

VBS-RTK 應用於界址測量之探討

A Study on VBS-RTK apply to Boundary point survey

劉冠岳¹ 王建得² 黃國良² 何定遠³ 鄭彩堂⁴
Guan-Yue Liou¹ Chien-Te Wang² Kuo-Liang Huang³ Ting-Yuan Ho³ Tsai-Tang Cheng⁴

摘要

虛擬基準站之網路化即時動態定位 (Virtual Base Station RTK, VBS-RTK) 技術, 是現今世界各先進國家國界測繪及定位技術之主流。目前國內VBS-RTK技術已研究應用於辦理三等控制點檢測、加密控制測量、地籍圖重測之圖根點測量及土地複丈作業等, 研究成果顯示VBS-RTK可達上開作業之規範精度。

傳統戶地測量使用電子測距經緯儀做為測量工具, 由於GPS之快速發展, 戶地測量亦導入即時動態定位技術 (Real-Time Kinematic, RTK), RTK具有操作簡便、施測快速及可達公分級精度等優點, 然而RTK受限距離控制點之2公里測量範圍, 於是本研究嘗試使用RTK再進化之VBS-RTK技術, 於地籍圖重測區實際施測界址測量, 試驗其成果是否符合地籍圖重測作業手冊規定; 由實驗成果得知, VBS-RTK確實可應用於界址測量。

關鍵詞：虛擬基準站之網路化即時動態定位技術、三等控制點檢測、加密控制測量、圖根點測量、土地複丈、戶地測量

Abstract

VBS-RTK is mainstream technology of international surveying, mapping and positioning of all advanced country of the World. It apply to work of third-order point verification, forth-order point survey, supplementary control survey and land re-survey. In this research, instead of electronic total station and RTK (Real-Time Kinematic), try to use VBS-RTK to boundary point survey of cadastral resurvey, and we will evaluate if its precision can fix set of remeasurement provision of cadastral resurvey operations manual. According to the result, VBS-RTK can apply to work boundary point survey of cadastral resurvey.

Keywords: VBS-RTK, Third-order point verification, Forth-order point survey, Supplementary control survey, Land re-survey, Boundary point survey of cadastral resurvey

¹內政部國土測繪中心 專員, 55505@mail.nlsc.gov.tw

²內政部國土測繪中心 課員

²內政部國土測繪中心 課員

³內政部國土測繪中心 隊長

⁴內政部國土測繪中心 副主任

一、前言

傳統界址測量使用電子測距經緯儀作為測量工具，由於GPS之快速發展，界址測量亦導入即時動態定位技術（Real-Time Kinematic，RTK），利用差分計算原理，即可求得移動站之定位坐標。RTK具有操作簡便、施測快速及可達公分級精度等優點，然而RTK當主站及移動站距離增加時，主站與移動站之電離層和對流層逐漸失去線型誤差模型的有效性，無法以差分方式消除之，嚴重影響定位精度，另無線電通訊訊號也隨距離增加而衰退且訊號干擾亦增強，影響觀測訊號之傳輸，所以其作業區域僅限距離控制點（主站）之2公里範圍；再者，RTK測量至少須具備RTK主站、移動站及無線電通訊等設備，人力部分亦受限至少需2人方能作業。

VBS-RTK為RTK之進化技術，無需RTK主站及無線電通訊設備，改以網路化之虛擬基準站替代，省去測量時主站之人力及無線電設備，單人即可操作；更由於虛擬基準站可依移動站觀測測量而虛擬於移動站之附近（約10公尺），以近距離進行RTK測量，大幅提升定位精度，改善上述之RTK系統誤差及無線電干擾，且作業範圍不再受限於距離控制點（主站）2公里之限制（因主站虛擬化，並且在移動站附近），於全國各地（臺、澎、金、馬）皆可進行高精度即時動態定位測量，再加上VBS-RTK之78處衛星定位基準網全天候24小時接收每秒1筆GPS觀測資料，故可於全時全國各地進行該測量。

目前VBS-RTK技術已研究於辦理三等控制點檢測、加密控制測量、地籍圖重測之圖根點測量及土地復丈作業等，研究成果顯示VBS-RTK可達成上開作業之規範精度；另依據「數值法地籍圖重測作業手冊」規範，戶地測量之界址測量中重複觀測之作業規定：「使用RTK測量應就固定位置之界址點及施測範圍附近之圖根點（含圖根補點）實施重複觀測，坐標值較差不得超過3公分。」，VBS-RTK技術為RTK技術之進化，倘於戶地測量之界址測量使用VBS-RTK技術施測，是否和使用RTK施測，同樣可符合上開規定？是以，本研究嘗試使用VBS-RTK技術，於102年度臺灣本島地籍圖重測區實施界址測量，試驗其成果是否符合上開規定。

二、理論基礎

（一）VBS-RTK基本定位原理

VBS-RTK即時動態定位技術的基本觀念既是由多個GPS基準站全天候連續地接收衛星資料，並經由網際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，所以在基準站所構成的基線網範圍內，RTK使用者只需在移動站上擺設衛星定位接收儀，並將相關定位資訊透過以全球行動通訊系統（GSM）為基礎的整合封包無線電服務技術（General Packet Radio Service，GPRS）等無線數據通訊傳輸技術及美國國家海洋電子學會（National Marine Electronics Association，NMEA）專為GPS接收儀輸出資料所訂定之標準傳輸格式傳送至控制及計算中心，並據以計算虛擬基準站之模擬觀測測量後，再以「國際海運系統無線電技術委員會」（Radio Technical Commission for Maritime，RTCM）所制定之差分GPS標準

