

應用全星系 e-GNSS 辦理 地籍測量可行性及作業方法之探討

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 109 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

應用全星系 e-GNSS 辦理 地籍測量可行性及作業方法之探討

課員	施啓仁
技士	王建得
研究人員：技士	黃銘祥
技正	劉冠岳

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 109 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

The study of feasibility and manners by using
e-GNSS in cadastral surveying

BY

Chi-Jan Shin

Chien-Te Wang

Ming-Hsiang Huang

Guan-Yue Liou

December,2020

目 次

目 次	I
表 次	III
圖 次	V
摘 要	VI
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究動機及目的	2
第三節 文獻回顧	4
第二章 研究方法與流程	6
第三章 理論基礎	11
第一節 e-GNSS 即時動態定位系統	12
第二節 VBS-RTK 定位技術	16
第三節 臺灣地區坐標系統概述	18
第四節 坐標轉換模式	21
第四章 成果分析	27
第一節 作業參數設計	27
第二節 全星系 e-GNSS 系統穩定性探討	29
第三節 實驗一（時段 1）觀測成果分析	33
第四節 實驗二（時段 2）觀測成果分析	39
第五節 實驗三（時段 AVG）觀測成果分析	45
第六節 點位邊長檢核	54
第五章 結論與建議	56
第一節 結論	56
第二節 建議	57
參考文獻	59

附錄60

表 次

表 3-1	全球四大衛星導航系統比較表.....	11
表 3-2	PIVOT 功能一覽表.....	14
表 3-3	e-GNSS[2019]坐標框架定義.....	15
表 3-4	RTCM 3.1 轉換訊息說明一覽表.....	23
表 3-5	RTCM 3.1 type 1021 傳送資料說明一覽表.....	24
表 3-6	RTCM 3.1 Type 1023 傳送資料說明.....	25
表 4-1	觀測作業參數設計.....	27
表 4-2	衛星接收儀基本規格表.....	28
表 4-3	實驗區點位數量資料.....	28
表 4-4	e-GNSS 系統長時間觀測成果分析表（單位：公尺）.....	29
表 4-5	時段 1 加密控制點、圖根點及界址點之 2 測回較差分布統計.....	33
表 4-6	時段 1 控制點經坐標轉換後與公告坐標較差分布情形.....	34
表 4-7	時段 1 未納入轉換共同點之點位成果分析.....	35
表 4-8	時段 1 加密控制點經坐標轉換後之方位角及水平距精度分析表	36
表 4-9	時段 1 圖根點經坐標轉換後之方位角及水平距精度分析表 ...	36
表 4-10	時段 1 水里實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析	37
表 4-11	時段 1 永安實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析	38
表 4-12	時段 2 加密控制點、圖根點及界址點之 2 測回較差分布統計	39
表 4-13	時段 2 控制點經坐標轉換後與公告坐標較差分布情形.....	40
表 4-14	時段 2 未納入轉換共同點之點位成果分析.....	41
表 4-15	時段 2 加密控制點經坐標轉換後之方位角及水平距精度分析 表.....	42
表 4-16	時段 2 水平距較差未符合檢核值一覽表.....	42

表 4- 17	時段 2 圖根點經坐標轉換後之方位角及水平距精度分析表	.42
表 4- 18	時段 2 水里實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析	43
表 4- 19	時段 2 永安實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析	44
表 4- 20	時段 AVG 控制點經坐標轉換後與公告坐標較差分布情形 46
表 4- 21	時段 AVG 水里實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較 分析-1.....	47
表 4- 22	時段 AVG 永安實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較 分析-1.....	48
表 4- 23	時段 AVG 水里實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較 分析-2.....	49
表 4- 24	時段 AVG 永安實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較 分析-2.....	50

圖 次

圖 2-1	水里實驗區示意圖	7
圖 2-2	永安實驗區示意圖	7
圖 2-3	水里實驗區現況點位分布示意圖	8
圖 2-4	永安實驗區現況點位分布示意圖	9
圖 3-1	e-GNSS 系統基準站點位分布圖	13
圖 3-2	PIVOT 軟體系統模組示意圖	14
圖 3-3	VBS RTK 基本定位原理示意圖	17
圖 3-4	RTCM 3.1 type 1021 轉換網格示意圖	23
圖 3-5	RTCM type 1023 殘差網格示意圖	26
圖 4-1	Trimble R8s 接收儀	28
圖 4-2	水里實驗區 N、E、h 坐標分量較差分析圖	30
圖 4-3	水里實驗區平面位置較差分析圖	30
圖 4-4	永安實驗區 N、E、h 坐標分量較差分析圖	31
圖 4-5	永安實驗區平面位置較差分析圖	31
圖 4-6	水里實驗區三維坐標轉換成果與公告坐標、地測成果較差分布情形	52
圖 4-7	永安實驗區三維坐標轉換成果與公告坐標、地測成果較差分布情形	52

摘要

關鍵詞：e-GNSS、VBS-RTK、坐標轉換、全星系

一、研究緣起

近年來衛星定位與行動通訊技術高度發展，內政部國土測繪中心電子化全球衛星即時動態定位系統（簡稱 e-GNSS 系統），自 2019 年 10 月 1 日正式提供全星系之定位服務。目前地籍圖重測辦理地區偏向於郊區及山坡地等低度發展地區，土地面積較以往大幅增加，致控制點數及界址點數均亦大幅增加，加上土地所有權人以待協助指界者居多，以目前電子測距經緯儀辦理界址測量方式較為耗時，倘能將 e-GNSS 系統應用於界址測量，可加速提早完成界址測量。

應用 e-GNSS 系統辦理地籍測量作業之方法及規範尚未納入相關法令規定或作業手冊，因此，本研究預期進行探討 e-GNSS 系統於現行地籍測量實施規則及相關作業手冊規定下，應用於地籍測量之界址測量作業可行性評估與實際作業方法與規範之研擬，於實驗區中選擇部分加密控制點及圖根點進行 e-GNSS 系統觀測作業，透過坐標轉換方式，取得以 e-GNSS 系統觀測實驗區內界址點之測量成果，並與地測成果進行分析後，再據以進行作業規定探討及研擬相關作業方法及規範，供未來訂定參考。

二、研究方法及過程

（一）資料蒐集：

蒐集有關 e-GNSS 系統定位技術資料及研究報告，了解 e-GNSS 系統理論基礎及其相關應用研究報告，作為後續研究之理論基礎。

（二）選定實驗區：

考量接收衛星訊號須有透空度良好之環境，且採用 e-GNSS 系統測得界址點之成果，實驗區須具備已知控制點以作為精度檢核，為測試 e-GNSS 系統於山區與郊區所觀測成果是否有差異性，故本研究選定 109 年度南投縣水里鄉及高雄市永安區地籍圖重測區作為實驗區。

（三）作業過程：

於實驗區各選取 5 個區塊中，取得以電子測距經緯儀架設於圖根點施測界址點之地測成果，其地測成果之距離於後續計算時須經過投影與化算平均海水面改

正，另以 Trimble R8s 衛星定位接收儀，於實地施測圖根點、界址點及外圍加密控制點，以獲得全星系之 e-GNSS 系統測量成果。

(四) 坐標轉換：

e-GNSS 系統係採用 VBS-RTK 定位技術，提供使用者即時且高精度之定位服務，測量成果坐標系統為 e-GNSS 系統 2019 年坐標（簡稱 e-GNSS[2019]），與法定坐標系統不同。e-GNSS 系統測量成果尚須經過坐標轉換，與實驗區重測成果之坐標系統一致，方能分析其精度。本研究分別探討，採六參數轉換及最小二乘配置法、三維坐標轉換等方式進行成果轉換。

(五) 成果分析、探討

以 e-GNSS 系統測得實驗區內控制點及界址點 e-GNSS[2019]坐標成果後，先分析 e-GNSS[2019]坐標成果之內部精度，經坐標轉換後，獲得與實驗區相同之 TWD97[2010]法定坐標系統成果，再分析轉換後成果的外部精度，最後以經坐標轉換後界址點與地測成果進行地籍測量實施規則第 73 條圖根點到界址點位置誤差及第 74 條界址點間坐標計算邊長與實測邊長之比較，藉以探討是否符合地籍測量實施規則、數值法地籍圖重測作業手冊等相關規定。

三、重要發現

- (一) 採用全星系 e-GNSS 系統，經實驗於屋頂架設衛星接收儀，在透空度最佳環境下，進行固定長時間觀測下，分析整體平面位置精度符合 2 公分內之比率約在 93.19%~94.18%，顯示成果仍值得信賴。
- (二) 全星系 e-GNSS 系統已可接收處理許多各國衛星訊號，惟經實驗仍有部分時刻觀測量之 N、E 分量值變化較大之情形。特別在中午時段，觀測成果較為不穩定，推測係受到電離層誤差的影響。
- (三) 採不同時段之加密控制點及圖根點之坐標平均值，經坐標轉換後，再與公告坐標成果比較，可提升平面位置較差小於 2 公分之比率。
- (四) 本研究採用全星系 e-GNSS 系統，衛星資料接收仰角設定為 15 度，且透空度良好環境下，均能快速（1 分鐘內）獲得固定解。

- (五) 僅採用均勻分布測區範圍之加密控制點作轉換共同點，所求得之界點成果較不理想；而採用均勻分布測區範圍之加密控制點及圖根點作轉換共同點，或採用均勻分布測區之圖根點作轉換共同點，二者所求得之界址點成果趨近一致。
- (六) 為貼近實務作業及兼顧觀測成果品質，將不同時段之加密控制點及圖根點觀測資料取平均值後，作為轉換共同點的坐標成果，所計算的轉換參數，作為後續每次作業之轉換基準，大都可求得符合「數值法地籍圖重測作業手冊」之界址點重複觀測不得超過 3 公分之界址點成果，其成果經分析均能符合地籍測量實施規則第 73 條及第 74 條於市地之誤差限制內，顯示應用全星系 e-GNSS 系統辦理界址測量作業是可行。
- (七) 全星系 e-GNSS 系統相較於傳統採電子測距經緯儀，可不受天候限制及僅需 1 人即可操作之優勢；全星系 e-GNSS 系統與 RTK 比較，仍具節省人力及有效距離長之優點，故全星系 e-GNSS 系統應用於界址測量可節省人力，提升作業效率。

四、主要建議事項

- (一) 應用全星系 e-GNSS 系統辦理測量外業，若收斂時間超過 3 分鐘無法獲得固定解，應檢視四周環境是否有不利衛星訊號接收或有干擾衛星訊號接收之事物。
- (二) 由於臺灣地處於中低緯度，受電離層的影響大於其它地區，特別在中午時段，觀測成果較不穩定，建議外業觀測時應儘量避開中午時段。
- (三) 電離層、對流層延遲、多路徑效應等訊號傳播誤差及衛星幾何分布狀況，會影響衛星定位測量精度，作為轉換共同點之已知控制點，建議觀測 2 測回，2 測回平面分量較差應小於 2 公分，高程分量較差應小於 5 公分，並將 2 測回觀測量取平均值，作為 e-GNSS 系統坐標成果。
- (四) 為確保測量成果品質及提升成果可靠度，建議採用均勻分布測區及檢核無誤之已知控制點及圖根點作為轉換參數共同點，以求得穩定之界址點成果。
- (五) 作業區起始時先於控制點（含圖根點）施測，並於作業區結束時，再於控制點（圖根點）施測，且起迄控制點無須為同一點位，檢視其成果與建立轉換參數之 e-GNSS 系統測量成果之平面位置較差量是否小於 3 公分，並應就確定之界址點（樁標）及固定物實施重複觀測，以確保測量成果品質。
- (六) 在本次實驗中雖有部分點位處於建物或樹林旁，雖然透空度不佳，亦能在 3 分鐘內獲得固定解（fix 解），但考量接收衛星訊號仍須有良好的透空條件，建議

都市區及透空度不佳之地區，仍採用傳統電子測距經緯儀施測方式，辦理界址測量作業。

Abstract

Keywords : e-GNSS, VBS-RTK, coordinate transformation, multi-constellation positioning system

Today the cadastral haven't been arranged are mostly located in mountain or hilly region. It is time-consuming due to the large area and nonintervisibility. The e-GNSS, real-time kinematic positioning system, is capable of receiving GPS, GLONASS, Galileo, Beidou and QZSS multi-satellite signals. The core positioning technology of e-GNSS is VBS-RTK(Virtual Base Station Real-Time Kinematic). The advantages of e-GNSS are unnecessary intervisibility, weather unaffected and shorten observation time. In Taiwan, there are plenty of e-GNSS researches applied to surveying. This study is the research of boundary survey by using e-GNSS, real-time kinematic positioning system.

This study leads to some outcomes as the followings

1. The results are trustworthy with e-GNSS system in open area. There are 93.19%~99.98% of horizontal precision in 2cm during the long term observation.
2. In this experiments, the observation results are unstable in the noon time due to the delay of ionosphere.
3. The ratio of horizontal differences in 2cm is increased, by using transformed coordinates, which are averages observations of dense control points and mapping control points in different sections.
4. In open area, the fixed solution can be calculated rapidly (in 1 minute) by setting the receiving angle of elevation in 15 degree with multi satellites e-GNSS system.
5. If only using the homogeneous dense control points in the area as conversion points, the results of boundary points are inaccurate. However, the results will be much more stable and accurate by adding mapping control points as conversion points.
6. The stable results of boundary points can be derived by using the parameters calculated from averages of the dense control points and mapping control points coordinates in different sections. These results of boundary points can meet the precision requirements for city region.
7. Comparing to the use of theodolite, e-GNSS has the advantage of one-man operation. Otherwise, comparing to RTK, operation area will not be limited. The e-GNSS system with multi satellites in boundary survey will reduce human resources and evaluate working efforts.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

全球衛星定位系統（簡稱 GPS）自 1978 年發射建立以來，由於科技發展快速，其定位技術已為各行業普遍應用於控制測量作業、地殼變位監測、導航應用、管線測量……等工程，且地政機關自 80 年初起，鑒於 GPS 具點位間無需相互通視與網形強度、不受天候限制及縮短觀測時間等優勢，已廣泛採用 GPS 衛星靜態定位應用於控制測量，並證實可達公分級之精度。

由於當前世界各大強國紛紛投入衛星導航定位系統發展，GNSS 全球導航衛星系統（Global Navigation Satellite System），包括美國全球定位系統 GPS、俄國 GLONASS、歐盟伽利略衛星定位系統 Galileo、中國北斗衛星導航系統 BDS、日本準天頂衛星系統 QZSS、法國的 DORIS 及印度 IRNSS 等。GNSS 全球導航衛星定位系統，具有全球覆蓋、高精度定位、儀器設備輕便，觀測不受天候且全天候操作等優點，已廣泛應用於基本控制測量、地殼變位監測、汽車導航……等，在智慧科技方面，智慧城市、精準農業和自動駕駛都有應用到衛星導航系統。

內政部國土測繪中心（簡稱國土測繪中心）考量現行衛星技術成熟，全球導航衛星系統（Global Navigation Satellites System, GNSS）定位技術已結合多星系資料整合與計算之處理功能，可大幅提高虛擬基準站即時動態定位技術（Virtual Base Station-Real Time Kinematic, VBS-RTK）定位精度，除於 2007 年度建置全國性 e-GPS（Electronic Global Positioning System）衛星定位基準站即時動態定位系統，結合無線通訊技術及虛擬基準站（Virtual Base Station, VBS）即時動態定位技術外，並配合 GPS 及 GLONASS（Global Navigation Satellite System）雙星系的發展，將 e-GPS 系統進行軟、硬體升級，且自 2014 年 9 月 1 日正式啟用，系統名稱亦更名為 e-GNSS 即時動態定位系統（Electronic Global Navigation Satellite System, 下稱 e-GNSS 系統）。另配合科技進步，太空中除了 GPS、GLONASS 之外 Galileo、BeiDou、QZSS 等衛星亦已成功運行，顯示國際間衛星定位科技與行動通訊已高度發展，故國土測繪中心自 106 年度起，逐年進行提升雙星系接收儀為全星系接收儀之服務效能與進行系統核心軟體升級為全星系觀測資料聯合解算功能之軟硬體升級作業，並自 108 年 10 月 1 日起正式啟用。

由於網際網路及無線數據通訊傳輸技術蓬勃發展，GNSS 即時動態定位 (RTK) 已成為國際測繪科技與定位技術之主流，特別是結合衛星定位、寬頻網路數據通訊、Mobile Phone 行動式數據傳輸、資料儲管及全球資訊網站 (Web) 等 5 項先進主流科技之核心定位技術-虛擬基準站 (Virtual Base Station, VBS) 為基礎之網路化即時動態定位 (Network RTK) 技術，透過即時傳輸建置於全國各地之衛星定位基準站每天 24 小時每 1 秒之連續性衛星觀測資料，經由控制及計算中心對於各基準站衛星觀測資料之整合計算處理後，目前除在臺灣本島 (含綠島及蘭嶼) 及澎湖、金門、馬祖地區，只要在可以同時接收 5 顆衛星訊號的地方，都可以利用無線上網的方式，在極短的時間內，獲得高精度之定位坐標成果，可提供監控及維護國家坐標基準框架，全時高精度即時性動態定位服務。

目前 e-GNSS 系統技術，經研究成果 (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) 顯示，已可達成上開作業規範精度，並具節省人力及時間、提高作業效率、快速建立控制點提供進行標的物量測，節省從已知控制點引測之時間及人力等效率。

第二節 研究動機及目的

地籍測量雖已導入即時動態定位技術 (Real-Time Kinematic, RTK)，將主站架於已知控制點位上，於主站輸入控制點坐標，配合無線電通訊設備，將主站之載波相位觀測資料傳送至移動站，移動站接收到來自主站與本身儀器所接收之載波相位觀測資料經過差分計算後，求得移動站之即時坐標。雖 RTK 具有操作簡便、施測快速及可達公分級精度等優點，惟求解即時坐標成功在於主站與移動站間之電離層、對流層延遲誤差，可藉由差分處理去除，即主站與移動站間之空間相關性高，隨著主站與移動站之距離增加，而逐漸失去線性，即使經過差分處理，移動站仍含有殘餘誤差，以致無法求解相位周波未定值，而無法獲得公分等級精度之點位成果。另無線電通訊訊號亦將隨移動站與主站距離之增加而衰退及增強干擾，勢必影響觀測訊號之傳輸，故作業區域限距離控制點 2 公里範圍內為佳；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，代表作業人力至少須 2 名人力，方能作業。

e-GNSS 系統為 RTK 進化技術，免除 RTK 主站架設及無線電通訊設備，改以 78 處網路化之虛擬基準站替代，並以單人即可作業，且虛擬基準站可依移動站觀測量，以近距離進行 RTK 測量，除可大幅提升定位精度外，亦改善前述 RTK 系統誤差及無線電干擾與不受距離主站 2 公里之範圍內施測，以及 78 處衛星定位基準網全天候 24 小時接收每 1 秒 1 筆 GPS 觀

測資料外，現行服務網已提升為全星系，與雙星系相較，其測量成功率較雙星系服務網高 11%，定位精度亦較雙星服務網提升 10%，故全國各地（臺、澎、金、馬）皆可進行高精度即時動態定位測量。復以 e-GNSS 系統具有下列特性與優點：

一、特性：

- （一）採網路傳輸技術”即時”結合多個基準站觀測資料，建構區域性定位誤差改正模型，提供 RTK 使用者更準確、可靠的定位誤差修正資訊，有效擴展 RTK 的作業距離。
- （二）採用行動式（Mobile）通訊技術取代傳統無線電數據機，傳輸 RTK 定為所需的定位資訊。
- （三）建置 24 小時連續觀測的固定式基準站，RTK 使用者不須自行架設主站，可大幅節省作業時間、提升產能及降低作業成本等經濟效益。
- （四）各基準站長期連續的觀測資料經過嚴密的基線計算及網形平差分析，可確保提升基準站間之相對系統精度。

二、優點：

- （一）可擴大有效作業範圍，提高定位精度及可靠度。
- （二）測量誤差及初始化時間不因距離增長而增加。
- （三）使用者無須架設區域性主站。
- （四）單人單機即可作業。
- （五）可縮短作業時間，增加產能，降低作業成本。
- （六）所有使用者皆在同一框架下進行即時定位。
- （七）可提供全面性的定位成果品質監控。

依據「地籍測量實施規則」規定：戶地測量採數值法測繪者，其圖根點至界址點之位置誤差限制，於市地地區為 2 公分至 6 公分。戶地測量採數值法測繪者，其界址點間坐標計算邊長與實測邊長之差之限制，於市地地區為 $2 \text{ 公分} + 0.3 \text{ 公分} \sqrt{S}$ （S 係邊長，以公尺為單位）。又「數值法地籍圖重測作業手冊」規範界址測量中檢核圖根點作業規定：採 RTK 方式應就施測範圍附近之圖根點（含圖根補點）實檢核坐標值較差不得超過 3 公分；重複觀測作業規定：應就固定位置之界址點實施重複觀測，坐標值較差不得超過 3 公分。

