

內政部國土測繪中心
108 年度精進現代化 TWD97 國家坐
標系統變位模式採購案

Improvement on the horizontal surface deformation model
applying to the modern TWD97 national coordinate system

工作總報告

計畫主持人：陳國華 副教授

共同主持人：景國恩 副教授

楊 名 教授

委託單位：內政部國土測繪中心

廠商名稱：國立臺北大學

中 華 民 國 108 年 12 月 20 日

摘 要

本(108)年度工作於 108 年 2 月 28 日開始執行，共完成 7 個工作項目：(1)持續辦理資料解算及分析作業；(2)持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式；(3)分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法；(4)計算 e-GNSS[2019]坐標成果；(5)維護變形模式應用軟體；(6)提送國內或國外期刊論文 1 篇(含)以上，並至少於 1 場研討會發表相關研究成果，以及(7)辦理 2 場次座談會。

綜合完成的各項工作內容，得到的執行結果為 1.獲得歷年 GNSS 連續站資料解算成果、基本控制點檢測成果以及中央地質調查所 GNSS 移動站觀測成果等，達到持續精進本案水平變形模式精度之目的；2.探討本案變形模式應用成效，獲得符合要求的分析成果；3.提交 e-GNSS[2019]成果作為 e-GNSS 基準站坐標更新使用 4.維護變形模式應用軟體操作介面；最後，本團隊發表本案相關成果於國內外期刊以及研討會中，並且辦理 2 場座談會進行相關討論，獲得各項有用的參考資訊。綜合而論，本工作團隊完成本案各項工作項目，達到精進現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式之目的。

關鍵字：TWD97[2010]、變形模式、e-GNSS[2019]成果。

Abstract

This year, we finished seven main tasks of this project titled “Improvement on the horizontal surface deformation model applying to the modern TWD97 national coordinate system” which was started on 28th Feb. 2019. The main tasks includes: (1) continuously calculating the GNSS data in the whole Taiwan island; (2) continuously renewing the surface deformation model of the modern TWD97 national coordinate system; (3) analyzing the accuracy of the surface deformation model and its applications; (4) estimating the coordinate of e-GNSS(2019) system; (5) maintaining the functions of the automatic procedures of Bernese 5.2 GNSS processing software and also the deformation model software; (6) submitting the papers to journals and reporting the results of this project in the academic conferences; (7) held two discussion meetings .

The conclusions of this project are 1. achieving the goal of improving the accuracy of horizontal deformation model by analyzing the GNSS continuously observations; 2. analyzing the accuracy of this surface horizontal deformation model with a good performance; 3. providing the result of e-GNSS(2019) for the basic station. 4. maintaining the automatic procedures of Bernese 5.2 GNSS processing and the deformation model software. Finally, we submitted some papers and had some orals in several academic conferences. And we received lots of helpful suggestions from two discussion meetings. In conclusion, all tasks were finished in this project, reaching the goal of improving the horizontal surface deformation model applying to the modern TWD97 national coordinate system.

Keywords: TWD97[2010], deformation model, e-GNSS(2019).

計畫概述

國家坐標系統為各項測量之根本，內政部於 87 年 3 月 17 日訂定臺灣地區 1997 大地基準(TWD97)及參考坐標系統，公布一等衛星控制點 105 點及二等衛星控制點 621 點，因受九二一地震影響，於 90 年 5 月發布改使用 TWD97 坐標系統，內政部國土測繪中心(以下簡稱測繪中心)三等控制點等相關業務並配合改用。

內政部於 98 年 10 月起邀集專家學者召開「大地基準及坐標系統更新維護機制」5 次會議討論，並於第 2 次會議決議點位成果及基準框架繼續採用一九九七坐標系統 (TWD97)，坐標成果為一九九七坐標系統 2010 年成果(簡稱為 TWD97[2010])。配合前述會議決議交由測繪中心辦理 GPS 連續觀測站資料之分析及解算，另納入 99 年至 100 年基本控制點檢測成果後，計算完成 TWD97[2010] 坐標值，經測繪中心陳報內政部相關成果後於 101 年 3 月 30 日公告。

臺灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊交界處，中央山脈及海岸山脈坐落於板塊邊界兩側，斷層遍布且地震頻繁，致各地區之地表位移型態複雜。經比較 TWD97 與 TWD97[2010]坐標成果及歷年基本控制點檢測結果可知，部分地區點位因不敷測繪作業之精度需求必須重新測定公告，而局部重新檢測更新坐標易造成使用上及管理維護上之困擾。有鑒於此，內政部於「大地基準及坐標系統更新維護機制」第 2 次會議時，決議請測繪中心研議建置坐標系統變形修正模型，研究朝向將原有固定式之坐標系統定義中增加一參考時間點，並藉由時間序列之系統變形修正模組進行修正至參考時間點，期使基本控制點間維持其一定之精度，國家坐標系統可長久維持與永續經營。

測繪中心從 2013 年開始委託本團隊辦理「102 年度建置現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式」(以下簡稱 102 年案)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；接續 2016 年辦理「105 年度精進現代化 TWD97

國家坐標系統變位模式」採購案(以下簡稱 105 年案)，以精進並提升 102 年案成果，同時研提國土測繪基準更新與維護之策略，辦理成果的使用推廣及學術研討，期間亦針對使用的 GNSS 解算軟體－Bernese 5.2 版軟體，規劃設計其自動解算功能，以及設計提供使用者操作變形模式的介面軟體；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(以下簡稱 106 年案)中，除了持續精進「速度網格模型」外，並延續在 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(以下簡稱 107 年案)裡，陸續納入 2010 年之後主要地震的「同震位移網格模型」，以此建立臺灣半動態基準所需的完整「地表變形模式」。在 106 與 107 年案中，除了辦理水平速度網格模型的持續精進之外，並完成同震位移網格模型更新時機的研究分析。

在 108 年度採購案(以下簡稱 108 年案)裡，其自 2019 年 2 月 28 日執行開始，陸續完成的工作項目：(1)持續辦理資料解算及分析作業；(2)持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式；(3)分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法；(4)計算 e-GNSS[2019]坐標成果；(5)維護變形模式應用軟體；(6)提送國內或國外期刊論文、研討會發表相關研究成果，以及(7)辦理座談會等，綜合歷年的成果，獲得並完成以下各項研究與工作內容，簡要整理如後。

歷年辦理的研究與工作項目統計表

序號	研究及工作項目內容	辦理年度
1	半動態基準相關文獻回顧	2013 ~ 迄今
2	地質以及斷層活動文獻回顧	2013 ~ 迄今
3	GNSS 連續站資料蒐集與計算	2013 ~ 迄今
4	GNSS 移動站、水準監測資料蒐集與分析 (內政部、地調所、水利署等資料)	2013 ~ 迄今
5	震間地表水平速度場推求與精進	2016 ~ 2019
6	主要地震之水平同震位移模型建立	2016 ~ 2018
7	同震水平位移網格模型更新時機之研究	2016 ~ 2018
8	震間地表水平速度場網格模型更新時機研究	2019

9	水平變形模式之精度驗證	2016 ~ 2019
10	基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體之更新與調整；變位模式應用軟體之更新與調整	2016 ~ 2019

(一)維護與更新國家大地基準策略與作法文獻整理

在歷年工作成果中，蒐集各國主要的建置國家半動態基準方式，作為維護與更新國家大地基準策略與作法之參考，整理如下。

各國建置國家半動態基準方式

	建置震間變形模型方法	建置同震位移模型方法
美國	根據塊體模型(包含塊體旋轉及斷層滑移)估計地表速度場。	根據斷層錯位理論的方程式估計同震位移的影響量。
紐西蘭	以雙三次樣條 (bicubic spline) 內插方程推估網格點的速度量，以建立區域的速度模型。	先建置錯位模型，再以模型推估點位的位移量，依此建立三角網同震變形模型。
日本	以克立金 (Kriging) 法內插推估網格點每年的位移量，據以建立區域的位移場模型。	以克立金 (Kriging) 法內插推估網格點在地震前後的坐標變位量，以估計同震位移的影響量。
加拿大	利用 GNSS 連續站及移動站推估的各站速度資料，以塊體模型以建立速度場模型。	根據 GNSS 連續站及移動站監測資料，以斷層錯位模型估計同震位移量。
澳洲	利用 GNSS 連續站及移動站推估的各站速度資料，以塊體模型建立速度場模型。	根據 GNSS 連續站及移動站監測資料，以斷層錯位模型估計同震位移量。
韓國	利用 GNSS 連續站解算的各站坐標資料，以線性內插法推估建立變形模式。	以與距離相關的線性內插法估計地震前後的坐標變形量以推估同震位移量。

據此，105 ~ 107 年案採建立地表變形模式(包含速度網格模型與同震位移網格模型)，作為維護與更新現代化 TWD97 國家坐標系統的方法。

(二) 辦理資料解算及分析作業

在歷年執行的成果裡，持續計算國內外 GNSS 觀測資料，並蒐集地調所移動站及測繪中心基本控制點檢測成果(如下表)，獲得各觀測站的坐標時間序列成果作為估算速度值的依據。

102 ~ 108 年案蒐集之觀測資料統計

年度	GNSS 連續站	地調所移動站	測繪中心 基本控制點
2013	436	823	約 1341
2014	431	884	
2015	422	852	
2016	415	852 (篩選後為 785)	約 1341
2017	423	約 850	約 1350
2018	436	約 850	約 1350
2019	433	約 850	約 1350

相鄰 IGS 國際站歷年觀測資料比例

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019. 1.1 ~ 9.30
BJFS	94 %	96 %	93 %	99 %	94 %	93 %	98 %	84 %	100 %	100 %
COCO	100 %	98 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	98 %	100 %	100 %
GUAM	93 %	95 %	98 %	99 %	95 %	99 %	99 %	100 %	98 %	35 %
PIMO	100 %	99 %	100 %	100 %	98 %	96 %	100 %	100 %	99 %	100 %
SHAO	100 %	97 %	100 %	99 %	36 %	5 %	95 %	90 %	100 %	28 %
TSKB	100 %	98 %	99 %	99 %	100 %	97 %	99 %	99 %	96 %	99 %

歷年的 GNSS 資料解算策略與 TWD97[2010]相同。首先，將金門站(KMNM)與鄰近臺灣的 IGS 國際站(GUAM、BJFS、COCO、SHAO、PIMO 與 TSKB 等 6 站)進行聯合網形平差計算，得到每日 KMNM 的法方程式(*.NQ0)、SNX 檔，以獲得 KMNM 站的每日坐標成果，並進行坐標時間序列分析，推估 KMNM 站的速度；接續將國內各 GNSS 連續站進行分區計算，各分區的共同聯測站有金門(KMNN)、測繪中心(LSB0)、竹南(JUNA)、成大測量系(CKSV)、澎湖白沙(S01R)以及恆春(HENC)，共 6 站，每日各時段均最小約制於 KMNM 的 TWD97[2010]公告坐標，得到各 GNSS 連續站的每日坐標解，並估計得 GNSS 連續站的整體

平均解算精度，在 E、N、U 方向分別為 ± 4.1 mm、 ± 3.0 mm、 ± 12.9 mm，水平方向為 ± 5.1 mm；以及 GNSS 移動站的整體平均解算精度，在 E、N、U 方向分別為 ± 22.7 mm、 ± 9.9 mm、 ± 25.0 mm，水平方向 ± 25.3 mm。

(三) 建置現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式

將各觀測站的坐標時間序列成果進行擬合，可得到各站的擬合速度值，並將速度值修正至與 TWD97[2010]相同的 ITRF94 框架，時刻為 2010.0。因此，在 108 年案中，估計得到 GNSS 連續站的速度場整體擬合精度平均值在 E, N 方向分別為 ± 0.60 mm/yr、 ± 0.48 mm/yr；GNSS 移動站的速度場整體擬合精度平均值在 E、N 方向分別為 ± 9.17 mm/yr、 ± 2.68 mm/yr。並由擬合的過程發現，地表速度改變的時間點大多集中在重大地震事件發生的時間以及震央附近區域，其速度的改變與地震事件具有一致性。因此，108 年案將地表的水平速度場分為 12 個時期，獲得各觀測站 12 個時期的水平速度值(註：2010 年之後有 7 個速度場時期)，並依此建置變形模式所需的水平速度網格模型，網格大小為 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 。

另外，在 107 年案的成果中，分析得知同震位移格點模型的新增時機門檻為當地震造成的地表最大水平位移超過 14 mm 時，即有新增同震格點位移模型之必要，同時亦分析得知，運用超快速星曆所獲得之水平及垂直地表的同震位移量與利用最終精密星曆的計算結果近乎一致。因此，108 年案據此建立 2010 年之後的 6 個主要地震之同震格點位移模型。並彙整 2010 年之後的 7 個水平速度網格模型以及 6 個同震格點位移模型，得到臺灣地區 2010 年之後的地表變形模式。

108 年案分別應用測繪中心的基本控制點成果、臺東縣與宜蘭加密控制點成果，以及 LiDAR 技術更新數值地形模型等成果，進行 108 年案得到的變形模式之應用成效分析，獲得顯著的改善幅度，可作為未來相關測繪工作應用之參考。同時，108 年案亦研擬使用變形模式的作業程序作為應用的參考。

(四) 變形模式應用軟體設計與維護

為使 GNSS 資料解算自動化，提升計算工作效率；並讓使用者方便利用本案變形模式以進行點位坐標之修正，在歷年執行的工作項目中，已分別開發基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體以及變形模式應用軟體，並對於各軟體的功能進行維護，已可提供使用者相關應用。

(五) 辦理成果座談會及論文發表

為推廣建置臺灣「半動態基準」及精進國家坐標系統變形模式之成果，108 年案分別於 2019 年 6 月 19 日、10 月 30 日辦理兩場「精進現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式成果說明座談會」，邀請多位專家學者及各直轄市、縣(市)政府、測量技師公會及測繪業同業公會相關人員，針對國家坐標系統之說明與維護進行交流討論，作為下一階段執行工作項目的參考方向。同時，在歷年案的工作項目中，均已將各年度相關成果發表於相關研討會及國內外期刊中([內政部國土測繪中心，2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018](#))，108 年案的相關成果亦已發表於研討會與投稿至國內知名期刊，詳如第 6.2 節所述。

工作總報告工作項目對照表

工作項目	對應章節	頁次	備註
(一)持續辦理資料解算及分析作業	第三章 第 3.1 ~ 3.4 節	P. 48~87	
(二)持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式	第四章 第 4.1 ~ 4.4 節	P. 91-171	
(三)分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法	第四章 第 4.5 節	P. 172-188	
(四)計算 e-GNSS[2019]坐標成果	第三章 第 3.5 節	P. 88-90	
(五)維護變形模式應用軟體	第五章 (全)	P. 191-214	
(六)提送國內或國外期刊論文 1 篇(含)以上，並至少於 1 場研討會發表相關研究成果。	第六章 第 6.2 節	P. 228-232	
(七)辦理 2 場次座談會	第六章 第 6.1 節	P. 215-227	

目 錄

第一章 前言	1
1.1 背景說明	4
1.1.1 臺灣現行之大地基準	6
1.1.2 臺灣的大地構造	7
1.2 作業目標與範圍	11
1.3 工作項目與作業進度	11
第二章 文獻回顧	19
2.1 地表變形型態	19
2.2 靜態、動態及半動態基準之介紹	20
2.3 國內外之國家大地基準更新與維護策略	23
2.3.1 美國大地基準之建置	24
2.3.2 紐西蘭大地基準之建置	26
2.3.3 日本大地基準之建置	28
2.3.4 印度尼西亞大地基準之建置	30
2.3.5 其他國家大地基準之建置	31
2.4 各國與我國相關現行法規之對應探討	33
2.4.1 基本控制測量規範面探討	33
2.4.2 地籍測量規範面探討	40
第三章 辦理資料解算及分析作業	47
3.1 連續站觀測資料蒐集與統計	48
3.2 連續站觀測資料分區與解算策略	55
3.3 連續站觀測資料解算成果分析	66
3.3.1 連續站的坐標時間序列擬合	68
3.3.2 連續站的坐標估計精度分析	71
3.4 移動站的坐標估計精度分析	79
3.5 e-GNSS[2019]坐標成果計算	88
第四章 現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式	91
4.1 速度網格模型更新	91

4.1.1 臺灣地區不同時期之水平速度場.....	91
4.1.2 水平速度擬合穩定度測試.....	95
4.1.3 速度網格模型之建置.....	100
4.1.4 水平速度網格模型精度檢驗.....	103
4.2 速度場更新之精度門檻規範.....	109
4.3 臺灣水平速度場更新時機分析.....	112
4.4 同震位移格點模型.....	115
4.4.1 同震位移格點模型新增時機分析.....	118
4.4.2 同震格點位移模型之更新處理流程.....	138
4.4.3 同震格點位移模型成果與分析.....	140
4.5 變形模式應用成效分析.....	172
4.5.1 基本控制點成果之實際應用分析與檢測建議.....	172
4.5.2 臺東縣與宜蘭縣加密控制點之實際應用分析.....	177
4.5.3 LiDAR 案之控制測量成果的實際應用分析.....	181
4.5.4 歷年一等水準點公告成果驗證分析.....	185
4.5.5 縣市區 GMT 速度格點模型暈渲圖產製.....	188
4.6 變形模式作業程序研擬.....	189
第五章 變形模式應用軟體設計與維護.....	191
5.1 擴充基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體架構.....	191
5.2 擴充基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體功能說明.....	195
5.2.1 衛星觀測資料修正軟體(資料檢核)說明.....	195
5.2.2 基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體解算程序說明.....	196
5.2.3 使用操作介面說明.....	197
5.3 更新變位模式應用軟體.....	211
第六章 辦理座談會及論文發表.....	215
6.1 辦理成果推廣座談會.....	215
6.2 辦理成果之發表.....	228
第七章 結論與建議.....	233
7.1 結論.....	233

7.2 建議	236
參考文獻	239
附件一 功能需求訪談紀錄	247
附件二 作業計畫書審查意見及修正情形	251
附件三 兩場座談會簽到簿	253
附件四 工作會議紀錄	261
附件五 期中報告書審查委員意見及修正情形	273
附件六 工作總報告審查委員意見及修正情形	283

圖目錄

圖 1.1 臺灣大地構造框架	5
圖 1.2 脫逸構造示意圖	9
圖 2.1 地震循環示意圖	20
圖 2.2 動態基準之示意圖	22
圖 2.3 半動態基準之示意圖	22
圖 2.4 紐西蘭 GNS 建置的水平速度場模型	27
圖 2.5 日本規則網格內插變位量成果	29
圖 2.6 印度尼西亞 IGRS2013 速度模型成果	31
圖 2.7 紐西蘭界址點及經界線等級判斷示意圖	41
圖 2.8 我國與紐西蘭的精度規範比較	45
圖 3.1 經濟部中央地質調查所活動斷層分布圖	49
圖 3.2 相鄰 IGS 國際站歷年觀測資料比例圖	53
圖 3.3 參與計算之鄰近國際 IGS 站	54
圖 3.4 國內共同聯測站分布圖	56
圖 3.5 108 年案連續站觀測資料計算分區圖(1)	57
圖 3.6 108 年案連續站觀測資料計算分區圖(2)	58
圖 3.7 與國際站聯測之金門站(KMNM)坐標時間序列圖	62
圖 3.8 Bernese 軟體計算流程圖	63
圖 3.9 GNSS 連續站分布情形	67
圖 3.10 臺南虎頭埤(GS32)站坐標時間序列擬合圖	68
圖 3.11 臺南虎頭埤(GS32)站坐標時間序列殘差圖	69
圖 3.12 坐標精度不佳之連續站分布圖	73
圖 3.13 擬合重大地震事件之連續站坐標精度統計圖	74
圖 3.14 臺灣地區連續站坐標 E 分量之精度空間分布圖	75
圖 3.15 臺灣地區連續站坐標 N 分量之精度空間分布圖	76
圖 3.16 臺灣地區連續站坐標平面之精度空間分布圖	77

圖 3.17 臺灣地區連續站坐標高程之精度空間分布圖	78
圖 3.18 地調所移動站分布情形	80
圖 3.19 坐標精度不佳之移動站分布圖	82
圖 3.20 擬合重大地震事件之移動站坐標精度統計圖	83
圖 3.21 臺灣地區移動站坐標 E 分量之精度空間分布圖	84
圖 3.22 臺灣地區移動站坐標 N 分量之精度空間分布圖	85
圖 3.23 臺灣地區移動站坐標平面之精度空間分布圖	86
圖 3.24 臺灣地區移動站坐標高程之精度空間分布圖	87
圖 3.25 e-GNSS[2019]成果與 TWD97[2010]坐標較差圖(水平分量)	89
圖 3.26 e-GNSS[2019]成果與 TWD97[2010]坐標較差圖(垂直分量)	90
圖 4.1 相對於金門站(KMNM)之水平速度場(1) 2003/1/1-2006/4/1	92
圖 4.2 相對於金門站(KMNM)之水平速度場(2) 2006/4/1-2010/3/4	92
圖 4.3 相對於金門站(KMNM)之水平速度場(3) 2010/3/4-2016/2/6	93
圖 4.4 相對於金門站(KMNM)之水平速度場(4) 2016/2/6-2019/9/30	93
圖 4.5 速度擬合穩定度測試測站分布圖	96
圖 4.6 不同水平速度擬合期之 E 方向速度標準差	97
圖 4.7 不同水平速度擬合期之 N 方向速度標準差	97
圖 4.8 不同期間水平速度擬合之 E 方向差異 RMS 值	99
圖 4.9 不同期間水平速度擬合之 N 方向差異 RMS 值	99
圖 4.10 暫未納入模型建置之外部精度檢核站	100
圖 4.11 水平速度網格模型(1) 2003/1/1-2006/4/1	101
圖 4.12 水平速度網格模型(2) 2006/4/1-2010/3/4	102
圖 4.13 水平速度網格模型(3) 2010/3/4-2016/2/6	102
圖 4.14 水平速度網格模型(4) 2016/2/6-2019/9/30	103
圖 4.15 測繪中心更新變位模式-管理者端	104
圖 4.16 測繪中心更新變位模式-使用者端	104
圖 4.17 實測與推估坐標 E 方向累積之平均較差值(mm)	105
圖 4.18 實測與推估坐標 N 方向累積之平均較差值(mm)	105
圖 4.19 S105、DPIN 與全臺斷層分布圖	106

圖 4.20 S105 測站 E 方向之實測與推估坐標的較差量(mm).....	107
圖 4.21 S105 測站 N 方向之實測與推估坐標的較差量(mm).....	107
圖 4.22 DPIN 測站 E 方向之實測與推估坐標的較差量(mm).....	108
圖 4.23 DPIN 測站 N 方向之實測與推估坐標的較差量(mm)	108
圖 4.24 實測與推估坐標於 E 方向累積之平均較差值與線性公式(mm)	113
圖 4.25 實測與推估坐標於 N 方向累積之平均較差值與線性公式(mm).....	113
圖 4.26 2016 年美濃地震水平地表同震位移場.....	117
圖 4.27 2016 年美濃地震垂直地表同震位移場.....	117
圖 4.28 臺灣 1900 年 1 月至 2017 年 5 月 $M_L > 4.0$ 之地震分布圖	119
圖 4.29 臺灣 $M_L > 4.0$ 之地震孕震帶震源深度分布圖.....	123
圖 4.30 臺灣 $M_L > 4.0$ 之地震孕震帶震源平滑深度分布圖.....	124
圖 4.31 斷層正演模型用於推求地表位移量之點位分布圖.....	128
圖 4.32 逆衝斷層正演模型測試成果.....	130
圖 4.33 正斷層正演模型測試成果.....	130
圖 4.34 左移斷層正演模型測試成果.....	131
圖 4.35 右移斷層正演模型測試成果.....	131
圖 4.36 各震源位置正演模擬估算之最小地震規模分布圖.....	134
圖 4.37 不同深度各震源位置正演模擬估算之最小地震規模分布圖(1).....	135
圖 4.38 不同深度各震源位置正演模擬估算之最小地震規模分布圖(2).....	135
圖 4.39 同震格點位移模型之更新處理流程圖.....	139
圖 4.40 甲仙地震(2010 年 3 月)之全臺水平地表同震格點位移場.....	142
圖 4.41 甲仙地震(2010 年 3 月)之全臺垂直地表同震格點位移場.....	143
圖 4.42 甲仙地震(2010 年 3 月)之局部放大水平地表同震格點位移場.....	144
圖 4.43 甲仙地震(2010 年 3 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場.....	144
圖 4.44 南投地震(2013 年 3 月)之全臺水平地表同震格點位移場.....	146
圖 4.45 南投地震(2013 年 3 月)之全臺垂直地表同震格點位移場.....	147
圖 4.46 南投地震(2013 年 3 月)之局部放大水平地表同震格點位移場.....	148
圖 4.47 南投地震(2013 年 3 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場.....	148
圖 4.48 南投地震(2013 年 6 月)之全臺水平地表同震格點位移場.....	150

圖 4.49 南投地震(2013 年 6 月)之全臺垂直地表同震格點位移場.....	151
圖 4.50 南投地震(2013 年 6 月)之局部放大水平地表同震格點位移場.....	152
圖 4.51 南投地震(2013 年 6 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場.....	152
圖 4.52 瑞穗地震(2013 年 10 月)之全臺水平地表同震格點位移場.....	154
圖 4.53 瑞穗地震(2013 年 10 月)之全臺垂直地表同震格點位移場.....	155
圖 4.54 瑞穗地震(2013 年 10 月)之局部放大水平地表同震格點位移場.....	156
圖 4.55 瑞穗地震(2013 年 10 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場.....	156
圖 4.56 美濃地震(2016 年 02 月)之全臺水平地表同震格點位移場.....	158
圖 4.57 美濃地震(2016 年 02 月)之全臺垂直地表同震格點位移場.....	159
圖 4.58 美濃地震(2016 年 02 月)之局部放大水平地表同震格點位移場.....	160
圖 4.59 美濃地震(2016 年 02 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場.....	160
圖 4.60 花蓮近海地震單一滑移量斷層模型擬合結果.....	163
圖 4.61 花蓮近海地震單一滑移量斷層模型 DInSAR 擬合結果.....	164
圖 4.62 花蓮近海地震單一滑移量斷層模型與主震餘震序列比較結果.....	164
圖 4.63 花蓮近海地震多滑移量斷層模型擬合結果.....	165
圖 4.64 花蓮近海地震多滑移量斷層模型 DInSAR 升軌擬合結果。.....	166
圖 4.65 花蓮近海地震多滑移量斷層模型 DInSAR 降軌擬合結果。.....	166
圖 4.66 花蓮地震(2018 年 2 月)之全臺水平地表同震格點位移場.....	168
圖 4.67 花蓮地震(2018 年 2 月)之全臺垂直地表同震格點位移場.....	169
圖 4.68 花蓮地震(2018 年 2 月)之局部放大水平地表同震格點位移場.....	170
圖 4.69 花蓮地震(2018 年 2 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場.....	170
圖 4.70 2016 年與 2017 年基本控制點實測坐標差異值圖.....	173
圖 4.71 2016 年與 2017 年基本控制點坐標成果之較差值統計圖.....	174
圖 4.72 2016 年與 2017 年基本控制點修正前後的坐標較差圖.....	176
圖 4.73 2016 年與 2017 年基本控制點坐標修正前後的坐標較差統計圖.....	177
圖 4.74 宜蘭縣加密控制點修正前後之坐標較差圖.....	178
圖 4.75 宜蘭縣加密控制點坐標修正前後之較差值統計圖.....	178
圖 4.76 臺東縣加密控制點修正前後之坐標較差圖.....	179
圖 4.77 臺東縣加密控制點坐標修正前後之較差值統計圖.....	179

圖 4.78 LiDAR 案成果變形模式修正前之點位較差分佈圖.....	181
圖 4.79 LiDAR 案成果變形模式修正後之點位較差分佈圖.....	183
圖 4.80 歷年一等水準點公告成果較差分佈圖(2003 與 2009 年).....	186
圖 4.81 歷年一等水準點公告成果較差分佈圖(2009 與 2016 年).....	187
圖 4.82 臺北市區 GMT 速度格點模型暈渲圖範例.....	188
圖 4.83 變形模式作業程序流程圖.....	190
圖 5.1 資料處理總架構圖.....	191
圖 5.2 衛星資料修正流程圖.....	192
圖 5.3 基線解算(Bernese 5.2)自動化處理解算流程圖.....	193
圖 5.4 系統架構圖.....	194
圖 5.5 系統主介面.....	198
圖 5.6 系統設定介面.....	200
圖 5.7 資料來源設定(1)-(4).....	202
圖 5.8 網路磁碟設定.....	202
圖 5.9 群組設定.....	204
圖 5.10 自動解算設定.....	205
圖 5.11 Station.Info 編輯介面.....	206
圖 5.12 時間序列、速度場報表.....	207
圖 5.13 速度場圖介面.....	208
圖 5.14 載入速度場後圖面展示.....	209
圖 5.15 匯出地圖表現.....	210
圖 5.16 更新變位模式應用軟體操作頁面(1).....	212
圖 5.17 更新變位模式應用軟體操作頁面(2).....	213
圖 5.18 更新變位模式應用軟體操作頁面後台管理(1).....	213
圖 5.19 更新變位模式應用軟體操作頁面後台管理(2).....	214
圖 6.1 第一場專題演講及交流座談(1).....	216
圖 6.2 第一場專題演講及交流座談(2).....	216
圖 6.3 第一場專題演講及交流座談(3).....	217
圖 6.4 第二場專題演講及交流座談(1).....	223

圖 6.5 第二場專題演講及交流座談(2)	223
圖 6.6 第二場專題演講及交流座談(3)	224
圖 6.7 第二場專題演講及交流座談(4)	224
圖 6.8 研討會成果發表(1)	229
圖 6.9 研討會成果發表(2)	229
圖 6.10 研討會成果發表(3)	230
圖 6.11 研討會成果發表(4)	230
圖 6.12 「台灣土地研究」期刊投稿收件通知書	231

表 目 錄

表 1.1 108 年案擬定的作業時程表.....	15
表 1.2 歷年辦理的研究與工作項目統計表.....	16
表 1.3 108 年案辦理研究與工作項目統計表.....	17
表 2.1 各國建置國家大地基準方式.....	32
表 2.2 方位角閉合差比較表.....	35
表 2.3 位置閉合差或閉合比數比較表.....	36
表 2.4 我國衛星定位測量作業精度規範.....	37
表 2.5 美國衛星定位測量作業精度規範.....	38
表 2.6 紐西蘭衛星定位測量作業精度規範.....	39
表 2.7 日本衛星定位測量作業精度規範.....	39
表 2.8 各國衛星定位測量作業精度規範比較.....	39
表 2.9 宗地分類比較表.....	40
表 2.10 圖根點至界址點誤差範圍比較.....	43
表 2.11 數值法之界址點邊長誤差範圍比較.....	44
表 2.12 圖解法之界址點邊長誤差範圍比較.....	44
表 3.1 各年(2013~2019)蒐集之觀測資料統計.....	50
表 3.2 歷年(1990 至 2019 年 9 月)各單位連續觀測站資料統計.....	50
表 3.3 相鄰 IGS 國際站歷年觀測資料比例.....	53
表 3.4 選定之 IGS 國際站的平均資料率.....	53
表 3.5 資料筆數偏低統計表.....	55
表 3.6 108 年案連續站觀測資料計算分區統計.....	58
表 3.7 GNSS 連續站資料來源與站數統計.....	66
表 3.8 2003 年至 2018 年之重大地震事件.....	70
表 3.9 坐標精度不佳之連續站.....	72
表 3.10 坐標精度不佳之移動站.....	81
表 4.1 不納入模型建立之連續站.....	94

表 4.2 臺灣衛星控制點之基線較差精度規範.....	110
表 4.3 數值法戶地測量之精度規範.....	112
表 4.4 全臺在不同容許誤差下之水平速度場使用年限.....	115
表 4.5 地震規模與地表位移對照表.....	122
表 4.6 臺灣主要地震事件所需最小地震規模模擬比較.....	137
表 4.7 基本控制點與加密控制點修正前後之坐標之較差統計表.....	180
表 4.8 LiDAR 案成果變形模式修正前之點位較差統計表.....	182
表 4.9 LiDAR 案成果變形模式修正後之點位較差統計表.....	184
表 6.1 第一次(6/19)座談會議程.....	215
表 6.2 第一次座談會專家學者意見歸納表.....	218
表 6.3 第二次(10/30)座談會議程.....	222
表 6.4 第二次座談會與會人員意見簡要整理表.....	225
表 6.5 研討會成果發表及期刊投稿統計.....	228

第一章 前言

國家大地坐標系統為國家建設、測繪發展、學術研究的基礎及重要依據。理想上，大地坐標系統不隨著時間而變化，然而，在實務上，受到板塊相對運動的影響，使得國家控制點產生相對位移，或因為地表特殊事件(如地震)所致的地表相對錯動變形，均使得國家坐標系統隨著時間而逐漸失去原有精度進而不敷各界使用。

全面推展國家測量控制點檢測作業為維持國家坐標系統精確性最簡單、最具體方式。然而，此項作業耗費龐大測繪經費，對於國家財政將造成重大負擔，除非遇有如颱風、水災、地震等重大自然災害產生之顯著變形而必須全面檢測之外，不宜短期高頻率重覆辦理全區檢測。因此，有效應用現有測繪資源，例如：利用 GNSS 測站建立區域性的半動態基準(semi-dynamic datum)為一可行且能有效維護國家坐標系統的方式。

半動態坐標基準在應用上可視為是一種「適用於各個時期各個地區之坐標轉換」，或是「具有時間函數的坐標轉換」。在該基準中的「地表變形模式」可視為坐標轉換中的「轉換參數」，因此半動態坐標基準在實務應用上，其規範與傳統的坐標轉換可視作是一致的。由於半動態坐標基準的轉換參數採用地表變形模式進行，且因為地表變形模式繼承了板塊運動相對穩定的特性，所以相較於傳統靜態坐標基準，以及與連續 GNSS 觀測網(或 e-GNSS 系統)的相互搭配，使得半動態坐標基準在實務應用上具有較高的精度且較易維護的特性。

地表變形模式為半動態坐標基準運作的核心，控制地表變形模式型態的機制相當多，包含有斷層運動行為(地震循環)、大規模崩塌、地下水的挹注與排出、固體潮、氣壓變化等各種因素。由於現階段世界上的半動態坐標基準多只考慮平面坐標精度之精進，因此在地表變形模式建置工作中，主要以模擬斷層平面運動行為(地震循環)為主。

斷層運動(地震循環)主導的地表變形主要包含了：(1)震間期速度場(2)同震位移場與(3)非線性震後變形場。由於目前世界主流的地表變形模式建置的概念是以一個穩定不變的震間速度網格模型加上記錄到的同震位移網格模型呈現，然而這樣的模式無法處理非線性的震後變形。根據臺灣目前的地表變形分析成果指出，臺灣震間速度場可能會因為中大規模地震($M \geq 6$)的發生而改變其運動速率，因此本計畫(2013 年至 2019 年工作)採用可變的速度網格模型加上瞬時事件(如：地震)之位移網格模型以建置地表變形網格模型。也因此，本案的地表變形網格模型採取利用不同時期的速度網格模型方式，解決非線性的震後地表變形場。然而，為了進一步達成近即時的半動態坐標基準精度維護，與近即時的地表變形網格模型自動更新，如何判定速度網格模型之更新時機，為一項重要的分析工作。

建置區域半動態基準之要件為須具有「地表速度場模型」以及「同震位移場模型」，合稱『地表變形模式』；在模式可以推估的時間範圍內，用以推估區域內任意位置在給定的時刻下所對應的坐標值，以有效維持國家坐標系統的精確性。簡言之，良好的地表變形模式對於區域半動態基準之建立扮演重要角色；如何獲得好品質的地表變形模式，藉以建立半動態基準進而維持國家坐標系統的精確度，係本計畫的主要目標與未來國家坐標基準的發展趨勢。

關於本計畫的歷程，首先在 2013 年執行「102 年度建置現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式」採購案(以下簡稱 102 年案)，進行本計畫的前期研究，奠定現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式之基礎；2016 年辦理「105 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式」採購案(以下簡稱 105 年案)，以精進 102 年案的成果，同時研提國土測繪基準更新及維護策略，並辦理使用推廣及成果研討，亦針對現有 GNSS 解算軟體(Bernese 5.2)，強化其自動解算功能。2017 年接續辦理「106 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式」採購案(以下簡稱 106 年案)，除了精進「速度網格模型」外，並延續至 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(以下簡稱 107 年案)，陸續納入 2010 年後主要地震的「同震位移網格模型」，以此完整建立臺灣半動態基準所需的「地表變形模式」。在 106 與 107 年案中，除了持續精進水平速度網格模型，並完成同震位移網格模型更新時機的分析，最後，本(108)年度「108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式」採購案(以下簡稱 108 年案)接續完成現代化 TWD97 國家坐標系統之變形模式各項更新與精進工作。

108 年案基於歷年案的成果，持續辦理資料解算及分析作業並更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式，同時分析變形模式的應用時機與方法，在工作執行期間，完成 e-GNSS[2019]坐標成果之計算，並維護變形模式應用軟體(內政部國土測繪中心，2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018)，同時提送 108 年案成果於學術期刊及發表於研討會，並辦理專家學者座談。並且，108 年案，持續整合經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所) GNSS 移動站歷年成果，以估計各 GNSS 站的速度及同震位移量，藉以建立、精進變形模式。

1.1 背景說明

內政部於 2012 年 3 月 30 日公告新的國家坐標系統名為一九九七坐標系統 2010 年成果(簡稱 TWD97[2010])，由於未有點位的速度，因此，就本質言，TWD97[2010]仍屬於「靜態」的坐標系統，隨著時間的增長，可預見其將逐漸失去原成果的精度，因此，如何有效延續此國家坐標系統的精確性乃為國家測繪工作的重要任務，而建立臺灣地區之半動態基準則可扮演重要角色。近年來，內政部國土測繪中心(以下簡稱測繪中心)以及各測繪相關單位已陸續完成 4 百餘座 GNSS 連續觀測站的建置工作，長期觀測蒐集衛星定位資料，測繪中心並於 2012 ~ 2018 年完成約 1,400 個基本控制點的檢測工作，具有相當完整的地表變形監測資料可用於半動態基準之建構。

而臺灣地區位於活躍的板塊邊界(Yu *et al.*, 1997; Yu *et al.*, 1999; Yu and Kuo, 2001) (如圖 1.1)，地殼的應變速率約為 0.1-1.0 $\mu\text{strain/yr}$ (Bos *et al.*, 2003; Chang *et al.*, 2003; Hsu *et al.*, 2009a)，特別在臺灣西南部旗山斷層至六甲-木屐寮斷層間有約 0.7-1.4 $\mu\text{strain/yr}$ 的最大壓縮量(Yu and Chen, 1994)，遠高於日本地區平均約為 0.1 $\mu\text{strain/yr}$ (Sagiya *et al.*, 2000)，以及美國南加州地區約為 0.1 $\mu\text{strain/yr}$ (Ward, 1994)。在震間時期(interseismic period)，臺灣東部地區的地表速率可達約 70 mm/yr。自有大地測量紀錄以來，臺灣因為大地震造成的同震位移量(coseismic displacement)，小則約 30 mm，如 2010 年 M_w 6.2 甲仙地震(Ching *et al.*, 2011)，大則可達約 10 m，例如 1999 年 M_w 7.6 集集地震(Yu *et al.*, 2001)。而 1999 年 M_w 7.6 的集集地震與 2003 年 M_w 6.8 的成功地震亦有顯著的震後變形(Hsu *et al.*, 2002; 2007; 2009b; 2009c; Yu

et al., 2003; *Chen et al.*, 2006; *Cheng et al.*, 2009)。因此，如何建構穩定之半動態基準為一重要課題。

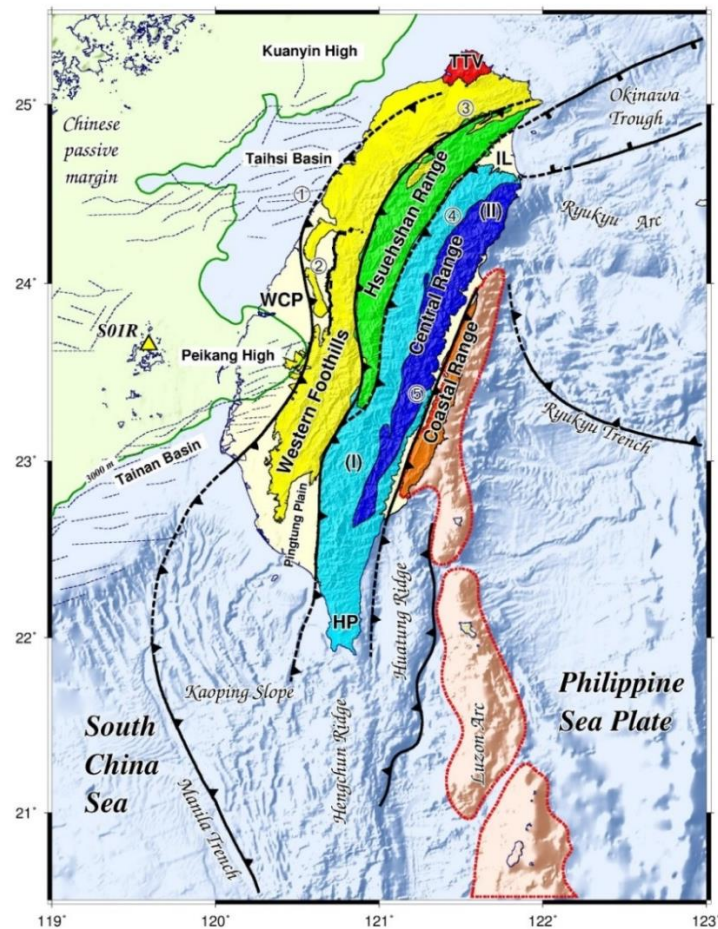


圖 1.1 臺灣大地構造框架

說明：大陸邊緣之區域指示先第三系基盤高區之位置(Lin *et al.*, 2003; Ching *et al.*, 2011)。虛線為碰撞造山前所發育之正斷層。WCP 為西部海岸平原；TTV 為大屯火山；HP 為恆春半島；IL 為宜蘭平原。數字 1-5 代表變形前緣、車籠埔斷層、屈尺斷層、梨山斷層及縱谷斷層。I-II 代表中央山脈西翼板岩區及中央山脈東翼變質雜岩區。

國際上，日本、紐西蘭以及美國等國家，亦分別採用半動態基準維持其國家坐標系統的精確性，半動態基準包含靜態大地基準及地表變形(crustal deformation)模型兩大部分，其中地表變形模型包含了(1)震間速度場(interseismic velocity field)，即兩個主要地震發生間的板塊

長期穩定運動，若無大地震發生，其值一般不會顯著改變；與(2)同震位移場(coseismic displacement field)，即地震發生當下的地表位移，大多採用地震發生前後的坐標差異量作為同震位移場。震間速度場與同震位移場皆可包含水平和垂直兩分量，目前日本、紐西蘭及美國集中於水平分量工作上。利用震間速度場與同震位移場產生地表變形模式。

紐西蘭於 1998 年發展其新的大地基準(New Zealand Geodetic Datum 2000, NZGD2000)，為了延長 NZGD2000 的使用年限，紐西蘭利用境內的 GNSS 觀測站資料建立區域速度場模型，以此推估各時刻的國家坐標系統，並反映區域內因板塊相對運動產生的點位變形量(Grant *et al.*, 1995)。日本亦於 2002 年公佈其大地基準(Japanese Geodetic Datum 2000, JGD2000)，由於位處西太平洋數個板塊的交界帶上，日本政府建置了高密度 GNSS 連續站網用以監測區域的板塊活動，藉此建立速度場模型作為坐標變形量之修正，以維護國家坐標系統的精度(Yoshiyuki *et al.*, 2007)。

1.1.1 臺灣現行之大地基準

臺灣地區為建立統一的國家坐標系統，內政部自 1993 年起陸續執行「應用全球定位系統實施臺閩地區基本控制點測量計畫」、「國家基本測量控制點建立及應用計畫」以及「國家基本測量發展計畫」等全國性測繪計畫，並於 1998 年 3 月 17 日訂定臺灣 1997 大地基準(TWD97)及參考坐標系統，公布 GNSS 連續觀測站(當時稱衛星追蹤站) 8 站、一等衛星控制點 105 點以及 621 個二等衛星控制點等坐標。

測繪中心亦於 1995 至 2003 年測得三等控制點成果，並計算約制於 TWD97 坐標系統下，總計 4,710 點，以建立全國統一且高精度的衛星控制點資料。

2010 至 2011 年間，為因應並修正臺灣區域逐漸累積的板塊影響以及因地震、風災、水災所產生的位移量，內政部召開數次「大地基準及坐標系統更新維護機制」會議，最終決議現行的控制點坐標成果以及坐標基準框架仍繼續採用一九九七坐標系統(TWD97)，並命名為一九九七坐標系統 2010 年成果(簡稱 TWD97[2010])，於 2012 年 3 月 30 日公告 18 個衛星追蹤站、並增選 219 個 GNSS 連續觀測站視為一等衛星控制點使用、併同原有 105 個一等衛星控制點、569 個二等衛星控制點，另再新加入 2,102 個三等衛星控制點，共計 3,013 點成果。

1.1.2 臺灣的大地構造

由臺灣長期的地表監測結果得知，東部蘭嶼地區相對於澎湖白沙站(S01R)的速度約為 82 mm/yr (Yu *et al.*, 1997)，故一般認為臺灣造山帶的生成源於歐亞板塊與菲律賓海板塊的相互擠壓作用(圖 1.1)。在臺灣造山帶的東北部，菲律賓海板塊沿著琉球海溝(琉球島弧隱沒系統)向北隱沒至歐亞板塊之下；相反地，菲律賓海板塊於臺灣南部沿著馬尼拉海溝(呂宋島弧隱沒系統)向西仰衝至歐亞板塊之上。由於菲律賓海板塊相對於歐亞板塊向西北方向移動(Yu *et al.*, 1997)，發生在臺灣造山帶的弧陸碰撞即以 60-90 mm/yr 的速率向南傳遞，使臺灣實質見證了一個全程—初期(南部)、中期(中部)及末期(北部)的造山運動(Suppe, 1981, 1984; Teng, 1996; Huang *et al.*, 1997; Lallemand and Tsien, 1997; Huang *et al.*, 2000)。

在臺灣附近的歐亞板塊上具有兩個主要的基盤高區(basement high)，北邊為觀音高區(Kuanyin high)；南邊則為北港高區(Peikang high) (圖 1.1)。這些構造高區相對於鄰近的造山帶具有高度的構造穩定性，亦即具有較高之岩石強度(Yang *et al.*, 1991; Lin and Watt, 2002)。故歐亞板塊上南北二基盤高區的存在再加上向西北方向聚合的菲律賓海板塊，此二者間之交互作用最終導致臺灣造山帶北北東走向主要構造，呈現 S 形形態(Lu *et al.*, 1998; Lacombe *et al.*, 2003)。

基於岩石組成以及主要構造的差異，臺灣大致上可以區分為五個北北東走向的主要地質分區，各個地質分區間則由斷層相互區隔(圖 1.1)。由西向東，此五個地質分區分別是西部海岸平原(Western Coastal Plain)、西部麓山帶(Western Foothills)、雪山山脈(Hseuhshan Range)、中央山脈(Central Range)及海岸山脈(Coastal Range)。

西部海岸平原由上新統至更新統之沖積扇沉積物所組成，沉積物來源主要為西部麓山帶與中央山脈。西部麓山帶是由晚漸新統、中新統與早更新統之地層所組成。雪山山脈主要由始新統與漸新統之沉積物所組成，並具有輕度變質。西部海岸平原、西部麓山帶與雪山山脈三者構造上是由一系列的褶皺與逆衝斷層所組成，其構造位態主要為北至東北走向，向東或東南傾斜(Suppe, 1980; Ho, 1986)。中央山脈的主要特色是由一系列第三系之變質岩所組成。海岸山脈是由屬於北部呂宋島弧之晚第三系安山岩質火成岩與濁流岩相沉積物所組成。於中央山脈及海岸山脈間存在著一條重要的邊界－花東縱谷(Longitudinal Valley)，此縱谷標示著以西為歐亞板塊與以東為菲律賓板塊的縫合帶(Angelier *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2001)。除了上述五個主要的構造分區外，臺灣其他地區仍有一些值得注意的構造特性。過去

一些研究認為，臺灣西南部的構造特徵被脫逸構造(escaping tectonics)所支配(Lu and Malavieille, 1994; Lu *et al.*, 1998; Lacombe *et al.*, 2001; Hu *et al.*, 2007; Ching *et al.*, 2007)。所謂脫逸構造即是因板塊間之碰撞擠壓而導致山脈發育的同時，也使得各地質構造單元會沿著一條或數條主要的斷層構造朝著非封閉邊界(free boundary)方向擠出，即稱之脫逸構造，如圖 1.2(Lacombe *et al.*, 2001；景國恩等，2008)。

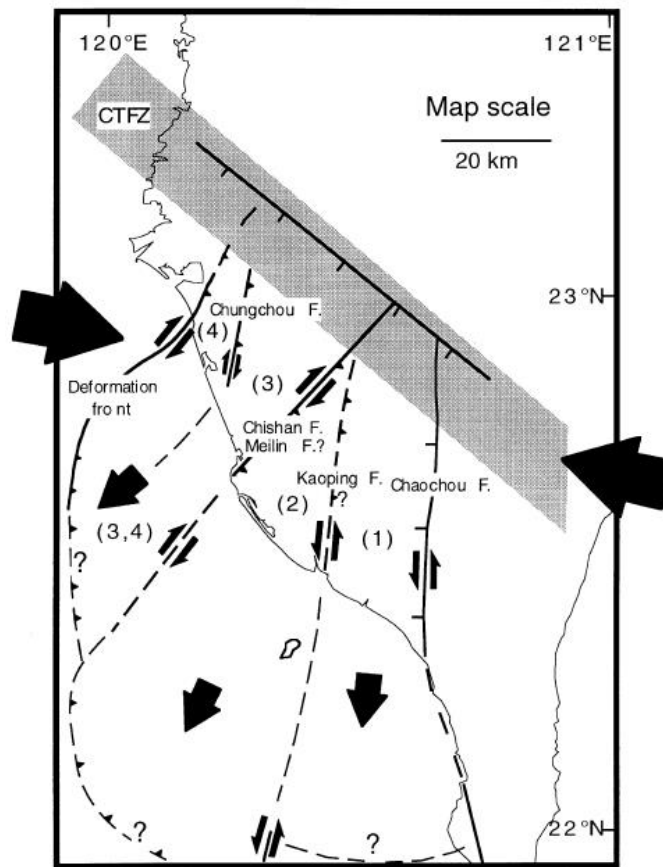


圖 1.2 脫逸構造示意圖

Lu and Malavieille (1994)與 Lu *et al.* (1998)首先指出因菲律賓海板塊向西北方向擠壓且北港高區扮演一個地殼尺度的嵌入體(indenter)，使得介於北港高區與馬尼拉隱沒帶間的臺灣西南部地殼塊體(crustal block)朝西南西方向被擠出。Lacombe *et al.* (2001)則指出此西南向之脫逸行為主要可表現在位於變形前緣(Deformation front)、梅

嶺斷層(Meilin fault)、旗山斷層(Chishan fault)上之右移斷層滑動分量與潮州斷層(Chaochou fault)上之左移斷層滑動分量。在臺灣的中西部，由於弧陸碰撞(arc-continent collision)的作用，導致具有數十公里累積滑移量之疊瓦狀逆衝岩片(thrust sheet)不斷地向西遞進而進入前陸地區(foreland) (Suppe, 1981; Teng, 1990; Shyu *et al.*, 2005)。此外，兩條現今正在活動、N140°E 走向的左移轉換斷層帶(transfer fault zone)－三義-埔里與嘉義轉換斷層帶－被較密集的地震活動帶所標示出來 (Zhuang *et al.*, 2005)。

在臺灣北部地區，因菲律賓海板塊隱沒反轉(subduction polarity reversal)的發生，使得臺灣北部逐漸由碰撞邊界轉變為琉球隱沒帶之應力環境(Suppe, 1984; Viallon *et al.*, 1986; Teng, 1996; Clift *et al.*, 2003; Rau *et al.*, 2008)。臺灣東北部介於雪山山脈與中央山脈之間的宜蘭平原則認為是南北伸張環境之沖繩海槽(Okinawa trough)的向西延伸。

基於上述可知，臺灣位處板塊運動活躍區域，境內包含多數斷層而且地震頻繁。可預期 TWD97[2010] 坐標成果經數年後，部分地區的點位坐標將不敷測繪作業精度需求，屆時勢必需要重新訂定公告。然而，僅局部檢測並重新公布坐標容易造成使用上以及管理維護上的困擾，因此，建置國家坐標系統變形修正模型，將原有「靜態」的坐標系統增加一定義的參考時間點，藉由時間序列的坐標變形修正進行成果與時間相關的擬合，可維持國家坐標系統於一定精度之下，有效節省測繪成本並兼顧各項應用所需。

1.2 作業目標與範圍

綜合而言，對於臺灣現今使用的 TWD97[2010]國家坐標系統來說，建置並精進現代化的變形模式為重要工作，亦為本案預期達成的目標，其涵蓋範圍為臺灣本島的 TWD97[2010]成果，在考量地表空間的變形特性下，納入同震位移量以修正地震影響。因此，對於精進國家坐標系統變形模式的作法有下列幾個思考方向：

1. 持續解算臺灣地區 GNSS 連續站資料，藉由各觀測站每日的坐標獲得可靠的地表變形資訊。
2. 考量臺灣的地質特性建立臺灣速度場模型。
3. 評估地表變形監測站的分布密度。
4. 速度模型及主要地震的同震位移模型更新。
5. 精進內插網格模型的精度。

1.3 工作項目與作業進度

108 年案於 2019 年 2 月 27 日簽約，執行時程 270 個日曆天，應完成的主要工作項目如下，工作時程如表 1.1。

一、 持續辦理資料解算及分析作業；

(一) 連續觀測站觀測資料解算，資料包含 2018 年 10 月 1 日至 2019 年 9 月 30 日約 400 站成果

(二) 分析之資料至少包含：

1. (一)所述解算成果。
2. 自 2002 年 1 月 1 日至 2018 年 9 月 30 日之臺灣地區連續觀測站資料解算成果，約 400 站。
3. 經濟部中央地質調查所 GPS 移動站 2002 年至 2018 年觀測成果約 850 點。

(三) 分析內容至少包含：

1. 提出坐標時間序列、精度及趨勢等內容。
2. 針對精度較差之觀測站，評估是否於建立內插模式時排除使用，並探討可能因素。

(四) 以 GMT 軟體繪製各直轄市、縣(市)之鄉鎮市區速度格點模型暈渲圖。

二、 持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式

- (一) 更新變形模式，並探討速度格點模型之更新機制。
- (二) 提供變形模式 TWD97 坐標系統轉換功能。
- (三) 提出垂直變形模式，並以歷年一等水準點公告成果進行驗證比較。

三、 分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法

- (一) 採用測繪中心 107 年度協助宜蘭縣及臺東縣辦理一級加密控制測量成果，說明如何應用本案之變形模式。
- (二) 透過本案之變形模式精度分析，提供測繪中心基本控制點檢測建議作法。

(三) 研擬使用本案變形模式之作業程序。

四、 計算 e-GNSS[2019]坐標成果：計算 2018 年 12 月 1 日至 2019 年 1 月 31 日連續觀測站觀測成果，納入鄰近 IGS 國際站資料及以 LSB0 為參考基準，計算 2019 年 1 月 1 日各連續觀測站坐標成果及精度分析，作為 e-GNSS 坐標系統更新至 e-GNSS[2019]之依據，並分析其與 TWD97[2010]坐標之相對關係。

五、 維護變形模式應用軟體

(一) 依本案研究成果，維護變形模式及相關模組。

(二) 提供 TWD97 坐標系統轉換功能。

六、 提送國內或國外期刊論文 1 篇（含）以上，並至少於 1 場研討會發表相關研究成果。

七、 辦理 2 場次座談會

(一) 2019 年 6 月底前，邀請 5 位（含）以上國內相關專家學者辦理座談會，邀請專家學者名單及場地應函文測繪中心同意。

(二) 2019 年 10 月底前，邀請 20 位（含）以上縣市政府或測量技師公會人員辦理座談會，邀請單位及場地應函文測繪中心同意。

本工作團隊採 3 階段辦理 108 年案各項工作，分述如下：

第一階段

於決標次日(2 月 28 日)起 30 個日曆天內進行需求訪談，並整理訪談成果提送繳交。本工作團隊已於 3 月 7 日進行需求訪談如附件一內容，並根據 108 年案工作項目及需求訪談紀錄撰寫作業計畫書，亦已於 4 月 1 日繳送(符合決標次日起 40 個日曆天內繳送的合約規定)。

第二階段

辦理 108 年案之各項工作，同時分別於 4 月 12 日、6 月 19 日、8 月 6 日以及 10 月 30 日召開工作會議如附件四內容，並於決標次日(2 月 28 日)起 160 個日曆天繳交期中報告書，內容包含下列 2 項，其已於 8 月 6 日繳送(符合決標次日起 160 個日曆天內繳送之時程規定)。

1. 工作項目一項之下(一)解算至 2019 年 5 月 31 日、(二)及(三)。
2. 工作項目三、工作項目四及工作項目七項下之(一)。

第三階段

完成 108 年案所有工作項目，並綜整 105 至 108 年案的工作成果撰寫工作總報告，內容包含前言、研究方法、執行成果、應用模式作業程序、推廣座談會辦理情形及結論與建議。建議事項包含變形模式維護方式及國家坐標框架發展方向，圖表包含各類成果統計圖表及其他重要工作紀錄等，附件須包含工作項目六及七之證明文件。

表 1.1 108 年案擬定的作業時程表

起迄月/日 工作項目	2/28 3/31	4/1 4/30	5/1 5/31	6/1 6/30	7/1 7/31	8/1 8/31	9/1 9/30	10/1 10/31	11/1 <u>11/24</u>
持續辦理資料解算及 分析作業									
持續更新現代化 TWD97 國家坐標系 統變形模式									
分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模 式應用時機與方法									
計算 e-GNSS[2019] 坐標成果									
維護變形模式軟體									
提送期刊國內或國外 論文及研討會發表成 果；辦理座談會									
期中報告									
工作總報告									

本項計畫的目標為建置臺灣現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式，以 102 年案成果為基礎，自 105 至 108 年案辦理精進計畫，並設計解算軟體(Bernese 5.2)自動解算程式與更新變位模式應用軟體，提升 GNSS 解算效能與使用者操作介面，歷年擬定辦理及完成的研究與

工作項目如表 1.2 所示。

表 1.2 歷年辦理的研究與工作項目統計表

序號	研究及工作項目內容	辦理年度
1	半動態基準相關文獻回顧	2013 ~ 迄今
2	地質以及斷層活動文獻回顧	2013 ~ 迄今
3	GNSS 連續站資料蒐集與計算	2013 ~ 迄今
4	GNSS 移動站、水準監測資料蒐集與分析 (內政部、地調所、水利署等資料)	2013 ~ 迄今
5	震間地表水平速度場推求與精進	2016 ~ 2019
6	主要地震之水平同震位移模型建立	2016 ~ 2018
7	同震水平位移網格模型更新時機之研究	2016 ~ 2018
8	震間地表水平速度場網格模型更新時機研究	2019
9	水平變形模式之精度驗證	2016 ~ 2019
10	基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體之更新 與調整；變位模式應用軟體之更新與調整	2016 ~ 2018

108 年案基於 102、105 ~ 107 等年案的執行成果，持續整合地調所 GNSS 移動站歷年成果以及 2010 年之後主要地震的同震位移量，以估算各 GNSS 站的速度，並建置網格內插模型；以測繪中心的基本控制點檢測成果作為本案變形模式驗證使用，表 1.3 為 108 年案擬定辦理的研究及工作項目。

表 1.3 108 年案辦理研究與工作項目統計表

序號	工作項目	備註
1	持續辦理資料解算及分析作業	
2	持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式	
3	分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法	
4	計算 e-GNSS[2019]坐標成果	
5	維護變形模式應用軟體	
6	提送國內或國外期刊論文 1 篇(含)以上，並至少於 1 場研討會發表相關研究成果。	
7	辦理 2 場次座談會	

第二章 文獻回顧

以下文獻回顧將整理說明板塊運動與斷層錯動的地表變形型態；並介紹三種不同的大地基準；並進一步說明美國、紐西蘭以及日本處理地表變形的作法以及我國現行的相關法規，分別如下。

2.1 地表變形型態

板塊運動與斷層錯動引起的地表變形，可以簡單地透過地震循環 (earthquake cycle) 來描述 (Bourne *et al.*, 1998; Chlieh *et al.*, 2004)，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，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是更長的時間 (Nur and Mavko, 1974; Thatcher and Rundle, 1984; Tse and Rice, 1986; Roeloffs, 1996; Peltzer *et al.*, 1996)，如圖 2.1。

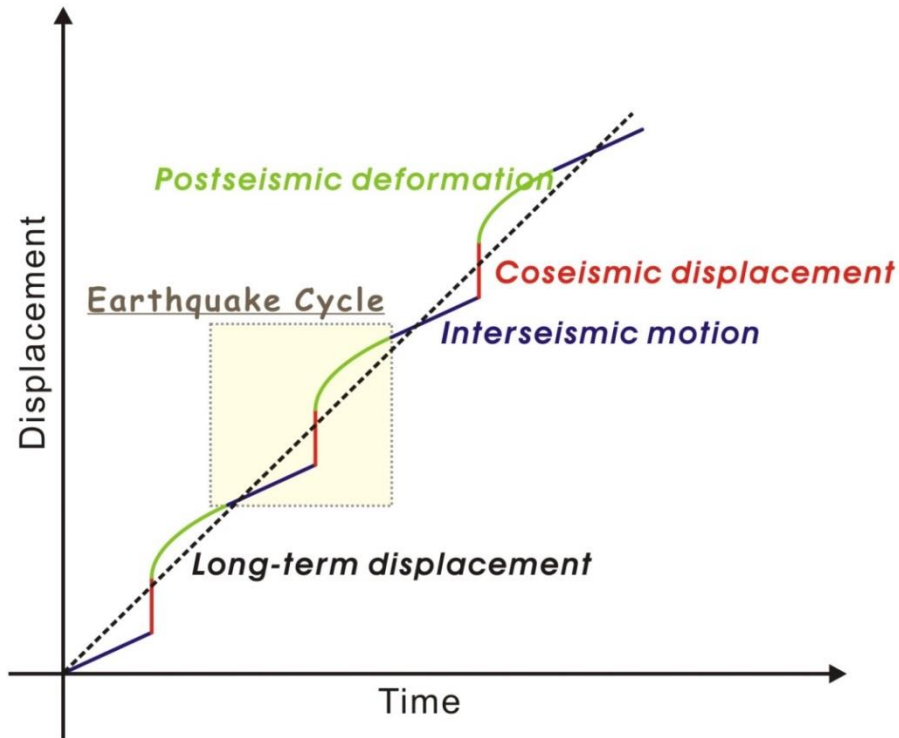


圖 2.1 地震循環示意圖

2.2 靜態、動態及半動態基準之介紹

大地基準為測量歸算的依據，因此，建立並且維護高精度的大地基準非常重要。一般而言，國家大地基準可分為三種型態，靜態基準、動態基準以及半動態基準，說明如下(Grant *et al.*, 1999; Tregoning and Jackson, 1999)。

1. 靜態基準 (static datum)

經由長時間的觀測，可以獲得在特定參考時刻下高精度的基準站坐標，並由數個基準站的坐標值及幾何關係定義大地基準，稱為靜態基準。在靜態基準中，坐標值固定，不會隨著時間而改變。

2. 動態基準 (dynamic datum)

在實務上，受到板塊運動影響，基準站的坐標並非固定不變，因此，為考慮板塊運動造成的基準站變位，建立一個變形模型以推估區域點位的變位值。亦即利用變形模型以時間為函數將基準站坐標更新至現在時刻，或經由連續之觀測達到更新坐標的目的，如圖 2.2。簡言之，動態基準是一個坐標隨時間函數改變的基準。由於基準坐標不斷更新至現在時刻，因此，動態基準為一完全的四維基準，包含了三維坐標以及時間，乃為其特色。

3. 半動態基準 (semi-dynamic datum)

在基準中，納入一個變形模型來模擬區域點位的變位量，透過變形模型可推估點位在任意時刻的坐標，至此與動態基準的概念相同。而半動態基準與動態基準主要的差別為，在半動態基準中，所有的坐標成果均參考至特定時刻或參考時刻，如圖 2.3 所示，在動態基準中，透過變形模型將特定(或參考)時刻的點位坐標推估至現在時刻，最後的坐標成果為現在時刻的坐標，但在半動態基準中，點位坐標最後均參考至特定時刻或參考時刻，最後的坐標成果為特定(或參考)時刻的坐標；因此，半動態基準不似動態基準是四維的，它的坐標成果固定於特定的時刻，與靜態基準一樣是三維的。所以，亦可以說半動態基準在本質上是一個靜態基準，並變形模型以修正地表的變位量。

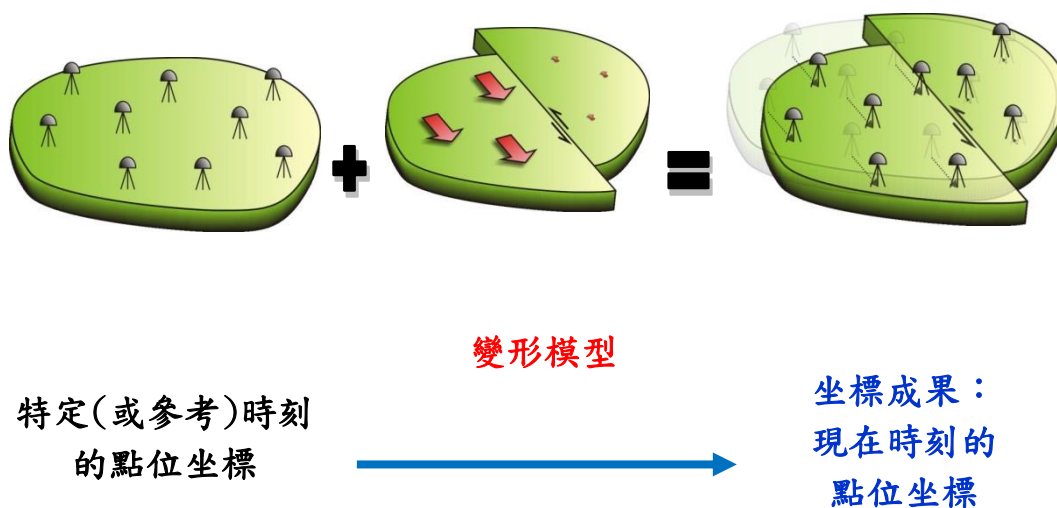


圖 2.2 動態基準之示意圖

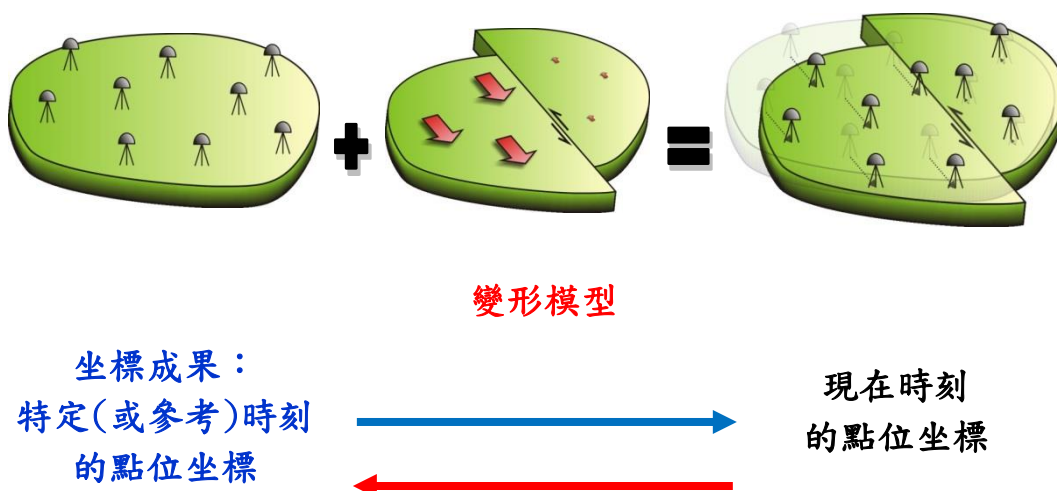


圖 2.3 半動態基準之示意圖

經由定義大地基準與國際坐標參考框架 (International Terrestrial Reference Frame, ITRF) 在某參考時刻下的相對關係，即可建立一靜態基準，而為保持大地基準與 ITRF 之間的相對關係，並顧及大地基準站之間的相對關係不致受到板塊運動的影響，採用動態基準或半動態基準的作法，為一個可有效維護國家基準的方式，其亦將儘可能地完善考慮區域內板塊運動的效應。

在實務上，由於動態基準包含時間變數，使得基準隨著時間而改變，將造成測量(或坐標)成果的管理困難，且從資料整合、共享的觀點來看，不同時刻的坐標成果需轉換至相同時刻才能一起使用，亦將造成使用者的困擾，因此，半動態基準的作法，可兼具反映板塊運動引起的變位量，以及便於測繪成果管理等優點。

2.3 國內外之國家大地基準更新與維護策略

大地基準與國際坐標參考框架(International Terrestrial Reference Frame, ITRF)的相對關係可經由定義在某個給定參考時刻的相對位置而得，為保持兩者的相對位置不受板塊運動影響，採用「速度模型」及「同震位移模型」推估因板塊運動引起的坐標變量以推求特定時刻的坐標值；或將任一時刻的坐標推算至給定時刻的對應坐標，儘可能考慮區域內板塊運動效應以進行相對位置的修正，藉以維護國家坐標系統的精確性，即為半動態基準(semi-dynamic datum)的觀念。

2011 年 3 月 11 日發生於日本宮城外海的 Mw 9.0 地震不僅對日本東北以及關東地區帶來災害性的地表震動、建物損毀、海嘯侵襲、人員傷亡與核子災難等難以估算的危害；由另一個角度觀之，這次地震也將日本東北地區的地表向東推移最大約 5.3 m，沉陷量約達到 1.2 m(Ozawa *et al.*, 2011)。如此短時間大規模、大面積的地表位移對於國家及區域測量控制網影響甚鉅。然而，板塊位移與斷層錯動所產生的地表變形不會僅侷限於地震造成的同震位移(coseismic deformation)；大地震發生前的震間變形(interseismic deformation)即反映了板塊長時期相對位移與斷層鎖定間交互作用的結果(McCaffery, 2002)；而在大

地震發生後總會伴隨持續且非線性的地表位移，並延續一段時期或是更長時間，這種位移形態稱為震後變形(postseismic deformation) (Nur and Mavko, 1974; Thatcher and Rundle, 1984; Tse and Rice, 1986; Roeloffs, 1996; Peltzer *et al.*, 1996)。換言之，受到板塊運動與斷層特性的交互作用影響，必須考量在節省測量經費的前提下，建立不同時期的坐標轉換機制。在日本、紐西蘭、美西等地殼活躍地區，結合靜態坐標框架以及板塊運動特性的半動態大地基準作法，為維護國家坐標系統的新趨勢與主要議題(Blick *et al.*, 2005; Tanaka *et al.*, 2007; Pearson *et al.*, 2010; Pearson and Snay, 2012; Snay, 2012)。

2.3.1 美國大地基準之建置

美國國家大地測量局(National Geodetic Survey, NGS)於 1974 年至 1986 年間完成了數個國家量測計畫，依此決定了北美洲大地基準名為 NAD83(North American Datum of 1983)。由於美國本土跨越了北美板塊與太平洋板塊，NAD83 基準亦隨著時間而產生板塊變位，使得精度下降。為維護 NAD83 基準的精度，NGS 於 1992 年公佈了點位坐標推估軟體(Horizontal Time-Dependent Position, HTDP)，提供使用者推算因板塊運動引起的坐標水平位移量，HTDP 軟體包含了用以推估長時間、相對穩定的常態水平板塊速度模型以及數個用來估計因地震引起的同震位移模型，並定期更新提供精確的板塊運動速度與地震引起的同震位移估計量(Pearson *et al.*, 2010)。

對於因地震造成的地表突發性位移，HTDP 以事件的方式加入該地震的同震位移模型，並由監測資料(例如 GNSS 觀測站等)得知發生地表位移的範圍，當使用者利用 HTDP 推估點位的水平位移量時，

HTDP 即根據使用者給定的點位位置及時間間隔，推估該點位在該時間間隔內受到的地震影響，依此推估該點位的同震位移量，再加上利用速度模型推估的震間位移，即可以推得點位的水平位移值。當有更多的監測資料及新的同震位移模型時，即更新 HTDP (Pearson and Snay, 2012)。

NGS 近年陸續發布 HTDP 之更新版本。HTDP 3.1 除了基本的跨時間和空間參考框架的坐標轉換之外，其為相鄰的阿拉斯加地區引入改良的地殼速度模型，且亦加入因應地震事件的更新模型。此外，HTDP 3.1 可轉換 ITRF08、IGS08 與其他主要參考框架之間坐標，包括 NAD 83 和 WGS84 等(Pearson and Snay, 2013)。而 HTDP 3.2 於 2012 年 8 月發布，基於原有功能外，該版本引入：(a)估算阿拉斯加地區平面速度的改良模型；(b)因應 2002 年 11 月 3 日 Denali 斷層地震，估算震後運動模型；(c)針對東經 107°W 以東與美國相鄰地區估算地震平面速度等功能，提供更精確成果供應用(Snay et al., 2013)。

目前較新的 HTDP 版本為 3.2.5 版(Snay et al., 2014)，仍採用 DEFNODE 軟體建立速度模型，並納入更多不同單位提供的水平速度向量，同時亦加入新的模型(例如阿拉斯加地區的速度模型)，其推估的速度為相對於 ITRF2008，該版本亦提供其 ITRF2008 框架下的速度量轉換至其他參考框架的轉換功能(Pearson and Snay, 2012)。

現階段 NGS 持續蒐集各地表長期監測資料，並推估造成重大災害且有明顯地表位移事件之同震變形影響，將其納入並更新 HTDP，以能精確掌握地表點位的速度或位移量，依此修正更新國家大地基準的內容。

2.3.2 紐西蘭大地基準之建置

紐西蘭早期的國家大地基準(New Zealand Geodetic Datum 1949, NZGD49)也受到板塊運動影響，使得基準站之間的相對精度亦逐漸下降而不敷使用。為提供一個架構於國際參考框架之下且符合精度需求的國家坐標系統，紐西蘭土地資訊局(Land Information New Zealand, LINZ)自 1998 年開始建立新國家大地基準名為 New Zealand Geodetic Datum 2000 (NZGD2000) (Grant *et al.*, 1999)。由於紐西蘭地區跨越了澳大利亞板塊與太平洋板塊，NZGD2000 亦將隨著板塊運動而改變。因此，在 NZGD2000 建立時，即考慮了板塊位移效應而採用半動態基準概念，其架構於 ITRF96 之下，參考時刻為 2000.0，並採用該國地質與核能科學研究所(Institute of Geological and Nuclear Sciences, GNS)建立的板塊模型，以點位的速度量來描述因板塊運動引起的長時期、相對穩定的常態變位量。GNS 首先計算區域內，相同坐標參考框架下的 GNSS 連續觀測站以及若干基本控制點的速度，並採用內插模組計算區域網格點的速度量，再依據網格點的速度資料以雙線性內插方式獲得任意位置的速度，由於尚未有足夠的資料可精確估算垂直方向的速度，因此，GNS 建立的速度場模型僅考量水平方向如圖 2.4，速度值均相對於澳大利亞板塊(如圖上位於澳大利亞板塊的黑點位置，假設其速度量為零)。

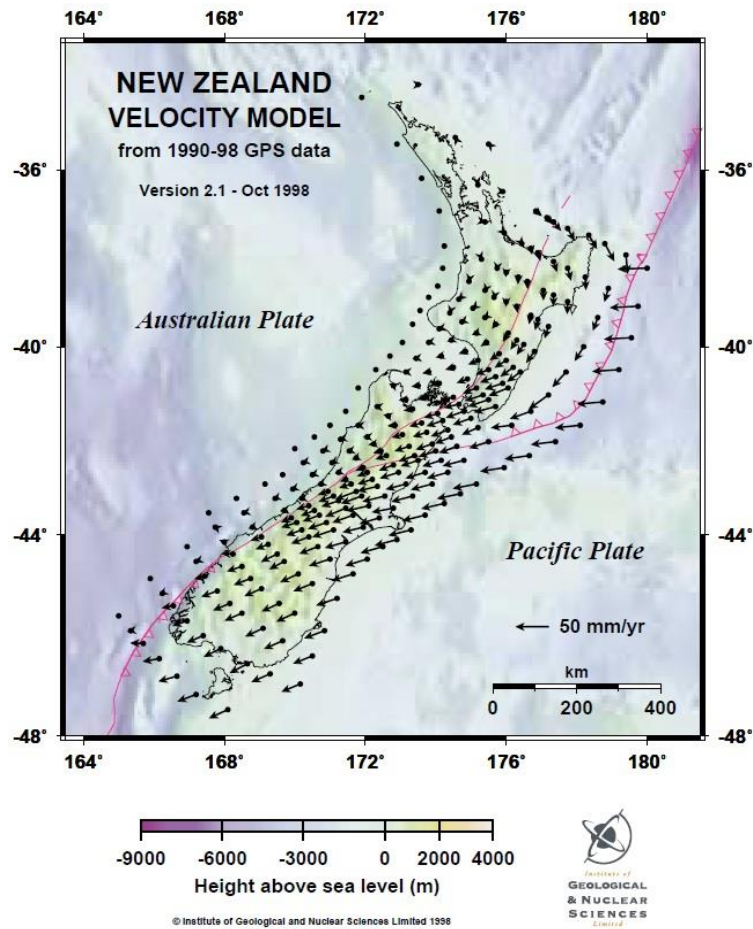


圖 2.4 紐西蘭 GNS 建置的水平速度場模型

為獲得更精確的速度模型，除了長時間常態的變位速度資料外，LINZ 亦加入了特殊事件(如地震)的影響，使能更有效的反映地表真實的位移變化情況(Blick *et al.*, 2005)。

GNS 之國家變形模式(National Deformation Model, NDM)中所包含的速度為基於板塊構造運動和板塊邊界變形。一般遠離板塊邊界的變形可用低密度站內插估計，然而變形型態在板塊邊界上較複雜，較難以內插模型準確表示，因此需局部變形模型模擬地震運動，以使新的觀測結果與 Epoch 2000.0 坐標相合(Winefield *et al.*, 2010)。

受到整體板塊位移和複雜局部變形事件的影響，變形模型必須具有足夠精度，以確保符合精度要求。從 2000 年以來，NZGD2000 即持續地由長期觀測的速度場與歷年重大地震等資訊更新變形模型，同時，亦定義了 NZGD2000 與 ITRF 之間的 14 參數轉換(Grant *et al.*, 2014; Crook *et al.*, 2016)。

2.3.3 日本大地基準之建置

日本國土地理院(Geospatial Information Authority, GSI)亦於 2002 年公告其新大地基準(Japanese Geodetic Datum 2000, JGD2000)。使用超長基線干涉(Very Long Baseline Interferometry, VLBI)站及 GNSS 連續站觀測網(GPS Earth Observation Network, GEONET)的監測資料(Hatanaka *et al.*, 2003)，並約制在 ITRF94 的 1997.0 時刻，依此加密計算境內的一、二、三等控制點坐標(Tsuji and Matsuzaka, 2004)。由於位於北美板塊、太平洋板塊，歐亞板塊以及菲律賓海板塊等 4 個板塊交界處，區域內的板塊運動非常活躍，也導致 JGD2000 基準受到重大影響，為維護 JGD2000 的精度，GSI 採用速度變位模型修正板塊運動影響(Tanaka *et al.*, 2007)。

JGD2000 採用的速度變位模型包括兩個部分，一為模擬因地震引起的板塊位移量，另一為模擬因板塊構造運動引起的長時期位移趨勢量。該變位模型採用內插地震前後的坐標變位量方式以模擬因地震引起的板塊位移，並應用克立金(Kriging)法內插推估得規則網格點的位移量(如圖 2.5)，再以雙線性內插模組獲得區域中任意位置的位移值，並開發一輔助計算軟體 "PatchJGD" 提供使用者計算修正位移量並提供修正後的點位坐標(Tanaka *et al.*, 2007)。

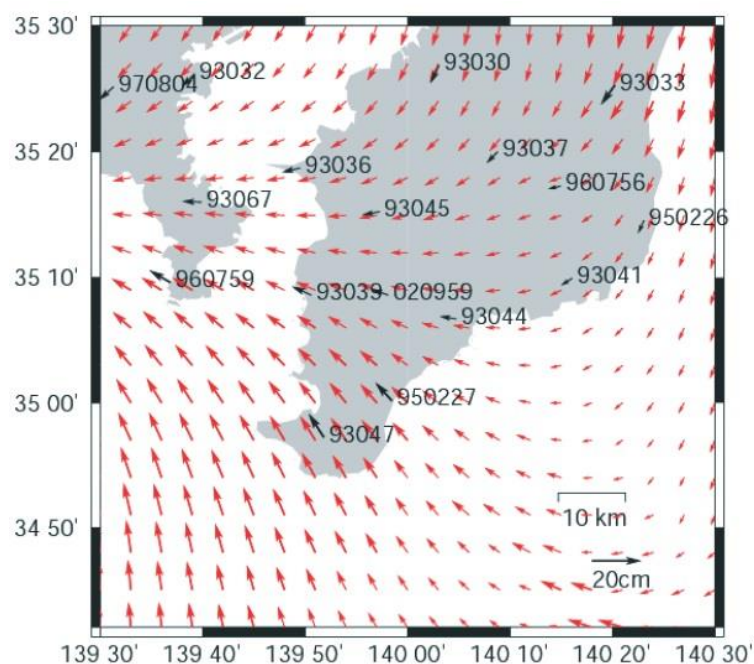


圖 2.5 日本規則網格內插變位量成果

一直以來，GSI 持續維護運行於日本之 GNSS 地球觀測網絡系統 (GNSS Earth Observation Network system, GEONET)，其由 1,300 個左右的連續觀測站組成，GSI 稱其為電子基準點，作為 JGD2000 之參考框架，並要求準確性與即時性，且由於覆蓋間隔僅 20-30 公里，因此，在監測日本地殼變形方面發揮了重要作用，可高頻率即時監測地殼運動，精確、快速檢測大地震引起的同震(和震後)運動(Yamagiwa *et al.*, 2006)。甚至於 2016 年熊本大地震在 3 小時內連續發生兩次之大型前震，亦能由 GEONET 的分析系統，在 1 Hz 觀測方案下，成功地檢測每個地震的同震位移，而 GEONET 提供的觀測數據亦有助於了解活動斷層帶的斷層特性(Kawamoto *et al.*, 2016)。

2011 年 3 月 11 日發生日本東北大地震，GEONET 檢測到日本東部地區的大規模地殼變形，因此 GSI 根據 GEONET 站的觀測數據，預測未來的震後運動量以驗證計算新坐標的最佳時間。

GEONET 站的調查結果於 2011 年 5 月 31 日發布，2011 年 10 月 31 日則發布三角測量和水準測量成果(Hiyama *et al.*, 2011)。亦即，GSI 於 2011 年公布新的大地基準 (Japanese Geodetic Datum 2011, JGD2011)，並且在受 311 宮城外海地震影響的主要地區(1 都 19 縣)，重新計算各測量控制點在 ITRF2008 時刻 2011.4 的坐標值，其他境內區域則維持原本 ITRF94 的 1997.0 時刻坐標量。

2.3.4 印度尼西亞大地基準之建置

2013 年 10 月 11 日，印度尼西亞地理空間資訊局(BIG)發布新地心基準，名為 2013 年印度尼西亞大地坐標參考系統(Indonesian Geospatial Reference System 2013, IGRS2013)，其採半動態基準，使用 ITRF2008 全球坐標參考框架，參考時刻為 2012 年 1 月 1 日。並以變形(速度)模型轉換觀測時刻坐標與參考時刻坐標(圖 2.6)，該模型初始的設定為基於 4 個構造板塊，7 個構造塊體和 126 個地震。而 IGRS2013 速度模型的觀測資料來源主要為 1993 年至 2014 年之實測 GNSS 站(sGNSS)站和連續 GNSS 站(cGNSS)，並使用 GAMIT / GLOBK 10.5 軟體重新處理及分析，並以導出之速度場顯示速度方向和大小的空間變化，表示印度尼西亞地區的各種板塊或塊體構造運動，可用於發展 IGRS 2013 的變形模型(Susilo *et al.*, 2015; Susilo *et al.*, 2016)。

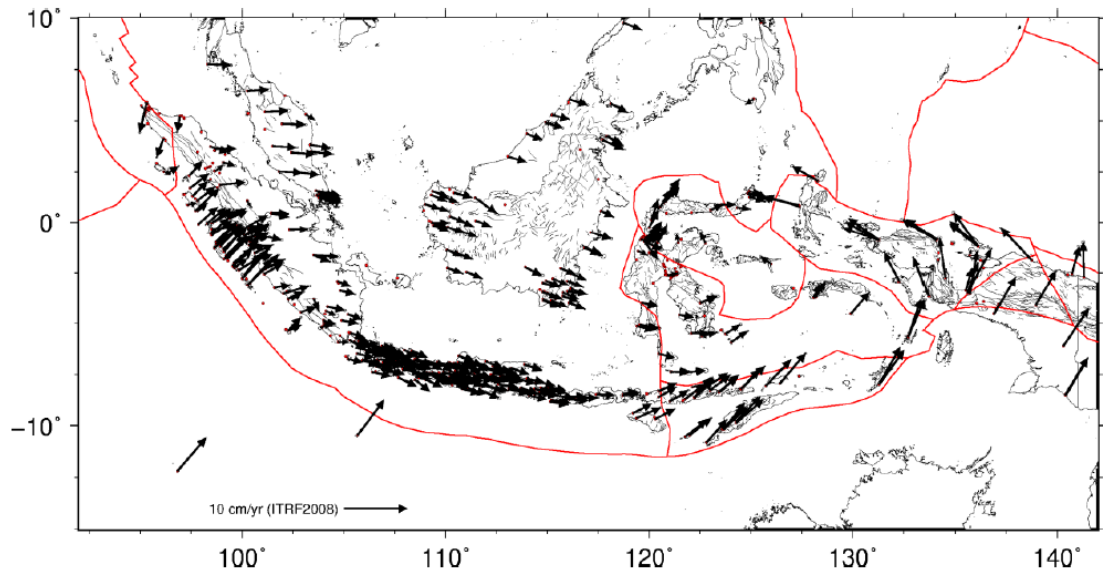


圖 2.6 印度尼西亞 IGRS2013 速度模型成果

由於變形模型的一部分是地震引起的同震變形，故印度尼西亞 [Susilo 等人\(2017\)](#)持續研究以 GNSS 時間序列與地震幾何參數估計同震變形模型，並使用 2004 年起在印度尼西亞地區發生的 4 次大地震 (規模皆大於 8 Mw)為研究資料。成果顯示 2004 年蘇門答臘 - 安達曼地震與 2012 年西海岸北蘇門答臘地震之均方根誤差較小，前者 E 方向為 4.1mm、N 方向為 5.3mm，後者 E 方向為 14.3mm、N 方向為 9.7mm，而另兩次地震的均方根誤差較大，尚有需要改善之處，但已可提供初步的 IGRS2013 同震模型研究。

