

e-GPS 系統應用於地籍圖重測加密控制測量之研究

Application of e-GPS System for Cadastral Maps Resurvey Densified Control Surveying

劉榮增¹ 黃立信² 何啟佑³
Jung-Tseng Liu Lih-Shinn Hwang Chi-Yu Ho

摘要

本文為運用全國性電子化全球衛星即時動態定位系統 (Electronical-Global Positioning System, e-GPS) 辦理已知基本控制點檢測、加密控制測量及圖根測量之研究，取代傳統以 GPS (Global Positioning System) 靜態測量及導線測量為主軸之控制測量。為確保加密控制測量成果精度及保存，本研究以全測站經緯儀，辦理 e-GPS 成果之地測檢核，並建置永久性圖根點，提供地籍圖重測區於測設加密控制點、圖根點時能獲得高效率、高精度、高品質即時又可靠之控制點。同時對於重測區圖根點滅失問題，亦可建立後續辦理補建機制。

關鍵詞：控制測量、圖根測量、地籍圖重測

Abstract

This work is using nationwide Electronical-Global Positioning System (e-GPS) for check of known basic control point, densification control point and topographical control point survey, to substitution for the traditional static GPS (Global Positioning System) and Traverse Surveying. In order to insure the accuracy of control points and the preservation, this study deals results of geodetic survey by e-GPS method with total station, and establishes the lasting topographic points, provide the densification control points, topographical control points established in resurvey area, the high efficiency, high precision, high quality and reliable real-time control points. At the same time in the numeric resurvey area control points can be built, and lost topographical control points may be recovered.

Keywords: Control Survey, Traverse Survey, Cadastral Maps Resurvey

¹內政部國土測繪中心技士/國防大學理工學院環境資訊及工程學系 碩士

²國防大學理工學院環境資訊及工程學系 副教授

³內政部國土測繪中心隊長

一、前言

本研究主要目的係利用內政部國土測繪中心建置之 e-GPS 即時動態定位系統，辦理已知基本控制點檢測、加密控制點及圖根點測設作業。以 e-GPS 測量作業方式，可單人單機獨立作業，點位坐標可即時求得，且點位精度均勻無累積誤差。不須採用傳統作業方式，先布設加密控制點，再測設圖根點依幹、支導線逐級計算求得點位近似坐標後，加入多餘觀測量以角邊混合控制網嚴密平差計算求得點位坐標成果。目前國內地籍圖重測區已從都會區轉為農地、郊區及山區，重測區域面積廣大，點位間通視及觀測不易。本研究提出以 e-GPS 辦理加密控制測量之方法可運用於國內地籍圖重測區控制點新建及補建作業，依此種作業模式辦理地籍圖重測控制測量可提升效率、節省人力、時間與成本。

每當數值區圖根點滅失嚴重時補建圖根點是有其迫切性，況且圖根點補建是否成功與重測時原圖根點數量多寡，點位分布是否均勻有直接關係。圖根點大量遺失後，經過一次繁雜的圖根補建作業，其成果僅勉強附合於原重測時之控制點系統，若新建圖根點不能有較好保存率，勢必幾年後重測區又須面臨再一次圖根點補建作業，屆時補建難度勢必更加困難。考量重測區辦理完竣後，控制點保存不易、遺失嚴重，造成後續土地複丈面臨無圖根點使用的困擾，並解決重測後，圖根點滅失補建遭遇的問題。本研究於新建加密控制點、圖根點測量時，同步建置高保存永久性圖根點改善控制點管理維護及補建問題。

本研究之相關文獻回顧如下：(一)黃華尉於 2003 年以最小二乘配置

(Least-Squares Collocation, LSC) 進行坐標轉換，除了求取 TWD67 (Taiwan Datum 1967) 與 TWD97 (Taiwan Datum 1997) 坐標間轉換參數外，且一併處理點位坐標所含的系統誤差。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過濾掉。(二)蘇添旺於 2003 年在即時動態定位 (Real-Time Kinematic, RTK) 研究一文中指出：測區遮蔽率達 60% 以上時，因衛星遮蔽關係無法達到精度要求，需搭配全測站經緯儀辦理測量或檢測作業。將 RTK 觀測坐標經過 6 參數坐標轉換後與原已知坐標較差比較，其較差絕對值之平均值與均方根誤差值均降低，故利用坐標轉換方式能使其坐標更相似於原成果，減少因系統性不一致之誤差，得到更佳成果。(三)林文亮於 2006 年利用 e-GPS 虛擬基準站即時動態技術，可獲得平面精度優於 2 公分，高程精度優於 5 公分之圖根測量成果，同時提升辦理地籍圖重測控制點效率，節省人力、時間與成本。(四)陳祈賢於 2008 年為解決控制點遺失問題，於圖根點布設同時，亦於圖根點附近建物上選擇數個適當點位當作輔助圖根點，並與傳統地面圖根測量成果一起進行平面角邊混合控制網平差及可靠度分析。未來即使地面圖根點滅失，可以根據建物上的輔助圖根點採用自由測站法進行後續測量業務。(五)高書屏等人於 2006 年以內政部 e-GPS 衛星定位基準站即時動態定位系統，西區服務部網，以虛擬參考站 (Virtual Reference Station, VRS) 即時動態定位技術檢核實驗區內控制點與圖根點，分析成果發現，縱坐標 N 分

量較差絕對值之平均值小於 2 公分，橫坐標 E 分量較差平均值達 10 多公分，研究以實驗區內控制點為坐標轉換之共同點，透過參數轉換後，其坐標較差值均能符合地籍測量實施規則測量精度規範。

二、研究方法

本研究以 99 年度桃園縣楊梅市地籍圖重測區公告之 TWD97 系統控制點坐標為基值，與 e-GPS 測量方式施測研究區內之已知基本控制點、新建加密控制點，利用坐標轉換方法，將成果轉換至公告 TWD97 坐標系統進行分析比較。藉由研究分析 e-GPS 測量點位成果精度，是否符合地籍測量控制點精度規範要求，研究作業流程如下：

- (一)已知控制點檢測：採用 e-GPS 即時動態後處理方式，利用 TTC (Trimble Total Control)軟體計算成果，搭配 4、6 參數轉換檢核已知基本控制點成果。
- (二)加密控制點即時動態後處理測量：本研究使用 e-GPS 即時動態後處理方式以 TTC 軟體進行解算，搭配 4、6 參數轉換最小二乘配置法，將 e-GPS 坐標成果強制附合於公告 TWD97 坐標系統上，計算加密控制點坐標成果。