因此，本研究預期進行探討於地籍測量之界址測量中，採用 e-GNSS 系統於 109 年度地籍圖重測區實施界址測量作業，探討其成果是否符合上開規定。

第三節 文獻回顧

一、黃華尉(2012)等人於 e-GPS 即時動態定位系統坐標轉換最佳化之研究案指出：

- (一) 使用七參數或最小二乘配置六參數轉換模式之轉換結果並無明顯差異，若參考待轉換點坐標較差分布、標準化改正數等精度指標，使用六參數最小二乘配置轉換模式的轉換結果，略優於七參數轉換模式之結果。
- (二) 使用七參數轉換模式如果轉換共同點的數量大於未知數，原本的坐標值會於平差計算後產生改正數，坐標值變動而有適法性之疑慮；而最小二乘配置法可假設觀測量無粗差存在，共同點坐標經最小二乘配置法估計後不會有改正數存在，且轉換結果也較為一致。因此涉及基本控制點間的坐標轉換計算，可優先選用加入最小二乘配置法的轉換模式。

二、劉冠岳(2013)等人於 VBS-RTK 應用於界址測量之研究案指出：

- (一) 以 VBS-RTK 施測加密控制點，並觀測記錄 300 筆，所求得 4 參數轉換結果，可符合本中心「採用 VBS-RTK 辦理加密控制及圖根測量作業手冊」之規範；另為縮短外業觀測時間，當 VBS-RTK 觀測品質佳，觀測記錄 120 筆可獲得與記錄 300 筆相同精度之成果，但若觀測品質不佳，記錄 300 筆成果精度優於 120 筆。
- (二) 以 VBS-RTK 施測界址點，每秒記錄 1 筆觀測記錄 120 筆，另考量現行界址測量外業觀測時間，再取前 10 筆、前 5 筆及前 3 筆分別計算，以分析坐標值較差不得超過 3 公分，均可獲得相同之成果精度，亦即 VBS-RTK 施測界址點，只需觀測記錄 3 筆即可獲得穩定之成果；由實驗結果得知，多數界址點可通過檢核（界址測量之重複觀測，其坐標值較差不得超過 3 公分），惟少數無法通過，故 VBS-RTK 應用於地籍圖重測之界址測量，成果有少數存在不可靠性；但由其他實驗結果得知，使用 VBS-RTK 重複觀測（2 測回）可消除該不可靠性。
- (三) 以 VBS-RTK 施測作為求解轉換參數之共用點，取 120 筆及 300 筆在坐標轉換之標準誤差、水平距檢測精度最低值與方位角較差最大值極為相似，亦即加密控制點取資料記錄筆數前 120 筆進行坐標轉換計算，可得到與資料記錄筆數 300 筆成果相同之精度，故理論上只需取得 120 筆固定（fix）解即可。

三、王建得(2017)等人於低度開發地籍整理之研究案中指出：

- (一) e-GNSS 系統轉換前、後之界址測量成果，均可符合地籍測量實施規則第 73 條及第 74 條對農地之規定或限制。

- (二) e-GNSS 系統具有 1 人即可作業、觀測時間短、觀測距離不限等優勢，在透空度良好、配合較為新式接收儀，與避免觀測資料接收發生不穩定現象，在現況測量作業時，只要接收 10 筆固定解即可獲得良好精度之成果。
- (三) 為改善 e-GNSS 系統性誤差，研擬一套坐標轉換方式，即以導線測量之圖根點坐標作為測站點坐標，並以 e-GNSS 測量圖根點之坐標反算距離及角度，重新計算各圖根點之坐標、界址點之坐標辦理成果轉換，其轉換成果有效改善 e-GNSS 測量及導線測量圖根點之成果差異。

四、莊峰輔（2014）等人於三維即時坐標轉換輔助 VBS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究案中指出：

- (一) 三維坐標轉換輔助 VBS-RTK 技術獲得法定坐標系統之成果，可即時將 e-GNSS 系統測量成果轉換成法定坐標系統（含正高系統），可解決往昔 e-GNSS 系統測量成果不是法定坐標問題，轉換後成果，於平面與高程精度各優於 5 公分與 10 公分。
- (二) 利用不同轉換控制點數量，以克利金法建置殘差網格修正模型，以雙線性內插計算坐標轉換成果，分析比較轉換控制點數量對轉換成果之影響。結果顯示，轉換控制點數量越多，未必可提升坐標轉換模型精度，若轉換控制點轉換前後坐標的相對關係正確且分布夠均勻，則增加轉換控制點數量，對提升坐標轉換模型精度幫助有限。
- (三) VBS-RTK 測量成果分別取前 10 筆、前 30 筆與前 180 筆固定解之觀測成果，以克利金法建置之殘差網格修正模型及雙線性內插進行坐標轉換精度檢核，分析 VBS-RTK 觀測時間對轉換精度之影響。結果顯示，觀測時間長短對轉換精度並無顯著之影響，亦即觀測 10 筆與 180 筆之固定解精度，其差異性並不顯著。

五、95 年度 e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統 VBS-RTK 定位測試成果報告指出，自 94 年 4 月起於臺灣中、北部地區進行一系列相關測試結果，已初步證實 VBS-RTK 定位成果精度在平面方向優於 2 公分，高程方向優於 5 公分。

第二章 研究方法與流程

一、資料蒐集

蒐集有關 e-GNSS 系統定位技術資料及研究報告，了解 e-GNSS 系統理論基礎及其相關應用研究報告，藉以評估該技術應用於地籍測量之界址測量的可行性。

二、選定實驗區

考量接收衛星訊號須有透空度良好之環境，且採用 e-GNSS 系統測得界址點之成果，實驗區須具備已知控制點以作為精度檢核，為測試 e-GNSS 系統於山區與郊區所觀測成果是否有差異性，故以 109 年度地籍圖重測區為實驗區，並選擇南投縣水里鄉郡坑段（簡稱水里實驗區），面積約 221 公頃，屬臺灣中部地區台地與河谷地形，平均高程約 462 公尺。高雄市永安區烏樹林段、舊港口段及竹子港段一小段（簡稱永安實驗區），面積約 561 公頃，屬臺灣南部海岸地形，平均高程約 2.7 公尺。實驗區範圍圖如圖 2- 1 及圖 2- 2。

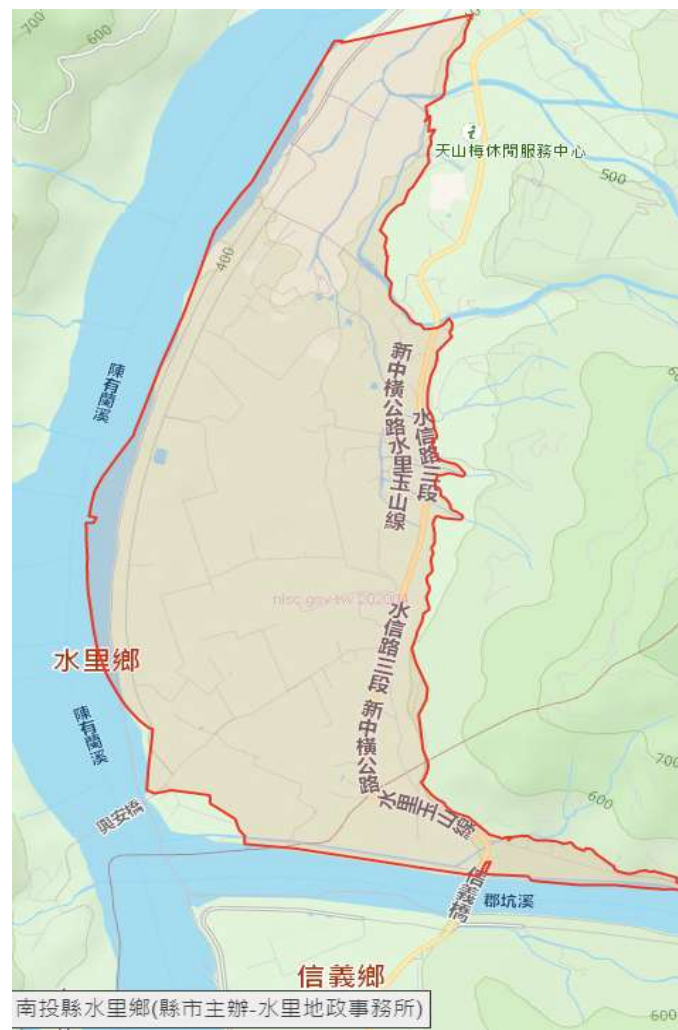


圖 2- 1 水里實驗區示意圖

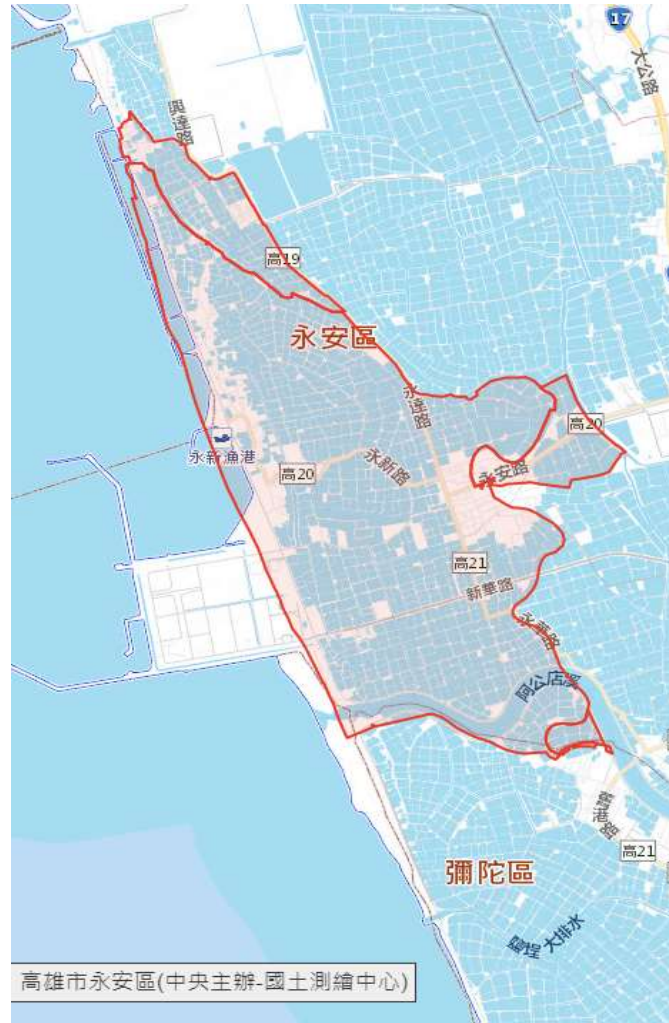


圖 2- 2 永安實驗區示意圖

三、實地測量

分別於實驗區各選取 5 個區塊（觀測點位示意如圖 2- 3 及圖 2- 4），取得以電子測距經緯儀架設於圖根點施測界址點之地測成果，其地測成果之距離於後續計算時須經過投影與化算平均海水面改正，另以 Trimble R8s 衛星定位接收儀，於實地施測圖根點、界址點及外圍加密控制點，以獲得全星系之 e-GNSS 系統測量成果。

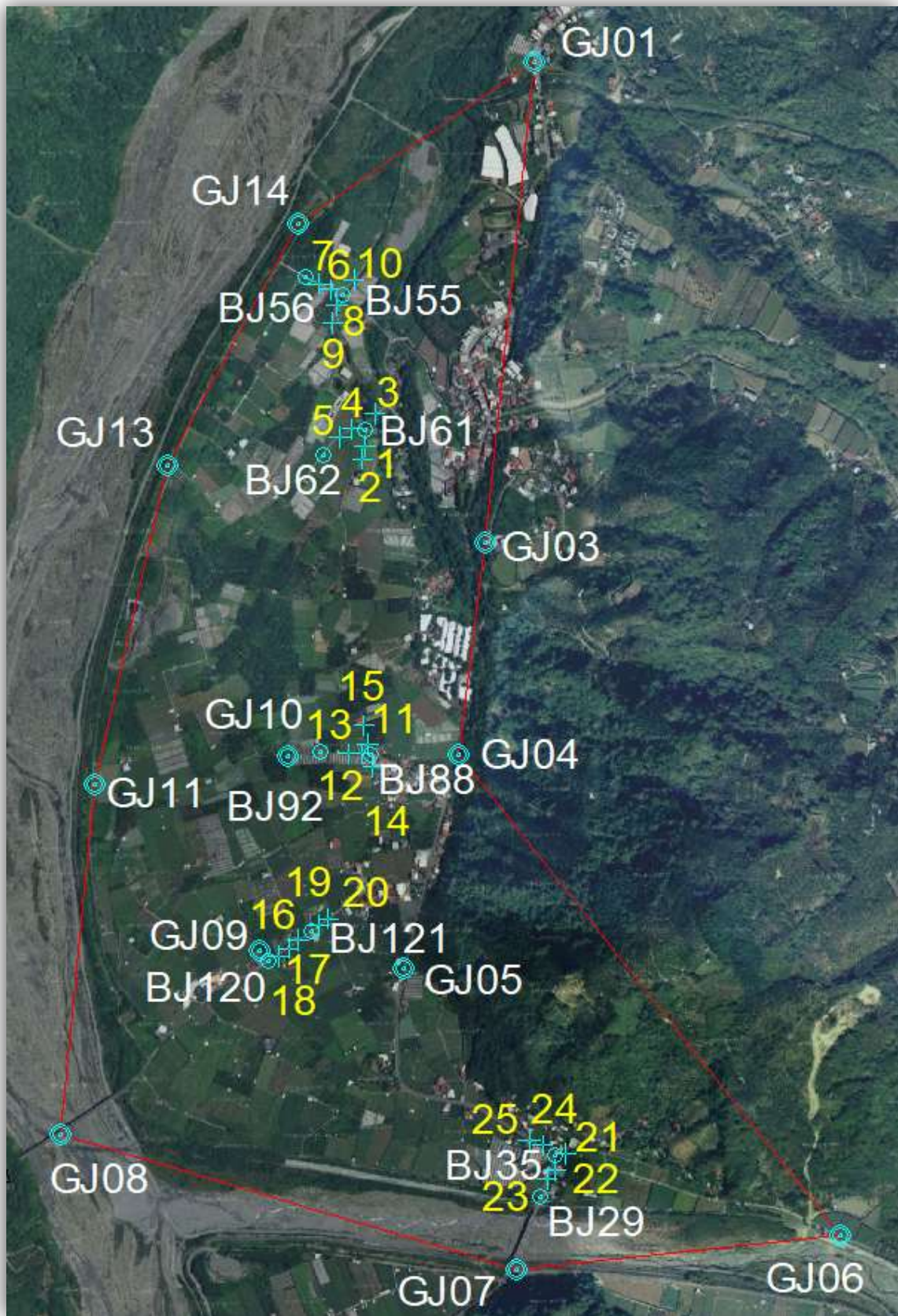


圖 2-3 水里實驗區現況點位分布示意圖

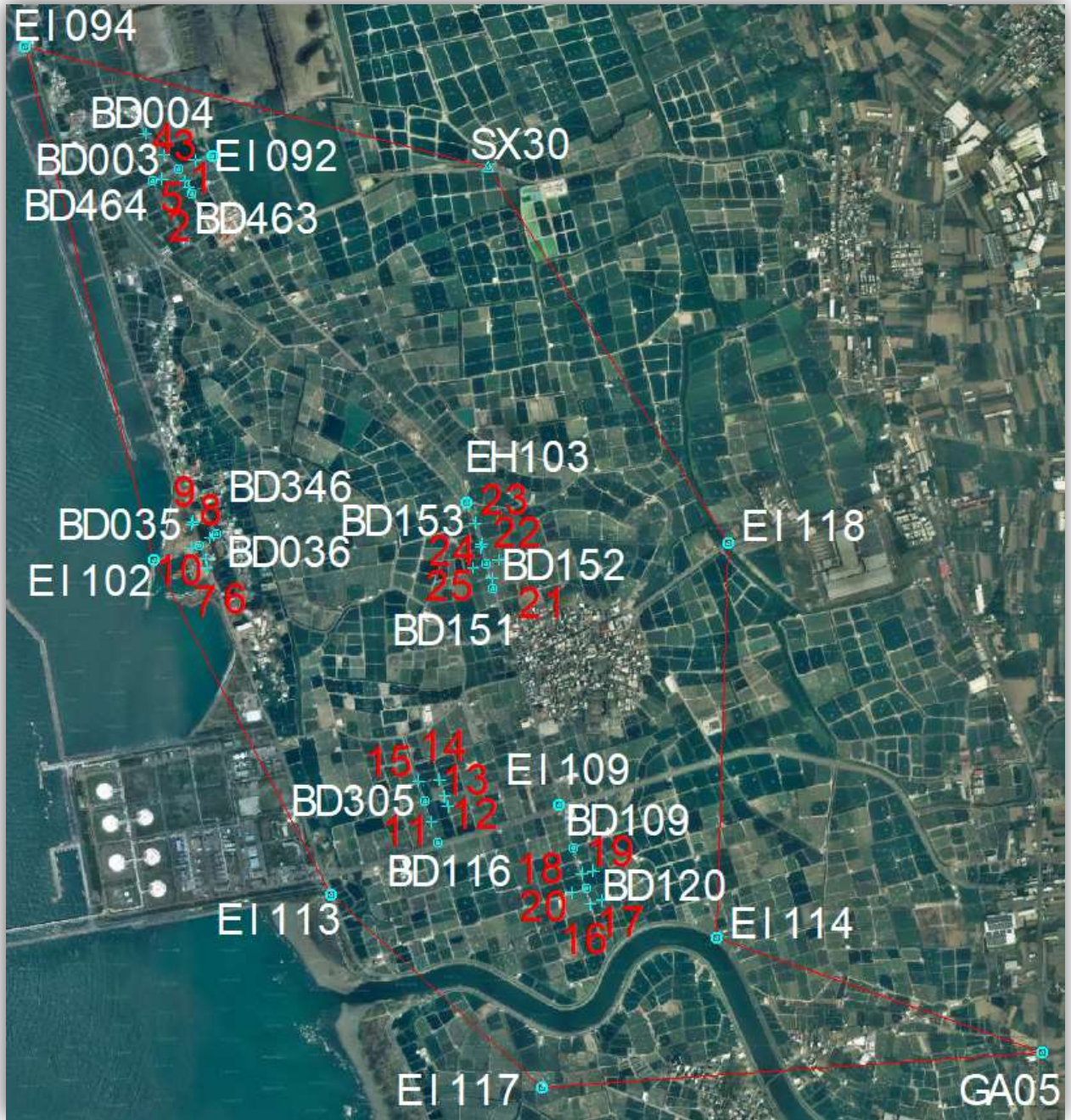


圖 2-4 永安實驗區現況點位分布示意圖

四、坐標轉換

e-GNSS 系統係採用 VBS-RTK 定位技術，提供使用者即時且高精度之定位服務，測量成果坐標系統為 e-GNSS[2019]，為國土測繪中心定義 1 套以時間為函數之 e-GNSS 動態坐標系統，作為進行即時動態定位坐標基準，與本研究實驗區 TWD97[2010]法定坐標系統不同。本研究將 e-GNSS 系統測量成果轉換至法定坐標系統之作法如下：

- (一) 六參數轉換及最小二乘配置法：選擇實驗區內經檢核可用之已知控制點，使用六參數進行坐標轉換（2 個比例尺因子、1 個旋轉量、2 個平移量及 1 個軸系不正交偏角，且至少要 3 個共同點以求解），再透過最小二乘配置法，將各轉換共同點的殘差配賦到轉換點上，轉換前後共同點的坐標不變，並獲得待轉換點的法定坐標成果。
- (二) e-GNSS 系統三維坐標轉換：e-GNSS 系統提供區域性三維即時坐標轉換之 7 個轉換參數及網格坐標殘差修正模型，使用者在外業測量現場即時將 e-GNSS 系統測量成果轉換至法定坐標系統。若使用者儀器不支援 RTCM3.1 資料傳輸功能，可採後處理方式，即於三維坐標轉換平台服務，將 e-GNSS 系統測量成果，透過該平台將測量成果轉換至法定公告坐標系統。

五、成果分析、探討

以 e-GNSS 系統測得實驗區內控制點及界址點 e-GNSS[2019]坐標成果後，先分析 e-GNSS[2019]坐標成果之內部精度，經坐標轉換後，獲得與實驗區相同之 TWD97[2010]法定坐標系統成果，再分析轉換後成果的外部精度，最後以經坐標轉換後界址點與地測成果進行地籍測量實施規則第 73 條圖根點到界址點位置誤差及第 74 條界址點間坐標計算邊長與實測邊長之比較，藉以探討是否符合地籍測量實施規則、數值法地籍圖重測作業手冊等相關規定。

第三章 理論基礎

當前 GNSS 全球導航衛星系統 (Global Navigation Satellite System)，包括美國全球定位系統 GPS、俄國 GLONASS、歐盟伽利略衛星定位系統 Galileo、中國北斗衛星導航系統 BDS (表 3-1)，另有日本準天頂衛星系統 QZSS、法國的 DORIS 及印度 IRNSS 等區域性的衛星系統。GNSS 全球導航衛星定位系統，具有全球覆蓋、高精度定位、儀器設備輕便，觀測不受天候且全天候操作等優點，並已廣泛應用於基本控制測量、地殼變位監測、汽車導航……等，在智慧科技方面，智慧城市、精準農業、物流運輸和自動駕駛都有應用到衛星導航系統。

衛星定位測量技術，係利用接收儀在地球表面上，在透空良好的情況下，接收衛星所發射的訊號，根據所接收得之訊號進行定位作業，以計算接收儀的位置。相對定位精度可達公分甚至公釐級，基線的精密相對定位所需時間，可根據要求的精度而定。由於即時動態定位 (Real-Time Kinematic, RTK) 及虛擬基準站 (Virtual Base Station, VBS) 技術的發展，使得定位的時間得以縮短至數分之內，即可得到公分級以內之精度。