格式回傳至移動站衛星定位接收儀，進行”超短基線”RTK定位解算，即可獲得公分級精度定位坐標。VBS-RTK基本定位原理如圖1所示：

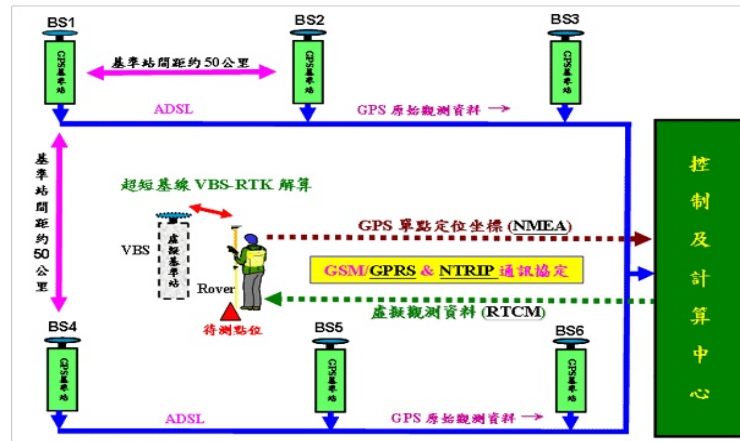


圖1 VBS-RTK基本定位原理示意圖

VBS的技術使得我們毋需自己架設基準站，僅需在移動站撥打手機給控制計算中心，控制計算中心就會回饋給使用者一個以虛擬主站計算所得之相關成果，就彷彿在移動站的附近架設基準站一樣，達到快速、方便且高精度的施測效果。

(二) 衛星定位基準網

本中心建置全國VBS-RTK衛星定位基準網，係按92年度委託財團法人成大研究發展基金會辦理「臺灣e-GPS電子基準站規畫設計及測試分析」研究成果，建議在臺灣本島地區布設衛星定位基準站之最佳間距，以不超過50公里為原則。自93年起開始建置，目前含離島部分共78處基準站，其分布如圖2所示：

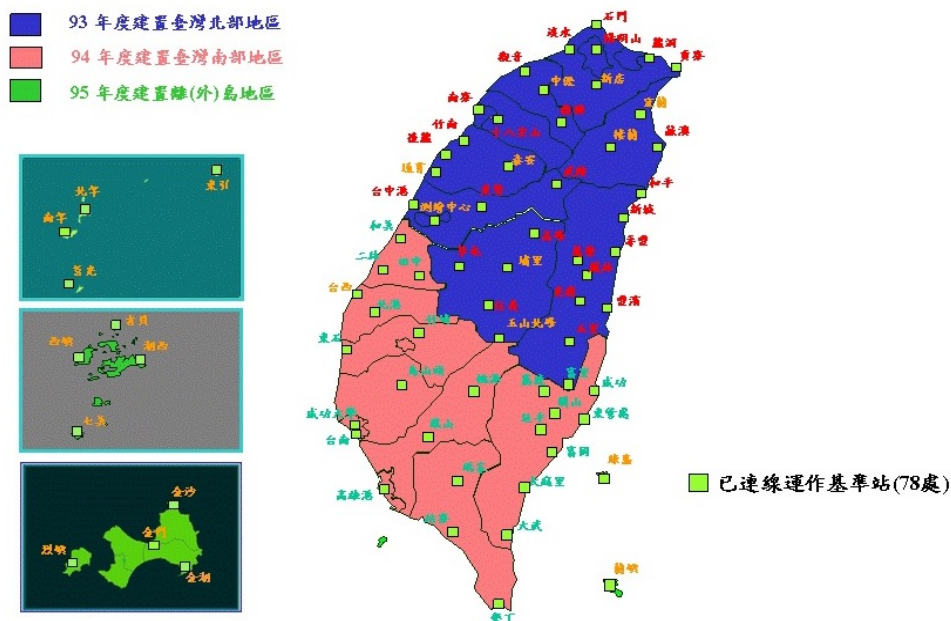


圖2 VBS-RTK衛星定位基準站分佈

(三) VBS-RTK解算流程

VBS-RTK即時性動態定位實際運作解算步驟如下：

- 1、基準站區域網資料前級處理：包含建立基準網觀測資料庫，並同時進行基準站之網形平差計算。
- 2、基準站區域網解算：控制計算中心彙整計算各基準站連續觀測資料及精確坐標，建立區域性誤差修正資料庫。
- 3、建立虛擬基準站觀測數據：移動站利用無線數據通訊傳輸技術將衛星定位資料接收傳輸後，由控制計算中心依移動站位置坐標進行系統誤差內插計算，並結合最近的基準站實際觀測資料組成VBS 虛擬觀測資料後，以RTCM格式回傳至移動站。
- 4、移動站站坐標解算：移動站接收儀進行”超短基線” RTK定位解算。

