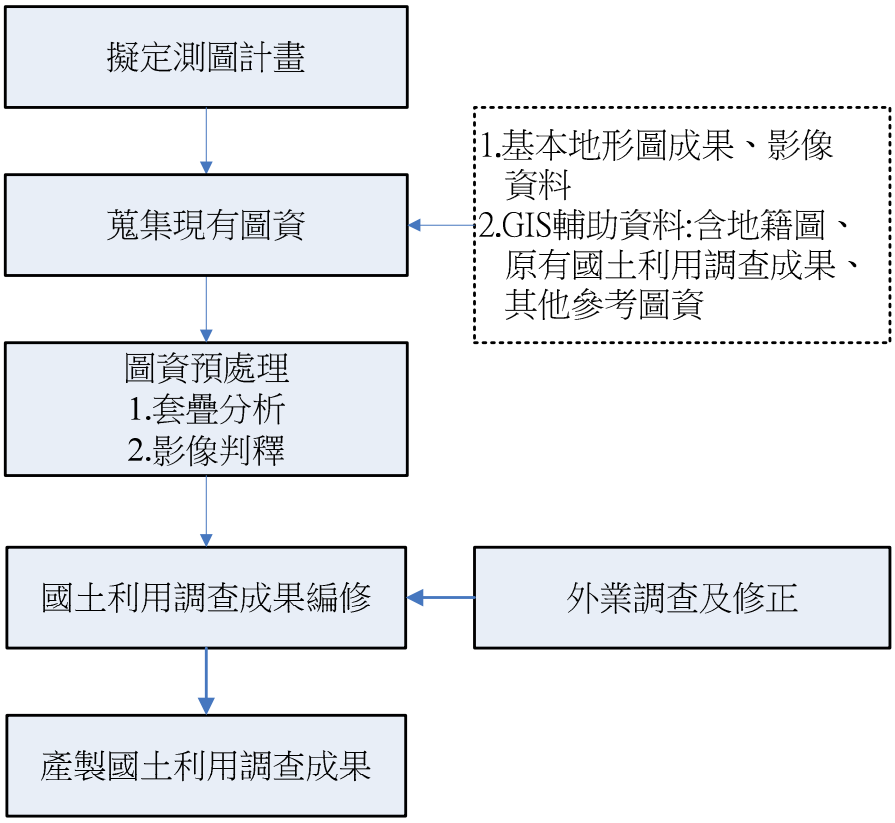


圖 3-5 國土利用調查成果更新維護作業流程圖

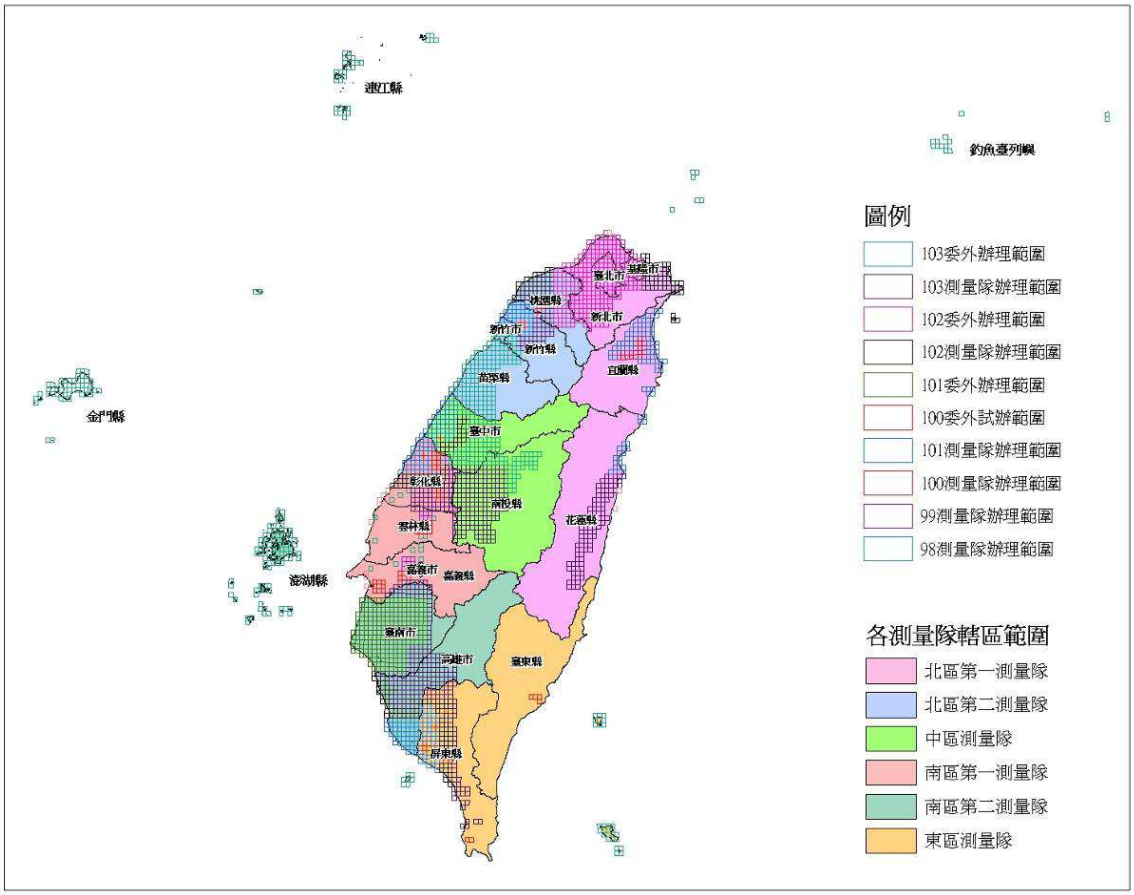


圖 3-6 國土利用調查 98 至 103 年各年度辦理範圍圖

鑑於內政部及國內各目的事業主管機關如行政院農業委員會林務局(以下簡稱林務局)及水土保持局(以下簡稱水保局)等機關多有針對轄管範圍定期進行土地利用調查工作，為有效整合各機關國土利用調查資源，本中心經與林務局及水保局協調後，提出由內政部與林務局及水保局以資源整合方式區分 3 個權責區域共同維護國土利用調查成果，並研提「國土利用調查圖資更新納入行政流程推動方式」，作為後續業務分工依據,經陳報內政部於 100 年 12 月 21 日邀請相關單位研商討論通過,復經內政部陳報行政院經濟建設委員會(現已改制為行政院國家發展委員會，以下簡稱國發會)101 年 2 月 16 日審議同意，由本中心據以辦理內政部負責 3,027 幅之國土利用調查更新維護工作。

同時為擴大國土利用調查成果更新作業成本效益並符合多數使用者需求,本中心業依據國發會 102 年 6 月 25 日國土資訊系統推動小組專案會議結論事項,邀集內政部與專家學者及相關目的事業主管機關,於 103 年 7 月 4 日召開會議檢討土地使用分類系統表內容，將容易混淆、不易判釋的第 2 級或第 3 級分類項目予以整併；另小幅度納入林務局及水保局分類，俾利成果分類相互對應銜接；另在不顯著增加作業成本及時程前提下，適當調整提升部分常用 3 級分類項目至第 2 級分類；並配合通用版電子地圖更新頻率，自 105 年度起提升更新頻率以 2 年為周期，以本中心測量隊人力及委外方式共同辦理國土利用調查成果更新維護作業至第 2 級分類，以符合多數使用者需求並提升分類成果應用價值。

第五節　通用版電子地圖測製

通用版電子地圖為政府機關首度產製的電子地圖，內容以最基礎且經常使用的地理資訊為主，包括道路、鐵路、水系、行政界、區塊、建物、重要地標、控制點、門牌位置及彩色正射影像等 10 大類，並依照圖資內容細分為 23 個圖層(如表 3-2)。其測製方式係採航測立體測圖搭配屬性外業調查方式辦理，作業流程圖如圖 3-7，測製精度為 1.25 米，較一般市面上電子地圖測製精度提高甚多、測製內容更完整[一般電子地圖對非都市地區(鄉村及山地)測製精度較不注重]等優點。

表 3-2 通用版電子地圖圖層架構表

類別	圖層名稱	類別	圖層名稱
道路	道路中線	水系	河流
	道路節點		流域中線
	一般道路		水庫湖泊
	立體道路		海岸線
	隧道	區塊	區塊
	道路分隔線	建物	建物
鐵路	臺鐵	地標	地標
	高鐵	控制點	控制點
	捷運	門牌資料	門牌資料
行政界	縣市界	正射影像	彩色正射影像
	鄉鎮市區界		鑲嵌拼接範圍
	村里界		

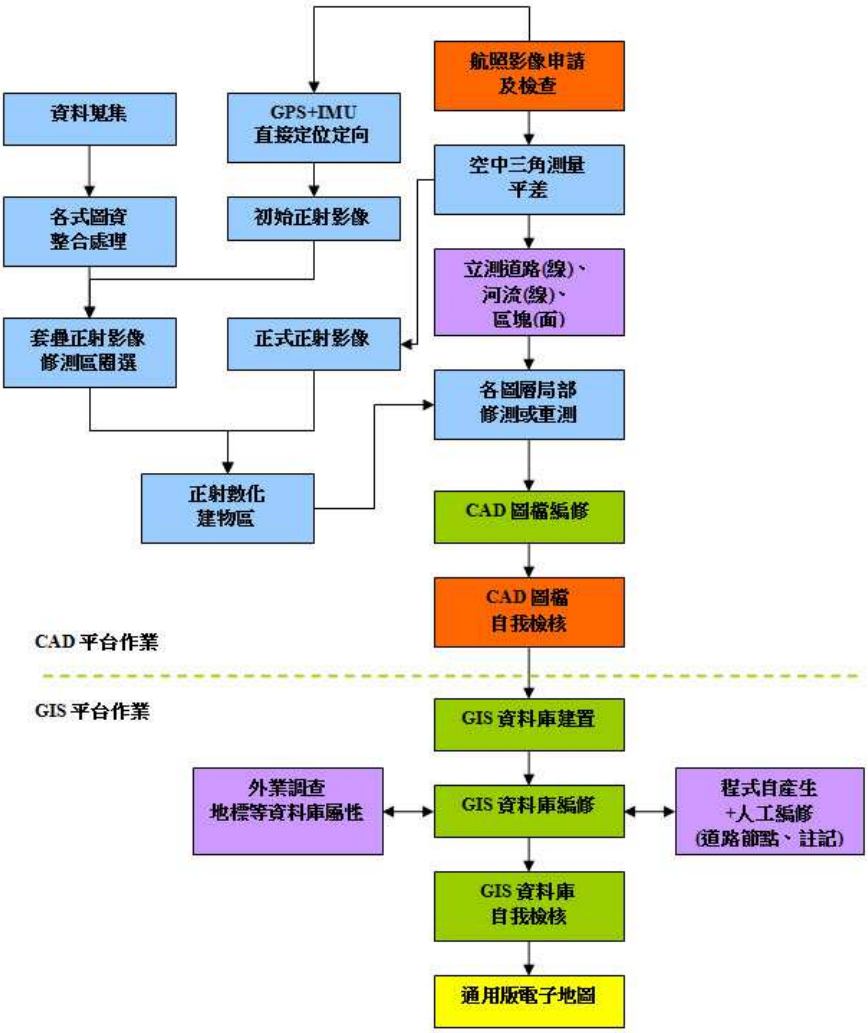


圖 3-7 通用版電子地圖作業流程圖

臺灣地區通用版電子地圖 96 年試辦，自 97 年開始辦理，於 100 年建置完成，並自 101 年起持續更新。另為符合各界對圖資時效性殷切需求，自 103 年起將圖資更新頻率由 5 年提升為 2 年，規劃以 2 年週期定期辦理圖資更新工作，並針對主要道路、重要建物、地標及使用者反應局部區域變動部分辦理更新。截至 103 年止，臺灣地區通用版電子地圖最新測製更新情形如表 3-3，最新測製年度範圍如圖 3-8。

表 3-3 通用版電子地圖最新測製情形表

年度	圖幅數	辦理地區
100	**1,061**	南投縣、嘉義縣、高雄市、屏東縣、花蓮縣、臺東縣、澎湖縣、金門縣、連江縣(馬祖)
101	**253**	嘉義縣、嘉義市、臺南市、高雄市、屏東縣、花蓮縣
102	**742**	基隆市、臺北市、新竹市、新北市城區、桃園縣城區、部分新竹縣城區及部分苗栗縣城區、臺中市城區
103	**3.619**	宜蘭縣(含離島)、北方三島(花瓶嶼、棉花嶼、彭佳嶼)、新北市鄉區、桃園縣鄉區、新竹縣鄉區、苗栗縣、臺中市鄉區、彰化縣、南投縣城區、雲林縣、嘉義市、嘉義縣城區、臺南市城區、部分花蓮縣城區、部分花蓮縣鄉區、高雄市城區、部分高雄市鄉區、屏東縣城區、部分屏東縣鄉區、臺東縣城區、部分臺東縣鄉區、馬祖、澎湖縣、金門縣
合計	**5,675**	

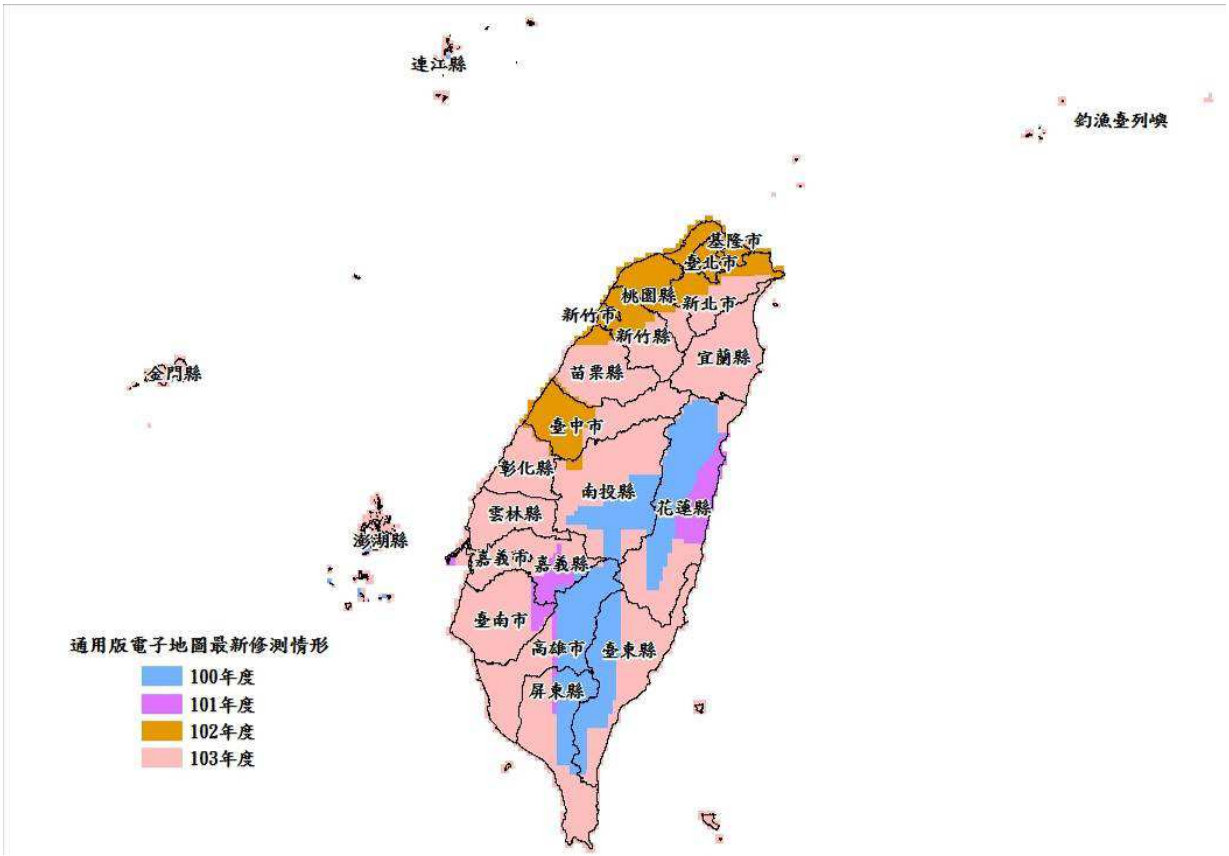


圖 3-8 通用版電子地圖最新測製範圍圖

第四章　理論基礎

第一節　VBS-RTK 定位原理

一、VBS-RTK 定位原理概述

VBS-RTK 的基本概念是結合多個 GNSS 基準站全天候連續接收全球定位衛星資料，將資料經由網際網路或其他通訊設備傳輸至控制中心，經由精密計算產生區域改正參數，並藉由內插方式模擬計算產生基準站網形內任一移動站鄰近位置的虛擬觀測量，再以 RTCM 格式回傳至移動站，進行短基線 RTK 定位解算。