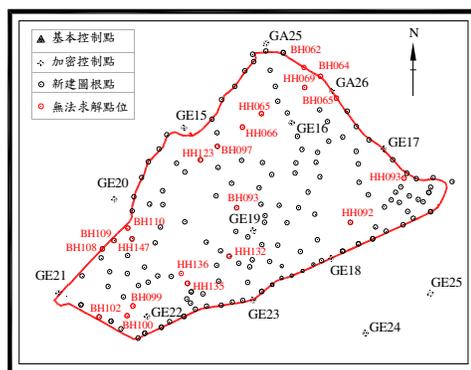


圖 1 新建圖根點求解分布圖

- (三)圖根點即時動態測量：傳統圖根測量點位必須相互通視，e-GPS 測量方式則無此困擾，且點位坐標可即時求得，搭配 4、6 參數轉換最小二乘配置法將 e-GPS 坐標成果強制附合於公告 TWD97 坐標系統上，計算加密圖根點坐標成果。
- (四)全測站經緯儀測量：全測站經緯儀搭配個人數位助理 PDA (Personal Digital Assistant)外業自動化紀錄檢核觀測數據，結合 e-GPS 地測檢核成果、e-GPS 無法觀測點位之傳統導線測量觀測資料及永久性圖根點觀測資料，利用平面角邊混合控制網平差計算成果，並進行可靠度分析及成果驗證。

三、資料蒐集與處理

- (一)研究區選定：本次選定「99 年度桃園縣楊梅市地籍圖重測區」為研究區，其中已知基本控制點包括基本控制點 4 點、加密控制點 17 點及 98 年度重測圖根點 18 點合計 39 點，研究區內新建圖根點 130 點，點位求解分布情形如圖 1 所示。本研究區所在區域，位於內政部國土測繪中心 e-GPS 衛星基準站即時定位系統基北桃竹服務區，其網形如圖 2 所示。

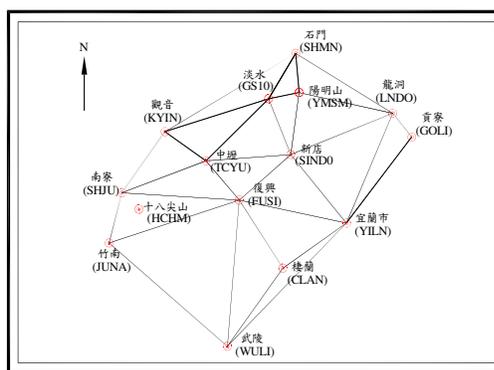


圖 2 e-GPS 基北桃竹服務區示意圖

(二) e-GPS 觀測資料: 研究採用內政部國土測繪中心 e-GPS 即時動態定位系統取得虛擬基準站衛星觀測資料之機制, 使用 Trimble 公司所研發 GPSever 模組, 該軟體具有虛擬參考站檔案產生器功能模組, 使用者只要輸入待產製之虛擬觀測資料日期、時間間隔、待測點位單點定位 3D 直角坐標及輸出檔案名稱等資訊, 該軟體即會產出該點位於定位誤差模型中之內插量, 並與最近真實基準站衛星觀測資料結合後, 產出 RINEX 標準資料格式之虛擬基準站衛星觀測資料。最後再採用 Trimble 公司研發之 TTC 商用基線計算軟體, 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, 其計算流程如圖 3 所示。計算所用之軟體及相關參數設定分述如下(內政部國土測繪中心, 2010):

1. 採用 TTC 商用基線計算軟體。
2. 採用 IGS 提供之快速精密星曆 (.igr 檔), 在測後約 17 個小時上網取得。基線解算以可消除大部分的電離層遲滯影響觀測量之 L3 固定整數解(Iono Free Fixed)。
3. 採用 TTC 軟體內鍵之 Hopfield 模式來改正對流層遲滯效應。
4. 資料篩選臨界值 (Edit 值) 設定為 3.0, 即是針對 GPS 觀測量的品質, 當觀測量經過雜訊過濾, 大於 3 倍中誤差時, 將其視為雜訊予以剔除。

5. 比率檢驗值 (Ratio 值) 設定最小為 3.0。

(三) 永久性圖根點建置: 地籍圖重測成果檢查作業須知第 2 章圖根測量選點之檢查, 檢查目次 9 選點之檢查, 第 4 項檢查標準, 第 4 點規定永久性圖根點樁標數量須超過整個重測區圖根點總數 30%(內政部國土測繪中心, 2009)。上述規定係為了改善重測區辦理完竣後, 控制點滅失可透過永久性圖根點辦理後續補建工作。惟控制點常因都市內道路開闢、鋪設柏油、私人土地開發、或人為蓄意破壞等因素, 圖根點保存之數量不盡理想, 甚至部分重測區圖根點滅失率達到 80% 以上。因此, 控制點的保存維護及補建後控制點之精度, 一直是測量機關面臨相當重要的課題。

研究區永久性圖根點原則上每 300 公尺至 500 公尺布設 1 組, 依據測區地形、地物以測站為單元建置點位, 點位選取須分布 4 個象限, 每測站至少建置 4 點以上, 以確保辦理圖根點補建時搭配自由測站法能提供較完善之檢核機制。內業計算以內政部開發之重測作業系統(Neccad) 交弧法求解計算出永久性圖根點近似坐標, 再以平面角邊混合控制網嚴密平差計算各坐標成果, 因此, 當重測區控制點遺失時, 便可透過數位相機紀錄之影像, 依照特徵點而辨識出永久性圖根點位置, 再依自由測站法觀測這些永久性圖根點, 即可解算出自由測站點位坐標, 確實解決控制點管理維護及後續補建事宜。

(四) 平面角邊混合控制網嚴密平差: 將

已知基本控制點、新建加密控制點坐標檔 (.CT0 檔) 及 PDA 外業圖根觀測資料檔 (.TRR 檔) 匯入導線計算程式(WTRA)，計算未知點近似坐標，輸出平面角邊混合控制網嚴密平差輸入檔 (.CON 檔、.COR 檔、.OBS 檔) 其計算流

程如圖 4 所示，執行平面角邊混合控制網嚴密平差預處理點位編號及輸入資料檢核(TRI1A)，依序執行平面角邊混合控制網嚴密平差及可靠度分析(TRI2A)，計算控制點平面角邊混合控制網嚴密平差成果。