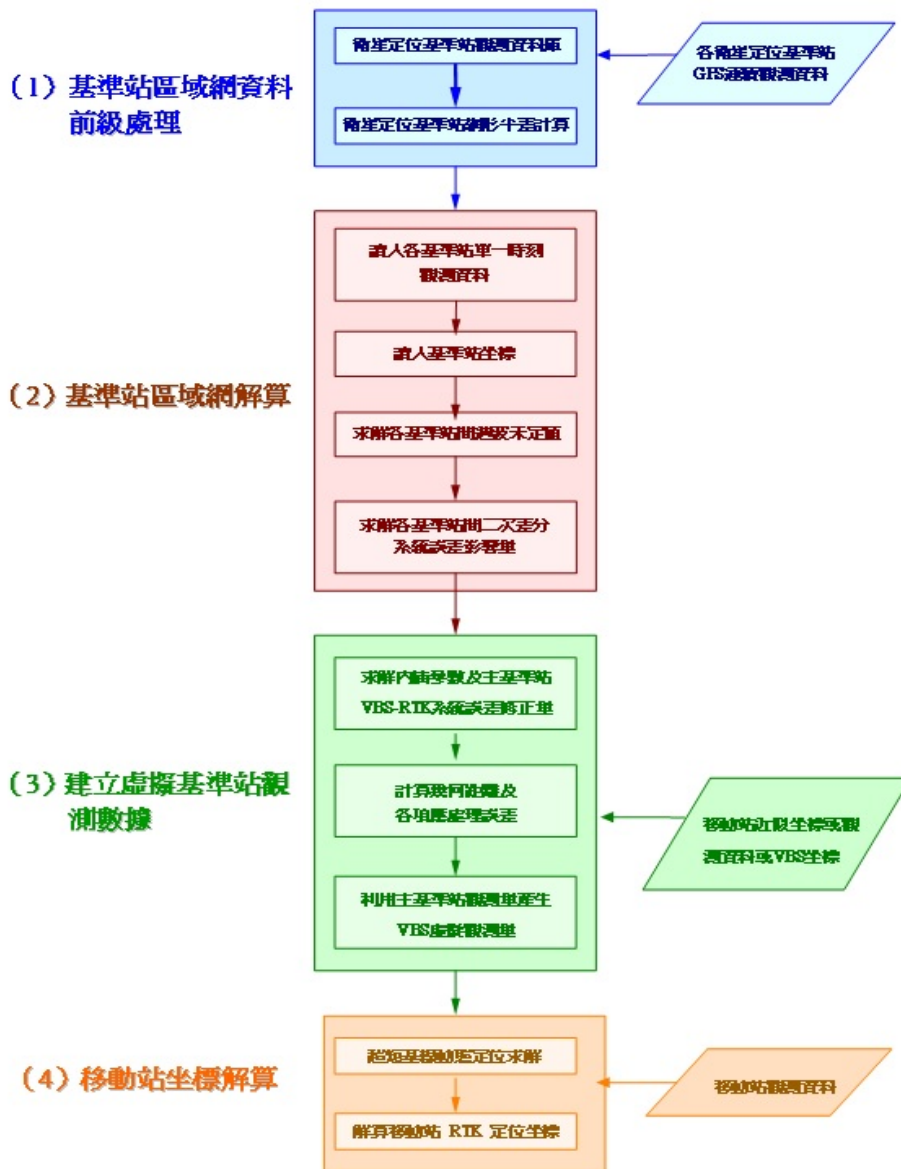


圖3 VBS-RTK即時性動態定位實際運作解算步驟

三、坐標系統及坐標轉換

本研究為VBS-RTK技術應用於地籍圖重測之界址測量探討，故本節將探討VBS-RTK之坐標系統與地籍圖坐標系統。

(一) e-GPS坐標系統

VBS-RTK為即時計算並處理各基準站涵蓋範圍內之定位誤差修正資料，各基準站應有精確之相對坐標（位置關係）。就整體坐標系統之一致性考量，VBS-RTK之坐標系統理應以內政部87年度公布之TWD97國家坐標系統為基礎，不僅可以避免坐標系統轉換所衍生之轉換誤差，亦可達到使用上之便利性。惟臺灣地區因位處於地殼變動劇烈地帶，且區域性之地表位移量各地均有明顯差異，無法以固定某時間點之坐標框架（如TWD97坐標系統）作為其坐標系統，本中心改定義一套以時間為函數之VBS-RTK動態坐標系統（稱為e-GPS坐標系統），藉由各基準站每日接收之GPS觀測量，控衛計算中心持續計算各基準站之相對坐標是否符合實際狀態。

本坐標系統於臺灣本島地區以竹南地政事務所基準站（JUNA）為固定站，福建省金門及馬祖2處分別以內政部金門（KMM）及馬祖（MZUM）衛星追蹤站為固定站，至澎湖地區因境內並無衛星追蹤站，故權宜採用北港衛星追蹤站（PKGM）為固定站；上開固定站須位移變化量最小且資料接收衛星觀測資料最穩定，因其作為其他e-GPS衛星定位基準站坐標及速度場解算之依據。

為精確解算各基準站精密坐標及其速度變化量，有關各基準站衛星觀測資料先經由人工進行必要之篩選過濾（cleaning）並疏化取樣間隔為30秒後，採用瑞士伯恩大學天文研究所採用多測站-多時段（MultiStation-MultiSession）方法所研發之BERNESE研究型基線及網形平差計算軟體，配合國際GNSS服務組織（International GNSS Service, IGS）所公布之最終精密星曆（IGS Final，約於當天衛星資料接收2週後於該組織官方網站公布提供使用者下載），每天解算各衛星定位基準站精密坐標（Daily Solution），再彙整針對每一處衛星定位基準站每天計算獲得之坐標進行TAU測試（ τ -Test），剔除成果品質較差之坐標成果後，以線性方程式計算各基準站三軸坐標之速度量。

(二) 地籍圖坐標系統

地籍圖之坐標系統，從早期的地籍坐標系統，及使用1967年大地基準框架之TWD67坐標系統，與以1997年大地基準框架之TWD97坐標系統，乃至於最新為了符合臺灣地區地殼板塊碰撞劇烈，控制點明顯位移，避免套合控制點困難或變形之情形，而以TWD97之大地基準框架及坐標系統，重新解算成果於2010所公布之一九九七坐標系統2010坐標成果（TWD97[2010]）；就目前地籍圖重測成果使用之TWD97及TWD97[2010]坐標系統分述如下：

1、一九九七坐標系統（TWD97）

自民國82年度起應用高精度全球定位系統測量技術，迄86年止共建立8個衛星追蹤站及105個一等衛星點及622個二等衛星點，以建立完整、統一、高精度之基本控制

點系統；該系統定名為一九九七臺灣地區大地基準，簡稱TWD97，由內政部於87年訂定，採用之測量基準如下：

- (1) 採用國際地球參考框架 (International Terrestrial Reference Frame, 簡稱ITRF)。ITRF為利用全球測站網之觀測資料成果推算所得之地心坐標系統，其方位採國際時間局 (Bureau International de l'Heure 簡稱BIH) 定義在1984.0時刻之方位。
- (2) 參考橢球體採用1980年國際大地測量學與地球物理學會 (International Union of Geodesy and geophysics 簡稱IUGG) 公布之參考橢球體 (GRS80)，其橢球參數之長半徑 $a = 6378137$ 公尺，扁率 $f = 1/298.257222101$ 。
- (3) 採用橫梅氏投影經差二度分帶，其中央子午線為東經121度，投影原點向西平移250,000公尺，中央子午線尺度比為0.9999；另澎湖、金門及馬祖等地區之投影方式，亦採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中央子午線定於東經119度，投影原點向西平移250,000公尺，中央子午線尺度比為0.9999。

