

GPS 快速靜態測量辦理四等控制測量作業方式與 精度分析

GPS Fast Static Surveying for Fourth-Order Control Point

Operations and Accuracy Analysis

陳鶴欽¹、林世賢²、陳俊廷²、梁旭文³

摘要

GPS 快速靜態測量在短距離基線測量時，精度可達 15mm+1ppm 的精度，惟受限於上級控制點間影響，故目前辦理地籍圖重測四等控制測量作業時，仍要求須以靜態測量，並輔以嚴密時段規劃方式辦理外業測量作業。本研究以土地測量局 93 年嘉義縣鹿草、澎湖白沙及宜蘭五結重測區為例，比較嚴密時段觀測靜態測量成果與雙主站雙移動站快速靜態成果差異，發現在使用後者作業模式並搭配最小二配置法，所得結果較差均小於 3 公分，符合四等控制測量作業精度平面 30mm+6ppm 定位精度，足敷後續圖根測量作業之精度要求，另外每個新設點位均重複觀測二次，大幅增加新設點位可靠度，並可節省作業人力及時間，以因應近年來地籍圖重測土地測量業務人員減少之不便。

關鍵字：快速靜態測量、四等控制測量、GPS、精度分析

Abstract

For short baseline surveying works, the precision of GPS fast static surveying has been realized approaching to 15mm+1ppm. Owing to the latent unknown deformation probably existed in the upper order control points network, the static survey method with strict session planning is still adopted during the operation of the 4th order control survey for cadastral re-survey work. In this study, Chia-I, Peng-Hu, and I-Lan cadastral resurvey areas are test sites. Data of static survey with strict session planning were compared with those of fast static surveying. The results of using fast static surveying with double base stations, double rovers and least squares collocation mode were smaller than 3 cm compared with those of the strict session planning mode. It fits with the rule of the 4th order control survey, the horizontal precision 30mm+6ppm. Besides, the newly setup 4th order control points were observed twice, this has largely upgraded the reliability, saved the time and manpower to be responsive to the inconvenience of decreasing operators at cadastral resurvey activities.

Keyword: Fast static survey、4th order control survey、GPS、accuracy analysis

¹內政部土地測量局專員 email: lsb23012@mail.lsb.gov.tw TEL:04-22522966#331

²內政部土地測量局測量員

³內政部土地測量局課長

一、 前言

GPS 衛星靜態 (Static) 定位應用在控制測量方面，已漸趨普遍，並已證實可達到公分級之精度[龔昶榮，1989；劉正倫與梁旭文，1994]，在實際作業方面，除要求適當點位透空度外，具有選取點位不需考慮相互通視及網形強度之特性、外業測量不受天候限制及測量時間縮短等優點，故目前台灣省地籍圖重測控制測量部份已全面採用 GPS 衛星定位測量[曾德福，1997]。

隨著 GPS 衛星顆數的增多，以及相位未定值求解理論的進步，使得 GPS 衛星定位的方法亦不斷的演進，從靜態測量到快速靜態測量，已將 GPS 定位效率大幅提昇[蕭志書,1995]。目前 GPS 靜態測量大都應用在控制測量方面，需要較長的觀測時間（一小時以上）且各點位間需同步觀測，未能發揮整體儀器效能及 GPS 衛星顆數的增多所帶來之便利性，而以快速靜態方式解算只需在點位上觀測片刻 8-20 分鐘，視點位透空度及收訊狀況而異，就可解算點位坐標，可大幅提昇了 GPS 辦理控制測量的效率[曾清涼,1999]。

現行作業規範辦理四等控制測量均要求同一時段間各測量點需有同步觀測時間四十分鐘至一小時以上，且相鄰點位間需有直接之觀測量[內政部土地測量局,2003]，惟目前地籍測量實施規則要求四等控制點作業精度為 30mm+6ppm，以一公里基線為例，可達到之精度誤差範圍約為 3.6cm，與目前 GPS 快速靜態辦理控制測量，在使用六顆衛星訊號及雙頻全波長儀器狀況下，僅需接收八分鐘觀測資料量即可解算，且精度可達 15mm[孫連水,1996]，理論上使用上開方式及儀器應可提升辦理控制測量之效率，節省人力、時間與成本。另使用快速靜態作業方式下之不動主站該如何選取，以避免環境因素造成主站資料品質不佳而影響後續各移動站資料之計算及成果品質，且主站應設置一個主站或兩個以上，其設置於測區中央位置或測區邊緣，均可能會造成不同結果，此節亦值得再予詳細評估。前述作業方式、主站個數及位置設置經評估分析後，期望藉由本研究以測試區之實地操作結果，提供後續辦理四等控制點及制定快速靜態作業規範應用之參考。

本研究最後成果建議採用外業觀測採用雙主站雙移動站快速靜態模式，移動站各自獨立接收約 10 分鐘觀測量，毋須考量其他移動站作業時間，基線處理採用以固定主站最中心的獨立基線，以節省計算工作量，再將所得基線組成網形求取座標，最後並將所有成果以最小二乘配置方式約制在公告成果上。

二、 作業過程

目前以 GPS 辦理四等控制測量，大量應用於地籍圖重測作業，每年約有 40-50 個重測區(包含土地測量局辦理及各縣政府辦理部分)，新測設約 900-1000 個四等控制點，所需測設人力及設備的支出甚為鉅大。本研究因應地籍圖重測漸往郊區辦理、台灣地區地質及斷層活動等特性，選取下列三個測試區，其作業情形，分述如下：

