

113年度臺灣時變參考框架

先期作業委託研究

成果報告

Preliminary study on the development of Taiwan
terrestrial reference frame in Year 2024

內政部國土測繪中心委託研究

中華民國 113 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

113 年度臺灣時變參考框架 先期作業委託研究

成果報告

Preliminary study on the development of Taiwan
terrestrial reference frame in Year 2024

受委託單位：國立成功大學

研究主持人：楊 名教授

共同主持人：史天元教授、陳國華教授、

儲豐宥助理教授

研究期程：中華民國 113 年 1 月至 113 年 11 月

研究經費：新臺幣壹佰參拾捌萬元

內政部國土測繪中心委託研究

中華民國 113 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目錄

摘要.....	4
Abstract.....	6
第一章 研究主旨.....	7
1.1 緣起.....	8
1.2 研究主題.....	9
1.3 預期目標.....	10
第二章 文獻回顧.....	12
2.1 參考系統、參考框架、大地基準.....	14
2.2 美國 NGS 網頁與相關文件的敘述.....	21
2.3 國土測繪法的敘述.....	22
2.4 使用名詞之差異性.....	23
2.5 精密單點定位服務.....	25
第三章 研究說明.....	29
3.1 坐標參考框架探討.....	29
3.1.1 國家法定坐標參考框架.....	29
3.1.2 地殼變動與地震循環.....	30
3.1.3 時變參考框架與國際地球參考框架.....	31
3.2 發展臺灣時變參考框架.....	32
3.2.1 相對定位法.....	33
3.2.2 精密單點定位法.....	45
3.2.3 參考時刻坐標、震間速度及同震位移之估計.....	48
3.3 國土測繪中心精密單點定位服務.....	50
3.3.1 VBS-RTK 定位服務.....	51
3.3.2 PPP-RTK 定位服務.....	54
3.3.3 SSR-post 定位服務.....	60
3.3.4 PPP-RTK 與 VBS-RTK 定位服務測試.....	64
3.3.5 SSR-post 定位服務測試.....	68
第四章 研究成果.....	71
4.1 國際間時變參考框架案例分析.....	71
4.1.1 紐西蘭 NZGD2000.....	72
4.1.2 美國 Modernized NSRS.....	73
4.1.3 澳洲 GDA2020 與 ATRF2014.....	74
4.2 發展臺灣時變參考框架可行性分析.....	76
4.2.1 時變參考框架優缺點分析(含探討國內可能之使用者).....	77
4.2.2 時變參考框架建立及維護機制分析.....	79

4.2.2.1 相對定位解算成果分析	80
4.2.2.2 精密單點定位解算成果分析	84
4.2.2.3 建立及維護機制分析	90
4.2.3 時變參考框架與法定坐標框架轉換策略分析	95
4.2.4 發展時變參考框架國土測繪中心現有資源盤點	98
4.3 精密單點定位服務測試分析	101
4.3.1 PPP-RTK 與 VBS-RTK 測試成果分析	102
4.3.1.1 SPSI 站測試成果	102
4.3.1.2 NAZI 站測試成果	108
4.3.1.3 FONG 站測試成果	113
4.3.1.4 YJLO 站測試成果	118
4.3.1.5 CHIE 站測試成果	124
4.3.2 SSR-post 測試成果分析	131
第五章 結論與建議	133
5.1 結論	133
5.2 建議	136
第六章 參考文獻	137
附件一 21 個國內基準站相對定位每日解時間序列	144
附件二 21 個國內基準站精密單點定位每日解時間序列	151
附件三 期中報告審查意見及回覆說明	158
附件四 期末報告審查意見及回覆說明	163

摘要

國家法定坐標參考框架TWD97 (Taiwan Geodetic Datum 1997)，亦稱為一九九七坐標系統或1997台灣大地基準，是我國使用衛星定位測量技術並根據國際地球參考框架(International Terrestrial Reference Frame, ITRF)所建立的靜態參考框架(static reference frame)。TWD97自建立以來為因應臺灣地區之地殼變動及地震位移的影響，陸續發展出3種不同成果版本。分別為參考時刻訂於1997.0的TWD97 (根據ITRF94)、參考時刻定於2010.0的TWD97[2010](根據ITRF94)、以及參考時刻定於2020.0的TWD97[2020](根據ITRF2014)。上述三種成果版本的時間間隔約在10年左右。

TWD97屬於靜態框架，也就是坐標是固定不動、不隨時間改變的。但是臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交界，地殼變動型態複雜且地震發生頻繁，導致基本控制點的位移情況顯著且無法忽視，從而使得TWD97國家坐標參考框架必須不斷地更新，以反映臺灣地區基本控制點持續位移的實際狀況。然而，頻繁的更新坐標參考框架容易導致實用上的困難，特別是對於地籍測量、土地行政等需要長期穩定性的業務而言。因此本計畫針對建立臺灣時變參考框架(Taiwan Terrestrial Reference Frame, TTRF)之可行性進行研究，探討建立及維

護之機制，並分析臺灣時變參考框架與TWD97[2020]框架之轉換策略。

近年來精密單點定位(Precise Point Positioning, PPP)技術的應用越來越普及，該技術不須依賴參考站，只需要單台接收儀，便可獲得精確的定義在ITRF框架的定位成果。因此基於PPP應用的日益普及，本計畫測試國土測繪中心即時動態精密單點定位(PPP-RTK)服務之精度與效能，並與虛擬基準站即時動態定位(VBS-RTK)技術進行比較。

關鍵字：一九九七坐標系統、1997台灣大地基準、臺灣時變參考框架、精密單點定位

Abstract

Taiwan Geodetic Datum 1997 (TWD97) -- also called 1997 coordinate system, is Taiwan's national geodetic reference frame established by using the GNSS positioning technique and connecting with the International Terrestrial Reference Frame (ITRF). Because of the several crustal motions and frequent earthquakes in the region, TWD97 has had three different versions, namely TWD97@1997.0 (based on ITRF94), TWD97[2010]@2010.0 (based on ITRF94), and TWD97[2020]@2020.0 (based on ITRF2014). The time interval between adjacent TWD97 versions is approximately 10 years.

TWD97 is a static frame, i.e., the frame is fixed in time. However, Taiwan is located at the boundary of the Eurasia and Philippine Sea plates, with active crustal movements and major earthquakes. As a result, the TWD97 frame must be regularly updated in order to reflect the continuing displacement of its control points. The purpose of this research is therefore to, outside the TWD97, develop the Taiwan Terrestrial Reference Frame (TTRF), which is consistent with the ITRF. This research aims to study the mechanism for the establishment and maintenance of the TTRF, as well as to study the transformation strategy between the TTRF and TWD97. It is hoped that with the addition of TTRF, the maintenance and update of TWD97 can be improved.

Furthermore, in view of the increasing popularity of Precise Point Positioning (PPP) technology, this research evaluates the positioning performance of PPP-RTK, and compare it with the Network RTK service in Taiwan.

Key words: Taiwan Geodetic Datum 1997, Taiwan Terrestrial Reference Frame, Precise Point Positioning

第一章 研究主旨

國家法定坐標參考框架TWD97 (Taiwan Geodetic Datum 1997)，亦稱為一九九七坐標系統或1997台灣大地基準，是我國使用衛星定位測量技術並根據國際地球參考框架(International Terrestrial Reference Frame, ITRF)所建立的靜態參考框架(static reference frame)。TWD97自建立以來為因應臺灣地區之地殼變動及地震位移的影響，陸續發展出3種不同成果版本。分別為參考時刻訂於1997.0的TWD97 (根據ITRF94)、參考時刻訂於2010.0的TWD97[2010](根據ITRF94)、以及參考時刻訂於2020.0的TWD97[2020](根據ITRF2014)。上述三種成果版本的時間間隔基本在10年左右，因此預期數年後將需要再次更新TWD97。

TWD97屬於靜態框架，也就是坐標是固定不動、不會隨時間而改變的。但是臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交界，地殼變動型態複雜且地震發生頻繁，導致基本控制點的位移情況顯著且無法忽視，從而使得TWD97國家坐標參考框架必須不斷地更新，以反映臺灣地區基本控制點持續位移的實際狀況。

然而，頻繁的更新坐標參考框架容易導致實用上的困難，特別是對於地籍測量、土地行政等需要長期穩定性的業務而言。因此本計畫

的研究主旨之一為在TWD97法定框架之外，獨立發展一個與ITRF同步的臺灣時變參考框架(Taiwan Terrestrial Reference Frame, TTRF)之可行性研究，探討建立及維護臺灣時變參考框架之機制，分析時變參考框架的使用時機，以及分析時變參考框架與TWD97框架之轉換策略，期能協助TWD97框架之維護與更新，並提供大範圍測繪業務、變形監測、精密導航、科學研究等領域使用。

此外近年來精密單點定位(Precise Point Positioning, PPP)技術的應用越來越普及，該技術不須依賴參考站，只需要單台接收儀，便可獲得精確的ITRF成果。因此隨著PPP應用的日益普及，本計畫測試國土測繪中心即時動態精密單點定位(PPP-RTK)服務之效能，並與虛擬基準站即時動態定位(VBS-RTK)技術進行比較。

1.1 緣起

TWD97係採用衛星定位測量技術，由內政部於 87 年 3 月 17 日以台(87)內地字第 8781107 號函訂定，嗣於 96 年 11 月 15 日以台內地字第 0960173460 號令訂定基本測量實施規則，將臺灣大地基準及國家坐標系統納入該規則第 6 條規定之，其地心坐標框架及參考橢球體分別採用 ITRF94 國際地球參考框架及 GRS80 (Geodetic Reference System 1980)參考橢球體。

由於TWD97屬靜態框架，而臺灣地區位於板塊交界處，各地地表

位移與量級皆不同，特定地區在一定時間累積後，其坐標將無法符合測繪應用所需之精度，需要重新解算更新；又近年來，精密單點定位技術的應用越來越普及，該技術不須依賴參考站，只需要單台接收儀，便可獲得精確的ITRF成果，隨著該技術的使用者日益增多，如何在國家法定坐標系統與ITRF成果之間，建立並維護其轉換機制，實為重要課題。

本研究規劃參考國際實際應用案例，評估除現有TWD97靜態框架外，增加一個與國際地球參考框架一致的臺灣時變參考框架，建立兩者間之轉換關係。此外並測試臺灣地區即時動態精密單點定位服務之精度與效能。

1.2 研究主題

國家坐標系統為各項測量之根本，參考框架之更新與維護對於國土測繪業務有極高的重要性。臺灣的國土受到歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊擠壓碰撞的影響，各地區產生不一致的地表位移，最大可達到每年7~8公分的差異量。然而臺灣目前的法定參考框架TWD97屬於靜態框架，難以有效因應控制點坐標隨時間變化之衝擊，因此本計畫研究發展臺灣時變參考框架之可行性。

近年來國際上即時動態(Real-Time Kinematic, RTK) 全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite Systems, GNSS)定位應用快速地蓬勃

發展，例如自動導航、無人機產業的需求日益增加。目前高精度即時動態GNSS定位技術有網路RTK (Network RTK)及精密單點定位RTK (PPP-RTK)兩種。Network RTK的關鍵技術之一是虛擬基準站(Virtual Base Station RTK, VBS-RTK)技術，這也是國土測繪中心 e-GNSS即時動態定位系統的核心技術。另一方面，PPP-RTK的關鍵技術則是精密單點定位。文獻指出相較於Network RTK，PPP-RTK具有通訊傳輸的優勢，包含單向的廣播功能(無限制的用戶數量)、較小的頻寬需求(適用於無人載具)、可使用通訊衛星進行PPP-RTK服務(可服務海域及山區)等，但定位精度略不及Network RTK。因此本計畫亦辦理精密單點定位服務測試，分析比較PPP-RTK與VBS-RTK作業之成果精度。

1.3 預期目標

本計畫主辦機關要求之工作項目如下：

- 一、 坐標參考框架探討
 - (一) 臺灣國家法定坐標參考框架回顧。
 - (二) 國際地球參考框架與時變參考框架介紹。
 - (三) 蒐集國際間時變參考框架案例(包含澳洲雙框架基準)。
- 二、 發展臺灣時變參考框架可行性分析
 - (一) 時變參考框架優缺點分析(含探討國內可能之使用者)

- (二) 時變參考框架建立及維護機制分析
- (三) 時變參考框架與國家法定坐標框架轉換策略分析
- (四) 發展時變參考框架國土測繪中心現有資源盤點

三、 精密單點定位服務測試分析

- (一) 精密單點定位技術發展現況介紹。
- (二) 由國土測繪中心指定至少 5 個點位，同時辦理 PPP-RTK 與 VBS-RTK 作業，觀測時間至少 2 天(每天至少 12 小時，可分段觀測)，並分析比較其成果精度。
- (三) 由國土測繪中心提供至少 30 個基準站 24 小時 RINEX 資料，分別辦理 SSR-post 服務以及另外 2 種精密單點定位軟體(或服務)之後處理解算，並分析比較其成果精度。

本計畫於需求訪談後新增之作業項目：為初步驗證臺灣時變參考框架之建立及維護方式，使用國內21個CORS基準站的RINEX原始觀測檔案及每日解NQ0與SINEX檔案，分別獲得以下坐標時間序列成果並進行比較分析：

- (一) 套合至 IGS/ITRF 框架的相對定位解算成果
- (二) 定義在 ITRF 框架的精密單點定位解算成果

第二章 文獻回顧

「在那裡？」(Where)，是人類實際生活與形上思考的基本議題。不論是「我在那裡？」，或是「他在那裡？」，均是思維架構的展現。由遠古文明發軔開始，對於生存環境的探索與了解，關係著生活的開展與生命的延續。這些探索與了解，與空間關係高度相關。因而，空間位置的界定，具有必要的需求。描述所在位置，最直接的便是使用地標，「山南」、「山北」、「河東」、「河西」，便是典型案例。除此之外，日、月、與滿天的星辰，提供另一個可以適用於較廣大區域的位置描述。

以今日的地球科學而言，有兩個關於全球適用的定位系統，分別以諸多天體、與地球為根據。以天體為參考的是「國際天球參考系統」(International Celestial Reference System, ICRS)；另一個則是「國際地球參考系統」(International Terrestrial Reference System, ITRS)。兩者分別以「國際天球參考框架」(International Celestial Reference Frame, ICRF)、「國際地球參考框架」(International Terrestrial Reference Frame, ITRF) 實踐(Wikipedia, 2024a, b)。其中，ITRF，是今日聯合國決議中全球諸國應參考的測量框架，亦即以之作為「全球大地參考框架」(GGRF, Global Geodetic Reference Frame)(UN-GGIM, 2016)。

聯合國建立GGRF，是基於國際認知的需求。該決議草案由「聯合國全球地理空間資訊管理專家委員會」(UN-GGIM, UN Committee of Experts on Global Geospatial Information Management)提出。其動機有三：全球對更精確定位服務的需求日益增長、GGRF經濟上的重要性、以及提升全球大地測量合作的必要性。為此，UN-GGIM成立了GGRF工作組，該工作組起草並促成了一項GGRF的決議草案，該決議於2014年7月由UN-GGIM通過，並於2014年11月由聯合國經濟及社會理事會(ECOSOC, United Nations Economic and Social Council)通過。2015年2月26日，聯合國大會採納了由斐濟共和國主導的《促進永續發展之全球大地參考框架》(Global Geodetic Reference Frame for Sustainable Development)決議(UN-GGIM, 2016)。目前，「全球大地參考框架」(GGRF)是通過國際地球參考框架(ITRF)、國際天體參考框架(ICRF)和物理高程系統來實現的(UN-GGIM, 2016)。

上述說明中動機的背景，是以聯合國為代表的對於全體人類福祉的追求。如在提案名稱中所表示，「促進永續發展」，是作為本案之標的。聯合國對於「促進永續發展」具體的表現即為於2015年獲得聯合國大會批准，並於2016至2030年間實施，稱為2030議程，包括17項核心目標的「永續發展目標」(SDGs)。細究各項目標，均有著「空間」的屬性。「國際測量聯合會」(FIG, International Federation of Surveyors)

2019-2022的會長(President) Prof. Rudolf Staiger曾說：「如果要量度17個SDGs及其實現程度，顯然70%以上的目標與地理空間數據直接相關」(Haarsma, 2019)。因應此一議題，所推展的便是「全球性的變異觀測」(Global Observation of Changing Earth)。針對「全球性的變異觀測」的推動，「國際大地測量學會」(IAG, International Association of Geodesy, <https://www.iag-aig.org/>)於2006年召開以「全球大地參考框架」為主題的研討會(Drewes, 2009)；於2007年召開了以「觀測我們變異中的地球」(Observing Our Changing Earth) 為主題的研討會(Sideris, 2009)。

以上說明全球性「參考系統」、「參考框架」的重要性與現況之後，後續討論這兩個名詞與「基準」其間關係。回顧文獻，Drewes (2007) 一文的宗旨就在針對此一議題釐清名詞涵義，有著極為明確、具體的描述，本文首先依據該文闡述。其次，在全球國家空間資訊機構的相關網頁中，亦有著簡要說明，本文續以美國「國家大地測量局」(NGS, National Geodetic Survey)網站及文件中的相關描述探討，接著以「國土測繪法」中的相關內涵討論。

2.1 參考系統、參考框架、大地基準

Drewes (2007)收納於Sideris (2009)中，針對「參考系統」、「參考框架」、「大地基準」，描述定義如下。

「參考系統」

Reference systems define constants, conventions, models, and parameters, which serve as the necessary basis for the mathematical representation of geometric and physical quantities. An example is a three-dimensional Cartesian system with the origin in the geo-centre, equatorial orientation, metric scale and rotating with the Earth.

參考系統定義了常數、慣例、模型和參數，這些構成了幾何和物理量之數學表述的必要基礎。例如，一個三維卡式坐標系以地心為原點，具有赤道方向、公制尺度，並且隨地球自轉。

「參考框架」

Reference frames realize the reference system physically, i.e., by a solid materialization of points, and mathematically, i.e., by the determination of parameters (e.g., geometric coordinates). Examples are terrestrial monuments or spatial matters, whose coordinates are computed from the measurements following the definition of the reference system.

參考框架實際上是對參考系統的具體實現，也就是經由實體點位的實體化，實現參考系統，並且以數學方式表現，亦即藉由參數(如：幾何坐標)的確定實現。例子包括地球表面上的樁位或空間物體，其坐標是根據測量結果並遵循參考系統的定義計算得出的。

「大地基準」

The geodetic datum fixes unequivocally the relation between a reference frame and a reference system by allocating a set of “given”

parameters, e.g., the coordinates of the origin of the system (X_0, Y_0, Z_0), the directions of coordinate axes X, Y, Z , and the scale as a unit of length (e.g., metre).

大地基準通過分配一組“給定”的參數，例如系統原點的座標 (X_0, Y_0, Z_0)，坐標軸 X, Y, Z 的方向，以及作為長度單位的尺度（例如公尺），明確地固定了參考框架與參考系統之間的關係。

雖然「參考系統」、「參考框架」是一般性的名詞，在以「天球」為參考的架構中一體適用，本文主題在以「地球」為參考的部分。故以 ITRS 為例，ITRS 是 TRS (Terrestrial Reference System) 之一種。Petit 以及 Luzum (2010, Chapter 4) 針對 TRS 的說明為：

「地球參考系統 (TRS)」是一個隨地球在其每(全)日運動中共同旋轉的空間參考系統。在這樣的系統中，地球固體表面上的點，其位置之座標時間變化很小。這些變化是由地球物理效應(例如地體構造或潮汐引發之變形)所引起的。在天文大地測量學中採用的物理模型中，TRS 模型化為一個接近地球並與之共同旋轉的參考三稜體。在牛頓力學框架內，物理空間視為三維的歐幾里得仿射空間。

A Terrestrial Reference System (TRS) is a spatial reference system co-rotating with the Earth in its diurnal motion in space. In such a system, positions of points attached to the solid surface of the Earth have coordinates which undergo only small variations with time, due to geophysical effects (e.g. tectonic or tidal deformations). In the physical

model adopted in astrogeodesy, a TRS is modeled as a reference trihedron close to the Earth and co-rotating with it. In the Newtonian framework, the physical space is considered as an Euclidian affine space of dimension 3」.

而ITRS的定義是(Petit & Luzum (2010, Chapter 4) :

「ITRS」的定義滿足以下條件：

原點是包括海洋和大氣層的整個地球之質心；

以公尺(SI)為長度單位。尺度與地心局部參考框架的TCG (Geocentric Coordinate Time)時間坐標一致，並符合國際天文聯會 (IAU, International Astronomical Union) 和國際大地測量與地球物理學聯合會 (IUGG, International Union of Geodesy and Geophysics) 於1991年的決議。這是藉由適當的相對論模型實現的；

初始系統方向為使用國際時間局 (BIH) 在1984.0年所確定之方向；方向的時間演變是使用一個與全球地表水平板塊構造運動相關的滿足「無淨旋轉條件」的模型達成。

ITRS definition fulfills the following conditions:

It is geocentric, its origin being the center of mass for the whole Earth, including oceans and atmosphere;

The unit of length is the meter (SI). The scale is consistent with the TCG time coordinate for a geocentric local frame, in agreement with IAU and IUGG (1991) resolutions. This is obtained by appropriate relativistic modeling;

Its orientation was initially given by the Bureau International de l'Heure (BIH) orientation at 1984.0;

The time evolution of the orientation is ensured by using a no-net-rotation condition with regards to horizontal tectonic motions over the whole Earth surface」.

檢視上述定義，BIH 1984的選擇是採用一項慣例，以地心為原點是一個概念，不受地球表面運動影響的條件需要藉由模型達成。Lantmateriet提供的簡要描述為：

「ITRS」是參考系統的理论定義，也就是一系列規範和慣例，並同模型，以定義系統的原點、尺度、方向以及隨時間的發展。

ITRS is the theoretical definition of the reference system, i.e. a number of regulations and conventions that, together with modeling, are required to define the system's origin, scale, orientation and development over time」.

以ITRS定義而言，本質是概念性的，其實現便是對應的「參考框架」，ITRF。「參考系統」是不受觀測誤差影響的，例如，以地心為原點，是概念，沒有誤差。但是藉由地球表面的站點，賦予其座標，而定義出的地心位置，便受到觀測、演算的影響，而有不確定度。

ITRF定義使用多種觀測量演算而得，如 GNSS、VLBI、SLR、DORIS。觀測量是隨著時間演進而增加的，模型亦會精進，隨著觀測量的增加，與演算方式的改變，便會有新的的定義。由1988年起，迄

今已有 11 個 ITRF 定義，最新的是 ITRF 2020 (<https://itrf.ign.fr/en/background>)。每個 ITRF 的定義包含分布全球的站點之坐標與速度，相關文件豐富，如 Altamimi et al. (2001)，本文在此不再就 ITRF 深入探討。

探討「基準」的內涵，或許應由其英文字義開始。Merriam-Webster 字典中的描述是 (<https://www.merriam-webster.com/dictionary/datum>)：

「something given or admitted especially as a basis for reasoning or inference; 作為推理或論斷基礎而給予或確認的某些事物」。Wikipedia (2023) 的說明包含：「是物體的一個重要部分，例如點、線、平面、孔、一組孔或一對表面，在定義物體幾何形狀時起到參考作用，並且通常在測量實際幾何特徵時使用」。數學上，要定義一個二維的相似模型 (Similarity Model) 座標系，基本的參數是：原點 (X_o, Y_o)、方向、尺度。在以邊角測量為主的傳統時代，「大地基準」的參數便包含這四項。以 TWD67 為例：

以南投埔里之虎子山起算，經度 $\lambda = 120^\circ 58' 25.975''$ 、緯度 $\varphi = 23^\circ 58' 32.340''$

對頭拒山之方位角 $\alpha = 323^\circ 57' 23.135''$

原點虎子山的經緯度，與虎子山對頭拒山之方位角為以天文測量方式進行。尺度則以基線場測量方式，以鈹鋼尺定義。雖然天文測量

與基線場測量有觀測誤差，但是就基準而言，誤差沒有影響，因為無論測量成果好壞，這些數值已確認了「基準」。這四項基準參數是一經確定就永久固定的；任何後續的重複測量所發現的觀測誤差、網形中測站的移動、新增或移除測站，都不會改變原點的座標、方向或尺度。通過這種方式，即使經過很長的時間，也可以檢測到網形中任一點位相對於原點和方向的任何移動。以現代藉由GNSS測量建立的「大地基準」而言，是三維的基準，相似模型座標系有七個參數，原點座標 (X_o, Y_o, Z_o) 、三個旋轉、尺度。

就TWD97而言，採用ITRF94(1997.0)框架中的部分國際IGS站，滿足基準參數的定義。TWD97(2010)採用ITRF94(2010.0)、TWD97(2020)採用ITRF2014(2020.0)，均是藉由部分的IGS站，擬合到ITRF框架。採用多站擬合的方式，是為了能更好的與ITRF框架連結。但是「基準」的參數並非直接給定，這與嚴謹的「基準」定義不甚相符。

由上述定義之探討，可以了解，「參考系統」、「大地基準」和「參考框架」，三者構成了一個階層性的結構(Drewes, 2007)：

「參考系統」本身的定義，是與實現方式與結果無關的。「參考系統」必須完全不受「參考框架」和「大地基準」實現的影響，即「框架」對「系統」的實現和「基準」的選擇不能改變「系統」的定義。

「基準」的實現必須通過獨立於「參考框架」測量的方法進行，

即測量誤差或物理變化改變「框架」觀測的情況不能影響「基準」。

「參考框架」的數學實現必須通過保持「基準」參數不變並嚴格遵循「參考系統」定義的原則的算法完成。

2.2 美國 NGS 網頁與相關文件的敘述

在美國 NGS 網站，「基準與參考框架」(Datums and Reference Frames)網頁(<https://geodesy.noaa.gov/datums/>)，有下列之描述：

「大地基準或參考框架是一個帶有參考面（如海水位）的抽象坐標系，旨在提供已知的位置以開始測量並製作地圖。

A geodetic datum or reference frame is an abstract coordinate system with a reference surface (such as sea level) that serves to provide known locations to begin surveys and create maps.」

這段文字並未描述「大地基準」與「參考框架」之差異。目前使用中的是：

1983年北美基準（2011/PA11/MA11）2010.00時刻：這個幾何基準提供相對於地球橢球模型進行位置測量（緯度、經度和橢球高）。

1988年北美垂直基準（NAVD 88）：這個垂直基準提供測量地面高程與水深。

在「現代化國家空間參考系統」(National Spatial Reference System, NSRS)中，規劃準備的新方案，有四個現代化的幾何基準(大

地基準)，涵蓋不同的地理區域，區分之準則為依據美國疆域中地球板塊的分布，這四個基準分別為(<https://geodesy.noaa.gov/datums/newdatums/naming-convention.shtml>)：

- North American Terrestrial Reference Frame of 2022 (NATRF2022)
- Pacific Terrestrial Reference Frame of 2022 (PATRF2022)
- Mariana Terrestrial Reference Frame of 2022 (MATRF2022)
- Caribbean Terrestrial Reference Frame of 2022 (CATRF2022)

另有一個垂直維度的物理基準：

- North American-Pacific Geopotential Datum of 2022 (NAPGD2022)

關於新一代的基準，NOS(2017a, b)有詳實的說明。

在這幾個基準的名稱上，幾何方面的以「參考框架」命名，垂直維度的稱為「基準」。美國現代化基準(參考框架)相較於現行基準，有一個十分顯著的差異，新一代的具有時變(Time Dependent)特性。而在網頁，以及藍皮書(NGS, 2017a, b)中，常見「Datums or Reference Frames」的文字，似乎顯示這兩個名詞意義在實務上有重疊處。

2.3 國土測繪法的敘述

「國土測繪法」第三條規定：

六、測量基準：指實施國土測繪之基本準據，包括大地基準、高

程基準、深度基準及重力基準等。

七、參考系統：指依據測量基準，作為基本控制測量參考所訂定之系統，包括坐標系統、高程系統、重力系統及其他相關系統。

在這兩個法條中，「參考系統」是依據「測量基準」建立的，與Drewes (2007)代表的學術面向中「參考系統」的定義是完全不同的。

至於「基準」的中文詞義，「教育部國語辭典簡編本」解釋為：「測量的起算標準。泛指原理或規範」。因此，「國土測繪法」中「測量基準」的使用是洽當的。雖然，習稱的「四大基準」，位階並不是同一層次，因為「重力基準」是「高程基準」的一部分。如同「長度基準」是「大地基準」的一部分。

2.4 使用名詞之差異性

名詞之使用有文化與慣例之影響，由科學角度，以IAG為代表，「參考系統」、「參考框架」、「基準」三個名詞，有著明確的差異。其中，「參考系統」與「基準」是不受測量實務的不確定度影響的。「參考框架」則會受到影響，依據「基準」建立的網形與各站坐標成果亦會受到影響。「參考系統」定義了常數、慣例、模型和參數，屬於理論與概念性質；而「基準」是提供一組參數，定義一個坐標系。但是，以擬合到IGS站方式建置的「基準」，如TWD97，已經離悖科學面「基準」的定義。以擬合方式建立的「大地基準」，已經無法有不合誤差

的「基準」參數。但是因為延續了原先邊角測量時代「大地基準」的功能，實務上延用此一名稱似乎仍然合理。

邊角測量時代的「大地基準」是靜態的(Static)，即便是使用GNSS測量建立的NAD83、TWD97，亦均為靜態。一經測定公告，點位座標即固定不動。TWD97延續了原先邊角測量時代TWD67大地基準的功能，故實務上延用「基準」的名稱似乎是合理的。澳洲目前採用雙「基準」(參考框架)，其中為靜態的是GDA2020 (Geocentric Datum of Australia 2020)，具有時變特性的是ATRF2014 (Australian Terrestrial Reference Frame 2014, <https://www.icsm.gov.au/australian-terrestrial-reference-frame>)(ICSM, 2020)。時變基準(Time Dependent Datum)、動態基準(Dynamic Datum)、半動態基準(Semi-dynamic Datum)，是另外一組名詞。是否可以具有時變特性與否，區分「參考框架」與「大地基準」呢？依據科學面向的定義(Drewes, 2009)，並不適當。

在垂直維度，則多使用「基準」一詞，如AHD (Australian Height Datum)、NAVD 88 (North American Vertical Datum of 1988)。這是符合科學面向「基準」定義的，尤其是採用「地區平均海水位」(Local Mean Sea Level)方式定義的，因為是給定了一個零點，亦即所選用之驗潮站的「平均海水位」。NAPGD2022使用地球位能場定義高程，而且具有時變特性，依然使用「基準」命名。

2.5 精密單點定位服務

精密單點定位為一種利用全球性分布的連續觀測參考站CORS (Continuously Operating Reference Station)提供的高精度衛星星曆和衛星時錶誤差等改正訊息進行單點定位的定位方法。將這些改正訊息透過網際網路或衛星傳送至單台接收儀，便可以進行單點定位。PPP無需仰賴基地站的設置，僅需一台接收儀即可作業，獲得公分級精度的定位成果。也因為PPP可以僅靠單一接收儀作業，不會受限與參考站之間的距離限制，使得PPP服務可以涵蓋全球。但是PPP容易受到電離層延遲與對流層延遲等誤差影響，一般需要30分鐘以上的收斂時間，才可以獲得公分級的定位精度(張小紅等, 2017; European GNSS Agency, 2019)。

傳統RTK定位技術需要一個具有已知坐標的參考站(又稱基站或主站)，並利用無線電傳送參考站的精密資訊給移動站來解算其位置。然而傳統RTK技術會受限於參考站以及移動站之間的距離，當此距離越長，其定位成果精度會隨之下降(NovAtel Inc., 2015)，這是由於受到與基線距離有關的誤差所導致，例如軌道誤差、電離層延遲、對流層延遲等。另一方面，傳統RTK採用了觀測空間表示(Observation Space Representation, OSR)方法，此方法需要有較高頻寬的流量(Geo++, 2015)，因此當許多用戶同時在使用相同的參考站時，亦會影

響到RTK的效能(NovAtel Inc., 2015)。為了克服傳統RTK技術在距離上的限制，Network RTK技術首先被提出。不同於傳統RTK只使用單一參考站，Network RTK技術採用了多個參考站組成的網型(Euler, 2008)，例如CORS觀測網。當使用者位在CORS觀測網中，Network RTK技術會根據使用者之位置以及附近參考站之位置來內插出與距離相關的系統誤差(包含了軌道誤差、電離層延遲、對流層延遲等)，如此一來便可以克服傳統RTK的距離限制。Network RTK數據處理技術包含了FKP (Flächen Korrektur Parameter) 技術(Wübbena et al., 2001)、MAC (Master Auxiliary Concept) 技術、以及VRS (Virtual Reference Station)技術三類(Chen et al., 2011)。然而由於Network RTK技術沿用與傳統RTK相同的觀測空間表示(OSR)方法，因此在數據傳輸時依然需要較高的頻寬流量(Geo++, 2015)。

PPP-RTK技術的出現是為了有效縮短PPP的收斂時間以滿足即時動態定位的需求。PPP-RTK在原理上與PPP相似，但是額外地使用由區域CORS觀測網產生的改正訊息，包含了衛星軌道誤差、衛星時鐘誤差、載波相位及虛擬距離(電碼)觀測量的延遲偏差、電離層延遲量、及對流層延遲量(Teunissen and Khodabandeh, 2015)，這使得PPP-RTK可以有效縮短PPP的收斂時間。雖然PPP-RTK是在PPP的基礎之上大幅加快收斂速度，但是PPP-RTK必須額外使用到區域CORS觀測網資

料，因此並不跟PPP一樣歸屬於全球性服務，而是歸屬於區域性服務。

不同於Network RTK所採用的OSR方法，PPP-RTK採用了狀態空間表示(State Space Representation, SSR)方法。相較於OSR，SSR在通訊傳輸上具有下列優勢：(1) SSR為單向傳輸，OSR則為雙向傳輸；(2) SSR只需較小頻寬，OSR所需頻寬較大；(3) SSR將每一項誤差單獨表示出來，而OSR則是將所有誤差項總和成一項。由於SSR是將每一項誤差獨立出來，電離層延遲量可以不再需要使用雙頻觀測量來消除，因此理論上單頻接收儀也能實現PPP-RTK (Wübbena et al., 2005)。SSR改正訊息除了可以透過網際網路傳輸之外，也可透過L-band的通訊衛星傳輸，例如日本QZSS衛星的L6訊號、歐盟Galileo衛星的E6訊號 (Hirokawa and Fernández-Hernández, 2020)、以及中國BDS衛星的B2b訊號(中國衛星導航系統管理辦公室，2019)。因此即使在沒有網際網路通訊的地方，例如山區、海域等地點，使用者一樣可以收到SSR改正訊息。

內政部國土測繪中心建立的Network RTK系統(稱為e-GNSS即時定位系統)於民國92年開始策畫、98年正式營運(內政部土地測量局，2006)，迄今穩定地提供國內用戶高精度Network RTK定位服務，提供使用者準確可靠的公分級精度即時動態定位成果。雖然目前e-GNSS系統僅提供Network RTK的服務，但是國土測繪中心已經利用e-GNSS

的主要CORS基準站，完成建置臺灣精密單點定位服務系統，此系統能夠同時提供PPP-RTK與Network RTK (亦稱為VBS-RTK)定位服務。因此本計畫在國土測繪中心指定的5個測試點位，同時辦理PPP-RTK與VBS- RTK作業，進行成果比較分析。

第三章 研究說明

3.1 坐標參考框架探討

3.1.1 國家法定坐標參考框架

一九九七坐標系統或1997台灣大地基準(TWD97)係採用衛星定位測量技術，由內政部於87年3月17日以台(87)內地字第8781107號函訂定，嗣於96年11月15日以台內地字第0960173460號令訂定基本測量實施規則，將臺灣大地基準及國家坐標系統納入該規則第6條規定之，其地心坐標框架及參考橢球體分別採用國際地球參考框架ITRF94及GRS80參考橢球。

TWD97自建立以來為因應臺灣地區之地殼變動及地震位移的影響，陸續發展出3種不同成果版本。分別為參考時刻訂於1997.0的TWD97(根據ITRF94)、參考時刻訂於2010.0的TWD97[2010](根據ITRF94)、以及參考時刻訂於2020.0的TWD97[2020](根據ITRF2014)。

目前台灣地區最新的TWD97[2020]法定坐標參考框架為靜態框架，並約制於ITRF2014參考時刻2020.0，也就是參考框架是固定不動且不隨時間改變的。但由於台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交界，地殼變形型態複雜且地震發生頻繁，導致基本控制點的位移情況顯著且無法忽視，從而使得TWD97參考框架必須不斷地更新，以反

映臺灣地區基本控制點持續位移的實際狀況。然而，頻繁的更新坐標參考框架容易導致實用上的困難，特別是對於地籍測量、土地行政等需要長期穩定性的業務而言。

3.1.2 地殼變動與地震循環

台灣地區由板塊運動與斷層錯動所引起的地殼變動可以透過地震循環 (earthquake cycle) 來描述 (圖 3.1)，其中包含了震間變形 (interseismic deformation)、同震變形(位移)(coseismic deformation)與震後變形(postseismic deformation)。震間變形為大地震發生前，板塊長時期的相對位移行為以及斷層鎖定之間的交互作用 (McCaffery, 2002)；同震位移為地震發生時，將造成地表的突發性位移；震後變形則為大地震發生之後，伴隨著持續且非線性變化的地表位移，其將延續一段時期或更長的時間 (Nur and Mavko, 1974; Thatcher and Rundle, 1984; Tse and Rice, 1986; Roeloffs, 1996; Peltzer et al., 1996)。

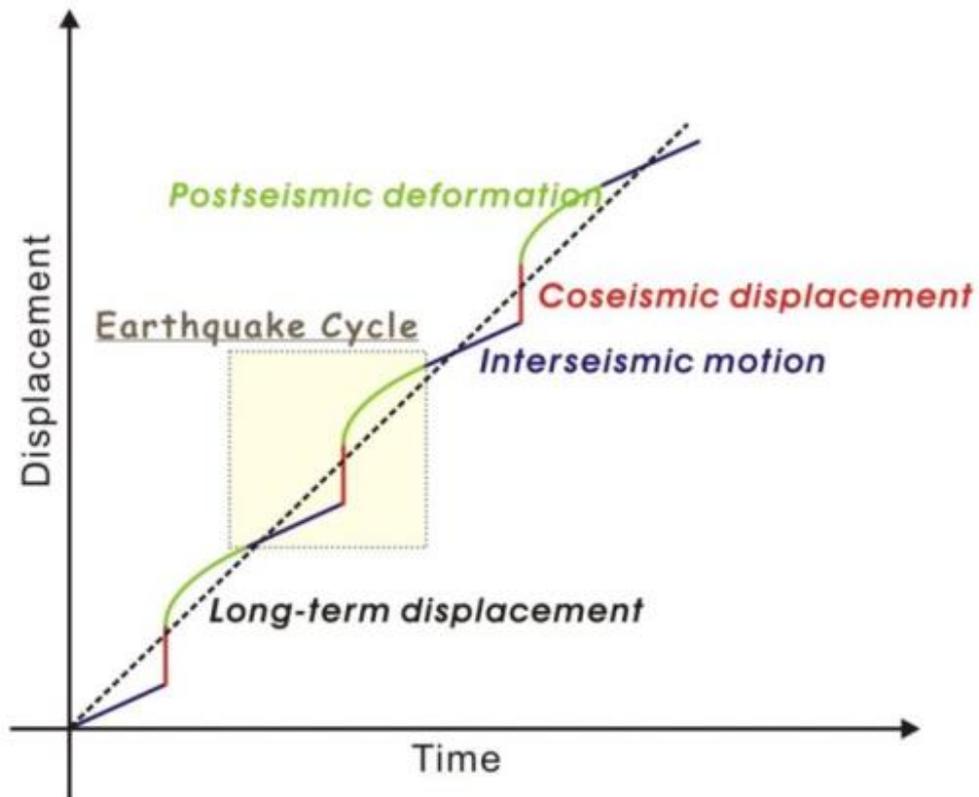


圖3.1 地震循環示意圖(內政部國土測繪中心，2023)

3.1.3 時變參考框架與國際地球參考框架

在一個隨時間改變(時變)的坐標參考框架內，控制點的坐標是表示為時間的函數，也就是點位位置是與時間相關的，因此時變參考框架可以有效反映地表點位的真實變動情況。對於地殼變形監測、高精度導航等應用而言，由於必須考慮到地表點位的真實變動情況，建立及採用一個時變參考框架是非常重要的。同時，對於維護法定的TWD97[2020]靜態框架而言，建立一個時變參考框架可以幫助我們有效掌握基本控制點的位移情況。

目前國際上最知名的時變參考框架是由國際地球自轉服務組織

IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service)所建立與維護的國際地球參考框架(ITRF)。ITRF框架內的控制點坐標均可表示為時變函數，而函數的參數則包含了參考時刻的坐標值、震間速度量、同震位移量等(<https://itrf.ign.fr/en/solutions/ITRF2020>)。歷年來ITRF框架的版本不斷更新，目前最新的版本為ITRF2020 (Altamimi et al., 2023)。

另一個特殊且廣泛使用的參考框架是由美國空間情報局U.S. National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)所維護的WGS-84坐標系統。WGS-84是GPS衛星廣播星曆所使用的坐標參考框架，自建立以來即頻繁且不定期地進行更新，目的是與ITRF框架保持高度一致(差異約在公分等級)。由於自始WGS-84的名稱一直未改變，因此可以視為全球性時變參考框架的一個特殊範例。自2024年1月7日起，WGS-84已經更新為與ITRF2020保持一致(ICSMS, 2024)。

3.2 發展臺灣時變參考框架

為發展臺灣時變參考框架(Taiwan Terrestrial Reference Frame, TTRF)，本計畫蒐集了國際間的參考文獻，參考他國建立時變參考框架的具體作法。以澳洲Australia Terrestrial Reference Frame 2014 (ATRF2014)時變參考框架為例，其解算策略為利用Bernese科學軟體(Dach et al., 2015)以相對定位方式處理澳洲暨鄰近區域的CORS基準

站觀測資料，產生每日解(Daily Solution)及每週解(Weekly Solution)之後，再將每週解與亞太參考框架(Asia-Pacific Reference Frame, APREF)提供的區域網形解(Solution Independent Exchange, SINEX)檔案合併，產生每個CORS站定義在ITRF框架下的坐標時間序列及速度估值(ATRF Technical Implementation Plan, 2020)。此類作法是基於傳統衛星定位測量基線解算，因此可稱為相對定位法。

近年來，衛星定位測量領域的最新發展趨勢為精密單點定位(PPP)，隨著PPP資料處理技術的日漸成熟，其特色為可直接獲得定義在ITRF框架下的公分級每日解靜態定位成果，因此也適合作為建立時變參考框架之作法。

3.2.1 相對定位法

本計畫提出建立及維護時變參考框架的第一種方法為傳統衛星定位測量廣為採用的相對定位法，或稱為基線解算法。以相對定位法建立臺灣時變參考框架TTRF之具體步驟為：(1)國際IGS站、國內CORS基準站之間的基線解算；(2)約制基準站坐標到ITRF框架(內政部國土測繪中心，2023)。

為辦理2020-2023年間國內21個CORS基準站（18個大地基準站+玉山+塔塔加+水準原點）之資料解算，本計畫採用Bernese軟體，並挑選鄰近臺灣的TSKB、BJFS、SHAO、CUSV、COCO、PIMO以及GUAM

等國際IGS站(分布如圖3.2)與國內基準站聯合解算成果(說明：此21個 CORS基準站直接擷取自測繪中心2020-2023研究案成果)(內政部國土測繪中心，2020~2023)。資料採分區解算，原則為(1)依資料管理單位劃分；(2)依空間分布劃分，網型以方形均勻分布為原則，並於各計算分區加入共同聯測站(即KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、TWTF、TNML及TCMS等9站，分布如圖3.3)。GNSS觀測資料解算的品質管制與解算策略如下：

(1) 品質管制

包括品質管制與資料檢核兩項。基準站資料載入Bernese軟體之前，應進行下列品質管制與資料檢查：

1. 每日各站 RINEX 觀測資料的完整性與連續性是否正常。
2. 每日各站 RINEX 觀測資料的信噪比(S/N)是否正常。
3. 天線盤、儀器位置是否異動或更換。
4. 天線盤相位中心資訊、天線盤型式、天線高等資訊是否正確。
5. 雙頻(L1、L2)資料之成對比例是否偏低。

