

精進 e-GNSS 即時動態定位系統 三維坐標轉換模型精度之研究

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 110 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

精進 e-GNSS 即時動態定位系統 三維坐標轉換模型精度之研究

研究人員：

專員	莊峰輔
技正	林文勇
課長	陳鶴欽

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 110 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

A study on improving the accuracy of 3D
coordinate transformation on e-GNSS
real-time kinematic positioning system

BY

Feng-Fu Chuang

Wen-Yung Lin

He-Chin Chen

December, 2021

目次

表次.....	II
圖次.....	III
摘要.....	IV
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究動機與目的.....	2
第三節 文獻回顧.....	3
第四節 研究方法與流程.....	5
第二章 e-GNSS 即時動態定位系統.....	6
第一節 系統簡介.....	6
第二節 坐標系統.....	9
第三節 三維坐標轉換.....	14
第三章 模型建置與精度分析.....	16
第一節 三維坐標轉換模型建置方法.....	16
第二節 建置三維坐標轉換模型.....	20
第三節 模型精度驗證分析.....	25
第四節 研究結果說明.....	33
第四章 結論與建議.....	34
第一節 結論.....	34
第二節 建議.....	36
參考書目.....	38

表次

表 2-1 e-GNSS 系統歷年坐標系統.....	10
表 2-2 e-GNSS[2021]坐標框架定義	11
表 3-1 兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97 坐標較差統計表(單位：m)	26
表 3-2 兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]坐標較差統計表(單位：m).....	28
表 3-3 臺南市楠西區附近坐標較差統計表(單位：m)	28
表 3-4 臺南市楠西區二次與直接轉換坐標較差統計表(單位：m)	30
表 3-5 臺南市楠西區直接與小範圍轉換坐標較差統計表(單位：m)	32

圖次

圖 1-1 臺南市楠西區 e-GNSS 系統定位成果與公告 TWD97 坐標較差圖.....	4
圖 2-1 e-GNSS 系統基準站分布情形.....	7
圖 2-2 e-GNSS 系統控制計算中心實景.....	7
圖 2-3 e-GNSS 系統基準站坐標相對精度示意圖.....	9
圖 2-4 即時轉換原理示意圖.....	14
圖 2-5 e-GNSS 系統三維坐標轉換服務網頁.....	15
圖 3-1 e-GNSS[2013]轉換模型建置流程.....	17
圖 3-2 e-GNSS[2021]→TWD97 二次轉換模型建置流程.....	18
圖 3-3 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]二次轉換模型建置流程.....	19
圖 3-4 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]共同點分布圖.....	21
圖 3-5 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]三維坐標轉換模型較差圖.....	22
圖 3-6 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]共同點分布圖.....	23
圖 3-7 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]三維坐標轉換模型較差圖.....	24
圖 3-8 模型精度驗證點位分布圖.....	25
圖 3-9 兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97 坐標較差圖.....	26
圖 3-10 兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]坐標較差圖.....	27
圖 3-11 臺南市楠西區兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97 坐標較差圖.....	29
圖 3-12 臺南市楠西區二次與直接轉換坐標較差圖.....	30
圖 3-13 臺南市楠西區共同點 e-GNSS[2021]與 TWD97 坐標較差圖.....	31
圖 3-14 臺南市楠西區直接與小範圍轉換坐標較差圖.....	32
圖 3-15 2021 年 9 月 28 日臺南市推廣說明會.....	33
圖 3-16 2021 年 10 月 28 日第 39 屆測量及空間資訊研討會成果發表.....	33
圖 4-1 e-GNSS 系統入口網站最新消息.....	36

摘要

關鍵詞：e-GNSS 即時動態定位系統、三維坐標轉換、VBS-RTK

一、研究背景與目的

內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統（簡稱 e-GNSS 系統）採用 VBS-RTK 定位技術，提供使用者即時且高精度之定位服務，測量成果為 e-GNSS 坐標系統，與法定坐標系統不同。

為提供使用者更便利之服務，讓使用者可簡單快速地將 VBS-RTK 測量成果即時轉換至法定坐標系統，節省連測已知控制點之外業工作及計算坐標轉換與最小二乘配置的繁複內業程序，降低測量工作技術門檻，提升測量工作效率與成果品質，e-GNSS 系統自 103 年起提供三維坐標轉換服務，透過 RTCM 3.1 Type 1021 及 Type 1023 之資料格式，分別將坐標轉換七參數，殘差網格修正模型與網格內插計算方法傳送給使用者，讓使用者在外業測量現場可即時將 e-GNSS 系統測量成果轉換至法定坐標系統。

因 VBS-RTK 測量成果須仰賴高精度的基準站坐標，作為定位誤差修正的理論基礎，而臺灣位處地殼變動劇烈地帶，各地區域性地表位移量在方位及量級上均明顯不同，故 e-GNSS 系統固定每 2 年更新 1 次基準站坐標，以維持各基準站間之相對精度。使用者透過 e-GNSS 系統獲得之測量成果，為 e-GNSS 系統專屬之坐標系統，2021 年目前之測量成果為 e-GNSS 系統 2021 年坐標（簡稱 e-GNSS[2021]）。

e-GNSS 系統三維坐標轉換服務目前提供歷年 e-GNSS 坐標系統（e-GNSS[2013]、e-GNSS[2015]、e-GNSS[2017]、e-GNSS[2019]）轉換至法定 TWD97 坐標系統、TWD97[2010]坐標系統、TWVD2001 正高與歷年 e-GNSS 坐標系統彼此間之轉換服務，並配合內政部 2020 年公告基本測量 2020 年成果（TWD97[2020]）及 e-GNSS 系統於 110 年更新 e-GNSS[2021]坐標，提供 e-GNSS[2021]轉換至法定 TWD97 坐標系統、TWD97[2010]坐標系統、TWD97[2020]坐標系統、TWVD2001 正高與歷年 e-GNSS 坐標系統彼此間之轉換服務，轉換精度可供大部分應用測量使用。

e-GNSS 系統定位精度在平面分量約 2 公分，高程分量約 5 公分，經由三維坐標轉換後之精度，在平面分量約 5 公分，高程分量約 10 公分。考量建置轉換模型之共同點坐標精度與獲得坐標成果所需人力與費用，目前大多數轉換模型係使用基準站作為共同點，僅 e-GNSS[2013]轉 TWD97 轉換模型有額外使用 1,060 點基本控制點，因此在部分共同點分布較稀疏，無法完全修正板塊與地殼變動影響量之地區，其轉換結果會有些微系統誤差存在，轉換精度略低於其他地區。

為分析建置轉換模型共同點數量與分布對轉換結果之影響，本研究藉由 e-GNSS 系統更新 e-GNSS[2021]坐標時，一併辦理約 700 點基本控制點測量工作，並計算基本控制點 e-GNSS[2021]坐標，期望透過增加轉換模型共同點密度之方式，提升轉換模型精度，並解決部分地區存在系統誤差之問題。

二、研究方法及過程

(一) 蒐集資料

e-GNSS 系統更新 e-GNSS[2021]坐標係使用 433 個 GNSS 連續觀測站 2020 年 12 月 1 日至 2021 年 1 月 31 日 62 天之衛星觀測資料，採用 Bernese 軟體計算基線，依據內政部公告之 TWD97[2010]坐標框架定義，約制在國土測繪中心基準站 (LSB0) 坐標，計算各基準站 e-GNSS[2021]坐標。

本研究配合 e-GNSS 系統更新坐標時，於 2020 年 10 月至 2021 年 2 月辦理 735 點基本控制點 6 小時靜態測量工作，並特別加密斷層帶兩側、基準站分布較稀疏及使用者反應回饋轉換模型含系統誤差之臺南市楠西區等地區之基本控制點，測量成果將其最小約制於測繪中心 (LSB0) 基準站 TWD97[2010]坐標，以計算基本控制點 e-GNSS[2021]坐標。利用基準站及基本控制點 e-GNSS[2021]坐標，作為研究分析轉換模型共同點密度對轉換結果影響之依據。

(二) 建置模型

分別使用基準站及基準站加上基本控制點作為建置轉換模型之共同點，將共同點 e-GNSS[2021]及公告坐標之較差，以克利金法 (Kriging) 將點位 N、E、h 分量較差組成 30 秒×30 秒之殘差修正網格，建置 e-GNSS[2021]

→TWD97 及 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]坐標系統之轉換模型。

(三) 精度驗證

實際辦理臺灣本島均勻分布之 600 點基本控制點 e-GNSS 測量工作，外業時每個點位辦理 2 次 5 分鐘觀測，再將每次觀測獲得 100 筆以上固定解之成果取平均，以獲得 2 次觀測成果點位之平均值與公告 TWD97 及 TWD97[2010]坐標比較，作為驗證不同轉換模型精度之依據。

(四) 撰寫研究報告

將資料蒐集及研究測試成果，依據內政部推動自行研究發展獎勵作業規定之研究報告格式，撰寫「精進 e-GNSS 即時動態定位系統三維坐標轉換模型精度之研究」研究報告。

三、重要發現

本研究分別使用基準站及基準站加上基本控制點作為共同點，建置 e-GNSS[2021]→TWD97 及 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]坐標轉換模型，研究增加轉換模型共同點數量對轉換精度之影響，研究結果獲得以下幾點重要發現：

- (一) e-GNSS[2021]→TWD97 模型使用基準站加上基本控制點之成果略優於只使用基準站之成果，在 N 方向上精度提升 1 公分，E 及 h 方向則無明顯差異。
- (二) e-GNSS[2021]→TWD97[2010]模型使用基準站加上基本控制點與只使用基準站之成果無顯著差異，其原因可能是原本只使用基準站之模型，已足夠反應大部分日常地表變動情形（非地震造成之變動量），因此以均勻分布之點位檢核模型之結果，與增加基本控制點後之模型無明顯差異。
- (三) 臺南市楠西區利用二次轉換方式建置 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]→TWD97 模型，在增加 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]共同點數量後，未改善該地區 e-GNSS[2021]→TWD97 轉換系統誤差及精度，因其轉換系統誤差來源係 e-GNSS[2013]→TWD97 模型所致。
- (四) 透過加密臺南市楠西區轉換共同點，直接建置 e-GNSS[2021]→TWD97 轉換模型，可修正該地區轉換系統誤差，並略微提升轉換精度，表示 e-GNSS[2013]→TWD97 模型共同點數量及分布在該地區不足以反應地表實際變動情形，增加該地區共同點數量後即可

解決轉換系統誤差。

- (五) 進一步分析臺南市楠西區周圍共同點 e-GNSS[2021]與 TWD97 坐標較差，發現楠西區與相鄰東山區、六甲區及大內區較差方向明顯不同。若僅用較差方向相同的共同點建置 e-GNSS[2021] → TWD97 轉換模型，除可修正該地區轉換系統誤差外，更可大幅提升轉換精度。

四、 主要建議事項

建議一

建請 e-GNSS 系統使用者回饋三維坐標轉換使用經驗：立即可行建議

主辦機關：內政部國土測繪中心

協辦機關：e-GNSS 系統會員

本研究規劃時僅特別就臺南市楠西區增加轉換模型共同點，研究結果透過直接轉換確實可解決該地區轉換系統誤差，並提升轉換精度。本中心在獲得初步研究成果後，即於 2021 年 9 月 8 日在 e-GNSS 系統入口網站公布最新消息，建請 e-GNSS 系統使用者在測量時若發現特定地區轉換結果與當地已知或公告坐標系統有系統誤差，可填寫相關資料送本中心，作為後續建置 e-GNSS 系統相關轉換模型時規劃參考，以透過本研究成果，解決 e-GNSS 系統在不同地區有轉換系統誤差之問題，持續精進 e-GNSS 系統三維坐標轉換服務精度與品質。

建議二

建議定期辦理全臺基本控制點檢測，修正轉換系統誤差：中長期建議

主辦機關：內政部

協辦機關：內政部國土測繪中心

透過二次轉換雖可節省大量外業測量工作與經費，轉換精度亦損失有限，但由本案研究結果顯示，e-GNSS[2021]→TWD97 模型的轉換精度受 e-GNSS[2013] → TWD97 模型影響，在 e-GNSS[2013] → TWD97 模型有轉換系統誤差的地區，e-GNSS[2021] → TWD97 模型也存在轉換系統誤差。本研究透過直接轉換方式，建置臺南市楠西區 e-GNSS[2021] → TWD97 模型，除可修正該地區轉換系統誤差外，更可提升轉換精度。惟其小範圍直

接轉換模型如與原本二次轉換全臺範圍模型整合在一起，在兩模型接縫處可能會產生其他轉換誤差，目前規劃就此地區之轉換模型採另外提供即時轉換之登錄點，或於後處理網站另外提供轉換模型之方式，僅提供該地區小範圍使用。

建議爾後可定期配合 e-GNSS 系統坐標更新時程，辦理全臺大規模基本控制點檢測，並依使用者回饋情形，就存在轉換系統誤差之地區增加檢測點位，透過本研究成果採直接轉換方式更新轉換至 TWD97 之模型，始可修正目前以 e-GNSS[2013] → TWD97 模型為基礎產生之轉換系統誤差，並持續累積不同時期測量成果，有助於建置維護 e-GNSS 系統三維坐標轉換模型精度與品質。對於 TWD97[2010]及 TWD97[2020]後續使用，亦可透過此方式來增加轉換精度，延展三維坐標轉換服務之使用年限。

Abstract

Keywords:e-GNSS real-time kinematic positioning system, 3D coordinate transformation, VBS-RTK

A. Background and purpose

VBS-RTK is an efficient technique to determine high precision coordinates within a short period of time, but the coordinates are not based on legal coordinate systems like TWD97, TWD97[2010] and TWVD2001. The e-GNSS real-time kinematic positioning system of the National Land Surveying and Mapping Center was based on VBS-RTK technique to provide high precision positioning service, the coordinate system named e-GNSS[2013]. In this study, e-GNSS real-time kinematic positioning system is used as an example to solve problems about that VBS-RTK could not determine the legal coordinates immediately by establishing a 3D real-time coordinate transformation model.

B. Study method and process

1. Data Collection

Collect reference about VBS-RTK, coordinate transformation, gridding methodology and RTCM 3.1. Compute e-GNSS[2013] and find out the legal coordinates of TWD97, TWD97[2010] and TWVD2001 of base stations and control points.

2. Transformation model establishment

Compute transformation parameters about e-GNSS[2013] to TWD97 and e-GNSS[2013] to TWD97[2010] by Helmert 7-parameters coordinate transformation. Determine the residuals of base stations and control points. This study used Harmonic surface, Kriging and Inverse distance weighted gridding method to establish transformation models.

3. Real-time transformation

Accomplishment of VBS-RTK determining legal coordinates by the type 1021 and type 1023 of RTCM 3.1

4. Accuracy testing

In this study, bi-linear, bi-quadratic and bi-spline interpolation method to analyze internal and external accuracy of transformation results were used,

and find out which gridding and interpolation method is the best for establishing transformation model. Besides, we also analyzed how to establish a high accuracy transformation model by adjusting the grid resolution, common point number of established transformation model and survey periods of VBS-RTK.

C. Important discoveries

There are 5 important discoveries coming up from this study:

1. This study has achieved e-GNSS VBS-RTK determining legal coordinates by 3D real-time coordinate transformation. The transformed accuracy for horizontal coordinate was better than 5 cm, for ellipsoid and orthometric height was better than 10cm.
2. The best gridding method in this study was Kriging, the best interpolation method in this study was bi-linear.
3. The higher grid resolution, results better internal accuracy, but that did not improve external accuracy.
4. There were no significant relationships between common point number and the accuracy of coordinate transformation model.
5. There were no significant relationships between observation periods of VBS-RTK and accuracy of transformation.

D. Recommendations

There are 4 recommendations submitted after this study:

1. The research results of this study were applied to e-GNSS real-time kinematic positioning system, providing VBS-RTK determining legal coordinates for users.
2. Using e-GNSS real-time kinematic positioning system and the research results of this study will achieve height modernization in Taiwan.
3. If there are enough legal coordinates of TWD67, using the research results of this study will establish e-GNSS to TWD67 coordinate transformation model for users.
4. Through regular updating coordinates of e-GNSS base station and using the research results of this study will establish semi-dynamic datum of

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統（以下簡稱 e-GNSS 系統）係採用 VBS-RTK 定位技術，提供使用者即時且高精度之定位服務，測量成果坐標系統為 e-GNSS 坐標，與法定坐標系統不同。因 VBS-RTK 測量成果須仰賴高精度的基準站坐標，作為定位誤差修正的理論基礎，而臺灣位處地殼變動劇烈地帶，各地區域性地表位移量在方位及量級上均明顯不同，故 e-GNSS 系統固定每 2 年更新 1 次基準站坐標，以維持各基準站間之相對精度。

使用者透過 e-GNSS 系統獲得之測量成果，為 e-GNSS 系統專屬之坐標系統，2021 年目前之測量成果為 e-GNSS 系統 2021 年坐標（簡稱 e-GNSS[2021]）。為提供使用者更便利之服務，讓使用者可簡單快速地将 VBS-RTK 測量成果即時轉換至法定坐標系統，節省連測已知控制點與計算坐標轉換與最小二乘配置的繁複程序，降低測量工作技術門檻，提升測量工作效率與成果品質，e-GNSS 系統自 2014 年起提供三維坐標轉換服務，透過 RTCM 3.1 Type 1021 及 Type 1023 之資料格式，分別將坐標轉換七參數，殘差網格修正模型與網格內插計算方法傳送給使用者，讓使用者在外業測量現場可即時將 e-GNSS 系統測量成果轉換至法定坐標系統。

e-GNSS 系統三維坐標轉換服務目前提供歷年 e-GNSS 坐標系統（e-GNSS[2013]、e-GNSS[2015]、e-GNSS[2017]、e-GNSS[2019]）轉換至法定 TWD97 坐標系統、TWD97[2010]坐標系統、TWVD2001 正高與歷年 e-GNSS 坐標系統彼此間之轉換服務，並配合內政部 2020 年公告基本測量 2020 年成果（TWD97[2020]）及 e-GNSS 系統於 110 年更新 e-GNSS[2021]坐標，提供 e-GNSS[2021]轉換至法定 TWD97 坐標系統、TWD97[2010]坐標系統、TWD97[2020]坐標系統、TWVD2001 正高與歷年 e-GNSS 坐標系統彼此間之轉換服務，轉換精度可供大部分應用測量使用。

第二節 研究動機與目的

e-GNSS 系統定位精度在平面分量約 2 公分，高程分量約 5 公分，經由三維坐標轉換後之精度，在平面分量約 5 公分，高程分量約 10 公分。考量建置轉換模型之共同點坐標精度與獲得坐標成果所需人力與費用，目前大多數轉換模型係使用基準站作為共同點，僅 e-GNSS[2013]轉 TWD97 轉換模型有額外使用 1,060 點基本控制點，因此在部分共同點分布較稀疏，無法完全修正板塊與地殼變動影響量之地區，其轉換結果會有些微系統誤差存在，轉換精度略低於其他地區。

為分析建置轉換模型共同點數量與分布對轉換結果之影響，本研究藉由 e-GNSS 系統更新 e-GNSS[2021]坐標時，一併辦理約 700 點基本控制點測量工作，並計算基本控制點 e-GNSS[2021]坐標，期望透過增加轉換模型共同點密度之方式，提升轉換模型精度，並解決部分地區存在系統誤差之問題。

第三節 文獻回顧

一、莊峰輔等 5 人 (2014) 於內政部國土測繪中心 103 年自行研究報告「三維即時坐標轉換輔助 VBS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究」獲得以下結論：

- (一) 三維坐標轉換輔助 VBS-RTK 技術獲得法定坐標系統之成果，可即時將 e-GNSS 系統測量成果轉換成法定坐標系統 (含正高系統)，可解決往昔 e-GNSS 系統測量成果不是法定坐標問題，轉換後成果，於平面與高程精度各優於 5 公分與 10 公分。
- (二) 利用不同轉換控制點數量，以克利金法建置殘差網格修正模型，以雙線性內插計算坐標轉換成果，分析比較轉換控制點數量對轉換成果之影響。結果顯示，轉換控制點數量越多，未必可提升坐標轉換模型精度，若轉換控制點轉換前後坐標的相對關係正確且分布夠均勻，則增加轉換控制點數量，對提升坐標轉換模型精度幫助有限。

二、莊峰輔等 3 人 (2015) 於地籍測量期刊第 34 卷第 2 期「內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統三維坐標轉換服務介紹」：e-GNSS[2013]→TWD97 模型轉換精度平面分量約 4 公分，橢球高分量約 10 公分；利用二次轉換方式，以基準站坐標建置 e-GNSS[2015]→e-GNSS[2013]模型，再結合原有 e-GNSS[2013]→TWD97 模型，建立 e-GNSS[2015]→TWD97 模型，轉換精度平面分量約 5 公分，橢球高分量約 11 公分，顯示利用二次轉換方式建置轉換模型可行，且轉換精度差異不大。

三、國立臺北大學公共事務學院土地與環境規劃研究中心 (2019) 於 108 年「e-GNSS 定位技術運用於地籍圖重測作業可行性驗證實務研析期末報告」：e-GNSS 系統獲得的定位成果與公告 TWD97 坐標比較後，在永康區 N、E 坐標差異量計算得的平面差距平均值為 3.7 公分，標準差為 1.7 公分；在楠西區 N、E 坐標差異量計算得的平面差距平均值為 9.5 公分，標準差為 3.0 公分，較差圖如圖 1-1，紫色和綠色箭頭分別為加密控制點和圖根點，單位為公分。相較於永康區獲得的定位成果，外部精度約放大了

3 倍，且大多數點位較差呈現了往西的方向性，少數點位呈現西北向走勢，研判可能的原因係楠西區位處地殼位移較大地區，或坐標轉換精度不足所致。

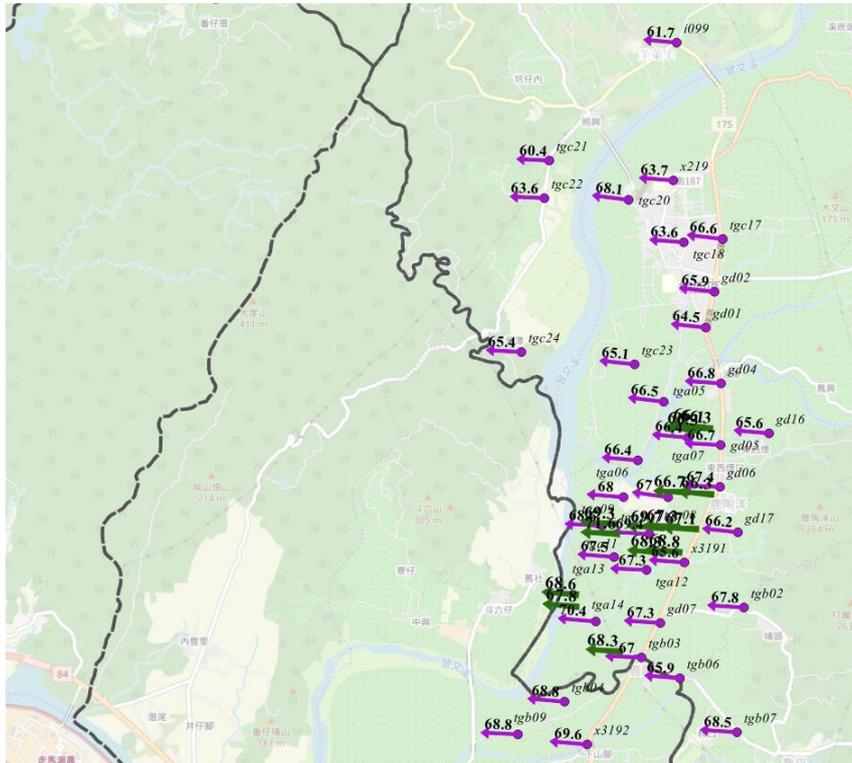


圖 1-1 臺南市楠西區 e-GNSS 系統定位成果與公告 TWD97 坐標較差圖

第四節 研究方法與流程

一、資料蒐集

e-GNSS 系統更新 e-GNSS[2021]坐標係使用 433 個 GNSS 連續觀測站 2020 年 12 月 1 日至 2021 年 1 月 31 日 62 天之衛星觀測資料，採用 Bernese 軟體計算基線，依據內政部公告之 TWD97[2010]坐標框架定義，約制在國土測繪中心基準站 (LSB0) 坐標，計算各基準站 e-GNSS[2021] 坐標。

本研究配合 e-GNSS 系統更新坐標時，於 2020 年 10 月至 2021 年 2 月辦理 735 點基本控制點 6 小時靜態測量工作，並將其基線解算成果最小約制於測繪中心(LSB0)TWD97[2010]坐標，以計算基本控制點 e-GNSS[2021] 坐標。利用基準站及基本控制點 e-GNSS[2021]坐標，作為研究分析轉換模型共同點密度對轉換結果影響之依據。

二、建置模型

分別使用基準站及基準站加上基本控制點作為建置轉換模型之共同點，將共同點 e-GNSS[2021]及公告坐標之較差，以克利金法 (Kriging) 將點位 N、E、h 分量較差組成 30 秒×30 秒之殘差修正網格，建置 e-GNSS[2021] 轉換至 TWD97 及 TWD97[2010]坐標系統之轉換模型。

三、精度驗證

實際辦理臺灣本島均勻分布之 600 點基本控制點 e-GNSS 測量工作，外業時每個點位辦理 2 次 5 分鐘觀測，再將每次觀測獲得 100 筆以上固定解之成果取平均，以獲得 2 次觀測成果點位之平均值與公告 TWD97 及 TWD97[2010]坐標比較，作為驗證不同轉換模型精度之依據。

四、撰寫研究報告

將資料蒐集及研究測試成果，依據內政部推動自行研究發展獎勵作業規定之研究報告格式，撰寫「精進 e-GNSS 即時動態定位系統三維坐標轉換模型精度之研究」研究報告。

第二章 e-GNSS 即時動態定位系統

第一節 系統簡介

內政部國土測繪中心（以下簡稱本中心）於 2006 年建置全國性 e-GPS 即時動態定位系統，2009 年正式營運，2014 年將基準站衛星定位接收儀及系統軟體全面升級為可接收處理 GPS 與 GLONASS 雙星系資料，並正式更名為 e-GNSS 系統，期間逐年將基準站衛星定位接收儀及系統軟體更新升級為可接收處理 GPS、GLONASS、GALILEO、QZSS、BeiDou 等全星系資料之系統，於 2019 年 10 月 1 日正式提供全星系定位服務。

e-GNSS 系統之核心技術即為 VBS-RTK 定位技術，其基本組成架構分為 3 大單元（內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站，2021）：

一、衛星定位基準網

基準站連續接收全星系衛星觀測資料，並透過網際網路將資料即時傳輸至控制計算中心，進行區域修正參數計算。為避免各機關重複建置基準站造成資源浪費，本中心進行衛星定位基準網規劃時，均優先將各機關已建置完成之現有基準站納入整體考量，再依網形分佈密度，選擇適當地點辦理後續基準站各項建置工作，並相關單位簽署合作契約，共享基準站資料，目前 e-GNSS 系統線上營運主基準站數量為 78 站，並備有備用基準站，以供主基準站故障時，可維持 78 個基準站提供服務，確保定位精度。各基準站間之平均距離約 30 公里，分布情形如圖 2-1。

二、控制計算中心

e-GNSS 控制計算中心（圖 2-2）建置於本中心地籍資料庫 4 樓電腦機房，主要硬體包括防火牆、路由器、交換器、伺服器、磁碟陣列儲存系統、不斷電系統及磁帶機等設備，核心定位軟體為美國 Trimble Navigation 公司所研發之 PIVOT 定位系統軟體，其主要功能包括 Trimble Instrument Configurator(TIC)、Trimble Ephemeris Download(TED)及 Trimble Streaming Manager (TSM) 等三大模組，以進行基準站遠端控制、資料下載使用及進行 DGNS 差分定位解算與公分級 VBS-RTK 即時動態定位解算。

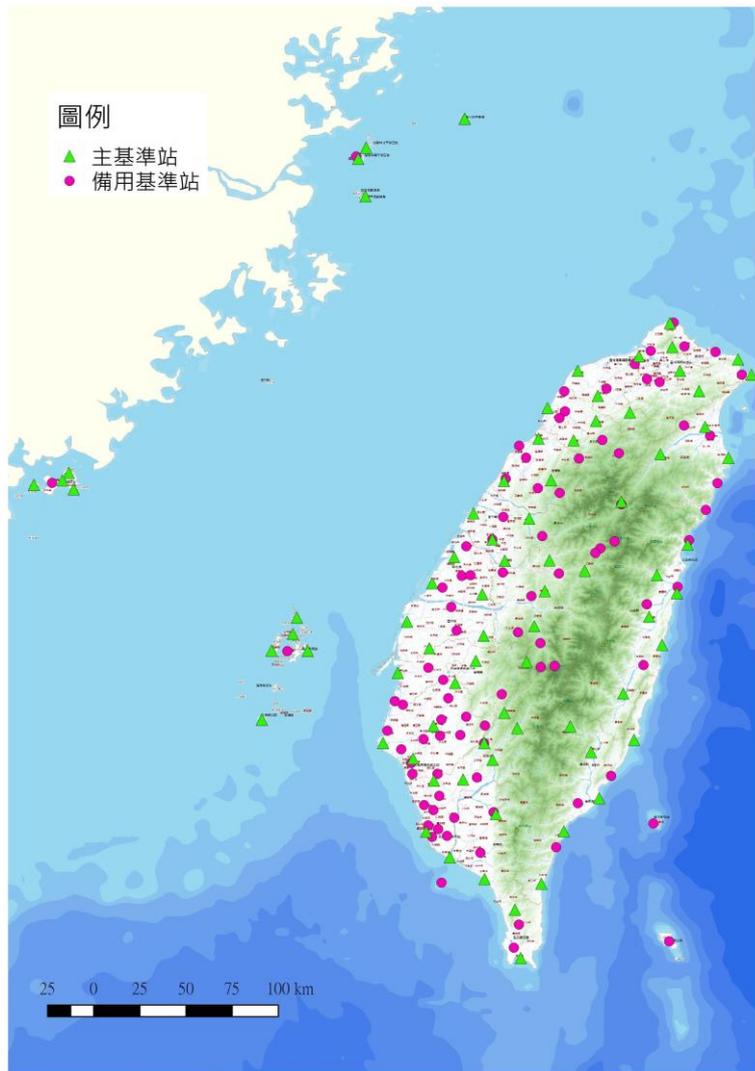


圖 2-1 e-GNSS 系統基準站分布情形



圖 2-2 e-GNSS 系統控制計算中心實景

三、移動站使用者

使用 VBS-RTK 定位之使用者，至少須準備衛星定位接收儀、連結網路設備及 NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol, NTRIP) 通訊協定操作軟體等 3 種軟硬體，才可進行單點定位坐標計算、坐標傳輸至控制計算中心及 VBS-RTK 計算。

第二節 坐標系統

一、e-GNSS 坐標系統

e-GNSS 系統因須即時計算並處理各基準站涵蓋範圍內之定位誤差修正資料，並依每個使用者單點定位坐標產出虛擬衛星觀測資料，回傳給使用者進行超短基線之 RTK 即時動態定位解算，故需有高精度的坐標來維持各基準站間相對關係之正確性，其測量成果坐標系統為 e-GNSS 坐標，與法定坐標系統不同。圖 2-3 為 e-GNSS 系統監控各基準站 e-GNSS[2019]坐標與 2020 年 5 月當時實際坐標之較差變化情形，平面分量較差超過 5 公分以黃色字體標示，超過 7 公分以紅色字體標示，可以發現臺灣本島東部及南部地區之基準站在經過不到 2 年的時間，其變化量即超過 5 公分，主要係因臺灣位處地殼變動劇烈地帶，各地區域性地表位移量在方位及量級上均明顯不同，故 e-GNSS 系統固定每 2 年更新 1 次基準站坐標，以維持各基準站間之相對精度。e-GNSS 系統歷年坐標系統包括 e-GPS[2007]、e-GPS[2009]、e-GNSS[2013]、e-GNSS[2015]、e-GNSS[2017] 及 e-GNSS[2019]，各坐標系統使用時間如表 2-1。

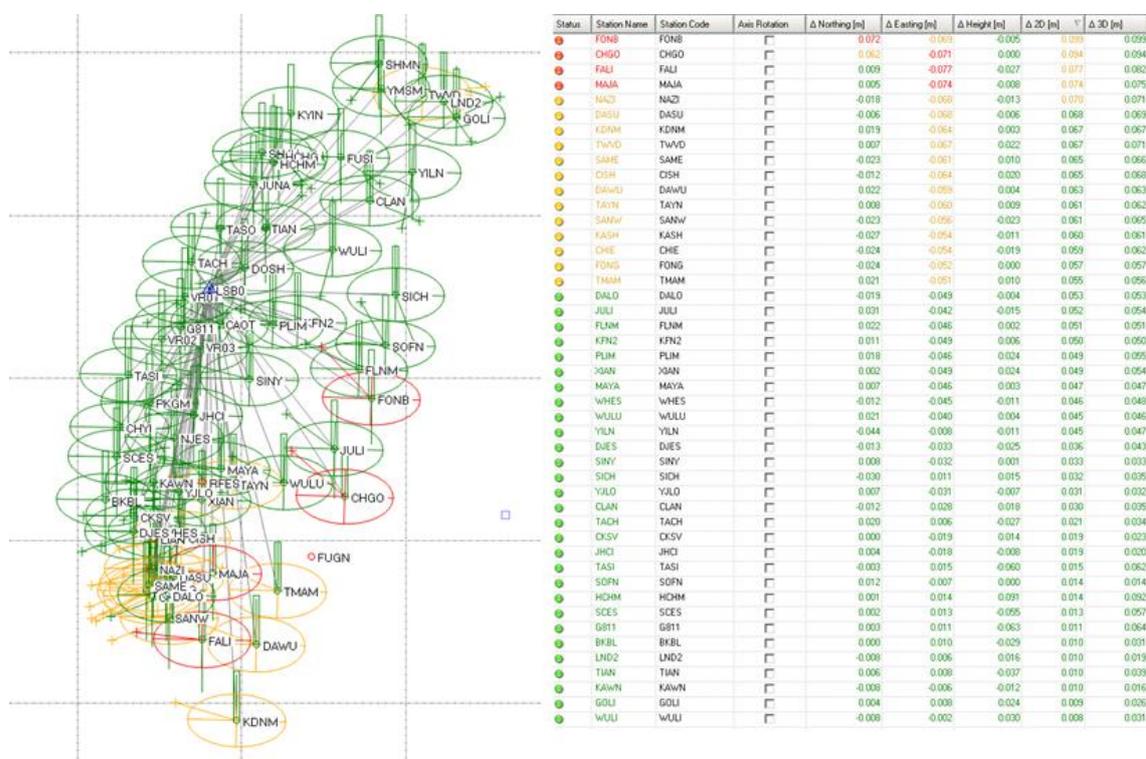


圖 2-3 e-GNSS 系統基準站坐標相對精度示意圖

表 2-1 e-GNSS 系統歷年坐標系統

坐標系統	使用時間	備註
e-GPS[2007]	2008 年 5 月 1 日~ 2009 年 6 月 30 日	e-GNSS 系統自 2008 年 5 月 1 日開始試營運，2009 年 1 月 1 日正式營運。
e-GPS[2009]	2009 年 7 月 1 日~ 2013 年 12 月 31 日	
e-GNSS[2013]	2014 年 1 月 1 日~ 2015 年 4 月 30 日	
e-GNSS[2015]	2015 年 5 月 1 日~ 2017 年 4 月 30 日	約制點位由竹南基準站（JUNA）更改為測繪中心（LSB0）。
e-GNSS[2017]	2017 年 5 月 1 日~ 2019 年 7 月 14 日	因 2018 年 2 月 6 日花蓮地震造成花蓮地區地殼變動，於 2018 年 2 月 23 日更新花蓮地區坐標系統為 e-GNSS[2017A]。
e-GNSS[2019]	2019 年 7 月 15 日~ 2021 年 4 月 30 日	
e-GNSS[2021]	2021 年 5 月 1 日~ 今日	

為配合內政部於 2012 年 3 月 30 日公布 TWD97[2010]坐標系統，使 e-GNSS 坐標系統仍以內政部公布 TWD97[2010]國家坐標系統為起算基準，並儘量達到 2 套坐標系統間之最大相關性，e-GNSS[2021]坐標系統係整合國內 433 個具有 TWD97[2010]坐標成果之基準站 2020 年 12 月 1 日至 2021 年 1 月 31 日之 62 天衛星觀測資料為基礎，採用 Bernese 軟體計算基線，依據內政部公告之 TWD97[2010]坐標框架定義，約制在國土測繪中心基準站（LSB0）三維空間坐標，解算各基準站 e-GNSS[2021]坐標，作為 2021 年至 2022 年 e-GNSS 臺灣本島坐標系統，簡稱 e-GNSS[2021]，坐標框架定義詳如表 2-2。至於澎湖、金門及馬祖地區則維持原 TWD97[1997]坐標框架，不予變更。

表 2-2 e-GNSS[2021]坐標框架定義

國際坐標基準框架		ITRF 94	
坐標定義起始時刻		2021 年 1 月 1 日 12:00:00	
固定站點名	X	Y	Z
測繪中心 (LSB0)	- 2967207.333m	5010439.297m	2593842.976m
速度量	Vel_N	Vel_E	Vel_h
LSB0	-0.0042 m/yr	0.0000 m/yr	- 0.0022 m/yr

二、TWD97 坐標系統

內政部於 1980 年公布檢測之控制點已陸續遺失、毀損情形嚴重，各單位因業務需要，零星補建，缺乏整體規劃，且精度不一。故為建立完整、統一、高精度之基本控制點系統，自 1993 年起應用高精度全球定位系統測量技術，迄 1997 年止共建立 8 個衛星追蹤站及 105 個一等衛星點及 622 個二等衛星點，以供各界應用。該系統定名為一九九七臺灣地區大地基準，簡稱 TWD97，由內政部以 87 年 3 月 17 日台 (87) 內地字第 8781107 號函訂定，採用之測量基準如下：

- (一) 採用國際地球參考框架 (International Terrestrial Reference Frame, ITRF)。ITRF 為利用全球測站網之觀測資料成果推算所得之地心坐標系統，其方位採國際時間局 (Bureau International de l'Heure, BIH) 定義在 1984.0 時刻之方位。
- (二) 參考橢球體採用 1980 年國際大地測量學與地球物理學會 (International Union of Geodesy and geophysics, IUGG) 公布之 GRS80 參考橢球體，其橢球參數如下：
 - 長半徑： $a = 6378137$ 公尺
 - 扁率： $f = 1/298.257222101$
- (三) 採用橫梅氏投影經差二度分帶，其中中央子午線為東經 121 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999；另澎湖、金門及馬祖等地區之投影方式，亦採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中中央子午線定於東經 119 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。

(四) 地籍坐標系統及 TWD67 坐標系統因早期測量技術及點位遺失率高等因素影響，於進行後續加密控制測量時，常發現較大之網形張力，影響成果精度。且 1999 年九二一大地震後，中部地區三角點多已位移，無法再提供應用，內政部遂以 90 年 5 月 2 日台內地字第 9060856 號令發布關於地籍測量實施規則第 4 條之測量基準，採用 TWD97 系統。

三、TWD97[2010]坐標系統

自內政部 1998 年公布衛星追蹤站及各級控制點 TWD97 坐標已歷經 10 餘年，有鑑於臺灣地區位於地殼板塊碰撞劇烈地帶，部分地區點位已產生明顯位移，致套合引用有實務上困難，無法符合目前測繪作業之精度需求，故針對大地基準及坐標系統是否變動或更新等議題，由內政部於 2009 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」會議討論，確認點位成果及基準框架繼續採用一九九七坐標系統 (TWD97)，並於 101 年 3 月 30 日台內地字第 1010137288 號公告大地基準及一九九七坐標系統 2010 年成果 (簡稱 TWD97[2010])。其測量基準定義均與 TWD97 相同，惟套合至國際固定站之 2010.0 時刻成果。

四、TWD97[2020]坐標系統

考量 2012 年公告之衛星追蹤站及各級控制點 TWD97[2010]坐標成果已逾數年，其間因地殼板塊移動產生地殼變動、地震及天然災害等影響，長時間累積下，部分地區點位已產生明顯之位移，已無法符合測繪作業之精度需求，故內政部以 109 年 8 月 10 日台內地字第 1090263608 號公告內政部基本測量 2020 年成果 (簡稱 TWD97[2020])。其測量基準定義均與 TWD97 相同，惟國際地球參考框架改採 ITRF2014，套合至國際固定站之 2020.0 時刻成果。

五、TWVD2001 高程系統

臺灣的高程系統採用正高系統，臺灣高程基準係定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境情況下，並採用基隆驗潮站 1957 年至 1991 年之潮汐資料化算而得，並命名為 2001 臺灣高程基準 (Taiwan Vertical Datum 2001，簡稱 TWVD 2001)。內政部為配合各界需求，整合平面及高程控制

系統，提供現代化三度空間控制資訊，便利各界使用，自 1999 年度起至 2002 年度止，分 4 年在臺灣本島施測 2,065 個一等水準點，並分別於 2002 年 5 月 8 日及 2003 年 11 月 11 日公告一等一級與一等二級水準測量成果，提供一等水準點正高成果供各界應用。

因臺灣本島位於地殼板塊碰撞劇烈地帶，且西南沿海地層下陷影響高程系統甚鉅，為維護測量成果之正確性，內政部於 2009 年 3 月 10 日公告第 1 檢測成果，2016 年 4 月 12 日公告第 2 次一等水準點檢測成果供各界應用。

第三節 三維坐標轉換

因 e-GNSS 系統採用 VBS-RTK 定位技術，提供使用者即時且高精度之定位服務，測量成果坐標系統為 e-GNSS 坐標，與法定坐標系統不同。為提供使用者更便利之服務，讓使用者可簡單快速地將 VBS-RTK 測量成果即時轉換至法定坐標系統，節省連測已知控制點與計算坐標轉換與最小二乘配置的繁複程序，降低測量工作技術門檻，e-GNSS 系統自 2014 年起提供三維坐標轉換服務，轉換方式包括即時轉換與後處理轉換。

一、即時轉換：透過國際海運系統無線電技術委員會(RTCM)制定的差分 GNSS 標準格式 RTCM 3.1 Type 1021 及 Type 1023 之資料格式，分別將坐標轉換七參數，殘差網格修正模型與網格內插計算方法傳送給使用者，讓使用者在外業測量現場可即時將 e-GNSS 系統測量成果轉換至法定坐標系統（圖 2-4）。有關即時轉換相關技術說明，可參閱莊峰輔等 5 人（2014）於內政部國土測繪中心 103 年自行研究報告「三維即時坐標轉換輔助 VBS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究」第二章第四節即時坐標轉換。

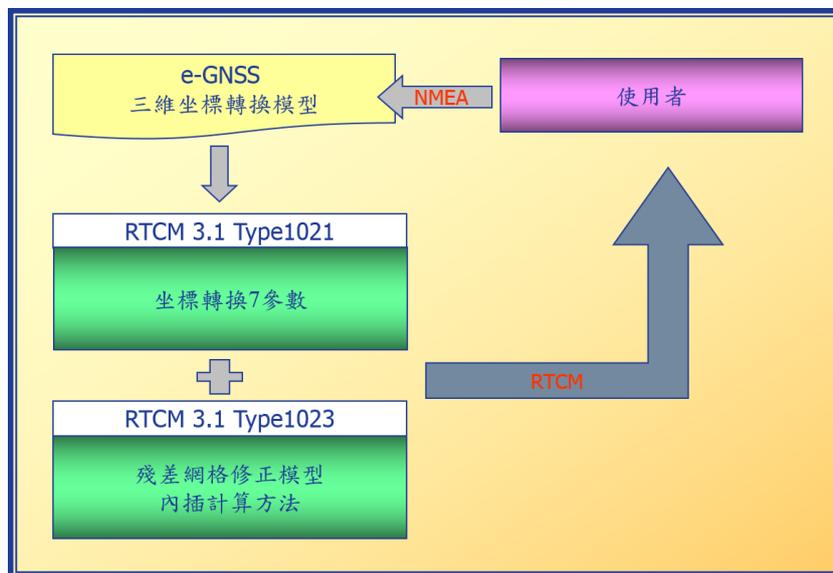


圖 2-4 即時轉換原理示意圖

二、後處理轉換：考量部分測量設備不支援 RTCM3.1 功能，或使用者有轉換到多個坐標系統之需求，e-GNSS 系統提供三維坐標轉換服務網頁（圖 2-5，<https://egnss.nlsc.gov.tw/trans/threeD.aspx>），讓使用者可於外業測量後，依需求自行選擇轉換模型。

e-GNSS 系統提供之三維坐標轉換服務，除可轉換至法定坐標系統外，亦提供歷年 e-GNSS 坐標系統間之轉換，避免因 e-GNSS 系統更新坐標，造成使用者測量成果前後不一致之情事。目前提供之轉換服務如表 2-3，使用者可依需求自行選擇適用之轉換模型，轉換精度平面優於 5 公分，高程優於 10 公分。

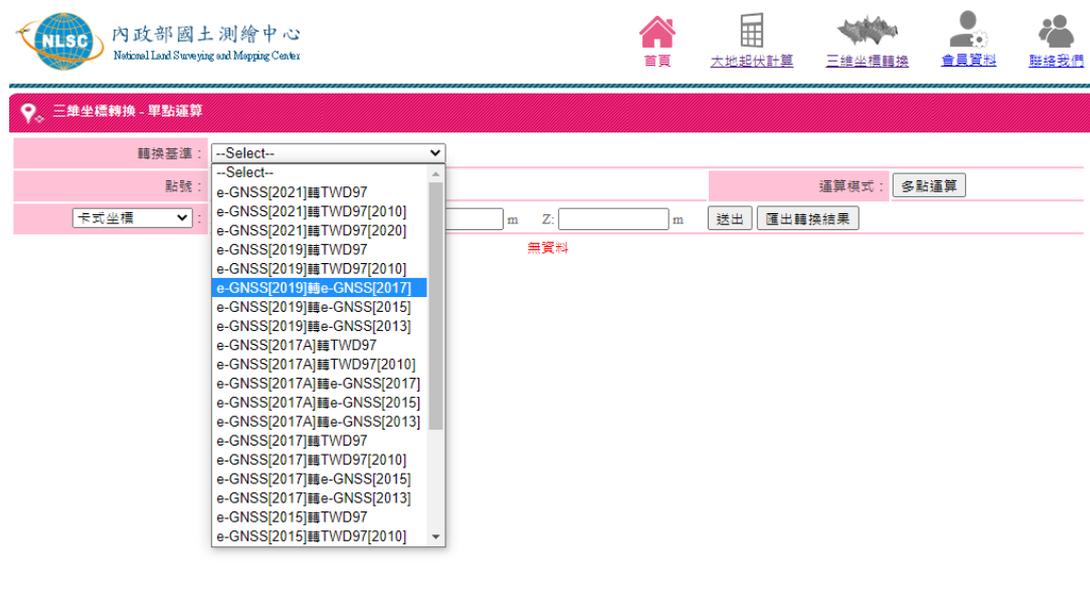


圖 2-5 e-GNSS 系統三維坐標轉換服務網頁

表 2-3 e-GNSS 系統坐標轉換服務統計表

測量坐標系統	轉換坐標系統				
	TWD97	TWD97[2010]	e-GNSS[2013]	e-GNSS[2015]	e-GNSS[2017]
e-GNSS[2013]	TWD97	TWD97[2010]			
e-GNSS[2015]	TWD97	TWD97[2010]	e-GNSS[2013]		
e-GNSS[2017]	TWD97	TWD97[2010]	e-GNSS[2013]	e-GNSS[2015]	
e-GNSS[2017A]	TWD97	TWD97[2010]	e-GNSS[2013]	e-GNSS[2015]	e-GNSS[2017]
e-GNSS[2019]	TWD97	TWD97[2010]	e-GNSS[2013]	e-GNSS[2015]	e-GNSS[2017]
e-GNSS[2021]	TWD97	TWD97[2010]	TWD97[2020]	e-GNSS[2013]	e-GNSS[2015]
	e-GNSS[2017]	e-GNSS[2019]			

第三章 模型建置與精度分析

第一節 三維坐標轉換模型建置方法

e-GNSS 系統為確保使用者 VBS-RTK 定位成果精度品質，須定期更新基準站坐標，故就計算建置轉換模型來說，如果能利用基準站均勻分布且連續觀測之特性，以臺灣本島之基準站作為共同點，依其 e-GNSS 坐標與 TWD97 / TWD97[2010]坐標計算建置轉換模型，將可節省於已知控制點測量 e-GNSS 坐標的外業人力、時間與成本。惟 TWD97 坐標系統於 1998 年公告使用，當時臺灣本島基準站數量有限，不足供計算建置轉換模型，故建置 e-GNSS[2013]→TWD97 模型時是使用 1,060 點基本控制點作為共同點；建置 e-GNSS[2013]→TWD97[2010]模型時是使用 210 個基準站作為共同點。

e-GNSS 系統三維坐標轉換自 2014 年起提供服務，一開始 e-GNSS[2013]→TWD97 / TWD97[2010] 模型係利用共同點 e-GNSS[2013] 及 TWD97 / TWD97[2010]坐標，以 Helmert 嚴密法七參數求得 RTCM 3.1 type 1021 之資訊，再將共同點經七參數轉換後之坐標與 TWD97 / TWD97[2010]坐標之殘差，以克利金法 (Kriging) 組成 30 秒×30 秒之網格，作為 RTCM 3.1 type 1023 之資訊，後續再結合橢球高殘差網格及臺灣地區大地起伏模型，建立 TWVD2001 正高轉換模型，模型建置流程如圖 3-1。

考量建置轉換模型之共同點坐標精度與獲得坐標成果所需人力與費用，後續 e-GNSS[2015]、e-GNSS[2017] 及 e-GNSS[2019]等坐標系統轉換至 TWD97 之轉換模型，是採用二次轉換之方式，利用基準站作為共同點，建置 e-GNSS[2015]→e-GNSS[2013]、e-GNSS[2017]→e-GNSS[2013]及 e-GNSS[2019]→e-GNSS[2013]轉換模型，再結合 e-GNSS[2013]→TWD97 轉換模型，組成 e-GNSS[2015]→TWD97、e-GNSS[2017]→TWD97 及 e-GNSS[2019]→TWD97 轉換模型，並經外業測量驗證轉換精度符合需求後，提供使用者應用，以節省共同點測量時間與成本。

e-GNSS[2015]、e-GNSS[2017] 及 e-GNSS[2019] 等坐標系統轉換至 TWD97[2010]之轉換模型，則維持使用基準站作為共同點，直接建置 e-GNSS[2015]→TWD97[2010]、e-GNSS[2017]→TWD97[2010]及 e-GNSS[2019]

→ TWD97[2010]轉換模型。

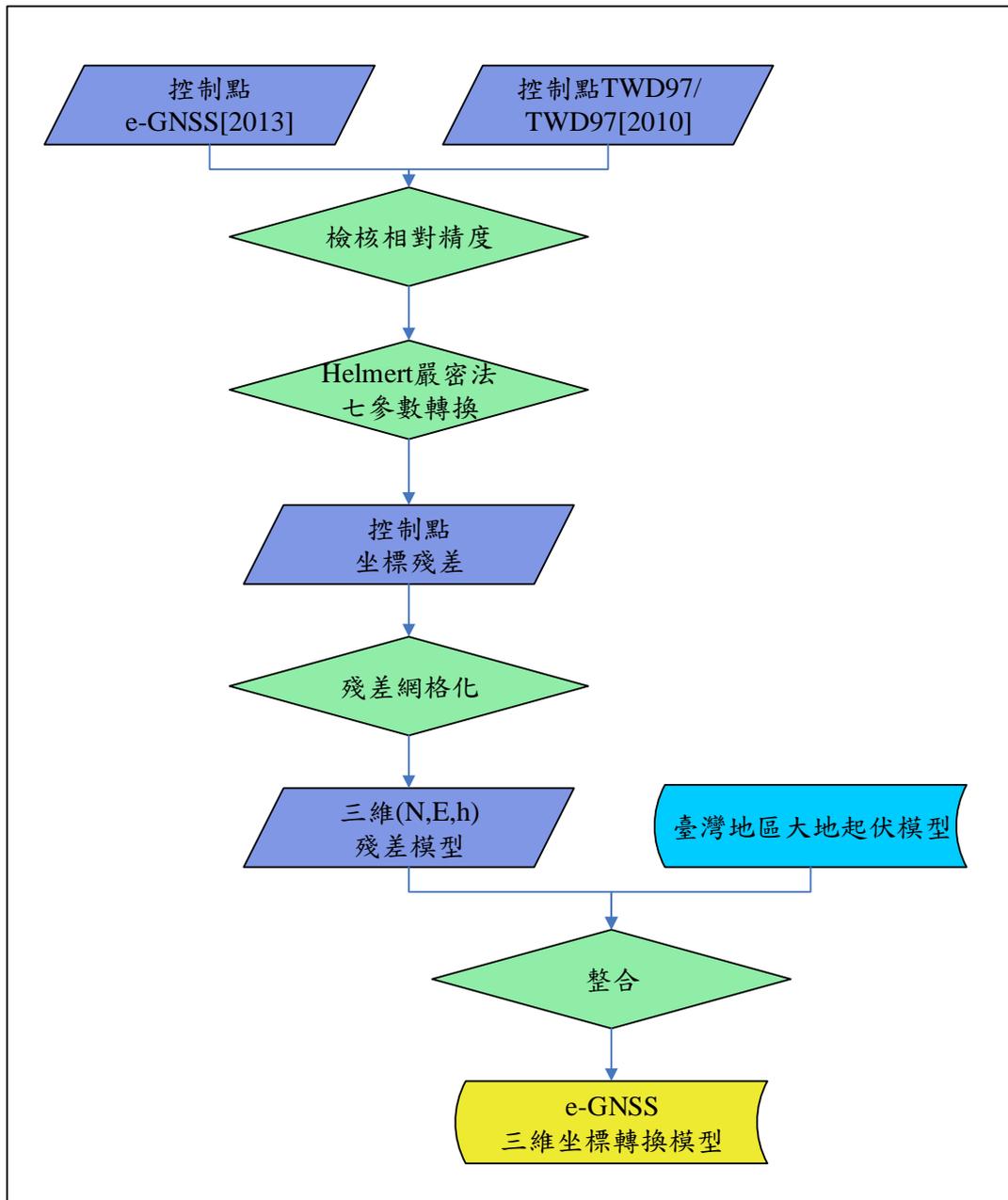


圖 3-1 e-GNSS[2013]轉換模型建置流程

考量歷年轉換模型係使用基準站作為共同點，在共同點分布較稀疏之地區，轉換模型可能無法完全反應板塊與地殼變動之影響量，造成轉換結果有些微系統誤差存在。本研究於 e-GNSS 系統更新 e-GNSS[2021]坐標時，一併辦理 735 點基本控制點 6 小時靜態測量工作，並特別加密斷層帶兩側、基準站分布較稀疏及使用者反應回饋轉換模型含系統誤差之臺南市楠西區等地區之基本控制點，測量成果將其最小約制於測繪中心 (LSB0) 基準站 TWD97[2010]坐標，

以計算基本控制點 e-GNSS[2021]坐標。

本研究參考歷年轉換模型建置方式，分別以基準站及基準站加上基本控制點作為共同點，建置 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]轉換模型，其中再結合 e-GNSS[2013] → TWD97 轉換模型，組成 e-GNSS[2021]→TWD97 轉換模型，模型建置流程如圖 3-2。TWD97[2010]轉換模型則直接使用基準站及基準站加上基本控制點作為共同點，建置 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]轉換模型，模型建置流程如圖 3-3。

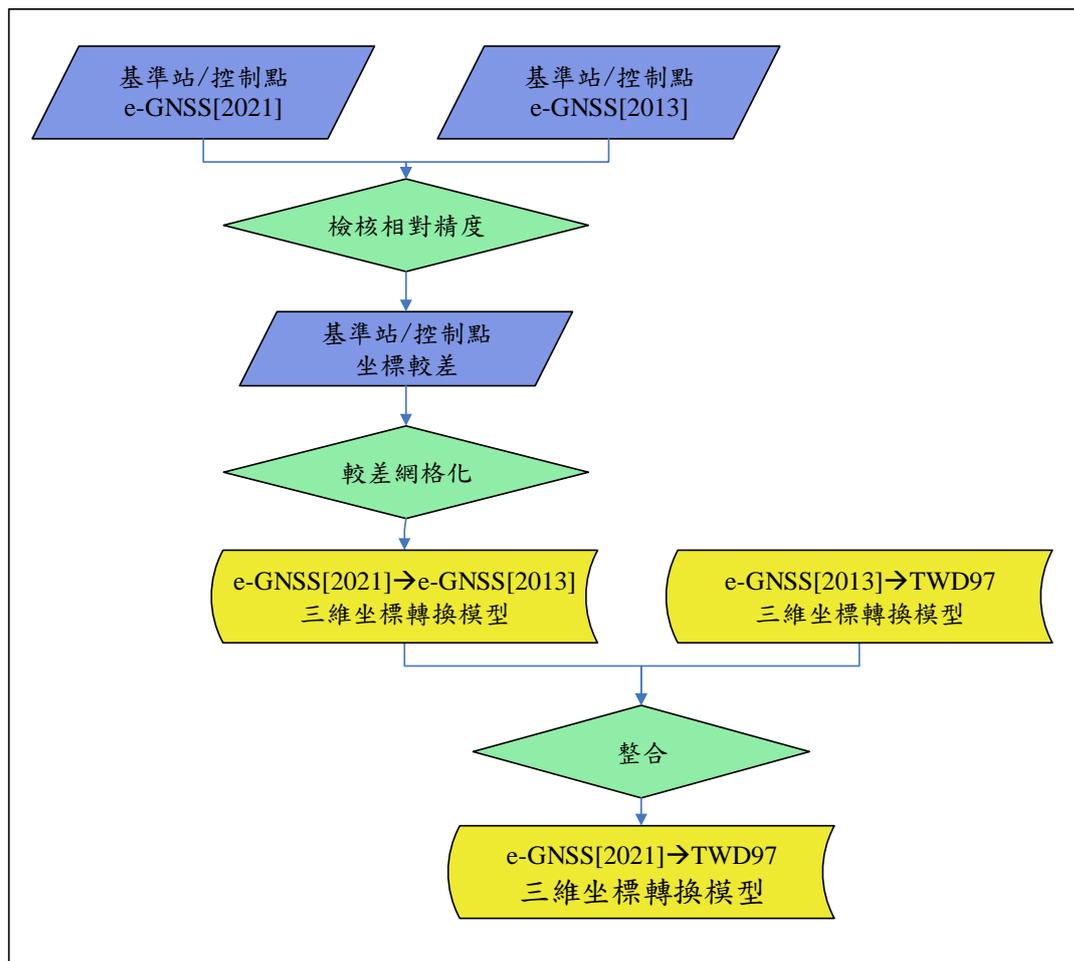


圖 3-2 e-GNSS[2021]→TWD97 二次轉換模型建置流程

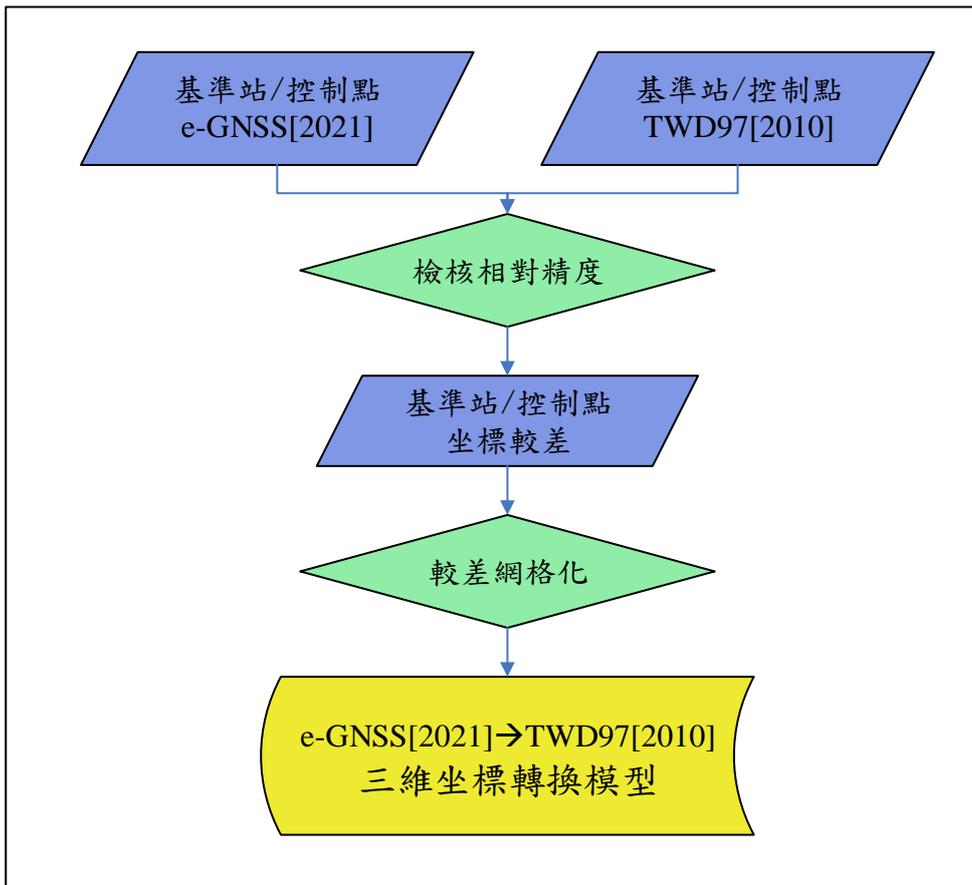


圖 3-3 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]二次轉換模型建置流程

第二節 建置三維坐標轉換模型

一、e-GNSS[2021]→TWD97

e-GNSS 系統核心軟體坐標轉換模組僅支援設定 1 組七參數及 1 組殘差網格修正模型，在 2015 年 e-GNSS 系統更新為 e-GNSS[2015]坐標時，考量系統設定限制並節省共同點測量人力與費用，當時研究不透過七參數轉換，僅將共同點較差以克利金法 (Kriging) 建置較差網格修正模型，其轉換結果與共同點透過七參數轉換後，再將其殘差建置殘差網格修正模型之轉換結果相同。故 2015 年建置 e-GNSS[2015]→TWD97 轉換模型時，e-GNSS 系統採用二次轉換之方式，利用基準站建置 e-GNSS[2015]→e-GNSS[2013]轉換模型後，再結合原有 e-GNSS[2013]→TWD97 轉換模型，將 2 個較差網格修正模型疊加，組成 e-GNSS[2015]→TWD97 轉換模型，七參數則設定為不轉換之參數，即尺度比為 1，旋轉及平移參數均為 0。

後續 e-GNSS 系統更新為 e-GNSS[2017]及 e-GNSS[2019]坐標時，亦使用上述二次轉換之方式，建置 e-GNSS[2017]→TWD97 及 e-GNSS[2019]→TWD97 轉換模型。

本研究延續歷年作法，分別利用同時具有 e-GNSS[2021]及 e-GNSS[2013]坐標之 274 個基準站與 274 個基準站加上 382 個基本控制點作為共同點，建置 2 套轉換模型，以分析增加共同點對轉換精度之影響，模型建置流程說明如下：

- (一) 以 Bernese 軟體計算國內各機關基準站 2020 年 12 月 1 日至 2021 年 1 月 31 日資料，最小約制於測繪中心 (LSB0) 基準站，獲得基準站 e-GNSS[2021]坐標。
- (二) 配合 e-GNSS 坐標更新時程，於 2020 年 11 月至 2021 年 2 月辦理臺灣本島 735 個基本控制點 6 小時靜態測量，各觀測時段點位無重複觀測，以 MAGNET Tools 軟體解算各時段與外圍基準站基線後，將基線成果最小約制於測繪中心 (LSB0) 基準站，獲得基本控制點 e-GNSS[2021]坐標
- (三) 利用基準站／基本控制點 e-GNSS[2021]與 e-GNSS[2013]坐標，檢核其相對關係，計有 274 個基準站及 382 個基本控制點可作為轉換

模型共同點，點位分布情形如圖 3-4。

- (四) 分別以 274 個基準站與 274 個基準站加上 382 個基本控制點 e-GNSS[2021]與 e-GNSS[2013]坐標較差，透過克利金法建置 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]三維坐標轉換模型，兩模型差異如圖 3-5，大部分地區差異在 5 公分以內，表示以基準站建置模型已可充分反應地表變形；惟在花蓮地區超過 20 公分，主要是因為該地區在 2018 年 2 月 6 日發生大地震，該地區基準站之較差最大僅約 50 公分，但其鄰近之基本控制點最大較差達 80 公分左右，故造成該地區兩模型差異較大。
- (五) 整合 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]與 e-GNSS[2013]→TWD97 三維坐標轉換模型，獲得 e-GNSS[2021]→TWD97 轉換模型。

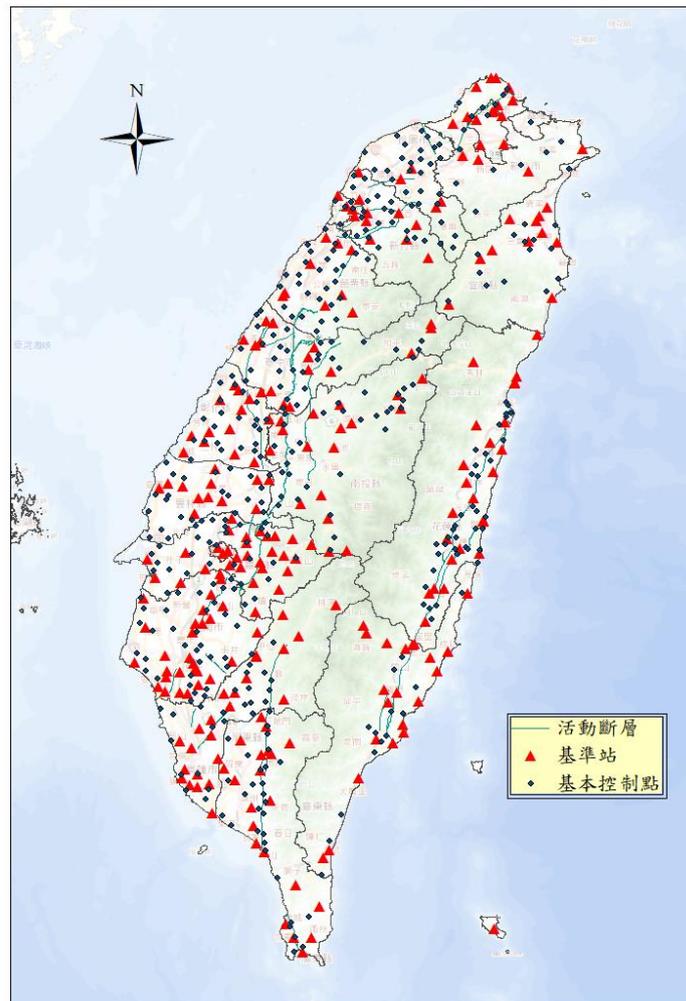


圖 3-4 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]共同點分布圖

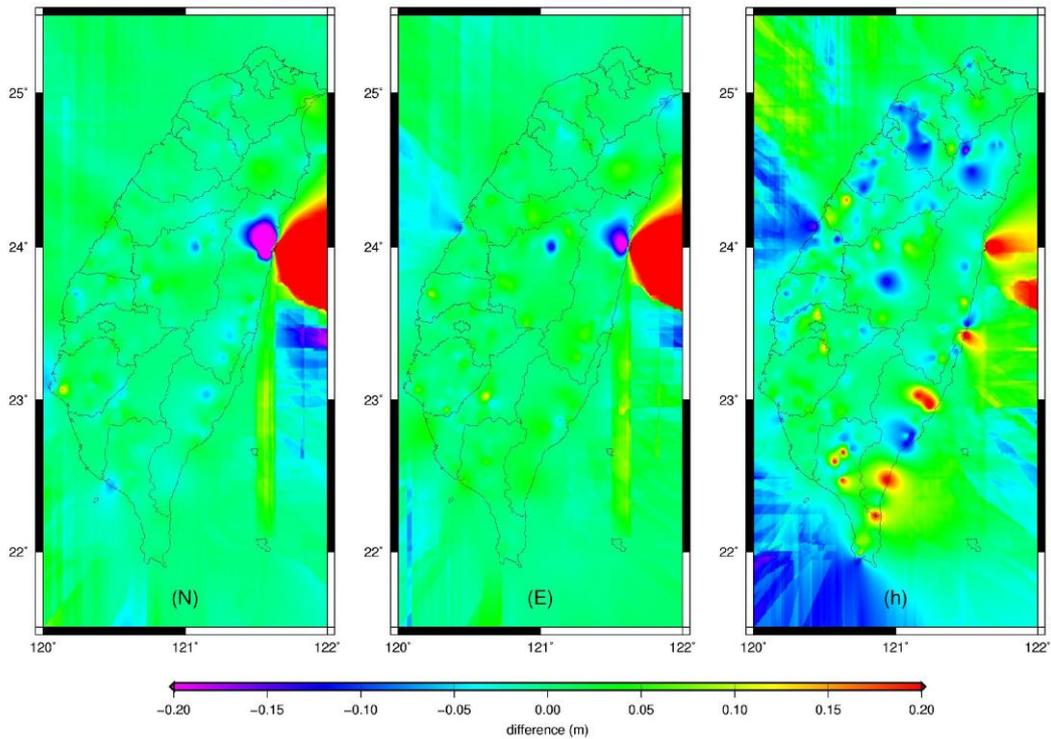


圖 3-5 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]三維坐標轉換模型較差圖

二、e-GNSS[2021]→TWD97[2010]

e-GNSS 系統歷年均係直接以基準站為共同點，利用其 e-GNSS 坐標與 TWD97[2010]建置轉換模型。本研究為分析增加共同點對轉換精度之影響，分別利用同時具有 e-GNSS[2021]及 TWD97[2010]坐標之 176 個基準站與 176 個基準站加上 737 個基本控制點作為共同點，建置 2 套轉換模型，模型建置流程說明如下：

- (一) 以 Bernese 軟體計算國內各機關基準站 2020 年 12 月 1 日至 2021 年 1 月 31 日資料，最小約制於測繪中心 (LSB0) 基準站，獲得基準站 e-GNSS[2021]坐標。
- (二) 配合 e-GNSS 坐標更新時程，於 2020 年 11 月至 2021 年 2 月辦理臺灣本島 735 個基本控制點 6 小時靜態測量，各觀測時段點位無重複觀測，以 MAGNET Tools 軟體解算各時段與外圍基準站基線後，將基線成果最小約制於測繪中心 (LSB0) 基準站，獲得基本控制點 e-GNSS[2021]坐標

- (三) 利用基準站／基本控制點 e-GNSS[2021]與 TWD97[2010]坐標，檢核其相對關係，計有 176 個基準站及 737 個基本控制點可作為轉換模型共同點，點位分布情形如圖 3-6。
- (四) 分別以 176 個基準站與 176 個基準站加上 737 個基本控制點 e-GNSS[2021]與 TWD97[2010]坐標較差，透過克利金法建置 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]三維坐標轉換模型，兩模型差異如圖 3-7，西北部地區差異在 5 公分以內，表示以基準站建置模型已可充分反應地表變形；花蓮地區與 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]模型有相同情形；另外在東南部部分地區差異超過 5 公分，研判應係 TWD97[2010]坐標公告至今已 10 餘年，東南部地區板塊運動較劇烈，僅使用基準站無法完全反應地表變形所致。

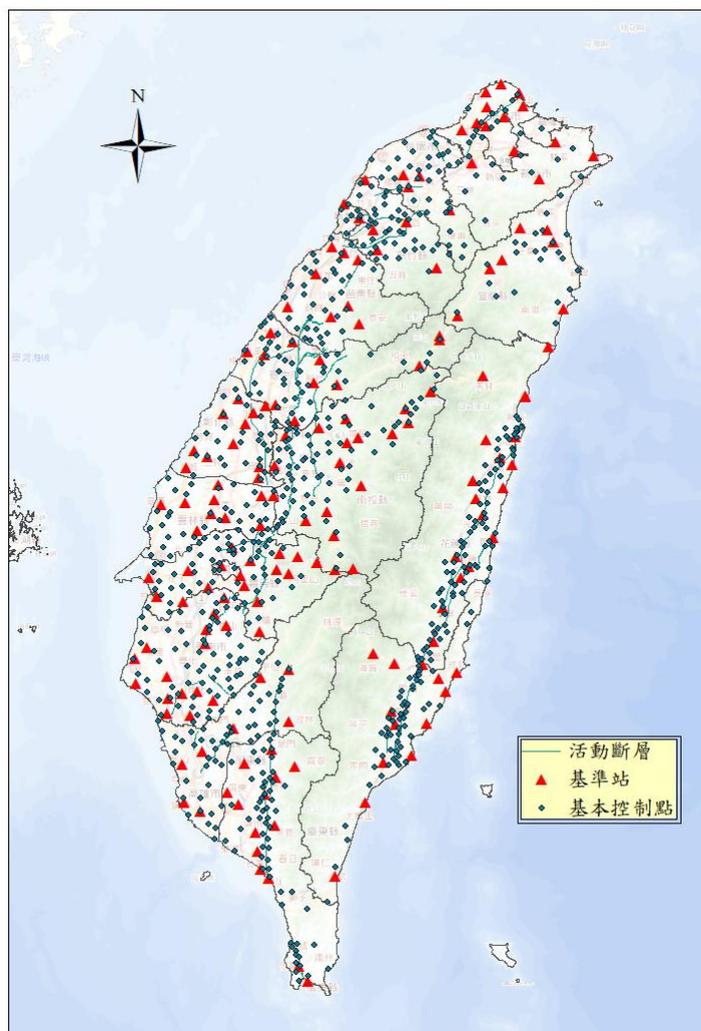


圖 3-6 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]共同點分布圖

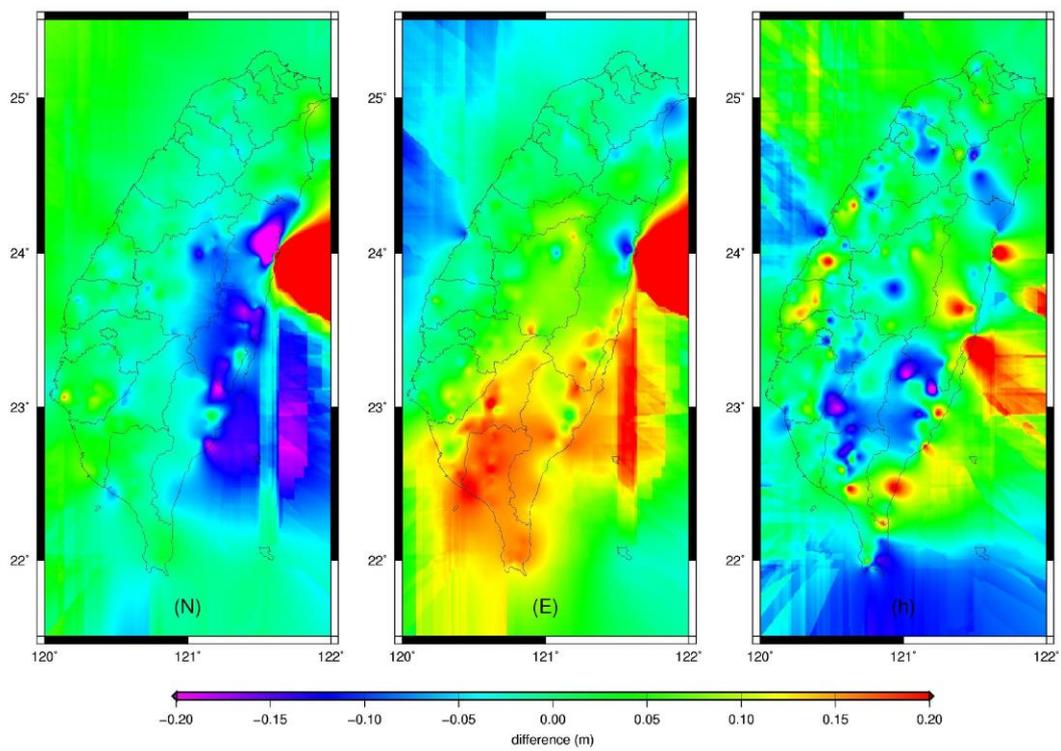


圖 3-7 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]三維坐標轉換模型較差圖

第三節 模型精度驗證分析

為驗證各轉換模型精度，本研究於 110 年 3 月至 4 月辦理臺灣本島均勻分布之 600 點基本控制點 e-GNSS 測量工作，點位分布情形如圖 3-8。外業時每個點位辦理 2 次 5 分鐘觀測，再將每次觀測獲得 100 筆以上固定解之成果取平均，以獲得 2 次觀測成果點位之平均值與公告 TWD97 及 TWD97[2010]坐標比較，作為驗證不同轉換模型精度之依據，驗證結果如下：

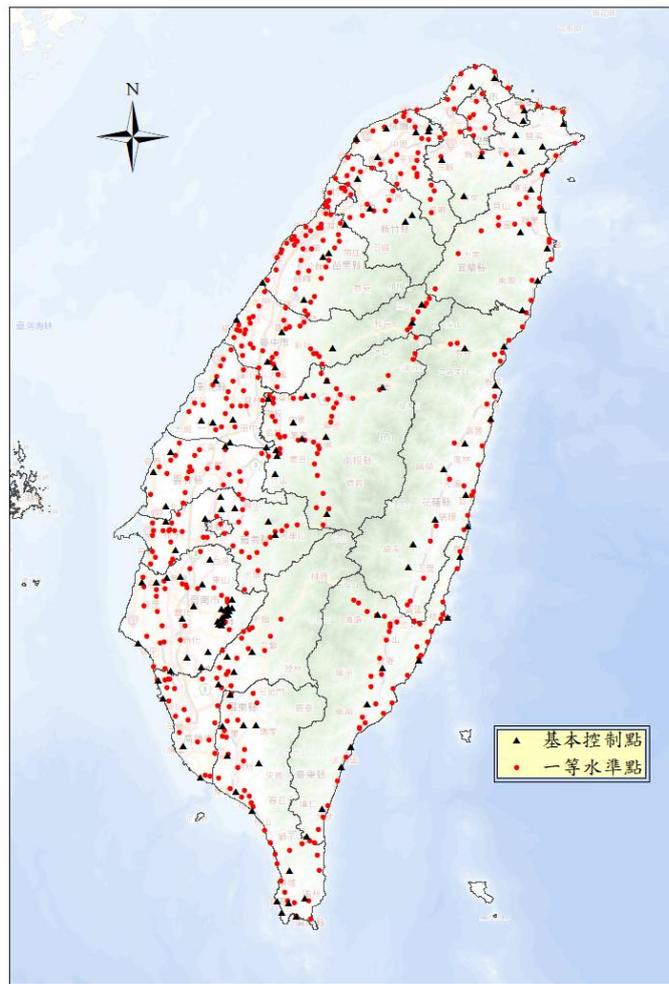
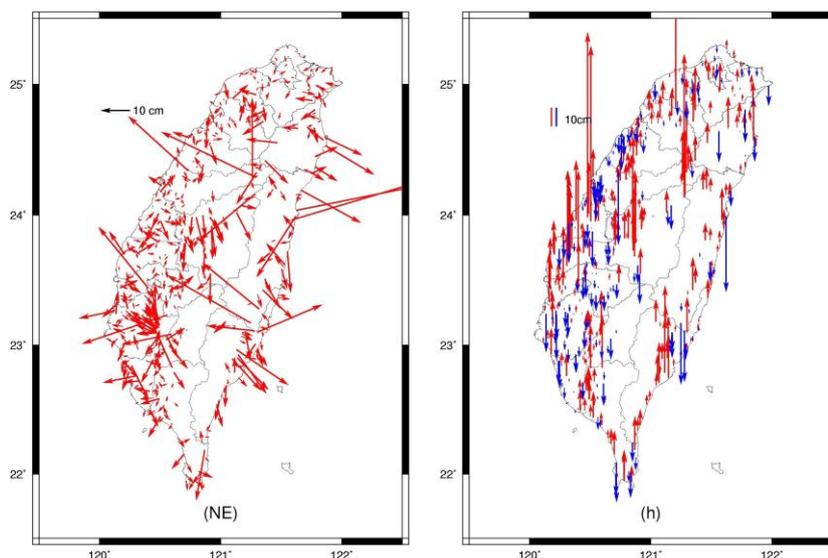


圖 3-8 模型精度驗證點位分布圖

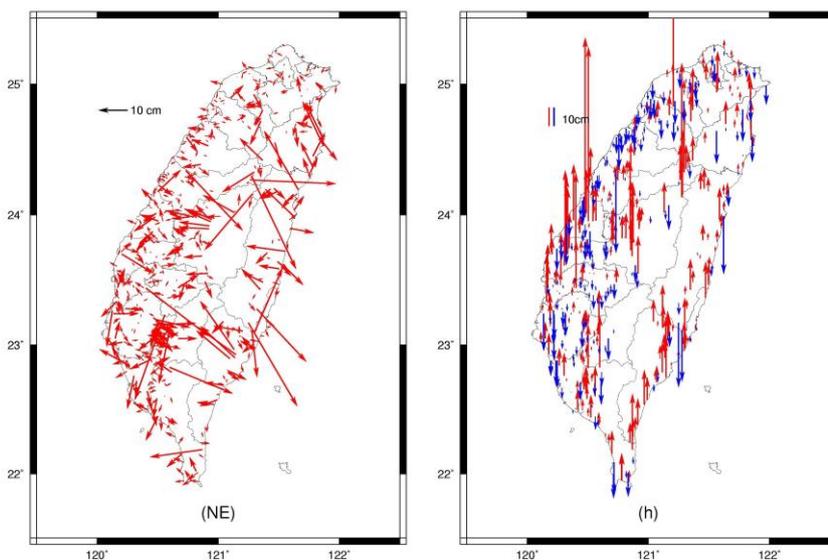
一、e-GNSS[2021]→TWD97

600 個觀測點位中，計有 536 個點位獲得 2 次觀測成果且具 TWD97 公告坐標，其坐標較差統計情形如表 3-1，各點較差量級及方向如圖 3-9。只使用基準站建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 6.3 公分，E 方向為 5.3 公分，h 方向為 11.5 公分；使用基準站加上基本控制點建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 5.3 公分，E 方向為 5.1 公分，h 方

向為 11.2 公分，使用基準站加上基本控制點之成果略優於只使用基準站之成果，在 N 方向上精度提升 1 公分，E 及 h 方向則無明顯差異。



只使用基準站建置之模型



使用基準站及基本控制點之模型

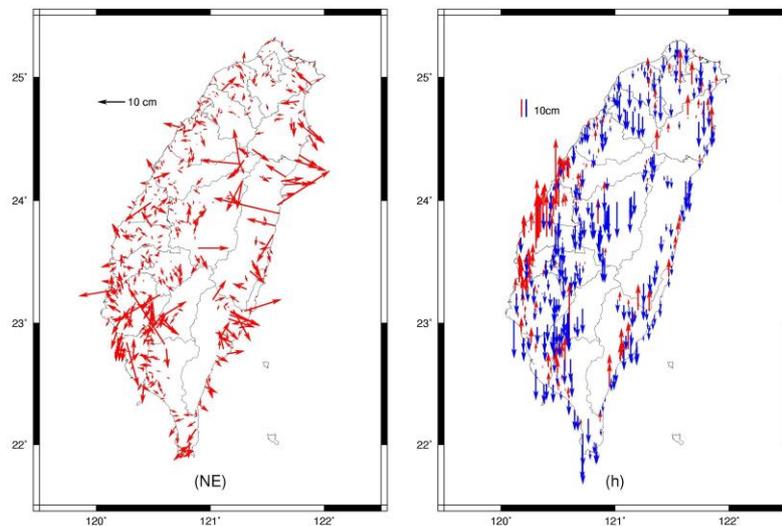
圖 3-9 兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97 坐標較差圖

表 3-1 兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97 坐標較差統計表(單位：m)

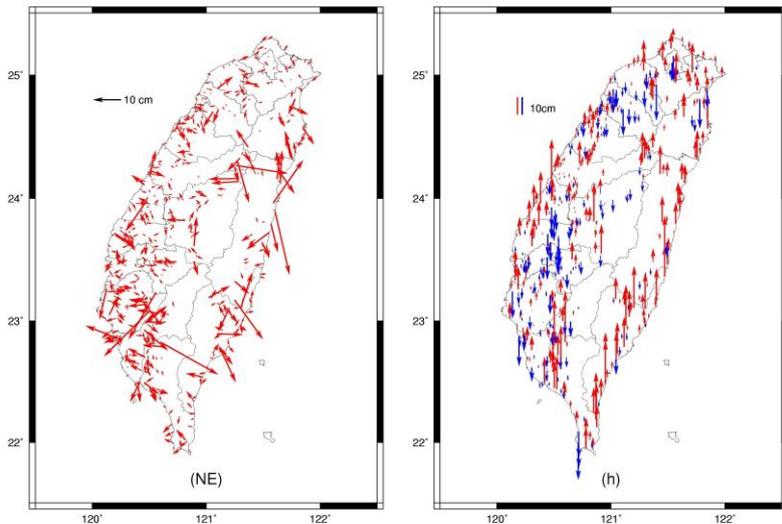
共同點	基準站			基準站加上基本控制點		
	N	E	h	N	E	h
最大值	0.566	0.341	0.923	0.269	0.354	0.896
最小值	-0.382	-0.254	-0.377	-0.387	-0.215	-0.410
中誤差	0.063	0.053	0.115	0.053	0.051	0.112
平均值	-0.004	-0.011	0.029	-0.006	-0.005	0.025

二、e-GNSS[2021]→TWD97[2010]

600 個觀測點位中，計有 531 個點位獲得 2 次觀測成果且具 TWD97[2010] 公告坐標，其坐標較差統計情形如表 3-2，各點較差量級及方向如圖 3-10。只使用基準站建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 3.9 公分，E 方向為 3.7 公分，h 方向為 6.6 公分；使用基準站加上基本控制點建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 3.9 公分，E 方向為 3.5 公分，h 方向為 7.0 公分，只使用基準站之成果與使用基準站加上基本控制點之成果無明顯差異。



只使用基準站建置之模型



使用基準站及基本控制點之模型

圖 3-10 兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]坐標較差圖

表 3-2 兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]坐標較差統計表(單位：m)

共同點	基準站			基準站加上基本控制點		
	N	E	h	N	E	h
分量						
最大值	0.230	0.245	0.351	0.188	0.250	0.322
最小值	-0.286	-0.193	-0.198	-0.278	-0.194	-0.193
中誤差	0.039	0.037	0.066	0.039	0.035	0.070
平均值	-0.004	-0.011	0.029	-0.006	-0.005	0.025

三、臺南市楠西區小範圍驗證分析

考量使用者反應 e-GNSS 系統三維坐標轉換服務在臺南市楠西區附近，轉換至 TWD97 坐標系統之成果與公告坐標存在系統性偏移量（國立臺北大學公共事務學院土地與環境規劃研究中心，2019），本研究在辦理 735 點基本控制點 6 小時靜態測量工作時，即增加其附近之控制點數量，以研究增加特定區域建置模型之共同點密度對轉換結果之影響。

臺南市楠西區附近之驗證點位計有 18 點，其坐標較差統計情形如表 3-3，各點較差量級及方向如圖 3-11。只使用基準站建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 2.9 公分，E 方向為 5.0 公分，h 方向為 4.1 公分，平均值在 N 方向為 5.2 公分，E 方向為-5.1 公分，h 方向為-1.9 公分；使用基準站加上基本控制點建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 2.4 公分，E 方向為 5.3 公分，h 方向為 4.0 公分，平均值在 N 方向為 4.7 公分，E 方向為-5.2 公分，h 方向為-1.9 公分，使用基準站加上基本控制點之成果並未明顯提升轉換精度。因 e-GNSS[2021]→TWD97 模型是由 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013]與 e-GNSS[2013]→TWD97 整合建置，在增加 e-GNSS[2021]→ e-GNSS[2013]轉換共同點數量與密度後，仍未解決臺南市楠西區轉換系統誤差，故推測轉換系統誤差應係 e-GNSS[2013]→TWD97 模型所致。

表 3-3 臺南市楠西區附近坐標較差統計表(單位：m)

共同點	基準站			基準站加上基本控制點		
	N	E	h	N	E	h
分量						
最大值	0.106	0.018	0.081	0.096	0.017	0.078
最小值	0.001	-0.171	-0.086	-0.006	-0.177	-0.085
中誤差	0.029	0.050	0.041	0.024	0.053	0.040
平均值	0.052	-0.051	-0.019	0.047	-0.052	-0.019

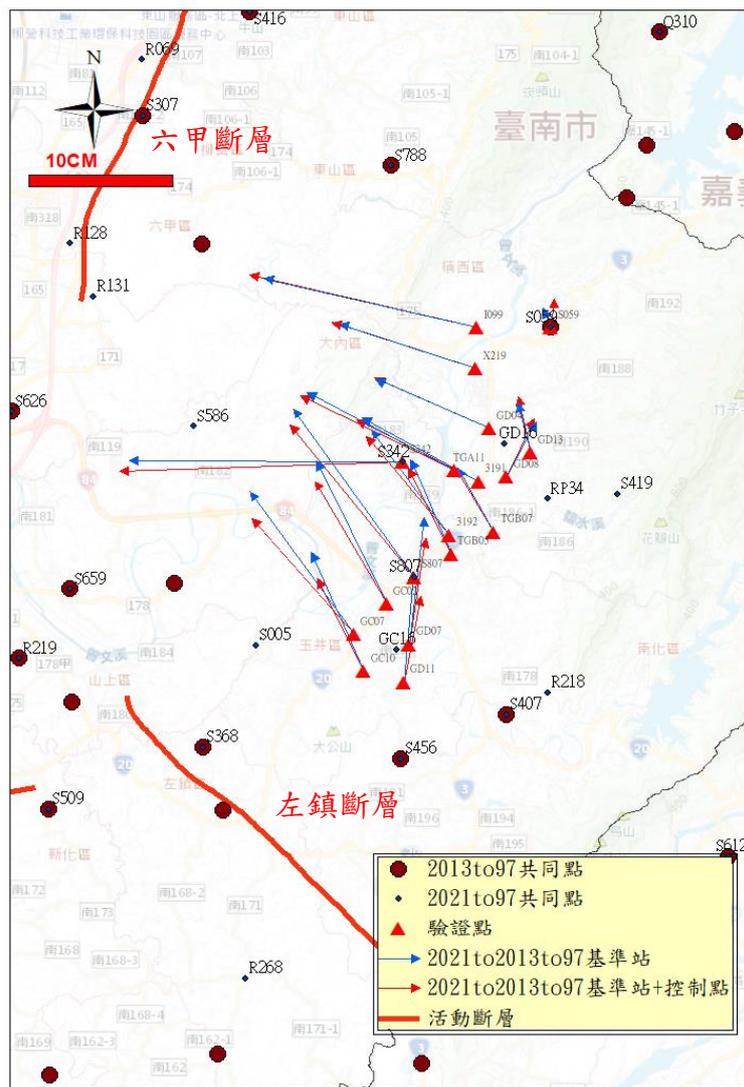


圖 3-11 臺南市楠西區兩模型 e-GNSS[2021]→TWD97 坐標較差圖

為驗證上述推測是否正確，另透過同時具 e-GNSS[2013]與 TWD97 之共同點，以相同方法直接建置 e-GNSS[2021]→TWD97 模型，並將其轉換結果與原本二次轉換結果比較如表 3-4，各點較差量級及方向如圖 3-12。二次轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 2.4 公分，E 方向為 5.3 公分，h 方向為 4.0 公分，平均值在 N 方向為 4.7 公分，E 方向為-5.2 公分，h 方向為-1.9 公分；直接轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 1.3 公分，E 方向為 4.8 公分，h 方向為 3.8 公分，平均值在 N 方向為-1.0 公分，E 方向為-0.1 公分，h 方向為-0.1 公分，直接轉換結果解決了臺南市楠西區有轉換系統誤差的問題，並略微提升轉換精度，惟在 E 方向中誤差偏大，達 4.8 公分。

更進一步就各驗證點較差方向及量級來看，直接轉換結果在外圍的驗證點

較差方向明顯與內部的驗證點不同，且量級也較大，故分析臺南市楠西區附近共同點 e-GNSS[2021]與 TWD97 坐標較差如圖 3-13，可以發現楠西區與相鄰東山區、六甲區及大內區兩側的共同點較差方向明顯相反，可能與其附近活動斷層有關，故外圍驗證點受到左右兩側共同點之影響，造成其較差方向及量級與內部點位不同。

表 3-4 臺南市楠西區二次與直接轉換坐標較差統計表(單位：m)

共同點	二次轉換			直接轉換		
	N	E	h	N	E	h
最大值	0.096	0.017	0.078	0.033	0.070	0.063
最小值	-0.006	-0.177	-0.085	-0.010	-0.104	-0.066
中誤差	0.024	0.053	0.040	0.013	0.048	0.038
平均值	0.047	-0.052	-0.019	-0.010	-0.001	-0.001

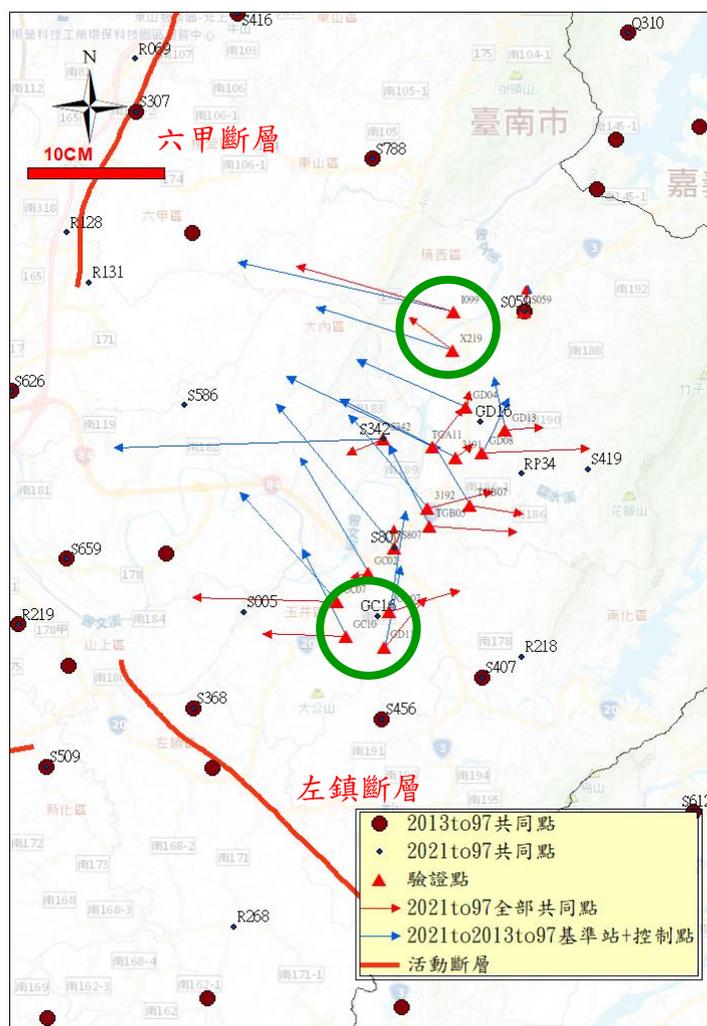


圖 3-12 臺南市楠西區二次與直接轉換坐標較差圖

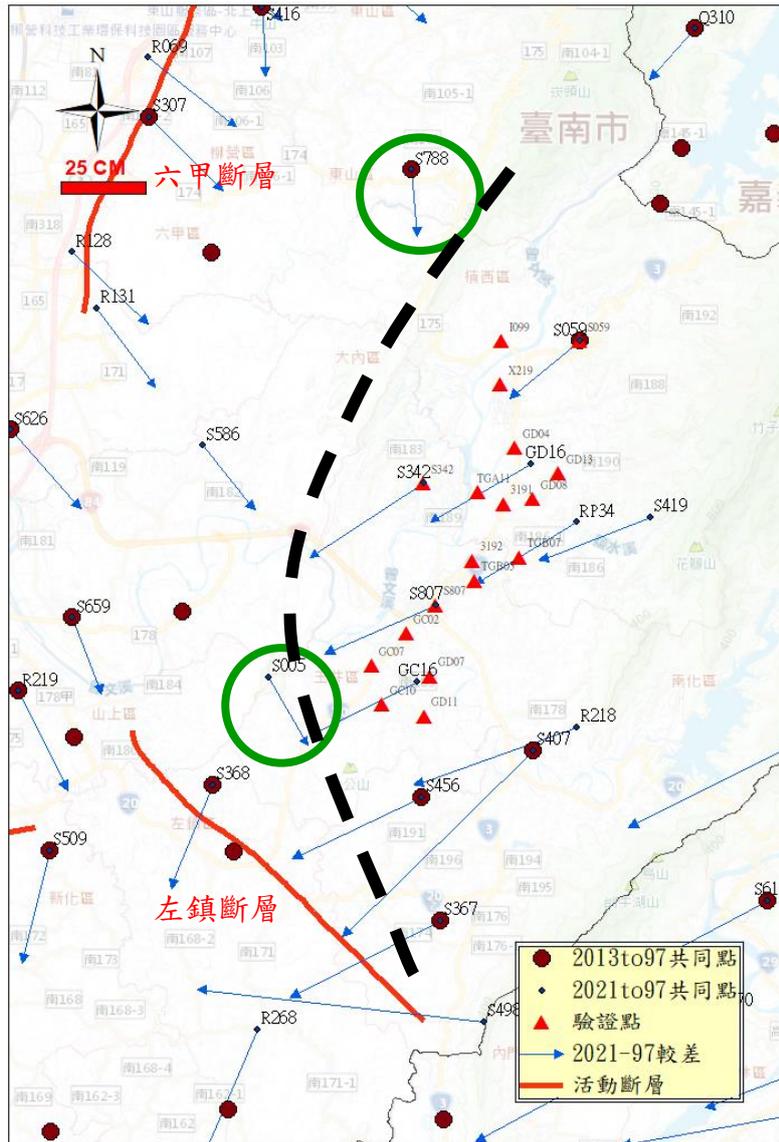


圖 3-13 臺南市楠西區共同點 e-GNSS[2021]與 TWD97 坐標較差圖

為分析活動斷層對其附近驗證點轉換精度之影響，僅挑選圖 3-13 黑色虛線右邊較差同向之共同點建置小範圍轉換模型，並將其轉換結果與直接轉換結果比較如表 3-5，各點較差量級及方向如圖 3-14。直接轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 1.3 公分，E 方向為 4.8 公分，h 方向為 3.8 公分，平均值在 N 方向為 -1.0 公分，E 方向為 -0.1 公分，h 方向為 -0.1 公分；小範圍轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 1.4 公分，E 方向為 2.4 公分，h 方向為 3.6 公分，平均值在 N 方向為 -0.6 公分，E 方向為 -1.7 公分，h 方向為 -1.1 公分，小範圍轉換結果解決了臺南市楠西區二次轉換有轉換系統誤差及直接轉換在 E 方向中誤差偏大的問題。

表 3-5 臺南市楠西區直接與小範圍轉換坐標較差統計表(單位：m)

共同點	直接轉換			小範圍轉換		
分量	N	E	h	N	E	h
最大值	0.033	0.070	0.063	0.033	0.064	0.090
最小值	-0.010	-0.104	-0.066	-0.015	-0.047	-0.041
中誤差	0.013	0.048	0.038	0.014	0.024	0.036
平均值	-0.010	-0.001	-0.001	-0.006	-0.017	-0.011

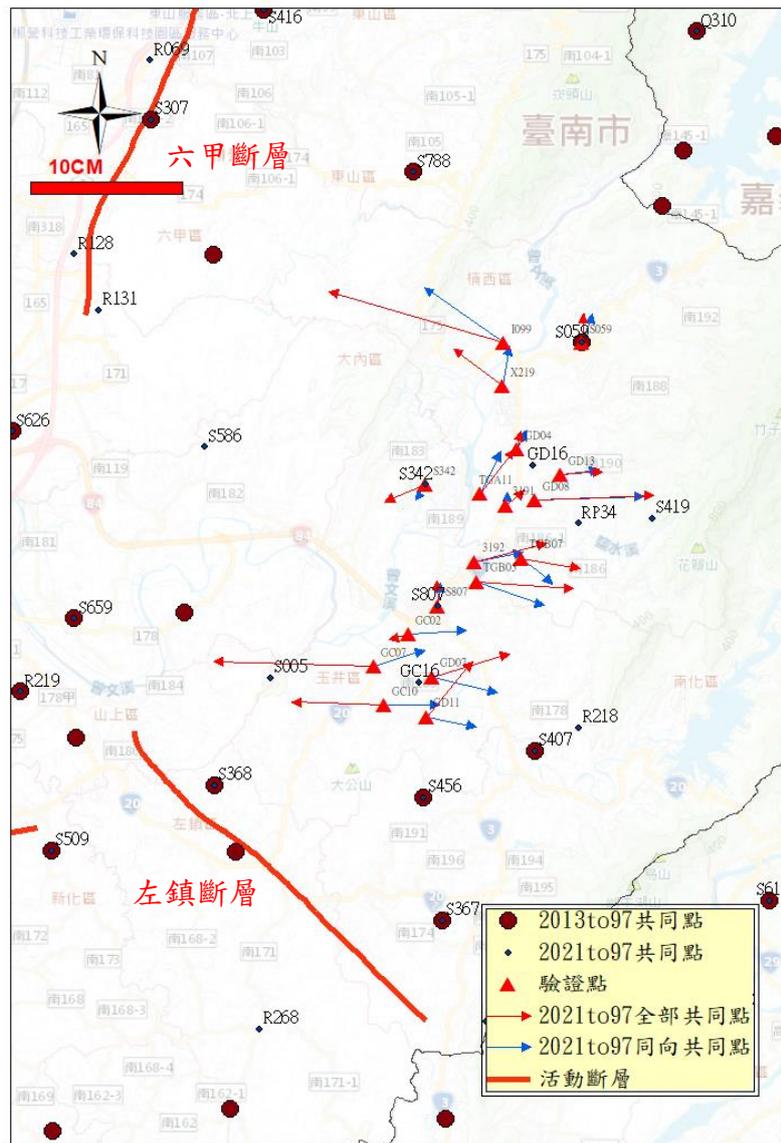


圖 3-14 臺南市楠西區直接與小範圍轉換坐標較差圖

第四節 研究結果說明

本研究結果顯示透過增加臺南市楠西區轉換共同點，可解決轉換系統誤差問題，並提升轉換精度。故本中心於 2021 年 9 月 28 日派員至臺南市辦理研究成果說明會（圖 3-15），將研究結果分享給當地使用者，並提供免費帳號供測試使用。另於 2021 年 10 月 28 日派員至第 39 屆測量及空間資訊研討會辦理研究成果發表（圖 3-16），分享研究成果與後續規劃作為。



圖 3-15 2021 年 9 月 28 日臺南市推廣說明會

SG39 第39屆測量及空間資訊研討會 The 39th Conference on Surveying and Geomatics

首頁 活動消息 大會議程 論文發表 參展與贊助 大專生3S創客競賽 繳費 會場資訊 註冊帳號 登入

A2-NLSC	國土測繪中心發表會	主持人：儲豐宥 地點：圖書館B1F-24
編號	題目	作者
A2-NLSC-1	改善非都市地區圖解法土地複丈作業方法之研究	謝博丞、任重諺、邱立中
A2-NLSC-2	採用全星系e-GNSS辦理界址測量作業之探討	施啓仁、王建得、黃銘祥、劉冠岳
A2-NLSC-3	即時定位服務於無人載具應用實例分享	蕭世民、陳鶴欽
A2-NLSC-4	精進e-GNSS即時動態定位系統三維坐標轉換精度之研究	莊峰輔、林文勇、陳鶴欽

圖 3-16 2021 年 10 月 28 日第 39 屆測量及空間資訊研討會成果發表

第四章 結論與建議

第一節 結論

本研究分別使用基準站及基準站加上基本控制點作為共同點，建置 e-GNSS[2021]→TWD97 及 e-GNSS[2021]→TWD97[2010]坐標轉換模型，研究增加轉換模型共同點數量對轉換精度之影響，研究結果獲得以下結論：

- 一、e-GNSS[2021] →TWD97 模型只使用基準站建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 6.3 公分，E 方向為 5.3 公分，h 方向為 11.5 公分；使用基準站加上基本控制點建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 5.3 公分，E 方向為 5.1 公分，h 方向為 11.2 公分，使用基準站加上基本控制點之成果略優於只使用基準站之成果，在 N 方向上精度提升 1 公分，E 及 h 方向則無明顯差異。
- 二、e-GNSS[2021] →TWD97[2010]模型只使用基準站建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 3.9 公分，E 方向為 3.7 公分，h 方向為 6.6 公分；使用基準站加上基本控制點建置模型之轉換結果與公告坐標較差之中誤差在 N 方向為 3.9 公分，E 方向為 3.5 公分，h 方向為 7.0 公分，兩模型轉換精度無明顯差異。其原因可能是原本只使用基準站之模型，已足夠反應大部分日常地表變動情形（非地震造成之變動量），因此以均勻分布之點位檢核模型之結果，與增加基本控制點後之模型無明顯差異。
- 三、臺南市楠西區利用二次轉換方式建置 e-GNSS[2021]→e-GNSS[2013] →TWD97 轉換模型，在增加 e-GNSS[2021] →e-GNSS[2013]共同點數量後，未改善該地區 e-GNSS[2021]→TWD97 轉換系統誤差及精度，因其轉換系統誤差來源係 e-GNSS[2013] →TWD97 模型所致。
- 四、透過加密臺南市楠西區轉換共同點，直接建置 e-GNSS[2021] →TWD97 轉換模型，可修正該地區轉換系統誤差，並略微提升轉換精度，表示 e-GNSS[2013] →TWD97 模型共同點數量及分布在該地區不足以反應地表實際變動情形，增加該地區共同點數量後即可解決轉換系統誤差。
- 五、進一步分析臺南市楠西區周圍共同點 e-GNSS[2021]與 TWD97 坐標較差，發現楠西區與相鄰東山區、六甲區及大內區較差方向明顯不同。若僅用較

差方向相同的共同點建置 e-GNSS[2021] →TWD97 轉換模型，除可修正該地區轉換系統誤差外，更可大幅提升轉換精度。

第二節 建議

建議一

建請 e-GNSS 系統使用者回饋三維坐標轉換使用經驗：立即可行建議

主辦機關：內政部國土測繪中心

協辦機關：e-GNSS 系統會員

本研究規劃時僅特別就臺南市楠西區增加轉換模型共同點，研究結果透過直接轉換確實可解決該地區轉換系統誤差，並提升轉換精度。本中心在獲得初步研究成果後，即在 e-GNSS 系統入口網站公布最新消息(如圖 4-1)，建請 e-GNSS 系統使用者在測量時若發現特定地區轉換結果與當地已知或公告坐標系統有系統誤差，可填寫相關資料送本中心，作為後續建置 e-GNSS 系統相關轉換模型時規劃參考，以透過本研究成果，解決 e-GNSS 系統在不同地區有轉換系統誤差之問題，持續精進 e-GNSS 系統三維坐標轉換服務精度與品質。

內政部
NLSC
國土測繪中心

e-GNSS即時動態定位系統入口網站

會員登入 會員註冊 註冊繳費 基準站資訊 服務網情形

首頁
關於e-GNSS
如何申請
基準站網資訊
衛星資料供應服務
即時定位服務
後處理定位服務
三維坐標轉換服務
全國衛星追蹤站暨基本控制點查詢系統
相關網站
聯絡我們
留言板

最新消息

公告日期：2021/09/08

主旨：為精進本系統三維坐標轉換服務精度，請協助提供實際外業測量作業成果。

本系統自103年起提供三維坐標轉換服務，轉換後之平面精度優於5公分，高程精度優於10公分，考量地殼變動與地震影響，致部分地區轉換結果存在系統誤差。為精進本系統三維坐標轉換服務精度，修正轉換系統誤差，如外業測量時發現特定地區轉換結果與當地已知或公告坐標系統有系統誤差，請填寫【精進三維坐標轉換服務精度回報表】後，回傳至egnss@mail.nlsc.gov.tw，本系統將納入後續精進轉換精度規劃參考。

若有相關問題，歡迎與本中心聯絡(04-22522966#252，莊先生)

[精進三維坐標轉換服務精度回報表](#)

目前線上 21 本日 277 昨日 395 本週 1906 本月 7595 本年 115116 累計上線人數 660488

內政部國土測繪中心 電話：(04)22522966(代表號) 地址：40873臺中市南屯區黎明路2段497號4F

最佳瀏覽解析度：1024 * 768 以上 建議使用瀏覽器：Internet Explorer 10 以上、Google Chrome、Firefox、Safari

隱私權政策 | 網站安全政策 | 個資聲明

圖 4-1 e-GNSS 系統入口網站最新消息

建議二

建議定期辦理全臺基本控制點檢測，修正轉換系統誤差：中長期建議

主辦機關：內政部

協辦機關：內政部國土測繪中心

透過二次轉換雖可節省大量外業測量工作與經費，轉換精度亦損失有限，但由本案研究結果顯示，e-GNSS[2021]→TWD97 模型的轉換精度受 e-GNSS[2013]→TWD97 模型影響，在 e-GNSS[2013]→TWD97 模型有轉換系統誤差的地區，e-GNSS[2021]→TWD97 模型也存在轉換系統誤差。本研究透過直接轉換方式，建置臺南市楠西區 e-GNSS[2021]→TWD97 模型，除可修正該地區轉換系統誤差外，更可提升轉換精度。惟其小範圍直接轉換模型如與原本二次轉換全臺範圍模型整合再一起，在兩模型接縫處可能會產生其他轉換誤差，目前規劃就此地區之轉換模型採另外提供即時轉換之登錄點，或於後處理網站另外提供轉換模型之方式，僅提供該地區小範圍使用。建議爾後可定期配合 e-GNSS 系統坐標更新時程，辦理全臺大規模基本控制點檢測，並依使用者回饋情形，就存在轉換系統誤差之地區增加檢測點位，透過本研究成果採直接轉換方式更新轉換至 TWD97 之模型，始可修正目前以 e-GNSS[2013]→TWD97 模型為基礎產生之轉換系統誤差。

另目前 e-GNSS 系統測量成果轉換至 TWD97[2010]及 TWD97[2020]坐標尚未有使用者反應有系統誤差，主要應是該兩坐標系統分別係 2012 年及 2020 年公告之成果，距今時間較短，故僅使用基準站建置轉換模型，已可反應地表變動情形。惟參考轉換至 TWD97 坐標之經驗，為避免時間拉長後，造成部分地區產生轉換系統誤差，透過定期辦理全臺大規模基本控制點檢測，可持續累積不同時期測量成果，有助於建置維護 e-GNSS 系統三維坐標轉換模型精度與品質。

參考書目

- (1) 內政部國土測繪中心。2012。大地基準及一九九七坐標系統 2010 年成果工作總報告。臺中。
- (2) 內政部國土測繪中心。2014。三維即時坐標轉換輔助 VBS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究。自行研究報告。臺中。
- (3) 莊峰輔、陳鶴欽、梁旭文。2015。地籍測量期刊。內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統三維坐標轉換服務介紹。第 34 卷第 2 期。臺中。
- (4) 國立臺北大學公共事務學院土地與環境規劃研究中心。2019。108 年 e-GNSS 定位技術運用於地籍圖重測作業可行性驗證實務研析期末報告。臺北。
- (5) 內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站。2021。網址：<https://egnss.nlsc.gov.tw>。臺中。