2、一九九七坐標系統2010年成果 (TWD97[2010])

自內政部87年公布衛星追蹤站及各級控制點TWD97坐標已歷經10餘年，有鑑於臺灣地區位於地殼板塊碰撞劇烈地帶，部分地區點位已產生明顯位移，致套合引用有實務上困難，無法符合目前測繪作業之精度需求，故針對大地基準及坐標系統是否變動或更新等議題，由內政部於98年10月起邀集專家學者召開「大地基準及坐標系統更新維護機制」會議討論，確認點位成果及基準框架繼續採用一九九七坐標系統 (TWD97)，並於101年公告大地基準及一九九七坐標系統2010年成果 (簡稱TWD97[2010])。其測量基準定義均與TWD97相同，惟套合至國際固定站之2010.0時刻成果。

目前地籍圖重測成果以TWD97坐標系統居多，少數控制點位移明顯地區 (板塊活動頻繁之地區) 則以TWD97[2010]坐標系統為主，全國兩系統之間，控制點位移明顯區域坐標分量差值僅在1公尺以內，使用地籍圖時，務必釐清其坐標系統為何，否則恐造成成果錯誤。

(三) 坐標轉換

本研究以VBS-RTK施測界址測量之界址點，其成果為e-GPS坐標系統，本研究之實驗區-桃園縣平鎮市、嘉義縣民雄鄉及臺東縣長濱鄉之地籍圖重測區，其公告成果均為TWD97坐標系統，亦即加密控制點、圖根點及界址點全為TWD97坐標系統成果，故實測之VBS-RTK界址點成果與以電子測距經緯儀檢測之成果要能比較，須經過坐標轉換，使兩成果位於同個坐標系統。

地籍圖僅平面坐標-縱坐標Y (或N) 及橫坐標X (或E)，考量各實驗區選取之加密控制點數僅4至6點，為增加多餘觀測數以提高成果品質，故選用4參數轉換作為兩坐標系統轉換之工具。4參數坐標轉換之特色為維持兩坐標軸正交，界址點構成之形狀維持不變，即界址點間角度維持不變。另平面坐標之坐標轉換尚有6參數轉換，本研究也嘗試使用該轉

換，轉換VBS-RTK坐標成果至TWD97坐標系統，並比較其與4參數轉換之差異；不同於4參數轉換部分，僅為坐標雙軸方向的比例尺度不同，但轉換後因雙軸比例尺不同，界址點間角度也跟著改變。

四、實驗步驟及成果分析

(一) 實驗步驟

- 1、以正射影像約略套疊重測區內之地籍圖，擇透空度良好之區域為實驗區。
- 2、重測區人員輔助選定涵蓋該實驗區所需之加密控制點。
- 3、以VBS-RTK施測加密控制點，作為後續坐標轉換之共用點。
- 4、實驗區以VBS-RTK實作界址測量，即以VBS-RTK施測參考點或界址點。
- 5、以電子測距經緯儀（架設於鄰近之圖根點）施測作法4之相同點位，且該距離經過改正（化歸平均海面、傾斜等），作為該點位之參考值，以檢核VBS-RTK成果之精度，並檢視該精度是否符合「數值地籍圖重測作業手冊」規範對界址測量之重複觀測，其坐標值較差不得超過3公分規定。

(二) 實驗區選定及數據取得

分別於桃園縣平鎮市、嘉義縣民雄鄉及臺東縣長濱鄉地籍圖重測區如圖4，以重測區地籍圖套疊正射影像選定各實驗區，而後規劃包圍實驗區之加密控制點，選定後之實驗區及加密控制點如圖5~圖7所示。

以VBS-RTK施測實驗區外圍之加密控制點，作為後續VBS-RTK與TWD97坐標系統轉換之共用點，參考本中心「採用VBS-RTK辦理加密控制及圖根測量作業手冊」之測設規範，加密控制測量每1秒1筆觀測資料，需觀測20分鐘、資料記錄筆數【fix解並合乎QC（平面分量20毫米及高程分量50毫米）設定值且同時至少5顆衛星】至少900筆，圖根測量資料記錄筆數至少180筆；並考量界址測量外業時間盡量短少之需求，但仍須維持其觀測品質，擬定加密控制點測量資料記錄筆數至少300筆，界址點雖不若圖根點之精度要求，但為確保成果品質，資料記錄筆數至少120筆。