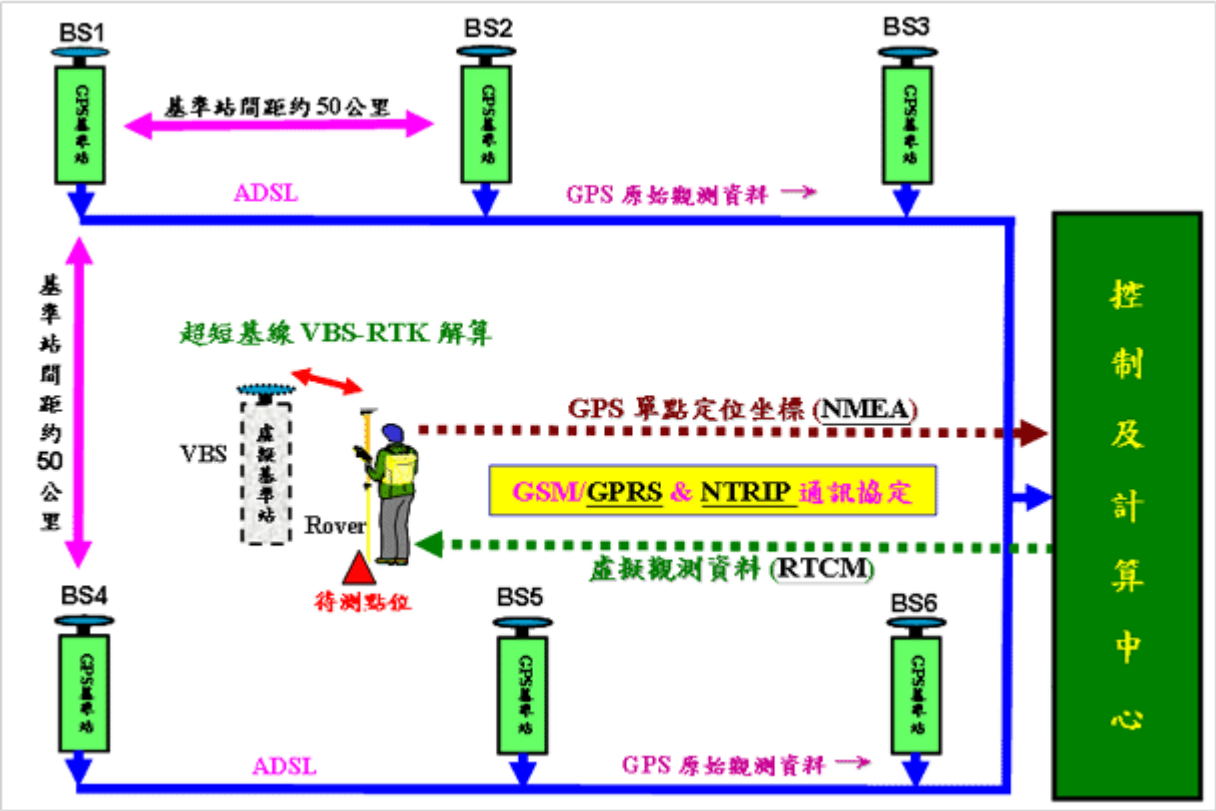


圖 4-1 VBS-RTK 即時動態定位系統示意圖

經由前面的敘述可以得知使用 VBS-RTK 定位解算流程分為下面幾個構成：(一)外業觀測；(二)控制中心及計算中心對虛擬基準站的建立、計算及資料傳輸；(三)將 VBS-RTK 坐標成果轉換為所需的坐標系統。

控制及計算中心對虛擬基準站的建立、計算及資料傳輸需要透過外業移動站回傳現地概略坐標，再根據回傳的概略坐標產生虛擬觀測量供移動站點定位解算使用。

二、e-GNSS 坐標轉換至 TWD97

依照「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量手冊」規定，平面坐標系統需透過最小二乘配置之六參數轉換成 TWD97 系統，而高程部分需要將橢球高轉換為正高，其作業流程如下所示：

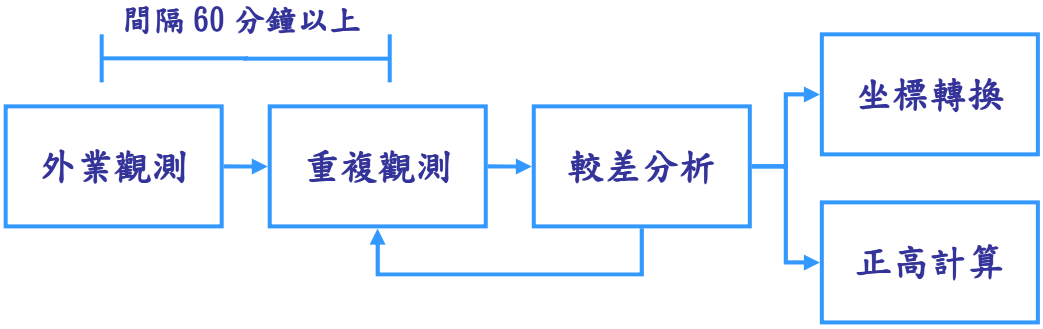


圖 4-2 VBS-RTK 作業流程圖

（一）六參數轉換

本研究平面坐標轉換採用六參數轉換，與四參數轉換有些微差異，在四參數轉換中，調整比例時，是將雙軸方向的比例調整視為相同；若雙軸方向的比例調整不同時，則坐標轉換參數由四個變成六個。若有三個控制點，則可唯一求解六參數；若有三個以上控制點，則有多餘觀測，可利用最小二乘法求解。求解程序與正形坐標轉換相同。

六餐數轉換其亦稱仿射轉換(Affine Transformation)，如圖 4-3，由 O´- X´Y´坐標系統轉換至 O - XY 坐標系統中，含 1 個旋轉角「T」、2 個尺度量「S_x、S_y」、1 個軸系不正交偏角「U」及 2 個平移量「X_0、Y_0」，其數學式如(4.1)：

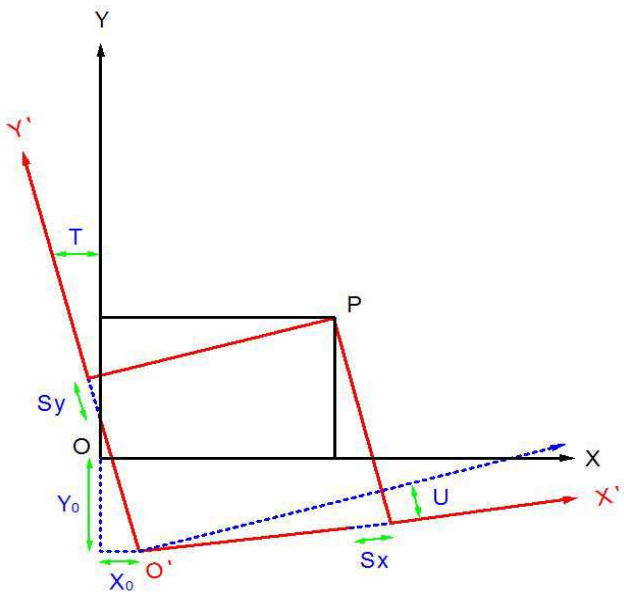


圖 4-3 六參數轉換示意圖

(摘自蘇英茂，2014)

$$\begin{cases} Y_2 = S_y \cos(T+U) Y_1 + S_x \sin TX_1 + Y_0 \\ X_2 = -S_y \sin(T+U) Y_1 + S_x \cos TX_1 + X_0 \end{cases} \quad (4.1)$$

式中；

X_2、Y_2：共同點轉換後坐標，X_1、Y_1：共同點轉換前坐標，T：旋轉角，S_x、S_y：尺度參數，U：軸系不正交之偏角，X_0、Y_0：平移量。

假設 $a = S_y \cos(T+U)$，$b = S_x \sin T$，$c = Y_0$，$e = -S_y \sin(T+U)$，$f = S_x \cos T$，$d = X_0$，則(4.1)式可以下式表示：

$$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = eY_1 + fX_1 + d \end{cases} \quad (4.2)$$

（二）最小二乘配置法

最小二乘配置法是一種結合最小二乘法、內插及濾波平差的方法，其不僅能處理含有訊號(Signal)的觀測值，還能由一些已知的觀測值或平差計算得到的成果去估計另一沒有觀測資料的新點，估計新點的同時亦可將不希望傳播過去的觀測量雜訊(Noise)

過濾掉。

最小二乘配置法是利用隨機的程序(Stochastic Process)所推導出來之方法，可客觀及嚴密處理觀測量與函數模式間含有系統性誤差的問題，希望藉此於坐標轉換過程中達到分配系統性誤差的目的。導入未知參數的最小二乘配置法數學模式為：

$$L = AX + S + n \tag{4.3}$$

式中；

L：觀測量，A：設計矩陣，X：未知參數（即轉換參數），S：各觀測量的訊號（即系統誤差），n：各觀測量純粹由於偶然特性經平差計算後所產生的殘差（即偶然誤差）。

訊號和雜訊都是含有隨機特性的量。若將二者合併在一起估計即成為一個隨機量 V。

$$V = S + n \tag{4.4}$$

則上式變為間接觀測平差的觀測方程式：

$$L - V = AX \tag{4.5}$$

若觀測量沒有訊號存在，則隨機量就等於雜訊。反之若觀測量含有訊號，利用間接觀測平差法所求出之觀測量的改正數會顯現含有某一種系統性的趨勢。最小二乘配置法包括平差（未知參數 X 的估計），預估（計算任一點的訊號）與濾波（雜訊的移除）三種作用，可以將訊號自間接觀測平差所得的觀測量改正數中分離出來(黃華尉，2003)。

最小二乘配置法應用於坐標轉換，若有足夠的條件（4 參數轉換至少 2 個坐標轉換共同點、六參數轉換至少 3 個坐標轉換共同點） 則可求出轉換參數，若將(4.2)式改以(4.3)式之型式表示，並假設訊號與雜訊均為 0，則可得六參數轉換最小二乘配置法，如下式：

$$L = \begin{bmatrix} Y_{21} \\ X_{21} \\ \vdots \\ \vdots \\ Y_{2i} \\ X_{2i} \end{bmatrix} \qquad A = \begin{bmatrix} Y_{11} & X_{11} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & Y_{11} & X_{11} & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{1i} & X_{1i} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & Y_{1i} & X_{1i} & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix}$$

式中；

X_{2i}、Y_{2i}：共同點轉換後坐標，i 從 1 至 q，X_{1i}、Y_{1i}：共同點轉換前坐標，i 從 1 至 q，q：共同點數量，a、b、c、d、e、f：詳見(4.2)式。

由以往文獻研究成果顯示六參數轉換最小二乘配置法之模式，其地測檢核距離較差區間較小，所以採用六參數轉換最小二乘配置法之模式來辨理 e-GNSS 坐標與 TWD97 坐標系統間之坐標轉換(林偉祥，2011)。

三、正高計算

大地水準面是由靜止海水面並向大陸延伸與平均海水面最近似的水準面其所形成的不規則的閉合曲面，是描述地球形狀的一個重要物理參考面，也是正高系統的起算面。

正高以大地水準面作為高程起算面，垂直於大地水準面之直線稱為垂線(張芝生，2003)。地表上任一點位之正高即是地面點沿其垂線至大地水準面之距離。橢球高以橢球面為基準面，垂直於橢球面之直線稱為法線。橢球高即是由地面點沿其法線至橢球面的距離。大地起伏為大地水準面至橢球面之距離，其具有連結正高與橢球高之物理意義，如圖 4-4。三者之關係可由式(4.6)表示：

$$H = h - N \tag{4.6}$$

式中；

H：正高；h：橢球高；N：大地起伏

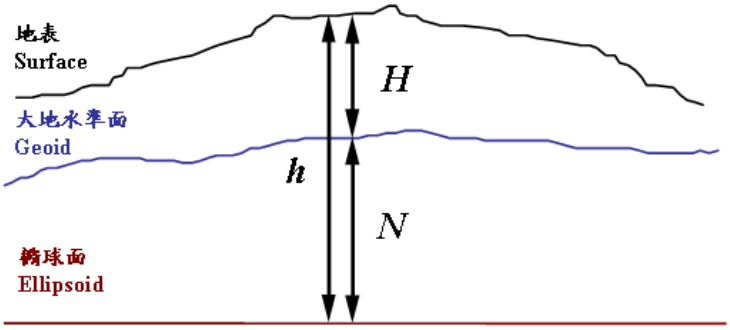


圖 4-4 正高、橢球高及大地起伏之關係示意圖

(摘自蘇英茂，2014)

GNSS 水準測量之示意圖，如圖 4-5，其透過 GNSS 測量起點 A 及迄點 B 之橢球高，若起點 A 之正高 H_A 已知，且加上高程基準間的關係，吾人可求得迄點 B 正高 H_B，其公式如下(楊名、黃金維、陳國華，2011；林老生，2012)：

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} = H_A + (h_B - N_B) - (h_A - N_A) \tag{4.7}$$

式中；H_A、H_B：分別表 A、B 之正高，h_A、h_B：分別表 A、B 之橢球高，N_A、N_B：分別表 A、B 之大地起伏。

本研究利用 e-GNSS 測量橢球高，估算大地起伏後，得到所在地之正高，示意圖如下：。

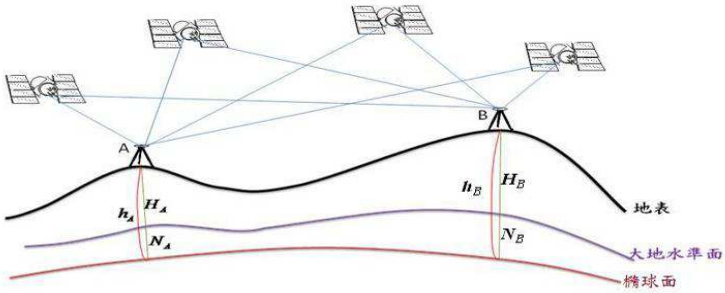


圖 4-5 GPS 水準測量示意圖

(摘自楊名、黃金維、陳國華，2011)

第二節　空載光達(LiDAR)測量技術

LiDAR(Light Detection and Ranging)是使用光波進行偵測與距離量測之系統。光達最基本的操作原理是發射雷射脈衝並開始計時、接收雷射脈衝由目標物返回的訊號並記錄時間，量測時間差之半乘上光速，便獲得測距儀之原點至目標物之直線距離(財團法人中正農業科技社會公益基金會，2009)。令雷射光束由發射到反射被接收的往返傳播時間為 T，雷射光的傳導速度是 C，可計算雷射發射端到地物點的空間距離為 d，其計算式如下(林宗毅，2007)：

$$d = \frac{1}{2} * C * T \tag{4.8}$$

雷射測距技術再搭配直接地理定位技術，經由取得光達原點的三個平移量及三個旋轉角(外方位參數)，可直接獲得目標物在空間坐標系統中的三維坐標值。透過光達設備的掃描機制，使量測的成果不再僅是一個目標點，而是大量的三維點雲資料，其作業示意圖如下：

