

應用GPS快速靜態測量辦理四等控制測量作業之研究—以鹿草重測區為例

GPS Rapid Static Surveying For Fourth-Order Control Point — A Case Study At LuhTsao Area

陳鶴欽¹、梁旭文²、陳俊廷³、吳萬順⁴

摘要

GPS快速靜態測量已被證實在短距離基線測量時，精度可達15mm+1ppm的精度，為受限於上級控制點間可能存在不確定的變動情形，故目前辦理地籍圖重測四等控制測量實務作業時，仍要求作業人員須以靜態測量方式，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九十三年嘉義縣鹿草重測區為例，比較嚴密時段觀測靜態測量成果與快速靜態成果差異，發現在使用快速靜態與雙固定主站作業模式，所得結果與嚴密時段規劃作業方式成果較差小於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

一、前言

近年由於GPS發展快速，已普遍被應用於控制測量、地殼變位監測、汽車導航....等等各方面，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

¹內政部土地測量局測量員/成功大學地球科學系博士生
email: lsb23012@mail.lsb.gov.tw TEL:04-22522966#331

²內政部土地測量局課長

³內政部土地測量局測量員

⁴內政部土地測量局局長

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]。

目前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，以避免因周遭環境因素造成因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，且該設置一個主站或兩個以上，且主站事該設置與測區中央位置或測區邊緣，均會造成不同結果，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。

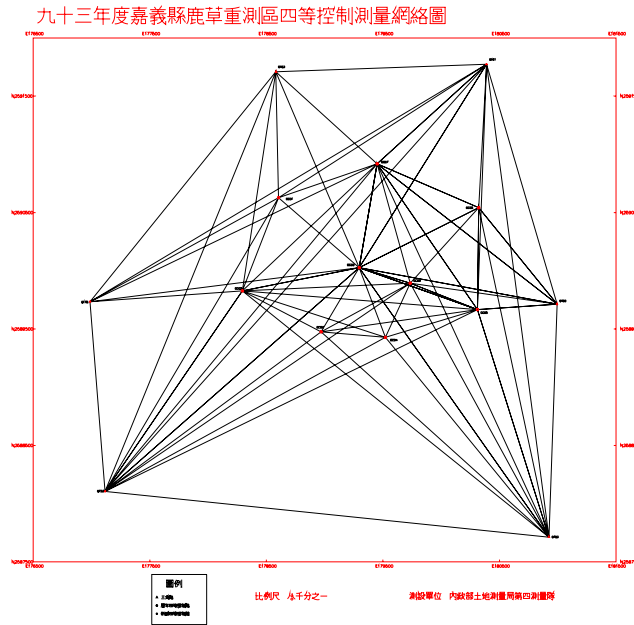
二、資料蒐集

因應地籍圖重測業務近年來漸漸遠離都市地區，本次實驗選取內政部土地測量局辦理九十三年度嘉義縣鹿草重測區，該測區位於鹿草鄉四至天然界，東邊以大排水溝及外環道路為界（一六三縣道）。西邊以外環道路為界。南邊以外環道路為界。北邊以灌溉水圳為界。本試驗區為前述典型重測區，漸往郊區且零星部落，整體仍以農地為主。本重測區原本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，並依據本局地籍圖重測相關作業辦理選點、網形規劃、外業觀測及資料計算等作業，相關成果並已供九十三年度地籍圖重測後續測量作業使用且成果已於九十三年十月辦理公告完畢。

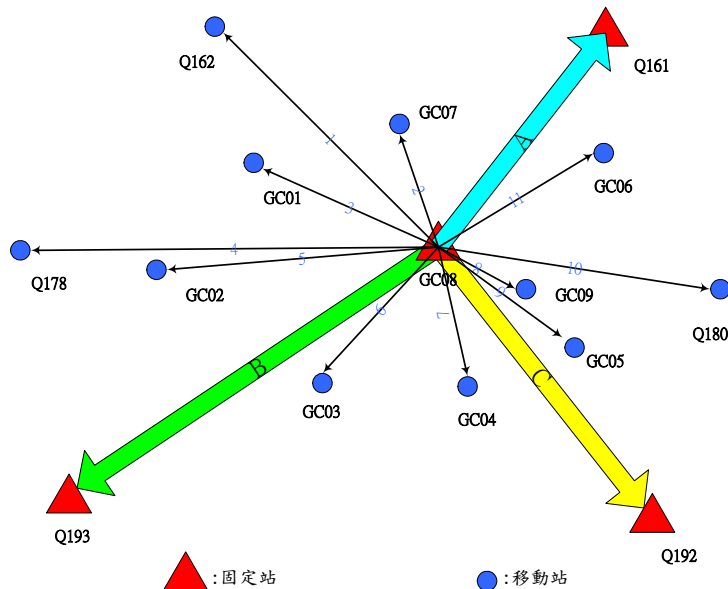
本次作業係依據該重測區已完成點位使用六個三等控制點及新設九個四等控制點，吾人依據數量及位置選取Q161、Q192、Q193（上開三點位於外圍）及GC08（位於測區中間地帶）為主站，另將使用兩部GPS接收儀視為移動站，對於其他點位均加以觀測，共計使用6部儀器12位作業人員。故除主站外，其他點位被不同儀器，在不同時間重複觀測過，大幅增加點位成果可靠度。另為分析不同主站位置或主站多寡造成成果的影響，將分別分析採用一個主站（四種組合）、二個主站（六種組合）及三個主站（四種組合）所造成的差異，以分析爾後主站擺設的位置及數量。