2.3.5 其他國家大地基準之建置

為精進 TWD97 國家坐標系統變形模式，本團隊蒐集「半動態基準」相關文獻，並彙整、分析其精進方式，包括內插網格模式建置方法的比較分析，同時考量空間不連續性與地質等特性。102 ~ 105 年案已蒐集彙整了相關的文獻內容，包含美國、紐西蘭、日本以及其他國家 - 加拿大、澳洲、韓國等關於震間變形模型與同震位移模型的建置方法，列如表 2.1。

表 2.1 各國建置國家大地基準方式

	建置震間變形模型方法	建置同震位移模型方法
美國	根據塊體模型(包含塊體旋轉及斷層滑移)估計地表速度場。	根據斷層錯位理論的方程式估計同震位移的影響量。
紐西蘭	以雙三次樣條 (bicubic spline) 內插方程推估網格點的速度量，以建立區域的速度模型。	先建置錯位模型，再以模型推估點位的位移量，依此建立三角網同震變形模型。
日本	以克立金 (Kriging) 法內插推估網格點每年的位移量，據以建立區域的位移場模型。	以克立金 (Kriging) 法內插推估網格點在地震前後的坐標變位量，以估計同震位移的影響量。
加拿大	利用 GNSS 連續站及移動站推估的各站速度資料，以塊體模型以建立速度場模型。	根據 GNSS 連續站及移動站監測資料，以斷層錯位模型估計同震位移量。
澳洲	利用 GNSS 連續站及移動站推估的各站速度資料，以塊體模型建立速度場模型。	根據 GNSS 連續站及移動站監測資料，以斷層錯位模型估計同震位移量。
韓國	利用 GNSS 連續站解算的各站坐標資料，以線性內插法推估建立變位模式。	以與距離相關的線性內插法估計地震前後的坐標變位量以推估同震位移量。

在震間變形方面，分為速度模型與位移模型。位移模型應用較簡單，但僅適合使用連續站合理可靠之訊號，否則位移量將包含非穩定構造運動之訊號，對其直接內插是有疑慮的，且各年間的位移場模型亦可能出現不連續型態；速度模型在使用上，具有方便推估任意時間間隔變位之優點，但當測站數不足或分布不均勻時，則無法獲得合理的速度模型，且在速度模式更新後，與原本的速度模型在相同時間間隔推估的變位量亦會存在差異。

就同震變形而言，由於地震影響是突發無法預估的，而且具有區域性，必須單獨考慮。當發生造成地表明顯位移之地震時，即必須建置對應的同震變形模型，如此才能正確推估點位之變位量。美國、紐西蘭及日本皆以事件的方式加入獨立模型來考慮地震造成測站突發的位移(同震變形)，因此，本計畫亦探討重大地震同震變形模型之更新時機與方式。

在震後變形的估計方面，由於震後變形的型態是複雜的，需要較長時間的地表監測資訊以及對應的適合分析模式，而且與同震變形一樣具有區域性。因此，現階段建立的變形模式僅先考慮震間速度與同震變位的影響，尚不包含震後變形，然而，震後變形的影響是重要的，將於後續計畫中納入變形模式的分析。

2.4 各國與我國相關現行法規之對應探討

本節分別整理(1)基本控制測量作業規範與(2)地籍測量實務應用上之法規。目前紐西蘭、日本及美國的法規與規範為在半動態基準下的靜態規範。由政府提供半動態的轉換資訊，將坐標轉換為測繪當日之坐標，再進行坐標的測量與檢測。有關法規與我國現行相關測繪法規之分析比較如下：

2.4.1 基本控制測量規範面探討

依據基本測量實施規則第 15 條及第 16 條，基本控制測量可以衛星定位測量、三角測量、三邊測量、精密導線測量、水準測量及重力測量等為之，並依照作業方式及精度差異區分等級。此外，依據國土

測繪法及其授權規範，基本測量的法定容許誤差，應分別參考基本測量實施規則與各級政府訂定之加密控制測量作業手冊為依據。本節針對平面基準之精度，蒐集精密導線測量及衛星定位測量等相關規範，進行彙整分析比較。

(一)基本控制點等級

在控制測量領域中，與平面基準相關之基本控制點，可依據基本測量實施規則，將其以測量技術區分為衛星控制點、三角點及精密導線點(圖根點、都市計畫樁、航測標)，並對控制點進行等級劃分。首先，在衛星控制點的等級上，分為一至三等衛星控制點及加密控制點；而在三角點及精密導線點上，可分為一等、二等甲級、二等乙級、三等及四等控制點，不同等級控制點依照不同的規範進行佈設，亦對應不同的精度規範要求。

美國在控制點等級劃分及使用規範上，與臺灣規範相似，其衛星控制點規範有 AA、A、B、C-1、C-2-I、C-2-II 及 C-3，共六個等級，並對照不同的測量型態，在三角三邊及導線測量上，控制點分為一等、二等一級、二等二級、三等一級及三等二級，亦有對應的規範。

日本依據《作業規程の準則》，控制點分有電子基準點、一到四等三角點及 1 到 3 級基準點，電子基準點即為 GNSS 連續觀測站，三角點與基準點則是以全測站儀器或 GNSS 接收儀進行施測，對應不同的點位等級與測量方式，其精度的要求亦不一。

紐西蘭則以層級(Tier)與等級(Class)進行劃分，層級(Tier)應用於坐標與大地基準之間的控制網精度規範，共劃分 14 個層級；而等級(Class)則應用於區域坐標之間的相對精度，共有 16 個等級。紐西蘭在控制測量與地籍測量的精度劃分均以此原則辦理，針對不同的應用領域，對各級控制點設有層級(Tier)與等級(Class)的對應精度規範，較不同於前述美國、日本的點位等級劃分方式。

(二)精密導線測量

在精密導線測量的成果檢核部分，就國內外與精密導線測量有關的檢核精度規範彙整歸納，分別以方位角閉合差、位置閉合差及閉合比數進行比較。由表 2.2 及表 2.3 可以得知我國與美國在精密導線測量的作業規範上，其要求的精度等級較具一致性，而日本則不盡相同，其在位置閉合差上，主要考量導線的邊數與總長度。

表 2.2 方位角閉合差比較表

等級	我國	等級	美國	區分方式	日本
一等	$1.0''\sqrt{N}$ 或 $2.0''\sqrt{N}$	一等	$1.7''\sqrt{N}$	結合多角・ 单路線	$5'' + 8''\sqrt{N}$
二等甲級	$1.5''\sqrt{N}$ 或 $3.0''\sqrt{N}$	二等一級	$3.0''\sqrt{N}$	单位多角形	$8''\sqrt{N}$
二等乙級	$2.0''\sqrt{N}$ 或 $6.0''\sqrt{N}$	二等二級	$4.5''\sqrt{N}$		
加密控制 點	$3.0''\sqrt{N}$ 或 $10.0''\sqrt{N}$	三等一級	$10.0''\sqrt{N}$		
		三等二級	$12.0''\sqrt{N}$		

(N 為測站數)

表 2.3 位置閉合差或閉合比數比較表

我國		美國		日本		
等級	項目	等級	項目	等級	結合多角 ・ 單路線	單位 多角形
一等	$0.04\sqrt{K}$ 或 1/100,000	一等	$0.04\sqrt{K}$ 或 1/100,000	一級參考點	$0.1 + 0.02\sqrt{N} \times K$	$0.01\sqrt{N} \times K$
二等 甲級	$0.08\sqrt{K}$ 或 1/50,000	二等 一級	$0.08\sqrt{K}$ 或 1/50,000	二級參考點	$0.1 + 0.03\sqrt{N} \times K$	$0.015\sqrt{N} \times K$
二等 乙級	$0.2\sqrt{K}$ 或 1/20,000	二等 二級	$0.2\sqrt{K}$ 或 1/20,000	三級參考點	$0.15 + 0.05\sqrt{N} \times K$	$0.025\sqrt{N} \times K$
加密 控制 點	$0.4\sqrt{K}$ 或 1/10,000	三等 一級	$0.4\sqrt{K}$ 或 1/10,000	四級參考點	$0.15 + 0.1\sqrt{N} \times K$	$0.05\sqrt{N} \times K$
		三等 二級	$0.8\sqrt{K}$ 或 1/5,000			

(位置閉合差單位為公尺；K 為導線長度之公里數；N 為邊數)

(三) 衛星定位測量

依據我國相關之作業規範，應用衛星定位測量技術進行控制點檢測時，可採用公布坐標的反算結果與改正後控制點間的基線長度進行比較，利用基線成果以及角度的較差進行檢核，各級控制點須符合 95% 信心水準下的精度規範，如表 2.4。

表 2.4 我國衛星定位測量作業精度規範

項目	等級	精度規範	備註
基線長度較差	一等衛星控制點	10mm+2ppm*L	L:公里(KM)
	二等衛星控制點	20mm+4ppm*L	基線長經過改正
	加密衛星控制點	30mm+6ppm*L	
	基線長與相應兩點坐標反算邊長，其較差小於 1/20000		
角度較差	基線方位角與相應坐標反算角度，較差在± 20''內		

將美國、紐西蘭及日本有關衛星定位測量之作業規範加以整理，獲得各國控制測量等級、精度規範與應用範圍等規範內容，其中，美國及紐西蘭在規範上採用相對精度表示，其相對精度(e)的計算公式如(2-1)式。

$$e = \sqrt{a^2 + (b \times L)^2} \quad (2-1)$$

其中，L 為距離(km)，e 及 a 的單位為公釐(mm)，b 則乘上 ppm 表示。

美國及紐西蘭採行的衛星定位測量作業規範如表 2.5、表 2.6 所示；而日本的作業規範則以觀測閉合差為指標如表 2.7，與我國、美國、紐西蘭的方式不同，因此，本節僅就我國、美國與紐西蘭之規範進行比較如表 2.8。美國與紐西蘭在容許誤差值的規範及控制點等級劃分上較為接近，從全國性到區域性，再到製圖與地籍測量等。若以應用範圍進行比較，我國一等及二等衛星控制測量點相當於美國 A 級與 B 級，以及紐西蘭的等級 III 與 V，均為國家一級與二級控制網範圍；但我國的作業規範低於美國、紐西蘭的區域變形觀測作業規範。

然而在加密控制點的規範上，我國的作業規範則高於美國、紐西蘭應用於製圖地籍測量及工程測量的規範。

表 2.5 美國衛星定位測量作業精度規範

等級	精度規範	應用範圍
AA	3 mm+0.01 ppm*L	全球區域性之地球動力及變形觀測 Global-regional geodynamics; deformation measurements
A	5 mm+0.10 ppm*L	NGRS 一級網及區域性變形觀測 National Geodetic Reference System, "primary" networks; regional-local geodynamics; deformation measurements
B	8 mm+1.0 ppm*L	NGRS 二級網、地方變形觀測 及高精度工程測量 National Geodetic Reference System, "secondary" networks; connections to the "primary" NGRS network; local geodynamics; deformation measurements; high-precision engineering surveys
C1 C2-I C2-II C3	10 mm+10 ppm*L 20 mm+20 ppm*L 30 mm+50 ppm*L 50 mm+100ppm*L	製圖之控制網系、土地資訊應 用、地籍測量及工程測量 NGRS(Terrestrial based); dependent control surveys to meet mapping, land information, property, and engineering requirements

表 2.6 紐西蘭衛星定位測量作業精度規範

編號	層級 (Tier)	等級 (Class)	精度規範 (Local accuracy)	應用範圍
0	A	II	3 mm+0.03 ppm*L	國家參考框架 National Reference Frame
1	A	III	3 mm+0.1 ppm*L	全國性變形監測 National Deformation Monitoring
2	B	V	3 mm+1.0 ppm*L	區域性變形監測 Regional Deformation Monitoring
4	C	VII	10 mm+10 ppm*L	地方變形監測 Local Deformation Monitoring
5	C	VIII	10 mm+50 ppm*L	地籍水平控制;基礎地理空間 Cadastral Horizontal Control ; Basic Geospatial

表 2.7 日本衛星定位測量作業精度規範

等級	精度規範	備註
1-4 級基準點測量	60 mm+20 mm $\sqrt{N}$	N 為邊數

表 2.8 各國衛星定位測量作業精度規範比較

我國		美國		紐西蘭	
等級	規範	等級	規範	等級	規範
一等衛星控制點	10mm+2ppm*L	B	8 mm+1.0 ppm*L	V	3 mm+1.0 ppm*L
二等衛星控	20mm+4ppm*L	C1	20 mm+20	VII	10 mm+10

制點			ppm*L		ppm*L
加密衛星控制點	30mm+6ppm*L	C2-I	30 mm+50 ppm*L		

2.4.2 地籍測量規範面探討

(一) 宗地分類

依據我國地籍測量實施規則(中華民國 106 年 1 月 9 日台內地字第 1051310441 號令修正發布),將宗地分類為市地、農地及山地三類,根據宗地等級的不同,在測繪工作時即有不同的對應精度,因此本案整理我國與紐西蘭、日本有關宗地分類的相關規範如表 2.9 所示。

表 2.9 宗地分類比較表

我國	紐西蘭	日本
地籍測量實施規則	Rules for Cadastral Survey 2010	國土調查法施行令
市地	A 類：都市地區及非都市地區住宅、商業、工業的用途	甲 1：大型都市地區 甲 2：中型都市地區 甲 3：甲 1 及甲 2 外的市區、村落
農地	B 類：農地及 A、C、D 三類以外 C 類：無法準確認定的特定農地情形 e.g.水邊界或不規則邊界	乙 1：農業用地和周圍的區域
山地		乙 2：森林荒野和周圍的區域 乙 3：森林荒野區
	D 類：準確性未知或無法確定，並且相關單位允許這些不準確性保留時適用之情形	

紐西蘭《Rules for Cadastral Survey 2010》(LINZ, 2017)第 3.2 條針對宗地經界線(boundaries)及界址點(boundaries points)之分類，共分為 A(Class A)、B(Class B)、C(Class C)及 D(Class D)四類。因此，同一筆宗地可能會有不同等級的經界線及界址點，其等級判斷的依據，如圖 2.7 所示；日本方面，則依照其《不動產登記規則》(日本法務省，2005)及《國土調查施行令》(國土地理院，2017)，將宗地分為六類。

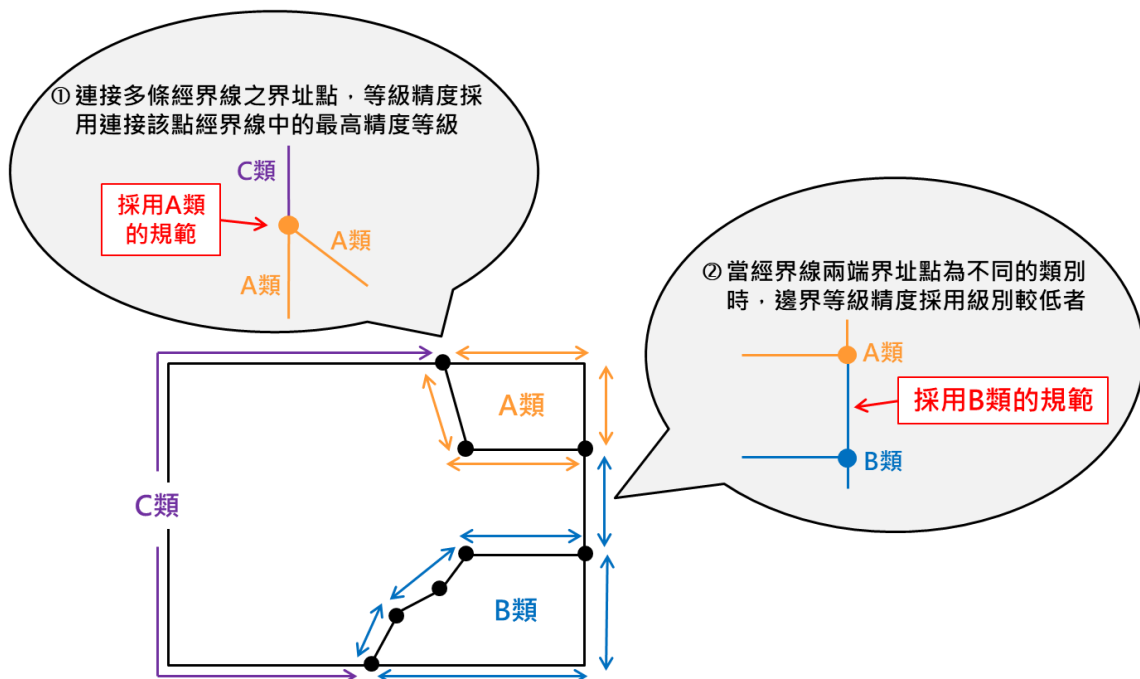


圖 2.7 紐西蘭界址點及經界線等級判斷示意圖

在宗地分類上，各國基本上大致以都市及農地進行劃分，但在劃分方式上有所差異。紐西蘭以土地利用方式作為分類依據，如密集的商业、工業或住宅用途，不侷限宗地的空間位置，將需要採用較高精度的宗地類型劃入對應的較高等級之中，例如非都市地區住宅及商業等地區。

此外，紐西蘭針對無法準確認定的特定農業區情況，如水邊界、濱海地帶、易滑動的邊坡地區，或準確性未知且無法確定的經界線以及界址點等，在 B 類精度規範無法適用的情況下，允許使用 C、D 兩類的規範，但須經主管機關核定。若經界線以及界址點不符合 C、D 兩類的定義，則須重新列入 B 類精度之規範中，這些較為寬鬆的精度規範，在宗地劃分的認定上通常較無明確的使用依據。然而，臺灣地狹人稠，地籍測量成果攸關土地所有權人權益甚大，因此，需有更精確的規範以避免糾紛，因此，臺灣不適採用較寬鬆且模糊的規範。日本宗地則按所需精確度進行分類，將市街地的精度等級依照都市大小進行區分，然而此作法對於都市範圍較小的臺灣，將增添地籍測量業務之困難，因此，建議維持我國現行三等級之劃分方式(即市地、農地、山地)，在地籍測量的應用上較為適宜。

(二)精度規範

我國地籍測量實施規則規範測量作業之精度，作為提供登記更正的判斷時機，計有 1.圖根點至界址點的位置誤差以及 2.界址點邊長的誤差兩項，並依測量的方式分為數值法以及圖解法。

(1) 圖根點至界址點之位置誤差

表 2.10 為圖根點至界址點之位置誤差規範，首先，紐西蘭在市地的精度等級上，採用較嚴格的規範值，界址點的位置誤差最大僅能 0.04 公尺，但其在農地部分，則與我國規範的容許誤差值較為接近。日本雖然宗地的分類與臺灣相近，但日本為圖解法之規範，精度限制較為寬鬆，例如其位置之誤差在乙 2 以及乙 3 等山區部分，最多可達 3.00 公尺，在市區、村落的圖解法位置誤差(甲 3)，則與我國在山地的數值法規範誤差值相同。

表 2.10 圖根點至界址點誤差範圍比較

我國(數值法)		紐西蘭(數值法)		日本(圖解法)	
界址點等級	最大誤差 (m)	等級	最大誤差 (m)	等級	最大誤差 (m)
市地	0.06	A	0.04	甲 1	0.06
				甲 2	0.2
				甲 3	0.45
農地	0.20	B	0.20	乙 1	0.75
		C	0.60		
山地	0.45			乙 2	1.50
				乙 3	3.00

※臺灣採圖解法測繪者，其圖根點至界址點之圖上位置誤差規定不得超過零點三毫米

(2) 界址點邊長之誤差

界址點間由坐標反算的邊長與實測邊長之誤差，經過整理計有數值法及圖解法等精度規範。在數值法規範中，如表 2.11，紐西蘭在界址點間的坐標反算邊長與實測邊長之誤差方面，定訂兩層精度規範。首先，紐西蘭針對測繪作業中新設的界址點有較嚴謹的精度要求，95% 的新界址點間的測設邊長應該達到較嚴謹的精度規範，以確保新舊邊界之間不會有相交及重疊的情形發生；另外，在測繪作業中所使用的界址點之間邊長的誤差，均須符合第二層的精度規範，而精度規範的要求，取決於界址點的等級。

我國與紐西蘭之精度規範比較如圖 2.8 所示，在市地等級的精度規範上，我國使用的規範值介於紐西蘭的兩層規範之間，較紐西蘭的新設界址點規範要求低，但紐西蘭的規範在整體測繪精度的要求上較為嚴謹；另外，在紐西蘭 B 類的農地部分，我國精度規範明顯較紐西蘭規範嚴謹。

其次，將日本的圖解法與我國圖解法，在界址點邊長誤差之規範上進行比較，如表 2.12 所示，日本除了在市地等級的甲 1 以及甲 2，相較臺灣有更嚴格的規範要求外；在農地以及山地的精度規範上，日本則較臺灣精度規範寬鬆，例如乙 1 的農地精度規範，即與我國的山地之精度規範相同。

表 2.11 數值法之界址點邊長誤差範圍比較

我國		紐西蘭	
等級	規範	等級	規範
市地	$0.02 \text{ m} + 0.003 \text{ m} \sqrt{S}$	A 類	1.95% 的新點須符合 $\sqrt{0.04^2 \text{ m} + (0.0001 \text{ m} \times S)^2}$ 2. 所有的點均須符合 $0.06 \text{ m} + 0.00015 \text{ m} \times S$
農地	$0.04 \text{ m} + 0.01 \text{ m} \sqrt{S}$	B 類	1.95% 的新點須符合 $\sqrt{0.20^2 \text{ m} + (0.0004 \text{ m} \times S)^2}$ 2. 所有的點均須符合 $0.30 \text{ m} + 0.0006 \text{ m} \times S$
		C 類	1.95% 的新點須符合 $\sqrt{0.60^2 \text{ m} + (0.002 \text{ m} \times S)^2}$ 2. 所有的點均須符合 $1.00 \text{ m} + 0.003 \text{ m} \times S$
山地	$0.08 \text{ m} + 0.02 \text{ m} \sqrt{S}$		

(S 係邊長，以公尺為單位)

表 2.12 圖解法之界址點邊長誤差範圍比較

我國		日本	
等級	規範	等級	規範
市地	$0.04 \text{ m} + 0.01 \text{ m} \sqrt{S} + 0.0002 \text{ m} \times M$	甲 1	$0.02 \text{ m} + 0.003 \text{ m} \sqrt{S} + \alpha \text{ mm}$
		甲 2	$0.04 \text{ m} + 0.01 \text{ m} \sqrt{S} + \alpha \text{ mm}$
		甲 3	$0.08 \text{ m} + 0.02 \text{ m} \sqrt{S} + \alpha \text{ mm}$
農地	$0.08 \text{ m} + 0.02 \text{ m} \sqrt{S} + 0.0002 \text{ m} \times M$	乙 1	$0.13 \text{ m} + 0.04 \text{ m} \sqrt{S} + \alpha \text{ mm}$
山地	$0.13 \text{ m} + 0.04 \text{ m} \sqrt{S} + 0.0002 \text{ m} \times M$	乙 2	$0.25 \text{ m} + 0.07 \text{ m} \sqrt{S} + \alpha \text{ mm}$
		乙 3	$0.50 \text{ m} + 0.14 \text{ m} \sqrt{S} + \alpha \text{ mm}$

(S 係邊長，以公尺為單位；M 係地籍圖比例尺之分母)

(α 係地籍圖比例尺之分母乘以 0.2 或 0.3，0.2 及 0.3 取決於地籍圖等級)

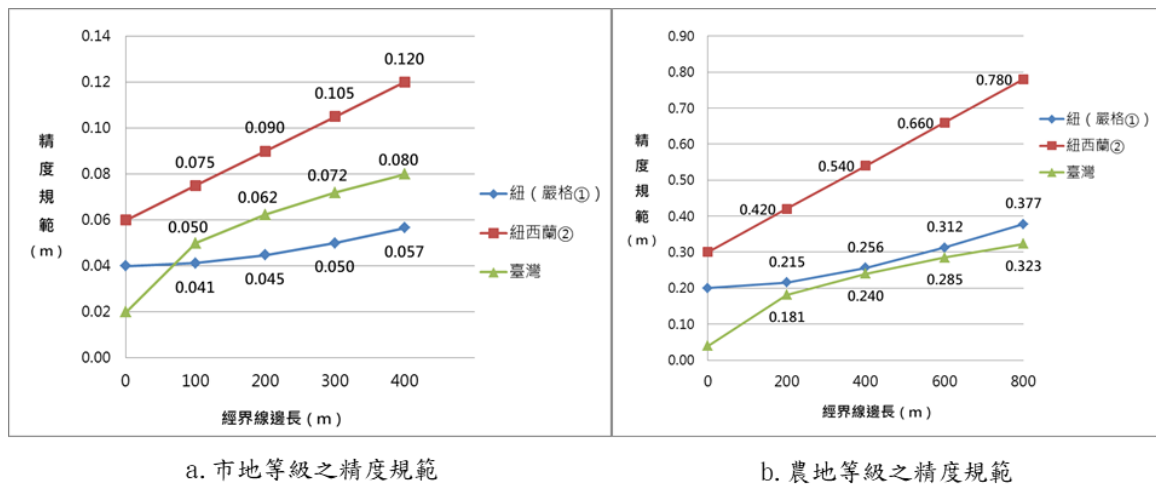


圖 2.8 我國與紐西蘭的精度規範比較

(三)控制點聯測規範

依照我國數值法地籍圖重測作業手冊(內政部，2014)，在控制點的聯測規範上，規定界址測量需以基本控制點、加密控制點及圖根點為依據，進行各宗土地界址點之測量。紐西蘭則進一步在測繪作業時，對於需聯測的控制點數量加以規範，首先，界址點的測設除了至少需要與兩個永久測量標(permanent reference mark)聯測外，並且至少需與規定數量的圖根點(witness mark)進行聯測，對於不同等級的界址點，亦有不同的對應規範，如表 2.13、2.14 所示。在圖根點聯測上，依界址點等級，有不同的對應數量規範，其中永久測量標亦可計入圖根點的數量計算之中。

表 2.13 界址點與永久測量標聯測之水平範圍

界址點等級	距離(m)
A	300
B	500
C	1000
D	x

表 2.14 界址點與圖根點聯測之水平範圍及數量

界址點等級	距離(m)	圖根點數量(個)
A	300	3
B	500	4
C	1000	4
D	x	1

第三章 辦理資料解算及分析作業

在歷年的資料解算工作及分析作業中，首先於 102 年案完成先期分析工作奠定變形模式之基礎，105 ~ 107 年案接續辦理精進計畫，並設計 Bernese 5.2 軟體自動解算程式與變位模式應用軟體，提升 GNSS 資料的解算效能及使用者使用介面。

108 年案基於歷年案的執行成果以及需求訪談紀錄(詳附件一)，規劃擬辦理的研究及工作項目如表 1.3，同時更新 e-GNSS[2019]基準站坐標；亦維護基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體與變形模式應用軟體，提供良好的操作介面。108 年案計畫持續整合地調所 GNSS 移動站歷年成果，以精進震間地表水平速度場網格模型，並進行坐標時間序列、精度及趨勢等分析；並以測繪中心的 1,400 個基本控制點檢測成果將作為變形模式精度驗證使用。

歷年案的作業範圍均為臺灣本島，除了 GNSS 觀測資料的處理分析外，相關應用的軟體維護工作，由歷年已共同合作的協力廠商-呈豐科技有限公司負責處理。108 年案的作業時程為 270 個日曆天。在資料處理方面，延續歷年成果(內政部國土測繪中心，2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018)，持續蒐集並辦理 GNSS 連續站觀測資料的解算工作，同時利用測繪中心的基本控制點檢測成果以及地調所 GNSS 移動站成果，持續精進現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式並驗證精度。

首先，本工作團隊以 Bernese 5.2 軟體計算 2018 年 10 月 1 日至 2019 年 9 月 30 日之 GNSS 連續站資料，得到各站每日的坐標成果，並整合 102、105、106 及 107 年案等成果，亦即自 2002 年 1 月 1 日至 2018 年 9 月 30 日的連續站成果，計算各 GNSS 站的速度量。由於臺灣地區活動斷層分布密集(如圖 3.1)，因此，本年度工作團隊依據各觀測站坐標時間序列成果，分析各站的成果精度與變位趨勢，以精進「震間地表水平速度場網格模型」與「同震水平位移網格模型」，據此精進 TWD97 國家坐標系統變形模式，並進行模式的精度驗證，各項工作內容說明如下：

3.1 連續站觀測資料蒐集與統計

在 GNSS 連續站觀測資料蒐集方面，分別蒐集歷年的國內站與國外站資料進行計算，各項內容說明如下：

1. 國內站部分

本團隊蒐集國內各單位提供之 GNSS 連續站資料，計有測繪中心、中央氣象局、中研院地球所、地調所、經濟部水利署、臺北市政府、臺南市政府、臺中市政府等單位，其中，臺南市政府測站於 2016 年 6 月 25 日起彙整至測繪中心。表 3.1 為 2013 年至 2019 年蒐集的各 GNSS 資料統計。另外，本團隊亦蒐集了 1990 年至 2019 年 9 月 30 日之各單位連續站資料，如表 3.2，以了解全臺各單位各年度資料的蒐集情況，而今年蒐集至 9 月之站數，共計有 433 站。。

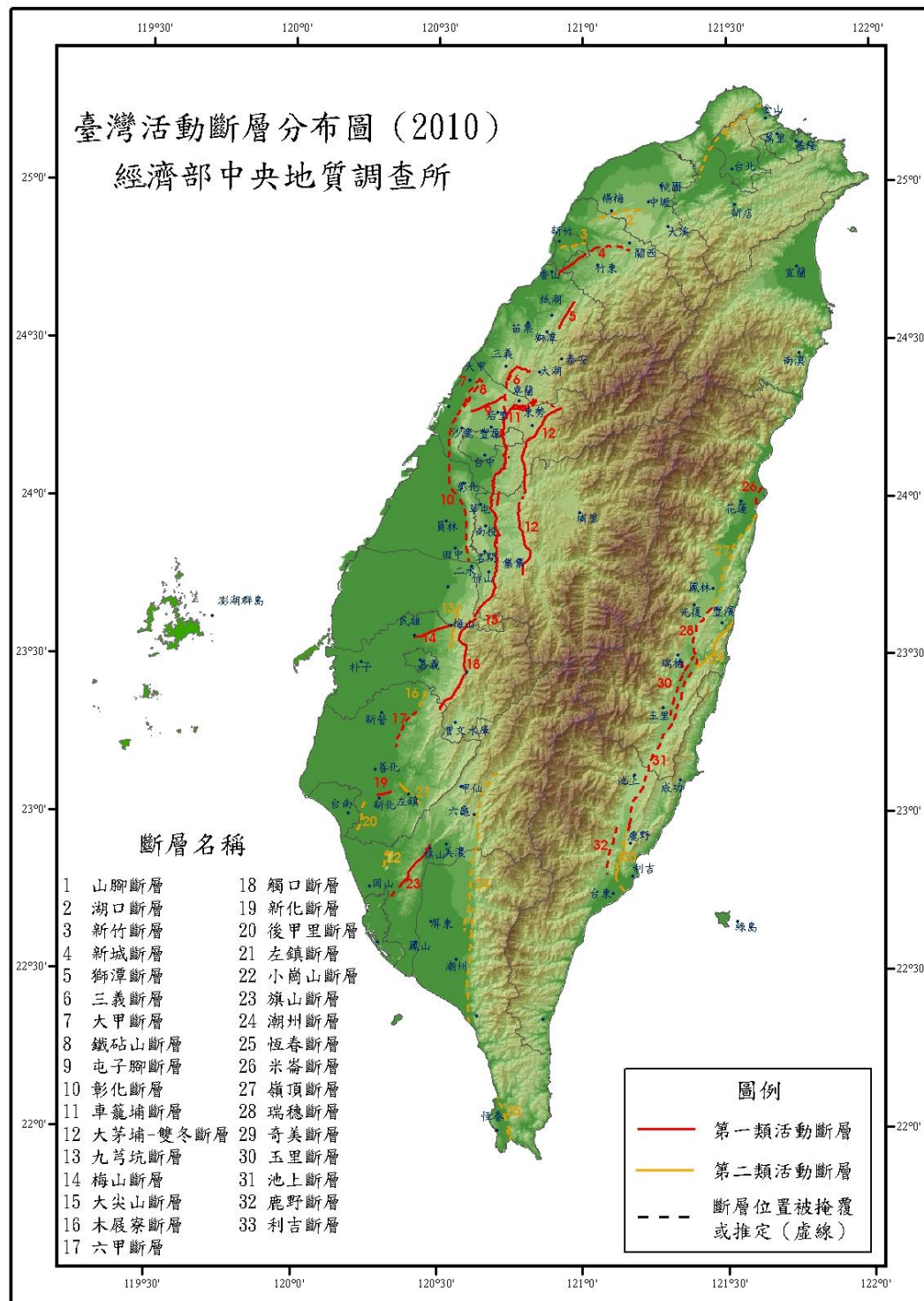


圖 3.1 經濟部中央地質調查所活動斷層分布圖

表 3.1 各年(2013~2019)蒐集之觀測資料統計

年度	GNSS 連續站	地調所移動站	測繪中心 基本控制點
2013	436	823	約 1341
2014	431	884	
2015	422	852	
2016	415	852 (篩選後為 785)	約 1341
2017	423	約 850	約 1350
2018	436	約 850	約 1350
2019	433	約 850	約 1350

表 3.2 歷年(1990 至 2019 年 9 月)各單位連續觀測站資料統計

設立 管理 單位	測繪 中心	中央 氣象 局	中研 院地 科所	地調 所	經濟 部水 利署	臺北市 政府	臺南市 政府	臺中 市政府	大屯 火山 群	中華 電信	總計
縮寫	NLSC	CWB	IES	CGS	WRA	TPE	TAINA N	TAIC HUN G	TVO	CHT	
1990 站數	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5
1991 站數	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	7
1992 站數	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
1993 站數	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
1994 站數	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
1995 站數	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
1996 站數	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
1997 站數	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	12
1998 站數	0	16	14	0	0	0	0	0	0	0	30
1999	0	18	22	0	0	0	0	0	0	0	40

站數											
2000 站數	0	18	29	0	0	0	0	0	0	0	47
2001 站數	0	36	34	0	0	0	0	0	0	0	70
2002 站數	0	45	49	1	0	0	0	0	0	0	95
2003 站數	0	60	37	1	0	0	0	0	0	0	98
2004 站數	0	94	55	7	0	0	0	0	0	0	156
2005 站數	42	111	56	18	0	0	0	0	0	0	227
2006 站數	74	146	57	40	0	0	0	0	0	0	317
2007 站數	80	152	59	44	0	0	0	0	0	0	335
2008 站數	89	154	58	44	0	0	0	0	0	0	345
2009 站數	89	156	57	60	0	0	0	0	0	0	362
2010 站數	99	158	56	67	10	0	0	0	0	0	390
2011 站數	82	152	55	71	11	0	0	0	0	0	371
2012 站數	90	152	76	75	11	0	1	0	0	0	405
2013 站數	116	166	60	75	11	0	8	0	0	0	436
2014 站數	116	157	61	76	13	0	8	0	0	0	431
2015 站數	86	168	55	81	13	0	8	11	0	2	422
2016 站數	85	168	56	83	13	0	0(8)	10	0	2	415
2017 站數	94	157	55	82	21	4	0(8)	10	0	2	423
2018 站數	88	158	56	84	28	4	0(8)	9	8	2	436

2019.01.01 至 09.30 站數	83	164	52	81	28	4	0(8)	11	8	2	433
-----------------------	----	-----	----	----	----	---	------	----	---	---	-----

註:臺南市政府測站，於 2016 年 6 月 25 日起彙整至測繪中心

2. 國外站部分

由歷年資料分析得知，金門站(KMNM)為一速度穩定的觀測站，因此本團隊最小約制金門站以解算國內其他 GNSS 連續站資料。另外，為獲得於 ITRF 框架下的金門站速度值，本團隊將金門站與鄰近臺灣的 IGS 國際站進行聯測，獲得每日的金門站坐標成果，以產製金門站的每日坐標時間序列變位量。據此，本團隊共蒐集 8 個(BJFS、TSKB、SHAO、WUHN、GUAM、PIMO、COCO、WUH2)鄰近臺灣的 IGS 站，但由於 WUHN 資料逐年下降至 2017 年終止；而 WUH2 於 2010 年至 2016 年資料量皆低於 40%，因此在資料的整理與篩選之後，決定剔除這兩個站台。雖然 SHAO 在 2014、2015、2019 年的資料與 GUAM 在 2019 年的資料均偏低，但在其他年度的資料皆穩定。因考量 GUAM、BJFS、COCO、SHAO、PIMO 與 TSKB 之歷年平均可用資料比率皆大於 75%，所以，108 年案共選定此 6 個 IGS 站。如表 3.3、表 3.4 與圖 3.2，並以這 6 站作為約制站聯合解算金門站，點位分佈如圖 3.3 所示。

表 3.3 相鄰 IGS 國際站歷年觀測資料比例

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019.01.01-09.30
BJFS	94 %	96 %	93 %	99 %	94 %	93 %	98 %	84 %	100 %	100 %
COCO	100 %	98 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	98 %	100 %	100 %
GUAM	93 %	95 %	98 %	99 %	95 %	99 %	99 %	100 %	98 %	35 %
PIMO	100 %	99 %	100 %	100 %	98 %	96 %	100 %	100 %	99 %	100 %
SHAO	100 %	97 %	100 %	99 %	36 %	5 %	95 %	90 %	100 %	28 %
TSKB	100 %	98 %	99 %	99 %	100 %	97 %	99 %	99 %	96 %	99 %

表 3.4 選定之 IGS 國際站的平均資料率

IGS 提供站台	BJFS	COCO	GUAM	PIMO	SHAO	TSKB
資料率	95 %	100 %	97 %	99 %	75 %	99 %

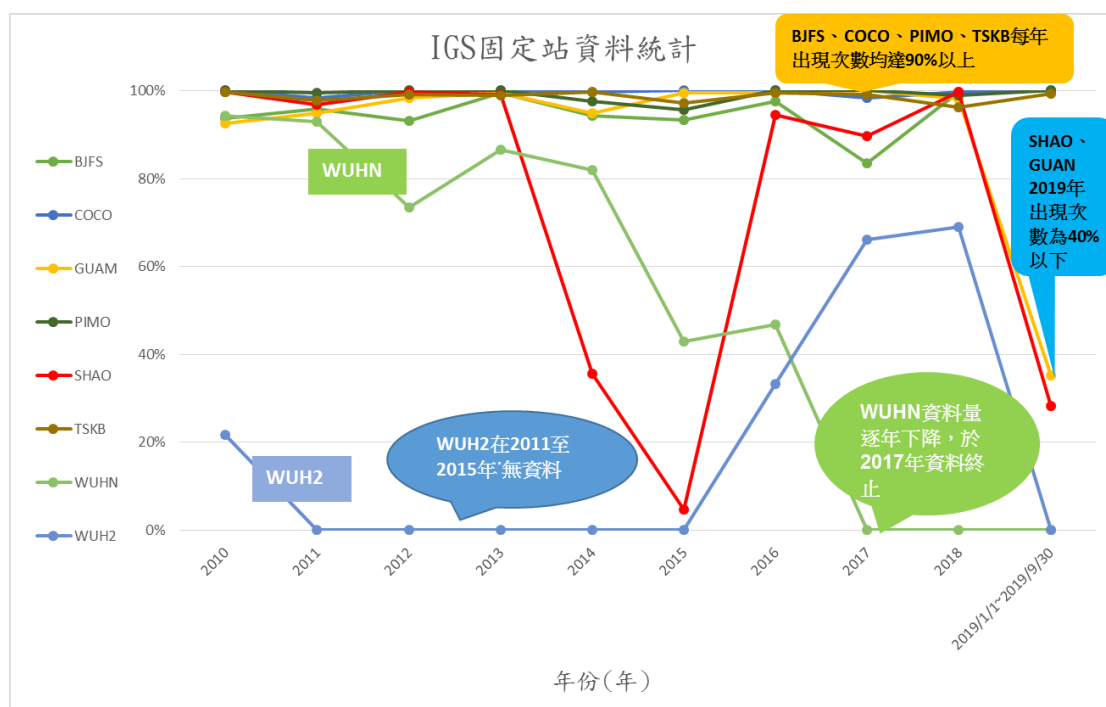


圖 3.2 相鄰 IGS 國際站歷年觀測資料比例圖

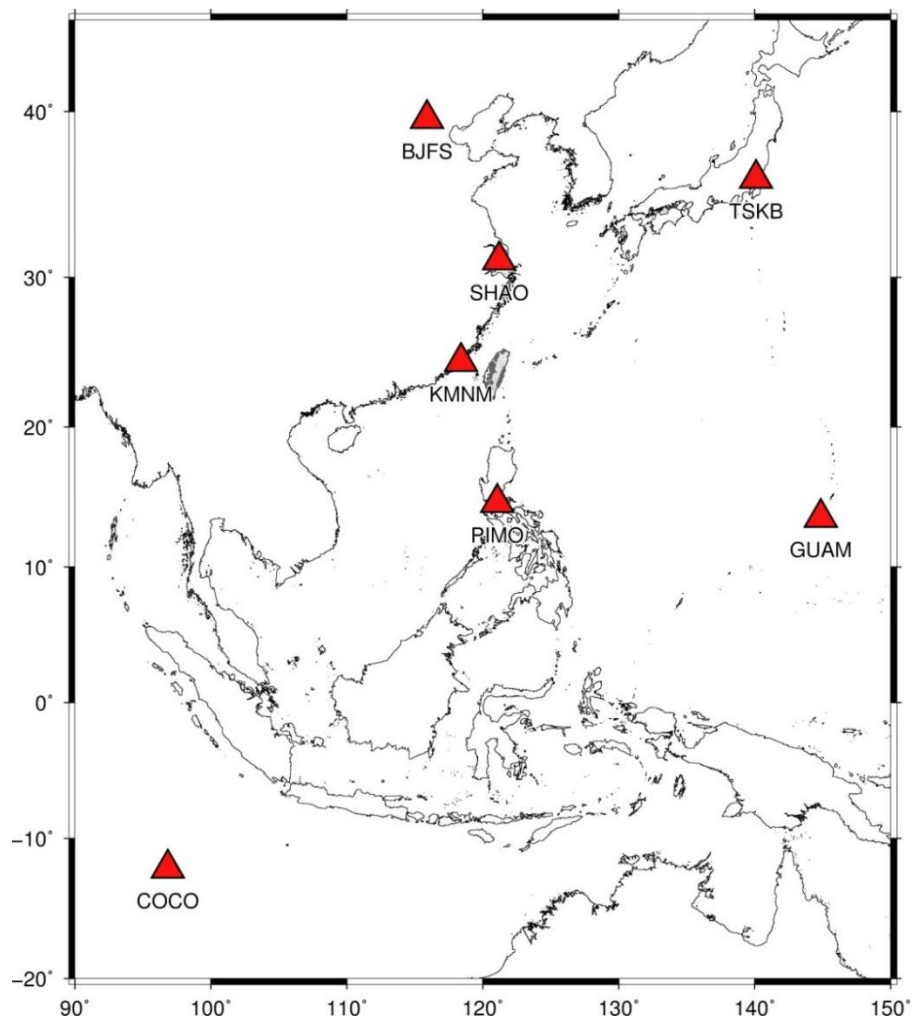


圖 3.3 參與計算之鄰近國際 IGS 站

3. 資料筆數偏低統計

本團隊統計 2018 年 10 月至 2019 年 9 月各單位的站台資料，發現氣象局 5 個測站、測繪中心 1 個測站、大屯火山群 1 個測站以及中華電信(工研院) 1 個測站的資料天數低於 100 日，另地調所的 GS69 站歷年來皆會影響分區內其他站台的解算，因此將此站移出群組不予解算，各站台名稱與資料天數如表 3.5。

表 3.5 資料筆數偏低統計表

提供單位	站台名稱	資料天數	站數合計	備註
CWB	taip	8	5	資料天數過少
	liyu	12		
	hans	1		
	nhsi	20		
	lnko	4		
NLSC	GGDS	92	1	資料天數過少
TVO	ym02	69	1	資料天數過少
CHT	tnml	48	1	資料天數過少
CGS	GS69		1	解算誤差大，影響群組其他站，已移除
總計			9	

3.2 連續站觀測資料分區與解算策略

本團隊採用 Bernese 5.2 軟體計算 2018 年 10 月 1 日至 2019 年 9 月 30 日的 GNSS 連續站資料。由於 Bernese 軟體進行法方程式求逆解算時有站數之限制並為了提高解算之效率，故進行分區解算，首先進行分網(分區)，其原則為：(1)先依據單位進行劃分；(2)再依據空間分布劃分，取 24 個站台以內為一計算區，分區的網型以方形且均勻分布為原則，並在各計算區中再放入 6 個共同聯測站(KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC)，分布情形如圖 3.4，計算分區如圖 3.5 至圖 3.6，分區站名如表 3.6 所列，其中地調所的 GS69 站歷年來皆會影響分區內其他站台的解算，因此將此站移出群組不予解算；另外，108 年測繪中心開始提供大屯火山群站台的觀測資料，然而群組是於 107 年分群完成，需要另新增一個群組單獨為之計算，否則會影響過去解算資料，故新增 0 群組以計算大屯火山群之站台。

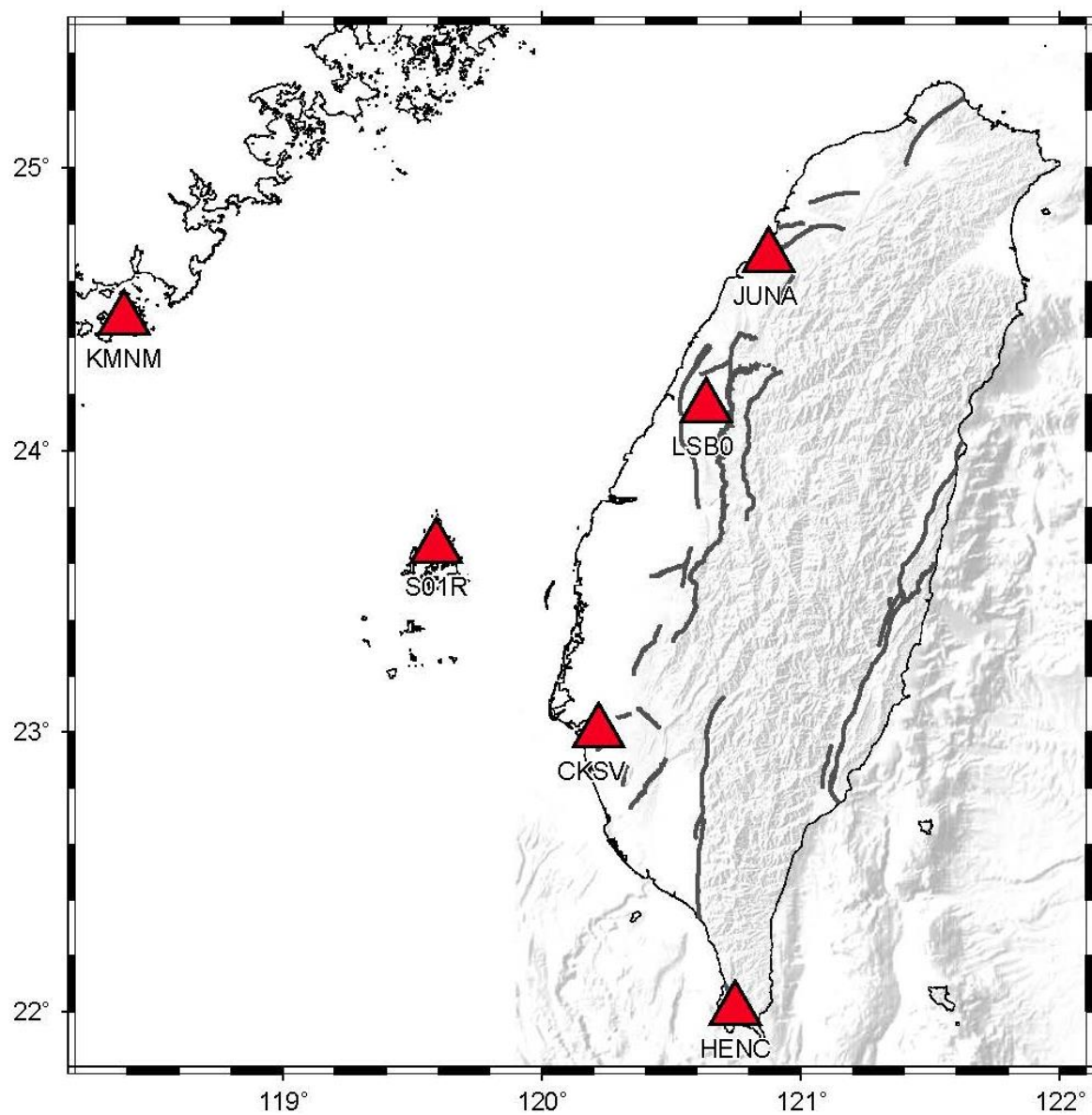


圖 3.4 國內共同聯測站分布圖

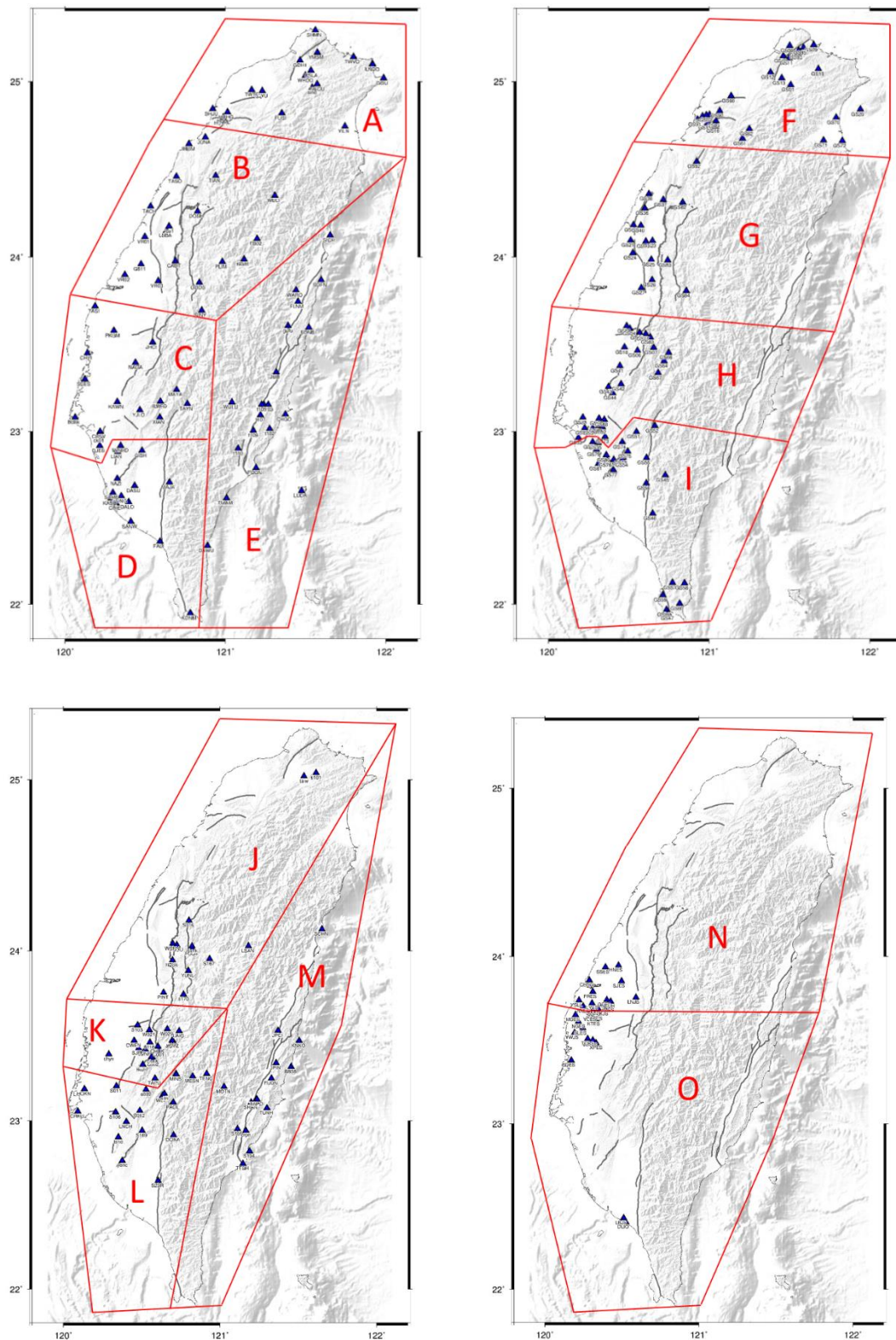


圖 3.5 108 年案連續站觀測資料計算分區圖(1)

A-E 區測站提供單位為 NLSC；F-I 區測站提供單位為 CGS 與 TPE；
J-M 區測站提供單位為 IES； N、O 區測站提供單位為 WRA。

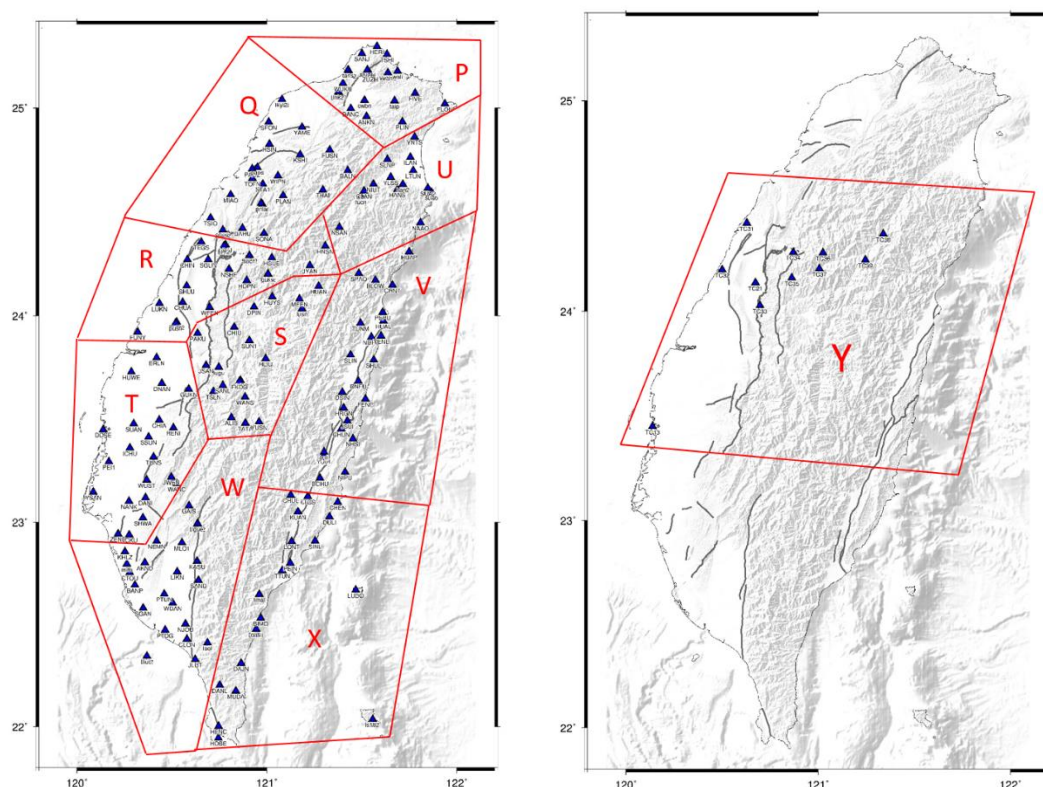


圖 3.6 108 年案連續站觀測資料計算分區圖(2)

P-X 區測站提供單位為 CWB；Y 區測站提供單位為臺中市政府。

表 3.6 108 年案連續站觀測資料計算分區統計

A	BEGN、CKSV、CSLA、DONY、FUSI、GDH1、GOLI、HCHG、HCHM、HENC、JUNA、JYGU、KMNM、LND2、LNDO、LSB0、MZUM、NCCU、S01R、SHJU、SHMN、SIND、TCYU、TWVD、WHDO、YILN、YMSM、TNML、TWTF
B	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
C	KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、BKBL、CHYI、CIME、DJES、HUSI、JHCI、JIBE、JNHU、JNSA、KAWN、KLAB、LEYU、NJES、PKGM、SCES、TASI、WIAN、NAGA、CHIK、CK01
D	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
E	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
F	CKSV、GS01、GS03、GS08、GS09、GS10、GS11、GS12、GS13、GS15、GS16、GS19、GS20、GS61、GS62、GS70、GS71、GS72、GS86、GS90、GS93、GS94、GS95、HENC、JUNA、KMNM、LSB0、S01R
G	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
H	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	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	CKSV、FNGU、FUQE、GANK、HENC、JUNA、KMNM、KZN1、KZON、LSAN、LSB0、PINT、S016、S01R、S101、S167、S170、TAIW、WUFN、YUNL
K	KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、8118、C001、C002、CHUK、CWEN、JONP、KLN2、LAIG、LOYE、S103、SJPU、TAPU、W021、W029、CHNL、W030、KULN、CHYN
L	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	KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、FUDN、JPEI、JPIN、KNKO、MOTN、PING、S104、S105、SCHN、SHAN、TAPE、TAPO、TTSH、TUNH、S058、ERPN
N	KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CHSG、FRES、GFES、HLES、HNES、LNJS、NTUH、SJES、SSES、TKJS、YSLI、ANES、LYES、JMES
O	BDES、CKSV、DLIO、HENC、JUNA、KMNM、KTES、LBJS、

	LSB0、MDES、NGES、S01R、SLES、SNES、STES、TCBS、WNES、XPES、YCES、YWJS
P	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	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
R	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	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	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	KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、CLAN、HANS、ILAN、LTUN、NAAO、NIUT、NSAN、SLNP、SUA2、YLSS、YNTS、SUAB、TUCN、SUAO、HAN2
V	BLOW、CHNT、CHUN、CKSV、DCHU、DNFU、DSIN、FENP、HENC、HRGN、HUAL、HUAP、JSUI、JUNA、KMNM、LSB0、NDHU、NHSI、NIPU、PEPU、S01R、SHUL、SLIN、SPAO、TUNM、YENL、YUL1、YULI
W	KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、AKND、BANP、CLON、CTOU、GAIS、HENC、JLUT、KASU、KHLZ、LGU2、LIKN、LIU2、MLO1、NEMN、NJOU、PTDG、PTUN、SAND、SGAN、WDAN、LAOL、MITO、LGUE、LIUC
X	BIMO、CHEN、CHIH、CHUL、CKSV、DAJN、DANL、DAS1、DASI、DULI、HENC、HOBE、JUNA、KMNM、KUA2、KUAN、LANB、LANY、LONT、LSB0、LUDO、MUDA、PEIN、S01R、S102、SINL、TMAL、TTCS、TTUN

Y	KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、TC21、TC31、TC32、TC33、TC34、TC35、TC36、TC37、TC38、TC39、TC13
Z	KMNM、BJFS、COCO、GUAM、PIMO、SHAO、TSKB
0	KMNM、LSB0、JUNA、CKSV、S01R、HENC、YM02、YM03、YM05、YM06、YM07、YM08、YM09、YMN4

GNSS 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。GNSS 連續站資料載入 Bernese 軟體之前，應進行下列品質之管制與資料檢查：

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 軟體計算後，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，可以有效控制本項工作的成果品質，確保其穩定性與精確性。除此之外，本計畫作業期間，除了團隊本身定期的內部工作會議外，亦配合測繪中心召開的工作會議，針對工作進度、工作遭遇困難、相關需協商事項

以及前次會議執行情行進行檢視與討論，以有效管理本工作案之執行。

(2)解算策略

Bernese 軟體的解算策略與 TWD97[2010]相同。首先，將金門站 (KMNM)與鄰近臺灣的 IGS 國際站(GUAM、BJFS、COCO、SHAO、PIMO 與 TSKB 等 6 站，如圖 3.3)進行聯合網形平差計算，得到每日 KMNM 的法方程式(*.NQ0)、SNX 檔，以得到 KMNM 站的每日坐標成果(如圖 3.7)，並進行坐標時間序列分析，並推估 KMNM 站的速度，Bernese 軟體的解算流程如圖 3.8。

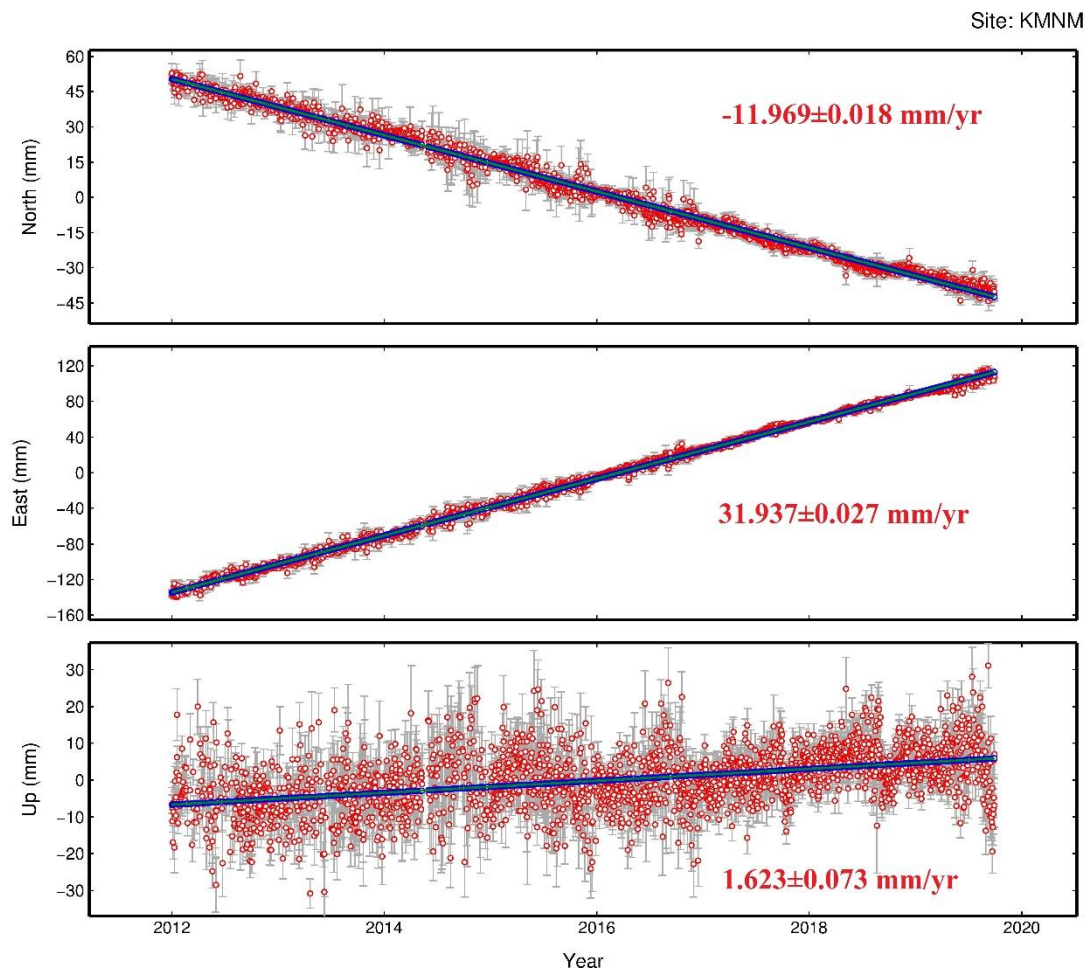


圖 3.7 與國際站聯測之金門站(KMNM)坐標時間序列圖

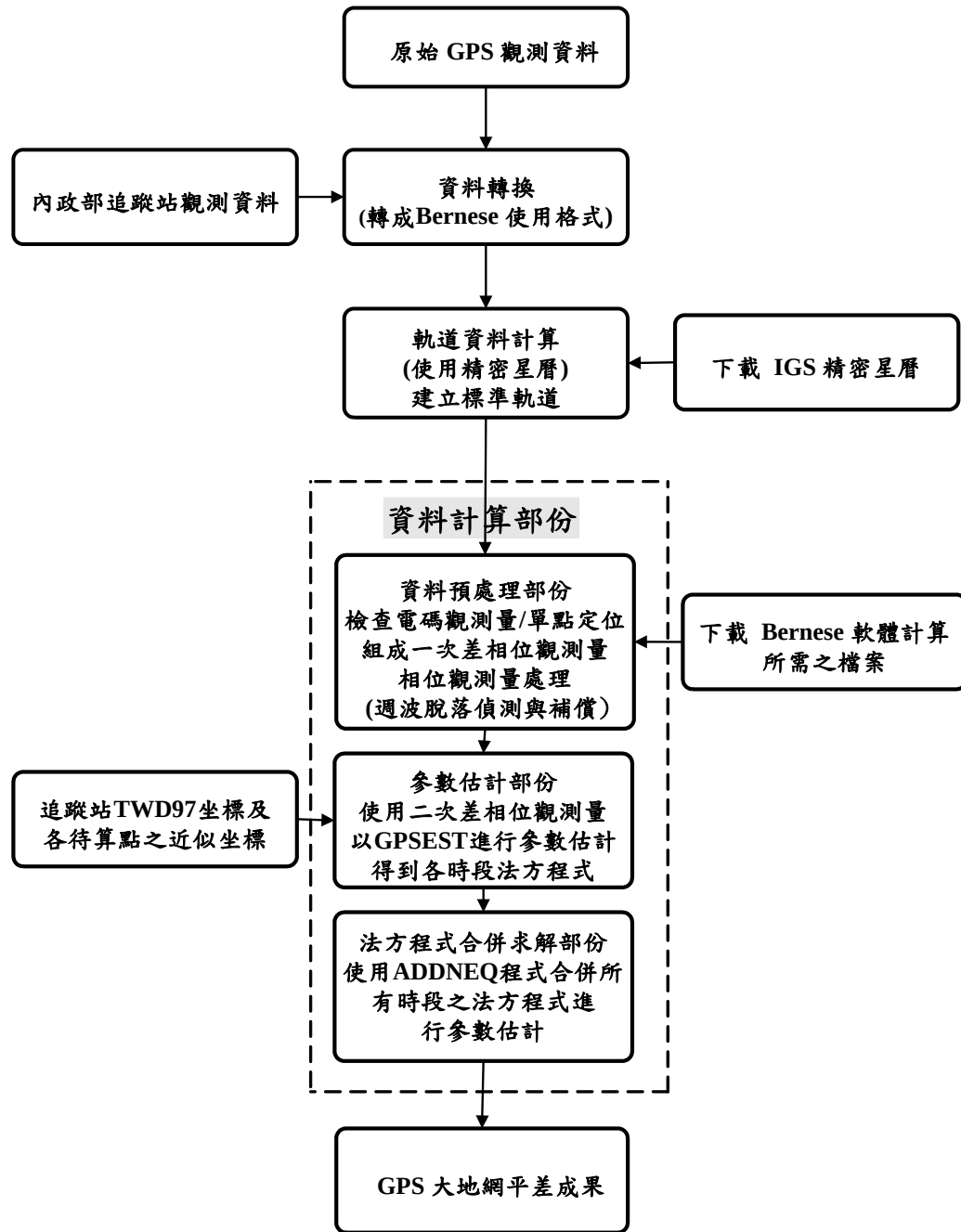


圖 3.8 Bernese 軟體計算流程圖

本團隊將國內各 GNSS 連續站進行分區(表 3.6)計算，各分區的共同聯測站有金門站(KMNN)、測繪中心頂樓站(LSB0)、竹南站(JUNA)、成大測量系站(CKSV)、澎湖白沙(S01R)以及恆春站(HENC)，共 6 站(如圖 3.4 所示)，並每日最小約制於 KMNM 的 TWD97[2010]公告坐標，以得到各 GNSS 連續站的每日坐標解。

每日進行最小約制於 KMNm 計算時，若當天沒有 KMNm 的觀測資料，則依據前一日最小約制於 KMNm 的 LSB0 坐標進行最小約制，若當日仍沒有 LSB0 觀測資料時，則依序以 JUNA、CKSV、S01R 以及 HENC 等順序作為當日網形計算的最小約制站。

(3)測站速度估計與網格建立

本計畫以各 GNSS 站的每日坐標推算其於不同時期的速度值，並以 3-1 式對各站的 E、N、U 三個分量進行時間序列擬合：

$$y(t_i) = a + bt_i + c \cos(2\pi t_i) + d \sin(2\pi t_i) + e \cos(4\pi t_i) + f \sin(4\pi t_i) + \sum_{j=1}^{n_g} g_j \cdot H(t_i - T_{eq}) + \sum_{j=1}^{n_h} h_j \cdot H(t_i - T_{eq}) \cdot t_i + \sum_{j=1}^{n_k} k_j \cdot H(t_i - T_{eq}) \cdot \exp^{-(t_i - T_{eq})/\tau_j} + v_i \quad (3-1)$$

其中，a 為初始坐標，b 為震間期(interseismic period)地殼運動速率，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，可能為地震造成的同震位移或是人為天線更換，h 為震後線性速率改變量，k 為震後變形呈指數衰減的現象，最後 v 為殘差項。其中 H 為階梯函數(Heaviside step function)， 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。為了後續實務工作的需求，本計畫僅擬合地表運動速率(b)以及地震瞬時位移(g)等事件，並利用不同時期的速度場改變(h)來擬合震後變形，亦即將求解各站 E、N、U 分量的係數 a、b、g、h、v，故將式 3-1 簡化為式 3-2。

$$y(t_i) = a + bt_i + \sum_{j=1}^{n_g} g_j \cdot H(t_i - T_{eq}) + \sum_{j=1}^{n_h} h_j \cdot H(t_i - T_{eq}) \cdot t_i + v_i \quad (3-2)$$

在地表速度場模型方面，依據 105、106、107 年案的成果，將以克利金內插法建立地表速度網格模型；地震造成的同震位移則以斷層錯位模型建立地表同震位移網格模型，結合兩地表速度網格模型與地表同震位移網格模型，即可得地表變形模式。

克利金法(Kriging)：

Kriging 法由 Mathron 學者於 1963 年提出，最早應用於礦脈在空間上的分布推測，是一種由已知點群推測特定區域範圍內的未知點對應值之內插方法。當散布於特定空間中的某種現象具有空間連續性時，可採用 $Z(x)$ 來表示此現象的觀測值， x 則表示空間的位置，其可以為坐標或是區域，甚至是一個面或一個立體的區塊。利用不同觀測點得到的觀測值，可以計算出不同距離的半變異數值，配合適當的半變異元模式可擬合出半變異元函數，其表示隨著距離的不同，相關程度也隨之改變，在滿足最佳線性無偏估計的條件下，半變異元模式的值經過適當轉換後可以成為權重係數，用以推估未知點的值。半變異圖定義如下：

$$Var[z(x + d) - z(x)] = E[z(x + d) - E(x)]^2 = 2r(d) \quad (3-3)$$

式中， x 為空間中某一點的位置， $z(x)$ 為該點位置的隨機函數， $r(d)$ 為半變異函數(semivariogram)，代表配對的均方差隨著距離 d 增加而建立之函數關係。

Kriging 主要目的為利用已知值推估任一未知隨機變量 $Z(x)$ 的最佳線性無偏估計方法(Best Linear Unbiased Estimator, BLUE)。由已知樣本點資料利用線性組合方式推測未知點位：

$$z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (3-4)$$

並以最佳化法則(Optimization Theorem)計算每個已知資料的權重 λ_i ，該最佳化之目的是將所有預測值誤差的變異數最小化：

$$\text{Minimizing} \quad \text{Var}[z^*(x) - z(x)] \quad (3-5)$$

透過(3-5)式使得該空間內的預測不會出現過高或是過低現象，使得所有的偏差值較有一致性。

3.3 連續站觀測資料解算成果分析

108 年案利用過去 2003 年至 2019 年 9 月 30 日，歷年累積的解算成果資料進行測站坐標時間序列之分析，採用的 GNSS 連續站資料由中央地質調查所、中央氣象局、中研院地球所、測繪中心、臺北市政府、臺南市政府、經濟部水利署、臺中市政府、中華電信等單位提供，站數統計如表 3.7，測站分布如圖 3.9，扣除解算與坐標時間序列擬合失敗的測站後，共計有 442 站。

表 3.7 GNSS 連續站資料來源與站數統計

測站類型	設立/管理單位	單位縮寫	站數
GNSS 連續站	中央地質調查所	CGS	85
	中央氣象局	CWB	170
	中研院地球所	IES	54
	測繪中心	NLSC	74
	臺北市政府	TPE	3
	臺南市政府	TAINAN	8
	經濟部水利署	WRA	28
	臺中市政府	TAICHUNG	10
	中華電信(含工研院)	CHT	2
	大屯火山	TVO	8
總計			442

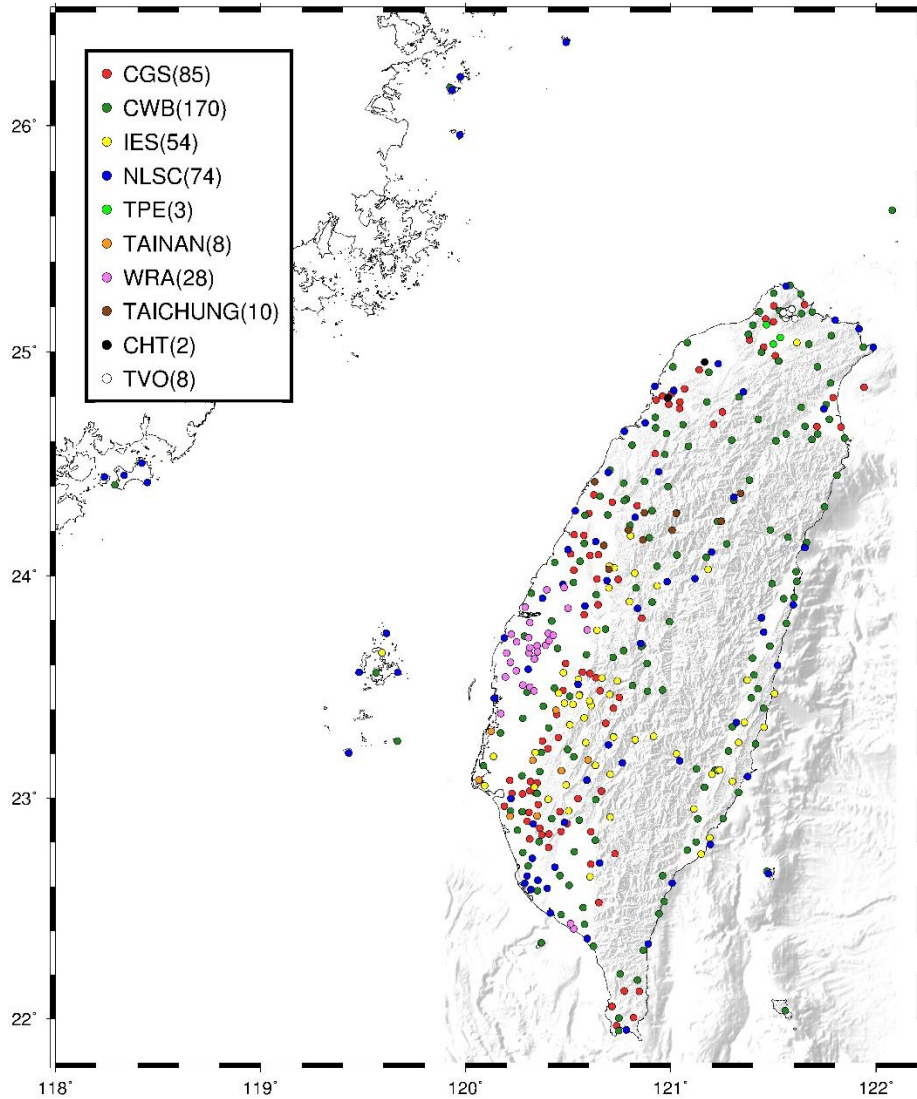


圖 3.9 GNSS 連續站分布情形

建立變形模式時，衛星觀測資料的精度為主要的誤差來源，其他尚有模式及外業觀測的誤差，換言之，以 GNSS 資料建立的變形模式整體精度，不可能高於測站的坐標估計精度，因此本節中藉由連續站坐標時間序列分析，將 GNSS 連續站的每日坐標進行時間序列擬合後，經過移除長期的震間地殼運動速率變化量、地震後造成的同震位移量或未知原因的不連續跳動、震後線性速率改變量後，得到各測站的殘差量，以進行測站資料精度的統計分析，了解臺灣各地區 GNSS 測量成果的坐標精度與其平均值。

3.3.1 連續站的坐標時間序列擬合

本節應用 3-2 式分別對各連續站的 E、N、U 三個分量進行時間序列擬合(Nikolaidis, 2002)，依此完成臺灣地區各連續站 2003 年 1 月至 2019 年 9 月之坐標時間序列分析，為了評估各連續站之坐標精度，因而進一步移除坐標時間序列中的訊號，分析時間序列中的殘差離散程度以了解各測站 E、N、U 分量的精度，坐標時間序列擬合圖與殘差圖如圖 3.10、圖 3.11 所示。將各測站之坐標精度進行統計分析，可以得到臺灣整體連續站的水平與高程坐標精度分布型態，若各坐標分量精度的標準差越小，表示該地區之坐標精度具有一致接近的品質，反之則表示各連續站精度的散布越大。

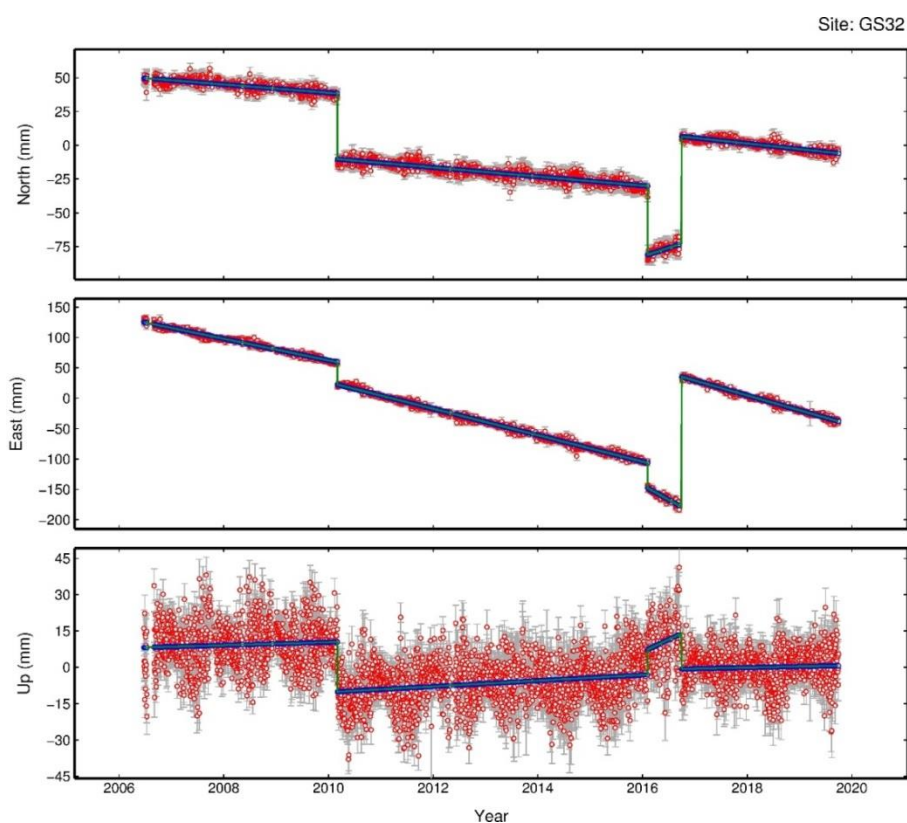


圖 3.10 臺南虎頭埤(GS32)站坐標時間序列擬合圖

說明：紅色圓圈為每日坐標解，灰色線為該坐標的誤差，藍色圓圈為擬合後之坐標值，綠色線為時間序列擬合線，並依重大地震事件給定斷點

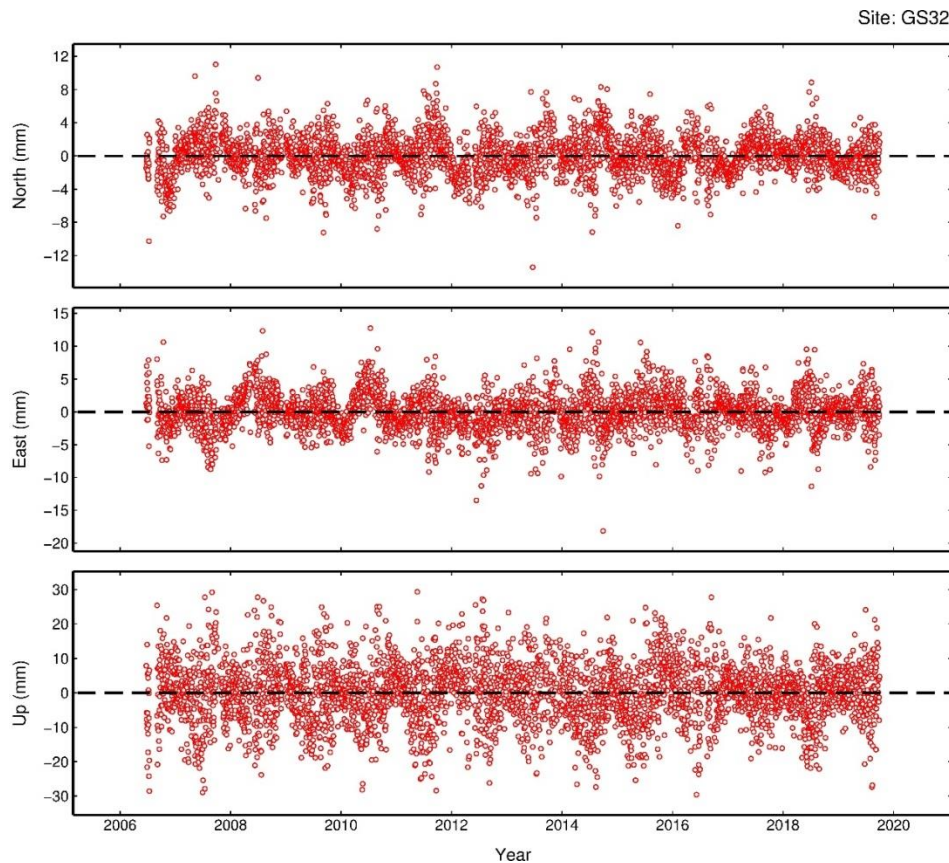


圖 3.11 臺南虎頭埤(GS32)站坐標時間序列殘差圖

說明：紅色圓圈為每日坐標殘差解。

根據 106 年案之 GNSS 連續站時間序列分析成果指出 (內政部國土測繪中心, 2017) , 平面方向平均精度的 3 倍值約為 ± 14 mm, 高程方向平均精度的 3 倍值則約為 ± 39 mm, 亦即 GNSS 連續站平面位移的解析能力約為 14 mm。而依據內政部國土測繪中心(2018)研究之斷層正演模型的測試搜尋計算成果指出, 要在臺灣陸域產生同震水平位移量大於 14 mm 之地震規模至少要超過芮氏規模 6.1, 且越遠離臺灣陸域所需的地震規模就越大。若擷取 10 km、15 km、20 km 與 25 km 的震源深度來看, 顯示隨著深度的增加, 臺灣陸域所需的最小地震規模也由芮氏規模 6.1 增加至約芮氏規模 6.4。

由測站坐標時間序列圖可以發現測站坐標變化皆集中在地震事件發生之時期，因此，本節參考前述 106 年案 14 mm 的同震位移的新增時機，使用中央氣象局地震預報中心的歷史地震資訊，篩選出 2003 至 2018 年間，芮氏規模大於 6 且震央位於臺灣內陸與近海的地震，震源深度隨著芮氏規模增加依序為 5 km 至 60 km，在極淺地震(0~30 km)、淺層地震(30~70 km)範圍內之地震作為擬合重大地震事件之參考，如表 3.8 所示，以重大地震事件逐一檢視所有連續站的每日坐標成果以進行坐標時間序列參數事件之擬合，成果詳如 4.1.1 節說明，由該成果發現，2013/3/27 南投地震、2015/2/14 台東外海地震、2016/5/12 宜蘭地震均未造成明顯的速度改變，因此未納入修正；另外，在歷年 GNSS 解算成果中，於 2016 年 10 月 1 日之前為 Bernese 5.0 成果，其後為 Bernese 5.2 成果，兩者的差異以 1 個擬合參數吸收，因此，本案依據坐標時間序列成果表，並參考表 3.8 將水平速度場分為 12 個時期，分析成果如第 4.1.1 節內容。

表 3.8 2003 年至 2018 年之重大地震事件

地震事件	發生時間	經度	緯度	規模	深度(km)	位置
台東成功地震	2003/12/10 12:38	121.4	23.07	6.4	17.7	台東成功地震站東南方 4.3 公里
蘇澳地震	2005/3/6 03:06	121.84	24.65	5.9	6.4	宜蘭蘇澳地震站北偏西方 5.5 公里
	2005/3/6 03:08	121.8	24.65	6	7	宜蘭蘇澳地震站西北方 8.0 公里
台東市地震	2006/4/1 18:02	121.08	22.88	6.2	7.2	台東市地震站北偏西方 16.4 公里
恆春地震	2006/12/26 20:26	120.56	21.69	7	44.1	屏東恆春地震站南偏西方 40.2 公里
	2006/12/26 20:34	120.42	21.97	7	50.2	屏東恆春地震站西方 33.9 公里

地震事件	發生時間	經度	緯度	規模	深度(km)	位置
花蓮地震	2009/12/19 21:02	121.66	23.79	6.9	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里
甲仙地震	2010/3/4 08:18	120.71	22.97	6.4	22.6	高雄甲仙地震站東南方 17.1 公里
南投地震	2013/3/27 10:03	121.05	23.9	6.2	19.4	南投縣政府東方 36.9 公里
6 月南投地震	2013/6/2 13:43	120.97	23.86	6.5	14.5	南投縣政府東方 29.3 公里(位於南投縣魚池鄉)
瑞穗地震	2013/10/31 20:02	121.35	23.57	6.4	15	花蓮縣政府南偏西方 54.6 公里(位於花蓮縣萬榮鄉)
台東外海地震	2015/2/14 04:06	121.4	22.66	6.3	27.8	臺東縣政府東偏南方 27.4 公里(位於臺灣東部海域)
美濃地震	2016/2/6 03:57	120.54	22.92	6.6	14.6	屏東縣政府北偏東方 27.1 公里(位於高雄市美濃區)
宜蘭地震	2016/5/12 11:17	121.98	24.69	6.1	8.9	宜蘭縣政府東方 22.4 公里
花蓮地震	2018/2/6 23:50	121.73	24.1	6.2	6.3	花蓮縣政府東北方 16.5 公里(位於臺灣東部海域)