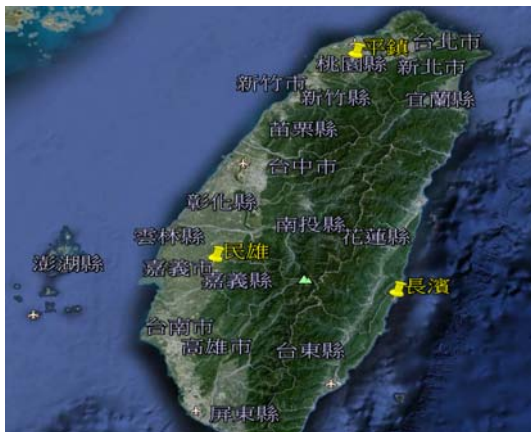


圖4 各實驗區之位置圖

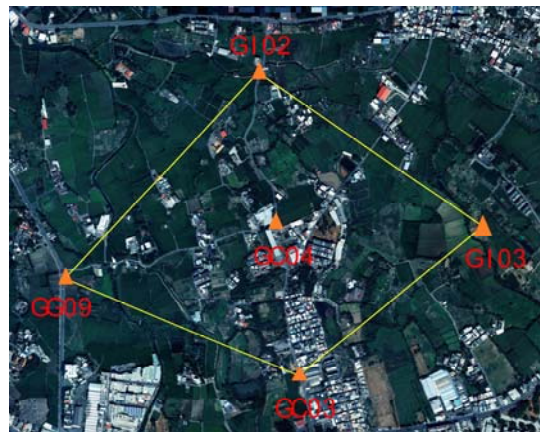


圖5 平鎮實驗區及其外圍加密控制點

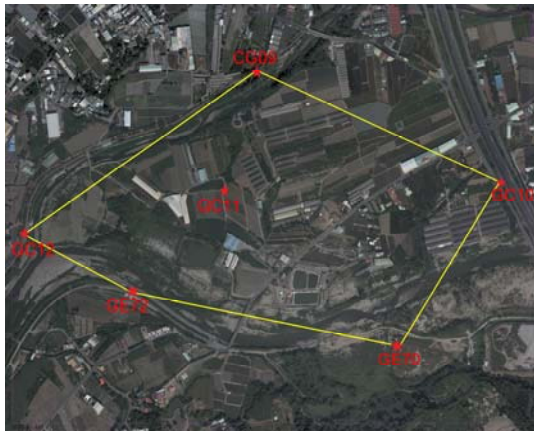


圖6 民雄實驗區及其外圍加密控制點



圖7 長濱實驗區及其外圍加密控制點

以Leica ATX1230GG雙頻衛星訊號接收儀作為移動站觀測儀器，於102年4月16日、17日及5月6日、30日前往平鎮實驗區施測加密控制點及界址點，5月8日及9日前往民雄實驗區施測，並於5月27日及28日前往長濱實驗區施測；VBS-RTK移動站施測時皆使用腳架雙叉支架，地測（電子測距經緯儀）檢測之標桿亦使用雙叉支架。

(三) 成果及分析

1、轉換參數求解之成果及分析

將VBS-RTK觀測之加密控制點（共同點）成果（e-GPS坐標系統），與原加密控制點之TWD97坐標（使用GPS靜態觀測求得），進行4參數轉換及6參數轉換之轉換參數求解，其檢核標準參考本中心「採用VBS-RTK辦理加密控制及圖根測量作業手冊」之加密控制測量對於轉換參數求解的規範：

- (1) 轉換後共同點坐標分量改正數是否小於50毫米。
- (2) 轉換後各共同點間方位角較差值是否小於20秒。
- (3) 轉換後水平距與原坐標成果反算之水平距相對較差比值應小於 $30\text{mm} + 5\text{ppm} \times L$ （L為單一基線長度之公里數）。

成果如表1所示。

實驗區	轉換參數	坐標分量改正數 最大值（毫米）	各點間方位角較 差值最大值（秒）	水平距與原坐標成果反算之 水平距相對較差比值皆小於 容許誤差
平鎮	4	-13.5	7.73	是
	6	9.9	7.73	是
民雄	4	7.6	5.36	是
	6	-7.0	5.36	是
長濱	4	91.8	-77.91	否
	6	52.3	-77.91	否

表1 各實驗區轉換參數之求解成果

由表1可知，平鎮及民雄實驗區成果均符合規範，亦即可以該計算出之轉換參數轉換界址點之VBS-RTK測量成果至TWD97坐標系統；長濱實驗區之求解結果不符規範，剔除坐標分量改正數較大之點位GC14，再重新求解成果如表2，其結果仍不符合規範要求。

實驗區	轉換參數	坐標分量改正數 最大值（毫米）	各點間方位角較 差值最大值（秒）	水平距與原坐標成果反算之 水平距相對較差比值皆小於 容許誤差
長濱	4	21.6	-28.30	否
	6	-1.5	-28.30	否

表2 長濱實驗區轉換參數之再重新求解成果

由上述之實驗得知，4參數轉換與6參數轉換之參數求解結果極度相似，故後續均使用4參數轉換作為兩坐標系統之間的坐標轉換。

2、加密控制點取前120筆資料信記錄筆數之成果

外業觀測時，時間上希望盡量縮短，嘗試減少觀測時間，將原加密控制測量300資料信記錄筆數（簡稱加密300筆）取前120筆資料（簡稱加密120筆）進行4參數轉換之參數求解，其成果如表3。與表1比較，除長濱實驗區成果較差外，平鎮及民雄實驗區成果均相似，亦即加密控制點作為求解轉換參數時，觀測記錄120筆資料即可；長濱實驗區成果較差原因，推測應為其觀測品質不佳所致。

實驗區	轉換參數	坐標分量改正數 最大值（毫米）	各點間方位角較 差值最大值（秒）	水平距與原坐標成果反算之 水平距相對較差比值皆小於 容許誤差
平鎮	4	-13.6	7.27	是
民雄	4	8.9	8.63	是
長濱	4	85.0	-104.71	否

表3 各實驗區加密前120筆之轉換參數求解成果

3、界址點測量成果及分析

使用VBS-RTK實作界址測量，平鎮實驗區共測設35點、民雄實驗區共測設29點及長濱實驗區共測設49點，將界址點120資料信記錄筆數（簡稱界址120筆），使用加密300筆及加密120筆求得之轉換參數進行4參數轉換（分別簡稱加密300筆4參數及加密120筆4參數），使其成果為TWD97坐標系統，再與地測（電子測距經緯儀）成果（視為參考值或最或是值）比較，檢核其坐標較差是否符合「數值法地籍圖重測作業手冊」之界址點重複觀測的坐標較差不得超過3公分規定；另為縮短外業觀測時間，同前節，界址120筆取前10筆資料（簡稱界址10筆）、前5筆資料（簡稱界址5筆）及前3筆資料（簡稱界址3筆），分別再使用加密300筆4參數及加密120筆4參數轉換成TWD97坐標系統，並與地測成果檢核其坐標較差，結果如表4。

由表4（長濱實驗區除外）可知，加密300筆4參數與加密120筆4參數所得之結果相似，界址120筆、界址10筆、界址5筆及界址3筆所得之結果亦相似，即加密控制點觀測記錄120筆資料、界址點觀測記錄3筆資料可獲得穩定之品質。而長濱實驗區因轉換參數品質差，故所得之結果亦差。