載入 Bernese 軟體後，則應檢視：

1. Bernese 各計算步驟之輸出結果的篩選指標是否正常。
2. 各二次差觀測量的整數週波未定值求解成功率是否偏低。
3. 每日坐標解之精度指標與誤差橢圓是否出現異常。

4. 週、月、季、年等時間序列成果是否出現異常跳動。
5. 每日是否能夠順利整合成相應的法方程式矩陣檔案。

當出現觀測品質不佳、異動或計算成果異常情況時，將檢視分析其原因，並評估是否參與分析使用。透過各項成果檢查項目，可以有效控制本項解算工作的成果品質，確保其穩定性與精確性。

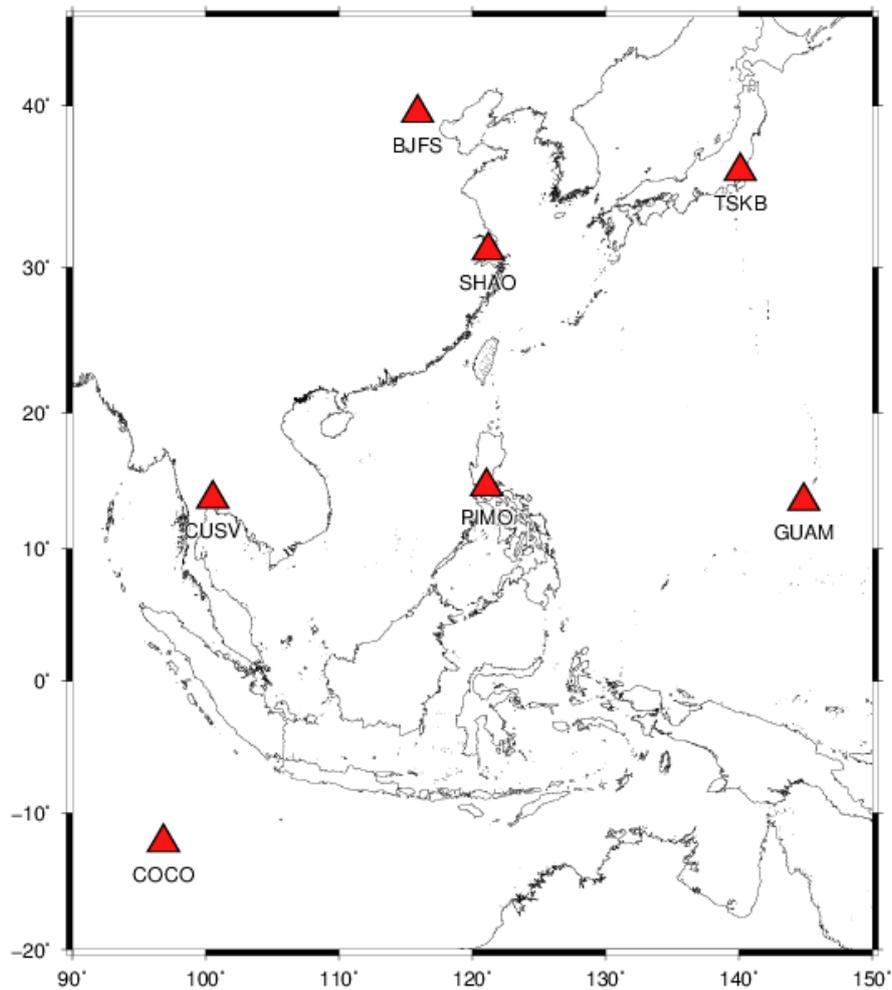


圖 3.2 使用於基線解算之國際 IGS 站

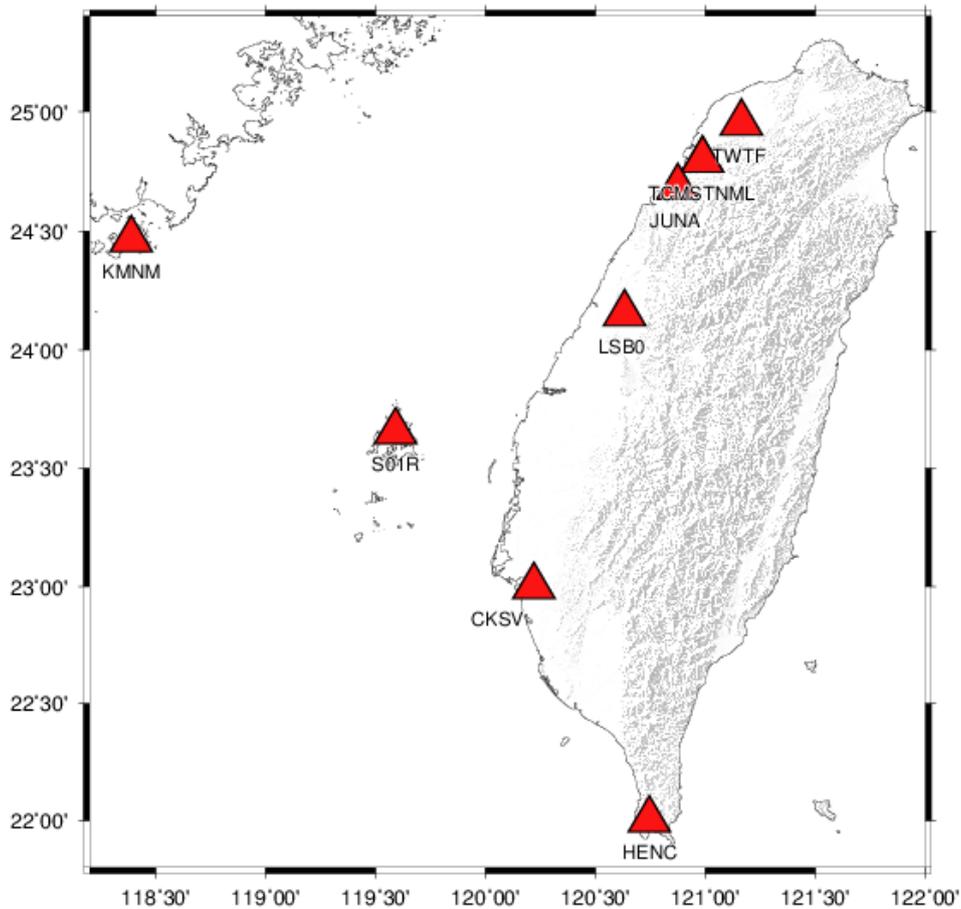


圖 3.3 分區基線解算時之國內共同聯測站

(2) 各分區最小約制解算

首先，各分區將最小約制於金門站(KMNM)在ITRF2020@2015.0 框架下的坐標如表3.1所示，以得到各分區的每日解計算成果，Bernese 軟體的計算流程如圖3.4，各分區分布如圖3.5、表3.2所示。

表 3.1 本研究採用的國際 IGS 站參考框架資訊(ITRF2020@2015.0)

編號	站名	X (m)	Y (m)	Z (m)
		Vx (m/yr)	Vy (m/yr)	Vz (m/yr)
1	BJFS	-2148744.3966	4426641.2008	4044655.8426
		-0.03238	-0.00603	-0.00714
2	COCO	-741950.8382	6190961.6960	-1337767.6548
		-0.04460	0.00464	0.05126

3	GUAM	-5071312.6958	3568363.6027	1488904.3791
		0.00542	0.00565	0.00418
4	KMNM	-2761838.0176	5110347.0969	2625150.9065
		-0.03101	-0.01046	-0.01065
5	CKSV	-2956619.2785	5075902.1678	2476625.5707
		-0.01942	-0.00378	-0.01074
6	PIMO	-3186293.6640	5286624.3574	1601158.3581
		0.02257	0.01405	0.00581
7	SHAO	-2831733.8152	4675665.8203	3275369.3034
		-0.03025	-0.01233	-0.01100
8	TSKB	-3957199.5651	3310199.3016	3737711.5937
		-0.01054	0.00635	-0.00415
9	CUSV	-1132914.8653	6092528.5694	1504633.2130
		-0.02431	-0.00564	-0.01052
10	TWTF	-2994428.4372	4951309.1113	2674496.7530
		-0.03343	-0.00971	-0.00940
11	TNML	-2982779.4139	4966662.5013	2658805.6267
		-0.02791	-0.01263	-0.00860
12	TCMS	-2982783.2278	4966659.9768	2658809.3599
		-0.02791	-0.01263	-0.00860

進行 GNSS 資料解算前，將進行下列相關資料之蒐集與更新：

1. IGS (International GNSS Service)提供之最終精密星曆(sp3 格式)。
2. 地球每天的自轉參數檔案(erp 與 eph 檔)。
3. GNSS 天線盤的相位中心偏移量以及相位中心變化量檔案。
4. 衛星的健康狀態檔案 (Sat_****.crx；****表西元年)。
5. 衛星的重量、天線盤傾角等相關資訊檔 (Satellit.ttt)。
6. 天線盤資料檔(station.info)。

GNSS 資料處理步驟說明如下：

1. 將標準交換格式(RINEX)檔案轉成 Bernese 格式。

2. 自精密星曆中取出各衛星之時錶修正量。
3. 將精密星曆轉成表列型式。組軌道之原則為利用每天之精密星曆，組成 24 小時之軌道，包括 6 個克卜勒軌道元素和 2 個 ROCK4/42 模式之太陽輻射參數。
4. 進行電碼資料之檢查，剔除錯誤觀測量。
5. 利用電碼資料進行單點定位，計算測站導航坐標及接收儀時間誤差，並將時間修正於載波相位資料中。
6. 組成獨立的基線網一次差觀測量。
7. 利用精密星曆與衛星時錶資料進行資料之修編、週波脫落之補正 (cycle slip editing)、時錶差修正等。
8. 對流層折射改正：採用 Hopfield 模式，以海平面標準氣象資料，溫度 25°C ，相對溼度 70%，大氣壓力 1013.25mbar，推求各測站的對流層改正起始值，並進行對流層附加參數的解算，以吸收殘留的對流層折射誤差。
9. 採用 QIF (Quasi Ionosphere-Free)解算方法，求得 L_1 和 L_2 的整數週波未定值，再組成無電離層 (ionosphere-free)效應觀測量 L_3 ，並將解得 L_1 和 L_2 的整數週波未定值代入 L_3 觀測方程式中，以求解坐標參數。

各時段輸出法方程式矩陣，最後合併所有時段法方程式矩陣進行

整體平差，採用循序(sequential)最小二乘估計方式進行所有法方程式的合併求解。

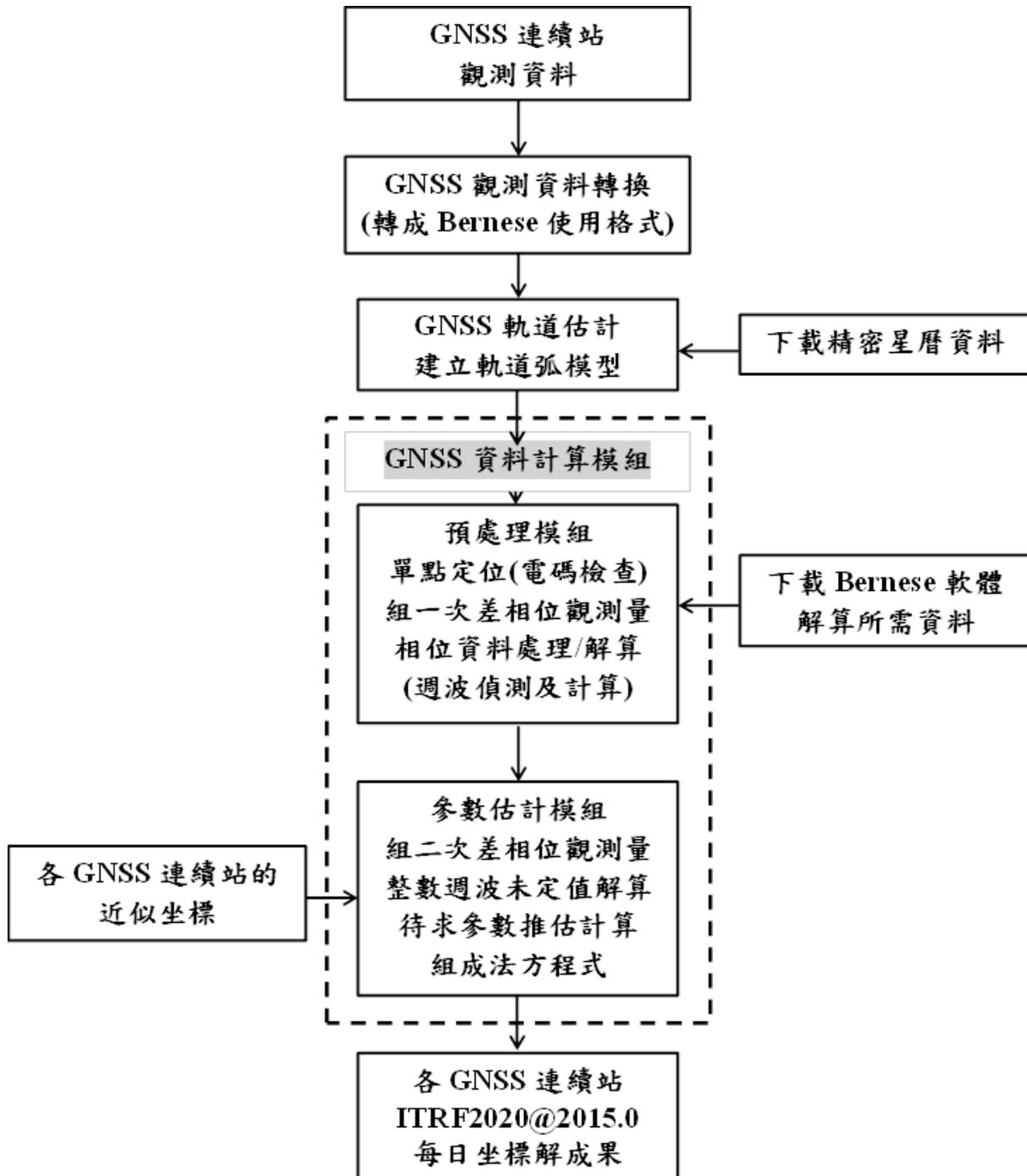


圖 3.4 Bernese 軟體相對定位解算流程圖

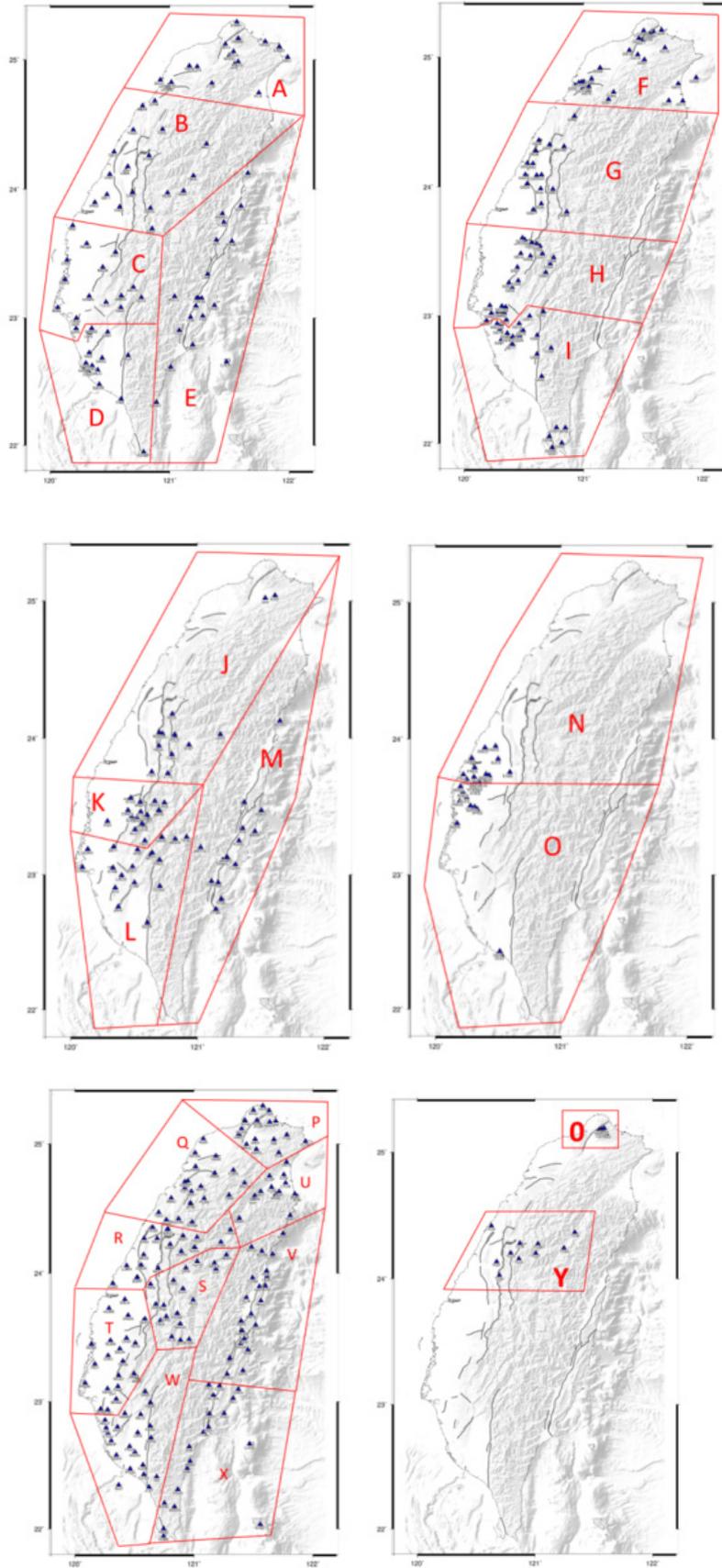


圖 3.5 觀測資料解算分區圖

A-E 區提供單位為測繪中心(NLSC)，包含臺北市政府(TPE)；F-I 區提供單位為經濟部地質調查及礦業管理中心(GSMMA)；J-M 區提供單位為中研院地球所(IES)；N、O 區提供單位為經濟部水利署(WRA)；P-X 區提供單位為中央氣象署(CWA)；Y 區提供單位為臺中市政府(TAICHUNG)；0 區為大屯活山(TVO)群監測網。

表 3.2 連續站觀測資料計算分區統計

A	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、BEGN、DONY、FUSI、GOLI、HCHG、HCHM、JYGU、LND2、MZUM、SHJU、SHMN、TCYU、TWVD、YILN、YMSM、LNDO、SIND、CSLA、GDH1、NCCU、WHDO、BEG2、NTPU
B	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CAOT、DOSH、FB02、G811、GGDS、HL01、KFN2、LSBA、PLIM、SINY、TACH、TASO、TIAN、VR01、VR02、VR03、WULI、FCU1、HLIM、KAFN、LS08
C	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、BKBL、CHYI、CIME、DJES、HUSI、JHCI、JIBE、JNHU、JNSA、KAWN、KLAB、LEYU、NJES、PKGGM、SCES、TASI、WIAN、NAGA、CHIK、CK01
D	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CHIE、CISH、DALO、DASU、FALI、FONG、KASH、KDNM、LIAN、MAJA、MAYA、NAZI、RFES、SAME、SANW、TAYN、WHES、XIAN、YJLO、LAFO、WNHD、LAN2、WHE2
E	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CHGO、DAWU、FLNM、FONB、FUGN、JULI、LUDA、SICH、SOFN、TMAM、WARO、WULU、T109、T104、T103、T105、T107、T110、GUFU、T102、LAYU、LDJH、FUG2
F	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、

	GS01、GS03、GS08、GS09、GS10、GS11、GS12、GS13、GS15、GS16、GS19、GS20、GS61、GS62、GS70、GS71、GS72、GS86、GS90、GS93、GS94、GS19
G	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、GS14、GS21、GS22、GS23、GS24、GS25、GS26、GS27、GS36、GS37、GS38、GS39、GS40、GS82、GS83、GS84、GS87、GS91、GS92、GS02、GS96、GS97、CG01、CG02、CG03、CG04
H	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、GS05、GS06、GS07、GS17、GS18、GS28、GS29、GS30、GS31、GS32、GS33、GS41、GS42、GS43、GS44、GS63、GS64、GS66、GS67、GS68、GS73、GS88、GS89、GS04
I	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、GS34、GS35、GS45、GS46、GS51、GS52、GS53、GS55、GS56、GS57、GS58、GS59、GS60、GS74、GS75、GS76、GS77、GS78、GS79、GS80、GS81、GS85、GS54、GS47
J	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、FNGU、FUQE、KZN1、LSAN、PINT、S016、S167、WUFN、YUNL、KZON、TAIW、GANK、S170、S101
K	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、8118、C001、C002、CHUK、CWEN、JONP、KLN2、LAIG、LOYE、S103、SJPU、TAPU、W021、W029、CHNL、W030、KULN、CHYN、BYRS
L	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CHKU、DONA、HOKN、LNCH、MESN、MIN2、MINS、PAOL、S011、S012、S106、S169、S23R、TENC、WLIP、SILN、TSHO、YENC、S092
M	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、FUDN、JPEI、JPIN、KNKO、MOTN、PING、S104、S105、SCHN、SHAN、TAPE、TAPO、TTSH、TUNH、S058、ERPN

N	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CHSG、FRES、GFES、HLES、HNES、LNJS、NTUH、SJES、SSES、TKJS、YSSL、ANES、LYES、JMES、JJES、RHES、TCKK
O	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、BDES、DLIO、KTES、LBJS、MDES、SLES、STES、WNES、YCES、YWJS、NGES、SNES、TCBS、XPES、JHES、CYGL、JSES、CLES、KPWR、LGES
P	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、ANBU、ANK2、ANKN、BANC、FIVE、FLON、HERI、LNKO、MATZ、PLIN、PNCY、SANJ、TAN2、TSHI、WAN2、WUKU、ZUZH、CWBN、TAIP、WANL、TANS、LNK2、WALI
Q	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、BALN、DAHU、FUSN、HSIN、KSHI、KYIN、MIAO、PAO2、PLA2、SAN2、SFON、SONA、STA1、THAI、TOFN、TSIO、WIPN、YAME、PLAN、PENL、PAOS、SANI、KYI2、PNLA、KSH2、BAL2
R	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CHIN、CHUA、FUNY、GUK2、HNSN、HOPN、HSUE、JYAN、LIYU、LUKN、NSHE、PUS2、SGUN、SHLU、SUC2、TEGS、WFEN、SUCH、GUKW、PUSN、LIY2
S	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CHIU、DPIN、FKD2、FKDO、HLIU、HUAN、HUYS、JSAN、MFEN、PAKU、SANL、SUN1、TATA、TSLN、WANS、YUSN、LUGU、LUSN、ALIS
T	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CHIA、DANI、DNAN、DOJI、ERLN、GUKN、HUWE、ICHU、JWEN、KIMN、NANK、NCKU、PANG、PEI1、RENI、SHWA、SSUN、SUAN、TUNS、WANC、WUST、YSAN、ZEND、DOSE

U	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CLAN、HANS、ILAN、LTUN、NAAO、NIUT、NSAN、SLNP、SUA2、YLSS、YNTS、SUAB、TUCN、SUAO、HAN2、JSU2
V	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、BLOW、CHNT、CHUN、DCHU、DNFU、DSIN、FENP、HRGN、HUAL、HUAP、JSUI、NDHU、PEPU、SHUL、SLIN、SPAO、TUNM、YENL、YUL1、YULI、NHSI、NIPU
W	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、AKND、BANP、CLON、CTOU、GAIS、JLUT、KASU、KHLZ、LGU2、LIK N、LIU2、MLO1、NEMN、NJOU、PTDG、PTUN、SAND、SGAN、WDAN、LAOL、MITO、LGUE、LIUC
X	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、BIMO、CHEN、CHIH、CHUL、DAJN、DANL、DAS1、DULI、KUA2、KUAN、LANY、LONT、LUDO、MUDA、PEIN、SINL、TTCS、TTUN、LANB、TMAL、DASI、S102、HOBE
Y	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、TC21、TC31、TC32、TC33、TC34、TC35、TC36、TC37、TC38、TC39、TC13
Z	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC
0	BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB、CUSV、TCMS、TNML、TWTF、KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、YM02、YM03、YM05、YM06、YM07、YM08、YM09、YMN4、YMN2

(3) 套合至 ITRF 框架之坐標時間序列

利用步驟(2)各分區最小約制成果得到的法方程式(NQ0)，使用表 3.1 的先驗資訊進行每日各分區的套合網計算，以得到各連續基準站每日約制於 ITRF2020 之套合網成果(包括每日的 NQ0 與 SINEX 檔

案)，再整合每日套合約制網為每週套合於 ITRF2020 的套合網成果 (包括每週的 NQO 與 SINEX 檔案)，整體解算流程如圖 3.6 所示。

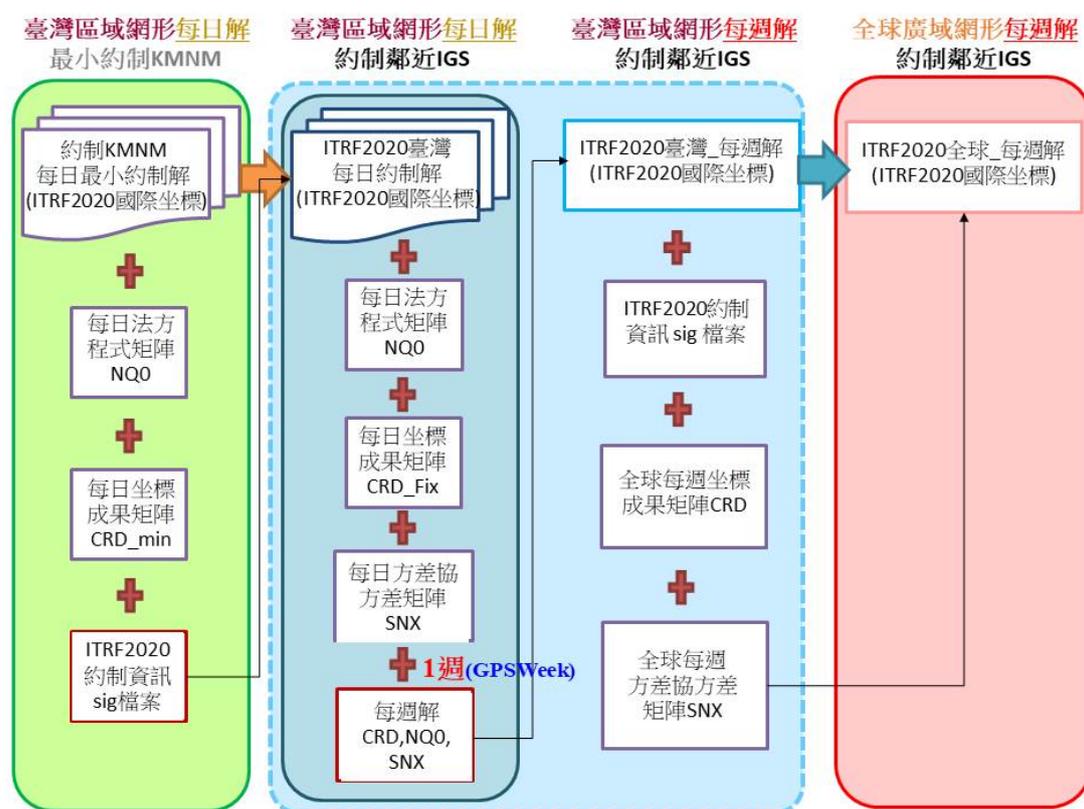


圖 3.6 相對定位法資料解算流程圖

3.2.2 精密單點定位法

本計畫採用的建立及維護時變參考框架之第二種方法為近年來在衛星定位測量領域快速發展與廣泛應用的精密單點定位法。

精密單點定位技術已經發展成熟，其特色為可直接獲得定義在 ITRF 框架下的公分級精度每日解定位成果，因此亦是合適的建立臺灣時變參考框架 TTRF 的作法。本計畫採用精密單點定位法分析處理國內 21 個 CORS 基準站的觀測數據。

為解算 2020 至 2023 年間國內 21 個基準站之 PPP 每日解坐標，本計畫一樣是採用 Bernese 軟體進行，其解算流程如圖 3.7 所示。國內 21 個基準站之分布如圖 3.8 所示。

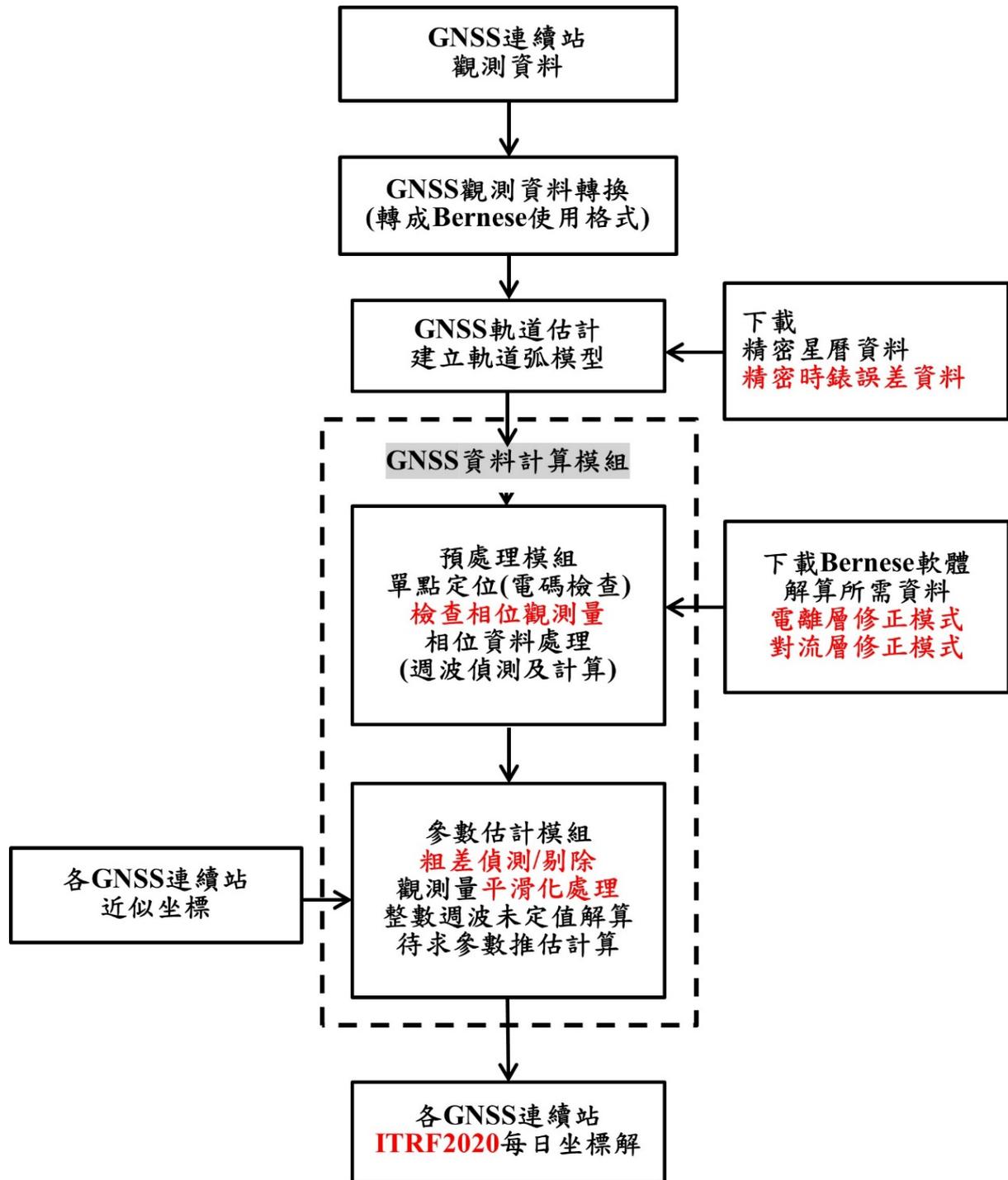


圖 3.7 Bernese 軟體精密單點定位解算流程圖

使用 Bernese 軟體進行精密單點定位解算時，首先必須進行相關資料之蒐集與更新，處理步驟如下：

1. 將標準交換格式(RINEX)檔案轉成 Bernese 格式。
2. 自精密星曆中取出各衛星之時錶修正量。
3. 將精密星曆轉成表列型式。組軌道之原則為利用每天之精密星曆，組成 24 小時之軌道，包括 6 個克卜勒軌道元素和 2 個 ROCK4/42 模式之太陽輻射參數。
4. 進行電碼資料之檢查，剔除錯誤觀測量。
5. 利用電碼資料進行單點定位，計算測站導航坐標及接收儀時間誤差量，並將時間修正於載波相位資料中。
6. 利用精密星曆與衛星時錶資料進行資料之修編、週波脫落之補正 (cycle slip editing)、時錶差修正等。
7. 利用載波相位資料進行觀測量平滑化處理。
8. 對流層折射改正：採用 Hopfield 模式，以海平面標準氣象資料，溫度 $C25^{\circ}$ ，相對溼度 70%，大氣壓力 1013.25mbar，推求各測站的對流層改正起始值，並進行對流層附加參數的解算，以吸收殘留的對流層折射誤差。

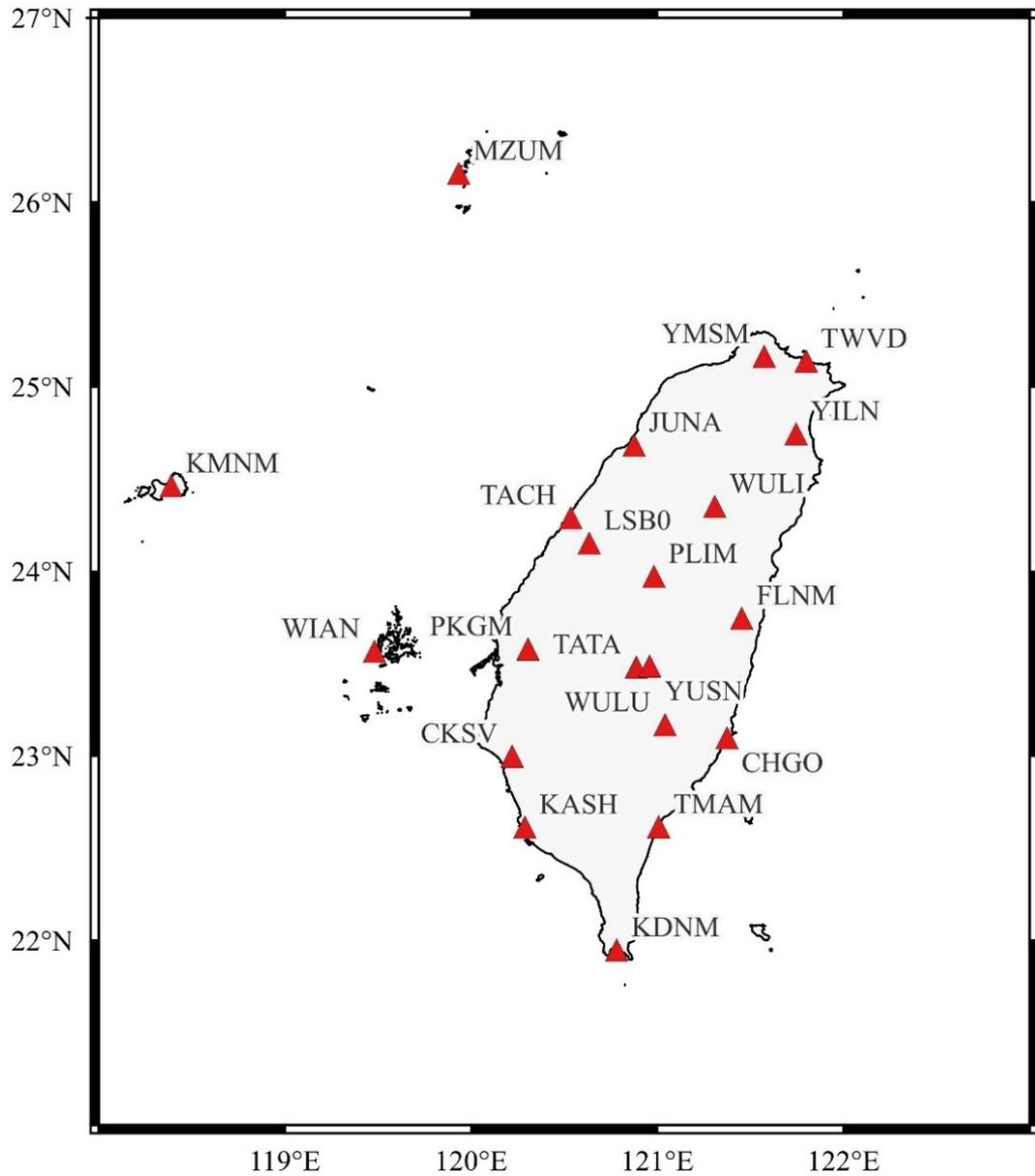


圖 3.8 國內 21 個 CORS 基準站分布圖

3.2.3 參考時刻坐標、震間速度及同震位移之估計

本計畫使用 Nikolaidis (2002) 的坐標函數擬合式對各基準站的坐標時間序列進行估算：

$$y(t_i) = a + bt_i + c \sin(2\pi t_i) + d \cos(2\pi t_i) + e \sin(4\pi t_i) + f \cos(4\pi t_i) + \sum_{j=1}^{n_g} g_j \cdot H(t_i - T_j) + \sum_{j=1}^{n_h} h_j \cdot$$

$$H(t_i - T_j) \cdot t_i + \sum_{j=1}^{n_k} k_j \cdot H(t_i - T_j) \cdot \exp^{-(t_i - T_j)/\tau_j} + v_i \quad (3.1)$$

其中 y 為坐標向量， a 為 ITRF2020@2020.0 時刻參考坐標， b 為震間時期(interseismic period)地殼運動速度， c 、 d 為年週期(annual period)變化之振幅， e 、 f 為半年週期(semi-annual period)變化之振幅， g 表示時間序列中的不連續跳動事件，可能為地震造成的同震位移或是人為天線更換， h 為震後線性速度改變量， k 為震後變形呈指數衰減的現象， τ 為鬆弛時間(relaxation time)，代表震後變形衰減至總變形量的 1/e 所需時間。 t 為觀測時間， T 為地震事件發生的時間， i 、 j 分別代表測站以及地震事件的索引值。 H 為階梯函數(Heaviside step function)，當地震事件影響產生位移時 $H = 1$ ，反之 $H = 0$ 。 v 代表殘差項，當某觀測量的殘差大於 3 倍後驗中誤差時，該觀測量將被視為粗差予以剔除，計算流程如圖 3.9 所示。本計畫採用簡化後坐標函數，僅擬合參考時刻坐標、震間速度以及同震位移，亦即僅估算參數 a 、 b 、 g 、 h 。簡化後坐標函數表示如下：

$$y(t_i) = a + bt_i + \sum_{j=1}^{n_g} g_j \cdot H(t_i - T_j) + \sum_{j=1}^{n_h} h_j \cdot H(t_i - T_j) \cdot t_i + v_i \quad (3.2)$$

本計畫為分開分析平面及垂直方向的擬合成果，先將每日解坐標時間序列由卡式坐標(X、Y、Z)轉換為地平坐標(E、N、U)後，再利用式(3.2)進行擬合，以下為卡式坐標轉地平坐標公式(Leick, 2015)：

$$\begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta n \\ \Delta u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\cos \lambda \sin \varphi & -\sin \lambda \sin \varphi & \cos \varphi \\ \cos \lambda \cos \varphi & \sin \lambda \cos \varphi & \sin \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

其中 Δe 、 Δn 、 Δu 為 E、N、U 方向的坐標位移量， λ 、 φ 分別為測站初始坐標之經度及緯度， Δx 、 Δy 、 Δz 為 X、Y、Z 方向的坐標位移量。

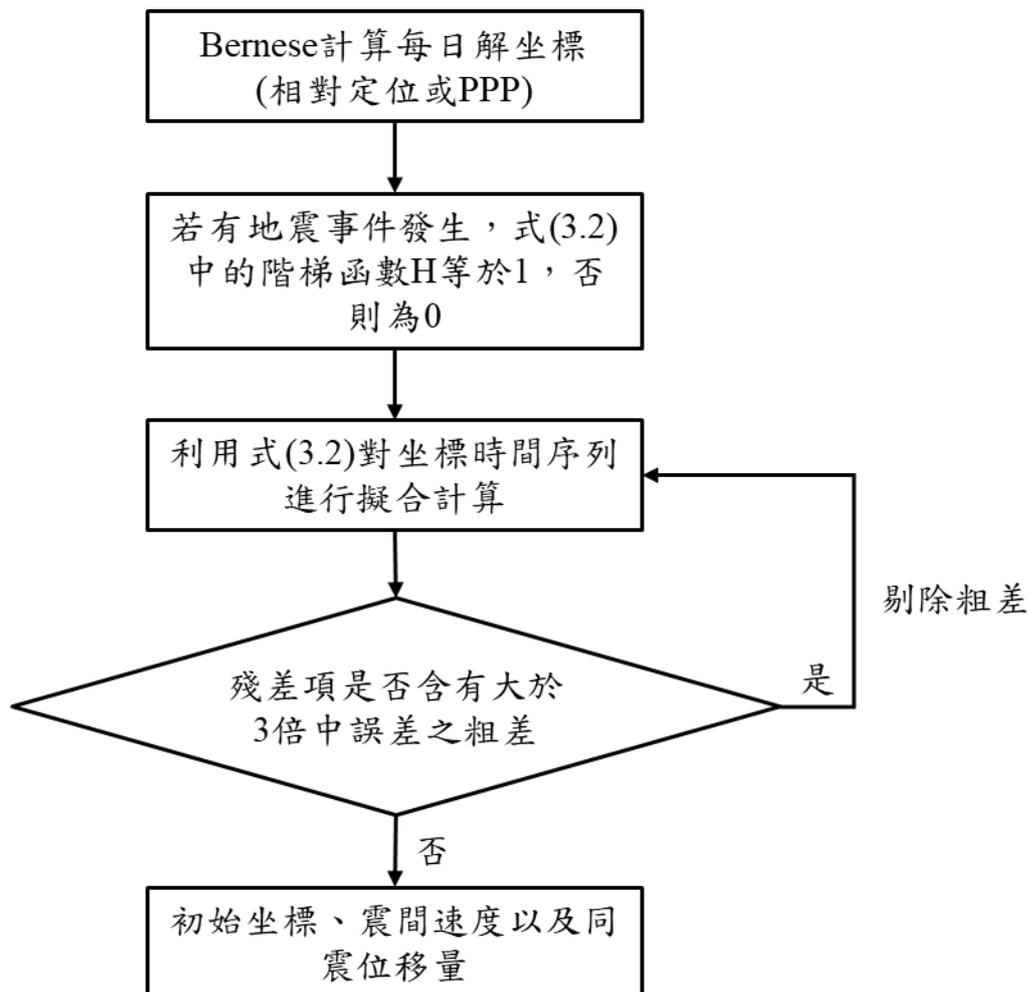


圖 3.9 由坐標時間序列估算參考時刻坐標、震間速度及同震位移

3.3 國土測繪中心精密單點定位服務

為辦理 PPP-RTK 與 VBS-RTK 定位服務之測試分析，本計畫執行了兩個工作項目。第一項為 PPP-RTK 與 VBS-RTK 定位服務測試分

析，第二項為國土測繪中心後處理 SSR 定位服務平臺(SSR-post)測試分析。此章節中，我們分別介紹 VBS-RTK、PPP-RTK、SSR-post 服務、以及相關說明。

3.3.1 VBS-RTK 定位服務

Network RTK (NRTK)技術的出現是為了克服傳統 RTK 在距離上的限制。與 RTK 僅用單一參考站不同，NRTK 採用了多個參考站(基站)(Euler, 2008)進行網型差分定位。NRTK 控制端會依據使用者位置及附近之參考站位置內插出衛星觀測量之改正量，因此大幅改善了 RTK 使用上在距離上的限制。目前，NRTK 的技術分為三種 (1)FKP (Flächen Korrektur Parameter) (2) MAC (Master Auxiliary Concept) (3) VBS (Virtual Base Station)三種技術 (Chen et al., 2011)。