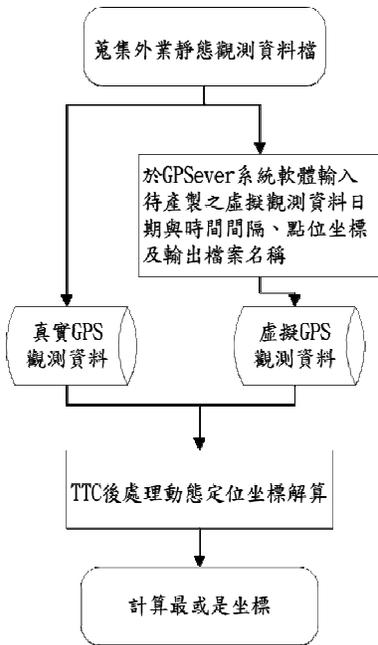


圖 3 e-GPS 後處理計算流程

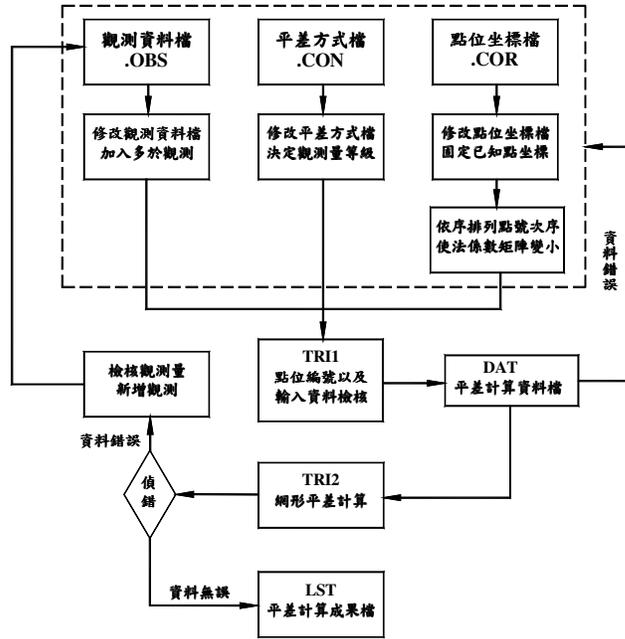


圖 4 角邊混合控制網嚴密平差計算流程

四、研究成果分析

(一)已知基本控制點檢測成果：研究區實際作業時，對於已知基本控制點是否有位移情形，檢測時採用 e-GPS 即時動態後處理測量方式，使用 TTC 軟體計算成果，研究係將觀測量區分為 10 分鐘、20

分鐘、30 分鐘、40 分鐘及 60 分鐘區間進行坐標計算，並以 4 參數轉換、6 參數轉換分析已知基本控制點變化情形。以內政部公告已知基本控制點坐標分別減去 4 參數轉換、6 參數轉換後坐標，其較差如圖 5 所示。

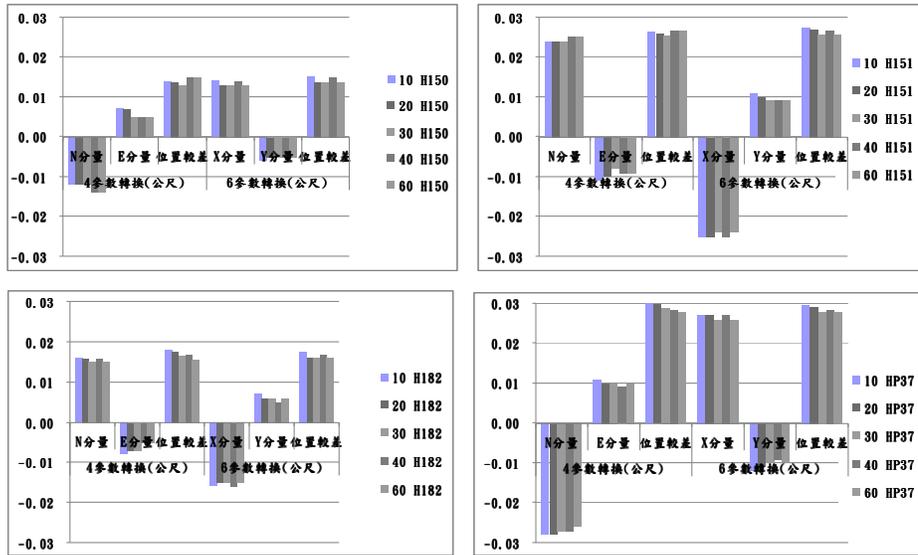


圖 5 e-GPS 後處理計算成果比較圖

分析觀測時間區間可知由 10 分鐘至 60 分鐘，其 4 參數轉換、6 參數轉換已知控制點平面位置 RMS 介於 $\pm 0.022 \sim \pm 0.023$ 公尺之間，誤差皆符合檢測標準須介於 $30\text{mm} + 6\text{ppm} \times L$ (L 為單一基線長度之公里數) 之公差範圍內；由研究得知在觀測時間方面，e-GPS 即時動態後處理測量在觀測 10 分鐘至 60 分鐘之成果，彼此差異性不大。因此，當觀測成果達到一定精度後，延長觀測時間並不會顯著提升成果精度。

目前辦理各級基本控制點點位檢測標準，係依據內政部國土測繪中心擬訂之基本控制點檢測作業規範，以 GPS 衛星定位測量辦理已知基本控制點檢測，基線長度較差量為 $30\text{mm} + 6\text{ppm} \times L$ ，點位坐標分量較差之檢核標準為 9.8 公分。由已知基本控制點成果分析顯示本研究區引用之基本控制點成果，點位並未存在不均勻位移情

形，可爰用此成果據以辦理後續加密控制測量成果計算作業(內政部國土測繪中心，2001)。

- (二)加密控制測量成果：由於已知基本控制點公告坐標與實測坐標間有明顯誤差存在，且已知基本控制點公告坐標具有法律地位，依照法律規定還是必須以公告坐標為依據，為使 e-GPS 觀測所得之坐標可以與公告坐標相符，以已知基本控制點檢測成果之 4 個點位當作共同點，使用內政部國土測繪中心控制測量網形平差計算軟體將已知共同點代入 4、6 參數轉換最小二乘配置，求出研究區之轉換參數，再利用轉換參數將 17 個加密控制點一併轉至公告 TWD97 坐標系統上(內政部國土測繪中心，2007)。
1. 使用 4 參數轉換最小二乘配置及 6 參數轉換最小二乘配置方法，以加密控制點公告 TWD97 坐標減去加密控制點轉換後之坐標，由表 1 所示其 N 分量、E 分量及位置較

差區間均在 3 公分以內，顯示經 法加密控制測量之精度規範。
 過坐標轉換，成果符合國土測繪

表 1 公告坐標與轉換後加密控制點位置較差統計表

較差 區間 (公 分)	4 參數轉換最小二乘配置						6 參數轉換最小二乘配置					
	N 分量		E 分量		位置較差		N 分量		E 分量		位置較差	
	數量	比率	數量	比率	數量	比率	數量	比率	數量	比率	數量	比率
0~1.0	16	94.1%	11	64.7%	9	52.9%	16	94.1%	11	64.7%	8	47.0%
1.1~2.0	1	5.9%	4	23.5%	5	29.4%	0	0.0%	5	29.4%	7	41.2%
2.1~3.0	0	0.0%	2	11.8%	3	17.7%	1	5.9%	1	5.9%	2	11.8%
3.1~3.6	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
>3.6	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%

2. 本研究檢測加密控制點方位角、距離及精度檢核觀測量合計 136 個，如圖 6 所示以公告成果坐標反算角度減去實測角度，檢測加密控制點方位角誤差介於 -7~19 秒之間；如圖 7 所示以公告成果

坐標反算距離減去實測距離，檢測距離誤差介於 -3.9~3.2 公分之間；如圖 8 所示加密控制點檢測其相對精度介於 1/26,966~1/9,999,999 之間。

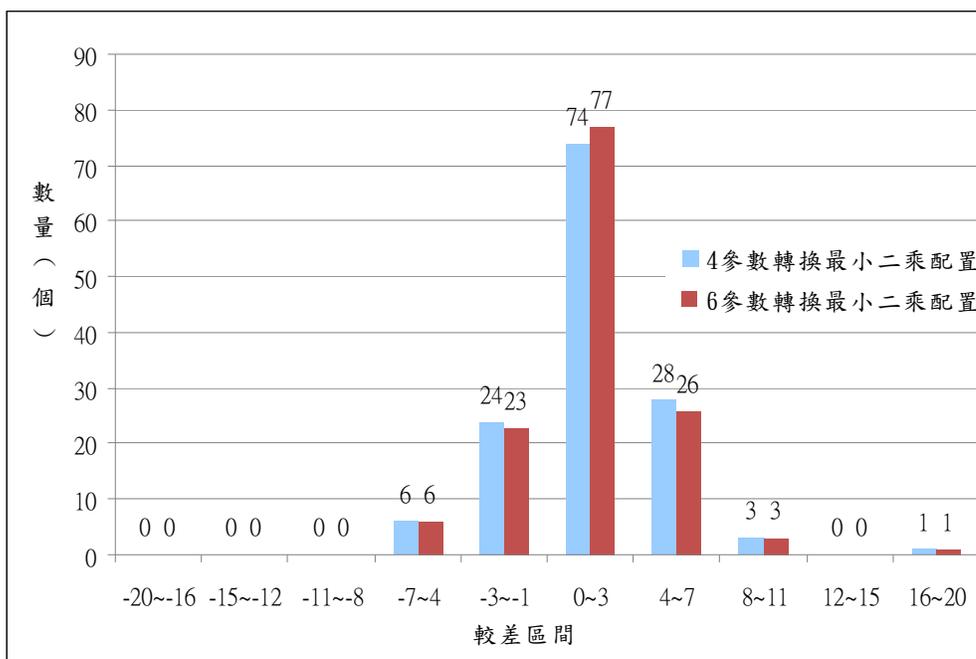


圖 6 加密控制點方位角檢核分布圖

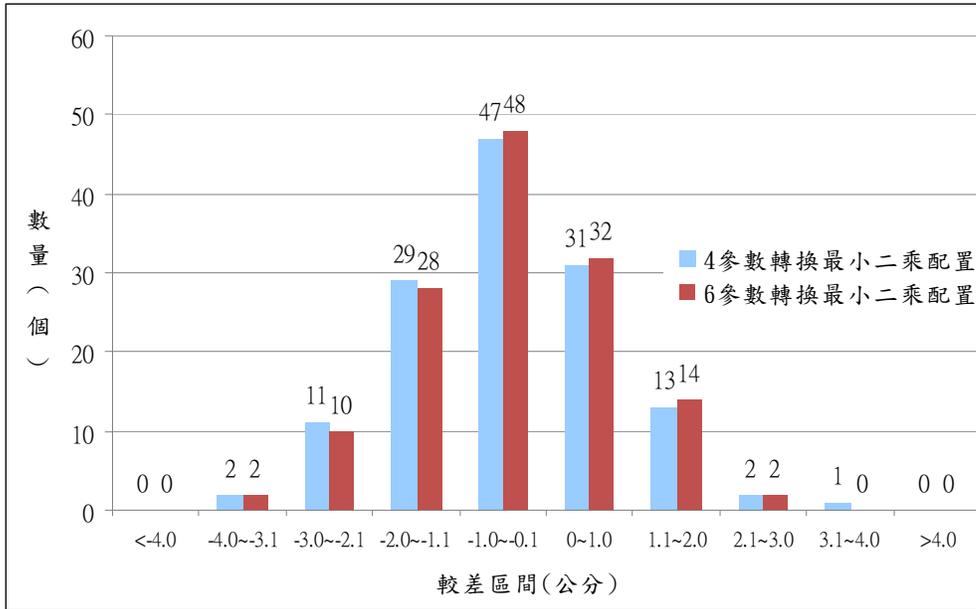


圖 7 加密控制點距離檢核分布圖

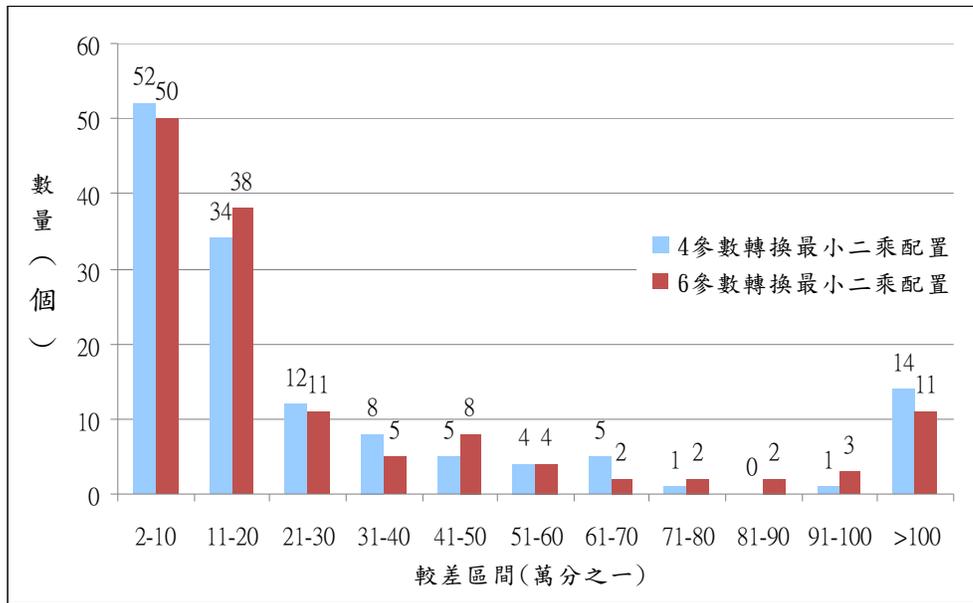


圖 8 加密控制點精度檢核分布圖

由研究結果顯示加密控制點方位角檢核角度較差皆小於 20 秒，符合較差在±20 秒以內之誤差規範；距離檢核較差符合較差在 30mm+6ppm×L 以內之誤差範圍；相對精度檢核符合較差小於 1/20,000 之誤差規範。本研究以

e-GPS 測設之加密控制點，經由 4 參數轉換、6 參數轉換最小二乘配置方法坐標轉換後，其成果符合內政部國土測繪中心研訂辦理加密控制點衛星測量手冊之精度規範。
(三)圖根測量成果：依據地籍圖重測成果檢查作業須知(內政部國土測繪

中心，2009)；圖根點位置檢查結果，原坐標與檢核觀測計算所得坐標不得超過 3 公分。都市計畫樁位檢查結果(參考都市計畫測定及管理辦法第 37 條第 2 項、第 3 項)；實地樁位檢查，利用道路中心樁或界樁檢測其角度在 ± 60 秒以內，或樁位在 ± 2 公分以內，距離誤差在 1/2,000 以內視為無誤。數值法地籍圖重測作業手冊(內政部，2004)；檢核圖根點，實測坐標與坐標反算其角度在 ± 40 秒以內、距離誤差在 ± 2 公分以內視為無誤。本研究使用儀器、方法、精度分析方式與上述規範不同，因此實地樁位檢查分析標準亦不同，綜合上述規範，並以 100 公尺誤差約 3 公分之距離與角度精度相互匹配為原

則，故擬訂圖根點以 e-GPS 測量之成果其檢核標準：角度誤差在 ± 60 秒及距離誤差在 ± 3 公分以內視為無誤。

1.e-GPS 即時動態測量成果：研究區利用 e-GPS 即時動態測量求解有已知基本控制點 4 點、加密控制點 17 點、歷年重測圖根點 16 點、新建圖根點 109 點合計 146 點，使用 4、6 參數轉換最小二乘配置方法，以 99 年度桃園縣楊梅市地籍圖重測公告 TWD97 圖根點坐標減去 e-GPS 測量轉換後圖根點坐標，如表 2 所示其較差超過 3 公分不合格比率在 N 分量有 2.7%、E 分量有 6.5~7.4%、位置較差有 11.0~11.9%。

表 2 公告坐標與 e-GPS 轉換後圖根點位置較差統計表

較差 區間 (公分)	4 參數轉換最小二乘配置						6 參數轉換最小二乘配置					
	N 分量		E 分量		位置較差		N 分量		E 分量		位置較差	
	數量	比率	數量	比率	數量	比率	數量	比率	數量	比率	數量	比率
0~1.0	66	60.6%	58	53.2%	29	26.6%	67	61.5%	58	53.2%	31	28.4%
1.1~2.0	31	28.4%	32	29.3%	47	43.1%	30	27.5%	33	30.2%	45	41.3%
2.1~3.0	9	8.3%	11	10.1%	20	18.4%	9	8.3%	11	10.1%	21	19.3%
3.1~4.0	0	0.0%	2	1.8%	6	5.5%	0	0.0%	1	0.9%	5	4.6%
4.1~5.0	1	0.9%	3	2.8%	1	0.9%	1	0.9%	3	2.8%	1	0.9%
>5.0	2	1.8%	3	2.8%	6	5.5%	2	1.8%	3	2.8%	6	5.5%
合計	109	100.0%	109	100.0%	109	100.0%	109	100.0%	109	100.0%	109	100.0%

2.e-GPS 地測檢核成果：圖根點實施地測檢核角度觀測量合計 215 個、距離觀測量合計 187 個，如圖 9 所示以 e-GPS 轉換後成果坐標反算角度減去實測角度，在地測檢核角度部分有 44~45 個角度觀測值超過角度誤差在 ± 60 秒誤差規範，其不合格比率約佔

20.5%~21.0%；圖 10 所示在地測檢核距離部分，有 23 個距離觀測量超過距離誤差在 ± 3 公分誤差規範，約有 12.3%的不合格比率。因此，使得 e-GPS 成果在位置精度檢核方面無法達到地籍圖重測規範之要求。