表 3-1 全球四大衛星導航系統比較表

參數	GPS	GLONASS	GALILEO	BDS
衛星數量	24	24	30	30
軌道面 (度)	6 (相距 60 度)	3 (相距 120 度)	3	MEO : 3
傾角 (度)	55	64.8	56	IGSO : 55 MEO : 55
軌道高度 (公里)	20,200	19,100	23,222	GEO 與 IGSO : 35,786 MEO : 21,528
運行週期	11 小時 58 分	11 小時 15 分 44 秒	14 小時 4 分 45 秒	IGSO : 23 小時 56 分 MEO : 12 小時 55 分
使用頻率 (MHz)	L1:1575.42 L2:1227.60 L5:1176.45	G1:1602+0.5625K G2:1246+0.4375K	E1 : 1575.42 E2 : 1561.10 E5b : 1207.14 E5a : 1176.45 E6 : 1278.75	B1 : 1561.10 B2 : 1207.14 B3 : 1268.52
參考座標框架	WGS-84	PZ-90	GTRF	CDCS2000
時間系統	GPST	GLONASST	GST	BDT
傳輸訊號方式	CDMA (碼分多址)	FDMA (頻分多址)	CDMA (碼分多址)	CDMA (碼分多址)

第一節 e-GNSS 即時動態定位系統

e-GNSS 為國土測繪中心建構之高精度之電子化全球衛星即時動態定位系統名稱，國土測繪中心於 2004 年起建置全國性 e-GPS 即時動態定位系統，2009 年正式營運，開放即時性衛星動態定位服務、衛星觀測資料電子檔供應服務及衛星觀測資料後處理動態定位服務等 3 項服務。2014 年將基準站衛星定位接收儀及系統軟體全面升級為可接收處理 GPS 與 GLONASS 雙星系資料，並正式更名為 e-GNSS 即時動態定位系統，並提供三維坐標轉換服務，2019 年再升級為可接收處理 GPS、GLONASS、Galileo、Beidou 及 QZSS 全星系資料。基本定義為架構於網際網路通訊及無線數據傳輸技術之衛星即時動態定位系統，其中字母“e”係具有「電子化」及「網路化」之含意，GNSS 代表著多星系的衛星導航定位系統（GPS+GLO+GAL+BDS+QZSS）。

一、e-GNSS 系統組成架構

e-GNSS 系統之基本組成架構分為 3 大組成單元，茲說明如下：

（一）衛星定位基準網：

基準站連續接收全星系衛星觀測資料，並連續透過網際網路（Internet）將原始衛星觀測資料即時傳輸至控制及計算中心，進行區域修正參數計算。國土測繪中心陸續與交通部中央氣象局地震測報中心、高雄市政府、花蓮縣政府等機關合作，將各機關已建置完成之現有基準站納入，再考慮網形分佈密度、儀器設備及網路穩定度等因素，選擇適當基準站對外提供服務，目前系統共介接 184 個基準站（其中 12 個已撤站），計 78 個主基準站，94 個備用基準站。各基準站間之平均距離約 30 公里，分布情形如圖 3-1。

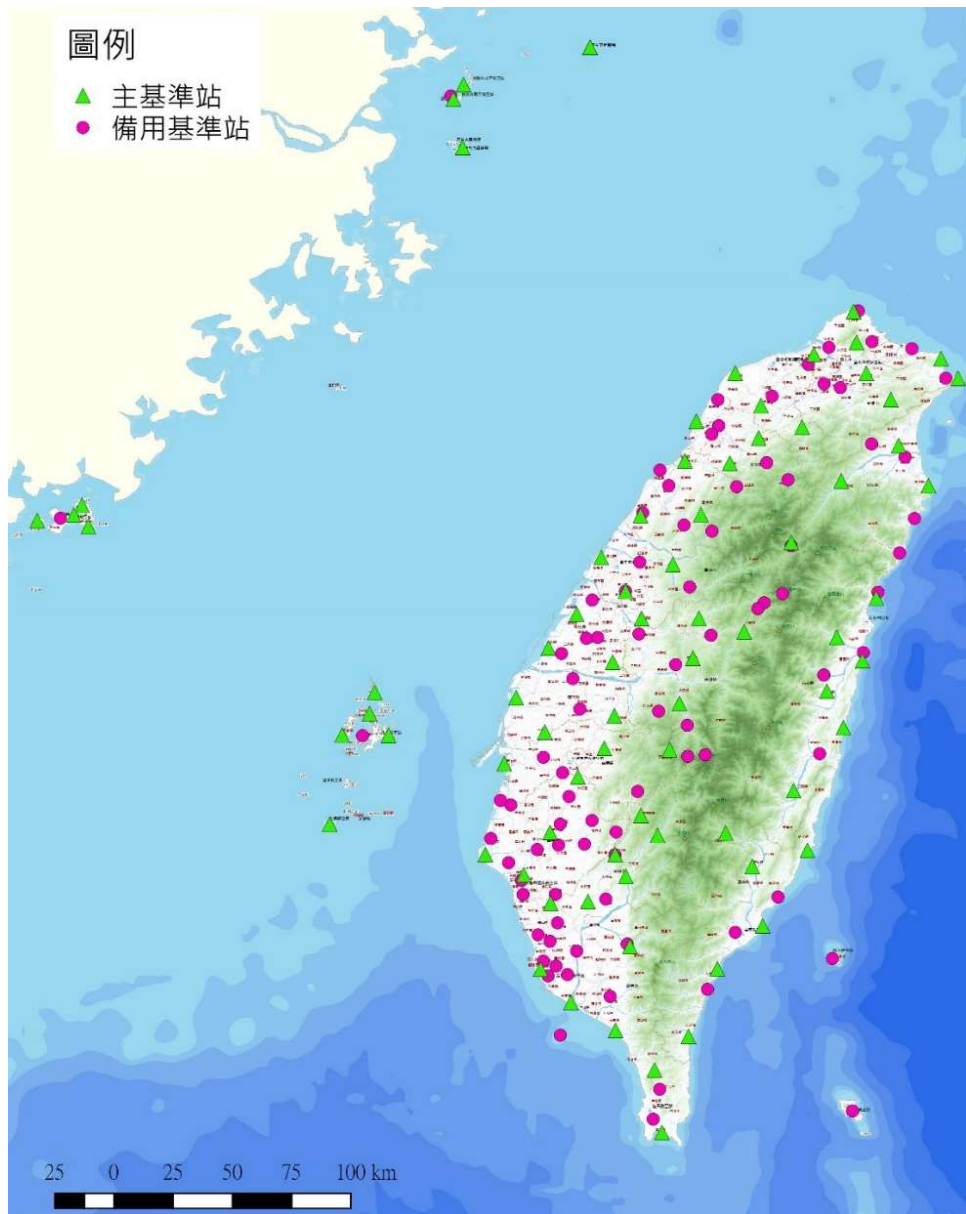


圖 3-1 e-GNSS 系統基準站點位分布圖

(二) 控制計算中心

e-GNSS 系統控制計算中心建置於國土測繪中心地籍資料庫 4 樓資訊機房，其內部軟硬體設備配置，係配合定位系統軟體、網路架構、分區定位服務網規劃、即時動態資料庫及入口網站管理系統等需求，其主要功能為供連續進行 GNSS 觀測資料之品管、儲存、處理與遠端監控、連續計算產生區域性定位誤差修正資料、組成虛擬基準站衛星觀測資料及透過行動電話 GSM/GPRS 或其他無線上網功能，配合 RTCM 網際網路傳輸通訊協定 (NTRIP)，將虛擬基準站衛星觀測資料 (RTCM 格式) 傳送至移動站。

系統採用美國 Trimble Navigation 公司所研發之 PIVOT 定位系統軟體，其主要功能可區分為 Trimble Instrument Configurator (TIC)、Trimble Ephemeris Download (TED) 及 Trimble Streaming Manager (TSM) 等三大模組，作為衛星定位基準站遠端控制、資料下載使用及進行 DGNSS 差分定位解算及公分級 VBS-RTK 即時動態定位解算，系統軟體示意圖如圖 3-2，功能一覽表如表 3-2。

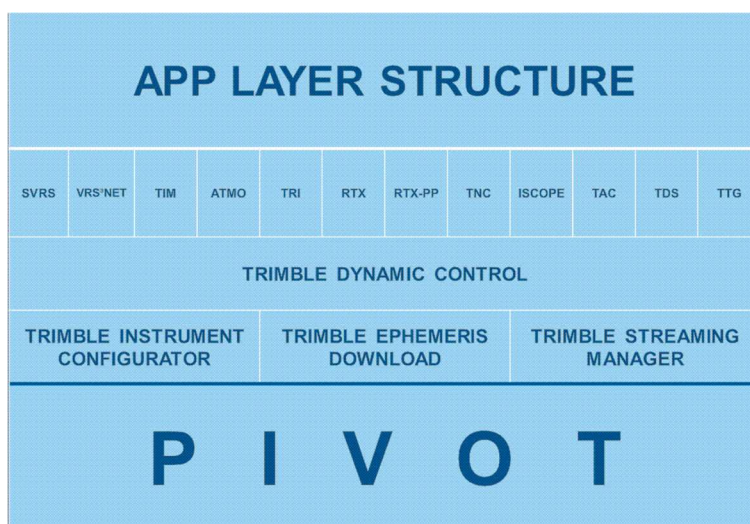


圖 3-2 PIVOT 軟體系統模組示意圖

表 3-2 PIVOT 功能一覽表

項目	功能
連線及傳輸	執行控制及計算中心與各基準站接收儀間連線，自動傳輸觀測資料
儲存	進行資料傳輸時，衛星接收儀仍可正常儲存觀測資料
下載過程	資料下載過程中，不會中斷衛星訊號接收、傳輸與儲存
觀測資料格式	自動下載觀測資料並轉換為 RINEX 格式，並可自動儲存及壓縮
即時監控	遠端基準站衛星接收儀狀態及設定衛星接收儀運作參數，如有效觀測截角、接收訊號取樣間隔等
資料處理	自動檢核、檢核、管理、儲存原始及處理後衛星觀測資料
虛擬位置	可產生虛擬位置之 RTCM 觀測數據及 SAPOS FKP 廣播改正資料，並自動傳送至移動站
計算	藉由軟體分析碼及載波相位觀測量，可連續計算多路徑誤差、電離層誤差、對流層誤差、星曆誤差及 L1、L2 載波相位整數週波未定值
3 維轉換	提供 3 維即時坐標轉換服務

(三) 移動站使用者

移動站使用者須具備衛星定位接收儀、GPRS 無線上網功能之行動通訊設備及 NTRIP 通訊協定通訊操作介面軟體，以下載移動站原始衛星觀測資料並計算產生導航坐標，並透過 GSM/GPRS 及 NTRIP 將導航坐標 (NMEA 格式) 傳輸至控制及計算中心，以進行移動站觀測資料及虛擬觀測資料進行 RTK 定位解算。

二、e-GNSS 系統坐標

臺灣本島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，各基準站坐標移位量級及方向勢必不一，但 e-GNSS 系統之 VBS-RTK 技術須仰賴高精度的基準站坐標，作為定位誤差修正的理論基礎。基於國家坐標系統之一致性考量，e-GNSS 衛星定位坐標系統理應以內政部 87 年度公佈 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，也因此造成各基準站間坐標精度已不敷進行相關資料解算，國土測繪中心乃自行定義 1 套以時間為函數之 e-GNSS 動態坐標系統，同時各基準站坐標須定期計算更新，以維持精度。系統服務成果屬 e-GNSS 系統坐標，非法定坐標。

基於上列因素，為配合內政部於 101 年 3 月 30 日公布 TWD97[2010]坐標系統，使 e-GNSS 動態坐標系統仍以內政部公佈 TWD97[2010]國家坐標系統為起算基準，並儘量達到 2 套坐標系統間之最大相關性，國土測繪中心整合國內 433 個 GNSS 連續觀測站 107 年 12 月 1 日至 108 年 1 月 31 日之 62 天衛星觀測資料為基礎，採用 Bernese 軟體計算基線，依據內政部公告之 TWD97[2010]坐標框架定義，約制在國土測繪中心基準站 (LSB0) 三維空間坐標，解算各基準站 e-GNSS[2019]精密坐標，其坐標框架定義表如表 3-3。至於澎湖、金門及馬祖地區維持原 TWD97[1997]坐標框架，不予變更。

表 3-3 e-GNSS[2019]坐標框架定義

國際坐標基準框架		ITRF94	
坐標定義起始時刻		2019 年 1 月 1 日 12:00	
固定站點名	X-坐標	Y-坐標	Z-坐標
測繪中心 (LSB0)	-2967207.333m	010439.297m	2593842.976m
速度量	N-速度量	E-速度量	U-速度量
LBS0	-0.0042m/年	0.0000m/年	-0.0022m/年

第二節 VBS-RTK 定位技術

一、概述

VBS-RTK 定位技術是 e-GNSS 系統之核心定位技術。其係採用多個衛星定位基準站所組成的 GNSS 網絡來評估基準站涵蓋地區之定位誤差，再配合最鄰近的實體基準站觀測資料，產製一個虛擬的基準站做為 RTK 主站，所以移動站並不是接收某個實體基準站之實際觀測資料，而是經過誤差修正後的虛擬觀測數據，也就是 RTK 主站是經過人為產製的虛擬化基準站，其意義如同在移動站附近架設實體的基準站一樣，故被稱之為虛擬基準站即時動態定位技術，簡稱 VBS-RTK。

相較於傳統單主站式 RTK 即時動態定位技術之最大瓶頸，在於主站系統誤差改正參數之有效作用距離，因 GNSS 定位誤差的空間相關性會隨著基準站與移動站距離的增加而逐漸失去線型誤差模型的有效性，因此在較長距離的情況下（一般大於 10 公里），經過差分計算處理後之觀測數據仍然含有很大的系統誤差，尤其是電離層的殘餘誤差，將導致整週波未定值（Ambiguity）求解的困難，甚至無法求解，以致於造成定位成果不佳。故為克服單主站式 RTK 定位技術的缺陷，利用虛擬基準站即時動態定位技術求解區域性 GNSS 多基準站網絡誤差模型如對流層、電離層及軌道誤差等，將可有效增加傳統單主站 RTK 定位之作業範圍，亦即採用多個衛星定位基準站所組成的 GNSS 網絡來評估衛星定位基準站涵蓋地區的 GNSS 定位誤差，並配合最鄰近的實體基準站觀測資料，建構一個虛擬基準站（Virtual Base Station, VBS）做為 RTK 主站使用，此時該虛擬基準站的觀測數據將會與移動站衛星定位接收儀實際接收的觀測數據及誤差模型具有極高的相關性，當再進行 RTK 差分計算處理後，系統誤差即可徹底消除，使用者當然可以快速且方便地獲得高精度、高可靠度及高可用性之即時動態定位成果。

二、VBS-RTK 基本定位原理：

VBS-RTK 定位技術的基本觀念既是由多個 GNSS 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 GNSS 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GNSS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。其定位原理如圖 3- 3。

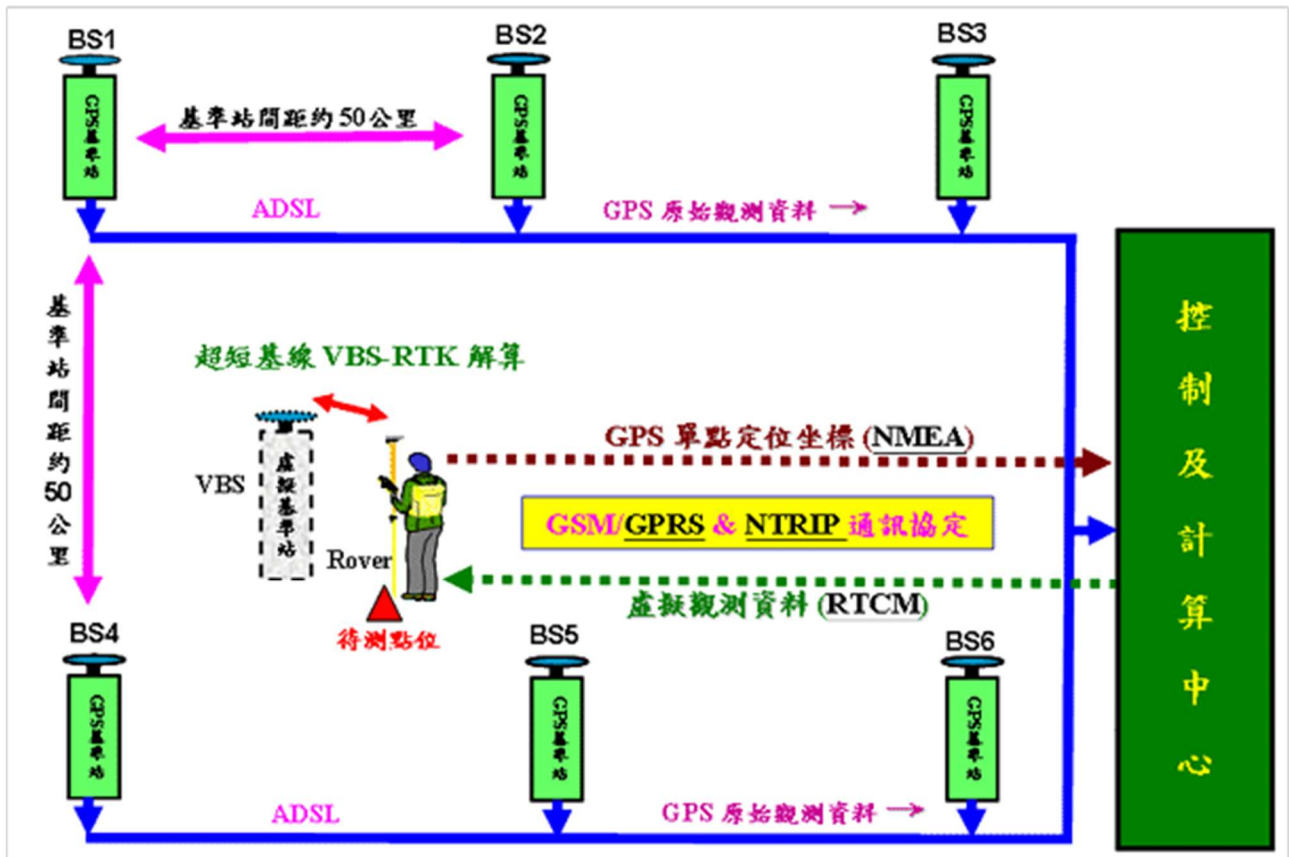


圖 3-3 VBS RTK 基本定位原理示意圖

第三節 臺灣地區坐標系統概述

一、TWD67 坐標系統

內政部鑑於地籍坐標系統之控制點損壞及遺失率嚴重，為增進土地效用、提高精度，並重新地籍整理，遂於民國 65 年辦理臺灣地區三角點檢測暨平差計算並連測澎湖地區，並於中華民國 69 年完成及編製公布「臺灣地區三角點成果表」。該系統所採用之測量基準如下：

(一) 參考橢球體：

採用公元 1967 年國際大地測量及地球物理學會 (International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG) 所訂國際地球原子，其數值為：

長半徑: $a=6378160$ m

短半徑: $b=6356774.7192$ m

扁率: $f=1/298.25$

(二) 大地基準點：以南投埔里之虎子山一等三角點起算：

經度 $\lambda=120^{\circ}58'29.975''E$

緯度 $\varphi=23^{\circ}58'32.340''N$

對頭拒山之方位角 $\alpha = 323^{\circ}57'23.135''$

(三) 地圖投影：採用橫梅氏投影經差二度分帶

臺灣本島以基隆平均海水面起算。有關地籍測量及大比例尺測圖所應用之坐標系統，係採用橫麥卡托投影經差二度分帶，臺灣本島之中央子午線為 121 度，坐標原點為中央子午線與赤道交點，且橫坐標西移 250,000m，中央子午線之尺度比率為 0.9999。

二、TWD97 坐標系統

內政部鑒於民國 69 年公布檢測之控制點陸續遺失、毀損情形嚴重，並為建立完整、統一、高精度之基本控制點系統，自民國 82 年度起應用高精度全球定位系統測量技術，迄 86 年度止，共建立 8 個衛星追蹤站 (陽明山、墾丁、鳳林、金門、北港、太麻里、馬祖、東沙) 並聯合 51 個分布於全球之 IGS (International GPS Geodynamic Service) 國際追蹤站一起進行追蹤站網分析 (追蹤站觀測時段為公元 1995 年 4 月 10 日起至公元 1997 年 8 月 31 日止的 GPS 觀測數據)。並以公元 1997 年 0 時的 8 個追蹤站坐標為框架，約制於臺灣 105 個一等衛星控制點的網型平差，求解其 ITRF94 坐標，再續予建立臺

灣新大地基準 3D 坐標參考框架。並於民國 87 年公布新國家坐標系統 TWD97，相關元素如下：

- (一) TWD97 參考框架：採用國際地球參考框架 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定義在公元 1984 年 0 時刻之方位。
- (二) 參考橢球體：採用公元 1980 年國際大地測量及地球物理學會 IUGG 公布之參考橢球體 GRS80 (Geodetic Reference System 1980)
長半徑 $a=6378137$ 公尺、扁率 $f=1/298.257222101$ 。
- (三) 地圖投影：採用橫麥卡托投影 (Transverse Mercator Projection) 經差 2 度分帶，坐標原點為中央經線與赤道之交點，橫坐標西移 250,000m，中央子午線尺度比為 0.9999。在臺灣、琉球嶼、綠島、蘭嶼及龜山島等地區中央經線為東經 121 度；澎湖、金門及馬祖等地區其中央子午線為東經 119 度；東沙地區中央子午線為東經 117 度；南沙地區為東經 115 度。