以臺灣地區為例，內政部國土測繪中心於民國 98 年開始正式開放 NRTK 服務，稱作 e-GNSS 系統。此系統即是利用 VBS 虛擬基站技術進行 NRTK 定位，因此亦稱作 VBS-RTK。VBS-RTK 技術概念上選取一個離移動站最近的參考站當作主站，再利用內插出之改正量產製一個虛擬基站，並將此虛擬基站的觀測量回傳給使用者。此虛擬基站與使用者的距離非常接近(2~3 m)，藉由虛擬基站與使用者進行超短基線 RTK 定位，得到公分等級的定位精度(Wanninger, L., 1999)，流程如圖 3.10 表示。

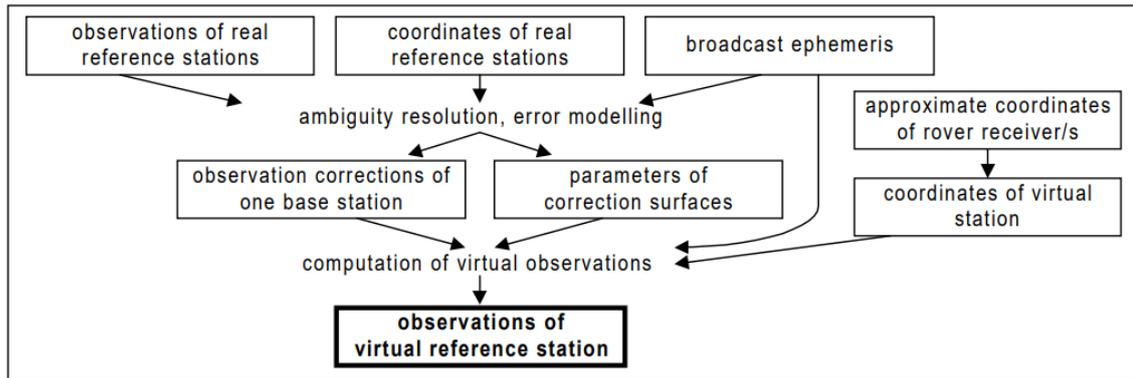


圖 3.10 虛擬參考站 VRS 產製方法(Wanninger, L., 1999)

目前國土測繪中心的 e-GNSS 系統是由 172 個基準站構成，包含 78 個主要站和 94 個備用站，這些站包含國土測繪中心、氣象局、高雄市政府、台南市政府、新竹市政府等機關架設的參考基準站(資料來源:內政部國土測繪中心網頁 <https://egnss.nlsc.gov.tw/>)，基準站分布如圖 3.11 所示。

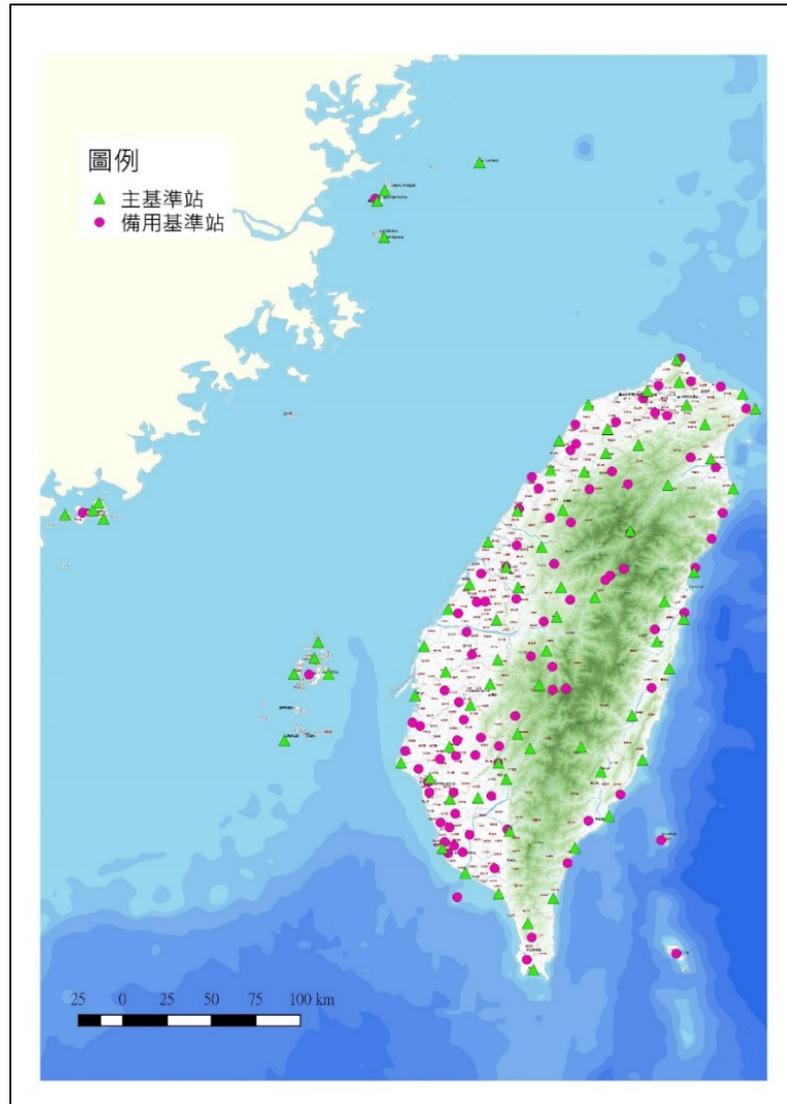


圖 3.11 國土測繪中心 e-GNSS 服務網

另外，VBS-RTK 利用觀測空間表示 (Observation Space Representation, OSR) 進行定位。OSR 概念上是將所有的誤差改正項合併成一數值，再將此改正數值傳輸給使用這進行定位，如圖 3.12 所示。OSR 需要使用者傳輸其大約位置給控制中心，再由控制中心傳輸改正訊息給使用者，是一種雙向傳輸格式；除了雙向傳輸的因素，由於考量到誤差在時間上以及空間上的變化，以及各自衛星訊號內容之

不同，因此 OSR 需逐一時刻且逐一衛星觀測量進行改正方可以實現定位，這使得 OSR 需要大量的傳輸頻寬方可完成定位需求 (Geo++, 2015)，這限制了同時使用者的數量，也侷限了 VBS-RTK 的應用領域。

相較於 OSR，狀態空間表示(State Space Representation, SSR)將各個系統誤差模式化並以模型參數之方式表示。SSR 的優點為不需逐一時刻修改，同時，由於誤差參數與使用者位置無關，因此不需考慮雙向傳輸的需要，這些優點使得 SSR 更能夠有效降低頻寬，且克服了同時需服務大量使用者的窘境。SSR 的實現可稱作 PPP/PPP-AR 以及 PPP-RTK。

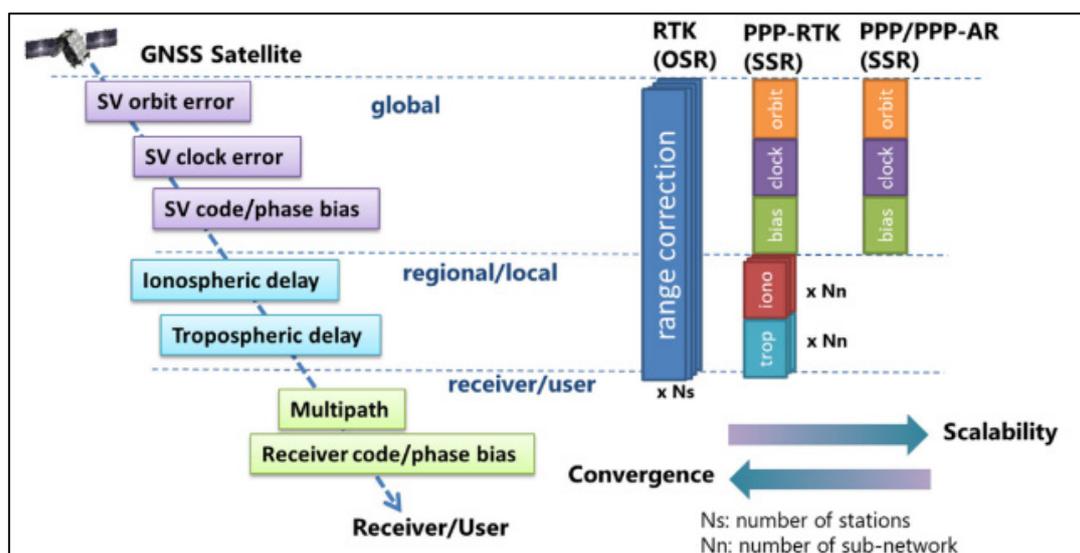


圖 3.12 PPP/PPP-AR、RTK、PPP-RTK 定位方法比較(Hirokawa et al., 2021)

3.3.2 PPP-RTK 定位服務

這裡介紹國土測繪中心的 PPP-RTK 定位服務。此服務可以提供 PPP-RTK 解算，以及線上後處理解算 (SSR-post)。本節將分成三個部

分。第一部分是 PPP-RTK 數學模型，第二是 PPP-RTK 服務建置介紹，第三部分是 SSR-post 介紹。

3.3.2.1 數學模型

如前所述，PPP-RTK 採用了 SSR 的誤差改正方式。SSR 提供衛星軌道、衛星時鐘、衛星硬體延遲量、以及區域電離層與對流層延遲模型參數。以下介紹誤差改正方式，以及 PPP-RTK 的定位數學模型。

首先，SSR 所提供衛星軌道的改正資訊是指向軌道的 radial, along-track, 以及 cross-track 三個分量，並不是指向地心地固坐標系統(Earth-Centered Earth-Fixed, ECEF)的分量(xyz)，如圖 3.13 所示。

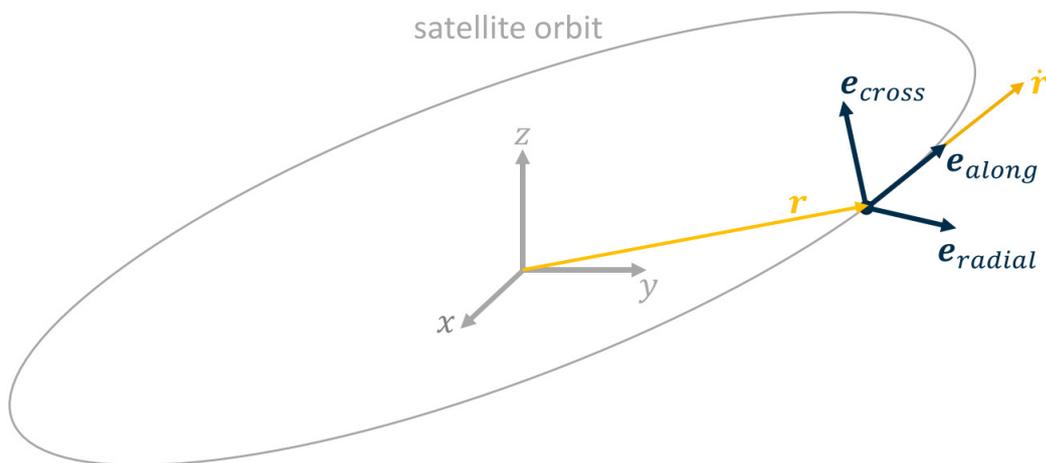


圖 3.13 地心地固系統分量(xyz)與軌道的 radial, along-track, 以及 cross-track 分量(GEO++, 2022)

因此必須將軌道系統的三个分量換至 ECEF 下，如下所示：

$$\delta \mathbf{X} = [\mathbf{e}_{\text{radial}} \quad \mathbf{e}_{\text{along}} \quad \mathbf{e}_{\text{cross}}] \cdot \delta \mathbf{O} \quad (3.4)$$

其中 $\mathbf{e}_{\text{radial}}$ 、 $\mathbf{e}_{\text{along}}$ 以及 $\mathbf{e}_{\text{cross}}$ 分別代表將軌道系統的三个分量換至 ECEF 下的函數，它們分別可由接收儀以及衛星在廣播星曆下位置所計算獲得。符號 $\delta \mathbf{O}$ 為 SSR 所提供之在 radial, along-track, 以及 cross-track 三

個方向的改正分量。 $\delta\mathbf{X}$ 代表 ECEF 下的軌道的改正分量。接下來利用 $\delta\mathbf{X}$ 來修正廣播星曆所提供之衛星位置，如下所示：

$$\mathbf{X}_{\text{orbit}} = \mathbf{X}_{\text{broadcast}} - \delta\mathbf{X} \quad (3.5)$$

其中 $\mathbf{X}_{\text{orbit}}$ 代表經由 SSR 改正後的衛星軌道位置。

SSR 所提供的衛星時鐘誤差改正值是用於修正廣播星曆所提供之衛星時鐘誤差改正數值。如下所示：

$$t_{\text{satellite}} = t_{\text{broadcast}} - \delta C \quad (3.6)$$

其中 δC 代表 SSR 所提供的衛星時鐘誤差改正值。 $t_{\text{broadcast}}$ 代表廣播星曆所提供之衛星時鐘誤差改正數值。 $t_{\text{satellite}}$ 為修正後之衛星時鐘誤差改正數值。

在 SSR 提供的衛星訊號硬體偏差改正中，針對電碼以及相位觀測量，我們可以分別註記為 B_i^s 以及 b_i^s 。其中下標 i 代表不同頻率，上標 s 代表不同衛星。此改正數值可直接使用於觀測量上。

針對 PPP-RTK 服務中的電離層以及對流層延遲量的改正，SSR 所提供的改正資訊可以分成數學模型改正部分以及殘餘數值改正部分 (Hirokawa et al., 2021)。數學部分可提供使用者位置的近似改正，例如 SSR 一般所採用的全球電離層模型以及 Saataamoinen 對流層模型。全球電離層模型是以球諧係數為參數建立出的一種模型，而 Saataamoinen 對流層模型可由壓力、氣溫、等與高程有觀測參數所構成的模型。由於都是參數所構成的模型，因此 SSR 可以透過傳輸上述參數給使用者來達到近似改正之目的。透過數學模型改正部分之後，殘餘數值改正部分可以將更精準的改正數值提供給使用者。原則上，PPP-RTK 服務利用了區域的衛星連續觀測網型來解算出空間解析度

上更精確的電離層以及對流層改正數值，接下來，計算出此改正數值與數學模型改正之差異量(或殘餘數值)，最後將此差異量傳輸給使用者。如此一來使用者在使用了數學模型改正部分後，再配合殘餘數值改正部分，便可以達到精準的電離層以及對流層延遲量的改正。

在透過使用 SSR 提供的衛星軌道改正量、衛星時鐘改正量、衛星訊號硬體偏差改正量、電離層以及對流層延遲改正量之後，使用者端可以利用經驗數學或模型方式來改正 Sagnac 效應、地球潮汐影響、相對論改正、相位纏繞改正、以及天線盤相位中心偏移。若以星間一次差分為例，最後線性化後的數學模型如下表示：

$$\begin{aligned} P_i^{s1s2} &= \mathbf{g}^s \mathbf{x} + e_i^{s1s2} \\ \Phi_i^{s1s2} &= \mathbf{g}^s \mathbf{x} + \lambda_i N_i^{s1s2} + \varepsilon_i^{s1s2} \end{aligned} \quad (3.7)$$

其中 \mathbf{g} 指的是星間差後的接收儀至衛星的單位向量， \mathbf{x} 為使用者位置向量， λ 為波長， N_i^{s1s2} 代表由 $s1$ 以及 $s2$ 所構成之星間差整數週波值， e 以及 ε 代表雜訊。

3.3.2.2 服務內容

國土測繪中心精密單點定位服務採用了德國 Geo++ 所推出的 GNSMART2 軟體系統。此系統能支援多種 SSR 訊息格式的能力，GNSMART2 能夠支援 RTCM SSR、SSRZ、SPARTN SSR、Compact SSR、IGS SSR 等 SSR 資料格式(Geo++, 2022)，因此 GNSMART2 能夠支援多個不同品牌的 GNSS 接收機進行 PPP-RTK 定位，其中較著名的例子有與 Compact SSR 相容的 Magellan 接收儀以及與 SPARTN 相容的 u-blox 接收儀。另外，GNSMART2 可以將 SSR 轉換至 OSR，提供不支援 SSR 訊息的接收機進行 VBS-RTK (即 NRTK) 的定位，如

圖 3.14 以及圖 3.15 所示。本研究中 PPP-RTK 定位測試所對比的 VBS-RTK (NRTK)便是使用 GNSMART2 提供的 OSR 進行定位。

在國際上，u-blox 公司相同地採用了 GNSMART2 建置其 PPP-RTK 服務，稱作 PointPerfect。PointPerfect 主要致力於為汽車市場提供定位應用，同時，u-blox 公司開發的 ZED F9P、ZED F9R 定位晶片已可以支援 PPP-RTK 定位。目前 PointPerfect 服務範圍包含歐美多個地區，未來計畫將服務範圍擴展至亞洲地區。u-blox ZED F9P 也是計畫進行 PPP-RTK 定位測試所使用的實驗設備，其詳細資訊可參考 u-blox 的官網 (<https://www.u-blox.com/en/product/c099-f9p-application-board>)。

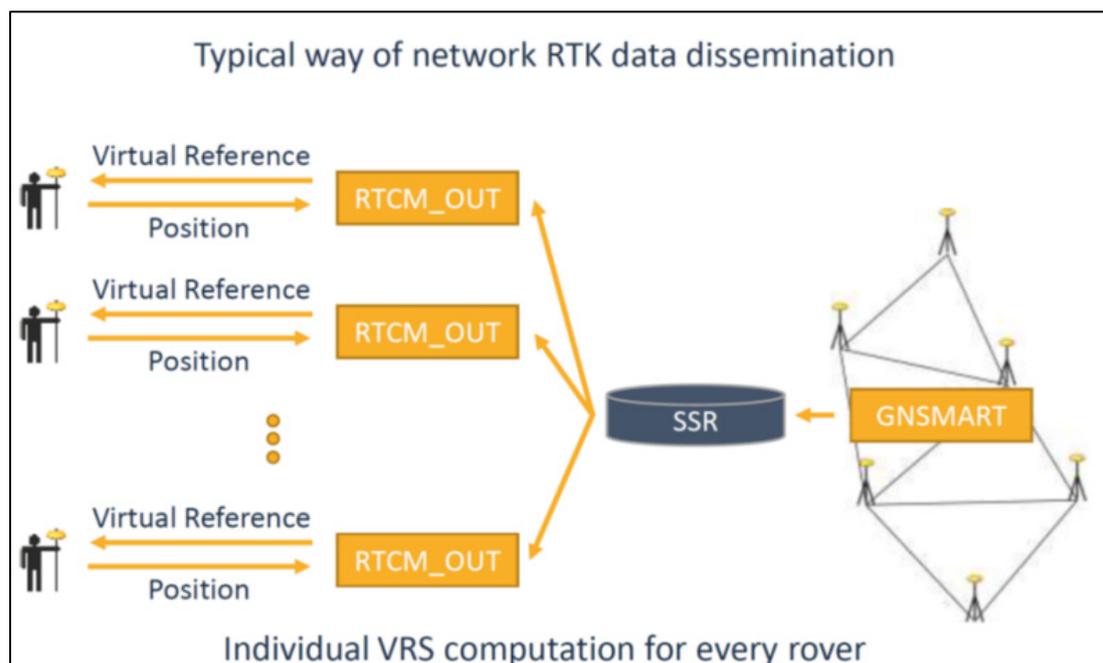


圖 3.14 SSR 轉換至 OSR 提供 NRTK 定位方式(Wübbena et al., 2017)

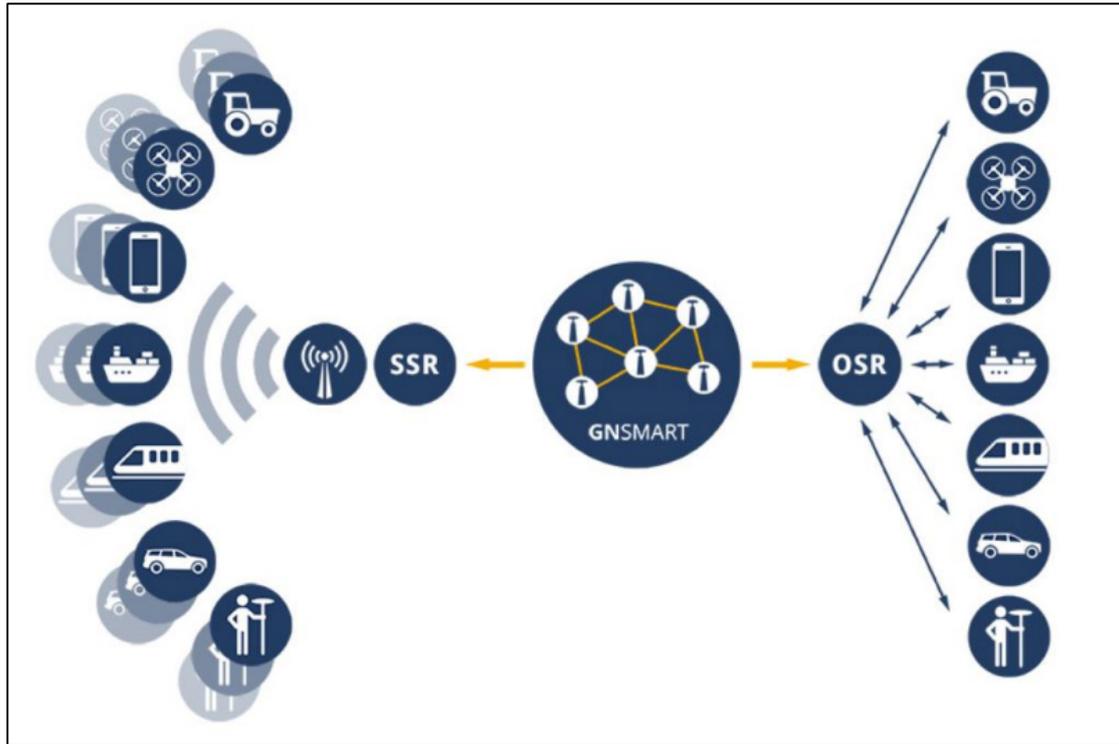


圖 3.15 GNSMART 能同時提供 SSR 與 OSR 訊息(Wübbena, 2017)

國土測繪中心精密單點定位服務採用了均勻分布於台灣本島周圍的衛星連續觀測基準站，如圖 3.16 所示，來產製 SSR 所需改正資訊。連續站分布可以簡單分成三個部分，黑色方格代表北部網，黃色方格代表中部網，紫色方格代表南部網。這些連續站範圍涵蓋臺灣本島，預計能夠將 PPP-RTK 服務提供給全臺灣本島的使用者。連續站的坐標則是定義在 ITRF2020 框架，參考時刻為 2023/6/15。目前國土測繪中心精密單點定位服務暫時只提供 SPARTN SSR 改正資料格式，其餘的 SSR 格式包括 RTCM SSR、SSRZ、Compact SSR、IGS SSR 等尚在建置中，未來將視情況陸續開放使用。

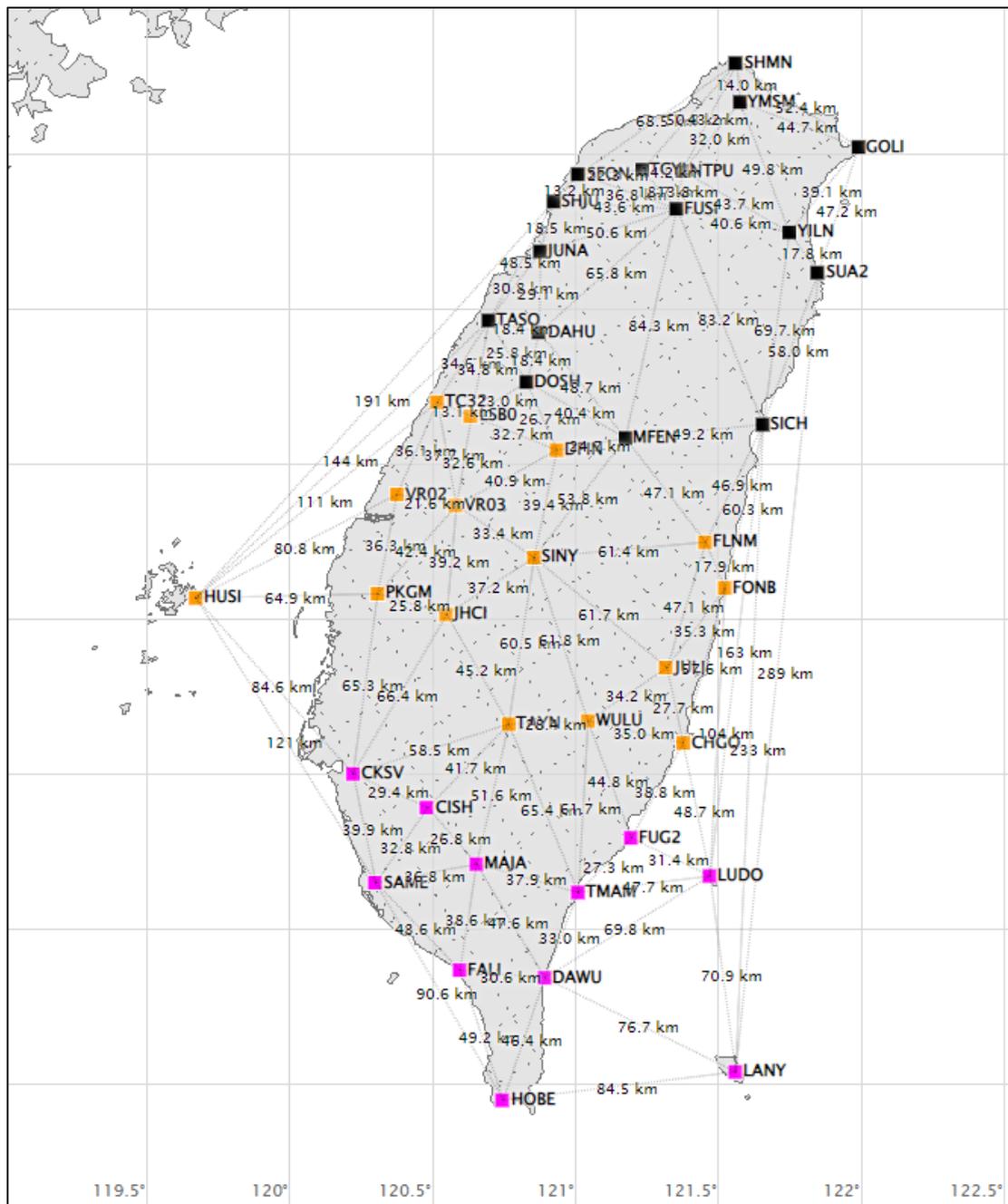


圖 3.16 國土測繪中心精密單點定位服務網

3.3.3 SSR-post 定位服務

SSR-post 服務提供使用者進行後處理 PPP 定位服務，是目前臺灣地區第一個以 SSR 進行後處理定位的線上服務平台。使用者僅需上傳衛星觀測檔(yyy.yyO)於此服務之網頁平台上，之後此服務會自動解

算並將成果回傳給使用者，其概念如圖 3.17。

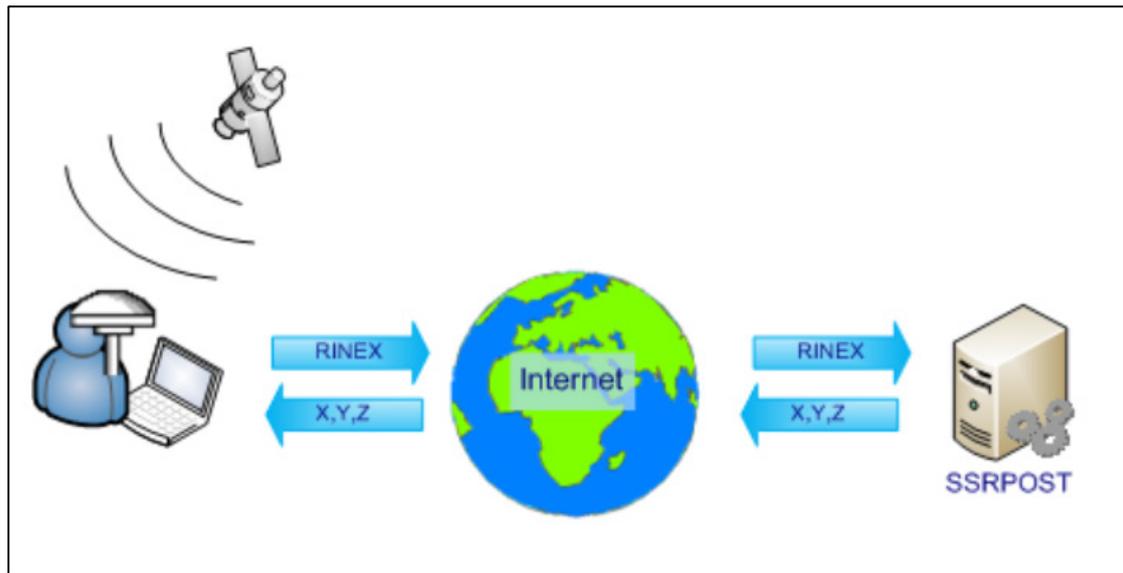


圖 3.17 SSR-post 處理流程概念

由於 SSR-post 服務尚未是一個正式公開的服務，因此無法獲悉詳細內容。然而根據 GEO++提供的有限資料中，SSR-post 服務類似於加拿大自然資源部提供的 Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP)以及台灣自主發展的 Taiwan Online PPP Service (TOPS)(Yang et al. 2024)等的線上 PPP 服務。線上 PPP 服務做為 PPP 技術的一種實現，使用者只需上傳觀測資料以及進行一些簡單的設定便能得到解算成果，這樣的設計免除了使用專業測量軟體所需的複雜操作以及昂貴費用，以 CSRS-PPP 為例，Klatt 以及 Johnson (2017a)推估 CSRS-PPP 為加拿大境內的測量相關產業帶來每年約 4 千 4 百萬加幣的經濟效益，另外 Klatt 以及 Johnson (2017b)指出 CSRS-PPP 至 2017 年已處理了超過兩百萬筆的資料，

且近幾年 CSRS-PPP 在地球科學領域的應用有顯著的增加，尤其在缺乏區域基站的區域，像是南北極、格陵蘭等地，CSRS-PPP 帶來的幫助最大。

線上 PPP 服務為一種使用成本低廉且操作簡易的解算工具，使用者不用下載任何軟體或檔案，只需要提供觀測資料以及進行一些簡單的設定便能得到解算成果；同時不同組織或國家提供之線上 PPP 服務甚至能夠進行 ITRF 以及區域基準之間的轉換，方便進行國土測量以及工程之應用。例如、CSRS-PPP 能夠進行 ITRF 以及 NAD83 之間的轉換，而 TOPS 能夠進行 ITRF 以及 TWD[2010]之間的轉換。與 PPP-RTK 服務不同，線上 PPP 服務是後處理方式產生 PPP 成果，因此基本上都會採用高精度的衛星軌道以及時鐘改正的產品。成果比較上，採用了精密產品的線上 PPP 服務將會優於 PPP-RTK 服務。至於 SSR-post 內部如何以後處理方式產生軌道等改正量，未來等服務內容公開後，將再做釐清。

SSR-post 服務目前解算完成後會產生定位結果報表，供使用者下載檢閱。定位結果報表中，第一頁會先提供輸入觀測檔的基本資訊，包含觀測檔時間間格、RINEX 版本、觀測檔開始與結束時間等，如下圖 3.18 所展現。接著，在報表的下一頁會提供 SSR-post 定位解算成果，包含坐標系統、以度分秒顯示的經緯度坐標、橢球高、ECEF 坐

標等解算成果資訊，如圖 3.19 所示。

Input	
RINEX Observation	KASH122a.24o
RINEX GPS Navigation	
RINEX GLONASS Navigation	
Antenna file	TRM57971d00____.SCIT.atx
Marker name	KASH
Marker number	28
Observation type	
Observation interval	30.0 s
Antenna type	TRM57971.00 SCIT
Antenna S/N	1312118314
Antenna delta height	0.000 m
Antenna delta east	0.000 m
Antenna delta north	0.000 m

Processing	
Processing profile	Rinex3
Application type	Static
Start time	2024-05-01-00:00:00
End time	2024-05-01-23:59:30
Data minutes	1439.5
Solution type	PDGPS
Antenna correction	Type mean (TRM57971.00 SCIT)

圖 3.18 SSR-post 結果報表－觀測檔基本資訊

Result	
System	ETRF89
Result file	KASH.lst
Total Unfixed AR Rate	14.77 %
GPS Unfixed AR Rate	14.63 %
GAL Unfixed AR Rate	16.31 %
GLO Unfixed AR Rate	13.19 %
BDS Unfixed AR Rate	
QZSS Unfixed AR Rate	
GPS Fixed/Tracked Satellites	not available
GAL Fixed/Tracked Satellites	not available
GLO Fixed/Tracked Satellites	not available
BDS Fixed/Tracked Satellites	not available
QZSS Fixed/Tracked Satellites	not available
SBAS Fixed/Tracked Satellites	not available
IRNSS Fixed/Tracked Satellites	not available
Solution Type (Fixed/Float)	not available
Ellipsoidal Coordinates	
Latitude	N 22° 36' 52.17810"
Longitude	E 120° 17' 18.06668"
ell. Height	26.1215 m
Standard deviation latitude	0.0003 m
Standard deviation longitude	0.0002 m
Standard deviation ell. height	0.0005 m
Geocentric Cartesian Coordinates	
X	-2970977.3904 m
Y	5086592.1017 m
Z	2437375.8627 m
Standard deviation X	0.0003 m
Standard deviation Y	0.0004 m
Standard deviation Z	0.0004 m

圖 3.19 SSR-post 結果報表－解算成果

3.3.4 PPP-RTK 與 VBS-RTK 定位服務測試

在 PPP-RTK 與 VBS-RTK 定位服務測試分析中，本計畫使用相同兩台 U-blox ZED F9P 接收儀分別分析 PPP-RTK 與 VBS-RTK 之

定位效能。GNSS 分流器將相同的 GNSS 觀測量同時輸入這兩台接收儀，並使用接收儀專屬之 U-center 軟體來產製定位成果。在 U-center 的設定中，NTRIP client 分別連接至國土測繪中心之登錄點(Mount Point) VRS (VBS-RTK) 及 SPARTN (PPP-RTK)；通訊鮑率(Baud Rate) 設定為 38400；星系設定為 GPS、Galileo 以及 GLONASS 三星系；訊號頻率選取如圖 3.20 所示。研究硬體設備分別如圖 3.21 以及圖 3.22 所示。

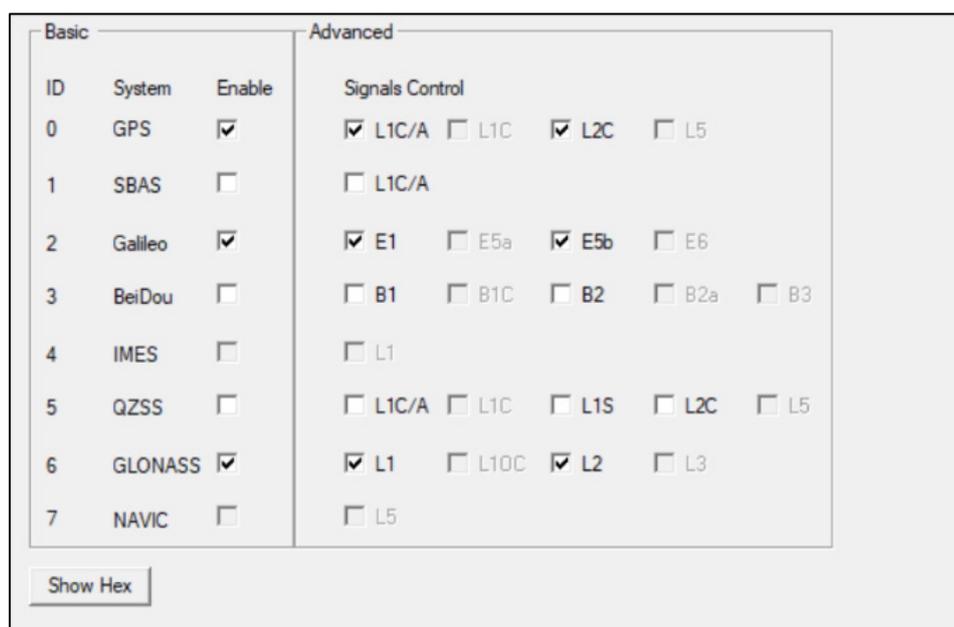


圖 3.20 u-center 星系及頻率選取設定

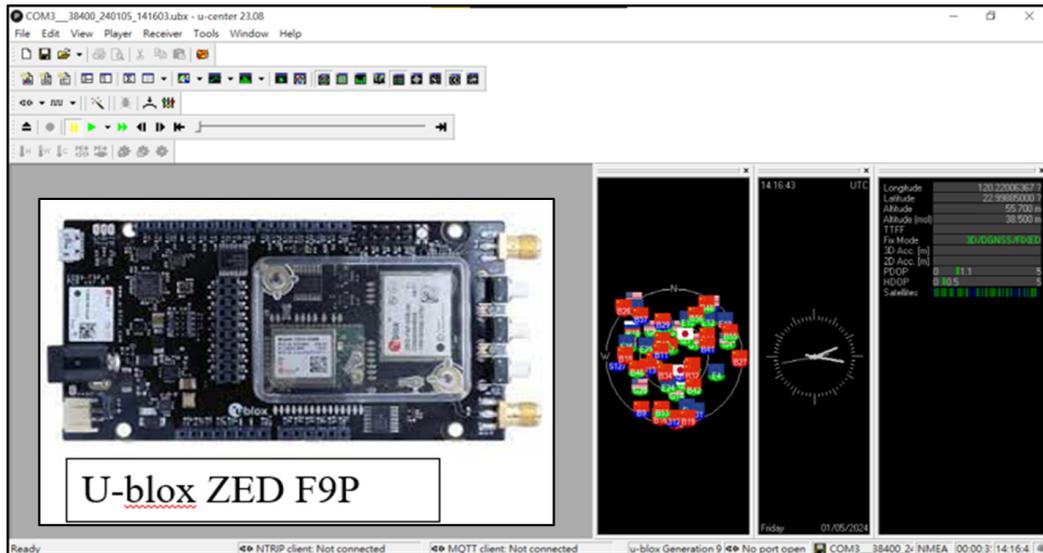


圖 3.21 U-blox ZED-F9P 與其搭配軟體 u-center



圖 3.22 測試環境設置

PPP-RTK 與 VBS-RTK 實測資料是收集自國土測繪中心指定的 5 個測試點位，這些點位均未被列入 PPP-RTK 定位服務衛星連續站網型，因此屬於獨立檢核點。這 5 個點位分別是成功大學測量系館(SPSI)、楠梓地政事務所(NAZI)、鳳山地政事務所(FONG)、玉井地政事務所(YJLO)、前鎮地政事務所(CHIE)，如圖 3.23 所示。每一個點位的觀

測時間至少 2 天、每天至少 12 小時。此 5 站之參考坐標是利用加拿大自然資源部提供的線上精密單點定位服務 CSRS-PPP 解算而得，參考時刻則是與 PPP-RTK 定位服務網之參考坐標一致的 ITRF@2023/6/15。定位成果展示了每時刻在 E、N、U 三個方向的定位誤差，分別以 dE、dN、dU 註記。當整數週波值能夠被可靠地固定時，即得到所謂的固定解(Fixed Solution)，其精度理論上可達公分等級；反之當整數週波值不能夠被可靠地固定時，則稱做浮點解(Float Solution)，其精度一般約為公寸至公尺等級。分析中並採用了固定解百分比(Fixed Rate)，意思為在某一期間的所有時刻數目中，成功達到固定解之時刻數目所占的百分比。

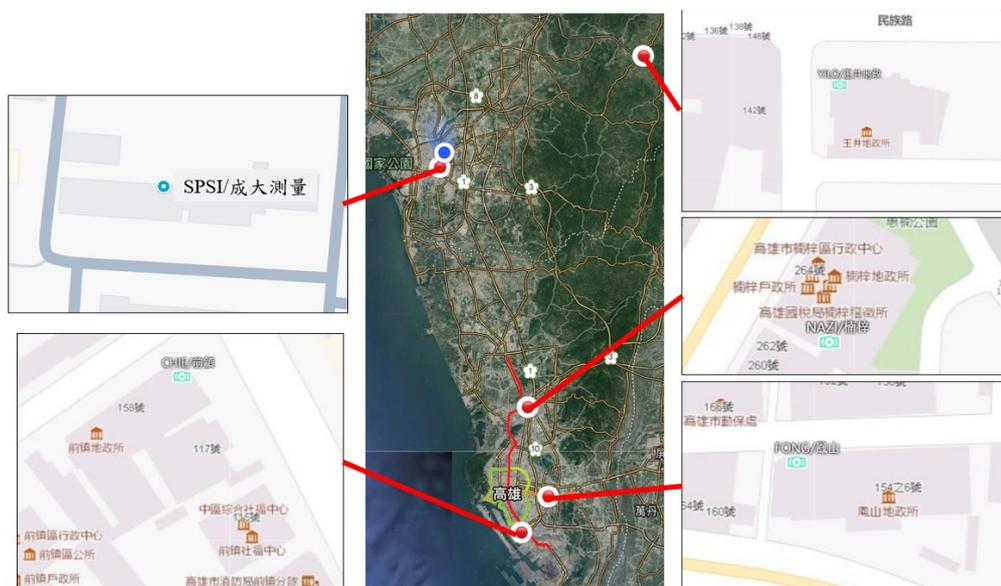


圖 3.23 PPP-RTK 與 VBS-RTK 之測試點位分布圖

3.3.5 SSR-post 定位服務測試

國土測繪中心提供了 33 個基準站的 24 小時觀測資料供本計畫進行 SSR-post 服務測試分析，測試站分布如圖 3.24 所示。本計畫在分析中計算了這 33 個測站的 SSR-post 每日解坐標，並將成果與線上精密單點定位服務 CSRS-PPP 以及 TOPS 的計算成果進行比對。圖 3.25 以及圖 3.26 分別為 CSRS-PPP 以及 TOPS 服務之操作介面。

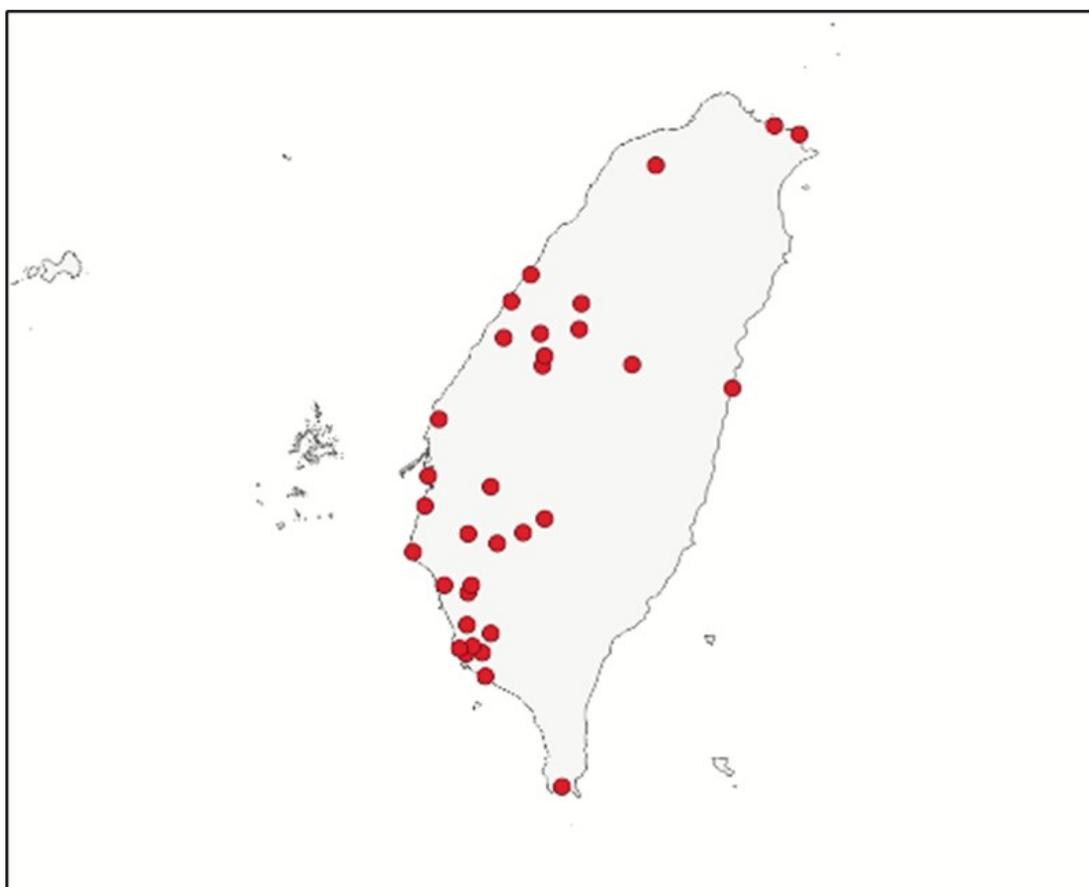


圖 3.24 SSR-post 測試使用的 33 個基準站

Precise Point Positioning

CSRS-PPP update - ITRF2020/IGS20 Reference Frame Adoption

Beginning with GNSS observations collected on **Sunday, 27 November 2022**, CSRS PPP will output ITRF solutions in the IGS20 reference frame. This new frame is the International GNSS Service (IGS) realization of ITRF2020. To learn more about this change and what the impacts may be on your submissions, please visit the [CSRS PPP modernization page](#).

