

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

GPS 固定站觀測資料之驗證制度研究



研究生：鍾易達

指導教授：陳春盛

中華民國九十四六月

GPS 固定站觀測資料之驗證制度研究

研究生：鍾易達

指導教授：陳春盛 博士

國立交通大學土木工程學系

摘 要

衛星固定站近年來，由內政部、中研院、氣象局、地調所及各學術團體所設置的 GPS 固定站已超過 100 座，未來若有了法定地位的賦予，將很有可能取代現有一等衛星控制點的功能。因此，各衛星追蹤站觀測資料品質的好壞就更形重要，讓他們在使用固定站資料計算前更具信心。本研究用的判定指標如下：

1. 觀測資料量
2. 週波脫落數(o/slps)
3. L1 的多路徑效應(mp1)
4. L2 的多路徑效應(mp2)
5. 接收儀時錶偏移量
6. 接收儀時錶穩定度



整體來看，本文所研究的六項指標中，以內接時間的頻率穩定度影響最大(fp)，次之為 Mp1、Mp2 的指標影響，第三為資料量與週波脫落數，最後為時鐘偏移量。

所以選擇衛星固定站，可以考慮先選擇品質指標中的頻率穩定度高與多路徑效應較小的固定站。

A Study on the Certification Institution of GPS Permanent Station

Student : Yi-Da Chung

Advisor : Dr. Chun-Sung Chen

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

Hundreds of GPS permanent stations are set up in the recent years in Taiwan. Because the stations are constructed by many of different organizations. The receiver's trademarks and data structure are also different. Therefore, the data collection and processing are also not convenient.

In this project, a certification institution is established to check the data quality for user's confidence.

The indexes used in this project are as follows:

1. The quantity of the observation data.
2. Cycle slips.
3. The multipath effect of L1.
4. The multipath effect of L2.
5. The clock error of the receiver.
6. The stability of the receiver's clock.

Using these six indexes, the data qualities of the permanent stations are estimated. Besides, the value of influence of these indexes for the permanent stations' data are considered. According to the results of the project, the reliability of the GPS permanent stations' data are analyzed for reference.

Using the quality control of the data, the precision and reliability of the data can be promoted.

目錄

中文摘要.....	I.
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
表 目 錄.....	IV
圖 目 錄.....	VII
第一章 前言.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 研究方法.....	3
1-3 研究內容.....	6
第二章 理論基礎.....	7
2-1 GPS 相對定位原理.....	7
2-2 資料品質分析指標.....	11
2-2-1 觀測資料量.....	11
2-2-2 多路徑效應.....	11
2-2-3 週波脫落.....	12
2-2-4 接收器內部時鐘與 GPS 時鐘的平均偏差量.....	13

2-2-5 接收儀內部時鐘頻率穩定度	14
2-3 GPS 接收儀量測系統追溯.....	17
第三章 實驗說明及資料處理.....	19
3-1 試驗場地說明.....	19
3-2 實驗步驟說明.....	20
3-3 資料處理.....	24
3-3-1 Bernese 軟體過去的發展.....	24
3-3-2 Bernese 軟體的主要的功能及架構.....	25
3-3-3 Bernese 軟體的特性及應用層面.....	25
3-3-4 Teqc 軟體介紹.....	28
第四章 研究成果及分析.....	30
4-1 固定站常用接收儀之指標計算與分析.....	30
4-1-1 Teqc 解算觀測資料品質成果.....	30
4-1-2 Bernese 5.0 版解算資料品質成果	34
4-2 基線計算與分析.....	40
4-2-1 短距離基線分析.....	40
4-2-2 長距離基線精度分析.....	42
4-2-3 綜合評估分析.....	43
4-3 三維坐標計算與分析.....	45
4-3-1 短距離相對定位坐標分析.....	45

4-3-2	長距離相對定位坐標分析	49
4-3-3	品質指標與相對定位精度之分析.....	53
4-4	品質指標應用於驗證固定站觀測資料	56
4-5	品質指標應用於特殊測量環境	58
第五章 結論與建議.....		59
參考文獻.....		61
附錄 A	接收儀 TEQC 解算成果.....	64
附錄 B	接收儀的穩定度與偏移量.....	68
附錄 C	長、短相對定位基線解成果.....	70
附錄 D	長、短 N、E、h 坐標解算成果.....	72



表 目 錄

表 2-1	Bernese5.0 對於 GPS 誤差的對策.....	7
表 3-1	2003 年架設設儀器廠牌型式及整置樁位一覽表.....	21
表 3-2	2002 年所架設儀器廠牌型式及整置樁位一覽表.....	21
表 4-1	不同型號接收儀之觀測量、MP1、MP2、o/slps.....	31
表 4-2	不同型號接收儀之觀測量、MP1、MP2、o/slps	33
表 4-3	A-D 編號號儀器內部時鐘的穩定度與偏差量.....	37
表 4-4	E-H 編號號儀器內部時鐘的穩定度與偏差量.....	38
表 4-5	A-D 編號儀器短基線的定位精度.....	40
表 4-6	E-H 編號儀器短基線的定位精度.....	41
表 4-7	A-D 編號儀器長基線的定位精度.....	42
表 4-8	編號 E-H 儀器長基線的定位精度.....	43
表 4-9	編號 A-D 短距離定位 N、E、h 三軸坐標標準差及三維合成量..	45
表 4-10	編號 E-H 短距離定位 N、E、h 三軸坐標標準差及三維合成量..	47
表 4-11	編號 A-D 長距離 N、E、h 三軸坐標標準差及三維合成量.....	49
表 4-12	編號 E-H 長距離 N、E、h 三軸坐標標準差及三維合成量.....	51
表 4-13	2003 年觀測品質指標與長、短距離相對定位精度.....	53
表 4-14	2002 年觀測品質指標與長、短距離相對定位精度.....	54
表 4-15	墾丁衛星追蹤站品質指標比較.....	56
表 4-16	特殊環境的指標比較.....	58

圖 目 錄

圖 2-1	GPS 衛星相對定位.....	8
圖 2-2	多路徑幾何關係圖.....	12
圖 2-3	時鐘偏差量及頻率穩定度解算流程圖.....	16
圖 2-4	GPS 接收儀量測系統追溯圖.....	18
圖 3-1	強制定心樁的定平機制.....	19
圖 3-2	國家 GPS 校正場平面示意圖.....	20
圖 3-3	外業觀測情形.....	22
圖 3-4	Bernese 軟體資料處理流程.....	27
圖 3-5	Teqc 的主要功能.....	29
圖4-1	編號A-D接收儀觀測資料量變化.....	31
圖4-2	編號A-D接收儀的MP1資料品質.....	31
圖4-3	編號A-D接收儀的MP2 資料品質.....	32
圖4-4	編號A-D接收儀o/slps資料品質.....	32
圖4-5	編號E-H接收儀觀測資料量變化.....	33
圖4-6	編號E-H接收儀的MP1資料品質.....	33
圖4-7	編號E-H接收儀的MP2 資料品質.....	34
圖4-8	編號E-H接收儀o/slps資料品質.....	34
圖4-9	TWTF站所使用的GPS接收儀.....	35
圖4-10	TWTF站所使用的銫原子鐘.....	35
圖4-11	TWTF站所使用的天線盤.....	36
圖4-12	編號F儀器在10月28日的穩定度.....	36
圖4-13	編號F儀器在10月28日的偏移量.....	37
圖4-14	編號A-D每日的穩定度.....	37

圖4-15	編號A-D每日的偏移量.....	38
圖4-16	編號E-H每日的穩定度.....	38
圖4-17	編號E-H每日的偏移量.....	39
圖4-18	A-D型儀器每日短基線定位精度變化.....	41
圖4-19	E-H型儀器每日短基線定位精度變化.....	41
圖4-20	A-D型儀器每日長基線定位精度變化.....	42
圖4-21	E-H型儀器每日長基線定位精度變化.....	43
圖4-22	編號A接收儀短距離三軸坐標變化量.....	46
圖4-23	編號B接收儀短距離三軸坐標變化量.....	46
圖4-24	編號C接收儀短距離三軸變化量.....	46
圖4-25	編號D接收儀短距離三軸變化量.....	47
圖4-26	編號E接收儀短距離三軸變化量.....	47
圖4-27	編號F接收儀短距離三軸變化量.....	48
圖4-28	編號G接收儀短距離三軸變化量.....	48
圖4-29	編號H接收儀短距離三軸變化量.....	48
圖4-30	編號A接收儀長距離三軸坐標變化量.....	50
圖4-31	編號B接收儀長距離三軸坐標變化量.....	50
圖4-32	編號C接收儀長距離三軸坐標變化量.....	50
圖4-33	編號D接收儀長距離三軸坐標變化量.....	51
圖4-34	編號E接收儀長距離三軸坐標變化量.....	51
圖4-35	編號F接收儀長距離三軸坐標變化量.....	52
圖4-36	編號G接收儀長距離三軸坐標變化量.....	52
圖4-37	編號H接收儀長距離三軸坐標變化量.....	52

第一章 前言

1-1 研究動機與目的

由於全球定位系統(Global Positioning System, GPS)的作業快速、方便且高精度，在近十年來已廣泛的應用於各種不同的領域，如地殼變形、斷層等方面之偵測以及國家級各級控制點之測設、地區控制點之測設及各種大型土木建築工程和地殼變動之監測等大地測量與工程測量方面。【ISO,1995】

除此以外，GPS得到平面座標，同時還有垂直座標，因此應用在垂直系統之監測與測量，如垂直基準之測量與補強、大地起伏差之測量、垂直變形之監測等；但GPS高程精度相較於水平精度約略遜2~3倍，原因是對流層效應不易改正、多路徑效應的影響、接收儀內部時鐘的誤差以及載波週波脫落現象所致【Leick,1995】。

所以不論是用於定位或是變形測量上，最強調的便是高精度，由於GPS帶來的便利，內政部於82及83年分別於陽明山、墾丁、鳳林、金門、北港、太麻里、馬祖、東沙設置八個衛星固定站，由於固定站為全天二十四小時連續不斷接收衛星資訊，經由國際固定站連測可解八個固定站的絕對坐標，並做為各等級衛星控制點施測依據。又因為固定站二十四小時連續觀測，對於GPS衛星定位測量之使用單位，如同增加八部的接收儀同時觀測，不但協助作業單位提升精度，也可

以減少接收儀數目及經費。有鑑於固定站的多種功能下，政府各級單位即積極的架設固定站，但因缺乏統一的機制與管理單位，以致於資料格式混亂不堪，使用者在使用收集來的固定站資料時有所顧忌，所以本研究即擬定一套有效辦法來幫助使用者，確定各個固定站資料的可信度，增加使用者的參考點位。

所以本研究採用了六項GPS觀測資料品質指標，分別是觀測資料數量、L1載波的多路徑效應（MP1）、L2載波的多路徑效應（MP2）、『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』（o/slps）、接收器內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量（Offset for Reference Epoch，tp）以及接收儀內部時鐘的穩定度（fp）【葉大綱，李瓊武，2002】，來分析GPS觀測資料品質與基線解算精度之相關性，期望能提供未來的使用者在選用GPS量測設備之參考，並期望能透過GPS觀測資料的品質監控，進而提昇GPS量測之精度。

1-2 研究方法

在本研究中，為了要探討GPS固定站觀測資料品質與基線解算精度之相關性，而全省固定站設置的地點多樣化，所以環境因素難以控制，所以吾人在工業技術研究院量測技術發展中心的GPS校正場進行試驗，將常用的GPS固定站的接收儀做統一測試，而接受測試的接收儀為AOA BenchMark、ASHTECH Z-XII3、LEICA RS500、TRIMBLE 5700、TRIMBLE 4000SSE等廠牌儀器。因為接收地點都在國家GPS校正場，所以各接收儀的所受到的對流層及電離層誤差效應可說是完全相同，這樣可確保在相同的環境下，針對不同儀器特性對長、短基線對於定位精度的影響，進而使用指標去驗證固定站的觀測資料，瞭解固定站觀測資料的品質，可以提供選用固定站來做相對定位的參考。

本研究的外業於2003年10月29日至2003年11月6間進行，取樣間隔設定為30秒，衛星接收仰角為15度，接收時間為連續接收十天的觀測資料，再收集2002年4月20日到4月25日連續六天資料，使用UNAVCO所研發的Teqc軟體來進行觀測資料量、MP1、MP2及o/slps這四項指標的資料解算【陳春盛，蔡豐吉，2002】，使用瑞士伯恩大學所研發的Bernese 5.0軟體【Hugentobler，2004】來進行接收器內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量及接收儀內部時鐘的穩定度解算。

採用了六項觀測資料品質指標，藉以探討各項指標與定位精度的相關性及影響量。進而建立一套觀測資料品質監控系統，希望能夠藉由此驗證流程，當儀器發生故障或追蹤站環境發生變化時，能早期發現問題儘早處理異常狀況，藉以確保固定站觀測資料的品質。

透過網路下載IGS連續追蹤網中的日本USUD衛星追蹤站、台灣TWTF衛星追蹤站以及內政部北港衛星追蹤站的GPS觀測資料，約制

上述二站坐標作為主站，分別對各種廠牌型號儀器進行短距離(25 km，對TWTF站)、長距離(2000 km，對USUD站)的基線解算，用以評估固定站常用儀器對於不同基線距離的定位精度。



本論文在資料解算研究上，主要分下列四部分：

第一部分：各種廠牌型號接收儀將所接收到的資料以24小時為時段連續接收十天，進行上述6項品質指標的解算。

第二部分：各種廠牌型號接收儀將所接收到的資料以24小時為單位，約制TWTF與USUD上述兩站進行短、長距離的基線計算，以求得基線的精度變化。

第三部分：將第二部分所求得的X、Y、Z坐標系統，轉換為台灣2度分帶N、E、H坐標系統，以方便針對平面及高程方向的精度做更進一步的探討。

第四部份：利用六項指標對於墾丁衛星追蹤站與一些特殊環境的觀測資料與長、短基線解算來分析其相關性。



1-3 研究內容

本文之基本架構共分為五章，各章節的研究內容簡要概述如下：

- 第一章 前言：簡述本研究之主題、研究動機、研究方法及組織架構。
- 第二章 理論基礎：闡述GPS 相對定位理論及其相關誤差，並介紹接收儀的觀測資料訊號品質指標。
- 第三章 試驗場及實驗說明：概述本研究的試驗場“新竹工業技術研究院量測中心超短距離基線場”之位置環境概況，說明本研究的實驗步驟及試驗儀器相關資料，並介紹Bernese 軟體及Teqc處理GPS 觀測資料之流程。
- 第四章 研究成果與分析：首先，評估GPS固定站常用接收儀的品質指標；其次，分析短、長距離下所解算出來的定位成果差異；再評估不同的品質指標對不同距離基線所造成的影響；然後針對墾丁衛星追蹤站與特殊環境干擾來作指標分析。
- 第五章 結論與建議：根據前述之研究過程與結果分析，歸納出數點結論與建議。

第二章 理論基礎

2-1 GPS 相對定位理論

GPS衛星接收儀所記錄的相位觀測量中含有各種誤差，如衛星軌道誤差（Orbit Error）、衛星及接收儀時錶誤差（Clock Error）、電離層延遲誤差（Ionospheric Delay）、對流層延遲誤差（Tropospheric Delay）、固定站座標誤差（Fixed Station Error）、週波脫落（Cycle Slips）、整數週波未定值（Integer Cycle Ambiguity）、雜訊及多路徑效應（Multipath Effect）、天線相位中心變化誤差（Antenna Phase Center Variation）等【陳春盛，蔡豐吉，2002】。

伯恩大學的Bernese 5.0對上述所有GPS誤差採用對策如下表所列：

表2-1 Bernese5.0對於GPS誤差的對策

誤差來源	誤差種類	Bernese 5.0 處理策略
衛星	軌道誤差	採用 IGS 公佈之精密星曆(SP3)
相關誤差	衛星時鐘誤差	組成二次差觀測量進行解算
訊號傳播 相關誤差	對流層延遲誤差	標準模式與附加修正參數模式同步改正
	電離層延遲誤差	組成 L3 二次差相位觀測量
接收儀 相關誤差	天線相位中心變化	採用 NGS 公佈之相位中心濾定修正值
	接收儀時鐘誤差	組成二次差觀測量進行解算
	整數週波未定值求解	以 QIF(Quasi Iono. Free)法搜尋整數解
	週波脫落	以三次差觀測量進行偵測與補償
移動位置	動態起始坐標誤差	以疊代、漸近方式逐步修正起始坐標
測站位置	測站坐標誤差	網形平差套合至 TWD97 之坐標

GPS單點定位精度不高的主要原因在於衛星和接收儀的時錶誤差、衛星星曆的誤差，以及大氣層中對流層折射以及電離層折射對於電磁波訊號傳播所造成的時間延遲效應亦影響著GPS測量的定位精度。這些誤差於相對定位時，在每個測站的相位觀測量中也依然存在，但是若兩測站若採取同步觀測，則上述的大部份誤差在進行基線向量計算時，或因誤差大小相同而對消，或因相似而絕大部份已減小，使得殘留下來的誤差已大大減少。因此，相對定位的精度遂大為提高，這也就是相對定位精度會較單點定位為高的主要原因。

GPS相對定位簡單的說，就是求解兩測站之間相對位置的一種定位方法，其目的就是從已知座標之參考點推求出未知點的座標。換句話說，相對定位的目標乃在於決定兩點間之基線向量 ΔR_{AB} ，如圖2-1

【李旭志，2000】所示：

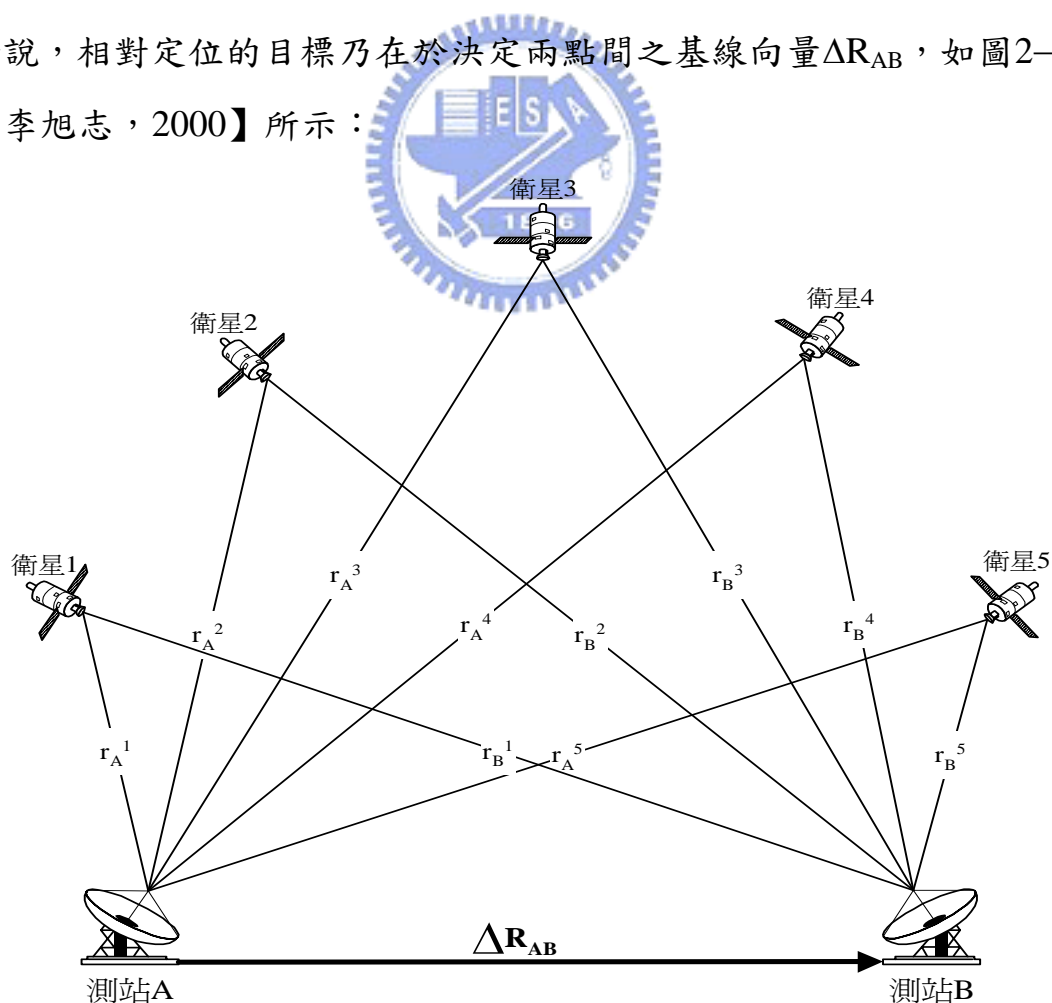


圖 2-1 GPS 衛星相對定位

假設在某一座標系中參考測站A的位置向量 R_A 為已知，若可利用GPS衛星決定出在相同座標系中兩點間的基線向量 ΔR_{AB} ，而根據向量方程式：

$$R_B = R_A + \Delta R_{AB}$$

則可求得在相同座標系中未知測站B的位置向量 R_B ，其中：

$$R_A = R^j - e_A^j r_A^j$$

$$R_B = R^j - e_B^j r_B^j$$

$$\Delta R_{AB} = R_B - R_A = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} = e_A^j r_A^j - e_B^j r_B^j \quad (2-1)$$

R^j ：為各衛星之位置向量（已知）

e_A^j 、 e_B^j ：為各衛星之單位向量

r_A^j ：為測站A至各衛星之距離

r_B^j ：為測站B至各衛星之距離

j ：為衛星編號，例如：1、2、3.....