嘉義鹿草重測區：本區位於台灣本島西南部，已知點變動而言是屬於較整體較均勻穩定。本重測區原四等控制測量作業於 92 年 10 月 27、28 日辦理外業觀測計畫，共計使用 8 部 GPS 衛星接收儀，動用 16 個人力及規劃 4 個時段，完成相

關四等控制測量作業；至本次作業係依據該重測區已完成點位使用 6 個三等控制點及新設 9 個四等控制點。

澎湖白沙重測區：本區位於台灣離島，已知點間幾乎沒有變位情形存在。本重測區原四等控制測量作業於 92 年 10 月 28、29 日辦理外業觀測計畫，共計使用 8 部 GPS 衛星接收儀，動用 16 個人力，規劃 10 個觀測時段；至本次作業係依據該重測區已完成點位使用 11 個三等控制點及新設 18 個四等控制點。

宜蘭五結重測區：本區位於台灣蘭陽平原，此區因受地殼變動影響，已知點變位情形嚴重。本重測區原四等控制測量作業於 92 年 10 月 14-17 日辦理外業觀測計畫，共計使用 8 部 GPS 衛星接收儀，動用 16 個人力，規劃 9 個觀測時段；至本次作業係依據該重測區已完成點位使用 11 個三等控制點及新設 20 個四等控制點。

吾人依據三個測試區的作業數量及位置選取外圍三點及測區中間一點為主站，另使用 2~4 部 GPS 接收儀視為移動站，對於其他點位均加以觀測。而為分析不同主站位置或主站多寡造成果的影響，將分別採用一個主站（四種組合）、二個主站（六種組合）及三個主站（四種組合）等方式，以分析爾後主站擺設的位置及數量對移動站坐標成果之影響。

在資料處理過程係採用 GPSURVEY2.35 版計算軟體，依據所選各個站分別計算相對於該主站的獨立基線（基線圖形類似輻射狀的光線法），然後將基線計算成果投影約制在主站所公佈 TWD97 坐標成果上，並依據先前所公佈成果，計算每一點位坐標差值，以作為評估採用嚴密網形規劃方式與快速靜態單線計算成果的差異指標。另每個移動站均重複測量兩次，故本次作業在每種 CASE 均有三種成果，分別為第一組移動站成果，第二組移動站成果及第一、二組合併計算成果。另外對於已經公佈的各級已知點成果，在實務地籍測量作業上具有一定的法律性質，不宜輕易變動，故在本研究中，對於計算出來的初步成果進行四參數平面轉換，且經最小二乘配置處理，將所有已知點重新套合至原已知點公佈成果，使成果得以銜接其他年度成果。

三、 成果分析

（一）鹿草重測區

1. 固定單一主站成果

吾人先計算固定一個已知點部分，同樣分為第一組移動站、第二組移動站及二者合併計算（視為第三組），成果統計如下表 1，第一組最大差異量約 3.9 公分，出現在主站約制 Q193 之 GC06 點位，第二組最大差異量約 5.0 公分，出現在主站約制 Q161 之 GC06 點位，二組移動站合併計之最大差異量約 3.2 公分，出現在主站約制在 Q192 之 GC04 點位上。以單一主站而言，部分成果超出 30mm+6ppm 甚多，顯示若僅約制單主站成果不論是一個移動站或者是二個移動站重複觀測成果均不符規範。

表 2：固定一個主站所得距離較差最大者比較表

第一組 A						M
固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS
GC08	GC06	0.007	0.008	0.007	0.017	0.018

Q161	Q180	0.002	0.002	0.021	0.004	0.021
Q192	GC01	0.003	0.003	0.025	-0.014	0.029
Q193	GC06	0.002	0.002	0.013	0.037	0.039

第二組 B

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS
GC08	Q180	0.002	0.002	0.017	0.011	0.020
Q161	GC06	0.005	0.003	0.047	-0.017	0.050
Q192	GC05	0.002	0.002	0.007	-0.020	0.021
Q193	Q180	0.002	0.002	0.017	0.016	0.023

第一二組合併 C

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS
GC08	GC04	0.011	0.010	-0.019	0.010	0.021
Q161	Q178	0.008	0.007	0.024	-0.003	0.024
Q192	GC04	0.017	0.016	-0.028	0.015	0.032
Q193	GC04	0.015	0.014	-0.028	0.004	0.028

2 固定二個主站成果

計算固定二個已知點部分，同樣分為第一組移動站、第二組移動站及二者合併計算（視為第三組），成果統計如下表 2，第一組最大差異量約 3.2 公分，出現在主站約制 Q193 及 GC08 之 GC06 點位，第二組最大差異量約 2.5 公分，出現在主站約制 Q193 及 GC08 之 GC06 點位與約制 Q193 及 Q161 之 Q180 點位，二組移動站合併計之最大差異量約 3.3 公分，出現在主站約制在 Q192 及 Q161 之 GC04 點位上。以固定二個主站而言，部分成果剛好符合 30mm+6ppm 規範，顯示若約制二個主站，成果可符合地籍測量實施規則的要求，且使用那兩個主站似乎無明顯區別。

表 2：固定二個主站所得距離較差最大者比較表

第一組 A						M
固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS
GC08&Q193	GC06	0.006	0.007	0.022	0.023	0.032
GC08&Q192	GC06	0.014	0.017	0.008	0.021	0.022
GC08&Q161	Q193	0.007	0.006	0.016	-0.003	0.016
Q192&Q193	Q178	0.012	0.011	-0.022	0.013	0.026
Q193&Q161	Q178	0.010	0.008	-0.026	-0.002	0.026
Q192&Q161	Q193	0.004	0.004	0.021	-0.012	0.024