單位：公分

平鎮實驗區 (界址點35點)	加密300筆4參數-界址120筆	加密300筆4參數-界址10筆	加密300筆4參數-界址5筆	加密300筆4參數-界址3筆
合於規定數	16 (45.7%)	20 (57.1%)	19 (54.3%)	21 (60.0%)
坐標最大誤差	6.1	7.1	7.2	7.2
平均誤差(標準誤差)	2.98 (1.19)	2.96 (1.19)	2.94 (1.19)	2.95 (1.21)
平鎮實驗區 (界址點35點)	加密120筆4參數-界址120筆	加密120筆4參數-界址10筆	加密120筆4參數-界址5筆	加密120筆4參數-界址3筆
合於規定數	16 (45.7%)	18 (51.4%)	17 (48.6%)	17 (48.6%)
坐標最大誤差	6.3	7.3	7.4	7.4
平均誤差(標準誤差)	3.12 (1.24)	3.09 (1.24)	3.07 (1.24)	3.07 (1.26)
民雄實驗區 (界址點29點)	加密300筆4參數-界址120筆	加密300筆4參數-界址10筆	加密300筆4參數-界址5筆	加密300筆4參數-界址3筆
合於規定數	21 (72.4%)	21 (72.4%)	19 (65.5%)	21 (72.4%)
坐標最大誤差	4.0	4.2	4.1	4.2
平均誤差(標準誤差)	2.37 (0.99)	2.36 (1.01)	2.34 (1.01)	2.36 (1.00)
民雄實驗區 (界址點29點)	加密120筆4參數-界址120筆	加密120筆4參數-界址10筆	加密120筆4參數-界址5筆	加密120筆4參數-界址3筆
合於規定數	21 (72.4%)	23 (79.3%)	23 (79.3%)	22 (75.9%)
坐標最大誤差	3.8	4.0	3.9	4.0
平均誤差(標準誤差)	2.27 (0.98)	2.27 (0.96)	2.26 (0.94)	2.28 (0.95)
長濱實驗區 (界址點49點)	加密300筆4參數-界址10筆	加密300筆4參數-界址5筆	加密300筆4參數-界址3筆	
合於規定數	8 (16.3%)	8 (16.3%)	9 (18.4%)	
坐標最大誤差	19.0	19.0	19.0	
平均誤差(標準誤差)	6.35 (3.53)	6.43 (3.58)	6.35 (3.50)	
長濱實驗區 (界址點49點)	加密120筆4參數-界址10筆	加密120筆4參數-界址5筆	加密120筆4參數-界址3筆	
合於規定數	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	
坐標最大誤差	29.4	29.3	29.4	
平均誤差(標準誤差)	14.37 (6.41)	14.36 (6.39)	14.36 (6.39)	

表4 各實驗區界址點施測成果

由上表可知，部分點位無法符合規定，探討其原因應包含VBS-RTK定位誤差、坐

標轉換誤差及圖根點強制附合加密控制點所造成之誤差；VBS-RTK定位誤差無法消除，僅能透過VBS-RTK定位技術提升改善；又實驗區成果均為TWD97坐標系統，故必須將VBS-RTK成果經過坐標轉換至TWD97坐標系統，故坐標轉換誤差無法避免；圖根點強制附合加密控制點所造成之誤差，此誤差根據前述手冊之圖根點網形平差，誤差大者可接近2公分。嘗試剔除圖根點強制附合加密控制點所造成之誤差，方法為以VBS-RTK施測地測所使用圖根點，其規範以本中心「採用VBS-RTK辦理加密控制及圖根測量作業手冊」之圖根測設規範，圖根測量資料信記錄筆數【fix解並合乎QC（平面分量20毫米及高程分量50毫米）設定值且同時至少5顆衛星】至少180筆，且須2測回（每測回至少需間隔60分鐘以上），2測回坐標成果平面位置較差小於3公分，所求得之成果再經過加密300筆4參數坐標轉換為TWD97坐標系統；再將前段之資料重新計算如表5。

單位：公分

平鎮實驗區 (界址點35點)	加密300筆4參 數-界址120筆	加密300筆4參 數-界址10筆	加密300筆4參 數-界址5筆	加密300筆4參 數-界址3筆
合於規定數	21 (60.0%)	21 (60.0%)	22 (62.9%)	20 (57.1%)
坐標最大誤差	5.9	5.7	5.8	6.1
平均誤差(標準誤差)	2.78 (1.13)	2.78 (1.19)	2.77 (1.18)	2.78 (1.20)
平鎮實驗區 (界址點35點)	加密120筆4參 數-界址120筆	加密120筆4參 數-界址10筆	加密120筆4參 數-界址5筆	加密120筆4參 數-界址3筆
合於規定數	19 (54.3%)	20 (57.1%)	21 (60.0%)	20 (57.1%)
坐標最大誤差	5.8	5.8	5.9	6.0
平均誤差(標準誤差)	2.89 (1.17)	2.89 (1.20)	2.88 (1.18)	2.89 (1.22)
民雄實驗區 (界址點29點)	加密300筆4參 數-界址120筆	加密300筆4參 數-界址10筆	加密300筆4參 數-界址5筆	加密300筆4參 數-界址3筆
合於規定數	23 (79.3%)	24 (82.8%)	23 (79.3%)	23 (79.3%)
坐標最大誤差	4.1	4.3	4.2	4.3
平均誤差(標準誤差)	1.94 (1.14)	1.97 (1.11)	1.98 (1.12)	1.97 (1.13)
民雄實驗區 (界址點29點)	加密120筆4參 數-界址120筆	加密120筆4參 數-界址10筆	加密120筆4參 數-界址5筆	加密120筆4參 數-界址3筆
合於規定數	23 (79.3%)	25 (86.2%)	24 (82.8%)	24 (82.8%)
坐標最大誤差	4.2	4.0	3.9	4.0
平均誤差(標準誤差)	1.86 (1.12)	1.91 (1.05)	1.92 (1.05)	1.90 (1.07)
長濱實驗區 (界址點49點)	加密300筆4參數 -界址10筆	加密300筆4參數 -界址5筆	加密300筆4參數 -界址3筆	
合於規定數	16 (32.7%)	15 (30.6%)	14 (28.6%)	
坐標最大誤差	21.5	21.5	21.5	
平均誤差(標準誤差)	5.93 (4.66)	5.95 (4.58)	5.91 (4.63)	