三、TWD97[2010]坐標系統

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)內政部於 101 年 3 月 30 日台內地字第 1010137288 號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。

四、TWD97[2020]坐標系統

自內政部 101 年公布衛星追蹤站及各級控制點 TWD97[2010]坐標成果已逾 8 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 109 年 4 月 16 日邀集專家學者邀集專家學者與各直轄市、縣(市)政府代表召開研商會議，決議採用國際地球參考框架 ITRF2014，解算一九九七坐標系統 (TWD97) 之 2020 年成果，內政部於 109 年 8 月 10 日台內地字第 1090263608 號

公告大地基準及一九九七坐標系統 2020 年成果(簡稱 TWD97[2020])。其測量基準定義均與 TWD97 相同，惟套合至國際固定站之 2020.0 時刻成果。

第四節 坐標轉換模式

坐標系統係描述點位空間位置，並由坐標原點位置、坐標軸方位、坐標參數等構成。目前四參數轉換、六參數轉換、七參數轉換、四參數轉換及最小二乘配置法、六參數轉換及最小二乘配置法等為常採用之模式，另 e-GNSS 系統提供三維坐標轉換服務，提供使用者在外業測量現場可即時將 e-GNSS 系統測量成果轉換至法定坐標系統，稱為三維坐標轉換。本研究選用六參數轉換及最小二乘配置法、三維坐標轉換，分述如下：

一、六參數轉換及最小二乘配置法

六參數轉換（又稱仿射轉換，Affine Transformation）是平面轉換上常用的數學模式，其轉換參數包含旋轉因子、平移因子外，亦可同時假設 X 軸與 Y 軸的比例不同。最少須三個控制點方能解算方程式，其方程式為：

$$X = a_1x + b_1y + c_1$$

$$Y = a_2x + b_2y + c_2$$

依據最小二乘法理論整體平差，以坐標值為觀測量，組成間接觀測方程式，整體平差並加入觀測值的可靠度分析。而最小二乘配置法（Least-Squares Collocation）則是一種結合最小二乘法、內插與濾波平差方法，最小二乘配置法不僅能處理含有訊號（signal，在此可視為系統性誤差）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外一些沒有觀測資料的地方，估計新點的同時可將不希望傳播過去的觀測量雜訊（noise，在此可視為粗差）過濾掉。引入未知參數的最小二乘配置法數學模式為：

$$l = Ax + s + n$$

式中 x 為未知參數， s 為訊號向量， n 為雜訊向量， A 為設計矩陣， l 為觀測量。 s 表示了各觀測量的訊號， n 即為各觀測量純粹由於偶然特性經平差計算後所產生的殘差， s 和 n 都是含有隨機特性的量，若將 s 和 n 是合併在一起估計即成為一個隨機量 $v = s + n$ 。若觀測量沒有訊號存在，則隨機量 $v = n$ ，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，一般利用殘差向量圖可以明顯的看出來。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 s ）與濾波（ n 的移除）三種作用，可以將訊號 s 自間接觀測平差所得的觀測量改正數中分離出來。

在坐標轉換的例子中，觀測量 l 就是坐標值，待定參數 x 就是二個坐標系統間的轉換參數：

$$l = \begin{bmatrix} X'_1 \\ Y'_1 \\ \vdots \\ X'_n \\ Y'_n \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix}, s = 0, n = 0$$

訊號 S 的產生是由於轉換時採用的參考點一部份或全部在其中一坐標系統（或兩坐標系均有）會因某些原因而有系統性的誤差趨勢，這些原因可能包括控制網的網形張力問題、控制點舊坐標與新坐標施測間隔的期間由於地殼變動造成一部份的點位一起向某方向偏移、不同地圖投影方式或投影變形造成點位坐標的偏移等。而雜訊 N 的產生則是參考點中某些點位其中一坐標系坐標含有粗差的緣故，但是測量上採用的點位坐標大部分都是經平差計算得來的，因此它們不再含有獨立不相關的偶然誤差，故粗差的產生原因可能包括將不同點位的坐標當作同一個參考點的新舊坐標的點位對應錯誤、參考點新舊坐標施測間隔期間該點位受到人為或其他因素破壞造成位移、參考點新舊坐標其中之一抄寫錯誤等。

最小二乘配置法是利用隨機程序（Stochastic Process）所推導出來的方法，可客觀的且嚴密地來處理觀測量與函數模式間含有系統性誤差的問題，若假設無雜訊存在，所有共同點坐標經最小二乘配置法估計後不會有改正數存在，而待轉換點坐標則已將共同點所顯現的相關性考慮進去，希望藉此於坐標轉換過程中達到分配系統性誤差的目的。

二、三維坐標轉換

e-GNSS 系統提供三維坐標轉換服務，該服務藉由同時具 e-GNSS 與 TWD97 之控制點及同時具 e-GNSS 與 TWD97[2010]之控制點，計算坐標轉換參數並建置殘差網格修正模型，可將 e-GNSS 系統 VBS-RTK 定位成果由 e-GNSS 坐標即時轉換至法定 TWD97 及 TWD97[2010] 坐標。同時於殘差修正網格模型中加入內政部公告之大地起伏模型，將 e-GNSS 坐標中之橢球高即時轉換至法定 TWVD2001 正高。

利用國際海運系統無線電技術委員會（RTCM）制定的差分 GNSS 標準格式 RTCM 3.1，提供 VBS-RTK 測量進行即時坐標轉換的方法。RTCM 3.1 提供 type 1021~1027 等 7 種轉換訊息讓使用者自行應用，如表 3- 4 所示。國土測繪中心依 RTCM 3.1 type 1021 及

type 1023 資料規定格式，計算坐標轉換 7 參數並建置坐標殘差網格修正模型，透過 type1021 傳送坐標轉換 7 參數；type 1023 傳送經緯度網格殘差資料及網格內插模式，使用者只要透過 NMEA 格式將單點定位坐標傳送至 e-GNSS 系統，系統即可利用 RTCM 3.1 type 1021 及 type 1023 將坐標轉換參數及殘差網格修正模型傳送給使用者，讓使用者在測量時可即時獲得轉換後之 TWD97 或 TWD97[2010] 成果達成 VBS-RTK 測量成果即時轉換至法定坐標系統。

表 3-4 RTCM 3.1 轉換訊息說明一覽表

訊息	訊息名稱	訊息說明	功能
1021	Helmert/Abridged Molodenski 轉換	傳送 Helmert/Abridged Molodenski 轉換 7 個參數	進行 7 參數坐標轉換
1022	Molodenski-Badekas 轉換	傳送 Molodenski-Badekas 轉換 10 個參數	進行 10 參數坐標轉換
1023	球面坐標殘差網格	傳送球面坐標殘差網格資訊	進行球面坐標殘差修正
1024	卡氏坐標殘差網格	傳送卡氏坐標殘差網格資訊	進行卡氏坐標殘差修正
1025	地圖投影	傳送所有地圖投影參數 (除了 LCC2SP 及 OM 投影)	進行地圖投影
1026	LCC2SP 投影	傳送 Lambert Conformal Conica with 2 SP 地圖投影參數	進行 LCC2SP 投影
1027	OM 投影	傳送 Oblique Mercator 地圖投影參數	進行 OM 投影

RTCM 3.1 type 1021 之傳送資料為坐標轉換參數，包括坐標轉換方法、高程系統、伺服器接收到移動站所在網格的坐標重心、網格經緯度解析度、坐標轉換參數、來源坐標橢球資料與目標坐標橢球資料等相關資訊，RTCM 3.1 type 1021 傳送資料說明如表 3-5，轉換示意圖如圖 3-4。

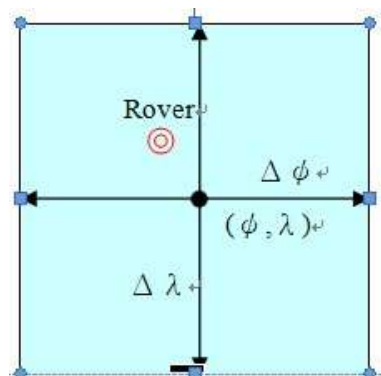


圖 3-4 RTCM 3.1 type 1021 轉換網格示意圖

表 3-5 RTCM 3.1 type 1021 傳送資料說明一覽表

資料名稱	數值	數值說明
坐標轉換方法	1	0=Helmert 線性式轉換 1=Helmert 嚴密法轉換 2=Abridged Molodenski 轉換 3=Molodenski-Badekas 轉換
高程系統	1	0=橢球高(h) 1=正高(H) 2=大地起伏(N)
移動站緯度	23	緯度網格重心(ϕ)
移動站經度	121	經度網格重心(λ)
緯度解析度	0.0083	網格緯度解析度($\Delta \phi$)
經度解析度	0.0083	網格經度解析度($\Delta \lambda$)
轉換參數-dX	0.8089	dX 平移參數值
轉換參數-dY	-0.0816	dY 平移參數值
轉換參數-dZ	0.8705	dZ 平移參數值
轉換參數- ω	0.0591	ω 旋轉參數值
轉換參數- ϕ	-0.0349	ϕ 旋轉參數值
轉換參數- κ	-0.0514	κ 旋轉參數值
轉換參數-S	0.0179	S 尺度參數值
來源坐標橢球長半徑	6378137	來源坐標橢球長半徑
來源坐標橢球短半徑	6356752.3141	來源坐標橢球短半徑
目標坐標橢球長半徑	6378137	目標坐標橢球長半徑
目標坐標橢球短半徑	6356752.3141	目標坐標橢球短半徑

RTCM 3.1 type 1021 支援 Helmert 線性式 7 參數、Helmert 嚴密法 7 參數、Abridged Molodenski 7 參數及 Molodenski-Badekas 十參數等 4 種坐標轉換方法。考量 TWD97、TWD97[2010] 及 e-GNSS 坐標系統之參考橢球與坐標框架相同，e-GNSS 系統僅以一般常用之 Helmert 嚴密法 7 參數坐標轉換將 e-GNSS 坐標轉換至 TWD97 及 TWD97[2010] 坐標系統，其轉換公式如下 (Fritzensmeier et al., 1985、Rapp, 1993)：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = S \cdot R \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix}$$

其中 S 表尺度因子， $R = R_1(\omega)R_2(\varphi)R_3(\kappa)$ ，為 Cardan 旋轉矩陣因子， (X, Y, Z) 和 (x, y, z) 為目標及來源坐標， (dX, dY, dZ) 為平移參數。

RTCM 3.1 Type 1023 傳送之資料為殘差網格修正模型與網格內插計算方法，包括坐標轉換後點位所在網格的坐標重心、網格經緯度解析度、轉換後點位周圍 16 個網格殘差修正量的平均值、每一個網格的殘差修正量與網格內插計算方法等資訊如表 3- 6，殘差網格示意圖如圖 3- 5。

表 3- 6 RTCM 3.1 Type 1023 傳送資料說明

資料名稱	數值	數值說明
坐標轉換後緯度	23.0005	網格緯度重心(ϕ_0)
坐標轉換後經度	121.0005	網格經度重心(λ_0)
網格緯度解析度	0.0083	網格緯度解析度($\Delta\phi$)
網格經度解析度	0.0083	網格經度解析度($\Delta\lambda$)
緯度修正量平均值	0.00001	16 個網格緯度修正量平均值
經度修正量平均值	0.00001	16 個網格經度修正量平均值
高程修正量平均值	20.1234	16 個網格高程修正量平均值
網格 1_緯度修正量	0.00005	網格 1 在緯度方向的修正量
網格 1_經度修正量	-0.00005	網格 1 在經度方向的修正量
網格 1_高程修正量	20.1111	網格 1 在高程方向的修正量
網格 2_緯度修正量	0.00002	網格 2 在緯度方向的修正量
網格 2_經度修正量	-0.00002	網格 2 在經度方向的修正量
網格 2_高程修正量	20.2222	網格 2 在高程方向的修正量
...
網格 16_緯度修正量	0.00002	網格 16 在緯度方向的修正量
網格 16_經度修正量	-0.00002	網格 16 在經度方向的修正量
網格 16_高程修正量	20.2222	網格 16 在高程方向的修正量
平面坐標內插方法	0	0=雙線性內插 1=雙二次曲線內插 2=雙雲形曲線內插
高程坐標內插方法	0	0=雙線性內插 1=雙二次曲線內插 2=雙雲形曲線內插

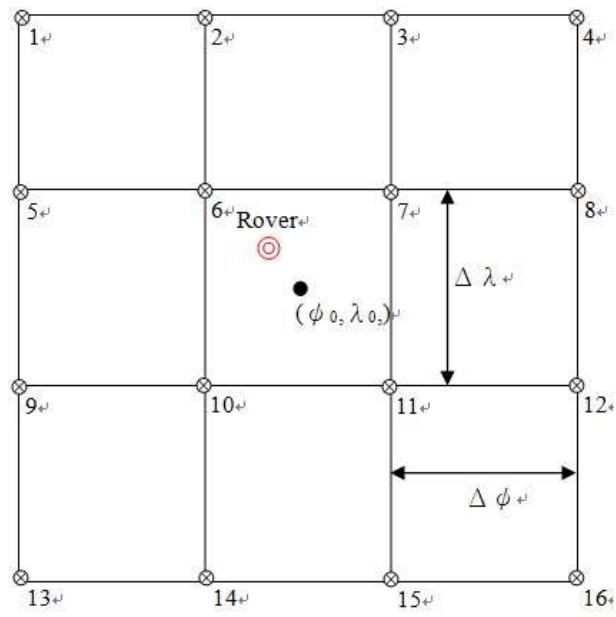


圖 3-5 RTCM type 1023 殘差網格示意圖

第四章 成果分析

第一節 作業參數設計

本研究選定 109 年度南投縣水里鄉、高雄市永安區重測區作為實驗區，實驗區坐標系統為 TWD97[2010]，其加密控制點成果為應用衛星靜態測量模式求得，圖根點成果為採用導線網形平差方式求得，界址點成果為採用電子測距經緯儀觀測求得。而以全星系 e-GNSS 系統，獲得加密控制點、圖根點及界址點為 e-GNSS[2019]坐標成果，欲進行與實驗區之法定坐標成果比較，須透過坐標轉換，方能進行比較，後續分別以六參數轉換及最小二乘配置法及透過 e-GNSS 系統三維坐標轉換平台進行坐標轉換。

劉冠岳(2013)研究顯示 VBS-RTK 觀測品質佳時，觀測記錄 120 筆可獲得與記錄 300 筆相同精度之成果、莊峰輔(2014)研究顯示觀測時間長短對轉換精度並無顯著之影響，爰規劃觀測方式採每 1 秒觀測記錄 1 筆，點位均連續觀測 2 測回，2 測回間須中斷連線後，重新初始化求得固定解，觀測加密設控制點時，每點須記錄 180 筆固定解，圖根點須記錄 30 筆固定解，界址點須記錄 10 筆固定解，相關說明如表 4- 1。另規劃於不同時段（上午、下午）進行觀測，探討不同時段所獲得 e-GNSS 系統成果之差異性。

表 4- 1 觀測作業參數設計

施測點位型式	最少接收衛星數量	衛星接收仰角	PDOP 值	記錄方式	觀測方式（均每秒 1 筆）
加密控制點	5 顆衛星以上	>15 度	<5	每秒接收 1 筆	連續觀測 2 測回，每測回記錄 180 筆固定解，測回間須斷線再重新連線。
圖根點					連續觀測 2 測回，每測回記錄 30 筆固定解，測回間須斷線再重新連線。
界址點					連續觀測 2 測回，每測回記錄 10 筆固定解，測回間須斷線再重新連線。

一、測量之儀器設備

本研究採用 Trimble R8s 衛星定位接收儀（如圖 4- 1），接收儀相關基本規格如表 4- 2。



圖 4-1 Trimble R8s 接收儀

表 4-2 衛星接收儀基本規格表

型號	Trimble R8s
同時接收衛星訊號	GPS : IL1C/A、L1C、L2C、L2E、L5 GLONASS : L1C/A、L1P、L2C/A、L2P、L3 SBAS : L1C/A、L5 (支援 L5 的 SBAS 衛星) GALILEO : E1、E5A、E5B COMPASS (北斗) : B1、B2
網路 RTK 定位精度	水平精度 : 8mm + 0.5ppm 垂直精度 : 15mm + 0.5ppm

二、實驗區點位數量

水里鄉實驗區及永安實驗區，總計觀測加密控制點 23 點、圖根點 24 點與界址點 50 點，合計 97 點，各實驗區點位數量資料如表 4-3 所示。

表 4-3 實驗區點位數量資料

實驗區 點位類別	水里	永安	合計
加密控制點	12	11	23
圖根點	10	14	24
界址點	25	25	50
合計	47	50	97

第二節 全星系 e-GNSS 系統穩定性探討

根據理論衛星定位精度除電離層、對流層延遲及多路徑效應等訊號傳播誤差外，觀測當時衛星顆數及幾何分布狀況，更是影響定位精度最直接且明顯的關鍵要素。為了解全星系 e-GNSS 系統在實驗區所得成果之品質及穩定性，分別於水里地政事務所頂樓及永安實驗區內地籍圖重測辦公室之頂樓，選擇透空度良好之位置，架設衛星定位接收儀，以每秒記錄 1 筆固定解觀測量，進行連續長時間觀測。

一、e-GNSS 系統長時間觀測成果探討

水里地政事務所頂樓，大約從 09:20 至 12:10 期間，觀測約 3 小時，計獲得 10,321 筆觀測量；於永安重測辦公室頂樓，大約從 08:00 至 14:00 期間，觀測約 6 小時，計獲得 21,563 筆觀測量。以各 N、E、h 坐標分量較差及平面位置較差結果，進行分析及統計，彙整如表 4-4 及圖 4-2 至圖 4-5 所示。

表 4-4 e-GNSS 系統長時間觀測成果分析表（單位：公尺）

水里實驗區	dN	dE	dh	平面位置較差
最大值	0.026	0.029	0.047	0.035
最小值	-0.029	-0.031	-0.071	
標準差	0.006	0.009	0.019	0.006
N、E 分量較差 < ±0.02 (%)	99.06%	96.34%		
h 分量較差 < ±0.05 (%)			98.8%	
平面位置較差 < 0.02 (%)				93.19%
平面位置較差 < 0.03 (%)				99.78%
永安實驗區	dN	dE	dh	平面位置較差
最大值	0.086	0.03	0.208	0.087
最小值	-0.056	-0.026	-0.072	
標準差	0.007	0.009	0.02	0.006
N、E 分量較差 < ±0.02 (%)	99.73%	97.85%		
h 分量較差 < ±0.05 (%)			98.85%	
平面位置較差 < 0.02 (%)				94.18%
平面位置較差 < 0.03 (%)				99.98%