相對定位最有效的方法是在參考點與未知點間作同時觀測，『同時』的意義乃是指參考點與未知點必須有足夠相同時段的觀測時間。而在解算基線向量時，常將原始的相位觀測量進行線性組合而產生新的準觀測量，即所謂的『一次差（Single-Difference）』、『二次差（Double-Difference）』、『三次差（Triple-Difference）』。其主要目的為藉由差分過程來抵銷大部份的系統性誤差，用以提昇求解精度【曾清涼，儲慶美，1999】。

基線測量時，接收儀在兩個以上的測站，同時接收相同的GPS衛星之衛星訊號達30分鐘以上到數小時不等。通常基線在10 km 以內者，接收1小時即可，基線愈長則相對其接收時間也需要愈久【ISO,1995】。基線測量的精度標準誤差小於 $5\text{mm} + 1\text{ppm} * L$

(L : 距離, 單位km) , 而應用於地殼變動之高精度測量, 則要求高達0.1ppm~0.01ppm之水準【劉美利, 2003】。

GPS相對定位的優點主要有二:

1. 可消除或減弱一些具有系統性的誤差, 如衛星和接收儀的時錶誤差、衛星星曆的誤差、大氣折射誤差等。
2. 可減少平差計算中未知數的數量。

因此, 原始觀測量的差分模型在工程應用以及科學研究中, 都獲得了廣泛的應用。但是, 上述的差分模型也存在著一些值得重視的缺點, 主要缺點有三:

1. 原始觀測量原本是獨立的, 但經過差分之後, 將使得各觀測量間擁有相關性, 這種相關性在平差計算中不應被忽視。
2. 在平差計算中, 差分法將使得觀測方程式的數目明顯的減少。
3. 在差分的過程中不可避免的將損失一些觀測數據。因此, 應用原始觀測量的非差分模型, 進行高精度相對定位的研究亦有其應用之價值【陳春盛, 葉大綱, 1999】。

2-2 資料品質分析指標

本研究採用了接收儀觀測資料數目 L1 載波的多路徑效應 (MP1)、L2 載波的多路徑效應 (MP2)、『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』(o/slps)、接收器內部時鐘與 GPS 時鐘的平均偏差量 (tp) 以及接收儀內部時鐘的穩定度 (fp) 這六觀測指標，以它們來分析 GPS 觀測資料品質與基線解算精度之相關性。這五項指標的說明如下：

2-2-1 觀測資料量

觀測資料的量對於相對定位有一定影響，因為定位資料越多其能修正誤差量的能力會越好，本研究的觀測資料量指標是依據一天有 2880 個 epochs，而每個 epoch 能接收到的衛星數不同，所以觀測資料量也會有所不同，由於環境的不同因素的干擾或者儀器本身的問題會造成接收資料的遺失，例如：L1、L2 的訊雜比 (Signal-to-Noise Ratio) 過低、L1、L2 的資料不成對與 C/A code 失鎖等原因，因此觀測資料量列為固定站選擇的指標之一。

2-2-2 多路徑效應

GPS 衛星定位測量之多路徑效應誤差是指 GPS 接收儀收錄之衛星訊號包含直接路徑及非直接路徑兩部分，非直接路徑訊號是由衛星訊號傳輸過程 (衛星多路徑效應) 或接收天線周圍環境 (測站多路徑效應) 經折射干擾造成之衛星或測站多路徑訊號。假設考量自地面反射 GPS 衛星訊號之多路徑情形如圖 2-2 所示，可建立下列關係：【Johnson, 1995】

$$ep = 2h \times \sin \theta \quad (2-2)$$

$$\beta = \frac{ep}{\lambda} \times 2\pi + \pi = \frac{4\pi h \sin \theta}{\lambda} + \pi \quad (2-3)$$

上兩式中：

ep = 反射訊號之超長

h = 天線高

θ = 衛星垂直角

β = 反射訊號之相位變化

λ = 訊號波長

多路徑效應對於 GPS 觀測而言，乃屬較不易掌握的隨機誤差，其隨天線周圍反射面的性質而異，但若在同一地點，當所觀測衛星的分佈相似時，其效應將會重複出現，即多路徑效應具有週期性的特徵。

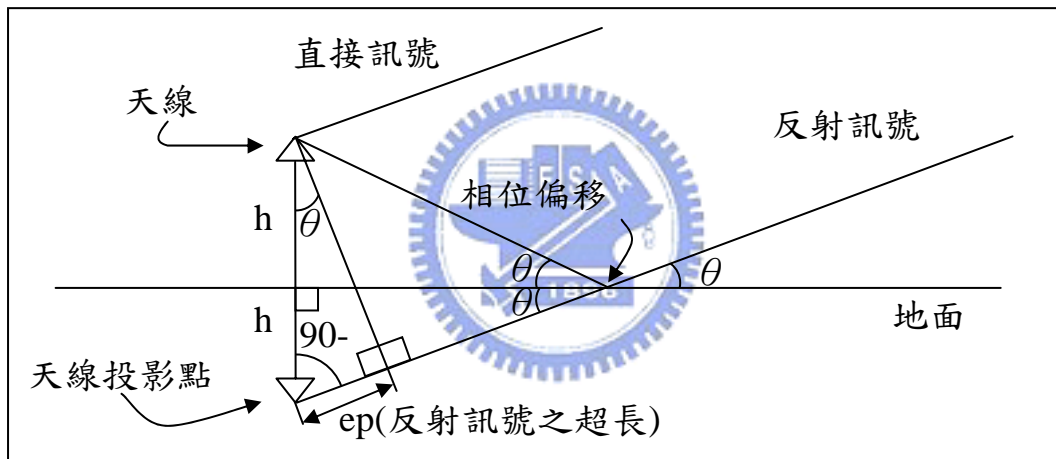


圖 2-2 多路徑幾何關係圖

2-2-3 週波脫落

週波脫落簡單的說就是：在相位觀測資料中由於衛星失鎖 (Loss of lock) 而突然產生的相位跳動。失鎖情況的產生原因可能是：

- (1) 衛星訊號被周遭地物如樹木、建築物．．．阻隔。
- (2) 由於電離層效應、多路徑效應影響導致訊雜比 (Signal-to-Noise Ratio) 過低。
- (3) 接收儀本身的問題【黃德昌，2003】。

週波脫落現象在載波相位測量中是經常發生的，它對距離觀測的影響和週波未定值的影響相似，在精密的定位處理中是一個非常重要的問題，必須小心加以偵測及修復，目前一般軟體皆具有自動偵測及修復週波脫落之功能。

而吾人所採用的指標為『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』，亦即每 n 個觀測量會產生一個週波脫落，無單位，Teqc 採用多項式套合法來偵測週波脫落。其原理是使用一段多項式套應於原始資料、一次差資料、二次差資料、三次差資料或雙頻觀測資料的結合。其方法為先檢查套應點內有無週波脫落的發生，若在多項式套應視窗內，其次預估下一資料點數值，若大於預設的門檻值，則視為週波脫落。利用此法處理週波脫落需要設立兩種門檻值，其一為偵測週波脫落的發生時段，另一則為預測週波脫落修補值【汪俊寰，2001】。

2-2-4 接收儀內部時鐘與 GPS 時鐘的平均偏差量

在GPS測量中，均要求衛星時鐘與接收儀時鐘保持嚴密同步，如果接收儀時鐘與衛星時鐘之間的同步誤差為 $1 \mu\text{s}$ ，則由此所引起的等效距離誤差約為 300 m 。實際上，儘管GPS衛星上均裝有高精度的原子鐘，但是它們與理想的GPS時之間仍存在著難以避免的偏差或漂移，這些偏差的總量均在 1 ms 以內，而由此引起的等效距離誤差約可達 300 km 【曾清涼、儲慶美，1999】。

對於衛星時鐘的這種偏差，可以透過對衛星時錶運行狀況的連續監測而精確地確定，並用二階多項式來描述。而衛星時鐘誤差經此改正後，各衛星時鐘之間的同步誤差可保持在 20 ns 以內，由此引起的等效距離偏差將不會超過 6 m 。一般認為時鐘誤差或經改正後的殘差，在相對定位中可以透過觀測量差分的方法消除【汪俊寰，2001】。

所以吾人針對不同的接收儀內部時鐘做評估，以了解各種接收儀內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量。要求得此項指標，須利用未差分的GPS相位資料，以推求接收儀時鐘誤差。將外業儀器測試所接收到的相位觀測資料，採用瑞士伯恩大學天文研究所研發的Bernese 5.0軟體進行計算。為了求得較準確的接收儀時頻訊息，解算前以rnxsmt程式（修正其錯誤）對於相位資料進行週波脫落偵測及平滑化處理外，於參數預估程式gpsest解算未知值的過程中，再以resrms程式利用輸出的殘差反覆消除雜訊較大的觀測時段及衛星，即可求得接收儀內部時鐘偏移量，在本文中將採用『tp』（以秒為單位）來表示這項指標【Beutler.G, 2000】。

然而，由於原子鐘的頻率會不斷飄移，所以無法精確的計算平均值，甚至連標準差都會發散，所以這裡採用Allan所定義的Allan Deviation來進行頻率的偏移量及穩定度評估【Lesage and Ayi, 1984】。Modify Allan Deviation的計算方法則是透過資料的二次差分後再進行標準差的計算，至於其計算的公式如下：

$$\begin{aligned}\bar{x}_k &= (x_{k+1} + x_k) / 2 \\ \bar{y}'_k &= (\bar{x}_{k+2} - \bar{x}_k) / \tau \\ MOD\sigma_y(\tau) &= \left[\frac{1}{2(N-3m+1)} \sum_{k=1}^{N-3m+1} (\bar{y}'_{k+m} - \bar{y}'_k)^2 \right]^{1/2}\end{aligned}\quad (2-4)$$

其中：

x_k ：每一時間節點的飄移量

\bar{x}_k ：相鄰二時間節點的平均值

τ ：取樣時間

N ：時間節點數

2-2-5 接收儀內部時鐘頻率穩定度

接收儀內部時鐘頻率穩定度便是接收儀內部時間的變化，因為內部時鐘所震盪出來的每一秒，與標準時間相比，都有些微量的不同【Camparo, 1999】。對於 GPS 的時鐘精度要求極高。除了接收器內部時鐘與 GPS 時鐘的平均偏差量外，接收儀內部時鐘頻率的穩定度也可能是影響 GPS 定位的重大因素，所以吾人也將其列入考量。將外業儀器測試所接收到的相位觀測資料，採用瑞士伯恩大學天文研究所研發的 Bernese 5.0 版軟體進行計算，以求得接收儀內部時鐘頻率穩定度，流程如下圖 2-2，在本文中將採用『 f_p 』（以秒為單位）來表示這項指標。



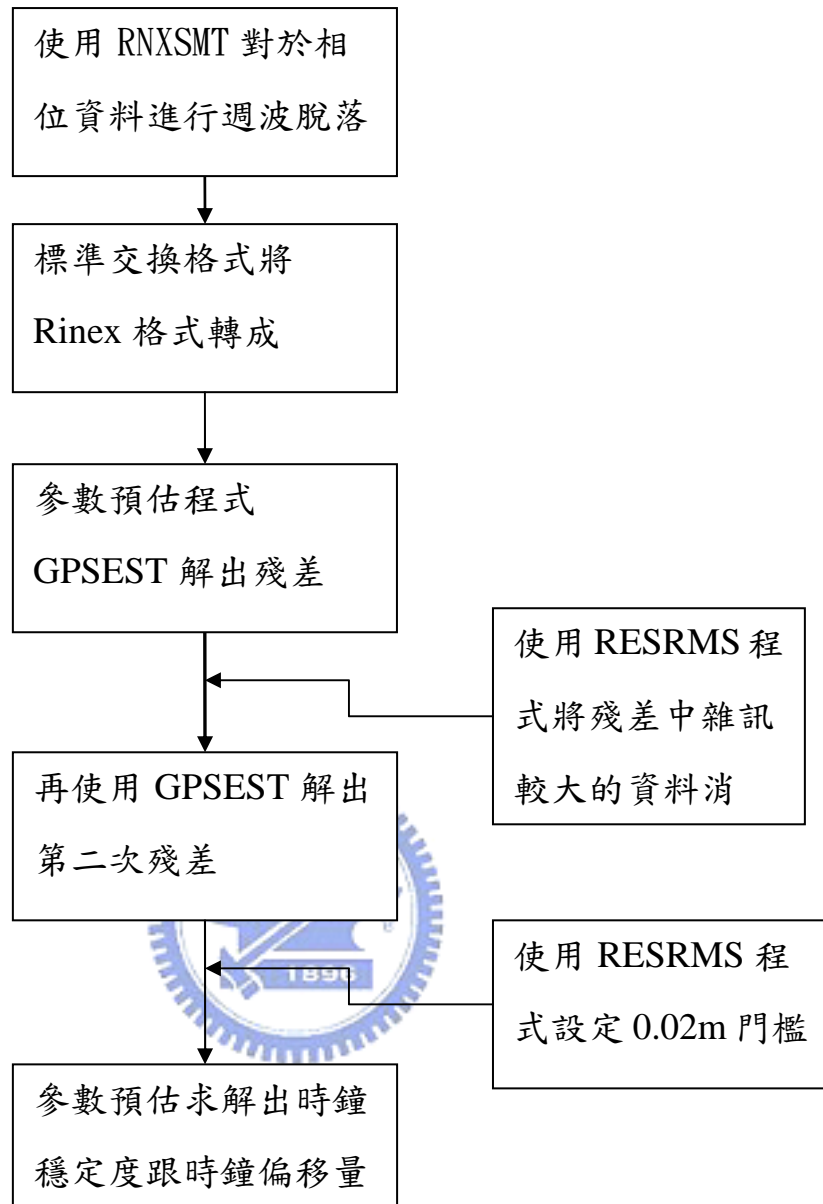


圖 2-2 時鐘偏差量及頻率穩定度解算流程圖

2-3 GPS 接收儀量測系統追溯

近代科學家發明單擺鐘及石英震盪器，利用單擺或石英晶體的震盪週期來計時，只要震盪週期乘上每秒震盪次數就是一秒鐘。但上述計時方式易受環境、溫度、材質、電磁場甚至觀測者觀測角度等影響，並不穩定，須由天體（地球自轉、公轉、月球公轉）的週期來校正。

1960 年以前，CIPM(世界度量衡標準會議)以地球自轉為基礎，定義以平均太陽日之 86400 分之一作為秒定義。即 $1\text{秒} = 1/86400$ 平均太陽日。然而地球自轉並不穩定，會因其他星體引力的牽引而改變。1960~1967 年 CIPM 改以地球公轉為基礎，定義西元1900年為平均太陽年。秒定義更改為：一秒為平均太陽年之 31556925.9747 分之一。

20 世紀中葉，科學家發現原子會吸收或放射特定週期的光子，其週期非常穩定。1967 年舉行的第十三屆國際計量大會 (General Conference on Weights and Measures) 選擇了以銫原子的躍遷做為秒的新定義，即銫原子同位素 ^{133}Cs 基態超精細能階躍遷的 9192631770 個週期所持續的時間定為 1 秒，稱作「原子秒」，新定義使得計時進入了原子時的時代，此秒定義一直維持至今。幾十年來，銫原子鐘、氫原子鐘和銣原子鐘這三種時鐘在空間領域發揮著重要作用，被安裝在衛星上或是在地面控制系統中。

根據GPS定位理論，為評估固定基站與校正基點ITRF坐標，必須引用到GPS定位之全球組織所公布的參考標準 (Reference Standard)，而參考標準在計量已知地區或組織內，通常具有最高計量特性的標準。因此，GPS定位校正系統追溯圖整理如圖2-3所示，除了以坐標進行比對之外，仍須追溯至頻率原級標準（銫原子鐘），方得追溯至國際單位制(Systeme International, SI)【Yeh.T.K.，2002】。

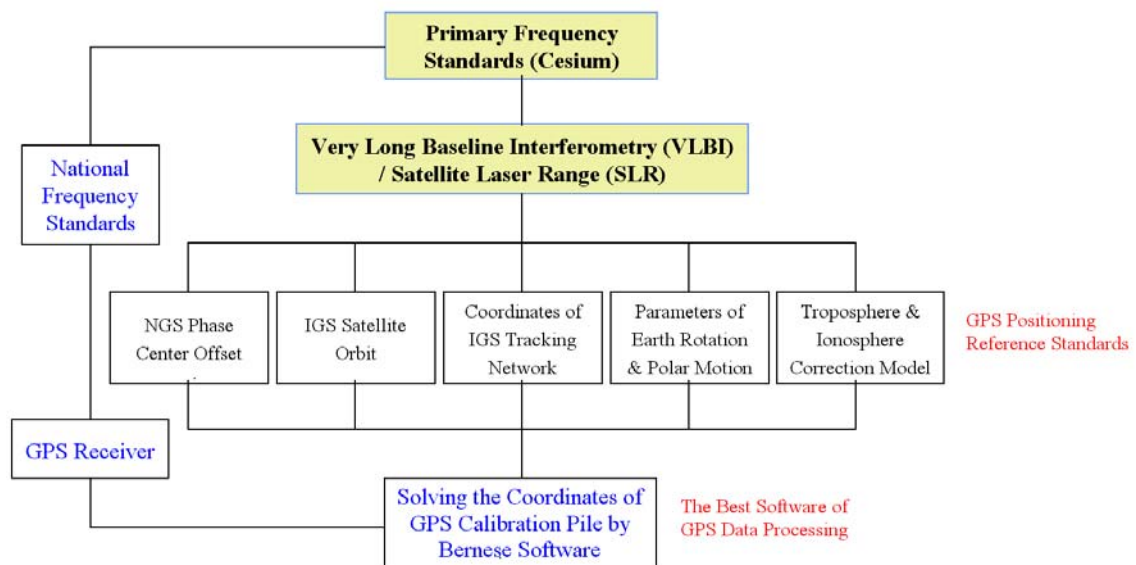


圖 2-3 GPS 接收儀量測系統追溯圖

下面是一些時鐘特性的簡略比較：

1. 晶體鐘：這類時鐘小巧且便宜，短期穩定性能好，但漂移大，準確度低。
2. 銣原子鐘：與晶體鐘同屬於二級時頻標準，要用一級時頻標準校準，但其性能比晶體鐘好得多。
3. 氫原子鐘：長短期穩定性都特別好，使用壽命長，但頻率準確度不如銇原子鐘，體積大且成本高。
4. 銇原子鐘：國際定義的頻率準確度的一級時頻標準，但其短期穩定性一般說不如高穩定晶體鐘，成本高，壽命較短。

第三章 實驗說明及資料處理

固定站設置地點其環境因素複雜例如：氣溫、壓力、速度場，所以觀測品質難以掌控，所以選定於新竹工業技術研究院(以下簡稱工研院)量測技術發展中心頂樓進行外業觀測，如此可以減低環境變化對觀測品質影響，本研究採用了六項觀測資料品質的指標，以探討觀測資料品質與基線重複性的定位精度相關性。為求獲得精確的分析結果，在本章中，將針對本研究之試驗場說明、實驗步驟、不同GPS接收儀型式及GPS處理軟體等實驗要項加以詳細說明之。

3-1 試驗場地說明

本研究實驗場地位於工研院量測中心頂樓的國家GPS校正場，此試驗場採用固定式鋼架樁，並裝置工研院量測中心李瓊武博士所設計之強制定心樁(如圖3-1所示)，以減少每次觀測的定心誤差，增加儀器的穩定度。各個測站通視良好且週遭無遮蔽之建築物，將可減少多路徑效應的影響。於此試驗場進行觀測其優點有：

1. 測量作業時，穩定度高。
2. 強制定心及定心板皆已事先調平，故整置儀器迅速，並可減少人為誤差。
3. 強制定心精度為 $\pm 0.03\text{mm}$ ，優於傳統光學定心精度 $\pm 0.2\text{mm}$ 。



圖3-1 強制定心樁的定平機制

3-2 實驗步驟說明

一、選定工研院量測中心頂樓的GPS短距離基線校正場(平面示意圖如圖3-2所示)，在其NML3到NML6架設衛星接收儀，TNML為工研院所架設之衛星固定站。

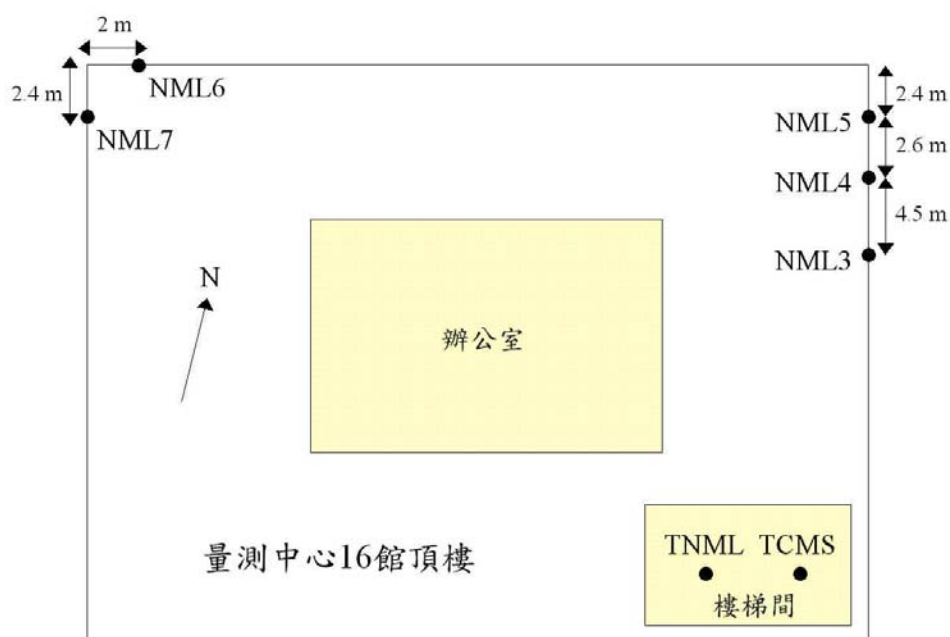


圖 3-2 國家 GPS 校正場平面示意圖

二、將儀器同時整置在GPS校正基樁上，於2003年10月28日到2003年11月6號連續十天同步接收資料，測試儀器廠牌型式及整置樁位如表3-1所示，外業觀測情形如圖3-3所示，吾人亦收集2002年4月20日到4月25日的資料以增加指標的可信度，儀器型號如表3-2所示，並藉由儀器廠商所提供之轉換程式，將各廠牌的原始觀測資料轉換成Rinex共通格式，以方便後續的資料處理。

