

108301000100G0004

精進水深測量作業定位方法之研究 -以精密單點定位為例

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 108 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

108301000100G0004

精進水深測量作業定位方法之研究 -以精密單點定位為例

研究人員： 技士 林承毅

技正 楊枝安

課長 蔡季欣

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 108 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

A Study of Positioning Method of Bathymetry
- An Example of Precise Positioning Process

BY

Cheng Yi Lin

Chih Ann Yang

Ji Shin Tsai

December 2019

目次

目次.....	I
表次.....	II
圖次.....	III
摘要.....	IV
ABSTRACT.....	VII
第1章 緒論.....	1
第1節 緣起與背景.....	1
第2節 研究動機及目的.....	2
第2章 研究方法與流程.....	4
第1節 研究方法.....	4
第2節 研究流程.....	5
第3章 理論基礎.....	6
第1節 衛星定位測量原理.....	6
第2節 PPK 定位技術.....	9
第3節 PPP 定位技術.....	10
第4章 水深測量作業過程及資料計算分析.....	15
第1節 水深測量作業流程.....	15
第2節 測深系統適用性評估.....	16
第3節 後處理動態定位 (PPK) 解算船隻位置軌跡.....	20
第4節 不同距離主站 PPK 解算坐標差.....	24
第5節 後處理精密單點定位 (PPP) 解算船隻位置軌跡.....	27
第6節 PPK 與 PPP 定位方法分析水深測量成果精度.....	37
第5章 結論與建議.....	40
第1節 結論.....	40
第2節 建議.....	41
參考文獻.....	43
附錄.....	44

表次

表 3-1	3 種 PPP 模型之比較	13
表 4-1	使用儀器設備表	17
表 4-2	作業船隻資訊表	19
表 4-3	各主站基本資訊列表	20
表 4-4	TBC 軟體解算精度彙整表	24
表 4-5	各主站與 L051 解算結果較差分析表	25
表 4-6	7 參數坐標轉換共同點列表	33
表 4-7	PPP 解算結果與不同基線距離 PPK 解算結果較差表	35
表 4-8	海道測量最低標準	38
表 4-9	PPK 及 PPP 成果化算至水深測量成果精度檢核	39

圖次

圖 1-1	各年度水深測量辦理範圍圖	3
圖 2-1	研究流程圖	5
圖 3-1	單點定位示意圖	9
圖 3-2	相對定位示意圖	9
圖 4-1	水深測量作業流程圖	15
圖 4-2	測深系統適用性評估作業位置圖	16
圖 4-3	各主站與測深系統適用性評估作業位置圖	21
圖 4-4	TBC 軟體精度門檻設定畫面	22
圖 4-5	TBC 軟體解算船隻軌跡圖	22
圖 4-6	各主站與 L051 解算結果 NEh 較差直方圖	26
圖 4-7	各主站與 L051 解算結果各方向較差總和直方圖	26
圖 4-8	CSRS-PPP 網站資料上傳畫面截圖	28
圖 4-9	解算成果資料報表示意圖	29
圖 4-10	PPP 解算軌跡圖	29
圖 4-11	高程方向位置變化及標準差	30
圖 4-12	緯度方向位置變化及標準差	30
圖 4-13	經度方向位置變化及標準差	30
圖 4-14	PPP 計算成果坐標轉換流程圖	32
圖 4-15	7 參數坐標轉換共同點位置分布圖	34
圖 4-16	PPP 解算結果與不同基線距離 PPK 解算結果比較圖	36
圖 4-17	PPP 解算結果與不同基線距離 PPK 解算結果比較圖	36
圖 4-18	測線重疊檢核示意圖	39

摘要

關鍵字：水深測量、後處理動態定位、精密單點定位

一、研究緣起

內政部國土測繪中心近年來積極辦理我國近岸海域之地形測量工作，透過水深測量方式建立海域地形資料，至 108 年止已完成臺灣本島西部、澎湖、金門及馬祖等地區近岸海域地形資料建置工作，未來將持續建置外海區域之海域地形資料。

前述水深測量工作主要採後處理動態定位法 (Post Processed Kinematic, PPK) 作為船隻動態軌跡定位方法，定位精度可達公分等級，惟 PPK 定位精度與移動站及主站間之距離有關，距離越遠定位精度就隨之降低。本研究為因應未來執行離岸較遠之外海水深測量定位需要，期望透過精密單點定位方法 (Precise Positioning Process, PPP)，藉由國際全球導航衛星系統服務組 (International GNSS Service, IGS) 提供之精密的衛星軌道和時鐘差資料，利用其不需自行架設之主站，不受距離限制的特性，研究 PPP 可否符合水深測量定位精度之需求。

二、研究方法及過程

本研究分析比較 PPK 與 PPP 應用於水深測量作業定位成果之差異，除了計算每一時刻之船隻動態軌跡，對天線盤相位中心之定位結果進行研究外，亦進一步分析採用 PPK 與 PPP 定位結果所製作之水深測量成果是否符合國際海道測量組織 (International Hydrographic Organization, IHO) 所訂之水深測量規範。

選定 1 個水深測量作業測試區，用相同的衛星定位儀原始觀測資料，分別以在 PPK 與 PPP 方法計算定位結果，於 PPK 計算

時以多個不同主站，分析不同基線距離對於 PPK 定位精度的影響，並進一步了解在多少基線距離內，適合採用 PPK 定位方法，進行水深測量作業；另外亦將 PPP 定位結果與 PPK 計算結果比較，評估是否適合作為水深測量作業定位需求。

三、重要發現

不同基線距離 PPK 計算成果的距離效應是明顯的，不論是在軟體本身內部解算精度的部分，或是在不同主站解算結果 N、E、h 坐標較差的部分皆然，另外在 PPP 解算成果的部分，定位結果與短基線 PPK 解算結果非常接近，可作為水深測量定位方法，特別是辦理離岸較遠的海域水深測量時，PPP 可發揮其單點定位不受基線距離效應影響的優勢。

(一) PPK 軟體本身內部解算精度：本研究計算最短基線距離 5 公里（主站 L051）的結果，水平方向精確度（H Precision）平均值及標準差分別為 2.6 公分及 0.3 公分，垂直方向精確度（V Precision）平均值及標準差分別為 5.2 公分及 1.1 公分，浮動解（Float solution）的比例為 0%；而最長基線距離 264 公里（主站 KDNM）的解算成果，水平方向精確度平均值及標準差分別為 8.8 公分及 11.3 公分，垂直方向精確度平均值及標準差分別為 14.9 公分及 19.3 公分，浮動解的比例為 12%。

(二) PPK 不同主站之解算結果坐標較差：比較距離移動站最遠的 KDNM 與距離移動站最近的 L051 解算結果精確度，於水平方向平均值及標準差的部分，KDNM 比 L051 多出 6.2 公分及 11.0 公分，於垂直方向平均值及標準差的部分，KDMN 比 L051 多出 9.7 公分及 18.2 公分，雖然在水平及垂直精確度平均值的差異皆在 10 公分以內，但標準差的差異已經接近

20 公分，浮動解的比例也增加了 12%，顯示基線距離越長，不僅定位成果精度變差，解算成功率也會降低。

(三)PPP 計算結果：PPP 的計算結果與以 L051 為主站的 PPK 解算結果差異甚小，在 N、E、h 三個方向每個時刻的坐標差平均值分別為 4mm、2.7mm 及 1.8mm，較差標準差分別為 1.2mm、2.2mm 及 2.5mm，依據 IHO S44 對於特等水域定位之要求，平面不確定度 2 公尺，垂直不確定度 0.25 公尺而言，如此的 PPP 解算結果已可滿足水深測量定位之需求。

四、主要建議事項

PPK 計算船隻動態軌跡成果之精度與準確度皆會隨基線距離的增長而降低，然而 PPK 的適用範圍為何？基線距離多長以內適合採用，是吾人關心的課題；經分析多個不同基線距離與 L051 主站之較差，結果顯示，基線距離 27 公里的 PPK 解算結果，h 方向的較差僅約 5 公分，基線距離 72 公里的 PPK 解算結果，h 方向的較差已經超過 10 公分，而基線距離 100 公里的 PPK 解算結果，h 方向的較差更是已經超過 20 公分。如為符合 IHO S44 特等作業規範之深度不確定度要求 25 公分的規定，建議控制船隻軌跡的解算結果精度在 10 公分以內，95%信心區間不確定度為 20 公分，再加上測深系統內其他不確定來源，合計後的總不確定度就很可能會超過 25 公分。依本研究結果顯示，如欲辦理符合 IHO 特等作業範圍之水深測量作業，建議基線距離最好控制在 30 公里以內，而不可超過 70 公里。

ABSTRACT

Keywords: Bathymetry · PPK · PPP

The Land Surveying and Mapping Center of the Ministry of the Interior have actively handled topographic surveys of coastal waters in recent years, and established topographical data of sea areas by sounding surveys. Topographical data construction work will continue to build topographical data in offshore areas in the future.

The post-processed kinematic (PPK) positioning method is used as the positioning for bathymetry. The positioning accuracy can reach the centimeter level. The positioning accuracy is related to the distance between the mobile station and the master station. The longer the distance, the lower the positioning accuracy. In order to do bathymetry of offshore areas in the future, this study is expected to PPP method can Meet the needs of positioning accuracy.

The study found that the distance effect of PPK calculation results at different baseline distances is obvious. Regardless the accuracy of software or coordinates of the solution of different master stations are the same. In addition, the PPP solutions are very close to the short baseline PPK solutions. Can be used as a positioning method of bathymetry. Especially when dealing with offshore areas, PPP can take advantage of its not affected by the effect of baseline distance.

第1章 緒 論

第1節 緣起與背景

臺灣四周環海，國民生活與海洋息息相關，「中華民國領海及鄰接區法」的訂定，使我國海域國土範圍劃設有所依據；行政院並於 88 年公布中華民國第一批領海基線、領海及鄰接區外界線（98 年修正公告），實質向國際社會宣示我國領海主權及測算其他海域權利得主張之基礎與範圍。自基點向外海延伸 12 浬之連線範圍為我國領海，再向外之連線範圍為鄰接區範圍，明確劃設出我國海域國土範圍。國土基本資料為國家建設、土地規劃利用之重要依據，為建立完整之國土基本資料，我國於 96 年公布施行「國土測繪法」，該法第 4 條明確揭示中央主管機關應辦理全國性海域基礎圖資測繪及國土基本資料建置工作。

領海及鄰接區海域基本圖簡稱海域基本圖，主要內容包含海底地形與水文資料為主題之地圖。海域基本圖的目標為延續陸域基本控制測量系統，據以確定國家海域，作為海洋資源開發使用、規劃管理之依據，減少海事、漁業糾紛；整合陸地及海洋測量系統，以利國土整體規劃，永續經營。為建立完整海域基本圖，內政部研擬「國家基本測量發展計畫」，自 93 年度起辦理海域基本圖測量。嗣於「基本測量及圖資測製實施計畫」、「我國大陸礁層與島礁調查計畫」及「我國海域調查與圖資整合發展計畫」項下，持續推動海域基本圖測量工作，並交由內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）執行。

隨著航運及漁業發展，海上航行安全日益受到重視，電子航行圖 (Electronic Navigational Charts, ENC) 為目前世界各國航船參考的通用

圖資。基此，內政部及內政部國土測繪中心為善盡海洋國家的國際社會責任及因應國際化與資訊化的國際現勢，擴大海域調查資料應用及圖資整合範疇，滿足國際海上人命安全公約（International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS)對航行安全的要求，自 105 年度起水深資料調查及整理工作，從原辦理測製海域基本圖工作，調整為優先朝向以建置符合 IHO 規範要求之 ENC 前置資料為原則。

第2節 研究動機及目的

國土測繪中心自 93 年度起受內政部委託辦理我國海域基礎資料調查工作，至 107 年度止已先後完成本島西部及各主要離島周邊近岸海域之水深測量工作，由於西部海域及各主要離島之近岸海域皆已測繪完成，108 年度起開始辦理離岸較遠之西部海域及水深較深之東部海域，各年度水深測量辦理範圍如圖 1-1 所示。前述水深測量作業是以船測方式進行，由全球導航衛星系統 GNSS（Global Navigation Satellite System, GNSS）搭配測深系統獲得水深測量成果，由 GNSS 系統測得船隻位置，測深系統測得水深值，船隻定位方法主要採後處理動態定位 PPK（Post Processing Kinematic, PPK），然而 PPK 是一種差分（Differential）定位方法，理論上而言，定位精度與移動站及主站間的距離有關，距離愈遠精度越低，有鑑於未來水深測量作業範圍將離岸越來越遠，PPK 定位方法能否適用？適用的距離極限為何？是本研究想了解的課題。

第2章 研究方法與流程

第1節 研究方法

本研究使用 108 年度內政部國土測繪中心辦理台中市周邊海域水深測量作業之測深系統適用性評估資料相關成果進行分析研究，研究內容包含國內外文獻蒐集、測試資料蒐集、資料計算分析及研究報告撰寫等部分，以下概述各項工作內容。

一、國內外文獻蒐集

蒐集國內外水深測量船隻定位方法發展歷程、方向，以及主要應用領域，了解 PPK 與 PPP 定位方法之適用範圍，做為本研究水深測量作業定位方式之參考。

二、測試資料蒐集

本研究測試區域位於臺中市梧棲漁港外海約 5 公里處，面積約 1 平方公里 (1km×1km)，該區域內有臺中港天然氣輸氣管線通過，水深約 30 公尺至 50 公尺。

三、資料計算分析

本研究將分析 PPK 及 PPP 2 種定位方法對於船測定位結果的差異，其中 PPK 將採多個主站計算結果，分析移動站與主站間的距離，對定位結果有多大的影響，並將船隻定位結果套用到水深測量成果，分析其對於水深測量成果精度。

四、研究報告撰寫

依內政部推動自行研究發展獎勵作業規定格式，辦理本研究報告書之撰寫製作工作。

第2節 研究流程

本研究流程主要分為國內外文獻蒐集、測試資料蒐集、資料計算分析及研究報告撰寫等 4 部分，其流程圖如圖 2-1。

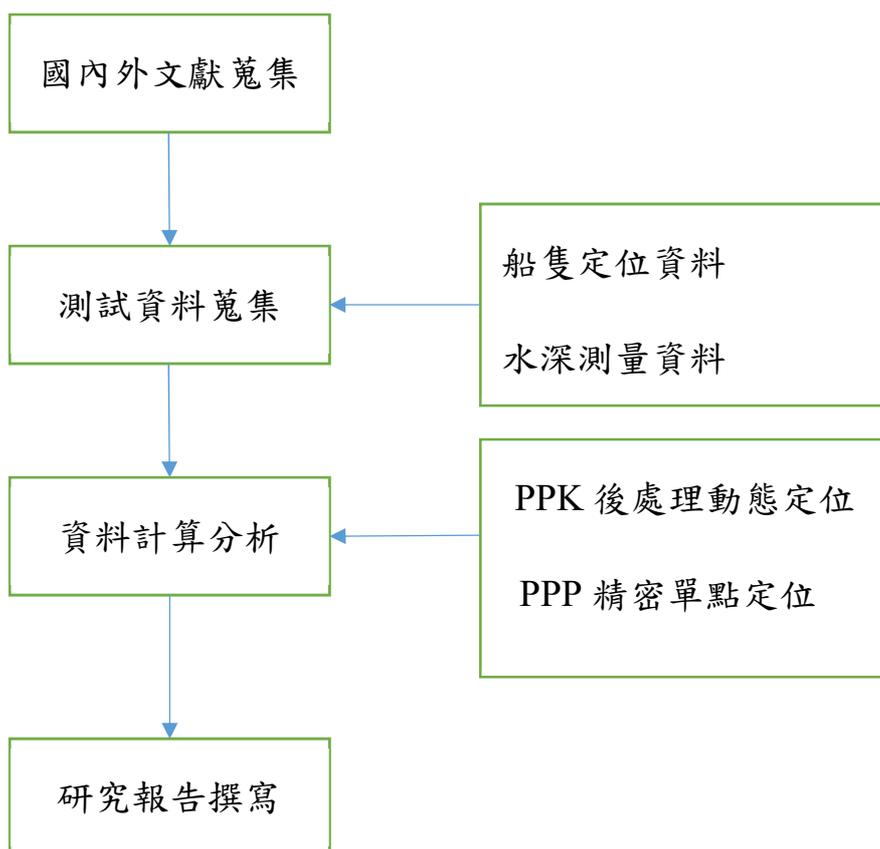


圖 2-1 研究流程圖

第3章 理論基礎

第1節 衛星定位測量原理

一、衛星定位測量基本原理

衛星定位方式主要是透過精準的量測衛星所發射的無限電訊號傳遞到接收儀所需要的時間，獲得衛星到接收儀間的空間向量，藉由已知的衛星位置，推求點位的三度空間坐標，主要的觀測量有虛擬距離觀測量與載波相位觀測量兩種，基本上都是距離的量測，理論上只要同時觀測三顆以上的衛星，獲得三個空間距離，配合廣播星曆提供的衛星位置，可透過空間後方交會法解算出衛星定位儀所在點位的位置，一般而言目前衛星定位測量常用的單點定位與相對定位的方法，分別是採用虛擬距離觀測量與載波相位觀測量來計算定位結果。