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，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（視為A），第二組移動站成果（視為B）及第一、二組合應計算成果（視為C），另針對主站觀測時間長短，亦擷取不同觀測時間段作密合圈成果分析。



圖一：嚴密網形規劃的網形觀測分布圖



圖二：鹿草重測區快速靜態作業方式示意圖

三、成果分析

§3.1 分析主站不同觀測時間成果

本次外業作業約觀測三個小時，吾人乃分別針對四個主站所形成三角形密合圈，在不同觀測時間段作成果分析，分別比較1HR、1.5HR及3HR的觀測時間段下，對四個三角形密合圈的成果差異，成果統計如下表1，對同一密合圈而言，Q193-Q192-Q161距離誤差最大（12842.4763M）與最小（12842.4354M）差值約為0.0409M(約3.2PPM)；Q193-GC08-Q161距離誤差最大（9884.1623M）與最小（9884.1052M）差值約為0.0571M(約5.7PPM)；Q193-GC08-Q192距離誤差最大（9565.0867M）與最小（9565.0414M）差值約為0.0453M(約4.7PPM)；Q161-GC08-Q192距離誤差最大（8986.3666M）與最小（8986.3479M）差值約為0.0187M(約2.1PPM)，顯示在不同觀測時間及觀測時間長短不同狀況下，三角形密合狀況穩定性一致，本次各主站間基線成果良好，另顯示快速靜態過程中，移動站與不同觀測時間之主站所呈現單基線成果應為一致可靠的狀態。

表一：主站間不同觀測時間段的三角形密合圈分析 單位：m

Time	start	by	end	total dist	total error(PPM)	N_error	E_error	U_error	n_ppm	e_ppm	u_ppm
09:00-10:00	Q193	Q192	Q161	12842.4354	0.1982	0.0004	0.0003	0.0025	0.0307	0.0252	0.1942
09:00-10:00	Q193	GC08	Q161	9884.1136	1.5434	-0.0002	0.0000	-0.0153	-0.0018	-0.0177	-1.5433
09:00-10:00	Q193	GC08	Q192	9565.0414	1.3756	-0.0009	-0.0004	0.0131	-0.0927	-0.0394	1.3719
09:00-10:00	Q161	GC08	Q192	8986.3555	0.0848	-0.0007	-0.0001	0.0004	-0.0741	-0.0094	0.0401
10:00-11:00	Q193	Q192	Q161	12842.4508	0.3682	0.0035	0.0005	-0.0032	0.2701	0.0408	-0.2468
10:00-11:00	Q193	GC08	Q161	9884.1298	3.2567	0.0010	0.0055	-0.0317	0.1054	0.5568	-3.2070
10:00-11:00	Q193	GC08	Q192	9565.0710	0.8608	-0.0042	-0.0015	0.0069	-0.4371	-0.1540	0.7254
10:00-11:00	Q161	GC08	Q192	8986.3479	4.0161	0.0018	0.0065	-0.0355	0.1949	0.7207	-3.9461
11:00-12:00	Q193	Q192	Q161	12842.4513	0.6322	-0.0006	0.0026	-0.0077	-0.0477	0.2009	-0.5975
11:00-12:00	Q193	GC08	Q161	9884.1293	0.4927	0.0001	0.0001	0.0049	0.0144	0.0052	0.4924
11:00-12:00	Q193	GC08	Q192	9565.0487	0.6529	-0.0004	-0.0015	0.0061	-0.0445	-0.1552	0.6326
11:00-12:00	Q161	GC08	Q192	8986.3666	0.7433	-0.0012	0.0010	-0.0065	-0.1317	0.1159	-0.7223
09:00-10:30	Q193	Q192	Q161	12842.4350	0.7477	0.0056	0.0078	0.0003	0.4377	0.6058	0.0211
09:00-10:30	Q193	GC08	Q161	9884.1052	1.0686	0.0007	0.0042	0.0097	0.0755	0.4268	0.9768
09:00-10:30	Q193	GC08	Q192	9565.0477	0.1150	0.0010	0.0004	-0.0001	0.1066	0.0411	-0.0129
09:00-10:30	Q161	GC08	Q192	8986.3538	1.1709	-0.0039	-0.0032	0.0093	-0.4287	-0.3529	1.0309
10:30-12:00	Q193	Q192	Q161	12842.4763	0.1259	-0.0001	0.0014	-0.0008	-0.0086	0.1071	-0.0656
10:30-12:00	Q193	GC08	Q161	9884.1623	0.2859	-0.0002	-0.0012	-0.0026	-0.0170	-0.1213	-0.2584
10:30-12:00	Q193	GC08	Q192	9565.0867	0.3669	0.0001	-0.0001	0.0035	0.0091	-0.0150	0.3664
10:30-12:00	Q161	GC08	Q192	8986.3556	0.0250	0.0002	0.0000	-0.0001	0.0216	-0.0035	-0.0120
09:00-12:00	Q193	Q192	Q161	12842.4499	0.9535	0.0049	0.0038	0.0106	0.3797	0.2956	0.8231
09:00-12:00	Q193	GC08	Q161	9884.1278	0.3891	0.0026	0.0024	-0.0015	0.2645	0.2430	-0.1497
09:00-12:00	Q193	GC08	Q192	9565.0602	0.4545	0.0010	-0.0002	0.0042	0.0995	-0.0215	0.4430
09:00-12:00	Q161	GC08	Q192	8986.3570	1.8520	-0.0032	-0.0012	-0.0163	-0.3585	-0.1319	-1.8122