表 3-1 2003 年架設設儀器廠牌型式及整置樁位一覽表

編號	整置樁位	接收儀廠牌型式	天線盤型式	觀測時數
A	NML3	AOA BenchMark	AOAD/M_T	十天
B	NML4	ASHTECH Z-XII3	ASH700936E	十天
C	NML5	LEICA RS500	LEIAT504	十天
D	NML6	AOA BenchMark	AOAD/M_T	十天

表 3-2 2002 年所架設儀器廠牌型式及整置樁位一覽表

編號	整置樁位	接收儀廠牌型式	天線盤型式	觀測時數
E	TNML	BenchMark	DORNE MARGOLIN T	六天
F	NML4	Ashtech Z-XII3	ASH700936E	六天
G	NML5	LEICA RS500	LEIAT504	六天
H	NML6	TRIMBLE 5700	TRM29659	六天
I	NML7	TRIMBLE 4000SSE	TRM29659	六天



圖 3-3 外業觀測情形

- 三、探討觀測資料品質與長、短距離基線相對定位精度的相關性，為求獲得高精確度的分析結果，故連續進行GPS靜態測量10天，取樣間隔設定為30秒，觀測衛星之最低仰角設定為15度。
- 四、將接收時間為每24小時為一段。以每24小時解算的成果進行坐標重現性分析，計算N、E、h三軸坐標標準差合成量作為定位精度指標。
- 五、為確定指標對於固定站觀測品質的實用性，吾人亦收集內政部於民國82年建立的墾丁衛星追蹤站2003年3月27到3月29日、10月28號與11月6號與2004年10月28號與11月6號的觀測資料，將六個指標對於固定站不同時期的觀測資料的做比較分析。
- 六、本研究分別在三種干擾比較多的環境下擺設GPS接收儀，連續觀測四小時取樣間隔設定為30秒，觀測衛星之最低仰角設定為15度，此三種環境分別為：游泳池旁、停車場旁與高壓電塔旁，對於不同環境干擾可以顯示出六項指標的反應能力。

七、以 UNAVCO 所研發的 Teqc 軟體解算出下列四種指標：

- (一) Daily number of observations：觀測資料的總數，無單位。
- (二) observations / Cycle slips：顧名思義，此項指標為『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』，無單位，意指多少筆觀測資料所發生的週波脫落個數。
- (三) RMS MP1：L1 載波的多路徑效應，亦可視為 L1 載波觀測量的雜訊大小，此雜訊量以公尺為單位。
- (四) RMS MP2：L2 載波的多路徑效應，亦可視為 L2 載波觀測量的雜訊大小，此雜訊量以公尺為單位。

八、使用瑞士伯恩大學天文所所研發出來的GPS研究軟體Bernese 5.0 版進行解算接收器內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量及接收儀內部時鐘的穩定度這兩項觀測資料品質指標，並以其進行短、長不同距離基線相對定位精度指標計算。

九、X、Y、Z坐標系統，轉換為台灣2度分帶N、E、H坐標系統，以方便針對平面及高程方向的精度做更進一步的探討與比較。

十、利用六項觀測資料品質指標來分析相對定位精度指標，以了解GPS觀測資料品質與基線解算精度之相關性。

3-3 資料處理

在本研究中，觀測資料品質指標由Teqc及Bernese 5.0版學術用軟體進行解算；而相對定位精度指標，則採用Bernese 5.0版學術用軟體來進行解算，現分述如下：

3-3-1 Bernese 軟體過去的發展

Bernese 軟體是由瑞士伯恩大學天文研究所（Institute of Astronomy, University of Berne）所研發的，3.0 版於 1988 年 3 月撰寫而成，並於 1988 年至 1995 年間經過五次重大的改版，分別是 1988 年 12 月的 3.1 版、1990 年 4 月的 3.2 版、1991 年 5 月的 3.3 版、1993 年 5 月的 3.4 版以及 1995 年 2 月的 3.5 版。

而 Bernese 4.0 版於 1996 年 9 月完成改寫，並於 2000 年 8 月發表 4.2 版，2004 年 3 月再度發表現行的 Bernese 5.0 版，新的版本新增加的功能如下：

不僅可以單獨處理 GPS 或 GLONASS 衛星的資料，亦可結合兩種衛星資訊同步進行解算。

- (1) 大幅提昇計算衛星及接收器時錶誤差的能力。
- (2) 可將 SLR 的觀測資料加入 GPS 及 GLONASS 的資料中同時計算。
- (3) 改善對流層模式並提升解算的精度。
- (4) ADDNEQ 程式以 Fortran 90 改寫為 ADDNEQ2，其中並加入一些新的資料處理模式。
- (5) 嶄新的讓使用者更加方便操作的 Windows 視窗交談介面。
- (6) 支援 Unix、Linux 以及所有 WinPC 系列的作業環境。
- (7) 新資料處理器，使用 TCP/IP 介面進行網際網路連線之同步處理。
- (8) 可使用動態記憶體，擴增資料處理之能力。

- (9) 新的潮汐、歲差、章動、地球自轉、地球重力場、大氣以及天線盤相位中心等修正模式。
- (10) 可採用零次差(Zero-difference)處理方式進行觀測資料解算。
- (11) 具有更精確修正電碼觀測量之功能。
- (12) 可進行精確的動態定位資料解算。
- (13) 具備解算低軌(Low Earth Orbiters, LEOs)衛星軌道之能力。

3-3-2 Bernese 軟體的主要的功能及架構

Bernese 軟體是屬於研究型軟體，以 Fortran 語言撰寫而成，並附有原始程式，可依實際需求而進行修改，亦可自行加入新的模式。該軟體除了一般性 GPS 資料處理功能外，另有 BPE (Bernese Processing Engine) 可自動化處理 GPS 資料、計算軌道參數、極運動 (Polar Motion) 參數、地球轉動 (Earth Rotation) 參數、推求區域性及全球性之電離層模式、對流層折射附加參數與模擬 GPS 資料之功能，而 Bernese 軟體資料處理的流程則如圖 3-4 所示。

Bernese 程式的主要架構有下列五個部分【Beutler et al., 2001】：

- (1) 資料轉換：可將 Raw Data、Rinex Data 以及 Bernese Data 之間互相進行轉換，以方便使用者進行計算。
- (2) 衛星軌道：可利用廣播星曆或精密星曆計算出衛星標準軌道，將衛星軌道視為已知，來求解其餘未知參數。其中，IGU 預估星曆軌道精度 50 cm，可當天取得；IGR 快速星曆軌道精度 10 cm，可於兩天後取得；IGS 精密星曆軌道精度 5 cm，可於三天後取得。
- (3) 資料處理：可以處理單頻或雙頻儀器所接收的『虛擬距離』及『載波相位』觀測資料，亦可同時求解 GPS 及 GLONASS 衛星的資訊，並可輸出法方程式，以方便多天的資料進行聯合求解。

- (4) 資料模擬：可根據所設定的誤差值，模擬 GPS 及 GLONASS 雙頻的觀測資料。
- (5) 雜項工具：可以進行資料的編輯修改、合併成果坐標檔以及顯示觀測量殘差。

3-3-3 Bernese 軟體的特性及應用層面

Bernese 研究型軟體與一般的商用軟體之特性略有不同，Bernese 軟體的特性如下所示【Beutler et al., 2001】：

- (1) 對於單頻及雙頻的觀測資料，計算較為快速。
- (2) 可以長期自動的處理 GPS 聯測網的資料，自動計算坐標。
- (3) 如果使用 IGS 精密星曆，可以解算出超過 2000 km 長基線的載波相位未定值。
- (4) 可針對電離層及對流層延遲效應進行修正，並提供最新的模式供使用者選擇。
- (5) 可進行天線盤相位中心修正，即使採用不同型號的 GPS 接收器及天線盤，亦可進行計算。
- (6) 可以模擬 GPS 及 GLONASS 衛星雙頻的觀測資料。
- (7) 可計算衛星軌道，並可以求取地球自轉參數。
- (8) 可進行自由網解算，計算測站坐標。
- (9) 提供程式原始碼，可自行加入新的模式。

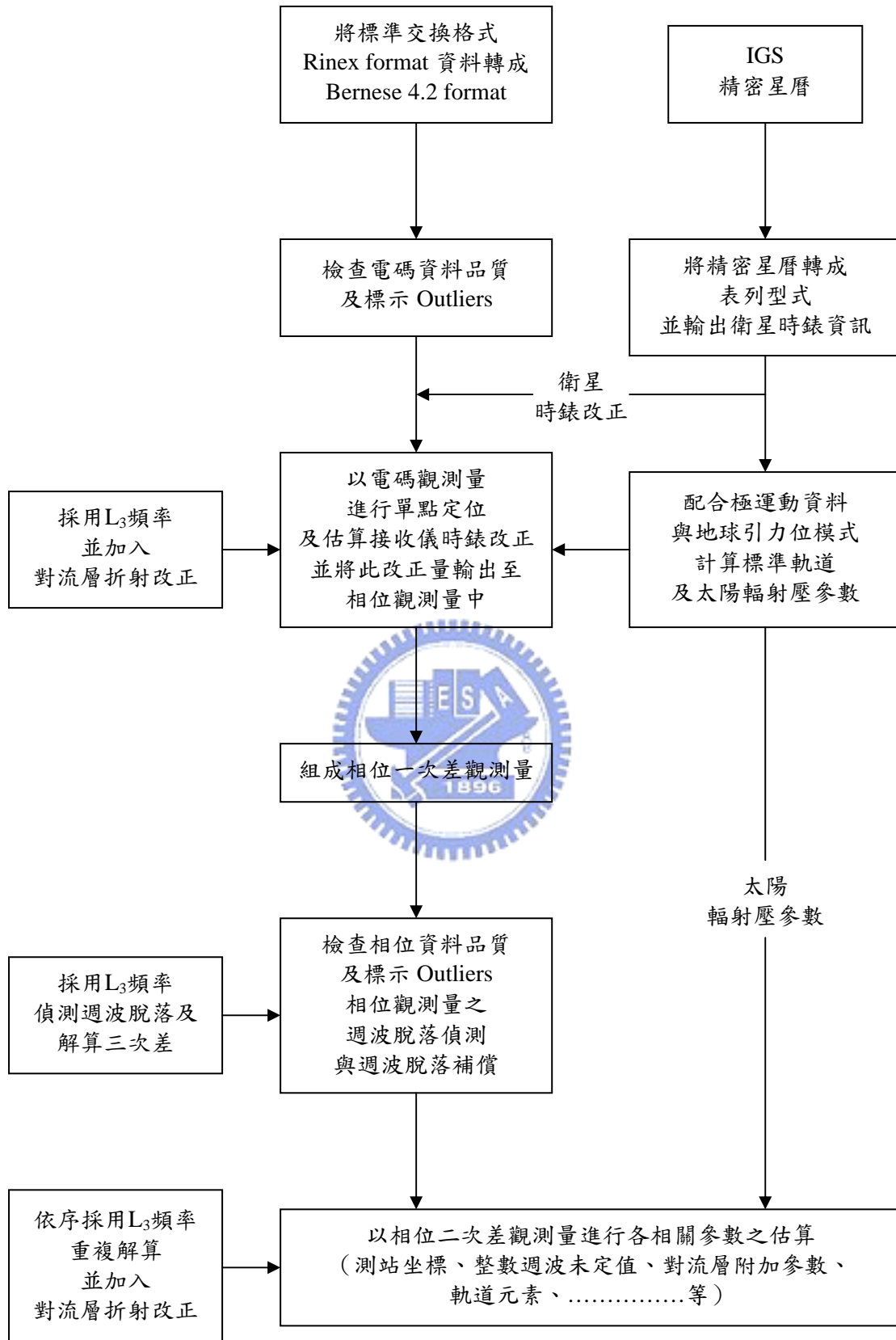


圖 3-4 Bernese 軟體資料處理流程

Bernese 軟體雖然是屬於研究型軟體，對於初學者學習上較為困難，但是軟體中功能強大的資料處理模式仍適合於中、短距離基線的求解，其精度及穩定度更遠超過一般的商用軟體，例如：GPSurvey、AOSS、SKI 等。

目前，該軟體仍普遍的應用在地體動力學、板塊運動、極運動、地殼變形等方面之計算，且更常使用在大地測量的資料處理上。此外，亦可進行動態計算及全自動的資料處理，可每天自動處理 GPS 連續觀測網的衛星追蹤資料。

3-3-4 Teqc 軟體介紹

Teqc(Translation, Editing, and Quality Check)軟體是 UNAVCO (University NAVSTAR Consortium, 為國際間 100 個著名大學及實驗室共同組成的，該機構之主要宗旨為應用高精度 GPS 於大地測量) 所研發的。該軟體的前身是 QC (Quality Check) 軟體，以 Fortran 程式所撰寫，早期是用來檢驗雙頻 GPS 靜態及動態觀測資料之品質，唯其相容度並不高，許多廠牌 (如 Trimble DAT, TurboBinary 等) 的 GPS 觀測資料必須仰賴其他外部的翻譯器及編輯器來轉檔，使用上相當不方便。因此，後來又以 C 語言改版，並加入了翻譯及編輯的功能，即發展出現有的 Teqc 軟體【UNAVCO, 2004】。

顧名思義，Teqc 的主要功能可分為三大部分，如圖 2-5 所示，茲分別詳述如下：

- (1) 翻譯 (Translation)：可以讀入並翻譯各廠牌之 Binary 格式，並輸出為 Rinex 共通格式。
- (2) 編輯 (Editing)：可用以編輯、修改、切割、接合觀測資料，還可進行資料取樣間隔的編修。
- (3) 品質檢驗 (Quality Check)：可以用來檢驗 GPS 雙頻靜態及動態

觀測資料之品質好壞。

此外，新版的 Teqc 軟體還可以同時解算 GPS 以及 GLONASS 衛星的資料，且該軟體可在一般的 PC 及 UNIX 工作站上執行，使用者不需付費，並無使用版權上之問題。

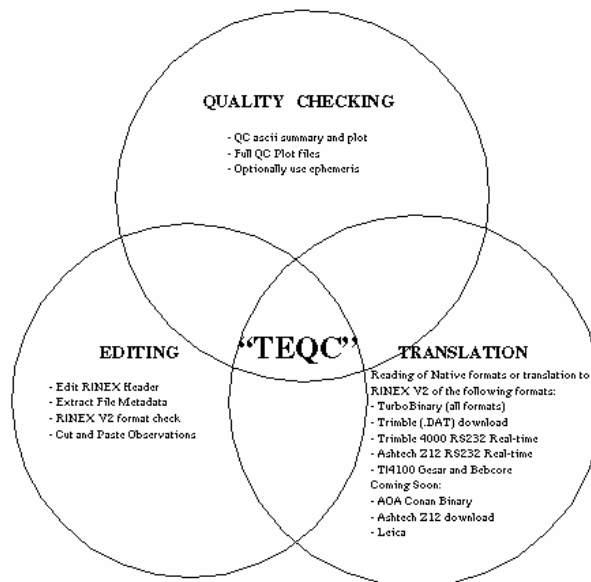


圖 3-5 Teqc 的主要功能【UNAVCO, 2004】

第四章 研究成果及分析

本研究實驗的步驟以及資料處理的方法主要的研究軟體為Bernese 5.0版及Teqc，利用這兩種研究軟體來進行GPS衛星測量接收儀資料觀測指標的解算分析。然後以學術研究軟體Bernese 5.0版來進行長、短不同基線相對定位的精度解算，藉以評估GPS觀測資料品質與基線解算精度之相關性，使用六項指標去分析墾丁固定站資料，與去分析不同環境因素對於指標的影響分析。

4-1 固定站常用接收儀之指標計算與分析

吾人在工研院超短基線架設常用的衛星定位儀以連續觀測的方式，將觀測資料量、L1載波的多路徑效應（MP1）、L2載波的多路徑效應（MP2）、『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』（o/slps）、接收器內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量（tp）、接收儀內部時鐘的穩定度（fp）等六項品質指標的解算。前四項指標是以UNAVCO所研發的TEQC軟體解算而得，而最後二項內部時鐘的指標則是以瑞士伯恩大學天文所研發的Bernese 5.0版軟體計算而得。

4-1-1 Teqc 解算觀測資料品質成果

固定站觀測資料指標的分析使用2003年10月28號連續觀測到11月6號共十天資料，還收集2002年4月20號到25號觀測資料，加以統整分析增加指標的精確性，為了解指標是否可以用來有效分析固定站資料，利用本研究之品質檢核軟體Teqc進行解算。所求得的固定站：觀測資料量、接收儀之L1載波的多路徑效應（MP1）、L2載波的多路徑效應（MP2），『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』（o/slps），如表4-1與表4-2，僅取平均表示之，其結果如圖4-1到4-8，完整資料解算詳列附錄A。

表4-1 不同型號接收儀之觀測量、MP1、MP2、o/slps

編號	資料量	MP1(m)	MP2(m)	o/slps
A	17153	0.42	0.70	274
B	23632	0.28	0.38	844
C	20275	0.18	0.18	99
D	24341	0.12	0.22	418