衛星定位測量中，影響觀測量精度的主要誤差來源一般可分與GPS衛星有關、與信號傳播有關及與接收儀有關三種，而這些誤差並不是都能夠消除，大部分可透過差分的方法與數學模式的修正來減少誤差量。本節將針對上述所提衛星定位觀測量、測量方法、誤差來源及誤差消除方式逐一說明。

GPS的觀測量主要有虛擬距離觀測量與載波相位觀測量兩種，虛擬距離觀測是以虛擬噪聲碼（Pseudo Range Noise, PRN）電碼來進行測距，而PRN碼是衛星根據本身的原子鐘所發射的一種二元碼，當衛星定位儀在某個時刻收到來自衛星的訊號時，會根據本身的時鐘產生一組結構相同的二元碼，與接收到的訊號進行相關批配，當兩個訊號達到最大相關時，可得到一個訊號傳播的時間延遲，這個時間延遲乘以訊號傳遞的速度，即可獲得衛星與

衛星定位儀間的距離。載波相位觀測量則是以波長為基礎所推得的距離觀測量，與虛擬距離測量相同，衛星與接收儀會根據自身的時鐘產生載波相位，分析來自衛星訊號與接收儀訊號的相位差求得其間的距離。

二、衛星定位測量主要誤差來源

衛星定位儀所紀錄的資料中含有各種誤差，依來源主要可分為三類，分別為與衛星有關的誤差，與信號傳播有關的誤差及與衛星定位儀有關的誤差，其中與衛星有關的有衛星軌道誤差及衛星時鐘誤差，與信號傳播有關的有電離層延遲誤差、對流層延遲誤差及多路徑效應的影響，與衛星定位儀有關的有接收儀時鐘誤差、週波未定值與週波脫落、天線相位中心偏差等。在處理資料計算基線向量時必須將上述誤差儘可能的消除，但並非所有誤差皆可消除，有些可透過差分 (Differential) 與雙頻資料線性組合的方式來加以改正，有些可透過數學模式加以修正，有些則無法預測，更難以修正，只能避免其發生。

差分與雙頻資料線性組合，為目前最常用於消除 GPS 觀測誤差的方式，差分可分為一次差、二次差及三次差，其中一次差可消除衛星或衛星定位儀時鐘誤差，二次差可同時消除衛星及接收儀時鐘誤差，三次差則用來消除因週波未定值引起的誤差或偵測週波脫落的現象；雙頻資料線性組合則有無電離層線性組合 (L3)、無幾何距線性組合 (L4)、寬向線性組合 (L5) 及窄向線性組合 (L6) 等，其中 L3 可消除載波相位觀測量中的電離層效應，L4 可消除載波相位觀測量中的對流層效應，L5 及 L6 可用於計算週波未定值及週波脫落的偵測。

三、單點定位

單點定位 (SPP) 又稱為絕對定位，是利用單一測站之觀測量處理而得該點相對於地心之坐標，定位的基礎為空間距離的後方交會，理論上僅需要三個獨立的距離觀測量便可以求解測站的空間坐標，此觀測量為衛星到衛星定位儀間單程的測距，這個距離因受到衛星時鐘與接收儀時鐘無法保持嚴密同步的影響，導致距離觀測量包含誤差，故一般稱為虛擬距離 (Pseudorange)。其中衛星的時鐘誤差可依據衛星廣播星曆中的時鐘參數加以修正，而接收儀的時鐘誤差則難以確定，所以會將此誤差視為未知數與測站坐標一併求解，故實際上單點定位至少需要觀測 4 顆以上的衛星，才能對接收儀時鐘誤差的部分加以改正，但因對流層與電離層所引起的訊號傳遞延遲誤差仍無法改正，以致精度較差，一般單點定位是透過虛擬距離與廣播星曆的衛星軌道參數和時鐘差進行改正。由於虛擬距離的觀測雜訊達數十公分、衛星廣播星曆的軌道精度為數公尺、衛星時鐘差的改正精度為數十奈秒，加上公尺級的電離層及對流層延遲之影響，這種單點定位技術之精度約只可達十公尺等級。

四、相對定位

相對定位原理基本上是以 2 部接收儀為基礎，1 部擺在已知點上觀測，稱為主站 (Base Station)，另 1 部擺在待測點上，稱為移動站 (Rover)，觀測衛星資料求得主站與移動站間的基線向量，待測點的坐標就可推算而得。實際上相對定位測量會在同一個時間點實施觀測，若主站與移動站在 10 公里之內 (曾清涼)，則各種環境條件較為接近，有利於基線求解並提高定位精度，目前大

部分的衛星定位測量皆以此法為基礎，並擴大為多點同時定位，亦稱為網狀定位 (Network Positioning)，可獲得較佳的測量精度。

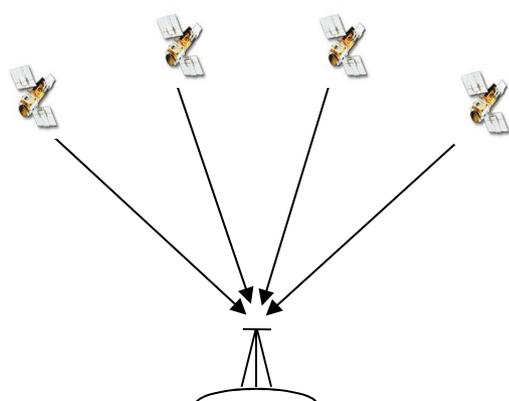


圖 3-1 單點定位示意圖

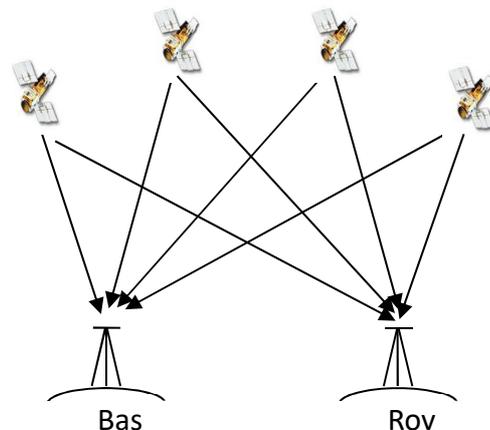


圖 3-2 相對定位示意圖

第2節 PPK 定位技術

為了消除或降低衛星定位測量主要的幾種誤差，發展出差分定位方法 (Differential GNSS, DGNSS)，原理是在 1 個已知點上架設衛星定位儀，稱為主站 (Base Station)，再用另 1 台衛星定位儀與主站之同步接收，稱為移動站 (Mobile Station)，在一定的距離內，因基站與移動站之環境相同，可藉由 2 站間觀測量之線性組合方式來消除誤差，如果移動站是在動態的狀態下，如本研究以船隻辦理水深測量，即可稱為動態差分定位，而動態差分定位依處理方式，可再分為即時動態動位 (Real Time Kinematic, RTK) 與後處理動態定位 (Post Processed Kinematic, PPK)，這 2 種方法在觀測資料品質良好的狀況下，皆可獲得高精度的定位結果。

RTK 是透過無線電傳輸技術，將主站端的觀測資料即時傳輸到移動站端，透過移動站端的電腦運算，進行即時差分計算，惟無線電傳輸受到距離與地形遮蔽的影響，目前於國土測繪中心所辦理之水深測量計畫中，RTK 定位方法僅用於現場船隻導航用，最後的水深測量成

果，皆採 PPK 定位方法計算船隻軌跡，再搭配測深系統所獲得之資料，化算水深測量成果。

第3節 PPP 定位技術

精密單點定位 (Precise Point Positioning, PPP)，以單部衛星定位儀的觀測數據 (含未差分的虛擬距離與載波相位觀測量) 配合國際 GNSS 服務組織 (International GNSS Service, IGS) 提供的衛星精密星曆和時鐘差，在全球任意位置都可以獲得即時的或後級處理的高精度定位成果。精密單點定位因僅有單部衛星定位儀的資料，無法以差分的方式消除各種誤差，所以為了處理衛星時鐘差，需以 IGS 分布全球的 GNSS 觀測站資料求解精密的衛星時鐘差加以改正。至於接收儀時鐘差，則將其視為未知參數，以最小二乘平差法，在求解點位坐標時一併解算。常用的 PPP 數學模型列舉如下：

一、傳統模型：使用雙頻載波相位與虛擬距離觀測量所組成之無電離層模型 (Zumberg et al., 1997)，其公式簡化如下：

$$P_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} p_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} p_2 = \rho + cdl + d_{trop} + \varepsilon(p_{IF})$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_2 = \rho + cdl + d_{trop} + B_{IF} + \varepsilon(\Phi_{IF})$$

其中 P_{IF} 為虛擬距離 P_1 與 P_2 之無電離層線性組合； Φ_{IF} 為載波相位 Φ_1 與 Φ_2 無電離層線性組合； f_1^2 為載波頻率；

$B_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_1 N_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_2 N_2$ 為無電離層組合之週波未定值；

$\varepsilon(P_{IF})$ 與 $\varepsilon(\Phi_{IF})$ 分別為虛擬距離及載波相位觀測量之觀測量雜訊及未被模型化的誤差。

二、U of C 模型：加拿大卡加利大學空間資訊工程系所發展之模型

(Shen and Gao, 2002)。該模型與傳統模型不太一樣；除了採用無電離層相位組合外亦採用 L1 與 L2 二個頻率的電碼與相位的平均形式組合，如此的組合亦有降低電離層效應之功效。相關的公式列舉如下：

$$P_{IFL1} = \frac{1}{2}(p_1 + \Phi_1) = \rho + cdl + d_{trop} + \frac{1}{2}\lambda_1 N_1 + \varepsilon(p_{IFL1})$$

$$P_{IFL2} = \frac{1}{2}(p_2 + \Phi_2) = \rho + cdl + d_{trop} + \frac{1}{2}\lambda_2 N_2 + \varepsilon(p_{IFL2})$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_2 = \rho + cdl + d_{trop} + B_{IF} + \varepsilon(\Phi_{IF})$$

其中 P_{IFL1} 與 P_{IFL2} 分別為 L1 與 L2 二個頻率上虛擬距離與載波相位組合之觀測量； Φ_{IF} 為載波相位 Φ_1 與 Φ_2 無電離層線性組合； $\varepsilon(p_{IFL1})$ 、 $\varepsilon(p_{IFL2})$ 與 $\varepsilon(\Phi_{IF})$ 分別為三種觀測量之觀測量雜訊及未被模型化的誤差。

三、無週波未定值模型；與上述二種模型不同，此種模型採用無電離層虛擬距離組合觀測量與時刻差分的載波相位觀測量(對前後時刻的無電離層載波相位線性組合求差)。相關公式列舉如下：

$$P_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} p_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} p_2 = \rho + cdl + d_{trop} + \varepsilon(p_{IF})$$

$$\begin{aligned} \Phi_{IF} &= \Phi_{IF}(i) - \Phi_{IF}(i-1) \\ &= \rho(i) - \rho(i-1) + c(dl(i) - dl(i-1)) + d_{trop}(i) - d_{trop}(i-1) + \varepsilon(\Delta\Phi_{IF}) \\ &= \Delta\rho + c\Delta dl + \Delta d_{trop} + \varepsilon(\Delta\Phi_{IF}) \end{aligned}$$

上式為無電離層線性組合之時刻差分； $\Delta\rho$ 、 $c\Delta dl$ 與 Δd_{trop} 分別為二個相鄰時刻之幾何距離差、接收儀時鐘誤差與對流層延遲之差。觀測量之觀測量雜訊及未被模型化的誤差。 ε 為組合觀測量之觀測量雜訊及未被模型化的誤差。

到目前為止，傳統模型為三種模型中應用最廣泛的一種，然其在實際應用中也有不足之處。首先為無電離層相位組合觀測值中的組合週波未定值只能以實數參數進行估計，故無法利用週波未定值的整數

特性，未知參數的估值只能隨著觀測量的累積與幾何的變化逐步地區於收斂；其次，組合觀測值的雜訊被放大了，觀測雜訊為原始電碼和載波相位觀測量雜訊的 3 倍，雜訊越大，收斂的位置誤差也越大，故計算過程中趨於收斂所需的時間也越長。

U of C 模型中的電碼和載波相位組合不但可以消除一階電離層的影響，它還有效地降低組合觀測量中的雜訊。與原始的電碼觀測雜訊相比，組合觀測值的雜訊只有前者的一半，這點是相當重要的。如果觀測量雜訊與未被模型化的殘差之和越小，則未知參數的估計收斂越快，估值也越精確。此模型不同於傳統模型，其最大特點就是可以分別估計 L1 與 L2 之整數週波未定值，進行週波未定值的虛擬固定 (Ambiguity Pseudo Fixing)，從而可以加速解算過程的收斂。

無週波未定值模型採用前後觀測時刻之相位差來消除初始相位週波未定值，如此可以有效地降低對電腦資源的需求。相位差觀測量只能求解位置差，而無法得到使用者的絕對位置解。可由電碼確定位置再由相位觀測量確定位置差，將每個時刻的位置和位置差組合起來即可獲得接收儀的動態軌跡。時刻相位差是同一顆衛星的二個相位觀測量之差，若前後時刻追蹤的衛星有改變，則這些衛星的相位觀測值實際上沒被利用，從而造成觀測資料的使用率相對較低。此外，相位差觀測值雖消除了週波未定值參數，但卻增加觀測值間的數學相關性，實際應用的過程中，為了數據處理的方便，這種相關性一般是被忽略的。

綜上所述，此三種模型最主要的區別為週波未定值之處理策略，表 3-1 比較這三種模型之週波未定值處理策略、優點及缺點。

表 3-1 3 種 PPP 模型之比較

比較\模型	傳統模型	UofC模型	無週波未定值模型
週波未定值之處理策略	迭代計算週波未定值之實數解	估計L1 _{L1} 與L2之整數週波未定值，進行週波未定值的虛擬固定	無週波未定值求解
優點	簡單	雜訊變小，收斂速度快	處理速度快，無週波未定值求解問題
缺點	雜訊放大3倍，速度較慢	較耗資源	相關性，無法直接求得絕對坐標

精密單點定位是先利用全球若干 IGS 追蹤站算出精密衛星軌道參數與時鐘差，再利用所求得的衛星軌道參數與衛星時鐘差對單台接收儀採集的虛擬距離與相位觀測量進行無差分的定位處理。如前所述，精密單點定位是利用無差分的觀測量進行定位，故其誤差無法透過差分的方式消除，只能利用模型或和位置參數一起估計的方式消除其影響。故週波脫落之偵測與修復之問題都較差分定位模式困難，故資料之預處理是相當重要的。

精密單點定位有以下之關鍵之處：

- 一、衛星軌道精度需達公分級，故須使用 IGS 提供精度達 3~5 公分之精密星曆。
- 二、衛星時鐘差的改正需達奈秒級，除噴射推進實驗室(Jet Propulsion Laboratory, JPL) 提供 30 秒間隔之時鐘差外，IGS 及其他分析中心均提供五分鐘間隔的時鐘差。
- 三、解算過程須考慮固體潮、大洋負荷、衛星天線相位變化等誤差的改正模型。

- 四、在定位過程中採用無差分觀測量，同時虛擬距離觀測量在初始階段作為輔助觀測值參加解算。
- 五、精密單點定位無法固定整數週波未定值，計算過程中需要一段收斂的過程。

