

以 GAMIT 軟體辦理 2010 年國內 GPS 連續觀測  
站資料解算工作

成果報告書

計畫主持人：饒瑞鈞副教授  
國立成功大學 地球科學系

委託單位：內政部國土測繪中心

執行單位：國立成功大學

中 華 民 國 九 十 九 年 十 二 月

# 摘要

本計畫利用 GAMIT/GLOBK 處理全台灣(包含離島、日本 GSI 站)共 367 站之 GPS 連續站解算工作，其觀測量自 2009 年 12 月 1 日起至 2010 年 1 月 31 日止，共計 62 天。處理內容包含各連續站之基本資料整理及解算、單日單站觀測量之資料品質分析、利用網形平差求解所有連續站套合於 ITRF2005 框架於 2010.00 年之坐標以及轉換至 ITRF2000 及 ITRF94 之坐標成果。為能將坐標成果有效套合至 ITRF2005 框架，本計畫選定 14 個鄰近台灣之國際 IGS 站與 25 個被選定之國內連續站(核心站)組成一觀測網並進行聯算求得每日鬆馳坐標解，再利用國際公布之 SINEX 網進行合併，得到套合於 ITRF2005 框架的 25 個國內核心站坐標。本計畫即以此國內核心站坐標為約制，計算所有台灣之連續站坐標(共分為 11 子網，每子網測站數目為 8-50 站)。為了確保坐標之正確性，本計畫檢視所有連續站之時間序列，先將時間序列中之粗差進行濾除，並檢視時間序列是否有因天然或人為因素所造成之偏差，確認後將時間段分割再分別估計其坐標。最後成果顯示，本計畫所有連續站經統計後之多路徑參數 MP1、MP2 之中位數分別為 0.30 m、0.41 m，週波脫落參數為 0.61，其成果較 IGS 測站標準為佳。比較 25 個國內核心站和 14 個國際 IGS 站之聯算成果與 SINEX 國際網合併之坐標成果與用 ITRF2005 之約制所計算 SINEX 國際網之坐標成果，除 TSKB 在 Z 方向較差為 1.1 cm 外，其它站在三方向之較差均在 1 cm 以內。所有連續站之三方向中位數均方根分別為 0.7 mm，0.8 mm 和 2.7 mm，符合國際上一般 GPS 坐標時間序列成果標準。在 2009 年 12 月 19 日之花蓮外海地震，造成 C001 等 7 站有明顯同震位移，因此在坐標估計時分別在地震發生時間段前後估計其坐標。最後之網形平差及套合框架求解後，其整體網形後驗均方根為 0.9 mm，乃在合理範圍內。最後，本計畫對國內所有連續站進行分析來挑選大地基準站之工作，考慮了坐標時間序列重複性，多路徑及週波脫落因素、地下水效應及斷層位置，挑選出 S01R 等 33 個 GPS 連續站為較適合之大地基準站。

# Abstract

We processed and analyzed daily positions estimated from observations of 367 continuous GPS stations (CGPS) in Taiwan from December 2009 to January 2010 using GAMIT/GLOBK software. The contents of the project include collection of basic station information, quality analyses of observations and coordinates estimation in different datum on 2010.00 for each CGPS stations. 14 IGS stations and 25 CGPS stations as the core stations in Taiwan were processed together to acquire the daily solutions and these solutions were combined with the international SINEX networks to derive coordinates on the frame of ITRF2005. The 367 CGPS stations are separated into 11 sub-networks; each sub-network contains 8-50 stations. Station coordinates in each sub-network were calculated with the constraints of the core stations. All coordinates were determined after removing the outliers and the effect due to earthquakes. In the results, the statistical median of MP1 and MP2 from all the CGPS estimated by TEQC software are 0.30 m and 0.41 m, respectively. The difference between our results and IGS station coordinates in the frame of ITRF2005 from SINEX network were all less than 1 cm in three components, excluding the Z direction in TSKB, which was 1.1 cm. The median of the coordinate RMS from all CGPS in north, east and up direction are 0.7 mm, 0.8 mm and 2.7 mm, respectively. Coordinates in 7 CGPS stations were estimated individually before and after the earthquake occurred in offshore Hualien on December 19<sup>th</sup>. The final coordinates were estimated by GLOBK, and the network post-RMS is 0.9 mm. Finally, 33 CGPS stations were chosen as the reference stations after the analysis of coordinates time series, multi-path effect, cycle-slip effect and the bedrock characteristics for each CGPS station.

# 目 錄

摘要.....	I
Abstract .....	II
目 錄.....	III
圖 目 錄.....	IV
表 目 錄.....	VII
第一章 前言 .....	1
第二章 國內外解算區域 GPS 連續站之現況及研究.....	5
第三章 GAMIT/GLOBK 介紹.....	7
第四章 解算策略及方法 .....	12
4-1 連續站基本資料.....	12
4-2 連續站資料品質分析.....	12
4-3 解算策略介紹與說明.....	13
4-4 坐標轉換方法說明.....	17
4-5 大地基準站之挑選工作.....	18
4-6 精度評估因子.....	19
第五章 解算成果及分析 .....	21
5-1 連續站基本資料.....	21
5-2 連續站資料描述與基本觀測量品質分析.....	30
5-3 與世界網連結之成果.....	32
5-4 坐標解算成果與分析.....	49
5-5 坐標轉換之結果.....	54
5-6 大地基準站挑選工作成果.....	54
第六章 修正後之資料成果說明 .....	58
第七章 結論與建議 .....	58
參考文獻 .....	60

## 圖目錄

圖 1	本計畫選定之 25 站國內核心站分布圖 .....	3
圖 2	本計畫選定之 14 站國際 IGS 站分布圖 .....	4
圖 2-1	IGS 站分布圖 .....	5
圖 2-2	GEONET 分布圖 .....	6
圖 3-1	GAMIT 解算流程圖 .....	9
圖 3-2	GLOBK 解算流程圖 .....	11
圖 4-1	本計畫進行網行平差時與 SINEX 網合併時所使用之國際約制站 ..	13
圖 4-2	解算國內核心站套合於 ITRF2005 框架下之工作流程 .....	14
圖 4-3	本計畫所劃分之連續站子網分布圖 .....	15
圖 4-4	解算國內子網之工作流程圖 .....	16
圖 5-1	北宜網(A1)之連續站分布圖 .....	22
圖 5-2	桃竹網(A2)之連續站分布圖 .....	23
圖 5-3	台中網(A3)之連續站分布圖 .....	24
圖 5-4	嘉南網(A4a, A4b)之連續站分布圖 .....	25
圖 5-5	高屏網(A5a, A5b)之連續站分布圖 .....	26
圖 5-6	台東網(A6)之連續站分布圖 .....	27
圖 5-7	花蓮網(A7)之連續站分布圖 .....	28
圖 5-8	外島網(A8)之連續站分布圖 .....	29
圖 5-9	日本網(A9)之連續站分布圖 .....	29
圖 5-10	連續站所屬單位之比率 .....	30
圖 5-11	連續站之天線盤型號之比率 .....	30
圖 5-12	連續站之觀測量之統計直方圖 .....	31
圖 5-13	連續站之 MP1 之統計直方圖 .....	31
圖 5-14	連續站之 MP2 之統計直方圖 .....	31
圖 5-15	連續站之週波脫落參數之統計直方圖 .....	32
圖 5-16	TSKB N 方向時間序列 .....	34
圖 5-17	TSKB E 方向時間序列 .....	34
圖 5-18	TSKB H 方向時間序列 .....	34
圖 5-19	DAEJ N 方向時間序列 .....	35
圖 5-20	DAEJ E 方向時間序列 .....	35
圖 5-21	DAEJ H 方向時間序列 .....	35

圖 5-22	GUAM N 方向時間序列 .....	35
圖 5-23	GUAM E 方向時間序列 .....	36
圖 5-24	GUAM H 方向時間序列 .....	36
圖 5-25	PERT N 方向時間序列 .....	36
圖 5-26	PERT E 方向時間序列 .....	36
圖 5-27	PERT H 方向時間序列 .....	37
圖 5-28	AUCK N 方向時間序列 .....	37
圖 5-29	AUCK E 方向時間序列 .....	37
圖 5-30	AUCK H 方向時間序列 .....	37
圖 5-31	KUNM N 方向時間序列 .....	38
圖 5-32	KUNM E 方向時間序列 .....	38
圖 5-33	KUNM H 方向時間序列 .....	38
圖 5-34	WUHN N 方向時間序列 .....	38
圖 5-35	WUHN E 方向時間序列 .....	39
圖 5-36	WUHN H 方向時間序列 .....	39
圖 5-37	ALIC N 方向時間序列 .....	39
圖 5-38	ALIC E 方向時間序列 .....	39
圖 5-39	ALIC H 方向時間序列 .....	40
圖 5-40	COCO N 方向時間序列 .....	40
圖 5-41	COCO E 方向時間序列 .....	40
圖 5-42	COCO H 方向時間序列 .....	40
圖 5-43	IISC N 方向時間序列 .....	41
圖 5-44	IISC E 方向時間序列 .....	41
圖 5-45	IISC H 方向時間序列 .....	41
圖 5-46	TWTF N 方向時間序列 .....	41
圖 5-47	TWTF E 方向時間序列 .....	42
圖 5-48	TWTF H 方向時間序列 .....	42
圖 5-49	IRKT N 方向時間序列 .....	42
圖 5-50	IRKT E 方向時間序列 .....	42
圖 5-51	IRKT H 方向時間序列 .....	43
圖 5-52	KOKB N 方向時間序列 .....	43
圖 5-53	KOKB E 方向時間序列 .....	43
圖 5-54	KOKB H 方向時間序列 .....	43

圖 5-55	PIMO N 方向時間序列.....	44
圖 5-56	PIMO E 方向時間序列.....	44
圖 5-57	PIMO H 方向時間序列.....	44
圖 5-58	國內核心站之 N 方向時間序列.....	46
圖 5-59	國內核心站之 E 方向時間序列.....	47
圖 5-60	國內核心站之 H 方向時間序列.....	48
圖 5-61	A1 網(北宜網)之解算統計成果.....	49
圖 5-62	A2 網(桃竹網)之解算統計成果.....	49
圖 5-63	A3 網(台中網)之解算統計成果.....	49
圖 5-64	A4A 網(嘉南西網)之解算統計成果.....	50
圖 5-65	A4B 網(嘉南東網)之解算統計成果.....	50
圖 5-66	A5A 網(高屏西網)之解算統計成果.....	50
圖 5-67	A5B 網(高屏東網)之解算統計成果.....	50
圖 5-68	A6 網(台東網)之解算統計成果.....	50
圖 5-69	A7 網(花蓮網)之解算統計成果.....	51
圖 5-70	A8 網(外島網)之解算統計成果.....	51
圖 5-71	A9 網(日本網)之解算統計成果.....	51
圖 5-72	所有連續站時間序列三方向統計值.....	51
圖 5-73	12 月 19 日花蓮地震之地震報告.....	52
圖 5-74	被 12 月 19 日地震影響之連續站時間序列.....	53
圖 5-74	39 站被挑選出較佳之連續站.....	57
圖 6-1	台灣連續站之水平速度場.....	59

## 表 目 錄

表 4-1	ITRF 公告之 ITRF2005 轉換至 ITRF2000 之轉換參數(EPOCH:2000.0)	17
表 4-2	ITRF 公告之 ITRF2000 轉換至 ITRF94 之轉換參數(EPOCH:1997.0)	18
表 5-1	各子網之基本資訊	21
表 5-2	不同方法套合於 ITRF2005 之較差成果	33
表 5-3	ITRF2005 實際公告坐標成果與方法 2 之較差成果	45
表 5-4	北宜網所挑選出之參考站	55
表 5-5	桃竹網所挑選出之參考站	55
表 5-6	台中網所挑選出之參考站	55
表 5-7	嘉南網所挑選出之參考站	55
表 5-8	高屏網所挑選出之參考站	56
表 5-9	台東網所挑選出之參考站	56
表 5-10	花蓮網所挑選出之參考站	56

# 第一章 前言

台灣的坐標框架系統，自從 1970 年末期利用三角三邊測量所建立的 TWD67 坐標系到 1997 年利用 GPS 基準站觀測並套合至 ITRF94 之 TWD97 坐標系(Yang et al., 2001)，目前之地籍測量仍以 TWD97 坐標系為主。由於台灣本島深受板塊運動與地震之影響，在台灣架設之參考點或基準站常常發生不連續的偏移與速度的改變。因此，近 15 年前所定義之 TWD97 坐標系常無法與現今的量測結果做精確的套合；在平差之強制附合工作上，也常常因不正確之參考站坐標，而有精度上之疑慮。此外，TWD97 乃利用內政部第一期 8 個 GPS 連續站與國際站聯算並建立在 ITRF94 框架下。在此之後，ITRF 所使用之國際連續站持續增加，也陸續公布了新的框架，如 ITRF00、ITRF05、ITRF08。目前 IGS(International GNSS Service)所發布之精密星曆(IGS final orbit)也在 2006 年 11 月後使用 ITRF05 框架進行軌道計算，現今世界上利用 GPS 計算坐標與速度場之研究也以套合於 ITRF00 與 ITRF05 框架為主。因此，TWD97(ITRF94)坐標系統也與現今主流之坐標框架不符，建立台灣新的坐標系統實為必要。此外，建立坐標系統所需之 GPS 連續觀測站，在台灣已架設了超過 380 站，算是世界上高密度等級之觀測網。由於 GPS 連續站乃 24 小時不間斷觀測，並架設於穩定的地表上，其解算之平面精度可達 1~2mm(Herring et al., 2008)，利用高密度 GPS 連續站網來建立國家框架將能提昇國土測繪、地籍測量等工作之效率和精度。本計畫結合台灣各單位之連續站網之連續站觀測量，計算台灣 367 站(國內 359 站，日本 GEONET 網 8 站，共 367 站)之連續站坐標，一能獲得最能符合現今實際位置且有效套合至國際框架 ITRF2005 之坐標，二能對未來作長期計算台灣高密度觀測網工作提供方法與驗證之參考。

本計畫之主要工作乃解算台灣之高密度 GPS 連續觀測網，並求出所有 GPS 連續站套合在 ITRF2005 下之坐標。為完成此項工作，本計畫分為下列 4 項進行：a.基本資料描述與分析、b.坐標解算、c.坐標轉換、d.大地基準站挑選等四項工作。就基本資料描述與分析之工作，本計畫先蒐集各站基本資料，並利用美國 UNAVCO 單位所研發之 TEQC 軟體對每站每日之觀測量進行分析，其主要參數為多路徑效應分析及週波脫落效應分析。就坐標計

算方面，先行選定國內 25 站核心站(圖 1)與鄰近台灣之 14 站 IGS 站(圖 2)利用 GAMIT 共同聯算求得每日鬆馳解，再經由網形平差(GLOBK)、不同解算策略之比較，得到套合至 ITRF05 框架(Altamimi et al., 2007)於 2010.00 年之核心站最佳坐標解，用來提供之後區域網解算之約制。為有效解算所有 367 個連續站坐標，分成數個區域網分別解算，最後再利用網形平差合併求解乃是最有效率之方法。因此，我們將台灣所有 367 個連續站以區域與站數為原則分成 11 個子網，每子網至少有 6 個共點站。利用 GAMIT 將各子網分別計算每日鬆馳解完成後，再利用每日網形平差(GLRED)將所有子網進行合併，而得到初步之各站時間序列。檢視各站時間序列，濾除三倍標準差之粗差，之後再考慮同震效應或更換天線盤情形，將坐標分不同時間段估計，最後再進行整體網形平差 GLOBK 求得各站於 2010.00 年之坐標。求得套合於 ITRF05 框架下之各站坐標後，依據 ITRS 公布之轉換參數求得所有站 ITRF00 與 ITRF94 之坐標。最後，本計畫對國內所有連續站進行分析來挑選適用作為大地基準站之連續站工作，本工作以坐標時間序列重複性、多路徑效應、週波脫落因素、地盤穩定性與長時期時間序列表現，挑選出 S01R 等 33 站為較適合作為大地基準站之連續站。最後，本計畫應內政部之要求修改並更新其坐標成果，其成果列於本報告及成果光碟。

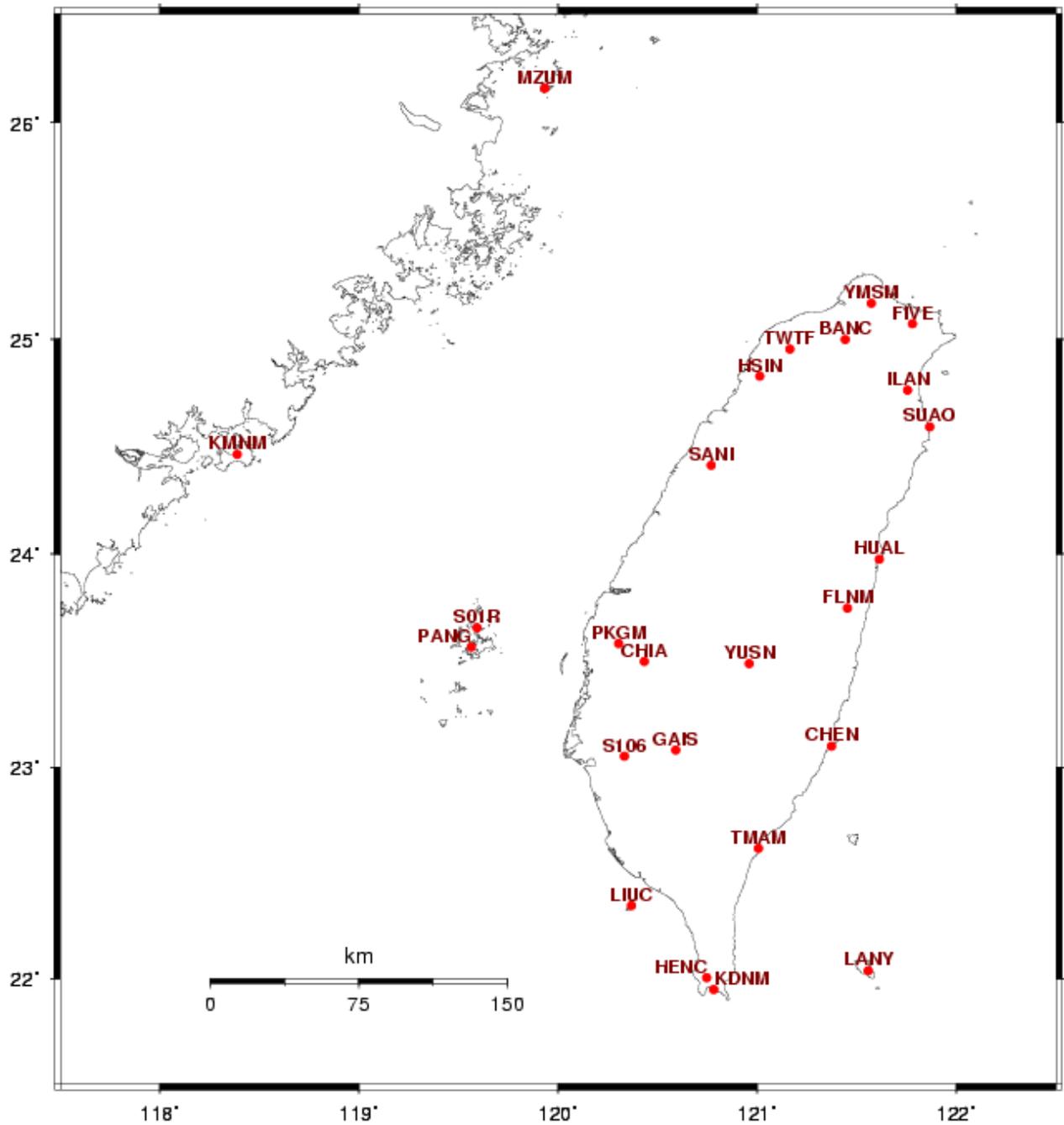


圖 1 本計畫選定之 25 站國內核心站分布圖

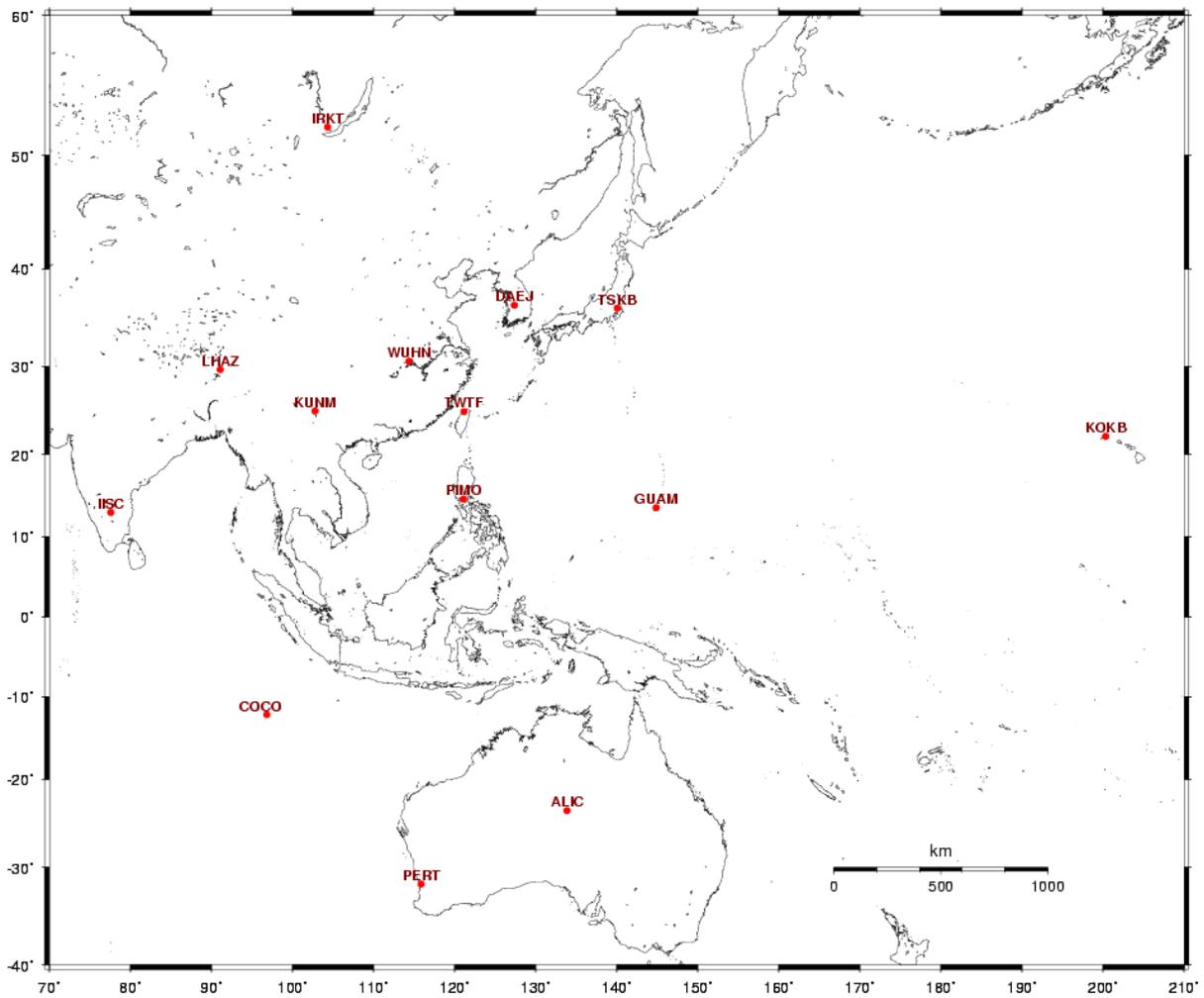


圖 2 本計畫選定之 14 站國際 IGS 站分布圖



## ■ GEONET

在日本的 GEONET 為一個國家級之 GPS 觀測網，隸屬於國土地理院 (GSI)，其目的在於監測日本之地殼變動與土地測量之參考基準。自 1996 年架設 GPS 至今，已超過 1200 個 GPS 連續觀測站 (Ito et al., 2009)。Hatanaka et al. (2003) 對於 GEONET 觀測網提出新解算策略，新策略進一步考慮了固體潮、極潮、海潮負載、測站方位特性、對流層估計模式、網型幾何與大小、參考站坐標約制及軌道參數等。成果解算後，再移除線性與季節性之趨勢與同震、震後之影響。其成果顯示新方法與原先方法比較可降低約 50% 的均方根誤差 (rms)，且新成果為高程方向地殼變形提供了更精確的解釋。

在台灣，許多機構建立了屬於自己的 GPS 觀測網，其中以中央氣象局 (約 150 站)、中央地調所 (約 60 站)、中央研究院 (約 60 站)、內政部國土測繪中心 (約 60 站) 最具規模；此外，各大專院校也有專屬之區域性小規模之 GPS 連續觀測網。中央研究院地球科學所郭隆晨博士整合了國內超過 380 之 GPS 連續觀測站，並自行研發了 Bernese 4.2 自動批次解算程式於每日自動下載資料並計算每日坐標成果，並即時公布於網路提供相關單位及研究進行參考 (GPS-LAB 網站)。