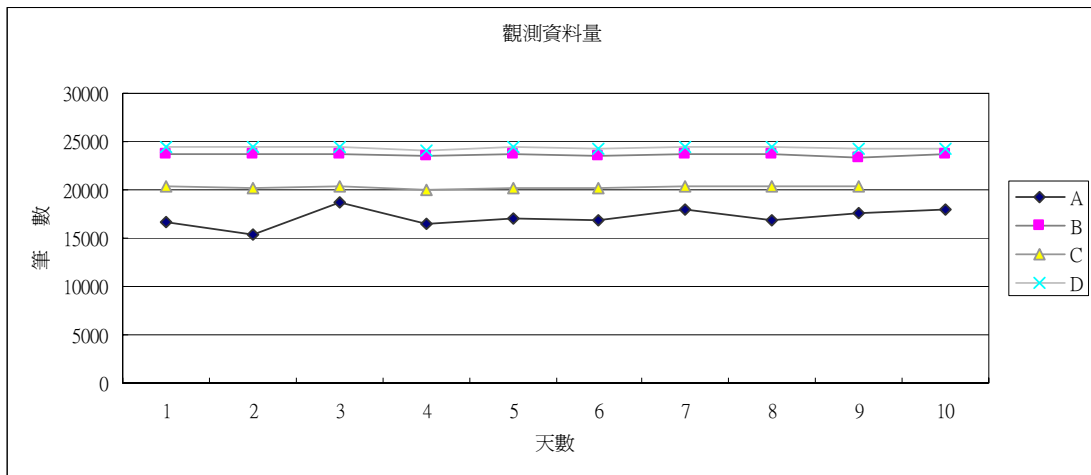


圖4-1 編號A-D接收儀觀測資料量變化

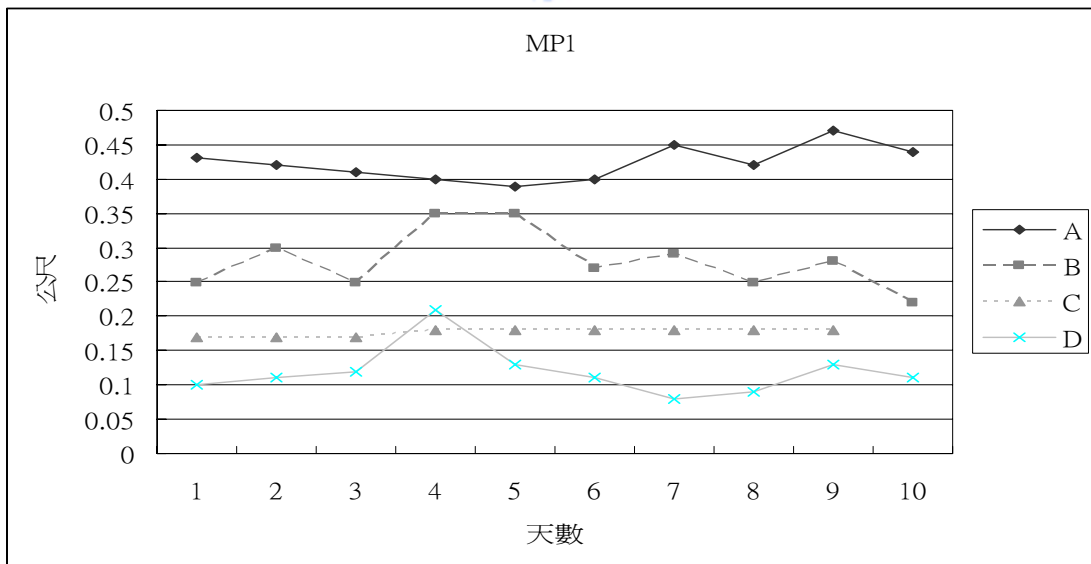


圖4-2 編號A-D接收儀的MP1資料品質

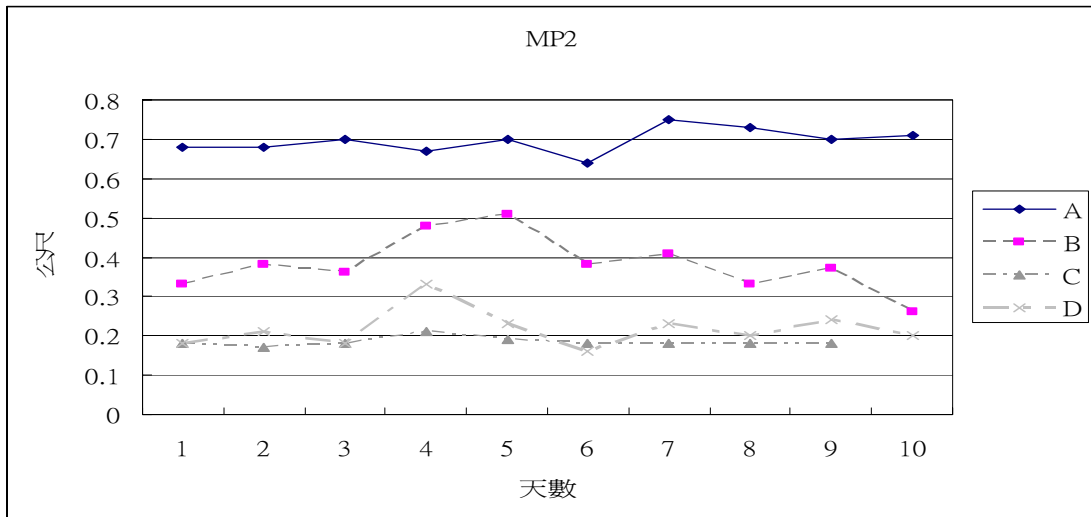


圖4-3 編號A-D接收儀的MP2 資料品質

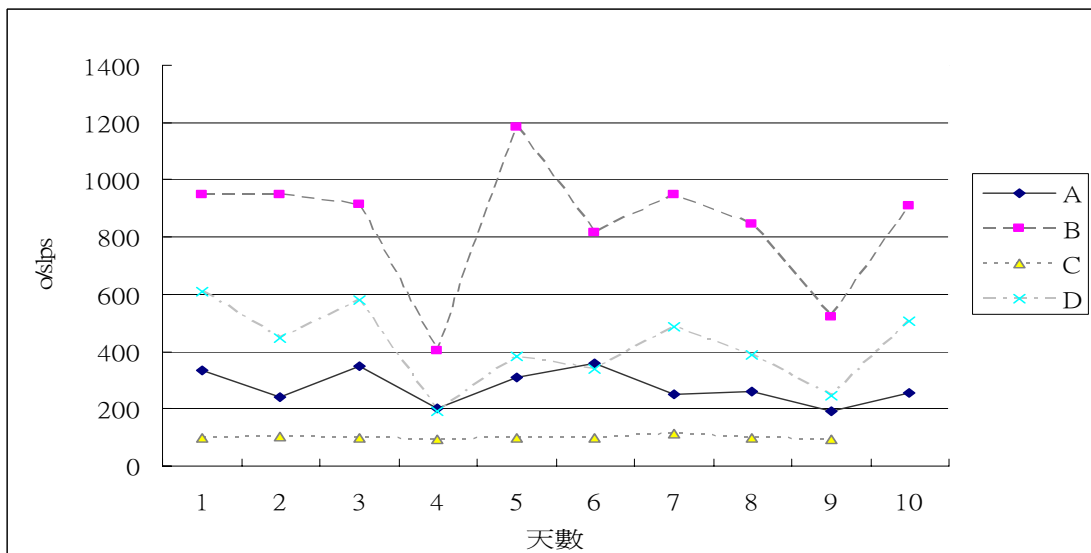


圖4-4 編號A-D接收儀o/slps資料品質

由表 4-1 分析得到，觀測資料量指標中以 D 編號儀器資料量最多，A 儀器資料量最少，多路徑效應 MP1 與 MP2 指標中編號 D 儀器最好，而編號 B 多路徑效應大，週波脫落指標中以編號 C 週波脫落嚴重。

表4-2 不同型號接收儀之觀測量、MP1、MP2、o/slps

編號	資料量	MP1(m)	MP2(m)	o/slps
E	21310	0.38	0.47	92
F	18959	0.11	0.13	1768
G	18382	0.29	0.36	1408
H	19943	0.18	1	76

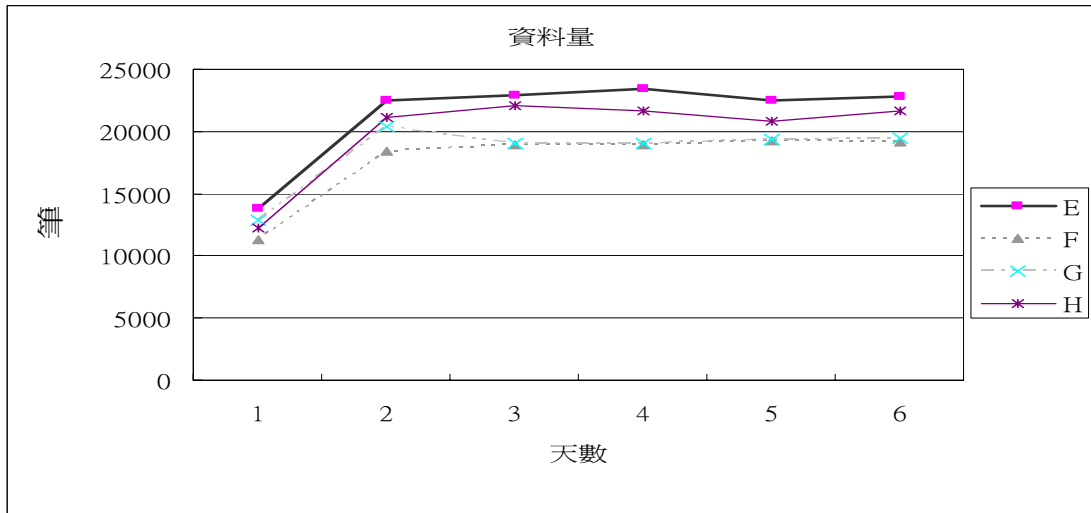


圖4-5 編號E-H接收儀觀測資料量變化

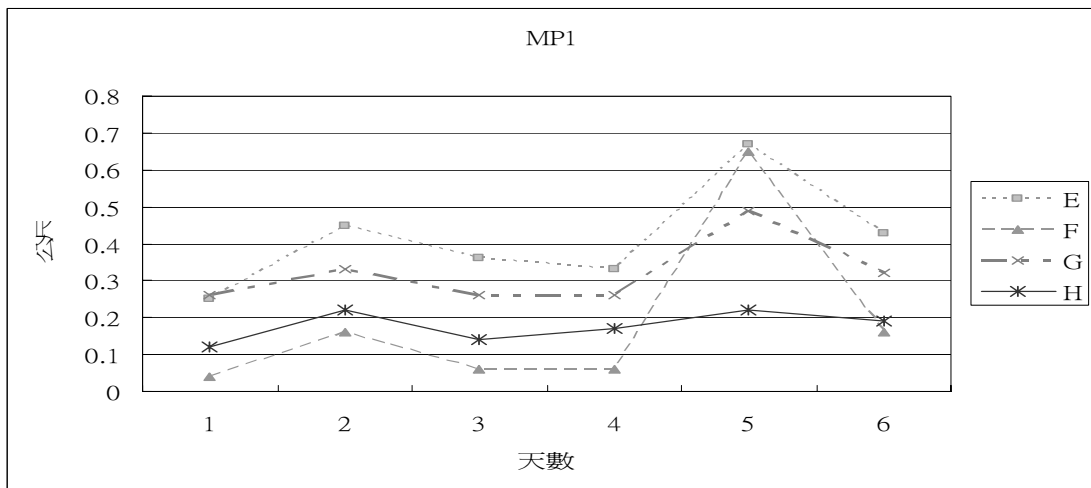


圖4-6 編號E-H接收儀的MP1資料品質

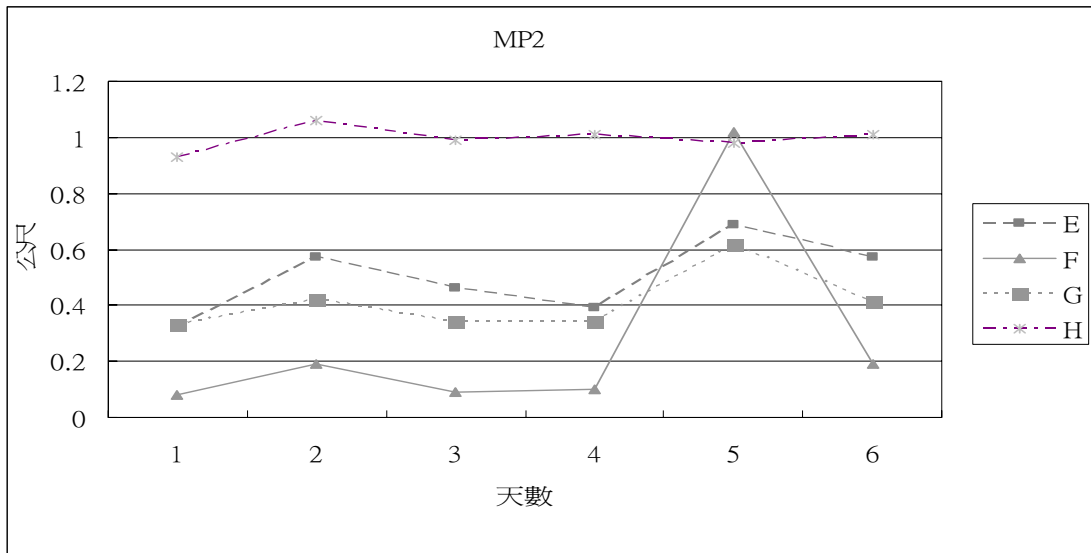


圖4-7 編號E-H接收儀的MP2 資料品質

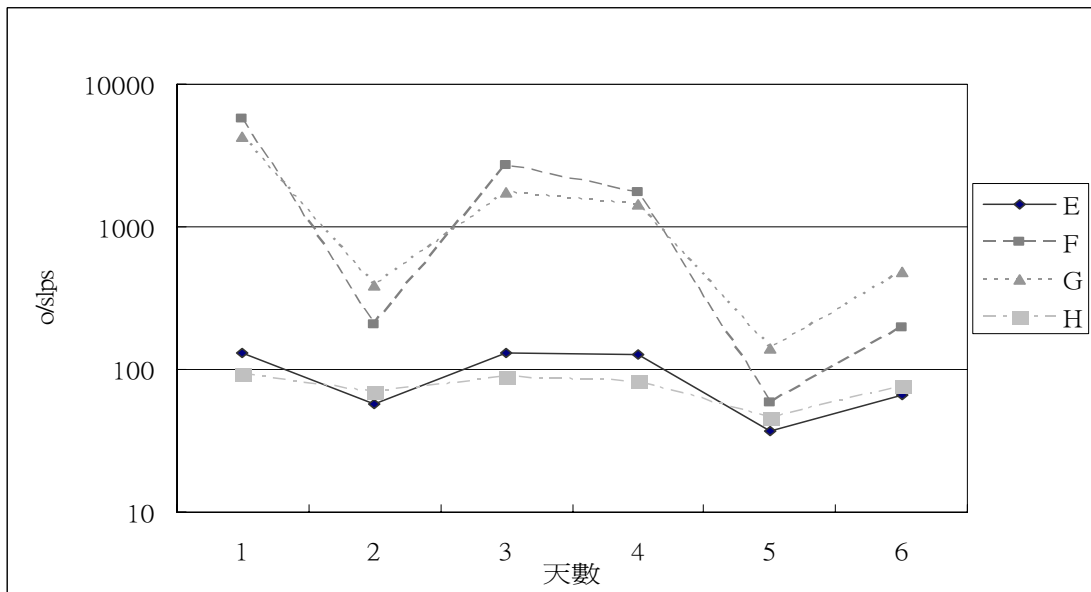


圖4-8 編號E-H接收儀o/slps資料品質

由上表的得知，編號 F 接收儀在 Mp1 與 Mp2 指標中有良好的品質，而編號 H 接收儀在多路效應指標與週波脫落指標中品質都不理想。

4-1-2 Bernese 5.0 版解算資料品質成果

本研究之品質檢核軟體 Bernese 5.0 版進行解算。在解算內部時鐘偏移量及頻率穩定度時，須選擇接收儀之內部時頻為標準，本研究中所選擇的是 IGS 站中台灣的 TWTF 站仍須取一個參考頻率源作為標

準（即假設該頻率源的時間偏移量為零）；由於目前國際時頻標準的定義仍採用 1967 年第 13 屆國際度量衡大會的決議：1 秒等於銫 133 原子於基態之兩個超精細能階間躍遷時所放出輻射週期的 9192631770 倍時間【ISO, 1995】。故在本文中，選擇由國家時間及頻率標準實驗室負責維持的 TWTF 站當作頻率參考站，該站所採用的 GPS 接收儀為 Ashtech Z-XII3T（如圖 4-9 所示），且該接收儀外接 HP5071A 銫原子鐘（如圖 4-10 所示），並配合 ASH701945C_M 環形天線盤（如圖 4-11 所示），同樣是全年 24 小時不間斷的接收 GPS 觀測資料。其時鐘偏移量及頻率穩定度皆達一定之水準，且優於一般 GPS 接收儀內部的晶體時鐘。

因此，在本節中使用相位推求接收儀內部時鐘偏移量及頻率穩定度時，將以該接收儀之內部時頻為標準（即假設其內部時鐘偏移量及頻率穩定度為 0），來進行後續的資料處理。所求得之各種編號接收儀之內部時鐘的平均偏差量（ t_p ，以秒為單位）以及內部時鐘的穩定度（ f_p ，以秒為單位）。



圖4-9 TWTF站所使用的GPS接收儀



圖4-10 TWTF站所使用的銫原子鐘



圖4-11 TWTF站所使用的天線盤

使用 Bernese 5.0 計算出來的時間穩定度與時間偏移量部分，使用 Stable 32 軟體以 30 秒 1 筆為取樣間隔，求出 Sigma 的數值為 fp 的部分，tp 的計算也是使用軟體的積分功能計算出線性化後的頻率數值，晶體時鐘所表現出來的 tp(如圖 4-12)與 fp(如圖 4-13)部分，各編號儀器內部時鐘的穩定度與偏移量取平均後，詳列於表 4-3 與 4-4，其成果如圖 4-14 到 4-16，詳細計算成果如附錄 B。

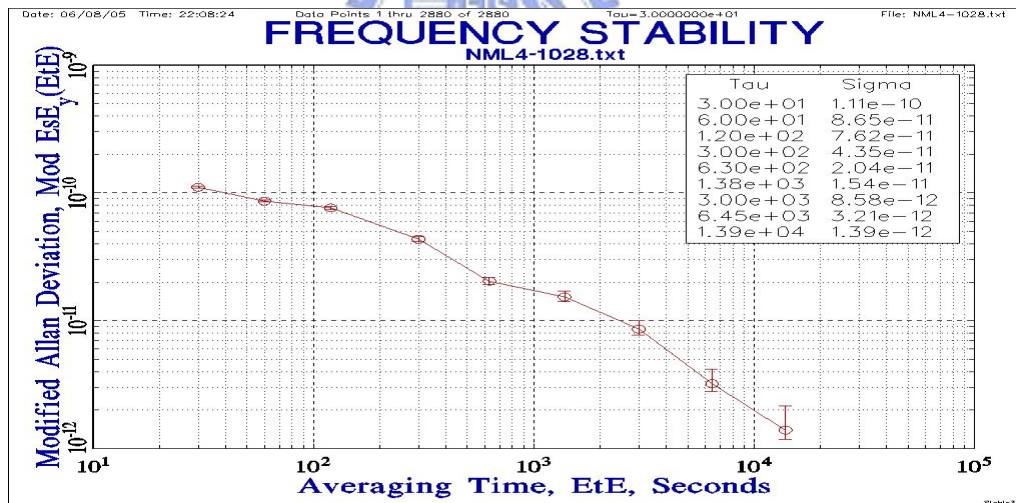


圖4-12 編號F儀器在10月28日的穩定度

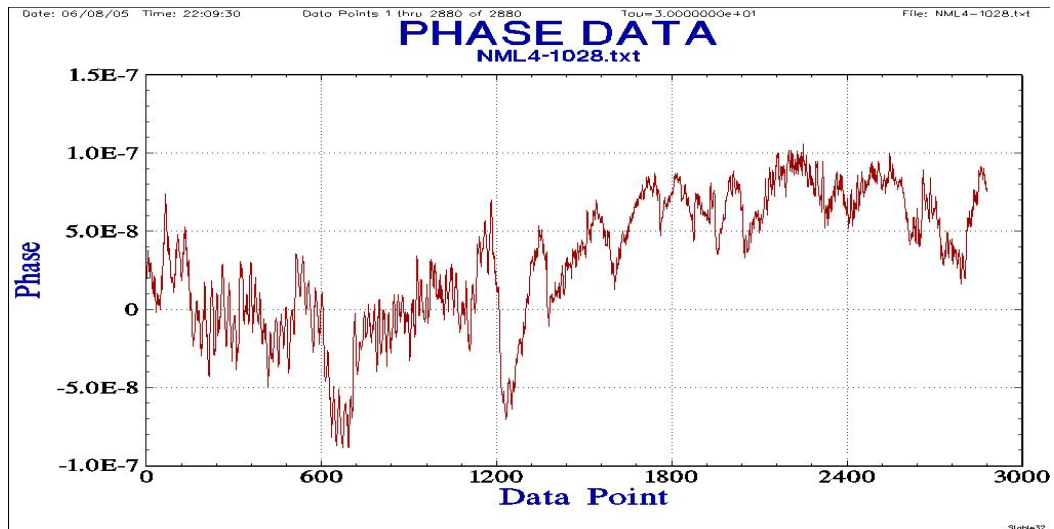


圖4-13 編號F儀器在10月28日的偏移量

表4-3 A-D編號號儀器內部時鐘的穩定度與偏差量

編號	fp(秒)	tp(秒)
A	2.17E-10	-5.726998E-13
B	1.14E-10	1.283159E-12
C	8.29E-11	8.673095E-14
D	2.95E-09	-4.355576E-13

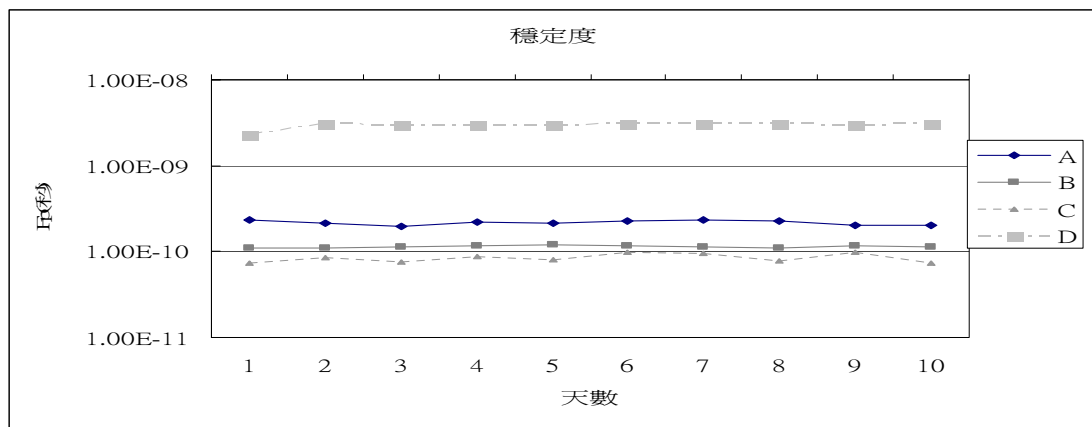


圖4-14 編號A-D每日的穩定度

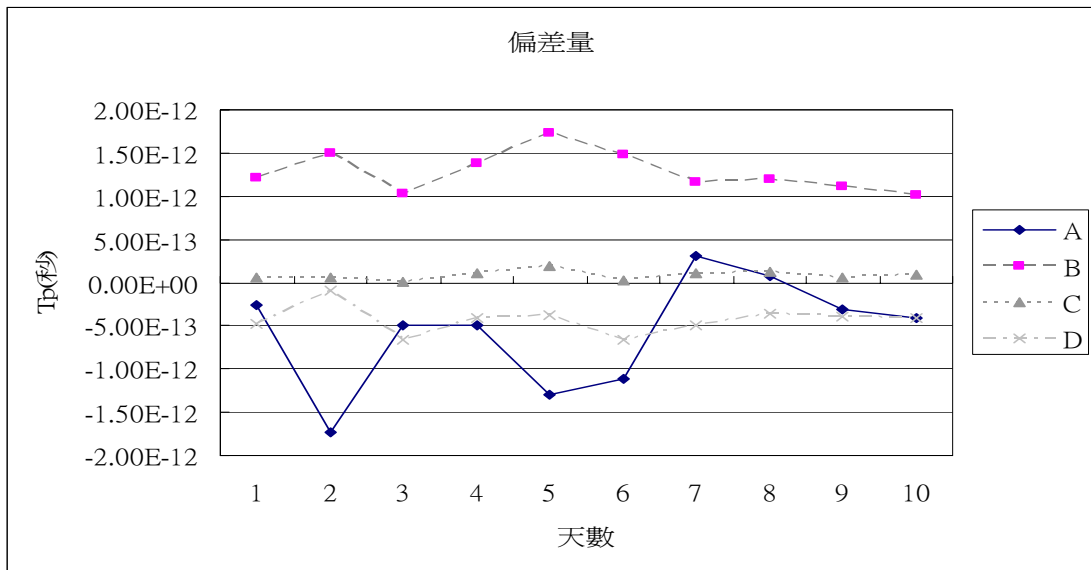


圖4-15 編號A-D每日的偏移量

表4-4 E-H編號號儀器內部時鐘的穩定度與偏差量

編號	fp(秒)	tp(秒)
E	5.08E-11	1.859516E-12
F	4.67E-08	-1.639230E-07
G	3.76E-06	1.242315E-09
H	3.82E-06	1.888646E-07