第4章 水深測量作業過程及資料計算分析

第1節 水深測量作業流程

水深測量過程主要作業項目有工作計畫準備、控制測量、測深系統適用性評估、海域水深測量及成果產製等，各主要工作項目及細部作業細項如圖 4-1。

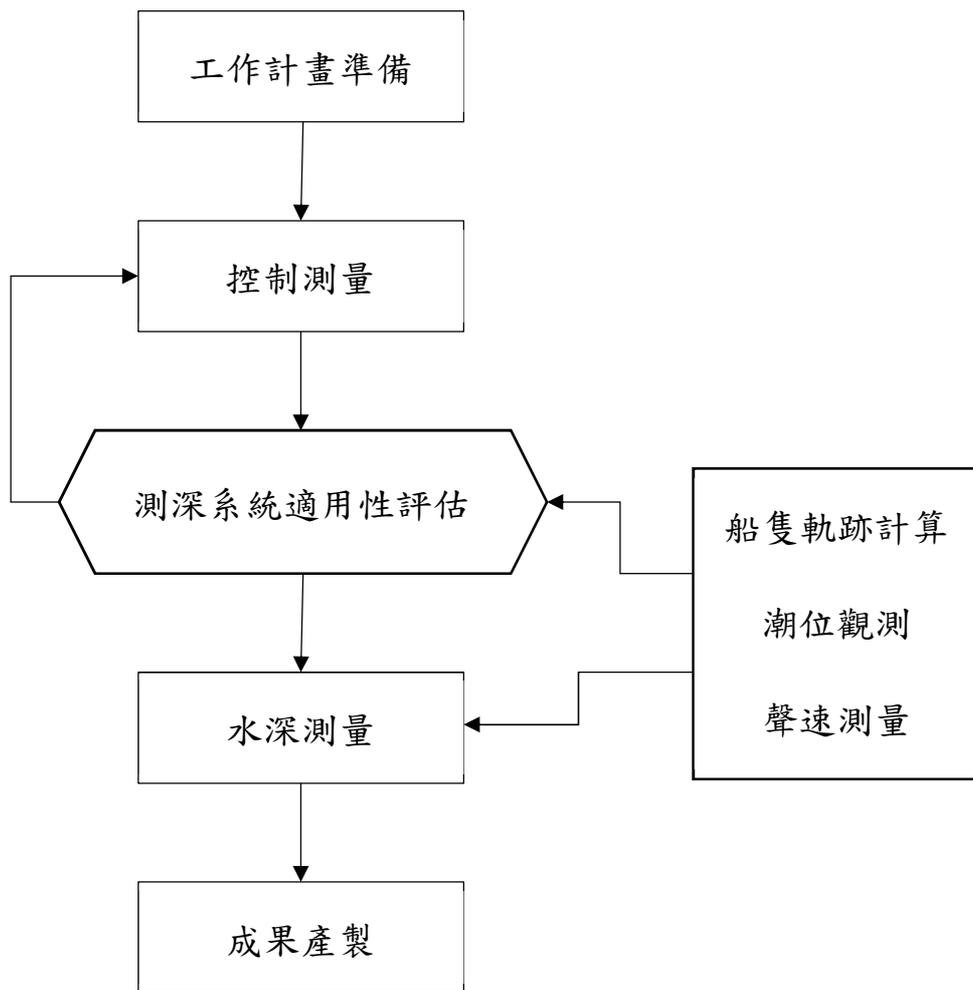


圖 4-1 水深測量作業流程圖

第2節 測深系統適用性評估

水深測量作業前，除了計畫準備及控制測量外，測深系統適用性評估是很重要的工作，目的是在水深測量工作開始前，找一個範圍較小的測試區，依標準水深測量作業之程序，先進行一次測試作業，並評估成果是否符合需求。本研究所採用國土測繪中心 108 年度水深測量作業案，於臺中市梧棲漁港外約 5 公里海域，位置如圖 4-2，所測得之測深系統適用性評估資料，進行船隻軌跡定位精度計算與分析，並將所得之軌跡資料化算至水深測量成果。

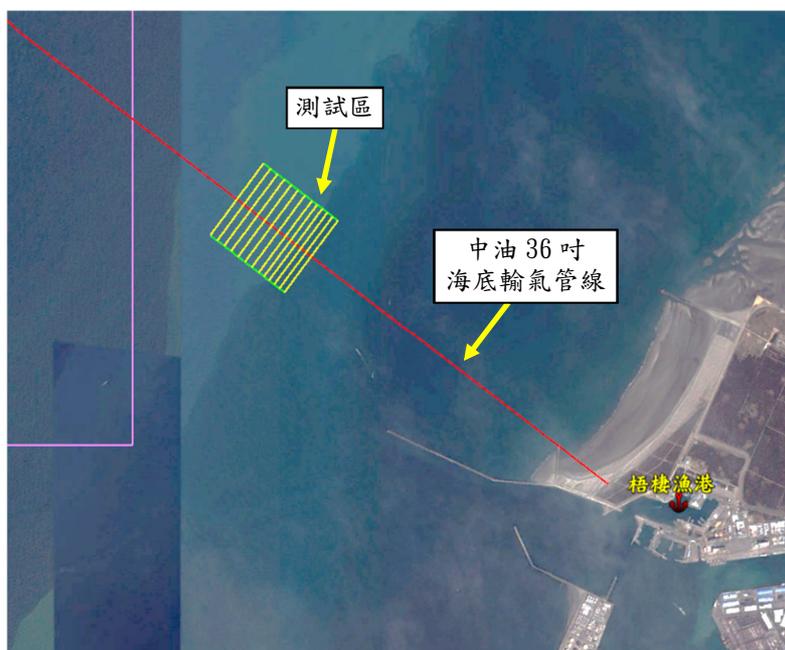


圖 4-2 測深系統適用性評估作業位置圖

前述測深系統適用性評估測試範圍面積約 1 平方公里 ($1\text{km} \times 1\text{km}$)，區域內有臺中港天然氣輸氣管線通過，管線位置測量結果可作為特徵物偵測及資料檢核用，水深約 30 公尺至 50 公尺。為獲得較為可靠的測量結果，測深系統適用性評估作業要求船速以不逾 5 節為原則，音鼓掃描角需小於 120 度，且作業時之波高大於 50 公分或風力大於蒲福風 4 級時不得作業。

本次測深系統適用性評估於 108 年 2 月 27 日至現場作業，以「金勝發 6 號」搭配 Reson 7125 測深系統進行水深測量，衛星定位儀為 Javad Triumph-1，多音束測深儀掃描角度設定為 120 度，相鄰主測線須重疊 30%，約垂直主測線之檢核測線 3 條。依據測區水深、掃描角度及重疊率規劃測線（南北向），測線間距約 70 公尺至 100 公尺檢核測線（東南至西北向）間距為 450 公尺，所使用之相關儀器設備如表 4-1，船隻資訊如表 4-2。

表 4-1 使用儀器設備表

儀器名稱	儀器序號 / 規格	照片
Javad TRIUMPH-1 衛星定位儀(主站)	1. SN:04845 2. 靜態測量精度： 10mm+1.0ppm 3. 快速靜態測量精度： 5mm+0.5ppm 4. RTK 定位精度：公分 級，更新速率：5Hz， 時間延遲：<0.05sec	
Javad TRIUMPH-1 衛星定位儀(移動站)	1. SN:02772 2. 靜態測量精度： 10mm+1.0ppm 3. 快速靜態測量精度： 5mm+0.5ppm 4. RTK 定位精度：公分 級，更新速率：5Hz， 時間延遲：<0.05sec	

儀器名稱	儀器序號 / 規格	照片
<p>Reson 7125_ 多音束測深儀</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. SN:18340915180 2. 256~512 音束，掃幅 角度 165°可變更 3. 頻率 200~400kHz 4. 音束角 0.5°*1.0°(400kHz) 5. 音束角 1.0°*2.0°(200kHz) 6. 測深 500m，解析力 0.60cm 7. 具等角度及等密度測 深模式 	
<p>IXSea OCTANS 3000 運動姿態感測儀及電羅 經</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. SN:PH-1761 2. Heading 指向精度:±0.1 ° 3. Heave 感測精度: 5cm 或 5%浪高 4. Roll&Pitch 感測精度: 0.01 ° 	
<p>AML SV.Xchange 表面聲速儀</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. SN:010857 2. 量測範圍:1375 – 1625m/sec 3. 解析力:0.001m/sec 4. 準確度 Accuracy:±0.025m/sec 	

儀器名稱	儀器序號 / 規格	照片
	5. 精確度 Precision:±0.006 m/sec	
Sea & Sun Technology CTD48M 聲速剖面儀	1. SN: CTM262 2. 量測範圍:1400 – 1600m/sec 3. 深度可達:2000m，解 析力:0.01m/sec 4. 準確度 Accuracy:±0.03m/sec	

表 4-2 作業船隻資訊表

船名	金勝發 6 號	
船長	14.80 公尺	
船寬	3.57 公尺	
船體	F.R.P 殼漁業漁船	
噸位	總噸位：19.98 噸 淨噸位：5.99 噸	
動力	主機 6 缸 柴油機	
馬力	450 匹	
油量	12,977 公升	
乘員	10 名	

金勝發 6 號照片

第3節 後處理動態定位 (PPK) 解算船隻位置軌跡

一、PPK 解算資料

PPK 定位是一種差分定位方法，理論上定位精度會隨著主站與移動站間基線距離增加而降低。為了解 PPK 定位方法之使用限制，本研究採用不同主站，相同移動站即同一套測深系統之定位資料為研究資料，以評估 PPK 定位方法受到主站與移動站間之距離效應之影響，所採用的主站原本測深系統適用性評估作業時所架設之主站 L051 (三等衛星控制點)，再加入 7 個國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統之基準站，共解算 8 個主站與同一移動站組合之 8 種定位結果。表 4-3 列出前述 8 個主站之站名、TWD97 (2010) 坐標及與移動站間基線距離等相關資訊，圖 4-3 為各主站與測深系統適用性評估作業位置圖。

表 4-3 各主站基本資訊列表

站名	點號	TWD97(2010)坐標			概略基線距離 KM
		N	E	h	
港濱休憩區	L051	2687874.645	201442.390	26.900	5
通宵	TASO	2706142.663	219088.371	151.448	27
台西	TASI	2624279.894	167290.025	38.506	72
東石	CHYI	2594461.878	162148.889	22.856	100
成大	CKSV	2544368.633	170038.953	59.569	148
高雄港	KASH	2501770.812	176840.490	25.624	190
枋寮	FALI	2474055.178	208146.874	41.676	216
墾丁	KDNM	2427973.432	227485.331	58.283	264



圖 4-3 各主站與測深系統適用性評估作業位置圖

二、PPK 解算軟體

本研究採用 Trimble 公司之 TBC(Trimble Business Center, TBC) 4.0 版之 PPK 計算模組進行資料解算，分別算出測深軌跡點之 TWD97 (2010) 平面坐標及橢球高成果。本研究 TBC 軟體基線解最低精度要求設定條件為平面精度為 $0.05\text{m}+1\text{ppm}$ 、垂直精度為 $0.10\text{m}+1\text{ppm}$ ，精度門檻設定畫面如圖 4-4，計算軌跡成果如圖 4-5，解算後可得出當次解算之基線總數及 Fix 解基線數與 Float

解基線數，藉此可判斷該次 PPK 解算成果品質。

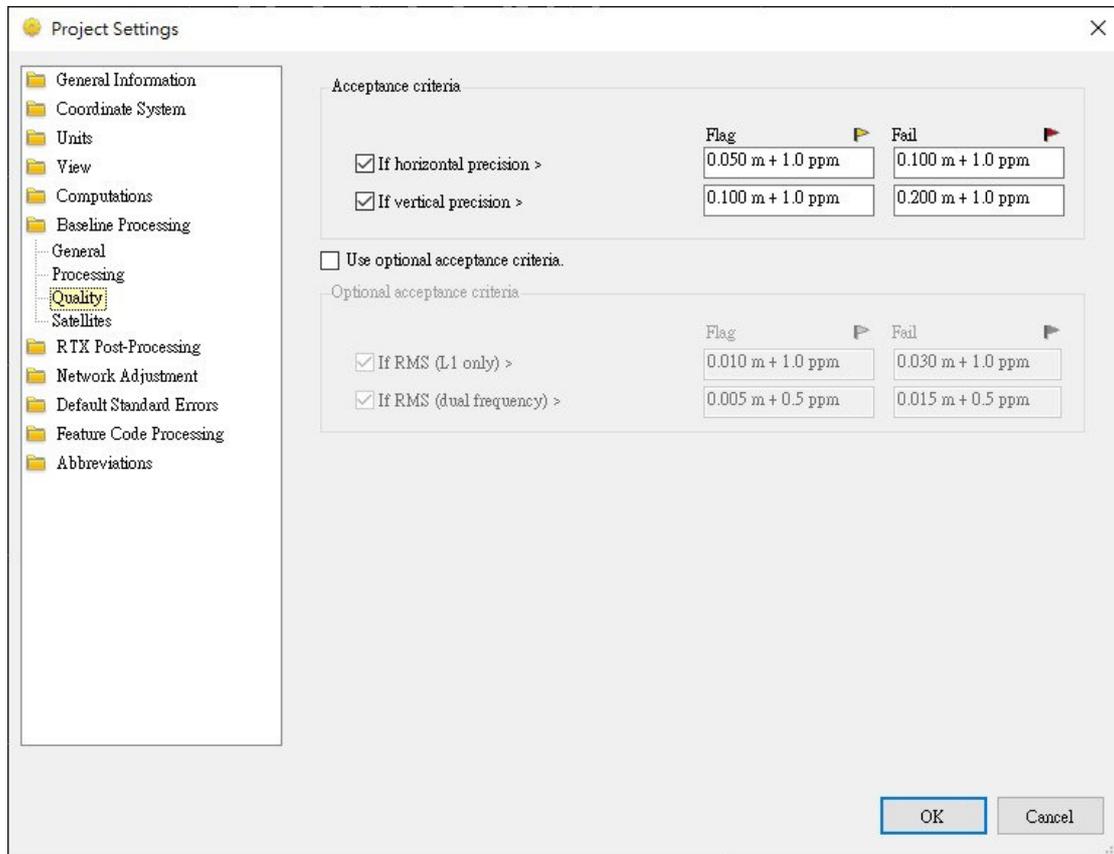


圖 4-4 TBC 軟體精度門檻設定畫面

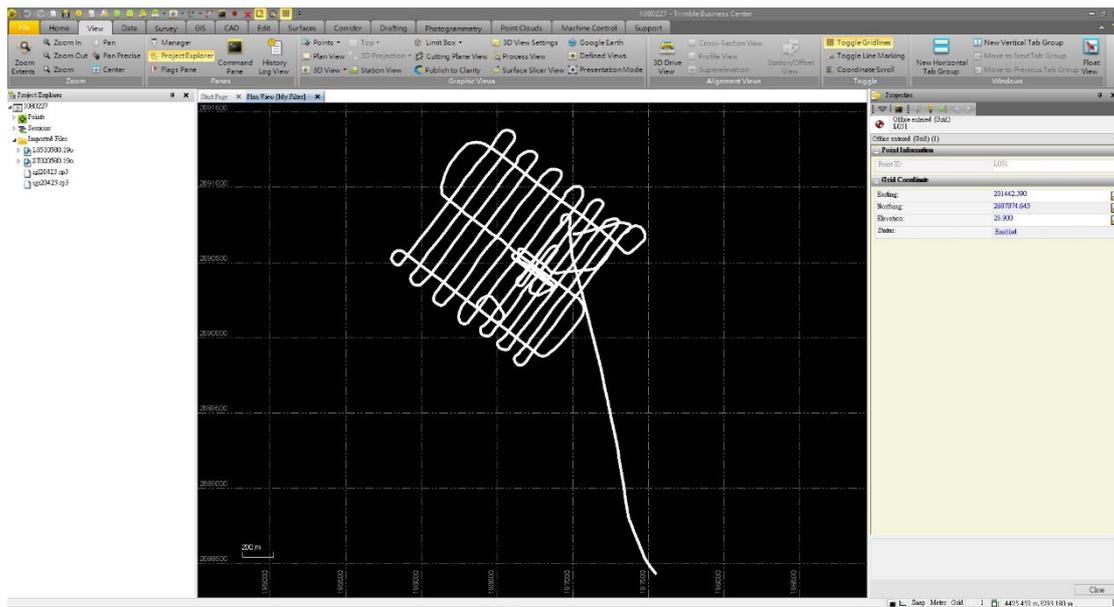


圖 4-5 TBC 軟體解算船隻軌跡圖

三、PPK 解算結果精度

前述所有主站之觀測資料記錄間隔皆為每秒 1 筆，移動站之觀測資料記錄間隔為每 0.5 秒 1 筆，本研究於 TBC 軟體作 PPK 解算時，每秒解算 1 個定位結果。經解算後於軟體所輸出報表之精度顯示，以距離移動站最近的 L051 為主站的解算結果，水平方向精度 (H Precision) 平均值及標準差分別為 2.6 公分及 0.3 公分，垂直方向精度 (V Precision) 平均值及標準差分別為 5.2 公分及 1.1 公分，浮動解 (Float solution) 的比例為 0%；而已距離移動站最遠的 KDMN 為主站的解算結果，水平方向精確度平均值及標準差分別為 8.8 公分及 11.3 公分，垂直方向精確度平均值及標準差分別為 14.9 公分及 19.3 公分，浮動解的比例為 12%，各主站之於 TBC 軟體解算之精度結果彙整於表 4-4。