第二組 B						
固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS

GC08&Q193	GC06	0.007	0.006	0.016	-0.019	0.025
GC08&Q192	Q193	0.005	0.005	0.018	-0.008	0.020
GC08&Q161	Q180	0.006	0.006	0.015	0.014	0.021
Q192&Q193	Q161	0.003	0.003	-0.018	-0.016	0.024
Q193&Q161	Q180	0.007	0.005	0.015	0.020	0.025
Q192&Q161	GC06	0.005	0.005	0.013	-0.007	0.015

第一二組合併 C

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS
GC08&Q193	Q180	0.009	0.008	-0.022	-0.014	0.026
GC08&Q192	GC04	0.014	0.012	-0.019	0.011	0.022
GC08&Q161	GC04	0.012	0.011	-0.024	0.007	0.025
Q192&Q193	Q161	0.007	0.007	0.019	0.016	0.025
Q193&Q161	Q180	0.010	0.008	-0.017	-0.018	0.025
Q192&Q161	GC04	0.011	0.010	-0.031	0.011	0.033

3. 固定三個主站成果

計算固定三個已知點部分，同樣分為第一組移動站、第二組移動站及二者合併計算（視為第三組），成果統計如下表 3，第一組最大差異量約 2.2 公分，出現在主站約制 Q193、GC08 及 Q161 之 GC06 點位與約制 Q192、GC08 及 Q161 之 Q193 點位，第二組最大差異量約 2.1 公分，出現在主站約制 Q193、GC08 及 Q161 之 GC06 點位，二組移動站合併計之最大差異量約 2.8 公分，出現在主站約制在 Q192、GC08 及 Q161 之 GC04 點位上。以固定三個主站而言，成果均小於 30mm+6ppm 規範，顯示若約制三個主站，成果可符合地籍測量實施規則的要求。

表 3：固定三個主站所得距離較差最大者比較表

第一組 A

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS
Q193&GC08&Q161	GC06	0.005	0.006	0.011	0.019	0.022
Q161&Q192&Q193	GC01	0.013	0.012	0.019	0.005	0.020
Q192&GC08&Q161	Q193	0.003	0.003	0.020	-0.009	0.022
Q193&GC08&Q192	GC06	0.006	0.007	0.009	0.018	0.020

第二組 B

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS
Q193&GC08&Q161	Q192	0.003	0.003	-0.001	0.019	0.019
Q161&Q192&Q193	GC06	0.007	0.007	0.014	-0.010	0.017

Q192&GC08&Q161	Q180	0.004	0.004	0.013	0.006	0.014
Q193&GC08&Q192	GC06	0.007	0.007	0.009	-0.019	0.021

第一二組合併 C

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS
Q193&GC08&Q161	Q180	0.007	0.006	-0.017	-0.016	0.023
Q161&Q192&Q193	GC04	0.011	0.010	-0.018	0.004	0.018
Q192&GC08&Q161	GC04	0.009	0.008	-0.026	0.010	0.028
Q193&GC08&Q192	GC04	0.010	0.009	-0.015	0.008	0.017

4. 最小二乘配置坐標轉換

由上述研究成果資料中顯示，雖然固定兩個已知點且雙移動站重複觀測後，可大提增加點位的可靠度，惟對已公佈的各級已知點成果在實務地籍測量作業上具有一定的法律性質，不宜輕易變動，故本研究中，將計算出來的初步成果進行四參數平面坐標轉換，並將三等控制點部分(已知坐標)視為共同點，進行最小二乘配置處理，將所有已知點重新套合至原公佈成果，使成果一致得以銜接其他年度成果，結果顯示，使用最小二乘配置的方法，並選擇原本三等控制點位已知共同點，已知點在轉換後坐標時將約制在已公告成果(坐標不變)，新設點位所得成果將更佳(更接近已公告成果)，除固定一個主站測試範例中有大於 3cm 外，其餘結果均小於 3cm，符合後續測量作業需求。

表 4：使用最小二乘配置方法所得距離較差最大者彙整表

一、二組合併

所用固定主站	dSmax-name	ndef(m)	edef(m)	dN	dE	dS
GC08	GC04	0.002	0.002	-0.009	0.016	0.018
Q161	GC04	0.001	0.001	-0.001	0.031	0.031
Q192	GC04	0.002	0.001	-0.021	0.012	0.024
Q193	GC04	0.003	0.003	-0.015	0.010	0.018
所用固定主站	dSmax-name	ndef(m)	edef(m)	dN	dE	dS
GC08&Q193	GC03	0.000	0.001	-0.007	0.015	0.017
GC08&Q192	GC04	0.002	0.001	-0.016	0.013	0.021
GC08&Q161	GC04	0.003	0.002	-0.012	0.013	0.018
Q192&Q193	GC04	0.002	0.001	-0.014	0.008	0.016
Q193&Q161	GC04	0.001	0.002	-0.019	0.011	0.022
Q192&Q161	GC04	0.001	0.002	-0.019	0.011	0.022
所用固定主站	dSmax-name	ndef(m)	edef(m)	dN	dE	dS
Q193&GC08&Q161	GC03	0.002	0.001	-0.010	0.012	0.016
Q161&Q192&Q193	GC04	0.002	0.000	-0.015	0.006	0.016

Q192&GC08&Q161	GC04	0.002	0.001	-0.014	0.010	0.017
Q193&GC08&Q192	GC04	0.002	0.001	-0.014	0.008	0.016
所用固定主站	dSmax-name	ndef(m)	edef(m)	dN	dE	dS
Q193&GC08&Q192&Q161	GC04	0.002	0.000	-0.015	0.008	0.017