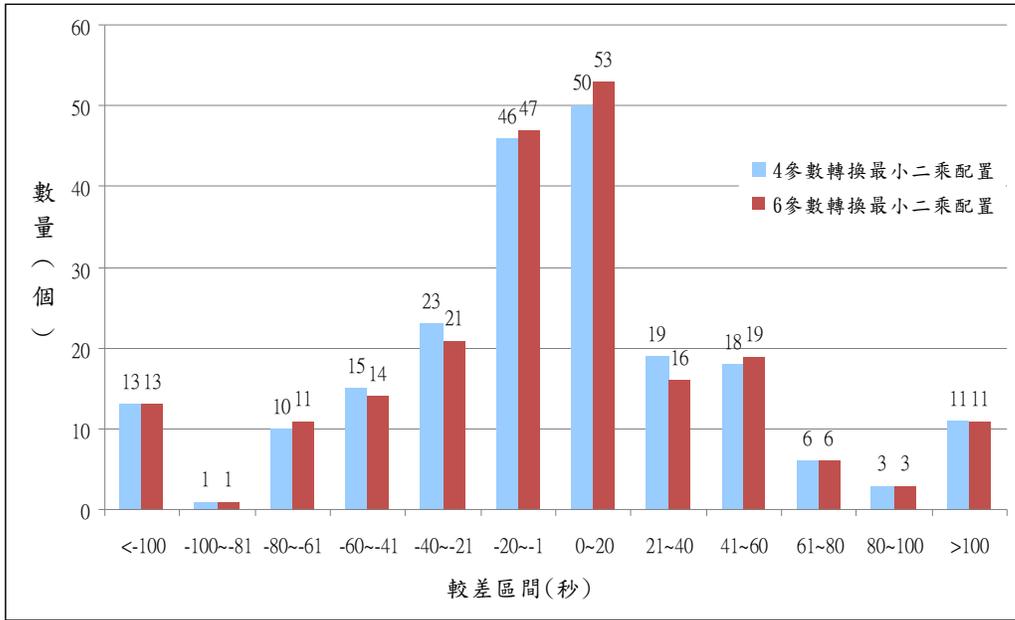


圖 9 e-GPS 轉換後成果坐標反算角度與地測檢核角度較差分布圖

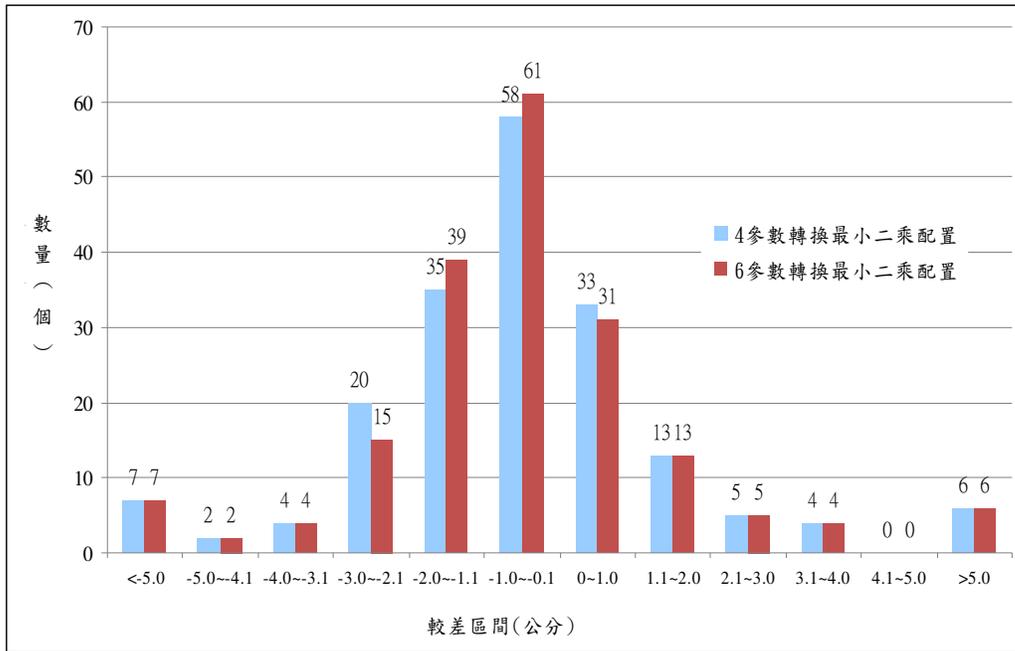


圖 10 e-GPS 轉換後成果坐標反算距離與地測檢核距離較差分布圖

由地測檢核角度、距離觀測量分析得知，其中超過誤差規範之圖根點有 20 點，經分析比對約有 10 點，其點對距離少於研究設定至少須 100 公尺以上之間距，且有 8 點透空遮蔽率達 50%、2 點透空遮蔽率達 35%，部分點位觀測時

間需長達 3~5 分鐘以上才能求解成功，皆有可能造成觀測品質不佳之原因。因此，間接使得 e-GPS 成果在位置精度檢核方面無法達到地籍圖重測規範之要求。

3.e-GPS 結合地測平面角邊混合控制網嚴密平差成果：為確實分析

e-GPS 觀測坐標成果能運用於地籍圖重測區，本研究以 e-GPS 測量方式計算求解之基本控制點 4 點、加密控制點 17 點、歷年重測圖根點 18 點、新建圖根點 89 點合計 128 點為已知點。e-GPS 地測檢核超過誤差規範之點位有 20 點，無法進行 e-GPS 即時動態測量求解之新建圖根點共 21 點，搭配全測站經緯儀實施地測附和導線測量，角度觀測量合計 294 個、距離觀測量合計 237 個。將已知控制點及觀測量匯入導線計算程式輸出平面角邊混合控制網嚴密平差輸入檔，執行平面角邊混合

控制網嚴密平差及可靠度分析，計算控制點平面角邊混合控制網嚴密平差成果。研究使用 4 參數轉換、6 參數轉換最小二乘配置方法，以 99 年度楊梅重測區圖根點公告 TWD97 坐標，減去加密圖根點角邊混合控制網嚴密平差成果之坐標，如表 3 所示其較差小於 3 公分，不合格比率在 E 分量有 0.8%、位置較差有 1.5%。；平面角邊混合控制網平差成果可靠度分析如圖 11、圖 12 所示，角度誤差皆小於 60 秒、距離誤差皆小於 3 公分。

表 3 公告坐標與平面角邊混合控制網平差成果位置較差表

較差區間 (公分)	4 參數轉換最小二乘配置						6 參數轉換最小二乘配置					
	N 分量		E 分量		位置較差		N 分量		E 分量		位置較差	
	數量	比率	數量	比率	數量	比率	數量	比率	數量	比率	數量	比率
0~1.0	93	71.6%	79	60.8%	47	36.2%	95	73.1%	76	58.4%	45	34.6%
1.1~2.0	32	24.6%	39	30.0%	61	46.9%	31	23.8%	43	33.1%	63	48.5%
2.1~3.0	5	3.8%	11	8.4%	20	15.4%	4	3.1%	10	7.7%	20	15.4%
>3.0	0	0.0%	1	0.8%	2	1.5%	0	0.0%	1	0.8%	2	1.5%
合計	130	100.0%	130	100.0%	130	100.0%	130	100.0%	130	100.0%	130	100.0%