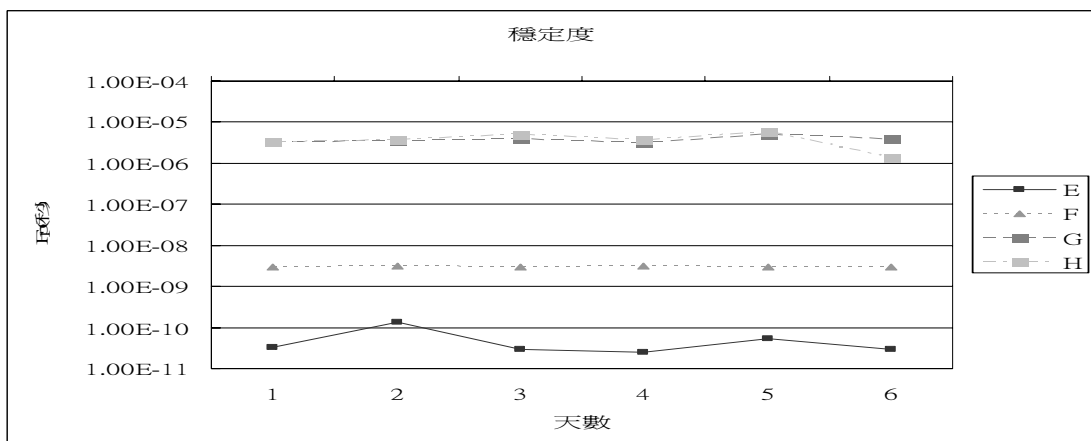


圖4-16 編號E-H每日的穩定度

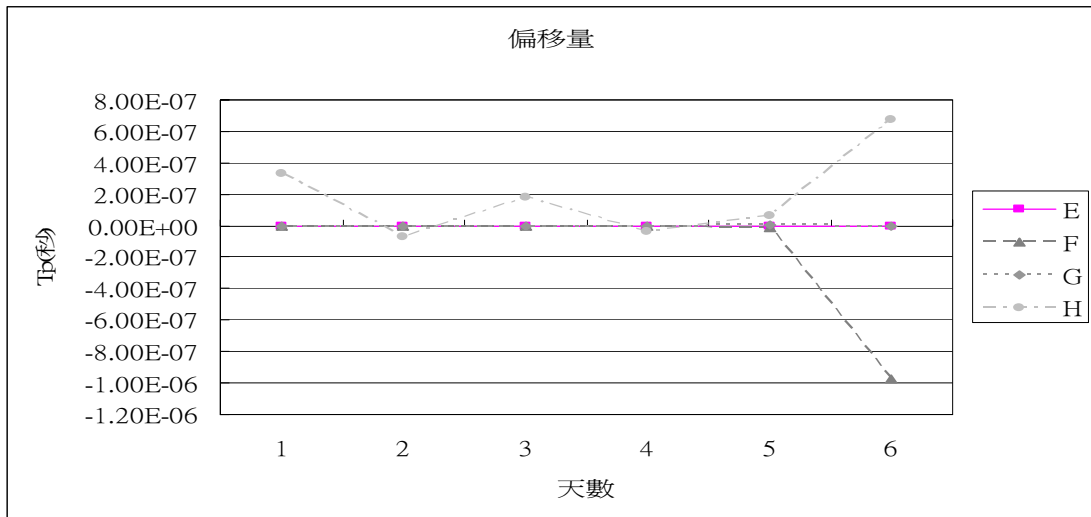


圖4-17 編號E-H每日的偏移量

由上述表 4-3 分析得到，在內接時間鐘的穩定度指標來看，其穩定度指標數值越小為越穩定，而內部時間的頻率偏移量也是越小越好，其中以編號 C 的儀器穩定度最佳而儀器編號 D 的穩定度最差，而在時鐘偏移量部分依然是以編號 C 的儀器偏移量最小，而偏移量最大的是編號 B 的儀器；在表 4-4 我們分析資料得到編號 E 的穩定度與偏移量都是最小，而編號 H 的穩定度與偏移量都是最大的。

綜合表 4-1 到 4-4 的成果，綜合分析發現每一台儀器都有不同的表現，品質指標各有優劣之處即使相同型號儀器其指標表現也不盡相同，所以無法直接判斷 GPS 固定站接收儀的儀器與指標的直接關係；因此，接下來將探討各型儀器在短、長基線定位精度之表現，來分析上述各項指標與定位精度之相關性。

4-2 基線計算與分析

為了評估各編號儀器對於不同基線距離的定位精度，本研究透過網路下載IGS連續追蹤網中的日本USUD衛星固定站、台灣TWTF衛星固定站，約制上述兩坐標作為主站，分別對各廠牌型號儀器進行短距離（25 km，對TWTF站）、長距離（2000 km，對USUD站）的基線解算。

4-2-1 短距離基線分析

吾人透過IGS連續追蹤網中的台灣TWTF衛星固定站為主站，分別對不同儀器進行相對定位計算。將Bernses 5.0計算基線成果取標準偏差值，而基線長度則取平均值來計算，將得到各點基線成果的變化量如表4-5、4-6，吾人將每天定位成果與平均值做比較成果如圖4-18與圖4-19所示，詳細計算成果如附錄C。

表4-5 A-D編號儀器短基線的定位精度

編號	平均值(m)	中誤差(m)
A	24839.1207	0.0013
B	24838.4539	0.0013
C	24837.7478	0.0015
D	24868.8776	0.0011

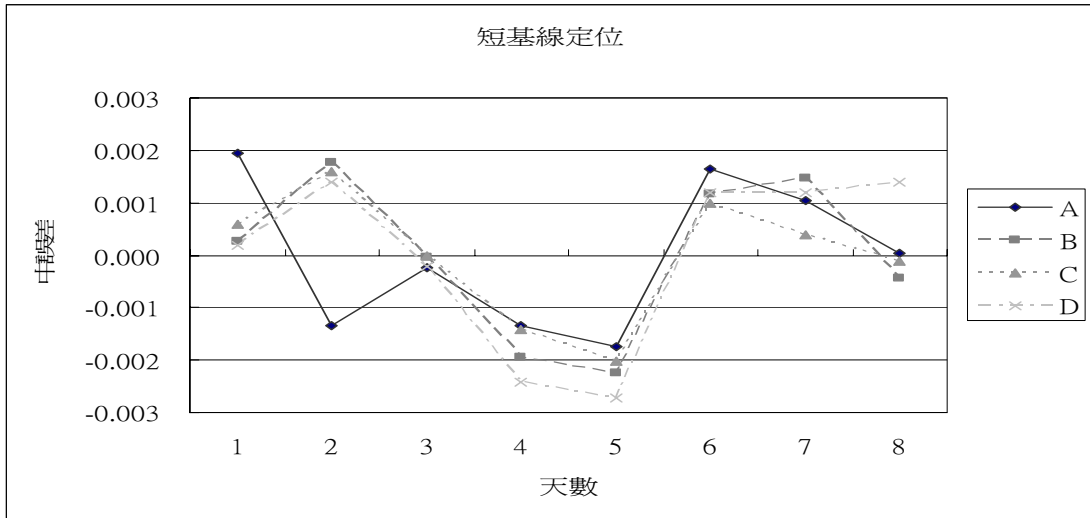


圖4-18 A-D型儀器每日短基線定位精度變化

表4-6 E-H編號儀器短基線的定位精度

編號	平均值(m)	中誤差(m)
E	24838.4404	0.0017
F	24837.7295	0.0017
G	24868.8763	0.0012
H	24872.8874	0.0010

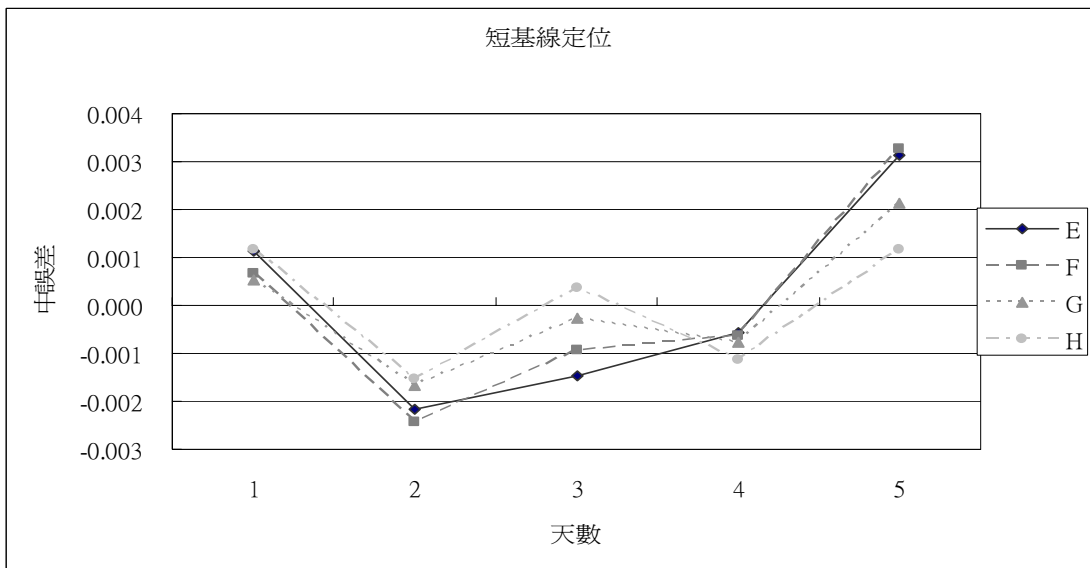


圖4-19 E-H型儀器每日短基線定位精度變化

4-2-2 長距離基線精度分析

吾人以IGS連續追蹤網中的日本USUD衛星追蹤站為主站，分別對不同編號的儀器進行相對定位計算，以天為單位來做基線解算，將基線做標準偏差，將每日基線長度取平均值如表4-7、4-8所示，將可以得到基線每天計算結果的變化量，亦將各儀器每日基線長度對於平均值取差值如圖4-7與圖4-8所示。

表4-7 A-D編號儀器長基線的定位精度

編號	平均值(m)	中誤差(m)
A	2074028.8833	0.0146
B	2074028.4066	0.0145
C	2074027.8717	0.0125
D	2074058.8552	0.0143

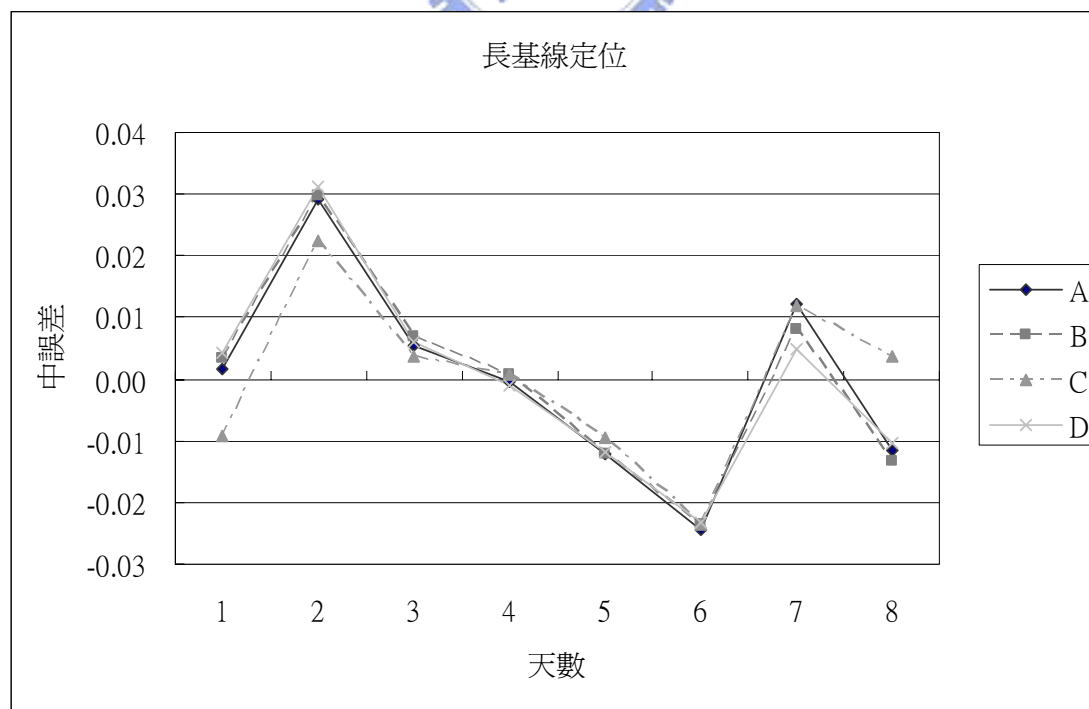


圖4-20 A-D型儀器每日長基線定位精度變化

表4-8 編號E-H儀器長基線的定位精度

編號	平均值(m)	中誤差(m)
E	2074028.4398	0.0061
F	2074027.9049	0.0076
G	2074058.8990	0.0077
H	2074062.7495	0.0066

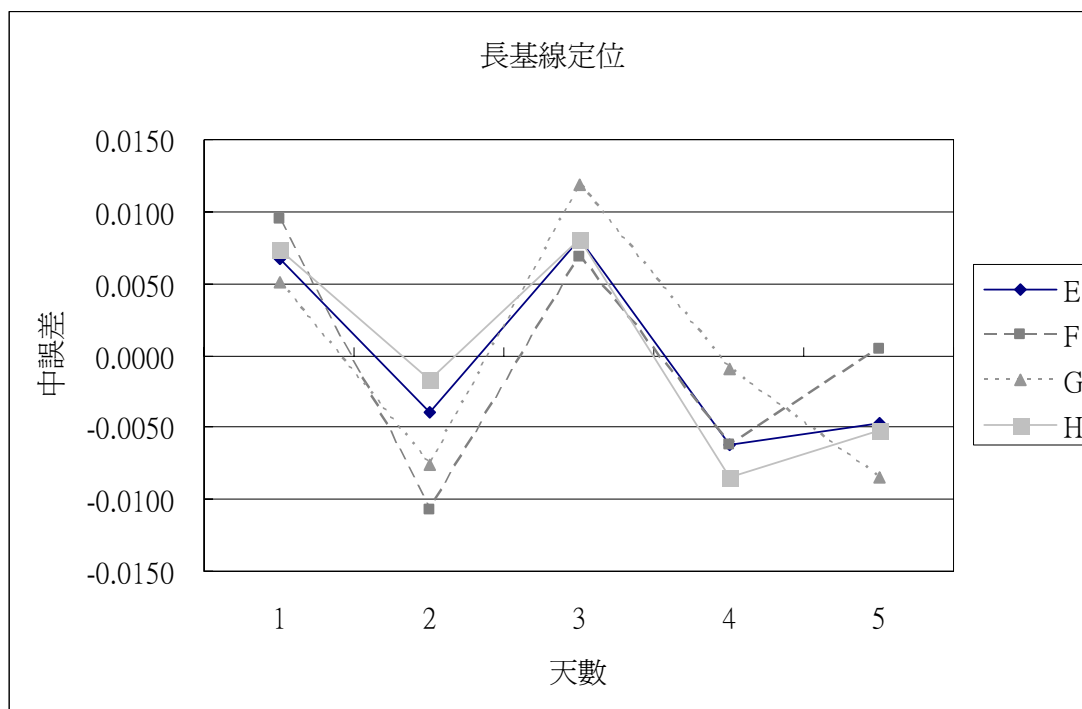


圖4-21 E-H型儀器每日長基線定位精度變化

4-2-3 綜合評估分析

從2003年外業收集的觀測資料編號A-D接收儀器來分析，從時鐘穩定度的指標看來C的穩定度(fp)最好，其組合長距離基線時精度也是最高，但是其組合短距離基線時成果最差，而編號C的儀器頻率穩定最低，組基線的精度有還不錯的表現，從表4-1可以發現編號的C觀測資料最好，而編號A的觀測資料最差，但是編號A的接收儀對於組基

線解算成果中並無較差表現；我們同時引入2002年的資料來看，從表4-2的成果來看，觀測資料量指標中以編號E儀器最多其穩定度也是最高，在組合長距離基線時其精度亦是最高，但是短基線精度最高的編號H儀器其穩定度卻不佳，所以觀測資料指標對於基線穩定度並沒有太大關聯，而我們解算精度長短基線的相差都不超過2 mm，可以說精度相當良好，也完全符合內政部制訂一等衛星控制點的規範。



4-3 三維坐標計算與分析

為了分別針對坐標N、E、h方向進行探討，吾人先透過內政部所提供的坐標轉換程式將X、Y、Z坐標轉換為N、E、h坐標，以方便針對平面方向以及高程方向的穩定度做更進一步的探討。

4-3-1 短距離相對定位坐標分析

吾人以IGS連續追蹤網中的台灣TWTF衛星固定站為主站，將每天計算而得的N、E、h坐標分別減去其平均值來進行坐標重現性分析，計算各型儀器短距離相對定位N、E、h三軸坐標標準差及其合成量作為定位精度指標，其成果取平均如表4-9、4-10所示，其中水平分量為N、E平方後相加開根號得其成果，在三維合成量部分，是將N、E、h平方後將加開根號所得，並將成果繪製成圖如圖4-22到4-29，將可以得到各測站坐標分量的變化量。

表4-9 編號A-D短距離定位N、E、h三軸坐標標準差及三維合成量

編號	N(mm)	E(mm)	h(mm)	水平 (mm)	合成量 (mm)
A	1.7	1.2	7.1	2.1	7.4
B	0.8	1.2	6.9	1.5	7.0
C	1.0	1.3	5.1	1.6	5.3
D	0.9	1.1	5.4	1.5	5.6