(二) 白沙重測區

1. 固定一個主站

吾人先計算固定一個已知點部分，同樣分為第一組移動站、第二組移動站及二者合併計算（視為第三組），先對固定一個主站其第一組與第二組移動站之成果進行點位重複性分析，分析如下：

- (1) 水平分量較差僅在 X004 為主站，點位 GA14 在 E 坐標差值為-0.043M，距離較差為 0.044M，其餘四站的第一組與第二組移動站之點位重複性分析，水平分量較差及距離較差均在 0.04M 以內，符合三等衛星控制點重複觀測基線水平分量之差值 30mm+6ppm(基線長以 2KM 計，則容許誤差為 0.042M)。
- (2) 垂直分量之較差，在 F025 主站有 GA03 為 0.119M、GA14 為-0.113M，在 F907 主站有 GA03 為 0.103M、GA14 為-0.135M，在 X004 主站有 GA12 為-0.106M、GA16 為-0.119M，在 X009 主站有 GA12 為-0.106M，其餘四站的第一組與第二組移動站之點位重複性分析，垂直分量較差均在 0.10M 以內，符合三等衛星控制點重複觀測基線垂直分量之差值 75mm+15ppm(基線長以 2KM 計，則容許誤差為 0.105M)。

由上顯示在本實驗區固定一個主站其第一組與第二組移動站之成果的點位重複性分析，大部分符合作業規範，彙整成果較差最大值與最小值詳如下表 5。

表 5：固定一個主站時，第一組與第二組移動站的成果較差之最大值及最小值

主站	差值(MAX)				差值(MIN)		
	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)	Ds (m)	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)
F025	0.022	0.035	0.119	0.035	-0.032	-0.024	-0.133
F907	0.030	0.028	0.103	0.037	-0.032	-0.026	-0.135
X004	0.019	0.036	0.091	0.044	-0.028	-0.043	-0.119
X009	0.031	0.023	0.098	0.035	-0.033	-0.030	-0.106

單主站成果統計如下表 6，分析如下：

- (1) 在平面分量較差，第一組最大差異量約 4.3 公分，出現在主站約制 F907 之 GA17 點位，第二組最大差異量約 4.3 公分，出現在主站約制 X004 之 GA16 點位，二組移動站合併計之最大差異量約 4.4 公分，出現在主站約制在 X004

之 GA14 點位上。

- (2) 在高程分量較差，不論第一組、第二組或第一、二組合併均有部分超過 0.10M，且第二組成果較第一組為差。

由上得知以單一主站而言，部分水平成果超出 30mm+6ppm 甚多，顯示若僅約制單主站成果不論是一個移動站或者是二個移動站重複觀測成果均不符規範，原因為單主站成果會受該主站之點位變化影響（點站變化量包含原測量成果誤差、點位對點誤差等），且原測量成果為全組合基線計算，再加上強制附合平差，故本研究應用最小二乘配置法，將單主站成果套合至檢測合格之已知點成果，使上級點位及歷年測設點位能維持相同坐標，方能符合測量成果一致性。

表 6：固定一個主站所得成果較差最大者比較表

第一、二組合併平差

主站	差值(MAX)				差值(MIN)		
	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)	ds	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)
F025	0.010	0.020	0.115	0.030	-0.028	-0.015	-0.085
F907	0.000	0.012	0.158	0.036	-0.036	-0.013	-0.044
X004	0.022	0.017	0.058	0.023	-0.017	-0.019	-0.116
X009	0.015	0.014	0.063	0.027	-0.016	-0.023	-0.123

單主站成果應用最小二乘配置法套合至檢測合格之已知點成果，例如：單主站 F025 成果套合至 F025、F338、F907、S334、X004、X009、X014、X015、X016 及 X020 等已知點坐標成果上，其成果統計如表 7，第一個移動站或二個移動站重複觀測成果在平面分量之最大差異均 0.040M 以內，已符合三等衛星控制點重複觀測基線水平分量之差值 30mm+6ppm（基線長以 2KM 計，則容許誤差為 0.042M）。

表 7：固定一個主站之最小二乘配置法成果所得成果較差最大者比較表

第一、二組合併平差

主站	差值(MAX)				差值(MIN)		
	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)	ds	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)
F025	0.013	0.016	0.147	0.027	-0.023	-0.016	-0.086
F907	0.011	0.010	0.112	0.024	-0.024	-0.009	-0.097
X004	0.019	0.019	0.081	0.027	-0.025	-0.012	-0.093
X009	0.019	0.015	0.103	0.021	-0.016	-0.010	-0.111

2. 固定二個主站

計算固定二個已知點部分（對四個主站每種移動站均有六種組合），同樣分為第一組移動站、第二組移動站及二者合併計算（視為第三組），成果統計如下表 8，最大差異量超過 4 公分者，說明如下：

- (1) 第一組最大差異量約 5.3 公分，出現在主站約制 F025 及 F907 之 GA17 點位，另在主站約制 F907 及 X004 之 F338、GA17 點位差異量分別為 4.3、4.5 公分。
- (2) 第二組最大差異量約 4.7 公分，出現在主站約制 F907 及 X004 之 F338 點位，另在主站約制 F025 及 X004 之 GA16 點位差異量為 4.2 公分。
- (3) 二組移動站合併計之最大差異量約 4.4 公分，出現在主站約制在 F025 及 F907 之 GA17 點位、F907 及 X004 之 F338 點位上。

以固定二個主站而言，仍有部分成果超出三、四等衛星控制點成果精度 95% 信心區間 30mm+6ppm 甚多，故本研究應用最小二乘配置法，將成果套合至檢測合格之已知點成果。