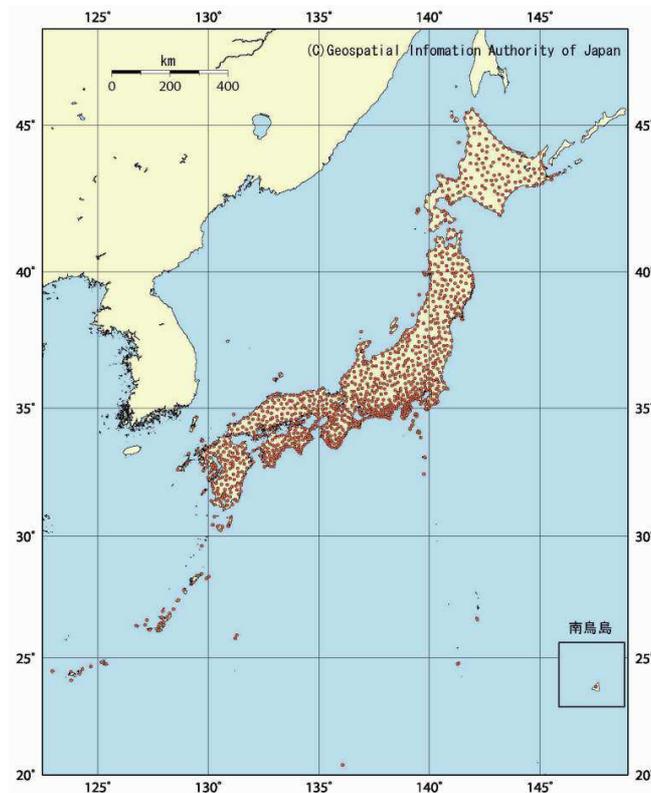


圖 2-2 GEONET 分布圖

### 第三章 GAMIT/GLOBK 介紹

GAMIT是由MIT (Massachusetts Institute of Technology)、SIO (Scripps Institution of Oceanography) 與 CfA (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) 共同研發之高精度 GPS 科學解算軟體 (Herring et al., 2009)。其主要功能為估計 GPS 站之坐標與速度場、同震與震後效應、大氣層遲延量、衛星軌道估計與地球軌道參數 (EOP) 估計。GAMIT 軟體之建立最早可回溯至 1960 年代由 Lincoln Laboratory 執行之 Planetary Ephemeris Program (PEP) 所用來計算理論相位觀測量之軌道計算整合模組。實際處理之 GPS 觀測量程式碼則在 1980 年代由 Chuck Counselmen 等人在 MIT 所發展。之後仍不斷更新與發展，研發參與團隊也逐步擴大，資金贊助則由早期之 Air Force Geophysics Laboratory 與 NASA (贊助 GLOBK) 到現今之 National Science Foundation，版本至今已更新至 10.35。GLOBK 軟體則是由當時在 CfA 之 Tom Herring 為合併 VLBI 與 GPS 觀測資料進行網型平差所研製之軟體。以下對 GAMIT 所利用的演算法特點進行說明：

GAMIT 利用 Bock et al. (1986) 與 Schaffrin and Bock (1988) 所建立之演算法來分析二次差分觀測量，此法有助於衛星軌道之決定與週波未定值之求解。此外，為了偵測與修復週波脫落之影響，GAMIT 對二次差分觀測量再進行時間差分工作，也稱三次差 (Blewitt, 1990)。坐標定位工作主要是以使用相位觀測量 (Phase observation) 為主，但虛擬距離觀測量 (pseudo-range observation) 仍在 GAMIT 中處理合理之先驗衛星坐標與地面站坐標值之提取，也幫助接收機鐘偏差之決定。為了有效處理電離層誤差之影響，GAMIT 利用 L1 與 L2 頻之不同的線性組合來解決不同基線長度所造成電離層之影響。在決定衛星位置變動方面，GAMIT 有選項可以讓使用者決定是否要估計衛星軌道，其決定方式通常在於網型之大小或是工作目的。衛星之移動，主要可由克卜勒定律與重力、太陽輻射壓、衛星載具電池與高度控制系統氣體之逸散所造成之擾動向來描述。GAMIT 利用數值積分來估計衛星軌道 (Ash, 1972)。GPS 地面站坐標乃由衛星所決定之地心地固坐標系 (ECEF) 系統，其位置將受一些地球物理現象影響，如固體潮、海潮、大氣壓力負載、地球運轉等，在 GAMIT 計算中也提供模式加以修正。在新版本之 GAMIT10.35 軟體中，提供了新一代之對流層參數的選擇，除了傳統之 Niell 之映射函數 (Niell, 1996) 選項外，也提供了

Boehm 與 Tregoning 等人於 2006 年所創立之 GMF 與 VMF 映射函數模式 (Boehm et al., 2006a)。

以下對GAMIT之計算流程詳列如下，其流程圖如圖3-1所示：

#### 1. 資料格式轉換與整理：

此步驟將 GPS 原始觀測量 (RINEX格式) 讀入並轉換成 GAMIT 專用的數據格式，且根據給定之測站初始坐標、廣播星曆和虛擬距離，產生接收器時鐘偏差與衛星時鐘參數等先驗值。(makexp、makej、makex、makek)。

#### 2. 軌道計算：

此步驟用來讀入IGS公告之廣播星曆及精密星曆，將計算衛星軌道參數所需之參數及初始條件表格化。(arc)

#### 3. 模型改正：

在此步驟會對GPS觀測資料進行在定位中所需各種的誤差模型改正；例如，月球與太陽運動軌跡修正(luntab. and soltab.)、地球自轉(ut1. and pole.)、海潮(stations.oct and grid.oct)、潤秒(leap.sec)以及一系列關於衛星、接收器和天線盤的修正(svnav.dat, antmod.dat, rcvant.dat)等。在這階段的模式建立後，可得到計算每日鬆馳解所需之先驗殘差量(觀測值-計算值)與偏導函數。(model)

#### 4. 資料檢核：

本步驟利用所有連續站之相位、虛擬距離觀測量的組合來移除離群點(outliers)、修復周波脫落(cycle-slips)、以及對資料上一些無法確實修復的脫落進行標註(bias flags)等。(aucln)

#### 5. 參數估計：

將經過二次差分處理消除衛星鐘差與接收機鐘差後之CGPS觀測量，以加權最小二乘法解算估計測站的單天坐標和衛星軌道參數以及其他的修正模型改正參數，例如：地球自轉參數及天頂向延遲(zenith delay)。(solve)

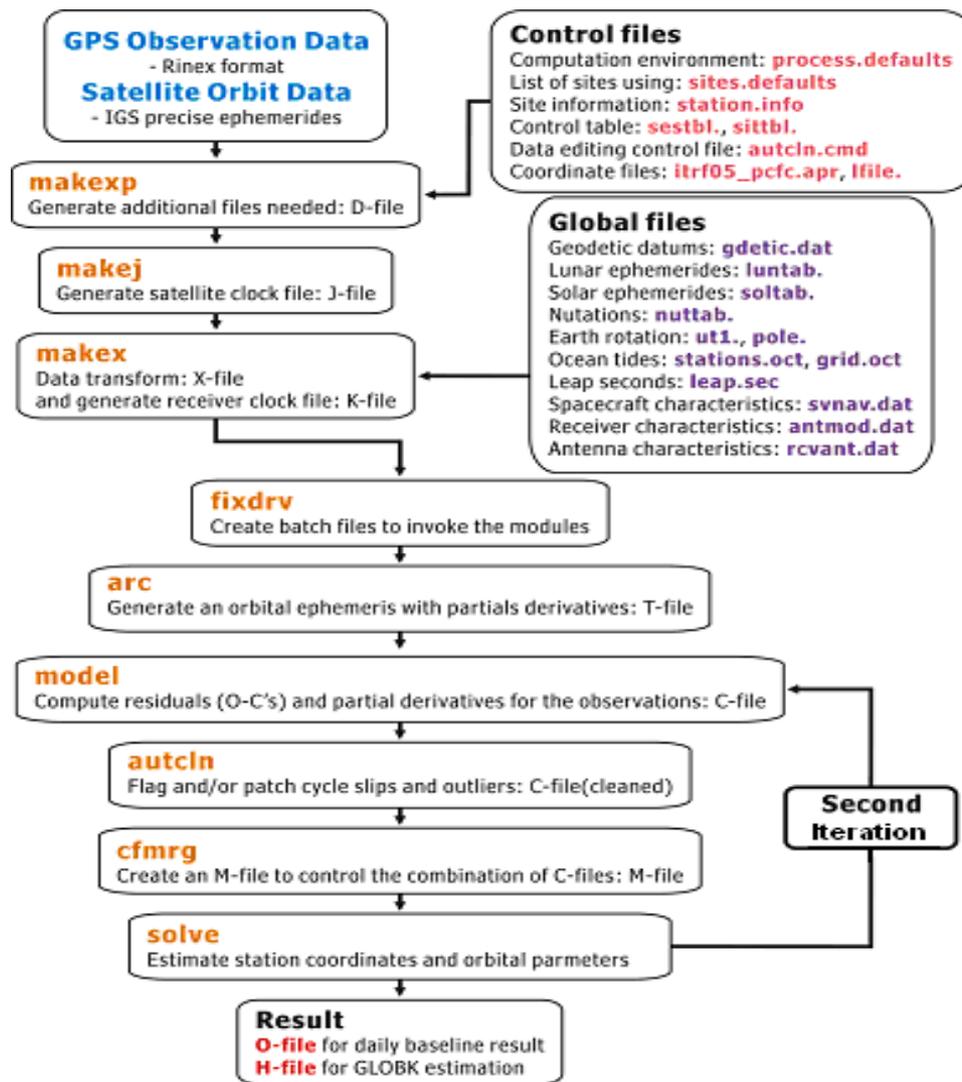


圖 3-1 GAMIT 解算流程圖

GLOBK 同樣為 MIT 所撰寫之大地測量之網型平差軟體，及優勢在於可讀入各式之大地測量方法之資料與約制。此外，GLOBK 利用卡曼濾波器 (Kalman filter) 將其長時間的資料合併成單一時段解，再利用此解去解算測站速率或應變計算時的參數。GLOBK 主要功能有三：

1. 將多個時段的觀測量合併成單一多日之時段解，以估計該測站在長時間下之平均坐標。
2. 合併由步驟1中得到的平均時段解以估計測站之速度。
3. 估計坐標，產生以年或天為單位的速度場。

GLOBK 主要包含三大模組，分別為：GLRED、GLOBK 及 GLORG。以下分別進行說明：

■ GLRED：

GLRED和GLOBK是相似的程式，不同的地方在於GLRED是把每一天的H-files視為獨立的，這種方法比使用卡曼濾波器的GLOBK更能突顯出坐標的可重複性。

■ GLOBK：

GLOBK可以將長時間的每日解合併成單一時段解，並能夠估計測站的坐標與速度值。

■ GLORG：

GLOBK 可以利用框架之平移（translation）、旋轉（rotation）和調整大小（scale）的方法將水平之坐標與速度差異最小化，並加入一般化的約制量將 GLOBK 產生之鬆約制的解與參考框架的坐標與速度做合併。

在 GAMIT 解算完成後，首先利用 GLRED 將所有的連續的 H-files 做成坐標的時間序列（time series），同時找出離群點。利用時間序列找出離群點是哪幾天後，將那特定幾天的觀測資料利用 GAMIT 重新做解算，若是成果一樣不佳的話，則直接將其 H-file 予以移除。若是已經將離群資料清除完畢，則使用 GLOBK 將所有每日的H-files合併，估計出測站的坐標。通常在 GLOBK 估計時，採用的是較鬆的約制，以便在接下來利用 GLORG 去定義合併一個參考框架並將所挑選的約制站的坐標給予約制，得到符合該參考框架之坐標。

當估計出存在 H-file 中所有測站長時間的坐標後，再利用前一步驟已經合併過後的 H-files 在執行一次 GLRED 與 GLOBK 去獲得時間序列（GLRED）以及估計測站速度場（GLOBK, GLORG）。圖3-2為 GLOBK 之計算流程。

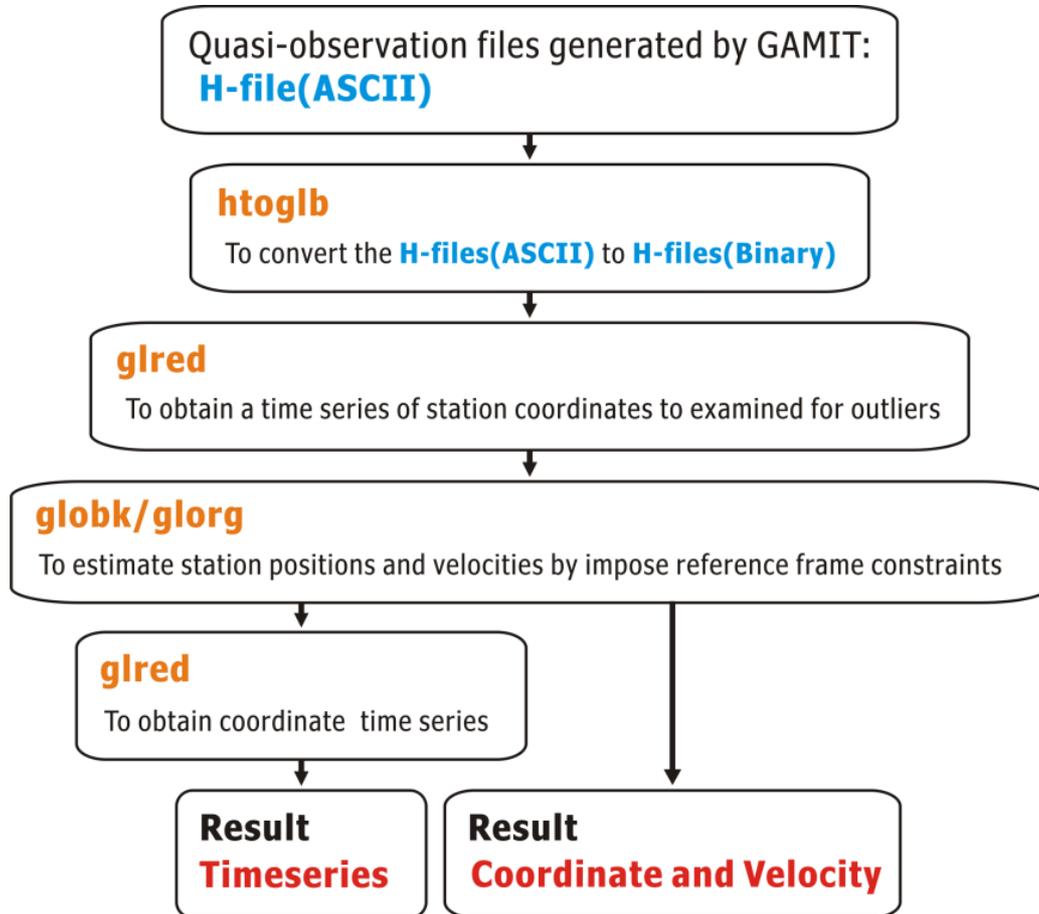


圖 3-2 GLOBK 解算流程圖

## 第四章 解算策略及方法

### 4-1 連續站基本資料

在進行所有 CGPS 坐標解算工作之前，首先針對每站之基本資料進行蒐集與調查，包含連續站之所屬單位、概略位置、接收器型號、天線盤型號和天線盤更換資訊。

### 4-2 連續站資料品質分析

同樣的，在進行所有 CGPS 坐標解算工作之前，我們先針對每站每天之觀測資料進行基本的資料分析及處理，其分析軟體採用 UNAVCO 所研製的 TEQC 軟體，該軟體之主要定位為多功能之 GPS/GNSS 資料工具箱 (Estey and Meertens, 1999)。該軟體可對 GPS 每日觀測量進行觀測量統計、多路徑效應分析及週波脫落效應分析。本計畫將對所有站之每天觀測量利用 TEQC 進行分析與統計，作為之後挑選大地基準站之工作提供參考。TEQC 軟體所提供的參數包含觀測量數目 (observations)、L1 多路徑參數 (RMS MP1)、L2 多路徑參數 (RMS MP2)、週波脫落參數 (observations per slip)。IGS 單位同樣為 IGS 站作以上之分析，並對以上提及參數進行說明及基準站門檻值，詳述如下：

- (a) 以取樣頻率為 30 秒的 GPS 觀測檔而言，一天的總觀測量數目正常為 20,000 多筆，超過 40,000 筆的資料應為取樣頻率高於 30 秒之觀測量。
- (b) 週波脫落參數 (Cycle slips X1000/observations) 以越小為越佳，IGS 站有超過 1/2 的觀測站小於 5，有超過 2/3 的觀測站小於 10。
- (c) 對於多路徑參數 (MP1、MP2) 而言，同樣越小為越佳，IGS 站有超過 1/2 的觀測站 MP1 小於 0.4 m，有超過 2/3 的觀測站 MP1 小於 0.5 m；IGS 站有超過 1/2 的觀測站 MP2 小於 0.6 m，有超過 2/3 的觀測站 MP2 小於 0.75 m。

### 4-3 解算策略介紹與說明

本工作利用 GAMIT10.35 版本進行每日之自由網鬆馳解計算，之後再以 GLOBK 進行框架約制獲得所有連續站時間序列及速度場，其中在 GAMIT 計算下之詳細參數設定如下：

- a. 是否對星軌道進行估計：是
- b. 是否估計極潮(pole tide)、固體潮(earth tide)及海潮(ocean tide)效應：是
- c. 取樣時間間隔：30 秒。
- d. 衛星截止角(cut off angle)：15 度。
- e. 對流層估計：初始氣象參數模式採 GTP50，乾、濕映射函數(mapping function)採 GMF 模式(Global mapping function)，估計間隔為 2 小時。
- f. 固體潮模式：IERS2003。
- g. 海潮模式：FES2004。

本工作為了將所有連續站坐標能有效套合至 ITRF2005 坐標框架上，我們挑選國內 24 個連續站 (圖1) 與國際站 (圖2) 進行連算，再將其獲得的每日鬆馳解與國際 SINEX 網進行合併，約制站則利用 SOPAC 所公布的最佳 ITRF2005 之國際連續站之坐標和速度場 (圖4-1) 進行約制。經由不同解算策略方法之比較及分析，最後得到國內核心站套合在 ITRF2005 於 2010.0 時的最佳坐標解，其工作流程如圖4-2：

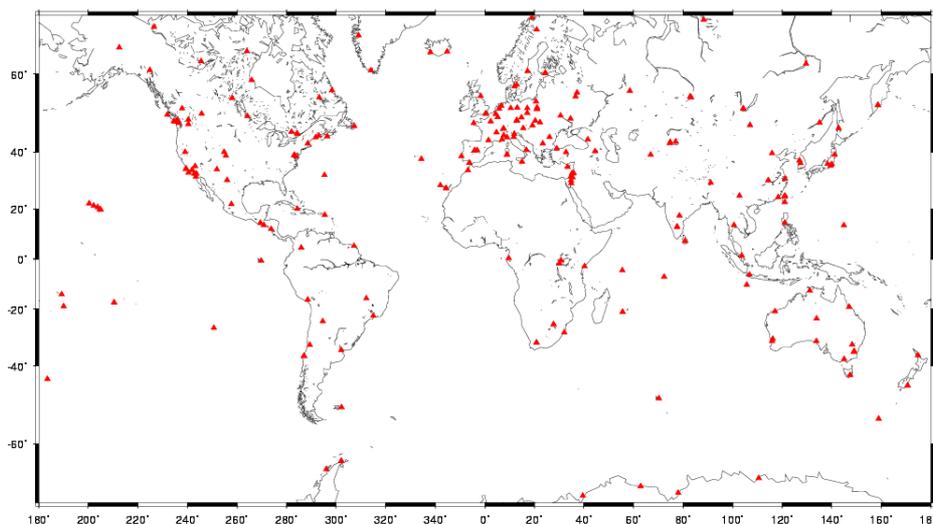


圖4-1 本計畫進行網行平差時與 SINEX 網合併時所使用之國際約制站

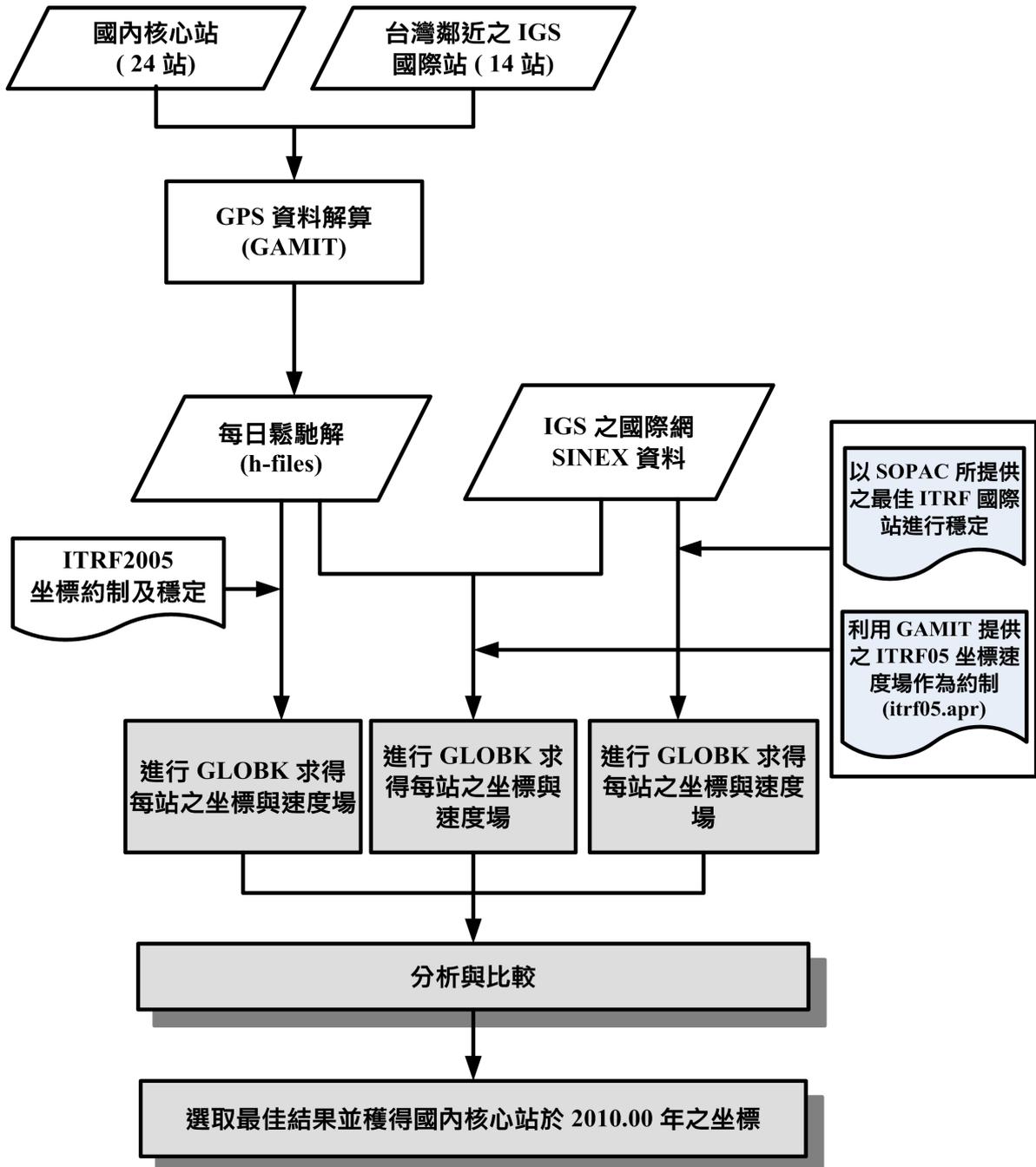


圖 4-2 解算國內核心站套合於 ITRF2005 框架下之工作流程

在確認本計畫之國內核心站坐標後，以國內核心站坐標為約制，進行所有連續站之坐標計算。首先將所有連續站切割成十一網，每網均包含由國內核心站所選取出來的 6 個主站 (MZUM、PANG、YMSM、FLNM、KMNM、BANC) 共同計算，網型分割以區域為原則，每網從 9 到 50 站不等。圖 4-3 為網型分布，其分網解算後之坐標解算流程如圖 4-4。