CSRS-PPP service upgrade from version 2 to version 3

On **Tuesday, 20 October 2020 at 11:00 EDT**, the Canadian Geodetic Survey of Natural Resources Canada updated the Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS PPP) service. This CSRS PPP modernization includes PPP with ambiguity resolution (PPP-AR) for **data collected on or after 1 January 2018**. Data collected prior to this date will continue to be processed with the IGS final products without ambiguity resolution. For more information, please visit the [CSRS PPP modernization page](#) or download the [tutorial](#) describing the changes.

CSRS-PPP Files Processed (Last Updated: 2024-07-10 00:38:02 GMT)



► Help for CSRS PPP (Updated 2024-07-03)

Profile Sign out

Email for results (required)

wjadstuff@gmail.com

Processing mode

Static Kinematic

NAD83 ITRF

Epoch (Adopted)

Vertical datum

CGVD2011_

Contribute to passive control maintenance? (What is this?)

Authorize the Canadian Geodetic Survey to archive and publish CSRS-PPP submission and solution

Official Canadian federal or provincial geodetic marker number

► More options

RINEX observation file(s), 300 MB max (.zip, .gz, .Z, .tar, .7z)

Note: You may submit multiple RINEX files in a single .zip or .tar archive

選擇檔案 未選擇任何檔案

Remove plots from CSRS-PPP solution PDF report (Why?)

Submit to PPP

圖 3.25 CSRS-PPP 操作介面(NRCan, 2024)

Taiwan Online Precise Point Positioning Service (TOPS)

中文

Welcome to TOPS! This website is developed by the [Innovative Satellite Positioning Lab](#) in Department of Geomatics at National Cheng Kung University, Taiwan.

TOPS provides post-processed precise point positioning (PPP) service and can offer centimeter-level positioning accuracy in static mode and decimeter-level (or better) positioning accuracy in kinematic mode. PPP-ambiguity resolution (PPP-AR) is supported for observation data collected after January 1, 2019. TOPS currently uses IGS final satellite orbit and clock products, so please make sure that the date of your observation data is at least two weeks prior to the present.

Processing mode

Static Kinematic

Satellite system

GPS GPS+GLONASS

Geodetic datum

ITRF TWD97[2010]

* The epoch of ITRF will be the same as the observation data

* Output in TWD97 is only available to stations within Taiwan Island

OTL file (optional)

未選擇任何檔案

* Accept ocean tide loading (OTL) file in BLQ format

Email for results (required)

Upload observation file

未選擇任何檔案

* Accept RINEX file (.rnx, .*0), 20 MB max

* Support RINEX version 2.11 or later

圖 3.26 TOPS 操作介面(Yang et al., 2024)

第四章 研究成果

4.1 國際間時變參考框架案例分析

由於臺灣法定坐標參考框架TWD97屬於靜態框架且臺灣地區之地殼變動型態較為複雜，國土測繪中心曾經建置TWD97坐標變位模式(內政部國土測繪中心，2013、2016-2019)，藉以修正基本控制點在參考時刻與觀測時刻之間的地殼變動量。根據實際經驗，此變位模式對於大範圍的測繪業務，例如全臺空載光達數值地形模型測製工作有很大的助益，能夠有效提升控制測量之成果品質(內政部國土測繪中心，2020)。

但是對於和土地行政、土地開發等等與民眾權益息息相關的地籍測量業務而言，由於地籍測量的測區範圍較小，除了位於地質敏感區(例如活動斷層或地滑區域)的特殊地段外，測區內地殼變動型態基本上是整體測區的平移，測區內點位的位移是相互一致的，控制點位間的相對精度並不會受到地殼變動的影響，因此在不使用變位模式的情況下依舊可以獲得良好的成果穩定性。對於地籍測量與土地行政的另一個重要特性是界址點坐標的法律地位。現有的地籍測量法規均保障作為土地面積計算依據的界址點坐標不得任意變更，以保障民眾權益。以上兩點因素使得變位模式在地籍測量業務的應用有其限制性。

然而，現實狀況下臺灣地區劇烈的地殼變動乃是不爭的事實，國家坐標參考框架必須要設法因應此一現象。為瞭解國際發展趨勢，本計畫蒐集了紐西蘭、美國、澳洲等國發展時變坐標參考框架之文獻，整理如表4.1，以下分別介紹這些國家的範例。

表4.1 紐西蘭、美國、澳洲發展之時變參考框架

國家	框架名稱	使用的地殼變動模型
紐西蘭	NZGD2000	New Zealand deformation model
美國	Modernized NSRS	Intra-frame velocity model
澳洲	ATRF2014	Australian plate motion

4.1.1 紐西蘭 NZGD2000

如同臺灣的情況，紐西蘭位於板塊運動之邊界，地殼變動劇烈且地震頻繁，因此紐西蘭政府自2000年起即採用半動態框架(semi-dynamic datum)技術，建立 New Zealand Geodetic Datum 2000 (NZGD2000)，作為國家坐標參考框架。在NZGD2000中，控制點坐標僅有在參考時刻(reference epoch)是固定不變的，在其他時刻的控制點坐標則是可以使用參考時刻的公告坐標以及一個變形模型(deformation model) (圖4.1)加以推算出來。相較於靜態框架，NZGD2000的控制點坐標精度可以顯著地維持較長的時間(Blick and

Grant, 2010)。

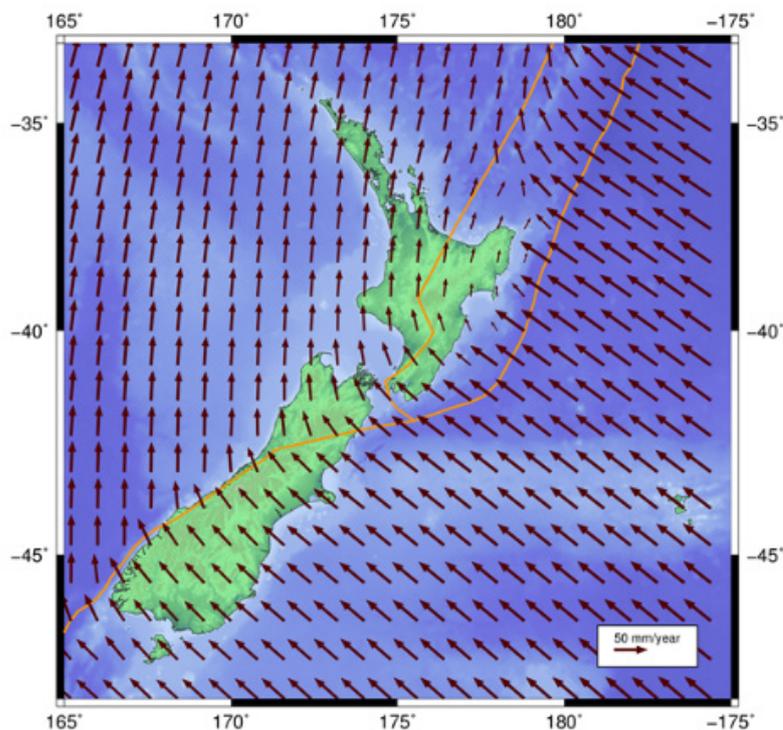


圖4.1 紐西蘭NZGD2000變形模型(<https://www.linz.govt.nz>)

4.1.2 美國 Modernized NSRS

美國政府的現代化(modernized)國家空間參考系統(National Spatial Reference System, NSRS)包含了幾何坐標(geometric coordinate)參考框架以及位能(geopotential)基準兩大類。在幾何坐標參考框架方面，美國的modernized NSRS採用時變架構來減輕控制點坐標隨時間變化之衝擊。由於美國的國土幅員廣闊，涵蓋了4個主要板塊，故美國現代化國家空間參考系統包含了下列兩種要素(NGS, 2021)：

1. 跟隨著板塊運動的4個參考框架(plate-fixed terrestrial reference frames)

2. 框架內速度場模型(intra-frame velocity model, IFVM)

類似於紐西蘭的變形模型，美國的框架內速度場模型IFVM可以用來展現點位坐標的時間序列(圖4.2)，作為平差計算之先驗資訊，和作為坐標轉換的工具(ibid.)。

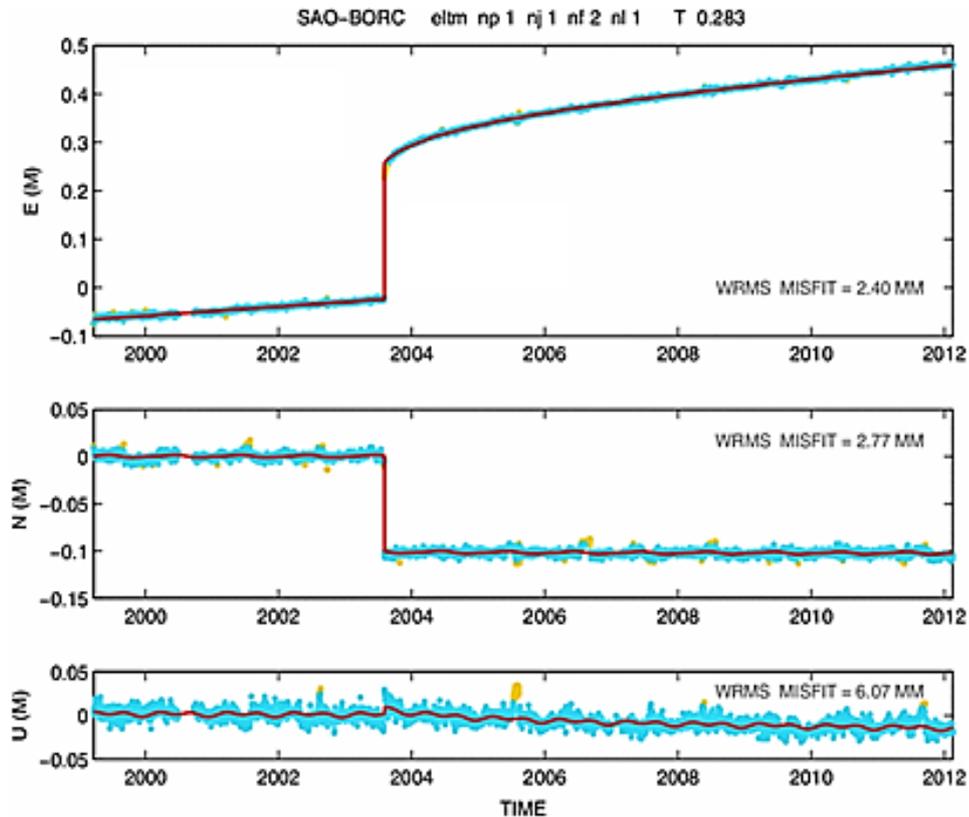


圖4.2 美國的坐標時間序列函數範例(NGS, 2021)

4.1.3 澳洲 GDA2020 與 ATRF2014

澳洲政府於2020年公告一個新的靜態坐標參考框架，稱為GDA2020 (ICSM, 2024)。同時也公布一個時變參考框架，稱為ATRF2014，也就是採用雙框架基準併行的策略(ICSM, 2020)。根據雙框架之定義，GDA2020與ATRF2014都是根據ITRF2014所建立，且參

考時刻均為2020.0，但是GDA2020控制點的坐標是固定在2020.0，而ATRF2014的控制點坐標則會隨著時間變化。這代表兩個框架的控制點坐標在2020.0時刻是重合的，隨即兩者間產生差異，且差異量隨著時間增加而逐漸擴大，而此隨著時間間隔增加而逐漸擴大的差異量就是定義在ITRF的澳洲板塊運動(Australian plate motion)位移量(圖4.3)。

澳洲雙框架策略的最大特色是同時採用一個靜態參考框架以及一個時變參考框架來滿足不同使用者的需求，並維持與國際地球參考框架ITRF同步一致。由於澳洲的國土均位於同一板塊內(澳洲板塊)，地殼變動形式較為單純，因此ATRF2014與GDA2020之坐標轉換是利用十四參數相似轉換(14-parameter similarity transformation)來達成的(圖4.4)。

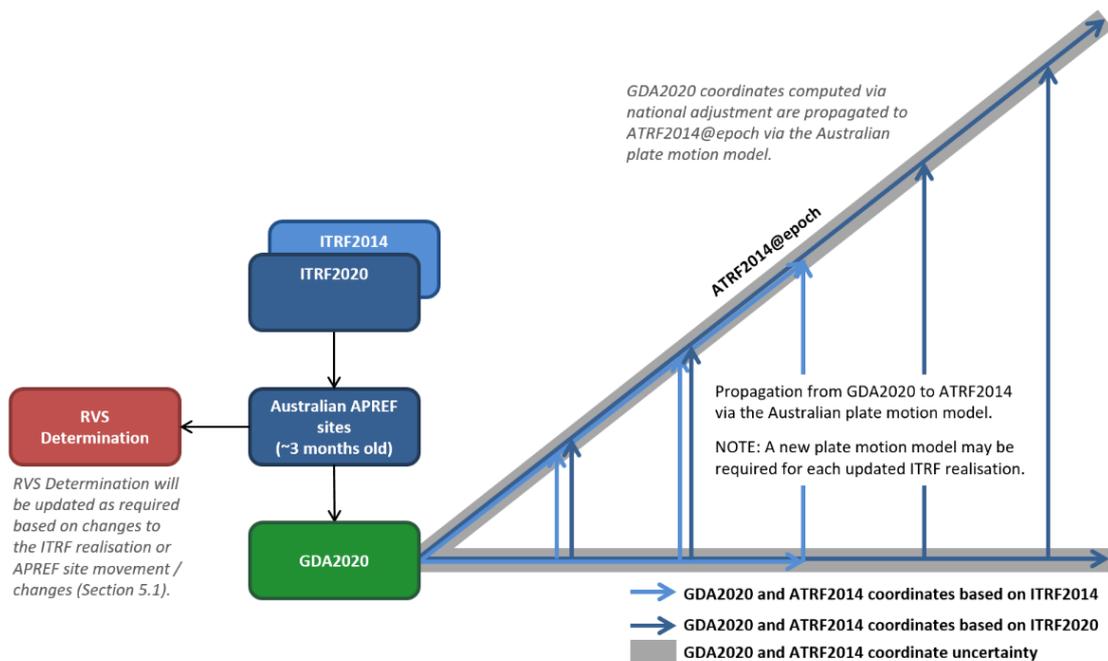


圖4.3 澳洲雙框架基準(ICS, 2020)

Australian Government Geoscience Australia Geodetic Calculators

Home Transform ATRF2014 to GDA2020 Transform GDA2020 to ATRF2014 Batch Processing

Transform ATRF2014 to GDA2020

Use the Australian Plate Motion Model to transform an Australian Terrestrial Reference Frame 2014 (ATRF2014) geographic coordinate (latitude and longitude) to a Geocentric Datum of Australia 2020 (GDA2020) geographic coordinate. You must provide the epoch of the ATRF2014 coordinate.

Coordinates at northern latitudes and eastern longitudes are positive, and those at southern latitudes and western longitudes are negative. Australia is located in the southern and eastern hemisphere.

Please note, that these results are only valid inside the extent of GDA2020.

Multiple coordinates can be transformed using the Batch Processing function at the link above.

Details of the Australian Plate Motion Model and the extent of GDA2020 can be found in the [Geocentric Datum of Australia 2020 Technical Manual](#).

Point Name:

Input Geographic Coordinate Notation: Decimal Degrees Degrees Minutes Seconds Degrees Decimal Minutes

ATRF2014 Latitude:

ATRF2014 Longitude:

ATRF2014 Ellipsoidal Height (in metres):

ATRF2014 Epoch:

Output Geographic Coordinate Notation: Decimal Degrees Degrees Minutes Seconds Degrees Decimal Minutes

圖4.4 澳洲ATRF2014及GDA2020框架坐標轉換
(<https://geodesyapps.ga.gov.au/atrf2014togda2020>)

4.2 發展臺灣時變參考框架可行性分析

臺灣現有坐標參考框架TWD97屬於靜態框架，也就是將控制點

坐標視為固定不變且不隨時間改變(除非地震後重新測量並公告)。但是臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交界，地殼變動型態複雜且地震發生頻繁，導致控制點的位移情況顯著且無法忽視。現有的TWD97框架雖然足以因應較小範圍之測繪業務需求，但對於大範圍之測繪業務，或者是精密導航、地殼變形監測等高精度應用而言仍是不敷需求的。

既然臺灣地區劇烈的地殼變動是明確的事實，國家坐標參考框架必須要設法因應此一現象。國際上最新趨勢為採用時變參考框架來反映地表動態變化的真實情況，也就是將控制點坐標視為時間的函數，坐標值隨時間而變化，不再是固定的常數。

4.2.1 時變參考框架優缺點分析(含探討國內可能之使用者)

時變參考框架的優點是顯而易見的，即可以反映地表動態變化的真實情況，因此國際的最新發展趨勢是不同國家陸續制訂時變參考框架，如4.1節所示。以精密導航為例，導航的目的是決定載具(飛行器、船隻、車輛等)在真實世界中的瞬間位置，故導航成果需要定義在能夠反映地球真實狀況並與國際接軌的坐標框架，即時變參考框架，才能精確地導引載具。另一個範例是隧道、橋樑、水壩等大型建物變形監測以及地震、邊坡滑動、土石流等地表變形監測。在變形監測過程中需要選擇一些位置已知的點位作為控制點，但是這些控制點受到地殼

變動的影響，其位置坐標事實上是隨時間而變化的。唯有採用時變參考框架才能真實描述已知控制點的確切位置，從而獲得正確的監測成果。因此對於大範圍測繪業務、變形監測、精密導航的用戶及科學研究人員來說，都可受惠於使用時變參考框架，以獲得準確的成果。

然而，因為在一個時變參考框架內的控制點坐標是時間的函數，會隨著時間而改變，其缺點即是所有測繪成果的點位(包含圖根點、界址點等)坐標都不再是固定不變的數值。這將產生一種現象，就是以點位坐標為基礎所生成的所有衍生量，包含宗地面積，本質上也都將不再是固定不變的數值。這除了可能導致紀錄衍生量之困擾外，也將對於現有之土地行政及地籍測量等業務產生重大的衝擊。

為因應上述時變參考框架的缺點，一個明顯的解決方案即是澳洲的雙框架策略。雙框架的特色即是同時採用一個靜態參考框架以及一個時變參考框架來滿足不同使用者的需求。例如對於地籍測量來說，因為測區範圍小，地殼變動產生的影響對於大多數測區而言僅是整體平移，並不影響點位之間的相對精度，因此對於重視點位坐標穩定性的使用者而言，可選擇繼續使用靜態參考框架。而對於大範圍測繪、變形監測、精密導航等應用以及科學研究而言，採用時變參考框架方能獲得準確的成果，並且能夠與國際接軌。

在雙框架策略下，制定時變參考框架的另一項優點是在於可同時

掌握靜態參考框架的變形程度。由於時變參考框架的控制點坐標是隨時間變化的，其變化情況即反映靜態參考框架的變形程度，故可用於協助靜態參考框架之維護與更新。

4.2.2 時變參考框架建立及維護機制分析

本計畫提出兩種建立及維護臺灣時變參考框架 TTRF 的作法。第一種方法為傳統衛星定位測量廣為採用的相對定位法，或稱為基線解算法，這種方法也是被澳洲政府採用來建立 ATRF2014 時變參考框架的作法。第二種方法則是近年來在衛星定位測量領域快速發展的精密單點定位法，也稱為 PPP 法。

精密單點定位 PPP 技術逐漸發展成熟，其特色為可直接獲得定義在 ITRF 框架下的高精度定位成果，因此是非常合適的建立臺灣時變參考框架的數據處理方法。

本計畫使用 Bernese 軟體分別以兩種方法解算國內 21 個 CORS 基準站之每日解坐標時間序列(定義在 ITRF 框架下)，其時間範圍為 2020 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日，再接著根據各站之時間序列成果計算相對應之震間速度量，並針對受到地震影響的測站估計同震位移量。

4.2.2.1 相對定位解算成果分析

本節利用式(3.2)估計出相對定位每日解時間序列成果的參考時刻初始坐標、震間速度以及同震位移。這 21 個 CORS 基準站的時間序列成果以及震間速度估值可參閱附件一。

由於受到 2022 年 9 月 18 日的花東地震影響，CHGO 及 WULU 兩站的位移速度產生明顯變化，並伴隨了同震位移的發生，如圖 4.5 所表示。成果顯示 CHGO 及 WULU 站在未受到 2022 年 9 月 18 日的花東地震影響前，位移速度估值的標準差在 E、N、U 方向上均小於 1 mm；然而，地震後的時間序列成果長度不夠長(約一年三個月)，造成地震後速度估值的精度明顯劣於地震前之精度。另外，表 4.3 列出 CHGO 及 WULU 站於花東地震後的同震位移估值。CHGO 站在 E、N、U 方向上的同震位移量估值分別為-198.7、274.8、-64.5 mm，WULU 站則分別為-246.4、-208.1、76.6 mm，且其標準差可達 3 mm 以內。

表 4.2 列出使用式(3.2)估計出的震間速度估值。除了 CHGO 及 WULU 站在地震後的速度標準差是在 3 mm 左右，剩下的 19 站在的震間速度估值在 E、N、U 方向上的標準差均小於 1 mm，這說明了相對定位能夠可靠地估算測站位移速度。

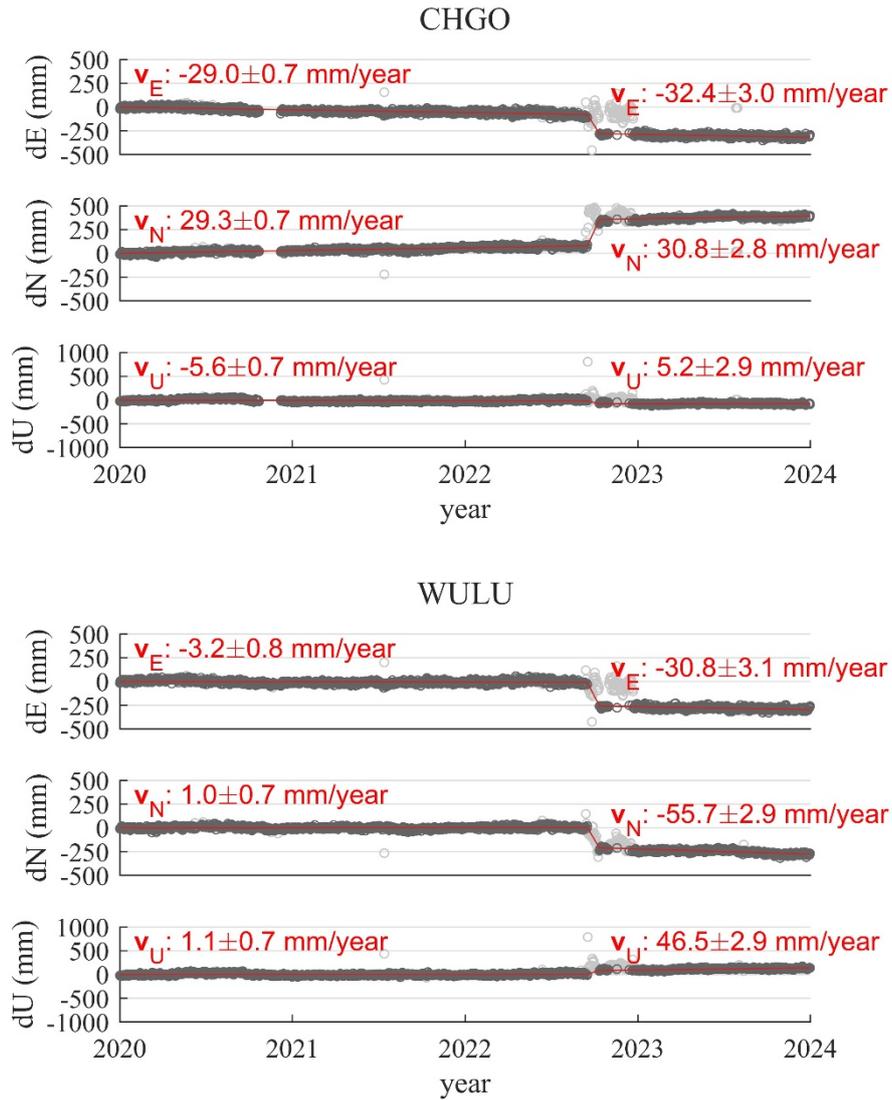


圖 4.5 CHGO 及 WULU 站之相對定位成果坐標時間序列圖，其中縱軸數值已扣除掉初始坐標估值。深灰色圓圈為每日解坐標，淺灰色圓圈為剔除之粗差，紅線為時間序列擬合線。

表 4.2 針對國內 21 個 CORS 基準站，相對定位時間序列成果的震間
速度估值

站名	$v_E \pm \sigma_{v_E}$ (mm/yr)	$v_N \pm \sigma_{v_N}$ (mm/yr)	$v_U \pm \sigma_{v_U}$ (mm/yr)
CHGO (2020/1/1~2022/9/18)	-29 ± 0.7	29.3 ± 0.7	-5.6 ± 0.7
CHGO (2022/9/18~2023/12/31)	-32.4 ± 3.0	30.8 ± 2.8	5.2 ± 2.9
CKSV	10.4 ± 0.4	-17.4 ± 0.4	-4.1 ± 0.4
FLNM	17.9 ± 0.5	-32.3 ± 0.5	0.8 ± 0.5
JUNA	28.8 ± 0.4	-14.9 ± 0.4	-4.4 ± 0.4
KASH	-28.6 ± 0.5	-43.6 ± 0.5	-5.3 ± 0.5
KDNM	-21.2 ± 0.8	-7.1 ± 0.5	-9.3 ± 0.8
KNMN	29.9 ± 0.4	-13.6 ± 0.4	-6.1 ± 0.4
LSB0	30.3 ± 0.4	-19.4 ± 0.4	-8.0 ± 0.4
MZUM	30.5 ± 0.5	-11.5 ± 0.5	-6.9 ± 0.5
PKGM	29.0 ± 0.5	-15.4 ± 0.4	-29.6 ± 0.5
PLIM	14.2 ± 0.5	-25.0 ± 0.5	-4.9 ± 0.5
TACH	33.7 ± 0.5	-18.9 ± 0.4	-3.8 ± 0.5
TATA	10.6 ± 0.6	-31.0 ± 0.6	-15.5 ± 0.6
TMAM	-13.4 ± 0.4	-14.6 ± 0.4	-11.1 ± 0.4
TWVD	33.6 ± 0.4	-14.4 ± 0.4	-8.3 ± 0.4
WIAN	26.6 ± 0.5	-14.1 ± 0.6	-3.2 ± 0.5
WULI	23.5 ± 0.5	-11.6 ± 0.4	2.7 ± 0.5
WULU (2020/1/1~2022/9/18)	-3.2 ± 0.8	1.0 ± 0.7	1.1 ± 0.7
WULU (2022/9/18~2023/12/31)	-30.8 ± 3.1	-55.7 ± 2.9	46.5 ± 2.9
YILN	40.6 ± 0.4	-21.5 ± 0.4	-14.5 ± 0.4
YMSM	30.0 ± 0.4	-15.8 ± 0.4	-2.7 ± 0.4
YUSN	17.3 ± 0.6	-41.0 ± 0.6	-10.6 ± 0.5

表 4.3 相對定位時間序列成果之同震位移估值

站名	E (mm)	N (mm)	U (mm)
CHGO (2022/9/18)	-198.7±2.3	274.8±2.2	-64.5±2.3
WULU (2022/9/18)	-246.4±2.5	-208.1±2.3	76.7±2.3

將表 4.2 中的 CKSV 以及 KMNM 之速度估值與 IERS 之公告值進行比較。表 4.4 為 IERS 在 X、Y、Z 方向上的公告速度值，以及經過式(3.2)轉換後在 E、N、U 方向的速度值。經比較後可以發現 CKSV 以及 KMNM 站的速度估值都是可靠的，E、N、U 三個方向的差異都在 9 mm/yr 以內，詳細數值如表 4.5 所示，說明相對定位技術能夠可靠地獲得速度估值。

表 4.4 IERS 公告之 ITRF2020 速度值

(https://itrf.ign.fr/ftp/pub/itrf/itrf2020/ITRF2020_GNSS.SSC.txt)

站名	v_X (mm/yr)	v_Y (mm/yr)	v_Z (mm/yr)
	v_E (mm/yr)	v_N (mm/yr)	v_U (mm/yr)
CKSV	-19.42	-3.78	-10.74
	18.68	-12.43	1.79
KMNM	-31.01	-10.46	-10.65
	32.25	-11.99	0.63

表 4.5 相對定位時間序列成果速度估值與 IERS 公告值之差異

站名	Δv_E (mm/yr)	Δv_N (mm/yr)	Δv_U (mm/yr)
CKSV	-8.28	-4.97	-5.89
KMNM	-2.35	-1.61	-7.04

4.2.2.2 精密單點定位解算成果分析

國內 21 個站的 PPP 每日解時間序列及震間速度估值列於附件二。由於附件一的相對定位成果剔除了 7.6% 的 RINEX 觀測檔，這些觀測檔在附件二中也被預先剔除。此外有 1.8% 的觀測檔在本計畫設計的 PPP 自動化計算程序中解算失敗，另外有 0.5% 的觀測檔因品質不佳解算失敗，故 PPP 每日解的整體解算成功率為 90.1%。

在這 21 站的成果中，首先發現到 TACH 站之 PPP 時序成果於 2023 年 1 月 2 號後發生明顯跳躍之系統性偏差。經了解後發現原因是 TACH 站於 2023 年 1 月在天線附近加裝了太陽能板支架(參閱圖 4.6)，導致多路徑效應的干擾。因此本計畫僅採用 2023 年 1 月 2 日之前的觀測成果進行參數估計(參閱圖 4.7)。相對定位的時序成果則因為二次差分降低了多路徑效應的影響，所以並未有明顯的偏差(參閱附件一)。



圖 4.6 TACH 站受太陽能板支架影響之情形

接著利用式(3.2)估計 PPP 每日解時間序列成果的初始坐標、震間速度以及同震位移。此 21 站的整體成果可以參閱表 4.6。比較表 4.6 與表 4.2，可以發現相對定位時間序列成果之速度估算精度優於 PPP。這是因為 PPP 在計算上採用零次差分觀測量，因此精密星曆之殘餘軌道誤差、星曆之殘餘衛星時鐘誤差、甚至潮汐的模式誤差都會反映在定位成果上；相較下，相對定位方法採用了二次差分技術，能夠更進一步消去星曆之殘餘軌道誤差、星曆之殘餘衛星時鐘誤差、接收儀硬體延遲誤差、衛星硬體延遲誤差，潮汐影響、以及恢復週波值的整數特性等。

針對 CHGO 以及 WULU 兩站，與相對定位比較，PPP 的時間序列同樣地可以反映出 2022 年 9 月 18 日花東地震的影響，包含同震位

移以及震後速度之改變，如圖 4.8 所表示。表 4.7 列出使用式(3.2)估計出之同震位移估值，若將表 4.7 與表 4.3 相比，可以發現利用 PPP 以及相對定位在平面方向可反映出近似的同震位移，最大的差異只在 7 mm 以內，如表 4.8 所示；而在高程部分，最大差異約為 33 mm。

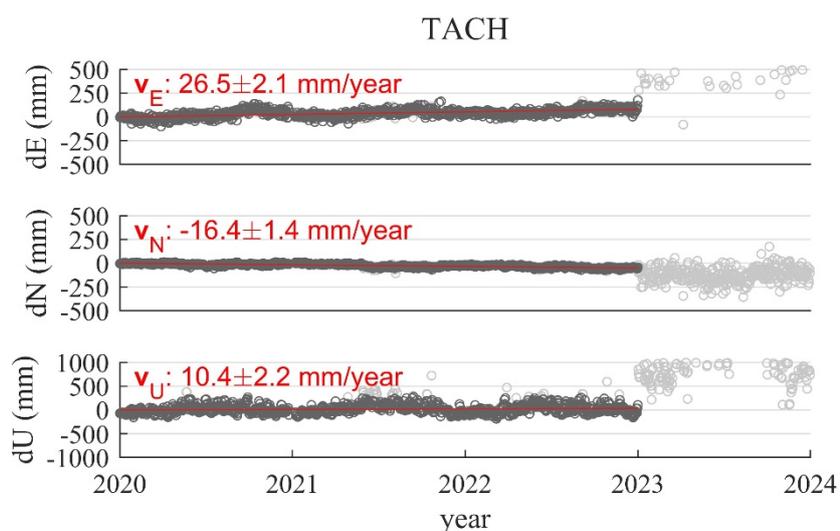


圖 4.7 TACH 站精密單點定位成果坐標時間序列圖，其中縱軸數值已扣除掉初始坐標估值。深灰色圓圈為每日坐標解，紅線為時間序列擬合線。淺灰色圓圈為 2023 年 1 月 2 號後之 PPP 時間序列成果。

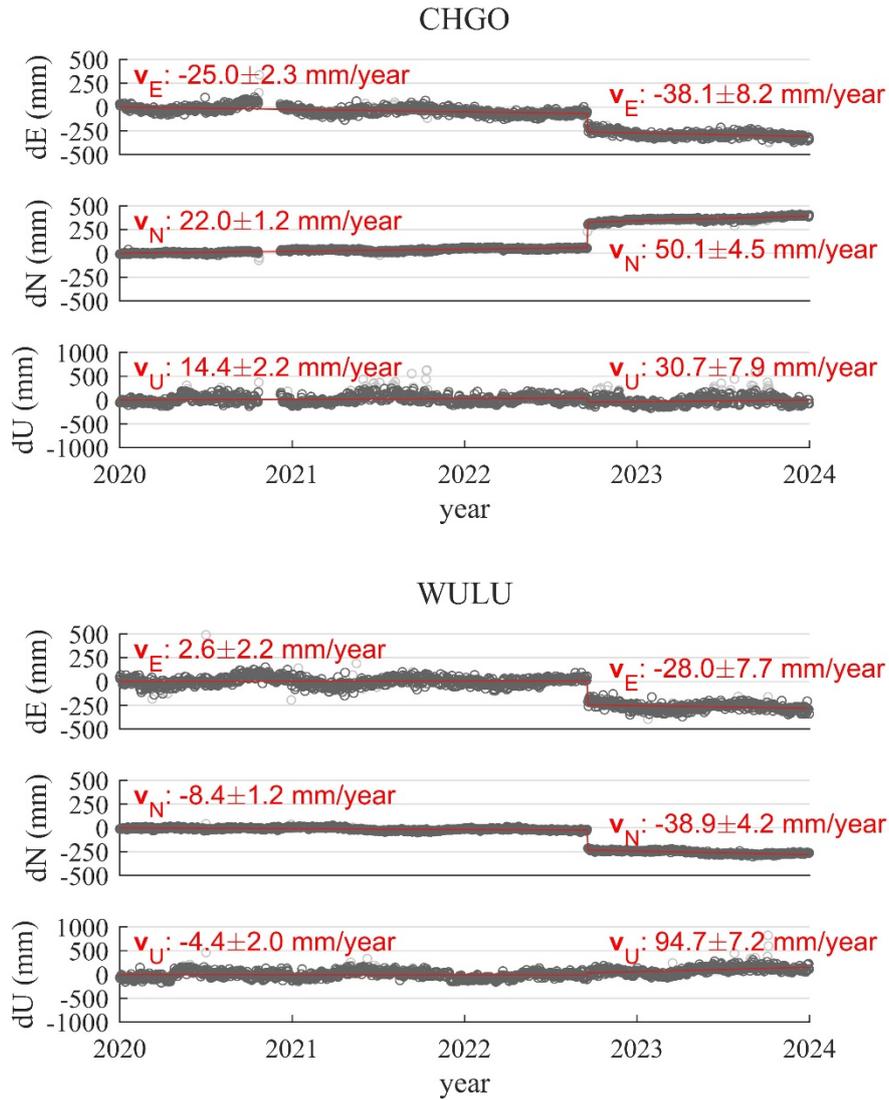


圖 4.8 CHGO 及 WULU 站之精密單點定位成果坐標時間序列圖，其中縱軸數值已扣除掉初始坐標估值。深灰色圓圈為每日坐標解，紅線為時間序列擬合線，淺灰色圓圈為粗差。

表 4.6 針對國內 21 個 CORS 基準站，PPP 時間序列成果之震間速度
估值

站名	$v_E \pm \sigma_{v_E}$	$v_N \pm \sigma_{v_N}$	$v_U \pm \sigma_{v_U}$
CHGO (2020/1/1~2022/9/18)	-25.0 ± 2.3	22.0 ± 1.2	14.4 ± 2.2
CHGO (2022/9/18~2023/12/31)	-38.1 ± 8.2	50.1 ± 4.5	30.7 ± 7.9
CKSV	7.9 ± 1.5	-17.6 ± 0.9	20.9 ± 1.6
FLNM	16.0 ± 1.3	-36.6 ± 0.8	22.1 ± 1.2
JUNA	31.8 ± 1.6	-17.1 ± 1.1	14.8 ± 1.7
KASH	-40.8 ± 2.3	-49.4 ± 1.4	10.9 ± 2.5
KDNM	-56.0 ± 5.3	-20.7 ± 3.5	72.4 ± 6.3
KMNM	31.7 ± 1.4	-13.8 ± 0.9	6.0 ± 1.5
LSB0	33.6 ± 1.1	-1.9 ± 0.7	-9.7 ± 1.1
MZUM	26.8 ± 1.4	-16.6 ± 1.0	20.5 ± 1.4
PKGM	26.3 ± 1.7	-16.9 ± 1.1	-10.1 ± 1.9
PLIM	2.8 ± 2.4	-17.2 ± 2.1	-7.5 ± 2.7
TACH	26.5 ± 2.1	-16.4 ± 1.4	10.4 ± 2.2
TATA	20.7 ± 2.7	-32.4 ± 2.2	-1.4 ± 3.1
TMAM	-7.2 ± 1.6	-16.9 ± 0.9	25.6 ± 1.6
TWVD	31.7 ± 1.5	-16.9 ± 1.0	-12.5 ± 1.4
WIAN	43.7 ± 6.4	-14.0 ± 5.3	-115.5 ± 7.5
WULI	26.0 ± 2.0	-16.0 ± 1.3	14.1 ± 1.9
WULU (2020/1/1~2022/9/18)	2.6 ± 2.2	-8.4 ± 1.2	-4.4 ± 2.0
WULU (2022/9/18~2023/12/31)	-28.0 ± 7.7	-38.9 ± 4.2	94.7 ± 7.2
YILN	36.7 ± 1.2	-26.4 ± 0.7	22.0 ± 1.2
YMSM	32.9 ± 1.6	-19.2 ± 1.1	20.5 ± 1.6
YUSN	20.5 ± 1.0	-41.8 ± 0.7	12.7 ± 0.9

表 4.7 PPP 時間序列成果之同震位移估值

站名	E (mm)	N (mm)	U (mm)
CHGO (2022/9/18)	-193.2 ± 6.3	268.0 ± 3.4	-81.4 ± 6.0
WULU (2022/9/18)	-252.6 ± 5.9	-209.3 ± 3.2	43.5 ± 5.5

表 4.8 PPP 與相對定位時間序列在同震位移估計上之差異

站名	E (mm)	N (mm)	U (mm)
CHGO (2022/9/18)	5.5	-6.8	-16.9
WULU (2022/9/18)	-6.2	-1.2	-33.2

將 CKSV 以及 KNMN 兩站之速度估值與表 4.4 中 IERS 公告的速度值相比，成果如表 4.9 所示。KNMN 站與 IERS 公告值的差異在高程方向在 6 mm/yr 內，平面方向在 2 mm/yr 以內，說明 PPP 時間序列成果確實能夠提供良好的速度估值。然而 CKSV 站在 E 方向及 U 方向表現較差，與 IERS 公告值的差異分別為-10.78 及 19.11 mm/yr。這是由於 CKSV 的天線位於頂樓，鄰近數公尺處有一個大型水塔，其金屬表面易造成較明顯的多路徑效應，說明觀測環境對於 PPP 成果精度有較顯著的影響。由此可知，PPP 技術雖能可靠地估算測站位移速度，但觀測環境品質仍是需要關注的因素。

表 4.9 PPP 時間序列成果速度估值與 IERS 公告值之差異

站名	Δv_E (mm/yr)	Δv_N (mm/yr)	Δv_U (mm/yr)
CKSV	-10.78	-5.17	19.11
KMNM	-0.55	-1.81	5.37

4.2.2.3 建立及維護機制分析

本節首先提出一個建立臺灣時變參考框架 TTRF 之建議方案。在使用的觀測資料方面，目前台灣地區總共有約 400 個 CORS 基準站，其分布如圖 4.9 所示。這些 CORS 站穩定且持續地提供高品質 GNSS 觀測資料，因此本計畫建議運用這些測站作為建立 TTRF 之網型骨架。觀測時間長度則預定至少 5 年，自 2020 年 1 月 1 日起解算這些 CORS 站定義在 ITRF 框架下的每日解時間序列，至 2024 年 12 月 31 日止。

資料解算完畢後隨即利用擬合式(3.2)估計各 CORS 站之初始時刻坐標、速度量及同震位移量，並組成(多個)震間速度模型以及(多個)同震位移模型。由於在此 5 年期間台灣地區應有數個較大規模(例如規模>6.0)的地震，導致震央鄰近測站發生位移，因此會產生多個同震位移場模型；此外由於較大規模地震亦會導致鄰近測站發生速度變化，即地震前後的速度場是不同的，因此也會產生多個震間速度場模型。

在每日解時間序列之計算方法方面，根據 4.2.2.1 以及 4.2.2.2 節的分析，相對定位法整體來說能夠提供比精密單點定位法較高的每日解成果精度(即雜訊較小)。然而就資料運算效率方面來說，相對定位