由 TBC 軟體解算不同主站的精確度結果顯示，PPK 定位方法確實會受到距離遠近的影響，比較距離移動站最遠的 KDMN 與距離移動站最近的 L051 解算結果精確度，於水平方向平均值及標準差的部分，KDMN 比 L051 分別多 6.2 公分及 11.0 公分，於垂直方向平均值及標準差的部分，KDMN 比 L051 分別多 9.7 公分及 18.2 公分。雖然在水平及垂直精度平均值的較差皆在 10 公分以內，但標準差的較差已經接近 20 公分，浮動解的比例也明顯增加，顯示基線距離越長，不僅定位成果精確變差，解算成功率也會降低。

表 4-4 TBC 軟體解算精度彙整表

點名	點號	概略基 線距離 KM	水平精度 (m)		垂直精度 (m)		Float 解比例 (%)
			平均值	標準差	平均值	標準差	
港濱休 憩區	L051	5	0.026	0.003	0.052	0.011	0.0
通宵	TASO	27	0.030	0.005	0.058	0.020	0.0
台西	TASI	72	0.031	0.020	0.057	0.033	0.2
東石	CHYI	100	0.036	0.055	0.065	0.069	0.2
成大	CKSV	148	0.039	0.043	0.073	0.064	2.5
高雄港	KASH	190	0.050	0.058	0.092	0.093	8.0
枋寮	FALI	216	0.056	0.067	0.103	0.121	8.7
墾丁	KDNM	264	0.088	0.113	0.149	0.193	12.1

第4節 不同距離主站 PPK 解算坐標差

除了 TBC 軟體解算時所呈現的水平及垂直精度外，本研究也比較了各個主站解算結果的差異。以精度最好及基線距離最短的主站 L051 所解算的結果為比較參考值，與其餘 7 個主站解算之結果進行分析比較，將相同時間點所解出的結果相減，計算出平面坐標 NE 及幾何高 h 等 3 個方向的較差平均值及較差標準差，所得結果彙整如表 4-5 及圖 4-6，由表 4-5 知，在基線距離 100 公里內的 4 組結果，多數的 NE h 3 個方向較差平均值小於 10 公分，只有 TASI 及 CHYI 2 個主站的結算結果在 h 方向的較差平均值分別大於 14 公分及 21 公分，而隨著基線距離越長，離移動站最遠主站 KDMN 的計算結果，NE h 3 個方向的較差平均值已經分別來到 9 公分、37 公分及 16 公分。圖 4-7 為將 NE h 3 個方向的較差平均值加總來看，基線距離大

於 100 公里的解算結果，較差平均值總和多數都已經超過 20 公分。

依據國際海道測量組織 IHO (International Hydrographic Organization, IHO) S-44 水深測量作業規範，水深測量深度不確定度計算公式為 $\pm\sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$ ，前述公式內的係數於特等水域的要求為 a=0.25 公尺，b=0.0075 公尺，d 為水深值 (m)，即深度 10 公尺的水域，深度不確定度之門檻值為 0.26 公尺；然而水深測量成果是由多個系統或設備所獲得的資料組合而成，包含測深系統、定位系統、水中聲速量測設備等，而定位結果只是水深測量成果的其中一部分，如果來自定位成果的深度誤差就有 20 公分，在海底地形起伏大的區域，水深測量成果可能不容易達到 IHO 特等作業規範的要求。

表 4-5 各主站與 L051 解算結果較差分析表

主站			ΔN 較差(m)		ΔE 較差(m)		Δh 較差(m)	
點名	點號	距離	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
通宵	TASO	27	0.023	0.015	0.011	0.009	0.047	0.084
台西	TASI	72	0.006	0.005	0.037	0.008	0.143	0.019
東石	CHYI	100	0.020	0.010	0.011	0.008	0.214	0.028
成大	CKSV	148	0.007	0.005	0.149	0.009	0.043	0.020
高雄港	KASH	190	0.213	0.010	0.411	0.013	0.030	0.019
枋寮	FALI	216	0.010	0.008	0.482	0.011	0.031	0.030
墾丁	KDMN	264	0.092	0.020	0.372	0.070	0.163	0.075

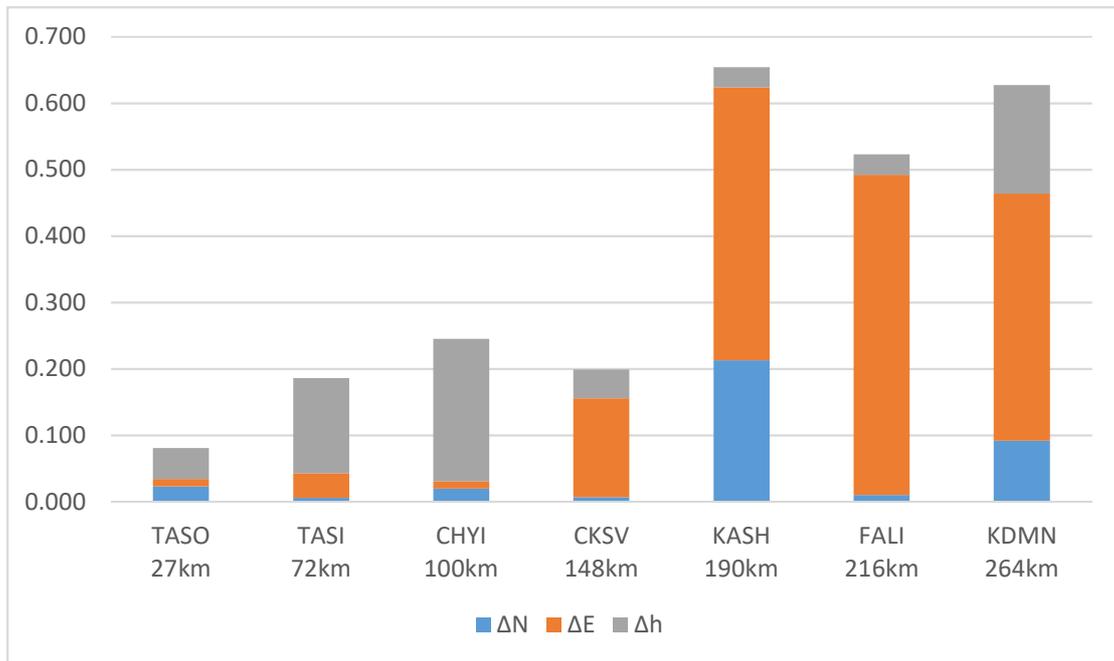


圖 4-6 各主站與 L051 解算結果 NEh 較差直方圖

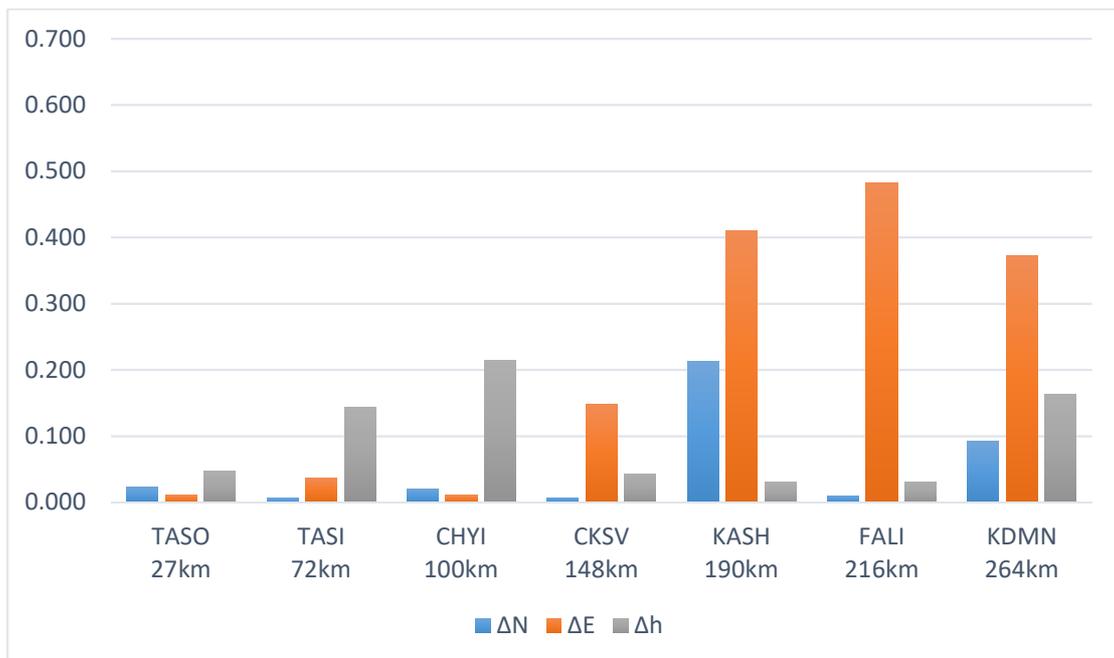


圖 4-7 各主站與 L051 解算結果各方向較差總和直方圖

第5節 後處理精密單點定位 (PPP) 解算船隻位置軌跡

一、PPP 解算軟體

目前可計算精密單點定位的工具有很多，舉凡 CSRS-PPP、AUSPOS、AUTO-GISPY、GrafNav 及 RTKLIB 等皆可進行 PPP 計算，本研究採用定位精度穩定及軟體使用友善度佳的 CSRS-PPP 2.26.1 版進行計算 (Paolo Dabove and Marco Piras, 2016)。CSRS-PPP 為加拿大自然資源部提供的線上免費服務，使用此服務的操作流程簡易，只需要將 GNSS 觀測資料以 Rinex 格式檔上傳至該服務網站，選擇採用靜態或動態模式進行解算，再選擇所需要的坐標系統或參考框架，最後填入解算結果回傳的電子郵件地址。CSRS-PPP 即會依所上傳觀測資料的日期，自動下載計算過程中所需要的精密星曆與時鐘修正檔案等資料，進行 PPP 解算。以本研究的移動站資料而言，計算 3 小時 40 分鐘每 0.5 秒紀錄 1 筆的資料，僅需要幾分鐘的時間就收到回傳的解算成果，服務速度相當迅速，圖 4-8 為 CSRS-PPP 網站資料上傳畫面截圖，另外除了直接於網頁上傳資料外，也可下載 CSRS-PPP 提供程式進行資料上傳。

Government of Canada / Gouvernement du Canada | Canada.ca | Services | Departments | Français

Natural Resources Canada

Energy | Mining/Materials | Forests | Earth Sciences | Hazards | Explosives | The North | Environment

Home → Maps, Tools and Publications → Tools → Geodetic Reference Systems → Tools and Applications → Precise Point Positioning

Precise Point Positioning

Update to CSRS-PPP outputs: addition of uncertainties related to epoch transformation

The Canadian Geodetic Survey of Natural Resources Canada updated the CSRS PPP service on Thursday, October 17, 2019. This update affects the CSRS-PPP outputs if users request to have the results in NAD83(CSRS) at an epoch other than the epoch of GNSS data. In this case, a coordinate transformation is applied using the predicted velocities from the [Canadian Velocity Grid](#) and the uncertainty associated with the epoch transformation will be added to the uncertainty associated with the PPP coordinate estimation. The [output files have been updated](#) to show both the uncertainty associated with PPP estimations as well as the total uncertainty including the uncertainty due to epoch transformations, if any.

New velocity grid NAD83(CSRS)v7

[View documentation](#) about the new NAD83(CSRS) v7.0 velocity grid.

CSRS-PPP Files Processed (Last Updated: 2019-11-21 01:55:01 GMT)

Help for CSRS PPP (Updated 2019-10-17) [Profile](#) [Sign out](#)

Email for results (required)

Processing mode
 Static Kinematic

Vertical datum

Contribute to passive control maintenance? (What is this?)
 Authorize the Canadian Geodetic Survey (CGS) to archive and publish CSRS-PPP submission and solution

Official marker station name

[More options](#)

Who should use this file?

Ocean tide loading (OTL) causes station motion due to the weight of the ocean tides on the Earth's crust. The effect is larger in the vertical but there are horizontal motions which may also need to be accounted for depending on the user application and station location. The impact of OTL displacements depends on the magnitude of the tides as well as the station's proximity to the coast and can exceed 5 cm in the vertical and 1 cm in the horizontal. Since the ocean tides are dominated by 12h and 24h periods, the effect will be much less for 24h static positioning.

What we need from you:

- Official control marker station name for easy storage
- Authorization to publish solution on geodetic reference system website (or other federally supported dissemination of passive control online application)

Requirements:

- Dual-frequency data
- Minimum 3 hr session length
- Official IGS or NGS antenna name
- Antenna height from marker

RINEX observation file (required) (.zip, .gzip, .gz, .Z, .???)

[Submit to PPP](#)

Use of Canadian Geodetic Survey products and data is subject to the [Open Government Licence - Canada](#)
[Geodetic Reference Systems Information](#)

Date modified: 2019-10-17

Terms and conditions | Transparency

About Us
 Our Deputy Minister
 Acts and Regulations
 Career Opportunities
 Publications and Reports

News
 News Releases
 Media Advisories
 Photo Gallery

Contact Us
 Find an Employee

Stay Connected
 Twitter
 YouTube
 Feeds

HEALTH | TRAVEL | SERVICE CANADA | JOBS | ECONOMY | Canada.ca

圖 4-8 CSRS-PPP 網站資料上傳畫面截圖

CSRS-PPP 計算結果所呈現的資訊相當豐富，除了每筆資料的坐標成果外，還包含了資料觀測衛星於天空的分布情形 (Satellite Sky Distribution)、平面方向與起點相比的位移圖 (The horizontal displacement wrt the a priori position)、橢球高的變異 (Ellipsoidal Height variation)、經緯度及高程 3 個方向的時序變化 (Latitude / Longitude / Height Differences)、對流程延遲估計 (Estimated Tropospheric Zenith Delay)、測站時鐘偏移 (Station Clock Offset)、載波相位跟虛擬距離的殘差 (Carrier-Phase / Pseudo-Range Residuals) 等等。圖 4-9 至圖 4-13 為本次解算 108 年 2 月 27 日移動站資料的結果，詳細報告請參閱附錄 1.CSRS-PPP 解算成果報告。

YEAR-MM-DD	HR:MN:SS.SS	DD	MN	LATSS	NDD	MN	LONSS	HGT(m)
2019/2/27	12:53.0	24	19	16.12381	120	28	40.22995	23.7633
2019/2/27	12:53.5	24	19	16.12394	120	28	40.24039	23.8237
2019/2/27	12:54.0	24	19	16.12495	120	28	40.2497	23.8598
2019/2/27	12:54.5	24	19	16.1265	120	28	40.25499	23.9905
2019/2/27	12:55.0	24	19	16.12761	120	28	40.25807	24.1479
2019/2/27	12:55.5	24	19	16.12663	120	28	40.26285	24.2604
2019/2/27	12:56.0	24	19	16.12385	120	28	40.27122	24.228
2019/2/27	12:56.5	24	19	16.11995	120	28	40.28042	24.0479