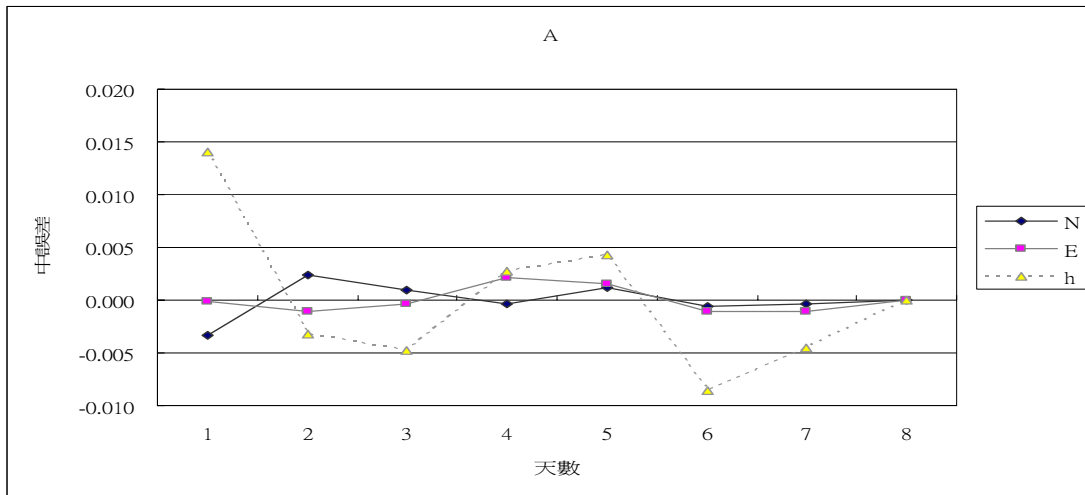


圖4-22 編號A接收儀短距離三軸坐標變化量

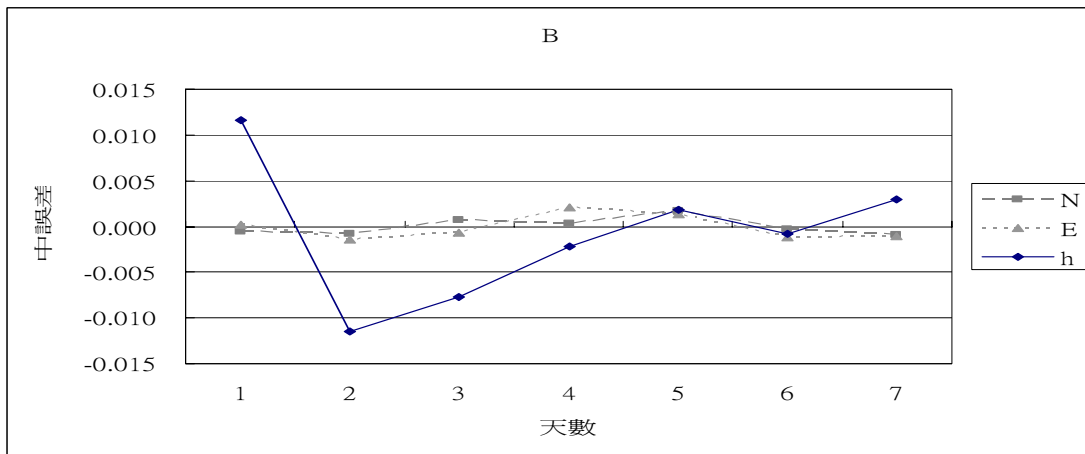


圖4-23 編號B接收儀短距離三軸坐標變化量

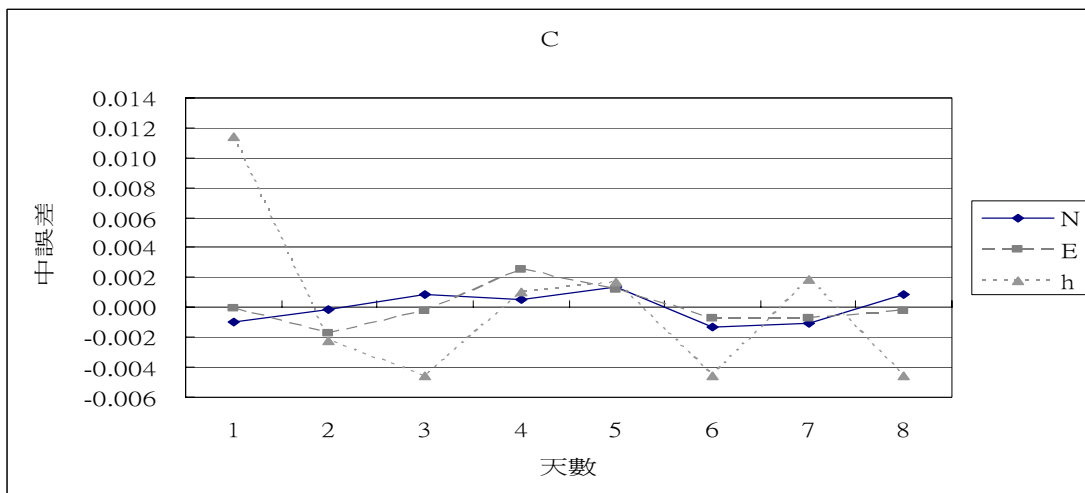


圖4-24 編號C接收儀短距離三軸坐標變化量

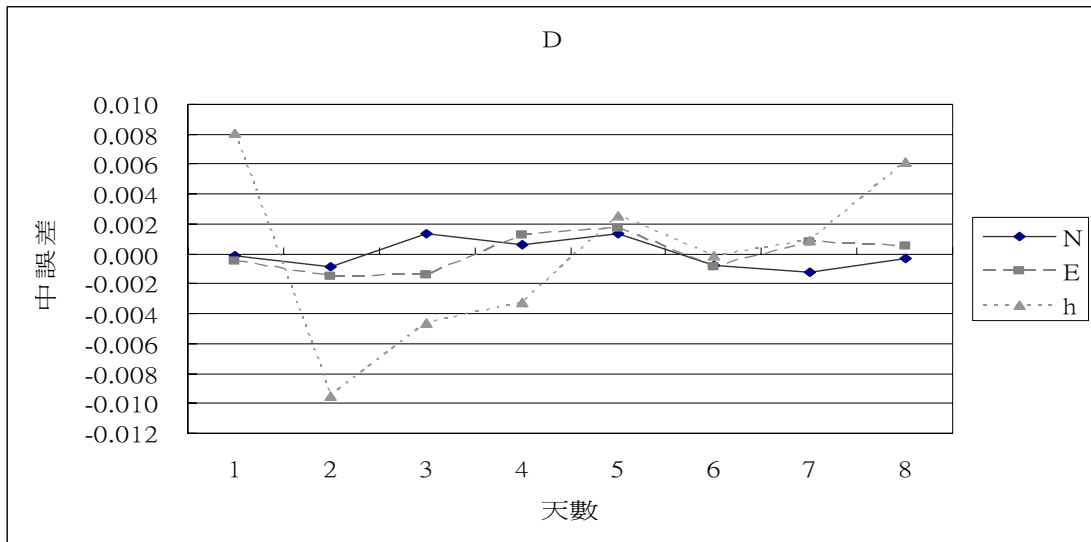


圖4-25 編號D接收儀短距離三軸變化量

表4-10 編號E-H短距離定位N、E、h三軸坐標標準差及三維合成量

編號	N(mm)	E(mm)	h(mm)	水平 (mm)	合成量 (mm)
E	1.7	1.0	2.0	2.0	2.9
F	1.4	0.9	2.6	1.7	3.1
G	1.5	0.9	4.6	1.7	4.9
H	1.1	0.9	5.2	1.4	5.4

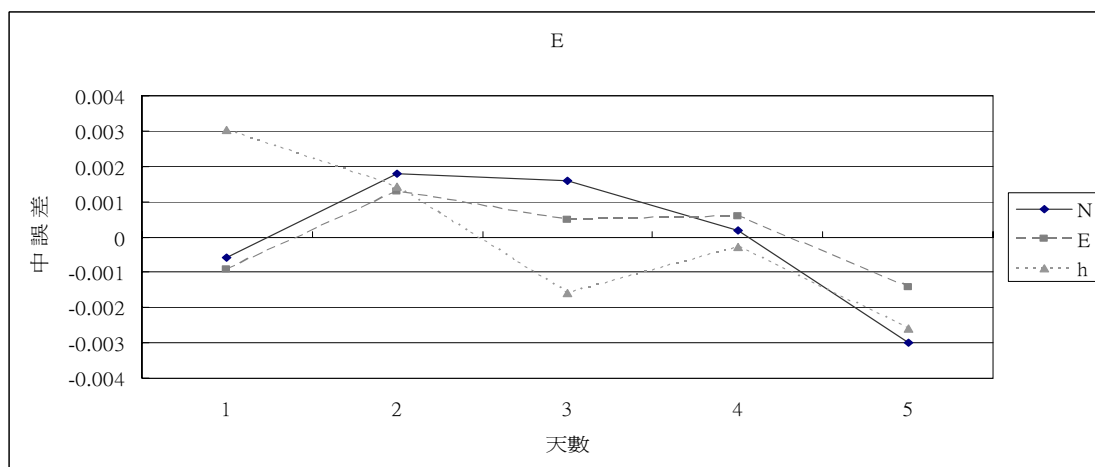


圖4-26 編號E接收儀短距離三軸變化量

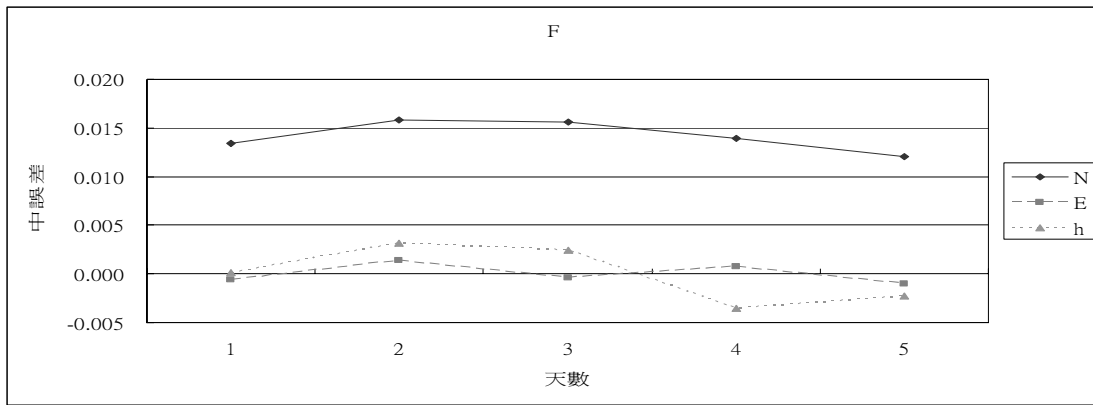


圖4-27 編號F接收儀短距離三軸變化量

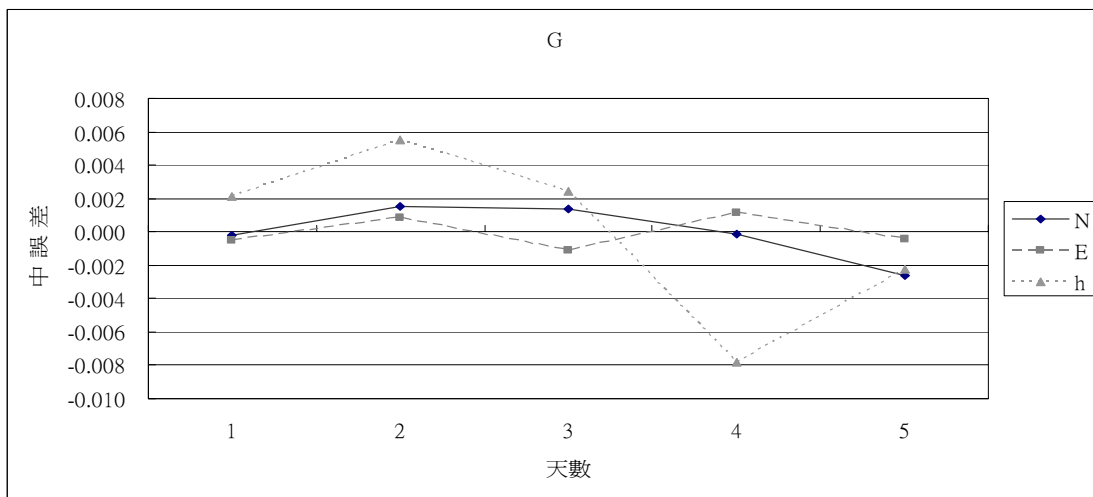


圖4-28 編號G接收儀短距離三軸變化量

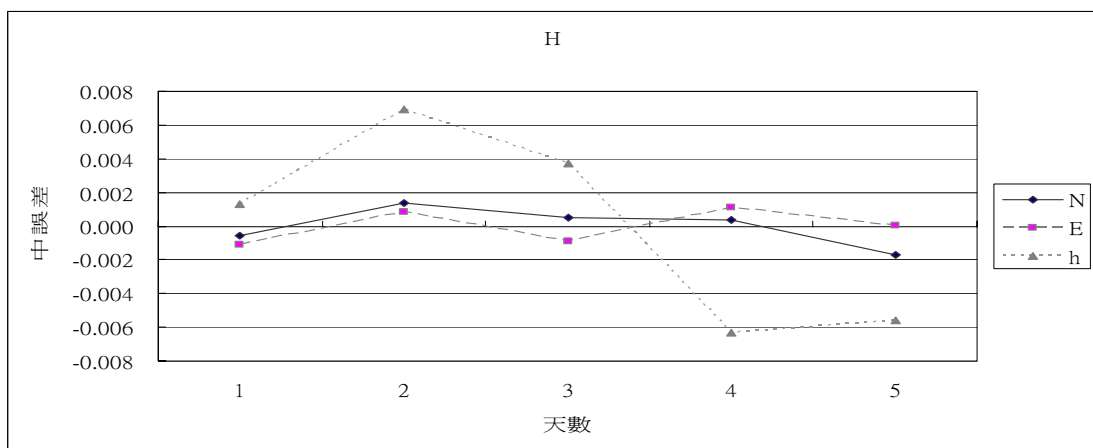


圖4-29 編號H接收儀短距離三軸變化量

從表 4-9 來分析，平面方向編號 B 與編號 D 的儀器精度最高為 1.5 mm，從合成量來看以編號 C 的儀器精度最高其變化量為 5.3 mm，而編號 A 的儀器在短基線中平面與合成量都是最差，而從表 4-10 來看平面精度最高為編號 H 的儀器其變化量為 1.4 mm，而合成量卻是編號 E 的儀器精度比較高。

4-3-2 長距離相對定位坐標分析

吾人以IGS連續追蹤網中的日本USUD衛星固定站為主站，分別對不同儀器進行相對定位計算，所獲得的成果如下表4-11、4-12，這裡僅取平均所示，完整資料解算成果列於附錄。將計算而得的基線長減去其平均值，並將成果繪製成圖，將可以得到各基線每天計算變化量，其成果圖如圖4-30到4-37

表4-11 編號A-D長距離N、E、h三軸坐標標準差及三維合成量

編號	N(mm)	E(mm)	h(mm)	水平(mm)	合 成 量
A	6.9	13.5	25.8	15.2	29.9
B	6.7	16.6	23.8	17.9	29.8
C	7.0	14.2	18.6	15.8	24.4
D	6.7	16.3	21.0	17.6	27.4

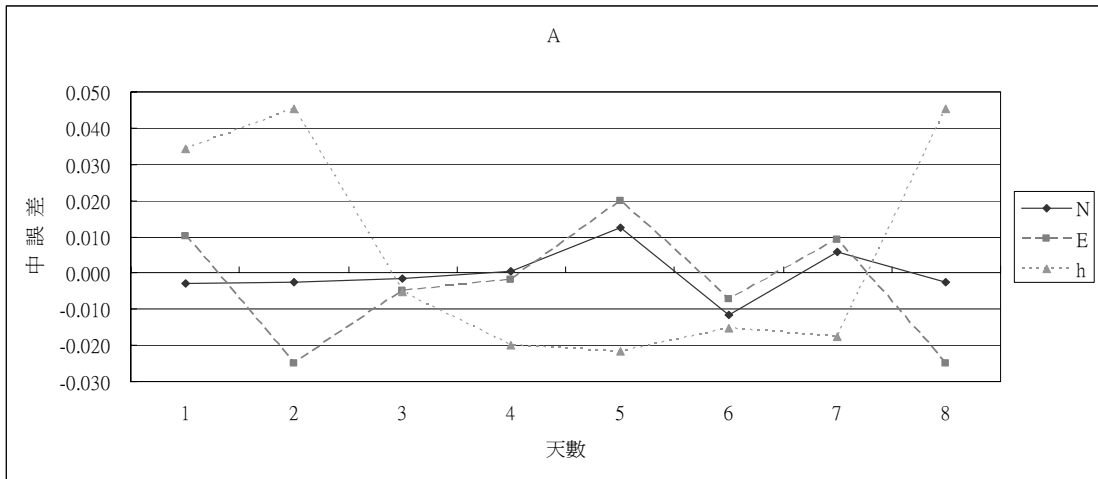


圖4-30 編號A接收儀長距離三軸坐標變化量

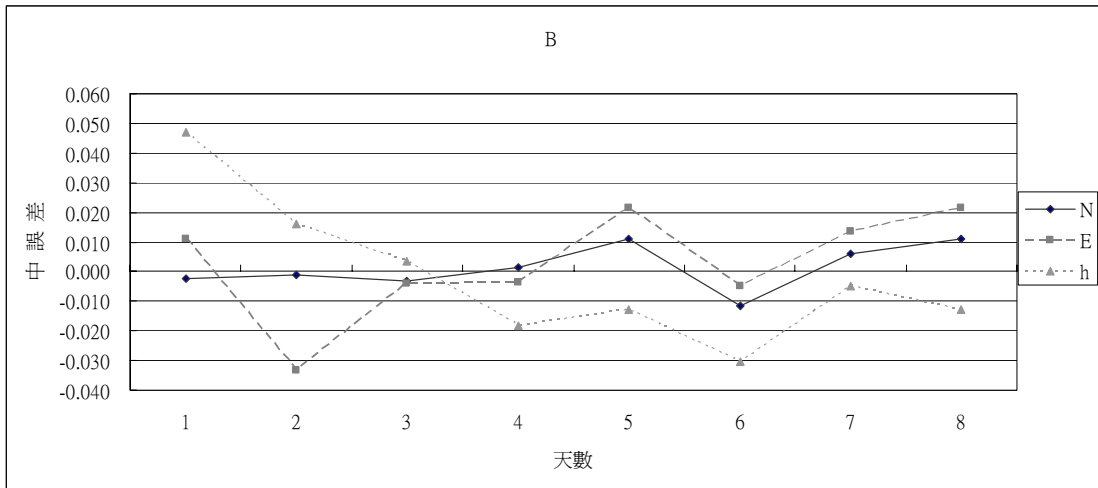


圖4-31 編號B接收儀長距離三軸坐標變化量

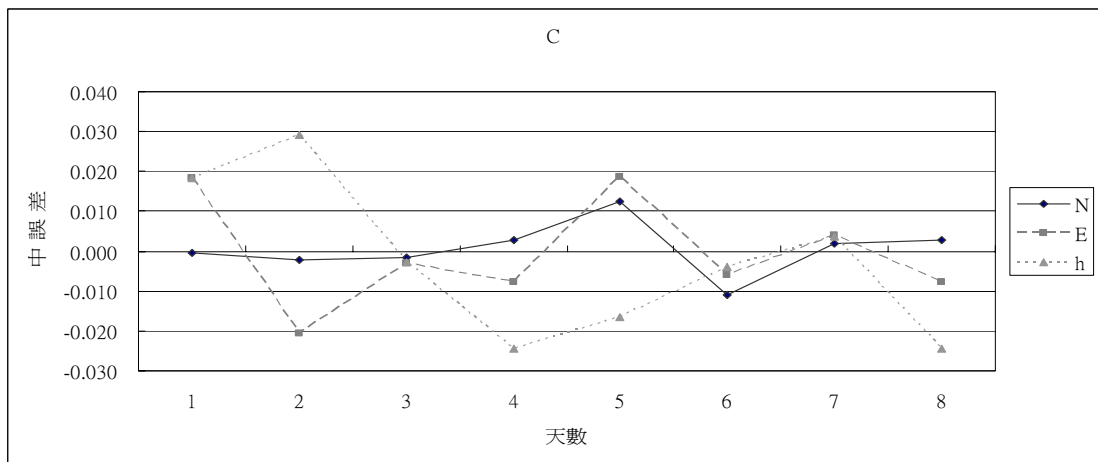


圖4-32 編號C接收儀長距離三軸坐標變化量

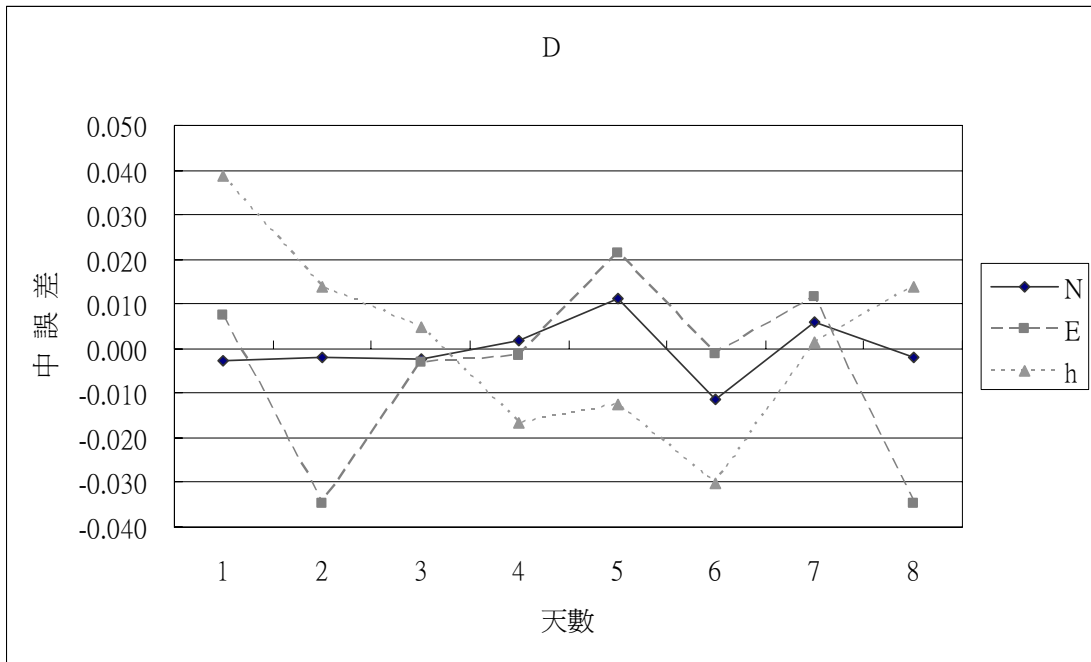


圖4-33 編號D接收儀長距離三軸坐標變化量

表4-12 編號E-H長距離N、E、h三軸坐標標準差及三維合成量

編號	N(mm)	E(mm)	h(mm)	水平(mm)	合成量
E	6.8	6.9	15.2	9.7	18.1
F	6.7	7.8	16.2	10.3	19.2
G	5.7	10.6	15.1	12.0	19.3
H	6.7	5.8	18.3	8.9	20.4