需要分區組成網型進行基線解算，運算量明顯較大，必須額外使用 IGS 提供的 SINEX 約制資訊方可獲得套合於 ITRF 框架下的解算成果。

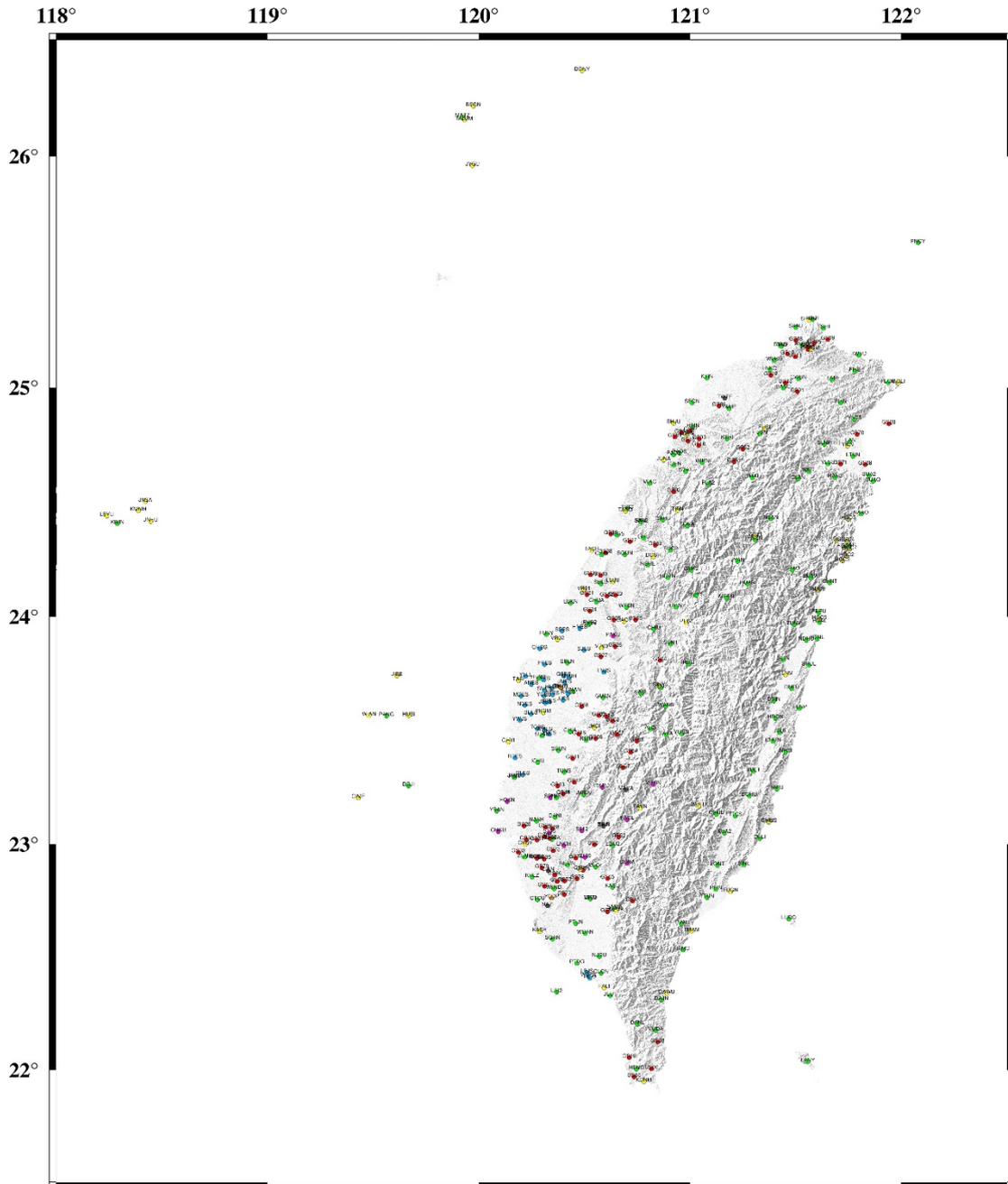


圖 4.9 台灣地區 CORS 基準站分布圖

儘管 PPP 法的每日解成果精度低於相對定位法成果精度，但根據 4.2.2.1 以及 4.2.2.2 節的分析，只要能有效掌握測站的環境因素，排除觀測環境不良的測站，PPP 亦能提供可靠的的測站位移速度估值。此外 PPP 為目前國際的 GNSS 技術最新趨勢，在運算上有更高之效率優勢，因此在處理大量 CORS 基準站觀測資料的情況下，解算效率明顯優於相對定位。權衡之下，本計畫認為相對定位及精密單點定位兩種方法都適用於建立臺灣時變參考框架 TTRF，但整體上應該以 PPP 法為主，相對定位法為輔；也就是運用 PPP 法解算大部分的 CORS 基準站，相對定位法僅運用於少數觀測環境不良的基準站。

在臺灣時變參考框架的維護機制部分，考量到 TTRF 之維護過程要求隨時間之演進，持續估算與更新各個 CORS 基準站之參考時刻坐標、震間速度、同震位移等參數。為此，本計畫建議採用每週解進行參數計算，並於計算每週解的同時進行每日解之剔錯。

對於相對定位法而言，此步驟的主要目的為整合臺灣地區每週解的 SINEX 資訊以及國際 ITRF 框架的每週解 SINEX 資訊。使用 IGS 公告的約制資訊，將臺灣地區的每週解與國際 ITRF 框架進行整體平差計算，以達到與 ITRF 同步的效果。而對於精密單點定位法而言，PPP 成果雖是直接定義在國際 ITRF 框架下，但由於 PPP 每日解成果

之雜訊較大，可利用此步驟有效剔除誤差較大的每日解，以達到提升每週解成果精度的成效。

此作法不但符合隨時間更新參數估算之目的，還可以提升 CORS 基準站資料解算的效率。每週解計算若以最簡單的計算七個每日解的加權平均值，其觀測方程式如下：

$$\begin{aligned} l_i^{\text{East}} &= W^{\text{East}} + v_i^{\text{East}}, \mathbf{N} \sim (0, \Sigma_{\text{East}}) \\ l_i^{\text{North}} &= W^{\text{North}} + v_i^{\text{North}}, \mathbf{N} \sim (0, \Sigma_{\text{North}}) \\ l_i^{\text{Up}} &= W^{\text{Up}} + v_i^{\text{Up}}, \mathbf{N} \sim (0, \Sigma_{\text{UP}}) \end{aligned} \quad (4.1)$$

其中下標 i 代表一週中的七天次序； l_i^{East} 、 l_i^{North} 、 l_i^{UP} 為 E、N、U 三個方向之觀測量； W^{East} 、 W^{North} 、 W^{UP} 為未知數，分別代表三個方向的每週解； v_i^{East} 、 v_i^{North} 、 v_i^{UP} 三個方向之殘差； Σ_{East} 、 Σ_{North} 、 Σ_{UP} 為三個方向的方差協方差矩陣。經最小二乘計算後，我們將可以獲得每週解三方向之估值 \hat{W}^{East} 、 \hat{W}^{North} 、 \hat{W}^{UP} ，殘差估值 \hat{v}_i^{East} 、 \hat{v}_i^{North} 、 \hat{v}_i^{UP} ，及平方和(sum-of-squares)。剔錯將分為兩步驟，第一步驟對平方和進行 Chi-square 統計假說測試以及相鄰兩週的三方向估值進行 T 測試，一旦任一測試發現顯著差異，代表此週中的坐標時間序列發生系統性的偏差，例如發生了地震或天線盤更換事件，若此情況成立則不予剔錯並發出警示；若此情況未成立，則進入第二步驟利用 data snooping 進行剔錯，其中標準化殘差估值大於 3 的每日解將被剔除。

一旦系統在第一步驟中發出警示，則必須人為介入確認是否的確發生了系統性偏差事件(例如地震或更換天線盤)，並進行相對應之處理(例如新增同震位移模型及震間速度模型等)。

在完成剔錯及計算每週解後，即可利用式(3.2)計算擬合參數，流程如圖 4.10 所示。由於每日解的計算需使用 IGS 提供的最終精密產品，故整個流程所需的完成時間應會與 IGS 提供產品的時間延遲相當，約為 12~19 天。

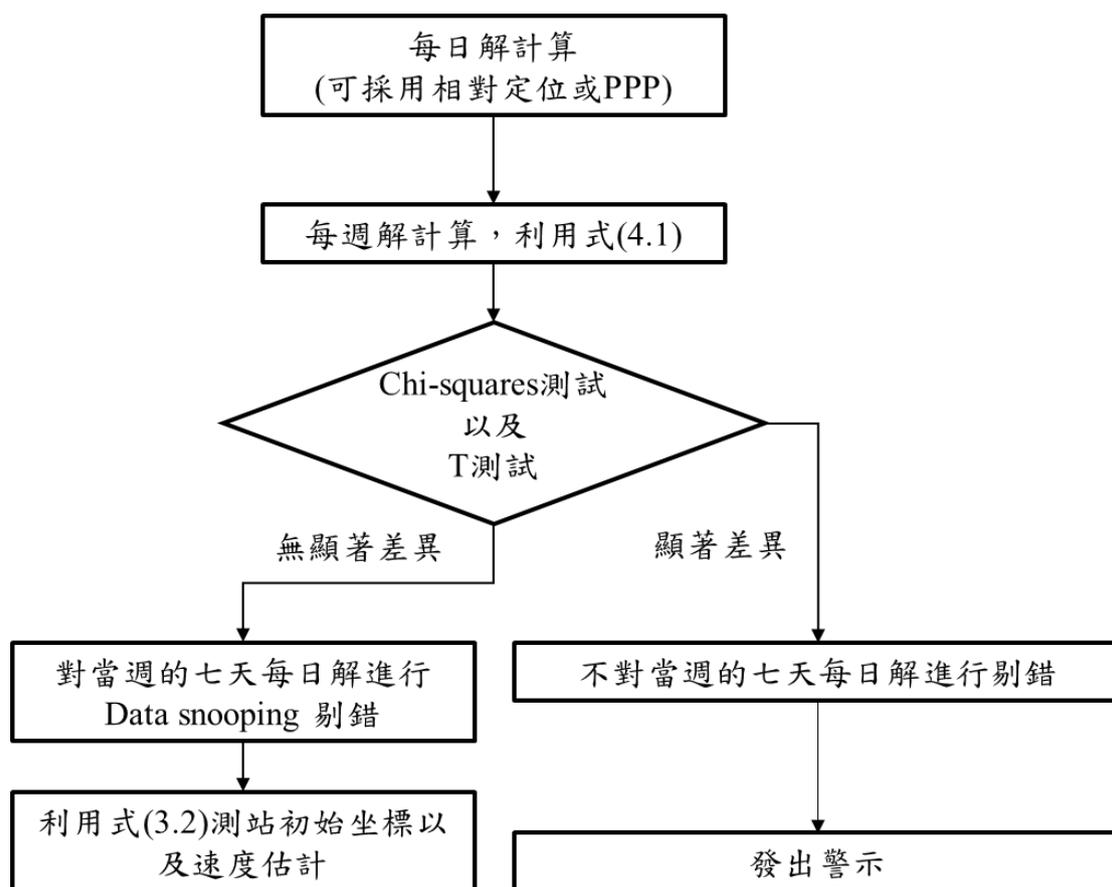


圖 4.10 計算每週解及估算坐標函數參數流程圖

值得本計畫參考與借鏡的範例是，澳洲政府在建立 ATRF 時變框架時採用的解算策略是使用亞太參考框架(Asia-Pacific Reference Frame, APREF)下的 SINEX 約制資訊，而非 IGS 框架下的 SINEX 約制資訊。

亞太參考框架 APREF 是由亞洲地區 28 個國家提供的 718 個 CORS 基準站共同組成的時變參考框架，而在這 718 個 CORS 基準站中，有 488 個是位於澳洲板塊上(ICSM, 2020)。相對地，在 IGS 框架中只有 15 個 CORS 站是位於澳洲板塊上，這導致澳洲政府選擇使用亞太參考框架 APREF 提供的 SINEX 資訊，以更為精確地掌握澳洲板塊的地殼變動狀況。

然而，目前台灣地區的 CORS 基準站無論在 IGS 框架中或是在 APREF 框架中的測站數目都不多，兩者沒有實質上的差異性，因此本計畫建議的解算策略仍是套合至 IGS 框架，而非 APREF 框架。

4.2.3 時變參考框架與法定坐標框架轉換策略分析

本節討論國家法定坐標參考框架 TWD97[2020]與臺灣時變參考框架 TTRF 之間的轉換策略。

在定義完善的兩個靜態坐標框架之間，傳統上常用的坐標轉換方法為七參數相似轉換(7-parameter similarity transformation)，包含 3 個

平移參數($\Delta x, \Delta y, \Delta z$)，3 個旋轉參數(R_x, R_y, R_z)，以及 1 個尺度參數(S)。但由於 TTRF 並非靜態框架，因此適用於 TWD97[2020]靜態框架與 TTRF 時變框架的轉換方法需要額外增加上述七參數的變化速率($\dot{\Delta x}, \dot{\Delta y}, \dot{\Delta z}, \dot{R}_x, \dot{R}_y, \dot{R}_z, \dot{S}$)，再連同原本的七參數，形成十四參數(14-parameter)相似轉換。

國際間使用十四參數相似轉換的範例為澳洲 GDA2020 靜態框架與 ATRF2014 時變框架之間的坐標轉換，具體細節可參閱(ICSMS, 2024) 的第 33 頁以及 4.1.3 節之圖 4.4。

在參數法之外，另一種常用的坐標轉換法是修正網格法(correction grid method)。一般而言，修正網格法可以提供與參數法相同或者更高的精度，因此在國際間被廣泛使用。以 e-GNSS 系統為例，其內建的坐標轉換產生模組(Trimble Transformation Generator, TTG)即是建立在修正網格法之上。此外國土測繪中心歷年辦理之 TWD97 國家坐標系統變位模式委託研究(內政部國土測繪中心，2013、2016-2019)，也都是採用修正網格法來進行。修正網格法係運用(多個)震間速度場模型及(多個)同震位移場模型，以內插計算方式獲得網格點之修正資訊，再進行在兩個時刻之間的坐標轉換，轉換示意如圖 4.11 所示。

由於台灣地區地殼變動的複雜度較高及發生大規模地震的頻率較高，本計畫建議採用修正網格法作為 TWD97[2020]與 TTRF 之間的框架轉換方法。考慮到 TWD97[2020]與 ITRF2014@2020 是一致的，因此 TWD97[2020]與 TTRF 之轉換其實是 ITRF2014(在 2020.0 時刻)與 ITRF2020(在觀測資料時刻)之間的坐標轉換，因此適合採用網格法(唯需先行使用 IERS 公告參數將 ITRF2014 轉至 ITRF2020)。在產製修正網格模型的過程中，本計畫建議考慮下列因素：

- (1) 網格點密度：由於 TTRF 之建立及維護主要是採用全台約 400 個 CORS 站，空間解析度受到限制，因此網格點密度不宜過高(建議採用與台灣大地起伏模型相同的 30 秒網格間距)。同時這代表了轉換精度亦受到限制，說明 TWD97[2020]與 TTRF 之轉換目的應為提供平差計算所需之先驗坐標資訊，而非精確坐標。
- (2) 網格點資訊更新頻率：由於 TTRF 之維護是建立在每週解之計算上，因此理論上震間速度場模型及同震位移場模型的網格點資訊可以很快地獲得更新。但實務上在震間速度場模型方面，應視速度場之實際變化情況決定是僅微調速度估值或是產製新的速度場(如圖 4.11 中的 V 模型)。而在同震位移模型方面，則是應該在發生較大規模地震後，確定震央附近之測站呈現明顯的同震位移，再產製新的同震位移模型(如圖 4.11 中的 D 模型)。

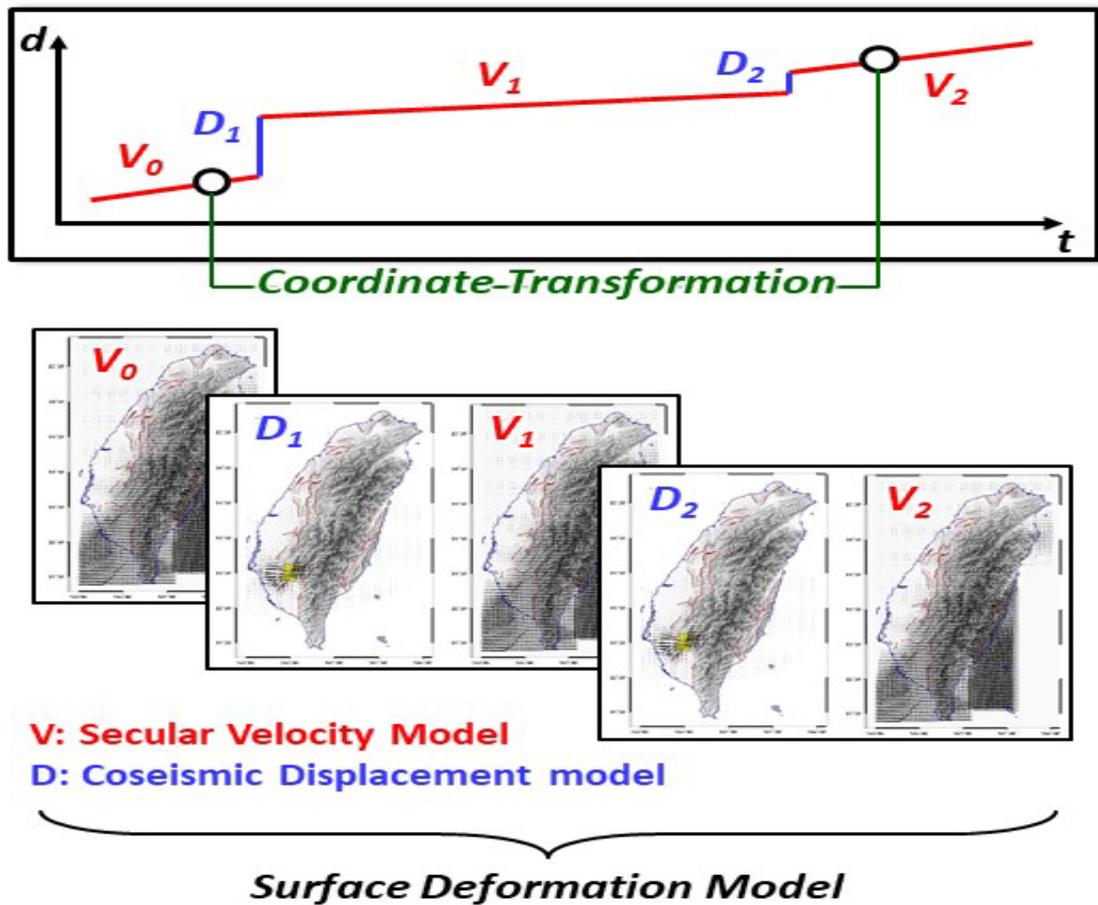


圖 4.11 修正網格法坐標轉換示意圖(Li et al., 2019)。圖中 V_0 、 V_1 、 V_2 等為不同時期之震間速度場模型， D_1 、 D_2 等為不同地震時刻之同震位移場模型

4.2.4 發展時變參考框架國土測繪中心現有資源盤點

國土測繪中心自 2013 年開始辦理「102 年度建置現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式」之前期研究工作，奠定現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式的基礎，並接續辦理「103 年度臺灣地區 GPS 連續觀測站資料解算工作」、「104 年度臺灣地區 GPS 連續觀測站資料解算工作」、「105 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式採購案」，

以整合精進並提升 102 年計畫案成果，同時研提國土測繪基準更新與維護之策略，陸續辦理各項成果的使用推廣與學術研討。並接續在 2017 年辦理的「106 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式」採購案中，除了持續精進「速度網格模型」外，同時延續於 2018 年的「107 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式採購案」納入 2010 年之後主要地震的「同震位移網格模型」，建立臺灣本島地區之 TWD97 變位模式。近年並陸續完成「108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式」、「109 年及 110 年臺灣地區 GNSS 連續觀測站資料解算工作」，以及「111 年度臺灣地區 GNSS 連續觀測站資料解算委託研究案」與「112 年度臺灣地區 GNSS 連續觀測站整合國際框架委託研究案」，得到 GNSS 資料各項解算結果(內政部國土測繪中心，2013~2023)。另外國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統亦自 103 年 1 月 1 日開始以最新公告的 TWD97[2010]坐標系統作為參考依據，陸續建置 e-GNSS[2013]、[2015]、[2017]、[2019]、[2021]坐標系統，並納入新竹的 TWTF 與 TNML 及 TCMS 等 3 個國際 IGS 站參與計算，以測繪中心 LSB0 的 TWD97[2010]公告坐標為最小約制，提供 e-GNSS 基準站坐標，精進 e-GNSS 之服務品質(內政部國土測繪中心，2013~2023)。綜上所述，國土測繪中心目前具備之發展臺灣時變參考框架資源盤點如下：

1. Bernese 相對定位自動化計算程序：這部分程序賦予國土測繪中心執行自動化基線解算之能力，以獲得套合至 ITRF 框架下的相對定位每日解坐標時間序列。
2. TWD97 國家坐標系統變位模式應用軟體：這部分軟體賦予國土測繪中心產生震間速度場模型以及同震位移場模型之能力，作為產製 TWD97[2020]與 TTRF 坐標轉換所需之修正網格之用。
3. Bernese PPP 自動化計算程序：本計畫所開發的 PPP 自動化計算程序可提供給國土測繪中心使用，其操作流程如圖 4.13 所示。這部分程序賦予國土測繪中心執行自動化精密單點定位計算之能力，以獲得定義在 ITRF 框架下的精密單點定位每日解坐標時間序列。
4. 參數估算程式：本計畫所開發的參考時刻初始坐標、震間速度及同震位移參數估算程式亦可提供給國土測繪中心，用於分析 CORS 基準站時間序列成果。

顯然地，上述 Bernese 自動化計算程序、變位模式軟體及參數估算程式均須隨著 Bernese 軟體版本的更新、變位模式與參數估算模式的精進不斷地改善與更新。此外國土測繪中心發展臺灣時變參考框架之規劃事項應至少包含下列要點：

1. 聘用專任人力：建議初期至少需新增 2 位約聘僱專任技術人員，

之後可視狀況調整人力需求。

2. 管理 CORS 基準站觀測數據及 IGS 精密產品資料。
3. 持續解算 CORS 基準站時間序列，並在專屬網站發布 TTRF 網型最新資訊供用戶使用。
4. 持續分析 CORS 基準站時間序列成果。
5. 持續產製修正網格，並在專屬網站提供坐標轉換服務供用戶使用。



圖 4.13 Bernese PPP 自動化計算操作流程

4.3 精密單點定位服務測試分析

針對 PPP-RTK 服務測試，本計畫之成果包含兩個工作項目。第一項為 PPP-RTK 與 VBS-RTK 定位服務測試分析，第二項為國土測繪

中心後處理 SSR 定位服務的平臺(SSR-post)服務測試分析。分別介紹如下。

4.3.1 PPP-RTK 與 VBS-RTK 測試成果分析

本節分別介紹 5 個測試站(SPSI、NAZI、FONG、YJLO 及 CHIE)之 PPP-RTK 以及 VBS-RTK 測試成果。

4.3.1.1 SPSI 站測試成果

測站 SPSI 資料收集於 2 月 1 日及 2 月 2 日，觀測時間皆從當天凌晨 0 點到半夜 12 點，共 24 小時。圖 4.13 顯示出 2 月 1 日當天 VBS-RTK 的定位成果，橫軸為區域時(Local Time)。綠色直方圖為每一小時內的固定解百分比，而藍色直方圖為對應的總電子含量單元(TECU)，若 TECU 越大將造成越大的電離層延遲量。成果顯示整體的固定解百分比將近 100%，顯示出成果非常穩定。同時從圖中得知 VBS-RTK 的固定解百分比與 TECU 值沒有明顯相關性，因為當 TECU 變大時，對應期間的固定解百分比依然維持近 100%。

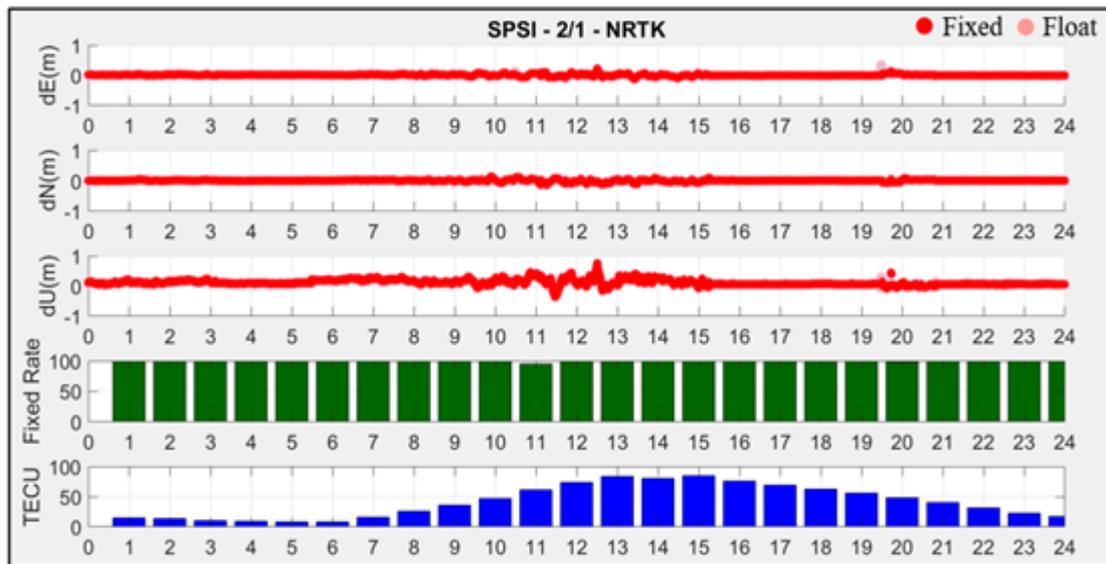


圖 4.13 VBS-RTK 在 SPSI 測站 2/1 的定位成果(橫坐標: 區域時)

圖 4.14 為 PPP-RTK 之成果，我們可以分為早上 10 點前與早上 10 點後兩個時間段作討論，早上 10 點前的定位情況較穩定，此時段間的固定解百分比大約為 70%左右。早上 10 點後定位情況較不穩定，幾乎無法獲得固定解。從當日 TECU 值變化可以發現，在 TECU 值變大時，PPP-RTK 的定位效能受到大量的影響，導致較低的固定解百分比及較大的定位誤差。

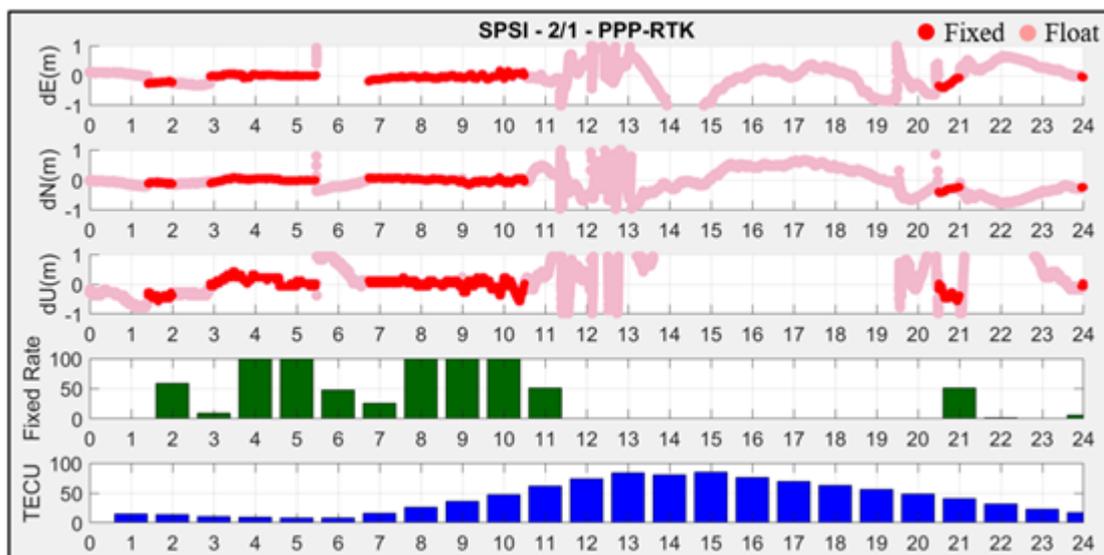


圖 4.14 PPP-RTK 在 SPSI 測站 2/1 的定位成果(橫坐標: 區域時)

表 4.10 統計出 2 月 1 日 VBS-RTK 在 SPSI 測試站的固定解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.028m、0.027m、0.149m；VBS-RTK 的整體固定解百分比為 99.7%。PPP-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.114m、0.103m、0.213m，而 PPP-RTK 的整體固定解百分比為 31.3%。這指出 VBS-RTK 的固定解定位誤差比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 的整體固定解百分比也優於 PPP-RTK。表 4.11 統計出 2 月 1 日 VBS-RTK 在 SPSI 測試站的浮點解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.097m、0.101m、0.160m，而 PPP-RTK 的浮點解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.608m、0.404m、1.723m。這裡指出 VBS-RTK 的浮點解定位誤差皆比 PPP-RTK 小。此外，PPP-RTK 的浮點解定位誤差與固定解定位誤差的差距相當大，在高程方向甚至高達公尺級。

表 4.10 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 SPSI 測站 2 月 1 日的固定解精度

2/1 – SPSI (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	0.008	-0.056
	STD (m)	0.026	0.099
	RMSE (m)	0.028	0.114
N	Mean error (m)	0.003	-0.030
	STD (m)	0.027	0.098
	RMSE (m)	0.027	0.103
U	Mean error (m)	0.117	-0.006
	STD (m)	0.092	0.213
	RMSE (m)	0.149	0.213
Fixed Rate (%)		99.7	31.3

表 4.11 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 SPSI 測站 2 月 1 日的浮點解精度

2/1 – SPSI (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	0.097	-0.116
	STD (m)	0.009	0.597
	RMSE (m)	0.097	0.608
N	Mean error (m)	0.100	-0.062
	STD (m)	0.012	0.399
	RMSE (m)	0.101	0.404
U	Mean error (m)	0.157	1.188
	STD (m)	0.034	1.247
	RMSE (m)	0.160	1.723

圖 4.15 顯示出 2 月 2 日當天 VBS-RTK 在 SPSI 測試站的定位情況跟 2 月 1 日當天同樣非常穩定，整體固定解百分比將近 100%，並且與 TECU 值沒有明顯相關性。由圖 4.16 同樣可以將 PPP-RTK 的定

位情況大致分為早上 10 點前與早上 10 點後兩個時間段作討論，早上 10 點前的定位情況較穩定，此時段的固定解百分比大約 95%左右，早上 10 點後的定位情況較不穩定，幾乎無法穩定獲得固定解，定位誤差也較大。從當日 TECU 值變化可以發現，當 TECU 值開始變大後，PPP-RTK 的定位效能受到大量的影響，導致固定解百分降低比及較大的定位誤差。

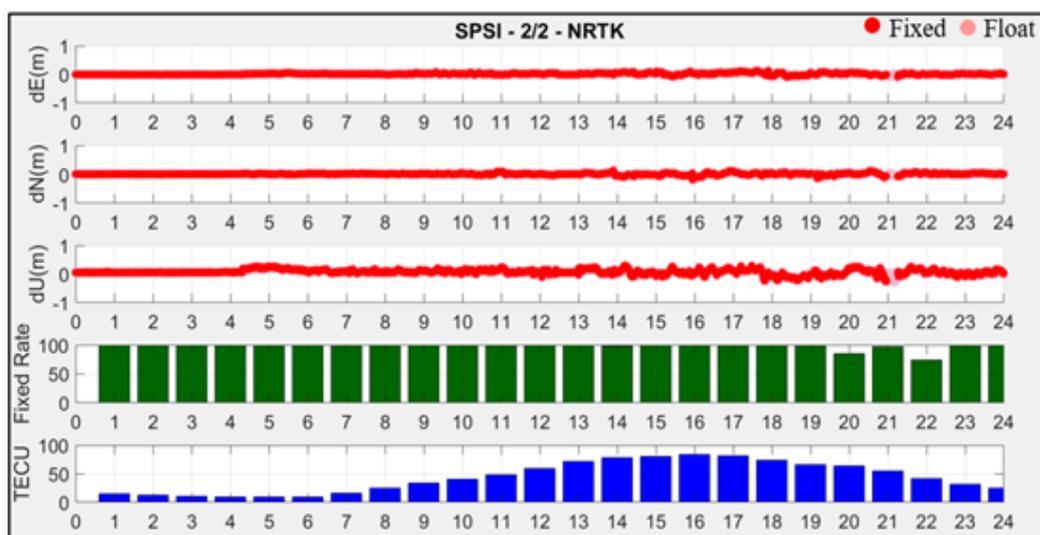


圖 4.15 VBS-RTK 在 SPSI 測站 2/2 的定位成果(橫坐標:區域時)

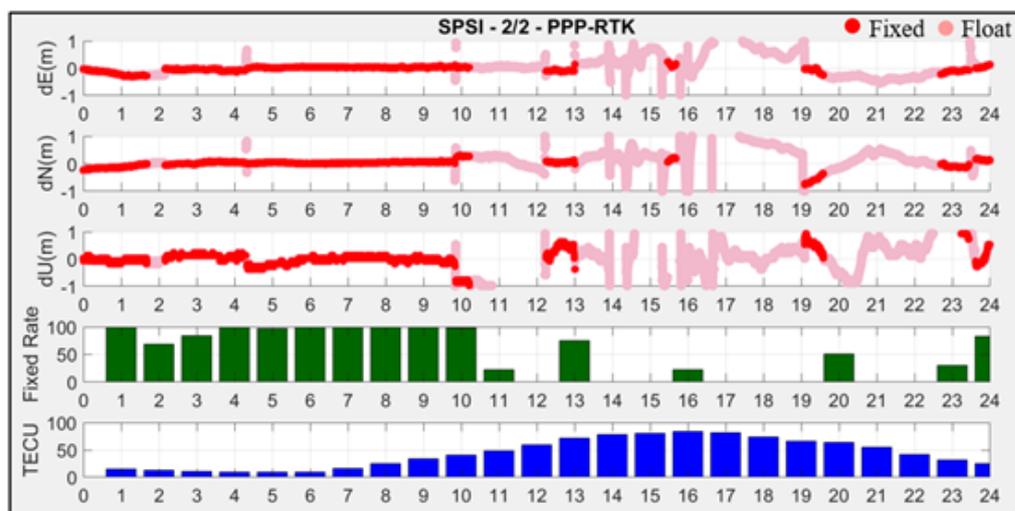


圖 4.16 PPP-RTK 在 SPSI 測站 2/2 的定位成果(橫坐標:區域時)

表 4.12 統計出 2 月 2 日當天 VBS-RTK 在 SPSI 測試站的固定解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.033m、0.031m、0.112m，且整體固定解百分比為 98.1%；PPP-RTK 的固定解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.097m、0.150m、0.454m，且整體固定解百分比為 51.4%。成果顯示 VBS-RTK 的固定解定位誤差在三個方向同樣皆比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 的整體固定解百分比也優於 PPP-RTK。

表 4.13 統計出 2 月 2 日當天 VBS-RTK 在 SPSI 測試站的浮點解的 RMS 在 E、N、U 方向分別為 0.032m、0.037m、0.135m。PPP-RTK 的浮點解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.475m、0.612m、0.854m。成果顯示 VBS-RTK 的浮點解定位誤差在三個方向同樣皆比 PPP-RTK 小，且 PPP-RTK 的浮點解定位誤差與固定解定位誤差的差距同樣相當大。

表 4.12 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 SPSI 測站 2 月 2 日的固定解精度

2/2 – SPSI (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	0.016	-0.032
	STD (m)	0.028	0.092
	RMSE (m)	0.033	0.097
N	Mean error (m)	0.008	-0.009
	STD (m)	0.029	0.150
	RMSE (m)	0.031	0.150
U	Mean error (m)	0.077	0.063
	STD (m)	0.082	0.449
	RMSE (m)	0.112	0.454
Fixed Rate (%)		98.1	51.4

表 4.13 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 SPSI 測站 2 月 2 日的浮點解精度

2/2 – SPSI (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.012	0.155
	STD (m)	0.029	0.449
	RMSE (m)	0.032	0.475
N	Mean error (m)	-0.010	0.356
	STD (m)	0.036	0.498
	RMSE (m)	0.037	0.612
U	Mean error (m)	-0.051	0.013
	STD (m)	0.125	0.854
	RMSE (m)	0.135	0.854

4.3.1.2 NAZI 站測試成果

測站 NAZI 資料收集於 4 月 10 日的凌晨 0 點到下午 3 點、4 月 11 日的早上 8 點到半夜 12 點。圖 4.17 顯示出 VBS-RTK 在凌晨 0 點到清晨 4 點無法獲得固定解，但是清晨 4 點過後則可以獲得穩定的定位成果，期間的固定解百分比大約 75%左右，且變化與 TECU 值沒有明顯相關性。圖 4.18 顯示出 PPP-RTK 的定位情況同樣在凌晨 0 點到清晨 4 點無法獲得固定解，凌晨 4 點到清晨 12 點可以獲得較穩定的固定解，但是 12 點過後則無法幾乎無法獲得固定解。從 TECU 值變化可以發現，中午 12 點過後的 TECU 值開始大幅提升後，PPP-RTK 的定位效能受到大量的影響，導致較低的固定解百分比及較大的定位誤差。

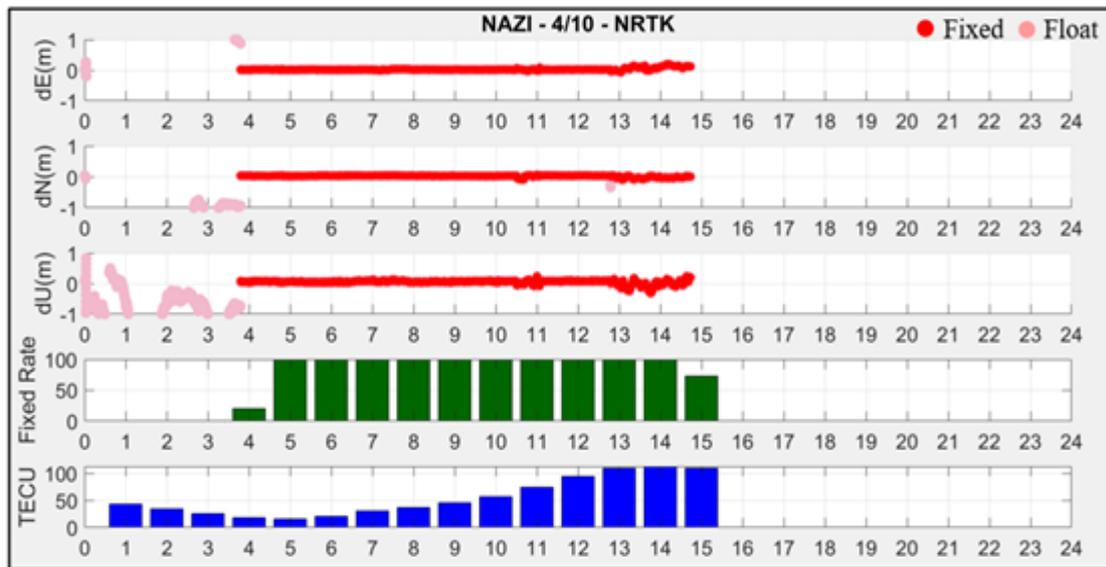


圖 4.17 VBS-RTK 在 NAZI 測站 4/10 的定位成果(橫坐標:區域時)

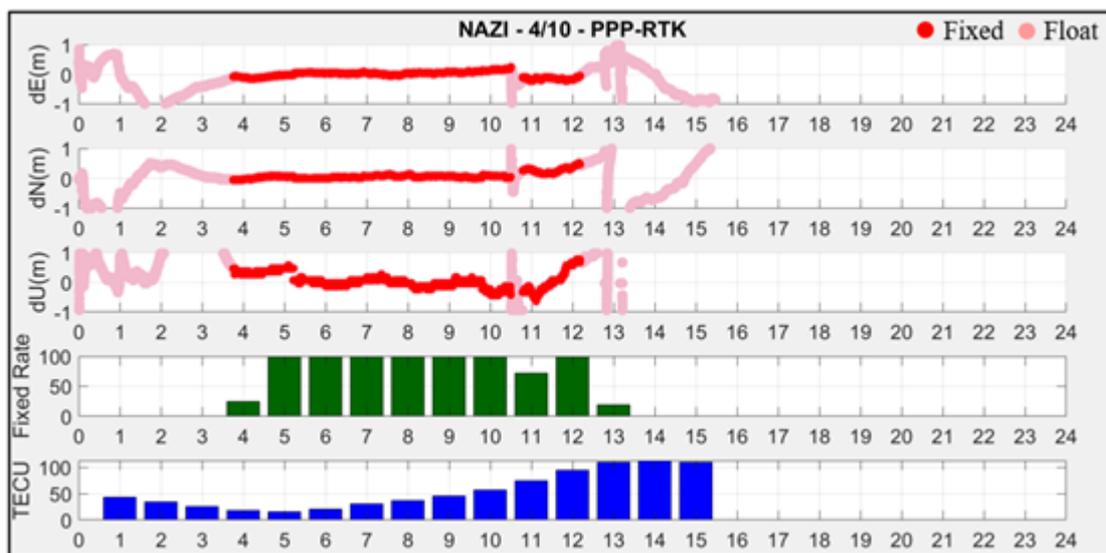


圖 4.18 PPP-RTK 在 NAZI 測站 4/10 的定位成果(橫坐標:區域時)

表 4.14 統計出 4 月 10 日當天 VBS-RTK 在 NAZI 測試站的固定解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.037m、0.028m、0.073m，且 VBS-RTK 的整體固定解百分比為 74.2%。PPP-RTK 的固定解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.099m、0.117m、0.257m，而 PPP-RTK 的整

體固定解百分比只有 51.7%。成果指出 VBS-RTK 的固定解定位誤差比 PPP-RTK 小，同時，VBS-RTK 的整體固定解百分比也優於 PPP-RTK。表 4.15 統計出 4 月 10 日當天 VBS-RTK 在 NAZI 測試站的浮點解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 1.708m、1.435m、1.365m。PPP-RTK 的浮點解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.633m、0.601m、1.196m。指出 VBS-RTK 與 PPP-RTK 的浮點解定位誤差與固定解定位誤差的差距都相當大，甚至高達公尺級的定位誤差。VBS-RTK 在 E、N 方向的浮點解有較 PPP-RTK 更大的定位誤差，而在 U 方向則是 PPP-RTK 的浮點解有較大的定位誤差。

表 4.14 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 NAZI 測站 4 月 10 日的固定解精度

4/10 – NAZI (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.002	-0.031
	STD (m)	0.037	0.094
	RMSE (m)	0.037	0.099
N	Mean error (m)	-0.002	0.060
	STD (m)	0.027	0.101
	RMSE (m)	0.028	0.117
U	Mean error (m)	0.043	0.044
	STD (m)	0.059	0.253
	RMSE (m)	0.073	0.257
Fixed Rate (%)		74.2	52.7

表 4.15 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 NAZI 測站 4 月 10 日的浮點解精度

4/10 – NAZI (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	2.534	-0.337
	STD (m)	0.954	0.535
	RMSE (m)	2.708	0.633
N	Mean error (m)	-2.170	0.013
	STD (m)	1.105	0.601
	RMSE (m)	2.435	0.601
U	Mean error (m)	-0.760	-0.239
	STD (m)	1.134	2.183
	RMSE (m)	1.365	2.196

圖 4.19 顯示出 4 月 11 日當天 VBS-RTK 在早上 8 點到中午 12 點無法獲得固定解，中午 12 點到晚上 11 點則可以獲得較穩定的定位成果，期間的固定解百分比大約 85% 左右，其變化與 TECU 值沒有明顯相關性。圖 4.20 顯示 4 月 11 日當天 PPP-RTK 的定位情況僅在下午 4 點到晚上 7 點之間能獲得固定解，其他時間幾乎無法獲得固定解。

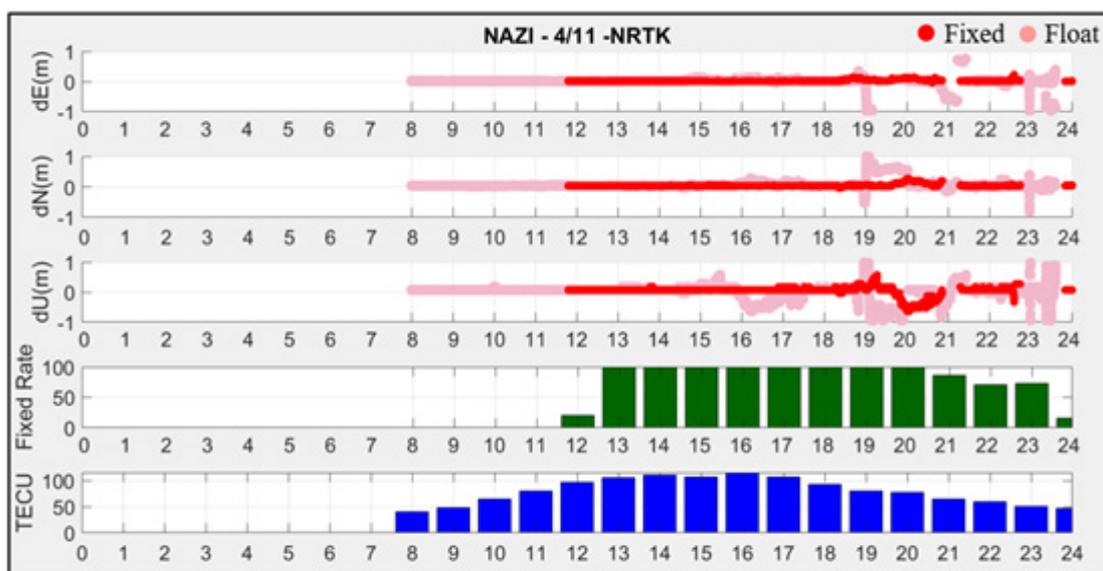


圖 4.19 VBS-RTK 在 NAZI 測站 4/11 的定位成果(橫坐標:區域時)