圖 4-9 解算成果資料報表示意圖

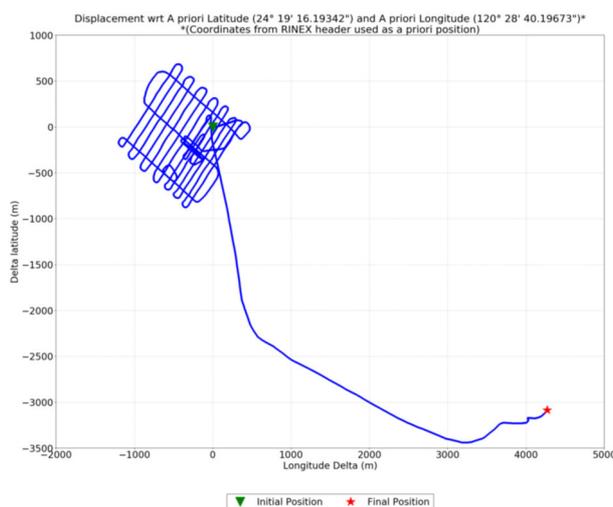


圖 4-10 PPP 解算軌跡圖

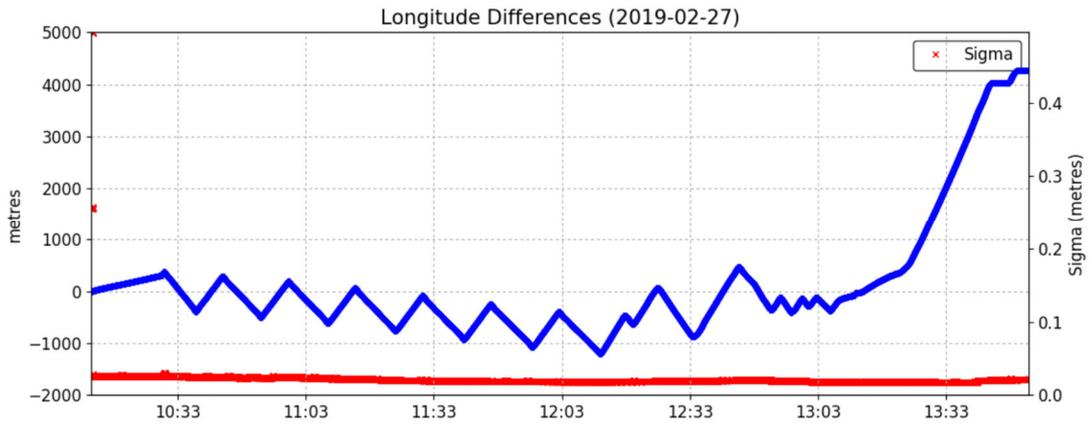


圖 4-131 經度方向位置變化及標準差

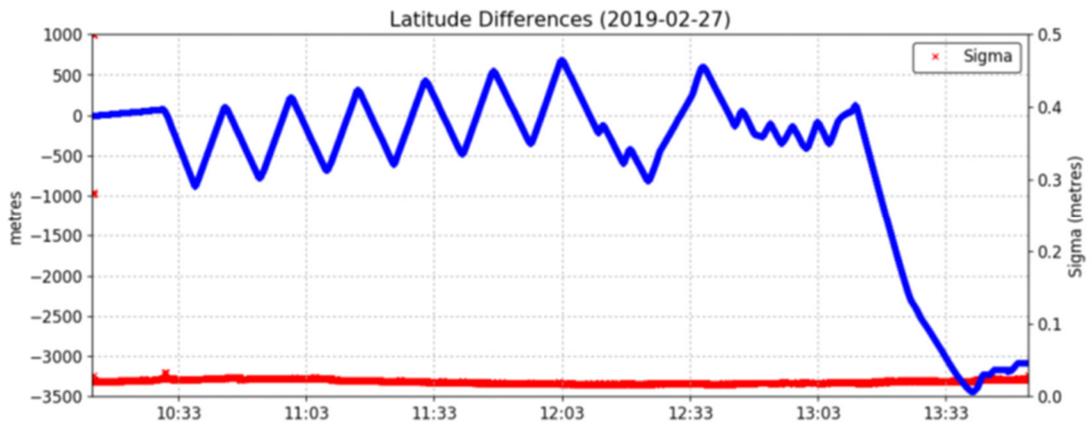


圖 4-12 緯度方向位置變化及標準差

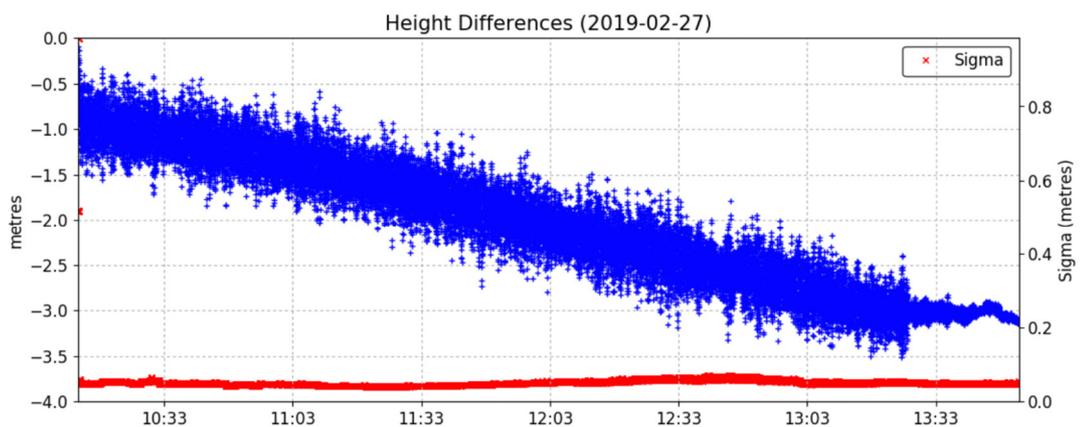


圖 4-113 高程方向位置變化及標準差

二、基準與坐標轉換

本研究 PPK 計算時固定的主站坐標系統為 TWD97 (2010)，而 CSRS-PPP 計算結果為 ITRF2014 參考框架下的經緯度坐標，為進行 PPP 計算結果與 PPK 計算結果的比較分析，因此需要進行基準與坐標的轉換，將 CSRS-PPP 的計算成果轉換為 TWD97 (2010) 後，再進行比較分析。本研究將以本中心自行開發之 gTrans 程式，採 7 參數轉換方法執行基準與坐標轉換，過程中需要若干個同時具備 ITRF2014 及 TWD97 (2010) 2 個坐標系統坐標值的共同點，用以計算轉換參數以進行坐標轉換。

然而目前國內除了工業技術研究院的 IGS 站 TNML，可於 ITRF 網站查詢到 ITRF 2014 參考框架下之地心地固直角坐標系統 XYZ 坐標值外，並沒有其他的控制點有公告的 ITRF 2014 坐標。因此為了獲得 7 參數轉換共同點於 ITRF 2014 參考框架下的坐標，本研究以 TNML 為固定點，採 Bernese 軟體計算出 29 個國內衛星定位長期觀測站之 ITRF 2014 XYZ 坐標，再配合共同點之 TWD97@2010 XYZ 公告成果，求解 7 參數轉換之轉換參數，並將 PPP 成果轉換為 TWD97@2010 XYZ，再將 PPP 成果轉換為 TWD97@2010 N E h，前述共同點的 ITRF 2014 XYZ 與 TWD97 (2010) XYZ 坐標彙整如表 4-6，位置分布如圖 4-15，前述坐標轉換流程如圖 4-14。

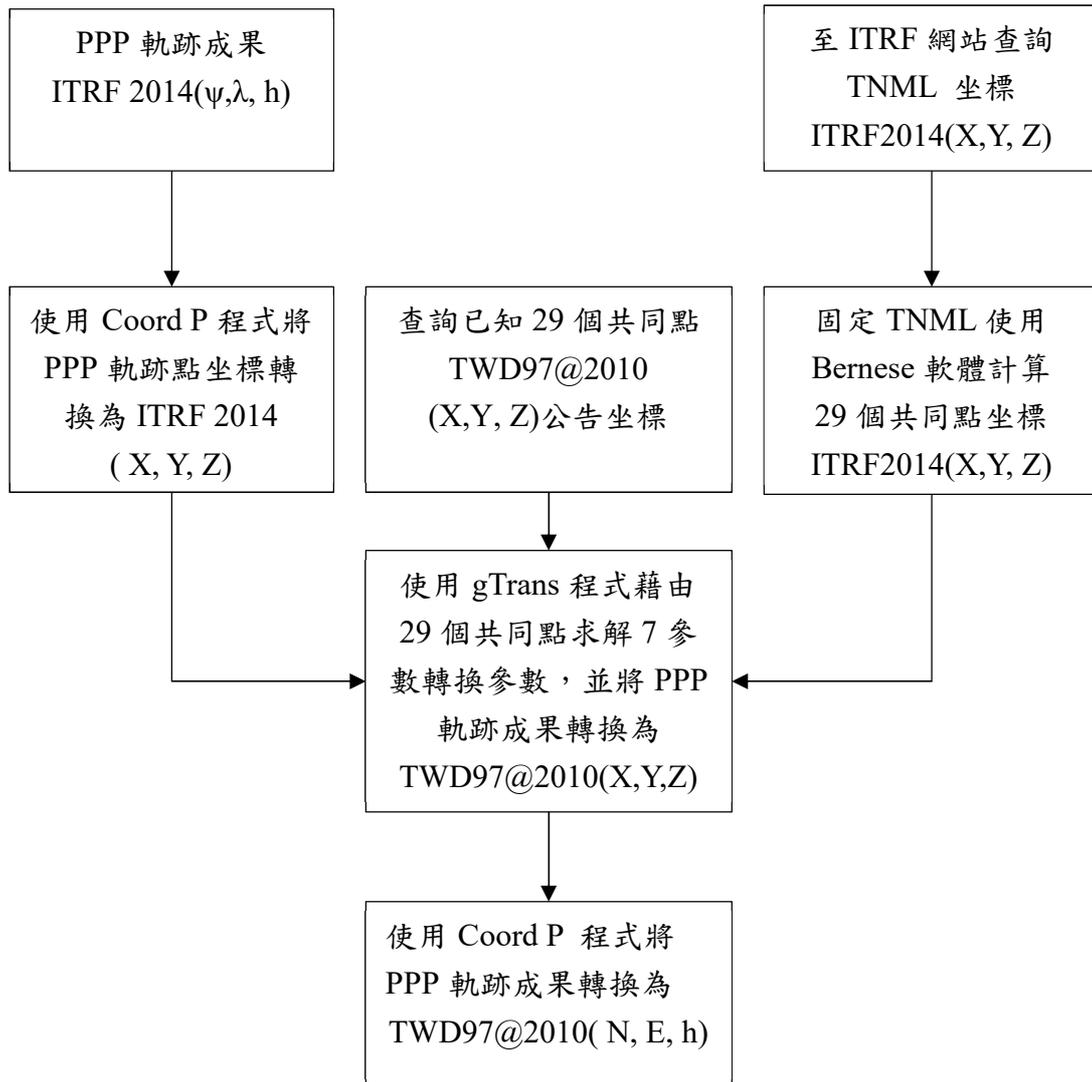


圖 4-14 PPP 計算成果坐標轉換流程圖

表 4-6 7 參數坐標轉換共同點列表

點名	點號	ITRF 2014 計算值			TWD97@2010 公告值		
		X	Y	Z	X	Y	Z
板橋	BANC	-3017226.903	4934851.235	2678852.172	-3017226.654	4934851.364	2678852.184
布袋國小	BDES	-2943973.088	5063964.148	2515471.571	-2943972.938	5063964.361	2515471.651
東石	CHYI	-2939615.642	5062920.435	2522604.008	-2939615.480	5062920.662	2522604.111
成功大學	CKSV	-2956619.336	5075902.204	2476625.549	-2956619.190	5075902.171	2476625.545
芳苑	FUNY	-2944916.677	5035549.609	2570430.682	-2944916.460	5035549.749	2570430.721
德化國小	GS36	-2961569.015	5002689.959	2614895.276	-2961568.800	5002690.077	2614895.300
泰安服務區	GS37	-2970287.011	4999464.330	2611582.819	-2970286.819	4999464.450	2611582.836
後港國中	HOKN	-2944928.055	5073145.351	2495922.367	-2944927.855	5073145.481	2495922.416
湖西(121)	HUSI	-2895400.965	5082480.268	2534356.836	-2895400.726	5082480.376	2534356.868
虎尾	HUWE	-2946323.211	5044729.646	2550886.901	-2946323.063	5044729.878	2550886.991
義竹	ICHU	-2953906.466	5059197.550	2513449.555	-2953906.293	5059197.685	2513449.600
吉貝(121)	JIBE	-2886578.560	5078537.770	2552106.917	-2886578.324	5078537.872	2552106.947
竹南	JUNA	-2975765.342	4976994.558	2647324.016	-2975765.124	4976994.663	2647324.024
觀音	KYIN	-2984966.018	4952059.060	2683208.564	-2984965.777	4952059.157	2683208.572
測繪中心	LSB0	-2967207.537	5010439.199	2593842.958	-2967207.333	5010439.296	2593842.975
鹿港	LUKN	-2951873.521	5024284.544	2584363.843	-2951873.312	5024284.674	2584363.879
西山	MIAO	-2972543.385	4984455.900	2637257.366	-2972543.191	4984456.009	2637257.380
北港	PKGM	-2951343.891	5049505.805	2535725.020	-2951343.737	5049506.024	2535725.083
新豐	SFON	-2981508.250	4960069.157	2672358.220	-2981508.011	4960069.258	2672358.223
南寮	SHJU	-2975958.998	4968143.262	2663522.341	-2975958.767	4968143.378	2663522.353
臺中港	TACH	-2955322.655	5010113.882	2607692.596	-2955322.446	5010114.016	2607692.609
台西	TASI	-2937916.401	5050111.477	2549964.844	-2937916.199	5050111.681	2549964.918
通宵	TASO	-2965374.789	4995237.071	2624935.528	-2965374.585	4995237.178	2624935.555
工研院	TCMS	-2982783.303	4966659.925	2658809.335	-2982783.077	4966660.033	2658809.341
和美	VR01	-2956101.188	5018815.736	2590149.375	-2956100.986	5018815.875	2590149.425
二林	VR02	-2950117.426	5033688.526	2568172.253	-2950117.299	5033688.799	2568172.361
五股坑	WUKU	-3010824.366	4932392.578	2690939.024	-3010824.129	4932392.715	2690939.040
楊梅	YAME	-2997324.490	4952037.225	2669972.608	-2997324.255	4952037.337	2669972.603
七股鹽山	YSAN	-2941508.040	5077229.149	2491660.093	-2941507.827	5077229.283	2491660.153

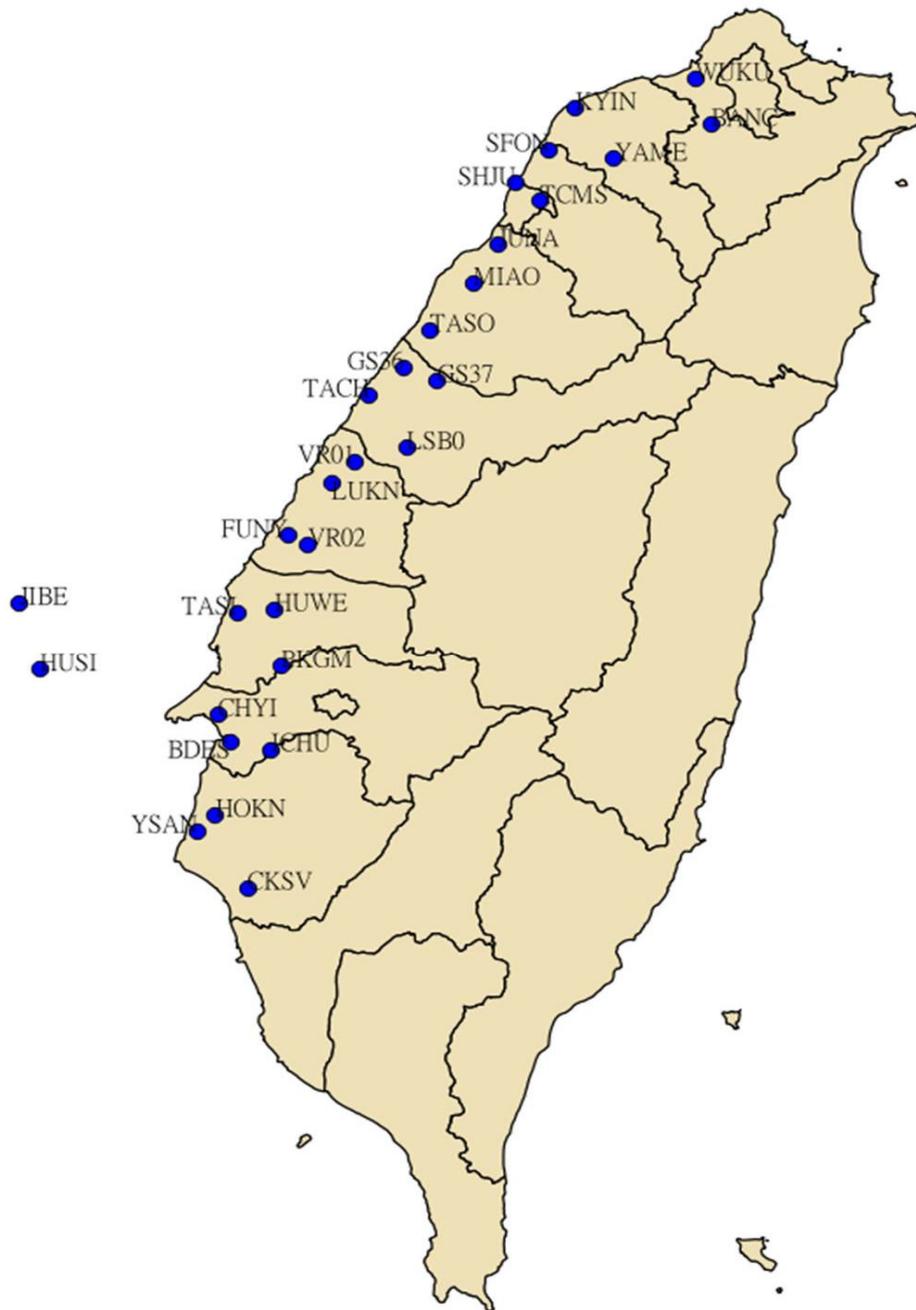


圖 4-15 7 參數坐標轉換共同點位置分布圖

三、PPP 與 PPK 解算軌跡成果比較

將前述測深系統適用性評估採用 PPK 及 PPP 方式解算的軌跡結果進行分析比較，以 L051 為主站的 PPK 解算結果為基準，將採用不同 PPK 主站解算的結果及 PPP 解算的結果與之相減，進行分析及較差統計，發現 PPP 的計算結果與以 L051 為主站的