長濱實驗區 (界址點49點)	加密120筆4參數 -界址10筆	加密120筆4參數 -界址5筆	加密120筆4參數 -界址3筆
合於規定數	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
坐標最大誤差	33.1	33.0	33.1
平均誤差(標準誤差)	11.56 (7.30)	11.54 (7.26)	11.55 (7.26)

表5 各實驗區界址測量施測成果(地測圖根點成果改以VBS-RTK施測並以4參數轉換至TWD97坐標系統,並重新計算地測之參考值)

單純去除圖根點強制附合至加密控制點所產生之誤差,不足以使VBS-RTK施測之界址點全數通過規定,若再去除坐標轉換誤差,僅剩下VBS-RTK定位誤差,探討界址點是否均符合規定;方法為界址點及其地測參考值均以E-GPS坐標系統為成果再進行坐標較差檢核,其成果如表6。

單位:公分

平鎮實驗區 (界址點33點)	界址120筆	界址10筆	界址5筆	界址3筆
合於規定數	22 (66.7%)	23 (69.7%)	23 (69.7%)	23 (69.7%)
坐標最大誤差	6.0	5.8	5.9	6.2
平均誤差(標準誤差)	2.76 (1.18)	2.70 (1.22)	2.70 (1.21)	2.72 (1.23)
民雄實驗區 (界址點29點)	界址120筆	界址10筆	界址5筆	界址3筆
合於規定數	23 (79.3%)	22 (75.9%)	22 (75.9%)	22 (75.9%)
坐標最大誤差	5.1	5.3	5.1	5.3
平均誤差(標準誤差)	2.19 (1.26)	2.21 (1.23)	2.21 (1.25)	2.21 (1.27)
長濱實驗區 (界址點49點)	界址10筆	界址5筆	界址3筆	
合於規定數	14 (28.6%)	13 (26.5%)	13 (26.5%)	
坐標最大誤差	21.6	21.5	21.6	
平均誤差(標準誤差)	6.00 (4.66)	5.98 (4.62)	5.98 (4.62)	

表6 各實驗區界址點施測成果(界址點及其參考值均為e-GPS坐標系統)

去除圖根點強制附合至加密控制點所產生之誤差及坐標轉換誤差,仍無法使全部界址點成果符合規定;再嘗試於平鎮及民雄實驗區以VBS-RTK施測界址點2測回,2測回間隔至少1小時,每界址點觀測資料記錄10筆並取其前5筆及前3筆,並取坐標平均值,再分別以加密300筆4參數及加密120筆4參數轉換至TWD97坐標系統,並使用其參考值檢核,成果如表7。

單位:公分

平鎮實驗區 (界址點7點)	加密300筆4參數 -界址10筆	加密300筆4參數 -界址5筆	加密300筆4參數 -界址3筆
------------------	---------------------	--------------------	--------------------

合於規定數	7 (100.0%)	7 (100.0%)	7 (100.0%)
坐標最大誤差	2.5	2.6	2.6
平均誤差 (標準誤差)	1.87 (0.35)	1.89 (0.38)	1.87 (0.38)
平鎮實驗區 (界址點7點)	加密120筆4參數 -界址10筆	加密120筆4參數 -界址5筆	加密120筆4參數 -界址3筆
合於規定數	7 (100.0%)	7 (100.0%)	7 (100.0%)
坐標最大誤差	2.5	2.5	2.5
平均誤差 (標準誤差)	2.03 (0.31)	2.06 (0.31)	2.04 (0.31)
民雄實驗區 (界址點12點)	加密300筆4參數 -界址10筆	加密300筆4參數 -界址5筆	加密300筆4參數 -界址3筆
合於規定數	12 (100.0%)	12 (100.0%)	12 (100.0%)
坐標最大誤差	2.8	2.8	2.8
平均誤差 (標準誤差)	1.67 (0.68)	1.70 (0.66)	1.71 (0.65)
民雄實驗區 (界址點12點)	加密120筆4參數 -界址10筆	加密120筆4參數 -界址5筆	加密120筆4參數 -界址3筆
合於規定數	12 (100.0%)	12 (100.0%)	12 (100.0%)
坐標最大誤差	2.7	2.7	2.8
平均誤差 (標準誤差)	1.76 (0.60)	1.78 (0.60)	1.79 (0.59)

表7 平鎮及民雄實驗區界址點2測回施測成果

由表7可知，當界址點觀測2測回所求得之成果可符合規定。惟將界址點單測回成果與參考值比較，平鎮實驗區之加密控制點與界址點各組成果，均有1界址點不符合規定，另民雄實驗區之加密控制點與界址點各組成果，均有1至2界址點不符合規定，故界址點觀測2測回確實提升觀測成果。

4、長濱實驗區之成果分析

由表1至表7結果發現，長濱實驗區成果較其他實驗區成果差，分析其原因可能為：

- (1) 長濱實驗區恰位於VBS-RTK服務區之花蓮與臺東毗鄰處，其屬臺東服務區內且位於最北邊，又東邊為太平洋，無基準站可供覆蓋，鄰近之基準站為豐濱(FONB)、



圖8 毗鄰長濱實驗區之基準站位置示意圖

光復(GUFU)、玉里(JULI)、成功(CHGO)、霧鹿(WULU)，所組成之區域網路誤差模型成狹長型，其又位於該網形中間，定位成果理論上為該網形之最差；再由於豐濱基準站因(100年)遷移關係，102年僅接收衛星觀測資料，但未納入臺東服務區之區域網路誤差模型解算，致長濱未位於該區域網路誤差模型內(光復、玉里、成功、霧鹿)，使其定位成果甚差。

(2) VBS-RTK之坐標系統為以時間為函數之動態坐標系統(e-GPS坐標系統),以維持

單位:公尺

基準站	縱坐標 (N)	橫坐標 (E)
光復	0.0689	-0.1255
玉里	0.0674	-0.1188
成功	0.1677	-0.2268
霧鹿	0.0188	-0.1509