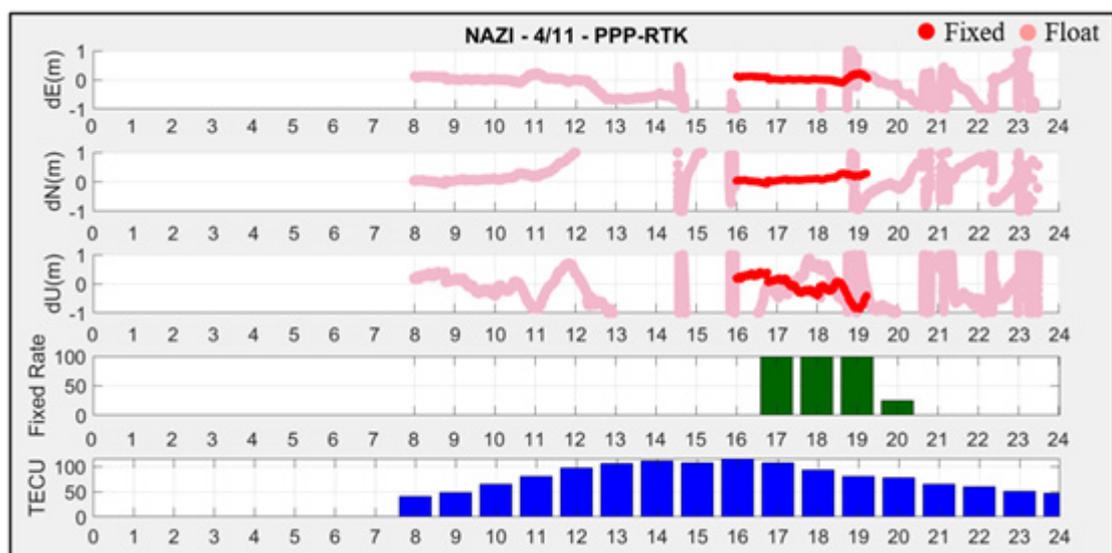


圖 4.20 PPP-RTK 在 NAZI 測站 4/11 的定位成果(橫坐標:區域時)

表 4.16 統計出 4 月 11 日當天 VBS-RTK 的固定解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.044m、0.044m、0.154m，且整體固定解百分比為 85.5%。PPP-RTK 的固定解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.072m、0.115m、0.342m，且整體固定解百分比為 20.6%。成果指出 VBS-RTK 的固定解定位誤差比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 的整體固定解百分比也優於 PPP-RTK。表 4.17 統計出 4 月 11 日當天 VBS-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.991m、0.825m、1.239m，而 PPP-RTK 的浮點解的 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 1.290m、1.384m、1.399m。指出 VBS-RTK 的浮點解定位誤差比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 與 PPP-RTK 的浮點解定位誤差與固定解定位誤差的差距都相當大。

表 4.16 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 NAZI 測站 4 月 11 日的固定解精度

4/11 – NAZI (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.009	0.018
	STD (m)	0.043	0.070
	RMSE (m)	0.044	0.072
N	Mean error (m)	0.019	0.073
	STD (m)	0.039	0.089
	RMSE (m)	0.044	0.115
U	Mean error (m)	0.032	-0.096
	STD (m)	0.151	0.328
	RMSE (m)	0.154	0.342
Fixed Rate (%)		85.5	20.6

表 4.17 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 NAZI 測站 4 月 11 日的浮點解精度

4/11 – NAZI (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.771	-0.965
	STD (m)	0.623	0.856
	RMSE (m)	0.991	1.290
N	Mean error (m)	0.261	1.023
	STD (m)	0.783	0.932
	RMSE (m)	0.825	1.384
U	Mean error (m)	-0.290	-0.753
	STD (m)	1.205	1.179
	RMSE (m)	1.239	1.399

4.3.1.3 FONG 站測試成果

測站 FONG 觀測量收集於 4 月 16 日以及 4 月 17 日，兩日時間皆從當天凌晨 0 點到半夜 12 點，共 24 小時。圖 4.21 顯示出 4 月 16 日 VBS-RTK 的定位情況非常穩定，整體固定解百分比將近 100%，並且

與 TECU 值沒有明顯相關性。圖 4.22 顯示出 PPP-RTK 在清晨 3 點到早上 9 點之間能獲得固定解，但是在其它時間幾乎無法獲得固定解，並且定位誤差也較大。成果指出在較高 TECU 值得時段時，PPP-RTK 的定位效能會受到明顯的影響。

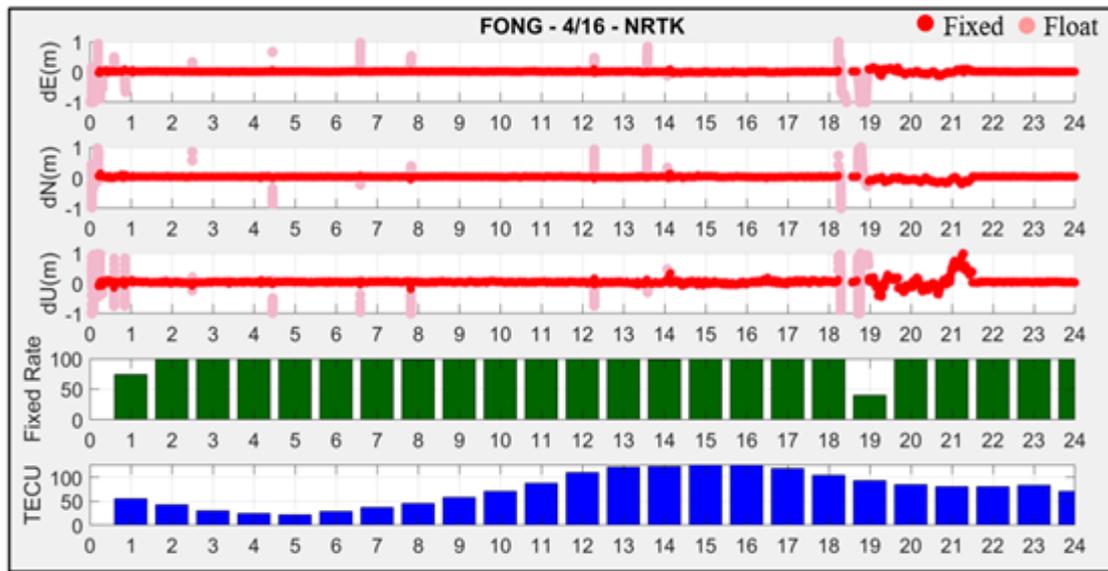


圖 4.21 VBS-RTK 在 FONG 測站 4/16 的定位成果(橫坐標:區域時)

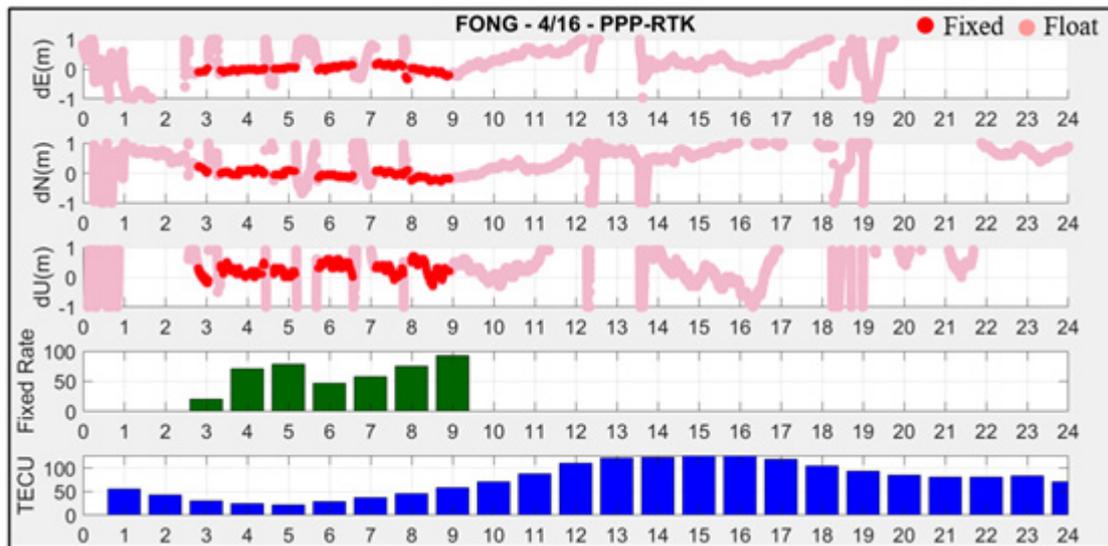


圖 4.22 PPP-RTK 在 FONG 測站 4/16 的定位成果(橫坐標:區域時)

表 4.18 統計出 4 月 16 日當天 VBS-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.027m、0.041m、0.110m，並且其整體固定解百分比為 96.2%。PPP-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.099m、0.130m、0.351m，而整體固定解百分比只有 18.4%。成果顯示 VBS-RTK 的固定解定位誤差比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 的整體固定解百分比也優於 PPP-RTK。表 4.19 統計出 4 月 16 日當天 VBS-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 1.456m、1.511m、3.787m，而 PPP-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 1.296m、0.956m、1.998m，指出 VBS-RTK 與 PPP-RTK 的浮點解定位誤差高達公尺級的定位誤差。

表 4.18 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 FONG 測站 4/16 的固定解精度

4/16 - FONG (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.010	-0.019
	STD (m)	0.024	0.098
	RMSE (m)	0.027	0.099
N	Mean error (m)	-0.013	-0.068
	STD (m)	0.039	0.111
	RMSE (m)	0.041	0.130
U	Mean error (m)	0.043	0.216
	STD (m)	0.102	0.277
	RMSE (m)	0.110	0.351
Fixed Rate (%)		96.2	18.4

表 4.19 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 FONG 測站 4/16 的浮點解精度

4/16 - FONG (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-1.070	0.749
	STD (m)	0.989	1.058
	RMSE (m)	1.456	1.296
N	Mean error (m)	-0.715	0.686
	STD (m)	1.332	0.667
	RMSE (m)	1.511	0.956
U	Mean error (m)	-0.298	1.432
	STD (m)	3.776	1.394
	RMSE (m)	3.787	1.998

圖 4.23 顯示出 4 月 17 日當天 VBS-RTK 從凌晨 0 點到晚上 9 點的時段能獲得穩定的定位成果，晚上 9 點後則無法獲得固定解，此定位成果與 TECU 值沒有明顯相關性。圖 4.24 顯示出 PPP-RTK 只能在較低 TECU 期間，也就是早上 5 點到早上 8 點，能夠獲得固定解。

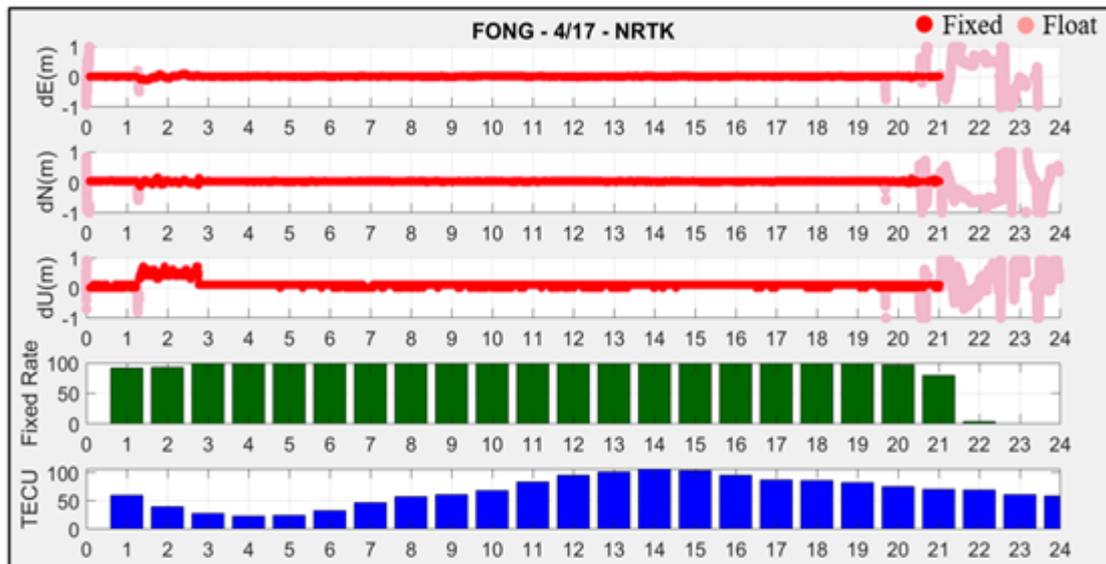


圖 4.23 VBS-RTK 在 FONG 測站 4/17 的定位成果(橫坐標:區域時)

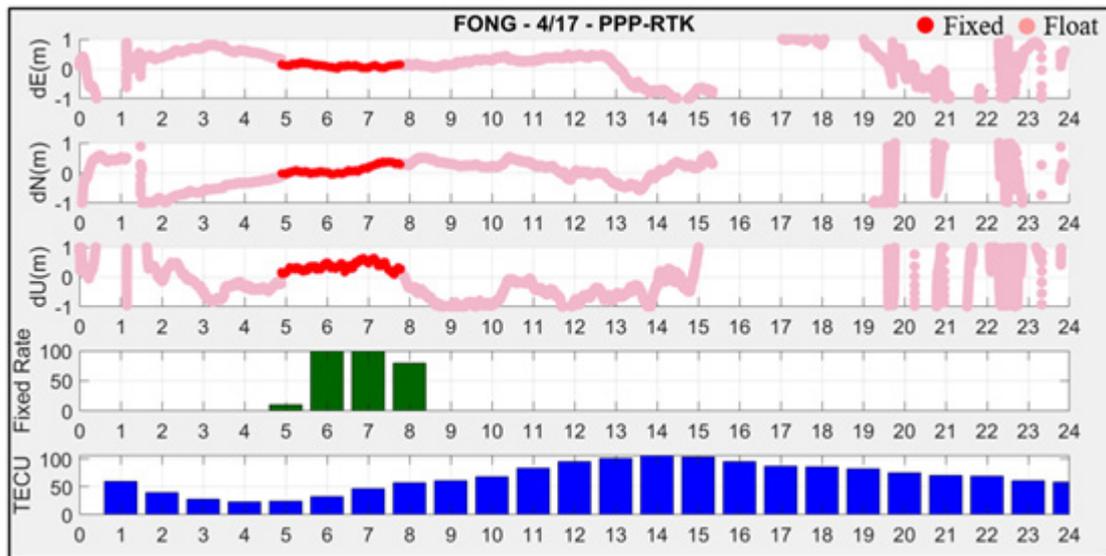


圖 4.24 PPP-RTK 在 FONG 測站 4/17 的定位成果(橫坐標:區域時)

表 4.20 統計出 4 月 17 日當天 VBS-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.019m、0.018m、0.158m，且整體固定解百分比為 86.2%。PPP-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.093m、0.153m、0.363m，而整體固定解百分比為 11.1%。成果指出 VBS-RTK 的固定解定位誤差比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 的整體固定解百分比也優於 PPP-RTK。表 4.21 統計出 4 月 17 日當天 VBS-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 1.412m、0.898m、4.068m，PPP-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.770m、1.508m、3.262m。指出 VBS-RTK 與 PPP-RTK 的浮點解定位誤差可高達公尺級。

表 4.20 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 FONG 測站 4/17 的固定解精度

4/17 - FONG (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.009	0.080
	STD (m)	0.017	0.046
	RMSE (m)	0.019	0.093
N	Mean error (m)	-0.001	0.074
	STD (m)	0.018	0.134
	RMSE (m)	0.018	0.153
U	Mean error (m)	0.115	0.340
	STD (m)	0.108	0.128
	RMSE (m)	0.158	0.363
Fixed Rate (%)		86.2	12.1

表 4.21 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 FONG 測站 4/17 的浮點解精度

4/17 - FONG (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.124	0.319
	STD (m)	1.407	0.701
	RMSE (m)	1.412	0.770
N	Mean error (m)	-0.433	-0.677
	STD (m)	0.787	1.348
	RMSE (m)	0.898	1.508
U	Mean error (m)	1.599	1.447
	STD (m)	3.741	2.924
	RMSE (m)	4.068	3.262

4.3.1.4 YJLO 站測試成果

測站 YJLO 測站觀測量收集於 5 月 28 日的早上 10 點到半夜 12 點、以及 6 月 1 的凌晨 0 點到半夜 12 點。圖 4.25 顯示出 5 月 28 日當天 VBS-RTK 在早上 10 點到晚上 10 點可以獲得固定解，晚上 10

點過後則無法獲得穩定的定位成果，整體固定解百分比大約為 85%左右，其變化與 TECU 值沒有明顯相關性。圖 4.26 顯示出 PPP-RTK 在早上 11 點到下午 5 點部分時段可以獲得固定解，但是下午 5 點到下午 9 點則幾乎無法獲得固定解，這與 NAZI 站在 4 月 11 日當天的情況類似。原因是在 TECU 值較高的下午時段，所以整體的固定解百分比比較低，大約 45%。

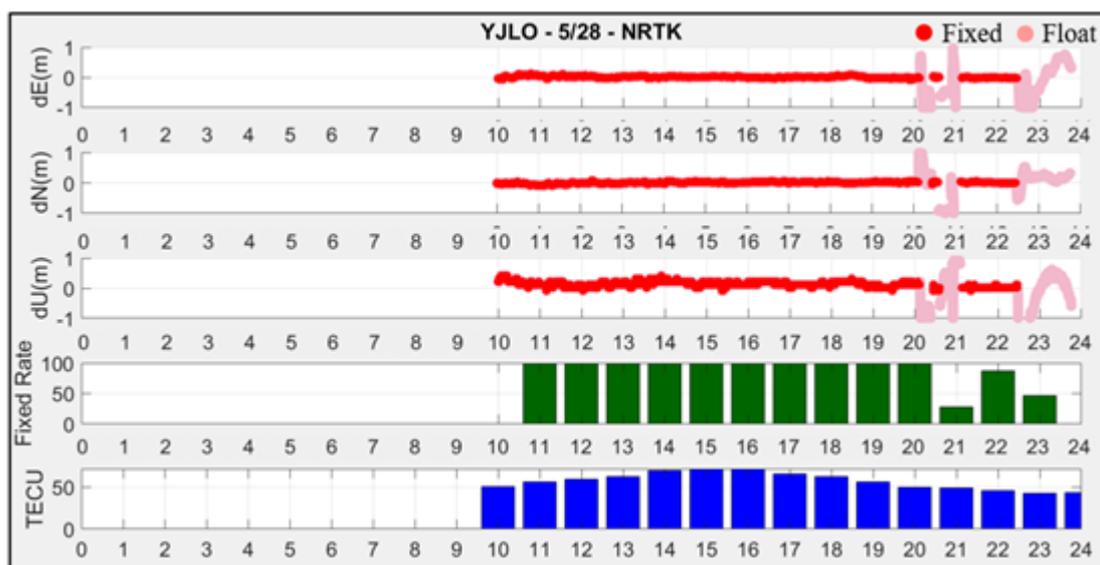


圖 4.25 VBS-RTK 在 YJLO 測站 5/28 的定位成果(橫坐標:區域時)

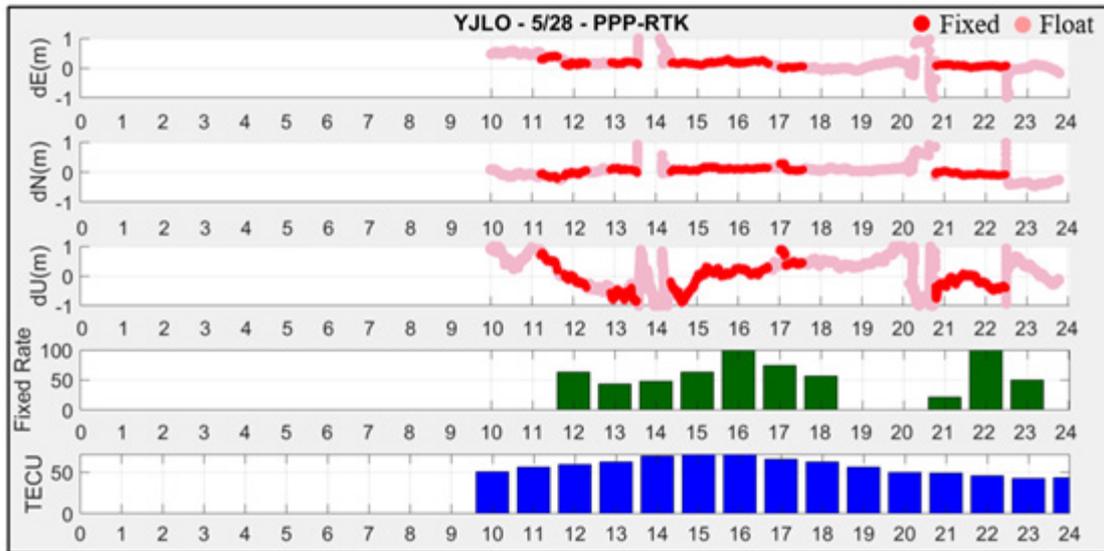


圖 4.26 PPP-RTK 在 YJLO 測站 5/28 的定位成果(橫坐標:區域時)

表 4.22 統計出 5 月 28 日當天 VBS-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.033m、0.030m、0.160m，並且其整體固定解百分比為 84.5%。PPP-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.173m、0.099m、0.394m，而 PPP-RTK 的整體固定解百分比為 44.9%。成果顯露出 VBS-RTK 的固定解定位誤差比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 的整體固定解百分比也優於 PPP-RTK。表 4.23 統計出 5 月 28 日當天 VBS-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 1.024m、0.870m、1.537m；PPP-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.259m、0.195m、0.561m。

表 4.22 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 YJLO 測站 5 月 28 日的固定解精度

5/28 - YJLO (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	0.013	0.149
	STD (m)	0.030	0.088
	RMSE (m)	0.033	0.173
N	Mean error (m)	-0.010	0.017
	STD (m)	0.028	0.098
	RMSE (m)	0.030	0.099
U	Mean error (m)	0.134	-0.058
	STD (m)	0.088	0.389
	RMSE (m)	0.160	0.394
Fixed Rate (%)		84.5	44.9

表 4.23 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 YJLO 測站 5 月 28 日的浮點解精度

5/28 - YJLO (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.414	0.160
	STD (m)	0.936	0.204
	RMSE (m)	1.024	0.259
N	Mean error (m)	-0.059	-0.055
	STD (m)	0.868	0.187
	RMSE (m)	0.870	0.195
U	Mean error (m)	-0.456	0.346
	STD (m)	1.468	0.441
	RMSE (m)	1.537	0.561

圖 4.27 顯示出 6 月 1 日當天 VBS-RTK 從凌晨 0 點到清晨 4 點的時段無法獲得固定解，但清晨 4 點後則可以穩定獲得固定解，其變化與 TECU 值沒有明顯相關性。圖 4.28 顯示出 PPP-RTK 在凌晨 0 點到下午 1 點之間能獲得固定解，下午 1 點之後無法穩定獲得固定解。從當日 TECU 值變化可以發現，在 6 月 1 日的 TECU 值變大後，PPP-RTK 的定位效能受到大量的影響，其整體固定解百分比僅有大約 50%

左右。

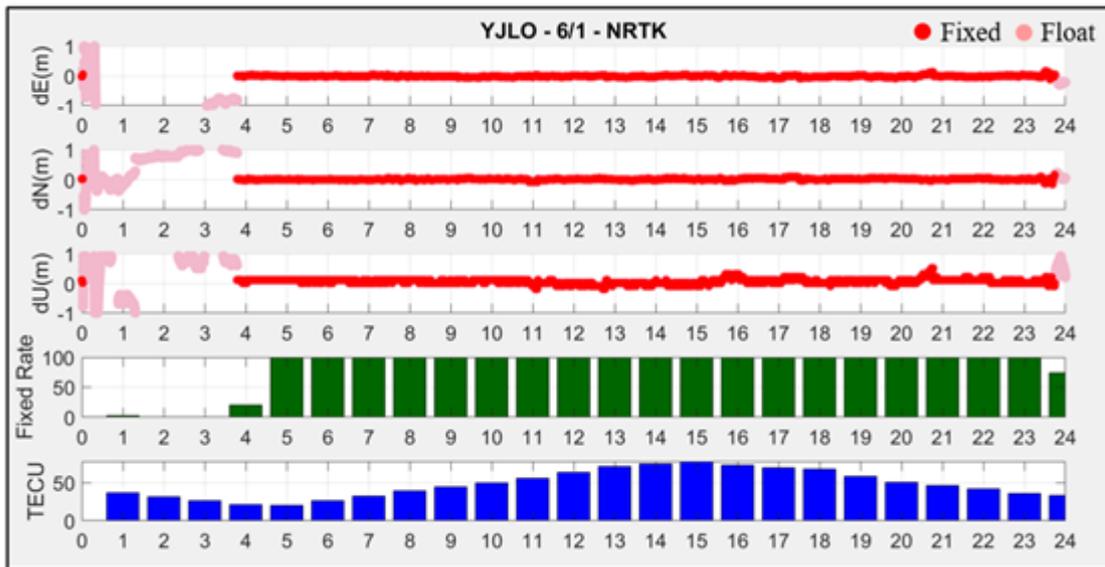


圖 4.27 VBS-RTK 在 YJLO 測站 6/1 的定位成果(橫坐標:區域時)

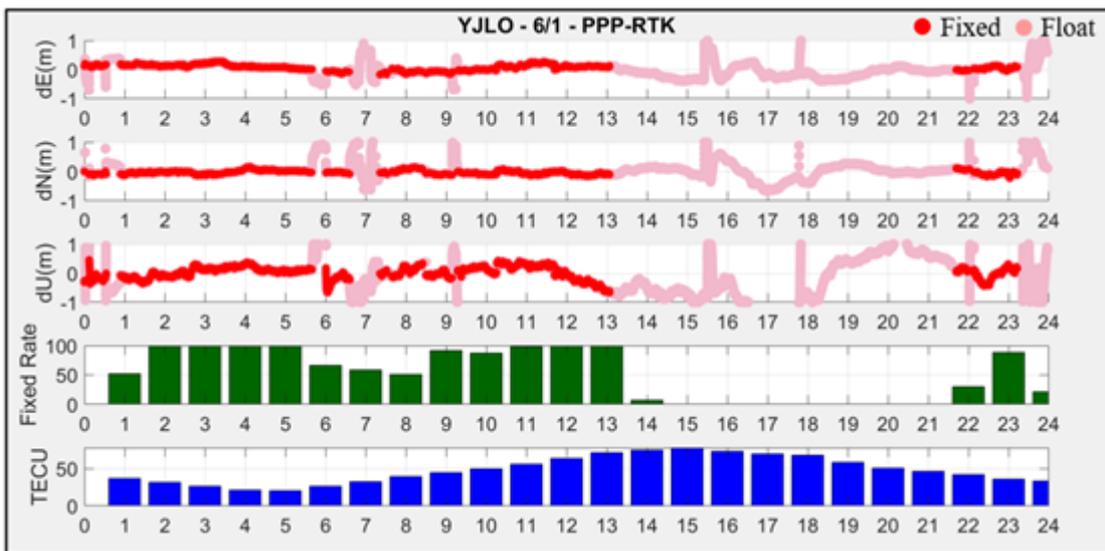


圖 4.28 PPP-RTK 在 YJLO 測站 6/1 的定位成果(橫坐標:區域時)

表 4.24 統計出 6 月 1 日當天 VBS-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.027m、0.024m、0.109m，且其整體固定解百分比為 83.3%。PPP-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.124m、0.081m、0.215m，而其整體固定解百分比為 51.4%。成果指出 VBS-

RTK 的固定解定位誤差皆比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 的整體固定解百分比也優於 PPP-RTK。表 4.25 統計出 6 月 1 日當天 VBS-RTK 浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 1.924m、1.212m、1.723m，而 PPP-RTK 的浮點解定位誤差在 E、N、U 方向分別為 0.273m、0.278m、0.894m。

表 4.24 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 YJLO 測站 6 月 1 日的固定解精度

6/1 - YJLO (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.012	0.075
	STD (m)	0.025	0.099
	RMSE (m)	0.027	0.124
N	Mean error (m)	0.001	-0.049
	STD (m)	0.024	0.065
	RMSE (m)	0.024	0.081
U	Mean error (m)	0.074	0.021
	STD (m)	0.080	0.214
	RMSE (m)	0.109	0.215
Fixed Rate (%)		83.3	52.4

表 4.25 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 YJLO 測站 6 月 1 日的浮點解精度

6/1 - YJLO (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-1.499	-0.048
	STD (m)	2.511	0.269
	RMSE (m)	2.924	0.273
N	Mean error (m)	0.759	0.011
	STD (m)	0.945	0.278
	RMSE (m)	1.212	0.278
U	Mean error (m)	1.097	-0.297
	STD (m)	1.328	0.843
	RMSE (m)	1.723	0.894

4.3.1.5 CHIE 站測試成果

測站 CHIE 觀測量收集於 6 月 21 日以及 6 月 22 日，時間皆從當天凌晨 0 點到半夜 12 點，共 24 小時。圖 4.29 顯示出 VBS-RTK 從凌晨 0 點 30 分到下午 5 點以及晚上 7 點到晚上 10 點可以獲得穩定的定位固定解，其餘時間則無法獲得穩定的固定解，其變化與 TECU 值沒有明顯相關性。圖 4.30 顯示出 PPP-RTK 在 CHIE 測試站在清晨 0 點到清晨 3 點以及清晨 5 點到早上 10 點之間能獲得固定解，其他時間幾乎無法獲得固定解，定位誤差也較大。從當日 TECU 值變化可以發現，當 TECU 值變大後，PPP-RTK 的定位效能受到大量的影響，導致較低的固定解百分比及較大的定位誤差。

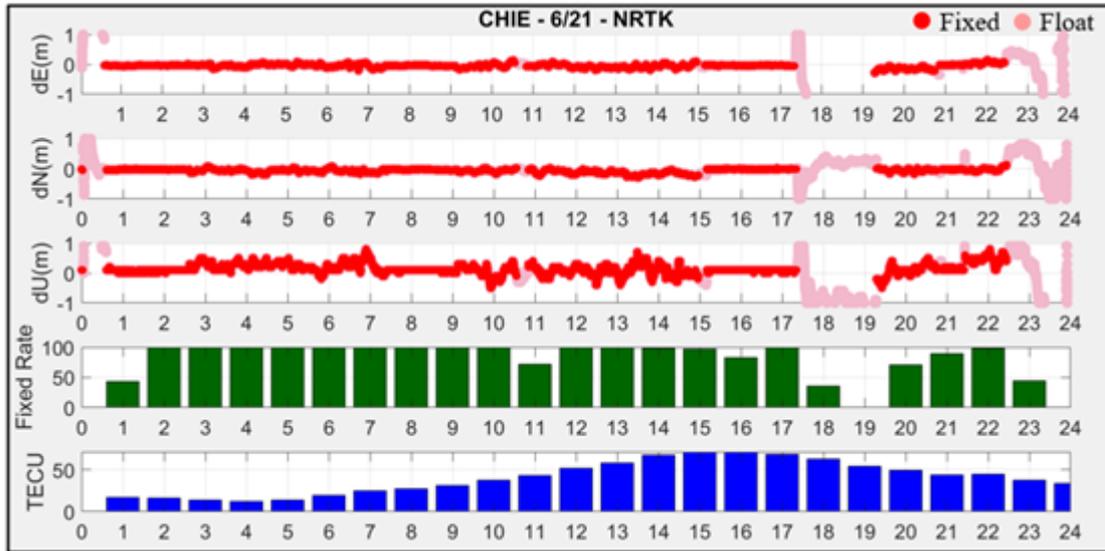


圖 4.29 VBS-RTK 在 CHIE 測站 6/21 的定位成果(橫坐標:區域時)

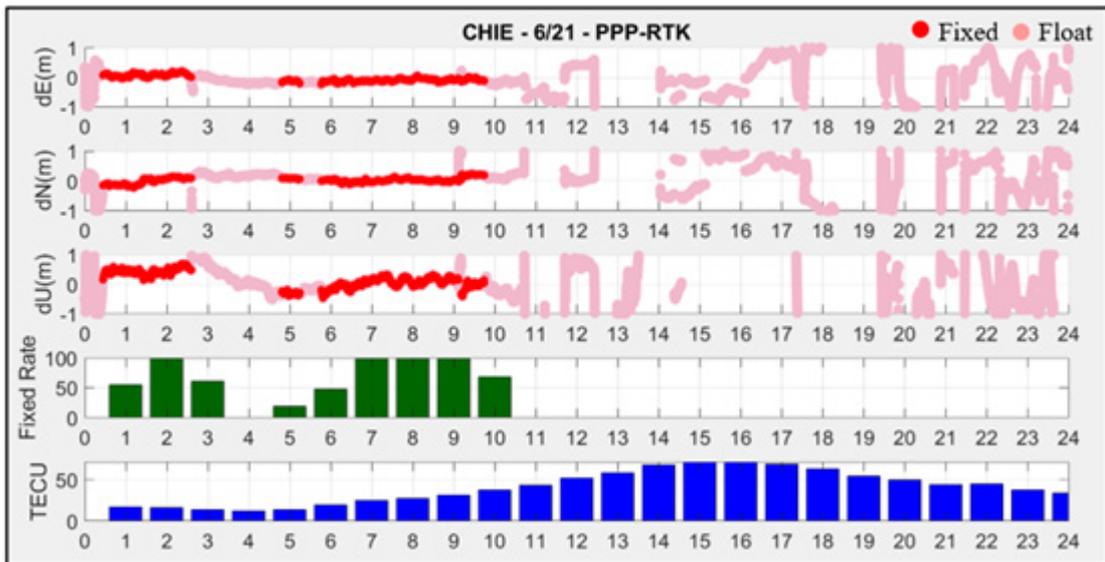


圖 4.30 PPP-RTK 在 CHIE 測站 6/21 的定位成果(橫坐標:區域時)

表 4.26 統計出 6 月 21 日當天 VBS-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.075m、0.091m、0.228m，且其整體固定解百分比為 80.5%。PPP-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.105m、0.096m、0.301m，且其整體固定解百分比為 27.2%。成果指出 VBS-RTK 的固定解定位誤差比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 的整體固定

解百分比也優於 PPP-RTK。表 4.27 統計出 6 月 21 日當天 VBS-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 1.883m、0.611m、1.980m，而 PPP-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.978m、0.674m、1.951m。

表 4.26 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 CHIE 測站 6 月 21 日的固定解精度

6/21 - CHIE (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.049	-0.041
	STD (m)	0.057	0.097
	RMSE (m)	0.075	0.105
N	Mean error (m)	-0.065	0.018
	STD (m)	0.063	0.094
	RMSE (m)	0.091	0.096
U	Mean error (m)	0.143	0.152
	STD (m)	0.178	0.260
	RMSE (m)	0.228	0.301
Fixed Rate (%)		80.5	27.2

表 4.27 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 CHIE 測站 6 月 21 日的浮點解精度

6/21 - CHIE (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.467	0.371
	STD (m)	1.824	0.905
	RMSE (m)	1.883	0.978
N	Mean error (m)	0.109	0.033
	STD (m)	0.601	0.673
	RMSE (m)	0.611	0.674
U	Mean error (m)	-0.537	1.590
	STD (m)	2.931	2.486
	RMSE (m)	2.980	2.951

圖 4.31 顯示出 6 月 22 日當天 VBS-RTK 從凌晨 0 點到清晨 4 點的時段無法獲得固定解，但清晨 4 點後則可以穩定獲得固定解，其變

化與 TECU 值沒有明顯相關性。由圖 4.32 顯示出 PPP-RTK 在早上 10 點到下午 4 點之間能獲得固定解，下午 4 點之後無法穩定獲得固定解，定位誤差也較大，從當日 TECU 值變化可以發現，當 TECU 值變大後，PPP-RTK 的定位效能受到大量的影響，導致較低的固定解百分比及較大的定位誤差。

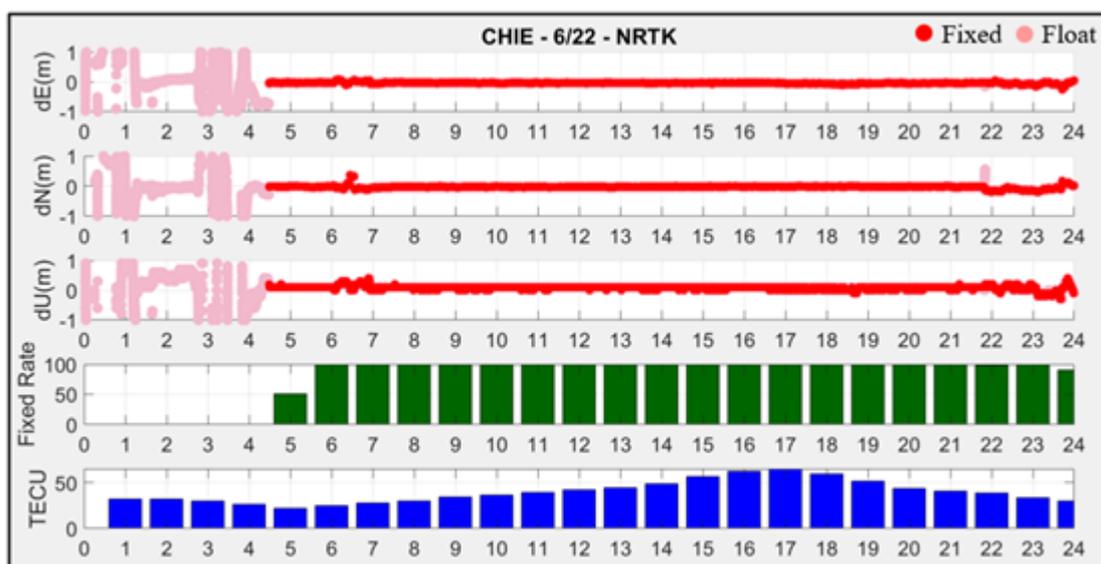


圖 4.31 VBS-RTK 在 CHIE 測站 6/22 的定位成果(橫坐標:區域時)

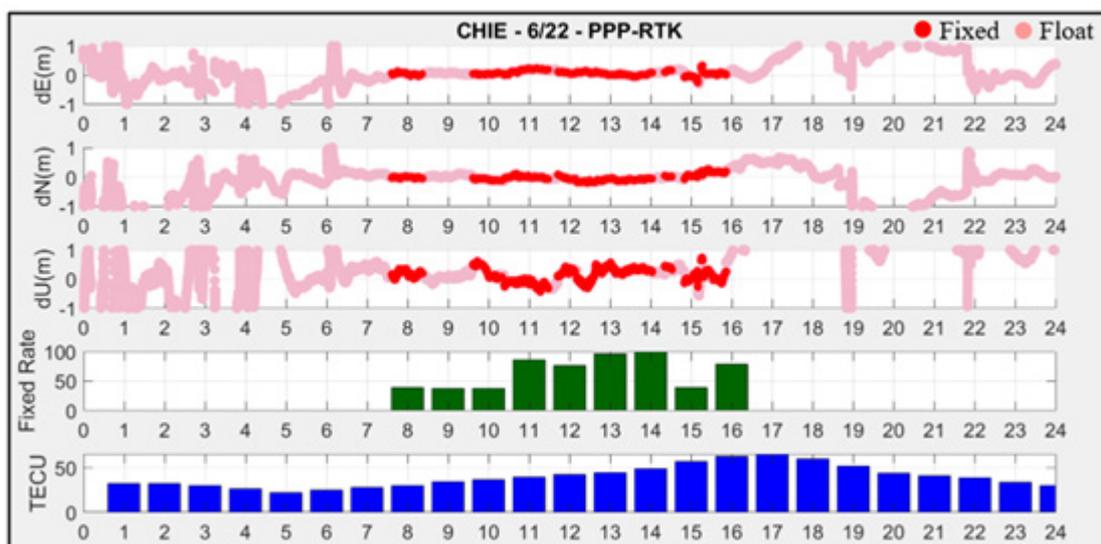


圖 4.32 PPP-RTK 在 CHIE 測站 6/22 的定位成果(橫坐標:區域時)

表 4.28 統計出 6 月 22 日當天 VBS-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.095m、0.054m、0.107m，並且其整體固定解百分比為 80.9%。PPP-RTK 的固定解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.095m、0.094m、0.265m，並且其固定解百分比為 25%。成果指出 VBS-RTK 的固定解定位誤差比 PPP-RTK 小，同時 VBS-RTK 的固定解百分比也優於 PPP-RTK。表 4.29 統計出 6 月 22 日當天 VBS-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 1.750m、1.480m、5.832m，PPP-RTK 的浮點解之 RMSE 在 E、N、U 方向分別為 0.706m、0.690m、1.693m。

表 4.28 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 CHIE 測站 6 月 22 日的固定解精度

6/22 - CHIE (Fixed)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.033	0.062
	STD (m)	0.089	0.072
	RMSE (m)	0.095	0.095
N	Mean error (m)	-0.030	-0.025
	STD (m)	0.045	0.091
	RMSE (m)	0.054	0.094
U	Mean error (m)	0.086	0.146
	STD (m)	0.063	0.221
	RMSE (m)	0.107	0.265
Fixed Rate (%)		80.9	24.7

表 4.29 VBS-RTK 與 PPP-RTK 在 CHIE 測站 6 月 22 日的浮點解精度

6/22 - CHIE (Float)		VBS-RTK	PPP-RTK
E	Mean error (m)	-0.193	0.174
	STD (m)	1.740	0.684
	RMSE (m)	1.750	0.706
N	Mean error (m)	0.488	-0.291
	STD (m)	2.431	0.626
	RMSE (m)	2.480	0.690
U	Mean error (m)	-0.220	0.872
	STD (m)	5.828	1.452
	RMSE (m)	5.832	1.693

綜觀五個測試站的 PPP-RTK 與 VBS-RTK 定位成果，圖 4.33 中黃色代表 VBS-RTK 的整體固定解百分比，綠色代表 PPP-RTK 的整體固定解百分比，本計畫顯示出在所有五個測試站中 VBS-RTK 的固定解百分比都比 PPP-RTK 高。VBS-RTK 固定解百分比最高的測試站是 SPSI 站，為 98.9%，固定解百分比最低的測試站是 NAZI 站，為 79.3%。PPP-RTK 固定解百分比最高的測試站是 YJLO 站，為 48.2%，固定解百分比最低的測試站是 FONG 站，為 15.3%。

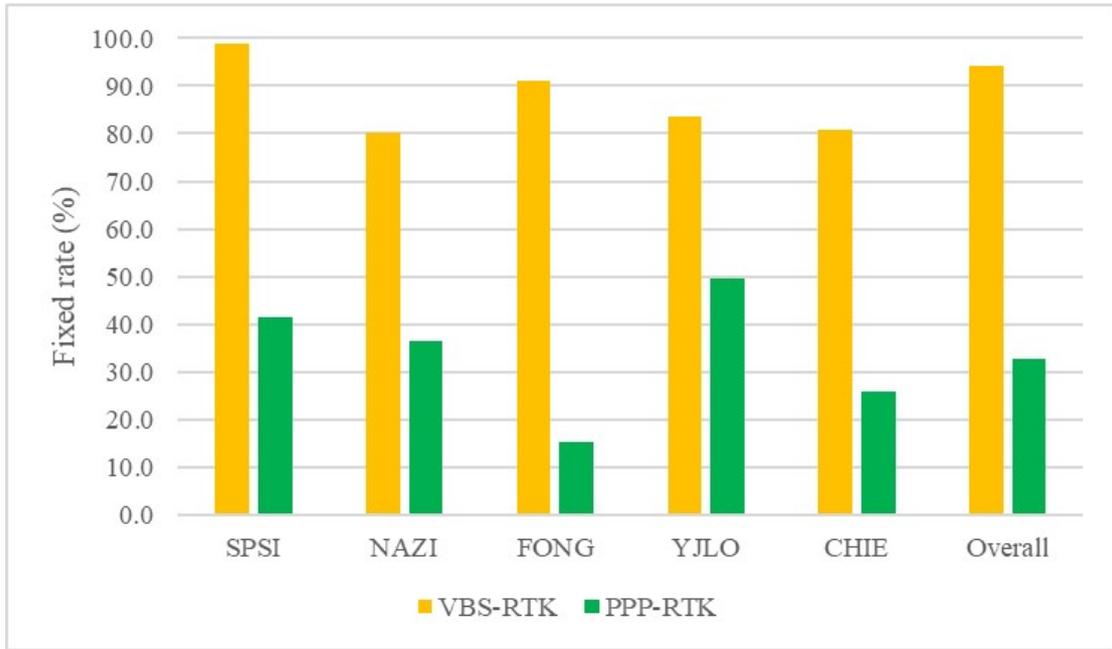


圖 4.33 PPP-RTK、VBS-RTK 的整體固定解百分比

圖 4.34 是各測試站的固定解三維坐標 RMSE 值，藍色、橘色、灰色分別代表 E、N、U 方向的 RMSE 值。圖中顯示在所有測試站中 VBS-RTK 的固定解精度都較 PPP-RTK 的固定解精度為優。VBS-RTK 在 E、N 方向為公分級精度，U 方向約為 1 公寸等級。PPP-RTK 在 E、N、U 方向都是公寸級精度。