表 8：固定二個主站所得成果較差最大者比較表

第一、二組

主站	差值(MAX)				差值(MIN)		
	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)	ds	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)
F025,F907	0.000	0.024	0.123	0.044	-0.042	-0.016	-0.074
F025,X004	0.019	0.020	0.095	0.023	-0.014	-0.009	-0.094
F025,X009	0.013	0.016	0.092	0.022	-0.020	-0.018	-0.098
F907,X004	0.019	0.032	0.098	0.044	-0.034	-0.028	-0.083
F907,X009	0.001	0.012	0.101	0.036	-0.036	-0.014	-0.092
X004,X009	0.020	0.011	0.062	0.028	-0.017	-0.026	-0.113

兩個主站成果應用最小二乘配置法套合至檢測合格之已知點成果，例如：兩個主站 F025、F907 成果套合至 F025、F338、F907、S334、X004、X009、X014、X015、X016 及 X020 等已知點坐標成果上，其成果統計如表 9，第一個移動站或二個移動站重複觀測成果在平面分量之最大差異均 0.040M 以內，已符合三、四等衛星控制點成果精度 95% 信心區間 30mm+6ppm（基線長以 2KM 計，則容許誤差為 0.042M）。

表 9：固定二個主站之最小二乘配置法成果所得成果較差最大者比較表

第一、二組

主站	差值(MAX)				差值(MIN)		
	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)	ds	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)
F025,F907	0.013	0.015	0.107	0.025	-0.023	-0.011	-0.104
F025,X004	0.014	0.018	0.126	0.026	-0.022	-0.011	-0.087

F025,X009	0.015	0.016	0.129	0.024	-0.019	-0.013	-0.090
F907,X004	0.014	0.021	0.086	0.024	-0.020	-0.011	-0.102
F907,X009	0.015	0.013	0.097	0.020	-0.020	-0.008	-0.112
X004,X009	0.018	0.017	0.093	0.023	-0.020	-0.006	-0.103

3. 固定三個主站

計算固定三個已知點部分（對四個主站每個移動站均有四種組合），同樣分為第一組移動站、第二組移動站及二者合併計算（視為第三組），詳如下表 10，分析如下：

- (1) 在水平分量較差，第一組最大差異量約 3.5 公分，出現在主站約制 F025、F907 及 X004 之 GA17 點位，第二組最大差異量約 3.2 公分，出現在主站約制 F025、X004 及 X009 之 GA16 點位，二組移動站合併計之最大差異量約 2.6 公分，出現在主站約制在 F025、F907 及 X004 之 GA17 點位上。
- (2) 在高程分量較差，在約制 F025、F907 及 X009 三個主站之幾何高（垂直分量）差值高達 0.40M 明顯較其他第三種主站為差，應有錯誤存在。

以固定三個主站而言，成果之水平分量之較差均小於 30mm+6ppm 規範，顯示若約制三個主站，成果可符合地籍測量實施規則的三、四等衛星控制點成果精度之要求。惟使上級點位及歷年測設點位能維持相同坐標，故本研究應用最小二乘配置法，將成果套合至檢測合格之已知點成果。

表 10：固定三個主站所得成果較差最大者比較表

第一、二組

主站	差值(MAX)				差值(MIN)		
	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)	ds	N 坐標 (m)	E 坐標 (m)	幾何高 (m)
F025,F907,X004	0.012	0.020	0.166	0.026	-0.021	-0.007	-0.125
F025,F907,X009	0.006	0.013	0.318	0.023	-0.021	-0.015	-0.376
F025,X004,X009	0.015	0.014	0.083	0.021	-0.019	-0.016	-0.105
F907,X004,X009	0.009	0.013	0.161	0.021	-0.019	-0.013	-0.093

三個主站成果應用最小二乘配置法套合至檢測合格之已知點成果，例如：三個主站 F025、F907 及 X004 成果套合至 F025、F338、F907、S334、X004、X009、X014、X015、X016 及 X020 等已知點坐標成果上，第一個移動站或二個移動站重複觀測成果在平面分量之最大差異均 0.040M 以內，已符合三等衛星控制點重複觀測基線水平分量之差值 30mm+6ppm（基線長以 2KM 計，則容許誤差為 0.042M）。另外，在約制 F025、F907 及 X009 三個主站之幾何高（垂直分量）差值明顯由 0.40M 改善至 0.20M，惟仍較單主站、雙主站及其他第三種三個主站之高程較差為差，待進一步探討其發生原因。

(三) 五結重測區

1. 固定一個主站

固定一個已知點同樣分為第一組移動站、第二組移動站及二者合併計算(視為第三組)，成果統計如下表 11，第一組最大差異量約 17.5 公分，出現在主站約制 N718 之 GB04 點位，距離差異在 3 公分內之點數百分比最大的佔 33%，出現在主站約制在 GB01；第二組最大差異量約 15.9 公分，出現在主站約制 N718 之 GB04 點位，距離差異在 3 公分內之點數百分比最大的佔 44%，出現在主站約制在 GB01、N407；二組移動站合併計算之最大差異量約 17.8 公分，出現在主站約制在 N718 之 GB04 點位上，距離差異在 3 公分內之點數百分比最大的佔 39%，出現在主站約制在 GB01 點位上。

由以上數據顯示，三組實驗最大差異量均發生在約制 N718 之 GB04 點位上，該兩點位於本實驗區之最北及最南邊、距離約 8,235 公尺，除了距離略長外，主站發生不均勻變位也是另一個主要原因；以本實驗區而言，單一主站大部分成果超出 3 公分甚多，顯示若僅約制單主站成果不論是一個移動站或者是二個移動站重複觀測成果均不符規範。