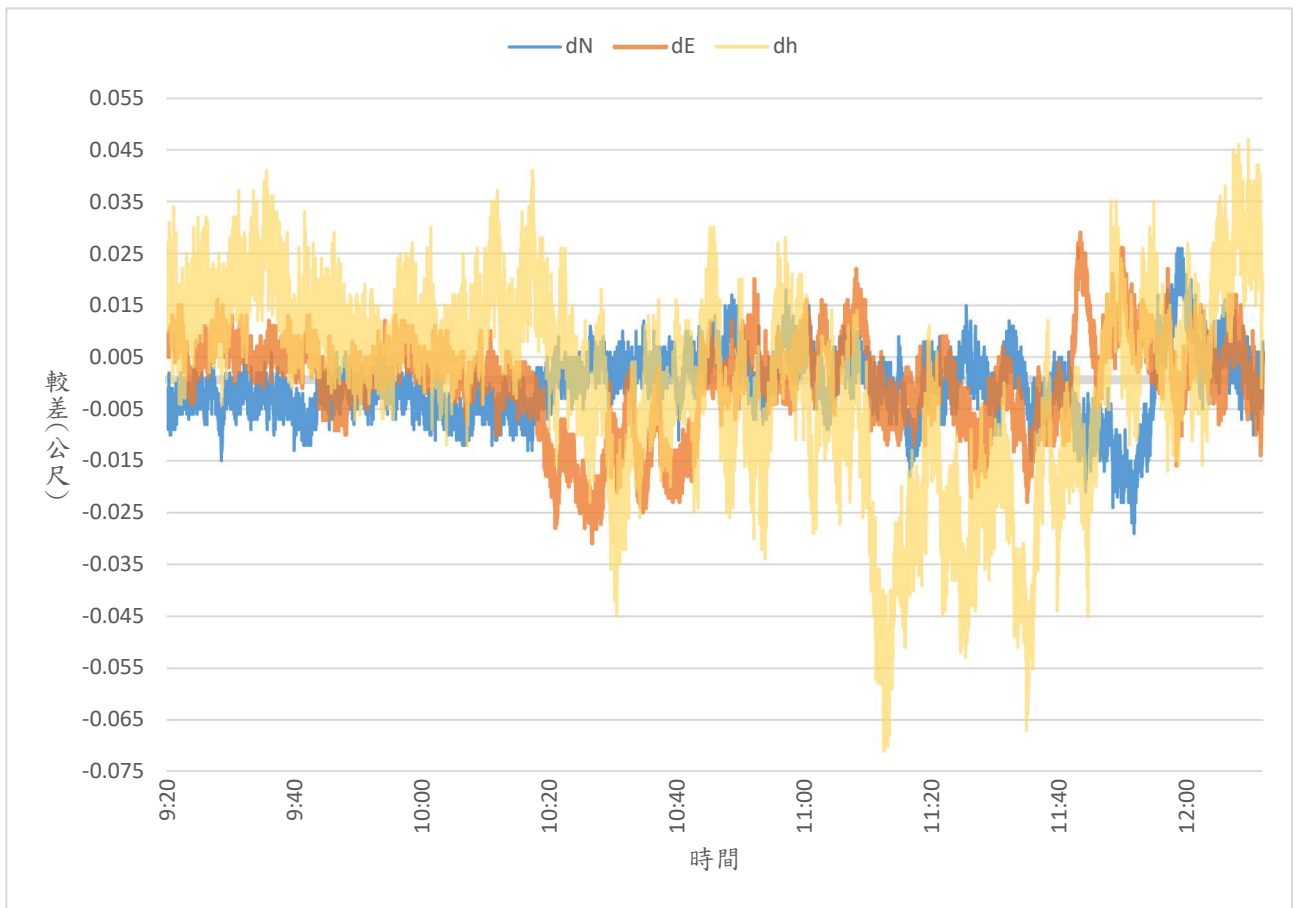


圖 4-2 水里實驗區 N、E、h 坐標分量較差分析圖

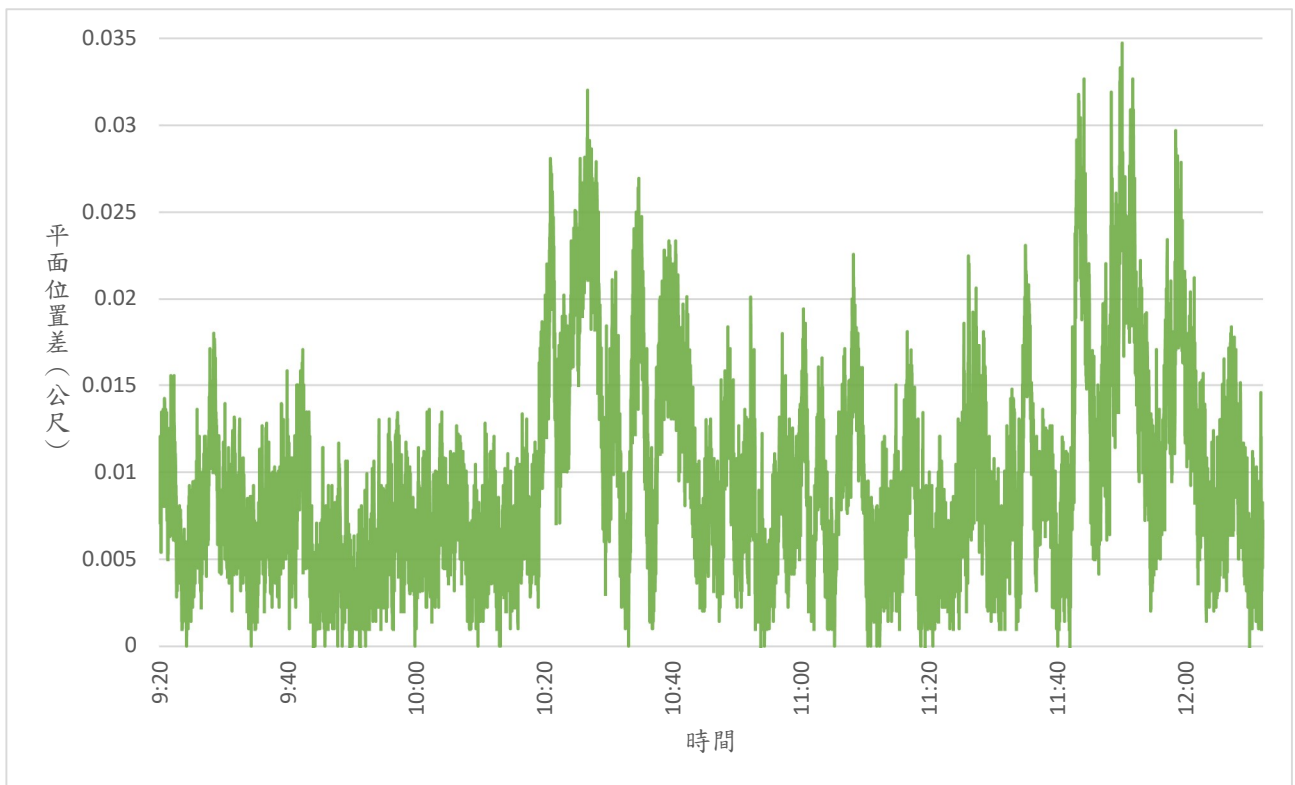


圖 4-3 水里實驗區平面位置較差分析圖

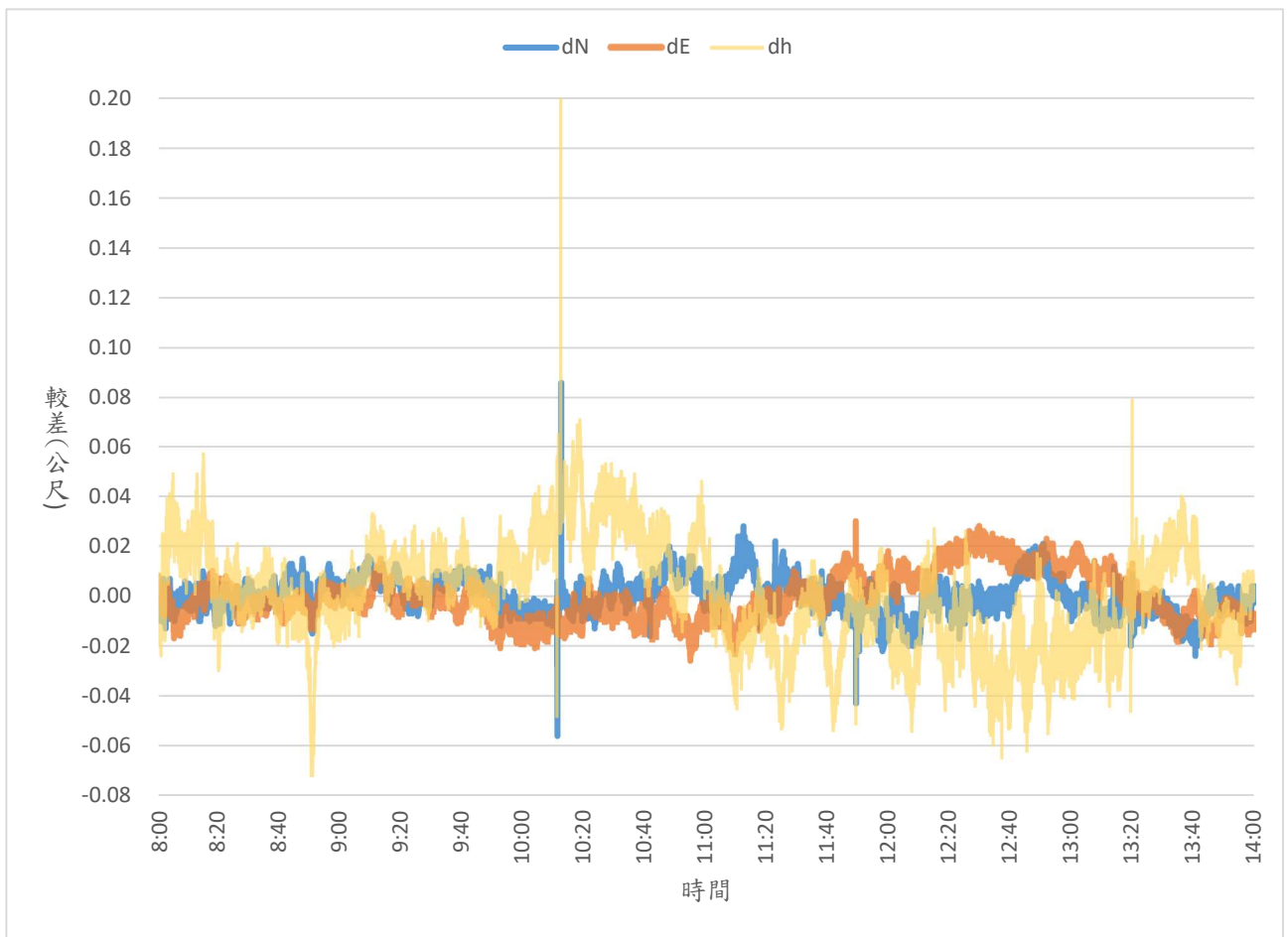


圖 4-4 永安實驗區 N、E、h 坐標分量較差分析圖

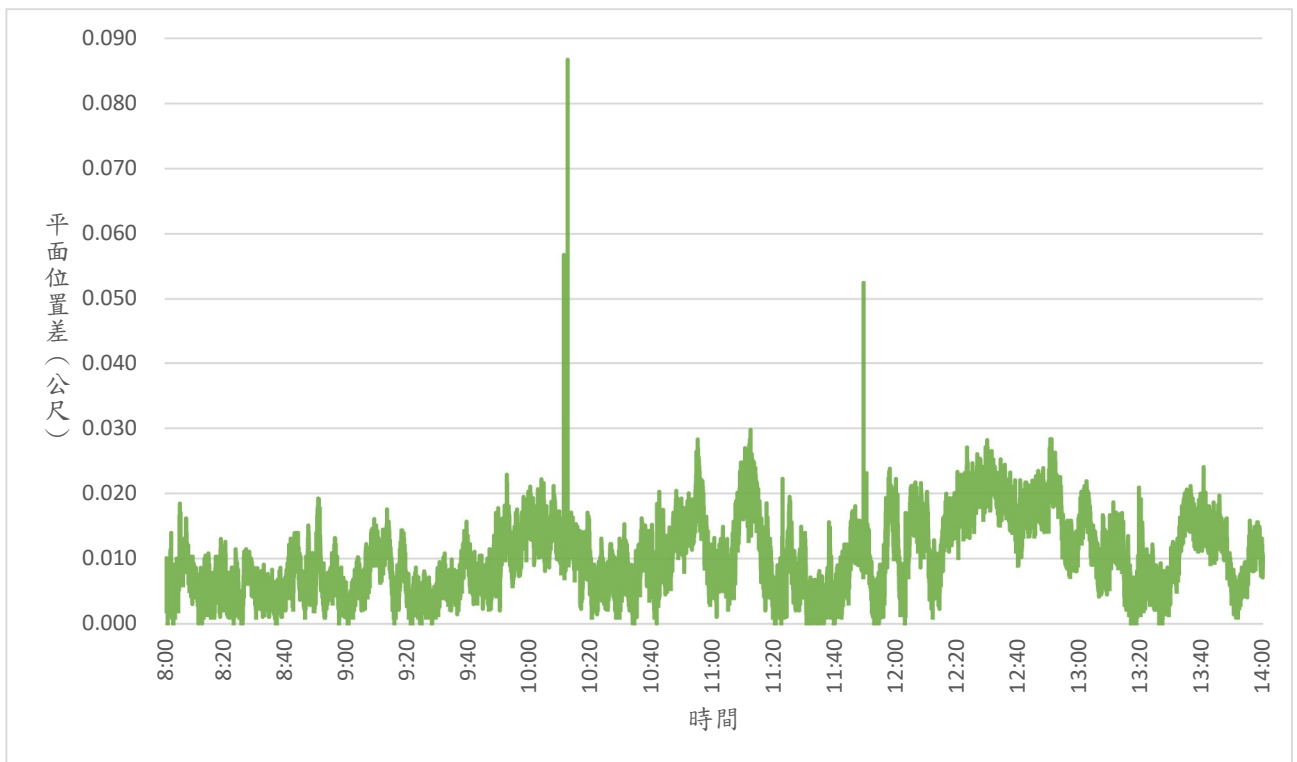


圖 4-5 永安實驗區平面位置較差分析圖

(一) 水里成果分析

- 1、dN 較差最大值為 0.026 公尺、最小值為-0.029 公尺，標準差為 0.006 公尺，分量較差 $<\pm 2$ 公分為 99.06%。
- 2、dE 較差最大值為 0.029 公尺、最小值為-0.031 公尺，標準差為 0.009 公尺，分量較差 $<\pm 2$ 公分為 96.34%。
- 3、dh 較差最大值為 0.047 公尺、最小值為-0.071 公尺，標準差為 0.019 公尺，分量較差 $<\pm 5$ 公分比率為 98.8%。
- 4、平面位置最大較差為 0.035 公尺，標準差為 0.006 公尺，平面位置較差值 <2 公分為 93.19%，平面位置較差值 <3 公分為 99.78%。

(二) 永安成果分析

- 1、dN 較差最大值為 0.086 公尺、最小值為-0.056 公尺，標準差為 0.007 公尺，分量較差 $<\pm 2$ 公分為 99.73%。
- 2、dE 較差最大值為 0.03 公尺、最小值為-0.026 公尺，標準差為 0.009 公尺，分量較差 $<\pm 2$ 公分為 97.85%。
- 3、dh 較差最大值為 0.208 公尺、最小值為-0.072 公尺，標準差為 0.02 公尺，分量較差 $<\pm 5$ 公分為 98.85%。
- 4、平面位置最大較差為 0.087 公尺，標準差為 0.006 公尺，平面位置較差值 <2 公分為 94.18%，平面位置較差值 <3 公分為 99.98%。

在永安測區出現 2 筆平面位置較差最大的觀測量，1 筆平面位置較差為 0.087 公尺，其 dN 分量較差為 0.086 公尺、dE 分量較差為-0.011 公尺，dh 分量較差值為 0.208 公尺，另 1 筆平面位置較差為 0.057 公尺，其 dN 分量較差為-0.056 公尺、dE 分量較差為-0.009 公尺，dh 分量較差值為-0.048 公尺，研判為週波脫落所致。

二、小結

- (一) 由表 4-4 水里區與永安區 N、E、h 坐標分量較差符合容許值的比率分在 96.34%~99.73%之間，水里平面位置較差值小於 2 公分的比率為 93.19%、小於 3 公分的比率為 99.78%，永安平面位置較差值小於 2 公分的比率為 94.18%、小於 3 公分的比率為 99.98%，顯示固定於屋頂頂樓透空度佳並連續時間接收全星系衛星訊號，所獲得 e-GNSS 系統測量成果值得信賴。

(二) 中午前後所觀測之成果較不穩定：透過 N、E、h 坐標分量變化分析，中午前後所得觀測值較其它時段差，根據理論電離層厚度約為對流層的 10 倍，且電離層的延遲誤差大小與電離層電子密度有關，電離層的電子密度隨太陽黑子活動劇烈時，影響量增大，且臺灣地處於中低緯度邊緣，受電離層的影響甚大，推測係受到電離層誤差的影響。

第三節 實驗一（時段 1）觀測成果分析

本研究規劃於不同時段（上午、下午）進行觀測，探討不同時段所獲得 e-GNSS 系統成果之差異性，本節為分析時段 1 之觀測資料。

一、e-GNSS[2019]坐標成果 2 測回較差分析

參考國土測繪中心「採用 VBS-RTK 辦理加密控制及圖根測量作業手冊」中，採用 VBS-RTK 辦理新設加密控制點作業，其 2 測回平面分量較差應小於 2 公分，及「數值法地籍圖重測作業手冊」第 507 節，圖根測量採 RTK 作業，同一圖根點應接收 2 個不同主站訊號重複觀測 2 次，坐標值較差應小於 2 公分，及第 802 節，界址測量採 RTK 作業，界址點實施重複觀測坐標值較差不得超過 3 公分。採較嚴謹之規範，爰以加密控制點、圖根點及界址點之 2 測回之平面位置較差應小於 2 公分為檢核標準，經分析如表 4-5 所示。

表 4-5 時段 1 加密控制點、圖根點及界址點之 2 測回較差分布統計

實驗區	水里實驗區 平面位置差			永安實驗區 平面位置差		
	加密控制點	圖根點	界址點	加密控制點	圖根點	界址點
較差級距 (單位：公尺)						
> 0.03	0	0	0	0	0	0
0.02~0.03	0	0	0	0	0	0
0.01~0.02	3	0	1	3	1	3
0~0.01	9	10	24	8	13	22
觀測量合計	12	10	25	11	14	25
最大值	0.012	0.008	0.012	0.016	0.013	0.014
平均值	0.006	0.04	0.005	0.007	0.005	0.006
標準差 (SD)	0.004	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003
平面位置較差 < 0.02 (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%

經分析結果，連續觀測 2 測回，2 測回間須中斷連線後，重新初始化求得固定解，其 2 測回平面位置較差，均可 100% 小於 2 公分內。

二、控制點（加密控制點及圖根點）e-GNSS[2019]坐標成果經坐標轉換後成果分析

（一）控制點經坐標轉換後與 TWD97[2010]坐標成果比較

實驗區時段 1 控制點經六參數轉換及三維坐標轉換（TTG）後與公告坐標比較分析如表 4-6 所示。

六參數轉換

1、水里實驗區時段 1：平面位置最大較差為 1.8 公分、平均較差為 0.8 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 100%。

2、永安實驗區時段 1：平面位置最大較差為 2.4 公分、平均較差為 1.3 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 84%。

三維坐標轉換（TTG）

1、水里實驗區時段 1：平面位置最大較差為 4.9 公分、平均較差為 3.2 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 9%。

2、永安實驗區時段 1：平面位置最大較差為 8.7 公分、平均較差為 5.8 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 0%。

表 4-6 時段 1 控制點經坐標轉換後與公告坐標較差分布情形

實驗區控制點 (單位：公尺)	六參數	六參數	TTG	TTG
	水里時段 1	永安時段 1	水里時段 1	永安時段 1
較差級距	平面位置較差	平面位置較差	平面位置較差	平面位置較差
> 0.04	0	0	3	22
0.03~0.04	0	0	13	1
0.02~0.03	0	4	4	2
0.01~0.02	5	13	1	0
0~0.01	17	8	1	0
觀測量合計	22	25	22	25
最大值	0.018	0.024	0.049	0.087
平均值	0.008	0.013	0.032	0.058
標準差 (SD)	0.005	0.006	0.009	0.016
平面位置較差 < 0.02 (%)	100%	84%	9%	0%
平面位置較差 < 0.03 (%)	100%	100%	27%	8%

另為驗證六參數轉換後成果品質，將水里實驗區之加密控制點 GJ09、GJ10 及圖根點 BJ88、BJ92 先不納入轉換共同點，分別以加密控制點為共同點求得轉換參數；以圖根點為共同求得轉換參數，再將上述點位依各別計算之轉換參數，另計算轉換後成果與公告成果比較分析。永安實驗區之加密控制點 EI092、EI114 及圖根點 BD116、BD305，亦採上述方式。經分析如表 4-7 所示：

表 4-7 時段 1 未納入轉換共同點之點位成果分析

水里時段 1					
加密控制點	N-坐標	E-坐標	dN	dE	平面位置較差
GJ09	2624196.862	234686.033	-0.006	-0.001	0.006
GJ10	2624664.276	234752.003	-0.001	0.003	0.003
圖根點	N-坐標	E-坐標	dN	dE	平面位置較差
BJ88	2624666.305	234953.612	-0.016	-0.014	0.021
BJ92	2624674.609	234831.805	0.001	-0.001	0.001
永安時段 1					
加密控制點	N-坐標	E-坐標	dN	dE	平面位置較差
EI092	2526379.093	168762.387	-0.008	-0.001	0.008
EI114	2523026.888	170924.417	0.004	0.01	0.011
圖根點	N-坐標	E-坐標	dN	dE	平面位置較差
BD116	2523433.378	169729.373	-0.015	-0.001	0.015
BD305	2523613.033	169675.382	-0.004	0.003	0.005

(二) 控制點（加密控制點及圖根點）經坐標轉換後水平距精度及方位角精度之檢核

採用加密控制點作為轉換共同點，參考「採用 VBS-RTK 辦理加密控制及圖根測量作業手冊」，轉換後角度及距離之檢核標準如下：

- 1、轉換後各共同點間方位角較差值是否小於 20 秒。
- 2、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 $30\text{mm}+6\text{ppm} * L$ （L 為單一基線長度之公里數）。

以圖根點作轉換共同點，參考「數值法地籍圖重測作業手冊」508 節圖根測量採 RTK 辦理，地測所得邊長平均值經各種改正計算後，與相應兩點坐標反之水平距離相對較差比值應小於 1/3,000 或水平距較差應小於或等於 3 公分，考量測角精度與測距精度應相當，爰以測距精度與測角精度應小於 1/3,000 為檢核標準。

實驗區時段 1 加密控制點經六參數轉換及三維坐標轉換 (TTG) 後之精度分析, 如表 4-8 所示, 各點間方位角較差值均在±20 秒內、水平距與原坐標成果反算之水平距相對較差比值均符合 30mm+6ppm *L 內。

表 4-8 時段 1 加密控制點經坐標轉換後之方位角及水平距精度分析表

項目 \ 實驗區	六參數		TTG	
	水里時段 1	永安時段 1	水里時段 1	永安時段 1
方位角數量 (個)	66	55	66	55
最大值 (秒)	5.74	6.27	4.84	4.61
最小值 (秒)	-7.18	-4.67	-7.83	-5.86
標準差 (SD)	1.93	1.84	1.94	1.81
方位角符合±20 秒 (%)	100%	100%	100%	100%
水平距數量 (條)	66	55	66	55
水平距最低相對精度	1/35,887	1/26,820	1/28,534	1/30,137
相對精度符合 1/20,000 (%)	100%	100%	100%	100%
水平距較差最大值(m)	0.022	0.034	0.028	0.044
水平距較差最小值(m)	-0.016	-0.034	-0.010	-0.029
水平距較差量符合率 (%)	100%	100%	100%	100%