表8 98年5月至102年5月各基準站之
偏移量

即時動態定位所需各基準站高精度之相對關係,惟至102年底,各基準站坐標固定於98年5月1日至31日之e-GPS坐標每日解算的平均值,而花東地區又因地殼變動頻繁,以致102年5月27及28日於長濱施測時,各基準站位置變化如表8,由表可見各基準站縱、橫軸位移量並不一致,導致各基準站無法維持高精度之相對關係,導致該區域網解模型品質較差,進而影響定位成果。

5、電離層干擾

102年4月16日及17日前往平鎮實驗區施測時,點位透空度良好且GPS衛星顆數眾多(5~10),但仍難求得符合QC(平面分量20毫米及高程分量50毫米)設定值之fix解,須等待3至5分鐘,甚至十幾分鐘,甚或需先與計算中心中斷網路連接,再重新連線方能獲得;同樣的區域於102年5月6日及30日施測,卻可於極短時間(幾秒內)求得fix解,分析上述4天該區域電離層誤差影響量指標圖,如圖9、圖10、圖11及圖12。

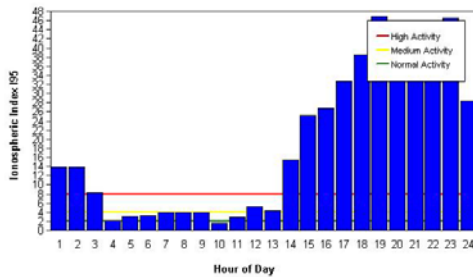


圖9 102年4月16日平鎮實驗區電離層指數

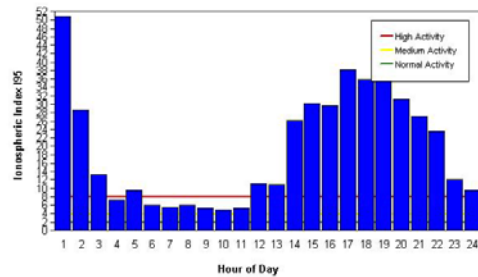


圖10 102年4月17日平鎮實驗區電離層指數

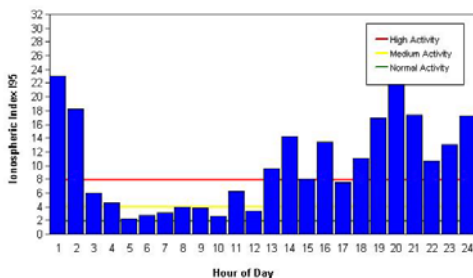


圖11 102年5月6日平鎮實驗區電離層指數

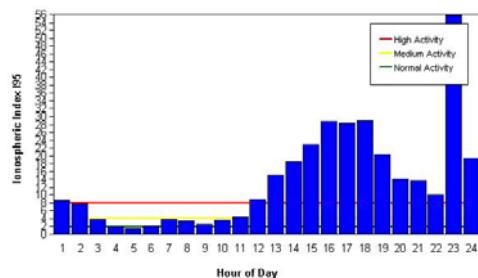


圖12 102年5月30日平鎮實驗區電離層指數

4月16日觀測時間為14時至16時,4月17日觀測時間為14時至17時,該兩時間段之電離層誤差影響量指標偏高,5月6日觀測時間為13時至16時,5月30日觀測時間為10時至16時,該兩時間段之電離層誤差影響量指標較低,故電離層誤差影響量指標高低會直接影響觀測時間(等待fix解),指標高觀測時間長,反之觀測時間短。

五、結論與建議

- (一) 以加密控制點作為e-GPS與TWD97坐標系統轉換之共同點，使用4參數轉換與6參數轉換所得之成果極為相近，故使用4參數轉換即可；另加密控制點觀測120筆fix解資料，即可獲得穩定之成果；且觀測品質好壞亦會影響轉換成果之優劣。
- (二) 將界址點之e-GPS坐標系統成果使用4參數轉換轉至TWD97坐標系統，並與其地測之參考值檢核，多數之界址點可符合重複觀測不得超過3公分之規定；分析其誤差包含VBS-RTK定位誤差、坐標轉換誤差及地測檢核使用之圖根點強制附合加密控制點所造成誤差；若去除地測檢核使用之圖根點強制附合加密控制點所造成誤差，可增加符合規定之數量，倘再去除坐標轉換誤差，可再進一步增加符合規定之數量；另界址點觀測2測回並取其平均值，其成果可全數符合規定；界址點觀測3筆fix解資料，即可獲得穩定之成果，惟實驗中發現，少數界址點於前3筆觀測資料仍不穩定，計算時均被剔除（取120筆資料及前10筆資料），故建議施測界址點須至少記錄10筆fix解資料。
- (三) 電離層誤差影響量指標高低影響求解fix解之時間，該影響量指標高則求解所需之時間增加。
- (四) VBS-RTK施測時，倘短時間（3至5分鐘）內無法獲得fix解，可先與控制及計算中心中斷連線，再重新連線；亦可先至易求得固定解之處獲得固定解後，再移至施測點測量，可縮短觀測時間。
- (五) 部分應施測之界址點，如圍牆或建築物外緣，因該點位透空遮蔽而無法以VBS-RTK施測，適度的輔助電子測距經緯儀，可增加工作效率。

參考文獻

- 1、<http://www.egps.nlsc.gov.tw/>
- 2、<http://www.nlsc.gov.tw/>
- 3、內政部國土測繪中心（2008），應用 e-GPS即時動態定位系統辦理三等控制點檢測作業可行性之探討。
- 4、林老生（2012），降低 E-GPS水準測量系統誤差的方法。
- 5、內政部土地測量局（2004），臺灣e-GPS 電子基準站規畫設計及測試分析，委託研究案報告。
- 6、羅建平（2009），e-GPS 系統應用於土地複丈之作業模式研究。
- 7、內政部國土測繪中心（2009），e-GPS 即時動態定位系統服務與營運現況。
- 8、鄭至哲（2012），e-GPS系統應用於土地複丈之作業模式探討-以臺南市玉井區為例。
- 9、鄧阿群（2006），GPS之VMS即時動態定位精度分析。
- 10、內政部國土測繪中心（2012），臺灣大地基準之一九九七坐標系統2010年成果。
- 11、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作業手冊。