整理自：(中央氣象局地震預報中心，2019)

3.3.2 連續站的坐標估計精度分析

在擬合重大地震事件之坐標時間序列下，將所有 GNSS 連續站移除重大地震事件得到的殘差值進行整體平均，並以三倍標準差剔除精度不佳之 15 個測站，如表 3.9、圖 3.12 所示，得到整體 GNSS 連續站的平均精度，在 E、N、U 方向分別為 ± 4.1 mm、 ± 3.0 mm、 ± 12.9 mm，

水平方向即為 ± 5.1 mm，連續站坐標精度統計如圖 3.13 所示。為了解測站坐標精度在全臺的空間分布情況，本節以 GNSS 連續站的一倍精度(68 % 信心區間)繪製 N、E、U 以及水平方向之測站坐標精度空間分布如圖 3.14 至 3.17 所示。

表 3.9 坐標精度不佳之連續站

測站	位置	E 方向 ($\pm$ mm)	N 方向 ($\pm$ mm)	U 方向 ($\pm$ mm)	水平方向 ($\pm$ mm)
BANC	新北	3.5	2.6	51.1*	4.3
CHIA	嘉義	2.9	2.5	52.2*	3.8
CHIN	臺中	13.1*	6.6	25.1	14.7
FENP	花蓮	11.6	9.4*	40.3*	14.9
FKDO	南投	24.2*	12.2*	51.7*	27.1*
GS90	新竹	3.2	8.8*	8.6	9.3
HNES	彰化	3.6	2.2	38.8*	4.2
HOPN	臺中	14.9*	7.5	24.4	16.7*
HUAL	花蓮	6.8	4.4	47.2*	8.1
LANY	蘭嶼	6.1	10.1*	17.2	11.8
MUDA	屏東	13.6*	6.7	24.1	15.1
SHLU	臺中	8.5	4.7	42.4*	9.7
TTUN	臺東	5.2	9.1*	14.2	10.4
TWVD	基隆	14.3*	3.5	9.6	14.8
YMSM	臺北	5.1	3.4	43.4*	6.1

說明：在擬合重大地震事件之時間序列分析下，坐標精度不佳之測站，
*為超出三倍標準差之量值

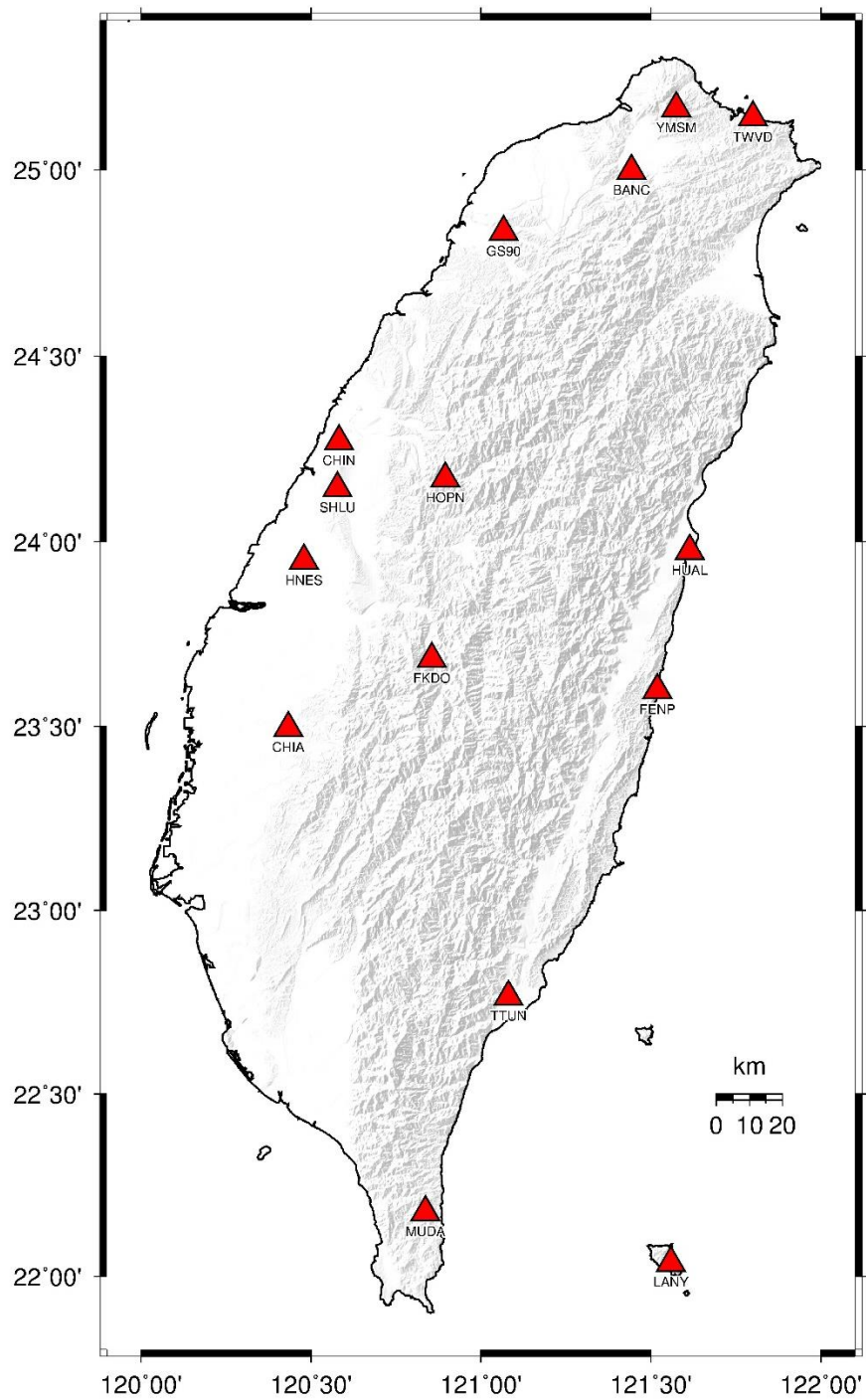


圖 3.12 坐標精度不佳之連續站分布圖

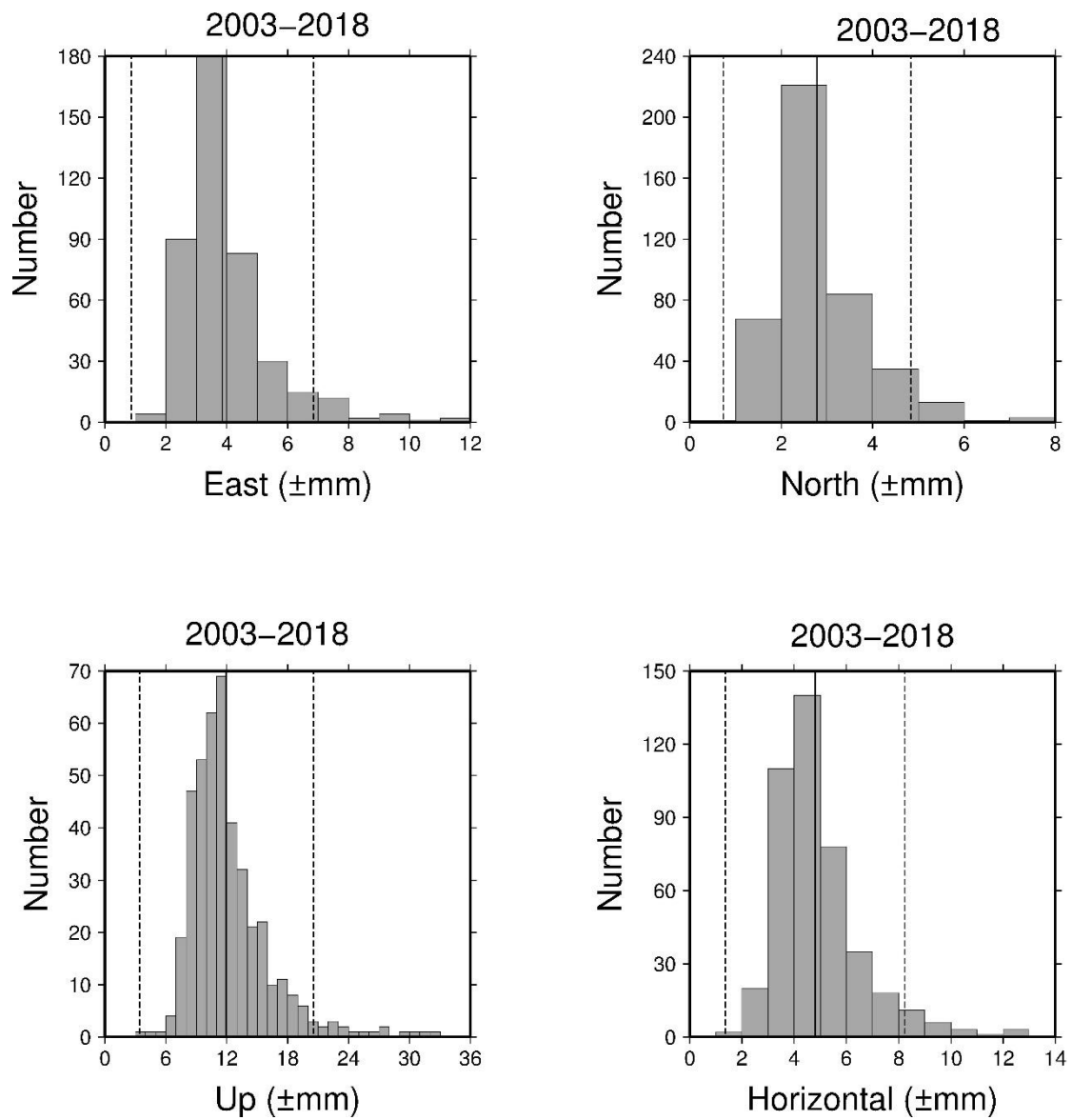


圖 3.13 擬合重大地震事件之連續站坐標精度統計圖

說明：黑色實線為測站平均精度，虛線為 95 %信心水準範圍

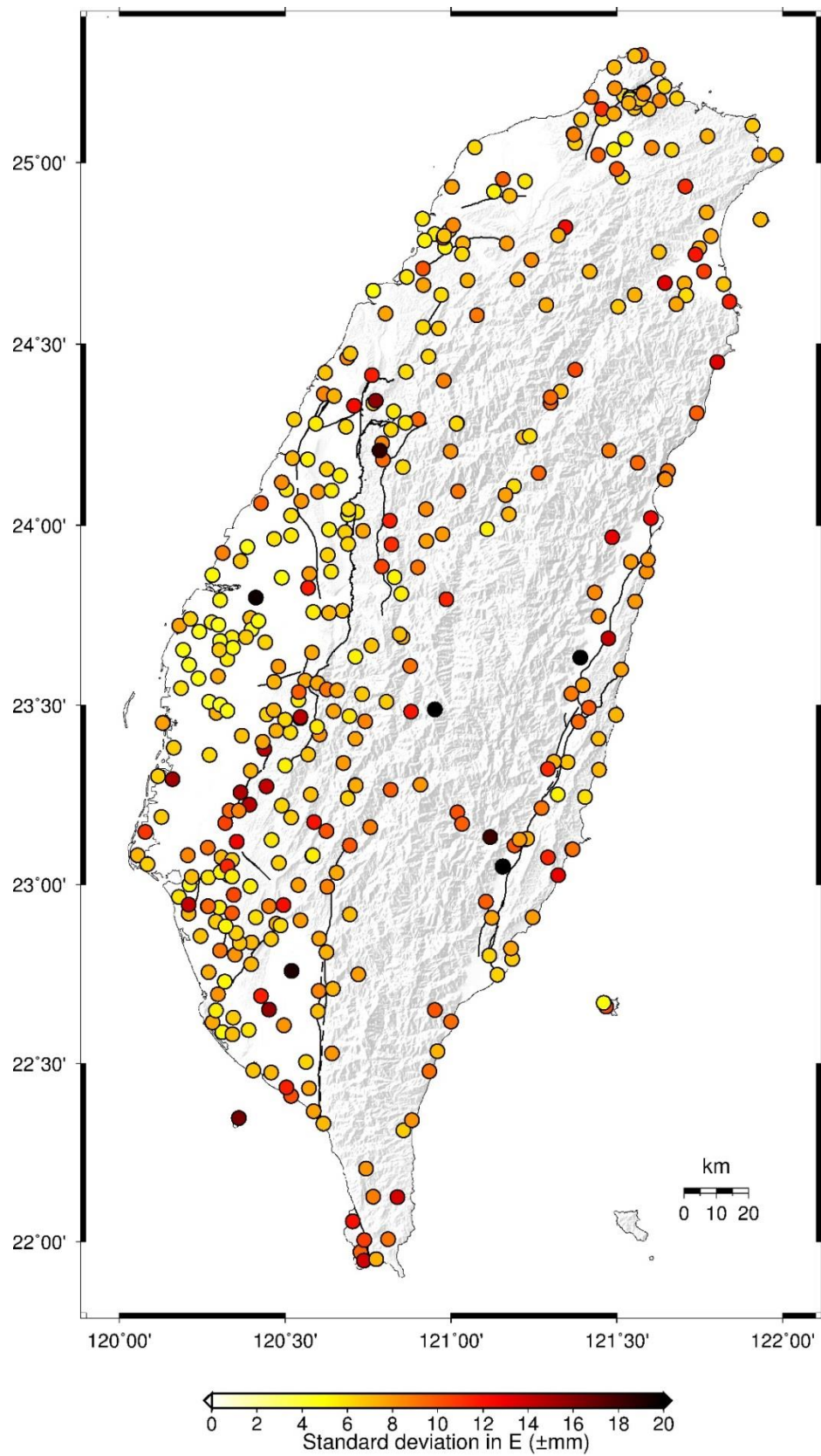


圖 3.14 臺灣地區連續站坐標 E 分量之精度空間分布圖

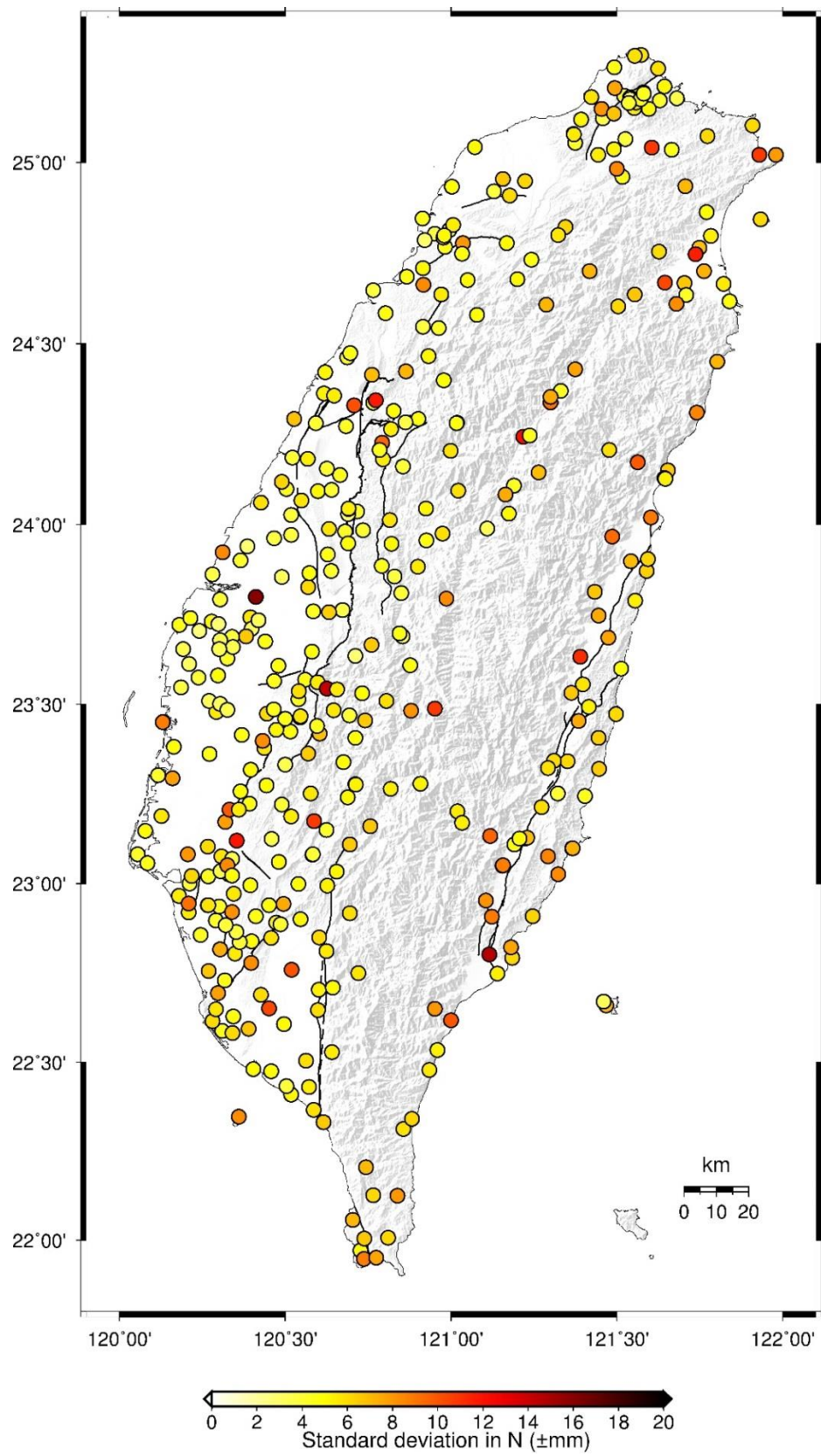


圖 3.15 臺灣地區連續站坐標 N 分量之精度空間分布圖

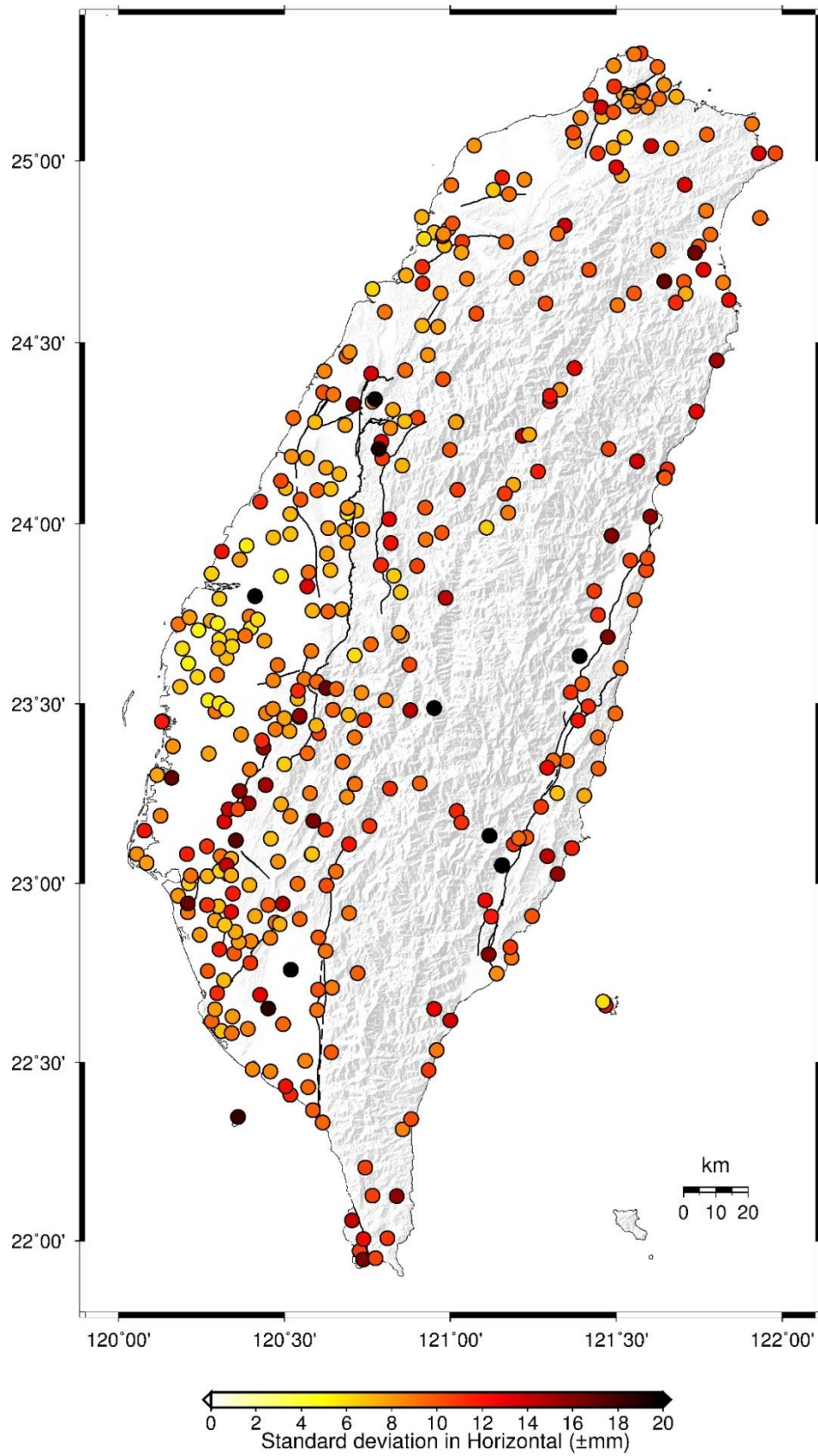


圖 3.16 臺灣地區連續站坐標平面之精度空間分布圖

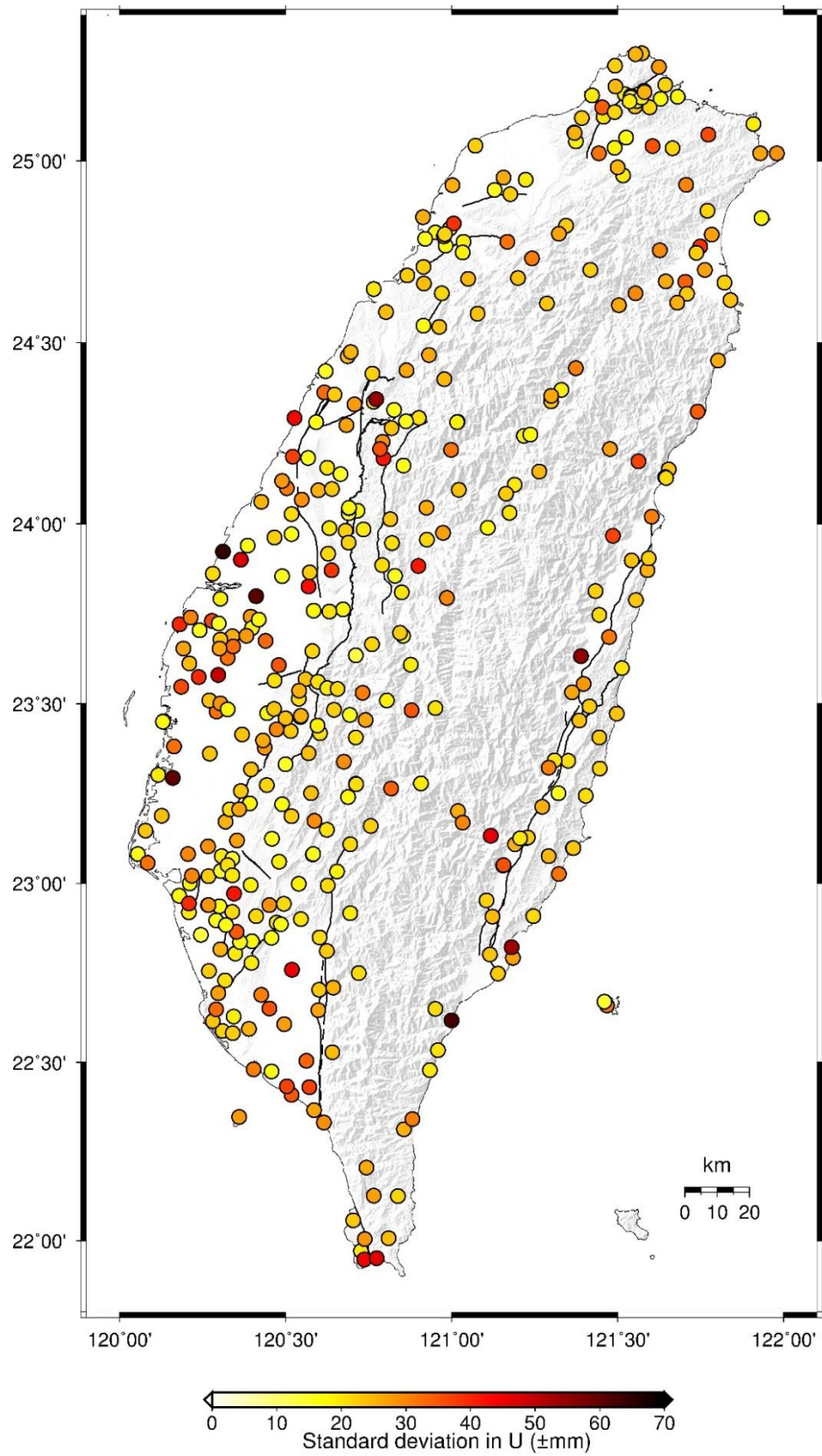


圖 3.17 臺灣地區連續站坐標高程之精度空間分布圖

觀察臺灣地區連續站於 E 方向在西南部山麓地區、東部地區有較大的誤差，多數點位大於 ± 10 mm 以上，最高達 ± 15 至 20 mm，資料品質較差；而 N 方向整體大致小於 ± 10 mm，N 方向精度明顯優於 E 方向精度，此特性與板塊擠壓方向以及臺灣水平速度場方向一致；高程方向在全臺各地區皆有相當大的誤差，精度多數大於 ± 30 mm，最高有約 ± 60 mm 的誤差，高程資料品質較不穩定，此結果與 GNSS 儀器天線遮蔽、GNSS 儀器更新、天線高設定是否正確有關，故未來在垂直速度場的應用方面，應納入其他獨立觀測之資料，如精密水準測量資料，以提高高程方向坐標之精度。在內政部於 2012 年公告一九九七坐標系統 2010 年的成果中，以 Bernese 與 GAMIT 軟體解算平差，其公告一、二、三等衛星控制點的平差成果在經度、緯度及高程方向之標準誤差平均值分別為 ± 4 mm、 ± 4 mm 及 ± 15 mm(林文勇等, 2012)，亦與本計畫解算之坐標成果相近。

3.4 移動站的坐標估計精度分析

108 年案的 GNSS 移動站資料亦由地調所提供，資料期間為 2003 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日，共分為八個區域(中部、台北、宜蘭、花東、恆春、桃竹苗、高屏、嘉南)，每一區域每年施測一至兩個禮拜，每測站一至兩次，採用 Bernese 5.2 軟體計算，移動站之分布如圖 3.18 所示，共有 838 站。在擬合重大地震事件之坐標時間序列下，將所有 GNSS 移動站移除重大地震事件的殘差值進行整體平均，並以三倍標準差剔除精度不佳之 23 個測站，如表 3.10、圖 3.19 所示，得到整體 GNSS 移動站的平均精度，在 E、N、U 方向分別為 ± 22.7 mm、 ± 9.9 mm、 ± 25.0 mm，水平方向為 ± 25.3 mm，移動站坐標精度統計如

圖 3.20 所示。以 GNSS 移動站的兩倍精度(95 %信心區間)繪製 E、N、U 以及水平方向之測站坐標精度分布如圖 3.21 至 3.24 所示。

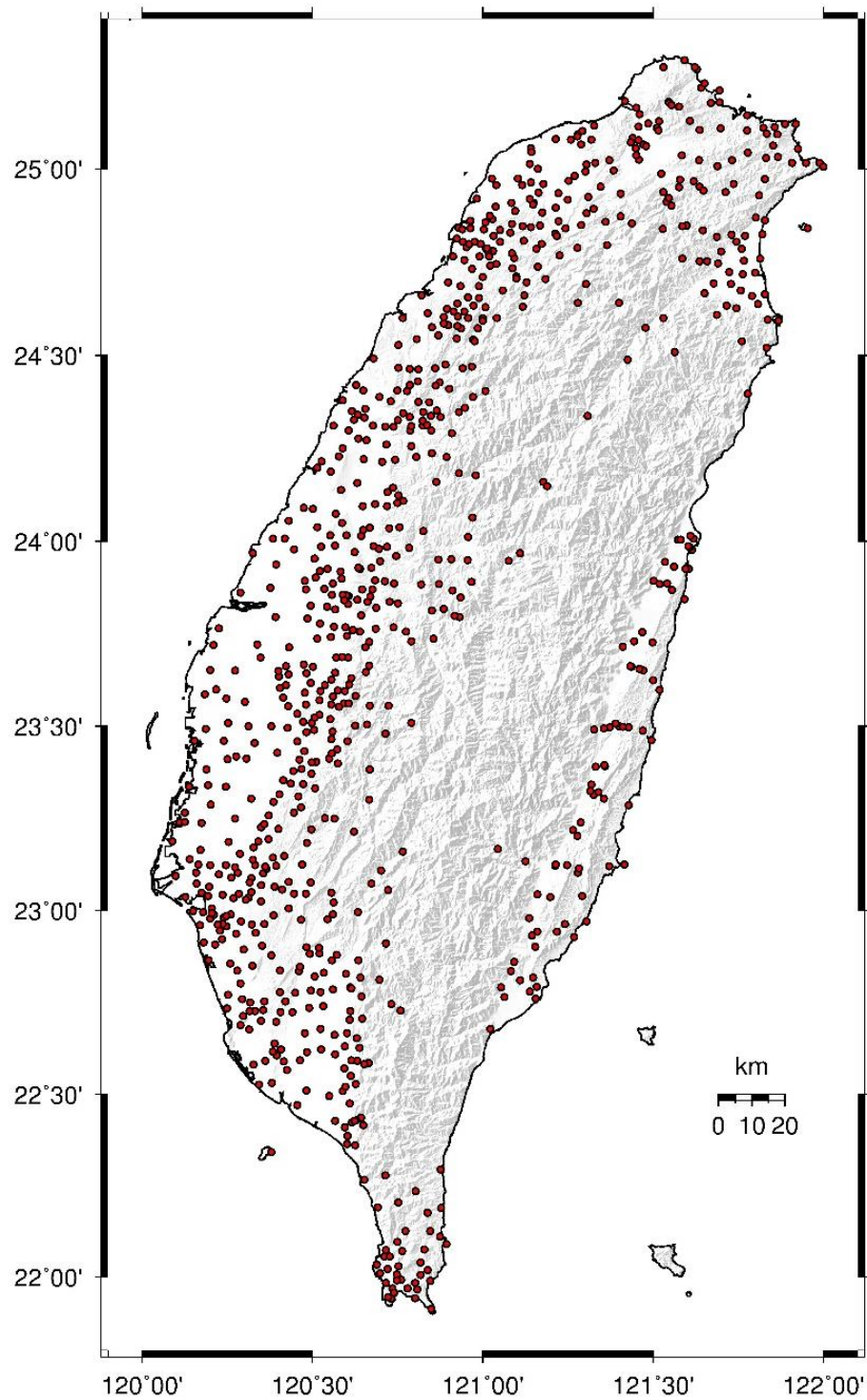


圖 3.18 地調所移動站分布情形

表 3.10 坐標精度不佳之移動站

測站	位置	E 方向 (±mm)	N 方向 (±mm)	U 方向 (±mm)	水平方向 (±mm)
F001	南投	38	14.9	84.9*	40.8
G178	苗栗	26.5	13.2	87.2*	29.6
G331	嘉義	27.1	12.8	76.3*	30
G412	臺南	38.1	12.7	75.7*	40.1
G447	臺南	25.3	28.9	90.3*	38.4
G843	嘉義	84.3	27.2	59	88.6*
G959	臺中	55.3	25.6	96.1*	60.9
GA98	桃園	79.5*	14.7	52.1	80.9*
GD08	苗栗	80.7*	37.8*	15.6	89.1*
GD10	苗栗	40.5	9.5	98.9*	41.6
GE59	宜蘭	46	5.4	78.5*	46.3
GE72	高雄	37.7	29.9*	37.4	48.1
GE77	臺南	24.6	31.4*	35.2	39.8
GF41	苗栗	37.6	7.1	95.6*	38.2
GF44	苗栗	72.0*	7.5	46.2	72.4
GF59	高雄	39.5	30.0*	30.8	49.6
GF60	高雄	43.2	30.8*	26.3	53.1
GG58	宜蘭	73.9*	40.9*	82.6*	84.4*
GG59	新北	33.4	32.8*	16.1	46.8
M456	苗栗	82.9*	10.4	23.8	83.5*
N041	宜蘭	81.7*	32.6*	59.6	88.0*
N052	宜蘭	43.1	22.1	96.7*	48.4
S264	臺東	84.9*	12.1	94.1*	85.8*

說明：在擬合重大地震事件之時間序列分析下，坐標精度不佳之測站，

*為超出三倍標準差之量值

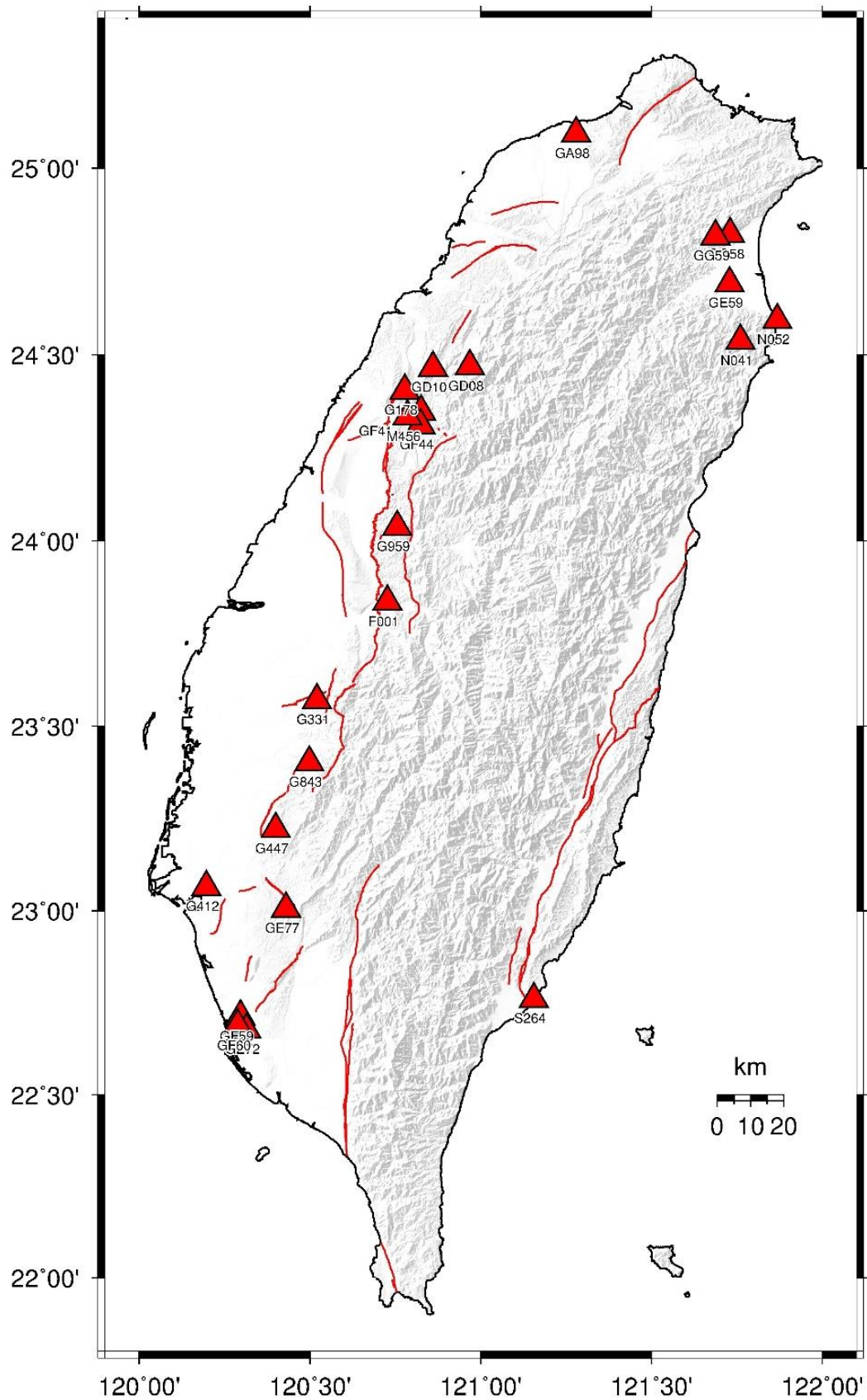


圖 3.19 坐標精度不佳之移動站分布圖

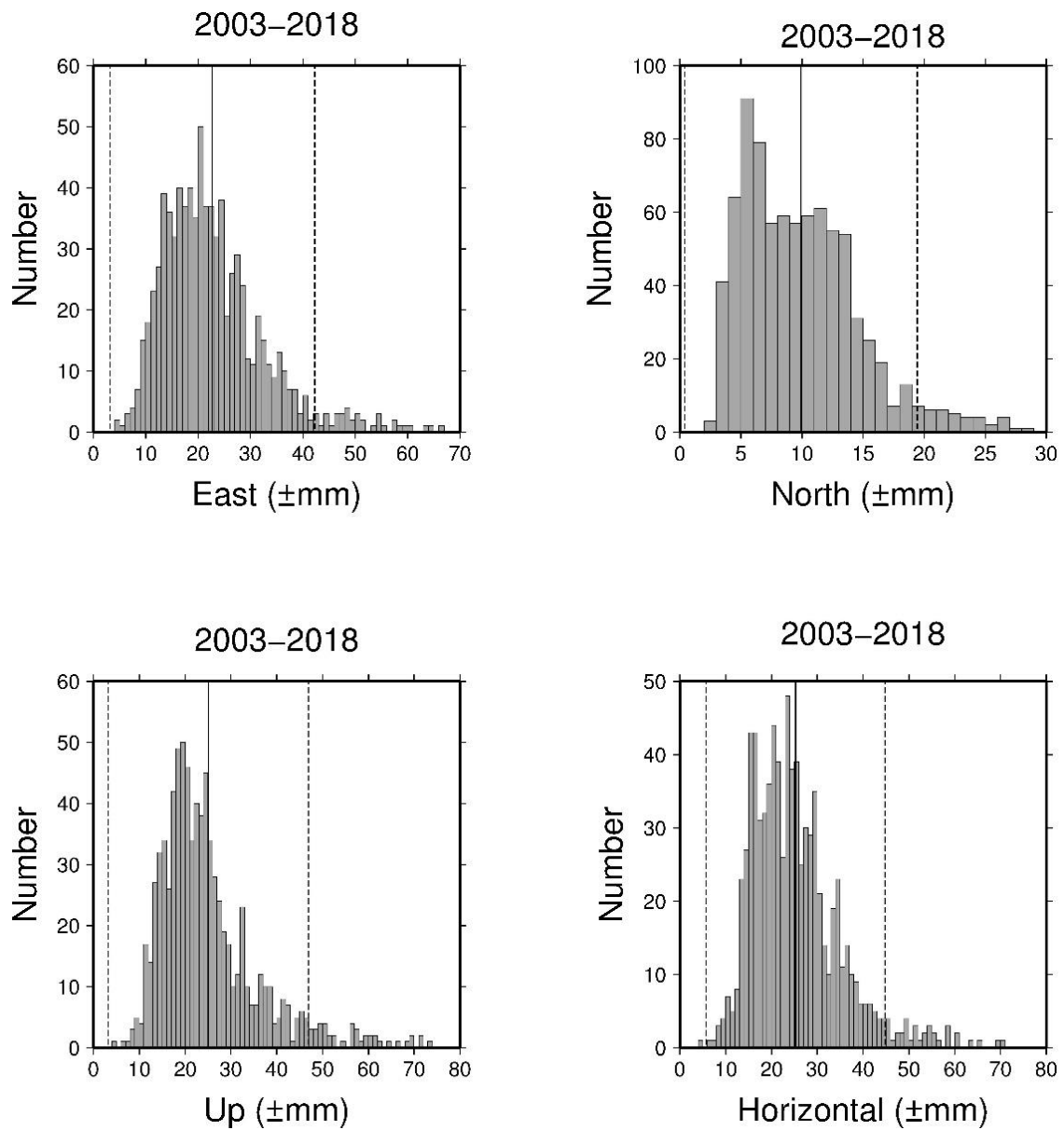


圖 3.20 擬合重大地震事件之移動站坐標精度統計圖

說明：黑色實線為測站平均精度，虛線為 95%信心水準範圍

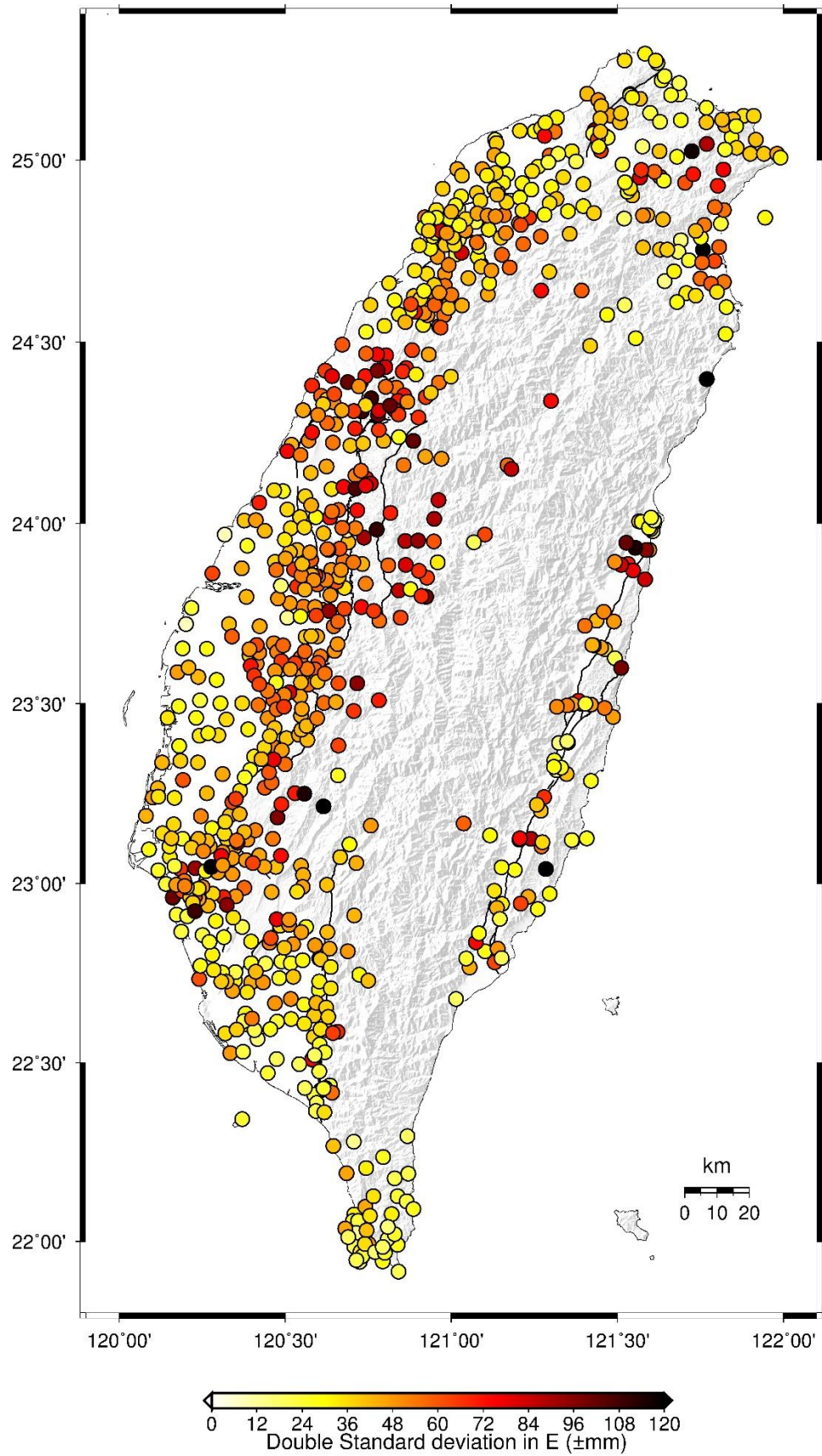


圖 3.21 臺灣地區移動站坐標 E 分量之精度空間分布圖

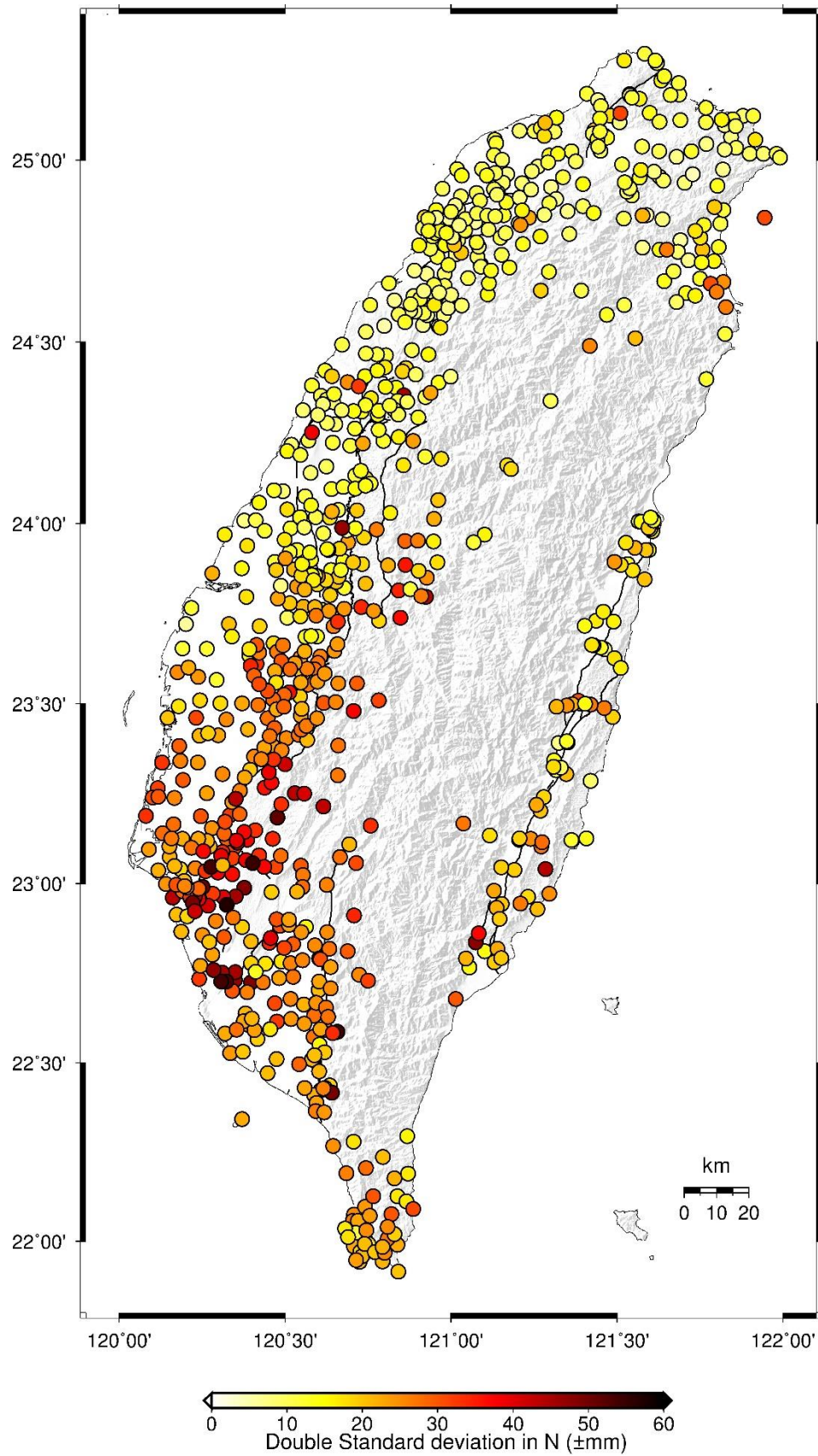


圖 3.22 臺灣地區移動站坐標 N 分量之精度空間分布圖

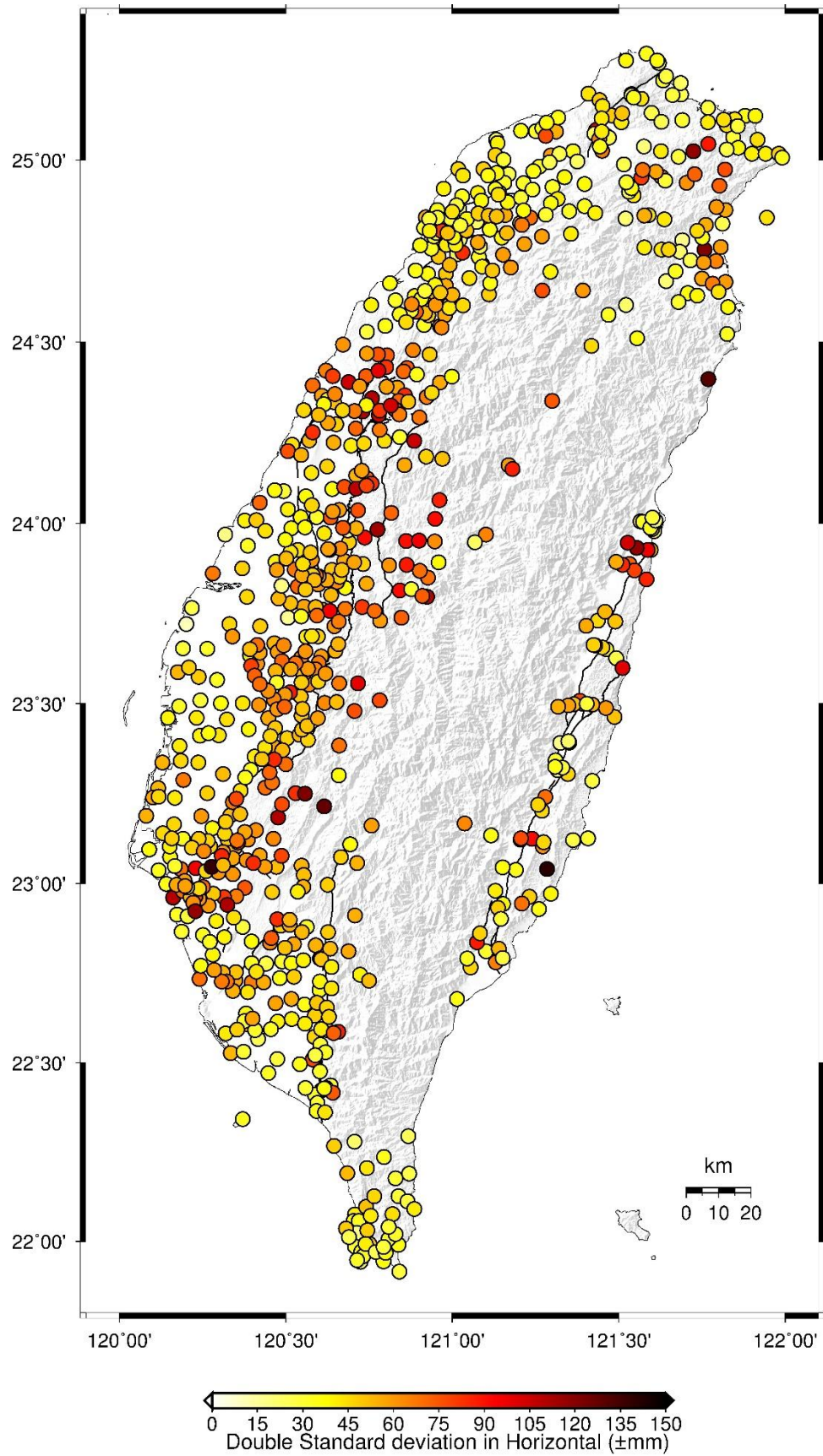


圖 3.23 臺灣地區移動站坐標平面之精度空間分布圖

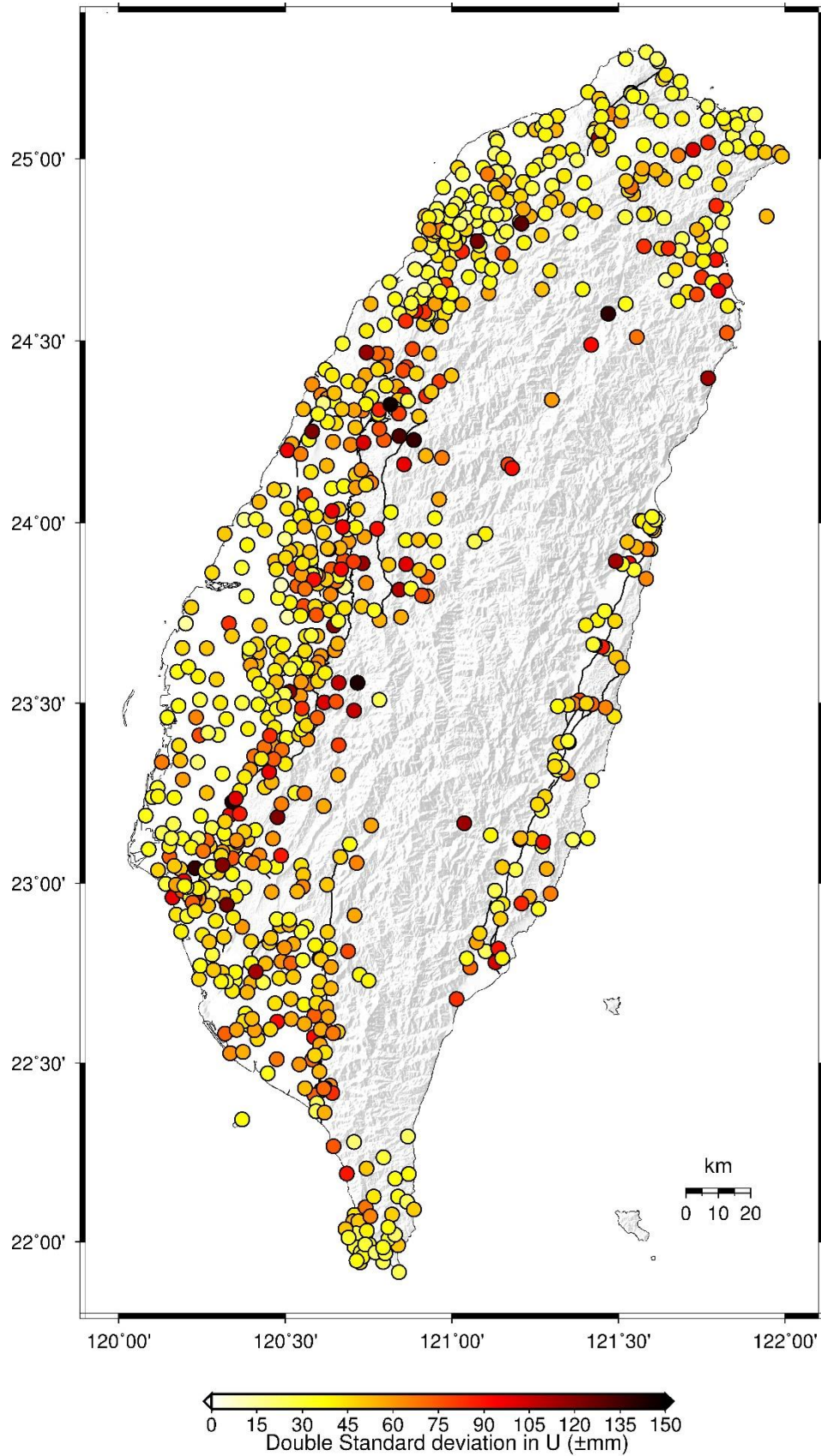


圖 3.24 臺灣地區移動站坐標高程之精度空間分布圖

臺灣地區移動站於 E 方向在西南部山麓地區、東部地區誤差有較大的誤差，N 方向精度明顯優於 E 方向精度，高程方向在全臺各地區皆有相當大的誤差，與連續站誤差分布情形一致，但整體精度遠差於連續站，應與移動站觀測次數較少有關。

3.5 e-GNSS[2019]坐標成果計算

108 年案以相同的解算策略計算 2018 年 12 月 1 日至 2019 年 1 月 31 日國內各 GNSS 連續站的觀測資料，並納入位於新竹的 TWTF 與 TNML 等 2 個 IGS 國際站參與計算，以測繪中心 LSB0 的 TWD97[2010]公告坐標為最小約制資訊，解算 2019 年 1 月 1 日 e-GNSS 各基準站的坐標，進行相對於 TWD97[2010]坐標的較差分析如圖 3.25 與圖 3.26 所示，以作為更新至 e-GNSS[2019]的依據。

分別由圖 3.25(水平分量)與圖 3.26(垂直分量)之較差成果可以顯示，在水平分量方面，臺灣的東半部地區以及西南部地區，具有較大的坐標較差量，其與臺灣地區的地表速度場趨勢一致(參閱第五章的分析成果)，亦即為維護 e-GNSS 系統運作的精準度，應修正其基準站的相對坐標精度；而就垂直分量部分，呈現西南部地區為沉陷區域，山區及東部的大部分地區為抬升現象，突顯出西南沿海地層下陷的情況，在高程資訊的相關應用中，應予以相對之修正，而能確保成果的品質。有關 e-GNSS 之說明請參閱測繪中心網頁(e-GNSS 即時動態定位系統 <https://egnss.nlsc.gov.tw/content.aspx?i=20150625101919243>)。

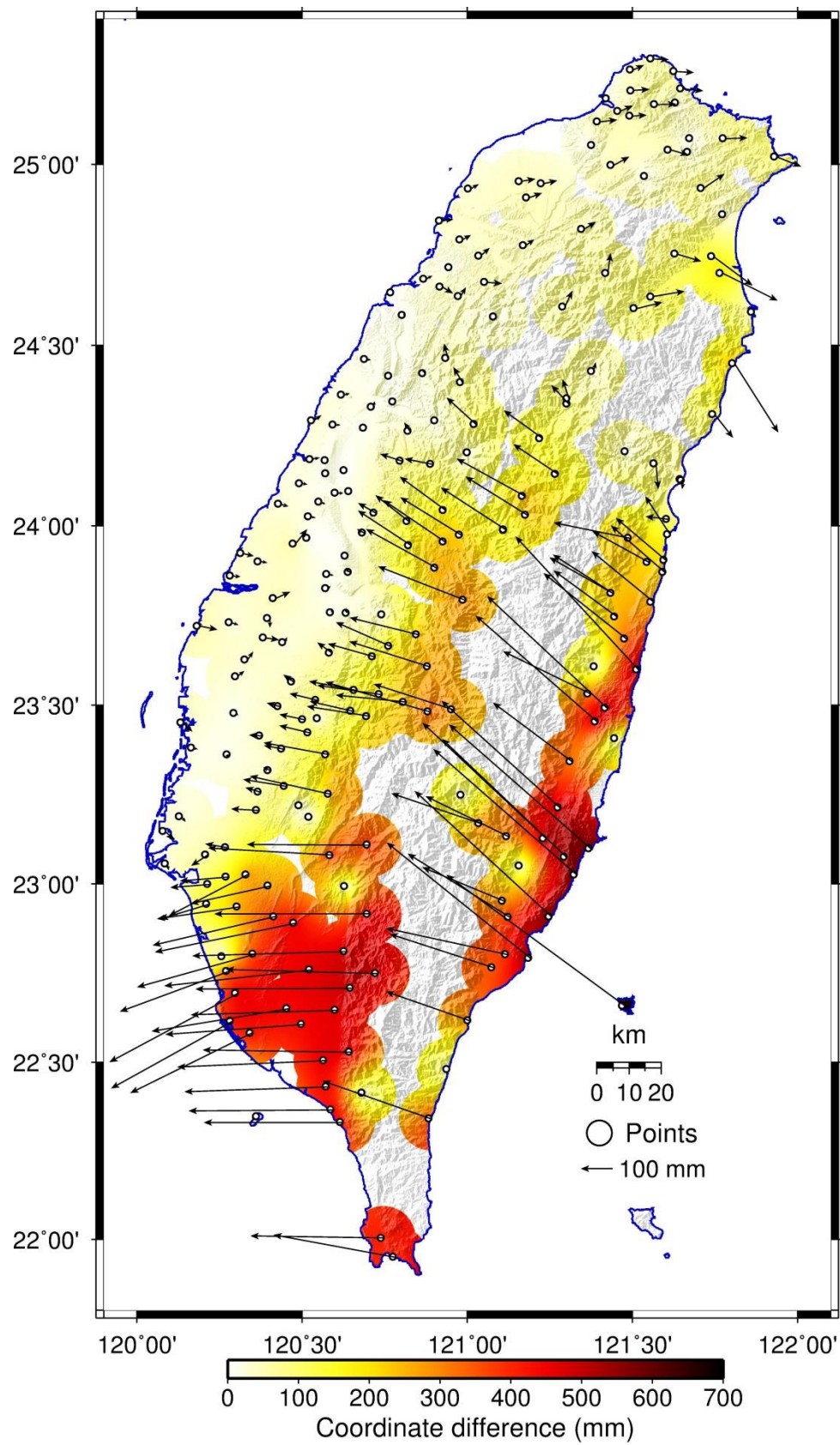


圖 3.25 e-GNSS[2019]成果與 TWD97[2010]坐標較差圖(水平分量)

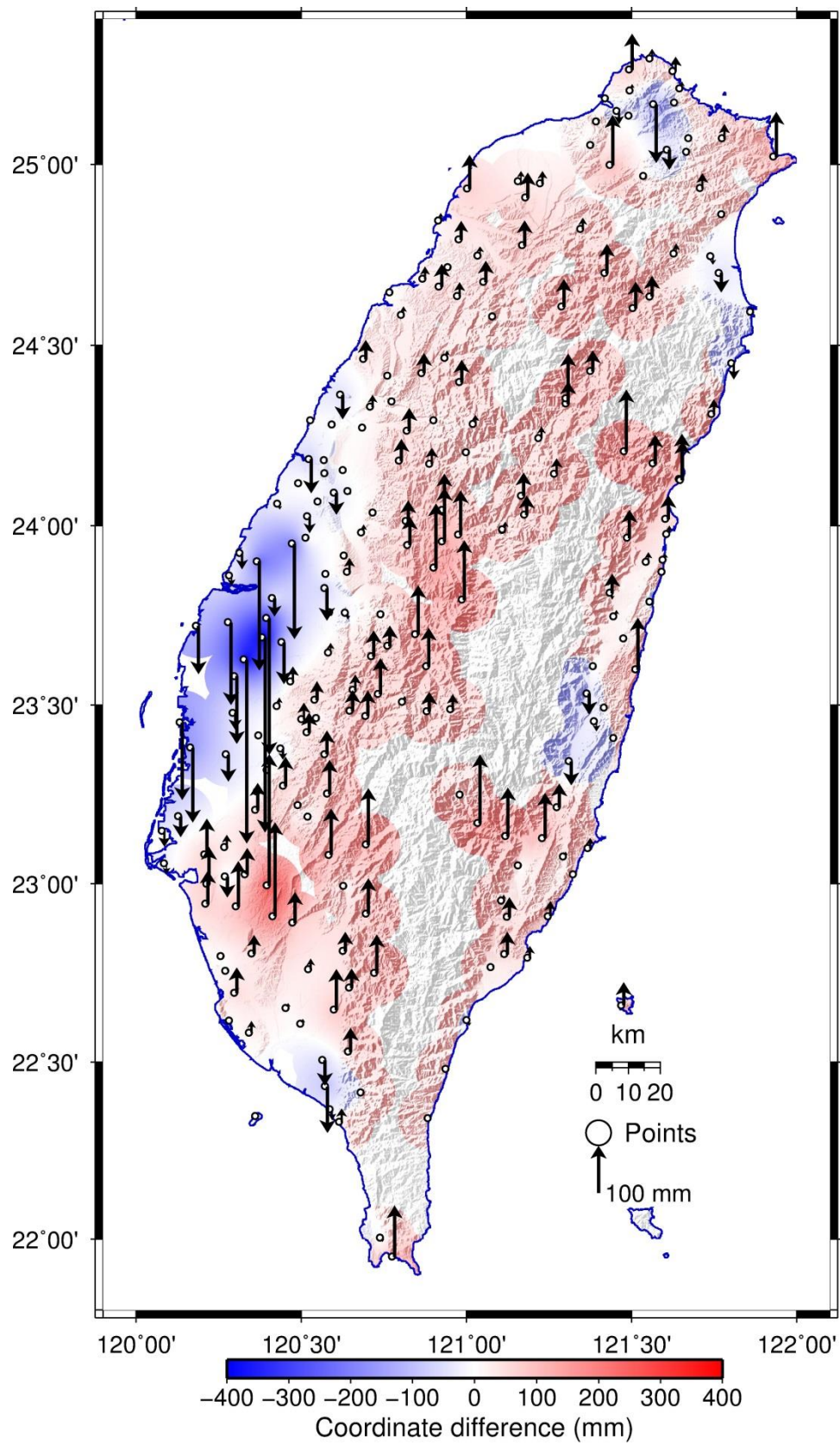


圖 3.26 e-GNSS[2019]成果與 TWD97[2010]坐標較差圖(垂直分量)

第四章 現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式

本工作項目延續 102、105～107 年案(內政部國土測繪中心,2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017 ; 2018)，參考蒐集各國「半動態基準」的相關文獻，持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式，因此，108 年案主要辦理速度格點模型之更新分析，敘述如下：

4.1 速度網格模型更新

在 102、105～107 年案中，已利用 3.1 節臺灣本島地區的 GNSS 觀測站資料，建立臺灣本島地區的水平速度場模型，提供臺灣半動態基準所需的變形模式。今年度持續蒐集各單位的 GNSS 站資料，並結合各站歷年解算成果以及扣除表 3.9 所列測站，進行各測站坐標時間序列擬合與速度估計，並以克利金法(Kriging)更新速度格點模型。

4.1.1 臺灣地區不同時期之水平速度場

本節整合歷年案的 GNSS 站成果(自 2003 年 1 月 1 日開始至 2019 年 9 月 30 日)，並參考表 3.8 所列自 2003 年 12 月 10 日成功地震至 2018 年花蓮地震等重大地震事件，進行坐標時間序列擬合，由擬合成果發現，2013/3/27 南投地震、2015/2/14 台東外海地震、2016/5/12 宜蘭地震均未造成明顯的速度改變，因此未納入修正；另外，在歷年 GNSS 解算成果中，於 2016 年 10 月 1 日之前為 Bernese 5.0 成果，其後為 Bernese 5.2 成果，兩者差異以 1 個擬合參數吸收。由分析結果發現，地表速度改變的時間點大多集中在重大地震發生時間以及震央

附近區域，其與地震事件具有一致性。因此，本節參考表 3.8 將水平速度場分為 12 個時期，如圖 4.1 至圖 4.4 所示。

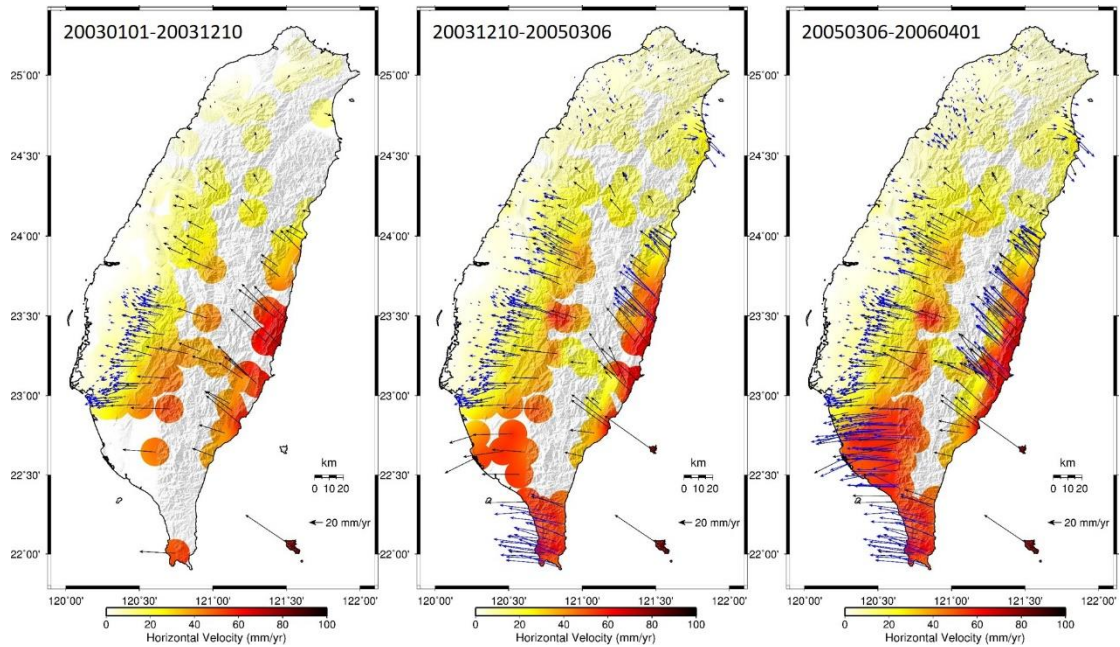


圖 4.1 相對於金門站(KMN)之水平速度場(1) 2003/1/1-2006/4/1

說明：黑色箭頭為連續站速度，藍色箭頭為移動站速度

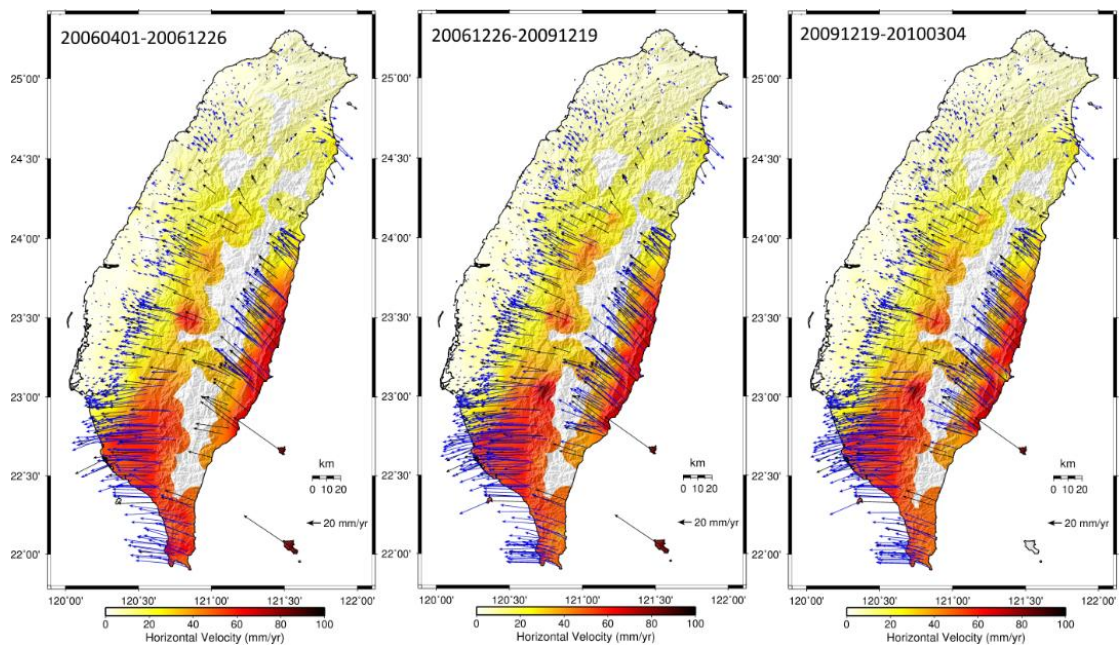


圖 4.2 相對於金門站(KMN)之水平速度場(2) 2006/4/1-2010/3/4

說明：黑色箭頭為連續站速度，藍色箭頭為移動站速度

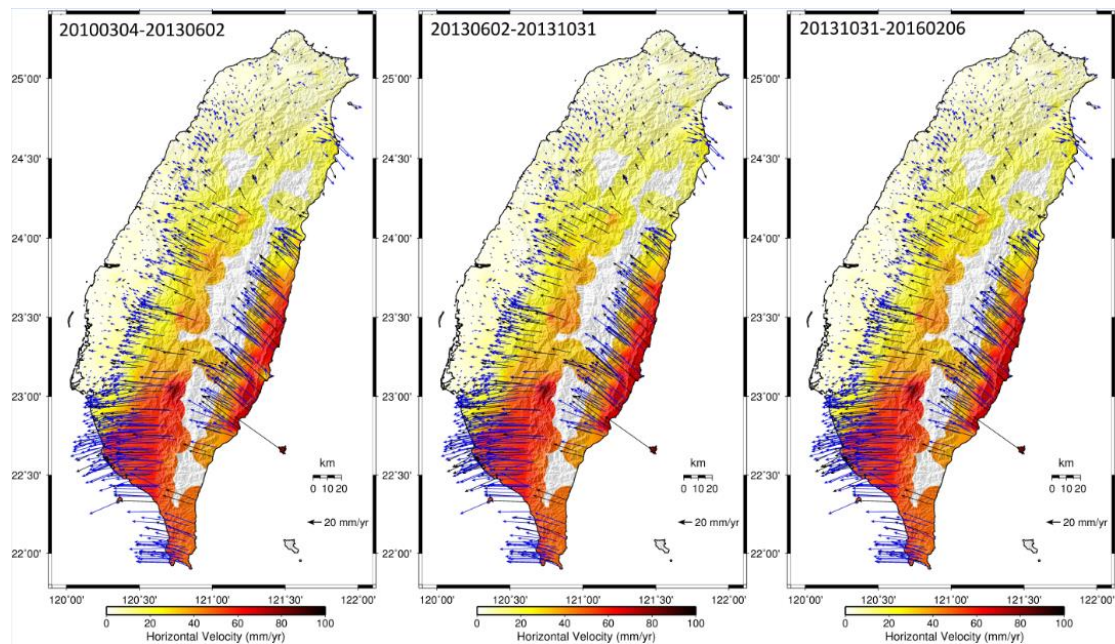


圖 4.3 相對於金門站(KMNM)之水平速度場(3) 2010/3/4-2016/2/6

說明：黑色箭頭為連續站速度，藍色箭頭為移動站速度

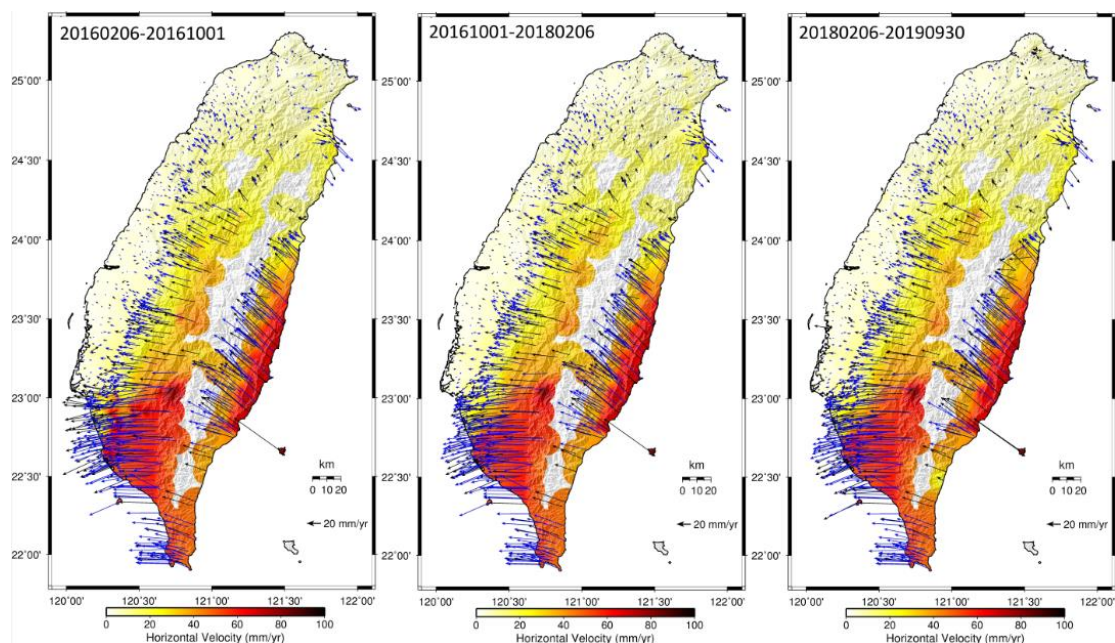


圖 4.4 相對於金門站(KMNM)之水平速度場(4) 2016/2/6-2019/9/30

說明：黑色箭頭為連續站速度，藍色箭頭為移動站速度

由分析結果得知，GNSS 連續站之速度場整體精度平均值在 E, N, U 方向分別為 ± 0.60 mm/yr、 ± 0.48 mm/yr、 ± 1.41 mm/yr，並以水平分量(E、N)的三倍平均精度 ± 1.79 mm/yr、 ± 1.43 mm/yr 為篩選門檻，同時參考各測站的坐標時間序列擬合圖、資料解算成功時間期以及水平速度場圖，篩選出不適合納入模型建置的測站，共計 13 個站如表 4.1 所示。

其次，在移動站方面，其速度場整體精度的平均值在 E、N 方向分別為 ± 9.17 mm/yr、 ± 2.68 mm/yr，且沒有明顯速度擬合異常的測站，因此以其精度平均值的三倍量為門檻，篩選出 54 個測站不納入水平速度網格模型之建置。

表 4.1 不納入模型建立之連續站

序號	測站	E 方向標準差	N 方向標準差	備註
		($\pm$ mm/yr)	($\pm$ mm/yr)	
1	GS51	6.576*	4.175*	
2	GS53	6.198*	4.349*	
3	GS89	1.917*	1.281	
4	HOBE	2.532*	1.389	
5	JSUI	3.767*	1.924*	
6	LNCH	3.897*	3.319*	
7	MAJA	5.325*	3.865*	
8	PEIN	2.244*	5.093*	
9	SUA2	3.466*	1.108	
10	TAPU	2.871*	2.297*	
11	TAYN	8.305*	5.899*	
12	TC13	43.683*	9.416*	
13	YUSN	3.528*	1.547*	

說明：*為超出三倍速度標準差之量值

4.1.2 水平速度擬合穩定度測試

由擬合分析結果可知，測站資料如果過短將造成速度的擬合標準差較大，並使得擬合的速度無法呈現穩定的成果。因此，為了解多長之資料所估計的速度始能穩定而能納入模型的建置之中？本節選取 40 個測站進行速度擬合的穩定度測試，其中，20 個測站位於速度量值較大的西南部地區(臺南、高雄)，10 個測站位於東部地區(花蓮、臺東)，其餘 10 個測站位於速度量值較小之北部地區(新北、桃園、新竹、苗栗)，並選擇 2010/3/4 甲仙地震至 2016/2/6 美濃地震共 6 年之長期穩定震間期資料，測站分布如圖 4.5 所示。

水平速度擬合時期計分別為 6 個月、1 年、2 年、3 年、4 年、5 年、6 年等，可發現速度擬合的標準差隨時間的增長，整體平均精度在 E 方向由 ± 2.48 mm/yr 逐漸下降至 ± 0.05 mm/yr，N 方向則由 ± 1.89 mm/yr 逐漸下降至 ± 0.04 mm/yr，如圖 4.6、4.7 所示，6 個月時期的水平擬合精度最差，東部測站的精度又較低於西南部與北部地區，而 1 年期的水平速度擬合精度已優於連續站速度場的整體精度，且各地區的差異不大，並且亦發現，在 3 至 6 年期的水平速度之擬合精度較佳，其隨著資料時間增長而改善。

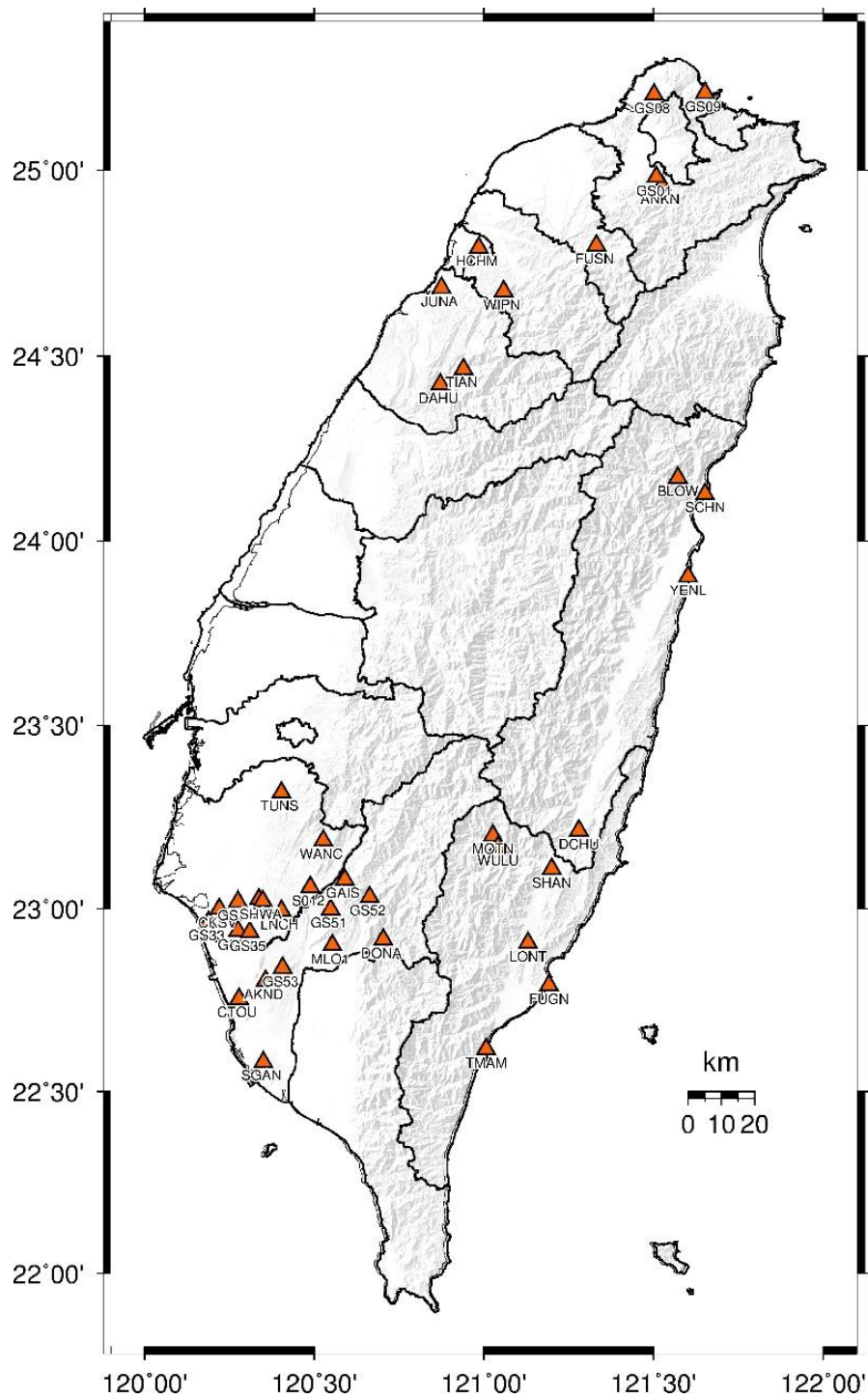


圖 4.5 速度擬合穩定度測試測站分布圖

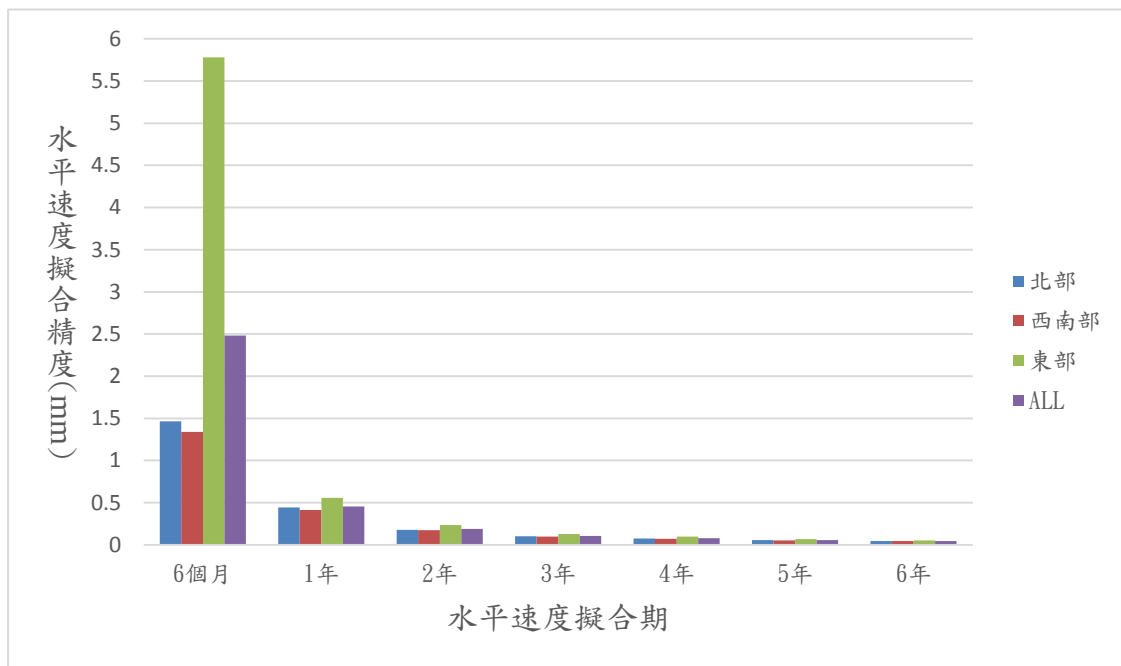


圖 4.6 不同水平速度擬合期之 E 方向速度標準差

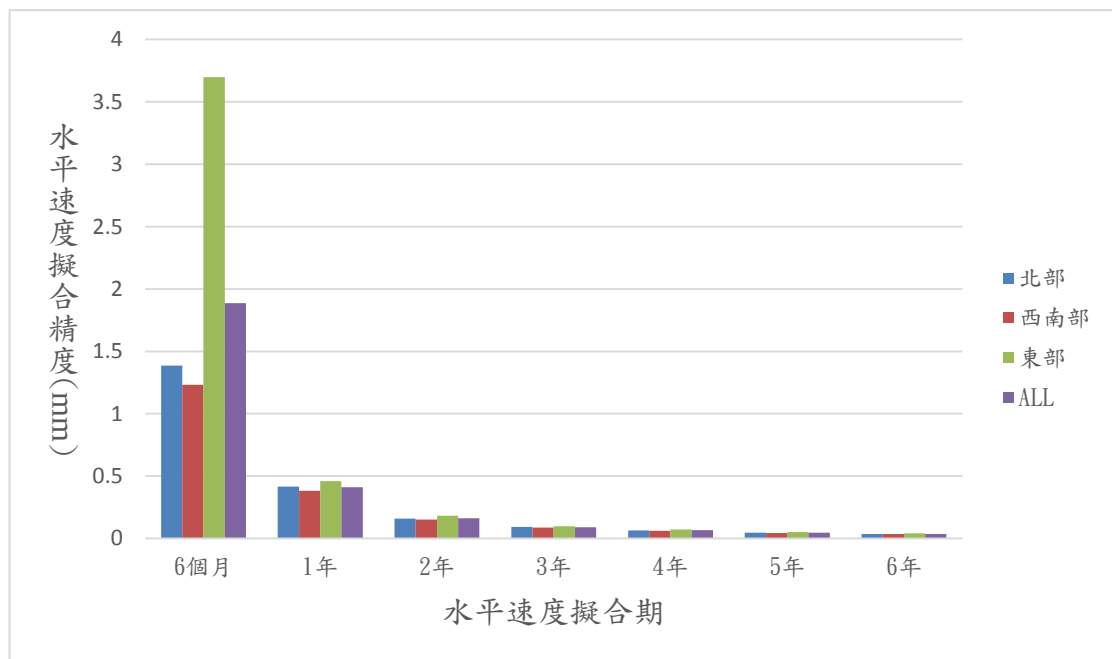


圖 4.7 不同水平速度擬合期之 N 方向速度標準差

本節採用均方根誤差(Root Mean Square, RMS)評估水平速度場擬合精度，將 6 年期所擬合的速度值視為基準值，分別與 6 個月、1 年、2 年、3 年、4 年、5 年期擬合的速度值，依(4-1)式計算 RMS 值，其整體的平均值在 E 方向由 ± 7.82 mm/yr 下降至 ± 0.51 mm/yr，N 方向則由 ± 7.74 mm/yr 下降至 ± 0.35 mm/yr，如圖 4.8、4.9 所示，不同資料長度擬合之較差 RMS 值與速度擬合精度一致，其中，6 個月與 1 年期的誤差較大，3 至 5 年期水平速度擬合的誤差差異不大。