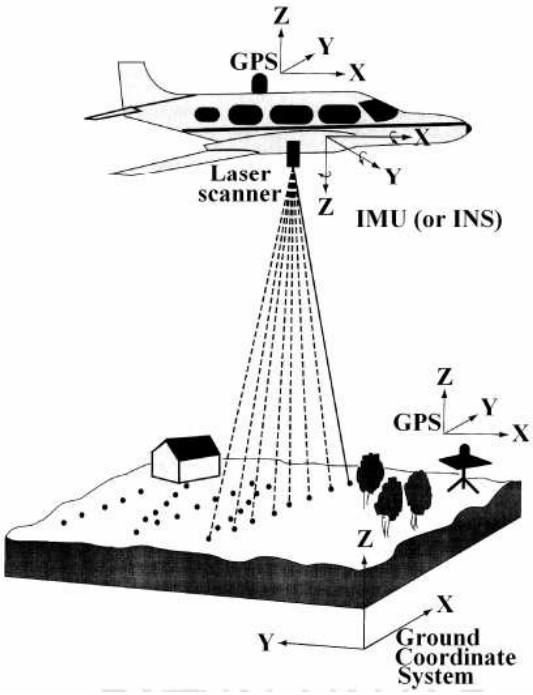


圖 4-6 空載光達作業示意圖

(摘自 Lillesand and Kiefer，2000)

直接地理定位技術主要是透過高精度 GPS 設備獲得光達設備原點中心精確的三維大地坐標，並透過高精度慣性導航系統(Inertial Navigation System; INS)獲得光達設備原點中心精確的三個旋轉角，但是光達設備原點中心與上述 2 項設備之原點及指向並非完全一致，因此要獲得光達設備原點中心的外方位參數還必須計算這 3 項設備之間的相對平移量及旋轉角，其示意圖如下：

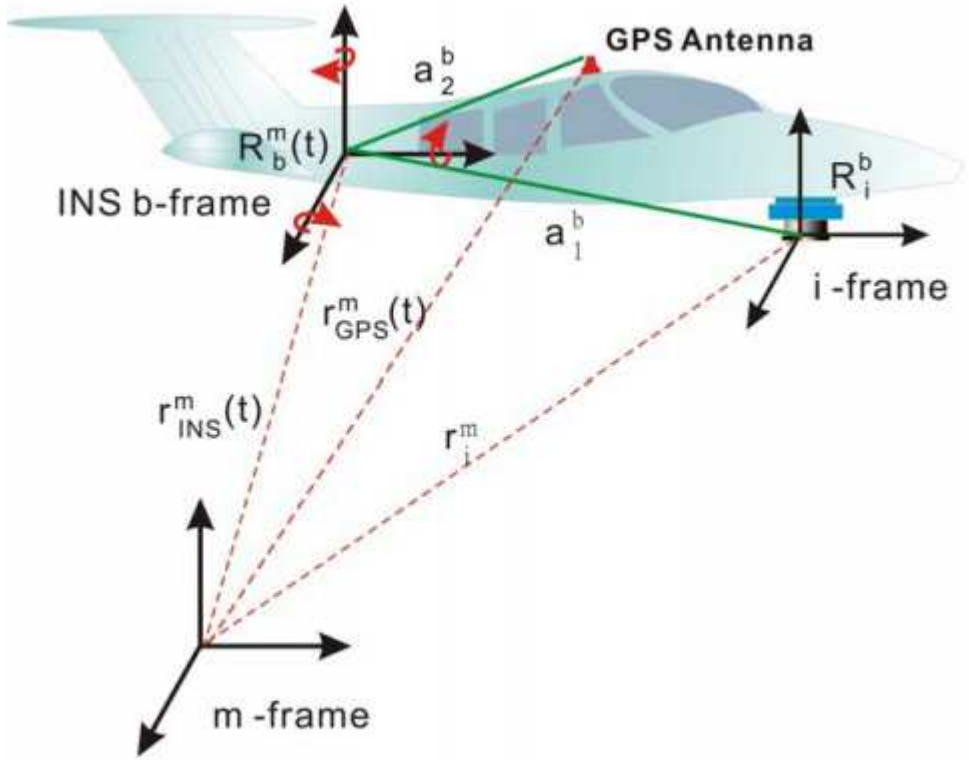


圖 4-7 直接地理定位示意圖

(摘自 EI-Sheimy，1996)

空載光達的產出成果為具有三維地理坐標的點雲資料，由於雷射光束發射至地面時會產生多重回波反射(如圖 4-8)，因此同一地理位置會具有多個高程點，所以必須經過篩選的程序後，再分別內插成等間距網格點得到數值高程模型(Digital Elevation Model; DEM)及數值地表模型(Digital Surface Model; DSM)成果。

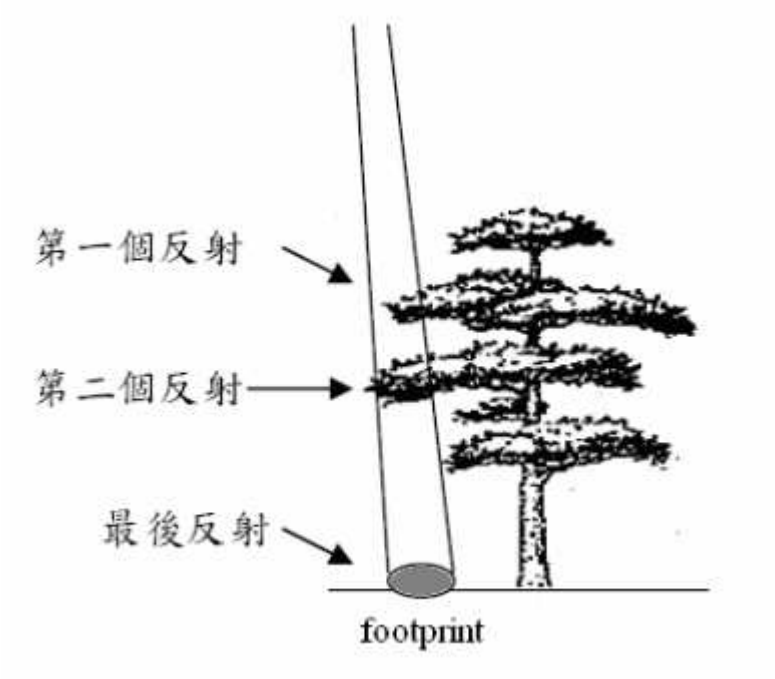


圖 4-8 多重反射示意圖

(摘自湯美華，2006)

依據內政部 103 年度數值地形模型相關計畫成果維護管理及整合服務工作案所研擬之高精度及高解析度數值地形模型測製規範（航測法施測）及空載光達數值地形模型測製規範之 DEM 高程精度標準，在平坦無植被覆蓋區域，航測法施測之 DEM 高程精度（中誤差之允許值）為 1 米；以空載光達施測部分，依其處理程序嚴謹性，DEM 高程精度分成 6 個等級，同樣在平坦無植被覆蓋區域之地形條件下，在經過人工編修篩選點雲資料、航帶平差、地面控制點約制平差及加入地形特徵資料等作業之最佳等級 DEM 高程精度可達 0.1 米，就算是只以自動化點雲篩選處理之最差等級 DEM 高程精度亦可達 0.8 米，皆較航測法施測之 DEM 精度高。因此，運用空載光達技術生產之 DEM 及 DSM，利用編修方式轉製為基本圖獨立標高點、等高線、DEM 及 DSM，可大幅提升基本圖高程精度。

第三節　多元圖資整合

基本圖、通用版電子地圖及國土利用調查成果都是以航測影像為基礎，並依照不同需求目的，而有測製內涵及精度不同呈現的圖資成果。基本圖的內容特性是詳細的描繪地形，除基礎底圖資料外，還包含高程資料、地類屬性、正射影像等資料；通用版電子地圖則注重常用性圖層，如：道路、水系、建物區、地標、正射影像等圖層；而國土利用調查成果則是著重於土地分類屬性的蒐集。因此，分別取通用版電子地圖及國土利用調查成果與基本圖的共通性來交互運用，作為基本圖更新使用，將可提升基本圖更新的效率。

經分析比較基本圖與通用版電子地圖圖層如表 4-1，除地類及高程資料外，建物、道路、水系、重要地標及正射影像圖層都可互相運用。至基本圖地類資料則可對應使用國土利用調查成果之農業、森林、礦鹽及其他等土地使用分類，對應表如表 4-2。

表 4-1 通用版電子地圖與基本圖圖層比較表

圖層內容	基本圖	通用版電子地圖
控制點	◎	◎
行政界	◎	◎
建物	◎	◎
鐵路（含捷運、高鐵）	◎	◎
道路	◎	◎
水系	◎	◎
重要地標	◎	◎
區塊		◎
地類(植被覆蓋、農漁養殖)	◎	
高程(DTM、等高線、獨立標高點)	◎	
地貌	◎	
公共事業網路	◎	
人工構造物（建物除外）	◎	
門牌		◎
正射影像	◎	◎

表 4-2 基本圖與國土利用調查分類比較表

基本圖地類	對應國土利用第 1 級分類
水田、旱作地、果園	農業使用土地
針葉林、闊葉林	森林使用土地
礦場	礦鹽使用土地
草地、空地	其他使用土地

綜上，通用版電子地圖與基本圖圖層相關性高，大部分地物圖層甚至可直接引用；國土利用調查成果所能提供地類資訊，是其他圖資所無之資訊。就圖層同質性、測製精度及更新頻率來說，上述 2 種圖資均適合作為轉製基本圖的來源圖資之一。

第五章　流程方法與研究內容

本章節將說明本研究中探討的 3 個主題，分別為利用 VBS-RTK 辦理基本圖控制測量、利用空載光達 DTM（DEM 及 DSM）成果轉製基本圖高程資料、以多元圖資整合方式辦理基本圖地物及地類更新。各小節將說明上述研究主題於目前基本圖測製作業中的作業流程，探討流程中可精進的作業步驟，提出精進方案。

第一節　利用 VBS-RTK 辦理基本圖控制測量

一、流程方法

（一）傳統作業流程

基本圖控制測量分為平面控制及高程控制，其中平面控制通常採用衛星定位靜態測量方式辦理；而高程控制可採用直接水準測量、間接三角高程測量或 GNSS 施測。相關作業規範如下表 5-1 及表 5-2 所示：

表 5-1 衛星定位靜態測量作業規範

項目	作業規範
觀測時間	連續且同步≧60分鐘(距離大於5公里者應適度延長觀測時間）
資料記錄速率	5秒以下
重複觀測	新點重複觀測率≧25%
成果精度	基線水平分量≦30毫米+ 6ppm* L 基線垂直分量≦75毫米+ 15ppm* L

表 5-2 高程控制測量作業規範

施測方式	作業規範
直接水準測量	1. 需辦理往返觀測 2. 測段往返閉合差不得大於20毫米$\sqrt{S}$（S為單一測段長度之公里數，小於1公里時閉合差不得大於20毫米）
三角高程測量	1. 起點及末端必須附合至已知水準點上 2. 平差改正前每測段閉合差不得大於5厘米（N為所經邊數） 3. 測段距離超過500米時，應作大氣折光及地球曲率改正。
GNSS	1. 須符合衛星定位靜態測量之作業規範。 2. 測得橢球高應利用大地起伏模型內插計算高程控制點之大地起伏值，據以計算正高參考值。 3. 至少需連測每個高程控制點附近5公里內之已知水準點，分析已知水準點之大地起伏值精度，據以修正高程控制點之正高值。

採用衛星定位靜態測量方式辦理平面控制測量，因須多組人力及儀器同步觀測及連續觀測大於 60 分鐘，所需時間及成本較高。

另外高程控制測量主要以直接水準測量為準，山區才能以間接三角高程測量或 GNSS 施測，因施測方式與平面控制測量方法與設備不同，所以必須分開施測，則作業人員與儀器設備也需另外調配；另直接水準測量以徒步往返測段施測，作業時間花費非常多，且人員長時間於道路上作業亦有交通安全之慮。

（二）精進作業方案

本研究擬利用 VBS-RTK 技術來改進傳統航測控制測量作業時間長與花費成本高的問題。藉由 VBS-RTK 可單人單機作業其機動性的優點，快速獲得點位坐標，並可利用大地起伏模式估算正高，使得平面控制測量與高程控制測量作業可合而為一，同時施測不需更換設備，達到減少作業時間及成本的目的，作業流程

如圖 5-1，作業規範如表 5-3。

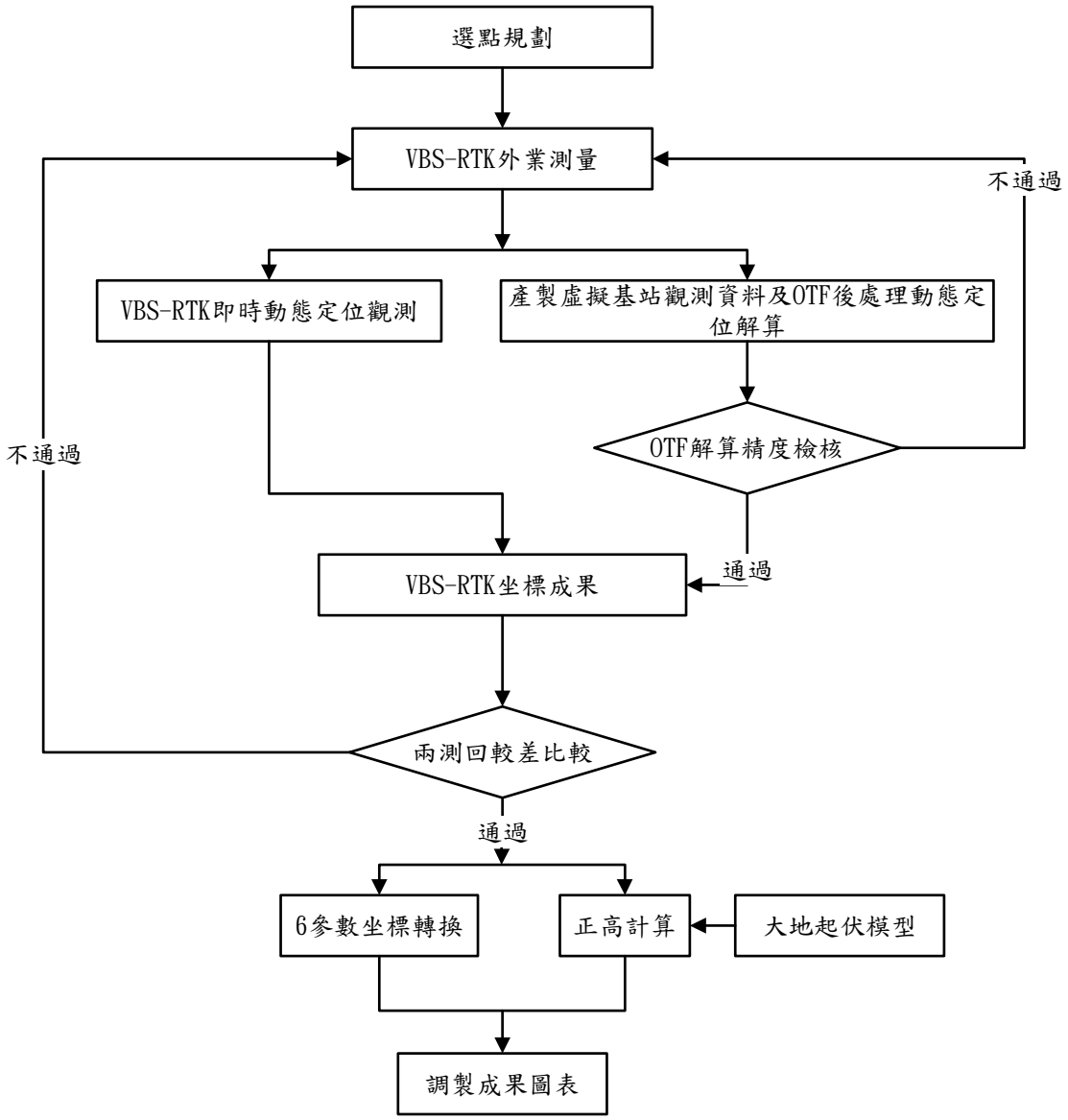


圖 5-1 VBS-RTK 技術辦理基本圖控制測量流程圖

表 5-3 VBS-RTK 作業規範

項目	作業規範
資料記錄速率	1秒
觀測數量	固定(FIX)解至少180筆以上
重複觀測	至少觀測2次，每次至少須間隔60分鐘以上，且兩次坐標較差要符合平面位置較差≦30毫米，高程位置較差≦50毫米。
成果精度	平面中誤差≦20毫米 高程中誤差≦50毫米

二、研究內容

（一）研究範圍

本研究項目配合 103 年基本圖修測工作辦理地面控制測量，作業範圍主要位於南投縣，包含埔里、集集等城區地形以及水里、魚池等山區地形，藉由蒐集不同地形特性的區域資料，以獲得更客觀的實驗數據。