表 11：固定一個主站所得距離較差最大者比較表

第一組 A

固定站	Dsmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01	2084	0.006	0.007	0.117	-0.062	0.159	9/27
GC05	2084	0.006	0.007	0.095	-0.063	0.114	7/27
N407	2084	0.007	0.007	0.106	-0.127	0.165	9/27
N718	GB04	0.007	0.008	-0.081	0.155	0.175	0/27

第二組 B

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01	N718	0.002	0.002	0.069	-0.125	0.143	11/25
GC05	N718	0.002	0.002	0.058	-0.073	0.093	5/25
N407	N718	0.002	0.002	0.070	-0.135	0.152	11/25
N718	GB04	0.004	0.003	-0.075	0.159	0.176	0/25

第一二組合併 C

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01	N718	0.003	0.002	0.070	-0.126	0.144	11/28
GC05	N718	0.003	0.002	0.059	-0.073	0.094	7/28
N407	N718	0.003	0.002	0.069	-0.135	0.152	10/28
N718	GB04	0.007	0.006	-0.082	0.158	0.178	1/28

2. 固定二個主站

計算固定二個已知點部分，同樣分為第一組移動站、第二組移動站及二者合併計算(視為第三組)，成果統計如下表 12，第一組最大差異量約 17 公分，出現在主站約制 GB01、N407 之 2084 點位，距離差異在 3 公分內之點數百分

GPS 快速靜態測量辦理四等控制測量作業方式與精度分析

比最大的佔 58%，出現在主站約制在 GC05 及 N718。第二組最大差異量約 15.3 公分，出現在主站約制 GB01、N407 之 N718 點位，距離差異在 3 公分內之點數百分比最大的佔 46%，出現在主站約制在 GB01 及 N407。二組移動站合併計之最大差異量約 15.4 公分，出現在主站約制在 GB01 及 N407 之 N718 點位上，距離差異在 3 公分內之點數百分比最大的佔 52%，出現在主站約制在 GC05 及 N718 點位上。

以固定二個主站而言，雖然大部分成果仍無法符合 3 公分之要求，但可以看出固定二個主站之成果確實比約制單主站之成果好。

表 12 固定二個主站所得距離較差最大者比較表

第一組 A

固定站	Dsmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01、GC05	N407	0.005	0.005	0.009	0.115	0.148	12/26
GC05、N407	2084	0.010	0.011	0.159	-0.016	0.160	8/26
N407、N718	N949	0.014	0.009	-0.117	-0.021	0.119	1/26
N718、GB01	N407	0.003	0.003	0.093	0.067	0.115	11/26
GB01、N407	2084	0.019	0.022	0.118	-0.122	0.170	8/26
GC05、N718	N407	0.003	0.003	0.063	0.072	0.096	15/26

第二組 B

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01、GC05	N407	0.006	0.006	0.089	0.113	0.144	4/24
GC05、N407	2084	0.011	0.011	0.123	0.006	0.123	6/24
N407、N718	N949	0.009	0.010	-0.048	0.002	0.142	2/24
N718、GB01	N407	0.003	0.003	0.091	0.066	0.112	9/24
GB01、N407	N718	0.005	0.005	0.083	-0.129	0.153	11/24
GC05、N718	N407	0.003	0.003	0.062	0.071	0.094	9/24

第一二組合併 C

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01、GC05	N407	0.007	0.006	0.090	0.117	0.148	7/27
GC05、N407	2084	0.011	0.012	0.140	-0.005	0.140	8/27
N407、N718	N949	0.016	0.012	-0.118	-0.024	0.120	3/27
N718、GB01	N407	0.003	0.003	0.092	0.067	0.114	11/27
GB01、N407	N718	0.005	0.005	0.083	-0.130	0.154	9/27
GC05、N718	N407	0.004	0.004	0.062	0.072	0.095	14/27

3. 固定三個主站

計算固定三個已知點部分，同樣分為第一組移動站、第二組移動站及二者合併計算（視為第三組），成果統計如下表 13，第一組最大差異量約 15 公分，出現在主站約制 GB01、GC05 及 N407 之 2084 點位，距離差異在 3 公分內之點數百分比最大的佔 44%，出現在主站約制在 N718、GB01、GC05 點位上。第二組最大差異量約 12.3 公分，出現在主站約制 GC05、N407、N718 之 N949 點位，距離差異在 3 公分內之點數百分比最大的佔 48%，出現在主站約制在 GB01、GC05、N407 點位上。二組移動站合併計之最大差異量約 11.4 公分，出現在主站約制在 GB01、GC05、N407 之 2084 點位上，距離差異在 3 公分內之點數百分比最大的佔 62%，出現在主站約制在 N407、N718、GB01 點位上。

以固定三個主站而言，成果雖比起第一組及第二組之成果好，但還是無法全數達到地籍測量實施規則的要求小於 30mm+6ppm 規範，顯示本實驗區由於存在主站點位坐標成果不佳，以致使得後續施測所得移動站坐標成果品質無法提升，為改善本實驗區之坐標品質，吾人採用最小二乘配置法針對以上成果進行坐標轉換。

表 13：固定三個主站所得距離較差最大者比較表

第一組 A

固定站	Dsmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01、GC05、N407	2084	0.021	0.024	0.114	-0.097	0.150	10/25
GC05、N407、N718	N949	0.035	0.021	-0.103	-0.015	0.104	7/25
N407、N718、GB01	N949	0.051	0.030	-0.089	-0.022	0.092	10/25
N718、GB01、GC05	N407	0.003	0.003	0.086	0.070	0.111	11/25