實驗區時段 1 圖根點經六參數轉換及三維坐標轉換 (TTG) 後之角度及距離精度分析, 如表 4-9 所示, 方位角精度與水平距精度均小於 1/3,000。

表 4-9 時段 1 圖根點經坐標轉換後之方位角及水平距精度分析表

項目 \ 實驗區	六參數		TTG	
	水里時段 1	永安時段 1	水里時段 1	永安時段 1
方位角數量 (個)	7	12	7	12
最大值 (秒)	39.66	18.08	39.51	8.39
最小值 (秒)	-27.71	-25.70	-28.58	-27.52
最低相對精度	1/5,201	1/8,933	1/5,221	1/7,495
方位角相對精度符合 1/3,000 (%)	100%	100%	100%	100%
水平距數量 (條)	7	12	7	12
水平距最低相對精度	1/6,817	1/5,723	1/7,010	1/5,503
相對精度符合 1/3,000 (%)	100%	100%	100%	100%
水平距較差最大值(m)	0.013	0.018	0.013	0.017

水平距較差最小值(m)	-0.010	-0.012	-0.009	-0.011
水平距較差量符合率 (%)	100%	100%	100%	100%

由表 4- 6 控制點經坐標轉換後與公告坐標比較中，採用六參數轉換方式求得的成果較三維坐標轉換方式佳，經六參數轉換後水里實驗區平面位置較差 100% 小於 2 公分內，雖然永安實驗區平面位置較差，無法 100% 小於 2 公分內，但符合率已有 84%，至於經三維坐標轉換後，水里實驗區平均位置差為 3.2 公分，永安實驗區平均位置差為 5.8 公分，成果不佳之原因，於後面章節探討。

表 4- 7 為驗證六參數轉換後加密控制點、圖根點成果品質，除水里實驗區圖根點 BJ88 與公告坐標較差為 2.1 公分，略微不佳外，其餘與公告坐標之平面位置較差均符合 2 公分內。

由表 4- 8 及表 4- 9，採用六參數轉換或三維坐標轉換方式，所求得點位間水平距精度及方位角精度，均符合前述檢核標準。

三、界址點 e-GNSS[2019]坐標成果經坐標轉換後成果分析

以 e-GNSS[2019]系統觀測之界址點成果，透過第二章第四節所述「六參數轉換及最小二乘配置法」及「三維坐標轉換」方式，求得與實驗區相同 TWD97[2010]坐標系統，方能比較分析。另為探討作為六參數轉換共同點之型式，對界址點轉換後成果是否有差異性，研擬 3 種方式：第 1 種以加密控制點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 A）；第 2 種以圖根點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 B）；第 3 種以加密控制點及圖根點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 C）。另透過三維坐標轉換，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 TTG-1），將上述成果與地測成果比較平面位置較差，分析如表 4- 10 及表 4- 11 所示。

表 4- 10 時段 1 水里實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析

水里 實驗區	界址點 A (六參-加密)	界址點 B (六參-圖根)	界址點 C (六參-加密及圖根)	TTG-1
較差級距 (單位：公尺)	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差
> 0.06	0	0	0	0
0.05~0.06	0	0	0	3
0.04~0.05	0	0	0	3

0.03~0.04	0	0	0	11
0.02~0.03	4	1	1	6
0.01~0.02	6	9	9	1
0~0.01	15	15	15	1
個數合計	25	25	25	25
最大值	0.026	0.021	0.021	0.055
平均值	0.010	0.009	0.008	0.033
標準差 SD	0.007	0.004	0.005	0.011
平面位置較差 < 0.02 (%)	84%	96%	96%	8%
平面位置較差 < 0.03 (%)	100%	100%	100%	32%

表 4-11 時段 1 永安實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析

永安 實驗區	界址點 A (六參-加密)	界址點 B (六參-圖根)	界址點 C (六參-加密及圖根)	TTG-1
較差級距 (單位：公尺)	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差
> 0.08	0	0	0	3
0.07~0.08	0	0	0	6
0.06~0.07	0	0	0	8
0.05~0.06	0	0	0	4
0.04~0.05	0	0	0	1
0.03~0.04	2	0	0	2
0.02~0.03	5	2	1	1
0.01~0.02	14	14	18	0
0~0.01	4	9	6	0
個數合計	25	25	25	25
最大值	0.034	0.025	0.024	0.084
平均值	0.016	0.012	0.012	0.063
標準差 SD	0.008	0.005	0.005	0.015
平面位置較差 < 0.02 (%)	72%	92%	96%	0%
平面位置較差 < 0.03 (%)	92%	100%	100%	4%

由水里實驗區或永安實驗區之界址點之成果，可得知採用六參數轉換方式求得的成果較三維坐標轉換方式佳，而在 3 種不同共同點型式所求得轉換參數，再計算界址點之成果中，採用「加密控制點及圖根點作共同點」與採用「圖根點作共同點」所計算界址

點成果與地測成果比較，其平面位置較差之最大較差、平均較差及標準差，極為相近，且水里實驗區及永安實驗區平面位置較差小於 2 公分之比率均有 92% 以上，亦 100% 符合「數值法地籍圖重測作業手冊」界址點實施重複觀測坐標值較差不得超過 3 公分之規定。而採用「加密控制點作共同點」所計算界址點成果較為不佳，水里實驗區平面位置較差小於 2 公分之比率為 84%，永安實驗區平面位置較差小於 2 公分之比率為 72%。

第四節 實驗二（時段 2）觀測成果分析

本節為分析時段 2 之觀測資料。

一、e-GNSS[2019]坐標成果 2 測回較差分析

依照本章第三節加密控制點、圖根點及界址點之 2 測回之平面位置較差應小於 2 公分為檢核標準，經分析如表 4-12 所示。

表 4-12 時段 2 加密控制點、圖根點及界址點之 2 測回較差分布統計

實驗區	水里實驗區 平面位置差			永安實驗區 平面位置差		
	加密控制點	圖根點	界址點	加密控制點	圖根點	界址點
較差級距 (單位：公尺)						
> 0.03	0	0	0	0	0	0
0.02~0.03	0	0	0	0	0	0
0.01~0.02	1	0	1	3	1	3
0~0.01	11	10	24	8	13	22
觀測量合計	12	10	25	11	14	25
最大值	0.014	0.009	0.011	0.014	0.011	0.014
平均值	0.005	0.004	0.004	0.006	0.004	0.004
標準差 (SD)	0.003	0.003	0.002	0.005	0.003	0.004
平面位置較差 < 0.02 (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%

經分析結果，得到與時段 1 相同之結論，即連續觀測 2 測回，2 測回間須中斷連線後，重新初始化求得固定解，其 2 測回平面位置較差，均可 100% 小於 2 公分內。

二、控制點（加密控制點及圖根點）e-GNSS[2019]坐標成果經坐標轉換後成果分析

（一）控制點經坐標轉換後與 TWD97[2010]坐標成果比較

實驗區時段 2 控制點經六參數轉換及三維坐標轉換 (TTG) 後與公告坐標比較分析如表 4-13 所示。

六參數轉換

1、水里實驗區時段 2：平面位置最大較差為 3.6 公分、平均較差為 1.1 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 86%。

2、永安實驗區時段 2：平面位置最大較差為 2.9 公分、平均較差為 1.2 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 88%。

三維坐標轉換 (TTG)

1、水里實驗區時段 2：平面位置最大較差為 7 公分、平均較差為 3 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 14%。

2、永安實驗區時段 2：平面位置最大較差為 9.1 公分、平均較差為 6.3 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 0%。

表 4-13 時段 2 控制點經坐標轉換後與公告坐標較差分布情形

實驗區 控制點 (單位：公尺)	六參數	六參數	TTG	TTG
	水里時段 2	永安時段 2	水里時段 2	永安時段 2
較差級距	平面位置較差	平面位置較差	平面位置較差	平面位置較差
> 0.04	0	0	3	23
0.03~0.04	2	0	4	2
0.02~0.03	1	3	12	0
0.01~0.02	5	9	3	0
0~0.01	14	13	0	0
觀測量合計	22	25	22	25
最大值	0.036	0.029	0.070	0.091
平均值	0.011	0.012	0.030	0.063
標準差 (SD)	0.010	0.007	0.014	0.016
平面位置較差 < 0.02 (%)	86%	88%	14%	0%
平面位置較差 < 0.03 (%)	91%	100%	68%	0%

為驗證六參數轉換後成果品質，將時段 2 中水里實驗區之加密控制點 GJ09、GJ10 及圖根點 BJ88、BJ92 先不納入轉換共同點，分別以加密控制點為共

同點求得轉換參數；以圖根點為共同求得轉換參數，再將上述點位依各別計算之轉換參數，另計算轉換後成果與公告成果比較分析。永安實驗區之加密控制點 EI092、EI114 及圖根點 BD116、BD305，亦採上述方式。經分析如表 4-14 所示：

表 4-14 時段 2 未納入轉換共同點之點位成果分析

水里時段 2					
加密控制點	N-坐標	E-坐標	dN	dE	平面位置較差
GJ09	2624196.852	234686.034	0.004	-0.002	0.004
GJ10	2624664.274	234752.007	0.001	-0.001	0.001
圖根點	N-坐標	E-坐標	dN	dE	平面位置較差
BJ88	2624666.295	234953.608	-0.006	-0.01	0.012
BJ92	2624674.609	234831.811	0.001	-0.007	0.007
永安時段 2					
加密控制點	N-坐標	E-坐標	dN	dE	平面位置較差
EI092	2526379.069	168762.375	0.016	0.011	0.019
EI114	2523026.884	170924.419	0.008	0.008	0.011
圖根點	N-坐標	E-坐標	dN	dE	平面位置較差
BD116	2523433.371	169729.367	-0.008	0.005	0.009
BD305	2523613.044	169675.382	-0.015	0.003	0.015

(二) 控制點（加密控制點及圖根點）經坐標轉換後水平距精度及方位角精度之檢核

依照本章第三節，採用加密控制點、圖根點作為轉換共同點，轉換後之檢核標準。實驗區時段 2 加密控制點經六參數轉換及三維坐標轉換（TTG）後之精度分析，如表 4-15 所示，惟採用三維坐標轉換後之永安實驗區中，加密控制點之邊長較差量有 2 條未符合檢核標準 $30\text{mm}+6\text{ppm} * L$ ，如表 4-16 所示，超過容許較差值均不大且此 2 條基線的距離較差雖未符合檢核標準，但基線的相對精度小於 $1/20,000$ ，符合數值法地籍圖重測作業手冊應用衛星定位接收儀檢測已知點距離精度規範。其餘各點間方位角較差值均在 ± 20 秒內、水平距與原坐標成果反算之水平距相對較差比值均符合 $30\text{mm}+6\text{ppm} * L$ 內。

表 4-15 時段 2 加密控制點經坐標轉換後之方位角及水平距精度分析表

實驗區 項目	六參數	六參數	TTG	TTG
	水里時段 2	永安時段 2	水里時段 2	永安時段 2
方位角數量 (個)	66	55	66	55
最大值 (秒)	7.69	6.45	10.20	4.65
最小值 (秒)	-6.77	-4.53	-5.86	-5.95
標準差 (SD)	2.09	1.96	2.28	1.98
方位角符合±20 秒 (%)	100%	100%	100%	100%
水平距數量 (條)	66	55	66	55
水平距最低相對精度	1/29,222	1/31,441	1/25,779	1/28,897
相對精度符合 1/20,000 (%)	100%	100%	100%	100%
水平距較差最大值(m)	0.035	0.036	0.023	0.033
水平距較差最小值(m)	-0.020	-0.029	-0.036	-0.041
水平距較差量符合率 (%)	100%	100%	100%	96%(2 條未符)

表 4-16 時段 2 水平距較差未符合檢核值一覽表

實驗區	基線	檢測距離 (m)	反算距離 (m)	較差值 (m)	精度	容許較差值 (m)
永安時段 2	EH103-->EI102	1366.609	1366.650	-0.041	1/33,638	0.038
	EI109-->EI113	1052.263	1052.300	-0.036	1/28,897	0.036

實驗區時段 2 圖根點經六參數轉換及三維坐標轉換 (TTG) 後之角度及距離精度分析，如表 4-17 所示，方位角精度與水平距精度均小於 1/3,000。

表 4-17 時段 2 圖根點經坐標轉換後之方位角及水平距精度分析表

實驗區 項目	六參數	六參數	TTG	TTG
	水里時段 1	永安時段 1	水里時段 1	永安時段 1
方位角數量 (個)	7	12	7	12
最大值 (秒)	20.41	26.92	20.47	25.56
最小值 (秒)	-59.90	-44.35	-59.90	-45.68
最低相對精度	1/3,443	1/4,651	1/3,443	1/4,515
方位角相對精度 符合 1/3,000 (%)	100%	100%	100%	100%
水平距數量 (條)	7	12	7	12
水平距最低相對精度	1/8,392	1/4,301	1/7,811	1/4,232

相對精度符合 1/3,000 (%)	100%	100%	100%	100%
水平距較差最大值(m)	0.004	0.022	0.004	0.022
水平距較差最小值(m)	-0.015	-0.022	-0.016	-0.025
水平距較差量符合率 (%)	100%	100%	100%	100%

由表 4- 13，得到與時段 1 相同之結論，即控制點經坐標轉換後與公告坐標比較中，採用六參數轉換方式求得的成果較三維坐標轉換方式佳，經六參數轉換後水里實驗區與永安區平面位置較差，雖無法 100%小於 2 公分內，但符合率仍分別有 86%、88%，至於經三維坐標轉換後，水里實驗區平均位置差為 3 公分，永安實驗區平均位置差為 6.3 公分之成果與時段 1 之成果接近，至於不佳之原因，仍留於後面章節探討。

表 4- 14 為驗證六參數轉換後加密控制點、圖根點成果品質，未納入轉換共同點之控制點，與公告坐標比較平面位置較差均符合 2 公分內。

由表 4- 15 及表 4- 17，採用六參數轉換或三維坐標轉換方式，所求得點位間水平距精度及方位角精度，僅 2 條水平距離較差量未符合 $30\text{mm}+6\text{ppm} * L$ ，該成果係採三維坐標轉換求得，其餘水平距精度及方位角精度均符合檢核標準。

三、界址點 e-GNSS[2019]坐標成果經坐標轉換後成果分析

將 e-GNSS[2019]系統觀測之界址點成果，進行坐標轉換後，第 1 種以加密控制點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 D）；第 2 種以圖根點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 E）；第 3 種以加密控制點及圖根點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 F）；另透過三維坐標轉換，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 TTG-2），將上述成果與地測成果比較平面位置較差，分析如表 4- 18 及表 4- 19。

表 4- 18 時段 2 水里實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析

水里 實驗區	界址點 D (六參-加密)	界址點 E (六參-圖根)	界址點 F (六參-加密 及圖根)	TTG-2
較差級距 (單位：公尺)	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差

> 0.08	0	0	0	0
0.07~0.08	0	0	0	2
0.06~0.07	0	0	0	0
0.05~0.06	2	0	0	3
0.04~0.05	0	0	0	2
0.03~0.04	3	0	0	8
0.02~0.03	7	3	3	5
0.01~0.02	7	8	9	4
0~0.01	6	14	13	1
個數合計	25	25	25	25
最大值	0.057	0.025	0.024	0.077
平均值	0.021	0.010	0.010	0.036
標準差 SD	0.014	0.007	0.006	0.017
平面位置較差 < 0.02 (%)	52%	88%	88%	20%
平面位置較差 < 0.03 (%)	80%	100%	100%	40%

表 4-19 時段 2 永安實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析

永安 實驗區	界址點 D (六參-加密)	界址點 E (六參-圖根)	界址點 F (六參-加密 及圖根)	TTG-2
較差級距 (單位：公尺)	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差
> 0.08	0	0	0	3
0.07~0.08	0	0	0	6
0.06~0.07	0	0	0	8
0.05~0.06	0	0	0	5
0.04~0.05	0	0	0	3
0.03~0.04	6	0	0	0
0.02~0.03	4	3	3	0
0.01~0.02	9	13	13	0
0~0.01	6	9	9	0
個數合計	25	25	25	25
最大值	0.035	0.027	0.028	0.080
平均值	0.019	0.012	0.013	0.064

標準差 SD	0.010	0.006	0.007	0.011
平面位置較差 < 0.02 (%)	60%	88%	88%	0%
平面位置較差 < 0.03 (%)	76%	100%	100%	0%

經分析後，得到與時段 1 相同之結論，即採用六參數轉換方式求得的成果仍較三維坐標轉換方式佳，而在 3 種不同共同點型式所求得轉換參數，再計算界址點之成果中，採用「加密控制點及圖根點作共同點」與採用「圖根點作共同點」所計算界址點成果與地測成果比較，其平面位置較差之最大較差、平均較差及標準差，仍極為相近，且水里實驗區及永安實驗區平面位置較差小於 2 公分之比率均為 88%，亦 100%符合「數值法地籍圖重測作業手冊」界址點實施重複觀測坐標值較差不得超過 3 公分之規定。而採用「加密控制點作共同點」所計算界址點成果較為不佳，水里實驗區平面位置較差小於 2 公分之比率僅為 52%，永安實驗區平面位置較差小於 2 公分之比率為 60%，故可得知僅採用「加密控制點作共同點」所計算界址點成果，其成果較不理想。

第五節 實驗三（時段 AVG）觀測成果分析

本研究規劃於不同時段（上午、下午），探討不同時段所獲得 e-GNSS 系統成果之差異性。前面已分析時段 1 與時段 2 之觀測資料，由表 4- 6 及表 4- 13 得知，加密控制點及圖根點經六參數轉換後，仍有部分點位成果與公告坐標比較，平面位置較差超過 2 公分，另參考國土測繪中心「採用 VBS-RTK 辦理加密控制及圖根測量作業手冊」中，新設加密控制點測設及圖根點測設規範，點位須觀測 2 測回，測回至少須間隔 60 分鐘以上，爰進行實驗三，將時段 1 及時段 2 加密控制點及圖根點觀測資料取平均值（簡稱時段 AVG）後，作為轉換共同點的坐標成果，分析與本章第四節及第五節所獲得成果之差異性。

一、控制點（加密控制點及圖根點）e-GNSS[2019]坐標成果經坐標轉換後成果分析

（一）控制點經坐標轉換後與 TWD97[2010]坐標成果比較

實驗區時段 AVG 之控制點經六參數轉換及三維坐標轉換（TTG）後與公告坐標比較分析如表 4- 20 所示。

六參數轉換

- 1、水里實驗區時段 AVG：平面位置最大較差為 2.5 公分、平均較差為 0.8 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 91%。

2、永安實驗區時段 AVG：平面位置最大較差為 2.3 公分、平均較差為 1 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 96%。

三維坐標轉換 (TTG)

1、水里實驗區時段 AVG：平面位置最大較差為 5.7 公分、平均較差為 3.1 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 14%。

2、永安實驗區時段 AVG：平面位置最大較差為 8.5 公分、平均較差為 6 公分、平面位置較差小於 2 公分比率為 0%。

表 4-20 時段 AVG 控制點經坐標轉換後與公告坐標較差分布情形

實驗區控制點 (單位：公尺)	六參數	六參數	TTG	TTG
	水里	永安	水里	永安
較差級距	平面位置較差	平面位置較差	平面位置較差	平面位置較差
> 0.04	0	0	2	23
0.03~0.04	0	0	8	1
0.02~0.03	2	1	9	1
0.01~0.02	4	9	3	0
0~0.01	16	15	0	0
觀測量合計	22	25	22	25
最大值	0.025	0.023	0.057	0.085
平均值	0.008	0.010	0.031	0.060
標準差 (SD)	0.007	0.006	0.010	0.014
平面位置較差 < 0.02 (%)	91%	96%	14%	0%
平面位置較差 < 0.03 (%)	100%	100%	55%	4%

由表 4-20 對照表 4-6 及表 4-15，分析如下：

1、採用六參數轉換方式：水里實驗區平面位置較差小於 2 公分比率為 91%，略遜於時段 1 之 100%，略優於時段 2 之 86%。永安實驗區平面位置較差小於 2 公分比率為 96%，均優於時段 1 之 84%及時段 2 之 88%。

2、採用三維坐標轉換 (TTG) 方式：水里實驗區平面位置較差小於 2 公分比率為 14%，略優於時段 1 之 9%，與時段 2 之 14%相同，永安實驗區平面位置較差小於 2 公分比率為與時段 1 及時段 2 相同。

3、另檢視時段 AVG 平面位置較差之平均值，大都優於時段 1 及時段 2，顯見將時段 1 及時段 2 之加密控制點及圖根點觀測資料取平均值後，再經過坐標轉換，與公告坐標比較後，可提升平面位置較差小於 2 公分之符合率。

二、界址點 e-GNSS[2019]坐標成果經坐標轉換後成果分析

將時段 1 及時段 2 之界址點觀測資料取平均值後，依照前述方式，第 1 種以時段 AVG 加密控制點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 G）；第 2 種以時段 AVG 圖根點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 H）；第 3 種以時段 AVG 加密控制點及圖根點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，計算界址點成果（此成果簡稱界址點 I）；另透過三維坐標轉換後，以時段 1 及時段 2 之平均值，作為界址點成果（此成果簡稱界址點 TTG-AVG），將上述成果與地測成果比較平面位置較差，分析如表 4- 21 及表 4- 22 所示。