PPK 解算結果差異甚小，在 N、E、h 三個方向每個時刻的坐標差平均值分別為 4mm、2.7mm 及 1.8mm，較差標準差分別為 1.2mm、2.2mm 及 2.5mm。依據 IHO S44 對於特等水域定位之要求，平面不確定度 2 公尺，垂直不確定度 0.25 公尺而言，如此的 PPP 解算結果已可滿足水深測量定位之需求。另外採用 L051 為主站之 PPK 解算結果，與採用其他主站的 PPK 解算結果比較如表 4-6、圖 4-16 及圖 4-17，由解算結果可知，基線距離在 150 公里以下的解算結果，N、E、h 三個方向的較差平均值總和多可在 20 公分以內。

表 4-7 PPP 解算結果與不同基線距離 PPK 解算結果較差表

主站			ΔN 較差(m)		ΔE 較差(m)		Δh 較差(m)	
點名	點號	距離	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
通宵	TASO	27	0.023	0.015	0.011	0.009	0.047	0.084
台西	TASI	72	0.006	0.005	0.037	0.008	0.143	0.019
東石	CHYI	100	0.020	0.010	0.011	0.008	0.214	0.028
成大	CKSV	148	0.007	0.005	0.149	0.009	0.043	0.020
高雄港	KASH	190	0.213	0.010	0.411	0.013	0.030	0.019
枋寮	FALI	216	0.010	0.008	0.482	0.011	0.031	0.030
墾丁	KDMN	264	0.092	0.020	0.372	0.070	0.163	0.075
PPP			0.040	0.012	0.027	0.022	0.018	0.025

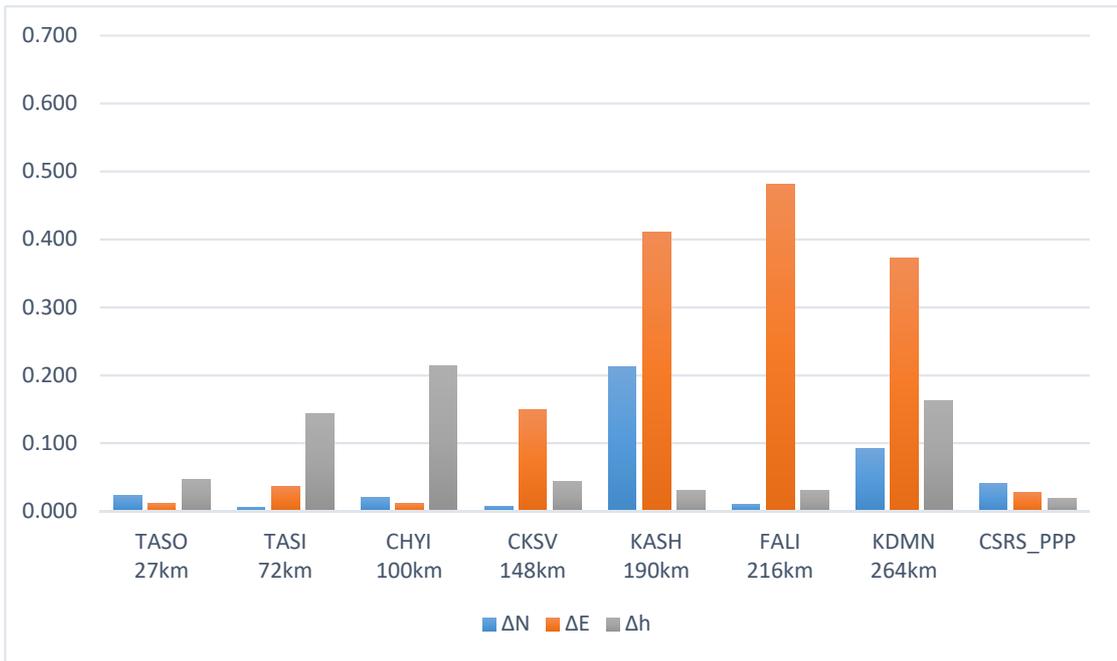


圖 4-176 PPP 解算結果與不同基線距離 PPK 解算結果比較圖

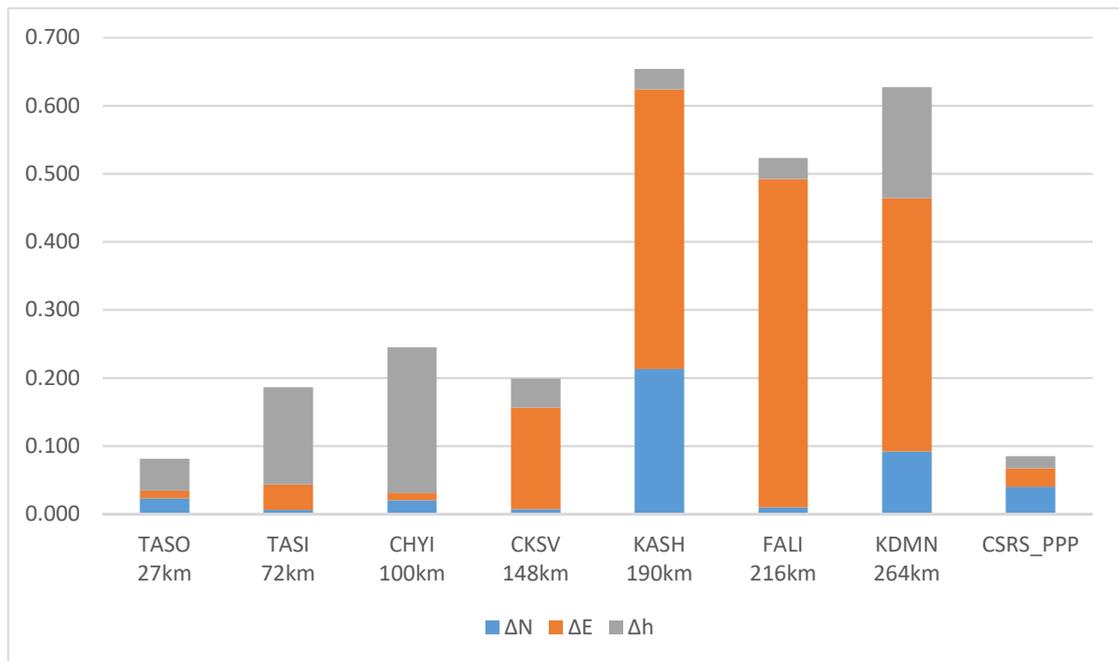


圖 4-167 PPP 解算結果與不同基線距離 PPK 解算結果比較圖

第6節 PPK 與 PPP 定位方法分析水深測量成果精度

依據 IHO S44 海道測量標準，海域地形測量成果須滿足海道測量最低標準，該標準依實地測量狀況或船隻航行需求，將測量作業分為 3 個等級，分別為特等、1 等 (1a 與 1b)、2 等，不同等級之最低要求標準如表 4-8。為確保水深測量資料品質，作業期間除了主測線之外，會再與主測線約略垂直的方向，加測檢核測線，用以比較重疊區域知水深測量資料成果，測線檢核分析結果如圖 4-18。本研究將不同基線長度 PPK 解算結果與 PPP 解算結果，分別套用水深測量成果資料上，並分析主測線與檢核測線重疊區域之水深測量成果精度，辦理精度分析作業時，先將主測線測得之水深成果組成 1 公尺*1 公尺之網格資料，再將檢核測線測得之每一筆水深資料與之比較，分析檢核測線水深點與主測線水深網格成果之深度較差，計算符合表 4-8 特等規範要求之通過比例。經計算結果，以不同基線長度 PPK 解算軌跡結果套用水深資料，沒有明顯距離效應，基線長短再本次計算中，特等通過率差異甚小，且均達 95% 以上，皆符合 IHO 特等作業規範要求；另以 PPP 計算之軌跡套用水深成果，特等通過率達 98.74%，亦符合特等作業規範要求，如表 4-9 所示。

經本研究計算結果，PPK 距離效應對於水深成果之影響並不顯著，可能原因為測試區海底地形較平坦所致，地形起伏變化大的區域，水深成果梯度較大，在較短的平面距離內，就有較大的深度變化，在主測線與檢核測線之套疊檢核時也較不易達到標準，反之深度梯度變化小之平坦地形，則較容易於套疊檢核時達到標準。本研究所採用之測試區水深約 30 公尺至 50 公尺之間，為緩坡地形，且範圍內沒有沈船或礁石等特徵物，因此在精度檢核分析時較容易達到標準，建議後續

應採用地形變化較大，或有特徵物之海域，進一步分析 PPK 距離效應及 PPP 定位於水深測量之應用。

表 4-8 海道測量最低標準

等級	特等	1 等		2 等
		1a	1b	
平面不確定度 (95%信心區間)	2 公尺	5 公尺 +5%*水深	5 公尺 +5%*水深	20 公尺+10%* 水深
深度不確定度 ^{備註 1} (95%信心區間)	a=0.25 公尺 b=0.0075	a=0.5 公尺 b=0.013	a=0.5 公尺 b=0.013	a=1 公尺 b=0.023
全覆式海床搜尋	必要	必要	非必要	非必要
海床特徵物偵測	特徵物大於 1 公尺	水深 40 公尺 內，特徵物 大於 2 公 尺；超過 40 公尺，特徵 物大於 10% 水深	不需要	不需要
固定助導航設施和重 要地形特徵物定位	2 公尺	2 公尺	2 公尺	5 公尺
海岸線和次要地形特 徵物定位	10 公尺	20 公尺	20 公尺	20 公尺
浮動的助導航設施平 均位置	10 公尺	10 公尺	10 公尺	20 公尺
適用水域描述	船底淨空需 求很重要的 水域(備註 ²)	水深 100 公尺 以內船底淨 空需求較低， 但可能存在 影響航安特 徵物水域	水面船舶可能 通過，但沒有 船底淨空需求 之水深 100 公 尺以內的水域	水深超過 100 公尺的水域
備註 ¹ ：以 $[a^2+(b*d)^2]^{1/2}$ 公式計算 a：固定水深誤差 b：從屬水深誤差因子 d：水深（公尺） 備註 ² ：例如泊區、港區及航道中的極重要區域。				

表 4-9 PPK 及 PPP 成果化算至水深測量成果精度檢核

點名	點號	距離	通過特等比例
港濱休憩區	L051	5	98.73%
通宵	TASO	27	97.79%
台西	TASI	72	98.74%
東石	CHYI	100	98.74%
成大	CKSV	148	98.74%
高雄港	KASH	190	98.74%
枋寮	FALI	216	98.73%
墾丁	KDMN	264	95.85%
PPP			98.74%

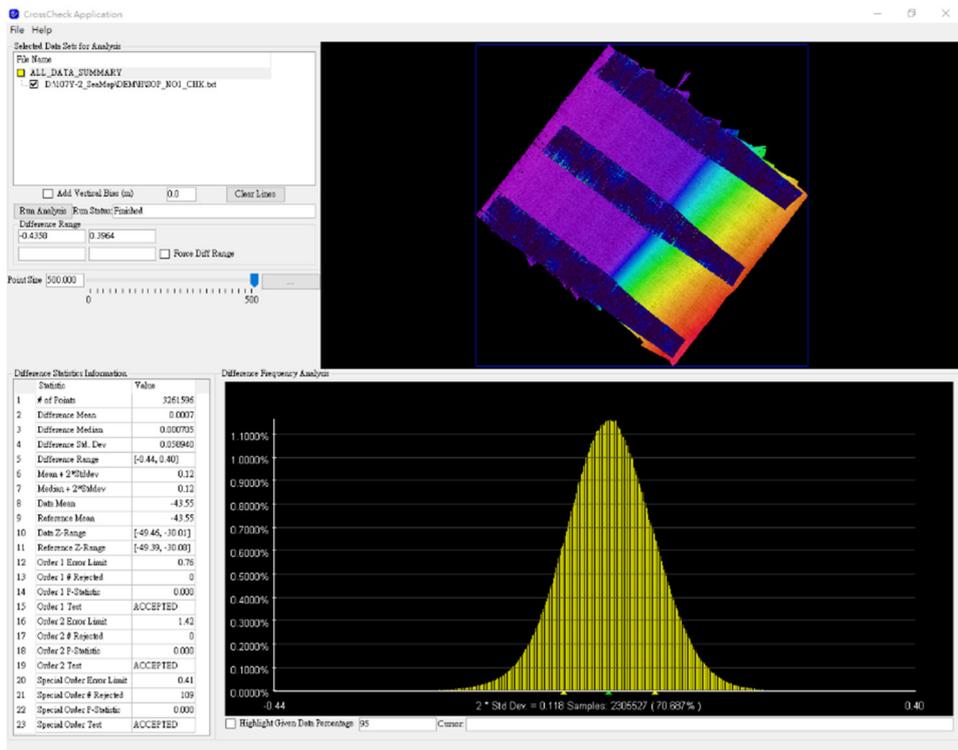


圖 4-18 測線重疊檢核示意圖

第5章 結論與建議

第1節 結論

本研究使用國土測繪中心 108 年度水深測量資料調查及整理作業案，測深系統適用性評估作業資料，進行船測軌跡定位方法及水深測量成果精度品質良窳之評估與分析。首先為了瞭解 PPK 定位方法，於不同基線距離條件下之解算成果品質，選定 8 個 GNSS 資料觀測站作為 PPK 解算之主站，使用 TBC 軟體計算 8 組移動站的軌跡資料，並分析基線距離長短對於定位結果的影響。另外為了瞭解 PPP 定位方法是否能應用於水深測量，本研究亦使用加拿大自然資源部提供的線上 PPP 計算服務，計算移動站的軌跡成果，並與 PPK 之定位結果進行分析比較。

TBC 軟體解算 PPK 的內部精度會隨著主站與移動站間之基線距離增長而變差，L051 為基線距離最短的主站，長度約為 5 公里，水平方向內精度及標準差分別為 0.026 公尺及 0.003 公尺，垂直方向的內精度及標準差分別為 0.052 公尺及 0.011 公尺，浮動解比例為 0%；KDNM 為基線距離最長的主站，長度約為 264 公里，水平方向內精度及標準差分別為 0.088 公尺及 0.113 公尺，垂直方向的內精度及標準差分別為 0.149 公尺及 0.193 公尺，浮動解比例為 12.1%，計算結果顯示，以 L051 及 KDNM 為主站之 PPK 解算結果，內精度及標準差在水平方向分別增加 0.062 公尺及 0.110 公尺，內精度及標準差在垂直方向分別增加 0.097 公尺及 0.182 公尺。

經比較不同基線距離 PPK 解算結果於 N、E、h3 個方向的較差，發現較差值亦隨著基線距離增長而增加，以基線距離最短主站 L051 解算結果為比較基準，比較 TASSO 主站（基線長 27 公里）與 KDNM

主站（基線長 264 公里）的解算結果，TASO 與 L051 每筆動態解於 N、E、h 3 個方向較差平均值分別為 0.023 公尺、0.011 公尺及 0.047 公尺，KDNM 與 L051 每筆動態解於 N、E、h 3 個方向較差平均值分別為 0.092 公尺、0.020 公尺及 0.163 公尺，前述比較結果於 N、E、h 3 個方向較差平均值分別增加 0.069 公尺、0.361 公尺及 0.116 公尺。