第二組 B

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01、GC05、N407	N718	0.007	0.108	0.072	-0.086	0.112	11/23
GC05、N407、N718	N949	0.039	0.043	-0.115	-0.044	0.123	5/23
N407、N718、GB01	N949	0.032	0.037	-0.103	-0.052	0.115	9/23
N718、GB01、GC05	N407	0.003	0.003	0.085	0.071	0.111	6/23

第一二組合併 C

固定站	dSmax	sigma-n	sigam-e	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01、GC05、N407	2084	0.020	0.022	0.096	-0.061	0.114	12/26
GC05、N407、N718	N949	0.030	0.021	-0.096	-0.015	0.097	8/26
N407、N718、GB01	N949	0.039	0.027	-0.078	-0.025	0.082	16/26
N718、GB01、GC05	N407	0.004	0.004	0.078	0.071	0.105	12/26

4. 最小二乘配置坐標轉換

由於本實驗區已知點坐標與實測之坐標間有明顯差異存在，且已知點公告坐標有其法律性質，為使移動站坐標套合至附近已知點坐標系統上，採用最小二乘配置進行坐標轉換。由以上兩實驗區可知，固定兩個主站之方式，可提高

移動站站標之可靠性，故本坐標轉換亦僅針對 C 組固定兩個主站之資料分析，並將測區內已知點均視為兩坐標系轉換之共同點，由轉換後之坐標顯示，六種組合方式中所有點位差異均在 3 公分以內，顯示經過坐標轉換，成果可符合地籍測量實施規則的要求。

表 14：固定二個主站所得距離較差最大者比較表

第一二組合併 C

固定站	dSmax	dN	dE	dS	(dS<3cm)/(total pt)
GB01、GC05	GC04	-0.002	0.029	0.029	29/29
GC05、N407	GC04	-0.001	0.028	0.028	29/29
N407、N718	GC04	-0.002	0.028	0.028	29/29
N718、GB01	GC04	-0.001	0.029	0.029	29/29
GB01、N407	GC04	-0.001	0.030	0.030	29/29
GC05、N718	GC04	-0.001	0.029	0.029	29/29

四、問題討論

由上述成果分析中發現，在使用約制 2 個固定站的成果已可符合地籍測量實施規則的平面要求，倘吾人在使用一次平面坐標轉換，以三等控制點為共同點，進行發現成果將更貼近目前規定已知點不可變動的實務作業規定，且成果更佳。另外，倘以 2 個固定站及 2 個移動站進行鹿草重測區四等控制點測設作業，將僅需 4 部儀器 8 個作業人員，在一天 3.5 小時（含移動換站時間）的作業時程內即可完成是項測量作業，較傳統需 8 部儀器 16 個作業人員 4 個時段觀測（每一段觀測 1 小時，含移動時間 0.5 小時），共花費 2 天[第 1 天 3 個時段，第 2 天 1 個時段]，可大幅節省外業人力、儀器及時間，詳如下表 15，且所有點位百分之百重複觀測，大幅增加可靠度。同樣均以二個主站二個移動方式換算澎湖白沙及宜蘭五結試驗區外業觀測時間、人員及基線計算量，彙制比較表如下 16 及 17，三個測區發現使用快速靜態的方式大約可以節省 70 % 的儀器觀測時數，且基線計算數目以減少至僅剩約 40 %。

表 15：鹿草測試區兩種作業方式儀器人力時間比較表

項目	傳統靜態方式	雙主站快速靜態方式
儀器	8 部	4 部
人力	16 人	8 人
時間	兩天[約 6 小時]	一天[3.5 小時]
計算基線數	99 條	40 條
儀器觀測時間	48 小時	14 小時

表 16：白沙測試區兩種作業方式儀器人力時間比較表

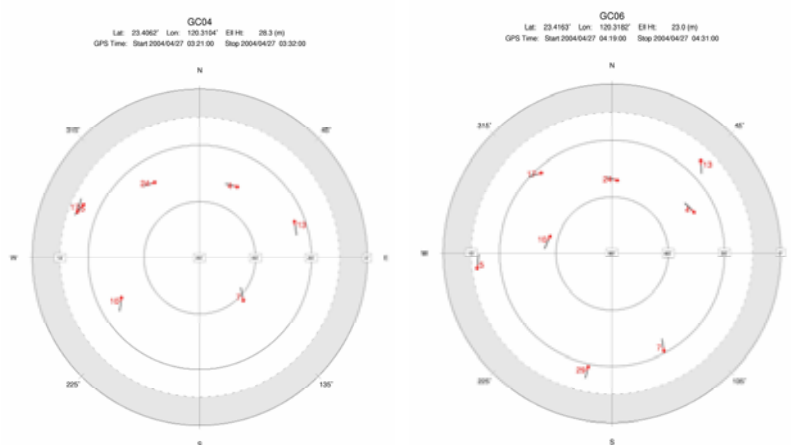
項目	傳統靜態方式	雙主站快速靜態方式
儀器	8 部	4 部
人力	16 人	8 人

時間	兩天[約 10 小時]	一天[7 小時]
計算基線數	280 條	108 條
儀器觀測時間	80 小時	28 小時

表 17：五結測試區兩種作業方式儀器人力時間比較表

項目	傳統靜態方式	雙主站快速靜態方式
儀器	8 部	4 部
人力	16 人	8 人
時間	四天[約 20 小時]	一天[8 小時]
計算基線數	280 條	92 條
儀器觀測時間	160 小時	32 小時