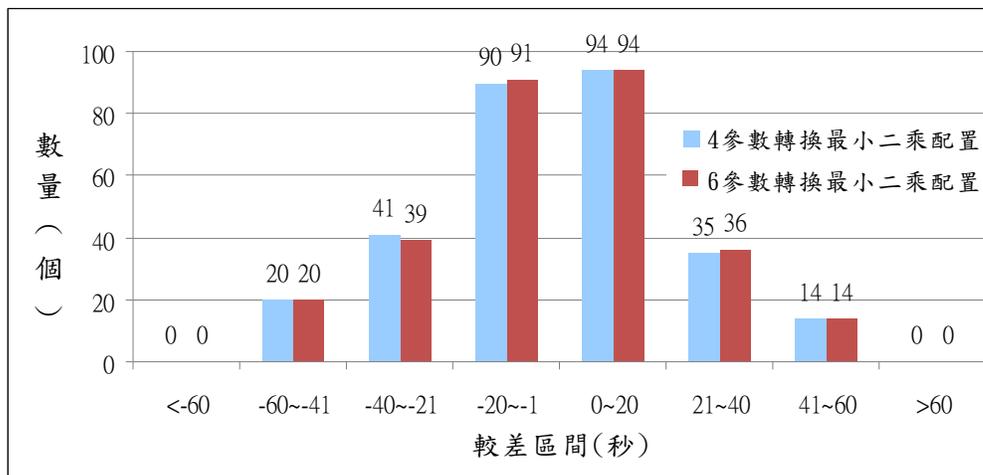


圖 11 圖根點角邊混合控制網平差成果與實測角度較差分布圖

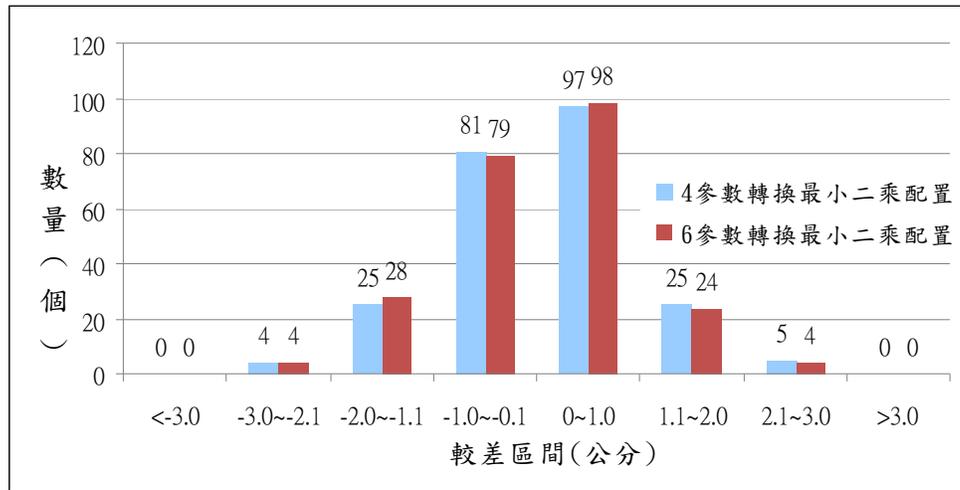


圖 12 圖根點角邊混合控制網平差成果與實測距離較差分布圖

綜合研究數據分析得知執行平面角邊混合控制網嚴密平差程式其先驗標準誤差與傳統設定值不同，本研究經測試於儀器定心誤差方面設定為 0.7 公分、角度誤差設定為 40 秒、距離誤差設定為 3 公分，計算平面角邊混合控制網嚴密平差成果，4 參數轉換最小二乘配置單位權標準誤差為 1.0838；6 參數轉換最小二乘配置單位權標準誤差為 1.0812，皆符合單位權標準誤差須介於 0.9~1.1 之規範。以平面角邊混合控制網嚴密平差計算成果後其角度較差不合格比率從 20.5~21.0%，提升至角度誤差在 ± 60 秒以內合格比率為 100%，距離較差不合格比率從 12.3%，提升至距離誤差在 ± 3 公分以內合格比率為 100.0%。由本研究分析得知 e-GPS 成果搭配全測站經緯儀地測檢核，可全面達到地籍圖重測加密圖根點規範之精度要求。

(四) 自由測站測量成果：永久性圖根點建置完成後，於地測導線測量、e-GPS 成果實施地測檢核同時以

多餘觀測方式，觀測其角度、距離，並與研究區內經坐標轉換後之 e-GPS 坐標、地測檢核成果一併執行平面角邊混合控制網嚴密平差計算，即可得到同區域精度均勻之永久性圖根點坐標成果，引用永久性圖根點時，只要在測區內任何位置自由架設測站以全測站經緯儀（具雷射功能）觀測 2 點以上永久性圖根點即可求解出測站位置坐標。

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。內業計算以內政部開發之重測作業系統(Neccad)交弧法求解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，研究區以自由測站法實地測量角度與坐標反算角度較差如圖 13 所示；實地測量距離與坐標反算距離較差如圖 14 所示；研究區以自由測站法實地測量計算圖根點坐標位置與坐標反算位置較差如圖 15 所示。

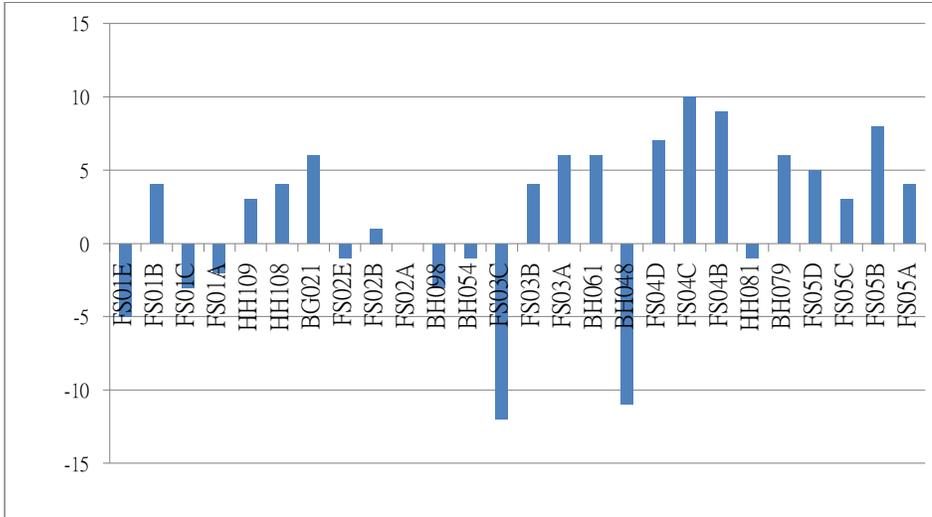


圖 13 自由測站法角度觀測與坐標反算角度較差

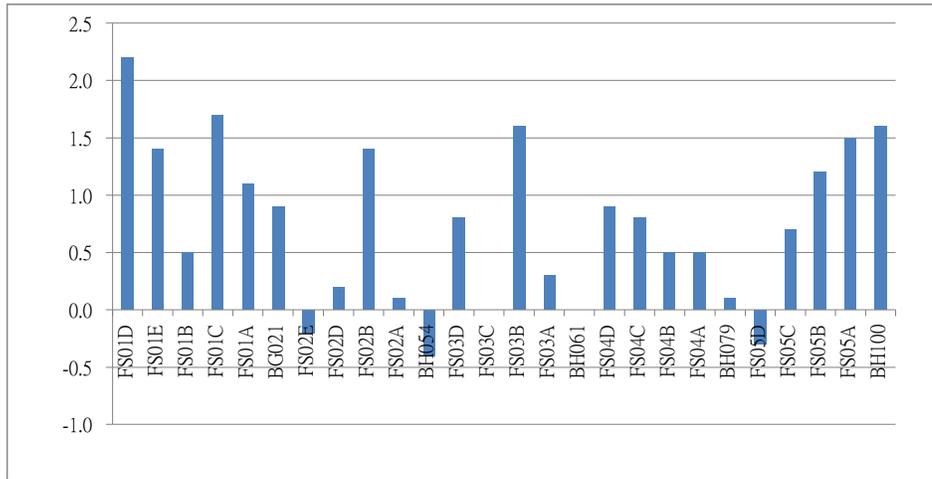


圖 14 自由測站法距離觀測與坐標反算距離較差

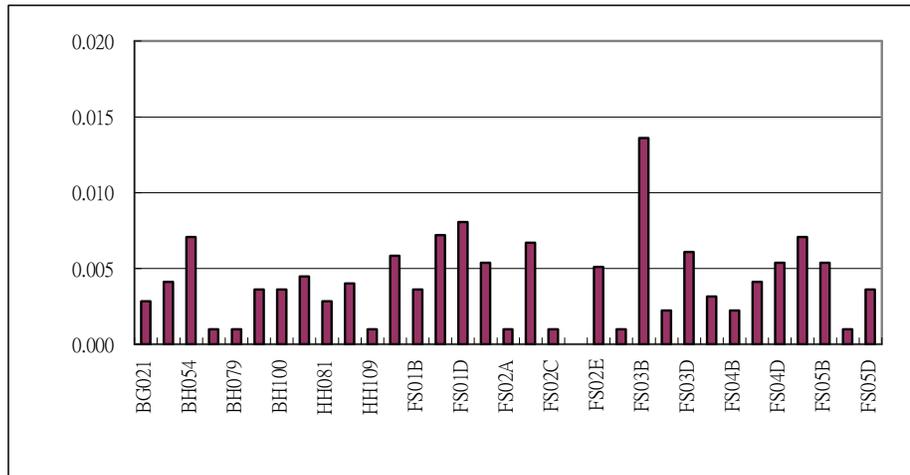


圖 15 自由測站法成果與坐標反算位置較差

由研究成果分析以自由測站法，實地測量角度與坐標反算角度較差介於-12~10 秒之間；實地測量距離與坐標反算距離較差介於-0.4~2.2 公分之間；實地測量計算圖根點坐標位置與坐標反算位置較差介於 0~1.8 公分之間。依據研究較差分析，運用本研究方法建置之永久性圖根點以自由測站法檢核圖根點成果皆符合重測圖根點檢核相關規範。