（二）研究方法

於測試點位範圍辦理 VBS-RTK 觀測，獲得測試點位之平面坐標及正高，並於檢核成果是否符合測製精度規範，以確保成果品質。之後，與傳統作業方式針對所需之人力、時間及經費進行比對分析，判斷本研究所提方法是否能達到節省成本的目的。

第二節　利用空載光達 DTM 成果轉製基本圖高程資料

一、流程方法

（一）傳統作業流程

基本圖高程資料成果包含獨立標高點、等高線、DEM 及 DSM，現行基本圖高程資料測製作業流程如圖 5-2。

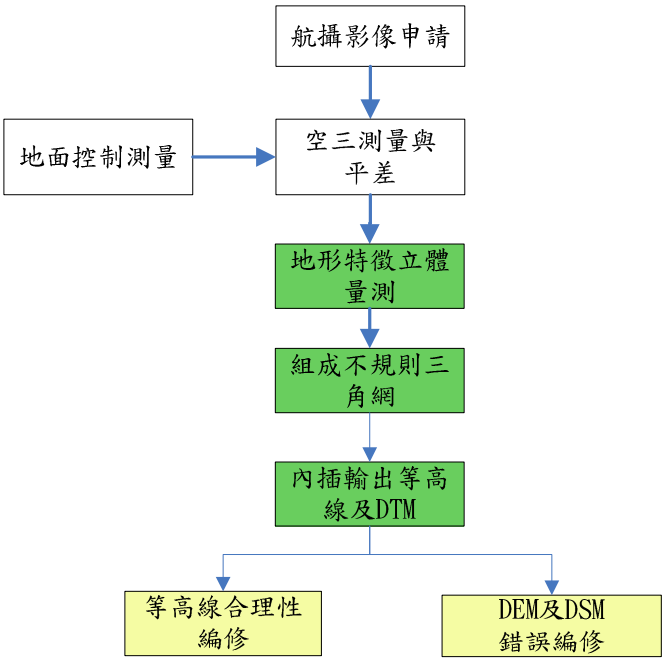


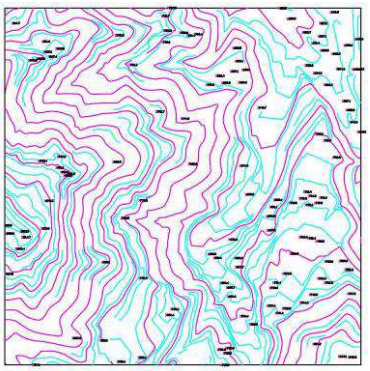
圖 5-2 基本圖高程資料測製作業流程

基本圖高程資料測製說明如下：

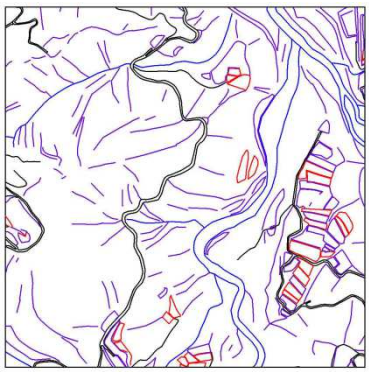
1. **空三測量與平差**：運用原始航拍影像結合地面控制測量成果，進行空中三角測量與網形平差，取得外方位參數組成立體模型。
2. **地形特徵立體量測**：以航測方式於立體模型中增加斷線、結構線、及獨立標高點等特徵，成果如圖 5-3(a)及(b)。
3. **組成不規則三角網**：將步驟 1 經由人工量測的地形特徵資料自動組成不規則三角網，如圖 5-3(c)。
4. **內插輸出等高線及數值地形模型**：將不規則三角網內插計算輸出等高線資料及等間距網格之數值地形模型成果，如圖 5-3(d)及

(e)。

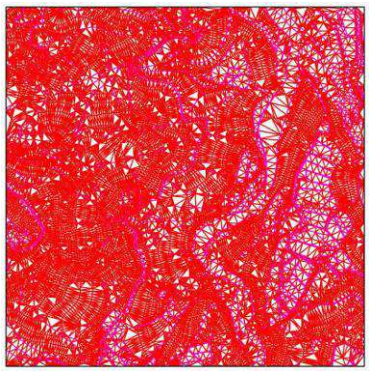
5. **等高線合理性及 DEM/DSM 錯誤編修**：在兼顧合理性及美觀性條件下適度進行平滑化處理及人工編修，以符合基本圖成圖及出圖檔使用，如圖 5-3(f)。



(a)人工繪製均勻等高線及獨立標高點

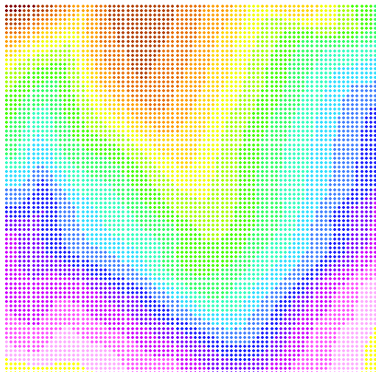


(b)量測地形特徵線

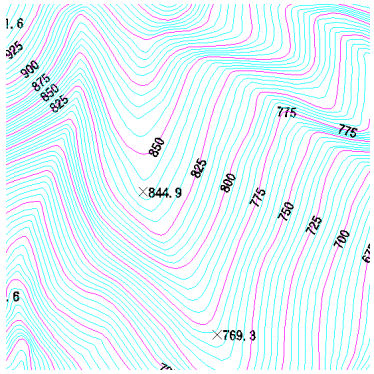


(c)Terrain 組三角網

(d)三角網內插等高線



(e)三角網內插等距網格高程點



(f)經合理性編修完成之等高線成果

圖 5-3 基本圖高程資料測製之步驟及其成果

在上述步驟當中，地形特徵立體量測及等高線合理性及 DEM/DSM 錯誤編修 2 個步驟，佔據大部分的高程資料測製作業時間。

（二）精進作業方案

本研究運用中央地質調查所 99 年至 104 年建立臺灣地區空載光達 DTM 成果轉製基本圖 DEM、DSM、等高線及獨立標高點，主要是取代地形特徵立體量測作業程序，但是等高線合理性編修

仍須辦理。本研究提出高程資料轉製作業流程如圖 5-4。

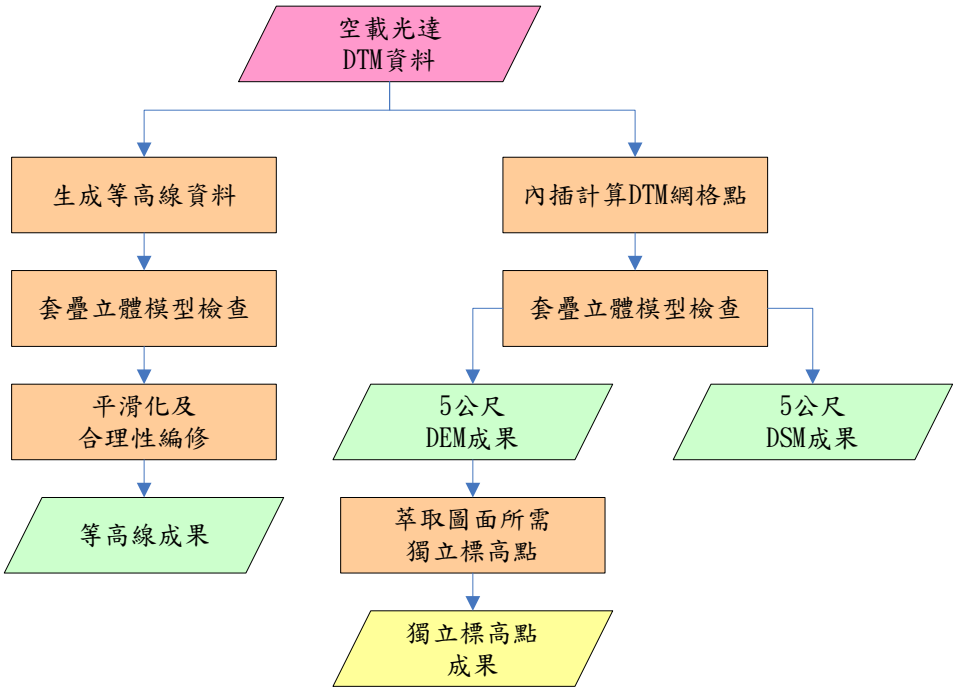
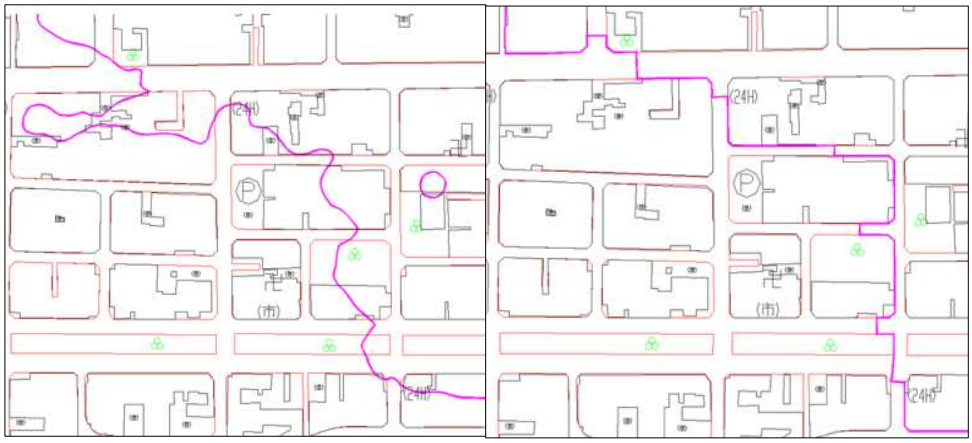


圖 5-4 空載光達 DTM 成果轉製基本圖高程資料流程圖

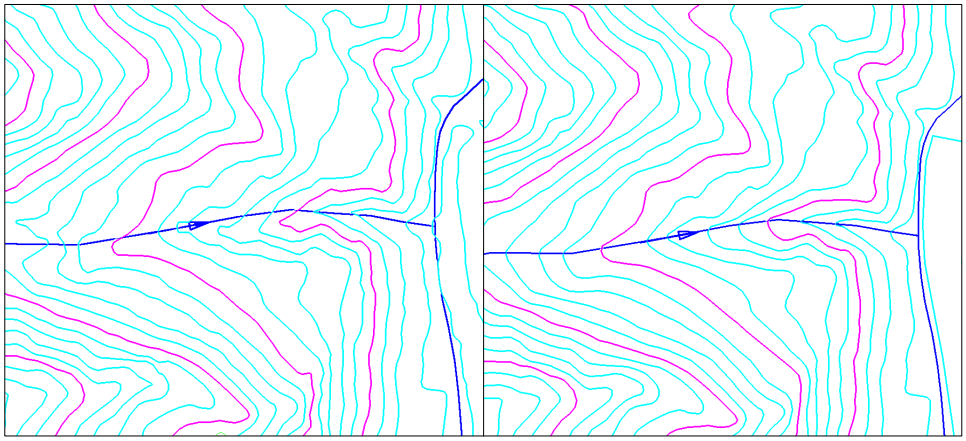
轉製基本圖高程資料步驟分述如下：

1. **內插計算生成等高線及 DTM 網格點**：運用中央地質調查所空載光達 DTM 成果內插生成等高線，另因空載光達 DTM 成果的網格間距 1 米高於基本圖 DTM 網格間距 5 米，尚須內插計算出之 5 米間隔的 DEM 及 DSM，此步驟可完全以程式自動化處理。
2. **套疊立體模型檢查**：將內插完成的 5 米 DEM、DSM 網格點及等高線，套疊於航測立體模型上檢查是否有粗差點位或系統性誤差並加以修正，此步驟為半自動化，可先利用程式挑出可疑處，再利用人工方式除錯或修正。
3. **等高線平滑化及合理性編修**：由於光達資料轉製之等高線會有抖動或破碎的情形，為滿足基本地形圖等高線與地物間之合理性，需在兼顧合理性及美觀性條件下適度進行平滑化處理及人工編修，以符合基本圖成圖及出圖檔使用。常見之編修項目包括穿越建物、與道路之合理性、與水系之合理性等(如圖 5-5 至 圖 5-7)。



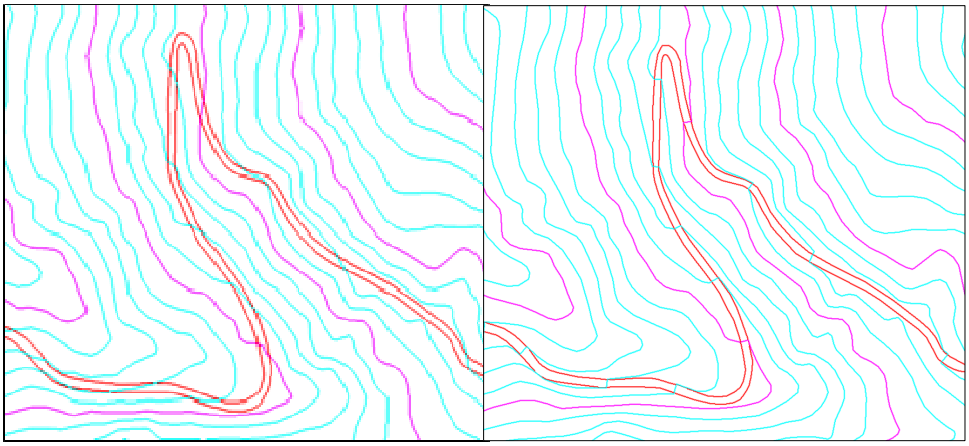
(a)等高線穿越穿越建物不合理　　(b)編修等高線繞過房區

圖 5-5 等高線與建物合理性編修



(a)等高線內凹處與水系位置不符　　(b)編修等高線符合水系位置

圖 5-6 等高線與水系合理性編修



(a)等高線未與道路方向垂直　　(b)編修等高線與道路方向垂直

圖 5-7 等高線與道路合理性編修

4. **獨立標高點萃取：**由內插後並經檢查完成之 DEM 成果萃取獨立標高點，可透過程式自動化篩選或人工方式選點。

二、研究內容

（一）研究範圍

本研究項目測試區域，在城區部分挑選 100 年臺中市西南地區 10 幅五千分之一圖幅範圍辦理，在山區部分挑選 99 年高雄市美濃、杉林、六龜等地區 10 幅範圍辦理。

（二）研究方法

規劃於前述測試範圍，以本研究項目提出的作業方式辦理高程資料測製。雖然空載光達之高程成果精度高於基本圖規範，但作業流程中對於該成果資料進行內插計算及人工編修等程序可能影響原高程成果精度，為確保轉製後高程資料品質仍須辦理成果檢核是否符合基本圖測製規範。確認品質符合規範後，再比較傳統基本圖高程資料作業方式與空載光達 DEM 及 DSM 成果轉製高程資料所需之時間及經費，以判斷本研究項目所提方法是否能達到節省時間及成本的目的。

第三節　以多元圖資整合方式辦理基本圖地物地類更新

一、流程方法

（一）傳統作業流程

現行基本圖地物及地類測製作業流程如圖 5-8，主要分為幾個項目分述如下：

1. **空三測量及平差：**運用原始航拍影像結合地面控制測量成果，進行空中三角測量與網形平差，取得外方位參數組成立體模型，並製作正射影像。
2. **圈選修測區：**將現有基本圖套疊新製作的正射影像，圈選需修測區域。
3. **立體測圖：**利用數值航測影像工作站或其他同等精度之航測儀器以數值立體測圖方式，針對需修測區域，進行地物及地類測製。
4. **CAD 圖檔編修：**將立體測圖所得之成果予以分類分層編輯，繪製稿圖。
5. **外業調繪補測：**攜帶稿圖赴實地調繪，以修正立體測圖錯誤、補充立體測圖時無法辨認、遺漏或因影像受遮蔽未能於立體測圖時測製之地物地貌。
6. **成圖編修：**調繪補測完成後，依依基本圖圖式規格進行分幅編纂及圖面整飾，產製基本圖數值向量成果。
7. **地理資訊圖層轉製編修：**將基本圖數值地形圖向量成果，進行圖形物件、屬性資料及位相關係等資料處理，轉製數值地形圖地理資訊圖層。