§ 3.2 固定單一主站成果

吾人先計算固定一個已知點部分（即上述所提四個主站，故對每種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），成果統計如下表二，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。

表二：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
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

§ 3.3 固定二個主站成果

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），成果統計如下表三，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。

表三：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
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

§ 3.4 固定三個主站成果

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），成果統計如下表四，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，且整體而言以使用Q193、Q192及Q161涵蓋測區範圍較大，在A、B、C三種組合中為較佳。

表四：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

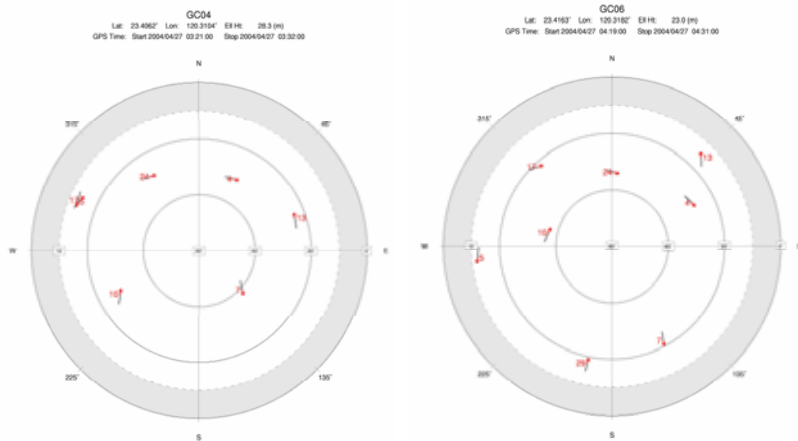
四、問題討論

由上述成果分析中發現，在使用約制二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，倘以二個固定站及二個移動站進行本重測區四等控制點測設作業，將僅需四部儀器八個作業人員，在一天3.5hr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，較傳統需八部儀器十六個作業人員四個時段觀測（每一段觀測1小時，含移動時間0.5小時），共花費二天[第一天三個時段，第二天一個時段]，可大幅節省外業人力、儀器及時間，詳如下表五，且所有點位百分之百重複觀測，大幅增加可靠度。

表五：兩種作業方式儀器人力時間比較表

項目	傳統嚴密方式	快速靜態方式
儀器	8 部	4 部
人力	16 人	8 人
時間	兩天[約 6HR]	一天[3.5HRS]

另外在成果分析過程中發現，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。



五、結論與建議

由研究成果顯示，在短距離小範圍內，若使用快速靜態辦理四等控制點作業，建議至少需使用二個主站及二個移動站，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。另外對於點位週遭環境，將比傳統使用靜態測量方式更需以考量，以期在觀測時間內接收到最多最完整的GPS衛星訊號觀測量，且資料品質為佳，所以除了目視外，選點時攜帶一掌上型GPS以研判點位環境及透空情形，將是一可行方案。

此外，本研究所選取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，倘位於台灣東部，如蘭陽平原或花東縱谷地區，每年位移量約 2-3 公分，且為不均勻位移情形，則本作業方式是否可行，將值得再進一步研究。

六、致 謝

本研究由土地測量局提供相關儀器及第四測量隊鹿草工作站協助辦理外業測量作業，特此致謝。

七、參考文獻

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。