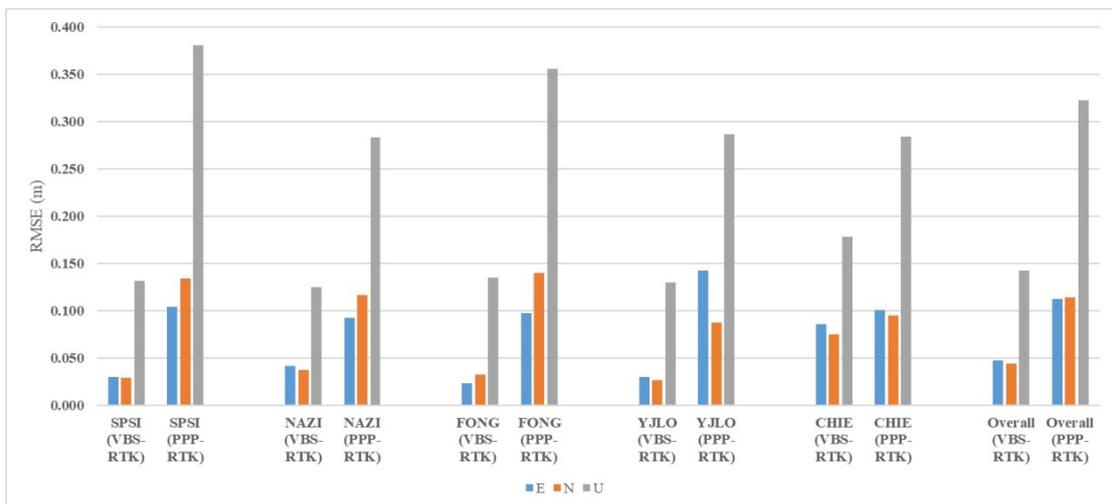


圖 4.34 PPP-RTK、VBS-RTK 固定解三維坐標 RMSE 值

4.3.2 SSR-post 測試成果分析

本計畫以 SSR-post 解算了 33 個基準站的 24 小時觀測資料，並將其成果與兩種精密單點定位服務 CSRS-PPP 及 TOPS 的計算成果進行比較。33 站的每日解統計成果如表 4.30 表示，成果顯示 SSR-post 與 CSRS-PPP 以及 TOPS 在 E、N 方向分別有公分等級的平均誤差，而在 U 方向則是有 16cm 左右的平均誤差。然而 CSRS-PPP 和 TOPS 之平均誤差只有公厘等級。在最大誤差的評估中，SSR-post 與 CSRS-PPP 和 TOPS 在 E、U 方向的最大差異為公尺級，在 N 方向有 50cm 左右的差異，SSR-post 與 CSRS-PPP 和 TOPS 均有不小的差距。從 RMSD 值來看，SSR-post 與 CSRS-PPP 和 TOPS 在 E、N、U 方向分別有大約 30、13、40cm 的差異。以上數據顯示 SSR-post 目前尚未達到與 CSRS-PPP 和 TOPS 同等級的解算精度。

表 4.30 SSR-post、CSRS-PPP 和 TOPS 的定位比較成果

	CSRS - TOPS	CSRS - SSR-post	TOPS - SSR-post
Mean error E (m)	-0.005	-0.016	-0.011
Mean error N (m)	-0.004	-0.050	-0.046
Mean error U (m)	-0.002	-0.162	-0.160
Max error E (m)	-0.050	-1.320	-1.315
Max error N (m)	0.022	-0.512	-0.507
Max error U (m)	0.037	-1.017	-1.030
	CSRS - TOPS	CSRS - SSR-post	TOPS - SSR-post
STD_E	0.012	0.292	0.292
STD_N	0.006	0.125	0.125
STD_U	0.015	0.358	0.364
	CSRS - TOPS	CSRS - SSR-post	TOPS - SSR-post
RMSD_E	0.013	0.292	0.292
RMSD_N	0.007	0.135	0.133
RMSD_U	0.016	0.393	0.398

第五章 結論與建議

本計畫之預期目標為：(1)探討坐標參考框架、(2)探討如何發展一個與國際地球參考框架 ITRF 同步的臺灣時變參考框架 TTRF、(3)測試分析國土測繪中心即時動態精密單點定位 (PPP-RTK) 服務並與虛擬基準站即時動態定位(VBS-RTK)技術進行比較，及測試分析國土測繪中心後處理精密單點定位 (SSR-post)服務。本計畫之結論及建議總結如下。

5.1 結論

1. 台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交界，地殼變動型態複雜且地震發生頻繁，導致控制點的位移情況顯著且無法忽視。現有的TWD97框架雖然足以因應較小範圍之測繪業務需求，但對於大範圍之測繪業務，或者是精密導航、地殼變形監測等高精度應用而言仍是不敷需求的。既然臺灣地區劇烈的地殼變動是明確的事實，國家坐標參考框架必須要設法因應此一現象。國際間最新發展趨勢為採用時變參考框架來反映地表動態變化的真實情況，也就是將控制點坐標視為時間的函數，坐標值隨時間而變化，不再是固定的常數。
2. 時變參考框架的優點是顯而易見的，即為可反映地表動態變化的

真實情況。參考框架內的已知控制點受到地殼變動的影響，其位置實際上是隨時間而變化的，只有採用時變參考框架才能真實描述已知控制點的確切位置。因此對於大範圍測繪業務、變形監測、精密導航的用戶及科學研究人員來說，使用時變參考框架方能獲得正確的成果。

3. 然而，時變參考框架的缺點則是所有點位(包含圖根點、界址點等)坐標成果都不再是固定不變的數值。導致以點位坐標為基礎所生成的所有衍生量，例如宗地面積，本質上也將不再是固定不變的數值。這點除了可能導致紀錄衍生量時之困擾外，也將對於現有之土地行政及地籍測量等業務產生重大的衝擊。
4. 為因應上述時變參考框架的缺點，一個合適的解決方案是採用雙框架策略。雙框架策略的特色是同時使用一個靜態參考框架以及一個時變參考框架來滿足不同使用者的需求，並建立兩者之間的轉換模式，作為相互轉換之用。
5. 本計畫提出兩種建立臺灣時變參考框架 TTRF 的方法。第一種方法為傳統衛星定位測量廣為採用的相對定位法，也稱為基線解算法。第二種方法則是近年來在衛星定位測量領域快速發展的精密單點定位法，也稱為 PPP 法。根據國內 21 個 CORS 基準站的每日解時間序列測試分析，儘管精密單點定位法的解算精度低於相對

定位法，但在運算效率上有明顯之優勢，在處理大量 GNSS 基準站的情況下，精密單點定位法顯著優於相對定位法。因此，本計畫認為相對定位及精密單點定位兩種方法均適用於臺灣時變參考框架 TTRF 之建立及維護，但整體上應以精密單點定位法為主，相對定位法為輔。

6. 澳洲政府建立 ATRF 框架時是採用亞太參考框架 APREF 下的約制資訊，然而目前台灣地區的 CORS 基準站無論在 IGS 框架中或是 APREF 框架中的數目均不多，兩者沒有實質上的差異性，因此本計畫建議的解算策略仍是套合至 IGS 框架。
7. 在國家法定坐標參考框架 TWD97[2020]與臺灣時變參考框架 TTRF 之間的轉換策略方面，由於台灣地區之地殼變動狀況劇烈且複雜，本計畫建議採用修正網格法，也就是國土測繪中心已建置完成之 TWD97 國家坐標系統變位模式採用的轉換策略。
8. 本計畫完成國土測繪中心的精密單點定位服務測試，項目包含 PPP-RTK 與 VBS-RTK 定位服務測試分析，以及 SSR-post 服務測試分析。在 5 個獨立測試檢核點位上完成的 PPP-RTK 測試成果顯示 VBS-RTK 的固定解精度較 PPP-RTK 的固定解精度為優。VBS-RTK 在 E、N 方向為公分級精度，在 U 方向約為 1 公寸等級精度。PPP-RTK 在 E、N 方向約為 1 公寸等級精度、在 U 方向約

為 3-4 公寸等級精度。此外 PPP-RTK 定位服務的固定解百分比似乎受到了電離層活躍程度的影響，在 TECU 值較高的時刻固定解百分比較低，但是並不排除其它可能的原因，例如原廠系統參數調整尚未完善等因素。

9. 本計畫完成 33 個基準站的 SSR-post 24 小時資料分析計算，並將其成果與兩種精密單點定位服務 CSRS-PPP 及 TOPS 計算成果進行比較。比較成果顯示 SSR-post 目前尚未達到與 CSRS-PPP 和 TOPS 同等級的解算精度，SSR-post 的每日解定位成果約為公寸級精度。

5.2 建議

1. 有鑑於當前國土測繪法對於參考系統、參考框架、大地基準等相關名詞之用法與國際上常見用法之間存在明顯差異，建議日後修改法規條文時可考慮適度調整。
2. 有鑑於國土測繪中心 PPP-RTK 定位服務系統之表現尚不及 VBS-RTK 定位服務，且似乎明顯受到電離層活躍程度的影響，建議持續與原廠合作調整設定參數與進行測試。此外 SSR-post 服務目前尚未達到與 CSRS-PPP 和 TOPS 同等級的解算精度，亦建議調整系統參數設定。

第六章 參考文獻

中國衛星導航系統管理辦公室 (2019)。北斗衛星導航系統應用服務體系，北京。

內政部土地測量局 (2006)。e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統，台中。

張小紅、李星星、李盼 (2017)。GNSS 精密單點定位技術及應用，測繪學報，46(10): 1399-1407。

內政部國土測繪中心 (2013)。102 年度建置現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告，台中。

內政部國土測繪中心 (2016)。105 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告書，台中。

內政部國土測繪中心 (2017)。106 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告書，台中。

內政部國土測繪中心 (2018)。107 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告書，台中。

內政部國土測繪中心 (2019)。108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告書，台中。

內政部國土測繪中心 (2020a)。108 及 109 年度 LiDAR 技術更新數

值地形模型成果檢核與監審工作採購案期末報告書，台中。

內政部國土測繪中心 (2020b)。109 年及 110 年臺灣地區 GNSS 連續

觀測站資料解算工作採購案-109 年度期末報告書，台中。

內政部國土測繪中心 (2021)。109 年及 110 年臺灣地區 GNSS 連續

觀測站資料解算工作採購案-110 年度期末報告書，台中。

內政部國土測繪中心 (2022)。111 年度臺灣地區 GNSS 連續觀測站

資料解算委託研究案期末報告書，台中。

內政部國土測繪中心 (2023)。112 年度臺灣地區 GNSS 連續觀測站

整合國際框架委託研究案期末報告書，台中。

Altamimi, Z., Angermann, D., Argus, D., Blewitt, G., Boucher, C., Chao, B., Drewes, H., Eanes, R., Feissel, M., Ferland, R., Herring, T., Holt, B., Johannson, J., Larson, K., Ma, C., Manning, J., Meertens, C., Nothnagel, A., Pavlis, E., . . . Watkins, M. (2001). The terrestrial reference frame and the dynamic Earth. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 82(25), 273–279.

Altamimi, Z., Métivier, L., Rebischung, P., Collilieux, X., Chanard, K., and Barnéoud, J. (2023). ITRF2020 plate motion model. *Geophysical Research Letters*, 50(24).

Blick, G. and Grant, D. (2010). The implementation of a semi-dynamic datum in New Zealand - Ten years on. In: *FIG Congress 2010, Sydney, Australia*.

Chen, X., Allison, T., Cao, W., Ferguson, K., Grünig, S., Gomez, V.,

- Kipka, A., Köhler, J., Landau, H., Leandro, R., Lu, G., Stolz, R., and Talbot, N. (2011). Trimble RTX, an Innovative new approach for network RTK. In: ION GNSS 2011, Portland, Oregon.
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P., and Fridez, P. (2015). Bernese GNSS software version 5.2. user manual. Available at:
<https://www.bernese.unibe.ch/docs/DOCU52.pdf>.
- Drewes, H. (2009). Geodetic reference frames. In: IAG Symposium, Munich, Germany.
- Euler, H.J. (2008). Reference station network information distribution. Available at: <http://www.asoft.de/e/iagwg451/euler/euler.html>.
- European GNSS Agency (2019). PPP-RTK market and technology report. Available at:
https://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/calls_for_proposals/rd.03_-_ppp-rtk_market_and_technology_report.pdf.
- GEO++ (2015). GEO++ SSR for network-RTK, PPP and PPP-RTK. Available at: https://geopp.de/wp-content/uploads/2020/09/SSR_Flyer_v3.pdf.
- GEO++ (2022). State space representation format (SSRZ). Available at:
https://www.geopp.de/wp-content/uploads/2020/09/gpp_ssrz_v1_0.pdf.
- Haarsma, D. (2019). Supporting the profession with expertise, proposals, solutions and platforms. Interview FIG President Rudolf Staiger, GIM International, 2019(1): 12-15.
- Hirokawa, R. and Fernández-Hernández, I. (2020). Open format specifications for PPP/PPP-RTK services: overview and

interoperability assessment. In: ION GNSS+ 2020, Denver, Colorado.

Hirokawa, R., Fernández-Hernández, I., and Reynolds, S. (2021).

PPP/PPP-RTK open formats: overview, comparison, and proposal for an interoperable message. *Navigation*, 68:759-778.

ICSM (2020). ATRF technical implementation plan v2.3. Available at:

https://www.icsm.gov.au/sites/default/files/2020-02/ATRF%20Technical%20Implementation%20Plan%20v2.3_1.pdf.

ICSM (2024). GDA2020 technical manual v1.8. Available at:

https://www.icsm.gov.au/sites/default/files/GDA2020%20Technical%20Manual%20V1.8_published_0.pdf.

Klatt, C., and Johnson, P. (2017a). Estimating benefits to Canada and the world: the Canadian spatial reference system precise point positioning service. *Geomatica*, 71(1), 37-44.

Klatt, C., and Johnson, P. (2017b). A survey of surveys: the Canadian spatial reference system precise point positioning service. *Geomatica*, 71(1), 27-36.

Li, C.K., Ching, K.E., and Chen, K.H. (2019). The ongoing modernization of the Taiwan semi-dynamic datum based on the surface horizontal deformation model using GNSS data from 2000 to 2016. *Journal of Geodesy*, 93(9): 1543-1558.

NGS (2017a). Blueprint for the modernized NSRS, part 1: geometric coordinates and terrestrial reference frames, NOAA technical report NOS NGS 62. Available at:

https://geodesy.noaa.gov/library/pdfs/NOAA_TR_NOS_NGS_0062.

pdf.

NGS (2017b). Blueprint for the modernized NSRS, part 2: geopotential coordinates and geopotential datum, NOAA technical report NOS NGS 64. Available at:

https://geodesy.noaa.gov/library/pdfs/NOAA_TR_NOS_NGS_0064.pdf.

NGS (2021). Blueprint for the modernized NSRS, part 3: working in the modernized NSRS, NOAA technical report NOS NGS 67. Available at:

https://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/NOAA_TR_NOS_NGS_0067.pdf.

Nikolaidis, R. (2002). Observation of geodetic and seismic deformation with the Global Positioning System. Ph.D. Thesis, University of California, San Diego.

NovAtel Inc. (2015). An introduction to GNSS, 2nd edition. NovAtel Inc., Canada.

NRCan (2024). CSRS-PPP. Available at: <https://webapp.csrscs.nrcan-rncan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>.

Nur, A. and Mavko, G. (1974). Post-seismic viscoelastic rebound. *Science*, 183, 204-206.

Peltzer, G., Rosen, P., Rogez, F., and Hudnut, K. (1996), Postseismic rebound in fault step-overs caused by pore fluid flow. *Science*, 273, 1202-1206.

Petit, G. and Luzum, B. (2010). IERS Conventions (2010). Available at: <https://iers-conventions.obspm.fr/content/tn36.pdf>.

- Roeloffs, E. (1996). Poroelastic techniques in the study of earthquake-related hydrological phenomena. *Advances in Geophysics*, 37, 135-195.
- Sideris, M. G. (2009). Observing our Changing Earth. In: 2007 IAG General Assembly, Perugia, Italy.
- Teunissen, P.J.G. and Khodabandeh, A. (2015). Review and principles of PPP-RTK methods. *Journal of Geodesy*, 89(3): 217-240.
- Thatcher, W. and Rundle, J.B. (1984). A viscoelastic coupling model for the cyclic deformation due to periodically repeated earthquakes at subduction zones. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 89(B9), 7631-7640.
- Tse, S.T. and Rice, J.R. (1986). Crustal earthquake instability in relation to the depth variation of frictional slip properties. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91, 9452-9472.
- UN-GGIM (2016). Geodesy (Global Geodetic Reference Frame GGRF). Available at:
<https://ggim.un.org/knowledgebase/knowledgebasecategory37.aspx>.
- Wanninger, L. (1999). The performance of virtual reference stations in active geodetic GPS-networks under solar maximum conditions. In: ION GPS-1999, 1419-1428.
- Wikipedia (2023). Datum reference. Available at:
https://en.wikipedia.org/wiki/Datum_reference.
- Wikipedia (2024a). International celestial reference system and its realizations. Available at:
https://en.wikipedia.org/wiki/International_Celestial_Reference_Sys

tem_and_its_realizations.

Wikipedia (2024b). International terrestrial reference system and frame.

Available at:

https://en.wikipedia.org/wiki/International_Terrestrial_Reference_System_and_Frame.

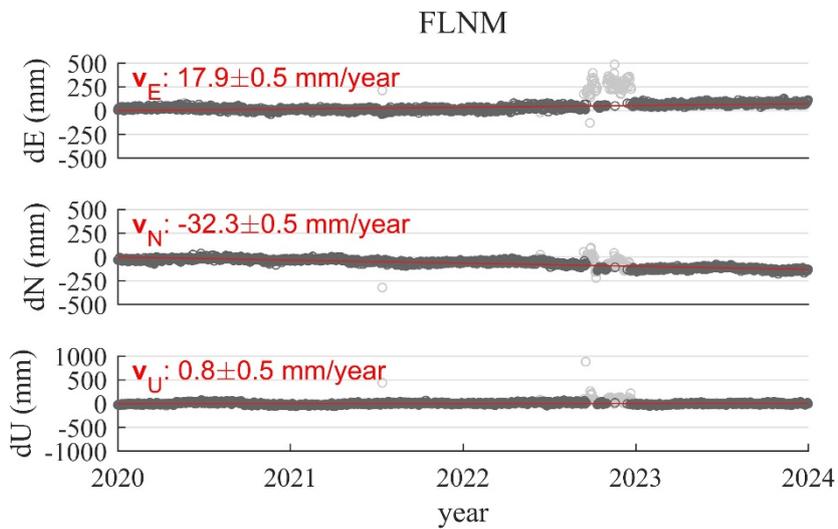
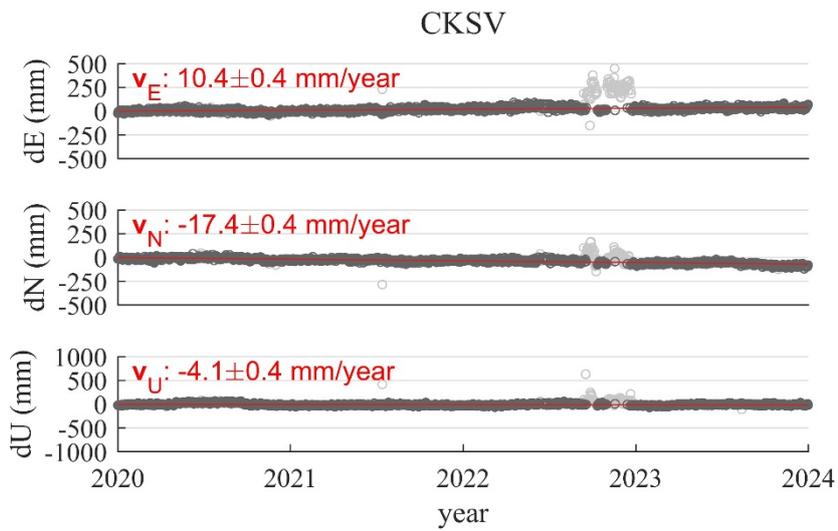
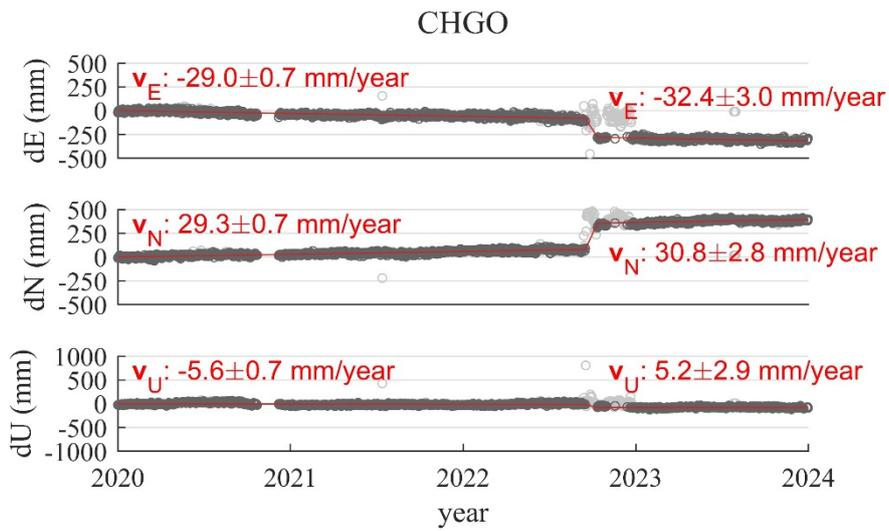
Wübbena, G., Schmitz, M., and Bagge, A. (2005). PPP-RTK: precise point positioning using state-space representation in RTK networks. In: ION GNSS 2005, Long Beach, California.

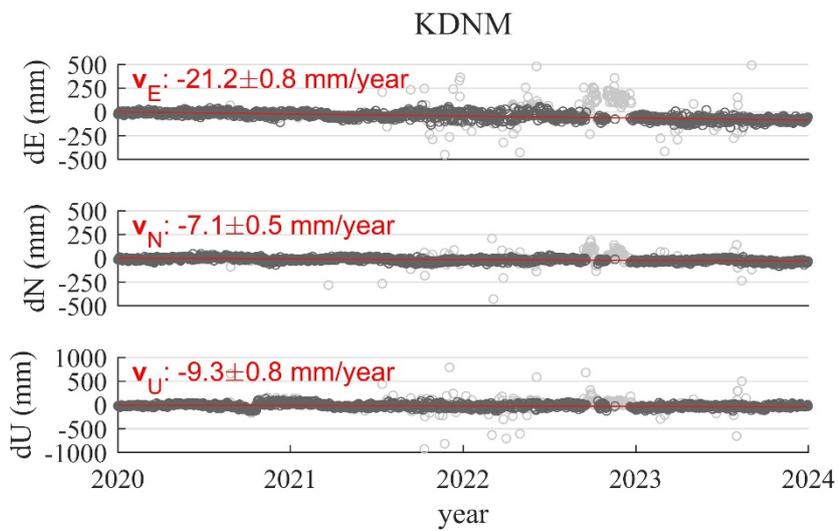
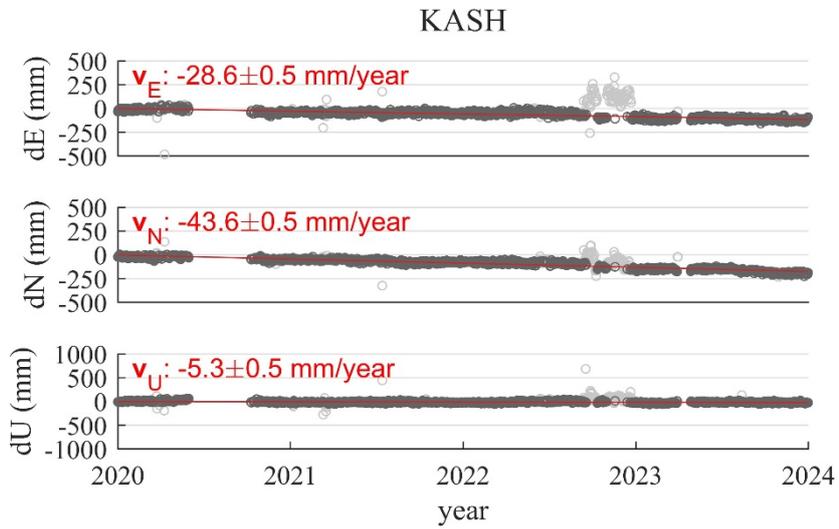
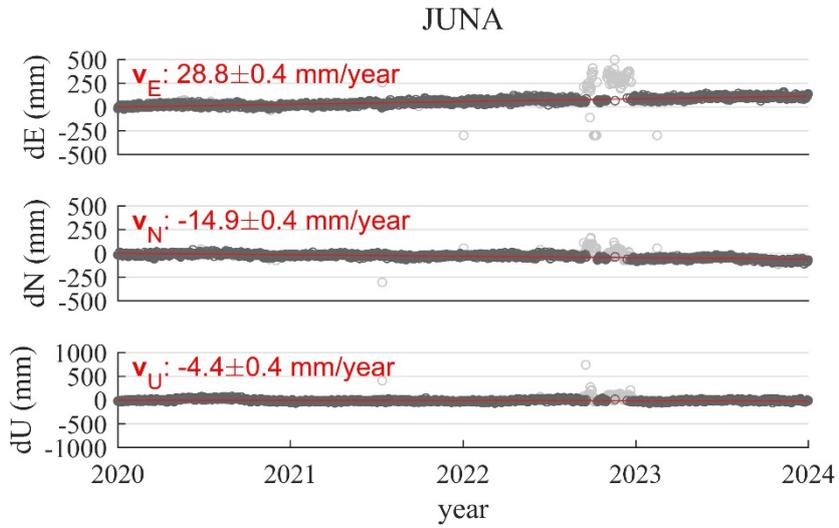
Wübbena, G., Bagge, A., and Schmitz., M. (2001). Network-based techniques for RTK applications. In: GPS JIN 2001, Tokyo, Japan.

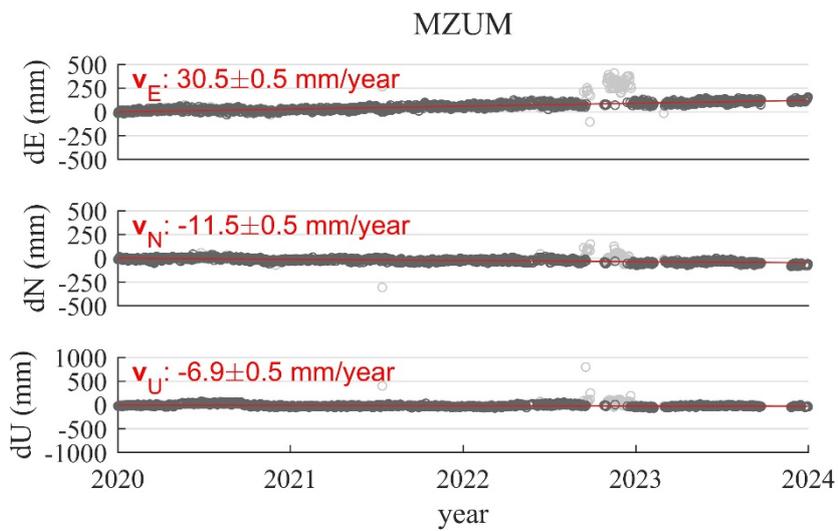
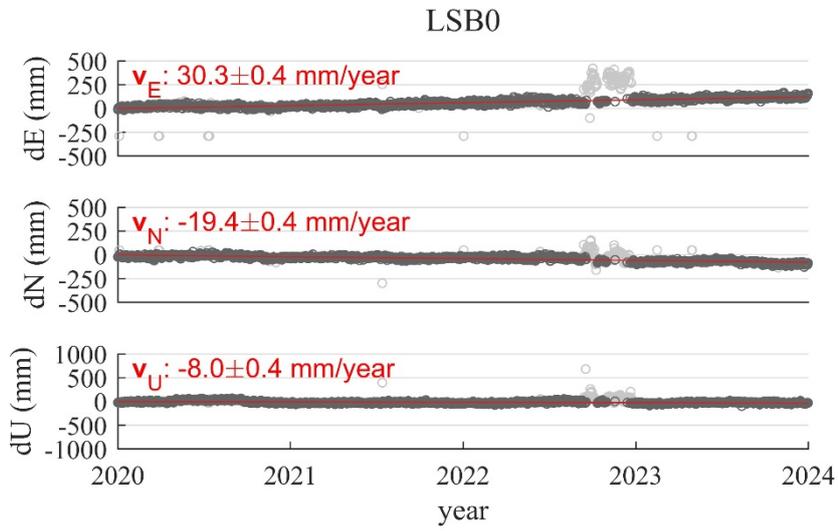
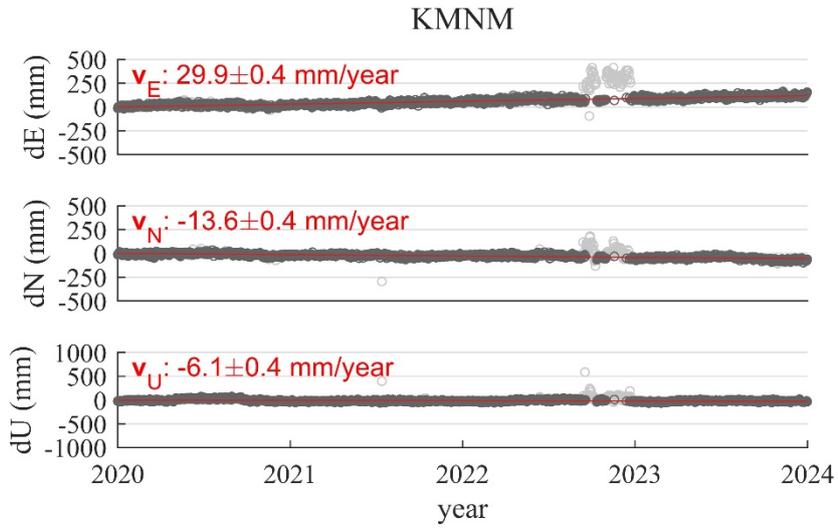
Wübbena, J.B. and Wübbena, G. (2017). GNSMART 2.0. In: 4th EUPOS Technical Meeting, Bratislava, Slovakia.

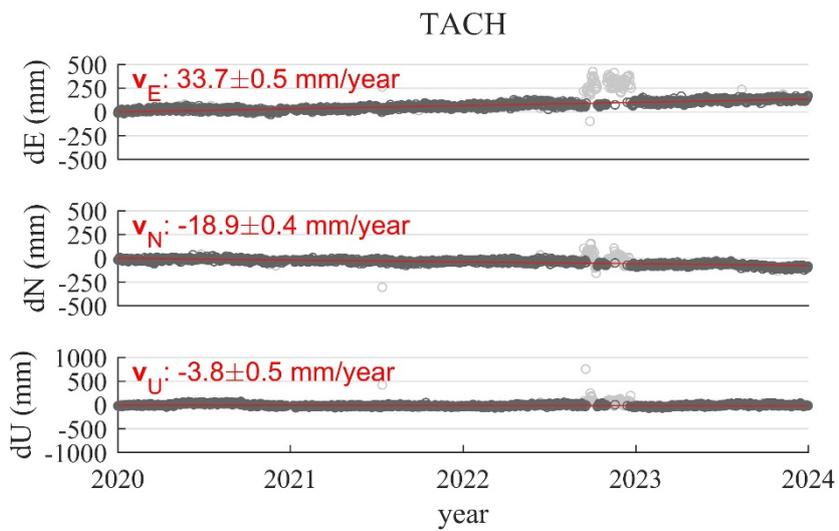
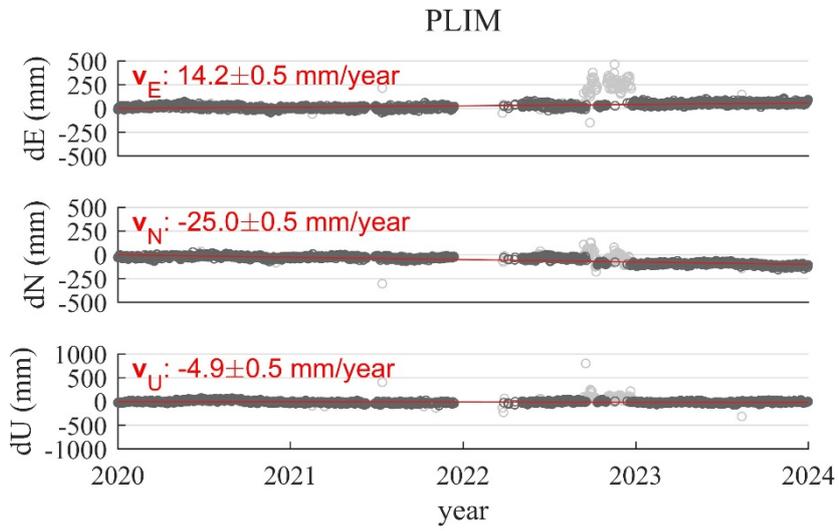
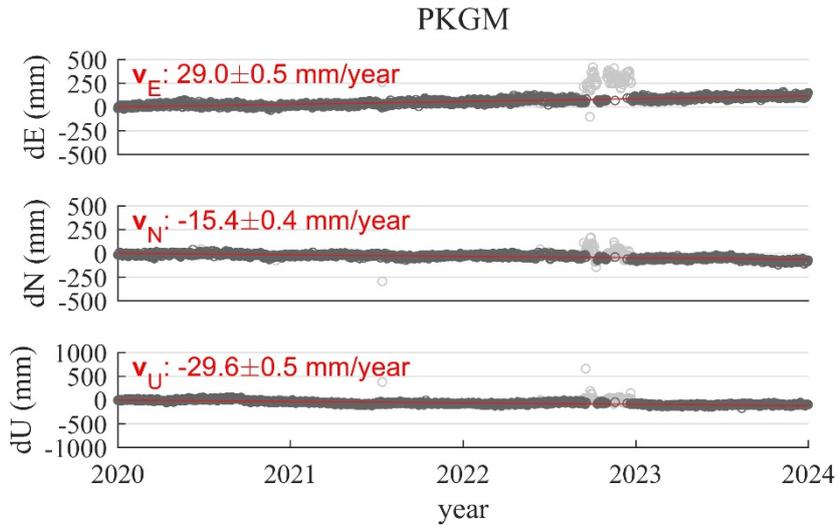
Yang, M., Hsu, H.C., and Chu, F.Y. (2024). Taiwan online precise point positioning service (TOPS): methodology and test results. *Journal of Surveying Engineering-ASCE*, 150(3): 04024007.

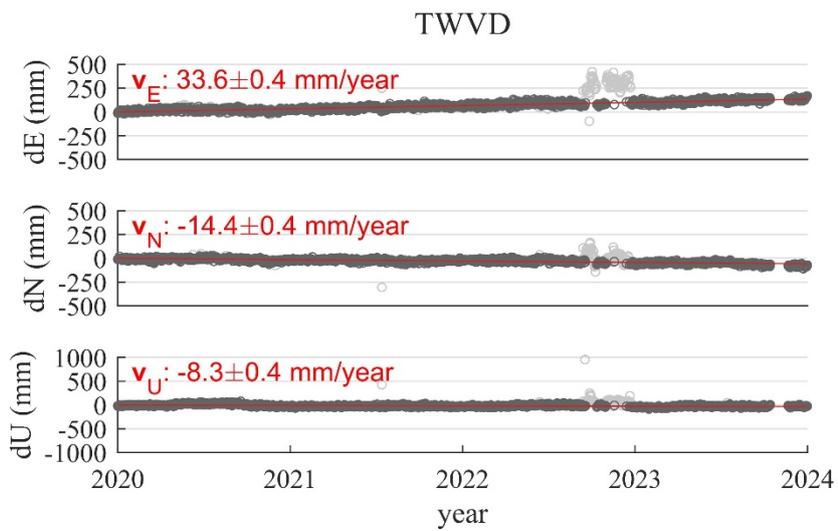
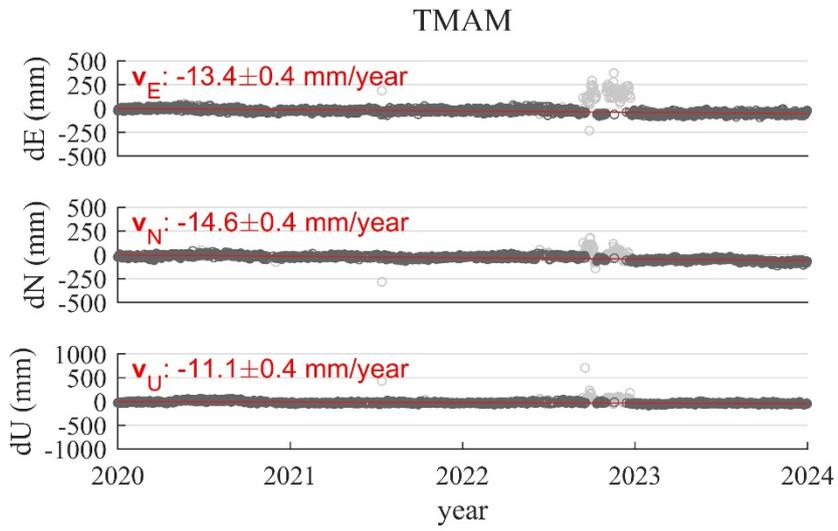
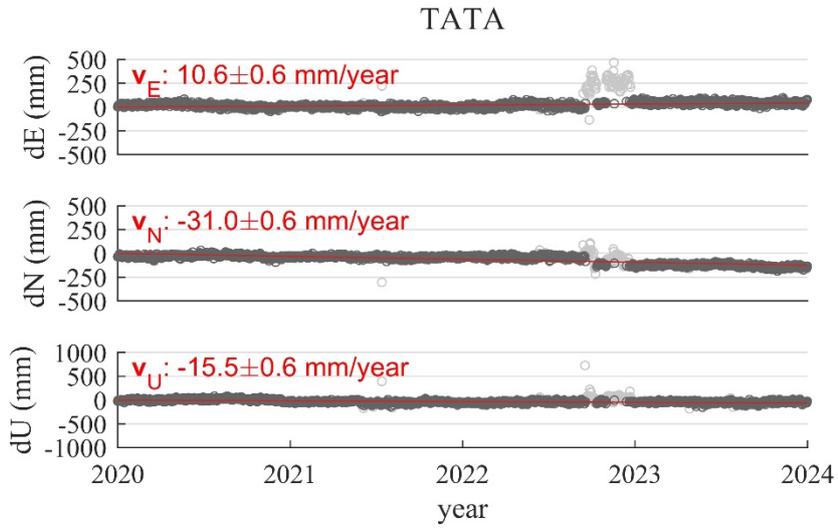
附件一 21 個國內基準站相對定位每日解時間序列

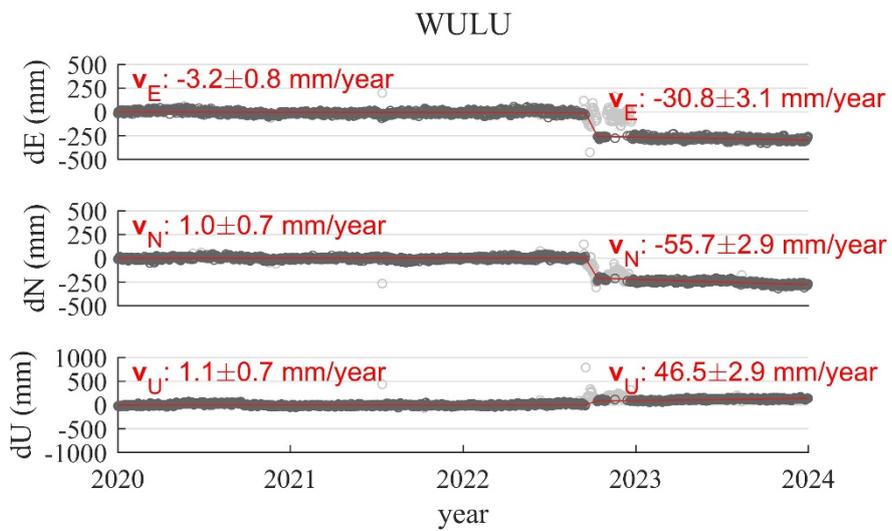
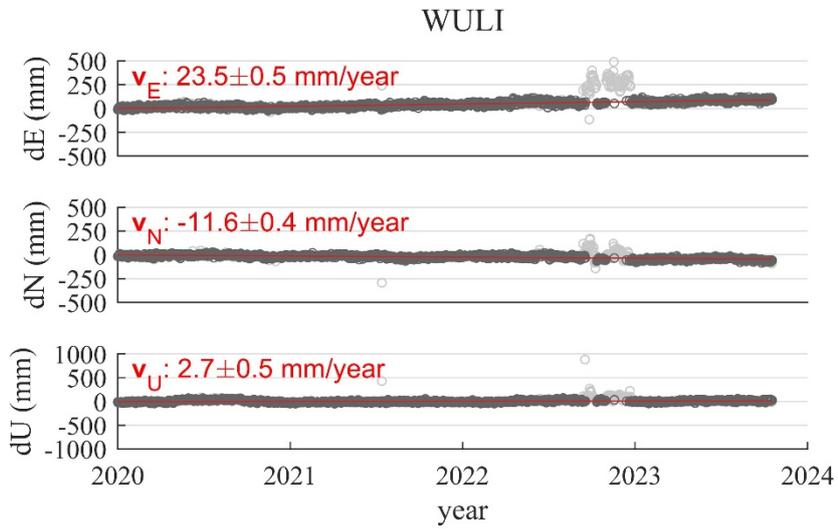
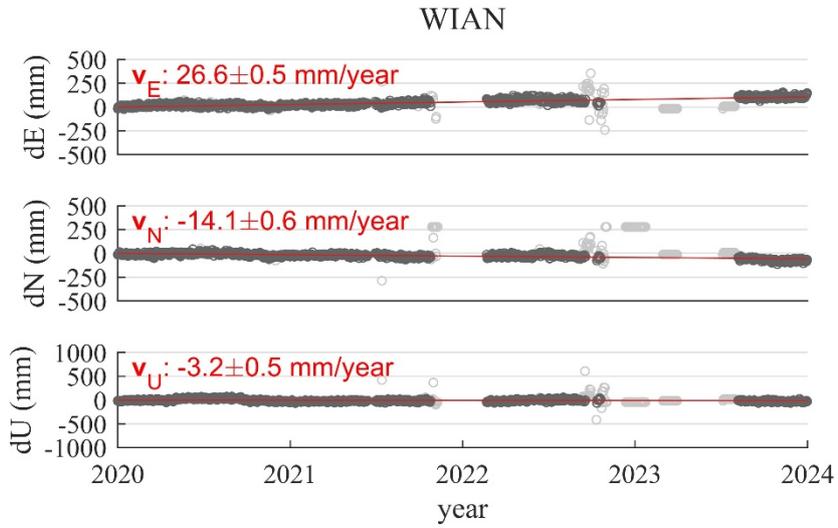


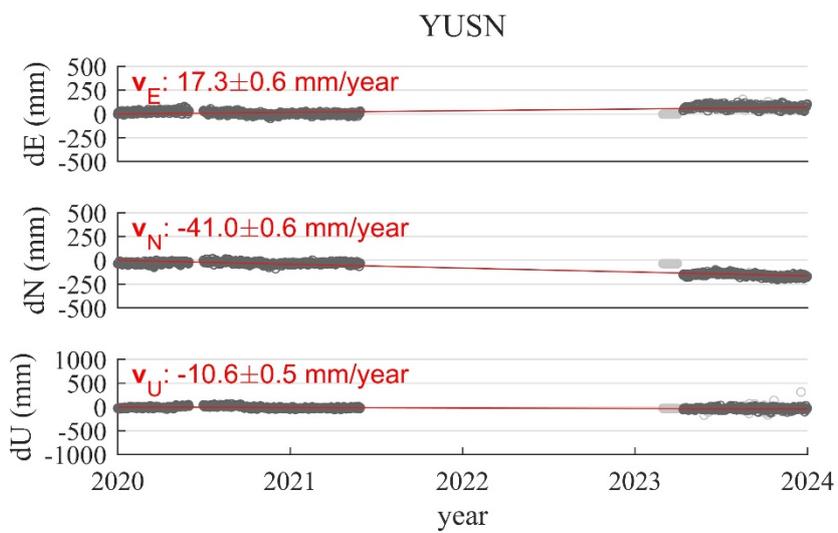
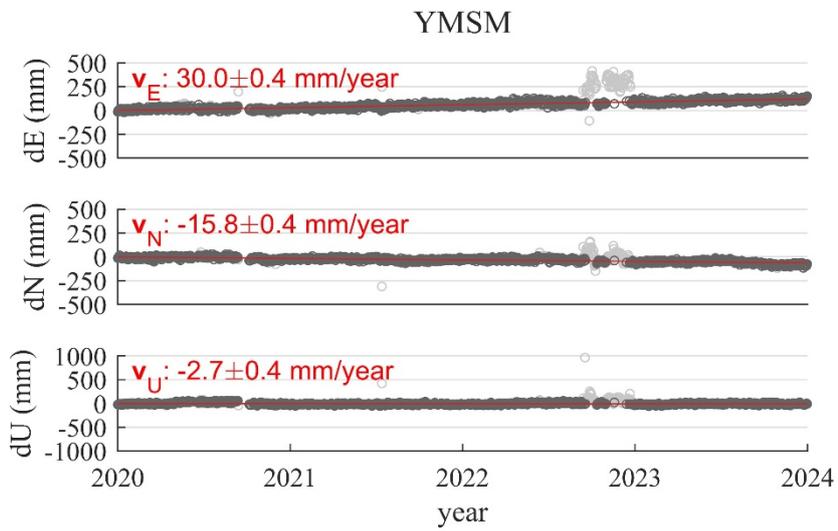
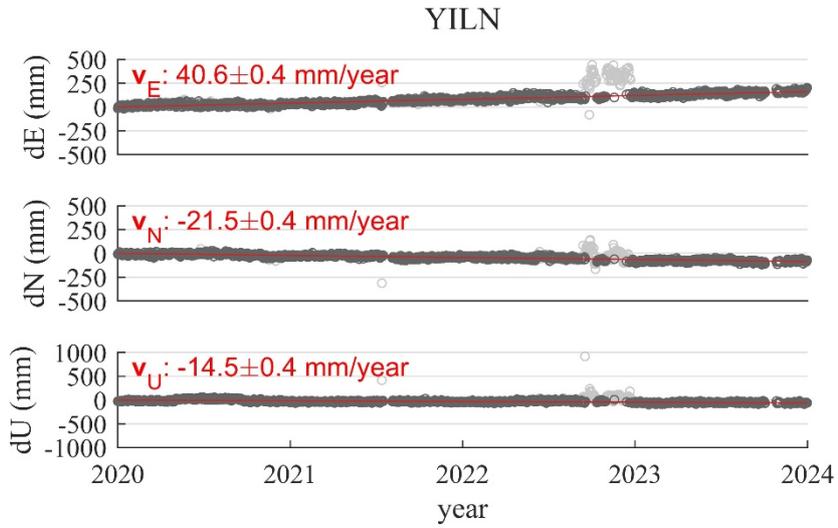




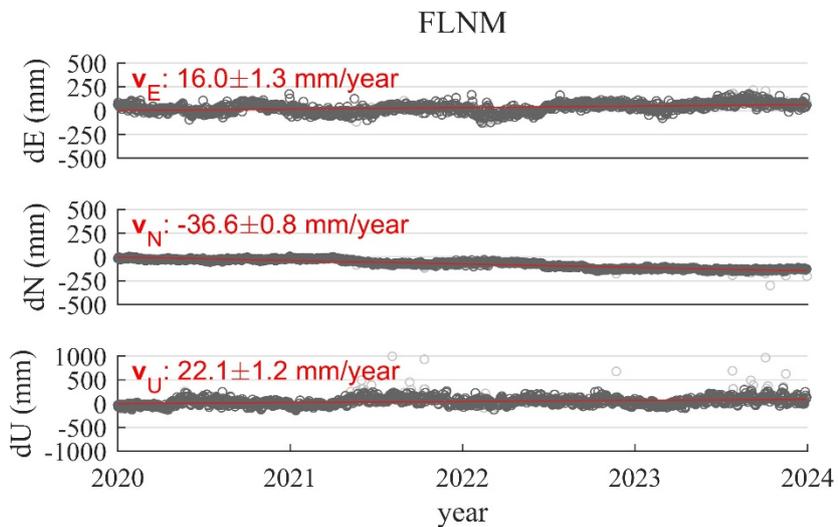
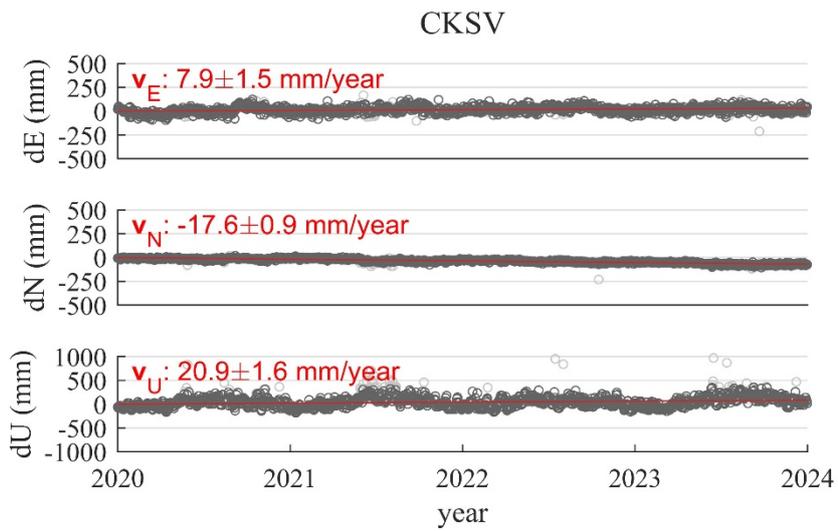
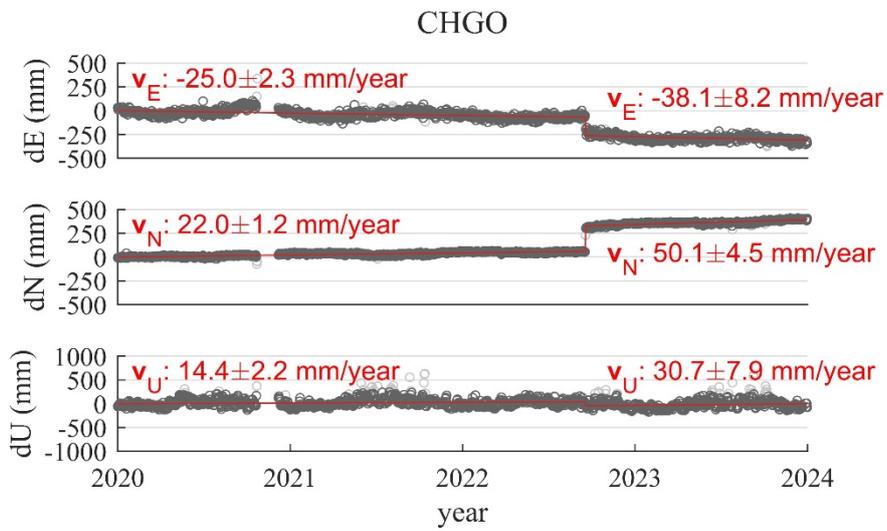




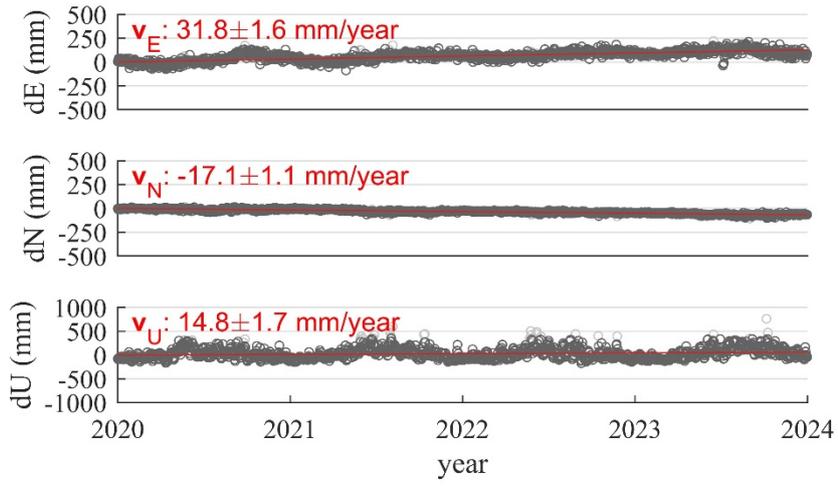




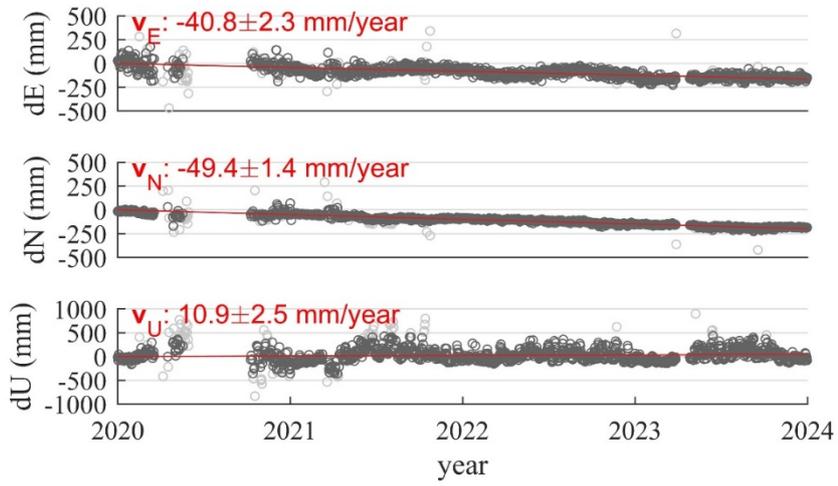
附件二 21 個國內基準站精密單點定位每日解時間序列



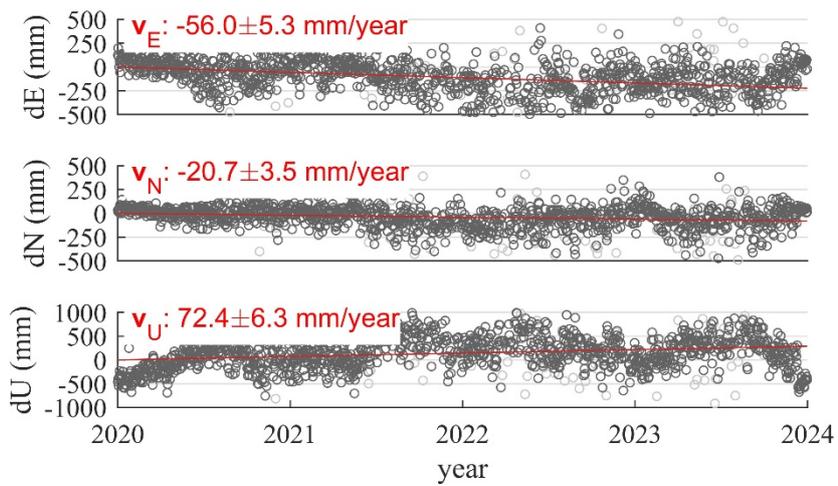
JUNA

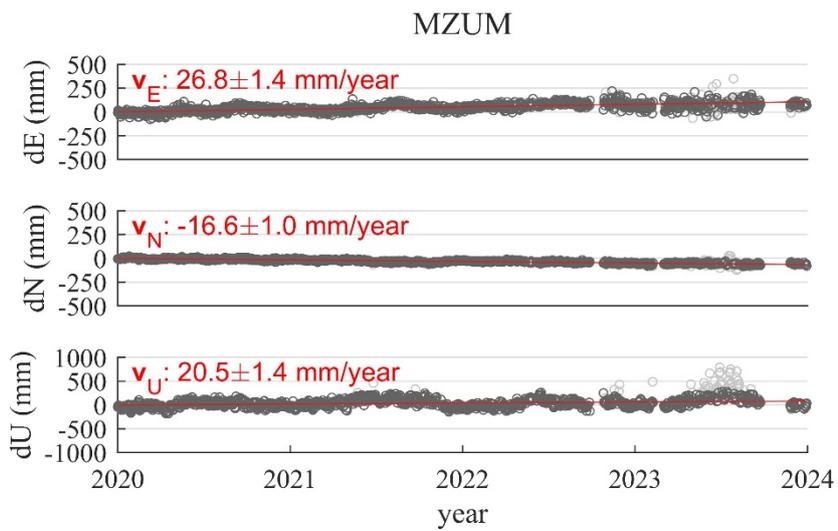
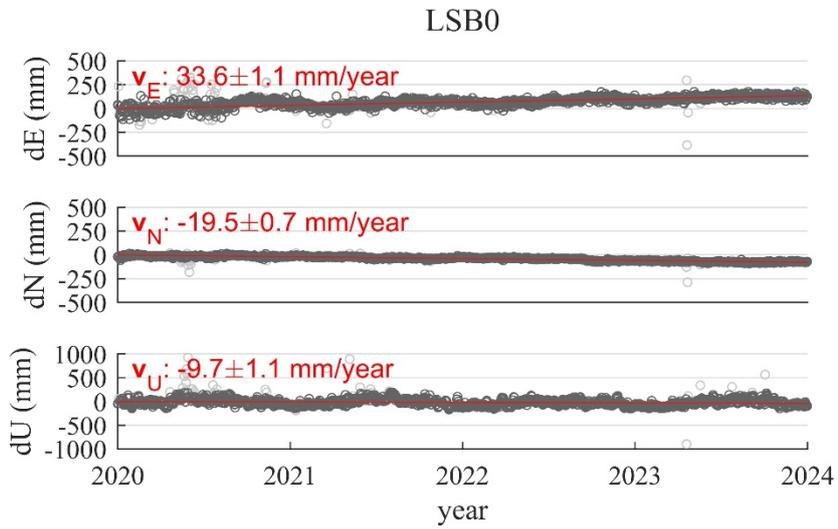
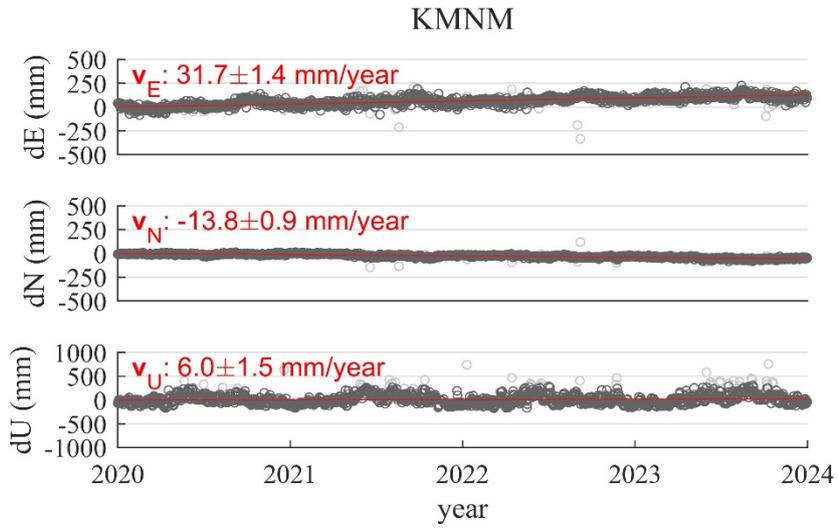


KASH

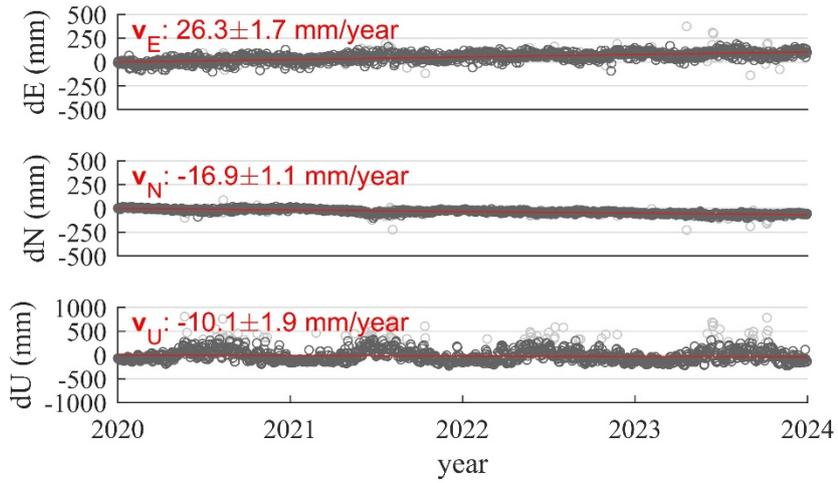


KDNM

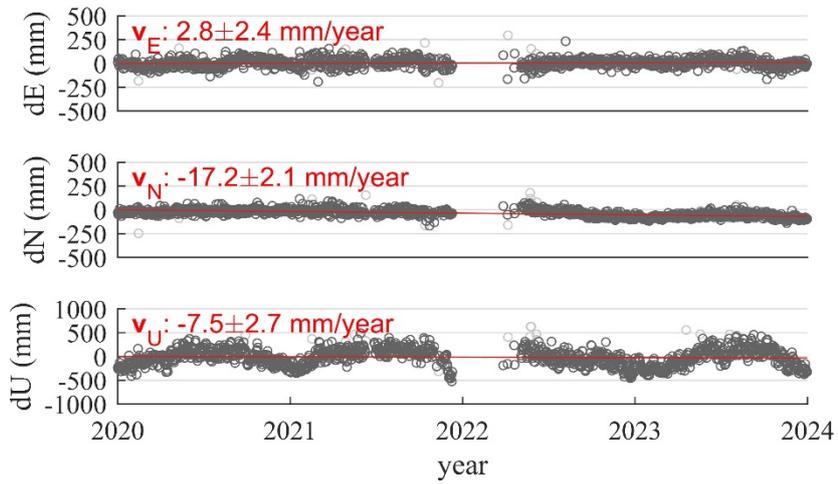




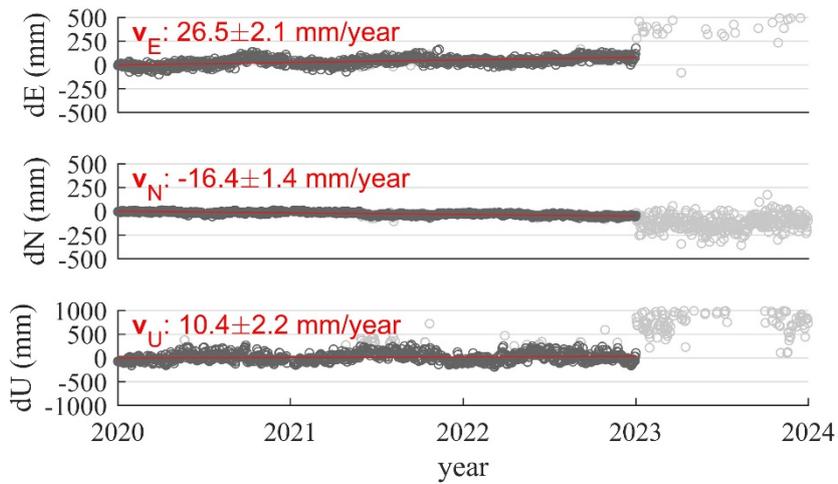
PKGM

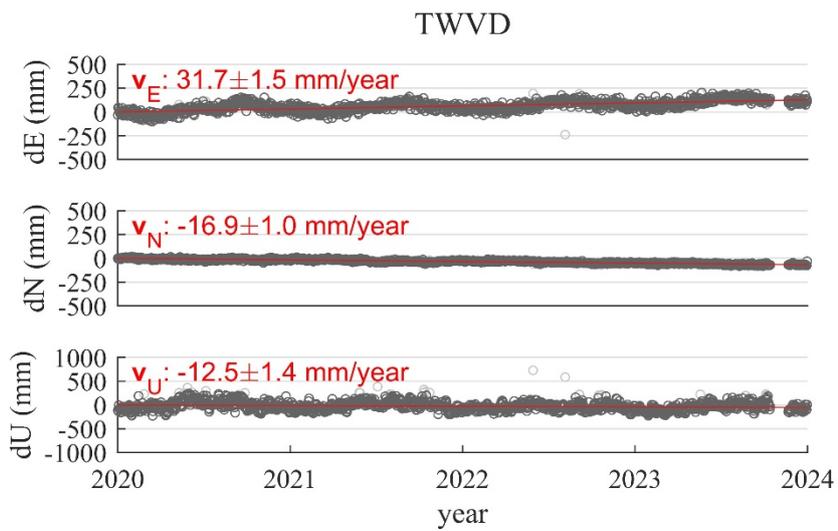
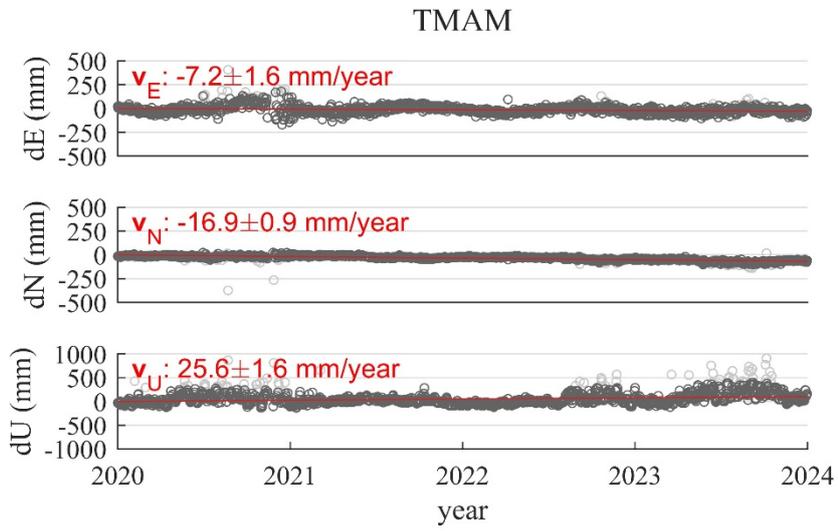
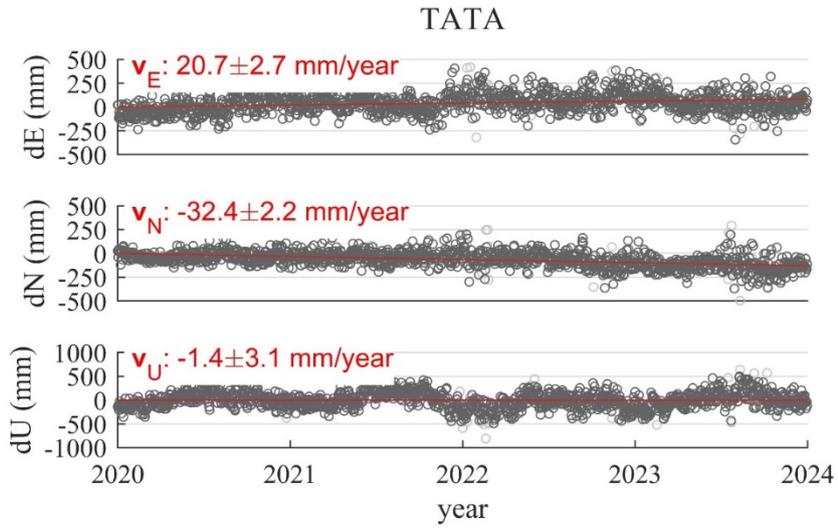


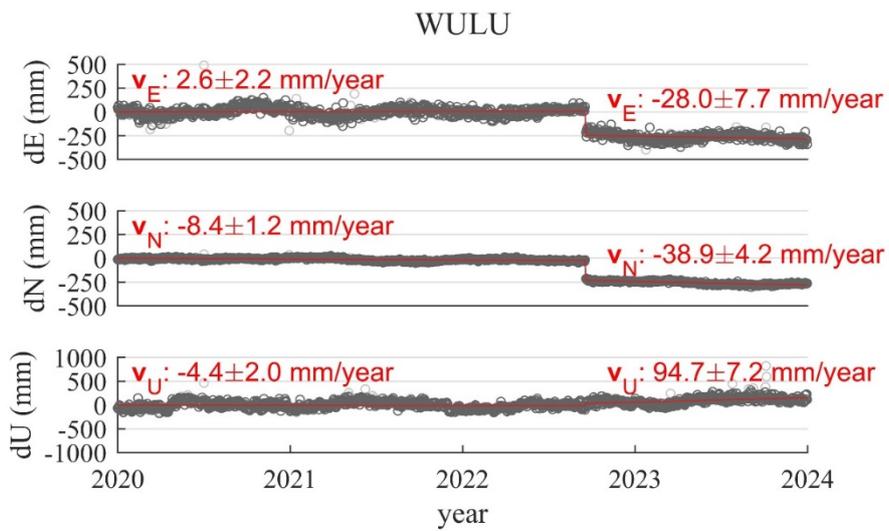
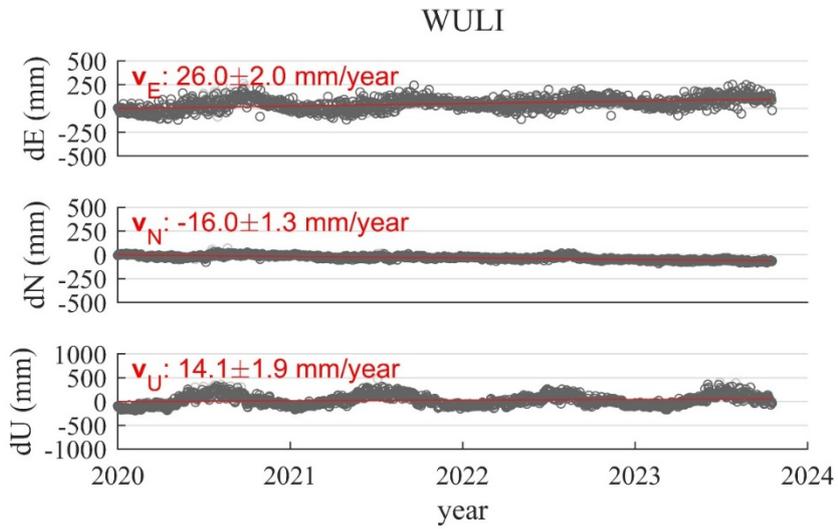
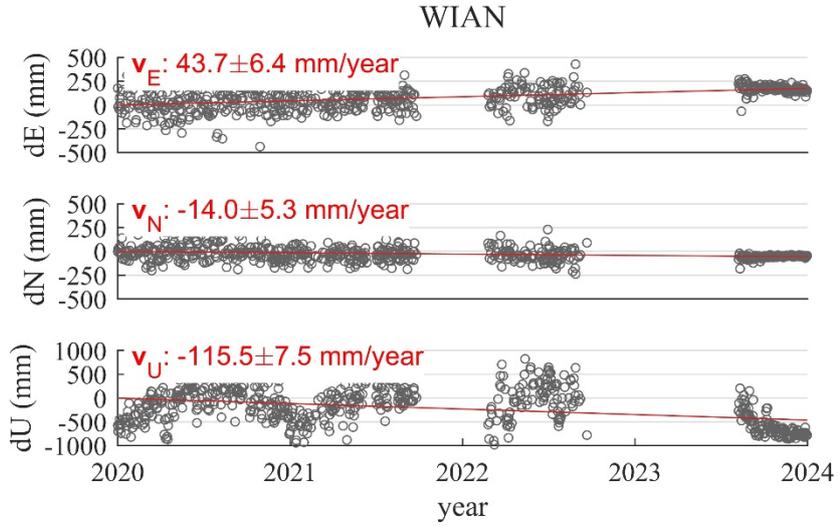
PLIM



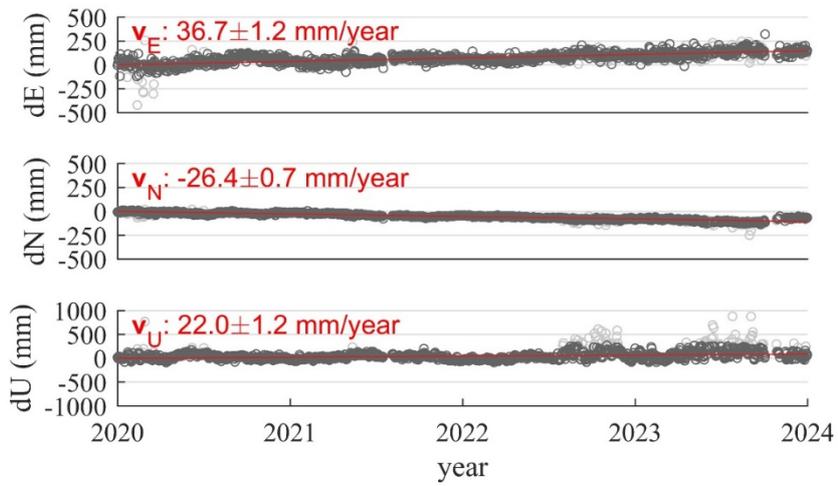
TACH



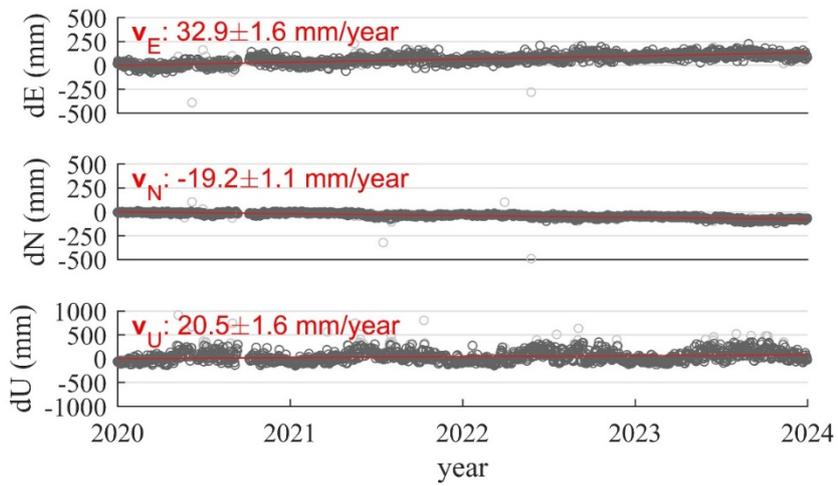




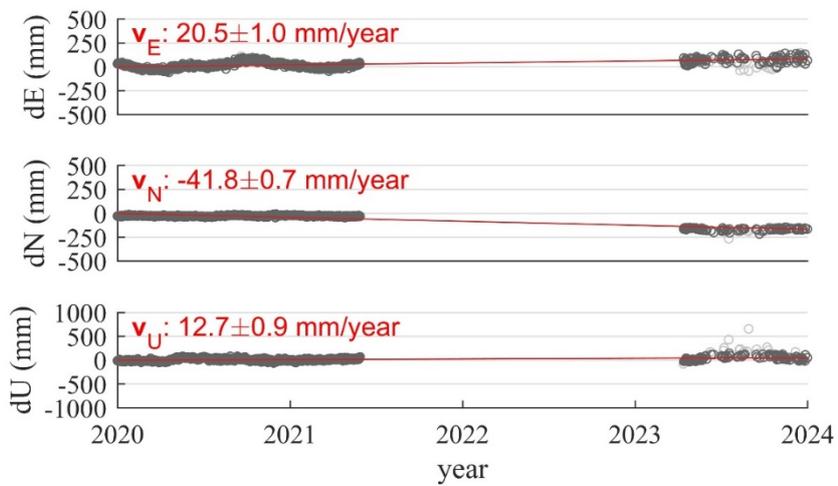
YILN



YMSM



YUSN



附件三 期中報告審查意見及回覆說明

審查意見	回覆說明
<p>莊委員峰輔</p> <p>1. p.1，目錄字體不一，請修正。</p> <p>2. 3.2.1 章節，相對定位法 21 個站是否仍需分區，請說明資料處理流程。</p> <p>3. p.34，有關國土測繪中心 e-GNSS 系統的基準站數及引用資料來源，請確認。</p> <p>4. 後續希望能有時變參考框架與靜態框架之轉換策略或實測數據。</p> <p>5. 4.3.2 章節，開頭請分別簡要介紹 CSRS-PPP 與 TOPS 這兩個系統。</p>	<p>1. 已修正目錄。</p> <p>2. 此 21 個 CORS 基準站係直接擷取自測繪中心 2020-2023 研究案成果，已補充說明於第 3.2.1 節。</p> <p>3. 經確認資料來自測繪中心網站 (https://egnss.nlsc.gov.tw/)，已更新引用來源。</p> <p>4. 期末報告將具體討論時變參考框架與靜態框架之轉換策略。</p> <p>5. 已於第 3.3.3 節中增加對於 CSRS-PPP 以及 TOPS 兩個線上 PPP 服務系統的介紹。</p>
<p>王委員建得</p> <p>p.16，3.1.1 章節請補充說明</p>	<p>謝謝委員的寶貴意見，已補充</p>

<p>TWD97 坐標系統建置歷史。</p>	<p>說明於第 3.1.1 節。</p>
<p>陳委員宏宇</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. p.27，相關單位的英文縮寫請確認。 2. p.35，部分文字誤植，請確認。 3. p.44，圖 3.3.8 不清楚，請修正。 4. PPP-RTK 成果不如預期，除可能受電離層影響外，不排除有其他可能原因，建議可進一步分析各站之間不同的環境配置，釐清原因。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已修正相關單位英文縮寫。 2. 已修正錯字。 3. 原圖字體大小受限於官方網頁設計，放大程度有限。由於其內容用文字表示即可，因此已移除此圖。 4. 儘管測試成果顯示電離層似乎有影響的趨勢，但是不排除是因為廠商系統參數尚未調校完善所造成。因此將待廠商完善系統之後，再釐清環境因素對 PPP-RTK 的影響。
<p>葉委員大綱</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P.27，本案相對定位係將資料分區解算，目前分區係以建置機關區分，後續可考慮以位置區分。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員的寶貴意見，分區以建置機關區分主要乃為資料處理、整飾之考量，後續待全面回溯解算時，可規劃採取位置

<p>2. 後續應說明雙框架機制如何運作，例如：動態框架如何維護、地震後速度場如何重新估算、速度場所需精度？</p>	<p>區分以能更適切反應中短基線解算的優勢。</p> <p>2. 期末報告將具體討論如何維護動態框架、如何重新估算地震後速度場等議題。</p>
<p>陳委員鶴欽</p> <p>1. 4.3.1 章節，表格標題應在表格上方，請修正。</p> <p>2. p.63，內文「CHGO 以及 WULU 站在 2020 年 9 月 18 日受地震影響產生明顯位移」中，應為 2022 年，請修正。</p> <p>3. p.66，請補充 KMNM 及 CKSV 的 IERS 公告速度值與 PPP 成果擬合速度之較差表格(簡報 p.15)。</p> <p>4. 簡報 p.16(轉換策略)及 p.22(測試點位分布)，請於報告中找適當位置補充。</p>	<p>1. 已修正表格標題位置。</p> <p>2. 已修正文字錯誤。</p> <p>3. PPP 成果與 IERS 公告值之較差目前是以文字敘述方式表示在第 67 頁，期末報告會進一步把兩種解算成果與 IERS 公告值的較差製作成表格，方便對照比較。</p> <p>4. 澳洲 ATRF2014 與 GDA2020 之坐標轉換策略已補充於圖 4.1.4；PPP-RTK 與 VBS-RTK 的測試點位分布圖已補充於圖 3.3.14。</p>

<p>內政部</p> <p>1. 4.2.1 章節，請加強補充時變參考框架之優點，以利後續政策說明及推動。</p> <p>2. 4.1 章節，請將 3 個國家的時變坐標參考框架整理為表格，方便閱讀比較。</p> <p>3. 4.2.2 章節，目前僅有提及建立，希望後續能加入具體維護機制(提供國外現行作法做為參考)。</p> <p>4. 5.2 章節，盤點國土測繪中心現有資源時，也請參考國外經驗，一併提出不足之處，供後續辦理參考。</p>	<p>1. 謝謝委員的意見，已補充說明時變參考框架之優點於第 4.2.1 節。</p> <p>2. 已新增表 4.1.1。</p> <p>3. 期末報告將加入具體維護機制分析。</p> <p>4. 期末報告將盤點國土測繪中心現有資源時，並參考國外經驗，提出不足之處。</p>
<p>業務單位</p> <p>1. 報告封面少「本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見」，內頁少書</p>	<p>1. 已修正封面內容。</p> <p>2. 謝謝委員的寶貴意見，將檢視部分基準站時間序列的缺漏情</p>

<p>名頁。</p> <p>2. 4.2.1 章節，部分基準站時間序列缺漏情形有一致性，如 p.70 及 p.71、p.74 及 p.75，經查基準站觀測資料應無遺漏，請再檢視是否有解算錯誤訊息，確保成果完整性。</p> <p>3. 後續相對定位與 PPP 解算成果之比較，希望能納入資料解算成功率。</p> <p>4. 本研究期能針對時變參考框架做一系統性介紹，建議期末報告能就本議題提出具體方向(階段性需辦理事項)，供後續規劃參考。</p>	<p>況並予改善使其完整而呈現於期末報告中。</p> <p>3. 謝謝委員的寶貴意見，將於後續成果中呈現解算成功率等相關指標。</p> <p>4. 期末報告將就時變參考框架之具體方向提出辦理事項規劃。</p>
--	--

附件四 期末報告審查意見及回覆說明

審查意見	回覆說明
<p>陳委員宏宇</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. p.8 及 p.9，關於「精密單點定位」與「即時精密單點定位」的英文原文重複出現。 2. p.48，最後一行沒有參考文獻。 3. p.69，有關 CSRS-PPP 應放入參考文獻，如同 p.46 的 Bernese 軟體也應列入參考文獻。 4. p.101 至 p.129 都在比較 PPP-RTK 跟 VBS-RTK 的解算差異，其中可以明顯看出 PPP-RTK 的成果都比較差，但是在 p.121 反而點為 YJLO 的前 4 小時 PPP-RTK 可以解算 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已刪除 p.9 中「精密單點定位」與「即時精密單點定位」的英文原文。 2. 謝謝委員提醒，已補上參考文獻 3. 已補上參考文獻 4. 本計畫分析之實驗測試站共有 5 站，且每站之測試時間均有 24 小時以上。由於大多數測試數據均顯示 VRS-RTK 的固定解成功率高於 PPP-RTK，因此 YJLO 站的少部分(4 小時)數據

<p>出來，但是 VBS-RTK 卻解不出來，為什麼？</p> <p>5. 參考文獻的格式都不一致，請再小心編輯，尤其是 p.139 沒出現的參考文獻請刪除或者是用辭不對請校正。</p>	<p>並不具備代表性，且其原因不明。</p> <p>5. 已刪除不必要參考文獻，同時已修改文獻格式。</p>
<p>葉委員大綱</p> <p>1. 請問進行相對定位時，臺灣的四個非屬 IGS 測站，是否有給定坐標及速度場？</p> <p>2. 成大 CSKV 站在進行 PPP 計算時高程向的誤差較大，報告提到可能跟附近遮蔽較為嚴重，受到多路徑的影響所致，但亦有可能是來至於對流層延遲誤差的影響，建議可以改採 Bernese 5.2 建議的 VMF 或 GMF 模式來計算。</p> <p>3. p.93，圖 4.9 有關每周解的</p>	<p>1. 臺灣的四個非屬 IGS 測站在進行相對定位時均沒有給定任何約制條件。</p> <p>2. 感謝委員建議，後續研究將改採 Bernese 建議的 VMF 或 GMF 對流層模式進行 PPP 計算。</p> <p>3. 已在 4.2.2.3 節加入了 T 測</p>

<p>流程圖，採用每週的七天成果來檢核，如果地震或更換天線的時間剛好發生在星期天，此一作法有可能無法辨識坐標異常，因為該週七天的資料一起改變了，建議可以採用類似 moving average 的方法才進行除錯。</p> <p>4. 在報告第 47 頁，Bernese 5.2 的 PPP 因為不是整數解，故應該並未使用 QIF 法來解週波未定值，請協助確認。</p> <p>5. 後續若要再進行 PPP-RTK 測試，可考慮是否以不同廠牌設備測試。</p> <p>6. 因為有使用網形資料來進行改正，SSR-post 的設計應該不是針對長時間的觀測資料，未</p>	<p>試來檢驗相鄰兩週的位置估値是否有明顯差異，因此可以避免當地震或更換天線的時間剛好發生在星期天(第一天)的情況。</p> <p>4. 感謝委員提醒，已依建議修改文字敘述，移除 QIF 法。</p> <p>5. 國土測繪中心已購置一個可支援 Compact SSR 格式的 SEPTENTRIO 廠牌接收儀，預估不久即可進行測試。</p> <p>6. 謝謝委員意見，未來將依建議辦理。</p>
--	---

<p>來的計畫在進行此一功能測試時，建議可以使用較短觀測時間的資料。</p> <p>7. 請補充說明本計畫建議的雙框架作法，未來動態框架在應用於 e-GNSS 系統時的具體作法。</p>	<p>7. 後續研究將依建議辦理。</p>
<p>陳委員鶴欽</p> <p>1. p. 84, TACH 站係因2023年1月起該站天線附近加蓋太陽能板支架，導致多路徑效應干擾。</p> <p>2. 建議於適當章節處加強說明推薦採用網格法轉換策略的原因。</p> <p>3. 4.2.4 章節，盤點後之現有資源若有需持續精進更新的部分，請加強分析說明。</p> <p>4. 建議後續可評估本中心於已</p>	<p>1. 已修改相關文字敘述，並新增圖 4.6 顯示 TACH 站附近加蓋太陽能板支架後之情形。</p> <p>2. 已依建議補充說明於 4.2.3 節。</p> <p>3. 已依建議補充說明。</p> <p>4. 後續研究將依建議辦理。</p>

<p>知控制點辦理靜態觀測之成果是否可納入變位模型。</p>	
<p>內政部意見</p> <p>1. P.24 2.4 節使用名詞之差異性 1 節，提及 TWD97 因為延續了原先邊角測量時代「大地基準」的功能，實務上延用此一名稱似乎仍然合理。請補充說明其理由，以利讀者了解。</p> <p>2. 有關計算臺灣時變參考框架 TTRF，本案認為相對定位法及精密單點定位法皆可使用，但後續若我國將推行時變框架，仍需選擇一種方法，不知道團隊建議之作法為何？</p> <p>3. 目前 400 個 CORS 基準站是否能夠內插出全臺坐標轉換之</p>	<p>1. 已依建議補充說明。</p> <p>2. 本團隊建議採取精密單點定位法，已補充說明於 4.2.2.3 節。</p> <p>3. 400 個 CORS 基準站足夠內插出全臺坐標轉換之網格點</p>

<p>網格點呢? 若無法的話, 有無相關建議可提供本部參考。</p> <p>4. 有關國土測繪法對於參考系統、參考框架、大地基準等相關名詞之用法與國際上常見用法之間存在差異, 後續麻煩團隊可直接提出修法建議, 作為本部修法之參考依據。</p>	<p>4. 後續將依建議辦理。</p>
<p>業務單位意見</p> <p>1. 請補充說明 p. 83 與 p. 88 的同震位移量如何計算。</p> <p>2. p. 91, 請於適當章節說明 PPP 法與相對定位法的優劣處。</p>	<p>1. 已於文字描述中補充說明, 同震位移量為透過坐標時間序列擬合式(式 3.2)計算而得。</p> <p>2. 已依建議補充說明於 4.2.2.3 節。</p>



內政部國土測繪中心

地址：臺中市南屯區黎明路2段497號4樓

網址：www.nlsc.gov.tw

總機：(04)22522966

傳真：(04)22592533