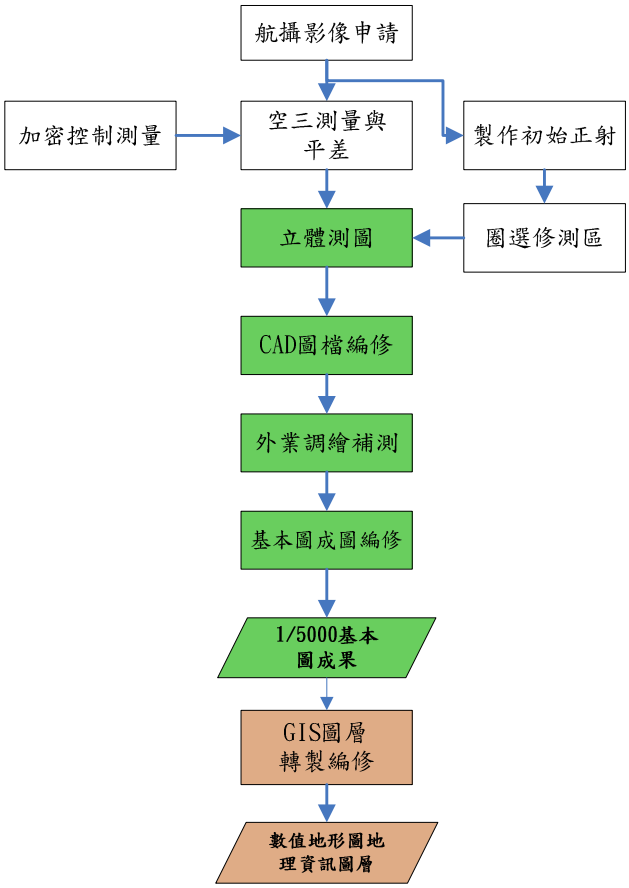


圖 5-8 數值法航測立體製圖流程

然上述地物及地類測製步驟中，立體測圖、圖檔編修等工作項目均需花費大量人力及時間，致基本圖更新成本及更新頻率不易有效提升。

（二）精進作業方案

為能有效降低基本圖於地物及地類更新投入成本，並提升更新效率，本研究擬利用與基本圖測製方式高度相關、部分圖層內容具有共通性，且更新頻率較高的通用版電子地圖及國土利用調查成果，以多元圖資整合方式，輔助更新基本圖道路、鐵路、建物、水系、地標及地類等重要圖層，藉以節省地物及地類測製之作業時間及成本。多元圖資整合方式輔助基本圖更新作業流程圖如圖 5-9。

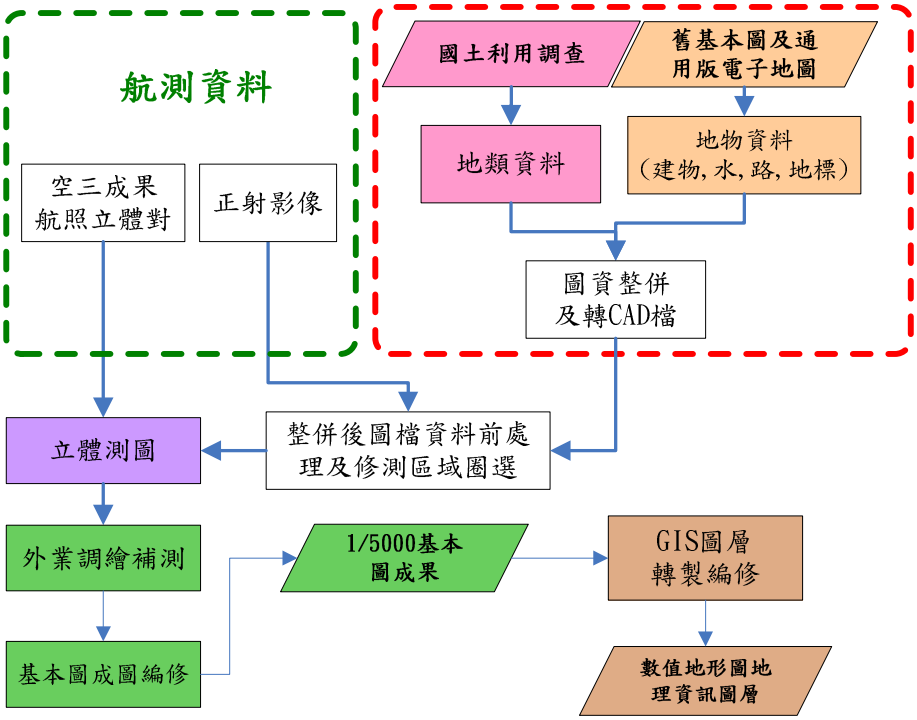


圖 5-9 多元圖資整合流程圖

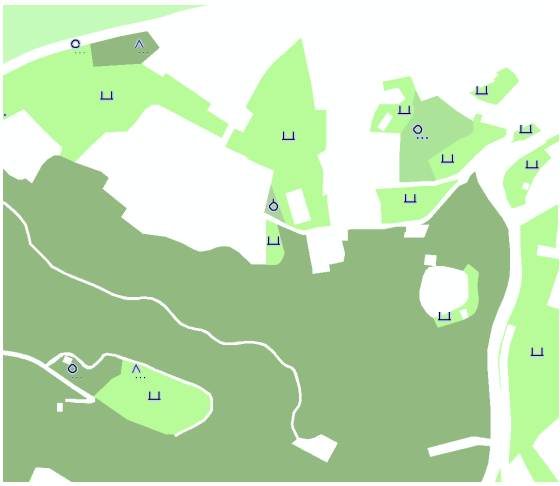
1. 國土利用調查成果及通用版電子地圖圖資整併

國土利用調查之分類目前採三級分類，類別達 103 類。類別雖可與基本圖之地類產生對應(如表 5-4)，但分類之基準以人為經濟使用目的來劃分，導致坵塊測製較基本圖更細碎。本研究中，所取得之國土利用調查成果係依據年度較舊的正射影像以數化方式測製，因此不論就其精度或更新頻率而言，通用版電子地圖為更容易與基本圖接軌並且可直接轉製參考使用。因此，在道路、河流、建物之區塊邊界會優先使用通用版電子地圖成果，而地類屬性則使用國土利用調查之區塊成果。故本研究將基本圖地類對應之國土利用調查成果篩選轉製為地類區塊後，主要底圖資訊將使用通用版電子地圖之道路、鐵路、建物、水系、地標等相關圖層，最後再共同整併至基本圖 CAD 相對應圖層中，整併過程如圖 5-10。

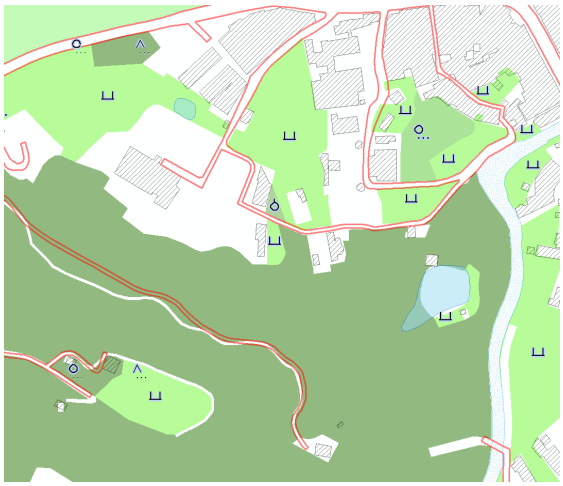
表 5-4 基本圖地類與土地利用分類對照表

內政部基本圖地類	內政部土地使用分類系統表		
圖層/類別	第 1 級	第 2 級	第 3 級
97131 針葉樹林	02 森林使用土地	0201 天然林 0202 人工林	020101 天然針葉純林 020201 人工針葉純林
97133 針葉樹混淆林	02 森林使用土地	0201 天然林 0202 人工林	020104 天然竹針闊葉混淆林 020204 人工竹針闊葉混淆林
97132 闊葉樹	02 森林使用土地	0201 天然林 0202 人工林	020102 天然闊葉樹純林 020202 人工闊葉樹純林
97135 竹林	02 森林使用土地	0201 天然林 0202 人工林	020103 天然竹林 020203 人工竹林
97330 園、圃	02 森林使用土地	0203 其他森林使用地	020302 苗圃
97310 水田	01 農業使用土地	0101 農作	010101 稻作
97332 茶園	01 農業使用土地	0101 農作	010102 旱作
97331 果樹	01 農業使用土地	0101 農作	010103 果樹
97320 旱作地	01 農業使用土地	0101 農作	010102 旱作
97200 草地	09 其他使用土地	0903 草生地	090300 草生地

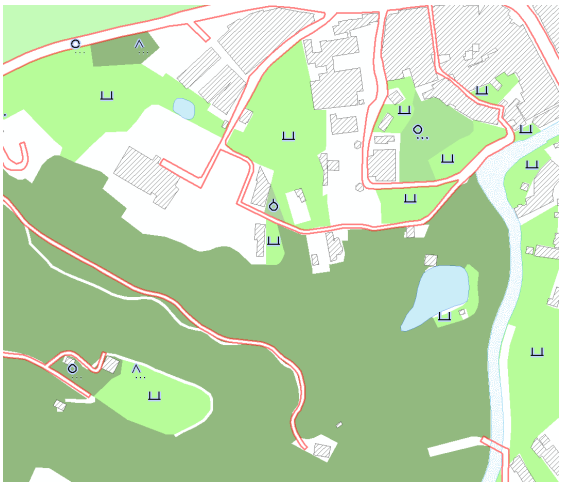
(1)國土利用調查成果



(2)篩選基本圖地類對應之土地利用區塊



(3)通用版電子地圖套繪篩選之土地利用區塊

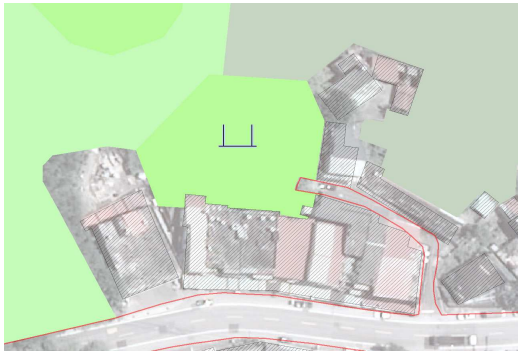


(4)以通用版電子地圖優先整併土地利用區塊

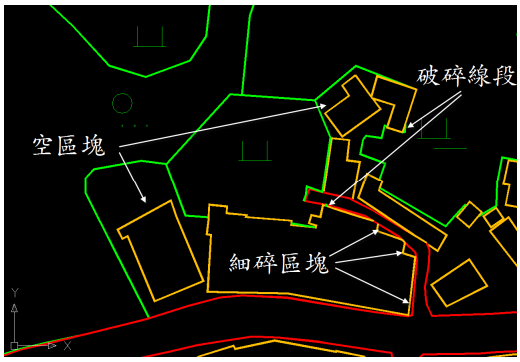
圖 5-10 圖資整併過程示意圖

2. 整併後圖檔資料前處理及修測區圈選

因國土利用調查成果所使用之測製方式、引用影像與通用版電子地圖不同，且使用影像有時間上的落差，在參考使用的過程中，會有土地利用無法對應基本圖之空區塊(如圖 5-11(a)所示)、整併後圖檔會有細碎線段及區塊(如圖 5-11(b))、繪製基準不同，部分類別無法對應(如圖 5-11(c))及影像年份差異造成土地利用區塊分類與影像不一致(如圖 5-11(d))等問題。因此，必須將整併後的圖檔進行刪除細碎線段及雜點、檢視因測圖標準差異，刪除無法使用之地類邊界線及套疊通用版正射影像，刪除因時間差異造成的地類異動等資料前處理，改善上述資料間矛盾並且刪除無法使用之地類資訊並使用正射影像進行修測區圈選。



(a)整併後圖檔之 GIS 檔



(b)整併後圖檔之 CAD 檔

(c)國土利用調查繪製方式與基本圖繪製方式不一致

(d)土地利用區塊分類與影像不一致

圖 5-11 國土利用調查成果轉為地類參考不合理之態樣

3. 立體測圖

將整併通用版電子地圖及國土利用調查成果之基本圖圖檔，套繪最新正射影像圈選需要修測區域，以立體測圖進行補繪(如圖 5-12)。

(a)經過圖檔整併處理之立測參考圖檔　　**(b)繪製完成之立測稿圖**

圖 5-12 圖檔整併問題示意圖

4. 圖檔編修：

立體測圖完成後，經過圖檔編修產生基本圖立測稿圖後，辦理外業調繪、整飾及地理資訊圖層轉檔。

二、研究內容

（一）研究範圍

本研究項目測試區域，分別以山區與城區之測試範例各選定 1 幅五千分之一圖幅，進行試辦之作業，並且與現行之測圖作業

分析比較。城區之測試案例，位於桃園中壢市中心，具有密集的建物及多樣的地類混雜，地形起伏較為平緩；山區之測試案例，位於桃園大溪鎮東南側，建物聚落較少，地類多為面積較大之農用、林地，亦有部分之建物農地複合使用區域。

（二）研究方法

本研究項目規劃於前述研究範圍，利用本研究提出的精進方式辦理基本圖更新作業，並分析作業遭遇困難及提出因應方案。此外，亦藉由比較歷年基本圖更新作業城區及山區的平均作業時數及費用成本，分析多元圖資整合方式所節省地物及地類測製作業時間及成本，作為後續更新作業參考。

第六章　成果分析

第一節　利用 VBS-RTK 辦理基本圖控制測量

一、作業情形及測試成果

為了解採用 VBS-RTK 辦理基本圖控制測量之精度，本研究配合 103 年基本圖修測工作辦理地面控制測量，作業範圍主要位於南投縣，包含埔里、集集等城區地形以及水里、魚池等山區地形，測試區範圍如圖 6-1。除了採用 VBS-RTK 方式測設 89 點控制點外，另針對部分點位進行 GNSS 靜態測量與直接水準測量，並將兩種成果分析比較。

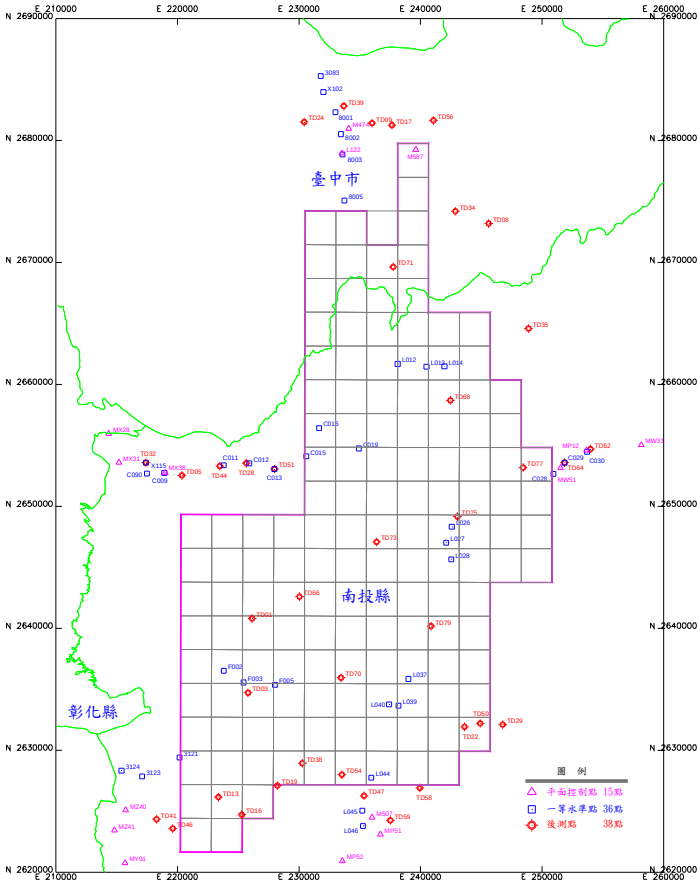


圖 6-1 基本圖控制測量測試區

將 VBS-RTK 測設之點位坐標計算兩點間之水平距離與垂直距離，再與靜態測量之水平距離與垂直距離成果比較，其中水平距離最大較差為 65.2 毫米，垂直距離最大較差為 68 毫米，各段基線比較分析表如表