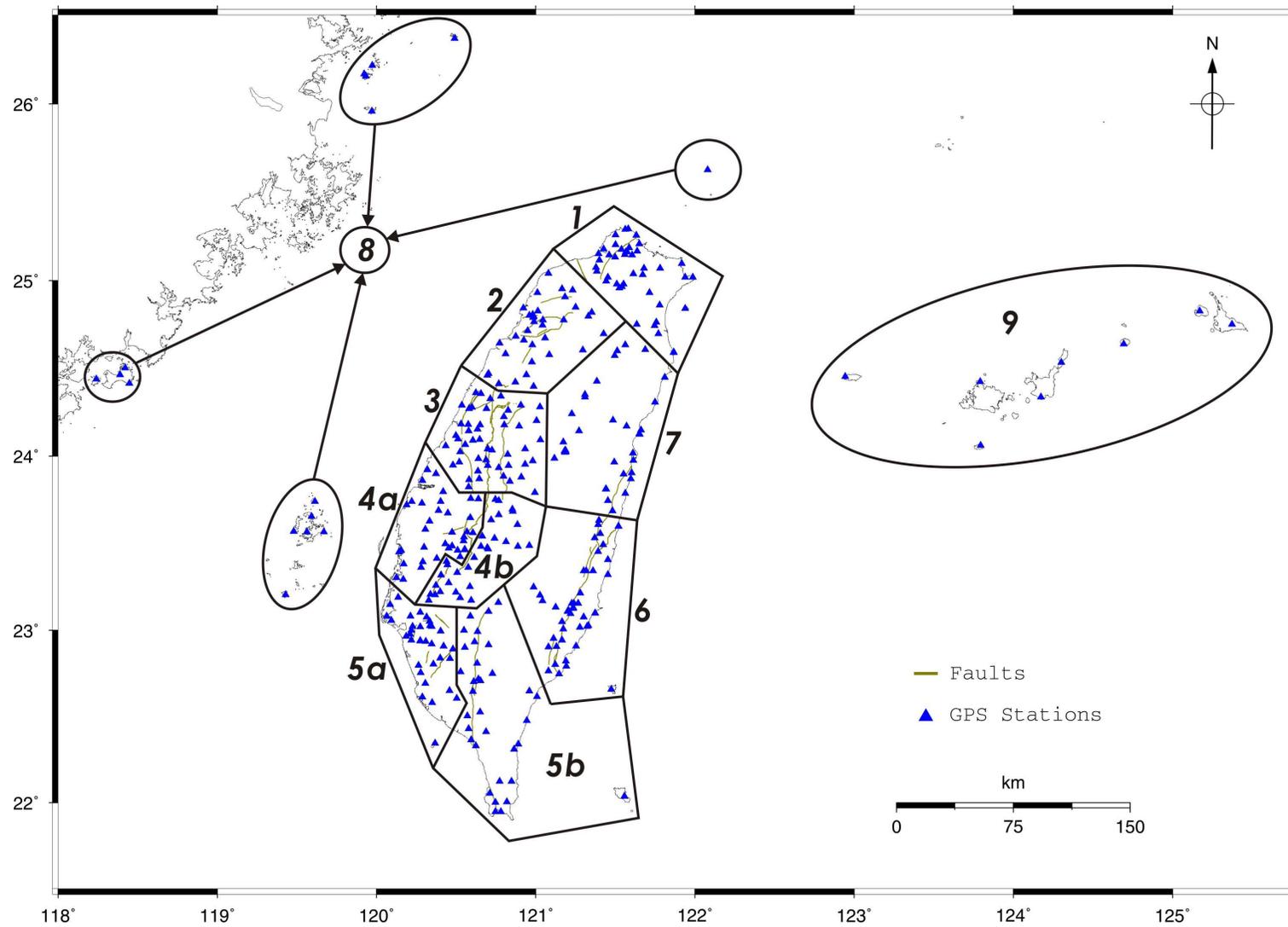


圖 4-3 本計畫所劃分之連續站子網分布圖

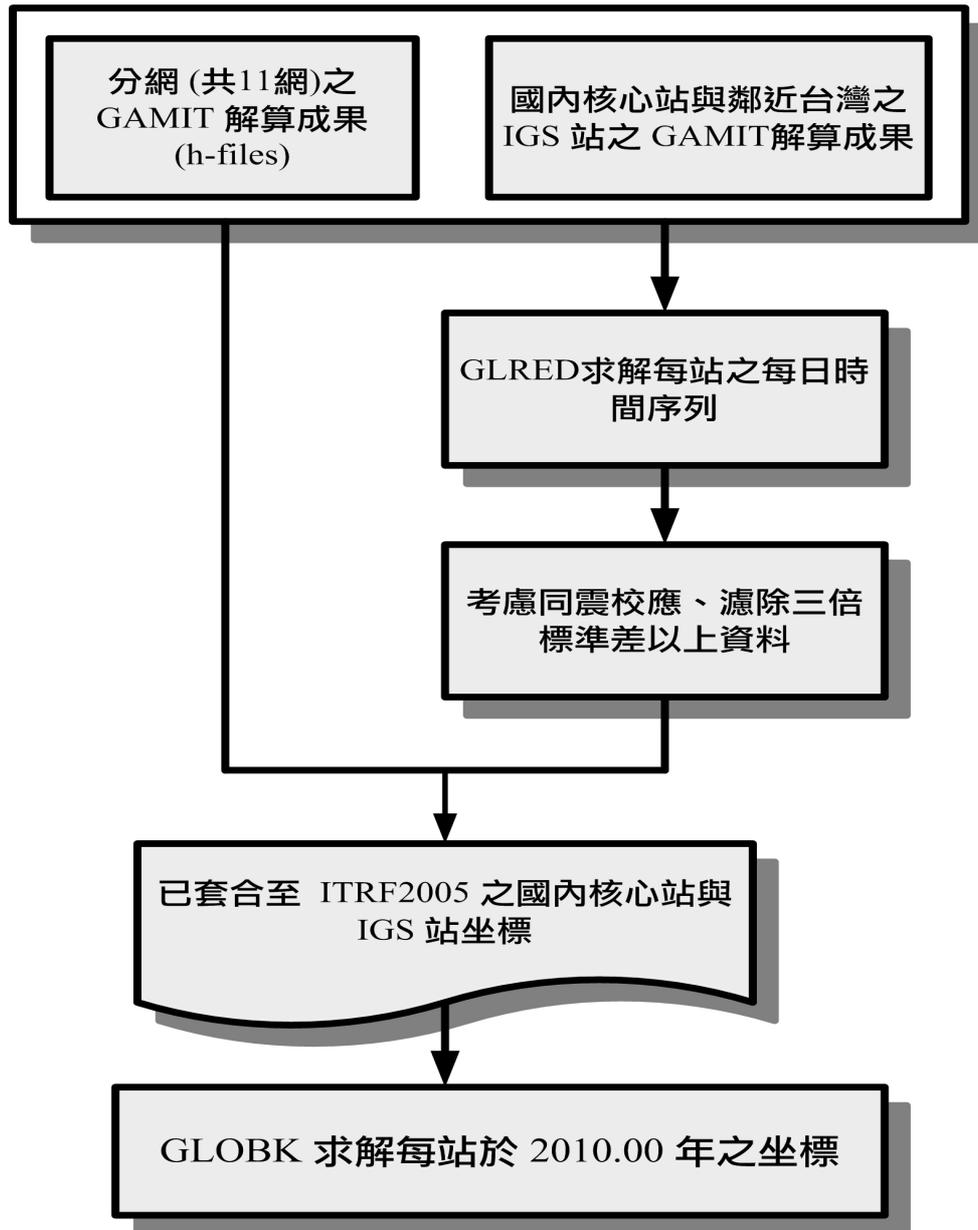


圖 4-4 解算國內子網之工作流程圖

如圖 4-4 所示，求得所有連續站坐標的第一步為合併 11 個分網加上 IGS 站與國內核心站的主網，並以先前求得已套合至 ITRF2005 之國際 IGS 站與國內核心站坐標作為約制，利用 GLRED 得到每站每日時間序列。為能實際了解所有站在本計畫所計算的時間段內的位移，我們觀察所有連續站之時間序列，並分析是否由於地震或是天線盤更換之改變，確認後再將兩時段的坐標分開估計。此外，時間序列三方向若有單天位置大於三倍標準差的值，我們將進行濾除，之後再利用 GLOBK 計算最後所有之連續站坐標。

#### 4-4 坐標轉換方法說明

ITRF 公告之坐標轉換法及參數採用 14 參數轉換法(Soler and John, 2002)，公式說明如公式 4.1 與 4.2，轉換參數如表 4-1 與 4-2：

$$\begin{aligned}
 \begin{Bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{Bmatrix}_{ITRF_{zz}} &= \begin{Bmatrix} T_x(t_k) \\ T_y(t_k) \\ T_z(t_k) \end{Bmatrix} + (1+s(t_k)) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z(t_k) & -\varepsilon_y(t_k) \\ -\varepsilon_z(t_k) & 1 & \varepsilon_x(t_k) \\ \varepsilon_y(t_k) & -\varepsilon_x(t_k) & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x(t_k) \\ y(t_k) \\ z(t_k) \end{Bmatrix}_{ITRF_{yy}} \\
 &+ (t-t_k) \begin{bmatrix} \dot{T}_x \\ \dot{T}_y \\ \dot{T}_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1+s(t_k) & 0 & \dot{\varepsilon}_z & -\dot{\varepsilon}_y \\ -\dot{\varepsilon}_z & 0 & \dot{\varepsilon}_x & 0 \\ \dot{\varepsilon}_y & -\dot{\varepsilon}_x & 0 & 1 \end{bmatrix} + \dot{s} \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z(t_k) & -\varepsilon_y(t_k) \\ -\varepsilon_z(t_k) & 1 & \varepsilon_x(t_k) \\ \varepsilon_y(t_k) & -\varepsilon_x(t_k) & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x(t_k) \\ y(t_k) \\ z(t_k) \end{Bmatrix}_{ITRF_{yy}} \\
 &+ (t-t_k) \begin{bmatrix} 1+s(t_k) & \varepsilon_z & -\varepsilon_y(t_k) \\ -\varepsilon_z(t_k) & 1 & \varepsilon_x(t_k) \\ \varepsilon_y(t_k) & -\varepsilon_x(t_k) & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_x(t_k) \\ v_y(t_k) \\ v_z(t_k) \end{Bmatrix}_{ITRF_{yy}}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

其中，

$$\begin{Bmatrix} x(t_k) \\ y(t_k) \\ z(t_k) \end{Bmatrix}_{ITRF_{yy}} = \begin{Bmatrix} x(t_0) \\ y(t_0) \\ z(t_0) \end{Bmatrix}_{ITRF_{yy}} + (t_k - t_0) \begin{Bmatrix} v_x(t_0) \\ v_y(t_0) \\ v_z(t_0) \end{Bmatrix}_{ITRF_{yy}} \tag{4.2}$$

表 4-1 ITRF 公告之 ITRF2005 轉換至 ITRF2000 之轉換參數(EPOCH:2000.0)

	T <sub>x</sub> , mm	T <sub>y</sub> , mm	T <sub>z</sub> , mm	s, ppb	ε <sub>x</sub> , mas	ε <sub>y</sub> , mas	ε <sub>z</sub> , mas
	0.1	-0.8	-5.8	0.4	0.0	0.0	0.0
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
Rates	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.00	0.00	0.00
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012

其中 ppb 為 10<sup>-9</sup> 次方，mas 為 10<sup>-6</sup> 弧秒 (Milliarc second)

表 4-2 ITRF 公告之 ITRF2000 轉換至 ITRF94 之轉換參數(EPOCH:1997.0)

	T <sub>x</sub> , mm	T <sub>y</sub> , mm	T <sub>z</sub> , mm	s, ppb	ε <sub>x</sub> , mas	ε <sub>y</sub> , mas	ε <sub>z</sub> , mas
	6.7	6.1	-18.5	1.55	0.0	0.0	0.0
+/-	-	-	-	-	-	-	-
Rates	0.0	-0.6	-1.4	0.01	0.0	0.0	0.02
+/-	-	-	-	-	-	-	-

其中 ppb 為  $10^{-9}$  次方，mas 為  $10^{-6}$  弧秒(Milliarc second)

#### 4-5 大地基準站之挑選工作

該項工作之目的在於找出適合作為台灣大地基準之參考站。由此前提下我們將以下列幾項原則進行挑選：

- 1.空間均勻分布；
- 2.坐標重複性佳；
- 3.處於相對穩定之地盤；
- 4.選擇較穩定之樁位型式；
- 5.經驗上較為人所常用作參考站之連續站；

利用以上5點綜合評估並挑選大地基準站。由經驗上得知，澎湖之 S01R、金門之 KMNM、及馬祖之 MZUM 站及墾丁之 KDNM 站為歷史悠久且經常被視為參考站所使用，因此以上四站為我們所先行挑選之大地基準站。日本站不納入參考站。濁水溪沖積扇與屏東平原在長期 GPS 時間序列上有明顯因地層下陷及地下水位變化所造成之影響；此外，嘉義山區因斷層眾多且複雜，時間序列上也常有無法解釋之變化。宜蘭、花蓮、台東地區，地震頻繁，在該區之長期 GPS 時間序列上常有同震及震後之情形產生；此外，宜蘭平原也有地層下陷之情形，花東縱谷地區因地下水影響也在地表造成明顯之位移。雖然如此，我們將這些區域中還是挑選出相對表現較佳之連續站作為參考站，主要依據為坐標重複性、次要依據為多路徑參數及週波脫落參數。其方法如下：

- 1.外島挑選 S01R、KMNM、MZUM 已確立，KDNM 為台灣最南端較佳之站。
- 2.台灣本島之子網共有 9 網，分網進行挑選，嘉南東與嘉南西合併挑選，高屏東與高屏西合併挑選，先以坐標重複性為主要原則進行挑選；
- 3.以觀測量大於 20,000 筆、多路徑參數 MP1 小於 0.32 m、MP2 小於 0.48 m、週波脫落參數小於 1.46 為門檻值(以上數值為所有站之排序 2/3 之值)，資料天數缺漏 7 天以上不挑選(需 55 天以上)。
- 4.以 2 和 3 點為基準，於各網挑選出最佳之 5 站，再以所座落之位置與樁位型式分別進行討論。

## 4-6 精度評估因子

為了確任本計畫之計算成果，此章節提出各項確認解算成果之方法與因子，以下分別對不同之目的及因子進行說明：

### a. GAMIT 每日解解算成果精度：

對於利用 GAMIT 所計算出之成果，GAMIT 軟體會每日計算完成後產生一摘要檔，其中包含 one-way root-mean-square residuals by satellite and station，該項會提出 4 站之均方根值(RMS)，前 2 站為最佳之 2 站，後 2 站為最差之 2 站。在基本測量中，最佳站之 RMS 通常為 3-5 mm，最差站值為 7-9 mm，但 10-15 mm 仍可接受。大於 15 mm 可能因惡劣之天氣或環境所造成，也可能是初始坐標太差或是資料量少所致。此外，對於雙差分統計正規化均方根值 (double difference statistics)有四種情形，約制解實數週波未定值、約制解整數週波未定值、鬆馳解實數週波未定值及鬆馳解整數週波未定值。一般情形此四種情形之 RMS 約在 0.2 mm，而約制解遠大於鬆馳解常是約制過緊所造成之狀況。最後還有寬巷 (WL)、窄巷 (NL)週波未定值求解比率，兩者均大於 90% 為佳。

### b.單站之時間序列重複性結果：

在利用單天網型平差(GLRED)所得之每站之時間序列，我們進行統計來探討其坐標重複性。其統計量使用加權均方根值(WRMS)，就一

般測量 24 小時而言，水平向在 1-2 mm，高程向在 3-5 mm 為較合理之值(Herring et al., 2008)。

**c. GLOBK 網形平差成果精度：**

在最後利用 GLOBK 網形平差後，GLORG 約制參考站，約制量大小則被參考站統計量控制，經由多次迭代，將會移除誤差過大之參考站，而最後至少有 3 站以上進行穩定約制。最後會有一統計值 Post RMS，該值為 1-5 mm 為合理之範圍。

## 第五章 解算成果及分析

### 5-1 連續站基本資料

本計畫將所有連續站分為 11 網，其分布圖與基本資料列於表 5-1。網型分布如圖 5-1 至 5-9。

表 5-1 各子網之基本資訊

網形名稱	代號	站數	網形名稱	代號	站數
北宜	A1	42	高屏東	A5b	35
桃竹	A2	36	台東	A6	45
台中	A3	50	花蓮	A7	34
嘉南西	A4a	36	外島	A8	16
嘉南東	A4b	31	日本	A9	8
高屏西	A5a	34	-	-	-

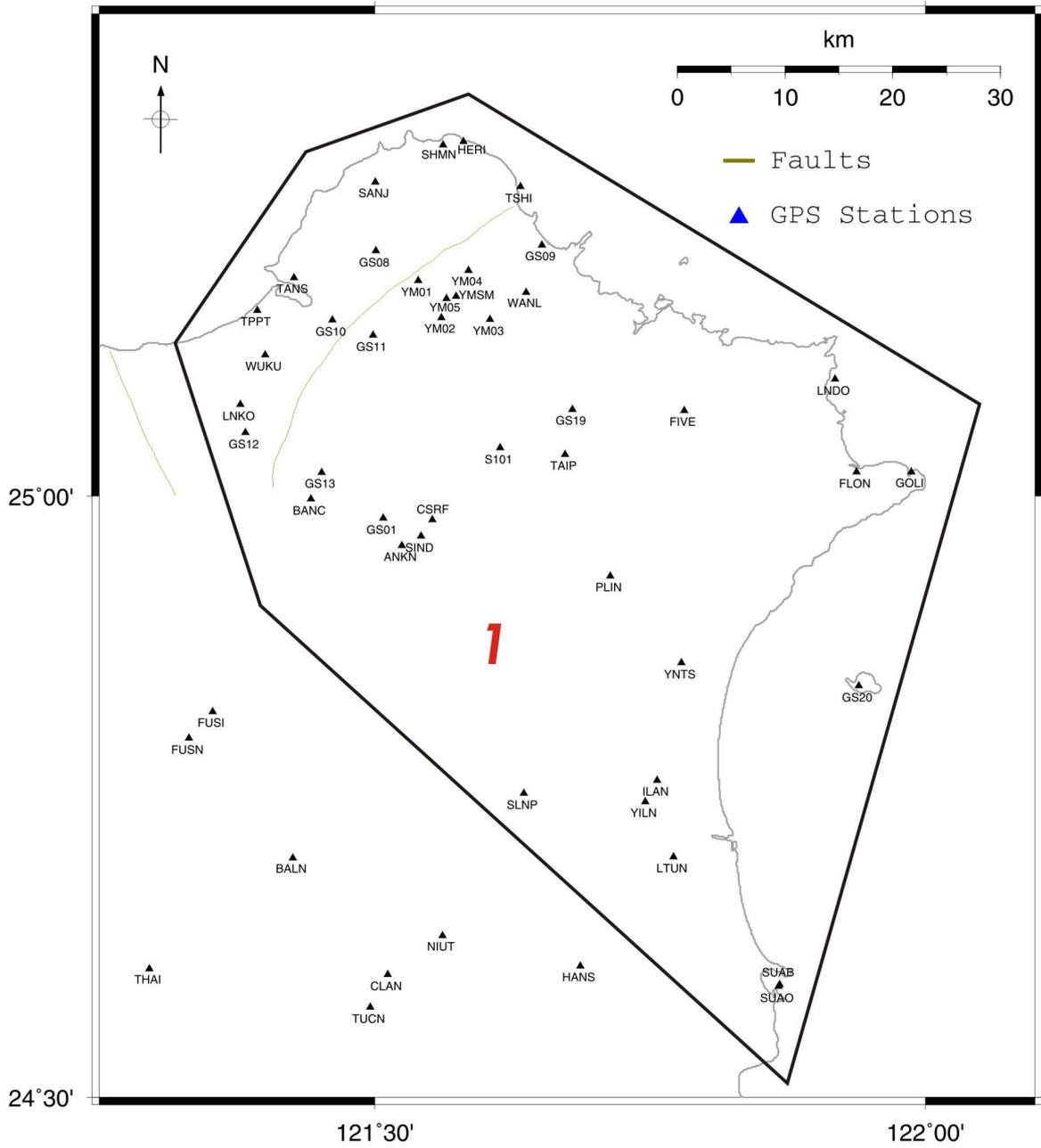


圖 5-1 北宜網 (A1) 之連續站分布圖

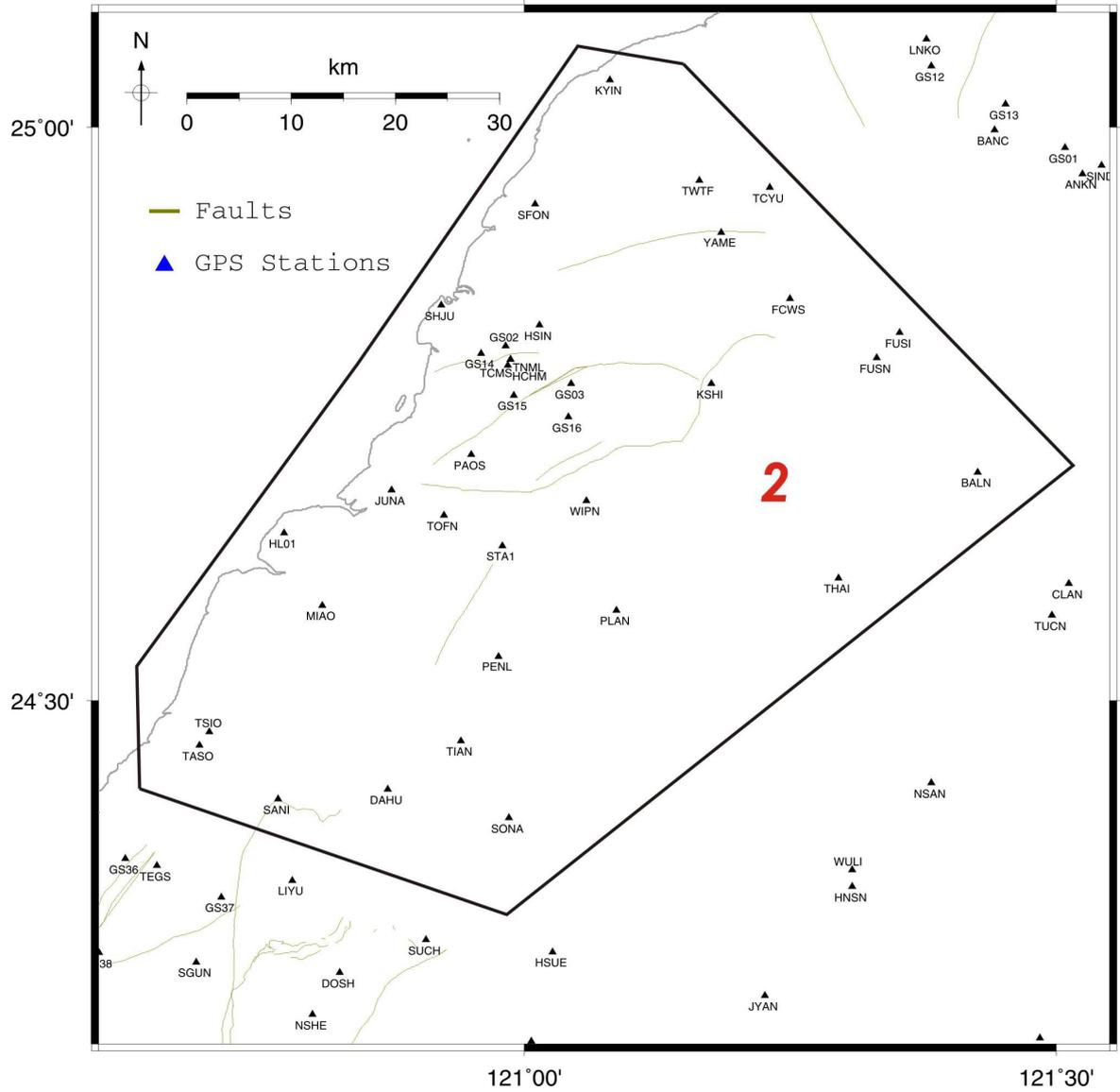


圖 5-2 桃竹網 (A2) 之連續站分布圖

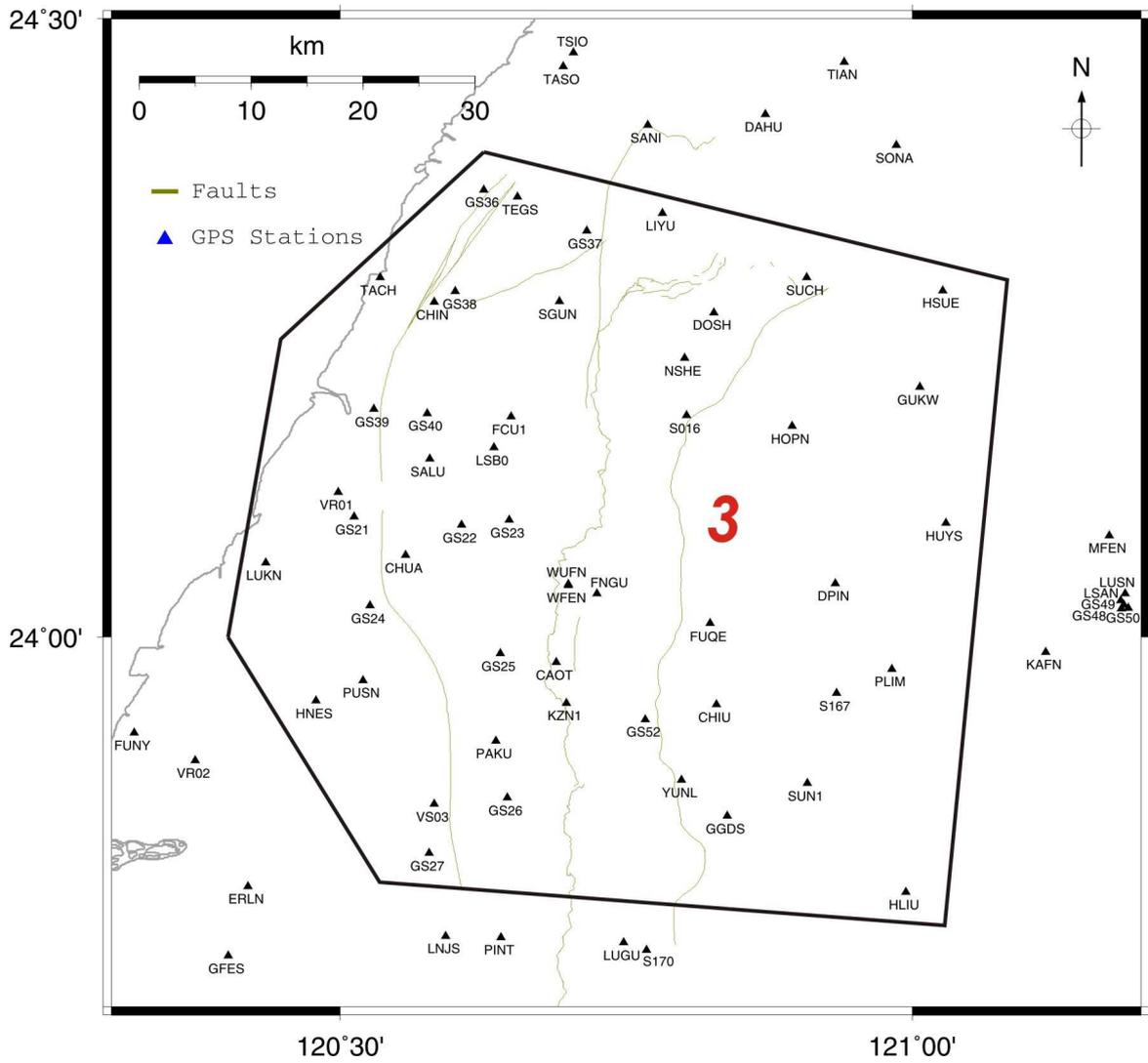


圖 5-3 台中網 (A3) 之連續站分布圖

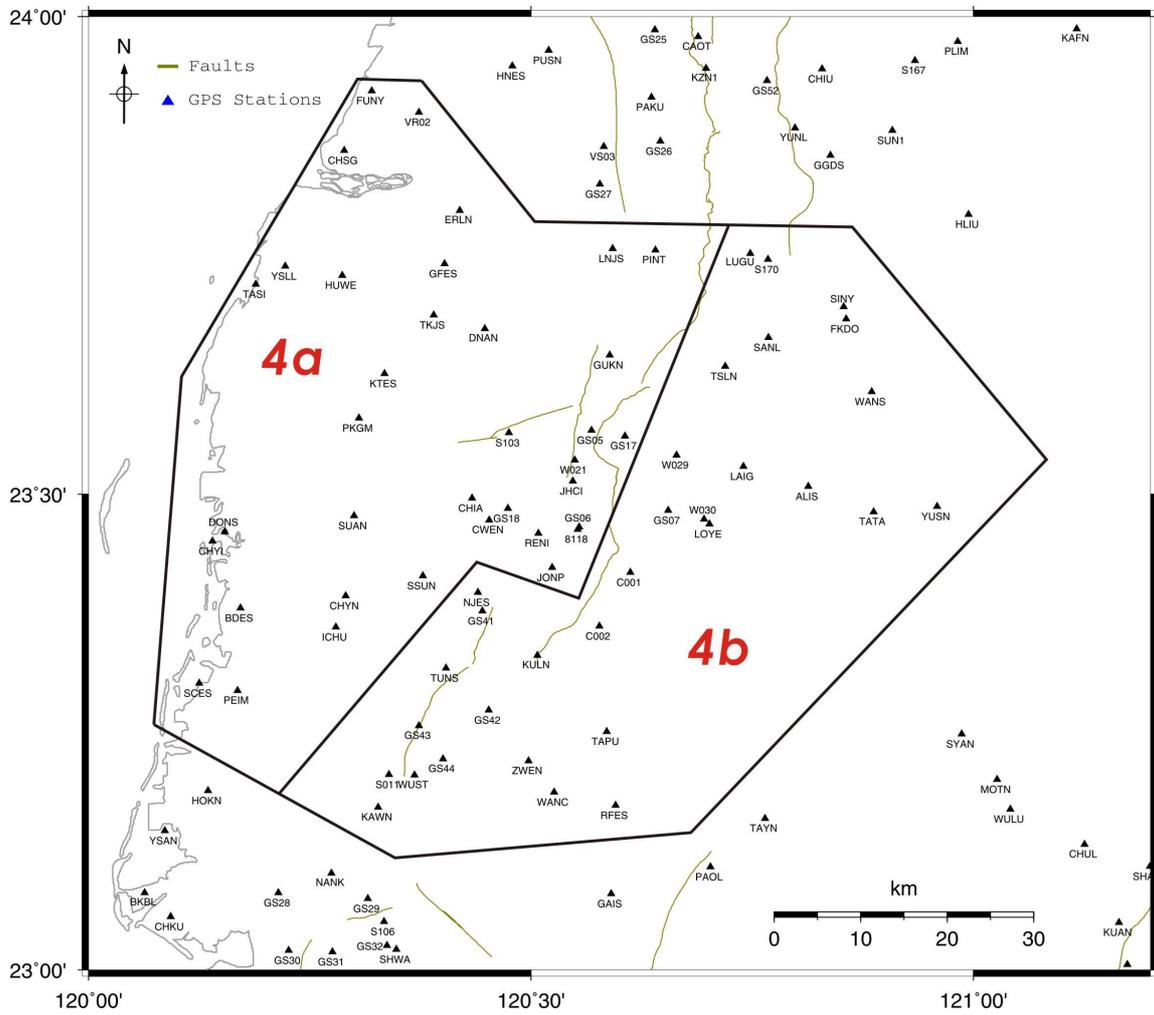


圖 5-4 嘉南網 (A4a, A4b) 之連續站分布圖



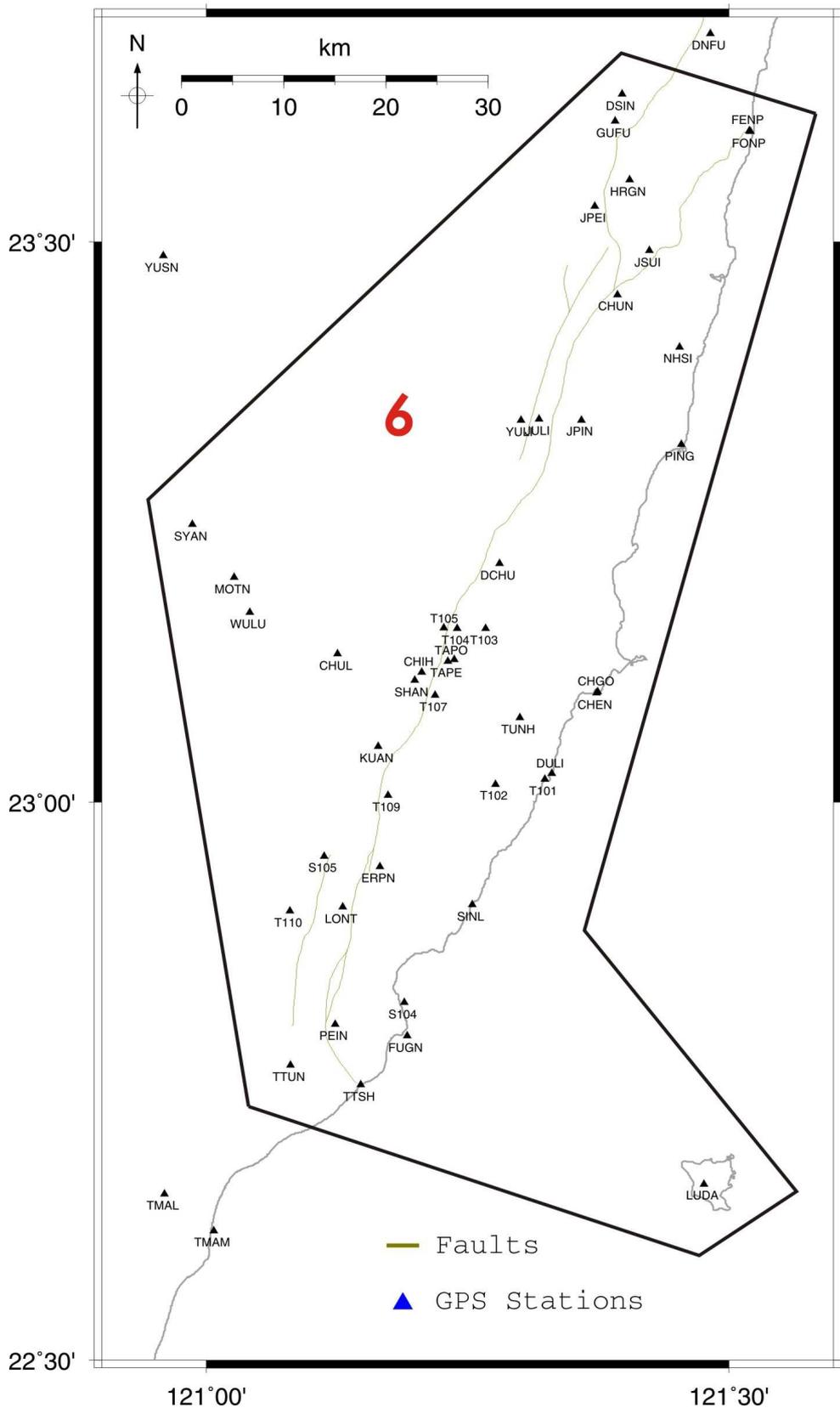


圖 5-6 台東網 (A6) 之連續站分布圖

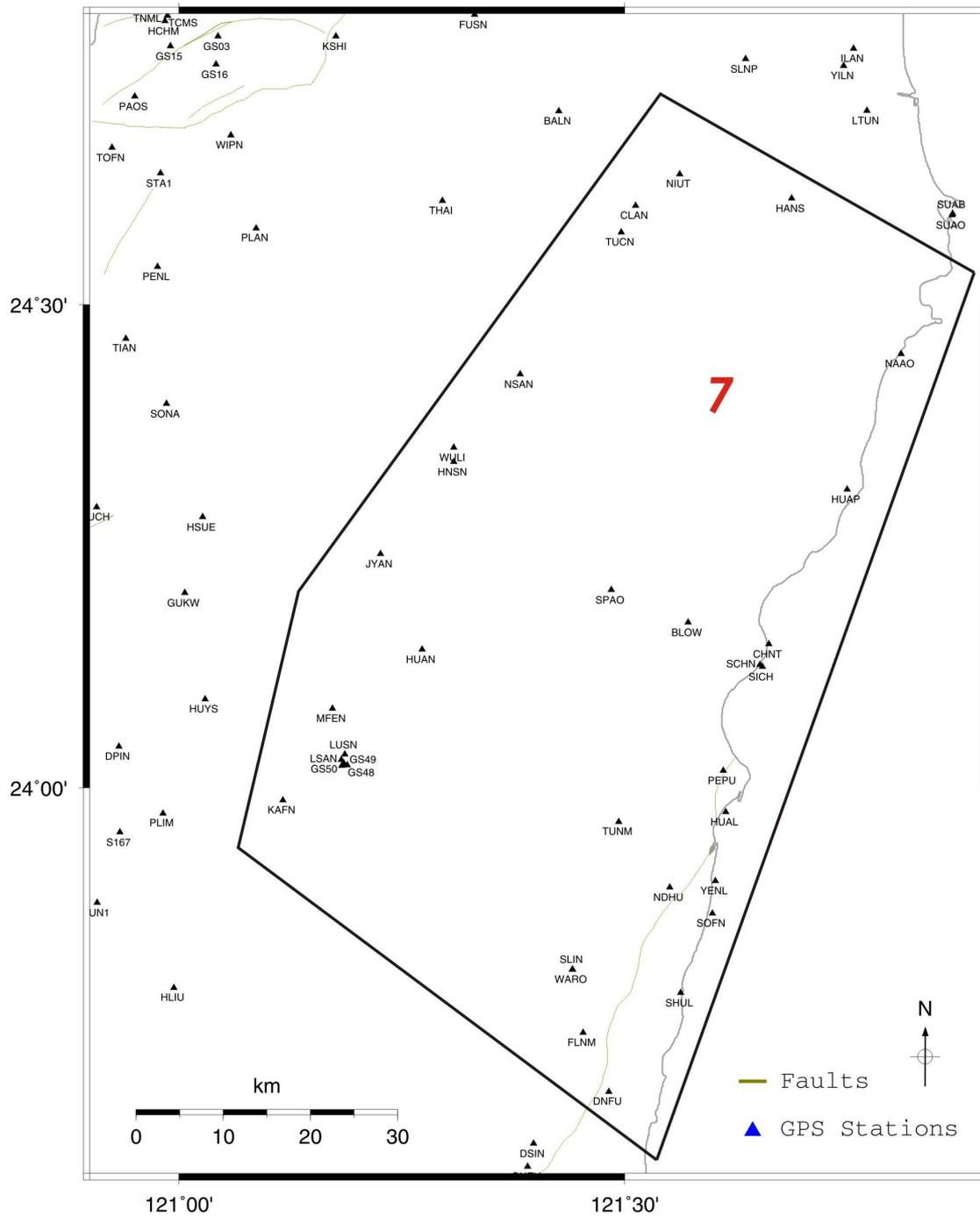


圖 5-7 花蓮網 (A7) 之連續站分布圖

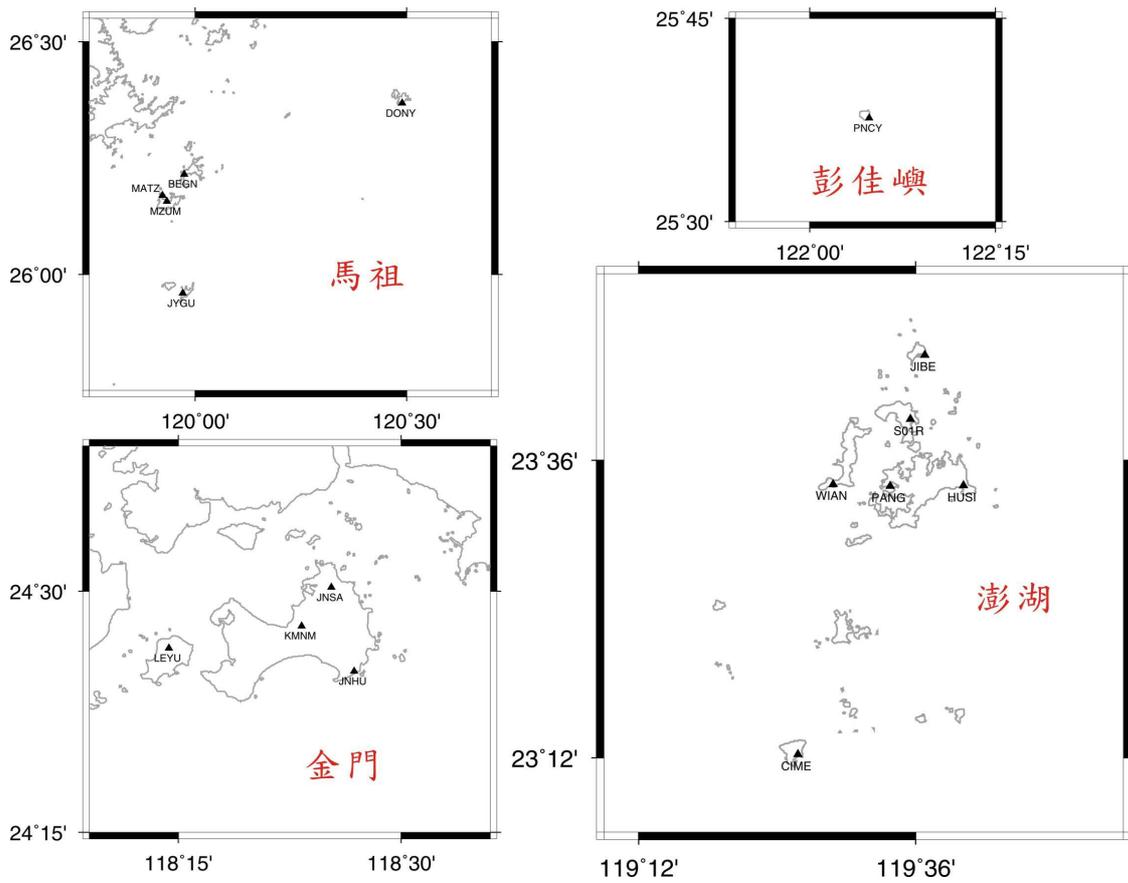


圖 5-8 外島網 (A8) 之連續站分布圖

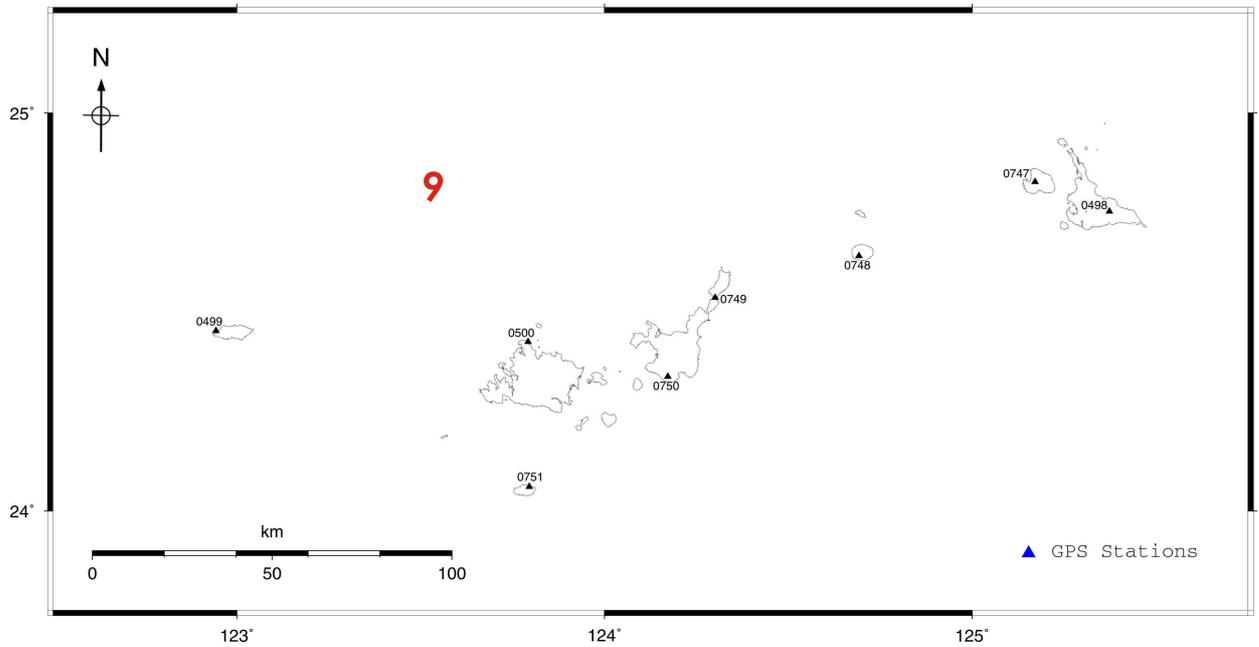


圖 5-9 日本網 (A9) 之連續站分布圖

## 5-2 連續站資料描述與基本觀測量品質分析

關於連續站資料描述與基本觀測量品質分析，圖 5-10 顯示所有連續站所屬單位之比例，其中資料站數依次為中央氣象局、中央地質調查所、中研院、國土測繪中心、內政部，其它單位則擁有 47 個站。關於天線盤型號之統計主要為 TRIMBLE 公司及 LEICA 公司之天線盤。

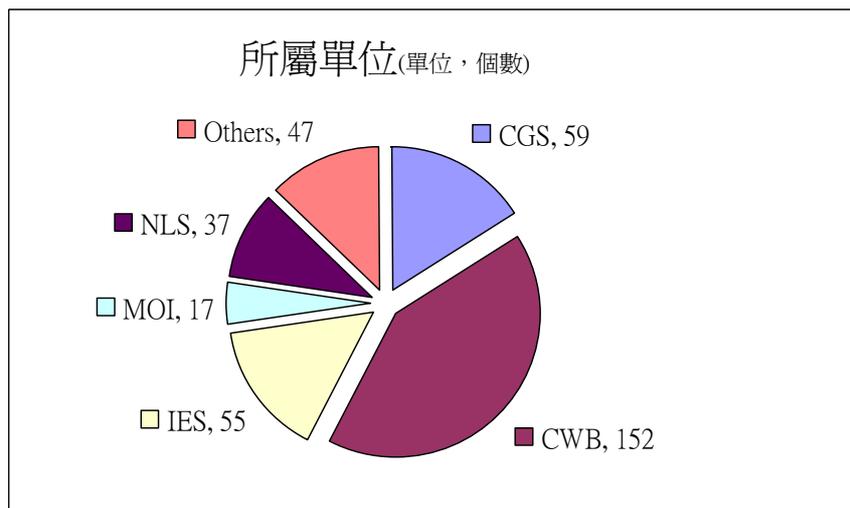


圖 5-10 連續站所屬單位之比率

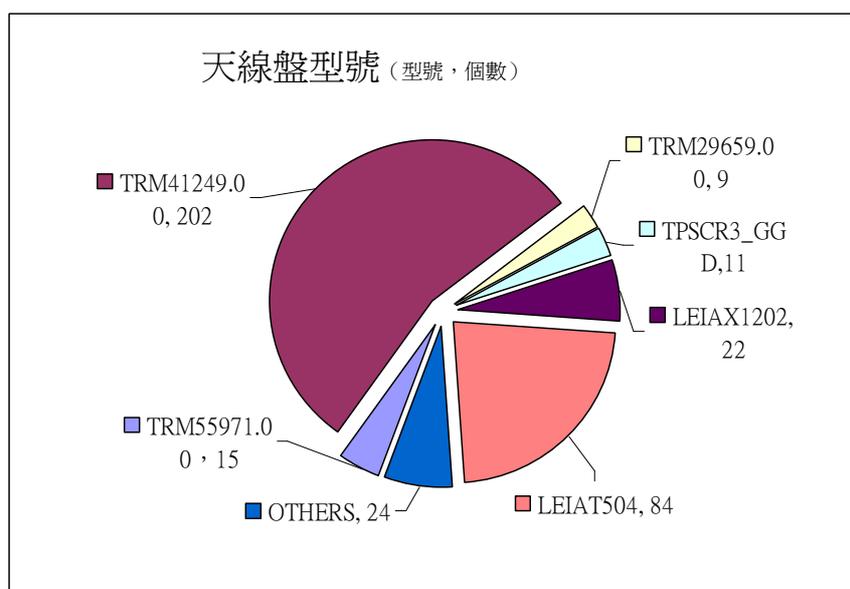


圖 5-11 連續站之天線盤型號之比率

關於各站利用 TEQC 軟體所得出之基本統計資料如圖 5-12、圖 5-13、圖 5-14、圖 5-15。在觀測量總數方面，中位數為 23,541 筆，而總數少於 20,000 筆之連續站有 27 站，該 27 站將不會編入大地參考站之用。在多路徑參數 MP1 及 MP2 方面，MP1 有 1/2 連續站在 0.3 m 以內，有 2/3 在 0.32 m 以內；MP2 有 1/2 連續站在 0.41 m 以內，有 2/3 在 0.48 m 以內。週波脫落參數有 1/2 連續站在 0.61 以內，有 2/3 在 1.46 以內。

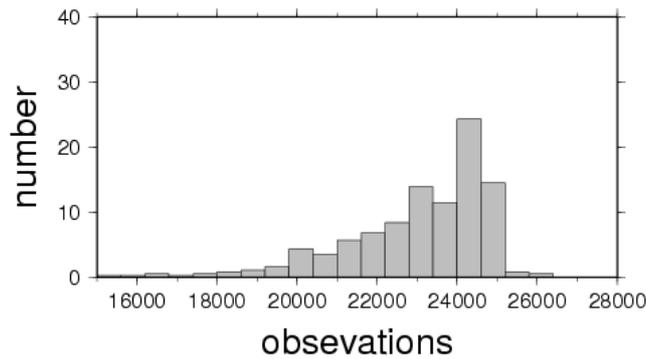


圖 5-12 連續站之觀測量之統計直方圖

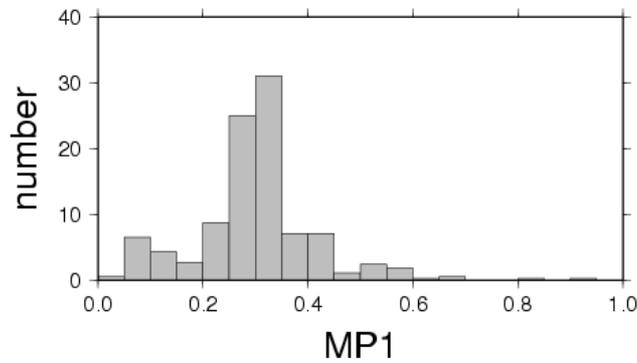


圖 5-13 連續站之 MP1 之統計直方圖 (單位: m)

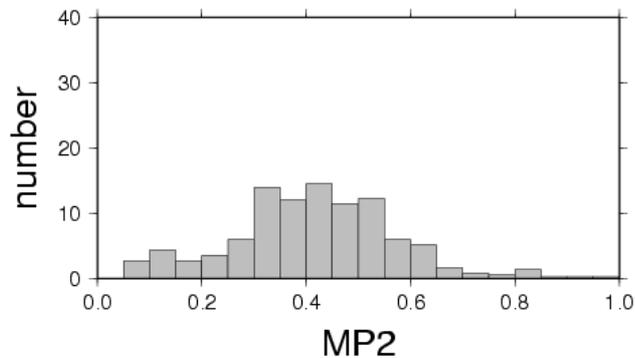


圖 5-14 連續站之 MP2 之統計直方圖 (單位: m)

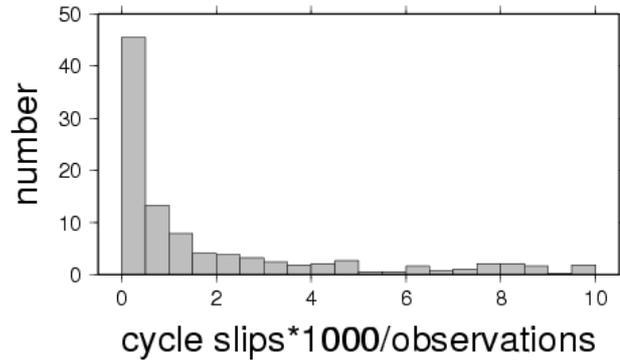


圖 5-15 連續站之週波脫落參數之統計直方圖

### 5-3 與世界網連結之成果

為驗證本計畫所求得之坐標成果能有效的套合至 ITRF2005 國際框架，我們使用了三種網型組合方法進行比較，三種方法分別說明如下：

1. 利用國內 24 個核心站與鄰近台灣的 14 個 IGS 站聯合解算之結果，以 ITRF2005 公告坐標約制其 IGS 站，利用 GLOBK 求得 14 個 IGS 站的坐標。
2. 利用 IGS 所公布的國際 SINEX 資料，以 ITRF2005 公告坐標初始值，並以 SOPAC 所公布之良好之 ITRF 連續站作為約制，利用 GLOBK 求得鄰近台灣的 14 個 IGS 站之坐標。
3. 合併方法 1 與方法 2 之網，以 ITRF2005 公告為坐標初始值，並以 SOPAC 所公布之良好之 ITRF 連續站作為約制，利用 GLOBK 求得鄰近台灣的 14 個 IGS 站之坐標。

本計畫利用以上之方法求出三組鄰近台灣的 14 個 IGS 站坐標，為比較其成果，我們以方法 2 所得之坐標為真值，再比較此 3 個成果的較差，其成果如表 5-2。

表 5-2 不同方法套合於 ITRF2005 之較差成果

	X (mm) (M3-M2)	X (mm) (M1-M2)	Y (mm) (M3-M2)	Y (mm) (M1-M2)	Z (mm) (M3-M2)	Z (mm) (M1-M2)
KOKB	1.78	-13.21	0.73	15.72	-1.60	3.35
AUCK	-0.38	2.86	0.43	2.07	-2.12	-0.99
GUAM	6.49	15.03	-5.00	-8.20	-4.71	-6.44
TSKB	7.28	15.77	-5.98	-9.51	-5.73	-11.32
ALIC	-0.38	4.41	-1.98	-6.89	-2.08	-2.99
DAEJ	0.21	8.20	-3.53	-8.37	-0.75	-6.05
TWTF	2.03	11.48	-3.58	-10.90	-0.04	-4.51
PIMO	4.56	14.54	-6.43	-14.11	0.55	-2.73
PERT	0.37	3.93	-1.29	-8.85	6.59	3.54
WUHN	-0.09	7.94	-2.32	-9.08	0.98	-4.16
IRKT	-4.97	-0.04	0.11	-5.56	8.57	0.95
KUNM	-1.78	4.31	-4.02	-10.74	1.33	-3.13
LHAZ	-1.73	2.92	-4.47	-12.25	-0.50	-6.64
IISC	-0.95	0.11	0.11	-8.33	2.90	-4.39

如表所示，結合於 SINEX 國際網的方法 3 在套合 ITRF2005 網下的結果明顯優於方法 1，所以我們選擇方法 3 之成果應用於之後的計算工作。

以上我們將方法 2 視為真值，為了討論方法 2 與實際 ITRF2005 網之差異，我們在此進行討論；

**a. ITRF2005 之定義：**

ITRF2005 合併了全球四種大地測量技術，包括 GPS、VLBI、DORIS、SLR，所使用之時間段分別如下：VLBI 為 1980-2006.0 年，SLR 為 1992.9-2005.9 年，GPS 為 1996.0-2006.0 年，DORIS 為 1993-2006 年。由以上之資訊可了解 ITRF2005 所得之坐標框架主要是由 2006 年之前的資料所組成。

**b. 國際約制站 14 站之時間序列穩定性：**

為了解我們所挑選之國際約制站之穩定性，我們從 SOPAC 網頁上下載其長時期時間序列(圖 5-16 至圖 5-57)，主要是用來觀察其時間序列在 2006 年之後的變化，其成果如下：

由 SOPAC 所計算之長時期坐標位移發現，TSKB 之 E 方向及 TWTF 之 E 方向在 2007 年中期後有速度變化，這可能會造成我們所計算之 ITRF05 之坐標與公告值有所差異。

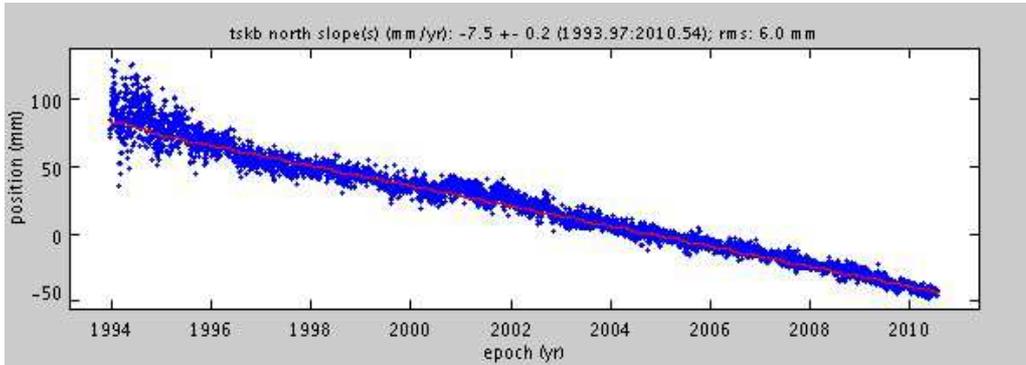


圖 5-16 TSKB N 方向時間序列

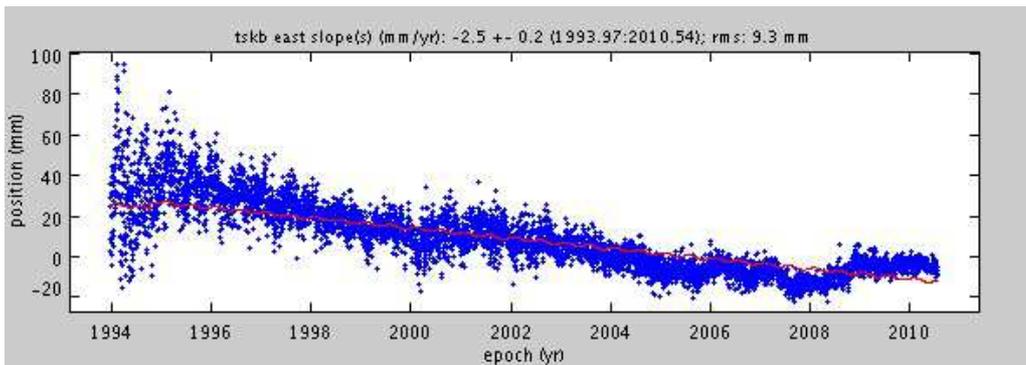


圖 5-17 TSKB E 方向時間序列

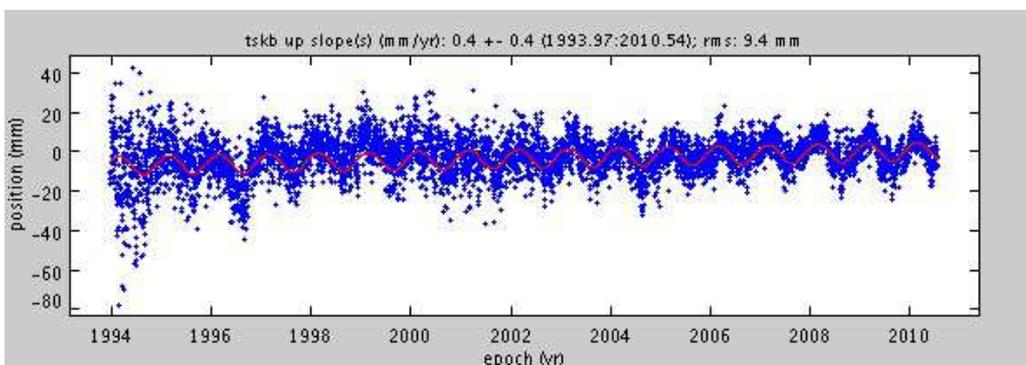


圖 5-18 TSKB H 方向時間序列

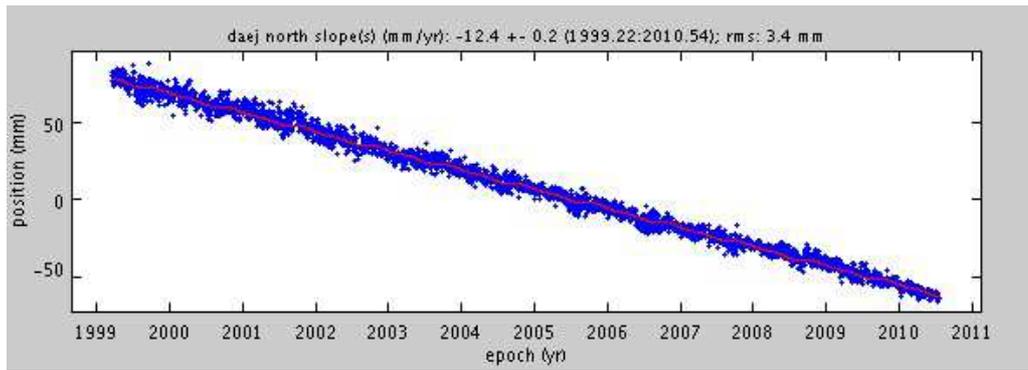


圖 5-19 DAEJ N 方向時間序列

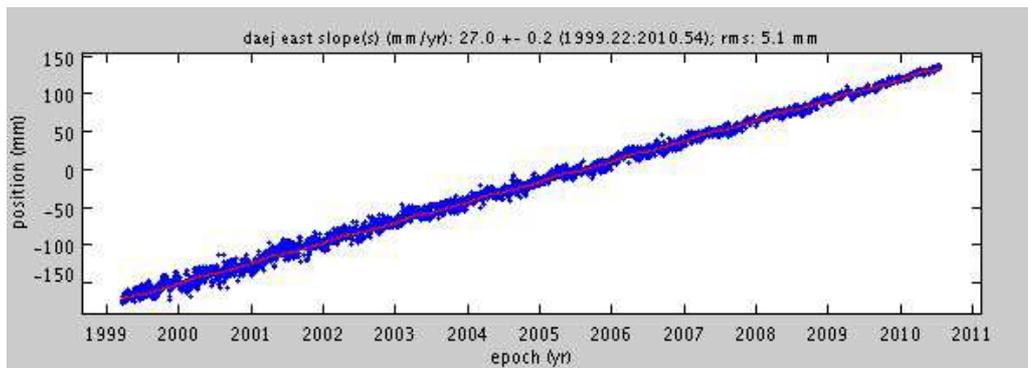


圖 5-20 DAEJ E 方向時間序列

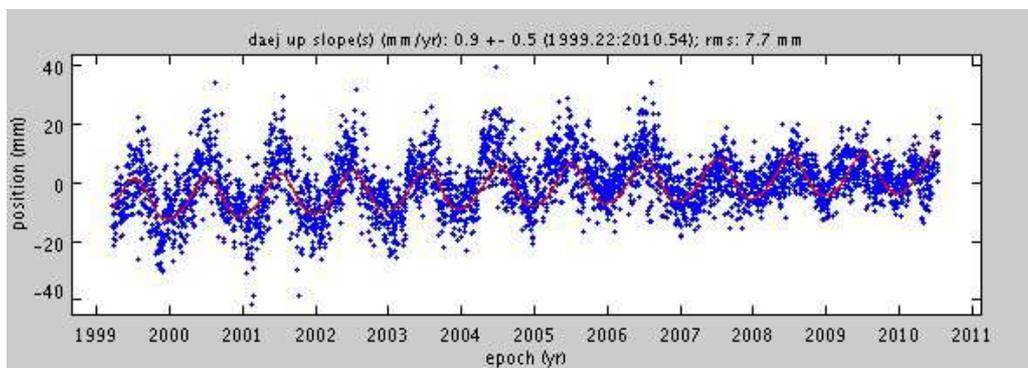


圖 5-21 DAEJ H 方向時間序列

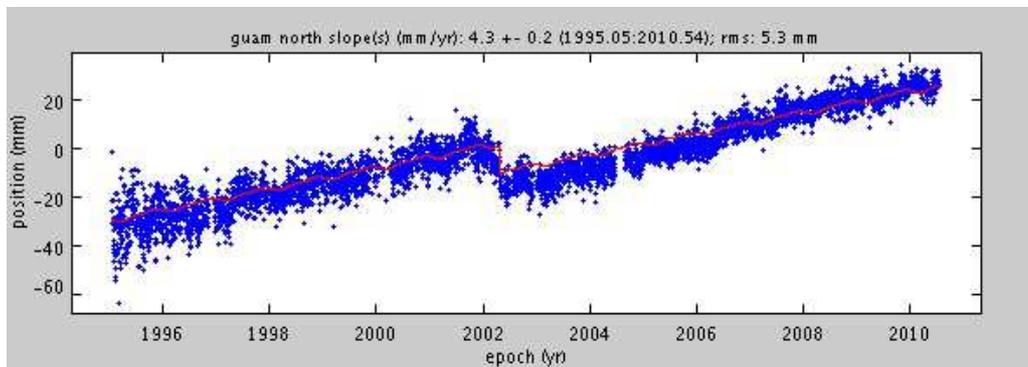


圖 5-22 GUAM N 方向時間序列

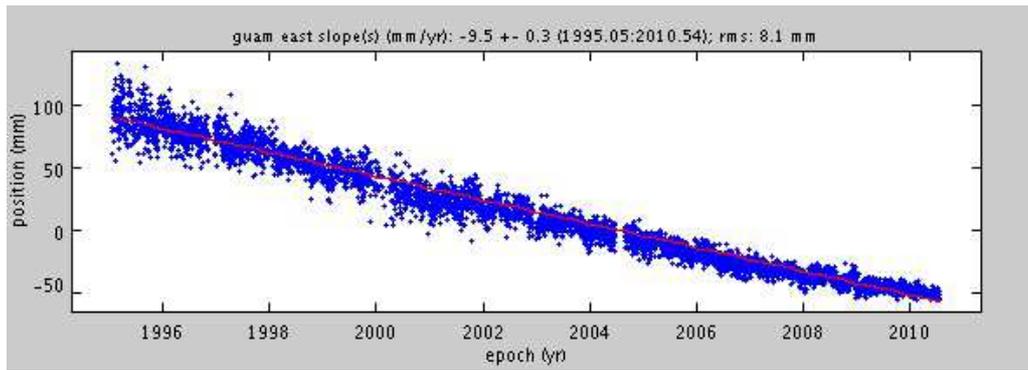


圖 5-23 GUAME 方向時間序列

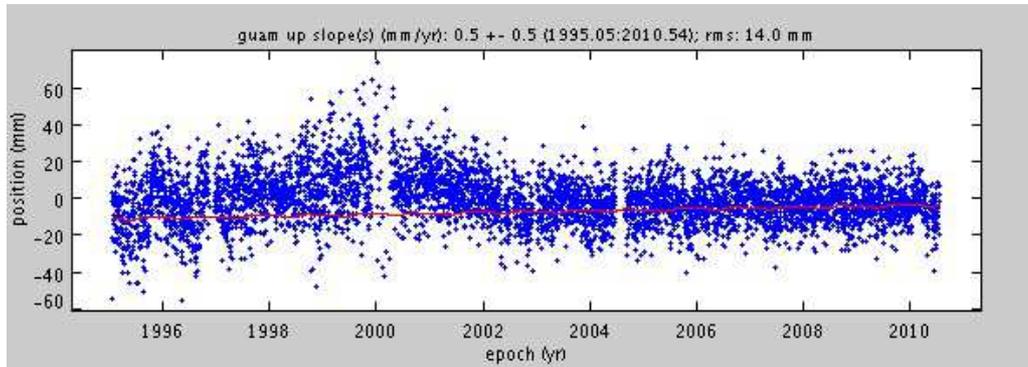


圖 5-24 GUAMH 方向時間序列

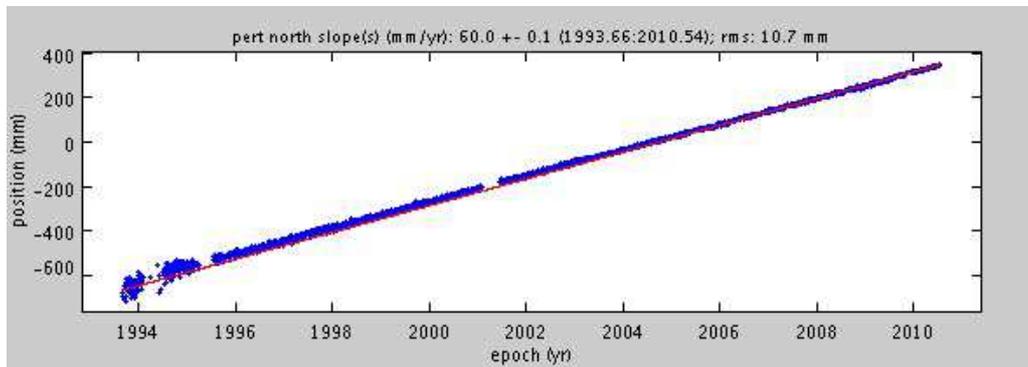


圖 5-25 PERTN 方向時間序列

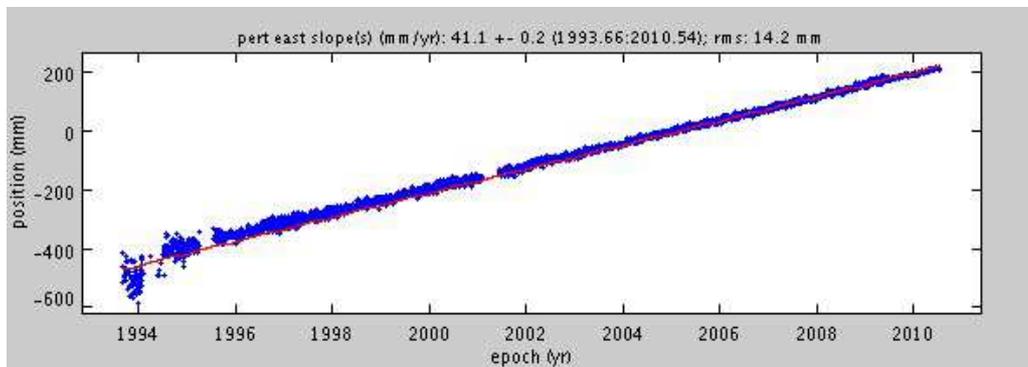


圖 5-26 PERTE 方向時間序列

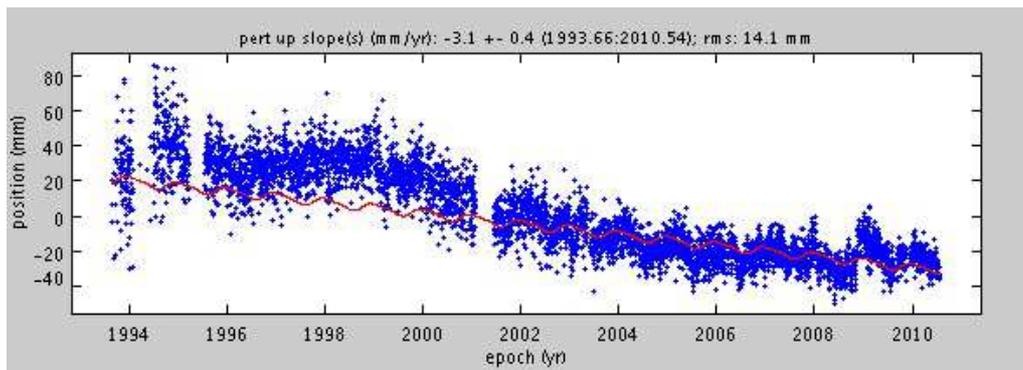


圖 5-27 PERT H 方向時間序列

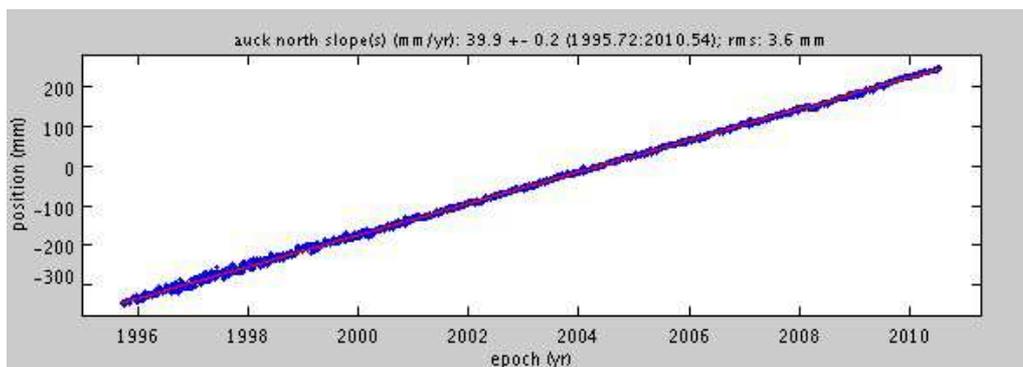


圖 5-28 AUCK N 方向時間序列

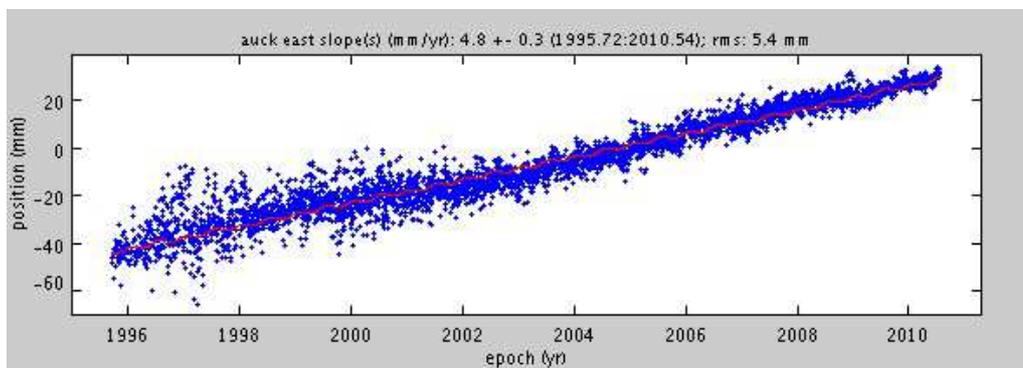


圖 5-29 AUCK E 方向時間序列

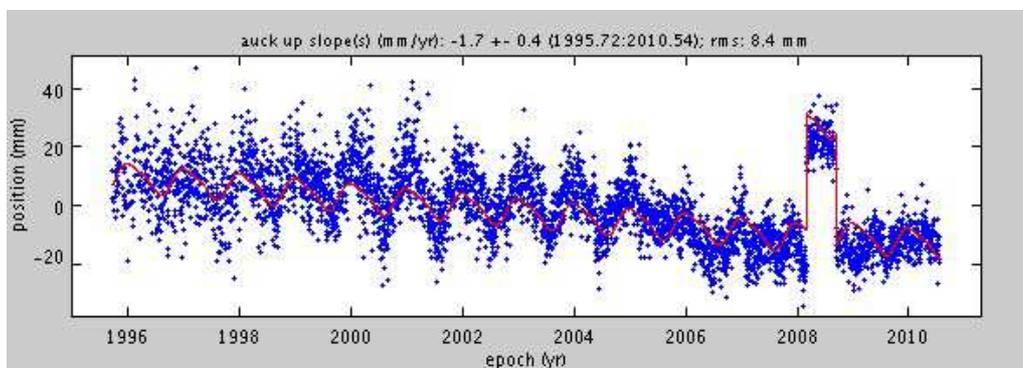


圖 5-30 AUCK H 方向時間序列

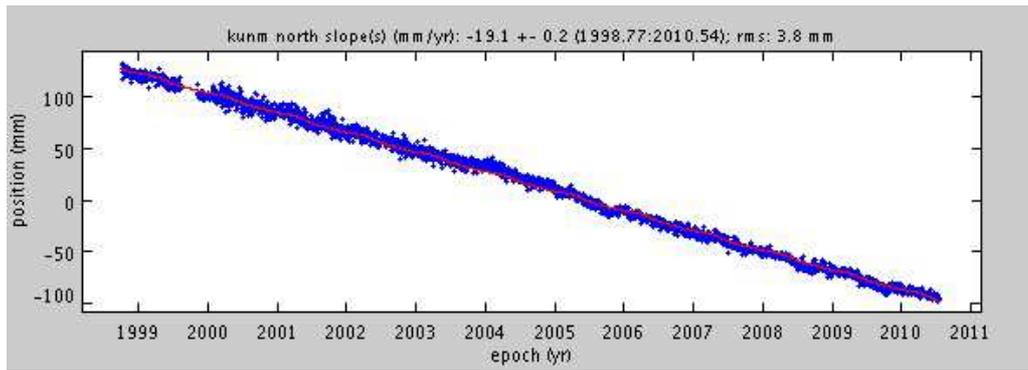


圖 5-31 KUNMN 方向時間序列

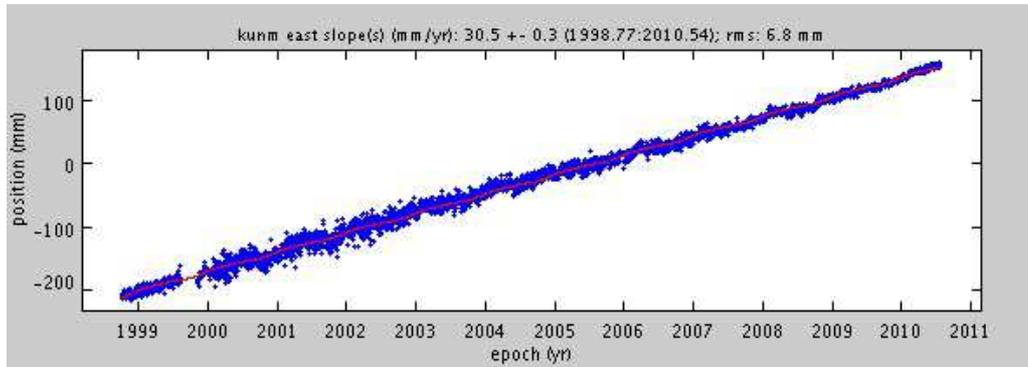


圖 5-32 KUNME 方向時間序列

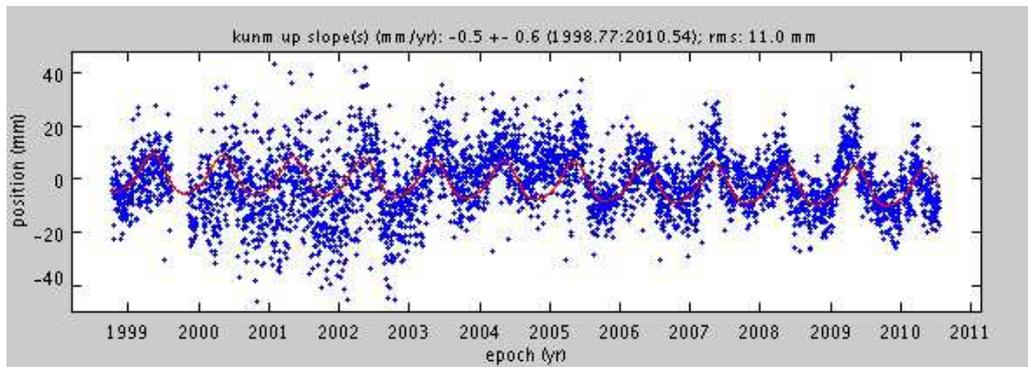


圖 5-33 KUNMH 方向時間序列

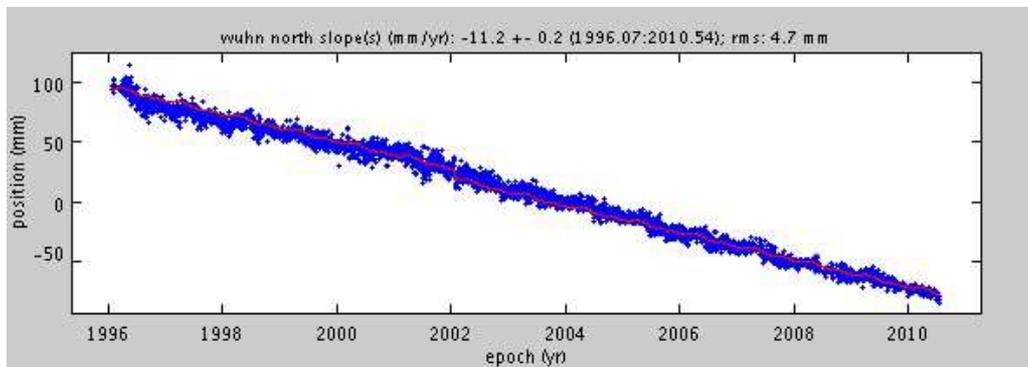


圖 5-34 WUHN N 方向時間序列

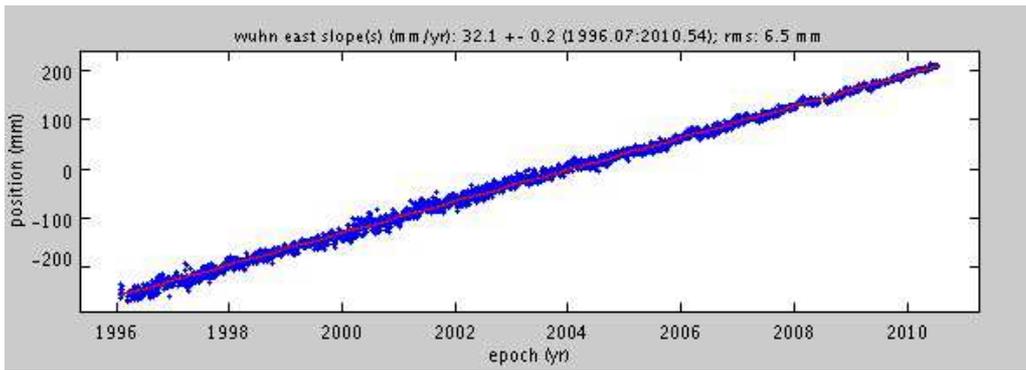


圖 5-35 WUHN E 方向時間序列

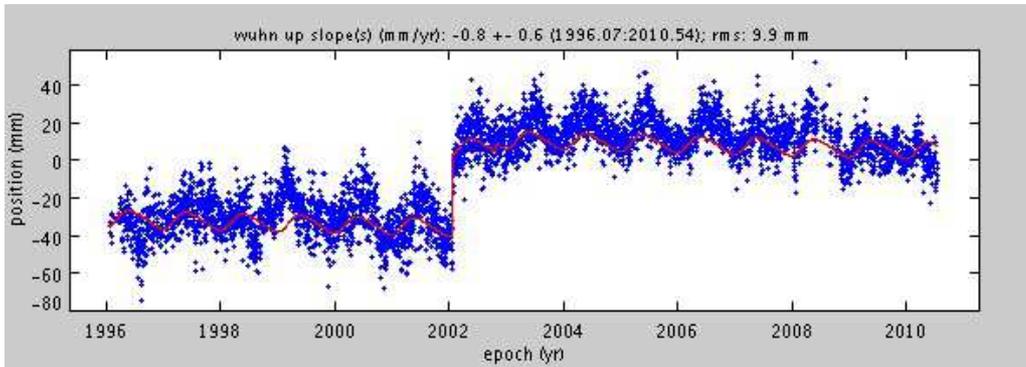


圖 5-36 WUHN H 方向時間序列

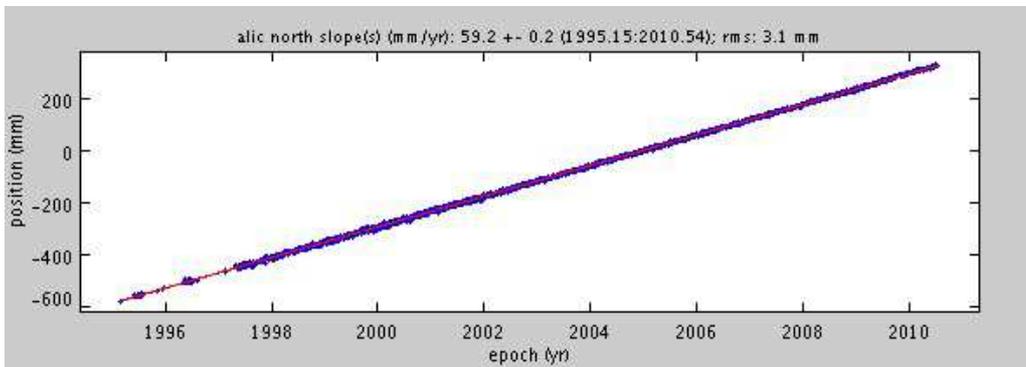


圖 5-37 ALIC N 方向時間序列

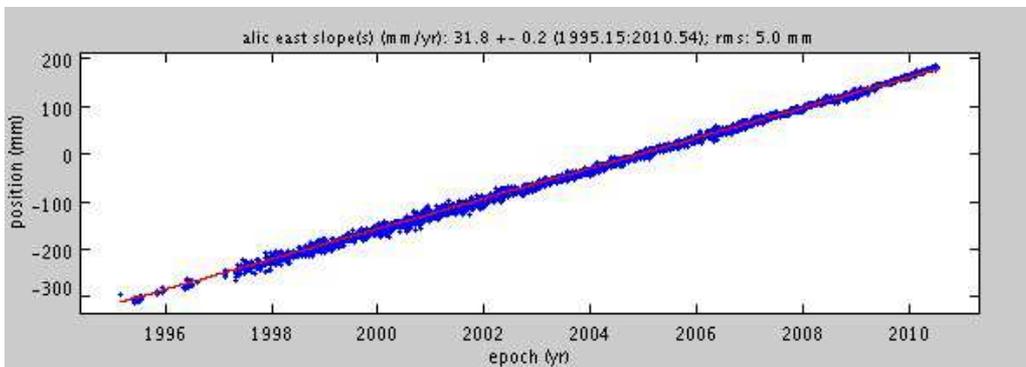


圖 5-38 ALIC E 方向時間序列

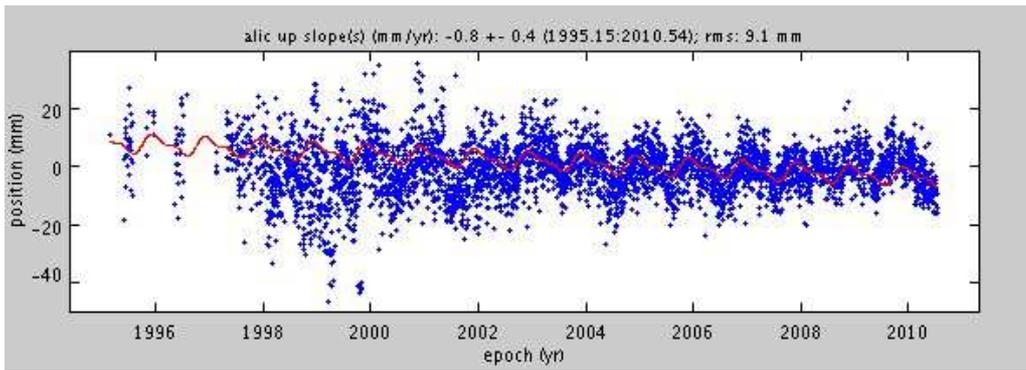


圖 5-39 ALIC H 方向時間序列

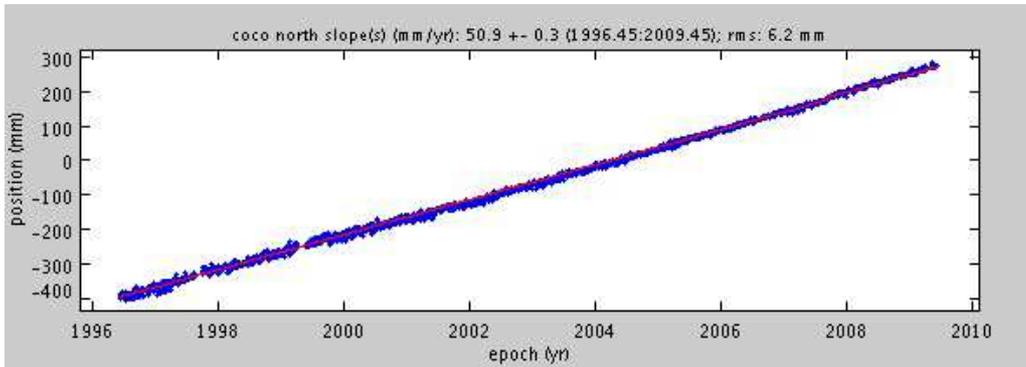


圖 5-40 COCO N 方向時間序列

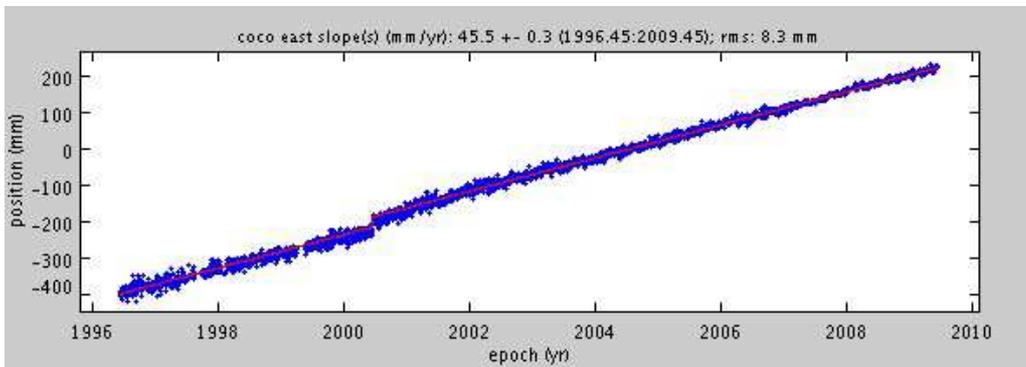


圖 5-41 COCO E 方向時間序列

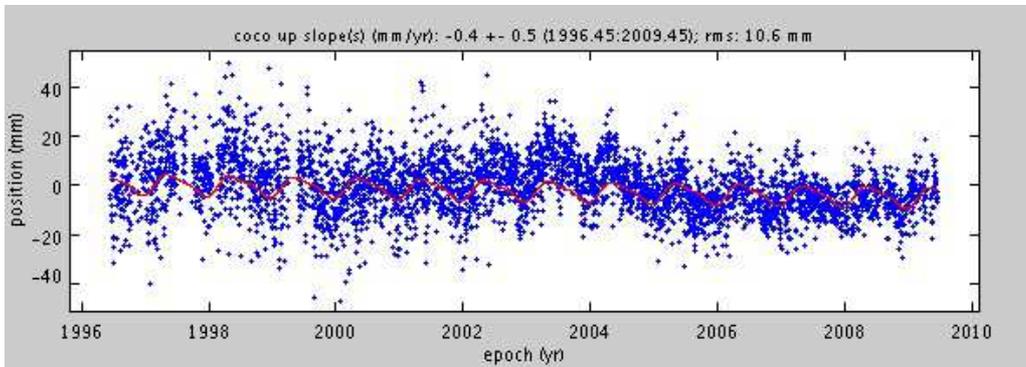


圖 5-42 COCO H 方向時間序列

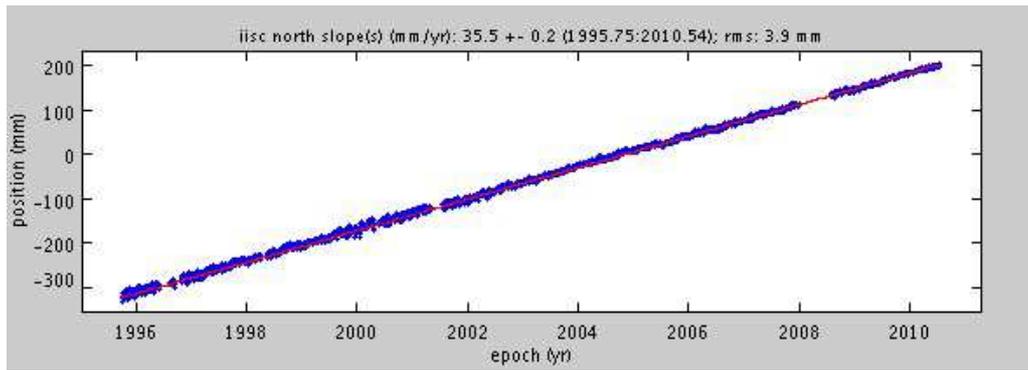


圖 5-43 IISC N 方向時間序列

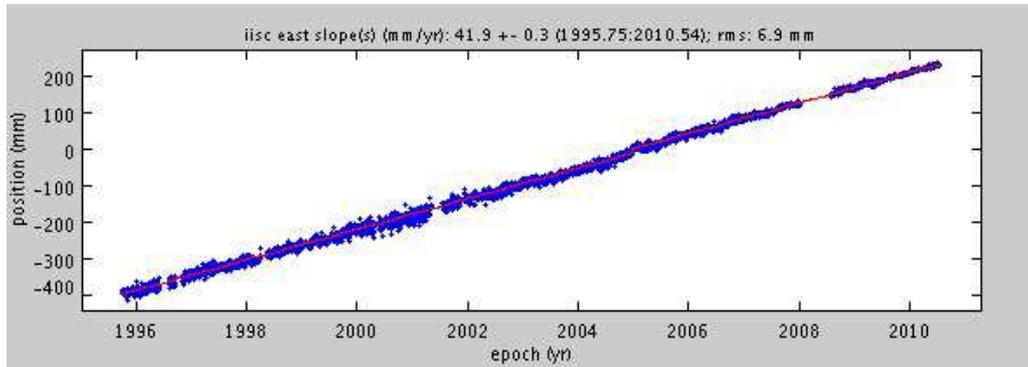


圖 5-44 IISC E 方向時間序列

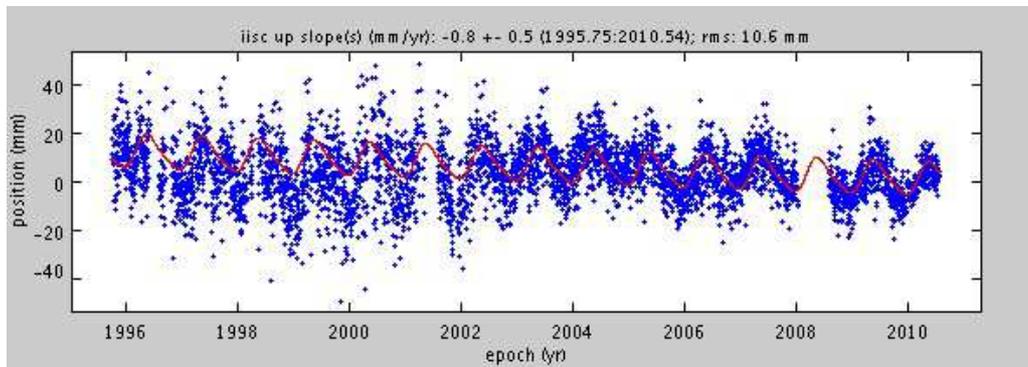


圖 5-45 IISC H 方向時間序列

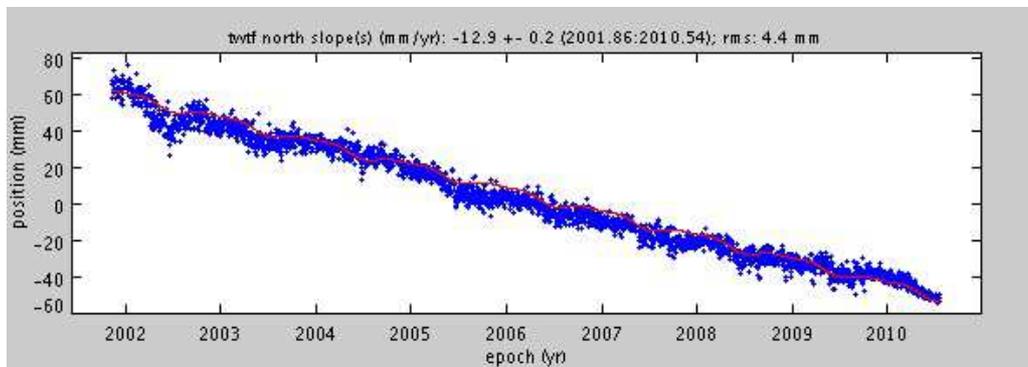


圖 5-46 TWTF N 方向時間序列

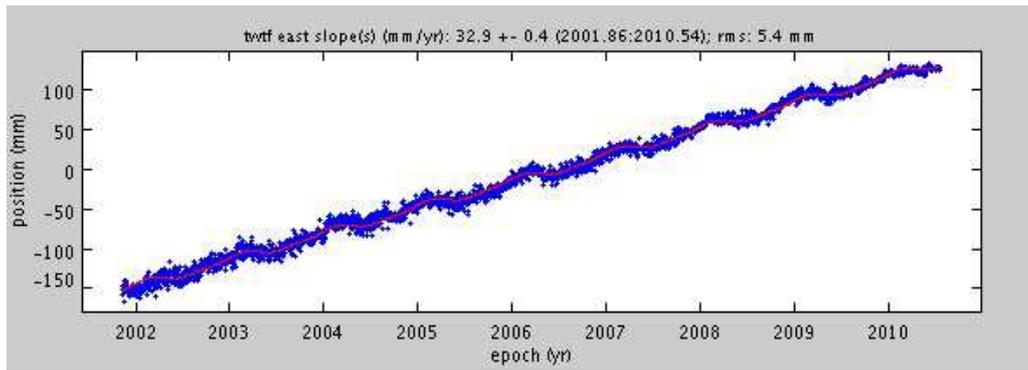


圖 5-47 TWTF E 方向時間序列

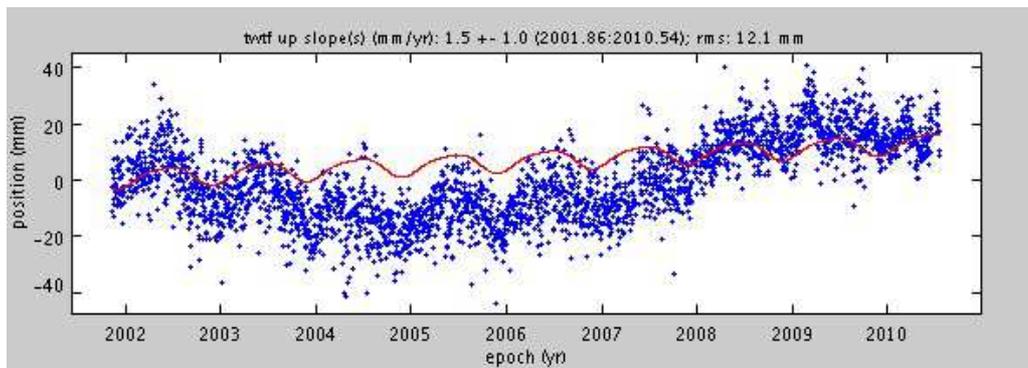


圖 5-48 TWTF H 方向時間序列

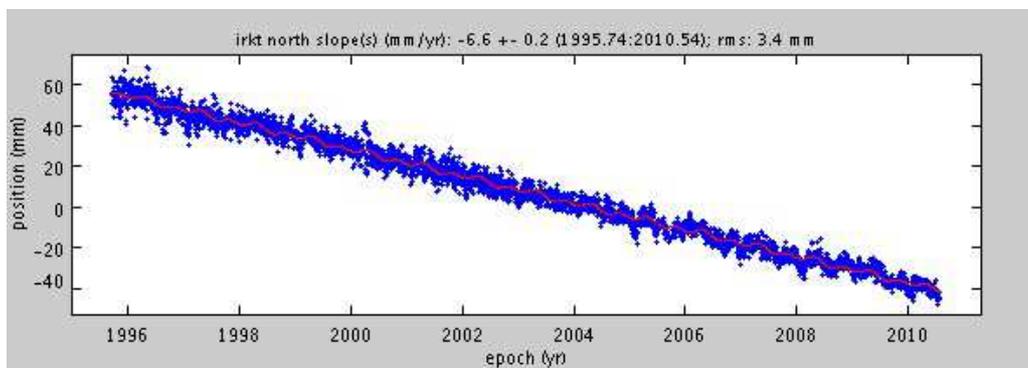


圖 5-49 IRKT N 方向時間序列

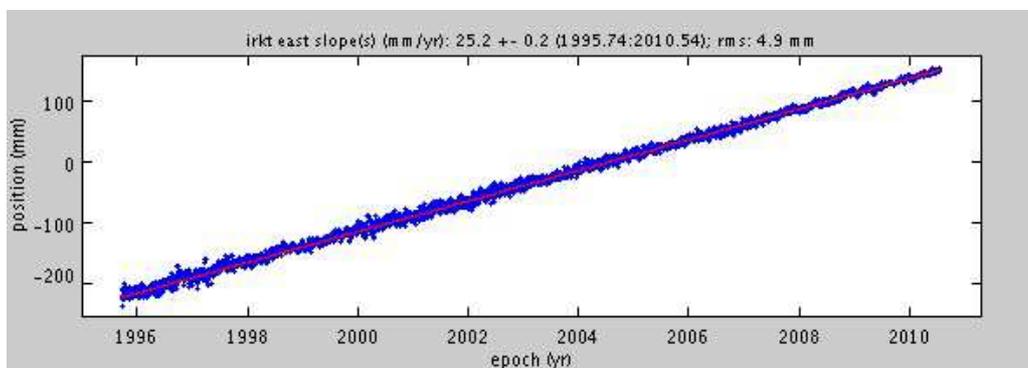


圖 5-50 IRKTE 方向時間序列

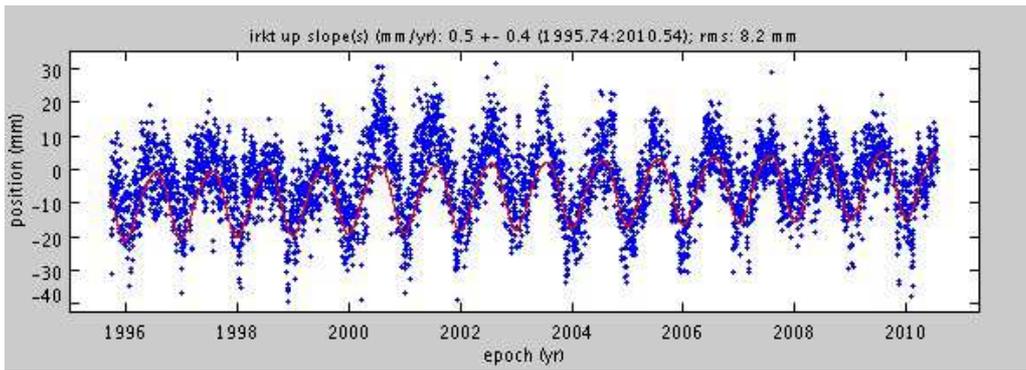


圖 5-51 IRKTH 方向時間序列

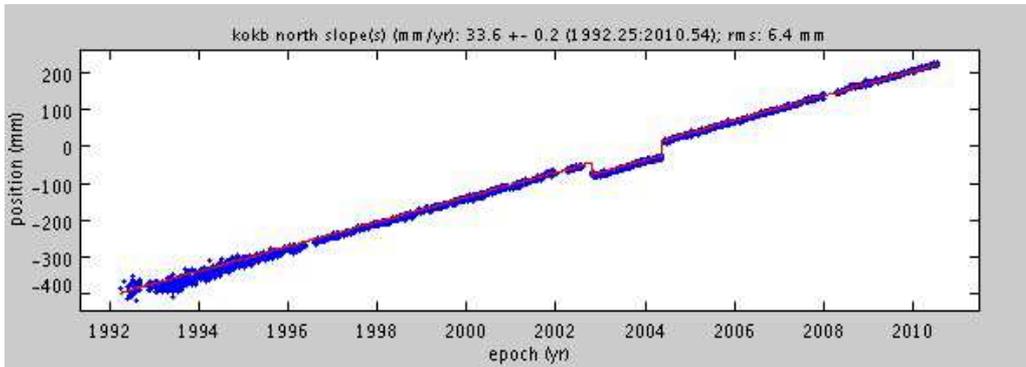


圖 5-52 KOKB N 方向時間序列

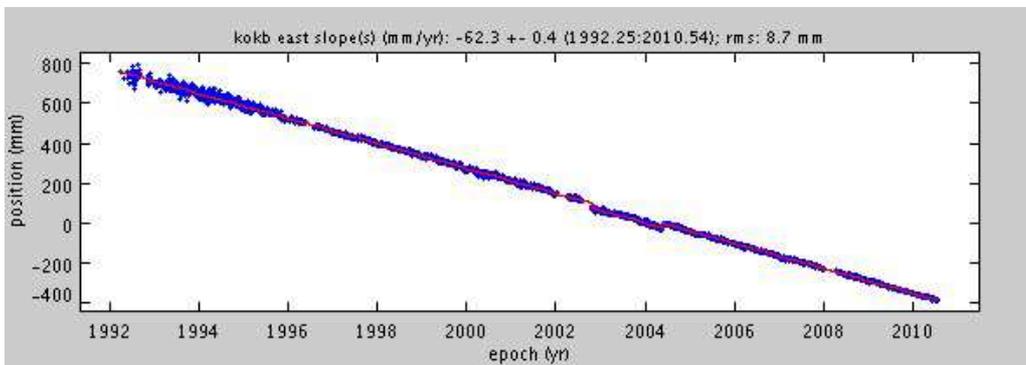


圖 5-53 KOKB E 方向時間序列

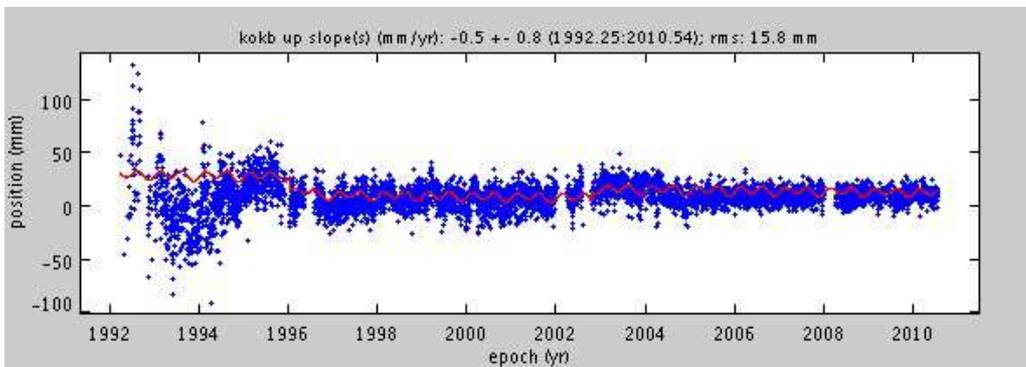


圖 5-54 KOKB H 方向時間序列

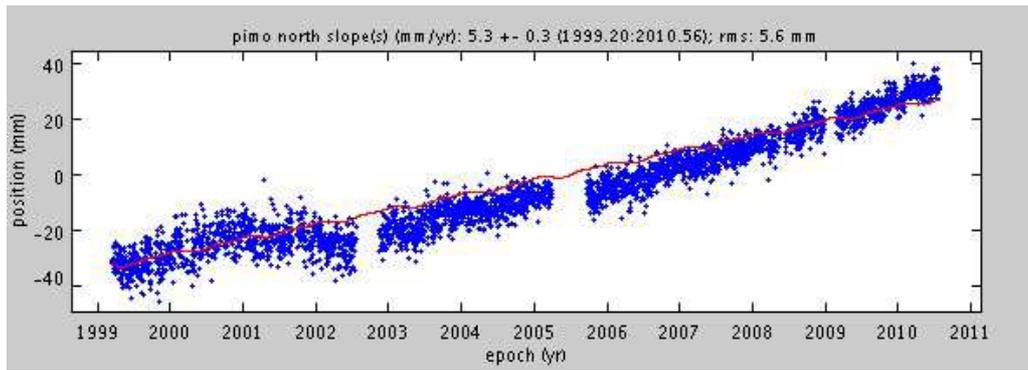


圖 5-55 PIMO N 方向時間序列

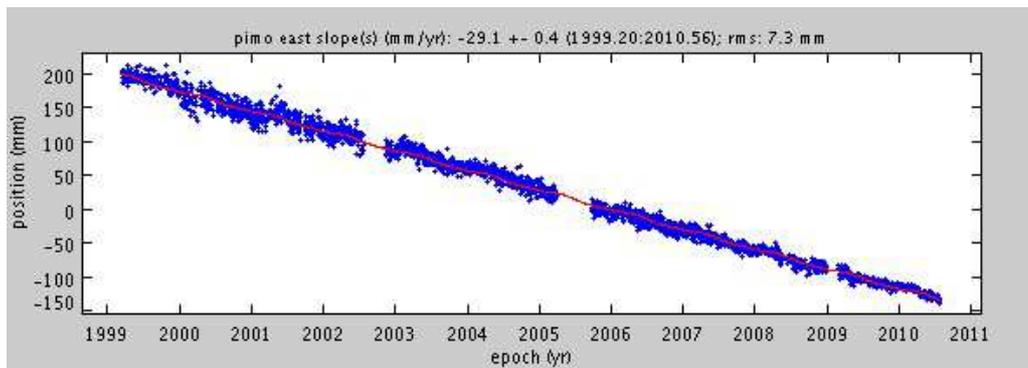


圖 5-56 PIMO E 方向時間序列

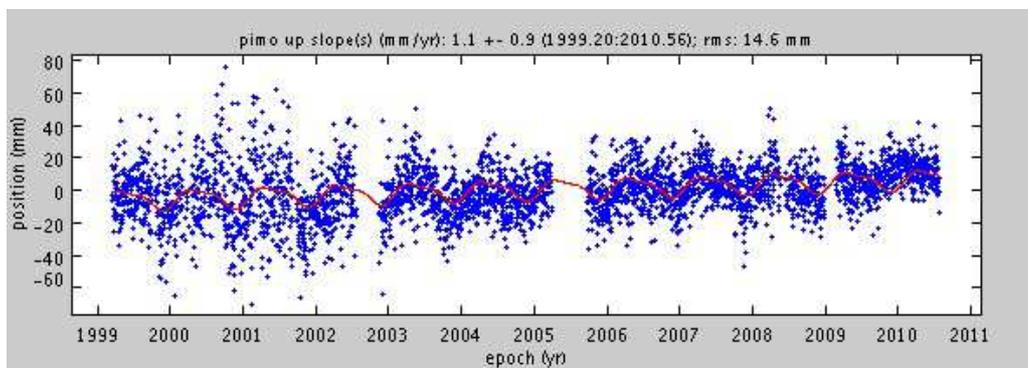


圖 5-57 PIMO H 方向時間序列

**c. ITRF2005 實際公告坐標成果與方法 2 之較差成果**

我們利用 ITRS 所公告之 ITRF05 之坐標與速度場換算成 2010 年之坐標，之後再與方法 2 所得之坐標作比較，其成果表列於 5-3，發現在 Y 方向有 5 站較差超過 1cm，最大為 TSKB 之 Y 方向為 1.58 cm。

表 5-3 ITRF2005 實際公告坐標成果與方法 2 之較差成果

	X (mm) (ITRF05-M2)	Y (mm) (ITRF05-M2)	Z (mm) (ITRF05-M2)
KOKB	9.95	10.43	-6.56
AUCK	-12.60	2.93	-7.38
GUAM	8.64	-0.42	-10.71
TSKB	21.43	1.58	-9.12
ALIC	-1.10	-3.72	-2.95
DAEJ	1.59	-2.35	-3.30
TWTF	20.98	-34.93	-21.88
PIMO	9.67	-18.93	-15.50
PERT	3.68	-22.14	22.33
WUHN	11.07	-23.59	-7.60
IRKT	-2.85	2.52	3.81
KUNM	-1.00	3.76	10.14
LHAZ	7.50	-16.46	-11.41
IISC	5.23	12.34	7.54

最後，本計畫利用方法 3 (14 個 IGS 站 + 25 國內核心站之網與 SINEX 合併) 所求得之核心站坐標作為其後各子網的約制，其核心站之時間序列及統計量列於圖 5-58、圖 5-59 及圖 5-60。

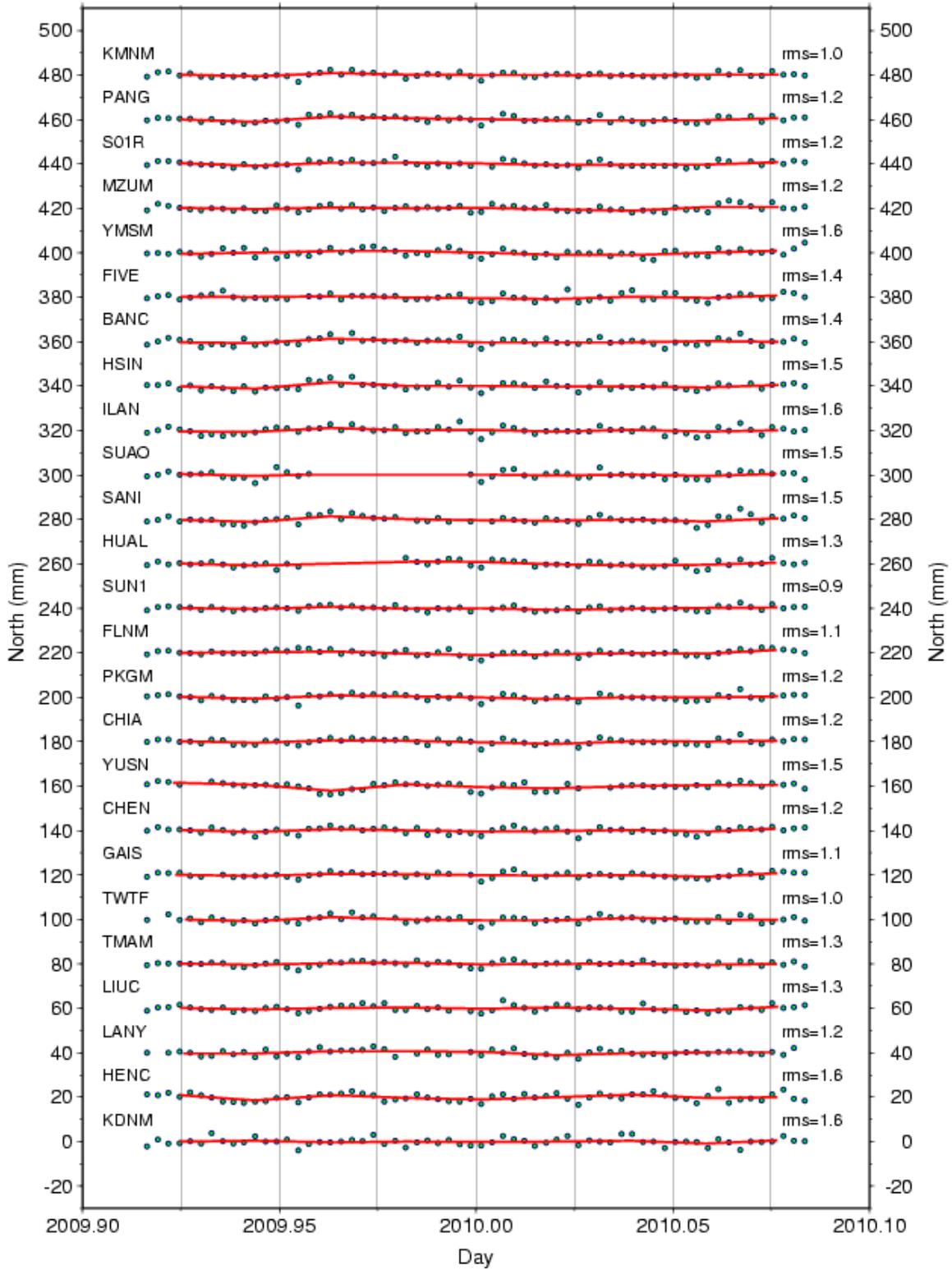


圖 5-58 國內核心站之 N 方向時間序列

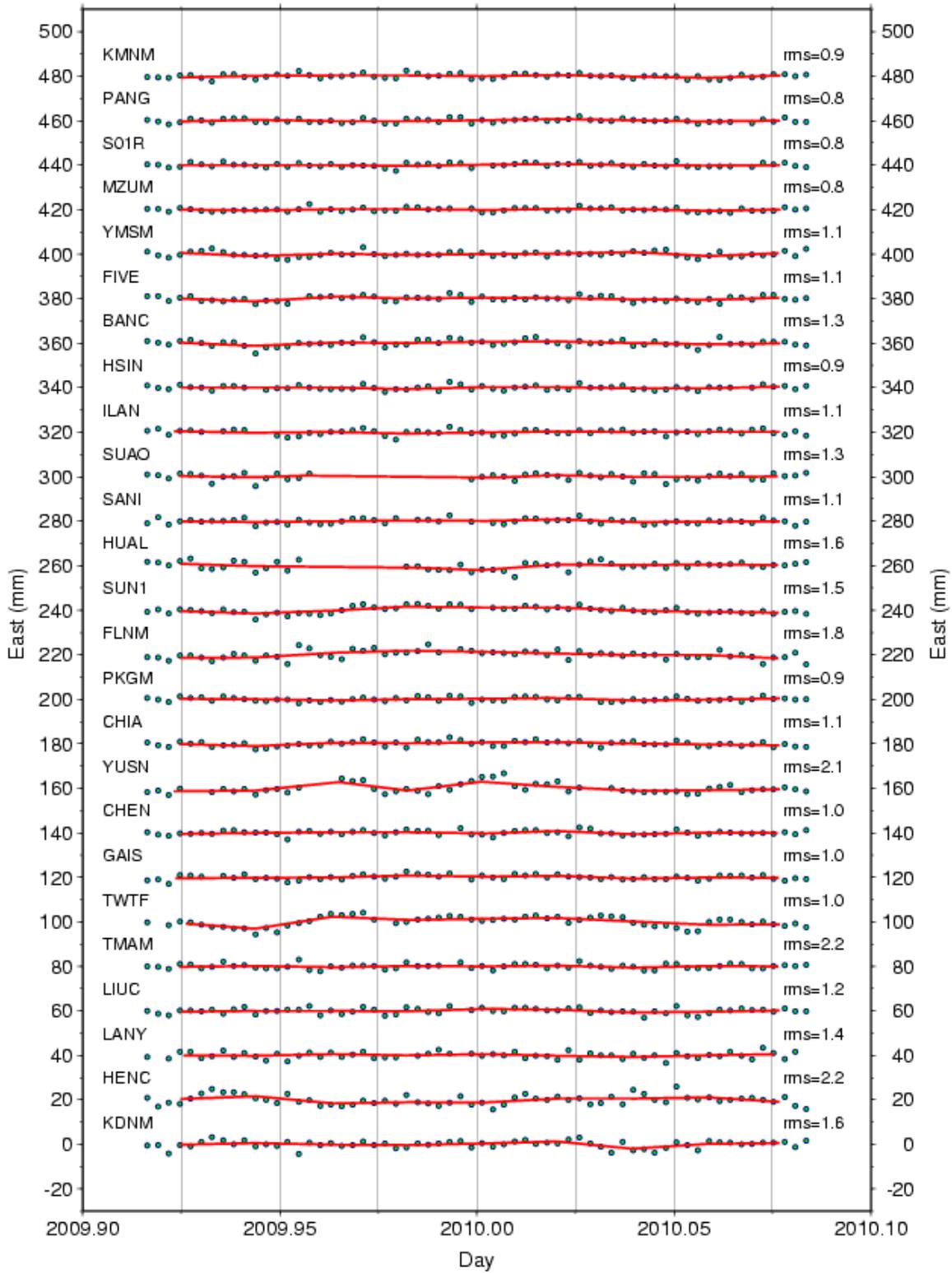


圖 5-59 國內核心站之 E 方向時間序列

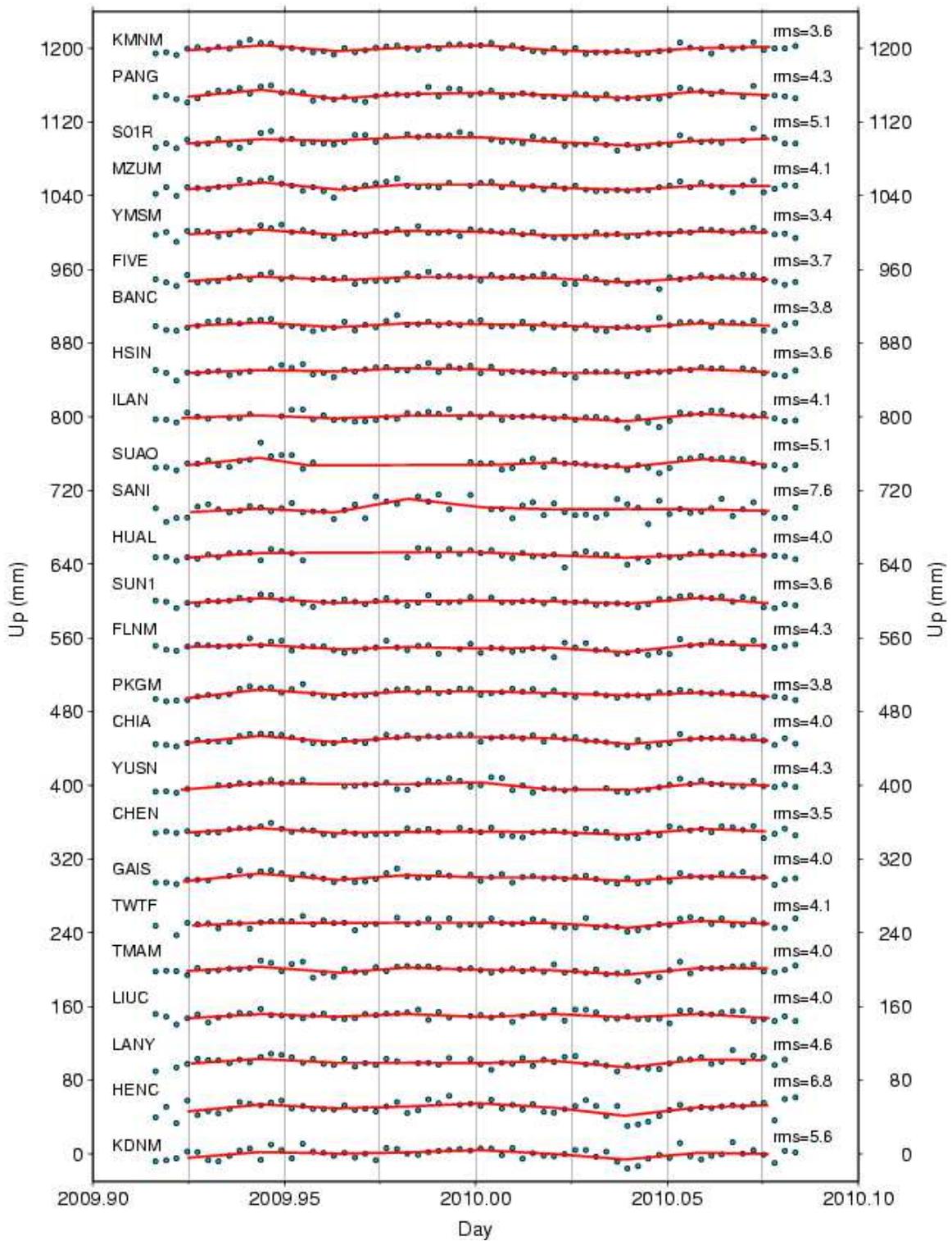


圖 5-60 國內核心站之 H 方向時間序列

## 5-4 坐標解算成果與分析

本計畫將所有連續站分成 11 個子網，各子網分別利用 GAMIT 解算，圖 5-60 至圖 5-61 分別為各子網解算後之結果。各子網之第一張圖代表子網內最佳站(藍色)與最差站(紅色)之均方根值，圖中可發現，A2 網及 A4B 網之最差站其均方根高達 20 mm，分別為 PENL 及 FKDO，其它的網及其連續站都在均方根 15 mm 以內。第二張圖代表該天所計算之整數週波約制(藍色)之正規化均方根(NRMS)與整數週波鬆馳(紅色)之正規化均方根結果。第三張圖則是寬巷求解比率(藍色)與窄巷求解比率(紅色)。由結果得知所以子網之每日正規化均方根均在 0.17-0.2 間，符合一般之測量標準。寬窄巷之求解比率也大部份在 90% 以上。

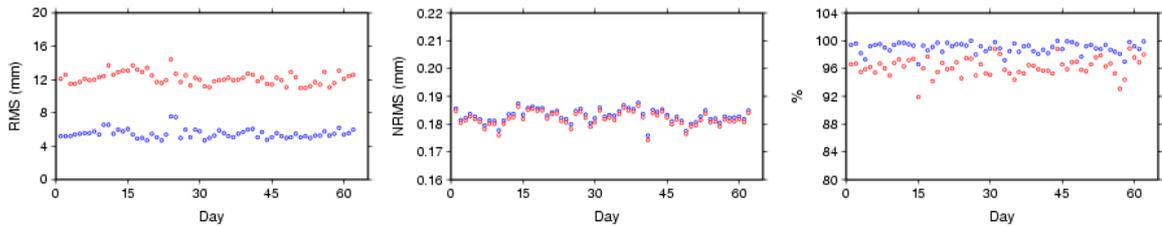


圖 5-61 A1 網(北宜網)之解算統計成果 第一張圖代表子網內最佳站(藍色)與最差站(紅色)之均方根值。第二張圖代表該天所計算之整數週波約制(藍色)之正規化均方根(NRMS)與整數週波鬆馳(紅色)之正規化均方根結果。第三張圖則是寬巷求解比率(藍色)與窄巷求解比率(紅色)。

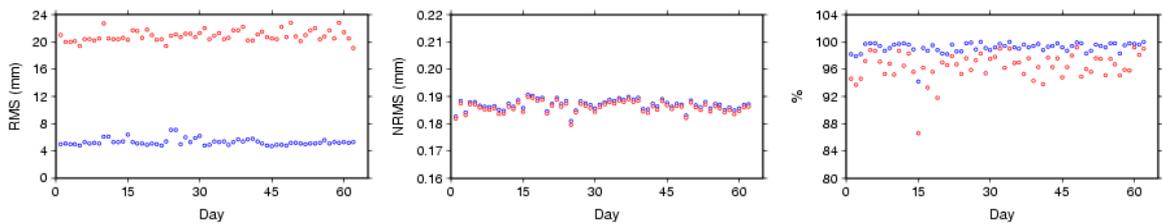


圖 5-62 A2 網(桃竹網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

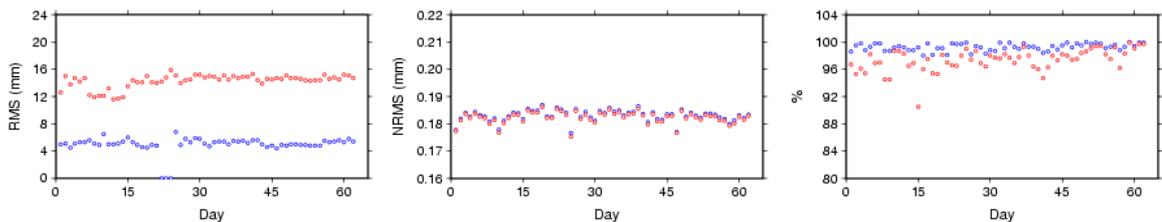


圖 5-63 A3 網(台中網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

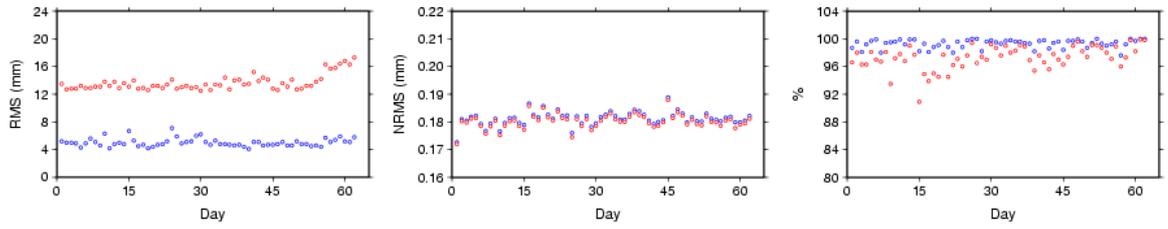


圖 5-64 A4A 網(嘉南西網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

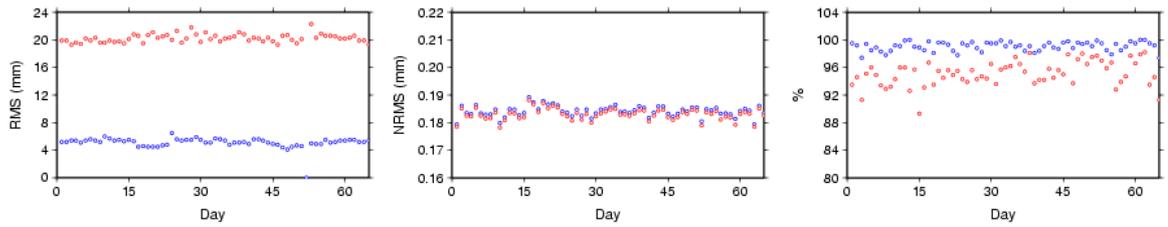


圖 5-65 A4B 網(嘉南東網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

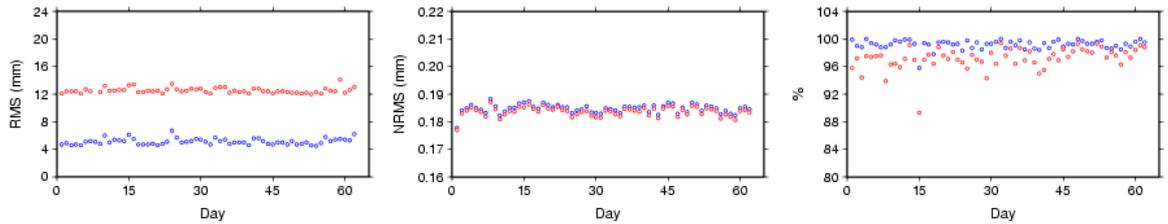


圖 5-66 A5A 網(高屏西網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

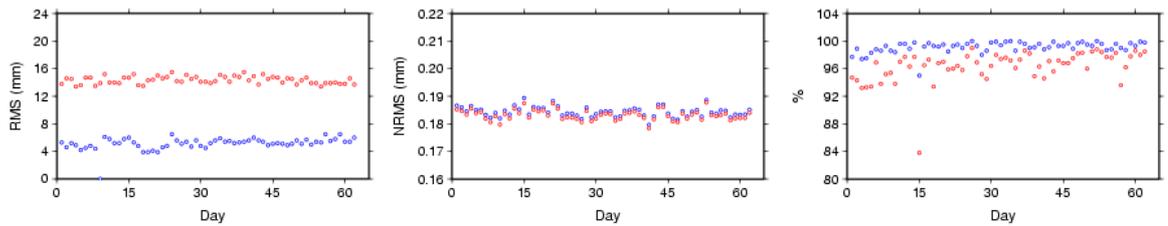


圖 5-67 A5B 網(高屏東網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

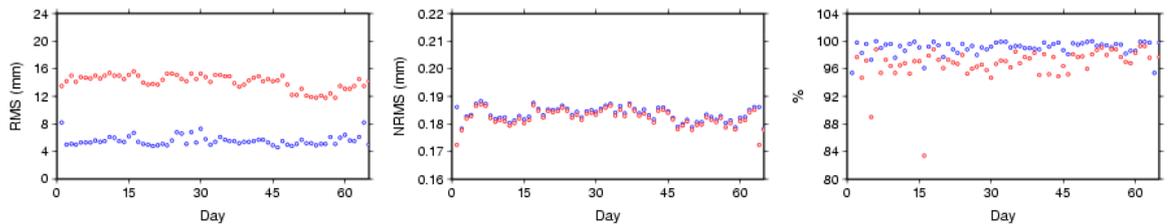


圖 5-68 A6 網(台東網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

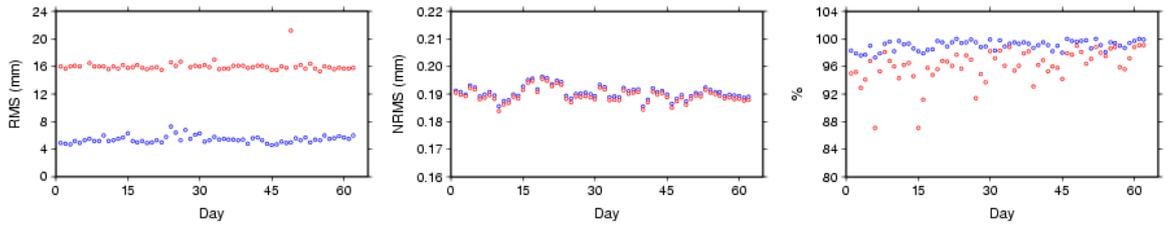


圖 5-69 A7 網(花蓮網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

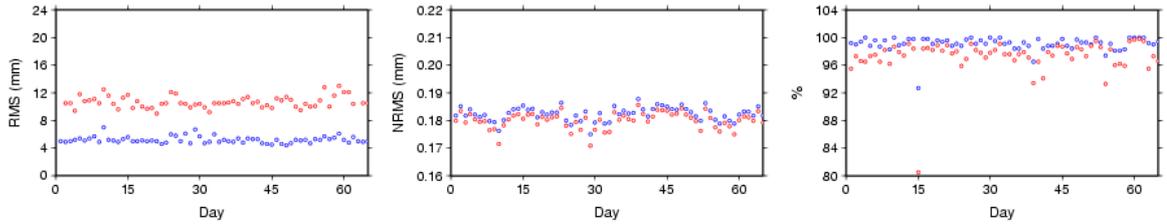


圖 5-70 A8 網(外島網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

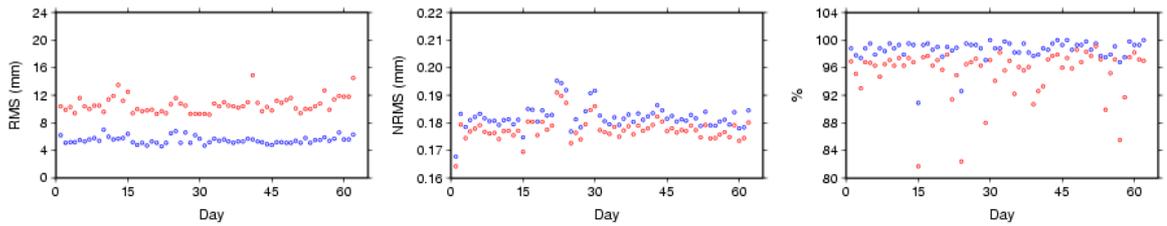


圖 5-71 A9 網(日本網)之解算統計成果，說明如圖 5-61

在各子網均解算完成後，先利用每日網形平差(GLRED)求得每站時間序列，檢視所有時間序列並濾除粗差後，即進行整體網形平差求解，本計畫所求得之整體網形平差之後驗統計量為 0.9mm，在標準範圍內。而所有站之時間序列之三方向加權均方根值(wrms)統計列於圖 5-72。三方向 wrms 分別為 0.7 mm，0.8 mm 和 2.7 mm，也符合標準值。

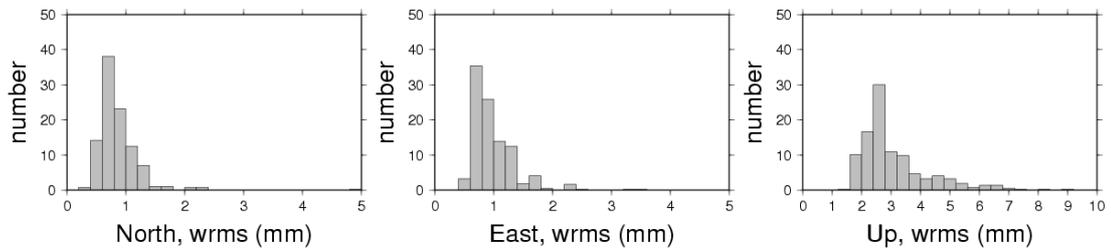


圖 5-72 所有連續站時間序列三方向統計值

在進行 GLOBK 坐標解算之前，本計畫先利用 GLRED 計算每站之時間序列，並逐一檢視時間序列變化。結果發現有數站在 2009 年 12 月 19 號時有明顯之同震位移，包括 C001、CHIU、CWEN、DPIN、ERPN、S167、SUN1 共 7 站。12 月 19 日之地震報告如下圖所示。以上 7 站我們在估計坐標時將地震前後時段分別估計，因此在結果可以看到兩組坐標。此外，在時間序列中離群過大的點位，在估計坐標時忽略不計。

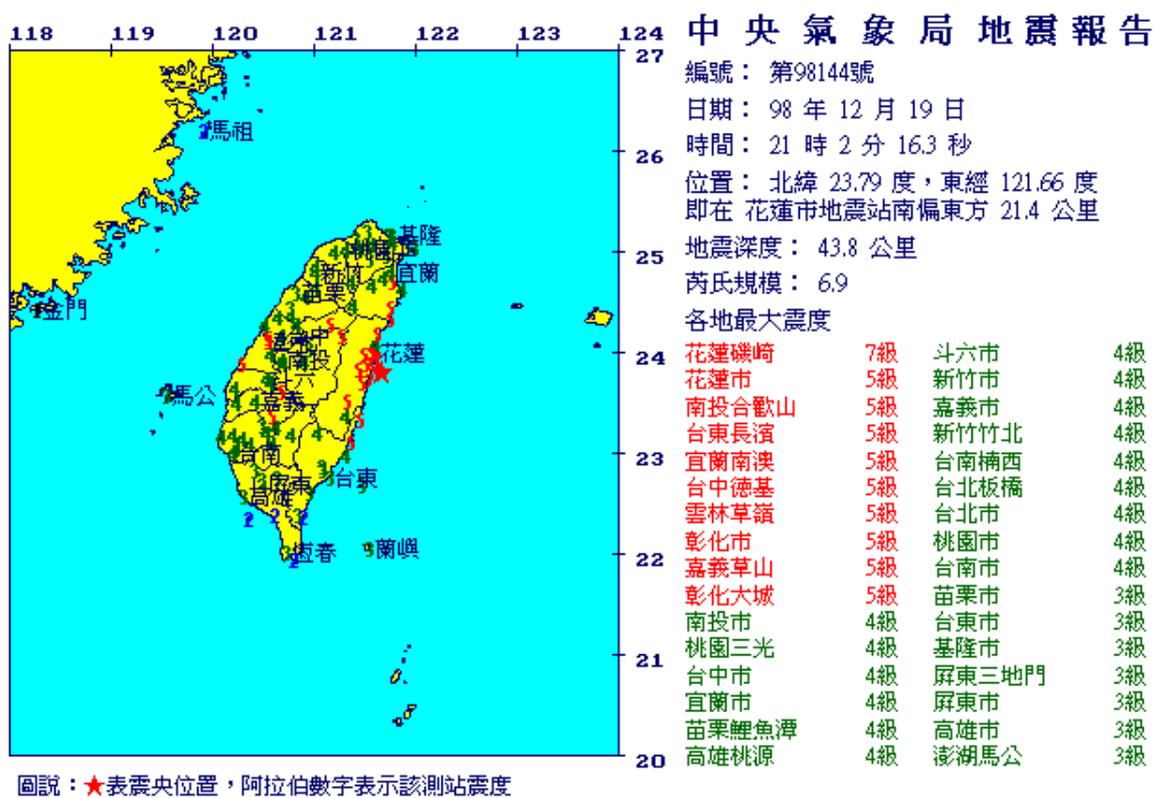


圖 5-73 12 月 19 日花蓮地震之地震報告

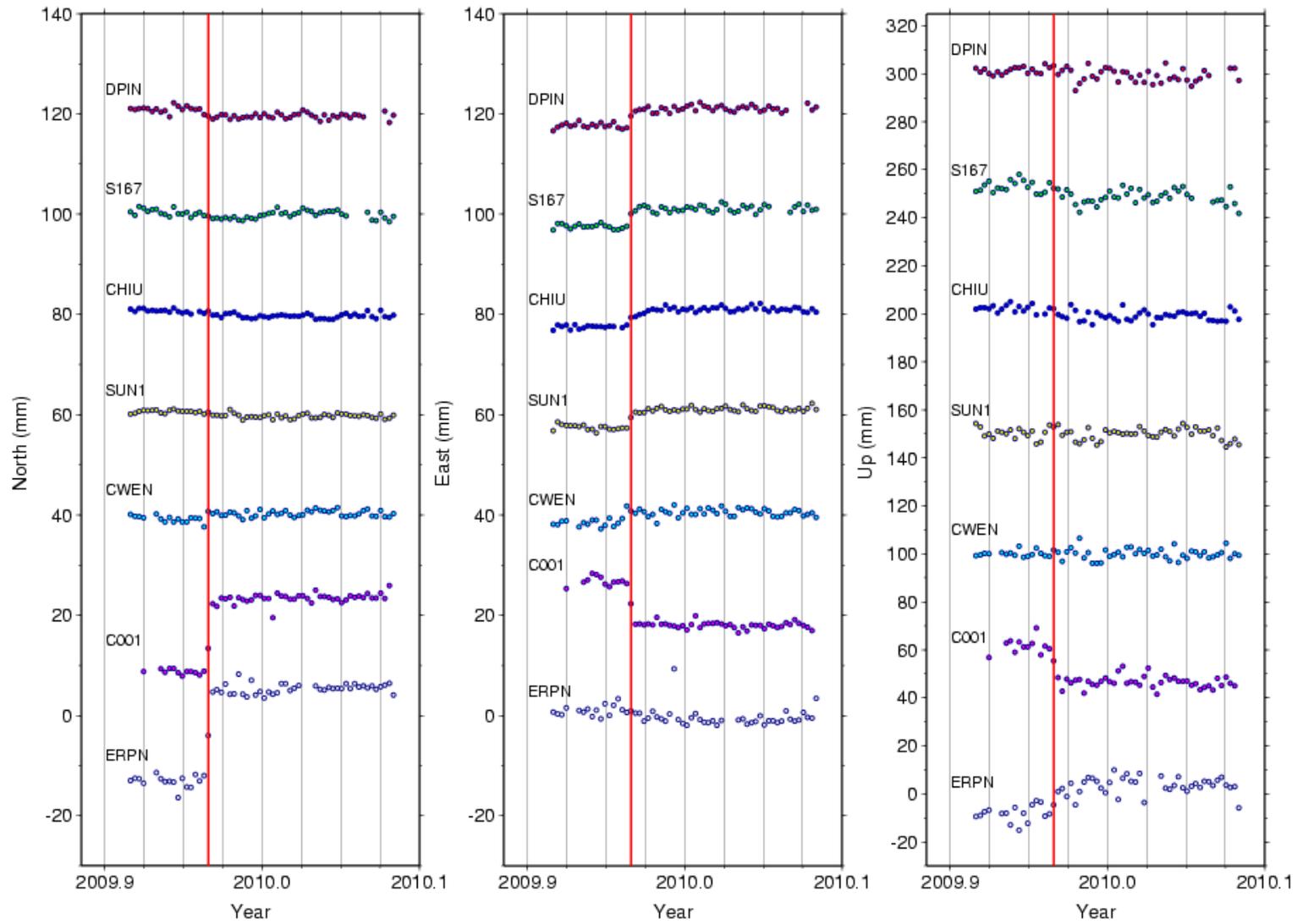


圖 5-74 被 12 月 19 日地震影響之連續站時間序列

## 5-5 坐標轉換之結果

本計畫之坐標乃套合於 ITRF2005 下，利用座標轉換獲得套合於 ITRF2000 與 ITRF94 列於成果光碟中。

## 5-6 大地基準站挑選工作成果

大地基準站挑選工作的目的乃是要挑選可用為參考站使用的連續站，由此目的為基準我們需考量以下幾點問題：

1. 就連續站本身穩定性而言，樁位型式需挑選穩固且安全，觀測量應少有缺漏，透空良好，多路徑效應低；
2. 參考站應選擇相對斷層與地震活動性低的區域；
3. 參考站受地表淺層活動影響低之區域，如避免地下水抽取、軟弱地盤、地滑區等。

事實上，要評定一個連續站是否穩定且適合作大地基準站，可以從兩個層面進行思考，一是架設的位置是否穩固，二是外在的環境是否有利於 GPS 衛星的接收。就第一點而言，樁位的型式跟座落之地盤特性深深的影響了連續站隨時間之變化，會造成之位移如同震與震後，或是地下水變化等。二則是可能因多路徑效應、接收機或天線盤相位中心之影響等造成 GPS 定位精度的不同。這二者都非常重要，要作為大地基準站缺一不可。但前者必須使用長期之時間序列來評估，而本計畫的時間段是處於冬天的兩個月，其水文變化的效應最為不明顯，單就 60 天的時間序列無法判定點位是否穩定。而後者可用短期之時間序列重複性來評估其外在環境是否優良。因此，本計畫挑選大地基準站之原則有以下幾項：1.空間均勻分布；2.坐標重複性佳；3.處於相對穩定之地盤；4.選擇較穩定之樁位型式；5.經驗上較為人所常用作參考站之連續站。

以下說明挑選之工作，S01R、KMNM、MZUM、KDNM 等四站已被先行選定。其它站則以各子網之坐標重複性表現最佳之站選擇出來。挑選方法已於 4-5 說明，表 5-4 至 5-10 則列出所挑選出之連續站。

表 5-4 北宜網所挑選出之參考站

站名	資料 天數	總觀 測量	MP1 (m)	MP2 (m)	Cycle slips*1000/Obs	Wrms(N)	Wrms(E)	Wrms(H)
YMSM	62	24827	0.28	0.28	0.09	1	0.9	2.3
SLNP	62	23908	0.32	0.36	0.05	0.8	1	2.4
WUKU	62	24533	0.29	0.37	0.06	0.7	0.8	2.5
FLON	62	23877	0.26	0.42	0.05	1.20	1.00	3.50
FIVE	57	23601	0.32	0.35	0.15	1.1	0.7	2.7

表 5-5 桃竹網所挑選出之參考站

站名	資料 天數	總觀 測量	MP1 (m)	MP2 (m)	Cycle slips*1000/Obs	Wrms(N) (mm)	Wrms(E) (mm)	Wrms(H) (mm)
GS14	60	24704	0.29	0.41	0.75	0.6	0.7	2.5
MIAO	62	22513	0.3	0.45	0.11	0.7	0.7	2.2
TOFN	62	23062	0.24	0.34	0.05	0.8	0.6	2.1
TCYU	62	23953	0.3	0.41	0.08	0.8	1	2.5
THAI	56	23445	0.29	0.44	0.04	0.8	1	3.1

表 5-6 台中網所挑選出之參考站

站名	資料 天數	總觀 測量	MP1 (m)	MP2 (m)	Cycle slips*1000/Obs	Wrms(N) (mm)	Wrms(E) (mm)	Wrms(H) (mm)
CHIU	61	24361	0.27	0.36	0.34	0.4	0.5	1.8
GS27	62	24407	0.29	0.36	1.44	0.5	0.6	2.1
TEGS	62	23095	0.25	0.33	0.05	0.6	0.6	2.5
FNGU	62	24356	0.08	0.13	0.58	0.5	0.7	2.5
S016	58	24420	0.19	0.22	0.09	0.5	0.7	1.9

表 5-7 嘉南網所挑選出之參考站

站名	資料 天數	總觀 測量	MP1 (m)	MP2 (m)	Cycle slips*1000/Obs	Wrms(N) (mm)	Wrms(E) (mm)	Wrms(H) (mm)
TSLN	61	23157	0.32	0.36	0.21	0.5	0.5	2.5
S170	62	24625	0.1	0.16	0.87	0.3	0.7	2.4
GS44	56	21926	0.28	0.37	0.62	0.5	0.6	2.4
WANC	55	23812	0.29	0.42	0.34	0.6	0.5	2

ZWEN	61	22405	0.32	0.53	1.02	0.5	0.6	2.3
------	----	-------	------	------	------	-----	-----	-----

表 5-8 高屏網所挑選出之參考站

站名	資料 天數	總觀 測量	MP1 (m)	MP2 (m)	Cycle slips*1000/Obs	Wrms(N) (mm)	Wrms(E) (mm)	Wrms(H) (mm)
GS34	62	24639	0.23	0.28	1.18	0.4	0.6	1.8
CHKU	62	24697	0.11	0.16	1	0.5	0.6	1.7
NANK	59	21910	0.27	0.38	0.12	0.5	0.6	1.9
GS31	62	24675	0.2	0.25	0.43	0.6	0.6	1.7
LNCH	62	24680	0.05	0.08	0.21	0.6	0.6	1.5

表 5-9 台東網所挑選出之參考站

站名	資料 天數	總觀 測量	MP1 (m)	MP2 (m)	Cycle slips*1000/Obs	Wrms(N) (mm)	Wrms(E) (mm)	Wrms(H) (mm)
CHEN	62	23451	0.32	0.45	0.21	0.6	0.7	2.5
LONT	55	23109	0.27	0.32	0.05	0.8	0.6	2.8
TAPO	60	24657	0.29	0.32	0.15	0.6	0.8	3
SHAN	60	23769	0.08	0.14	0.68	0.6	0.9	3.8
T107	62	24106	0.08	0.13	0.5	0.8	0.8	3.1

表 5-10 花蓮網所挑選出之參考站

站名	資料 天數	總觀 測量	MP1 (m)	MP2 (m)	Cycle slips*1000/Obs	Wrms(N) (mm)	Wrms(E) (mm)	Wrms(H) (mm)
MFEN	61	24824	0.29	0.38	0.09	0.8	1	1.9
HANS	62	21440	0.29	0.44	0.08	0.9	1	3.5
NIUT	62	22377	0.26	0.35	0.27	1	0.9	2.8
HUAL	53	23330	0.29	0.46	0.15	0.9	1.5	2.9
YENL	62	22836	0.25	0.32	0.05	1.6	1.5	4.6

以上所列出之所有站如圖 5-75，其中有些站可能不太適合做參考站，如在宜蘭平原之 SLNP，在池上斷層帶上之 TAPO、SHAN、T107，CHKU 過於鄰近海濱，常有地層下陷情形，CHIU 在過去之坐標時間上表現並不穩定。過濾出以上提出之站，本計畫所挑選之作為大地基準站為 33 站，分別為 S01R、KMNM、MZUM、KDNM、YMSM、WUKU、FLON、FIVE、GS14、MIAO、TOFN、TCYU、THAI、GS27、TEGS、FNGU、S016、TSLN、S170、GS44、WANC、ZWEN、GS34、NANK、GS31、LNCH、CHEN、



## 第六章 修正後之資料成果說明

依據 2010 年 11 月 26 日於內政部開會之決議，最後之坐標成果需重新計算，並利用以下之說明進行調整：

1. 約制 IGS 國際站 TSKB、GUAM、PIMO、KUNM 與 SHAO 五站來作為本次計算之基準。
2. 將 TNSM 站(東沙站)納進計算。
3. 天線盤及天線高資訊統一由國土測繪中心定義後再行計算。

本計劃依循以上三項說明重新進行計算，其修改之詳細說明如下：

1. 依據上述之規定，本計劃修改 IGS 國際站數，由原先之 15 站再加上 SHAO 站共 16 站。在最後之約制穩定步驟，只約制 TSKB、GUAM、PIMO、KUNM 與 SHAO 五站獲得核心站之座標。
2. TNSM 站納進核心站進行解算。
3. 天線盤及天線高資訊均依據國土測繪中心之參數設定辦理。

最後成果包含三項，1. 在 ITRF2005 框架下之座標成果；2. 在 ITRF2000 框架下之座標成果及 3. 在 ITRF94 下之座標成果。其成果列於成果光碟中。

## 第七章 結論與建議

本計畫已完成台灣 367 站之連續站坐標計算並有效套合至 ITRF2005 框架下。根據解算成果與比較，可歸納如下：

1. 本計畫利用 GAMIT/GLOBK 計算鄰近台灣之 14 個國際站和台灣 25 個核心站，之後再利用國際 SINEX 網合併求解，其坐標成果與單純用 SINEX 網求解之較差均在 1 cm 以內，除 TSKB 在 Z 方向較差到 1.1 cm。
2. 本次計算所有站之多路徑參數 MP1、MP2 之中位數分別為 0.30 m、0.41 m，週波脫落參數為 0.61，其成果優於 IGS 標準。
3. 坐標重複性三方向中位數分別為 0.7 mm，0.8 mm 和 2.7 mm，符合一般坐標時間序列成果。

4. 在 12 月 19 日之花蓮外海地震，造成 C001 等 7 站有明顯同震，本計畫將此 7 站分別估計其坐標。
5. 合併主網及所有子網後，其整體網形均方根為 0.9mm，在合理範圍內。

本計畫之建議如下：

1. 由於台灣本身板塊速度運動快且複雜(圖 6-1)，因此單一時刻所求得之坐標能使用的時間很短，未來應該要以動態框架來建立台灣之坐標基準。
2. 台灣在某些區域之年週期變化非常明顯，如屏東平原，濁水溪沖積扇及花東縱谷等區，短短在冬天的兩個月之坐標計算成果應用到夏天的時段可能會造成嚴重的偏差，這是必須要注意的。

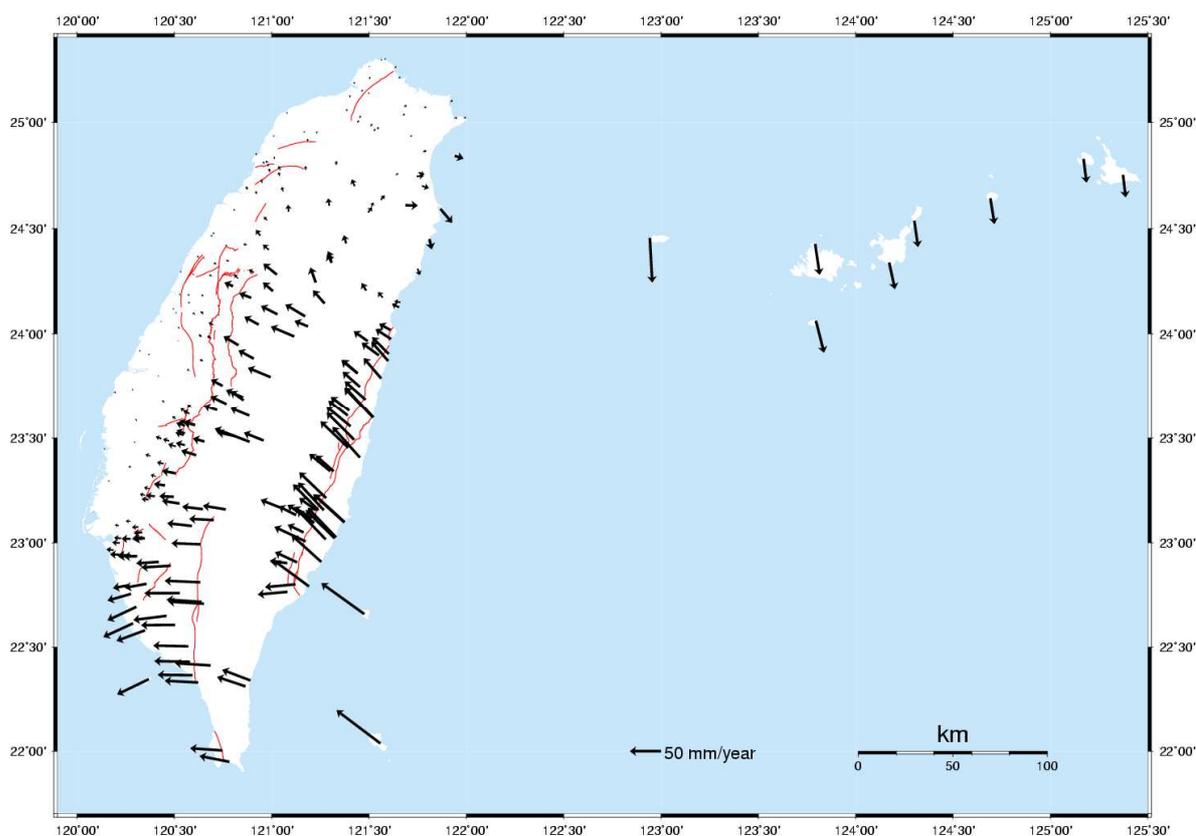


圖 6-1 台灣連續站之水平速度場

## 參考文獻

- Altamimi, Z., X. Collilieux, J. Legrand, B. Garayt, and C. Boucher (2007), ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters, *J. Geophys. Res.*, 112(B9), B09401, doi:10.1029/2007JB004949.
- Ash, M. E. (1972), Determination of Earth Satellite Orbits, Lincoln Laboratory Technical Note 1972-5, Lexington, Massachusetts, April 19.
- Blewitt, G (1990), An automatic editing algorithm for GPS data, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 199-202.
- Bock, Y., S. A. Gourevitch, C. C. Counselman, R. W. King, and R. I. Abbot (1986), Interferometric analysis of GPS phase observations, *Manuscr. Geod.*, 11, 282-288.
- Boehm, J., Niell A., Tregoning P., Schuh H. (2006), Global Mapping Function (GMF): a new empirical mapping function based on numerical weather model data, *Geophys. Res. Lett.* 33, L07304, doi:10.1029/2005GL025546.
- Estey, L. H., Meertens, C. (1999), TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS-GLONASS data, *GPS Solutions*, 3(1), 42-49.
- Hatanaka, Y., T. Iizuka, M. Sawada, A. Yamagiwa, Y. Kikuta, J. M. Johnson, and C. Rocken (2003), Improvement of the analysis strategy of GEONET, *Bull. Geograph. Surv. Inst.*, 49, 11-37.
- Herring, T. A., R. W. King, and S. C. McClusky (2008), Introduction to GAMIT/GLOBK, Mass Inst. of Technol., Cambridge.
- Niell, A. E. (1996), Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *J. Geophys. Res.*, 101(B2), 3227-3246.
- Schaffrin, B., and Y. Bock (1988), A unified scheme for processing GPS phase observations, *Bull. Geod.*, 62, 142-160.
- Soler, J., and J. Marshall (2002), Rigorous transformation of variance-covariance matrices of GPS-derived coordinates and velocities. *GPS Solutions*, 6, 76-90.
- Yang, M., C. L. Tseng, and J. Y. Yu (2001), Establishment and maintenance of Taiwan geodetic datum 1997, *J. Surv. Eng.*, 127(4), 119-132.