綜上所述，不同基線距離 PPK 解算成果的距離效應是明顯的，不論是在軟體本身內部解算精度的部分，亦或是不同主站解算 N、E、h 坐標較差的部分皆然。另外在 PPP 解算成果的部分，定位結果與以 L051 主站（基線距離 5 公里）之 PPK 解算結果非常接近，在 N、E、h 3 個方向的較差皆在 mm 等級（最大 4mm），較差標準差亦都在 mm 等級（最大 2.5mm），依此結果可研判 PPP 定位方法應可作為水深測量的定位使用，特別是辦理離主站較遠的海域水深測量時，PPK 的定位結果精度會隨著基線距離增加而變差，PPP 的定位結果精度則沒有此問題；然而 PPP 定位技術雖有不受基線距離效應影響的優勢，惟因計算時須搭配精密星曆及衛星時鐘差等資訊，等待 IGS 公布資料的時間約需 2-3 週，如定位成果有時間急迫性，則不適合採用 PPP 定位方法。

第2節 建議

PPK 計算船隻動態軌跡成果之精度與準確度皆會隨基線距離的增長而降低，然而 PPK 的適用範圍為何？基線距離多長以內適合採用，是吾人關心的課題；經分析多個不同基線距離與 L051 主站之較差，結果顯示，基線距離 27 公里的 PPK 解算結果，h 方向的較差僅約 5 公分，基線距離 72 公里的 PPK 解算結果，h 方向的較差已經超過 10 公分，而基線距離 100 公里的 PPK 解算結果，h 方向的較差更是已經超過 20 公分。如為符合 IHO S44 特等作業規範之深度不確定

度要求 25 公分的規定，建議控制船隻軌跡的解算結果精度在 10 公分以內，95%信心區間不確定度為 20 公分，再加上測深系統內其他不確定來源，合計後的總不確定度就很可能會超過 25 公分。依本研究結果顯示，如欲辦理符合 IHO 特等作業範圍之水深測量作業，建議基線距離最好控制在 30 公里以內，而不可超過 70 公里。

本研究分析不同基線距離 PPK 與 PPP 船隻軌跡化算之水深測量成果，經分析結果顯示，不同主站 PPK 計算結果雖然在天線盤相位中心之定位結果可看出距離效應，坐標偏移會隨著基線距離增加而增大。但將各不同主站 PPK 軌跡計算結果套用到水深測量成果時，卻全都通過 IHO 特等規定，也就是在水深測量成果之精度檢核部分，看不出明顯的距離效應。分析可能原因為測試區域之海底地形較為平坦所致，雖然定位成果已有偏差，但因地形深度梯度變化小，使得精度檢核較易通過規範要求。因此建議後續研究可採用地形變化較為明顯，或者是有特徵物（如沈船或漁礁等）的測試區作為研究目標，應該可以看出 PPK 距離效性在水深測量成果的影響。

參考文獻

1. Statistical comparison of PPP solution obtained by Online Post-Processing Services, Paolo Dabove and Marco Piras, 2016.
2. Comparative Analysis of Online Static GNSS Postprocessing Services, Marian Jamieson, 2018.
3. GPS 衛星測量原理與應用，曾清涼、儲慶美，1999。
4. 我國海域調查與圖資整合發展計畫（104-109），內政部，2012。

附錄

CSRS PPP 計算成果報表



CSRS-PPP 2.26.1 (2019-05-31)



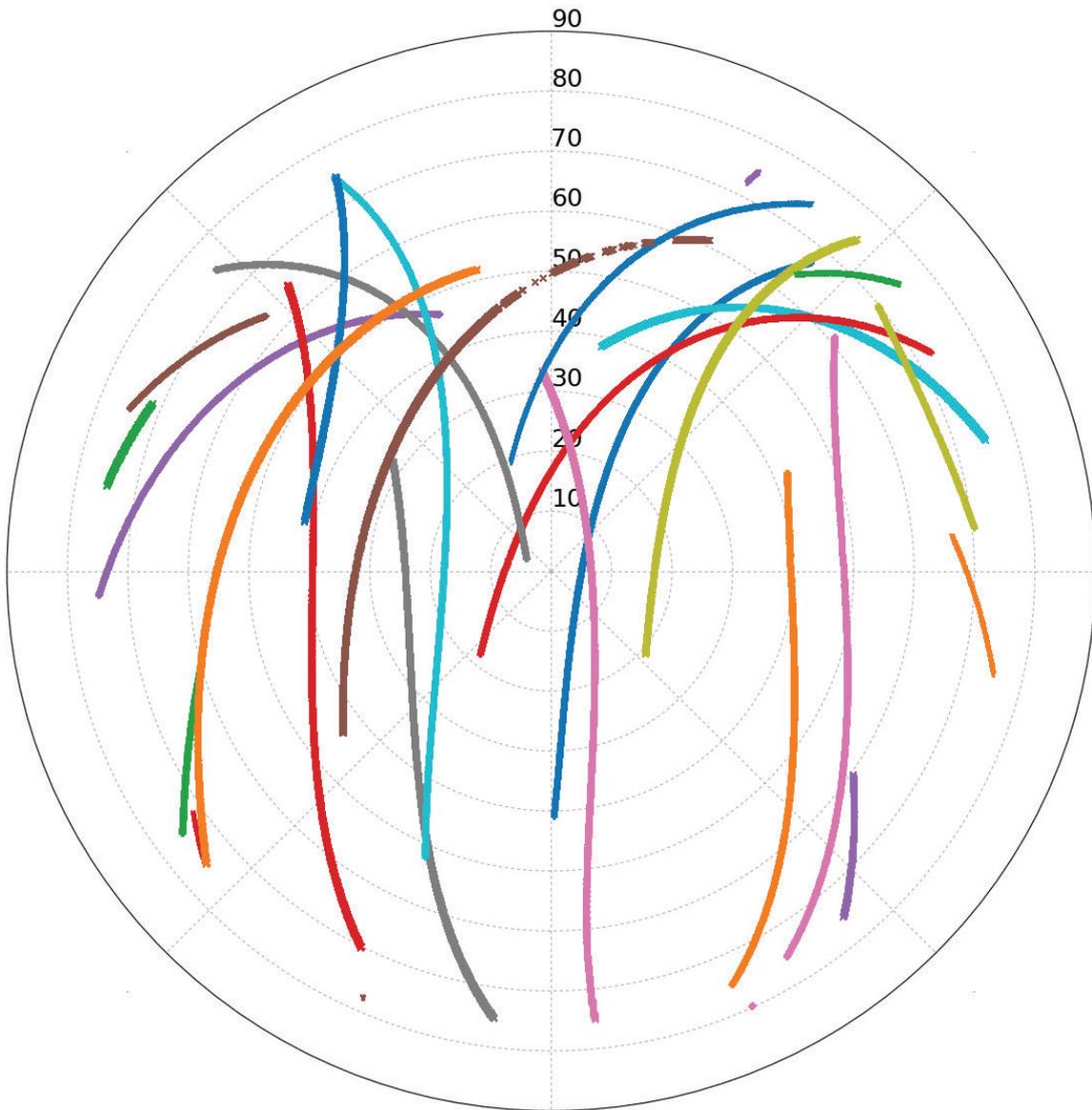
ST020580.19o
ST02

Data Start	Data End	Duration of Observations
2019-02-27 10:12:52.00	2019-02-27 13:52:18.50	3:39:26.500
Processing Time		Product Type
00:12:34 UTC 2019/11/02		IGS Final
Observations	Frequency	Mode
Phase and Code	Double	Kinematic
Elevation Cut-Off	Rejected Epochs	Estimation Steps
7.5 degrees	0.01 %	0.50 sec
Antenna Model	APC to ARP	ARP to Marker
JAVTRIUMPH_1	Unknown	H:0.000m / E:0.000m / N:0.000m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

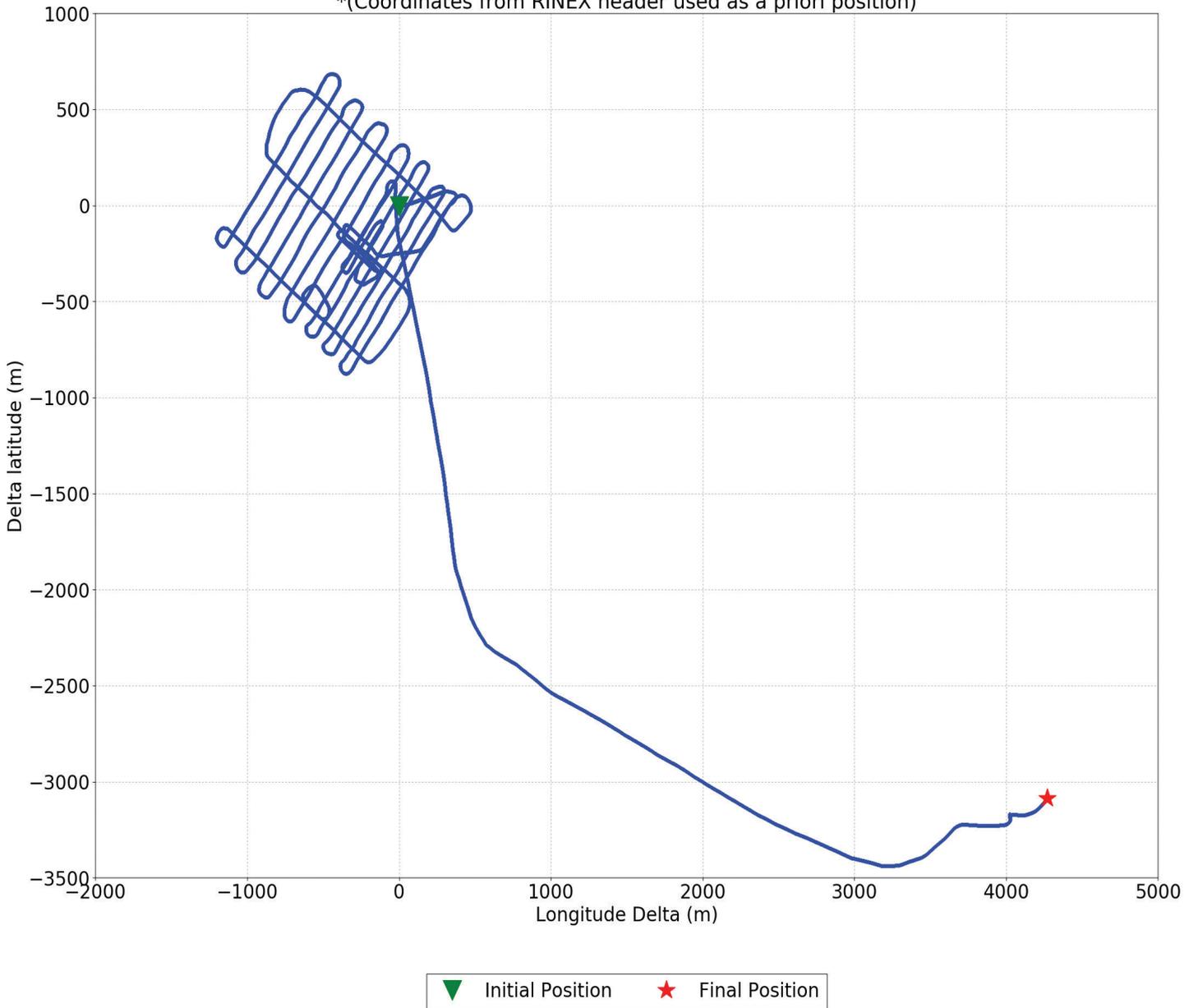
Estimated ITRF Positions for ST020580.19o can be found in ST020580.pos

Satellite Sky Distribution

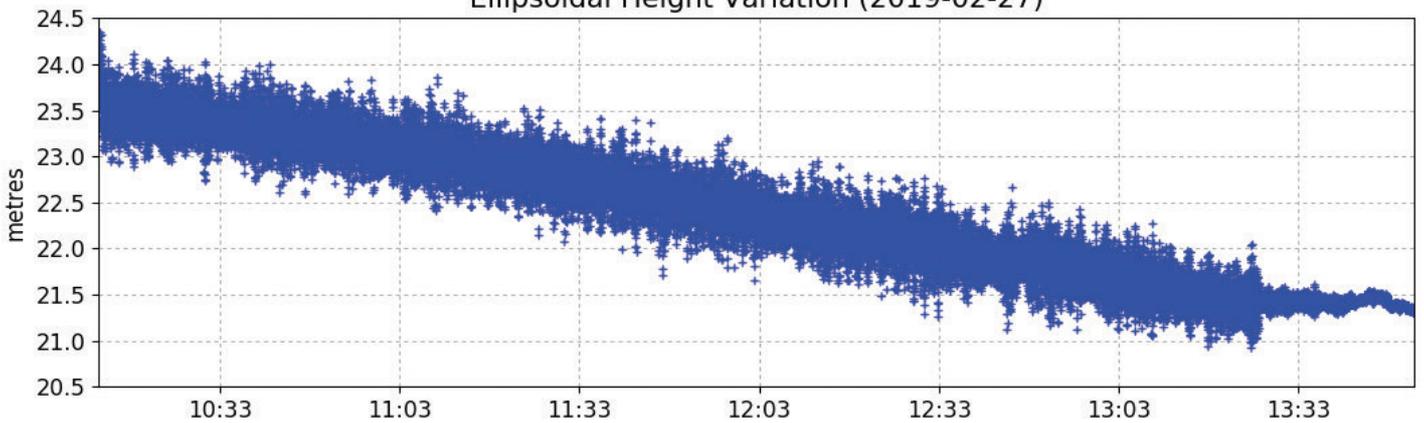


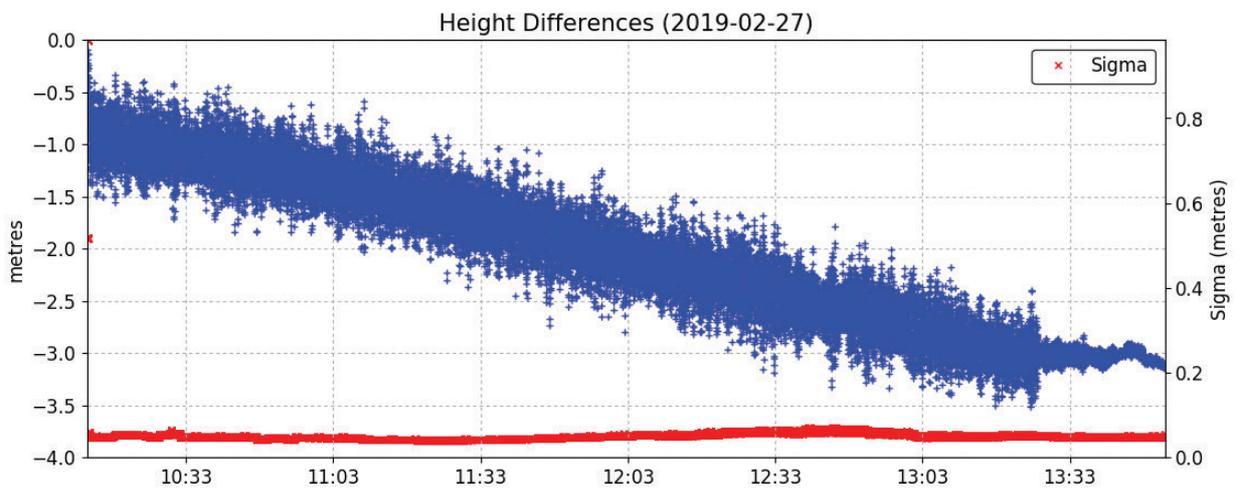
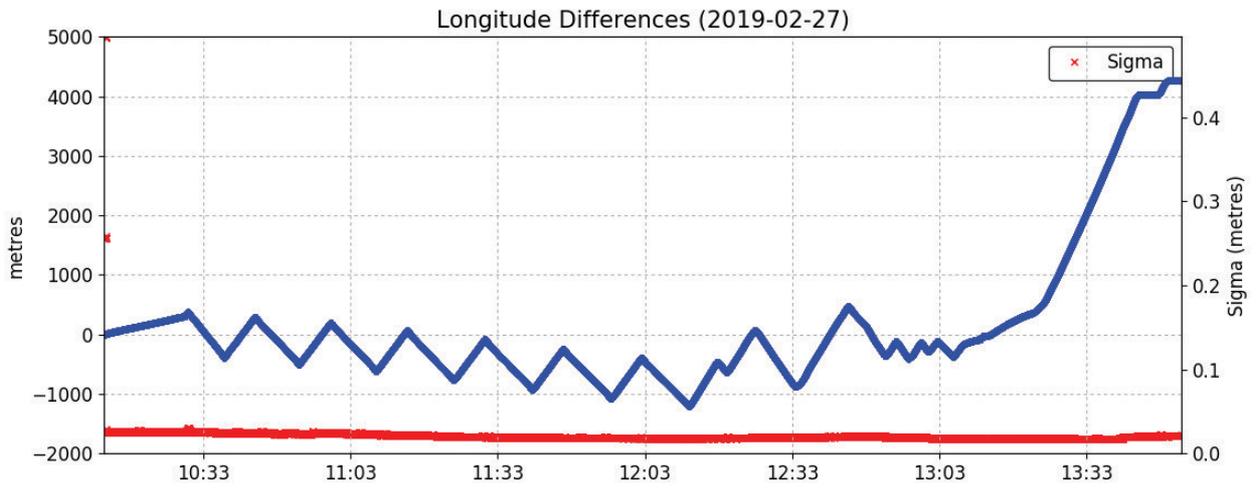
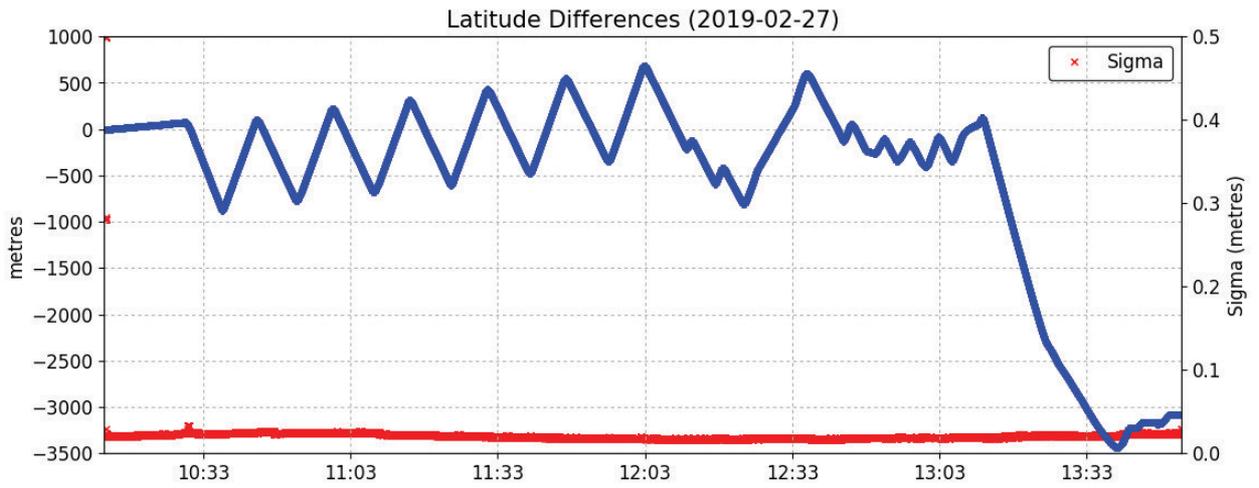
+	G01	∇	G09	+	G19	+	G28	×	R13	×	R18
+	G03	+	G11	+	G22	×	G30	+	R14	∇	R22
+	G06	∇	G16	∇	G23	+	R01	×	R15	∇	R23
×	G07	+	G17	∇	G27	×	R02	×	R17	×	R24
×	G08	×	G18								