6-1；另 VBS-RTK 換算之正高差與直接水準測量高程差之最大較差為 67 毫米，各測段之比較分析表如表 6-2，上開差異均符合的基本圖控制測量精度要求，可驗證 VBS-RTK 可用於基本圖控制測量作業。

表 6-1 VBS-RTK 與靜態測量水平分量與垂直分量較差比較表

序號	基線		觀測水平分量	觀測垂直分量	已知水平分量	已知垂直分量	水平分量較差	垂直分量較差	容許水平較差	容許垂值較差
			（米）	（米）	（米）	（米）	（毫米）	（毫米）	（毫米）	（毫米）
1	L122	M474	2114.345	157.215	2114.347	157.191	2.9	24	212.7	212.7
2	L122	TD09	3498.806	10.864	3498.811	10.891	5.6	27	221	221
3	L122	TD39	3879.576	44.978	3879.585	44.952	8.7	26	223.3	223.3
4	M474	TD09	1970.195	146.351	1970.199	146.3	3.9	51	211.8	211.8
5	M474	TD39	1879.181	202.193	1879.194	202.143	13.1	50	211.3	211.3
6	TD09	TD39	2714.558	55.842	2714.589	55.843	31.6	1	216.3	216.3
7	M507	MP51	1564.697	233.01	1564.693	232.954	4.2	56	209.4	209.4
8	M507	TD47	1888.767	406.025	1888.781	405.957	14.1	68	211.3	211.3
9	M507	TD59	1520.817	62.547	1520.817	62.569	0.3	22	209.1	209.1
10	MP51	TD47	3450.153	173.015	3450.165	173.003	11.9	12	220.7	220.7
11	MP51	TD59	1426.848	295.557	1426.849	295.523	0.7	34	208.6	208.6
12	TD47	TD59	2956.943	468.572	2956.976	468.526	33	46	217.7	217.7
13	MZ40	MZ41	1911.527	16.834	1911.53	16.763	3.3	71	211.5	211.5
14	MZ40	TD41	2652.467	61.354	2652.523	61.341	55.9	13	215.9	215.9
15	MZ40	TD46	4166.742	175.009	4166.807	174.995	65.2	14	225	225
16	MZ41	TD41	3588.722	44.52	3588.765	44.578	42.4	58	221.5	221.5
17	MZ41	TD46	4812.232	158.175	4812.284	158.232	51.9	57	228.9	228.9
18	TD41	TD46	1539.047	113.655	1539.058	113.654	10.3	1	209.2	209.2
水平與垂直分量較差容許誤差 200 毫米+6*Lppm										

表 6-2 VBS-RTK 正高差與直接水準測量高程差比較

測段	起		迄		測線距離（米）	實地檢查高程差			已知高程差	較差(毫米)
	點號	高程	點號	高程		往	返	平均		
1	TD32	94.278	C090	98.638	1007.069	4.364	-4.361	-4.363	-4.360	-2.500
2	TD47	422.041	L045	440.62	1325.07	18.648	-18.644	-18.646	-18.579	-67.000
3	TD62	583.294	C030	569.235	380.71	-14.040	14.041	14.041	14.059	-18.500
4	TD75	489.254	L026	494.533	993.175	5.266	-5.250	-5.258	-5.279	21.000
正高差容許誤差 200 毫米										

二、成本效益分析

本研究採用 VBS-RTK 方式作業，測試總計觀測 89 點，使用 2 部儀器，每組儀器 2 人作業共 4 人，每日每組可觀測 9 個點位共需 5 個作業天。

101 年控制測量是採靜態測量與直接水準作業方式分別辦理平面控制測量與高程控制測量，其中平面控制觀測 32 點，使用 8 部儀器，每組儀器 2 人作業共 16 人，規劃 6 時段共需作業 3 天；高程控制點共計 8 點，其中 5 點可採用直接水準測量，有 3 點位於山區依規定可採用 GNSS 方式觀測，此 3 點採用平面控制測量之觀測數據進行計算。至於直接水準測量部分，使用 1 部水準儀 5 人作業，規劃 5 測段共需作業 3 天，總測線長度 13.4 公里。

為了解採用 VBS-RTK 與傳統採用靜態測量與直接水測量所需成本差異，本研究將 VBS-RTK 所需成本與 101 年基本圖修測工作契約書控制測量單價進行比較；假設人事成本為每日新臺幣 3,000 元計；儀器租用成本每日為新臺幣 1,000 元計，計算所有費用總和後，除以觀測點數，分析作業單價來比較兩種方式的作業效益，經費分析表如下表 6-3 所示：

表 6-3 平面及高程控制測量經費分析表（單位：元）

	觀測點數	儀器數	天數	人員	人事費用	儀器費用	合計	單點均價
101 平控	32	8	3	16	144,000	24,000	168,000	5,250.00
101 高控	5	1	3	5	45,000	3,000	48,000	9,600.00
103 全控	89	2	5	4	60,000	10,000	70,000	786.52

由分析表可知採用 VBS-RTK 作業方式的單價為 786.52 元，相較於傳統平面測量單價為 5,250 元、高程測量單價為 9,600 元，分別節省約 85%及 92%，其成效非常可觀。本研究的成果顯示在符合作業規範的精度要求之下，以 VBS-RTK 方式辦理控制測量可大幅節省成本。

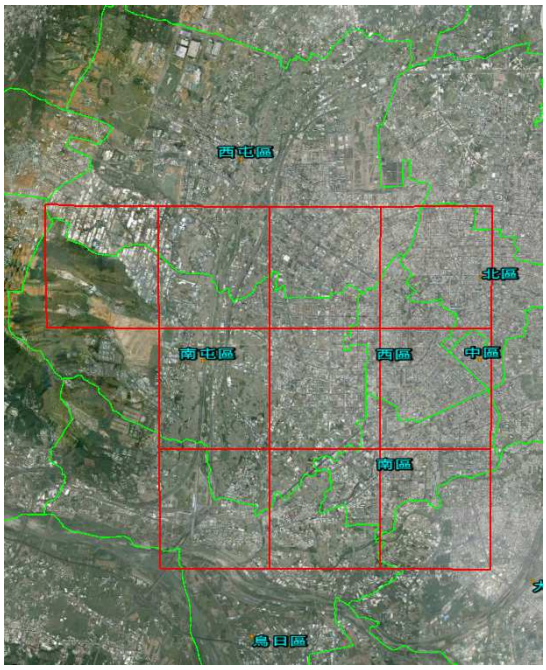
三、遭遇困難及解決方式

測試作業中利用 VBS-RTK 方式均能快速獲得即時動態定位的坐標成果，但是在山區經常遇無法順利完成觀測的狀況，其造成原因有兩種，一種是山區本身的地理因素造成先天上的環境遮蔽使得衛星分布及數量不足以收斂，第二是山區電信網路訊號不良，移動站無法獲得控制中心提供的定位訊息。其中第一種情形，可經由事前的點位探勘來發現，於實際觀測時，利用 GNSS 衛星狀態計算軟體(如：Trimble Planning)來預估該點位的最佳觀測時段，避免衛星分布不佳及數量不足的狀況。另外，上述兩種情形均可使用本中心 e-GNSS 系統提供後處理服務來彌補，只是現場移動站必須採用快速靜態的觀測方式辦理，延長測量時間為 10~20 分鐘。

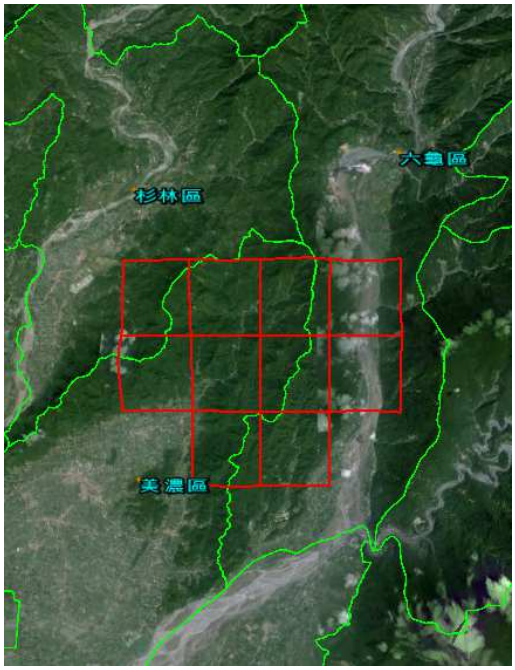
第二節　利用空載光達 DTM 成果轉製基本圖高程資料

一、作業情形及測試成果

本研究以內含密集道路、建物區之城區 10 幅（臺中市西區、南區、西屯區）及地形起伏變化大、植被覆蓋密度較高之山區 10 幅（高雄市美濃區、杉林區、六龜區），共 20 幅五千分之一圖幅，範圍如圖 6-2。



城區測試範圍



山區測試範圍

圖 6-2 空載光達 DEM 成果轉製高程資料測試範圍

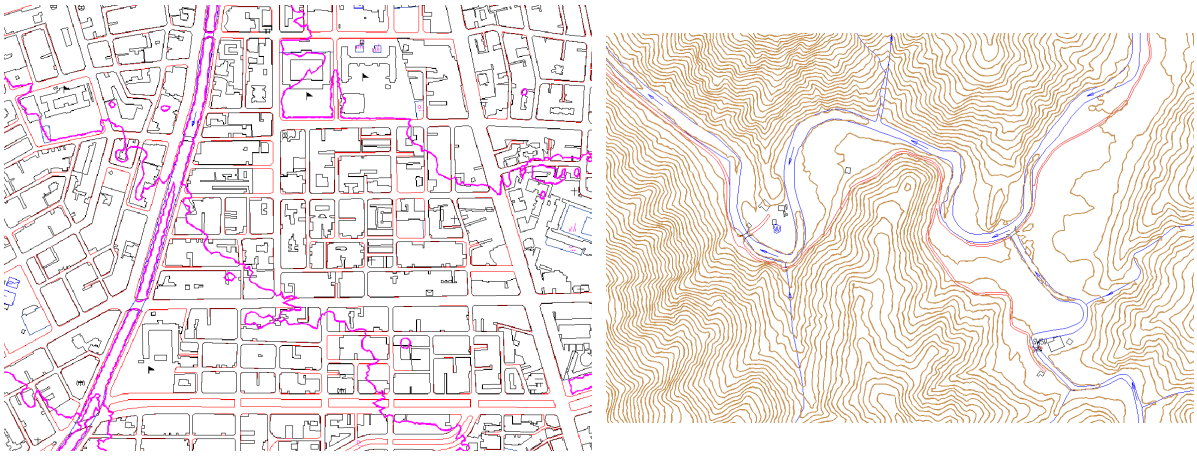
試辦利用中央地質調查所空載光達 DEM 成果轉製基本圖高程資料，並進行等高線成果及 DEM 成果精度分析，同時依據作業工時估算所需作業成本，並與傳統航測施測方式之成本進行比較分析，以進一步了解運用空載光達 DEM 成果轉製基本圖高程資料之效益。

（一）等高線成果分析

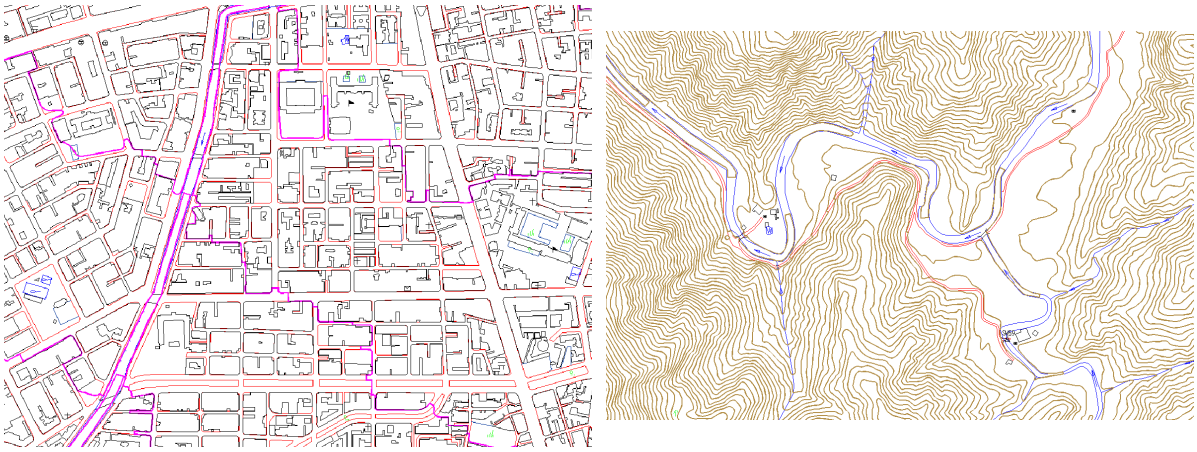
直接以中央地質調查所空載光達 DEM 資料內插計算城區及山區等高線成果如圖 6-3(a)，因其對地形細部特徵過度擬合(over fitting)造成線條抖動，對於圖面美觀及合理性有不良的影響，所

以仍須進行合理性編修，編修後成果如圖 6-3(b)。與傳統航測作業方式之成果（圖 6-3(c)）比較，雖然傳統航測的等高線較為平滑美觀，但是直接以空載光達 DEM 轉製之等高線成果經人工編修後，亦可達到近似的平滑美觀效果。

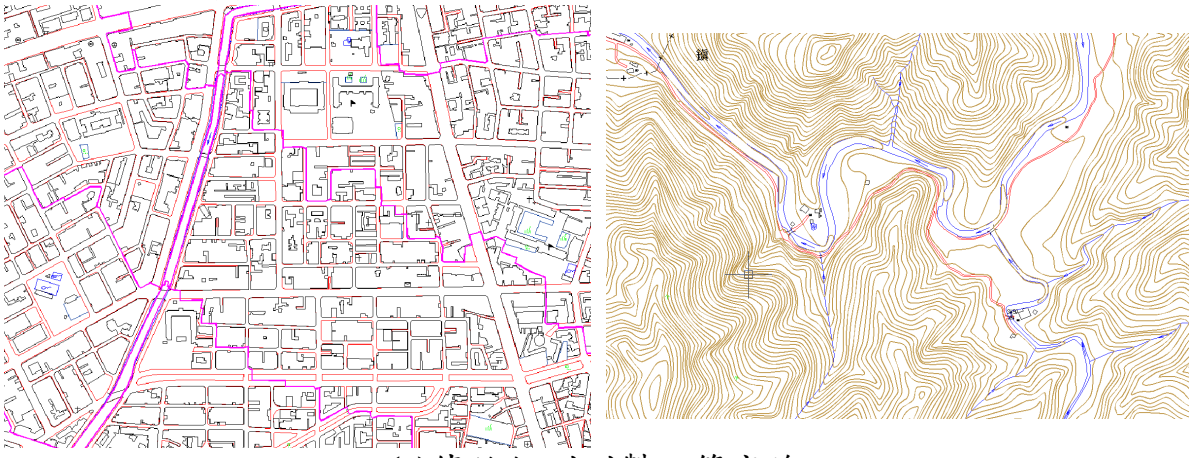
城區 **山區**



(a)原始光達 DEM 轉製之等高線成果



(b)原始光達 DEM 轉製之等高線人工編修後成果



(c)傳統航測測製之等高線

圖 6-3 光達 DEM 轉製基本圖等高線成果

（二）DEM 成果精度分析

空載光達 DEM 成果轉製基本圖高程資料，過程中須經內插計算及人工編修等程序，恐影響原高程成果精度，為了解轉製作業程序對高程精度之影響程度，與航測立體模型成果進行比對檢查，並一併驗證空載光達 DEM 轉製之高程資料符合基本圖測製規定。於城區及山區試辦範圍挑選檢核點，以航測立體模型量測檢核點高程值，與轉製後 DEM 成果內插之高程值進行比較，表 6-4 及表 6-5 分別顯示城區與山區各圖幅檢核點高程值較差之 RMSE 值，城區及山區平均 RMSE 均小於基本圖等高線間距（5 米）的二分之一 2.5 米，除驗證空載光達 DEM 成果轉製基本圖高程成果符合基本圖測製規定外，亦顯示轉製基本圖高程資料之內插計算及人工編修等作業程序對高程精度之影響是在可接受的範圍。