表 4- 21 時段 AVG 水里實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析-1

水里 實驗區	界址點 G (六參-加密)	界址點 H (六參-圖根)	界址點 I (六參-加密 及圖根)	TTG- AVG
較差級距 (單位：公尺)	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差
> 0.06	0	0	0	1
0.05~0.06	0	0	0	4
0.04~0.05	0	0	0	2
0.03~0.04	2	0	0	11
0.02~0.03	5	0	0	5
0.01~0.02	9	5	5	0
0~0.01	9	20	20	2
個數合計	25	25	25	25
最大值	0.037	0.019	0.018	0.063
平均值	0.015	0.007	0.007	0.034
標準差 SD	0.009	0.005	0.005	0.014
平面位置較差 < 0.02 (%)	72%	100%	100%	8%
平面位置較差 < 0.03 (%)	92%	100%	100%	28%

表 4-22 時段 AVG 永安實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析-1

永安 實驗區	界址點 G (六參-加密)	界址點 H (六參-圖根)	界址點 I (六參-加密 及圖根)	TTG- AVG
較差級距 (單位：公尺)	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差
> 0.08	0	0	0	2
0.07~0.08	0	0	0	8
0.06~0.07	0	0	0	6
0.05~0.06	0	0	0	6
0.04~0.05	0	0	0	2
0.03~0.04	1	0	0	1
0.02~0.03	4	1	2	0
0.01~0.02	13	13	13	0
0~0.01	7	11	10	0
個數合計	25	25	25	25
最大值	0.033	0.023	0.023	0.082
平均值	0.014	0.011	0.011	0.063
標準差 SD	0.008	0.005	0.005	0.012
平面位置較差 < 0.02 (%)	80%	96%	92%	0%
平面位置較差 < 0.03 (%)	96%	100%	100%	0%

經分析後，採用「加密控制點及圖根點作共同點」與採用「圖根點作共同點」所計算界址點成果與地測成果比較，其平面位置較差小於 2 公分之比率顯著提升，於水里實驗區已達到 100%符合，在永安實驗區已提升至 92%以上。

另由表 4- 20 更驗證不同時段之加密控制點及圖根點觀測資料取平均值，經坐標轉換後，與公告坐標比較後，可提升平面位置較差小於 2 公分之比率，故為求得穩定且可靠之界址點成果，理應採用本節實驗三之方式。然而實際作業，界址點或現況點若於間隔 60 分鐘後再進行第 2 測回施測，除固定物及樁標外，難以施測相同位置，故實務作業上執行有困難。

爰測試將時段 1 及時段 2 之加密控制點及圖根點觀測資料取平均值後，作為轉換共同點的坐標成果，以計算的轉換參數，進而求得時段 1、時段 2 之界址點成果，進行分

析。第 1 種以時段 AVG 加密控制點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，分別計算時段 1、時段 2 界址點成果（此成果簡稱界址點 J）；第 2 種以時段 AVG 圖根點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，分別計算時段 1、時段 2 界址點成果（此成果簡稱界址點 K）；第 3 種以時段 AVG 加密控制點及圖根點作共同點求得之轉換參數再加上最小二乘法，分別計算時段 1、時段 2 界址點成果（此成果簡稱界址點 L），將上述成果與地測成果比較平面位置較差，分析如表 4- 23 及表 4- 24。

表 4- 23 時段 AVG 水里實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析-2

水里 實驗區	界址點 J (六參-加密)		界址點 K (六參-圖根)		界址點 L (六參-加密及圖根)	
	時段 1 平面位置 較差	時段 2 平面位置 較差	時段 1 平面位置 較差	時段 2 平面位置 較差	時段 1 平面位置 較差	時段 2 平面位置 較差
較差級距 (單位：公尺)						
> 0.08	0	0	0	0	0	0
0.07~0.08	0	0	0	0	0	0
0.06~0.07	0	0	0	0	0	0
0.05~0.06	0	1	0	0	0	0
0.04~0.05	0	1	0	0	0	0
0.03~0.04	0	2	0	1	0	1
0.02~0.03	6	8	1	2	1	2
0.01~0.02	8	6	12	9	11	8
0~0.01	11	7	12	13	13	14
個數合計	25	25	25	25	25	25
最大值	0.029	0.052	0.022	0.030	0.022	0.030
平均值	0.013	0.020	0.010	0.011	0.010	0.011
標準差 SD	0.008	0.012	0.006	0.007	0.006	0.007
平面位置較差 <0.02 (%)	76%	52%	96%	88%	96%	88%
平面位置較差 <0.03 (%)	100%	84%	100%	96%	100%	96%

表 4-24 時段 AVG 永安實驗區界址點經坐標轉換後與地測成果比較分析-2

永安 實驗區	界址點 J (六參-加密)		界址點 K (六參-圖根)		界址點 L (六參-加密及圖根)	
	時段 1	時段 2	時段 1	時段 2	時段 1	時段 2
	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差	平面位置 較差
較差級距 (單位：公尺)						
> 0.08	0	0	0	0	0	0
0.07~0.08	0	0	0	0	0	0
0.06~0.07	0	0	0	0	0	0
0.05~0.06	0	0	0	0	0	0
0.04~0.05	1	0	0	0	0	0
0.03~0.04	1	1	0	0	0	0
0.02~0.03	7	6	3	4	3	3
0.01~0.02	8	11	16	15	16	16
0~0.01	8	7	6	6	6	6
個數合計	25	25	25	25	25	25
最大值	0.040	0.030	0.027	0.026	0.026	0.027
平均值	0.015	0.015	0.013	0.013	0.013	0.013
標準差 SD	0.009	0.008	0.005	0.006	0.005	0.007
平面位置較差 < 0.02 (%)	64%	72%	88%	84%	88%	88%
平面位置較差 < 0.03 (%)	92%	96%	100%	100%	100%	100%

由表 4-23 及表 4-24，所計算之界址點成果，與時段 1 求得之界址點成果表 4-10 表 4-11 及時段 2 所求得之界址點成果表 4-18 及表 4-19 相當，以加密控制點及圖根點作共同點，所求得界址點 L 成果，其平面位置較差最大值為 3 公分，即全數符合「數值法地籍圖重測作業手冊」之界址點重複觀測不得超過 3 公分規定。由於本研究觀測時間，未特別避開中午前後時段及選擇衛星幾何分布較佳時段。而界址點成果係依據轉換共同點坐標，計算出轉換參數，進而求其成果，故所觀測的控制點成果精度不佳，則影響到界址點的成果，若未特別選擇適合觀測時段者，作為轉換共同點之已知控制點，建議觀測 2 測回，2 測回平面分量較差應小於 2 公分，高程分量較差應小於 5 公分，並將 2

測回觀測量取平均值，以作為計算之轉換參數作為後續轉換之基準，倘 2 測回坐標成果相差很多，應該再重新觀測。

三、小結

依據本章第三節至第五節成果分析，獲得幾點結論

- (一) 僅採用「加密控制點作共同點」所求得之界址點成果較為不佳，而採用「加密控制點及圖根點作共同點」與採用「圖根點作共同點」所計算界址點成果與地測成果比較後，其平面位置較差之最大較差、平均較差及標準差，極為相近。為確保測量成果品質，測區周圍若有已知控制點，仍須納入作為轉換共同點，建議採用加密控制點及圖根點作共同點，以提升成果可靠度。
- (二) 經分析轉換後共同點測距及測角精度中，以 e-GNSS[2019]坐標反算離及角度觀測量，其加密控制點均能符合數值法地籍圖重測作業手冊應用衛星定位接收儀檢測已知點測距及測角精度規範，而圖根點測距精度及測角精度均小於 1/3,000。若採用 e-GNSS 系統成果，反算點位間之距離及角度觀測量，且符合檢核精度規範後，再以其距離及角度觀測量，來獲取界址點成果，是值得後續研究探討方向。
- (三) 三維坐標轉換成果之探討
 - 1、經分析三維坐標轉換後成果之加密控制點及圖根點水平距及方位角等精度，雖 2 條邊長未符合水平距相對較差量 $30\text{mm}+6\text{ppm} * L$ ，但此 2 條相對精度仍符合小於 1/20,000，顯示三維坐標轉換後點位間相對關係無明顯錯誤。
 - 2、三維坐標轉換後控制點與法定公告坐標比較，水里實驗區平均位置差為 3.2 公分、3 公分，永安實驗區平均位置差為 5.8 公分、6.3 公分，在界址點成果與地測成果比較，也具有相似的差異。經探討原因，係三維坐標轉換將 e-GNSS 系統測量成果轉換至 TWD97 或 TWD97 [2010]平面坐標系統，其 TWD97[2010]建置三維坐標轉換模型，係採用臺灣本島的基準站為轉換控制點。而實驗區內加密控制點成果為應用衛星靜態測量模式求得，圖根點成果為採用導線網形平差方式求得，界址點成果為採用電子測距經緯儀觀測求得。二者產生成果的作業方式不同，在不考量測量錯誤的情況下，二者之間必有系統誤差存在。
 - 3、進一步分析，三維坐標轉換成果與公告坐標、地測成果較差分布情形如圖 4-6 與圖 4-7 所示，水里實驗區較差大都落於第一象限、永安實驗區較差大都

落於第三象限，顯示較差的方向性具有一致性，顯示其較差屬於系統誤差的成份較高。而永安實驗區較差量大於水里實驗區的原因，可能為永安附近三維坐標轉換之共同點的數量不夠密，其轉換後成果無法反應該區域坐標變化量，再加上永安實驗區位處臺灣西南部海岸旁，作為建置三維坐標轉換模型之基準站均位於該測區之東邊，西邊已無基準站，以致三維坐標轉換成果較差。

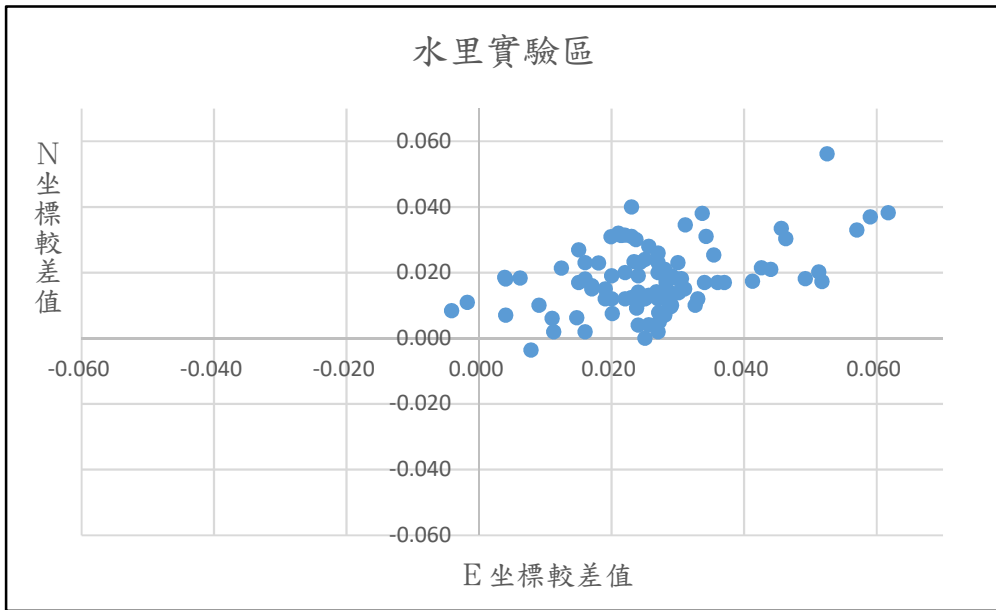


圖 4-6 水里實驗區三維坐標轉換成果與公告坐標、地測成果較差分布情形

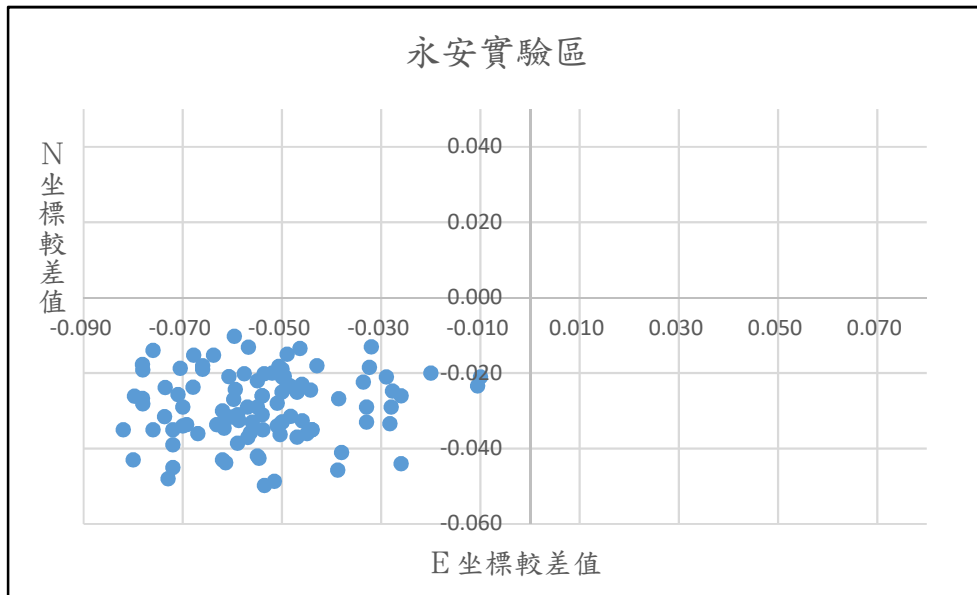


圖 4-7 永安實驗區三維坐標轉換成果與公告坐標、地測成果較差分布情形

4、三維坐標轉換服務具有外業觀測即時取得法定公告坐標及免在施測已知控制點作為轉換共同點之優勢，且經檢核加密控制點之點位間距離精度符合小於1/20,000、方位角較差量在 ± 20 秒內，圖根點之點位間距離精度及角度精度均小於1/3,000等精度規範。是否可採用殘餘誤差或透過其它方法修正，來獲取最佳的三維坐標轉換之成果，是值得後續研究探討。

第六節 點位邊長檢核

經本章第三節至第五節實驗結果，為貼近實務作業及獲得穩定且可靠的觀測成果，將不同時段（上午、下午）之加密控制點及圖根點觀測資料取平均值後，作為轉換共同點的坐標成果，以計算的轉換參數，求得時段 1、時段 2 之界址點成果。又分析參數轉換共同點之型式，採用「加密控制點及圖根點作共同點」，計算轉換參數後，進而求得界址點成果為較佳，故以本章第五節採所計算界址點 L（以加密控制點及圖根點作共同點）之成果，與電子測距經緯儀測得之地測成果，並進行地籍測量實施規則第 73 條圖根點到界址點位置誤差及第 74 條界址點間坐標計算邊長與實測邊長之比較。

一、圖根點至界址點之檢測邊長與實測邊長檢核

依據地籍測量實施規則第 73 條：「戶地測量採數值法測繪者，其圖根點至界址點之位置誤差不得超過下列限制：

- （一）市地：標準誤差 2 公分，最大誤差 6 公分。
- （二）農地：標準誤差 7 公分，最大誤差 20 公分。
- （三）山地：標準誤差 15 公分，最大誤差 45 公分。

以市地標準分析圖根點到界址點位置之較差情形，如附錄 A 及附錄 B 所示。

- 1、水里實驗區：除時段 2 有 3 段邊長（最大較差為 2.9 公分），雖未符合市地標準誤差值 2 公分外，但仍符合市地最大誤差值 6 公分內。符合標準誤差值 2 公分之比率：時段 1 為 100%、時段 2 為 92%，永安實驗區均 100%。
- 2、永安實驗區：均 100% 符合市地標準誤差值 2 公分內。

二、界址點至界址點之檢測邊長與實測邊長檢核

地籍測量實施規則第 74 條：「戶地測量採數值法測繪者，其界址點間坐標計算邊長與實測邊長之差不得超過下列限制：

- （一）市地：2 公分 + 0.3 公分 \sqrt{S} （S 係邊長，以公尺為單位）。
- （二）農地：4 公分 + 1 公分 \sqrt{S} 。
- （三）山地：8 公分 + 2 公分 \sqrt{S} 。

以市地標準分析界址點與界址點邊長之較差情形，如附錄 C 及附錄 D 所示，均符合市地 $2 \text{ 公分} + 0.3 \text{ 公分}\sqrt{S}$ (S 係邊長，以公尺為單位) 之誤差容許值內。

將不同時段(上午、下午)所獲得 e-GNSS 系統之加密控制點及圖根點觀測資料取平均值後，作為轉換共同點的坐標成果，求得轉換參數，透過六參數轉換及最小二乘配置法獲得時段 1、時段 2 之界址點成果，經分析確實可符合地籍測量實施規則第 73 條，於市地時圖根點至界址點之位置誤差限制為 2 至 6 公分及第 74 條於市地時界址點間坐標計算邊長與實測邊長之差不得 $2 \text{ 公分} + 0.3 \text{ 公分}\sqrt{S}$ (S 係邊長，以公尺為單位)。

第五章 結論與建議

第一節 結論

2019 年 10 月起國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統，已正式提供全星系 (GPS+GLONASS+Beidou+Galileo+QZSS) 之定位服務，相對於以往雙星系 (GPS+GLONASS) 定位服務可接收到更多的衛星顆數，系統升級為全星系服務後，本研究為首次應用全星系 e-GNSS 系統辦理地籍測量之研究報告，依據本次研究之作業流程及分析結論，研擬 e-GNSS 系統應用於界址測量的作業規範 (草案) (附錄 E)，可作為本中心後續研訂作業規範之重要參據，並獲得以下結論：

- 一、全星系 e-GNSS 系統，經實驗於屋頂架設衛星接收儀，在透空度最佳環境下，固定長時間觀測下，分析整體平面位置精度符合 2 公分內之比率約在 93.19%-94.18%，顯示成果值得信賴。
- 二、全星系 e-GNSS 系統已可接收處理許多各國衛星訊號，惟經實驗仍有部分時刻觀測量之 N、E 分量值變化較大之情形。特別在中午時段，觀測成果較為不穩定，推測係受到電離層誤差的影響。
- 三、經本次實驗採不同時段 (上午、下午) 進行觀測，各時段之加密控制點及圖根點經坐標轉換後，與公告坐標比較，整體平面位置較差小於 2 公分之比率為 89.5%，倘將 2 個時段之加密控制點及圖根點取平均值，經坐標轉換後，再與公告坐標成果比較，整體平面位置較差小於 2 公分之比率已提升至 93.5%。
- 四、過去僅接收 GPS 衛星或雙星系 (GPS 及 GLONASS 衛星) 的情況下，即使點位透空度良好，仍有觀測 5-20 分鐘卻無法獲得固定解 (fix) 的情況，本研究採用全星系 e-GNSS 系統，衛星資料接收仰角設定為 15 度，且透空度良好環境下，均能快速 (1 分鐘內) 獲得固定解。
- 五、經實驗作為轉換參數之共同點，僅採用均勻分布測區範圍之加密控制點作轉換共同點，所求得之界點成果較不理想；而採用均勻分布測區範圍之加密控制點及圖根點作轉換共同點，或採用均勻分布測區範圍之圖根點作轉換共同點，二者所求得之界址點成果趨近一致。
- 六、為貼近實務作業及兼顧觀測成果品質，將不同時段之加密控制點及圖根點觀測資料取平均值後，作為轉換共同點的坐標成果，所計算的轉換參數，作為後續每次作業之轉換基

準，則界址點採連續觀測 2 測回，測回間須斷線再重新連線，每測回記錄 10 筆固定解，大都可求得符合「數值法地籍圖重測作業手冊」之界址點重複觀測不得超過 3 公分之成果。進一步分析其成果均能符合地籍測量實施規則第 73 條於市地時圖根點至界址點之位置誤差限制為 2 至 6 公分及第 74 條於市地時界址點間坐標計算邊長與實測邊長之差不得 $2 \text{ 公分} + 0.3 \text{ 公分} \sqrt{S}$ (S 係邊長，以公尺為單位)，顯示應用全星系 e-GNSS 系統辦理界址測量作業是可行。

七、全星系 e-GNSS 系統相較於傳統採電子測距經緯儀，可不受天候限制及僅需 1 人即可操作之優勢；全星系 e-GNSS 系統與 RTK 比較，仍具節省人力及有效距離長之優點，故全星系 e-GNSS 系統應用於界址測量可節省人力，提升作業效率。

第二節 建議

- 一、應用全星系 e-GNSS 系統辦理測量外業，在透空度良好的條件下，可快速（1 分鐘內）獲得固定解，倘若收斂時間超過 3 分鐘無法獲得固定解，應檢視四周環境是否有不利衛星訊號接收或有干擾衛星訊號接收之事物（如高壓電塔或其他大型無線電設施，避免於此於此處測量）。
- 二、由於臺灣地處於中低緯度，受電離層的影響大於其它地區，特別在中午時段，觀測成果較不穩定，建議外業觀測時應儘量避開中午時段。
- 三、電離層、對流層延遲、多路徑效應等訊號傳播誤差及衛星幾何分布狀況，會影響衛星定位測量精度，作為轉換共同點之已知控制點，建議觀測 2 測回，2 測回平面分量較差應小於 2 公分，高程分量較差應小於 5 公分，並將 2 測回觀測量取平均值，作為 e-GNSS 系統坐標成果。
- 四、為確保測量成果品質及提升成果可靠度，建議採用均勻分布測區範圍及檢核無誤之已知控制點及圖根點作為轉換參數共同點，以求得穩定之界址點成果。
- 五、作業區起始時先於控制點（含圖根點）施測，並於作業區結束時，再於控制點（圖根點）施測，且起迄控制點無須為同一點位，檢視其成果與建立轉換參數之 e-GNSS 系統測量成果之平面位置較差量是否小於 3 公分，並應就確定之界址點（樁標）及固定物實施重複觀測，以確保測量成果品質。

- 六、在本次實驗中雖有部分點位處於建物或樹林旁，雖然透空度不佳，亦能在 3 分鐘內獲得固定解（fix 解），但考量接收衛星訊號仍須有良好的透空條件，建議都市區及透空度不佳之地區，仍採用傳統電子測距經緯儀施測方式，辦理界址測量作業。
- 七、以 e-GNSS[2019]坐標反算距離及角度觀測量，其加密控制點均能符合數值法地籍圖重測作業手冊應用衛星定位接收儀檢測已知點測距及測角精度規範，而圖根點測距精度及測角精度均小於 $1/3,000$ 。若採用 e-GNSS 系統成果，反算點位間之距離及角度觀測量，且符合檢核精度規範後，再以其距離及角度觀測量，來獲取界址點成果，是值得後續研究探討方向。

參考文獻

- 1、內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站，2020，網址：
<https://egnss.nlsc.gov.tw/hotnews.aspx>。
- 2、內政部國土測繪中心，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，2010。
- 3、內政部，數值法地籍圖重測作業手冊，2018。
- 4、內政部國土測繪中心，95 年度 e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統 VBS-RTK 定位測試成果報告，2006。
- 5、王敏雄、梁朝億、劉至忠、劉正倫、林燕山，「e-GPS 定位系統應用於基本控制測量作業之研究」，內政部國土測繪中心自行研究報告，2007。
- 6、黃華尉、湯凱佩、林文勇、劉至忠、鄭彩堂，「e-GPS 即時動態定位系統坐標轉換最佳化之研究」，內政部國土測繪中心自行研究報告，2012。
- 7、劉冠岳、王建得、黃國良、何定遠、鄭彩堂，「VBS-RTK 應用於界址測量之探討」，內政部國土測繪中心自行研究報告，2013。
- 8、莊峰輔、湯凱佩、王敏雄、梁旭文、劉正倫，「三維即時坐標轉換輔助 VBS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究」，內政部國土測繪中心自行研究報告，2014。
- 9、王建得、劉虹妤、黃國良、劉冠岳、袁克中「低度開發地區地籍整理之探討」，內政部國土測繪中心自行研究報告，2017。
- 10、王建得，「應用 e-GNSS 檢核地籍圖重測區加密控制測量精度分析之研究」，國防大學理工學院碩士論文，2016。

附錄

附錄 A 水里實驗區界址點 K 成果(加密控制點及圖根點作共同點) 圖根點→界址點邊長
與規則 73 條比較表(單位：公尺)

水里實驗區		時段 1				時段 2			
圖根點→ 界址點	反算 邊長	檢測 邊長	較差	是否符合 _市地標準 誤差 2 公分	是否符合 _市地最大 誤差 6 公分	檢測 邊長	較差	是否符合 _市地標準 誤差 2 公分	是否符合 _市地最大 誤差 6 公分
BJ61-1	37.120	37.111	0.009	符合	符合	37.133	-0.013	符合	符合
BJ61-2	69.345	69.337	0.008	符合	符合	69.340	0.005	符合	符合
BJ61-3	46.879	46.894	-0.015	符合	符合	46.850	0.029	未符合	符合
BJ61-4	32.086	32.081	0.005	符合	符合	32.084	0.002	符合	符合
BJ61-5	63.597	63.591	0.006	符合	符合	63.597	0.000	符合	符合
BJ55-6	30.385	30.389	-0.004	符合	符合	30.381	0.004	符合	符合
BJ55-7	61.351	61.364	-0.013	符合	符合	61.350	0.001	符合	符合
BJ55-8	29.719	29.719	0.000	符合	符合	29.725	-0.006	符合	符合
BJ55-9	73.396	73.385	0.011	符合	符合	73.400	-0.004	符合	符合
BJ55-10	43.944	43.955	-0.011	符合	符合	43.927	0.017	符合	符合
BJ88-11	27.407	27.411	-0.004	符合	符合	27.396	0.011	符合	符合
BJ88-12	20.945	20.937	0.008	符合	符合	20.923	0.022	未符合	符合
BJ88-13	54.799	54.790	0.009	符合	符合	54.776	0.023	未符合	符合
BJ88-14	28.794	28.794	0.000	符合	符合	28.792	0.002	符合	符合
BJ88-15	73.217	73.219	-0.002	符合	符合	73.209	0.008	符合	符合
BJ121-16	39.880	39.879	0.001	符合	符合	39.874	0.006	符合	符合
BJ121-17	70.456	70.459	-0.004	符合	符合	70.453	0.002	符合	符合
BJ121-18	101.540	101.548	-0.008	符合	符合	101.540	0.000	符合	符合
BJ121-19	23.143	23.142	0.001	符合	符合	23.148	-0.005	符合	符合
BJ121-20	49.542	49.541	0.001	符合	符合	49.542	0.000	符合	符合
BJ35-21	26.612	26.594	0.018	符合	符合	26.606	0.006	符合	符合
BJ35-22	34.567	34.578	-0.011	符合	符合	34.570	-0.003	符合	符合
BJ35-23	59.730	59.738	-0.008	符合	符合	59.725	0.005	符合	符合
BJ35-24	39.827	39.821	0.006	符合	符合	39.836	-0.009	符合	符合
BJ35-25	71.693	71.689	0.004	符合	符合	71.684	0.009	符合	符合
		最大值	0.018			最大值	0.029		
		最小值	-0.015			最小值	-0.013		
		標準差	0.008			標準差	0.010		

附錄 B 永安實驗區界址點 K 成果(加密控制點及圖根點作共同點) 圖根點→界址點邊長
與規則 73 條比較表(單位：公尺)

永安實驗區		時段 1				時段 2			
圖根點→ 界址點	反算 邊長	檢測 邊長	較差	是否符合 _市地標準 誤差 2 公分	是否符合 _市地最大 誤差 6 公分	檢測 邊長	較差	是否符合 _市地標準 誤差 2 公分	是否符合 _市地最大 誤差 6 公分
BD003-1	55.217	55.206	0.011	符合	符合	55.217	0.000	符合	符合
BD003-2	87.516	87.514	0.002	符合	符合	87.515	0.001	符合	符合
BD003-3	78.076	78.070	0.006	符合	符合	78.089	-0.013	符合	符合
BD003-4	90.146	90.162	-0.016	符合	符合	90.145	0.001	符合	符合
BD003-5	84.851	84.858	-0.007	符合	符合	84.848	0.003	符合	符合
BD036-6	98.620	98.605	0.015	符合	符合	98.636	-0.016	符合	符合
BD036-7	63.413	63.404	0.009	符合	符合	63.423	-0.010	符合	符合
BD036-8	58.318	58.307	0.011	符合	符合	58.315	0.003	符合	符合
BD036-9	105.964	105.976	-0.012	符合	符合	105.969	-0.005	符合	符合
BD036-10	34.551	34.559	-0.008	符合	符合	34.550	0.001	符合	符合
BD305-11	95.553	95.557	-0.004	符合	符合	95.559	-0.006	符合	符合
BD305-12	101.611	101.616	-0.005	符合	符合	101.614	-0.003	符合	符合
BD305-13	86.419	86.412	0.007	符合	符合	86.408	0.011	符合	符合
BD305-14	111.614	111.606	0.008	符合	符合	111.602	0.012	符合	符合
BD305-15	91.028	91.032	-0.004	符合	符合	91.031	-0.003	符合	符合
BD120-16	69.776	69.774	0.002	符合	符合	69.782	-0.006	符合	符合
BD120-17	84.783	84.790	-0.007	符合	符合	84.795	-0.012	符合	符合
BD120-18	67.019	67.020	-0.001	符合	符合	67.019	0.000	符合	符合
BD120-19	80.201	80.206	-0.005	符合	符合	80.200	0.001	符合	符合
BD120-20	66.245	66.247	-0.002	符合	符合	66.243	0.002	符合	符合
BD152-21	66.887	66.895	-0.008	符合	符合	66.897	-0.010	符合	符合
BD152-22	57.741	57.736	0.005	符合	符合	57.741	0.000	符合	符合
BD152-23	88.377	88.375	0.002	符合	符合	88.377	0.000	符合	符合
BD152-24	73.724	73.721	0.003	符合	符合	73.729	-0.005	符合	符合
BD152-25	57.626	57.630	-0.004	符合	符合	57.637	-0.011	符合	符合
		最大值	0.015			最大值	0.012		
		最小值	-0.016			最小值	-0.016		
		標準差	0.008			標準差	0.007		

附錄 C 水里實驗區 界址點 K 成果(加密控制點及圖根點作共同點) 界址點→界址點邊長
與規則 74 條比較表(單位：公尺)

水里實驗區			時段 1			時段 2		
界址點→ 界址點	反算邊長	74 條_市地邊長 較差容許值	檢測邊長	較差	是否符合 容許值	檢測邊長	較差	是否符合 容許值
1-2	32.4329	0.037	32.434	-0.001	符合	32.414	-0.019	符合
1-3	81.6630	0.047	81.668	-0.005	符合	81.649	-0.014	符合
4-1	51.6401	0.042	51.635	0.005	符合	51.639	-0.001	符合
4-2	77.4721	0.046	77.471	0.001	符合	77.462	-0.010	符合
4-3	65.6245	0.044	65.631	-0.007	符合	65.603	-0.022	符合
4-5	35.8066	0.038	35.811	-0.004	符合	35.809	0.002	符合
5-2	76.7853	0.046	76.779	0.006	符合	76.773	-0.012	符合
6-7	31.0187	0.037	31.028	-0.009	符合	31.023	0.004	符合
6-8	41.3985	0.039	41.408	-0.010	符合	41.398	0.000	符合
6-9	81.2798	0.047	81.278	0.002	符合	81.278	-0.002	符合
6-10	60.9085	0.043	60.912	-0.004	符合	60.898	-0.010	符合
8-9	44.0216	0.040	44.011	0.011	符合	44.019	-0.003	符合
8-10	72.9948	0.046	73.006	-0.011	符合	72.983	-0.012	符合
9-7	100.6210	0.050	100.626	-0.005	符合	100.626	0.005	符合
11-14	56.0323	0.042	56.035	-0.003	符合	56.020	-0.012	符合
11-15	45.8542	0.040	45.852	0.002	符合	45.856	0.002	符合
12-11	26.4165	0.035	26.396	0.020	符合	26.405	-0.011	符合
12-13	33.9963	0.037	33.997	-0.001	符合	33.996	0.000	符合
12-14	40.1271	0.039	40.126	0.001	符合	40.114	-0.013	符合
12-15	67.9033	0.045	67.890	0.013	符合	67.896	-0.007	符合
13-14	66.6845	0.044	66.672	0.013	符合	66.666	-0.019	符合
13-15	77.1030	0.046	77.087	0.016	符合	77.092	-0.011	符合
16-17	30.6781	0.037	30.682	-0.004	符合	30.682	0.004	符合
16-18	61.7103	0.044	61.719	-0.009	符合	61.716	0.006	符合
16-19	63.0214	0.044	63.020	0.001	符合	63.021	0.000	符合
16-20	89.4205	0.048	89.419	0.002	符合	89.415	-0.005	符合
18-17	31.0914	0.037	31.096	-0.005	符合	31.094	0.003	符合
19-20	26.3992	0.035	26.399	0.000	符合	26.394	-0.005	符合

21-22	47.3595	0.041	47.354	0.005	符合	47.354	-0.005	符合
23-22	29.5172	0.036	29.508	0.009	符合	29.506	-0.011	符合
24-21	60.4979	0.043	60.483	0.015	符合	60.510	0.012	符合
24-22	67.2537	0.045	67.253	0.001	符合	67.258	0.004	符合
24-23	82.2033	0.047	82.207	-0.004	符合	82.198	-0.005	符合
25-23	101.4168	0.050	101.416	0.001	符合	101.406	-0.011	符合
25-24	32.9698	0.037	32.973	-0.003	符合	32.949	-0.021	符合
			最大值	0.020		最大值	0.012	
			最小值	-0.011		最小值	-0.022	
			標準差	0.008		標準差	0.008	

附錄 D 永安實驗區 界址點 K 成果(加密控制點及圖根點作共同點) 界址點→界址點邊長
與規則 74 條比較表(單位：公尺)

永安實驗區			時段 1			時段 2		
界址點→ 界址點	反算邊長	74 條_市地邊長 較差容許值	檢測邊長	較差	是否符合 容許值	檢測邊長	較差	是否符合 容許值
4-1	143.6362	0.056	143.639	-0.003	符合	143.638	0.002	符合
4-2	175.4523	0.060	175.465	-0.013	符合	175.454	0.002	符合
4-3	135.1629	0.055	135.180	-0.017	符合	135.165	0.002	符合
4-5	104.4608	0.051	104.463	-0.002	符合	104.468	0.007	符合
10-6	105.6365	0.051	105.638	-0.002	符合	105.635	-0.001	符合
10-7	78.2702	0.047	78.277	-0.007	符合	78.267	-0.003	符合
10-8	91.6714	0.049	91.666	0.005	符合	91.672	0.001	符合
10-9	113.9935	0.052	113.992	0.001	符合	114.012	0.019	符合
15-11	186.5767	0.061	186.585	-0.008	符合	186.585	0.008	符合
15-12	167.8875	0.059	167.913	-0.026	符合	167.913	0.026	符合
15-13	128.6913	0.054	128.707	-0.016	符合	128.707	0.016	符合
15-14	89.5915	0.048	89.601	-0.010	符合	89.601	0.010	符合
17-16	53.6337	0.042	53.635	-0.001	符合	53.635	0.001	符合
17-18	144.6877	0.056	144.694	-0.006	符合	144.699	0.011	符合
17-19	132.2497	0.054	132.253	-0.003	符合	132.255	0.005	符合
17-20	134.7079	0.055	134.719	-0.011	符合	134.718	0.010	符合
25-21	93.8594	0.049	93.870	-0.011	符合	93.867	0.008	符合
25-22	115.3555	0.052	115.355	0.001	符合	115.366	0.010	符合
25-23	109.7423	0.051	109.751	-0.009	符合	109.746	0.004	符合
25-24	93.2848	0.049	93.291	-0.006	符合	93.289	0.004	符合
			最大值	0.005		最大值	0.026	
			最小值	-0.026		最小值	-0.003	
			標準差	0.007		標準差	0.007	

附錄 E e-GNSS 系統應用於界址測量作業規範（草案）

一、規劃準備

- （一）作業儀器：衛星定位接收儀、標桿及雙叉支架。衛星定位接收儀以具備接收 GPS、GLONASS、Beidou、Galileo、QZSS 等衛星訊號為佳，至少得接收 GPS、GLONASS 衛星訊號，並具備 RTK 功能，其動態測量精度至少符合：水平分量 10mm + 1ppm、垂直分量 20mm + 1ppm。為確保成果品質，作業前及作業期間，應辦理儀器檢查與校正作業。
- （二）作業資料：
 - 1、圖籍資料：作業區及附近審核後之地籍調查表、界址指示圖、地籍圖或其他圖籍等。
 - 2、已知控制點資料：作業區及附近之加密控制點與圖根點相關資料。
- （三）測區規劃：依據已知控制點分布情形及透空環境條件，規劃每次作業範圍，至少須有 3 點作為檢核點，並儘量均勻分布施測範圍。透空度不佳區域，仍建議採傳統電子測距經緯儀辦理界址測量作業。

二、已知控制點清理及檢測：

- （一）作業區範圍內，除近期已辦理檢測或新設之點位，得免辦理清查外，均應辦理清查。已知控制點均應辦理檢測。
- （二）依蒐集已知控制點資料，於實地清查點位，並查對點名、點號、等級、標樁種類、材質、測設時間、標樁號碼、標樁刻字等資料，並檢視點位透空環境條件。
- （三）清理後，應檢視每次作業範圍至少須有 3 點作為檢核點，並儘量均勻分布施測範圍。倘檢核點數量不足或透空環境條件不佳，應重新規劃作業範圍或採傳統電子測距經緯儀辦理。
- （四）已知控制點檢測作業採 e-GNSS 即時動態定位系統進行，作業方式如下：
 - 1、外業測量：
 - (1)須採標桿及雙叉支架進行觀測，作業前應辦理儀器檢查及標桿校正作業。
 - (2)事先確認本中心 e-GNSS 即時動態定位系統正常運作，並使用衛星資料處理軟體規劃觀測時段，原則選定每日衛星分布幾何狀況較佳之時段進行外業觀測。

(3)於測量控制器上輸入作業名稱，設定資料記錄速率(1 Hz)、衛星資料接收仰角及 PDOP 值量測，並輸入天線高度，天線高度以量測到天線底座位置，重複量測（讀數至公釐）後再取平均值至公釐。

(4)觀測時應注意標桿氣泡是否居中，並依下列規定辦理外業觀測：

點位觀測重複率	100%，每秒 1 筆固定解 2 測回間隔時間至少 1 小時以上
觀測資料記錄	加密控制點每測回至少 180 筆固定解 圖根點每測回至少 30 筆固定解
最少接收衛星顆數	GPS 系統衛星>5 顆
PDOP 值	<5
衛星資料接收仰角	>15 度

(5)各點位觀測結束後透過儀器檢視各測回平均坐標，是否符合 2 測回平面較差<2 公分，高程較差<5 公分，不合格者須重新觀測至符合規範。

2、e-GNSS 坐標處理計算：

(1)各測回觀測資料筆數經偵錯後取平均值，2 測回坐標平面分量較差<2 公分，高程分量較差<5 公分，以 2 測回坐標之平均值作為點位 e-GNSS 坐標成果，其坐標成果可作為後續界址測量時檢核之依據。

(2)計算參數設定及規範如下：

粗差偵錯	依常態分布 99%信心區間進行粗差偵錯，剔除大於 3 倍中誤差之時刻坐標。
各點坐標中誤差規範	$\sigma_N < 2$ 公分 $\sigma_E < 2$ 公分 $\sigma_h < 5$ 公分
控制點坐標成果	2 測回平面分量較差<2 公分、 高程分量較差<5 公分， 取 2 測回平均值為 e-GNSS 坐標成果

(3)計算後未符合上述精度規範之點位，應重新辦理外業觀測。必要時得檢視點位觀測環境是否有不利衛星訊號接收或有干擾衛星訊號接收之事物。

3、已知控制點檢核：

(1)將符合平面較差及高程較差之加密控制點與圖根點作為共同點，進行六參數轉換計算，轉換後檢核項目、內容及標準如下：

加密控制點 檢核項目	檢核內容
坐標分量改正數	轉換後共同點坐標分量改正數是否小於 5 公分
方位角較差值	轉換後各共同點間方位角較差值是否小於 20 秒
水平距相對較差	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 $30\text{mm}+6\text{ppm} * L$ (L 為單一基線長度之公里數)
圖根點 檢核項目	檢核內容
坐標分量改正數	轉換後共同點坐標分量改正數是否小於 5 公分
方位角相對精度	轉換後相鄰通視共同點間方位角相對精度應小於 1/3,000
水平距相對較差	轉換後水平距與原坐標成果反算之水平距相對較差應小於 3 公分或相對精度應小於 1/3,000

(2)倘轉換成果精度未符合上述規範者，應檢視計算資料，必要時應新辦理外業觀測。

(3)採用檢核無相對位移之已知控制點作同點，求得作業區轉換參數，供續界址點成果計算。

三、界址點測量作業：

- (一) 檢測控制點：作業區起始時先於控制點（含圖根點）施測，並於作業區結束時，再於控制點（圖根點）施測，且起訖控制點無須為同一點位，點位觀測結束後，透過儀器檢視觀測成果，與前次 e-GNSS 系統測量成果之較差，不得超過 3 公分。
- (二) 外業測量：原則比照檢測已知控制點外業測量方式辦理。界址點及現況點，每點至少記錄 10 筆固定解，須觀測 2 測回，2 測回間隔時間無限制，須重新初始化，取 2 測回平均值為 e-GNSS 坐標成果。
- (三) 重複觀測：得僅就固定位置之界址點及現況點及施測範圍附近之圖根點實施重複觀測。
- (四) 界址點及現況點之點號應作點位之地物屬性，並將地物屬性輸入於測量控制器中，其編碼方式得參考數值法地籍圖重測作業手冊第 8 章 805 節。

四、坐標成果計算：採用作業區轉換參數加上最小二乘配置法，求得界址點及現況點法定坐標成果。

五、成果檢查：

(一) 作業時，每點須觀測 2 測回，2 測回平面分量較差 < 2 公分、高程分量較差 < 5 公分，不合格者須重新觀測。

(二) 作業時，應就界址點（界樁）或圖根點或固定物，實施重複觀測，重複觀測數量應為前項總點數的百分之十，其坐標較差不得超過 3 公分。

六、調製成果報表。

七、注意事項：界址測量施測之點位如為圍牆、建築物，或點位旁有密集樹林或高樓等，致透空受遮蔽而無法施測或收斂時間過長，建議該等點位仍應以傳統電子測距經緯儀施測。