由另外在成果分析過程中發現，鹿草重測區在約制不同已知點及數量的觀測中，GC06 及 GC04 等二個點位的最大差異量出現頻率較高，經檢視點位照片發現 GC04 位置稀疏樹木旁，且距點位不到二公尺處即有一水泥電線桿，造成點位透空度遮蔽線現，影響衛星訊號接收。另在 GC06 附近，同樣有明顯大樹叢，也造成衛星訊號接收不完整，容易造成周波脫落影響算成果品質，故討使用快速靜態進行四等控制點觀測作業，對於點位透空受到遮蔽的影響需更加重視，衛星實際觀測圖如下。



在五結重測區，已知點分析過程中發現，已知點變位情形較為嚴重，距離變化最大者約有 10cm 較差，對於後續各級測量應用已造成影響，存在隱藏性危機，對於這樣的地區除本研究所得兩個主站及兩個移動站雙重檢核外，建議至少應該增加一個主站，且全面涵蓋整個測區，並且對於成果採用最小二乘配置的坐標轉換模式，來達到精度要求且符合規範，這樣的成果雖然反映出真實狀況但所得卻不代表真值，實際的控制點管理維護作業中，對於已知點變形造成點位成果的變異情形，特別是台灣宜蘭及花東縱谷地區，地殼受琉球海槽擴張及菲律賓海板塊向歐亞大陸板塊擠壓的影響，地表變形嚴重，即使是號稱高精度的 TWD97 坐標系統，成果在九二一地震後或花東地區地震頻繁因素下，部分地區成果已逐漸喪失其原測設時的成果精度及一致性，怎樣的週期該檢測控制點或點位位移超過多少公分須重新公告新坐標，都值得再進一步加以分析討論。

五、 結論

由研究成果顯示，在短距離小範圍內（約離主站五公里），若使用快速靜態方式辦理四等控制點作業，建議至少需使用 2 個主站及 2 個移動站（儀器均為雙頻全波長），對每個新設點位均百分之百重複觀測，且檢核測區內已知點，如此將可大幅增加成果精度及可靠度。本研究所選取鹿草試驗地點為台灣西南部地區，地殼位移量較小且整體均勻，已知點間相對變形較小，故雙主站模式在未使用最小二乘配置處理前，成果已概略可用（小於 30mm+6ppm），但倘位於台灣東部，如五結重測區，每年位移量約 2-3 公分，且為不均勻位移情形，則必須使用最小二乘配置的資料處理模式，方能達到精度要求。

另從觀測時間便利性而言，使用快速靜態方式對於每一移動站而言，僅須留意自己的觀測時間，觀測量足夠（如六顆星十分鐘）即可離開到下一個施測點位，無需理會其他移動站的觀測作業情形，比起以往靜態觀測要求全數移動站須同時共同觀測 45 分鐘以上（以最後一個抵達點位開始觀測為主開始計算），來的便利及具機動彈性，僅須配合交通動線，規劃施測順序及重複觀測時間間隔。

使用快速靜態辦理四等控制測量，因每個點位僅觀測約十分鐘的觀測時間，對於點位透空度的要求將更趨嚴苛，點位週遭環境比使用靜態測量方式更需考量，以期在觀測時間內接收到最完整且資料品質為佳的 GPS 衛星訊號觀測量。對於雙主站位置的選取而言，以三個試驗區 18 個試驗例中，雙主站該擺設位置與計算成果並無明顯關聯，惟配合前人對快速靜態基線計算模式距離的研究成果，建議新設點位與主站間的距離以不超過 5km 為原則。

使用快速靜態測量方式，在達成相同精度的要求下，可減少外業人力需求、儀器數量、作業時間及基線資料處理量，整體而言大約可節省三分之二的儀器觀測時間數及減少一半以上的基線解算數量，對於本局地籍圖重測人力逐漸減少及重測區逐年朝向郊區、面積縮小，正符合快速靜態測量辦理四等控制測量的作業方式與條件，使用快速靜態方式辦理四等控制測量是一個不錯的解決方案。

台灣處於地殼變動劇烈地區，控制點位位移情形快速，部分地區成果已逐漸喪失其原測設時的成果精度及一致性，內政部或土地測量局對於台灣地區控制點坐標管理維護，應積極研擬一套管理維護機制，以因應快速變化的外在環境及各項高精度定位的需求，方能提供更快速及準確的定位服務。

六、 致謝

本研究為土地測量局 93 年度自行研究案成果，並由成功大學余致義老師提供最小二乘配置程式，特此致謝。

七、 參考文獻

1. 曾德福，1997。台灣省八十六年度地籍圖重測工作簡報，台灣省政府地政處土地測量局，台中。
2. 龔昶榮，1989，GPS 衛星測量應用於控制測量，國立成功大學航空測量研究所碩士論文，台南。
3. 劉正倫、梁旭文，1994。GPS 衛星控制測量應用於地籍圖重測，第一屆 GPS 衛星定位技術研討會論文集，國立成功大學，台南，pp. 231-254。
4. 蕭志書，1996。快速強鈍即時性 GPS 動態測量系統之研究，國立成功大學

測量研究所碩士論文，台南。

5. 孫連水，1997。即時動態 GPS 測量應用於控制測量與戶地測量之研究，國立成功大學測量研究所碩士論文，台南。
6. 曾清涼、儲慶美，1999，GPS 衛星測量原理與應用，國立成功大學 衛星資訊研究中心。
7. 內政部土地測量局，2004，內政部土地測量局辦理四等控制點衛星測量作業手冊。
8. 吳萬順、陳鶴欽、梁旭文、林世賢、陳俊廷，2004，應用 GPS 快速靜態測量方式辦理四等控制測量作業規範之研究，內政部土地測量局。
9. Paul R. Wolf，Charles D. Ghilani，1997，Adjustment Computations statistics and least squares in Surveying and GIS，p430-435。