表 6-4 DEM 精度分析比較表(城區)

圖號	RMSE(m)	圖號	RMSE(m)
95213034	0.78	95213046	1.22
95213035	0.88	95213047	1.46
95213036	1.58	95213055	0.61
95213037	1.65	95213056	1.15
95213045	1.08	95213057	1.33
平均 RMSE(m)		1.18	

表 6-5 DEM 精度分析比較表(山區)

圖號	RMSE(m)	圖號	RMSE(m)
95213034	2.32	95213046	1.66
95213035	1.68	95213047	3.05
95213036	2.62	95213055	3.01
95213037	2.53	95213056	2.27
95213045	2.37	95213057	2.45
平均 RMSE(m)		2.39	

（三）綜合分析

利用空載光達 DTM 成果轉製基本圖高程資料與傳統航測作業方式的主要差異在於空載光達 DTM 轉製的作業方式僅須辦理 DTM 的粗差修正，而不須進行地形特徵數化及內插計算等步驟（作業方式比較如表 6-6）。由於空載光達所產生的 DTM，未使用地形特徵加入內插計算，其等高線成果無地形特徵約制，故在道路、水系等會有較多不合理之處，則等高線合理性編修之作業量相較偏多；傳統航測方式，所有地形特徵均由立體測圖方式而來，故地形特徵繪製、內插計算等步驟均需自行辦理。比較之下，雖然空載光達 DTM 轉製方式在等高線合理性編修的作業量較多，但是可避免地形特徵數化及內插計算等需要花費大量作業時間步驟，整體而言作業時間是大幅減少的。

表 6-6 基本圖等高線及 DTM 產製方式比較表

	本研究測試方法	傳統航測	說明
立體模型檢查粗差	○	×	利用程式及人工過濾超出門檻值之粗差。
立體模型數化特徵	×	○	透過航測立體模型以人工方式增加獨立標高點、地形特徵線等特徵資訊。
內插計算 DTM	×	○	利用內插計算軟體將上述之地形特徵資訊融合入來源 DTM 中，重新內插出具地形特徵之 DTM 成果。
等高線編修	○	○	以人工方式修飾或修正等高線內如：過水、過路、穿越房屋等情況。

二、成本效益分析

為與傳統航測施測方式之成本進行比較分析，以進一步了解運用空載光達 DEM 成果轉製基本圖高程資料之效益。本研究於試辦過程中，紀錄作業人員所需之作業工時，空載光達 DEM 成果轉製基本圖高程資料城區 10 幅及山區 10 幅計算每幅平均測製時間為 20.75 小時。

參考 102 年基本地形圖修測工作總報告書及其報價資料估算傳統航測所需作業時間及人力成本。102 年度作業範圍城區約佔 2/3，山區約佔 1/3，城區每幅作業時間為 50 小時，山區每幅作業時間為 55 小時，以城區及山區所佔比例計算，加權平均估算每幅作業時間為 51.67 小時(50 ＊ 2/3 ＋ 55 ＊ 1/3 ＝ 51.67)。有關作業人員時薪，依據 102 年基本圖修測單價分析，等高線測製及數值地形模型測製項目每幅單價分別為新臺幣(以下同)4,400 元及 7,000 元，總計每幅高程資料測製單價為 1 萬 1,400 元，則作業人員平均時薪為 220.65 元（11,400 ／ 51.67 ＝ 220.65 ）。以本次空載光達 DEM 轉製基本圖高程資料試辦每幅平均測製時間 20.75 小時計算每幅平均轉製成本為 4,578 元。運用空載光達 DEM 轉製基本圖

高程資料與傳統航測方法作業時間及成本比較分析結果如表 6-5。

表 6-7 等高線及 DTM 測製時間及成本分析比較表

	本研究測試方法		傳統航測	
	城區	山區	城區	山區
立體模型檢查粗差 (hr)	1.5	2	–	–
立體模型數化特徵 (hr)	–	–	24	23
內插計算 DTM (hr)	–	–	22	22
等高線編修 (hr)	15	23	4	10
測製時間總合 (hr/幅)	16.5	25	50	55
平均測製時間 (hr/幅)	20.75		51.67	
平均測製成本 (元/幅)	4,578		11,400	

由上表顯示本研究提出的高程資料轉製作業方式與傳統航測相比可節省約 60%的測製時間及費用。綜合各項分析結果，利用空載光達 DTM 轉製基本圖高程資料的方式，確實能在符合基本圖測製品質的要求下，節省大量的時間與成本。

三、遭遇困難及解決方式

本研究項目是利用既有的空載光達 DTM 成果來轉製基本圖高程資料，當中所遭遇到的困難主要是空載光達 DTM 成果品質是否良好。空載光達 DTM 成果品質取決於資料提供者的品管措施，如圖 6-4 在來源資料的品質不佳而存在粗差的狀況，本研究作業流程則需要花費較多的人工來進行除錯作業，也將降低整體效益，所以引用的來源資料應該具有一定的品質水準。目前內政部正著手制定空載 LiDAR 數值地形模型測製規範，未來空載光達 DTM 成果如果均依照該規範辦理品管檢核，將可確保其品質無虞，也才能真正達到本研究的效益。

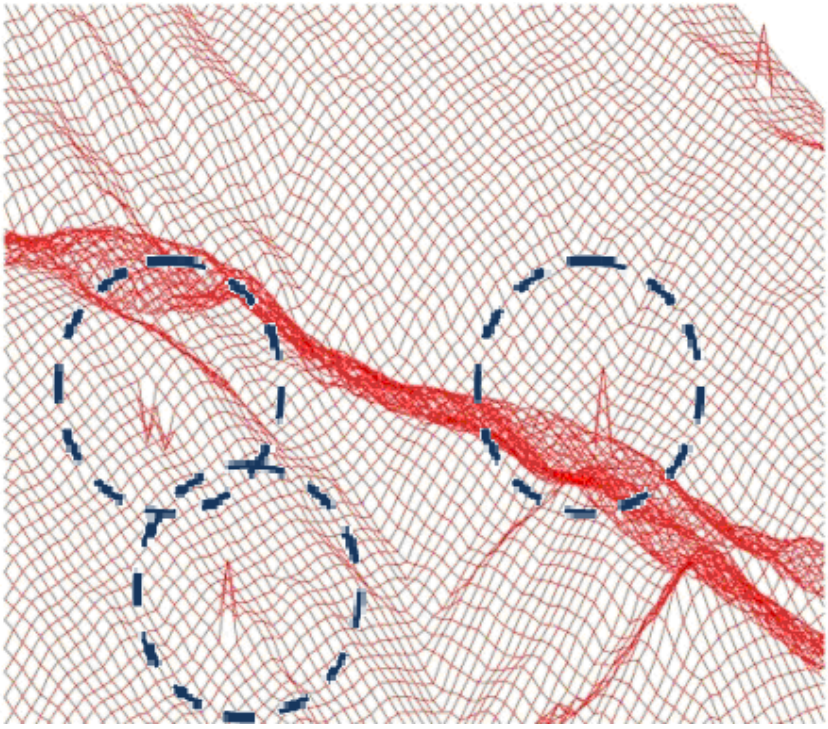


圖 6-4 空載光達 DTM 成果之粗差

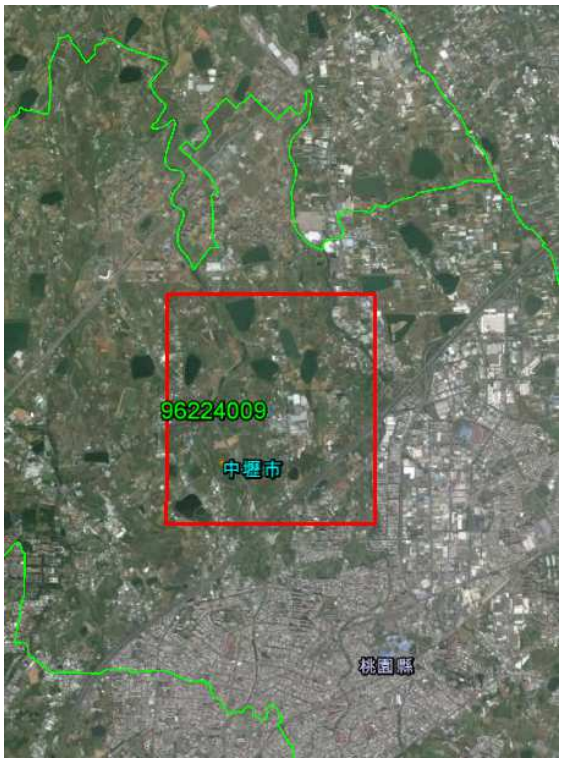
第三節　以多元圖資整合方式辦理基本圖地物及地類更新

一、作業情形及測試成果

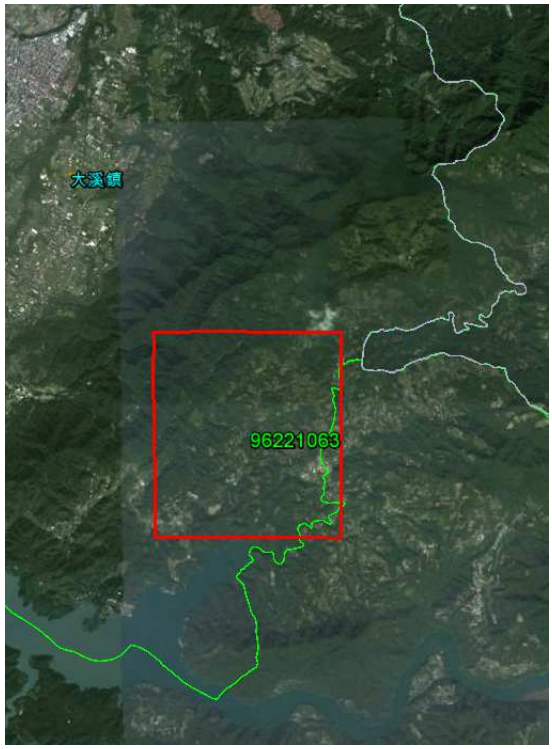
本研究使用目前最新 102 年度的通用版電子地圖成果及國土利用調查成果進行多元圖資整合測試，並分別選定城區及山區類型各 1 幅五千分之一圖幅與現行基本圖地物及地類測製方式及成本分析比較，其中城區位於桃園中壢市地形起伏較平緩，建物密集且地物及地類混雜；山區測試區域位於桃園大溪鎮建物聚落較少，地類多為農業使用及林地或建物與農業複合使用情形。通用版電子地圖與國土利用調查成果特性比較如如表 6-8，測試範圍分別如圖 6-5。

表 6-8 圖資整合特性比較表

	通用版電子地圖	國土利用調查成果
資料形式	向量式	向量式
更新頻率	2 年	104(含)年度 5 年，更新至 3 級分類 105 年度以後 2 年，更新至 2 級分類
生產方式	立體測圖	1.導入通用版電子地圖道路及水系成果提升整體精度。 2.其餘使用正射影像數化，並配合現地調查。
資料類別	土地覆蓋 (Land Cover)	土地覆蓋及土地使用 (Land Cover+Land Use)
資料內容	建物、道路、 水、地標	區塊 (三級分類，103 類)



城區測試範圍



山區測試範圍

圖 6-5 多元圖資整合測試範圍

為了解以多元圖資整合方式辦理基本圖地物及地類更新之成果效益，首先對本研究所提精進作業流程與傳統航測立製所需測製時間進行工時分析，並以製圖單價進行成本分析，最後結合本研究所有研究主題提出作業流程革新方案並評估整體效益。2 種作業方式之所需工時如表 6-9。

表 6-9 工時比較表

地物測製及基本圖編纂	本研究測試流程		傳統航測	
作業項目	城區	山區	城區	山區
圖資整合	7	7.5	0	0
資料前處理	13	14	12	8
立體測圖	24	16	48	32
圖檔編修	24	24	24	24
測圖時間合計	68	61.5	84	64
節省比例	19.0%	3.9%	-	

由表 6-9 可以得知本研究所提利用精進作業流程不論在城區或山區皆可節省作業時間，山區可節省 3.9%作業時間，城區可節省 19.0%作業，時間成效顯著。

另就各作業項目詳細分析差異可發現，因本研究所使用國土利用調查成果主要是以土地使用現況去區分坵塊，測製較為細緻，因此與通用版電子地圖整合使用時，會存在許多破碎線段及坵塊須先處理，因此此步驟相較傳統作法時間花費較多。

而在立體測圖項目，因精進作業流程僅需針對通用版電子地圖及國土利用調查成果所沒有的地物及地類進行測製，相較傳統作法可節省達 50%作業時間。至於圖檔編修步驟則兩種作業方式並無差異。

二、成本效益分析

經參考 103 年度基本地形圖修測工作之單價，本研究項目更新地物及地類對應其中地物測製及基本圖編纂的作業單價，合計為新臺幣 13,100 元(9,500+3,600)。根據傳統航測方式，城區的作業時間為每幅 84 小時，103 年作業面積約佔 1/7，山區每幅測製時間 64 小時，作業面積

約佔 6/7，測製時間加權平均計算為：

$$64 * 6/7 + 84 * 1/7 = 66.9 \text{ (hr/幅)}$$

再以此計算測製費用平均每小時每幅單價為：

$$13{,}100 / 66.9 = 195.8 \text{(元/幅/hr)}$$

測製費用成本比較如下：

表 6-10 地物及地類更新方法成本比較

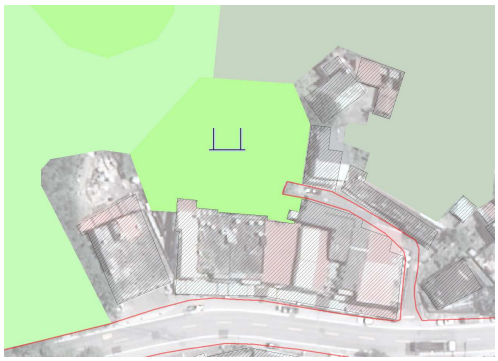
地物測製及基本圖編纂	本研究測試流程		傳統航測		節省經費(元/幅)	節省比率(%)
	測圖時間(hr/幅)	測製成本(元/幅)	測圖時間(hr/幅)	測製成本(元/幅)		
城區	68	13,314	84	16,447	3,133	19.0%
山區	61.5	12,042	64	12,531	489	3.9%

上表可以得知，資源整合方法，在城區可節省 19%的時間及費用；在山區可節省 3.9%的時間及費用。城區部分因建設發展活躍，且建物、道路等地物資料眾多，傳統航測在立體測圖也是花費較多作業能量在此，由於使用最新的通用版電子地圖及國土利用調查成果來轉製，大部分的地物資料已被更新，所以測製時間大幅減少，較能顯著其效益。然山區部分發展較不活躍，大部分是天然災害造成地形改變的情形，其變動區域連貫且發生機率少，所以山區地物更新的作業量自然較少。不過整體評估來說，利用多元圖資整合方式來更新基本圖的地物及地類的確可以達到節省經費提升作業效率的目的。

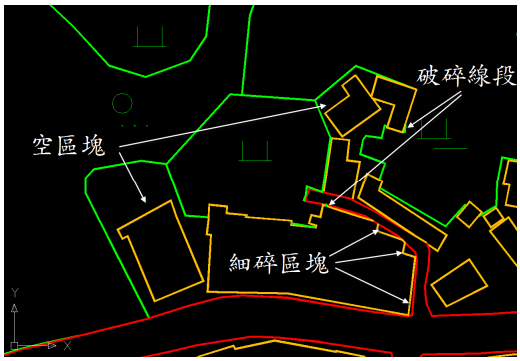
三、遭遇困難及解決方式

研究中所困難在於整合國土利用調查成果，其原因為基本圖與通用版電子地圖均採用航攝影像立體測量辦理，製圖精度水準相近，所以相關程度較高。而國土利用調查成果雖已導入通用版電子地圖之道路與水系成果，但整體作業方式仍以正射影像數化作業為主，與基本圖精度尚

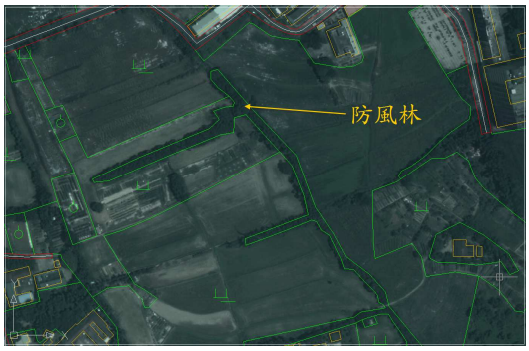
有差異，另國土利用調查成果分類涵蓋土地覆蓋及土地使用性質，與基本圖地物及地類以土地覆蓋為主的測製對象，兩者製圖定義有部分不同，如國土利用調查成果中有明顯範圍界線且具有整體使用目的者，則範圍內建物、植被或其他使用將不單獨細分，而是給予一整體使用分類，因此，需花費較多人力進行前處理。



(a-1)整併後 GIS 間隙及重疊問題

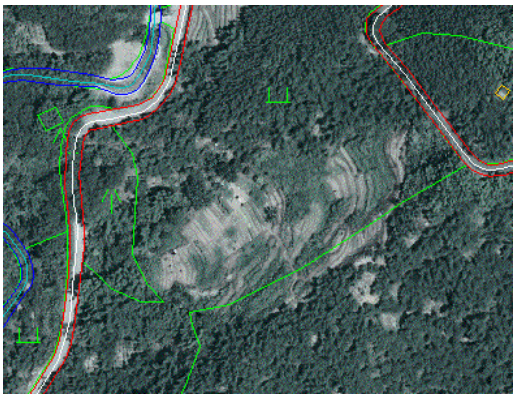


(a-2)整併後形狀破碎問題



(b-1)國土利用調查需額外區分防風林

(b-1)基本圖不須額外區分防風林



(c) 國土利用區塊分類因時間差異與航攝影像不一致

圖 6-6 國土利用調查成果轉為地類參考不合理之態樣

第四節　精進基本圖更新維護作業流程

利用本中心建構的 e-GNSS 系統、中央地質調查所空載光達產製之數值地形模型、通用版電子地圖及國土利用調查成果，精進基本圖控制測量、高程資料更新及地物、地類更新等作業流程，經本研究試辦結果確實可行，亦能降低基本圖更新所需時間及經費。將前述各項精進作業流程納入基本圖測製更新作業流程當中，精進基本圖更新維護技術後作業流程如圖 6-7。

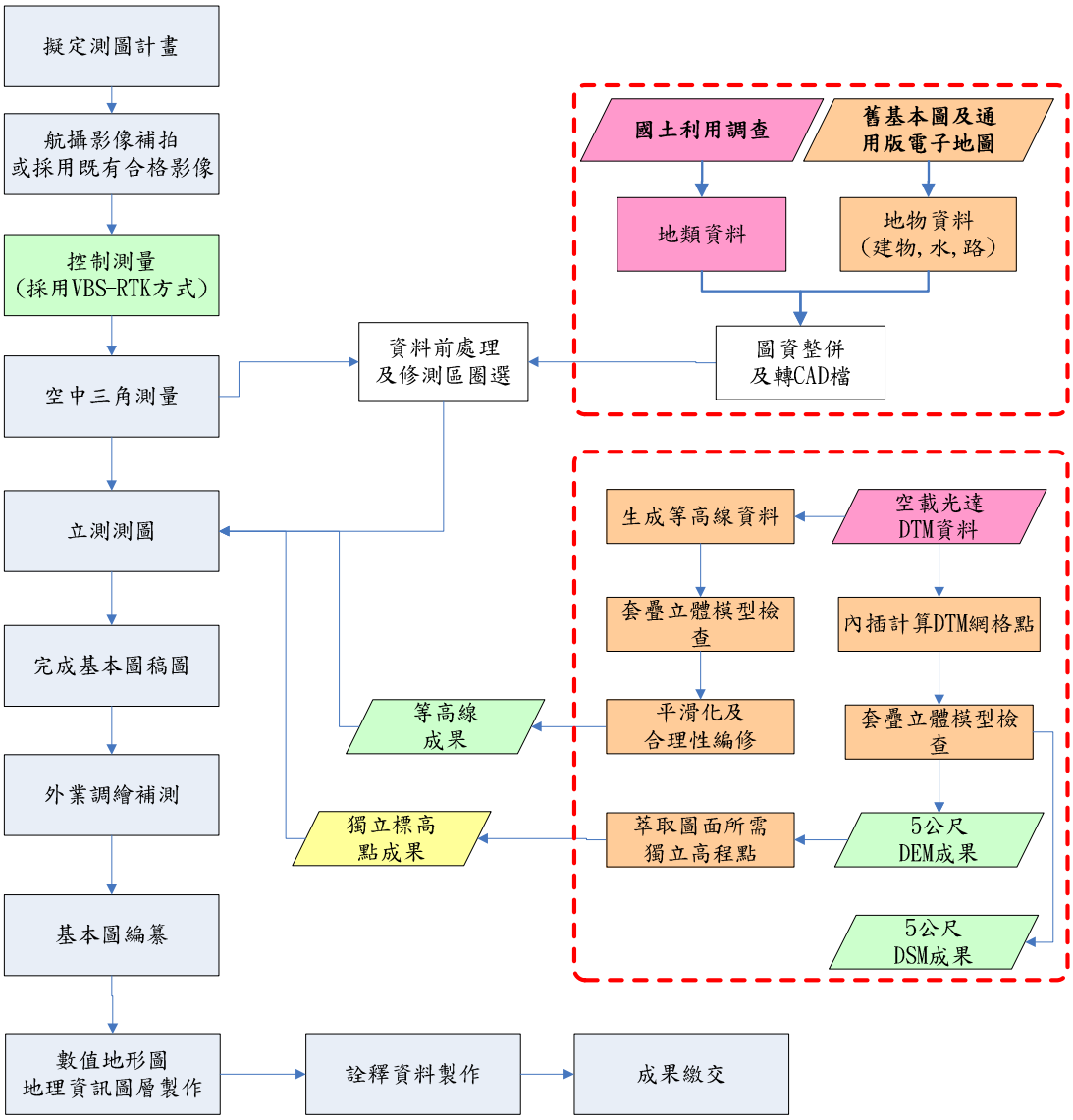


圖 6-7 本研究提出之精進基本圖更新維護作業流程

為分析基本圖更新維護精進作業流程之成本效益，以 103 年基本地形圖修測工作各項作業價格為基準，計算精進後基本圖更新作業成本如表 6-11。其中控制測量部分，依本研究作業方式單價為 786.52 元/點，103 年觀測點數為 89 點，總價約為 70,000 元；數值地形模型測製與等高線測製項目併同計算，依本研究作業方式單價為 4,578 元/幅，作業數量為 135 幅，則總價為 618,030 元；地物測製與基本圖編纂項目併同計算，依本研究作業方式城區及山區平均單價為 12,687 元【(13,324+12,050)/2】，作業數量為 135 幅，則總價為 1,712,745 元；其餘作業項目則採用 103 年基本地形圖修測工作各項作業單價計算，則以基本圖更新維護精進作業流程辦理之總價合計為 4,028,525 元，每幅平均單價為 29,841 元，與 99 年至 102 年基本圖更新平均單價 52,283 元（如表 6-12）比較，可節省約 43%的更新測製經費。

表 6-11 本研究精進作業流程之經費估算表

項目		單位	數量	單價	總價	備註
1	控制測量	式	1	70,000	70,000	採用 VBS-RTK 辦理
2	空中三角測量	式	1	450,000	450,000	
3	影像控制區塊測製	式	1	111,975	111,975	
4	數值地形模型測製	幅	135	4,578	618,030	採用空載光達 DTM 轉製
5	等高線測製					
6	正射影像製作	幅	135	1,400	189,000	
7	地物測製(數值立體測圖)	幅	135	12,687	1,712,745	採用多元圖資整合方式辦理
8	基本圖編纂					
9	調繪補測	幅	135	3,600	486,000	
10	數值地形圖地理資訊圖層製作	幅	135	1,900	256,500	
11	詮釋資料製作	幅	135	200	27,000	
12	成果檢查及修正	幅	135	550	74,250	
13	各式報告書	式	1	33,025	33,025	
合計					4,028,525	
每幅平均測製單價					29,841	

表 6-12 歷年基本圖更新單價

年度	更新總價(元)	辦理幅數(幅)	更新單價(元/幅)
99	4,250,000	75	56,666.67
100	13,988,200	255	54,855.69
101	6,608,100	131	50,443.51
102	8,820,000	187	47,165.78
		平均單價	52,282.91

第七章　結論與建議

第一節　結論

一、 採用 VBS-RTK 辦理基本圖控制測量，經本研究測試，其精度均可符合基本圖控制測量要求，另每點作業單價可降至約 787 元，相較於傳統採用靜態衛星定位方式辦理平面測量單價 5,250 元、採用直接水準測量辦理高程測量單價為 9,600 元，分別節省約 85%及 92%的成本。且測試作業中所遭遇環境遮蔽及山區電信網路訊號不良等問題，雖然會造成移動站無法獲得控制中心提供的定位訊息，但仍可使用本中心 e-GNSS 系統提供的後處理服務來解決。

二、 使用空載光達 DTM 資料轉製基本圖高程資料，經本研究測試，在轉製基本圖高程資料的平均測製時間降低為每幅 20.75 小時，平均測製成本可降至每幅 4,578 元，共可節省約 60%的測製時間及費用，因此，利用空載光達 DTM 轉製基本圖高程資料的方式，的確能在符合基本圖測製品質的要求下，節省大量的時間與成本，其成果效益顯著。惟轉製效率受限於空載光達 DTM 成果之品質，在存在粗差的狀況下，需要花費較多的人工來進行除錯作業，降低整體效益。未來取得之空載光達 DTM 成果應依內政部相關規範品管，確保品質無虞，方能確實發揮本研究的最大效益。

三、 利用多元圖資整合方式辦理基本圖地物及地類更新方面，本研究主要針對通用版電子地圖及國土利用調查成果兩種圖資，試辦基本圖更新作業。研究成果顯示在城區可節省 19%的時間及費用，在山區可節省 3.9%的時間及費用。主要是因為城鄉建設發展活躍性的差異造成，不過整體評估來說，本研究作業方式的確可以達到節省經費提升作業效率的目的。研究中遭遇的困難在於整合國

土利用調查成果時，因測製的方式、精度、分類主題與基本圖差異較多，所以在前處理階段仍需花費較多的人工處理。未來國土利用調查成果與基本圖類別趨向一致後，並採用通用版電子地圖之幾何資訊為基礎，其測製精度可望提升，屆時將能達到本研究作業方式的最佳效益。

四、 最後，本研究結合所有研究成果提出一套精進基本圖更新維護作業流程，並以 103 年基本圖各作業項目經費為基準計算該作業流程的費用成本，其每幅平均測製單價為 29,841 元，與歷年平均測製單價 52,283 元，可節省 43%的測製經費，其革新成效卓著。未來採用本作業流程辦理基本圖更新維護作業，將可大幅節省測製經費提升修測數量及效率。

第二節　建議

一、 本研究結合 VBS-RTK、LiDAR 與多元圖資整合技術，針對製圖重點流程發展革新技術，提出基本圖更新維護精進作業流程，節省基本圖更新成本達 43%，提升基本圖更新效率，大幅降低更新所需經費。惟臺灣地區目前仍有 3,368 幅基本圖（占臺灣地區總圖幅數 60%）超過 5 年未更新，以目前編列經費每年新臺幣 500 萬元，採用本研究精進作業流程僅能更新 160 餘幅，至完全更新完畢尚需 20 餘年。因此，建議後續仍應編列充足之經費，辦理基本圖更新工作，以提供各界符合時效性及可用性之高精度基礎圖資。

二、 中央與地方政府依業務職掌或執行業務（如國土資訊系統）需要所產製具有空間特性之圖資，這些空間圖資部分具有相關性或同質性，可透過機關間圖資互通及整合運用，將更新機制納入業務行政流程中，以達長期資料動態更新隨時提供最新圖資之目的。本研究利用多元圖資整合方式輔助更新基本圖重要圖層，可降低基本圖更新成本，亦可藉由上開圖資極佳的時效性，提升基本圖之可用性。建議未來基本圖可持續透過建立業務行政流程更新機制，整合各單位可用的圖資資源，提供更新使用。

三、 近年來航遙測技術快速精進，結合資訊科技朝向多元感測、自動化蒐集地面資訊作業方法發展，大幅增進圖資測製效能。其中車載移動式測繪系統（測量車）可快速獲取地面空間資料，使得空間資料的蒐集更有效率。基本圖更新作業流程中，除立體測圖、圖檔編修外，外業調繪補測亦是花費大量人力及時間之工作項目。建議未來可研究藉由車載移動式測繪系統技術來加速進行道路、建物、地標、路名等外業測繪及資料蒐集工作，利用其高效率的空間資料蒐集能力，節省外業調繪所需要的人力及時間。

參考書目

1. 陳坤煜 (2010)，VBS-RTK 應用於圖根點定位精度之研究，逢甲大學環境資訊科技研究所碩士論文。
2. 陳宏仁、謝有忠 (2012)，空載光達的應用方向，地質，31 卷，第 2 期，第 26-30 頁。
3. 蘇文毅 (2013)，網路 RTK 應用於 GPS 正高測量之精度分析－以恆春半島為例，國立成功大學測量及空間資訊學系，碩士論文。
4. 財團法人中正農業科技社會公益基金會 (2009)，航遙測技術在自然資源之應用，財團法人豐年社，中正基金會專題研究報告，No. 17。
5. 王敏雄、劉至忠、劉正倫、蕭輔導 (2006)，e-GPS 衛星基準網之 VBS-RTK 即時動態定位系統測量成果分析，地籍測量，第 25 卷，第 2 期，第 1-21 頁。
6. 內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站，http://www.egnss.nlsc.gov.tw。
7. 劉榮增 (2011)，e-GPS 系統應用於加密控制測量之研究-以桃園縣楊梅重測區為例，國防大學空間科學碩士班，碩士論文。
8. 經濟部中央地質調查所 (2012)，99-101 年度國土保育之地質敏感區調查分析計畫-莫拉克災區 LiDAR 高解析度數值地形製作三年總報告書。
9. 內政部國土測繪中心 (2010)，採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量手冊。
10. 蘇英茂 (2014)，e-GPS 應用於小區域高程測量之研究，國防大學空間科學碩士班，碩士論文。
11. 黃華尉 (2003)，TWD97 與 TWD67 二度 TM 坐標轉換之研究，成功大學測量工程研究所，碩士論文，103 頁。
12. 林偉祥 (2011)，e-GPS 應用於山區地籍測量之研究：以台電鐵塔用地預為分割測量為例，國防大學理工學院環境資訊及工程學系空間科學研究所，碩士

論文，第 9-22 頁。

13. 張芝生、張元旭、曾正雄 (2003)，測繪學辭典，國立編譯館，第 1 版。
14. 楊名、黃金維、陳國華（2011)，臺灣地區發展高程現代化作業技術先期研究，財團法人成大研究發展基金會，第 5-28 頁。
15. 林老生 (2012)，e-GPS 水準測量精度研究，臺灣土地研究，第 15 卷，第 2 期，第 35-58 頁。
16. 林宗毅 (2007)，空載 LiDAR 應用於地形變化量測之研究，國立成功大學地球科學研究所，碩士論文，第 27-31 頁。
17. 湯美華 (2006)，空載光達點雲及地形圖輔助生產真實正射影像之研究，國立成功大學測量工程學系研究所，碩士論文。
18. 內政部 (2014)，高精度及高解析度數值地形模型測製規範 V.103(草案)。
19. 內政部 (2014)，空載 LiDAR 數值地形模型測製規範 V.103(草案)。
20. 內政部國土測繪中心 (2012)，101 年度基本地形圖修測工作控制測量報告。
21. 內政部國土測繪中心 (2013)，102 年度基本地形圖修測工作總報告書。
22. 內政部國土測繪中心 (2014)，103 年度基本地形圖修測工作總報告書。
23. Lillesand, T., and Kiefer, R., 2000, “Remote Sensing and Image Interpretation (4th Edition)”, John Wiley & Sons, Inc. ISBN:0471255157.
24. El-Sheimy, N., The Development of VISAT-A Moblie Survey System for GIS Applications, Ph.D Thesis, UCGE Report #20101, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Canada, 1996.