綜合上述研究成果分析中發現，使用 e-GPS 測量搭配全測站經緯儀地測所得之角邊混合控制網平差坐標成果，已符合國內加密控制測量相關作業精度規範，茲就 e-GPS 測量與傳統控制測量施測控制點作業方式做一比較，如表 4 所示以 e-GPS 方式施測加密控制測量較傳統方式省時、省力，本研究所採用方法應為未來加密控制測量作業之趨勢。

表 4 e-GPS 與傳統控制測量作業比較表

項目	加密四等控制測量		加密圖根測量	
	數量	17 點		130 點
作業方法	GPS 靜態測量	e-GPS 測量	地測導線測量	e-GPS 測量
測量儀器	GPS 儀器 6 部	GPS 儀器 1 部	經緯儀 1~2 部	GPS 儀器 1 部
人力	6~12 人 (6 組 8 人)	1~2 人 (1 組 1 人)	4 人 (1 組)	1~2 人 (1 組 1 人)
外業時間	9 個時段	1 點 20 分鐘	1 組 1 天 30 點	1 人 1 天 40 點
	合計：72 小時	合計：12 小時	合計：138 小時	合計：52 小時
內業時間	13.5 小時	3 小時	12 小時	1 小時

六、結論與建議

(一)已知基本控制點採用 e-GPS 即時動態後處理測量，依觀測量區分 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘、40 分鐘及 60 分鐘間隔進行已知基本控制點變化情形分析。經解算已知基本控制點平面位置檢測較差 RMS 介於 $\pm 0.022 \sim \pm 0.023$ 公尺之間，成果精度皆符合 $(30\text{mm}+6\text{ppm} \times L)$ 檢測規範。本研究結果在觀測 10 分鐘後成果並未隨著觀測時間增加明顯變化，故可得知滿足一定

精度後，延長觀測時間成果精度並不會顯著提升。

(二)以 e-GPS 觀測加密圖根點方式確實可提高工作效率、節省人力，惟重測區圖根點位之間距離較短，施以 4、6 參數轉換最小二乘配置，依本研究成果分析其位置較差超過 3 公分規範不合格比率有 11.0%~11.9%，由研究結果得知，純粹以 e-GPS 觀測透過坐標轉換至 TWD97 系統方式尚無法全面達到地籍圖重測規範之精度要求。

(三)e-GPS 成果以全測站經緯儀實施

地測成果檢核，依本研究擬定角度誤差 ± 60 秒以內、距離誤差 ± 3 公分以內視為合格，根據研究成果分析其角度誤差在 ± 60 秒以內不合格比率為有 20.5%~21.0%，距離誤差在 ± 3 公分以內不合格比率有 12.3%。然藉由本研究以 e-GPS 成果搭配全測站經緯儀地測檢核觀測資料利用平面角邊混合控制網平差方式可有效提升 e-GPS 成果精度，同時亦可符合地籍圖重測圖根點檢核規範。

- (四)本研究建置之永久性圖根點並非埋設於地面上之實體圖根點樁標，故其毀損、滅失之情形亦大幅降低，實務上當重測區地面圖根點滅失嚴重致無法辦理測量業務時，利用本研究建置之永久性圖根點搭配自由測站法即可輕易解決無控制點可用之困擾。
- (五)本研究以 e-GPS 方式測設圖根點經由坐標轉換後，其成果以地測方式檢核不合格比率尚有 12.3%~20.5%，對於無法以 e-GPS 方式求解之點位雖以附合導線方式計算，惟其成果尚無法確保品質，因此以 e-GPS 方式測設加密圖根點在選點時應考量點位通視方向，最少須 3 點一組，通視方向應越多越好，在辦理 e-GPS 成果地測檢核時即可增加多餘觀測量，結合地測檢核以平面角邊混合控制網平差計算時，比較容易分析檢算偵錯。
- (六)以 e-GPS 方式測設之圖根點與傳統圖根測量不論在儀器及測量方法皆截然不同，因此在圖根點成果檢查方面亦需有不同的規範，目前

國內對 RTK 方面僅有點位間距離檢查較差規範，尚無擬定角度檢查較差與數值法地籍圖重測作業手冊規範不同，建議應由內政部邀集相關作業單位、學術及技術人員研議，研議成果檢查規範，以健全 e-GPS 系統使用機制。

參考文獻

- 1.內政部國土測繪中心，“基本控制點檢測作業規範”，中華民國國防科技學術研究學會研究報告，第 7-31 頁，2001。
- 2.內政部，數值法地籍圖重測作業手冊，第 (04-1) - (06-4) 頁，2004。
- 3.內政部，地籍測量實施規則，第 1-38 頁，2006。
- 4.內政部土地測量局，“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”，臺中，第 3 -51 頁，2006。
- 5.內政部土地測量局，內政部土地測量局控制測量網形平差計算軟體操作手冊，臺中，第 29-32 頁，2006。
- 6.內政部國土測繪中心，內政部土地測量局辦理四等控制點衛星測量作業手冊，臺中，2007。
- 7.內政部國土測繪中心，地籍圖重測成果檢查作業須知，第 4-21 頁，2009。
- 8.內政部國土測繪中心，98 年度三等精度控制點速度場測量及管理維護作業工作總報告，臺中，第 5-55 頁，2010。
- 9.林文亮，“e-GPS 系統應用於圖根控制測量之探討”，國立中興大學土木工程學系研究所碩士論

- 文，臺中，第 1-35 頁，2007。
- 10.高書屏、梁崇智、李旭志，“利用 VRS-RTK 在圖根點新建、補建之探討”，第二十五屆測量及空間資訊研討會論文集，桃園，第 1-8 頁，2006。
 - 11.陳祈賢，“固定建築物上建置高保存性控制點之研究”，國立成功大學地球科學研究所碩士論文，臺南，第 27-36 頁，2008。
 - 12.黃華尉，“TWD97 與 TWD67 二度分帶 TM 坐標轉換之研究”，國立成功大學測量工程研究所碩士論文，臺南，第 8-47 頁，2001。
 - 13.蘇添旺，“RTK 應用於大型都會區圖根點新補建模式之研究-以臺中市為例”，國立中興大學土木工程學系研究所碩士論文，臺中，第 9-37 頁，2003。