由上述分析可得知，N 方向擬合的精度整體大於 E 方向，並以東部地區精度最差、西南部地區次之、北部地區最佳。當西南部與北部地區測站累積 2 年以上的資料時，其擬合之速度值較為穩定，東部地區則需累積 3 年以上資料較佳，故未來進行速度場模型建置時，整體而言，宜累積 3 年以上穩定長期之測站資料，對於僅 1 年以內的測站坐標資料，則需注意速度值估計之不穩定情況。

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (4-1)$$

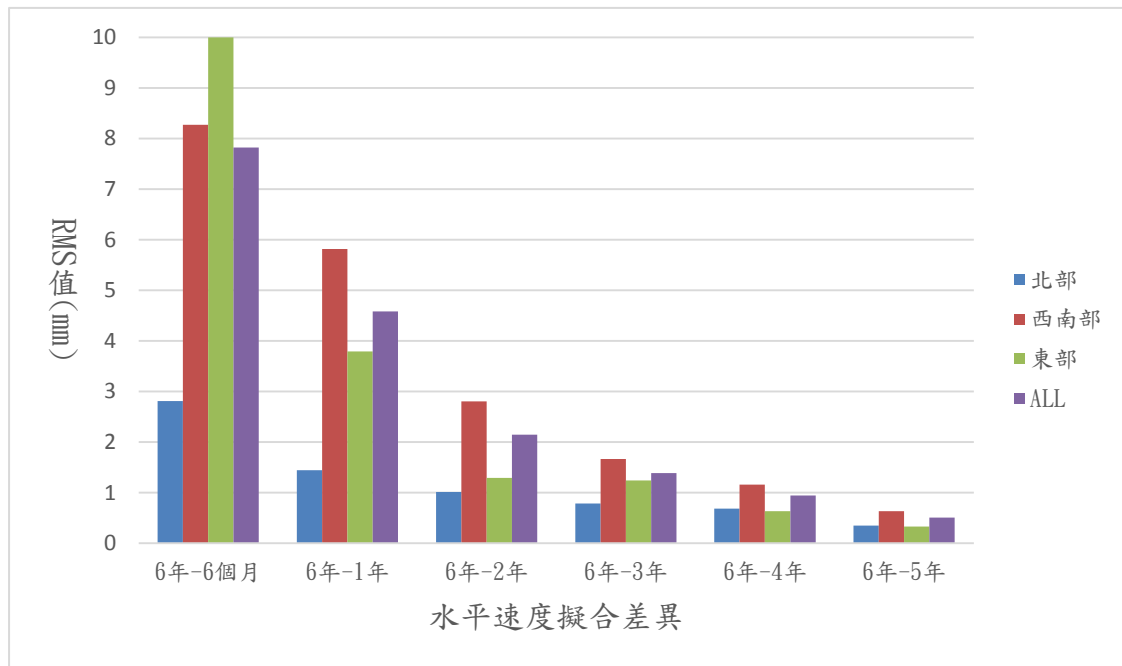


圖 4.8 不同期間水平速度擬合之 E 方向差異 RMS 值

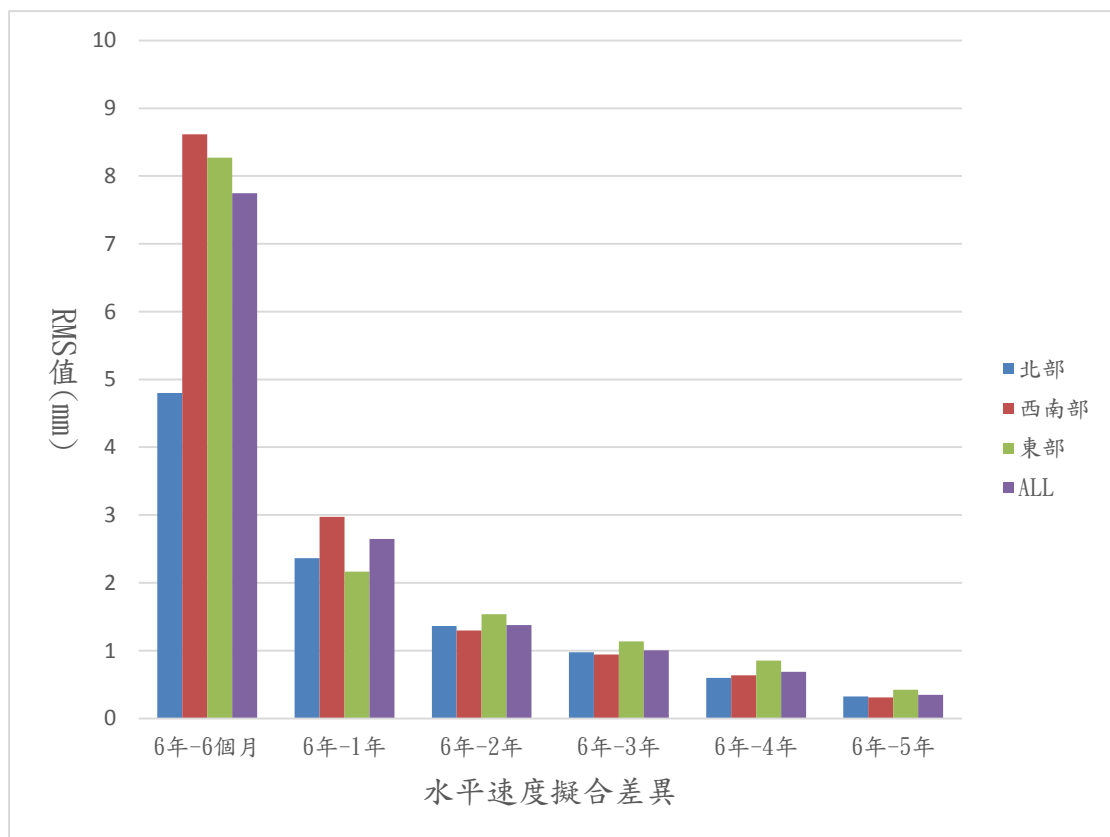


圖 4.9 不同期間水平速度擬合之 N 方向差異 RMS 值

4.1.3 速度網格模型之建置

108 年案共解算得 442 個連續站與 838 個移動站之每日坐標時間序列資料，並劃分 12 個時期的水平速度場以建立水平速度網格模型 (§4.1.1 節)，其中，連續站剔除 13 個速度擬合精度不佳與速度擬合異常之測站，並另選擇坐標變化穩定且均勻分布於臺灣各地區的 19 個測站作為外部精度檢核站，如圖 4.10，其將暫不納入速度模型之建置，同時，亦排除 23 個外島測站；而在移動站部分，則以其三倍的速度平均精度值為門檻，篩選出 54 個測站不納入模型建置。因此，本計畫使用 387 個連續站與 784 個移動站的水平速度值，並利用克立金內插法建置水平速度網格模型，採用的框架為 ITRF94 時刻 2010.0。

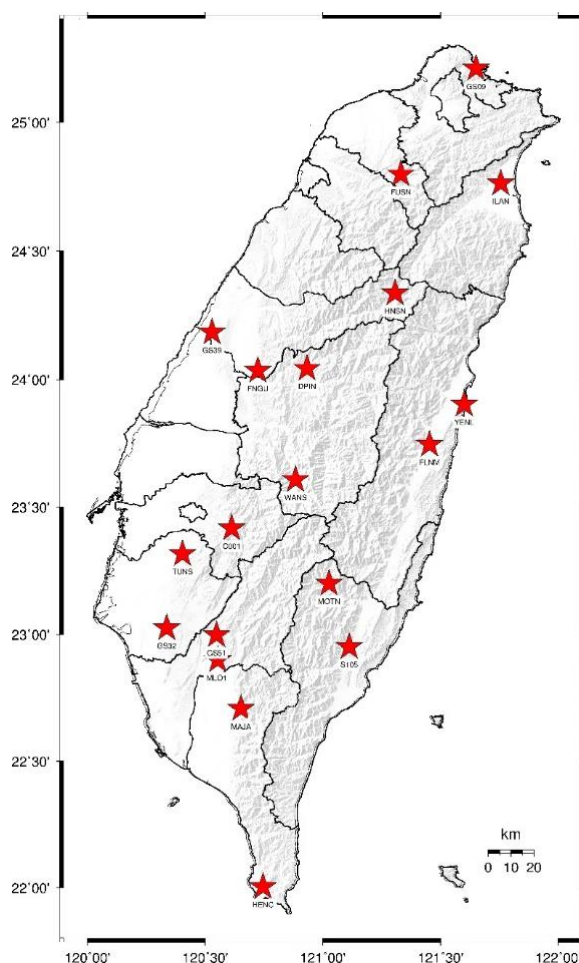


圖 4.10 暫未納入模型建置之外部精度檢核站

本計畫使用 GS+軟體建立水平速度網格模型，GS+為一以時間及空間統計方法來推估時間與空間資料分布的軟體。然而，由於臺灣東部的池上斷層為一顯著的潛移斷層，跨斷層兩側速度變化為不連續性變化。因此，本計畫以池上斷層為界，將兩側分別進行空間內插，最後再整合成全區的水平速度網格模型，而其半變異元模式則有線性、指數、球面、高斯等函數，本計畫以殘差平方和最小的函數作為最佳函數，並設定 GS+軟體的內插網格為 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ ，據此得到水平速度網格模型成果如圖 4.11 至 4.14 所示。

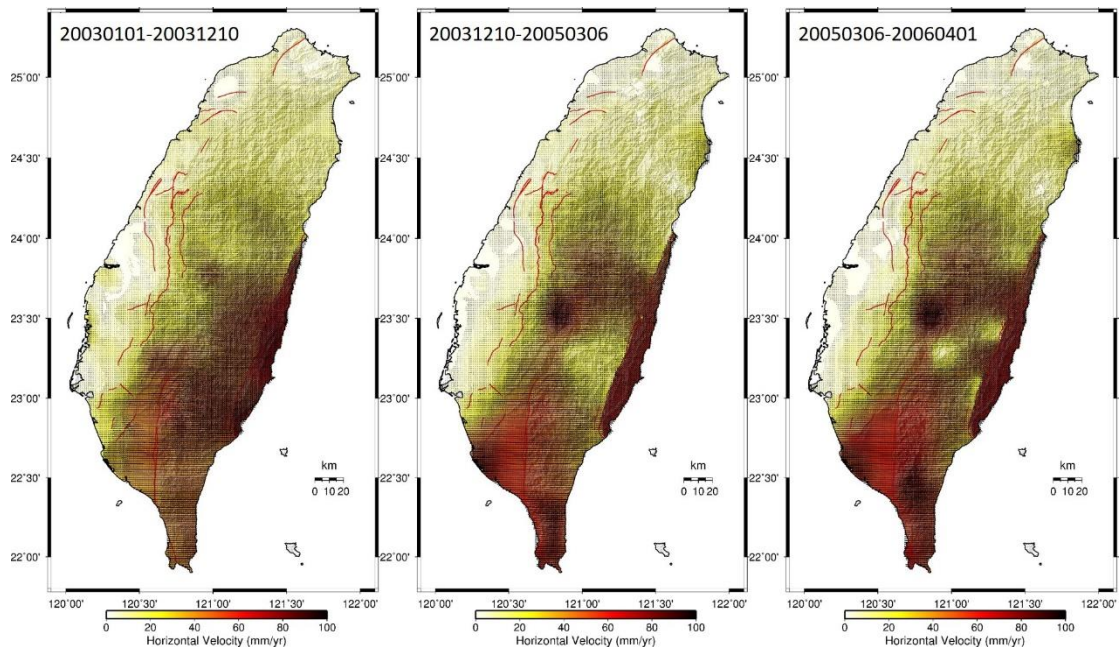


圖 4.11 水平速度網格模型(1) 2003/1/1-2006/4/1

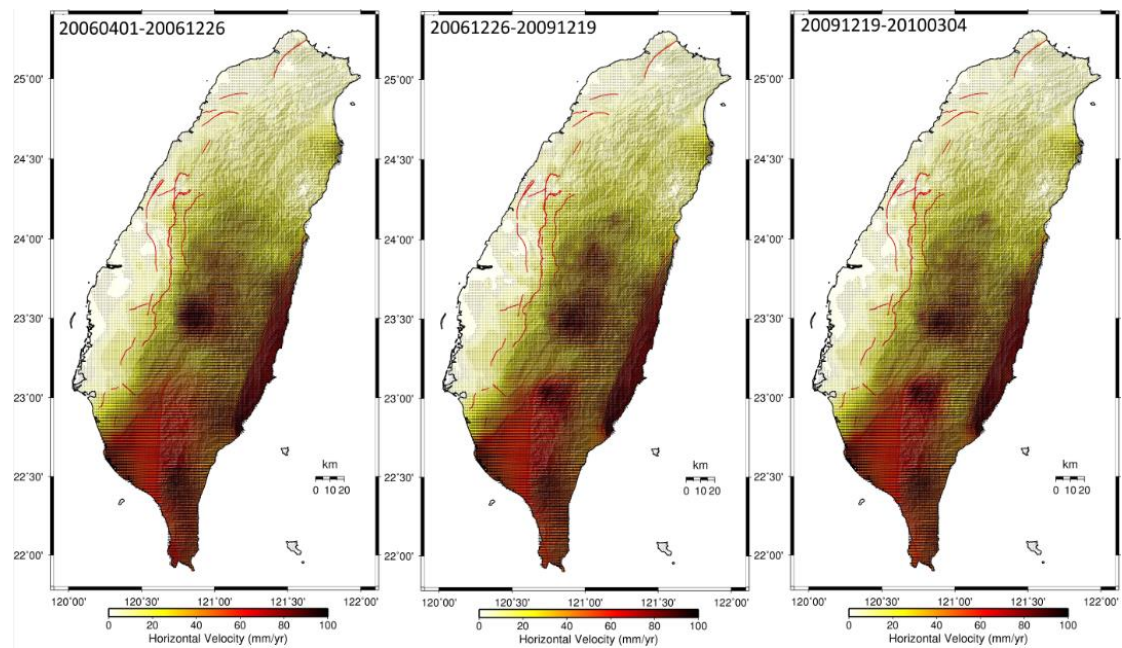


圖 4.12 水平速度網格模型(2) 2006/4/1-2010/3/4

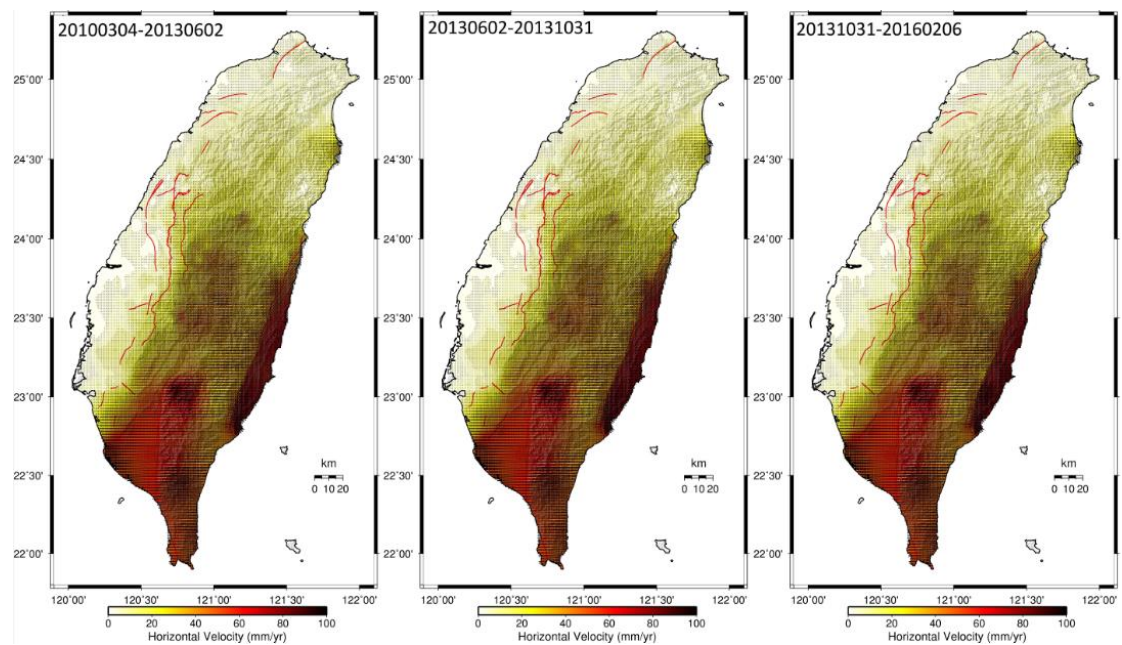


圖 4.13 水平速度網格模型(3) 2010/3/4-2016/2/6

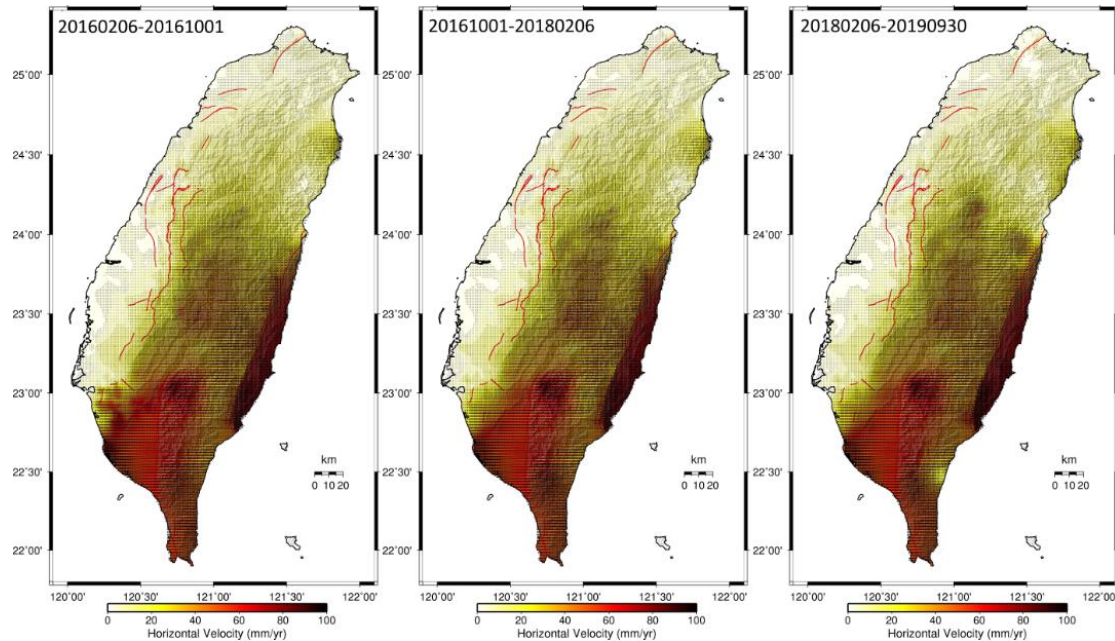


圖 4.14 水平速度網格模型(4) 2016/2/6-2019/9/30

4.1.4 水平速度網格模型精度檢驗

本節將 12 個時期的水平速度網格模型輸入本計畫建置的更新變形模式應用軟體以進行精度檢驗，更新變位模式軟體亦同時包含 6 個同震位移網格模型。使用者可以透過此軟體之操作介面輸入坐標資料的起始日期，以及欲輸出的日期，軟體即會自輸入的日期開始，以該日期所位於的速度時期之對應速度值依據時間間隔推估測站的變位量，並當經過同震位移網格模型之日期時，進行同震位移的修正，依此類推直到輸出的日期為止，最後將總和的變位量輸出。圖 4.15 為更新變形模式軟體的管理者端，圖 4.16 為使用者端，更新變形模式將待算點鄰近之最近四個網格點進行雙線性內插，得到待算點的速度及位移量，其呈現的種類有卡式坐標、經緯度與二度 TM 坐標。

為評估模型之精度，本計畫利用圖 4.10 之 19 個暫未納入模型的連續站作為檢核站，選擇 2003 年至 2018 年的 7 月 1 日的實測坐標成果，將檢核站之實測坐標與模型推估的坐標進行比較，得到較差的標準差平均值，在 E 方向為 ± 5.2 mm、N 方向為 ± 5.1 mm，並整理 19 個連續站的實測坐標與推估坐標隨時間累積的平均較差值，如圖 4.17、4.18 所示，E 方向累積 1 年至 15 年的平均較差由-1.3 mm 增加至-13.5 mm，N 方向由 1.6 mm 增加至 15.9 mm。

站次	日期	測站編號	上傳站	編輯	刪除
1	2003-01-01	總管-20030101	admin	編輯	刪除
2	2003-12-30	總管-20031230	admin	編輯	刪除
3	2005-03-06	總管-20050306	admin	編輯	刪除
4	2006-04-01	總管-20060401	admin	編輯	刪除
5	2006-12-26	總管-20061226	admin	編輯	刪除
6	2009-12-19	總管-20091219	admin	編輯	刪除
7	2010-03-04	總管-20100304	admin	編輯	刪除
8	2013-06-02	總管-20130602	admin	編輯	刪除
9	2013-10-31	總管-20131031	admin	編輯	刪除
10	2016-02-06	總管-20160206	admin	編輯	刪除
11	2016-10-01	總管-20161001	admin	編輯	刪除
12	2018-02-06	總管-20180206	admin	編輯	刪除
13	2010-03-04	內管-20100304	admin	編輯	刪除
14	2013-03-27	內管-3月度度地庫	admin	編輯	刪除
15	2013-06-02	內管-6月度度地庫	admin	編輯	刪除
16	2013-10-31	內管-10月度度地庫	admin	編輯	刪除
17	2016-02-06	內管-2月度度地庫	admin	編輯	刪除
18	2018-02-06	內管-2月度度地庫	admin	編輯	刪除

圖 4.15 測繪中心更新變位模式-管理者端

說明：管理者可新增、刪除或修改網格模型

E(mm)	N(mm)	U(mm)	Vp(mm/yr)	Vs(mm/yr)	Vu(mm/yr)	Dp(mm)	Ds(mm)	Du(mm)	sigma(E)	sigma(N)	sigma(U)
210388.457	2590618.114	0.000	-22.18	4.16	0.00	-2.87	0.53	-0.82	0.00	0.00	0.00

圖 4.16 測繪中心更新變位模式-使用者端

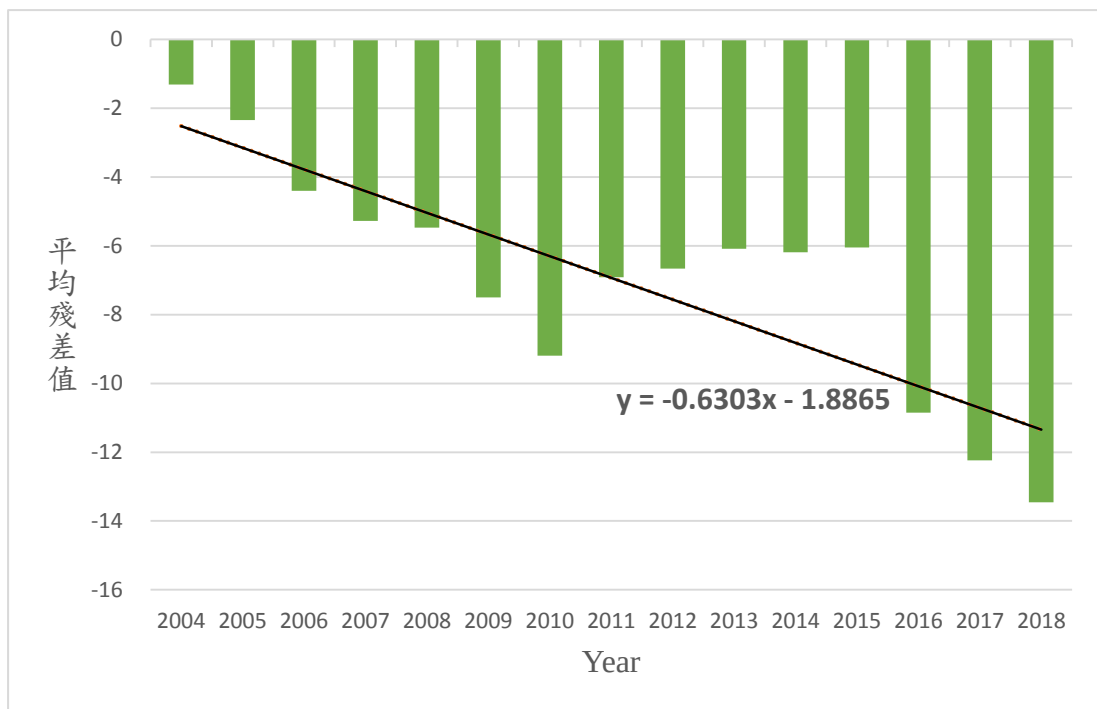


圖 4.17 實測與推估坐標 E 方向累積之平均較差值(mm)

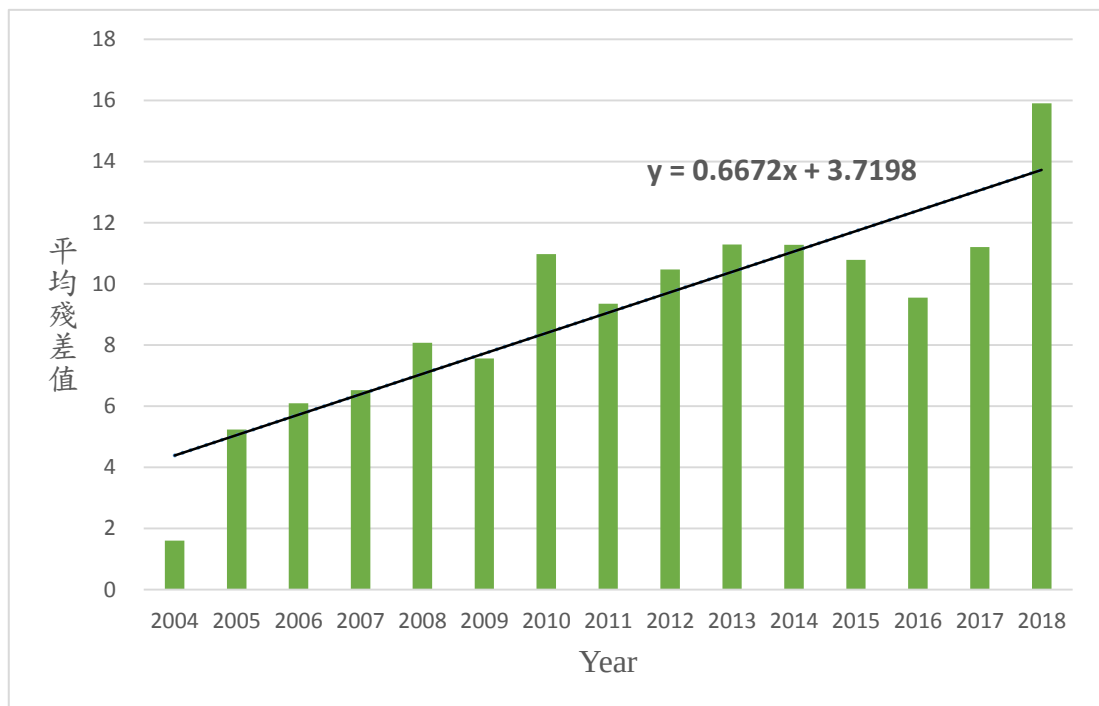


圖 4.18 實測與推估坐標 N 方向累積之平均較差值(mm)

由各檢核站實測坐標與推估坐標的較差圖可以發現，不同區域的較差值並不一致，本節以 S105 與 DPIN 兩測站為例，位置如圖 4.19 所以。圖 4.20、4.21 為 S105 在 E、N 方向之實測與推估坐標的較差，藍線為實測坐標之變化量，紅線為推估坐標之變化量，綠色直方圖即為每年累積之坐標較差，E 方向推估 15 年累積之較差量為 126.6 mm、N 方向為 105.5 mm；圖 4.22、4.23 為 DPIN 測站在 E、N 方向之實測與推估坐標的較差，E 方向推估 14 年累積之較差量為 -19.8 mm、N 方向為 3.2 mm，可以發現模型能有效修正地表變形產生的坐標變動量，但不同區域的修正幅度並不相同。

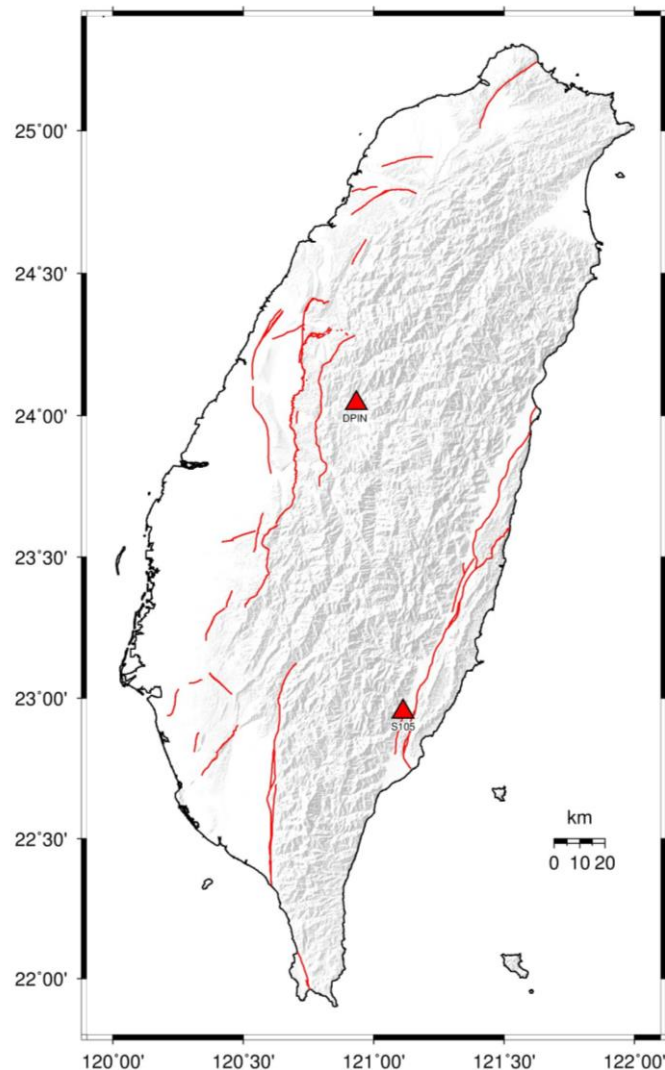


圖 4.19 S105、DPIN 與全臺斷層分布圖

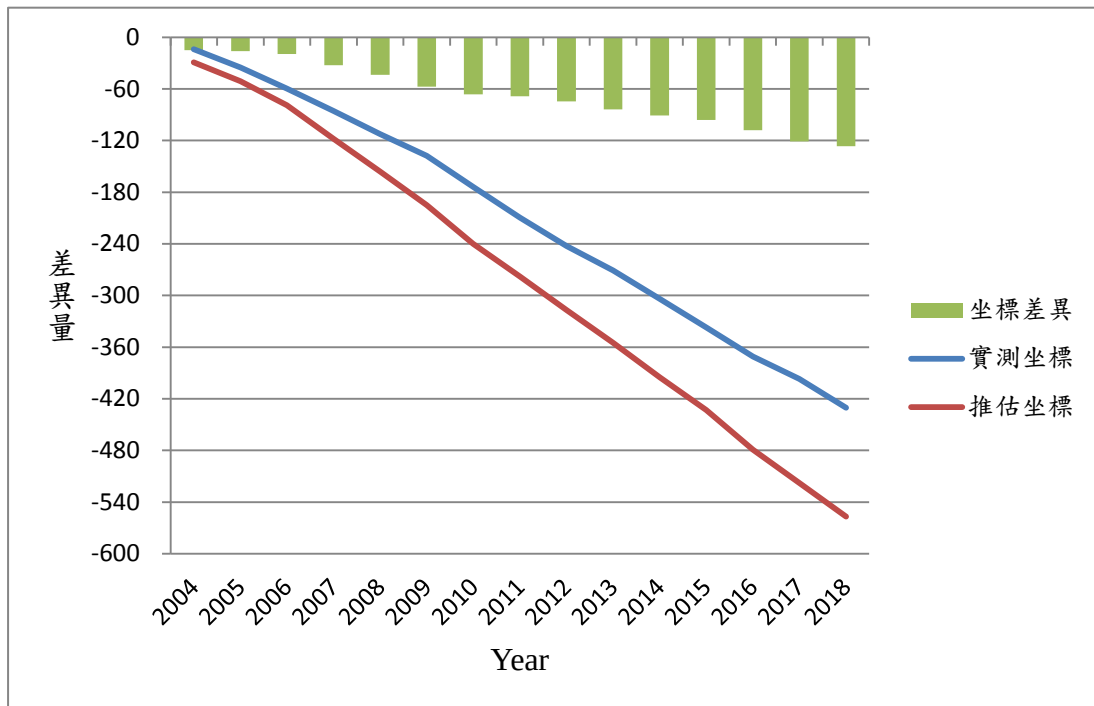


圖 4.20 S105 測站 E 方向之實測與推估坐標的較差量(mm)

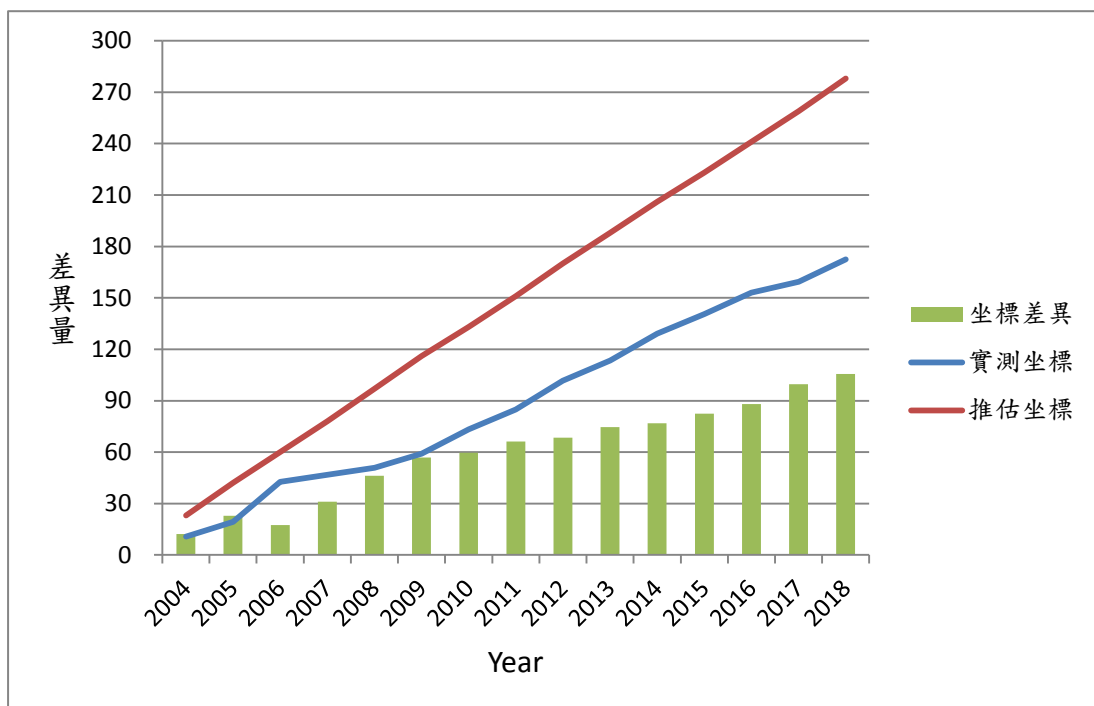


圖 4.21 S105 測站 N 方向之實測與推估坐標的較差量(mm)

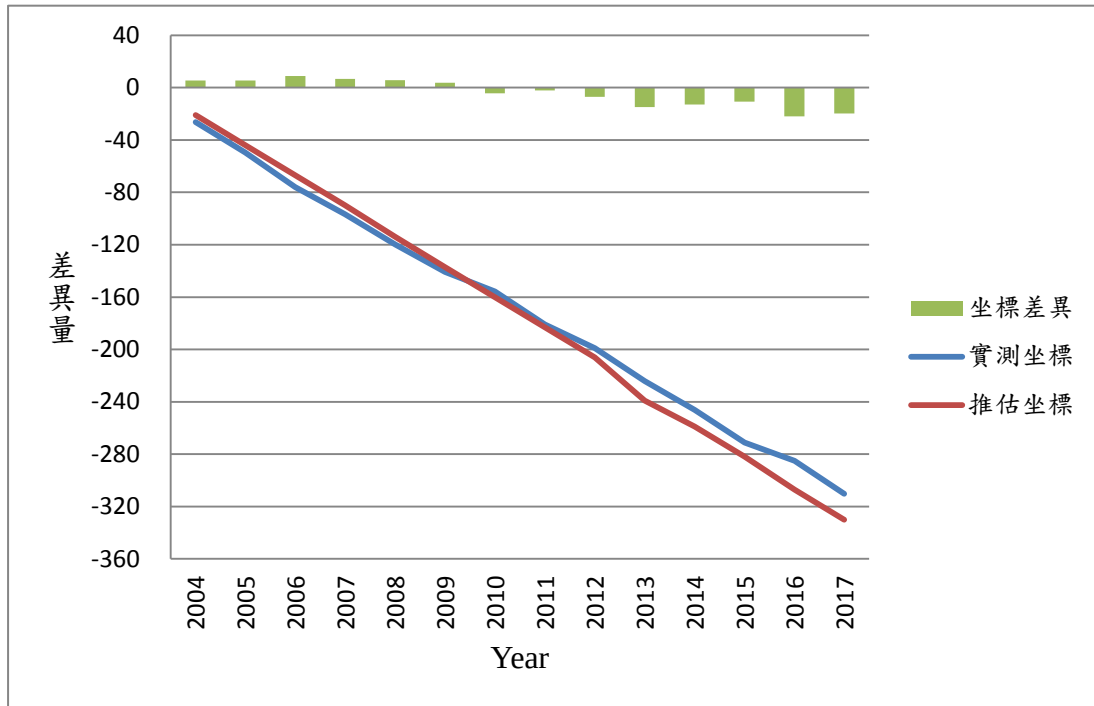


圖 4.22 DPIN 測站 E 方向之實測與推估坐標的較差量(mm)

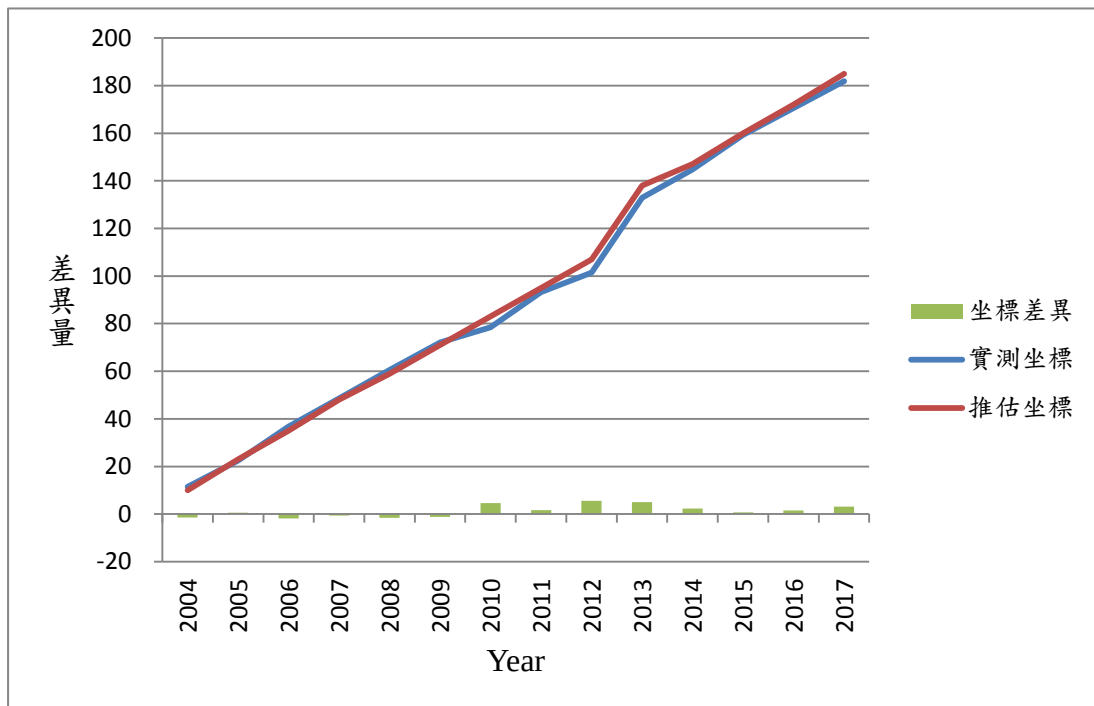


圖 4.23 DPIN 測站 N 方向之實測與推估坐標的較差量(mm)

4.2 速度場更新之精度門檻規範

當使用靜態基準時，為了維護大地基準的精度，如果坐標超出精度規範上限時，即應進行國家大地基準公告坐標之更新，而若使用半動態基準，則需要考慮速度場更新之時機。本節將探討測量規範中對於點位坐標之精度規範，而其更新時機的門檻即為法規的誤差規範，在一段未發生重大地震、地滑等局部變形的期間內，應用變形模式推估之坐標與實際測量坐標之較差量，若已超過法規規範的精度標準時，即是水平速度場需要考慮更新的時機。

依據我國「國土測繪法」第 3 條條文：「本法用詞定義如下：...五、基本測量：基本測量是指為建立全國統一之測量基準及基本控制點，以作為測繪基礎之測量。...八、基本控制測量：指以精密測算點位坐標、高程或其他相關資料，提供測繪作業之依據，並以全國整體控制測量需求為目的之測量。...九、加密控制測量：指以基本控制測量為依據所為之次級控制測量，並以區域性控制測量需求為目的者。...」，以及同法第七條提到：「...基本控制測量應依測量基準辦理；加密控制測量應依基本控制測量成果辦理。...」。由此可知測量基準與基本控制測量為一切測量的基礎；而加密控制測量則是由基本控制點加密而來，屬於區域性與目的性之控制網絡。依據「基本測量實施規則」第 15、16 條與「地籍測量實施規則」第 6 條規定，基本控制測量等級分為一等、二等，必要時得另設三等，次等控制點必須與較高等級控制點互相聯繫，其基本控制測量得以衛星定位測量、三角測量、三邊測量、精密導線測量、水準測量、重力測量等方式施測之。

因此，本節在基本控制點與加密控制點測量規範上，亦將以衛星定位測量之規範為基礎(如表 2.4)。在 107 年案中(內政部國土測繪中心，2018)，將臺灣地區一等至三等控制點之公告坐標進行分析整理，以各控制點間相鄰距離之平均值作為平均基線長度，其中，一等控制點的平均基線長度為 13 km，二等控制點的平均基線長度為 5 km，並以三等控制點的平均基線長度 2 km 作為加密控制點之平均基線長度，依據「基本測量實施規則」附表中對於衛星控制點之基線較差精度規範計算容許誤差值，推算得一等、二等與加密控制點的容許誤差分別為 ± 36 mm、 ± 40 mm、 ± 42 mm，如表 4.2 所示。

表 4.2 臺灣衛星控制點之基線較差精度規範

等級	基線長較差 (95%信心區間)	平均基 線長度	容許誤 差	備註
一等控制點	$10 \text{ mm} \pm 2 \times 10^{-6}L$	13 km	$\pm 36 \text{ mm}$	L 為單一基 線長度，以公 里為單位
二等控制點	$20 \text{ mm} \pm 4 \times 10^{-6}L$	5 km	$\pm 40 \text{ mm}$	
加密控制點	$30 \text{ mm} \pm 6 \times 10^{-6}L$	2 km	$\pm 42 \text{ mm}$	

整理自：(內政部，2007；內政部國土測繪中心，2017)

另外，在臺南市加密控制測量作業手冊、臺中市加密控制點衛星定位測量作業手冊、桃園市加密控制點衛星定位測量作業手冊、花蓮縣政府辦理加密控制點衛星定位測量作業手冊、雲林縣辦理加密控制點測量作業手冊之中皆規定，應用衛星定位測量與電子測距經緯儀檢驗加密控制點所得之基線長，經過各種改正計算後與相應兩點坐標反算之邊長相較，其較差小於二萬分之一者，視為未變動。然而，若將此二萬分一的標準帶入三等控制點的平均基線長度 2 km，得到的容

許誤差為 ± 100 mm，與前述推得的基本控制測量規範(± 42 mm)相比寬鬆許多，因此，本計畫後續的分析將不以二萬分之一為標準。

美國、紐西蘭兩國與我國在衛星定位測量上，皆以基線相對精度作為規範，但在控制點等級上有不一樣的區分，美國在衛星定位控制點的等級上共分為七個等級，紐西蘭則是有層級與等級之分，層級為應用於大地基準控制網之絕對精度規範，等級是應用於區域加密之相對精度規範，如表 2.5(FGCC, 1989；內政部國土測繪中心，2017)、表 2.6(LINZ, 2009a; 2009b; 2009c; 2010；內政部國土測繪中心，2017)所示。我國目前一等及二等衛星控制測量點的精度規範大致對應於美國、紐西蘭的區域變形觀測精度規範，僅在區域性的控制監測，未有美國、紐西蘭的全國性、全球性變形監測網精度規範，以及國家參考框架等級的規範。我國現有的基本控制測量法規並沒有因應滿足全國性、全球性大地控制網、半動態基準與國家大地基準的標準。因此，未來若要發展半動態基準，則須要檢討基本測量實施規則的對應內容，增加更高層級的變形觀測網規範或是絕對誤差之規範，以作為速度場更新門檻的依據。

在地籍測量規範方面，我國將宗地分為市地、農地、山地三種類型，分別有不同的精度規範，依據「地籍測量實施規則」第 73、74 條規定，戶地測量採數值法測繪之精度規範如表 4.3 所示，圖根點至界址點之位置誤差屬於絕對誤差，界址點間坐標計算邊長與實測邊長之差為相對精度誤差，由於我國地籍測量施測的距離大多在 100 公尺以內，若以 50 公尺代入界址點間坐標計算邊長與實測邊長之差中的市地規範，可得到容許誤差為 4.1 公分，界於圖根點至界址點之位置誤差中的市地規範 2 至 6 公分，因此，本計畫將使用實務上經常利用

的市地 2 至 6 公分精度、衛星控制點的基線相對精度與容許誤差作為判斷水平速度場更新時機之基準。

表 4.3 數值法戶地測量之精度規範

類型	圖根點至界址點 之位置誤差	界址點間坐標計算邊 長與實測邊長之差	備註
市地	2-6 cm	$2\text{ cm}+0.3\text{ cm}\sqrt{S}$	S 為邊長，以公尺為單位
農地	7-20 cm	$4\text{ cm}+1\text{ cm}\sqrt{S}$	
山地	15-45 cm	$8\text{ cm}+2\text{ cm}\sqrt{S}$	

整理自：(內政部，2017)

4.3 臺灣水平速度場更新時機分析

速度模型實際使用上有其相對的容許誤差，若速度改變後累積的坐標誤差未達到法規規範的標準，則不須更新水平速度場。由 4.1.4 節檢核站精度驗證可以得知本案變形模式能有效修正地表變形產生的坐標變動量，實證結果亦如圖 4.24、4.25 所示，其中的實測坐標累積之誤差為使用靜態基準產生之誤差，當累積 15 年後，在 E 方向平均為-315.8 mm，在 N 方向平均為 84 mm，經變形模式修正後，在 E 方向可達平均為-13.5 mm，在 N 方向平均為 15.9 mm，修正比率分別為 95.7 %與 81.1 %。

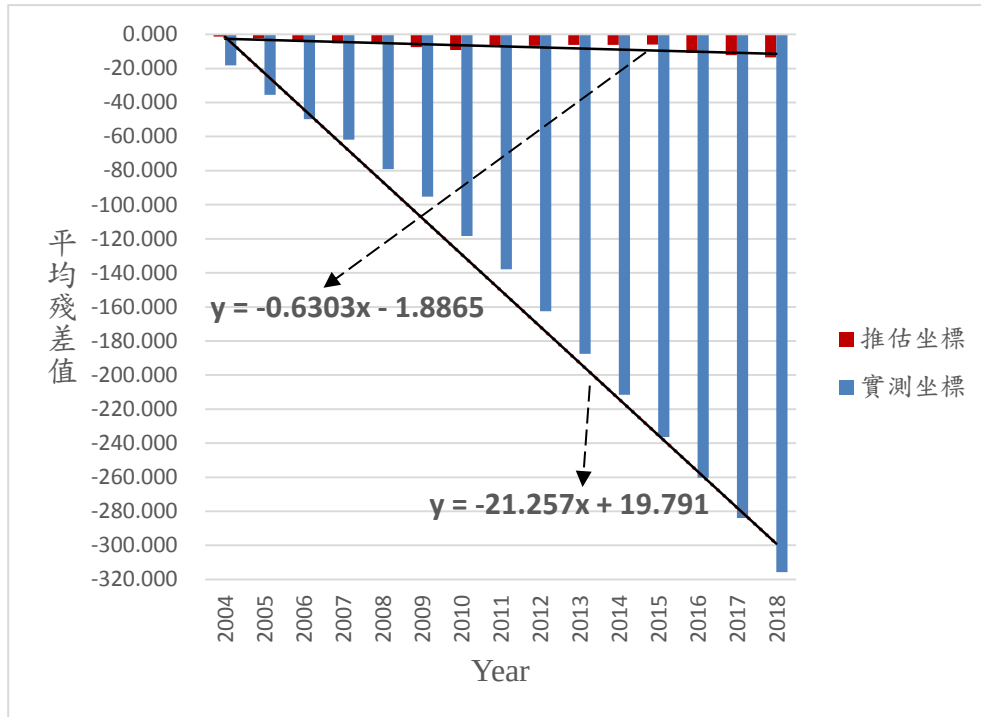


圖 4.24 實測與推估坐標於 E 方向累積之平均較差值與線性公式(mm)

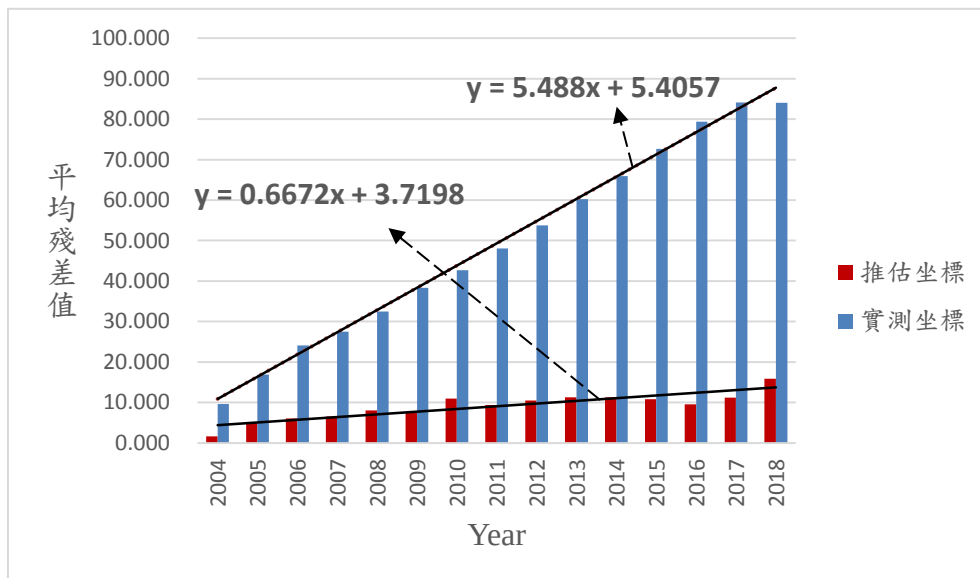


圖 4.25 實測與推估坐標於 N 方向累積之平均較差值與線性公式(mm)

依據表 4.2 臺灣基本控制測量規範中，最高等級的一等衛星控制點基線長較差規範為 $10\text{ mm}+2.0\text{ ppm}\cdot L$ ，平均基線長度為 13 km，將其帶入規範公式，可得其容許誤差為 36 mm，若參考美國與紐西蘭更高一個層級的規範，美國 NGRS 二級網、地方變形觀測及高精度工程測量之 B 等級精度規範為 $8\text{ mm}+1.0\text{ ppm}\cdot L$ ，紐西蘭區域性變形監測之 V 等級精度規範為 $3\text{ mm}+1.0\text{ ppm}\cdot L$ ，將平均基線長度 13 km 帶入上述規範，可得容許誤差分別為 21 mm 與 16 mm；而在地籍測量方面，戶地測量採數值法的精度規範中，圖根點至界址點位置的絕對誤差，在市地方面為 2 至 6 公分，雖然地籍測量施測距離大多在百公尺之內，不能與控制點、連續站的基線長度相比，但 2 公分的誤差也可作為更嚴謹的判斷標準。因此，本計畫將容許誤差分別設定為 60 mm、36 mm、21 mm、20 mm、16 mm，代入實測坐標與推估坐標兩者累積較差的 E、N 方向線性公式(如圖 4.24、4.25)，可得超出容許誤差的年限，並將得到的 E、N 方向年限取平均，以預估在沒有重大地震發生時的使用年限，如表 4.4 所示。

由表 4.4 得知，在我國一等衛星控制點 36 mm 的容許誤差下，本案建立的水平速度網格模型，其全臺的平均使用年限約為 51 年，而靜態基準則 4 年就必須更新；若以我國目前最高的精度規範 20 mm 的容許誤差而言，全臺的平均使用年限為 27 年，靜態基準則 2 年就必須更新；若採更高等級的紐西蘭 V 等級控制點 16 mm 容許誤差，全臺的平均使用年限為 20 年，靜態基準 2 年就必須更新。並且由坐標時間序列分析中可知，速度產生改變的時間點與重大地震事件的發生時間具有高相關性，故當欲進行水平速度場更新時，可將其更新時回推到重大地震發生的時刻，一併辦理更新。

表 4.4 全臺在不同容許誤差下之水平速度場使用年限

	容許誤差				
	市地最大 誤差	一等衛星 控制點	美國 B 等 級控制點	市地標 準誤差	紐西蘭 V 等 級控制點
	60 mm	36 mm	21 mm	20 mm	16 mm
全臺	88	51	28	27	20
僅使用靜態的 公告坐標	7	4	2	2	2

4.4 同震位移格點模型

同震位移格點模型在變形模式中扮演重要角色，臺灣位於板塊運動頻繁地區，地震事件頻仍，如何有效掌握地震事件的規模對於地表位移的影響，進而建立同震位移格點模型以修正地表位移，為維護變形模式的重要工作。因此，本節探討如何利用中央氣象局即時公告之地震震央位置(經緯度)、震源深度(km)與地震規模(M_L)，判斷同震格點位移模型的新增時機。具體操作概念為，當地震發生後，可利用中央氣象局即時公告之地震震央位置(經緯度)、震源深度(km)與地震規模(M_L)，初步判斷該規模之地震在臺灣陸地造成的最大地表位移量，"是否可能"超過 GNSS 測量的坐標精度?如果有可能的話，則啟動新增同震格點位移模型工作。

為達成上述工作目的，107 年案採用兩種方法進行分析：(1)文獻資料蒐集，藉由蒐集過去已發表與臺灣地表同震位移場相關的文章，了解臺灣及其鄰近地區會對臺灣陸地造成顯著地表位移的主要地震分布位置與規模；(2)然而，由於自然界之地震活動週期相當長，因此並不是每個可能的孕震帶都有地震活動紀錄，因此 107 年案搭配斷

層正演模型，提供其最大地表同震位移量可能超過 GNSS 測量坐標精度之地震的震源位置、深度與規模。

在進行分析之前，先探討分別運用超快速星曆(Ultra rapid orbits; IGU)、快速星曆(Rapid orbits; IGR)以及最終精密星曆(Final orbits; IGS)對於同震位移量解算成果的影響。分別以此三種星曆求解受到 2016 年美濃地震影響的 320 個 GNSS 連續站之同震位移量(圖 4.26 與圖 4.27)。圖中黑色箭頭為超快速星曆之同震位移成果、藍色箭頭為快速星曆之同震位移成果、紅色箭頭為最終精密星曆之同震位移成果。由此三個不同顏色的箭頭可以注意到，2016 年美濃地震造成之地表水平位移量約在 20-30 mm 間，垂直位移量也約在 20-30 mm 間，然而，超快速星曆所獲得之水平及垂直地表位移量與最終精密星曆之結果近乎一致，差異量幾乎皆在 2 mm 以下，換言之，利用超快速星曆即可獲得有效而且即時的地表同震位移場。

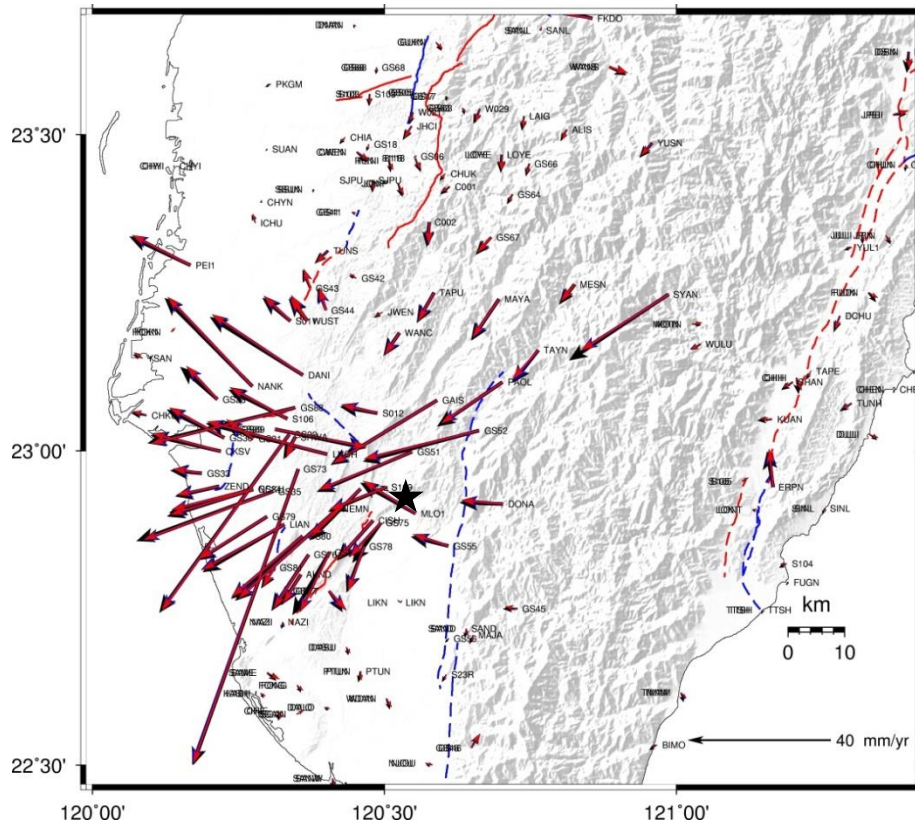


圖 4.26 2016 年美濃地震水平地表同震位移場

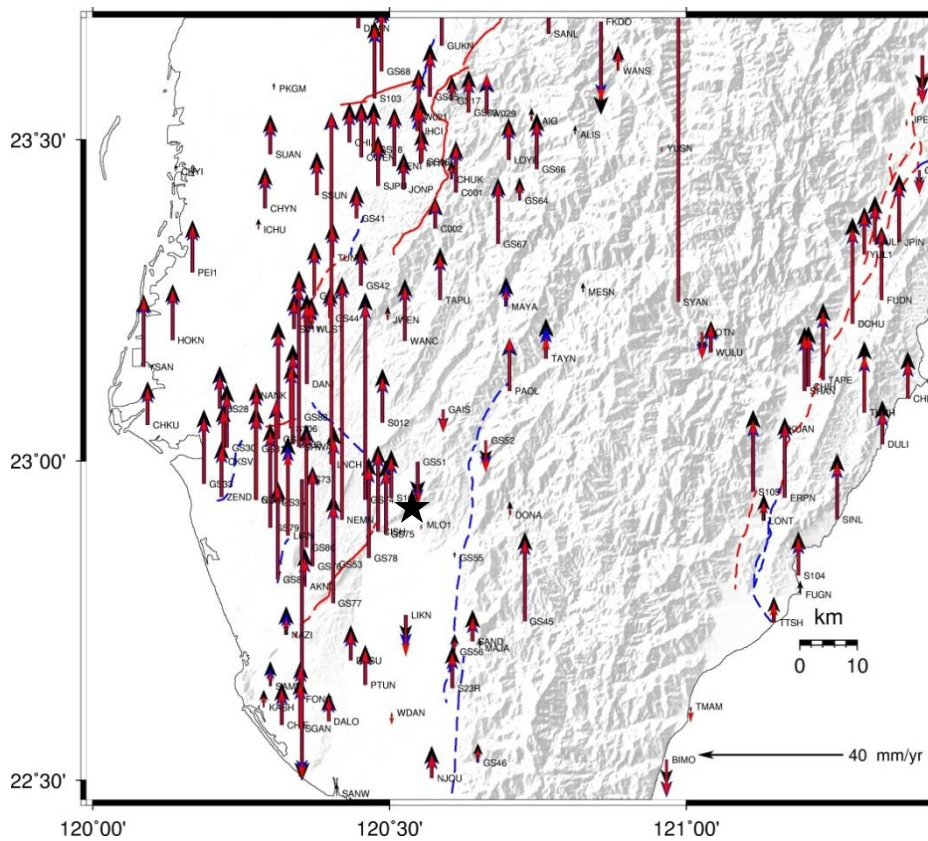


圖 4.27 2016 年美濃地震垂直地表同震位移場

4.4.1 同震位移格點模型新增時機分析

由 GNSS 連續站坐標時間序列分析可得知，臺灣各地 GNSS 測量平均精度的 3 倍量，在平面方向約為 ± 14 mm，垂直方向約為 ± 39 mm。換言之，當地震造成的地表最大水平位移超過 14 mm 時，即有新增同震格點位移模型之必要。

臺灣自 1999 年 9 月 21 日發生區域地震規模(M_L)7.3 的集集地震之後，即陸續針對地區顯著地震進行相關研究，因此在集集地震後，臺灣地區的顯著地震即有同震位移場之相關紀錄，而這些同震位移場紀錄，可最佳反映實際地震震源位置與規模，其在不同條件下所造成的最大地表同震位移量。故 107 年案統整目前已發表臺灣地區地表同震位移場相關的文章，歸納分析臺灣及其鄰近地區，會對臺灣陸地造成顯著地表位移的主要地震分布位置與規模(圖 4.28)。集集地震的震源深度約 10 km，造成的地表水平位移高達近 9 m，垂直位移高達近 3.2 m，為臺灣有科學儀器紀錄以來造成地表位移最大的地震，其餘地震所造成的地表最大水平位移約介於 25 至 75 mm 之間。

2006 年卑南地震、2013 年 3 月南投地震及 2018 年 2 月花蓮地震，比較其震源深度及其分別造成的最大地表位移量，可發現地震規模(M_L) 6.2，震源深度在 19 公里左右時，所造成的最大地表水平位移量約為 11 mm，屬於不易偵測之精度範圍；但當震源深度在 7 公里左右時，所造成之最大地表位移已達 35 mm，2018 年花蓮地震之最大地表水平位移更達 463 mm，明顯超過 GNSS 定位的坐標精度，因此可以順利被偵測到，然而 2018 年 2 月花蓮地震因其斷層構造較為複雜，

非單一斷層所造成，故在此若僅根據 2006 年卑南地震、2013 年 3 月南投地震比對，則可分析推測，當規模達 6.2 之地震，震源深度低於約 13 km 時，即可能造成超過 GNSS 定位坐標精度(± 14 mm)的地表最大水平位移量，而有啟動新增同震格點位移模型工作之必要。

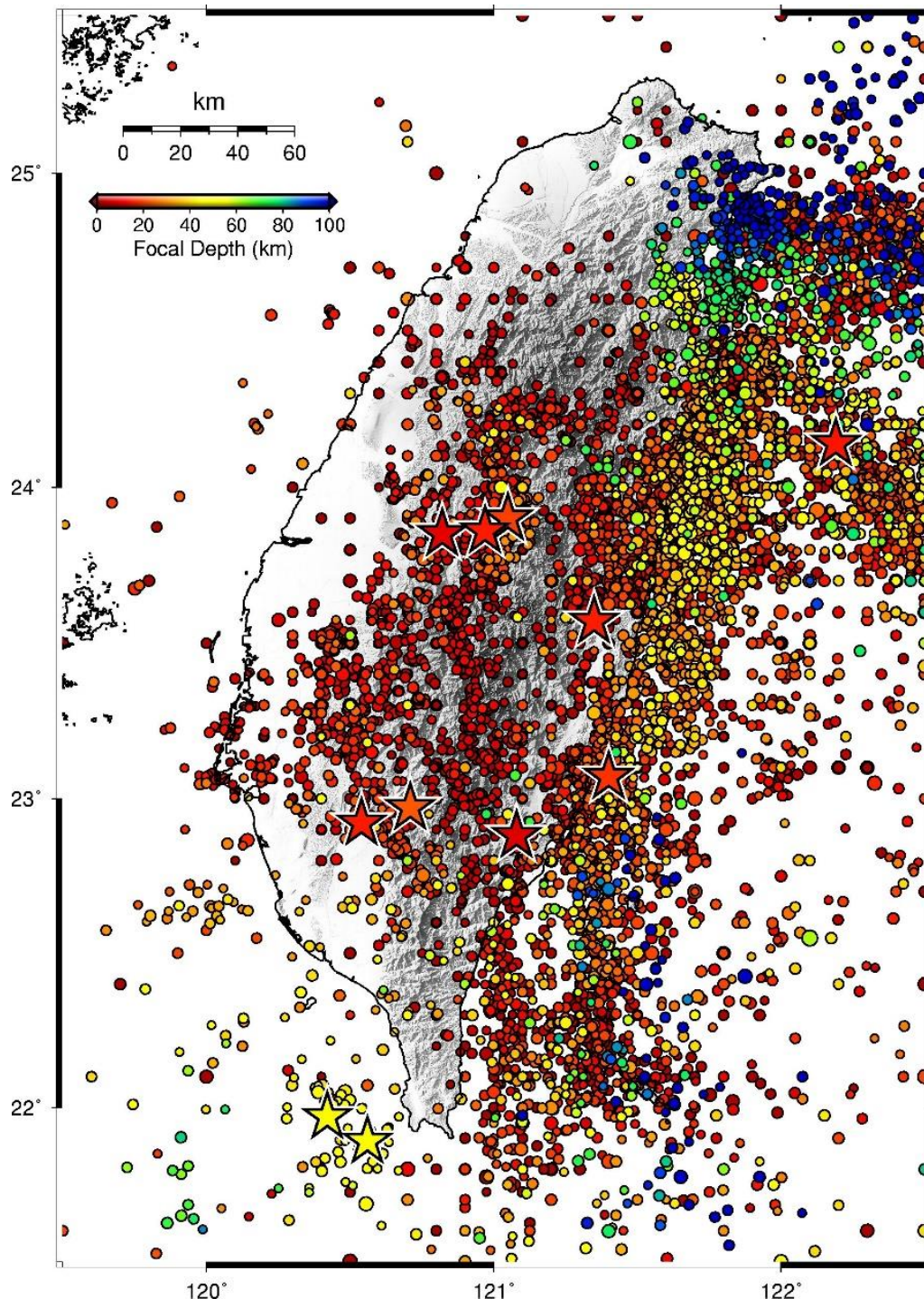


圖 4.28 臺灣 1900 年 1 月至 2017 年 5 月 $M_L > 4.0$ 之地震分布圖
(星號為 11 個臺灣及鄰近地區對臺灣陸地造成顯著地表位移之主要地震位置。)

觀察震源深度介於 14 km 到 25 km 間，地震規模(M_L)達 6.4 以上之地震事件，其地表最大水平位移量由最小約 27 mm 至最大約 126 mm，皆超過 GNSS 定位的坐標精度(± 14 mm)。另外，在統整資料中，規模達 7.0 之地震在震源深度 50 km 以內者，亦會造成 25 mm 以上的水平位移量，可推測規模達 7.0 以上，震源深度若在 50 km 以內時，即有新增同震格點位移模型工作之必要。另外，根據造成顯著地表位移之主要地震震央分布情形及其震源深度指出，這些地震事件並非完整分布在整個孕震帶中，故需綜合各地震的參數值加以比對分析，結合分析臺灣歷史地震分布情形與後續提到之斷層正演模型，始能提供較合理的造成顯著地表位移之主要地震可能分布位置、深度與規模。

(一)斷層正演模型

為了合理建立斷層正演模型，首先須了解臺灣地區之地震空間分布特性，並依據此空間分布特性，建立斷層正演模型，搜尋適當之震央位置(經緯度)、震源深度(km)與地震規模(M_L)等地震參數。以下分別就(1)臺灣地區之地震空間分布特性；(2)斷層錯位模型；(3)斷層正演模型基礎參數設定與測試；以及(4)斷層參數搜尋結果進行說明。

(1)臺灣地區之地震空間分布特性

當地震發生時，中央氣象局在第一時間取得觀測資料、計算並公布以下資訊：1.地震發生之日期與時間，日期公告格式為年、月、日、時、分、秒；2.震央位置，震源投影至地表點之經緯度坐標；3.震源深度，震源至地面之垂直距離，以公里(km)表示；4.地震規模，地震所釋放的能量，臺灣地區採芮氏規模(區域地震規模， M_L)。

彙整歷年地震事件資料，可以得到一個完整的歷史地震目錄，而究竟該挑選規模多大的地震事件來觀察其分布情形？由 GNSS 資料精度分析(內政部國土測繪中心，2017)可知在水平分量之地表位移，必須超過 14 mm 才能被偵測到，並新增同震格點位移模型以維持大地基準精度。而為求得會造成最大地表位移量超過 14 mm 之地震規模，首先透過 Wu *et al.* (2001) 提供之關係式 $M_L = 4.533 \times \ln(M_w) - 2.091$ 將區域地震規模(M_L)轉換成地震矩規模(M_w)。再利用下列 Wells and Coppersmith (1994) 的關係式計算最大地表位移量(MD)與平均地表位移量(AD)。

$$\log(\text{MD}) = -5.46 + 0.82M_w \quad (4-2)$$

$$\log(\text{AD}) = -4.08 + 0.69M_w \quad (4-3)$$

由於 Wu *et al.* (2001) 提供之關係式僅適用於區域規模(M_L) 5.0 至 7.1 之間；Wells and Coppersmith (1994) 的 MD 與 M_w 關係式僅適用於地震矩規模(M_w) 介於 5.2 至 8.1 間；且 AD 與 M_w 關係式僅適用於地震矩規模(M_w) 介於 5.6 至 8.1 時，其所計算之數值才較符合實際情況，因此透過計算得表 4.5 可知區域地震規模 1.0 到 4.0 之地表位移量皆未達 14 mm，且其地震規模範圍亦不符合參考值，僅供參考。在區域地震規模(M_L) 5.0 與 8.0 區間，雖地表位移量計算結果超過 14 mm，為可被偵測之值，但其相應之地震矩規模(M_w) 不在適用範圍內，故亦提供參考。由於目前仍無法精確評估地殼運動情形，故採用謹慎作法，取區域地震規模(M_L) 4.0 以上之地震事件以檢視其分布情形。

表 4.5 地震規模與地表位移對照表

M_L	M_W	AD (mm)	MD (mm)
1.00	1.98	0.4	0.1
2.00	2.47	0.8	0.4
3.00	3.07	2.1	1.1
4.00	3.83	7.0	4.8
5.00	4.78	31.5	28.8
6.00	5.96	205.3	267.4
7.00	7.43	2121.8	4291.4
8.00	9.26	38850.8	135893.9

在確定採取區域地震規模(M_L) 4.0 之事件以檢視其孕震帶空間分布後，由中央氣象局之地震目錄中挑選出符合的地震事件並繪製出臺灣地區 1900 年 1 月至 2017 年 5 月 $M_L > 4.0$ 之地震分布圖(圖 4.28)。

隨後，為了利於斷層正演模型之測試，將該地震分布之情形進行網格化，本階段分別在經緯度各採 0.1° 為一個格點，搜尋各格點 10 km 半徑範圍內是否有地震存在，若有地震事件存在，則計算出該格點範圍內震源深度最深之地震事件(圖 4.29)。為利於進行斷層正演模型並了解區域孕震帶之空間分布型態，本計畫利用移動平均的方法，搜尋各個格點半徑 30 km 範圍內之數值進行平均，且搜尋範圍內之格點數須大於 5 點，才取其格點數值作平均計算取代原始數值，將孕震帶深度平滑化(圖 4.30)，最後進行後續斷層正演模型之測試。

雖然臺灣 $M_L > 4.0$ 之孕震帶深度分布型態較為複雜 (圖 4.28 與圖 4.29)，但仍可看出台灣東半部地震事件分布較密集且震源深度較西半部來的深，尤以東北角及其外海與東南外海地區之地震事件震源深度最深，可達 100 km 以上。西半部地區則以西南部地震事件較密集，震源深度亦較東半部地區淺，其中又以西北部地區之震源深度最淺，

約只有 0 到 30 km。進一步觀察平滑化後之格點分布圖(圖 4.30)，可以很明顯的看到西北外海地區地震事件分布較少，致使該區無格點分布，且東、西半部地區兩側的震源深度有明顯差異，臺灣東北部及其外海地區與東南外海地區之地震事件震源深度最深，深度約由 80 至 100 km；西半部地區在此圖中更可明顯看出除了西南部外海地區深度可達 50 至 80 km 左右外，整體西半部地區之地震事件震源深度分布約在 0 到 40 km 區間，大多屬於震源深度較淺之地震事件。

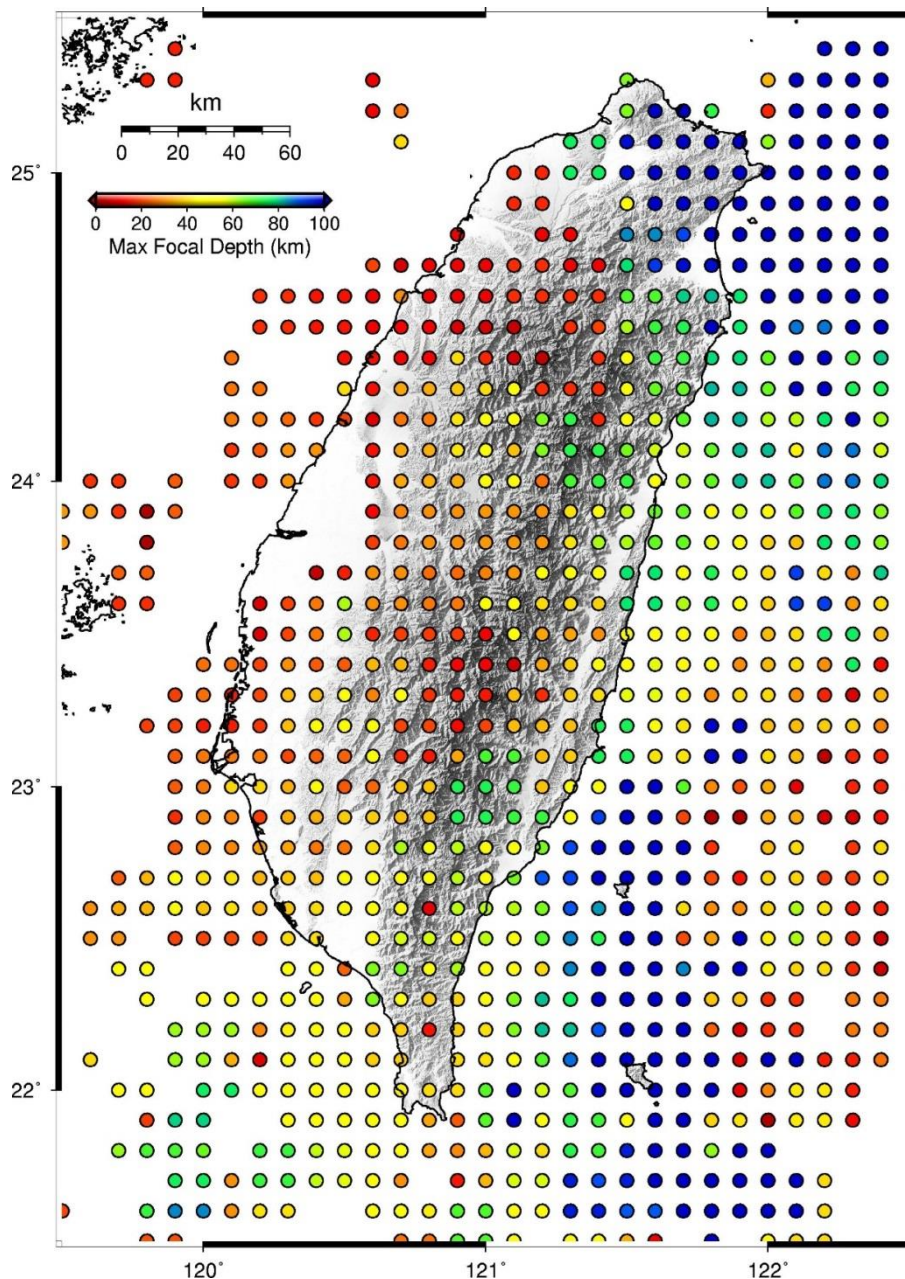


圖 4.29 臺灣 $M_L > 4.0$ 之地震孕震帶震源深度分布圖

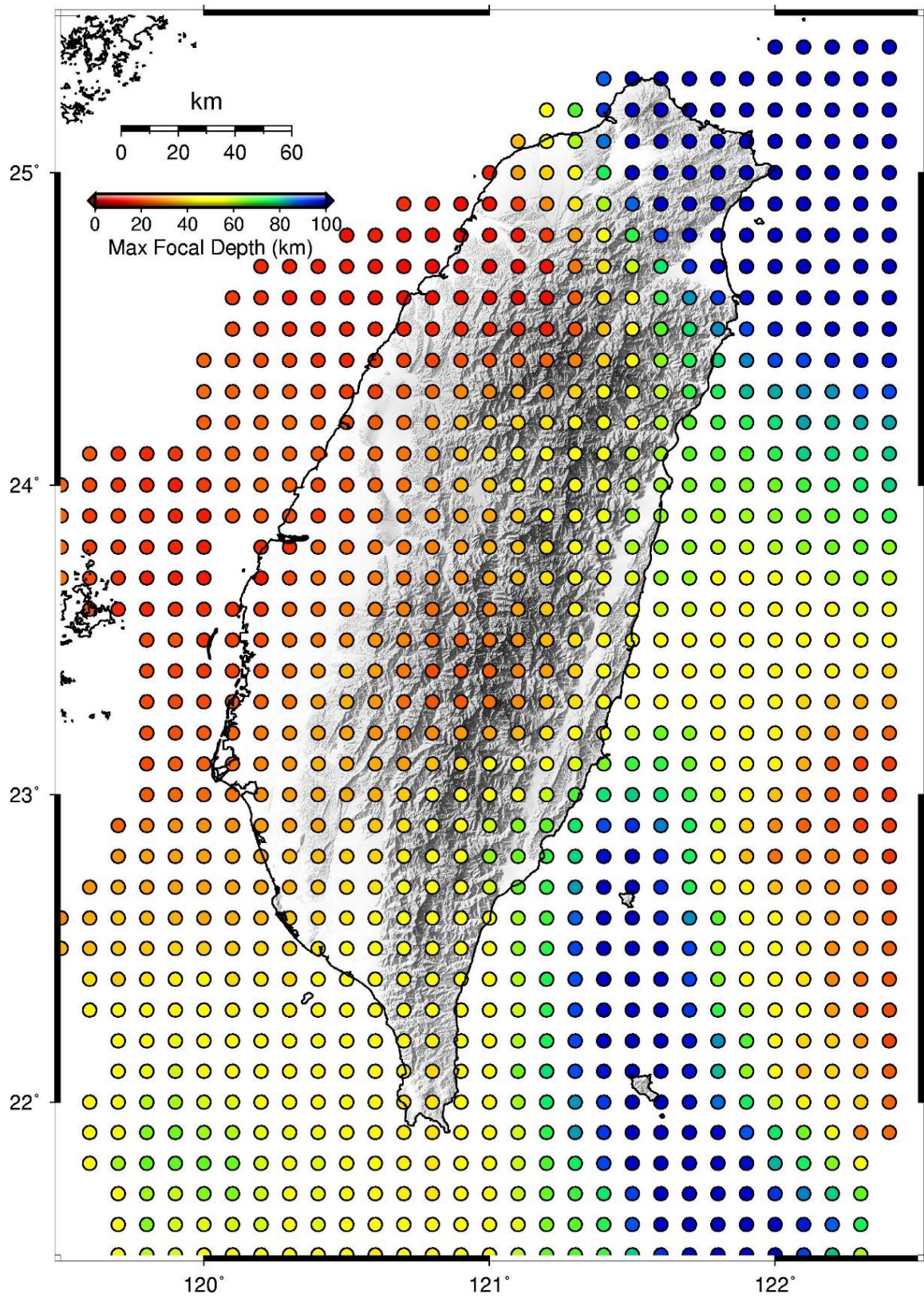


圖 4.30 臺灣 $M_L > 4.0$ 之地震孕震帶震源平滑深度分布圖

(2)斷層錯位模型

本節的斷層正演模型是採用根據彈性錯動理論(Okada, 1985; 1992)所建立之斷層錯位模型，其理論為利用斷層滑移量計算地表特定點之位移量。假設地球為表面平坦、垂直方向無限延伸的彈性半空間(half space)，介質特性為具有蒲松比 0.25 的蒲松固體(Poisson solid)，即彈性模量(λ)等於剪切模量(μ)之彈性體。沿著斷層元素(fault patch/fault element)的斷層滑移量 $\Delta u_j(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ 會使均質均向的彈性體表面產生位移場 $\Delta u_i(x_1, x_2, x_3)$ ，其關係如(4-4)式所列。其中， δ_{jk} 為克羅內克函數； v_k 為正交於地表元素 $d\Sigma$ 之餘弦函數方向；F 為施力點之力量大小。

$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma \quad (4-4)$$

為了更加釐清斷層幾何、斷層滑移量與地表位移量間的關係，在此重新定義各參數之使用符號。斷層幾何參數包括：斷層平面位置(km)、深度(km)、長度(km)、寬度(km)、走向(°)、傾角(°)。其中，斷層平面位置是指斷層面下緣中間的位置；斷層深度是指斷層斷層面下緣的深度。斷層滑移量(fault slip)包含三個方向的分量[S_1, S_2, S_3]，分別以左移(left-lateral strike slip)、逆衝(reverse dip slip)及伸張(tensile slip)為正方向。在進行對雙偶合震源之斷層活動分析時，一般只會考慮走向滑移量(S_1 , strike slip)與傾向滑移量(S_2 , dip slip)；在進行火山之岩漿沿岩脈運動分析時，才會採用伸張滑移量(S_3)。斷層滑移角(rake)指示斷層上盤相對於下盤之運動方向，其和斷層滑移量之關係為 $\tan(\text{rake}) = S_2 / S_1$ 。地表位移量(displacement) 同樣也包含三個方向的分量[U_1, U_2, U_3]，分別以東(East)、北(North)與上(Up)為正方向，水平位移量(horizontal displacement)則為 $\sqrt{U_1^2 + U_2^2}$ 。

(3)斷層正演模型基礎參數設定與測試

107 年案之斷層正演模型採用單一斷層面(one fault patch)，斷層幾何參數之設定與假設主要是基於地震規模(M_w)和斷層幾何之經驗式。一般常見之經驗式是採用 Wells and Coppersmith (1994)的統計結果，然而由於此文獻是早期針對全球主要地震進行統計分析的結果，因此本節採用近期針對臺灣地區之地震活動進行統計分析所得的經驗式來推求斷層幾何參數(Yen and Ma, 2011)。由於中央氣象局即時公告之地震規模為區域地震規模(M_L)，所以需先透過下列關係式(Wu et al., 2001)：

$$M_L = 4.533 \times \ln(M_w) - 2.091 \quad (4-5)$$

將區域地震規模(M_L)轉換成地震矩規模(M_w)。再根據下列關係式(Kanamori, 1977)：

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7 \quad (4-6)$$

將地震矩規模(M_w)轉換成地震矩(M_0)。根據 Yen and Ma (2011)提出之經驗式，如果地震矩(M_0)小於等於 1020 N-m，則斷層長度(L)、寬度(W)與地震矩(M_0)的關係如下：

$$\log L = 1/2 \log M_0 - 8.08 \quad (4-7)$$

$$\log W = 1/2 \log M_0 - 8.08 \quad (4-8)$$

如果地震矩(M_0)大於 1020 N-m，則斷層長度(L)、寬度(W)與地震矩(M_0)的關係如下：

$$\log L = 1/3 \log M_0 - 4.84 \quad (4-9)$$

$$\log W = 1/3 \log M_0 - 5.27 \quad (4-10)$$

給定的震源平面位置與深度，則假設為斷層面下緣中間的位置與深度；斷層走向與傾角之給定於後續內容中討論。因此，根據以上之說明，本節即完成單一震源之斷層幾何參數設定(斷層位置、深度、長度、寬度、走向、傾角)。在斷層滑移量(fault slip)的設定中，根據 [Kanamori \(1977\)](#) 提出地震矩(M_0)、斷層滑移量(D)和斷層面積(A)的關係：

$$M_0 = \mu AD \quad (4-11)$$

其中， μ 為剪切模量(rigidity)，其值為 $3 \times 10^{11} \text{ N-m}^{-2}$ ；斷層面積(A)可以由斷層長度(L)與寬度(W)的乘積求得。最終可以推估出斷層正演模型和規模(M_L)對應之斷層滑移量(D)。

由於本項工作在於判斷任一地震在臺灣陸地造成之最大地表位移量是否超過 GNSS 測站之坐標精度？因此在使用斷層正演模型計算地表位移量時，僅計算臺灣本島陸域之地表同震位移量(圖 4.31)。

常見的斷層型態有逆衝斷層(reverse fault)、正斷層(normal fault)與走向滑移斷層(strike-slip fault)，其中走向滑移斷層又分為左移斷層(left-lateral fault)與右移斷層(right-lateral fault)。因為在地表同震位移量的推求目的中，方向並不重要，因此只要確認相同斷層幾何與地震規模之逆衝斷層和正斷層，以及左移斷層和右移斷層能產生近乎一致的地表位移量，即可以減少地震震源參數之搜尋。

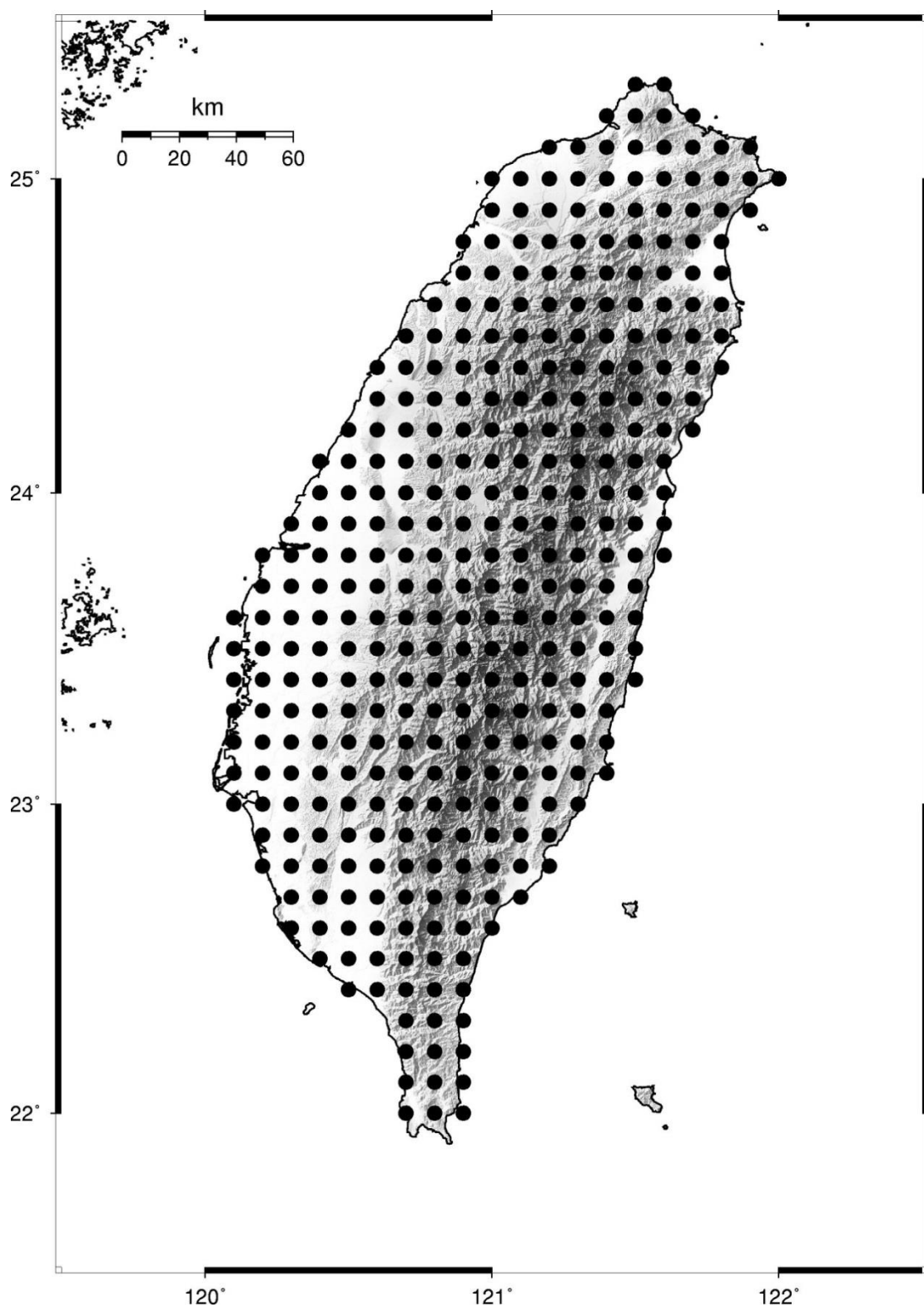


圖 4.31 斷層正演模型用於推求地表位移量之點位分布圖
(黑色圓點即為斷層正演模型使用之點位。)

本節首先比較逆衝斷層和正斷層所造成之地表位移量差異。假設地震規模 M_L 為 6.6，震源位置位於(23.60,120.70)，震源深度 18 km，斷層走向 30° ，斷層傾角 30° 。設定逆衝斷層之斷層滑移角為 90° (純逆衝斷層)，正斷層則為 -90° (純正斷層)。比較相同斷層幾何與地震規模之逆衝斷層和正斷層所造成之地表位移量(圖 4.32 與圖 4.33)，指出兩者不論在水平位移場或是垂直位移場之絕對值近乎無差異。

接著再比較左移斷層和右移斷層所造成之地表位移量差異。同樣假設地震規模 M_L 為 6.6，震源位置位於(23.65,120.70)，震源深度 36 km，斷層走向 90° ，斷層傾角 90° 。設定左移斷層之斷層滑移角為 0° (純左移斷層)，正斷層則為 180° (純右移斷層)。比較相同斷層幾何與地震規模之逆衝斷層和正斷層所造成之地表位移量(圖 4.34 與圖 4.35)，指出兩者不論在水平位移場或是垂直位移場之絕對值近乎無差異。

因此，根據以上的模型測試結果，本計畫減少斷層正演模型中地震震源參數之搜尋，僅針對逆衝斷層與左移走向滑移斷層進行後續的正演工作。

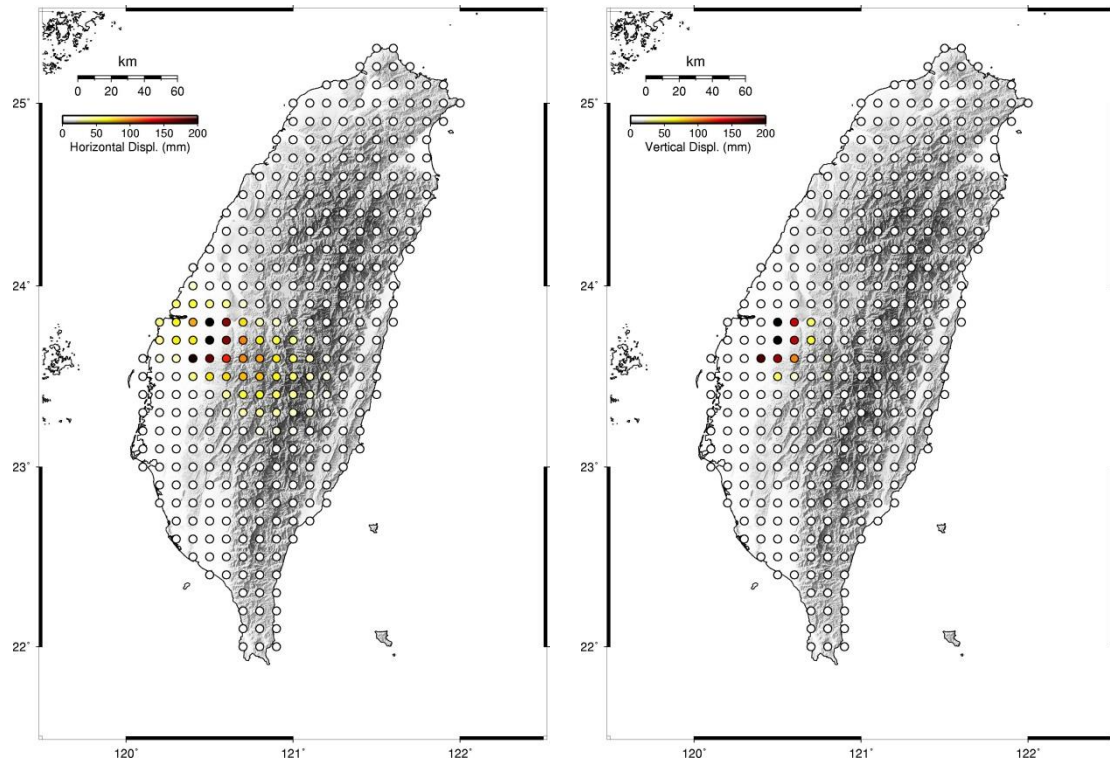


圖 4.32 逆衝斷層正演模型測試成果
(左圖為水平位移量；右圖為垂直位移量。)

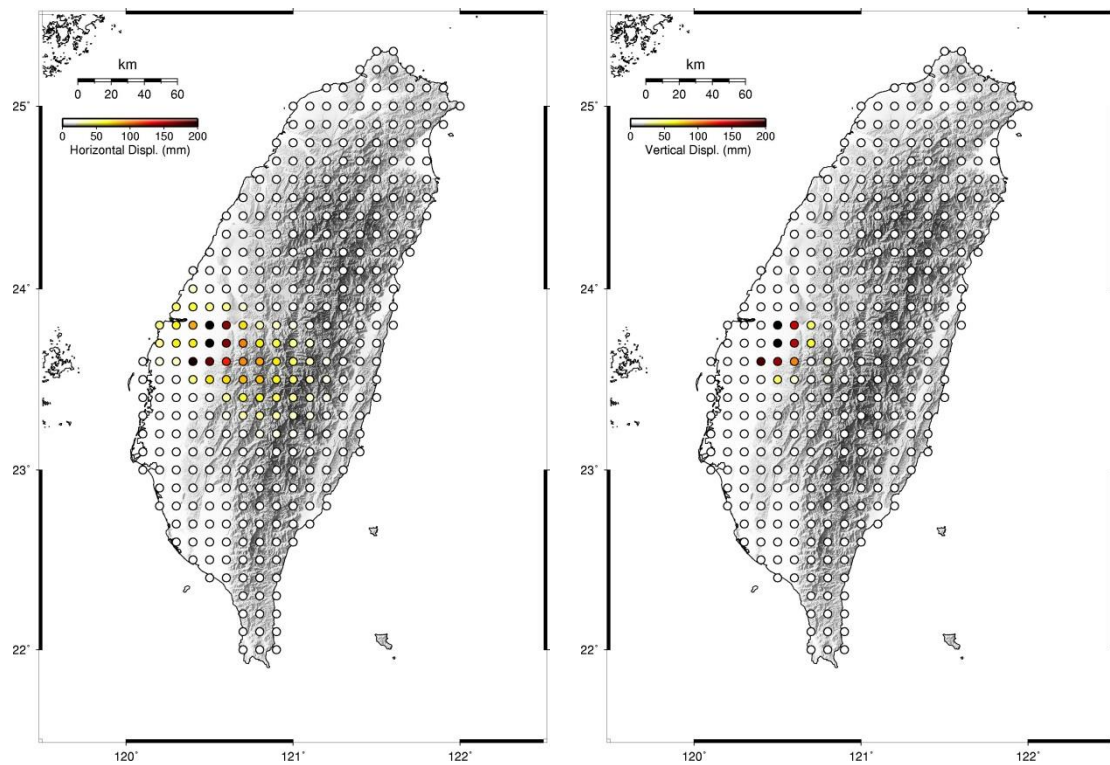


圖 4.33 正斷層正演模型測試成果
(左圖為水平位移量；右圖為垂直位移量。)

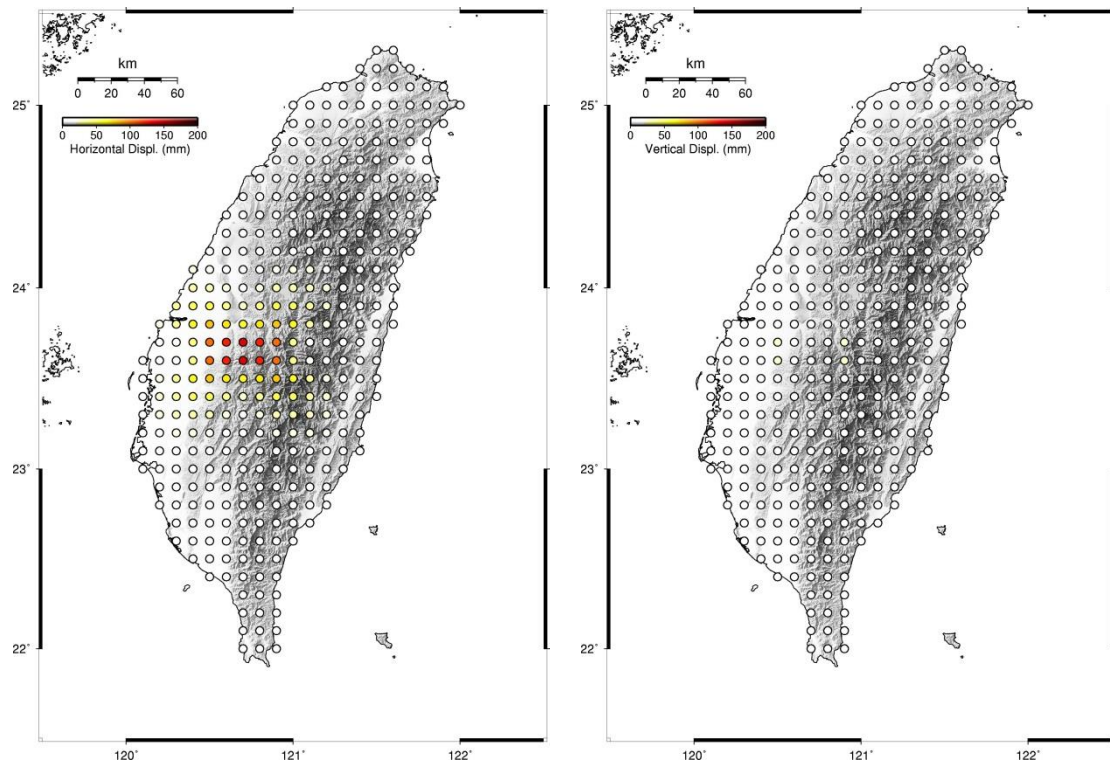


圖 4.34 左移斷層正演模型測試成果
(左圖為水平位移量；右圖為垂直位移量。)

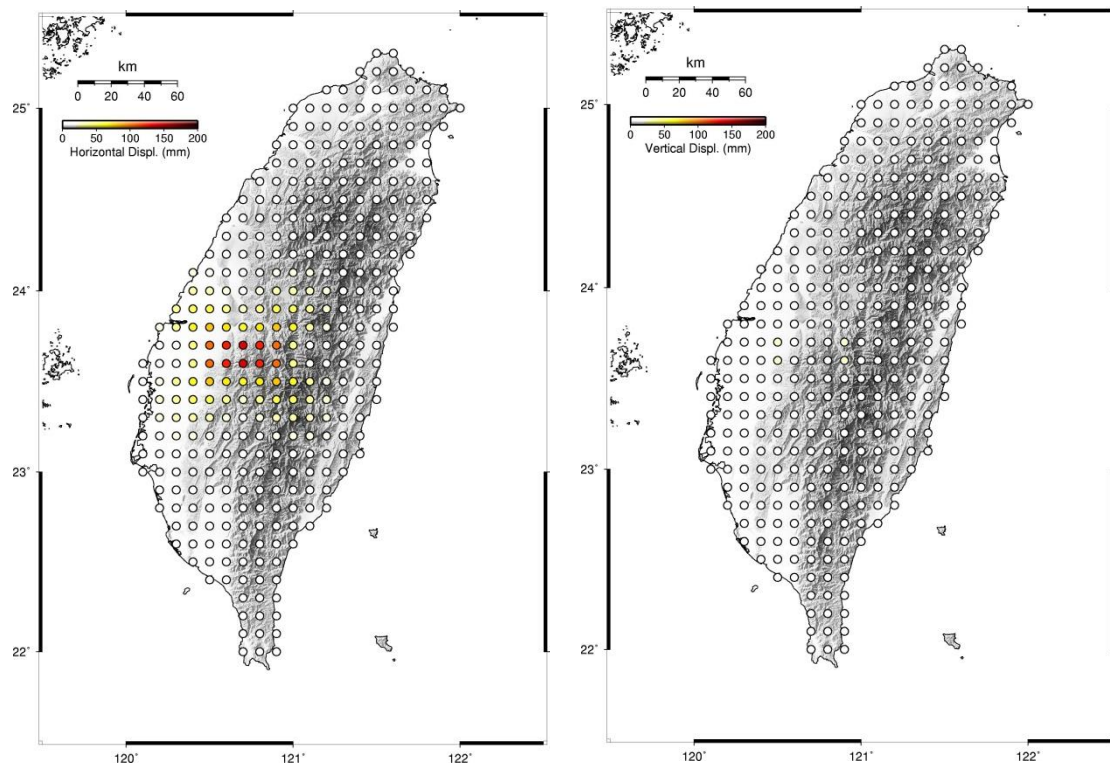


圖 4.35 右移斷層正演模型測試成果
(左圖為水平位移量；右圖為垂直位移量。)

(4)斷層參數搜尋結果

107 年案設定斷層正演模型之最大地表位移量門檻為水平位移量 14 mm。在斷層正演模型之參數設定方面，斷層位置是依據臺灣 $M_L > 4$ 之地震孕震帶平滑深度分布格點(圖 4.30)來設定，如果最終不會有任何地震對臺灣陸域造成超過最大地表位移量標準之位移，將不留存任何搜尋紀錄。斷層深度的搜尋範圍是由圖 4.30 中各個格點的深度四捨五入取整數後，往地表方向每 1 公里設定一個震源。斷層面的長度和寬度，則由地震規模(M_L)進行設定，由規模 4 往規模 8，規模間隔為 0.1。由於斷層面不可能超過地表，亦即：

$$\text{Dep} < W \times \sin\theta \quad (4-12)$$

其中，Dep 為斷層深度，W 為斷層寬度， θ 為斷層傾角。所以斷層面是不允許超過地表面，若超過則停止該深度及更大地震規模的搜尋。又如果某一地震規模所產生的地表位移量，有 4 個以上的點位超過設定之最大地表位移量標準，則停止該深度更大地震規模的搜尋並儲存其記錄。換言之，只要該位置及深度發生更大規模之地震，則臺灣陸域一定能記錄到明確的地表同震位移場。

就斷層的走向與傾角設定，由於臺灣主要的構造走向為東北東－西南西走向(圖 1.1)，而此走向之構造多為逆衝斷層，雖然臺灣有不少高角度逆衝斷層($\text{Dip} > 45^\circ$)，然而考慮到常見傾角之逆衝斷層比較容易造成更大的水平地表位移量，所以在斷層正演模型中的第一組走向、傾角與斷層滑移角的設定為走向 30° 、傾角 30° 與滑移角 90° 。又臺灣西部平原、麓山帶及臺灣海峽還有另一組近乎東西走向的構造(圖 1.1)，而此走向之構造多為右移走向斷層，所以在本模型中的第二組走向、

傾角與斷層滑移角的設定為走向 90° 、傾角 90° 與滑移角 180° 。最後在臺灣東北部地區有近乎東西走向的琉球隱沒系統發育(圖 1.1)，因此根據臺灣背景地震的空間分布型態，在經度 121.3° 以東與緯度 23.6° 以北的區域，本模型又增加第三組走向、傾角與斷層滑移角的設定，該設定為走向 90° 、傾角 30° 與滑移角 90° 。

根據斷層正演模型之搜尋計算結果指出，要在臺灣陸域產生同震水平位移量大於 14 mm 之地震規模至少要超過 M_L 6.1 (圖 4.36)。此結果同時合理地指出，在臺灣陸域地區大約需要 M_L 6.1 的地震，越遠離臺灣陸域，則所需的地震規模就越大(圖 4.36)。若擷取 10 km、15 km、20 km 與 25 km 的震源深度來看(圖 4.37 至圖 4.38)，顯示隨著深度的增加，臺灣陸域所需的最小地震規模也跟著由 M_L 6.1 增加至約 M_L 6.4。

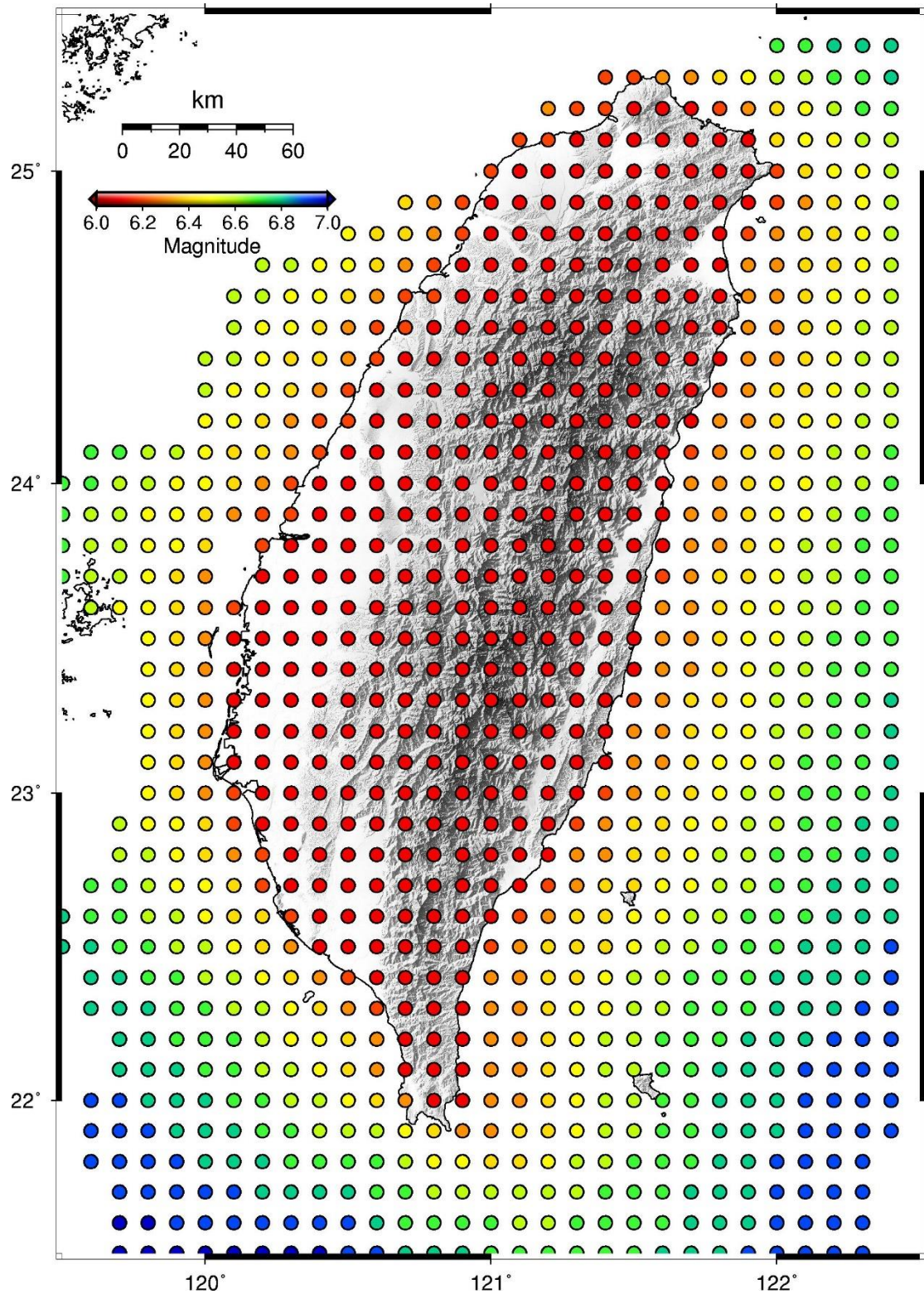


圖 4.36 各震源位置正演模擬估算之最小地震規模分布圖

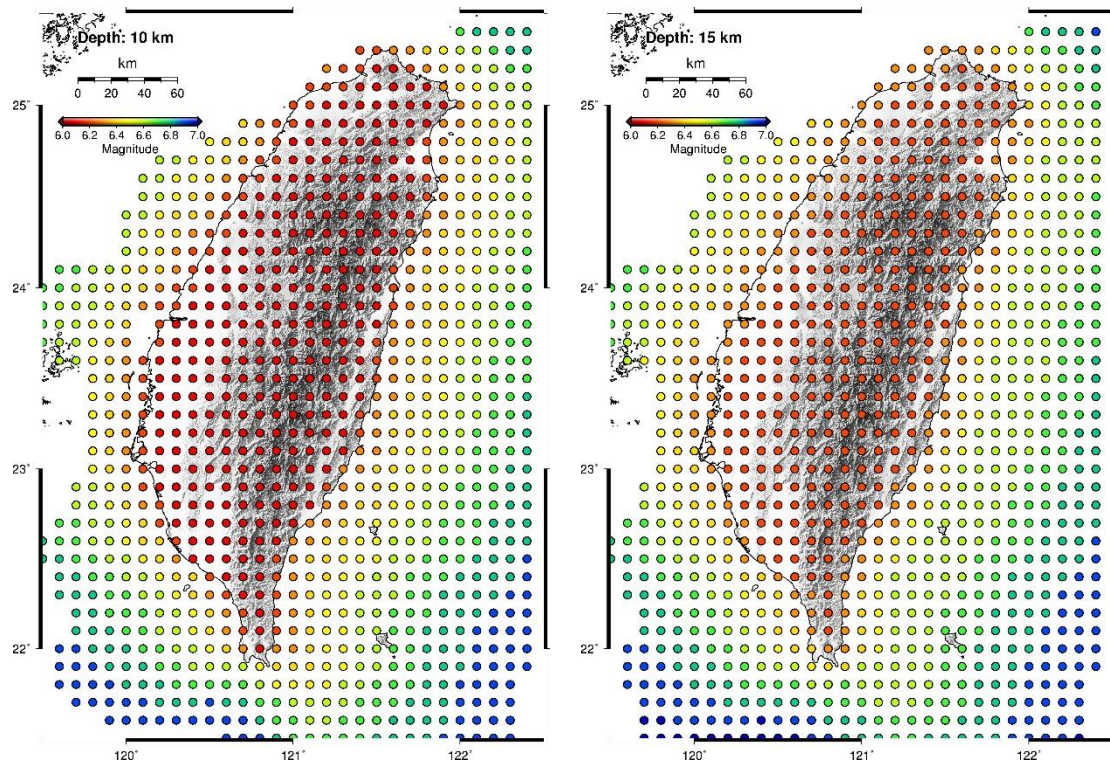


圖 4.37 不同深度各震源位置正演模擬估算之最小地震規模分布圖(1)

(左圖為深度 10 km 之結果；右圖為深度 15 km 之結果。)

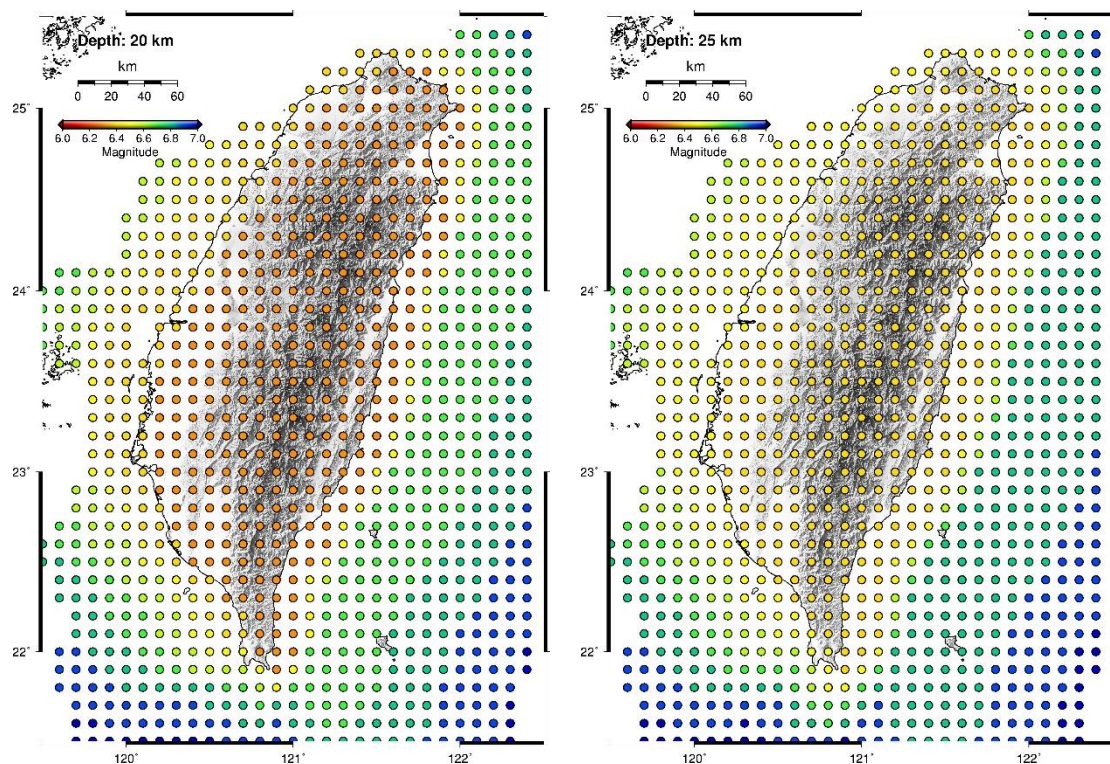


圖 4.38 不同深度各震源位置正演模擬估算之最小地震規模分布圖(2)

(左圖為深度 20 km 之結果；右圖為深度 25 km 之結果。)

(二)地表同震位移場文獻資料蒐集與驗證

為驗證斷層正演模型所模擬臺灣各地區可能造成地表最大水平位移量超過 14 mm 時，必須啟動新增同震格點位移模型之所需最小地震規模結果是否合理？本節首先蒐集臺灣地區顯著地震之相關文獻，並藉由雙線性內插方式進行計算與驗證。

臺灣自 1999 年 9 月 21 日，發生區域地震規模(M_L)7.3 之集集地震後，便逐漸有針對臺灣地區顯著地震之相關研究產生，故自 1999 年集集地震後，臺灣地區之顯著地震即有同震位移場的相關紀錄，加以整合中央氣象局所提供之地震資訊，則可彙整臺灣地區顯著地震之相關資訊，如表 4.6。

在此驗證工作中，首先搜尋歷史地震事件實際震源位置鄰近之 8 個正演模型格點，由該 8 個格點進行雙線性內插，取得該事件模擬之最小所需地震規模，並整合比較獲得表 4.6。由表 4.6 可見，除 2013 年 3 月南投地震外，其餘重大地震事件之地表最大水平位移量皆大於 14 mm，而表 4.6 也合理指出，這些地震事件之實際地震規模皆大於所需最小地震規模模擬值，僅 2013 年 3 月南投地震之實際地震規模略小於所需最小地震規模的模擬值。

表 4.6 臺灣主要地震事件所需最小地震規模模擬比較

地震事件	時間	震央 (°)	深度 (km)	地表最大 水平位移 量 (mm)	規模 (M _L)	所需最小 地震規模 模擬值	參考文獻
1999 年 9 月集 集地震	1999/09/21 01:47:05.9	23.85 N, 120.82 E	10.0	890	7.3	6.1	Yang et al. [2001]
2002 年 3 月花 蓮外海地震	2002/03/31 14:52:50.0	24.14 N, 122.19 E	13.8	5.50	6.8	6.6	Chen et al. [2004]
2003 年 12 月成 功地震	2003/12/10 12:38:13.5	23.07 N, 121.40 E	17.7	12.6	6.4	6.3	Chen et al. [2006]
2006 年 4 月卑 南地震	2006/04/01 18:02:19.5	22.88 N, 121.08 E	7.2	3.51	6.2	6.1	Chen et al. [2009]
2006 年 12 月恆 春地震	2006/12/26 20:26:21.0	21.89 N, 120.56 E	44.1	2.54	7.0	6.6	Chen et al. [2008]
2006 年 12 月恆 春地震	2006/12/26 20:34:51.0	21.97 N, 120.42 E	50.2	2.83	7.0	6.7	Chen et al. [2008]
2010 年 3 月甲 仙地震	2010/03/04 08:18:52.1	22.97 N, 120.71 E	22.6	2.74	6.4	6.3	Ching et al. [2011]
2013 年 3 月南 投地震	2013/03/27 10:03:19.6	23.90 N, 121.05 E	19.4	1.08	6.2	6.3	Chuang et al. [2013]
2013 年 6 月南 投地震	2013/06/02 13:43:03.2	23.86 N, 120.97 E	14.5	4.98	6.5	6.2	Chuang et al. [2013]
2013 年 10 月瑞 穗地震	2013/10/31 20:02:09.5	23.57 N, 121.35 E	15.0	6.2	6.4	6.2	Chuang et al. [2014]
2016 年 2 月美 濃地震	2016/02/06 03:57:26.1	22.92 N, 120.54 E	14.6	7.3	6.6	6.2	Tsai et al. [in preparation]
2018 年 2 月花 蓮地震	2018/02/06 23:50:41.6	24.10 N, 121.73 E	10.0	46.3	6.2	6.2	Yhokha et al. [in preparation]

4.4.2 同震格點位移模型之更新處理流程

由前節內容了解臺灣地區同震格點位移模型之更新時機後，本節將進行同震格點位移模型之建立與更新。此節可分為兩部分：(1)就資料處理部分，為建立同震格點位移模型，本計畫採用公開的超快速星曆 GNSS 衛星軌道資料，以即時取得地表同震位移場；(2)就模型建立部分，本計畫採用斷層錯位模型進行地表最佳同震位移模型之推求，再利用同震位移模型測試所得到的最佳震源參數以推算各個格點之地表同震位移場。

就資料處理部分，若由國家坐標基準的角度切入，取得最精確的位移量應是最優先考量。然而，考慮到地震災害發生時，若需即時進行災後測量調查，或透過地表位移場推估重災區分布位置以協助救災工作的進行，則相對於極精確之位移量推求，近即時的地表同震位移模型更為重要。因此，本計畫採用超快速星曆解算 GNSS 連續站的坐標時間序列，並估算該地震的同震位移場。

就模型建立部分，本節採用斷層錯位模型進行地表同震位移模型之推求。斷層錯位模型部分採單一斷層面，根據 AutoBATS (斷層錯位模型分析軟體)提供之震源機制解並參考各地震相關之研究，初步設定重大地震事件之斷層參數，再進一步對地表觀測資料進行模型反演，並計算斷層面上之滑移分布情形，進而獲得斷層面上滑移的時間與空間分布。最後，由於同震位移場並不涉及分區問題，只與地震震源特性有關，故本節將採用與速度模型一致的格點，建立全臺重大地震之水平以及垂直方向地表同震位移場模型。

綜上所述，該作業流程如 (圖 4.39)所示：

1. 採用超快速星曆解算 GNSS 連續站之坐標時間序列，並估算該地震之同震位移場。
2. 蒐集 AutoBATS 提供之震源機制解並參考各地震相關之研究，初步設定重大地震事件之斷層參數。
3. 由地表觀測資料進行模型反演。
4. 計算斷層面上之滑移分布情形，獲得斷層面上滑移的時間與空間分布。
5. 採用與本案速度模型一致之格點，建立全臺重大地震之水平及垂直方向之地表同震位移場模型。

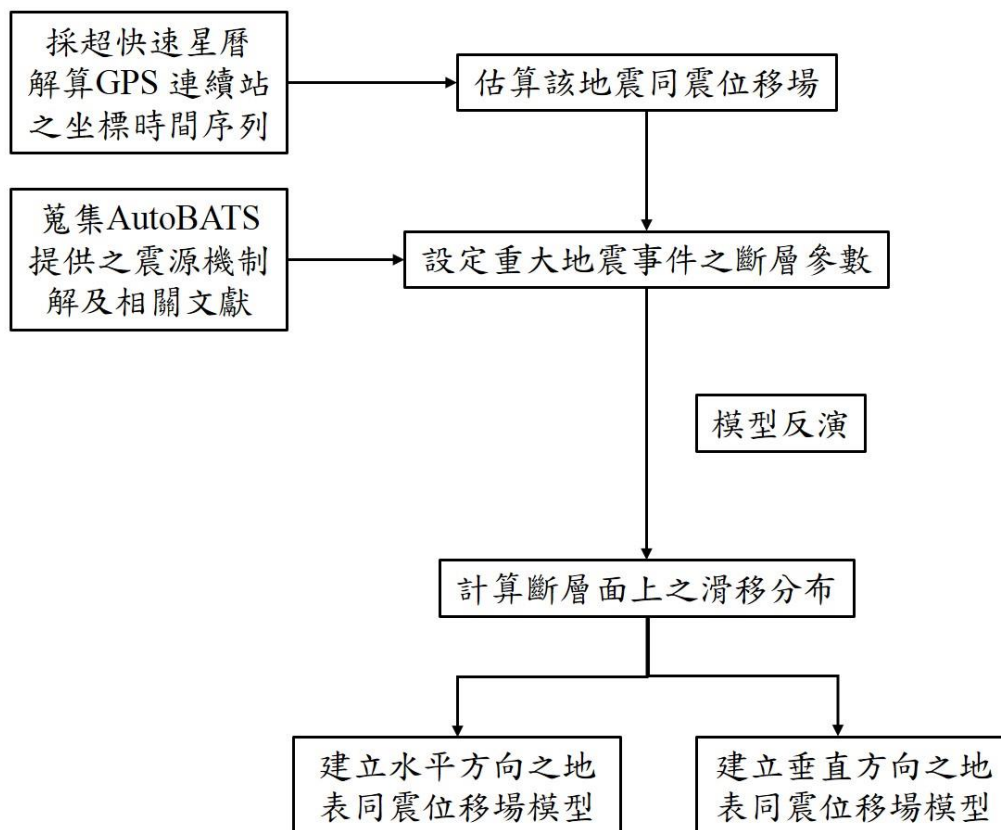


圖 4.39 同震格點位移模型之更新處理流程圖

4.4.3 同震格點位移模型成果與分析

根據 4.4.1 節同震格點位移模型新增時機分析，要在臺灣陸域產生同震地表位移量達到 GNSS 連續站之水平與垂直位移可解析門檻，進而須新增同震格點位移模型的地震規模至少要有 M_w 6.1 以上。因此，本節將進行 2010 年至今，地震規模大於 M_w 6.1 之重大地震的同震格點位移模型之建立與更新，並已於 4.4.1 節中檢驗模型的正演成果對應於各地震的實際規模，確認此操作流程可應用於當未來重大地震發生時，藉以判斷是否需要更新同震格點位移模型之用。因此，本節依照表 4.6，分別進行自 2010 年 3 月甲仙地震以來，共計 6 個臺灣地區之重大災害地震的同震格點位移模型建立與成果分析說明，並納入本計畫的「更新變位模式」應用軟體中以提供使用。

(1) 2010 年 3 月 M_L 6.4 甲仙地震格點位移模型成果

本節利用 2010 年甲仙地震的同震位移資料，參考 [Ching et al. \(2011\)](#) 之斷層模型以及斷層震源參數，透過正演模型推算全臺各格點之同震位移量，所得之全臺水平與垂直同震格點位移模型結果如圖 4.40 及圖 4.41，局部區域之水平與垂直同震格點位移模型結果如圖 4.42 及圖 4.43，其中，矩形區域為斷層面投影至地表之位置，而斷層面上之色階分布則為斷層面上之滑移分布情形，顏色越深表示滑移量越大，藍色箭頭為由斷層震源參數推算而得之水平同震格點位移量，白色星號為震央位置。圖 4.40 及 4.41 各格點之同震位移量以藍色箭頭表示，由圖可見，水平方向之同震格點位移(圖 4.40)主要集中於震央東西兩側，範圍為臺灣東南部海域至臺灣西南部沿海地區；垂直方向則集中於震央東側與西北側，分布範圍由東南部沿海延伸至震央西北側之西南部內陸。

圖 4.42 為拉近至震央附近區域之水平同震格點位移模型成果圖，參照 Ching *et al.* (2011) 之斷層模型計算結果，2010 年甲仙地震斷層面上之最大滑移量約為 190 mm；最大水平同震格點位移量約為 30 mm。滑移主要集中於震央及其西側區域；水平同震位移量主要集中於震央東側及西側區域，東側部分之同震位移方向為由東往西並逐漸偏往震央方向，且由臺灣東南部海域開始即有水平同震位移產生，其量值隨格點往內陸地區向西側逐漸增加，並往震央西北側部分持續延伸。此外，震央西南側之格點亦有部分水平同震位移之分布，且其同震位移之方向與前述不同，為西南往東北逐漸增加之位移。由垂直方向之同震格點位移模型(圖 4.43)，則明顯可見斷層東西兩側之垂直位移方向完全相反，斷層西側之垂直位移為向上抬升，斷層東側則為向下沉降，而根據計算結果，最大垂直同震格點位移量約為 45 mm。

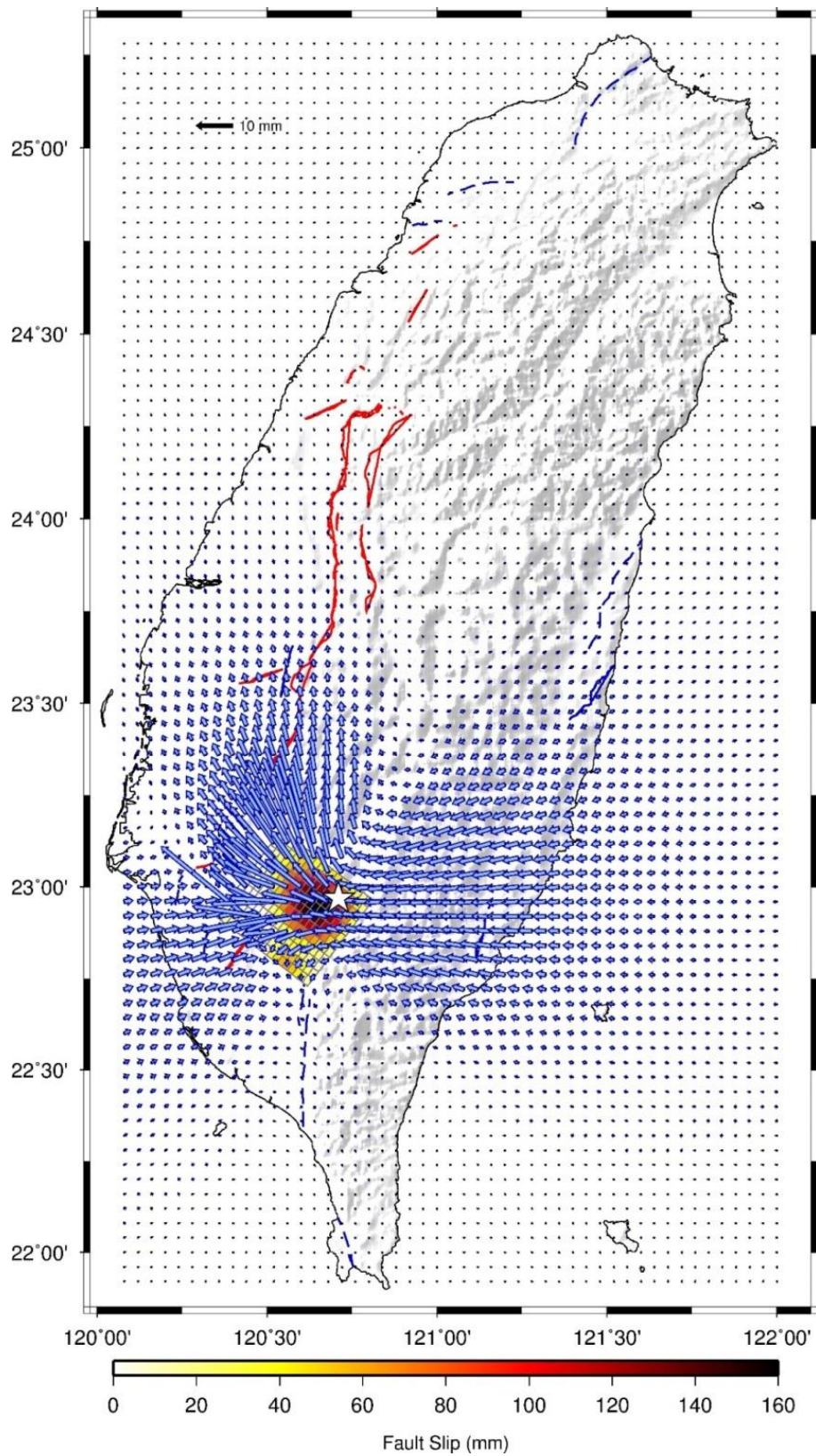


圖 4.40 甲仙地震(2010 年 3 月)之全臺水平地表同震格點位移場
(局部放大之甲仙地震水平方向地表同震位移場模型如圖 4.41 所示)

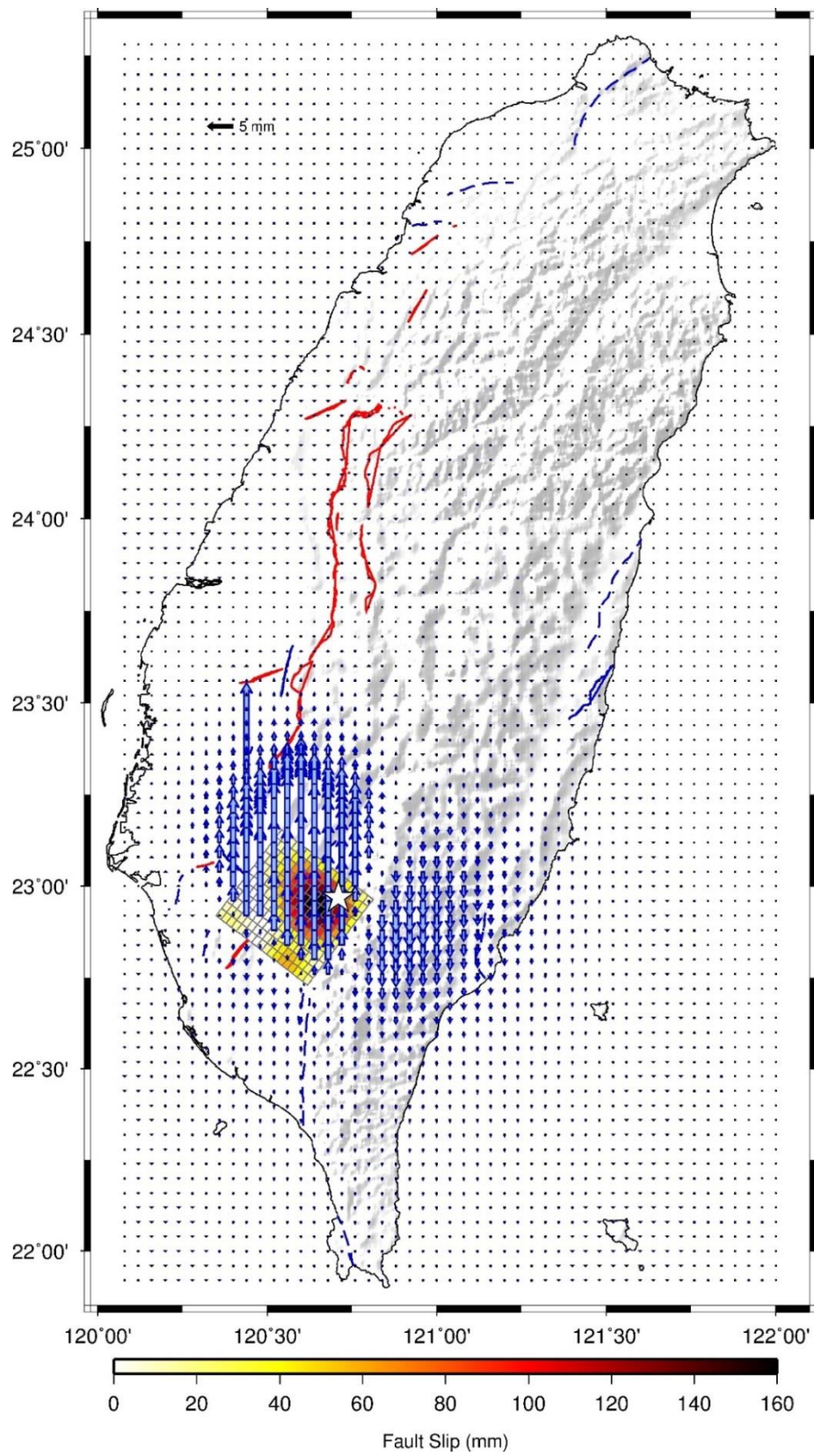


圖 4.41 甲仙地震(2010 年 3 月)之全臺垂直地表同震格點位移場
(局部放大之甲仙地震垂直方向地表同震位移場模型如圖 4.42 所示)

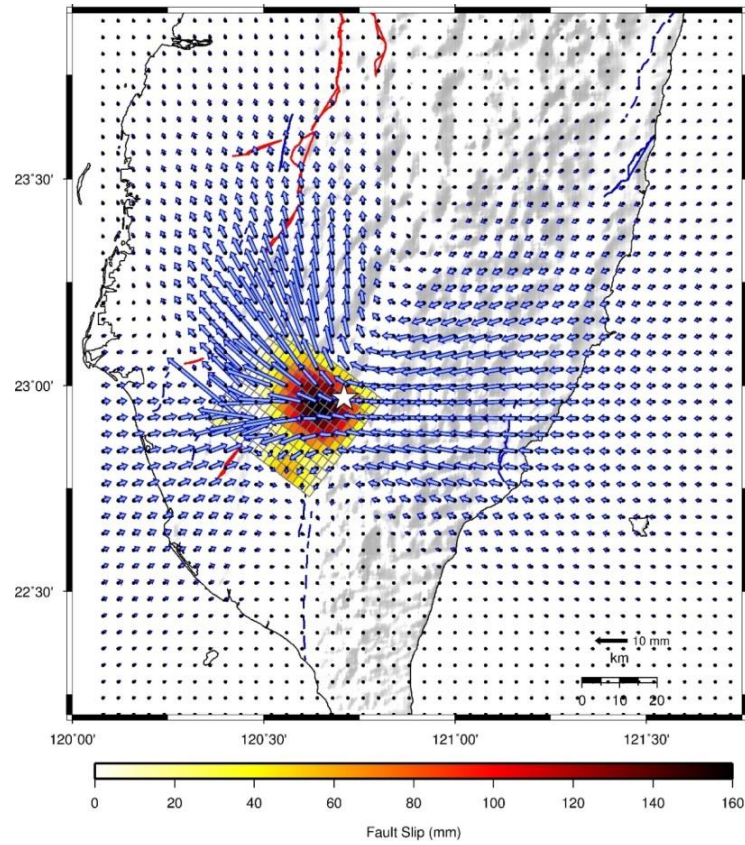


圖 4.42 甲仙地震(2010 年 3 月)之局部放大水平地表同震格點位移場

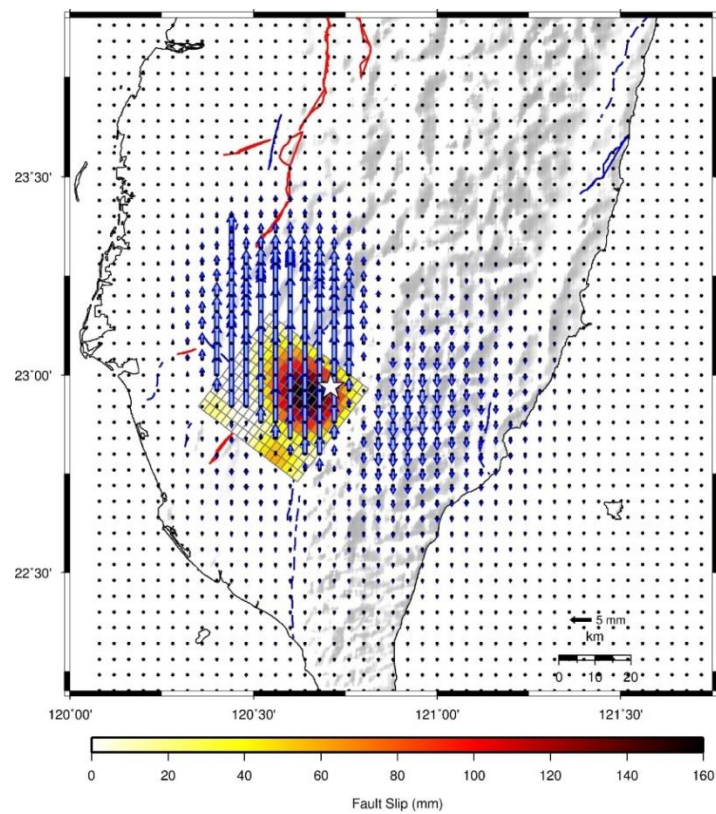


圖 4.43 甲仙地震(2010 年 3 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場

(2) 2013 年 3 月 ML 6.2 南投地震格點位移模型成果

本節利用 2013 年 3 月南投地震之同震位移資料，參照 [Chuang et al. \(2013\)](#) 斷層模型以及斷層震源參數，透過正演模型推算全臺各格點之同震位移量，得到全臺水平與垂直同震格點位移模型成果如圖 4.44 及圖 4.45，局部區域之水平與垂直同震格點位移模型如圖 4.46 及圖 4.47，其中，矩形區域為斷層面投影至地表之位置，而斷層面上之色階分布則為斷層面上的滑移分布情形，顏色越深表示滑移量越大，藍色箭頭為由斷層震源參數推算而得之水平同震格點位移量，白色星號為震央位置。由圖 4.44 及 4.45 可得知，水平方向之同震格點位移(圖 4.44) 主要集中於震央東西兩側，範圍分布於臺灣東部海域至臺灣中部區域；垂直方向之同震格點位移則集中於震央東側與西北側，分布範圍則由斷層東側臺灣東部區域延伸至震央西北側之臺灣中部內陸區域。

由圖 4.46 得知，2013 年 3 月南投地震震央附近斷層面上之最大滑移量約為 120 mm；最大水平同震格點位移量約為 14.7 mm。滑移主要集中於震央鄰近區域；水平同震位移量主要集中於震央東側及西側區域，東側部分之同震位移方向為由東往西並逐漸偏往震央方向，且由臺灣東部沿海區域開始有水平同震位移之分布，其量值隨格點往內陸地區向西側逐漸增加，並於通過震央開始分別往西南方及西北方延伸，震央之正西側可見一明顯之分界。此外，震央西側之格點亦有部分水平同震位移之分布，且其同震位移的方向與前述不同，該處的同震位移為由西向東且有緩增之趨勢。由垂直方向之同震格點位移模型(圖 4.47)，明顯可見斷層東西兩側之垂直位移方向完全相反，斷層西側之垂直位移為向上抬升，斷層東側則為向下沉降，根據計算結果，最大垂直同震格點位移量約為 29 mm。

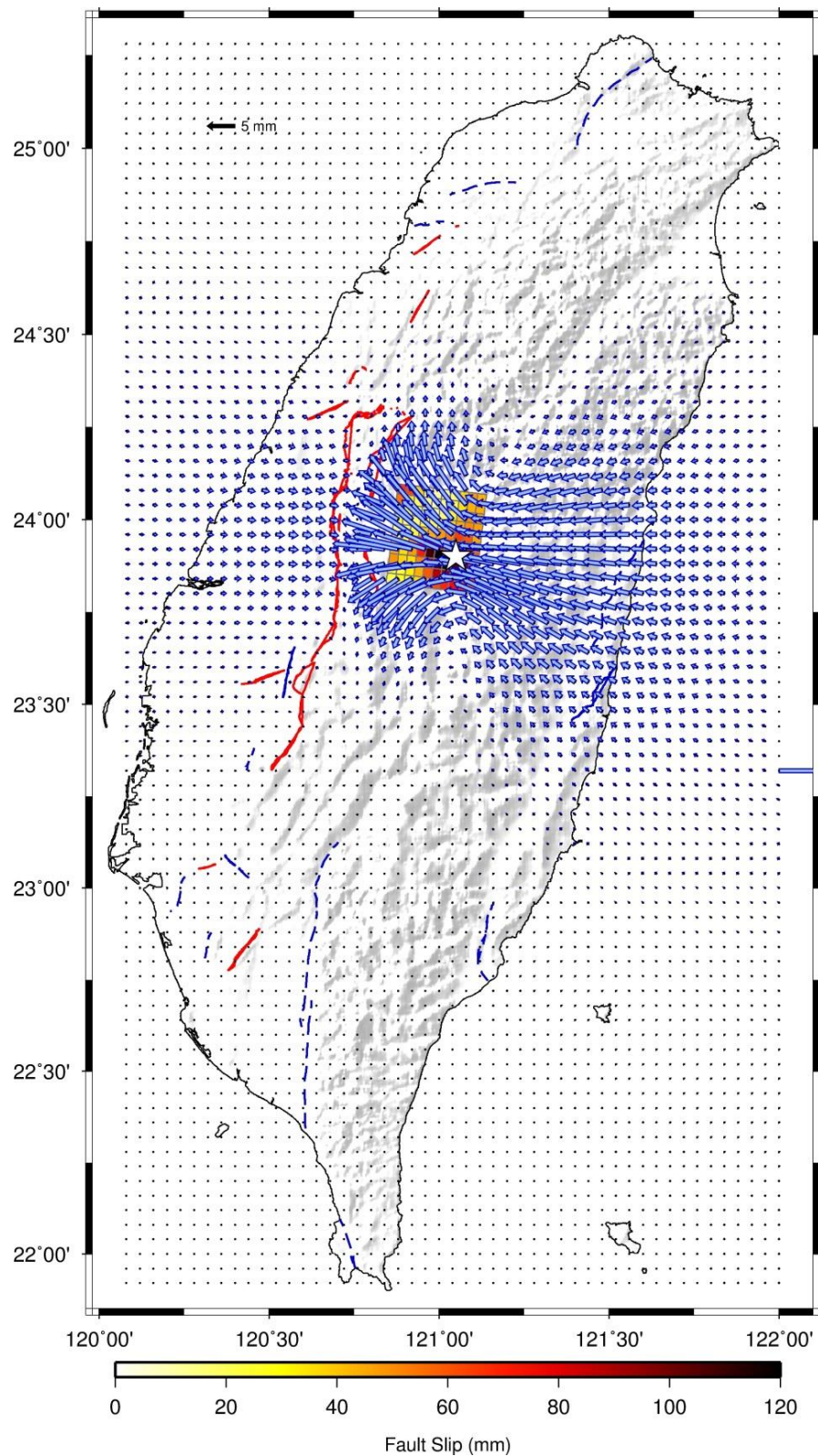


圖 4.44 南投地震(2013 年 3 月)之全臺水平地表同震格點位移場
(局部放大之南投地震水平方向地表同震位移場模型如圖 4.45 所示)

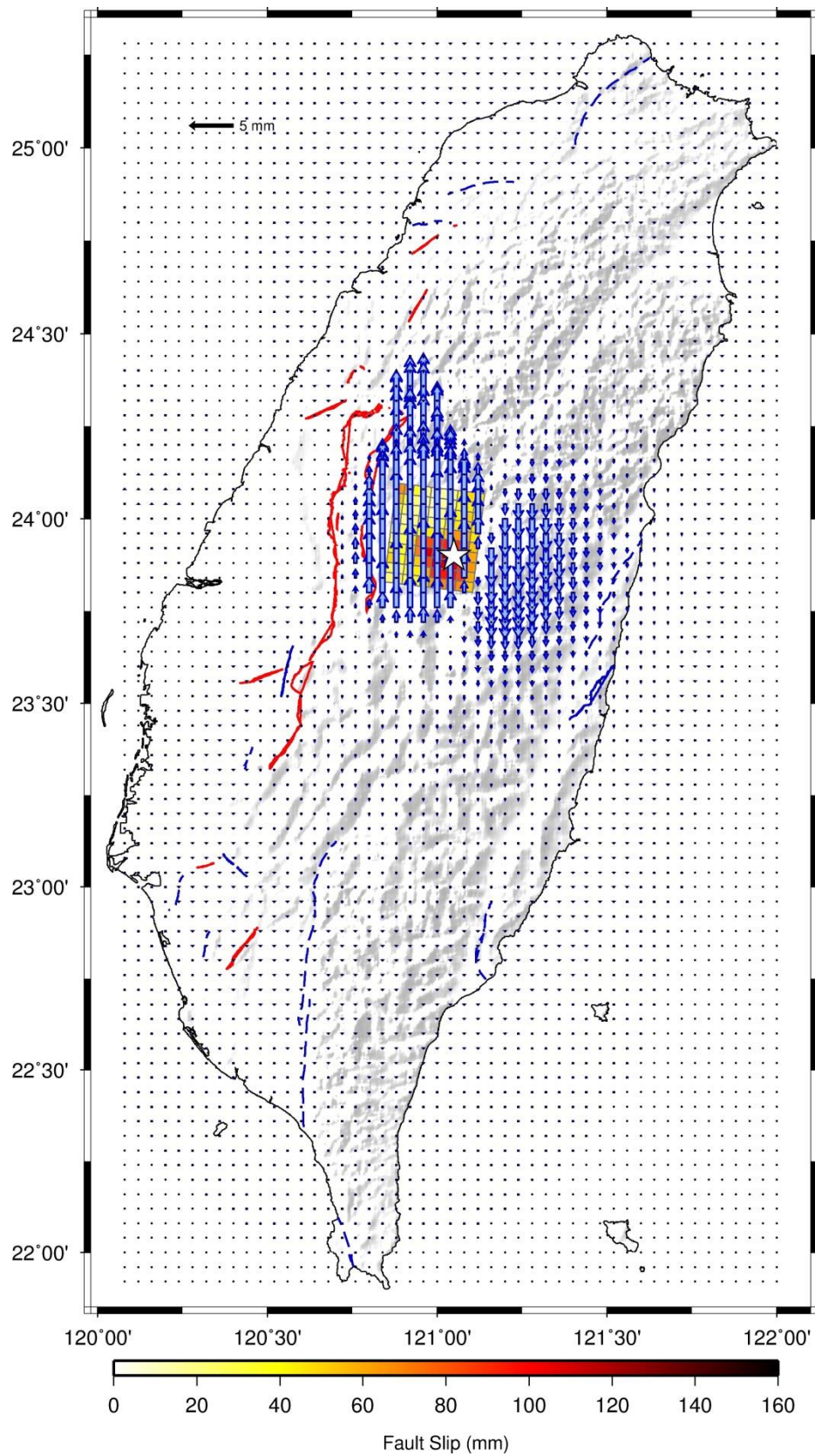


圖 4.45 南投地震(2013 年 3 月)之全臺垂直地表同震格點位移場
(局部放大之南投地震垂直方向地表同震位移場模型如圖 4.46 所示)

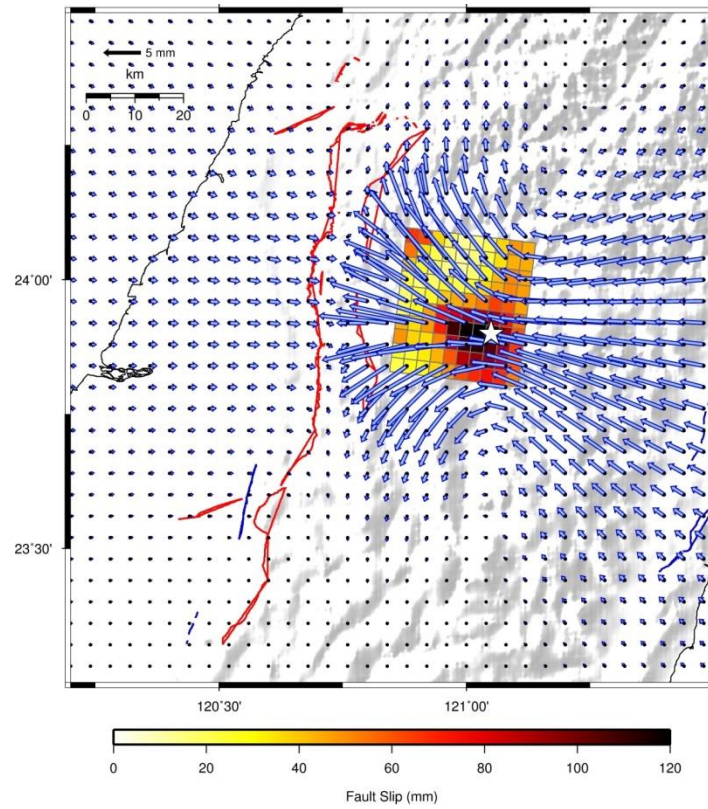


圖 4.46 南投地震(2013 年 3 月)之局部放大水平地表同震格點位移場

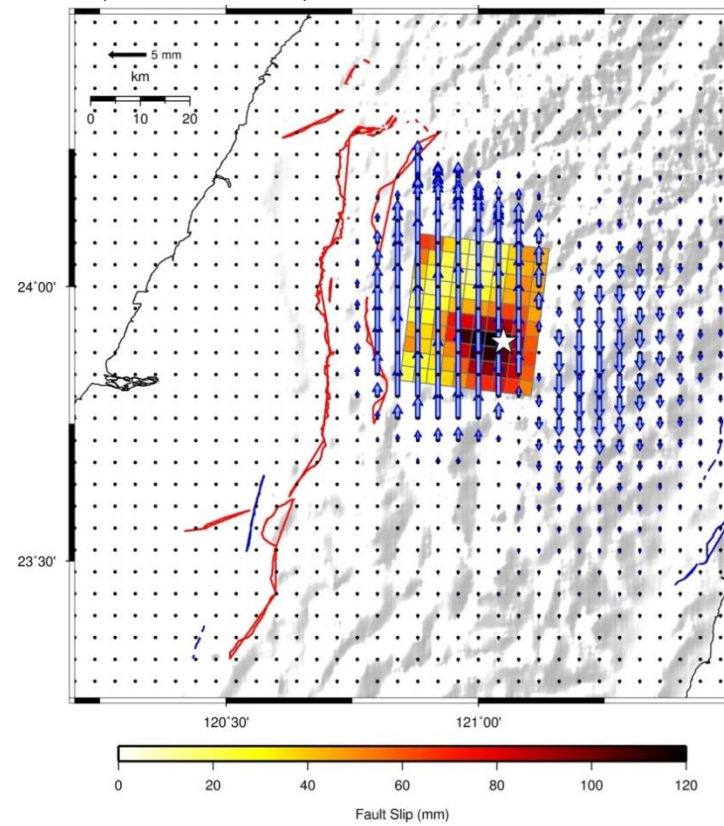


圖 4.47 南投地震(2013 年 3 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場

(3) 2013 年 6 月 ML 6.5 南投地震格點位移模型成果

本節利用 2013 年 6 月南投地震之同震位移資料，參照 [Chuang et al. \(2013\)](#) 之斷層模型以及斷層震源參數，透過正演模型推算全臺各格點之同震位移量，所得之全臺水平與垂直同震格點位移模型成果如圖 4.48 及圖 4.49，局部區域拉近之水平與垂直同震格點位移模型結果如圖 4.50 及圖 4.51。其中，矩形區域為斷層面投影至地表之位置，而斷層面上之色階分布則為斷層面上之滑移分布情形，顏色越深表示滑移量越大，藍色箭頭為由斷層震源參數推算而得之水平同震格點位移量，白色星號為震央位置。在圖 4.48 及 4.49 中，各格點的同震位移量，水平方向(圖 4.48)與同年 3 月發生的南投地震相似，主要集中於震央東西兩側，範圍分布於臺灣東部靠近本島陸地之海域至臺灣中部區域；垂直方向之同震格點位移分布範圍亦同樣位於震央東側與西北側，但相較於 3 月南投地震而言，此地震之垂直同震格點位移更集中於臺灣中部區域。

圖 4.50 為拉近至震央附近區域之水平同震格點位移模型成果圖，根據模型計算結果，2013 年 6 月南投地震震央附近斷層面上之最大滑移量約為 320 mm；最大水平同震格點位移量約為 48 mm。滑移主要集中於震央鄰近區域；水平同震位移量主要集中於震央東側及西側偏北之區域，東側部分之同震位移方向為由東往西並逐漸偏往震央方向，且由臺灣東部沿海區域開始有水平同震位移之分布，其量值隨格點往內陸地區向西側逐漸增加，於震央附近趨於集中，主要往西北方延伸，但仍有部分西南方向之位移。此外，震央西側之格點亦有部分水平同震位移之分布，但其位移之方向與震央附近相反，該處之同震位移為由西向東，分布範圍由西部沿海地區往南投地區緩增。由垂直

方向之同震格點位移模型(圖 4.51)，明顯可見斷層東西兩側之垂直位移方向完全相反，斷層西側之垂直位移為向上抬升，斷層東側為向下沉降，其最大垂直同震格點位移量亦約為 29 mm。

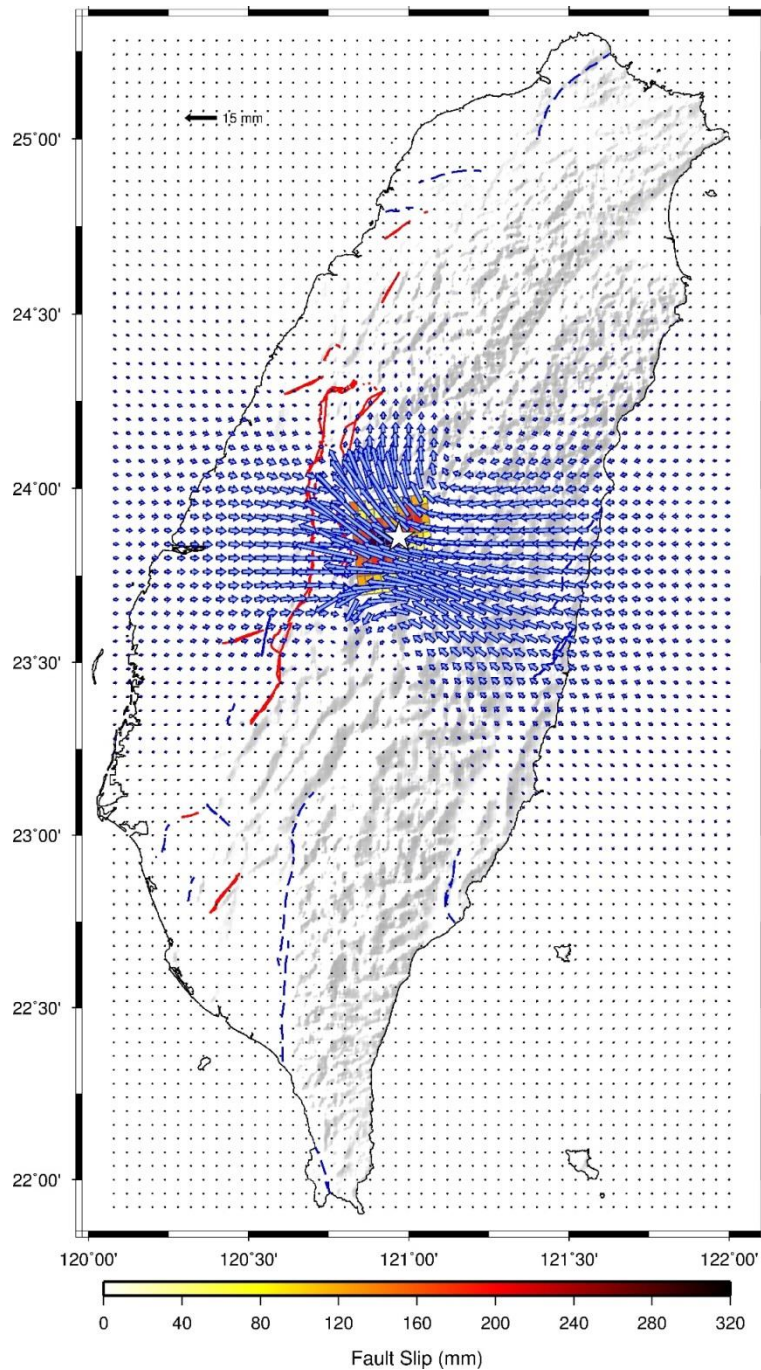


圖 4.48 南投地震(2013 年 6 月)之全臺水平地表同震格點位移場
(局部放大之南投地震水平方向地表同震位移場模型如圖 4.49 所示)

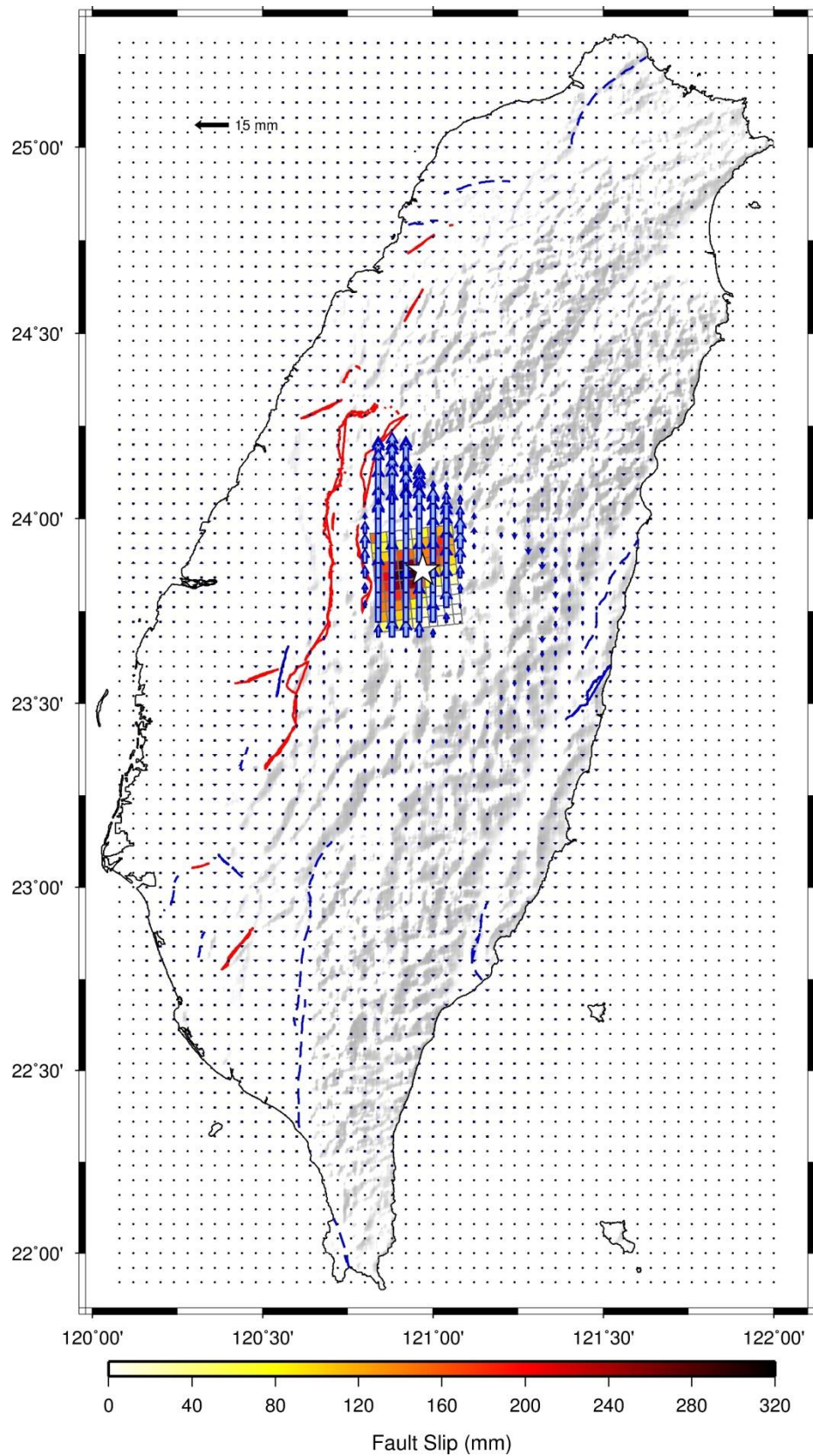


圖 4.49 南投地震(2013 年 6 月)之全臺垂直地表同震格點位移場
(局部放大之南投地震垂直方向地表同震位移場模型如圖 4.50 所示)

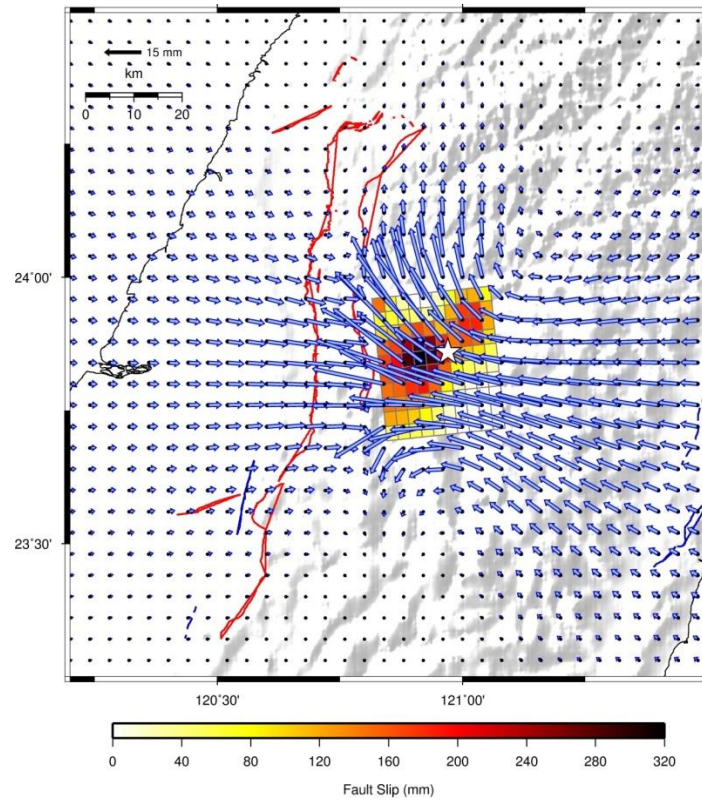


圖 4.50 南投地震(2013 年 6 月)之局部放大水平地表同震格點位移場

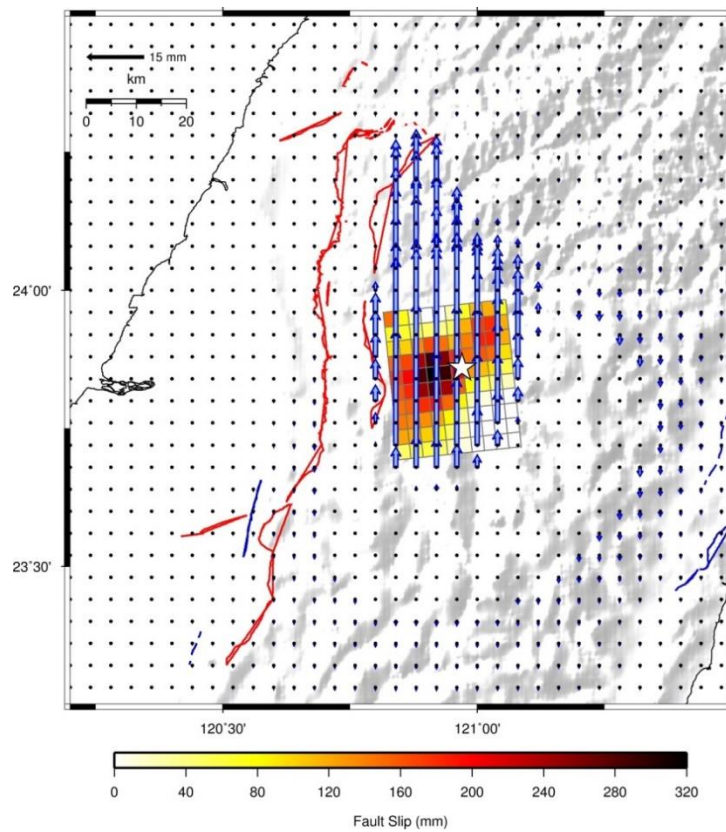


圖 4.51 南投地震(2013 年 6 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場

(4) 2013 年 10 月 ML 6.4 瑞穗地震格點位移模型成果

本節利用 2013 年 10 月瑞穗地震之同震位移資料，依據 [Chuang et al. \(2013\)](#) 之斷層模型以及斷層震源參數，透過正演模型推算全臺各格點之同震位移量，得到全臺水平與垂直同震格點位移模型結果如圖 4.52 及圖 4.53，放大震央局部區域之水平與垂直同震格點位移模型成果如圖 4.54 及圖 4.55，其中，矩形區域為斷層面投影至地表之位置，而斷層面上之色階分布則為斷層面上之滑移分布情形，顏色越深表示滑移量越大，藍色箭頭為由斷層震源參數推算而得之水平同震格點位移量，白色星號為震央位置。由圖 4.52 及 4.53 可以得知，各格點水平方向之同震格點位移主要集中於震央東側與西北、西南兩側，範圍分布於臺灣東部海域至臺灣東半部靠本島中央地區之區域；垂直方向之同震格點位移(圖 4.53)分布範圍位於震央南北側，又以北側之同震格點位移較多。

圖 4.54 為局部放大震央附近區域之水平同震格點位移模型成果圖，根據模型計算結果，斷層面上之最大滑移量約為 560 mm；最大水平同震格點位移量約為 63.5 mm。滑移主要集中於東北側之斷層面；水平同震位移量主要集中於震央東側及西側偏北之區域，東側部分之同震位移為東南往西北方向，並逐漸偏往震央方向。由臺灣東部海域起即有水平同震位移之分布，且其量值隨格點往臺灣本島東部沿海地區向西北方逐漸增加，於震央附近趨於集中；另外，西北側之同震格點位移則分布於本島中央區域向東南方延伸至震央附近，越接近震央其格點位移量值越大，並於震央周圍開始，位移量之方向逐漸由西北往東南向轉為東北往西南向之位移，其量值亦隨格點遠離震央而漸減。由垂直方向之同震格點位移模型成果(圖 4.55)來看，明顯可見垂直位

移主要集中於斷層面附近，垂直位移為顯著的向上抬升，斷層東側肌西北側則為極不明顯之向下沉降，依據計算結果，最大垂直同震格點位移量約為 139 mm。若觀察此地震之水平同震格點位移型態，並參照 [Chuang et al. \(2013\)](#) 所設定之斷層東西兩側，其同震格點位移之方向為相對方向，故依據此同震格點位移模型可推定此處為斷層兩側相互擠壓之逆斷層。

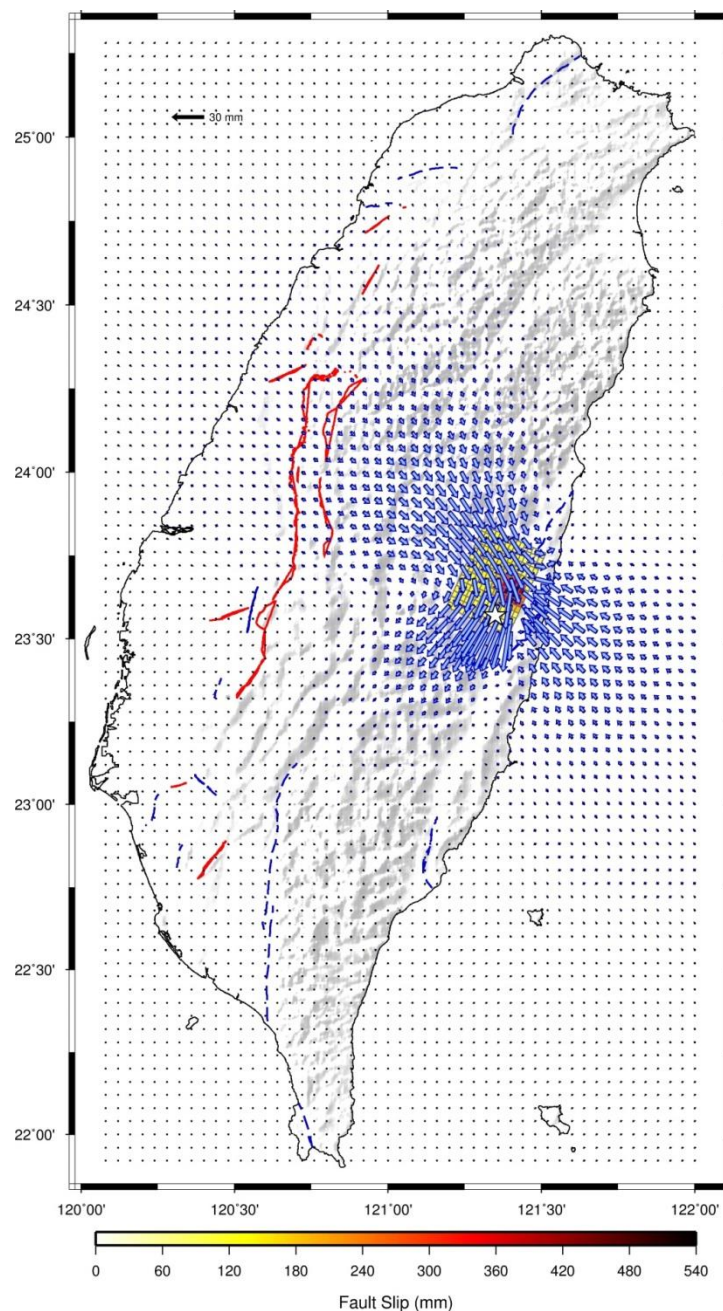


圖 4.52 瑞穗地震(2013 年 10 月)之全臺水平地表同震格點位移場
(局部放大之瑞穗地震水平方向地表同震位移場模型如圖 4.54 所示)

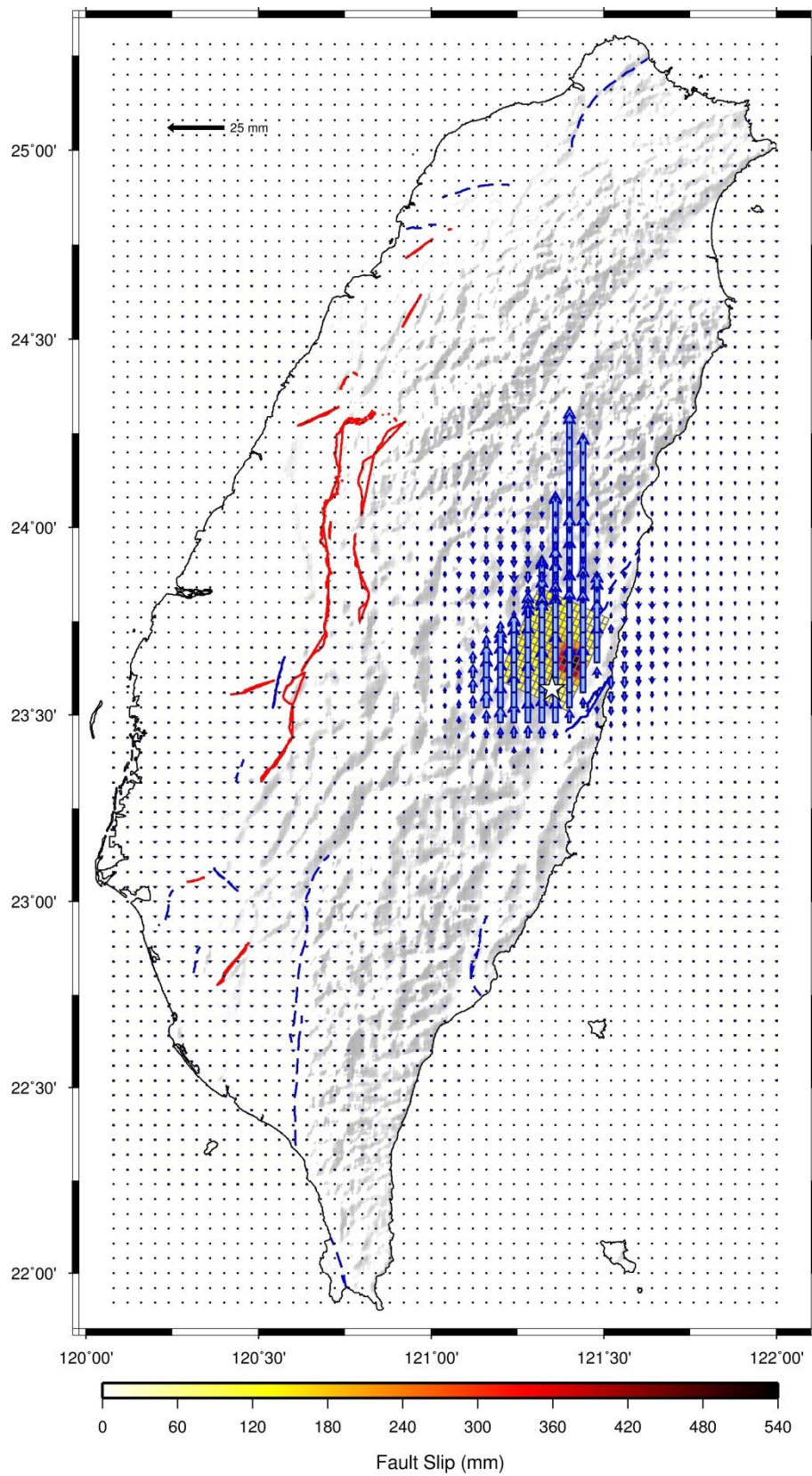


圖 4.53 瑞穗地震(2013 年 10 月)之全臺垂直地表同震格點位移場
(局部放大之瑞穗地震垂直方向地表同震位移場模型如圖 4.55 所示)

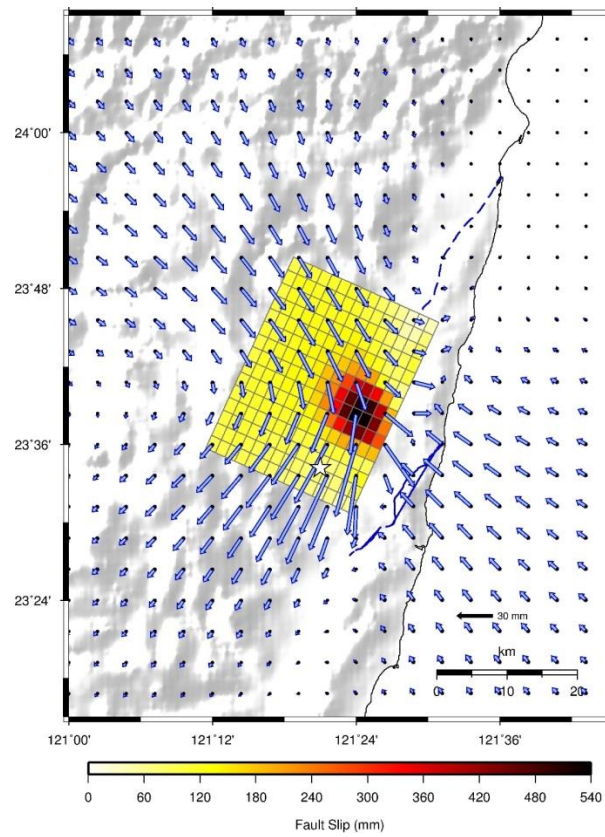


圖 4.54 瑞穗地震(2013 年 10 月)之局部放大水平地表同震格點位移場

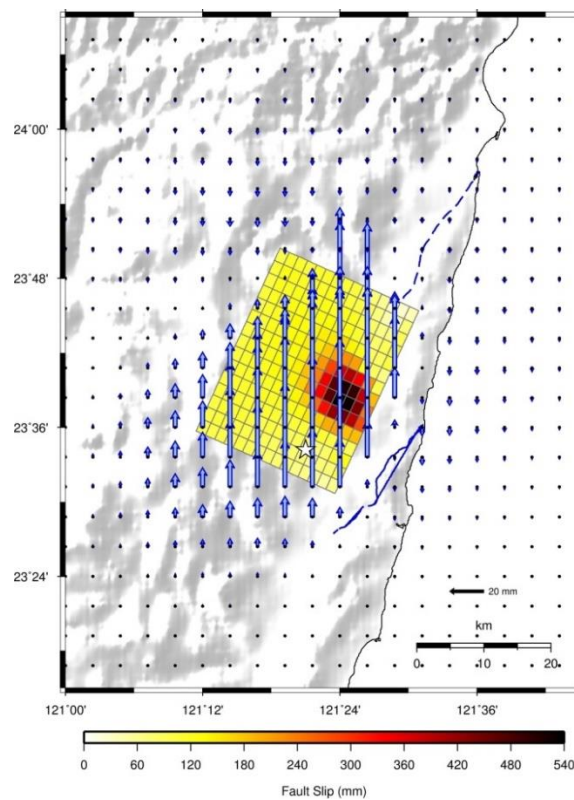


圖 4.55 瑞穗地震(2013 年 10 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場

(5) 2016 年 2 月 ML 6.6 美濃地震格點位移模型成果

本節利用 2016 年 2 月美濃地震的同震位移資料，依據 105 年案工作總報告書(內政部國土測繪中心，2017)所擬合的最佳斷層模型以及斷層震源參數，透過正演模型推算全臺各格點之同震位移量，估計得全臺水平與垂直同震格點位移模型成果如圖 4.56 及圖 4.57，放大震央局部區域之水平與垂直同震格點位移模型結果如圖 4.58 及圖 4.59，其中，矩形區域為斷層面投影至地表之位置，斷層面上之色階分布則為斷層面上之滑移分布情形，顏色越深表示滑移量越大，藍色箭頭為由斷層震源參數推算而得之水平同震格點位移量，白色星號為震央位置。由圖 4.56 及 4.57 可得知，各格點水平方向的同震格點位移主要集中於震央西側與東北兩側，範圍分布於臺灣西南部沿海地區至臺灣東部內陸地區之區域；垂直方向之同震格點位移(圖 4.56)分布範圍則位於震央東西兩側，又以西側之同震格點位移分布範圍較大。圖 4.58 為局部放大震央附近區域之水平同震格點位移模型成果圖，根據計算結果，斷層面上的最大滑移量約為 280 mm；最大水平同震格點位移量約為 29 mm。滑移主要集中於東北側之斷層面；水平同震位移量主要集中於震央西側及東側偏北之區域，東側部分之同震位移皆偏往震央方向。由臺灣東部內陸起即有水平同震位移之分布，且其量值隨格點往震央靠近而逐漸增加；西側之同震格點位移則由震央附近向西南方向方延伸至西南部沿海區，越遠離震央其格點位移量值漸減。由垂直方向之同震格點位移模型成果(圖 4.59)來看，則明顯可見垂直位移主要集中於震央東西兩側，西側之垂直位移為顯著的向上抬升，東側則為顯著之向下沉降，並於震央處有一顯而易見之分界。而根據計算結果，最大垂直同震格點位移量約為 30 mm。

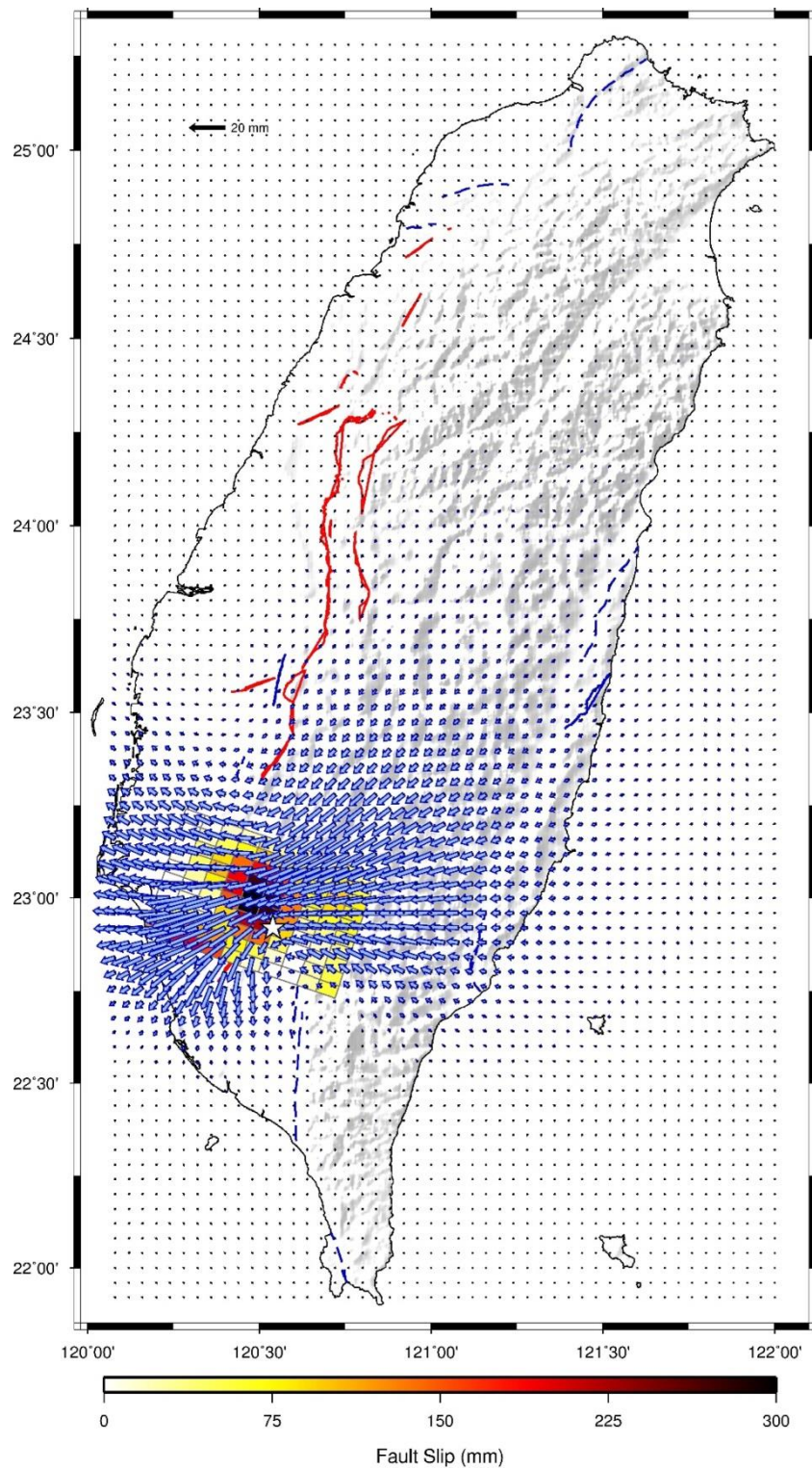


圖 4.56 美濃地震(2016 年 02 月)之全臺水平地表同震格點位移場
(局部放大之美濃地震水平方向地表同震位移場模型如圖 4.58 所示)

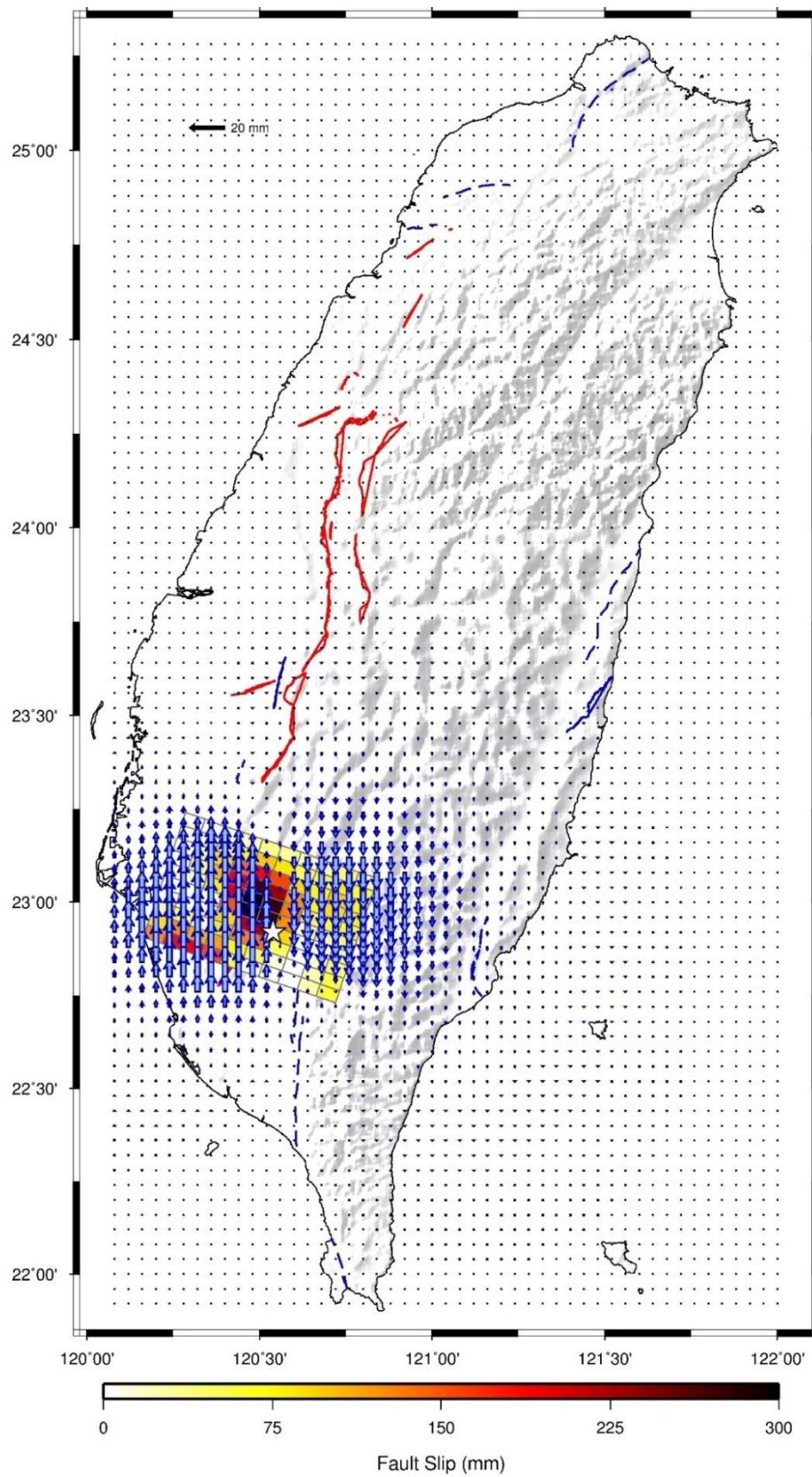


圖 4.57 美濃地震(2016 年 02 月)之全臺垂直地表同震格點位移場
(局部放大之美濃地震垂直方向地表同震位移場模型如圖 4.59 所示)

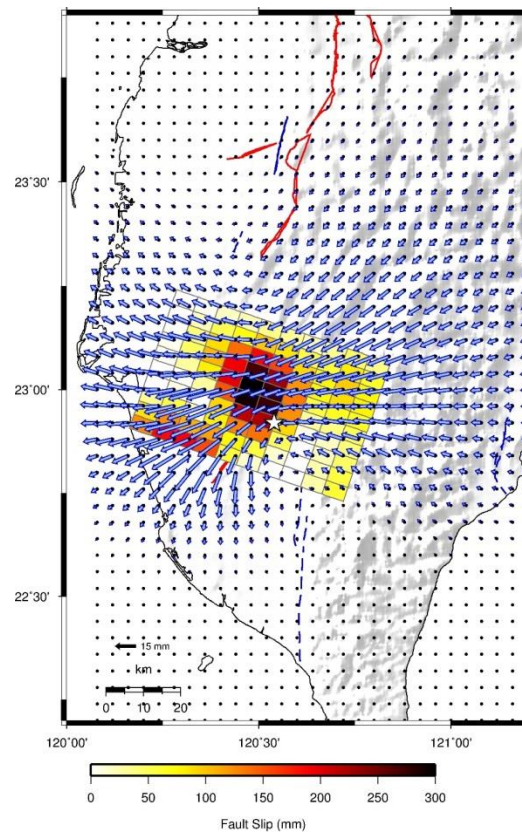


圖 4.58 美濃地震(2016 年 02 月)之局部放大水平地表同震格點位移場

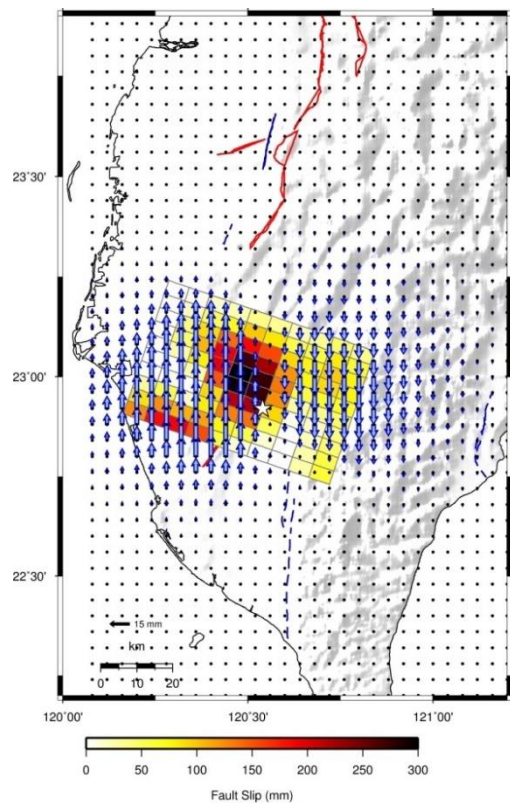


圖 4.59 美濃地震(2016 年 02 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場

(6) 2018 年 2 月 M_L 6.2 花蓮地震格點位移模型成果

a. 花蓮地震同震震源模型之建立與分析

2018 年 2 月 6 日臺灣東部花蓮近海發生 M_L 6.4 的地震(圖 4.60)，震央位於東部海岸附近(24.132°N , 121.659°E)，震源深度約 10 km。本節首先彙整測繪中心、地調所、中央氣象局、中央研究院等單位之全臺 GNSS 連續站資料進行地表同震位移場之解算。此外，地調所又分別於 2 月 8 日於近震央區進行 9 個 GNSS 移動站之觀測，再於 2 月 26 日在壽豐及光復地區進行另外 7 個 GNSS 移動站測量，總計於震源區域共計進行 16 個 GNSS 移動站之觀測；地調所另於 2 月 27 日至 2 月 28 日完成嶺頂-龍澗精密水準測線之量測。

在同震位移場的推求中，GNSS 連續站採用地震前三天與地震後兩天的坐標每日解，藉由階層函式(step function)進行時間序列擬合獲得同震位移場。就 GNSS 移動站與精密水準路線資料而言，由於此兩次測量成果是由地調所每年施測一次之外業所獲得，為了獲得更合理的同震位移場，107 年案採用 2014 年至地震後的所有立即施測成果，同樣藉由階層函式進行時間序列擬合，如此可以近乎排除震間變形(interseismic deformation)的效應，獲得更可靠的同震位移場。由 GNSS 連續站、移動站與精密水準測量獲得之地表同震位移場(圖 4.60)指出，此次地震同震位移較大的地方並不是震央所在之處，而是位於南邊的米崙斷層兩側及嶺頂斷層北段。米崙斷層東側上盤之點位同震位移場多呈北至東北向，斷層西側之點位大多呈西南向，反映米崙斷層為左移的形態；花蓮大橋西側的 GNSS 移動站及東側的 GNSS 移動站，其水平同震位移方向由西南向轉為北向，整體水平同震位移量約 7 ~ 520 mm，同樣也反映嶺頂斷層為左移的運動形態；震源區之最大水

平同震位移量在南北向達到 440 mm，東西向為 278 mm。垂直位移場則指出(圖 4.60)，北埔地區的米崙斷層兩側皆呈現抬升，美崙山南側則為沉陷。往南，斷層東側嶺頂地區呈下陷，斷層西側的志學地區則為抬升。壽豐以南位移量並不顯著，整體垂直同震位移量約-78~164 mm。其中位於花蓮大橋西側及東側的 GNSS 移動站，在垂直分量上由顯著抬升轉為沉陷，變化十分顯著。

在衛星影像處理方面，主要採用歐洲太空總署 ESA(European Space Agency)所屬衛星 Sentinel-1A & 1B 的雷達衛星影像(圖 4.61)。在主要變形區域之中，衛星影像計算之成果顯示最大的抬升量位於花蓮市東北方靠近七星潭的位置，此外，嶺頂斷層北段下盤側則是另一個主要抬升區域。主要下陷區域則是位於米崙斷層南段，且跨越米崙斷層或嶺頂斷層北段東西兩側均有明顯之位移不連續。

因此，從同震地表變形的觀點出發，推測此次地震發生之時，米崙斷層與嶺頂斷層均有產生錯動，且分屬不同的斷層系統。另外嶺頂斷層北段的下盤側也可能存在一未知斷層被誘發，造成下盤側的抬升變形和西南向的同震位移。為了驗證此想法，本團隊利用斷層錯位模型，建立初步的斷層模型來嘗試推求可能的震源模型。首先利用單一滑移量斷層模型，以及蒙地卡羅法反演 GNSS 同震位移場與 DInSAR 同震位移場，搜尋最佳的斷層參數。其模型最佳解指出(圖 4.60 與圖 4.61)，造成這次地震的發震系統包含兩個可能的斷層面(圖 4.62)，一個為深部向西傾斜，傾角約 67° 的左移盲斷層，此斷層面可能延伸至約 20 km 深，並在淺部被米崙斷層截切；另一個則為淺部向東傾斜的米崙斷層，傾角約 52° 的左移斷層，斷層破裂深度約至 7 km 深。此發震系統的斷層幾何，可以與主震位置及主震餘震序列進行相當好的

比對。接著，在固定這些斷層幾何參數後，將斷層面劃分成數十個小斷層面，同時反演 GNSS 同震位移場、Sentinel-1 升軌與降軌之同震位移場，估算各斷層之斷層滑移分布(圖 4.63 至圖 4.65)。其最佳模型指出，深部向西傾斜盲斷層之滑移量主要分布在 200 mm ~ 800 mm，集中在深度約 2 – 15 km 的位置；淺部向東傾斜米崙斷層之滑移量主要分布在 200 mm ~ 600 mm，集中在深度約 5 km 以上的位置。深部向西傾斜盲斷層之測地矩(M_0)為 7.35×10^{25} dyne-cm，相當於 M_w 6.54；淺部向東傾斜米崙斷層之測地矩為 9.41×10^{24} dyne-cm，相當於 M_w 5.95。根據 GNSS、精密水準與 DInSAR 測量成果的解析，並結合模型建置的結果，推論本次花蓮近海地震是由一個深部向西傾斜的左移盲斷層向南錯動後，誘發淺部向東傾斜之米崙斷層活動，並在同震時期同時產生地表破裂。

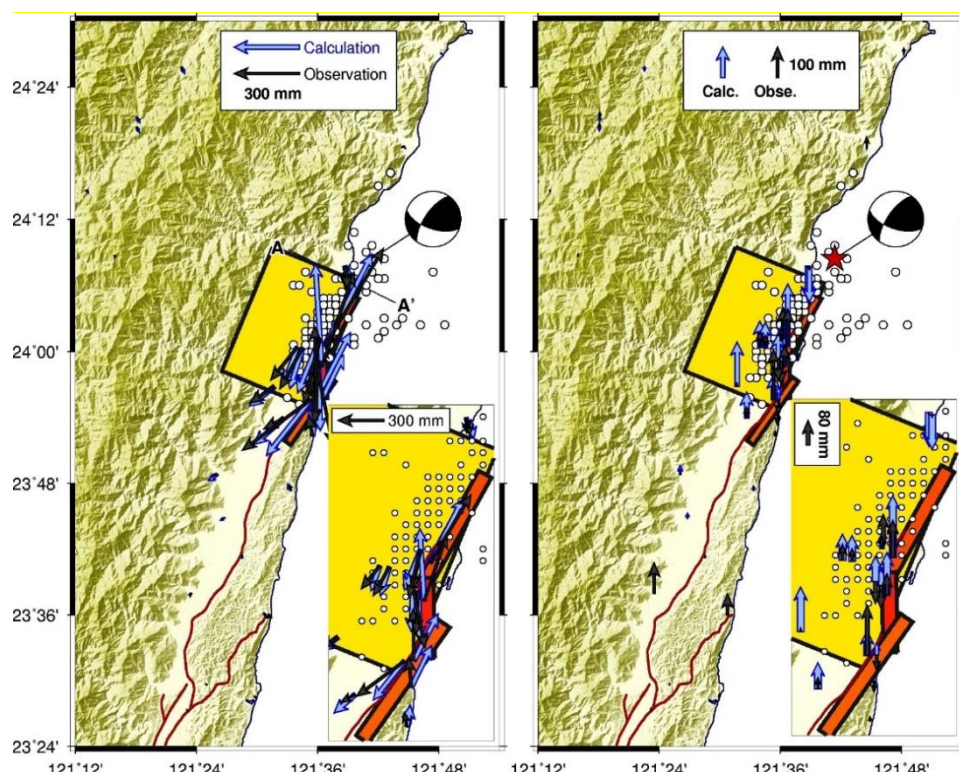


圖 4.60 花蓮近海地震單一滑移量斷層模型擬合結果

左圖為 GNSS 水平位移場擬合結果；右圖為 GNSS 垂直位移場擬合結果。矩形為斷層投影至地表的位置，矩形顏色反映滑移量的大小；紅色星號為主震震央位置；白色圓圈為餘震分布

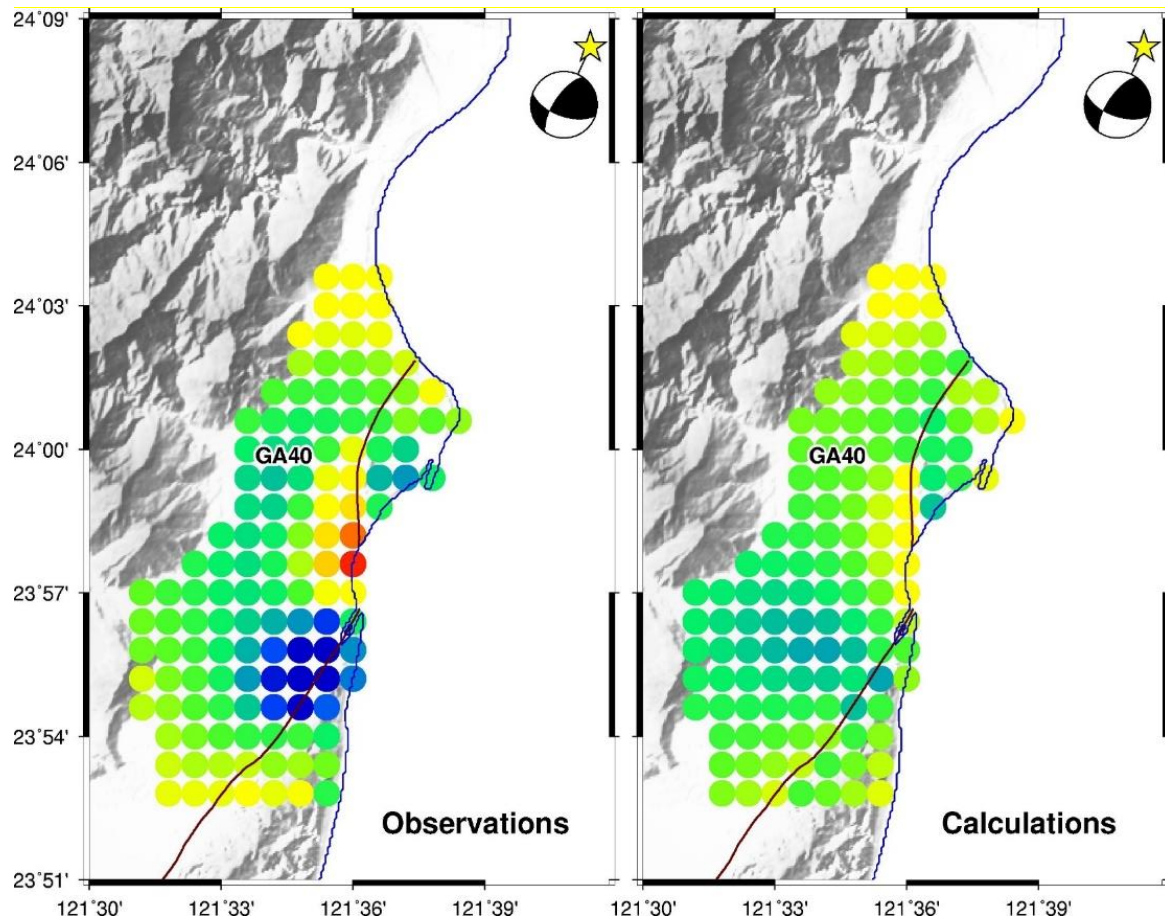


圖 4.61 花蓮近海地震單一滑移量斷層模型 DInSAR 擬合結果
左圖為 DInSAR 同震位移場觀測值；右圖為 DInSAR 同震位移場計算值。

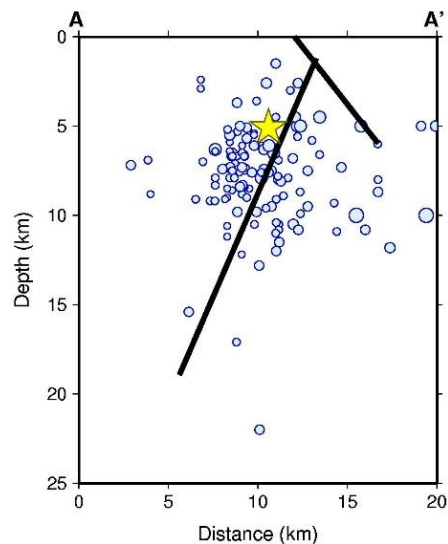


圖 4.62 花蓮近海地震單一滑移量斷層模型與主震餘震序列比較結果
剖面位置標註於圖中。黑色線為斷層投影位置，黃色星號為主震震源位置，藍色圓圈為餘震分布。

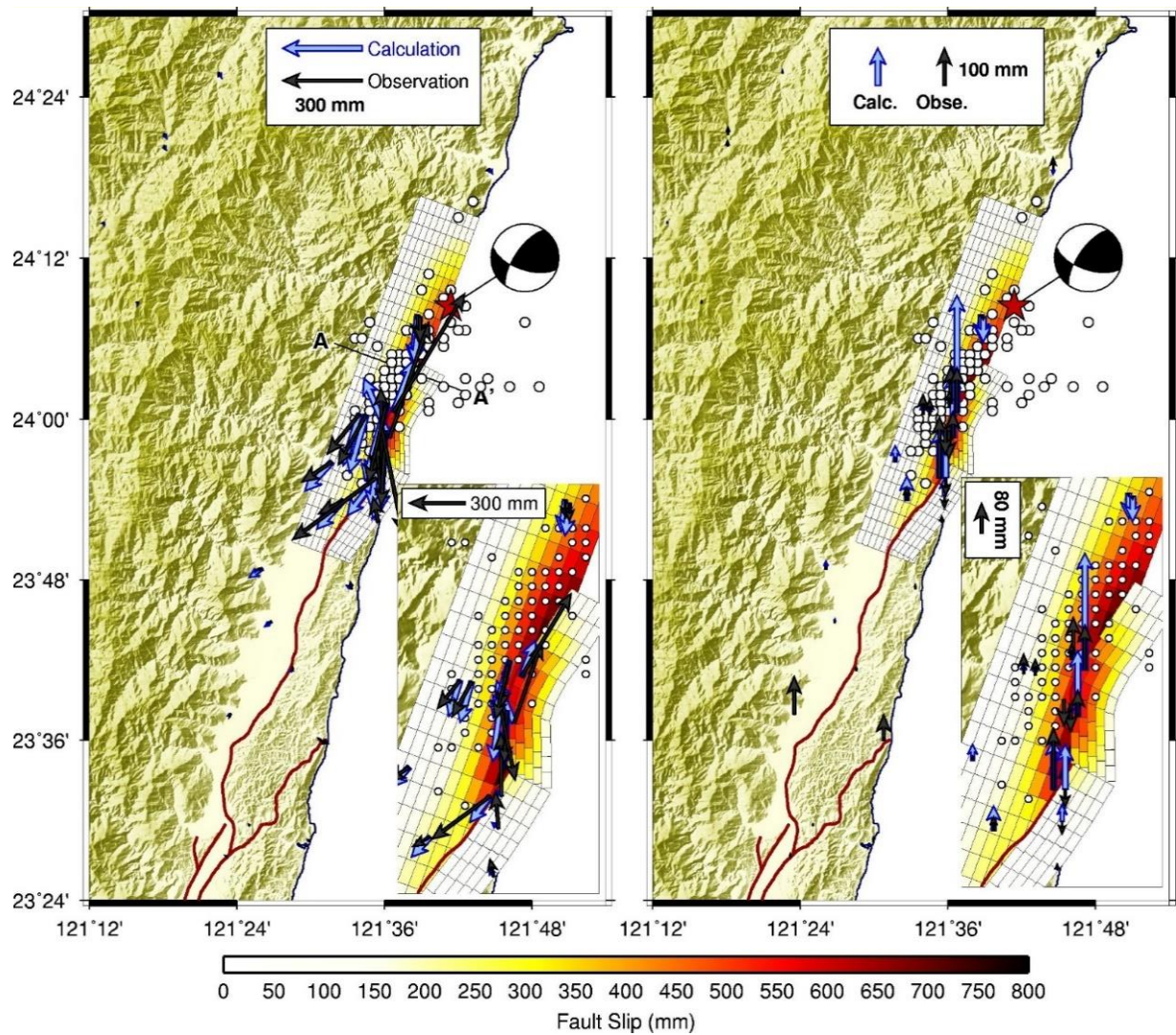


圖 4.63 花蓮近海地震多滑移量斷層模型擬合結果

左圖為 GNSS 水平位移場擬合結果；右圖為 GNSS 垂直位移場擬合結果。矩形為斷層投影至地表的位置，矩形顏色反映滑移量的大小；紅色星號為主震震央位置；白色圓圈為餘震分布。

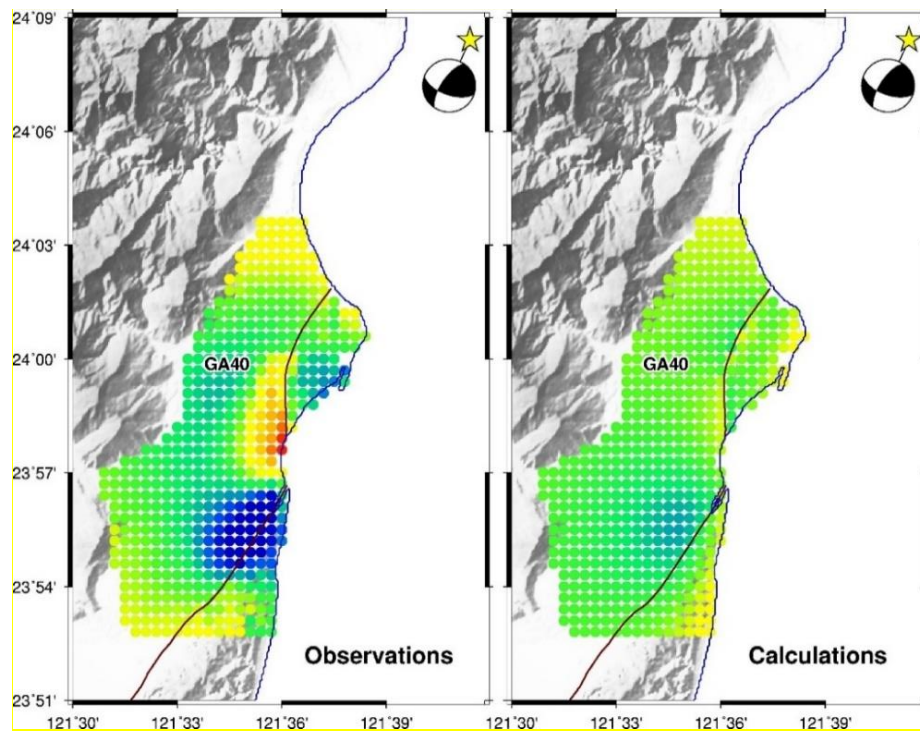


圖 4.64 花蓮近海地震多滑移量斷層模型 DInSAR 升軌擬合結果。
左圖為 DInSAR 同震位移場觀測值；右圖為 DInSAR 同震位移場計算值。

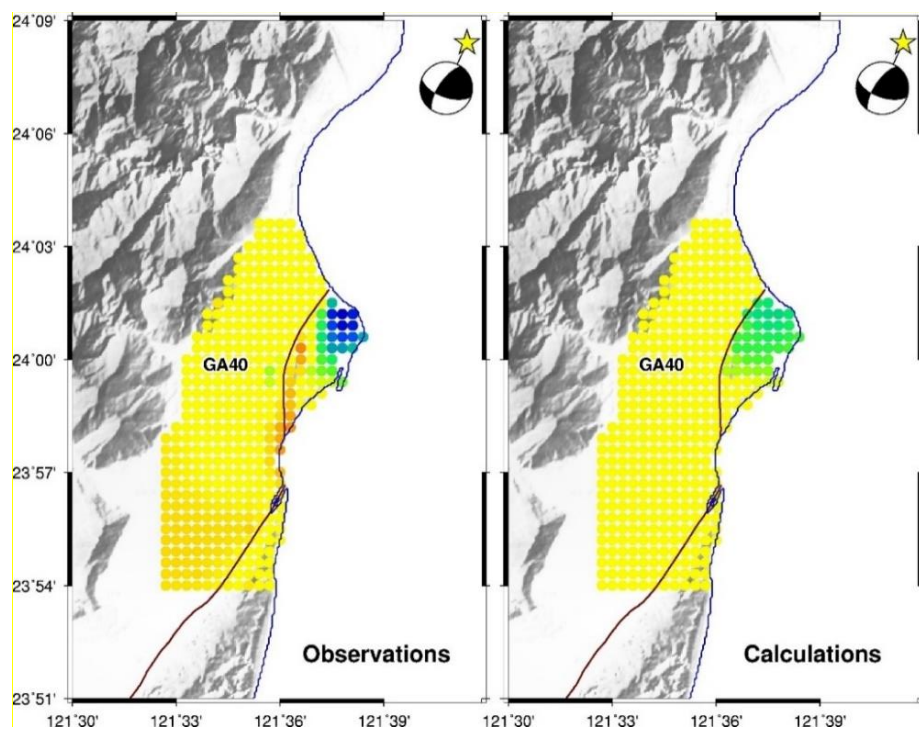


圖 4.65 花蓮近海地震多滑移量斷層模型 DInSAR 降軌擬合結果。
左圖為 DInSAR 同震位移場觀測值；右圖為 DInSAR 同震位移場計算值。

b. 同震位移格點模型之建立與分析

根據前述利用 2018 年花蓮地震之同震位移資料，進行地表同震位移模型之建立分析，並根據該模型所擬合的最佳斷層模型以及斷層震源參數後，本節再透過正演模型推算全臺各格點之同震位移量，得到全臺水平與垂直同震格點位移模型結果如圖 4.66 及圖 4.67，放大震央局部區域之水平與垂直同震格點位移模型成果如圖 4.68 及圖 4.69，其中，藍色箭頭為由斷層震源參數推算而得之水平同震格點位移量，白色星號為震央位置。由圖 4.66 及 4.67 可以得知，各格點水平方向之同震格點位移主要集中於震央西南側(圖 4.66)，範圍涵蓋花蓮縣北半部及其近海地區；垂直方向之同震格點位移(圖 4.67)分布範圍位於震央東西兩側，又以西側之同震格點位移量較大。

圖 4.68 為局部放大震央附近區域之水平同震格點位移模型成果圖，根據計算結果，最大水平同震格點位移量約為 179 mm。滑移主要集中於東北側之斷層面；水平同震位移量主要集中於震央西南側及東側之區域。由花蓮縣鳳林鎮西北邊界附近起即開始有較明顯之水平同震位移分布，且其量值隨格點往西向震央靠近而逐漸增加；東側之同震格點位移則由震央周圍往東延伸至經度 122°附近，越遠離震央其格點位移量值漸減。由垂直方向之同震格點位移模型成果(圖 4.69)來看，則明顯可見垂直位移與水平同震位移相同，主要集中於震央西南側及東側，並以震央之東北-西南方向為界，西北側之垂直位移為顯著的向上抬升，東南側則為向下沉降。而根據計算結果，最大垂直同震格點位移量約為 113 mm。

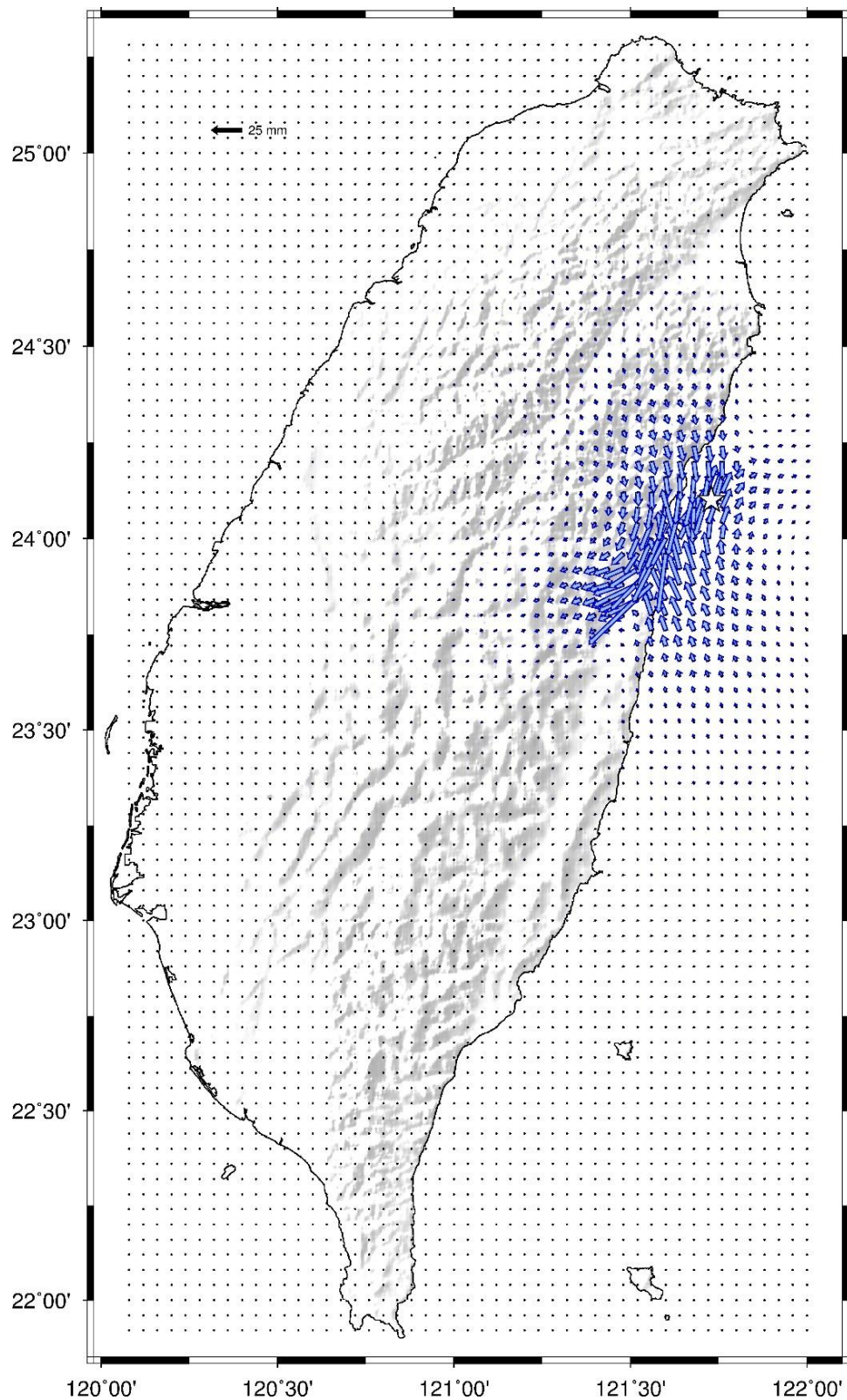


圖 4.66 花蓮地震(2018 年 2 月)之全臺水平地表同震格點位移場
(局部放大之花蓮地震水平方向地表同震位移場模型如圖 4.68 所示)

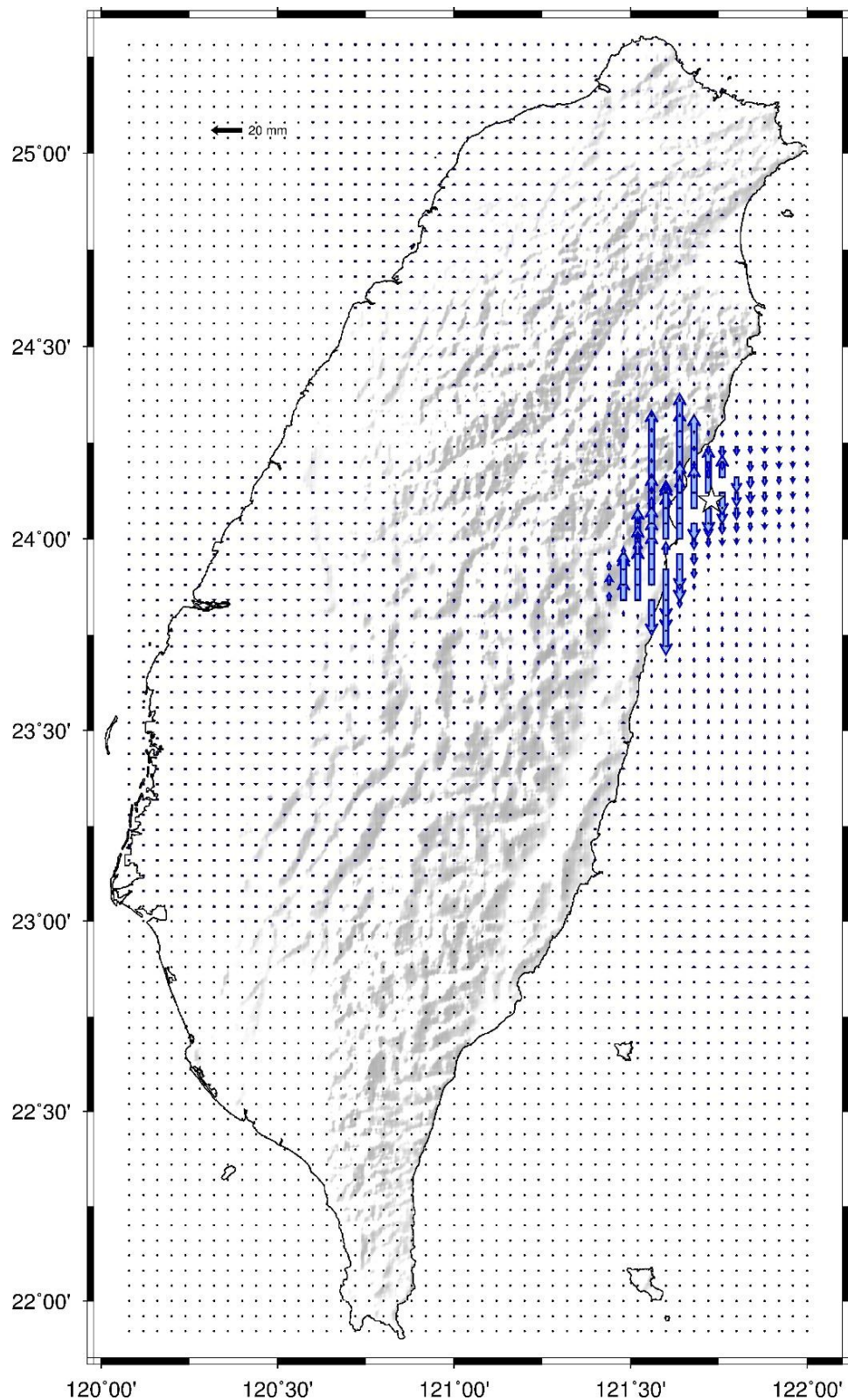


圖 4.67 花蓮地震(2018 年 2 月)之全臺垂直地表同震格點位移場
(局部放大之花蓮地震垂直方向地表同震位移場模型如圖 4.69 所示)

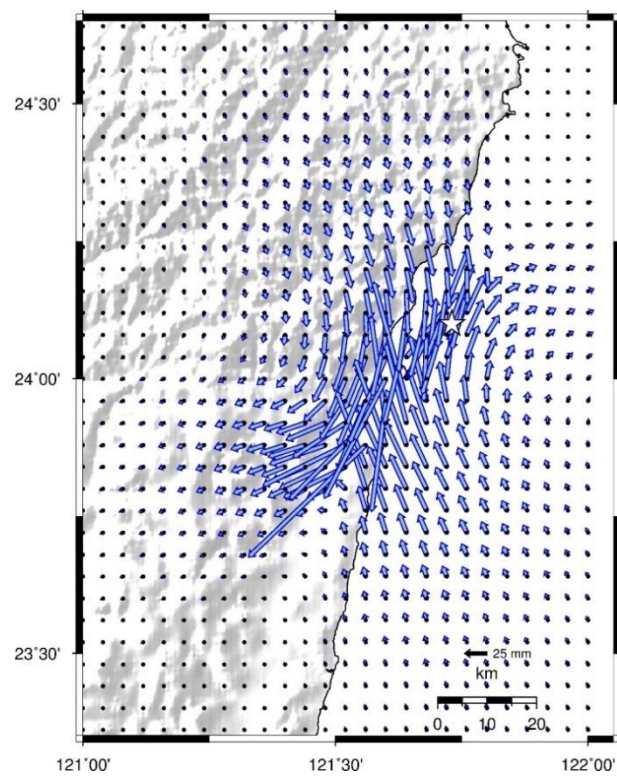


圖 4.68 花蓮地震(2018 年 2 月)之局部放大水平地表同震格點位移場

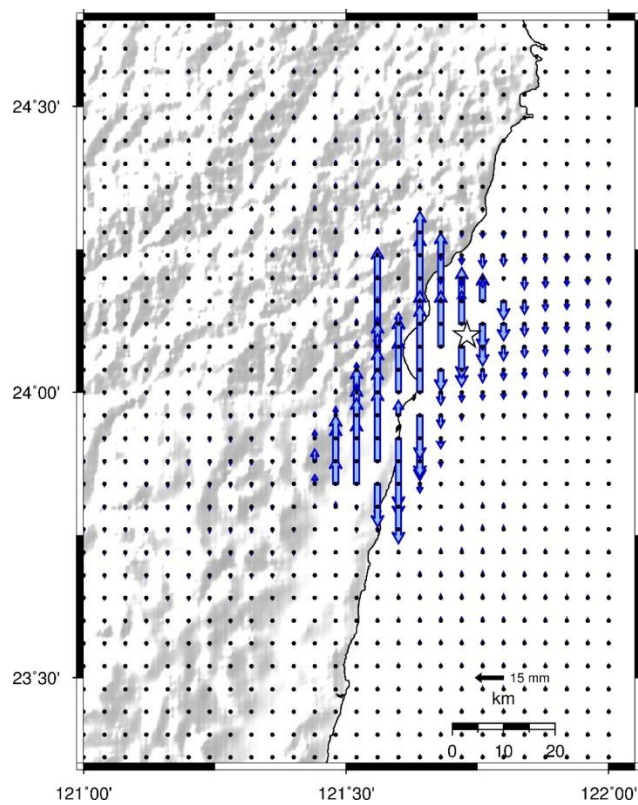


圖 4.69 花蓮地震(2018 年 2 月)之局部放大垂直地表同震格點位移場

根據前述所建置 6 個重大地震之同震位移格點模型，各重大地震的同震位移型態及其分布範圍各有不同，皆受地震事件之規模(M_L)、震源深度、長度、寬度、走向及傾角等因素之影響而有所差異。因斷層錯動影響，同震位移型態在震央或斷層面處大多有一顯而易見之交界帶，在交界帶周圍之同震位移型態有顯著之差異，就水平方向而言，在通過震央或斷層面附近後，同震位移較易有方向之變換；垂直地表位移亦同，交界帶兩側分別呈現抬升及沉降。此外，由於各地震事件的觸發因素、規模(M_L)、震源深度、長度、寬度、走向及傾角等各不相同，且部分地震斷層構造複雜，故各地震之同震位移分布範圍皆有很大的差異。

一般而言，地震事件發生後，透過擬合地震前 5 天及地震後 3 天之 GNSS 坐標時間序列即可求得各觀測站之同震位移場估算。但地震事件之影響範圍僅能由觀測站之位置及其同震位移量之大小依據經驗進行判斷，且若周圍觀測站分布較疏，則同震位移之分布型態也較不易於呈現。

若後續再輔以斷層錯位模型，採單一斷層面，根據 AutoBATS 提供之震源機制解進行地表同震位移模型擬合地表同震位移場，並進行最佳斷層面之搜尋，最後再利用搜尋到之最佳震源參數推算各格點之水平地表位移場。根據同震位移格點模型擬合結果，同震位移之型態及其分布範圍皆能較清楚的呈現，並更易於應用在地表變形模式中。

4.5 變形模式應用成效分析

本節分別利用(1)測繪中心 2016、2017 年辦理的基本控制點檢測工作成果；(2)測繪中心於 2018 年辦理的臺東縣與宜蘭縣加密控制點成果；以及(3)2018、2019 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核與監審工作案成果，進行本計畫建置的變形模式應用成效分析。

4.5.1 基本控制點成果之實際應用分析與檢測建議

測繪中心於 2016、2017 年辦理臺灣地區的基本控制點檢測工作，各時段觀測 6 小時，採 30 秒的接收間隔。首先進行各時段最小約制於金門站公告坐標的網形平差計算，獲得各時段的基線向量成果，並整合全區各時段的基線向量進行該年度最小約制金門站的整體網形平差計算，獲得各年度最小約制網的坐標成果。本節利用這 2 個年度的基本控制點最小約制網坐標成果，進行變形模式的應用成效分析，並以地籍測量作業之已知點檢測邊長規範進行精度探討與改善程度分析。由於各個年度施測的點位數量不一致，因此本節篩選重複施測之測站，並排除坐標差異較大的點位，整理得 2016 與 2017 年基本控制點的共同點個數，共計 1,450 點，並利用 4-13 式得到各年度間基本控制點共同點的坐標差異值，其中， dN 表示基本控制點之 N 坐標差異量； dE 表示 E 坐標的差異量，以此獲得 2016 與 2017 年點位坐標差異值與其離散程度統計圖，如圖 4.70、4.71 所示。比較 2016 與 2017 年的最小約制網坐標成果之差異值，可以發現基本控制點的坐標較差值隨著時間而增加，其分布型態與水平速度模型的型態趨於一致。

$$D = \sqrt{(dN)^2 + (dE)^2} \quad (4-13)$$

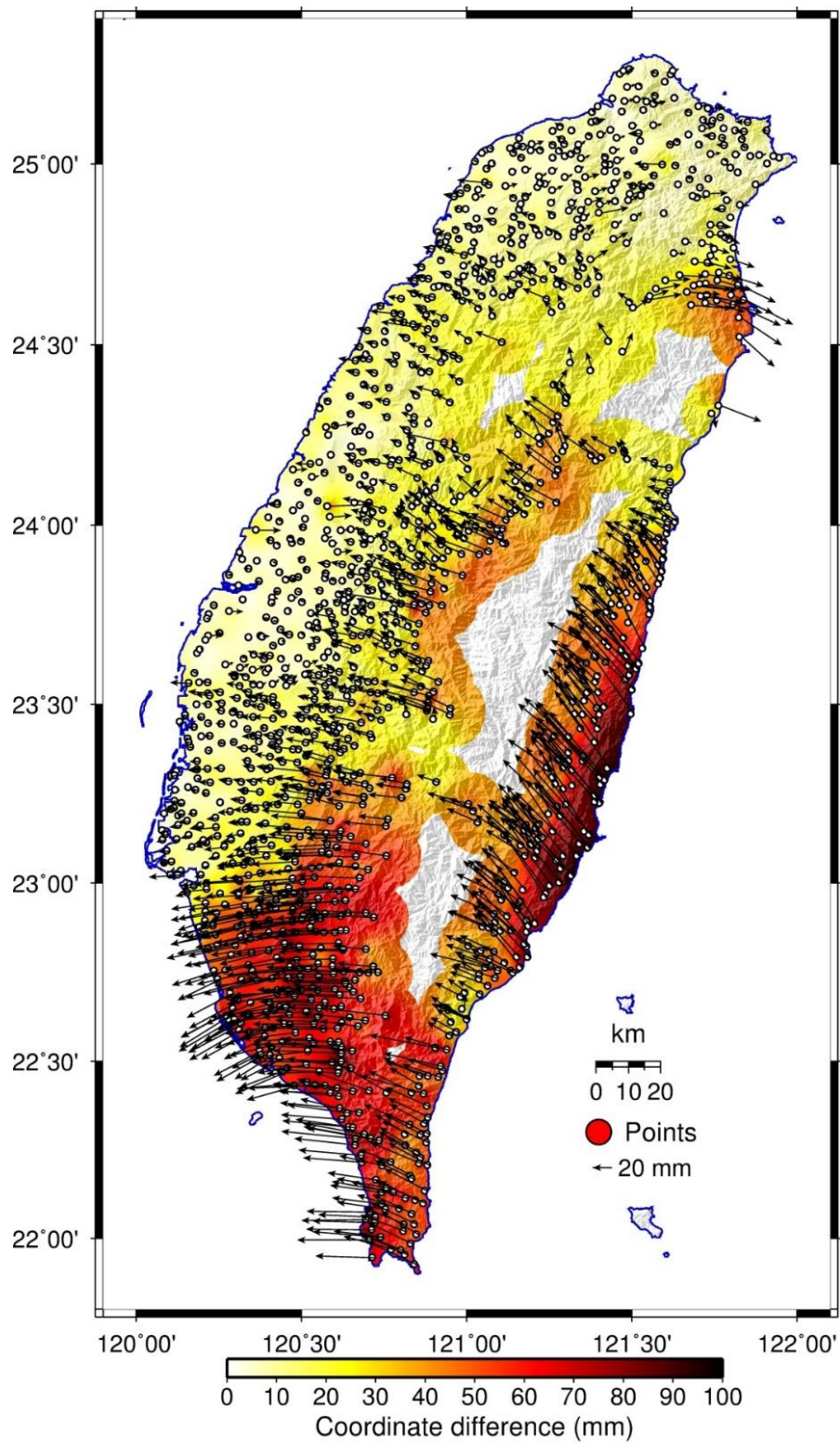


圖 4.70 2016 年與 2017 年基本控制點實測坐標差異值圖

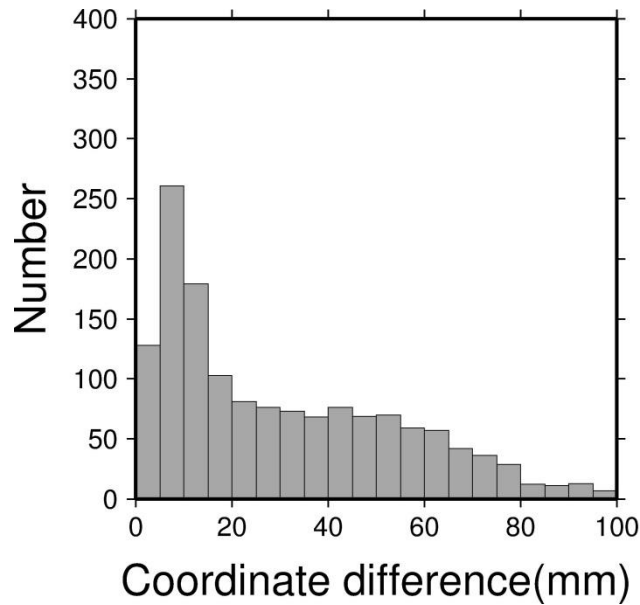


圖 4.71 2016 年與 2017 年基本控制點坐標成果之較差值統計圖

依據地籍測量實施規則第 73 條所訂之應用數值法實施地籍測量時，圖根點至界址點的位置誤差容許範圍。108 年案以市地容許誤差 2 至 6 cm 作為精度統計分析的根據，經整理歸納得到 2016 與 2017 年的坐標差異值符合誤差 2 cm 以內之基本控制點位，共計 671 點(46.1 %)，符合誤差 6 cm 以內之基本控制點位，共計 1240 點(85.1 %)，如圖 4.71 呈現之較差離散分布。

由於 2016 年基本控制點檢測於 3 至 5 月進行施測，2017 年基本控制點檢測於 9 至 11 月進行施測，故選擇 2016 年 4 月 1 日作為 2016 年之基準日期，2017 年 10 月 1 日作為 2017 年之基準日期，應用本計畫建置的變形模式，利用 4-14 及 4-15 式將 2016 年 4 月 1 日基本控制點的坐標推算至 2017 年 10 月 1 日的坐標值，並與 2017 年的實測坐標進行比較。

$$N_{t2} = N_{t1} + V_N \times n + C_N \quad (4-14)$$

$$E_{t2} = E_{t1} + V_E \times n + C_E \quad (4-15)$$

其中， N_{t1} 為第 1 期年度的點位 N 坐標觀測值； N_{t2} 為第 2 期年度的點位 N 坐標推算值； V_N 為 N 方向速度量； n 為經歷年數； C_N 為 N 方向同震位移量； E_{t1} 為第 1 期年度點位 E 坐標觀測值； E_{t2} 為第 2 期年度點位 E 坐標推算值； V_E 為 E 方向速度量； C_E 為 E 方向同震位移量。

基本控制點檢測建議

將 2016 年經變形模式修正後得到的 2017 時刻之基本控制點推算坐標成果與同 2017 年度的實際檢測坐標成果進行比較，如圖 4.72、4.73 所示，顯示本計畫變形模式於坐標修正的成效上，在全臺皆有大幅度的改善。由表 4.7 可得知基本控制點一年期間造成之差異量平均值為 30 mm，另由圖 4.72 左圖可得知差異量大於 30 mm 之地區位於西南部(嘉義以南)、東部(臺東、花蓮、宜蘭)以及南投山區，西南部(嘉義以南)、東部(臺東、花蓮)地區之差異量又多在 50、60 mm 以上。因此，建議未來基本控制點檢測作業應以西南部(嘉義以南)、東部(臺東、花蓮)作為首先辦理之重點區域，可考量增加檢測頻率；宜蘭、南投山區的頻率次之；而西部平原、沿海地區以及北部地區，由於坐標差異量較小，因此建議可減少檢測之頻率；另依據基本控制點分布情況，亦建議增加中央山脈兩側山區、中央山脈北段與雪山山脈交界之山區控制點數之佈設，以及增設彰化、雲林沿海之控制點數來達到監測地層下陷、海岸線退縮之情形。

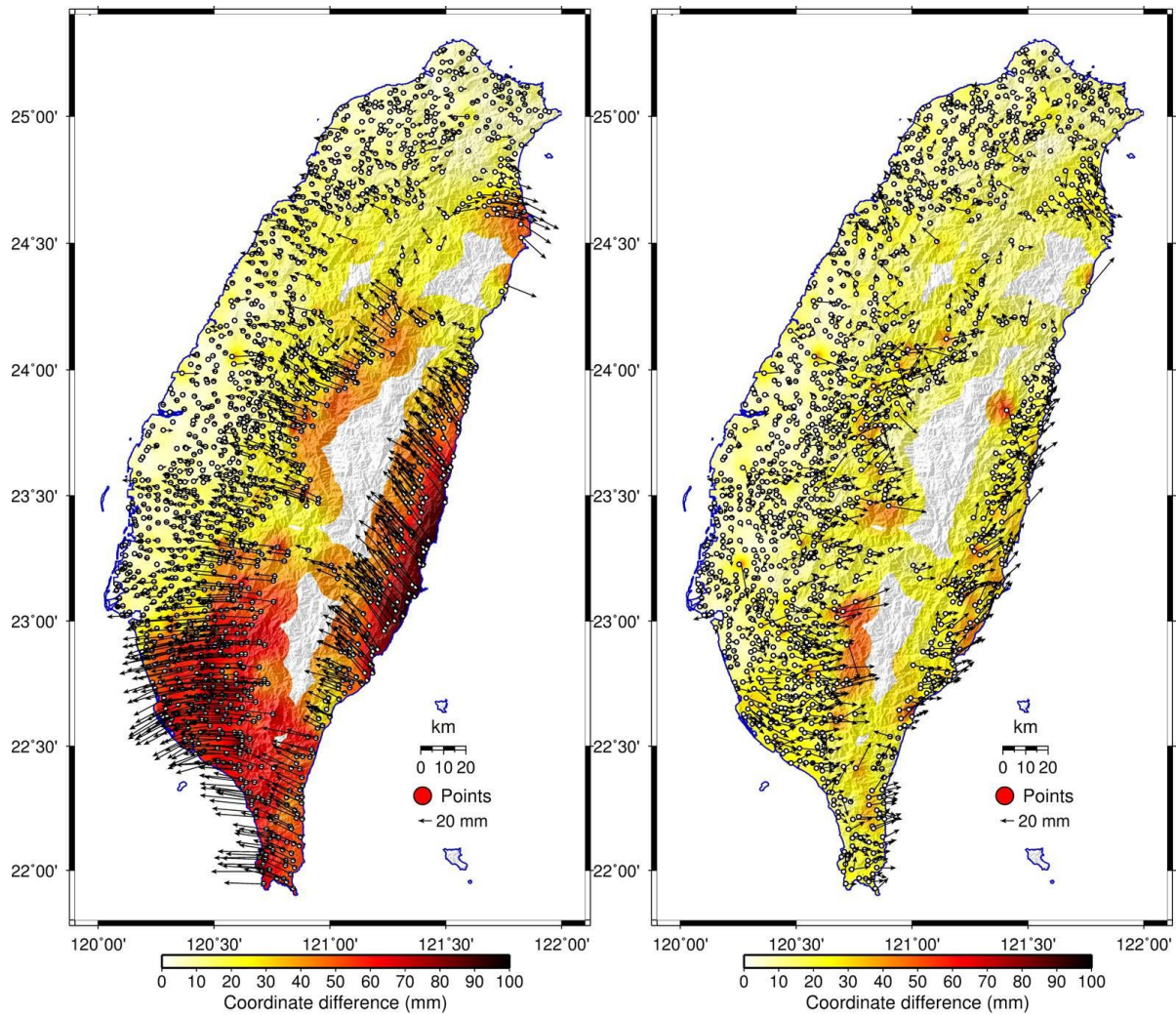


圖 4.72 2016 年與 2017 年基本控制點修正前後的坐標較差圖

說明：左圖為修正前；右圖為修正後。

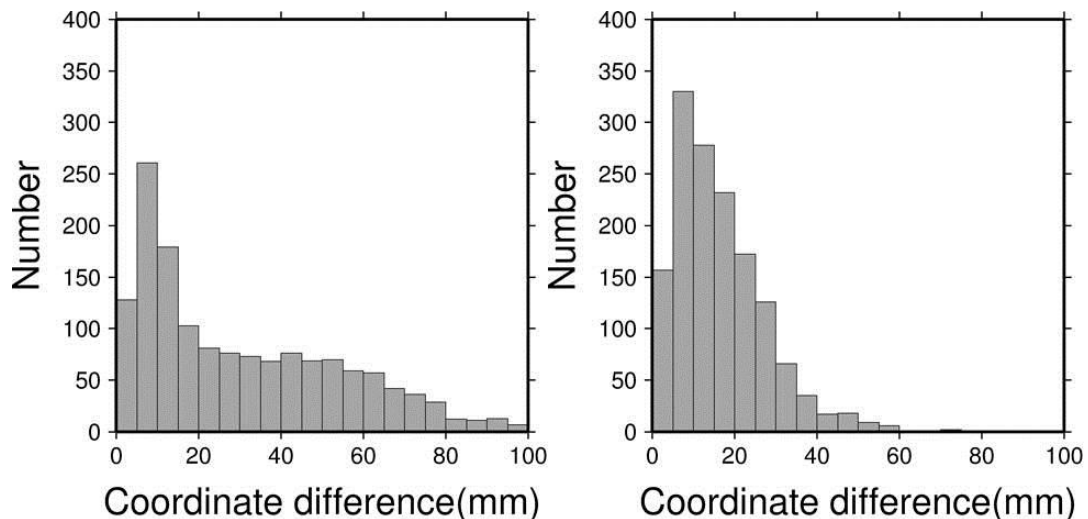


圖 4.73 2016 年與 2017 年基本控制點坐標修正前後的坐標較差統計圖

4.5.2 臺東縣與宜蘭縣加密控制點之實際應用分析

本節利用測繪中心於 2018 年協助宜蘭縣及臺東縣辦理之加密控制測量成果(均為具公告坐標的已知點)，進行本計畫變形模式的應用成效分析，臺東縣於 2018 年 7 月 31 日至 10 月 2 日進行施測，故選擇 2018 年 9 月 1 日作為基準日期；宜蘭縣於 2018 年 10 至 12 月進行施測，故選擇 2018 年 11 月 1 日作為基準日期。

首先，各年度各地區的加密控制測量成果先以上級控制點的 TWD97[2010]公告坐標進行該區域的最小約制網平差，獲得該區加密點位的平差坐標值(以下簡稱修正前成果)；接續，利用本計畫案的變形模式將上級控制點的 TWD97[2010]公告坐標推算至各地區控制網觀測時刻之坐標，並進行最小約制網平差，獲得加密點位經變形模式推算後的觀測時刻最小約制平差坐標，再將此成果以變形模式回推至公告時刻(即 2010.0)的坐標(以下簡稱修正後成果)，藉以比較「修正前成果」與「修正後成果」的點位坐標較差。

經由整理分析後，得到 2018 年宜蘭縣加密區共 192 點，其修正

前後之點位坐標較差量與其離散程度統計圖，如圖 4.74、圖 4.75 所示；2018 年臺東一級加密區共 67 點，其修正前後之點位坐標較差量與其離散程度統計圖，如圖 4.76、圖 4.77 所示

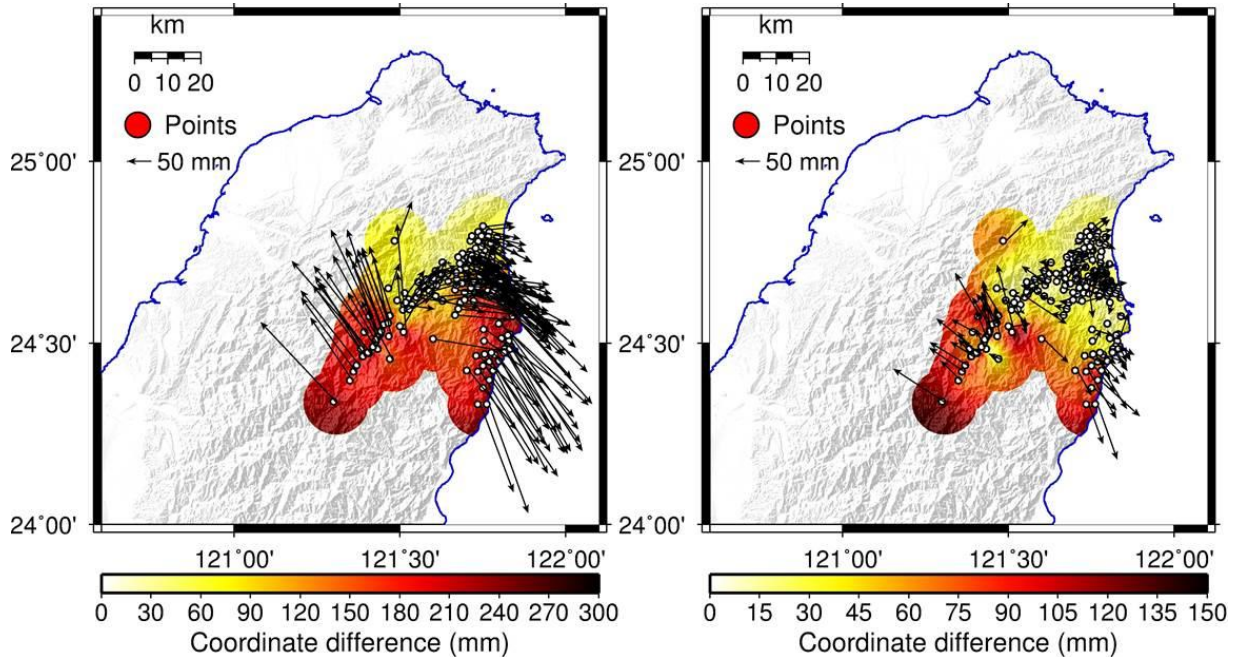


圖 4.74 宜蘭縣加密控制點修正前後之坐標較差圖

說明：左圖為修正前；右圖為修正後。

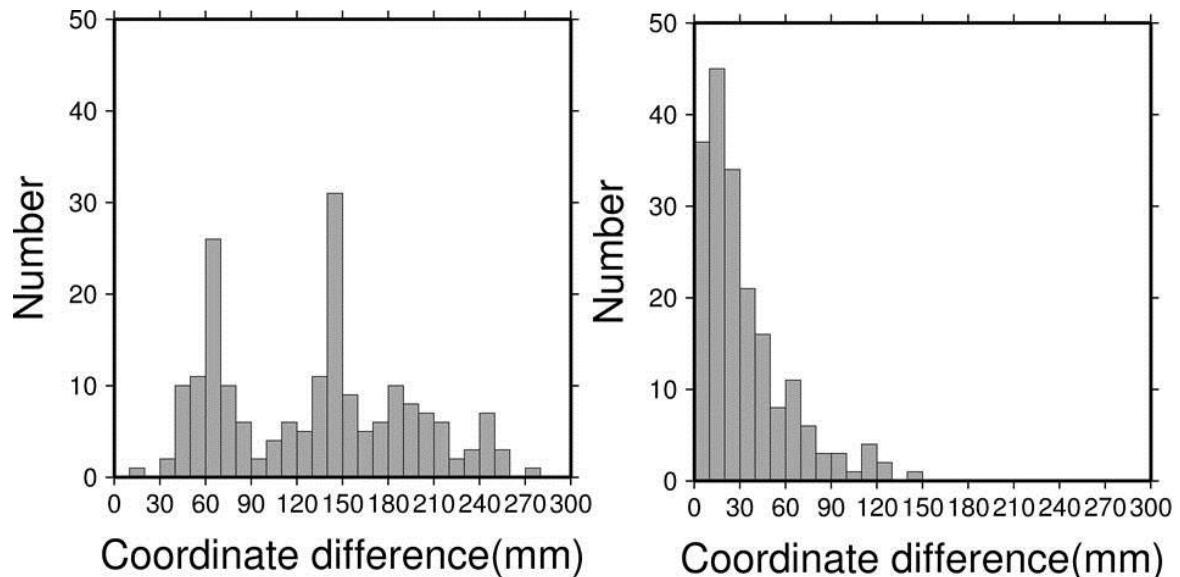


圖 4.75 宜蘭縣加密控制點坐標修正前後之較差值統計圖

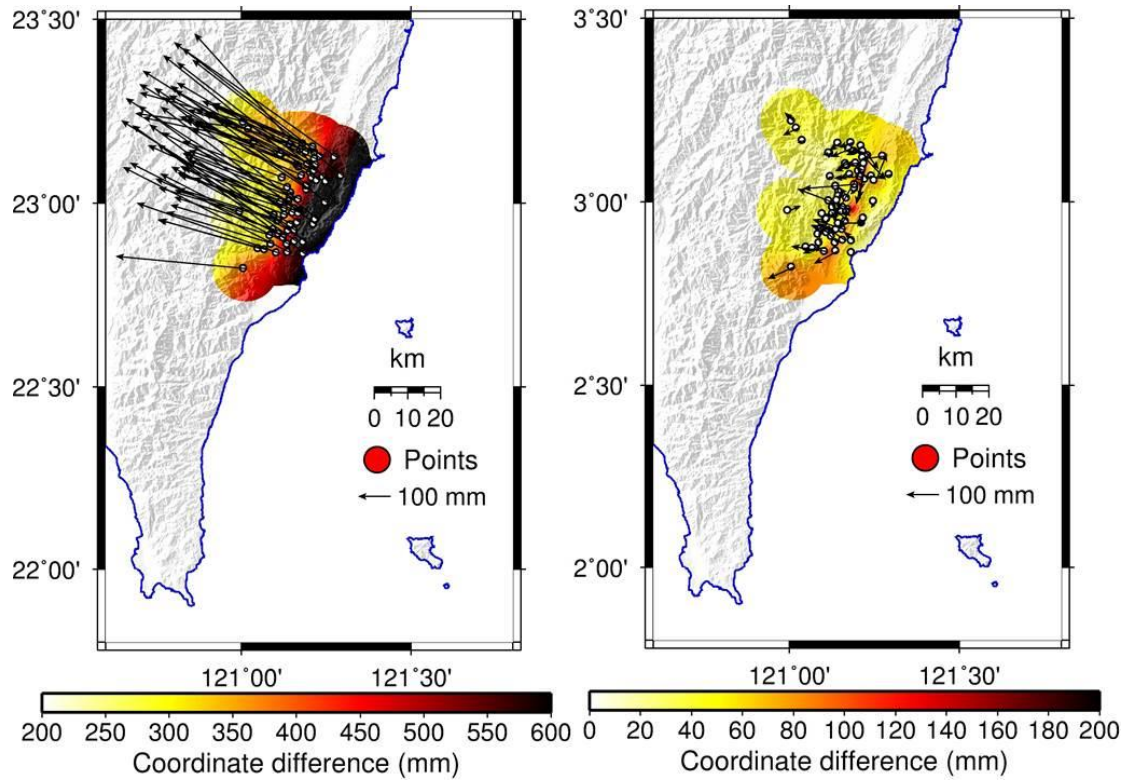


圖 4.76 臺東縣加密控制點修正前後之坐標較差圖

說明：左圖為修正前；右圖為修正後。

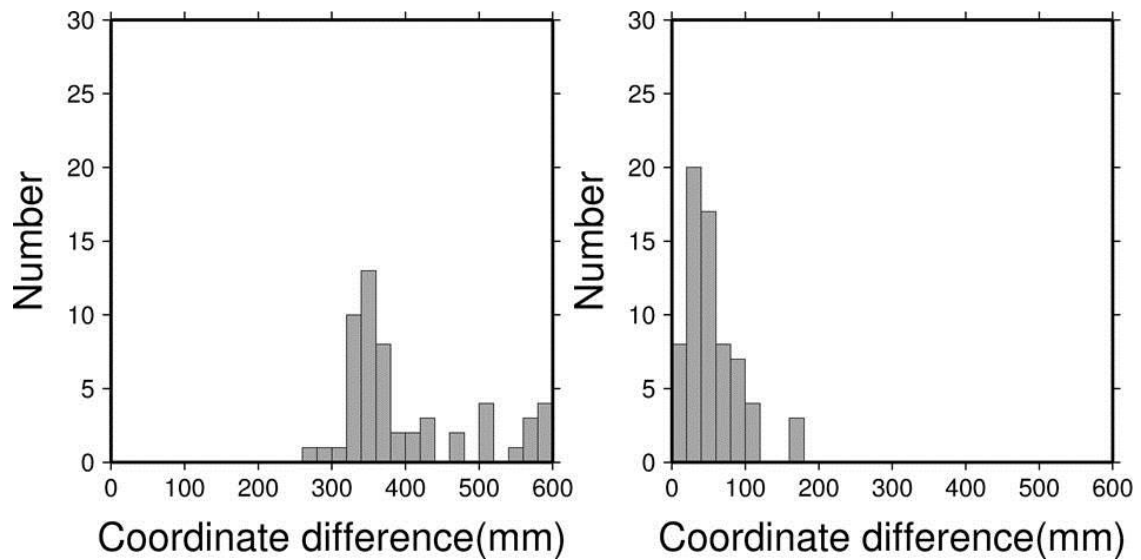


圖 4.77 臺東縣加密控制點坐標修正前後之較差值統計圖

本節以 4-16 式進行應用變形模式進行基本控制點與加密控制點坐標修正前後的改善率之估算，成果如表 5.1 所示。

$$\text{改善率} = \frac{\text{修正前坐標較差量平均值} - \text{修正後坐標較差量平均值}}{\text{修正前坐標較差量平均值}} \times 100 \% \quad (4-16)$$

由表 4.7 與圖 4.7 至圖 4.77 得知，基本控制點與加密控制點坐標的較差量皆可獲得改善，基本控制點 2016 年與 2017 年僅 1 年的時間，其造成之坐標較差量較少，改善率約為 46.7 %。然而在宜蘭縣與臺東縣的加密控制測量成果中可以發現，由於經歷 7 年，因此坐標差異量較大，經變形模式修正後的效果較佳，約為 80 % 左右。在小範圍近距離的加密控制測量作業中，本計畫的變形模式對於控制點的坐標改善幅度亦顯著，驗證本計畫建立之變形模形具有提升點位精度之能力，而能減少重複檢測控制點所需之成本。

表 4.7 基本控制點與加密控制點修正前後之坐標之較差統計表

進行比較之年度	項目	差異量 平均值(mm)	改善率
基本控制點 2016 年與 2017 年	修正前	30	46.7 %
	修正後	16	
2018 年 宜蘭縣加密區	修正前	132	75.0 %
	修正後	33	
2018 年 臺東一級加密區	修正前	441	88.0 %
	修正後	53	

4.5.3 LiDAR 案之控制測量成果的實際應用分析

本節另利用王驥魁、曾義星及楊名(2019)的「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案」成果進行本案變形模式之應用成效分析，圖 4.78 及表 4.8 為未經過變形模式修正前的點位坐標與公告坐標之較差值，可得知已有多數點位的較差已超過 7 cm，其 N 方向較差的標準差為 ± 5.1 cm、E 方向較差的標準差為 ± 10.5 cm；圖 4.79 及表 4.9 為經過變形模式修正後的點位坐標與公告坐標之較差值，N 方向較差的標準差為 ± 3.2 cm、E 方向較差的標準差為 ± 4.6 cm，得知大多數點位的較差已明顯改善。

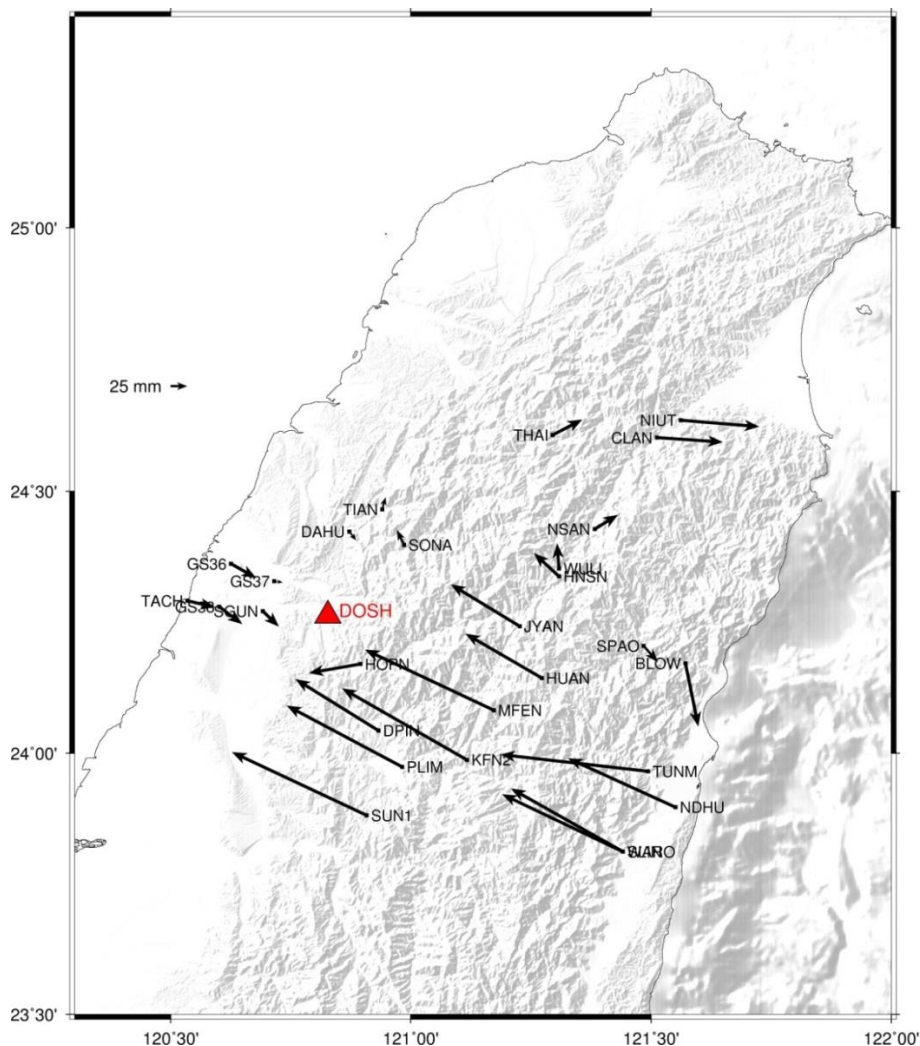


圖 4.78 LiDAR 案成果變形模式修正前之點位較差分佈圖

表 4.8 LiDAR 案成果變形模式修正前之點位較差統計表

序號	點號	$\Delta N(m)$	$\Delta E(m)$	備註
1	BLOW	-0.098	0.020	
2	CLAN	-0.007	0.102	
3	DAHU	-0.013	0.010	
4	DOSH	0.000	0.000	最小約制站
5	DPIN	0.080	-0.129	
6	GS36	-0.022	0.039	
7	GS37	-0.002	0.013	
8	GS38	-0.027	0.036	
9	HNSN	0.036	-0.039	
10	HOPN	-0.014	-0.080	
11	HUAN	0.069	-0.119	
12	JYAN	0.065	-0.107	
13	KFN2	0.111	-0.194	
14	MFEN	0.094	-0.200	
15	NDHU	0.076	-0.167	
16	NIUT	-0.010	0.122	
17	NSAN	0.022	0.036	
18	PLIM	0.095	-0.179	
19	SGUN	-0.024	0.025	
20	SLIN	0.098	-0.174	
21	SONA	0.023	-0.011	
22	SPAO	-0.025	0.022	
23	SUN1	0.098	-0.209	
24	TACH	-0.010	0.043	
25	THAI	0.024	0.046	
26	TIAN	0.018	0.005	
27	TUNM	0.026	-0.229	
28	WARO	0.089	-0.187	
29	WULI	0.039	-0.003	

註：紅字為較差大於 7 cm 者。

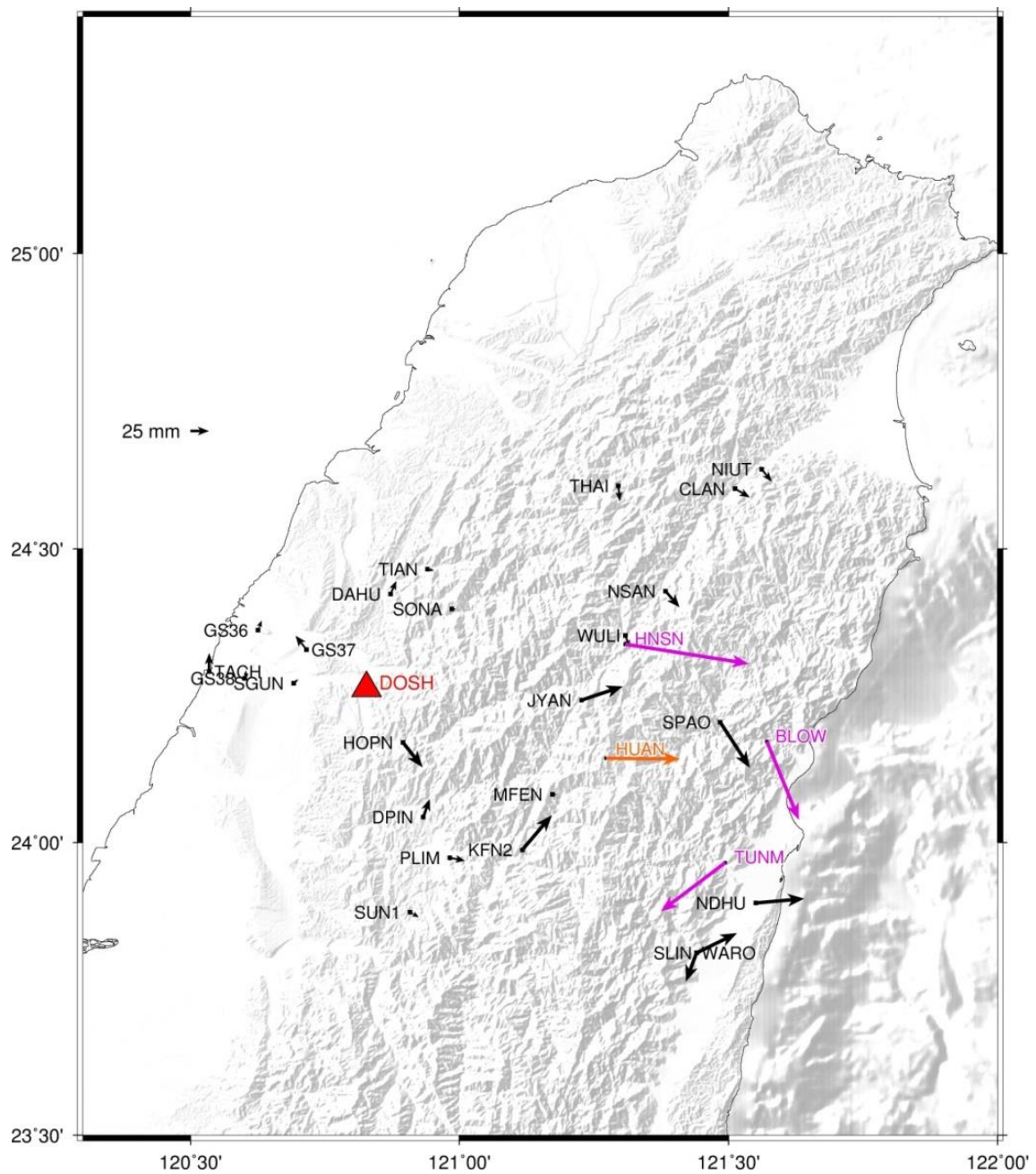


圖 4.79 LiDAR 案成果變形模式修正後之點位較差分佈圖

表 4.9 LiDAR 案成果變形模式修正後之點位較差統計表

序號	點號	$\Delta N(m)$	$\Delta E(m)$	備註
1	BLOW	-0.108	0.044	
2	CLAN	-0.012	0.020	
3	DAHU	0.018	0.008	
4	DOSH	0.000	0.000	最小約制站
5	DPIN	0.025	0.009	
6	GS36	0.013	0.005	
7	GS37	0.019	-0.015	
8	GS38	0.011	0.002	
9	HNSN	-0.027	0.171	
10	HOPN	-0.034	0.027	
11	HUAN	-0.001	0.082	
12	JYAN	-0.019	0.057	
13	KFN2	0.048	0.041	
14	MFEN	0.000	0.006	
15	NDHU	0.006	0.067	
16	NIUT	-0.017	0.014	
17	NSAN	-0.022	0.019	
18	PLIM	-0.004	0.021	
19	SGUN	0.005	0.006	
20	SLIN	0.027	0.055	
21	SONA	0.000	0.005	
22	SPAO	-0.063	0.041	
23	SUN1	-0.007	0.012	
24	TACH	0.025	0.000	
25	THAI	-0.021	0.002	
26	TIAN	-0.002	0.009	
27	TUNM	-0.067	-0.089	
28	WARO	-0.040	-0.015	
29	WULI	-0.017	0.006	

註：紅字為較差大於 7 cm 者。

4.5.4 歷年一等水準點公告成果驗證分析

108 年案使用內政部歷年一等水準點公告成果，進行變形模式垂直向結果的初步驗證。首先，整理 TWVD2001 公告成果(以 2003 年為參考基準)，應用本案變形模式推算至一等水準點第二次的檢測年(2009 年)，將相同的水準點進行篩選，並將模式推算值與當年度的實測值比較，得到 2003 年與 2009 年的比較結果如圖 4.80 所示，其較差的平均值為-25.3 mm、最大值為 197.1 mm、最小值為-196.7 mm、標準差為 ± 43.2 mm，並由圖 4.80 得知在零星位置的水準點修正成果與鄰近點位的結果不一致，此將待後續分析釐清。

另外，亦進行 2009 年成果與 2016 年成果的比較，亦即由 2009 年成果(作為參考基準)，以本案變形模式推算至 2016 年之後，將推算值與當年的實測值之兩項結果進行較差分析，結果如圖 4.81 所示，其較差的平均值為-20.0 mm、最大值為 199.3 mm、最小值為-195.0 mm、標準差為 ± 38.7 mm，由圖 4.81 亦發現零星位置的水準點修正成果與相鄰點位的結果呈現不一致的情況。

綜合而論，在垂直向的變形模式修正成效方面，由目前獲得的結果來看，仍有待問題釐清，同時，變形模式在垂直分量的模型建置上，亦有更進一步需要探討的因素，因此，建議在接續的研究工作上，可朝向建全、精進三維方向的變形模式方向進一步分析，以提供三維的地表變形修正量，並且符合現階段國際的研究發展趨勢。

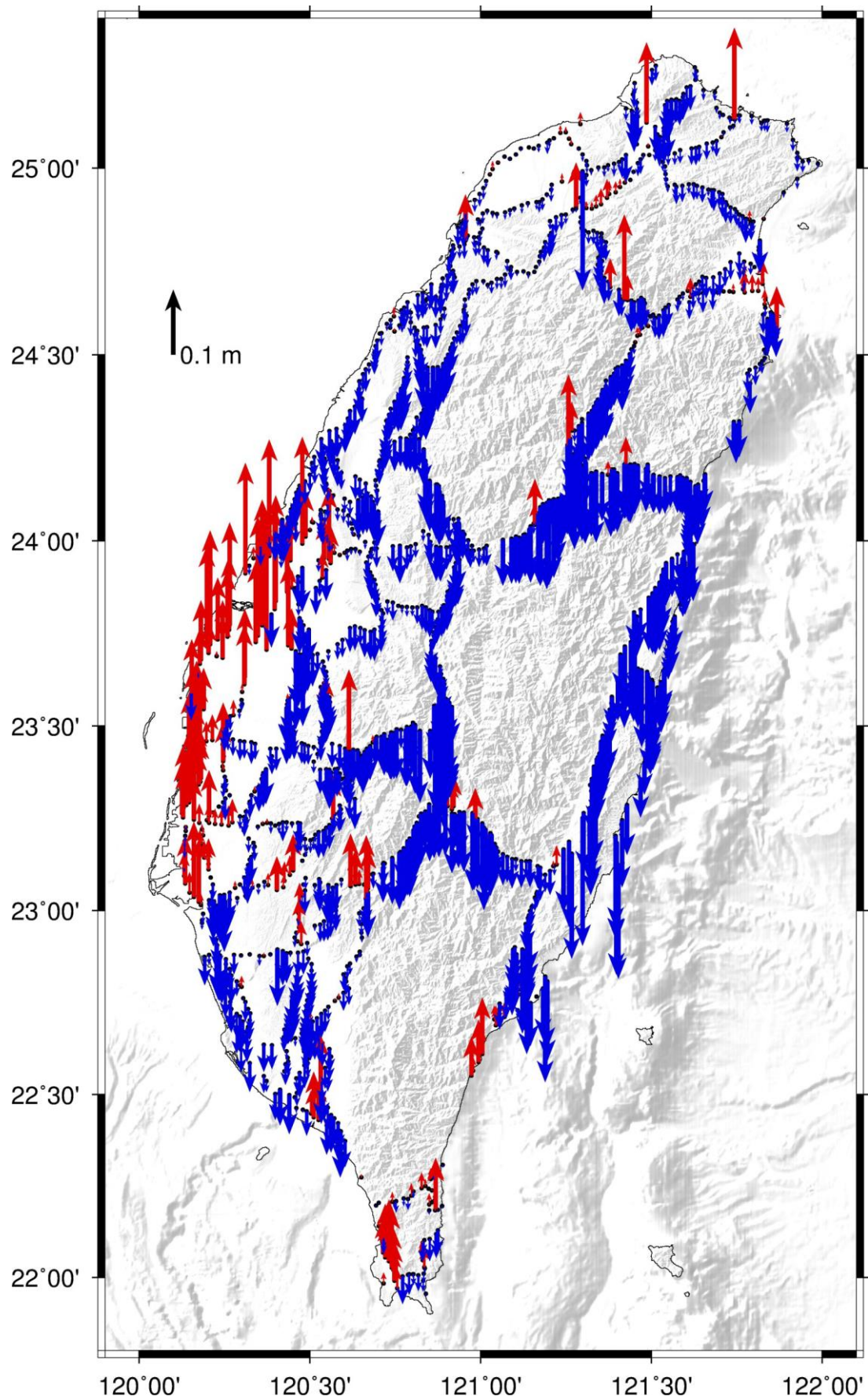


圖 4.80 歷年一等水準點公告成果較差分佈圖(2003 與 2009 年)

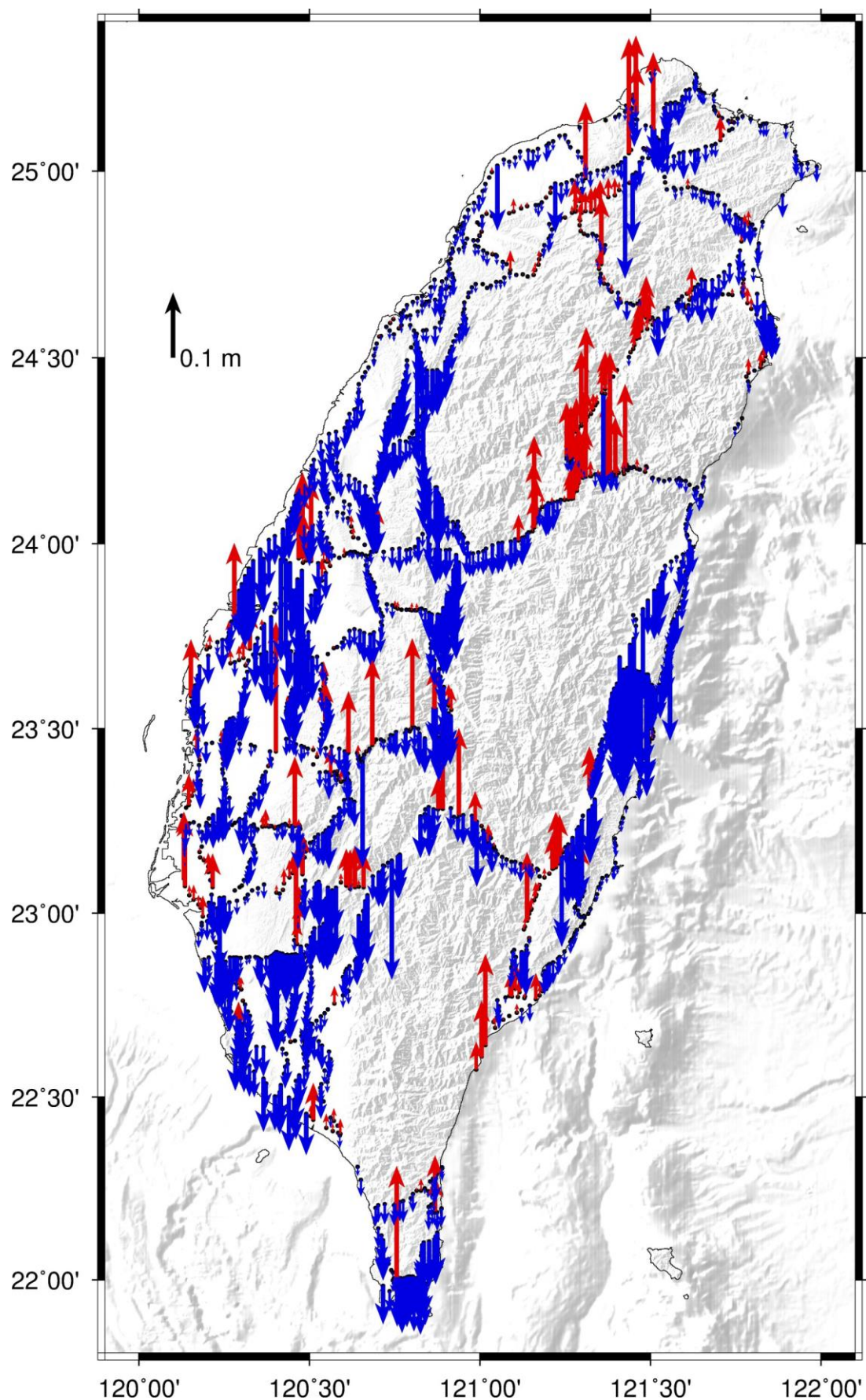


圖 4.81 歷年一等水準點公告成果較差分佈圖(2009 與 2016 年)

4.5.5 縣市區 GMT 速度格點模型暈渲圖產製

為提供各直轄市、縣(市)地政單位有關其轄區的地表速度型態，本計畫利用 4.1 節產生的第 12 個時期(20180206-20190930)水平速度場格點成果，使用 GMT 軟體繪製各直轄市、縣(市)之速度格點模型暈渲圖，如圖 4.82 所示之臺北市區暈渲圖範例，據此提供各直轄市、縣(市)規劃相關測繪作業以及控制點位選點與修正之參考。

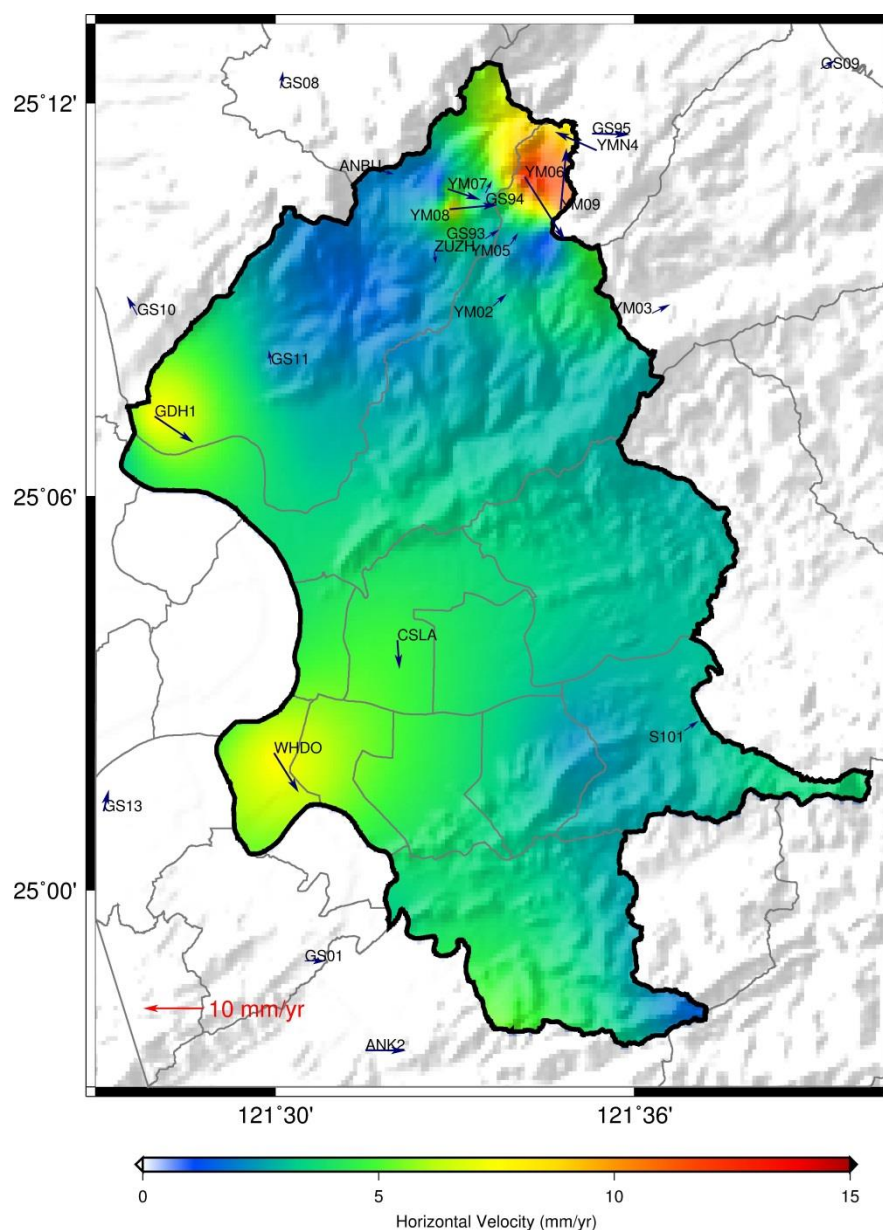


圖 4.82 臺北市區 GMT 速度格點模型暈渲圖範例

4.6 變形模式作業程序研擬

本工作團隊於今年度完成最新的臺灣地區變形模式提供各界使用，針對 108 年案變形模式的使用程序，初步研擬如下，作業程序如圖 4.83 所示。

- (1) 選擇測區內所有已知公告點，將所有已知點的公告坐標運用本案變形模式推算至其觀測時刻的坐標值。
- (2) 以步驟(1)得到的所有已知點於觀測時刻的坐標值，進行測區觀測時刻的最小約制網平差，得到所有已知點的最小約制平差成果坐標。
- (3) 利用步驟(2)的成果，並參考比較各已知點的觀測時刻坐標，以點位間的相對位置變化量篩選符合作業規範的可用已知點。
- (4) 使用步驟(3)得到的所有可用已知點，進行觀測時刻的強制套合網平差計算，得到觀測時刻所有點位的套合平差坐標值。
- (5) 利用本案變形模式，將步驟(4)得到的觀測時刻已知點與新測點的套合平差坐標成果回推至公告時刻(2010.0)對應的坐標成果。

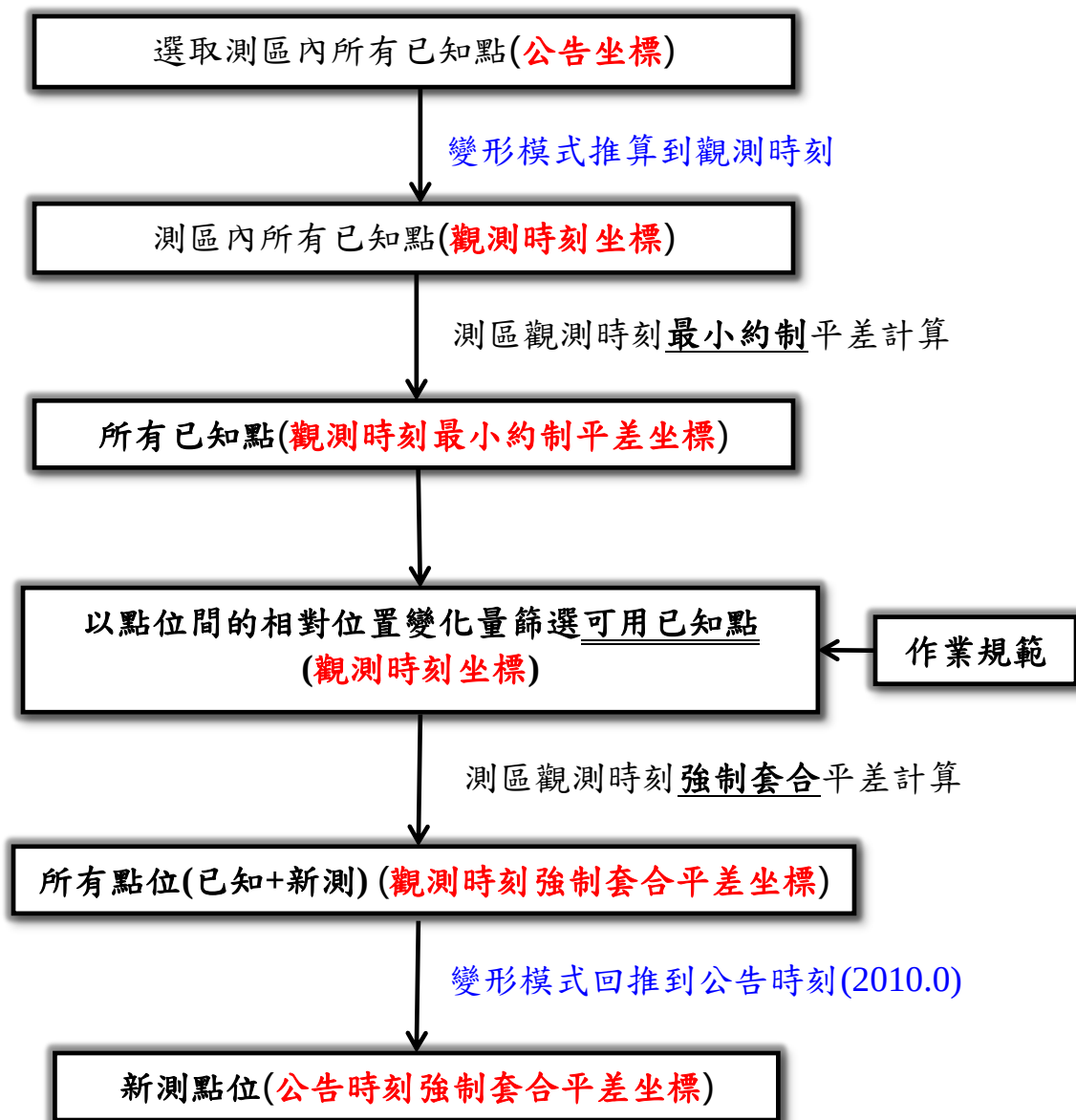


圖 4.83 變形模式作業程序流程圖

第五章 變形模式應用軟體設計與維護

為使 GNSS 資料解算更自動化，提升計算工作效率；並讓使用者方便利用變形模式進行點位坐標之修正，105 ~ 107 年案分別開發基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體以及變形模式應用軟體，同時，針對軟體功能進行維護(108 年案)，相關介紹如下。

5.1 擴充基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體架構

105 ~ 107 年案開發的基線解算處理程序包括(1)衛星觀測資料修正軟體，以及(2)基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體，如圖 5.1。資料處理的架構與作業流程如圖 5.1 至圖 5.3，說明如下：

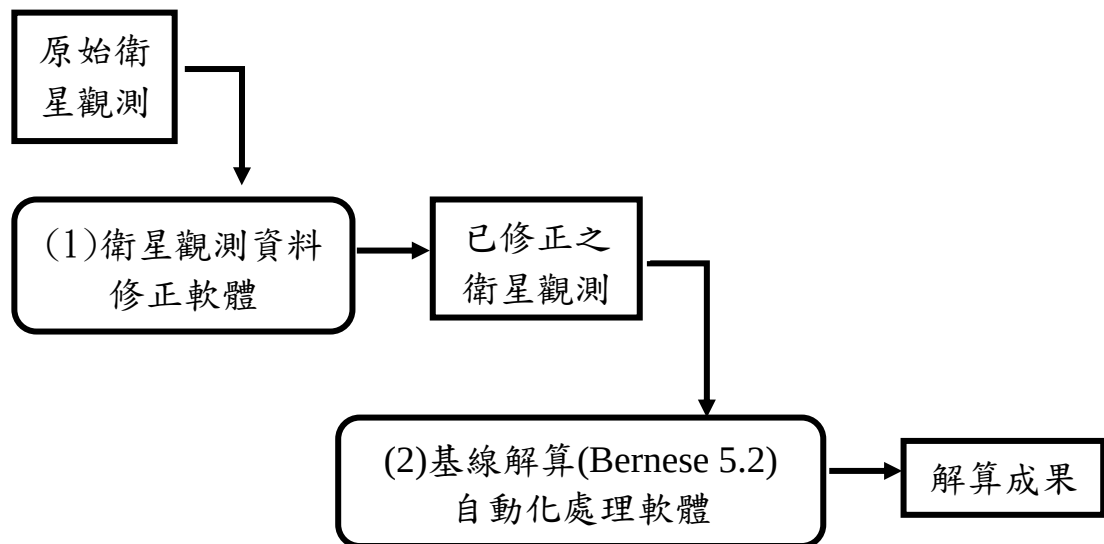


圖 5.1 資料處理總架構圖

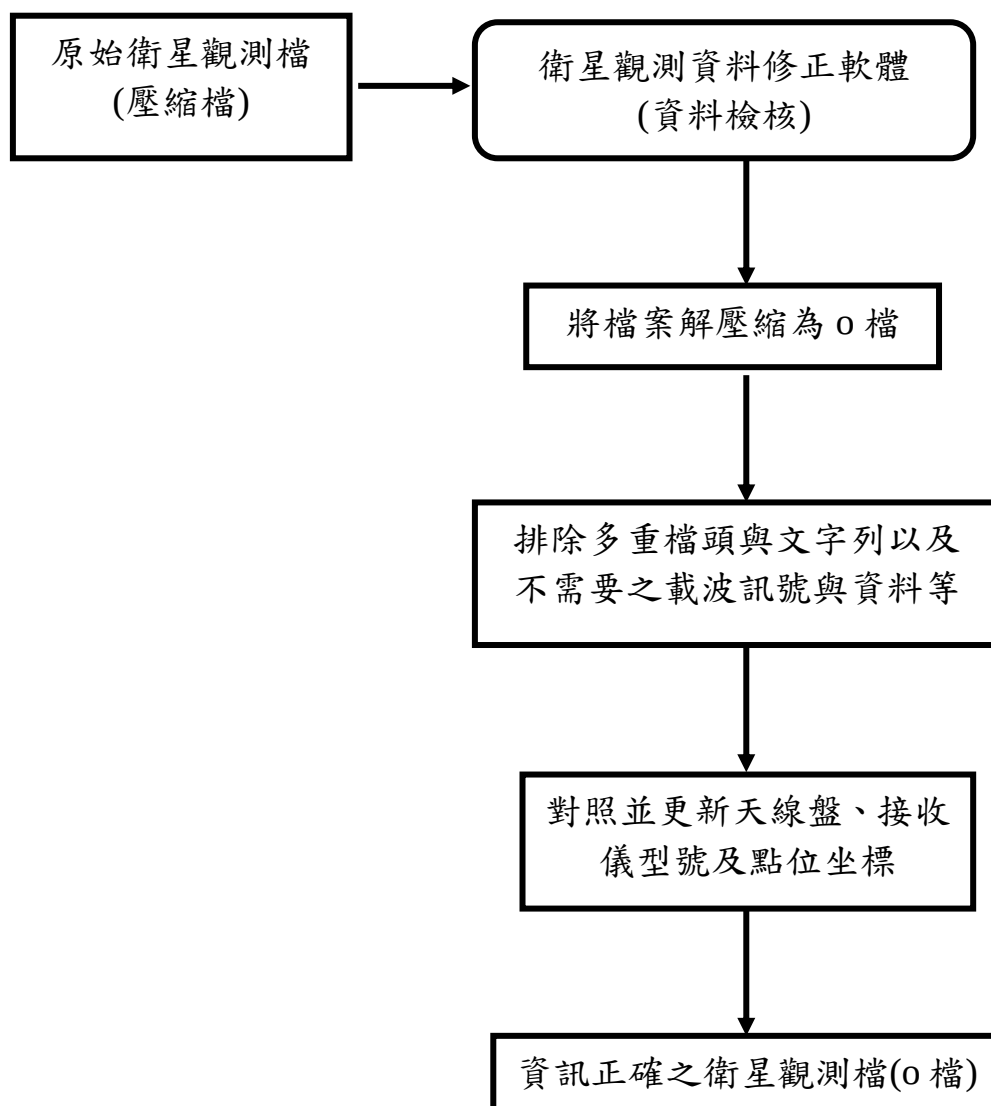


圖 5.2 衛星資料修正流程圖

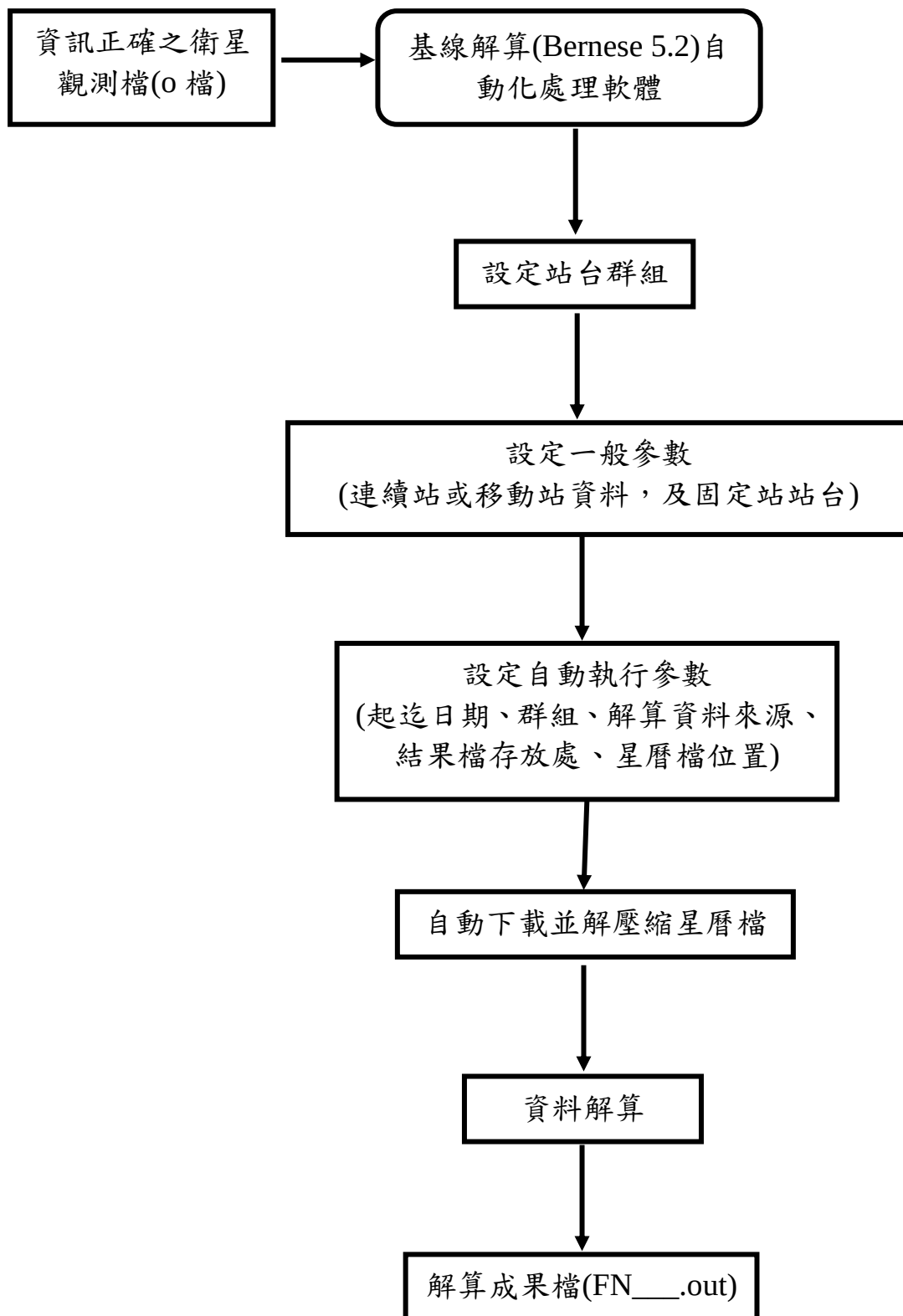


圖 5.3 基線解算(Bernese 5.2)自動化處理解算流程圖

軟體解算程序設計架構部分，包括衛星觀測資料修正軟體、基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體與後續時間序列之製圖與統計報表產出，並加入自動與手動執行之彈性模式，其作業流程如圖 5.4，說明如下：

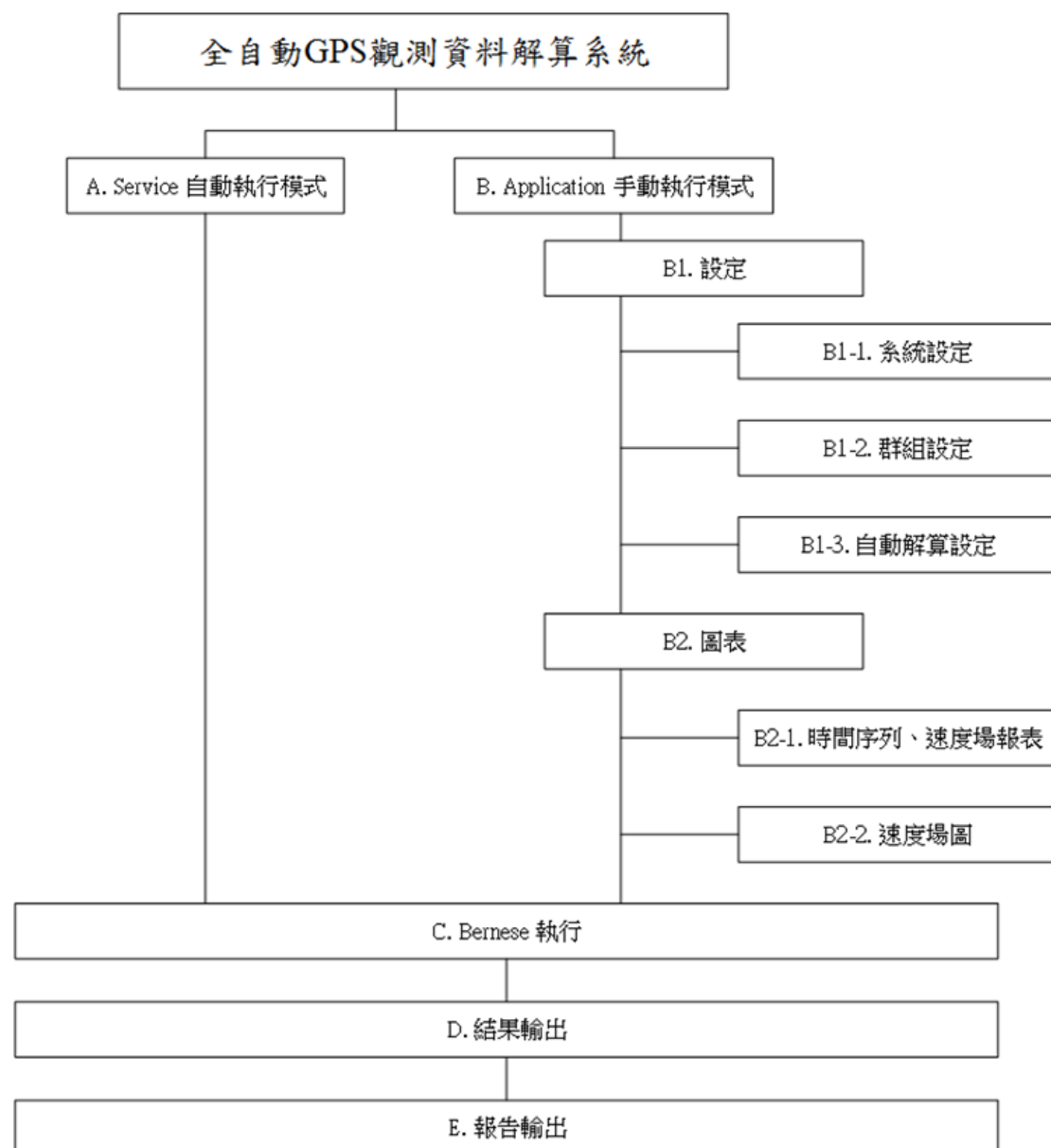


圖 5.4 系統架構圖

- A.Service 自動執行模式：Windows Service 自動執行模式
- B.Application 手動執行模式：透過應用程式獨立執行功能
 - B1.設定：利用介面進行本程式之執行設定
 - B1-1.系統設定：設定本系統主要功能
 - B1-2. 群組設定：設定群組內容
 - B1-3. 自動解算設定：為 Service 自動執行模式進行其設定
 - B2. 圖表：進行本系統產生的時序列圖、表與速度場圖、表
 - B2-1. 時間序列、速度場報表：產生時間序列與速度場之報表
 - B2-2. 速度場圖：進行展示速度場圖
- C. Bernese 執行：執行 Bernese 解算任務
- D. 結果輸出：將結果輸出至執行路徑
- E. 報告輸出：輸出系統 Log 與其執行報告

5.2 擴充基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體功能說明

105～107 年案設計之擴充基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體，主要功能分為兩大類，包括衛星觀測資料修正(資料檢核)與基線解算(Bernese 5.2)自動化處理，其設計頁面如圖 5.5～圖 5.15 所示：

5.2.1 衛星觀測資料修正軟體(資料檢核)說明

此程式之目的為篩選有問題無法提供 Bernese 軟體計算的衛星觀測資料，確保具有正確的天線盤、接收儀型號、點位坐標等資訊之後，再將其提供至 Bernese 計算軟體進行自動批次解算，功能包括：

- (一) 自動解壓縮觀測資料至指定之資料夾，程式可以處理*.z、*.gz、*.tar、*.zip、*.ra、*.7z等壓縮格式，解壓縮後的觀測檔案需整理為ABCD0010.14o、ABCD0010.14d以及ABC0010.14e等型式。
- (二) 將指定資料夾內的d檔及e檔，轉換為o檔格式。
- (三) 將指定資料夾內的o檔格式由UNIX型式轉為DOS型式。
- (四) 排除 o檔多重檔頭。
- (五) 排除o檔多餘COMMENT文字列。
- (六) 排除 o檔內容坐標時間序錯誤的情況。
- (七) 使用TEQC軟體功能排除o檔內不需要的載波資料。
- (八) 使用TEQC軟體功能排除o檔內不需要的衛星觀測資料。
- (九) 輸出資料的時間間隔可調整為1秒、5秒、15秒、20秒、25秒、30秒等取樣間距。
- (十) 將TEQC 軟體執行的指令顯示於使用者介面上。
- (十一) 程式內需有執行範例說明資訊。

5.2.2 基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體解算程序說明

軟體之目的為簡化 GNSS 觀測資料的自動批次解算流程，並管理各觀測檔案，在各觀測站每日的坐標解算完成後，可以進行各測站速度、時間序列之判讀處理，以有效率管理及資源分配，功能包括：

- (一) 軟體介面可以提供計算之起迄日期(西元年月日)，並在運行解算時能夠自動存取觀測資料(o檔)。

- (二) 解算群組功能：解算前，使用者可指定解算分區群組以提供 Bernese 軟體解算時所需之觀測站站台名稱，分區群組觀測站台上限為三十站。
- (三) 需提供FTP 下載星曆資料功能。程式執行解算前，使用者可以自行設定自動下載星曆檔或執行已準備好的星曆檔。
- (四) 星曆檔需提三選一(IGU、IGR、IGS)及自行勾選是否加入 GLONASS星曆進行解算。
- (五) 資料檢核與Bernese 解算可以勾選要同時執行或是分別執行。
- (六) 解算進行中將提供進度資料視窗，以利使用者查詢偵錯。
- (七) 解算完成後，可以另存執行進度記錄。
- (八) 提供解算完成後另存out 結果檔之功能。

5.2.3 使用操作介面說明

(一)主介面

主介面如圖 5.5，提供使用者手動解算功能，於使用者手動解算需求時可設定各項條件進行一次解算，此處所作之設定、解算不影響自動解算之設定、運作，唯一需注意的事項是須避免於自動解算運作時進行手動解算。

圖 5.5 系統主介面

1. 解算區間：設定本次執行解算的日期區間。
2. 固定站：設定 Bernese 在執行時需附上的固定站站名，系統亦提供下拉式選單進行選擇；固定站如設定多個站台，系統將依序檢查固定站是否存在於來源資料內，如存在則進行解算，反之則檢查下一固定站資料。
3. 星曆檔：執行時會下載當天的星曆檔，此處可以設定需要使用 IGS、IGU 或是 IGR，三種星曆檔 ftp 下載路徑可以在系統設定進行設定。

4. 解算模式：可選擇進行運算時的模式：

- a、群組模式：依照「設定→群組設定」所設定的群組，來選擇需要進行運算的群組，系統會依照選擇的群組設定的站台，由「解算資料來源」內之資料進行解算。
- b、資料夾模式：依照「設定→系統設定」的「解算資料來源」進行分組解算，系統將會取出該資料夾所有的站台資料，並自行進行站台分組，將該資料夾所有站台進行分組解算。

5. 使用 Station.Info：可以讓使用者使用特定的 Station.Info 來讓 Bernese 進行解算，待執行完畢後會恢復系統預設檔。

6. 使用 C04：可以讓使用者使用特定的 C04_*.ERP 檔案，解算完畢後會恢復系統預設的檔案。

7. 結果另存：將成功地解算結果另存至特定資料夾。

8. 本次執行：本次執行想要執行資料檢核或是 Bernese 解算，或是兩者都執行。

9. 若 Station.Info 缺少資料則繼續執行：系統在執行時會檢查 Station.Info 是否存在解算的站台資料。

10. 重新產生執行報表：依照輸出後系統設定另存的完整資料路徑、輸出檔案格式，資料夾內的檔案進行解算結果報表的重新產生。

11. 執行：依本次設定執行一次解算。

(二) 系統設定介面

圖 5.6 系統設定介面

1. 解算資料來源：設定資料來源路徑，點擊「？」按鈕則可以查看路徑設定格式說明。
2. 自動解算服務：設定自動解算模式之執行狀態。
3. 每日執行時間：設定自動解算模式之每日執行時間，第二次執行時間可以由勾選或不勾選來決定是否執行第二次的執行時間，若不需要第二次執行，則取消勾選即可。
4. 解算結果另存：自動模式解算完成後將結果另存至特定資料夾。
5. 系統報告另存：自動解算後將系統報告另存至特定資料夾。
6. 時間序列表：時間序列表在產生後會自行存放到該指定目錄。
7. 時間序列圖：時間序列圖在產生後會自行存放到該指定目錄。
8. 速度場表：速度場表產生後會自行存放到該指定目錄。
9. 星曆檔下載：設定星曆檔的下載FTP來源網路位置。
10. 系統參考檔下載：系統在每次執行運算時都會到指定FTP來源網路位置下載路徑來更新系統檔案SATELLIT、C04_ERP與SAT 檔。

11. TEQC 參數設定：在此區進行資料檢核的TEQC設定。
12. 儲存：儲存該介面的所作的變更設定；請注意必須儲存「系統設定」所做之變更才會完成儲存。
13. 取消：放棄「系統設定」所作之任何修改。

(三) 資料來源設定介面

資料來源設定

編輯 刪除

資料來源	資料路徑	來源測試
本地磁碟	D:\nlsc2016mix\[STAT][DDD]0.[YY]	來源測試
網路磁碟	\\192.168.0.35\SHARE\AUTO_BERN\[YYYY][YYYY][DDD][STAT][DDD]0.[YY]	來源測試
網路磁碟	\\192.168.0.35\SHARE\AUTO_BERN\[YYYY][YYYY][DDD][STAT][DDD]0.[YY]	來源測試
*		

確定 取消 ?

(1)

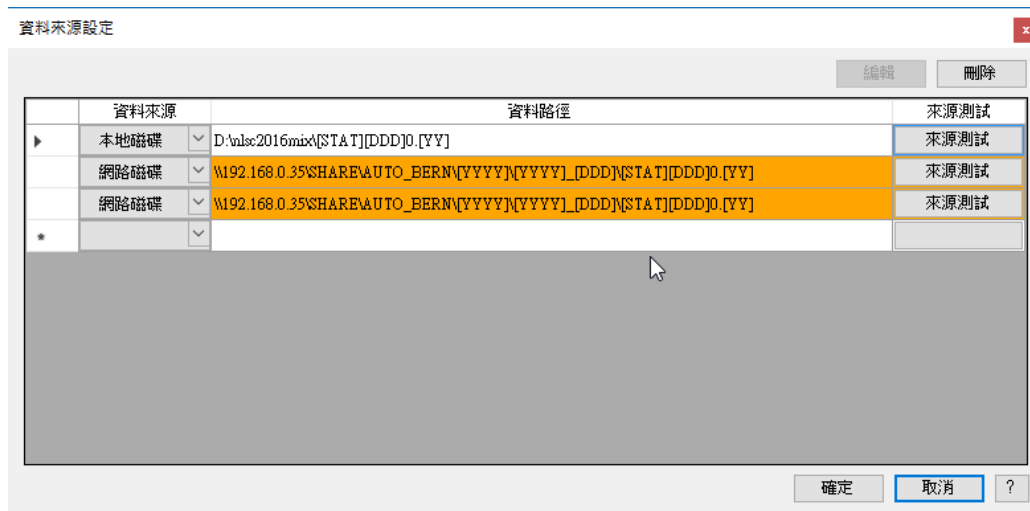
資料來源設定

編輯 刪除

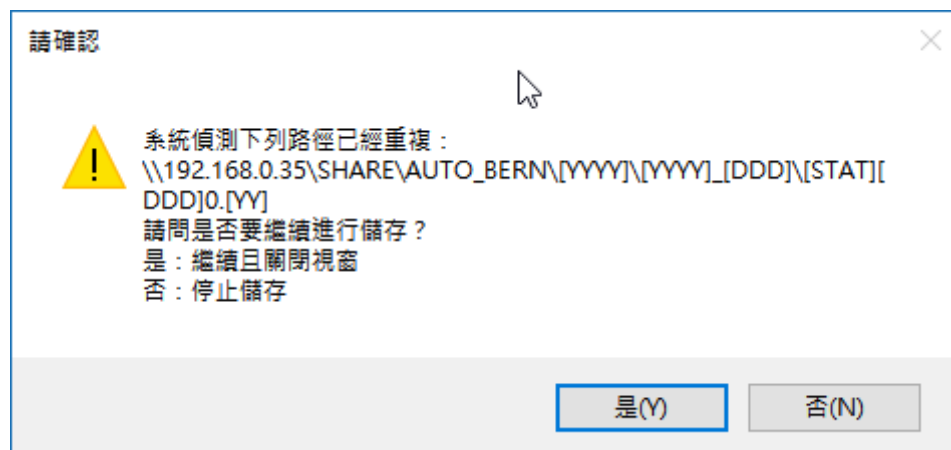
資料來源	資料路徑	來源測試
本地磁碟	D:\nlsc2016mix\[STAT][DDD]0.[YY]	來源測試
網路磁碟	\\192.168.0.35\SHARE\AUTO_BERN\[YYYY][YYYY][DDD][STAT][DDD]0.[YY]	來源測試
網路磁碟	\\192.168.0.35\SHARE\AUTO_BERN\[YYYY][YYYY][DDD][STAT][DDD]0.[YY]	來源測試
*		

確定 取消 ?

(2)



(3)



(4)

圖 5.7 資料來源設定(1)-(4)

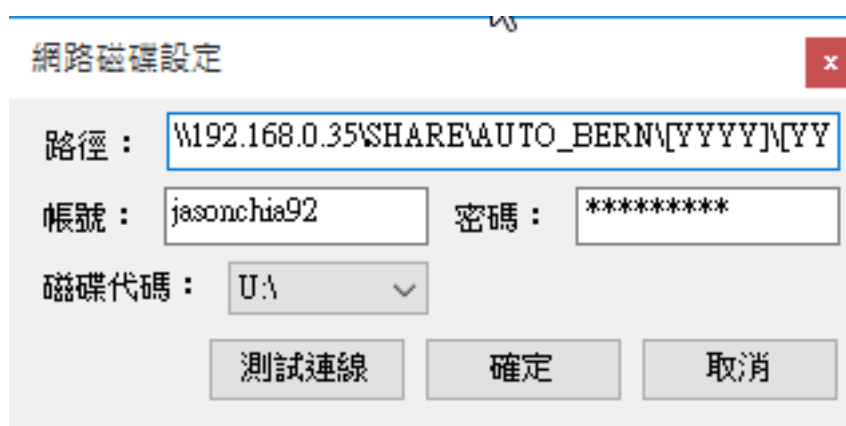


圖 5.8 網路磁碟設定

1. 資料來源：被分隔成本機磁碟或是網路磁碟，切換至網路磁碟時會彈出網路磁碟的設定視窗，讓使用者進行路徑、帳號、密碼、磁碟代碼等設定。
2. 設定路徑：路徑可以填入特定的格式來使系統進行日期格式相對應的資料夾切換。
3. 編輯：可以編輯所選擇的路徑，只能使用於網路磁碟路徑。
4. 刪除：可刪除所選取的路徑。
5. 來源測試：套上相關的日期並測試設定的路徑。
6. 確定：點擊確定之後系統會進行檢查，以知道系統是否有已經重複的路徑，點擊「是」會進行儲存，點擊「否」則取消儲存的動作並列出重複的資料。

(四)群組設定介面

1. 輸入路徑、更新：挑選特定的資料夾，系統會將資料夾內所有站台都收集，將其展示在左下角的列表上。
2. 站台列表：從列表中可單選或複選站台名稱，選擇站台後可以將其做新增一個新的群組、加入某個已經存在的群組或是將其從列表中刪除。
3. 群組列表：新增或已存在的群組會顯示在右下方的列表裡，該列表提供單選，選取特定的群組後進行雙擊可以編輯該群組，或是將其從列表中刪除。

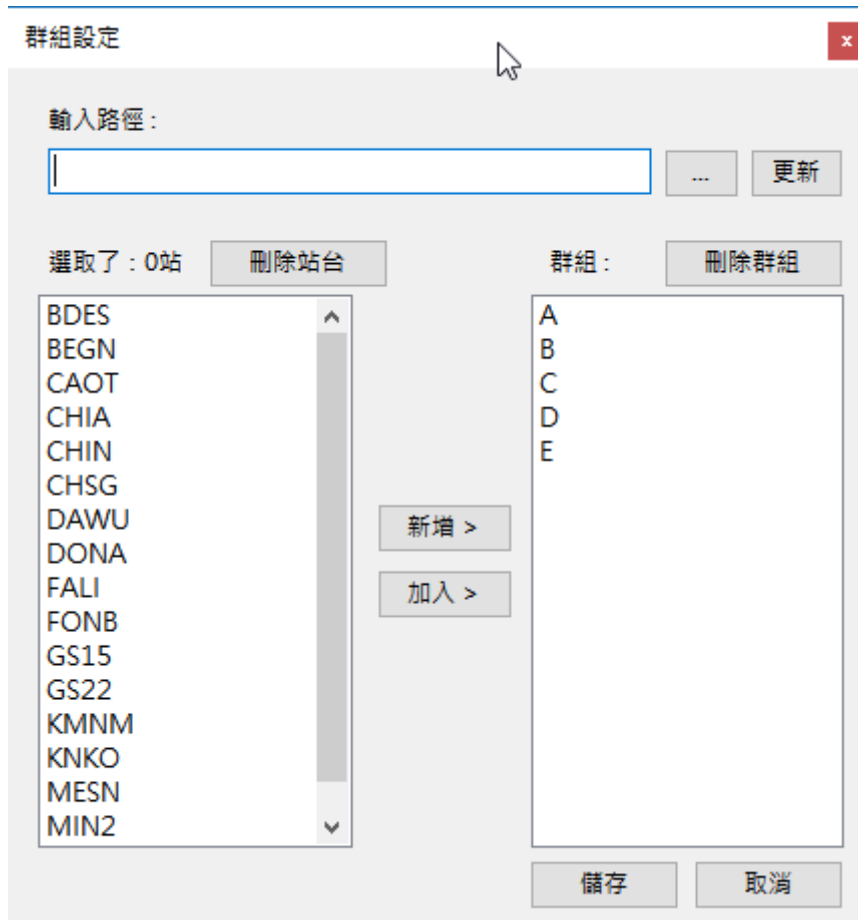


圖 5.9 群組設定

(五) 自動解算介面設定

提供使用者設定後，依使用者所設定之回算天數，系統自動於每日兩次之執行時間，以背景服務啟動解算，該解算將檢查回算天數至啟動時之日期區間內，所有設定之群組資料；來源資料內之站台資料如為未曾解算之資料則執行解算，如為曾經解算過，但站台檔案有異動則重新解算。

自動解算設定

固定站：KMNM

回算天數：1

解算模式

☐ 群組模式 ☒ 資料夾模式

群組：

儲存 取消

圖 5.10 自動解算設定

1. 固定站：設定Bernese在執行時需附上的固定站站名，系統提供下拉式選單進行選擇；固定站如設定多個站台，系統將依序檢查固定站是否存在於來源資料內，如存在則進行解算，反之則檢查下一固定站資料。
2. 回算天數：背景服務自動啟動解算時，由啟動時間往回推天數，系統將檢查回推日至本日之區間資料。
3. 解算模式：可選擇進行運算時的模式：
 - a、群組模式：依照「設定→群組設定」所設定的群組，來選擇需要進行運算的群組，系統會依照選擇的群組設定的站台，由「解算資料來源」內之資料進行解算。
 - b、資料夾模式：依照「設定→系統設定」的「解算資料來源」進行分組解算，系統將會取出該資料夾所有的站台資料，並自行進行站台分組，將該資料夾所有站台進行分組解算。
4. 儲存：儲存該介面的所作的變更設定；請注意必須儲存「自動解算設定」所做之變更才會完成儲存。

5. 取消：放棄「自動解算設定」所作之任何修改。

(六) Station.Info 管理介面

在 Station.Info 編輯裡，分成 2 個主要的介面，左邊的介面是正在使用中的主要 Station.Info 而使用者可以使用左邊的 Station.Info 進行編輯、更版。

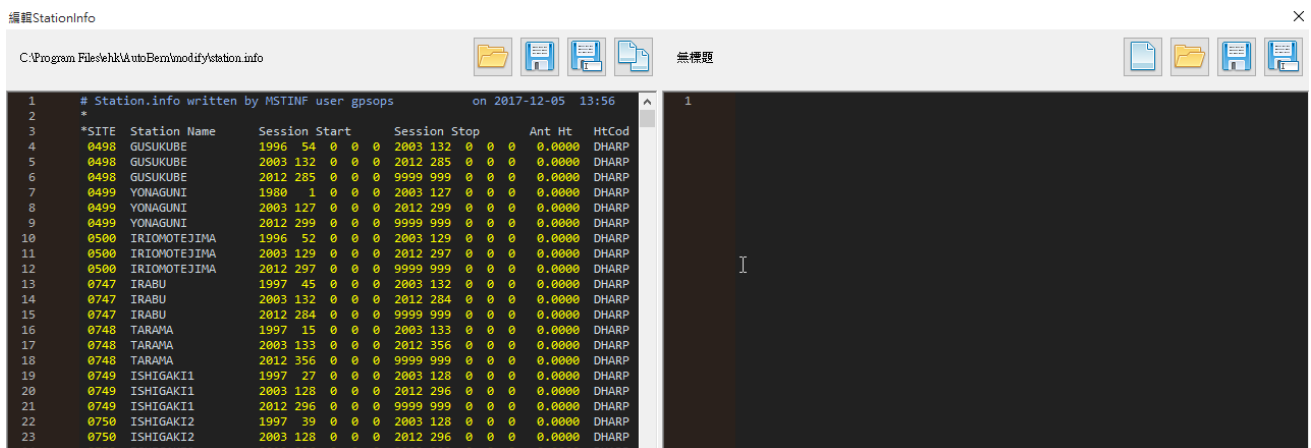


圖 5.11 Station.Info 編輯介面

位於左邊的是系統預設使用的 Station.Info，在左邊的視窗裡面有開啟、儲存、另存新檔與複製到右邊視窗的功能。右邊的視窗則是可以讓使用者自行編輯並使用的 Station.Info，同時也可以比照左邊系統預設的 Station.Info 來進行編輯。

(七) 時間序列、速度場報表與速度場圖介面

該介面可以讓使用者依需求產生時間序列圖、表與速度場報表，透過設定所需日期間區隔與資料來源，在系統自動取得需要的檔案之後進行產制，待完成之後將輸出到由先前於「設定→系統設定」的時間序列圖表存放目錄與速度場表存放目錄。速度場圖介面可以利用系統產生的速度場表(*.fout)檔來進行繪製速度場圖，透過介面也可以查看速度場表內的資料。

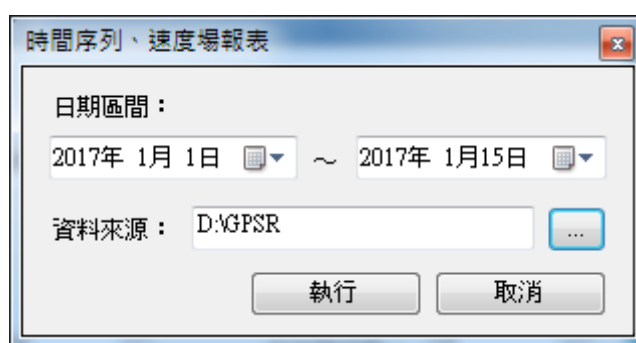


圖 5.12 時間序列、速度場報表

1. 日期區間：挑選需要進行產製時間序列圖、表與速度場表的時間區隔。
2. 資料來源：挑選資料的來源，資料來源必須是由 Bernese 輸出後系統設定另存的完整資料路徑、輸出檔案格式，以便系統能判斷並抓取資料。
3. 執行：執行產製時間序列圖、表與速度場報表。
4. 取消：關閉視窗。

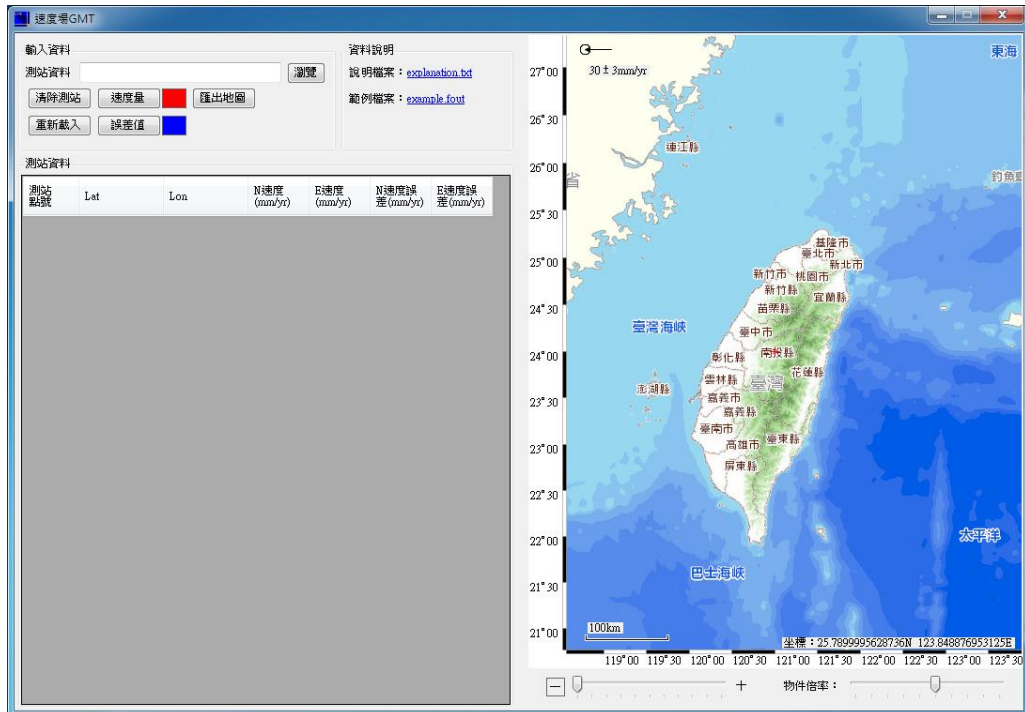
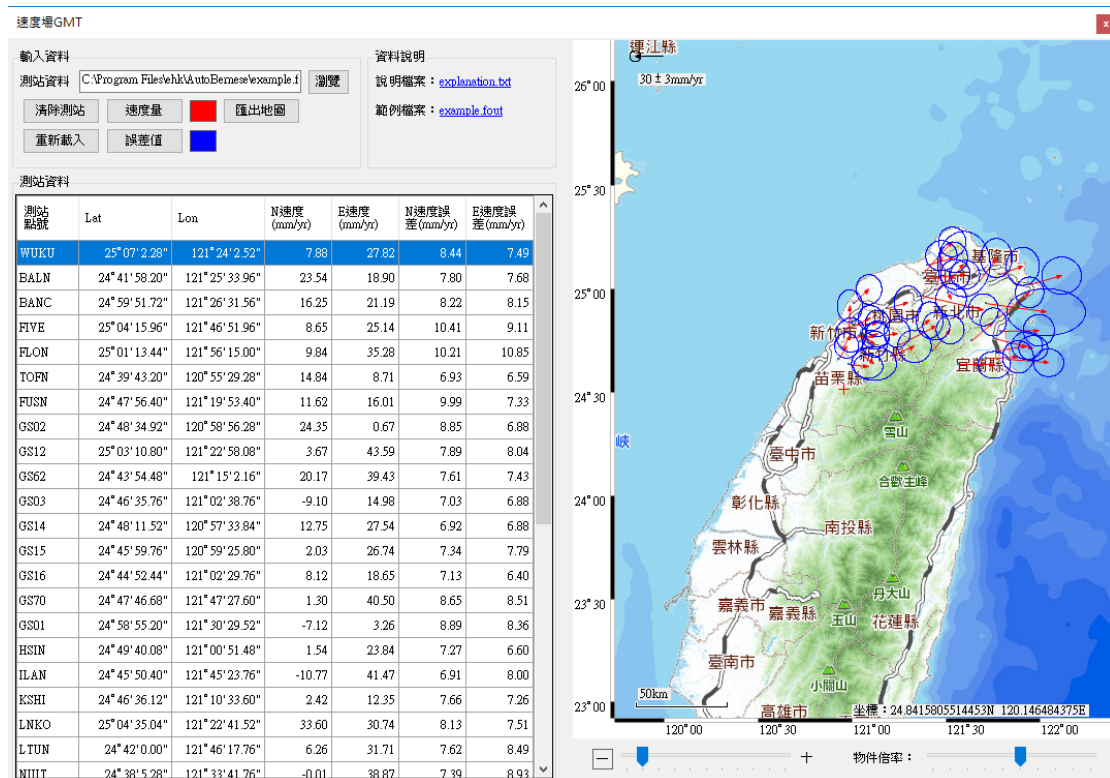


圖 5.13 速度場圖介面

1. 瀏覽：選取匯入的速度場表(*.fout)。
2. 清除測點：清除測站資料列表。
3. 重新載入：重新載入由上方測站資料來源的內容，並顯示再下方。
4. 速度量、誤差值：透過設定來更改地圖中顯示的顏色。
5. 匯出地圖：點擊後將會匯出右方地圖。
6. 測站資料：顯示速度場內容，單擊可將選取的站台以青色箭頭標記在地圖上。

7. 地圖操作：

- a、使用滑鼠左鍵來進行移動。
- b、使用滑鼠滾輪或下方第一個滾動條來使地圖進行放大或縮小。
- c、使用物件倍率滾動條來讓系統繪製出的速度量與誤差值變大或變小。



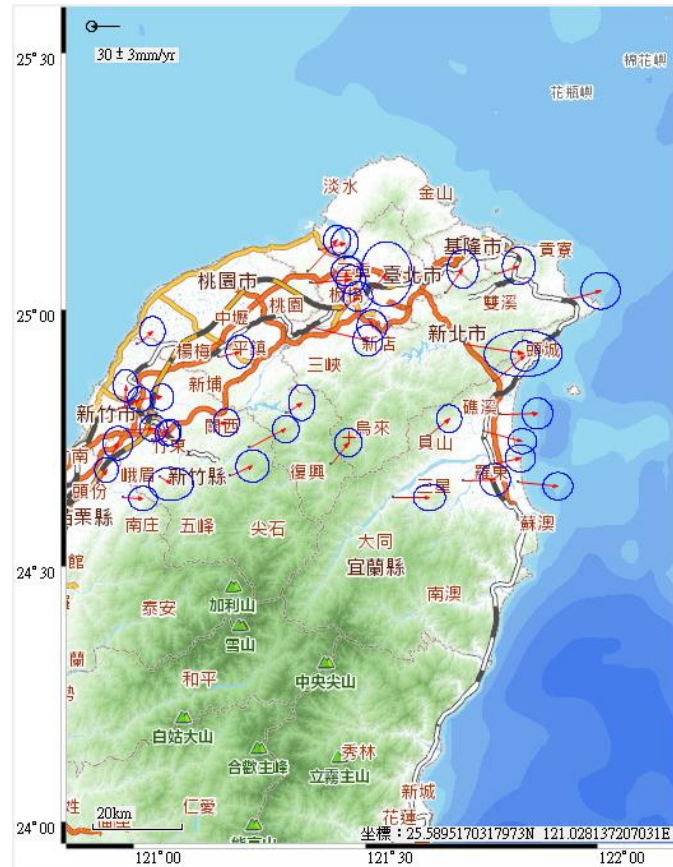


圖 5.15 匯出地圖表現

5.3 更新變位模式應用軟體

105～107 年案依研究成果更新網格資料及相關模組進行規劃，因此，應用軟體之基本功能包括：

- (一) 網格資料建置及更新模組：可以依照網格設定密度建置規則網格點，並於新增資料時，能夠進行網格資料庫之更新。
- (二) 網格資料輸出模組：可以顯示網格資料，並依據需求輸出網格點坐標、坐標對應時刻及其變化量與精度等。
- (三) 待測點位成果輸出模組：
 - 1. 輸入參數：可以提供使用者進行單點或附加檔形式之輸入格式，輸入內容可包含點位的坐標及點位的時間，以及輸出的指定對應時刻。
 - 2. 輸出項目：可以文字檔的形式輸出，內容包含點位坐標、點位的對應時刻及其變化量與精度等相關資料。
- (四) 成果統計分析模組：可以進行網格點位的精度分析、點數密度、空間區域分布、適當的更新時間等統計成果之評估。

據此，本計畫完成「變形模式應用軟體」的功能如下，操作頁面如圖 5.16～5.19 所示：

- (一) 除了依本計畫案的研究成果進行網格資料更新之外，亦將新增地震事件之變位模組(自 2010 後)，同時更新坐標變化量解算函式。
- (二) 網格資料輸出模組：可依據需求輸出網格點坐標、坐標對應時刻、

坐標變化量及其相關精度等。(精進使用者互動介面)

(三) 待測點位成果輸出模組：(精進成果呈現介面之完善性)

1. 輸入參數：可以提供單點或附加檔形式之輸入格式，內容至少包含點位坐標及點位資料時間，與設定輸出時刻。
2. 輸出項目：可輸出文字檔，內容至少包含點位坐標、點位對應時刻、坐標變化量及精度相關數據。

(四) 成果統計分析模組：提供建立網格資料時之精度分析、點數及空間分布等統計成果。(精進成果分析統計功能)

圖 5.16 更新變位模式應用軟體操作頁面(1)

圖 5.17 更新變位模式應用軟體操作頁面(2)

- 1.輸入坐標系統：輸入坐標之坐標系統。
- 2.輸出坐標系統：輸出坐標之坐標系統。
- 3.輸入、輸出時間：需要進行推算的時間區隔。
- 4.坐標輸入：在此處輸入需要進行轉換的坐標。
- 5.坐標輸出：在此處顯示進行轉換後的坐標。
- 6.檔案上傳：以 TXT 的方式將檔案進行上傳。
- 7.下載結果：將推算結果以 TXT 的方式進行下載。

項次	網格日期	網格標題	上傳者	編輯	全選
1	2010-01-01	第一網格	jason	編輯	☐
2	2016-02-06	美濃地震	jason	編輯	☐

圖 5.18 更新變位模式應用軟體操作頁面後台管理(1)

- 1.新增：新增新的網格到後台，以讓前台在推算的時候可以使用，須符合特定的格式。

2.進階查詢、刪除：查詢、刪除網格。

3.編輯：編輯特定的網格資料。

編輯

* 網格名稱：速度網格-20100101

* 網格日期：20100101

* 網格種類：
☒ 速度網格模型
☐ 位移網格模型

網格檔案上傳的格式為：

(速度網格) 經度 緯度 N方向速度值 E方向速度值

(位移網格) 經度 緯度 N方向位移量 E方向位移量

經、緯度的單位為度(可到小數2位)，速度值的單位為mm/yr(可到小數4位)、位移量的單位為mm(可到小數4位)。

※請注意每筆資料的最前端與最後端不能有空格，每筆資料的各數值之間以空格隔開，不可使用tab或其他間隔符號。

※必須指定網格種類為速度網格模型或是位移網格模型。

※網格檔案的副檔名必須為txt。

範例：

120.00 22.08 -0.3120 0.3096

120.04 22.20 0.3168 -0.3238

範例檔案： [下載](#)

* 網格上傳：
 Vel-20100101.txt

✓ ✗

圖 5.19 更新變位模式應用軟體操作頁面後台管理(2)

1. 網格名稱：設定該網格之名稱。
2. 網格日期：設定該網格發生或起始的日期。
3. 網格種類：該網格的類型。

第六章 辦理座談會及論文發表

為推廣建置臺灣「半動態基準」及精進國家坐標系統變形模式之成果，本工作團隊分別於 2019 年 6 月 19 日、10 月 30 日辦理兩場「精進現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式成果說明座談會」，邀請多位專家學者及各直轄市、縣(市)政府、測量技師公會及測繪業同業公會相關人員，針對國家坐標系統之說明與維護進行交流討論。

6.1 辦理成果推廣座談會

第一場座談會於 2019 年 6 月 19 日舉辦，議程如表 6.1，出席人員如附件三簽到表。座談會主要針對現代化 TWD97[2020]坐標系統如何給定進行交流討論。TWD97[2020]坐標系統給定方式可分為靜態基準或半動態基準模式：前者可採兩種方式處理，一是依據 TWD97[2010]訂定的策略辦理，另一為採 2018 年 2 月 6 日花蓮大地震之震後坐標修正處理模式辦理；另一作為乃採半動態模式進行坐標值之修正。

表 6.1 第一次(6/19)座談會議程

時間	主題	主講人	主持人
09:00 ~ 09:30	報到		
09:30 ~ 10:10	臺灣現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式成果說明	陳國華 副教授	測繪中心 曾副主任耀賢 國立臺北大學 陳國華副教授
10:10 ~ 10:30	國內基準站 TWD97[2020]坐標規劃計算方式說明	測繪中心 莊峰輔	
10:30 ~ 12:00	綜合座談		測繪中心長官、 陳國華副教授、 景國恩副教授、 楊名教授
12:00 ~	午餐及歸賦		



圖 6.1 第一場專題演講及交流座談(1)



圖 6.2 第一場專題演講及交流座談(2)



圖 6.3 第一場專題演講及交流座談(3)

綜合彙整與會專家學者之意見如表 6.2。會議之初步共識如下：TWD97[2010]已逐漸不敷使用，應予以修正或公告新的坐標系統，例如 TWD97[2020]坐標系統，而在實務上是否採用本計畫之變形模式，可先進行模式之驗證後予以評估採用。

本案變形模式仍有若干重要且須再精進探討及分析之問題：(1)山區連續站密度不足；(2)仍有地形問題待決，例如地表滑移，應妥善考量地質因素並納入模式修正；(3)模式應用範圍尚未納入離島；(4)變形模式之使用介面或概念仍停留在為專家學者應用及理解層面，因此應規劃訂定各階段目標並辦理相關教育訓練，俾便推廣應用。

表 6.2 第一次座談會專家學者意見歸納表

專家學者	主要意見	相關回應
張教授嘉強	建立 TWD97[2020]是需要的且需審慎評估。目前使用靜態坐標系統，後續是否仍以定期(10 年)維護更新靜態坐標系統有待商榷，若直接更新基準為半動態模式(變形模式)，需討論變形模式本身是否還有不足之處。亦或是直接以變形模式預測 TWD97[2020]之值，並與實際觀測數值比較，若通過檢核，或許可每 5 年發布資料。此外，建議半動態模式(變形模式)之高程部分可用橢球高系統表示，而正高(TWVD2001)另建立模式解算，之後系統再處理橢球高及正高轉換。	感謝張教授寶貴意見。現階段變形模式仍有精進之處，此為持續努力的方向，並與 TWD97[2020]相關成果進行相互驗證分析；本年度即會建立三維的變形模式提供使用，未來可評估納入區域性的大地起伏模式以提供不同高程系統之間的轉換。
楊教授名	臺灣從西元 2013 年開始探討 TWD97 之變形模式，3 年前大範圍(跨縣市)控制測量已不適合採 TWD97[2010]處理，需配合變形模式。只是變形模式仍為專家模式，且尚有不足之處：三維模式由二維模式加一	感謝楊教授寶貴意見。TWD97[2010]在若干地表變動較快速頻繁地區確已有較大的誤差產生，因此本案的變形模式為一項可行的解決方式，今年度將

	維模式模式呈現；山區點位誤差仍大，且部分地形問題待解決，例如大規模滑坡而需移除阿里山點位。	完成三維方向的修正模式，並提供更優化的使用者介面，未來亦將針對變形模式之不足處予以精進改善。
曾教授清涼	去年起變形模式希望加入高程部分處理，為了穩定行政管理(地籍)，採定期更新靜態似乎較佳，不過現今變形模式為趨勢，其是否能讓地質界接受亦為議題，例如同震變形應納入地表滑移影響。建議比較 2020.0 之實測資料與變形模式預測值，如差距小的話便可實際應用。此外，變形模式現未納入離島，需思考解決方式，且連續站設定每 70 公里一點，在站數不足之山區亦有加站需求。	感謝曾教授寶貴意見。今年度已產置三維變形模式，並將配合下一階段新的坐標成果，例如 TWD97[2020]進行比較分析，同時評估納入離島區域的分析。另外山區測站之設置，將配合辦理相關的資料解算與分析。
史教授天元	以採半動態基準之國家而言，紐西蘭應用至地籍管理方面，但以色列與日本仍以科學研究為主，因此需界定應用範圍與層面，畢竟紐西蘭應用至地籍花費龐大社會成本。此外，澳	感謝史教授寶貴意見。針對本案建置的半動態基準變形模式之應用範圍，目前主要以控制測量之應用為主，在地籍測量方面，

	洲新測坐標不會鎖回 ITRF94，那臺灣後續無論採靜態基準或半動態基準還要轉換至 ITRF94 嗎？半動態基準應要能與國際接軌。	由於點距較近，因此尚未顯著成果。未來臺灣地區是否仍以 ITRF94 框架為依據，可為日後對於國家基準相關議題中進行討論及議定。
韓教授仁毓	臺灣地質複雜，目前的連續站與移動站點位分布與數量是否足夠描述變化，可由速度梯度大的地方檢視問題，並納入建變形模式之參考。在科學與地籍方面應用上，應分不同層面討論採用情形，在地籍方面強烈涉及舊資料與新資料之整合，是否考慮由使用者蒐集資料並提供給政府單位，而政府方面雲端處理並依不同目標與需求發布模型，降低未來使用者之應用困擾。	感謝韓教授寶貴意見。針對臺灣地區測站之分佈情況，實有地區性的差異，因此現階段就現有資料進行分佈密度的探討，並配合測量規範進行分析比較，在地籍測量應用方面，宜配合政府相關作業模式及便民措施辦理。
侯組長進雄	台中、苗栗以北地區其實不需要使用半動態基準，後續發展必須將震後變形納入考量，畢竟車籠埔斷層變化情形較大，且需要定義半動態基準之應用層面，例如工程測量、地籍測	感謝侯組長寶貴意見。臺灣地區的地質特性，使某些區域的地表變化相較而言較不顯著。而本案建置的變形模式採多時期速度模

	量，像全臺地質保護區資料和地籍資料就有套合之問題。此外，建議每 10 年比較變形模式與控制點實測成果，藉此更新 TWD97[2020]。	型的方式，以修正震後之變形影響。對於半動態基準之應用，可針對不同的精度規範予以訂定之，未來亦將與新的國家坐標系統成果比較。
邱元宏秘書	建議後續若要發展、公告半動態基準，可以更新變形模式之出發原點，而靜態基準仍可以 10 年為更新週期維持更新，對於使用者應用上，可以明確分辨數十公分為系統誤差。都計圖與地籍圖之點位具有法定公告地位，TWD67、TWD97 與 TWD97[2010]不同時期之靜態基準，可互相適用並且利用參數交互轉換。	感謝邱秘書寶貴意見。針對未來如何採用或辦理國家坐標基準的問題，可由現階段的各項分析成果進行相應分析比較，並回顧傳統坐標系統維護之作法，探討分析適切的運用模式。
黃科長鉅富	關於半動態基準之推動，建議測繪中心回顧當初推動 TWD97[2010]之過程，因為此議題牽涉到專業落差，故需有教育訓練等配套措施，推動過程應減少衝擊並訂定各階段目標，而半動態基準之名詞定義	感謝黃科長寶貴意見。針對新的坐標基準之推動，其牽涉許多層面，確實應循照 TWD97[2010] 成果推動之進程辦理，以減少各應用層面之衝擊。

	問題在法律上必須定義清楚， 避免後續產生問題。	
--	----------------------------	--

第二場座談會於 2019 年 10 月 30 日舉辦，主要參與人員為各直轄市、縣（市）政府、測量技師公會及測繪業同業公會相關人員，議程如表 6.3，出席人員如附件三簽到表，整理之座談意見如表 6.4。

表 6.3 第二次(10/30)座談會議程

時間	主題	主講人	主持人
09:00 ~ 09:30	報到		
09:30 ~ 09:50	臺灣現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式成果說明	國立臺北大學 陳國華副教授	國土測繪中心 曾副主任耀賢 國立臺北大學 陳國華副教授
09:50 ~ 10:10	變形模式實務成果說明	國土測繪中心 莊峰輔	
10:10~10:30	TWD97[2010]坐標更新說明	國土測繪中心 黃華尉	
10:30~ 12:00	綜合座談		國土測繪中心 陳國華副教授 景國恩副教授
12:00 ~	賦歸		



圖 6.4 第二場專題演講及交流座談(1)



圖 6.5 第二場專題演講及交流座談(2)



圖 6.6 第二場專題演講及交流座談(3)



圖 6.7 第二場專題演講及交流座談(4)

表 6.4 第二次座談會與會人員意見簡要整理表

與會人員	意見	相關回應
開場致詞 (引言)	曾副主任耀賢： 本次座談會主要就現階段完成的現代化 TWD97[2010]變形模式成果進行交流討論，請各從業同仁就實務應用面集思廣義、意見交換、提供看法。 陳國華老師： TWD97[2010]發布時日已久，有些點位的法定坐標已有較大誤差，而各縣市的狀況與影響程度亦不同，應找到合適的坐標轉換及修正方法以與實務作業接軌，且模式的操作要簡化，並使教育訓練普及。 景國恩老師： 本人現在亦輔助菲律賓建立半動態國家基準，而臺灣在中央和地方這兩方面仍需取得共識，期望實務作法能單純，並使其普遍化。	
余徐維先生 發言	動態坐標框架為國際趨勢，臺灣勢必跟進，但考慮社會安定性及坐標之維護更新，欲施行仍有考驗，如何使民眾理解亦是議題。	感謝意見提供。
中興測量 鄭鼎耀先生 發言	1. 100~105 年辦理花蓮市玉里地籍圖重測作業，即發現控制點的位移很大，雖然 101 年開始，控制點採用 TWD97[2010]，使得解算成果較佳，但過了數年後，約 105 年在秀姑巒溪區域的解算成果即開始有 10 cm 的誤差量，若能加上速度場及同震位移之修正，應可使控制點坐標較可靠。此外，在地籍測量的應用上，是否探討	曾副主任耀賢： 因小範圍局部相對穩定，對地籍測量不太有影響，目前主要是不同應用圖資的融合問題。因此，只要發布新的坐標系統便會提供新的轉換參數，例如：e-GNSS 即每 2 年發布一次，然而，隨著時間增加，TW97[2010]坐標之間的不一致情況即會增加，中央會把各縣

	短基線之適用規範?並藉由各縣市的實際狀況給予可行作法。 2. 分區的狀況不太一致，目前採以斷層線作為分區依扯，是否請中央給定確切分界線? 3. 站在本公司的立場，希望 TWD97[2019] 能重新公告，並透過測繪中心之研究給定轉換參數，使延長使用 5~7 年之後再重新施測，如此應可輔助坐標系統之更新。	市的坐標變動圖套疊於斷層線圖層提供給地方參考。 景國恩老師： 地調所之斷層是畫在 1/5000 地形圖上，因此，實務上要有確實斷層線才會補充上去。
高雄市政府 代表發言	1. 坐標更新頻率以及更新方法是否可定調? 2. 坐標及其參考時刻可否公告於網站? 3. 加密控制審查作業，是否可納入速度值，而可直接於線上進行坐標修正? 4. 是否可同時更新約制之已知控制點?	林技正文勇： 1.須有處理的過渡期，目前仍先靜態坐標系統，未來會配合半動態模式成果之比較分析，當確認半動態成果穩定可行後，可再行考慮後續作法。 2.行政體系公布控制點位坐標有其法定地位，無法隨時更新，但可公布各參考時刻的坐標成果。 3.可線上連結資料庫查詢坐標值及其對應的參考時刻資訊。 4.可參考使用的規範門檻作為更新判斷依據維護，就相對精度而言，目前採用的十萬分之一應可行。

曾副主任耀賢	請問新北市政府、新竹市政府目前針對 TWD97[2010] 坐標系統成果的使用情況如何?	新北市政府： 轄區內大部分點位的坐標值變動量不大，因此目前的 TWD97[2010] 坐標成果仍堪用。 新竹市政府： 目前仍是大部分點位的坐標變動量不大，也仍採用 TWD97[2010]，其坐標成果仍堪用。
臺東市政府 代表發言	臺東一級加密控制點的實際坐標成果已經有明顯改變，在多個坐標系統的引入之下，如何辨識這些不同時期的坐標成果?建議應給予時間的標識資訊，且測區點位的檢測頻率應增加。	陳課長鶴欽： TWD67、TWD97 與 TWD97[2010] 等系統的坐標成果，若要單從數值上來看，較不易分辨，因此，仍是須先知道成果為哪種坐標系統，所以公告的成果會述明其坐標系統的參考時刻資訊，且變動量較大的地區會優先規劃增加檢測之頻率。
高雄市政府 代表發言	加密控制測量作業程序中，是否可以使用速度場資訊進行坐標成果之修正計算?	目前建議暫以提供的速度場及對應的參考時刻等相關資訊作為修正的參考，未來將針對有關的作業程序進行討論，以提出較完備的加密控制測量作業程序。
曾副主任耀賢	請問臺中市政府目前針對 TWD97[2010] 坐標系統成果	臺中市政府： 轄區內主要仍以辦理

	的使用情況如何?	地籍測量作業為主，大部分點位的坐標值變動量不大，因此，仍採用 TWD97[2010]坐標系統成果；同時，亦贊成高雄市政府之意見，可考慮採動態框架的方式，並定期更新。
--	----------	--

6.2 辦理成果之發表

本工作團隊已於今年度在相關的學術研討會中發表本案成果，並提送一篇文章投稿於「台灣土地研究」(TSSCI 期刊)，整理如表 6.5。

表 6.5 研討會成果發表及期刊投稿統計

序號	會議舉辦或收稿日期	會議或期刊名稱	發表人
1	2019/5/14 ~ 5/17	中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 108 年年會暨學術研討會(TGA)	景國恩、陳國華、蕭詩涵、楊名、陳鶴欽
2	2019/6/25 ~ 6/28	台日研究合作論譚	景國恩、陳國華、蕭詩涵、楊名、陳鶴欽
3	2019/7/8 ~ 7/18	加拿大第 27 屆 IUGG 會議	陳國華、景國恩、楊名、陳鶴欽
4	2019/8/29 ~ 8/30	測量及空間資訊研討會	陳國華、景國恩、楊名、陳鶴欽
5	2019/10/28	「台灣土地研究」期刊	周逸屏、陳國華、景國恩、楊名、陳鶴欽

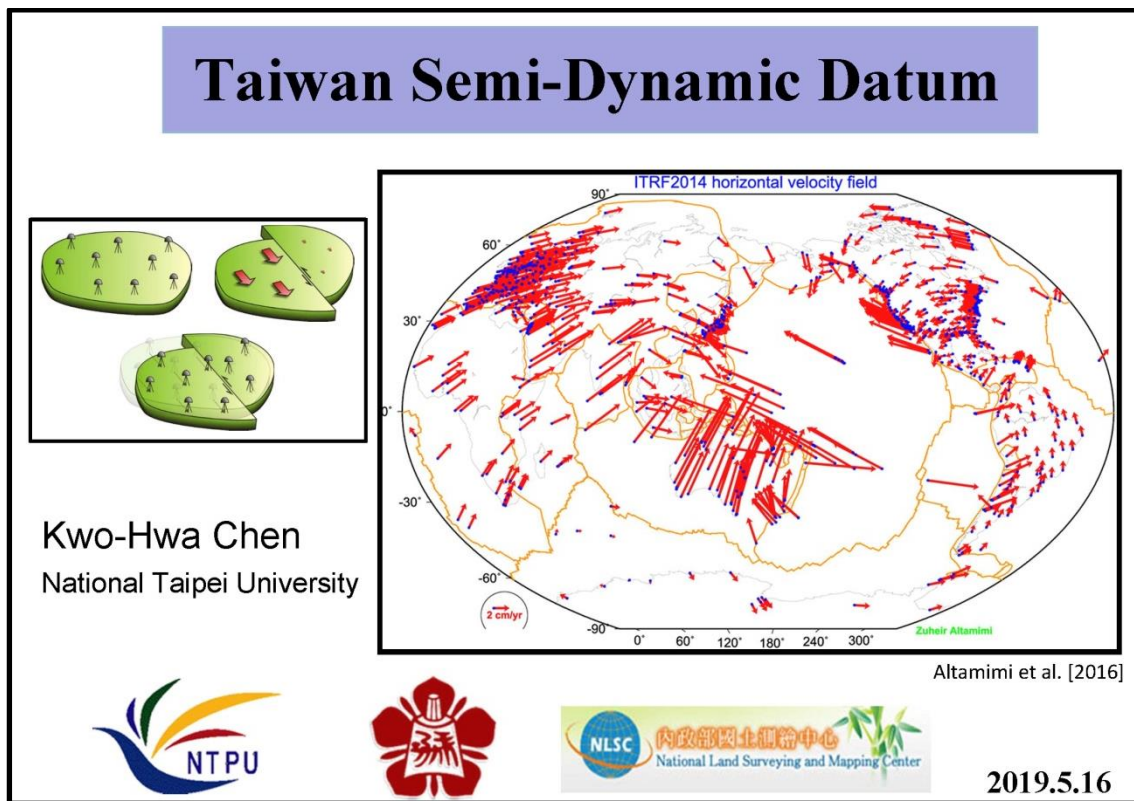


圖 6.8 研討會成果發表(1)

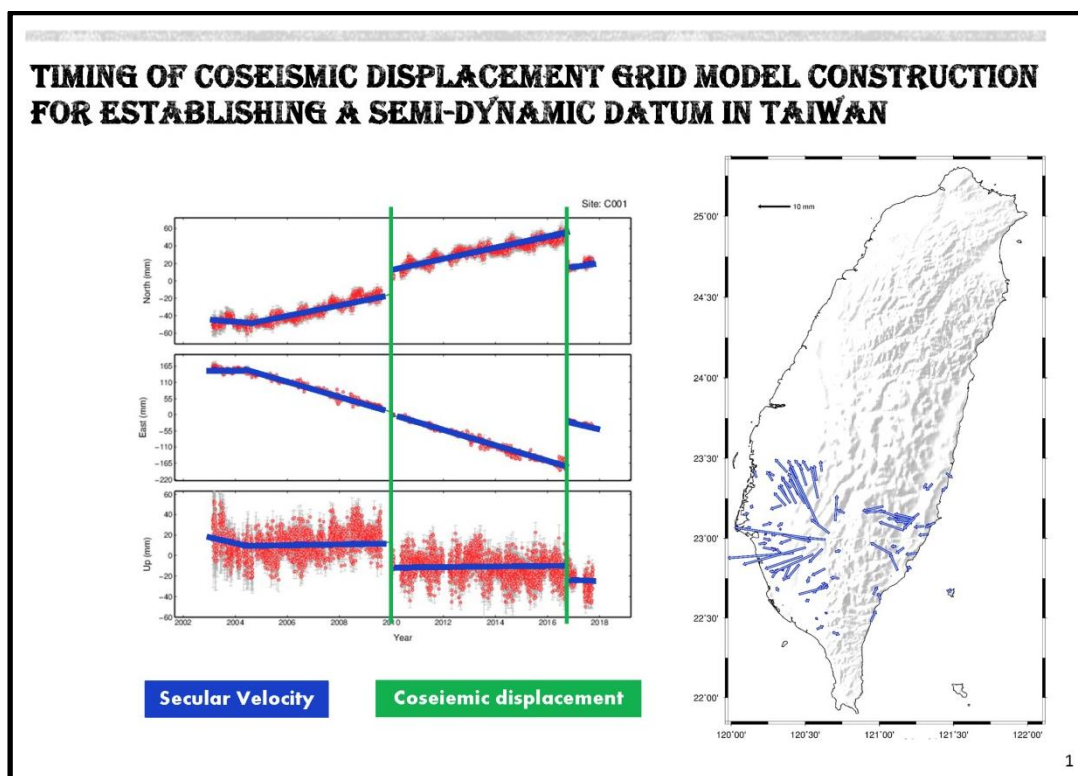
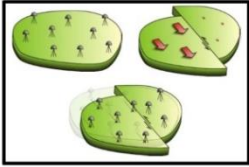


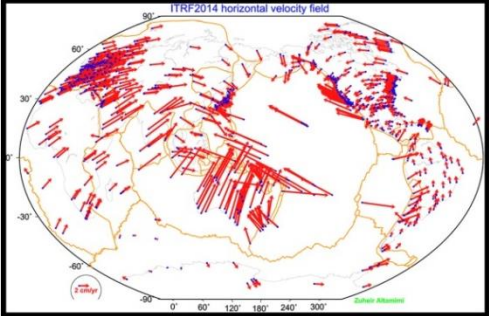
圖 6.9 研討會成果發表(2)

The Modern Taiwan Terrestrial Reference Frame Based on Surface Deformation Model Derived from GNSS Data, 2001 to 2018



Kwo-Hwa Chen
National Taipei University
Kuo-En Ching
Ming Yang
National Cheng Kung University
He-Chin Chen
National Land Surveying and Mapping Center





Altamimi et al. [2016]




2019.7.11

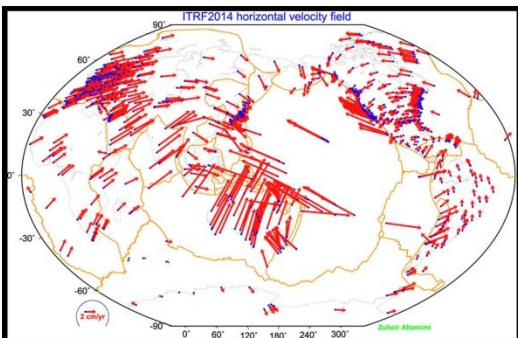
圖 6.10 研討會成果發表(3)

臺灣半動態基準-基於利用2003至2018年GNSS資料所建置的地表變形模式



Kwo-Hwa Chen
National Taipei University
Kuo-En Ching
Ming Yang
National Cheng Kung University
He-Chin Chen
National Land Surveying and Mapping Center





Altamimi et al. [2016]





2019.8.30

圖 6.11 研討會成果發表(4)

台灣土地研究

Journal of Taiwan Land Research

通知

周逸屏、陳國華教授、景國恩教授、楊名教授、陳鶴欽 惠鑒：

台端投於本刊之大作：篇名：臺灣平面半動態基準之實務應用與規範探討
編號：503，收件日期：民國 108 年 10 月 28 日。

A. 收件

- ☒ 本刊編輯委員會已收到並進入審查階段。有關審查之後續消息，將另行通知。
- ☐ 本刊編輯委員會已收到，請補寄下列資料：
- ☐ 英文篇名與作者姓名
 - ☐ 英文摘要
 - ☒ 其他：作者姓名、職稱、與聯絡方式(電話及電子信箱)
- ☐ 請將作者聯絡資料請另紙繕寫後，再將無作者資訊之論文 PDF 寄回編輯委員會，以利後續審稿/編輯作業。
- ☐ 本刊編輯委員會已收到，但因 本次大作內容與本刊所徵求之稿件旨趣不符，經主編及編委確認後，恕無法收件，如有機會，敬請歡迎再度賜稿。

B. 審查

本篇論文審查結果為：

- ☐ 接受刊登。通過日期：民國 年 月 日。
- ☐ 修改後刊登。附評審意見，請於民國 年 月 日前將修改後之論文寄回編輯委員會。
- ☐ 修改後再審。附評審意見，並請於民國 年 月 日前將修改後之論文與審查意見回應寄回編輯委員會。
- ☐ 不適刊登。很抱歉，經審查本刊無法刊登您的大作，謹檢附評審意見供參考。
- ☐ 請於民國 年 月 日前將論文電腦打字檔存於 3.25" 磁碟片或光碟片中寄至編輯委員會，或以電子郵件傳至此信箱： ，以利編輯作業進行。
- ☐ 請簽署附上之本篇論文著作權授權書，與論文電腦檔一併寄回編輯委員會。

C. 編輯

本篇論文將刊登於第 卷第 期第 篇（預定於民國 年 月出刊）

- ☐ 請進行第一次校稿，並於民國 年 月 日前以掛號郵件寄回編輯委員會。
- ☐ 請進行第二次校稿，並於民國 年 月 日前以掛號郵件寄回編輯委員會。

台灣土地研究編輯委員會
中華民國 108 年 10 月 28 日



聯絡人：吳家瑋 助教 電話：02-29393091#50640 傳真：02-29390251
地 址：台北市文山區指南路 64 號 國立政治大學地政學系

圖 6.12 「台灣土地研究」期刊投稿收件通知書

第七章 結論與建議

7.1 結論

臺灣位處板塊運動活躍區域，境內含有多個斷層且地震頻繁，為有效維護臺灣大地基準之精度，建立地表變形模式為一可行的方法之一，地表變形模式包括速度網格模型與同震網格模型。自 2013 年開始辦理 102 年案，奠定了現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式的基礎；並接續辦理 105 年案，除了精進 102 年案成果，同時研提國土測繪基準更新與維護之策略，亦辦理成果的使用推廣及學術研討，期間亦針對使用的 GNSS 解算軟體 - Bernese 5.2 版軟體，規劃設計其自動解算功能，以及設計提供使用者操作變形模式的介面軟體。

在 106 年案中，除了持續精進「速度網格模型」外，並接續在 107 年案裡，陸續納入 2010 年之後主要地震的「同震位移網格模型」，以此建立臺灣半動態基準所需的「地表變形模式」。在 106 與 107 年案中，除了辦理水平速度網格模型的持續精進之外，並完成同震位移網格模型更新時機的分析。

108 年案持續精進國家坐標系統之地表變形模式，自 2019 年 2 月 28 日簽約後，陸續完成的工作項目有：(1)持續辦理資料解算及分析作業；(2)持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式；(3)分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法；(4)計算 e-GNSS[2019]坐標成果；(5)維護變形模式應用軟體；(6)提送國內或國外期刊論文、研討會發表相關研究成果，以及(7)辦理座談會等，綜合歷年各案的成果，可得以下各項研究與工作內容。

(1)辦理資料解算及分析作業方面

GNSS 資料的解算策略與 TWD97[2010]相同。先將金門站(KMNM)與鄰近臺灣的 IGS 國際站(GUAM、BJFS、COCO、SHAO、PIMO 與 TSKB 等 6 站)進行聯合計算，以得到 KMNM 站的每日坐標成果，並進行坐標時間序列分析，並推估 KMNM 站的速度；接續將國內各 GNSS 連續站進行分區計算，每日各時段均最小約制於 KMNM 的 TWD97[2010]公告坐標，得到各 GNSS 連續站的每日坐標解，並亦估計得到 GNSS 連續站的整體平均解算精度，在 E、N、U 方向分別為 ± 4.1 mm、 ± 3.0 mm、 ± 12.9 mm，水平方向為 ± 5.1 mm；以及 GNSS 移動站的整體平均解算精度，在 E、N、U 方向分別為 ± 22.7 mm、 ± 9.9 mm、 ± 25.0 mm，水平方向 ± 25.3 mm。

(2)建置現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式方面

觀測站的坐標時間序列成果進行擬合後，得到各站的擬合速度值，並修正至與 TWD97[2010]相同的 ITRF94 框架，時刻為 2010.0。本計畫得到 GNSS 連續站的速度場整體擬合精度之平均值在 E, N 方向分別為 ± 0.60 mm/yr、 ± 0.48 mm/yr；GNSS 移動站的速度場整體擬合精度之平均值在 E、N 方向分別為 ± 9.17 mm/yr、 ± 2.68 mm/yr。

並在擬合過程中發現，地表速度改變的時間點大多集中在重大地震事件發生的時間以及震央附近區域，其速度的改變與地震事件具有一致性。因此，本計畫將地表的水平速度場分為 12 個時期，獲得各觀測站 12 個時期的水平速度值，而在 2010 年之後有 7 個速度場時期，並依此建置變形模式所需的水平速度網格模型，網格大小為 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 。彙整 2010 年之後的 7 個水平速度網格模型以及 6 個同震格點位移模型，即得到臺灣地區 2010 年之後的地表變形模式。

並分別應用測繪中心的基本控制點成果、臺東縣與宜蘭加密控制點成果，以及 LiDAR 技術更新數值地形模型成果等進行本案變形模式的應用成效分析，得到顯著的改善幅度，可作為相關測繪工作應用之參考。同時，108 年案亦研擬變形模式作業程序提供使用依據。

(3)變形模式應用軟體設計與維護方面

為使 GNSS 資料解算自動化，提升計算工作效率；並讓使用者方便利用變形模式以進行點位坐標之修正，在 105～107 年案已分別完成基線解算(Bernese 5.2)自動化處理軟體以及變形模式應用軟體的開發工作，並在 108 年案對於各軟體的功能進行維護。

(4)辦理成果座談會及論文發表方面

為推廣建置臺灣「半動態基準」及精進國家坐標系統變形模式之成果，108 年案分別於 2019 年 6 月 19 日、10 月 30 日辦理兩場「精進現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式成果說明座談會」，邀請多位專家學者及各直轄市、縣(市)政府、測量技師公會及測繪業同業公會相關人員，針對國家坐標系統之說明與維護進行交流討論，作為本計畫下一階段執行工作的參考方向。同時，亦將 108 年案相關成果發表於今年度相關研討會與投稿至國內知名期刊。

7.2 建議

臺灣地區為維護國家大地基準，應用半動態坐標基準之方式為可以考慮的作法，在實務上，半動態基準可視為是一種「適用於各個時期、各個地區的坐標轉換」或是「具有時間函數的坐標轉換」。而半動態坐標基準中的「地表變形模式」，則亦可視為是對應傳統於坐標轉換中的「轉換參數」，因此，綜合歷年完成的工作項目以及研究成果，擬提出相關建議。

(一)就建立國家參考框架的技術層面而言，仍有持續精進的空間，首先，如何再提升變形模式的精度？除了持續辦理各 GNSS 觀測站的解算之外，亦可就地表各 GNSS 觀測站所在位置的地理特性與現況再次釐清，以獲得能有效表示地表變位型態的資訊，提升變形模式內容的正確性。其次，持續辦理與 ITRF 國際參考框架的接軌與分析，建立與其之間的正確轉換函數關係，以獲得臺灣坐標系統(於 ITRF94 框架之下，時刻 2010.0)於不同框架之間的連繫，尤其是與最新框架之間的轉換連繫。並就地震循環模式之下，考慮震後變形的影響，可再提升變形模式精度。

另外，針對三維變形模式的建置，臺灣地區面臨複雜的垂直向地表變位情況，尤其在西南部，必需思考如何整合、驗證垂直向資料的正確性，以及人為地層下陷因素的處理方式，同時考量地滑、下陷等週期性的影響等。三維坐標為維護國家坐標基準的必備項目，亦為各項測繪工作所需的空間資訊，因此，為下一階段的深入分析工作之一。

- (二)就 TWD97 國家坐標系統變形模式的應用面以及法規規範面而言，針對不同的測繪業務之應用所面臨的實務問題，如何就適用的作業規範或作業程序，以及可提供的精度等級，可做一整合全面的探討分析，並規劃設計更健全的使用者介面，以便利辦理業務的相關人員可以獲得所需之修正資訊，以及提供適用的規範與作業程序，以將變形模式有效應用於實務成果之修正。
- (三)TWD97[2010]已逐漸不敷使用，應予以修正或公告新的坐標系統，例如 TWD97[2020]坐標系統，而在實務上是否採用本計畫之變形模式，可先進行模式之驗證後予以評估採用。
- (四)本案變形模式仍有若干重要且須再精進探討及分析之問題：(1)山區連續站密度不足；(2)仍有地形問題待決，例如地表滑移，應妥善考量地質因素並納入模式修正；(3)模式應用範圍尚未納入離島；(4)變形模式之使用介面或概念仍停留在為專家學者應用及理解層面，因此應規劃訂定各階段目標並辦理相關教育訓練，俾便推廣應用。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2012，101 年大地基準及一九九七坐標系統 2010 成果工作總報告。
- 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。
- 內政部國土測繪中心，2014，103 年度臺灣地區 GPS 連續觀測站資料解算工作採購案期末報告。
- 內政部國土測繪中心，2015，104 年度臺灣地區 GPS 連續觀測站資料解算工作採購案期末報告。
- 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。
- 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。
- 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。
- Angelier, J., H.-C. Chu, J.-C. Lee, and J.-C. Hu (2000), Active faulting and earthquake hazard: The case study of the Chihshang fault, Taiwan, *J. Geodyn.*, 29, 151-185.
- Blick, G., C. Crook, D. Grant, and J. Beavan (2005), Implementation of a Semi-Dynamic Datum for New Zealand, *Int. Assoc. Geod. Symposia*, 128, 38-43.
- Blewitt, G., C. Kreemer, W. Hammond, H. P. Plag, S. Stein, and E. Okal (2006), Rapid determination of earthquake magnitude using GPS for tsunami warning systems, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L11309; doi:10.1029/2006GL026145.
- Bos, A. G., W. Spakman, and M. C. J. Nyst (2003), Surface deformation and tectonic setting of Taiwan inferred from a GPS velocity field, *J. Geophys. Res.*, 108, 2458, doi:10.1028/2002JB002336.
- Chang, C.-P., T.-Y. Chang, J. Angelier, H. Kao, J.-C. Lee, and S.-B. Yu (2003), Strain and stress field in Taiwan oblique convergent system: Constraints from GPS observations and tectonic data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 214, 115-127.

- Chen H.-Y., S.-B. Yu, L.-C. Kuo, and C.-C. Liu (2006), Coseismic and postseismic displacements of the 10 December 2003 (MW 6.5) Chengkung, eastern Taiwan, earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 5-21.
- Cheng, L.-W., J.-C. Lee, J.-C. Hu, and H.-Y. Chen (2009), Coseismic and postseismic slip distribution of the 2003 Mw = 6.5 Chengkung earthquake in eastern Taiwan: Elastic modeling from inversion of GPS data, *Tectonophysics*, 466, 335-343.
- Ching, K.-E., R.-J. Rau, J.-C. Lee, and J.-C. Hu (2007), Contemporary deformation of tectonic escape in SW Taiwan from GPS observations, 1995-2005, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 262, 601-619.
- Ching, K.-E., K. M. Johnson, R.-J. Rau, R. Y. Chuang, L.-C. Kuo, and P.-L. Leu (2011), Inferred fault geometry and slip distribution of the 2010 Jiashian, Taiwan, earthquake is consistent with a thick-skinned deformation model, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 301, 78-86.
- Clift, P. D., H. Schouten, and A. E. Draut (2003), A general model of arc-continent collision and subduction polarity reversal from Taiwan and the Irish Caledonides, in *Intra-Oceanic Subduction Systems: Tectonic and Magmatic Processes*, Spec. Publ., Geol. Soc. London, vol. 219, edited by R. D. Larter and P. T. Leat, pp. 81-98, The Geological Society of London, London, UK.
- Dzurisin, D. (2007), *Volcano deformation: Geodetic monitoring techniques*, Springer, New York.
- Grant, D. B. and M. B. Pearce (1995), Proposal for a dynamic national geodetic datum for New Zealand, IUGG XXI General Assembly Boulder Colorado, 2-14.
- Grant, D. B., G. H. Blick, M. B. Pearce, R. J. Beavan, P. J. Morgan (1999), The development and implementation of New Zealand Geodetic Datum 2000, IUGG99 General Assembly, Birmingham UK, 18-30.
- Ho, C.-S. (1986), A synthesis of the geologic evolution of Taiwan, *Tectonophysics*, 125, 1-16.
- Hsu, Y.-J., N. Bechor, P. Segall, S.-B. Yu, L.-C. Kuo, and K.-F. Ma (2002), Rapid afterslip following the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake,

- Geophys. Res. Lett., 29, 10.1029/2002GL014967.
- Hsu, Y.-J., P. Segall, S.-B. Yu, L.-C. Kuo, and C. A. Williams (2007), Temporal and spatial variations of postseismic deformation following the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, *Geophys. J. Int.*, 169, 367-379.
- Hsu, Y.-J., S.-B. Yu, M. Simons, L.-C. Kuo, and H.-Y. Chen (2009a), Interseismic crustal deformation in the Taiwan plate boundary zone revealed by GPS observations, seismicity, and earthquake focal mechanisms, *Tectonophysics*, 479, 4-18.
- Hsu, Y.-J., J.-P. Avouac, S.-B. Yu, C.-H. Chang, Y.-M. Wu, and J. Woessner (2009b), Spatio-temporal Slip, and Stress Level on the Faults within the Western Foothills of Taiwan: Implications for Fault Frictional Properties, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-009-0510-5.
- Hsu, Y.-J., S.-B. Yu, and H.-Y. Chen (2009c), Coseismic and postseismic deformation associated with the 2003 Chengkung, Taiwan earthquake, *Geophys. J. Int.*, 176, 420-430.
- Hu, J.-C., C.-S. Hou, L.-C. Shen, Y.-C. Chan, R.-F. Chen, C. Huang, R.-J. Rau, K.-H. Chen, C.-W. Lin, M.-H. Huang, and P. F. Nien (2007), Fault activity and lateral extrusion inferred from velocity field revealed by GPS measurements in the Pingtung area of southwestern Taiwan. *J. Asian Earth Sci.*, 31, 287-302.
- Huang, C.-Y., W.-Y. Wu, C.-P. Chang, S. Tsao, P.-B. Yuan, C.-W. Lin, and K.-Y. Xia (1997), Tectonic evolution of accretionary prism in the arc-continent collision terrane of Taiwan, *Tectonophysics*, 281, 31-51.
- Huang, C.-Y., P.-B. Yuan, C.-W. Lin, T.-K. Wang, and C.-P. Chang (2000), Geodynamic processes of Taiwan arc-continent collision and comparison with analogs in Timor, Papua New Guinea, Urals and Corsica, *Tectonophysics*, 325, 1-21.
- Kraus K. and E. M. Mikhail (1972), Linear Least-squares interpolation. paper presented at the Twelfth Congress of the International Society of Photogrammetry, Canada.
- Lacombe, O., F. Mouthereau, J. Angelier, and B. Deffontaines (2001), Structural, geodetic and seismological evidence for tectonic escape in

SW Taiwan, *Tectonophysics*, 333, 323-345.

Lacombe, O., F. Mouthereau, J. Angelier, H.-T. Chu, and J.-C. Lee (2003), Frontal belt curvature and oblique ramp development at an obliquely collided irregular margin: Geometry and kinematics of the NW Taiwan fold-thrust belt, *Tectonics*, 22, 1025, doi:10.1029/2002TC001436.

Lallemand, S. E., and H. Tsien (1997), An introduction to active collision in Taiwan *Tectonophysics*, 274, 1-4.

Lee, J.-C., J. Angelier, H.-T. Chu, J.-C. Hu, and F.-S. Jeng (2001), Continuous monitoring of an active fault in a plate suture zone a creepmeter study of the Chihshang Fault, eastern Taiwan, *Tectonophysics*, 333, 219-240.

Lin, A.-T., and A. B. Watts (2002), Origin of the West Taiwan Basin by orogenic loading and flexure of a rifted continental margin, *J. Geophys. Res.*, 107, 2185, doi:10.1029/2001JB000669.

Lin, A.-T., A. B. Watts, and S. P. Hesselbo (2003), Cenozoic stratigraphy and subsidence history of the South China Seamargin in the Taiwan region, *Basin Res.*, 15, 453-478.

Lu C.-Y., and Malavieille J (1994), Oblique convergence, indentation and rotation tectonic in the Taiwan mountain belt: insights from experimental modeling, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121, 477-494.

Lu, C.-Y., K.-J. Chang, F.-S. Jeng, and W.-T. Jian (1998), Impact of basement high on the structure and kinematics of the western Taiwan thrust wedge: insights from sandbox models, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 9, 533-550.

McCaffrey, R. (2002), Crustal block rotations and plate coupling, in *Plate Boundary Zones*, *Geodyn. Ser.*, vol. 30, edited by S. Stein and J. Freymueller, pp. 101-122, AGU, Washington, D. C.

Mikhail M., and F. Ackermann (1976), *Observations and Least-squares*. Harper and Row, New York.

Moritz, H. (1978), Least-squares collocation. *Reviews of Geophysics and Space Physics* 16 (3):421-430.

Moritz, H. (1989), *Advanced physical geodesy*. Second ed. Herbert

Wichmann, Karlsruhe.

- Nur, A., and G. Mavko (1974), Post-seismic viscoelastic rebound, *Science*, 183, 204-206.
- Okada, Y. (1985), Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75, 1135-1154.
- Okada, Y. (1992), Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 82, 1018-1040.
- Ozawa, S., T. Nishimura, H. Suito, T. Kobayashi, M. Tobita, and T. Imakiire (2011), Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake, *Nature*, 475, 373-376.
- Pearson, C., R. McCaffrey, J. Elliott, and R. Snay (2010), HTDP 3.0: Software for Coping with the Coordinate Changes Associated with Crustal Motion, *J. Surv. Eng.*, 136, 80-90.
- Pearson, C., and R. Snay (2012), Introducing HTDP 3.1 to transform coordinates across time and spatial reference frames, *GPS Solut.*, doi:10.1007/s10291-012-0255-y.
- Peltzer, G., P. Rosen, F. Rogez, and K. Hudnut (1996), Postseismic rebound in fault step-overs caused by pore fluid flow, *Science*, 273, 1202-1206.
- Rau, R.-J., K.-E. Ching, J.-C. Hu, and J.-C. Lee (2008), Crustal deformation and block kinematics in transition from collision to subduction: GPS measurements in northern Taiwan, 1995-2005, *J. Geophys. Res.*, 113, B09404, doi:10.1029/2007JB005414.
- Roeloffs, E. (1996), Poroelastic techniques in the study of earthquake-related hydrological phenomena, *Advances in geophysics*, 37, 135-195.
- Sagiya, T., S. Miyazaki, and T. Tada (2000), Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan, *PAGEOPH*, 157, 2303-2322.
- Shyu, J. B. H., K. Sieh, Y.-G. Chen, and C.-S. Liu (2005), Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 110, B08402, doi:10.1029/2004JB003251.

- Snay, R. A. (2012), Evolution of NAD 83 in the United States: Journey from 2D toward 4D, *J. Surv. Eng.*, 138, 161-171.
- Suppe, J. (1980), Imbricated structure of western foothills belt, south-central Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 17, 1-16.
- Suppe, J. (1981), Mechanics of mountain building and metamorphism in Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 4, 67-89.
- Suppe, J. (1984), Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 6, 21-33.
- Tanaka, Y., H. Saita, J. Sugawara, K. Iwata, T. Toyoda, H. Hirai, T. Kawaguchi, and S. Matsuzaka (2007), Efficient maintenance of the Japanese geodetic datum 2000 using crustal deformation models – PatchJGD & semi-dynamic datum, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, 54, 49-59.
- Teng, L. S. (1990), Geotectonic evolution of late Cenozoic arc continent collision in Taiwan, *Tectonophysics*, 183, 57-76.
- Teng, L. S. (1996), Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt, *Geology*, 24, 949-952.
- Thatcher, W., and J. B. Rundle (1984), A viscoelastic coupling model for the cyclic deformation due to periodically repeated earthquakes at subduction zones, *J. Geophys. Res.*, 89, 7631-7640.
- Tse, S.-T., and J. R. Rice (1986), Crustal earthquake instability in relation to the depth variation of frictional slip properties, *J. Geophys. Res.*, 91, 9452-9472.
- Viallon, C., P. Huchon, and E. Barrier (1986), Opening of the Okinawa basin and collision in Taiwan: A retreating trench model with lateral anchoring, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 80, 145-155.
- Ward, S. N. (1994), A multidisciplinary approach to seismic hazard in southern California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 1293-1309.
- Wells, D. L., and K. J. Coppersmith (1994), New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84, 974-1002.
- Williams, S., Y. Bock, P. Fang, P. Jamason, R. Nikolaidis, L.

- Prawirodirdjo, M. Miller, and D. Johnson (2004), Error analysis of continuous GPS position time series, *J. Geophys. Res.*, 109, doi:10.1029/2003JB002741.
- Yang, K.-M., H.-H. Ting, and J. Yuan (1991), Structural styles and tectonic modes of Neogene extensional tectonics in southwestern Taiwan: implications for hydrocarbon exploration, *Petrol. Geol. Taiwan*, 26, 1-31.
- Yoshiyuki T., S. Hiroaki, S. Jun, I. Kazumi, T. Tomoo, H. Hideaki, K. Tamotsu, M. Shigeru, H. Yuki, T. Mikio, K. Yuki, and I. Tetsuro (2007), Efficient maintenance of the Japanese geodetic datum 2000 using crustal deformation models – PatchJGD & semi-dynamic datum, *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, 54.
- Yu, S.-B., and H.-Y. Chen (1994), Global positioning system measurements of crustal deformation in the Taiwan arc-continent collision zone, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 5, 477-498.
- Yu, S.-B., H.-Y. Chen, and L.-C. Kuo (1997), Velocity field of GPS Stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, 41-59.
- Yu, S.-B., L.-C. Kuo, R.-S. Punongbayan, and E.-G. Ramos (1999), GPS observation of crustal motion in the Taiwan-Luzon region, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 923-926.
- Yu, S.-B., and L.-C. Kuo (2001), Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan, *Tectonophysics*, 333, 199-217.
- Yu, S.-B., L.-C. Kuo, Y.-J. Hsu, H.-H. Su, C.-C. Liu, C.-S. Hou, J.-F. Lee, T.-C. Lai, C.-C. Liu, C.-L. Liu, T.-F. Tseng, C.-S. Tsai, and T.-C. Shin (2001), Preseismic deformation and coseismic displacements associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 995-1012.
- Yu, S.-B., Y.-J. Hsu, L.-C. Kuo, H.-Y. Chen, and C.-C. Liu (2003), GPS measurement of postseismic deformation following the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, *J. Geophys. Res.*, 108, 10.1029/2003JB002396.
- Zhuang, J., C.-P. Chang, Y. Ogata, and Y.-I. Chen (2005), A study on the background and clustering seismicity in the Taiwan region by using

point process models, J. Geophys. Res., 110, B05S18,
doi:10.1029/2004JB003157.

附件一 功能需求訪談紀錄

一、時間：108 年 3 月 7 日(星期四)下午 03 時 00 分

二、地點：內政部國土測繪中心控制測量課辦公室

三、記錄：陳國華

四、出席及列席人員：

內政部國土測繪中心-陳鶴欽、林文勇、莊峰輔

國立臺北大學-陳國華

國立成功大學-景國恩

(詳簽到簿)

五、訪談結論：

1. 持續辦理資料解算及分析作業

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 依據 106、107 年度工作總報告書內容，採用相同的 GNSS 資料解算策略與分析模式，辦理 GNSS 連續觀測站觀測資料之解算及成果分析，並探討精度較差之觀測站的可能因素。
- (3) 國土測繪中心提供各直轄市、縣(市)之鄉鎮市區界坐標檔，作為 GMT 軟體繪製速度格點模型暈渲圖之用。

2. 持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 提供變形模式 TWD97 坐標系統轉換之網格採 30" × 30" 的格點間距，以利與 e-GNSS 系統網格整合。
- (3) 本案提出的垂直變形模式，以 90、91、97 以及 104 年之內政部一等水準點公告成果為驗證依據。

3. 分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 國土測繪中心提供 107 年度協助宜蘭縣及臺東縣辦理之一級加密控制測量成果(包括坐標值與日期)，作為應用本案變形模式分析之依據。

4. 計算 e-GNSS[2019]坐標成果

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 依合約日期提送 e-GNSS[2019]成果併同修正後之作業計畫書，並更新變形模式的速度網格模型成果至 2018 年 12 月 31 日。

5. 維護變形模式應用軟體

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 將本案完成的 TWD97 坐標系統轉換網格(30" × 30")納入變形模式應用軟體以提供使用。

6. 提送國內或國外期刊論文 1 篇並至少於 1 場研討會發表

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 提送相關的發表證明文件。

7. 辦理 2 場次座談會

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 第 1 場座談會以介紹本案成果為主，預訂 108 年 6 月底前於國土測繪中心會議室舉辦；第 2 場次(108 年 10 月底前)以應用推廣本案成果之建議為主軸。各場次座談會的規劃內容應函文經國土測繪中心同意後辦理。

8. 本案各項工作之執行，請注意時程規劃時間辦理。

六、散會：下午 17 時 00 分。

內政部國土測繪中心
108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式採購案
需求訪談簽到簿

時 間：108 年 3 月 7 日(星期四)下午 3 時 0 分	
地 點：內政部國土測繪中心控制測量課辦公室	
主 席：陳課長鶴欽	
出 席 單 位	簽 到 處
內政部國土測繪中心	陳鶴欽 林文勇 莊峰璠
國立臺北大學	陳國華
國立成功大學	李國恩

附件二 作業計畫書審查意見及修正情形

	審查意見	廠商修正辦理情形
工作小組	1. 請將 TWTF 及 TNML 兩個 GNSS 連續站納入本案資料計算(含計算 e-GNSS[2019]坐標)及相關數據分析。	謝謝提供的審查意見。本計畫將納入 TWTF 及 TNML 兩個國際 IGS 站進行解算，以作為後續成果分析比較之參考，相關內容亦修正於第 2.4 節中。
	2. P.33 及 P.48 提及高應變及低應變速率之地區檢測控制點機制，請在後續期中及期末報告中，一併將精度需求及作業成本分析納入考量。	謝謝提供的審查意見。將於期中及期末報告中敘述相關分析內容。
	3. 作業計畫書中，有關今(108)年度及本(108)年度之敘述，請請統一修正為 108 年度。	謝謝提供的審查意見。已統一修正為 108 年度。
	4. P9.請補充說明 NDM 之全名。	謝謝提供的審查意見。已補充說明全名的資訊。

附件三 兩場座談會簽到簿

第一場座談會(6/19)簽到簿

現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式成果說明座談會

簽到表

- 一、主辦單位：內政部國土測繪中心
- 二、承辦單位：國立台北大學土地與環境規劃研究中心
- 三、會議時間：108 年 6 月 19 日(三) 9:30 ~ 12:00
- 四、會議地點：內政部國土測繪中心第 1 會議室

序號	服務機關	姓名	簽名	午餐
1	內政部地政司	王成機副司長		☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
2	內政部地政司	黃鉅富科長	黃鉅富	☐ 葷 Normal ☒ 素 Vegetarian
3	經濟部中央地質調查所	侯進雄組長	侯進雄	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
4	經濟部中央地質調查所	陳建良科長	請假	☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
5	臺中市豐原地政事務所	邱元宏秘書	邱元宏	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
6	國立交通大學	史天元老師	史天元	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
7	健行科技大學	張嘉強老師	張嘉強	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
8	國立臺灣大學	韓仁毓老師	韓仁毓	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
9	國立成功大學	曾清涼老師	曾清涼	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
10	國立科學工藝博物館	洪煌凱博士	洪煌凱	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
11	內政部國土測繪中心	曾耀賢副主任	曾耀賢	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
12	內政部國土測繪中心	梁旭文簡任技正	梁旭文	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
13	內政部國土測繪中心	陳鶴欽課長	陳鶴欽	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian

序號	服務機關	姓名	簽名	午餐
14	內政部國土測繪中心	黃華尉專員	黃華尉	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
15	內政部國土測繪中心	莊峰輔專員	莊峰輔	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
16	內政部國土測繪中心	林宜良測量助理	林宜良	☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
17	國立臺北大學	陳國華老師	陳國華	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
18	國立成功大學	景國恩老師	景國恩	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
19	國立成功大學	楊名老師	楊名	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
20	國立臺北大學	洪健嘉研究生	洪健嘉	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
21	國立臺灣大學	周君芸博士生	周君芸	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
22	豐豐科技	林士敏	林士敏	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
23	內政部國土測繪中心	彭千惠	彭千惠	☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
24	..	張崑龍	張崑龍	☒ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
25				☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
26				☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
27				☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
28				☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
29				☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian
30				☐ 葷 Normal ☐ 素 Vegetarian

第二場座談會(10/30)簽到簿

現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式成果說明座談會 II

簽到表

- 一、 共同主辦單位：內政部國土測繪中心、臺中市政府地政局
- 二、 承辦單位：國立臺北大學土地與環境規劃研究中心
- 三、 會議時間：108 年 10 月 30 日(三) 9:30~12:00
- 四、 會議地點：臺中市公務人員訓練中心

(臺中市西區東興路 3 段 246 號 8 樓)

序號	服務機關 Department	職稱 Title	姓名(簽名) Name
1	臺中地政局	技士	黃建銘
2	太平地政事務所	技佐	石良恩
3	台東地政	課長	詹雅峰
4	測繪中心	課長	陳鶴欽
5	"	副主任	曾維賢
6	"	簡技	劉志忠
7	"	專員	宋峰輝
8	"	技士	彭千惠
9	臺中市政府地政局	科長	吳金昇
10	"	技士	洪維勤
11	大甲地政事務所	技士	陳二維
12	測繪中心	簡技	梁姓文
13	"	專員	黃華尉
14	"	技正	林文勇
15	"	測量助理	林宜良

序號	服務機關 Department	職稱 Title	姓名(簽名) Name
16	中興測量	技師	鄭鼎翹
17	新竹市政府	技士	施能言
18	高雄市政府	技士	詹仁滿
19	屏東縣政府	技士	周勇宏
20	新北市政府	技士	傅劍芳
21	內政部	技士	余徐德
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			

序號	服務機關 Department	職稱 Title	姓名(簽名) Name
38	屏東地政事務所	測量員	許清清
39	成功大學	副教授	李國恩
40	台北大學	副教授	陳國華
41	龍井地政事務所	技士	林秉賢
42	台灣大學	博士生	周啟宏
43	台北大學	大學生	張巧政
44	勤業國際	副理	黃孝凱
45	中興地政	課長	張嘉玲
46	中山地政	技士	陳弘修
47	苗栗地政事務所	測量員	陳冠欣
48	台灣省測量技術師公會	技師	尤聯龍
49	水上地政	測量員	顏振朝
50	屏東地政處	技士	許嘉文
51	桃園市政府地政局	技士	吳政寬
52	威誠工程顧問	經理	吳發育
53	新竹縣政府	技士	吳昕儒
54	=	技士	江漢之
55	新竹地政	技士	張志遠
56	內政部	技士	李維德
57	勤業	工程師	陳國全
58	中興地政事務所	技士	洪銘芳
59			

序號	服務機關 Department	職稱 Title	姓名(簽名) Name
60	南投地政事務所	秘書	梁志賢
61	台北市政府地政局	股長	劉家鈞
62	臺中地政	課長	郭永哲
63	屏東地政	技佐	黃銘仁
64	玉山地政	技士	劉信明
65	台北市政府地政局土地開發總隊	股長	葉佳欣
66	彰化北斗地政	測量員	李孟儒
67	／	課長	郭俊峰
68	苗栗縣政府	技士	郭存敏
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			

序號	服務機關 Department	職稱 Title	姓名(簽名) Name
82	屏東縣政府	技士	李權芳
83	南投縣政府	技士	許明同
84		測量助理	陳毅文
85		"	黃文軍
86	楊梅地政事務所	技士	葉士榮
87	龜山地政事務所	測量助理	鄭永哲
88	龍潭地政	技士	李予廷
89	公訓中心	行政助理	陳和合
90	公訓中心	管理師	石家瑋
91	公訓中心	組員	周燕茹
92	公訓中心	助理員	黃心怡
93	公訓中心	組員	張淑玲
94	公訓中心	行政助理	吳婉婷
95			
96			
97			
98			
99			
100			
101			
102			
103			

序號	服務機關 Department	職稱 Title	姓名(簽名) Name
104	中興地政	技士	張雅才
105	"	技佐	李冠直
106	"	技士	謝鼎峰
107	"	行政助理	黃佑富
108	"	"	蕭耀文
109	"	"	陳家鎮
110	"	測 量	段中強
111	"	測 助	賴榮木
112	"	技士	呂冠德
113	"	測 助	舒正峰
114	"	技士	莊崇誠
115	"	技 正	張宗賢
116	"	技 正	鄭仁傑
117	"	技 佐	陳建至
118	"	技士	魏碩穎
119	"	技佐	李奇峰
120	"	行政助理	陳忠良
121			
122			
123			
124			
125			

附件四 工作會議紀錄

(第 1 次工作會議)

一、時間：108 年 4 月 12 日(星期五)上午 09 時 30 分

二、地點：國立成功大學測量及空間資訊學系二樓會議室

三、紀錄：陳國華

四、出席人員(如簽到簿)：

國土測繪中心-林文勇、莊峰輔

國立臺北大學-陳國華

國立成功大學-景國恩、蕭詩涵

五、會議結論：

1. 持續辦理資料解算及分析作業

- (4) 依企劃書規劃內容辦理。
- (5) 納入中華電信所屬的觀測站 TWTF 與 TNML，並參與國內站一併計算。
- (6) 資料提供時程較慢的觀測站(例如：若干來自 CWB 與 IES 的點位)，將其另外分區計算。
- (7) 考量大屯火山觀測站的資料來源較不穩定，本案計算至 108 年 7 月 31 日即可。
- (8) 國土測繪中心提供鄉鎮市區 mif 檔，以便於 GMT 繪圖使用。

2. 持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式

- (4) 依企劃書規劃內容辦理。
- (5) 持續探討主動式更新速度格點模型之概念。
- (6) 可利用現階段已完成的計畫案成果探討更新速度格點模型的樣態。

3. 分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法

- (3) 依企劃書規劃內容辦理。
- (4) 國土測繪中心提供 107 年宜蘭線及臺東縣一級加密控制測量成果(包括坐標值與日期)，作為分析依據。

4. 計算 e-GNSS[2019]坐標成果

- (3) 依企劃書規劃內容辦理。
- (4) 部分 e-GNSS[2019]成果待釐清，其應與 station.info 檔案的內容有關，應全數確認該檔案資料的正確性與完整性，以提供後續計算使用。

5. 維護變形模式應用軟體

- (3) 依企劃書規劃內容辦理。
- (4) 建立可處理三維分量之功能。

6. 提送國內或國外期刊論文 1 篇並至少於 1 場研討會發表

- (3) 依企劃書規劃內容辦理。
- (4) 預定將參與 4 場國內外學術研討會並發表本案相關成果；另亦著手撰寫投稿論文中。

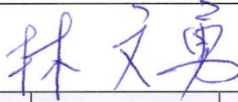
7. 辦理 2 場次座談會

- (3) 依企劃書規劃內容辦理。
- (4) 第 1 場座談會以說明本案成果為主，徵詢國內專家學者意見，預定 108 年 6 月 19 日於國土測繪中心第 1 會議室舉辦；第 2 場次則以應用推廣本案成果之建議為主軸。各場次座談會的規劃內容應先函文經國土測繪中心同意後辦理。

8. 本案各項工作之執行，請注意時程規劃時間辦理。

六、散會：上午 11 時 20 分。

內政部國土測繪中心
108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式採購案
工作會議簽到簿

時 間：108 年 4 月 12 日(星期五)上午 9 時 30 分		
地 點：國立成功大學		
主持人：林技正文勇 		
單位	職 稱	姓 名
內政部國土測繪中心	專員	莊峰輔
國立臺北大學	副教授	陳國華
	副教授	李國恩
	學生	蕭詩涵

(第 2 次工作會議)

一、時間：108 年 6 月 19 日(星期三)中午 12 時 00 分

二、地點：內政部國土測繪中心第一會議室

三、紀錄：陳國華

四、出席人員(如簽到簿)：

國土測繪中心-梁旭文、陳鶴欽、莊峰輔、黃華尉

國立臺北大學-陳國華、周君芸、洪健嘉

國立成功大學-景國恩、楊名

呈豐科技公司-林士敏

五、會議結論：

1. 持續辦理資料解算及分析作業

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 金門站坐標之給定可以下階段資料計算時予以修正。

2. 持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 持續更新速度格點模型。

3. 分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 持續辦理相關之驗證工作。

4. 計算 e-GNSS[2019]坐標成果

依企劃書規劃內容辦理。

5. 維護變形模式應用軟體

依企劃書規劃內容辦理。

6. 提送國內或國外期刊論文 1 篇並至少於 1 場研討會發表

依企劃書規劃內容辦理。

7. 辦理 2 場次座談會

依企劃書規劃內容辦理。

8. 本案各項工作之執行，請注意時程規劃時間辦理。

六、散會：中午 13 時 10 分。

內政部國土測繪中心
108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式採購案
工作會議簽到簿

時 間：108 年 6 月 19 日(星期三)中午 12 時 00 分		
地 點：內政部國土測繪中心		
主持人：梁淑文		
單 位	職 稱	姓 名
內政部國土測繪中心		黃華尉 陳鶴欽 莊煒輔
國立臺北大學	副教授 研究生	陳國華 林士敏 楊 名 梁國恩 洪健嘉 周君芸

(第 3 次工作會議)

一、時間：108 年 8 月 6 日(星期三)上午 11 時 00 分

二、地點：內政部國土測繪中心控制測量課

三、紀錄：陳國華

四、出席人員(如簽到簿)：

國土測繪中心-林文勇、莊峰輔

國立臺北大學-陳國華

五、會議結論：

1. 持續辦理資料解算及分析作業

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 本案成果以 ITRF94 框架時刻為 2010.0 呈現。
- (3) 臺中市政府的觀測站資料已提供，應辦理解算。

2. 持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 持續辦理速度格點模型之更新。

3. 分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法

- (1) 依企劃書規劃內容辦理。
- (2) 應提供測繪中心基本控制點檢測建議作法，以及本案變形模式之作業程序。

4. 計算 e-GNSS[2019]坐標成果

依企劃書規劃內容辦理。

5. 維護變形模式應用軟體

依企劃書規劃內容辦理，使用的資料應以 ITRF94 框架時刻為 2010.0 呈現。

6. 提送國內或國外期刊論文 1 篇並至少於 1 場研討會發表

依企劃書規劃內容辦理。刊登的資料應補充接受及刊登資訊；本年度應再完成一篇期刊文章的投稿。

7. 辦理 2 場次座談會

依企劃書規劃內容辦理。預定於 108 年 10 月 30 日辦理第 2 場座談會，對象為實務面執行業務的作業人員，座談主要內容為本案成果的應用方式與可能面臨之情況；地點為國立臺北大學。

8. 本案各項工作之執行，請注意時程規劃時間辦理。

六、散會：中午 13 時 10 分。

內政部國土測繪中心
108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式採購案
工作會議簽到簿

時 間：108 年 8 月 6 日(星期二)上午 11 時 00 分		
地 點：內政部國土測繪中心		
主持人： 林 文 勇		
單 位	職 稱	姓 名
內政部國土測繪中心	專 員	莊峰輔
國立臺北大學	副教授	陳國華

(第 4 次工作會議)

一、時間：108 年 10 月 30 日(星期三)上午 9 時 00 分

二、地點：臺中市公務人員訓練中心

三、紀錄：陳國華

四、出席人員(如簽到簿)：

國土測繪中心-陳鶴欽、林文勇、莊峰輔

國立臺北大學-陳國華、景國恩、周君芸、張巧汶

五、會議結論：

1. 持續辦理資料解算及分析作業

已依企劃書規劃辦理，資料處理至 108 年 9 月 30 日。

2. 持續更新現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式

已依企劃書規劃內容辦理。

3. 分析現代化 TWD97 國家坐標系統變形模式應用時機與方法

已依企劃書規劃內容辦理。

4. 計算 e-GNSS[2019]坐標成果

已依企劃書規劃內容辦理並繳交成果。

5. 維護變形模式應用軟體

已依企劃書規劃辦理，並以 ITRF94 框架，參考時刻為 2010.0 呈現成果。

6. 提送國內或國外期刊論文 1 篇並至少於 1 場研討會發表
已依企劃書規劃完成一篇期刊文章的投稿(TSSCI 期刊－台灣土地研究)。

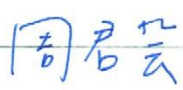
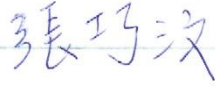
7. 辦理 2 場次座談會

已依企劃書規劃於 108 年 10 月 30 日辦理第二場座談會，對象為各直轄市、縣(市)政府、測量技師公會及測繪業同業公會相關人員，座談主要內容為本案變形模式成果的應用方式與可能面臨情況，地點為臺中市公務人員訓練中心。

8. 本案各項工作之執行，請注意時程規劃時間辦理。

六、散會：中午 12 時 00 分。

內政部國土測繪中心
108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式採購案
工作會議簽到簿

時 間：108 年 10 月 30 日(星期三)上午 9 時 0 分	
地 點：臺中市公務人員訓練中心	
主 席：陳課長鶴欽 	
出 席 單 位	簽 到 處
內政部國土測繪中心	 
國立臺北大學	   

附件五 期中報告書審查委員意見及修正情形

審查委員	審查意見	廠商修正辦理情形
曾委員耀賢	1. P2：「控制」地表變型模式型態的機制相當多，建議修改為「影響」地表變型模式型態的機制相當多。	感謝委員寶貴意見。已修正相關內容。
	2. P14：「近年來」，為因應...內政部召開數次...會議，建議修改為「2010-2011年間」，為因應...內政部召開數次...會議。	感謝委員寶貴意見。已修正相關內容。
	3. P31：表 2.6 內，「誤差大，影響群組其他站台已移除」，建議修改為「誤差大影響群組其他站台，已移除」。	感謝委員寶貴意見。已修正相關內容。
	4. P31：2.2 節系敘述如何分區解算，但未敘述為何要分區解算，建議補充。	感謝委員寶貴意見。因為 Bemese 軟體進行法方程式求逆解算時有站數之限制並為了提高解算之效率，故進行分區解算，已補充相關內容。
	5. P40：(2-1)式為 E、N、U 三分量的擬合方程式。.....本計畫僅擬合【地表運動速率】以及【地震瞬時位移】等事件，並利用【不同時期的速度場改變】來擬合震後變形，亦即將求解各站 E、N、U 分量的係數 a、b、g、h。 建議敘明【地表運動速率】、【地震瞬時位移】、【不同時期的速度場改變】分別式(2-1)的哪個項次。 b 為震間期地殼運動速率，只採單 1 變數(係數)，不是應該以每 2 次事件之中間就給 1 個變數嗎？ 建議依據所敘採用之因素對應項次及刪除所忽略因素對應之項次後，得到約化後的 (2-1)式。	感謝委員寶貴意見。 A.已修正相關內容。 B.本模式假設各地震之間的速度為定值沒有改變，即在震間時期，b 變數不會變化；但若因地震事件造成速度改變，則當時序每跨過地震事件時，即將另擬合一個 h 變數來表示事件之後的速度改變情況。 C.已修正相關內容。

6. P55：東部地區「誤差有較大的誤差」，建議修改為東部地區「有較大的誤差」。	感謝委員寶貴意見，已修正相關內容。
7. P51～P54：圖 2.14～圖 2.17 說明：... 圓圈內顏色為測站之兩倍精度值，但圖下方之色階尺度為 Standard deviation in E，二者不符。	感謝委員寶貴意見，已修正為 Double Standard deviation
8. P74：將 6 年期所擬合的速度值視為基準值，分別與 6 個月、1 年、2 年、3 年、4 年、5 年期擬合的速度值... 為何不用實測值當標準值？ 6 個月是 6 年中的初 6 個月或最後 6 個月(或任意時段)？	感謝委員寶貴意見。 A. 本案模式的實測值為各站每日解的坐標時間序列值，其為擬合該站速度值的依據，當時間序列越長時，其所擬合的速度值會越穩定。因此，本案以 2010/3/4 甲仙地震至 2016/2/6 美濃地震共 6 年穩定時期的坐標時間序列進行速度值之擬合，並以此成果作為其他時間距擬合的速度成果之參考對照值，藉以比較 6 個月、1 年、2 年、3 年、4 年、5 年期所 7 擬合的速度值穩定情況。 B. 本案使用 2010/3/4 甲仙地震至 2016/2/6 美濃地震間共 6 年的時間段作為測試區段，其 6 個月即為 2010/3/4 至 2010/9/3 這個期間。
9. P82：作為後續各區域「作為」判斷水平速度場，建議修改為作為後續各區域作為判斷水平速度場。	感謝委員寶貴意見，已修正相關內容。
10. P79：請問這 6 個同震位移網格模型是如何得到的？	感謝委員寶貴意見，在 107 年度計畫案中，即已完成這 6 個同震位移網格模型的估計與建立，並已上傳建置到本案變形模式軟體之中，提供使用。
11. P89：由於我國地籍測量施測距離多為幾百公尺，若以 500 公尺...容許誤差為 8.7 公分...。因地籍測量實施規則第 47 條為實測邊長與坐標反算邊長插值之規範，實際上都市地區地籍圖邊長多介於 4 公尺～100 公尺之間，以 500 公尺比較與實際狀況較為不符	感謝委員寶貴意見，已修正相關內容。

曾 委 員 清 涼	1. P40：請補充說明(2-1)式中，部分參數未納入本案模式求解使用之原因。	感謝委員意見。由於本計畫不考慮週期性訊號的影響，而震後的非線性變形則用不同時期的速度場去考慮，所以部分參數並未被本案模式採用。
	2. 比較 P65 圖 2.25 與 P94 圖 3.25 兩張圖，發現僅以 GNSS 連續站的位移量應無法完全反應臺灣本島的地表變形量，若採用 GNSS 連續站搭配移動站，是否就足以完全反應？	感謝委員意見。若僅採用 GNSS 連續站和內插法來建立模式，確實無法正確地反映全島地表變形型態；但是如果是 GNSS 連續站和塊體模型，就有可能進行描繪。另外，若採用 GNSS 連續站和 GNSS 移動站搭配內插法所建立之模式，就現階段的測繪需求是可以足夠使用的。
	3. P97 圖 3.28、P98 圖 3.30 及 P99 圖 3.32 等 3 張圖，顯示控制點坐標經變位模式修正後，仍有許多點位較差達 3~10 公分不等，是否表示控制點經變位模式修正後，其精度仍不足以供相關測繪工作使用？請參考地質及相關資料補充說明。	感謝委員意見。由於許多測站可能是位於有邊坡問題的位置，所以這個部分需要現地檢視以釐清原因。
	4. P84：表 3.2 中部地區推估 15 年之累積平均較差值比推估 1 年之累積平均較差值好，似乎不合理。建議後續應配合建置變位模式使用之各時期速度場與同震位移網格模型，分析各時期實測與推估坐標較差。	感謝委員意見。原表 3.2 之分析確實不足以具備代表性且不夠完善，因此，已刪除相關內容。
	5. P86：建議修正「目前各國皆是以 GNSS 連續站、移動站之成果建置其半動態基準」文字敘述。	感謝委員意見。已刪除相關敘述。
	6. 請檢視修正圖表單位及有效位數，如圖 3.17~圖 3.22。	感謝委員意見。已修正對應內容。

劉 委 員 啟 清	請說明本案目的係提供臺灣各地不規則變形修正量，或是建立穩定規律的長期變形模式，並說明如何使用本案變位模式，相關使用者是誰。	感謝委員意見。本案目的以建立穩定穩規劃的長期變形模式為基礎，即長期穩定的速度場模型，並搭配地震的同震位移模型，以儘可能描述臺灣各地的地表位移型態，並進行各地變形量的修正。本案的相關使用者主要為國家坐標系統之應用者。本案變形模式的使用方式已補充於第 3.5 節內容中。
張 委 員 嘉 強	1. 建議可單純使用 GNSS 連續站資料建立一個變位模式，用以分析 TWD97 坐標系統適用週期；再以 GNSS 連續站搭配移動站資料建立另一個變位模式，以供相關測繪工作使用。	感謝委員建議。我們將評估是否進行此兩方案的資料分析。現階段的成果將先以 GNSS 連續站搭配移動站資料所建立的變形模式提供相關測繪工作使用。
	2. 請以本案變位模式精度驗證結果，提出國家坐標系統建議更新週期。	感謝委員意見。相關內容已敘述於第 3.3 節中。
	3. 請說明簡報中基本控制點建議檢測頻率，其目的是驗證變位模式精度，分析 TWD97 坐標系統可用性，或是有其他考量。	感謝委員意見。簡報中基本控制點建議檢測頻率，主要為提供測繪中心對於基本控制點檢測作業規劃之參考。
韓 委 員 仁 毓	1. 請說明本案變位模式之適用範圍與更新機制，如連續發生 2 次未超過更新規範值之地震，但 2 次地震總和超過更新規範值時，如何更新變位模式。	感謝委員意見。根據近十年的地震問題，臺灣目前尚未遇到這樣的問題，這需要進一步的研究，但是更有可能是被震後的速度場變化將這個部分的位移量吸收掉。換言之，只要速度場更新時機之機制有良好建立，即可以解決這個問題。
	2. 本案變位模式是否考量地震前後速度變化量不同之影響？	感謝委員意見。是的，本案變形模式有考量地震前後速度變化量不同之結果。
	3. 本案變位模式是否考量不連續（如斷層兩側）之行為？	感謝委員意見。有的。由於要在斷層兩側速度場出現明顯的差異量，該斷層必須是潛移型態，目前學界認定之潛移斷層為東部的池上斷層，所以本案已藉由將池上斷層兩側之速度分別進行模式建置的方式，考慮斷層兩側不一致的行為。至於臺灣西南部是否還有潛移斷層的問題，目前地科界還在進行研究中，所以本案暫時還沒納入考量。

	4. 請補充說明本案變位模式後續實際應用領域。	感謝委員意見。本案變形模式可依據現行國內外各種不同等級之測繪規範以區分後續實際應用之領域，不同區域之應用精度，將對應於不同的使用面及搭配的規範。因此，以實務上各地區適用的情況為主，其內容於第 3.2、3.3 節中敘述。
	5. 簡報有關研擬使用本案變形模式之程序中，若找不到可用的已知點，後續處理程序為何？	感謝委員意見。如同傳統的控制點測量之處理方式，若測區內找不到可用的已知點，將連測至較遠或更上級的已知點，由較遠及上級的已知點加密得到測區內的已知點位，作為測區內觀測資料平差計算處理的起算、約制依據。
侯 委 員 進 雄	1. 期中報告建議補充摘要。	感謝委員意見。已補充摘要於報告之中。
	2. 後續工作總報告應有長摘要，並詳述計畫背景、目標、歷年延續工作情形、本案工作項目及執行情形、模型建立及檢核點、後續計畫相關建議等。	感謝委員意見。將於工作總報告中補充敘述。
	3. P49 及 P58 中剔除精度不佳的 GNSS 連續站及移動站，其剔除方法是否適當？建議可將斷層帶展繪於圖上，並評估是否與斷層錯動或地層擠壓有關。	感謝委員意見。在 P49 及 P58 剔除點位的原則為資料品質以及時間序列擬合等的精度表現為主要依據，並未套繪於斷層相關圖資，此項工作主要仍需要赴現地檢視以助釐清原因，本團隊將評估其可行性並作為後續辦理之建議事項。
	4. P81：請說明線性公式擬合趨勢線之速度量正負號是否代表某些物理意義。	感謝委員意見。線性擬合趨勢線的速度量正負號僅表示其地表位置之累積較差量的速度方向，暫未探討其物理意義。
	5. 外部精度檢核站建議可增加地殼變動變化量較大地區之點數，較符合本案計畫目的。	感謝委員意見。本案主要以測繪中心基本控制點成果以及今年度於宜蘭、臺東地區實施的加密控制點成果，作為外部精度檢核的分

		析參考，其點數就該區域而言，已能足夠呈現區域的應用及改善情況。
梁 委 員 旭 文	1. P44：圖 2.10 中，坐標跳動較大的原因是否均係地震造成？如非地震所致，應確認其成因並評估是否納入擬合時間序列。	感謝委員意見。圖 2.10 的坐標跳動主要為地震事件所引起(參考表 2.9)。經分析評估後，該點位的擬合結果仍可以作為本案變形模式建置使用。
	2. 請說明表 2.1 與表 3.1 兩者差異。	感謝委員意見。表 2.1 為今年度本計畫蒐集並使用之連續觀測站數資料統計，用於時序解算；表 3.1 為時序解算後，參考各測站的坐標時間序列擬合圖、資料解算成功時間期以及水平速度場圖，篩選出不適合納入後續水平速度網格模型建置的測站。
	3. P84：表 3.2 中，推估 1 年或 15 年均係使用本案變位模式內插計算，而非預估，但內插結果有好有壞，建議可再研究分析其原因。	感謝委員意見。原表 3.2 之分析尚不足以具代表性且內容尚不夠完善，因此，已刪除相關內容。
劉 委 員 至 忠	1. 請說明建置變位模式時，是否考量 GNSS 連續站與移動站精度不同之差異。	感謝委員意見。GNSS 連續站與移動站的解算坐標精度確實不同，但就長期的速度場擬合而言，其關鍵主要在於時間序列圖上之坐標點分佈的離散程度。因此本案進行速度網格的內插估算時，以等權方式進行即可。
	2. 建議補充說明契約書規定工作項目及其對應辦理情形。	感謝委員意見。已補充對照表於報告摘要頁前方以及第 1.3 節內容中。
	3. 後續工作總報告應說明變位模式建立方法、資料來源及未考量但可於未來精進的部分。	感謝委員意見。將於工作總報告中補充敘述。而本案變形模式的建立方法、資料來源已敘述於第 2 章內容中。
	4. 因變位模式精度測試結果因地區而異，後續使用變位模式時，是否需分區使用或分區說明其精度。	感謝委員意見。本案建立的變形模式為臺灣本島的全區範圍，因此，適用於本島全區，不需分區使用。然而，由於各地區的點位分佈及資料品質情況並不一致，因此各地區應用的成果精度亦因起而異，至於如何分區？本團隊將進行後續分析以評估其可行性。
	1. P42：表 2.8 GNSS 連續站資料來源與	感謝委員意見。已修正於表 2.8 中。

王 委 員 敏 雄	站數統計表中，原列中華電信設立/管理 2 站即 TWTF 及 TNML，經查 TNML 係由工研院量測中心設立/管理，請修正。	
	2. P45：平面位移之解析能力係取以平面方向平均精度 3 倍值($\pm 18\text{mm}$)之理論基礎為何？另同震位移分析是否為以有無超出平面位移之解析能力來做為依據？也就是說未來如果地表位移超過 $\pm 18\text{mm}$ 即須進行同震位移分析？	感謝委員意見。就數理統計的概念，大於 3 倍精度的機率小於千分之 3，因此，一般的作法為採取此門檻作為篩選的原則。而目前同震位移模式建立的門檻確實為當地表的位移量超過 $\pm 14\text{ mm}$ 時，即應建立同震位移修正模型。
	3. P46：表 2.10 列出經過擬合大地震事件的時間序列分析後，有 13 個連續站的坐標精度不佳，其中應有部分連續站(如 LSBA 或 TWVD)是因資料品質不佳所造成，但亦有部分測站(如陽明山、玉山)並非處於會受大地震影響的地區，故其發生原因為何？請補充說明。	感謝委員意見。表 2.10 所表示的統計結果為，經過擬合重大地震事件之後，其時間序列的殘差分佈情況仍過大且不佳的點位，並非呈現該點位處於重大地震的影響區域，而其發生原因主要為資料的品質不佳為致。
	4. P92：表 3-7 全臺及各區域在不同容許誤差下之水平速度場使用年限，列有「靜態基準(全臺)」1 項，其概念如何？請補充說明。	感謝委員意見。該項主要欲表達當純粹僅使用靜態坐標時，在其對應的容許誤差下，可達的使用年限為何。已修正內容於該表中
	5. 針對國內未來將會有許多研究性或實務性的工作須與國際上的全球坐標系統接軌(如目前發展的電子海圖或其他相關陸域圖資)，未來是否有機會比照國外(如 P8 提及美國)提供 ITRF、IGS 與 TWD97 或 WGS84 間之坐標轉換服務，提高本案研究成果之附加價值。	感謝委員意見。本案將提供使用本案變形模式的操作介面，其將可以提供於變形模式資料期間內的不同時刻之間的坐標修正，至於坐標轉換的服務，並非本案變形模式提供的工作項目，可提出建議於未來應辦理的工作項目之中。
	1. 告中僅文字說明工作項目一、(一)解算至 108 年 5 月 31 日，請補充相關佐證資料。	感謝工作小組意見。由圖 2.7、2.10、2.11、3.4、3.14 均可以佐證本案的期中解算進度至 108 年 5 月 31 日。
	2. 請補充說明工作項目三、(二)與三、(三)相關內容。	感謝工作小組意見。已補充於第 3.4.1 與 3.5 節內容中。

工 作 小 組	3. 報告中有關日期的年份部分，除了特定名詞(如採購案案名)使用民國年，其餘請統一使用西元年；另月或日如為個位數，十位數無需補0(如 P19)。	感謝工作小組意見。已修正全報告書的對應內容。
	4. 請於報告書一開始先把 102、105、106、107 的案名都先寫出來，再敘明以下簡稱 102 年案、105 年案、106 年案、107 年案，報告書後面內容就以 102 年案、105 年案、106 年案、107 年案敘述。	感謝工作小組意見。已修正全報告書內的對應內容。
	5. P6：已敘明內政部國土測繪中心(以下簡稱測繪中心)，報告書後面內容還有出現"國土測繪中心"跟"內政部國土測繪中心"，請修正。	感謝工作小組意見。已修正全報告書的對應內容。
	6. P19：附件 2 是作業計畫書審查意見及修正情形，附件 4 才是工作會議資料，請修正。	感謝工作小組意見。已修正相關內容。
	7. P19：1.3 各階段工作內容是依契約書內容寫的，但報告書未明列工作內容，請補充契約書工作內容。	感謝工作小組意見。已補充相關內容於第 1.3 節，並列於表 1.1 中。
	8. P22：表 1.3 請補充說明本案所有應辦工作，如計算 e-GNSS[2019]坐標、提送論文及發表與辦理座談會等為本案應辦工作，但未列出。	感謝工作小組意見。已修正表 1.3 內容。
	9. P26-28：表 2.1 跟表 2.3 在 108 年的統計數據不同，請修正。	感謝工作小組意見。已修正相關內容。
	10. P31：表 2.6 中，NSLC 的 test 站非正式測站資料，請刪除並修正相關統計資料。	感謝工作小組意見。已修正對應內容。
	11. P40：公式(2-1)中，有部分算式未納入本案計算使用，如非某參考文獻專有公式，建議僅保留本案使用算式即可。	感謝工作小組意見。已修正相關內容於對應章節中。
	12. P42：請補充說明表 2.8 總站數大於表 2.2 各年度站數之原因。	感謝工作小組意見。表 2.8 呈現歷年所有站數，而表 2.2 是 2013~2019 年的站數統計，

		已修正相關內容。
13. P44：請補充說明圖 2.10 資料在 2010 年及 2016 年造成位移量的原因。		感謝工作小組意見。圖 2.10 的坐標跳動主要為地震事件所引起，參考對照表 2.9 內容。
14. P55-P56：圖 2.18 圖名與內文不符。另請補充說明地調所移動站資料觀測頻率。		感謝工作小組意見。已修正對應內容。
15. P70：表 3.1 是否不應該存在與表 2.10 重複的站？		感謝工作小組意見。已修正表 3.1 內容。
16. P76：有關站數的統計資料有誤，請修正。		感謝工作小組意見。已修正對應內容。
17. P77：請說明如何結合 30 秒與 0.01 度網格大小不同之資料。		感謝工作小組意見。本案於變形模式中使用的各時期網格均為獨立計算的網格資料，因此在各網格之中均獨立進行雙線性內插估計，並輸出各網格的計算成果，據此累加各時期的修正量而得到總修正成果，因此，各網格之間不會有網格結合的問題。
18. P97：請補充說明比較資料全部都是已知點。		感謝工作小組意見。已補充、修正對應內容。
19. P100：改善率的公式是否有依據？如果使用點位間相對精度來表示修正前後的差異是否較適當？		感謝工作小組意見。本(3-5)公式為一個簡單的改善比例計算式，藉以得到坐標修正前與修正後的改善幅度，並未探討點位間的相對精度改善情況。

附件六 工作總報告審查委員意見及修正情形

審查委員	問題與意見(依發言順序)	廠商修正辦理情形
侯進雄委員	1. 本報告在摘要呈現的內容，對比歷年來已大大的提升很多，將本計畫的背景、歷程、歷年工作項目與成果，及本年度工作項目與成果均有所展現，對本報告書可讀性與參考性大大提升，值得鼓勵。然建議不要用「長摘要」，也是以「摘要」呈現就好。	感謝委員寶貴意見與勉勵，已修正相關內容(請參閱摘要)。
	2. P.9，文中出現臺南斷層，然圖 1.2 並無標示臺南斷層，請補正	感謝委員寶貴意見。臺南斷層其實就是圖 1.2 中的變形前緣(Deformation front)，因此相關文字內容已更正為變形前緣。
	3. 報告中有「震間地表水平速度場網格模型」與「同震水平速度場網格模型」，在其它地方也應以統一名稱出現，不應有簡化成「地表水平速度場網格模型」之情形，建請修正。	感謝委員寶貴意見。已修正報告中相關內容。
	4. P.61，有當出現觀測品質不佳、異動或計算成果異常時，將檢視其原因。然報告中 P55，GS69 及後面之 GS90 因資料品質不佳，影響分區內其它站台的解算，故移出群組不予計算；另後面亦有其他單位的點位及檢核點位也有類似情形（資料品質不佳）。有一點要釐清，成果異常與資料品質不佳沒有絕對關係，應該回去探討該點位透空度、歷年成果趨勢穩定性，或真的受到局部地殼變動或山崩潛移影響。如果將該點位剔除，雖然讓模式變得好看些，但未必是合理，反而失真，也造成模式的可使用性受到考驗。本計畫也應該有一使命，使用它機關資料的同時，有問題測站應與他	感謝委員寶貴意見。點位實際狀況無從得知。資料解算過程中，只要加入 GS69 解算，同群組成果皆會過差，已修正為 GS69 站歷年來皆會影響分區內其他站台的解算，因此將此站移出群組不予解算。(相關內容請參閱 3.2 節)

	機關連繫探討可能的原因，建議這也是本計畫該執行的工作項目之一。	
5.	P.82，圖 3.19，坐標精度不佳之移動站分布圖，建議於圖上增加斷層線分布圖。另由圖上可看出點位幾乎位於地殼變形前緣活躍帶，所以所謂精度不佳，或許只是不能擬合本案模式而已，說不定卻是反應著實際的地殼變動。	感謝委員寶貴意見。已於圖上新增加斷層線分布圖。(相關內容請參閱 3.4 節)
6.	P.76~P.87，圖 3.15~圖 3.24，圓圈內顏色為測站坐標兩倍精度值，請教為何是兩倍，用原本精度值是否可行？請說明。	感謝委員寶貴意見。已把說明刪掉(原說明有誤)。(相關內容請參閱 3.3.2 節)
7.	P.91，4.1.1，臺灣地區不同時期之水平速度場，圖中展示從 20030101 開始至 20190930，可是文中卻從 20130327 南投地震開始說明，文圖不能搭配，請修正。	感謝委員寶貴意見。已修正相關內容於 4.1.1 節中。
8.	P.101，圖 4.11 以後的圖，說明「箭頭為速度方向」，可是圖上看不到箭頭，請釐清。	感謝委員寶貴意見。已修正相關內容於 4.1.3 節中(已把說明刪掉，原說明有誤)。
9.	本報告中出現多處「12 個水平速度網格模型」，僅於結論出現地表的水平速度場分為 12 個時期，建議將文中的「12 個水平速度網格模型」更正為「12 個時期的水平速度網格模型」。	感謝委員寶貴意見。已修正報告中相關內容。
10.	P.106，文中敘述 S105 與 DPIN 兩點的實測與推估坐標差異量較大，應輔以圖展示其位置，如同前面第 5 點，加上斷層線，檢視其原因。	感謝委員寶貴意見。已於圖上新增加斷層線分布圖(圖 4.19)。(相關內容請參閱 4.1.4 節)
11.	P.115，「初步判斷該規模的地震(如 $ML>6.1$) 在臺灣陸地造成的最大地表位移量，"是否可能"超過 GNSS 測量的坐標精度，如果有可能的話，則啟動新增同震格點位移模型」，會讓人誤會僅憑判斷 $ML>6.1$ 時，地表位移量有可能超過 GNSS 測量的坐標精度；	感謝委員寶貴意見。這句話為誤植。在此並不是要強調 $ML > 6.1$ 的地震，而是要強調依據氣象局速報系統提供的震源與規模等資訊，判斷是否需要進行同震格點模型建模工作，因此本報告已將此段文字進行修改。(相關內容請參閱 4.4 節)

	建議分析地震造成臺灣陸地的最大地表位移量超過 GNSS 測量的坐標精度，其可能的最小地震規模是多少，以作為後面研究解析的探討。	
	12. 同震位移量使用震前 5 天及震後 3 天的衛星軌道資料計算，在此短時間內，用 IGU、IGR 與 IGS 計算，本來其結果就近乎一致，所以即時的地表同震位移量的求得，只是做為是否區域性加密測量與否之決定，為了使震間及同震的位移場精度一致性與獲學術上的認同，同樣使用 IGS 計算才是最終之計，差兩個禮拜計算最終同震位移場模型，應該是可以接受的。	感謝委員寶貴意見。其實 IGR 與 IGS 的絕對坐標相當，但是與 IGU 的絕對坐標有差異。然而，這樣的差異近乎是一個定值，所以不會顯著地表現在同震位移量上。此外，根據這個測試結果也指出，是否要採用 IGS 星曆計算，並不會影響到實際坐標基準的應用，因為其差異量遠小於坐標計算誤差。
	13. P.119，上半段觀察震源深度介於 14km 到 25km 之間，……，整段，請問是團隊觀察所得？是否有參考研究報告或他人文獻？若有，建議應加以說明或註記。	感謝委員寶貴意見。此為本計畫之原創工作成果。
	14. P.122，圖 4.28、4.29，圖名，「臺灣 ML>4.0 之地震孕育帶深度分布圖」與「臺灣 ML>4.0 之地震孕育帶平滑深度分布圖」，建議更名為「臺灣 ML>4.0 之地震孕育帶震源深度分布圖」與「臺灣 ML>4.0 之地震孕育帶震源平滑深度分布圖」。	感謝委員寶貴意見。已修正為「臺灣 ML>4.0 之地震孕育帶震源深度分布圖」與「臺灣 ML>4.0 之地震孕育帶震源平滑深度分布圖」。(相關內容請參閱 4.4.1 節)
張嘉強委員	1. 有關本案資料計算部分，請將本案契約規定計算資料，與建置模式使用到歷年計算資料分開敘述。	感謝委員寶貴意見。相關內容請參閱 1.3 節、3.1 節內容。
	2. 請說明大屯火山群計算成果之用途，是否納入建置本案模式。	感謝委員寶貴意見。大屯火山群的計算成果亦作為本案建置模式之使用資料。
	3. 本案建置 7 個同震位移網格模型與 12 個時期水平速度網格模型，請補充說明在軟體中的計算及使用方式。	感謝委員寶貴意見。相關內容請參閱 4.1.4 節、5.3 節內容。
	4. P.72，表 3.9 坐標精度不佳之連續站，是否有系統性原因（如空間分布），建議列表分析各站可能原因並持續追	感謝委員寶貴意見。坐標精度分析根據每次資料群體取三倍標準差篩選，故每次坐標精

	蹤。	度不佳之站可能不盡相同。(相關內容請參閱 3.3.2 節)
	5. 請補充說明各縣市 GMT 速度格點模型暈渲圖使用的模型是 12 個時期的平均或是哪個時期的模型。	感謝委員寶貴意見。GMT 速度格點模型暈渲圖使用的模型是第 12 個時期(20180206-20190930)的成果。
	6. 請補充說明歷年一等水準點成果驗證本案模型垂直速度場之結果，是否證明 GNSS 連續站之計算成果精度足供建置垂直速度場。	感謝委員寶貴意見。關於垂直速度場的建置與精度驗證，目前尚為初步分析階段，待後續深入探討之後，較能獲得更具體結論。一般而言，對於速度場的估計，長期且連續的定位成果將較有助於速度估算，因此 GNSS 連續站的計算成果仍為垂直速度場估計的主要資訊來源。
	7. P.180，有關 LiDAR 應用本案模型修正平面坐標，其意義為何？是否可改善垂直坐標精度？	感謝委員寶貴意見。本節的分析內容為主要應用本案變形模式進行 LiDAR 案控制測量之水平成果應用分析，垂直向分析非為本節的探討項目，故本節不敘明，待下階段進一步探討。(相關內容請參閱 4.5.3 節)
	8. 本案模式可否分析預判國家坐標系統 TWD97/TWD97[2010]適用週期？臺東縣及宜蘭縣加密控制點應用分析結果，驗證本案模型有效修正已知控制點相對精度，惟後續如何應用在實務測量工作上，有待探討。	感謝委員寶貴意見。本案成果可以作為預判國家坐標系統適用週期之參考。對於加密控制點之應用，由兩場座談會之綜合意見可以得知，其在實務應用上，仍有待相關作業規範與程序之擬訂，其為下一階段之工作項目之一。
	9. 請將結論與建議分段撰寫，另請將座談會結論納入結論章節。	感謝委員寶貴意見。已修正於第七章內容中。
劉 啟 清 委 員	1. 建議列表說明本案模型實際使用資料來源。	感謝委員寶貴意見。全台 GNSS 連續站為 2018/10/31-2019/09/30。相關內容請參閱 1.3 節、3.1 節內容。
	2. 請補充說明 e-GNSS[2019]坐標系統之定義，及其與 TWD97[2010]坐標差異原因。	感謝委員寶貴意見。已補充相關引用說明於 3.5 節內容中。
	3. P.184，歷年一等水準點公告成果驗證結果應有系統誤差存在，請評估是否還有修正空間。	感謝委員寶貴意見。此為本案針對垂直向修正的初步成果，後續將於下一階段工作項目中探討分析。

韓 仁 毓 委 員	1. 請確認美國 NAD83 其定義是否屬半動態基準，另 NGS 已擬定 2013~2023 十年計畫，或可加以瞭解參考。	感謝委員寶貴意見。已修正相關內容，並將參考 NGS 之十年計畫內容作為下一階段工作項目之參考資訊。(相關內容請參閱 2.3 節)
	2. P.52~P.53，目前是統計資料量比例，是否可改為解算成功比例？另 SHAO 資料比率較不穩定，請補充說明原因。	感謝委員寶貴意見。此兩個表格主要表示資料的蒐集情況，因此仍以資料量比例呈現。而 SHAO 之統計主要來自資料提供平台的結果，其原因待查。
	3. P.68，圖 3.10 顯示 GS32 有 4 個分段速度場，請說明本案速度場分段邏輯。	感謝委員寶貴意見。本案依重大地震事件給定速度估計之時期斷點。(相關內容請參閱 3.3.1 節)
	4. P.97~P.98，整體而言，速度場擬合精度在 2~3 年後趨於穩定，是否有特殊點其精度行為表現較不一致？	感謝委員寶貴意見。此為整體擬合成果的推論，一般而言，以 2~3 年的時間進行速度估計，其成果較佳。
	5. 建置本案模型時，是否考量資料來源精度差異，是否給予不同資料不同權重？	感謝委員寶貴意見。目前視所有資料為等權。
	6. 建請統一報告中有關「變位模式」與「變形模式」之用語。	感謝委員寶貴意見。除了計畫案名稱仍採用「變位模式」之外，本報告內容中，主要已以「變形模式」稱之，因此，各項內容已進行適當之修正。
	7. P.184，請補充說明 4.5.4 節分析之內容與目的。	感謝委員寶貴意見。本節主要分析本案變形模式的垂直向應用之初步成果，探討是否可作為垂直向量修正運用。
梁 旭 文 委 員	1. 臺東縣及宜蘭縣加密控制點應用分析結果，驗證本案模型有效修正已知控制點相對精度，惟後續如何應用在實務測量工作上，有待探討。	感謝委員寶貴意見。如同座談會之測量人員相關意見，後續仍待相關之作業規範與程序之擬訂，此為下一階段的工作項目之一。
	2. 請將結論與建議分段撰寫，另請將座談會結論納入結論章節。	感謝委員寶貴意見。已修正於第七章相關內容中。
王 敏 雄	1. P.67，有關 GNSS 連續站資料經過移除長期的震間地殼運動速率變化量...，得到各測站的殘差量，請問在實務上如何操作，是否有檢核機制確認操作是有效的？	感謝委員寶貴意見。統計模式取三倍精度為依據，首先移除超過三倍精度的資料，接續將擬合方程式估計的參數結果代回原方程式中，以獲得各方程式的殘差量。(相關內容請參閱第 3.3 節)。

委員	2. 本案模型與 e-GNSS 系統三維坐標轉換模型在轉換結果似乎有點差異，後續應如何整合？	感謝委員寶貴意見。本案成果為 TWD97[2010]框架下的成果，後續可建立坐標修正網格，與 e-GNSS 系統之整合。
內政部	1. P.55，請補充說明連續站觀測資料分區以單位劃分的原因。另 P.56 國內共同連測站分布未包含臺灣東部測站，原因為何？	感謝委員寶貴意見。資料原始來源以提供單位作為分區的原則，並往下再細分各年份。共同連測站未包含東部測站之主要原因為資料與位置穩定性之考量。(相關內容請參閱第 3.2 節)。
	2. P.50~P.52，表 3.2 是歷年各單位連續站統計資料，P.66 表 3.7 是連續站資料來源與站數統計資料，請說明兩張表數據差異部分之原因，如表 3.7 中央氣象局站數為 170 站，但表 3.2 歷年最多站數為 168 站。	感謝委員寶貴意見。觀測站資料並非每年都一定會有，此外，可能有觀測站於某年結束觀測，而某些觀測站於某年開始觀測，因此造成數據差異。
	3. P.114，表 4.4 中以市地最大容許誤差 60mm 來評估水平速度場使用年限是否妥適？	感謝委員寶貴意見。本節以市地規範 2 cm 之三倍 60 mm 作為評估水平速度場的使用年限，為較保守的估計方式。
	4. 報告中文字建議統一，如 P.30、P.31 印尼與印度尼西亞；另 P.116 圖 4.25 與圖 4.26 應放反了。	感謝委員寶貴意見。已將文字(2.3.4)及圖(4.4)修正。
曾耀賢委員	1. 建議加短摘要及英文摘要。	感謝委員寶貴意見。已補充於摘要內容中。
	2. P.57，圖 3.5 M 區測站提供單位為台南市政府，圖上 M 區是花蓮台東地區，似不合理？	感謝委員寶貴意見。M 區測站提供單位為 IES。已於報告書中修正。
	3. P.69，圖 3.11 下方文字說明是否正確？	感謝委員寶貴意見。已修正為紅色圓圈為每日坐標殘差解。(3.3.1)
	4. P.75~P.78，圖 3.14~圖 3.17 顏色尺標為 Standard deviation in E(N...)，說明為圓圈內顏色為測站坐標之兩倍精度，似有不符？	感謝委員寶貴意見。已把說明刪掉(原說明有誤)。
	5. P.97~P.99，圖 4.6~圖 4.9 建議縱軸標示加上單位。	感謝委員寶貴意見。已加上單位(mm)(4.1.2)。
	6. P.181~P.182，點位 HNSN 修正前(0.036,-0.039)，修正後(-0.027,0.171)，可否分析其原因？	感謝委員寶貴意見。其初步判斷應為該地區的地質構造以及測站解算結果之影響所致，然而，以目前蒐集的資訊仍尚無法釐清

		原因，將待後續追蹤、分析探討。
	7. P.188，步驟 5 是否有需要將已知點回推至公告時刻對應的坐標成果？	感謝委員寶貴意見。已修正圖 4.83 內容。
	8. 錯字修正： (1)P.66，過高或「式」過低現象。 (2)P.67，圖 3.9 圖例「TANAN」。 (3)P.153、P.154，局部放大之南投地震，應為瑞穗地震。 (4)P.157、P.158，局部放大之南投地震，應為美濃地震。 (5)P.170，較不「亦」於呈現。 (6)P.188，(3)比較各已知點的公告坐標，應為觀測時刻坐標。 (7)P.188，(5)利「案」本案。 (8)P.211，編號(四)段落修正。 (9)P.220，回應韓教授意見中，並配合「不用的」測量規範是否繕打錯誤？ (10)P.220，回應侯組長意見中，使「用」某些區域的地表變化。 (11)P.233，建立「地表變形式」為一可行方法。	感謝委員寶貴意見。已修正各對應的相關內容。
工作小組	1. 長摘要部分內容以歷年觀點撰寫，部分內容以 108 年案觀點撰寫，建請統一以歷年觀點撰寫。另研討會成果發表及期刊頭搞統計資料，請改以文字敘述，統計表格改放到附件，並提供投稿文章電子檔。	感謝工作小組寶貴意見。已修正相關敘述文字。另因研討會及期刊投稿發表之統計表格已於等 6.2 節中敘明，因此在「計畫概述」中刪除該表格，並補充修正相關敘述內容，而投稿之電子檔將另行提供。
	2. 請補充短摘要及英文摘要。	感謝工作小組寶貴意見。已補充於摘要內容中。
	3. P.17：表 1.3 部分工作內容非 108 年案工作項目，請以長摘要中工作總報告工作項目對照表置換。	感謝工作小組寶貴意見。已修正表 1.3。
	4. P.48：請補充說明表 3.1 及表 3.2 歷年站數不同之原因。	感謝工作小組寶貴意見。已修正表 3.1 與表 3.2 相關統計數據。
	5. P.54：敘述地調所 1 個測站因誤差較大，而 P.55 敘述 GS69 站因資料品質不佳，建請統一兩者敘述方式。	感謝工作小組寶貴意見。資料解算過程中，只要加入 GS69 解算，同群組成果皆會過差。已統一修正為地調所的 GS69 站歷年來

		皆會影響分區內其他站台的解算，因此將此站移出群組不予解算。(相關內容請參閱第 3.1 節)
6.	P55：請補充說明新增 O 群組計算大屯火山群站台之原因。	感謝工作小組寶貴意見。已修正為 108 年測繪中心開始提供大屯火山群站台的觀測資料，然而群組是於 107 年分群完成，需要另新增一個群組單獨為之計算，否則會影響過去解算資料，故新增 O 群組以計算大屯火山群之站台。
7.	P69：圖 3.11 說明內容與圖不符，請修正。	感謝工作小組寶貴意見。已修正為紅色圓圈為每日坐標殘差解。
8.	P.91：表 3.8 有 13 個地震，但只分 12 個時期，請補充說明原因。另 P.92~P.93 圖 4.1~圖 4.4 中，20161001 並非表 3.8 所列地震發生時間，且表 3.8 中南投地震、台東外海地震及宜蘭地震這 3 個時間未納入 12 個時期的時間點，請補充說明原因。	感謝工作小組寶貴意見。已修正相關內容於第 3.3.1 節中。
9.	P.97、P.99：圖 4.6~圖 4.9 請補充縱軸單位。	感謝工作小組寶貴意見。已補充相關內容。
10.	P.101：GS+軟體網格大小為 36 秒，與 TWD97[2010]轉 TWD97 網格大小 30 秒應無關聯，建請修改文字敘述。	感謝工作小組寶貴意見。已修正相關內容於第 4.1.3 節中。
11.	P.137：請補充說明 AutoBATS 是什麼程式或軟體。	感謝工作小組寶貴意見。其為斷層錯位模型之分析軟體，已補充相關內容於第 4.4.2 節中。
12.	P.183：HNSN 位於 WULI 旁邊，但變形模式修正後較差明顯與修正前不同，請補充說明原因。	感謝工作小組寶貴意見。其初步判斷應為該地區的地質構造以及測站解算結果之影響所致，然而，以目前蒐集的資訊仍尚無法釐清原因，將待後續追蹤、分析探討。
13.	P.184：請補充臺灣本島所有水準點驗證結果及相關統計數據，如東南部驗證結果差異較大，再分析原因。	感謝工作小組寶貴意見。已補充並修正相關內容於第 4.5.4 節中。此為初步的結果，後續將進一步探討釐清。