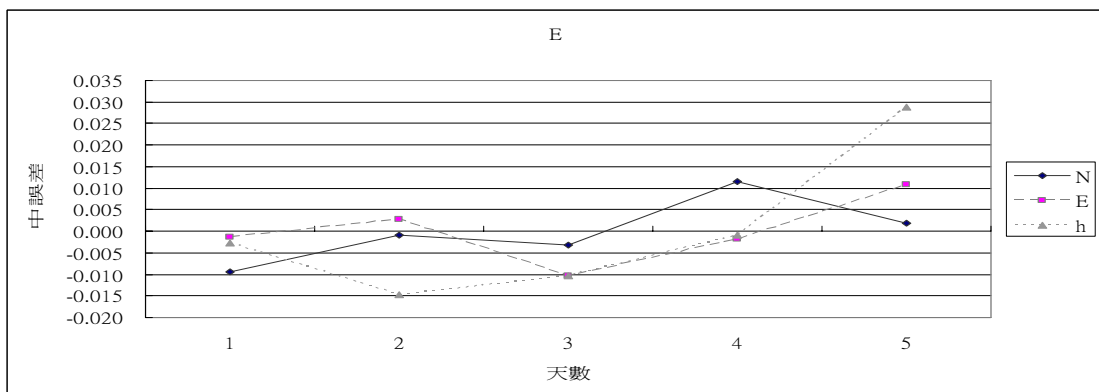


圖4-34 編號E接收儀長距離三軸坐標變化量

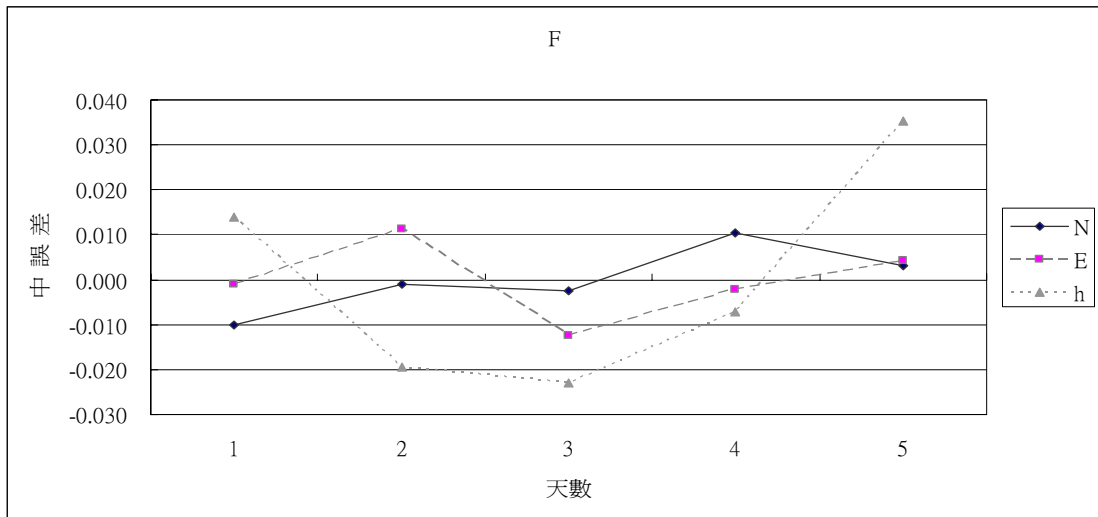


圖4-35 編號F接收儀長距離三軸坐標變化量

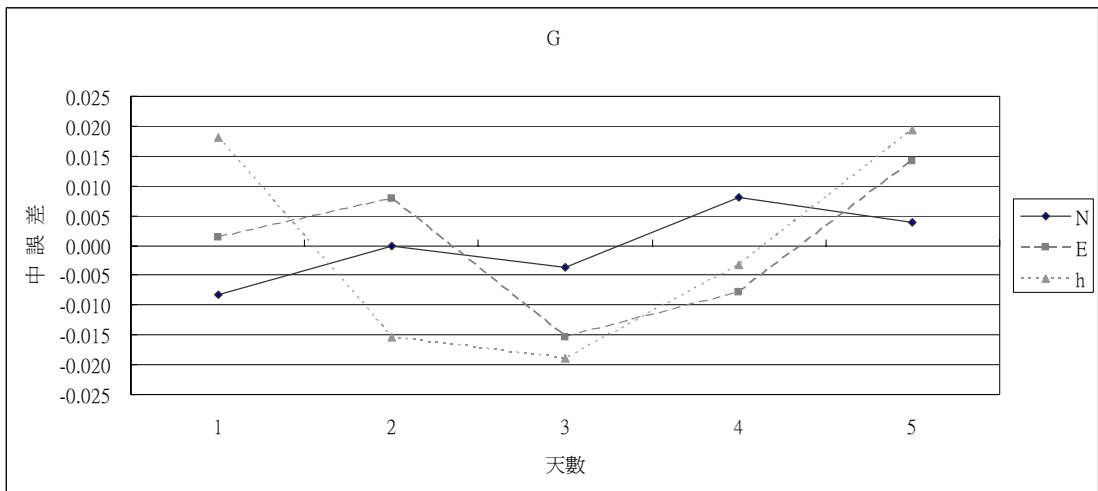


圖4-36 編號G接收儀長距離三軸坐標變化量

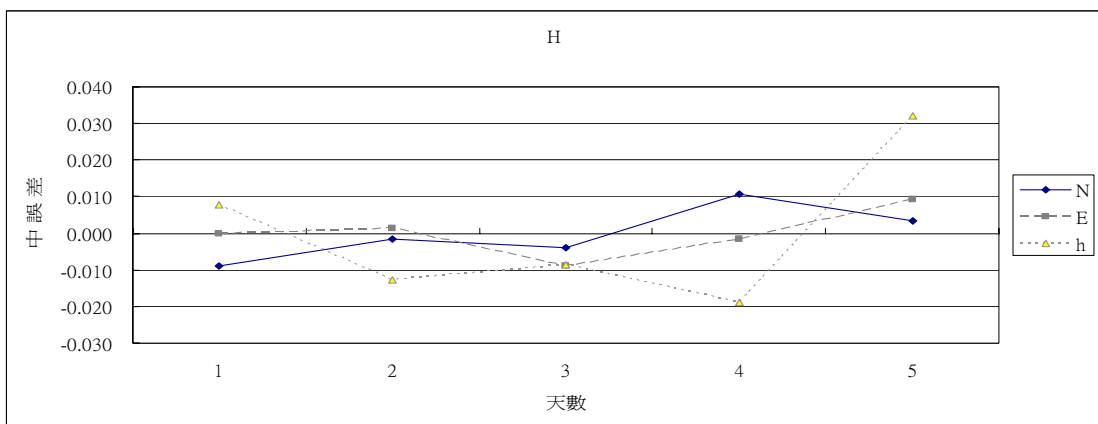


圖4-37 編號H接收儀長距離三軸坐標變化量

從表 4-11 來分析編號 A-D 的長距離 N、E、h 的變化，水平方面的變化量屬於編號 A 接收儀的變化量最小，而編號 B 的儀器其變化量最大其變化量；而從表 4-12 來分析，編號 H 的接收儀其水平定位最好，其精度為 8.9 mm，合成量的變化則以編號 E 的儀器精度最好其精度為 18.1 mm。

4-3-3 品質指標與相對定位精度之分析

我們將 2003 年與 2002 年的觀測資料指標與 Bernese5.0 所解算的相對定位成果將組合表格以分析其相關性，吾人將組合表 4-1 到表 4-12，將從品質指標中找出影響相對定位的因素，其組合成果為表 4-13、表 4-14。

表 4-13 2003 年觀測品質指標與長、短距離相對定位精度

編號	資料量	MP1 m	MP2 m	o/slps	fp 秒	tp 秒	短距離 mm	長距離 mm
A	17153	0.42	0.70	274	2.17E-10	-5.78E-13	7.4	29.9
B	23632	0.28	0.38	844	1.14E-10	1.28E-12	7.0	29.8
C	20275	0.18	0.18	99	8.29E-11	8.67E-14	5.3	24.4
D	24341	0.12	0.22	418	2.95E-09	-4.35E-13	5.6	27.4

表 4-14 2002 年觀測品質指標與長、短距離相對定位精度

編號	資料量	MP1 m	MP2 m	o/slps	fp 秒	tp 秒	短距離 mm	長距離 mm
E	21310	0.38	0.47	92	5.08E-11	1.85E-12	2.9	18.1
F	18959	0.11	0.13	1768	4.67E-08	-1.63E-07	3.1	19.2
G	18382	0.29	0.36	1408	3.76E-06	1.24E-09	4.9	19.3
H	19943	0.18	1.00	76	3.82E-06	1.88E-07	5.4	20.4

綜合 2003 年與 2002 年的品質指標，全部以相對定位之精度分析時，6 項指標中以接收儀內部時鐘穩定度(fp)的影響比較大，如表 4-13、表 4-12 中編號 C 的接收儀與編號 E 的接收儀這兩部頻率穩定度高，故其短基線定位與長基線定位有較佳的精度，而編號 H 的接收儀其穩定度較低所以其定位也是較差。

第二項影響比較大的是多路徑效應(MP1 及 MP2)，根據表 4-13 其中編號 A 與編號 B 儀器的穩定度相似，而編號 A 的儀器多路徑效應較大所以其精度較差；同理，表 4-14 其中編號 G、H 的接收儀穩定度雷同，而多路徑效應以編號 H 儀器大，所以定位就略遜於編號 G 的儀器。

第三重要得指標為觀測資料量，因為定位需要好的資料，而資料不足時定位會出現大的RMS，資料量夠大時週波脫落(o/slps)可以由軟體作適當的修補之；影響最小的指標為接收儀內部時鐘偏移量 (tp)，雖然每個接收儀內部時鐘的偏移量彼此之間差距都甚大，但在定位精度上卻看不出有何影響，主要原因可以用下面公式【曾清涼，儲慶美，1999】來解釋。

$$\varepsilon = a_0 + a_1(t - t_{oe}) + a_2(t - t_{oe})^2 \quad (4-1)$$

ε ：時間修正量

a_0 ：相對於GPS時的時間偏差（clock bias）

a_1 ：相對於實際頻率的頻率偏差係數（clock drift）

a_2 ：為時鐘頻率的飄移係數（clock drift-rate）

t ：接收儀時間

t_{oe} ：參考時間

因為要修正時間誤差一般以 ε 來修正，而接收儀大部分會記錄其時鐘偏移量，並在定位的過程中加以修正，故其影響不大，但內部頻率穩定度 a_1 並不會紀錄修正。所以要是內部頻率穩定度較差的話，在解算的過程中因為難以有效的修正，故其影響量最大。



4-4 品質指標應用於驗證固定站觀測資料

吾人利用上面將儀器所做出來的指標評估，用來驗證墾丁 2003 年 3 月 27 號到 29 號、2003 年 10 月 28 號到 11 月 6 號、2004 年 10 月 28 號到 11 月 6 號的觀測依六種指標與坐標重複性來分析其變化，其成果如表 4-15。

表 4-15 墾丁衛星追蹤站品質指標比較

編號	資料量	MP1 m	MP2 m	o/slps	tp 秒	fp 秒	短距離 mm	長距離 mm
2003-3	21669	0.27	0.29	10	6.57E-11	-9.95E-14	2.6	21.72
2003-10	18993	0.24	0.25	88	1.26E-10	-3.68E-14	3.0	25.57
2004-10	22732	0.73	0.74	92	2.98E-10	-5.02E-14	3.6	30.50

根據本文所研究的觀測資料指標中，以影響定位最大的指標頻率時間穩定度最佳的為 2003 年 3 月的資料，所以其短距離相對定位精度為 2.6 mm 與長距離相對精度為 21.72 mm 都三個時段中最好的，而 2003 年 10 月的短距離相對定位精度為 3.0 mm，長距離的相對定位精度為 25.57 mm，上述兩者相比較之，2003 年 3 月的頻率穩定度高於 2003 年 10 月的頻率穩定度大約一個數量級，所以在短距離定位或長距離定位上，其定位精度約提升 13%~15% 的精度，2003 年 10 月與 2004 年 10 月穩定度屬於同數量，但是 2004 年 10 月的指標品質明顯比較差，以多路徑效應指標來看 2004 年 10 月大約比 2003 年 10 月大 0.5 m 左右的誤差，所以定位精度上也略遜有 11%~16% 左右的精度，有不過同時也發現頻率的穩定度每年逐漸下降，所以接收儀也需

要作某些適當的修正後，才能減小其誤差量；對於未來我們選用固定站資料時，我們可以考慮先選擇品質指標中的頻率穩定度高與多路徑效應小的固定站來作約制解算，或者是約制有外接時鐘的固定站，這樣可以讓解算可以提升 13 %~15 % 的精度，從週波脫落來看，2003 年 3 月每 10 筆資料就發生一次週波脫落，與 2003、2004 年 10 月的週波脫落每 90 筆發生一次週波脫落相比較，發現其差異相當不尋常，吾人與相關站管人求證後，2003 年 3 月時因為電腦當機緣故，導致墾丁衛星固定站的設定參數有所變更，才會導致週波脫落嚴重的問題，因此本研究六項指標的確可以有效的控管固定站的資料品質，對於固定站的管理更有效，將來可以把長期分析的固定站成果，將固定站依六項品質指標做觀測品質的分等，可以提供給廣大的 GPS 使用者選用固定站的參考。



4-5 品質指標應用於特殊測量環境

吾人將比較特殊環境對於指標的反應，所以選在交大游泳池、高壓電塔下、交大的大型停車場 3 個試驗場，擺設 TRIMBLE 5700 接收儀，施測時間為 2005 年 5 月 29 號到 6 月 7 號共三天時間，擺設時間為每天下午兩點到六點接收共四小時的時間，衛星截角設定 15 度，取樣間隔為 30 秒，由於只擺設四小時，所以採用約制短距離的 TWTF 站與長距離的 USUD 站組成基線解坐標，以基線解的 RMS 值作為定位精度的評斷標準，成果為表 4-16 所示。

表 4-16 特殊環境的指標比較

編號	資料量	MP1 m	MP2 m	o/slps	tp 秒	fp 秒	短基線 RMS	長基線 RMS
停車場	2788	0.49	0.78	2788	8.81E-06	-3.42E-10	0.0006	0.0015
游泳池	3423	0.33	0.53	1333	8.57E-06	-3.94E-09	0.0012	0.0022
高壓電塔	3067	0.75	1.13	170	8.94E-06	1.31E-09	0.0048	0.0093

由上述分析資料得到以下結論，因為游泳池停車場、游泳池與高壓電塔為同一台儀器，而且在短時間內擺設儀器，從頻率穩定度指標來看，其穩定度等級為相類似，而觀測量也都在 3000 筆左右所以吾人比較多路徑效應指標來看，但是高壓電塔對於多路徑效應也有嚴重影響，其數值為全部干擾環境中最高，所以受到電磁波嚴重干擾時多路徑效應會很明顯，從週波脫落的指標來看，高壓電塔旁的週波脫落嚴重，所以對於長、短基線定位其誤差量所以偏高，所以說當固定站受到莫名電磁波干擾時，其多路徑效應會突然爆高，所以請站管人員可以多加留心注意附近是否有電磁波之干擾。

第五章 結論與建議

本文所使用的儀器在坐標重覆性定位精度皆符合內政部所訂的 GPS 衛星點測量規範的要求。因此，本文所進行的測試僅供使用者對儀器的性能有初步的瞭解，所獲得的結果也是對於固定站資料做初步分析比較，若要做更精確的評估，則需要更多的實驗資料以增進其可靠度。

本研究採用了六項 GPS 觀測資料品質指標，來分析 GPS 觀測資料品質與基線解算精度之相關性，依據資料處理及結果分析，在此提出以下幾項結論及建議：

1. 綜合六項指標，各儀器在觀測品質指標上的表現各有其優缺點，並無法因儀器品牌作為固定站選用參考。
2. 為了評估各型儀器不同基線距離的定位精度，本研究約制 IGS 的 USUD 衛星固定站、台灣 TWTF 衛星固定站，其觀測品質指標反映在長短基線相對定位成果上都在 2 mm 左右，可算是非常的小。
3. 解算短基線的坐標變化，三維合成量方面來看編號 **LEICA RS500**、**BenchMark** 的型號的接收儀有比較好表現，不過各編號儀器相對定位精度全部都在 2 mm 左右的變化量。
4. 解算長基線坐標變化方面，而三維合成量部分以編號 **LEICA RS500**、**BenchMark** 比較好，其精度都在 20mm 左右，符合內政部一級衛星控制點精度。

5. 整體來看，本文所研究的六項指標中，以內接時間的頻率穩定度影響最大(fp)，次之為 Mp1、Mp2 的指標影響，第三為資料量與週波脫落數，最後為時鐘偏移量。
6. 根據本文所使用的觀測資料指標中，以影響定位最大的指標頻率時間穩定度最佳的為 2003 年 3 月的資料，所以其短距離相對定位與長距離相對精度都是最好的，所以建議在選擇衛星固定站，可以考慮先選擇品質指標中的頻率穩定度高與多路徑效應較小的固定站。
7. 在特殊環境干擾測試中，在短時間內擺設儀器，其穩定度指標與資料量部分相類似，而從多路徑效應指標來看，高壓電塔旁的週波脫落嚴重，所以對於長、短基線定位也比較差。
8. 在特殊環境測試中，目前只使用一種接收儀器未來可以多擺設幾種不同儀器去測試指標。

參考文獻

- 朱明亮、李振燾，2000 “應用 GPS 觀測量雜訊比指標作基線向量品質管制之研究”，國防大學中正理工學院，89 年碩士論文。
- 李瓊武、葉大綱、王傳盛、張明偉，2002，全球定位系統接收儀校正系統建立之探討，測量工程，第 44 卷，第 1 期，pp.25~36。
- 李旭志，1999。GPS 接收儀天線多路徑效應之研究，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 汪俊寰，2001。“GPS 衛星測量接收儀定位精度驗證之研究”，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 曾清涼、儲慶美，1999。“GPS 衛星測量原理與應用”，成功大學衛星資訊研究中心。
- 陳春盛、葉大綱，1999 “以觀測量不等權法處理 GPS 觀測資料究”，第十八屆測量學術及應用研討會論文集，第 119~128 頁
- 陳春盛，蔡豐吉，2002 “利用短基線場檢測 GPS 天線相位中心之研究”，第二十一屆測量學術及應用研討會論文集，第 765~774 頁。
- 葉大綱、王傳盛、李瓊武，2002。GPS 觀測資料品質影響相對定位精度之研究，地籍測量，第 21 卷，第 2 期，pp.14~27。
- 葉大綱、李瓊武，2002。“Bernese 研究軟體應用及基線解算精度研究”，技術報告。
- 黃德昌，2003。“GPS 多路徑效應行為模式分析之研究”，第二十二屆測量學術及應用研討會論文集，第 537~544 頁。

劉俊宏、史天元，2000。“單站 GPS 觀測量初步品質分析作業”，第四屆 GPS 衛星科技研討會，第 109~118 頁。

劉美利，2003。“應用零基線原理檢驗接收儀內部雜訊之研究”，國立交通大學土木工程系碩士論文。

蔡福利，2004。“GPS 接收儀檢定指標及觀測資料品質之研究”國立交通大學土木工程系碩士論文。

Beutler G., E. Brockmann, R. Dach, P. Fridez, W. Gurtner, U. Hugentobler, J. Johnson, L. Mervart, M. Rothacher, S. Schaer, T. Springer, R. Weber, 2001. Bernese GPS Software Version 4.2, Astronomical Institute, University of Berne.

Camparo J. C., L. S. Cutler, L. Maleki, 1999. IEEE Standard Definitions of Physical Quantities for Fundamental Frequency and Time Metrology Random Instabilities.

CDDIS Home page. <http://cddis.gsfc.nasa.gov/>

Chen C.S., T.K. Yeh, 2002. A Study on Enhancing Precision of GPS Positioning Using the Short Range Distance Baseline Field, Journal of Surveying Engineering, American Society of Civil Engineering, Vol.128, No.1, pp.21~38.

Hugentobler, U., R. Dach and P. Fridez, 2004. Bernese GPS Software Version 5.0 DRAFT, Astronomical Institute, University of Berne, Swiss.

IGS Home Page. <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>

ISO, 1995. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), 2nd ed., International Organization for Standardization, Switzerland.

Johnson, J., 1995. The Role of Multipath in Antenna Height Tests at Table Mountain, UNAVCO.

Yeh T.K., C.W. Lee, G.S. Peng, 2002. Study on the Establishment of GPS Receivers Calibration System and its Uncertainties of ITRF Coordinates, Oral Presentation, Joint BIPM–NPL Workshop on the Impact of Information Technology in Metrology, Teddington, United Kingdom.