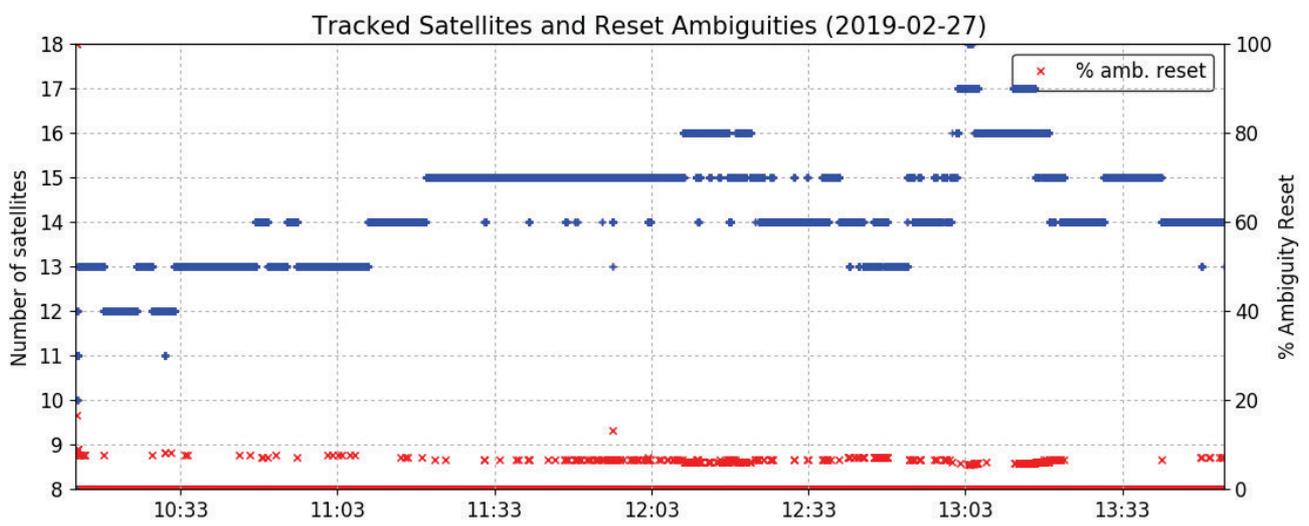
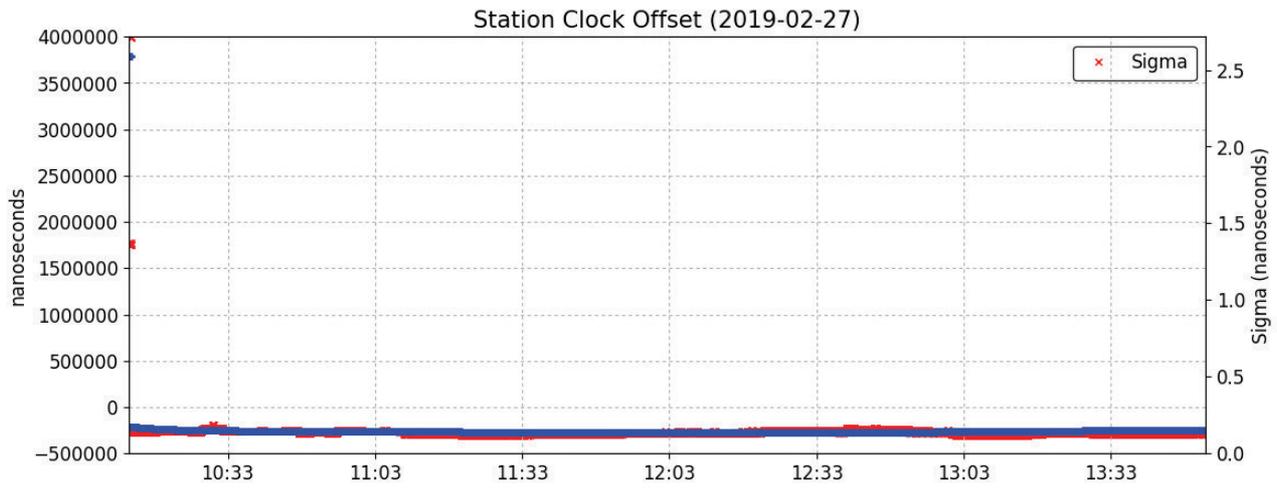
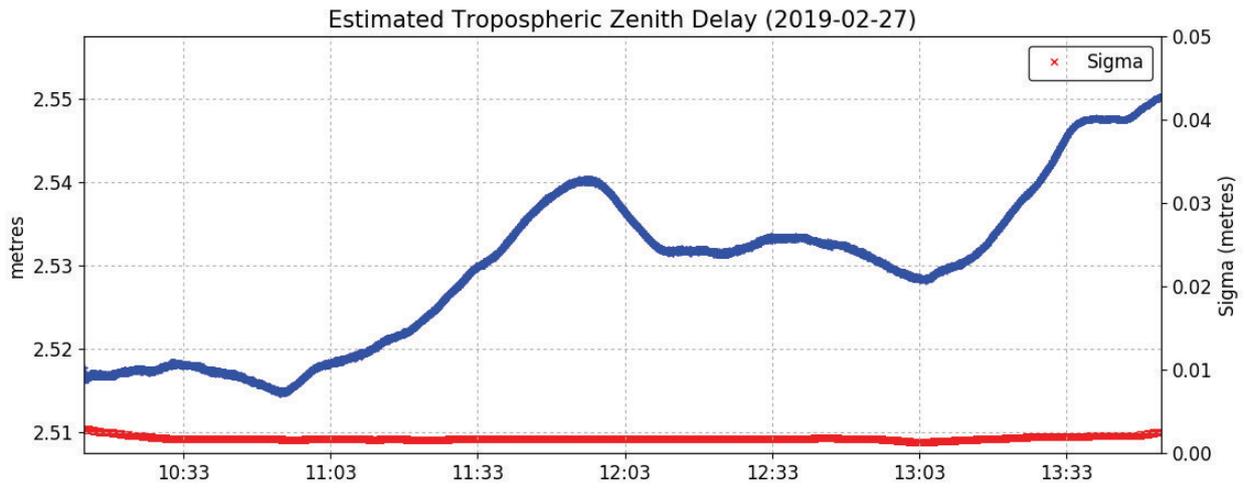
Displacement wrt A priori Latitude ($24^{\circ} 19' 16.19342''$) and A priori Longitude ($120^{\circ} 28' 40.19673''$)*
*(Coordinates from RINEX header used as a priori position)

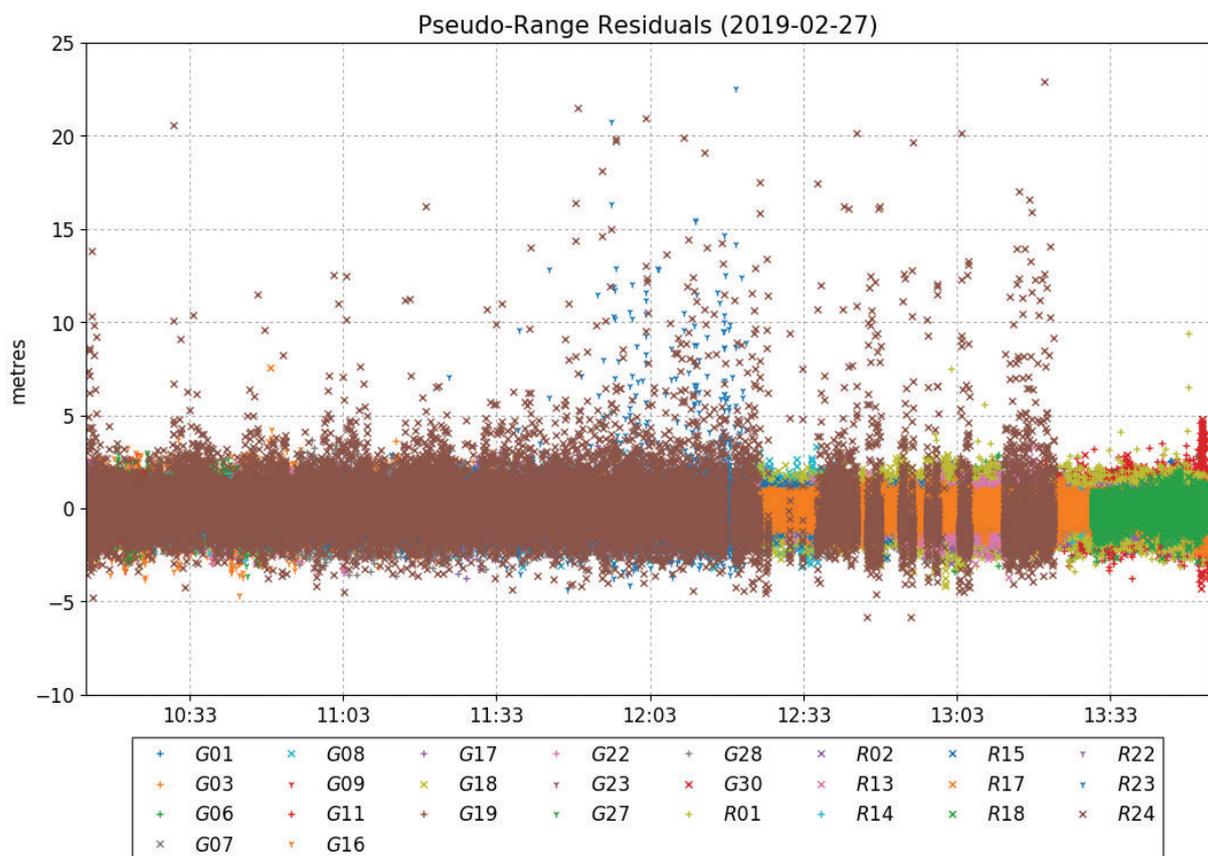
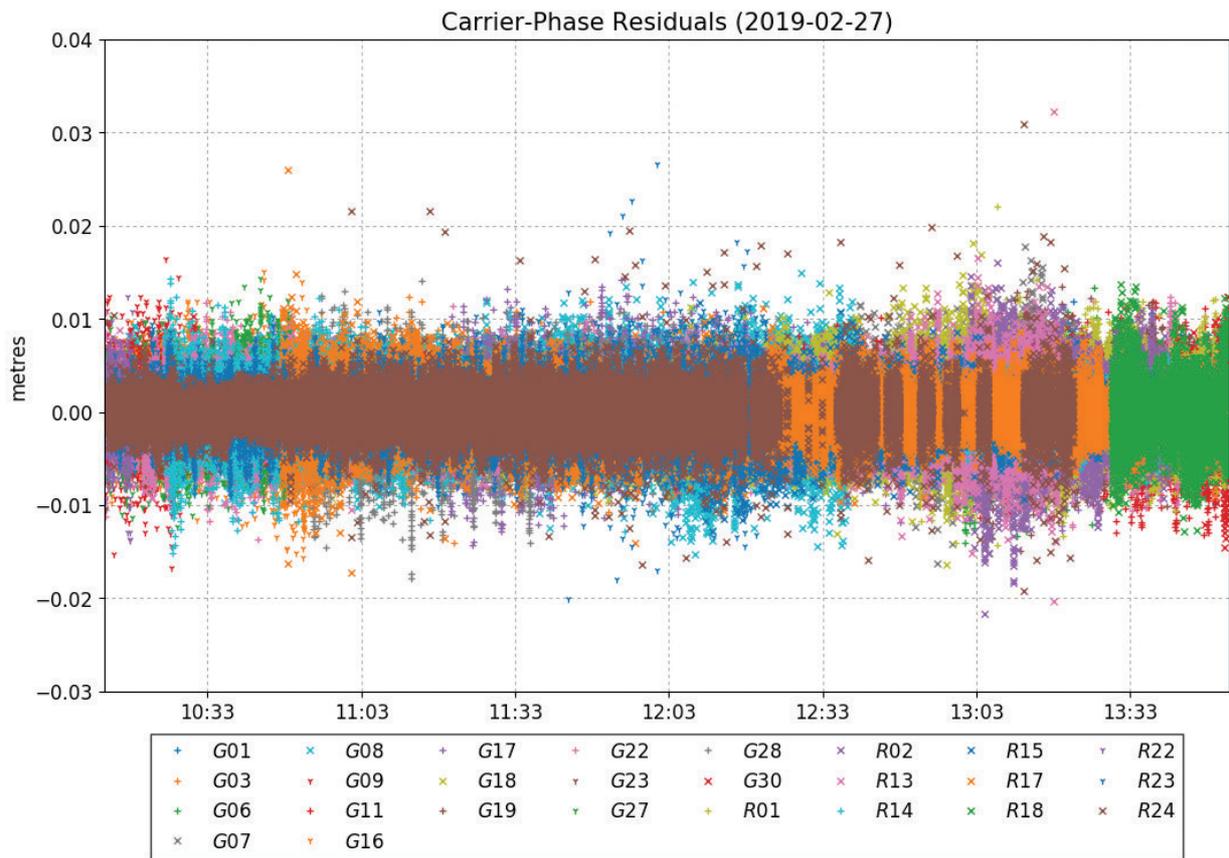


Ellipsoidal Height Variation (2019-02-27)









~~~~ **Disclaimer** ~~~~

**Natural Resources Canada does not assume any liability deemed to have been caused directly or indirectly by any content of its CSRS-PPP online positioning service.**

**If you have any questions, please feel free to contact:**

**Geodetic Integrated Services  
Canadian Geodetic Survey  
Surveyor General Branch  
Natural Resources Canada  
Government of Canada  
588 Booth Street, Room 334  
Ottawa, Ontario K1A 0Y7  
Phone: 343-292-6617**

**Email: [nrcan.geodeticinformation-informationgeodesique.rncan@canada.ca](mailto:nrcan.geodeticinformation-informationgeodesique.rncan@canada.ca)**



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada