

GNSS 快速靜態與 e-GNSS 運用於 加密圖根控制測量之研究

Implementation and Comparison of rapid static GNSS and e-GNSS for Densified Topographical Control Surveying

王文俊* 黃立信** 劉榮增*** 劉正倫****

Wen-Chun Wang* Lih-Shinn Hwang** Jung-Tseng Liu*** Jeng-Lun Liu****

摘要

本研究成功的使用兩種先進的衛星定位技術—GNSS 全球衛星導航定位系統與 e-GNSS 即時動態定位系統，應用於地籍圖重測區加密圖根控制測量；並選取 2013 年度桃園縣平鎮重測區作為研究區域，與已公告確定之 TWD97 圖根坐標進行比較。

本研究之結果如下：(1) GNSS 快速靜態求解，證實因可視衛星數較單一 GPS 系統增加 66-100% 衛星觀測量，增加基線觀測量及週波未定值求解成功率，點位坐標解算成功率 GNSS 快速靜態(5、10、15 分鐘)即可達 91%，觀測 20 分鐘時更可增加至 97% 的點位解算成功率；觀測成果與公告坐標進行比較方面，有 91~94% 以上的點位坐標觀測誤差在 2 公分以內。(2) 在使用 e-GNSS 即時動態點位求解時，坐標解算成功率時可達 85.7% 以上；成果與公告坐標進行比較，有 80% 以上的坐標觀測誤差在 2 公分以內，皆符合現有作業規範。

本研究證明 GNSS 快速靜態測量與 e-GNSS 即時動態定位系統皆可大幅縮短觀測時間，提供高精度、高品質及更快速之測繪方式。由本研究成果推論，GNSS 快速靜態測量因不受限網路通訊問題，適合全區域使用；e-GNSS 定位系統則因受限網路通訊干擾問題，適合運用在網路通訊較佳之區域。

Abstract

In this study, the state-of-the-art of satellite positioning technology, such as GNSS (Global Navigation Satellite system, GNSS) and e-GNSS (Electronical-Global Navigation Satellite System,GNSS), are used in

* 內政部國土測繪中心 課員/國防大學理工學院環境資訊及工程學系 碩士生

** 國防大學理工學院環境資訊及工程學系副教授

*** 內政部國土測繪中心 專員

**** 內政部國土測繪中心 主任

Densified Cadastral Control Resurveying. Pingzhen City, in Taoyuan County, are selected as the study area, and the result will be compared with the declared TWD97 coordinates of topographical control points in 2013.

The results are summarized as follows: (1) With Rapid Static GNSS, baseline observations were increased and the success rate of solving integer ambiguities are improved. So the visible satellites were increased by 66-100% with GPS system only. The success rate of solving baselines will reach 91% in 5, 10 and 15 minutes. Furthermore, the success rate of solving baselines reach 97% in 20 minutes. We compare the calculated coordinates with the known coordinates, and more than 91~94% of the discrepancies were within 2 cm. (2) With e-GNSS, the success rate was increased by 85.7%. The compare between the calculated and the known coordinates, and more than 80% of the discrepancies are under 2 cm. It shows that all calculated results meet the accuracy specifications by MOI(Ministry of the Interior).

This study demonstrates that both rapid static GNSS and e-GNSS can significantly reduce the observation time, achieve high precision, high quality in surveying and mapping. From this work, It can be concluded that rapid static GNSS is suitable in common region for its unrestricted property by Internet communication, while e-GNSS is appropriately applied in area for a better internet communication because of interferenced problems.

關鍵詞

Keywords

快速靜態

Rapid Static

即時動態定位系統

Real-Time Kinematic

加密圖根控制測量

Densified Topographical Control Surveying

一、前言

地籍圖重測全面展辦至今已將近30年，因環境變遷頻繁，圖根點滅失情形非常嚴重；已辦理地籍整理完畢區域，圖根點往往因道路整修或公共工程的建設導致部分遺失，更早期地籍圖重測期間所新建的圖根點更是遺失殆盡，對於執行鑑界、複丈業務影響甚大。加密圖根功能完備維繫著土地整合成果之重要因素，且攸關政府公信力執行，是不可輕忽的問題，目前有關單位每年花費人力、物力進行圖根點補建作業，其所補建之圖根點大多未與大範圍導線網作聯測及整體平差作業，造成新、補建圖根點與原圖根點系統及歷年重測後成果存有一系統性誤差，影響了土地複丈之精確性。

GNSS全球衛星導航定位系統，因可視衛星數增加不但可增加坐標解算率、提高周波未定值求解率、降低基線與坐標求解之均方根誤差及每

一條基線求解成功便增加一條多餘觀測量等優點；e-GNSS虛擬基準站即時動態定位系統，因單人單機即可作業、可即時求解、縮短作業時間及降低作業成本等，而虛擬基準站即時動態衛星定位系統的建置可提供即時動態定位測量，且定位成果可由數十公尺提升到公分級精度，便利性與即時性是e-GNSS定位系統最大的優點。GNSS全球衛星導航系統與e-GNSS虛擬基準站即時動態衛星定位系統，是目前廣泛使用於衛星定位測量的技術，本研究運用兩種先進測量技術測設圖根點，並以傳統圖根測設方式求得之數據為基準值，逐一將其精度、可靠度、效率等...等各方面做比較，作為往後在圖根加密控制測量新建及補建時，提供使用單位能在最簡便又合於精度規範下作為施測參考依據。

二、理論基礎

(一) GNSS 全球導航衛星定位系統理論基礎

GNSS全球導航衛星定位系統，包括美國GPS全球定位系統、歐洲伽利略(Galileo)衛星系統及俄羅斯GLONASS衛星定位系統。Galileo衛星系統因其系統並未完善，因此本研究以探討結合美國GPS與俄羅斯GLONASS衛星定位系統為主軸之GNSS全球導航衛星定位系統【8】，分述如下：

1. GPS系統是美國國防部，所規劃設計發展的一個全球性、全天候、24小時、三維空間的即時定位系統，它是利用三角定位原理(Principle of Triangulation)，以取得接收儀之位置；廣播星曆資料，採用WGS-84座標系統，與UTC(USNO)時間系統，訊號傳送是採碼分多址(Code Division Modulation Access, CDMA)方式。衛星位置計算則是用橢圓坐標，克卜勒軌道運動方程式(Keplerian Orbital Equation)計算取得。目前運作中的GPS衛星共有32顆，美國全球衛星定位系統(GPS)因可提供全球覆蓋率，因此在所有導航系統中仍是最流行也最被廣泛使用的一套系統【8】。
2. GLONASS衛星系統，是前蘇聯從80年代初開始籌畫，發展出與GPS系統類似的定位系統，基於國防需求以軍事為主要目的，逐漸開放部份廣播訊息，予民間使用。衛星星群大部都分佈於高緯度的地區，而GPS衛星星群是分佈於中、低緯度地區，形成互補狀態；GLONASS衛星與GPS衛星相同，亦是一全球性、全天候24小時使用之定位系統，也由衛星、地面監測控制站和用戶設備三部分組成；廣播星曆資料，採用PZ-90坐標系統與UTC(SU)時間系統；在訊號傳送上是採用頻分多址(Frequency Division Multiple Access, FDMA)方式，衛星位置計算，則是運用衛星軌道運動方程式，取得衛星位置。目前運作中，俄國的GLONASS擁有二十四顆在軌而完全運作中的衛星，另外還有四顆預備與一顆測試中的衛星。不僅僅是GPS的一個替代方案，尤其是結合GPS/GLONASS系

統，可擁有五十六顆位於地球外層空間不同軌道完全運作的衛星【8-10】。

3. 結合 GPS/GLONASS 雙衛星定位接收系統，可增加觀測衛星顆數，改善衛星幾何圖形配置，在任何地方都有較大高度角的多個衛星觀測，可增加點位解算成功率及精度；本研究利用 GLONASS 系統的觀測量來提升 GPS 系統的定位精度與可靠度。GPS 系統結合 GLONASS 系統預計可提供下列的優勢【8-10】：

- (1). 增加衛星訊號的觀測量。
- (2). 顯著增加可視衛星的空間分佈。
- (3). 降低水平和垂直坐標的精度衰減因子 DOP (Dilution of Precision, DOP) 值。
- (4). 減少觀測所需的時間。

在整合 GPS/GLONASS 系統方面，首先必須解決兩系統間坐標系統、時間系統與載波頻率差異等三個問題，表 1 為綜整後兩種系統架構的差異。

表 1 GPS/GLONASS 衛星系統架構差異【8】

	GPS	GLONASS
衛星數量	32	24
軌道面(度)	6(軌道間相距 60 度)	3(軌道間相距 120 度)
傾角(度)	55	64.9
衛星軌道半長軸	26,560 公里	25,510 公里
軌道高度(公里)	20200	19100
運行週期	11 小時 58 分 00 秒	11 小時 15 分 40 秒
地面追蹤重複週期	1 個恆星日	8 個恆星日
民用頻率 (Open Service)	L1:1575.42MHz L2:1227.60MHz L5:1176.45MHz	G1:1602+0.5625qMHz G2:1246+0.4375q MHz q = -7~24
參考座標框架	WGS-84	PZ-90
時間系統	UTC(USNO)	UTC(SU)
傳輸訊號方式	CDMA(碼分多址)	FDMA(頻分多址)
涵蓋範圍	中、低緯度地區	高緯度地區
廣播軌道參數	克卜勒六軌道參數 (每小時)	衛星位置、速度、加速度 (每 30 分鐘)

GPS 與 GLONASS 系統在軌道傾角、軌道週期、訊號型式、坐標系統、時間系統與載波頻率間存在著差異，但是具有相同的 L1 及 L2 兩個載波頻道；均是使用衛星訊號的定位系統，能提供高精度三維位置、速度和時間資訊，被廣泛應用於導航、測繪等許多領域【8-10】。

(二) e-GNSS 研究理論基礎

隨著衛星定位測量技術進步及網際網路無線數據通訊傳輸技術蓬勃發展，內政部國土測繪中心自 93 年度起採用先進的虛擬基準站即時動態定位技術，於 97 年度完成建置「全國性 e-GPS 衛星定位基準站即時動態定位系統」與測試分析作業，透過全國各地所建置之 78 處衛星定位基準站，每天 24 小時每秒連續接收 GPS 衛星資料，即時傳回控制及計算中心，進行資料自動化處理後，在任何地點且極短的時間內，依使用者需求可獲得公分級高精度的即時動態定位成果【7】。

內政部國土測繪中心為因應目前國際間對多衛星系定位系統的發展，規劃系統現代化作業，且配合內政部於民國 101 年 3 月 30 日公布 TWD97(Taiwan Datum 1997, TWD97) (2010)坐標系統，全面升級基準站為 e-GNSS 雙星系統，自 101 年度起便針對系統硬體及軟體全面升級，將臺灣本島 66 個衛星基準站更新系統，從現有之 GPS(Global Positioning System,GPS)單星系統提升為雙星系統 (GPS+GLONASS) 服務，提高作業效能，更新基準站坐標至 e-GNSS；國土測繪中心將全面升級的 e-GNSS 雙星系統 PIVOT 平台使用，整合 237 個具有 TWD97(2010)坐標成果之 GNSS 連續觀測站，自民國 101 年 12 月 1 日至 102 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，約制在竹南基準站三維空間坐標，解算各基準站 e-GNSS(2013)精密坐標〔簡稱 e-GNSS(2013)〕，至於澎湖、金門及馬祖地區維持原 TWD97(1997)坐標框架，尚未變更。並同時提供線上三維即時坐標轉換，使用者可即時得到 TWD97 坐標成果，讓系統定位服務兼具「精確」與「準確」之特性，並於民國 103 年 1 月 1 日正式更新臺灣本島地區基準站坐標為 e-GNSS(2013)，其基本定義如表 2 所示【7，11】。

表 2 e-GNSS(2013)坐標框架基本定義【7】

固定站點名		竹南	
國際坐標基準框架		ITRF94	
坐標定義起始時刻		2013 年 01 月 01 日 12:00:00	
X-坐標	-2975765.1265 公尺	X-速度量	-0.0221 公尺/年
Y-坐標	4976994.6606 公尺	Y-速度量	-0.0096 公尺/年
Z-坐標	2647324.0276 公尺	Z-速度量	-0.0102 公尺/年

e-GNSS 定位技術在系統整體運用與資料供應層面上，包括衛星動態定位技術、寬頻網路數據通訊、Mobile Phone 行動式數據傳輸、資料儲管及 Web 網站等 5 項主要先進整合技術(如圖 1)。e-GNSS 定位技術應用，是由多個 GPS/GLONASS 基準站全天候連續地接收衛星資料，經由 ADSL 寬頻網路或其它通訊設備與控制及計算中心連接，彙整計算產生區域誤差修正量，並利用移動站單點定位坐標內插計算出虛擬基準站的誤差修正量及虛擬衛星觀測資料。因此，在基準站構成的基線網範圍內，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)為基礎的整合式封包無線電服務技術(General Packet Radio Service, GPRS)或其他無線數據通訊傳輸技術，將 GPS/GLONASS 單點定位坐標成果，依據國際慣用之 NMEA 標準資料格式傳送至控制及計算中心，經透過區域性定位誤差修正量，同步解算獲得該虛擬基準站之虛擬觀測量後，再以「國際海運系統無線電技術委員會」(Radio Technical Commission for Maritime, RTCM)制定之差分數據標準格式，回傳至移動站衛星定位接收儀進行「超短距離基線」定位解算，獲得 RTK 定位坐標成果。圖 2 為 e-GNSS 定位系統之組成架構示意圖【7, 11】。



圖 1 e-GNSS 定位系統 5 大核心技術

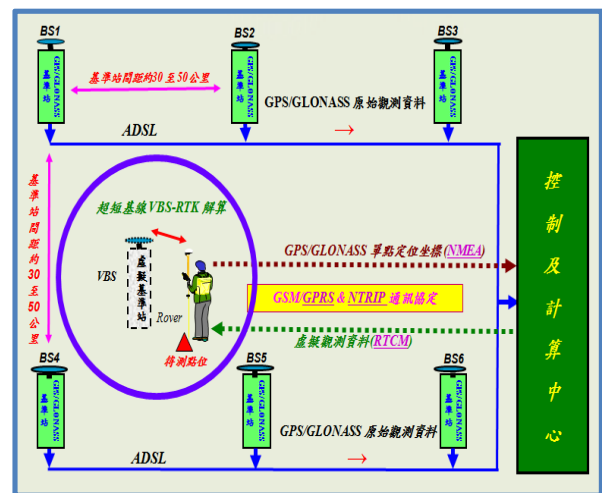


圖 2 e-GNSS 定位系統示意圖

三、研究方法與流程

本研究運用 GNSS 快速靜態與 e-GNSS 即時動態定位系統，觀測求解研究區內加密圖根點資料後，進行點位精度、基線解算率及量測數據觀測誤差進行分析，本研究作業方法如下：

- (一)GNSS 快速靜態測量：結合 GPS/GLONASS 雙衛星系統採用快速靜態測量方式施測加密圖根控制點，並連測 102 年度公告確定之加密控制點作為研究區外圍基本控制點，依據內政部國土測繪中心 101 年 8 月頒布之「辦理加密控制衛星定位測量作業手冊」【2】，作為佈設圖根控制點及 GNSS 快速靜態觀測之作業規範，後處理計算採用 Topcon

Tools 7.1 版軟體【12】及網形平差計算軟體【4】，處理基線解算、偵錯，並固定檢核合格之已知控制點，採強制附合網形平差計算，並進行可靠度分析及公告成果驗證。

(二)e-GNSS即時動態測量：運用內政部國土測繪中心建置之e-GNSS即時動態衛星定位系統作業方式辦理研究區內加密圖根點控制點觀測，依據內政部國土測繪中心99年9月頒布之「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」【3】，作為e-GNSS觀測之作業規範；連測102年度研究區外圍公告確定之加密控制點，內業採用Trimble公司研發之TTC商用基線計算軟體【14】，聯合GPS實測衛星觀測資料及GPSNet定位系統軟體所產製之各級基本控制點VBS虛擬衛星觀測資料，以OTF整數週波未定值求解技術，進行RTK後處理動態定位坐標解算。並搭配6參數轉換(Affine Transformation，又稱仿射轉換)及最小二乘配置法(Least-Squares Collocation)進行套合計算，將e-GNSS坐標成果強制附合於公告TWD97坐標系統上。本研究作業流程如圖3所示：

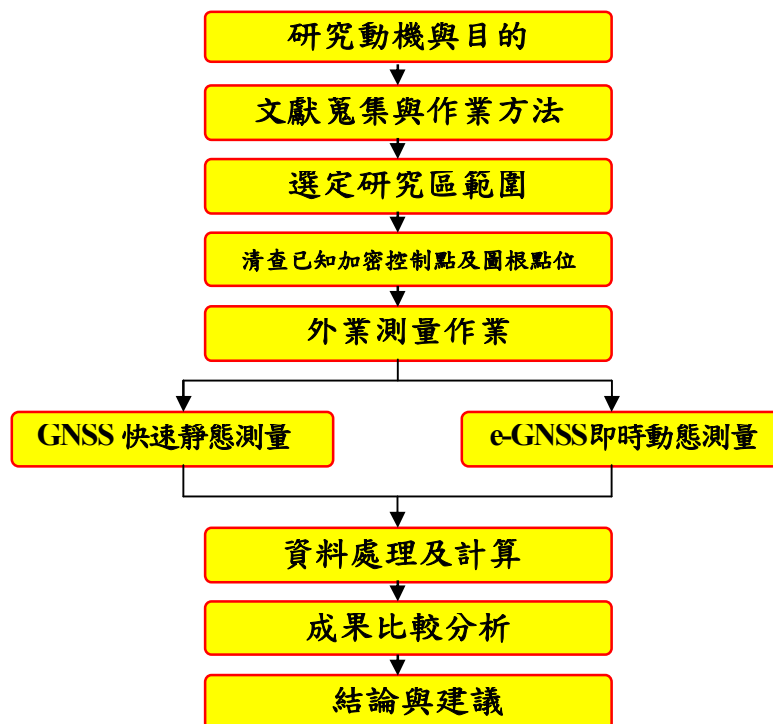


圖 3 研究作業流程

四、資料蒐集處理與成果分析

(一) 研究區選定：

首先依研究計劃選定102年度平鎮重測區為本次研究區域，蒐集測區

相觀資料，包括航攝影像、地籍圖、102年度加密基本控制點公告確定坐標、測量儀器選用.....等資料。加密圖根點樁位清查、觀測、計算，依據地籍測量實施規則辦理【1】，然後在選定測區範圍中選出均勻分佈之圖根點進行e-GNSS及GNSS快速靜態定位觀測；因兩種觀測方式毋需串連導線網，可依加密控制點方式佈設，各點間之距離應至少大於50公尺；原則應採3點（含）以上一組、可互相通視方式選定，必要時得採點對方式佈設。經清查研究區外圍加密基本控制點共10點，研究區內之幹導線及支導線點位共75點樁位，面積約50公頃(如圖4)，將多餘及不適用之圖根剔除並重新佈設網形。觀測方面(1)、以GNSS快速靜態測量方式施測重測區內之圖根加密點樁位，求解TWD97坐標X、Y值。(2)、運用e-GNSS即時動態定位測量技術求解上述樁位坐標，經搭配6參數轉換及最小二乘配置法，求得TWD97坐標X、Y值；將此兩種測量成果與公告後之圖根坐標進行精度成果驗證及可靠度比較分析，分析比較基線解算率、量測數據觀測誤差及觀測精度等。

(二)加密圖根控制測量作業模式

1.GNSS快速靜態外業測量:研究區已知控制點共10點，本區運用傳統全測站經緯儀採自由觀測方式求解而得公告確定之幹導線(4條)及支導線(9條)樁位共75點TWD97坐標，面積約50公頃土地；將多餘及不適用之圖根剔除並重新佈設網形後樁位後共35點，施測作業時間於2012年11月7日(1~6測段)、9日(7~12測段)，共觀測12個測段(如表3)，每個測段觀測20分鐘，其圖根觀測網形參見(圖5)所示。作業使用9部Topcon GR-3型GNSS接收儀，可接收GPS訊號、GLONASS訊號、CALILEO訊號，接收頻道數計72頻道。定位精度於採用靜態測量時平面精度為 $3\text{mm}+0.5\text{ppm}$ (Parts Per Million)，高程為 $5\text{mm}+0.5\text{ppm}$ ；於採用動態測量時平面為 $5\text{mm}+1\text{ppm}$ ，高程為 $10\text{mm}+1\text{ppm}$ 【12】。儀器接收時間設定1秒接收1筆資料，接收仰角設為15度以上，每個時段觀測時間為20分鐘，符合快速靜態觀測規範。由於快速靜態測量作業方式具有作業時間短、快速移動的功能，各點位的觀測量都將與固定主站形成單獨基線解。研究計算處理取樣以5分鐘、10分鐘、15分鐘、20分鐘予以計算處理，其計算軟體採用Tools 7.1版軟體及網形平差計算軟體，處理基線解算、偵錯，並固定檢核合格之已知控制點，採強制附合網形平差計算，並將計算結果與公告TWD97坐標進行分析比較。

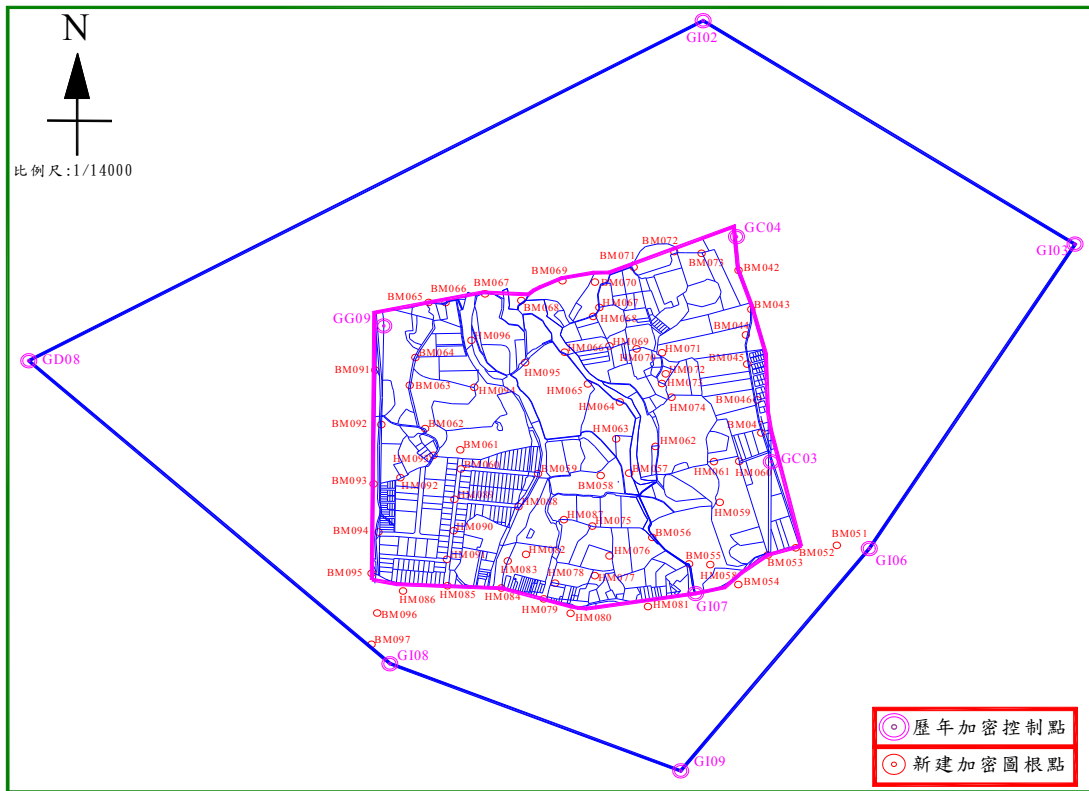


圖4 平鎮研究區加密圖根控制點分佈圖

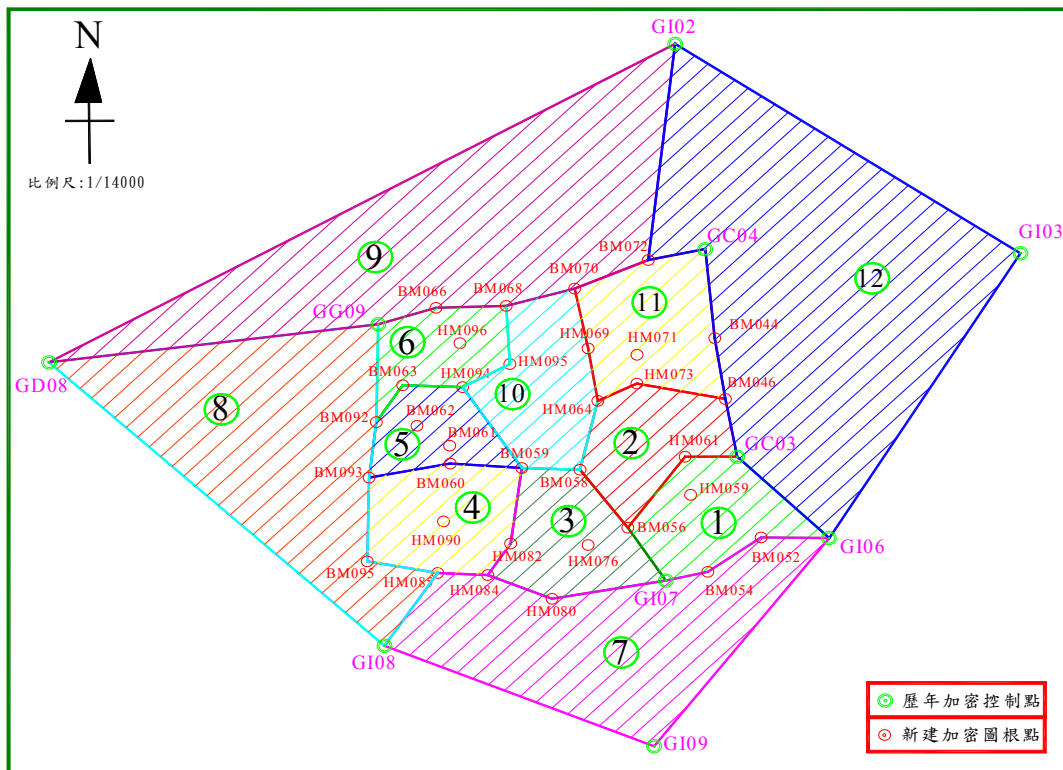


圖5 平鎮研究區 GNSS 快速靜態觀測時段網絡圖

表 3 平鎮研究區 GNSS 快速靜態衛星定位測段表

組數	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組	第七組	第八組	第九組
儀器編	A-T12	B-T10	C-T11	D-T05	E-T14	F-T15	G-T16	H-T20	
測段 1 0850~0910	GC03	BM052	BM054	BM056	GI06	GI07	HM061	HM059	
儀器高	1.457	1.42	1.528	1.555	1.438	1.493	1.555	1.435	
測段 2 0925~0945	GC03	BM046	HM062	BM056	BM058	HM073	HM061	HM064	
儀器高	1.457	1.348	1.482	1.51	1.519	1.48	1.555	1.493	
測段 3 1000~1020	HM084	GI07	HM076	BM056	BM058	HM082	BM059	HM080	
儀器高	1.612	1.321	1.511	1.503	1.408	1.585	1.62	1.433	
測段 4 1035~1055	HM084	HM090	HM085	BM060	BM095	HM082	BM059	BM093	
儀器高	1.612	1.393	1.515	1.626	1.568	1.585	1.62	1.439	
測段 5 1110~1130	BM062	BM0061	BM092	BM060	BM063	HM094	BM059	BM093	
儀器高	1.525	1.365	1.479	1.626	1.53	1.432	1.62	1.439	
測段 6 1145~1205	GG09	BM066	BM092	BM068	BM063	HM094	HM096	HM095	
儀器高	1.37	1.344	1.479	1.566	1.53	1.432	1.615	1.411	
測段 7 1300~1320	GI09	HM085	BM054	HM080	HM084	GI07	BM052	GI08	GI06
儀器高	1.406	1.359	1.452	1.545	1.499	1.431	1.565	1.267	1.67
測段 8 1340~1400	GI09	HM085	BM092	GG09	BM095	GD08	BM093	GI08	
儀器高	1.406	1.359	1.427	1.647	1.548	1.598	1.652	1.127	
測段 9 1420~1440		BM070	BM068	GG09	BM066	GD08	BM072		GI02
儀器高		1.378	1.451	1.699	1.483	1.598	1.619		1.341
測段 10 1500~1520	HM064	BM070	BM068	HM094	HM095	BM059	HM066	BM058	HM069
儀器高	1.523	1.378	1.451	1.598	1.527	1.491	1.634	1.465	1.492
測段 11 1540~1600	HM064	BM070	HM071	HM069	GC04	BM046	BM072	BM044	HM073
儀器高	1.523	1.378	1.416	1.496	1.521	1.399	1.627	1.49	1.489
測段 12 1620~1640	GI06		GC03	BM044	GC04	BM046	GI02	GI03	
儀器高	1.595		1.449	1.557	1.521	1.399	1.627	1.25	

2.e-GNSS 即時動態外業測量：施測作業時間於 2013 年 8 月 12、13 日，共觀測 10 個歷年已知加密控制點及 35 個加密圖根點(如表 4)。外業使用儀器為 Leica RX1250-X 型 GNSS 衛星接收儀，可接收 GPS 訊號、

GLONASS 訊號、GPS L2C 訊號、支援未來 GPS L5 訊號及歐洲系統 Galileo 衛星訊號。接收頻道數計 72 頻道。定位精度於採用靜態測量時平面為 $5\text{mm}+0.5\text{ppm}$ ，高程為 $10\text{mm}+0.5\text{ppm}$ ；於採用動態測量時平面為 $10\text{mm}+1\text{ppm}$ ，高程為 $20\text{mm}+1\text{ppm}$ 。L1/L2 載波觀測量精度為 0.2mm ，電碼觀測量精度為 20mm 【13】。e-GNSS 即時動態定位外業測量工作主要分為二個部份：

- (1).第一部分是使用 e-GNSS 即時動態定位系統，施測研究區外圍及區內已知加密控制點，衛星資料接收每時段觀測 20 分鐘，仰角設定為 30 度、PDOP (Position Dilution of Precision, PDOP) 值小於 5、觀測量 1 秒記錄 1 筆，每測回接收 1200 筆以上資料。精度檢核依國土測繪法規彙編及內政部基本控制點檢測作業規範 0：已知基本控制點檢測新坐標與公布坐標反算結果，角度較差量小於 ± 20 秒，基線長度較差量小於 $30\text{mm}+6\text{ppm}\times L$ (L 為單一基線長度之公里數) 視為無變動【5】。
- (2).第二部分是使用 e-GNSS 即時動態方式測設新建加密圖根點，平面定位精度設定為 3 公分以下，高程定位精度設定為 5 公分以下，觀測期間應至少接收 5 顆以上 GPS 衛星資料。不同時段觀測 2 次，所有圖根點位均需 100% 重複觀測，重複觀測 2 次坐標較差值應小於 3 公分，超過較差規範則剔除該點重新測量，同時點位重複觀測時間應間隔 4 小時以上。觀測量 1 秒記錄 1 筆，外業觀測每次接收 180 筆固定解之成果，取 180 筆之平均值為外業成果並取 2 次觀測平均值作分析，角度較差量小於 ± 40 秒，基線長度較差量小於 $30\text{mm}+6\text{ppm}\times L$ 視為無變動【7】。

3. 研究成果分析

- (1).GNSS 快速靜態成果：GNSS 連測外圍基本控制點共 10 點，施測新設加密圖根點位共有樁位 35 點，觀測 GNSS (5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘) 時因可視衛星數大幅增加至 13-19 顆，共有 33 點成功接收衛星訊號，其中 BM060、HM090 兩點因位於房屋密集區收訊不佳，衛星數不足導致資料無法解算，點位解算成功率 5 分鐘即可達 91%；經與 102 年度公告確定之 TWD97 坐標進行比較，誤差在 2 公分以內有 91%；觀測 GNSS 20 分鐘時，除 HM090 仍然無法解算，共有 34 點成功解算衛星資料，點位解算成功率可達 97%，與公告坐標進行比較，誤差在 2 公分以內有 94%，優於現有測量規範。圖 6 為 GNSS (5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、20 分鐘) 觀測成果與公告坐標 N、E 分量較差圖；另統計點位平面位置較差(如圖 7)，觀測 GNSS (5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘) 時較差小於 2 公分者有 32 點，點位觀測誤差為 97%；GNSS 20 分觀測時點位觀測誤差小於 2 公分有 97.1%(如表 5)。

表 4 平鎮研究區外圍加密控制點及圖根點清冊

控制點種類	點數	點號
歷年已知加密控制點	10	GC03、GC04、GD08、GG09、GI02、GI03、GI06
		GI07、GI08、GI09
加密圖根點	35	BM044、BM046、BM052、BM054、BM056、BM058
		BM059、BM060、BM061、BM062、BM063、BM066
		BM068、BM070、BM072、BM092、BM093、BM095
		HM059、HM061、HM062、HM064、HM066、HM069
		HM071、HM073、HM076、HM080、HM082、HM084
		HM085、HM090、HM094、HM095、HM096

表 5 平鎮 GNSS 快速靜態(5、10、15、20 分鐘)成果與公告坐標較差比較表

較差範圍 (公分)	5 分		10 分		15 分		20 分	
	dN	dE	dN	dE	dN	dE	dN	dE
-3~-2	0	0	0	0	0	0	0	0
-2~-1	10	1	9	1	10	0	11	1
-1~0	14	16	15	14	17	13	16	13
0~1	9	15	9	17	6	18	7	19
1~2	0	0	0	0	0	1	0	0
2~3	0	1	0	1	0	1	0	1
合計點數	33	33	33	33	33	33	34	34

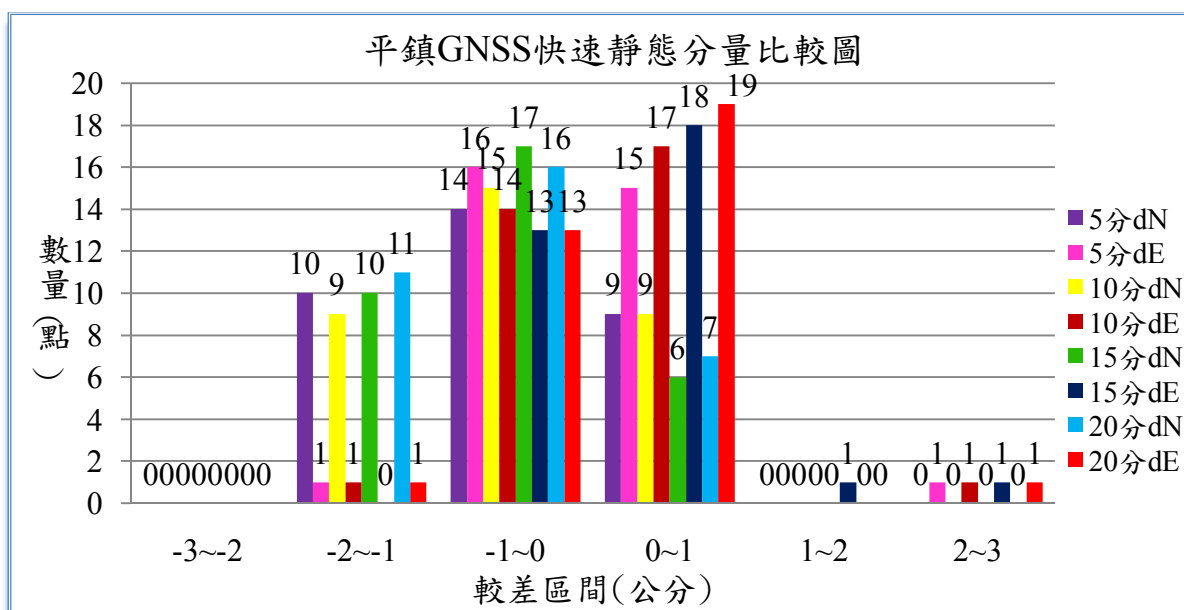


圖 6 平鎮 GNSS 快速靜態(5、10、15、20 分鐘)觀測成果與公告坐標 N、E 分量較差圖

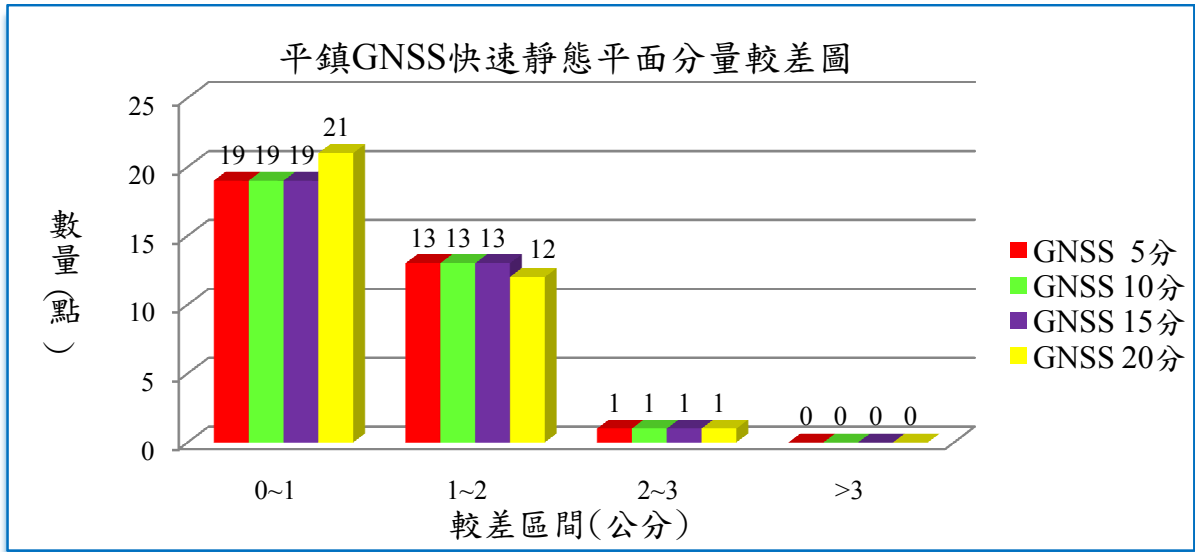


圖 7 平鎮 GNSS 快速靜態 (5、10、15、20 分)觀測成果與公告坐標平面位置較差圖

(2).e-GNSS 即時動態成果：e-GNSS 觀測樁位共 35 點，有 5 點因遮蔽情況嚴重，致使無法接收衛星訊號解算成果，將觀測成果代入 6 參數轉換數學式，得到轉換參數及共同點改正數；圖 8 為 e-GNSS 觀測成果與公告值 N、E 方向較差分布情形；從所有觀測量之較差統計發現，較差小於 2 公分者，在 N 方向有 28 點、E 方向有 27 點，所占之比率分別為 93.3%、90.0%，較差大於 2 公分超過公差合格率有 11~12 %；小於 3 公分者在 N 方向有 2 點、E 方向有 3 點，所占之比率分別為 5.7%、8.5%(如表 6)。另統計點位平面位置較差個數(圖 9)，小於 2 公分者有 24 個點占 80.0%；平面位置較差大於 2 公分有 16.6 %，無法接收訊號解算有 5 點，點位解算成功率 85.7%。

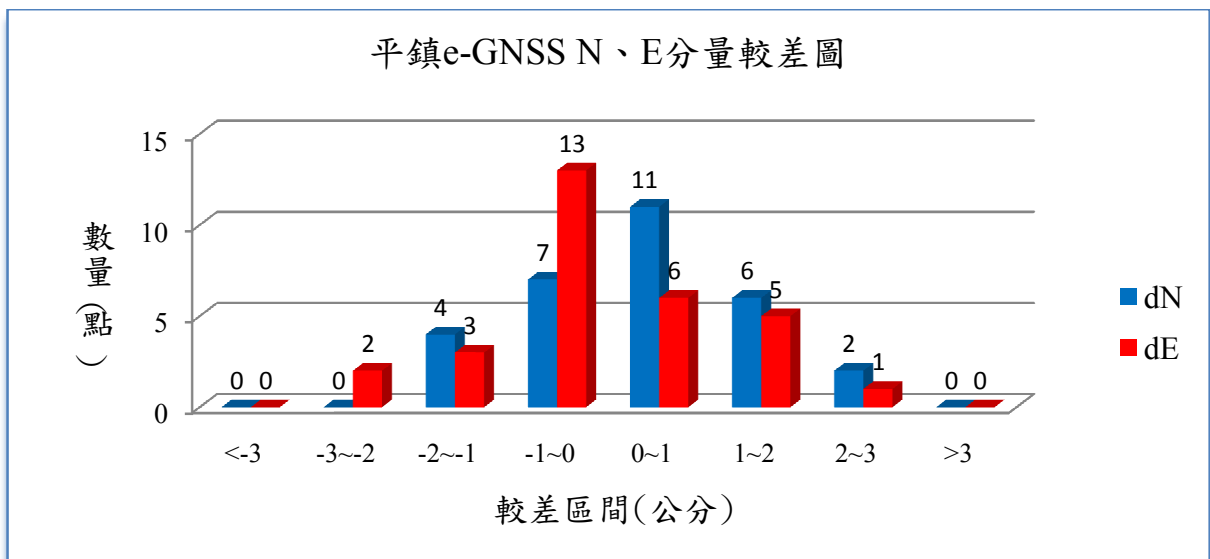


圖 8 平鎮 e-GNSS 觀測成果與公告坐標 N、E 分量較差圖

表 6 平鎮 e-GNSS 成果與公告坐標較差比較表

較差範圍(公分)	e-GNSS dN	e-GNSS dE	平面位置
<-3	0	0	
-3~-2	0	2	
-2~-1	4	3	
-1~0	7	13	
0~1	11	6	7
1~2	6	5	17
2~3	2	1	6
>3	0	0	0
合計點數	30	30	30

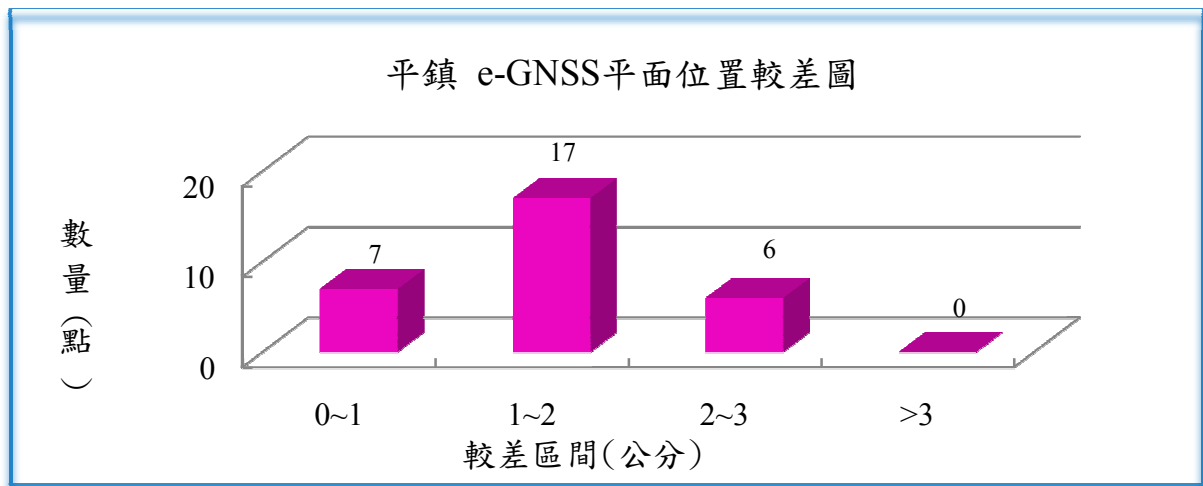


圖 9 平鎮 e-GNSS 觀測成果與公告坐標平面位置較差圖

4. 綜合成果分析：

- (1). 點位解算成功率：GNSS 快速靜態觀測 5、10、15 分鐘，點位解算成功率可達 91%，觀測 20 分鐘時點位解算成功率增為 97%，與公告坐標進行比較，較差在 2 公分以內有 91~94%，優於現有測量規範；e-GNSS 即時動態定位觀測，點位求解成功率有 85.7%，較差在 2 公分以內有 80.0%。由成果顯示在同樣的條件下，GNSS 快速靜態點位解算成功率確實優於 e-GNSS 定位測量。
- (2). 自由測站法成果與坐標反算位置較差分析：地測導線測量、GNSS 成果與 e-GNSS 成果實施地測檢核同時以多餘觀測方式，觀測其角度、距離，本研究於測區內選擇建置完成永久性圖根點地區，以自由測站法驗證成果精度。內業計算以國土測繪中心開發之重測作業系統(Neccad)交弧法求解【6】計算出自由測站位置近似坐標，再以平面角邊混合控制網嚴密平差計算各個自由測站位置坐標成果；由研究成果分析以自由測站法檢核方位角，GNSS 方位角檢核角度較差值，有 92% 位於±20 秒之間，且其 100% 成果皆

符合地籍測量實施規則較差在 ± 40 秒以內之誤差規範。(如表 7 及圖 10 所示)；e-GNSS 方位角檢核位於 ± 20 秒有 87%，有 95%符合較差在 ± 40 秒以內之誤差規範(如表 8 及圖 11 所示)【1】。

表 7 自由測站法成果與 GNSS 快速靜態坐標反算位置較差分析表

較差區間(秒)	數量	比率
> -30	0	0%
-30~-25.1	2	2%
-25~-20.1	1	1%
-20~-15.1	8	9%
-15~-10.1	7	8%
-10~-5.1	13	14%
-5~0	14	16%
0~5	13	15%
5~10	7	8%
10~15	9	10%
15~20	11	12%
20~25	3	3%
25~30	1	1%
30~35	1	1%
35~40	1	1%
> 40	0	0%
合計	90	100%

表 8 自由測站法成果與 e-GNSS 坐標反算位置較差分析表

較差區間(秒)	數量	比率
> -40	3	3%
-30~-25.1	6	7%
-25~-20.1	2	2%
-20~-15.1	11	13%
-15~-10.1	6	7%
-10~-5.1	9	10%
-5~0	8	9%
0~5	7	8%
5~10	7	8%
10~15	8	9%
15~20	12	13%
20~25	3	3%
25~30	0	0%
30~35	3	3%
35~40	3	3%
> 40	2	2%
合計	90	100%

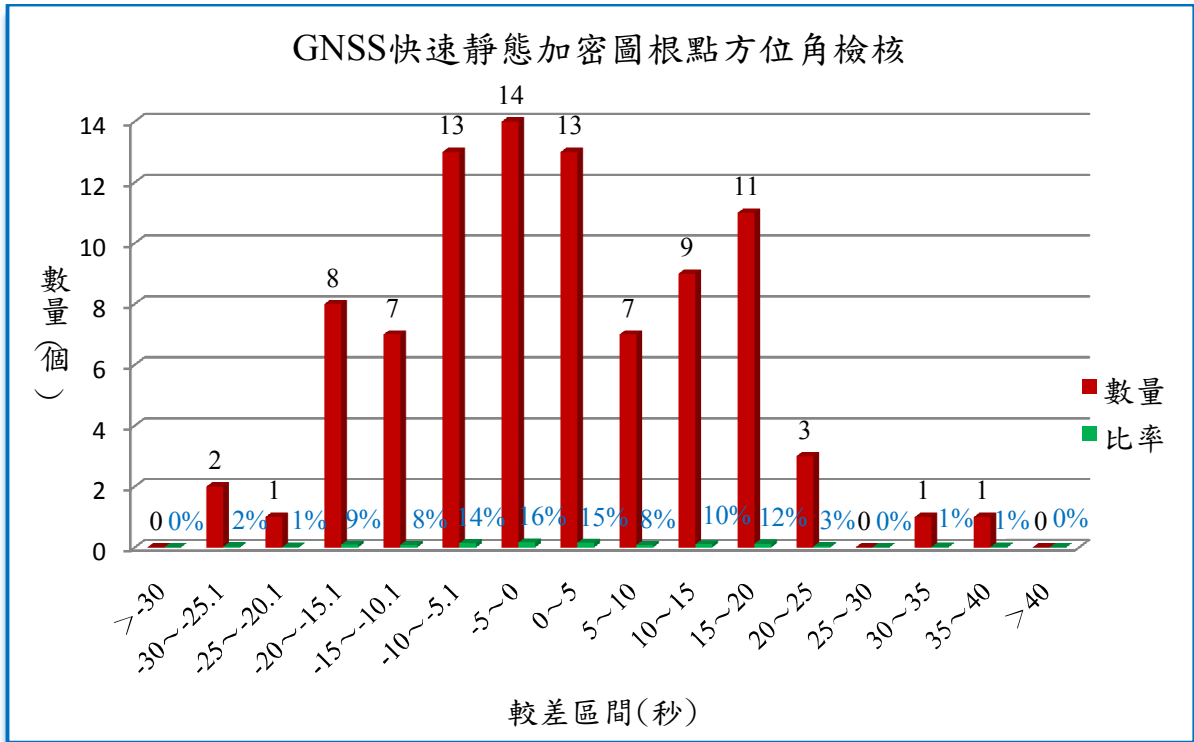


圖 10 GNSS 快速靜態加密圖根點方位角檢核分佈圖

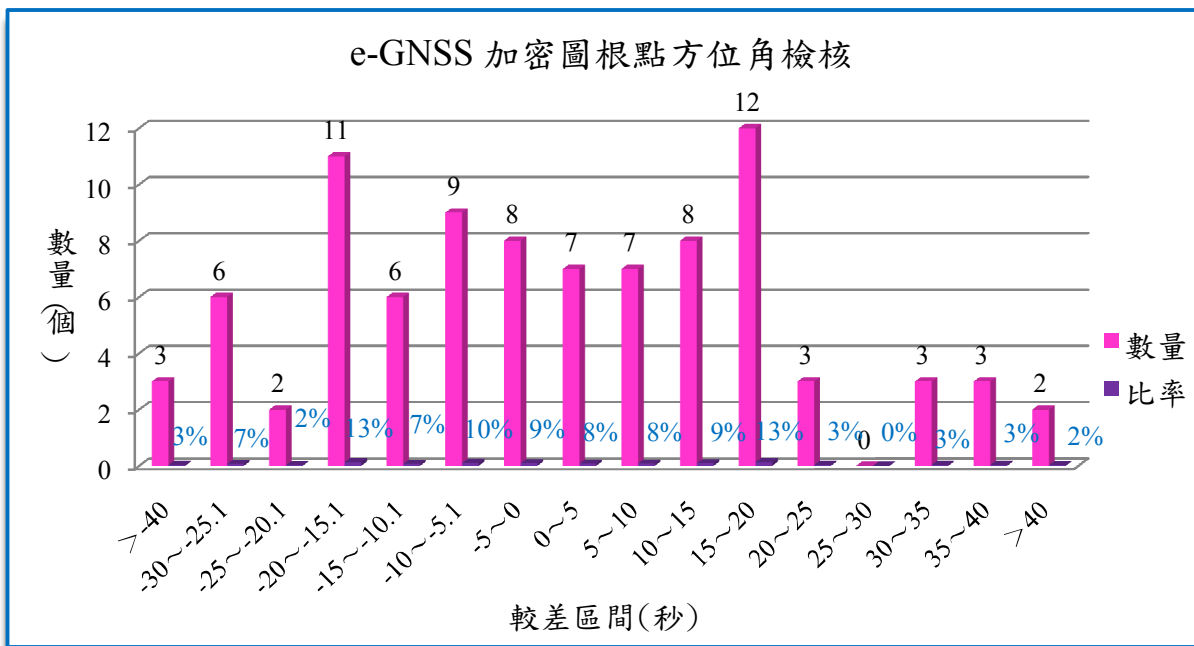


圖 11 e-GNSS 加密圖根點方位角檢核分佈圖

(3). 檢測加密圖根點精度及距離檢核觀測量合計 77 個，相對精度檢核分析表(如表 9)，圖 12 則為 GNSS 快速靜態檢核精度分布情形；e-GNSS 檢核精度分布情形(如表 10、圖 13 所示)；GNSS 快速靜態檢核以公告坐標反算距離減去實測距離，較差情形(如表 11、

圖 14 所示)；e-GNSS 檢核以公告坐標反算距離減去實測距離，較差情形(如表 12、圖 15 所示)。

表 9 GNSS 快速靜態加密圖根點精度檢核分析表

較差範圍(千分之一)	數量	比率
<3	0	0%
3~5	16	21%
5~10	13	17%
15~20	9	12%
21~30	7	9%
31~40	12	16%
41~50	5	7%
51~60	4	5%
61~70	4	5%
71~80	1	1%
81~90	1	1%
91~100	0	0%
>100	5	6%
合計	77	100%

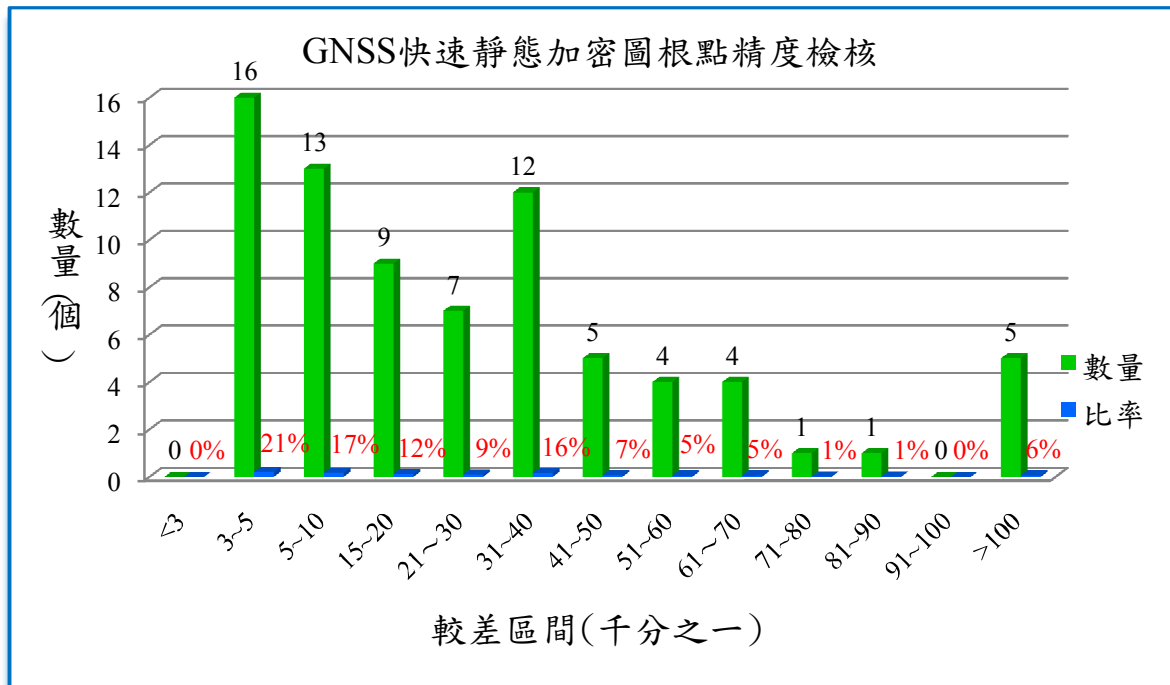


圖 12 GNSS 快速靜態加密圖根點精度檢核分佈圖

表 10 e-GNSS 加密圖根點精度檢核分析表

較差範圍(千分之一)	數量	比率
<3	0	0%
3~5	22	29%
5~10	15	19%
15~20	10	13%
21~30	7	9%
31~40	7	9%
41~50	5	7%
51~60	5	7%
61~70	3	4%
71~80	1	1%
81~90	1	1%
91~100	1	1%
>100	0	0%
合計	77	100%

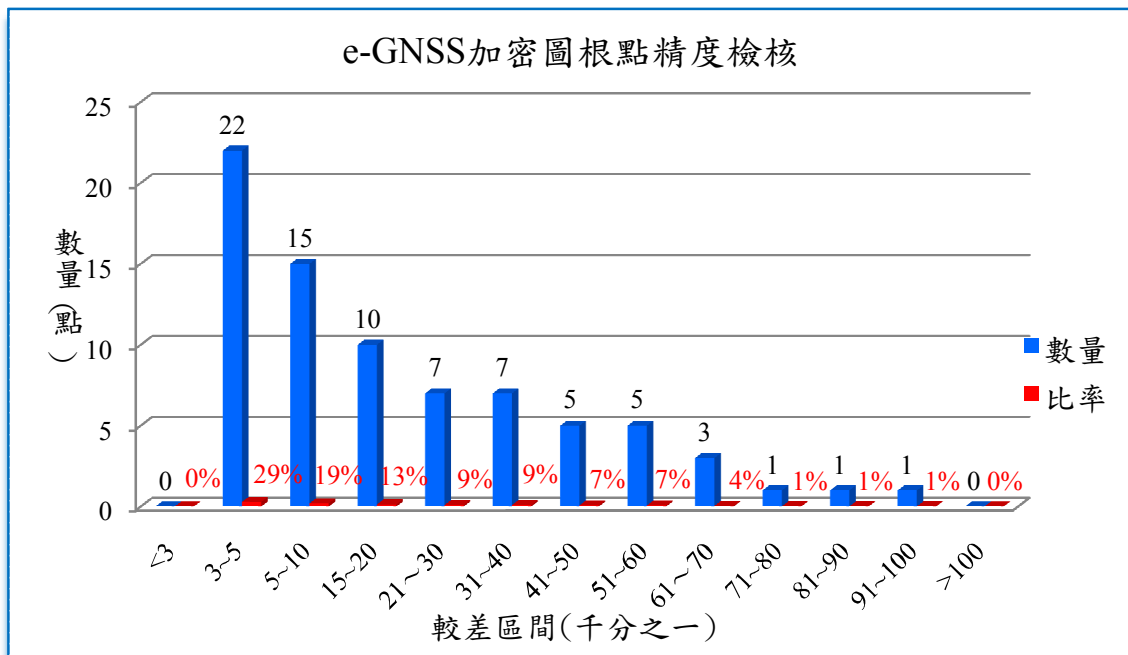


圖 13 e-GNSS 加密圖根點精度檢核分佈圖

由研究成果顯示 GNSS 快速靜態加密圖根點方位角檢核角度較差值區間介於 -29.1~39.1 秒，符合較差在±40 秒以內之誤差規範；加密圖根點距離檢核較差值區間介於-1.7~1.6 公分，符合加密控制點規範，距離檢核較差在 3 公分以內之誤差範圍；相對精度檢核區間介於 1/4266~1/1,901,048，符合加密圖根點規定，較差小於 1/3,000 之誤差規範。本研究以 e-GNSS 測設之加密圖根點，經由 6 參數轉換最小二乘配置方

法坐標轉換後，加密圖根點方位角檢核角度較差值區間介於-32.5~39.4秒，符合較差在±40秒以內之誤差規範；加密圖根點距離檢核較差值區間介於-2.6~2.3公分，符合距離檢核較差在3公分內作業規範；相對精度檢核區間介於1/3787~1/891,956，符合較差小於1/3,000之誤差規範。

表 11 GNSS 快速靜態加密圖根點距離檢核分析表

較差範圍(公分)	數量	比率
<-2	0	0%
-2~-1.1	9	12%
-1~-0.1	38	49%
0.1~1	28	36%
1.1~2	2	3%
>2	0	0%
合計	77	100%

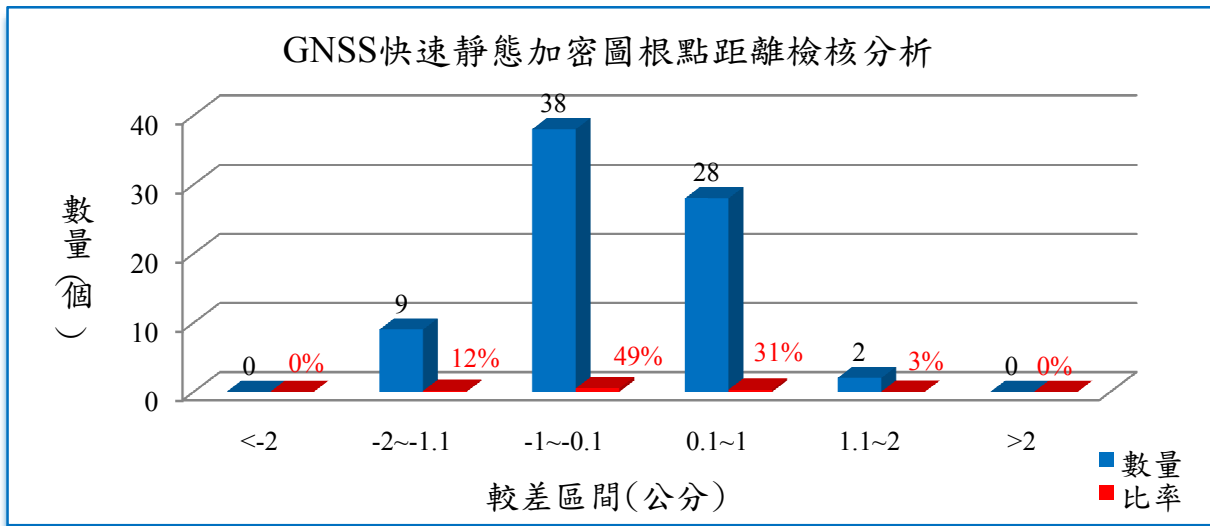


圖 14 GNSS 快速靜態加密圖根點距離檢核分佈圖

表 12 e-GNSS 加密圖根點距離檢核分析表

較差範圍(公分)	數量	比率
<-2	2	3%
-2~-1.1	22	29%
-1~-0.1	16	21%
0.1~1	20	26%
1.1~2	14	18%
>2	3	3%
合計	77	100%

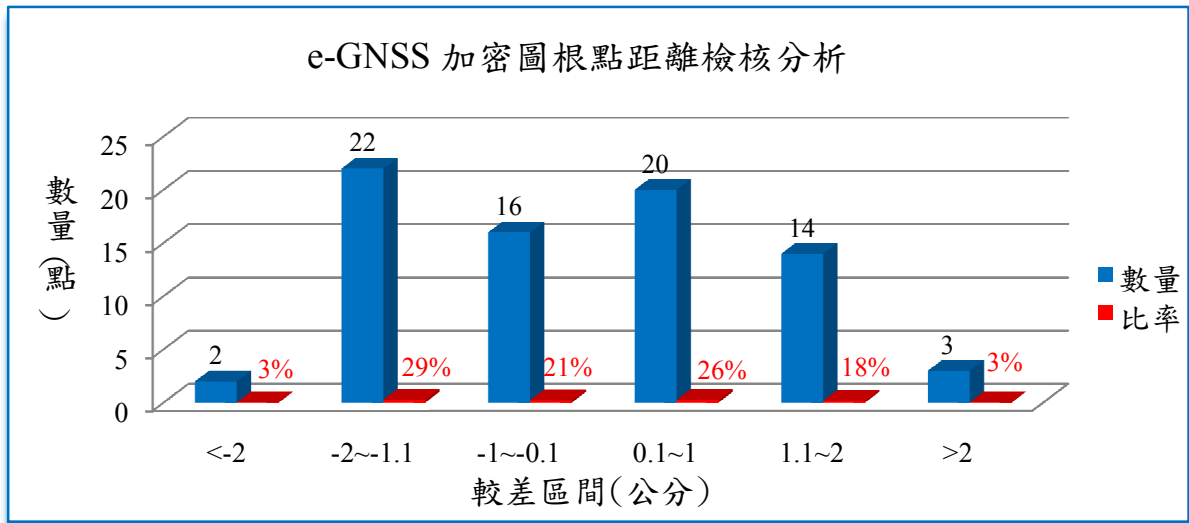


圖 5.22 e-GNSS 加密圖根點距離檢核分佈圖

(4).綜合成果分析：使用 GNSS 快速靜態與 e-GNSS 定位測量之成果，所得到之角邊混合控制網平差坐標成果，已超越國內加密控制測量相關作業精度規範，茲就 GNSS、e-GNSS 測量與傳統控制測量施測控制點作業方式做一比較，如表 13 所示。總歸結論，以 e-GNSS 方式施測加密圖根控制測量確實較傳統方式更快速、更方便；GNSS 快速靜態則需耗費較多的人力及儀器同時作業，但因精度高、基線與坐標解算成功率是最好的，加密圖根點的精確攸關著人民財產的重責大任，因此本研究加密圖根控制點佈設首選方式為精度最高的 GNSS 快速靜態測量，採用方法應可作為未來加密圖根控制測量作業之參考；成果亦證明 GNSS 快速靜態測量因不受限網路通訊問題，較適合全區域使用；e-GNSS 衛星定位系統則因受限網路通訊干擾問題，適合運用在網路通訊較佳之區域。

表 13 平鎮研究區 GNSS、e-GNSS 與傳統控制測量作業比較表

項目	GNSS 加密圖根測量	e-GNSS 加密圖根測量	加密圖根測量
佈設圖根數量	35 點	35 點	75 點
作業方式	快速靜態測量	即時動態測量	地測導線測量
測量儀器	GNSS 接收儀 9 部	e-GNSS 接收儀 1 部	全測站經緯儀 1 部
人力	9~12 人 (1 組 1~2 人)	1 人 (1 組)	4 人 (1 組)
外業時間	12 個時段 1 個時段 20 分鐘 合計：約 1 天	1 組 1 天 25 點 (1 站 3 分鐘 2 測回) 合計：約 2 天	1 組 1 天 30 點 正倒鏡觀測 2 測回 1 站約 15 分鐘 合計：約 2 天
內業時間	8 小時	3 小時	6 小時

五、結論與建議

本研究證明使用 GNSS 快速靜態及 e-GNSS 即時動態測量方式，不但精度符合規範，選點時亦不需因地形、地物之限制而影響導線走勢，可減少佈設樁位數量。根據以上實驗分析成果，綜合整理分述如下：

- (一)結合GNSS雙衛星系統觀測，可視衛星增加了66%~100%，到達13-19顆，可視衛星數量越多除可避免因遮蔽產生無法解算的缺點外，更可提供多餘觀測量來提高觀測結果的可靠度，並可確保單一系統失效時能正常使用，增加基線解算率。GNSS快速靜態觀測5、10、15分鐘，點位解算成功率可達91%，觀測20分鐘時增加至97%；e-GNSS定位觀測，點位求解成功率為85.7%以上。由成果顯示在同樣的條件下，GNSS快速靜態點位解算成功率確實優於e-GNSS定位測量。
- (二)自由測站法檢核方位角檢核，GNSS 方位角檢核角度較差值，有 92 %位於±20 秒之間，其成果皆符合地籍測量實施規則較差在±40 秒以內之誤差規範；e-GNSS 方位角檢核位於±20 秒有 87%，有 95%符合較差在±40 秒以內之誤差規範；據成果顯示，以 GNSS 快速靜態、e-GNSS 方式施測加密控制測量較傳統方式省時、省力，本研究證明兩種衛星定位方法皆比傳統測設方式優異。
- (三)由研究結果顯示 GNSS 快速靜態加密圖根點方位角檢核角度較差值區間介於-29.1~39.1 秒；e-GNSS 測設經由 6 參數轉換最小二乘配置方法坐標轉換後，加密圖根點方位角檢核角度較差值區間介於-32.5~39.4 秒，兩者皆符合地籍測量作業較差在±40 秒以內之誤差規範。GNSS 快速靜態加密圖根點距離檢核較差值區間介於-1.7~1.6 公分；e-GNSS 測設較差值區間介於-2.6~2.3 公分，符合較差在 3 公分以內之誤差範圍。GNSS 快速靜態相對精度檢核區間介於1/4266~1/1,901,048；e-GNSS 測設相對精度檢核區間介於1/3787~1/891,956 符合較差小於 1/3,000 之誤差規範。兩者皆符合地籍測量作業規範之誤差範圍。
- (四)加密圖根點的精確攸關著人民財產的重責大任，因本實驗區加密圖根控制點佈設之平鎮重測區屬於都市開發區，須有較高精度之控制點佈設，首選方式為精度最高的 GNSS 快速靜態測量；e-GNSS 則易受通訊干擾，較不適合應用在建物密集之都會區，因其單人單機可即時求解點位坐標，適合應用在圖解區及山地...等區域之圖根佈設。
- (五)本研究建議如下:(1).在 GNSS 快速靜態方面:觀測必須採多機同時進行觀測，在人力物力方面成本較高，但其基線解算成功率及觀測精度較佳，在選點方面須避開遮蔽物太多及衛星接收角度不佳的區域，本研究證明 GNSS 快速靜態定位測量系統因不受限網路通訊問題，適合全區使用，建議採 GNSS 快速靜態 10 分鐘觀測。(2).在採用

e-GNSS 虛擬基準站即時動態技術定位方面:e-GNSS 衛星定位系統則因受限網路通訊干擾問題,選點時避開遮蔽物太多及網路通訊容易干擾的區域, e-GNSS 適合運用在網路通訊較佳之區域。

六、參考文獻

- 【1】內政部國土測繪中心(2010),地籍測量實施規則,國土測繪法令彙編,第6版,第118-122頁。
- 【2】內政部國土測繪中心(2012),辦理加密控制衛星定位測量作業手冊,第1-36頁。
- 【3】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,第1-20頁。
- 【4】內政部土地測量局(2006),內政部土地測量局控制測量網形平差計算軟體操作手冊,第1-32頁。
- 【5】內政部(2010),數值法地籍圖重測作業手冊,第(04-1)-(06-4)頁。
- 【6】內政部(2012),地籍圖重測成果檢查作業須知,第4-21頁。
- 【7】內政部國土測繪中心(2014),e-GPS即時動態定位系統102年度營運報告”,第1-18頁。
- 【8】黃立信(2013),高等大地測量學課程講義,國防大學理工學院環資系空間科學所,第1-158頁。
- 【9】黃景祥(2009),GPS/GLONASS 多衛星信號整合分析之研究,國防大學理工學院環資系空間科學所碩士論文,桃園,第1-37頁。
- 【10】蔡宜學(2000),GPS/GLONASS 整合式之導航系統,國立臺灣大學電機工程學系碩士論文,第1-78頁。
- 【11】<http://www.egps.nlsc.gov.tw/>
- 【12】<http://www.Topcon.com.tw/>
- 【13】<http://www.Leica.com.tw/>
- 【14】<http://www.Trimble.com.tw/>