附錄 A 接收儀 TEQC 解算成果

附錄 A-1 編號 A 接收儀的 teqc 成果

A	資料量	mp1	mp2	o/slps
10月28日	16718	0.43	0.68	334
10月29日	15382	0.42	0.68	240
10月30日	18740	0.41	0.7	347
10月31日	16563	0.4	0.67	200
11月1日	17091	0.39	0.7	311
11月2日	16797	0.4	0.64	357
11月3日	17882	0.45	0.75	252
11月4日	16903	0.42	0.73	260
11月5日	17517	0.47	0.7	190
11月6日	17935	0.44	0.71	253
平均	17153	0.42	0.7	274

附錄 A-2 編號 B 接收儀的 teqc 成果

B	資料量	mp1	mp2	o/slps
10月28日	23703	0.25	0.33	948
10月29日	23738	0.3	0.38	950
10月30日	23792	0.25	0.36	915
10月31日	23478	0.35	0.48	405
11月1日	23695	0.35	0.51	1185
11月2日	23579	0.27	0.38	813
11月3日	23653	0.29	0.41	946
11月4日	23631	0.25	0.33	844
11月5日	23372	0.28	0.37	519
11月6日	23683	0.22	0.26	911
平均	23632	0.28	0.38	844

附錄 A-3 編號 C 接收儀的 teqc 成果

C	資料量	mp1	mp2	o/slps
10月28日	20309	0.17	0.18	100
10月29日	20239	0.17	0.17	102
10月30日	20330	0.17	0.18	100
10月31日	19979	0.18	0.21	95
11月1日	20275	0.18	0.19	96
11月2日	20231	0.18	0.18	99
11月3日	20394	0.18	0.18	112
11月4日	20370	0.18	0.18	97
11月5日	20345	0.18	0.18	93
平均	20275	0.18	0.18	99.33

附錄 A-4 編號 D 接收儀的 teqc 成果

D	資料量	mp1	mp2	o/slps
10月28日	20309	0.17	0.18	100
10月29日	20239	0.17	0.17	102
10月30日	20330	0.17	0.18	100
10月31日	19979	0.18	0.21	95
11月1日	20275	0.18	0.19	96
11月2日	20231	0.18	0.18	99
11月3日	20394	0.18	0.18	112
11月4日	20370	0.18	0.18	97
11月5日	20345	0.18	0.18	93
平均	20275	0.18	0.18	99.33

附錄 A-5 編號 E 接收儀的 teqc 成果

E	資料量	mp1	mp2	o/slps
4 月 20 日	13763	0.25	0.32	131
4 月 21 日	22482	0.45	0.57	57
4 月 22 日	22878	0.36	0.46	131
4 月 23 日	23381	0.33	0.39	128
4 月 24 日	22513	0.67	0.69	37
4 月 25 日	22841	0.43	0.57	66
平均	21310	0.42	0.5	92

附錄 A-6 編號 F 接收儀的 teqc 成果

F	資料量	mp1	mp2	o/slps
4 月 20 日	11340	0.04	0.08	5670
4 月 21 日	18437	0.16	0.19	207
4 月 22 日	18954	0.06	0.09	2708
4 月 23 日	18976	0.06	0.1	1758
4 月 24 日	19271	0.65	1.02	59
4 月 25 日	19164	0.16	0.19	198
平均	17690	0.19	0.28	1767

附錄 A-7 編號 G 接收儀的 teqc 成果

G	資料量	mp1	mp2	o/slps
4 月 20 日	12841	0.26	0.33	4280
4 月 21 日	20351	0.33	0.42	384
4 月 22 日	19021	0.26	0.34	1729
4 月 23 日	19088	0.26	0.34	1432
4 月 24 日	19317	0.49	0.62	141
4 月 25 日	19496	0.32	0.41	487
平均	18352	0.32	0.41	1409

附錄 A-8 編號 H 接收儀的 teqc 成果

H	資料量	mp1	mp2	o/slps
4 月 25 日	12288	0.12	0.93	92
4 月 26 日	21172	0.22	1.06	70
4 月 27 日	22050	0.14	0.99	88
4 月 28 日	21603	0.17	1.01	82
4 月 29 日	20861	0.22	0.98	46
4 月 30 日	21685	0.19	1.01	76
平均	19943.2	0.18	1	76



附錄 B 接收儀的穩定度與偏移量

附錄 B-1 編號 A-D 接收儀的頻率穩定 F_p (單位, 秒)

頻率穩定度	A	B	C	D
10月28日	2.31E-10	1.11E-10	7.34E-11	2.29E-09
10月29日	2.17E-10	1.10E-10	8.42E-11	3.04E-09
10月30日	1.95E-10	1.13E-10	7.65E-11	3.00E-09
10月31日	2.18E-10	1.18E-10	8.67E-11	2.99E-09
11月1日	2.14E-10	1.20E-10	8.04E-11	3.01E-09
11月2日	2.29E-10	1.15E-10	9.82E-11	3.06E-09
11月3日	2.32E-10	1.13E-10	9.55E-11	3.07E-09
11月4日	2.30E-10	1.10E-10	7.76E-11	3.05E-09
11月5日	2.02E-10	1.15E-10	9.82E-11	2.96E-09
11月6日	2.04E-10	1.14E-10	7.34E-11	3.03E-09
平均	2.17E-10	1.14E-10	8.44E-11	2.95E-09

附錄 B-2 編號 E-H 接收儀的頻率穩定 F_p (單位, 秒)

頻率穩定度	E	F	G	H
4月20日	3.22E-11	3.04E-09	3.27E-06	3.28E-06
4月21日	1.34E-10	3.22E-09	3.45E-06	3.68E-06
4月22日	2.94E-11	2.99E-09	3.88E-06	5.00E-06
4月23日	2.45E-11	3.16E-09	3.05E-06	3.58E-06
4月24日	5.48E-11	2.94E-09	5.07E-06	6.01E-06
4月25日	2.96E-11	2.94E-09	3.82E-06	1.35E-06
平均	5.08E-11	3.05E-09	3.76E-06	3.82E-06

附錄 B-3 編號 A-D 接收儀的頻率偏移量 T_p (單位，秒)

頻率偏移量	A	B	C	D
10月28日	-2.513007E-13	1.215833E-12	5.504106E-14	-4.794376E-13
10月29日	-1.739901E-12	1.489688E-12	6.338640E-14	-9.412288E-14
10月30日	-4.993758E-13	1.033442E-12	9.331109E-15	-6.617380E-13
10月31日	-4.936573E-13	1.381084E-12	1.151102E-13	-4.175720E-13
11月1日	-1.299934E-12	1.726619E-12	1.976717E-13	-3.751119E-13
11月2日	-1.120617E-12	1.488505E-12	2.084408E-14	-6.631768E-13
11月3日	3.098605E-13	1.168632E-12	1.007713E-13	-4.861525E-13
11月4日	8.143948E-14	1.200941E-12	1.190549E-13	-3.613738E-13
11月5日	-3.054383E-13	1.115724E-12	6.338640E-14	-4.000909E-13
11月6日	-4.080736E-13	1.011118E-12	9.936779E-14	-4.167996E-13
平均	-5.726998E-13	1.283159E-12	8.439650E-14	-4.355576E-13

附錄 B-4 編號 E-H 接收儀的頻率偏移量 T_p (單位，秒)

頻率偏移量	E	F	G	H
4月20日	1.213881E-12	-1.480483E-13	3.784395E-10	3.286061E-07
4月21日	4.390015E-12	-5.525023E-14	-1.206123E-10	-7.056950E-08
4月22日	1.064683E-12	-5.188605E-13	6.024175E-10	1.788688E-07
4月23日	1.507527E-12	2.448529E-13	-1.265816E-10	-3.766235E-08
4月24日	1.841668E-12	-9.339198E-09	6.465783E-09	6.113492E-08
4月25日	1.139322E-12	-9.741981E-07	2.544412E-10	6.728096E-07
平均	1.859516E-12	-1.639230E-07	1.242315E-09	1.888646E-07

附錄 C 長、短相對定位基線解成果

表 C-1 編號 A-D 短基線精度(單位, 公尺)

		1028	1029	1030	1101	1102	1103	1104	1105	平均量	標準差
A	O	24839.2	24839.1502	24839.15	24839.15	24839.15	24839.15	24839.15	24839.15	24839.1502	
	N	24839.1	24839.1193	24839.12	24839.12	24839.12	24839.12	24839.12	24839.12	24839.1207	0.0013
	RMS	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	RMS
B	O	24838.5	24838.4781	24838.48	24838.48	24838.48	24838.48	24838.48	24838.48	24838.4781	
	N	24838.5	24838.4557	24838.45	24838.45	24838.45	24838.46	24838.46	24838.45	24838.4539	0.0013
	RMS	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	RMS
C	O	24868.9	24868.9123	24868.91	24868.91	24868.91	24868.91	24868.91	24868.91	24868.9123	
	N	24868.9	24868.8792	24868.88	24868.88	24868.88	24868.88	24868.88	24868.88	24868.8776	0.0011
	RMS	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	RMS
D	O	24837.8	24837.7747	24837.77	24837.77	24837.77	24837.77	24837.77	24837.77	24837.7747	
	N	24837.7	24837.7492	24837.75	24837.75	24837.75	24837.75	24837.75	24837.75	24837.7478	0.0015
	RMS	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	RMS

表 C-2 編號 E-H 短基線精度(單位, 公尺)

		2002/4/21	2002/4/22	2002/4/23	2002/4/24	2002/4/25	平均量	標準差
E	O	24838.4430	24838.4430	24838.4430	24838.4430	24838.4430	24838.4430	
	N	24838.4415	24838.4382	24838.4389	24838.4398	24838.4435	24838.4404	0.0017
	RMS	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	
F	O	24837.7335	24837.7335	24837.7335	24837.7335	24837.7335	24837.7335	
	N	24837.7302	24837.7271	24837.7286	24837.7289	24837.7328	24837.7295	0.0017
	RMS	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	
G	O	24868.8777	24868.8777	24868.8777	24868.8777	24868.8777	24868.8777	
	N	24868.8768	24868.8746	24868.8760	24868.8755	24868.8784	24868.8763	0.0012
	RMS	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	
H	O	24872.8885	24872.8885	24872.8885	24872.8885	24872.8885	24872.8885	
	N	24872.8886	24872.8859	24872.8878	24872.8863	24872.8886	24872.8874	0.0010
	RMS	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	

表 C-3 編號 A-D 長基線精度(單位, 公尺)

	1028	1029	1030	1101	1102	1103	1104	1105	平均	標準差
A	O 2074028.97	2074028.97	2074028.97	2074028.97	2074028.97	2074028.97	2074028.97	2074028.97	2074028.9653	
	N 2074028.89	2074028.91	2074028.89	2074028.88	2074028.87	2074028.86	2074028.90	2074028.87	2074028.8833	0.0146
	0.0008	0.0020	0.0004	0.0011	0.0008	0.0006	0.0007	0.0007	0.0009	
B	O 2074028.48	2074028.48	2074028.48	2074028.48	2074028.48	2074028.48	2074028.48	2074028.48	2074028.4801	
	N 2074028.41	2074028.44	2074028.41	2074028.41	2074028.39	2074028.38	2074028.41	2074028.39	2074028.4066	0.0145
	0.0006	0.0007	0.0004	0.0011	0.0007	0.0005	0.0006	0.0006	0.0007	
C	O 2074027.95	2074027.95	2074027.95	2074027.95	2074027.95	2074027.95	2074027.95	2074027.95	2074027.9536	
	N 2074027.86	2074027.89	2074027.88	2074027.87	2074027.86	2074027.85	2074027.88	2074027.88	2074027.8717	0.0125
	0.0008	0.0007	0.0004	0.0012	0.0007	0.0005	0.0006	0.0004	0.0007	
D	O 2074058.94	2074058.94	2074058.94	2074058.94	2074058.94	2074058.94	2074058.94	2074058.94	2074058.9390	
	N 2074058.86	2074058.89	2074058.86	2074058.85	2074058.84	2074058.83	2074058.86	2074058.84	2074058.8552	0.0143
	0.0006	0.0007	0.0004	0.0011	0.0007	0.0005	0.0006	0.0007	0.0007	0.0002

表 C-4 編號 E-H 長基線精度(單位, 公尺)

	4月21日	4月22日	4月23日	4月24日	4月25日	平均	標準差
E	O 2074028.440	2074028.440	2074028.440	2074028.440	2074028.440	2074028.4397	
	N 2074028.447	2074028.436	2074028.448	2074028.434	2074028.435	2074028.4398	0.0061
	0.0008	0.0007	0.0006	0.0012	0.0008	0.0008	
F	O 2074027.910	2074027.910	2074027.910	2074027.910	2074027.910	2074027.9102	
	N 2074027.914	2074027.894	2074027.912	2074027.899	2074027.905	2074027.9049	0.0076
	0.0009	0.0006	0.0007	0.0014	0.0009	0.0009	
G	O 2074058.901	2074058.901	2074058.901	2074058.901	2074058.901	2074058.9006	
	N 2074058.904	2074058.891	2074058.911	2074058.898	2074058.891	2074058.8990	0.0077
	0.0008	0.0007	0.0007	0.0011	0.0008	0.0008	
H	O 2074062.754	2074062.754	2074062.754	2074062.754	2074062.754	2074062.7538	
	N 2074062.757	2074062.748	2074062.758	2074062.741	2074062.744	2074062.7495	0.0066
	0.0008	0.0007	0.0006	0.0013	0.0008	0.0008	

附錄 D 長、短 N、E、h 坐標解算成果

表 D-1 編號 A 短基線 N、E、h 坐標

A	N	E	h
10 月 28 日	2743435.3769	248703.7951	70.8231
10 月 29 日	2743435.3826	248703.7942	70.8059
10 月 30 日	2743435.3812	248703.7948	70.8043
11 月 1 日	2743435.3799	248703.7973	70.8118
11 月 2 日	2743435.3814	248703.7968	70.8134
11 月 3 日	2743435.3796	248703.7941	70.8005
11 月 4 日	2743435.3799	248703.7942	70.8046
11 月 5 日	2743435.3814	248703.7968	70.8134
平均	2743435.3802	248703.7952	70.8091
標準差	0.0017	0.0012	0.0071

表 D-2 編號 B 短基線 N、E、h 坐標

B	N	E	h
10 月 28 日	2743438.6493	248701.5779	70.7973
10 月 29 日	2743438.6490	248701.5763	70.7742
10 月 30 日	2743438.6505	248701.5770	70.7780
11 月 1 日	2743438.6502	248701.5798	70.7835
11 月 2 日	2743438.6516	248701.5791	70.7875
11 月 3 日	2743438.6495	248701.5765	70.7849
11 月 4 日	2743438.6489	248701.5767	70.7886
11 月 5 日	2743438.6498	248701.5787	70.7916
平均	2743438.6499	248701.5778	70.7857
標準差	0.0008	0.0012	0.0069

表 D-3 編號 C 短基線 N、E、h 坐標

C	N	E	h
10 月 28 日	2743441.9868	248699.3511	70.7142
10 月 29 日	2743441.9876	248699.3494	70.7006
10 月 30 日	2743441.9886	248699.3509	70.6982
11 月 1 日	2743441.9883	248699.3537	70.7038
11 月 2 日	2743441.9891	248699.3523	70.7045
11 月 3 日	2743441.9865	248699.3504	70.6982
11 月 4 日	2743441.9867	248699.3504	70.7047
11 月 5 日	2743441.9886	248699.3509	70.6982
平均	2743441.9878	248699.3511	70.7028
標準差	0.0010	0.0013	0.0051

表 D-4 編號 D 短基線 N、E、h 坐標

D	N	E	h
10 月 28 日	2743425.0248	248672.4859	70.7069
10 月 29 日	2743425.0241	248672.4849	70.6893
10 月 30 日	2743425.0263	248672.4850	70.6942
11 月 1 日	2743425.0256	248672.4876	70.6956
11 月 2 日	2743425.0263	248672.4881	70.7014
11 月 3 日	2743425.0242	248672.4855	70.6987
11 月 4 日	2743425.0237	248672.4872	70.6997
11 月 5 日	2743425.0246	248672.4869	70.7050
平均	2743425.0250	248672.4864	70.6989
標準差	0.0009	0.0011	0.0054

表 D-5 編號 E 短基線 N、E、h 坐標

E	N	E	h
4 月 21 日	2743438.6631	248701.5826	70.7776
4 月 22 日	2743438.6655	248701.5848	70.7760
4 月 23 日	2743438.6653	248701.5840	70.7730
4 月 24 日	2743438.6639	248701.5841	70.7743
4 月 25 日	2743438.6607	248701.5821	70.7720
平均	2743438.6637	248701.5835	70.7746
RMS	0.0017	0.0010	0.0020

表 D-6 編號 F 短基線 N、E、h 坐標

F	N	E	h
4 月 21 日	2743442.0001	248699.3637	70.6910
4 月 22 日	2743442.0025	248699.3657	70.6940
4 月 23 日	2743442.0023	248699.3639	70.6933
4 月 24 日	2743442.0006	248699.3651	70.6873
4 月 25 日	2743441.9988	248699.3633	70.6886
平均	2743441.9867	248699.3643	70.6908
RMS	0.0014	0.0009	0.0026

表 D-7 編號 G 短基線 N、E、h 坐標

G	N	E	h
4 月 21 日	2743425.0264	248672.4864	70.6938
4 月 22 日	2743425.0281	248672.4878	70.6972
4 月 23 日	2743425.0280	248672.4858	70.6941
4 月 24 日	2743425.0265	248672.4881	70.6839
4 月 25 日	2743425.0240	248672.4865	70.6894
平均	2743425.0266	248672.4869	70.6917
RMS	0.0015	0.0009	0.0046

表 D-8 編號 H 短基線 N、E、h 坐標

H	N	E	h
4 月 21 日	2743420.6435	248671.1332	70.6912
4 月 22 日	2743420.6455	248671.1351	70.6968
4 月 23 日	2743420.6446	248671.1334	70.6936
4 月 24 日	2743420.6445	248671.1354	70.6836
4 月 25 日	2743420.6424	248671.1343	70.6843
平均	2743420.6441	248671.1343	70.6899
RMS	0.0011	0.0009	0.0052

表 D-9 編號 A 長基線 N、E、h 坐標

A	N	E	h
10 月 28 日	2743435.3790	248703.8717	70.8565
10 月 29 日	2743435.3790	248703.8717	70.8565
10 月 30 日	2743435.3794	248703.8367	70.8678
11 月 1 日	2743435.3802	248703.8568	70.8171
11 月 2 日	2743435.3822	248703.8596	70.8024
11 月 3 日	2743435.3942	248703.8814	70.8008
11 月 4 日	2743435.3704	248703.8543	70.8071
11 月 5 日	2743435.3875	248703.8707	70.8048
平均	2743435.3818	248703.8616	70.8224
RMS	0.0069	0.0135	0.0258

表 D-10 編號 B 長基線 N、E、h 坐標

B	N	E	h
10 月 28 日	2743438.6502	248701.6528	70.8683
10 月 29 日	2743438.6508	248701.6528	70.8680
10 月 30 日	2743438.6520	248701.6084	70.8367
11 月 1 日	2743438.6500	248701.6379	70.8244
11 月 2 日	2743438.6547	248701.6382	70.8024
11 月 3 日	2743438.6642	248701.6633	70.8080
11 月 4 日	2743438.6415	248701.6369	70.7903
11 月 5 日	2743438.6594	248701.6554	70.8159
平均	2743438.6532	248701.6418	70.8208
RMS	0.0067	0.0166	0.0238

表 D-11 編號 C 長基線 N、E、h 坐標

C	N	E	H
10 月 28 日	2743441.9888	248699.4370	70.7169
10 月 29 日	2743441.9888	248699.4375	70.7170
10 月 30 日	2743441.9871	248699.3986	70.7278
11 月 1 日	2743441.9875	248699.4161	70.6959
11 月 2 日	2743441.9920	248699.4115	70.6743
11 月 3 日	2743442.0016	248699.4377	70.6820
11 月 4 日	2743441.9781	248699.4132	70.6947
11 月 5 日	2743441.9910	248699.4231	70.7023
平均	2743441.9892	248699.4191	70.6986
RMS	0.0070	0.0142	0.0186

表 D-11 編號 C 長基線 N、E、h 坐標

C	N	E	H
10 月 28 日	2743441.9888	248699.4370	70.7169
10 月 29 日	2743441.9888	248699.4375	70.7170
10 月 30 日	2743441.9871	248699.3986	70.7278
11 月 1 日	2743441.9875	248699.4161	70.6959
11 月 2 日	2743441.9920	248699.4115	70.6743
11 月 3 日	2743442.0016	248699.4377	70.6820
11 月 4 日	2743441.9781	248699.4132	70.6947
11 月 5 日	2743441.9910	248699.4231	70.7023
平均	2743441.9892	248699.4191	70.6986
RMS	0.0070	0.0142	0.0186

表 D-12 編號 D 長基線 N、E、h 坐標

D	N	E	h
10 月 28 日	2743425.0255	248672.5587	70.7726
10 月 29 日	2743425.0254	248672.5589	70.7723
10 月 30 日	2743425.0260	248672.5167	70.7472
11 月 1 日	2743425.0257	248672.5483	70.7384
11 月 2 日	2743425.0301	248672.5495	70.7168
11 月 3 日	2743425.0392	248672.5728	70.7210
11 月 4 日	2743425.0166	248672.5500	70.7032
11 月 5 日	2743425.0339	248672.5627	70.7350
平均	2743425.0281	248672.5513	70.7334
RMS	0.0067	0.0163	0.0210

表 D-13 編號 E 長基線 N、E、h 坐標

E	N	E	h
4 月 21 日	2743438.6549	248701.5921	70.8339
4 月 22 日	2743438.6633	248701.5964	70.8218
4 月 23 日	2743438.6611	248701.5831	70.8261
4 月 24 日	2743438.6757	248701.5916	70.8356
4 月 25 日	2743438.6662	248701.6044	70.8653
平均	2743438.6642	248701.5935	70.8365
RMS	0.0068	0.0069	0.0152

表 D-14 編號 F 長基線 N、E、h 坐標

F	N	h	
4 月 21 日	2743441.9914	248699.3699	70.7401
4 月 22 日	2743442.0004	248699.3820	70.7066
4 月 23 日	2743441.9991	248699.3585	70.7032
4 月 24 日	2743442.0119	248699.3685	70.7189
4 月 25 日	2743442.0046	248699.3752	70.7615
平均	2743442.0015	248699.3708	70.7261
RMS	0.0067	0.0078	0.0219

表 D-15 編號 G 長基線 N、E、h 坐標

G	N	E	h
4 月 21 日	2743425.0177	248672.4976	70.7401
4 月 22 日	2743425.0258	248672.5039	70.7066
4 月 23 日	2743425.0222	248672.4807	70.7032
4 月 24 日	2743425.0340	248672.4883	70.7189
4 月 25 日	2743425.0297	248672.5102	70.7415
平均	2743425.0259	248672.4961	70.7221
RMS	0.0057	0.0106	0.0162

表 D-16 編號 H 長基線 N、E、h 坐標

H	N	E	h
4 月 21 日	2743420.6353	248671.1448	70.7411
4 月 22 日	2743420.6426	248671.1462	70.7208
4 月 23 日	2743420.6403	248671.1358	70.7249
4 月 24 日	2743420.6550	248671.1431	70.7146
4 月 25 日	2743420.6476	248671.1540	70.7656
平均	2743420.6442	248671.1448	70.7334
RMS	0.0067	0.0058	0.0183

